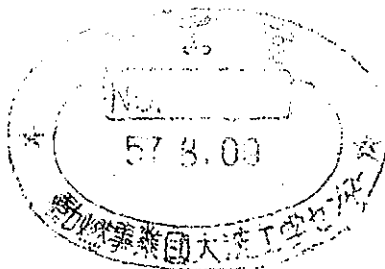


本資料は 17年 8月25日付で  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

# 高レベル廃棄物の地層処分に関する 調査・研究報告書 (昭和53年度)



1979年 3月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
Z	J121 79-01
<p>この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です</p> <p>動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室</p>	

三菱金属株式会社

この資料は動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに配布するものです。ついては供覧、複製、転載、引用等を絶対に行なわないよう厳重に管理して下さい。なお、開示制限が解除になった場合はその旨通知しますが、それ以前に関連業務が終了した場合は直ちに返却して下さい。

高レベル廃棄物の地層処分に関する  
調 査 ・ 研 究\*

柏 木 高 明\*\* 原子力本部

要 旨

本調査・研究は、高レベル廃棄物の地層処分に関する調査・研究の一環として実施されたものであり、その内容及び成果は以下のように要約することができる。

1. 地層処分地抽出に関する調査・研究

- ① 地層処分地を抽出するための基本規準，要因を決定し，地層処分地を抽出する手法・手順に関する骨子を形成することができた。
- ② 花崗岩類，ゼオライト質岩の代表的分布地区の各1地区で現地概査を実施し自然的・社会的要因に関する多大の資料を収集・整理することができた。
- ③ 頁岩・輝緑岩・石灰岩を対象として文献調査を行い，これら岩体の代表的分布地区を抽出することができた。
- ④ 頁岩・輝緑岩・石灰岩の代表的分布地区の各1地区より採取した岩石の特性試験を実施し，これら岩種の基礎特性値に関するデータを充実することができた。
- ⑤ 岩石特性試験結果の評価方法の検討を行った結果，岩石特性試験の問題点，今後実施すべき岩石試験項目等が判明した。
- ⑥ 海外調査を実施し，カナダ及びアメリカ合衆国における放射性廃棄物の調査・研究の内容，進捗状況を知ることができ，わが国の調査・研究を進展させる上で貴重な成果が得られた。

2. 地下水挙動に関する調査・研究

- ① 稼動鉱山において地下湧水に関する資料を収集し，湧水機構に関する考察を行った。
- ② 表水流の地下浸入経路を解析するのに必要有効なトレーサーを選定し，現地注入試験を行った。
- ③ 既知の断層上に電探を実施して断層探査の技術を確立し，断層中に含まれる水量の予測の可能性について検討した。
- ④ 地下湧水モデルを作成するための基礎調査として，モデル化に使用される数式を選定し，地質構造を考慮してモデル化の対象となる地域をブロック化した。

3. 試験孔を利用したデータ収集方法の検討

データ収集方法を“試験孔掘穿中のデータ収集”，“検層”，“試験孔と地表又は他の試験孔間の計測”，“試験孔内計器による測定”に大別し多数の調査方法を収集，整理することができた。

---

\* 本報告書は，三菱金属(株)が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

\*\* 原子力部

# 目 次

第1章	まえがき	1 頁
第2章	処分地抽出手法・手順に関する調査・研究	3
2.1	目 的	3
2.2	処分地抽出手法・手順法	3
2.3	処分地抽出手法・手順法の説明	3
2.3.1	基本基準の説明	13
2.3.2	要因の説明	13
2.3.3	調査方法の説明	14
2.3.4	調査内容の説明	14
2.3.5	調査の対象となる領域の説明	14
2.4	処分地抽出手法・手順表の特徴	15
2.5	処分地抽出手法・手順図の説明	15
2.6	ま と め	15
第3章	地層処分の要因の調査	18
3.1	文献の収集と整理	18
3.1.1	頁岩・石灰岩・輝緑岩の文献調査	18
(1)	目 的	18
(2)	抽出手法の概要	18
(3)	諸要因の調査	18
a	自然的要因の検討	18
b	社会的要因の検討	41
c	岩種ないし岩体自体の要因の検討	55
i	頁 岩	59
ii	石 灰 岩	64
iii	輝 緑 岩	71
(4)	要因の総合検討	72
3.1.2	現地概査地区比較・検討	79
(1)	目 的	79
(2)	調査対象地区比較・検討表	79
a	基本基準の説明	79
b	要因の説明	79
c	要因の概要の説明	79
d	評 価	79



e	総合評価順位	83 頁
(3)	比較・検討例	83
(4)	提言及び問題点	86
3.2	現地概査	115
3.2.1	目的	115
3.2.1	概査地区	115
(1)	花崗岩類；G-3地区北部	115
a	地質概査結果の概要	115
i	位置・交通	115
ii	地形	117
iii	気候	117
iv	一般地質	117
v	地質概査の結果	138
b	社会的要因の概査	138
i	調査方法の概要	138
ii	調査結果	139
c	調査結果のまとめ	141
d	花崗岩類分布地域の調査手法について	142
i	地質学的方法	143
ii	地球物理学的方法	145
iii	地球化学的方法	150
(2)	ゼオライト質岩；Z-1地区	151
a	地質概査結果の概要	151
i	位置・交通	151
ii	地形	151
iii	気候	153
iv	一般地質	153
v	東北地方のゼオライト質岩について	167
vi	地質概査結果の考察	182
b	社会的要因の概査	182
i	調査方法の概要	182
ii	調査結果	183
c	調査結果のまとめ	185
3.2.3	現地概査のまとめ	185
3.3	岩石基礎特性試験用の岩石サンプリング	186
3.3.1	目的	186

3.3.2	期 間	186	頁
3.3.3	サンプリングの概要	186	
	(1) 採取地区及び採取個数	186	
	(2) 採取方法	186	
3.4	岩石特性試験	187	
3.4.1	昭和53年度試験（頁岩，石灰岩，輝緑岩）	187	
	(1) 目 的	187	
	(2) 実施期間	187	
	(3) 岩石試験項目	187	
	(4) 試験方法	187	
	(5) 試験結果各論	192	
	a 岩石物性試験	192	
	b 化学分析試験	216	
	c 透水試験	219	
	d イオン吸着能試験	220	
	(6) 試験結果のまとめ	222	
3.4.2	昭和52年度の補足試験（花崗質岩・ゼオライト質凝灰岩）	238	
	(1) 目 的	238	
	(2) 実施期間	238	
	(3) 試験項目	238	
	(4) 試験方法	238	
	(5) 岩石特性試験結果の各論	241	
	a 岩石物性試験	241	
	b 化学分析試験	248	
	c 透水試験	250	
	d イオン吸着能（率）試験	250	
	(6) 試験結果のまとめ	251	
3.4.3	今後の岩石試験について	261	
3.5	岩石特性試験の評価方法の検討	262	
3.5.1	目 的	262	
3.5.2	評価方法の検討方針	262	
	(1) 岩石特性試験の比較・検討	262	
	a 岩石特性試験結果の比較検討表の説明	263	
	b 岩石特性試験結果の地区別比較・検討	263	
	c 岩石特性試験結果の岩種別比較・検討結果	263	
	d 岩石特性試験結果の比較・検討の問題点	263	

(2) 岩石特性の相関関係	268 頁
a データの設定	268
b 相関関係の計算手順	275
c 相関関係の計算結果	275
d 相関関係の検討	277
3.5.3 まとめと今後の課題	287
第4章 地下水挙動の調査・研究	291
4.1 鉱山諸資料の収集	291
4.1.1 目的	291
4.1.2 鉱山の概要	291
a 位置及び交通	291
b 沿革及び現況	293
c 地質及び鉱床	294
4.1.3 坑内湧水に関する資料	295
a 気象	295
b 地形と水系	295
c 排水の概要	295
d 坑内湧水状況	297
e 湧水ヶ所の地質構造的特徴	300
4.1.4 湧水機構に関する解析	302
a 第3紀火山岩被覆地帯	302
b 北部鉱体採掘跡地帯	303
c 下盤輝緑岩中の湧水	303
d 鉱床南部地帯	306
4.1.5 調査結果	307
4.2 地下水の挙動調査	308
4.2.1 表流水の挙動調査	308
(1) 目的	308
(2) 調査方法	308
(3) トレーサーの選定(室内実験)	308
a カラム透水試験	310
b 土壌吸着試験	315
c イオン相互間の干渉試験	315
(4) 実験試験地の概況と予備調査結果	316
a 実地試験地域の坑内外の概況	316
b 予備調査結果	318
(5) 実地試験結果	318

(6)	実地試験結果の解析	319 頁
(7)	実地試験の反省と追跡試験の今後の展望	322
a	実地試験の反省	322
b	新しい追跡試験法の今後の展望	322
4.2.2	電探による断層水の解析資料の作成	323
(1)	目    的	323
(2)	調査方法	323
(3)	調査地区及び概況	324
(4)	調査結果の要約	324
(5)	調査期間	326
(6)	電探の概要	326
a	I P 法	326
b	S P 法	328
(7)	放射能探査の概要	328
(8)	測    定	329
(9)	調査結果	330
(10)	調査結果の考察	334
(11)	結論と今後の問題点 添付図(第1図~第19図)	336
4.3	地下湧水モデルの研究	377
4.3.1	目    的	377
4.3.2	研究方針	377
4.3.3	研究の成果	377
(1)	天水の水分サイクル	377
(2)	地下水の流動に関する方程式と解法	379
(3)	尾平鉦山のモデル化	382
4.3.4	今後の研究作業の進め方	389
第5章	試錐孔を利用したデータ収集方法の調査・研究	390
5.1	目    的	390
5.2	調査の概要	390
5.3	試錐孔掘さく中のデータの収集	390
5.3.1	試錐記録精密化(逸水, 湧水, 崩壊, 掘進速度等)	390
5.3.2	岩芯の方位付採取(コア・オリエンテーター)	390
5.3.3	試錐孔方位計測(孔曲り測定)	391
5.4	検    層	391
5.4.1	電気検層	392
(1)	自然電位検層	392

(2)	比抵抗検層	393 頁
a	2極法検層	393
b	3極法検層	394
(3)	ラテロ・ログ	394
(4)	マイクロ・ログ	395
(5)	ディップ・メーター検層	395
(6)	インダクション・ログ	395
5.4.2	放射能検層	397
(1)	自然放射能ガンマー線検層	398
(2)	$\gamma$ - $\gamma$ 密度検層	398
(3)	中性子- $\gamma$ 線検層	399
(4)	熱中性子検層	399
(5)	エピサーマル中性子検層	402
5.4.3	弾性波速度検層	402
(1)	音波検層	402
(2)	P-S検層	405
(3)	ボア-ホール・テレビュア	406
5.4.4	温度検層	406
5.4.5	流速検層	407
5.4.6	キャリパー検層	409
5.4.7	写真及びテレビ検層	410
5.4.8	ルジオンテスト	412
5.5	試錐孔と地表又は他の試錐孔間の計測	413
5.5.1	試錐孔と地表間の計測	413
5.5.2	試錐孔と他の試錐孔間の計測	414
5.6	試錐孔内計器による測定	415
5.6.1	熱流量測定	415
5.6.2	極微小地震測定	415
5.7	まとめ及び提言	415
第6章	海外調査	418
6.1	目的	418
6.2	調査担当者	418
6.3	調査期間	418
6.4	調査対象国及び研究機関	418
6.5	調査日程	418
6.6	質問状及び持参資料	420

6.7	調査結果の概要	424 頁
6.8	カナダの原子力事情の概要について	425
6.9	調査・研究機関各論	426
6.9.1	カナダ	426
(1)	ホワイトシエル・核研究施設	426
(2)	カナダ原子力会社・チョークリバー核研究所	438
(3)	マックマスター大学	444
(4)	エーカーズ社	444
6.9.2	アメリカ合衆国	445
(1)	アメリカ合衆国・エネルギー省	445
(2)	バットル・メモリアル研究所	452
(3)	アメリカ合衆国地質調査所	458
(4)	バットル・ノースウェスト研究所	461
(5)	ロックウェル社	470
6.10	調査についての所感	481
第7章	今後の調査・研究について	482
	参考文献	485 ~ 489

## 目 次

図 2.5 - 1	処分地抽出手法・手順図	17 頁
図 3.1 - 1	調査対象地区を抽出するための手法・手順図	19
図 3.1 - 2	ヴェルム氷期の日本の気候・地形区	21
図 3.1 - 3	わが国の地すべり分布	22
図 3.1 - 4	活断層分布図	27
図 3.1 - 5	将来 100 年間に見舞うおそれのある最高震度の分布	29
図 3.1 - 6	我国の地質構造分帯	30
図 3.1 - 7	第 4 紀の隆起・沈降量図	31
図 3.1 - 8	第 3 系の褶曲の波長と頻度	33
図 3.1 - 9	日本の第 4 紀の地質環境	34
図 3.1 - 10	火山灰と火砕流の分布範囲	36
図 3.1 - 11	火山の発達史で分類した日本の第 4 紀火山	37
図 3.1 - 12	200 m 海中に沈めた時の日本	39
図 3.1 - 13	日本の災害危険地帯	41
図 3.1 - 14	地域ごとの地目別利用の特化係数	43
図 3.1 - 15	海中公園地区位置図	47
図 3.1 - 16	国立公園等分布図	49
図 3.1 - 17	人口密度分布図	53
図 3.1 - 18	タイプ別石灰岩の概略分布域	65
図 3.1 - 19	日本における古生代・中生代の地質分帯と輝緑岩類	71
図 3.1 - 20	日本の古生代、中生代の地向斜火山活動におけるマグマのタイプ	71
図 3.1 - 21 - (1)	自然的要因総合図 I	73
図 3.1 - 21 - (2)	自然的要因総合図 II	75
図 3.1 - 22	新第三紀中新世堆積岩・石灰岩・輝緑岩の分布図	77
図 3.2 - 1	北上北部地区北部位置図	116
図 3.2 - 1	東北日本構造区分図	118
図 3.2 - 3 - (1)~(3)	北上北部地区北部地質平面図 (巻末)	
図 3.2 - 4 - (1)	同上断面図 (巻末)	
図 3.2 - 5	田野畑岩体の分類	122
図 3.2 - 6	宮古岩体の分類	125
図 3.2 - 7	LANDSAT・衛星写真	128
図 3.2 - 8	LANDSAT・衛星写真によるリニアメント解析図	129
図 3.2 - 9 - (1)~(11)	顕微鏡写真	133 ~ 138

図 3.2 - 10	flow lines と diagonal joints の関係	144 頁
図 3.2 - 11	marginal fissure	144
図 3.2 - 12	メイン州の Lucerne 花崗岩体の Mount Waldo 花崗岩体の ブーゲ異常	147
図 3.2 - 13	Lucerne, Mount Waldo 花崗岩体の三次元モデル	148
図 3.2 - 14	三次元モデルから決定された深成岩体の深度	148
図 3.2 - 15	ナイジェリア国の Dusten-Wai 花崗岩体の三次元モデル	149
図 3.2 - 16	4000 ft 空中磁力異常図	149
図 3.2 - 17	化学的方法による花崗岩体の形状推定図	150
図 3.2 - 18	Z - 1 地区位置図	152
図 3.2 - 19 - (1)~(5)	Z - 1 地区地質平面図 (巻末)	
図 3.2 - 20 - (1)~(2)	Z - 1 地区地質断面図 (巻末)	
図 3.2 - 21	Z - 1 地区等重力線図	164
図 3.2 - 22	Z - 1 地区地質構造図	165
図 3.2 - 23	Z - 1 地区田子内試錐にみられるゼオライト類の分布	172
図 3.2 - 24	Z - 1 地区土畑北方試錐にみられるゼオライト類の分布	176
図 3.2 - 25 - (1)~(6)	Z - 1 地区ゼオライト質岩顕微鏡写真	179 ~ 181
図 3.4 - 1	ショアー硬度試験機	199
図 3.4 - 2	一軸圧縮強度試験用試料	201
図 3.4 - 3	加圧状況	201
図 3.4 - 4	岩石高温強度試験装置	202
図 3.4 - 5	圧裂引張試験用試料	203
図 3.4 - 6	ゲージの貼付け方	207
図 3.4 - 7	岩石の応力-ひずみ曲線	207
図 3.4 - 8 - (1)	岩石試験結果 (熱膨張率, 熱伝導率, 比熱)	231
図 3.4 - 8 - (2)	岩石試験結果 (吸水率, 有効間隙率)	232
図 3.4 - 8 - (3)	岩石試験結果 (比重, 含水率)	232
図 3.4 - 8 - (4)	岩石試験結果 (ショアー硬度, 一軸圧縮強度, 圧裂引張強度)	233
図 3.4 - 8 - (5)	岩石試験結果 (剪断強度, 衝撃強度, 静弾性係数)	234
図 3.4 - 8 - (6)	岩石試験結果 (透水係数, 放射能)	235
図 3.4 - 8 - (7)	岩石試験結果 (イオン吸着能率)	236
図 3.4 - 8 - (8)	岩石試験結果 (イオン吸着能率)	237
図 3.4 - 9 - (1)	岩石試験結果 (熱膨張率, 熱伝導率, 比熱)	257
図 3.4 - 9 - (2)	岩石試験結果 (ショアー硬度, 一軸圧縮強度, 圧裂引張強度)	257
図 3.4 - 9 - (3)	岩石試験結果 (剪断強度, 衝撃強度, 静弾性係数)	258
図 3.4 - 9 - (4)	岩石試験結果 (イオン吸着能率)	259



図 3.4 - 9 - (5)	岩石試験結果 (イオン吸着能率)	259 頁
図 3.4 - 9 - (6)	岩石試験結果 (透水係数, 放射能)	260
図 3.5 - 1 - (24)	正の相関関係の特にあるもの	278
図 3.5 - 1 - (20)	負の相関関係の特にあるもの	279
図 3.5 - 1 - (26)	正の相関関係のあるもの	280
図 3.5 - 1 - (42)	負の相関関係のあるもの	281
図 3.5 - 1 - (4)	正の相関関係のややあるもの	282
図 3.5 - 1 - (1)	負の相関関係のややあるもの	283
図 3.5 - 1 - (7)	相関関係のないもの	284
図 3.5 - 2	総合解析系統図	289
図 4.1 - 1	下川鉦山の位置図	291
図 4.1 - 2	下川鉦山の地質鉦床図	292
図 4.1 - 3	下川鉦山採水位置図	299
図 4.1 - 4	下川鉦山通洞坑第 3 紀火山岩地帯の湧水機構	302
図 4.1 - 5	下川鉦山下 2 ~ 下 4 番坑間の輝緑岩中の通水路	303
図 4.1 - 6	下川鉦山下 2 番坑サンプル水の集中坑井内への漏水	304
図 4.1 - 7	下川鉦山 S 9 号関係の湧水経路	305
図 4.2 - 1	碎石及び土壌浸透水中の $\text{Br}^- \cdot \text{I}^-$ イオン濃度の経時変化	314
図 4.2 - 2	溶存イオン相互間の干渉	317
図 4.2 - 3	坑内 X 地点側溝水中の濃度変化	320
図 4.2 - 4	生野鉦山の粘土断層と水谷断層の位置図	325
図 4.2 - 5	計測値のプロット図	327
図 4.2 - 6	計測値表示法	328
図 4.3 - 1	水文サイクルの概念図	378
図 4.3 - 2	尾平鉦山の地質図	384
図 4.3 - 3	断面位置図及び図 4.3 - 2 の範囲	385
図 4.3 - 4 - (1) ~ (3)	地質断面図	386 ~ 388
図 4.3 - 5	2 次元ブロック図の 1 断面図	389
図 4.3 - 6	作業手順の概要	389
図 5.3 - 1	試錐孔方位計測装置例	391
図 5.4 - 1	自然電位検層の概念図	392
図 5.4 - 2	2 極法の概念図	393
図 5.4 - 3	3 極法の概念図	394
図 5.4 - 4	ラテロ・ログの概念図	395
図 5.4 - 5	指向式 (ラテロ方式) の電極配置及び電流分布	395
図 5.4 - 6	鋼製スプリングにより電極を圧着させた図	396

	頁
図 5.4-7 マイクロ・ログとマイクロ・ラテロログの透過性地層に 対する場合の電流線の分布	396
図 5.4-8 マイクロ・ログより浸透層が検知できる例	396
図 5.4-9 マイクロテックメーターの実測例	396
図 5.4-10 インダクション検層概念図	397
図 5.4-11 黒鉱床における天然ガンマー線検層	398
図 5.4-12 岩田における天然ガンマー線検層	398
図 5.4-13 $\gamma$ ・ $\gamma$ 検層 (密度検層) の原理模式図	399
図 5.4-14 密度検層と地質との対比	399
図 5.4-15 $\gamma$ 線とコア分析との比較	400
図 5.4-16 レイケンハーゲン油田 (東独) のドロマイト質油層における 中性子-ガンマ検層による孔隙率の決定	400
図 5.4-17 地下水自噴井の中性子-中性子検層曲線	401
図 5.4-18 音波検層ゾンド概念図及び音波の最短経路	403
図 5.4-19 弾性波速度検層・音波検層の連続記録装置	404
図 5.4-20 連続速度検層の記録の一例	404
図 5.4-21 P-S 検層の概要図	405
図 5.4-22 北海道奈井江地域における孔井内速度測定	406
図 5.4-23 孔内温度の測定	407
図 5.4-24 試錐孔内スピナー流量計	408
図 5.4-25 試錐孔内スピナー測定例	408
図 5.4-26 キャリパー検層図の一部	409
図 5.4-27 キャリパー検層装置	410
図 5.4-28 電気検層・キャリパー検層計比	410
図 5.4-29 試錐孔内ステレオ・カメラ	410
図 5.4-30 試錐孔内ステレオ・カメラ説明図	411
図 5.4-31 試錐孔内ステレオ・カメラ	412
図 5.4-32 試錐孔内ステレオ・カメラ検層車	412
図 5.4-33 試錐孔内ステレオ・カメラ写真例	412
図 5.4-34 Lugeon 試験装置	413
図 5.5-1 生産井における追跳子再湧水のパターン	414
図 6.9-1 カナダのエバポライト堆積盆地と盾状図	430
図 6.9-2 放射性廃棄物貯蔵所の概念	433
図 6.9-3 放射性核種の移動径路	435
図 6.9-4 CRNL の廃棄物関連の組織図	439
図 6.9-5 放射性核種の拡散・移動モデルの概念図	440

図 6.9 - 6	Multiple piezometer のスケッチ	441 頁
図 6.9 - 7	放射性廃棄物の断面図	442
図 6.9 - 8	6.9 - 7 図の平面図	443
図 6.9 - 9	DOE の組織図	446
図 6.9 - 10	ONWI の組織図	453
図 6.9 - 11	米国の岩塩層分布図	454
図 6.9 - 12	放射性廃棄物の貯蔵施設概念図	470
図 6.9 - 13	コロンビア川台地玄武岩の分布図	472
図 6.9 - 14	Pasco Basin 付近の地形図及びハンフォード保留地	473
図 6.9 - 15	ハンフォード地区の地質柱状図	475
図 6.9 - 16	廃棄物の最終的な貯蔵形態	476
図 6.9 - 17	地下浅所における FULL SCALE ヒーターテスト概念図	477
図 6.9 - 18	地下浅所における TIME SCALED ヒーターテスト概念図	478
図 6.9 - 19	玄武岩プロジェクトにおけるサイト選定の進め方	479

## 表 目 次

表 2.2 - 1 - (1)~(4) 処分地抽出手法・手順表 .....	5 ~ 11 頁
表 3.1 - 1 わが国の地すべり分布 .....	22
表 3.1 - 2 新第三系の対比と地すべり .....	23
表 3.1 - 3 日本の代表的山地の地形 .....	26
表 3.1 - 4 活断層の等級 .....	28
表 3.1 - 5 国土利用 .....	42
表 3.1 - 6 原生自然環境保全地域 .....	44
表 3.1 - 7 自然環境保全地域 .....	44
表 3.1 - 8 国立公園一覧 .....	45
表 3.1 - 9 国定公園一覧 .....	46
表 3.1 - 10 国立公園及び国定公園保護区域面積 .....	47
表 3.1 - 11 海中公園地区一覧 .....	48
表 3.1 - 12 日本産岩石の熱伝導度 .....	57
表 3.1 - 13 全国の主な頁岩（泥岩）を含む地層 .....	60
表 3.1 - 14 女川階・船川階の模式地における化学分析値 .....	63
表 3.1 - 15 霊仙地区石灰石鉱床の化学成分 .....	67
表 3.1 - 16 関東山地石灰石鉱床の化学成分 .....	68
表 3.1 - 17 タイプ別石灰岩の平均化学成分 .....	69
表 3.1 - 18 日本の石灰岩の主な分布地域 .....	69
表 3.1 - 19 各地区石灰岩の平均化学組成 .....	70
表 3.1 - 20 調査対象地区比較・検討表 .....	81
表 3.1 - 21 花崗岩質の代表的分布地域の比較検討例 .....	87
表 3.1 - 22 ゼオライト質凝灰岩の代表的分布地域の比較・検討例 .....	89
表 3.1 - 23 - (1)~(6) 要因の細目比較検討表（Gグループ） .....	91 ~ 101
表 3.1 - 24 - (1)~(6) 要因の細目比較検討表（Zグループ） .....	103 ~ 113
表 3.2 - 1 検鏡結果まとめ .....	131
表 3.2 - 2 Mode 分析結果 .....	132
表 3.2 - 3 写真記入鉱物略記号表 .....	132
表 3.2 - 4 - (1)~(2) Z - 1 地区層序表 .....	154 ~ 155
表 3.2 - 5 Z - 1 地区X線回折（半定量）による試験結果表 .....	177
表 3.2 - 6 検鏡結果のまとめ .....	178
表 3.4 - 1 岩石試験項目 .....	188
表 3.4 - 2 - (1)~(3) 岩石試験実施表 .....	189 ~ 191

表 3.4 - 3	放射能測定結果	192 頁
表 3.4 - 4	熱膨張率測定結果	194
表 3.4 - 5	熱伝導率測定結果	196
表 3.4 - 6	吸水率, 含有率, 有効間隙率, 比重測定結果	198
表 3.4 - 7	ショア-硬度測定値	200
表 3.4 - 8	一軸圧縮強度測定結果	203
表 3.4 - 9	圧裂引張強度測定結果	204
表 3.4 - 10	剪断強度試験結果	205
表 3.4 - 11	衝撃強度測定結果	206
表 3.4 - 12	静弾性係数測定結果	208
表 3.4 - 13	比熱測定結果	210
表 3.4 - 14	クリープ試験結果	211
表 3.4 - 15	示差熱分析結果	213
表 3.4 - 16	顕微鏡検鏡結果	214
表 3.4 - 17	X 線回折結果	216
表 3.4 - 18	化学分析試験結果	218
表 3.4 - 19	透水試験結果	220
表 3.4 - 20	イオン吸着能率試験結果	222
表 3.4 - 21 - (1)~(3)	岩石試験結果一覧表	225 ~ 229
表 3.4 - 22 - (1)~(2)	岩石試験実施表	239 ~ 240
表 3.4 - 23	熱膨張測定結果	241
表 3.4 - 24	ショア-硬度測定結果	242
表 3.4 - 25	一軸圧縮強度測定結果	243
表 3.4 - 26	圧裂引張強度測定結果	243
表 3.4 - 27	剪断強度測定結果	244
表 3.4 - 28	静弾性係数測定結果	244
表 3.4 - 29	比熱測定結果	245
表 3.4 - 30	クリープ試験結果	245
表 3.4 - 31	示差熱分析結果	246
表 3.4 - 32	顕微鏡検鏡結果	247
表 3.4 - 33	X 線回折結果	247
表 3.4 - 34	化学分析結果	249
表 3.4 - 35	透水試験結果	250
表 3.4 - 36	イオン吸着能率試験	251
表 3.4 - 37 - (1)~(2)	岩石試験結果一覧表	253 ~ 255
表 3.5 - 1	岩石特性試験結果の比較検討表	264

表 3.5 - 2	岩石特性試験結果の地区別比較検討表 (G グループ)	265 頁
表 3.5 - 3	岩石特性試験結果の地区別比較検討表 (Z グループ)	266
表 3.5 - 4	岩石特性試験結果の岩種別比較検討表	267
表 3.5 - 5 - (1)~(2)	岩石試験結果一覧表	269 ~ 271
表 3.5 - 6 - (1)~(2)	岩石試験結果一覧表	273 ~ 274
表 3.5 - 7	岩石試験コード	268
表 3.5 - 8	相関関係コード	275
表 3.5 - 9	相関関係計算結果一覧表	276
表 3.5 - 10	相関関係一覧表 (その1)	277
表 3.5 - 11	相関関係一覧表 (その2)	285
表 4.1 - 1	下川鉦山の山許気象記録	296
表 4.1 - 2	下川鉦山坑内湧水ヶ所, 湧水量ならびに水質	298
表 4.1 - 3	下川鉦山石灰沢水と通洞坑N 62号湧水水質の比較	302
表 4.1 - 4	下川鉦山の落合沢水と下10番坑試錐孔からの湧水水質の比較	305
表 4.1 - 5	下川鉦山の中の沢水と通洞坑S 84号湧水水質の比較	306
表 4.2 - 1	日本列島における降水及び河川水中の微量元素濃度 (ppm)	309
表 4.2 - 2	トレーサー候補の薬剤の溶解度と価格	310
表 4.2 - 3	土壌カラム浸透水中の Br <sup>-</sup> 及び I <sup>-</sup> の挙動	312
表 4.2 - 4	砕石カラム浸透水中の Br <sup>-</sup> 及び I <sup>-</sup> の挙動	313
表 4.2 - 5	土壌吸着試験結果	315
表 4.2 - 6	実施試験結果の検出濃度変化	319
表 4.2 - 7	粘土断層地域の測定結果	332
表 4.2 - 8	水谷断層地域の測定結果	334
表 5.4 - 1	種々の元素の熱中性子の捕獲	402
表 5.7 - 1	試錐孔内検層総括表	417
表 6.5 - 1	調査日程表	419
表 6.9 - 1	カナダ原子力公社・ホワイトシェル核研究所組織	429
表 6.9 - 2	1978年の地質関係の担当組織および予算	433
表 6.9 - 3	放射性核種の分類表	436
表 6.9 - 4	Pathway Analysis のパラメーター	437
表 6.9 - 5	DOE の Commercial Waste Management の予算	448
表 6.9 - 6	Kd 値 (分配係数) のデータ処理法	465
表 6.9 - 7	表 3.6 - 7 の説明	465
表 6.9 - 8	Kd 値のデータ処理例	469
表 6.9 - 9	玄武岩質岩石中の鉦山例	471
表 6.9 - 10	コロンビア川台地玄武岩の岩石特性値	478
表 6.9 - 11	玄武岩プロジェクトの主要な請負会社	480

## 第1章 まえがき

本報告書は、昭和52年度動力炉、核燃料開発事業団が高レベル廃棄物の処分に関する調査・研究の一環として実施した「高レベル廃棄物の地層処分に関する調査・研究」に継続するものである。

昨年度の調査・研究は、

- ① 花崗岩類、ゼオライト質凝灰岩類の代表的分布地域における自然的・社会的要因の文献調査。
- ② 文献調査の対象となった地域より採取した岩石の基礎特性試験。
- ③ 諸外国の調査・研究の実状を把握するための海外調査。
- ④ 地下深部における地下水の挙動を解明するため、国内の10旧廃止鉱山を対象として地下湧水に関する基礎資料の収集・整理。

と要約できるが、主として地層処分の調査・研究を進める上での基礎的データを収集した。

本年度は昨年度の調査・研究を進展させ充実させることを目的として

①の調査研究においては、昨年度収集し、整理した成果を花崗岩類、ゼオライト質凝灰岩類の各一地域で現地概査を実施し、新たに石灰岩、輝緑岩、頁岩を対象岩種として我国の代表的分布地域の文献調査を行なった。

②の調査・研究においては、昨年度の補足試験を行うと共に、石灰岩・輝緑岩・頁岩の代表的分布地域より採取した岩石の基礎特性試験を実施し、これら岩石試験結果の評価方法の検討を行った。

③の調査・研究においては下記の調査・研究機関を訪問し、これら調査・研究機関の実状を把握することができた。

### 1) カナダ

- ・ ホワイトシェル核研究施設
- ・ チョークリバー核研究所
- ・ マックマスター大学
- ・ エーカーズ社

### 2) アメリカ

- ・ エネルギー省
- ・ バッテル・メモリアル研究所
- ・ バッテル・ノースウエスト研究所
- ・ 地質調査所
- ・ ロックウエル社

④の調査・研究においては、昨年度実施した10鉱山に加え、稼行鉱山を対象として地下

湧水に関する基礎データを収集・整理して

- 1) 表流水浸入経路の調査（生野鉱山）
- 2) 電探による断層水の解析資料の作成（生野鉱山）
- 3) 地下湧水モデルの研究（尾平鉱山）

の調査・研究に進展することができた。

本調査・研究ではさらに

- ① 地層処分地を抽出する手法・手順に関する調査・研究
- ② 地下深部の情報を収集する一手段として将来実施すべき試錐にそなえ、試錐孔を利用してのデータ収集方法の調査・研究

を行った。

以上の通り、本年度の調査・研究は多岐に亘るが鋭意調査・研究を実施した結果、ここに多大なる成果を得ることができたので報告する次第である。



## 第2章 処分地抽出手法・手順に関する調査・研究

### 2.1 目的

昨年度の調査報告書の第8章において、我国の地層処分地を抽出する手法・手順についての基本的な方針について提言したが、今年度は本章においてより具体的に地層処分地を抽出する手法・手順を模索し、今後の調査研究の進展に寄与することを目的とする。

### 2.2 処分地抽出手法・手順表

地層処分地抽出のための手法・手順については、海外でも調査・研究が進められており、特にONWI（旧OWI）、IAEA、Sandia 研究所等は本課題に積極的に取り組み各種の報告を發表している。

これら報告書は、地層処分の全体の複雑性、放射性廃棄物自体の種類・性質等の不確実性、地質的要因の多様性・地域的異差等により特定の抽出手法・手順を開発するのは困難であると指摘しており、提案されている抽出手法・手順は極めて具体性に欠けるものであるが、我国に比べ長年の調査・研究を背景とした先進諸国の報告書は我国の地層処分地抽出という問題を推進するに当たり参考になることは言うまでもない。

表2・2-1-(1)~(4)は我国の処分地を抽出するための手法・手順の一手法を提起したもののだが、Y/OWI/TM-47を基にIAEA-TRS-177やSandia 研究所の研究成果を参考にし、我国の特殊性を考慮して作成した。なお本表は後述の図2・5-1の処分地抽出手法・手順図と対となるもので、本図を利用することにより地層処分地を抽出する手法・手順がより明瞭となるものである。

### 2.3 処分地抽出手法・手順表の説明

表2・2-1-(1)~(4)の理解を深めるため、本項ではこの表の説明を加える。本表は表2・2-1-(1)~(4)で一組となり日本全域から処分地を抽出する表を形成するものである。各表には“調査の対象となる領域”，即ち日本全域，調査対象地区，候補地区，精査地区における調査すべき要因，調査方法，調査内容が示されている。これら要因，調査方法，調査内容は概念的にしか示されていないが、今後高レベル廃棄物の地層処分に関する調査が進展するにつれて明確になるであろうし、又具体化・明確化しなければはらない。



表 2・2-1-(2) 処分地抽出手法・手順表

基本規準 調査の対象となる領域 要因・調査方法・調査内容	調査対象地区 面積：50 km × 80 km											備考
	風食作用	爆発	河川作用	水河作用	地 況	隕石衝撃	岩石のタイプ	地形	風化	深度分布		
1. 深度 地層処分地の岩体は、十分な深さになければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
2. 垂直的広がり 地層処分地の岩体は、垂直的に十分な厚さになければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
3. 水平的広がり 地層処分地の岩体は、水平的に十分な広さになければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
4. 隆起・沈降 地層処分地の隆起・沈降が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
5. 断層 地層処分地の断層が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
6. 火成活動 地層処分地の予測される火成活動が、地質的包蔵性に危険を及ぼしてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
7. 水理特性 地層処分地の地下水は、放射性核種を生物圏に移行させてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
8. 含水量 地層処分地の岩体の含水量は、充分小さくなくてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
9. 放射線の作用 廃棄物から発生する放射線が処分地の岩体に作用し、地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
10. 廃棄物-岩体の相互作用 地層処分地の岩体と廃棄物の相互作用によって地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
11. 機械的特性 地層処分地の岩体は、処分場の物理的健全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
12. 応力の状態 地層処分地の岩体の応力は、処分場の物理的健全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
13. 地震活動 地層処分地に予想される地震が、処分場の物理的健全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
14. 処分場建設 地層処分地の地質・地理・地形が、処分場の建設に適したものでなければならぬ。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
15. 鉱物資源 地層処分地は、鉱物資源の開発の可能性のある地域をできるだけ避けなければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
16. 水資源 地層処分地は、水資源の開発の可能性のある地域は避けなければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
17. 土地利用 地層処分地は、土地利用に関する紛争の少ない地域でなければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	
18. パブリック アクセプタンス 地層処分地は、社会的・政治的に受け入れられやすい地域にならなければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因* 調査方法** 調査内容	

※：今後特に調査を要するもの

調査方法\*  
 ⊗：文献調査  
 ⊕：現地調査  
 ⊙：地質調査  
 ⊚：岩石試験  
 ⊛：物理探査  
 ⊜：試錐探査  
 ⊝：坑道探査  
 ⊞：実地調査  
 ⊟：実地調査  
 ⊠：シミュレーション

	調査内容**	
	定性的	定量的
現時点の事象	考察	検討
将来の事象	推定	予測
		評価
		実証

表 2・2-1-(3) 処分地抽出手法・手順表(3)

基本規準 調査の対象となる領域 要因・調査方法・調査内容	候補地区 面積：10km×10km										備考
	風食作用	爆発	河川作用	水河作用	地 況	隕石衝撃	岩石のタイプ	地 形	風 化	深度分布	
1. 深度 地層処分地の岩体は、充分の深さになければならない。	要 因* 調査方法** 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
2. 垂直的広がり 地層処分地の岩体は、垂直的に充分な厚さがなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
3. 水平的広がり 地層処分地の岩体は、水平的に充分な広さがなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
4. 隆起・沈降 地層処分地の隆起・沈降が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
5. 断層 地層処分地の断層が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
6. 火成活動 地層処分地の予測される火成活動が、地質的包蔵性に危険を及ぼしてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
7. 水理特性 地層処分地の地下水は、放射性核種を生物圏に移行させてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
8. 含水量 地層処分地の岩体の含水量は、充分小さくなくてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
9. 放射線の作用 廃棄物から発生する放射線が処分地の岩体に作用し、地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
10. 廃棄物-岩体の相互作用 地層処分地の岩体と廃棄物の相互作用によって地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
11. 機械的特性 地層処分地の岩体は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
12. 応力の状態 地層処分地の岩体の応力は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
13. 地震活動 地層処分地に予想される地震が、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
14. 処分場建設 地層処分地の地質・地理・地形が、処分場の建設に適合したものでなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
15. 鉱物資源 地層処分地は、鉱物資源の開発の可能性のある地域をできるだけ避けなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
16. 水資源 地層処分地は、水資源の開発の可能性のある地域は避けなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
17. 土地利用 地層処分地は、土地利用に関する紛争の少ない地域でなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	
18. パブリック アクセプタンス 地層処分地は、社会的・政治的に受け入れられやすい地域でなければならない。	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	要 因 調査方法 調査内容	

※：今後特に調査を要するもの

調査方法\*  
 ①：文献調査  
 ②：現地調査  
 ③：地質調査  
 ④：岩石調査  
 ⑤：物理探査  
 ⑥：試錐道探査  
 ⑦：坑道探査  
 ⑧：実地調査  
 ⑨：シミュレーション

調査内容\*\*

	定性的	定量的
現時点の事象	考察	検討・評価
将来の事象	推定	予測・実証

表 2・2-1-1(4) 処分地抽出手法・手順表(4)

基本規準	調査の対象となる領域 要因・調査方法・調査内容	精査地区 面積：5km×5km										備考
		風食作用	爆発	河川作用	水河作用	地況	隕石衝撃	岩石のタイプ	地形	風化	深度分布	
1. 深度 地層処分地の岩体は、十分な深さになければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
2. 垂直的広がり 地層処分地の岩体は、垂直的に十分な厚さになければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
3. 水平的広がり 地層処分地の岩体は、水平的に十分な広さになければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
4. 隆起・沈降 地層処分地の隆起・沈降が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
5. 断層 地層処分地の断層が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
6. 火成活動 地層処分地の予測される火成活動が、地質的包蔵性に危険を及ぼしてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
7. 水理特性 地層処分地の地下水は、放射性核種を生物圏に移行させてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
8. 含水量 地層処分地の岩体の含水量は、充分小さくなくてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
9. 放射線の作用 廃棄物から発生する放射線が処分地の岩体に作用し、地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
10. 廃棄物-岩体の相互作用 地層処分地の岩体と廃棄物の相互作用によって地質的包蔵性が損なわれてはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
11. 機械的特性 地層処分地の岩体は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
12. 応力の状態 地層処分地の岩体の応力は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
13. 地震活動 地層処分地に予想される地震が、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
14. 処分場建設 地層処分地の地質・地理・地形が、処分場の建設に適合したものでなければならぬ。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
15. 鉱物資源 地層処分地は、鉱物資源の開発の可能性のある地域をできるだけ避けなければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
16. 水資源 地層処分地は、水資源の開発の可能性のある地域は避けなければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
17. 土地利用 地層処分地は、土地利用に関する紛争の少ない地域でなければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①
18. パブリック アクセプタンス 地層処分地は、社会的・政治的に受け入れられやすい地域にならなければならない。	要因 ① 調査方法 ① 調査内容 ①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①	①

※：今後特に調査を要するもの

調査方法\*  
 ①：文献調査  
 ②：現地調査  
 ③：地質試験  
 ④：物理探査  
 ⑤：試掘  
 ⑥：坑道調査  
 ⑦：実地調査  
 ⑧：シミュレーション  
 ⑨：地質探査  
 ⑩：地質調査  
 ⑪：地質調査  
 ⑫：地質調査  
 ⑬：地質調査  
 ⑭：地質調査  
 ⑮：地質調査  
 ⑯：地質調査  
 ⑰：地質調査  
 ⑱：地質調査  
 ⑲：地質調査  
 ⑳：地質調査  
 ㉑：地質調査  
 ㉒：地質調査  
 ㉓：地質調査  
 ㉔：地質調査  
 ㉕：地質調査  
 ㉖：地質調査  
 ㉗：地質調査  
 ㉘：地質調査  
 ㉙：地質調査  
 ㉚：地質調査  
 ㉛：地質調査  
 ㉜：地質調査  
 ㉝：地質調査  
 ㉞：地質調査  
 ㉟：地質調査  
 ㊱：地質調査  
 ㊲：地質調査  
 ㊳：地質調査  
 ㊴：地質調査  
 ㊵：地質調査  
 ㊶：地質調査  
 ㊷：地質調査  
 ㊸：地質調査  
 ㊹：地質調査  
 ㊺：地質調査  
 ㊻：地質調査  
 ㊼：地質調査  
 ㊽：地質調査  
 ㊾：地質調査  
 ㊿：地質調査

調査内容\*\*

	定性的	定量的
現時点の事象	考察	検査
将来の事象	推定	予測
	評価	実証

さらに、本表の説明を続けると表2・1-1-(1)に示される諸要因が調査・検討されて日本全域から調査対象地区が抽出される。表2・1-1-(2)には調査対象地区から候補地区を抽出すべき諸要因が示されており、これら諸要因を調査・検討することにより候補地区が抽出される。この様にして順に地層処分地が抽出される。

以上が本表の概説であるが、以下細部の説明を加える。

### 2.3.1 基本規準の説明

基本規準とは、地層処分地が満足すべき一連の普遍的な立地要件で、定性的かつ一般的に表現され、どのような地質の地域、岩体の条件に対しても適用される。Y/OWI/TM-47を基に、我国の特殊性からパブリックアクセプタンスを基本規準に加えて合計18の基本規準とした。

### 2.3.2 要因の説明

定性的なもの定量的なものがあり、基本規準について数値的な限度を定めるのに使用される。又、要因の調査、研究の総合検討により、地層処分地を抽出する手段として使用される。Y/OWI/TM-47を基に、我国の特殊性及び海外文献を参考に核種の移動、熱の拡散、気候、アクセシビリティ等の要因を加えた。

表に示された諸要因は極めて抽象的であるので以下、特に理解しにくい要因について説明する。

風食作用：空気の移動に関連した地質プロセス、即ち風の作用をいう。

爆発：戦争又は人為的事故による爆発を意味する。

深度分布：岩体が分布する深度を意味する。

空洞：試錐孔、立坑その他の人工的空間を意味する。

溶解：岩体の溶解率、溶解機構を意味する。

機械的特性：岩体の物理的性質を意味し、特に処分施設の建設に伴う地下空洞掘さくとの関連をいう。

レオロジー特性：時間的経過により変形する岩石の変形をいう。

ディアプリズム：地殻中で周囲の岩石よりも比重が小さく塑性流動をしやすい物質が上位の岩層の割れ目に沿って上昇し、これを押し上げてできるドーム状の構造をいう。

帯水層：水を発生し得る地層について、その位置、規模及び水理特性をいう。

水理帯：水の移動を制限する不透水性物質の位置と規模を意味する。

空間：処分場施設の工学的設計から決められるような空間を意味する。

水理的歴史：水の年代測定および気候事象による過去の水循環の研究をいう。

水 位：現在および将来予想される地下水の水頭を意味する。  
 流 体 量：有機物の流体，ガスおよび水による岩体中の粒間空間の飽和度をいう。造岩鉱物の加水状態を含む。

### 2.3.3 調査方法の説明

表中で使用されている略字は調査方法を示しており以下の通りである。

- |        |            |
|--------|------------|
| ⊗：文献調査 | ⊙：試錐探査     |
| ⊚：現地概査 | ⊖：坑道探査     |
| ⊛：地質調査 | ⊗：実測定      |
| ⊜：岩石試験 | ⊘：実地調査     |
| ⊝：物理探査 | ⊙：シミュレーション |

### 2.3.4 調査内容の説明

調査内容は，大部分抽象的に表わされているがこれは各要因を調査して求められる結果が現時点では不明瞭な点が多いからである。例えば，表2・2-1-(4)における基本規準の一要因風食作用をみると，基本規準を定量化する一要因として風食作用を考慮しなければならないことは明らかであるが具体的にどの様な調査内容にするか，また調査した結果の求めるべき数値的限界等が不明確であるため調査すべき内容を現在は明示することができない。

なお，調査内容として使用されている語句は概略以下の様な意味を考慮してある。

調 査 内 容

	定 性 的	定 量 的
現時点の事象	考 察	検 討 評 価
将来の事象	推 定	予 測 実 証

### 2.3.5 調査の対象となる領域の説明

地層処分地を抽出するに当って，各調査・研究段階の概念的な対象領域を示してある。この領域（下段に面積として表示）は調査の対象となる岩種によって異なるであろう。

## 2.4 処分地抽出手法・手順表の特徴

処分地抽出手法・手順表には、多種・多様な要因が錯綜しているため、複雑で具体性に欠けるが、本表の作成に関し以下の配慮がなされた。

- 海外文献を参考にし、日本の特殊性を考慮して、基本規準・要因を網羅する。
- 地層処分地を抽出するに当たり、迅速性・経済性を重視する。
- 要因の性格により、調査の対象となる領域に関連し、密度の高い調査が要求される要因、密度の高い調査が不要の要因、調査をする必要のない要因等に分けて調査・研究できる。
- 各調査の対象となる領域で、調査・研究されるべき要因を明記することができる。

## 2.5 処分地抽出手法・手順図の説明

図2・5-1は処分地を抽出する作業の概念を図に示したもので、前述の表2・2-1-1(1)~(4)処分地抽出手法・手順表と一対となり処分地を抽出する骨子を形成するものである。

例えば、日本全域から調査対象地区を抽出する手法を説明すると、調査すべき要因は表2・2-1-1(1)でチェックされ、自然的諸要因、社会的諸要因、法的諸要因に分類され検討される。「岩種ないし岩層の選定」以下の一連の作業は、本来自然的諸要因に含め検討されるべきものであるが、抽出作業上独立させた。

調査対象地区における「諸要因の検討」も上記のように自然的要因、社会的要因、法的要因に分類して検討されるが、候補地区、精査地区における「諸要因の検討」はこの検討方法に加え、18種に分類された基本規準に対応する要因ごとに検討されなければならないであろうが、この問題は今後調査・研究すべき重要な事項である。

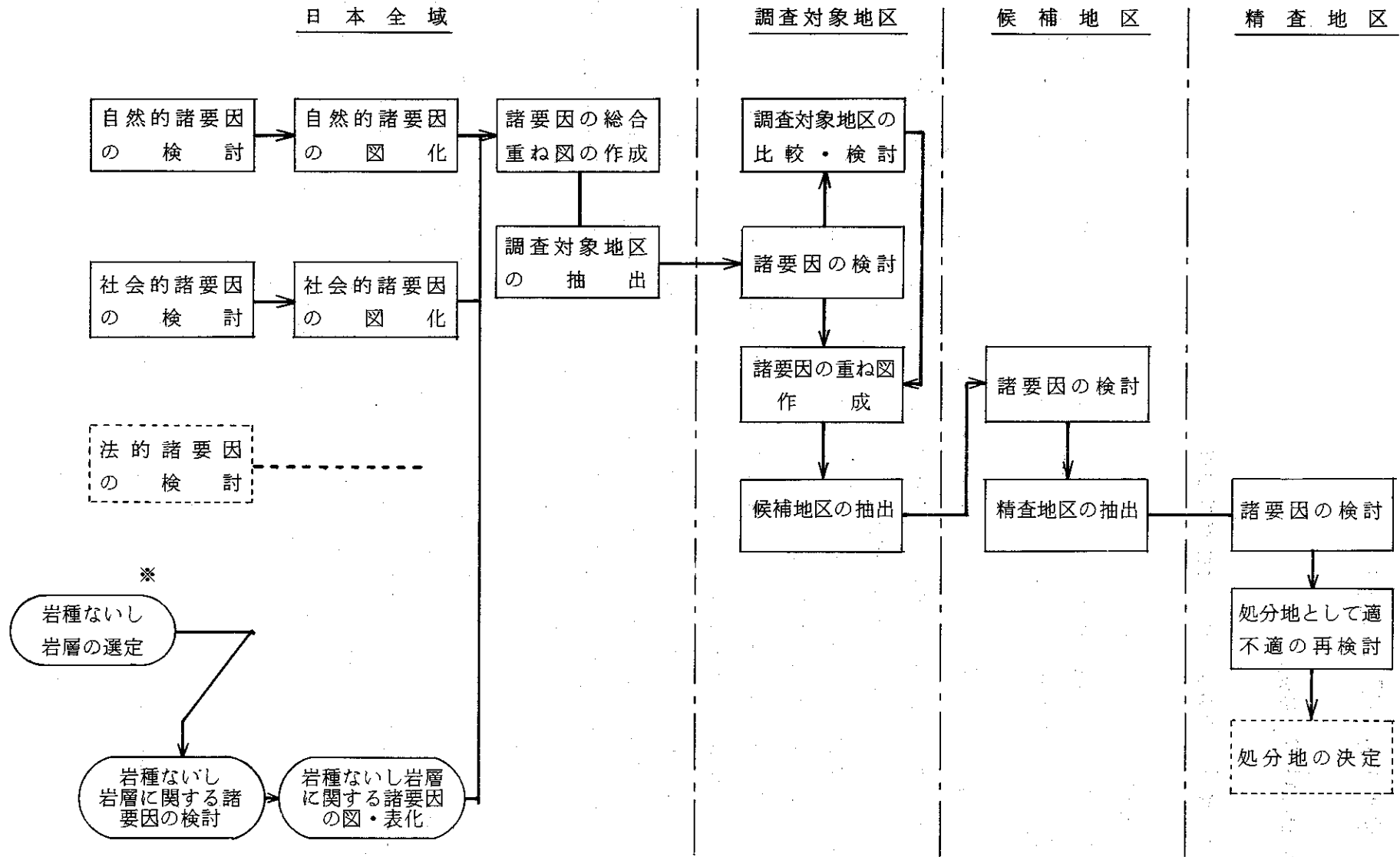
また、法的諸要因であるが、放射性廃棄物処理処分に関する法制度が確立されていないので地層処分地を抽出する作業に影響を与える程の要因に現在は至っていないものと判断される。

## 2.6 まとめ

本章では、調査の対象となる領域における要因を明示し、調査した要因を総合検討することにより段階的に調査の対象となる地域を抽出していく手法・手順について調査・研究したが、処分地抽出手法・手順表及び概念図は、今後本件に係わる調査・研究が進むにつれ、また社会・政治情勢が変化するにつれて変更・改良され、あるいは



新しい手法・手順が開発されていくものと予想されるが現時点では本図および表をベースに抽出作業を推進するのが最良と考えられる。



(註) ○表中の諸要因は、処分地抽出手法・手順表より選定する。  
※表中の は、本来自然的諸要因に含まれるものであるが、抽出作業上独立させた。

図 2.5 - 1 処分地抽出手法・手順図

## 第3章 地層処分の要因の調査

### 3.1 文献の収集と整理

#### 3.1.1 頁岩，石灰岩，輝緑岩の文献調査

##### (1) 目的

地層処分地を抽出するための手法を確立するための一段階として、頁岩、石灰岩、輝緑岩を対象岩種に日本全域から調査対象地区を抽出する作業を実践し、調査対象地区を抽出するための技術的な向上に資することを目的とする。

##### (2) 抽出手法の概要

表2・2-1-(2)処分地抽出手法・手順表を参照し、日本全域から調査対象地区を抽出する場合に調査すべき要因を自然的要因、社会的要因及び調査の対象となる岩種ないし岩層自身の要因に分類して

- ① 日本全域における自然的諸要因を考察・検討し、地層処分地として不相当と考えられる地域を除外する作業
  - ② 人間の生活環境、あるいは生活に必要な社会環境を考慮し、日本全域から人間の影響の少ない地域を抽出する作業
  - ③ 岩体中に高レベル廃棄物を100万年オーダーの超長期間封じ込めることを考慮し、調査の対象となる岩種ないし岩層自体の要因を考察・検討する作業
- を実施し、①②③を総合的に評価することにより調査対象地区を抽出する。以上の基本的方針に基づき、調査対象地区の抽出方法・手順を具体的に図示すれば図3・1-1となる。

図3・1-1において、調査の対象となる岩層ないし岩種の選定、これに関する諸要因の検討、諸要因の図表化の一連の作業は、*「自然的諸要因の検討」*に本来は含まれるものであるが、実作業上便宜的に区分して検討することとした。

なお、*「法的諸要因の検討」*は高レベル廃棄物に関する法令が整備された後に検討することとし、今回の調査では法的諸要因を考慮して抽出作業は進められていない。

##### (3) 諸要因の検討

###### a 自然的要因の検討

表2・2-1-(2)を参照し、日本全域から調査対象地域を抽出する場合の自然的要因として

I 河川作用

II 氷河作用

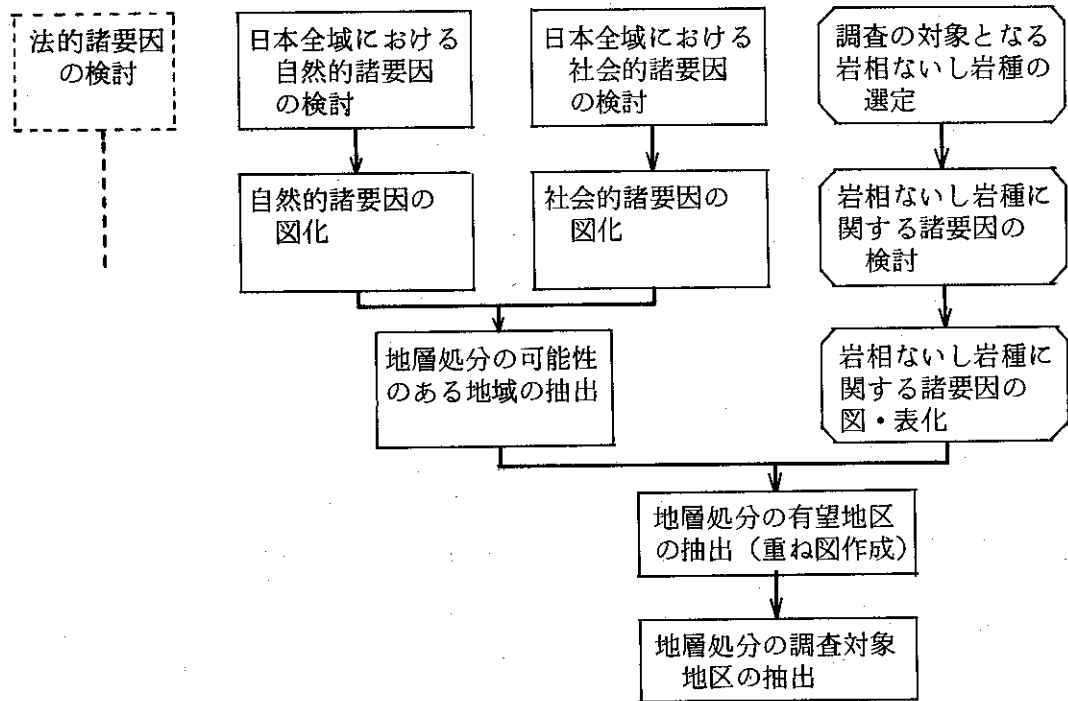


図 3.1 - 1 調査対象地区を抽出するための手法・手順図

- III 地況
- IV 地形
- V 割れ目
- VI 地震
- VII 構造発達史
- VIII 地盤負荷
- IX 地熱勾配
- X マグマ活動
- XI 火山活動
- XII 透水層
- XIII 気候
- XIV 資源

を選定し、これら要因について以下考察・検討を加える。

#### I 河川作用

高レベル廃棄物を地層処分する場合、これら処分場の近くの地表面に河川湖沼等が存在しても必ずしも除外地とはならない。しかしながら、処分場の

操業に対する影響及び廃棄物の長期的封じ込めを危険にさらさないという必要性から、洪水の発生率の高い地域や、河川の近辺は処分地として不適である。

また、河川は $10^5 \sim 10^6$ 年単位の地質時代的期間において、河川の位置・流域・流量等を変え、極端な場合には岩石を深く侵蝕し、地形をも急激に変化させ、廃棄物を長期的に封じ込める岩石の目的を脅やかすことは充分考えられる。この河川作用は我国の様な山岳地帯を基調とした降雨量の多い地域では著るしい。従って、河川の近く特に洪水の発生率の高い河川の流域は、地層処分の処分地として不適な地域と除外すべきである。(図 3・1-21-(2)参照)

## II 氷河作用

第四紀最後の氷河期は、今から約 10,000 年前に終わっており現在は後氷期である。氷河期は寒冷気候のために起り、数万年単位で繰り返される、と一般的に言われていることからみると、高レベル廃棄物地層処分の期間、即ち $10^5 \sim 10^6$ 年オーターの間には再び氷河期があり得るとすることは考えてよいであろう。氷河というと北極、南極にあるような大陸氷河、あるいはヒマラヤ、ロッキー、アンデス山脈中にあるような山地氷河を想うかべるが、処分地に影響を与えるものとしては、上記 2 つによる埋積、さくはくの他に周氷河地域(氷河の近辺部)でおこる frost heave, frost cracking, frost wedging, gelifluction 等による地盤の破壊があり、また、地盤の凍結等がある。

日本には氷河の跡を示すものとして、山地氷河のカール、モレーン等はあるが、大陸氷河はなかった。大陸氷河は両極を含む非常に高緯度の大陸海洋地域に限られ、今後 100 万年を考えた場合にも、日本の地球上における位置はあまり変化がないとみられるので、気候の変化を過去数 100 万年分を踏襲すると、この大陸氷河は日本には起こらないと見てよいであろう。しかし、周氷河地域には入ると見られ(図 3・1-2)、山地氷河は過去にもあったし、これからもあり得ると考えられる。

日本における山地氷河の痕跡は日高山脈では 1,100 ~ 1,400 m に、北アルプスでは 1,700 m 前後にみられる。従ってこれらの地域は処分地には適しておらず、将来も隆起が激しく、上記 2 地域を結ぶ雪線以上に頭を出し得る山地は対象として、はぶくべきである。

周氷河地域の問題は、前記のように地盤の破壊、凍結等があるが、これらが地下深度どの位まで影響を及ぼすかである。永久凍土層は、今まで知られているうちで最も深いものは 1,000 m にも及ぶが、これは極地に近い氷河地域であり、周氷河地域は、これよりはるかに浅いと考えられる。おそらくは深くとも数 10 m であろう。

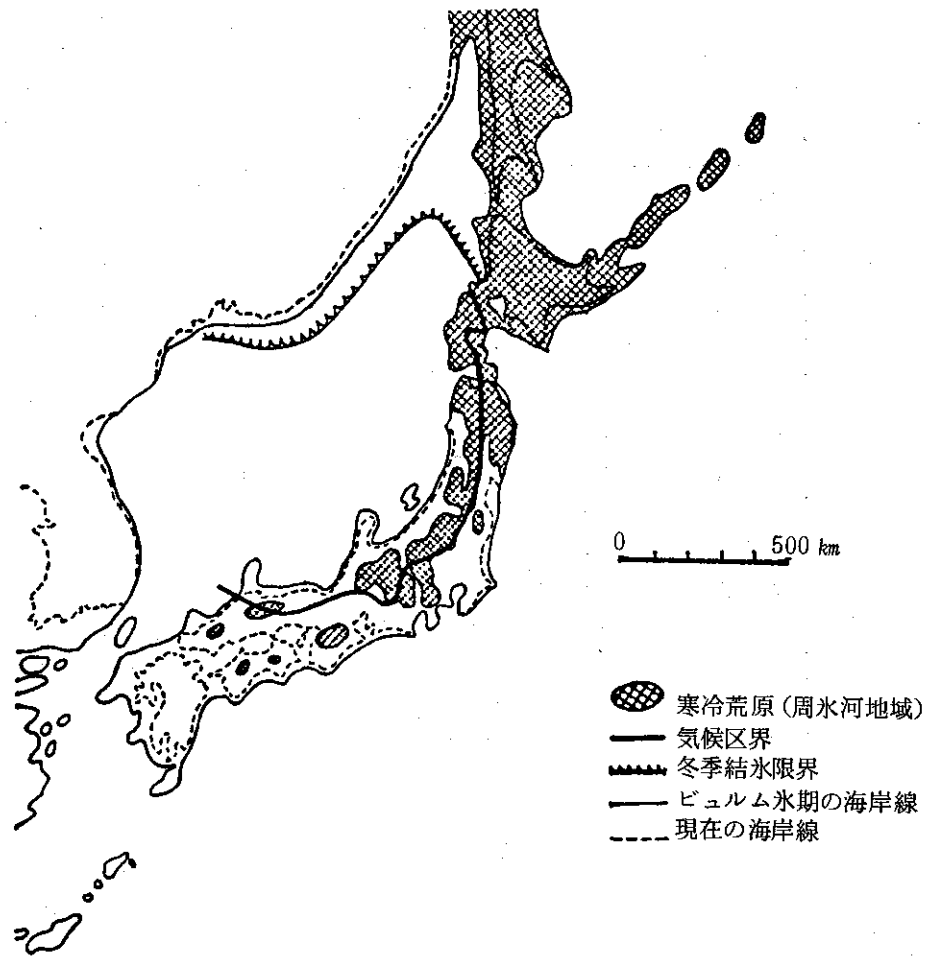


図3.1-2 ヴュルム氷期の日本の気候・地形区

海岸線は-100m等深線によってえがいてある。寒冷荒原は森林限界以上(以北)の土地で、現在の森林限界が1,500m低下したと考えてえがいた。気候区界は鈴木秀夫(1962)によるもの。これ以西(および、これにかこまれたところ)は裏日本気候区で、冬季積雪が多かったと推定される。したがって、これ以东(表日本気候区)で寒冷荒原のところは雪が少なく、周氷河作用をつよくうけたと推定される。冬季結氷限界も鈴木秀夫の推定による。(貝塚栄平)

### III 地じり

わが国には急峻な山地が多く、地質が複雑であり、地すべりを起こしやすい地層が発達し、これに加えて年1回の梅雨期があり、雨台風の襲来・豪雪地方における融雪など、地すべり発生の条件をそなえている地域に満ちている。表3.1-1にわが国における地すべり箇所数と規模を地方別に示し、図3.1-3はその分布図である。

地じりそのもの、あるいは地じり地域が将来どのように発展していくかは、地じりの分布域、活断層、活褶曲の発展等をかながみ、高レベル廃棄物を隔離する必要のある $10^5 \sim 10^6$ 年オーダーの超長期間を常に念頭に置いて検討す

表 3・1-1 わが国の地すべり分布

都道府県名	箇所数	面積 (ha)	都道府県名	箇所数	面積 (ha)	都道府県名	箇所数	面積 (ha)
北海道	8	355	山梨	21	5,156	広島	2	4
岩手	3	340	長野	854	12,809	山口	36	172
宮城	24	298	岐阜	2	16	徳島	1,058	70,428
秋田	47	962	静岡	42	934	香川	6	28
山形	195	4,025	愛知	2	25	愛媛	263	2,241
福島	38	846	三重	6	44	高知	89	1,479
群馬	127	797	滋賀	2	50	福岡	20	40
埼玉	68	361	京都	62	194	佐賀	121	1,155
千葉	139	1,711	大阪	2	25	長崎	166	2,395
神奈川	3	83	兵庫	137	1,175	熊本	61	393
新潟	1,292	21,935	奈良	12	195	大分	31	199
富山	149	2,859	和歌山	134	2,124	宮崎	111	114
石川	234	6,239	鳥取	10	386	鹿児島	11	402
福井	25	168	島根	71	100	計	5,584	143,263

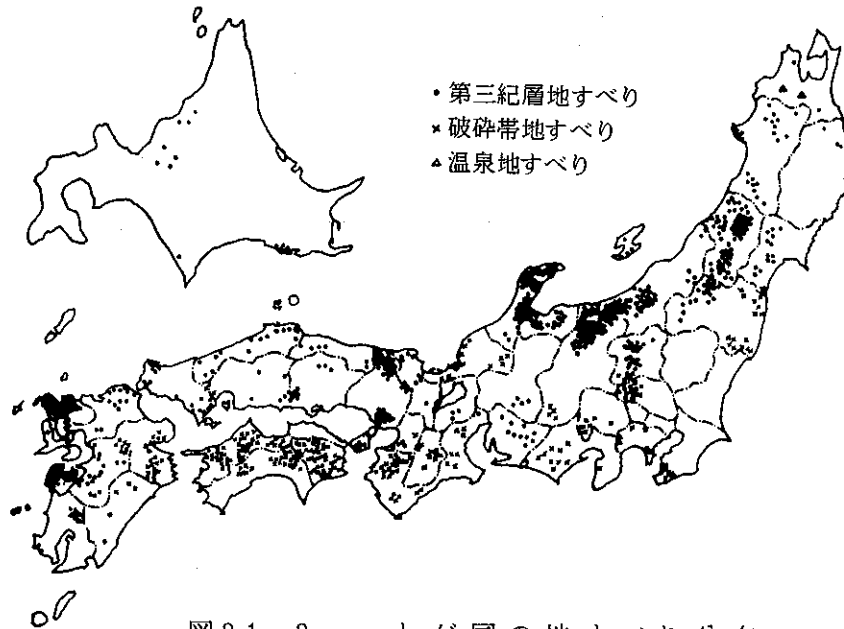


図 3.1-3 わが国の地すべり分布

べきである。また、地這り面の岩石学的鉱物学的性質、地這りが起きる時の地質的構造的特徴、特に最小傾斜等やその他の水理学的問題などを詳細に考慮していかねばならない。例えば、地這りが背斜軸部や撓曲部に多いのは、これらの部分の地層が擾乱され、水が浸透しやすいためであるという研究がある。

以上のように、地氾りに関し長期間に亘る将来の予想をするのは困難であるが、日本全域から調査対象地区を抽出するに当り、地氾りの発生率の高い地域は除外すべきである。(図 3・1-21-(2)参照)

わが国における地すべりの大部分(約75%)が、新潟、長野、石川、山形、富山などの各県に広く分布している第三紀層の中で発生しており、小出博(1962)は地すべりを

- ① 第三紀層地すべり：慢性的、持続的
  - ② 破砕帯地すべり：急激、破壊的
  - ③ 温泉地すべり：緩急いろいろおよび持続的・破壊的の両様がある
- のように分類している。

新潟、長野、秋田、山形、富山地方における新第三系の一般的な対比と地氾り発生率との関係は表 3・1-2 の通りであり、グリーンタフ地域の堆積環境と岩質が地氾りの大きな原因と考えられる。

表 3・1-2 新第三系の対比と地すべり

時代	地域	新潟油田標準層序	新潟県西頸城地方	長野県北信地方	秋田県中部地域	山形県新庄地域	富山県				
第四紀		矢代田層×		ローム層 火砕岩層			隆起扇状地堆積物 呉羽山層 埴生層×				
		魚沼層○									
新第三紀	鮮新世	灰爪層○	谷浜層△	猿丸層△ 棚層◎	北信層群	鮎川層△ 笹岡層・ 脇本層△	船形層×	氷見層×	北陸層群		
		西山層◎	名立層○ 川詰層○			天徳寺層△ 桂根層△	折渡層△			音川層○	
	中新世	椎谷層◎	能生谷層◎	小川層◎		船川層◎	小平層△ 畑層× 古口層◎	八尾層◎			
		寺泊層◎				女川層○	草薙層○				
		七谷層○								西飛山層△	青木層○
	中新世	津川層△	火打山層×	別所層△		門前層×	及位層×	岩稻層○ 榆原層×			
		岩船層×		内村層×							
	先新第三紀		古生層・花崗岩類								

地すべり：◎極めて多い(多発性)，○比較的多い，△割合に少ない，×少ない

#### IV 地形

我国における地形は、地質構造の発達史、気候等を反映して侵蝕作用を受けるあいだに以下のようにさまざまな特色を作り出していった。

第1の特色は、準平原の発達がわるいことである。日本の山地には、300



m 前後, 500 ~ 600 m 前後, 900 m 前後, 1,200 m 前後, 1,600 m 前後, 2,500 m 前後に, わずかに山頂平坦面として認められる隆起準平原遺物が, 断片的に分布している。高野山, 大台ヶ原山, 大野原, 中国高原, 三河高原, 飛騨高原, 北上高原, 背振高原など, その代表的な例である。これらのほかにも, 数おおくの断片的に発達する隆起準平原が知られている。

第2の特色は, 山地形にたいする組織の影響が, それほど顕著ではないということである。安定陸塊, とくに乾燥地域のそれは, 組織がきわめてよく地形に反映しているのにたいして, 日本の山地は一般に深い谷にきざまれ, 壮年期の代表的山容を呈している。従順山形を示すのは, 北上山地や阿武隈山地, あるいは北海道北部にみられるだけである。これらの山地では, 多少, 山地形にたいする組織の影響を認めることができるが, 大陸のそれに比すべくもない。

第3の特色は, 湿潤地帯に位するという気候的条件を反映していることである。日本は世界でも有数の降水量のおおい地域である。この降水ははげしい侵蝕力として, 地表をきざむ。造山帯の地形の特色として, 元来, 隆起帯の高さが大きいから, はげしい侵蝕作用の結果, 起伏にとんだ山地が形成され, 急流性の河川では, いまもはげしい下方侵蝕がくりかえされている。谷はV字型, 谷壁はこまかく複雑なヒダを示す。

第4の特色は, せまい列島を占めて発達する山地でありながら, 山地形の地域差が大きいということである。たとえば, 北海道や東北地方の西部地域は, グリーン・タフを主体とする崩壊しやすい地質で構成されているうえ, 多雪地域にもあたるため, きわめてこまかい山ひだを特色としている。これにたいして, 北海道の胴体部や道東部では, 冬期の寒冷や, 凍結のきびしさが関係して, 従順形の地形が発達している。東北地方の東部地域では, おおまかな山形がめだっている。

第5の特色は, 直接間接, 火山活動の影響を受けているということである。前述のように, 日本列島は環太平洋火山帯の中でも, 火山が最も集中的に分布している。新旧の火山地形以外に, 間接に火山活動の影響をうけている地形がきわめて多いのは, 火山帯の地形として当然であろう。又, 火山灰層の発達, は, その著るしい特徴と言える。

第6の特色は, 平野の配列が造山運動, あるいは地塊運動によって支配されているということである。また配列だけでなく, いまも地盤運動の影響をうけているということである。たとえば, 関東平野は古くしられているように, 造盆地運動を継続している。また濃尾平野では, 東から西にかたむく傾斜運動が, いまも継続していることがしられている。

第7の特色は、これらの平野は新旧をとわず、すべて堆積作用の結果形成されているということである。山が近く、河川の延長が短いから、平野のおおくは砂礫質の堆積物で構成されている。

第8の特色は、その規模が小さく、最大といわれる関東平野にしても、 $5,400\text{ km}^2$  にすぎない。

第9の特色は、氷河性平野は皆無であるが、沿岸の平野は、氷河性海面変化と関係があり、平野の構成物質の下層部は、大なり小なり、海面上昇期の、海底堆積物によって構成されている。

第10の特色は、沖積平野のおおくは、洪水のくりかえしによって生長し、あるいは海底堆積物の上に、うすい被覆層を形成しているということである。最近では、人為の影響も見のがせなくなっている。

以上の様な地形的特徴を背景に、地形を調査対象地区を抽出する要因として考慮する場合、重要な要素となるのは山地、平地、河川であろう。

山地については、あまり傾斜が急峻でない地域を対象とすべきである。表3・1-3は日本の代表的山地の地形を数値的に表示したものであるが、平均傾斜のきつい赤石山地、飛騨山地、木曾山地、鈴鹿山地、九州山地中央部等は調査対象地域の可能性ある地域から除外すべきである。

平地については、要因「透水層」の項で述べられる様に一般に処分地の対象地とはなり得ず、河川については、要因「河川作用」の項で述べたように大きな河川の近くも処分地の対象とすべきではないので、これら地域は地層処分の可能性ある地域から除外した。(図3・1-21-(2)参照)

## V 割れ目

日本全域から地層処分地を抽出する要因として割れ目を検討する場合、地質構造線、断層特に活断層の発達した地域は、地層処分地として不適である。

地質構造線については「構造発達史」の項で述べるが、我国の主要な地質構造線は図3・1-6に示される通りである。

活断層は第四紀に変位を行なった形跡が認められ、今後も同様な運動を行なう可能性が大きいとみられる断層であり、近年大地震を発生して変位した断層や、現在クリープが認められる断層は当然活動層である。(図3・1-4参照)

活断層の永年的な平均変位速度は断層ごとに大きく異なる、松田(1975)はこれを表3・1-4のようにA級、B級、C級、……と分類した。阿寺断層は2.7万年間の累積変位が140 mに達していることがわかっているから、平均変位速度は5 mm/年でA級になる。この断層はクリープをしていないので、もし1回のM7~8の地震によって5 m変位するとすれば、その再来期間は約

千年となる。阿寺断層付近には歴史上の大地震が知られていない（762年の地震がそれに当るのかも知れない）ので、注目すべき断層と考えられる。同様なことは中央構造線の四国の部分についてもいえる。

海溝内側の大地震を起こす逆断層はA級よりもさらに平均変位速度が大きいと考えられるので、AA級として表3.1-4に加えてある。San Andreas断層

表3.1-3 日本の代表的山地の地形

山地のタイプ	山地名	平均傾斜	水平曲線発達率	山地表面発達率	平均高度	地形的特徴	気候条件
G	南天塩	11	9	1	138	こまかいヒダ, 壮年の開析	多雪
V	摩周	14	4	0.3	231	のっぺりしている	冬乾燥
V	阿寒・屈斜路	15	6	1	239	のっぺりしている	"
H	日高	25	10	7	436	壮年の開析	"
H	早池峯	24	7	7	316	山容大まか	"
V	出羽・鳥海	20	4	4	256	壮年の開析	多雪
H	阿武隈	17	14	4	232	隆起準平原	冬乾燥
G	頸城	15	6	2	248	壮年の開析	多雪
G	能登	23	13	7	109	こまかい谷の発達	"
H	飛騨	32	8	11	678	山容大まか, 壮年の開析	"
H	木曾	29	5	9	482	"	夏雨
H	赤石	35	9	17	562	"	"
H	三河高原	16	1	2	355	隆起準平原	"
H	養老	28	4	4	262	代表的地塊山地	"
H	鈴鹿	29	5	6	264	隆起準平原, 地塊	"
H	笠置	18	6	2	166	"	"
H	生駒	13	3	1	113	"	"
H	丹波	16	11	3	207	壮年の開析	"
H	芸備	15	13	3	198	"	"
H	剣山	20	9	8	457	"	"
H	石槌	28	11	10	396	"	"
H	背振	19	6	2	298	隆起準平原	"
H	祖母山	27	6	7	389	壮年の開析	"
H	九州山地中央	30	13	12	402	"	"
H	屋久島	25	3	4	653	"	"
G	飯肥	22	8	5	189	山容大まか	"
V	多良	21	4	2	253	火山, 放射谷	"

\* 1 - 山地のタイプのうち、Hは日高造山運動、グリーン・タフ造山運動の影響を受け地塊山地の特徴を示すものが多い。Gは主としてグリーン・タフ造山運動の影響を受け、活褶曲などを示すものが多く、褶曲山地の特徴を示す。Vは主として火山作用によって形成されたもの。この区分は、地質構造、とくに岩石のかたさもある程度反映する。

\* 2 - 地形的特徴は多分に主観的ではあるが、観察による地形の特徴を示してある。

\* 3 - 気候条件は、外作用としてとくに注目すべき条件をしめしてある。

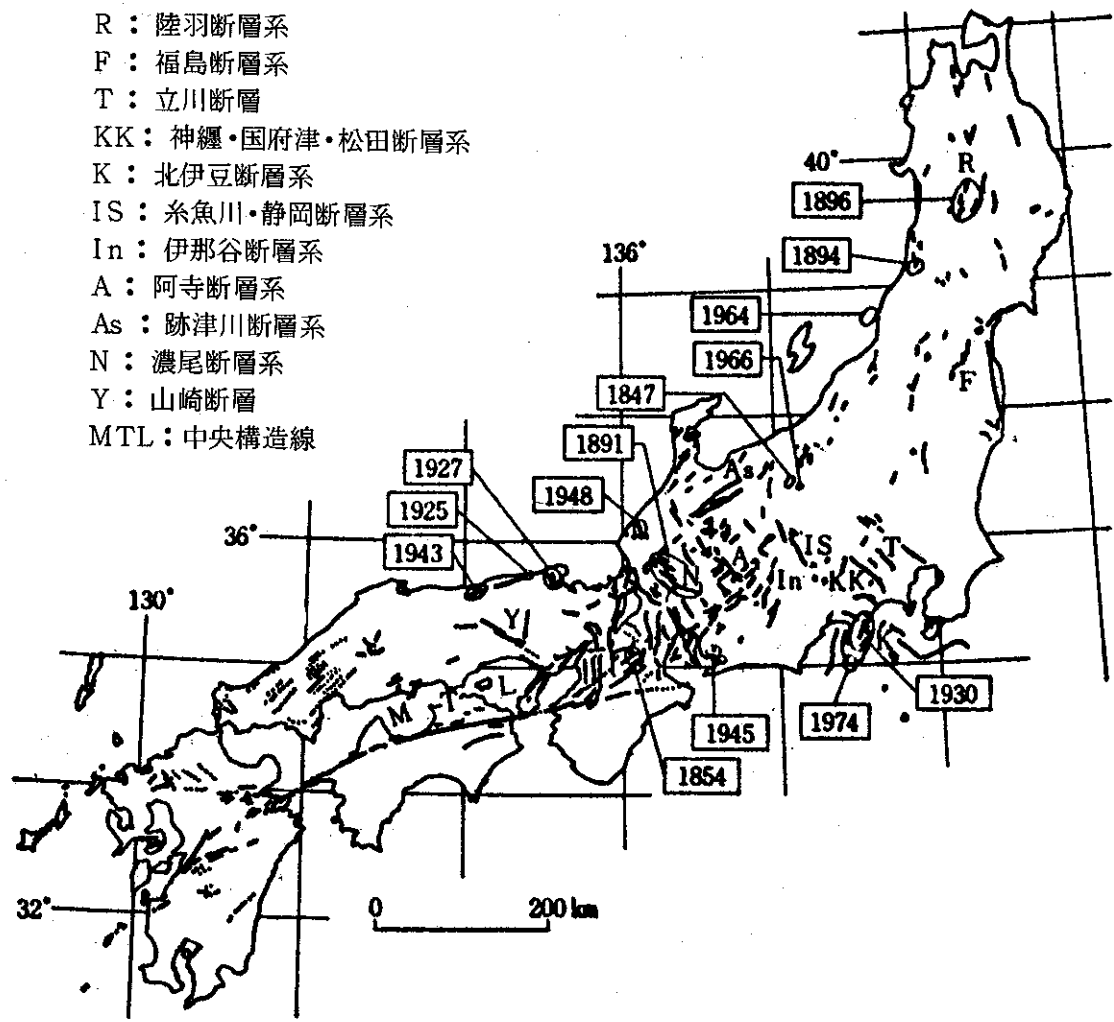


図 3.1-4 活断層分布図，  
 枠内の数字は地震発生年（松田ら，1976 に加筆）

もこの分類に従えば A A 級となる。地形・地質学的に求められている同断層の平均変位速度は 1 ~ 2 cm / 年程度であるが，近年の測定のデータは 3 ~ 4 cm / 年程度の速度を示しており，この 2 千万年間，速度が徐々に大きくなっているという見方もある。

日本内陸部の A 級の活断層は，ごくおおざっぱに言って千年に 1 回の割合で M 7 級の地震を起こしていると考えられる。そのつもりで歴史上の大地震をみると，濃尾地震（1891）の 1146 年前の美濃の地震（745），北伊豆地震（1930）の 1089 年前の北伊豆地震（841），善光寺地震（1847）の 960 年前の信濃北部地震（887）などがある。M 7 級の大地震は B 級，C 級の活断層からも起こる。変位速度の小さい活断層は発見しにくいので，大地震が起って始めて活断層の存在が確かめられるということもあり得る。

表 3・1-4 活断層の等級

級	平均変位速度	地震の間隔*	例
AA	10 ~ 100 <sup>mm</sup> /年	30 ~ 300 年	南海トラフ San Andreas
A	1 ~ 10	300 ~ 3000	阿寺, 根尾谷, 丹那 中央構造線の一部, 跡津川
B	0.1 ~ 1	3千 ~ 3万	千屋, 石廊崎 福島, 立川
C	0.01 ~ 0.1	3万 ~ 30万	鳥取, 郷村 深溝

\* クリープではなく, 1回の地震で3 m変位すると仮定, 1回の変位が小さければ間隔は短くなる。

## VI 地震

高レベル廃棄物を地層処分する地域を抽出する場合, 地震活動が少なく, かつ地質構造上安定な地域を抽出することが重要である。

地震の原因となるものは火山, 活断層, 地殻の急激な変動等が考えられる。火山については抽出要因として後述するが, 活断層と地震の関係については要因「割れ目」の項で述べた通りである。

統計的な実験式を用いると, 日本付近のどこが, 今までの何年間かに多くの地震によって, どれぐらいの震度を何回受けたかが計算できる。また統計年間を, この出てきた回数で割れば, ある地方がある震度でゆすられた頻度の平均年数がでる。それによると, たとえば, 関東南部や琵琶湖付近などは, 平均100年以内に1度は震度VI以上の地震動に見舞われてきているのに, 東北南部や北関東付近では300 ~ 400年に1回ぐらいの割合でしかない。また, こうした過去の地震動の強さについての統計資料から, 将来のそれをある程度占うことも可能である。図3・1-5は, この種の研究がもたらした結果であって, 来たるべき100年間に, どこが最高どの程度の強さの地震動を受ける危険にさらされているかの目安を与える。

従って, 危険度の高い地域を地層処分地とすることはさけねばならないが, 地層処分の調査対象地区, 候補地区が抽出された場合大局的にみれば同じ危険度の地域でも, 大地震に襲われたときの震度は地盤の条件によって場所ごとに変わるので, 過去の大地震の際の震度分布の詳細な調査や地質の調査などに基づいて, 細かい地域分け, いわゆるマイクロゾーニング (microzoning) を行なうことも大切である。

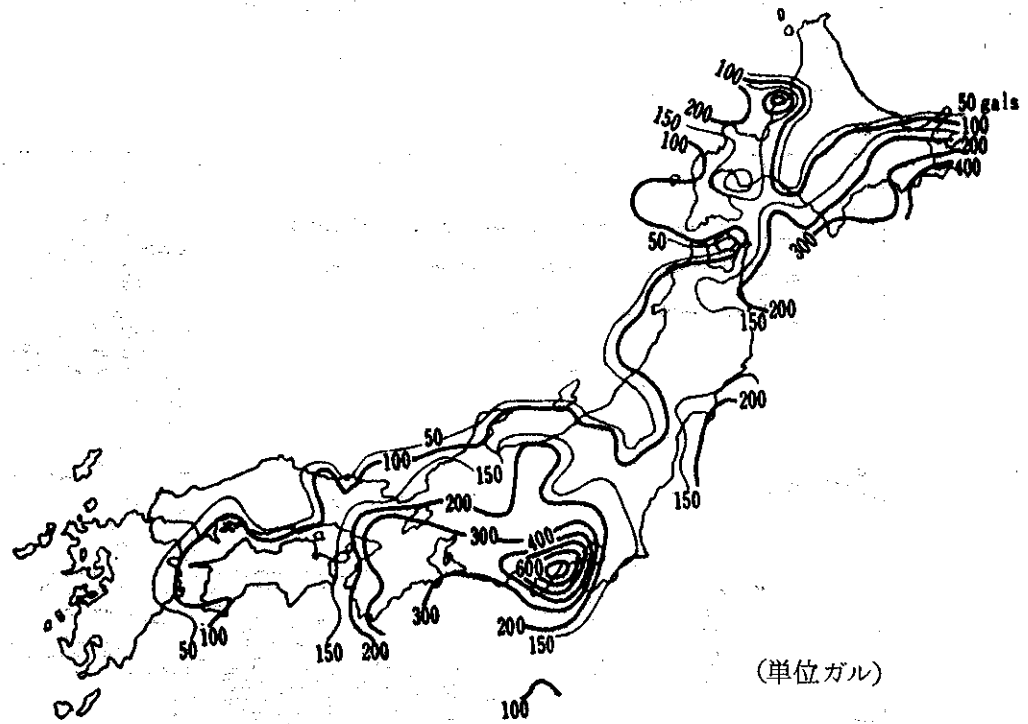


図 3.1-5 将来100年間に見舞うおそれのある最高震度の分布  
(河角 広による)

## VII 構造発達史

我国は地球的規模で見た場合、太平洋のプレートが北西に動いて沈み込む subduction の場所である、とプレート・テクトニクス論では言われ、あるいはまた一般的に環太平洋火山帯、環太平洋地震帯と呼ばれている変動帯にあり、そしてまた先カンブリア系や下部古生代の地層をほとんど欠く新しい地域である。先カンブリア系の安定な地塊がある欧米諸国とは異なって変動が激しいため、自然的要因を考慮する場合は、国土全体を地質学的に常に動いているものとして捕える必要がある。

地質時代の第三紀以前の変動としては、大きなものとしてくり返し起った造山運動、その結果としての変成帯、グリーンタフ地域があり、また日本列島を東北日本と西南日本に区分するフォッサ・マグナ、この西南日本を内帯と外帯に分割する中央構造線等がある。(図 3.1-6) 現在から 200 万年前までの第四紀の薄い地層を除けば、日本列島の土台となり、それに肉づけをした地層はこの第三紀以前にほとんど形成されている。

しかし、第四紀の変動は現在の変動の累積と見なすことができ、日本列島の現起伏の大部分が第四紀の地殻変動により形成されたことが明らかであるといわれているように、第四紀の地質構造運動を重視することが必要である。



なっているものとして捕えることが必要である。この観点から、例え現在第三紀の地層が動いているとしても、それはあくまで第四紀の運動として捕えることが重要である。

地盤にかかる負荷は、地盤の隆起・沈降、活褶曲、活断層という地質現象に現われるので、地盤負荷という要因は、地層処分地を抽出する作業においては地盤の隆起・沈降（活褶曲）、割れ目（活断層）等の地質現象が発生している地域としてとらえるべきである。

#### ① 地盤の隆起・沈降

地盤の隆起・沈降を地質学的・地形学的手法から調査した図、またそれらを合わせた集成隆起沈降量図等（図3.1-7）からみると、第四紀200万年間の日本列島の動きは、隆起量が日本アルプスを中心とする中部日本で最も大きく、最大隆起量が飛騨山脈で1,700 mに達する。しかもその周縁では、大きな gradient で隆起量を減じている。その他の地域で隆起量が1,000 mに達するのは、日高・夕張山地、越後・魚沼山地、紀伊・四国・九州山地であって、北上山地、阿武隈山地、中国山地、北海道北部は小さく、750 mに達していない。

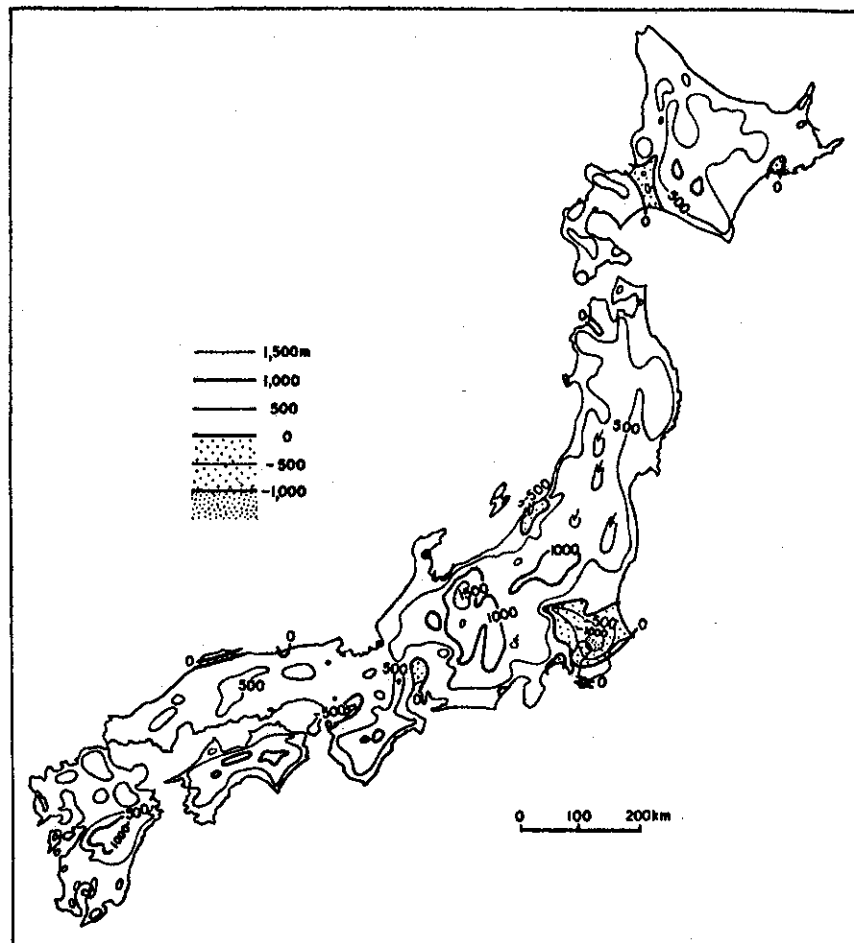


図3.1-7 第4紀の隆起・沈降量図



関東、濃尾、大阪、新潟、石狩などの大きな平野はすべて沈降地域であり、最大沈降量は関東平野で1,400 m余に達する。次いで大阪平野で700 m、石狩平野で600 m、新潟平野で500 mとなる。これらの沈降地域はいずれも盆地構造をなし、その周縁部において隆起沈降量の gradient が大きく、隆起地域から沈降地域へかなり急激にうつりかわる。

日本列島全体をみたとき、隆起沈降量及びその分布様式の点で、若狭湾—伊勢湾線を境とする東西両地域の著しい対照性がみられる。更に西南日本では、内帯と外帯との隆起量に大きな差があり、中央構造線に沿ってその gradient が大きい。東北日本においても、北上・阿武隈山地と背梁・出羽山地との間で隆起量に差があるが、西南日本の内帯と外帯との差ほど大きくない。

以上の地殻の変動量が非常に大きい地域はもちろん地層処分の対象地域にはなり得ないが、これら変動量の大きい地域の周縁部は、変動の結果として生じる傾斜のために、地亡りを生じさせたり、河川の流系を変更させたり、河川の侵食量を高めたりする。

また地形上からみても、現在の地形が急峻で、隆起量も大の地域は、地形の平坦化は起こりにくいので、対象地とはならない。

## ② 活褶曲

第四紀に活動している褶曲は活褶曲と呼ばれる。これは西南日本より東北日本により多く分布している。調査選択の基準にもよるが褶曲の強さが新第三系の厚さの分布と関連があることに由来し、褶曲構造の発達は、第三系・第四系の地層・岩石の発達と本質的な関連があると考えられている。この軸の方向性は後述する活断層とも合わせ、地域性がみられる。この方向性は分布密度とは関係なく、その地域の地殻変動の性格を直接的に示す一つの指標と考えられる。東北日本内帯から北陸地方にかけては、断層・褶曲ともに本州弧に平行な軸が卓越する。一方、中部日本で特に顕著な跡津川断層方向（東北東—西南西）、阿寺断層方向（北北西—南南東）は、ともに断層分布にのみ認められ、褶曲分布にはみられない、また近畿地方では北北東—南南西方向の断層が卓越する。紀伊半島、四国では中央構造線の新期の活動（右横ずれ断層）が知られている。これらの中国・四国・近畿中部地方の水平ずれ断層は、悉く一つの strain system（中間軸垂直、短縮軸ほぼ東西、展張軸ほぼ南北）に属せしめることができる。

この活褶曲は新潟地方の羽越活褶曲帯でよく研究されているが、この活褶曲の結果として背斜部に地亡り等が集中しているということが調べられている。

前述したように第三系の厚い所、概略鮮新統の発達している所に活褶曲が

多いので、地層処分の対象とする場合は、その動きの速度と期間等を調査考慮せねばならない。

褶曲構造は、常に、地層が積成しおわってから始めて変形が開始されるわけではない。ある場合では、むしろ、積成とともに徐々に変形がすすみ、ネプトンの大きさ（厚さと形態）を支配しつつ行なわれたと考えられる例が、松田時彦により新生代第3紀の褶曲層についてみいだされている。松田によると、日本の新第3紀の褶曲帯には、波長3~6 km程度の褶曲がふつうであるという（図3.1-8参照）この程度の大きさの褶曲では、地層のまがる早さは100万年につき数10°（多くは20°以下）程度、より大きな波長8~20 kmの変形には、100万年につき数度（多くは2以下）という。すなわち小褶曲ほど変形の速度が大きい。これらの点で、水準点再測によって測地的にみいだされつつある現在の地表の波曲変形の中に、波長4~10 kmのものと、10~20 km程度のものが知られていることは興味ぶかい。特に、活褶曲地帯を詳しく調査することにより、上記の波長3~6 km程度の褶曲のはんちゅうに入る地域は対象外とせねばならない。これらの地域は、処分場の安定度を乱すと

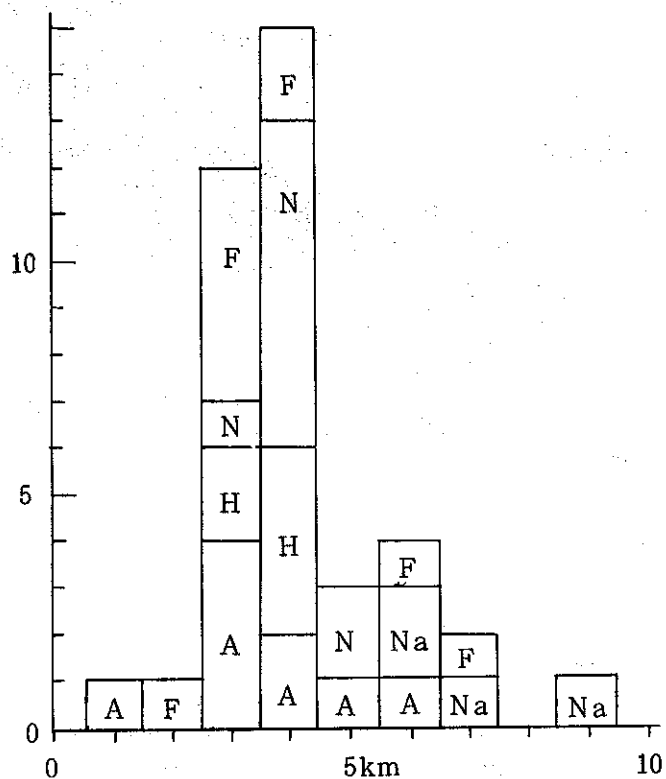


図3.1-8 第3系の褶曲の波長と頻度  
(松田時彦による)

横軸は褶曲の波長、縦はそれに該当する頻度、F：富士川、N：新潟、H：本荘、A：秋田、Na：長野の各地域

共に、褶曲の翼部では、地じりを起こす可能性も出てきて、災害のもととなり得る。

今までに述べた地殻の運動と前述した活断層を含めた総合図は、図 3.1-9 である。

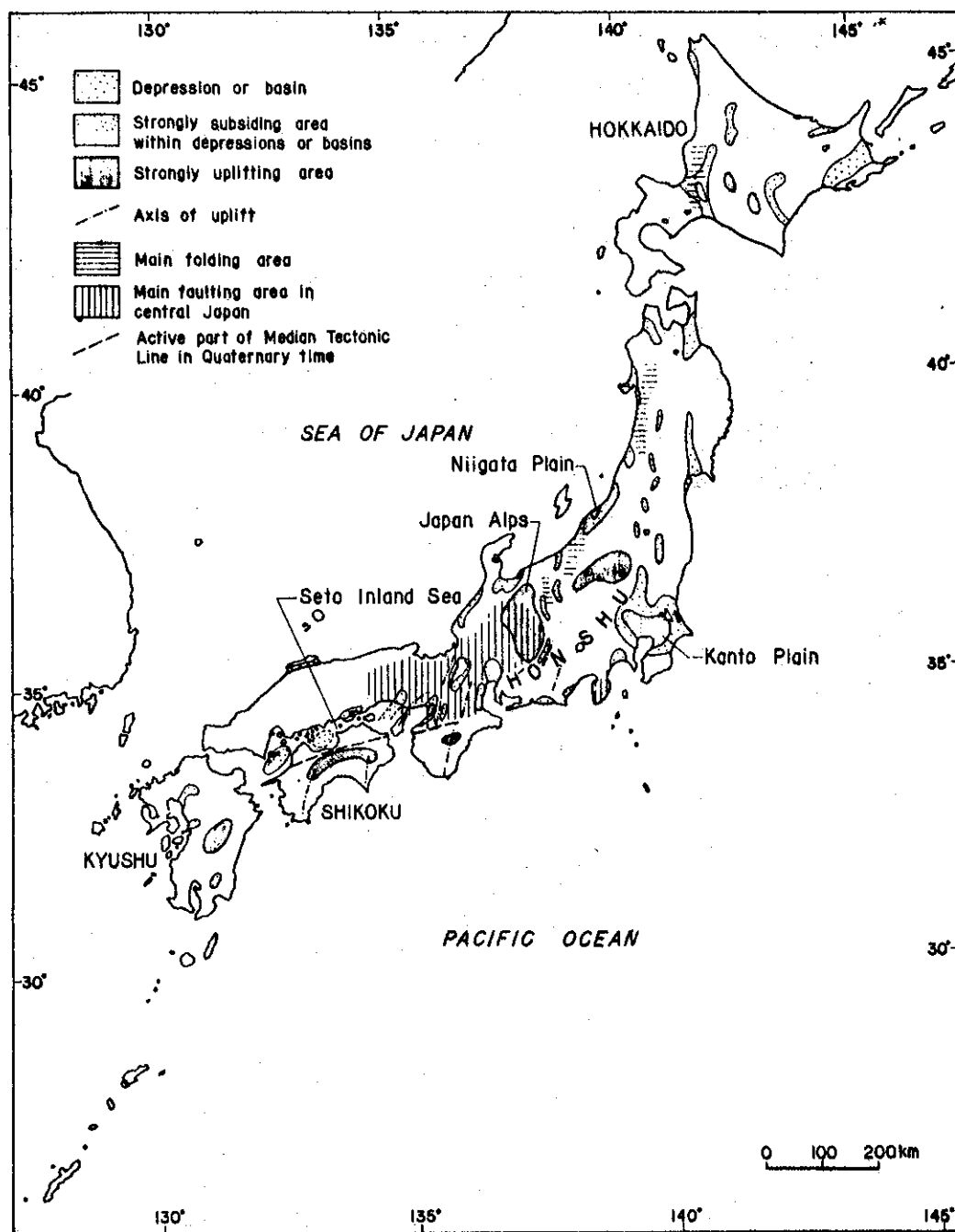


図 3.1-9 日本の第 4 紀の地質環境

#### IX 地熱勾配

地熱は、我国でも昭和 30 年代後半よりエネルギー源として注目され、主として地熱発電を目的として調査が進められてきた。しかし、全国を対象とし

て詳細な調査が行なわれていないので、地熱発電の可能性の高い地域を除いて詳しい地熱勾配に関する報告は少ない。

我国の地熱勾配の原因となるものは、地表近くのマグマの活動、即ち火山活動と密接な関係があるので、地層処分地を抽出する要因として地熱勾配をとらえる場合、火山活動の活発な地域が地熱勾配の高い地域と考えられ、逆に言えば地熱勾配の高い地域は地下マグマの活動が激しい地域、火山活動の活発な地域とみなし処分地として不適と考えるのが妥当である。従って、高地熱勾配の地域は、火山活動の活発な地域とみなせるので、火山活動の活発な地域を除外することにより、地熱勾配を処分地抽出の要因とした。

#### X マグマ活動

要因「地熱勾配」と同様、マグマ活動の激しい地域は、火山活動の活発な地域とみなせるので、火山活動の活発な地域を地層処分地の適地から除外することにより、マグマ活動を処分地を抽出する要因とした。以下の「火山」の要因の項を参照されたい。

#### XI 火山

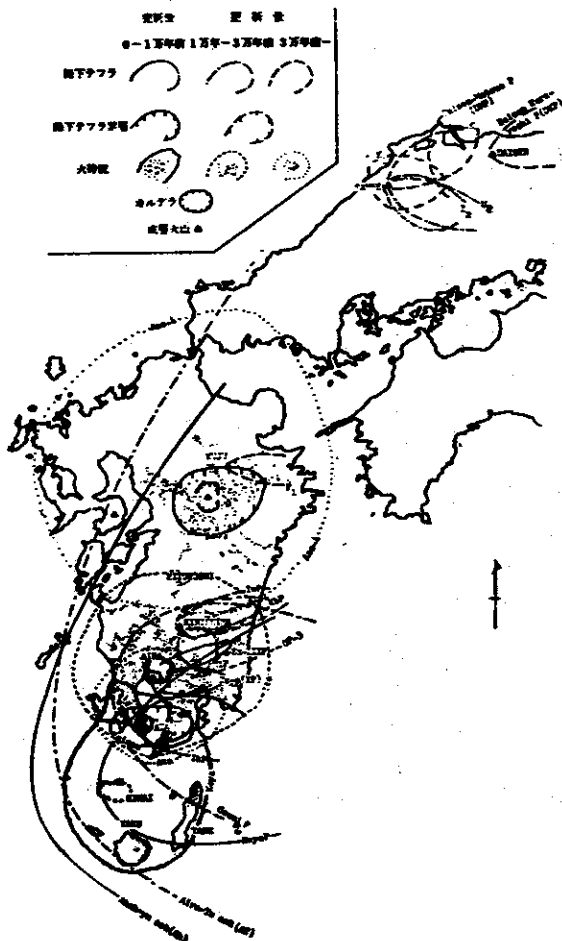
前述したように日本はグローバルな環太平洋火山帯内にあり、火山活動は非常に盛んである。以下にいわゆる活火山を列記するが、これらは有史以来噴火活動の記録のある諸火山であり、そのうち下線を付したものは昭和になってから相当の災害を伴った噴火を行なった火山である。(地質調査所1968)

知床硫黄山、雌阿寒岳、土勝岳、樽前山、有珠岳、北海道駒ガ岳、渡島大島、恐山(?)、岩木山、秋田焼山、岩手山、秋田駒ガ岳、鳥海山、栗駒山、蔵王山、吾妻山、磐梯山、安達太良山、那須山、日光白根山、赤城山、草津白根山、浅間山、新潟焼山、焼岳、富士山、伊豆大島(三原山)、伊豆新島、神津島、三宅島、八丈島、青ガ島、ベヨネーズ列岩付近(明神礁)、スミス礁付近、伊豆鳥島、白山、鶴見岳、九重山、阿蘇山、雲仙岳、霧島山、桜島、開聞岳、硫黄島東方、口永良部島、中之島、諏訪之瀬島

これらのうち、東日本における火山は、前述の地殻の隆起量等からみると、一般に山地高度および隆起量の大きいところに分布しているが、東日本火山帯のフロントの内側に、それにほぼ平行して最大隆起量の軸が走るようにみえる。

火山を評価するには火山灰、火砕流、熔岩等の火山噴出物あるいはそれによる泥流、火山に伴なう地震、地形の変動等も考慮せねばならない。図3・1-10は、そのうちで著名な火山の火山灰と火砕流の分布範囲を示す。火山灰は火山の中心から離れると薄くなるので大きな問題はないが、火砕流は非常に高温でもって流れるので、全ての植物、建造物を焼きつくす可能性があり

(A) 西南日本



(B) 中央日本



(C) 北日本

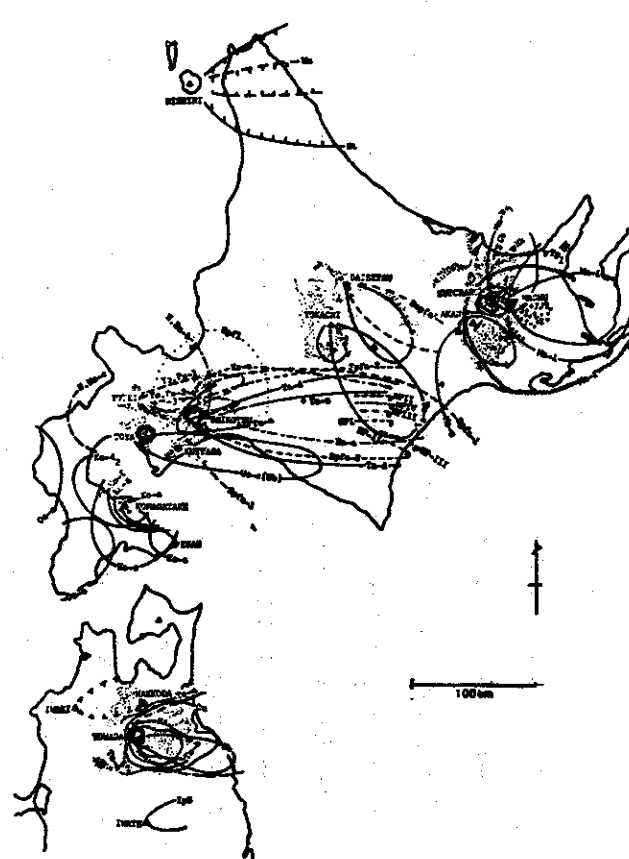


図3.1-10 火山灰と火砕流の分布範囲

危険である。従って、火山活動の影響の範囲内は地層処分の適地から除外すべきである。

箱根火山は生まれてから50万年経ち老年段階に入り、富士山は生まれてから8万年と言われまだまだその活動の余地を残していると言われている。火山噴出物のテフクロロジーや岩石学的研究から個々の火山について現在が火山発達史のどのような時期にあり、かつ噴火史からは噴火輪廻のどのような時期にあるかを判断することによって、噴火時期の長期的な予測がある程度可能であると言われている。この場合、規則的な時間々隙をもって噴火を反復する火山では、予測の確度は当然高い。一方噴火規模や火山構造に著しい変化がある場合は、一般に噴火時期が不規則であり、予測も困難である。そのような意味からも火山をよく把握することが必要である。

さいきん日本の諸火山の発達史を調べた守屋以智雄氏によると、日本の大型多輪廻火山は、次の2つの型に分けられるという。(図3・1-11参照)

A型(成層火山) 前期: 苦鉄質マグマによる溶岩とスコリアを主にした成層火山の形成, 後期: 珪長質マグマが噴出し、新しい成層火山の形成, 前期と後期の間に火砕流が噴出して比較的小規模のカルデラが生じた例が多い。

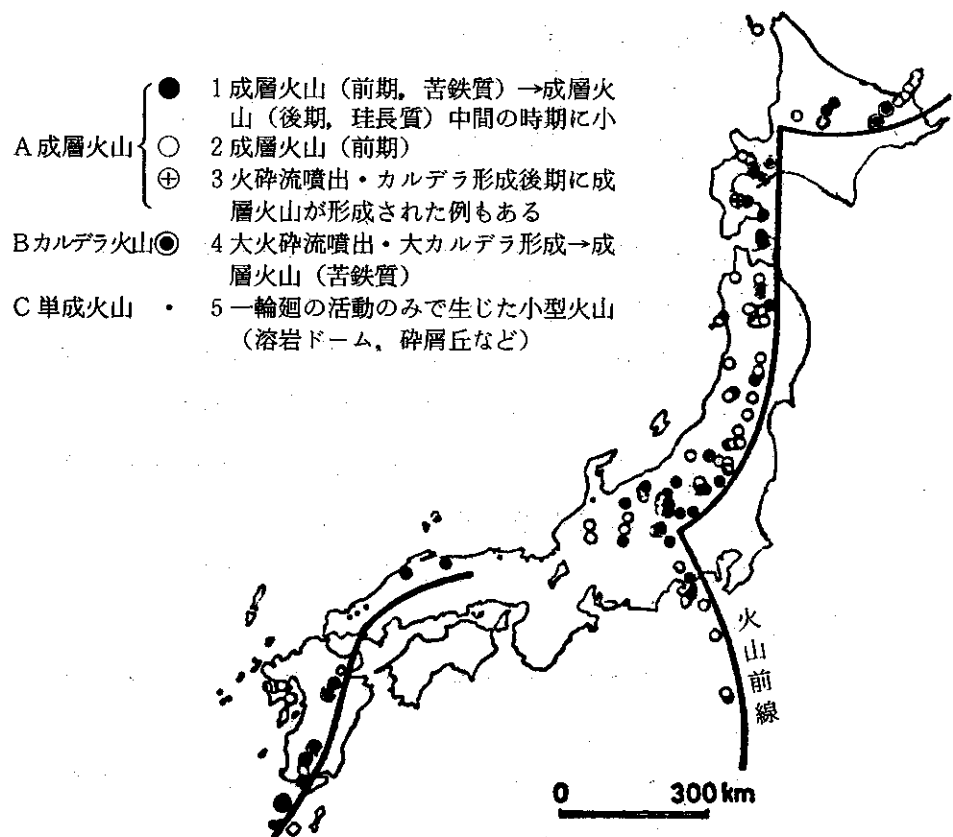


図 3.1 - 11 火山の発達史で分類した日本の第四紀火山 (守屋 1973による。一部補訂)

B型（カルデラ火山）多量の珪長質マグマが火砕流として噴出し，巨大カルデラがつくられ，その後，苦鉄質マグマによって後カルデラ火山錐が生じたもの

B型の火山は，九州や北海道に多くみられるが，A型の火山は全国に広く分布している（図Ⅲ-4），そしてさらに守屋氏は，A型を前期と後期が揃っている型（A<sub>1</sub>型）と，前期のみの段階にあるもの（A<sub>2</sub>型）に細分した。A<sub>3</sub>型はB型の垂型ともみられるが，A<sub>1</sub>型に属するものは，箱根山をはじめとして赤城山，榛名山，浅間山，木曾御岳など数多い，A<sub>2</sub>型はもちろん富士山型で，〇〇富士と呼ばれる火山の大半がこれに該当する（羊蹄山，岩木山，岩手山など）。

## XII 透水層

高レベル廃棄物を地層処分する場合，放射性核種の移動の原因となる地下水の移動が著るしい透水層は除外しなければならない。又，処分施設が透水層内になくても，透水層が処分施設の近くにある地域は避けた方が安全性が高いということはあるまでもない。特に，近くの地表面に河川，湖，池がある場合は処分地としては不適とすべきである。

水理学的に地層処分に望ましい地層は

- ① 不透水層であること。
- ② 深層地下水が無いか乏しいこと。
- ③ 浅層地下水が少ないこと。

が挙げられる。

日本水理地質図（地質調査所，1964）から透水性の地層を抽出すると図3・1-21-(2)になるが，これらの地層は主に以下の第四紀層であり，

- ① 海岸平野，はんらん原，扇状地，崖錐（砂，礫，粘土，シルト，有機泥，ピートらを含む現世＝沖積世堆積物）
- ② 段丘，高地，扇状地（砂，礫，粘土，軽石，ローム，ピートらを含む更新世＝洪積世堆積物）

これら地層が分布している地域は，地層処分地としては適さない。

## XII 気候

高レベル廃棄物の地層処分は万年オーダーの長期間に亘って達成されねばならないとされている。このような期間中における地質条件の変化のみならず，気象の変化の予見は定性的にはなしうるが，大部分において定量的には出来ない。例えば氷河におおわれるということに関して頻度の予測は明らかに根拠がない。しかしながら，かかる地層処分は現在とは異なる気象条件において行われることも考えられる。

このような気象条件の変化を考慮した場合、処分の深さについては外から加えられる条件の変化に充分耐えられるような深さ、即ち、処分期間中かかる処分場が露出されない深度及びこれに対する保証が必要であり、一方、生態圏から廃棄物を隔離するに十分な深さが必要である。

#### ① 海水レベルの上昇

もし現在の極地の氷が全部融けた場合は、海水レベルが60 m上昇すると云われている。それ故に、試錐孔、立坑および処分施設への坑口は、洪水を避けるため海拔60 m以上の所に設けなければならない。もちろん海水面に非常に近い所は海水から水理的影響も受けやすいため、海岸から離れた海拔数100 m以上の位置にある事が望まれる。(図3.1-12参照)特に、高潮危険地帯、津波危険地帯は処分の適地から除外すべきである。



図 3.1 - 12 200 m 海中に沈めたときの日本 (黒い部分が海)

#### ② 海水レベルの低下

氷河期の最盛期において、氷は海洋の水を取り入れて作られ、この結果、海水の平均レベルは現在よりも100 m低下すると云われている。これはこの深さまでの侵蝕を起す結果となるので、現存する河川およびこれらの支流の近辺を避けて選択することになる。

#### ③ 氷河による侵蝕 (前述)

氷河期には、陸地のいかなる部分も強度な氷河作用の急速な侵蝕を受けらるであろう。これらは特に堅固でない岩石では著しい。

#### ④ 氷の堆積物

厚い氷の堆積は低地において起こると思われるが、氷河期前の地形および陸標を覆い隠すことになる。従って氷河期後の処分施設の再配置は全く困難であろう。氷に直接おおわれなくても、周氷河地域における地下の凍結や物理的風化の問題もかかわってくる。



両極点においては、これらの影響は少なくとも深度 300 m の所まで認められている。

#### ⑤ 雨 期

多降雨期は処分環境に重要な影響をもつことになる。雨期中、地表面の流量は増加し、沼地および泥炭地は拡大し、一方、侵蝕および地下水層への水の補充は増加する。

地下水条件に附随する制限およびこれは関連する地下施設に附随する制限は流れの割合、方向の変化および地下水の化学性、地層の溶解性、沈殿の割合の変化により影響を受ける。

#### ⑥ 乾燥期

より乾燥している気候条件になることは、水の補充量の減少および循環地下水量の減少につながり、廃棄物施設に対しては短所とはならない。しかし、地下水が塩分化している状態は、乾燥している環境の特徴であり、このような塩分化している流体による腐蝕の可能性を廃棄物施設設計の時には心にとめる必要がある。

地層処分に必要な 100 万年単位を考えると、第四紀 200 万年の気候は地質学的手法から推定することができる。

#### ⑦ その他の天然の災害（図 3・1-13 参照）

前述の事項も含めた災害として下記のようなものも考えられる。

- 1) 地下水過剰揚水による地盤沈下地帯
- 2) 高潮危険地帯
- 3) 津波危険地帯
- 4) 洪水危険地帯（前述）

## XII 資源

これを将来にわたって予測することは、簡単に言えば、現在では現在経済的あるいは有用ではないものでも、将来経済的あるいは有用になって採掘可能になることもあり得るということも考えねばならない。しかし、現時点で利用されている資源を考えることが今は妥当であろう。これには、金属鉱物資源、工業鉱物資源、水資源、石油、石炭、ガス、地熱及び水力（？）等のエネルギー資源がある。

上記諸資源を総合的に検討したが、日本全域を対象とするスケールでは、これらの資源は殆んど日本全域にまんべんなく分布しており、調査対象地区を抽出する要因として扱うことはできなかった。調査対象地区、あるいは候補地区等が抽出された時点で、この要因を考察・検討すべきと考えられる。

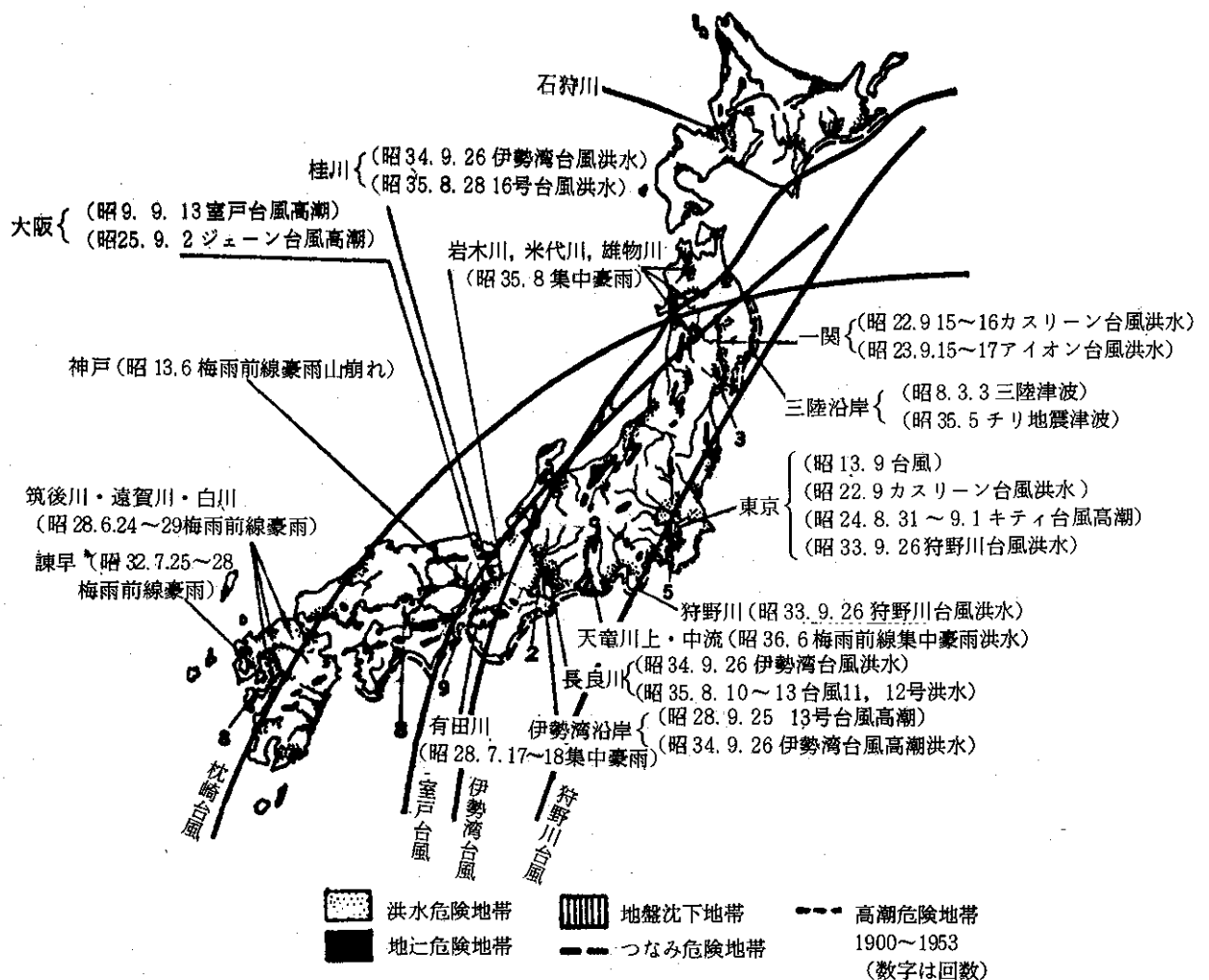


図 3.1-13 日本の災害危険地帯

b 社会的要因の検討

表 2-1-(1) を参照し、日本全域から調査対象すべき要因として

- I 土地利用
- II 人口
- III アクセシビリティ
- IV 既存の利権

を選定し、これら要因について以下考察・検討を加える。

I 土地利用

① 国土の利用の現況

高レベル廃棄物の処分場は、現在人間が住んでいる所、あるいは生活に必要な場所今後活用に使われる所を除外した所から選定されねばならない。この観点から先づ国土利用の現況について以下概説し、処分可能な地域を抽出する。

昭和47年における国土利用の現状は、表 3・1-5 に示すとおりである。

わが国の国土のうち、森林、農用地、原野を加えたいわゆる農林業的土地利用が、国土の約85%という圧倒的な部分を占めている。また、道路と

水面・河川・水路はあわせて国土の約5%となっている。さらに国民の居住のための住宅地と第2次及び第3次産業の生産の場である工場用地、事務所、店舗等の宅地とからなる土地は、国土の約3%を占めるに過ぎない。

国土の利用は人間の生活の場からみると次のように三大都市圏、地方圏Ⅰ、地方圏Ⅱ、地方圏Ⅲに分けられる。(図3・1-14参照)

地方圏Ⅰは、三大都市圏とともにいわゆる太平洋ベルト地帯を構成する地域であるだけに、宅地、とくに工場用地に特化している。地方圏Ⅱは、森林の特化係数がⅠを若干上回っており、宅地と農地の特化係数がⅠをやや下回っている点で地方圏Ⅰと逆のパターンとなっている。地方圏Ⅲは、原野と採草放牧地に非常に特化している。一方、宅地の特化係数は約0.5で、宅地の総面積に占める割合が全国平均の2分の1程度であることを示している。

国土利用の現況からみると、高レベル廃棄物を処分する場所は、三大都市圏および地方圏Ⅰを除外した所から選定するのが妥当であると考えられる。

表3・1-5 国土利用(単位: 万ha, %)

区分 地目	全 国				
	40 年		47 年		増 減 面 積
	面 積	構 成 比	面 積	構 成 比	
農 用 地	643	17.0	599	15.9	△ 44
農 地	602	16.0	573	15.2	△ 29
採草放牧地	41	1.0	26	0.7	△ 15
森 林	2,516	66.7	2,523	66.9	7
原 野	64	1.7	56	1.5	△ 8
水面・河川・水路	111	2.9	112	2.9	1
道 路	82	2.2	91	2.4	9
宅 地	85	2.3	111	2.9	26
住 宅 地	69	1.8	88	2.3	19
工 場 用 地	9	0.3	13	0.3	4
事務所、店舗等 の 宅 地	7	0.2	10	0.3	3
そ の 他	270	7.2	282	7.5	12
合 計	3,771	100.0	3,774	100.0	3
市 街 地	46	—	64	—	18

資料：国土庁調による。ただし市街地は総理府統計局「国勢調査」の定義による人口集中地区である。

注：(1) 道路は、一般道路及び農林道である。  
(2) 47年欄の市街地の面積は、45年の面積である。

三大都市圏	東京、埼玉、千葉、神奈川、愛知、三重、大阪、京都、兵庫
地方圏Ⅰ	茨城、栃木、群馬、静岡、滋賀、奈良、和歌山、岡山、広島、山口、福岡、大分
地方圏Ⅱ	宮城、山形、福島、新潟、富山、石川、福井、山梨、長野、岐阜、鳥取、島根、徳島、香川、愛媛、高知
地方圏Ⅲ	北海道、青森、岩手、秋田、佐賀、長崎、熊本、宮崎、鹿児島、沖縄

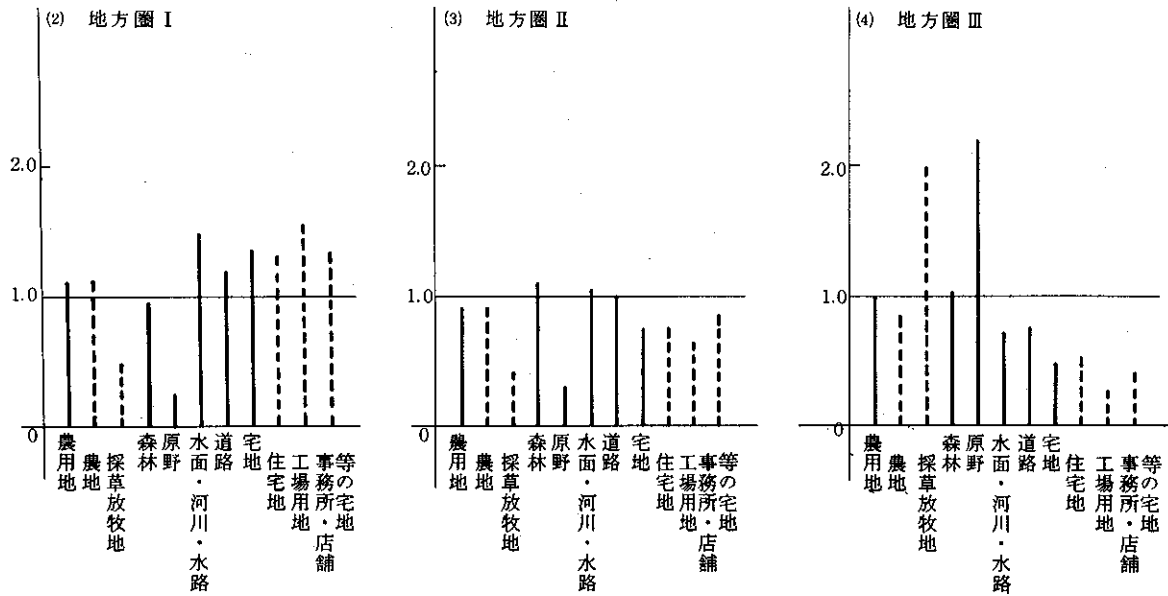


図3.1-14 地域ごとの地目別利用の特化係数

資料：国土庁調による。

注：(1) 実線は地目の大分類であり、点線はその内訳である。

(2) 特化係数とは、各地域における地目構成の全国の地目構成に対する倍率である

## ② 国立公園等の環境保全地域

### 1) 自然環境の保全概説

わが国は、自然的景観、温泉、文化財等多種多様の観光資源に恵まれているといえるが、急激な経済成長等に伴い、自然破壊等の弊外も生じてきている。

一方、国土の自然の生態系、風致景観、文化財等の保護、保全のための諸施策を講じていく必要が求められている。

上記のような社会的背景の下に、高レベル廃棄物を処分する場所を選定するに際しては、これら諸施策と同調しつつ抽出するのが妥当であろう。このため、これらの内、自然公園（国立公園、国定公園）に重点を置いた。

### 2) 自然環境保全地域

自然環境保全体法は、昭和47年6月に公布され、昭和48年12月から施行された。同法に基づき、第1次分として、原生自然環境保全地域が3地域、自然環境保全地域が2地域指定されている。この状況は表3.1-6、表3.1-7の通りである。

表 3・1-6 原生自然環境保全地域 (注) 環境庁自然保護局資料による

地域名	所在地	面積 (ha)	指定年月日
南硫黄島	東京都小笠原村	367	50年5月17日
大井川源流部	静岡県榛原郡本川根町	1,115	51年3月22日
屋久島	鹿児島県熊毛郡屋久町	1,219	50年5月17日

表 3・1-7 自然環境保全地域 (注) 環境庁自然保護局資料による

地域名	所在地	面積 (ha)	指定年月日
早池峰	岩手県下閉伊郡川井村	1,370	50年5月17日
稲尾岳	鹿児島県肝属郡内之浦町, 田代町, 佐多町	377	"

これと並行して、都道府県においても自然環境保全法に基づく条例の制定又は改正が行われ、自然環境保全地域に準ずる地域を都道府県自然環境保全地域とし、51年3月現在、半数以上の県で行われている。

### 3) 自然公園

自然公園法に基づく自然公園は、優れた自然の風景地を保護するとともに、その利用の増進を図り、国民の保健休養及び教化に資することを目的としている。自然公園は、自然のままの風景を主体とする地域制の公園であり、次の3種類がある。

- ① 国立公園：わが国の風景を代表するに足りる傑出した自然の風景地であって環境庁長官が、自然環境保全審議会の意見を聞き、区域を定めて指定する。
- ② 国定公園：国立公園に準ずる優れた自然の風景地であって、環境庁長官が関係都道府県の申出により自然環境保全審議会の意見を聞き、区域を定めて指定する。
- ③ 都道府県立自然公園：優れた自然の風景地であって、都道府県が条例の定めるところにより区域を定めて指定する。

自然公園の数は、50年度末現在、国立公園27、国定公園50、都道府県立自然公園293、合計370となっている。国立公園及び国定公園の配置、表3・1-8および図3・1-9の通りである。

### 4) 自然公園の保護と管理

自然公園は、優れた自然の風景地を保護することを目的の一つとしている。このため国立公園及び国定公園については、特別保護地区及び特

別地域を指定し、当該地区内において、風致又は景観を損うおそれのある一定の行為は、環境庁長官又は都道府県知事の許可を受けなければ行っていないとされている。公園の核心的な景観地であり、保護規制の

表3.1-8 国立公園一覽

(50年度末現在)

番号	国立公園名	指定年月日	面積 (海城を除く)	関係都道府県名
1	知床	39. 6. 1	41,375ha	北海道
2	阿寒	9. 12. 4	87,498	〃
3	大雪山	9. 12. 4	231,929	〃
4	支笏洞爺	24. 5. 16	98,660	〃
5	利尻礼文サロベツ	49. 9. 20	21,222	〃
6	十和田八幡平	11. 2. 1	83,351	青森, 秋田, 岩手
7	陸中海岸	30. 5. 2	12,348.2	岩手, 宮城
8	磐梯朝日	25. 9. 5	189,698.8	山形, 福島, 新潟
9	日光	9. 12. 4	140,698.1	福島, 栃木, 群馬, 新潟
10	上信越高原	24. 9. 7	188,915	群馬, 新潟, 長野
11	秩父多摩	25. 7. 10	121,600	埼玉, 東京, 山梨, 長野
12	小笠原	47. 10. 16	6,098.6	東京
13	富士箱根伊豆	11. 2. 1	123,253	神奈川, 山梨, 静岡, 東京
14	中部山岳	9. 12. 4	169,768	新潟, 富山, 長野, 岐阜
15	南アルプス	39. 6. 1	35,752.1	長野, 山梨, 静岡
16	白山	37. 11. 12	47,402	富山, 石川, 福井, 岐阜
17	伊勢志摩	21. 11. 20	52,036	三重
18	吉野熊野	11. 2. 1	58,570.8	三重, 奈良, 和歌山
19	山陰海岸	38. 7. 15	8,995.9	京都, 兵庫, 鳥取
20	大山隠岐	11. 2. 1	31,927	鳥取, 岡山, 島根
21	瀬戸内海	9. 3. 16	63,118.2	和歌山, 兵庫, 岡山, 広島 山口, 徳島, 香川, 愛媛, 福岡, 大分
22	足摺宇和海	47. 11. 10	10,906.5	高知, 愛媛
23	阿蘇	9. 12. 4	73,060	熊本, 大分
24	雲仙天草	9. 3. 16	25,665.2	長崎, 熊本, 鹿児島
25	西海	30. 3. 16	24,324	長崎
26	霧島屋久	9. 3. 16	54,012	宮崎, 鹿児島
27	西表	47. 5. 15	12,506	沖縄
	計		2,014,690.4	

(注) 環境庁自然保護局資料による。

表 3.1-9 国 定 公 園 一 覧

(50年度未現在)

番号	国定公園名	指定年月日	面積 (海域を除く)	関係都道府県名
1	網走	33. 7. 1	37,412 ha	北海道
2	ニセコ積丹小樽海岸	38. 7. 24	19,338	"
3	大沼	33. 7. 1	9,469	"
4	下北半島	43. 7. 22	18,727.6	青森
5	津軽	50. 3. 31	26,032	"
6	男鹿	48. 5. 15	8,156.3	秋田
7	栗駒	43. 7. 22	77,137	岩手, 宮城, 秋田, 山形
8	鳥海	38. 7. 24	28,373	秋田, 山形
9	蔵王	38. 8. 8	40,089	山形, 宮城
10	佐渡弥彦	25. 7. 27	27,305	新潟
11	越後三山只見	48. 5. 15	86,129	新潟, 福島
12	水郷筑波	34. 3. 3	35,301.9	茨城, 千葉
13	南房総	33. 8. 1	5,670	千葉
14	明治の森高尾	42. 12. 11	769.7	東京
15	丹沢大山	40. 3. 25	26,345	神奈川
16	能登半島	43. 5. 1	9,789.8	富山, 石川
17	越前加賀海岸	43. 5. 1	8,992.2	石川, 福井
18	妙義荒船佐久高原	44. 4. 10	13,123.4	群馬, 長野
19	八ヶ岳中信高原	39. 6. 1	39,857	長野, 山梨
20	天竜奥三河	44. 1. 10	25,755.7	長野, 静岡, 愛知
21	揖斐関ヶ原養老	45. 12. 28	18,920	岐阜
22	飛騨木曾川	39. 3. 3	18,199	岐阜, 愛知
23	三河湾	33. 4. 10	8,197.6	愛知
24	愛知高原	45. 12. 28	21,721	"
25	若狭湾	30. 6. 1	21,898	福井, 京都
26	鈴鹿	43. 7. 22	29,892.8	三重, 滋賀
27	室生赤目青山	45. 12. 28	26,308	三重, 奈良
28	琵琶湖	25. 7. 24	98,144	滋賀, 京都
29	明治の森箕面	42. 12. 11	962.6	大阪
30	大和青垣	45. 12. 28	5,742.2	奈良
31	金剛生駒	33. 4. 10	15,624.6	奈良, 大阪
32	高野竜神	42. 3. 23	19,213	奈良, 和歌山
33	米ノ山後山那岐山	44. 4. 10	40,507.2	兵庫, 岡山, 鳥取
34	比婆道後帝釈	38. 7. 24	7,808	鳥取, 島根, 広島
35	西中国山地	44. 1. 10	28,553	島根, 広島, 山口
36	北長門海岸	30. 11. 1	8,030	山口
37	秋吉台	30. 11. 1	4,534	山口
38	剣山	39. 3. 3	21,197	徳島, 高知
39	室戸阿南海岸	39. 6. 1	7,216	徳島, 高知
40	石鎚	30. 11. 1	10,683	愛媛, 高知
41	北九州	47. 10. 16	8,249	福岡
42	玄海	31. 6. 1	11,137.5	福岡, 佐賀, 長崎
43	老岐対馬	43. 7. 22	12,625	長崎
44	耶馬日田英彦山	25. 7. 29	85,154	福岡, 大分, 熊本
45	日豊海岸	49. 2. 15	8,506	大分, 宮崎
46	祖母傾	40. 3. 25	22,000	大分, 宮崎
47	日南海岸	30. 6. 1	4,643	宮崎, 鹿児島
48	奄美群島	49. 2. 15	7,861	鹿児島
49	沖繩海岸	47. 5. 15	6,701	沖繩
50	沖繩戦跡	47. 5. 15	3,083.1	沖繩
	計		1,127,083.2	

(注) 環境庁自然保護局資料による

最も厳しい特別保護地区は、全国立公園面積の11.7%、全国定公園面積の3.8%であり、特別地域及び普通地域の比率はそれぞれ表3・1-10の通りである。

表3・1-10 国立公園及び国定公園保護区域面積

区分	公園面積 (ha)	特別保護地区 (ha)	比率 (%)	特別地域 (ha)	比率 (%)	普通地域 (ha)	比率 (%)
国立公園	2,014,690.4	235,022.0	11.7	1,158,158.3	57.5	621,510.1	30.8
国定公園	1,127,083.2	42,875.7	3.8	980,409.8	87.0	103,799.7	9.2

(注) 環境庁自然保護局資料による(50年度末現在)

### 5) 海中公園地区

数多くの海面を含む自然公園が指定されているが、その規則は海面下までは及ばなかった。昭和45年5月に自然公園法の一部が改正され海中公園の制度が設けられ、規制が海面下に及ぶようになった。海中公園地区は50年度末現在、21公園46地区あり、図3・1-15、表3・1-11の通りである。

前述の国立公園および国定公園地域は、調査対象地区から除外すべき地域として図3・1-16に示される。

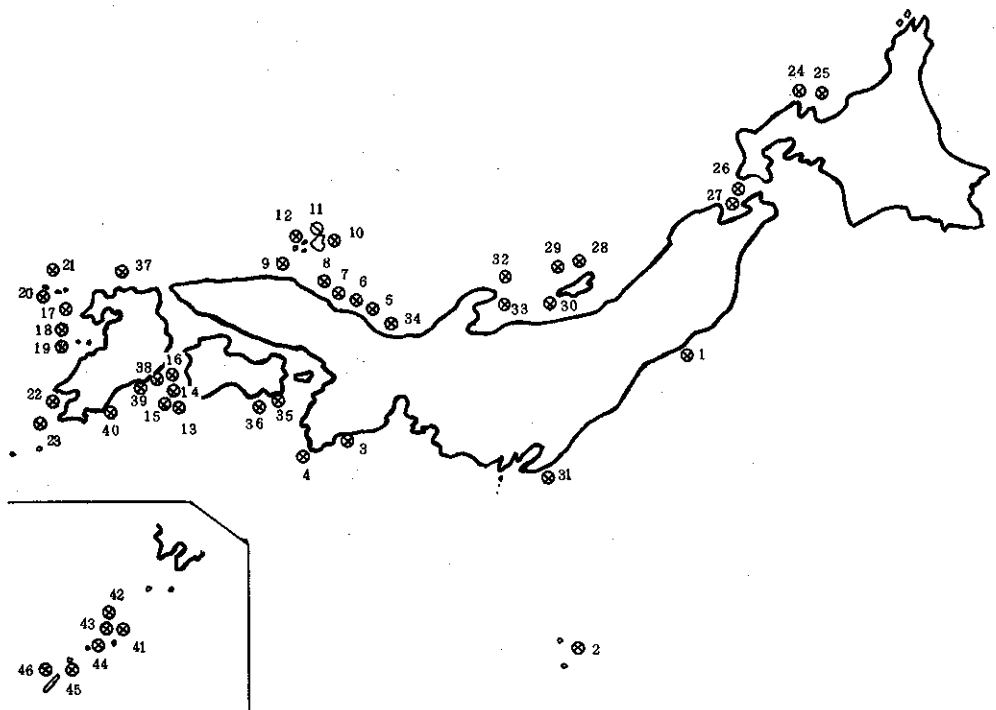


図3.1-15 海中公園地区位置図

(注) (1) 環境庁自然保護局資料による  
 (2) 図中の番号は、表3.1-11の海中公園地区名に付した番号と対応する



表3.1-11 海中公園地区一覽

(50年末現在)

番号	公園名	海中公園地区名	位置	指定年月日	地区数	面積
	(国立公園)					ha
1	陸中海岸	気仙沼	宮城県気仙沼市及び唐桑町	46. 1. 22	3	23.4
2	小笠原	小笠原	東京都小笠原村	47. 10. 16	7	463.0
3	吉野熊野	熊野灘二木島	三重県熊野市	50. 12. 19	2	14.4
4	"	串本	和歌山県串本町	55. 7. 1	4	39.2
5	山陰海岸	豊岡	兵庫県豊岡市	46. 1. 22	1	7.6
6	"	竹野	" 竹野町	"	1	9.9
7	"	浜坂	" 浜坂町	"	2	19.2
8	"	浦富海岸	鳥取県岩見町	"	1	9.8
9	大山隠岐	島根半島	島根県大社町	"	1	7.0
10	"	浄土ヶ浦	島根県布施村	50. 12. 11	2	20.8
11	"	代	島根県五箇村	"	1	14.8
12	"	国賀	島根県西ノ島町	"	1	7.3
13	足摺字和海	竜串	高知県土佐清水市	47. 10. 16	1	24.9
14	"	控西	高知県大月町	47. 11. 10	2	16.8
15	"	沖ノ島	高知県宿毛市	"	5	36.3
16	"	宇和海	愛媛県西海町	"	6	32.3
17	雲仙天草	富岡	熊本県北町	45. 7. 1	2	16.2
18	"	天草	熊本県天草町	"	1	5.1
19	"	牛深	熊本県牛深市	"	4	30.4
20	西海	福江	長崎県福江市	47.10.16	2	11.2
21	"	若松	長崎県若松町	"	3	19.2
22	霧島屋久	桜島	鹿児島県西桜島村	45. 7. 1	2	14.7
23	"	佐多岬	鹿児島県佐多町	"	2	11.8
	国立公園の小計	(9公園23地区)			(59)	(855.3)
	(国定公園)					
24	ニセコ積丹小樽海岸	積丹半島	北海道積丹町	47. 10. 16	3	28.9
25	"	小樽海岸	北海道小樽市	"	3	14.7
26	下北半島	仏ヶ浦	青森県佐井村	50. 12. 1	1	5.7
27	"	鯛島	青森県脇野沢村	"	1	3.6
28	南房総	勝浦	千葉県勝浦市	49. 6. 7	1	14.5
29	佐渡弥彦	外海府	新潟県両津市	46. 1. 22	2	10.0
30	"	相川	新潟県相川町	"	2	6.0
31	"	小木	新潟県小木町	"	1	5.0
32	能登半島	木ノ浦	石川県珠州市	"	2	6.3
33	"	九十九湾	石川県内浦町	"	3	19.1
34	若狭湾	三方	福井県三方町	46. 1. 22	4	30.2
35	室戸阿南海岸	阿波大島	徳島県牟岐町	"	3	15.5
36	"	阿波竹ガ島	徳島県穴喰町	47. 10. 16	2	9.9
37	玄海	玄海	佐賀県唐津市、呼子町及び鎮西町	45. 7. 1	5	45.5
38	日豊海岸	浦江	大分県浦江町	49. 2. 15	4	33.5
39	"	南北浦	宮崎県延岡市及び北浦町	"	5	28.7
40	日南海岸	日南	宮崎県日南市、串間市及び南郷市	45. 7. 1	6	55.9
41	奄美群島	笠利半島東海岸	鹿児島県笠利町	49. 2. 15	1	93.0
42	"	摺子崎	鹿児島県名瀬市	49. 2. 15	1	70.0
43	"	瀬戸内	鹿児島県瀬戸内町	"	3	58.0
44	"	徳之島	鹿児島県徳之島町	"	1	70.0
45	"	与論島	鹿児島県与論町	"	3	155.0
46	沖縄海岸	沖縄海岸	沖縄県名護市及び忍納村	47. 5. 15	1	140.0
	国定公園の小計	(12公園23地区)			(58)	919.0
	国立・国定公園の合計	(21公園46地区)			(117)	(1,774.3)

(注) 環境庁自然保護局資料による

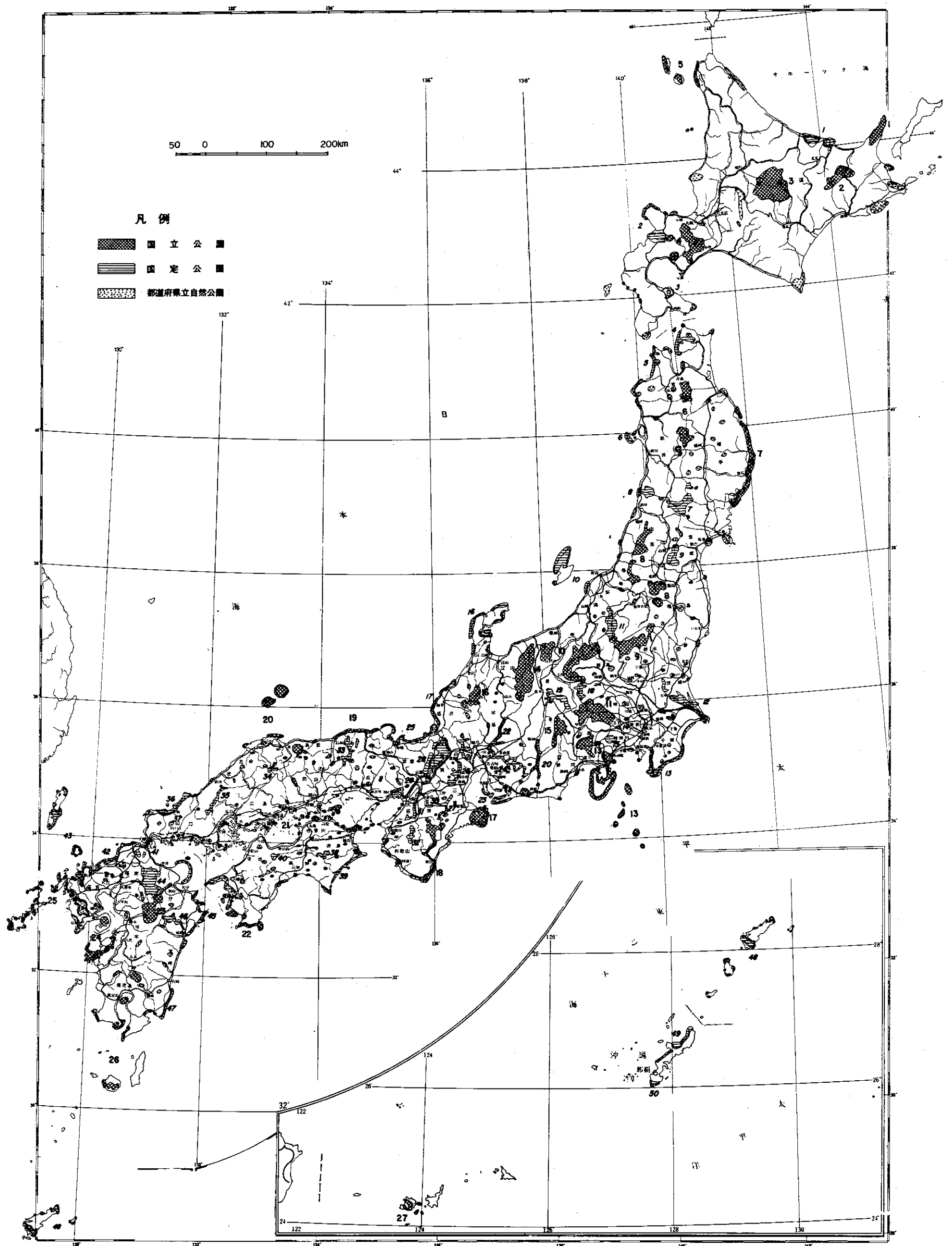


图3.1-16 国立公園等分布图

## II 人口密度

高レベル廃棄物の処分対象場所は、人家が存在する所を除外した所から選定するのが望ましい。このため、市町村単位で人口密度を考え、人口密度が疎な所を抽出するため、区分を200人/㎢以下、200人/㎢～1,000人/㎢および1,000人/㎢以上の3区分とし200万分の1市町村境界図に示した(図3.1-17, 昭和45年国勢調査結果を利用)。本人口密度図は同一縮尺にて表示された他の抽出要因と共に地層処分対象地抽出の便に供された。なお、本抽出のための優先順位は人口密度200人/㎢以下の所に置かれるが、200人/㎢～1,000人/㎢も一部考慮することは必要であろうと考えられる。また、この要因は、調査対象地区が抽出された後の検討に際して、各抽出市町村における詳細な検討が必要である。

## III アクセシビリティ

### I) 輸 送

高レベル廃棄物を固化し、一時貯蔵(工学的貯蔵)する場所と、地層処分の対象となる処分地を別の地点に求めるとすると、高レベル廃棄物は通常キャスクに入れ運搬される。この場合、手段として海上輸送あるいは陸上輸送が考えられる。いずれの場合にも廃棄物処分期間中の作業上の人員および処分対象物の輸送と同じように、建設期間中の人員及び材料の輸送のため処分地へのアクセシビリティは重要なことである。現存の港、道路あるいは鉄道がこの輸送手段として使えることは望ましいが、これら現存の輸送手段の混乱をひきおこすような使用は望ましくない。

輸送の問題は、高レベル廃棄物処分地の調査対象地区が抽出された後で、個々の抽出地について検討し、調査対象地区相互の比較検討により考慮される。また現存の輸送手段の使用が望ましくない場合は、新規に建設することも考えねばならない。道路の構造基準は、道路構造令により、道路の種類、道路の存する地域の地形および計画交通量の大きさに応じて決定される。この内、計画交通量の推計は、性格、規模、地域的特性等により決められ、地方部などの競合する道路の比較的少ない場合等においては、現在の交通量を基礎にして、増加もしくは誘開発される交通量を個別に推計し、将来交通量を求める個別的推計方法がある。路線の決定は問題となる次のポイントを十分に検討し、評価して行われる。

- ① 土地利用の現況および将来計画
- ② 他の道路との接続
- ③ 鉄道との関係
- ④ 河川の渡河地点

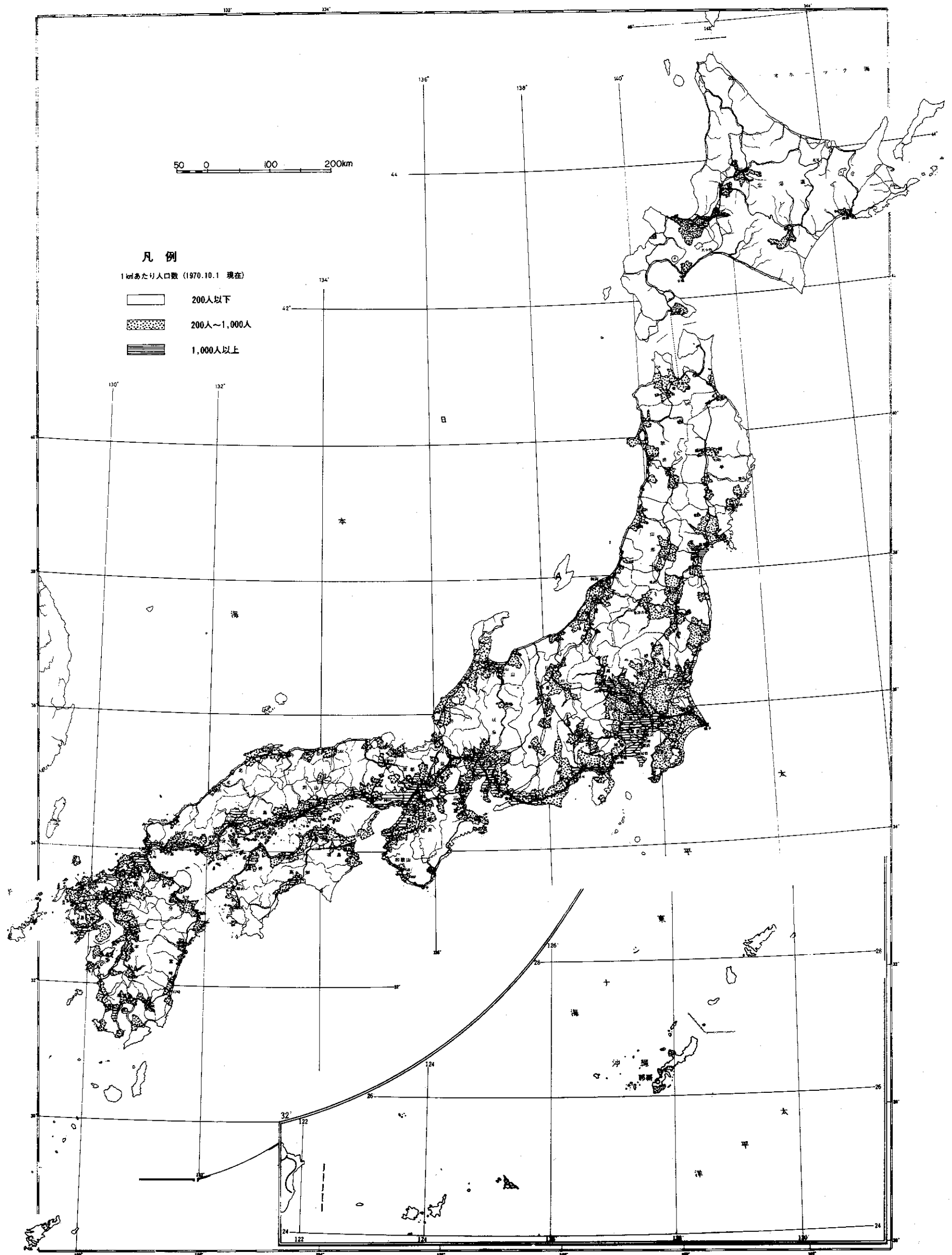


图3.1-17 人口密度分布图

- ⑤ 山地部の通過方法
- ⑥ 地質等の自然条件（地すべり，軟弱地盤，断層，気象条件等）
- ⑦ 自然環境，文化財等
- ⑧ 沿道環境

路線の決定は前述ポイントはもとより，建設費，維持管理費等の金額として計量化できる要因や，環境，施工の難易性，道路および交通の安全性等の計量化できない要因も含めて総合的に判断されなければならない。

## II) サービス

処分地は過疎地に選定される傾向にある。このため輸送のみならず，電力，通信，地域社会的サービスの供給についても考慮されねばならない。この地域社会的サービスには，例えば建設中の労働者，操業時の職員のための生活環境，一時的滞在者に対するホテルおよびレストランのようなサービスを含む。もしかかる施設がデモンストレーションの施設として操業されるのであれば，上述の一時的滞在者に対するサービスはより重要なことになる。

## IV 既存の利権

日本全域から調査対象地区を抽出する場合，私的・公的利権が複雑にからみ合った地域より，利権の存在がより少ない地域を抽出すべきことは言うまでもない。私的・公的な利権として

- ① 鉱業権（試掘権，採掘権）
- ② 水利権
- ③ 温水権
- ④ 土地・建物
- ⑤ 天然記念物，遺跡，重要文化財
- ⑥ 公園等風致地区
- ⑦ 災害防止に関する諸法令の指定地（砂防指定地，地回り等防止指定地域，保安林等）

が考えられ，鉱業権・公園等の風致地区については前述したが，その他の利権については日本全域の利権の存在の有無を調査するのは極めて困難なため調査対象地域が抽出されて後，詳細に調査すべきと考えられる。

## c 岩層ないし岩種に関する要因の検討

表 2・1-1 を参照すると，岩層ないし岩種に関する諸要因として以下のものが選定される。

### I 深度分布

深度は，侵蝕・風化等の面からは 300 m 以上の深い所が望まれる。

安全の面からは深度の深い所が良い事は云うまでもないが、岩石に対する地圧の面からは、あまり深い所は避けた方が良い。

更に地温勾配上からは、通常の場合、深度 1,000 m につき、約 30℃ の温度の上昇が考えられる。従って温度の面からもあまり深い深度の処分は避けるべきである。

以上の各要件から、地層処分対象深度としては、現在 300 ~ 2,000 m が考えられる。従って、地層処分地を選定する場合、以上の条件を満足すべ岩層ないし岩体を抽出すべきである。

## II 垂直的厚さ，水平的広さ

処分対象層（岩体）の厚さ・広がり、施設構築上、熱分散の面からも十分に厚く大きい事が望まれる。

可塑性の大きい地層・岩体は破碎を吸収、或は回復しやすい故に、破碎しやすい岩体・地層より小さい広がり厚さで間に合う。

また以上の事柄より、可塑性の大きい岩石（粘土層等）で囲まれている破碎しやすい岩石は、より小さい広がり厚さでよい。

米国のある研究では、地層の厚さとして垂直に 500 呎が必要であろうという例があげられているが、米国以外の研究を含めて、まちまちの値が出されており、厚さについての絶対的定義はなく、対象とされる岩体・地層の夫々個々の特性に依存されると考えられる。

## III 割れ目（断層，層理，節理等）

地層処分を実施するにあたり最も危険と考えられるのは、地下水の循環であり、この地下水の通り路となる岩体・地層中の割れ目の存在には細心の注意が必要である。

岩体・地層の割れ目の中、最も大きなものは断層であり、その他に層理・節理等がある。

一般に地表面で数百キロメートルにもわたって確認される様な大断層は、その断層の両側に少なくとも数キロメートルの幅で、周辺岩石を破碎している可能性をもっており、この様な地域は避けるべきである。

特に地殻の不安定な地域と砕けやすい岩石、また玄武岩、その他の岩石の如き節理の発達した岩体・地層は処分の対象からなるべくはずさなければならぬ。処分対象地層における小さな割れ目（或いは小さな破碎）は、その性質（強固であることが望まれる）、規模、岩石の種類、水理学によって評価され、対象の可否が論議される。

結論的には、断層或は節理等の皆無か殆んど無い層（岩体）が、処分対象地層（岩体）として望まれる。

#### IV 均一性・等方性

通常，均質性（Homogeneity）或は，均一性（Consistency）を有することが好条件である。

不純物を多量に含む地層が Interbed として処分対象地層の周辺に存在する時は，対象層として甚だ不利となる。

この他，地層中或いは地層間に存在する気体又は液体により充填されている空洞も考慮されるべき一要因である。

#### V 機械的特性

長期にわたって破壊を生ずる条件をつくらず，処分施設の保全のために，必要な岩石強度をもつ地層（岩体）が選ばれねばならない。あるいは上記の様な十分な強度を有していないが，変形に対する可塑性が大きく処分地層として，充分対象価値があるものもある。

以上の様に，岩石強度と可塑性は相反する特性であるが，これらがうまく組合された岩体・地層が処分対象として選出されるべきである。

#### VI 熱膨張性・熱伝導性

岩体・地層の熱伝導度は，放射能発生熱を分散させるために，重要な要因となる。従って，この熱伝導度はなるべく大きい岩体・地層の方が有利な条件となる。この事は，岩塩が諸外国で抽出された大きな要素の一つとなっている理由である。

岩石の膨張率は，岩石の変形に直接つながる要因である故，なるべく小なる方が望ましい。尚，日本産岩石の熱伝導度は表 3・1-12 の如くである。

表 3・1-12 日本産岩石の熱伝導度<sup>(1)</sup> (単位：10<sup>-3</sup> cal/sec・cm・°C)

岩 石	熱 伝 導 度	岩 石	熱 伝 導 度
花 崗 岩	6 ~ 9	片 岩	3 ~ 10
花 崗 閃 緑 岩	6 ~ 7	片 麻 岩	4 ~ 9
安 山 岩	3 ~ 8	砂 岩	2 ~ 11
石 英 粗 面 岩	6 ~ 8	頁 岩	3 ~ 11
流 紋 岩	6 ~ 7	石 灰 岩	5 ~ 8
粒 状 安 山 岩	4 ~ 8	凝 灰 岩	3 ~ 9
輝 緑 岩	5 ~ 6		

#### VII 地質構造発達史

廃棄物処分対象岩体・地層の地質構造は処分期間に亘って安定である事が必要である。堆積岩の傾斜の急な層は大きな Tectonic Stress を受けているものもあり，岩石の破碎性の面からも不味な要因となる。また層の傾斜が急激

に或は頻繁に変わる事も望ましくない。

わが国は、前述のように特殊な地殻構造上に位置しており、超長期間に亘って安定な地層を選出する事は、極めてむづかしいと考えられるが、地質構造を充分考慮し不安定な地質構造要因を取除いた地域の岩体・地層の抽出が要請される。

#### VIII 岩石組織・鉱物

放射性廃棄物より発生する熱の影響を受けて、処分場に対する物理的・化学的な悪条件をつくる岩石・鉱物を有する岩体は処分対象より除外されるべきである。

また風化・侵蝕等を受け易い岩石・鉱物組成を有する岩体も避ける方が望ましい。

多くのエバポライト（蒸発残留岩）中には可成りの数の気相或は液相の包有物が含まれておりこれらは熱によって破裂（Decrepitation）を起こし、内部の気体・液体が岩石内に排出され核種等の輸送媒体となり得るので処分対象地層としては、不利な条件となっている。

しかしこれら包有物は蒸発残留岩を除いては一般に、量的には非常に小さい値である故、特殊な例を除いては、影響は全くないと云える。

又、岩石は気成作用および熱水作用等を受けて、特有の変質鉱物を生じる性質を有しており、原岩の性質から物理的・化学的にも異った岩石に変化するのが普通である。

生成される新鉱物により、処分対象岩体・地層としての適・不適が決定される。

#### IX 吸着

廃棄物の処分対象地層・岩体が全く乾燥している環境は、非常に望ましい事であるが、水分を含むが水の透水率の低い粘土質岩、即ち、粘土・泥岩・頁岩およびゼオライト岩等は処分対象層として候補に上げられる。

これら岩石の特徴は高いイオン交換能を保有していることであり、処分対象地層としてこの特性は極めて有利な条件となる。

#### X 放射線分解

岩体・地層の放射線照射に対する反応は、照射岩石中にエネルギーが貯えられ、各種の作用を引き起こすことが考えられる。しかし、岩塩以外はあまり研究されていないので、今後の試験は是非必要であろう。

以上の岩体・地層要因は地層処分にとって、全てが同時に満足されればそれに越したことはないが、そのようなことは現実にはあり得ないと考えられるので、この中で何らかの欠点がありながらも、利点を大きく生かすことによ



り相補的關係をもって、全体的にみて、地層処分に適する岩体・地層を捜すのが妥当であろう。

以上の検討より、頁岩については次のような利点があげられ、調査の対象とすることができる。

- 1) 日本におけるその分布域は広い。
- 2) かなりの厚さをもち、均質なものが考えられる。
- 3) 頁岩の種類によっては熱伝導度が花崗岩等より高いものがある。(表 3・1-12 参照)
- 4) 頁岩層は一般的にいて多量の粘土鉱物を含んでおり、これらは地下水に対して不溶性で、イオン交換能が大である。

石灰岩は、①水に対する溶解度が高い、②可塑性が小である、③一般的に割目が多い等の欠点があり、特に日本の場合はその分布域のほとんどに工業用の鉱区がかけられているという不利な点があるが、次のような利点のため調査の対象とすることができる。

- 1) 熱伝導度は花崗岩 ( $6 \sim 9 \times 10^{-3} \text{ cal} / \text{sec} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ ) に比べ  $5 \sim 8$  と高い方である。(表 3・1-12 参照)
- 2) 低間隙率で吸水率が低い。
- 3) 相当の層厚での均質性が期待される。
- 4) 特に上下盤が厚い不透水層では含まれている場合は、上記の欠点を補って処分可能となり得る。

輝緑岩は米国に於て実際の高レベル放射性廃棄物の処分場となっている。玄武岩と同じような範囲の化学組成をもっており 玄武岩そのものは節理を持つというような欠点があるが、輝緑岩は次のような利点があり、調査の対象とすることができる。

- 1) 石灰岩と同様の低い吸水率をもつ。
- 2) 圧縮強度が非常に大きい。
- 3) 分布が広範囲にわたっている。
- 4) 現在米国では玄武岩内で実際の処分が行なわれている。

以上の利点をかながみて、上記の①頁岩、②石灰岩、③輝緑岩についてその分布、地質構造的特徴を文献から調査し、さらに前述の自然的要因、社会的要因を重ねて考慮して、調査対象地域を抽出していく。

#### ① 頁岩

日本における古生代・中生代・新生代第三紀の堆積岩の露出面積は、古生代堆積岩が 45,200 km<sup>2</sup> (日本全体の 12.2%), 中生代堆積岩が、34,400 km<sup>2</sup> (日本全体の 9.3%), 第三紀堆積岩が 69,900 km<sup>2</sup> (日本全体の 18.

9%)である。これらのうちから頁岩を含む主な地層を全国からピックアップ・アップすると表3・1-13の通りである。この中で古生代・中生代の堆積岩は一般的に固結度が高く、硬岩であるという地層処分にとっての好条件があるが、一方これらは構造運動を受けていて、その傾斜が急であったり、褶曲、断層等をもち(特に構造線近くのものには岩質的にもめていることが多い)、ある岩種は薄片状に剥離する構造をもつため、対象地層から除いた方がよいと考えられる。従って、その結果として残るのは新生代第三紀の頁岩を含む層である。(表中○印)

表3・1-13 全国の主な頁岩(泥岩)を含む地層 (平凡社地学辞典)

層名	時代	層厚(m)	模 式 域	岩 相
柿 迫 層	下部石炭	下部層 330	南 部 九 州	泥岩で石灰岩をはさむ
猪 川 階	下部石炭	500	北上・阿武隈地方	ヒン岩質、輝緑岩質凝灰岩と泥岩の互層
球 磨 層	二 疊 紀	900	西南日本外側、南部九州	花崗岩質礫岩、泥岩、黒色不純石灰岩(3~4層)
上 吉 田 層	中・上部二疊紀	1000	埼玉県吉田町	砂岩、泥岩、チャート
土 居 層 群	上部二疊紀	350	愛媛県秩父帯中帯	砂岩、黒色泥岩
登 米 粘 板 岩	二 疊 紀	1200	南 部 北 上	黒色粘板岩
舞 鶴 層 群	中・上部二疊紀	2000	舞 鶴 地 帯	頁岩、砂岩、礫岩互層、含礫砂岩、頁岩粘板岩
休 場 層	古 生 代	400+	高 知 県	黒色塊状泥岩、塊状砂岩
三 宝 山 層 群	古 生 代	700	関東山地、赤石山地、紀伊半島、四国南部、九州南部	粘板岩、砂岩
厚 保 層 群 (下部・熊ノ倉層)	三 疊 紀	700	山口県美弥地方	砂岩、礫岩、砂質頁岩
稲 井 層 群 (大 沢 層)	下~中部三疊紀	180~350	宮城県~岩手県南部、	粘板岩
奥 利 根 層 群	上部三疊紀	2500	群馬県最北部	砂岩、頁岩
岩 宝 層	下部ジュラ紀	2000	群馬県北部	礫岩、砂岩、頁岩
来 馬 層 群	下部ジュラ紀	10000	富山・新潟県	砂岩、頁岩
牡 鹿 層 群	中部ジュラ~ 下部白亜紀	4000	牡 鹿 半 島	頁岩、砂岩、頁岩互層、アルコーズ砂岩
鹿 折 層 群	中部ジュラ~ 下部白亜紀	1000	宮城県北東端唐桑地方	頁岩、砂岩互層、アルコーズ砂岩、頁岩
手 取 層 群	ジュラ~白亜紀	400~3200	飛騨山地周辺	砂岩、礫岩、頁岩
有 田 層	下部白亜紀	150~250	和歌山県湯浅	砂岩、砂岩質頁岩、頁岩
大 船 渡 層 群	下部白亜紀	2500	岩手県大船渡	砂岩・頁岩互層
日 奈 久 層	下部白亜紀	800	熊本県八代地方	頁岩、砂岩、礫岩
有 岡 層	上部白亜紀	3000	高知県南西部	泥 岩
宇 和 島 層 群	上部白亜紀	4000	愛媛県宇和島	砂岩、頁岩、礫岩(局部)
三 山 層	上部白亜紀	500~1300	関東山地、山中部溝帯	頁岩を主とし、砂岩礫を伴う
鳥 屋 城 層	上部白亜紀	1100	和歌山県有田川	塊状シルト質細粒砂岩、細砂質シルト岩
姫 浦 層 群	上部白亜紀	1000~3000	天草諸島	礫岩、砂岩、頁岩、泥岩
大 勝 頁 岩	白 亜 紀	4000	奄美大島	黒色頁岩、粘板岩、砂岩
坂 瀬 川 層 群	第三紀始新世後期	800	天草炭田	黒色シルト岩

層名	時代	層厚 (m)	模式域	岩相
日南亜層群	第三紀漸新世前期 ~中新世前期	1400	日南地方	頁岩他
赤平層群	下部第三紀	1300+	埼玉県	砂岩, 砂質頁岩, 頁岩, 礫岩
日向層群	古第三紀	~4100	延岡帯	砂岩, 頁岩
保田層群	第三紀 漸新世, 中新世	1200+	南関東房総半島	凝灰質砂岩, 塊状泥岩
朝日層	第三紀 中新世中期	400+	北海道夕張	礫質砂岩, 凝灰質砂岩, 頁岩の互層
古丹別層	第三紀 中新世中期	6300	北海道羽幌地方	礫岩, 砂岩, 砂泥互層, 泥岩
田辺層群	第三紀 中新世中期	2500	紀伊半島南西部	礫岩, 砂岩, 頁岩
築別層	第三紀 中新世中期	200~450	北海道羽幌地方	砂岩, 泥岩
別所層	第三紀 中新世中期	300~1300	長野県中部	黒色泥岩
黒松内層	第三紀 中新世後期	400~900 ~1400	北海道西南地域	灰色泥岩
声間層	第三紀 中新世後期	600~850	北海道天北地方	無層理塊状泥岩~砂質泥岩
越川層	第三紀 中新世後期	1000±	北海道知床	硬質頁岩を主とし, 凝灰角礫岩層を伴なう
根良層群 (時ヶ谷層, 相良層)	第三紀 中新世後期		静岡県中部東遠江地域	砂泥互層, 泥岩
寺泊層	第三紀 中新世後期	200~800	新潟県	黒色~暗灰色泥岩
古口層	第三紀 中新世後期	200~700	山形県	黒色頁岩
稚内層	第三紀 中新世後期	500~600 ~1000	北海道天北	硬質頁岩
相浦層	第三紀中新世	600~800	佐世保炭田	厚砂岩, 泥岩との互層
津川層	第三紀中新世	300~1200	新潟県	砂岩, 泥岩
野島層群	第三紀中新世	2000	佐世保炭田	砂岩, 泥岩
布志名層	第三紀中新世	950	島根県北部	礫岩, 砂岩, シルト岩
西山層	第三紀鮮新世前期	250~1000	新潟県	灰緑色泥岩
青木層	新第三紀	850~1300	長野県中新	砂岩, 砂質泥岩, 泥岩, 砂岩泥岩互層
多賀層群 (富岡層)	新第三紀最上部	250~480	常盤炭田	シルト岩
厚内層群 (下部・直別層)	第三紀	800	北海道十勝地方	シルト岩硬質砂岩互層
草薙層	第三紀	250~750	山形県	珪質・硬質泥岩
天徳寺層	第三紀	200~700	秋田県	青灰色塊状泥岩
富岡層群	第三紀	2000	関東山地東縁	砂岩, 泥岩
七谷層	第三紀	300~1100	新潟県	黒色頁岩
梶内層	第三紀	1600	石狩炭田	灰黒色泥岩, 均質無層理

注：地層の古いものの順に並べた。

第三紀の頁岩を含む地層の中では、特に中新世の女川階、船川階の頁岩が厚層で広く分布していることがよく知られている。これらは東北日本孤内帯に特に発達しており、ここでは女川階は、一般に下位の西黒沢階と整合関係を示し、女川階と船川階との関係も一般的に整合関係にあるが、船川階の中位には不整合関係のあらわれる場合がある。女川階の層相はけい質頁岩で代表され、層相変化に乏しい。船川階下部は黒色頁岩で代表される。女川層の層厚は100～800 mであって、地域によって異なる。秋田県鷹ノ巣西方能代付近、秋田市南東方和田盆地、横手市付近などでは600～800 mで厚く、厚層の部分がほぼ油田褶曲方向、即ちNS方向に延びている。船川期の堆積の中心部は前期までのそれに対し、より西側に遷移した。船川階の層厚は中心部では500～2,000 mに達するが、東縁部などでは数100 mを示すにすぎない。

これらの岩相は次のようである。

珪質頁岩； Siliceous shale または硬質頁岩 hard shale ともいわれる。北海道から秋田・新潟などの油田地帯の含油層主要部の下部にある。秋田では女川層、新潟では七谷層がこれに属する。

一般に灰～暗灰色、風化すると黄灰色～褐色、シルト～粘土質で珪質、緻密で著しく硬く、典型的なものでは層理がよく発達する。成層面は平らで、規則的で、延長も長い、多くの場合チョコレート色のシルト岩と黒色の粘土岩との有律互層 rhythmic bed である。一部のシルト質、細粒砂岩質の部分には graded bedding を示したり、ラミナが波状の場合もある。層理面に沿って割れやすく、または貝殻状断口を示す。しばしば流紋岩質（酸性）の凝灰岩層を挟んでいるほか石灰質苦灰質頁岩を伴い、互いに移化する。

含有鉱物粒は一定の方向に配列し、黒味勝ちな濃淡の細かい縞目からなっている。これに有機物の断続性で波状の褐色の縞がつけ加わる。

砂分は少なく、全体で5%に達しない、微細な石英・長石類、火砕性の破屑片や雲母片・海緑石などを含むほか、ときに多数の苦灰石の自形に近い菱形結晶が散在する。黄鉄鉱の黒色微小体、珪藻などの白色微小な斑点、そのほか海綿の骨・有孔虫・魚鱗・魚の骨骸の化石などの小型化石が認められる。

基底は非晶質の珪酸を主とし、これが脱水凝固して硬化したものとみられる。

黒色頁岩； 地向斜でゆるやかな沈降が続いた時期に深海で堆積したものである。（田口1961）。秋田県では船川層、新潟県では寺泊層と呼ば

れている。暗灰・灰黒色で、湿っている時の方が黒く、乾けば灰色になる。葉片状に割れやすく、硬質のものは成層面に沿って割れる。軟質のものは大小の角片～細片、玉葱状、または不規則に彎曲した破面の細片に割れる。

薄片では黒褐色、細粒の石英・長石・炭酸塩鉱物などの碎屑物が散在する。硫化鉄（黄鉄鉱）の黒色小粒体が比較的多く散在し珪藻・海綿の骨針・放散虫・有孔虫などの化石を含む。このほか0.2～0.5mmの白色小型貝類の化石が含まれる。

層理の発達が悪く、塊状の場合が多い。新鮮な時は多少青味を帯びている。

女川階、船川階の模式地における代表的化学分析値は表3・1-14の通りである。

表3・1-14 女川階・船川階の模式地における化学分析値

地 層	女川層上部	船川層下部	船川層上部	女川層下部	女川層上部	船川層下部	船川層中部	女川層下部
岩 石	黒色泥岩	黒色泥岩	黒灰色泥岩	灰色硬質 シルト岩	黒色硬質泥岩		黒色泥岩	黒色硬質 シルト岩
産 地	八橋油田			台 島	女 川	南 平 沢	船 川	八橋油田
分析者	武 久	武 久	武 久	武 久	武 久	武 久	武 久	武 久
採集者	阿 部	阿 部	阿 部	阿 部	阿 部	阿 部	阿 部	阿 部
番 号	41	42	43	36	37	38	39	40
SiO <sub>2</sub> %	75.59	64.28	68.37	80.43	76.53	68.35	65.16	80.96
TiO <sub>2</sub>	0.44	0.58	0.41	0.21	0.34	0.51	0.82	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.48	12.01	11.92	3.08	9.79	10.65	12.45	4.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.86	7.12	6.74	3.80	5.61	6.06	7.01	5.51
FeO	—	—	—	—	—	—	—	—
MnO	0.07	0.09	0.03	0.01	0.03	0.09	0.08	0.01
MgO	1.26	2.68	2.33	0.05	0.72	2.26	3.12	0.08
CaO	0.96	1.09	0.93	0.18	1.06	1.85	1.40	0.17
Na <sub>2</sub> O	1.05	2.36	2.03	1.05	1.21	1.81	2.12	1.21
K <sub>2</sub> O	1.71	2.88	1.99	1.22	1.38	1.87	2.34	1.36
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	3.06*	6.28*	5.09*	9.85*	4.01*	6.22*	5.40*	5.44*
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>								
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.05	0.08	0.09	0.06	0.05	0.06	0.10
合 計	100.53	99.42	99.92	99.97	100.74	99.72	99.96	99.98

\* H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> と H<sub>2</sub>O<sup>-</sup> の合計

## ② 石灰岩

日本における石灰岩は、北海道から九州まで全体的に見られるが、その分布域は中国地方の秋吉台、四国、九州の中央構造線沿いのものは大きく、他はあまり大きなものではない。時代的には古生代から第三紀までその範囲は広いが、第三紀のものは十分に固結したのではなく、地層処分の対象とはなり得ない。従って、古生代・中生代の石灰岩が分布域も広いものがあり、しかも固結度が高いので対象とはなり得る。が、石灰岩は日本にとってはセメント、鉄工業のための数少ない自給できる産業資源であるため、ほとんどの石灰岩産出地域には鉱区がかけられているのが現状である。日本国内の石灰岩の力学的性質については、一般に次のような性質がある。

- 1) 結晶質石灰岩は圧縮強度が一般に小さく、非結晶質石灰岩は高い圧縮強度をもつ。
- 2) 非結晶質石灰岩が高い圧縮強度をもつが、標準偏差がかなり大きくばらついているのは緻密な非結晶質石灰岩でも部分的に充填されたり、或は未充填の亀裂が発達しているためにこの部分で破壊が起きていることを示すものがある。
- 3) 石灰岩は地表に近い所や水の通りやすい所等風化の影響が圧縮強度を低下させている。
- 4) せん断強度も結晶質石灰岩では低く、非結晶質石灰岩では高い。
- 5) 結晶質石灰岩は、P波速度、ショア硬度が非結晶質石灰岩より低い。

日本における主な中・古生層中の石灰岩の分布域を概略示すと図 3・1-18 のようになり、それらについての地質は次の通りである。

これらは堆積環境とその化学成分によって I ~ V のグループにまとめたものである。

古生層の石灰岩については、中央構造線の内側と外側、内側でも中央構造線に近い南側と、北側で日本海沿いのもの、それに東北日本等それぞれの地域に分布している石灰岩が互に共通した特徴を持っている。

### ④ 東北日本型——タイプ I

阿武隈山地、北上山地の従来古生層といわれていた地層に伴う石灰岩と北海道日高系に属する石灰岩をここでは総括して扱う。これに属する石灰岩の化学成分上の特徴は他のタイプにくらべてけい質であることが目立っている。

これらの地質時代は、石炭紀、二畳紀が多いがごく一部にデボン、ゴトランド紀の石灰岩もある。また従来無化石石灰岩といわれていた

義朗，尻屋，岩泉などの大きな石灰岩の一部から三疊紀やジュラ紀の化石が発見されて，次第に中生層に属する石灰岩が増えつつある。このグループは地質時代としては巾広いものであるが，堆積環境が類似しているので一括した。しかし石灰岩周囲の堆積岩の状況は，日高と北上・阿武隈とでは可成り違いがある。

ア. 日高型：石灰岩の下盤及び上盤側が粘板岩か，粘板岩かチャートの境界に石灰岩が位置している場合が多い。また輝緑凝灰岩に石灰岩が伴われている例も少なくない。

イ. 北上型：この石灰岩は，南部と北部では，石灰岩周縁の堆積岩に大きな差が認められる。すなわち岩泉付近より北方の北部北上のものは粘板岩砂岩を下盤にして，石灰岩の上盤はチャートからなる重なり方が一般的であって，上盤の一部に輝緑凝灰岩を伴っている。岩泉以南の南部北上では，粘板岩が優勢の地層に石灰岩が賦存している例が多い。石灰岩自身の特徴は，層理の発達したいわゆる層状石灰岩で黒又は灰黒色の石灰岩が多く，有機物に富んでいる。石灰岩の厚さは400 m

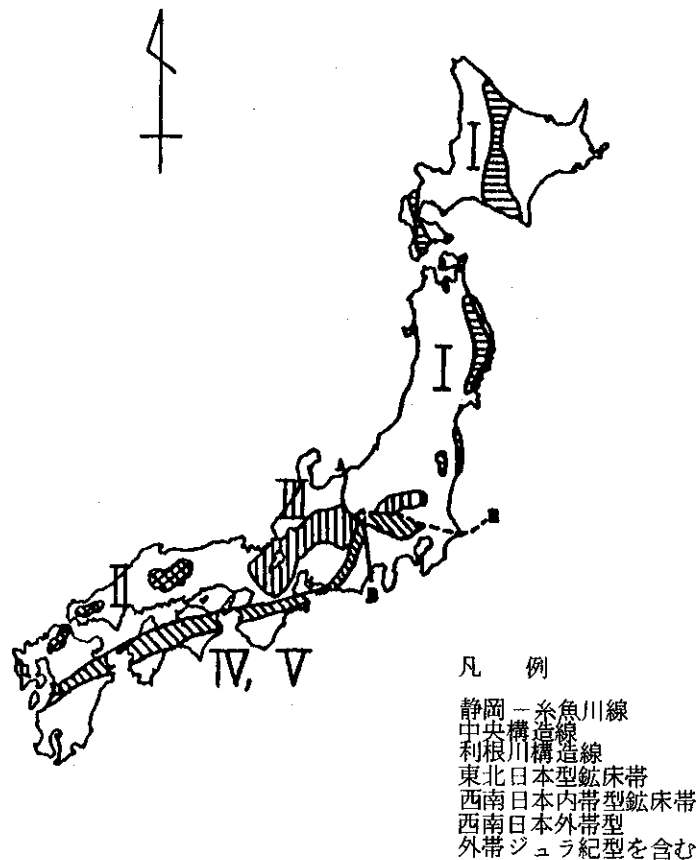


図 3.1-18 タイプ別石灰岩の概略分布域

以上のものもあるが規模の小さいものもある。

石灰岩の化学成分の特徴はけい質石灰岩が他のタイプより目立つことで、けい酸分  $\text{SiO}_2$  4.24% (782 個の平均, 以上括弧内数字は分析個数を示す) である。ただし日高のものと北上・阿武隈のものとを比較すると日高は  $\text{SiO}_2$  6.38% で, 北上の  $\text{SiO}_2$  2.13% よりけい酸分は多い。同時に  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  など他の不純物も日高のものが多い。ただし日高にも尻岸内, 岩知志, 新冠, 浦河などの石灰岩には  $\text{SiO}_2$  1% 以下があり, 北上の尻屋では  $\text{CaO}$  54%,  $\text{SiO}_2$  0.2%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.02% (28) という試料もある。北部北上のごとくチャート優勢地区の石灰石はけい質であることが明らかである。

#### ㊦ 西南日本内帯型——タイプⅡ

この石灰岩の分布地域は中央構造線より内側で, 本州の日本海に沿った青海・阿哲・帝釈・秋吉・九州の平尾などである。

地質時代は, 石灰紀より二畳紀にわたるもので, 中国地方でいうならば秋吉相で代表される石灰岩と考えている。

石灰岩の周縁には, 輝緑凝灰岩, 砂岩, 粘板岩, チャートなどの堆積岩が伴われている。特に石灰岩の下盤側は輝緑凝灰岩, 上盤側がチャートというタイプが多い。もちろんこの逆の重なり方も見られる。厚さは, 二畳紀についていうと極端に厚いものでなく, 真の厚さ 200 m 前後のものと推定される。しかし平面での広がりには他のどのタイプのものより広く, 数平方 km という広い面積に分布している。このタイプは一般に塊状で顕著な層理を示すものは少なく, また非石灰質の地層を伴うことも稀れである。

石灰岩は灰白色緻密質で, 化石を多産する。石灰岩の化学成分上の特徴は, 他のあらゆるタイプのものに比較して石灰の含有量は最も多く,  $\text{CaO}$  54.64%, 不純物として  $\text{MgO}$  0.49%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.30%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.35%,  $\text{SiO}_2$  1.03% (189) である。

#### ㊧ 西南日本準内帯型——タイプⅢ

この石灰岩の分布は西南日本内帯の中央構造線に近い側にある関東の足尾山地, 中部の飛騨山地, 美濃の舟伏, 伊吹, 鈴鹿山脈, 霊仙岳および滋賀, 京都などに知られている。同じ内帯でもタイプⅠを秋吉相に対比するとこれは山口相のものと言うことができる。

地質時代は一部に石炭紀のものがあるが, 厚い二畳紀の堆積物からなる。ただし最近, 一部には中生代に属する石灰岩が含まれていることが



判りつつある。

石灰岩の周囲の岩石は輝緑凝灰岩、チャート、砂岩、粘板岩などであるが、このうち特筆すべきは輝緑凝灰岩が優勢であることと厚いチャートを伴うことである。堆積環境は火成活動が活発な本格的地向斜の環境が推定できる。

石灰岩は真の厚さ 400 m 以上、1,000 m 近いものもあって、わが国ではこのタイプのものが最も厚い。形態は層状が多い。普通基盤に近い層準のものは有機物の多い黒灰色で、上位に重なるものは灰白色の石灰岩からなる場合が多い。また本格的なドロマイト、マンガン鉱床、炭層などを伴っている。石灰岩の色は層準としてまた小規模なレンズとして変化に富み、黒・赤・緑などいわゆる白以外の大理石となっているものが多い。

化学成分の特徴は、他のタイプのものにくらべてマグネシア分が多いことで、MgO の平均は 2.12 % (632) である。マグネシアの分布は、本格的ドロマイトについては別であるが、一般に垂直的、水平的に常に変化に富み、規則性を見出すことはマクロ的には難かしい。

マグネシア以外ではけい酸分が多いことでタイプ I に次いで多く、SiO<sub>2</sub> 1.96% (633) である。けい質の場所は、上盤、下盤にチャートが優勢な所であって東北日本型石灰岩と傾向が似ている。(表 3・1-15 参照)

表 3・1-15 霊仙地区石灰石鉱床の化学成分 (%)

地 区	試 料 数	Ca O	Mg O	I. M.
A	190	46.41	1.75	0.97
B	189	52.72	1.62	1.20

#### ㊦ 西南日本外帯型——タイプ IV

中央構造線の外側に沿って分布しているもので、東は関東山地から西へ赤石山脈、紀伊半島、四国、中九州にわたる石灰岩がこれに属している。地質時代は石炭紀から二疊紀にわたるいわゆる秩父古生層のものであるが、最近コノドント化石が発見されたことで、従来二疊紀ではないかと考えられていたものが中生代三疊紀の石灰石といわれることになったものがある。

石灰岩周囲の岩石は、輝緑凝灰岩、チャート、砂岩、粘板岩などがある。ただ石灰岩に接して、粘板岩やチャートが優勢であることは、どちらかといえば東北日本型——I に似ている。

石灰岩自体の特徴は、大規模なもので200～300 mの厚さが普通で、準内帯Ⅰ～Ⅲのように厚くない。走向方向にのびた石灰岩で、層状構造を示し、塊状無層理のものもあるが、夾在層もある。

化学成分上の特徴は一言で言えば内帯Ⅱと準内帯Ⅲの中間を示している。すなわちCaOは52.98%であり、けい酸分、マグネシア分とも内帯Ⅱより多く、Ⅲより少ないのはSiO<sub>2</sub> 1.52%、MgO 1.12%である(1047)。

さて、関東山地の石灰岩をタイプⅣとして取扱ったが、表3・1-16の分析結果から推察できるように、Ⅲと本格的なⅣとの中間品位を示している。化学成分だけでなく周囲の非石灰岩に輝緑凝灰岩の優勢なことと共にⅢに類似する点が少なくない。

表3・1-16 関東山地石灰石鉱床群の化学成分

	Ⅲ (633)	Ⅳ関東山地 (101)	Ⅳ関東含まず (946)
CaO	51.01	52.12	53.83
MgO	1.311	1.376	0.861
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.186	0.12	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.288	0.268
SiO <sub>2</sub>	1.96	1.71	1.33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.65	0.167	0.109
Ig loss	41.98	42.39	42.91

㊦ ジュラ紀鳥ノ巣型——タイプⅤ

分布地域は東北日本や西南日本外帯のⅠ、Ⅳ地区に含まれている。周囲の環境もⅠやⅣと非常に似ており粘板岩が優勢である。

層理を示すものが多く、一般に灰黒色で有機物に富み、油分を伴う場合がある。規模は秩父古生層のものに比べて大規模なものはない。

化学成分の特徴は、泥質石灰岩に属するものが多いことであって、特にけい酸分の含有量がSiO<sub>2</sub> 4.43%と多いのが目立っている。

次にタイプ別の平均化学成分を表3・1-17に示す。

組織的に見た場合結晶質、非晶質石灰岩は前述のすべての石灰岩帯に分布している。一般には非晶質石灰岩から結晶質石灰岩に変わると言われているが、その原因は飛騨変成岩中の石灰岩のように主に圧力による動力変成作用によるものと、釜石等のように火成岩の貫入による熱変成作用によるもの、または両方の影響を受けている場合が考えられている。表3・1-18及び図3・1-22に日本の主な石灰岩の分布地域を示す。

表 3・1-17 タイプ別石灰岩の平均化学成分 (%)

タイプ	鉱床	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	試料数
I	東北日本型	52.44	1.07	0.37	0.332	4.24	0.09	0.125	—	782
II	西南日本内帯型	54.64	0.49	0.301	0.353	1.033	0.126	0.036	—	189
III	西南日本準内帯型	51.01	2.12	0.186	0.12	1.96	—	0.65	—	633
IV	西南日本外帯型	52.98	1.119	0.158	0.289	1.52	0.078	0.138	—	1,047
V	中生代ジュラ紀型	51.89	0.372	0.37	0.397	4.436	—	0.40	—	27
※	古生代石灰岩平均	54.42	0.77	0.08	0.08	0.88	—	0.35	43.49	1,496
※※	稼行鉱山鉱石平均	53.62	0.95	0.58	0.62	1.51	—	—	—	29

(注) ※ 国内鉄鋼原料調査第5報：地質調査所資料による。

※※ 資源鉱物ハンドブック：江原栄太郎解説による。

表 3・1-18 日本の石灰岩の主な分布地域 (日本岩石誌より)

層名	時代	層厚	模式域	岩相
川内石灰岩 (桶口沢石灰岩)	古生代 シルリア系	150 ~ 200 <sup>m</sup>	岩手県大船渡市, 日頃市町	塊状, 暗灰色~暗黒色 花崗岩貫入による再結晶
鬼丸石灰岩	古生代 石炭系	60 ~ 300	大船渡市日頃市町, 鬼丸	黒色, 多量の炭質物を 含む, 粘板岩挟在のこ とあり, 層理明瞭
長岩石灰岩	古生代 石炭系	460 ±	大船渡市日頃市長岩	黒色~暗灰色, 塊状, チャート介在, 所によ り輝緑凝灰岩・礫層を はさむ
坂本沢石灰岩	古生代 二疊系	200 ~ 250	大船渡市坂本沢	黒色~黒灰色の algal biscuits を含む, 部分 的に粘板岩と互層
立石石灰岩	古生代 前期石炭紀	150 ±	福島県相馬市立石	塊状, 黒色~灰白色石 灰岩, 下部砂質部分的 に礫岩, 粘板岩挟在
八茎石灰岩	古生代 石炭紀	?	福島県八茎	花崗岩による再結晶質 白色縞状黒色の互層, 薄粘板岩挟在
武甲山石灰岩	古生代	?	秩父市南方	灰白色, 緻密非晶質
勝峰石灰岩	古生代 二疊紀中期	?	東京都西多摩郡五日 市町	層理不明瞭, 灰白色, 他岩石のはさみ少ない
奥秩父石灰岩	古生代 中部石炭~ 中・上部二疊	?	奥秩父	灰白色, 層理不明瞭
葛生石灰岩	古生代	200	栃木県安蘇郡葛生町	ドロマイトを含む。
青梅石灰岩	古生代 石炭・二疊系	2000 -	新潟県青梅町	灰白色, 塊状石灰岩
一の谷石灰岩	古生代 石炭~二疊系	?	岐阜県吉城郡	暗灰色石灰岩
丹生川村石灰岩	古生代二疊系	?	岐阜県大野郡	灰白色~暗灰色 赤色石灰岩挟在
舟伏山石灰岩	古生代 石炭~二疊系	?	岐阜県山形郡	岩相は変化に富み, 苦灰岩化した部分あり
伊吹山石灰岩	古生代 中~上部二疊系	?	岐阜・滋賀両県	灰白色石灰岩, チャー ト介在多し
赤坂石灰岩	古生代二疊紀	?	岐阜県不破郡	灰白色~暗灰色, 黒色 泥岩層理顕著
阿哲台石灰岩	古生代 石炭~二疊紀	?	岡山県阿哲台	凝灰岩, チャートを含 み互層塊状石灰岩, 礫 質石灰岩

層名	時代	層厚	模式域	岩相
大賀台地石灰岩	古生代 石炭～二疊紀	?	岡山県大賀台地	部分的にチャート、輝緑凝灰岩をはさむ。
帝釈石灰岩	古生代 石炭～二疊紀	?	広島県比婆郡、 神石郡	塊状石灰岩、下部に輝緑凝灰岩、チャートを伴なう
秋吉石灰岩	古生代 石炭～二疊紀	?	山口県美祿郡	灰白～灰色塊状石灰岩で、基底部に輝緑凝灰岩、種々の層準にチャート泥岩をはさむ
半田石灰岩 蔵目喜石灰岩	古生代 中部石炭～ 中部二疊	?	秋吉台北東方	塊状、一部結晶質、灰白色
横倉山石灰岩	古生代 シルリア紀	?	高知県越知町	礫性、灰白色、しばしば角礫状(基質は流紋岩質)
津久見石灰岩	古生代 石炭～二疊紀	?	大分県津久見	灰白色～灰色、暗灰色部分的にドロマイト、輝緑凝灰岩、砂岩、粘板岩チャートを伴なう
球磨層	古生代上部二疊	?	熊本県八代	黒色～黒灰色、著しく不純円磨細小礫を混在
黒滝層	中生代三疊紀	?	高知県南国市	黒灰色石灰岩
大栃層群	中生代三疊紀	200 ?	高知県越知町	石灰岩、チャートを主とし、砂岩・泥岩互層をはさむ
鳥ノ単層群	中生代ジュラ紀	100 -	高知県佐川町	暗灰色～レキ青質、泥岩の互層砂岩・礫岩を伴なう

なお、日本の様々な石灰石鉱山からの試料による化学分析、物性の調査がなされている。(表 3・1-19 参照)

表 3.1 - 19 各地区石灰岩の平均化学組成

採取地	試料数	CaO %	MgO %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Srppm	Mnppm	Nappm	Kppm
喜界島(鹿児島県)	48	50.94	1.69	0.26	0.34	8.26	0.091	1157	48		
相良(静岡県)	40	51.84	2.20	0.11	0.29	1.73	0.042	1306	77	126	188
日高累層群中(北海道)	27	55.10	0.26	0.11	0.09	0.95	0.021	334	104	86	68
梶馬(福島県)	99	51.41	0.19	0.81	0.46	5.57	0.048	610	331		
尻壁(青森県)	43	54.80	0.62	0.04	0.03	0.30	0.022	441	46		
岩泉(岩手県)	525	52.06	0.95	0.11	0.07	4.67	0.036	652	101		
峨朗(北海道)	44	52.84	1.65	0.09	0.06	1.37	0.030	1101	55	71	65
阿武隈帯中(茨城・福島県)	29	54.85	0.36	0.09	0.09	0.95	0.017				
四倉(群馬県)	26	54.87	0.75	0.02	0.02	0.22	0.004				
葛生(栃木県)	43	51.97	2.65	0.21	0.11	1.03	0.050	202	302	41	102
北巨摩(長野県)	426	53.63	0.86	0.08	0.17	1.94	0.038				
青海(新潟県)	86	54.78	0.70	0.11	0.04	0.44	0.026	126	73	43	26
赤坂(岐阜県)	113	53.07	2.20	0.05	0.04	0.27	0.039	473	54		
舟伏山(岐阜県)	359	51.54	2.60	0.12	0.05	2.14	0.092				
飛騨片麻岩中(岐阜・富山県)	22	53.88	0.88	0.09	0.04	1.22	0.017				
敦賀(福井県)	23	55.23	0.49	0.05	0.02	0.24	0.020				
阿哲(岡山県)	63	55.14	0.20	0.04	0.03	0.46	0.021	163	31	27	9
帝釈(広島県)	56	54.57	0.42			0.52		253	49	32	22
秋吉(山口県)	255	55.54	0.17	0.02	0.03	0.12	0.018	177	29		
鳥形山 大野ヶ原(高知・愛媛県)	46	55.29	0.27	0.04	0.03	0.16	0.015	506	17		
多賀(滋賀県)	421	53.90	1.16	0.19	0.06	1.04	0.060				
平台(福岡県)	110	54.09	1.21				0.011				
三重(大分県)	63	54.62	0.66	0.05	0.06	0.58	0.081				
本郷(沖縄県)	42	55.04	0.44	0.07	0.05	0.49	0.018				

③ 輝緑岩類

ここでいう輝緑岩とは、地向斜段階での海底火山作用によりもたらされた塩基性非変成緑色岩類、造山期あるいは造山後期さらに断裂期に進入あるいは貫入した非変成緑色岩脈とする。ここでいう非変成とは、最低度の変成相は場合によっては含むこととする。これらの岩石は玄武岩と同様の化学組成であり、緑色を呈し、特徴的にオフィテック組織を持つ。

輝緑岩類をもたらした時代とその分布域との関係は図 3・1-19 の通りである。そして、これら輝緑岩類の岩系は図 3・1-20 のごとくである。

	Outer Belt	Mikabu terrane	Inner Belt	NE Japan	Central to Eastern Hokkai do
Mesozoic	×××××				×××××
Permian	×××××	×××××	×××××	×××××	
Carboniferous	×××××			×××××	

図 3.1-19 日本における古生代・中生代の地質分帯と輝緑岩類

	Outer Belt	Mikabu terrane	Inner Belt	NE Japan	Hokkaido
Mesozoic (Jurassic to Cretaceous)	High-alkali tholeiite				High-alkali tholeiite
Paleozoic (Carboniferous to Permian)	Alkali basalt High-alkali tholeiite (High alumina basalt)	Low-alkali tholeiite	Alkali basalt High-alkali tholeiite (High alumina basalt)	Various	

図 3.1-20 日本の古生代中生代の地向斜火山活動におけるマグマのタイプ

Outer Belt : 秩父帯 (二疊紀) 四万十北帯 (白亜紀)

Mikabu Terrane : みかぶ帯 (三波川帯南縁部・二疊紀前紀)

Inner Belt : 丹波帯 (上部石灰紀～二疊紀)

NE Japan : 南部, 北部北上帯 (石灰紀初期)

Central to Eastern Hokkaido : 常呂帯, 日高帯, 神居古潭帯 (ジュラ紀)

このような分布域の中で特に有名なものは、まず北海道の輝緑岩類であり、よく研究されている。次は、みかぶ帯の輝緑岩類であり、これも研

究が進んでいる。しかし、他の地域は一部を除いて分布域があまり広くないこともあって、あまり研究が進んでいない。

輝緑岩類を地層処分の対象として考える場合、上記みかぶ帯は、一応対象からはずした方がよい。というのは、みかぶ緑色岩は「断層をともない巾0～3 km、延長は関東山地から佐賀関半島まで1,000 kmとせまい帯となって分布する」というわけであるから、対象としては岩体が小さすぎると考えられるので対象から除外した。

#### (4) 要因の総合検討

頁岩、石灰岩、輝緑岩を対象岩種とし日本全域より調査対象地区を抽出するため、表2・2-1-(2)を参照して要因を選定し、これら要因を自然的諸要因、社会的諸要因、岩層ないし岩種に関する諸要因に分類してそれぞれ検討したが、図3・3-1で示したように自然的諸要因の図化(図3・1-21-(1)~(2)参照)、社会的諸要因の図化(図3・1-16~17参照)を行なって、調査対象地区としては不適當な地域を除外し、不適當な地域を除外した地域における調査の対象岩種に関する諸要因を検討し、これら岩体ないし岩層の分布図を作成(図3・1-22参照)した。

従って、これら図面類を重ね合わせることにより今後調査を継続すべき調査対象地区が抽出される。

図 自然的要因 I

1 : 2,000,000



凡例

活断層

活褶曲

主要構造線

危険火山と火砕流分布域

主な急傾斜山地

凹地あるいは盆地

凹地あるいは盆地内の地盤沈降の激しい地域

地盤上昇の激しい地域

地盤上昇地域の軸

透水性地層 (第4紀堆積岩層)

100年間に来襲の可能性のある地震の最高震度期待値の分布 (単位ガル)

200

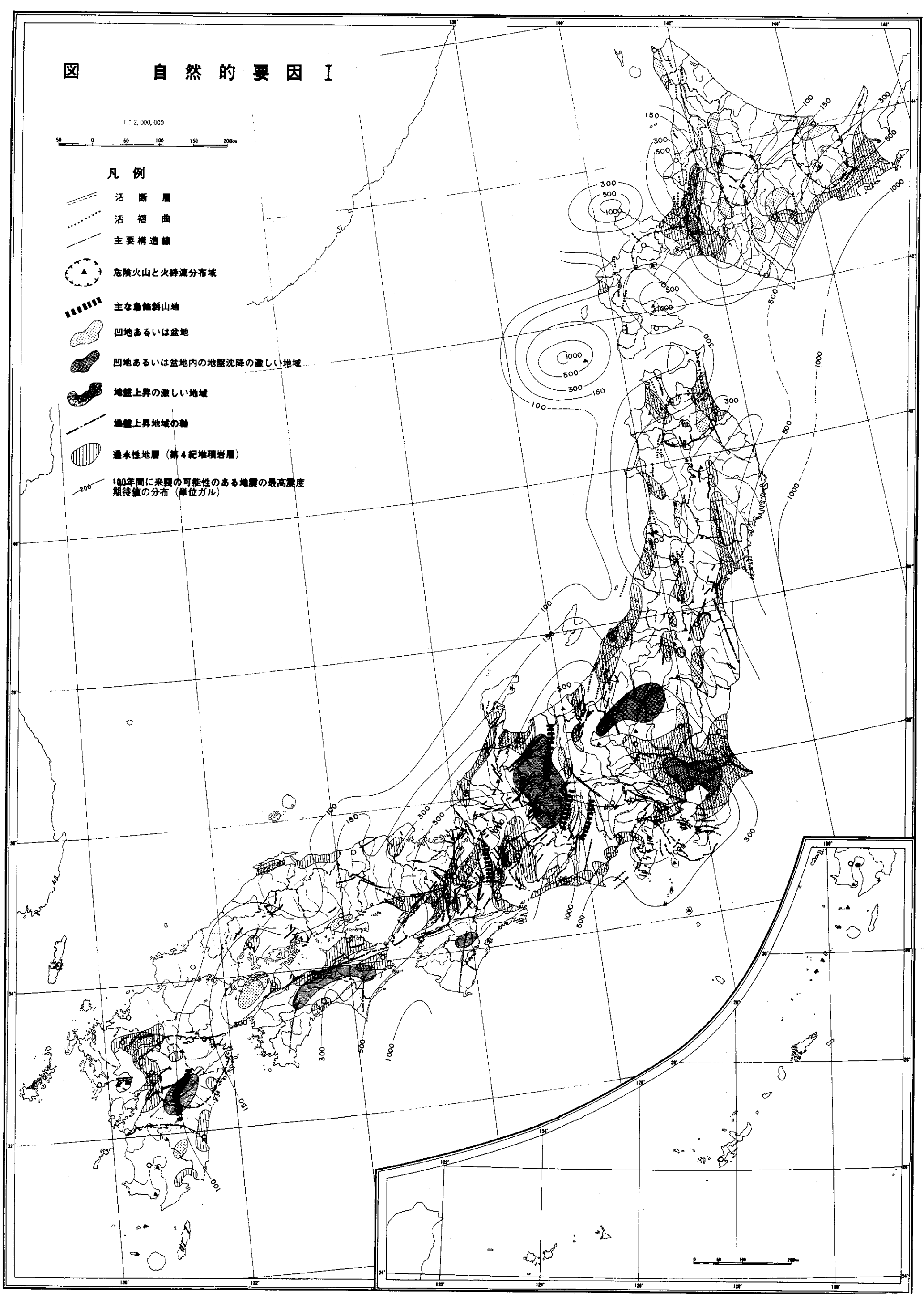


図 3.1 - 21 - (1) 自然的要因総合図 I







175

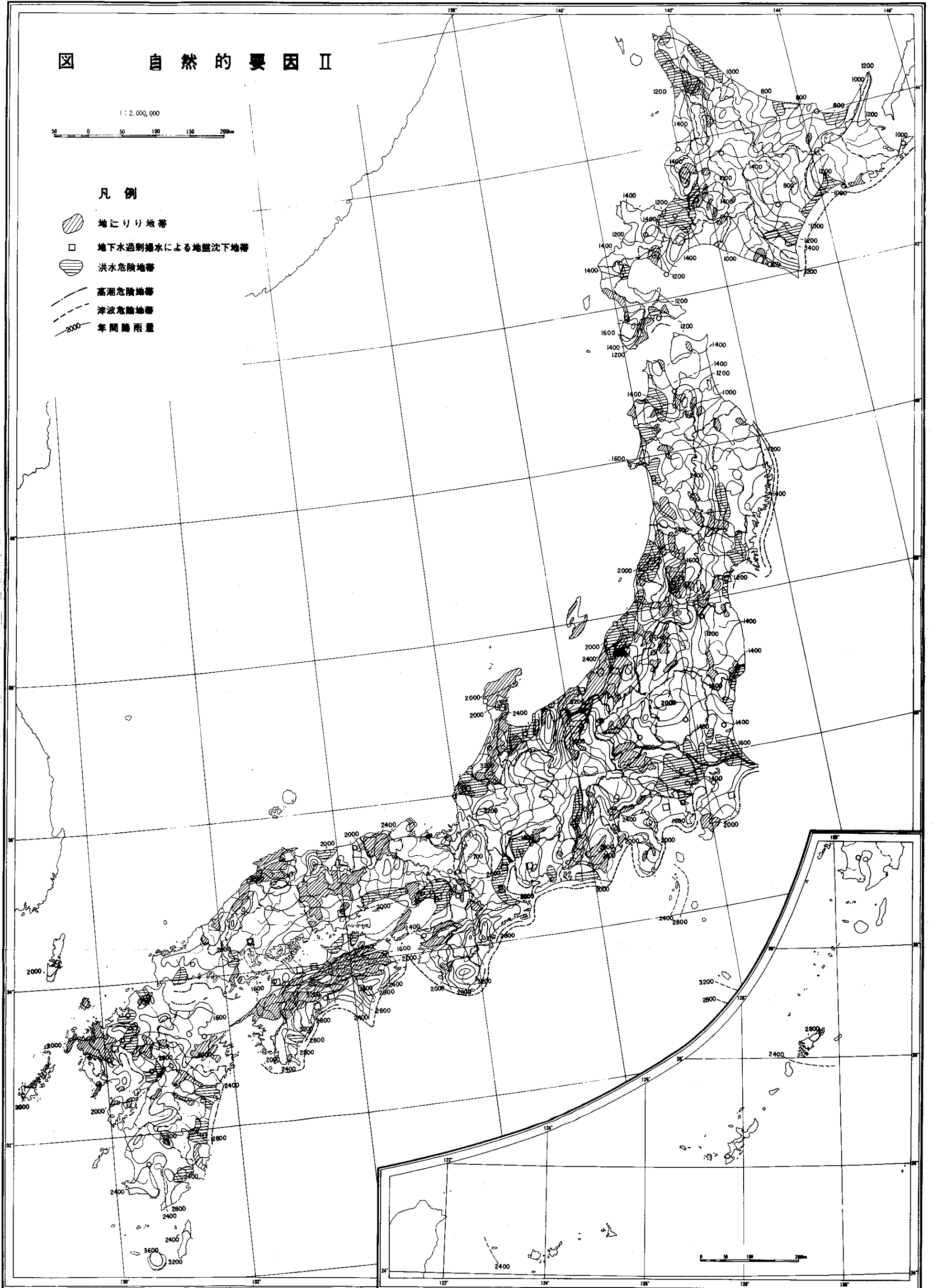
# 自然的要因 II

1:2,000,000



## 凡例

-  地にりり地帯
-  地下水過剰透水による地盤沈下地帯
-  洪水危険地帯
-  高潮危険地帯
-  津波危険地帯
-  年間降雨量



-75-

图 3.1 - 21 -(2) 自然的要因総合图 II



第三紀中新世堆積岩，石灰岩，輝綠岩分布域

1 : 2,000,000



凡例

- 第三紀中新世堆積岩分布域
- 主な石灰岩分布域
- 主な石灰岩，輝綠岩共通分布域
- 主な輝綠岩分布域

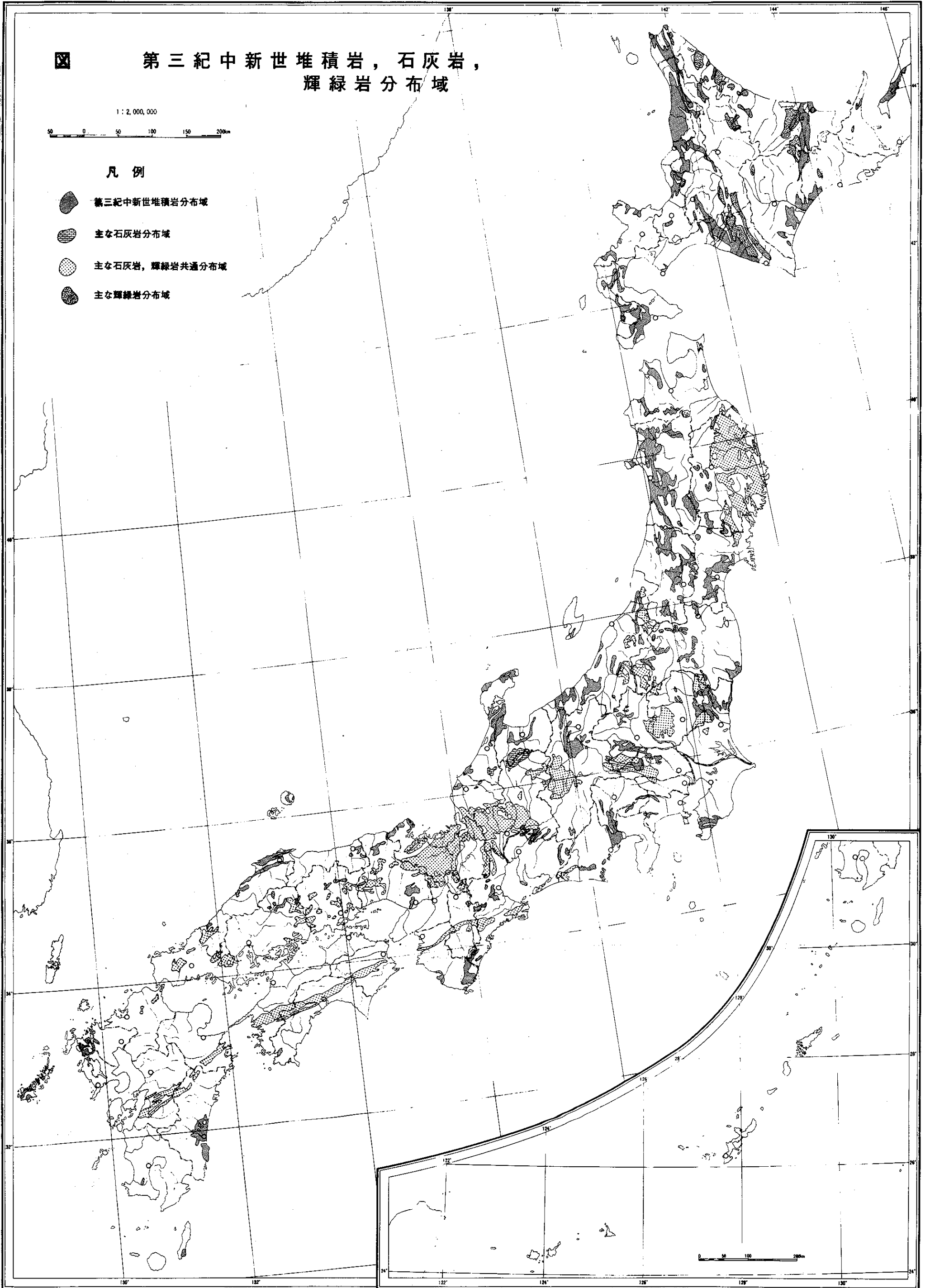


図 3.1 - 22 新第三紀中新世堆積岩・石灰岩・輝綠岩の分布図

### 3.1.2 調査対象地区の比較・検討

#### (1) 目的

調査対象地区を比較・検討する手法を検討し、その結果を利用して実際に調査対象地区を比較・検討することにより地層処分を抽出するための技術的向上に資することを目的とする。

#### (2) 調査対象地区比較・検討表

第2章で地層処分地を抽出するための手法・手順を検討し、表2・2-1-(2)の地層処分地抽出手法・手順表により調査対象地区における調査・研究すべき要因を選定したが、本項ではこれら要因を比較・検討表により、調査対象地区を比較・検討する。

表3・1-20の調査対象地区比較検討表は、この目的で作られたものであるがこの表を応用することにより、将来抽出される複数の候補地区、精査地区の比較検討をすることができるものと思われる。以下、調査対象地区比較検討表の説明を加える。

##### a 基本規準の説明

2・3・1項と同じ。

##### b 要因の説明

表2・2-1-(2)の地層処分地抽出手法・手順法に示された、調査対象地区で調査研究すべき要因のみを記載した。

##### c 要因の概要の説明

要因を検討し、この欄には重要事項の概要を記載する。

##### d 評価

i 重要度：要因の重要度を数量的に記載する。例えば、要因の重要度をランクに分け、該当する要因のランクを数値で示す。

例：基本規準である“深度”の要因を3ランクに分け以下の様に示す。

要因の重要度	
	↓
河川的作用（洪水） .....	3
地況 .....	1
地形 .....	2
深度分布 .....	3

上記の例では、3ランクに分けたが、今後調査が進展し深度分上極めて重要な要因であることが判明したとすると、この重要度を極端な数に（例えば100）することができ、この手法により地層処分において深度分布が充分でないと処分地として適していないことを数値的に示すことができる。従って、後述のe

表 3・1-20 調査対象地区比較検討表

基本規準	調査対象地区		要因の概要		評価加重		要因の概要		評価加重		要因の概要		評価加重		要因の概要		評価加重		要因の概要		評価加重		備考
	要因	重要度	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	要因の概要	評価加重	
1. 深度 地層処分地の岩体は、充分な深さにならなければならない。	河川作用																						
	地況																						
	岩石のタイプ																						
	地形																						
	深度分布																						
2. 垂直的広がり 地層処分地の岩体は、充分な厚さにならなければならない。	空洞																						
	割れ目																						
	均一性・等示性																						
	機械的特性																						
	熱膨張性																						
	熱伝導性																						
3. 水平的広がり 地層処分地の岩体は、水平的に充分な広さにならなければならない。	空洞																						
	割れ目																						
	均一性・等示性																						
	機械的等性																						
	熱膨張性																						
4. 隆起・沈降 地層処分地の隆起・沈降が処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	構造発達史																						
5. 断層 地層処分地の断層が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	割れ目																						
	均一性・等示性																						
	構造発達史																						
6. 火成活動 地層処分地の予測される火成活動が地質的包蔵性に危険を及ぼしてはならない。	構造発達史																						
7. 水理性 地層処分地の地下水は、放射性核種を生物圏に移行させてはならない。	空洞																						
	割れ目																						
	岩石組織																						
	水の移動性																						
8. 含水量 地層処分地の岩体の含水量は、充分小さくなくてはならない。	鉱物																						
	岩石組織																						
	水の移動性																						
9. 放射線的作用 廃棄物から発生する放射線が処分地の岩体に作用し地質的包蔵性がそなわれない。	機械的特性																						
	鉱物																						
10. 廃棄物-岩体相互作用 地層処分地の岩体と廃棄物の相互作用によって地質的包蔵性がそなわれない。	鉱物																						
	吸着																						
11. 機械的特性 地層処分地の岩体は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	割れ目																						
	均一性・等示性																						
	機械的特性																						
	鉱物																						
	岩石組織																						
	岩石のタイプ																						
12. 応力の状態 地層処分地の岩体の応力は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	割れ目																						
	均一性・等示性																						
	機械的特性																						
	構造発達史																						
13. 地震活動 地層処分地に予想される地震が、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	構造発達史																						
14. 処分場建設 地層処分地の地質・地理・地形が、処分場の建設に適合したものでなければならない。	土地利用																						
	人口																						
	岩石のタイプ																						
	地形																						
	アクセシビリティ																						
15. 鉱物資源 地層処分地は、鉱物資源の開発の可能性のある地域をできるだけ避けなければならない。	資源																						
	資源分布																						
	既存の利権																						
16. 水資源 地層処分地は、水資源の開発の可能性のある地域は避けなければならない。	土地利用																						
	人口																						
	岩石のタイプ																						
	地形																						
17. 土地利用 地層処分地は、土地利用に関する紛争の少ない地域でなければならない。	土地利用																						
	人口																						
18. パブリック・アクセプタンス 地層処分地は、社会的・政治的に受け入れられやすい地域にならなければならない。																							
総合評価順位																							
	順位	評価																					
	順位	評価																					

項で示される通り、重要度の数値が大きい程、重要な要因であることを示す。

ii. 比較：要因を検討し調査対象地区における順位を数値で記載する。例えば、A調査対象地区における河川作用という要因の、調査対象地区を抽出する上での影響度を評価すれば全調査対象地区  $n$  個中の  $m$  番目に当たるというように比較した結果を数値で表わす。

#### e 総合評価順位

評価方法としては3通りある。

- ① ii. の評価を単純に加算して比較の評価計とし、評価計の少ないものより順位をつけ調査対象地区を比較する。
- ② i.  $\times$  ii. として積算して加重の評価計とし、評価計の少ないものより順位をつけ調査対象地区を比較する。
- ③ (①の順位) + (②の順位) を順位計とし、順位計の少ないものより順位をつけ総合評価順位とする。

### (3) 比較・検討例

昨年度、花崗質岩およびゼオライト質岩を対象岩種とし我国の代表的分布地区を文献により調査し、また、これら地区から採取した岩石の基礎特性試験を実施することにより、花崗質岩およびゼオライト質岩の代表的分布地域の諸要因に関する資料を収集したが、この項では収集し整理した資料を基に、前記調査対象地区比較・検討表を利用して花崗質岩およびゼオライト質岩の代表的分布地区を実際に比較・検討した。

#### a 諸要因の検討

上記の各岩種の代表的分布地域を比較するにあたり、表 2. 2-1- (2) を参照して抽出された要因を検討・評価しなければならないが、現時点では基礎データが少なく、各要因及びそれら要因のどの細目（要因を構成する要素）が重要であるか不明な点が多いため、各要因の一面をとらえて評価している場合もあると考えられるが、今後地層処分地を抽出するための基礎的調査・研究が進めば、より精度の高い比較・検討が可能になるものと思われる。

以下、諸要因を評価・検討した内容を具体的に記述する。

◦ 河川作用：水系・地形等を考察したが、現時点ではこの要因より調査対象地区を比較できなかった。

◦ 地況：基礎データ不足のため比較・評価することは不可能であった。各調査対象地区の現地調査を実施しデータを収集すれば、地況を比較要因にすることができるものと考えられる。

◦ 岩石のタイプ：同岩種を対象として比較・検討しているため、いかなる岩石のタイプが地層処分地に適しているか不明である。現在は岩石のタイプに

より分布地区を比較・評価することは不可能であった。

◦地形：地形の傾斜のゆるい地域が、地層処分地として適しているので、

$$\frac{\text{最高地点（海拔：m）} - \text{最低地点（海拔：m）}}{\text{分布地区の面積（km}^2\text{）}^*}$$

\* 昭和52年度報告書の地質図の範囲

として評価し、数値の小さいものほど処分地に適しているものとした。

◦深度分布：花崗質岩はkmのオーダーで下部に連続するものと予想されるが、深度分布は水平的分布に単純に比例するものとして評価した。ゼオライト質岩の場合は、地質断面図、地質層序表を考慮して評価した。

◦空洞：基礎データ不足のため比較・評価が不可能であった。現地調査を実施し、基礎データを収集すれば、空洞を評価することができるものと考えられる。

◦割れ目：断層を数値的に評価するための対象とし、

$$\frac{\text{分布地区の断層の総延長（km）}}{\text{分布地区の面積（km}^2\text{）}^*}$$

\* 昭和52年度報告書の地質図の範囲

とし、数値の小さいものほど処分地に適しているものとした。

◦均一性・等方性：基礎データ不足のため評価不可能であった。

◦機械的特性：岩石特性試験のうちシヨア硬度、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、剪断強度、衝撃強度、静弾性係数を機械的特性と関係ある細目として、これら試験の結果を平均（代表的分布地区の各地区により10個程度の岩石が採取され試験されている）し、要因の細目比較検討表を利用して機械的特性を評価した。（表3・1-23-(1)、表3・1-24-(1)参照）

◦熱膨張性：岩石特性試験のうち熱膨張率、熱伝導率、比熱を熱膨張性と関係ある細目として、これら試験の結果を平均し、要因の細目比較検討表を利用して、熱膨張性を評価した。（表3・1-23-(2)、3・1-24-(2)参照）

◦熱伝導性：岩石特性試験のうち熱伝導率、比熱、熱膨張率を熱伝導性の細目とし、これら試験の結果を平均し、要因の細目比較検討表を利用して熱伝導性を評価した。（表3・1-23-(3)、3・1-24-(3)参照）

◦垂直的厚さ：花崗質岩はkmオーダーで下部に連続するものと予想されるが垂直的厚さは水平的分布に単純に比例するものとして評価した。ゼオライト質岩の場合は、地質断面図、地質層序表を考慮して評価した。

◦構造発達史：花崗質岩の生成時代が古いものほど安定性が高く処分地に

適しているものと仮定し、評価した。ゼオライト岩の場合は、みな新第三紀中新世中期の地層であり、地質時代的スケールではほとんど同一地層と見なされるので、構造発達史は評価の対象としていない。

◦岩石の組織：岩石特性試験の顕微鏡検鏡により岩石の組織を把握したが、地層処分地の岩石の組織がいかにあるべきか明確化されていないので、現地点では評価することは不可能である。

◦水の移動性：岩石特性試験の有効間隙率の平均値を比較・評価した。

◦鉱物：岩石特性試験の岩石の化学分析により岩石の鉱物組成は把握しているが、地層処分地の岩石・鉱物・組成等がいかにあるべきか明確化されていないので、現時点で評価することは不可能であった。

◦吸着：岩石特性試験の吸着能測定値を表3・1-23-(4)、3・1-24-(4)、のように細分化してた。

◦土地利用：土地利用率の少ない地区が地層処分地として適しているものとし、土地利用率を

分布地域の総面積 - (田地 + 畑地 + 宅地)

分布地域の総面積 \*

\* 分布地域の総面積は関係する市町村の面積の和とした。

として評価した。

◦人口：人口密度の少ない地区が地層処分地として適しているものとし、調査対象地区と関係する市町村の平均人口密度を算出し評価の対象とした。

単位は、人/km<sup>2</sup>である。

◦アクセシビリティ：アクセシビリティの細目を東海村からの単純距離、海上輸送の便利度、道路、交通、港の有無とし、要因の細目比較検討表を利用して評価した。東海村からの単純距離以外の細目は定性的考察により比較した。

(表3・1-23-(5)、3・1-24-(5)参照)

◦気候：気候の細目を気温、降雨量、降雪量、大風とし、要因の細目比較検討表を利用して総合評価した。降雨量、降雪量は定性的な考察により比較した。

(表3・1-23-(6)、3・1-24-(6)参照)

◦資源：資源の分布が少ない地域が地層処分地として適しているが、将来いかなる資源が開発され利用されるかの検討はされていない。

◦資源分布：稼行している鉱山及び休廃止鉱山を対象として

鉱山数 (個)

分布地区の面積 (km<sup>2</sup>) \*

\* 昭和52年度報告書の地質図の範囲

を評価した。

。既存の利権：土地所有権，土地使用権，鉱業権，水利権その他の細目に分けて評価すべきと思われるが，基礎データが不足のため現時点で評価することは不可能であった。

#### (4) 提言及び問題点

表 3・1-20 の特徴は，調査対象地区を定量的に比較できることであり，重要度というファクターを使用することにより，要因の重要性を調査が進展し新しい事実がみいださるにつれ，あるいは社会情勢が変化するにつれて自由に変えることができる点である。また，各要因を検討するに当たり要因を細目に分け数值的に評価できる点も大きな特徴であり，例えば，今回は表 3・1-23- (5) のアクセシビリティという要因の海上輸送の便利度，道路，交通等の細目は定性的考察にとどめ比較しているが，これら細目をさらに細分化し，定量的評価を行えば，より精度の高い比較ができるものと考えられる。

本表は，将来抽出されるであろう複数の候補地区，精査地区の比較，検討をする場合，極めて利用価値の高いものとなろう。又，後述する 3・5 項の“岩石特性試験の評価方法の検討”においては比較順位を決める手法を多少変えたが，岩石特性試験の地区別比較，岩種別比較を実施する上で非常に有効であることが判明した。

花崗岩質の 7 地区，ゼオライト質岩の 3 地区を比較・検討しその結果をそれぞれ表 3・1-21，表 3・1-22 表に示す。総合評価順位は，本項の(2)，d，e，の説明に沿い算出することができるが使用されている重要度の評価点は計算実例を示すため概念的に決められた数値にすぎない。





表3・1-22 ゼオライト質凝灰岩の代表的分布地域の比較検討例

基本規準	調査対象地区		Z-1		Z-2		Z-3		要因の概要		要因の概要		要因の概要		要因の概要		備考	
	要因	重要度	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較	要因の概要	評価比較		
1. 深度 地層処分地の岩体は、充分な深さにならなければならない。	河川作用																	
	地況																	
	岩石のタイプ		火山凝灰岩～粗粒凝灰岩		粗粒凝灰岩 泥質凝灰岩		火山砕屑岩 砂質凝灰岩										適する岩石不明のため比較不能 最高地点-最低地点(m) 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	地形	1	3.186	2 2	9.024	3 3	2.910	1 1										
	深度分布	3	0(地表)～1,800m	1 3	0(地表)～800m	3 9	0(地表)～1,500m	2 6										最良点の深度分布
2. 垂直的広がり 地層処分地の岩体は、充分な厚さにならなければならない。	空洞																基礎データ不足のため比較不能	
	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	均一性・等方性																基礎データ不足のため比較不能	
	機械的特性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(1)参照	
	熱膨張性	1		1 1		3 3		2 2									表3・1-24-(2)参照	
	熱伝導性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(3)参照	
垂直的厚さ	3	400～1500m	1 3	780m	2 6	750m+	2 6										最良点の厚さ	
3. 水平的広がり 地層処分地の岩体は、水平的に充分な広さにならなければならない。	空洞																基礎データ不足のため比較不能	
	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	均一性・等方性																基礎データ不足のため比較不能	
	機械的等性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(1)参照	
	熱膨張性	1		1 1		3 3		2 2									表3・1-24-(2)参照	
	熱伝導性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(3)参照	
水平的広さ	3	70.0	1 3	43.5	3 9	67.6	2 6										単位:km, 分布面積	
4. 隆起・沈降 地層処分地の隆起・沈降が処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	構造発達史		中新世船川～西黒沢階		中新世船川階		中新世女川～西黒沢階										対象地層の地質時代, 比較不能	
5. 断層 地層処分地の断層が、処分場の物理的保全をおびやかしてはならない。	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	均一性・等方性																基礎データ不足のため比較不能	
6. 火山活動 地層処分地の予測される火成活動が地質的包蔵性に危険を及ぼしてはならない。	構造発達史		中新世船川～西黒沢階		中新世船川階		中新世女川～西黒沢階										対象地層の地質時代, 比較せず	
7. 水理性 地層処分地の地下水は、放射性核種を生物圏に移行させてはならない。	空洞																基礎データ不足のため比較不能	
	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	岩石組織																適する岩石組織不明のため比較不能	
8. 含水量 地層処分地の岩体の含水量は、充分小さくなくてはならない。	水の移動性	3	14.15	1 3	25.55	2 6	31.12	3 9									有効間隙率(%)の比較	
	鉱物																比較不能	
9. 放射線の作用 廃棄物から発生する放射線が処分地の岩体に作用し地質的包蔵性がそなわれない。	岩石組織																適する岩石組織不明のため比較不能	
	水の移動性	3	14.15	1 3	25.55	2 6	31.12	3 9									有効間隙率(%)の平均	
10. 廃棄物-岩体相互作用 地層処分地の岩体と廃棄物の相互作用によって地質的包蔵性がそなわれない。	機械的特性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(1)参照	
	鉱物																比較不能	
11. 機械的特性 地層処分地の岩体は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	吸着	3		3 9		2 6		1 3									表3・1-24-(4)参照	
	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	均一性・等方性																基礎データ不足のため比較不能	
	機械的特性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(1)参照	
	鉱物																比較不能	
	岩石組織																適する岩石組織不明のため比較不能	
12. 応力の状態 地層処分地の岩体の応力は、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	岩石のタイプ	1	火山凝灰岩 粗粒凝灰岩		粗粒凝灰岩 泥質凝灰岩		火山砕屑岩 砂質凝灰岩										適する岩石不明のため比較不能	
	熱膨張性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(2)参照	
13. 地震活動 地層処分地に予想される地震が、処分場の物理的保全性に危険を及ぼすものであってはならない。	割れ目	1	0.050	3 3	0.025	2 2	0.011	1 1									断層延長(km)/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	均一性・等方性																基礎データ不足のため比較不能	
	機械的特性	1		1 1		2 2		3 3									表3・1-24-(1)参照	
	構造発達史		中新世船川～西黒沢階		中新世船川階		中新世女川～西黒沢階										対象地層の地質時代, 比較せず	
14. 処分場建設 地層処分地の地質・地理・地形が、処分場の建設に適合したものでなければならぬ。	構造発達史		中新世船川～西黒沢階		中新世船川階		中新世女川～西黒沢階										対象地層の地質時代, 比較せず	
	土地利用	3	0.82	2 6	0.81	1 3	0.86	3 9									総面積-(田地+畑地+宅地) 総面積 (関係する市町村)	
	人口	3	52	1 3	167	3 9	107	2 6									単位:人/km <sup>2</sup> , 関係する市町村	
	岩石のタイプ		火山凝灰岩 粗粒凝灰岩		粗粒凝灰岩 泥質凝灰岩		火山砕屑岩 砂質凝灰岩											適する岩石不明のため比較不能
	地形	1	3.18	2 2	9.02	3 3	2.91	1 1									最高地点-最低地点(m) 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	アクセスビリティ	2		2 4		2 4		1 2									表3・1-24-(5)参照	
15. 鉱物資源 地層処分地は、鉱物資源の開発の可能性のある地域をできるだけ避けなければならない。	気候	2		2 4		3 6		1 2									表3・1-24-(6)参照	
	資源																現時点で比較不能	
16. 水資源 地層処分地は、水資源の開発の可能性のある地域を避けなければならない。	資源分布	1	0	1 1	0.0082	3 2	0.0054	2 3									鉱山数/ 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	既存の利権																基礎データ不足のため比較不能	
	土地利用	3	0.82	2 6	0.81	1 3	0.86	3 9									総面積-(田地+畑地+宅地) 総面積 (関係する市町村)	
	人口	3	52	1 3	167	3 9	107	2 6									単位:人/km <sup>2</sup> , 関係する市町村	
	岩石のタイプ		火山凝灰岩 粗粒凝灰岩		粗粒凝灰岩 泥質凝灰岩		火山砕屑岩 砂質凝灰岩											適する岩石不明のため比較不能
17. 土地利用 地層処分地は、土地利用に関する紛争の少ない地域でなければならない。	地形	1	3.18	2 2	9.02	3 3	2.91	1 1									最高地点-最低地点(m) 調査対象地区の面積(km <sup>2</sup> )	
	既存の利権																基礎データ不足のため比較不能	
18. パブリック・アクセプタンス 地層処分地は、社会的・政治的に受け入れられやすい地域にならなければならない。	土地利用	3	0.82	2 6	0.81	1 3	0.86	3 9									総面積-(田地+畑地+宅地) 総面積 (関係する市町村)	
	人口	3	52	1 3	167	3 9	107	2 6									単位:人/km <sup>2</sup> , 関係する市町村	
総合評価順位	順位計	評価順位																

表 3・1-23- (1)

要因：機械的特性の細目比較検討表

細目	調査対象地区		G - 1			G - 2			G - 3			G - 4			G - 5			G - 6			G - 7			備考							
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価									
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重											
シ ョ ア 硬 度	1		63.8	7	7	79.0	5	5	86.3	1	1	75.2	6	6	82.0	3	3	82.4	2	2	81.9	4	4	岩 石特性試験の平均値							
一 軸 圧 縮 強 度	1		581.6	7	7	1,046.5	3	3	1,100.7	2	2	793.8	6	6	843.8	5	5	845.8	4	4	1,189.8	1	1	室温+高温の平均 単位：kg/cm <sup>2</sup>							
圧 裂 引 張 強 度	1		31.6	6	6	52.3	2	2	47.8	4	4	27.1	7	7	36.9	5	5	50.8	3	3	57.5	1	1	" "							
剪 断 強 度	1		85.3	6	6	148.7	3	3	179.8	1	1	83.1	7	7	103.1	5	5	143.9	4	4	156.0	2	2	岩石特性試験の平均値 単位：kg/cm <sup>2</sup>							
衝 撃 強 度	1		6.0	7	7	10.7	4	4	10.9	3	3	7.0	6	6	8.0	5	5	12.7	1	1	11.8	2	2	" 単位：cm							
静 弾 性 係 数	1		2.865	6	6	6.606	1	1	5.396	2	2	2.612	7	7	3.752	5	5	4.422	3	3	3.837	4	4	" 単位：kg/cm <sup>2</sup> ×10 <sup>-6</sup>							
総合評価順位	順位計	評価計 順位	6	14	39	39	4	8	18	18	1	2	13	13	6	12	39	39	5	10	28	28	3	6	17	17	2	4	14	14	
					7	7			4	4			1	1			6	6			5	5			3	3			2	2	

表 3・1-23- (2)

要因：熱膨張性の細目比較検討表

細目	調査対象地区	要因の概要 重要度	評価	G - 1		G - 2		G - 3		G - 4		G - 5		G - 6		G - 7		備考													
				要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価														
					比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較		加重												
熱膨張率		3		26.47	7	7	22.55	5	5	20.81	4	12	24.38	6	18	20.69	3	9	20.15	1	3	20.16	2	6	岩石特性試験の平均値 単位： $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$						
熱伝導率		1		5.04	6	6	5.10	5	5	6.26	1	1	5.98	2	2	5.78	3	3	5.65	4	4	4.79	7	7	" 単位： $\times 10^{-3}\text{cal}/\text{cm sec }^{\circ}\text{C}$						
比熱		1		0.194	4	4	0.193	5	5	0.201	1	1	0.199	3	3	0.200	2	2	0.189	6	6	0.186	7	7	" 単位： $\text{cal}/\text{g }^{\circ}\text{C}$						
総合評価順位	順位計	順位		7	14	17	31	6	11	15	25	1	3	6	14	4	8	11	23	2	4	8	14	2	4	11	13	5	10	16	20
						7	7			5	6			1	2			3	5			2	2			3	1			6	4

表 3・1-23- (3)

要因：熱伝導性の細目比較検討表

調査対象地区 要因の概要 重要度 評価	G - 1			G - 2			G - 3			G - 4			G - 5			G - 6			G - 7			備考							
	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価									
		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重								
熱伝導率	3	5.10	6	18	5.10	5	5	6.26	1	3	5.98	2	6	5.78	3	9	5.65	4	12	4.79	7	21	岩石特性試験の平均値 単位： $\times 10^3 \text{cal/cm} \cdot \text{sec}^\circ \text{c}$						
比熱	1	0.19	4	4	0.193	5	5	0.201	1	1	0.199	3	3	0.200	2	2	0.189	6	6	0.186	7	7	" 単位： $\text{cal/g} \cdot \text{c}$						
熱膨張率	1	26.47	7	7	22.55	5	5	20.81	4	4	24.38	6	6	20.69	3	3	20.15	1	1	20.16	2	2	" 単位： $\times 10^6 / \text{c}$						
総合評価順位	順位計	6	13	17	29	5	10	15	25	1	2	6	8	3	6	11	15	2	4	8	14	4	7	11	19	6	13	16	30
	順位			7	6			5	5			1	1			3	3			2	2			3	4			6	7

表 3・1-23- (4) 要因： 吸 着 の細目比較検討表

細 目	調査対象地区 要因の概要 重要度 評価	G - 1			G - 2			G - 3			G - 4			G - 5			G - 6			G - 7			備 考						
		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価		要因の概要	評 価								
			比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重							
Ph 4 のCs の吸着能率	1	59.7	5	5	57.2	7	7	63.4	4	4	70.0	1	1	66.3	3	3	59.4	6	6	67.5	2	2	35~100メッシュ, 100メッシュ以上の測定値の総平均単位 (%)						
Ph 6 "	1	62.7	4	4	60.1	6	6	61.7	5	5	70.1	1	1	64.3	3	3	55.8	7	7	64.1	2	2	"						
Ph 8 "	1	63.7	5	5	61.8	6	6	63.9	4	4	72.1	1	1	66.3	2	2	57.4	7	7	64.9	3	3	"						
Ph 4 のSr の吸着能率	1	38.4	7	7	45.2	6	6	51.5	3	3	50.0	4	4	54.1	1	1	51.6	2	2	47.3	5	5	"						
Ph 6 "	1	49.9	6	6	56.6	2	2	58.2	1	1	54.4	4	4	56.5	3	3	53.7	5	5	43.5	7	7	"						
Ph 8 "	1	47.5	6	6	57.8	2	2	58.6	1	1	55.3	4	4	57.6	3	3	54.4	5	5	44.5	7	7	"						
総合評価順位	順位計	7	14	33	33	5	10	29	29	3	6	18	18	1	2	15	15	1	2	15	15	6	12	32	32	4	8	26	26
	順位計			7	7			5	5			3	3			1	1			1	1	6	6			4	4		

表 3・1-23-(5)

要因：アクセシビリティの細目比較検討表

細目	調査対象地区 要因の概要 重要度	評価	G - 1		G - 2		G - 3		G - 4		G - 5		G - 6		G - 7		備考														
			要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価															
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較		加重													
東海村からの単純距離		2	800	5	10	650	4	8	440	3	6	150	1	2	150	1	2	750	6	12	1150	7	14	単位：km							
海上輸送の便利度		3	海岸より80 <sup>km</sup>	7	21	孤島	1	3	海岸に近い	5	15	海岸より50 <sup>km</sup>	4	12	海岸に近い	3	9	海岸より50 <sup>km</sup>	6	18	孤島	2	6	定性的考察							
道路・交通		1		5	5		6	6		4	4		2	2		1	1		3	3		7	7	定性的考察							
港の有無		2	釧路港・苫小牧港等有るが現地まで100 km以上	7	14	稲穂港・奥尻港等現地の近くに港がある	2	4	久慈港・宮古港等有るが現地まで20~30km	6	12	小名浜港・相馬港等有るが現地50~60km	5	10	小名浜港・相馬港等有るが現地まで20~30km	3	6	松江港・その他小港あるが現地まで20~30km	4	8	手打港・長浜港等現地の近くに港がある	1	2	定性的考察							
総合評価順位	順位計	順位	7	14	24	50	2	5	13	21	5	10	18	37	2	5	12	26	1	2	8	18	6	12	19	41	4	8	17	29	
					7	7			3	2			5	5			2	3			1	1			6	6			4	4	

表3・1-23-(6)

要因：気候の細目比較検討表

細目	調査対象地区		G - 1			G - 2			G - 3			G - 4			G - 5			G - 6			G - 7			備考						
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価								
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重										
気温		1	4.6	7	7	10.7	6	6	11.9	5	5	12.3	3	3	12.3	3	3	13.6	2	2	16.2	1	1	年間平均気温 ℃ (関係市町村の平均)						
降雨量		2	1226	2	4	1,355	5	10	1,170	1	2	1242	3	6	1242	3	6	2043	6	12	2052	7	14	年間降雨量 mm/year (＃)						
降雪量		1		7	7		6	6		5	5		3	3		3	3		2	2		1	1	降雪量の充分なる資料がない ので定性的比較						
大風(その他)		1		1	1		2	2		3	3		4	4		5	5		6	6		7	7	定性的考察						
総合評価順位	順位計	評価計	5	10	17	19	7	14	19	24	2	4	14	15	1	3	13	16	2	4	13	17	4	9	16	22	6	10	16	23
	順位	順位			6	4			7	7			3	1			1	2			1	3			4	5	6	4	6	

表 3・1 -24-(1)

要因：機械的的特性の細目比較検討表

細目	調査対象地区		Z - 1			Z - 2			Z - 3												備考		
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要			評価	
			比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重					
ショア硬度		1	36.4	1	1	34.5	2	2	21.2	3	3											岩石特性試験の平均値	
一軸圧縮強度		1	791.4	1	1	649.6	2	2	212.8	3	3											室温 + 高温の平均値 単位：kg / cm <sup>2</sup>	
圧裂引張強度		1	59.9	1	1	28.9	2	2	26.5	3	3											” ”	
剪断強度		1	98.5	1	1	54.7	2	2	42.3	3	3											岩石特性試験の平均値 単位kg / cm <sup>2</sup>	
衝撃強度		1	8.7	1	1	5.4	2	2	3.9	3	3											” 単位：cm	
静弾性係数		1	1.020	1	1	0.424	3	3	0.756	2	2											”	
総合評価順位	順位計	評価計	1	2	6	6	2	4	13	13	3	6	17	17									
	順位	順位			1	1			2	2			3	3									



細目	調査対象地区		Z - 1			Z - 2			Z - 3									備考
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重	
熱膨張率		3	14.10	2	6	16.00	3	9	6.27	1	3							岩性特性試験の平均値 単位： $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
熱伝導率		1	3.79	1	1	3.39	2	2	2.36	3	3							単位： $\times 10^{-6} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$
比熱		1	0.2123	1	1	0.2115	2	2	0.207	3	3							単位： $\text{cal} / \text{g} \cdot ^\circ\text{C}$
総合評価順位	順位計	順位	1	2	4	8	3	5	7	13	2	4	7	9				
					1	1			2	3			2	2				

表 3・1-24-(3)

要因：熱伝導性の細目比較検討表

細目	調査対象地区 要因の概要 重要度	評価	Z - 1			Z - 2			Z - 3									備考	
			要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価			
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		
熱伝導率		3	3.79	1	3	3.39	2	6	2.36	3	9							岩石特性試験の平均値 単位： $\times 10^{-6} / \text{cm} \cdot \text{sec} \cdot \text{°C}$	
比熱		1	0.2123	1	1	0.2115	2	2	0.207	3	3							単位： $\text{cal} / \text{g} \cdot \text{°C}$	
熱膨張率		1	14.10	2	2	16.00	3	3	6.27	1	1							単位： $\times 10^{-6} / \text{°C}$	
総合評価順位	順位計	評価計	1	2	4	6	2	4	7	11	3	5	7	13					
	順位	順位			1	1			2	2			2	3					

表 3・1-24-(4)

要因：吸着の細目比較検討表

細目	調査対象地区		Z - 1			Z - 2			Z - 3												備考	
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価			
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		
P <sup>H</sup> 4 の Cs の吸着能率		1	91.3	2	2	90.0	3	3	100	1	1										35～100メッシュ以上の測定値の総平均	
P <sup>H</sup> 6 "		1	90.5	3	3	91.4	2	2	100	1	1										"	
P <sup>H</sup> 8 "		1	90.6	3	3	96.0	2	2	100	1	1										"	
P <sup>H</sup> 4 の Sr の吸着能率		1	48.5	3	3	76.4	2	2	93.6	1	1										"	
P <sup>H</sup> 6 "		1	50.1	3	3	85.0	2	2	94.4	1	1										"	
P <sup>H</sup> 8 "		1	64.3	3	3	100.0	1	1	100	1	1										"	
総合評価順位	順位計	評価計	3	6	17	17	2	4	12	12	1	2	6	6								
	順位	順位			3	3			2	2			1	1								

表 3・1-24-(5)

要因：アクセシビリティの細目比較検討表

細目	調査対象地区 要因の概要 重要度	評価	Z - 1				Z - 2				Z - 3												備考
			要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要		評価		要因の概要		評価		
			比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重	比較	加重			
東海村からの単純距離		2	450	2	4	170	1	2	770	3	6											単位：km	
海上輸送の便利度		3	東北背染山脈の西端部に位置する	2	6	東北背染山脈中央に位置する	2	6	海岸より5km内外	1	3											定性的考察	
道路・交通		1	近くに港は無い	2	2	近くに港は無い	3	3	大田市の近くに小港ある	1	1											"	
港の有無		2		2	4		2	4		1	2											"	
総合評価順位	順位計	評価計	3	5	8	16	2	4	8	15	1	2	6	12									
	順位				2	3			2	2			1	1									

表 3・1-24-(6)

要因：気候の細目比較検討表

細目	調査対象地区		Z-1			Z-2			Z-3												備考	
	要因の概要 重要度	評価	要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価		要因の概要	評価			
				比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		比較	加重		
気温		1	10.5	2	2	10.4	3	3	15.2	1	1										年間平均気温 単位：℃	
降雨量		2	1,696	3	6	1,289	2	4	1,035	1	2										年間降雨量 mm/year	
降雪量		1		2	2		3	3		1	1										十分な資料がないので定性的 に考察した	
大風		1		1	1		2	2		3	3										定性的考察	
総合評価順位	順位計	評価計 順位	2	4	8	11	3	6	10	12	1	2	6	7								
					2	2			3	3			1	1								

## 3.2 現地概査

### 3.2.1 目的

我国の花崗岩類，ゼオライト質岩の代表的分布地域であり，昭和52年度文献調査及び岩石特性試験を実施した地域，即ち花崗岩類7地区（G-1～G-7），ゼオライト質岩3地区（Z-1～Z-3）より地質的解析が進んでいるG-3，Z-1地区を現地概査の対象とし，既存のデータをチェックすると共に社会的要因，自然的要因の現地概査を實踐し，調査対象地区より候補地区を抽出する技術の確立に資することを目的とする。

### 3.2.2 概査地区

概査地区として前記の如く下記2地区を概査対象地区とした。

花崗岩類：G-3地区北部

ゼオライト質岩：Z-1

以下夫々について列記する。

#### (1) 花崗岩類：G-3地区北部

##### a. 地質概査結果の概要

本年度の地質概査はG-3地区北部の花崗岩類の分布状態及び岩相の把握に努めた。

この結果岩泉町から田野畑村一円にかけて分布している花崗岩類は田野畑岩体と称され，その岩相により浅所貫入相を示す太田名部岩体，深所貫入相を示す川口型，茂市型，菘生型，乙茂型に分類され又，宮古市西方～北西に分布する花崗岩類は宮古岩体と称され，この岩体もその岩相から有芸型，田代型，未前型に分類される事が判明した。

本項では現地調査及び文献調査の資料に基き当地区の地質状況及び花崗岩類について取りまとめた。

##### i 位置・交通

G-3地区北部は岩手県東岸沿いの北上山地の東縁に位置し海岸線は陸中海岸国立公園に指定されている。

交通は盛岡より国鉄山田線，岩泉線を経て概査地区中央部岩泉町に至る。又国鉄八戸線にて八戸から普代村に至り，そこから自動車にて現地に入る事が出来る。又，海岸沿いを北より普代村，田野畑村，田老町，宮古市等を通る国道45号線，国鉄山田線沿いに国道106号線がある。道路網は国道106，45号線を除き一般に狭い。地質概査範囲は普代村下安家より宮古市附近，岩泉町附近より海岸線までの南北約45km東西約20kmである。（図3.2-1参照）

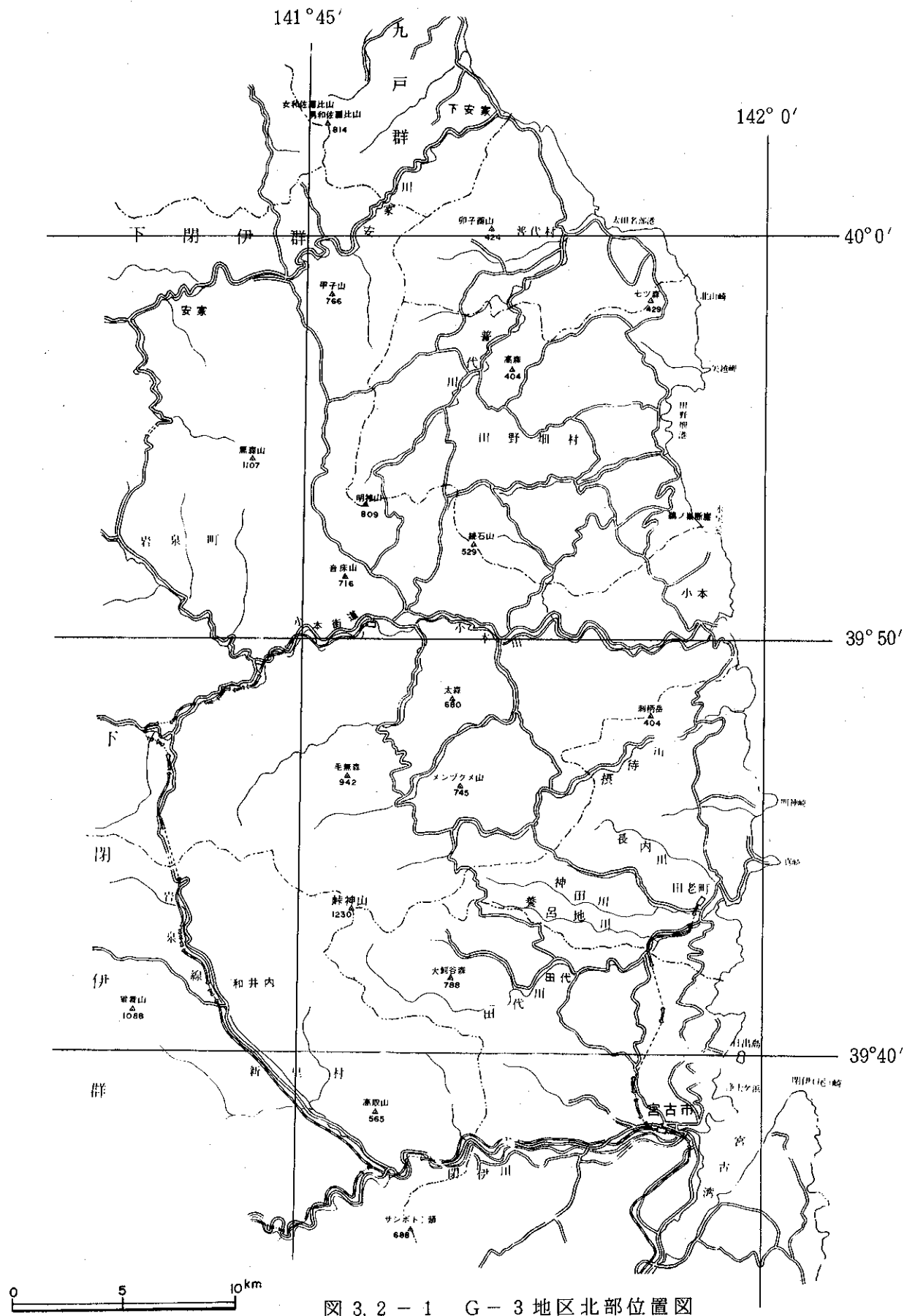


図 3.2 - 1 G - 3 地区北部位置図

## ii 地 形

概査地区の地形は大きく3つに区分される。1つは東側の海岸段丘発達地帯で海岸線より1～3kmの幅で平坦な段丘面を形成している。その2は花崗岩分布地域で概査地区の大半を占め起伏のゆるやかな高原状を呈する。その外側の地域は古生代および中世代の堆積岩類の分布する地域で急峻な地形を形成している。

地区内の最高峰は花崗岩からなる峠ノ神山(1230m)で地区全体では1,000mを越す山嶺は少ない。水系の大部分は山地より東流し直接太平洋にそそぐ。河川の主なものは安家川、普代川、小本川、摂待川、田老川、閉伊川で河口附近及び流域にわずかに沖積平野をつくっている。

概査地区の沿岸部は陸中海岸国立公園に属し200m前後の海蝕崖は数多くの景勝美を形成し、北山崎、鶉ノ巣断崖、真崎等の名勝地が知られている。又海岸までのびたV字谷は極めて険わしく集落間の交通阻害要因となっている。

## iii 気 候

当地区の気象は海洋の影響を受けて気温の変化が著しく感じられるが、概して温和で晴天の日が多く7、8月は最高温度を示す。冬は西風が吹き、著るしい乾燥状態となるが積雪はあまりなく、冬の気温は内陸部と比べて温暖な日が続く。年間の降雨量は約1,300mm/m、平均気温は13°～15℃である。

## iv 一般地質

この地域の地質は、古生層・中生層・花崗岩類など火成岩・第四紀層からなる。

古生層と宮古層群(白堊紀アプト～アルプ期)以前の中生層とからなる地域は、北部北上山地古・中生層に支配的な帯状構造を示す。北部北上山地の帯状構造は図3.2-2に示される。すなわち、北上山地南部古生層と北部古生層の境界となっている早池峰構造帯から北東方に向かって、北部北上帯・岩泉帯・田老帯に区分される。これら3帯は、葛巻構造線および田老構造線によって分けられる。

この地域の北部北上帯を構成する地層は、二畳紀中期を中心とする地向斜堆積物からなる豊間根層である。岩泉帯を構成する地層は、後期ジュラ紀といわれる化石を産する、おそらく中生代初～中期を中心とする地向斜堆積物からなる岩泉層である。また田老帯は領石型植物化石を産する小本層を含む白堊紀初期の陸中層群(原地山層)からなっている。

豊間根層・岩泉層はともに、粘板岩・チャート・砂岩・シャルスタイン(火山岩および火山砕屑岩)・石灰岩からなる。推定の厚さ7,000mから10,000mに近い地向斜堆積物である。この地域の範囲では、豊間根層にはシ



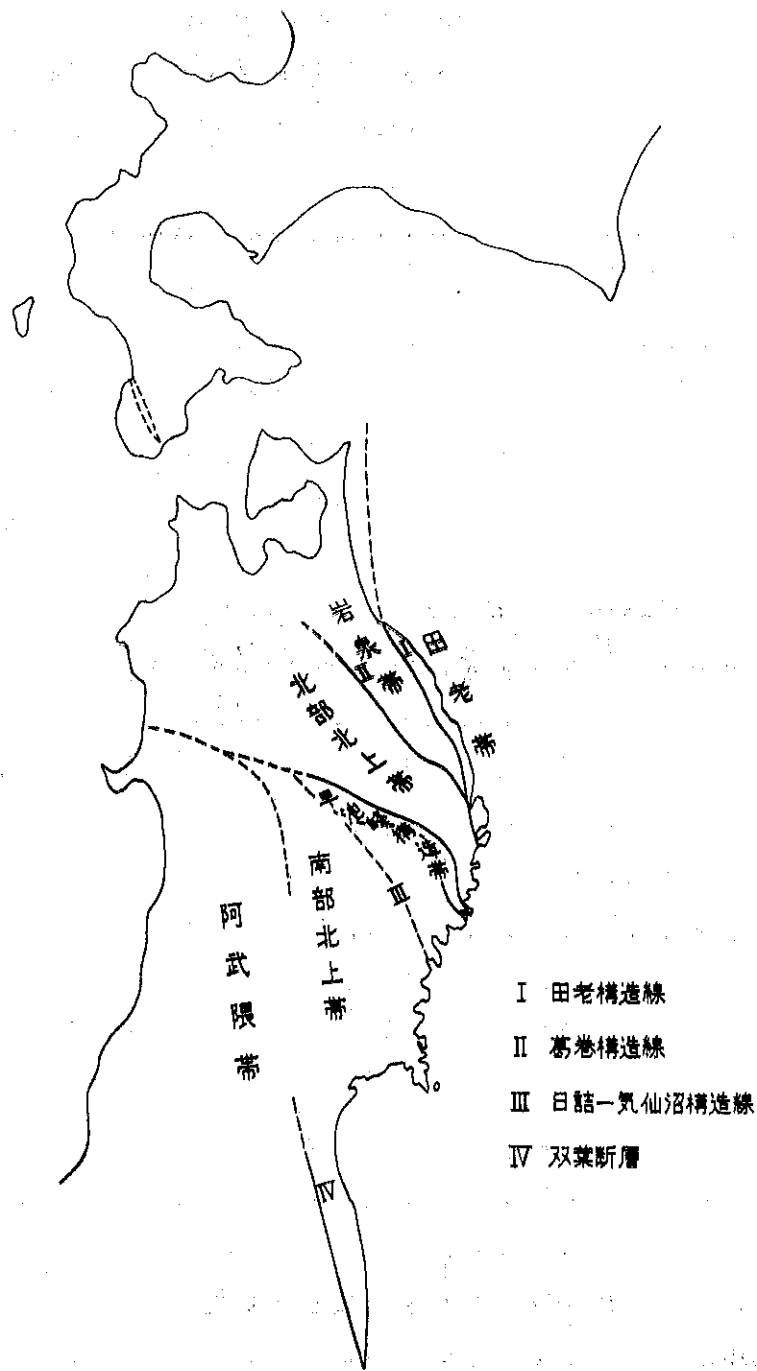


図3.2-2 東北日本構造区分図

チャールスタインが非常に少ない。岩泉層は、この地域の北方にみられる巨大な石灰岩体を含み、火山岩類、礫岩も比較的多く、構成岩相に変化が多い。

田老帯を構成する陸中層群（原地山層）は、日本では珍しい多量のケラトファイア（石英安山岩）と安山岩の火山噴出物と、チャート・粘板岩・砂岩とから構成される地向斜堆積物である。その厚さは1,000 mを超える。

これら帯状構造をつくり、急傾斜で傾動し、褶曲運動をうけた古・中生層（先白堊紀アプト世）を、傾斜不整合で覆って、非常に緩い傾斜で宮古層群

(白堊紀アプト～アルプ期)が分布する。

花崗岩類は田老帯にほぼ限って分布する田老型花崗岩と、それ以外のいわゆる宮古型花崗岩、田野畑花崗岩類、に大別される。

(概査地域の地質図、平面図を巻末の図3.2-3-(1)～(3)、同断面図を図3.2-4-(1)に示す)。

#### ① 古生界—豊間根層

古生層は北上山地北部型古生層に属するもので、チャート相で特徴づけられる、化石の乏しい地向斜堆積物である。その地質時代はいままで産出した少数の化石によれば、二疊紀に属する。

この地域の古生層は、地域南西部に分布し、花崗岩に貫かれ、ルーフペンダントをわくわくしている。北部北上帯のなかの豊間根垂帯に属し、この帯状構造区に属する古生層を豊間根層と呼ぶ。

豊間根層はこの地域の南方、山田町豊間根付近からこの地域まで連続分布する。粘板岩を主体とし、チャートを伴い、厚さ数10 m以下の砂岩およびシャルスタイン(火山岩および火山碎屑岩)を挟む地層である。全体として、富古花崗岩による熱変成を受けている。

チャートは白色・灰色を呈している。塊状あるいは板状を呈し、板状のものはしばしば微褶曲を行なっている。

粘板岩は黒色で、板状を呈する。ところどころに、0.5 cm以下の縞状に砂質あるいは珪質の部分を含み込むことがある。また、チャートあるいは石英質砂岩の角礫および引きちぎられたような不定形岩片が粘板岩中に含まれる部分がある。これは豊間根層全体の特徴となっている。この成因として、一次的に堆積したチャートあるいは石英質砂岩が、水中移動を行ない再堆積したものと考えられる。

砂岩は一般に薄く、30 m以下である。砂岩は熱変成作用で、色・粒度など変化しているが、だいたい中粒以下、塊状である。

シャルスタインは、深緑色で、おそらく熔岩起源であろうと云われている。

#### ② 中世界ジュラ系～古生界(?) — 岩泉層

岩泉層は、粘板岩・チャート・石灰岩・砂岩・シャルスタイン(火山岩および火山碎屑岩)のほか、北上山地北部では岩泉帯に特有な石灰岩礫岩を含んでいる。この礫岩はこの地域内では分布していないが、この礫岩を含み込むグレイワッケ質砂岩のかなり厚い層の分布がみられる。この地域の岩泉層は全体として花崗岩の変成作用を受けている。

粘板岩は黒色ないし暗灰色で、多くは板状を呈し、一部塊状のものがあ

る。部分的に炭質物を含む部分があり、このような部分で破砕作用などをうけたところは、石墨質の粉状を呈する。これは豊間根層にはほとんどみられない粘板岩の性質である。粘板岩はときに珪質となり、緑白～灰白の縞状を呈することもある。また、砂岩の1 cm以下の薄いはさみをもつ部分が、まれにあり、級化層理をつくる。葛巻構造線などの断層の近くでは、千枚岩質となり、破砕されている部分があるが、この地域内では著しくない。

チャートは、灰白色または暗灰色を呈する。暗灰色を呈するものは泥質で、珪質粘板岩といったほうがよいものもある。チャートは塊状または板状で、板状チャートはときに微褶曲を行なっている。板状層の厚さは最大20 cm、普通2～3 cmである。部分的に石灰質チャートもあり、また、石灰岩の10～20 cmの厚さの薄層と板状互層をつくることもある。また泥質の葉理（ラミナ）を挟むこともある。

砂岩は暗灰色～灰色で、中粒ないし細粒であるが、調査地域の北西部の厚い分布を示す砂岩は、粗粒で、地域外北方岩泉西方では、礫岩を挟み、礫質砂岩も多い。この砂岩層はとくに泥質微少片を含み、グレイワッケ質である。一般的に塊状のものが多く、わずかに級化層理を示す部分がある。

シャルスタイン（火山岩および火山砕屑岩）は、この地域では10～50 mと比較的薄いものが多く、緑色～深緑色を呈する。

岩泉帯の石灰岩として、久慈付近から岩泉町に連なる巨大な石灰岩がみられ末端部においては、層厚も薄く、尖滅する。

岩泉層の構造は、豊間根層とまったく同様で、N 20～50°Wの走向で西に60～70°で傾き、あるいは直立する地質構造をもっている。

### ③ 中生界白亜系 — 陸中層群（原地山層）

本層は地域の東部に分布し、田老、胡桃畑などの花崗岩体に貫かれている。本層全体は酸性ないし中性の火山岩を含み、いわゆるケラトフィア系の火成作用をもつ石英安山岩、安山岩の火山噴出物とチャート、粘板岩、砂岩等から構成される地向斜堆積物である。

堆積岩類のうち泥岩は黒色又は灰色～淡緑色で一見チャートに似た外観を示すものもある。灰色～淡緑色のものは凝灰質である。砂岩の大部分は石英質である。又、縞状をなす砂岩は石英と斜長石を含み凝灰質である。

火成岩類のうち安山岩質岩石は熔岩、火山角礫岩、および凝灰角礫岩である。又、酸性火山岩類（流紋岩～石英安山岩）は、一般に緻密な斑状岩で一部では板状を呈し、著しい層内褶曲を示す部分もある。この酸性火山岩類は細粒凝灰岩～火山礫凝灰岩、及び凝灰角礫岩の岩相を示す部分も散

見される。これらの酸性火山岩類は変質のため原岩の性質が不明な場合が多く、成分的にはほぼ石英安山岩に近いがNaに富み、ケラトフェイヤーと考えられている。

#### ④ 中生界 — 白亜紀 — 宮古層群

宮古層群は地域沿岸に点々とわずかな面積で露出する。本層は褶曲した下部白亜紀陸中層群やこれらを貫く花崗岩類を不整合に覆い東方太平洋側へ緩く傾斜している。

岩相は主に外洋性の沿岸～浅海性の地層で石灰質砂岩、貝殻質砂岩、礫岩に富み化石を豊富に含み点々と露出する。宮古層群は地区毎にかなり岩相を異にするが互いに関連性が深く元来一連のものであったとみなされている。

#### ⑤ 第四紀

第四紀は洪積世堆積物、沖積世堆積物から構成されている。

洪積世堆積物は、概査地域の東側に分布し、野田村・根井、普代村・鳥居和野山～黒崎～北山、田野畑村・西和野～浜岩泉一帯、岩泉町・小本～小成、田老町・小成～古田にかけて分布する。

この附近は地形の項で記した如く海岸から1～3kmの巾でみられる平坦部であり、洪積世沿岸性堆積層が海岸段丘の形成にあたって侵食された地層である。この段丘堆積物は礫層で占められ、礫はよく円磨され淘汰もよい。礫の構成はチャート、粘板岩、花崗岩、石英安山岩～安山岩であり、膠結物は粗～中粒の砂であり、この礫層の上に腐植土がのっている。

沖積層は各河川の沿岸に分布し礫、砂、粘土から構成されているが、地域全体では山地が海岸にせまり、沖積層の発達はよくない。

#### ⑥ 花崗岩類

花崗岩類は概査地域の大部分を占めて分布している。花崗岩類は大きく北より田野畑岩体、宮古岩体、田老岩体の3つのグループに大別される。

調査は花崗岩の岩相、色指数、有色鉱物中の磁性、節理についての概略を道路等に露出しているものについて調査を実施した。田野畑岩体、宮古岩体は更に数個のタイプに分類されることが知られているが、この分類は文献の分類に従った。

色指数は一部の岩体について明らかな差があることが判明したが、観察露頭が粗い間隔のため岩体全域について論ずるまでには至っていない。又、有色鉱物中の磁性の有無については一般に川口型を除いて強弱の差はあるが、磁性が認められる。節理については測定可能なもの、節理としてのとらえ方が困難なものがみられ、今年度の概査ではこれらを統計的に処理す

るまでには至っていない。

以上、田野畑岩体、宮古岩体についてその概略を記す。

1) 田野畑岩体:

田野畑岩体は北部北上山地に位置し、北上山地の白亜紀花崗岩体の中では規模の大きい方である。田野畑岩体は当地区では更にその岩相により深所貫入相を示す川口型、茂市型、萩生型、乙茂型及び浅所貫入相を示す太田部岩体に分類される。太田部岩体はその産状及び岩相から田野畑岩体とするか否か二通りの考え方があるが、ここでは太田部岩体を含めた田野畑岩体、除いた場合には岩泉岩体とする加藤（1972）に従った。（図 3.2 - 5）

以下各タイプについて列記する

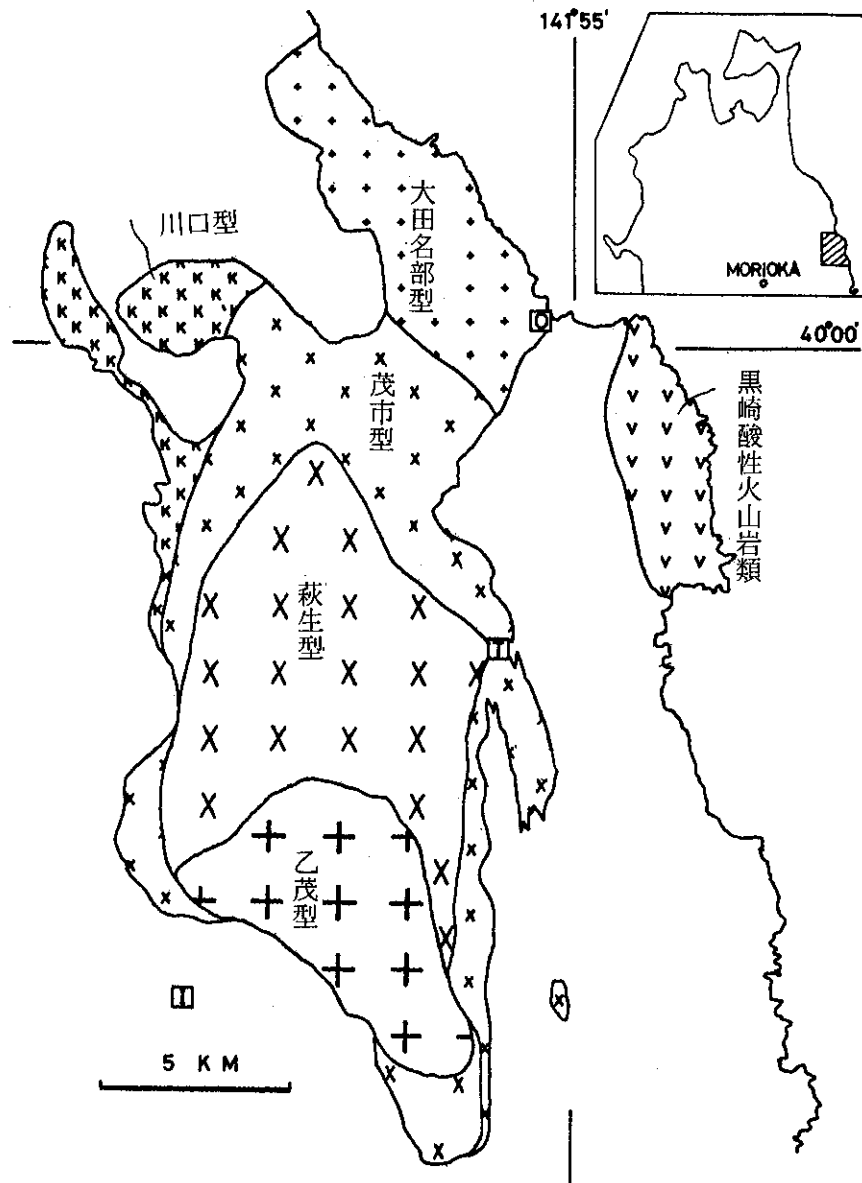


図 3.2 - 5 田野畑岩体の分類

川口型：（黒雲母普通角閃石石英閃緑岩）

岩泉町川口から茂井にかけて分布し田野畑岩体の北西部周辺に分布する。片理の発達した中粒・優黒質の岩石で弱いプロトクラスチック組織が認められる。片理の方向は分布の伸びの方向とほぼ平行であるが部分的に多少乱れる。

平均的色指数（肉眼観察）： 35%

代表的節理： N—S系：E落60～80

磁性： なし

茂市型：（普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩）

普代村茂市附近にかけて分布し岩体の北部に位置し後述する萩生型をかかえるように分布する。中粒・灰色～灰白色の岩石で、多くは塊状であり、周辺部で境界線にはほぼ平行な片理が認められることが多い。川口型にある片理とプロトクラスチック組織が茂市型には無いことから判断して川口型に片理やプロトクラスチック組織を生じせしめた応力が消滅した後、茂市型が貫入したと考えられている。本岩には肉眼的にアメ色のくさび石が認められる。

平均的色指数（肉眼観察）： 15～20%（平均18%）

代表的節理： NE系⇄NW系

磁性： あり

萩生型：（普通角閃石黒雲母花崗閃緑岩）

田野畑村萩生～沼袋～鉄山にかけて分布し、岩体中央部を形成し田野畑岩体の中で比較的規模の大きい岩体で塊状・粗粒・優白質の岩石である。割沢東方400で萩生型が茂市型に貫入しているのが認められているが確認していない。又、他の場所では漸移している。このことは茂市型の後に萩生型が貫入したが、その時間差は僅かであったことを示している。本岩も茂市型同様肉眼的にアメ色のくさび石が認められる。

平均的色指数（肉眼観察）： 10～15%

代表的節理： NE⇄NW系≫NS系

磁性： あり

乙茂型：（黒雲母花崗閃緑岩）

岩泉町中心部東方乙茂附近を南限として前記萩生型の南部に位置する。塊状・粗粒・優白質の岩石で、黒雲母が六角柱状を呈する特徴的な岩石として有名である。本岩型には基性包有物が稀有である。本岩型と既述の茂市、萩生両岩型には肉眼的にアメ色のくさび石が目立つ。

萩生型と乙茂型の境界には両岩型の間間的な岩相が存在するとされ

ている。このことは萩生型と乙茂型の貫入の時間差が小さく一部重複していたことを意味する。小本川支流の宮沢で乙茂型の中に茂市型が捕獲されているのが観察されると記載があるが確認していない。このことは、茂市型と乙茂型の貫入に一定の時間差があったことを示す。一方、既述のように、茂市型と萩生型の時間差は僅かであった。従って、乙茂型は萩生型の後に貫入した、と結論される。これは乙茂型が萩生型に取囲まれている分布とも調和的である。

乙茂型には黒雲母が異常に濃集した部分が知られている。これらは、いずれも乙茂型の周辺部で観察された。それらは、乙茂部落南 400 m の猿沢川沿い、荷内川北 700 m 宮沢沿い及び牛畑北 1.5 km である。規模は最初のものが最も大きく、厚さ最大 1 m 余で、大部分黒雲母で、角閃石、不透明鉱物も含まれている。周辺部では、黒雲母の量の差による rhythmic layering がみられ、集積作用の結果黒雲母が濃集したことを示している。

平均的色指数（肉眼観察）： 5～10%  
代表的節理： NNW～NE 系  
磁性： あり

太田名部岩体：（普通角閃石黒雲母アダメロ岩）

普代村太田名部から下安家にかけて分布し田野畑岩体北東部に分布する。太田名部岩体は前記した川口型～乙茂型とは産状及び岩相の違いから下記する理由により区別されている。即ち太田名部岩体は火山岩を伴う浅所貫入型の花崗岩体の特徴として、①肉眼的には中～細粒で、カリ長石が紅くなることが多い。②黒雲母は  $TiO_2$  に富み、 $Al_2O_3$  ( $Al^{VI}$ ) が乏しい。③普通角閃石の  $Al_2O_3$  ( $Al^{VI}$ ) が乏しいとしている（加藤（1974）、蟹沢（1974））。更に岩体の南東部に原地山層の続きである黒崎火山岩類（酸性）を伴っているなどの理由によるものである。

太田名部岩体は、灰色・中～細粒の岩石で、岩相変化に富み、少量のモンゾニ岩を伴う。プロトクラスチック組織を示すことがある。カリ長石が紅色を呈することが多い。西側の茂市型と直接接する露頭はみられず、前後関係は不明である。下安家にはやゝ規模の大きなアプライトがある。このアプライト及び滝ノ沢型の南の部分には斜長石の割れ目に沿って赤鉄鉱様鉱物が存在し、そのため斜長石が肉眼的に紅くみえる場合がある。

以上をまとめると岩泉岩体の主体は川口型—滝ノ沢型（地区外）—茂市型—萩生型—乙茂の順に形成され、このうち萩生—乙茂の時間差は他の

それよりも短かく活動の中心は順次南下していった。

## 2) 宮古岩体

宮古岩体は宮古市を模式地とし1/4万田老図幅内で花崗岩類全体の1/3の露出面積を占めて分布し、前記田野畑岩体の南部に位置している。

宮古岩体は比較的均質な岩体であるが岩相により有芸型、田代型、未前型に分類され(図3.2-6)、タイプの相互関係は漸移的である。

以下各タイプについて記す。

有芸型：(中粒花崗閃緑岩)

岩泉町有芸地区に分布し岩体の北西部に位置する岩体で中粒、斜長石・石英・角閃石・黒雲母が主成分鉱物でカリ長石は正長石で少量か全然含まない。

斜長石は自形～半自形、1.5～2.5 mmの結晶である。角閃石は黄緑～青緑色、黒雲母は褐色を呈する。副成分鉱物として、燐灰石・鉄鉱物を含む。

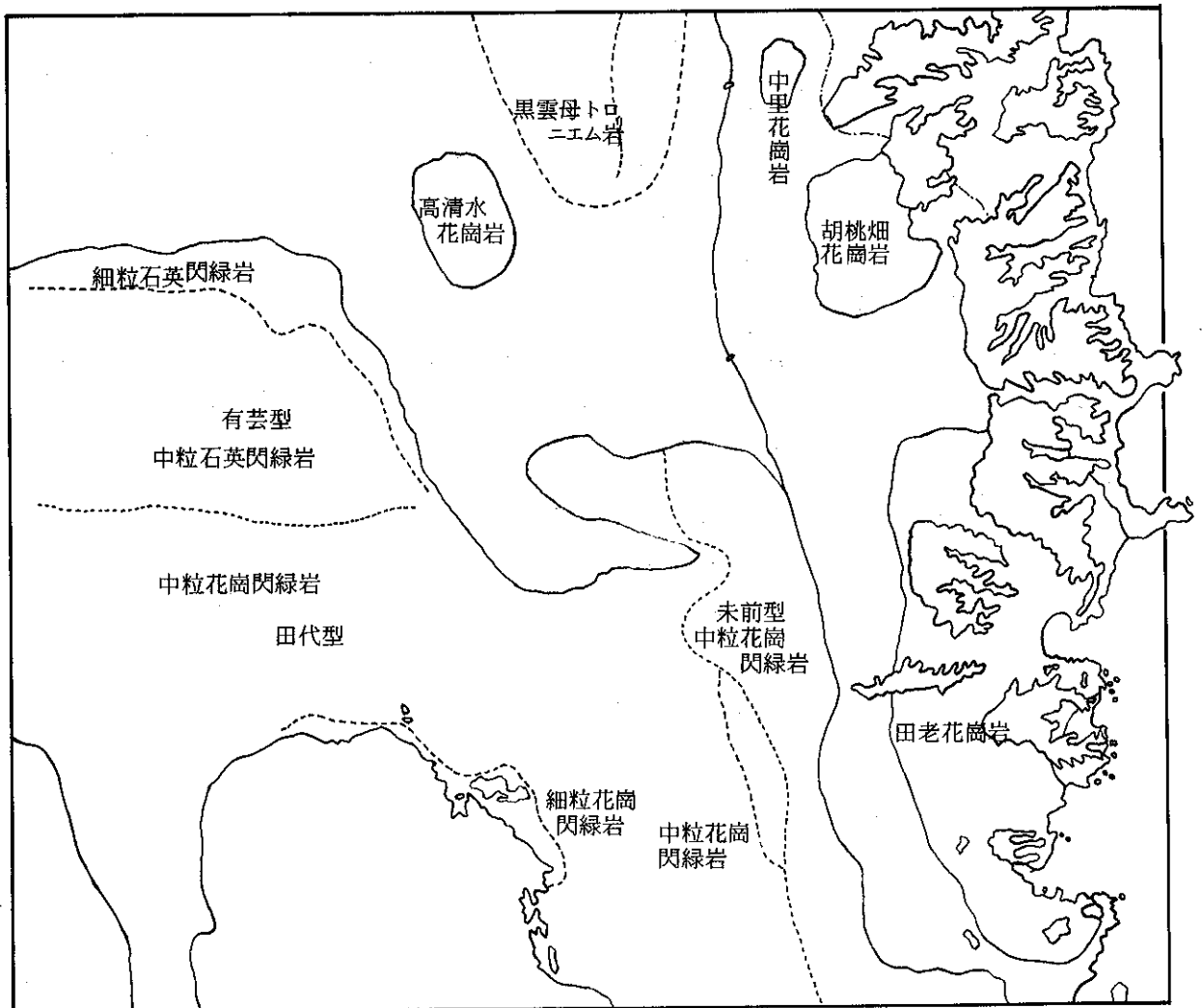


図 3.2-6 宮古岩体の分類



北縁の周辺相の岩石は、細粒または斑状で、細粒のものでは角閃石は濃緑、黒雲母は暗緑と色が濃くなっている。

平均の色指数（肉眼観察）： 10～20%（周縁部30～35%）

代表的節理： 不明

磁性： あり

田代型：（中粒花崗閃緑岩）

宮古市田代周辺に広く分布し、宮古岩体の中央部に位置している。

田代型は主成分鉱物は斜長石・カリ長石・石英・角閃石・黒雲母で、副成分鉱物として榊石が目立ち、その他燐灰石・ジルコン・鉄鉱物が含まれる。斜長石は自形～半自形である。カリ長石は石英とともにあいだを填めているが、微斜長石構造が認められ、また部分的にペルト質である。角閃石は半自形～他形で、黄緑～青緑色を呈する。黒雲母は片状、褐色である。

C軸方向に発達した黒雲母を含むものもほとんど違いがないが、モンゾニ岩組織を示す部分がある。

東縁部の片状～流理構造の発達した岩石も、成分鉱物には変わりがない。斜長石・カリ長石・石英・角閃石・黒雲母がおもなもので、斜長石は半自形で粒度は一定していないが、最大4mmに達し、ときには結晶が屈曲している。まわりにミルメカイトをつくっている。石英は粒状で波動消光を示す。カリ長石はあいだを填めている。角閃石は他形、集合状で緑色を呈す。黒雲母は褐色、小片状で、一定方向につながって生じ、屈曲しているものもある。

副成分鉱物としては榊石が多く、そのほか、ジルコン・燐灰石・鉄鉱物を含んでいる。

岩体の内部の構造として七滝、皆川附近では弱い片状～流理構造が認められるが方向は一定していない。

また、亀ヶ沢から亀ヶ森にかけて岩体の南縁部では細粒、優白質の岩相を示す。なお、田畑から笹見平にかけて分布するものは、C軸方向に発達した厚板状の黒雲母を含んでいる。

平均の色指数（肉眼観察）： 15～30%

代表的節理系： 不明

磁性： あり

未前型：（中粒花崗閃緑岩（片状））

田老町未前から宮古市細越及び八ツ川にかけて分布し田代型の東部に位置し、ほぼ南北に細長く分し、田代型の周縁相的岩相を示しN30

～40 Wの片状～流理構造が発達し、特に周縁部で著しい。

平均的色指数（肉眼観察）： 30～35%

代表的節理系 不 明

磁 性 : あ り

#### ⑦ 地質構造

本地域は図 3.2-2 にみられるとおり、NW-SE方向の帯状構造を呈している。北部北上山地の中古生層は、早池峰構造帯によって南部北上帯と区分されるが、この構造帯から北東方向へ、北部北上帯・岩泉帯・田老帯に分かたれる。これらの帯状構造を切って、白堊紀前期の花崗岩の貫入がある。各帯を構成する白堊紀初期（先宮古世）の地層およびそれ以前の古生層・中生層は、褶曲・断層運動をうけ、帯状構造をつくり、花崗岩の貫入を伴う大きな構造運動を蒙っている。それらの古い地層と花崗岩とを、著しい傾斜不整合で覆って、白堊紀宮古世の宮古層群が緩い傾斜で分布する。

豊間根層と岩泉層とは、ともにN 10～30°Wの走向で、50～70°の西傾斜の地質構造を呈し、走向断層によって切られ、帯状構造を構成している。陸中層群は田老構造線の近くではN 20～40°Wの走向をもち、西に40～60°傾斜するが、この地域の田老帯の大半をみれば、ドーム構造が存在し、その中核部に田老花崗岩が貫入している。

帯状構造をくぎる構造線として、北部北上帯と岩泉帯とのあいだの葛巻構造線、岩泉帯と田老帯とのあいだの田老構造線が主要なものである。ともに主としてその西側に、幅1～2 kmにわたって著しい千枚岩～片状岩をつくる。

この両構造線は人口衛星写真（LANDSAT）でも一部確認される（後述）。葛巻構造線はNNWへの走向を有し小本川に沿って大きく方向をE-W系に変えている。

更に田老構造線は、小本川附近から宮古湾にかけて雁行状にみられるがこれは花崗岩の貫入によって不鮮明になっているものと思われる。

#### ⑧ LANDSAT 写真による地質構造解析

最近人工衛星映像データによる地質構造解析の技術がアメリカ合衆国を中心に飛躍的に進歩し、我が国においても、写真の入手が手軽になったことにより多くの分野で利用され始めている。

本地質概査においてもその一環として本手法を導入し、方法的な検討も併せ行った。

a) 解析結果

図 3.2 - 7 に示した写真（実際にはスケール 1/50 万で 4. 5. 7 の 3 つのバンドを合成したカラー写真である。）により解析した結果は図 3.2 - 8 の通りである。



図 3.2 - 7 LANDSAT 衛星写真

十和田湖から八甲田の裾を横切り東に流れるのは奥入瀬川，田沢湖の北東に頂きを突き出す岩手山は，南側に山岳雲をたなびかせる。山地の白味を帯びた地域にはブナを主とする広葉樹林が多い。

八戸より北に開ける平地に小川新産業都市の開発が予定。

写真提供：米国航空宇宙局（NASA）・財産業研究所

写真処理：オリエンタル写真工業(株)

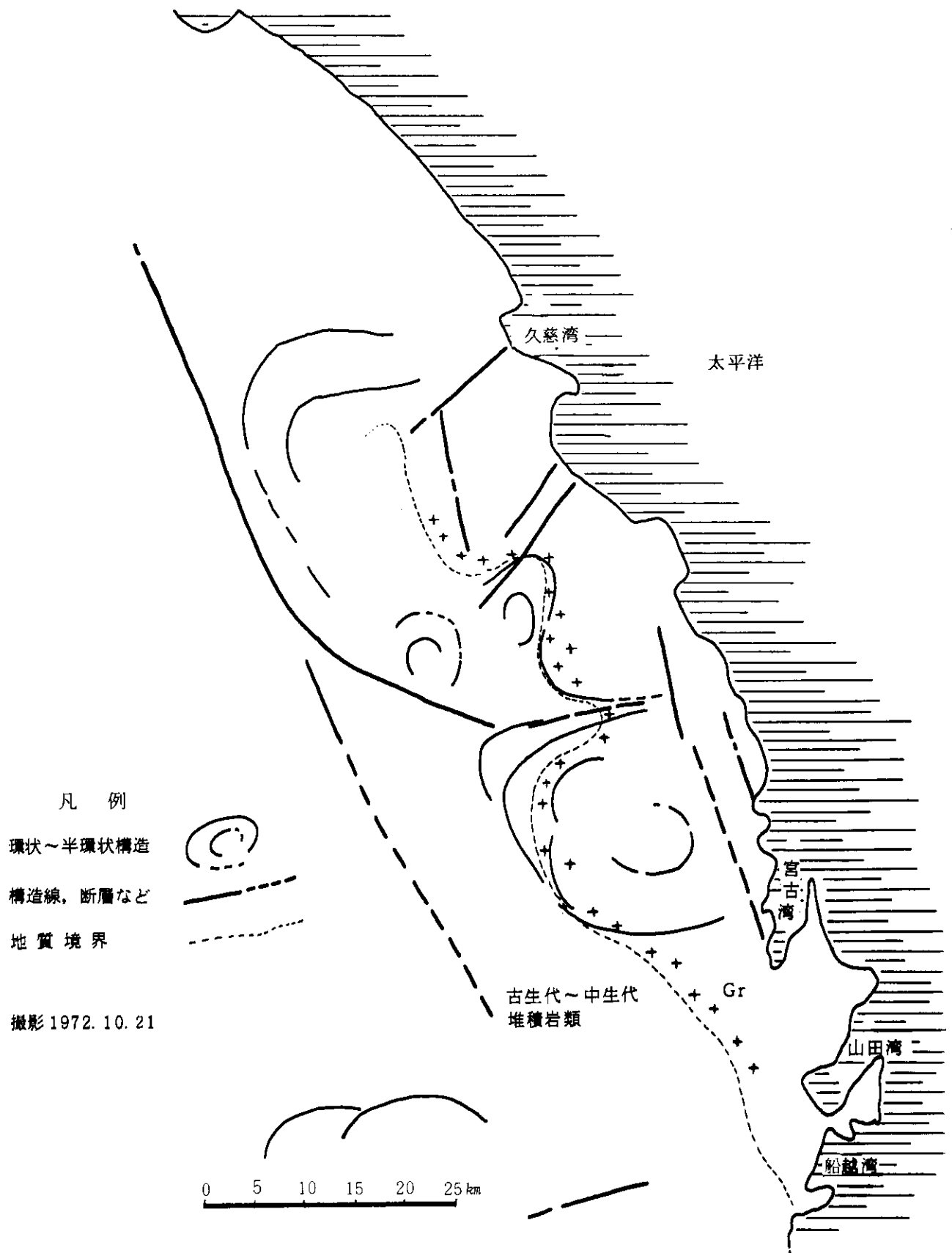


図 3.2 - 8 LANDSAT 衛星写真によるリニアメント解析図

葛巻構造線をはじめとして既存の主要断層ないし構造線が明瞭にプロットできる。更に花崗岩体の輪廓が色調および地形の差異によって明確に判別できる。

他に既存データでは確認されていない環状構造が各所で認められており、これの解釈は今後の検討事項である。

今回は更に同地域にエッジ強調処理（edge enhancement）技法をこころみた。本技術は写真のネガとポジをある方向にずらせることによりその方向に斜交する線構造を強調するものであり、本来種々の方向について試みるべき性質のものである。今回は南方向にずらせたもののみを作成した。この結果花崗岩体中の主としてNE-SW系の細い線構造がきらかとなった。

#### b) 考 察

カラー写真による解析結果は本手法が広域スケールでの地質構造解析に極めて有効であることを証明した。今後は更にスケールを大きくした（例えば1/20万）写真を用いた精度の高い解析を行うべきであろう。

更に他のバンド例えば、5バンドを使うことによって道路・市街地等の状況、6バンドを使うことによって植生等の土地利用状況等、地質構造解析以外の目的にも利用できる。

また、エッジ強調処理技法は種々の方向の検討を同時に行うことによりかなり有効なデータが得られるものと考えられる。地質精査と併行して利用すべきである。

⑨ 検査結果

次に本年度の概査において採取したサンプルの検鏡結果のまとめ、Mode分析結果、検微鏡写真等を表 3.2-1, 2, 表 3.2-3 及び図 3.2-9-(1)~(11)に示す。

表 3.2-1 検鏡結果まとめ

サンプルNo.	岩石タイプ	岩 質		
		岩 石 名	粒 度	特 徴
1	川 口 型	黒雲母 - 角閃石 トーナライト	1 ~ 3 mm	斜長石の汚濁著しい。黒雲母には榎石・緑れん石・緑泥石等の鉱物が存在。
2	〃	黒雲母 - 角閃石 トーナライト	0.3 ~ 3 mm	比較的細粒で新鮮な岩石。副成分鉱物の燐灰石・不透明鉱物や、多い。
3	茂 市 型	黒雲母 トーナライト	1 ~ 10 mm	斜長石の汚濁・石英の波動消光ともに著しい。石英の粗粒集合体がある。
4	〃	黒雲母花崗閃緑岩	1 ~ 5 mm	新鮮であるが、石英には割目・波動消光が著しい。榎石比較的多い。
5	〃	花 崗 閃 緑 岩	1 ~ 5 mm	苦鉄質鉱物は比較的少ない。石英の波動消光が著しい。
6	萩 生 型	花 崗 閃 緑 岩	1 ~ 10 mm	苦鉄質鉱物や、少ない。長石の汚濁著しい。粗粒の石英・カリ長石がある。
7	〃	角閃石花崗閃緑岩	1 ~ 4 mm	榎石・不透明鉱物が多い。石英の波動消光が著しい。
8	乙 茂 型	トーナライト	1 ~ 10 mm	苦鉄質鉱物が少ない。石英の粗粒集合体を含む。
9	有 芸 型	黒雲母 - 角閃石 トーナライト	0.5 ~ 3 mm	苦鉄質鉱物が多い。比較的新鮮な岩石。
10	〃	黒雲母花崗閃緑岩	0.5 ~ 3 mm	石英の割目・波動消光が著しい。一部の斜長石汚濁。
11	田 代 型	角閃石花崗閃緑岩	0.1 ~ 3 mm	斜長石の汚濁の著しい細粒岩。

表 3.2-2 Mode 分析結果 (vol.%)

岩石タイプ Minerals	川口型		茂市型			萩生型		乙茂型	有芸型		田代型
	Sample No 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Plagioclase	56.9	62.7	57.6	58.0	75.0	53.1	63.2	63.6	55.6	50.0	55.0
K-Feldsper		0.7	1.9	9.7	7.3	14.1	11.0	3.6	0.2	14.2	12.2
Quartz	6.0	6.3	33.6	21.4	12.2	27.6	15.4	28.5	12.5	25.1	2.0
Biotite	6.0	7.7	6.8	7.9	2.5	4.7	1.2	3.3	14.5	8.3	3.2
Hornblende	29.2	21.9		1.6			5.4	0.2	17.2	2.0	27.0
Chlorite	1.9										
Sphene				0.5			1.9				
Apatite & Muscovite			0.1								
Opaque minerals		0.7		0.9	0.9	0.9	0.2	0.8		0.4	0.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

表 3.2-3 写真記入鉱物略記号表

an : 方沸石	mor : モルデン沸石
bi : 黒雲母	pl : 斜長石
chl : 緑泥石	pl' : 変質斜長石
cli : 斜プチロル沸石	q : 石英
ep : 緑れん石	ser : セリサイト
ho : 普通角閃石	sp : 榎石
k : カリ長石	ze : 沸石
mon : モンモリロナイト	



図 3.2-9-1(1) No.1 (川口型) 黒雲母-角閃石ト-ナライト 開ニコル

斜長石は汚濁したものが多く、また大部分の黒雲母は楕石・緑れん石・緑泥石等の鉱物に部分的に変質している。写真中、暗色部は黒雲母・普通角閃石、左右の汚濁部分は斜長石。

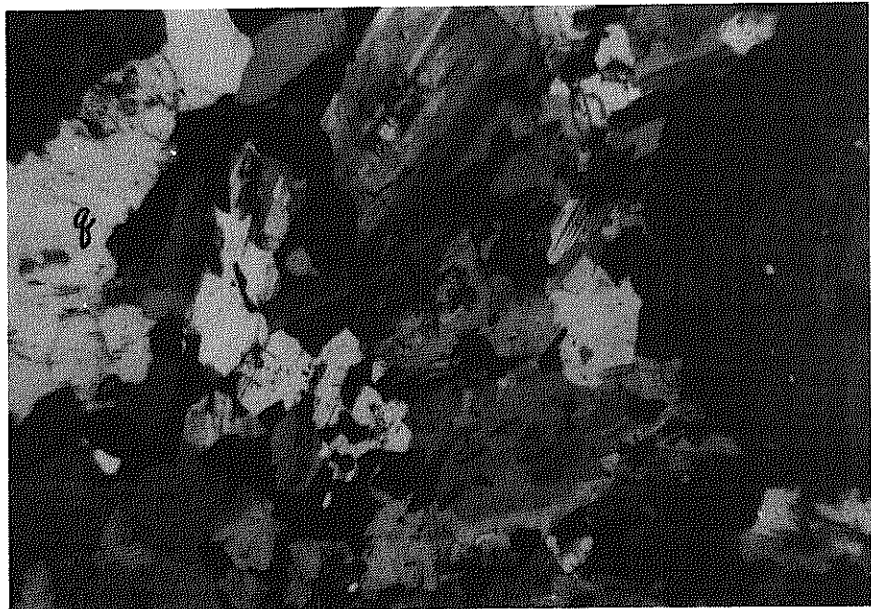


図 3.2-9-1(2) No.2 (川口型) 黒雲母-角閃石ト-ナライト 閉ニコル

やや細粒の岩石で、斜長石・苦鉄質鉱物とも比較的新鮮。副成分鉱物として微粒の燐灰石・不透明鉱物が割合多い。写真中、黒色部の大部分は小粒の黒雲母。



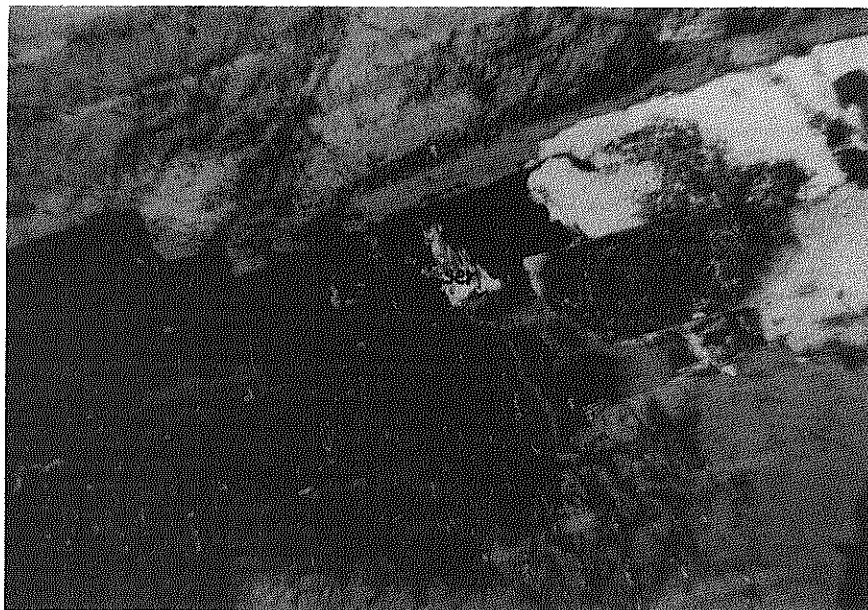


図 3.2-9-3) No. 3 (茂市型) 黒雲母トーナライト 閉ニコル

長石は汚濁が著しく、セリサイトを含む。石英の波動消光が著しい。粒度は粗粒で、斜長石は一般に自形～半自形、石英は破碎組織をもった集合状で存在する。写真に汚濁した斜長石とセリサイトの生成状態を示す。白色の微小斑点もセリサイト。



図 3.2-9-4) No. 4 (茂市型) 黒雲母花崗閃緑岩 閉ニコル

斜長石は僅かに汚濁。石英には割目・波動消光が著しくみられる。榊石・不透明鉱物が比較的多い。

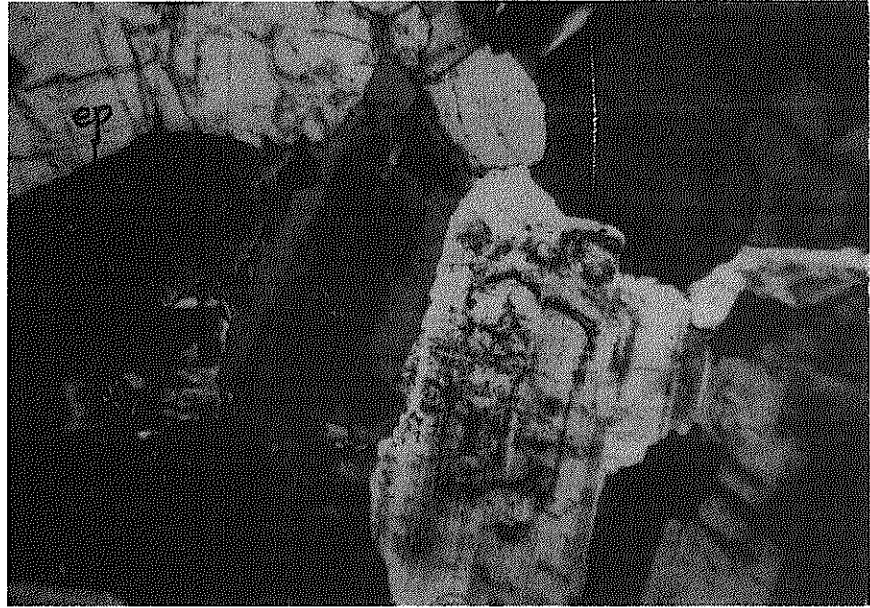


図 3.2-9-(5) No.5 (茂市型) 花崗閃緑岩 閉ニコル

苦鉄質鉱物の比較的に少ない岩石で、長石の汚濁著しく、また石英の波動消光も極めて強い。写真左に黒雲母とその中に含まれる緑れん石を、同右辺に波動消光を示す石英をそれぞれ示した。



図 3.2-9-(6) No.6 (荻生型) 花崗閃緑岩 閉ニコル

長石は汚濁著しく、一部のものにはセリサイト・緑れん石が生じている。他形で粗粒の石英・カリ長石は細粒の斜長石を包んで存在し、いわゆるポイキリテック状組織を示している。写真左に斜長石-カリ長石の同組織の一部とセリサイト・緑れん石の集合体の変質斜長石 (p1') を示す。

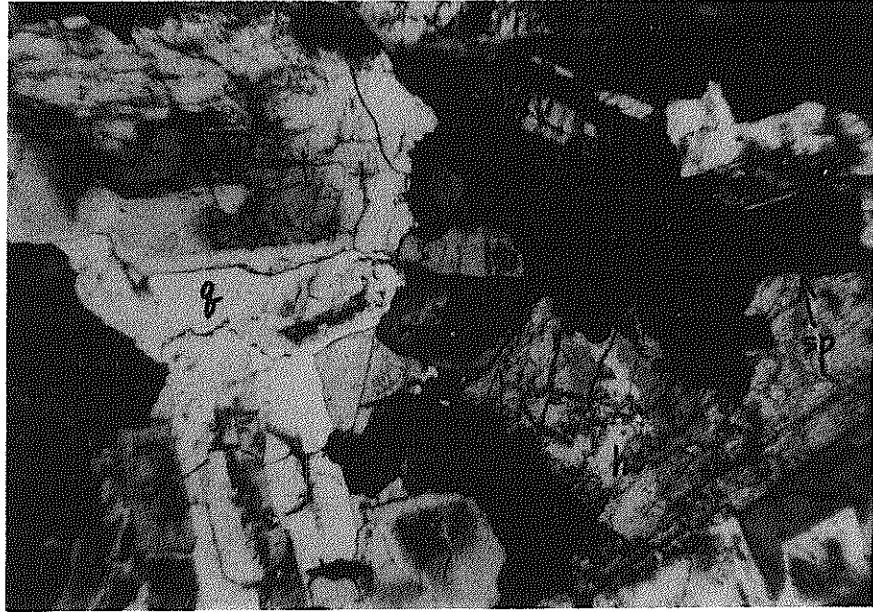


図 3.2-9-(7) No.7 (菘生型) 角閃石花崗閃緑岩 閉ニコル

楯石・不透明鉱物を比較的多く含む中粒～粗粒の岩石で、石英の波動消光が著しい。斜長石には自形の細粒のものもあって、それらは粗粒で他形の石英やカリ長石に含まれる場合が多い。

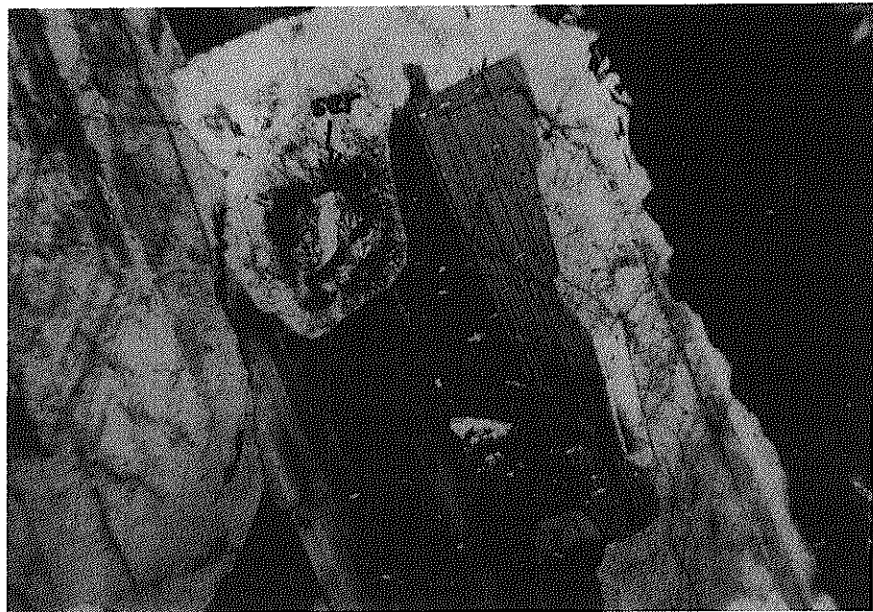


図 3.2-9-(8) No.8 (乙茂型) トーナライト 閉ニコル

長石類には部分的に細粒のセリサイト集合体が見られる。写真中央の斜長石にはセリサイト集合体があり、同結晶中の微小な白斑点は全てセリサイト。同右側の暗色部は石英。

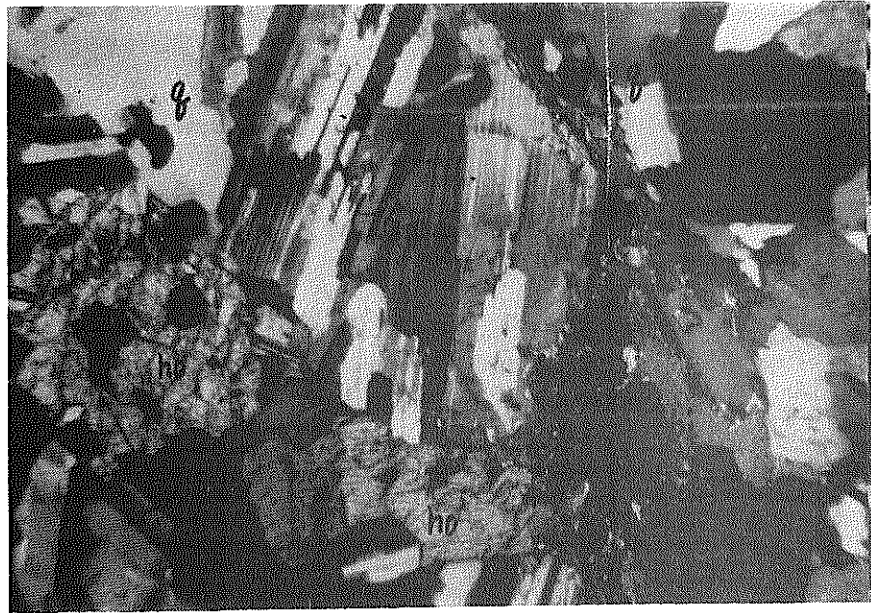


図 3.2-9-(9) No.9 (有芸型) 黒雲母-角閃石トーナライト 閉ニコル  
 細粒の比較的新鮮な岩石。苦鉄質鉱物には粗粒なものもある。



図 3.2-9-(10) No.10 (有芸型) 黒雲母花崗閃緑岩 閉ニコル  
 中粒でやゝ汚濁した長石を含む岩石。石英の波動消光が著しい。写真、上方  
 および下方の暗色部はそれぞれカリ長石および石英。同右下は自形の角閃石の  
 一部。





図 3.2—9—(11) No.11 (田代型) 角閃石花崗閃緑岩 閉ニコル  
斜長石の汚濁が著しい細粒の岩石で、角閃石が比較的多い。

#### V 地質概査の結果

本年度の地質概査は主として既存の資料をベースに花崗岩類の岩相及び産状について調査を行った。この結果当地区の花崗岩類の産状についてはマクロに把握することが出来た。すなわち田野畑岩体とはその岩相より北より太田名部岩体、川口型、茂市型、萩生型、乙茂型からなる岩体である。

各岩相の差は同一岩体の異相ではなく北方から南方に次々と順をおいて貫入したマルチプルエムプレースメント（複合併入）と考えられる。又、地区南部の宮古岩体は全域に亘って比較的均質な岩体であるが岩相からいくつか区別されることが判明した。即ち岩体の大部分を占める中粒の花崗岩類は田代型であり、北西部の有芸附近にみられる中粒の花崗岩類は有芸型と称され、北縁の岩相は細粒である。

花崗岩体の地下構造の推定については今回の調査では全体を把握するには至らなかったが葉理構造、線構造を詳細に観察することにより十分可能であることが判明し、今後の調査の大きな指針が得られた。

#### b 社会的要因の概査

##### i 調査方法の概要

概査地域の地質概査と平行して表 2.1—1—(2)を参照とし下記の社会的要因について概略調査した。調査内容は下記の通りである。

- 人口等（集落別世帯数及び人口）

- 土地利用等（耕地，開発計画，山林等）
- 既存の利権等（河川の漁業権，鉱業権等）
- 資源等（観光，文化財等の指定，地下資源）

社会的要因の調査は関係市町村の市役所，役場におもむき，口頭で質問しながら解答を得た。本来この種の調査はあらかじめ先方に質問項目を提出し解答を得るのが妥当と思われるが，調査の性格上しばらくはこの様な方法を取り入れることは出来ない。先方の解答者が一般事務員であることが多く，質問の内容によって，たまたま担当者であった場合は，内容の濃い解答が得られるなど，解答にばらつきが多かった。

## ii 調査結果

### ① 集落・人口等について

小本川以北には岩泉町，田野畑村，普代村が位置し集落の分布が多い。田老町については世帯数は判明したが，人口は調べることが出来なかった。宮古市については集落の面積まで解るなど，解答にばらつきがみられる。

### ② 土地利用等について

概査地区の地形はいわゆる花崗岩地形を示す起伏のゆるやかな地形が，高所（山岳道路）から随所にみられる。土地の利用は地形，地質（土壌）上の制約をうけ，沢などの低地の平坦な処が農地として拓かれ極めて小規模である。地域全域に亘って水田は少なく，閉伊川，小本川，摂待川等の比較的規模の大きい河川沿いの平坦部に主にみられる外はあまりない。又地形図上で水田とされている処でも最近の減反政策の浸透により休耕田又は転作農地となっているものも多い。

畑は一般に道路沿い又は集落の周辺に小規模に存在する。農作物としては通常の野菜が殆んどで自給用として栽培している。又農家の収入の一助として葉たばこの栽培を市町村で奨励している。更にゆるやかな地形を利用した草地，及び放牧場（主として肉牛用）の利用が随所にみられる。各農家の飼育規模は平均数頭程度であることから，中規模の利用であろう。草地，放牧場の経営は村営又は組合型のものが多い様である。

大規模な土地利用の計画として宮古市北部の田代地区に北上山地総合開発計画の一環として畜産団地の造成及びこれに伴う道路整備の計画が岩手県庁の指導で宮古市がその細目について今年度中をめどに策定中である。尚，他の町村では現在開発計画の立案等はないとのことである。この外は耕地以外は山林でその殆んどは民有地であり，概査地区の大半は岩泉営林署管内であるが国有林の範囲は狭小なものが多い。普代村（久慈営林署），宮古市（宮古営林署）の国有林の範囲については今回調査を実施して

いない。

③ 既存の利権等について

概査地区には2級河川が数本みられ（北部より普代川，小本川，摂待川，田老川，神田川，閉伊川，津軽石川），これらの一部の河口ではサケ，マスの人工孵化及び狙上があり季節によって漁業権の設定がなされている。又いわゆる川魚として，アユ，ヤマメ等の放流が行なわれ，サケ，マスとは別に漁業権の設定がなされている。

宮古市では閉伊川に上水道の取水口があり市内中心部の給水をまかっているが，他の町村では簡易水道として附近の河川，沢から取水し，町村営のものとして運営されている。簡易水道には自営のものも若干ある様であるが，その数は確認していない。

鉱業権設定状況は田野畑岩体周辺では岩泉町，田野畑村境界にかけて設定されている。

一方宮古岩体周辺では有芸地区及び亀ヶ森～大鰐谷森にかけてみられる外は鉱業権の設定は少ない。地下資源関係については次の項で記述する。

④ 資源等について

概査地域の東側は三陸海岸の北部に属し，リアス式海岸と海岸断崖による景観美で全国に知られている。又宮古湾，田老湾，久慈湾（地域外）は近海，遠洋漁業基地として整備されている。この外，小規模の湾が随所にみられ，近海漁業の小港として利用されている。

概査地域中央西部には，岩泉町の鐘乳洞として有名な竜泉洞，同北部には安家洞がある。特に竜泉洞は日本三大鐘乳洞の一つとして知られ，三陸海岸と鐘乳洞を訪れる観光客が，道路の整備と相まって年々その数を増加させている。

一方文化財，史蹟等の指定，存在の有無については市街地にある場合が多く，当方が問題としている山岳地にこれらが存在する解答が得られなかった。従って市街地等にあるこれらの詳細についての調査は実施しなかった。

特記事項として田野畑村一帯に生息しているチョウセンアカシジミ（蝶）がある。このチョウセンアカシジミ蝶は学術上の価値が高く集団生息地を保護する目的で岩手県自然環境保全地域の指定及び田野畑村天然記念物に指定された（昭和48年12月25日）ものであり，採取することも，生息地の樹木（トネリコ），周辺の草木を伐採する等環境を著しく変化させる事も禁じられている。この事は田野畑村内で2箇所で掲示されていた。

地下資源としては概査地域西縁に石灰岩が分布している。日本セメント

が昭和38年頃より調査を開始しているが、採掘には至っていない。岩泉町としては今すぐ採掘等を考えていないが、手持の資源（町内に分布しているの意味）を有効活用するため、さけて通ることの出来ない問題の一つであるとのことであった。

地域内には閉山したラサ工業の田老鉍山(Cu)が代表的な鉍山であり、田老鉍山以外にも小規模鉍床が分布している。いずれも現在は稼行されていないが、これを列記すれば下記の通りである。

山口鉍山(Cu), 馬飼野鉍山(Cu), 普代鉍山(Cu),  
小本鉍山(Cu), 大銅鉍山(Cu), 田代鉍山(Cu),  
三根鉍山(Mn), 田代森鉍山(Mn), 鳥の越鉍山(Mn)

この外地域外ではあるが野田玉川鉍山, 野田鉍山(Mn)が知られている。

### c. 調査結査のまとめ

これまで調査した諸要因を要約すれば下記の通りである。

#### ① 田野畑岩体地区

##### 1) 自然的要因

位置・交通：北上山地北部に位置し国道45，106号線から分岐する町村道が狭小であるが発達している。

地形・気候：岩体周辺の地域の地形はいわゆる花崗岩地形を呈し起伏のゆるやかな地形である。その外側は古生代および中生代の堆積岩類の分布する地域で急峻である。

気候は海洋の影響をうけて概して温和であり7，8月に最高気温に達するが平均13°～15℃である。

地質：1) 既述の如く本岩体は四つのタイプに分類され，それぞれの併入時期に差があることが判明し，岩体内部に構造差のあることが予想される点，岩体内の均一性を考慮する上で留意すべきである。

2) 花崗岩地形特有のマサ土の分布，厚さは充分考慮すべき点として，今後は詳細な調査が必要である。

3) 葉理構造・線構造，節理系の精密調査により岩体の地下構造，併入方向，応力系についてのより詳細な知見が明らかとなるであろう。

##### 2) 社会的要因

集落・人口等：起伏のゆるやかな地形に狭小に発達した道路に沿ってほぼ連続的に集落がみられる。

土地利用：上記平坦部に沿って小規模な耕地が数多くみられる。



既存の権利：1) 国有林はその比率が小さく殆んど民有地で占められている。

2) 鉱業権は岩泉町，田野畑村境界にかけて設定されている。

## ② 宮古岩体地区

### 1) 自然的要因

位置・交通：田野畑岩体南方に位置し，国道45，106号線から分岐する町村道があるが，山岳地帯であり一般に狭小で田野畑地区にくらべてその発達はよくない。

地形・気候：ほぼ田野畑地区と同様である。

地質：1) 本岩体は岩相の上でいくつかのタイプに分類されるが，それらの関係は漸移的であり，田野畑岩体に比較してより構造的な均一性が期待出来る。

2) マサ土について 前記田野畑地区と同じ

3) 構造等について " "

### 2) 社会的要因

集落・人口：道路網の発達はあまりよくないこともあって地区東部の養呂地川，小田代川，田代川流域に割合まとまってみられるほかは集落は少ない。

土地利用：集落沿いに小規模に耕地がみられる。略農基盤である草地としての利用は当地区の方が多い様である。又大規模畜産団地の計画も田代地区を中心にすすめられている。

既存の権利：1) 国有林は田野畑地区同様その比率は少なく大部分は民有地で占められるが胡桃畑及び有芸地区南部にかけて割合まとまっている。

2) 鉱業権は亀ヶ森～大鰐谷森にかけて設定されているが一般に少ない。

等が取りあげられる。特に集落等は田野畑岩体地区と宮古岩体地区ではきわだった対示を示している。

### d 花崗岩類分布地域の調査手法について

花崗岩類岩体の構造を調査する手法としては，次のような方法が考えられる。

地質学的方法

地球物理学的方法

地球化学的方法

他に実験的手法から岩体の形体を推定する方法が考えられるが，ここでは省略する。

## i 地質学的方法

### ① 岩石の組織・構造

岩石内で、岩体の構造を反映するものとして葉理構造 (foliation) がある。葉理構造を示すものには鉍物、ゼノリス、ダークインクルージョン、マフィッククロットの配列およびシュリーレン等がある。ダークインクルージョンと云うのは細粒の優黒質のものがゼノリス状に入っているもので、成因としては異質岩片が同化したものとも、初期晶出鉍物が濃集したものとも考えられている。このうち斑点～長楕円状のものをマフィッククロットといい、より大きくまた細長くなって湾曲したりしているものをシュリーレンと云う。

これらの明確な葉理構造を示すものの他に、目を十分慣らすことにより岩石の色調、組織、鉍物配列のあり方から葉理構造や線方向を判定することが可能である。今回の概査においてこの方法が有効であることが確認された。特に当地域ではシュリーレン等の明確な構造は稀であって今後の精査においてはこのような手法に十分習熟することが必要である。

### ② 岩体の節理

次に構造を解明していく上の重要なものに joint がある。しかし日本では区別が難しいのに加えて露出不良のため、研究はあまり進んでいない。

Joint には岩体固結時の冷却に伴なって生じる Primary joint と固結後の変動、変形に伴なって生じる Secondary j. がある。このうち内部構造を反映するのは Primary joint の方である。これは岩体の固結～収縮によるもので進入運動の継続によりすでに冷却した部分に生じるものである。そして多くの場合ペグマタイト、アプライトの脈により充填されている。また流理構造と特定の関係を有する。R.Balkによって次の4つに分類されている。

- 1) Cross Joints; lineation と直交する方向に発達する。冷却による収縮で形成され、広義では tension joints と同じである。一般に長く直線的であり、ペグマタイト・アプライト脈が充填したり、緑泥石・白雲母・石英・黄鉄鉍・ホタル石などの熱水鉍物の薄層が面上に生じていることが多い。
- 2) Longitudinal joints; flowline が水平に近い場合によく発達する急勾配の joints である。成因はよくわかっていない。ペグマタイト・アパタイト脈や塩基性貫入岩が進入したり、方解石・粘土鉍物・セリサイト・緑廉石・緑泥石等が生じている。
- 3) Diagonal joints; flowline と約  $45^\circ$  をなす急勾配の joint をいう。水平応力によって形成されたと考えられているが、確証は得られていない。この joint による変移があるときは、図 3.2-10 のように flow line の方向にの

びている。

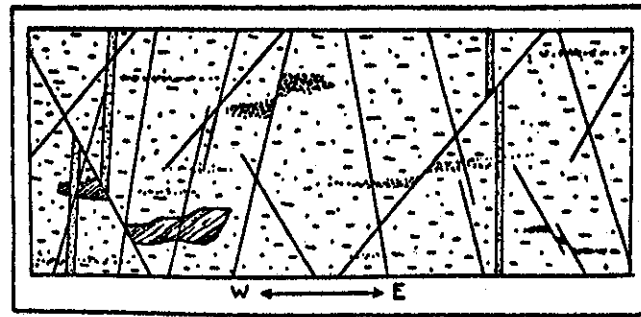


図 3.2-10 flow line と diagonal joints の関係

- 4) Primary flat-lying joints; 岩体頂部が平い場合によく発達するといわれており、岩体が側方に広がるおこる水平なひきのばしによってできると考えられている。アプライト・ペグマタイト・石英脈や塩基性貫入岩が平行的に進入している。また緑泥石・白雲母・黄鉄鉱で被われている場合もある。

つづいて花崗岩類内部の joints とやや変わったものに marginal fissure がある。これは図 3.2-11 に示されているもので矢印の方向に岩体が進

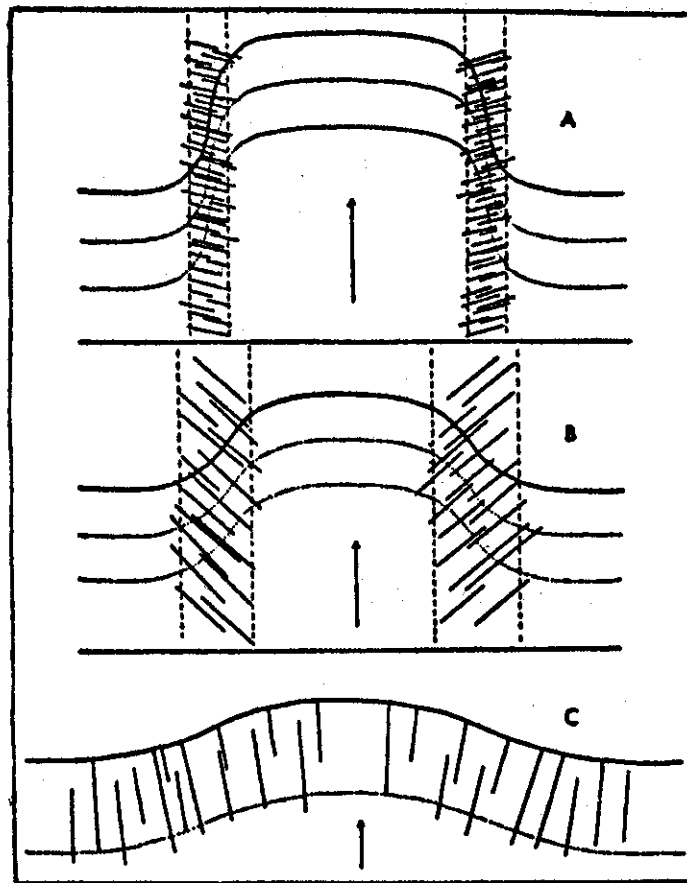


図 3.2-11 marginal fissure

入してきた場合、Wall rock が変形に伴ってその度合の強い部分に生じる割れ目のことである。図 3.2-11 において A は Wall rock がかなり軟かい場合で、変形が特定の場所で行なわれる。B は A より Wall rock が硬い場合もしくは岩体のおし上げが弱い場合で、C は B よりさらにその傾向の強い場合である。

これらの節理は上述のような教科書的な産状を示すことが少なく、実際には複雑な何種類もが重複したものであり、その識別は困難である。それ故精査においては前後関係、節理の熱水変質等の技術の把握等を行い、統計的処理によりその傾向を確認する必要がある。

節理の調査はかりに花崗岩体の構造解析には十分な手掛りを与えられないにしても岩体の透水性や強度を評価する上でも重要な要素である。また岩体の節理や断層は露頭に現われている場合にはもちろん地表地質調査にて確認することが出来るが、土壌が厚く、地表で確認できないような場合でも、大きな節理や断層は航空写真や衛星写真によるその地域の水系の解析などによって発見される場合がある。

### ③ 周囲岩体との調和・不調和

花崗岩体と周囲岩体とが接触面も含めて、調和的であるか、不調和的であるかを調べることにより、深部における岩体の走向・傾斜その他の構造をある程度推定することができる。これには、a) で述べた岩体内の組織・構造と周囲岩体の同様な組織・構造を合わせ対照させてみる必要がある。

### ④ 風化深度の測定

山陰地方の花崗岩体には、風化深度が 10 m ~ 100 m もある場所が報告されている。このように花崗岩体は風化しやすいことが知られている。風化層の厚さを調べる方法として、弾性波を利用する方法、岩石中の黒雲母の結晶度を調べる方法、昭和 52 年度に取りあげた原岩の新鮮度を調べる方法、地形学上から求める方法等がある。これらによると、地表面では起伏がゆるやかであるように見える花崗岩体でも、その新鮮な表面は地表通りであるとは限らなく、凹凸が激しいことが予想される。風化の問題は、坑道を掘る場合にも、岩相の異なる岩体間とか、岩体間での耐風化の問題などが起こってくる。

## ii 地球物理学的方法

地球物理学的方法としては、地震波を利用する方法、重力を利用する方法、磁力を利用する方法等がある。

### ① 地震波を利用する方法

地震波を利用する方法としては、反射法と屈折法があり、屈折法は、よ

り深部のデータを得るためには、測線をより長くし、より大きな爆薬を用いねばならず、日本での調査法にはむいていない。これに対し、反射法は、測線の長さも短かくてすみ、日本の調査にむいている。

石油探査におけるtrapの発見等で十分な成果をあげている。その精度は非常に高い。今まで、花崗岩の深部構造探査等には使用されていないが、一考の価値はあろう。

## ② 重力測定による方法

重力異常を測定することによる、花崗岩類の地下深部構造の推定は、数多く試みられている。日本の北上山地では、重力ブーゲー異常のupward continuation法を利用した大規模地下深部構造が求められている。また、重力測定データをもとに、岩体及び母岩の比重を仮定して重力異常を求め、その分布から岩体の形態を知る方法がある。

外国の例では、米国メイン州で重力測定データからコンピュータを用いて、三次元モデルを作成し、花崗岩体の形体と深度を求めた例がある。

(図 3.2-12, 図 3.2-13, 図 3.2-14, 及び図 3.2-15 参照)

## ③ 磁力測定による方法

地表あるいは空中から磁力を測定することにより花崗岩体の大きな輪郭をつかむことが出来る。これには周囲の地質をある程度知っている必要がある。例えば北上山地の花崗岩類の磁気異常は周囲が堆積岩の場合は、その堆積岩の磁気異常より大きな値いがでる。超塩基性岩に対しては、それより小さい値が出る。(図 3.2-16 参照)

これらの地球物理学的方法で最も多く利用されている方法は、重力測定からのアプローチであり世界各国でその実例がある。

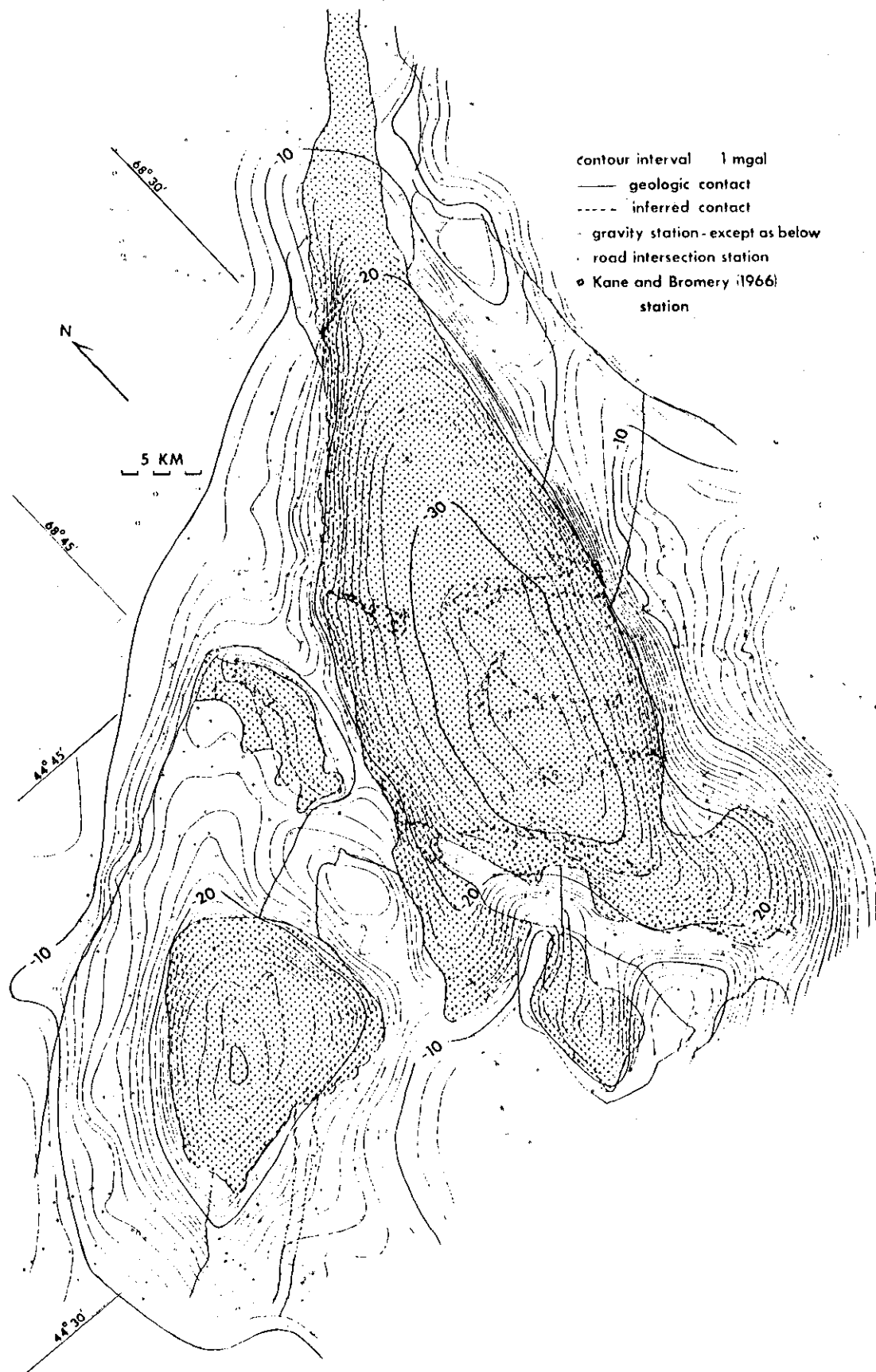


図 3.2-12 メイン州の Lucerne 花崗岩体の Mount Waldo 花崗岩体のブーゲ異常

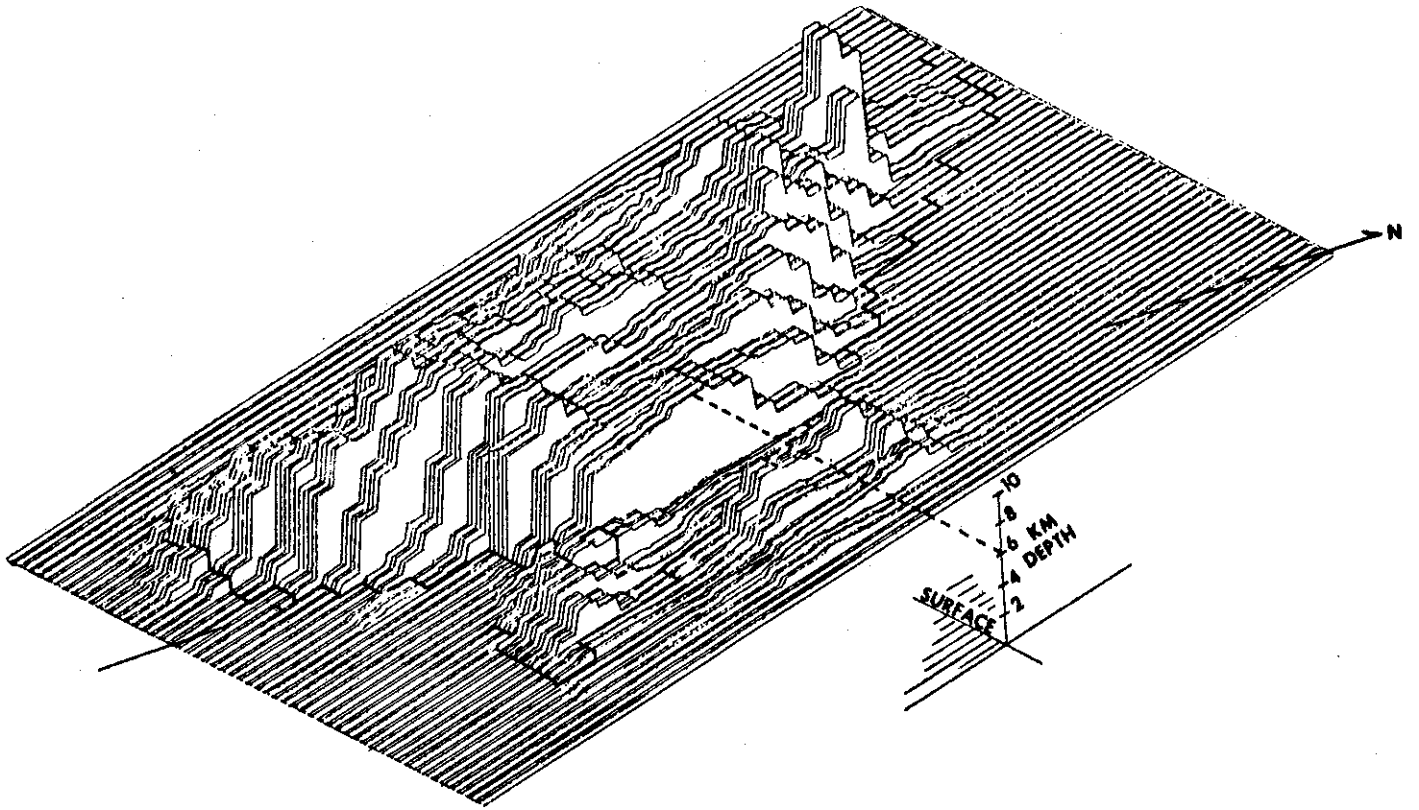


図 3.2-13 地下の南東方向から見た Lucerne 花崗岩体と Mt. Waldo 花崗岩体の三次元モデル (平坦部はこのモデルの頂部である。深度目盛は岩体東部にある。太線は地表の Lucerne 岩体とのコンタクトである。)

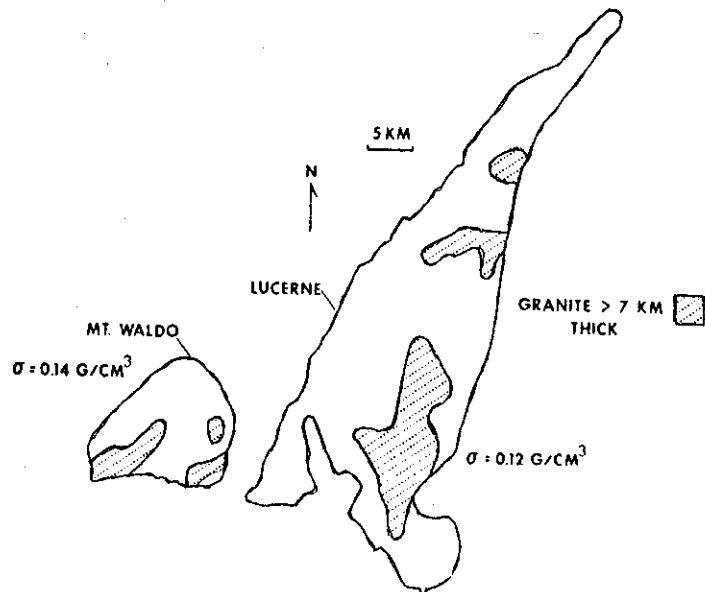


図 3.2-14 三次元モデルから決定された深成岩体の深度 (図 3.2-13 参照)

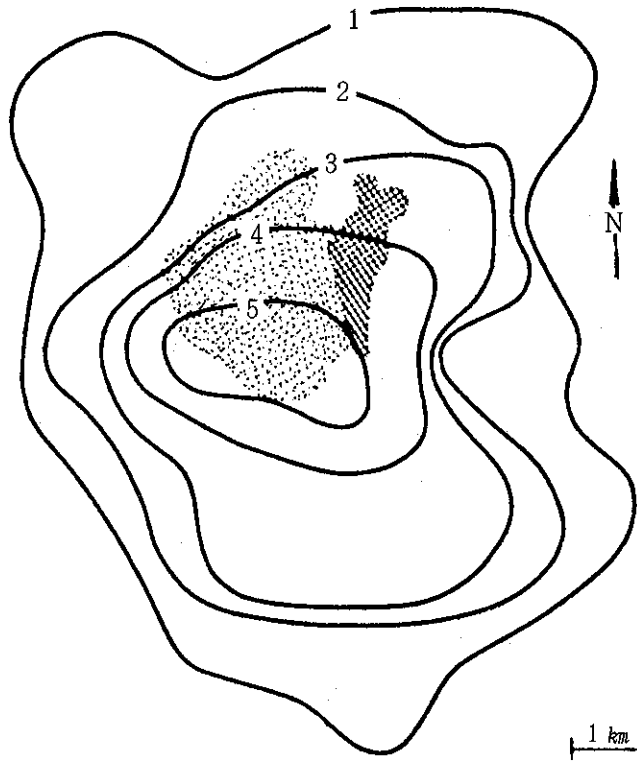


図 3.2-15 ナイジェリア国の Dusten - Wai 花崗岩体の三次元モデル  
 深度コンターの間隔は 1 km。紋点部は黒雲母花崗岩。  
 斜線部分はアルバイト・リーヘック閃石花崗岩。

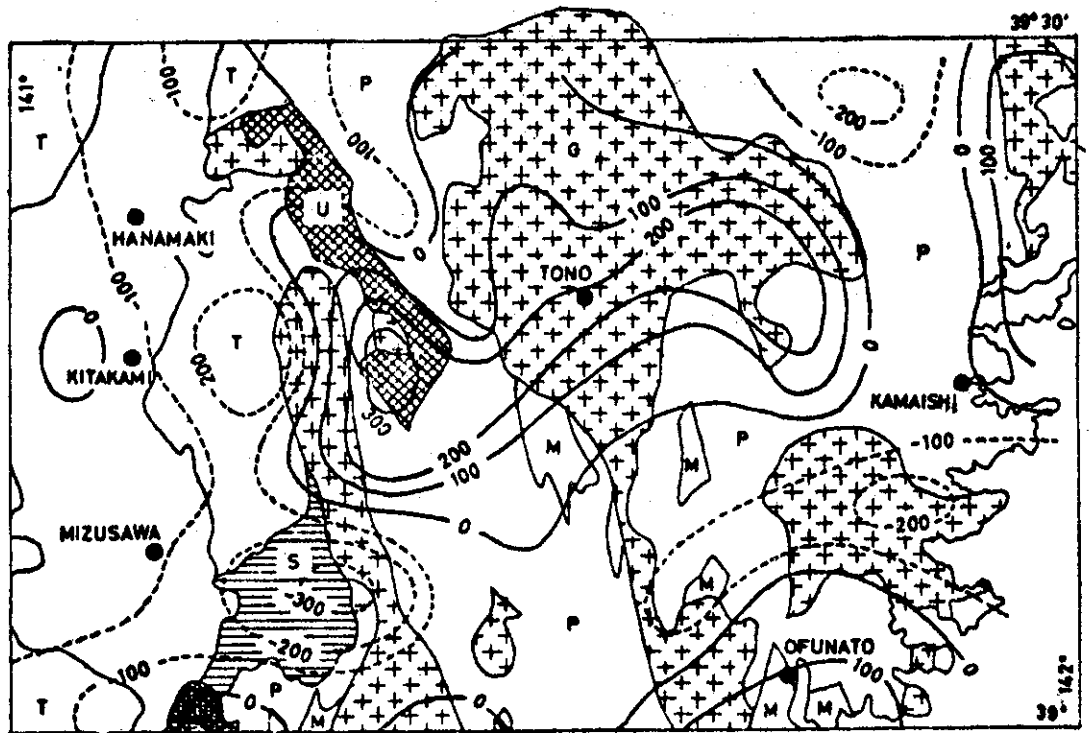


図 3.2-16 4000 ft. 空中磁力異常図 (KATO, et al., 1968による)  
 G: 花崗岩, U: 超塩基性岩, S: デボン紀輝緑凝灰岩, P: 古生層,  
 M: 中生層, T: 第3紀層。

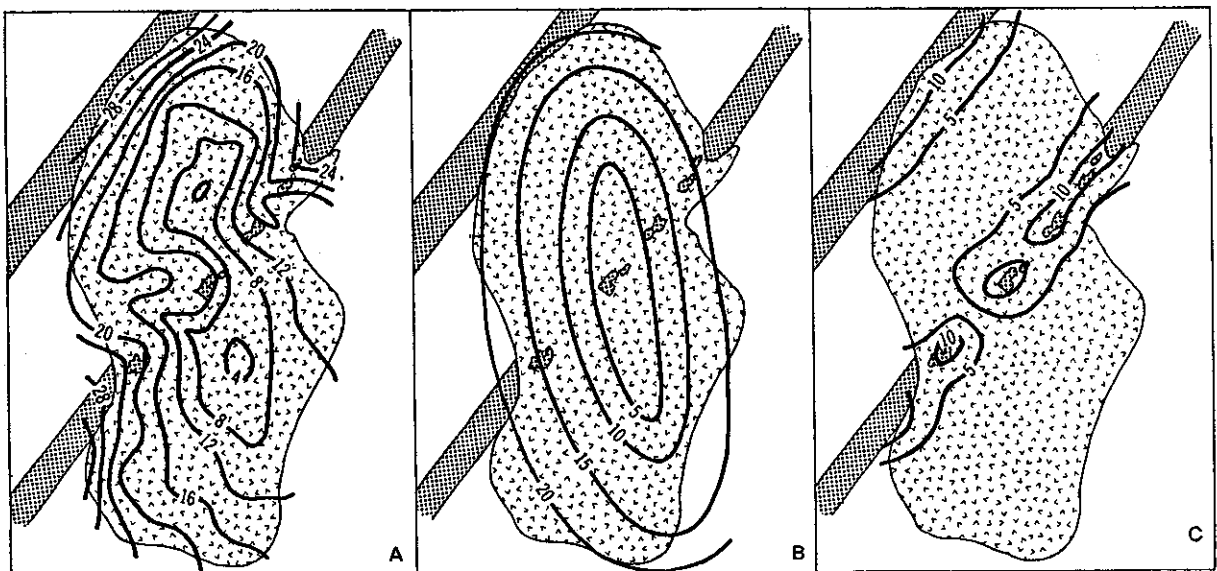


### iii 地球化学的方法

岩石の $\text{SiO}_2$  %, 色指数等を調べて、それを岩体全体の内部に位置づけることにより間接的に岩体の構造を調べる。

ひとつの岩体は複数の岩質によって構成されているのが普通であるが、岩体内の岩質の配列と岩体の構造との間には統一的な秩序はない。しかし岩体内の $\text{SiO}_2$  %や色指数を数多く調べ統計的に処理し、岩体内の構造、ひいては岩体と周囲岩石の相互関係、岩体の外部構造等を調べる手法がある。その例はカナダのケベック州に於いてであるが調べた数多くの $\text{SiO}_2$  %や色指数のデータを最小2乗法を用いて、統計的に処理する方法がある。この手法によって描いた図を図3.2-17に示す。

特に最近注目される研究としては、巨視的には大きなひとつの岩体と見られるものでも、その内部が岩相的に異なった幾つかの単位に区分されることは、本報告に述べていることであるが、このような岩相の区分はひとつのマグマからの岩しょう分化作用によるものなのか、あるいは、別々のマグマ起源なのか、を、これら岩相境界付近の微量成分を追跡することによって考えることがなされている。



花崗岩は▽印で、花崗岩体の周囲には2帯の超塩基性岩がある。花崗岩体の内部には超塩基性のルーフ・ペンダントがあり、このルーフ・ペンダントのそば、あるいは周囲超塩基性岩のそばでは花崗岩は混成作用のため、より塩基性になることを示している。

A : 花崗岩体内部の等色指数, B : 色指数に基づく線状二次分布傾向面

(Computed Linear plus quadratic partial trend surface)

C : 傾向要素 (trend component) の誤差。等値線は正の誤差のみ示した。これらの誤差は花崗岩が超塩基性岩に近づくとき広域的傾向要素から推定されるよりもより塩基性であることを示している。

図 3.2 - 17 化学的方法による花崗岩体の形状推定図

以上述べた3つの大きな手法はこれらを重ね合せ、総合的に評価して初めて、より詳細な花崗岩の地下深部構造を調べることができる。

(2) ゼオライト質岩：Z-1地区

a. 地質概査結果の概要

本年度の地質概査はZ-1地区周辺の地質状況の把握に努めた。

その結果、これまでZ-1地区でゼオライト質岩として扱われている地層は主として新第三紀中新世女川階の山内層の田子内部層であることが判明した。更に概査地区東部から北部にかけて分布する西黒沢階の地層（凝灰岩類）の一部にもゼオライトの存在が確認された。

本項では現地調査及び文献調査の資料に基き当地区の地質状況を取りまとめた。

i 位置・交通

秋田県湯沢市、横手市の東方の山岳地帯に位置し、概査実施地区は平鹿郡山内村、増田町、東成瀬村及び岩手県湯田町の一部である。（図3.2-18）

交通は国道13号線の横手より岩手県北上市に通ずる107号線、及び13号線の十文字町より岩手県水沢市に通ずる道路が地域を横断し、これから町道、村道が分岐している。又、国鉄は国道13号、107号に沿って奥羽本線、北上線が通じている。

調査地域は雄物川支流成瀬川沿いの五里台附近を南限とし、山内村大松川北方女神山（956 m）を北限とする南北33 km、西側は湯沢市東方の山地より、東側は国鉄北上線沿いの湯田ダム中央部までの東西約35 kmが概査対象地域である。（図3.2-18）

ii 地 形

概査地域は東北地方背梁山地に属し、その西側は横手盆地に接している。背梁山地はほぼ南北系の陵線にそって秋田・岩手両県の県境となっている。

山地には女神山（956 m）、割倉山（771 m）、三森山（1,102 m）、大森山（1,150 m）、枳ヶ森山（1,070 m）、栗駒山（須川岳）（1,628 m）が点在し、これらの山々にそって雄物川の支流である二級河川の横手川、黒沢川、松川、武道川、皆瀬川、成瀬川があり、このうち横手川、黒沢川、松川、武道川は山内村相野附近で合流し旭川として横手市内を通り、横手市北西で雄物川に合流、又、皆瀬川、成瀬川は増田町南方で合流、十文字町西方で雄物川に合流している。

河川の一部は下刻が進み小規模河岸段丘が形成され、これらの平坦部は沖積層で覆われ数少ない平地には水田が拓け、山麓台地には畑が分布している。集落はこれら低地平坦部にみられる。一方横手盆地は上記河川の営力の低下



により扇状地を形成し増田町及び横手市はこの扇状地形上に位置している。

又、この横手盆地東縁は後述する横手東方断層、吉野断層等により盆地と山間地の上に明瞭な差が認められることから、断層を伴った構造的盆地である。

概査地区は平野部と山間地は明瞭に区別されるが全体にはやゝ急峻な地形を形成している。

### iii 気 候

当地区の気候は年間を通じて $12^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ と概して冷涼であるが、夏季の最高気温は $30^{\circ}\text{C}$ を超えることもある。年間雨量は $1600\sim 1,700\text{mm}$ であり最高雨量を記録するのは入梅明の7月に多い。冬期は当地区～背梁山脈にかけて豪雪地帯で知られ最大積雪は $3\text{m}$ を超すこともあり山間部の集落では交通が絶えることもある。

### iv 一般地質

当地区は東北グリーン・タフ地域の骨格となる背梁山脈中心部近くに位置し、先第三紀の花崗岩を基盤として新第三紀中新世の地層が広く分布する。当地区の地質図・地質断面図を図3.2-19-(1)～(5)、図3.2-20-(1)～(2) (報告書巻末)及び地質層序表を表3.2-4-(1)～(2)に示す。

表3・2-4-(1) Z-1地区層序表 (地区中央部)

時代	時階	地層名	層厚M	模式柱状図	岩相	貫入岩
第四紀	時階	段丘堆積物	30 50		砂 礫	
		新期火山物	150		安山岩 溶岩	
		芳沢層	50 100		砂礫、粘土、泥炭	
第三紀	新世	天徳寺階	100 500		泥岩 安山岩 砂岩 凝灰岩 軽石凝灰石	花崗閃緑岩
		船川階	400 500		泥岩 安山岩質凝灰岩 軽石凝灰石 砂岩	
		女川階	0 1300		泥岩 含異質凝灰岩 安山岩質凝灰岩 流紋岩 安山岩	
		西黒沢階	100 1000		泥岩 凝灰岩 安山岩	
		川尻階	400 1100		泥岩 流紋岩 石英安山岩 安山岩質凝灰岩 凝灰岩 安山岩 含異質凝灰石凝灰岩 凝灰岩 安山岩	
		台島階	800 1300		泥岩 凝灰岩 安山岩 安山岩-石英安山岩質凝灰岩	
		門前階	600 1000		変朽安山岩 変朽安山岩質凝灰岩	
	基盤		Gr	花崗岩類		
	貫入岩		TGr	第三紀 花崗閃緑岩 石英斑岩		

注：地質模様のないものは概査地区で分布していない地層である。

表3-2-4-(2)

Z-1地区層序表 (地区周辺部)

時代	時階	地層名	六郷(角館)地区		湯沢東方地区		田子内・成瀬地区	
			模式柱状図	岩相	模式形状図	岩相	模式形状図	岩相
第四紀			欠除 (rp) (tg)	礫石凝灰岩 礫層		礫層	Na 欠除	安山岩溶岩
	天徳寺階	栗沢	(Kup)	石英安山岩質 溶結凝灰岩	欠除		花山 (KMQ) (KMa)	石英安山岩 砂岩 泥岩 礫石 凝灰岩
第三紀	船川階	相金野沢	Am (KAat) (KAb) (KAb)	泥岩 安山岩	戸波 (Ts) Tm	シルト岩 泥岩	Am (KSe) (Am)	泥岩(船野野) 砂岩 泥岩 礫石 凝灰岩
	女川階	山内	Sp (Sot) (Sa) Sm	凝灰岩 安山岩質 凝灰岩 安山岩	山内 Sm Sp Sr	泥岩 凝灰岩 凝灰岩	田子内 山内 Sm TGat (Ga) TGa	泥岩(山内) 砂岩 泥岩 安山岩質 安山岩
	西黒沢階	小舞沢	KOt (INt) KOat (KObt) (KObt)	凝灰岩 安山岩質 凝灰岩	市内沢 INm	泥岩	明通沢 ADm	泥岩
		川尻	Ka Kp1 Ka1 (KObt)	安山岩 凝灰岩 安山岩質 凝灰岩	戸沢 TOS (Suc)	砂岩 礫岩		石安山岩
	白島階	大石	Oat Oa	安山岩 同質角礫岩 安山岩	関 (SEb) (SEr)	玄武岩 流紋岩		
	門前階	大荒沢			山口 (SEa) SEat (SEg)	安山岩 安山岩 同質角礫岩 礫岩		
三先紀	三先紀				Gr	花崗岩類		

注：地質模様のないものは概査地区で分布していない地層である。

## ① 層序及び基盤岩類

本地域周辺は花崗岩類を基盤とし、この基盤の上に新第三紀中新世の地層が下位から大荒沢層（門前階）、大石層（台島階）、川尻層～小繫沢層（西黒沢階）、山内層（女川階）、相野々層～黒沢層（船川階）、花山層（天徳寺階）が分布している。これらの各層は一部指交、同時関係のものも含まれる。（表 3.2 - 4 参照）

本地域の基盤岩類は先第三紀の花崗岩類である。この基盤岩類は横手市金沢本町東方山地、雄勝郡東成瀬村東方天正の滝附近、同東成瀬村成瀬川流域手倉部落附近、及び岩手県和賀郡湯田町廻戸川東側に小規模に分布している。

## ② 新第三紀

### 1) 大荒沢層（門前階）

岩手県和賀郡湯田町大荒沢和賀川沿岸一帯を模式地とし和賀川をはさんで大荒沢から無地内沢上流にかけて分布し層厚は 600～1,000 m である。本層は、主として紫褐色の変朽安山岩、溶岩、同集塊岩および石質の緑色含角礫質凝灰岩からなる〔OA〕。基盤の花崗岩類とは不整合で上位の大石層とは整合関係である。

### 2) 大石層（台島階）

岩手県和賀郡湯田町大石和賀川沿岸を模式地とし旧土畑鉦山東部から沢内村東部までの地域と秋田県六郷町湯田地区、さらに岩手県沢内村（地域外）の一部に分布し層厚は 800～1,300 m である。

本層は緑色～淡緑色塊状含角礫凝灰岩、淡緑色砂質凝灰岩、凝灰質砂岩、暗灰色泥岩を主とし安山岩溶岩、流紋岩（Or）およびそれに伴う火山碎屑岩類（Ort）で無層理塊状岩体を主とし、それらが火山礫凝灰岩～淡緑色凝灰岩に漸移する部分もある。中部層は泥岩（Om）と凝灰岩（Ot）の互層で特徴づけられる。上部層は安山岩溶岩、集塊岩、角礫岩、および凝灰角礫岩等から構成される（Oa, Odt）

上部層安山岩類の発達是一部では上記中部、下部層と指交関係にある。一方秋田県六郷地区に分布する大石層は模式地とは若干異なり最下位は安山岩溶岩で、その上位には赤褐色流紋岩とその火山碎屑物である緑青色凝灰岩、火山礫凝灰岩、溶結凝灰岩（Ow）などが分布し、さらに泥岩、凝灰岩の互層帯がみられ、最上部には玄武岩（Ob）の溶岩流が認められる。上位の川尻層とは整合関係である。又、秋田県湯沢市東方には大石層に対比される関口層が分布している。

### 関口層

本層は湯沢市関口附近を模式地とし、湯沢市以東川連町以西の山塊の南部および西縁部に分布し層厚は200～500 mである。

本層は著しく変質を蒙り紫褐色～暗緑色の輝石安山岩溶岩同質集塊岩、同質凝灰石、火山礫凝灰岩(SEat, SEa)などからなり、輝石カンラン石玄武岩を伴う層理不明瞭の地層で全層にわたり安山岩質円礫～垂角礫を含み、ときには大礫もみられモザイク状を呈している。

全般に中性～塩基性であるが、上部では一部酸性岩をも混え、シルト岩、泥岩を挟在しグレイディング、炭質物なども認められる。

層位関係は先第三紀基磐岩が関口南方に分布しこれを不整合に覆って本層が発達している。

### 3) 川尻層 (西黒沢階)

岩手県和賀郡湯田町川尻を模式地とし、本概査地域一帯から湯本盆状地を挟み中央部は割倉山附近から北方一帯、西南部は吉乃、国見岳附近に分布し層厚は400～1,100 mである。

本層の岩質は流紋岩質凝灰岩を主とするものであるが地域的な変化を有するので以下詳述する。

#### 湯本・黒沢・土畑・前郷地区

本層は流紋岩質凝灰岩を主とするものでしばしば熱水溶液による変質作用を受けて、粘土化帯となり、硫化鉍物の弱鉍化作用がしばしばみられる。地域により岩相がやや異なり3種に大別され、これら是指交関係にある。第1のものは土畑鉍山および同周辺部に発達し、斜長流紋岩質凝灰角礫岩・同質軽石質凝灰岩などからなり、軽石質凝灰岩には暗緑色～黒色の真珠岩の角礫を多量に含み、含角礫凝灰岩中には基磐の花崗岩類、粘板岩および片岩などの異質礫を多量に含んでいる(Kp3)。第2のものは主として左草・赤石鉍山を北限として土畑一帯まで分布する中性～酸性の緑色凝灰岩で異質礫を豊富に含むものである。異質礫を含むことについては第1型と同じであるが安山岩溶岩および安山岩質凝灰岩が卓越する点が異なるものである(Kp2)。第3のものは湯本盆状地および両翼にかけて広範囲に分布するもので斜長流紋岩溶岩流・緑色凝灰角礫岩・軽石質凝灰岩・砂質凝灰岩などから構成され、角礫は流紋岩・真珠岩が多く、ときには安山岩類のこともある。また、砂質凝灰岩あるいは泥岩と凝灰岩の互層帯も著しくかなり連続性があり広範囲に追跡できる(Kp1)。



## 吉乃・国見岳地区

本地区も大半が流紋岩質火山碎屑岩からなっているが、比較的下位に泥岩 (Km)・流紋岩質凝灰角礫岩・同質軽石質凝灰岩 (Kp1)との互層が発達し、これらの上位に流紋岩・角礫状流紋岩 (Kr)・同質凝灰角礫岩 (Kp1)・同質火山礫凝灰岩 (Kp1)が累重している。これらの火山碎屑岩の中には、本地区特有の緑色～灰紫色を呈する安山岩がレンズ状に挟在するほか、砂岩・砂質凝灰岩の薄層が各所に介在する。本層は上位の小繋沢層とは整合である。

### 戸沢層

本層は湯沢市戸沢を模式地とし礫岩 (Suc)、砂岩・シルト岩 (Tos)から構成され、層厚は200 mである。礫岩は凝灰岩を挟在し比較的淘汰のよい安山岩の円礫で構成されている。砂岩はときには小礫を含む青灰色の細砂岩で貝化石を含む、また炭質物を含むこともある。下位の関口層とは整合関係である。

#### 4) 小繋沢層 (西黒沢階)

岩手県和賀郡湯田町小繋沢附近一帯を模式地とし、小繋沢附近から南北に帯状に分布し、湯田町湯川附近で半円状に湾曲して割倉山背斜の東翼から南縁部、西翼へと広く分布し、南西部吉野鉾山附近では薄く分布する、層厚は100～1,000 mである。

本層は大別して3帯に分けられる。下部では凝灰岩と泥岩が互層するが泥岩が優勢で凝灰岩 (Kot) は肉眼的には比較的淘汰のよい緑色パッチを含み川尻層の塊状のものとは明らかに区別される。また下部帯にはしばしば流紋岩 (ADr) 玄武岩あるいは安山岩質凝灰角礫岩 (Koat) が挟まれる。この下部帯は層厚変化が著しく100～400 m程度に変化する。

中間帯は泥岩 (Kom) を主体とし層厚はかなりの変化を示し0～500 mの厚さを示しこれの上部にも玄武岩の活動を伴っている上部帯は青灰色細粒砂岩 (Kos)からなり、塊状無層理で黒沢層下部の砂岩とかなり類示している。なお北部地域(概査地区外)では泥岩、凝灰質玄武岩、玄武岩質凝灰岩類などからなり、部分的に玄武岩溶岩、安山岩溶岩が厚く発達している。

また南西部吉野鉾山附近に発達する本層 (Kot (Nt)) は凝灰質泥岩からなり岩質的には割倉山背斜周辺に発達する小繋沢層とは若干異なっている。層位関係は上位の山内層とは整合である。又、本概査地域の西側には市内沢層、南側高根山附近には鍋ヶ沢層、東側には明通層が分布している。以下詳述する。

### 市内沢層

本層は湯沢市戸沢南方市内沢を模式地とし、湯沢市東部山地中央部から北部にかけて分布し層厚は50～250mである。

本層は比較的層理の発達した暗灰色～灰色泥岩、淡緑色火山礫凝灰岩からなる。泥岩(Inm)は石灰質黒色泥岩、シルト岩凝灰岩の薄層を挟んでいる。また山谷北西では暗緑色中性～酸性火山岩および流紋岩の角礫をもつ凝灰角礫岩(Inat?)が分布するが、これらは本層の下部で泥岩と同時異相の関係にある。

層位は下位の戸沢層と整合関係であり、岩相上小繋沢の泥岩と酷似する。また上位の山内層相当層と整合関係にあることから小繋沢層と同層位にあるとみられる。

### 鍋ヶ沢層

本層は雄勝郡東成瀬村鍋ヶ沢を模式地とし、川尻層の外縁をなすような形で分布し層厚は50～250mである。

本層は主として酸性凝灰岩と泥岩(Nm)とからなる。凝灰岩(Nt)は軽石が緑泥石化した緑色パッチを多量に含み、また直径数10cm程度の泥岩の円礫を含んでいる。南部高根山沖ノ沢東方、小岡台沢大台沢には泥岩中に玄武岩の溶岩流(Nb)が挟在する。

層位関係は下位層と整合関係である。

### 明通層

本層は雄勝郡東成瀬村五里台部落東方明通沢を模式地とし、模式地明通沢から南方大深沢へかけて分布し層厚は250～1,200mである。

本層は数枚の緑色凝灰岩を挟在する暗灰色泥岩(ADm)を主体とし流紋岩質岩の溶岩を伴っている。泥岩は緻密硬質で層理は上位層の山内層の板状泥岩ほど顕著でない。ときに淡緑色～淡青色凝灰質シルト岩に移化する。泥岩に挟在される緑色凝灰岩は軽石質パッチを含有し層理は比較的明瞭で、泥岩の小角片を含有する。また、明通沢・大深沢では本質礫とみられる流紋岩質岩の円礫を含む。流紋岩質岩(ADr)は貫入相を示す部分もあるが溶岩丘の産状を呈するものもある。

層位関係は上位層とは整合関係で接するが下位層との関係は不明である。本層の層位的位置、岩相的特徴は有孔虫化石などからみて西黒沢階の小繋沢層から川尻層上位に相当するものとみられる。

### 5) 山内層(女川階)

平鹿郡山内村下黒沢芝倉山南麓を模式地とし割倉山背斜南端部のセミドーム構造をとりまき、さらにその西方で東成瀬村川口から山内村一帯、

横手市東方山地にかけて南北にのびて広範囲に分布する。さらにその北方へは横手盆地東縁の山麓部にしだいに厚さを減しながら分布し層厚は0～1,300 mである。

本層は黒色～青黒色泥岩、暗灰色硬質泥岩およびこれらと砂質～軽石質凝灰岩との互層からなり、一般に下位に泥岩が優勢で、上位は軽石質凝灰岩が発達する。また地域南端部田子内部落から岩井川部落にかけての成瀬川流域の南方には特徴的な安山岩質火砕岩類 (TGat) が本層の上部に厚く発達している (田子内集塊岩部層)。また山内村付近の泥岩層 (Sm) の最上部付近には、最大層厚30 mの凝灰岩 (Sp) が発達し、鍵層として重要である。この鍵層の上部には5～20 mの硬質と軟質の泥岩層が発達し、上位の相野々層に移化している。相野々付近から西方に向かって急速に層厚を増し、山内層の肥厚部を形成している。また成瀬川以東の脊梁分水嶺付近では1,000 m以上の層厚を有する地帯となっている。吉乃鉾山東方の川口～火石田、高根山付近では下位は砂質凝灰岩とパッチをもつ凝灰岩・硬質頁岩の互層からなりこの上位に硬質泥岩がかさなる。湯沢市東方山地では下位に流紋岩溶岩 (Sr) と同質の火山礫凝灰岩が発達し、上位は硬質泥岩が主体となっている。横手市東方山地では、本層上部に軽石質凝灰岩 (Sp) が300～400 mの厚さに発達している。

層位は上位の相野々層とは整合関係であり、また黒沢から東方に発達する黒沢層は相野々層と指交関係であるので山内層は黒沢層とも整合である。

また、椿川および五里台西方では、五里台部層によって置き換えられ、さらに田子内付近では田子内部層と指交関係にある。

田子内部層 (ゼオライト質凝灰岩) (TGat, Tga)

雄勝郡東成瀬村田子内部落、東成瀬川沿岸一帯を模式地とし模式地南方山地一帯に広く分布しており層厚は650 mである。

本部層は安山岩溶岩・同質火山角礫岩・凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩・凝灰岩などからなる。安山岩溶岩は両輝石安山岩を主体とし部分的に玄武岩質となる。溶岩流は本部層中に3枚認められ、とくに最上部の溶岩は厚さ300 mに達する。また枕状溶岩が部分的にみられる。火山碎屑岩類は火山角礫岩～凝灰角礫岩が主体で1部には火山弾を含み集塊岩の産状を呈する。大部分は淘汰が悪く礫は亜角礫状を呈して不明瞭ながら分級を示す。活動の中心から離れるにしたがい礫の大きさは小さくなり、火山礫凝灰岩～粗粒凝灰岩となる。

層位は山内層の上部と指交関係にある。

#### 五里台部層 (Gs)

雄勝郡五里台西方を模式地とし松ヶ沢流域に分布するが、田子内部層を覆いあるいは指交関係を保ちつつ分布し層厚は 300 m である。

本層は淡青色細粒砂質シルト岩からなる。ときに石灰質団塊を含有し、貝化石の破片や円磨された礫からなる石灰質礫岩を挟在する。一般には塊状無層理であるがときに層理を示すことがある。

層位は山内層・田子内層と指交関係であるが山内層全体からみれば上位に相当する一岩相である。

#### 松岡層

湯沢市松岡新城を模式地とし松岡鉦山（地域外）周辺から切田部落北方山地にわたって分布し層厚は 100 ~ 200 m である。

本層は白色細粒凝灰岩・淡緑色凝灰質角礫岩・溶結凝灰岩からなり (Sp) 特に凝灰質角礫岩は流紋岩質本質火山礫とみられる。まれに花崗岩の角礫を含む。松岡鉦山周辺では珪化作用を強く受けており珪化岩となっている部分がある。

本層は南方院内地区に広く分布する院内凝灰岩と同一岩質で層位的にも一致し女川階の酸性火山噴出物と考えられる。

#### 6) 相野々層 (船川階)

平鹿郡山内村相野々附近を模式地とし秋田県山内村一帯に分布し、その延長は六郷附近までおよんでいる。また一部下前地区では小繫沢層の上位に分布している。層厚は 400 ~ 600 m である。

本層は主として黒岩泥岩 (Am) で特徴づけられるが、淡青色細粒砂岩、凝灰質砂岩 (Kss) および軽石質凝灰岩 (Ap, Apt) が卓越する部分もあり、これらは同時関係にある。また北部六郷地区ではこの凝灰岩と指交関係で安山岩類の溶岩、同質の火山角礫岩および凝灰角礫岩の発達が確認されている。一般に本層は泥岩が特徴であるが山内層のような硬、珪質なものではなく、黒沢層とは比較的下部で同時異相を示すものである。

#### 7) 黒沢層 (船川階)

平鹿郡山内村黒沢を模式地とし湯本盆状地の両翼に帯状に分布し、さらに南方にのびて東成瀬村野尻～山内本田～山内村下南郷と輪状に広く分布する。また土畑鉦山南部へも東にはり出した形で露出している。層厚は 200 ~ 800 m である。

本層は主として細粒砂岩～泥岩からなり凝灰質砂岩、軽石質砂質凝灰岩、礫岩を挟み、局部的に薄い流紋岩の溶岩が認められる。また地域南部に

は石英安山岩質火山礫凝灰岩 (TAdt)が広く発達している。(滝の沢凝灰岩)。一般に石灰質団塊が発達しまた全般的に貝化石を多産することも特徴である。

層位関係は上位の花山層とは不整合で接し、かなりの構造的差異を示すところもある。

#### 8) 滝の沢層 (船川階)

雄勝郡東成瀬村滝の沢部落北方を模式地とし、大日向山山麓部に広く分布する。層厚は500 m(+)である。

本層は、淡青緑色～灰緑色石英安山岩質火山礫凝灰岩、同質凝灰角礫岩、凝灰岩からなる。(TAdt)

火山礫凝灰岩は石英安山岩、黒色泥岩の岩片、小角礫を有し浮石質である。本層上部は砂質となり、花山層の凝灰岩との識別が困難になる。また最下部は、しばしば安山岩円礫～垂角礫を含有し、田子内部層と漸移し境界部は不明瞭となる。

層位関係は下位の田子内部層から漸移する。また黒沢層とは水平的な指交関係が認められる。

#### 9) 戸波層 (船川階)

雄勝郡増田町戸波を模式地とし模式地のほか同南部山谷峠附近まで分布する。層厚は100～150 mである。

本層は主として軟弱な泥岩と青灰色泥岩、板状泥岩、凝灰質シルト岩、凝灰質砂岩が挟在する(Tm)。一般に下位山内層との境界部附近には凝灰岩が発達し鍵層として追跡される。

層位は山内層とは整合関係にあり、地域全体から船川階に対比されるものと考えられる。

#### 10) 花山層 (天徳寺階)

岩手県和賀郡湯田町花山を模式地とし湯本盆状地の中心部から南方へ帯状に地域南限近くまでのび、また一部は西方へ分派して南郷嶽、大日向山の山稜部を形成している。また地域北東端ヶ沢附近、地域北西端六郷東方にも分布する。層厚は100～500 mである。

湯本盆状地に分布する本層は主として凝灰質砂岩、礫質砂岩、(H)凝灰岩、軽石質凝灰岩、(Hpt)凝灰質泥岩(H)および礫岩(H)からなる。またこれらの中には数枚の亜炭層が挟まれている。一般に岩質は軟弱で砂質岩にはしばしば偽層が発達している。北上線沿線部から南部の本層は下部にシルト岩、砂岩、礫質凝灰岩、礫岩が発達し、上部は主として軽石凝灰岩からなっている。上部はしばしば亜炭の薄層、炭化木片

を挟む。また本層末期の活動と思われる安山岩溶岩 (Ha), 石英安山岩溶岩 (Hd) が発達している。

地域北東端安ヶ沢付近に分布する本層は石英安山岩質凝灰岩, 溶結凝灰岩, 凝灰質泥岩からなり, その基底部は巨礫を含む異常堆積相を呈している。地域北西端六郷東方の本層は炭化木片を含有する泥岩, 凝灰岩, 礫岩からなる。

層位は上位の芳沢層とはかなりの構造の差を示しており, 斜交不整合が各地で見られる。

### ③ 第四紀

第四紀の地層は湯本盆状地の中心部の表層を形成し, 概査地区の東部北方に主に分布する。

#### 1) 芳沢層

岩手県和賀郡湯田町松沢を模式地とし前記湯本盆状地の中心部の表層を形成し小繋沢, 黒沢層, 花山層および割倉山断層の一部を被覆している。層厚は 50 ~ 100 m である。

本層は砂, 礫, 粘土及び凝灰岩からなり (H) 泥炭を挟在する。砂礫は層理不明瞭の複合体で礫は大石層, 川尻層の安山岩, 緑色凝灰岩, 流紋岩, および小繋沢層の泥岩が多い。

#### 2) 河岸段丘堆積物および沖積層

横手盆地東部の平野部, 沢内村の平野部, 湯本地区の河川流域および丘陵地帯には花山層あるいは芳沢層の上位に砂, 礫, 粘土を主体とした河岸段丘物および沖積層が分布する。

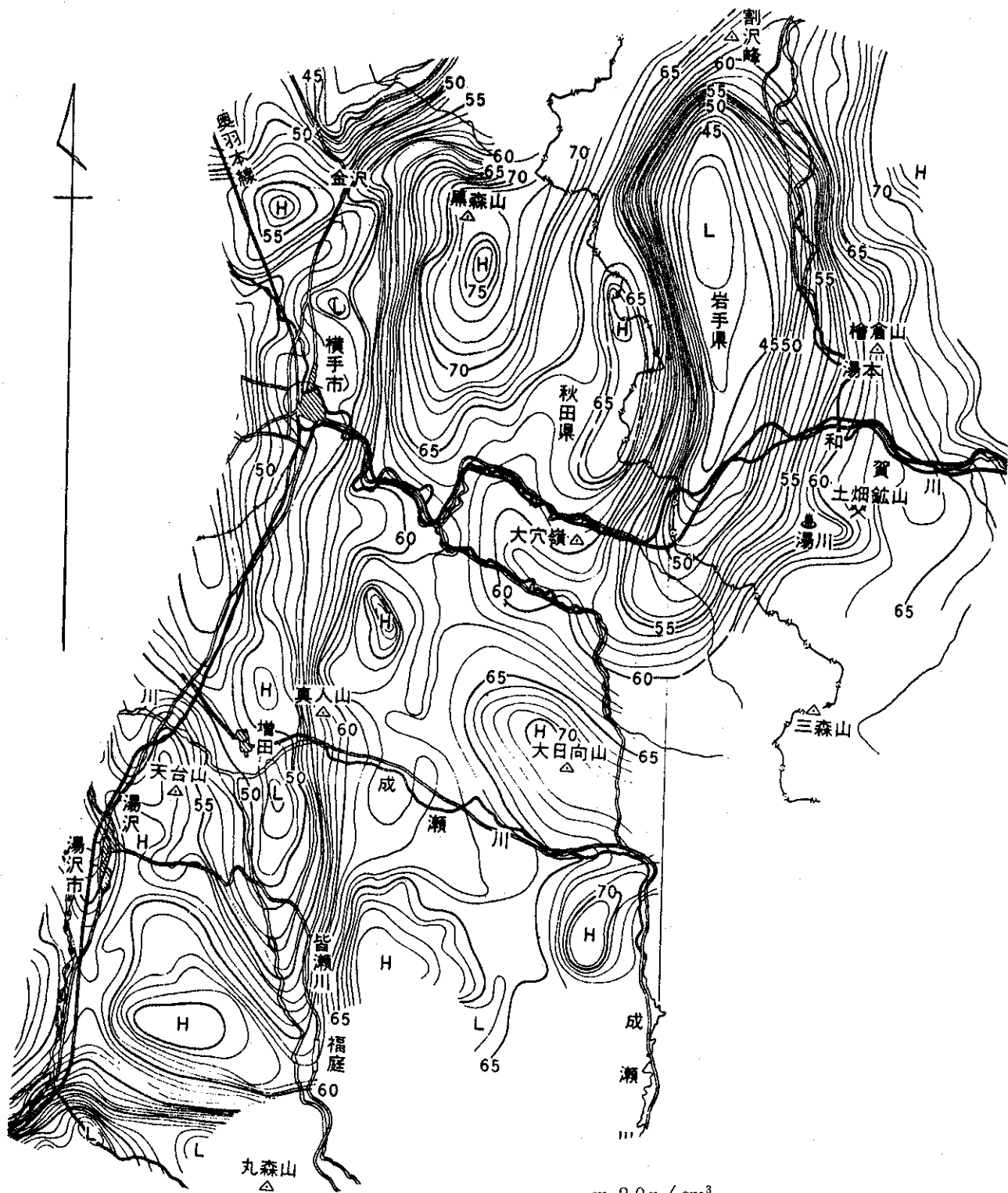
### ④ 火成岩類

本地域には貫入岩体が数種類見られるが, これらは各時階に溶岩あるいは貫入岩体として活動したもののほかに活動時期が船川階までにおよんだとされている花崗閃緑岩が地域東部廻戸川下流, 東南部天正の滝附近, 成瀬川沿いの手倉附近, および横手市北東に分布している。新期安山岩類は地域南東部 (本内川上流上方) の三森山附近に分布し, これははるか地域南東部に発達する焼石岳安山岩類と一連の火成活動によるものと考えられている。

### ⑤ 地質構造

概査地区の地質構造を規制しているものは, 背梁山脈の骨格を構成している南北に連なる大背斜構造であり, 本地区はこの西側に位置している。

本地区はこの大背斜構造の西翼から後述する南北性の褶曲, 断層により湯本盆状構造, 割倉山背斜, 吉乃背斜等を構成し本地区の地質構造が形成



$\rho = 2.0 \text{ g/cm}^3$



図3.2-21 Z-1地区等重力線図

されている。これらを等重力線図及び地質構造図で示す。(図 3.2 - 21, 22)

以下断層系, 褶曲系について記す。

1) 断層系

本地区の断層は, 概査地域外も含めてNW-SE系, NE~SW系およびN-S系の3系統が発達している。概査地区内の断層としては次のものがある。

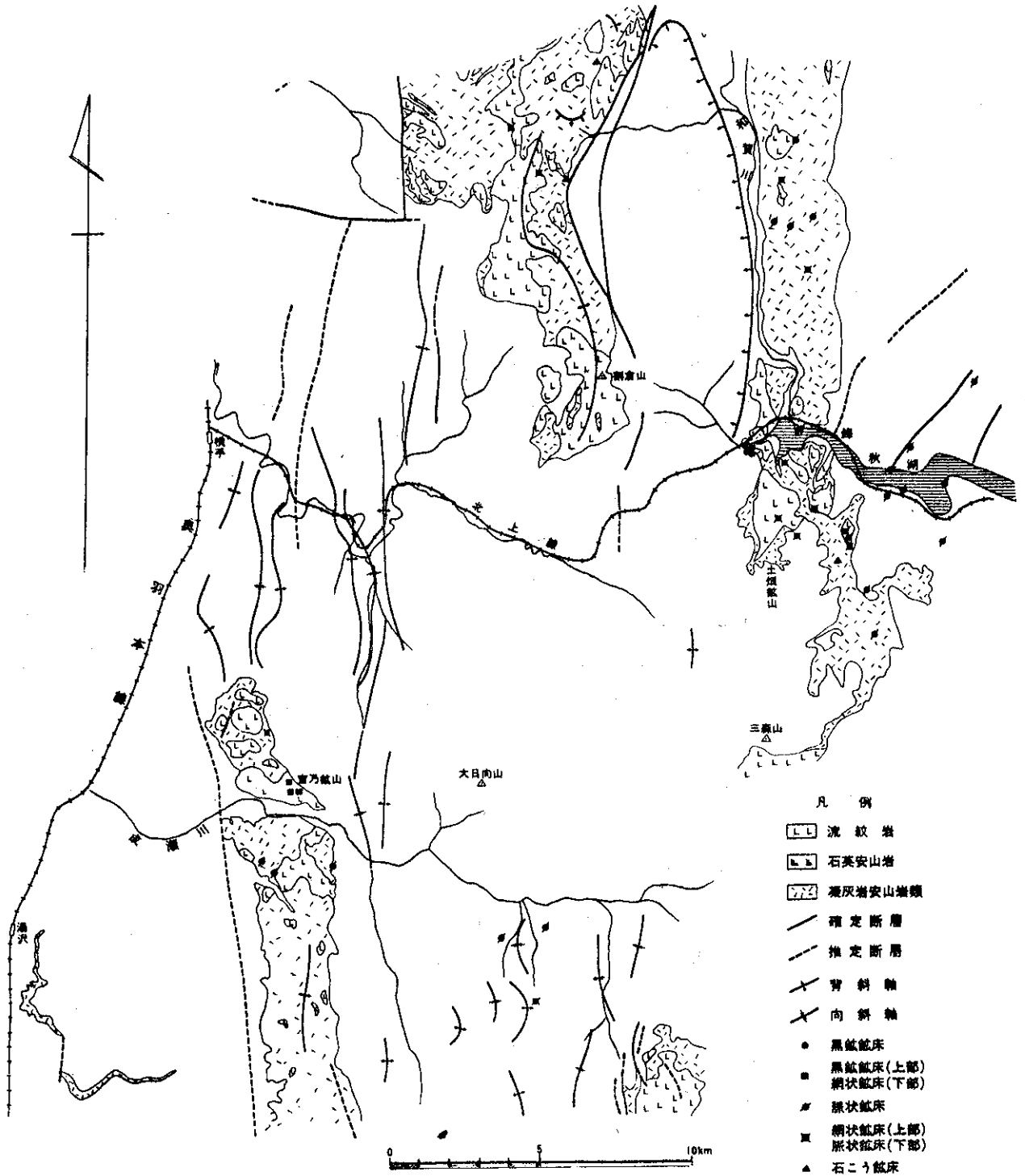


図 3.2 - 22 Z-1 地区地質構造図



## NE～SW系断層

金沢断層：秋田県横手市北方の金沢本町附近より黒森山南部に達するE-W性の断層である。断層の東末端部では第三紀花崗類が露出している。

## N-S系断層

割倉山断層：割倉山背斜の東翼を切り湯本盆状地の西縁を画するものである。断層南端部は国鉄北上線附近で消滅しているが、北延長部真昼岳断層と平行（地域外）して川舟断層に達している。

横手東方断層：横手盆地とその東側を画する西落しの断層であり横手盆地の東縁に沿ってのびている。

吉乃断層：秋田県平鹿郡増田町東方から稲川町を通り川連にのびるものであるが、ほとんどは沖積層に覆われた伏在断層である。

## 2) 褶曲

概査地区の地質構造を形成している要素の一つとして曲構造がある。以下主な褶曲帯について記す。

割倉山背斜構造：割倉山を中心としてほぼ南北にのび北方は女神山附近、南方は国鉄北上線沿線の北方で消滅する。

吉乃背斜：旧吉野鉾山附近を南北にのび、国見岳附近まで連続する。

湯本向斜：概査地区東方をほぼ南北に流れる和賀川と割倉山背斜の中心をほぼ南北に随円状に発達する盆状構造である。

横手東成瀬地区：女川・船川階が主として分布しているが、著しい背斜向斜を繰り返す褶曲構造を形成している。

### ・地質断面の考察（1-1'地質断面図）図3.2-20-(1)

廻戸川から西部にかけて西落しの大石層、川尻層、小繋沢層、花山層が背梁背斜構造の西翼を構成し左草附近で割倉断層及び湯本盆状構造により大きく落ちこんでいる。

割倉山背斜軸以西では川尻層からはじまり褶曲をくり返し小繋沢層以深の地層が分布し、流紋岩西側は重力による構造解析では高異常となっており基盤の隆起が予想される。更に南北性断層を示す横手東方断層以西は試錐結果から山内層の泥岩が卓越し、WO-3.6 試錐で小繋沢層泥岩等を把握している。

当断面図には東成瀬地区のゼオライト質凝灰岩（TGat）の分布はみられない。

### ・地質断面図考察（2-2'地質断面図）図3.2-20-(1)

東側より断面図や、中央のWT-14 試錐附近まではNo.1断面図同様背梁背斜の西翼を構成している大石層、川尻層、小繋沢層が分布している。構造試錐41 PAW-1 試錐附近は割倉断層及び湯本盆状構造の南端部に属し断面図に

於いてもその結果がよく表現されている。WW-9.10試錐では試錐中央部以深で安山岩、流紋岩及び凝灰岩類を把握している。又、この附近は割倉山背斜の南端部に属し、WW-9.10以東ではセミドーム構造を形成し重力結果とも一致している。42PAW-2試錐では山内層、小繫沢層の泥岩類が大半を占め下位に流紋岩の分布がみられるが全体に褶曲構造が顕著である。

西方には前項で記した南北性断層である横手東方断層がみられ、これにより同断層以西の落ち込みが予想される。Z-1地区に分布しているゼオライト質凝灰岩(Tgat)の分布はみられない。

•地質断面図考察(3-3'地質断面図) 図3.2-20-(2)

東端に分布している山内層泥岩は成瀬川以東の背梁分水嶺では1,000m以上の肥厚部を形成しているものであり、この分布は成瀬川断層(仮称)以西ではWG-4.7の各試錐で把握されているが急激にその厚さを減じ地表では増田町狙内中村部落まで及んでいる。この泥岩の上位にはゼオライト質凝灰岩類とした田子田部層(Tgat)がみられる。地表部でのその分布は成瀬川沿いの田子内以南及び手倉~五里台以西の限られた範囲である。成瀬川断層~増田町狙半内にかけては、見掛上極めて微弱な凹部(盆状)を形成しており、全体には吉乃断層附近で若干の基盤の隆起が予想される。

•地質断面図考察(4-4'地質断面図) 図3.2-20-(2)

北側よりWW-3試錐附近までは吉乃背斜東翼を切る断面であるが、北側より42AC-10試錐までは見掛上のドーム構造を示している。地域全体は南北にのびるいくつかの背斜構造に規制され、地層は平坦化している。田子田部層は南部のみ分布しWG-6直下を肥厚部とし桑野沢直下附近を北限としていると思われるが不明である。

V 東北地方のゼオライト質岩について

普通ゼオライトとかゼオライト資源(鉱床)といわれるものは、鉱物のゼオライトを多量に含んだ岩石のことで、それには各種の凝灰岩や凝灰質泥岩ばかりでなく流紋岩などの火成岩の場合もある。しかし現在資源として利用されているものは、大部分が含ゼオライト凝灰岩である。本文でゼオライト岩とかゼオライト鉱床というのは含ゼオライト凝灰岩のことである。

① 我国におけるゼオライト資源のもつ意義

我国におけるゼオライト資源が他の地下資源にくらべて持つ特別の意義は次のような点にあると考えられる。

- 鉱量が非常に多い。
- 鉱床はその質が均質で個々の鉱床のスケールも大規模なものが多く品質も良好なものが多い。

- 鉱床は裏日本に多く、とくに東北地方に多い。
- 現在はまだ確たる工業的用途はないが将来へのポテンシャルティは高い。

我国のゼオライト岩は「海成～湖成堆積物中にゼオライトが生成したもので、いわゆるグリーン・タフ地域と呼ばれる新第三紀層を主とする地域に集中的に存在している。ゼオライト資源の量については個々の鉱床について算出しなければその総量は出ないが、東北地方中部の内陸盆地から日本海沿岸地域に限って、同地域の中新世火山岩類の量を算出した大沢(1968)の数値を用いると本地域の中新世を門前、台島・西黒沢、女川、船川、天徳寺前半の5つの時階に区分し、岩石を粗面玄武岩・粗面安山岩、玄武岩・粗粒玄武岩、安山岩、石英安山岩・流紋岩の4つに分けその合計と碎屑岩類および全堆積物の量を算出している。この区分の内、ゼオライト資源に関係のあるのは時代的には船川と女川の両時代で、岩石では碎屑岩類である。大沢の試算によると女川階の碎屑岩類の量は1500～1300 km<sup>3</sup>、船川階のそれは2300～1700 km<sup>3</sup>で合計すると3800～3000 km<sup>3</sup>になる。碎屑岩類中、ゼオライト岩と関係があるのは酸性凝灰岩類で、また利用可能なゼオライト岩におけるゼオライトの含有量を50%以上とすると上記碎屑岩類中何%がゼオライト鉱床となり得るかが問題である。仮に0.1%とするとその量は3.8～3.0 km<sup>3</sup>で、その比重を2.0とするとその重量は76～60億トンになる。

0.1%という見込みが妥当であるかどうか問題であるが、とにかく東北地方には未稼行で、その存在の知られている鉱床がかなりあり、また今後の調査で発見されるものなどを考慮すると上記の値はゼオライト岩の鉱量の特徴を示すものといえよう。

次に、現在稼行中の鉱床の個々についてその鉱量が報告されたものはないが、一、二の鉱床を除き、その鉱量はいずれも数100万トン以上に達するものと思われる。

## ② 我国のゼオライト岩の種類および特徴

天然に産するゼオライトの種類は極めて多く30種以上が知られている。しかしながら資源として濃集し大量に産するものはそれ程多くはない。主なものを列記すると、斜プチロル沸石、モルデン沸石、方沸石、菱沸石、エリオン沸石、濁沸石、十文沸石、苦土沸石、ワイラケ沸石などである。一方我国で資源的に産出するものは斜プチロル沸石、モルデン沸石、方沸石の三種類であるが、方沸石は今のところ用途がないのでこれ以外の二種類が稼行されている。これら二種類の沸石は単独で産するものではなく両

者が混在している場合が多く、斜プチロル沸石を主とする鉍石、モルデン沸石を主とする鉍石として区別される。我国のゼオライト岩はその外観や岩相などから次の三つのタイプに分類される。

1. 白石タイプ
2. 大谷石タイプ
3. 八沢木タイプ

これらの利用上の特質として、農業用キャリアー、製紙用クレーの代用品としては1のタイプ、水質浄化用（硬質で崩壊性のないもの）として2のタイプ、イオン交換、吸着剤等ゼオライト本来の性質を利用したものとして1～2のタイプ（ゼオライトの結晶が大きく濃集度の高いもの）。農業用には粘土質の3のタイプが適していると云われている。

### ③ 東北地方のゼオライト岩に関連した地質現象

#### ゼオライト岩の地質層準

東北地方に分布するゼオライト岩の地質時代、層準は古くは門前階から始まり、天徳寺階まで及んでいると云われている。このうち鉍床として稼行されているもの、またはこれに準ずるものに限定するとその時代は前述の如く女川・船川の両階に集約されるようである。船川階の地層でみると、秋田県鷹の巣盆地では黒色頁岩を主としその上、下部では顕著な凝灰岩層が発達し夫々上部七座凝灰岩、下部七座凝灰岩と呼ばれ、このうち上部七座凝灰岩層は一部で広汎なゼオライト化を受けており、秋田県二ツ井町のゼオライトはこの一部である。又、この上部七座凝灰岩層に対比され、秋田県北部から青森県南部にかけて発達する遠部層、又は矢立層があり、秋田県南部から宮城県にかけて分布するものは三途川層と呼ばれている。これらの凝灰岩類は泥岩なども含まれるが、凝灰岩類には普遍的にモルデン沸石、斜プチロル沸石が存在している。

更に青森県黒石東南の浅瀬石川中流では、青荷層とした凝灰岩類が分布している。これは断層の存在のため直接対比されないが、船川上部から天徳寺下部とされている。この凝灰岩類は普遍的にゼオライトを含有し、この中には白石タイプ、八沢木タイプのもある。

山形県米沢市板谷には本邦最大のゼオライト鉍山があり、これは板谷層中にゼオライトが含有され船川階に対比されている。

#### ○ 温泉とゼオライト岩

秋田県北部から青森県南部にかけて、大湯、日景、矢立、湯ノ沢、碓ヶ関、大鱒および黒石温泉郷（温湯）が多く存在している。

これらの温泉の湧出母岩はいづれも前記遠部層かこれと同層準の地層の

凝灰岩類である。これらの凝灰岩類はゼオライトの普遍的な存在で特徴づけられ、これが有力な貯水層～滞水層を形成し温泉として湧出している興味深い事実が判明している。

○ 熱水性カオリン鉱床とゼオライト岩

東北地方グリーン・タフ地域には青森県から山形県にかけて熱水性カオリン鉱床が点在し、その大部分は小規模のため殆んど稼行されていないが、中にはかつて稼行されたものも2・3見受けられ、主なものを列記すれば次の如くである。

青森県黒石東南の鉱床、秋田県雄勝郡川原毛の鉱床、青森県南津軽郡湯ノ沢西方の鉱床などである。これらの鉱床は前記遠部層あるいは同層準に対比される凝灰岩類である。上記鉱床の母岩に共通していることは、しばしばゼオライトを検出されることから次の事が推測される。すなわち、これらの鉱床地域ではその母岩はまず続成変質作用を受けてゼオライトが生成し、地区によってその後、熱水変質作用を蒙り、ゼオライトが消失して、代わりにカオリン鉱物やセリサイトが生成されカオリン鉱床を形成したものである。鉱床の周辺にしばしば温泉や噴気孔が見られることがあるが、これは熱水変質作用の余燼と考えられる。このように見るとゼオライト岩はカオリン鉱床のPrecursorをなすものと思われる。

本邦の熱水性カオリン鉱床の代表的なものとして、山形県米沢市板谷の元山カオリン鉱床がある。本鉱床の母岩は、やはり新第三紀の板谷層とされており、これは船川階に属する。一方、板谷層中の凝灰岩類は国鉄板谷駅付近では、斜プチロル沸石とモルデン沸石の多量の存在によりゼオライトとして採掘されている。

この点に着目すると板谷元山のカオリン鉱床の母岩もゼオライト岩と密接な関係を持つ可能性があると思われる。

○ ベントナイト鉱床とゼオライト岩

グリーン・タフ地域のみならず群馬県には新第三紀層中にベントナイト鉱床が数多く存在している。これら鉱床のあるものにはベントナイトにゼオライトが密接に伴うことが知られている。

例えば山形県西村山郡大江町月布に発達する本邦屈指の高膨潤度ベントナイト鉱床は、新第三紀中新世の凝灰岩類が堆積後、続成変質作用で斜プチロル沸石、モルデン沸石、方沸石などのゼオライトが広域的に生成し——ゼオライト岩の生成——、その後何らかの作用、例えば間隙水の組成の変化などによって凝灰岩類の一部に鉱物組成の変化を生じ、ゼオライトも母材の一部としてモンモリロナイトが多量に生成しベントナイトになったも

のと考えられ、ここでもゼオライト岩がベントナイト鉱床のPrecursorをなすものと思われる。

④ Z-1地区のゼオライト岩について

概査地区の南部には山内層特に田子内部層（安山岩質火砕岩類Tgat）が分布している。下位には泥岩（Sm, Kom, Km）が厚く分布していることは一般地質の項及び地質平断面図に示した通りである。本部層はグリーン・タフ地域特有の緑泥石化が著しく、モルデン沸石を主とするゼオライト化が認められている。

本地域は、金属鉱業事業団精密調査により黒鉱鉱床探査を目的とした試験探査が昭和48年にWGグループとして11孔6660mが実施されている。これによると、斜プチロル沸石、モルデン沸石を主とする沸石帯はWG-2, 4, 5の各試験錐に認められ、他の試験錐では泥岩中の凝灰岩類に方沸石帯が小規模に分布している。（図3・2-23）

上記ゼオライト帯は、X線回折により同定されたものであるが、同定鉱物は石英、蛋白石、斜長石、カリ長石、斜プチロル沸石、モルデン沸石、輝沸石(?)、方沸石、モンモリロン石、緑泥石、絹雲母混合層粘土鉱物（モンモリロン石-絹雲母混合層・モンモリロン石-緑泥石混合層）方解石、苦灰石、石膏、赤鉄鉱、黄銅鉱などである。各試験錐孔に分布する主な分帯は下記の通りである。

WG-1

本孔上部の26.15～443.40mは、59.25～76.75mを除き、緑泥石帯に属すると思われる。446.40～550.90mは濁沸石帯で、石英・緑泥石・絹雲母はほとんど認められない。脈も濁沸石脈で、斜長石も濁沸石に交代されている。方解石は443.45～473.50m, 530.00～538.20mに出現するが、前者は濁沸石を伴っており、後者は伴っていない。赤鉄鉱が全体にみとめられる。

WG-2

本孔には熱水変質の特徴はほとんどみとめられず、下記のように分帯される。

113.20～295.30m……斜プチロル沸石-モルデン沸石帯

344.80m……………方沸石帯

347.85～352.75m……輝沸石(?)帯

360.90～378.80m……方沸石帯

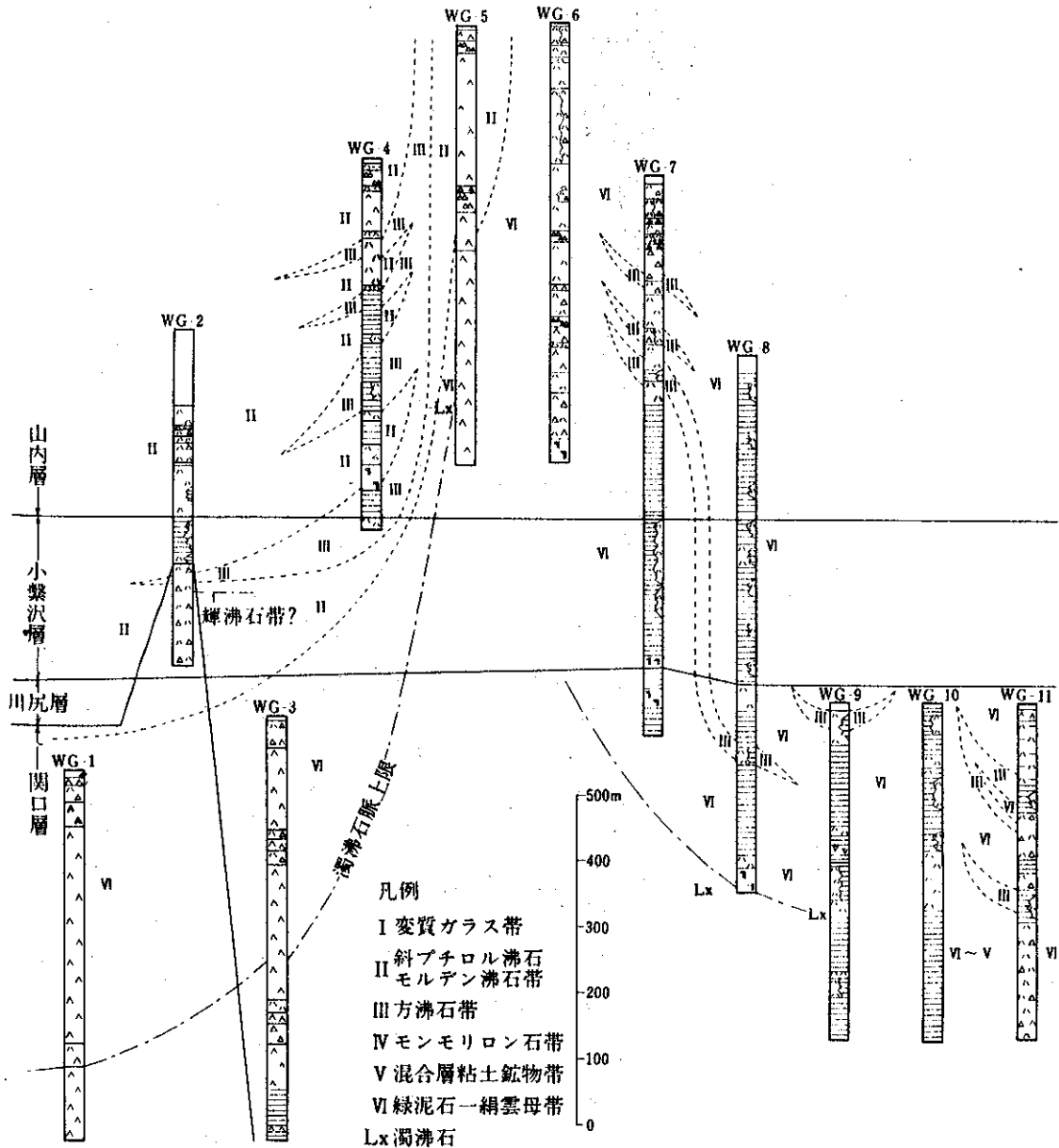
392.80～499.75m……輝沸石(?)帯

斜プチロル沸石-モルデン沸石帯は、蛋白石とモンモリロン石を伴い、

上部は斜プチロル沸石，下部はモルデン沸石が卓越する。347.85m以下は曹長石と緑泥石を伴っているが，輝沸石としたものについては鉱物学的検討がまだ十分行われていない。

WG-3

全体，緑泥石-絹雲母帯に属するが，絹雲母は比較的少量である。脈は方解石脈・濁沸石脈・方解石+濁沸石脈がみとめられる。方解石はかなり普遍的にみとめられているほか，少量の混合層粘土鉱物を伴っている。



注：各柱状図の上端は、山内層と小繁沢層の境界が求められるWG-2, WG-4, WG-7, WG-8については、その境界深度を一直線線上にとり、これを基準として、孔井深度の0mを求めた。これ以外の孔井については、地層区分にあてはめて配置しただけであって、厳密な層準の関係は示していない。

図3.2-23

Z-1地区田子内試錐にみられるゼオライト類の分布

る。

#### WG-4

全体に方沸石が多く，粘土帯と複雑に互層している。

- 9.35 ~ 39.90 m ..... (方沸石帯) ?
  - 48.55 ~ 109.10 m ..... 緑泥石帯
  - 113.10 ~ 141.50 m ..... 方沸石帯
  - 202.00 m ..... 方沸石帯
  - 211.90 ~ 269.60 m ..... モンモリロン石帯
  - 275.05 m ..... モルデン沸石帯
  - 279.70 ~ 376.60 m ..... 方沸石帯
  - 491.60 ~ 533.75 m ..... 方沸石帯
- 方解石は245.60 mより上部に多く，かつその上部では石膏を伴っている。

#### WG-5

本孔は下記のように分帯される。

- 48.60 m ..... 斜プチロル沸石—モルデン沸石帯
  - 66.20 ~ 230.50 m ..... モンモリロン石帯
  - 260.50 ~ 299.50 m ..... 斜プチロル沸石—モルデン沸石帯(?)
  - 376.85 ~ 649.50 m ..... 緑泥石—絹雲母帯
- [モンモリロン石—絹雲母] 混合層粘土鉱物は全体にみとめられるが，方解石は比較的少ない。299.50 m以浅には蛋白石を多く伴う。

#### WG-6

全体，石英—曹長石—緑泥石の組合わせで，少量の絹雲母と方解石を伴っている。下部には肉眼的に緑簾石がみとめられ，貫入岩体による熱作用が暗示される。

#### WG-7

本孔には粘土鉱物が多くみとめられ，熱水変質的要素が強い。

- 11.35 ~ 105.30 m ..... 緑泥石帯
- 110.00 ~ 147.15 m ..... モンモリロン石帯
- 154.95 m ..... 方沸石
- 162.40 ~ 232.80 m ..... 緑泥石—絹雲母帯
- 240.55 m ..... 方沸石帯
- 251.70 ~ 261.00 m ..... 緑泥石帯
- 270.10 ~ 314.10 m ..... 方沸石帯
- 385.20 ~ 829.25 m ..... 緑泥石帯



111.00 m以浅には石膏が普遍的にみとめられる。385.20 ~ 557.30mは珪化が著しく、他の鉱物をほとんど交代しており、珪化帯と呼ぶ方が適當であるかも知れない。

WG-8

全体が石英-曹長石-緑泥石-方解石の組合わせで、混合層粘土鉱物と絹雲母をわずかに伴っている。589.55 mに方沸石、799.90mに濁沸石がみとめられる。

WG-9

本孔は

17.40 ~ 40.20 m .....方沸石帯

46.10 ~ 463.00 m .....緑泥石帯

の2帯に分帯される。斜プチロル沸石またはモルデン沸石が224.20 mに、方沸石が261.25 mに、濁沸石が317.80 mにみとめられるが、局所的で帯をなさない。絹雲母と混合層粘土鉱物を伴っている。またしばしば方解石を伴う。

WG-10

全体に石英-曹長石-緑泥石-絹雲母または〔モンモリロン石-絹雲母〕混合層粘土鉱物-方解石の組合わせである。絹雲母または混合層粘土鉱物はかなり量が多く、熱水変質的な特徴を示す。

WG-11

本孔は

22.90 ~ 109.75 m .....緑泥石-絹雲母帯

115.60 ~ 135.00 m .....方沸石帯

156.30 m .....モンモリロン石帯

159.00 m .....方沸石帯

184.20 ~ 191.85 m .....方沸石帯

200.30 ~ 231.75 m .....緑泥石帯

249.00 m .....方沸石帯

256.10 ~ 273.00 m .....緑泥石帯

281.20 ~ 315.30 m .....方沸石帯

324.10 ~ 499.80 m .....緑泥石帯

に分布され、315.30 m以浅は方沸石帯と他の帯の互層状、以深は緑泥石帯で、絹雲母および混合層粘土鉱物は稀である。方解石と石膏は主として174.50 m以浅にみとめられる。

次に和賀川中流域（旧土畑鉱山以北）で実施されたWT-グループ試錐

による変質鉱物分布ならびにゼオライト分布状況は図 3・2—24 に示す如く殆んど各試錐孔にゼオライトの分布が認められる。このことは、前述した「東北地方のゼオライト岩について」同様グリーン・タフ地域の地層は、ゼオライト岩を含有する場である事に極めて一致する。この結果本概査地区のゼオライト岩の分布は西黒沢階から～女川階を主とし一部船川階にかけて分布している事が判明した。

本年度の地質概査は主として既存の地質図等をベースに周辺の地層をも含めその分布状態を把握した。この結果、これまで Z—1 地区でゼオライト質岩として取扱われている地層は主として新第三紀中新世女川階に属する山内層の田子内部層である。当部層は安山岩及び安山岩質火砕岩類で構成されているものである。

この外のゼオライト岩質については、土畑地区の試錐でも認められているがこの事は前記の通りで田子内部層より古い西黒沢階に対比される川尻～小繫沢層中に分布している。今回の地質概査ではゼオライトの濃集度は肉眼鑑定は不可能で採取したサンプル（サンプル位置は図 3・2—19 (1)～(5) の地質平面図参照）で X 線回折試験により半定量であるがゼオライトを確認した。（表 3.2—5）

ゼオライトの種類としては斜プチロル沸石、モルデン沸石、方沸石等が認められた。採取サンプルが少ないことにより明瞭な傾向は把握出来なかったが当地区の凝灰岩類についてもゼオライトの存在に充分留意する必要がある。

今回採取したサンプルの検鏡結果を表 3・2—6 及び図 3・2—25—(1)～(6) に示す。尚 W—17 のサンプルは田沢湖西方の松葉地区で採取したものであり調査地区から遠く離れているため位置図は割合した。

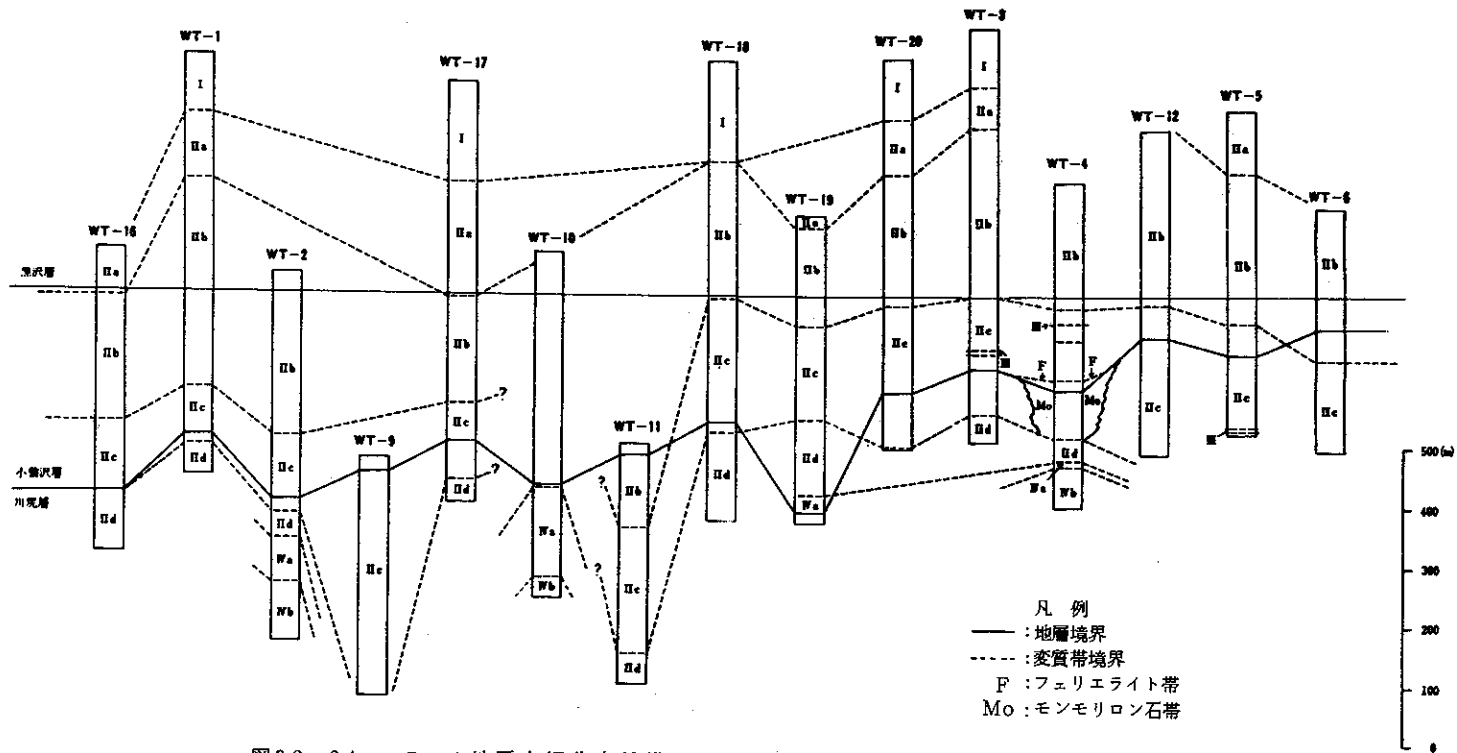


図3.2-24 Z-1地区土畑北方試錐にみられるゼオライト類の分布

注 1. 孔井の配列は、北に位置する孔井を図の左側に、南に位置する孔井を右側にとり、配列した。  
 2. 各柱状図の上端は、ボーリング地点の標高によって求めたものではなく、黒沢層と小繁沢層の境界深度を一線にとり、これを基準として孔井深度の零mを求めたものである。

第I帯 (火山ガラス帯) ……自生の沸石類や長石類を欠き、火山ガラスが残っている帯、少量の蛋白石やモンモリロン石を伴っていることがある。

第II帯 (斜ブチロル沸石・モルデン沸石) ……斜ブチロル沸石、モルデン沸石を特徴とする帯であるが、更に次の4亜帯に分かれる。本帯には普通モンモリロン石と蛋白石を伴っている。

IIa : 第I帯との漸移帯で、沸石が生じている層準と、いない層準が不規則な互層状に重なっている。

IIb : 主として斜ブチロル沸石が生じ、モルデン沸石は稀な帯。

IIc : 斜ブチロル沸石とモルデン沸石の混合帯。主として斜ブチロル沸石の層、主としてモル

デン沸石の層および両者の共生する層が不規則な互層状をなしている。

IId : 主としてモルデン沸石を生じている帯。

第III帯 (方沸石帯) ……方沸石を特徴とする帯、石英、蛋白石、モンモリロン石、緑泥岩などを伴っている。炭酸塩鉱物を伴うこともある。

第IV帯 (長石帯) ……自生の長石を特徴とする帯で、石英、緑泥岩、絹雲母などを普通に伴っている。長石の種類により次の2亜帯に分けられる。

Va : カリ長石を特徴とする帯。

Nb 斜長石を特徴とする帯。

その他、局地的にはモンモリロン石を主体とする帯とフェリエライトがみられる。

表 3・2-5 Z-1 地区 X 線回折 (半定量) による試験結果表

試料 No	鉍 地 層 物		Quartz	Feldspar	Mordenite	Clinoptilolite	Analcime	γ-cristo- barite	Calcite	Montmorillo- nite	Chlorite	Kaoline	Sericite
	岩 石 名	鉍 層 名											
W-1	安山岩質 中粒凝灰岩	小繫沢層	+	+	+	≡		+					
W-2	泥岩	山内層	≡	+									
W-3	安山岩質 中粒凝灰岩	黒沢層	≡	≡									
W-4	砂質泥岩	"	≡	≡							+		+
W-5	泥岩	相野々層	≡	+			+			+			
W-6	砂質泥岩	黒沢層	≡	+		+	≡						
W-7	安山岩質 凝灰岩	田子内部層 (山内層)	+	+			≡				+		
W-8	凝灰角礫岩	黒沢層	≡	≡	+								
W-9	安山岩質 凝灰岩	田子内部層 (山内層)	≡	≡					+		≡		+
W-10	"	"	+	≡						+	+		
W-11	凝灰角礫岩	黒沢層	≡	≡	≡								
W-12	泥岩	小繫沢層	≡						+			+	+
W-13	"	"	≡	+									+
W-14	軽石質 火山礫凝灰岩	"	≡		≡								+
W-15	"	"	≡		≡						+		
W-16	泥岩	"	≡	+							+		+
W-17	軽石質 火山礫凝灰岩	松葉層 (女川階)	≡	+	≡								

注 ≡ 多量  
 ≡ 普通量  
 + 少量

表 3・7-6 検鏡結果のまとめ

W-1	ゼオライト質岩	火山碎屑結晶片 0.1 ~ 1.5 mm	原岩：ガラス質-結晶質凝灰岩 ガラス片は全て斜プチロル沸石等のほか クリストバライト・粘土鉱物他に変質。
W-7	ゼオライト質岩	石質片 3 mm 以下	原岩は石質凝灰岩で、モンモリロナイト ・方沸石を主とする変質鉱物が多量に生成。
W-14	ゼオライト質岩	ガラス質片 2 mm 以下	原岩はガラス質凝灰岩で、モルデン沸石 ・モンモリロナイト・シリカ鉱物が生成。

〔Z-1地区ゼオライト質岩顕微鏡写真〕

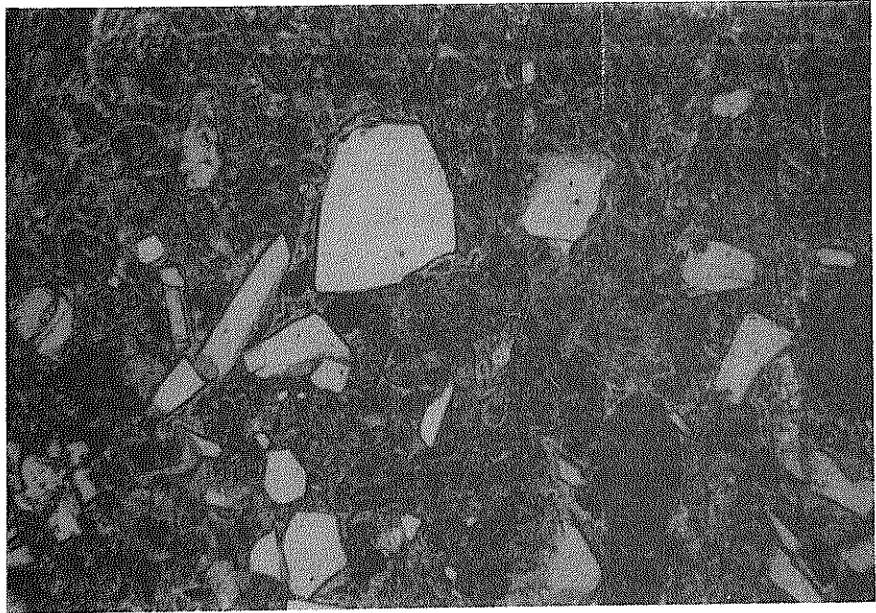


図3・2-25-1) W-1ゼオライト質岩 開ニコル



図3・2-25-2) W-1ゼオライト質岩 開ニコル

原岩はガラス質-結晶質凝灰岩で、結晶片は石英・長石がみられ、これらはいずれも新鮮であるが、ガラス片は全てゼオライト・クリストバライト・モンモリロナイト・緑泥石等の集合体に変質している。図3・2-25-1)

ゼオライトは微細な毛状・針状・板状をなして存在し、空隙部に生成しているものには板状の自形を示す針ブチロル沸石が認められる。図3・2-25-2)毛状等の集合体はモルデン沸石。

( Z-1 地区ゼオライト質岩顕微鏡写真 )

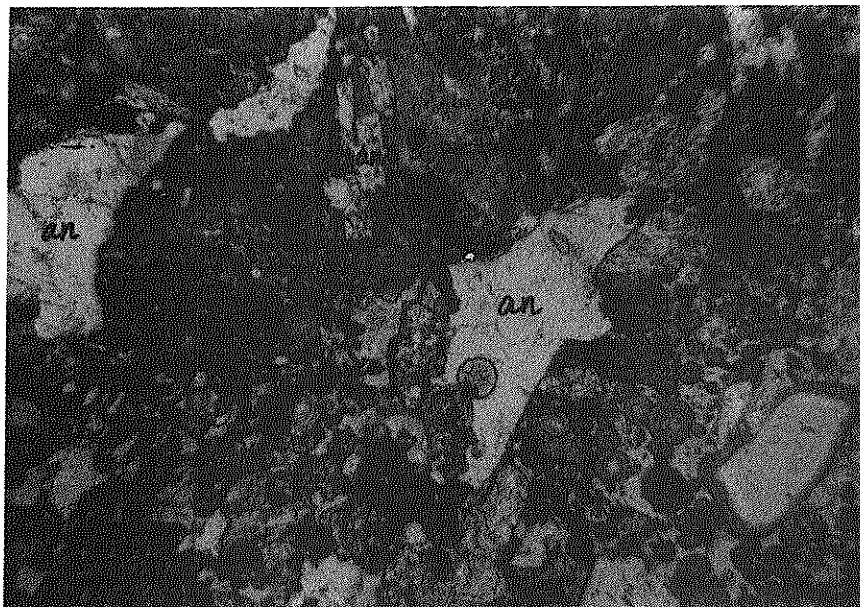


図 3・2-25-(3) W-7 ゼオライト質岩 開ニコル

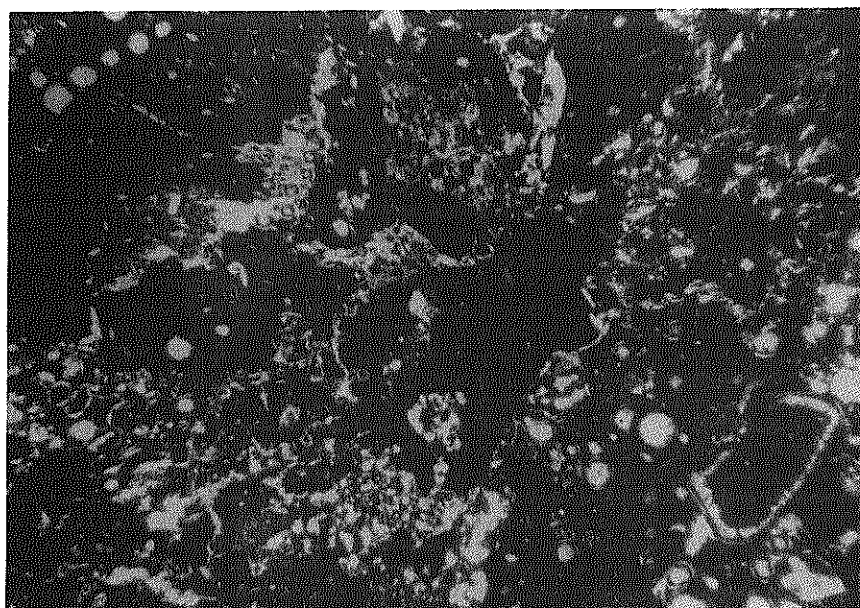


図 3.2-25-(4) W-7 ゼオライト質岩 開ニコル

原岩は石質の凝灰岩で、粘土化（モンモリロナイト化が主）および沸石（方沸石）化作用を顕著にうけている。方沸石は空隙を充てんするほか、岩片中の長石斑晶やマトリックスを交代して生じている。粘土鉱物は空隙を充てん又はその内壁にそって生成しているほか、沸石同様マトリックスを交代している。写真図 3・2-25-(3) 中白色部は方沸石、暗色部は粘土鉱物の各集合体からそれぞれ成る。

方沸石は一般に等方性であるが、この方沸石には微弱な複屈率が認められる（中央と左側の粒度の大きな集合体）。 図 3・2-25-(4)

( Z - 1 地区ゼオライト質岩顕微鏡写真 )

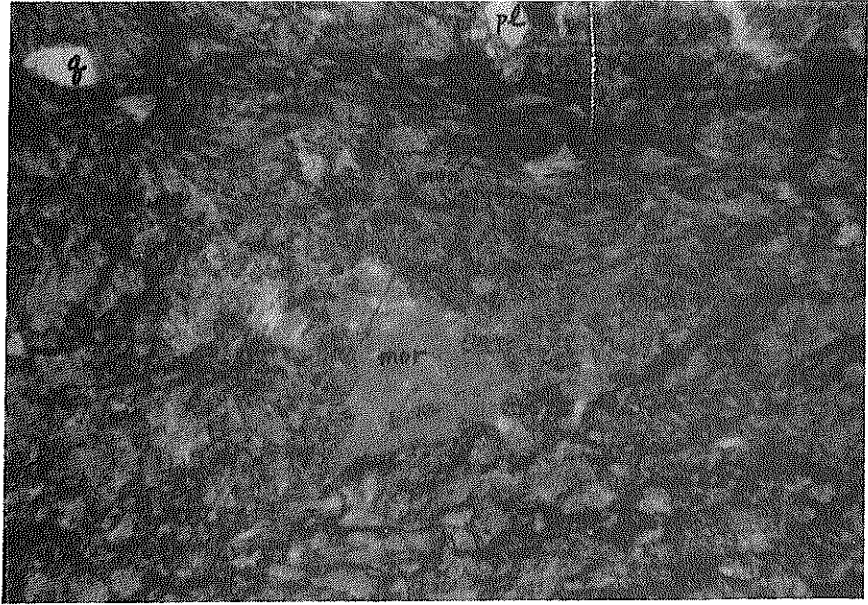


図 3・2 - 25 - (5) W - 14 ゼオライト質岩 開ニコル

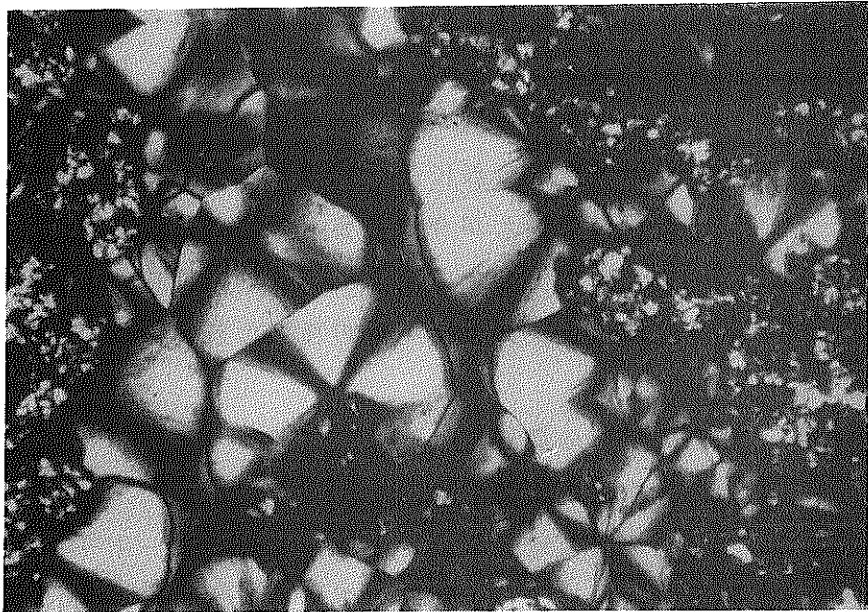


図 3・2 - 25 - (6) W - 14 ゼオライト質岩 開ニコル

原岩は少量の結晶片（主に斜長石）を混在するガラス質凝灰岩とみなされる。岩石は強度に変質し、モルデン沸石・モンモリロナイト・シリカ鉱物等の集合体に変っている。図 3・2 - 25 - (6) に図 3・2 - 25 - (5) 中央部のモルデン沸石集合体を拡大して示した。同鉱物の放射状に集合した様子が明瞭。



## VI 地質概査結果の考察

本年度の調査は既存の諸資料をもとに対象地域の地質状況を概査したものである。

対象地区内の主要ゼオライト質岩は既述のように山内層（女川階）田子内部層の安山岩質火砕岩であることが判明し、主な含有沸石は、斜プチロル沸石、モルデン沸石、方沸石等であることを確認した。沸石の濃集度については肉眼鑑定が不可能でX線回折試験による半定量のみに頼ったこと、採取サンプルの数が少ないことにより明瞭な傾向は把握出来なかった。これについては今後イオン吸着能の測定を密に行うことで解明されるものと思われる。

グリーン・タフ地域のゼオライトについては、田子内部層相当の女川階層準以外にも上位の船川階上部層準、あるいは下位の西黒沢階にもその分布が知られており、今後は他の地域に対しての概査を次々と進める必要があるものと思われる。

一方、ゼオライト質岩そのものの透水性が大きく、また岩石強度も小さいことを勘案すると、ゼオライト質岩そのものにサイトを設けるよりもゼオライト質岩に囲まれ、より透水性が小さく、かつ岩石強度の大きな岩石中（例えば熔結凝灰岩あるいは火成岩体）にサイトを設ける方がより利点の大きなことが予想される。

このような利点に立って本ゼオライト質岩プロジェクトは対象をいわゆるグリーン・タフ全般に拡げて複数岩種の組合せでサイトの可能性を探るといふ方針への切換えが今後必要と考察される。

一方、室内実験でゼオライト質岩に期待する吸着能について確認し、更により性能の良いゼオライトの種類解明に取り組む必要があるものと思われる。

### b 社会的要因の概査

#### 1 調査方法の概要

概査地区の地質調査と平行して表2・1-1-②を参照として下記の社会的要因を選定しZ-1地区の概査を実施した。

人口等（集落別世帯数及び人口）

土地利用等（耕地、開発計画、山林等）

既存の権利等（河川の漁業権、鉱業権等）

資源等（観光、文化財等の指定、地下資源等）

調査方法はG-3地区北部同様である。尚、当地区の調査町村は増田町、山内村、東成瀬村の三町村であり他の町村については割合した。

## ii 調査結果

### 1) 集落、人口等について

概査地区は、位置・交通及び地形の項で記した如く雄物川の支流である2級河川（黒沢川、松川、武道川、成瀬川、狙半内川）の流域の平坦部に沿って集落が存在し、増田町、東成瀬村、山内村の中心部（役場所在地）が世帯数、人口ともに大半を占めている。

### 2) 土地利用等について

概査地区の地形は山間部と平野部との標高差は比較的少ないが、地形は一般に急峻であり、成瀬川流域ではV字谷を形成し平坦部は少なく土地利用は地形上の制約をうけて一般に土地利用状況は狭少である。

平野部（横手盆地東縁）では大部分が水田として利用され、秋田県々南地方の穀倉地帯の一角を形成している。また地形のゆるやかな山麓地帯は畑及び果樹園として利用され、特に果樹園は、「平鹿りんご」として有名なりんご園が拓かれている。地域全体では、米作プラス果樹、畜産、葉たばこ、及び野菜と各集落の土地条件に適した複合経営がみられる。更にこれらの複合経営の規模拡大として、畜産では肉用牛の育成団地の育成、未利用土地の草地開発をめざし、果樹、葉たばこ、養蚕等については、未利用地の高度利用の促進、野菜については高冷地野菜、端境期野菜の生産を計り、特産地化の推進が計画されている。

地域の大きな開発事業の一つとして多目的ダム建設の計画がある。これは秋田県々営事業として行われ、山内村大松川地区に建設される。ダムの建設規模、時期及び予算額等は不明であるが、昭和50年頃より大松川付近の地質調査等が行われているとのことである。この建設計画は地元のTVニュースでもその概略について放映されたとの事である。山内村役場によると、このダムによる水没世帯数は50世帯程度を予想しているようであるが、水没面積等についての解答は得られなかった。

山林状況は、概査地区では国有林の分布は比較的その密度はうすく、これらは増田営林署で管理している。概査地区はその全域が保安林（水資涵養保安林）に指定されている。

### 3) 既存の権利等について

既存の権利等については、水利権、鉱業権等があるが、これら権利のうち、水利権、温泉権等については詳しい調査が出来ていない。

地域住民の生活用水としての水道施設は、3町村とも簡易水道として付近の沢、前記河川から取水されているが、その取水口等については調査出来なかった。又地域の下流に位置する横手市等の生活用水、農業用水等の

水利点の調査も出来なかった。

温泉権については、山内村に温泉湧出があり、相野温泉、三又温泉が知られている。これら温泉の権利は村内に保養センターとしての設備が村営でなされていることから、山内村に属するものと思われるが詳細は調査していない。

鉱業権については、当地区に限らず秋田県は鉱産県でも全国的に知られ、鉱業権に関してみるかぎりその殆んどが鉱業権の設定がなされており、その詳細を調査することは多大の労力を要する。当地区の鉱業権の空白部は少なく当地区の地質状況からして当然のことと思われる。

#### 4) 資源等について

概査地域での資源は地下資源としての鉱物資源、観光資源、林産資源等があげられる。

地下資源については概査地区及び北部に亘って金属鉱業事業団により昭和41～48年に亘って、広域・精密調査が導入され和賀雄物地域として、地質調査、試錐探査が実施されているが、新鉱床の発見には至っていない。この地域には閉山した土畑鉱山、吉乃鉱山、鷲合森鉱山があり、この外、小規模鉱山が点在しているが現在は稼行されていない。

観光資源として、本概査地区には国立公園として指定された地域はないが、山間部には風光明媚な景勝地が2・3見受けられ、地域住民の憩いの場所として広く利用されている。なかでも増田町の真人公園は秋田30景の一つに指定され、自然美と人工美の調和で県下でも名園として知られている。更に、秋田、山形、岩手、宮城県にまたがる栗駒国定公園（地域外）も広く全国に知られている。このほか、前記温泉地として相野々、三又温泉があり地域住民及び一般観光客に広く利用され、調査範囲周辺には、湯本温泉、湯田温泉等が知られている。又和賀川上流に昭和39年に建設された湯田ダム（多目的）（錦秋湖）周辺の景観は、この地域の数少ない観光地の一つでもある。これらの地域は全国的にも豪雪地帯で知られ、山あいの小部落では交通の途絶の時もある。この積雪地帯を観光として売出すべく、スキー場建設の考えも一部にはある様だが具体的な計画にはなっていない。

天然の資源として林産資源があるが、これらの有効活用のため、林道の開発、整備等が行われている。

一方文化財、史蹟等の指定については本概査地区には目ぼしいものはない。地域の大半が小規模農営による集落からなっており、民族資料として若干の保存が、学校、及び公民館によってなされている程度である。県の重要文化財に指定されている阿弥陀如来立像（増田町満福寺）及び貞治碑

(板碑・増田小学校付近)が特記される。

c 調査結果のまとめ

これまで調査した諸要因を要約すれば下記の通りである。

自然的要因

位置・交通：東北地方背梁山地の西翼横手市東方の山間地。国道13, 107号線から分岐する町村道が沢沿いに延びる。

地形・気候：河川沿いの平野部と山間地は明瞭に区別、やゝ急峻。気候はやゝ冷涼。年間降雨量1700%前後。山間部は積雪著しく交通途絶の集落もある。

地質：これまでゼオライト質岩していたものは、田子内部層…山内層・(女川階)である。この外地域東部～北部にかけて分布する凝灰岩類にもゼオライトが確認された。

社会的要因

集落・人口：山間部の平坦部にほゞ連続的に集落・人口が分布している。

土地利用：1) 山間部の平坦地に小規模であるが連続的に農耕地が分布。地区西部の扇状地に果樹園が広く分布。

2) 山内村大松川地区で多目的ダム建設の計画がある(県営事業…横手市20万都市構想)。

既存の権利：1) 国有林は地区南部に比較的多いが全般に少ない。

2) 鉱業権は調査範囲がせまいこともあるが全般に空白地は少ない。

等が取りあげられる。

集落・人口等及び土地利用が道路及び河川沿いの平坦部にほゞ連続的に認められる外は特記事項はない。

地質的にはゼオライト質岩は田子内部層…山内層(女川階)ばかりでなく他の凝灰岩類にもゼオライト質岩として認められることが今回の現地概査で判明した。

### 3.2.3 現地概査のまとめ

本項では既存のデータをチェックすると共に社会的・自然的要因の現地概査を実施し、調査対象地区より候補地を抽出する技術を確立するため、基本的調査項目の外に“LANDSAT写真による地質構造の解析”“花崗岩類分布地域の調査手法”“東北地方のゼオライト質岩について”等かなり範囲を広げた現地概査、文献調査を行った。

因みに、表2.2-1-(2)を参照し現地概査で調査すべき要因を列記すれば、地

に、岩石のタイプ、深度分布、割れ目、均一性・等方性、垂直的厚さ、水平的広さ、岩石組織、土地利用、既存の権利、地形、資源、資源分布等であるが、これらの要因は今回の調査で充分調査し得た。従ってこれら要因を考察・検討した結果の花崗岩の分布（地質平面図・地質断面図）、土地利用、集落範囲、鉱業権設定範囲等を作成し総合評価すれば調査対象地区より、候補地を抽出すること、即ち調査を継続すべき地域の有無を判断することは充分可能なことと思われる。

### 3.3 岩石基礎特性試験用の岩石サンプリング

#### 3.3.1 目的

3.1.1項で抽出された頁岩・石灰岩・輝緑岩の代表的分布地区のうち、S-1、L-1、B-1地区より岩石基礎特性試験用の岩石を採取する。

#### 3.3.2 採取期間

昭和53年10月～11月

#### 3.3.3 サンプリングの概要

##### (1) 採取地区及び採取個数

頁岩	: S-1 地区	… 10個
石灰岩	: L-1 地区	… 10個
輝緑岩	: B-1 地区	… 10個
		計 30個

##### (2) 採取方法

地質技師1名・助手1名が組となり、現地でジープないしワゴン型乗用車をチャーターし、道路沿いの露出良好な地点よりできる限り新鮮な岩石をサンプリングした。

サンプルは、一個一辺30cm程度の塊状なもの1個、もしくは一辺15cm程度の小塊8個を基準として採取し、最寄りの駅より岩石特性試験場へ送付した。

## 3.4 岩石特性試験

### 3.4.1 昭和53年度試験

(1) 目的

3.3項で採取した岩石の基礎特性試験を実施し、採取の対象となった地区の岩石の基礎資料を得ることを目的とした。

(2) 実施時期

昭和53年9月～昭和54年1月

(3) 岩石試験項目

岩石試験項目を表3.4-1に、岩石試験実施表を表3.4-2-(1)～(3)に示す。

(4) 試験方法

以下の岩石試験各論の項で、それぞれ述べる。

表 3. 4 - 1 岩石試験項目

NO	試験項目	条件	規格
岩石物性試験			
①	放射能測定		
②	熱膨張率測定		
③	熱伝導率測定		
④	吸水率測定		J I S ・ A ・ 5 0 0 3
⑤	含水率測定		建設省・土木試験基準(案)
⑥	有効間隙率測定		同 上
⑦	比重測定		J I S ・ A ・ 5 0 0 3
⑧	シヨア-硬度測定		建設省・土木試験基準(案) 国鉄・岩石標準試験法(案)
⑨	一軸圧縮強度測定	室温 高温(550°C)	J I S ・ M ・ 0 3 0 2
⑩	圧裂引張強度測定	室温 高温(550°C)	J I S ・ M ・ 0 3 0 3
⑪	剪断強度測定		国鉄・岩石標準試験法(案)
⑫	衝撃強度測定		建設省・土木試験基準(案)
⑬	静弾性係数測定		同 上 国鉄・岩石標準試験法(案)
⑭	比熱測定		
⑮	クリープ・ラプチャー試験		
⑯	示差熱分析		
⑰	顕微鏡検鏡		
⑱	X線回折		
化学分析			
透水試験			
			J I S ・ A ・ 1 2 1 8
イオン吸着能			

表 3.4 - 2 - (1) 岩石試験実施表

採取地点 (サンプル番号)	該当地層	岩石特性試験																		備考	
		岩石物性試験																化学分析	透水試験		イオン吸着能率
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)				
放射能測定	熱膨張率測定	熱伝導率測定	吸水率測定	含水率測定	有効間隙率測定	比重測定	ショア硬度測定	一軸圧縮強度測定	圧裂引張強度測定	剪断強度測定	衝撃強度測定	静弾性係数測定	比熱測定	クリープ・ラプチャー試験	示差熱分析	顕微鏡検査	X線回折				
B-1-1-53*	輝緑岩	○		○	○	○	○	○													
B-1-2-53		○		○	○	○	○														
B-1-3-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B-1-4-53		○		○	○	○	○														
B-1-5-53		○		○	○	○	○														
B-1-6-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B-1-7-53		○		○	○	○	○														
B-1-8-53		○		○	○	○	○														
B-1-9-53		○		○	○	○	○														
B-1-10-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
計		10	3	10	10	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

\*サンプル番号の最後の2桁の数字は採取した年次を示すが、本文中では省略した。



表 3. 4 - 2 - (2) 岩石試験実施表

採取 地 点 (サンプル番号)	該 地 層 岩 体	岩 石 特 性 試 験																		化 学 分 析	透 水 試 験	イ オ ン 吸 着 能 率	備 考
		岩 石 物 性 試 験																					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)				
放 射 能 測 定	熱 膨 張 率 測 定	熱 伝 導 率 測 定	吸 水 率 測 定	含 水 率 測 定	有 効 間 隙 率 測 定	比 重 測 定	シ ョ ア 硬 度 測 定	一 軸 圧 縮 強 度 測 定	圧 裂 引 張 強 度 測 定	剪 断 強 度 測 定	衝 撃 強 度 測 定	静 弾 性 係 数 測 定	比 熱 測 定	ク リ ー プ ・ ラ ブ チ ャ ー 試 験	示 差 熱 分 析	顕 微 鏡 検 鏡	X 線 回 折						
S-1-1-53	頁岩	○		○	○	○	○																
S-1-2-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
S-1-3-53		○		○	○	○	○																
S-1-4-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
S-1-5-53		○		○	○	○	○																
S-1-6-53		○		○	○	○	○																
S-1-7-53		○		○	○	○	○																
S-1-8-53		○		○	○	○	○																
S-1-9-53		○		○	○	○	○																
S-1-10-53		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
計		10	3	10	10	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					

※サンプル番号の最後の2桁の数字は採取した年次を示すが、本文中では省略した。



(5) 岩石特性試験各論

a 岩石物性試験

① 放射能測定

供試体

岩石の代表部分を破碎し、これを縮分して、20 g 程採りこれを 100 メッシュ以下に粉碎し、試料とした。

試験装置

装置として使用の GM 管は、Aloka, GM-250 3A 型である。

試験方法

粉末にした試料を、1 g 秤量しこれを径 1 インチのステンレス製放射能測定皿に、均一に敷つめ GM 管中に入れ、30 分～60 分間測定する。そして、標準線源 (Ra D + E) を用いて、クリスタル効率補正を行い、放射能強度を求める。

試験結果

結果は表 3.4-3 に示す通りである。

結果の単位は試料 1 グラム当りのマイクロキュリーである。普通岩石中の放射能強度の大部分は、天然に存在する、 $^{40}\text{K}$  によるものと考えられている。

結果の値を見ると、砂岩、石灰岩グループに比較して輝緑岩グループが小さい値を示している。

表 3.4-3 放射能測定結果

試料No.	測定値( $\times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ )	試料No.	測定値( $\times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ )	試料No.	測定値( $\times 10^{-6} \mu\text{Ci/g}$ )
S-1-1	4.2	L-1-1	2.6	B-1-1	< 0.5
-2	1.2	-2	1.3	-2	0.7
-3	2.4	-3	4.4	-3	< 0.5
-4	4.6	-4	1.4	-4	1.9
-5	3.5	-5	2.8	-5	< 0.5
-6	5.3	-6	8.2	-6	< 0.5
-7	6.5	-7	1.4	-7	< 0.5
-8	4.0	-8	2.2	-8	< 0.5
-9	2.5	-9	2.3	-9	0.7
-10	4.4	-10	< 0.5	-10	< 0.5

## ② 熱膨張率測定

### 供試体

岩石の代表部分から、ダイヤモンド・カッターで、 $5 \times 5 \times 20$  mmの角柱に切断成形後、研磨仕上げし、 $105^\circ\text{C}$ で74時間乾燥器で乾燥させ、デシケーター内で自然冷却して供試体とした。

### 試験装置

試験装置は、真空理工製の熱膨張計、DL-1500 H. を使用した。

### 試験方法

角柱の試料をアルミナ製ホルダーにセットし、カプセル型電気炉を上からかぶせ、アルゴン雰囲気中において、昇温速度 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ で、 $1000^\circ\text{C}$ まで昇温させ測定した。温度は白金-白金ロジウムの熱電対とプログラム温度制御器によって、コントロールさせた。

試料の変位(伸び)は、差動トランスで検出し、増幅検波器で増幅させ、チャート紙に記録させた。チャート紙上で $100^\circ\text{C}$ 毎に、スケールで測定し、試料の伸びを求めた。

### 測定値の計算方法

試料の各測定温度における伸び、即ち、検出伸び $\Delta L$ は、次式から求められる。

$$\Delta L = \Delta L_T - \Delta L_H, \text{ 又は } \Delta L = A_L \times L_0 \times \Delta T$$

$\Delta L$  : 検出伸び ( $\mu$ )

$\Delta L_T$  : 試料の伸び ( $\mu$ )

$\Delta L_H$  : 試料ホルダーの伸び ( $\mu$ )

$\Delta A_L$  : 見かけの熱膨張率 ( $\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ )

$L_0$  : 試料長 ( $\mu$ )

$\Delta T$  : 測定温度

上式より、見かけの熱膨張率( $A_L$ )は $\Delta L/L_0 \times \Delta T$ となる。アルミナ・ホルダーの熱膨張率( $A_H$ )は、 $8 \times 10^{-6}$ であるので試料の熱膨張率 $A_T$ は、 $A_T = A_L + A_H$ で求められる。

### 試験結果

結果は表 3.4-4 に示す。

結果の表から次のことが言える。

(1) 各岩石グループ間の違いは明確でない。むしろ各試料毎の違いがX線、示差

熱，檢鏡などの結果をそのまま反映している。

- (ロ) S-1-4 は岩名が珪藻土なので有効間隙率なども他より非常に大きい値になり熱膨張より間隙中の水の脱出または，間隙のクッション的役目が卓越しているために値がマイナスを示したと思われる。
- (ハ) ある温度から実質的に縮む現象は，それぞれの試料がその温度に達すると組織そのものの変化を起すためと推定される。
- (ニ) 試料により 300℃位までで熱膨張のほとんどを占るものとより高度まで比例して膨張するものが見られる。前者が S-1-2，S-1-10，B-1-10，などで，後者が L-1-2，B-1-3，などである。

この各温度の実質膨張量が直接的に，強度に影響していくと考えられる。

表 3.4-4 熱膨張率測定結果

試料No 測定温度	S-1-2	S-1-4	S-1-10	L-1-2	L-1-6	L-1-8	B-1-3	B-1-6	B-1-10
	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値
100℃	$8.00 \times 10^{-6}$	$-1.46 \times 10^{-6}$	$8.00 \times 10^{-6}$	$2.45 \times 10^{-6}$	$1.68 \times 10^{-6}$	$2.91 \times 10^{-6}$	$8.00 \times 10^{-6}$	$6.21 \times 10^{-6}$	$5.48 \times 10^{-6}$
200	11.31	- 4.23	10.75	8.00	9.38	5.21	11.22	8.00	8.00
300	13.37	- 2.41	13.54	11.38	11.01	10.68	13.22	9.41	9.26
400	14.63	- 2.45	15.94	13.24	11.91	12.73	14.70	9.96	9.86
500	15.57	- 3.40	17.98	15.27	13.05	14.24	17.21	10.48	10.10
600	16.11	- 5.58	19.93	19.69	14.39	15.82	23.44	11.00	10.61
700	16.19	- 7.19	17.67	24.58	15.70	17.38	23.14	12.46	11.26
800	13.14	- 8.20	15.66	31.28	16.23	18.09	21.90	12.41	11.94
900	10.31	-10.12	14.10	29.32	14.85	16.26	22.07	11.57	23.63
1,000	1.68	-17.82	12.66	16.71	6.14		25.43	11.82	

### ③ 熱伝導率測定

#### 供試体

岩石試料を岩石切断機で巾×長さ×高さ：10×20×5 cmの大きさに2個切断成形する。発熱体をはさむ各一面ずつ研削盤で平行かつ平滑に研削する。これを105℃の乾燥器で96時間以上乾燥させ，デシケーター内で自然冷却させ試料とした。

#### 測定装置

京都電子工業 k. k. 製の非定常熱流法，熱伝導率測定装置 TC-22型を使用した。発熱体には，熱電体を兼ねた，クロメル-コンスタンタンを使用しており，測定

値はデジタルに表われる。

### 測定方法

まず電熱対を兼ねた発熱体である，クロメルを「+」に，コンスタントを「-」にして接合させる。両他端は冷接点魔法瓶端子に接続させ，魔法瓶端子より測定器本体に接続する。測定はさきほ成形した試料にクロメル-コンスタント接合点が中心点にくるように，長さ方向に接着させ，他の一片の試料を静かに下になっている試料面と一致するように置く。この時熱電対と上下試料面との密着のため，シリコングリースを熱電対が試料に接する範囲に塗布した。測定は，この点（クロメル-コンスタント接合点）を中心に，左右，前後，5mm離れた計5点を順番に測定した。試料測定に先立って，毎測定日毎に，標準ガラス（熱伝導率（ $\lambda = 0.890 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ ）を用いて，装置の検定，調整を行った。

### 測定値の算出方法

測定値はデジタルに， $\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$ 単位で表示されるが，その原理は以下の式を基にしている。

$$\lambda = 0.1576 R_0 \cdot (1 + \alpha \theta) \cdot \frac{dE}{d\theta} \cdot l^2 \cdot \frac{d \log(t - t_0)}{dE}$$

$\alpha$  : 熱電対の抵抗温度係数

$\theta$  : 加熱線の測定時平均温度 ( $^\circ\text{C}$ )

$l$  : 加熱電流 (A)

$dE/d\theta$  : 熱電対の熱電能 ( $\text{mV}/^\circ\text{C}$ )

$R_0$  :  $0^\circ\text{C}$ の熱電対の抵抗 ( $\Omega/\text{m}$ )

$d \log(t - t_0)/dE$  : 時間の対数値と熱起電力の比，すなわち， $\log(t - t_0) - E$ をプロットした直線の勾配。

式から判るように，試料の熱伝導率の大小は，一定量の熱を一定割合で加えた場合に，試料が一定温度に達するまでの時間の長短に比例する。発熱体兼用の熱電対は，発熱各時間で，各々の温度に対応する熱起電力を生じるので，熱伝導率は，時間と熱起電力の比に比例した値になる。

実際には，測定値が直接  $\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$  単位の数値で表示されるので，1試料，5測定値を算術平均し  $\text{cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C}$  単位に換算して，その試料の測定値とした。

### 試験結果

結果は表 3.4 - 5 に示す。

結果からは，Lグループ，Bグループ，Sグループの順に値が小さくなった。

S-1-8の試料は、L、Sグループと同程度の値を示した。

値は強度と比例する傾向を示し、有効間隙率、比熱、比重などとは、反比例する傾向を示した。

比熱とも関連があるが、間隙中の空気または、水が岩石よりも比熱が大きいので、間隙が多ければ多い程、熱伝導率の値が小さくなる。

表 3.4-5 熱伝導率測定結果

試料 No.	測定値 ( $\times 10^{-3}$ ) cal/cm·s·°C	試料 No.	測定値 ( $\times 10^{-3}$ ) cal/cm·s·°C
S-1-1	1.94	L-1-6	5.56
-2	3.72	-7	6.15
-3	1.76	-8	7.88
-4	1.14	-9	6.50
-5	0.95	-10	7.22
-6	3.04	B-1-1	4.36
-7	1.52	-2	5.16
-8	5.66	-3	5.82
-9	1.20	-4	4.92
-10	1.79	-5	5.92
L-1-1	6.10	-6	4.15
-2	5.93	-7	4.68
-3	5.68	-8	5.32
-4	5.56	-9	4.41
-5	5.34	-10	5.39

④・⑤・⑥・⑦ 吸水率・含水率・有効間隙率・比重測定

供試体

供試体はサンプリングした岩石の代表的な部分から、ダイヤモンド・カッタで、おおむね 3 cm × 3 cm × 4 cm の角柱形のものを成形し測定試料にした。

試験装置

秤量には村山製作所製の化学天びん（秤量 2000 g、感量 0.01 g）を用い、試料乾燥には、亀山製作所製の電気定温乾燥器を使用した。

## 試験方法

試験は J I S ・ A ・ 5003 および建設省土木試験基準（案）に基づいて，供試体の自然乾燥状態（自然含水状態），乾燥状態および湿潤状態の重量を次の手順によって求めた。

- i 供試体の自然乾燥状態は，岩石切断後，約76時間室内に放置し，含水状態のものである。その空中重量を秤量し  $W_1$  とした。
- ii 乾燥状態は，105℃の電気定温乾燥器に約24時間（定重量になるまで）入れて乾燥し，デシケータ内で室温まで冷やした。この空中重量を秤量し  $W_2$  とした。
- iii 湿潤状態は水中に約96時間（重量変化がなくなるまで）浸して，吸収させたものである。湿潤状態の表面の水膜を布でぬぐい去り，空中重量を秤量して  $W_3$  とし，水中重量を秤量して  $W_4$  とした。

### 計 算

- i 吸収率；  $q(\%) = \frac{W_3 - W_2}{W_2} \times 100$
- ii 含水率；  $W(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_3 - W_4} \times 100$
- iii 有効間隙率；  $\eta(\%) = \frac{W_3 - W_2}{W_3 - W_4} \times 100$
- iv 比 重；  $\rho = \frac{W_1}{W_3 - W_4}$

比重は乾燥状態における値で表わした。

比重測定には，J I S ・ A ・ 5003 に示すように，一軸圧縮強度測定試料と同一のものを用いていない。一軸圧縮強度試料を乾燥したり，水に浸して吸水させると壊れたり，崩れたりするものがあるためである。

## 試験結果

結果は表 3.4 - 6 に示した。

- (イ) LグループとBグループは，吸水率，含水率，有効間隙率，比重とも類似した値を示した。
- (ロ) Sグループは，試料間の値の差が大きく，見掛比重が1.0以下の試料もあった。
- (ハ) これらの各値は岩石の基本的な質を表わし，強度をはじめ，熱的性質，化学的性質，を左右するもので，比重が大きく，有効間隙率が小さいものは，強度が大きく，熱伝導率は大きく，比熱は小さくなる傾向がある。反対の場合は，各々の値も反対になる傾向がある。



表 3.4-6 吸水率, 含水率, 有効間隙率, 比重, 測定結果

試料No. / 項目	吸水率 (%)	含水率 (%)	有効間隙率 (%)	比 重
S-1-1	26.80	9.16	37.76	1.41
- 2	7.49	2.80	17.00	2.27
- 3	41.88	6.11	50.17	1.20
- 4	54.36	14.24	53.69	0.99
- 5	78.18	13.75	60.09	0.77
- 6	17.39	7.29	30.73	1.77
- 7	40.20	10.72	49.14	1.22
- 8	2.81	1.52	6.50	2.31
- 9	63.31	12.61	57.79	0.91
-10	24.63	12.43	36.46	1.48
L-1-1	0.73	1.20	2.01	2.87
- 2	0.65	1.08	1.75	2.71
- 3	0.43	0.66	1.13	2.65
- 4	0.13	0.22	0.40	3.17
- 5	0.34	0.38	0.91	2.68
- 6	1.34	1.43	3.56	2.61
- 7	0.82	0.89	2.26	2.78
- 8	1.34	0.16	0.39	2.89
- 9	1.53	1.80	4.21	2.75
-10	0.45	0.90	1.27	2.84
B-1-1	0.59	2.05	1.57	2.67
- 2	0.19	0.19	0.50	2.69
- 3	0.14	0.23	0.38	2.63
- 4	0.27	0.42	0.72	2.69
- 5	0.17	0.30	0.47	2.70
- 6	0.98	1.11	2.57	2.62
- 7	0.19	0.24	0.54	2.79
- 8	0.22	0.30	0.59	2.68
- 9	0.13	0.21	0.37	2.74
-10	0.13	0.12	0.36	2.69

(8) ショア-硬度測定

供試体

供試体はサンプリングした岩石から, ダイヤモンド・カッタで 7 cm × 7 cm × 3

cmの厚板状に切断し、測定面を研削盤で研削して平行度を出し、更に-200メッシュのカーボランダムにより研磨して、平滑に仕上げた。

### 試験装置

測定には、図3.4-1に示すように、JIS B・7727（ショアー硬度試験機）の規格に合格した東京衡機製のショアー硬度試験機を用いた。ショアー硬度試験機のハンマーの重さは約36.2g、ハンマー落下高さが19mmである。測定前ハンマーは、ハンマー落下つまみ左側のカバーの中に入っていて、ボールクラッチによりつかまれている。

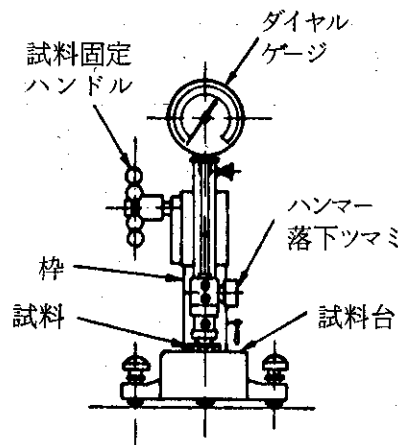


図3.4-1 ショアー硬度試験機

### 試験方法

ショアー硬度は建設省・土木試験基準案および国鉄・岩石標準試験法によって測定した。

試料を試験機棒の試料台上にのせ、試料固定ハンドルによって固定し、ハンマー落下つまみを廻すことによって落下させる。ハンマーのはね上り高さが、ダイヤルゲージの目盛り板に自動的に示され、この値がショアー硬度である。

この方法により、試料の測定面に1cm間隔で碁盤の目のように区切った20箇所を測定した。

### 計 算

ショアー硬度は、測定値の平均値をもって示した。

$$\text{ショアー硬度} : H_s = \frac{\sum x}{n}$$

ここにxは測定値、nは測定箇所数である。平均値とともに最高値と最低値も併記した。

## 試験結果

結果は表 3.4-7 に示した。

結果の値を見ると，B-1-3 の 79.4 が最高値で，S-1-4 の 14.6 が最低値であった。

平均して高い値を示したのが，Bグループで，次がLグループであった。

最高値と最低値の差が大きい試料（L-1-6，B-1-6）などは，組成鉱物種により反撓硬度に差があることを示している。この現象については顕微鏡検査写真を見るとよく理解出来る。

表 3.4-7 ショア-硬度測定値

試料No	最高値	最低値	平均値	試料No	最高値	最低値	平均値
S-1-2	49	39	42.8	L-1-8	55	44	50.3
-4	17	12	14.6	B-1-3	88	70	79.4
-10	33	24	28.1	-6	79	40	64.1
L-1-2	64	43	52.1	-10	80	58	68.4
-6	60	14	41.8				

## ⑨ 一軸圧縮強度測定

### 供試体

供試体はサンプリングした岩石を，ダイヤモンド・ブレード（20 φ）を取付けた大型切断機で，約 15 cm 立方体に粗切断し，内径 3 cm のダイヤモンド・ビットを取付けたコア・ドリルでコアリングし，円柱形の試料をとった。コアを小型ダイヤモンド・カッタで，図 3.4-2 に示すように長さ約 6 cm（径：長さ＝1：2）に，しかも両端面を切断し，研削盤で両端面が平行かつ平滑になるように研削した。更に両端面を-200 メッシュのカーボランダムで研磨し，試料にした。

なお，試料は自然含水状態のものである。

### 試験装置

試験機は明石製作所製 50 ton 圧縮試験機を使用し，上部加圧板は，図 3.4-3 に示すように球座の付いたもので，荷重を連続的に加えられる油圧式のものである。

高温（550 °C）圧縮試験の加熱装置は，高岡精機製の電気（100 V，2 KW）と温度制御機（レギュレーター）を用いた。

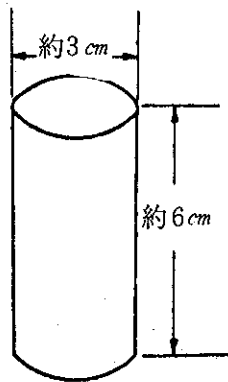


図 3.4 - 2 一軸圧縮強度試験用試料

### 試験方法

一軸圧縮強度試験は J I S ・ M ・ 0302 の規定に基づいて行った。

室温における一軸圧縮強度測定は、図 3.4 - 3 に示すように 試料を試験機の上下加圧板の中央に置き、試料と加圧板の間には定性ろ紙（JIS 規格 No.2）を挿入した。

加圧速度は約  $4 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$  で、速度が一定に保たれるようにし、供試体が破壊するまで加圧し、試験機が示した最大荷重を読みとり、これより一軸圧縮強度を求めた。

高温における一軸圧縮強度は、圧縮試験機内に電気炉をセットし、岩石試料表面温度が  $550^\circ\text{C}$ （この温度における岩石内の中心部に孔をあけ、熱電対で測定したところ約  $500^\circ\text{C}$  あった）になるまで、約  $200^\circ\text{C/h}$  の一定速度で昇温し、 $550^\circ\text{C}$  を約 10 分間保持してから、圧縮試験を行った。温度制御はすべてレギュレーターで行った。

電気炉内には図 3.4 - 4 に示すようにガイドパイプを入れ、上下加圧棒には耐熱性のアンピルを用いた。

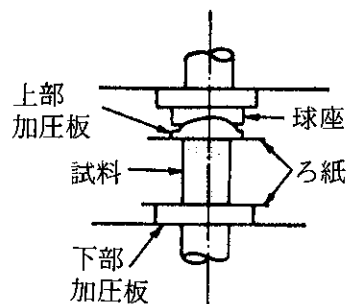


図 3.4 - 3 加圧状況

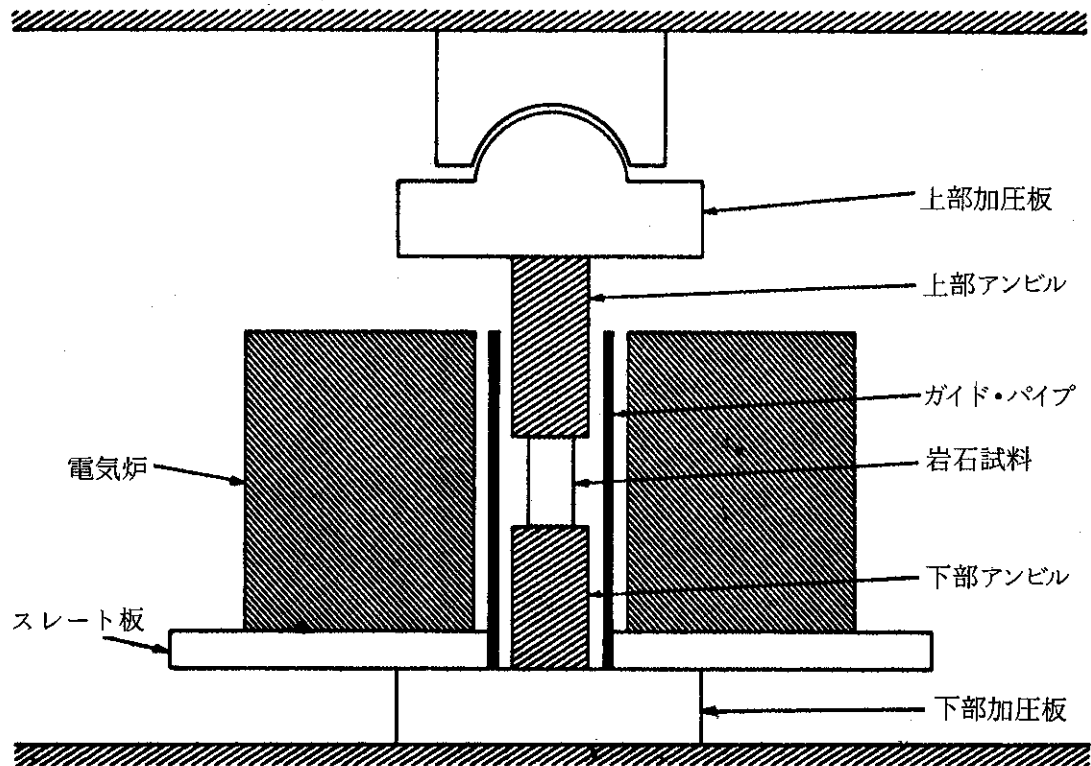


図3.4-4 岩石高温強度試験装置

#### 計 算

一軸圧縮強度は次の式によって求めた。

$$\text{一軸圧縮強度} : S_c (\text{kg/cm}^2) = \frac{P}{A}$$

ここに、Pは最大荷重 (kg)、Aは試料の断面積 (cm<sup>2</sup>) である。

#### 試験結果

結果は表3.4-8に示す。

- (イ) 室温では、Bグループが最も大きく約 1400 kg/cm<sup>2</sup> で、Lグループが約 840 kg/cm<sup>2</sup> 程である、Sグループは最も小さく約 205 kg/cm<sup>2</sup> 程である。(平均値)  
 高温では、Lグループが最も値が大きく約 1080 kg/cm<sup>2</sup> で、Bグループは約 950 kg/cm<sup>2</sup> である。最も小さい値を示したのがSグループでその平均値は、約 330 kg/cm<sup>2</sup> である。
- (ロ) 各試料間で室温と高温の強度値の差が著しい試料 (L-1-6, B-1-10) は、熱膨張率、物理試験、顕微鏡検鏡などからもその原因を推定することが出来ず、供試体そのものに、潜在亀裂などが生じていたためと考えるほかはない。
- (ハ) 結果からだけであるが、Sグループでは高温になると強度が増し、Lグループ、Bグループではほぼ同じ程度と考えられる。

(二) 次年度以降では、数段階の温度で試験をし、強度の変化状態を知る必要があると思われる。

表 3.4 - 8 一軸圧縮強度測定結果

試 料 No.	一軸圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
	室 温	高 温
S-1-2	294	331
S-1-4	73	103
S-1-10	278	473
L-1-2	1,428	1,406
L-1-6	201	1,162
L-1-8	904	674
B-1-3	1,363	1,463
B-1-6	1,130	1,033
B-1-10	1,652	359

⑩ 圧裂引張強度測定

供試体

供試体は一軸圧縮強度測定試料と同一方法で成形し、径と長さの比は、図 3.4 - 5 に示すようにほぼ 1 対 1 である。

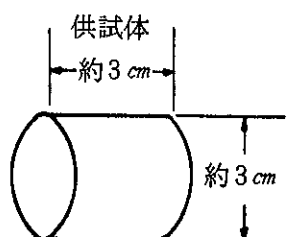


図 3.4 - 5 圧裂引張試験用試料

試験装置

一軸圧縮試験機と同一のため省略する。

試験方法

圧裂引張強度試験は JIS・M・0303 の規定に基づいて行った。

室温における圧裂引張強度試験の試料は、自然含水状態のもので、それを上下加圧板の力が、試料の円周方向にかかるよう加圧板の中央におき、加圧速度は約 500 kg/min で、速度が一定に保たれるようにし、破壊するまで加圧し、試験機が示した最大荷重を読みとった。

高温 (550 °C) における圧裂引張強度試験は、高温一軸圧縮強度試験方法と同

一のため省略する。

### 計 算

圧裂引張強度は次式によって求めた。

$$\text{圧裂引張強度} ; St (\text{kg/cm}^2) = \frac{2P}{\pi d l}$$

ここに、 $P$  は最大荷重(kg)、 $d$  は試料の直径(cm)、 $l$  は試料の長さ(cm)である。

### 試験結果

結果は表 3.4 - 9 に示す。

- (イ) 室温では、Bグループが最も大きく、平均 83.7 kg/cm<sup>2</sup>で、次にLグループの約 35 kg/cm<sup>2</sup>で最も小さいSグループの値が、約 20 kg/cm<sup>2</sup>である。  
高温では、Bグループが約 67 kg/cm<sup>2</sup>、Lグループが約 61 kg/cm<sup>2</sup>、Sグループが約 30 kg/cm<sup>2</sup>である。
- (ロ) 一軸圧縮強度程でもないが、試料(S-1-10, L-1-6)間で室温と高温の値に差がありすぎる。原因としては、一軸圧縮強度の場合と同じことが言える。
- (ニ) 平均して見ると、Bグループが温度により強度がやや減じ、Lグループは増加し、Sグループがやや増加する。これらは一軸圧縮強度とともに、熱膨張率が大きく起因していると考えられる。

表 3.4 - 9 圧裂引張強度測定結果

試 料 No	圧裂引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	
	室 温	高 温
S-1-2	42.4	47.6
S-1-4	7.57	9.02
S-1-10	10.3	36.0
L-1-2	47.0	41.0
L-1-6	14.4	35.7
L-1-8	47.2	106
B-1-3	81.8	54.0
B-1-6	64.7	63.4
B-1-10	105	80.6

⑪ 剪断強度測定

この試験は、国鉄・岩石標準試験法(案)の規定により、一軸圧縮強度と圧裂引張強度試験結果を基にして、モールとグリフィスの仮説に基く破壊包絡線より、近似的に求めたものであり、供試体、試験装置、試験方法については省略する。

計 算

$$\text{剪断強度 ; } S_s (\text{kg/cm}^2) = \frac{S_c \cdot S_t}{2 \sqrt{S_t (S_c - 3 S_t)}}$$

ここに、 $S_c$ は一軸圧縮強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )、 $S_t$ は圧裂引張強度 ( $\text{kg/cm}^2$ ) である。

試験結果

結果は表 3.4 - 10 に示す。

- (イ) 室温、高温共に、Bグループ、Lグループ、Sグループの順に値は小さくなり、室温では、平均約  $190 \text{ kg/cm}^2$ 、 $90 \text{ kg/cm}^2$ 、 $40 \text{ kg/cm}^2$  の値である。高温では、平均約  $260 \text{ kg/cm}^2$ 、 $180 \text{ kg/cm}^2$ 、 $40 \text{ kg/cm}^2$  の値である。
- (ロ) 一軸圧縮強度と、引張圧裂強度から計算で求めた値なので、次年度以降は、直接一面剪断試験を行い、値を求めるべきである。

表 3.4 - 10 剪断強度試験結果

試 料 No.	剪 断 強 度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	
	室 温	高 温
S-1-2	74.1	83.2
- 4	14.2	17.8
- 10	28.7	64.4
L-1-2	136.	259
- 6	30.4	97.9
- 8	112	194
B-1-3	184	329
- 6	149	260
- 10	231	149

⑫ 衝撃強度測定

供試体

供試体は 2.5 cm のダイヤモンド・ビットでコアリングし、5.0 cm の長さに切断し、圧縮強度測定試料と同一方法で成形した。



### 試験装置

試験機は前川製作所製，電動式ペーヅ落下衝撃試験機を使用した。

### 試験方法

衝撃強度測定は，建設省・岩石試験基準案に基き，鉄床上に試料を置き，その中心部に重量 1 kg で，先端が半球形のプロランジャーを載せ，重量 2 kg のハンマーを 1～90 cm の高さ内で下方より 1 cm づつ増加させ，試料が破壊するまで行い，破壊した時の高さをもって衝撃強度として表わす。

試料は乾燥後，デシケータ内で冷却したものをを用い，3 試料の平均値で表わした。

### 試験結果

試験結果は表 3.4-11 に示す。

- (イ) 最高値が B-1-3 の 23.7 cm，最低値が S-1-4 の 3.3 cm である。平均値では，B グループが 17 cm，L グループが 6.6 cm で，S グループが 6.3 cm である。
- (ロ) 各種強度などで，S グループよりはるかに高い値を示していた，L グループがほとんど同程度の値しか示さないのは，L グループの試料は，S グループの試料と比較して，強度は強いが衝撃力に弱い，もろい性質であることを示している。逆に言えば，S グループは強度は弱いだが，間隙率など大きいので，衝撃力を吸収する能力が高いとも考えられる。

表 3.4-11 衝撃強度測定結果

試料No	衝撃強度(cm)	試料No	衝撃強度(cm)	試料No	衝撃強度(cm)
S-1-2	6.0	L-1-2	9.0	B-1-3	23.7
-4	3.3	-6	5.0	-6	11.3
-10	9.7	-8	5.7	-10	15.0

### ⑬ 静弾性係数測定

#### 供試体

供試体は一軸圧縮試験片と同一のため省略する。

#### 試験装置

静弾性係数測定装置は，一軸圧縮強度試験機の外，新興通信工業製のストレー

ン・メータと渡辺測器製の X-Yレコーダを用いた。

### 試験方法

静弾性係数の測定は、建設省・土木試験基準案と国鉄・岩石標準試験法案によって行った。測定試料は一軸圧縮強度測定試料と同一のものをを用い、図 3.4-6 に示すように、ワイヤー・ストレーン・ゲージを軸方向に、対称な位置に 2 枚、接着剤で貼付け、ひずみ測定に際しては、2 枚のゲージを別々に、ブリッジ・ヘッドに結線し、ストレーン・メータで計測し、X-Yレコーダでチャート紙に記録した。

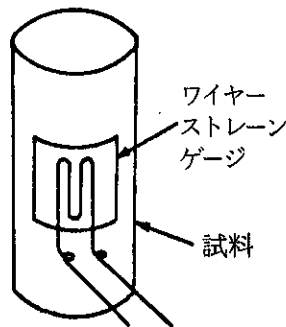


図 3.4-6 ゲージの貼付け方

### 計 算

静弾性係数はチャート紙に記録した値をスケールで測定し、それぞれの応力と平均ひずみを求め、応力-ひずみ曲線図にプロットしその直線部分または定率増加をしている場合（弾性限界内）は、曲線上の一点と原点を結んで求める割線ヤング率で示した。

$$\text{静弾性係数； } E \text{ (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

ここに、 $\sigma$  は応力 (kg/cm<sup>2</sup>)、 $\epsilon$  はひずみ (10<sup>-6</sup>) である。

岩石は“ぜい性”の強い物質であって、初期応力に対しての変形は近似的に弾性変性を示し、塑性変形は極めて小さい。岩石試料に応力を加えると変形するが、

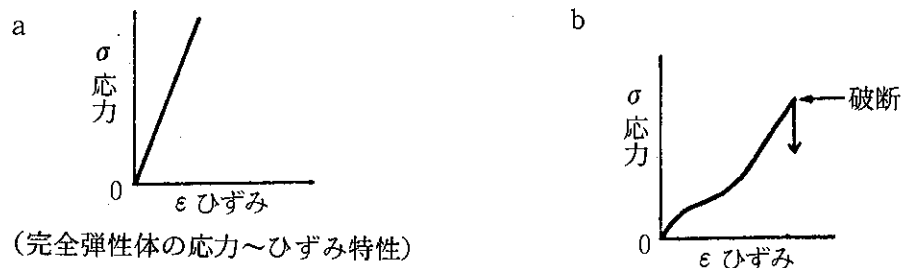


図 3.4-7 岩石の応力 - ひずみ曲線

それが多様であり、変形は必ずしも応力に比例するとは限らず、図 3.4-7 b に示すように、非直線的な“応力-ひずみ曲線”を示すことが多い。

静弾性係数の試験結果を表 3.4-12 に示す。

- ② 応力-ひずみ曲線は、花崗岩類・凝灰岩類ともに、ほぼ直線的に推移し、ひずみは応力に比例する。

### 試験結果

結果は表 3.4-12 に示す。

- (イ) 平均して大きい値を示したのが B グループで次が L グループである。最も小さい値を示したのが S グループである。

最大値は B-1-6 の  $7.743 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  で最小値は S-1-4 の  $0.187 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  である。

- (ロ) 値の大小は、ほぼ一軸圧縮、圧裂引張の各強度と同じ傾向を示している。衝撃強度は、瞬間的外力に対するもろさ、ねばさを表わすのに対して、静弾性係数は漸次的外力に対する剛さ、柔さを表現していると考えられる。応力-ひずみ曲線を良く検討し、値そのものでなく、その過程も検討するべきである。

表 3.4-12 静弾性係数測定結果

試料No	静弾性係数 ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )	試料No	静弾性係数 ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )
S-1-2	1.324 ( $\sigma_c/2$ 点の割線ヤング率)	L-1-8	7.290 ( $\sigma_c/2$ 点の割線ヤング率)
-4	0.187 ( " " " )	B-1-3	5.535 ( " " " )
-10	0.465 ( " " " )	-6	7.740 ( " " " )
L-1-2	5.950 ( " " " )	-10	6.883 ( " " " )
-6	0.909 ( " " " )		( " " " )

### ⑭ 比熱測定

#### 供試体

岩石試料の代表部分を、径 1 mm 程に破碎後これを縮分し、20 g 位採り、200 メッシュに粉碎した。次に、105 °C で 24 時間以上乾燥させ、デシケーター内で自然冷却して試料とした。

#### 試験装置

測定器は、理学電気工業 k.k. 製の示差走査熱量計である。装置は、試料加

熱部，加熱制御部，熱量変換部，記録部から構成されている。試料容器は，アルミ製で，基準物質は  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  (比熱  $C_r = 0.2038 \text{ cal} / \text{g}^\circ\text{C} 348^\circ\text{K}$ )， を使用した。

### 試験方法

基準物質の  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  と試料をそれぞれアルミ容器 (70 mg 程入る) 10 mg ~ 40 mg 位均一につめる。炉内には，容器に接して熱電対があり，加熱と同時に生じる両者の熱含量の差を，熱電対に生じる熱起電力の大きさとしてとらえ，これを記録させるものである。測定温度範囲は  $65^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ ，昇温速度は  $10^\circ\text{C} / \text{mm}$  である。1 試料に対して測定は 2 ~ 4 回で，それぞれ試料の重量を変化させて行った。試験では， $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ ，アルミ容器の重量状態が変化しないと仮定しているので，時々検定し，変化のない事を確認した。

### 測定値の計算方法

基準物質と試料の熱含量の差を測定し，これから比熱を求めるもので次の式が基になる。

$$Y = K (H_r - H_s) \frac{dT}{dt} + A$$

K : 装置定数

$H_r$  : 基準物質の熱容量 (比熱  $\times$  重量)

$H_s$  : 試料の熱容量 (比熱  $\times$  重量)

$dT / dt$  : 昇降温速度 ( $T =$  温度,  $t =$  時間)

A : 試料の熱変化 (反応熱, 転移熱などの熱的变化に伴う熱量の出入り)

比熱は上式に基づいて，試料容器を含めた装置の熱含量 ( $y_0$ )，基準物質の熱含量 ( $y_r$ )，試料の熱含量 ( $y_s$ ) を測定して，次の式より求める。

$$C_s = C_r \cdot \frac{m_r}{m_s} \cdot \frac{y_s - y_0}{y_r - y_0}$$

$m_r$  : 基準物質重量

$m_s$  : 試料重量

$C_r$  : 基準物質比熱

$C_s$  : 試料比熱

ここでより精度を上げるために，基準物質と試料の重量 ( $m$ ) を変化させて，何回か測定しそれが， $y = b_0 - a \times m$  の直線上に乗るかどうかが確認する。直線になる事を確認したら，その勾配  $a$  を求める。この  $a$  の値を，それぞれ，基準物質試料毎に， $a_r, a_s$  と表わすと， $C_s = C_r \times \frac{a_s}{a_r}$  の式で比熱が算出される。

実際の測定では，基準物質の  $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$  について測定を繰返し， $y_r = b_0 - a_r \times m$  の直線上に乗るか，どうかと， $a_r$  の値を確認する。次に，試料で重量を変えて 2 ~ 4 回測定し，これから都度勾配  $a_s$  を求め， $a_s$  を算術平均して  $C_s = C_r \times \frac{a_s}{a_r}$  に代入，比熱を計算した。

## 試験結果

結果は表 3.4 - 13 に示す。

- (イ) 結果は  $0.197 \text{ cal/g}^\circ\text{K} \sim 0.217 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$  の値であるが、各グループ間、試料間で、推定出来る原因を持った差は見られなかった。これまでの経験では、強度が高いと、比熱は小さく、強度が低いと比熱が大きく示される傾向はある。
- (ロ) 定圧下で空気の比熱は  $0.241 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$  ( $80^\circ\text{C}$ ) 程であるので、間隙率が大きい場合、微小空隙中に空気又は水がある場合は、それだけ測定時の熱消費が大きくなり比熱も大きく出てくる。傾向として強度の大きい場合は間隙率も小さいので、比熱は小さくなる。

表 3.4 - 13 比熱測定結果

試料No	測定値 cal / g <sup>°</sup> K	試料No	測定値 cal / g <sup>°</sup> K	試料No	測定値 cal / g <sup>°</sup> K
S-1-2	0.217	L-1-2	0.209	B-1-3	0.200
-4	0.214	-6	0.214	-6	0.209
-10	0.197	-8	0.199	-10	0.212

基準物質 ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) 比熱  $0.2048 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$  ( $^\circ\text{K} = 348^\circ\text{C}$ )

## ⑮ クリープ試験

### 供試体

供試体は一軸圧縮強度測定試料と同一方法で成形した。

### 試験装置

クリープ試験荷重が、ほとんど 1 ton 以上の高荷重になるので、明石製作所製の 50 ton 圧縮試験機を使用した。

クリープひずみ測定には、新興通信工業製のストレイン・メータと理化電機工業製のレコーダ（チャート紙時間送り）を用いた。

### 試験方法

コンクリートのクリープ試験方法に準じて行ない、静弾性係数測定と同じように、試料にワイヤー・ストレイン・ゲージを対称に 2 枚貼付け、試料に一定応力をかけ、時間経過におけるひずみをストレイン・メータで計測し、レコーダでチャート紙に記録した。

クリープ応力は一軸圧縮強度の 50% 応力（コンクリートの場合 40% 応力）一定とした。

なお、試料は自然含水状態のものを用いた。

### 計 算

チャート紙より、クリープ時間 180 分における全ひずみ量を最初に測定し、算出した。

$$\text{全ひずみ量； } \epsilon (\times 10^{-6} / \text{kg} / \text{cm}^2) = \frac{1}{E} + K \log_e (t+1)$$

ここに、E は瞬間弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)、K はクリープ定数、t は載荷後の時間 (分) である。

次に、クリープ定数を求めた。

$$\text{クリープ定数； } K = \frac{\epsilon - \frac{1}{E}}{\log_e (t+1)}$$

クリープ速度は片対数グラフに、軸方向ひずみと時間の関係をプロットし、直線勾配になった部分より次の式で求める。

$$\text{クリープ速度； } V (\% / \text{min}) = \frac{(\epsilon_2 - \epsilon_1) \times 100}{(t_2 - t_1)}$$

ここに、 $\epsilon_1$  はクリープ始めのひずみ量 ( $\times 10^{-6} / \text{kg} / \text{cm}^2$ )、 $\epsilon_2$  はクリープ終りのひずみ量 ( $\times 10^{-6} / \text{kg} / \text{cm}^2$ ) であり、 $t_1$  はクリープ始めの時間、 $t_2$  はクリープ終りの時間である。

なお、ひずみ量はもとの長さに対する単位時間当り (1 分間当り) の変形量を百分率 (%) で表わした。

### 試験結果

結果は表 3.4-14 に示した。

- (イ) 各グループ 3 試料ずつ計 9 試料で、クリープ現象が見られたのが、S-1-4 のみである。そのクリープ速度は、 $3.304 \times 10^{-6}$  (%/min) であった。
- (ロ) 他の試料でクリープ現象が見られなかったのは、測定時間が短かったことと作用応力値が低いためと思われる。今後は、長時間の試験が必要である。

表 3.4-14 クリープ試験結果

試料No.	クリープ速度 (%/min)	試料No.	クリープ速度 (%/min)	試料No.	クリープ速度 (%/min)
S-1-2	△	L-1-2	△	B-1-3	△
-4	$3.304 \times 10^{-6}$	-6	△	-6	△
-10	△	-8	△	-10	×

注 1) △印はクリープ現象が認められなかった試料。  
×印は載荷時に試料が破壊した。

## ⑩ 示差熱分析

### 供試体

岩石試料の代表部分を1 mm程に粉碎し、これを縮分して、20 g程採り、これを更に、200メッシュ以下に粉碎したものを試料とした。

### 測定装置

装置は、島津マイクロ熱分析装置、DT-20-Bを使用した。

装置は、試料加熱部の電気炉と、加熱制御、熱起電力変換部、記録部の各部から成り、試料容器は白金製を使用した。基準物質は、 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  (200メッシュ)を使用した。電気炉内に、基準物質と試験試料を、それぞれ白金容器に入れ、加熱し、試料中に含まれる成分が、それぞれの固有温度で化学変化、その他、(表面水の蒸発、結晶水の脱着、溶解、転移等)を起す際、熱的に発熱又は吸熱の変化を生じる。この時に生じる試料の基準物質に対する温度差を熱電対で感知させ、熱起電力の大きさとしてとらえ、これを記録させるものである。この温度変化点をとらえ、逆に、試料中に含まれる化学成分、鉱物名を同定する。

### 試験方法

試料及び基準物質を、各々白金容器に適量(10~50 mg)を均一にしかも空隙の生じないようにつめ、炉内の受皿上に静置する。この受皿が熱電対を兼用している。試験は約70分間(昇温速度 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 、昇温温度 $1,050^\circ\text{C}$ )で、試験後記録紙に表われた吸熱、発熱ピークから、試料中の化学成分、鉱物名を同定決定した。

### 試験結果

結果は表 3.4-15に示す。

- (1) 検出された鉱物、化学成分は、S-1-2からドロマイト、S-1-4からモンモリロナイト、黄鉄鉱でSグループ全部から炭質物が検出された。Lグループからは、方解石が検出された。Bグループからは緑泥石が検出された。B-1-3、B-1-6からは石英の転移ピークが検出された。他にX線回折、顕微鏡検鏡などで認められた各試料毎の鉱物は検出されなかった。

表 3.4 - 15 示差熱分析結果

試料グループ	検出鉱物・化学成分名	概要
S-1 グループ	モンモリロナイト ドロマイト 黄鉄鉱 炭質物	S-1-2からは、ドロマイト、炭質物、S-1-4からは、モンモリロナイト、黄鉄鉱、炭質物、S-1-10からは炭質物がそれぞれ検出された。明確な石英のピークはどれからも認められなかった。特にS-1-10からは炭質物のみで他のピークらしいピークは何も認められなかった。
L-1 グループ	方解石	L-1-2, L-1-6, L-1-8, のうち試料とも890℃前後の方解石の結晶水脱出による吸熱ピークが認められただけである。吸熱量が大きいため、感度を $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{5}$ に下げてピークの部分を確認した。L-1-2, L-1-8のピーク直前の小さい吸熱ピークは段階的結晶水脱出のためと推定される。
B-1 グループ	石英 緑泥石	B-1-3, B-1-6からは石英、緑泥石、B-1-10からは、緑泥石のピークがそれぞれ認められた。X線回折結果で示された方解石、雲母などのピークは認められなかった。

⑰ 顕微鏡検鏡

供試体

岩石の代表部分を、大きさ25×25×2mm程度の岩片に、切断機で切断成形する。次に研磨盤（鉄板及びガラス板）で研磨粉を用いて研磨する。この研磨岩片の研磨面を、レークサイトセメント（固形の樹脂）をスライドガラス上で加温溶解した上に接着させる。ガラスに接着してない面を、研磨盤上で、カーボランダム研磨粉を用いて、0.03mm程度の厚さになるまで、注意深く研磨し、これに、カナダバルサムを用いてカバーガラスを張付け、供試体とした。

試験装置

装置は、ニコルプリズムを装着したライツ社製の顕微鏡で、一般に岩石鉱物用偏光顕微鏡と呼ばれるもので、普通顕微鏡と異なる点は、試料である薄片を乗せ、必要角度だけ回転させうる回転載物台、接眼鏡にクロスヘヤー（観察中心を求め



るのに便利なように十文字に張ってある糸)が付いている他に、反射鏡、対物鏡、求心装置、ポーライザー、アナライザー、ベルトランドレンズ等の装置が付いている。

### 試験方法

試料を光の通過が自由に出来る0.03mm程の厚さにし、これにニコルプリズムと言う特殊なプリズムを通過した光を当てると、普通の光線と異なる現象が鏡下に見られる。この現象が種々の鉱物に特有なものなので、これらの現象を観察することにより、逆に試料中の鉱物を同定し、それらの量比、組織から岩石名及び風化、変質の度合等を決定する。

当試験では、試料中の組成鉱物名、組成粒度の大小、変質の度合を調べ、試料の岩石名、組成、粒度、変質度合を検鏡した。

### 試験結果

結果は表3.4-16に示す。

結果の表と、顕微鏡検鏡写真の両方から、粒子の大小、岩質、変質度合、及びそれらの特徴を判断されると良い。

表3.4-16 顕微鏡検鏡結果

試料	岩 質		
	岩石名	粒 度	特 徴
S-1-2	硬質頁岩	0.1mm以下	石英・長石・雲母等の細片混在。
S-1-4	珪藻質黒色泥岩	0.1mm以下	珪藻を多量に含む不純な黒色泥岩。
S-1-10	硬質頁岩泥岩	微 粒	石英・長石・雲母等の細片混在。
B-1-3	輝緑岩 <sup>アルコ ース</sup>	中 粒	弱ウラライト化変質。オフィティックテクスチャー。
B-1-6	輝 緑 岩	0.5~3mm	弱ウラライト化変質。完晶質。
B-1-10	変 質 岩	1mm以下	炭酸塩鉱物・クリノゾイサイト・ウラライト等の変質鉱物存在。
L-1-2	結晶質石灰岩	1~5mm	少量の細粒石英を含む。方解石粒は同一方向に伸びた形をなす。
L-1-6	石 灰 岩	0.1mm以下	破片状微粒集合体と微脈状~粒間充てん状結晶質集合体とから成る。
L-1-8	石 灰 片 岩	0.05~0.5mm	片状組織が著しい。少量の石英を含む。

## ⑱ X線回折

### 試料

岩石の代表部分を破碎し縮分する。これを325メッシュ以下に微粉碎したもので約5g程を、試料とした。

### 試験装置

装置は、Philips製モノクロメータ付きX線回折計を使用した。

### 試験方法

装置は、X線発生装置、計数管装置、記録装置等からなっている。

試料にX線を照射させると、X線量子は、試料の原子から電子を追い出し、イオン化させる。電子とイオンになったものを、正、負に帯電している箱に入れてやると、イオンが陽極に、電子が陰極にひかれ、この回路に電流が流れる。電流は連続に流れず、1量子で1パルスが生じる。このパルス数を計数管で計測する。一方試料にX線を照射する角度、すなわち、回折角を連続的に変化させてやると、成分により、特有な角度で高いイオン化を示す。この特性を逆用して、記録紙上に表われた高いイオン化を示した回折角度から、組成成分を同定する。

### 試験条件

試料粒度：325メッシュ以下。

X線発生装置：Cu(30Kv, 20mA)。

Divergence Slit : 1°

Receiving Slit : 0.2 mm

Scanning Speed : 1°/min

Chart Speed : 1 cm/min

### 試験結果

検出された鉱物名を、強度の強い順にまとめたものが、表3.4-17である。

示差熱分析の項で述べたように、色々な鉱物がピークとして出て来ている。ただし、鏡下で存在しても、その量が極く少量の時は、ピークとして表われない場合がある。(一般的な方法では5%~10%位が、ピークとして表われる含有量の下限値と言われている)。

表 3.4 - 17 X線回折結果

鉱物名 試料No	$\alpha$ -石英	斜長石	カリ長石	雲母	緑泥石	方解石	モンモリロナイト	ドロマイト	角閃石	チタン石	黄鉄鉱	磷珪石
S-1-2	+							++++				
-4	++	+			+		+				+	+
-10	++++		+				+					
L-1-2	+					++++						
-6	+					++++						
-8	+					++++						
B-1-3	++++	+++		+	+	+						
-6	+	+			+				+	+		
-10		+			+				++			

注 1) +++++ : 非常に大きいピークに表われた鉱物  
 +++ : 大きいピークに表われた鉱物  
 ++ : 小さいピークに表われた鉱物  
 + : 極く小さいピークに表われた鉱物

b 化学分析試験

試料

岩石試料の代表部分を、径 1 mm 程に粉碎しこれを縮分し、100 g 位採り、200 メッシュ以下に微粉碎したものを、試料とした。

試験方法

試験は下記に示すような、14成分について分析を行った。

分析成分

SiO<sub>2</sub>      TiO<sub>2</sub>,      Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,      Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,      FeO,      MnO,      MgO,  
 CaO,      Na<sub>2</sub>O,      K<sub>2</sub>O,      P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,      S,      (+)H<sub>2</sub>O,      (-)H<sub>2</sub>O,

それぞれの成分の分析法は次の通りである。

SiO<sub>2</sub> : 過酸化ソーダで前処理を行ったものを沈澱物にして、その重量をはかる重量法によった。

TiO<sub>2</sub> : 過酸化水素水を用いて処理したものを、吸光光度計で吸光の度合を測定して、重量を出す吸光光度法によった。

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : フッ酸酸性条件で、王水を使用して完全に溶解して、アンモニア水で沈澱させ、これを重量法で定量した。

- $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : フッ酸酸性処理をしたものに、アンモニア水を加え、水酸化鉄の形にし塩酸酸性にして、過マンガン酸カリを使い、滴定する滴定法によった。
- $\text{FeO}$  : J I S - M - 8213 の方法で、前処理したものを、炭酸ガスを用いた還元雰囲気中で、 $\text{FeO}$  のまま溶解させ、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  と同じ手順で滴定する滴定法によった。
- $\text{MnO}$  : フッ酸で、酸分解させたものを原子吸光計を用いて定量する、原子吸光法によった。
- $\text{MgO}$  : 原子吸光法によった。
- $\text{CaO}$  : 原子吸光法によった。
- $\text{Na}_2\text{O}$  : フッ酸で酸分解させ、過塩素酸を加えたものを炎光光度計により、炎光の度合から定量する。炎光光度法によった。
- $\text{K}_2\text{O}$  :  $\text{Na}_2\text{O}$  と同じ炎光光度法によった。
- $\text{P}_2\text{O}_5$  : J I S - M - 8216 のモリブデン青吸光光度法によった。
- S : 密閉状態で加熱熱焼させて発生する亜硫酸ガスを水に溶解させ硫酸にしたものを、滴定して定量する燃焼法によった。
- (+)  $\text{H}_2\text{O}$  : 試料中の化合水の割合をはかるもので、化合水定量法（ペンフィールド法）と呼ばれ、一定量の試料を加熱させ、その時蒸発した水分の量から化合水を定量する方法である。
- (-)  $\text{H}_2\text{O}$  : 試料に付着吸収している水分量で一般にいわれている水分である。  
105 ± 5 °C の状態で減量した分がこれに相当する。

### 試験結果

試験結果は表 3.4-18 に示される通りである。

表3.4-18 化学分析試驗結果

成分 試料名	% SiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% FeO	% MnO	% MgO	% CaO	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% S	% (+)H <sub>2</sub> O	% (-)H <sub>2</sub> O	% 計	Ig Loss %
S-1-2	6.69	0.15	0.86	0.41	0.71	0.30	17.87	29.65	0.08	0.09	0.09	0.32	0.21	0.52	57.95	42.48
-4	68.18	0.53	12.43	2.67	0.32	0.02	1.27	0.98	0.82	0.60	0.02	0.55	5.17	3.13	96.69	10.85
-10	83.11	0.33	6.33	2.82	0.07	0.01	1.22	0.37	0.20	0.56	0.15	0.01	2.15	1.62	98.95	4.35
L-1-2	11.85	0.15	0.03	0.00	0.07	0.02	0.70	51.61	0.03	0.01	0.02	0.002	0.05	0.11	64.65	34.66
-6	11.79	0.33	0.11	0.11	0.19	0.02	1.95	48.46	0.03	0.08	0.02	0.009	0.07	0.59	63.76	36.25
-8	8.20	0.10	0.03	0.00	0.09	0.01	1.14	50.91	0.02	0.04	0.04	0.02	0.04	0.12	60.76	38.48
B-1-3	59.96	0.78	20.89	5.03	1.55	0.51	1.05	2.73	1.42	1.26	0.05	0.01	4.03	1.19	100.46	
-6	49.60	1.34	15.97	0.95	7.86	0.26	7.57	10.76	2.36	0.51	0.23	0.02	2.29	0.14	99.84	
-10	46.85	0.67	16.43	0.65	7.21	0.18	11.76	10.56	1.52	0.30	0.16	0.12	3.21	0.40	99.90	

## c 透水試験

### 供試体

供試体は採集した岩石サンプルを、岩石切断機で、一辺約 5 cm の立方体に切断成形し、105 °C の電気定温乾燥機で 96 時間乾燥させ、デシケータ内で自然冷却させ試験試料にした。

### 試験装置

試験器は円井製の変水位透水試験器を使用した。装置は試料を入れる透水円筒部と水位変化を読み取る目盛付スタンド・パイプ（ガラス管）等からなっている。

### 試験方法

試験は J I S ・ A ・ 1216 の規定に基く変水位試験法で、ある一定量の水を一定高さに置き、これを測定試料に連結させる。試料の透水の度合により、スタンド・パイプの水面レベルが変化するので、所定の時間中における水面レベルの変化（試料中を流れて流出した水量）をスタンドパイプに付いている目盛を読むことにより知り、試料の透水係数を算出する方法である。

試料は透水円筒中に入れ、円筒壁と試料との間隙に、油粘土を空隙が生じないように密につめる。次に試料の上下に J I S で定められている金網、フィルターを所定の場所に固定し、水が洩れない様に注意深く円筒の上下蓋をきちんと固定用ボルトナットで固定する。次にこの円筒内の空気を全て水と置換させ、目盛付のスタンドパイプを連結させる。この状態で 48 時間以上放置した後測定を行う。

### 測定結果の算出方法

測定方法で述べたように、ある水頭圧の下で試料中を水が 1 秒間当たりどの位の距離を流れるかを求めるもので、次の式で結果を算出することが J I S で規程されている。

$$K_T = 2.3 \times \frac{a \times L}{A(t_2 - t_1)} \times \log \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{cm} / \text{sec})$$

$$K_{15} = K_T \times \mu$$

a : スタンドパイプの断面積 (cm<sup>2</sup>)

L : 試料の高さ (cm)

A : 試料の透水断面積 (cm<sup>2</sup>)

t : (t<sub>2</sub> - t<sub>1</sub>) = 測定時間 (sec)

K<sub>T</sub> : 測定温度 T °C における透水係数

μ : 温度 15 °C に換算する補正係数

$K_{15}$  : 15℃に補正した透水係数

$h_1$  : 測定開始水頭 (cm)

$h_2$  : 測定終了水頭 (cm)

各試料とも、10日間以上測定した。

### 試験結果

結果は表3.4-19に示す。

- (イ) 各グループの値は、 $10^{-8} \sim 10^{-9}$  のオーダーであるがそれぞれのグループで差が著しいと言えない。
- (ロ) S-1-4の $6.19 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ , L-1-8の $7.81 \times 10^{-9} \text{ cm/sec}$ の各値で強度、物理試験から推測される値よりもS-1-4は小さすぎると思われる。他の値は、試料の状態からは、大きすぎると思われる。しかしこれは定量的に言える段階でないので、次年度以降も長時間、水頭も大きくして試験する必要があると思われる。

表3.4-19 透水試験結果

試料No.	透水係数(cm/sec)	試料No.	透水係数(cm/sec)	試料No.	透水係数(cm/sec)
S-1-2	$1.52 \times 10^{-8}$	L-1-2	$1.75 \times 10^{-8}$	B-1-3	$1.44 \times 10^{-8}$
-4	$6.19 \times 10^{-8}$	-6	$1.67 \times 10^{-8}$	-6	$1.48 \times 10^{-8}$
-10	$3.19 \times 10^{-8}$	-8	$7.81 \times 10^{-9}$	-10	$1.45 \times 10^{-8}$

### d イオン吸着能率試験

#### 試料

岩石の代表部分を破碎し、縮分したものを35~100メッシュ、100メッシュ以下となるように粉碎し、それぞれ20gずつ秤量し試料とした。

#### 試験装置

装置は、攪拌装置を使用し、試料をセシウム、ストロンチウムの溶液に入れ、攪拌し、ろ過した溶液を原子吸光光度法、蛍光光度法で定量し、試料への吸着率を逆算する。

#### 試験方法

試料20gを秤量し、pHを調整したストロンチウム、セシウムのそれぞれ10ppm入溶液200mlに入れ、スターラーで、30分間攪拌する。完全に固・液平衡に達するように一昼夜放置する。放置後上澄液を乾燥ろ紙(東洋ろ紙: Na 5 C)

でろ過し、その中のストロンチウム、セシウムの濃度を定量する。

#### 試件条件

試料重量	: 20 g
試料粒度	: 35 ~ 100 メッシュ。 100 メッシュ以下。
使用液と量	: 研究所地下水, 200 ml Na, 20 ppm K, 2.3 ppm Mg, 5.1 ppm Ca, 12 ppm
使用液の濃度	: pH4, pH6, pH8
使用液温度	: 約 25 °C
使用元素と濃度	: ストロンチウム, セシウム各々 10 ppm
攪拌時間	: 30 分間
放置時間	: 約 20 時間

#### 試験結果

結果は表 3.4 - 20 に示す。

- (イ) 粒度によらず、高い吸着率を示したのが、Sグループ、Bグループである。  
Lグループは、前2グループの半分程の平均値しか示さない。
- (ロ) Lグループの試料は、値のばらつきが非常に大きくCsの場合などは、0% ~ 91.6%もの開きがある。
- (ハ) Sグループ、LグループではCsの場合が大きいばらつきがあり、Bグループでは逆にSrの方がばらつきが大きい。
- (ニ) Lグループが低い値しか示さない理由は組成鉱物の中で方解石が多く含まれていることと関連があると想像される？



表 3.4 - 20 イオン吸着能率試験結果

試料名	メッシュ	pH 4		pH 6		pH 8	
		Cs (%)	Sr (%)	Cs (%)	Sr (%)	Cs (%)	Sr (%)
S-1-2	-35 ~ +100	54.1	65.4	39.4	71.5	58.4	62.4
	-100	63.9	78.1	69.5	78.7	68.9	77.7
-4	-35 ~ +100	98.9	96.3	95.7	97.7	99.0	94.5
	-100	97.7	74.4	100.	71.6	100.	66.5
-10	-35 ~ +100	92.7	93.9	98.9	97.7	100	100
	-100	92.3	93.4	100.	94.8	97.6	94.5
L-1-2	-35 ~ +100	16.2	0.0	0.0	0.0	14.7	6.9
	-100	8.1	39.0	17.8	43.1	13.5	45.2
-6	-35 ~ +100	91.1	24.5	91.6	35.2	93.3	58.4
	-100	87.6	51.3	96.3	64.1	94.7	54.3
-8	-35 ~ +100	22.0	0.0	5.5	0.0	24.0	2.8
	-100	23.0	36.6	33.0	46.7	28.3	42.1
B-1-3	-35 ~ +100	84.2	37.1	87.3	52.4	98.8	69.1
	-100	89.3	68.3	91.8	85.8	94.7	77.7
-6	-35 ~ +100	94.6	48.8	91.6	61.9	95.3	78.3
	-100	97.7	85.4	100.	87.5	99.3	87.8
-10	-35 ~ +100	87.2	82.9	81.4	91.3	95.3	93.5
	-100	91.7	90.8	97.0	93.6	97.2	92.5

(6) 試験結果のまとめ

試験結果を表 3.4 - 21 - (1) ~ (3) に示し、それらのうち図表示できるものについては図 3.4 - 8 - (1) ~ (8) に示した。

砂岩類である S グループ、石灰岩類である L グループ、輝緑岩類である B グループの 3 岩種の特性試験を行ったが、その結果以下の事が言える。

(イ) L グループと B グループは多くの試験項目で同じ様な傾向を示した。S グループは、前 2 者と比較的異なる値を示した項目が多かった。

(ロ) L グループは、比重、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、熱伝導率、イオン吸着率等の値が高く、反対に含水率、熱膨張率、有効間隙率、比熱等の値は低かった。

B グループは、L グループとほとんど似た傾向にあったが、イオン吸着能が低い事、衝撃強度が高い事等が目立った。

S グループは、比重が小さく、含水率、有効間隙率が高く、比熱、イオン吸着能等が高い値であった。強度に関する、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、シヨア<sup>shock</sup> - 硬度、静弾性係数等の値は、低かった。ただ高温による強度が増加する事と、

透水係数が比較的大きい事が特に目立った。

- (い) 各試験項目で、高温中の一軸圧縮強度、圧裂引張強度、イオン吸着能率、室内透水試験等、次年度以降、試験条件、方法に若干の修正が望ましい。



表 3.4 - 21-(2) 岩石試験結果一覧表

L-1 グループ		岩石特性試験																								
サンプル No.	岩石物性試験																			化学分析	透水係数 ×10 <sup>-8</sup> cm/scc	吸着能 (%)				
	放射能 ×10 <sup>-6</sup> μCi/g	熱膨脹率 ×10 <sup>-6</sup> /°C	熱伝導率 ×10 <sup>-3</sup> cal/cm·s °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	シヨア 一硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断 強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃 強度 cm	静弾性 係数 ×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal/g·°C	クリープ 速度 %/mm	示差熱分析	顕微鏡検査				X線回折			
									室温	高温	室温	高温														
L-1-1	2.6	—	6.10	0.73	1.20	2.01	2.87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-2	1.3	15.26	5.93	0.65	1.08	1.75	2.71	52.1	1,428	1,406	47.0	41.0	136	9.0	5.950	0.209	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	—	1.75	表 3.4-20		
L-1-3	4.4	—	5.68	0.43	0.66	1.13	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-4	1.4	—	5.56	0.13	0.22	0.40	3.17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-5	2.8	—	5.34	0.34	0.38	0.91	2.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-6	8.2	13.05	5.56	1.34	1.43	3.56	2.61	41.8	201	1,162	14.4	35.7	30.4	5.0	0.909	0.214	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	—	1.67	表 3.4-20		
L-1-7	1.4	—	6.15	0.82	0.89	2.26	2.78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-8	2.2	14.24	7.88	1.34	0.16	6.39	2.89	50.3	904	674	47.2	106.0	112	5.7	7.290	0.199	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	—	0.781	表 3.4-20		
L-1-9	2.3	—	6.50	1.53	1.80	4.21	2.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
L-1-10	< 0.5	—	7.22	0.45	0.90	1.27	2.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
備考																										
注 1：熱膨脹率は 500 °C における値である。																										
注 2：一軸圧縮試験，圧裂引張試験の高温における強度は岩石表面温度 550 °C (岩石内部温度約 550 °C) における値である。																										
注 3：静弾性係数の ( ) 内数値は静弾性係数 (静ヤング率) 算出時の応力を示す。																										
注 4：クリープ速度の△印はクリープ現象が起らなかったことを示す。																										

表 3.4-21-(3) 岩石試験結果一覧表

B-1 グループ																							
サンプル No	岩石特性試験																			化学分析	透水係数 ×10 <sup>-8</sup> cm/scc	吸着能 率	
	岩石物性試験																						
	放射能 ×10 <sup>-6</sup> μCi/g	熱膨脹率 ×10 <sup>-6</sup> /°C	熱伝導率 ×10 <sup>-3</sup> cal/cm <sup>2</sup> s °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	ショア 一硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断 強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃 強度 cm	静弾性 係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal/g・°C	クリープ 速度 %/mm	示差熱分析	顕微鏡検査				X線回折
								室温	高温	室温	高温												
B-1-1	< 0.5	—	4.36	0.59	2.05	1.57	2.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
B-1-2	0.7	—	5.16	0.19	0.19	0.50	2.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
B-1-3	< 0.5	17.21	5.82	0.14	0.23	0.38	2.63	79.4	1,363	1,463	81.8	54.0	184	23.7	5.535	0.200	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	1.44	表 3.4-20
B-1-4	1.9	—	4.92	0.27	0.42	0.72	2.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B-1-5	< 0.5	—	5.92	0.17	0.30	0.47	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B-1-6	< 0.5	10.48	4.15	0.98	1.11	2.57	2.62	64.1	1,130	1,033	64.4	63.4	149	11.3	7.740	0.209	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	1.48	表 3.4-20
B-1-7	< 0.5	—	4.68	0.19	0.24	0.54	2.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B-1-8	< 0.5	—	5.32	0.22	0.30	0.59	2.68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B-1-9	0.7	—	4.41	0.13	0.21	0.37	2.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B-1-10	< 0.5	10.10	5.39	0.13	0.12	0.36	2.69	68.4	1,652	359	10.5	80.6	231	15.0	6.883	0.212	△	表 3.4-5	表 3.4-16	表 3.4-17	表 3.4-18	1.45	表 3.4-20
					</																		

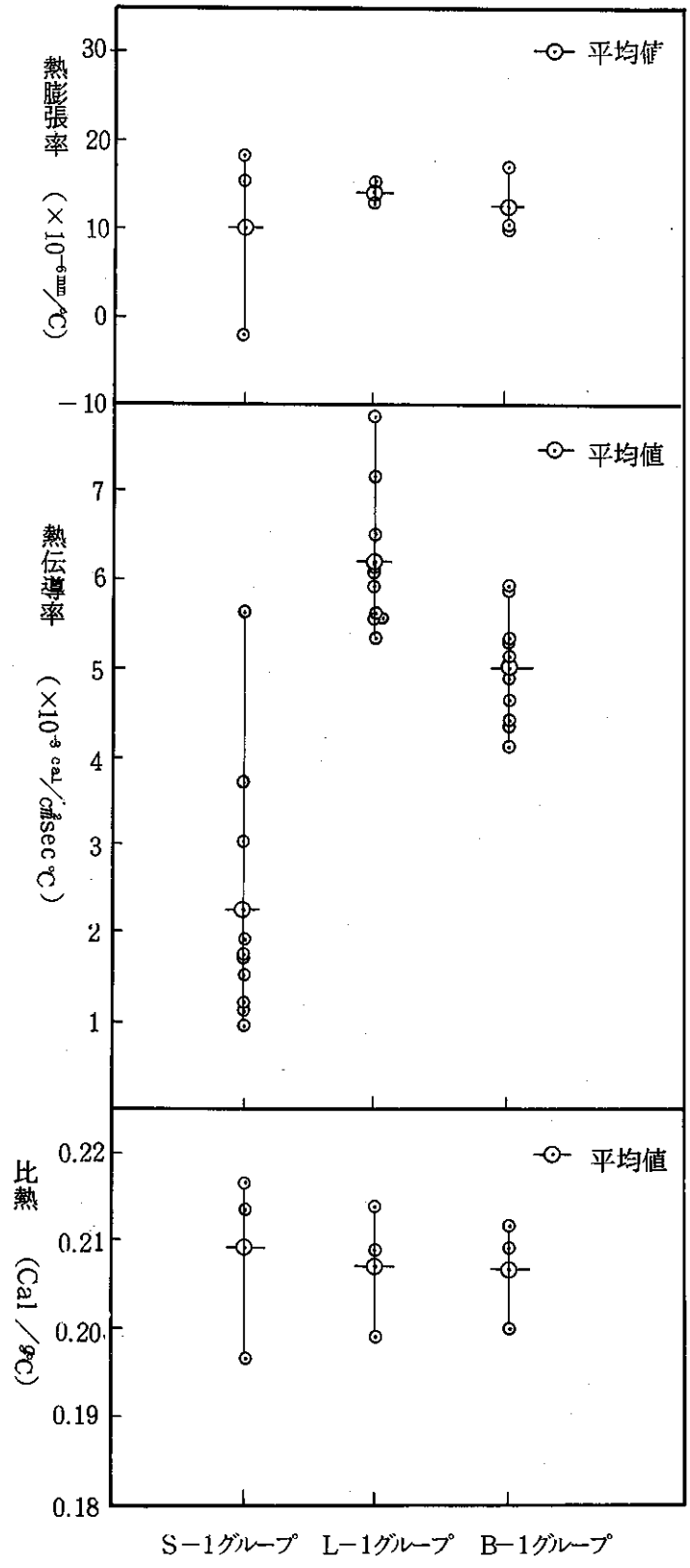


図 3.4 - 8 - (1) 岩石試験結果  
 (熱膨張率・熱伝導率・比熱)

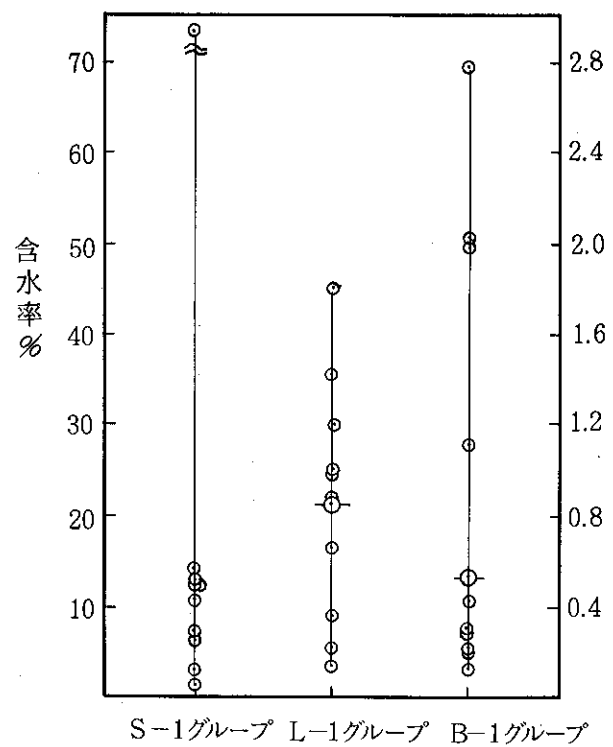
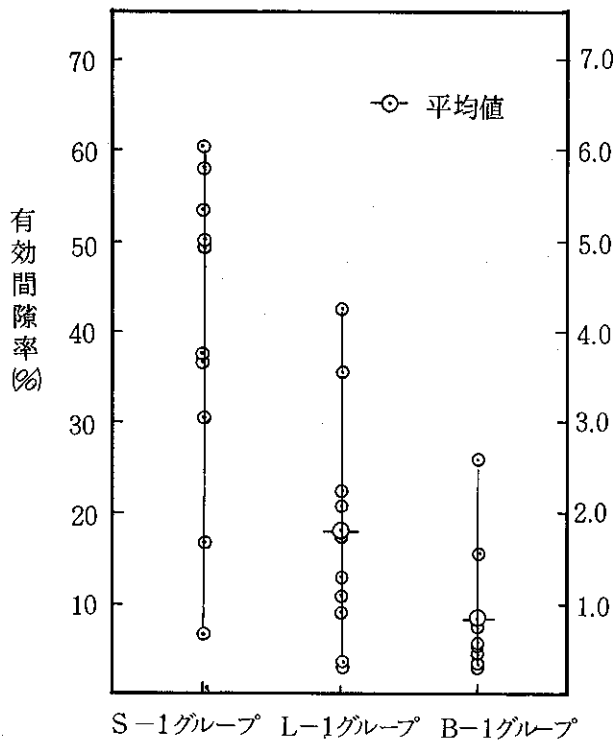
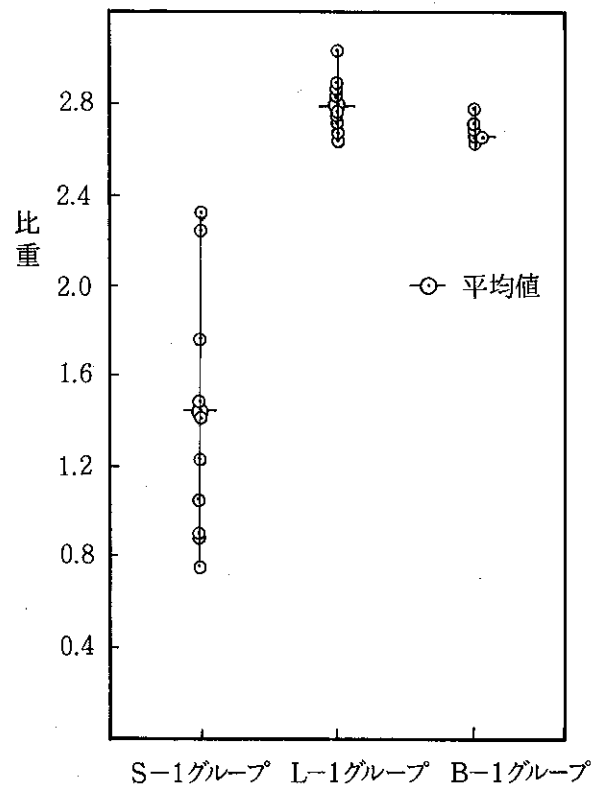
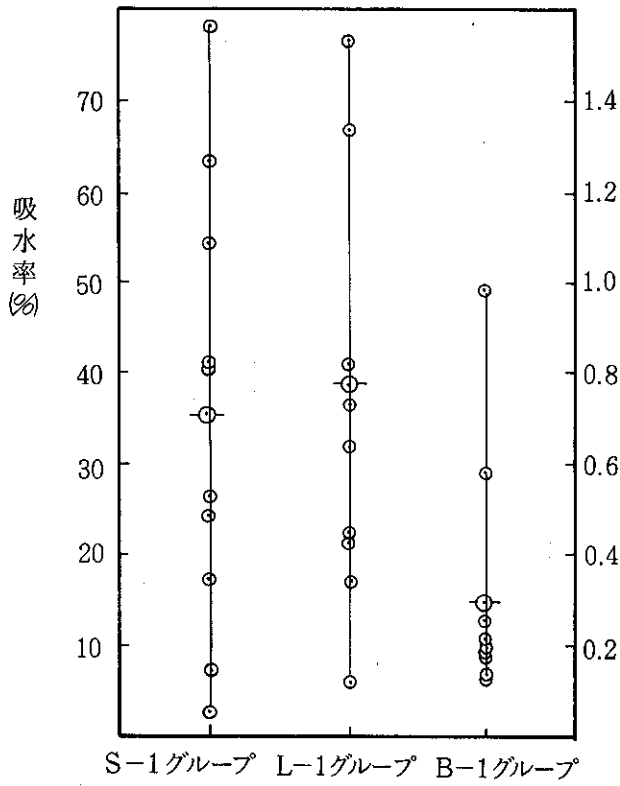


図 3.4 - 8 - (2) 岩石試験結果 (吸水率・有効間隙率)

図 3.4 - 8 - (3) 岩石試験結果 (比重・含水率)

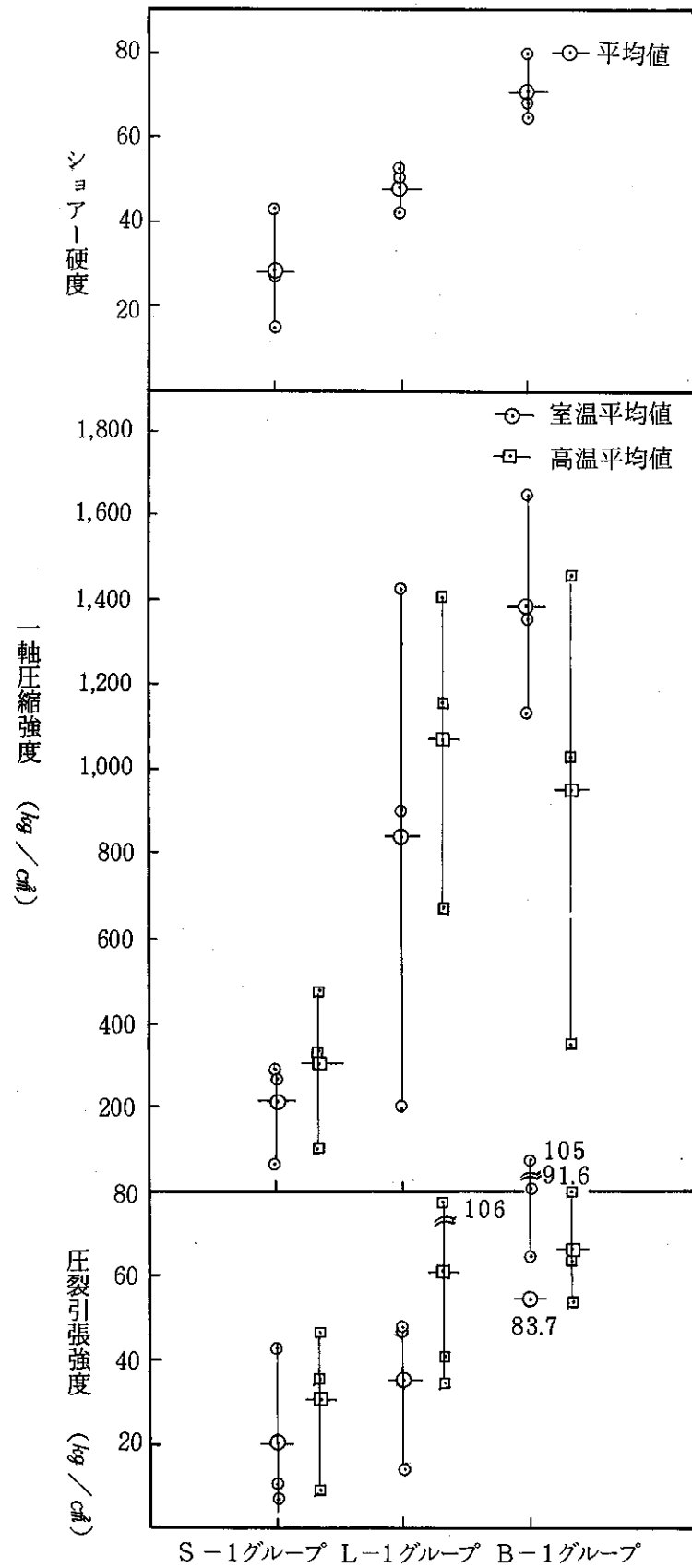


図 3.4 - 8 - (4) 岩石試験結果  
(ショア硬度・一軸圧縮強度・圧裂引張強度)



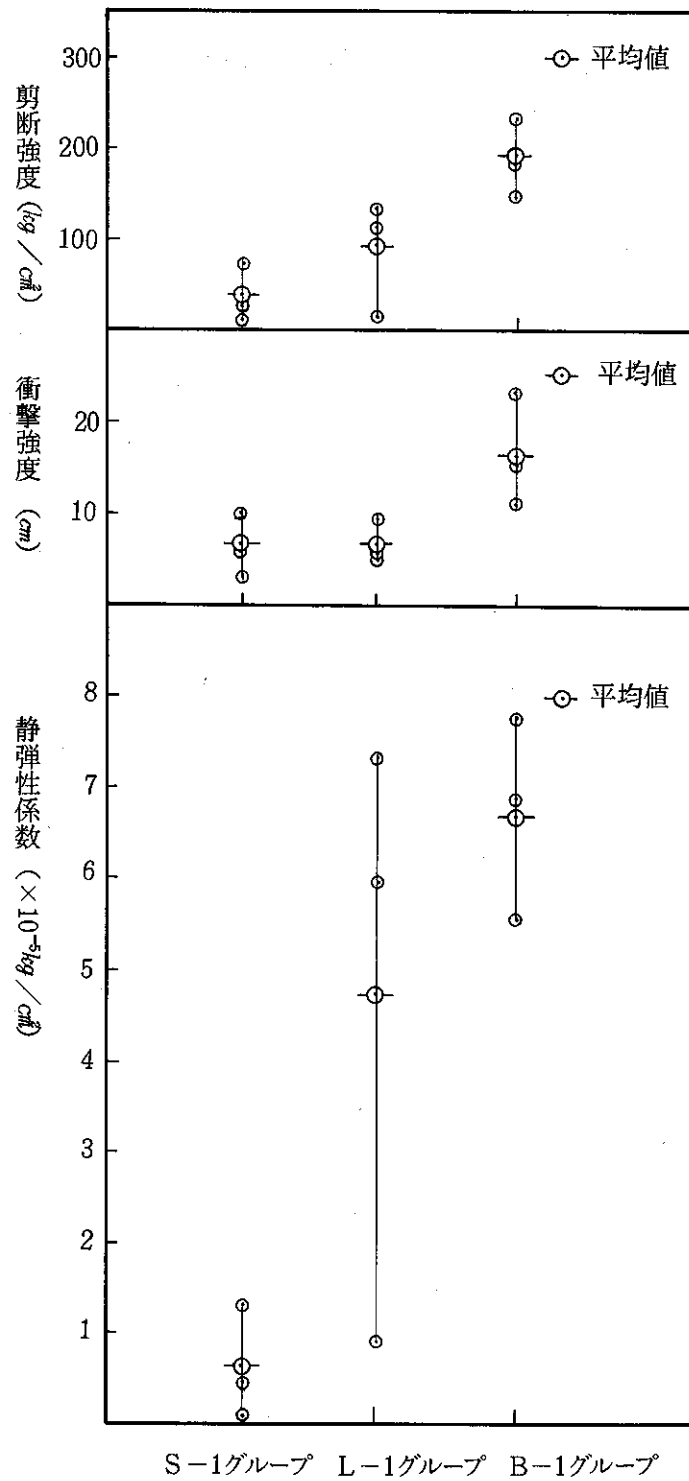


図 3.4 - 8 - (5) 岩石試験結果  
(剪断強度・衝撃強度・静弾性係数)

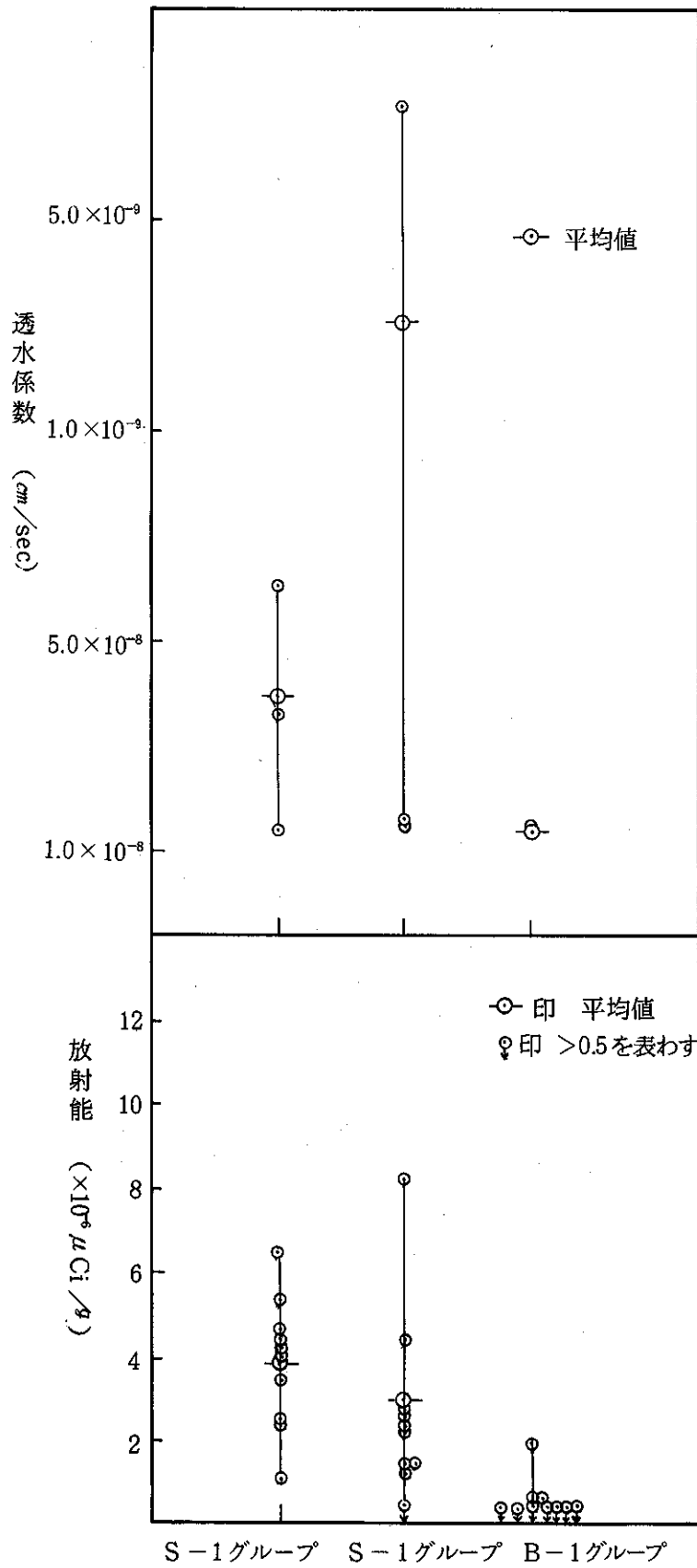


図 3.4 - 8 - (6) 岩石試験結果 (透水係数・放射能)

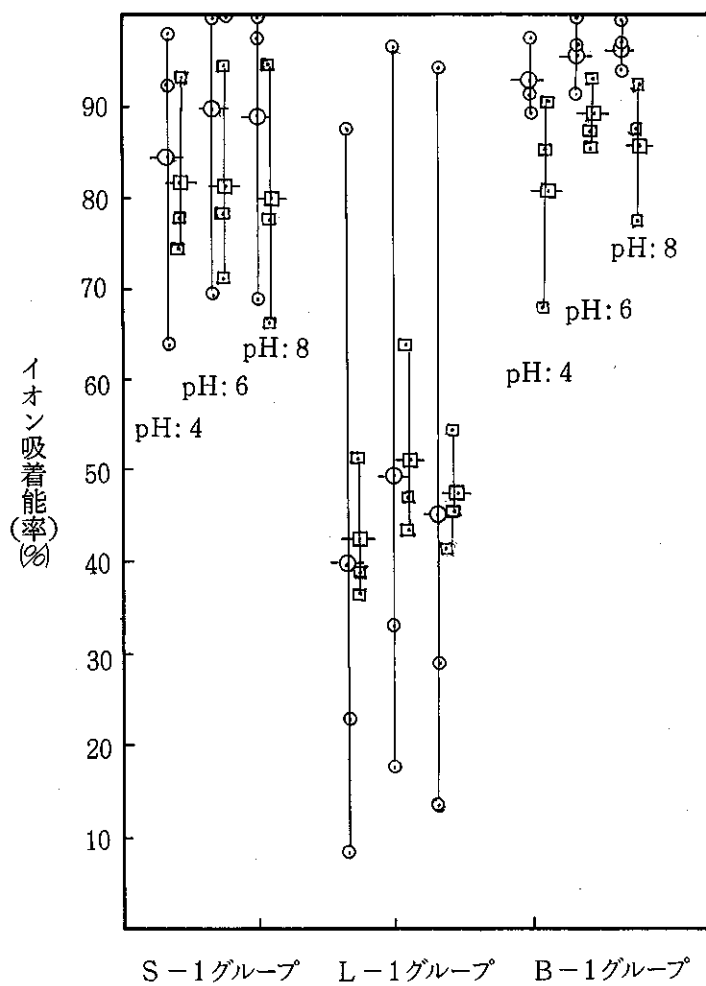


図 3.4-8-(7) 岩石試験結果  
(イオン吸着能(率))

- 1) 試料粒度 : -100メッシュ
- 2) ○ : Cs    ⊙ : Cs の平均値  
      □ : Sr    ⊠ : Sr の平均値
- 3) 各グループ左から pH4, pH6, pH8 である。

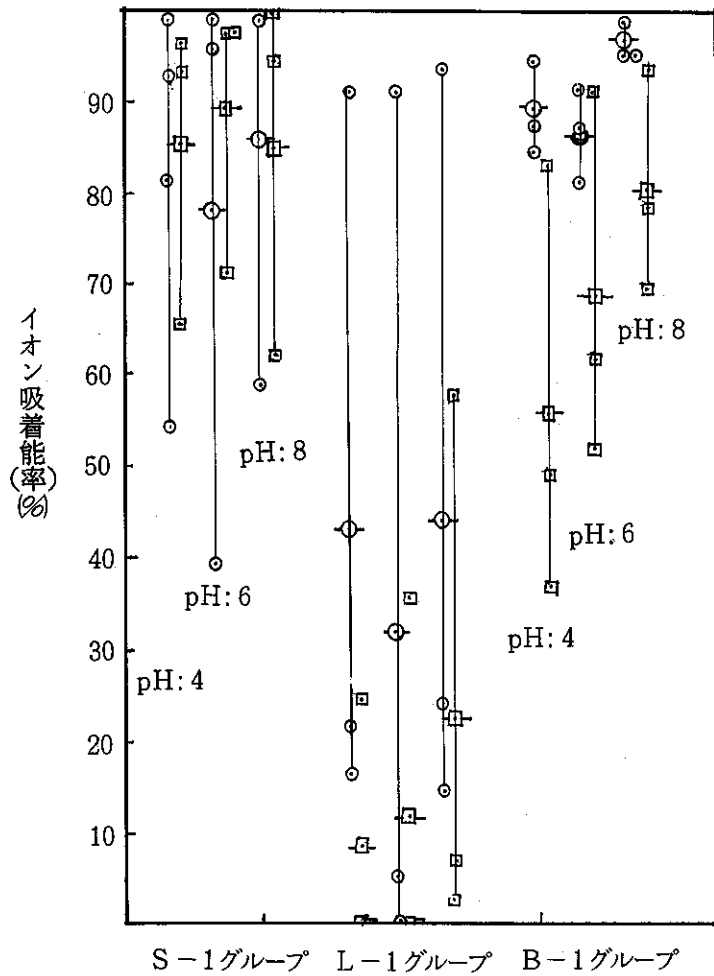


図 3.4 - 8 - (8) 岩石試験結果  
(イオン吸着能(率))

- 1) 試料粒度 : +35~+100メッシュ
- 2) ● : Cs ○ : Cs の平均値  
 □ : Sr ■ : Sr の平均値
- 3) 各グループ左から pH4, pH6, pH8 である。

### 3.4.2 昭和52年度補足試験

#### (1) 目的

昭和52年度、花崗岩類及びゼオライト質凝灰岩類の代表的分布地域より採取した岩石の特性試験を行ったが、全項目を実施できなかった。そこで、今年度概査を実施したG-3地区（花崗岩類）、Z-1地区（ゼオライト質凝灰岩類）において昨年度実施できなかった項目の補足試験を行い、岩石的基礎資料の充実を計ることを目的とする。

#### (2) 実施時期

昭和53年9月～昭和54年1月

#### (3) 岩石試験項目

岩石試験項目を表3.4-1（前述）に、岩石試験実施表を表3.4-22に示す。

#### (4) 試験方法

3.4.1の(4)で述べたものと同一の試験方法で岩石試験を実施したので、ここでは省略する。





(5) 岩石特性試験各論

a 岩石物性試験

① 放射能測定

昭和52年度全ての試料について試験，実施済である。

② 熱膨張率

試験結果

結果の表3.4-23から次のような事が言える。

(イ) 花崗岩では，石英の比率が大きい程，膨張値が大きく，ゼオライトでは，熱膨張値は小さい。

(ロ) ゼオライト類では，700℃位を境にして実質的には，負の膨張値を示した。

この原因は，ゼオライト中の粘土鉱物中の結晶水の脱出のためと，考えられる。

(ハ) 花崗岩のG-3-4は石英の転移点で破壊している。この事は石英の比率が大きい程，高温になると急激に強度低下を示す主原因になっている。

表3.4-23 熱膨張率測定結果

測定 温度	G-3-4	G-3-5	G-3-7	G-3-9	Z-1-2	Z-1-4	Z-1-6	Z-1-7		
	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値	mm 測定値
100℃	$6.22 \times 10^{-6}$	$8.00 \times 10^{-6}$	$8.00 \times 10^{-6}$	$7.42 \times 10^{-6}$	$6.80 \times 10^{-6}$	$5.75 \times 10^{-6}$	$8.58 \times 10^{-6}$	$8.58 \times 10^{-6}$		
200	10.50	9.29	11.52	13.45	10.17	9.52	10.65	13.33		
300	13.27	11.36	13.83	16.38	11.68	12.25	14.88	14.90		
400	18.92	12.98	16.26	18.76	13.18	14.03	16.91	16.04		
500	87.02	15.23	19.05	21.72	14.99	14.88	18.61	17.42		
600		28.21	33.44	33.16	18.90	19.32	22.16	20.09		
700		32.37	73.44		18.54	18.13	20.23	19.46		
800		28.72	58.10		17.06	16.79	17.99	18.57		
900		25.14	48.04		15.81	15.57	16.20	17.31		
1000		22.28	39.82		14.72	14.47	14.92	16.31		

③ 熱伝導率測定

昭和52年度全ての試料について試験済みである。

④・⑤・⑥・⑦ 吸水率，含水率，有効間隙率，比重測定

昭和52年度全ての試料について試験済みである。

⑧ ショアー硬度測定



### 試験結果

結果を表 3.4-24 に示す。結果を見ると花崗岩では、強度、熱膨張率などと同じ傾向にある。凝灰岩類と強度などで大きい差を見せているにもかかわらず Z-1-6 を除いて、平均値で余り差が大きい点が注目される。

花崗岩では、石英粒子部分とその他の鉱物粒子部分で反撥硬度の差が大きく、凝灰岩類では、平均していると言える。相対的には、強度と比例する形で値が上下するので、概略の強度の目安にはなり得ると考えられる。

表 3.4-24 ショア - 硬度測定結果

試料No	最高値	最低値	平均値	試料No	最高値	最低値	平均値
G-3-4	92	24	51.0	Z-1-2	87	6	41.4
-5	80	36	54.2	-4	64	37	52.6
-7	80	47	66.9	-6	19	9	13.5
-9	92	50	78.5	-7	57	30	42.0

### (9) 一軸圧縮強度測定

#### 試験結果

室温と高温（500℃）における結果を表 3.4-25 に示す。

- (イ) 花崗岩は室温で 622 ~ 1,610 高温では 228 ~ 1,216 kg/cm<sup>2</sup> の範囲にあり、凝灰岩は室温で 716 ~ 1,445 高温では 436 ~ 843 kg/cm<sup>2</sup> の範囲にある。
- (ロ) G-3-4 が室温、高温共に他よりも一段低い値を示しており、この岩自体の組成に影響されていると考えられる。（粘土鉱物のセリサイトを含んでいる）。
- (ハ) 凝灰岩の Z-1-4 が昇温中 300℃位で熱破壊を起し、何度繰返しても同様だった。熱膨張率から見ると特別の挙動は暗示されていない。X線、示差熱、比熱などからも原因は推定され得ない。
- (ニ) 高温の試験結果から、500℃位になると、常温強度そのものの値が高くても、強度が  $\frac{1}{3}$  位に低下する試料もあり、熱膨張率の結果と考え合せると、熱のみで破壊を起す事も考えられる（G-3-4, Z-1-4）

表 3.4 - 25 一軸圧縮強度測定結果

試 料 No.	一 軸 圧 縮 強 度 ( kg / cm <sup>2</sup> )	
	室 温	高 温
G-3-4	622	228
G-3-7	1,605	893
G-3-9	1,610	1,216
Z-1-4	716	昇温中自然破壊
Z-1-6	186	436
Z-1-7	1,445	843

⑩ 圧裂引張強度測定

試験結果

結果は表 3.4 - 26 に示す。

- (イ) 室温での試験では、一軸圧縮強度と同様な傾向を示し、花崗岩では 27.3~71.4 kg/cm<sup>2</sup>、凝灰岩では 8.1~18.6 kg/cm<sup>2</sup> の範囲にある。
- (ロ) 高温での試験においては、一軸圧縮強度の試験の場合のように強度の低下はほとんど見られず逆に、凝灰岩は 3 倍位強度がアップしている。この様な大巾な強度の増加の原因は、各試験値からは、推定出来ない。

表 3.4 - 26 圧裂引張強度測定結果

試 料 No.	圧 裂 引 張 強 度 ( kg / cm <sup>2</sup> )	
	室 温	高 温
G-3-4	27.3	25.9
G-3-7	71.0	72.0
G-3-9	48.4	45.5
Z-1-6	8.10	24.2
Z-1-7	18.6	69.9

⑪ 剪断強度測定

試験結果

結果は表 3.4 - 27 に示す。

- (イ) 花崗岩は室温で 69.9~146 kg/cm<sup>2</sup>、高温で 47.3~146 kg/cm<sup>2</sup> の範囲である。凝灰岩は室温で 20.8, 83.6 kg/cm<sup>2</sup> で高温で 56.3, 140 kg/cm<sup>2</sup> の値を示した。

(ロ) 剪断強度値は、一軸圧縮強度と、圧裂引張強度から自動的に計算で算出されたものなので、次年度から直接に一面剪断試験を行って値を調べるべきである。

表 3.4 - 27 剪断強度測定結果

試料 No.	剪断強度 ( kg / cm <sup>2</sup> )	
	定温	高温
G-3-4	69.9	47.3
-7	181	146
-9	146	125
Z-1-6	20.8	56.3
-7	83.6	140

⑫ 衝撃強度測定

昭和52年度全ての試料について試験済みである。

⑬ 静弾性係数測定

試験結果

結果は表 3.4 - 28 に示す。

(イ) 花崗岩は  $0.806 \times 10^5 \sim 7.792 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  の範囲にあり、凝灰岩は  $0.423 \times 10^5 \sim 2.447 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  の範囲にある。

(ロ) 静弾性係数は、単位長さをひずませる（この場合は軸方向へ縮ませる）のにどれだけの荷重が必要であるかを表わしているとも言えるので概略一軸圧縮強度と比例する傾向にある。同じ強度の岩を比較しても、相対的にはあるが、もろい場合は大きく、ねばい場合は小さい値になる。表面的な数値だけでなく、応力-ひずみ曲線の曲線の形を十分検討することも必要となる。応力-ひずみ曲線の全体を見た場合、傾斜の急なのがより剛で、傾斜がゆるくなるに従って柔になると言える。

表 3.4 - 28 静弾性係数測定結果

試料No	静弾性係数 ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )	試料No	静弾性係数 ( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )
G-3-1	3.173 ( $\sigma_c / 2$ 点の割線ヤング率)	G-3-8	7.792 ( $\sigma_c / 2$ 点の割線ヤング率)
-3	0.806 ( " " " )	9	4.680 ( " " " )
-4	1.323 ( " " " )	Z-1-2	1.241 ( " " " )
-5	1.711 ( " " " )	6	0.423 ( " " " )
-6	6.840 ( " " " )	7	2.447 ( " " " )
-7	5.181 ( " " " )	8	1.422 ( " " " )

⑭ 比熱測定

試験結果

結果は表 3.4 - 29 に示す。

- (イ) 花崗岩が凝灰岩より小さい値を概略示している。測定方法からまたは、比熱そのものの性質から、岩石の間隙率が微妙に影響してくると思われる。
- (ロ) (イ)のように凝灰岩が概して高いのは、岩石組成粒子の比熱と、微小な空隙中に存在する空気、水分が影響していると思われる。熱伝導率の大小と比較して見るとそれがよくわかる。(空気は、 $0.241 \text{ cal/g}^\circ\text{K} : 348^\circ\text{C}$ )

表 3.4 - 29 比熱測定結果

試料No.	測定値 $\text{cal/g}^\circ\text{K}$	試料No.	測定値 $\text{cal/g}^\circ\text{K}$	試料No.	測定値 $\text{cal/g}^\circ\text{K}$
G-3-4	0.190	G-3-9	0.190	Z-1-6	0.217
-5	0.196	Z-1-2	0.203	-7	0.206
-7	0.203	-4	0.203		

基準物質 ( $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ ) , 比熱  $0.2048 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$  ( $^\circ\text{K} = 348^\circ\text{C}$ )

⑮ クリープ試験

試験結果

結果は表 3.4 - 30 に示す。

花崗岩、凝灰岩ともにクリープ現象は認められなかった。原因としては、試験応力(一軸圧縮強度の50%応力)が小さすぎたか、試験時間が短かったためと思われる。

一般的には70%前後の応力でしかも数十日の単位で行っているのが現状で、今後許されれば、長期の試験が望ましい。

表 3.4 - 30 クリープ試験結果

試料No.	クリープ速度(%/min)	試料No.	クリープ速度(%/min)
G-3-1	△	Z-1-8	△
-6	△		
-8	△		

△印はクリープ現象が認められなかった試料。

⑩ 示差熱分析

試験結果

結果は表 3.4 - 31 に示す。

花崗岩グループでは石英の転移に伴うピークしか認められなかった。凝灰岩グループでは、Z - 1 - 2 の緑泥岩、Z - 1 - 4 からモンモリロナイト、Z - 1 - 6 からモンモリロナイト、Z - 1 - 7 から緑泥岩と、それぞれ粘土鉱物の結晶水の脱出ピークが認められた。他に共通物質として、炭質物の存在が認められた。

検鏡及び X 線回折の両試験結果と合せて検討すると良い。温度曲線が 2 mm だけ先行しているので、温度チェックの際に注意が必要である。

表 3.4 - 31 示差熱分析結果

試料グループ	検出鉱物・化学成分名	概 要
G - 3 グループ	石 英	熱反応によるピークは、573.℃付近の α 石英から β 石英への転移に伴う吸熱ピークが認められただけで、X 線回折結果で示された緑泥岩、雲母等の熱変化のピークは認められなかった。
Z - 1 グループ	石 英 モンモリロナイト 緑泥石 炭質物	Z - 1 - 2 からは炭質物、緑泥石、Z - 1 - 4 からは炭質物とモンモリロナイト、Z - 1 - 6 からは石英、モンモリロナイト、炭質物、Z - 1 - 7 からは炭質物、緑泥石がそれぞれ認められた。この他に X 線回折結果で示された雲母、方解石、石英などはピークらしいものは認められたが、断定出来るだけのピークではない。

⑰ 顕微鏡検査

試験結果

結果は、岩質、組成粒度、組成鉱物、変質の度合等をまとめて、表 3.4 - 32 に示した。

表 3.4 - 32 顕微鏡検査結果

試料	岩 質		
	岩石名	粒 度	特 徴
G-3-4	黒雲母花崗閃緑石	1~4 mm	斜長石変質
G-3-5	黒雲母花崗閃緑岩	1~5 mm	斜長石変質し、セリサイト集合部を有するものあり、割目の発達が著しい。
G-3-7	黒雲母花崗閃緑岩	0.1~3 mm	やゝ細粒、長石類変質、一部の黒雲母に緑れん石等が生成。
G-3-9	アダメライト	1~4 mm	苦鉄質鉱物非常に少ない、割目の発達が著しい。
Z-1-2	凝灰角礫岩	碎屑物20mm以上~微粒	粘土化・炭酸塩化・珪化等の変質作用被る。
Z-1-4	シルト岩	微 粒	やゝ明瞭な粒子の配列あり。
Z-1-6	砂 岩	0.05~0.3 mm	碎屑性粒子は石英・長石・雲母等、他に緑泥石その他の変質鉱物が存在
Z-1-7	石灰質泥岩	微 粒	石灰質鉱物は苦灰石から或る。ほゞ等量のシリカ・長石質鉱物が混在。

⑱ X線回線

試験結果

検出された鉱物名を、強度が強く出た順序にまとめたものを、表 3.4 - 33 に示す。

表 3.4 - 33 X線回折結果

試料No. \ 鉱物名	α-石英	斜長石	カリ長石	雲 母	緑泥石	方解石	モンモリロナイト	ドロマイト	角閃石
G-3-4	++++	++++	++	+	+				
-5	++++	++++	+	+					
-7	+++	+++	+	+	+				+
-9	++++	++	++	+	+				
Z-1-2	+++	+			+	+			
-4	++++	+					+		
-6	++++	++	+	+			+		
-7	++++	+			+	+	+	+	

注 1) ++++ : 非常に大きいピークに表われた鉱物  
 +++ : 大きいピークに表われた鉱物  
 ++ : 小さいピークに表われた鉱物  
 + : 極く小さいピークに表われた鉱物

## b 化学分析試験

### 試験結果

結果は表 3.4 - 34 に示す。

表中の成分が酸化物の形で表わされているが、実際の分析では、 $\text{FeO}$ 、 $(+)\text{H}_2\text{O}$ 、 $(-)\text{H}_2\text{O}$ を除いたほかは、単体の形で分析したものである。

表 3.4-34 化学分析結果

成分 試料名	% SiO <sub>2</sub>	% TiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% FeO	% MnO	% MgO	% CaO	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% S	% (+)H <sub>2</sub> O	% (-)H <sub>2</sub> O	% 計
G-3-1	68.77	0.40	16.81	1.80	1.31	0.05	1.18	3.10	3.27	2.08	0.01	4 ppm	0.27	0.34	99.42
-3	68.37	0.30	17.54	1.74	0.78	0.05	0.86	3.13	4.12	1.82	0.01	4 "	0.36	0.23	99.29
-8	60.57	0.60	17.64	3.50	2.91	0.01	2.90	5.87	3.13	1.27	0.09	31 "	0.26	0.23	98.98
Z-1-3	52.31	1.03	17.96	6.10	4.02	0.03	3.45	6.66	3.34	0.75	0.03	14 "	2.48	1.57	99.64
-8	59.20	0.94	16.90	6.72	0.86	0.01	1.86	6.11	3.19	0.56	0.11	4 "	1.05	2.28	99.79



c 透水試験

試験結果

試験は各試料共 240 時間以上測定を継続しその結果を表 3.4 - 35 に示す。

各試料共  $10^{-8} \sim 10^{-9}$  のオーダーである。値からは、試料または岩種の違いによる差異を論じ得るものは、えられなかった。試料の状態(亀裂等も見られない)から判断すると、もう少し透水しにくいのではないかと推定される。今後長時間、高水頭で試験を行う必要があると思われる。

表 3.4 - 35 透水試験結果

試料No	透水係数 (cm/sec)	試料No	透水係数 (cm/sec)	試料No	透水係数 (cm/sec)
G-3-1	$2.08 \times 10^{-8}$	G-3-8	$8.23 \times 10^{-8}$	Z-1-8	$2.39 \times 10^{-8}$
-3	$2.11 \times 10^{-8}$	-10	$6.89 \times 10^{-9}$		
-6	$4.43 \times 10^{-8}$	Z-1-3	$2.44 \times 10^{-8}$		

d イオン吸着能率試験

試験結果

結果は表 3.4 - 36 に示した。表に示されている値(%)は次式で計算されたものである。

$$\text{吸着率(\%)} = \frac{\text{基準使用溶液の元素濃度} - \text{ろ液中の元素濃度}}{\text{基準使用溶液の元素濃度}} \times 100$$

結果の表から次のことが言える。

- (イ) 全ての水素イオン濃度でも Cs の方が Sr より吸着率は良い。
- (ロ) 花崗岩より凝灰岩の方が吸着率は良い。しかも粒度の小さい程良い。(吸着表面積に比例するためか。)
- (ハ) 平均的に見ると、pH が 6 の場合に高い吸着率を示している。これは、水質が中性に近い場合に高い吸着率を示すことが推定される。(pH 7 の場合も試験する必要があると思われる。)

表 3.4-36 イオン吸着能率試験

試料名	メッシュ	pH4		pH6		pH8	
		Cs (%)	Sr (%)	Cs (%)	Sr (%)	Cs (%)	Sr (%)
G-3-1	+35 ~ +100	82.9	61.0	76.0	61.9	80.0	70.2
	-100	83.6	58.6	92.4	71.6	96.9	74.6
-3	-35 ~ +100	40.2	9.6	45.9	33.0	62.6	26.9
	-100	63.0	30.6	78.1	50.3	79.7	37.1
-6	-35 ~ +100	85.1	70.8	85.9	73.3	96.9	71.6
	-100	91.0	84.2	98.5	90.8	94.0	89.8
-8	-35 ~ +100	70.2	46.4	67.6	54.3	73.3	52.3
	-100	78.6	44.0	83.2	60.9	91.7	65.5
Z-1-3	-35 ~ +100	94.6	75.6	93.2	79.1	98.6	82.3
	-100	93.6	78.1	100.0	78.7	94.0	82.7
-8	-35 ~ +100	97.1	87.8	98.9	90.9	100.0	84.8
	-100	94.0	92.5	100.0	92.9	97.6	91.9

(6) 試験結果のまとめ

花崗岩の G-3 グループと、凝灰岩の Z-1 グループを昭和 52 年度補足試験分として実施したが、その結果を表にしたのが表 3.4-38-(1)~(2)である。また、これらのうち図表示できるものについては図 3.4-9-(1)~(6)に示した。前年実施した他のグループ値とも比較してみると、以下の事が言える。

(イ) Gグループは比較的、熱伝導率、ショアー硬度、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、静弾性係数等は高い値を示し、比熱などは低い値を示した。

Zグループは、比熱、イオン吸着能率などは、高い値を示し、熱伝導率、各種強度などは、低い値を示した。

(ロ) 両グループで特に目立ったのは、高温下の強度で、Zグループでは微増か、同程度なのに比べて、Gグループでは、30~50%位に減少した事である。

(ハ) 室内透水試験について、各種強度、物理試験結果から両者の差がもっとあるべきと考えられる。試料状態からしてGグループの値がもう少し小さいのが妥当と思われる。

表3.4-37-(1) 岩石試験結果一覧表

G-3 グループ		岩石特性試験																					
サンプル No	岩石物性試験																			化学分析	透水係数 ×10 <sup>-8</sup> cm/sec	吸着能 碎	
	放射能 ×10 <sup>-5</sup> μCi/g	熱膨脹率 ×10 <sup>-6</sup> /°C	熱伝導率 ×10 <sup>-3</sup> cal/cm*s °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	シヨア 一硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断 強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃 強度 cm	静弾性 係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal g*°C	クリープ 速度 %/mm	示差熱分析	顕微鏡検鏡				X線回折
									室温	高温	室温	高温											
G-3-1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.173	—	△	表3.4-31	—	—	表3.4-34	2.08	表3.4-36
G-3-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.806	—	—	—	—	—	表3.4-34	2.11	表3.4-36
G-3-4	—	87.02	—	—	—	—	—	51.0	622	228	27.3	25.9	69.9	—	1.323	0.190	—	表3.4-31	表3.4-32	表3.4-33	—	—	—
G-3-5	—	15.23	—	—	—	—	—	54.2	—	—	—	—	—	—	1.711	0.196	—	表3.4-31	表3.4-32	表3.4-33	—	—	表3.4-36
G-3-6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.840	—	△	—	—	—	—	4.43	表3.4-36
G-3-7	—	19.05	—	—	—	—	—	66.9	1.605	893	71.0	72.0	181	—	5.181	0.203	—	表3.4-31	表3.4-32	表3.4-33	—	—	—
G-3-8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.792	—	△	表3.4-31	—	—	表3.4-34	8.23	表3.4-36
G-3-9	—	21.72	—	—	—	—	—	78.5	1.610	1.216	48.4	45.0	146	—	4.680	0.190	—	表3.4-31	表3.4-32	表3.4-33	—	0.689	—
G-3-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
備考																							
注1：熱膨脹率は500°Cにおける値である。																							
注2：一軸圧縮試験，圧裂引張試験の高温における強度は岩石表面温度550°C（岩石内部温度500°C）における値である。																							
注3：静弾性係数の（ ）内数値は静弾係数（静ヤング率）算出時の応力を示す。																							
注4：クリープ速度の△印はクリープ現象が起らなかったことを示す。																							



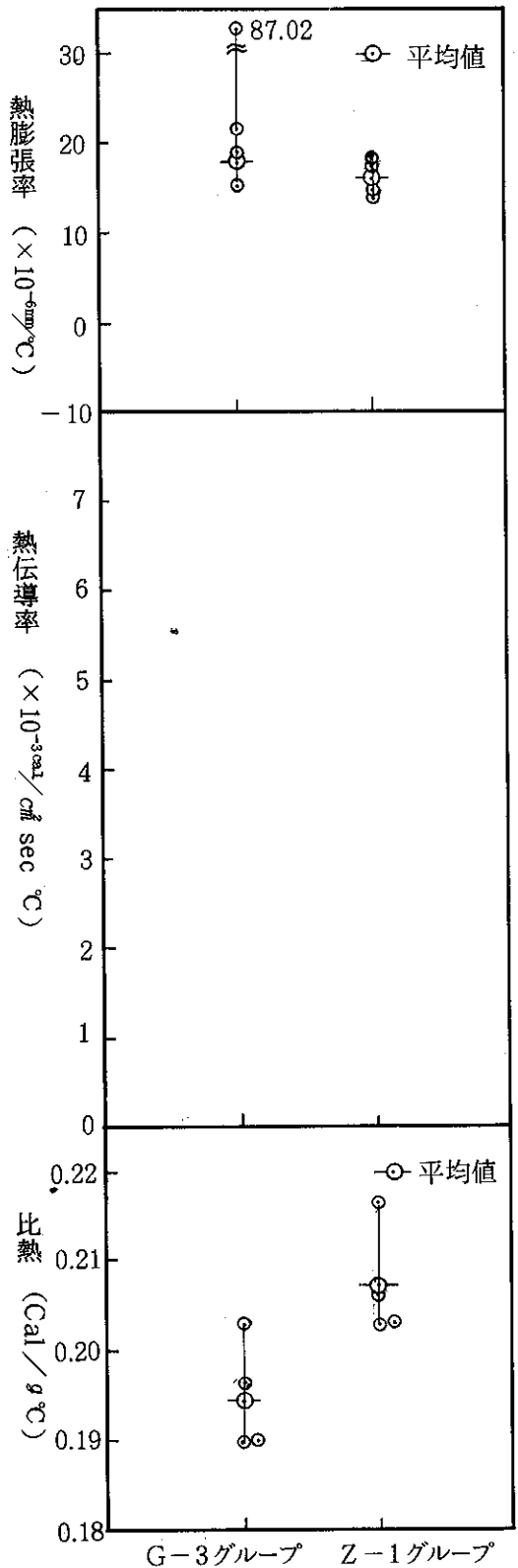


図 3.4 - 9 - (1) 岩石試験結果  
(熱膨張率・熱伝導率・比熱)

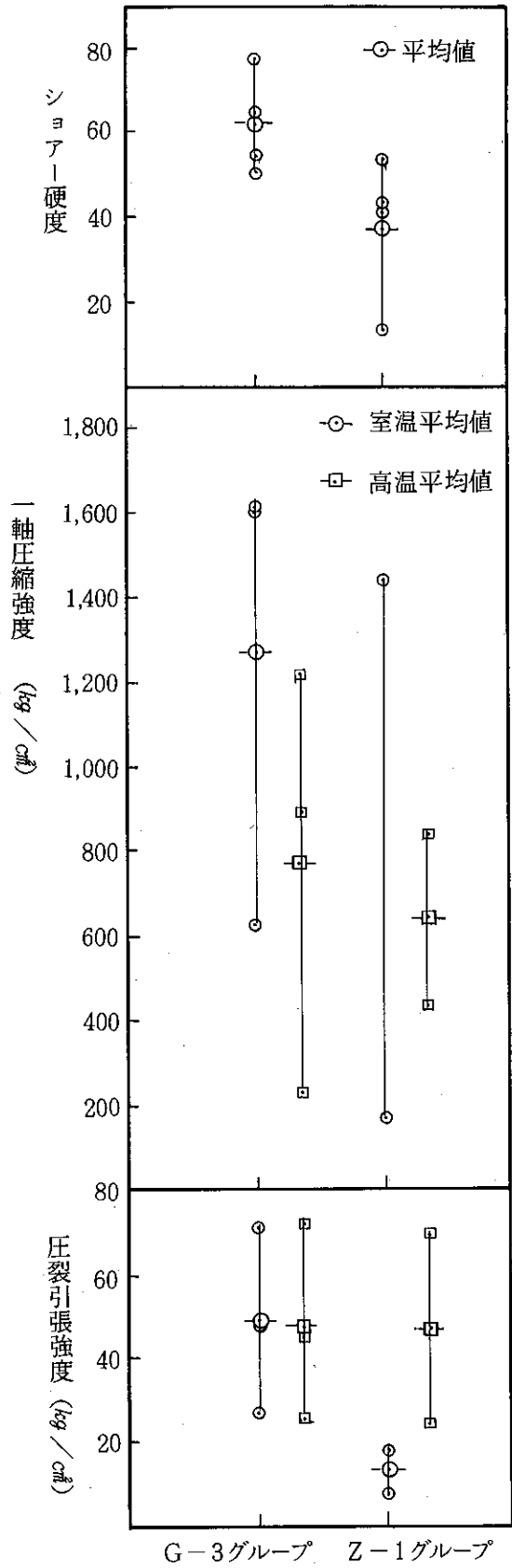


図 3.4 - 9 - (2) 岩石試験結果  
(ショア-硬度・一軸圧縮強度・  
圧裂引張強度)

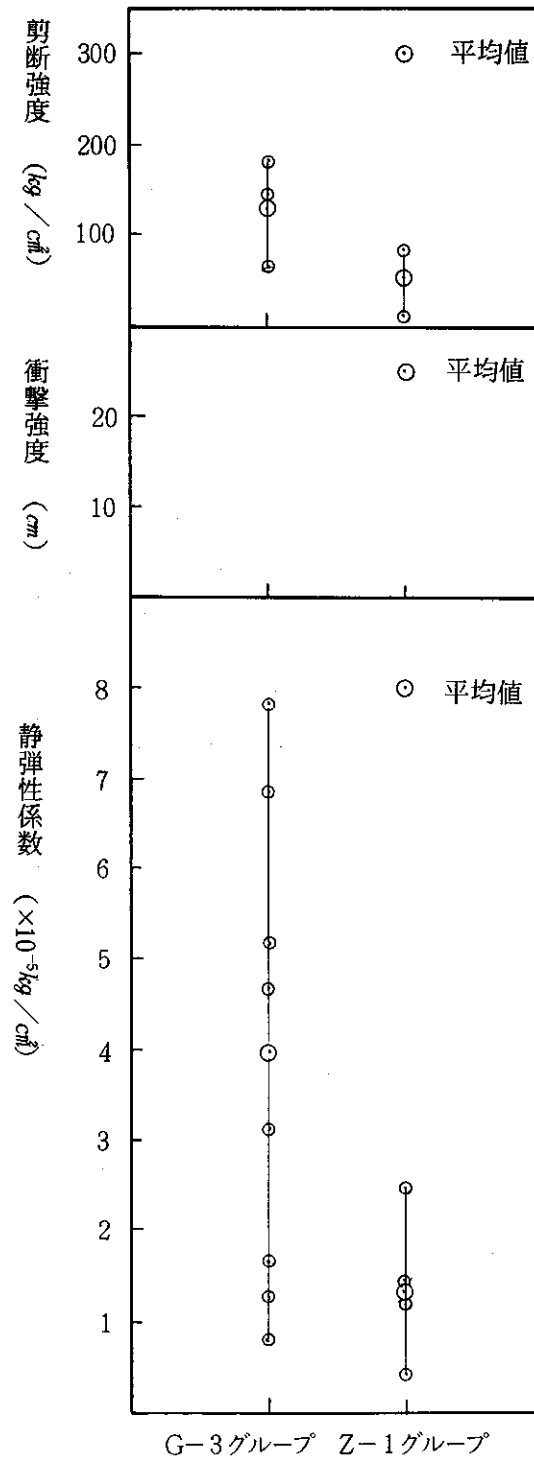


図 3.4 - 9 - (3) 岩石試験結果  
(剪断強度・衝撃強度・静弾性係数)

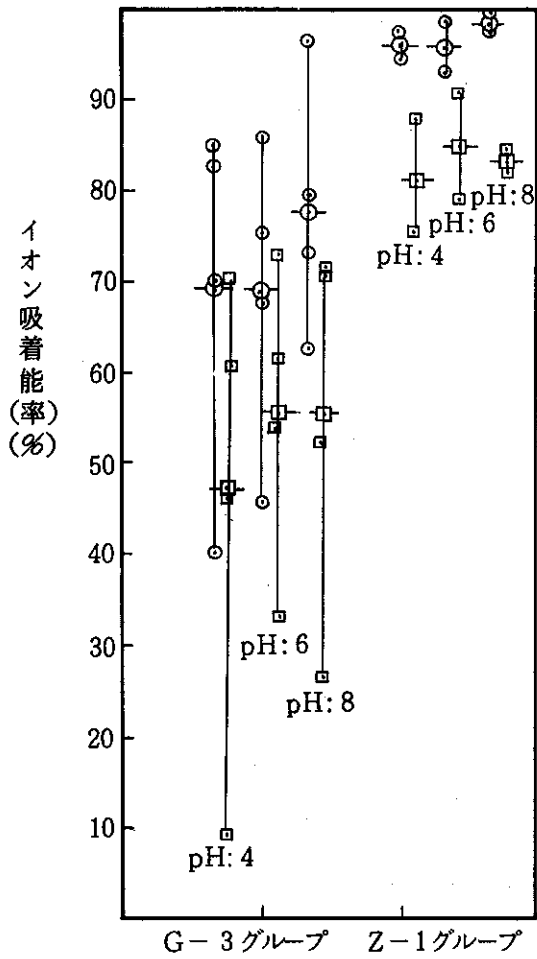


図 3.4-9-(4) 岩石試験結果  
(イオン吸着能(率))

- 1) 試料粒度 : -35~+100メッシュ
- 2) ● : Cs ○ : Cs の平均値  
□ : Sr □ : Sr の平均値
- 3) 各グループ左から pH4, pH6, pH8  
である。

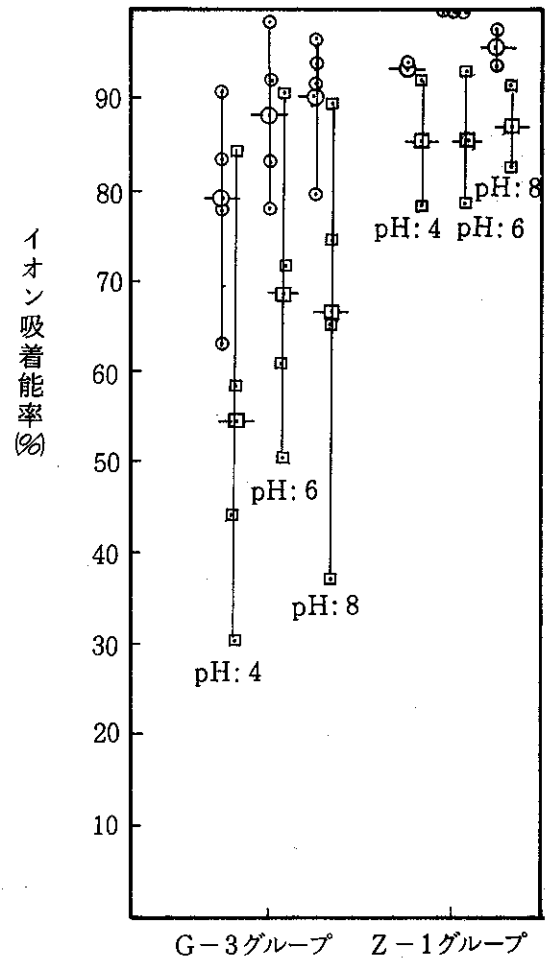


図 3.4-9-(5) 岩石試験結果  
(イオン吸着能(率))

- 1) 試料粒度 : -100メッシュ
- 2) ● : Cs ○ : Cs の平均値  
□ : Sr □ : Sr の平均値
- 3) 各グループ左から pH4, pH6,  
pH8 である。

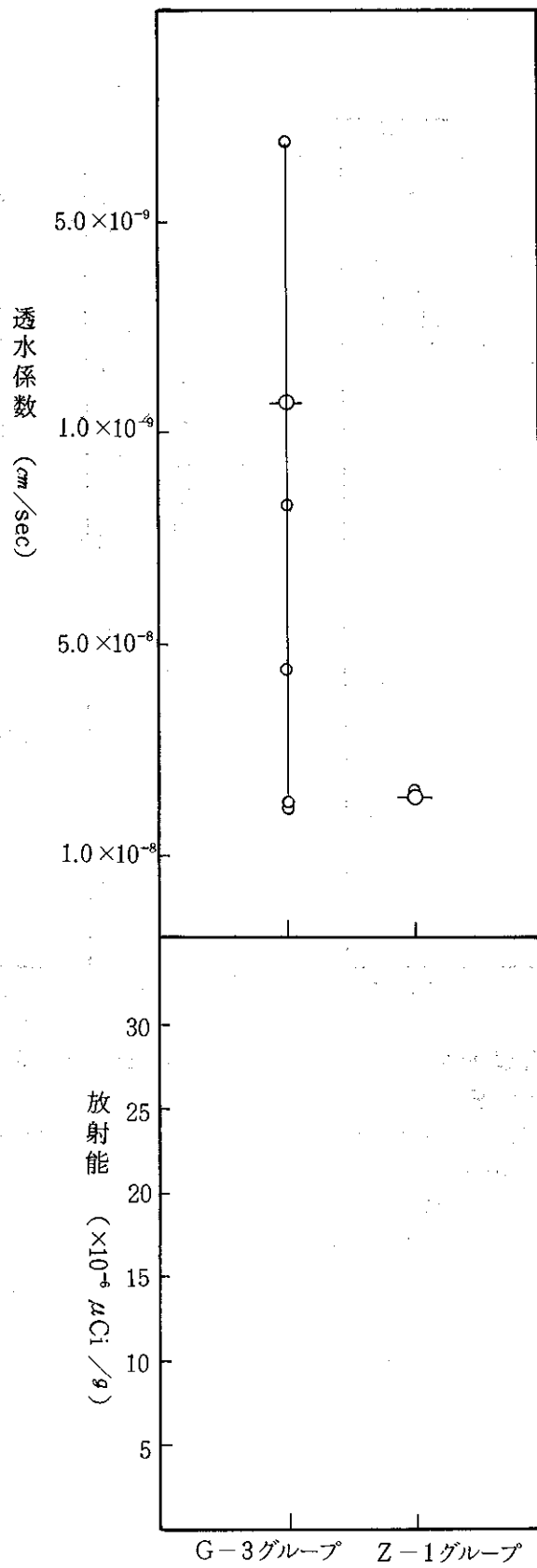


図 3.4 - 9 - (6) 岩石試験結果 (透水係数・放射能)



### 3.4.3 今後の岩石試験について

昭和52年度，昭和52年度補足試験，昭和53年度試験と，各岩種について，21項目にわたり試験を行い，不十分ながら大まかな傾向については知り得た。これまでの試験結果または，試験中の経験から，次年度以降以下の点に留意して試験を実施すべきである。

- (イ) 一軸圧縮強度，圧裂引張強度の高温での強度変化試験では，2～3段階の温度設定を行い，熱膨張率の変化との関連をはっきりさせるべきである。
- (ロ) 剪断強度は，(イ)の両試験よりの計算値からだけでなく，直接一面剪断試験を行い，両者の関係を知る必要がある。
- (ハ) 室内透水試験は，長時間，高水頭で行う必要がある。
- (ニ) イオン吸着能率測定条件に，pH7すなわち中性の場合も試験を行う必要がある。
- (ホ) (イ)と関連あるが，高温下でも，静弾性係数を測定し，応力とひずみとの関係を知る必要がある。
- (ヘ) より現実的，安全サイドで，実際の地下条件に近い状態で試験を行う必要がある。例えば高圧，高温条件下の3軸圧縮強度試験，剪断強度試験，高圧下での透水係数試験などがそれである。

### 3.5 岩石特性試験の評価方法の検討

#### 3.5.1 目的

昭和52年度および本年度に実施した基礎特性試験で得られたデータを今後の解析に資するための評価方法の検討を行う。

#### 3.5.2 評価方法の検討方針

地層処分地の抽出，処分施設，処分地の安全性の実証等において岩石試験を実施し基礎データを収集して評価していく事は重要である。しかし，得られた岩石試験結果をいかに利用・応用するかは極めて難解な問題であることは言うまでもない。これは地層処分地の抽出という難問には，多数の要因が複雑に作用しあい，かつ定量的に解析され解決された事象が少ないからである。従って，岩石特性試験の評価方法を現時点で完全に確立することは不可能に近いと言えるであろう。

本項では，岩石特性試験の評価方法の一手法として，下記①，②を実施し，岩石特性試験結果の評価手法を検討する。

##### ① 岩石特性試験結果の比較検討

##### ① a 岩石特性試験の地区別比較

52年度，岩石特性試験の対象となった花崗岩類7地区（G-1～G-7），ゼオライト質凝灰岩3地区（Z-1～Z-3）を地区別に岩石特性値により比較・検討する。

##### ① b 岩石特性試験の岩種別比較

52年度に岩石特性試験の対象となった2岩種（花崗岩類，ゼオライト質凝灰岩類），53年度に岩石特性試験の対象となった3岩種，即ち頁岩（S-1），石灰岩（L-1），輝緑岩（B-1）の岩石特性試験結果を比較・検討する。

##### ② 岩石特性試験結果の相関関係

昭和52年度に実施した岩石特性結果を利用し，その相互の関係を電算機を用いて統計的に処理し，その相関関係について考察する。

#### (1) 岩石特性試験の比較・検討

地層処分抽出手法・手順表，表2.2-1に示された諸要因のうち，水の移動性，熱の拡散，地層処分施設建設等の要因は地層処分地を選定するための重要な要因であり，かつ岩石の特性と極めて密接な関係にある。従って，岩石特性を把握し評価することは処分地を抽出する作業において欠くことのできない問題である。前記の岩石特性試験結果の地区別比較及び岩石特性試験結果の岩種別比較を数値的に表示する一手法として，表3.5-1岩石特性試験結果の比較検討表を作成し，

この表を基に検討した。

a. 岩石特性試験結果の比較検討表の説明

岩石試験結果はバラツキが見られるのが普通であり、これは後述する様に岩石自体の持つ特殊性により避けがたいものである。そこで岩石の特性値は多量の試料を試験しその平均な数値を得ることによってはじめてその概要が把握できたといえるであろう。従って、岩石特性試験結果を比較・検討する場合、同一地域ないし同一岩種で得られた多数の試料の平均値に立脚して論ずるのが妥当と考えられる。

表 3.5 - 1 は表 3.1 - 20 の調査対象地区の比較・検討表と類似しており、表 3.1 - 20 と同じ手法で岩石特性試験結果を比較・検討することができる。

しかし、ここでは新しい試みとして評価・比較の欄の“比較”は単純に地区別ないし岩種別の順位を示すのではなく、試験項目ごとに

$$10 \times \frac{\text{その（地区ないし岩種）の平均値}}{\text{全（地区ないし岩種）の総平均値}} = \text{比較数値（仮称）}$$

という式により比較数値を算定し、この数値により比較・検討する。

各特性値の平均及び比較数値は表 3.5 - 2 ~ 3 に示されるが、総合評価は

- ① 比較数値が大きければよいもの：熱伝導率，ショア硬度，一軸圧縮強度，剪断強度，衝撃強度，静弾性係数，比熱，イオン吸着能
  - ② 比較数値が小さければよいもの：放射能，熱膨張率，吸水率，含水率，有効間隙率，透水係数
  - ③ 比較数値の大小で判断できないもの：比量，
- に分類し，①は加算，②は減算，③は評価に無関与と一応仮定し評価計を算出する。

b. 岩石特性試験結果の地区別比較・検討結果

花崗質岩 7 地区 (G - 1 ~ 7)，ゼオライト質岩 3 地区の地区別比較・検討結果はそれぞれ表 3.5 - 2，表 3.5 - 3 に示される通りである。

c. 岩石特性試験結果の岩種別比較・検討結果

花崗質岩 (G グループ)，ゼオライト質岩 (Z グループ)，石灰岩 (L グループ)，頁岩 (S グループ)，輝緑岩 (B グループ) を対象とした岩種別比較・検討結果は，表 3.5 - 4 に示される通りである。

d. 岩石特性試験結果の比較・検討の問題点

本項では，岩石特性試験結果の評価方法を検討したが，以下の様な問題点が考えられる。

表 3.5 - 1 岩石特性試験結果の 比較検討表

岩石特性 試験項目	比較される地区ないし岩種 岩石試験結果 重要度	評価	比較される地区ないし岩種			比較される地区ないし岩種			比較される地区ないし岩種			比較される地区ないし岩種			比較される地区ないし岩種			備考		
			平均値	評 比較	価 加重	平均値	評 比較	価 加重	平均値	評 比較	価 加重	平均値	評 比較	価 加重	平均値	評 比較	価 加重			
総合評価順位	順位計	評価計																		
	順位	順位																		

表 3.5 - 2 岩石特性試験結果の地区別比較検討表 (Gグループ)

岩石特性 試験項目	比較される地区		G - 1		G - 2		G - 3		G - 4		G - 5		G - 6		G - 7		備 考
	岩石試験結果 重要度	評価	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	平均値	評価 比較 加重	
放射能 ( $\times 10^{-6} \mu\text{Ci}/\text{gr}$ )			9.3	1.62	7.6	1.32	8.6	1.50	8.7	1.51	8.0	1.39	10.4	1.81	4.9	0.85	
熱膨張率 ( $\times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ )			26.47	1.71	22.55	1.45	20.81	1.34	24.38	1.57	20.69	1.33	20.15	1.30	20.16	1.30	
熱伝導率 ( $\times 10^{-3} \text{cal}/\text{cm}\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}$ )			5.04	1.31	5.10	1.32	6.26	1.62	5.98	1.55	5.78	1.50	5.65	1.46	4.79	1.24	
吸水率 (%)			0.896	1.93	0.576	1.24	0.634	1.37	0.731	1.58	0.721	1.56	0.609	1.31	0.465	1.0	
含水率 (%)			0.518	1.19	0.693	1.49	0.783	1.69	0.710	1.53	0.634	1.37	0.835	1.80	0.464	1.0	
有効間隙率 (%)			2.267	1.87	1.526	1.26	1.654	1.37	1.925	1.59	1.891	1.56	1.584	1.31	1.269	1.05	
比重			2.61	1.41	2.65	1.43	2.64	1.42	2.66	1.43	2.64	1.42	2.61	1.41	2.73	1.47	
シ ョ ア 硬 度			63.8	1.16	79.0	1.43	86.3	1.57	75.2	1.37	82.0	1.49	82.4	1.50	81.9	1.49	
一軸圧縮強度 室温 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )			637.0	0.91	1103.0	1.57	1229.0	1.75	752.0	1.07	922.0	1.31	938.0	1.34	1443.0	2.05	
一軸圧縮強度 高温 ( " )			527.0	0.95	990.0	1.78	972.0	1.75	609.0	1.10	766.0	1.38	754.0	1.36	937.0	1.69	
圧裂引張強度 室温 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )			41.2	1.07	65.9	1.71	60.6	1.57	32.5	0.84	40.2	1.04	69.0	1.79	75.6	1.96	
圧裂引張強度 高温 ( " )			22.0	1.0	36.6	1.66	34.9	1.58	21.8	0.99	33.6	1.52	32.6	1.48	39.5	1.79	
剪断強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )			85.3	0.95	148.7	1.65	179.8	2.0	83.1	0.92	103.1	1.15	143.9	1.60	156.0	1.73	
衝撃強度 (cm)			6.0	0.89	10.7	1.59	10.9	1.62	7.0	1.04	8.0	1.19	12.7	1.89	11.8	1.76	
静弾性係数 ( $\times 10^{-5} \text{kg}/\text{cm}^2$ )			2.865	0.97	6.606	2.24	5.396	1.83	2.612	0.89	3.752	1.27	4.422	1.50	3.837	1.30	
比熱 ( $\text{cal}/\text{gr}\cdot^\circ\text{C}$ )			0.194	1.42	0.193	1.42	0.201	1.48	0.199	1.46	0.200	1.47	0.189	1.39	0.186	1.37	
イオン吸着率 (%)			53.7	1.33	56.5	1.40	59.6	1.48	62.0	1.54	60.9	1.51	55.4	1.37	55.2	1.37	
総合評価順位	順位計	評価計															
	順位	順位															

表 3.5 - 3 岩石特性試験結果の地区別比較検討表 (Zグループ)

岩石特性 試験項目	比較される地区ないし岩種 岩石試験結果 重要度	Z - 1			Z - 2			Z - 3												備 考
		平均値	評 価 比較	加 重	平均値	評 価 比較	加 重	平均値	評 価 比較	加 重	平均値	評 価 比較	加 重	平均値	評 価 比較	加 重	平均値	評 価 比較	加 重	
放射能 ( $\times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci}/\text{gr}$ )		4.1	2.38		8.0	4.66		5.1	3.0											
熱膨張率 ( $\times 10^{-4}$ / $^{\circ}\text{C}$ )		14.10	3.88		16.00	4.40		6.27	1.72											
熱伝導率 ( $\times 10^{-3}$ cal/cm $\cdot$ sec $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$ )		3.79	3.94		3.39	3.55		2.36	2.47											
吸 水 率 (%)		6.643	1.49		16.487	3.70		21.350	4.80											
含 水 率 (%)		4.275	2.27		9.406	4.99		5.168	2.74											
有 効 間 隙 率 (%)		14.158	2.0		25.566	3.60		31.123	4.39											
比 重		2.20	3.94		1.85	3.31		1.53	2.74											
シ ョ ア 硬 度		36.4	4.0		34.5	3.75		21.2	2.30											
一軸圧縮強度 室温 (kg/cm $^2$ )		647.0	4.77		489.0	3.61		219.0	1.62											
一軸圧縮強度 高温 ( " )		936.0	4.79		810.0	4.15		207.0	1.06											
圧裂引張強度 室温 (kg/cm $^2$ )		47.4	5.15		22.0	2.39		22.6	2.45											
圧裂引張強度 高温 ( " )		72.4	5.22		35.8	2.58		30.4	2.19											
剪 断 強 度 (kg/cm $^2$ )		98.5	5.04		54.7	2.80		42.3	2.16											
衝 撃 強 度 (cm)		8.7	4.8		5.4	3.0		3.9	2.17											
静弾性係数 ( $\times 10^{-5}$ kg/cm $^2$ )		1.020	4.64		0.424	1.93		0.756	3.49											
比 熱 (cal/gr $\cdot$ $^{\circ}\text{C}$ )		0.212	3.36		0.212	3.36		0.207	3.28											
透水係数 ( $\times 10^{-7}$ cm/sec)		6.7	4.11		8.7	5.34		0.89	0.55											
イ オ ソ 吸 着 率 (%)		72.5	2.79		89.8	3.45		98.0	3.76											
総合評価順位	順位計																			
	評価計																			
	順位																			

表 3.5 - 4

岩石特性試験結果の岩種別，比較検討表

岩石特性 試験項目	比較される岩種 岩石試験結果 重要度		G グループ			Z グループ			S グループ			L グループ			B グループ											
	平均値	評 比 較	評 比 較	評 比 較	値 加 重	平均値	評 比 較	評 比 較	評 比 較	値 加 重	平均値	評 比 較	評 比 較	評 比 較	値 加 重	平均値	評 比 較	評 比 較	評 比 較	値 加 重	平均値	評 比 較	評 比 較	評 比 較	値 加 重	
放射能 ( $\times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci}/\text{gr}$ )	8.5	3.95				5.7	2.65				3.9	1.81				2.7	1.26				0.7	0.33				
熱膨張率 ( $\times 10^{-4}$ / $^{\circ}\text{C}$ )	21.87	3.06				12.51	1.75				10.05	1.41				14.18	1.99				12.76	1.79				
熱伝導率 ( $\times 10^{-3}\text{cal}/\text{cm}\cdot\text{sec}\cdot^{\circ}\text{C}$ )	5.72	2.55				3.21	1.43				2.28	1.02				6.19	2.76				5.01	2.24				
吸水率 (%)	0.67	0.13				14.54	2.79				35.71	6.87				0.78	0.15				0.30	0.06				
含水率 (%)	0.705	0.27				6.33	2.46				17.32	6.73				0.87	0.34				0.52	0.20				
有効間隙率 (%)	1.739	0.26				23.29	3.44				39.93	5.90				1.79	0.26				0.91	0.14				
比重	2.64	2.31				1.87	1.64				1.43	1.25				2.80	2.45				2.69	2.35				
ショア硬度	80.5	3.11				31.5	1.21				28.5	1.10				48.1	1.86				70.6	2.72				
一軸圧縮強度 <sub>室温</sub> ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	1000	2.91				472	1.37				215	0.63				369	1.07				1385	4.02				
一軸圧縮強度 <sub>高温</sub> ( " )	802	2.73				691	2.36				302	1.03				226	0.77				912	3.11				
圧裂引張強度 <sub>室温</sub> ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	52.7	2.35				31.4	1.40				20.1	0.90				36.2	1.62				83.7	3.73				
圧裂引張強度 <sub>高温</sub> ( " )	31.5	1.33				47.6	2.00				30.9	1.31				60.9	2.57				66.0	2.79				
剪断強度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	131.4	2.53				67.3	1.30				39.0	0.76				93.0	1.79				188	3.62				
衝撃強度 (cm)	9.6	2.11				6.2	1.37				6.3	1.38				6.6	1.45				16.7	3.69				
静弾性係数 ( $\times 10^{-5}$ $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	4.317	2.52				0.731	0.43				0.658	0.38				4.716	2.75				6.719	3.92				
比熱 ( $\text{cal}/\text{gr}\cdot^{\circ}\text{C}$ )	0.196	1.90				0.211	2.05				0.209	2.03				0.207	2.01				0.207	2.01				
透水係数 ( $10^{-7}$ - $7$ $\text{cm}/\text{sec}$ )	2.58	0.35				5.43	0.75				36.3	4.99				14.0	1.92				14.5	1.99				
イオン吸着能 (%)	57.58	1.65				86.8	2.48				84.3	2.40				36.4	1.04				84.9	2.43				
総合評価順位	順位計	評価計																								
	順位計	評価計																								

① 比較・検討表では、数値的に表示できるものだけを対象としたが、示差熱分析、顕微鏡検鏡、化学分析等の数値的に表示できないものについていかに評価するか。

② 地層処分地を抽出するための諸要因を岩石の特性により評価する場合、岩石の持つ各特性の重要性をどの様に決定するか。

③ 比較・検討表では、言うまでもなく岩種ないしそれら岩種の分布する地区の相互比較である。地層処分地を抽出するために求められる限界の数値をいかに決定するか。

④ 比較・検討に使用された岩石は地表のみから得られたもののみであり、将来地下深部より得られる岩石特性試験結果といかに比較すべきか。

以上の様な問題点を残しているため、b, c項で実施した比較・検討では総合価順位を算出していないが、これら問題が解決され、後述するようにより多くの岩石特性試験項目が実施されれば、表3.5-1を基本とした比較・検討表の利用は、地層処分地の抽出に資する岩石特性試験結果の一評価手法になるものと考えられる。

(2) 岩石特性試験結果の相関関係

昭和52年度に実施したG-1~G-7の7地区、Z-1~Z-3の3地区、D-1地区の岩石特性試験結果を評価する一手法としてこれら岩石特性データの相関関係を岩種別に数量的に把握する。

a. データの設定

岩石特性試験結果を表3.5-5-(1)~(2)、表3.5-6-(1)~(2)に示す。表3.5-5-(1)~(2)の熱的試験項目4、物理試験項目4、力学試験項目8、計16の試験項目に分類し、表3.5-7のような岩石試験コードを設定した。

表 3.5 - 7 岩石試験コード

熱 的 試 験 項 目		物 理 試 験 項 目		力 学 試 験 項 目	
01	放 射 能	11	吸 水 率	21	ショアー硬度
02	熱 膨 張 率	12	含 水 率	22	一軸圧縮強度(室温)
03	熱 伝 導 率	13	有 効 間 隙 率	23	" " (高温)
04	比 熱	14	比 重	24	圧裂引張強度(室温)
05		15		25	" " (高温)
06		16		26	剪 断 強 度
07		17		27	衝 撃 強 度
08		18		28	静 弾 性 係 数
09		19		29	
10		20		30	



表 3.5 - 5 - (1) 岩石試験結果一覧表

サンプル No	岩石試験コード															
	01	02	03	11	12	13	14	21	22	23	24	25	26	27	28	
	放射能 ×10 <sup>-6</sup> μCi/gr	熱膨張 率 ×10 <sup>6</sup> /°C	熱伝導 率 ×10 <sup>-3</sup> cal/cm sec °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	ショア 一硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断 強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃 強度 cm	静弾性 係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal/ g·°C
									室温	高温	室温	高温				
G-1-1	9.2	33.61	5.89	0.396	0.389	1.052	2.65	83.8	1,004	806	69.7	29.8	148.6	6.0	(990) 4.400	0.197
G-1-2	8.9	—	5.56	0.570	0.510	1.491	2.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-1-3	12	19.33	4.19	2.608	0.783	6.388	2.45	43.8	269	248	12.7	14.1	22.0	6.0	(141) 1.330	0.190
G-1-4	12	—	5.11	0.510	0.613	1.325	2.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-1-5	4.3	—	4.43	0.396	0.295	1.081	2.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-2-1	5.7	—	4.61	0.671	0.909	1.819	2.71	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-2-2	5.4	23.98	7.89	0.373	0.546	0.975	2.61	92.8	1,018	976	71.0	43.0	151.2	12.7	(849) 6.348	0.192
G-2-3	8.1	—	4.98	0.585	0.268	1.550	2.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-2-4	7.3	—	4.64	0.547	0.675	1.447	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-2-5	8.4	—	4.43	0.631	0.980	1.704	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	0.199
G-2-6	8.9	23.71	3.88	1.233	1.384	3.250	2.64	62.5	382	396	19.7	17.9	47.2	5.0	—	0.195
G-2-7	9.5	19.97	5.40	0.178	0.312	0.485	2.73	81.8	1,909	1,598	106.9	55.0	247.6	14.3	(1,414) 6.864	0.186
G-2-8	7.3	—	4.99	0.393	0.469	0.980	2.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-1	6.8	22.61	6.87	0.259	0.472	0.668	2.66	91.8	1,004	891	32.1	31.6	94.4	8.3	—	0.199
G-3-2	5.4	20.46	5.96	0.627	0.962	1.680	2.68	86.0	1,372	820	36.9	20.5	117.3	8.3	(424) 3.475	0.197
G-3-3	7.8	17.81	4.69	1.671	0.958	4.279	2.56	54.7	311	257	18.6	19.1	42.0	5.0	—	0.211
G-3-4	5.9	—	5.53	1.020	1.113	2.650	2.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-5	3.8	—	4.99	1.531	1.707	3.920	2.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-6	8.4	19.57	6.35	0.437	0.811	1.157	2.65	96.9	2,136	2,044	80.5	68.4	220.2	21.0	—	0.210
G-3-7	9.5	—	6.33	0.449	0.829	1.200	2.67	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-8	5.9	20.30	7.44	0.166	0.302	0.459	2.77	90.2	1,061	581	109.9	47.7	205.7	10.0	—	0.203
G-3-9	13	—	6.46	0.317	0.523	0.840	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-10	9.2	21.89	6.97	0.207	0.440	0.560	2.70	92.8	1,924	1,315	126.9	30.1	275.9	16.7	(1,556) 6.483	0.198
G-3-11	7.3	—	6.68	0.202	0.291	0.557	2.76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-12	9.7	22.42	5.69	0.796	0.596	2.064	2.56	86.5	849	835	30.2	28.3	385.2	10.0	—	0.193
G-3-13	7.0	—	6.87	0.448	0.765	1.179	2.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-14	14	22.21	6.71	0.371	0.673	0.981	2.64	94.5	1,485	1,202	74.1	42.5	179.9	12.3	(1,414) 6.229	0.194
G-3-15	13	—	6.98	0.440	0.822	1.154	2.62	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-3-16	7.6	20.02	5.56	1.076	1.085	2.801	2.60	83.1	919	806	36.5	26.2	97.6	6.7	—	0.201
G-3-17	12	—	6.35	0.755	0.954	1.962	2.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-1	6.5	33.79	5.61	1.005	0.828	2.652	2.64	82.2	552	523	17.7	19.5	52.0	5.3	—	0.199
G-4-2	7.0	—	6.65	0.315	0.284	0.851	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-3	10	20.17	4.12	1.457	1.693	3.740	2.57	63.8	368	311	29.1	23.6	59.2	5.0	—	0.207
G-4-4	16	—	5.53	0.685	0.542	1.777	2.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-5	7.8	24.93	6.53	0.869	1.269	2.251	2.59	79.7	700	736	24.7	21.8	69.5	6.7	—	0.199
G-4-6	9.7	—	5.75	0.770	0.451	2.075	2.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-7	7.8	30.90	5.69	1.123	0.852	2.981	2.65	69.8	629	622	29.1	19.3	72.9	6.0	—	0.198
G-4-8	9.7	—	6.27	0.373	0.494	0.976	2.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-9	8.4	(400°C) 17.24	5.66	0.913	0.958	2.436	2.67	64.0	424	311	30.3	11.2	63.7	6.7	(283) 0.901	0.203
G-4-10	6.8	—	7.14	0.177	0.285	0.489	2.76	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-11	7.3	22.51	7.03	0.299	0.499	0.814	2.72	85.9	1,400	842	42.3	28.5	127.6	11.0	—	0.194
G-4-12	11	—	4.92	1.192	0.614	3.053	2.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-4-13	4.9	21.12	6.83	0.331	0.456	0.924	2.79	81.2	1,188	919	54.2	28.7	136.6	8.3	(990) 4.323	0.195
G-5-1	11	20.44	5.68	0.543	0.640	1.416	2.61	88.8	1,429	1,499	64.2	65.5	162.8	11.7	—	0.201
G-5-2	8.1	—	6.12	0.526	0.667	1.389	2.64	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-5-3	8.4	23.72	5.76	0.764	0.523	1.970	2.58	80.9	926	771	48.4	41.5	115.3	8.3	—	0.197
G-5-4	7.3	17.40	4.97	0.857	0.855	2.232	2.61	86.6	905	672	36.4	35.6	96.8	7.3	(566) 2.596	0.202
G-5-5	10	—	6.31	0.512	0.688	1.358	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-5-6	7.3	24.53	4.98	1.379	0.566	3.676	2.67	69.8	431	382	21.8	7.6	52.6	5.7	—	0.192
G-5-7	7.8	—	6.64	0.229	0.352	0.626	2.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-5-8	8.4	—	6.90	0.294	0.394	0.803	2.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-5-9	3.2	17.77	4.37	1.579	0.936	4.056	2.57	80.4	636	537	20.7	21.9	60.4	5.7	—	0.205
G-5-10	8.9	20.25	6.08	0.522	0.715	1.386	2.65	87.5	1,202	736	49.9	29.7	130.9	9.0	(849) 4.908	0.203
G-6-1	12	23.11	4.78	0.847	1.410	2.180	2.57	74.3	912	601	44.6	37.1	109.2	7.0	—	0.194
G-6-2	12	—	6.08	0.495	0.894	1.288	2.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-6-3	11	19.39	6.10	0.585	0.957	1.517	2.59	86.0	622	636	42.6	27.9	91.3	7.7	(283) 4.422	0.188
G-6-4	11	—	5.63	1.017	0.678	2.605	2.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-6-5	8.1	20.97	5.30	0.450	0.484	1.201	2.67	87.2	806	658	66.1	29.1	132.9	12.3	—	0.185
G-6-6	6.5	—	5.67	0.342	0.642	0.906	2.65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-6-7	11	19.84	5.32	0.630	0.954	1.655	2.63	80.5	778	743	87.5	37.1	160.3	10.3	—	0.187
G-6-8	14	—	5.96	0.539	0.745	1.392	2.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-6-9	6.2	17.43	4.93	0.392	0.495	1.059	2.70	84.2	1,570	1,132	104.0	31.6	225.7	26.0	—	0.189
G-6-10	12	—	6.68	0.797	1.094	2.037	2.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-7-1	5.9	—	4.33	0.576	0.592	1.565	2.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-7-2	4.9	20.68	4.90	0.426	0.381	1.163	2.73	77.7	1,287	948	69.8	43.5	116.0	11.3	(1,132) 3.837	0.183
G-7-3	3.2	—	4.93	0.501	0.468	1.364	2.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—
G-7-4	5.7	19.63	4.99	0.358	0.413	0.982	2.74	86.0	1,598	926	81.4	35.4	195.9	12.3	—	0.188

表 3.5 - 5 - (2) 岩石試験結果一覧表

サンプル No	岩石試験コード															
	01	02	03	11	12	13	14	21	22	23	24	25	26	27	28	
	放射能 ×10 <sup>-6</sup> μCi/gr	熱膨張 率 ×10 <sup>3</sup> /°C	熱伝導 率 ×10 <sup>-3</sup> cal/cm sec °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	ショア 硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断 強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃 強度 cm	静弾性 係数 ×10 <sup>9</sup> kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal/g·°C
								室温	高温	室温	高温					
Z-1-1	5.4	17.92	4.54	6.608	3.292	14.653	2.22	46.4	775	1,449	74.4	155.4	142.3	11.7	(717) 1.366	0.225
Z-1-2	1.4	—	3.29	5.576	2.377	12.735	2.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-1-3	4.3	9.96	3.30	10.256	3.261	21.521	2.10	22.0	496	933	43.2	48.6	85.2	7.0	—	0.215
Z-1-4	6.2	—	4.83	2.379	3.929	5.516	2.32	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-1-5	4.3	*	3.71	5.404	4.242	12.251	2.27	37.4	275	471	24.9	26.4	48.5	6.0	(145) 0.674	0.215
Z-1-6	5.1	—	3.67	12.780	7.643	23.615	1.82	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-1-7	3.2	—	3.50	5.883	4.217	12.990	2.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-1-8	2.7	14.41	3.48	4.259	5.238	9.983	2.34	39.7	1,042	890	46.9	59.0	118.0	10.0	—	0.194
Z-2-1	5.9	16.00	5.89	1.522	3.071	3.936	2.59	53.8	1,270	1,937	35.7	56.5	111.4	9.0	—	0.219
Z-2-2	6.8	—	3.28	11.943	6.795	21.843	1.83	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-2-3	11	18.63	2.41	22.943	7.870	35.696	1.56	15.3	57.4	129	7.1	10.4	12.7	2.3	(57.4) 0.135	0.213
Z-2-4	8.4	—	1.45	43.673	28.414	52.595	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-2-5	8.1	—	2.89	16.541	8.429	28.082	1.70	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-2-6	7.8	11.04	2.64	22.191	9.288	34.174	1.54	37.0	185	220	24.1	19.6	42.8	5.3	—	0.211
Z-2-7	9.2	—	4.78	4.238	5.189	9.865	2.33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-2-8	6.8	18.32	3.74	8.846	6.188	18.335	2.07	31.7	445	953	20.9	56.6	52.0	5.0	(430) 0.723	0.203
Z-3-1	3.2	5.53	1.97	35.391	3.393	44.157	1.25	14.2	66.0	100	8.6	10.2	15.3	3.7	—	0.214
Z-3-2	7.0	—	1.92	20.364	5.350	30.289	1.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-3-3	9.2	13.25	2.75	11.656	2.604	21.887	1.88	32.4	483	406	49.3	59.6	92.6	5.3	(427) 0.756	0.193
Z-3-4	2.2	—	3.05	8.492	6.889	16.532	1.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-3-5	5.7	—	2.35	19.487	4.724	29.412	1.51	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Z-3-6	5.9	0.02	1.99	28.585	4.526	38.930	1.16	16.9	108	114	9.8	21.4	19.1	2.7	—	0.214
Z-3-7	2.2	—	2.48	25.475	8.690	36.654	1.44	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-1	19	—	5.35	0.702	1.202	1.803	2.57	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-2	9.2	20.30	5.44	0.915	0.558	2.383	2.60	81.2	1,294	777	53.2	38.6	140.1	21.7	(1,119) 7.038	0.193
D-1-3	9.5	—	4.93	0.542	0.733	1.414	2.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-4	14	27.48	5.17	0.516	0.606	1.342	2.60	82.9	1,287	594	23.0	29.6	88.4	11.3	—	0.192
D-1-5	16	—	5.61	0.812	0.809	2.068	2.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-6	2.7	8.48	1.71	36.242	24.323	45.937	1.27	14.8	33.4	69.6	7.6	35.5	14.1	3.3	—	0.206
D-1-7	5.4	—	2.43	23.756	19.079	38.722	1.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-8	5.9	-7.00	1.72	45.856	8.316	51.222	1.12	14.2	107	200	5.2	26.0	12.8	6.0	(68.9) 0.110	0.193
D-1-9	4.6	—	1.84	35.956	11.399	46.555	1.29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D-1-10	3.5	0.45	1.72	37.338	10.821	48.085	1.29	13.2	68.8	114	5.0	11.6	10.5	5.0	—	0.194

表 3.5 - 6 - (1)

岩石特性試験結果一覧表 (その 1)

サンプル No.	岩石物性試験 (平均値)															
	放射能 $\times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci}/\text{gr}$	熱膨張率 $\times 10^{-6}$ $^{\circ}\text{C}$	熱伝導率 $\times 10^{-3}$ $\text{cal}/\text{cm}$ $\text{sec}, ^{\circ}\text{C}$	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	ショア 硬度	一軸圧縮強度 $\text{kg}/\text{cm}^2$		圧裂引張強度 $\text{kg}/\text{cm}^2$		剪断強度 $\text{kg}/\text{cm}^2$	衝撃強度 $\text{cm}$	静弾性 係数 $5$ $\times 10\text{kg}/\text{cm}^2$	比熱 $\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$
									室温	高温	室温	高温				
G - 1 - 1 - 5	9.3	26.47	5.04	0.876	0.518	2.267	2.61	63.8	637.0	527.0	41.2	22.0	85.3	6.0	2.865	0.194
同上 max, min を省く	10.0		5.03	0.492	0.504	1.299	2.62									
G - 2 - 1 ~ 8	7.6	22.55	5.10	0.576	0.693	1.526	2.65	79.0	1103.0	990.0	65.9	36.6	148.7	10.7	6.606	0.193
同上 max, min を省く	7.6		4.84	0.533	0.649	1.413	2.66									
G - 3 - 1 ~ 17	8.6	20.81	6.26	0.634	0.783	1.654	2.64	86.3	1229.0	972.0	60.6	34.9	179.8	10.9	5.396	0.201
同上 max, min を省く	8.6	20.98	6.29	0.596	0.754	1.558	2.64	89.3	1231.0	921.0	57.2	32.4	170.1	10.3		0.200
G - 4 - 1 ~ 13	8.7	24.38	5.98	0.731	0.710	1.925	2.66	75.2	752.0	609.0	32.5	21.8	83.1	7.0	2.612	0.199
同上 max, min を省く	8.4	23.93	6.04	0.716	0.659	1.890	2.66	75.4	699.0	607.0	31.1	22.5	78.6	6.6		0.199
G - 5 - 1 ~ 10	8.0	20.69	5.78	0.721	0.634	1.891	2.64	83.0	922.0	766.0	40.2	33.6	103.1	8.0	3.752	0.200
同上 max, min を省く	8.3	20.55	5.82	0.675	0.631	1.779	2.64	83.9	917.0	679.0	39.1	32.2	100.9	7.6		0.201
G - 6 - 1 ~ 10	10.4	20.15	5.65	0.609	0.835	1.584	2.61	82.4	938.0	754.0	69.0	32.6	143.9	12.7	4.422	0.189
同上 max, min を省く	10.5	20.10	5.62	0.592	0.807	1.541	2.61	83.6	832.0	679.0	66.1	32.6	134.1	10.1		0.188
G - 7 - 1 ~ 4	4.9	20.16	4.79	0.465	0.464	1.269	2.73	81.9	1443.0	937.0	75.6	39.5	156.0	11.8	3.837	0.186
同上	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
G - 1 ~ 7	8.5	21.87	5.72	0.665	0.705	1.739	2.64	80.5	1000.0	802.0	52.7	31.5	131.4	9.6	4.317	0.196
Z - 1 - 1 ~ 8	4.1	14.10	3.79	6.643	4.275	14.158	2.20	36.4	647.0	936.0	47.4	72.4	98.5	8.7	1.020	0.212
同上 max, min を省く	4.2		3.70	6.331	4.030	14.022	2.23									
Z - 2 - 1 ~ 8	8.0	16.00	3.39	16.487	9.406	25.566	1.85	34.5	489.0	810.0	22.0	35.8	54.7	5.4	0.424	0.212
同上 max, min を省く	7.9		3.29	14.450	7.293	24.666	1.84									

表 3.5 - 6 - (2)

岩石特性試験結果一覧表 (その2)

サンプル No	岩石物性試験 (平均値)															
	放射能 $\times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci/g}$	熱膨張率 $\times 10^{-6}$ /°C	熱伝導率 $\times 10^{-3}$ cal/cm sec. °C	吸水率 %	含水率 %	有効 間隙率 %	比重	ショア 一硬度	一軸圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>		圧裂引張強度 kg/cm <sup>2</sup>		剪断強度 kg/cm <sup>2</sup>	衝撃強度 cm	静弾性 係数 $\times 10^5$ kg/cm <sup>2</sup>	比熱 cal/g°C
									室温	高温	室温	高温				
Z - 3 - 1 ~ 7	5.1	6.27	21.350	21.350	5.165	31.123	1.53	21.2	219.0	207.0	22.6	30.4	42.3	3.9	0.756	0.207
同上 max, min を省く	4.8		2.31	21.113	4.976	31.434	1.51									
Z - 1 ~ 3	5.7	12.51	3.21	14.543	6.331	23.289	1.87	31.5	472.0	691.0	31.4	47.6	67.3	6.2	0.731	0.211
D - 1 - 1 ~ 10	9.0	9.94	3.60	18.264	7.785	23.953	1.95	41.3	558.0	351.0	18.8	28.3	53.2	9.5	3.574	0.196
同上 max, min を省く	8.5	9.74	3.58	17.033	6.621	23.371	2.10	36.7	488.0	303.0	11.9	30.4	38.4	7.4		0.193

b 相関関係の計算手順

表3.5-7の岩石試験コードの中から必要と思われる相関関係を選ぶと、表3.5-8のように20通りの相関関係コードを設定することができる。

表 3.5 - 8 相 関 関 係 コ ー ド

花崗岩類	ゼオライト質 凝灰岩	新第三種 凝灰岩& 花崗岩類	X	Y	花崗岩類	ゼオライト質 凝灰岩	新第三種 凝灰岩& 花崗岩類	X	Y
G 0 1	Z 0 1	D 0 1	1 1	1 4	G 1 1	Z 1 1	D 1 1	0 3	0 4
G 0 2	Z 0 2	D 0 2	1 2	1 4	G 1 2	Z 1 2	D 1 2	2 2	2 4
G 0 3	Z 0 3	D 0 3	1 3	1 4	G 1 3	Z 1 3	D 1 3	2 3	2 5
G 0 4	Z 0 4	D 0 4	2 2	1 4	G 1 4	Z 1 4	D 1 4	2 2	2 6
G 0 5	Z 0 5	D 0 5	2 3	1 4	G 1 5	Z 1 5	D 1 5	2 2	2 7
G 0 6	Z 0 6	D 0 6	2 4	1 4	G 1 6	Z 1 6	D 1 6	2 2	2 8
G 0 7	Z 0 7	D 0 7	2 5	1 4	G 1 7	Z 1 7	D 1 7	2 1	2 2
G 0 8	Z 0 8	D 0 8	0 3	1 4	G 1 8	Z 1 8	D 1 8	2 1	2 4
G 0 9	Z 0 9	D 0 9	0 3	0 1	G 1 9	Z 1 9	D 1 9	2 1	2 6
G 1 0	Z 1 0	D 1 0	0 3	0 2	G 2 0	Z 2 0	D 2 0	2 1	2 7

表 3.5 - 8 の X の欄の物性を横軸に， Y の欄の物性を縦軸にして，電算機を使用して，最小二乗法により下記の式により正規方程式，相関係数を算出する。

正規方程式

$$\left. \begin{aligned} Na + b \sum X &= \sum Y \\ a \sum X + b \sum X^2 &= \sum YX \end{aligned} \right\} \rightarrow a, b \text{ を求める} \rightarrow Y = a + bX$$

相関係数

$$S_{y \cdot x^2} = \frac{XY^2 - aXY - b \sum XY}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N}$$

$$S_y^2 = \frac{\sum Y^2}{N} - (\bar{Y})^2$$

$$Y = \pm \sqrt{1 - \frac{S_{y \cdot x^2}}{S_y^2}}$$

C 相関関係の計算結果

電算機により算出された，相関係数 Y，正規方程式中の a，b を一覧表にすると表3.5-9のようになる。また電算機でプロットした結果をグラフ化し，図 3.5 - 1 -(1)~(60)を作成したが，大量の図となるのでここでは割愛し，

表 3.5 - 9

相 関 係 数 計 算 結 果 一 覧 表

相 関 係 ド	岩石試験コード		花 崗 岩 類			ゼオライト質凝灰岩			新第三種凝灰岩&花崗岩類		
	X	Y	r	a	b	r	a	b	r	a	b
01	11	14	-0.6357	2.710	-0.10	-0.9411	2.387	-0.04	-0.9947	2.592	-0.04
02	12	14	-0.5275	2.722	-0.11	-0.4791	2.115	-0.04	-0.7964	2.440	-0.06
03	13	14	-0.6183	2.711	-0.04	-0.9635	2.602	-0.03	-0.9977	2.640	-0.03
04	22	14	0.5575	2.563	0.00008	0.9927	1.447	0.00097	0.8439	1.151	0.00112
05	23	14	0.3609	2.591	0.00006	0.9522	1.456	0.00056	0.8416	0.976	0.00228
06	24	14	0.5766	2.573	0.0013	0.8524	1.453	0.0145	0.6456	1.189	0.0312
07	25	14	0.2343	2.605	0.0012	0.4885	1.607	0.0003	0.5515	0.786	0.035
08	03	14	0.2662	2.530	0.020	0.8915	0.755	0.348	0.9890	0.629	0.368
09	03	01	0.0785	0.95	0.24	-0.0690	6.27	-0.16	0.8711	-0.71	2.70
10	03	02	0.1888	17.243	0.815	0.5907	3.003	2.906	0.8931	-10.217	6.396
11	03	04	0.0425	0.2093	-0.0023	0.2874	0.2024	-0.0024	-0.4815	0.2001	-0.0014
12	22	24	0.7667	4.92	0.0477	0.8538	15.08	0.0344	0.6694	4.11	0.0263
13	23	25	0.8132	8.47	0.0287	0.5253	15.32	0.0467	0.6889	22.11	0.0175
14	22	26	0.6968	20.38	0.1110	0.9501	21.29	0.0972	0.8754	6.69	0.0833
15	22	27	0.7900	2.05	0.0075	0.8668	3.22	0.0063	0.8476	4.06	0.0097
16	22	28	0.8009	0.8965	0.003043	0.9726	0.0806	0.001598	デ	タ	不 足
17	21	22	0.7083	-1365.6	29.38	0.9987	-317.9	25.08	0.8103	-182.4	17.94
18	21	24	0.5654	-64.90	1.460	0.8462	-1.51	1.043	0.6551	-0.54	0.469
19	21	26	0.6086	-192.31	4.020	0.9451	-17.33	2.683	0.7805	-8.26	1.489
20	21	27	0.5308	-7.33	0.210	0.8515	0.34	0.185	0.8097	2.41	0.171

表 3.5-10 より

- 正の相関関係の特にあるもの ☒ 3.5 - 1 - (24)
- 負の " ☒ 3.5 - 1 - (20)
- 正の相関関係のあるもの ☒ 3.5 - 1 - (26)
- 負の " ☒ 3.5 - 1 - (42)
- 正の相関関係のややあるもの ☒ 3.5 - 1 - (4)
- 負の " ☒ 3.5 - 1 - (1)
- 相関関係のないもの ☒ 3.5 - 1 - (7)

を代表例として示した。

d 相関関係の検討

表 3.5-9 の相関係数 Y の値と図 3.5 - 1 - (1)~(60) のグラフから、

- 相関関係のとくにあるもの ◎  $\geq 0.91$
- 相関関係のあるもの ○  $0.75 \sim 0.90$
- 相関関係のややあるもの △  $0.50 \sim 0.74$
- 相関関係のないもの ×  $\leq 0.49$

に区分すると表 3.5-10 のようになる。

表 3.5 - 10 相 関 関 係 一 覧 表 ( そ の 1 )

相 関 関 係 コ ー ド	岩 石 試 験 コ ー ド		花 崗 岩 類	ゼ オ ラ イ ト 質 凝 灰 岩	新 第 三 紀 凝 灰 岩 & 花 崗 岩 類
	X	Y			
01	11	14	△ (-)	◎ (-)	◎ (-)
02	12	14	△ (-)	×	○ (-)
03	13	14	△ (-)	◎ (-)	◎ (-)
04	22	14	△ (+)	◎ (+)	○ (+)
05	23	14	×	◎ (+)	○ (+)
06	24	14	△ (+)	○ (+)	△ (+)
07	25	14	×	×	△ (+)
08	03	14	×	○ (+)	◎ (+)
09	03	01	×	×	○ (+)
10	03	02	×	△ (+)	○ (+)
11	03	04	×	×	×
12	22	24	○ (+)	○ (+)	△ (+)
13	23	25	○ (+)	△ (+)	△ (+)
14	22	26	△ (+)	◎ (+)	○ (+)
15	22	27	○ (+)	○ (+)	○ (+)
16	22	28	○ (+)	◎ (+)	-
17	21	22	△ (+)	◎ (+)	○ (+)
18	21	24	△ (+)	○ (+)	△ (×)
19	21	26	△ (+)	◎ (+)	○ (+)
20	21	27	△ (+)	○ (+)	○ (+)

(+)は正の相関  
(-)は負の相関

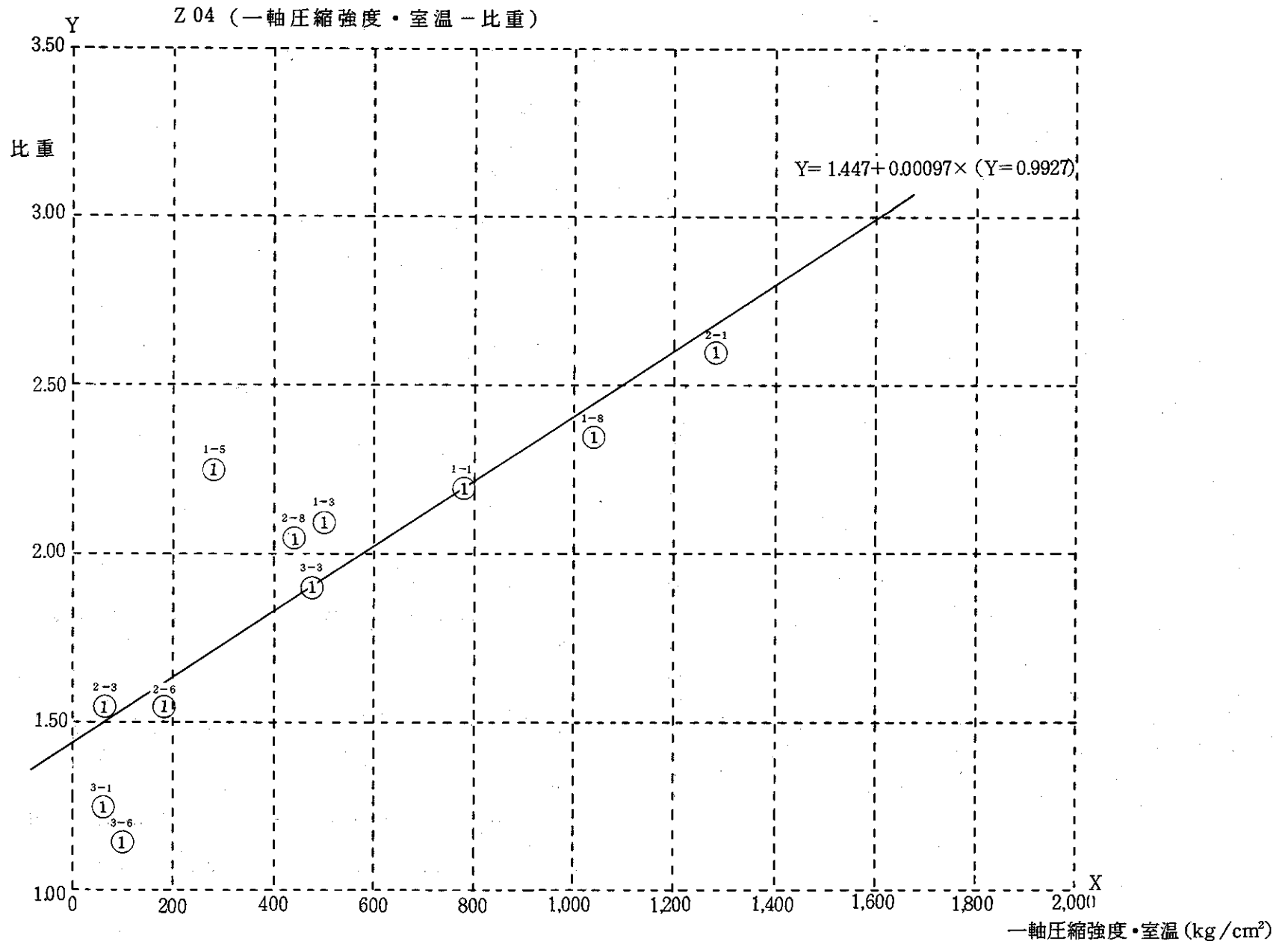


図 3.5 - 1 - (24) 正の相関関係の特にあるもの



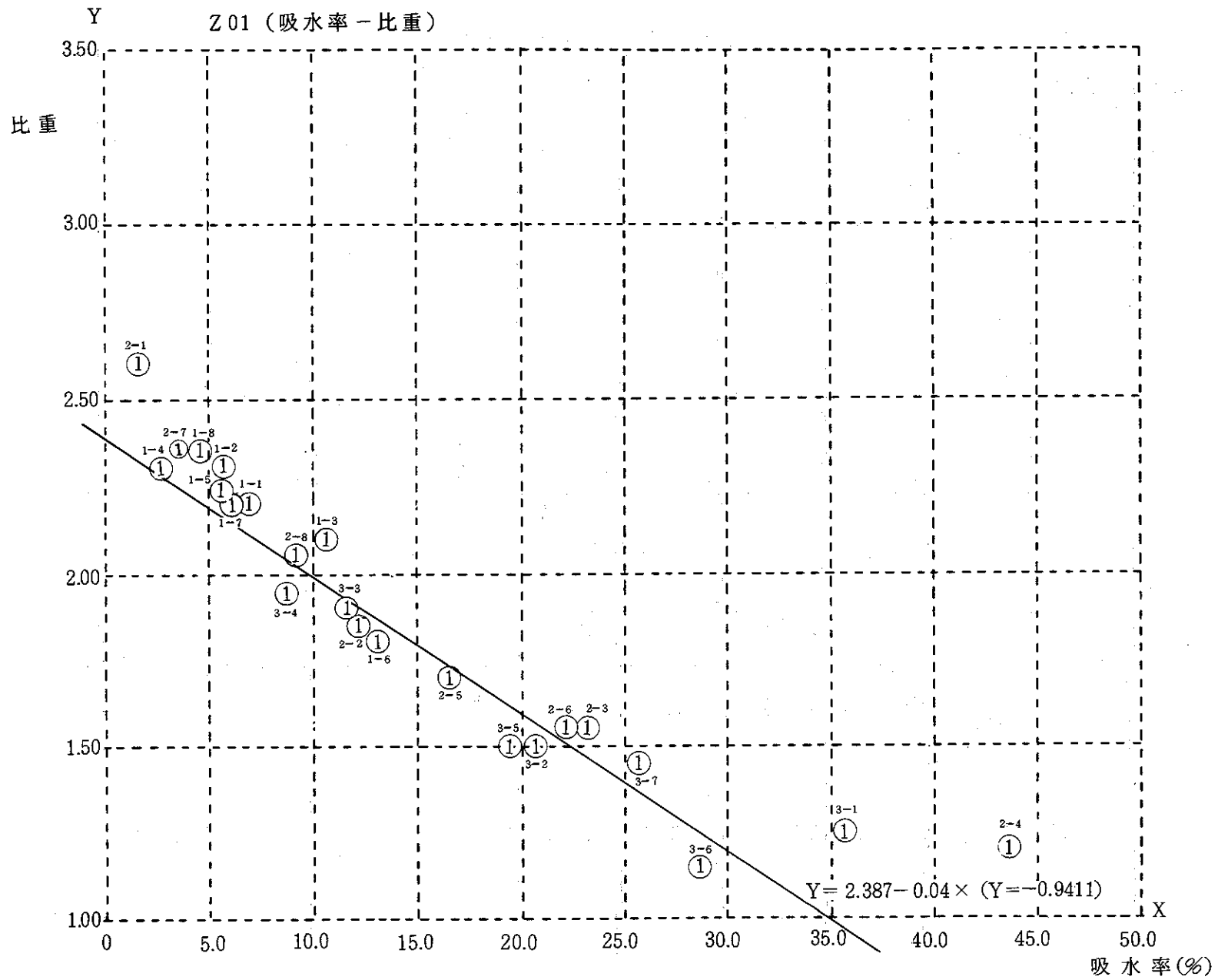


図3.5-1-(20) 負の相関関係の特にあるもの

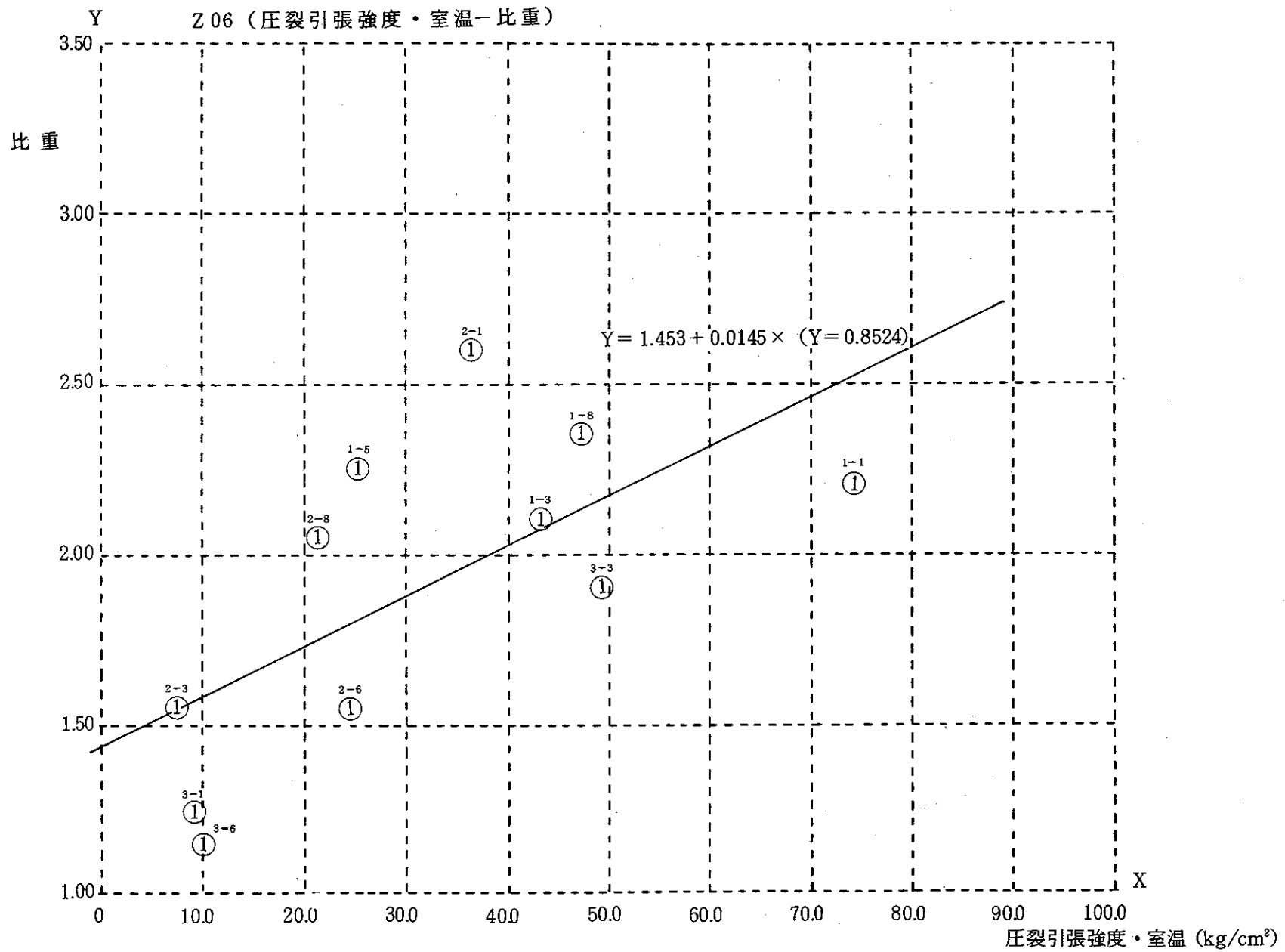


図 3.5 - 1 - (26) 正の相関関係のあるもの

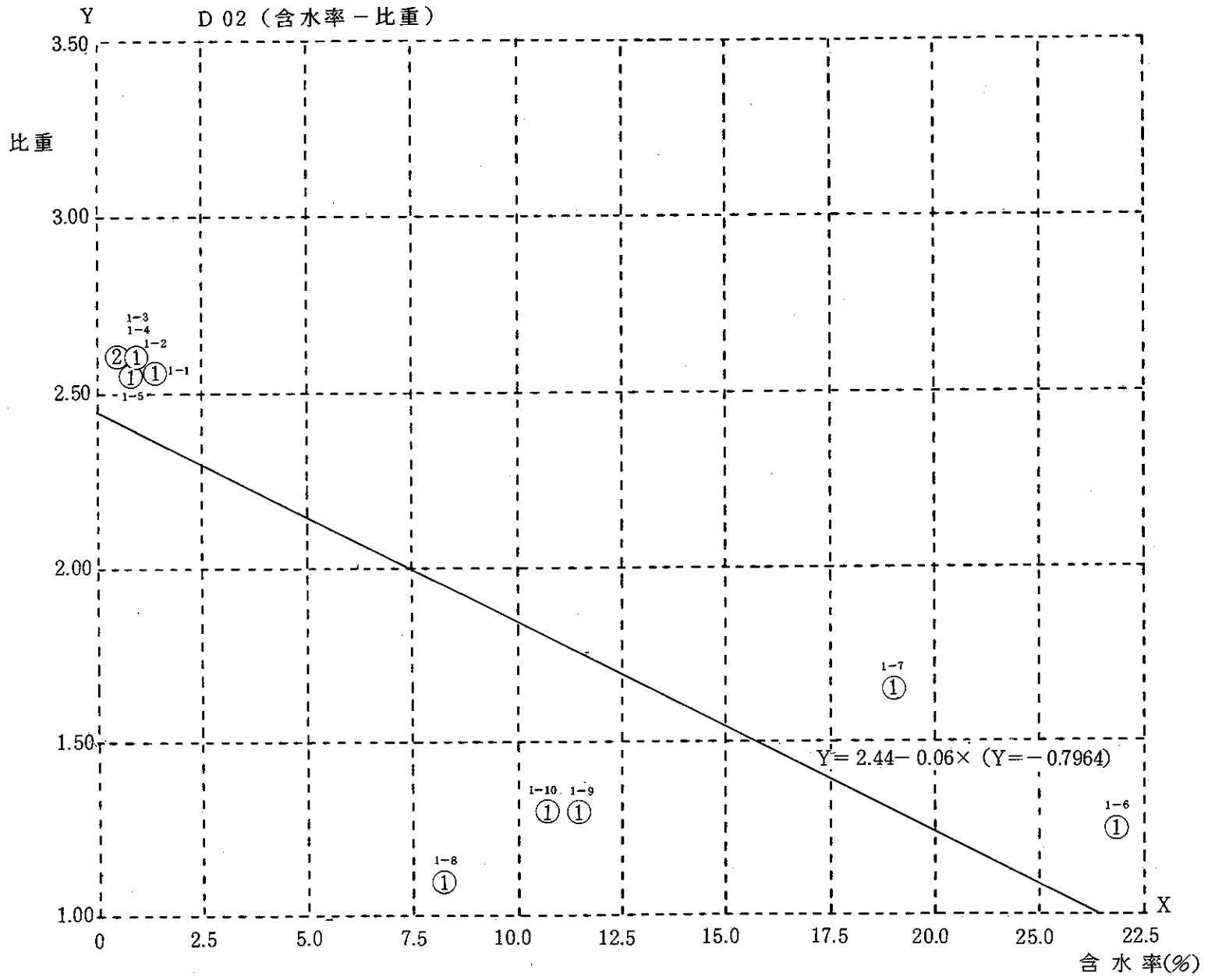


図 3.5 - 1 - (42) 負の相関関係のあるもの

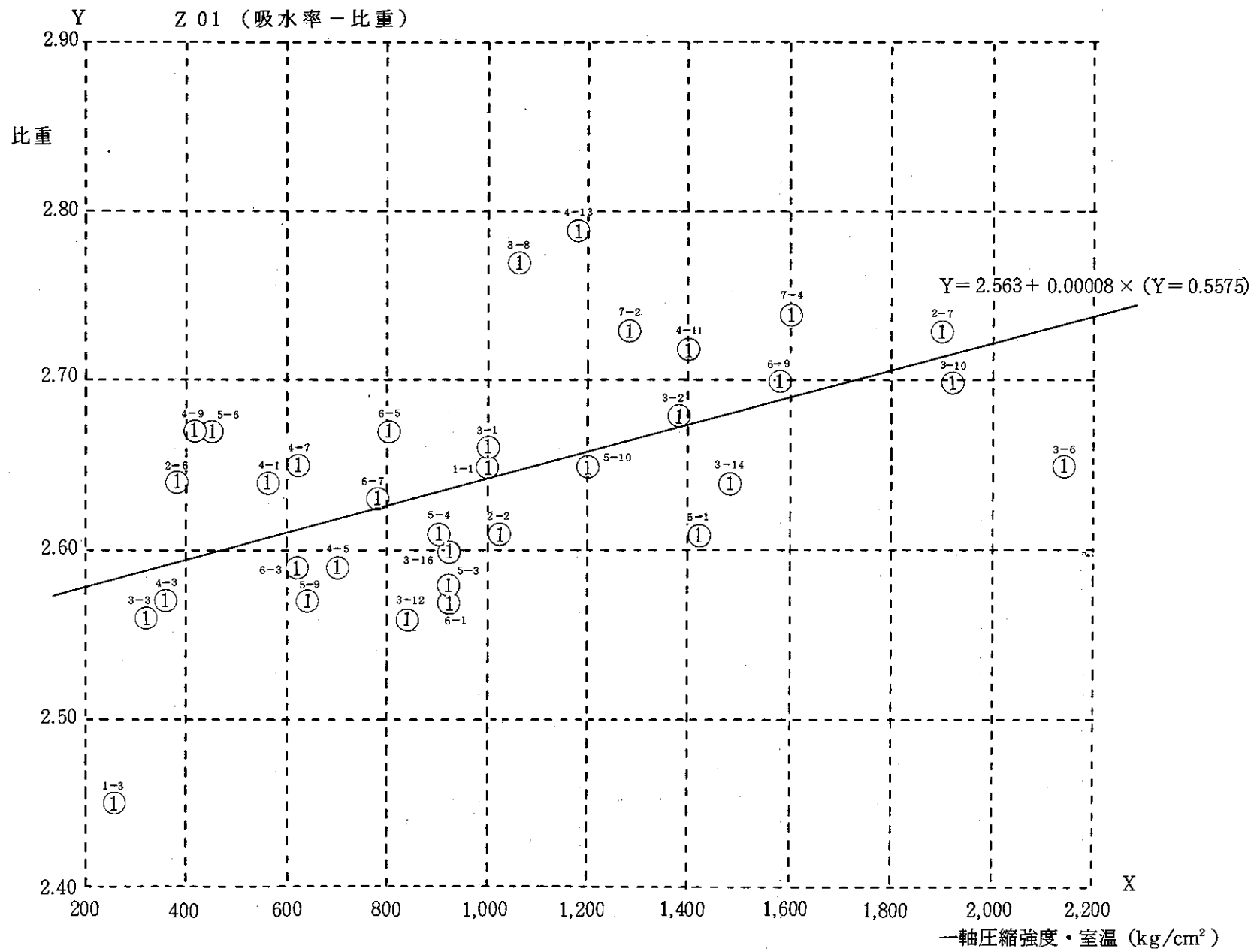


図3.5-1-(4) 正の相関関係のややあるもの

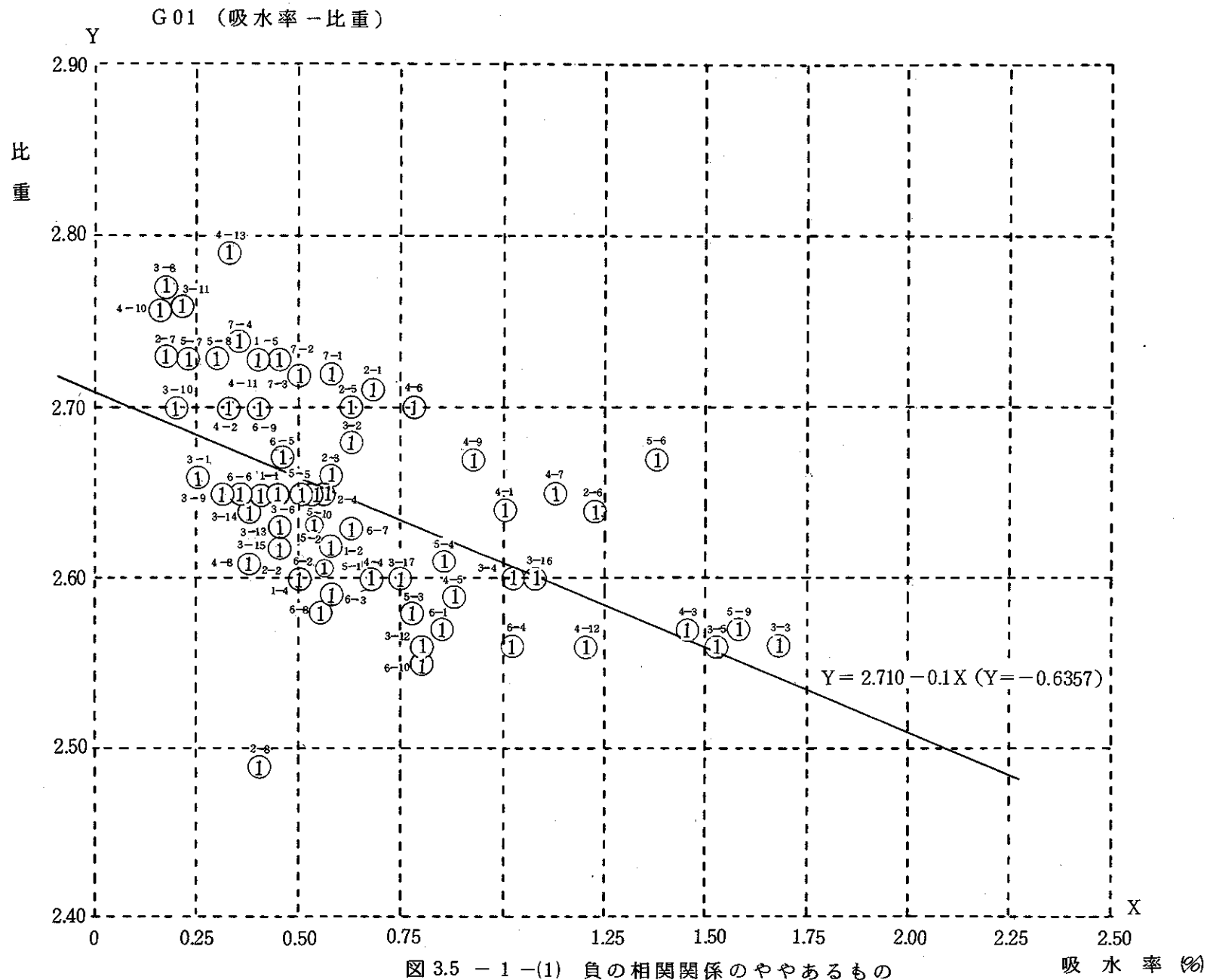


図 3.5 - 1 - (1) 負の相関関係のややあるもの

G 07 (圧裂引張強度・高温 - 比重)

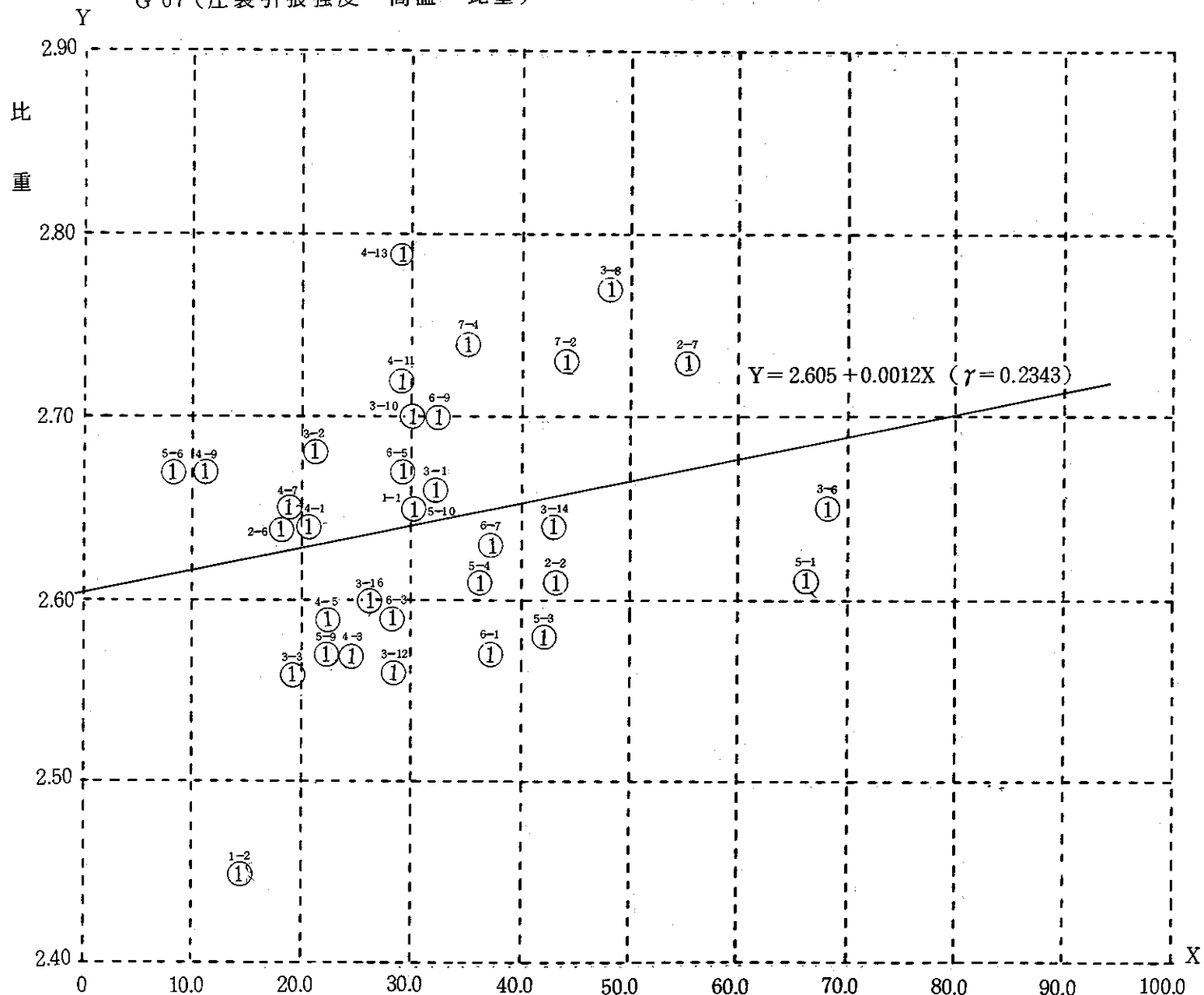


図 3.5 - 1 - (7) 相関関係のないもの

圧裂引張強度・高温 (log / cm<sup>2</sup>)

表 3.5 - 10 を相関関係と岩種別に書きなおすと表 3.5 - 11 のようになる。

表 3.5 - 11 相 関 関 係 一 覧 表 ( そ の 2 )

相 関 関 係	G グループ	Z グループ	D グループ
正の相関関係 のあるもの		一軸圧縮強度(室温)-比重	一軸圧縮強度(室温)-比重
		一軸圧縮強度(高温)-比重	一軸圧縮強度(高温)-比重
		圧裂引張強度(室温)-比重	
		熱伝導率-比重	熱伝導率-比重
			熱伝導率-比重
			熱伝導率-熱膨張率
	一軸圧縮強度(室温)-圧裂引張強度(室温)	一軸圧縮強度(室温)-圧裂引張強度(室温)	
	一軸圧縮強度(高温)-圧裂引張強度(高温)		
		一軸圧縮強度(室温)-剪断強度	一軸圧縮強度(室温)-剪断強度
	一軸圧縮強度(室温)-衝撃強度	一軸圧縮強度(室温)-衝撃強度	一軸圧縮強度(室温)-衝撃強度
	一軸圧縮強度(室温)-静弾性係数	一軸圧縮強度(室温)-静弾性係数	
		ショア-硬度-一軸圧縮強度(室温)	ショア-硬度-一軸圧縮強度(室温)
		ショア-硬度-圧裂引張強度(室温)	
		ショア-硬度-剪断強度	ショア-硬度-剪断強度
	ショア-硬度-衝撃強度	ショア-硬度-衝撃強度	
負の相関関係 のあるもの		吸水率-比重	吸水率-比重
			含水率-比重
		有効間隙率-比重	有効間隙率-比重

正の相関関係の ややあるもの	一軸圧縮強度(室温) - 比重		
	圧裂引張強度(室温) - 比重		圧裂引張強度(室温) - 比重
			圧裂引張強度(高温) - 比重
		熱伝導率 - 熱膨張率	
			一軸圧縮強度(室温) - 圧裂引張強度(室温)
		一軸圧縮強度(高温) - 圧裂引張強度(高温)	一軸圧縮強度(高温) - 圧裂引張強度(高温)
	一軸圧縮強度(室温) - 剪断強度		
	シヨア-硬度 - 一軸圧縮強度(室温)		
	シヨア-硬度 - 圧裂引張強度(室温)		シヨア-硬度 - 圧裂引張強度(室温)
	シヨア-硬度 - 剪断強度		
シヨア-硬度 - 衝撃強度			
負の相関関係の ややあるもの	吸水率 - 比重		
	含水率 - 比重		
	有効間隙率 - 比重		
相関関係のないもの		含水率 - 比重	
	一軸圧縮強度(高温) - 比重		
	圧裂引張強度(高温) - 比重	圧裂引張強度(高温) - 比重	
	熱伝導率 - 比重		
	熱伝導率 - 放射能	熱伝導率 - 放射能	
	熱伝導率 - 熱膨張率		
	熱伝導率 - 比熱	熱伝導率 - 比熱	熱伝導率 - 比熱



表 3.5 - 11 を通覧して相関関係を検討すると次のようにまとめられる。

- ③ 3種の岩石のうち、花崗岩類 (Gグループ)、ゼオライト質凝灰岩 (Zグループ)、新第三紀凝灰岩 & 花崗岩類 (Dグループ) の順に相関関係のある組合せが多くなるが、これはこれらの岩種の物性的特徴というよりも、データ数の多寡によるものと思われる (表 3.5 - 5 - (1)~(2)参照)。
- ④ 3種の岩石に共通して正の相関関係を有する組合せは
- |                 |                     |      |
|-----------------|---------------------|------|
| 一軸圧縮強度 (室温)     | - 比重                |      |
| 圧裂引張強度 (室温)     | - 比重                |      |
| 一軸圧縮強度 (室温)     | - 圧裂引張強度 (室温)       |      |
| "    "    (高温)  | -    "    "    (高温) |      |
| "    "    (室温)  | - 剪断強度              |      |
| "    "    ( " ) | - 衝撃強度              |      |
| "    "    ( " ) | - 静弾性係数             |      |
| ショア - 硬度        | - 一軸圧縮強度 (室温)       |      |
| "    "          | - 圧裂引張強度 ( " )      |      |
| "    "          | - 剪断強度              |      |
| "    "          | - 衝撃強度              | である。 |
- ⑤ 3種の岩石に共通して負の相関関係を有する組合せは
- |       |      |      |
|-------|------|------|
| 吸水率   | - 比重 |      |
| 有効間隙率 | - 比重 | である。 |
- ⑥ 3種の岩石に共通して相関関係の不明瞭な組合せは
- |              |          |      |
|--------------|----------|------|
| 含水率          | - 比重     |      |
| 一軸圧縮強度 (高温)  | - "    " |      |
| 圧裂引張強度 ( " ) | - "    " |      |
| 熱伝導率         | - "    " |      |
| "    "       | - 放射能    |      |
| "    "       | - 熱膨張率   | である。 |
- ⑦ 3種の岩石に共通して相関関係を有しない組合せは
- |           |      |
|-----------|------|
| 熱伝導率 - 比熱 | である。 |
|-----------|------|
- ⑧ 一軸圧縮強度、圧裂引張強度の室温 → 高温の変化に応じて相関関係の悪くなる例が、花崗岩類、ゼオライト質凝灰岩に見られる。
- ⑨ 花崗岩類の熱的試験の相互間に相関関係は見られない。

### 3.5.3 まとめと今後の課題

岩石の基礎特性試験データの評価方法の検討の一手法として、今回はサン

プリングした岩石の種類，サンプリング個所，個数，試験項目等を考慮して，試験データの相関関係を岩種別に数量的に把握することに努めた。ある岩種について試験データの相関関係が数量的に把握された場合（正規方程式の係数， $a$ ， $b$ が決定された場合），とくに相関係数 $Y$ が $\pm 1$ に近い場合は，相関関係をとった一方のデータから他方のデータをかなり高い確度で推定できるはずである。しかし実際は，同一地区内の比較的均質と思われる岩体においても，前述のようにかなりのバラツキが見られ，これは岩石を構成する鉱物（造岩鉱物）の結晶構造のへき開性，格子欠陥，粒子構造，粒子間の空隙，不均質性，異方性，新鮮度といった不連続性に起因するものである。これらの不連続性は岩石の持つ1つの特性であり，あらゆる岩石は多かれ少かれこのような特性を持っており，試験データのバラツキは避けられない。さらに岩石の母体である岩盤は，大小さまざまな岩石が，大小さまざまな地質学的不連続面（層理面，異種岩石の接触面，節理，片理，断層，破砕帯，亀裂，ひび割れ）を境として，相接している集合体であり，さらに不均質性，不連続面の発達頻度，性質，方向性およびその不連続面を満たす裂か水や風化粘土の存在状態によってさらにその力学体系は複雑になっている。

土質工学的には種々のむずかしい問題があるといわれている粘土地盤の場合でも，その粘土地盤から数個の不攪乱試料を採取して詳細な力学試験を行えば，その結果からほぼ間違いなくその粘土地盤を把握することができるが，岩盤の場合は，その岩盤中からいかに数多くの岩石試料を採取して詳細な岩石試験を行っても，特別に良好な岩盤（めったに存在しない）を除いて，ほとんどの場合，その結果はあくまでも原位置で行なう他の試験結果と対比検討して，はじめて岩盤の性状を明らかにすることができる。

従って今後の課題として下記のような作業を進める必要がある。

- (1) 52年度，53年度本試験実施後の残存試料で実施した補足試験結果を追加して基礎資料の充実を計る。
- (2) 前回検討した自然的要因（地質要因，気候要因等），社会的要因をさらに検討して，地層処分に適するサイト候補地をしぼった時点で現位置試験（岩盤試験）を実施する。
- (3) 現位置試験（岩盤試験）と岩石試験を平行して行ない，図 3.5 - 2 に示すように岩盤と岩石の静的動的諸相関を把握する。

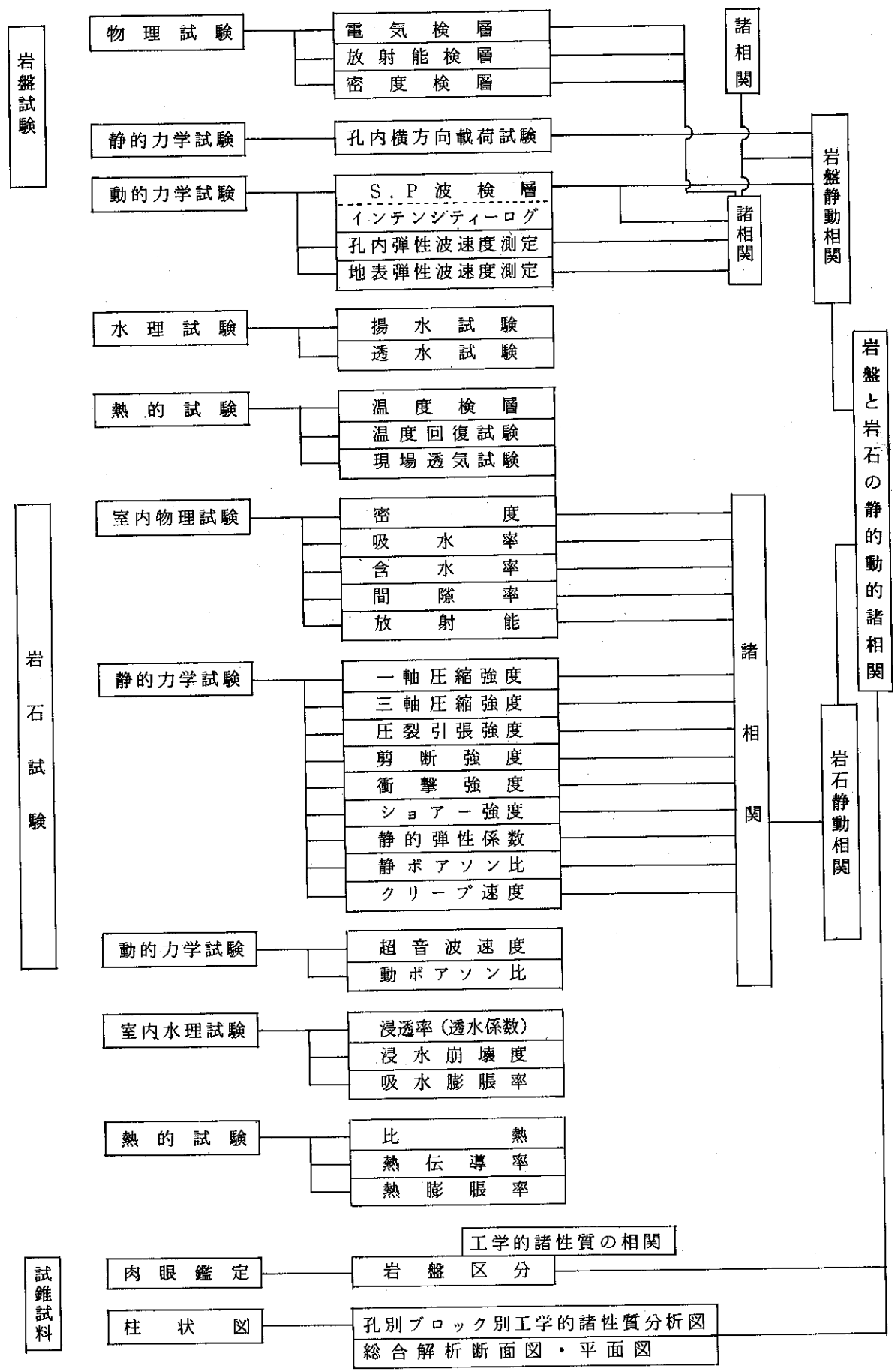


図 3.5 - 2 総合解析系統図

(4) 図 3.5-2 の系統図からさらに基礎データとして追加すべき試験項目として次のものが挙げられる。

花崗岩類

一軸圧強度（強制湿潤状態，強制乾燥状態）

静ポアソン比

超音波速度（自然状態，強制湿潤状態，強制乾燥状態）

動ポアソン比

熱伝導率（強制湿潤状態，強制乾燥状態）

三軸圧縮強度

ゼオライト質凝灰岩

一軸圧縮強度（強制湿潤状態，強制乾燥状態）

静ポアソン比

超音波速度（強制湿潤状態，強制乾燥状態）

動ポアソン比

熱伝導率（強制湿潤状態，強制乾燥状態）

浸水崩壊度

吸水膨張率

## 第4章 地下水挙動の調査・研究

### 4.1 鉱山諸資料の収集

#### 4.1.1 目的

現在稼行中の下川鉱山の坑内湧水に関する諸資料を収集し、坑内湧水機構の考察を行う。

地下の空洞には通常湧水は避け難いが、その湧水状況や湧水量については千差万別である。このため昭和52年度で休廃止中の10鉱山について湧水関係の諸資料を収集し、湧水源と湧水機構について考察を試みたが、昭和53年度では更に操業規模の割りに湧水量の僅少な、操業中の下川鉱山（北海道）を追加し、湧水量の少ない原因と湧水機構を考察することとした。

#### 4.1.2 鉱山の概要

##### a. 位置及び交通

下川鉱山は北海道上川郡下川町にあり、国鉄名寄本線下川駅の東南方10 km に位置する。(図4.1-1参照) 既知鉱床は下川町内にあるが、金属鉱業事業団が探鉱中の南部鉱兆地帯は旭町の登和里にある。下川駅から鉱山事務所までは舗装道路が完備し、探鉱中の登和里地区は国鉄宗谷本線士別市の東方約25 km にある人造湖岩尾内ダムの北方5.6 km に当る。(図4.1-2参照)

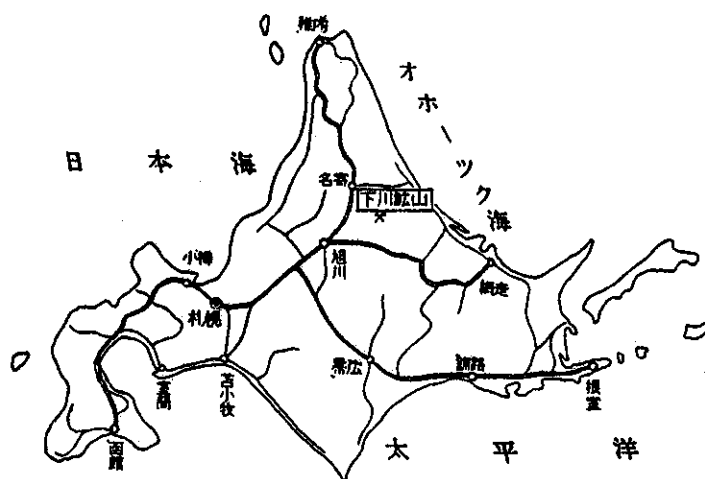


図4.1-1 下川鉱山の位置図

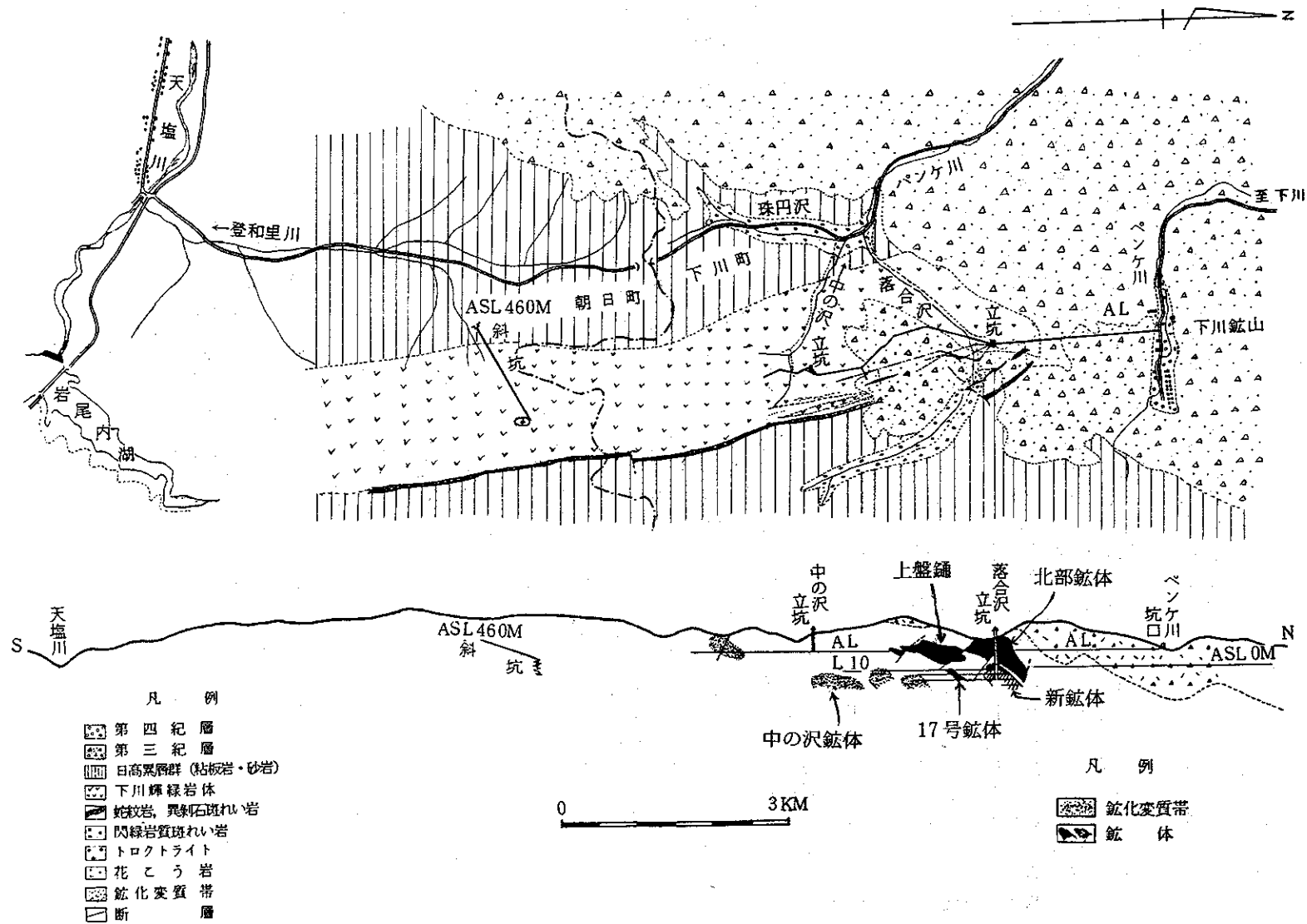


図 4.1 - 2 下川鉱山の地質鉍床図

## b. 沿革および現況

昭和8年(1933年)下川町の農家浅沼某氏が転石を収得したのが契機となり、札幌在住の今堀喜三郎氏が調査し、昭和15年(1940年)ペンケ川支流落合沢で露頭を発見し、同年11月落合沢右岸に開坑した。翌昭和16年(1941年)3月三菱鉱業(株)が今堀氏より鉱区を譲受け、手稲鉱山の支山新下川鉱山として本格的探鉱を開始した。その後可成りの鉱量を獲得したので昭和20年(1945年)240t/日の選鉱場を建設し、操業を開始したが昭和21年(1946年)11月火災により選鉱場を焼失し、その後は直送鉱のみの縮小操業を行った。昭和24年(1949年)100t/日の選鉱場を再建し、昭和25年(1950年)4月三菱鉱業(株)より分離太平鉱業(株)に移管されると共に、手稲鉱山より独立し、下川鉱山と改称し、同年11月延長2.3kmの通洞坑が完成し、粗鉱の索道輸送および山越通勤を廃し、通洞坑輸送に切替えた。又同年12月選鉱場と下川駅間6.8kmの精鉱輸送用索道の完成に伴い営林署軽便軌道による鉱石輸送を索道輸送に切替えるなど、操業は本格化した。しかし鉱体上盤の黒色千枚岩が軟弱で崩壊しやすいため空洞採掘では上盤の大崩壊が相次ぎ、出鉱が意の如くならないため研究採掘に切替え、昭和28年(1953年)より2ヶ年計画で採鉱操業の合理化に着手した。同年落合沢下流左岸の地表から試錐により南22号高品位含銅硫化鉄鉱体を捕捉し、有望鉱山として期待されるに至った。

昭和30年(1955年)粗鉱8,000t/月の生産体制を確立、更に昭和37年(1962年)には水力充填とサンドスライム充填設備ならびに送鉱合理化のため、坑内下7坑準から選鉱場までの長距離ベルトコンベヤー設置などの坑内の近代化と22,000t/月処理の選鉱場の新設起業に着手、昭和41年(1966年)には粗鉱22,000t/月となった。引続き採掘切羽の機械化と人工天盤による下向充填採掘の採用ならびに選鉱場の増強により、昭和47年(1972年)下期には粗鉱33,700t/月、含銅732t/月の銅鉱山に成長した。しかし昭和48年(1973年)12月のオイル・ショック以後の物価高騰は操業採算を圧迫し、引続く国際経済不況による銅価の下落と更には円高による国内銅価の下落が加重され、採算不味となり、昭和52年(1977年)7月三菱金属(株)より分離独立し、下川鉱業(株)として逐次合理化縮少し昭和53年(1978年)10月より粗鉱32,000t/月(Cu 2.24%)人員341人体制で縮小再建に努めている。前述の増産期間に探鉱も進展し北部鉱体は雁行しつつ下部に続き、現在の最下底坑道は下19番坑(海面下280m、地表下730m)となり、又通洞坑においては南128号(落合沢立坑より南3,840m)に進展し、試錐により下10番坑準で南部鉱体を捕捉した。

下川地域は北海道の銅鉱床賦存有望地域であるので、昭和41年度(1966年)から3ヶ年、金属鉱業事業団で広域地質構造調査(地表地質調査285km<sup>2</sup>、地化学探査35.6km<sup>2</sup>、試錐2本2,155.8m)が実施され、更に昭和44年度(1969年)から3ヶ年間

精密地質構造調査（試錐13本 11,505 m）が実施された結果，登和里地区の下部に有望な鉍化変質帯の存在することが明らかになったので，昭和50年度（1975年）から7ヶ年計画で，構造坑道探鉍（トラックレス斜坑と下10番坑準からの試錐探鉍）に着手，現在トラックレス斜坑を開さく中である。

通洞坑口からの総排水量は充填水により左右され，昭和52年には0.027～3.912 m<sup>3</sup>/分に変動していた。充填水ならびにさく岩用水や雑廃水などの人工導水を除いた自然坑内湧水は0.3m<sup>3</sup>/分程度である。通洞坑口を出た坑水は石灰で中和し，選鉍廃滓シクナーの上澄水と共に1.136 m<sup>3</sup> 2基の沈殿池を経由，その上澄水はパンケ川に放流，又殿物は37号線に設置した廃滓堆積場に送泥している。又登和里斜坑の自然湧水は0.0005m<sup>3</sup>/分で沈殿池（30×20×1.5 m）經由登和里川に放流している。

### c. 地質および鉍床

下川鉍山付近は北海道中軸帯の北部に位置し，先白亜紀の地向斜性の堆積層で構成された日高累層群・神威層群・空知層群および地向斜初期の火山活動に起因すると考えられる輝緑岩よりなり，これらを買いて造山期の深成変成作用によって形成された斑斕力岩類・花崗岩・蛇紋岩・片麻岩類が分布する。更に鉍床の北部と南部には第3紀火山岩類がこれらを不整合に被覆している。

鉍床付近の日高層群は黒色粘板岩類（黒色粘板岩，砂岩，砂質粘板岩および少量のチャート，石灰岩）とスピライト岩類（スピライト，輝緑岩）よりなり，北部の既知鉍床はスピライト岩類と黒色粘板岩類の境界に胚胎するが，南部地域では輝緑岩体中にも胚胎する。輝緑岩体はオフィティック組織を特徴とする粗粒輝緑岩と枕状構造を有する細粒輝緑岩に分類され，夫々単一の輝緑岩は厚さ数mから百数十mに及び粘板岩及び砂岩を狭んで中軸帯の構造に従って巾1～1.5 km，延長約18 kmにわたり，既知鉍床付近では50～60°東に単斜している。走向は略々南北であるが，局所的には著しく褶曲している。落合沢立坑を0号とし，南北30 m毎に号数を符すと，代表的な局所褶曲としては，落合沢立坑付近を中心として半径約230 mで東に凸の半円弧を画く0号小背斜と，これが一般走向に復する南10号付近の小向斜などがある。これらの局所褶曲に伴って小断層が随所に発達しているが，代表的なものは前記の0号小背斜に関係した北東系の南7号断層と，南22号鉍体の下盤を規制する南北系の西8号断層などである。（図3.1-4参照）

鉍床は層状の含銅硫化鉄鉍床で褶曲より膨縮し，あるいは尖滅及至消滅，又は次第にまばらになって堆積岩に移り変る場合もあり，巨視的には雁行配列を呈す。鉍床上部では上盤の千枚岩状黒色粘板岩が緩傾斜となって，巾広の鉍体が急激に消滅する場合が多い。

鉍石は塊状緻密鉍と縞状鉍に大別される。塊状緻密鉍は黄鉄鉍，黄銅鉍，磁硫鉄鉍，閃亜鉛鉍等からなり，縞状鉍は石英および緑泥岩で構成された緑色岩中に



黄鉄鉱および黄銅鉱などの硫化物が縞状に入ったものである。両者は夫々独立した小鉱体を形成しているが、共存する場合もある。なお、顕微鏡的には少量のキューバ鉱、ヴァレリー鉱、磁鉄鉱、含コバルトペントランド鉱および方鉛鉱を含み、Coは平均して0.2~0.3%最高1%含まれるが、大部分は磁硫鉄鉱および黄鉄鉱中に固溶されているようで、縞状に磁硫鉄鉱の入った銅高品位部の塊状緻密鉱に高い傾向がある。

脈石は石英、緑泥石、絹雲母および方解石などである。

#### 4.1.3 坑内湧水に関する資料

##### a. 気象

下川鉱山の山許で観測した昭和50~52年3ヶ年の気象状況は表4.1-1に示す通りである。この地域は日本列島の水稲栽培の北縁にあたる。例年降雪は11月に始まり、融雪は4月末で、約半年間は降雪がある。積雪深は1m前後で、通常サラサラした雪でベタつくことはない。気温の最底は1月で氷点下23~31℃、最高は7月で30~33.5℃であり年により差異がある。年間雨量は例年1,000mm程度で、昭和50年は8月に日雨量108.3mmの集中豪雨があり年間雨量1,404.9mmに達したが、本州及び九州の諸鉱山地域に比べると少ない。例年の最大日雨量は30~40mmである。

年間を通じ湿度は低い。

##### b. 地形と水系

下川鉱床を胚胎する北海道中軸帯の北部は南部の日高山系に比べると全般に平準化しており水系は天塩川水系に属する。既開発鉱床は、その東及び西に落合沢南に中の沢があり、落合沢は鉱床の北部を横切っている。落合沢と中の沢は二俣で合流しパンケ川となって名寄川に注ぐ。名寄川は天塩川の支流である。(図4.1-2参照)

金属鉱業事業団が探鉱中の登和里地域は鉱兆地帯の西側を登和里川が南流し岩尾内ダムに源を発する天塩川に注ぐ。登和里地域は牧場化が促進されている。

##### c. 排水の概要

既開発地域の排水は通洞坑を基準に通洞坑上部は通洞坑口より自然排水、下部は下10番坑の主ポンプ室から通洞坑準まで揚水し、上部の坑水と共に通洞坑口から排水し沈殿池1,136m<sup>3</sup>×2基で浮遊物を除去した後パンケ川に放流する。

通洞坑口の排水量は下10番坑のポンプ運転時と停止時により大幅に異なり、この排水量中には人工導水が含まれている。人工導水は採掘切羽の充填水(選鉱廃滓の充填水及び粗砕研の水力充填水)、さく岩用水及び生活用水で、選鉱廃滓の充填用水はパンケ川、その他はパンケ川より導水している。

充填量は粗鉱トン当たり0.29m<sup>3</sup>で、選鉱廃滓中のサンド分のみでは不足のため、不足分は坑内で粗砕した研で補充しているが、サンドのパイプ輸送濃度60%に比

表 4.1 - 1 下川鉦山の山許気象記録

年	月	天 候 (日)				気 温 ℃		月間平均 湿度%	雨 量		月 末 積雪深cm
		晴	曇	雨	雪	最 低	最 高		日間累計	月間累計	
昭50年	1	7	4	1	19	△ 23	0	81	22.8	91.0	85
	2	15	5	0	8	△ 23	3	75	11.2	42.1	99
	3	17	8	0	6	△ 22	7	70	38.2	88.5	110
	4	14	12	2	2	△ 13	19	63	9.5	39.1	0
	5	14	10	6	1	△ 3	25	54	35.4	88.1	0
	6	15	5	10	0	2	28	67	35.0	119.1	0
	7	11	8	12	0	8	30	72	46.5	155.3	0
	8	17	7	7	0	11	30	69	108.3	279.3	0
	9	15	5	10	0	1	27	68	65.4	202.3	0
	10	11	8	11	1	△ 4	15	70	22.5	130.0	0
	11	12	5	9	4	△ 9	7	72	19.8	116.2	2
	12	14	2	1	14	△ 22	3	73	12.9	53.9	36
	計	162	79	69	55	△ 23	30	69.5	108.3	1,404.9	最深110
昭51年	1	10	0	1	20	△ 27	4	76	5.6	62.2	70
	2	10	2	2	14	△ 23	3	74	12.8	53.6	73
	3	13	2	0	16	△ 19	4	63	12.8	59.7	80
	4	11	8	6	5	△ 14	20	57	12.8	75.7	0
	5	20	6	5	0	△ 3	23	41	16.0	34.	0
	6	16	8	6	0	3	30	58	18.5	76.9	0
	7	21	3	7	0	5	33	53	15.4	42.3	0
	8	11	12	8	0	6	26	64	21.3	76.1	0
	9	12	8	10	0	△ 1	24	70	17.7	87.6	0
	10	9	10	11	1	△ 3	20	70	24.0	146.0	0
	11	0	4	5	21	△ 7	11	82	30.2	153.6	48
	12	8	1	0	22	△ 24	0	82	32.1	85.2	82
	計	141	64	61	99	△ 27	30	65.8	32.1	953.8	最深 82
昭52年	1	12	3	0	16	△ 31	△ 7	79	11.7	46.6	78
	2	5	2	0	21	△ 30	0	78	6.5	52.0	100
	3	10	5	2	14	△ 22	8	74	8.5	63.1	82
	4	5	7	10	8	△ 8	14	71	24.3	105.5	0
	5	18	4	7	2	△ 2	28	62	13.4	53.8	0
	6	15	7	8	0	5	32	67	5.3	15.9	0
	7	14	10	7	0	10	33.5	72	37.9	95.8	0
	8	19	3	9	0	7	29	77	41.6	166.9	0
	9	11	7	12	0	0.5	30.5	71	12.5	93.8	0
	10	15	7	9	0	△ 4.5	20	67	22.0	51.3	0
	11	6	4	12	8	△ 7	11	79	18.1	107.4	0
	12	9	1	1	20	△ 21	10	82	13.1	64.8	24
	計	139	60	77	89	△ 31	33.5	73.3	41.6	916.9	最深100

し、粗砕研のパイプ輸送濃度は30～50%で低いため、他山に比べると充填用水の使用量は多い。充填廃水は充填終了と共に著減するが、充填材に含まれた水分は除々に脱水する。従って数日間操業を中止しても充填脱水分は総排水量中に含まれることになる。又上部坑道の側溝水が下部に浸透湧出している場合もあるので、総排水量中の自然湧水量のみを正確に把握することは極めて困難である。しかし通洞坑上部は既に採掘を終了して、現在作業ヶ所としては水力充填設備のみであり、又通洞鉱下部の既開発地域は主として北部鉱体で湧水ヶ所も少くその湧水量も僅少であるので、大略的にはポンプ運転停止数時間後の通洞坑口の自然排水量が坑内自然湧水量に相当すると考えられる。坑内自然湧水量は融雪期に増加するが年間平均0.3 m<sup>3</sup>分程度である。この水量は水力充填を開始する以前（当時の最下底坑道は下2番坑）と大差なく、このことは後述するように、下川鉱山は深部（現在の最下底坑道は下19番坑で海面下280 m）に下っても自然湧水量は殆んど増加していない。

#### d. 坑内湧水状況

既開発地域の坑内で見られる湧水ヶ所、湧水量ならびに重金属類の含有量の測定値を地質構造の差異をも考慮して整理し、一覧表にまとめると表4.1-2の通りであり、湧水ヶ所の平面図は図4.1-3に示す。

表4.1-2の水量は昭和53年10月29日の休業日に測定したもので地域別に集計すると第3紀火山岩被覆地帯の通洞ベルトコンベヤー坑道3.610ℓ、北部鉱体採掘跡地帯3.090ℓ、下盤輝緑岩地帯3.810ℓ、鉱床の南部中の沢地帯20.960ℓ、開放立坑のカラー部1.500ℓ計32.970ℓに過ぎない。しかし北部鉱体採掘跡地帯は立入調査ができないので省略したが、上1番坑～通洞坑間に設けた導水用試錐孔から8.760ℓの坑水が流下していたので、これを加算すると41.730ℓ/分となる。

表 4.1 - 2 下川鉾山坑内湧水ヶ所，湧水量ならびに水質

区 分	湧水ヶ所	湧 水 状 況	水温 ℃	水量 ℓ/分	重金属類含有量(gr/ℓ)				
					pH	Cu	Pb	Zn	Fe
第3紀火山岩	通洞 N61~N62	坑口から463.5m と468.5mの2ヶ所 より纏って湧水	13.5	3.600	8.0	0.00	0.00	0.00	0.25
被 覆 地 帯	通洞 N64付近	坑口から395m地 点を中心に14m間 滴水	-	推定 0.010	-	-	-	-	-
	通洞 N54付近	坑口から690m地 点を中心に7m間 滴水	-	推定 0.010	-	-	-	-	-
北 部 鉾 体	上2番 S1号	下盤坑導の輝緑岩 の天盤亀裂帯より 滴水	18.0	0.030	3.4	0.03	0.00	4.30	19.20
採 掘 跡 地 帯	上1番坑 S2号	充填済採掘跡の床 より湧水	18.0	1.000	2.7	875.00	0.00	1,160.00	6,980.00
	通洞 N5掘上り	上1番坑採掘跡に 連絡している旧掘 上りより落水	19.0	2.000	2.6	26.10	0.00	97.00	298.00
	通洞 N5空車線	輝緑岩の天盤亀裂 帯より滴水	-	推定 0.100	-	-	-	-	-
	通洞N5 火薬庫入口	同 上	-	推定 0.050	-	-	-	-	-
下 盤 の 輝 緑 岩 地 帯	下10番 S5号	試錐室の4本の試 錐孔より湧水	23.5	3.600	7.8	0.51	0.00	0.67	13.35
	通洞 S10号	輝緑岩の天盤亀裂 帯より滴水	18.0	0.160	-	-	-	-	-
	下2番 S10号	同 上	-	推定 0.050	-	-	-	-	-
鉾 床 の 南 部	通洞 S84号	輝緑岩の破碎帯よ り湧水しメタンガ スを伴う	11.0	7.200	7.5	0.00	0.00	0.00	1.27
地 帯	通洞 S86号	輝緑岩の側壁亀裂 より湧水	11.0	0.160	-	-	-	-	-
	通洞S91号 上盤向主人	輝緑岩中の断層よ り湧水	11.0	5.000	-	-	-	-	-
	通洞 S116号	断層(北側千枚岩 南側第3紀火山岩) より湧水	11.0	8.600	-	-	-	-	-
立 坑	落合沢 第1立坑	表土と基盤の境界 付近より湧水し滴 下	-	推定 0.500	-	-	-	-	-
	中の沢立坑	表土に近い岩盤付 近より湧水し滴下	-	推定 1.000	-	-	-	-	-

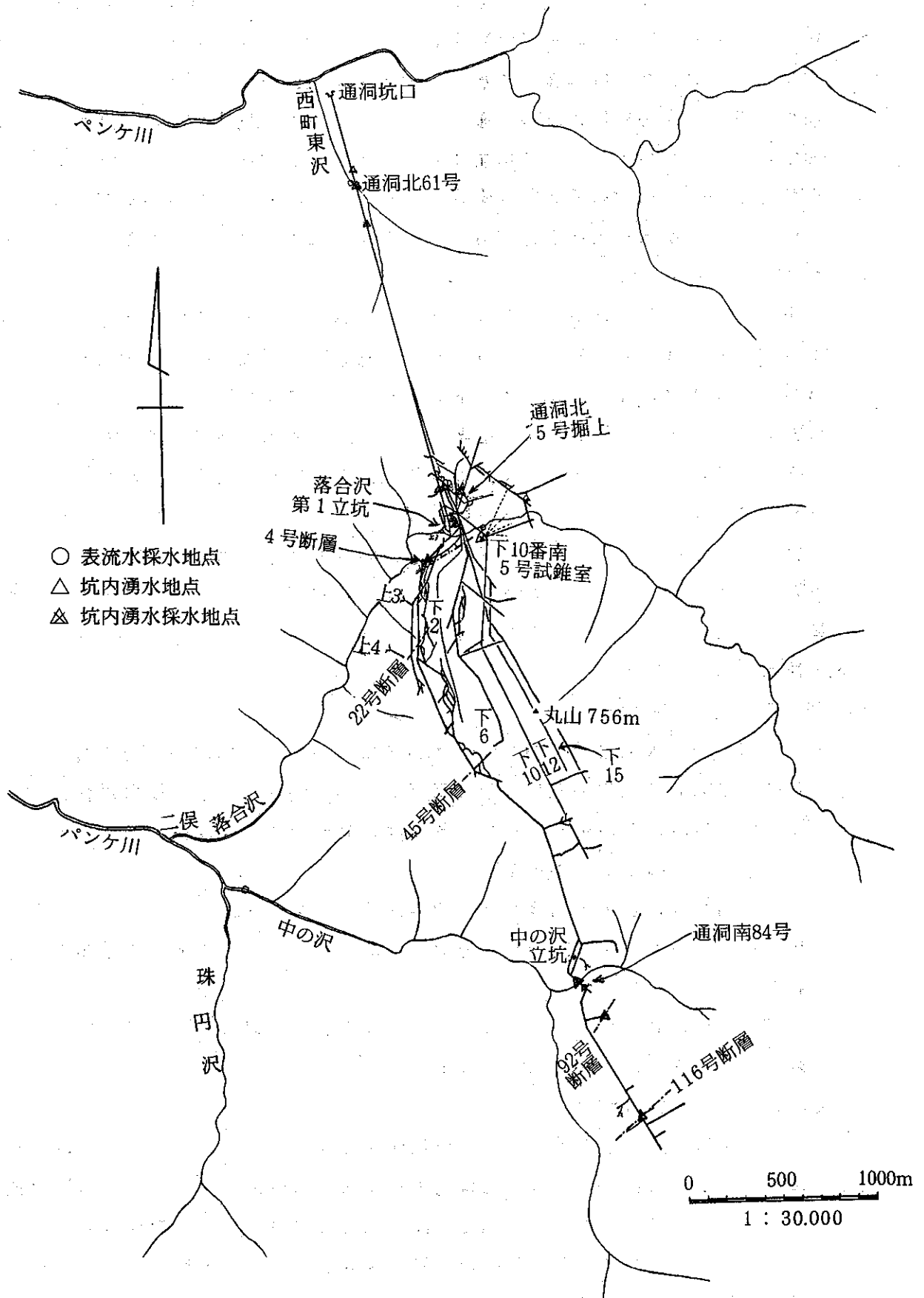


図 4.1 - 3 下川鉾山採水位置図

調査日以前は比較的晴天続きであったこと、又昭和52年9月18日の沈殿池上澄排水量が0.027 m<sup>3</sup>/分（最低記録）を記録していることから考えると不当に少ない水量ではない。なお降雨量と湧水量の関係を示す資料は収集できなかったが融雪期には第3紀火山岩被覆地帯の通洞ベルトコンベヤー坑道、北部鉞体採掘跡地帯および開放立坑のカラー部で増加する。調査時の通洞ベルトコンベヤー坑道の湧水状況は表4.1-2に掲載の通りであるが、N72~N65号間、N48~47号間およびN27~26号間に湧水及至滴水跡があり、融雪期や降雨時にこれらの部分からも湧水することを示していた。

下川鉞山の既開発地域には開放立坑2本、盲立坑2本（輝緑岩中）S27号盲斜坑（傾斜50度輝緑岩中）ベルトコンベヤー盲斜坑（千枚岩中）があるが、開放立坑以外には湧水はなく、特にベルトコンベヤー斜坑は乾燥状態であった。なお念のため下15番坑道（輝緑岩中）を調べたが湧水ヶ所は見当らなかった。

次に金属鉞業事業団が開さく中の登和里斜坑は輝緑岩と黒色粘板岩の互層地帯をぬって、現在スパイラル状の斜坑を掘下っているが、一昼夜ポンプを停止した時坑底に溜る水量は0.36 m<sup>3</sup>/日程度、従って斜坑全体の湧水量は0.5 L/分であった。主たる湧水ヶ所は輝緑岩中の小断層で、ラセン斜坑の上下2ヶ所に出現しており、又その周辺の輝緑岩の小亀裂からは滴水があった。

#### e. 湧水ヶ所の地質構造的特徴

##### i) 第3紀火山岩被覆地帯

通洞坑口~N52号間の約800 mは第3紀火山岩で坑口側から凝灰岩、集塊岩、角礫凝灰岩と安山岩の互層の順に累層し、千枚岩状の黒色粘板岩に移行している。生成順序はこの逆であるが、各層は北落約50度で、表土はこれらの上になっている。（図4.1-4参照）

集塊岩は安山岩の玉石よりなり間隙が多く、又角礫凝灰岩中には炭化した珪化木を含み、小空洞には美晶の方解石を産することがあり随所に小亀裂が見られる。

湧水は集塊岩に最も多く、又凝灰岩と安山岩の境界ならびに凝灰岩中の小亀裂からも滴水し、冬期は水柱となる。

##### ii) 北部鉞体採掘跡地帯

パンケ川右岸の上3番坑準は下川鉞床を捕捉した最初の坑準で、これより上部は早くから採掘され上5番坑は地表近くまで採掘済である。又、当時は無充填の上向採掘であったため一部で陥没を生じており、この陥没跡は現在塊状の捨石堆積場になっている。鉞床の下盤は輝緑岩、上盤は千枚岩状の黒色粘板岩で、上盤の崩壊性が顕著である。パンケ川はS3号付近で鉞床を横断しており、川床下50 mは鉞柱を残しているが、その週辺採掘時にも特に湧水は無く、滴水程度であった。

パンケ川右岸の山腹に開口している落合沢第1立坑のカラー部の表土と輝緑岩の境界付近からは苦干の滲水があり冬期水柱となり、操業開始時の障害となることがある。

北部鉤体採掘跡上部地域の千枚岩状黒色粘板岩は勿論下盤の輝緑岩中にも特に纏った湧水ヶ所は無く、滴水程度であったと言われるが、前述の通り採掘跡から滲出する水量は比較的多く、その大部分は導水用試錐孔によって通洞坑に集水されているが、一部は旧掘上りや、輝緑岩中の亀裂から通洞坑準に滴水している。

### iii) 下盤の輝緑岩

前述の通り既知鉤床付近では著しい局所的褶曲がみられ、褶曲に伴う局所的断層や亀裂が随所に存在する。上盤の千枚岩状黒色粘板岩は著しくもめており、細碎状を呈するが、滴水をみることは殆んどない。又下盤の輝緑岩中には亀裂が発達しているが全般的には滴水も少く湧水ヶ所は限られている。しかし後述するように輝緑岩中の亀裂は導水性がある。

S 10号付近には最大5cm程度の東西系亀裂及び巾4mの亀裂帯が上1番坑、通洞坑及び下2番坑の輝緑岩中の下盤立入に出現し、湧水を伴う。なおS 3～10号間には褶曲に伴い発生した東西系の断層が南傾斜で存在するが、若干粘土を挟み湧水はない。

下10番坑S 5号試錐室から東向に水平および-13～-18度に穿った4本の試錐孔から湧水しているが、試錐記録によると何れも輝緑岩中の逸水ヶ所からのもので、逸水ヶ所を結ぶと南北系の亀裂が考えられる。この付近の鉤体は下4番坑中段付近で消滅し、これより下部は輝緑岩が東に大きく張り出している地域にあたり、この亀裂の上下関係は不明である。

なお、千枚岩状の黒色粘板岩は掘さく時は黒色をしているが、坑外に堆積すると間もなく灰色に変わり粘土化しやすい。又輝緑岩は比較的硬いが、珪化度が少く、坑外に堆積すると風化されて崩壊しやすい。枕状構造を有する細粒輝緑岩はS 27号の50度盲斜坑付近に多いが、この地域には湧水はない。

### IV) 鉤床南部地帯

通洞坑S 80号の中の沢立坑周辺に出現する黒色粘板岩は非千枚岩状で既知鉤床の上盤の千枚岩状黒色粘板岩と異なり非崩落性であるが、亀裂が多く、若干滴水を伴う。中の沢立坑上3番坑は輝緑岩と粘板岩の互層を経て中の沢右岸に開口しているが、坑口付近は輝緑岩で、この坑道には若干滴水がある。

既知鉤床南部は登和里地域を含めて全般に輝緑岩と粘板岩の互層であるが、湧水は輝緑岩中の破碎帯や断層に多く、局部亀裂から湧水している個所もある。通洞坑S 84号には幅22.5mに亘る東西系の破碎帯があり、破碎帯全般に亘ってメタンガスを伴う湧水がある。現在はコンクリートライニングを施し、東側壁

の水抜孔から湧水しており、この直上の地表には中の沢が東から西に流れている。

#### 4.1.4 湧水機構に関する解析

表4.1-2の坑内湧水ヶ所の区分に従がい、以下湧水機構を解析する。

##### a. 第3紀火山岩被覆地帯

通洞坑口から600m間の湧水機構について調査した結果図4.1-4の通りであった。湧水源については通洞坑に沿って流れる石灰沢が坑口から463.5m地点と468.5m地点で通洞坑を横切って蛇行しており、かつこの地点の沢床に角礫凝灰岩が露出し、又、この沢の水は年間涸れることなく渇水期でも2m<sup>3</sup>/分の流水があるので、食塩による通洞坑への追跡試験を実施したが、追跡することはできなかった。たまたま雨後坑口に近い崖で表土と角礫凝灰岩との境界付近から地下水が湧出しているのを発見した。

従って、通洞坑の第3紀火山岩地帯の湧水源は涵養水であり、この涵養水が集塊岩の間隙や凝灰岩と安山岩の境目および凝灰岩中の小亀裂から滲透し、通洞坑内に湧水していると考えられる。

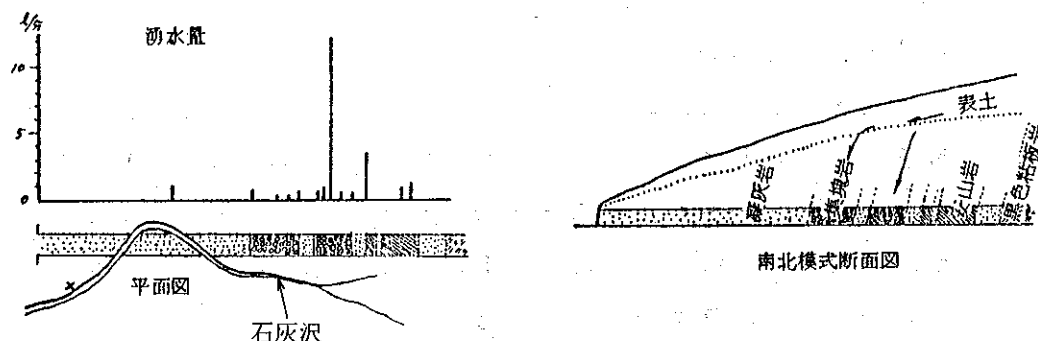


図4.1-4 下川鉾山通洞坑第3紀火山岩地帯の湧水機構

なお、石灰沢水と坑口より468.5m地点の湧水々質を比較すると表4.1-3の通りで、坑内湧水中は非金属類元素が僅かに高くなっているが、表土を通過した沢水と表土ならびに第3紀火山岩類を通過した坑水の差異と考えられる。

表4.1-3 下川鉾山石灰沢水と通洞坑N62号湧水々質の比較

採水箇所	水温 °C	導電率	pH	Cu	Pb	Zn	cd	As	Mn	Fe	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg	Na	K	Al	Cl <sup>-</sup>
石灰沢 中流	5.5	57.4	7.5	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.02	0.25	14	6.36	0.96	4.12	2.60	0.31	29.6
通洞坑 N62号	13.5	110.0	8.0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.002	0.02	0.25	12	7.94	1.93	8.14	2.84	0.08	39.4

導電率は $\mu\text{v}/\text{cm}$ 、各元素の濃度は $\text{mg}/\text{l}$



b. 北部鉾体採掘跡地帯

この地帯は前述の通り開山当初無充填採掘を行い、上盤はもとより鉾体の崩壊を屢々繰返し、地表の一部に陥没を生じ、全般的に地表近くにゆるみを生じた地帯である。上盤の千枚岩状黒色粘板岩は風化して粘土化しやすく、概して不透水性であるが、無充填採掘によりゆるみを生じ、透水しやすくなっていることが考えられる。このことは落合沢第1立坑の開口部の表土と基盤の境界付近から渗水のあることから明かである。従って湧水源は涵養水と考えられる。

なお落合沢は北部鉾体を横断しており、落合沢の直下は厚さ50mの鉾柱を残しているが、その周辺採掘時にも特に湧水はなく滴水程度であったことを考えると、落合沢々水が直接流入していることは考えられないが、滴水の一部が落合沢々水の滲透であることは否定できない。

c. 下盤輝緑岩中からの湧水

褶曲断層に伴って発生した輝緑岩中の亀裂帯は勿論、局所的小亀裂も水を通しやすいことは次の調査事例から明かである。

1) 下2番坑N2号付近の事例

昭37年下4番坑北部鉾体向立入開さく中、坑道の左肩部の幅数mmの小亀裂から可成りの湧水があったが、この湧水と同時に下2番坑N2号付近の側溝水が減少した。このためTN-24蛍光剤で追跡したところ、下2番坑の側溝水が下4番坑に亀裂を通して漏水していることが分った。次に鉾体捕捉後下盤立入を分岐させたところ、湧水ヶ所は図4.1-5のAより分岐下盤立入のB点に移り、Aの湧水は涸渇した。B地点はA地点よりも下2番坑の側溝C点の直下に近く、かつ亀裂の規模も大きく幅2cm、長さ30cmあったので、C~Bが優先通路となったと考えられる。なお水量を測定し比較したところ、下2番坑側溝C点における減水量よりも下4番坑のB点の湧水量の方が多かったことは、この亀裂は単純な一枚のものではなく、分岐した数条の亀裂と連絡し、下2番坑のC点以外の側溝からも導水していると考えられた。

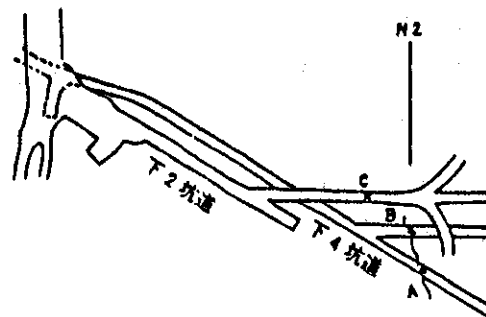


図 4.1 - 5 下川鉾山下2～下4番坑間の輝緑岩中の通水路

## ii) 下2番坑ポンプ座付近の事例

昭和37年下4番坑から0号集中坑井を掘上り開さく中、下2坑準下10m地点の輝緑岩の亀裂から湧水があり、作業が難渋し、已むなく切込み集水を行った。この湧水は将来とも集中坑井の障害となるので調査を行った。この付近の水源としては下2番坑の側溝と下2番坑ポンプ座のサンプル水が考えられたので、両者について追跡試験を行った結果、サンプル水が時速20mで集中坑井内に漏水していることが分った。(図4.1-6参照)

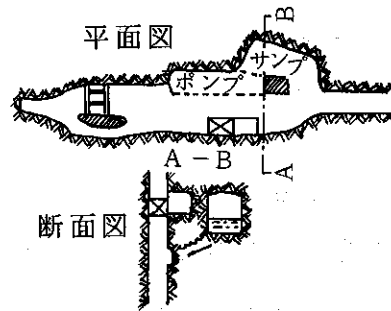


図4.1-6 下川鉦山下2番坑サンプル水の集中坑井内への漏水

## iii) S9号付近の事例

S9号付近の湧水経過を精述すると、昭和27年通洞坑下盤立入を機械化クルーで南進中、S9号地点の西側壁亀裂から多量の湧水があり、引続きS10号付近の亀裂帯で可成りの滴水があった。その後昭和32年下2番坑下盤立入開さく時S9号付近の輝緑岩の天盤から滴水が始まり、S10号付近まで続いたが、下1番坑展開のためS9号で下盤の輝緑岩中に掘上りを開さくしたところ、下2番坑準上10m付近で湧水亀裂に逢着し、以来常時0.1 m<sup>3</sup>/分程度の湧水が続いたが、この湧水亀裂逢着後通洞坑S9号亀裂の湧水は涸渇した。なお、昭和37年下1番坑展開中S9号付近の輝緑岩中の小亀裂からも湧水した。このようにS9号付近には可成り規模の大きい湧水亀裂が存在するので、下1番坑の採掘準備に際し調査を行った。湧水源は上述の経過から通洞坑準より上部にあることは明かであるが、通洞坑には中の沢方面の湧水を導水している側溝があり、この側溝水が亀裂に浸入している疑があったので側溝水の追跡試験を行ったが確認することはできなかった。従って主通水亀裂は更に西側にあり、通洞坑、下番坑および下2番坑に出現した湧水亀裂は、この主通水亀裂に連絡している可能性があった。S9号付近の地表は落合沢が大きくカーブし、中州がみられる。この付近の右岸(西側)は輝緑岩、左岸(東側)は黒色粘板岩で両者の境界は左岸寄りの中州の直下にあたり、各坑道の亀裂出現地点を結ぶ延長も、この中州にかかることになる。従って湧水源は中州下に覆流している落合沢河川水であることが疑われる。しかし前述の通り主通水亀裂が更に西側にあることが考

えられ、この場合の水源は右岸の涵養水である可能性が多い。S 10号付近の亀裂帯についても同様である。(図 4.1 - 7 参照)

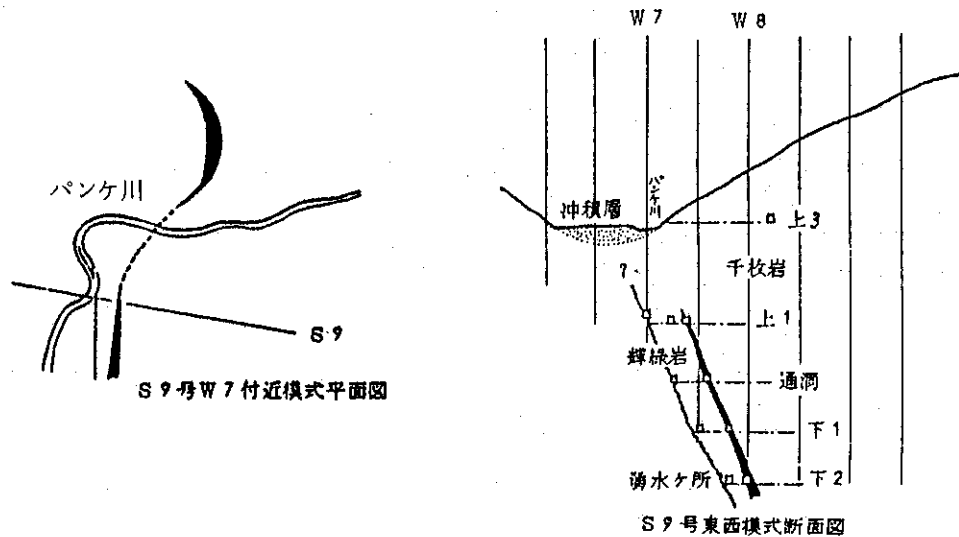


図 4.1 - 7 下川鉦山 S 9号関係の湧水経路

iv) 下10番坑 S 5号試錐室の事例

下10番坑 S 5号試錐室の4本の試錐孔中からの湧水については前述の通り何れも輝緑岩中の亀裂からの湧水であるが、4本の試錐孔の湧水亀裂逢着地点を結ぶと南北方向となり、前述の下2番坑準より上部の S 9 ~ S 10号に出現した湧水亀裂および亀裂帯とは位置ならびに走向とも異なっている。このため、この湧水系統は全く不明であり、落合沢の水質と比較すると表 4.1 - 4表に示す通り、表流水や涵養水が輝緑岩のみを通過した場合と異なり、重金属類及び Ca, Mg, Na の濃度が高いことから、北部鉦体採掘跡を経由した滲透水または充填水の漏水である疑がある。殊に最近では人工天盤による下向充填採掘法の採用によりセメントの使用量も増加しているので後者の疑が濃い。湧水亀裂に逢着した4点を結ぶ線を延長すると、採掘中の北部鉦体に到達することもこの疑を裏付けることになる。

表 4.1 - 4 下川鉦山の落合沢水と下10番坑試錐孔からの湧水々質の比較

採水個所	水温 °C	導電率	pH	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Mn	Fe	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg	Na	K	Al	Cl <sup>-</sup>
落合沢	5.5	49.8	7.5	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.02	0.25	0.0	3.18	2.90	4.12	0.86	0.13	39.4
下10番坑 試錐室	23.5	3920.0	7.8	0.51	0.00	0.67	0.000	0.000	0.21	13.35	271.6	318.00	188.00	336.00	3.34	0.70	1080.0

註 ①導電率は  $\mu\text{V}/\text{cm}$ , 各元素の濃度は  $\text{mg}/\ell$

②落合沢々水は落合沢第1立坑上流 100 m 地点で採水

d. 鉾床南部地帯

この地帯の湧水ヶ所はS84号の幅広破碎帯を除くと、いずれも輝緑岩中の局部断層や小亀裂からの湧水であるが、前述の下盤輝緑岩中の湧水に比べると水温が低く、かつメタンガスを伴う特徴がある。メタンガスの生成機構は不明であるが、黒色粘板岩中の炭素が原因していることが考えられる。S84号付近は一つの坑道しか開さくされていないので、破碎帯の上下左右の拡がりは不明であるが、坑道に現われた状態では東西系の破碎帯で、規模は可成り大きいように思われる。黒色粘板岩の堆積後の造山運動により黒色粘板岩中の炭素がメタンガスに変じ、造山運動に伴って発生した破碎帯の間隙に貯えられたものであれば有限である筈であるが、約20年間に亘ってメタンガスが湧出し続けていることは破碎帯の規模の大きいことを想像させる。この直上の地表には中の沢が東西に流れているので、S84号の破碎帯が中の沢形成の一因となっている場合は、中の沢々水が直接浸入している可能性がある。但し昭和29年9月の洞爺丸台風以来、中の沢は倒木や砂礫が堆積し、河床基盤の状況を調べることができず、又追跡試験も実施していないので確証はない。

なお、中の沢々水と通洞坑S84号の湧水々質を比較すると表4.1-5の通りである。

表4.1-5 下川鉾山の中の沢々水と通洞坑S84号湧水々質の比較

採水地点	水温 ℃	導電率	pH	Cu	Pb	Zn	Cd	As	Mn	Fe	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca	Mg	Na	K	Al	Cl <sup>-</sup>
中の沢 (二俣)	5.5	59.3	7.4	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.31	2.8	3.18	3.86	3.82	1.28	1.01	34.5
通洞坑 S84号	11.0	828.0	7.5	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.07	1.27	8.0	73.10	23.20	77.60	1.50	0.14	163.0

導電率は $\mu\text{V}/\text{cm}$ 、各元素の濃度は $\text{mg}/\text{l}$

昭和53年10月29日の調査時、コンクリートライニングの東側壁の水抜孔からの湧水は間歇泉的状态を呈していた。現在立入禁止地域のため何時頃から間歇泉のようになったかは不明であるが、ガス圧と水圧の間に或る均衡を保っているようである。

S90号以南の湧水は登和里地域を含めて全て局所的断層からの湧水であり、その水源は涵養水と考えられる。

昭和37年当時坑内湧水ヶ所を地形図に記入した結果、その約70%は沢や湿地帯の下部に位置していた。既知鉾床の西側を南西に流れる落合沢沿に落合沢第1立坑から二俣まで概査すると、落合沢の右岸は比較的急傾斜で急流の小沢も多いが、左岸は比較的ゆるやかで山腹には湿地状態のところも見受けられる。昭和44年、金属鉾業事業団が広域調査のため既知鉾床の南部～登和里間で地表から垂直に行

った構造試錐柱状図によると、この地帯には玉石を混入した厚さ25～30mの砂礫層下に粘土化した厚さ20～30mの粘板岩又は岩芯とならない崩壊性粘板岩層のある地域と粘土分の多い厚さ5～40mの砂質表層下に岩芯とならない厚さ約70mの砂質粘板岩層のある地域が存在し、後者の表層に設けた作業用道路は泥濘化しやすかった。従って、この地帯には表層下又は表層自体に水を透過しがたい地層が存在するので、河床に透水性の輝緑岩が直接露出していない限り、表流水が直接浸入している可能性は少ないと考えられる。

以上要するに下川鉾山の輝緑岩中の亀裂は一般に水を通しやすいにも拘らず、操業規模の割りに坑内湧水量の少ない原因は、鉾床地帯の地表又は地表下に不透水及至半不透水層が存在し、雨水又は涵養水の地下浸透をふさいでいるためである。

#### 4.1.5 調査結果

地下空洞における湧水状況、湧水量及び湧水機構等を解明するための予備調査として、昭和52年度に休廃止中の10鉾山を対象として湧水関係の諸資料を収集・整理し、本年実施した調査・研究、即ち

- 表流水の挙動調査
- 電探による断層水の解析資料の作成
- 地下湧水モデルの研究

を実施する場所として適した鉾山を選定することができたが、休廃止鉾山から得られる記録や情報では充分でないため、今年度は稼動鉾山を対象として調査した。

調査の結果は、4.1.4項の“湧水機構に関する解析”で詳述したが、稼動鉾山を調査の対象としたため、

- 地下深部における湧水状況の観察、湧水量の測定、地質構造と関連した湧水機構の考察等を原位置で行うことができた。
- 現在稼動しているため資料類が豊富にあり、かつ整理されており、必要な場合は得られた資料と現地を直接チェックすることができた。

等の極めて特徴ある調査ができ、地下湧水に関する精度の高いデータを得ることができた。これらのデータは、調査・研究を実施中の“地下湧水モデルの研究”や将来問題となるであろう“処分施設の建設”、“放射性核種の拡散”等の研究に役立つものと判断される。

又、本項は鉾山としては最も地下湧水の少ない鉾山の1つと言われている下川鉾山を対象としたが、全湧水量は約42ℓ/分あり、地下湧水に関するデータが無い場合比較しにくいだが、鉾床が賦存する地域は地質構造が一般に複雑で鉾床のない地域と比較して地下湧水が多いと考えられ、地下湧水の面からも鉾床が存在する地域は地層処分の適地から除外した方が良いと思われる。

## 4.2 地下水の挙動調査

### 4.2.1 表流水の挙動調査

#### (1) 目的

表流水浸入経路の調査方法を現場試験により検討する。具体的には生野鉱山、金香瀬地区において、各種のトレーサーを注入し坑内水を分析することにより有効なトレーサーを選定し、浸入経路を考察する。

#### (2) 調査方針

表流水の追跡試験は一つにも二にも根気が必要である。岩盤中の亀裂を流れる水の流速は毎時数mmから数mまで幅が広く千差万別であるから通常トレーサーが流出してくる時間を予測することは困難であり、いつ出て来るか分からない不安な気持ちで待ちつづけなければならない。このため途中で断念することが多く、しかもトレーサーが検出されなれなかったことが直ちに表流水の浸入を否定することはなり得ないから厄介である。追跡試験の終結を判断することは困難であり、又長時間に亘って連続監視することは多大の労力を要し、途中で見逃すことが多いからである。このような事情のためトレーサーが検出された場合も表流水が浸入している事実の証明のみにとどまり、湧水源が表流水のみなのか、又浸入口は何処にあるなど核心にふれる試験に至らないのが従来の追跡試験であった。根気のいる追跡試験を数次に亘って繰返すことは到底時間的、労力的、従って経済的に堪えられないからであった。

このような追跡試験の欠点を改良するため、今回は次の諸点に重点を置き新しい追跡試験法の開発を試みることにした。

- ① 多元素を用い追跡試験回数を節減すること。
- ② トレーサーの検出状況から、表流水の浸入状態を推定すること。
- ③ 現地でトレーサーの検出が可能であり、又検出に個人差がなく、微量の濃度変化も読みとることができるイオン電極を使用すること。併せて観測の自動無人化の可能性をさぐる。

#### (3) トレーサーの選定

トレーサーは次の条件から選定することにした。

- ① 表流水及び地下水中に通常微量であるもの。
- ② 自然環境特に人の健康上有害でないもの。
- ③ 市販のイオン電極で微量の検出が可能なもの。
- ④ 溶解度の高いもの。
- ⑤ 土壌及び岩盤に吸着され難いもの。

⑥ 価格が廉価なもの。

降雨中の微量諸元素は大気中のミストや塵の影響を受けるため、工場地帯、都市および深山では可成り異なり、又表流水は地質即ち土壌や岩石の種類及び植生ならびに人工的要素即ち肥料・農薬・廃棄物及至廃水の影響を受け、河川によって異なる。従って、トレーサーは厳密には追跡試験を実施する地域の表流水ならびに湧水の水質から選定することが望ましいが、日本列島内の降雨及び表流水中の平均的な濃度と思われるものを微量順に集収すると表4.2-1の通りである。

表4.2-1 日本列島における降水及び河川水中の微量元素濃度 (ppm)

	降 雨 中	河 川 中	環境・排水基準の対象となるもの	鉱床地帯に多いもの
Mo	0.00006	0.0006		○
V	0.0014	0.001		
Cu	0.00033	0.0014	○	○
As	0.0016	0.0017	○	○
I	0.0018	0.0022		
Zn	0.042	0.005	○	○
Sr	0.011	0.057		
P	0.014	0.072 *		
F	0.089	0.150	○	○
NH <sub>4</sub>	?	0.270 *		
Al	0.110	0.360		○
Fe	0.230	0.480	○	○
K	0.260	1.000		
Mg	0.360	2.400		○
SO <sub>4</sub>	1.500	3.500		○
Na	1.100	5.100		
Cl	1.100	5.200		
Ca	0.970	6.300		○
Si	0.830	8.100		○

(注) \* のPはPO<sub>4</sub>濃度より、又NH<sub>4</sub>のN値より算出

表4.2-1中環境・排水基準の対象になっているもの及び鉱床地帯の湧水中で通常比較的濃度の高いものを除くと、V, I, Sr, P, NH<sub>4</sub>, K, Na, Cl となる。一方現在市販されているイオン電極はCl, Br, I, Na, S, Cu, Pb, Cd, CN, NH<sub>4</sub> である。従ってトレーサーの候補としてはCl, I, NH<sub>4</sub> があげられる。なおBrについては一般に海水に多く陸水については資料乏しく、第1表には掲載していないが、イオン電極が市販されているので、トレーサーの候補とした。

次にこれらの諸元素を含む溶解度の高いものとしては沃化カリ（KI），臭化カリ（KBr），食塩（NaCl），磷酸アンモン（ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ）で，これらの溶解度は表 4.2-2 の通りである。

表 4.2-2 トレーサー候補の薬剤の溶解度と価格

		KI	KBr	NaCl	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
溶解度 (g/水 100g)		127.0	54.0	35.6	42.7
検出元素 1 g に相当する重量 (g)		1,308	1,489	1,502	3,661
価	薬剤 (円/kg)	3,000	800	270	600
	飽和溶解液 (円/l)	3,810	432	96	256
格	検出元素 10,000 ppm の濃度溶解液 (円/l)	39	12	4	22

薬剤の価格面では NaCl, KBr,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , KI の順となる。

しかし，イオン電極のカタログによると  $\text{I}^-$  と  $\text{Br}^-$  が共存する場合， $\text{I}^-$  は  $\text{Br}^-$  の影響を受けないが， $\text{Br}^-$  は  $\text{I}^-$  の影響を受けて検出濃度が見掛上高く出るとされており，又アンモニヤは土壤に吸着されやすい。これらの欠点を確めるため KI と KBr については内径 50 mm 長さ 2 m の塩ビパイプによるカラム試験を行い，カラムの充填材として 1~2 mm の粒径に篩分けた碎石と，2 mm 網下の山土に砂を 25% 混和した土壤を用いた。又土壤粒子は通常各種のイオンを吸着しやすいので土壤については更にピーカーによるバッチ試験を追加し， $\text{I}^-$  と  $\text{Br}^-$  が共存する場合の検出障害については人工液によりチェックすることとした。なお NaCl についてはトレーサーとして使用実績があるので室内実験は省略した。

次に検出に使用した電極類は次の通りである。

電位計測器……………コーニング PHメーター 119 型 (デジタルタイプ)

I 検出用電極……………コーニング A003I 及びコーニング安定比較電極 C-109

Br 検出用電極 ……コーニング A002 Br 及びコーニング安定比較電極 C-109

$\text{NH}_4$  検出用電極……………堀場 500205 T

#### a カラム透水試験

カラムに充填した前述の碎石及び土壤の量は，カラム実容量 3.9 l に対し碎石 3 l，土壤 1.3 l とし，カラムは水平面に対し 30 度の角度に固定し，定量ポンプで水道水をカラムの上端から注水しながら  $\text{I}^-$ ，及び  $\text{Br}^-$  夫々 100 ppm の溶液 100<sup>cc</sup> を一度に添加し，カラム下端から流出する浸透水を 10~30 分間隔で採水し，浸透水中の  $\text{I}^-$  及び  $\text{Br}^-$  をイオン電極で検出し，検量線から夫々の濃度を求めた。なお土壤の充填量を碎石の約  $1/3$  にしたのは浸透性が著しく悪かったためである。



試験結果は表 4.2 - 3 ~ 4 及び図 4.2 - 1 に示す通りで、碎石及び土壌とも  $\text{Br}^-$  の試験に使用したものを充分洗滌した後、 $\text{I}^-$  試験に使用した結果、カラム内の充填材の密度組成が変わり、浸透水中の  $\text{Br}^-$  及び  $\text{I}^-$  の経時濃度変化を比較するには不適な試験となった。しかし浸透速度と浸透水中の濃度との関係で参考となる点が多いので、試験結果はそのまま記録することとなった。

吸着性を示す  $\text{Br}^-$  及び  $\text{I}^-$  の回収率については、碎石については添加量 10 mg (100 ppm の溶液 100<sup>cc</sup>) に対し  $\text{Br}^-$  9.65 g,  $\text{I}^-$  5.76 g で回収率は  $\text{Br}^-$  96.5%,  $\text{I}^-$  57.6%、一方土壌については  $\text{Br}^-$  8.08 g,  $\text{I}^-$  8.76 g で  $\text{Br}^-$  80.8%,  $\text{I}^-$  87.6% となった。 $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  とも土壌中に若干吸着される傾向がみられるが、碎石中で  $\text{I}^-$  が著しく吸着される結果となった原因は水道中の  $\text{I}^-$  濃度 0.06 ppm に対し浸透水濃度 0.27 ppm で打切ったためと考えられる。

浸透速度と浸透水の濃度については、当然のことであるが、浸透速度が早い程、薬剤は短時間で浸出し、その濃度ピークが高くなり、浸出速度が遅くなると浸出濃度は低いが、浸出している時間が長くなる。このことは現地トレーサー試験の具体的計画、即ち薬剤投入濃度と投入継続時間及び採水間隔の設定上重要な点である。図 4.2 - 1 は薬剤投入後の経過時間と浸出液中の濃度との関係を表示したので、土壌カラム試験に於て  $\text{Br}^-$  に比し  $\text{I}^-$  が多量に浸出したような印象をうけるが、これは  $\text{Br}^-$  試験に比べ  $\text{I}^-$  試験の浸出量が極めて微量であったためである。なお、土壌カラム  $\text{I}^-$  試験において 1700 分付近で  $\text{I}^-$  の濃度が急激に低下しているのは表 4.2 - 3 に示す通り通水速度が 1.4<sup>cc</sup>/分から 2.3<sup>cc</sup>/分に上昇したためであり、浸透速度が浸出水の濃度に敏感に影響することを示している。但し土壌カラム試験においては浸透性が極めて悪いため充填量を減し 1.3<sup>l</sup> としたので、カラムの上部には約 2.5<sup>l</sup> の滞水容量があり、一時に添加された薬剤は滞溜水で漸次稀釈されながら浸透しているので、現地試験においてかかる濃度推移を示すとは限らない。即ち現地においては表流水圧等に変化のない限り浸透速度は略々一定であるから、通常濃度推移は抛物線を描き、また表流水中に投入した薬剤の大部分は表流失するので、浸透水中の濃度は遥かに低いものとなる。

表 4.2-3 土壤カラム浸透水中の Br<sup>-</sup> 及び I<sup>-</sup> の挙動

薬剤添加後の経過時間 (分)	Br				I			
	通水速度 (cc/分)	浸透水量 (cc)	電位差 (mv)	濃度 ppm(mg)	通水速度 (cc/分)	浸透水量 (cc)	電位差 (mv)	濃度 ppm(mg)
60					1.4	85	-115	0.1以下(-)
120	15	1,800	± 0	2.5 (3.60)	1.4	85	-118	0.1以下(-)
150	13	390	- 5	3.0 (0.98)				
170	10	200	- 4	2.9 (0.48)				
190	10	205	- 3	2.8 (0.47)	1.4	95	-115	0.1以下(-)
210	9.8	195	- 1	2.6 (0.41)				
230	9.3	185	+ 1	2.4 (0.35)				
250	8.5	170	+ 4	2.1 (0.27)	1.4	82	-114	0.1以下(-)
280	8.5	255	+ 6	2.0 (0.38)				
310	8	240	+ 8	1.8 (0.31)	1.3	77	-114	0.1以下(-)
340	7	210	+ 9	1.7 (0.25)				
370	6.2	530	+ 12	1.6 (0.58)	1.3	75	-126	0.11 (0.006)
430					1.9	110	-175	0.82 (0.08)
1405					1.2	1,150	-210	3.30 (3.73)
1630					1.4	495	-211	3.50 (1.70)
1810					2.3	410	-195	1.85 (0.73)
3290					1.3	1,910	-183	1.10 (1.986)
4480					2.0	2,360	-147	0.26 (0.47)
4660					7.8	1,400	-125	0.11 (0.06)
5710					2.1	2,240	-115	0.11以下(-)
計		4,380		(8.08)		10,574		(8.76)
水道水			+ 44	0.50以下			-110	0.06

- (注) 1. KBr の添加試験後カラム内の土壤を洗滌した後 KI の添加試験を行った。このためカラム内の土壤は次第に圧密され浸透しなくなり、KI の試験では I<sup>-</sup> の濃度が KI の添加前に復旧するまでに 4 日間を要した。
2. 表中濃度欄の (mg) は検出濃度から水道水中の濃度を差引いたものに浸透水量を乗じたもの。

表 4.2 - 4 碎石カラム浸透水中の Br<sup>-</sup> 及び I<sup>-</sup> の挙動

薬剤添加後の経過時間 (分)	Br				I			
	通水速度 (cc/分)	浸透水量 (cc)	電位差 (mv)	濃度 ppm(mg)	通水速度 (cc/分)	浸透水量 (cc)	電位差 (mv)	濃度 ppm(mg)
10	40	400	+ 10	1.7 (0.48)	64	640	- 216	4.30 (2.71)
20	40.5	405	- 27	7.0 (2.63)	53.5	535	- 196	1.90 (0.98)
30	42	420	- 28	6.8 (2.65)	29.	295	- 181	1.05 (0.29)
40	41	410	- 10	3.6 (1.27)	50	500	- 168	0.60 (0.27)
50	41	410	+ 3	2.2 (0.70)	39.5	395	- 165	0.54 (0.19)
60	39	390	+ 8	1.8 (0.51)	41.5	415	- 164	0.52 (0.19)
70	41	410	+ 11	1.6 (0.45)	40	400	- 160	0.44 (0.15)
80	41	410	+ 13	1.5 (0.45)				
90	42	420	+ 12	1.6 (0.46)	39	780	- 154	0.35 (0.23)
100	40	400	+ 12	1.1 (0.24)				
110					40	800	- 150	0.30 (0.19)
120	42	840	+ 31	0.74(0.20)				
130				0	41.5	830	- 148	0.27 (0.17)
140	30.5	610	+ 36	0.6 (0.06)				
150					40	800	- 148	0.27 (0.17)
160	37.5	750	+ 38	0.50( - )				
180	40.3	805	+ 42	0.50( - )	35	1050	- 148	0.27 (0.22)
計		7080		(9.65)				(5.76)
水道水			+ 44	0.50 以下			- 110	0.06

- (注) 1. KBrの添加試験後カラム内の碎石を洗滌した後, KIの添加試験を実施した。  
 2. 表中濃度欄の (mg) は検出濃度から水道水中の濃度を差引いたものに浸透水量を乗じたもの。

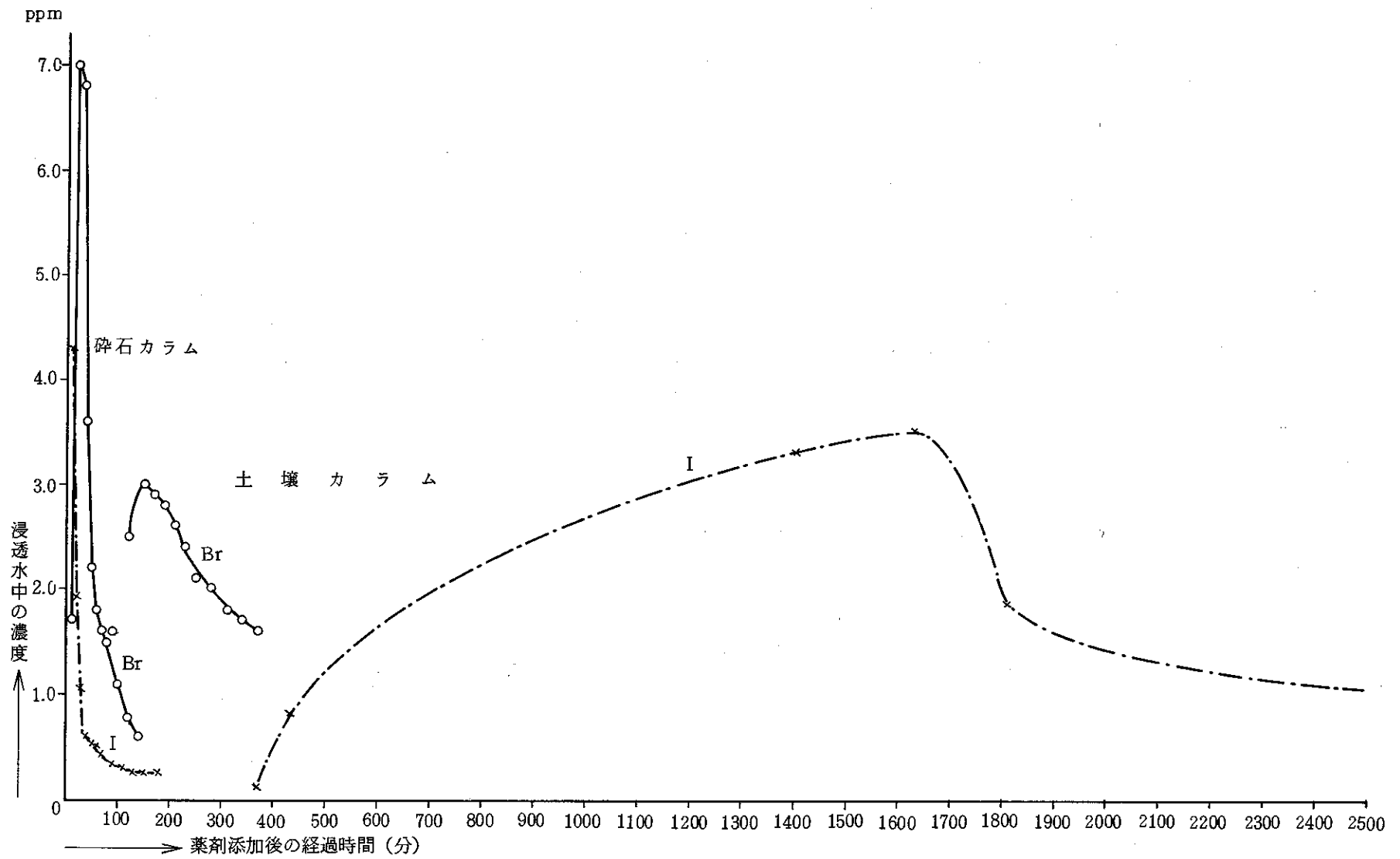


図 4.2-1 碎石及び土壌浸透水中の  $\text{Br}^- \cdot \text{I}^-$  イオン濃度の経時変化

b 土壤吸着試験

100<sup>CC</sup>のビーカーに粘土質土壤、山土黒土(A)、砂(B)、混合土(A 75% , B 25%)を夫々10gずつ秤取し、これにBr<sup>-</sup>、I<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>-</sup>の濃度1ppm及び10ppmの溶液100<sup>CC</sup>を別々に加え、静置し、24時間後及び47時間後に攪拌し、48時間後に上澄液のみを採りイオン電極法で電位差を測定し、検量線から濃度を求めた。

試験結果は表4.2-5に示す通り、NH<sub>4</sub><sup>-</sup>の吸着著しく、I<sup>-</sup>も若干吸着されるが、特に粘土質土壤には吸着されやすい。又Br<sup>-</sup>は吸着され難いが、10ppm溶液の場合山土黒土と砂で逆に土壤中から溶出する結果になった。

表 4.2 - 5 土壤吸着試験結果

イオン濃度 1 ppm 溶液の場合

	I <sup>-</sup>			Br <sup>-</sup>			NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %
粘土質土壤	-141	0.39	55.2	+18	0.90	5.3	-109	0.66	54.5
山土黒土(A)	-157	0.75	13.8	+15	0.95	0.0	-100	0.44	69.7
混合土	-160	0.84	3.4	+16	0.95	0.0	-101	0.45	69.0
砂 (B)	-160	0.84	3.4	+16	0.95	0.0	-101	0.45	69.0
原液	-161	0.87		+16	0.95	0.0	-127	1.45	

イオン濃度 10 ppm 溶液の場合

	I <sup>-</sup>			Br <sup>-</sup>			NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>		
	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %	電位差 mv	濃度 ppm	吸着率 %
粘土質土壤	-214	7.4	22.1	-36	8.0	11.1	-164	7.5	34.8
山土黒土(A)	-219	9.2	3.2	-39	9.2	-2.2	-162	7.0	39.1
混合土	-219	9.2	3.2	-36	8.0	11.1	-161	6.5	43.5
砂 (B)	-220	9.5	0.0	-40	9.6	-6.7	-163	7.2	37.4
原液	-220	9.5		-38	9.0		-174	11.5	

以上はバッチ試験結果であるが、原液の濃度によって吸着率が異なることが分る。原液が透過する場合の吸着率は濃度のほかに流速によって異なるので、単純に算出することはできない。

c イオン相互間の干渉試験

既和濃度のBr<sup>-</sup>、I<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>-</sup>イオンが単独に存在する場の標準液についてイオン電極法によって電位差を測定し、既和濃度と測定電位差から検量線を

作成し、他のイオンが共存した場合電位差がどのように変化するかを調べた。

試験結果は第2図に示す通り、 $I^-$ イオン電極による $I^-$ の測定値は $Br^-$ 、 $Cl^-$ 、 $NH_4^+$ イオンが共存しても殆んど変化ないが、 $Br^-$ の測定値は $I^-$ イオンが共存すると高くなり、且つ $I^-$ イオン濃度が高い程測定値は高くなる。又 $NH_4^+$ イオン電極による $NH_4^+$ の測定値は $Br^-$ 及び $I^-$ イオンが共存すると測定値は若干高くなるが $Br^-$ イオン電極程ではない。

なお、カタログによると検量線は都度作成することになっているが、図4.2-2の右下に示す通り、日によって可成り変ることが分る。これらのイオン電極には温度補償がないことが原因と思われる。又0.5 ppm以下の低濃度になると電位差表示値が不安定になることも欠点である。

以上の室内実験結果KI又はKBrとNaCl及び $(NH_4)_2HPO_4$ は併用しうるが $I^-$ 、 $NH_4^+$ 特に $NH_4^+$ は土壌粒子に吸着されやすいのでKI及び $(NH_4)_2HPO_4$ は多量投入する必要がある、又 $Br^-$ は土壌粒子には吸着され難いが $I^-$ イオンが共存すると $Br^-$ の濃度が高く表示されるのでKIとKBrの併用は特殊の場合を除き不適當であることが分った。

#### (4) 実地試験地域の概況と予備調査結果

##### a 実地試験地域の坑内外の概況

坑口水では種々の坑水が混和し、トレーサーが著しく稀釈されて、検出が困難となるので、入坑可能な生野鉾山金香瀬北部地域を選定した。

この地域の地表は図4.2-3に示す通り、西流する光栄谷が北流する登尾谷と合流して大谷川となる地域にあたるが、両谷とも安山岩が露出し狭谷を形成しており、合流点付近には北東走向の粘土断層がある。又銅、鉛、亜鉛の露頭が多く天正年間(1575～1591)開坑された手堀旧坑が多く、慶寿鑛、小日向鑛、大丸鑛、大亀鑛及び金盛鑛の露頭は掘割状に採掘されている。なお谷沿の道路は小野部落の林道である。

本坑々内は本坑口から光栄立坑を経由する光栄道中と五井立坑に向う五井道中があり、粘土断層沿の粘土道中が両者を連絡している。主要鉾脈は粘土断層以北の慶寿鑛、小日向鑛及び大丸鑛と粘土断層以南の大亀鑛及び金盛鑛で、これらの各鑛は採掘済である。この地域の本坑～地表間には水準の浮動した手堀旧坑ならびに採掘跡が存在する。粘土断層の北側は共に安山岩で、岩質には変りはないが、粘土断層以北の小日向・大丸両鑛の採掘跡には殆んど滴水も見られないが、粘土断層以南の大亀・金盛両鑛の採掘跡には滴水が著しく、特に図4.2-3中央のY付近の六又路の坑道天盤からの滴水が多い。これらの滴水は操業中はY→Z→X→本坑口に流水していたが、休山後Z地点で粘土断層の粘土が抜け落ちて坑道を閉塞したため、Z地点以東の滴水はY付近で水溜りとな

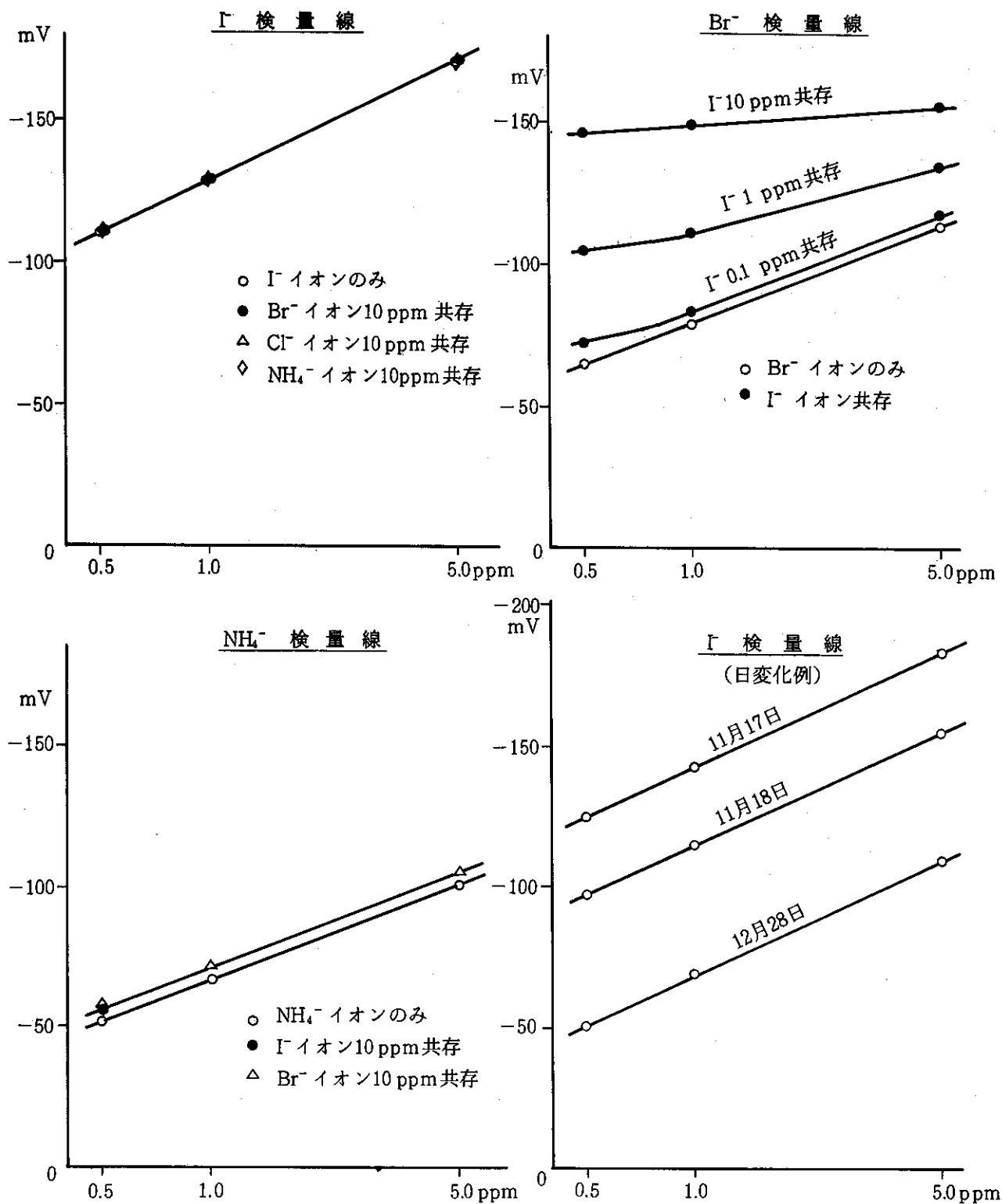


図 4.2 - 2 溶存イオン相互間の干渉

り、その溢流は大亀鍾の採掘跡から下部に落水し光栄立坑から他の下部坑水と共にポンプで本坑準まで揚水させている。

本坑準の坑道は明治初めに、仏人コワニーによって開さくされたものであるが、往時より湧水が多量であったものの如く、防水対策として光栄谷には三面張水路が設けられ、度々補修が繰返されており、昭和46年8月には三面張水路からの漏水防止のため、水路下底及び周辺にグラウト工事を行っている。実地試験に先立って光栄谷を調査した結果、三面張水路の上流端（図4.2-3のB地点の上流側）には簡易砂防堤があり、沢水はA地点で覆流し、B地点で三面張水路に乗っているが、その水量は半減している。なお三面張水路の底面はB地点と登尾谷と合流するC地点で局部的に破損している。調査時は沢水は比較的少く、光栄谷は13.3ℓ/分（水温8℃）登尾谷8.4ℓ/分（水温8℃）であった。又本坑準粘土道中には纏った湧水箇所は見当らなかったが前述の通り全般に滴水多く、X地点の側溝水量は0.88ℓ/分（水温14℃）Y地点を經由し大亀鍾採掘跡に落水している水量は約7ℓ/分（水温14℃）であった。

なお、三面張水路底と本坑準粘土道中の天盤間の垂直距離は約35mである。次に粘土断層以北に滴水少く、以南に滴水の多いことは、この地域の安山岩は不透水性であるが粘土断層以南の採掘跡が以北に比べ数が多く、かつ接近しているため採掘に伴い岩盤に亀裂を生じたためと思われる。

#### b 予備調査結果

今回の実地試験は表流水の浸入経路を調査するほかに数種類の薬剤を併用し、かつ微量を検出する新しい追跡試験法の開発を目的としていたので、有効な採水地点を選定する必要があった。即ち粘土道中がZ地点で遮断されているため、使用実績のあるNaClをトレーサーとして予備調査を実施した。なおCl<sup>-</sup>の検出には従来行っているJIS K 0102によるCl<sup>-</sup>分析法（硝酸第2水銀滴定法）によった。

食塩200℃を1ℓの水に溶解し、光栄谷のA地点に投入した結果、X地点では2時間後、Y地点では4時間後に検出されたが、Y地点の濃度は低かった。

Y地点は水量は多いが溜水により希釈されるため濃度が低く検出される時間も遅れるためと考えられたので、X地点を採水地点に選定した。

#### (5) 実地試験結果

沢水が比較的少なかったことより、微量検出を試みるため、I<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub>及びBr<sup>-</sup>の濃度10,000ppmの溶液を夫々1ℓつくり、KI溶液はA地点、(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液はB地点、NaCl溶液はD地点、KBr溶液はC地点に同時に投入し、投入後1時間毎に8時間、X地点の側溝水を1ℓずつ採水し翌日分析を行った。投入地点と薬種の選定は室内実験結果を考慮し、Br<sup>-</sup>がI<sup>-</sup>と共存する場合は高



くなるためKBr溶液は共存イオンの影響を判定しやすいC地点に投入することとした。なおNaCl溶液は予備調査で光栄谷に使用済みのためD地点に投入し、又(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液はNH<sub>4</sub><sup>-</sup>が土壌粒子に吸着されやすいため三面水路底の破損したB地点に投入した。

分析結果Cl<sup>-</sup>については分析誤差と思われる程度の差異しがなく、沢水中のCl<sup>-</sup>濃度と略々同一であった。I<sup>-</sup>とNH<sub>4</sub><sup>-</sup>については電位差(mV)はNaCl<sup>-</sup>による予備調査結果を裏付ける変動を示したが、検量線から濃度を求めようとしてもI<sup>-</sup>は0.01 ppm以下NH<sub>4</sub><sup>-</sup>は0.5 ppm以下で濃度表示には不適であった。又Br<sup>-</sup>は0.25 ppm以下でI<sup>-</sup>と同様の変動を示し、この変動はI<sup>-</sup>イオンの影響と考えられた。しかし検出濃度が低きに失したので、投入溶液の濃度をI<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>-</sup>及びBr<sup>-</sup>とも100,000 ppmに引上げて、48時間後に前回と同様の手順で試験を繰返し、翌日一斉に分析した。その結果は表4.2-6に示す。

表 4.2 - 6 実地試験結果の検出濃度変化

分析法 検出イオン		イオン電極法						JIS K0102	
		I <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>-</sup>		Br <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
		電位差 (mv)	濃度 (ppm)	電位差 (mv)	濃度 (ppm)	電位差 (mv)	濃度 (ppm)	滴下Hg (NO <sub>3</sub> ) cc	濃度 (ppm)
検量線		- 100	0.5	- 71	0.5	+ 111	0.5		
		- 119	1.0	- 91	1.0	+ 93	1.0		
		- 158	5.0	- 130	5.0	+ 55	5.0		
		- 176	10.00	- 150	10.0	+ 37	10.0		
沢水	光栄谷	+ 35	0.002	- 76	0.60	+ 139	0.155	0.50	5.0
	登尾谷	+ 37	0.002	- 91	1.05	+ 136	0.175	0.65	6.0
坑内X地点の側溝水	1時間後	+ 9	0.007	- 128	4.5	+ 132	0.20	0.55	5.0
	2時間後	- 56	0.088	- 122	3.4	+ 128	0.24	0.40	4.5
	3時間後	- 58	0.092	- 115	2.7	+ 127	0.25	0.55	5.5
	4時間後	- 56	0.088	- 104	1.8	+ 131	0.23	0.50	5.0
	5時間後	- 42	0.050	- 95	1.2	+ 131	0.23	0.40	4.5
	6時間後	- 19	0.020	- 65	0.4	+ 131	0.23	0.50	5.0
	7時間後	+ 9	0.007	- 52	0.24	+ 131	0.23	0.50	5.0
	8時間後	+ 9	0.007	- 52	0.24	+ 132	0.20	0.50	5.0

(6) 実地試験結果の解析

イ) 分析値について

表 4.2 - 6 に掲載の濃度変化を図示すると図 4.2 - 3 の通りである。

イオン電極については使い馴れておらず、電極法のみによる測定には不安があったので、トレーサーとして使用実績のあるNaClのCl<sup>-</sup>分析は従来の通りJIS K 0102による滴定法によった。この分析法によると試薬滴下量の判読は0.05<sup>CC</sup>が限度であり、イオン電極による測定値に比べると疎とならざるを得なかった。Cl<sup>-</sup>の濃度は図4.2-3の通り浮動しているが、その変化は沢水中の濃度範囲にあるので測定誤差と考えられる。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>について1時間後に最高となり、その後急激に減少しているが、30分後の採水を省略しているので、ピーク濃度については不確実である。なお6時

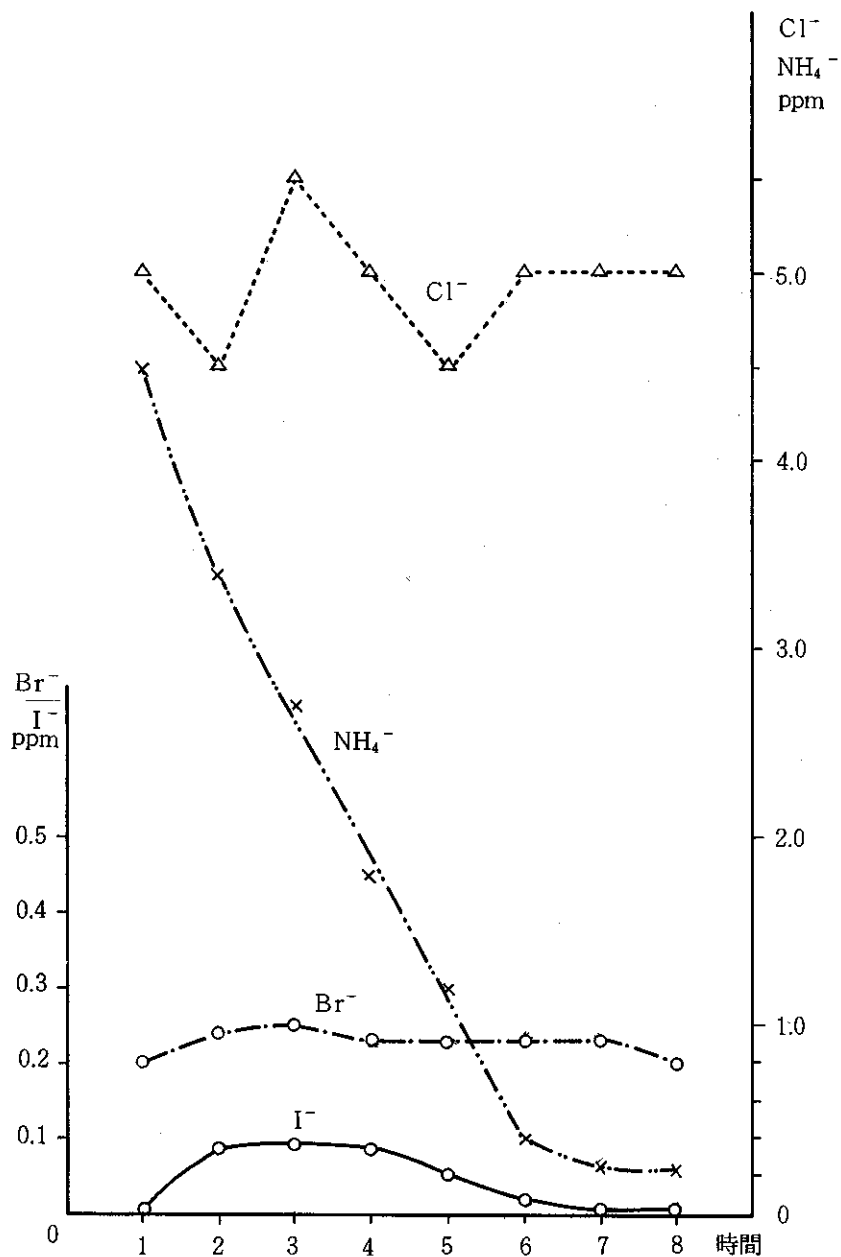


図4.2-3 坑内X地点側溝水中の濃度変化

間以降は沢水中の濃度より低下しているが、 $\text{NH}_4^-$ イオン電極は低濃度 $\text{NH}_4^-$ に対しては電位差の表示値が極めて不安定となったので、絶対値については疑問がある。

$\text{Br}^-$ については3時間後少々ピーク状態を示しているが、全搬に濃度が低く、又濃度変化の中も小さく、かつ $\text{I}^-$ の濃度変化に略々類似しているので、トレーサーによるものでなく、 $\text{I}^-$ イオン共存による影響と考えられる。但し前述の通り $\text{Cl}^-$ の濃度変化は分析誤差と考えられるが、3時間後に最高濃度を示す恰好となり、 $\text{Br}^-$ のピークと符合しているので一応マークして置く必要がある。

$\text{I}^-$ については $\text{NaCl}$ による予備調査結果を裏付ける濃度変化を示しているが、全搬に低濃度であり変動幅も小さい。流水に薬液を添加すると薬液のまじった先端と後端の距離が次第に伸び、稀釈されながら流下する。従って $\text{I}^-$ が低濃度となった原因としてはA～B間覆流中の吸着と稀釈により、浸入口に到着した濃度が既に低下していたこと及び浸入後、粘土粒子に吸着されたことが考えられる。

以上の通り分析値には実地試験を繰返し、チェックする必要のあるものもあるが、トレーサーの $\text{NaCl}$ と $\text{KBr}$ が浸入した疑は少く、他方 $(\text{NH}_4)_2\text{NH}_4$ と $\text{KI}$ 特に $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ が浸入したことは明かである。従って坑内本坑準粘土道中の滴水源は光栄谷の沢水と考えられる。しかも $\text{NH}_4^-$ と $\text{I}^-$ が検出され、かつ $\text{NH}_4^-$ の方が早く検出されたことは、浸入個所がB～C間にあることを示している。前述の通りB～C間は三面張水路となっているので、浸入口を直接観察することはできない。 $\text{NH}_4^-$ が短時間に流失したことは浸入口からB地点に近い位置にあり、かつ浸入口が開口状態にあることが予想される。

次に表流水量と坑水量を比較すると光栄谷沢水はA地点で $13.3 \text{ l/分}$ であるが間もなく覆流し、その約 $1/2$ が三面張水路で回収されているので、三面水路の下にもぐっている水量は約 $7 \text{ l/分}$ である。他方、坑内本坑準粘土道中の坑水量はX地点 $0.88 \text{ l/分}$ 、Y地点經由下部への落水量 $7 \text{ l/分}$ 、合計 $7.88 \text{ l/分}$ で略々等しいことから、覆流した沢水が全量坑内に浸入していることになる。しかし次に述べる坑水中に増加した $\text{NH}_4^-$ と $\text{I}^-$ イオン量から推定すると、光栄谷の覆流水のほかに涵養水も浸入している可能性がある。

坑内に滲出した $\text{NH}_4^-$ と $\text{I}^-$ イオン量については、Y地点の採水を省略したので、全量を把握することは出来ないが、仮りにY地点の濃度及びその変化がX地点と同様であったとして試算すると、

$$\text{NH}_4^- : \text{増加平均濃度 } 2.09 \text{ ppm} \times 7.88 \text{ l} \times 60 \text{ 分} \times 6 \text{ 時間} \div 6 \text{ g}$$

$$\text{I}^- : \text{増加平均濃度 } 0.061 \text{ ppm} \times 7.88 \text{ l} \times 60 \text{ 分} \times 5 \text{ 時間} \div 0.15 \text{ g}$$

で投入した  $\text{NH}_4^-$  ,  $\text{I}^-$  中覆流し地下に浸入したものが、その 1/2 の 50 g であったとしても、 $\text{NH}_4^-$  については 88%、 $\text{I}^-$  については 99.7% が途中で吸着されたことになる。室内実験結果吸着率は土壌の種類、流速及び原液の濃度によって異なるが、 $\text{NH}_4^-$  の最高 70%、 $\text{I}^-$  の最高 55% に比べても、この吸着率は高すぎることになる。従って光栄谷覆流水以外の水、即ちこの地域の涵養水が加わっていることが予想され、トレーサーの混入した覆流水の一部は浸入することなく通過したと考えられる。

なお、吸着率の高い浸入経路としては粘土断層中、又は粘土断層と両盤安山岩との境界が考えられる。

本坑準粘土道中の Z 地点で粘土断層の粘土と思われる泥状のもので坑道が閉塞されているので、或は粘土断層中又は両盤との境に沿って、地表までパイプ状に抜上り、このパイプ状流路の下方が崩落粘土で閉塞しているため、この付近の岩盤亀裂に分散し滴水状に滲出しているのかも知れない。なお  $\text{NH}_4^-$  が短時間に滲出したことは浸入経路が単純であることを示している。

#### (7) 実地試験の反省と新しい追跡試験法の今後の展望

##### a 実地試験の反省

反省事項を列挙すると次の通りである。

- ① 表流水の浸入の有無及び浸入個所の探査には投入するトレーサーの濃度をできるだけ高くした方が判定しやすい。このためトレーサーは直接表流水中で多量を溶解した方がよい。稀釈と吸着が予想以上に大きいためである。
- ② 室内実験結果  $\text{I}^-$  と  $\text{Br}^-$  が共存する場合  $\text{I}^-$  の検出には  $\text{Br}^-$  は影響しないが、 $\text{Br}^-$  の検出には  $\text{I}^-$  が影響することから、 $\text{I}^-$  を主、 $\text{Br}^-$  を従として投入位置を選定し、KI を A 地点に投入したが  $\text{I}^-$  の検出濃度は非常に低いものとなった。従って寧ろ吸着性の方を重視し、土壌に吸着され難い KBr を A 地点に、KI を C 地点に投入した方が有効であった。

多元素を同時に併用する場合は各元素の特徴をいかして投入位置を決定するところに妙味があるが、KBr を保留し、A 地点を Br で再調査することも一つの方法であった。

- ③ イオン電極による検出は個人差がない利点があるが、電位差表示値が安定しない場合の処置など操作には習熟を要する。 $\text{Cl}^-$  の検出は JIS K0102 分析法に従ったが、 $\text{Cl}^-$  用イオン電極を併用すべきであった。

##### b 新しい追跡試験法の今後の展望

イオン電極は開発されて日も浅く、現在温度補償がないため測定都度検量線を作成し、かつ、測定中は温度変化を避ける必要があるなど欠点が多い。

しかし pH メーターは既に自記記録が可能となっているので、イオン電極の自動温度補償が可能となれば自記記録装置の実用化は容易である。但し現在市販のイオン電極を使用する場合は  $I^-$  及  $Br^-$  には定量の緩衝液を混和、又  $NH_4^-$  については 10 N の苛性ソーダーを混和し pH を 12 とする必要があるので、これらの薬液を水量に応じて添加攪拌する装置が必要である。又電位差が安定するには 1 分程度を要し、低濃度の場合は数分経過しても安定しない場合があるので流水中の濃度を連続測定する場合、変動する濃度に対応した電位差を正確に記録することは期待できない。従って連続測定の自記記録値は正確を欠くことになるが、トレーサーの浸出の有無ならびに浸出状況を把握するには支障はないと思われる。但し、流水中に浮遊物がある場合は電極の洗滌が必要となり、又長時間使用すると電極が老化する欠点は避けられない。特に  $NH_4^-$  電極については定期的に滲透膜を取替える必要があるので完全無人化は無理であろう。

しかし以上の欠点はあるにしても、何時浸出するか分らない緊張感のもとで、長期間に亘って根気を要求される従来の追跡試験法に比べると、遥かに省力的であることは明かである。

#### 4.2.2 電探による断層水の解析資料の作成

##### (1) 目的

断層を調査するため従来より電気探査、放射能探査、弾性波探査など物理探査法が利用されているが、本調査では、断層に多量の断層水が介在する場合と、断層水のない場合について、電気探査法（周波数法 IP 及び SP 法）及び放射能探査を実施し、その測定データを比較検討し、断層の位置を考察することを目的とした。

探査地域として、鉱山開発により断層の性状が確認されている生野鉱山を選定し、断層水のみられない粘土断層と、多量の断層水が確認されている水谷断層をその対象とした。

##### (2) 調査方針

生野鉱山における断層水を含まない粘土断層と断層水を含む水谷断層を対象として、水による低比抵抗を検出しそのパターンから断層の位置および形を確認する、また断層水のない場合と比較検討する。地下に通電する周波数を 1.0 から 10 Hz（ヘルツ）の内より適切な 2 周波数を選び、周波数による比抵抗の変化即ち周波数効果を測定する。これにより地下水・断層水の存在を解明するための有効なデータを収集する。また断層をはさむ両地層の平面的変化を測定し断層の位置を考察する。さらに、放射能を測定し断層との関連性を考察する。

### (3) 調査地区及び概況

生野鉍山の金香瀬鉍床は、南に緩傾斜した安山岩、玄武岩、石英粗面岩及び凝灰岩の互層状構造からなる第3紀の生野層群中に胚胎する南北走向の千珠本鍾及び金盛鍾を中心に、これらに雁行する支脈群からなり、これらを横切って東西系の多数の断層が存在する。そのうち代表的な断層は北部の粘土断層と南部の水谷断層である。

粘土断層は粘土化した破碎岩で充填され、鉍化作用を受けない鉍床生成後の新しい断層と考えられる。断層の厚さは1.5～9.0 mで下部ほど広く、北に急傾斜し、坑内では湧水はない。

他方水谷断層は坑内では厚さ0.6 m南85°傾斜の破碎帯を形成し、多量の湧水を伴う特徴がある。

地表においては粘土断層は鉍脈露頭の採掘跡付近で大谷川に斜交し、かつ局部的に地表に露出して溝状を呈しているところがある。坑内調査資料によると粘土断層地域は上部より安山岩、玄武岩、石英粗面岩が略々層状に南緩傾斜し、粘土断層により水平方向には北側が約100 m西に移動、垂直方向には北側が約50 m落ちた正断層状を呈するが、全体としては捩れ断層である。

又、水谷断層は坑内で縫着した位置、走向ならびに傾斜から推定すると、地表ではほぼ水谷に合致することになるが、水谷の地表では断層らしいものは見当らない。水谷断層地域はその南東部の山頂は石英斑岩があって、この下部には安山岩、石英粗面岩、流紋岩がほぼ層状に南に緩傾斜している。水谷断層の坑内調査資料によると、水平方向には南側が約30 m東に移動し、垂直方向には約3.0～40 m落ちた鉍床生成後の正断層である。(図4.2-4, 第1図参照。なお、第1図から第19図は付図類として本項末にまとめた。)

### (4) 調査結果の要約

本項では既知の断層上に、電気探査(IP法, SP法)、放射能探査を実施し、

- 断層位置の捕捉
- 断層に含まれる断層水の有無の判定

を目標として技術的検討を行ったが、その結果は以下の様に要約できる。

- 断層位置は、IP法における比抵抗の分布変化から比較的容易かつ正確に捕捉できることが判明した。
- 放射能探査は、鉍床賦存地帯であるためガンマ線量の後背値が極めて高く不鮮明ではあるが、断層に沿って上昇したと考えられるラドンガスによる放射能異常が検出でき、放射能と断層の関係を捕捉することができた。
- 断層水の有無は、本地域の断層水と周辺の岩石の比抵抗には明瞭な有

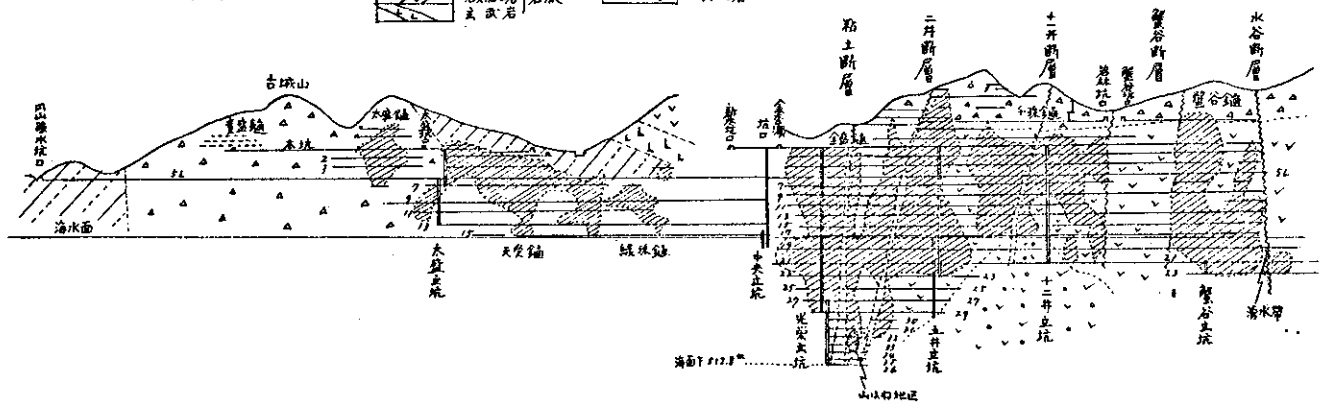
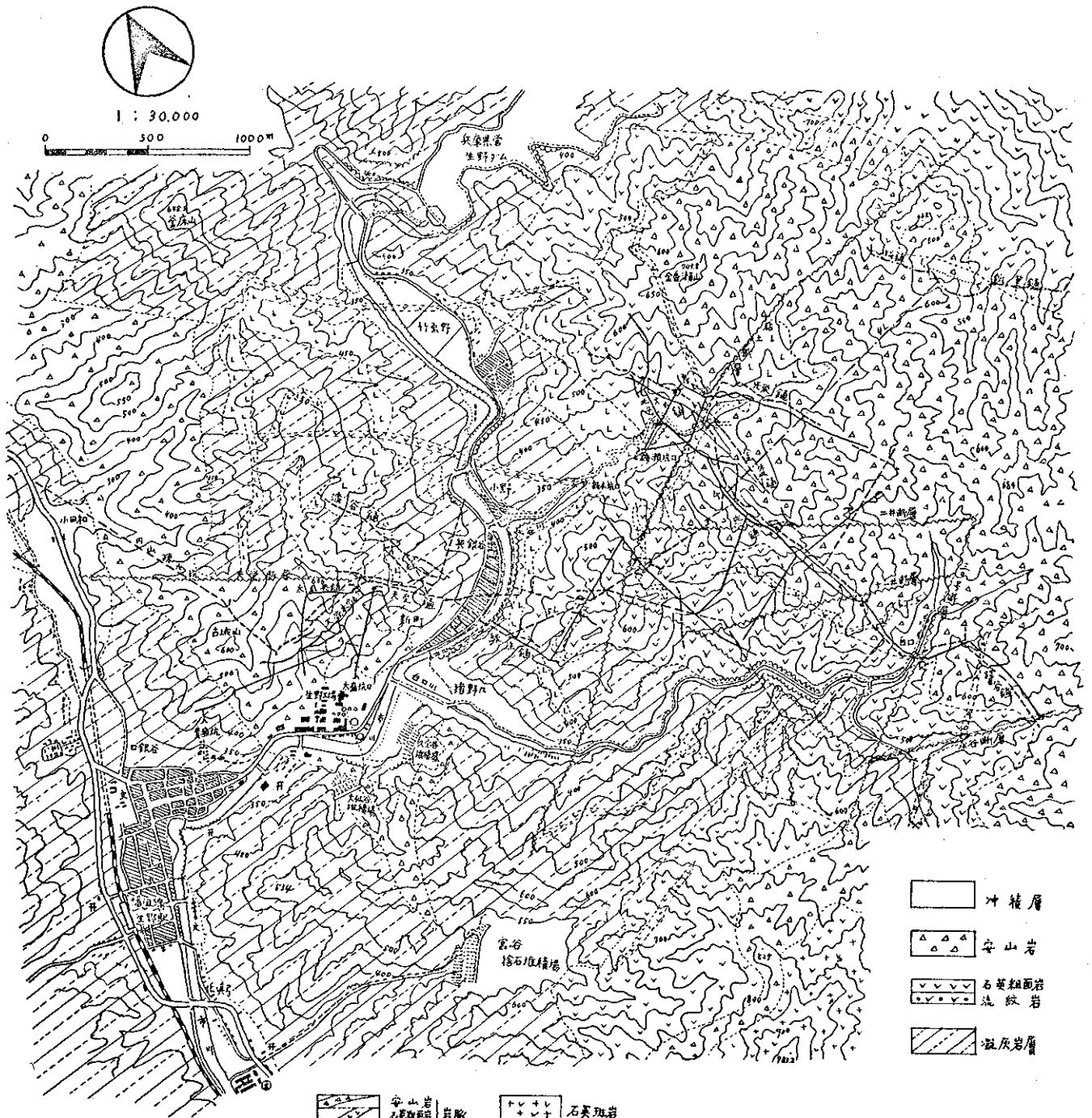


図 4.2-4 生野鉦山の粘土断層と水谷断層の位置図

意差がなく、今回の比抵抗法のみからは判断できなかったが、Geological Noiseの少ない地域を選定し、

- ・ 電極配置を電流の流れ易い断層に沿って配置した測定手法を使用する。
- ・ 今回使用した周波数（3 Hzと0.3 Hz）以下の周波数に対するFEを測定する。
- ・ SP異常と放射能異常をも含め有効な情報を総合的に検討する。
- ・ 多周波成分のIP法（スペクトル法IP又はCR法）等の新技術を導入する。

を実施すれば、断層水による微弱な示徴をより明確に把握できるものと考えられる。

#### (5) 調査期間

測線測量：昭和53年9月10日～昭和53年9月25日

物理測定：昭和53年9月26日～昭和53年10月12日

解析：昭和53年10月25日～昭和54年2月15日

#### (6) 電探の概要

##### a. IP法の概要（強制分極法）

強制分極法は、金属鉱山における物理探査の主力方法の一つとして広く用いられている方法である。

大地に電流を流すと、岩石中の金属鉱石や粘土等と岩石界面に流電による電気化学的現象が発生する。この現象を強制分極現象（Induced Polarization）と呼び、この現象を利用して地下の状態や金属鉱石賦存の可能性を推定する方法が、強制分極法（IP法）である。

強制分極（IP）現象を測定する方法には階段波の過渡現象を測定するTime Domain（時間領域）法と、異なる周波数の比抵抗の差を測定するFrequency Domain（周波数領域）法がある。この2種類の測定法は、理論的には全く同じIP現象を、異なる角度で観測しているものである。

本調査では、一般に広く利用されているFrequency Domain法を用いている。Frequency Domain法でIP現象が効果的に現われる周波数領域は、大地比抵抗にもよるが、通常10 Hz以下の低波数領域が適切であり、本調査では、3 Hzと0.3 Hzを使用した。

最初に送信機より3 Hzの矩形波を電流電極より大地に流し、受信機により電位電極間の電位差を測定する。次に、同じ電流値で0.3 Hzの矩形波を流すと、3 Hzの電位に対する電位変化が何%であるかを受信機で直読できる。

この読取り値を周波数効果、Frequency Effect（F.E.）と称する。大地の比



抵抗の測定では、電位差と電流値の測定で十分であるが、IP法では電位変化を測定するために必然的に電流の安定度を高め、電位の測定精度を高める必要がある。

また、測定ノイズとして地電流、漏電、測定用電線間又は大地間の分布電気容量による容量結合効果、送電線と受信線による電磁結合効果等があり、これらによりSN比が小さくなったり、見掛けのF.Eを生ずることがある。

本調査では、流電電流の増大、配線方法の工夫等によりこれらの影響を最小限にとどめた。

電極配置を示す図4.2-5の如く、dipole-dipole（双極子）配置とし、測線

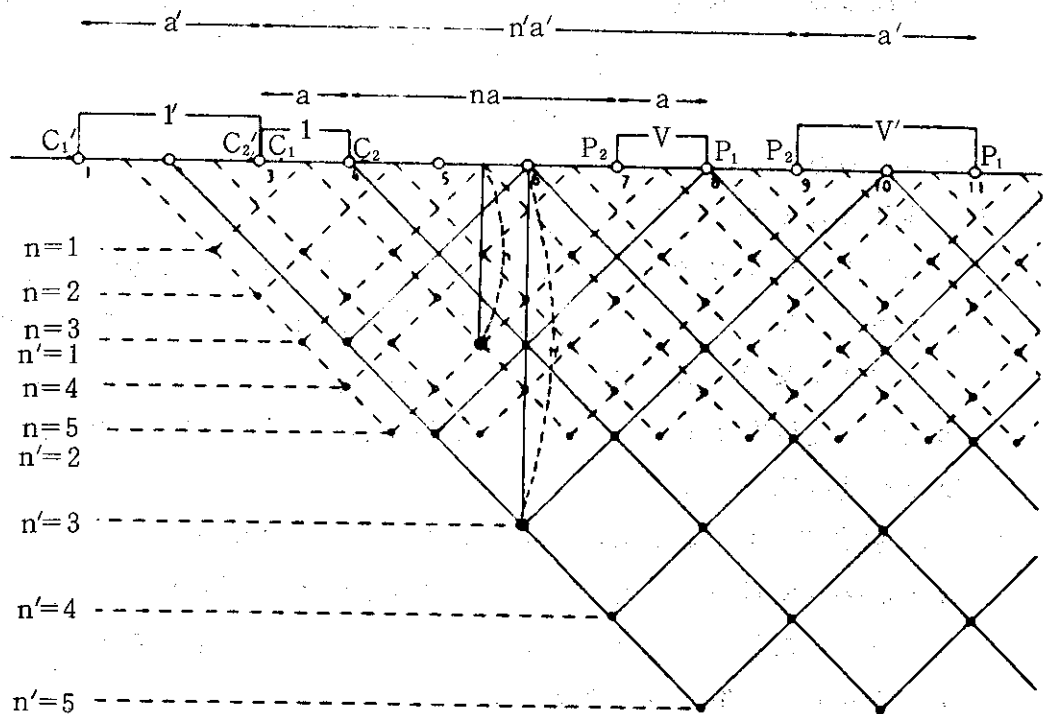


図4.2-5 計測値プロット図

上に電流電極  $C_1$   $C_2$ 、電位電極  $P_1$   $P_2$ 、電極間隔  $a = 50 \text{ m}$  ( $25 \text{ m}$ )で配置し、 $C_2$   $P_2$  の間隔を  $na$ 、電極隔離係数を今回の調査では  $n = 1 \sim 5$  まで測定を行なった。この配置による探査深度は約  $150 \text{ m}$  である。

測定値は図4.2-6の如く、各電極の中心を結ぶ直線を底辺とする直角二等辺三角形の頂点にプロットする。したがって、電極隔離係数  $n = 1, 3, 5$  ( $a = 50 \text{ m}$ ) のとき、その深さはそれぞれ  $50, 100, 150 \text{ m}$  となる。測定結果を周波数効果 (F.E)、見掛け抵抗 ( $\rho$ ) にわけて表示した。

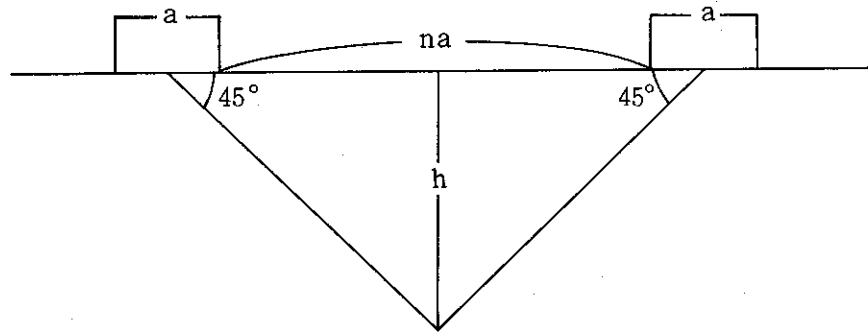


図4.2-6 計測値表示法

周波数効果 (F.E) は, 3 Hz の見掛比抵抗を  $\rho_{3.0}$  0.3 Hz のを  $\rho_{0.3}$  とすると,

$$F.E = \frac{\rho_{0.3} - \rho_{3.0}}{\rho_{3.0}} \times 100 (\%)$$

で求められる。

#### b. SP法の概要

自然電位法はSP法と呼ばれ, 他の方法に比べて簡単なため各鉱山に普及して最も多く用いられている。自然電位法は比抵抗法と異なり, 人工電流を流すことは全くなく, もっぱら大地の中に自然にできている電池によって, 地中に生じている微少な電位差を一对の電極を地表上に設置して測定し, 電位分布を求める方法である。

断層周辺では, 地下水の流動電位により負の異常が検出されることが多く, また, 異種の岩体の接触により自然電位差が検出されることが認められている。

しかし, 鉱化作用のある地域では, 鉱体の酸化・還元現象による電位, いわゆる鉱体電位が生じ負の異常を示すことが知られている。このため本地域でも鉱体による負の異常が極めて一般的に認められた。

このとき地表の最も負電位の地点を中心として等電位線が同心円状に取りまわくような様子がみられる。この異常を一般に負中心と呼んでいる。鉱体の種類や状況によっては, 電池作用がはなはだ微弱で, 全くこの負中心異常が認めがたい場合も起こる。尚一般には負中心が多く観測されるが, ときとしては正中心ができることもある。

#### (7) 放射能探査の概要

断層或いは破碎帯付近では, ラドンガスの上昇及び<sup>40</sup>K等の放射性元素の影響等があり,  $\gamma$  (ガンマ) 線を測定することによって, 断層等の存在を推定することが可能である。

また $\gamma$ 線による放射能測定は, 上述の性質を利用して, 断層, 破碎帯の検出の他に, 地下水, 温泉の探査に利用されている。

現地における測定では、検出素子部分を地表下約 10 cm に埋設し、宇宙線等の影響をさけて測定した。

(8) 測定

a. 測定法

i I P 法

周波数法 3.0 Hz, 0.3 Hz による I.P (強制分極法)

電極配置 双極子法 (Dipole - Dipole 法)

電極間隔 25 m, 50 m

電極隔離係数  $n_1 - 4$  (可探深度 150 m)

総測点数 1040 点

ii S P 法

測定間隔 12.5 m

測点総数 410 点

iii 放射能探査

測定間隔 25 m

測定数 210 点

b. 使用機器

i I P 法

送信機 千葉電子研究所製 CH-509 型  
矩形波発信機 出力 2.5 A, 800 V

受信機 横浜電子研究所製 YMO-605  
YOC-441

発電機 米国 Geotronics 社製 Model 421  
400 Hz, 115 V, 2 KW

ii S P 法

横浜電子研究所製 S P 計

東亜電波工業製 EPR-200 A

iii 放射能探査

アロカ株式会社製

r 線用シンチレーションサーベイメータ

Model TCS-121 C

c. 測線

i 金香瀬地区

ささ谷沿いの道路分岐点上流の沢又を基点とし、道路沿いトラバー測量を実施し径距、緯距の計算により各 LINE の測点位置を定めた。各 LINE の

基準位置はNo. 17, No. 14, No. 13, No. 12, No. 12とし, それぞれ北側は磁北で $348^\circ$  南側は $168^\circ$  の方向にて水平距離 25 m 毎に設定した。尚各 LINE の間隔は水平距離 50 m としてある。

測線名	測線長
No. 1 - LINE	500 m
No. 2 - LINE	500 m
No. 3 - LINE	500 m
No. 4 - LINE	500 m
No. 5 - LINE	500 m
合計	2,500 m

## ii 白口地域

水谷沢の沢又を基点とした。これより上流 196 m を No. 6 LINE とし, 水平距離 50 m 間隔で No. 7, No. 8 …… No. 10 としている。各 LINE の測点は北側は磁北で $15^\circ$ , 南側は $195^\circ$  とし水平距離 25 m 毎に設置した。

測線名	測線長
No. 6 - LINE	500 m
No. 7 - LINE	500 m
No. 8 - LINE	500 m
No. 9 - LINE	500 m
No. 10 - LINE	500 m
合計	2,500 m

## (9) 調査結果

### a. 金香瀬地域 —— 粘土断層

#### i 地質

生野鉱山の金香瀬地域には千珠本鑛を切り, 青草地域の各鉱脈をも切る N E 方向の粘土断層がある。この断層は, この地域では水平方向には北側が約 100 m 西にずれ, 垂直方向には北側が約 50 m 落ちた正断層を示すが, 全体的には正, 負の断層を伴う戻れ断層となっている。断層面は粘土化した破碎岩で充填されて, 鉱化作用はほとんどなく, 鉱床生成後の比較的新しい断層と推定されている。

この粘土断層に対する調査測線は, 第 2 図に示すごとく, 金香瀬鉱山の東南に位置し, 断層にはほぼ直交し, 延長 500 m, 測線間隔 50 m, 測点間隔 25 m の 5 本の測線である。

この付近の地質は, 広く金香瀬安山岩 (An) に覆われ, この安山岩の下部は玄武岩 (Ba), 石英粗面岩 (LP) 及び凝灰石 (Tf) の互層状構造を示

し、いずれも南に向って弱い傾斜をなし、生野ベーズン構造の一部を形成している。

## ii I P 法調査結果（金香瀬地域——粘土断層）

第4～8図に各測線のI P法による調査結果を示してある。各図とも上より地形並びに地質構造断面図、見掛比抵抗（体積抵抗率）断面図及び周波数効果（F E）断面図となっている。

一般に断層によって地層にずれを生じているときは、断層による岩石基盤深度の変化或いは、断層両側の岩石の相異によって岩石比抵抗値に差を生じる。このような比抵抗境界点を追跡することにより断層の位置を推定することができる。

第4図No. 1—LINEについて説明すると比抵抗断面図よりNo. 4、No. 8及びNo. 14測点付近で断層構造が認められる。しかしこの図では、粘土断層の予想されるNo. 11付近では明らかな断層状構造は示していない。No. 8付近は特に低比抵抗を示すことから或いは鉍脈の存在を予想できる処である。又No. 14以南では深部になるにつれ急に比抵抗が下ることから、安山岩岩体が薄くなってこの下部に存在するとみられる玄武岩（Ba）による低比抵抗が現われたものとみられる。

他の4測線の状況も大同小異であり、粘土断層はNo. 1—LINEではNo. 11測点付近を通り、No. 5—LINEではNo. 10測点付近を通るものとみられる。この粘土断層にはほぼ平行して、この北部No. 4測点を通るNE方向の断層があり、また粘土断層の南部では第4図No. 1—LINEのNo. 14測点を通り、第7図No. 4 LINEのNo. 20測点付近を通るES方向の断層がある。

周波数効果（F E）の測定は本来は硫化鉍物の探査、従って鉍脈の探査に有力な手法であるが、硫化鉍物以外の或種の粘土鉍物も弱い周波数効果がある。従って強いF E発生鉍物のないときは、断層の調査や地下水調査に利用できる可能性がある。

第4図No. 1—LINEのF E断面図をみるとNo. 8測点No. 14測点で弱いF E異常を生じており、これは鉍脈によるものと判定される。他の断面図にも明瞭なF E異常があつて粘土断層を挟んでほぼEW～SEE方向の3本の鉍脈の存在が推定される。これらの走向は、金香瀬～青草地域における既知鉍脈の走向と一致している。

前記した比抵抗分布から推定された3本の断層に沿っては顕著なF E異常は認められず、これらの断層は鉍床生成後のものとみられる。断層に伴うF E異常があつたとしても、鉍脈の影響がはるかに強いため、異常として現われなかったものとみられる。

### iii SP法調査結果（金香瀬地域——粘土断層）

第10図に自然電位（SP）の測定結果を示す。極めて比抵抗の高い地下水が断層に沿って流下するとき、断層上で負の流動電位を生ずることが考えられる。第10図をみると、SPの負電位分布発生位置は前記したFE異常の分布と良く一致している。予想された3本の断層に沿っては、顕著なSP異常はみられない。従ってSP異常は主に鉍脈により生じたものと推定できる。

### iv 放射能調査結果（金香瀬地域——粘土断層）

第11図はガンマ線による放射能測定結果を示す。断層とか岩石の破碎帯を上昇するラドンガスの測定は断層、地下水及び温泉等の探査に良く利用されるものである。地表の表土中で測定されたガンマ線量はラドンガスによるもの以外に、岩石中に存在するウラン系とナトリウム系の放射性元素と<sup>40</sup>Kによるものである。

第11図に示したガンマ線異常の分布は、FEとSPの異常分布に接近し、分布の傾向（走向）が一致している。予想された3本の断層に沿った分布は見出されていない。従って鉍化作用に関係した放射性元素の分布があるものと推定される。

以上の結果から各示徴の検出された測点を表示すると以下の通りである。

表 4.2 - 7 粘土断層地域の測定結果

測線 探査法		No 1		No 2		No 3		No 4		No 5	
		断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈
I.P法	比抵抗	4, 8, 14	4	3, 15 10~11	16~17		9~10 12~13	3~4 10		4, 10	14
	F.E.		14, 7~8	4~5	10, 13~14		14~15	8~9	13~14	4, 9~10	13~14
S. P. 法			7~9	8~9	13~15	10	15		12~13 18~20		11~13 18~19
放射能			8	10			12~14		15		12~15

(註) 欄内の数字は測点番号を示す。

### b. 白口地域——水谷断層

#### i 地質

白口地域は千珠本鍾の東南端に位置し、千珠本鍾が蟹谷断層により切られそれ以南は蟹谷鍾となっている。白口川の支流である水谷に沿ってほぼ東西方向に水谷断層がある。この断層は約85°の南傾斜で、水平方向には南側が約30m東にずれ、垂直方向には約30~40mずれた、鉍脈生成後の正断層である。

第3図に本地域の水谷断層に対する調査測線と地質構造とを示してある。本地域東南部の山頂には石英斑岩(Qp)があってこの下部に地域の大部分を覆う金香瀬安山岩(An)が分布する。この下部には石英粗面岩(LP), 流紋岩(Ry)がほぼ層状となって存在し生野ベーズンに向って南方に弱い傾斜で落ちている。

## ii I P法調査結果(白口地区)

第11~15図にI P法による調査結果の断面図を示してある。各LINEのほぼ中央部, No. 10~No. 11測点付近を通る水谷断層が比抵抗分布により明瞭に示されている。断層の傾斜は比抵抗分布からは決められないが, これは地下坑道における断層位置から求められる。北側の安山岩体が薄いことから正断層であることが推定される。水谷断層の南, 約40mにこれと平行した断層があり, これは水谷断層に関係した派生的な断層とみられる。更にこの南100mの位置でNo. 5測点付近を通る平行断層が推定され, これは坑内でみられる55号断層と推定される。水谷断層の北側にはNo. 10-LINE, No. 16測点付近を通るNW方向の断層が推定されている。地形や地質からみてなお上記断層以外にNE系やNW系の断層の存在が予想され, この地域はかなり複雑な構造をしている模様である。

FE異常からは, 中央部をNS方向に走る蟹谷鍾とこれに平行する3条の鉱脈が見出せる。このように本調査地域もまた鉱化作用の多い地域であるために, 断層による弱い示徴を分離することが出来ず鉱化帯の中における断層調査の解析はきわめて困難である。

## iii S P法調査結果(白口地域)

第16図に自然電位(SP)の測定結果を示す。本地域のSP異常も大部分FE異常と一致していることから, 蟹谷鍾及びこれと関係のある平行脈によって生じたものとみることが出来る。しかし, No. 9LINE No. 11測点と, No. 10LINE No. 10測点に出ている弱いSP異常は, 水谷断層中を流動する水分によって生じた流動電位の可能性があり, 興味深い示徴である。

また, 断層による示徴とは考えられないが興味あるSP異常として, No. 6, 7, 8LINEの南端に顕著な負異常が捕捉されている。この異常は過去生野鉱山で行なったSP探鉱結果とも一致している。ここは石英斑岩で覆われた処で, おそらくこの岩体の下部にある安山岩中に蟹谷鍾と走行のほぼ同じ少なくとも2本の鉱脈があるものと考えられる。

## iv 放射能調査結果

第17図にガンマ線量を測定した結果を示す。前記した本地域南部のSP異常をとり巻く形に強い放射能異常がある。この顕著な異常の他にNo. 9LINE,

No. 11 測点と No. 10 LINE, No. 10 測点に、沿った弱い放射能異常が検出されている。これは、水谷断層に沿って上昇したラドンガスにより生じた異常と思われる、微弱ながらも放射能と断層の関係を捕捉したものと思われる。

以上の結果から、各示徴の検出された測点を表示すると以下の通りである。

表 4.2-8 水谷断層地域の測定結果

測線		No 6		No 7		No 8		No 9		No 10	
		断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈	断層	鉍脈
I.P.法	比抵抗	5 11		10		10~11		11~12	8~9	11	5 16
	F. E.	5~6 9~10	14~15	4~5	12	4~5	14~15	10~11	15	9~10	12~13
S. P 法		10 1, 6~8	14~17 19	0~8	11~13 16~20	0~6	12,14,15 18~20	10~11	2,5, 4~5 14,15~20	10	0, 6,12 13~15 16~20
放射能		0~4		1~4		4		0~3		0	

(註) 欄内の数字は測点番号を示す。

#### (10) 調査結果の考察

生野鉍山金香瀬地域の粘土断層及び白口地域の水谷断層に対する物理探査結果を第 18 図及び第 19 図にまとめた。

粘土断層、水谷断層ともに IP 法における比抵抗分布から判断することが出来、その位置は地表地質調査から推定された位置と良く一致している。両調査地域とも山岳地帯であって表層の厚さは最大 10 m 内外であり、電極間 25 m の比抵抗調査は断層探査に相当であったとみられる。目的とした断層以外に、金香瀬地域では粘土断層に平行した北側の断層及び、南部の NW 方向の断層が比抵抗分布から推察され、これらはいずれも地表地質調査で推定された断層の延長に当たっている。

又、白口地域では、水谷断層南部にこれと平行した 2 本の断層があって、1 つは水谷断層に派生したものであり、他は坑内でみられる 55 号断層に相当するものである。この北部には NW 系の断層があって、この延長とみられるものが 30 号断層西部で千珠本鑛を切っている。更にこの地域南部に NW 系、NE 系の断層の存在が予想されるが、今回の調査では測線不足で確認することが出来なかった。

以上の如く比抵抗分布の測定により断層を推定することは可能であり、さらに断層水の比抵抗が低い場合はこれを区別することも可能である。

一方、IP 法における FE 分布は、両調査地域とも鉍脈の存在を明瞭に示している。断層に沿った FE 示徴も一部にあるが、鉍化作用後の断層とみられるものには FE 示徴は見出せない。このことは両地域とも鉍床地帯であって、硫化鉍物



による FE 示徴が強く、断層に伴うと予想される弱い FE 異常が鉍化による強い示徴にかくれて見出せないためと推定される。

このような妨害現象は SP 法による測定結果にもみられる。SP の発生は地下水面付近における硫化鉍物等の酸化作用により主として生じ、IP 発生現象と基本的に原理は同じである。このため鉍脈による強い SP 異常にかくれて、地下水の流動によって生ずる弱い SP が見出せないものと考えられる。

白口地域南部で現われた強い SP 異常は、石英斑岩の分布地域であり、鉍脈による SP と、鉍化作用を受けた酸性岩体中の流動電位とが重複して生じたものと推定される。

放射能調査結果は、鉍床生成後の断層である。粘土断層と水谷断層及び比抵抗分布から見出された他の断層では、断層に沿うと思われる顕著な放射能異常は認められない。金香瀬地域にみられるように、放射能異常は鉍脈と平行して検出されており、周辺母岩中で鉍化作用に関係して生じた放射性元素の濃集によるものとみられる。

白口地域では、既知鉍脈の周辺で目立った放射能異常を示していないが、南部にみられる強い放射能異常は、強い SP 異常の周辺にあつて、この SP 異常が未確認の鉍脈によって生じたものと推定されることから、おそらくこの放射能異常も、鉍化作用に関係があるものと推定される。

一般に断層や破碎帯を通して地下のラドンガスが上昇し、放射能ハローを生ずることは良く知られた現象である。この場合に地下水面が浅くて、ラドンガスの保持量が少ないと放射能異常は出にくくなる。両地域とも安山岩を主体とする山地であるため、表土層が薄くしかも地下水面が浅くて、断層や破碎帯を通して上昇したラドンガスの保有量が少なかったとみることもでき、又断層による放射能異常よりも鉍化作用に関係した放射能異常の強い地域であったとみられる。

次に断層中の水について考察する。

粘土断層、水谷断層ともに、他より水分が多く低比抵抗であることを示すような垂直脈状の示徴は示していない。しかし、断層を境にした両盤の岩石に比抵抗の差があることから、ここに断層があると判定することが出来た。このことは、断層水の有無を比抵抗からのみ判断することは、粘土断層と水谷断層の水分による電気抵抗に有意差がなかったために、きわめて困難であったといえる。

今回の調査では電極間隔を 25 m としたが、表土が 1 m 程度であれば電極間隔を 3 ~ 5 m 程度にした精密調査が可能である。この場合には、断層及びこれに関連した破碎帯の規模が電極間隔と同程度となるため比抵抗の低い粘土質の断層であるか否かの判定は可能であると見られる。しかしこの場合には地表の条件がかな

り一様でないと、間隔の狭い精査測線を多数必要とすることから、調査費が嵩むことになる。しかし断層の比抵抗が低いからと言って、その断層水が流動性のものであるか否かは決定はむづかしく、さらに他の調査を重ねて多角的に考察しなければならない。

今回の調査地域は、結果的には予想以上に Geological Noise の多い地域であった為に、粘土断層と水谷断層との物性的な区別は得られなかった。しかし、水谷断層には不明確ながら SP 異常と放射能異常とが付随しており、これが透水性の良い断層を捕捉したものと考えることが出来る故、Geological Noise の少ない断層であれば不透水性断層と、透水性断層との区別は可能であるとみられる。

#### (11) 結論と今後の問題

生野鉱山における坑内出水のない粘土断層と、坑内出水の極めて多い水谷断層とを対象として、流動水の多い断層が電気探査法その他で判定可能か否かを調査した。

この結果、断層の存在位置は、比抵抗の変化から比較的容易に探査出来ることを確認し得たが、これら断層が粘土質の不透水性断層であるのか、透水性が良く流動水の多い断層であるのかの判定は、きわめて困難なものとなった。

即ち、本地域の断層水と周辺の岩石の比抵抗には明瞭な有意差がなく、これを比抵抗の差として検出することが出来なかった。さらに、本地域は有数の鉱化帯の中にあり、これらの影響を出来る限りさけるべく測線を設定したにもかかわらず、鉱床周辺の貧鉱脈の影響がきわめて強く、断層による微弱な示徴がその影にかくれてしまったことなどが考えられる。

しかし、比抵抗の差から断層の位置が確認することが出来たことや、水谷断層沿いには、断層によって生じたと思われる SP 異常と放射能異常が検出されたことなどから、物理探査法による断層探査は、Geological Noise の少ない他地域については、さらに有効な情報を提供するものと思われる。

断層では、これをはさむ両地質の物性、断層水の量・質によってきわめて多様な異常が検出されるため、今後、数多くの断層について、さらに多くの情報を集めるとともに、断層および断層水による微弱な示徴をより明瞭に把握するため、各種の調査方法を試みなければならない。

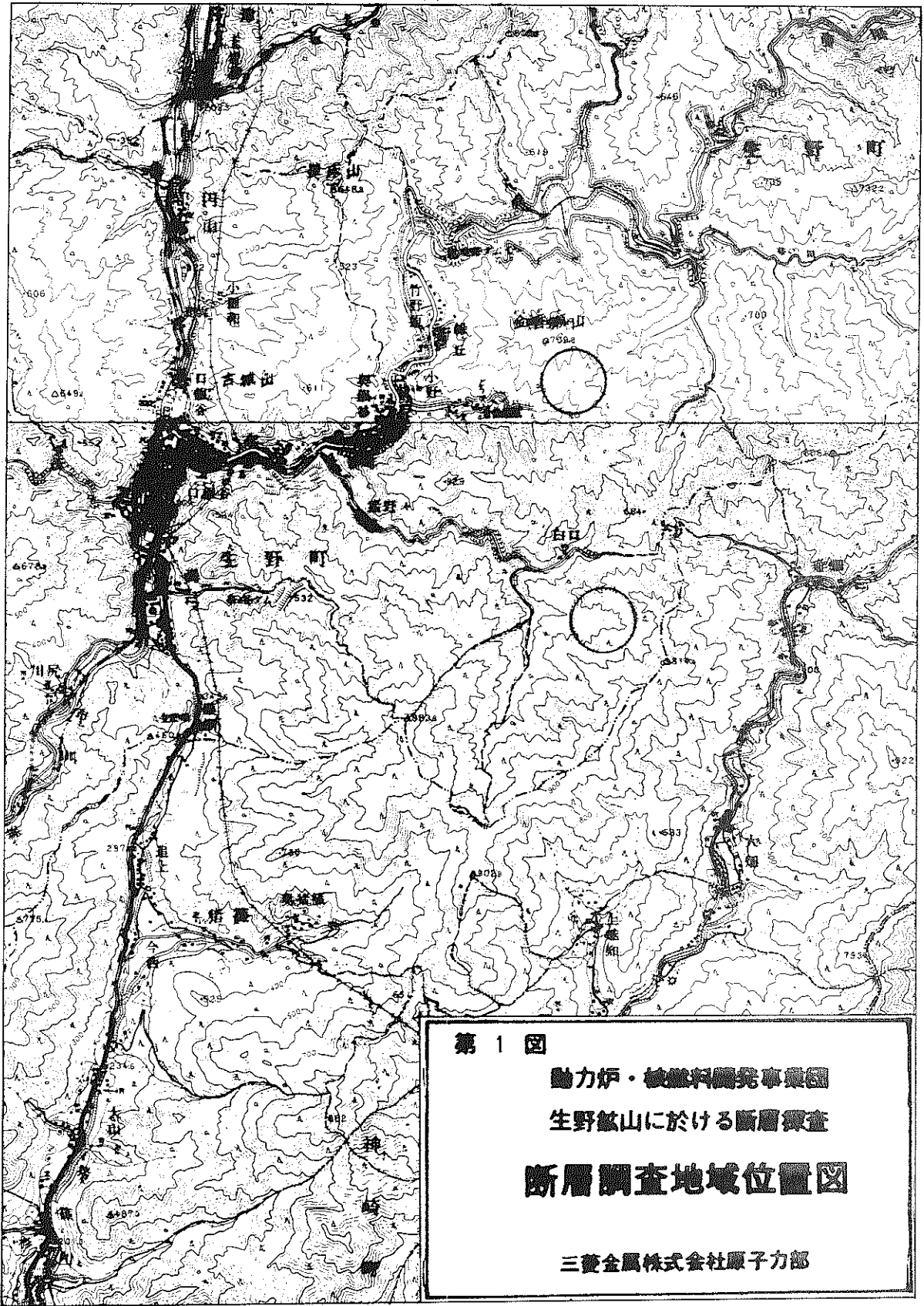
このためには、Geological Noise の少ない他の地域を選定し、今回の方法によりさらに詳細な調査を実施して比較検討をするとともに、電極配置を電流の流れ易い断層に沿って配置するなど、他の手法を追加して解析情報量をふやすことも考えねばならない。

さらに、今回使用した周波数（3 Hz と 0.3 Hz）は、鉱化帯には顕著な応答を示したが、断層および断層水の示徴は微弱であったため、さらに他の周波数に対

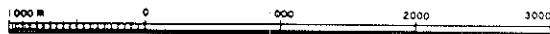
する FE を測定する必要がある。現在導入が検討されている多周波成分の IP (スペクトル法 IP 又は CR 法) 等新技术を導入し、断層の調査法を確立する必要がある。

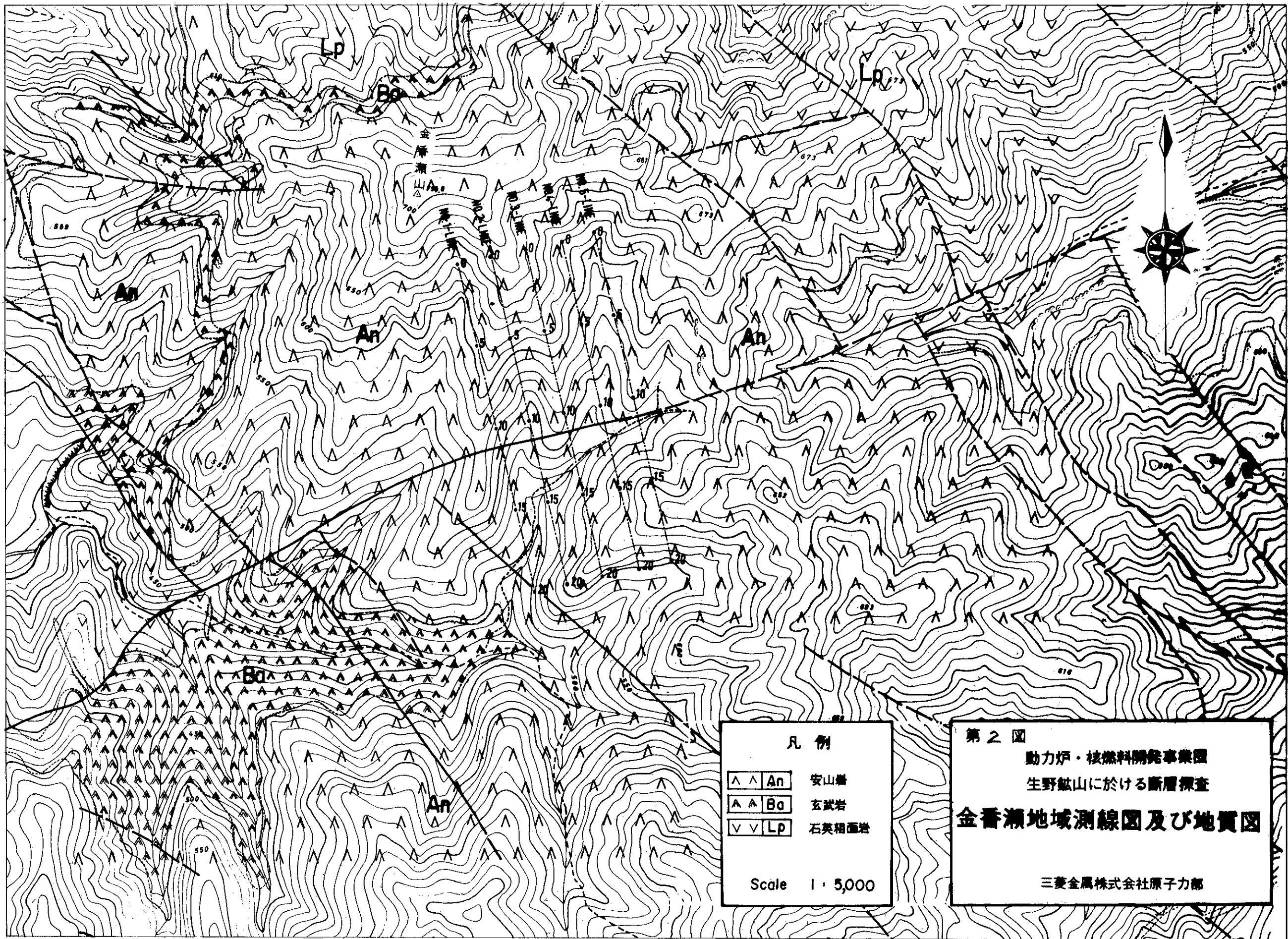
添 付 図

第 1 図	生野鉦山断層調査地域位置図		1 : 50,000
第 2 図	金香瀬地域調査測線図及び地質図		1 : 5,000
第 3 図	白口           "           "		1 : 5,000
第 4 図	金香瀬地域 I P 断面図	No. 1 - L I N E	1 : 2,500
第 5 図	"           "           "	No. 2 - L I N E	1 : 2,500
第 6 図	"           "           "	No. 3 - L I N E	1 : 2,500
第 7 図	"           "           "	No. 4 - L I N E	1 : 2,500
第 8 図	"           "           "	No. 5 - L I N E	1 : 2,500
第 9 図	"           S P 平面図		1 : 5,000
第 10 図	"           放射能平面図		1 : 5,000
第 11 図	白口地域 I P 断面図	No. 6 - L I N E	1 : 2,500
第 12 図	"           "           "	No. 7 - L I N E	1 : 2,500
第 13 図	"           "           "	No. 8 - L I N E	1 : 2,500
第 14 図	"           "           "	No. 9 - L I N E	1 : 2,500
第 15 図	"           "           "	No. 10 - L I N E	1 : 2,500
第 16 図	"           S P 平面図		1 : 5,000
第 17 図	"           放射能平面図		1 : 5,000
第 18 図	金香瀬地域解析結果平面図		1 : 5,000
第 19 図	白口地域解析結果平面図		1 : 5,000



1:50,000 生野





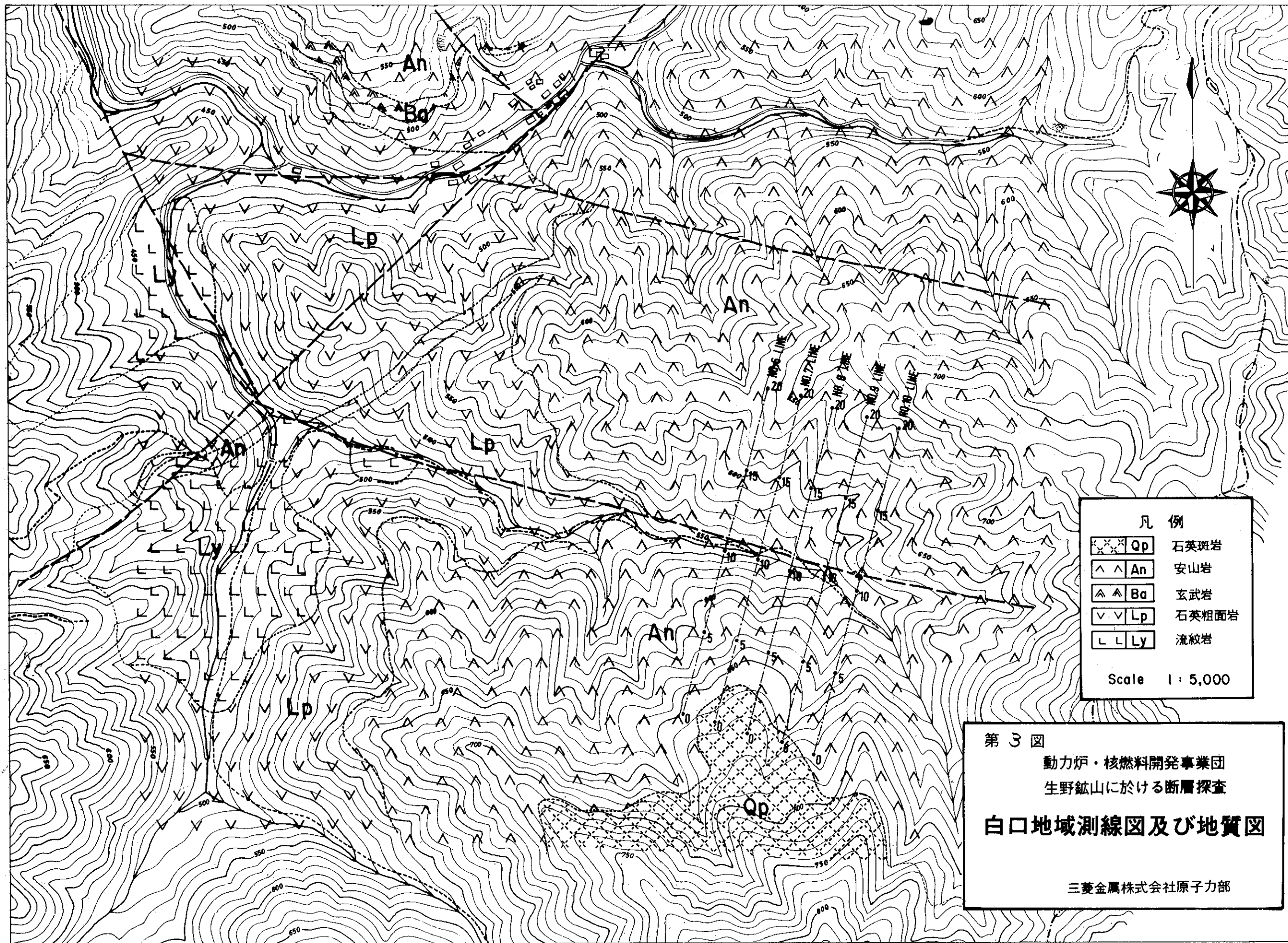
凡 例

△ △ An	安山岩
▲ ▲ Ba	玄武岩
▽ ▽ Lp	石英粗面岩

Scale 1 : 5,000

第 2 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
**金香瀬地域測線図及び地質図**  
 三菱金属株式会社原子力部

34



凡例

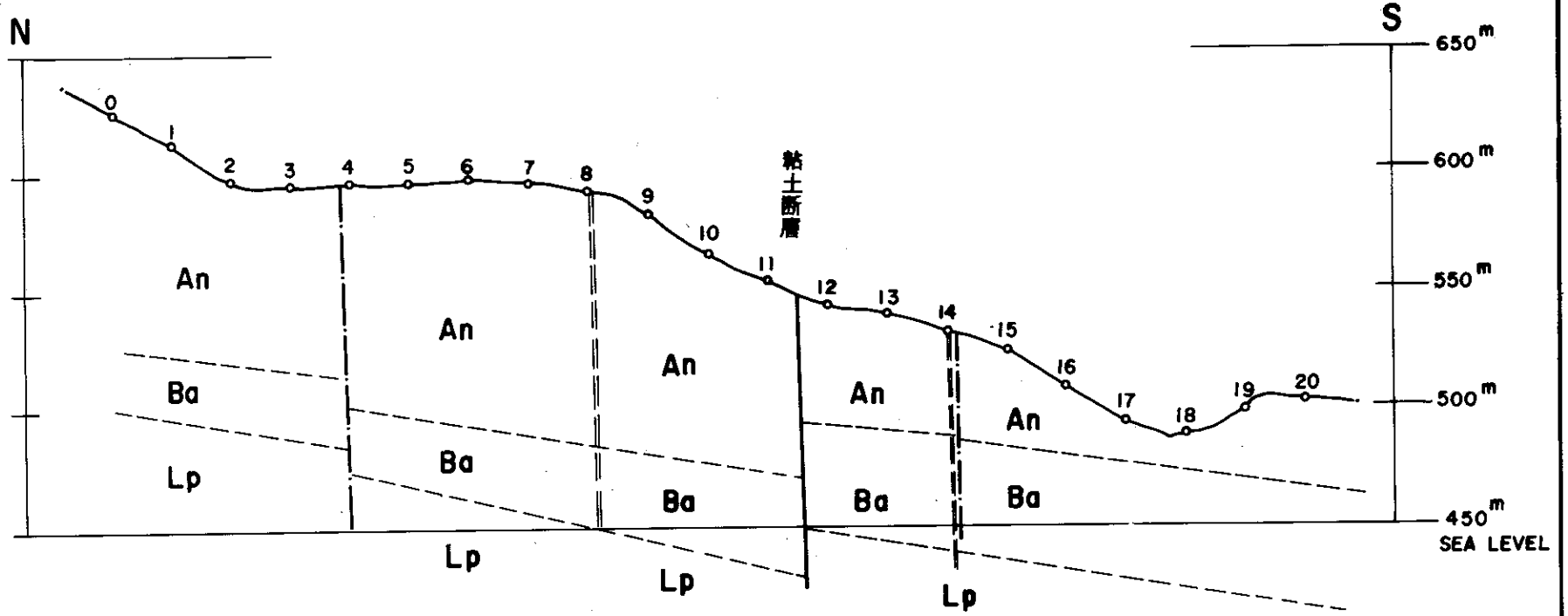
⊗ ⊗ Qp	石英斑岩
^ ^ An	安山岩
▲ ▲ Ba	玄武岩
∇ ∇ Lp	石英粗面岩
⊥ ⊥ Ly	流紋岩

Scale 1 : 5,000

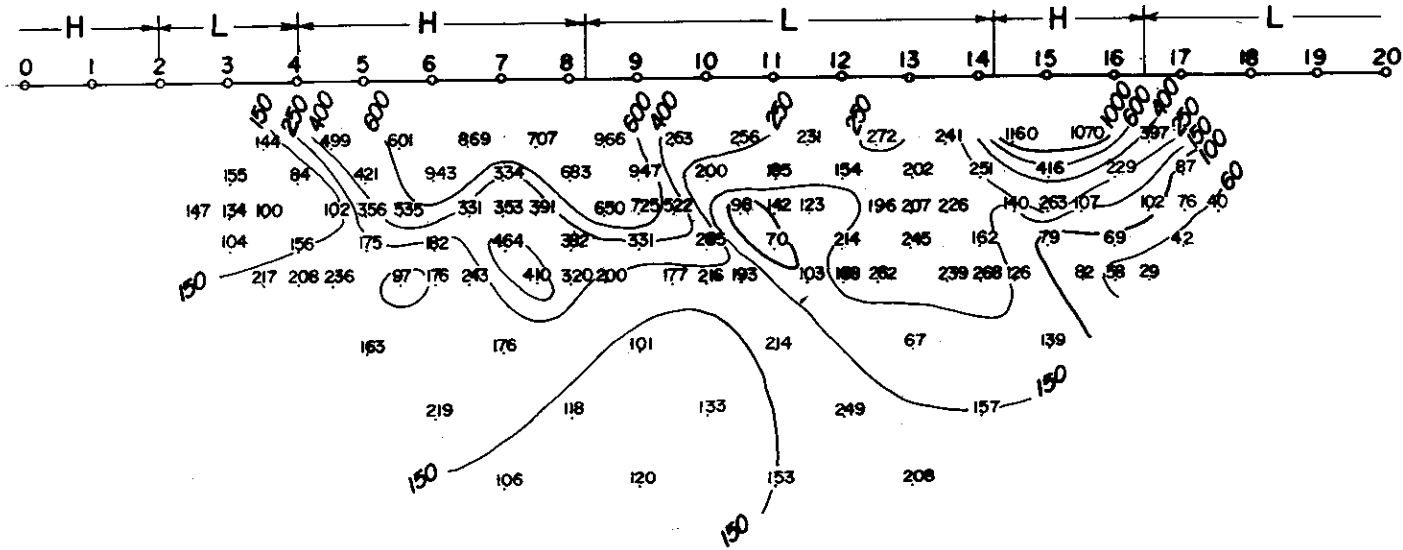
第 3 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
**白口地域測線図及び地質図**  
 三菱金属株式会社原子力部

343

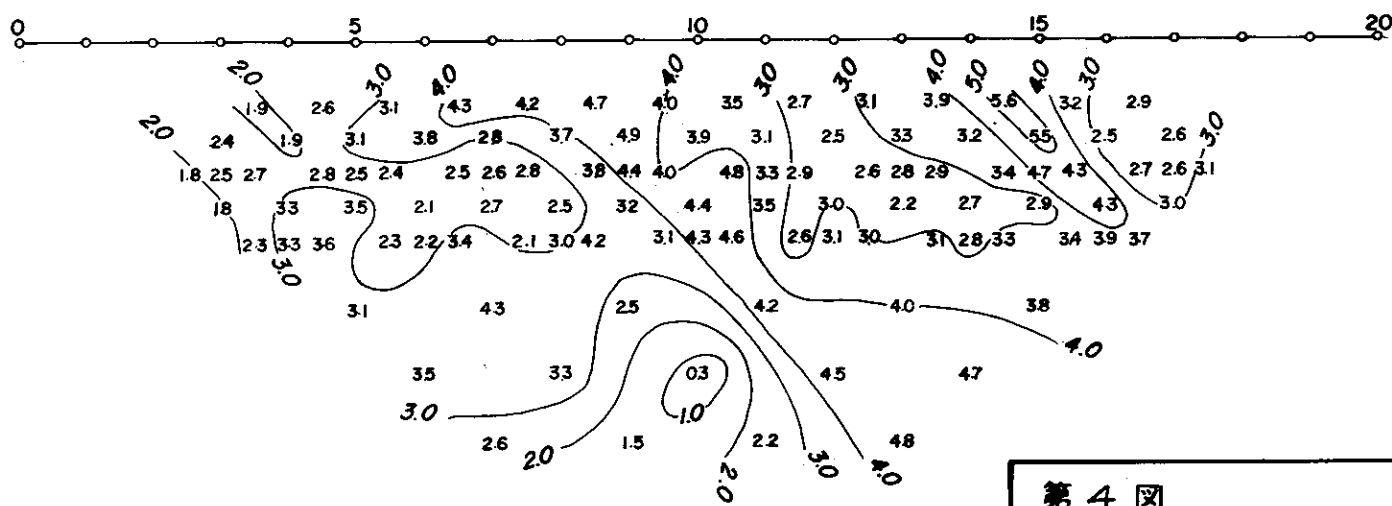




A. R. ( $\Omega$ -m)



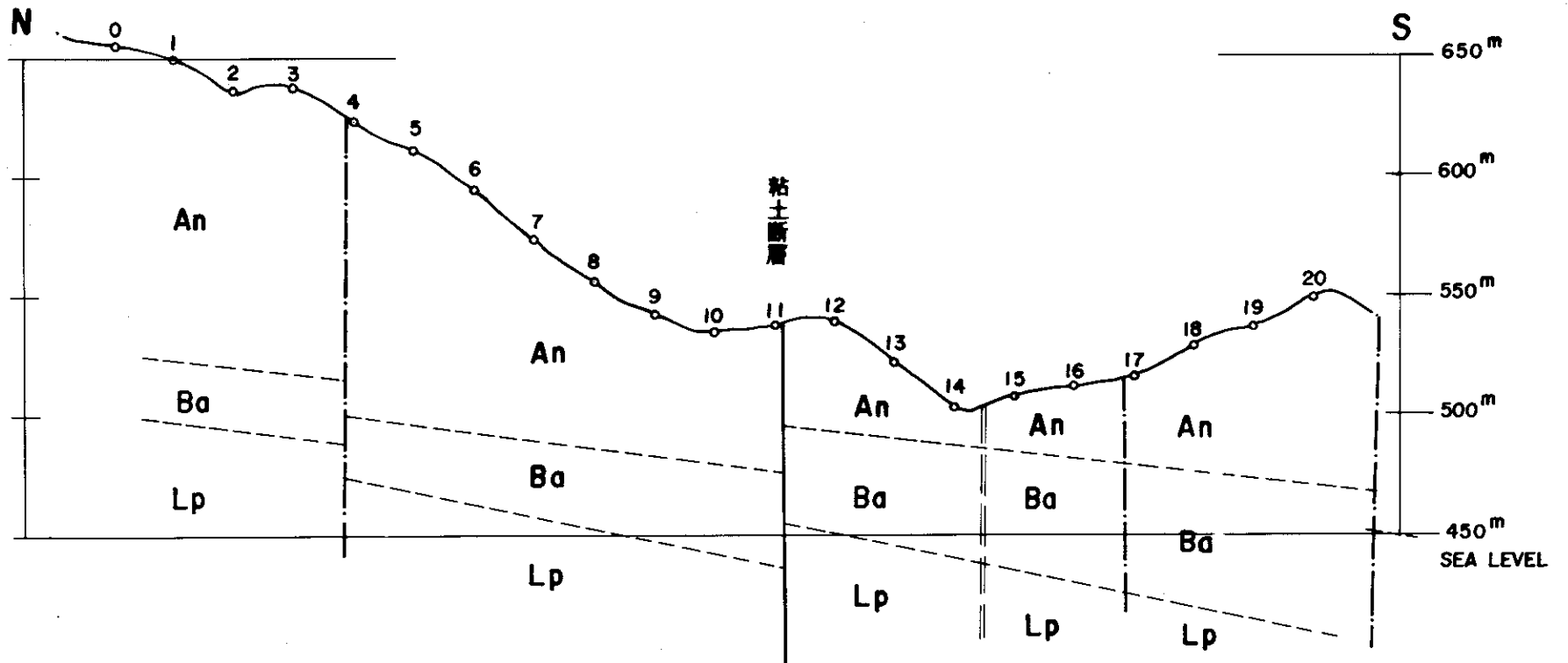
F. E. (%)



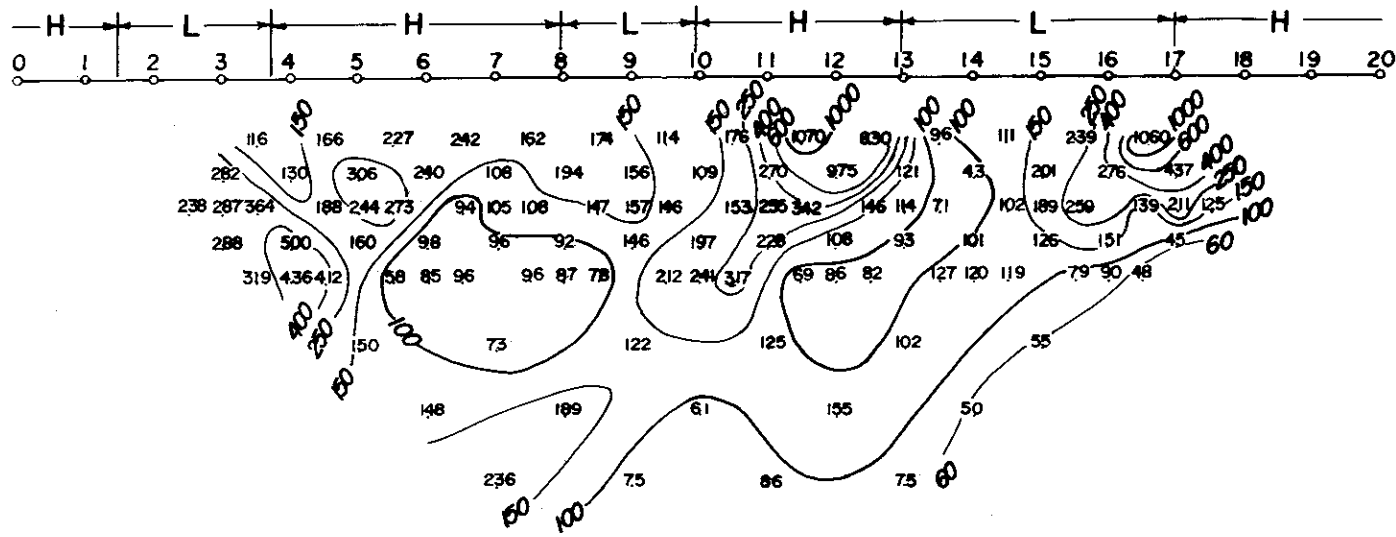
Scale 1: 2,500

第4図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 金香瀬地域IP断面図  
 No. 1 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部

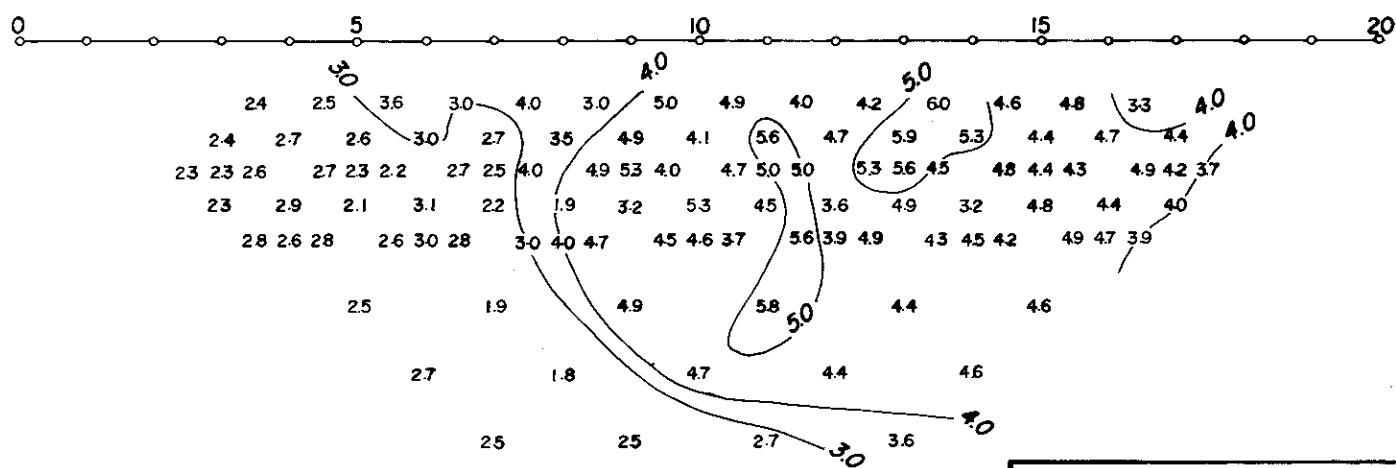




A. R. ( $\Omega$ -m)



F. E. (%)



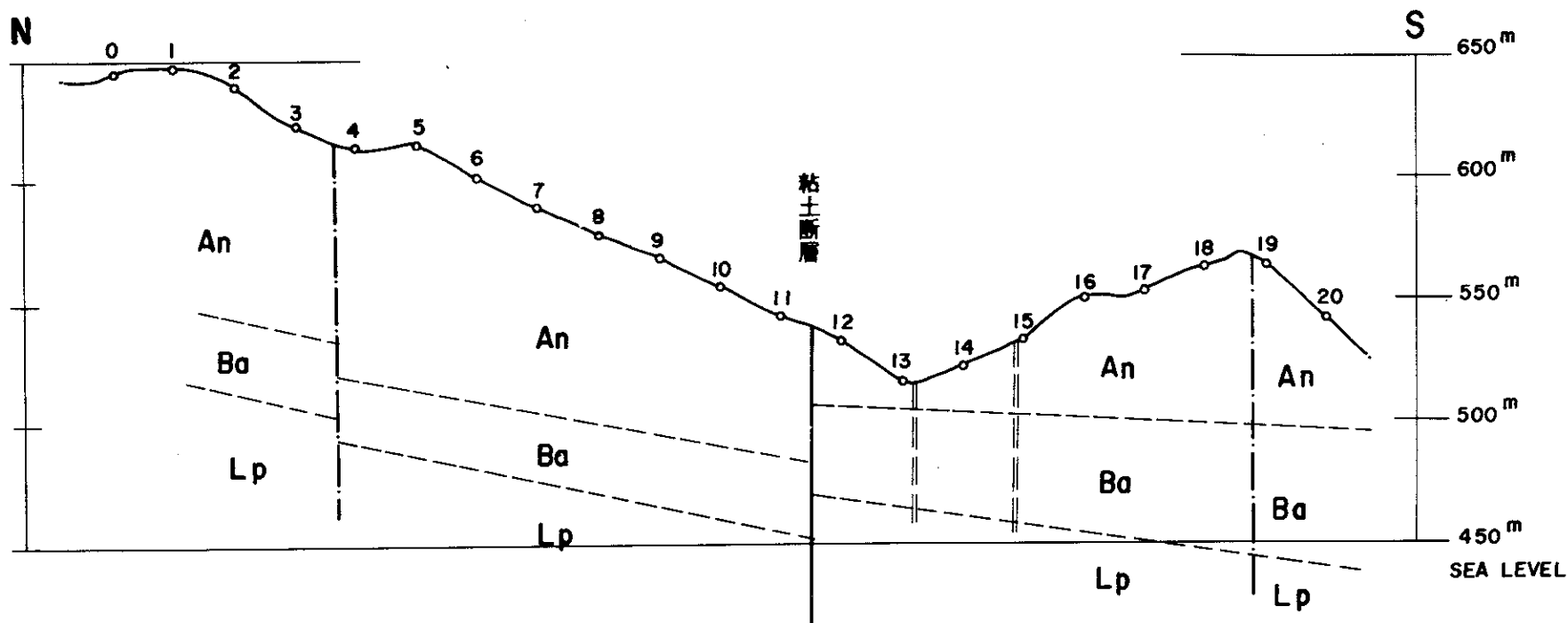
Scale 1: 2,500

第 5 図

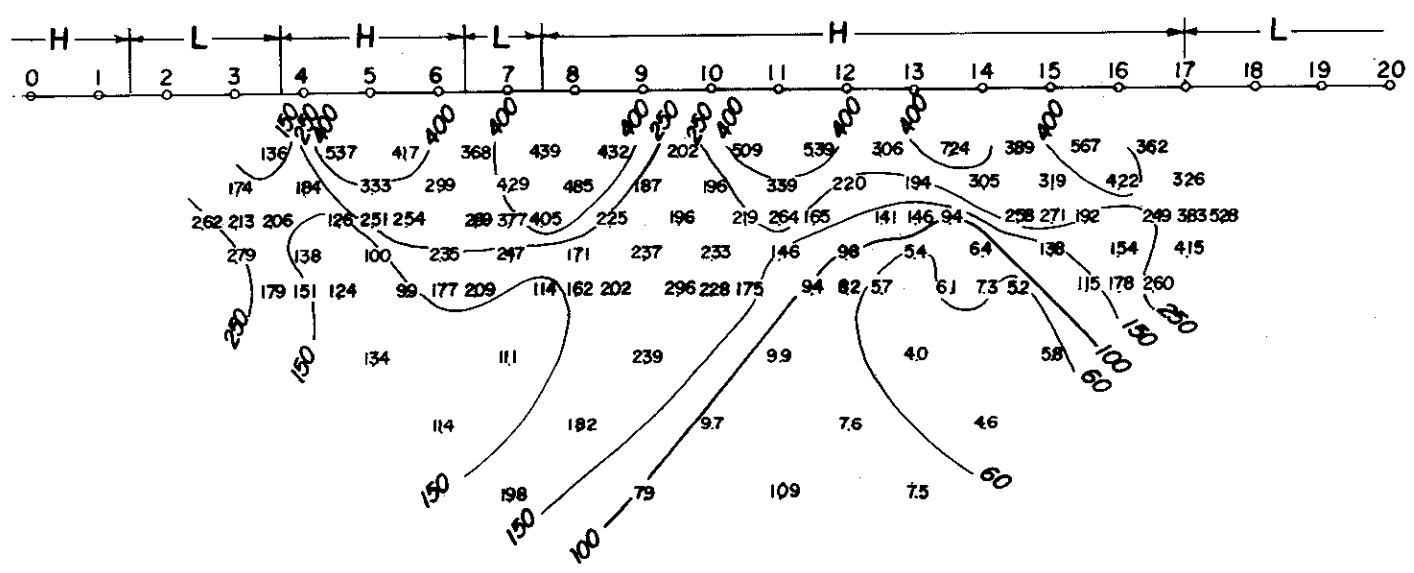
動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉾山に於ける断層探査  
金香瀬地域IP断面図

No. 2 測線断面図

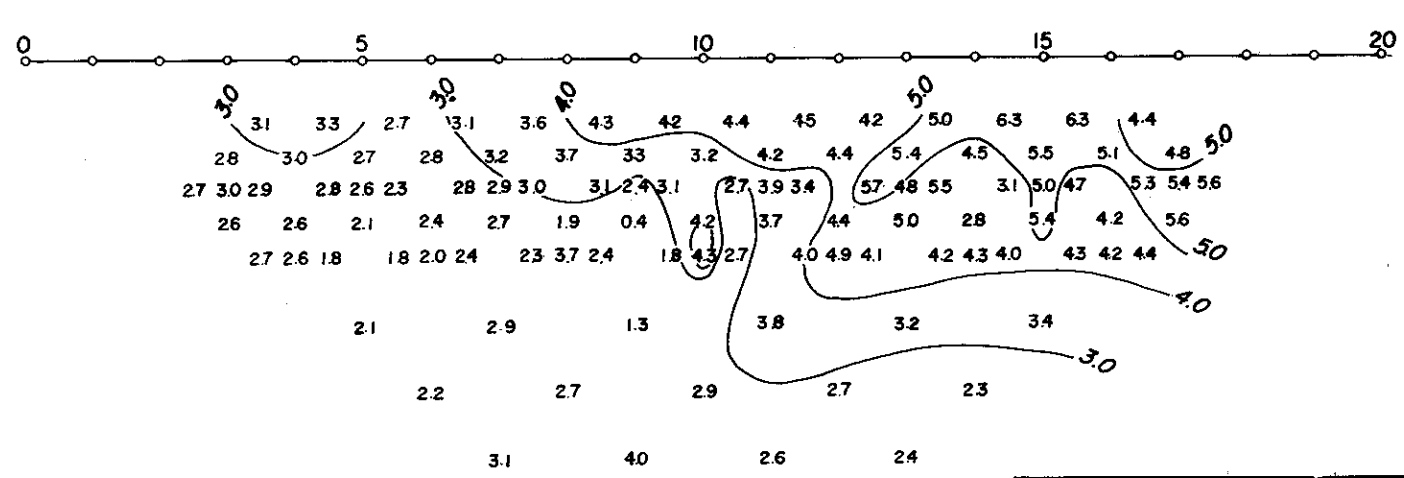
三菱金属株式会社原子力部



A. R. ( $\Omega$ -m)

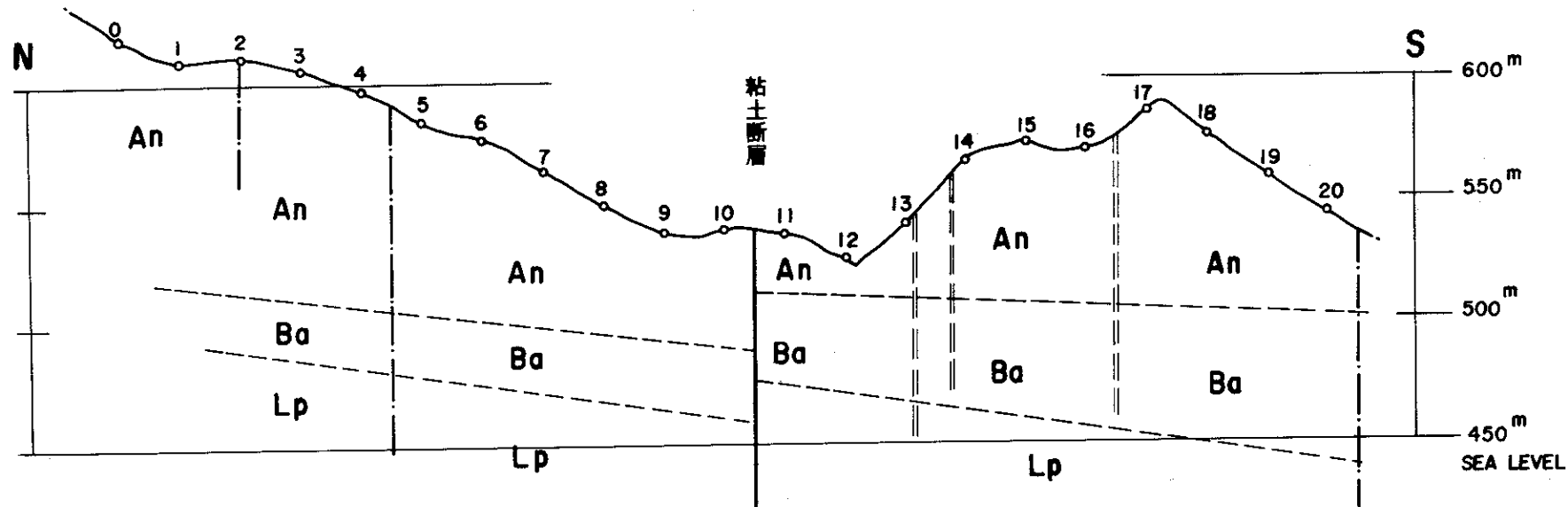


F. E. (%)

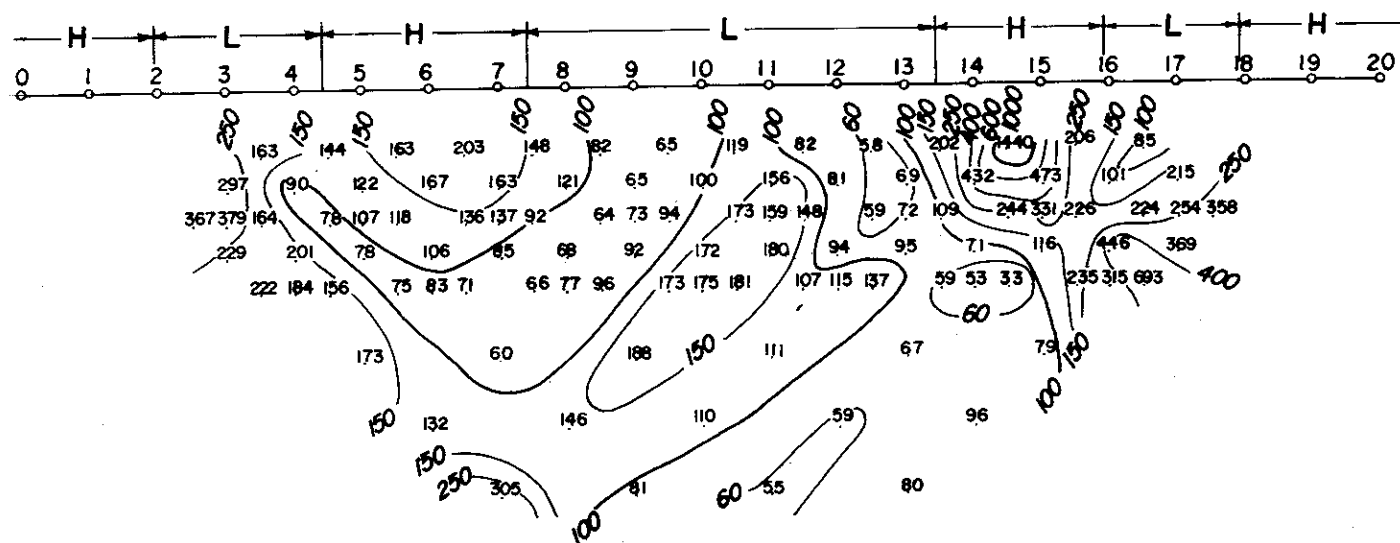


Scale 1: 2,500

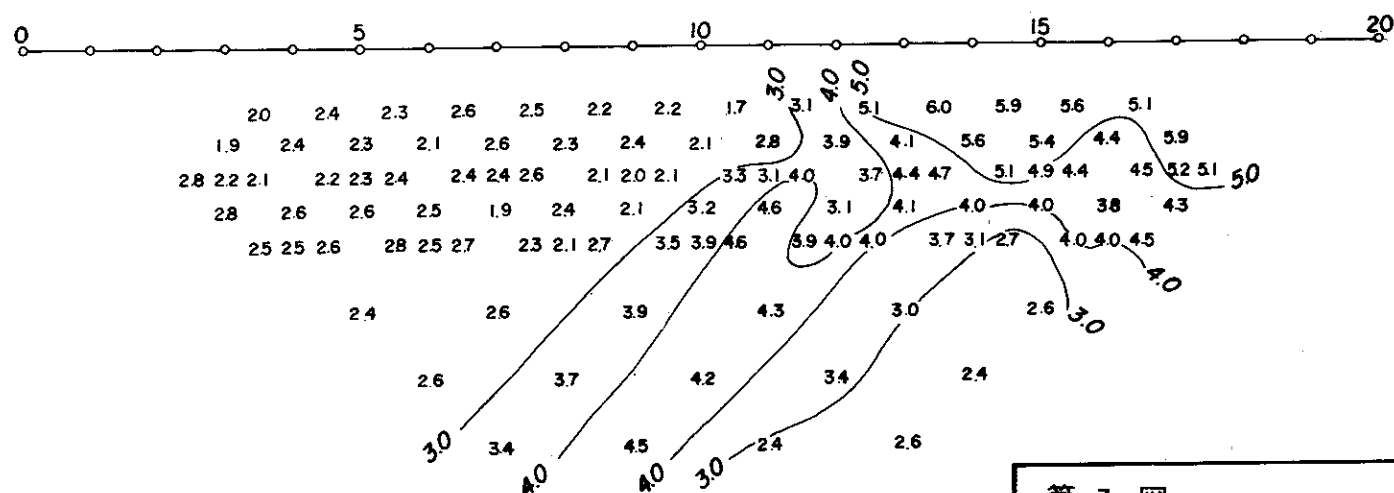
第 6 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 金香瀬地域IP断面図  
 No. 3 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部



A. R. ( $\Omega$ -m)

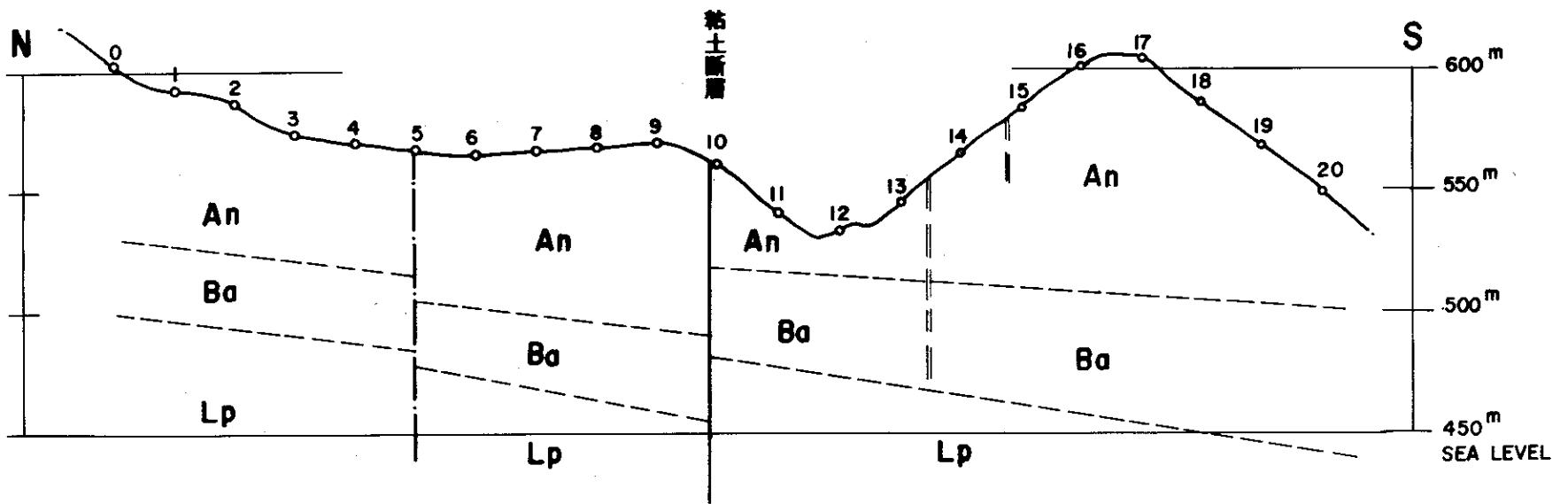


F. E. (%)

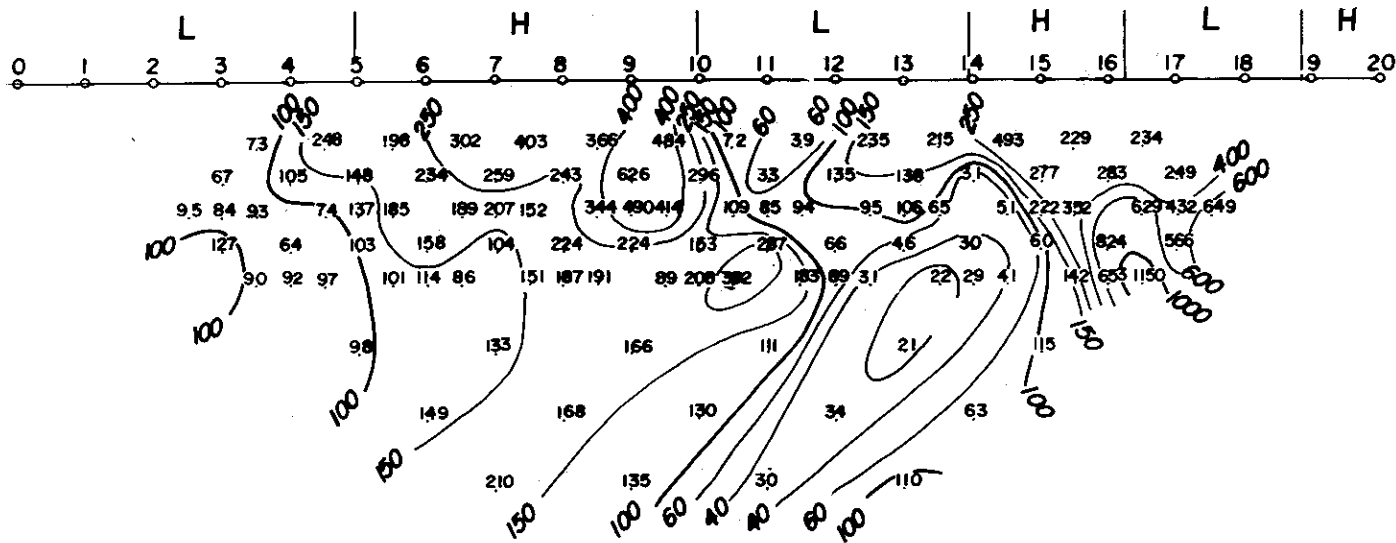


Scale 1: 2,500

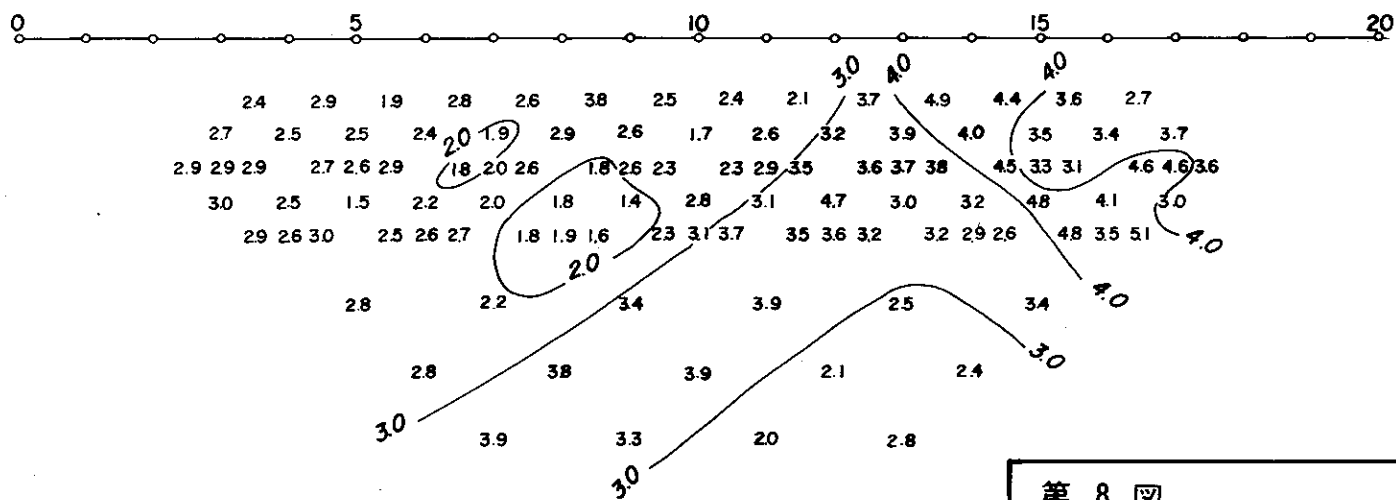
第 7 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 金香瀬地域IP断面図  
 No. 4 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部



A. R. ( $\Omega$ -m)

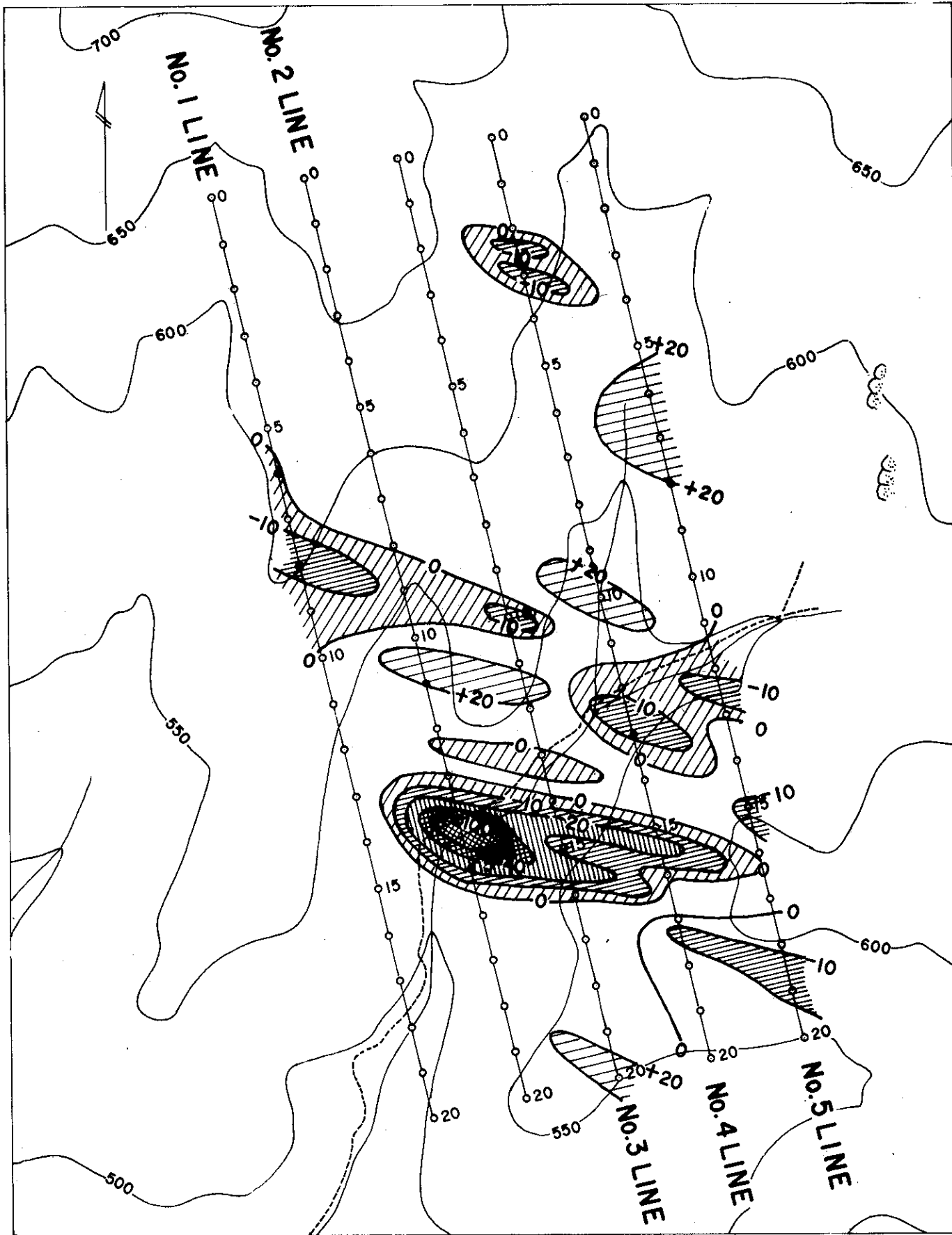


F. E. (%)



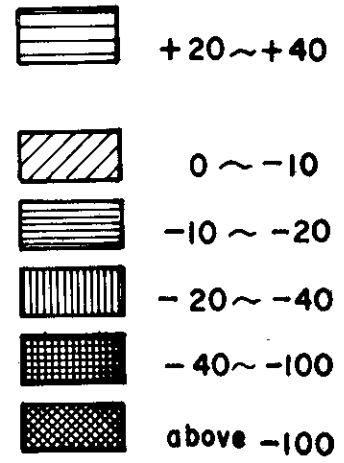
Scale 1 : 2,500

第 8 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 金香瀬地域IP断面図  
 No. 5 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部



凡例

単位 mV



Scale 1 : 2,500

第 9 図

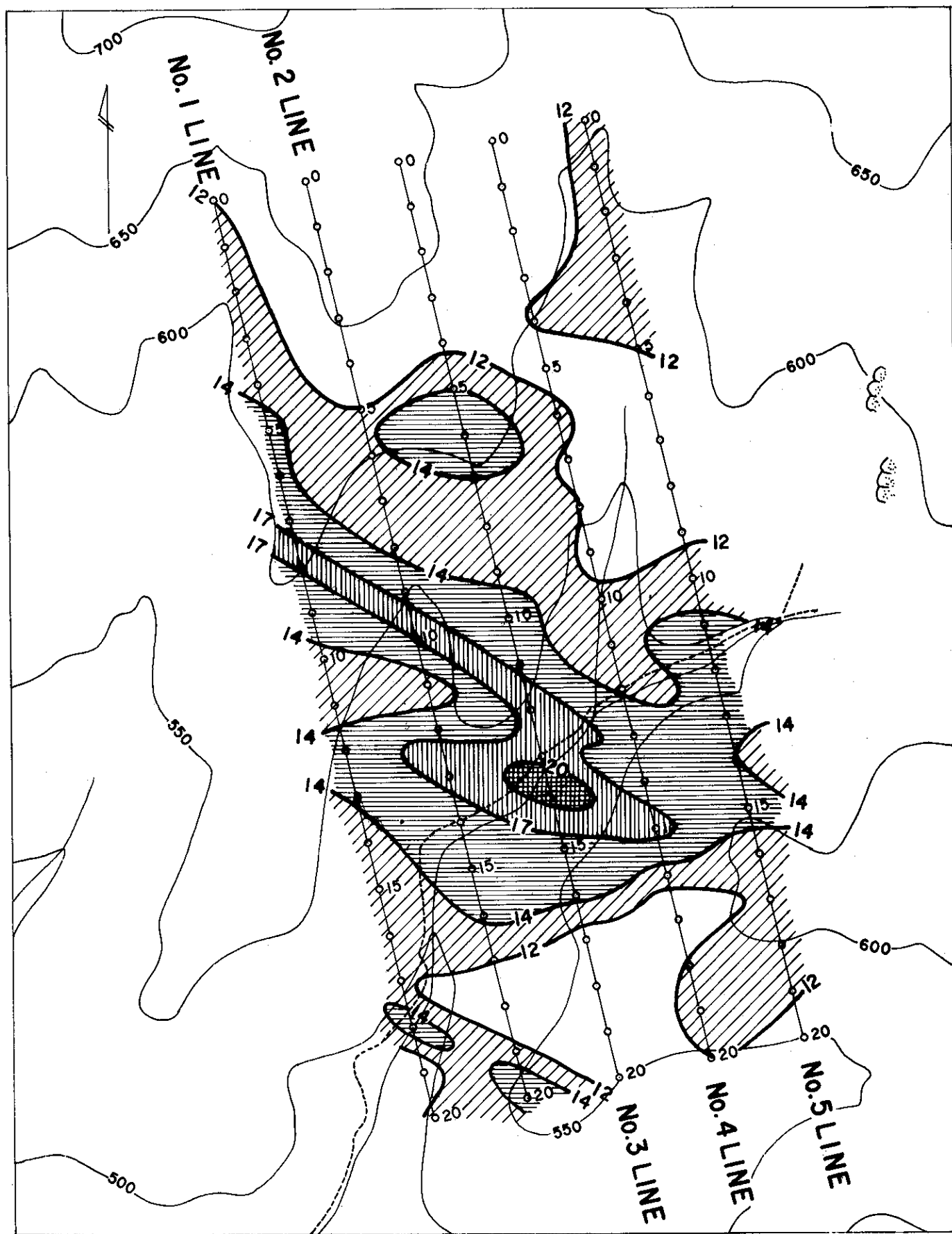
動力炉・核燃料開発事業団

生野鉱山に於ける断層探査

金香瀬地域 SP 平面図

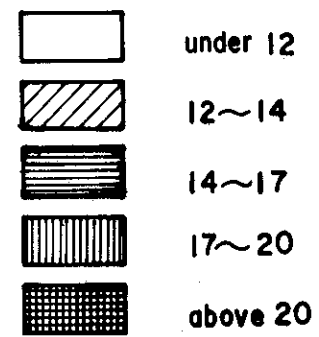
三菱金属株式会社原子力部

155



凡例

単位 10 mR/Hr  
(ミリレントゲン/時)



Scale 1 : 2,500

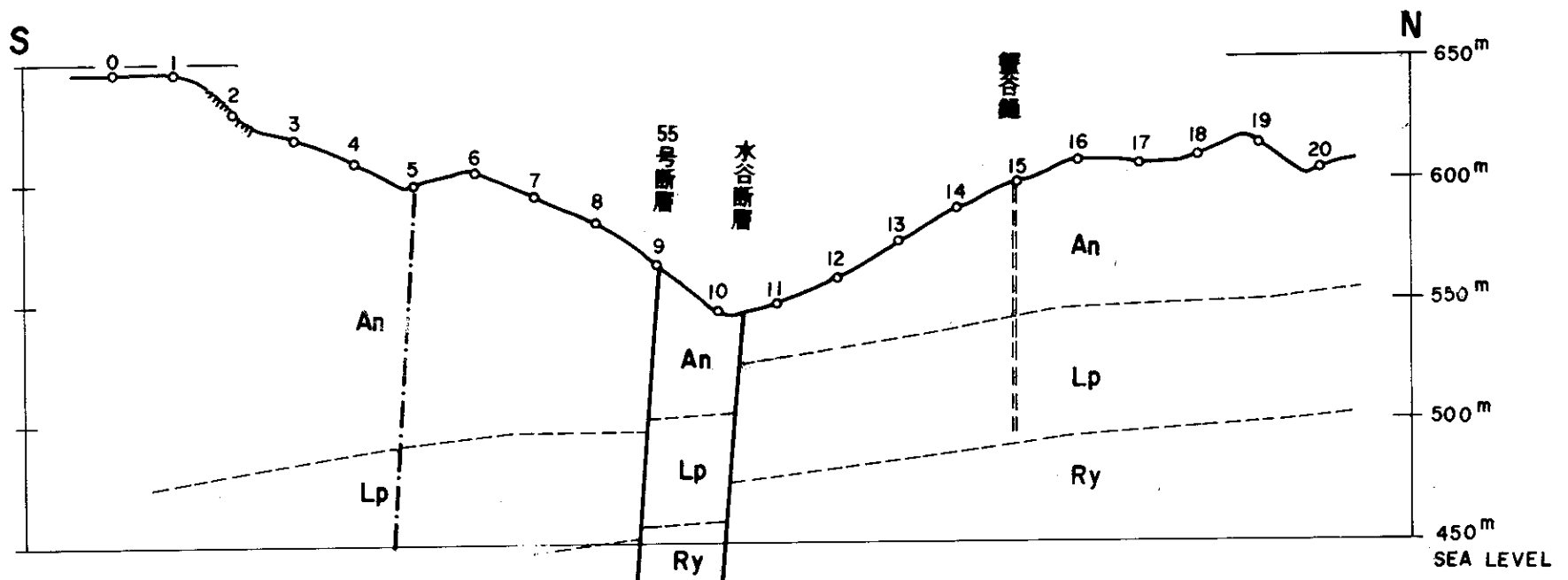
第10図

動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉱山に於ける断層探査

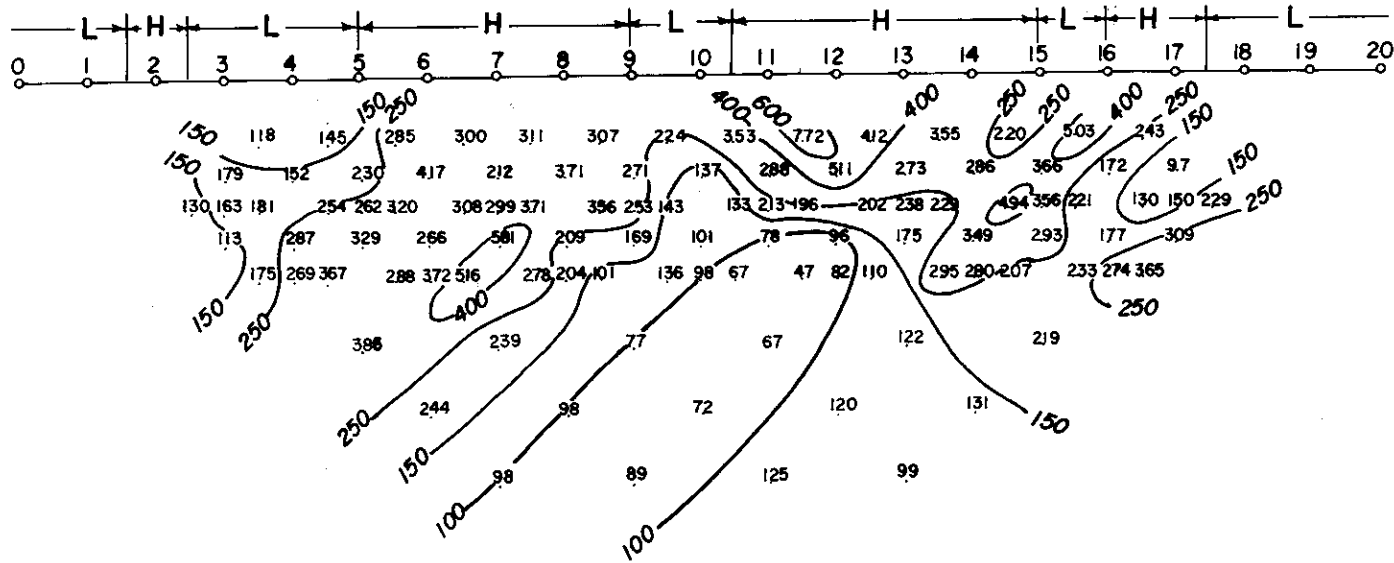
金香瀬地域放射能平面図

三菱金属株式会社原子力部

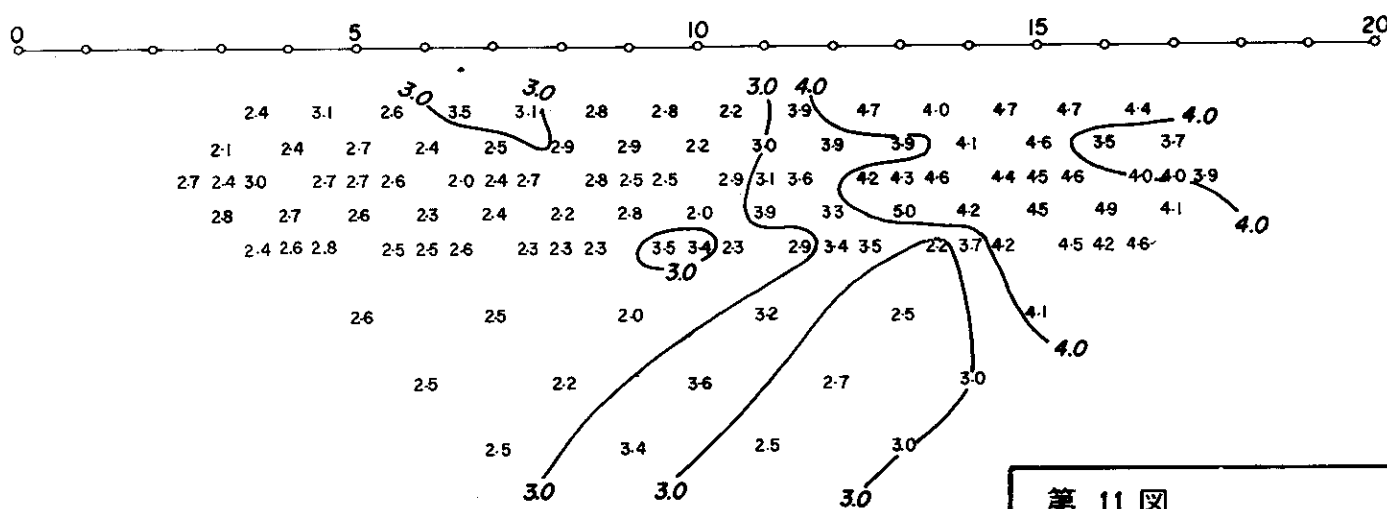
357



A. R. ( $\Omega$ -m)

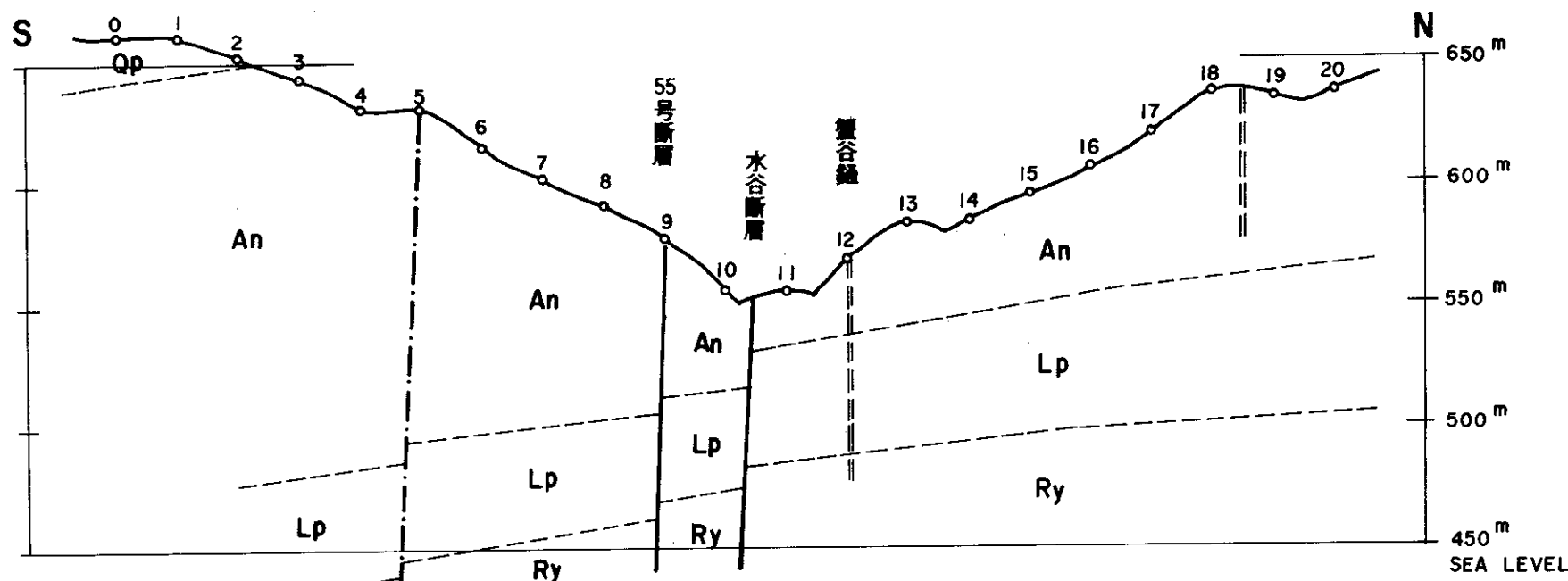


F. E. (%)

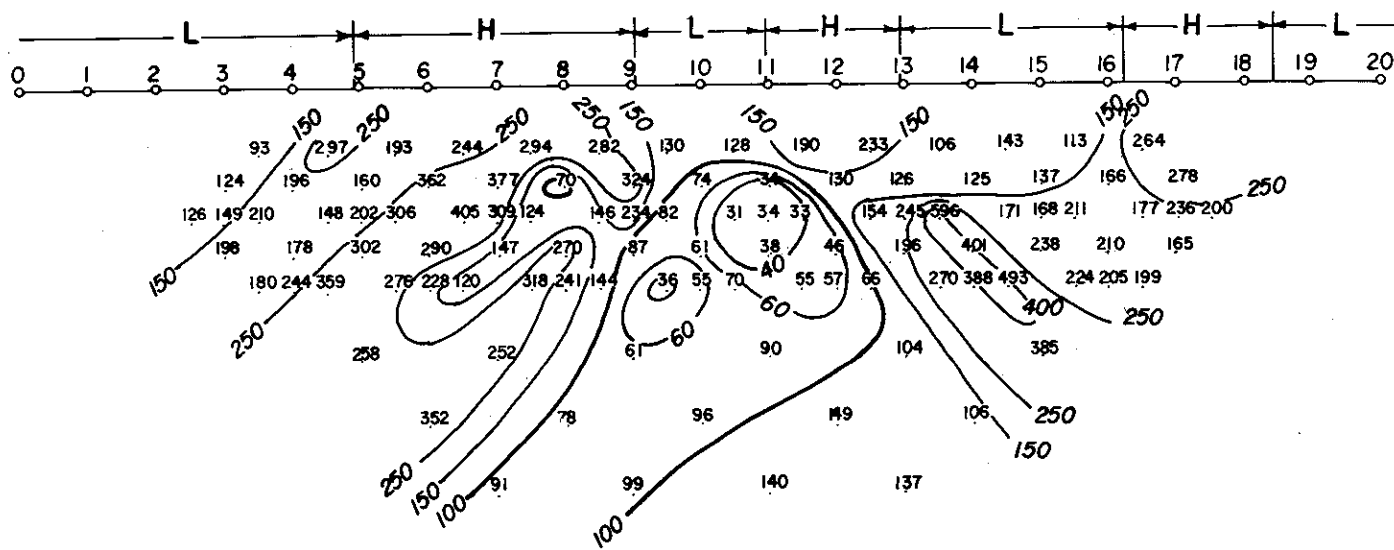


Scale 1:2,500

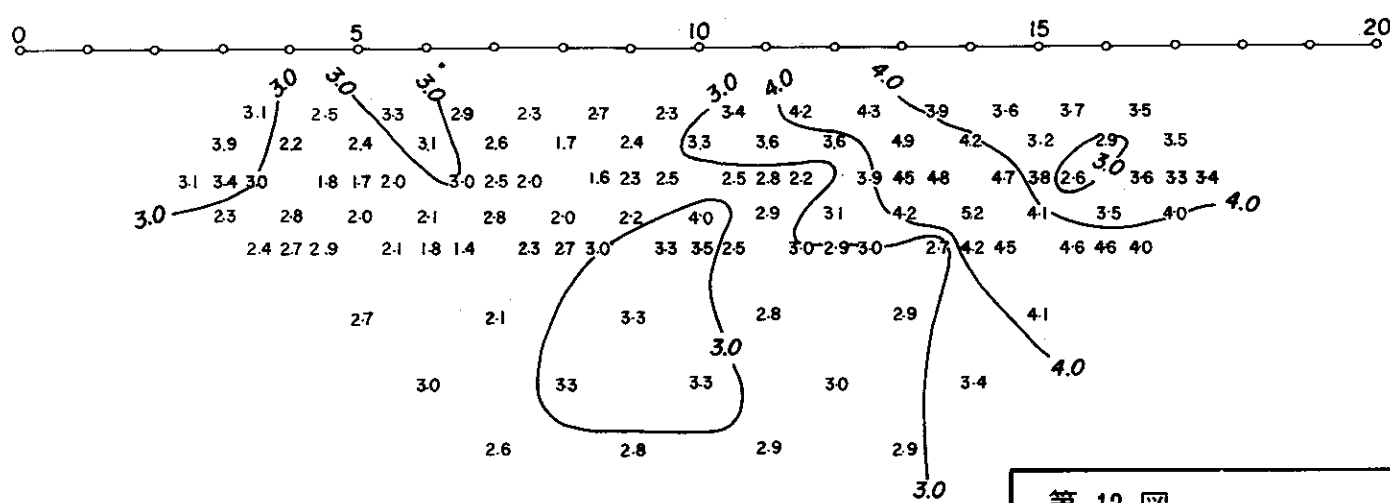
第 11 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 白口地区IP断面図  
 No. 6 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部



A. R. ( $\Omega$ -m)



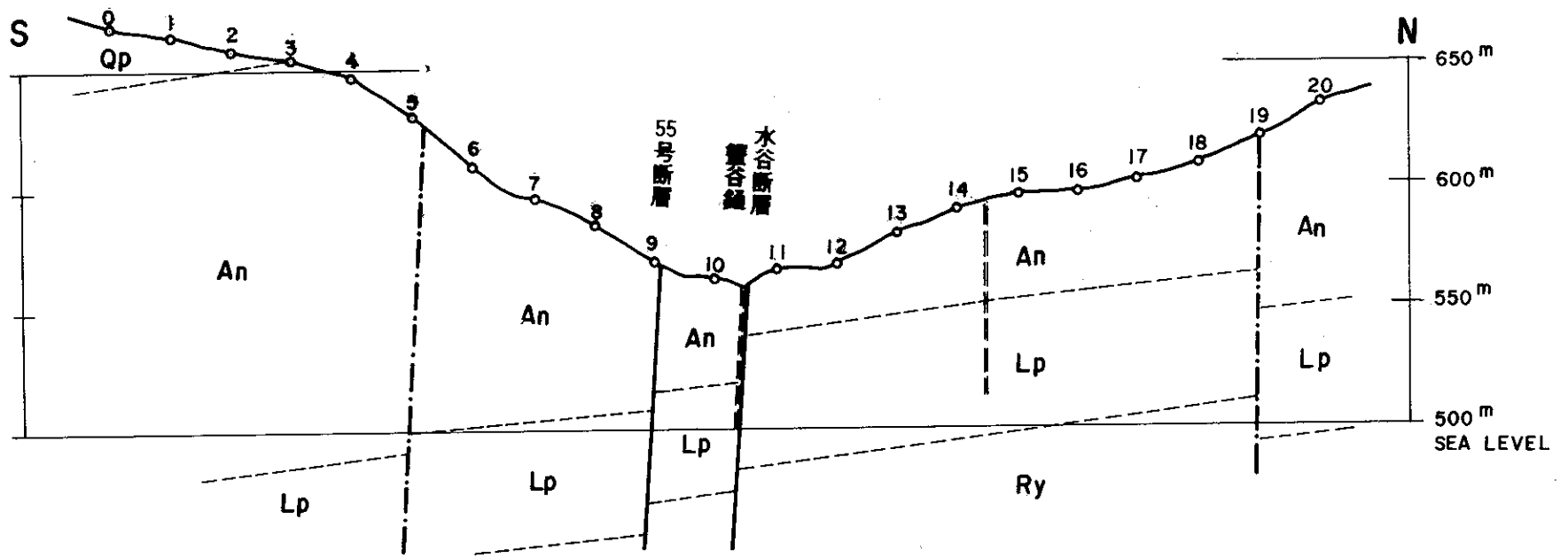
F. E. (%)



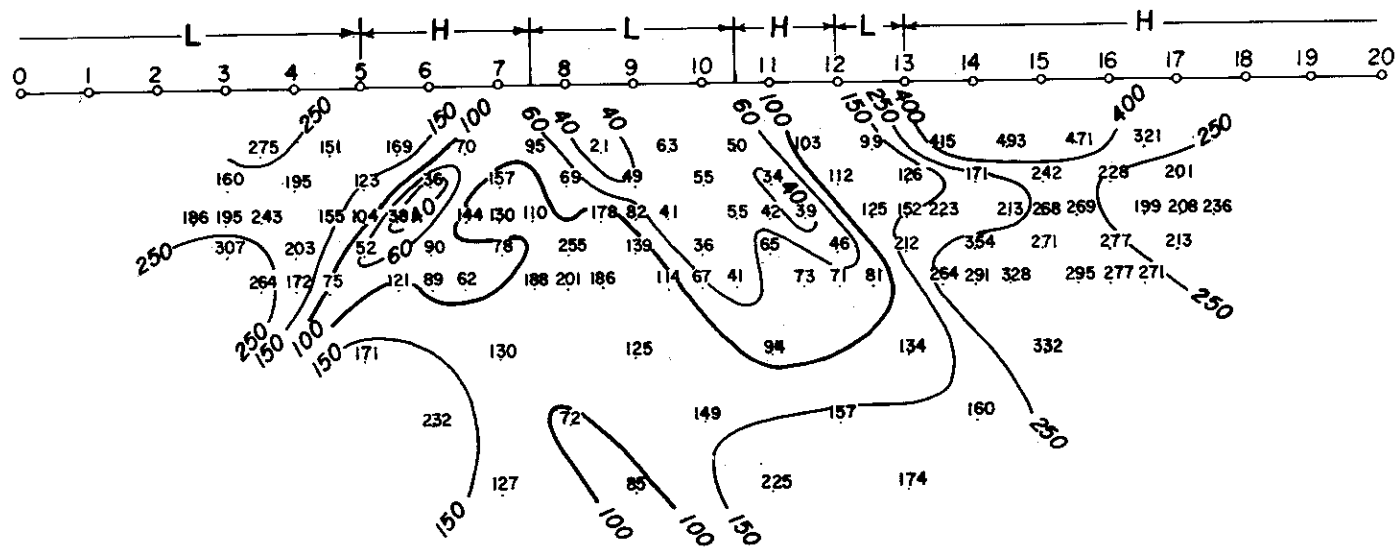
Scale 1 : 2,500

第 12 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 白口地区IP断面図  
 No. 7 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部

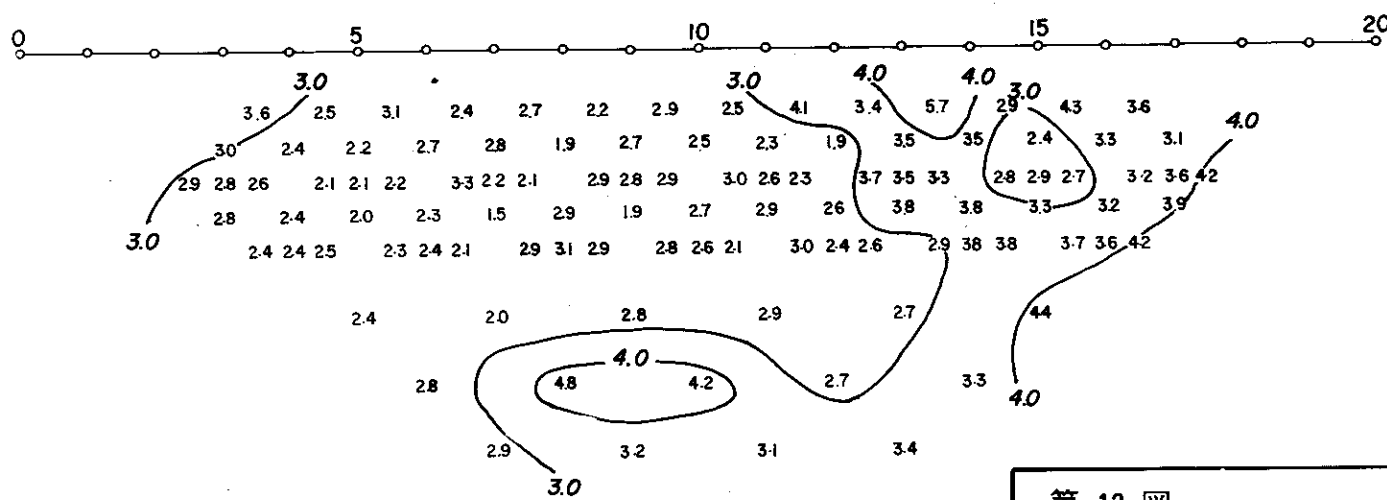




A. R. (Ω-m)



F. E. (%)



Scale 1:2,500

第 13 図

動力炉・核燃料開発事業団

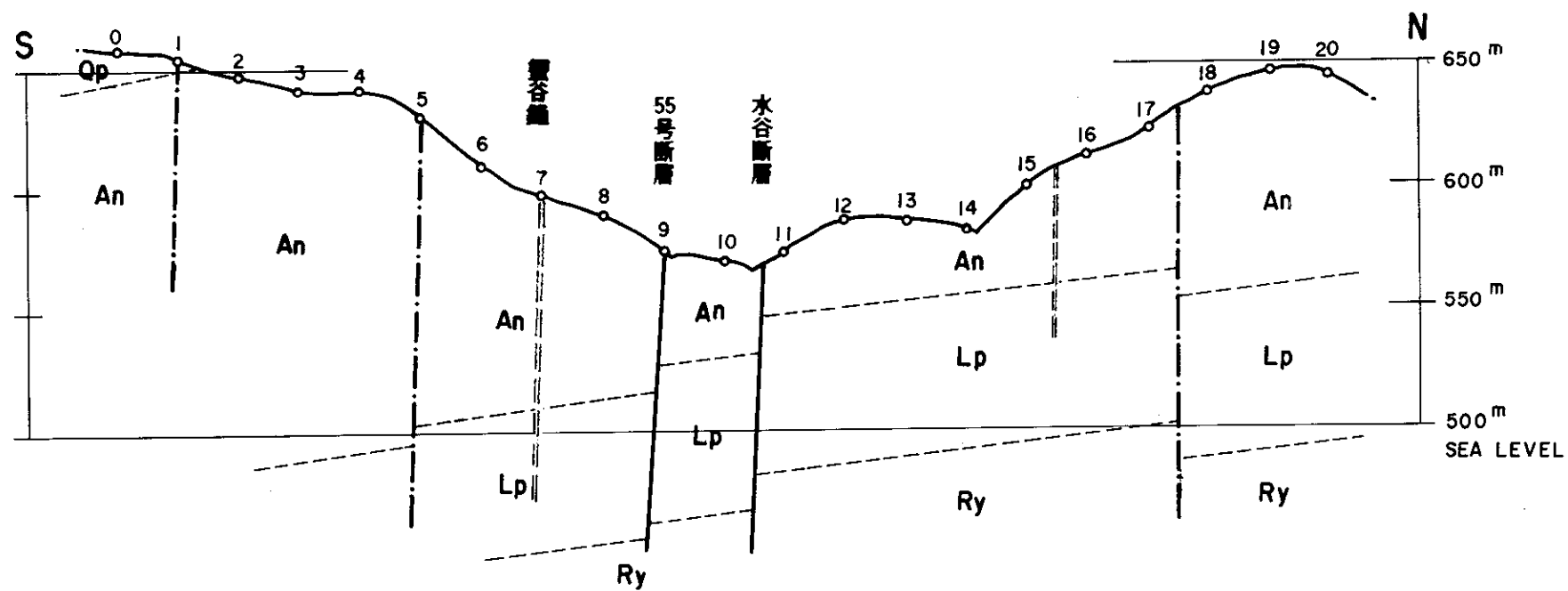
生野鉾山に於ける断層探査

白口地区IP断面図

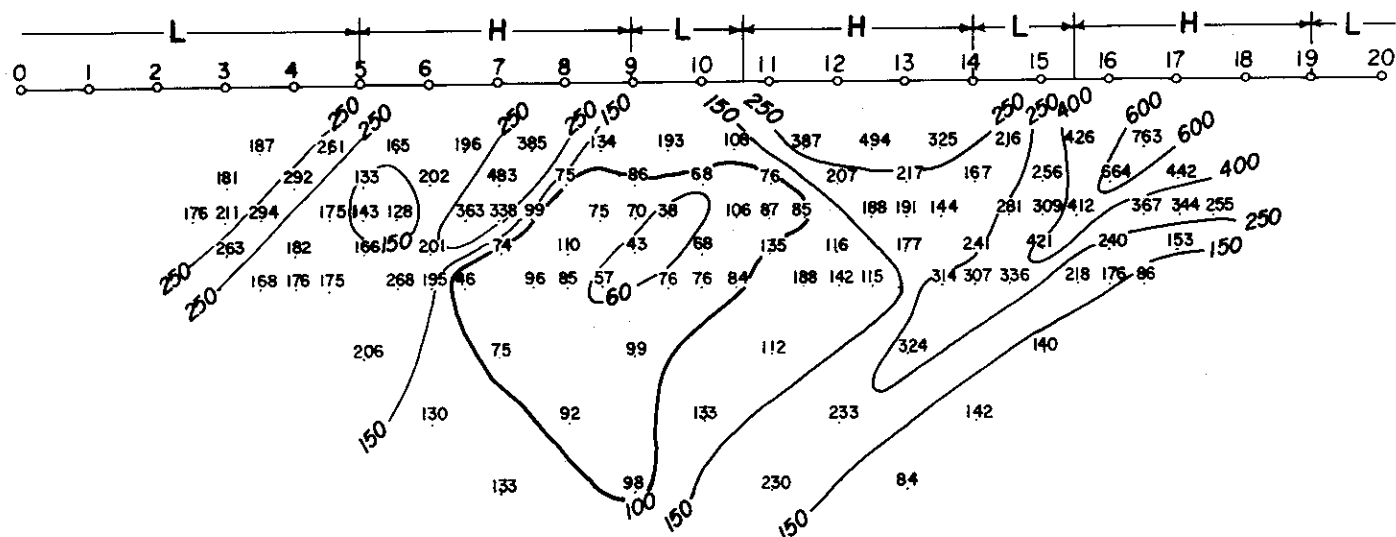
No. 8 測線断面図

三菱金属株式会社原子力部

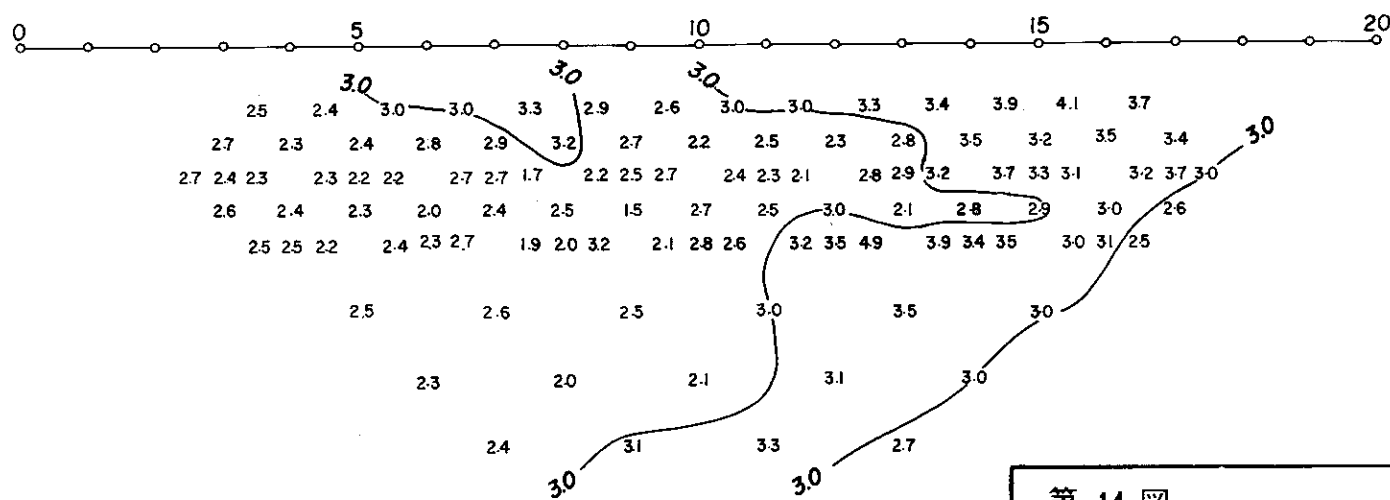
295



A. R. ( $\Omega$ -m)



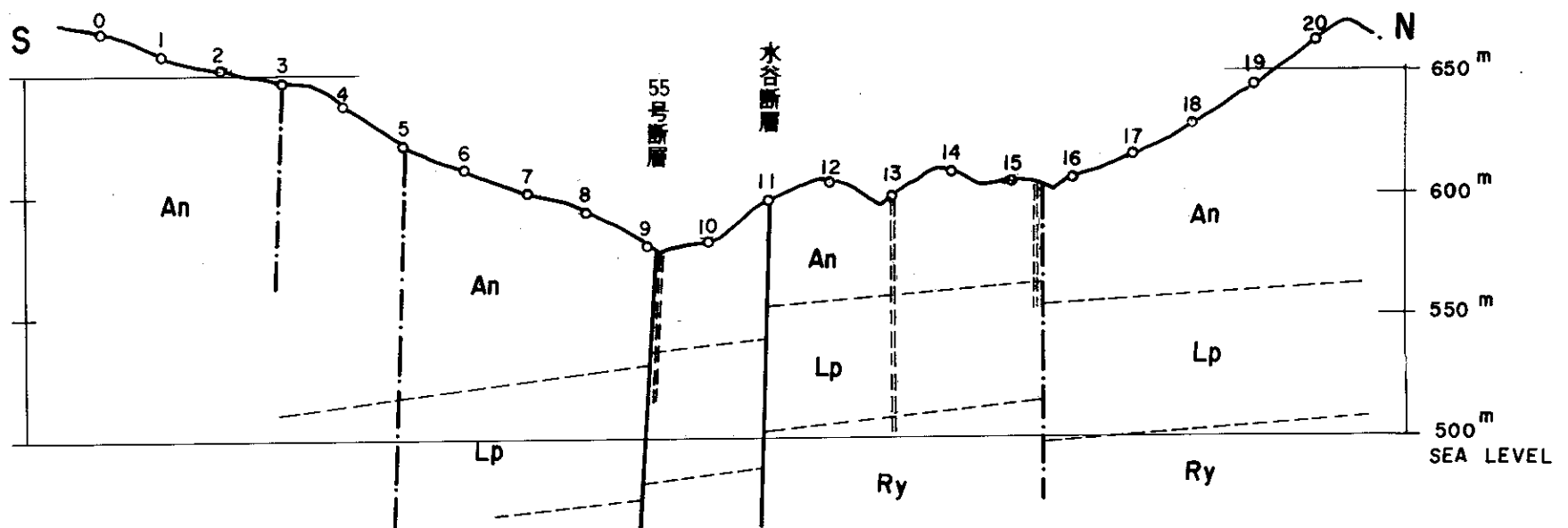
F. E. (%)



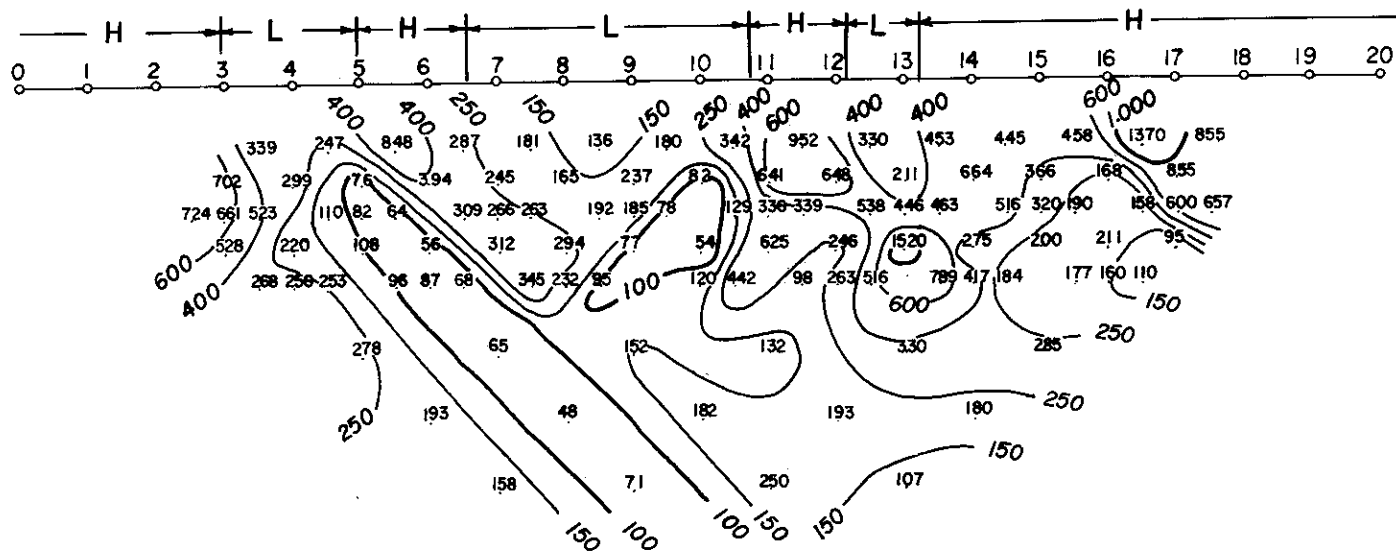
Scale 1: 2,500

第 14 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 白口地区IP断面図  
 No. 9 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部

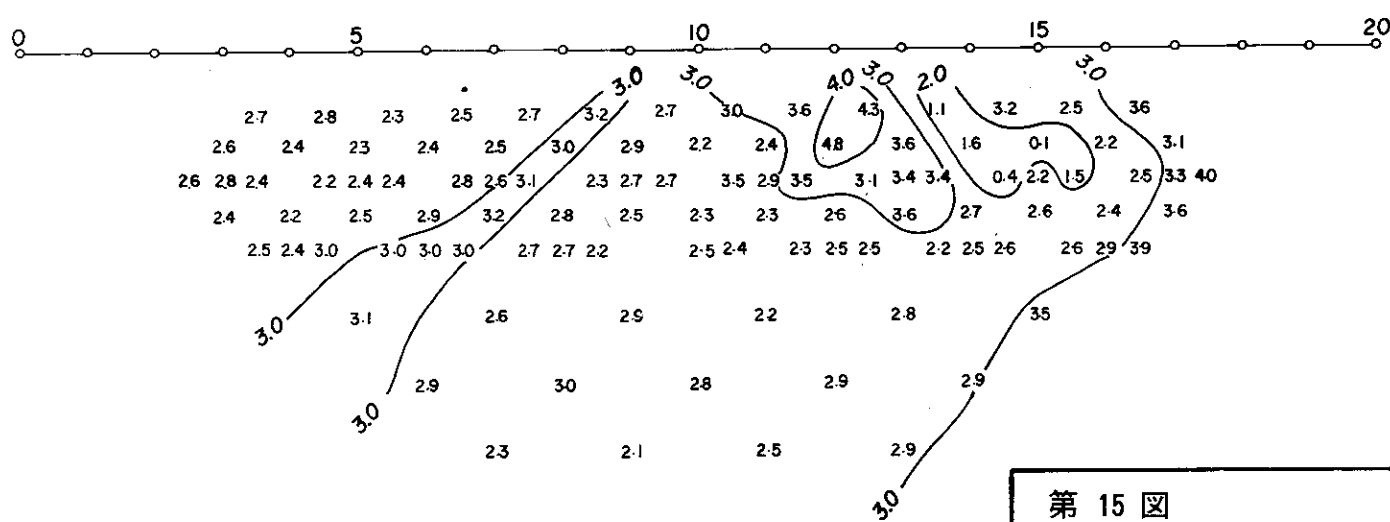
367



A. R. ( $\Omega$ -m)

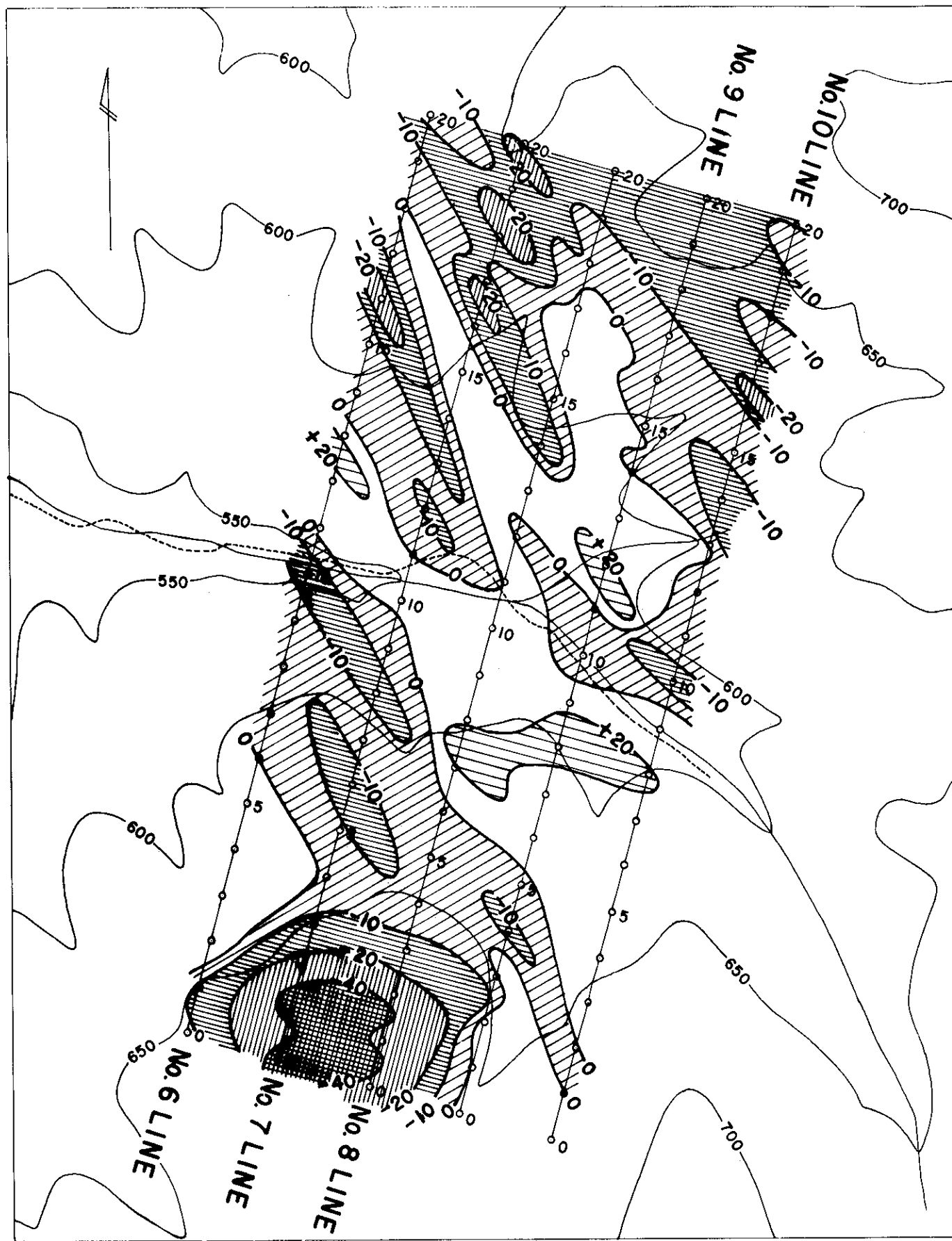


F. E. (%)

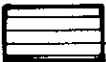
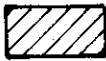





Scale 1:2,500

第 15 図  
 動力炉・核燃料開発事業団  
 生野鉱山に於ける断層探査  
 白口地区IP断面図  
 No. 10 測線断面図  
 三菱金属株式会社原子力部



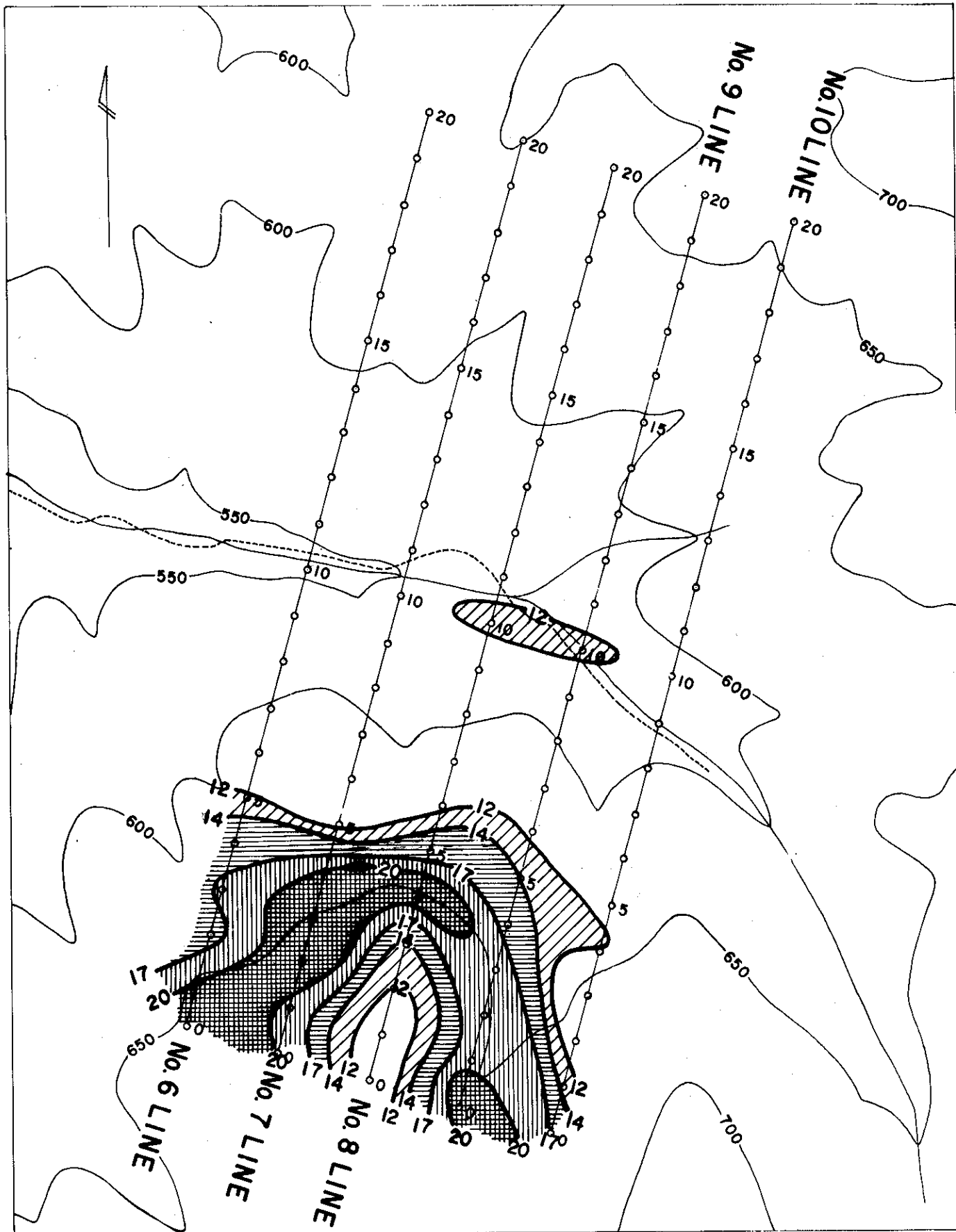
凡例  
単位 mV

-  +20 ~ +40
-  0 ~ -10
-  -10 ~ -20
-  -20 ~ -40
-  -40 ~ -100

Scale 1 : 2,500

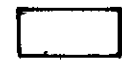




第 16 図  
動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉾山に於ける断層探査  
白口地域 SP 平面図  
三菱金属株式会社原子力部

269



凡例

単位  $10^{-3}$  mR/Hr  
(10ミリレントゲン/時)

-  under 12
-  12~14
-  14~17
-  17~20
-  above 20

Scale 1 : 2,500

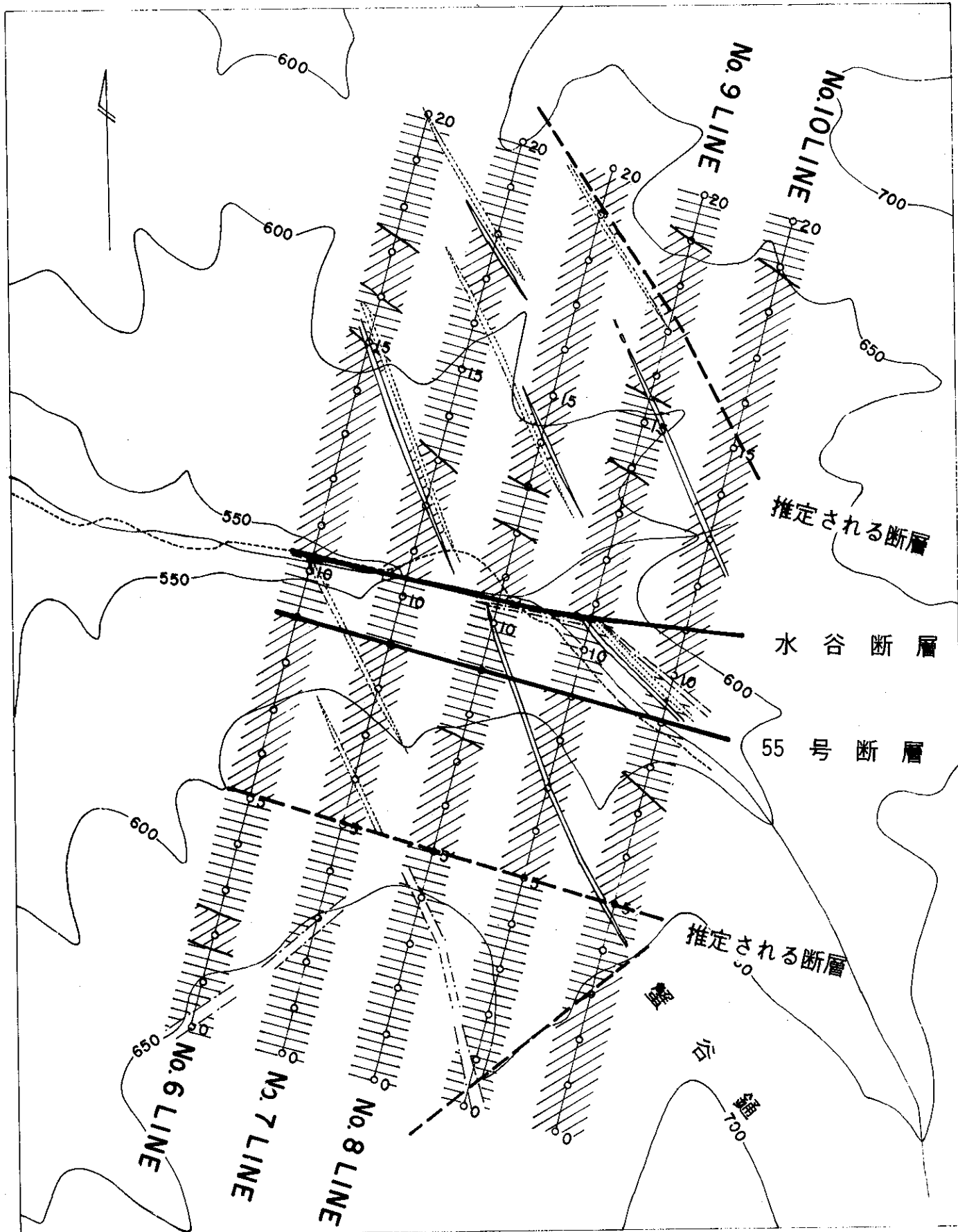
第 17 図

動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉱山に於ける断層探査

白口地域放射能平面図

三菱金属株式会社原子力部

371



凡例

-  高比抵抗帯
-  低比抵抗帯
-  I P 示 徴
-  SP負異常値
-  放射能異常

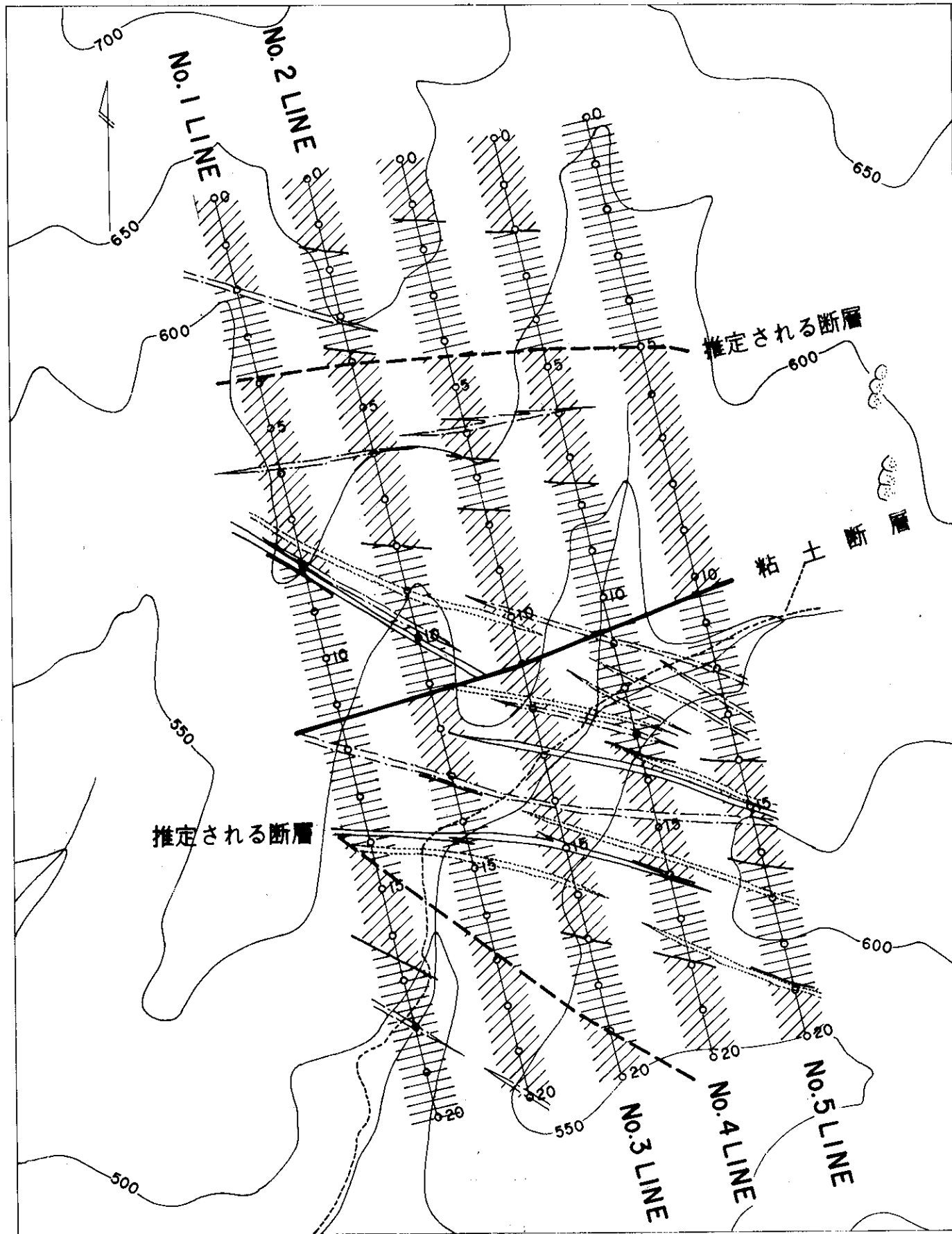
第 18 図

動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉱山に於ける断層探査

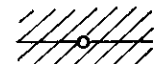
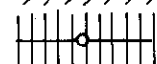
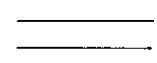
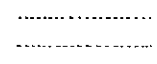
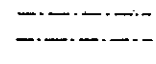
白口地域解析結果平面図

三菱金属株式会社原子力部

317



凡例

-  高比抵抗帯
-  低比抵抗帯
-  I P 示 徴
-  SP負異常値
-  放射能異常値

第 19 図

動力炉・核燃料開発事業団  
生野鉱山に於ける断層探査

金香瀬地域解析結果平面図

三菱金属株式会社原子力部

## 4.3 地下湧水モデルの研究

### 4.3.1 目的

鉾山より得られた資料を基に地下湧水のモデル化を開発・調査する。

### 4.3.2 研究方針

地層処分の1要因として地下水の挙動の把握は重要である。従って挙動モデルを開発する第1歩として既存の鉾山における坑内湧水機構のモデル的手法による解析を行う。具体的には、坑内湧水に関係している鉾床地帯の地下構造を地形と地質構造（特に断層、破砕帯等）を勘案した多数の角柱岩体の集合で近似せしめ、地下水の流速または、流量を数値分布として表示するほか、等水位曲線図または流線図で表示し、坑内湧水量の予想に資することを目的とする。

本年度は上記構想に基き尾平鉾山（宮崎県）を対象にして角柱岩体の集合体を作成し、計算に必要な入力を選定する。

### 4.3.3 研究の成果

#### (1) 天水の水文サイクル

地表面に到達した雨水の一部は地中に吸収され、残りは表流水となって蒸発し或いは河川を経て、湖や海に集る。地中に吸収された雨水の一部は地表面から蒸発したり、植物の根から吸収され、葉から蒸散するが、残りの雨水は地中の通気帯内を移動し、地中の造水度の低い地層を伝って地表に流出したり、或いは地下水面まで浸透して地下水となる。水文学では前者を中間流失、後者を涵養と呼んでいる。

地下水面は地中の通気帯と飽和帯の境界面で、地下水とは、地下水面下で地層を飽和している水のことである。地下水は礫層や岩盤の亀裂、断層、破砕帯中に浸透し、再び地表面に流失する。水文学ではこれを地下水流失と呼ぶ。なお雨水の浸透過程で水に溶解しやすい、例えば石灰岩層がある場合は、漸次これを溶解して空洞をつくり、鐘乳洞となるが、又人為的にトンネルや坑道或いは井戸を開さくすると、これらの人為的空洞内に湧出して地表面に導水され流出する。これを人為的流失と仮称する。

再び地表面に流失した水は前述の表流水と合流し或いは単独で重力に従って流下し、蒸発しながら、河川を経由して湖や海に集り、更に蒸発して大気中に還元されて、再び雨水となって降下する、このような循環現象を水文サイクルと称する。



従って水文サイクルを大別すると、大気系、地表系、地下水系、人為系、河川系及び湖沼・海洋系となる。大気系からの降水が、他の系内の各種の経路を流下して流域下流端に達するまでの水文事象を総括して流出過程と呼ぶ。

水文学は新しい分野で従来の研究は主として地下浅所の土壤中の水の挙動に限られていたが、近時地熱開発等に伴い、地下深部の岩盤中の水の挙動についても研究されるようになった。特に地下数kmの深部の情報は極めて少く、今後の研究課題であるが、概念的には極めて小さい速度で流動し、海洋に流失していることが考えられ、これを深部浸漏流失と称している人もある。地下深部の水は巨視的には天水と関係があるように思われるが、化石水との関係など不明の点が多い。

以上の水文サイクルを概念図にすると図 4.3 - 1 の通りである。

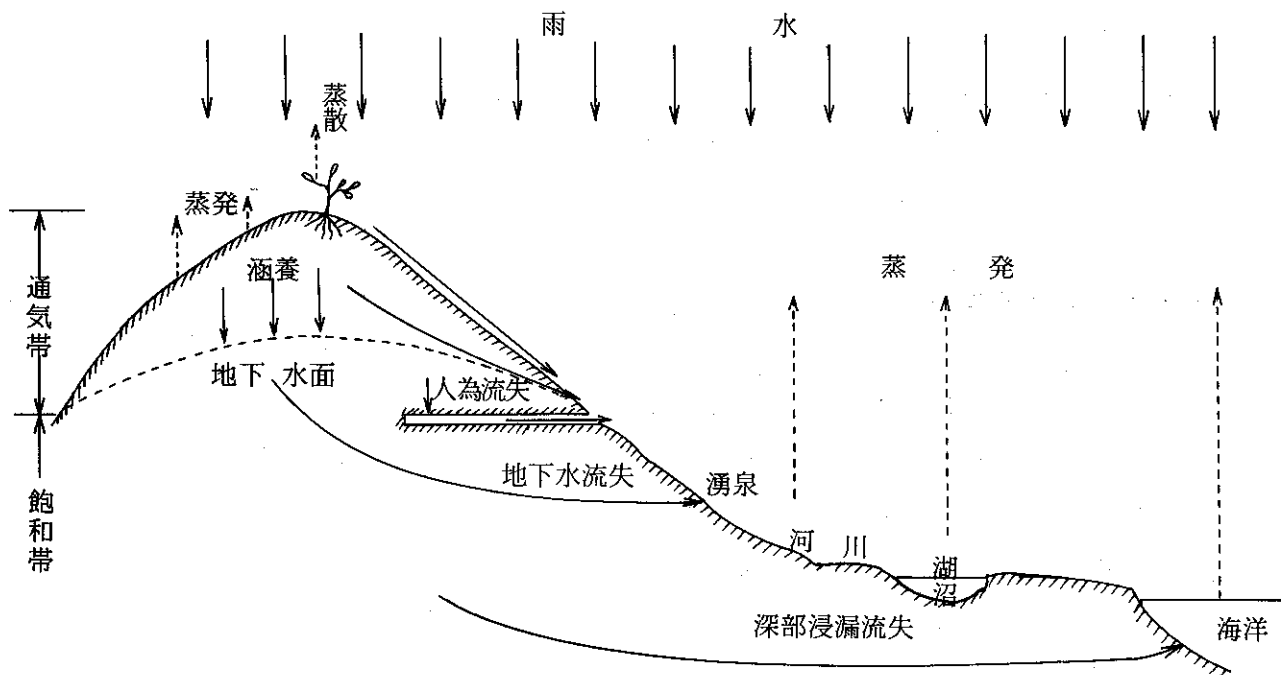


図 4.3 - 1 水文サイクルの概念図

次に通気帯は更に土壤水帯、中間帯及び毛細管帯に細分され、これら3帯中の水を夫々土壤水、付着水及び重力水、毛管水と称し、何れも涵養水に属し、植物の生育と関係が深い。通気帯では水と空気が共存しており、水の移動は緩慢である。通気帯内での水の移動が遅いため降雨が間欠的であっても地下水面への水の供給は比較的一様に行われる。従業の研究によると日本列島の涵養水量は1mm/日程度とされている。中間流失は透水度の大きい地層とこれより透水度の小さい下層との境界に滞留した水が側方に流動し、山腹の地表面に浸出する流量で、表面流失が始まってから数時間遅れて出現し、除々に増加して、表面流失より遙かに緩やかに減少する。その大部分が流出し終るまでに降雨後2~3日かゝること

がある。中間流失のうち降雨後比較的早く流失するものは表面流失と合せて直接流失と呼び降雨後の河川水の主要成分となる。これに対し流失のおそい中間流失と地下水流失と合せ間接流失と称している。

地下水は自由地下水と被圧地下水に細分され、自由地下水はその上面が通気帯と接している地下水であり、被圧地下水は、その上面を不(難)透水層で抑えられている地下水である。なお被圧地下水面とは被圧帯層に開端した井戸群の水面を結んだ仮想の水面を言い、宙水(perched water)は通気帯を挟んでいる地下水、又潜流(under flow)とは不透水層中の暗渠状流路を流れる地下水のことである。

次に比流量とは、降雨量の最も少ない季節に測定して得られた河川の流量と流域面積の比であって、この値は涵養量にほぼ等しいとされている。また河川の水源となる山頂部乃至尾根に近い湧水位置は地下水面が山腹を横切る位置にあたり、この位置は山地岩体の平均透水係数と地形に関係がある。

従って地下深部における地下水流動機構を解明するには、先づ涵養量や平均透水係数を推定するための水文調査が必要である。

## (2) 地下水の流動に関する方程式とその解法

本研究は水文サイクル中地下岩盤内を流れる地下水の流動機構を解明し、電算機によりモデル計算することにあるが、先づ地下岩盤内の地下水の流動に関係ある諸方程式を収集し、本研究に必要な方程式を選出することとする。

先づ第1に、地下の岩体を微小な岩体ブロックに分割したとき、一つのブロック中に単位時間に流入する質量の増加は、密度の増加速度に等しいことが考えられる。これは質量不減の法則を言いかえたものであり、流体の流動については、次の連続方程式で示される。

$$f \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \operatorname{div}(\rho \mathbf{V}) \dots \dots \dots (1)$$

こゝで $\rho$ は流体の密度、 $\mathbf{V}$ は岩体中の濾速ベクトル、 $t$ は時間、 $f$ は岩体中の流体の流動に関係ある有効間隙率であるが、温度や圧力による流体密度の変化を無視して、非圧縮性流体とみなされるときは、密度の変化はなくなるので

$$\operatorname{div}(\mathbf{V}) = 0 \dots \dots \dots (2)$$

となる。

次に微小岩体ブロック中の流体の運動量の増加速度は、対流および分子運動による運動量の収支と、外力としての圧力や重力と釣合っていると考えられる。これは力学における運動量保存の法則にもとづくもので、流体力学でこれを数式に表示すると次の運動方程式となる。

$$\rho \cdot \frac{D \mathbf{V}}{D t} = \rho \mathbf{g} - \nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{V} \dots\dots\dots(3)$$

こゝで  $\mathbf{g}$  は重力の加速度ベクトル、 $P$  は圧力、 $\mu$  は粘性、 $\nabla$  はラプラス記号である。

しかし多乳質岩体中の非圧縮性ニュートン流体の場合は(3)式のかわりに透水係数  $K$  を導入した次のダルシーの式が用いられる。

$$\mathbf{V} = -\frac{K}{\mu} (\nabla P - \rho \mathbf{g}) \dots\dots\dots(4)$$

次に重要な事項としてエネルギーの問題がある。流体のエネルギー状態は内部エネルギー、圧力や重力によるポテンシャルエネルギーおよび速度エネルギーに分けられるが、エネルギー不滅の原則から次の式で示される。

$$\rho \cdot C_v \cdot \frac{D T}{D t} = K_t \cdot \nabla^2 T - T \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right) \rho \cdot (\nabla \cdot \mathbf{V}) + \mu \Phi \dots\dots(5)$$

こゝで  $T$  は温度、 $C_v$  は定容比熱、 $K_t$  は熱伝導率、 $\Phi$  は消散関数であり、 $\mu \Phi$  は粘性加熱となる。右辺の第2項は脹圧縮によるもの又第3項は粘性加熱によるものであるから、非圧縮性のニュートン流体で、流体の膨脹圧縮や乱流による粘性加熱等が無視できるような緩速度の地下水の流動の場合は第2項及び第3項を省略することができるから(5)式は次のように簡略化することができる。

$$\frac{D T}{D t} = \frac{K_t}{e \cdot C_v} \cdot \nabla^2 T \dots\dots\dots(6)$$

更に地熱の影響を無視できる低温条件下の鉱山地域については、地下の温度  $T$  は略々一定とみなすことが出来るから(6)式は省略しても差支えないと考えられる。

従って本研究に必要な方程式としては(2)式と(4)式を組合せた次の流動方程式で足りることになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = 0 \dots\dots\dots(7)$$

こゝで  $h$  は水頭値で、これは圧力水頭  $p / \rho$  と位置水頭  $z$  の和であり、 $Q$  は系外に流出入がある場合の流量である。

岩盤内の地下水の流動計算は、岩体の透水係数の分布と、地表面および領域周辺部の境界条件を与えて、(7)式の微分方程式を解くことであって得られた水頭値分布から地下水の流動方向、流量及び湧水量を求めるものである。しかし地形および地下構造が極めて単純な場合以外は(7)式を理論的に解くことは困難である。従って複雑な地形や地質構造をもった岩体を簡素化し、できるだけ実体に近いものに近似させる工夫が必要である。具体的には計算対象領域を適当な大きさのプ

ロックに分割し、個々のブロック内の物性が一様であるとして差分方程式を作り、これらの連立差分方程式を電算機で計算する手法が通常採用されている。

差分方程式を作るには大別して2つの方法がある。一つは地下の岩体を直方形ブロックに分割し、(7)式を直接差分方程式化して、各節点における水頭値 $h$ を未知数とする多元1次連立方程式を解く方法である。他の方法は、有限要素法と呼ばれているもので、現在研究されているものとしては、地形、地下構造に応じて岩体を三角ブロックに分割し、変分法を応用して(7)式から導かれる汎関数を最小にするような水頭値 $h$ の分布を求めるものと、工学における仮想仕事の原理を応用して(7)式から導かれる積分方程式を差分近似して水頭値 $h$ を求めるものなどである。

いずれにしても多元1次連立方程式を解くことになるが、節点数が多くなるほど又1個の差分方程式に含まれる未知数の数が多くなるほど、多大な計算時間と費用が必要になる。

(7)式から直接導いた差分式では、2次元の場合は5個、3次元の場合は7個の水頭値が未知数となる。このように未知数の多い方程式からなる連立方程式を解くには多大な計算時間がかかるので、通常、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ の3方向の3組の連立方程式に組替え、他方向にある水頭値は既知であるとして、交互に計算を繰返すADI法が利用される。

次に2次元の有限要素法では方程式は3個の未知数になるよう導かれるので、ガウスの消去法を用いて、1回の計算で連立方程式を解きうる利点がある。このため有限要素法が広く利用されるようになり、鉱山地域についても、地形や地質構造から2次元化が可能な場合は有効な解法である。しかし地形や地質構造（特に断層や破砕帯）が複雑で2次元に近似化が困難な場合はモデルの設計及びプログラミングに多大の労力が必要である。

なお電算機による計算について付言すると、先づ地下構造や物性値を推定し計算するが1回の計算で計算結果が水文調査で得られた測定結果と合致することは極めて稀れで、両者が略々合致するまで地下モデルを修正したり、透水係数等の推定値を変えて計算を繰返す必要がある。従って複雑なモデル修正計算の回数が多くなる。

地下深部における流体流動のモデル計算例としては、油田開発および休廃止鉱山の坑水に関するものが研究されている。石油の採掘に関するものは地質構造が単純なため計算は容易である。地熱開発センターは熱水の地下還元について孔井からの生産量と還元量から、地下の透水係数を推定し、トレーサーの到達時間と計算結果得られた還元熱水の到達時間とが略々合致するまで修正計算を繰返し、両者が略々合致した時のモデルを以て妥当な地下構造と推定している。又金属鉱

業事業団は休廃止鉱山の坑水に関し、地形や地質構造がある軸に対して対称的に簡素化できるものや分割ブロックの物性値が巨視的に均一とみなしうる鉱山について有限要素法によりモデル計算し、計算結果得られた坑水量が実測値に略々合致したモデルを妥当なものと推定し、坑内空洞を湛水した場合の坑水量の減水率を推定している。

しかし一般に非鉄金属鉱山地域の地形や地質構造は複雑で、かつ人為的な地下空洞即ち坑道や採掘跡も不規則であり、又10鉱山の地下湧水に関する概査結果からも明かなように、地下湧水量の過半数が特定個所に限られている場合が多いので、かかる場合のモデル計算の簡素化について新しい手法を研究する必要がある。特に今後熱や特定物質の拡散要素をとり入れる場合は、方程式は更に複雑となるので、この研究は重要と考えられる。今後ボックスモデルによる手法についても検討してみる必要がある。

### (3) 尾平鉱山のモデル化

尾平鉱山の主鉱脈は北流する奥岳川と南流する岩戸川の分水嶺である租丹傾山山系に斜交し地形的には略々2次元で近似することができる。

次に図4.3-2に示すように、鉱脈は地形と略々 $30^{\circ}$ に斜交し、走向NE $45^{\circ}$ で、傾斜は略々垂直に近く、かつ接近した2本の主鉱脈で構成されている。鉱床付近の地質は、鉱脈の南側と北側で異なり、南側は古生層の砂岩、粘板岩及び輝緑岩等の互層より成り、北側は花崗岩、花崗斑岩及び花崗閃緑岩等の火成岩を新期火山噴出物である流紋岩や安山岩が被覆している。尾平鉱山は休止后約25年を経過し坑内の現状は不明であるが、推定される主要断層や破砕帯は上記の各岩体の境界部にあたるので、地質構造も主鉱脈に略々平行した2次元構造で近似することができる。

次に人為的空洞である坑道や採掘跡は、殆んど鉱脈に沿って延長約2 kmに及び、海拔約680 mの下1坑道から海拔約1,200 mの幸坑までの間を約30 mの間隔で採掘している。その他立入や立坑などの空洞はあるが、その数は比較的少ない。

以上の通り尾平鉱山の地下構造は比較的単純で2次元で近似できるが、地下構造モデルに人為的な空洞を与えることは可成り困難である。このため幾何学的空洞を浸出抵抗である物理量で置換え、又多数の分割ブロック内に分布する坑道や採掘跡を浸出抵抗を持った湧出点で近似する。このような近似法を用いると、地下の空洞分布が複雑な鉱山についてもモデル化が容易となる。このことが本研究の特色といえることができる。

2次元断面のとりかたについては地形を主にするか又は地質構造を主にするかによって2種類の断面が得られるが、尾平鉱山の場合は地形に略々平行した地質構造もみられるので、図4.3-3地形に沿って、これに略々直交する断面をとる

こととした。

図 4.3-4-(1)~(3)に 200 m 間隔で切断した 9 断面を示すが、各断面とも地形及び地質構造が極めてよく似ているので、2次元分布に近似して差支えないと考えられる。坑道間隔は約 30 m であるので、2坑道間隔に相当する 60 m 間隔で垂直方向を分割し、水平方向には 100 m 間隔（但し鉱脈に近いところは 50 m 間隔）で分割することとした。なお矩形ブロック化により地表面が階段状に凹凸すること避け、地形に最も近似するよう斜面を用いた。



なお計算の対象となる領域は海拔 500 m 以上とし、又奥岳川を北端とする南北 4,000 m の範囲とする。図 4.3-5 は第 6 断面をブロック化した例である。

以上の通り 2次元断面を短形ブロック化すると、1断面当りのブロック数は 450 個内外となり、直交格子を用いた A D I 法で解くことが可能である。このように 2次元化した 9 断面の計算時間は 3次元の方程式を解くよりも可成り短縮することができる。

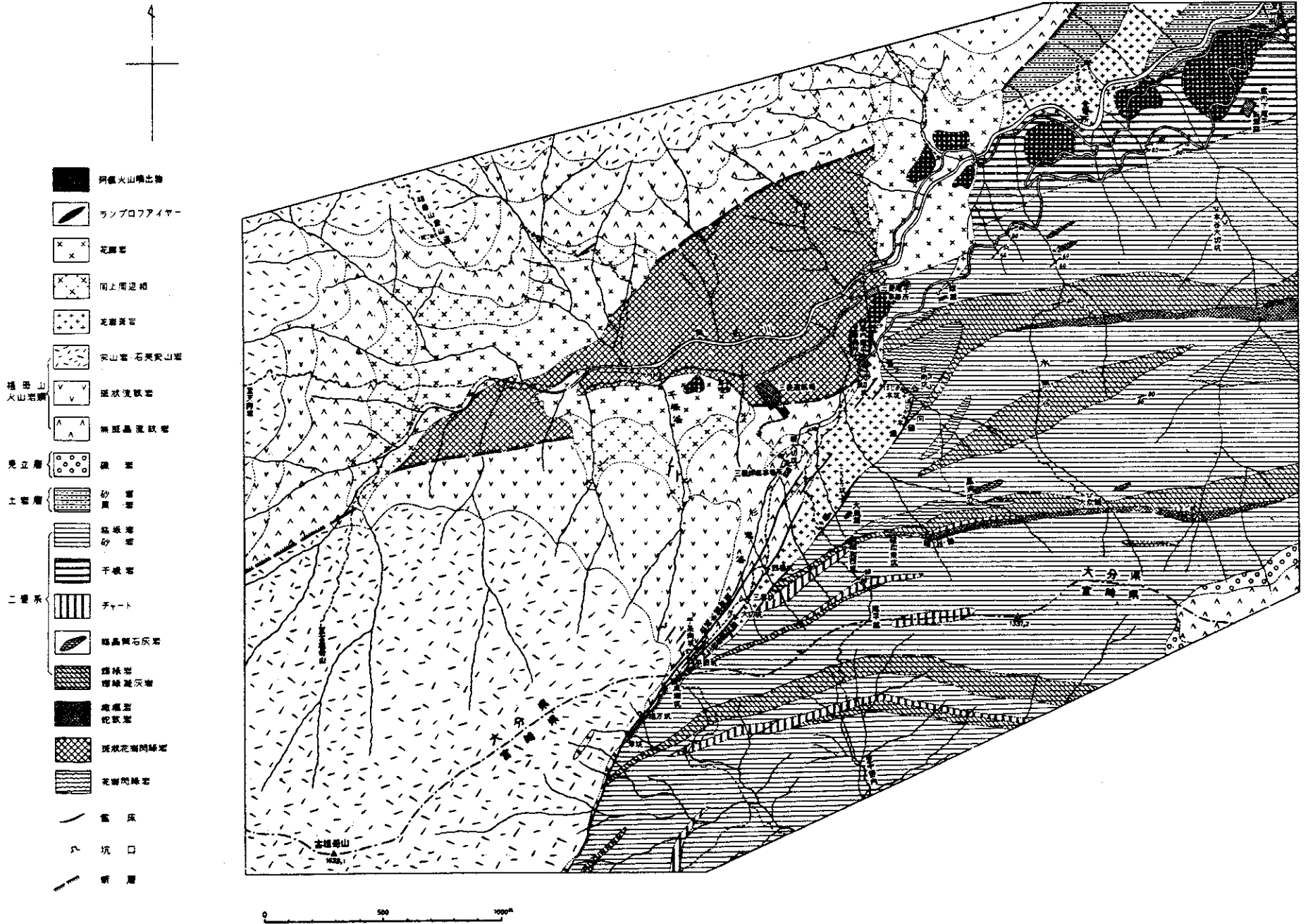


図 4.3-2 尾平鉾山地質図

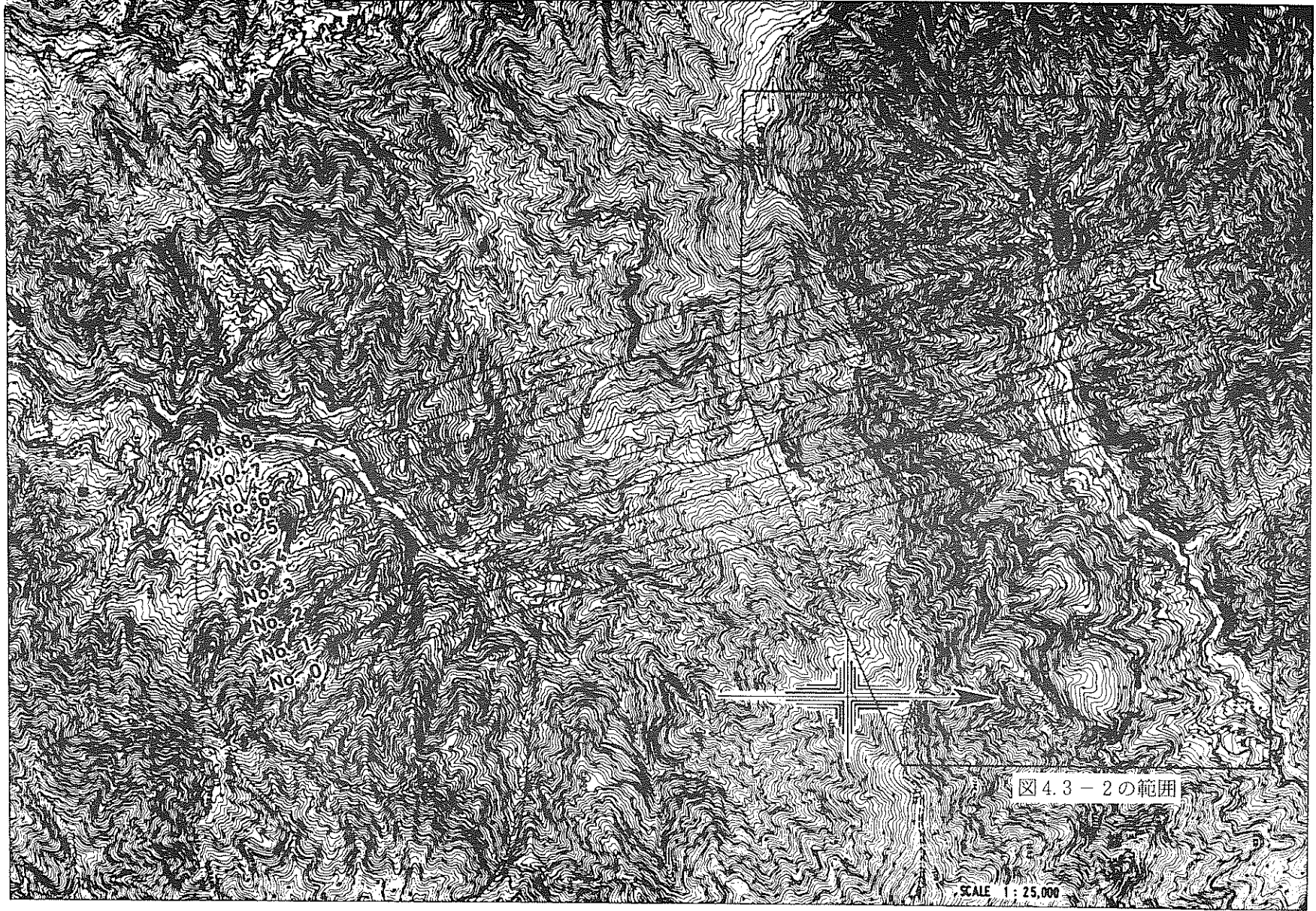
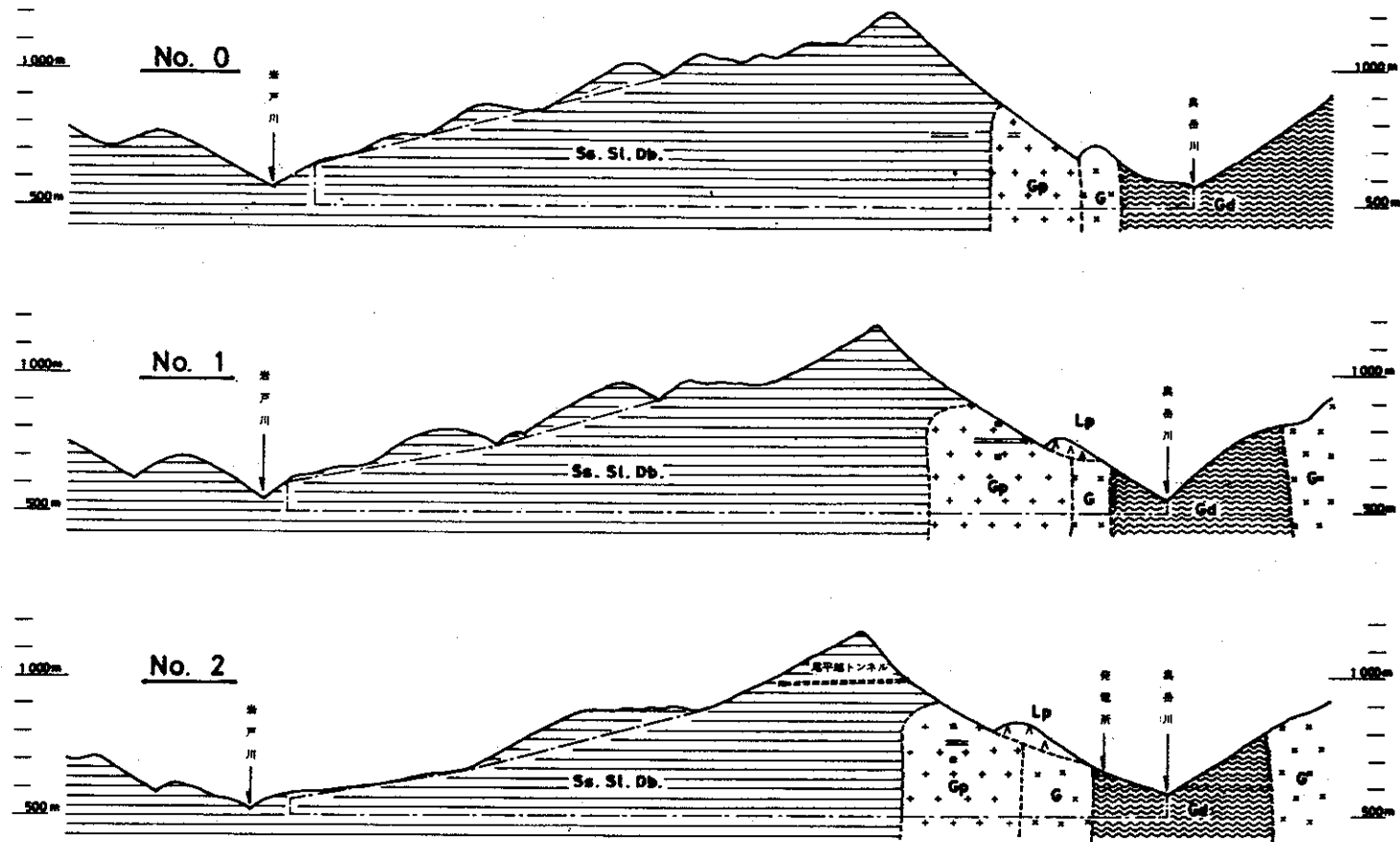


図 4.3 - 3 断面位置図及び図 4.3 - 2 の範囲







凡例









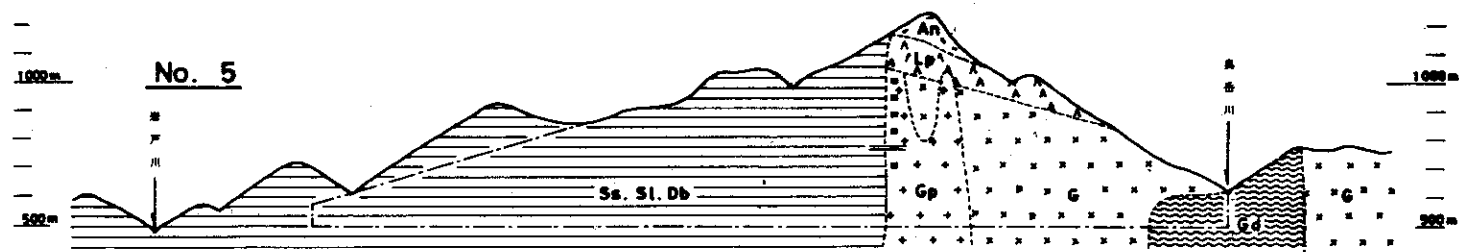
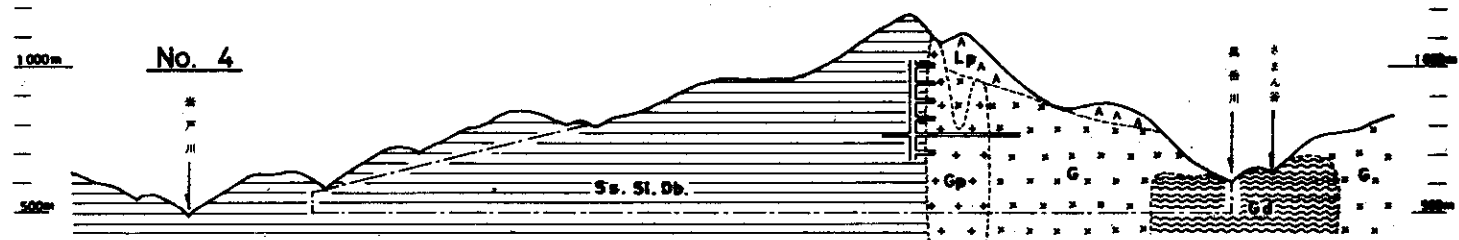
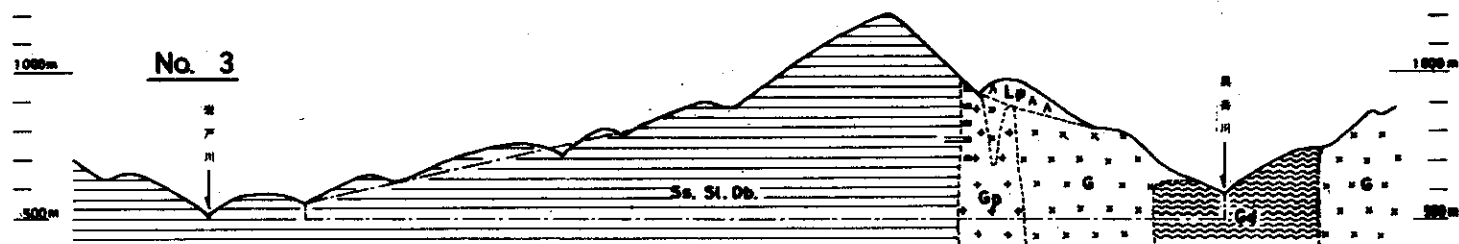
- |   |                    |                  |
|---|--------------------|------------------|
|  | <b>Ss. Sl. Db.</b> | 古成層の砂岩, 粘板岩, 輝緑岩 |
|  | <b>Gp</b>          | 花崗斑岩             |
|  | <b>G</b>           | 花崗岩              |
|  | <b>Gd</b>          | 花崗閃緑岩            |
|  | <b>Lp</b>          | 流紋岩              |
|  | <b>An</b>          | 安山岩              |

図 4.3-4-(1) 地質断面図 (その1)



凡例









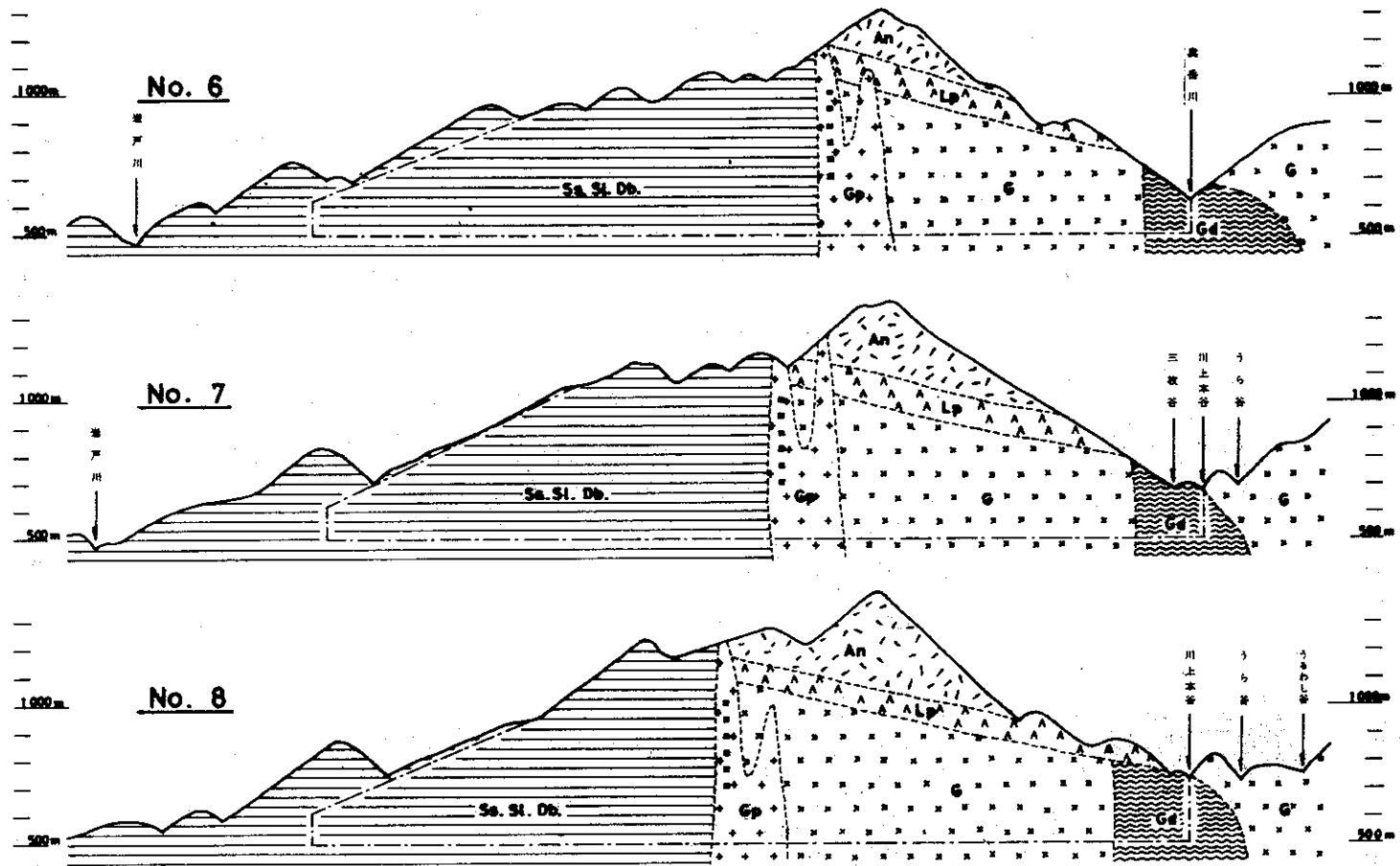
- |   |             |                  |
|---|-------------|------------------|
|  | Ss. Sl. Db. | 古成層の砂岩, 粘板岩, 輝緑岩 |
|  | Gp          | 花崗斑岩             |
|  | G           | 花崗岩              |
|  | Gd          | 花崗閃緑岩            |
|  | Lp          | 流紋岩              |
|  | An          | 安山岩              |

図 4.3-4-(2) 地質断面図 (その2)



凡例







-  **Sa. Sl. Db.** 古成層の砂岩，粘板岩，輝綠岩
-  **Gp.** 花崗斑岩
-  **G** 花崗岩
-  **Gd** 花崗閃綠岩
-  **Lp** 流紋岩
-  **An** 安山岩

図 4.3-4-(3) 地質断面図 (その3)

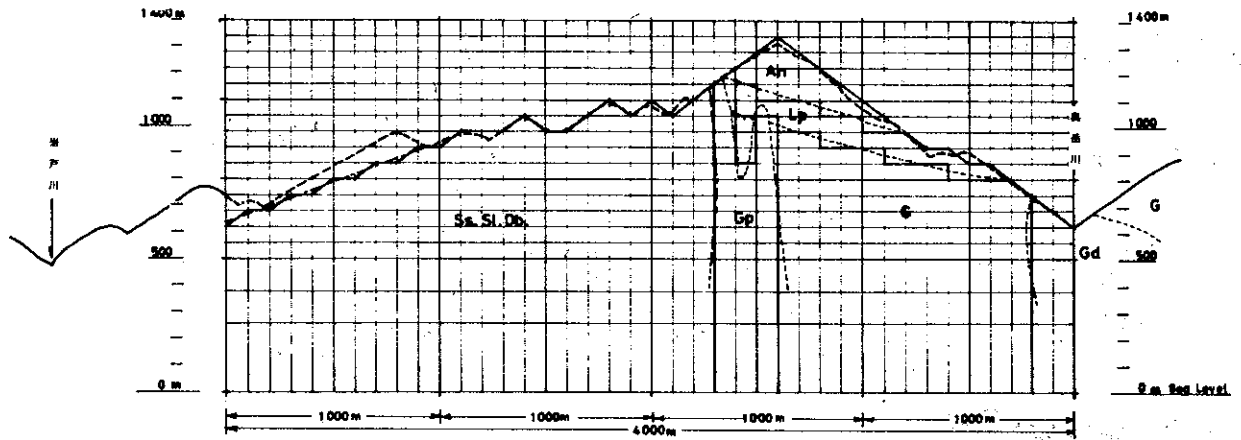


図 4.3 - 5 2次元ブロック図の1断面図 (No. 6 断面)

#### 4.3.4 今後の研究作業の進め方

本研究の作業手順を図示すると図 4.3 - 6 の通りで、本稿 1 ~ 3 を終予したことになる。

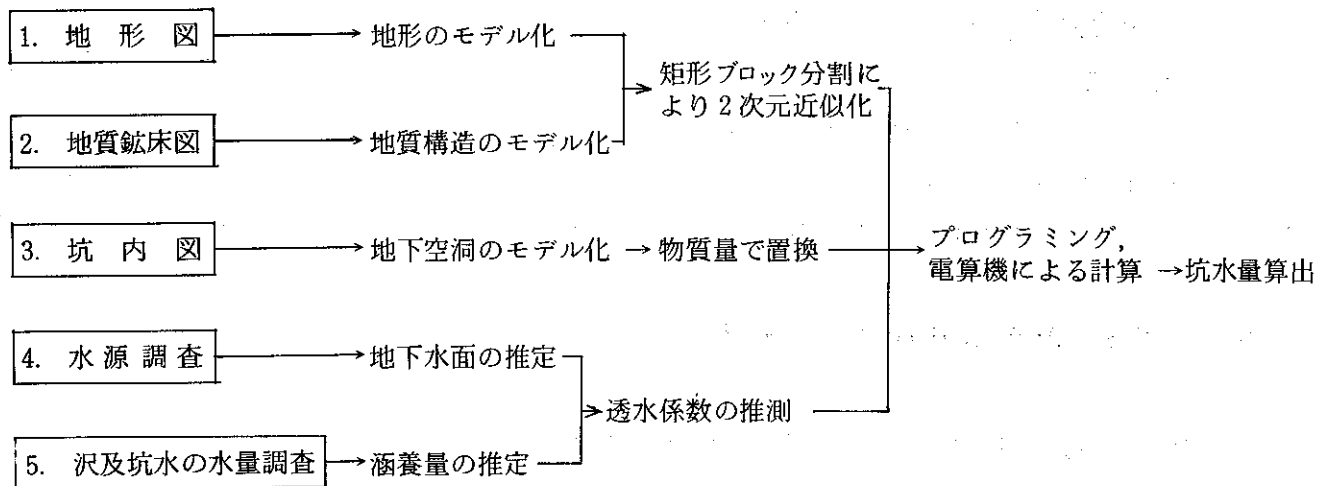


図 4.3 - 6 作業手順の概要

従って残部は 4 ~ 5 の調査とこれらの測定値から岩体の透水係数を推測し、プログラミングして電算機で坑水量を計算することである。電算機による計算は 9 断面について夫々坑水量を計算し、その合計を以て全山の坑水量とするが、この坑水量が実測坑水量に近似しない場合は推測透水係数や置換した物理量を逐次修正し、計算坑水量が実測坑水量に近似するまで繰返すことになる。

## 第5章 試錐孔を利用したデータ収集方法の調査・研究

### 5.1 目的

地下深部の情報を収集し、地層処分要因の調査・研究に資することを目的とし観測機器類を試錐孔内に降ろし又はセットし直接測定するための技術を調査・研究する。

### 5.2 調査の概要

地表より実施する種々の調査で候補地区が絞られたならば、次のステップとして諸要因の調査・研究がなされると共に立体的データを収集するための試錐を実施する必要がある。採取された岩芯については諸特性の測定がなされ、岩石の基礎的データとして収集・整理しなければならない。試錐孔については地質的、構造的、岩石力学的、水理地質的、熱力学的、放射線工学的等出来る限りのデータを収集する必要がある。

本章は

- ① 試錐孔掘穿中のデータの収集
- ② 検層
- ③ 試錐孔と地表又は他の試錐孔間の計測
- ④ 試錐孔内計器による測定

の項目に分けて調査・研究を進める。以下各項目について述べる。

### 5.3 試錐孔掘さく中のデータ収集

#### 5.3.1 試錐記録の精密化（逸水，湧水，崩壊，掘進速度）

各種探査のうち、試錐は地下深部の地質的事象と最初に遭遇する特質を持っているため、試錐の実施に当り、試錐作業員に対し試錐目的を徹底し、出来る限り精度の高い水量計測装置を設置して逸水・湧水の記録を精密に取る必要がある。（連続自動記録装置がある。）更に掘進時、掘進速度、ビット荷重を精密に記録し、軟弱部の存在を監視し、給水停止時の孔底の沈積物をよく監視して軟弱崩壊部の有無を精密に記録する必要がある。

#### 5.3.2 岩芯の方位付採取（コアオリエンテーター）

岩芯を採取する時岩芯は、フラクチャー面、成層岩では層理面、片理ある場合は片理面で剥離・切断される事が多い。これらの面の方位を把握するため掘進前孔底に

コアオリエンターを降下させその3本の針により、孔底に定方向で3点の印をつけてコアオリエンターを回収する。その後進進して孔底の印入岩芯を採取し、コアオリエンターでその面の方位を再現し測定する。

### 5.3.3 試錐孔方位計測（孔曲り測定）

試錐孔が計画された方向・傾斜を保って居るかどうかが確かめるためには、50～100 m間隔で方位計測を行う必要がある。このため使われる孔心傾斜儀（drift indicator）には、村田式、トロパリ式、イーストマン式等がある。前二者はコンパスと重錘を時限装置によりクランプするものである。後者は時限装置により16 mmフィルムに発光撮影するものである。

何れも非磁性ロッド数mを掘管の先端に付け所定位置に降下静止させて時限装置を作動させる。前二者は1降下1測定、後者は1降下100枚の連続撮影が可能である。（図5.3-1参照）

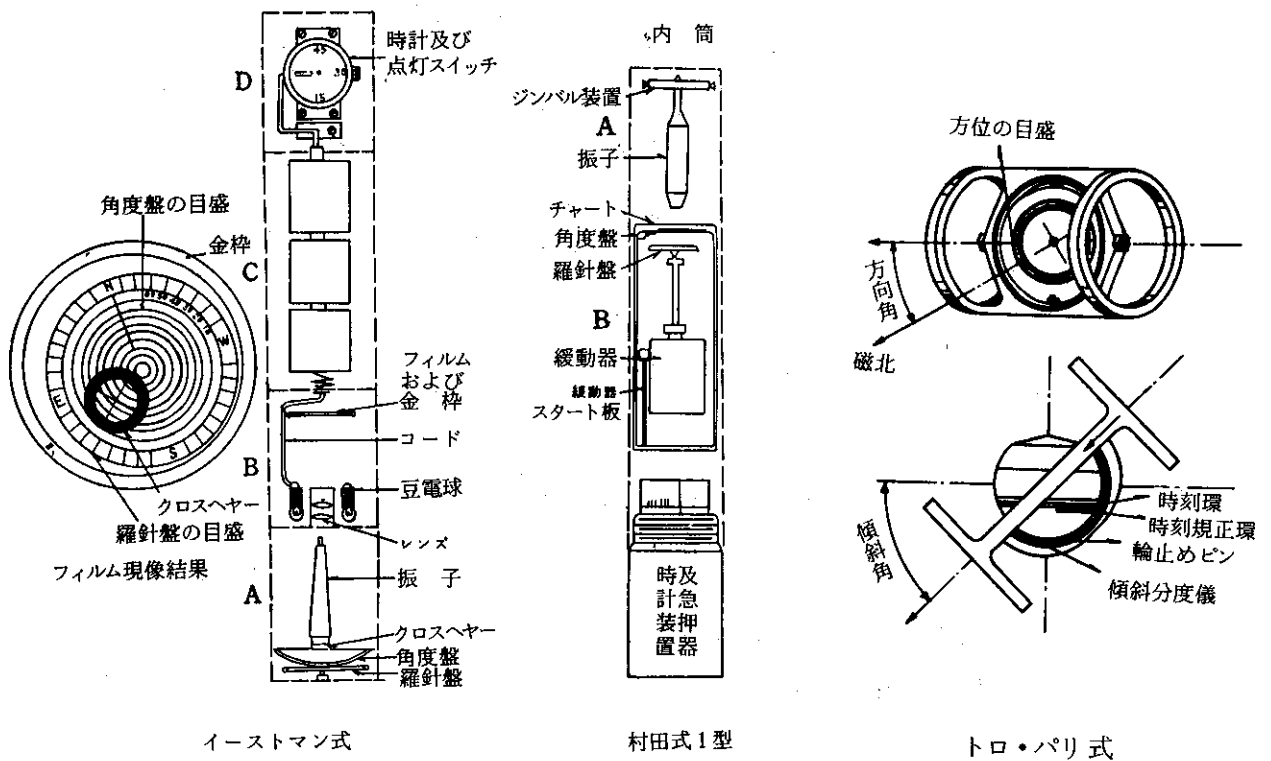


図5.3-1 試錐孔方位計測装置例

### 5.4 検層

試錐孔内に耐水耐圧の十分な強度と絶縁性を持つケーブルの先に種々の物理量を測定する装置（ゾンデ Sonde）を装着し、測定した物理量の変化を電気的变化に交換しゾンデの移動すなわち測定深度と共に記録し読取り孔壁附近の岩壁の物理的、化学的性

質を原位置で判定解析する方法で、岩芯による物性よりは遥かに実際に近いかなりバルクの状態で把握し得るが、測定値を支配する因子が多いので注意する必要がある。測定法により電気、放射能、弾性波速度、温度、流速、キャリパー写真、テレビ検層等に大別されるがその殆んどは石油井の孔質成層岩を対象に発達したもので、最近土木建設関係に利用される様になった。これらを放射性廃棄物処分の対象となる均質強固な岩壁の調査に利用するにはかなり立脚点を変えて考えなければならない。以下各方法につき述べる。

#### 5.4.1 電気検層

##### (1) 自然電位検層 (Spontaneous potential logging, S.P.log)

試錐孔内及び地表に電極 M、N を置くとその間に自然電位差  $\Delta V$  が測定される。

(図 5.4-1 参照)

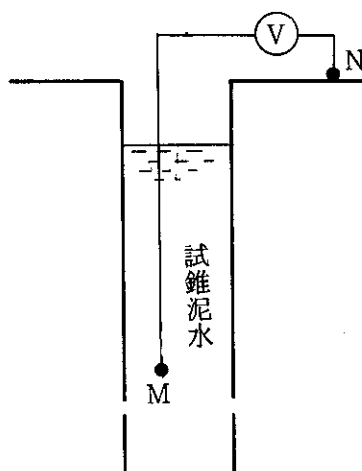


図 5.4-1 自然電位検層の概念図

これは試錐孔内の試錐泥水柱圧のために試錐泥水は地層の内部に押され、泥は孔壁に泥壁 (Mud cake) を作り滲過された水は地層内に滲透するとき発生する次の諸電位の和である。

電気化学的電位：

##### イ. 拡散電位

地層水と滲透水の塩分のイオン濃度が異なるため、イオンが拡散する。

##### ロ. 膜電位

孔壁を隔ててイオン濃度が異なる地層水と試錐泥水が接触する時発生する。

動電氣的電位：

##### イ. 流動電位

試錐泥水の滲過水が地層内に滲透移動する時すなわち水が流動する時発生する。

自然電位検層は、比抵抗検層と共に測定され多孔質滲透性地層の判定、対比地層の判定、対比地層水の性質の判定のための補助手段として利用されている。

(2) 比抵抗検層

a. 2極法検層 (Normal log)

試錐孔内と地表に置かれた電極 A, B 間に電流 I を流し試錐孔内と地表に置かれた電極 M, N 間で電位差  $\Delta V$  が測られた時の地層の比抵抗 R は

$$R = 4\pi \cdot \frac{1}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \cdot \frac{V}{I}$$

である。(図 5.4 - 2 参照)

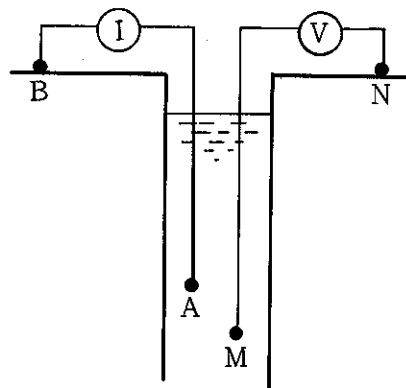


図 5.4-2 2極法の概念図

ここに AM に比し BM, AN, BN の間隔は充分大で無限大と見なし得るので、

$$R = 4\pi \cdot \frac{V}{I} \cdot AM$$

となる。

AM は孔内泥水位の影響を除くために孔径の 5 倍以上とし、孔壁近くでは掘削泥水が滲透するので非滲透域を測定するために AM を充分大きくしなければならない。AM = 25 cm をショート・ノルマル、AM = 100 cm をロング・ノルマルと称し普通上記 S.P. とショート、ロング、ノルマルを同時測定をして、地層の区別、対比、層厚の決定、孔隙率の推定等が行われる。ノルマル・ログは最も簡単で普遍的に行われているが、電流電極から電流が放射状に流れて電場が球面を形成するため広く隣接層の影響が入って薄い地層の検出能力が良くない欠点がある。



b. 3極法検層 (Lateral log)

試錐孔内と地表に置かれた電極 A, B間に電流 I を流し, 試錐孔内に置かれた電極 MN間で電位差  $\Delta V$  が測られる時地層の比抵抗 R は,

$$R = 4\pi \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]} \cdot \frac{V}{I}$$

である。

AM, AN に比して BM, BN は充分大で無限大と見なし得るので,

$$R = 4\pi \frac{V}{I} \frac{1}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}}$$

この3極法で測定すれば, 2極法の欠点が一部除かれる。(図 5.4-3 参照)

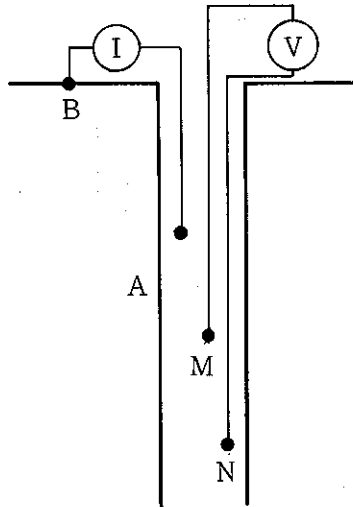


図 5.4-3 3極法の概念図

(3) ラテロ・ログ (Latero log)

試錐孔内の電流電極  $A_0$  を中心に上下対称位置に補助電極  $A_1, A_2$  を接近して設けると, (図 5.4-4 参照) 同符号の電位の電極より流れる電流線が互いに相反発するため電流極  $A_0$  より流れる電磁図 5.4-5 の様に孔壁に垂直に流れることを利用し, 薄い地層の検出能力を向上させたもので, 泥水の比抵抗が低く, 地層の比抵抗が高い場合等の特殊な時に利用される。

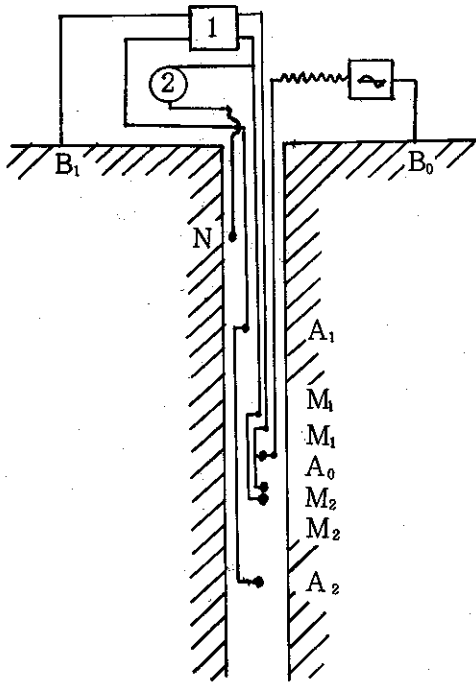


図 5.4-4 ラテロ・ログの概念図

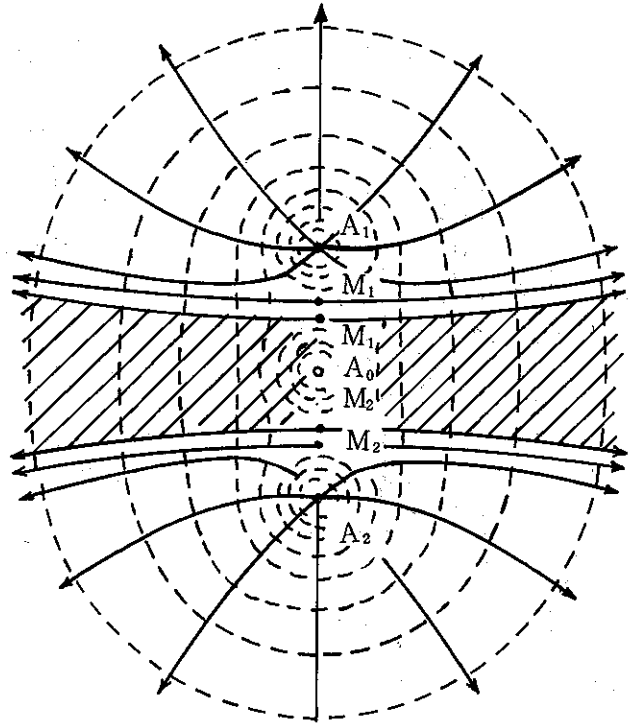


図 5.4-5 指向式（ラテロ方式）の電極配置及電流分布

(4) マイクロ検層 (Micro log)

試錐孔壁極く近くを測定するために、孔壁の曲面に成型したゴムパットに電極を植込み鋼製スプリングで壁に圧着させて2吋ノルマトと1/2吋インバースを測定する。(図 5.4-6 参照) 或は図 5.4-7 に示す様に電流に指向性を与えた方法もある。孔壁に厚い泥壁が出来ていればこれにさまたげられることはあるが、泥水滲透層の判定、孔隙率有効層厚の判定にノルマルログ等と使用して効果を取め得る。(図 5.4-8 参照)

(5) ディップメーター (Dip-meter) 検層

地層の傾斜と走向試錐孔の傾斜と方位を連続的に測定する装置で、互いに120°の間隔で配置された3本のスプリングアームに上記指向性のマイクロ・ラテロ方式の電極を同一の高さに配列し水圧パットで坑壁に圧着させ同時に3つのマイクロ・ラテロログ記録を取り、試錐孔の方位傾斜測定にはポテ・クリノメーター (pote clinometer) により振子及磁石の位置を電気信号に変えて記録する。(図 5.4-9)

(6) インダクション検層 (Induction log)

上記の比抵抗測定法では何れも孔井内に電流電極を降してそれより地中に直接電流を流していたが、泥水の配合成分により極端に泥水比抵抗が低いか高い場合

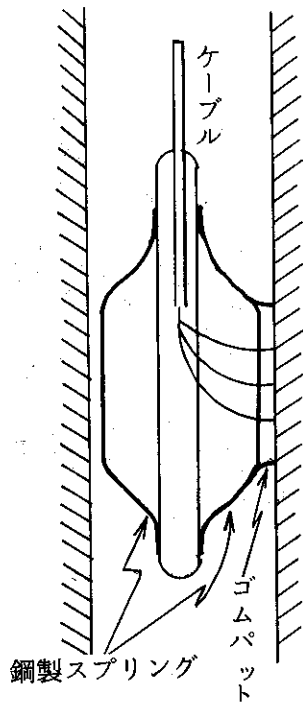


図 5.4-6 鋼製スプリングにより電極を圧着させた図

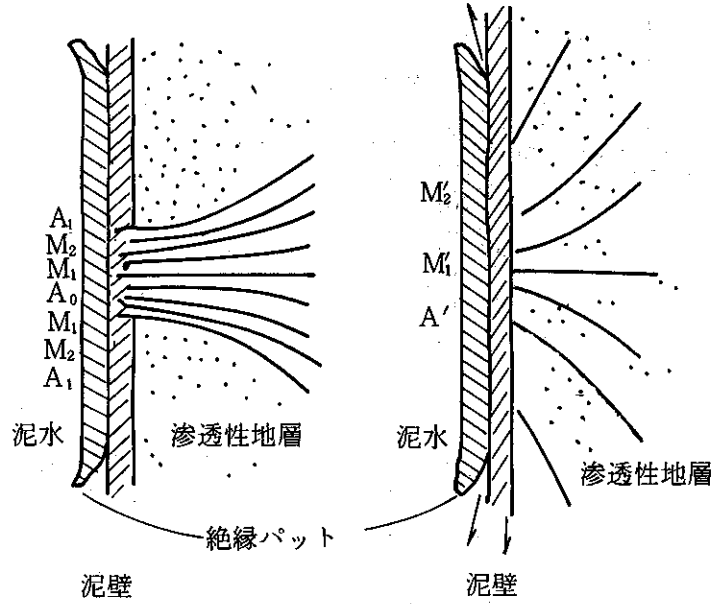


図 5.4-7 マイクロログとマイクロラテログの滲透性地層に対する場合の電流線の分布

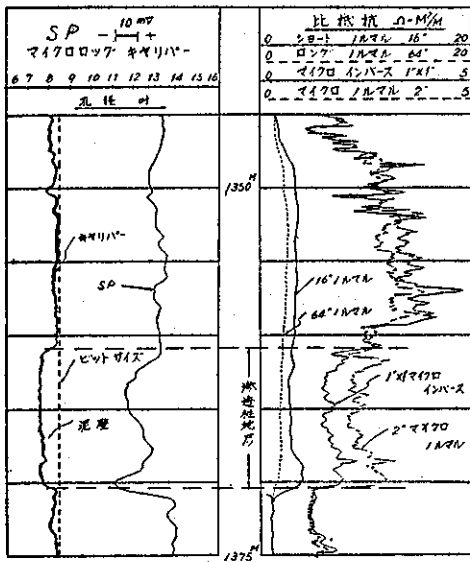


図 5.4-8 マイクロログより浸透層が検知できる例 (申川 SK1号井・秋田)

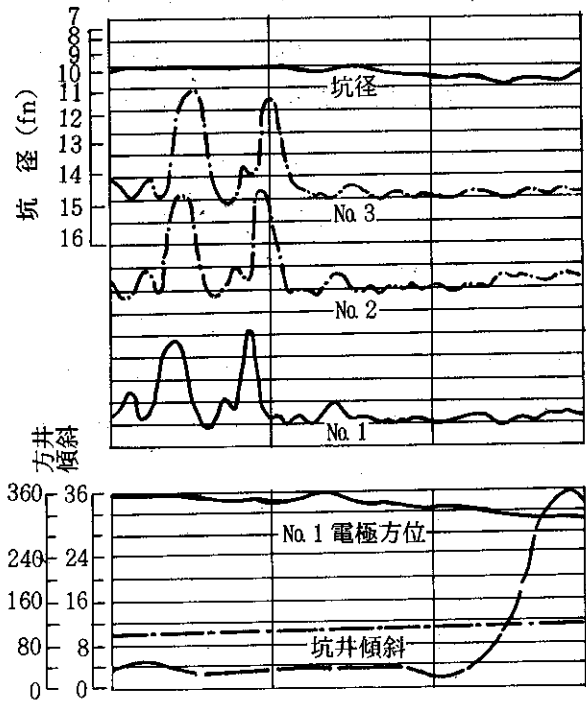


図 5.4-9 マイクロディップメーターの実測例

(海水泥水，オイルペース泥水)に測定が困難となるので，発信コイルに交流を流して交番磁界を作ればそれにより孔壁岩盤内に環状の渦電流が誘起される。(図 5.4 - 10 参照)

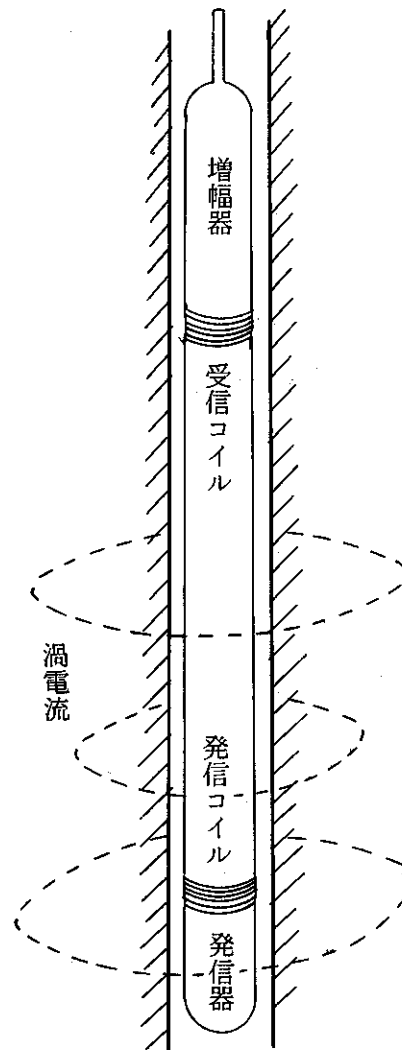


図 5.4 - 10 インダクション検層概念図

比の渦電流の大きさは岩盤の比抵抗と関連する。渦電流による交番磁場を受信コイルに受けて起電力を発生させる。又，受信コイルには発信コイルの一次磁場による誘導成分も誘起されるのでこれを除去し，渦電流による起電力を FM 方式で地表に送りこれを変換器で比抵抗に変換して記録させる。多重コイルを利用して指向性を与えたり各種の工夫が施されている。

#### 5.4.2 放射能検層 (Radioactive logging)

放射能を利用する検層法は試錐孔でケーシング管を降下した箇所でも測定が可能であるため応用範囲が広い。

(1) 自然放射能 (ガンマー線検層)

検層用に作成されたシンチレーションカウンターを試錐孔に降すと孔壁岩石のもつ自然放射能が測定される。これは岩石がその種類によって放射性鉱物又は元素の含有量が異なるため、この記録により地質の対比が可能なが多い。又、粘土帯で放射性物質を吸着した場合 (黒鉛、随伴粘土帯) もある。(図 5.4-11, 12 参照)

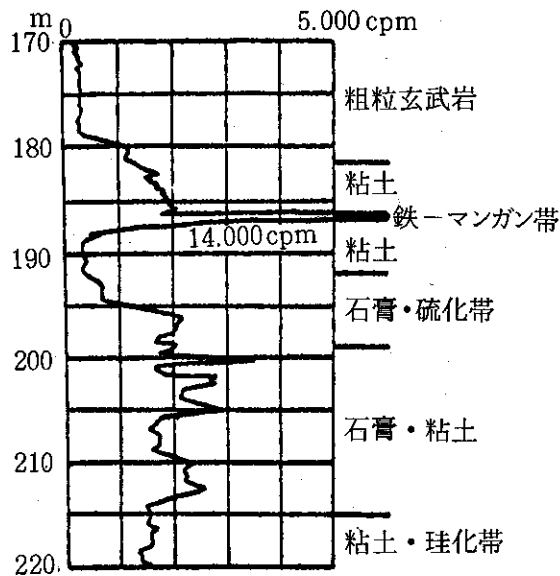


図 5.4-11 黒鉛鉱床における天然γ線検層  
上盤粘土中の軟マンガン帯でとくに大きな異常がみられる

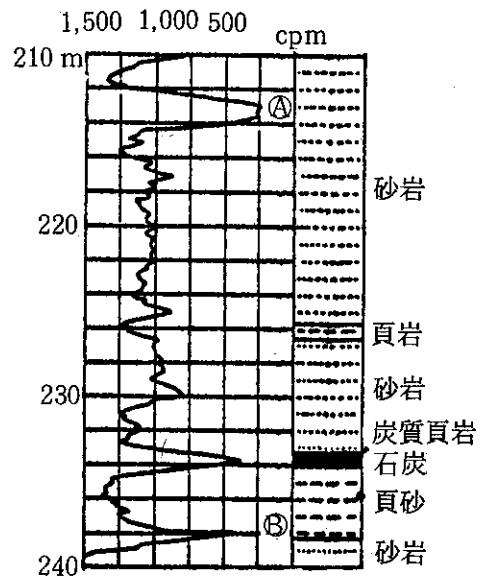


図 5.4-12 炭田における天然γ線検層  
A Bではコアがとれなかったが、検層により炭層を推定し傾斜掘りをして確認した (片寄らによる)

この測定はケーシングに妨げられず、電気検層を妨げる油、塩水中でも可能である。又、放射性廃棄物処分の基本的バックグラウンド測定として、実施すべきである。

(2)  $\gamma$ - $\gamma$  密度検層

図 5.4-13 の様に遮蔽材中に  $^{60}\text{Co}$ 、又は  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線源と  $\gamma$  線検出器を封入したものをスプリングで試錐孔壁に圧着させる時、線源より孔壁に放射された  $\gamma$  線が孔壁岩石の原子の軌道電子に衝突するとそのエネルギーの一部を軌道電子に与え  $\gamma$  線は進路を変え散乱するコンプトン散乱をおこす。その頻度は元素の電子密度に比例する。これは地層密度の函数で、したがって検出器で検出される  $\gamma$  線強度は、実験的に求めた校正曲線により密度に換算し得る。(図 5.4-14 参照) 孔内泥水比重、孔径、泥壁状況により影響を受けるが、条件が良ければ 1~2% の誤差で測定出来ると言われる。よって  $\gamma$ - $\gamma$  検層は密度検層と言われる。この密度は体積密度であるので岩石の粒子密度、空隙を満たす流体の密度がわかれば

孔隙率を計算し得る。

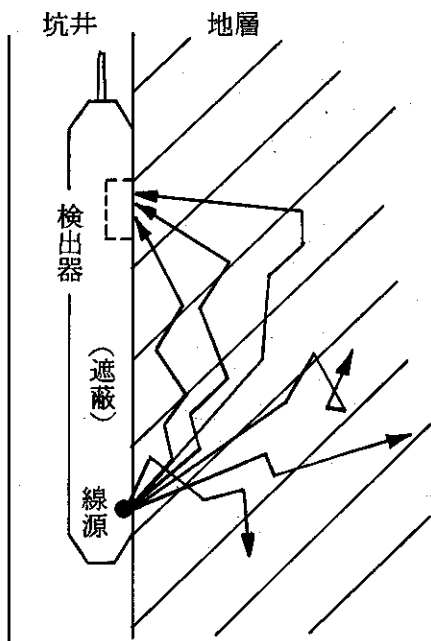


図 5.4-13  $\gamma \cdot \gamma$  検層 (密度検層) の原理模式図

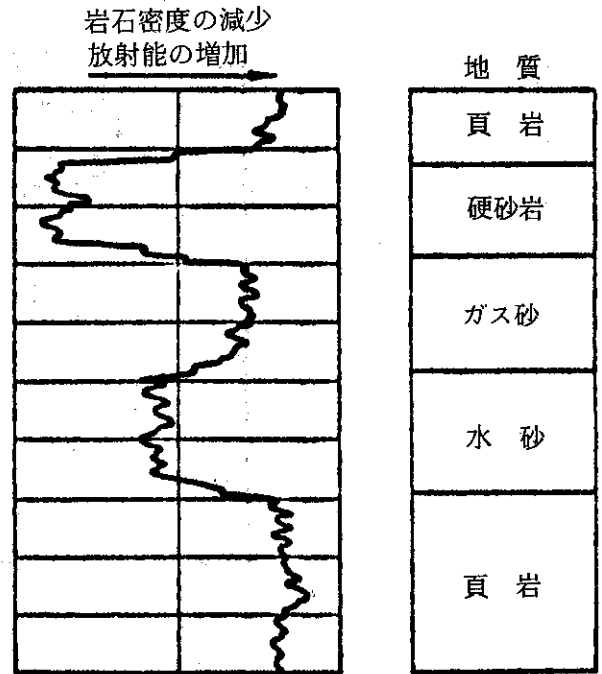


図 5.4-14 密度検層と地質との対比

(3) 中性子- $\gamma$ 線検層 (Neutron-gamma log)

線源として  $(\alpha, n)$  反応する  $Ra + Be$ ,  $Po + Be$  などを鉛で密封し、地層の自然放射能によって生ずる電離作用を少なくしたものを使用し、線源から放出された高速中性子は地層を構成する原子と衝突を繰り返すうちにそのエネルギーを失なって熱中性子となる。熱中性子は原子に捕獲され易く、捕獲された中性子はその過剰エネルギーをガンマ線として放出する ( $n-\gamma$  反応)。この反応過程において地層中の水、油は多くの H 原子を含むが比の H 原子核は中性子と同質量であるため、中性子と H 原子の衝突は弾性衝突となりこのため中性子は衝突により急速にそのエネルギーを失う。このため H 原子の多い処では、2 次  $\gamma$  線は少なく逆に H 原子が少ないところでは検出器に達する 2 次  $\gamma$  線が多いことになる。したがって測定される 2 次  $\gamma$  線は地層中の H 原子の量と関連を持ち、H 原子の多少を測定することは地層中に含まれる液体の多少を知ることになる。これは地層の孔隙率に関係するため、中性子- $\gamma$  線検層の測定値は地層孔隙率の指数函数である。(図 5.4-15, 図 5.4-16 参照)

(4) 熱中性子検層 (Neutron-neutron log)

中性子源として  $Am-Be$  源と熱中性子検出器に BF<sub>3</sub> カウンターを上記と同様に用いれば中性子源より地層に打込まれた高速中性子は上記の如く地層を構成する原子と衝突を繰り返すうちにそのエネルギーを失なって熱中性子までに減速さ

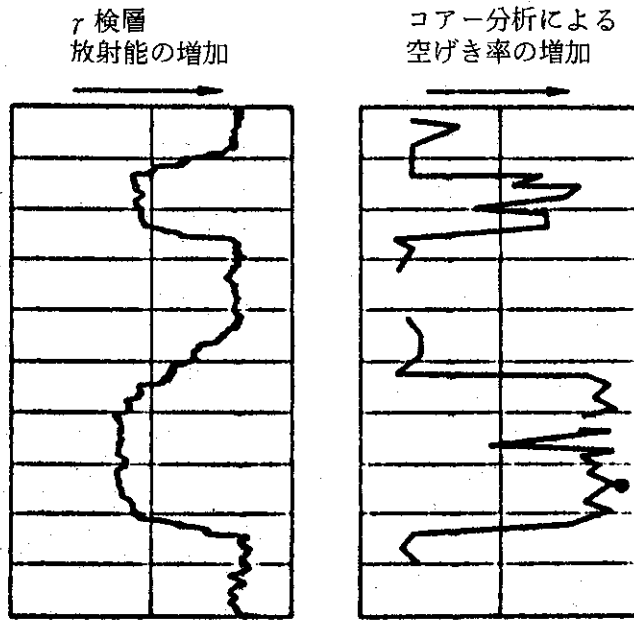


図 5.4-15  $\gamma$  値とコア分析との比較

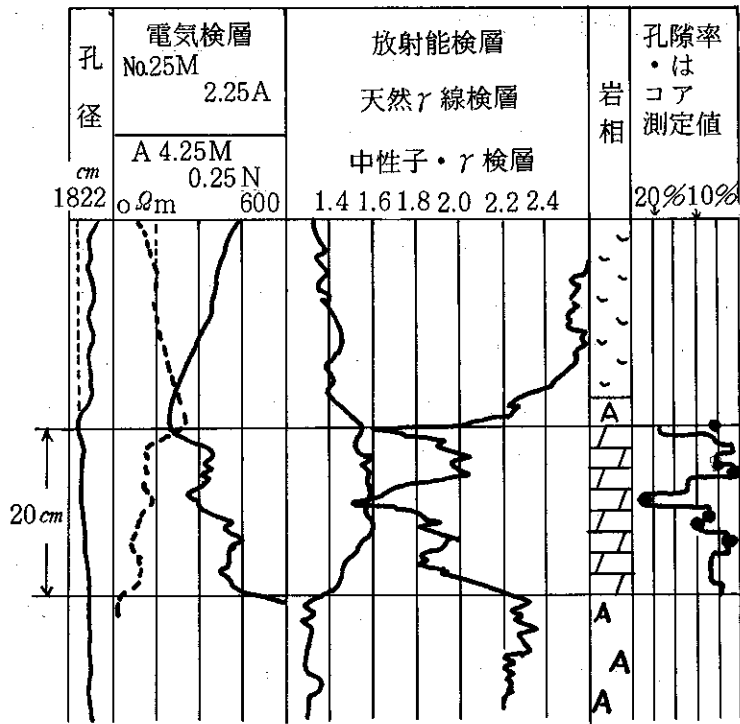


図 5.4-16 レイケンハーゲン油田（東独）のドロマイト質油層における中性子 $\gamma$ 検層による孔隙率の決定（A. Becher による）

れ、周囲の原子核に吸収されて消滅する。中性子は同質量の水素原子核と衝突した際にその減速が一番効果的に行なわれる。従って水素原子が多量に存在する処では中性子はほとんど消滅するので中性子検出装置に入る熱中性子の量は少く、水素原子の少ない処では、この逆となり、中性子検層の読みは周囲の媒質中の水素原子が多量に存在する処では中性子はほとんど消滅するので中性子検出装置に入る熱中性子の量は少く、水素原子の少い処では、この逆となり、中性子検層の読みは周囲の媒質中の水素原子密度に逆比例する。この事より岩石の孔隙率を判定し得る。(図 5.4 - 17 参照)

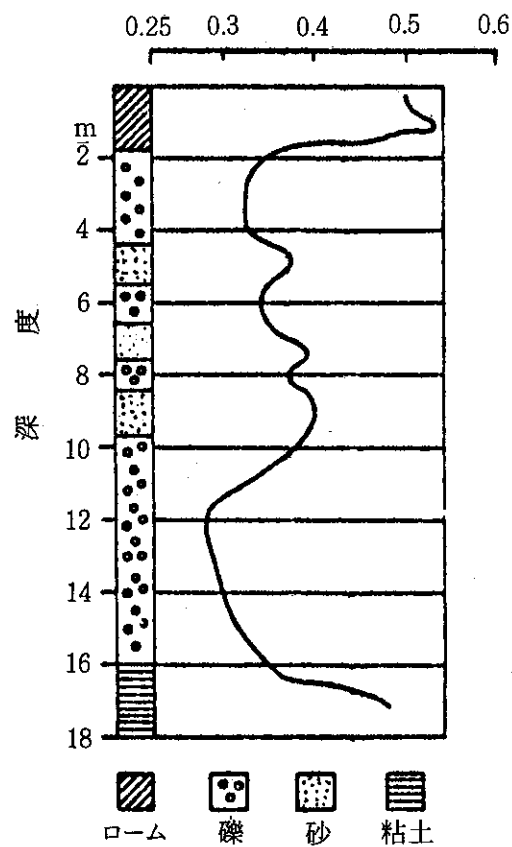


図 5.4 - 17 地下水自噴井の中性子・中性子検層曲線  
(落合による)



(5) エピサーマル中性子検層

表 5. 4 - 1 種々の元素の熱中性子の捕獲

元 素 名	反応面積バーン ( $10^{-24} \text{ cm}^2$ )
H	0.33
C	0.0042
N	1.88
O	0.0002
Na	0.505
Al	0.23
Si	0.13
Cl	31.6
Ca	0.43

上記中性子- $\gamma$ 線検層，中性子-中性子検層では高速中性子を放射して水素原子に衝突させ熱中性子迄減速させたが，媒質の内に熱中性子吸収面積の大きい物質（例えば塩素など）が存在すれば媒質内における熱中性子の時間的空間的分布が異なってきて測定された値は実際より低い水分の値を示す。（表 5. 4 - 1 参照）

このため，中性子源より放射された高速中性子をエピサーマル中性子程度まで減速させる程度で測定したならば，その減速は媒質の水素原子密度のみに依存し，中性子源を孔壁への放射口以外はパラフィン及び熱中性子吸収面積の大きい硼素で囲み，検出器には高いエネルギーの中性子に対する検出効果の比較的高い  $^3\text{H}$  カウンターを用いこれを表面を硼素で覆って熱中性子が入らない様にしエピサーマル中性子を測定すれば他の溶存物質が存在しても水素原子密度を測定し得る。

### 5. 4. 3 弾性波速度検層 (Velocity log)

#### (1) 音波検層 (Sonic log)

試錐孔内に図 5. 4 - 18 の様に磁歪型振動子よりなる音波発信器と 2 個以上の受信器を備えた音波検層ゾンデを入れ音波発信器より 20 kHz 程度の音波を 10 ~ 20 回/sec の割合でパルス状に送る。音波は多くの径路を通過して受信器に到達するが，孔井中の泥水中での速さは岩石中に比べて遅いので，受信器に最も速く到達するものは図 5. 4 - 18 の様に径路を通過して来たので，此の初動より孔壁岩盤内の音波速度を連続的に記録し得る。この記録を基に下記の式より  $\phi$ （地層の孔隙率）を誘導できる。（図 5. 4 - 19，20 参照）

$$\frac{1}{V_L} = \frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_m}$$

$$\Delta T_L = \phi \Delta T_f + (1-\phi) \Delta T_m$$

$V_L, \Delta T_L$  : 測定された音波速度および走行時間

$V_f, \Delta T_f$  : 地層に含まれた液体中の音波速度及び走行時間

$V_m, \Delta T_m$  : 岩石を構成する物質中の音波速度及び走行時間

$\phi$  : 地層の孔隙率

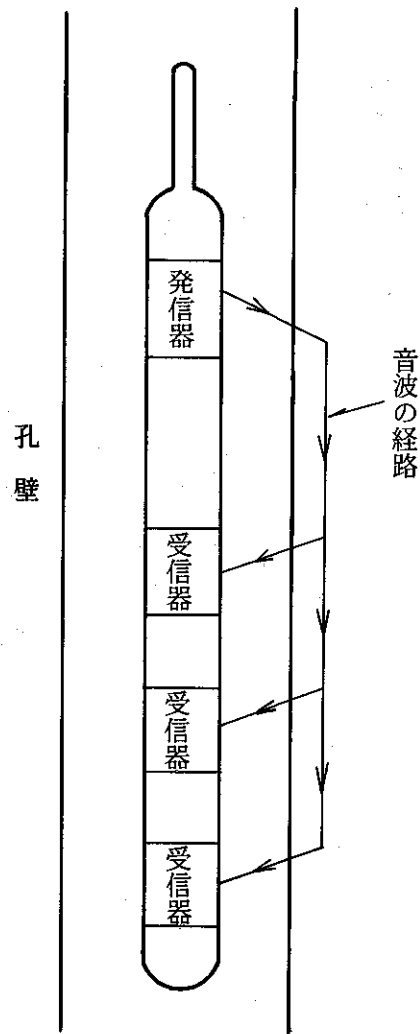


図 5.4-18 音波検層ゾンデ概要図  
及び音波の最短経路

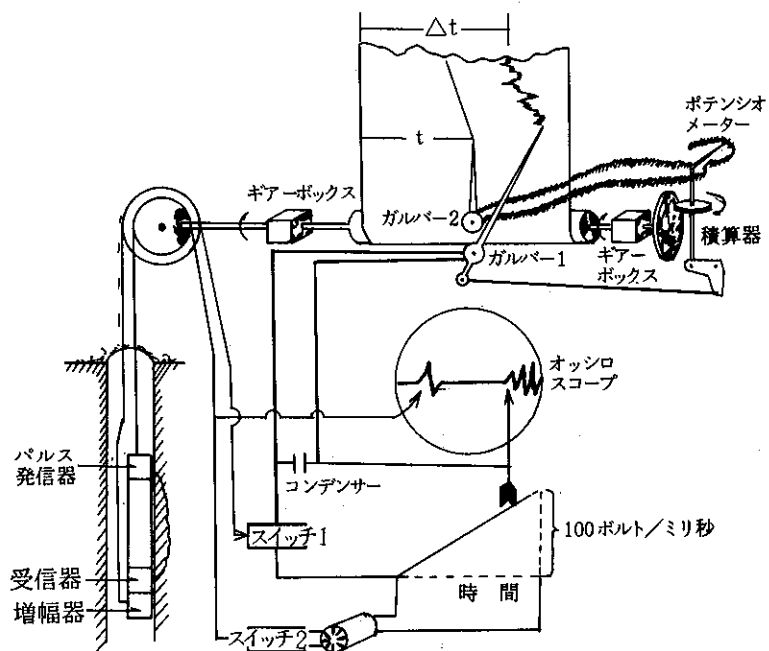


図 5.4 - 19 弾性波速度検層・音波検層の連続記録装置

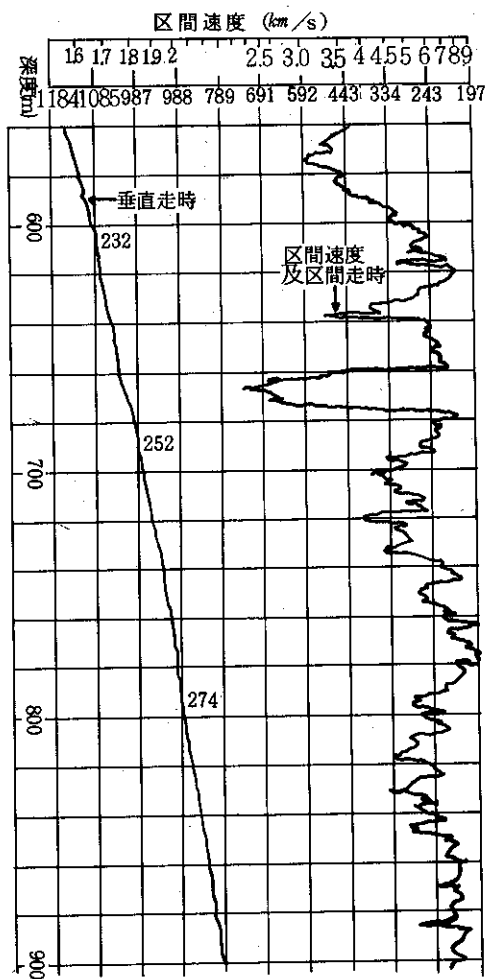


図 5.4 - 20 連続速度検層の記録の一例

(2) P-S 検層 (Well shooting)

土木、建築方面で地盤の強さを調べるために用いられる方法である。試錐孔内に等間隔で受震器を配列し、これをばね等で孔壁に圧着させる。一方、地表では試錐孔の近くに浅い孔を掘りこの中で電気雷管、ダイナマイト、エアガン等の弾性波発生源を入れて弾性波を発生させる。そして発生源より伝播する弾性波のP波S波の伝播速度を測定する。(図 5.4-21 参照)

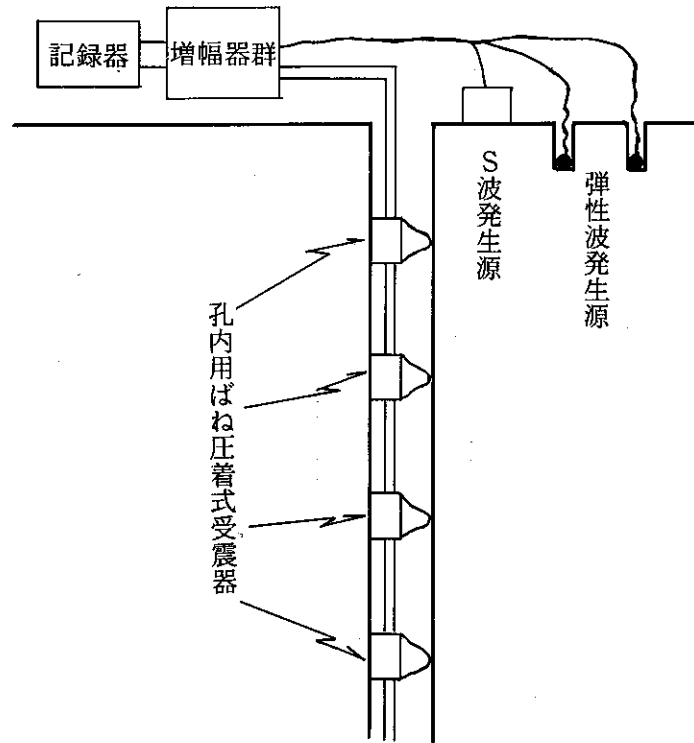


図 5.4-21 P-S 検層の概要図

念のため弾性波発生源の位置を変えて2~3回測定した後受震器群を移動する。試錐孔口附近の浅部は特に特殊なS波発生装置で精査されることが多い。以上、P波、S波を測定することにより下記の式よりヤング率、ポアソン比を算定できる。(図 5.4-22 参照)

地層のP波速度:  $V_p$       S波速度:  $V_s$       密度:  $\rho$

$$\text{ヤング率 } E = \rho V_p^2 \frac{(1+\rho)(1-2\rho)}{1-\rho}$$

$$\text{ポアソン比 } \sigma = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2\{(V_p/V_s)^2 - 1\}}$$

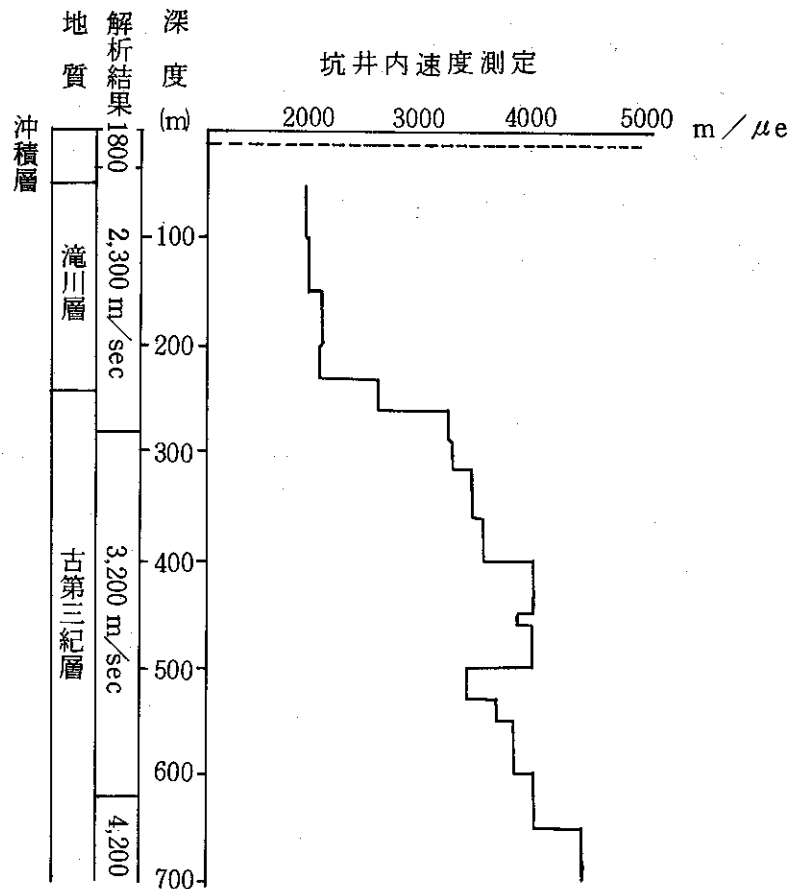


図 5.4 -22 北海道奈井江地域における坑井内速度測定，地表測定の解析結果および地質との比較 (蜷川, 1957)

(3) ボアホール・テレビュアー (Borehole televiewer)

試錐孔内に泥水があって後述の孔内写真，テレビ撮影が出来ない時は音波による孔壁表面の写真により判定し得る。ゾンデには電歪型振動子 (electrostrictive vibrator) で音波を出しつつ孔壁を走査する装置とフラックスゲート型磁力計を内蔵し，振動子が回転して孔壁を走査する時磁力計による磁北を振動子が向いた時パルス信号を出す様にしておき記録計と同期させる。記録には磁北により分割された壁面が平面的に示され表面の亀裂の状況が音波反射の画像で示される。

1/32 時巾の亀裂が検出される。

5.4.4 温度検層

地層中の地温の変化は世界的に 33 m 毎に 1 °C とされているがその変化は一定でなく，地温勾配は，

$$\text{地温勾配の低い地方の地下温度} : t_1 = (10 + 0.03 d) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{地温勾配の高い地方の地下温度} : t_2 = (17 + 0.04 d) \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### d：孔井温度

と一般に示される。

温度変化に対する応答速度の速い（時定数 0.05 ～ 0.1 秒）のサーミスターで検層する時平均的な温度勾配に対する偏差より坑内に流出している地層流体の種類と深度関係の情報を与える。

ガス噴出の場合はガスの気化膨張のために温度が低下する。

また出水部では温度が上昇する事が多く逸水部では温度が低下する事が多い。

（図 5.4 - 23 参照）

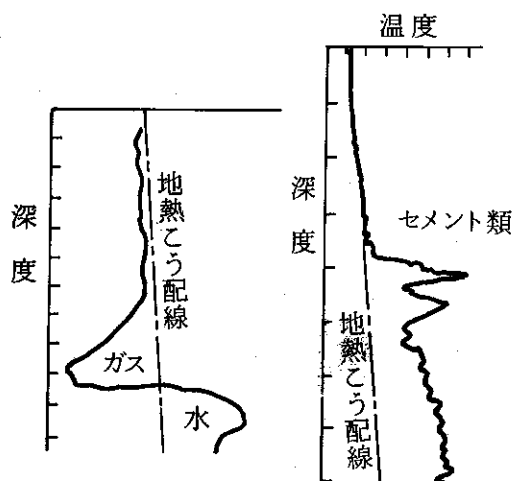
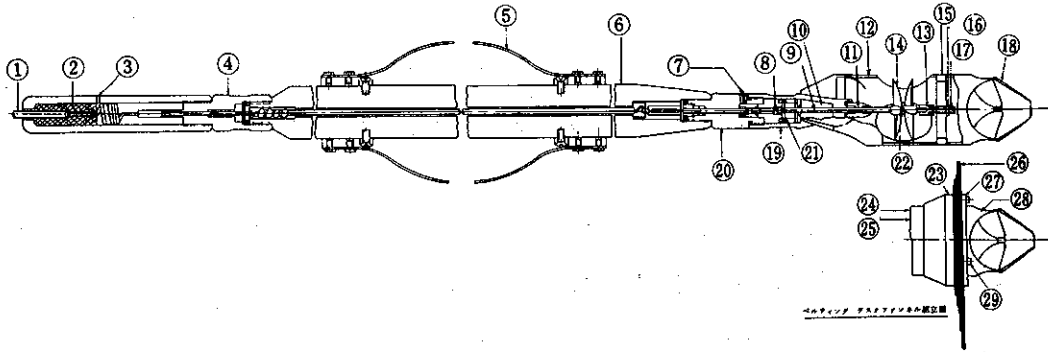


図 5.4 - 23 坑内温度の測定

#### 5.4.5 流速検層（流量検層）

ゾンデの中にプロペラを内蔵しその回転数を深度と共に記録する流速検層と次に記すキャリパー検層による孔径記録と共に試錐孔内の流体の流速を算定し得る。これにより試錐孔内フラクチャーよりの湧水、逸水につき総合した測定結果を得る事ができる。（図 5.4 - 24，図 5.4 - 25 参照）



- |            |             |              |             |             |
|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| ① アーマドケーブル | ⑦ 油注入口      | ⑬ ローベアリング    | ⑮ ローボデー     | ⑳ アッパーチューブ  |
| ② バビット     | ⑧ アッパーベアリング | ⑭ インベラー      | ⑯ アッパーボデー   | ㉑ ベルティングデスク |
| ③ バビット注入口  | ⑨ シャフト      | ⑮ ベアリングサポート  | ㉒ コンタクトワイヤー | ㉒ レターナーリング  |
| ④ サブ       | ⑩ オイルチャンパー  | ⑯ ロックナット     | ㉓ 止メビス      | ㉓ ローチューブ    |
| ⑤ セントライザー  | ⑪ オイルレターナー  | ⑰ ベアリングスクリュア | ㉔ アダプター     | ㉔ ボルト       |
| ⑥ シンカー     | ⑫ アッパーチューブ  | ⑱ ローチューブ     | ㉕ ベアリングサポート |             |

図5.4-24 試錐孔内スピナー流量計

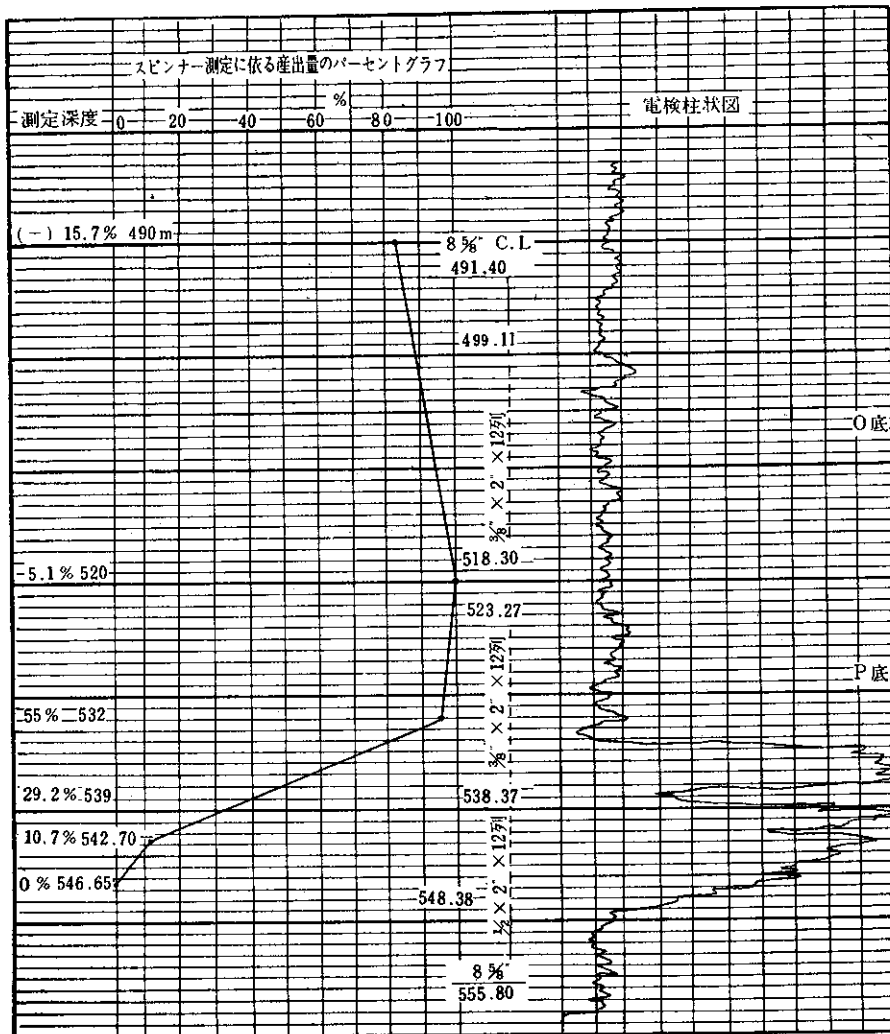


図5.4-25 同上 測定例

#### 5.4.6 キャリパー検層

ゾンデの内より  $120^\circ$  毎に配された 3 本の電動アームが拡がり試錐孔壁に接触する。アームの拡がり度より孔径が算出され記録される。(図 5.4-26 参照)

この孔径記録よりフラクチャーの位置, 状況についての情報を得る事が出来る。

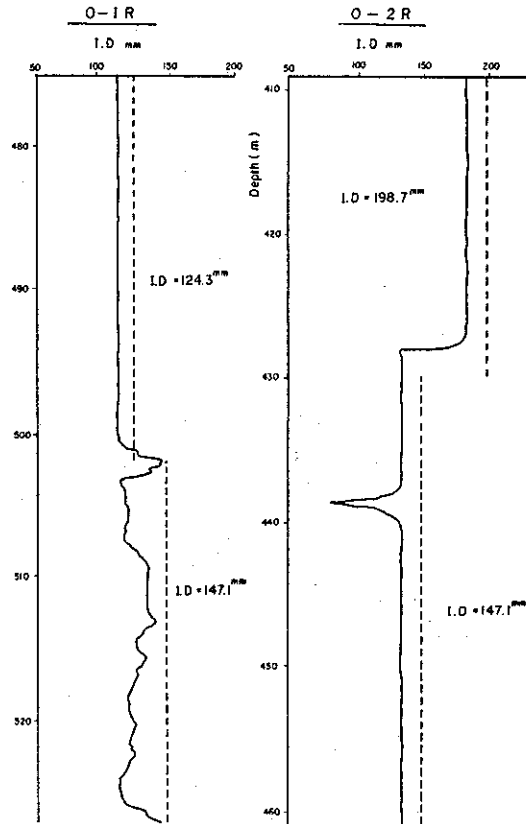


図 5.4-26 キャリパー検層図の一部  
ケーシング内径とキャリパー検層で求められた内径との差の $\frac{1}{2}$ が管壁に付着したスケールの厚みを示す。



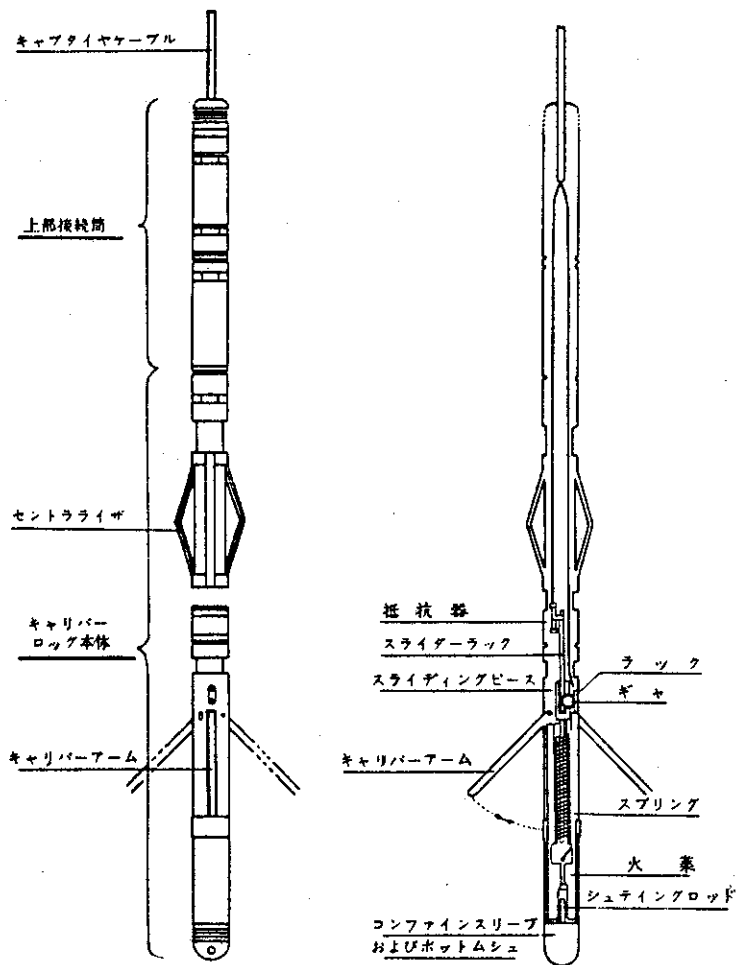


図 5.4-27 キャリパー検層装置

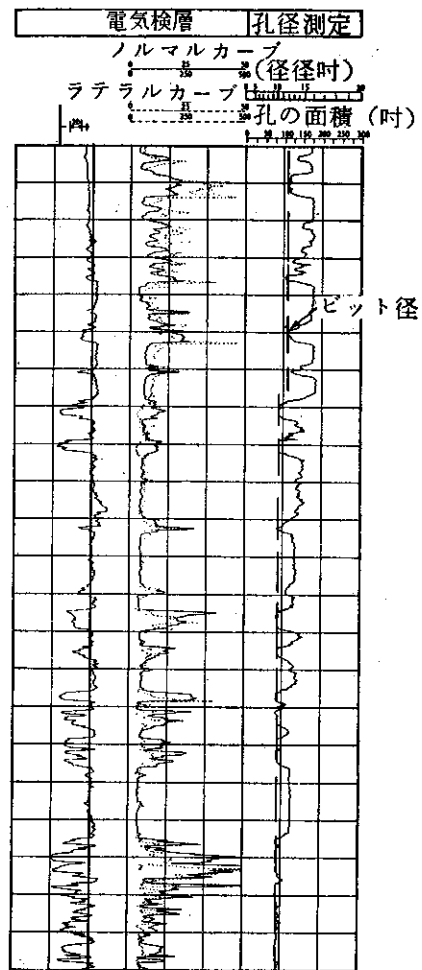


図 5.4-28 電気検層・キャリパー検層計比

#### 5.4.7 写真及びテレビ検層

試錐孔の径が 150 mm より大で内部が清水或は水の無い場合は孔壁照明用電球とステレオカメラ或はテレビ撮像管を降下させ上部より下部を見下すという形のステレオ写真或はテレビ画像を得る事が可能である。(図 5.4-29 ~ 33 参照)

この画像を読むことによって、孔壁の情報を得る事ができる。

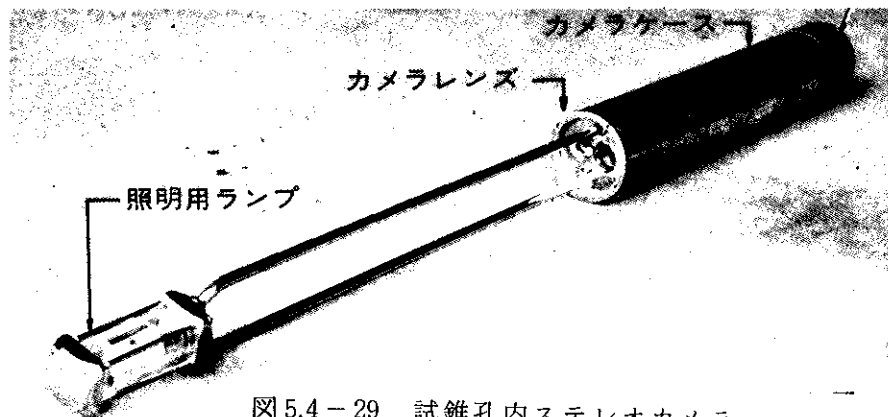


図 5.4-29 試錐孔内ステレオカメラ

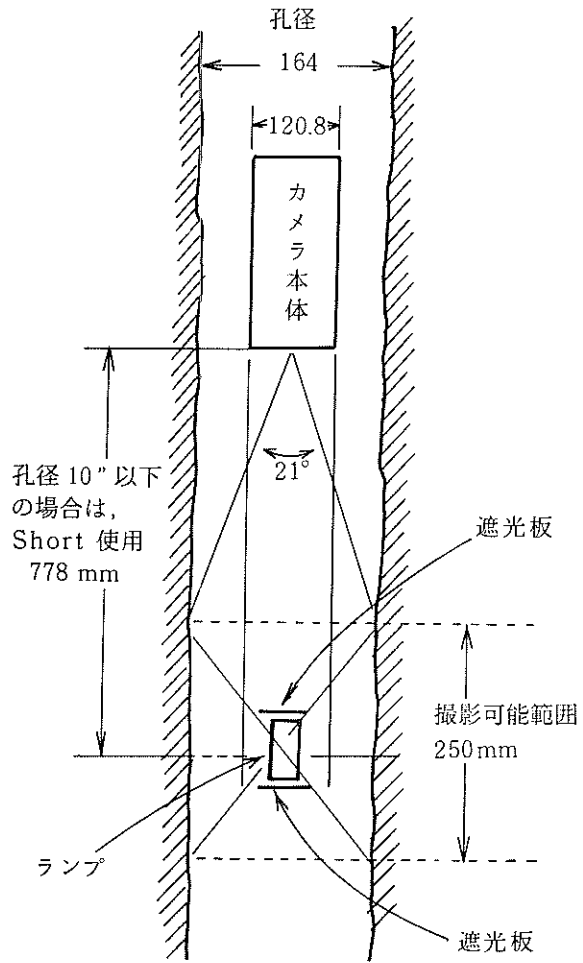


図 5.4-30 試錐孔内ステレオカメラ説明図



図 5.4-31 試錐孔内ステレオカメラ

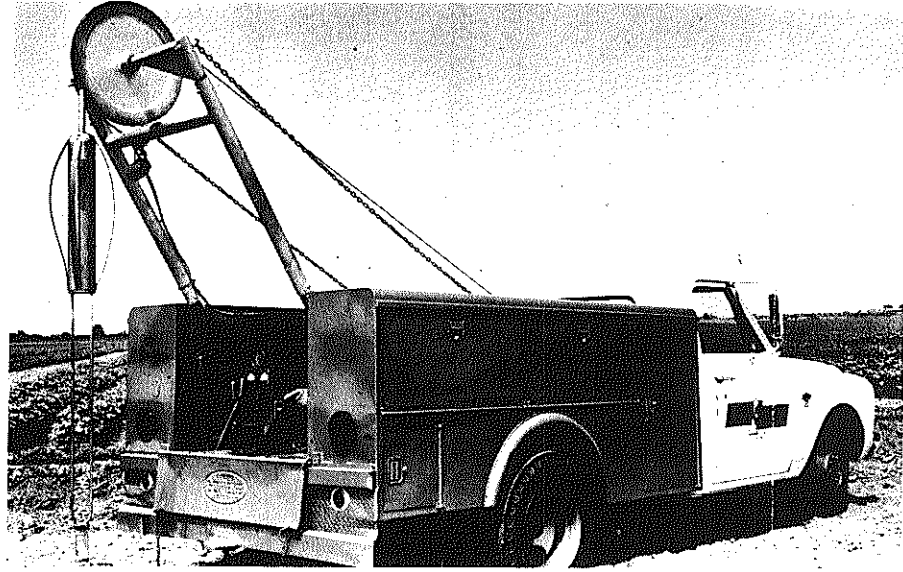


図 5. 4. - 32 試錐孔内ステレオカメラ検層車

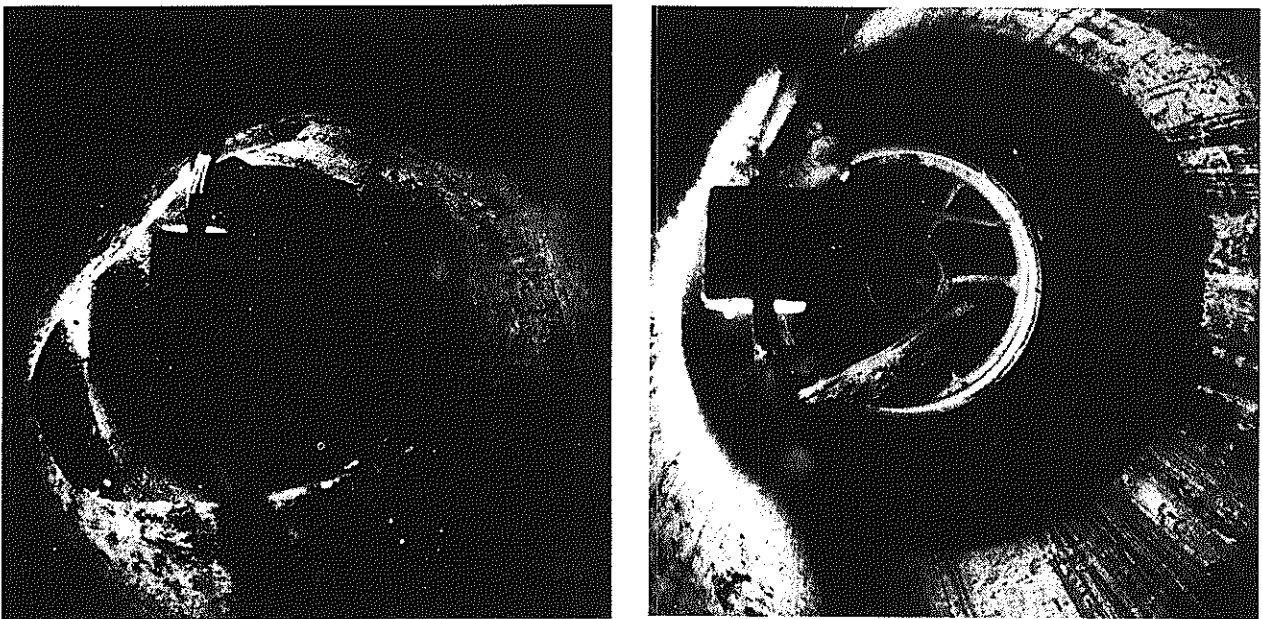


図 5. 4. - 33 試錐孔内ステレオカメラ写真例

#### 5. 4. 8 ルジオンテスト (Lugeon Test)

岩盤の透水係数を測定する方法で、そのテスト装置を図示する。(図5.4-34参照)  
 シングルパッカー方式とダブルパッカー方式があり、圧力水の岩盤内への圧入方式が異なる。シングルパッカー方式は試錐孔の孔じりとパッカーとの間より圧力水を圧入するのに対し、ダブルパッカーでは上下のパッカー間のA部より圧入する。いずれも圧入の長さは5 mを標準とし、10 kg/cm<sup>2</sup>の圧力をかけ約10分後の安定した

流入量を求めてルジオン値を求める。ルジオン値は、圧入された水の量を試験孔長 1 m 当りに換算したものである。即ち、1 ルジオンとは試験区間長 1 m につき注入圧力 10 kg/cm<sup>2</sup> で 1 ℓ/min の水が岩盤に圧入されるとききの透水度を意味する。試験孔の直径は 46 ~ 76 mm である。もし注入される岩盤がダルシーの法則に従うような水理条件であれば次式から透水係数を求めることができる。

$$K = \frac{Q}{2\pi\ell P} \ln \frac{\ell}{r} \quad \ell \geq 10r$$

K : 透水係数 (cm/sec)

Q : 注入量 (cm<sup>3</sup>/sec)

ℓ : 試験区間長 (cm)

r : 試験孔の半径 (cm)

P : 注入圧 (g/cm<sup>2</sup> = cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

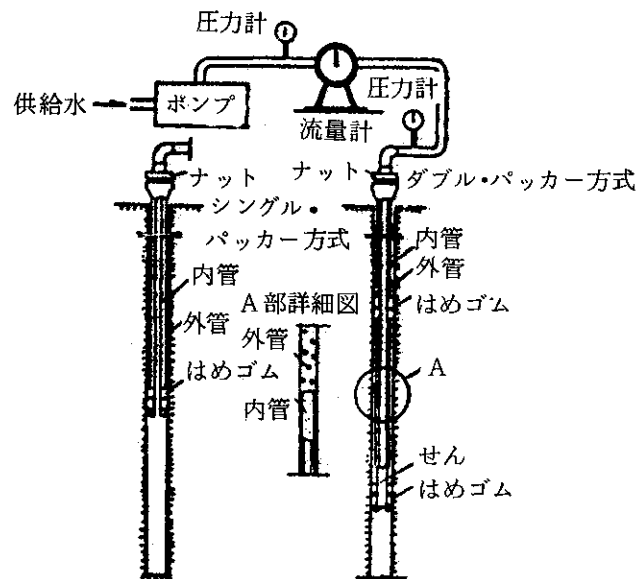


図 5.4-34 Lugeon 試験装置

## 5.5 試験孔と地表又は他の試験孔間の計測

### 5.5.1 試験孔と地表間の計測

5.4.3 の弾性波速度検層の(2)P-S検層 (ウエルシューティング)で述べられたものと同じで地表より弾性波を送り試験孔内で受震する方法である。

### 5. 5. 2 試錐孔と他の試錐孔間の計測

或る試錐孔のフラクチャーと他の試錐孔のフラクチャーとの間の連続性が問題となる時一つの試錐孔より適当なトレーサーを送り他の試錐孔より試料をある期間一定の時間隔で採取して検出し得ればその通過時間より流速が推定し得る。図 5. 5 - 1 の例は条件はかなり異なるが地熱地帯にある地熱発電所で或る熱水還元井にトレーサーとして KI を入れ一つの噴出井より数十時間後に検出した例である。トレーサーとして NaCl, KI 蛍光染料或はアイソトープが用いられるが, 放射性廃棄物地層処分を対象とした場合はアイソトープを用いない方が良いのではなかろうか。此の計測のためには実施前の或る期間バックグラウンド調査が必要であり実施後もトレーサーの減少を或る期間測定する必要がある。又通常フラクチャー間の自然流動速度は極めて緩かであることを考慮し, トレーサー注入後水で圧送する等の処置を考える必要がある。

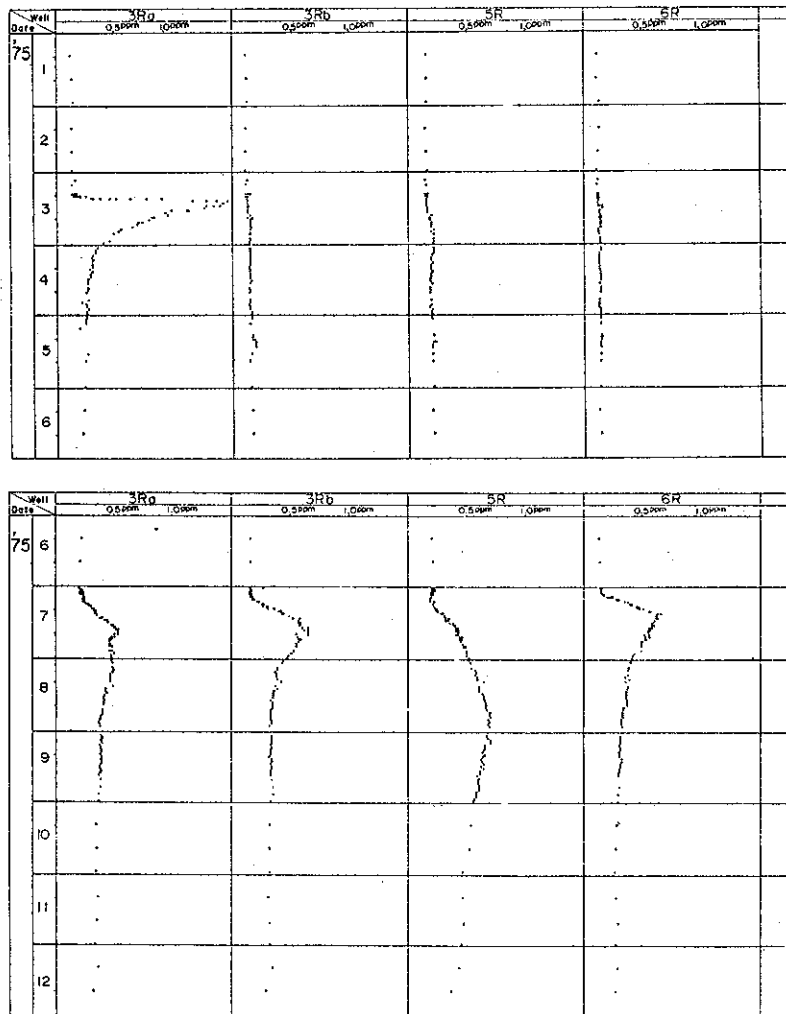


図 5. 5 - 1 生産井における追跡子再湧水のパターン  
 追跡子孔は 50 - 3 - 10, 50 - 7 - 1, 51 - 6 - 30,  
 51 - 11 - 2 にそれぞれ 0 - 7 T, 0 - 7 R, 0 - 1 R  
 0 - 2 R の還元井に投入された。

## 5.6 試錐孔内計器による測定

### 5.6.1 熱流量測定

試錐孔内にいくつかのサーミスターを或る間隔で埋没し、温度を測定する事により熱流量分布を測定し得る。放射性廃棄物の地層処分の場合、当然熱の発生が考えられるが、これまで地質学的年代を経て熱的平衡に達したところに人工的に熱源を置くと、地層内の熱流量分布が変り、それにより岩盤内応力や岩石物性、地下水流等の変動が推定される。従って熱的計測については予め計測計画を作成し計測試錐孔を掘穿、これに多くのサーミスターを埋没し、継続的計測を行ない正常の熱流量分布を把握しておく必要がある。放射性廃棄物の地層処分を実施するに先立ち他の人工熱源を計画位置に設置して熱的計測を行ない、その影響を把握したのち、実施にうつすべきと考えられる。その為にも熱流量測定システムを確立し定常的計測が可能な様に配慮する必要がある。此等の測定を集積すれば地質構造と熱流動の関係が把握し得るであろう。

### 5.6.2 極微小地震測定

試錐孔底に地震計を設置する時、地表近くの種々雑多な微動に影響されずに、極微小地震を測定することが出来る。放射性廃棄物を地層処分する時熱が発生すると考えられるので、岩盤内の熱的平衡が破れ局部的な加熱による局部的膨張等により岩盤内部の応力平衡に異常を来すと極微小地震が発生する可能性がある。此の為に予め極微小地震観測計画を立て3孔程度の試錐孔底に地震計を設置して正常の場合の極微小地震の状況を把握しておけば地層処分後の観測と比較することができる。

## 5.7 まとめ及び提言

以上、試験孔を利用したデータ収集方法は多数あるが表5.7-1の様にまとめることができる。又、実施にあたっては以下の事に注意する必要がある。

- ① 試錐孔は地層処分要因の事前調査のため多くの資料が得られるばかりでなく、事後調査にも種々役立つ空洞であるので、その長期保存に留意して掘穿すべきで、特に地表より孔底迄の崩壊を防ぎ、地表よりの落下物により閉塞することがない様孔口の保護に留意すべきである。
- ② 採取した岩芯は放置すれば乾燥風化するものもあるので採取時一定間隔で一部分をパラフィン或は塗料等で密封しておくことが望ましい。岩芯の物性測定も乾燥風化していないものを使用すべきである。

- ③ 検層についていえば、電気検層では自然電位法、2極法（場合によってはマイクロ・ログ）を、放射能検層では自然放射能ガンマー線検層、中性子 $\gamma$ 線検層を、弾性波速度検層では音波検層、温度検層を及び流速検層を実施することが望ましく、他は特殊な場合に限られる。
- ④ 試錐孔と地表、又は他の試錐孔間の計測は長期間の計測が必要となる可能性が高い。
- ⑤ 試錐孔内の計器による測定は、地層処分後の地層の変化をも観測可能であるので、事前に充分バックグラウンドを把握しておく必要がある。

表 5.7 - 1 試錐孔内検層総括表

検層種別		測定する物理量	検出される項目	孔内条件	使用状況	備考
大分類	小分類					
電気検層	自然電位	自然電位 S. P.	地層の対比, 地層水の判定, 変質透水, 湧水, フラクチャー, 孔隙	裸孔	一般的	
	2極法	見掛比抵抗	地層の対比, 断層, 破碎帯, 透水性, フラクチャー, 孔隙, 変質	裸孔	一般的	薄層検出能力劣る
	3極法	見掛比抵抗	地層の対比, 断層, 破碎帯, 透水性, フラクチャー, 孔隙, 変質	裸孔	一般的	薄層検出能力やや良
	ラテロログ	見掛比抵抗	地層の対比, 断層, 破碎帯, 透水性, フラクチャー, 孔隙, 変質	裸孔	特殊	薄層検出能力良
	マイクロログ	孔壁近くの 見掛比抵抗	泥水滲透層の判定, 孔隙等	裸孔	特殊	孔壁ごく近くのみを測定
	ディップメーター	孔壁近くの 見掛比抵抗	地層の傾斜と走向	裸孔	特殊	
	インダクションログ	見掛比抵抗	地層の対比, 断層, 破碎帯, 透水性, フラクチャー, 孔隙, 変質	裸孔	特殊	海水泥水, オイルベース泥水等の特殊な時
放射能検層	自然放射能 ガンマ線	ガンマ線強度	放射性地層の対比, 区分, 断層	ケーシング可	一般的	
	$\gamma-\gamma$	$\gamma$ 線コンプトン 散乱後の2次 $\gamma$ 線	地層密度(地層中の電子密度)	ケーシング可	一般的	
	中性子 $\gamma$ 線	中性子放射 による2次 $\gamma$ 線	地層孔隙率(地層中のH原子密度)	ケーシング可	一般的	
	熱中性子	中性子放射 による熱中性子	地層孔隙率(地層中のH原子密度)	ケーシング可	一般的	
	エピサーマル 中性孔	中性子放射による エピサーマル 中性子	地層孔隙率(地層中のH原子密度)	ケーシング可	特殊	Cl濃度高い場合有効
弾性波速度 検層	音波	音波伝播速度 (P波)	地盤の風化, 固結度, 硬軟, 破碎帯, 弾性係数	裸孔	一般的	
	P S 検層	P波 S波 伝播速度	動弾性係数, 軟弱地層固結度	裸孔	特殊	
	ポアホール テレビュアー	P波反射 画像	孔壁のフラクチャ状況	裸孔	特殊	泥水で写真が不可の場合
温度検層		温度	地温分布, 湧逸水位置	孔明ケーシング可	一般的	
流速検層		流速	流速分布, 湧逸水位置	孔明ケーシング可	一般的	
キャリパー検層		孔径	断層, フラクチャーによる孔径異常位置	裸孔	特殊	
写真及テレビ検層		孔壁ステレン 写真及テレビ画像	孔壁のフラクチャー状況	裸孔 清水	特殊	水無孔或いは清水孔に限る
ルジオンテスト		注入量と注入圧	浸透係数	裸孔	一般的	





表 6.5-1 調 査 日 程 表

月 日 (曜)	発 着 時 刻	交通機関	主 要 行 動	宿 泊 地
10. 15 日	東京 発 18:30 バンクーバー着 11:00	CP 402		バンクーバー (Vancouver B.C.)
10. 16 月	バンクーバー発 11:35 ウィニペグ 着 16:05 " 発 16:30 ピナワ 着 18:30	AC 824 タクシー	ウィニペグにて不破ニュー ヨーク駐在員合流	ピナワ (Pinawa, Manitoba)
10. 17 火			Whiteshell Nuclear Research Establishment 訪問 (8:00~17:00)	ピナワ
10. 18 水	ピナワ 発 8:00 ウィニペグ 着 10:30 " 発 11:00 トロント 着 14:00	タクシー CP 50	移動	トロント (Toronto, Ontario)
10. 19 木	トロント 発 8:30 ハミルトン 着 10:00 " 発 15:30 トロント 着 17:00 " 発 19:10 ペムブロック着 20:35 " 発 21:00 ディープリバー 着 21:40	レンタカー PD 705 タクシー	McMaster 大学訪問 (10:00 ~ 13:30) Acres Consulting Service Ltd. 訪問 (14:00~15:30)	ディープリバー (Deep River, Ontario)
10 20 金	ディープリバー 発 8:30 チョークリバー 着 9:00 " 発 16:00 ペムブロック着 16:40 " 発 17:20 トロント 着 18:45	バス カンパニー カー PD 704	Chalk River Nuclear Laboratory 訪問 (9:00~16:00)	トロント
10. 21 土	トロント 発 11:30 ニューヨーク 着 12:39	AA 616	移動	ニューヨーク
10. 22 日			資料整理	ニューヨーク
10. 23 月	ニューヨーク発 14:00 ワシントン 着 15:00 " 発 15:30 ロックヴィル着 17:00	シャトル (イースタン) レンタカー	三菱金属(株) ニューヨーク 事務所訪問, 今後の訪問日 程等の確認を行う。	ロックヴィル (Rockville, Maryland)
10. 24 火			D.O.E. 訪問(10:00~ 12:00)	ロックヴィル

月 日 (曜)		発 着 時 刻	交通機関	主 要 行 動	宿 泊 地
10. 25	水	ロックヴィル発 9:00 ワシントン 着 11:00 " 発 16:30 コロンバス 着 17:40	レンタカー TW 537	移動	コロンバス (Columbus, Ohio)
10. 26	木			Battelle 研究所訪問 (10:00~16:00)	コロンバス
10. 27	金	コロンバス 発 10:05 デンバー 着 13:07	TW 415	移動	デンバー (Denver, Colorado)
10. 28	土			資料整理	デンバー
10. 29	日			"	"
10. 30	月			U.S.G.S. 訪問 (8:00~16:00)	"
10. 31	火	デンバー 発 10:00 シアトル 着 11:35	UA 387	移動	シアトル (Seattle, Washington)
11. 1	水	シアトル 発 9:00 パスコ 着 15:00	レンタカー	移動	パスコ (Pasco, Washington)
11. 2	木			Battelle 研究所訪問 (8:00~17:30)	"
11. 3	金	パスコ 発 13:00 ポートランド着 19:30	レンタカー	Rockwell 研究所訪問 (8:30~12:00)	ポートランド (Portland, Oregon)
11. 4	土	ポートランド発 10:25 サンフランシスコ着 11:45	UA 273		サンフランシスコ (San Francisco, California)
11. 5	日	サンフランシスコ発 13:00	JL 001		
11. 6	月	成 田 着 17:20			

## 6.6 質問状および持参資料等

### 6.6.1 質問状

下記内容の質問状を事前に先方に送付した。

Dear sirs;

We would like to discuss or exchange information on the disposal of high level radioactive wastes in geologic formation.

The following is a list of questionnaires what we are most concerned and longing to discuss with.

## Questionnaires

### I The outline of the project.

- (1) Organization, budget, working schedule, and target.
- (2) The relation with other organization or project; what part of the role is played by the project or organization among whole working group?
- (3) Present situation and future outlook of the individual study and test.
- (4) How international cooperation or allocation of the research is made or going to be made?

### II Geological and geophysical matter.

- (1) What kind of formation or rocks are picked up to be suitable for disposal of high level waste from nuclear reactor?
- (2) Why do you think or how do you decide the above formation or rock to be suitable? If possible show order of priority.
- (3) What kind of step or procedure is necessary for geological evaluation?
- (4) How do you utilize geophysical survey?
- (5) What kind of geophysical logging are you going to apply for the bore hole?
- (6) What kind of step or procedure are you going to apply to evaluate possible effect of groundwater contamination?
- (7) How do you apply remote sensing technic in analysing geological structure?
- (8) Do you have any evaluation study to prove long term stability of the site?
- (9) What is minimal demension of disposal site?
- (10) Concludingly, do you have any standard criteria for site selection?

### III On the thermal effect

- (1) How do you evaluate the thermal effect in lithosphere?  
How are you going to utilize basic data on thermal property of rocks obtained from laboratory?
- (2) How do you evaluate the thermal effect on biosphere?  
What kind of step or study is necessary to ascertain the effect?

### IV On the diffusion-adsorption mechanism

- (1) What is the transport model of leached radionuclides in lithosphere?  
And what are the important parameters controlling the model?
- (2) How are you going to obtain the actual value of parameters in the deep buried geologic formation?

- (3) We understand the parameters used in the above model are based on the actual data obtained from surface or near surface environment, then have you ever examined the applicable limit of those parameters?
- (4) How do you determine or measure sorption coefficient in the laboratory?
- (5) If available, we wish to have a copy of various data on sorption of rock.
- (6) We wish to have a copy of actually measured Kd values of rocks.

V Others (This item is exclusively for D.O.E.)

- (1) What is the present situation and future outlook of disposal on or in ocean plains?
- (2) On the alpha waste disposal.
- (3) NWTS program. We would like to know the present situation and future outlook. We would be very much interested to learn how you are going to decide on the disposal of nuclear waste from commercial reactors?
- (4) How is the present operation of Nevada test site?
- (5) Regarding the legal commission, what is the requirement of DOE?  
What will be the most important point of issue at the public hearing?

質 問 状 (和 訳)

I 計画の概要

- ① 貴所の組織, 予算, 作業スケジュール, 作業目標は。
- ② 他の組織やプロジェクトとの関係, 本プロジェクトないし組織が全体の計画の中でどのような役割を占めているか。
- ③ 個々の研究調査の現状と将来の見通し。
- ④ 国際協力あるいは作業の割り当てはいかにされているか, またされていくべきか。

II 地質および地球物理に関する事項

- ① どのような地層ないし岩石が高レベル廃棄物の処分に適当と考えるか。
- ② 何故上記の地層または岩石を適当と考えるか。もし可能なら重要順位をつけられたい。
- ③ 地質学的評価に際して, どのような手法あるいは手段が必要か。
- ④ 物理探査をどのように利用しているか。
- ⑤ 試錐孔に対してどのような物理検層を用いるか。
- ⑥ 地下水の混入の影響を評価するためにどのような手法を用いるか。
- ⑦ 地質構造を解析する上で, リモートセンシング技術をどのように応用しているか。

- ⑧ 処分場の長期的安定性を証明するための評価作業を行っているか。
- ⑨ 処分場の最低の大きさは如何。
- ⑩ 結論的に、処分場を選定するための標準となる基準をもっているか。

### III 熱の影響について

- ① 岩石圏中の熱の影響をどう評価するか。研究所から得られた岩石の熱特性データをいかに利用するか。
- ② 生物圏に対する熱の影響をどう評価するか。そのためにどのような評価方法がとられるか。

### IV 拡散・吸着のメカニズムについて

- ① 岩石圏中の溶脱された放射性核種の運搬モデルはどのようなものか。そしてそのモデルにおける重要なパラメーターはなにか。
- ② 地下深所におけるパラメーターの実際の値をどのように測定するか。
- ③ 上述のモデルに使われたパラメーターは地表あるいは地表に近い浅所で得られた値と思うが、これらの適用可能深度についての評価を試みたことがあるか。
- ④ 研究室において、吸着係数をどのように測定するか。
- ⑤ 可能であれば、吸着係数の実際のデータをもらいたい。
- ⑥ 岩石の  $K_d$  (分配係数) 値についての測定結果も、あればもらいたい。

### V その他 (DOE のみに対する質問)

- ① 海洋底処理に関する研究の現状と展望は。
- ②  $\alpha$  廃棄物に関する現状は。
- ③ NWTS プログラムについて。現状と将来展望を知りたい。我々は商業用原子炉からの放射性廃棄物についての貴国の方針に興味を持っている。
- ④ ネバダ実験場の現状の作業状況は如何。
- ⑤ 許認可について、何を必要な条件とするか。何が公聴会における一番重要な争点になるか。

### 6.6.2 持参資料

- ① 1976・1977年の我が国の調査・研究の概要 (英文)  
(本資料は口頭説明のみにて、先方には一切渡していない。)
- ② P.N.C. 紹介パンフレット (英文, 先方に手交)
- ③ M.M.C. 紹介パンフレット ( " " )
- ④ 日本の地質図

## 6.7 調査結果の概要

### 6.7.1 カナダ

#### (1) ホワイト・シュール核研究所 (カナダ原子力公社)

- i カナダの予算規模は1978年度約15億円、1979年度は21億円である。  
カナダ原子力公社が鉱山資源エネルギー省の指令のもとに全プログラムの運営を行っている。
- ii 候補の岩石としては、①深成火成岩体 ②岩塩層 ③頁岩層 ④石灰岩を考えているが、①を最有力と考えて、野外・室内実験・コンピューター・シミュレーション等の多角的な調査・研究を行っている。
- iii Repositoryの操業開始目標を2,000年頃と想定している。
- iv Public Acceptanceに非常に気を使っており、多くの情報・啓もう活動が行われている。

#### (2) チョーク・リバー核研究所 (カナダ原子力公社)

- i 本所の研究の主体は低レベル廃棄物であり、大規模なin-situの拡散による移動の実験を行っている。
- ii 高レベルに関しては、Pathway Analysisの理論と実験を行っている。

#### (3) マックマスター大学

原子物理学のパネルジー教授と面談、同氏が行っている熱拡散および拡散移動に関する3次元のコンピューターモデルについて説明を受けた。

### 6.7.2 米 国

#### (1) アメリカ合衆国エネルギー省 (DOE)

- i DOE関係で総額216億円という巨額な予算を投じている。(1978年度)
- ii 大統領命令により、計画全体の見直しを実施中で、最終決定に至っていない。従来の1985年をRepositoryの操業開始目標年とする計画はかなりスローダウンされるようである。
- iii 候補岩石としては、①岩塩層あるいはドーム ②玄武岩(ハンフォード保留地内での) ③凝灰岩類(ネバダ試験場内のもの) ④花崗岩類 ⑤頁岩 ⑥硬石こう等があるが、①および②が先行している。
- iv 今後の計画に大きな影響を及ぼすものは、大統領の決定はもちろんのこと、NRCの許認可基準、およびPublic Acceptanceであろう。

#### (2) バテル・メモリアル研究所

- i バテル社はONWI (Office of Nuclear Waste Isolation) の運営を委託されており、岩塩サイトの調査研究および一般的な研究開発に従事している。
- ii 岩塩に関しては、Salina Basin, Gulf Coast Salt Dome, Paradox Basin,

Permian Basin の 4 地域において試錐を含めた調査を行っている。

iii R & D としては、物探機器の開発、年代測定法の開発、各種コンピューターモデルの開発、試錐のプラグング技術等を行っている。

iv In-situ Test としては各地で種々の規模のヒーター試験を行っている。

(3) パテル・ノースウエスト研究所

i ONWI の仕事の中、R&D の殆んどをここでやっている。

ii Kd 値のデータバンクを独自で作りつつあり、今後利用できるものと思われる。

iii 世界の地震のデータバンクを作っており、自在に 3 次元的にプロットする端末機器を開発しており、今後利用価値がある。

iv Long-term Stability (長期にわたる安全性) の評価方法は、まだ目途がついておらず、今後の成果に注目すべきである。

(4) 米国地質調査所 (USGS)

i 1979 年度より、議会より約 6.6 億円の予算がつき、独自の研究を行う態勢にある。他に約 12 億円の予算で、DOE の仕事を行っている。

ii 米国全域の花崗岩類、硬石こう、頁岩に対象岩種を絞り、ソフトも含めた広汎な調査研究を行う予定である。

iii 特に力を入れるのは、同位体地質学および水理地質学の分野である。

iv USGS は DOE に比べて、より第三者的な立場で廃棄物問題に取り組むことを期待されている。

(5) ロックウエル社

i ワシントン州のハンフォード保留地内の、コロンビアリバー玄武岩 (厚さ最大 3,000 m に達する) 中にサイトを作ることを目的とした調査を行っている。

ii 地質精査、リモートセンシングによる構造解析、試錐、水理試験等が行われ、その結果、深度約 1,000 m に位置する厚さ 300 m の緻密な玄武岩の部層が有望と考えられている。

iii In-Situ Test 用の坑道開穿が進行中である。

## 6.8 カナダ原子力事情の概要について

### 6.8.1 カナダ原子力公社 (AECL) について

a. カナダの原子力研究は 1943 年に開始された。1952 年には国営の新会社 Atomic Energy of Canada Limited (AECL: カナダ原子力公社) が設立され、そこにすべての研究が移管された。AECL は鉱山エネルギー大臣 (Minister of Energy, Mines and Resources) の指揮下に入る。



- b. AECLは2つのR&Dの研究所をもつ。即ち, Chalk River Nuclear Laboratories (CRNL, オンタリオ州)および Whiteshell Nuclear Research Establishmentである (WNRE, マニトバ州)。他に原子力発電所のためのエンジニアリングの事務所を3ヶ所, 重水生産プラント2ヶ所を操業している\*。

#### 6.8.2 カナダ原子力発電

- a. 商業用原子力発電は CANDU- PHW型の原子炉を用いている。(Canada Deuterium Uranium Pressurized Heavy Water coolant, pressure tube reactor) これの主な特徴は, ①重水を減速材に用いる, ②重水を冷却に用いる, ③天然ウランを燃料として用いる, ④運転中の燃料注入, の4点である。
- b. Ontario Hydroは AECL と共同で原子力発電を開発し, 1962年に最初の22 MWeのデモンストレーション用のプラントを Rolphton, Ontario に完成させた。現在(78年2月)4,500 MWeを発電中で, 更に9,000 MWe が建設中である。

#### 6.8.3 使用済燃料等の処理について

- a. カナダの考え方は, 放射能を帯びた燃料(使用済燃料)を取り出し可能な状態で貯蔵するというものである。カナダは既に CANDU 炉の使用済燃料の貯蔵には15年以上の経験を有しており, 今後数10年のオーダーでは安全かつ経済的に貯蔵することには自信がある。
- b. カナダの核廃棄物の管理に対して次のような結論が作業グループにより, 鉱山エネルギー省に提出された。(77年8月)
- ① 原子炉の廃棄物および使用済燃料の安全かつ永久的処分は政府がR & Dにすぐ取り組む方向に進めば十分可能であり, 廃棄物問題がカナダの原子力計画を遅らせるようなことがあってはならない。
- ② 色々な手法の中で, カナダにおいては地層中の地下処分が, もっとも有望で, 特に異なった火成岩中に2ヶ所のサイトを調査することが必要である。
- これに従ってカナダは廃棄物処理手法の開発に全力をあげる態勢となった。

### 6.9 調査・研究機関各論

#### 6.9.1 カナダ

- (1) カナダ原子力公社・ホワイトシェル核研究所 (Whiteshell Nuclear Research Establishment, Pinawa, Manitoba)
- i 訪問日時: 1978年10月17日 8:00~17:00

\* 研究部門は WNREに約800人, CRNLは2,500人いる。AECL全体で約4,500人である。

- ii 面談者： Mr. S.R. Hatcher, Vice-President and General Manager, AECL,  
WNRE.  
Mr. M. Tomlinson, Director, Chemistry & Material Science Division.  
Mr. S.A. Mayman, Chief, Storage and Disposal Branch.  
Mr. H.Y. Tammemagi, Geotechnical Technology.  
Mr. R.B. Lyon, Pathway Analysis, Analytical.  
Mr. F.P. Sargent, Pathway Analysis, Experimental.  
Dr. E.L.J. Rosinger, Chemical Technology Branch.

iii 聴取事項

① カナダのプログラム概要

- a) 再処理についてはまだ決定をみていない。しかし、CANDU 炉の場合にはトリウムを使用することにより有利な核燃料サイクルを形成できる。即ち CANDU 炉の場合トリウムサイクルは炉をそのまま、或いは軽微な改造により使えることである。カナダは再処理がいずれに決定されても対応できるように 2 本建てで廃棄物対策を進めていく。
- b) カナダの廃棄物処分プログラムは、公式には1974年から開始された。AECL はその運営について全面的に責任を有する。プログラム実施にあたっては、カナダ地質調査所 (GSC), 鉱山エネルギー省 (EMRD), 環境省 (Federal Department of Environment) がパートナーとなって作業を分担している。その他鉱山会社をはじめとする企業や多くの大学も請負ベースで作業を行っている。
- c) カナダにおいても原子力に全面反対する勢力があり、Public Concensus を得ることが重要課題である。そのために、すべてのデータを公表するという取り決めをしており、都度技術発表会を行っているが、今のところうまくいっている。このような配慮をもとに、プログラムを 4 つの phase に分けている。
- d) Phase I : "概念の立証" (Concept verification) 理論, 研究室, フィールドにわたり詳細な基礎研究を行うもので、どのような岩石が良いかまでは結論づけてもサイトの選定には進まない。この phase は1981年まで今から 3 年間かかるであろう。

Phase II : サイト選定の期間で 2~3 年間かかる予定である。即ち1980年代中頃位までかかるであろう。この時点で廃棄物処分としての免許を受けられることになる。

Phase III : パイロットプラントの建設およびサイトでの各種実験およびデモンストレーション。ここでは熱試験, 岩石力学的試験, 更には実

際の放射性核種を用いた拡散試験等を行う。この期間は約10年かかるであろう。

Phase IV: フル・スケールの操業で、2,000年を目標とする。

e) 候補の岩石は広汎な岩種から選択されたもので、現在考えられているのは、①深成火成岩体 (Igneous pluton), ②岩塩層, ③頁岩層, ④石灰岩である。海洋底処分も研究しているが、現在興味を持っているのは硬岩, 特に深成火成岩体である。

f) 1年半前に最初の公聴会をもったが、人口800人の町なのに1,300人も集まり、ふん囲気は敵対的であった。彼等は当地に処分場を作るのだと思ひ込み、それに反対しようと思つたのである。けれども、今やっている作業は phase I であつて、サイト選定とは無関係であるという我々の説明に納得してくれた。その後、定期的にセミナーあるいは公聴会を開いているが、現在の出席者は最大50人程度である。

g) 組織は表 6.9-1 の通りである。

Chemical Technology Branch (化学技術部門) は主として使用済燃料および再処理済燃料の固化体あるいは容器に関する研究を行っている。

Storage and Disposal Branch (貯蔵および処分部門) は4つの Section (課) に分かれる。

① Pathways Analysis, Analytical (拡散経路の解析: 理論) は放射性核種の地下の移動拡散モデルを理論化しコンピューターによるシミュレーションを行う。

② Pathway Analysis, Experimental (拡散経路の解析: 実験) は実験によるシミュレーションを行う。他にここに関係した作業として、Adsorption の基礎実験、ガラス固化体の溶解実験が他の部門 (Research & Chemistry Branch) で行われている。

③ Geotechnical Technology (地質工学) 地質工学に関しては E.M.R. が作業を実施、水理地質学は Department of Fisheries and Environment (水産・環境庁) が請負ベースで実施、地下施設の設計は Acres Consulting Services というコンサルティング会社が請負っている。

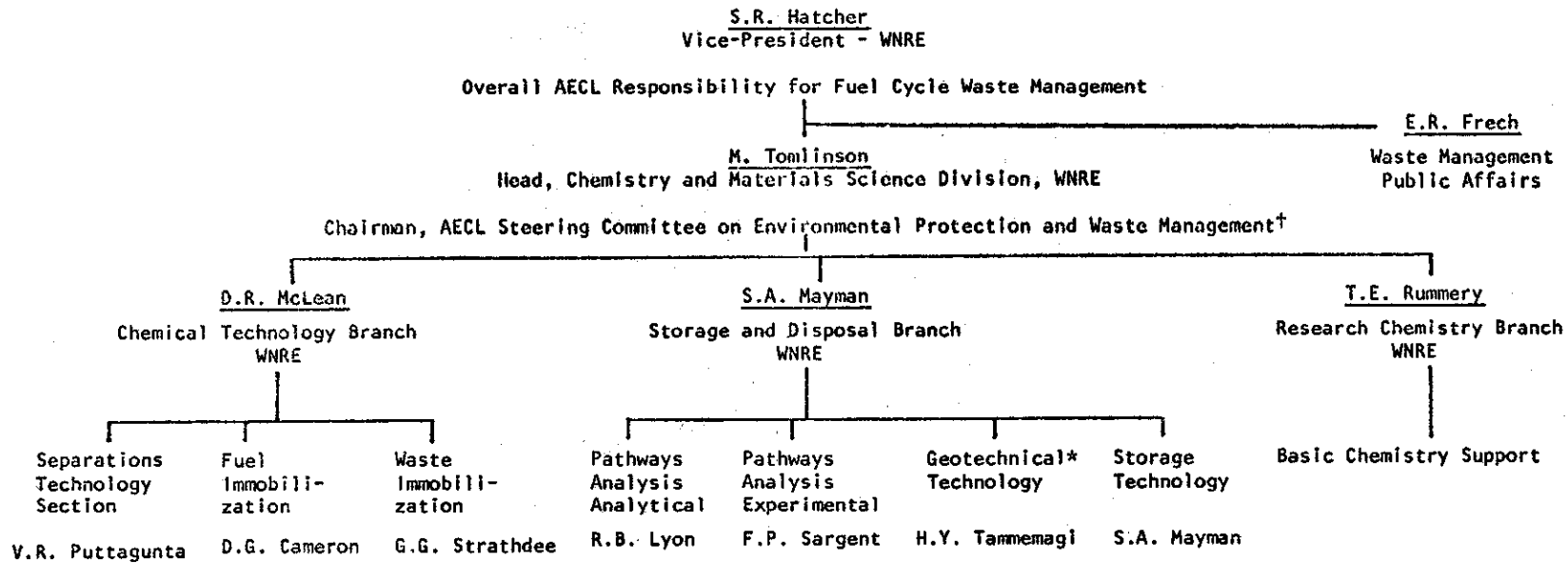
④ Storage Technology (貯蔵技術)

h) 予算の合計は1978年度(4月～翌年3月)で、990万カナダドル(15億8,400万円, 160円/C\$で計算)、1979年度で1,350万カナダドル(21億6,000万円)である。

② 地質関係プロジェクトについて

a) 岩塩層に関しては図 6.9-1 のようにカナダには広汎なエバポライト

表 6.9 - 1 カナダ原子力公社・ホワイトシエル核研究所組織



\* Most of the geotechnical work is contracted to Energy, Mines and Resources; Responsible Officer - J.S. Scott.

\* Most of the hydrogeology work is contracted to Department of Fisheries and Environment; Responsible Officer - D.H. Lennox.

\* Most of the mine design work is contracted to Acres Consulting Services; Responsible Officer - R. Charlwood.

† R&D on reactor wastes is the responsibility of the Chalk River Nuclear Laboratories and is coordinated through this Steering Committee; Responsible Officer - D.H. Charlesworth.

NOTE: Normal AECL practice is to let contracts where appropriate from each responsibility centre. In this context, each of the above units plus EMR and DFE are considered to be responsibility centres.

Analytical support is provided by R.B. Stewart, Head, Analytical Science Branch, WNRE

・ベーズンの分布があり，3年前から検討してきたが多くの難点（熱に対して力学的に弱い，強度の問題，含有水の問題，資源としての重要性により，前向きな取り組みはしていない。他に深成火成岩に次ぐ次善の岩石としては，オンタリオ州の頁岩，石灰岩を基礎的研究項目として加えている。当初，蛇紋岩（Serpentinite）も項目として入っており，ケベック州で2年半にわたって研究したが，岩体が均一でないとの理由で研究を中止した。

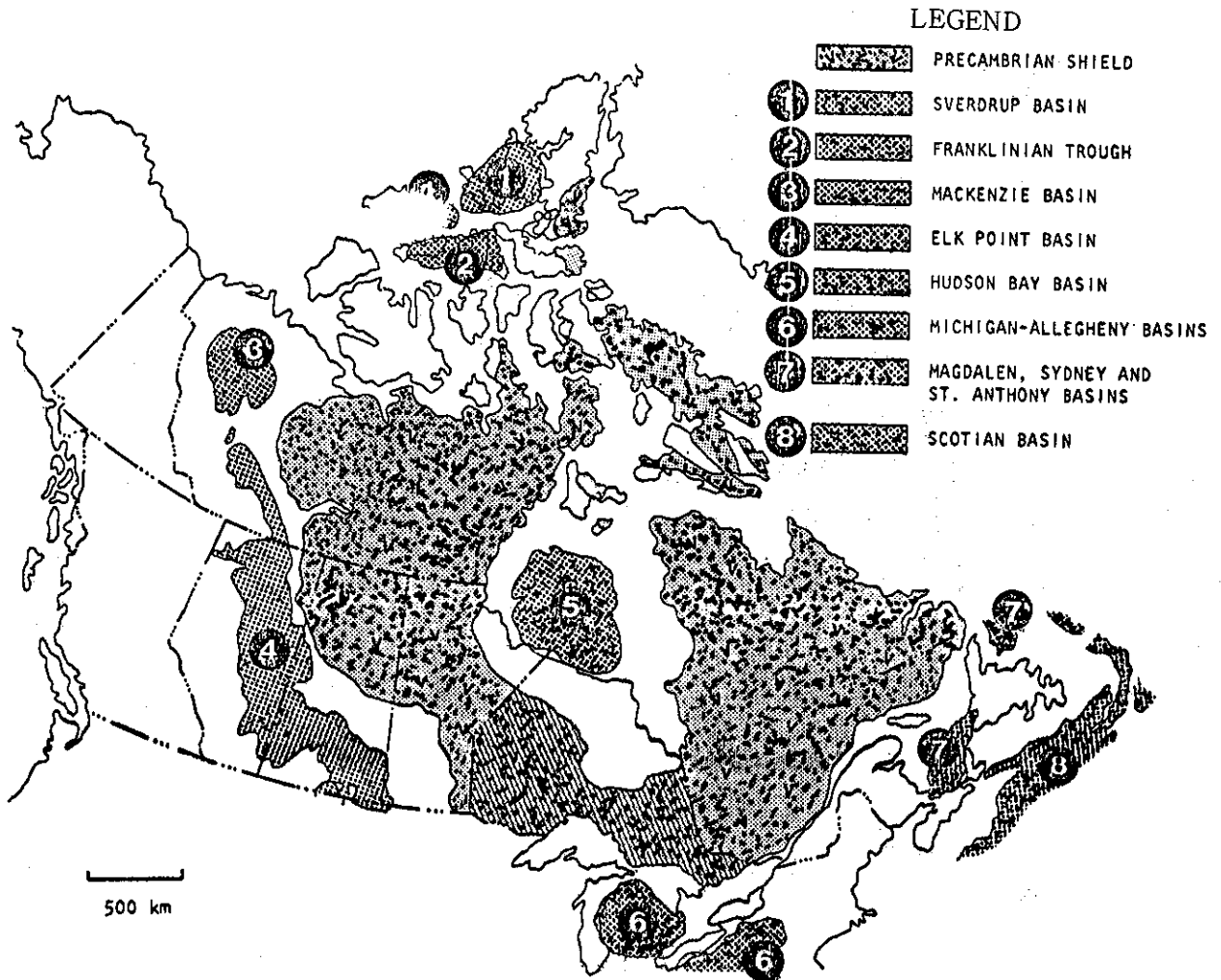


図 6.9-1 カナダのエバポライト堆積盆地と盾状地

b) 現在行っている研究は下記のような5項目に分類される。

- ① 特定サイトでの調査 (Site Specific Investigation)
- ② 深成岩体のピックアップ (Pluton Categorization)
- ③ 室内研究 (Laboratory Studies)
- ④ 坑内の熱試験

#### ④ 貯蔵所の設計

##### ① 特定サイトでの調査

目的：岩体の形態を明確にし，3次元の内部構造および水理地質を把握する。

手法：・地質調査

・試錐

・物理探査〔空中磁探，空中電磁，地上 VLF\*，電気抵抗測定，地震探査，レーダー検層，温度検層，放射能検層，キャリパー検層，TVカメラ検層〕

・水理地質調査〔水のサンプリング，水圧・水流透水性測定，3インチ径の計器で地下の水の特性（pH・Eh・伝導度，Clイオン濃度，Fイオン濃度等）を同時に測定するものを開発し使いはじめているとのことである。

現況：Whiteshell 研究所の近くの Lac Dubonet pluton (granite) を均一な岩体の一例とし，Chalk River 研究所の近くの石英片麻岩地域を断層の多い地域の一例として調査を開始している。試錐は最大 500 m のものを数本掘った程度である。

##### ② 深成岩体のピックアップ

目的：オンタリオ州\*\*内のすべての深成火成岩体の洗い出しを行う。

手法：文献および航空写真による。

現況：これまでに 1,500 の pluton がピックアップされ分類された。あと 700 位追加される予定である。線構造および線構造の密度を解析。

##### ③ 室内研究

目的：貯蔵所設計，物理探査の解釈，水理地質学の結果を解釈するのに必要な岩石の性質や反応を測定する。

手法：下記を異った温度，圧力および放射能条件で行う。

###### 〔A〕標準岩石試験

機械的性質（圧縮強度，ヤング率，ポアソン比 etc）

熱的性質（伝導度，拡散度，比熱 etc）

水理的性質（透水性，間げき率 etc）

地球物理的要素（地震波速度，密度，電気伝導度 etc）

---

\* VLF：Very Low Frequency

\*\* 現在すべての原子力発電所がオンタリオ州にあることを勘案すれば処分場は当然オンタリオ州に作るべきとの考え方による。

## 〔B〕 水質分析

化学分析

アイソトープ分析

年代測定

現況：殆どどの作業が開始されたばかりである。

放射能条件については今後の研究が必要である。

水の年代測定については、 $C_{14}$ を使って5万年～7万年の測定が可能な方法をトロントのロチェスター大学 (University of Rochester) で研究中である。

## ㊦ 坑内熱試験

目的：更に大規模な坑内熱試験に備えての熱およびストレス条件の立証。

手法：サドベリーのクレイトン鉱山の地下700 Mの地点に直径12インチの孔を穿孔し0～10 kWの可変ヒーターを入れ、温度およびストレスの変化を測定する。母岩は gabbro。

現況：室内実験およびコンピューターモデリングは進行中。78年秋より坑内実験を開始する予定であったが、ストライキのため若干遅れる。

## ㊧ 貯蔵所の設計

目的：火成岩体中の核廃棄物貯蔵所の詳細な概念設計を行う。

手法：1. 種々の素案を作成する。

2. 岩石力学および熱 — ストレスの計算を行う。

3. もっともよい案を選ぶ。

4. 最良のシステムに肉付けする。

5. 詳細設計を行う。

現況：上記ステップ1は完了。ステップ2は本年2つの素案について行われる。2つの素案は図6.9-2のようなもので、単一レベル、地下1,000 ft (300 M)を想定している。Concept 1は使用済燃料に対するもので、坑道は20年間取明けておき、再処理用燃料として取り出される時に備える。Concept 2は再処理後の廃棄物のためのもので、試錐孔を坑道より穿孔し廃棄物を処分し、坑道は直ちに埋め戻す。

CONCEPT 1

Spent Fuel

Kept Open For 20 Years

Trench

One Level

CONCEPT 2

Reprocessed Waste

Immediate Backfill

Borehole

One Level

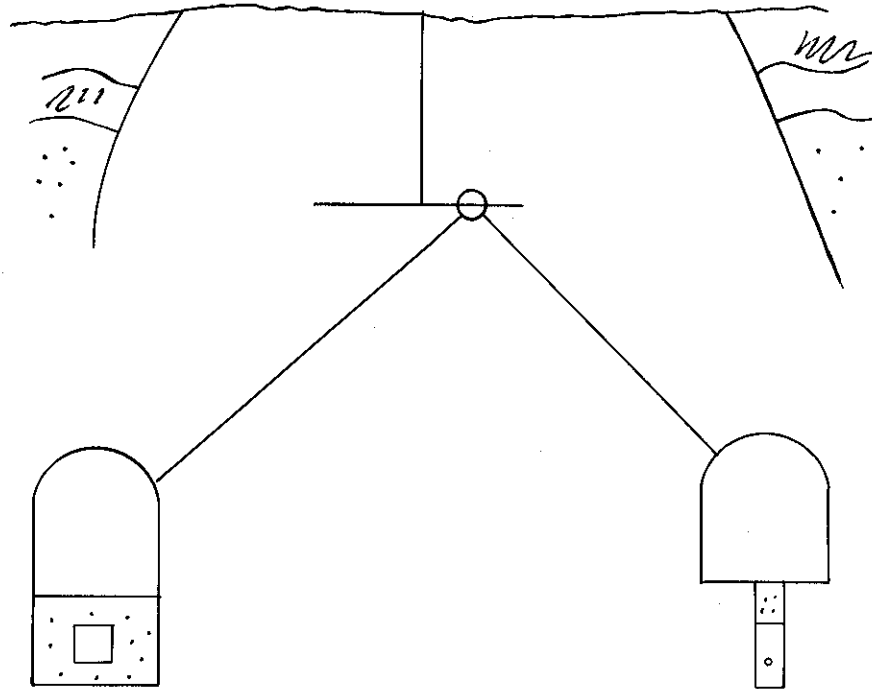


図 6.9 - 2 放射性廃棄物貯蔵所の概念

c) 地質関係の担当組織および予算は表 6.9 - 2 の通りである。総額は約 2 億 9,000 万円で全体の予算の 18% を占める。

表 6.9 - 2 1978 年の地質関係の担当組織および予算

1. DEPT. ENERGY, MINES & RESOURCES (EMR) - \$1,100,000.

(a) Canada Centre for Mineral & Energy Technology (CANMET)

- underground heater experiment
- laboratory determination of rock properties, responses

(b) Geological Survey of Canada (GSC)

- pluton categorization
- drilling and optical logging
- geophysical surveys
- salt studies



(c) Earth Physics Branch (EPB)

- laboratory determination of rock properties
- geophysics
- seismicity

2. DEPT. OF ENVIRONMENT (DOE) - \$390,000.

- hydrogeology

3. ACRES CONSULTING SERVICES LIMITED - \$305,000.

- repository design

4. UNIVERSITY OF MANITOBA - \$22,000.

- (a) Overview of fracturing in plutons
- (b) Gravity survey of the Lac du Bonnet batholith

- d) 試錐孔の閉塞 (Plugging or Sealing) については、来年度より研究を開始する。現在のところ、セメントが最適と思われる。
- e) サイトの大きさは、単一レベルの場合で 5 km<sup>2</sup> が最小の規模と思われる。(Buffer zone 含まず)
- f) 物探については、それぞれの解釈を有機的に関連づけることが困難であるという難題がある。これまでのところ、AMT は良い結果が出ていない。Borehole TV は Sperry Support Service という会社と共同開発したもので C\$44,000 かかった。

③ 拡散経路の解析 (シミュレーション) について

深成火成岩体中の処理場から地表、即ち生物圏への放射性核種の移動に関しては以下に述べるような 2 次元の単純なシミュレーションを行っている。

図 6.9-3 に示すように移動経路を、処分場内、深成岩体中、深成岩体の外側 (地表) の 3 つに分類して解析を行う。

処分場から火成岩体の外縁までの有効距離を 4 km、地下水の速度を 30 cm/年と仮定すると、地下水の移動時間は  $1.33 \times 10^4$  年となる。この時間を勘案すると表 6.9-3 のように 121 の放射性核種が火成岩体の外側に達する可能性の有無によって 4 グループに区分される。グループ I (73 種) は安定した娘核種で、火成岩の外側に達する前に崩壊するか、放射性であっても寿命が短いもので、これらはこの解析の対象とならな

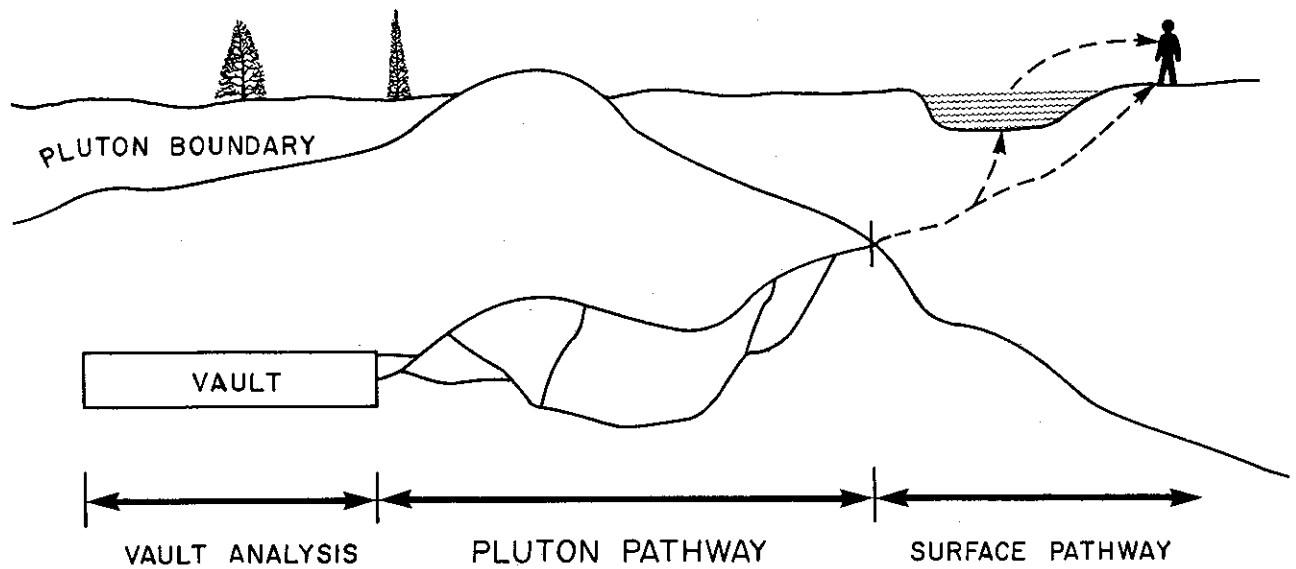


図 6.9 - 3 放射性核種の移動経路

い。グループ II (10 種) は長い寿命の娘核種をもたないもので、十分な retardation を持てば火成岩体中で崩壊してしまうものである。グループ III は残りの 38 種で、殆んどが長寿命のアクチノイドで、これらが解析の対象となる。これの解析のために GARD (Geochemical Assessment of Radionuclide Disposal) というプログラムが考えられた。

このモデルの概念は、火成岩体深部の処分場 (Vault) を考え、割れ目系が地表まで通じている場合を想定する。初期には放射性核種は枯渇するまで一定の割合で処分場から放出されるものとする。そして地下水中に溶解した形で一定速度で運搬される。

地下水による運搬に影響を及ぼす要素は、対流、拡散、分散、放射性崩壊や他の化学的ないし物理的な過程である。これらには、可逆的な吸着 - 放出、イオン交換、コロイド形成、可逆的な沈殿作用および非可逆的な鉱化作用がある。けれども、単純化のためプログラムでは次のような仮定がなされた。

- ① 拡散による移動は対流による移動に比べて極度に小さく、無視できる。
- ② 節理のある岩石における拡散の影響については明らかでないので、ここでは無視された。
- ③ 化学反応は運動エネルギーや速度の影響なしに可逆的と仮定された。全体の影響は、地下水の動きに比較して、放射性核種の動きが核種毎の一定の値の割合で遅延することであられる。この遅延定

表 6.9 - 3 放射性核種の種類表

Category 1(a)

Ba <sup>137m</sup>	Ru <sup>103,106</sup>
	Sr <sup>89,90</sup>
Pr <sup>144</sup>	Zr <sup>95</sup>
Sn <sup>119m, 121m, 123</sup>	Tb <sup>160</sup>
Rh <sup>106</sup>	Ag <sup>110m</sup>
Tc <sup>125m, 127m, 127, 129m</sup>	Eu <sup>152, 154, 155</sup>
Y <sup>90, 91</sup>	Cs <sup>134, 137</sup>
Pm <sup>147, 148, 148m</sup>	Kr <sup>85</sup>
Sb <sup>124, 125, 126</sup>	H <sup>3</sup>
Ce <sup>141, 144</sup>	Cd <sup>113m</sup>
Nb <sup>95, 93m</sup>	Sm <sup>151</sup>

Category 1(b)

Po <sup>212, 213, 214, 215, 216, 218</sup>	
At <sup>217</sup>	Ac <sup>228</sup>
Rn <sup>219, 220</sup>	U <sup>240</sup>
Bi <sup>211, 212, 213, 214</sup>	Pa <sup>234m</sup>
Pb <sup>209, 211, 212, 214</sup>	Np <sup>240m</sup>
Tl <sup>207, 208, 209</sup>	Pu <sup>243</sup>
Fr <sup>221</sup>	Am <sup>242</sup>

GROUP II

Cs <sup>135</sup>	Sn <sup>126</sup>
I <sup>129</sup>	Tc <sup>99</sup>
Pd <sup>107</sup>	Zr <sup>93</sup>
Se <sup>79</sup>	Nb <sup>94</sup>

GROUP III

Pa <sup>231, 233</sup>	Ac <sup>225, 227</sup>
Np <sup>237, 239</sup>	Ra <sup>223, 224, 225, 226, 228</sup>
Pu <sup>238, 239, 240, 241, 242, 244</sup>	U <sup>232, 233, 234, 235, 236, 237, 238</sup>
Po <sup>210</sup>	Am <sup>241, 242m, 243</sup>
Rn <sup>222</sup>	Th <sup>227, 228, 229, 230, 231, 232, 234</sup>
Bi <sup>210</sup>	Cm <sup>242, 243, 244, 245, 246, 247, 248</sup>
Pb <sup>210</sup>	

GROUP IV

Sm <sup>147</sup>	Nd <sup>144</sup>
Gd <sup>152</sup>	

数 (retardation constant)  $K$  は次の式で定義される。

$$K = \frac{\text{地下水速度}}{\text{放射性核種 の速度}}$$

上述の単純化された仮定をもとに、それぞれの領域での適当な条件を規定した式の組合せができる。これは  $n$  個よりなる放射性核種の系列、 $(N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow \dots \rightarrow N_n)$  の動きを時間と距離の関数として表現したものである。3 個からなる系列について、ラプラス変換によって解析された。(表 6.9 - 4 参照)

表 6.9 - 4 Pathway Analysis のパラメーター

MATERIAL BALANCE FOR A THREE-MEMBER CHAIN				
$-V \frac{\partial N_1}{\partial Z}$	$-K_1 \frac{\partial N_1}{\partial t}$	$-K_1 \lambda_1 N_1$		= 0
$-V \frac{\partial N_2}{\partial Z}$	$-K_2 \frac{\partial N_2}{\partial t}$	$-K_2 \lambda_2 N_2$	$+K_1 \lambda_1 N_1$	= 0
$-V \frac{\partial N_3}{\partial Z}$	$-K_3 \frac{\partial N_3}{\partial t}$	$-K_3 \lambda_3 N_3$	$+K_2 \lambda_2 N_2$	= 0
CONVECTION TRANSPORT	ACCUMULATION BY REACTION	RADIOACTIVE DECAY DISAPPEARANCE	RADIOACTIVE DECAY APPEARANCE	

WHERE  $V$  = CONSTANT GROUNDWATER VELOCITY

$N_i$  = NUCLIDE CONCENTRATION.....  $i = 1, 2, 3$

$K_i$  = RETARDATION CONSTANT.....  $i = 1, 2, 3$

$\lambda_i$  = DECAY CONSTANT.....  $i = 1, 2, 3$

$Z$  = DISTANCE

$t$  = TIME

グループ III およびグループ II (無視するには遅延度が十分でない) についての火成岩体の境界までの到達時間および割合が計算された。得られた数字は大きくない。けれども今後より良いモデルを開発すると同時に、これに引続く地表への動きを解析した上でないと結論めいた事は言えないであろう。

④ Kd値（分配係数）の測定について

1 cm×1 cm×5 mm 角の岩石を10 ccの液体中に2週間浸して測定する。

$Kd=f(\text{rock, Radionuclide, Ph, (Na}^+)(\text{Ca}^+)(\text{RN}))$ という関数で表現される。

Cs, Am, Pu, Cm, についてはPhが重要なファクターである。

熱の影響については, 60°C ~ 500°C の範囲で研究を行う予定である。

⑤ 国際協力について

公式な情報交換の契約を米国と結んでいる他, 種々の情報交換を適宜行っている。現在スウェーデンとも情報交換契約を結ぶべく準備している。日本との情報交換も大いに歓迎する。特に地震国の経験を生かして, 地震に関するデータを期待している。

技術者の交流も大いに歓迎する。

国際協力については, 本社 (head office)の国際関係担当にコンタクトされたい。

入手資料

- C - 1 - 1 ) A System of Computer Programs for Radionuclide Pathway Analysis Calculations, By R. B. Lyon, (1976) AECL, - 5527
- C - 1 - 2 ) Radioactive Waste Management in CANADA, A Bibliography of Published Literature, By N. J. Hawley (1978) AECL - 6186
- C - 1 - 3 ) Management of Radioactive Wastes from Nuclear Fuels and Power Plants in Canada, By M. Tomlinson et al (1977) AECL - 5706
- C - 1 - 4 ) Nuclear Power in Canada: Status and Prospects, By S. R. Hatcher (1978) AECL - 6173

(2) カナダ原子力公社・チョークリバー核研究所

i 訪問日時: 1978年10月20日 9.00 ~ 16.00

ii 面談者: Mr. D. H. Charlesworth, Chalk River Environmental Authority.

Mr. D. F. Dixon, Planning & Coordinating for Waste Management.

Mr. I. L. Ophel, Biology & Health Physics Div.

Mr. R. E. Jackson, Research Hydrochemist of Department of Environment.

Mr. W. F. Merrit, In Charge of Glass Block Experiment.

iii 聴取事項

① CRNL の組織およびプログラム

a) CRNL の廃棄物関係は主として, 原子力発電に伴う低レベル廃棄物を扱っている。コンクリート中の貯蔵, 地下埋設等を検討しているが, 後

者は一般的な方法ではない。1975～1977年には、どのような形で貯蔵するかについての研究を行って来た。例えば、れきせい化等の方法で安定した廃棄物を作り、標準的な梱包方法を開発することを目的としている。

b) 廃棄物関連の組織図は図 6.9-4 の通りである。大きくは、Environmental Authority に属するものと Biology & Health Physics に属するものとの 2 本立てである。

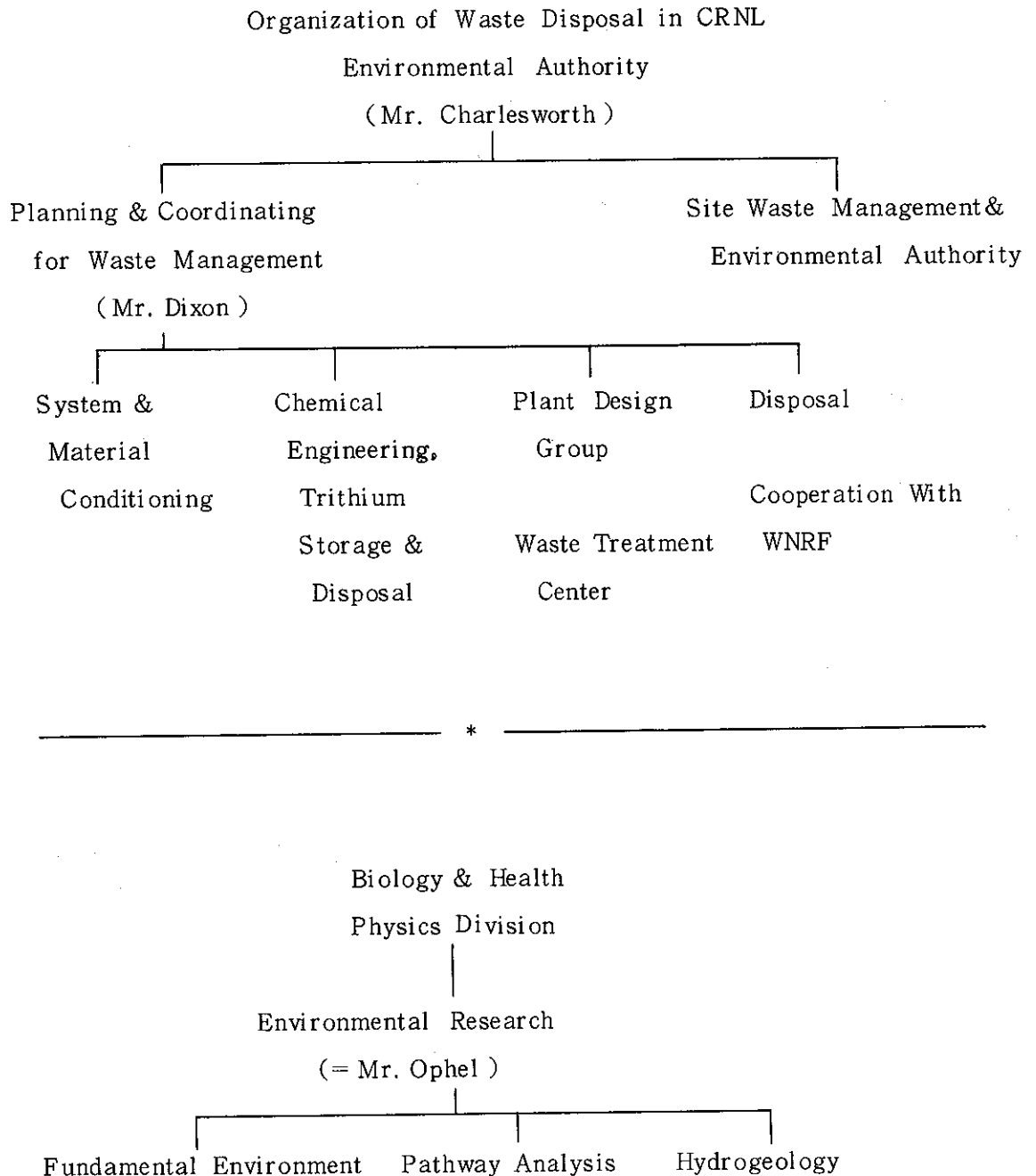


図 6.9-4 CRNL の廃棄物関連の組織図

② Disposalの概要

a) 1990年を目標に Storage (貯蔵)のための研究を行なっている。二つのタイプの施設を考えている。即ち

① repository (貯蔵所), 1979年中に予備調査完了。

② 廃止鉱山, オンタリオ州の岩塩鉱山を候補として, これから調査を開始する。

b) 地表付近の貯蔵所として, 粘土層, 砂礫 (Till), 砂岩, 鉱山廃石について3年間で検討する予定である。(鉱山エネルギー省)

③ 拡散経路の解析 (Pathway Analysis)

放射性核種の拡散・移動のモデルは図 6.9 - 5 の概念図に示した通りであるが, CRNL は図中の③および④を研究している。研究方法としては④基礎理論研究 (Understanding Research), ⑤ Model 研究, ⑥コンピュータプログラムがあるが, ここでは④を強調している。

今後の研究プログラム

① 一般的評価 (Generic Assessment)

② Model Site での実験・研究。(CRNL および WNRE をモデルとして使う) 1980年

③ Candidate Site の選定 (1981~1982年) オンタリオ州に2~3ヶ所考える。

④ Repository における詳細研究 (1983~1986年)

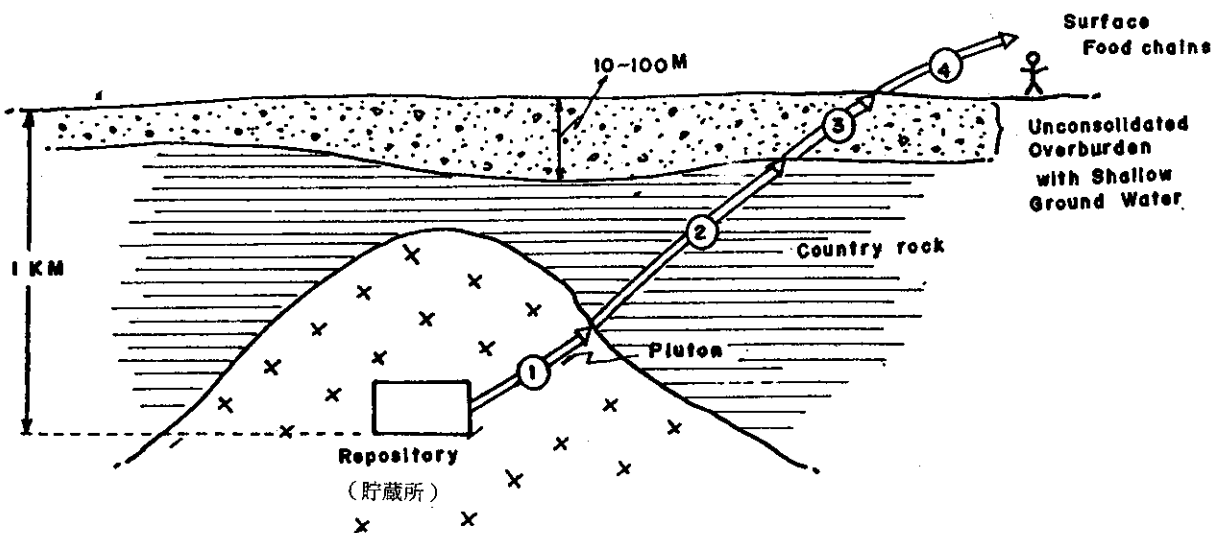


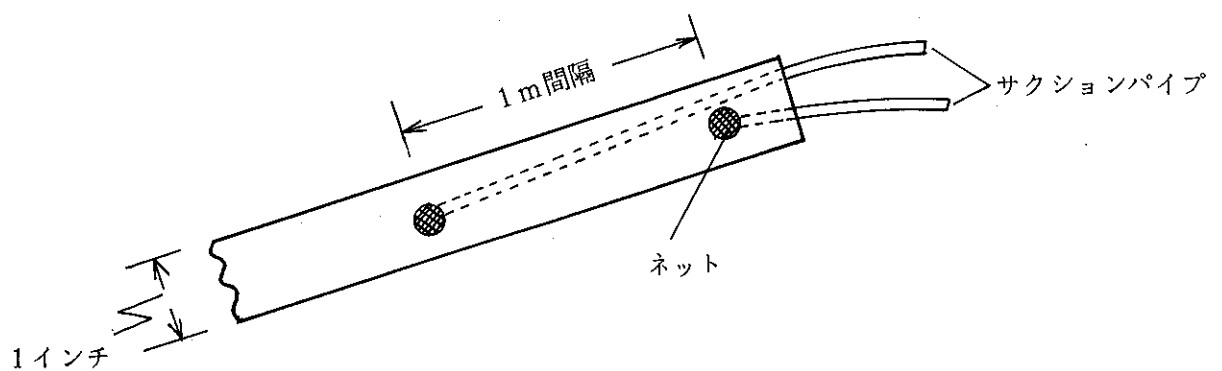
図 6.9 - 5 放射性核種の拡散・移動モデルの概念図

④ 放射性廃棄物（液体）の挙動実験

実際の廃棄物捨場を使つての拡散移動量の測定を行っている。その結果核種の移動が地下水のそれより、かなり遅い事が判明した。

図 6.9 - 6 のような Multi-level Piezometer を開発し、1 回に 1 m 間隔 10 m の水のサンプリングおよび水圧測定を行うことが出来る。1 本当りのコストは C \$ 50 ~ 60 ( 8,000 円 ~ 9,000 円)。他にアルミニュームのコアバレルを用いて軟泥を採取している。

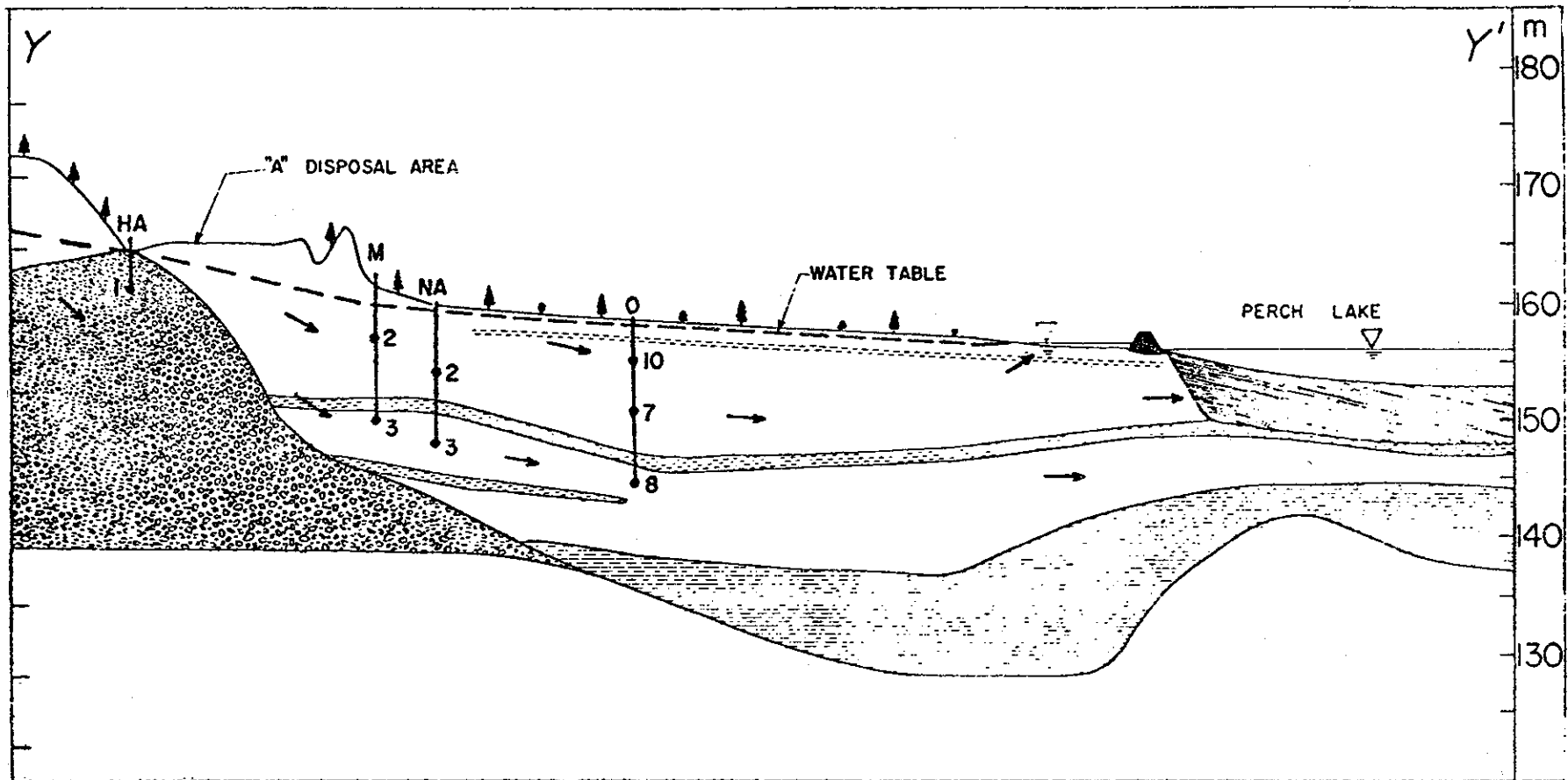
この結果については入手文献 ( C - 2 - 1 ) を参照のこと。取り敢えず同報告書中の図を図 6.9 - 7 および図 6.9 - 8 に示す。



1 本の長さ 10 ~ 15 m で 10 ポンドのサンプルがとれる。

図 6.9 - 6 Multiple Piezometer のスケッチ






VERTICAL EXAGGERATION 10 X

→ GROUND WATER FLOW DIRECTION


NA  
↓ 1  
↓ 2  
PIEZOMETER NEST

0 300 600 ft  
0 200m

 GYTTJA

 SILT & CLAY

 INTERSTRATIFIED  
CLAY, SILT, SAND  
& GRAVEL

 SAND, medium &  
fine

 TILL, sandy


 BEDROCK OR TILL

図 6.9 - 7 放射性廃棄物挙動実験の断面図

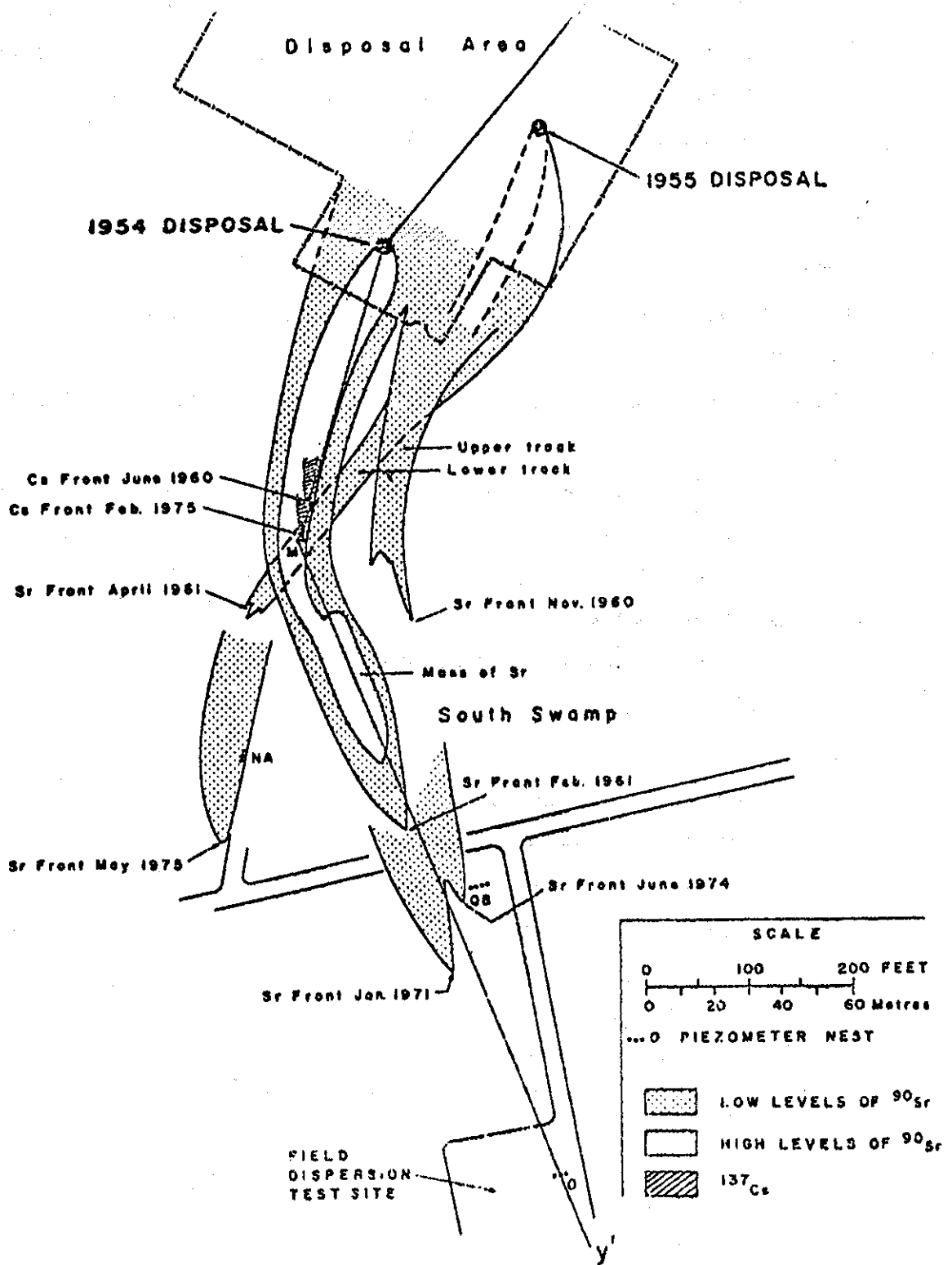


図 6.9 - 8 図 6.9 - 7 の平面図

入手資料

- C - 2 - 1) The Distribution Coefficient as a Geochemical Measure of the Mobility of Contaminants in a Ground Water Flow System, By R.E. Jackson, W.F. Merritt, D.R. Champ, J. Gulens and K.J. Inch, Paper Presented at the Symposium 'The Use of Nuclear Techniques in Water Pollution Studies,' Decembar 1976, Cracow, Poland

(3) マックマスター大学 (McMaster University, Hamilton, Ontario)

- i 訪問日時：1978年10月19日 10:00 ~ 13:30
- ii 面談者：Dr. S. Banerjee, Westinghouse Professor of Nuclear Engineering
- iii 聴取事項
  - ① Banerjee 教授は原子力工学の教授で、専門を生かして次のような研究を行っている。
    - a) 3次元における熱領域のコンピューターによるシミュレーション
    - b) 3次元における porous media (孔隙のある媒体) において熱または圧力によって惹起される地下水の流れのコンピューター・シミュレーション
    - c) 放射性核種の移動拡散モデルのシミュレーション
    - d) Cs (セシウム) の花崗岩に対する吸着 (実験)
  - ② 以上の a) b) c) d) について説明を受け、下記資料を入手した。

入手資料

- C - 3 - 1) Background Information (手記)
- C - 3 - 2) FONSA-A Numerical Solution Algorithm for Nearly Incompressible Transient Fluid Flows
- C - 3 - 3) A Proposal to Investigate Radionuclide Transport in Crystalline Rock  
By S. Banerjee & T.H. Pigford, August 1978
- C - 3 - 4) Adsorption of Cs<sup>137</sup> on Granite

(4) エーカーズ社 (Acres Consulting Services Limited, Niagara Falls, Ontario)

- i 訪問日時：1978年10月19日 14:00 ~ 15:30
- ii 面談者：Dr. Robin G. Charlwood, Head, Technical Development Department.  
Dr. Ashraf Mahtab, Senior Rock Mechanics Engineer.
- iii 聴取事項

この会社は訪問予定にはなかったが、マクマスター大学の Banerjee 教授の勧めにより訪問した。

該社は土木地質関係のコンサルタント会社で、従業員は1,200人である。水力発電関係のエンジニアリングが仕事の主体で、他に環境関係、鉱山関係の仕

事を行っている。

1978年から廃棄物関係の仕事をAECLより受注、処分場のデザイン作業を行っている。

今回の訪問は短時間でもあり、十分な情報を得るには至らなかったが下記のようなエーカーズ社内の資料を入手することができた。

#### 入手資料

- C-4-1) Rock Mechanics at Churchill Falls, By Raymond P. Benson et al January 1971.
- C-4-2) The Effect of Foliation Shear Zones on Underground Construction in the Canadian Shield, By R.P. Benson et al June 1974.
- C-4-3) Energy Related Underground Storage, By D.R. McCreath, June 1976.
- C-4-4) Siting Potential for Compressed Air and Underground Pumped Hydro Energy Storage Facilities in the United States, By D.R. McCreath & M. Walia, September 1977.
- C-4-5) Groundwater Flow Through Jointed Rock Masses, A Review, Acres R & D Program, September 1977.
- C-4-6) Conceptual Design Studies for a High-Level Waste Repository in Igneous Rock, By R.G. Charlwood & P.F. Gnirk, September 1977.
- C-4-7) Geohydrological Aspects of a Conceptual High-Level Waste Repository in Crystalline Rock, By A.S. Burgess et al, October 1978.
- C-4-8) Geological Engineering Factors in the Design of a Radioactive Waste Repository in Hard Crystalline Rock, By R.G. Charlwood et al, October 1978.

#### 6.9.2 アメリカ合衆国

##### (1) アメリカ合衆国エネルギー省

(Department of Energy, Washington D. C. 実際の Office は Germanstown, Maryland)

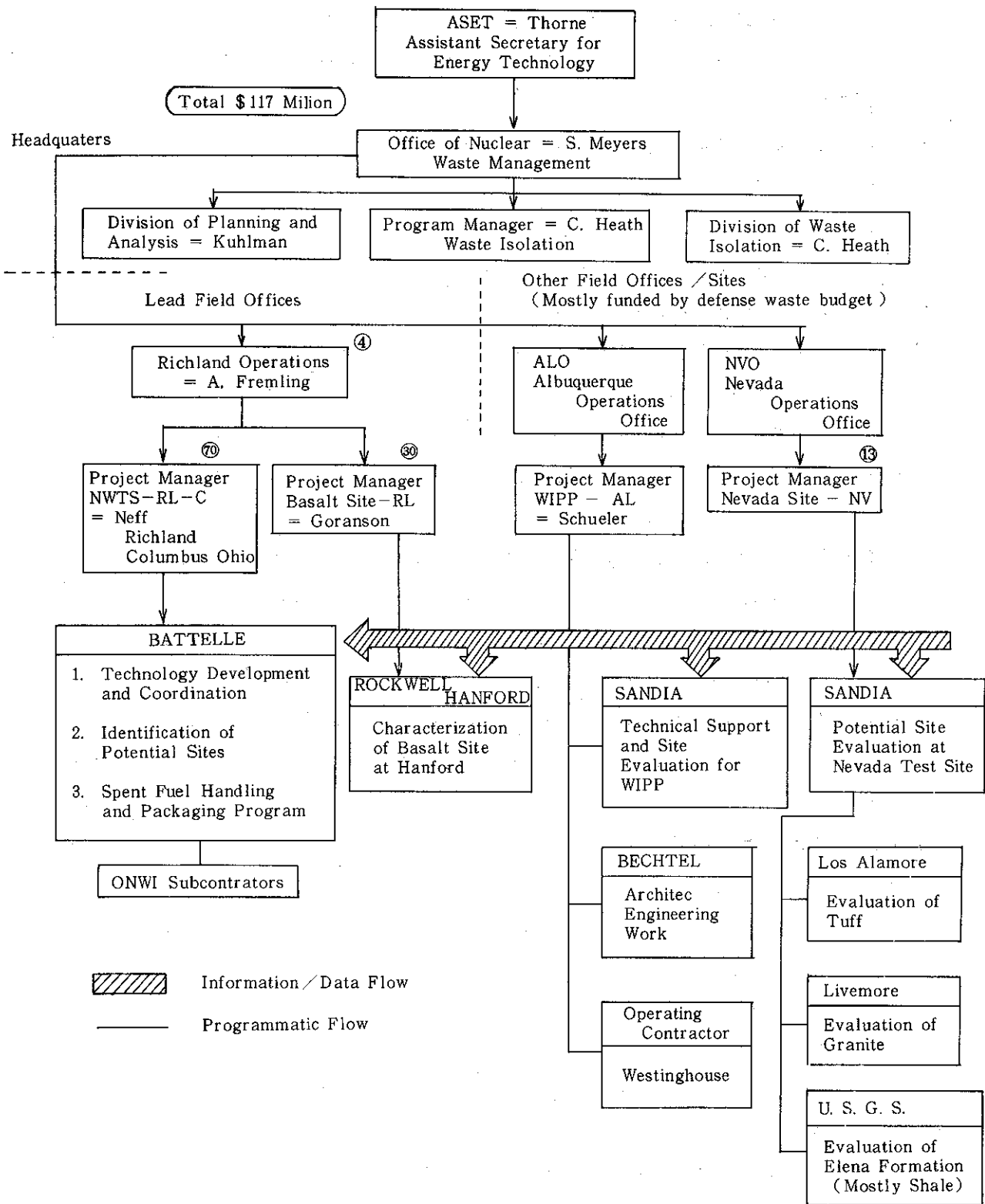
- i 訪問日時：1978年10月25日 10:00～12:00
- ii 面談者：Dr. C. Heath, Program Manager Waste Isolation  
Dr. Kuhlmann, Director, Division of Planning and Analysis
- iii 聴取事項

##### ① アメリカ合衆国における計画の概要

- a) 組織図は図6.9-9の通りである。DOEの活動の主体は Richland Operations である。WIPPおよび Nevada Test Siteは防衛費予算を主体として運営されているが、DOEも基礎研究的な事項を主に共同研究を行っ

NWTS ORGANIZATION  
National Waste Terminal Storage

As of FY 78



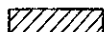
 Information / Data Flow  
 \_\_\_\_\_ Programmatic Flow

図 6.9 - 9 DOE の組織図

ている。

- b) Richland Operations は 2 つの Satellite Office に分けられ、一方は NWT S 全般を統括する。これの下に ONWI (Office of Nuclear Waste Isolation 昨年の OWI にあたる) という組織があり、これを BATTELLE が委託されて運営している。もうひとつの Office は Richland にあるものでこれは Hanford reservation 中の Basalt (Columbia River Basalt 中に Site を作ることの検討研究、評価を行う目的で、Rockwell 社が実際の作業を運営している。
- c) Battelle は Management Organization で、全般の技術的な責任を負っている。むしろ基礎的、一般的研究に主体をおいている点で全般をまとめるような形にあるが、あくまでも Rockwell 社とは並行的な組織である。主に Salt formation に関する研究調査を行っている。
- d) 組織図中の斜線ハッチの矢印は個々の研究機関がそれぞれの研究調査を進める上で他の組織の研究調査結果を十分利用して有機的なつながりを持つるように配慮したものである。
- e) 予算は 78 F. Y. 分の DOE 関係の合計が \$ 117 Million (185 円 / \$ で換算すると 216 億 4,500 万円) で、その大きな分け方は組織図に示した通り、Richland Operations が \$4 Mill. NWT S 即ち Battelle が \$70 Mill. Richland 即ち Rockwell が \$30 Mill. Nevada Test Site 関係が \$ 13 Mill. である。  
表 6.9 - 5 は DOE/ET-0042 における (入手資料参照) 78 F. Y. および 79 F. Y. の予算表であるがこれは 77 年 12 月時点のもので現在のものとは若干の違いがある。(79 F. Y. 予算決定額については微妙な段階であるらしく触れたくないようであったので敢えて質問しなかった。)

② 最近の政策の変更、長期計画に関連して

- a) 昨年来、廃棄物管理に関する政策の研究を行ってきたが、その第一ステップの結果が本年 2 月に John Deutsch が責任者となって Task Force の報告書 (DOE/ER 0004/D 入手資料参照) という形で出た。この報告書の結論のひとつは、「どのようなプログラムも多くの異った立場の人が参加して十分な検討を加えた後でなければ受け入れるべきでない。」というものである。カーター大統領はこれを受けて、16 の異った各省からのメンバーによる検討グループ (Review Group) を作り廃棄物管理に関する検討を行い大統領に報告するように命じた。この報告の原稿は訪問日の前の週の 10 月 15 日に配布された。(TID 28817- Draft 入手資料参照。更にサブグループによる廃棄物処理の方法論に関する報告書も入手 TID-28818-Draft), この報告書は 10 月、30 日間公開 (Public review) され、必要な修

表 6.9 - 5 DOE の Commercial Waste Management の予算

Commercial Waste Management  
Budget Data for FY 1979 Authorization Hearings

	FY 1978		FY 1979		Change FY 1979 - FY 1978	
	BA	BO	BA	BO	BA	BO
<u>Operating</u>						
Terminal Storage .....	\$117,000	\$ 81,000	\$125,500	\$119,115	\$ 8,500	\$ 38,115
Waste Immobilization R&D .....	22,000	17,925	21,100	19,400	-900	1,475
Supporting Studies and Evaluations .....	3,000	2,300	5,500	5,150	2,500	2,850
Solidification Process Demonstration Project .	16,500	15,950	0	2,150	-16,500	-13,800
Total Operating .....	<u>158,500</u>	<u>117,175</u>	<u>152,100</u>	<u>145,815</u>	<u>-6,400</u>	<u>28,640</u>
<u>Capital Equipment</u> .....	11,500	6,850	9,700	5,860	-1,800	-990
<u>Plant</u>						
Facilities for NWTs .....	10,000	2,000	25,000	11,825	15,000	9,825
GPP .....	482	97	0	200	-482	103
Total Plant .....	<u>10,482</u>	<u>2,097</u>	<u>25,000</u>	<u>12,025</u>	<u>14,518</u>	<u>9,928</u>
<u>Total Commercial Waste Management</u> .....	<u>\$180,482</u>	<u>\$126,122</u>	<u>\$186,800</u>	<u>\$163,700</u>	<u>\$ 6,318</u>	<u>\$ 37,578</u>

正を加えて、12月には最終報告書として大統領に提出される予定である。

b) 上述のような背景で、これまでの長期計画、即ち1985年を Operation の目標年とするものは、(Ford 大統領時代のもの) 余りにも楽観的であるという見方が現在支配的である。即ち今後の長期計画に関しては具体的な事は決っていない。毎年変更するような計画なら、むしろ出さない方がいいというのが最近の考え方である。いつ頃、処分場の施設の建設に進むべきかに対して現在2つの対立した考え方がある。ひとつは可能な限り早急にサイトをひとつ選んで建設にかかるというもので、この場合多分岩塩層が対象となり、1980～1981年にはサイトの選定が可能であると思われる。もうひとつの考え方は、できるだけ多くの岩石、サイトを検討すべきというもので、数ヶ所 (several) からひとつを選ぶというもので、このためのデータが揃うのは1984～1985年頃になるであろう。DOEとしてはこの final recommendation を早く、Interagency Review Group (IRG) に出してもらいたいが、DOEのみで動いている訳ではないので早急に結論は出ないであろう。

c) このように多くの不確定要素があるが、DOEとしては、技術的にできる限り進めるだけ進んでおく方針であり、今後も予算は増え続けるものと思う。再処理に関しても多くの議論があり、大統領はまだ決断していないが、Fuel cycle に関係なく進むつもりである。安全性という観点からみた場合、使用済燃料と再処理済燃料とに大きな相違はない。

### ③ 海洋底処理について

- a) 米国としては関心を持っており、現在 \$ 4 Mill. /year 程度の基礎研究を行っており、近い将来 \$ 10 Mill. /year 位にまで予算は増加するであろう。
- b) このプロジェクトは色々な面、特に政治上で他の国々をまきこむ可能性があるがあるので、いずれは多国間共同のプロジェクトとすべきである。
- c) 地層処分に比較して10～15年実現までに長くかかるであろう。米国としては地層処分以外の手法として、海洋底処理と鉱山の最深部より深い試錐孔を穿孔し、そこに処分するという手法を最も魅力のあるものと考えており、今後調査研究を行う予定である。

### ④ TRU-Waste ( $\alpha$ -Waste) について

- a) 最近 Regulatory Commission が廃棄物の定義および処分法について定めた報告書を公表した。(NRC に直接頼めば入手できるとのこと) 即ち、浅所に貯蔵して良いものと、 $\alpha$ 線による汚染が考えられるので地層処分を要するものをそれぞれ定義した。
- b) IRG 報告書中には、TRU-Waste の処分について、① TRU 専門の処



分場を作るか、②高レベル廃棄物と一緒に処分する。という2つの方式が検討されたが、TRUの方がHLWに比べ主に熱の点で問題が少なく、TRUの処分場を先行させるべきとの結論が出ている。現在 New Mexico に予定されている WIPP サイトはこれにあたる。

- c) WIPPが建設されるまでには、NEPA (National Environmental Policy Act) の基準に適合させる必要があり、また、NRC の基準にも適合する必要がある。これらの条件が満たされれば WIPP サイトは HLW より先行するであろう。
- ⑤ Nevada Test Site について
- a) Volcanic Tuff (凝灰岩類) について予備調査が進行中であるが、面白い結果が出ている。この地域 (Great basin) には河水系がなく、水は決して外 (海) に出ていかない。凝灰岩の中の熔結凝灰岩の部分は強度的に強く、周囲の凝灰岩中にはイオン吸着性のあるゼオライトが含まれており、核種が拡散しても十分長い Pathway が期待できる。問題点は含水量が高いことで、結論は今後の調査にまつ。
  - b) 当地域の Granite については、地震を惹起する活断層が近く、核兵器実験場との関連もあり、対象から外す予定である。これはネバダに限ったことである。
  - c) Shale については断層の分布が多く、今の所サイトに必要なスケールの安定したブロックが発見されていない。しかし、これについては今後も調査研究を続ける。
- ⑥ USGS との関係について
- a) 本年より直接議会から \$ 3 Mill / year の予算で独自の調査研究を開始している。今夏 USGS は DOE のプログラムを批判する論文を出した。現在 DOE と USGS はこの批判に対して答える報告書を共同で作成しており来年1月には出るであろう。
  - b) DOE 経由で \$ 6 Mill / year が USGS に流れている。これは主に Nevada Site と WIPP 関係の研究にあてられている。他に USGS は BATTELLE からの予算でも仕事をしている。
- ⑦ サイト建設の法的な必要事項等について
- a) NRC の今後のスケジュールについては IRG の報告書に述べられている。許認可事項は大きく分けて4つのステップよりなる。第1はサイト決定の認可で、これによって立坑掘下りに進むことができる。第2はフルスケールの建設工事に進む許可である。第3は施設完成後、廃棄物を受け入れる許可で、これによって操業が開始される訳である。第4は施設を埋没・封

入するための許可で、これによって施設の使用完了となる。

b) 上述のそれぞれのステップにおいて公聴会が開かれるであろう。興味のある人は誰でも所定の手続きを踏んで“intervener”となれる。恐らく非常に多くの公聴会が開かれるであろう。

c) また、州の法律による許認可、公聴会も必要であろう。これは NRC の許認可とは別なものである。

⑧ 国際協力について

a) 個別の国との協力関係は、カナダ、英国、西ドイツおよびスウェーデンとの間に双務契約がある。特にスウェーデンとは特殊な協力関係がある。

b) 日本との間には高速増殖炉の協定の付属の形で交渉が行われているが、増殖炉の方の協定が米国の再処理に対する決定がなされていないため結ばれていないので進展をみていない。しかし、今回の貴方等の訪問においても判るように、特に地層処分に関しては日本に対しては当分オープンな態度で接する方針である。

c) 双務契約 (Bilateral Agreement) の内容は広汎な情報交換と case by case の両国に利益をもたらすような協同作業 (Collaboration) の 2 本立てであるが、現在スウェーデン以外とは後者は行っていない。協同作業は対等の出資を原則とするが、内容によっては米国はそれに固執しない。

d) スウェーデンとはストリーパ鉱山で各種の共同研究を行っている。1977 年には \$ 5 Mill の予算であった。出資比率は、ほぼ対等である。この予算は DOE の予算の中からまかなわれている。

e) また西ドイツの研究にも関心をもっており、Pathway analysis の手法の開発を目的に技術者を 1 名、西ドイツの研究所に派遣している。

入手資料

A-1-1) Current Activities in DOE's Commercial Waste Management Program, March 1978 DOE/ET 0042

A-1-2) Report of Task Force for Review of Nuclear Waste Management, February 1978 DOE/ER 0004/D

A-1-3) Report to the President by the Interagency Review Group on Nuclear Waste Management, October 1978 TID-28817 (Draft).

A-1-4) Subgroup Report on Alternative Technology Strategies for the Isolation of Nuclear Waste, October 1978 TID-28818 (Draft)

(2) バテル・メモリアル研究所

( Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio )

- i 訪問日時：1978年10月26日 10:00～16:00
- ii 面談者：Dr. R. B. Laughon, Manager, Geologic Exploration  
Mr. P. Pathick, Project Manager, Geologic Exploration
- iii 聴取事項

① バテル・メモリアル研究所の概要

1929年にオハイオ州の鉄鋼業界の立役者、Gordon Battelle の遺志により設立された、独立した非営利組織である。広汎な範囲にわたる研究、開発、啓発、教育、発明、技術開発を通じて社会の要求にこたえることを目的としている。

6,300人の従業員（研究員）を有し、基礎から応用までの研究を行っている。これらの研究は企業、政府機関や他の組織との間のコントラクト（請負契約）ベースによって行われている。

年間2,600件におよぶ研究やプロジェクトが、主にエネルギー、環境、人間工学、製造技術、都市計画、食物、農業の分野で行われている。

バテルは5つの部門よりなりたっている。即ち、オハイオ州コロンバスのプロジェクト運営部門\*およびコロンバス研究部門。ワシントン州リッチランドの太平洋北西部研究部門。スイス、ジュネーヴのジュネーヴ研究部門。ドイツ、フランクフルトのバテル研究所部門である。

② ONWI (Office of Nuclear Waste Isolation) の概要

a) NWTS プログラムはこれまで、DOE の Oakridge Field Office の監督下にユニオンカーバイド社の核研究部門が運営してきた。しかし、今年度に至りプログラムは分割され、DOE のネバダ試験地およびハンフォード保留地はDOE のフィールド事務所の監督下のそれぞれ請負会社に移管された。残りのプログラムについては、BMI のプロジェクト運営部門に移管され、これを行うために、ONWI が設立された。

b) ONWI はプログラムにおける技術開発的な分野、即ち Generic\*（一般的・普遍的）な研究に重点を置くことをたてまえとしている。実際には、岩塩層の調査研究に力点がおかれている。

c) ONWI の組織図は図 6.9-10 の通りである。下記のような6つの技術部門に分けられ、仕事は殆んどが下請け組織（Subcontractor）によってなされている。

\* ONWI(後述)はこの部門とイコール、ONWIをまかされたためにできた組織のようである。

\* Generic に対応する言葉が Site-specific (特定サイトの) である。

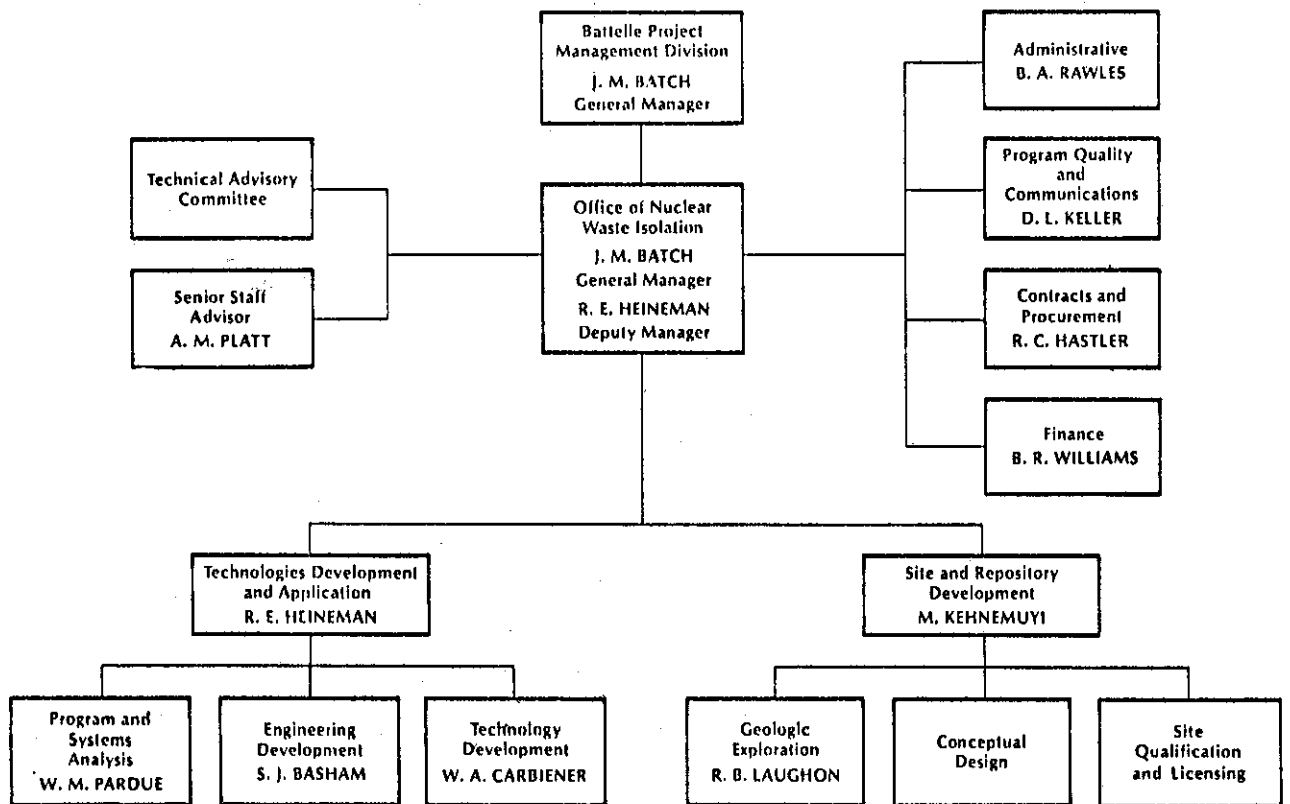


図 6.9-10 ONWI の組織図

技術の開発および応用

- ① プログラムおよびシステム解析
- ② エンジニアリング開発
- ③ 技術開発

サイトおよび貯蔵所の開発

- ① 地質探査
- ② 概念設計
- ③ サイトの資格審査および許認可

③ 岩塩プロジェクトの概要

a) 現在調査研究を行っているのは下記のものである。その位置は図 3.6-11 に示す通りである。

- ① Salina Salt Basin (北東部, ニューヨーク州周辺)
- ② Gulf Coast Salt Domes (テキサス・ルイジアナ・ミシシッピ州)
- ③ Paradox Basin (ユタ州)
- ④ Permian (Palo Duro) Basin (ニューメキシコ・テキサス州)

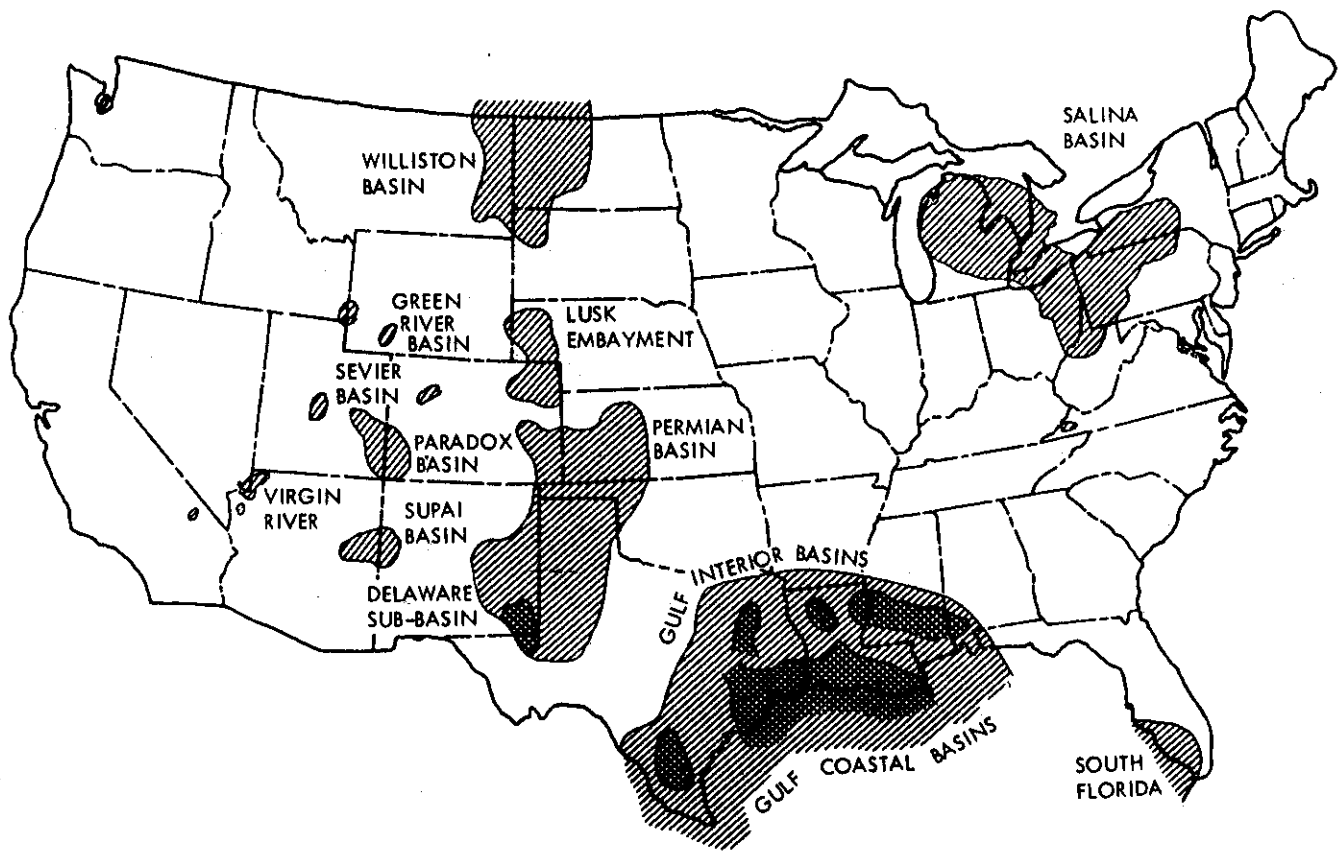


図 6.9-11 米国の岩塩層分布図  
(PIERCE AND RICH, U.S.G.S. BULL. 1148 による)

b) 調査のステップは下記のような6段階となる。

- ① 興味のある地層の判別
- ② 予備調査 (文献調査)
- ③ 現地テスト
- ④ 現地調査
- ⑤ 現地の詳細調査 (確認調査)
- ⑥ 貯蔵所の設置

c) 地質学的評価の主要内容

- ① 構造地質および地震
- ② 侵蝕作用
- ③ 構造および層序
- ④ 水理学
- ⑤ 鉱物資源

d) 請負組織

- ① 地質コンサルタント会社

- ㊤ USGS
- ㊦ 州の地質調査所
- ㊧ 国立研究所
- ㊨ 大学
- ㊩ 大学教授 (コンサルタント)
- ㊪ 個人コンサルタント

e) Salina Salt Basin

岩塩層について予備調査まで完了。ニューヨーク州とオハイオ州に要調査続行の地域を選定した。報告書は1ヶ月以内に出る予定。

f) Gulf Coast 地域

数100の岩塩ドームについて選択作業を行い、ルイジアナ州に2ヶ所、テキサス州およびミシシッピ州に3ヶ所ずつ合計8ヶ所のドームをピックアップした。ルイジアナ州では5,000ftの試錐を行い、3,500ftまでコアを採取した。この孔では、いかに試錐後孔が閉じるか、Caliber調査を行った。シュランベルジャー社が物理検層を行った。水の含有が問題であるが、0.1~1%程度であった。

g) Parabox Basin 地域

3本の試錐を行った。1本は4,000ftで径4インチ(コア径)で全量コアを採取、コアは水理テストに使われる。他の2本で1,000ft、これはノンコアである。これらの孔では、少量の湧水があった。今後これらの孔を使って地震探査を行う予定である。

h) Permian Basin

Palo Duro Subbasinに2本の試錐を行う。1本は4,000ftでコア掘りである。この地域はデータが殆んどなく、データ収集のための試錐である。

④ R & Dプログラムについて

\$ 10 Mill. の予算で下記のような事を行っている。

- a) 物探の機器の開発。検層用のレーダーの開発。特に岩塩層に有効とのことである。
- b) 水の年代測定法の開発。C<sup>14</sup>では5万年位までしかできないので、Cl等を使って数10万年オーダーの測定法を開発する。
- c) 岩石力学の研究装置一式を設置する。
- d) コンピューターモデル作成。特に力を入れているのは水理モデルで、Fracture Permeability のシミュレーションを行う。
- e) 試錐孔のプラグギング\* (Plugging)。SANDIA社と協力して研究を

\* 栓をすること。即ち試錐孔を閉塞すること

行っている。今のところある種のコンクリートが最適と考えている。岩塩の場合岩塩を溶解させる方法も検討されている。

f) 岩塩の場合、今でも地盤が動いているので、それを検知するため、Liquid Level Tiltometer (水準器) およびレーザー測距器を使っての地盤の変動を測定する。

⑤ 移動拡散モデルについて

WISAP (Waste Isolation Safety Assessment) プログラムとして、Kd 値測定、移動拡散の解析、安全評価を行っている。後2者はコンピューターモデルで、現在それを各サイトにあてはめている。現在までに Parabox Basin について行われ、その結果は2~3ヶ月後に公表される。また、WIPPサイトについても行い、次にハンフォードの玄武岩地帯についても行う。この目的は、各サイトでどのようなパラメーターが大きな影響を持つかということを見ることである。

⑥ ヒーター試験について (米国全般)

- a) テネシー州オークリッジの Conasauga 頁岩についてのテストは完了し、来年報告書が出るが、非常に有益なデータとなるであろう。このテストは表面温度 400 °C で8ヶ月間行われた。
- b) ネバダ試験地の Eleana 泥岩でもテストが行われている。この試験は 3.8 kw の定常出力で行う。
- c) 上述の2つのテストは、最少限の水を含む特定の岩石の加熱による化学的、機械的な反応を研究することと、深部での実験のモデル化に有効なデータを提供することである。これらの測定機器は30 m以下の深さに設置される。これまでの結果では、モデルと極めてよく一致し、地層への熱の伝達は伝導のモデルとして扱うことができることを示している。
- d) ルイジアナ州の Avery 島の岩塩ドームでは、他のヒーター試験が行われている。この試験は上述の目的とともに、層状の岩塩とドーム状岩塩間の物性の差を比較するという目的がある。この試験は5 kwのヒーター筒のユニットと防護用の鋼製の筒および熱・岩石力学の測定装置を含んだ3つのヒーターユニットよりできている。バックフィル状態とオープンの状態の両方のテストを行う。ひとつのユニットの周辺には8つの周辺ヒーターを置き、ゆるやかに1 kwまで加熱できるようにする。熱の測定は熱電対、熱流計、サーミスターによる。岩石力学用計器はエクステンソメーター、レベリングピン、振動ワイヤストレスメーターおよびストレインゲージである。この試験は今年の5月に完全なテスト可能となり、少なくとも1980年までは続行される。

- e) また Avery 島では塩水の移動試験を来年5月に計画している。この試験には小型（直径約 2.5 cm）のヒーターが使われる。各種の塩水（WIPP の塩水も含む）も含めて廃棄物と岩石（岩塩）の相互反応をテストする。
- f) 最大の In-Situ Test はスウェーデンのストリーパ鉱山における米国-スウェーデン共同プロジェクトである。この試験の第1の目的は結晶質岩のサイトとしての可能性を評価するための物理的要因に関する知識を増すためである。第2の目的は、掘穿による空洞および熱の流入による岩石の物理的变化を正確に測定するための技術と計器設置法の開発である。この試験は8つの別々の作業からなるが、もっとも注目すべきものはフルスケールのヒーターテストで熱の影響を評価するとともに、時間のスケールも考慮した試験によって長期にわたる熱と力学的負荷の影響を評価しようとするものである。フルスケール試験は、84本の試錐孔が掘進され、コンピューターによるデータ処理がされている。
- g) ネバダ試験場では花崗岩中でヒーターテストが行われている。これは典型的な Basin and Range 型の花崗岩に対する熱の影響を評価するのが目的である。
- h) 上記のテストのうちネバダのものとハンフォードの玄武岩中のもの（準備中）については将来には実際の HLW と使用済燃料を使って行われるであろう。他のテストは電気ヒーターのみが使われる予定である。

⑦ Geological Criteria について

Brunton, G. D. および McClain, W. C. のもの（“Geological Criteria for Radioactive Waste Repositories” Y/OWI/TM-47）については今年もう一度やり直しを行う予定である。Non-Geological Criteria については、来年1月に review用の報告が出される。

また、NRC は規則を作るためにやはり Criteria を検討中であるが、今年開始された許りで、まだ12~18ヶ月かかるであろう。

⑧ 報告書類について

種々の報告書は300部作成し、必要個所に配布する。配布先には関連する州や大学も含まれている。残部は、NTIS から販売される。

Progress Report は今後3ヶ月毎に出すことを考えている。これは DOE に頼めば入手できると思う。

入手資料

- A-2-1) Some Recent Development in the United States Program for Geologic Disposal of Commercial Radioactive Wastes, By R. B. Laughon, Sep. 1978 ONWI-1
- A-2-2) Battelle 社紹介用カタログ各種



(3) アメリカ合衆国地質調査所

( U. S. Geological Survey, Denver, Colorado )

i 訪問日時： 1978年10月30日 8:00 ~ 16:00

ii 面談者： Dr. H. W. Smedes, Geologist

Mr. Bill Ellis, Geomechanist

Mr. George Brethauer, Geomechanist

Mr. Zell Peterman, Geochronologist

iii 聴取事項

① USGS の役割

a) DOE の予算によるプロジェクトを請負方式で行っている。主として岩塩層，ネバダテストサイトとWIPPサイトの地質関係作業である。

b) 1979年10月より \$ 3,335千 (約6億2000万円) の予算が，議会より直接割り当てられ，これにより USGS 独自のプロジェクトをやることになった。(以下の説明はすべてこのプロジェクトに関するものである。)これには岩塩関係の仕事は含まれない。

c) 岩種としては，DOE で大きくとりあげられていないか，全くとりあげられていないものを対象としている。即ち，①花崗岩類②頁岩③緑色片岩相より上の変成岩④先カンブリアの火山岩類⑤硬石こうである。

② 予算の内訳

◦ 物理探査。主に機器の開発。	17 % (約 104,885 千円)
◦ 地域選定。site ではなく region の選定	14 % ( 86,376 )
◦ 頁岩。主に水理学的研究	13.6% ( 83,908 )
◦ 花崗岩。他の結晶質岩も含む	10 % ( 61,697 )
◦ 拡散モデル。	8.2% ( 50,592 )
◦ 岩石力学。	8 % ( 49,358 )
◦ 長期のリスク評価。	8 % ( 49,358 )
◦ 地化学的運搬。	7 % ( 43,188 )
◦ 実験によりモデルをテストする。	3.8% ( 23,445 )
◦ 硬石こう。	3 % ( 18,509 )
◦ 岩塩の鉱物学的研究。	2.4% ( 14,807 )

③ 岩石力学プログラムについての説明

a) 廃棄物貯蔵所開発のための岩石力学は下記のような内容よりなる。

phase I 候補岩石の決定

① ストレス条件をはっきりさせる。

②裂かあるいは水力裂か (hydrofracture) のできる可能性を検討する。

③熱的性質

phase II サイトの選定およびサイトの条件把握

①統計的評価

②試錐技術

③地表一試錐孔, 試錐孔一試錐孔のレーダー等による構造解析

④現地でのストレス測定

⑤検層

phase III 設計

①物性

②構造

③実験室ないしベンチスケールの実験

④各種条件に対する影響度評価

⑤現地試験

phase IV モニタリング

①現地でのストレス測定

②熱および力学的な反応

b) USGS の岩石力学プログラムの研究内容

I 機器のテスト・評価・開発

① vibrating-wire ストレスメーター

② ポータブルな水力裂か形成システム

③ 浅い試錐孔の検層機器

④ その他

II 数学および統計学的解析

① 不確定要素の計測

② 不確定要素の計算

③ サイトの条件付け

III 実験室および理論での岩石の挙動

① 岩石特性

② 数量モデル

IV 採掘の影響

① 裂かの形成

② 山はねの可能性

③ クリープ現象および rebound 現象

## V 熱負荷の影響

① 熱とストレスの関係

② 水力裂かの可能性

③ モデリング

### ④ 花崗岩プログラムについての説明

a) 予算の配分率は下記の通り。

・ 同位体地質。	32 %
・ 水理学。	20 %
・ 地域選定。	16 %
・ 地質学的研究・調査。	16 %
・ 微小割れ目。	16 %

b) 地質学的研究・調査

この研究の背景となる考え方は、結晶質岩中の透水のメカニズムが深度が増加するに従って、裂かによる透水からマトリックスによる透水に変化するという点である。この点に関しての条件および要因を探るのがこの研究の目的である。

① 試錐コアおよび大深度鉦山において節理の頻度、開き具合を調査し、それと岩石のタイプ年代、構造要因、構造史、化学成分、鉦物組成との関係を探る。フィールドとしては、コロラド州、ワイオミング州、ニューヨーク州、カナダ、スウェーデン等が選ばれる。

② 野外調査：ワイオミング州南部の Sherman 花崗岩体で行う。この岩体は同位体により 10 億年以上にわたって地下水の浸透を受けていないことが知られている。この野外調査は①の調査と比較検討される。

c) 微小割れ目 (Microfractures) の研究

マトリックスの透水性 (Matrix Permeability) は造岩鉦物粒同志の境界および微小割れ目によって支配されている。また、これらは岩石強度、地震波速度等にも大きな影響を与えている。

① 前述の調査のサンプルを用いて、マトリックスの透水性と微小割れ目の関係を検討する。また、水理的に閉じた花崗岩と開いた花崗岩の微小割れ目についての比較を行う。

② 微小割れ目が断層によってうける影響を調査研究する。

d) 水理学的研究

① 広域水理調査。前述の調査のバックグラウンドとしての一般的水理調査をスペリオール湖地域、ワイオミング州南部で行う。

② マトリックスの透水性

温度と圧力の影響を実験的に調査する。

e) 年代測定および同位体

① 先カンブリア系岩石の年代測定。構造発達史および熱的な地史を検討する。

② アパタイトのフィッシュトラックは 100 °C 以上で消滅することにより、過去の 100 °C 以下の部分の分布を知り、隆起と沈降を解明する。

③ ウラニウムおよびその近親同位体の平衡・非平衡関係の研究を前出の Sherman 花崗岩体について行う。 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  が使われる。

f) ウラニウム・トリウム・鉛の同位体

U-Th-Pb 系の同位体の分析により地表と地下の長期にわたる透水係数の変化を探る。

⑤ リモートセンシング (Landsat の写真)

a) 利用目的

① マクロな線構造をピックアップする。

② テストサイトを選ぶ。

③ 線構造の密度を測定する。

b) エッジエンハンスメントについて

時に普通では検知し得なかった構造が解析できる。光学的なエンハンスメントが有効である。時に Scanning Line が写るので注意を要する。

入手資料

A-3-1) A Probabilistic Estimate of Maximum Acceleration in Rock in the Contiguous United States

By S. T. Algermissen and David M. Perkins, USGS

Open File Report 76-416 (1976)

(4) バテルパシフィックノースウエスト研究所

(Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland, Washington)

i 訪問日時: 1978年11月2日 8:00 ~ 17:30

ii 面談者: Dr. Albin Brandstetter, Manager, Waste Isolation Safety Assessment Program

Mr. John V. Robinson, Manager, Waste Support Studies,  
Nuclear Waste Technology Program Office

Mr. John R. Raymond, Staff Scientist, Geosciences Section

Mr. Arthur R. Tingley, Marketing / Institute Coordinator  
Mr. Jeff Serne, Chemist, Water and Land Resources Department  
Dr. Yasuro Onishi, Staff Engineer, Water and Land Resources  
Department  
Mr. Gary Berson, Geologist, Scenario Analysis  
Mr. Jay Eliason, Remote Sensing  
Mr. Richard B. Goranson DOE, Richland  
Mr. D. J. Squires "  
Mr. M. J. Zamorski "

iii 聴取事項

- ① DOE - Richland は表敬訪問で特記すべきことがなく、DOE 本部で聴取したアメリカ合衆国としての方針を繰り返し聞いたのみである。我々の訪問に対しては非常に好意的で、Battelle および Rockwell 訪問について種々の配慮をしてくれた。
- ② BNWL は大きく以下の2つのプログラムに分類されている。
  - (1) Waste Management System Studies,
  - (2) Waste Isolation Safety Assessment Program (WISAP)
- ③ Waste Management System Studies の概要
  - a) 本プログラムはプロジェクトを側面から援助するような新しい研究 (Frontier Type Study) で、以下に述べるような内容である。
  - b) Geo Map の作成  
太平洋を中心とした地震のデータを集積し、理論解析し、コンピュータープログラムにインプットし、端末に3次元のグラフ表示機を使う。最終的には、Energy Release Mapを作成し、地震予知まで可能にする。これから2年半の間に世界中についてとりまとめる。(ディスプレイを見学させてもらったが、日本列島周辺のデータは既に3次元的にプロットされている。)
  - c) 一般的大衆の反応について  
シアトルの社会科学センターにおいて、原子力発電、廃棄物処分についての大衆の反応を、LNG や石油化学プラントとの比較をしながら調査する。約1,000人に面接した。この結果は2ヶ月後に公表される予定である。
  - d) 使用済燃料の元素の水中の挙動について  
使用済燃料の水中貯蔵における元素の移動・拡散についての研究を行う。
  - e) Rockwell 社の玄武岩プロジェクトの請負作業としての研究。

- (1) 空冷貯蔵（地表ないし地下浅所）に関するもの。
- (2) 固化法に関するもの
- (3) Pathway Analysis

f) KRIGING 法の応用について

KRIGING 法は特別に開発された、統計処理の手法で種々の分野で使われている。この研究では廃棄物処分システムにこれを応用できないかということを検討するもので、応用できるという目途がつき、コンピュータプログラムの開発を行っているのが現状である。

④ WISAP の概要

- a) WISAP は NWTS (National Waste Terminal Storage) の一環として主として BNWL で行われている。

WISAP の目的は次のようなものである。

- (1) 廃棄物の地層処分法に対する長期安全評価に必要な一般的な手法 (generic methode) を開発する。

- (2) 一般のおよびサイト特有の上記手法に必要なデータを得る。

- (3) 手法を応用し、有効性を証明し、実際のサイトで安全性を評価する。  
上記の手法開発は次のような要素に分解される。

- (1) 貯蔵所が破かいされて、内容物が外に流出する可能性のある事件や過程を識別列挙する。

- (2) これらの現象が実際に破かいや流出をもたらす過程の分析

- (3) 廃棄物の放出状況の定量的な記載

- (4) 放射性核種の放出レートの予測

- (5) 岩石圏から人までの放出ルートの予測

- (6) 人数およびその環境と放射性核種の相互反応の予想

実際のプログラムは次の4つのタスク (Task) にわかれる。

タスク 1 : 放出の状況予想と解析手法の開発 (Release Scenario Analysis)

“ 2 : 放出レート (割合) の研究

“ 3 : 放出後の状況予想と解析手法の開発 (Release Consequence Analysis)

“ 4 : 放射性核種の吸着研究

- b) タスク 1 : 放出状況 (Release Scenario) 予想および解析

自然および人為的な原因による状況予想を行う。これらの起り得る確率と時期を予測するためのコンピュータプログラムを開発し、その地質水理学的影響を予測する。このモデルは、地震や隕石のような短期の出来事に、より可能性の強い長期にわたる気候変化・氷河作用・侵蝕および堆積

・構造運動を重ねあわせ、フォールトツリー法とモンテカルロ法を併行して使っている。現段階では初歩的なプログラムが完成した。1979年は種々の場所でこのモデルをテストし、必要に応じてこれを改善する予定である。

c) タスク 2 : 放出レートの研究

実験によって種々の核種の溶脱試験を色々な地下水の化学成分、温度、圧力条件下で行い、タスク 3 のためのデータ提供を行う。

d) タスク 3 : 放出後の状況予想と解析手法の開発

地下水の動き、核種の移動および放射線の露出量を予測するための数学モデルを選択した。これは軽水炉の安全評価に用いた手法に長期予測に必要な修正を加えたもので、1次元・2次元・3次元のモデルをそれぞれ開発、種々の目的に合わせられるように、予測の精度・正確さに対する柔軟性を最大限にもたせている。最初の予測作業は、岩塩層に対して行われ、次に玄武岩について行われる予定である。

e) タスク 4 : 放射性核種の吸着研究

(1) 実験による  $K_d$  値の測定

地表近くの土壌等について多くの測定値があるが、実際の岩石についての測定を増やす必要がある。また測定法の基準を作成する必要がある。

(2) Validation Test (有効性テスト)

実験によって求められた短期間の拡散速度が長期にわたって有効か否かについて、岩石の風化や熱力学的データを勘案して検討する。これには、実際のウラニウム鉱床の生成後の核種の移動の考察、ネバダの原爆実験場での浅所に貯蔵した実際の放射性廃棄物の移動の考察等が参考となる。

(3) 吸着・解離の機構解明

基礎研究的プロジェクトである。将来は実際の物質を使った実験を行っていく。現在  $K_d$  値の測定については、鉱物について測定すべきとする派と、実際の岩石について測定すべきとする派の二派があり、最近では後者が主流となっており、岩石の中でどの鉱物が影響を持つかについて関心が高まっている。その意味でこの研究は重要な意味を有する。

(4)  $K_d$  値 (分配係数) のデータバンク作成

実験によって測定された各種の  $K_d$  値をコンピューター処理し、データバンクを作る。これまでに 500 の測定値が入力されている。これにより、 $K_d$  値の各種統計処理が可能となり、将来は  $K_d$  値を予測するための実験式まで作成したい。データ処理の細部は表 6.9-6, 7, 8 の如くである。

表 6.9 - 6 Kd 値 (分配係数) のデータ処理手法

Generic Kd Coding Form

<u>Reference</u>	<u>Exp. Details</u>	<u>Geologic Matter</u>	<u>Groundwater</u>	<u>Nuclide</u>	<u>Kd-Rf</u>
A. Name	A. Method	A. Name	A. When	A. Iso	A. Kd
B. Lab	B. State	B. Origin	B. Macro	B. Conc	B. Units
D. Source	C. Ratio	C. Total	C. Trace	C. Spe	C. Dir
	D. Time	D. Mineral		D. Add	D. Num
	E. Temp	E. CO <sub>3</sub>			
	F. ATM	F. OX			
	G. SEP	G. CEC			
	H. Count	H. AEC			
	I. Rad	I. SA			

表 6.9 - 7 表 6.9 - 6 の説明

Explanation of Kd Coding Form

Category I. Reference

A. Name of Investigator who is reporting results or person who performed results or the person most capable of answering questions on the data.

We would like to be able to track each data point back to a knowledgeable person.

B. Lab affiliation of investigator named in A.

C. Source where one could find the results published and described.

Please use the following format:

Author's names, (date), Title of paper, Journal or Lab Report and Number,  
 Publisher where applicable, Page number.

If unpublished, use UNP.

Category II. Experimental Details

A. Method refers to batch, axial filter, column, intact core, channel chromatography, etc.

For batch add more detail as to whether cold washes and blank corrections were used.

For example, use mnemonics such as

BATCH(3W, BC) = batch, three cold washes, with blank tube sorption correction.

BATCH(OW) = batch, zero cold washes and no correction

B. State of geologic media such as crushed < 40 μm; intact core 2.5cm dia × 5cm;  
 tablet 1cm × 1cm × 0.5cm; crushed 30-80 μm; etc.

C. Ratio of solids to solution for batch Kd; for columns include pore velocity or column  
 velocity (for example, 1 PV = 1 cm/hr CV = 0.5 cm/hr) and column bulk density

$\theta$  = porosity Bd = bulk density.



D. Time of contact such as shaking time for batch system or residence time in flow through columns (h) = hours, (d) = days

E. Temp is the temperature of the experiment in °C.

F. ATM is the equilibrating atmosphere air, N<sub>2</sub>, Ar, 10% CO<sub>2</sub> - 90% Ar, etc.

G. Sep separation technique; did you use filters and median pore size or centrifugation include approximate g's ?

FIL (0.4) = filter 0.4 μm

CEN (50) = centrifuged at 50 g's where g = 980 cgs units

H. Count state whether the Kd is determined by counting LIQUIDS only or SOLID and LIQUID.

L / L = liquids only

S / L = solid and liquid

I. RAD List other radioisotopes which were run simultaneously in this experiment just in case we determine certain nukes affect other nukes.

Example: Sr, Cs, Tc means these isotopes were run together.

#### Category III. Geologic Material

A. Name Use the generic name of the rock or mineral; basalt, granite, montmorillonite, etc.

B. Origin Geographic description, formation information, etc.

Eleana shale, Sentinel Gap basalt, Argillaceous Shale Wards # 404561, etc.

For controlled sample rocks that I provided where in doubt we can add the description.

C. Total Chemical Composition as oxides (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO, MnO, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, etc) in %.

D. Minerals Present in rock sample, list major ones first, minor ones last; if possible in order of composition (largest first). If you have quantitative estimates add this information as % and tr = 5%.

E. CO<sub>3</sub> = carbonate content of rock

F. OX = hydrous Fe, Mn, Al oxides content of rock

G. CEC = cation exchange content of material units = meq/100g

H. AEC = anion exchange content of material units = meq/100g

I. SA = surface area; use "EG" for ethylene glycol "BET" for gas adsorption use units m<sup>2</sup>/g, for example, EG (1.3)

#### Category IV. Groundwater

A. When measured; BEG signifies before tracer absorption begun END signifies at the same time as Kd determined.

B. Macro Constituents include:

- |      |  |                       |   |
|------|--|-----------------------|---|
| (1)  | pH   |                       |   |
| (2)  | Eh   | (units vs vs. S.H.E.) |   |
| (3)  | Na <sup>+</sup>  | ↓ ppm                 | ↓ |
| (4)  | Ca <sup>+2</sup>   |                       |   |
| (5)  | K <sup>+</sup>   |                       |   |
| (6)  | Mg <sup>+2</sup>   |                       |   |
| (7)  | Cl <sup>-</sup>  |                       |   |
| (8)  | HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> - CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> |                       |   |
| (9)  | SO <sub>4</sub>  |                       |   |
| (10) | SiO <sub>2</sub>   |                       |   |

C. Trace constituents include:

- |     |  |     |  |
|-----|--|-----|--|
| (1) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>           | ppm |  |
| (2) | Organic carbon                         | ↓   |  |
| (3) | B                                      |     |  |
| (4) | Trace metals or anything else measured |     |  |

Category V. Nuclide

A. ISO Isotope used such as <sup>237</sup>Pu, <sup>95m</sup>Tc, etc.

B. CONC Concentration added to groundwater in M= molarity. Include any carrier if present.

C. SPE Species or valence state added if known, also if the valence state distribution was determined after equilibration state, such as:

Pu (VI) BEG; Pu (IV) 15 %, Pu (V) 70 %, Pu (VI) 10 % END

means the original spike was 100 % Pu (VI) and after shaking the final distribution was as shown.

D. ADD describes how the tracer was added to the groundwater such as DRY means evaporated to dryness and gw added WET / PH / 3 DFO. 4 means a small aliquot of liquid tracer was added to the groundwater, the system re pH' ed to the appropriate value and shaken for 3 days prior to filtration through 0.4 μm filters before usage.

DRY / IDC 50 means the dried spike was brought back into solution equilibrated for one day and centrifuged at 50 g's before usage.

Category VI. Kd or Rd

A. Kd Place the value for Kd or Rd, whatever you prefer to call it.

If you determined a retardation factor in a flowthrough column as a function of water velocity, designate by the symbol RF.

Where several measurements were made, give the standard deviation also, such as

$$75 \pm 12 = a Kd$$

$$(RE) \bar{60} \pm 36 = \text{retardation factor}$$

B. UNITS ml / g or ml / m<sup>3</sup> or LESS = unitless

C. DIRECTION ADS = adsorption direction DES = desorption direction

I guess a spike addition to a column would be ADS-DES

D. NUM = number of observations used to derive data point, for example

3 = triplicate samples

The example shown was derived from a batch Kd experiment that John Relyea ran.

#### 入手資料

A - 4 - 1 ) Waste Isolation Safety Assessment Program Task 4 Contractor Information Meeting Proceedings,

R. Jeff Serne, Chairman, September 1977 , PNL-SA-6957

A - 4 - 2 ) Nuclear Waste Management Quarterly Progress Report, October Through December 1977. Compiled by A. M. Platt, May 1978, PNL-2377-4/UC-70

A - 4 - 3 ) Waste Isolation Safety Assessment Program, Summary of FY-77 Progress, H. C. Burkholder et al, November, 1977 PNL 2451

A - 4 - 4 ) Mathematical Modeling of Sediment and Contaminant Transport in the James River Estuary by Yasuo Onishi, M. Asce and Stacy E. Wise, August 1978,

A - 4 - 5 ) Methodology for Assessing the Long-term Safety of Radioactive Waste Storage in Geologic Formations by Albin Brandstetter, September 1978, PNL-SA-7184



(5) ロックウエル・インターナショナル社エネルギーシステムグループ、ハンフォード事業所 (Rockwell Hanford Operation, Energy Systems Group, Rockwell International, Richland, Washington)

i 訪問日時：1978年11月3日 8:30 ~ 12:00

ii 面談者：Mr. G. C. Evans, Project Manager, Technology Development  
 Mr. R. E. Isaacson, Chemist  
 Mr. Steve Ridell, Field Geologist

iii 聴取事項

① 玄武岩プロジェクトの概要

a) 目的

コロンビア川台地中に放射性廃棄物の地層処分の貯蔵施設を設計し建設するための評価および技術開発を行う。

b) 概念としては図 6.9 - 12 のようなものを考える。即ち、約 3,000 ft (900

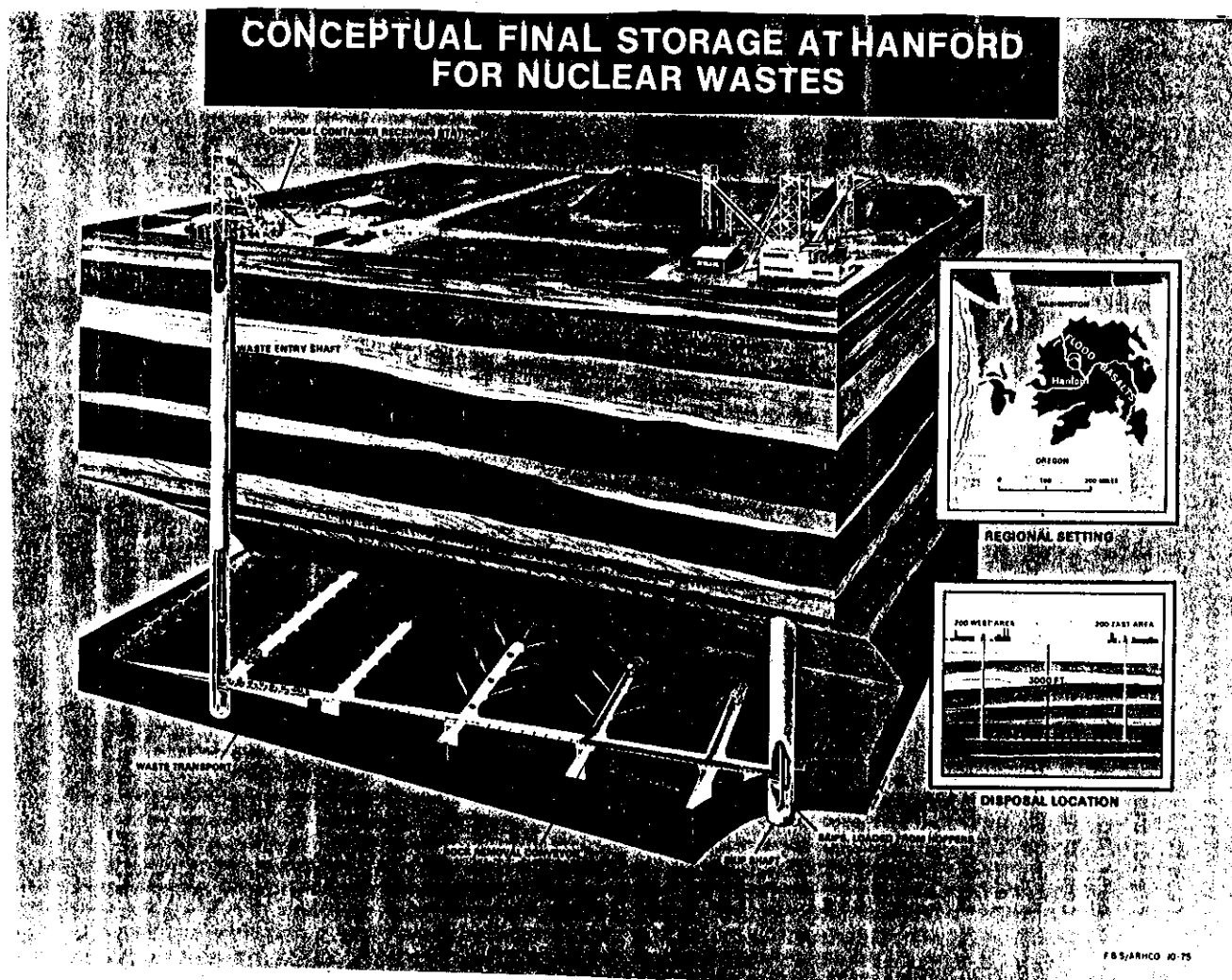


図 6.9 - 12 放射性廃棄物の貯蔵施設概念図

m) の深度に 2 shaft 1 level の, Repository を建設するというものである。現在稼行中の玄武岩ないしそれに近い岩石中の鉱山は表 6.9-9 の通りで、最深のものは 7,000 ft (約 2,100 m) で、深度的には問題がないようである。

c) コロンビア川台地玄武岩について

本玄武岩は世界でも最大規模の一つに数えられる台地型の玄武岩で、その分布範囲は 200 万 km<sup>2</sup> 以上に達する。その分布地域は図 6.9-13 に示す通りで、ロッキー山脈の西側からワシントン州中央部にまで達する。構造的にいくつかの盆状構造が知られており、ハンフォード保留地の位置する、パスコ盆地 (Pasco Basin) が調査対象地域となっている。図 6.9-14 は Pasco Basin 付近の地形図にハンフォード保留地の位置を示したものである。

表 6.9-9 玄武岩質岩石中の鉱山の例

## EXISTING MINES IN BASALTIC COMPOSITION ROCK

MINE	DATE BEGUN	APPROXIMATE DEPTH
CORNWALL DISTRICT PENNSYLVANIA	1958	2500 FT
KEWEENAWAN DISTRICT MICHIGAN	1845	2500 FT
YELLOW KNIFE DISTRICT CANADA	1870	7000 FT
STILLWATER COMPLEX MONTANA	1917	2500 FT
BUSHVELD COMPLEX AFRICA	1928	2500 FT
SUDBURY COMPLEX CANADA	1883	2500 FT

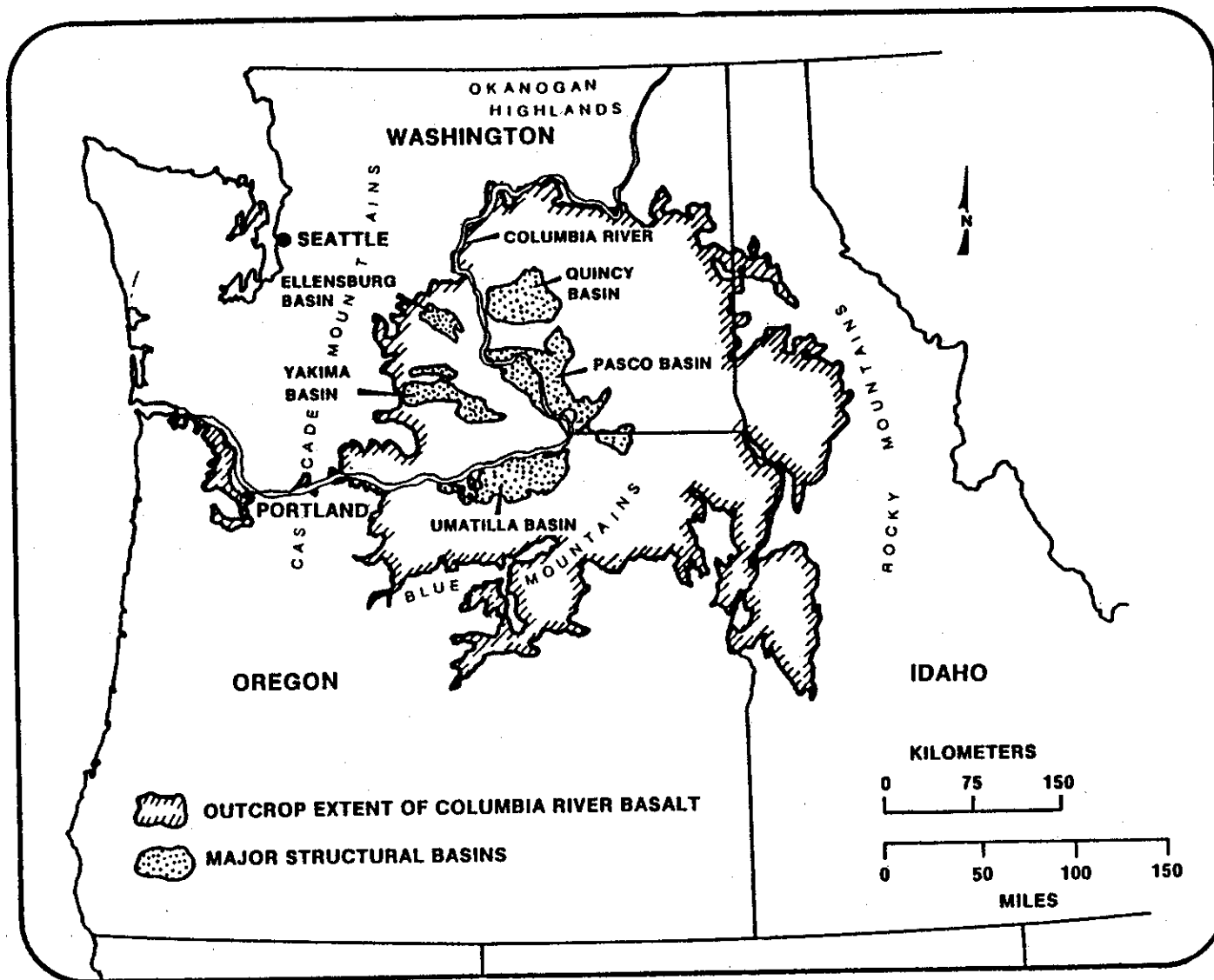


図 6.9 -13 コロンビア川台地玄武岩の分布図

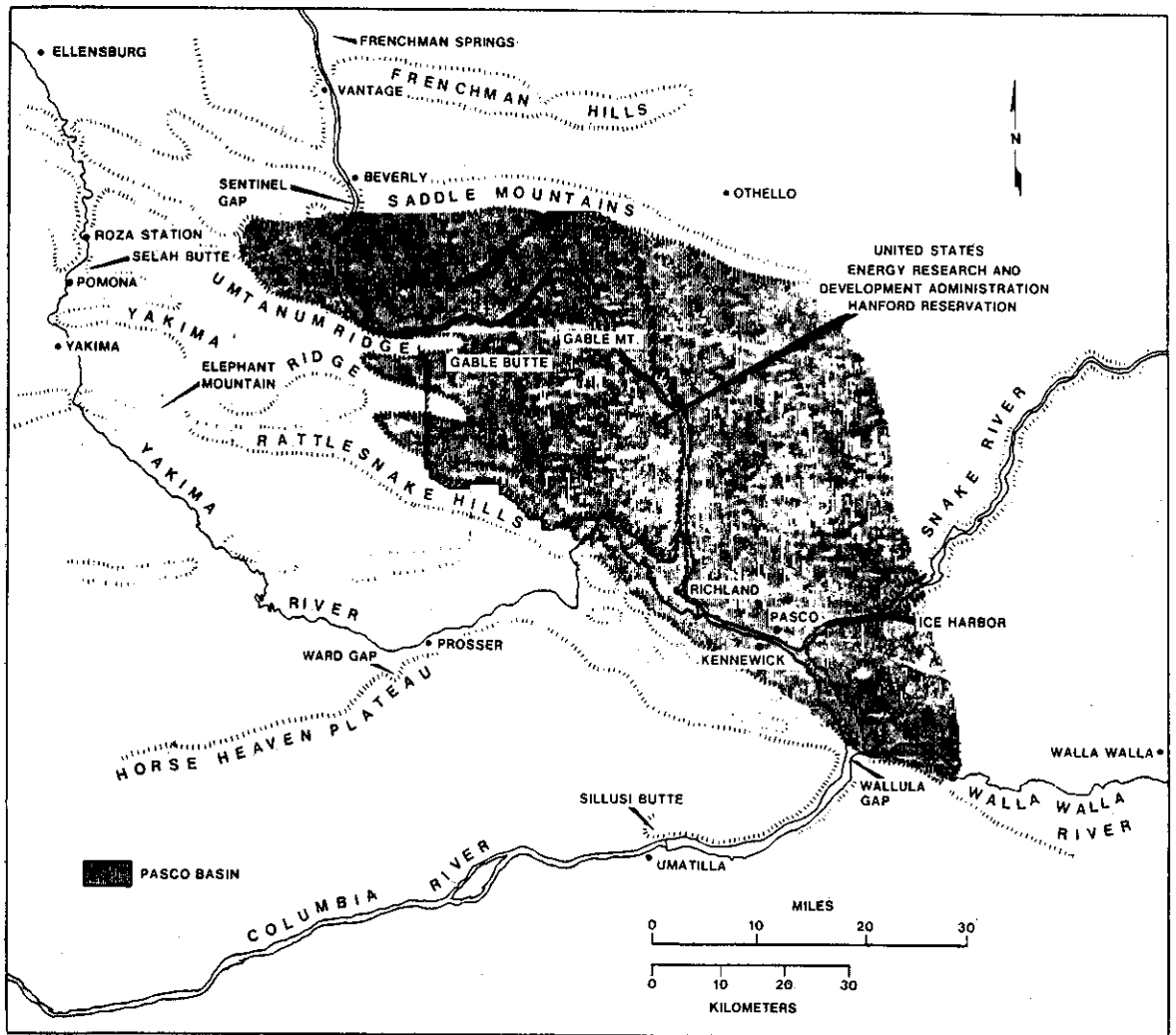


図 6.9-14 Pasco Basin 付近の地形図およびハンフォード保留地

この玄武岩は中新世初期から鮮新世にかけて、約 1,000 万年以上にわたっての割目噴出 (fissure eruption) の産物で平均厚さは 550 m であるが、盆地部では更に厚さを増している。

d) プログラムは下記の 6 分野において実施されている。

- ① 地球科学
- ② 水理学
- ③ バリアー
- ④ テスト施設
- ⑤ 貯蔵所のエンジニアリング
- ⑥ システムの総合解析および玄武岩の適正検査



② 地球科学と水理学

- a) 地質調査は78年および79年の両年で、玄武岩地域全体をカバーする予定である。更にパスコ盆地内で精査を行っており、溶岩流をそれぞれ区別し、鍵層を見付け、それにより構造を明確にしようと試みている。この場合の有力な手法は簡単なマグネトメーターで個々の溶岩流の磁場の方向を計ることで、過去のひんぱんな磁場の逆転が溶岩流の対比に有力な情報を提供している。
- b) ハンフォードでの試錐データをもとにした柱状図は図 6.9-15の通りである。深度 3,000 ft ~ 3,200 ft のメンバーを通称 " Big Black " と呼び、緻密で、Permerbility も少さく、Reposieory 予定岩石として注目されている。
- c) 試錐はコア試錐が 8 孔、最深のものは 5,000 ft (1,500m) でコア径は 2½ ~ 3 インチである。他にロータリー試錐 (ノンコア) が径 6 インチで数本掘られており、最深のものは 10,000 ft (3,000m) に達する。これらの試錐孔は水理テストが実施される。
- d) 試錐孔において実施される物理検層は次のようなものである。
- ① 磁気検層
  - ② I P 検層
  - ③ 重力検層
  - ④ 音波検層
  - ⑤ 誘導電気検層
  - ⑥ 温度検層
  - ⑦ 中性子・エピサーマル中性子検層
  - ⑧ Well-shooting (地震波速度検層)
  - ⑨ 自然  $\gamma$  線検層
  - ⑩ 種々の密度のセメントによる注入閉塞試験
  - ⑪ 孔曲り測定
  - ⑫ ガンマ線検層 (キャリパー検層と併用)
- e) 玄武岩中の水には、年代測定で 20,000年という値を示すものがあり、この水が 20,000年にもわたる長期の間、新しい水の混入を受けず隔離された状態にあったことを示している。このような観点からも地下水の年代測定は重要である。

③ バリヤーについて

- a) 最終的な貯蔵形態は図 6.9-16の通りである。図中の Overpack の物質を何にするかが、重要な研究テーマである。
- b) 拡散に関しては、圧力を低圧 (1 パール前後) と高圧 (50 ~ 500 パール)

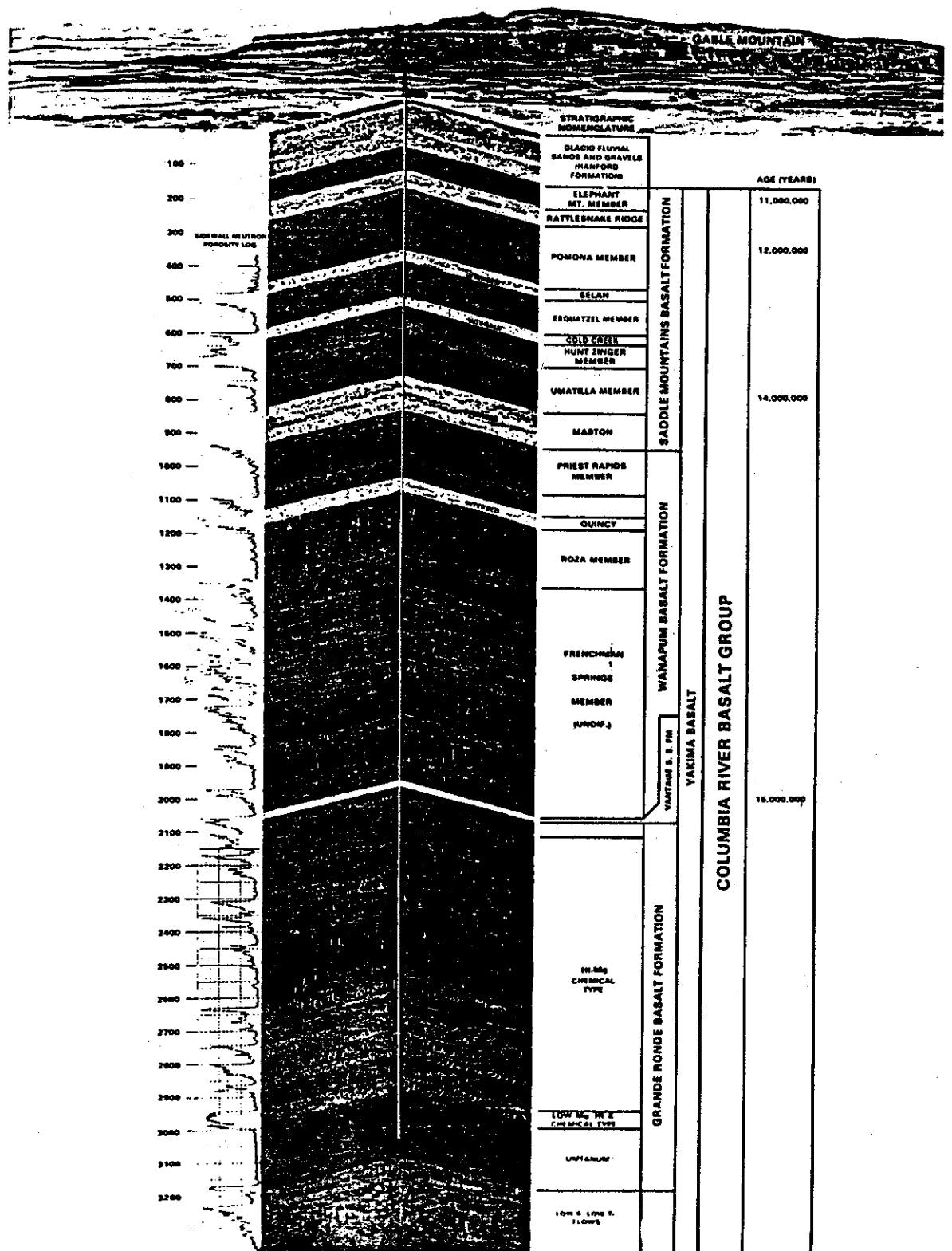


図 6.9-15 ハンフォード地区の地質柱状図

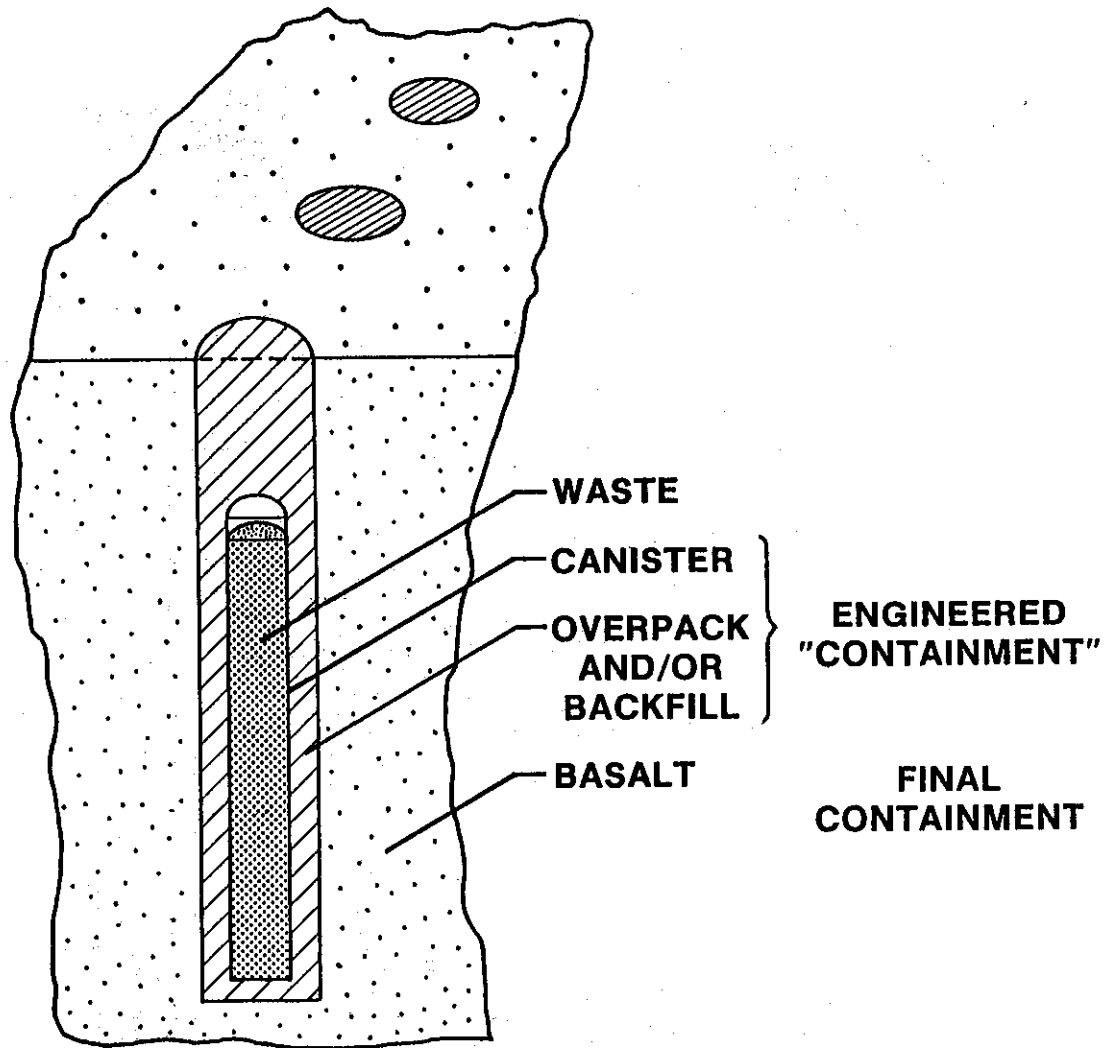


図 6.9 - 16 廃棄物の最終的な貯蔵形態

の場合、温度を低温（25～90℃）高温（50～400℃）の場合、Repository の条件を乾燥した場合（Dry）、Wet で閉じた系の場合、Wet で開いた系の場合についてそれぞれ実験を行う予定である。

c) 試錐孔のプラグギングについてもこの分野で研究を行っている。現在までのところでは、ポートルランドセメントが最良とされている。これを更にテストするとともに、粘土や他の物質を開発する。更にプラグギングの手法を開発し、実際にテストを行う。更には立坑のプラグギングにまで技術は応用される。

④ テスト施設

a) 浅所に坑道を掘穿し、実物大のヒーターテストを行う。その概念図は図 6.9 - 17 の通りである。このテストの目的は、① 模擬キャニスター周辺の局所的な温度および変動領域を決定する。② 5 kw のヒーターを被覆した試

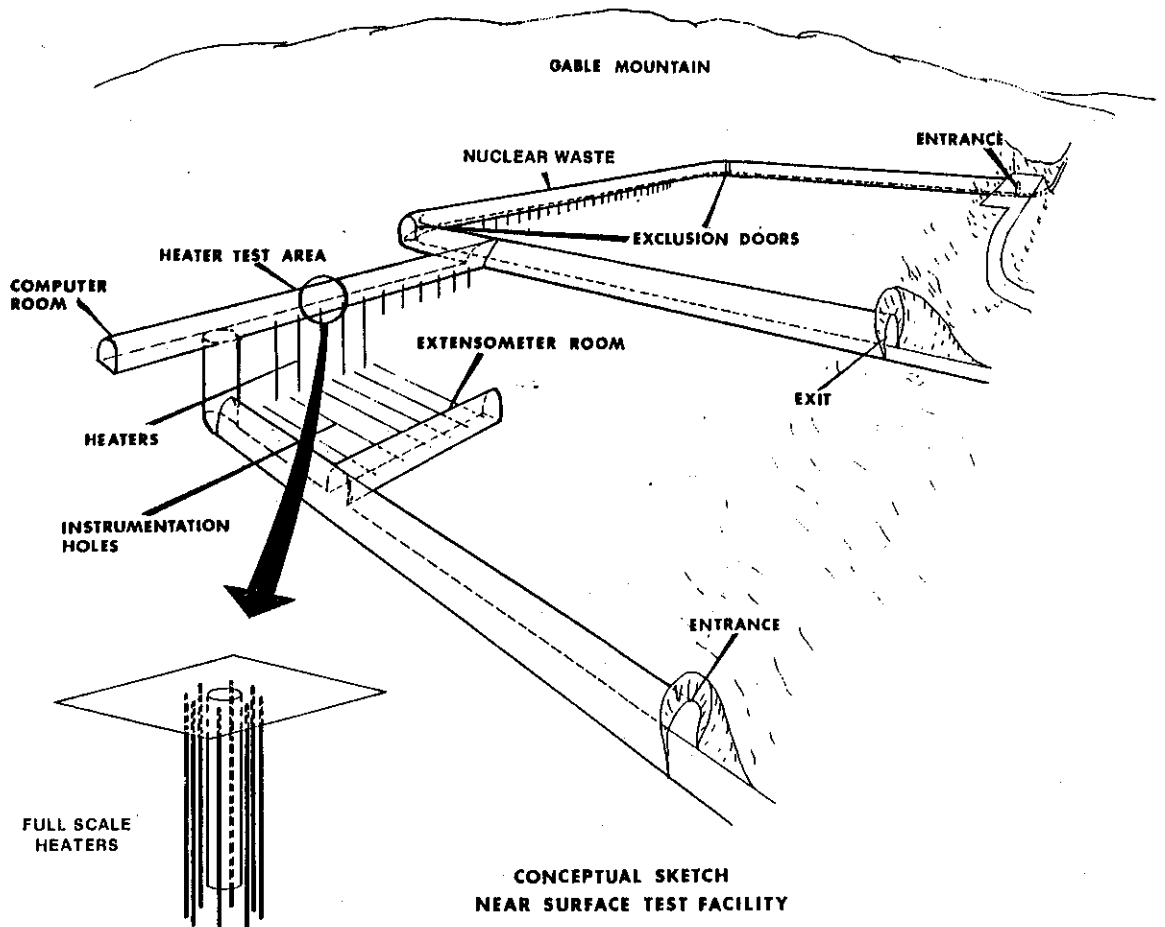


図 6.9-17 地下浅所における FUEL SCALE ヒーターテスト概念図

錐孔中に設置し，2 kw のヒーターを被覆なしの試錐孔に設置し，理論モデルの有効性を決定する。

b) 時間スケールのヒーターテスト

概念図は図 6.9-18 の通りである。1 kw のヒーターを 3 m × 7 m のグリッドで配置することにより，1 ヶ月が実際のスケールの場合の 1 年に相当することになる。これを使って時間の経過による温度やストレスフィールドの変化を推定する。

c) 実際の廃棄物貯蔵のデモンストレーション

実際の核廃棄物（使用済燃料，高レベル廃棄物等）を使って，約 1 kw レベルのデモンストレーションを行う。PWR 1 ユニットあるいは BWR 2 ユニットの使用済燃料をキャニスターに納める。これらの使用済燃料はトラックキャスクによってテスト施設まで運搬される。

⑤ 貯蔵所のエンジニアリング

a) 岩石試験の結果をまとめると表 6.9-10 のようになる。

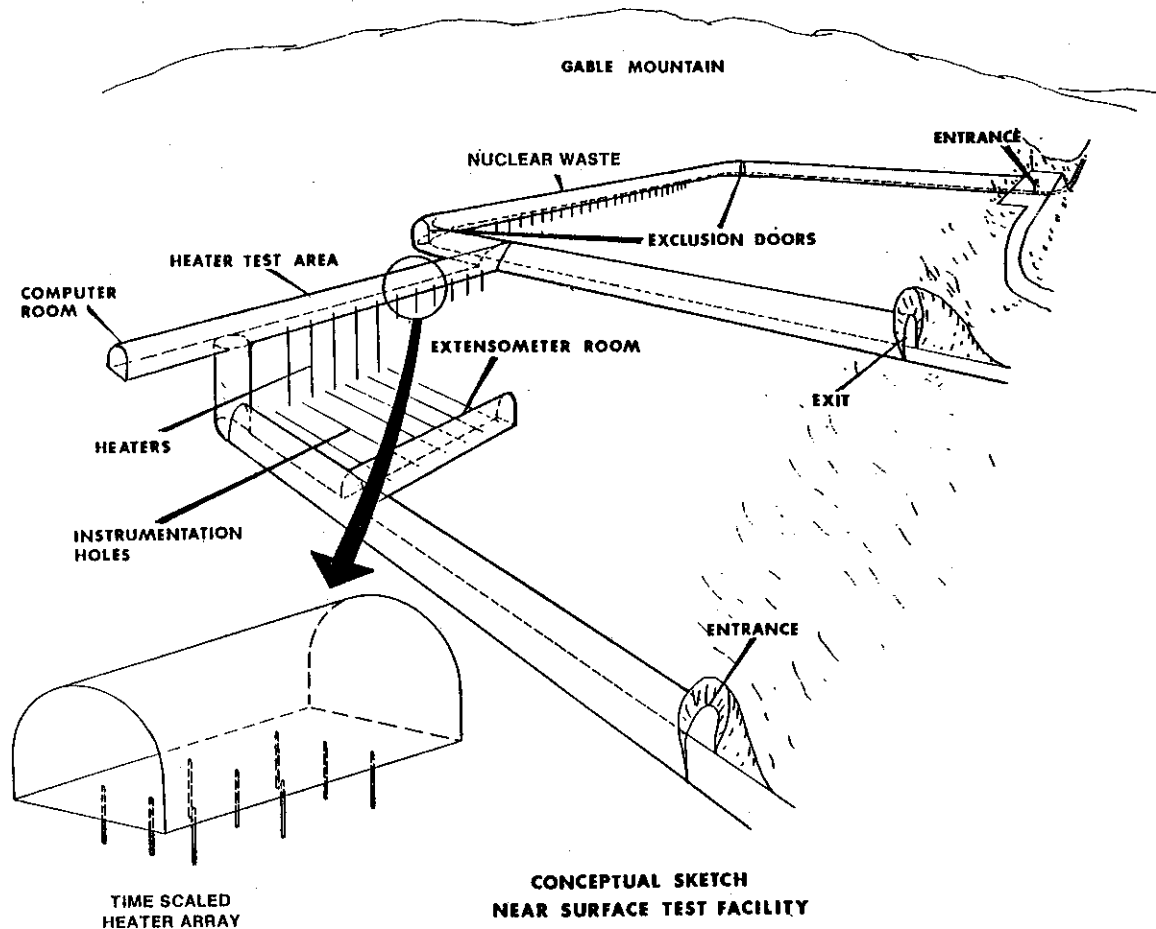
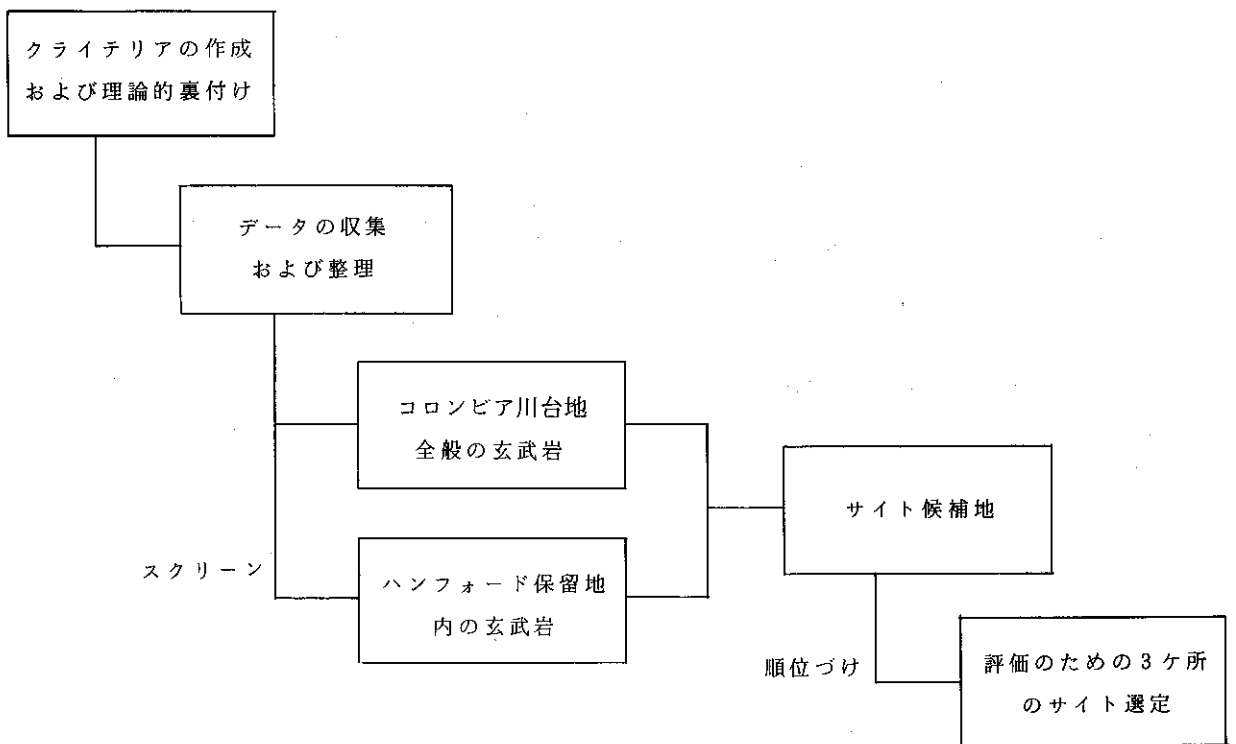


図 6.9-18 地下浅所における TIME SCALED ヒーターテスト概念図

表 6.9-10 コロンビア川台地玄武岩の岩石特性値

PROPERTY	AVERAGE VALUE	UNITS	RANGE FOR AVERAGE BASALT
DENSITY	2,820 (176)	Kg/M <sup>3</sup> (LB/FT <sup>3</sup> )	2400-3100
POROSITY	1.65		VARIES WIDELY
TENSILE STRENGTH	20 (3000)	MPa (PSI)	0-23
UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH	272 (40,000)	MPa (PSI)	0-400
YOUNG'S MODULUS	68 (10 <sup>7</sup> )	GPA (PSI)	61-112
POISSON'S RATIO	.25	---	.22-.28
THERMAL CONDUCTIVITY (MEASURED IN THE RANGE OF 0-300° C)	1.37-1.4 (.8-.81)	w/m <sup>o</sup> k (BTU/HR-FT <sup>o</sup> F)	1.4-4.3

- b) 岩石試験の結果を勘案して下記のような設計および検討を行っている。
- ④ キャニスターの適正サイズの研究
  - ⑤ 坑道の適正なサイズおよび間隔
  - ⑥ 全体の規模に関する研究
- ⑥ システムの総合解析および玄武岩の適正検査
- a) サイト選定の進め方は図 6.9-19 の通りである。即ち、1979年9月までに3ヶ所のサイトを選定することが目標となっている。
- b) サイト選定のため考慮すべき項目は次のようなものである。
- 政治的考慮
  - 社会・経済的考慮
  - 所有権
  - 交通条件
  - エンジニアリング
  - 地質
  - 水理学
  - 廃棄物と水との相互反応
  - 安全性評価



目標 79年9月

図 6.9-19 玄武岩プロジェクトにおけるサイト選定の進め方

c) 現在考えている適格条件は次のようなものである。

- ① 孔隙率, 1%以下。
- ② 透水性,  $10^{-9}$  cm / sec 以下, 水理上の隔離状態を示す。
- ③ 地表の侵蝕, 中位, 深部の貯蔵所に影響しない程度。
- ④ 地層, 均一, 相当な距離にわたって均一性を保つこと。
- ⑤ 断層, 少いこと。
- ⑥ 耐震設計, 0.25 gaL
- ⑦ 熱負荷, 100 kw / エーカー
- ⑧ 岩石強度, 40,000 PSI 以上。長期にわたり取出し可能な状態とするため。
- ⑨ 廃棄物と岩石の関係。いくつかの元素は固定されること。
- ⑩ パブリックアクセプタンス。受け入れられること。

d) 作業までに必要な事項

- ① 玄武岩が適正であることの証明。
  - ② NRC の許認可条件にかなうこと。
  - ③ 運搬径路の確保。
  - ④ パブリックアクセプタンス。
- ⑦ 主要な請負会社は表 6.9-11 の通りである。

表 6.9-11 玄武岩プロジェクトの主要な請負会社

GEOLOGY

USGS- WESTERN DIVISION  
WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES  
WASHINGTON STATE UNIVERSITY  
JOHN BOND ASSOCIATES  
LAWRENCE BERKELEY LABORATORY

HYDROLOGY

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY  
W.K. SUMMERS AND ASSOCIATES  
LAWRENCE BERKELEY LABORATORY  
LYNES, INC.  
ENSCO, INC.

GEOCHEMISTRY

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY  
LAWRENCE BERKELEY LABORATORY  
BATTELLE PACIFIC NORTHWEST LABORATORY

RISK ASSESSMENT

WOODWARD & CLYDE CONSULTANTS

ROCK MECHANICS

COLORADO SCHOOL OF MINES  
UNIVERSITY OF MINNESOTA  
J.F.T. AGAPITO ASSOCIATES  
LAWRENCE BERKELEY LABORATORY

DRILLING

FENIX & SCISSON, INC.  
CENTURY DRILLING CO.  
BOYLES BROS. DRILLING CO.

DESIGN

VITRO ENGINEERING CORPORATION  
ATOMICS INTERNATIONAL

CONSTRUCTION

J.A. JONES CONSTRUCTION CO.  
GENSTAR CORP.

## 入手資料

- A — 5 — 1 ) Preliminary Feasibility Study on Storage of Radioactive Wastes in Columbia River Basalts, two Volumes, (1976)  
By Atlantic Richfield Hanford Company, ARH-ST-137
- A — 5 — 2 ) Rock Mechanics Methods and In Situ Heater Tests for Design of a Nuclear Waste Repository in Basalt By M. P. Board (1978)  
Rockwell International, RHO-BWI-LD-2
- A — 5 — 3 ) Basalt Waste Isolation Program (1978) Rockwell International

## 6.10 調査についての所感

- ① カナダおよびアメリカ合衆国ともかなりの予算を得て広汎な分野にわたる研究を行っている事が印象的であった。しかし、内容的には質的に追い付けない点は殆んどなく、日本においても必要な資金さえ投入すれば同レベルには達し得るものと考ええる。
- ② 上記研究に伴って、ぼう大な量の報告書が出版されており、その殆んどは入手可能である。この入手ルートを早急に確立し、彼等の研究内容およびその政策的背景等を把握しておくことは、後発の日本にとって資するもの大であると考ええる。
- ③ 特に基礎研究の面で情報の交換を密にすることは双方にとってプラスになることであり、研究者の交流は非常に有益であろう。例えば、Kd 値の測定、ヒーターテスト、検層の適応性検討、プラグギングの手法等々があげられる。
- ④ 種々のコンピューターシミュレーションは、日本側でも利用できるものがあり、経済性を考えた場合これ等を使うことも要検討事項である。
- ⑤ Public Acceptance に対する非常な配慮、許認可を得る場合に予想される厳しい条件等を考えると、両国とも将来日本の廃棄物処理を引き受けるようなことは全く考えられないだろうとの印象を得た。
- ⑥ 再処理に対する方針が世界各国で確定されていない現状では、廃棄物プログラムの今後の進展も流動的であろう。しかし、それにもかかわらず、技術的な可能性を極限まで追求しておこうというのが、両国の考え方であり、その意味で今後も両国の予算は増大の一途をたどり、研究の内容も多岐にわたるものと予想される。これら状況を十分に把握するために今後も海外事情調査は続行すべきである。



## 第7章 今後の調査・研究について

本調査・研究は極めて多岐に亘るが、調査・研究の内容は

- 1 地層処分地抽出に関する調査・研究
- 2 地下水の挙動に関する調査・研究
- 3 試錐孔を利用したデータ収集方法の検討

と要約できる。

1の地層処分地抽出に関する調査・研究については以下の成果が得られた。

- ① 地層処分地を抽出する手法・手順に関する調査・研究が進められ、その骨子が形成された。
- ② 花崗岩類、ゼオライト質岩類の代表的分布域の概査が行なわれ、自然的・社会的要因に関する多大の資料を収集することができた。
- ③ 頁岩・輝緑岩・石灰岩を対象として文献調査を行ない、これら岩層ないし岩体の代表的分布地域を抽出することができた。
- ④ 頁岩・輝緑岩・石灰岩の代表的分布地区の各1地区より採取した岩石の特性試験を実施し、これら岩種の基礎特性値に関するデータを充実することができた。
- ⑤ 岩石特性試験結果の評価方法の検討を行った結果岩石特性試験の問題点、今後実施すべき岩石試験項目等が判明した。
- ⑥ 海外調査により、アメリカ合衆国・カナダにおける放射性廃棄物の調査・研究の内容、進展状況を知ることができ、我国の調査・研究を進展させる上での貴重な成果が得られた。

2の地下水の挙動に関する調査・研究については以下の様な成果が得られた。

- ① 稼動鉱山において地下湧水に関する資料を収集し、湧水機構に関する考察を行った。
- ② 表流水の地下浸入経路を解析するのに必要な有効なトレーサーを選定し、現地注入試験を行った。
- ③ 既知の断層上に電探を実施して断層探査の技術を確立し、断層中に含まれる水量の予測の可能性について検討した。
- ④ 地下湧水モデルを作成するため基礎的調査としてモデル化に使用される数式の選定、対象地域のブロック化方法の決定、地質構造を考慮してのブロック化をすることができた。

3の試錐孔を利用したデータ収集方法の検討については以下の成果が得られた。

データ収集方法を“試錐孔掘穿中のデータ収集”、“検層”、“試錐孔と地表又は他の試錐孔間の計測”、“試錐孔内計器による測定”に大別し、多数の調査方法を収集・整理することができた。

以上の様な成果が得られたが、地層処分地を抽出し高レベル廃棄物を安全に処分するためには、表2・1-1~(1)~(4)地層処分地抽出方法・手順表に示されるように非常に多数の基本規準・要因があり、上記地下水の挙動に関する調査・研究は、放射性核種の拡散、熱の拡散等と同様極めて重要な要因ではあるが多数ある要因のうち一要因にすぎないことを考慮すれば、高レベル廃棄物の地層処分に関する調査・研究は、今後も鋭意継続していかねばならないことは言うまでもない。

従って、長期的には地層処分地抽出のための諸要因を1つ1つ丹念に解析していかねばならないが、今年度の調査・研究で得られた成果をさらに進展させるためには、今後以下の調査・研究を行う必要がある。

#### 1. 53年度に継続する調査・研究

##### (1) 現地概査

- 文献調査で抽出した輝緑岩、頁岩、石灰岩の代表的分布地区の現地概査
- 52年度文献調査で抽出された、花崗岩類の代表的分布地区のうち53年度実施されなかった地区について現地概査

##### (2) 現地調査

今年度の概査結果からより精度の高い調査が必要な地域における

- 地表地質調査
- 物理探査（電気探査、重力探査、弾性波探査等）
- 試錐探査
- 自然的・社会的要因の調査

##### (3) グリーンタフ地域の総合検討

ゼオライト質岩の代表的分布地域を概査した結果、ゼオライト質岩を周辺及び上下の岩体をも含めた複合の岩体としてとらえる必要があることが判明したため、グリーンタフ地域の諸岩石、即ち凝灰岩（ゼオライト質岩を含む）、火山岩（流紋岩、安山岩、プロピライト、玄武岩等）、頁岩、砂岩、熔結凝灰岩等についての総合検討

##### (4) 岩石試験

岩石的な諸特性を実施するため、53年度までに実施されていない下記の岩石試験

- 高圧透水試験
- 高圧三軸圧縮試験
- 剪断強度試験（剪断試験機を使用）
- ポアソン比測定
- 超音波速度測定
- 浸水崩壊度測定（ゼオライト質岩）
- 吸水膨張率測定（ゼオライト質岩）

(5) 海外調査

海外で実施されている「放射性核種の拡散」、「熱の拡散」、「地下湧水に関する研究」に焦点をあてた北米，ヨーロッパ諸国の事情調査

(6) 地下湧水モデルの研究

昭和53年度に実施した「モデル化の検討」に続き、「地下湧水プログラムの開発」

2. 新期に実施すべき調査・研究

(1) 土地利用度の低い地域の調査

我国における土地利用度の低い地域，例えば北海道の原野，離島等の調査

(2) ヒーター・テスト

鉾山の一部を利用して，地下深部における岩体中でヒーター・テスト

(3) 処分地選定のためのシミュレーション

今年度現地概査を実施した地区において，処分地選定の技術的向上に資するためのシミュレーション

(4) 放射性核種の拡散に関する基礎調査

放射性核種の移動に関するデータを収集するための室内試験

以上の調査・研究を行うことにより，高レベル廃棄物の地層処分に関する基礎技術の向上，基礎データの充実を計り高レベル廃棄物の地層処分という極めて難しい問題に正面から取組み，1歩1歩着実にこの難問を解決していくことが必要である。

以 上

## 参考文献

1. 加納博：花崗岩プルトンの構造岩石学(1)，—北上山地のしづく形プルトン—，岩石鉍物鉍床学会誌，第73巻第4号，p 97～120，1978.
2. 本多朔郎：東北地方のゼオライト岩にまつわる二，三の問題，渡辺万次郎先生米寿記念集，1978.
3. 加藤祐三：北上山地，岩泉，太田名部花崗岩体の岩石学，岩石鉍物鉍床学会誌，第72巻12号 p 443～452，1977.
4. 松野久也：写真地質，実業公報社，1976.
5. 地質調査報告第251号：北上山地の白亜紀花崗岩類—岩石記載と帯状配列—，地質調査所，昭和49年8月.
6. 鍋谷祐夫，加納博他：北上山地における花崗岩体の重力構造，物理探鉍 vol 25-4，1972.
7. 吉田邦男：鉍産物取引の知識〔ゼオライト〕.
8. 増井淳一，国井敬，佐藤康次郎：山形県朝日町，尾花沢市，古城山および同五十沢のゼオライト，東北の工業用鉍物資源，第五輯，1965.
9. 本多朔郎，三上文雄：青森県黒石市東南のゼオライトおよびカオリン粘土，東北の工業用鉍物資源，第5輯，1965.
10. 早川典久，山崎拓，中川功，佐藤康次郎：山形県東根市東方のゼオライト，東北の工業用鉍物資源，第5輯，1965.
11. 本多朔郎，渡辺和矩：秋田県皆瀬村若畑の白土，東北の工業用鉍物資源，第5輯.
12. 本多朔郎，川尻茂三，渡辺和矩：秋田県南外村小友の白土，東北の工業用鉍物資源，第4輯，1964.
13. 本多朔郎，野田素子：宮城県白石市川原子のゼオライト，東北の工業用鉍物資源，第3輯，1964.
14. 本多朔郎，川尻茂三，村山四喜男：秋田県大森町八沢木の白土（続），東北の工業用鉍物資源，第3輯，1963.
15. 岡田広吉，福地義寛，三品裕正：山形県米沢市板谷鉍山周辺のカオリン粘土，東北の工業用鉍物資源，第3輯，1963.
16. 酒匂純俊：日高鉍床区における深成作用と鉍化作用の関係について，地下資源調査報告書30号別刷，1963.
17. 丸山隆和，土屋清，中島徹，渡辺貫太郎：日本の衛星写真，—人工衛星データの解析—，朝倉書店.
18. LANDSAT データのデジタル処理，リモートセンシング利用技術の基礎研究委員

- 会，デジタル処理小委員会，金属鉱業事業団。
19. 東北地方におけるリニアメントと鉱床分布の関連について，地質ニュース，vol 274，p 1～19.
  20. 鉱物資源探査におけるリモートセンシング技術（Ⅱ），日本鉱業会，リモートセンシング構造小委員会，地質ニュース，vol 274 p 1～19（別刷）.
  21. LANDSAT/ERTS 映像による東北地方の構造解析，地質ニュース vol 264，p 1～17.
  22. ERTS 映像による地質構造解析，地質ニュース，vol 245，p. 1～17.
  23. 我国における資源探査衛星の利用状況，産業研究所.
  24. 岩手県：田老地域の地質，地域地質研究報告，1 / 5 万図幅，地質調査所，昭和45年.
  25. 岩手県：陸中野田，1 / 5 万地質図幅説明書，地質調査所，昭和37年.
  26. 増井淳一，岡田久：山形県米沢市板谷カオリン粘土，東北の工業用鉱物資源，1961.
  27. 本多朔郎：秋田県大森町八沢木の白土，東北の工業用鉱物資源，第1輯，1961.
  28. 黒田泰弘，江森康文他：人工衛星写真，リモートセンシング—地球資源探査の解析と応用—，朝倉書店.
  29. 金属鉱業事業団：昭和48年度和賀雄物地域精密調査報告書，昭和50年.
  30. 金属鉱業事業団：昭和47年度和賀雄物地域精密調査報告書，昭和49年.
  31. 金属鉱物探鉱促進事業団：昭和46年度和賀雄物地域精密調査報告書，昭和48年.
  32. 金属鉱物探鉱促進事業団：昭和45年度和賀雄物地域精密調査報告書，昭和47年.
  33. 金属鉱物探鉱促進事業団：昭和44年度和賀雄物地域精密調査報告書，昭和46年.
  34. 通省産業省：昭和43年度和賀雄物地域広域調査報告書，昭和45年.
  35. 通省産業省：昭和42年度和賀雄物地域広域調査報告書，昭和44年.
  36. 通省産業省：昭和41年度和賀雄物地域広域調査報告書，昭和42年.
  37. D. E. AJAKAIYE and J. F. SWEENEY：THREE - DIMENSIONAL GRAVITY INTERPRETATION OF THE DUTSEN - WAI COMPLEX, NIGERIAN YOUNGER GRANITE PROVINCE, *Tectonophysics*, 24 (1974) 331-341.
  38. The Quantitative Mineralogical Composition and Variation of the Lacorne, La Motte, and Preissac Granitic Complex, Quebec, Canada, : *Journal of Petrology*.
  39. *Geological Society of America Bulletin*: February 1976. Doc. no. 60210. V 87, p 241～249.
  40. 秋田県：秋田鉱産誌，1951.
  41. 第四紀地殻変動研究グループ：第四紀地殻変動図，第四紀研究，7，200-211, 1968.
  42. 貝塚爽平：変形する地形—地殻変動と海面変化と気候変化の中で—，*科学*，39，11 - 19，1969.
  43. 阪口豊，高橋裕，鎮西清高：日本の地形—その生いたちと特色—，*科学*，46，223-

- 234, 1976.
44. 鈴木尉元, 他 5 名: 新潟第三系盆地に発達する褶曲の形成機構について, 地質学雑誌, 77, 301-315, 1971.
  45. 鈴木尉元, 他 5 名: 新潟第三系堆積盆地に発達する褶曲の形成機構について, 地質調査所報告, 250-2, 53-78, 1974.
  46. 植村武: 越後第三系の褶曲区区分, 新潟大, 地鉱研究報告, 4, 151-157, 1976.
  47. 中川久夫: 東北地方における第四紀地殻変動, 地質学論集, 2, 25-28, 1968.
  48. 成瀬洋: 関東地方における第四紀地殻変動, 地質学論集, 2, 29-32, 1968.
  49. 小林国夫: フォッサ・マグナ地域内陸部の第四紀地殻変動, 地質学論集, 2, 33-38, 1968.
  50. 西南日本第四紀研究グループ: 西南日本の第四紀地殻変動, 地質学論集, 2, 39-42, 1968.
  51. 地学団体研究会: 北日本中生代以降の造山運動の諸問題, 地団研専報, 21, 1978.
  52. 第四紀地殻変動研究グループ: 第四紀地殻変動図, 第四紀研究, 第7巻, 4号, 1968.
  53. 宇津徳治: 地震学, 共立全書, 1977.
  54. 日本火山学会, : 火山, 第2集, 23巻, 1号, 1978.
  55. J. D. Bredehoft et al : Geologic Disposal of High-Level Radioactive Wastes — Earth. \* Science Perspectives, Geological Survey Circular 779, U. S. A, 1978.
  56. 日本第四紀学会: 日本の第四紀研究, その発展と現状, 東京大学出版会, 1977.
  57. 橋本光男: 日本の緑色岩研究の2つの話題, 海洋科学, vol 7.
  58. Mitsuo Hashimoto : Recent Studies on Paleozoic and Mesozoic Greenstones in Japan. Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo, 16(4), Dec. 22, 1973.
  59. Geological Survey of Japan: Geology and Mineral Resources of Japan, 1977.
  60. 市川浩一郎, 藤田至則, 島津光夫編: 日本列島地質構造発達史, 築地書館, 1970.
  61. 大沢穠: 地下の科学シリーズ14, グリーン・タフ, ラティス社, 1967.
  62. 喜田大三, 辻博和: ずい道工事における膨潤性泥岩の土質化学的研究, 第13回土質工学研究発表会.
  63. 岩崎正夫: オフ・オライト問題についての最近の考え方, 日本鉱山地質学会特別号第4号, 1971.
  64. 岩手県: 岩手県地質説明書 I, II, 昭31.
  65. 兵庫県: 兵庫県地質産産図説明書, 昭36.
  66. 福島県企画開発部: 二十万分の一福島県地質図説明書, 1968.
  67. 新潟県: 20万分の1新潟県地質図説明書, 昭37.
  68. 埼玉県農林部: 埼玉県秩父入間比企地方の地質, 昭43.
  69. 岡山県: 岡山県地質図説明書, 昭38.

70. 広島県：広島県地質図説明書，昭 39.
71. 高知県：高知県地質鉱産図説明書，内外地図欄，1961.
72. 愛媛県：愛媛県地質図説明書，1962.
73. 大分県：大分県の地質，1972.
74. M. Minato, M. Gorai, M. Hunahashi : The Geologic Development of the Japanese Islands, Tsukiji Shokan Co. Ltd, 1965.
75. 平凡社：地学辞典，1970.
76. 日本鉱業協会：日本の鉱床総覧，上・下，1968.
77. 湊正雄：日本の自然，平凡社，1977.
78. 湊正雄：氷河時代の世界，築地書館，1969.
79. Richard Foster Flint : Glacial and Quaternary Geology, John Wiley and Sons, Inc. 1971.
80. Bolt Horn, Macdonald Scott : Geological Hazards, Springer-Verlay New York Heidelberg Berlin, 1975.
81. 金子史朗：構造地形学，古今書院，1967.
82. 中野尊正：日本の地形，築地書館，1967.
83. 笠原慶一，杉村新：地球科学10，岩波書店，1978.
84. G. E. Barr : Site Selection Criteria (Rough Draft) : SAND, 52-A-17, December 1, 1976.
85. OECD : Geological Disposal of Radioactive Waste : Working Document No. 2, AECL-5392.
86. NRC : Geological Criteria for Repositories for High-Level Radioactive Wastes, 3 Aug. 1978.
87. IAEA : Site Selection Factors for Repositories of Solid High-Level and Alpha-Bearing Wastes in Geological Formations, T. R. S - No. 177, 1977.
88. G. D. Brunton, M. C. McClain : Geological Criteria for Radioactive Waste Repositories, Union Carbide, Y/OWI/TM-47, Nov. 1977.
89. K. J. Schneide, A. M. Platt : High-Level Radioactive Waste Management Alternatives, BNWL-1900, Section 4, vol. 2, Geologic Disposal. 1974.
90. 物理探鉱技術協会：物理探鉱，10周年特別号，vol. 11, No. 4, 1958.
91. 物理探鉱技術協会：物理探鉱，20周年特別号，1968.
92. 物理探鉱技術協会：土木弾性波探査法，1977.
93. 藤井勢之：土木における物理検層，物理探鉱，vol. 26, No. 6, 1973.
94. 岩松一雄：ボーリングハンドブック，森北出版，1973.
95. 宮村撰三：地球科学講座，地震，火山，岩石物性，共立出版，vol. 1. 6, 1969.
96. 日本材料学会：岩石力学とその応用，丸善，1966.

97. 上治寅次郎：岩石鉱物物理化学試験表，水曜会，1924.
98. 丸安隆和ほか：日本の衛星写真，人工衛星データの解析，朝倉書店，1977.
99. C. D. Ollier 松尾新一郎監訳：風化，その理論と実態，ラティス社，1969.
100. Davis S. N : Hydrogeology, John Wiley & Sons Inc., 1966.
101. 地団研地学事典編集委員会：地学事典，平凡社，1970.
102. 与良三男，伊東潤二：北八幡平地熱地域の物理探査，鉱山地質，vol. 24, No. 2, 1974.
103. 伊東潤二，窪田康宏，黒沢昌志：大沼地熱貯溜層における地熱熱水の流れ，地熱，  
vol. 14, No. 3, 1977.
104. 伊藤潤二，窪田康宏，黒沢昌志：大沼地熱発電所のトレーサーテストと地熱貯溜層お  
よび坑井仕上等の諸考察，地熱，vol. 15, No. 2, 1978.
105. 北海道地下資源調査所：20万部の1北海道地質図，1953.



**G - 3 地区北部地質図**

この頁は PDF 化されていません。  
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理  
担当箇所では原本冊子を参照して下さい。

☒ 3・2・3・(1)

☒ 3・2・3・(2)

☒ 3・2・3・(3)

☒ 3・2・4

**Z - 1 地 区 地 質 図**

この頁は PDF 化されていません。  
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理  
担当箇所を参照して下さい。

図 3・2-19-(1)

図 3・2-19-(2)

図 3・2-19-(3)

図 3・2-19-(4)

図 3・2-19-(5)

図 3・2-20-(1)

図 3・2-20-(2)