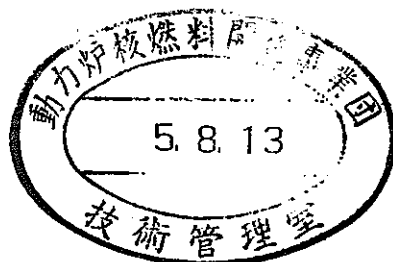


# 火山ガラス及びベントナイトの 長期変質挙動に関する調査研究 概要

(動力炉核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)



1993年2月

株式会社 ダイヤコンサルタント

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開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

火山ガラス及びベントナイトの長期変質挙動に関する調査研究

二口克人\*，桜本勇治\*\*

要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分に係わるナチュラル・アナログ研究の一環として、火山ガラス及びベントナイトの変質性状に関する調査を実施した。

火山ガラスについては、285年前に噴出した富士宝永スコリアガラス及び房総半島茂原ガス田に分布する鮮新世から前期更新世の地層に挟在するスコリアガラスを対象に変質に関与した地下水の水質について調査した。

スコリアの変質に関与した地下水の水質は、宝永スコリアではCa-HCO<sub>3</sub>型（溶存成分量0.40~0.80meq/l）であり、深度が増加するにしたがって、pH、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>及びSiO<sub>2</sub>濃度が増加する傾向が認められた。一方、房総半島茂原ガス田に分布する鮮新世から前期更新世の地層に挟在するスコリアの変質に関与する地下水は、化石海水起源であり、Na-Cl型で海水に極めて近い塑性を有している。

ベントナイトについては、新潟県村上市の粘土鉱床を対象として、粘土及び凝灰岩の物理・化学特性を分析・試験し、緩衝材に対する類似性を調査した。また、島根県大田市北部地域のベントナイト鉱床について現地調査及び分析を行った。

村上鉱床及びその周辺に認められる変質帯を、変質鉱物組合せとその分布、産状を考慮して、次のように分帯した。

- I. パイロフィライト帯（I帯）
- II. セリサイト帯（II帯）
- III. 高結晶度のモンモリロナイト帯（III帯）
- IV. セリサイト/モンモリロナイト混合層帯（IV帯）
- V. 低結晶度のモンモリロナイト帯（V帯）

このうちのIV帯からV帯は黒雲母流紋岩体の貫入による熱変質により、I帯からIII帯までは熱水の活動により生成されたと推定された。これらの地質現象は、後期中新世後期（約5.5~6.5 Ma.）に、次に示す順に進行したと考えられる。

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積
- ②黒雲母流紋岩体の貫入
- ③黒雲母流紋岩体の熱変質によるIV帯及びV帯の形成
- ④黒雲母流紋岩体に沿った熱水の上昇
- ⑤熱水によるI帯、II帯、III帯の形成

また、変質に関与した熱水は、変質鉱物及び変質岩の化学組成等から判断すると、酸性で200℃程度、Si、Al、Kに富む酸性火成活動末期のものであると推定される。

島根県大田市北部地域では、ベントナイトを胚胎する凝灰岩中に安山岩の岩脈が貫入している露頭を確認することができたが、岩脈付近にセリサイト化を認めることができなかった。

本報告書は、株式会社ダイヤコンサルタントが動力炉核燃料開発事業団の委託により実施した研究成果である。

契約番号：040D0144

事業団担当部課室および担当者：東海事業所環境技術開発部地層処分開発室（佐々木憲明）

\*：株式会社ダイヤコンサルタント 東京事業部

\*\*：株式会社ダイヤコンサルタント 技師長室

Katsuhito Futakuchi\* , Yuji Sakuramoto \*\*

### ABSTRACT

The alteration characteristics of volcanic glass and bentonite are investigated as a part of the natural analogue study of geological disposal of high-level radioactive waste.

For the study of volcanic glass, scoria glass samples are collected from Fuji volcano, which were ejected 285 years ago.

Additionally, groundwater samples are collected from the wells in Mobara gas field, which penetrated Miura Group (middle Miocene to middle Pliocene) and the Kazusa Group (middle Pliocene to middle Pleistocene).

Chemical analyses of pore water in the Fuji-Houei volcanic succession indicate that they contain calcium bicarbonate (dissolved component 0.40~0.80 meq/ℓ). Moreover, SiO<sub>2</sub> contents of the pore water increase with the burial depth of the samples in the Fuji-Houei volcanic succession.

Chemical and isotopic analysis of groundwater from the Mobara gas field indicate that the groundwater is typical connate marine water.

For the study of bentonite, fundamental properties of clay and tuff from Murakami clay deposit were analyzed. A preliminary study was done at Ooda bentonite deposit in Simane Prefecture.

The Murakami clay deposit can be divided into the following five zones, based upon the results of various analyses and dating. These zones, from the intrusive body outward, are;

- I. pyrophyllite zone (I zone),
- II. sericite zone (II zone),
- III. high-crystallinity montmorillonite zone (III zone),
- IV. sericite/montmorillonite mixed layer mineral zone (IV zone), and
- V. low-crystallinity montmorillonite zone (V zone).

These alteration zones can be grouped into two according to their origin. The group 1 (IV and V zones) is a product of thermal alteration and the group 2 (I, II, and III zones) is a product of later hydrothermal alteration.

The process of the alteration, which occurred in late Miocene, is assumed to be following order:

- ① the felsic volcanic activity and accumulation of acidic tuff
- ② intrusion of biotite-rhyolite into rhyolite and tuff
- ③ formation of IV and V zones by thermal alteration
- ④ ascending hydrothermal fluid along the boundary between biotite-rhyolite and tuff
- ⑤ formation of I, II, and III zones by hydrothermal alteration

Results of physical and chemical analysis of clay and tuff are used to compare with those of buffer materials.

At Ooda area, an andesite dyke intruded into Ooda clay deposit are observed. X-ray diffraction analysis shows that there is no evidence of sericitization in the clay deposit near the contact.

---

This work performed by Dia Consultants Co. Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison: Geological Isolation Technology section, Tokai Works (Noriaki Sasaki)

\* : Dia Consultants Department of Energy Projects

\*\* : Dia Consultants Technical Division

## 目次

### I. 火山ガラス編

1. 調査目的	1
2. 調査対象地域の地形・地質概要	1
2.1 富士	1
2.2 南房総鴨川及び茂原ガス田	1
3. 分析・試験	2
3.1 分析・試験の概要	2
3.2 結果	2
3.2.1 間隙水の水質分析	2
3.2.2 地下水の水質分析	2
4. 考察	10
4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質	10
4.1.1 富士	10
4.1.2 茂原ガス田	10
5. 問題点と今後の課題	10

### II. ベントナイト編

1. 調査目的	12
2. 調査地の概要	12
2.1 村上	12
2.2 島根県大田市北部	14
3. 室内分析	14
3.1 試料の概要	14
3.2 分析結果	14
4. 考察	20
4.1 年代	20
4.2 変質鉱物分帯と変質帯形成史	20
4.3 熱水の化学組成について	25
4.4 村上地域の粘土，凝灰岩の物理，化学特性について	25
5. 問題点と今後の課題	29

## I. 火山ガラス編

### 1. 調査目的

火山ガラスのナチュラル・アナログ研究としては、これまでに富士及び大島起源の約3000年前までのスコリアガラス、そして同じ大島や伊豆高塚山火山起源の更に古い数万年前のスコリアガラス、さらに南房総鴨川地域に露出する新第三紀～第四紀層中に含まれるスコリアガラスを対象として、風化変質状況やその変質環境についての調査研究を実施してきた。

本年度の調査では、富士の調査を継続して行うとともに、房総半島の茂原ガス田に分布する鮮新世～前期更新世の地層に挟在するスコリアガラスの変質に関与していると考えられる地下水について現地調査、室内分析を実施した。

### 2. 調査対象地域の地形・地質概要

#### 2.1 富士

調査対象地域は富士山麓の東端に位置し、北側は標高 1000mに達する丹沢山地に境され、西側は富士山体へと連続する標高 500～700mの東南東へ緩く傾斜した丘陵となっている。

調査対象地域の丘陵地帯には、富士火山起源の火山噴出物が広く分布しており、これら火山噴出物は下位から古期富士降下火砕層、富士黒土層、新期富士火砕層の3層に区分されている（町田，1964など）。

新期富士降下火砕層は古期富士降下火砕層と同様のスコリア層からなる。本層の最上部は宝永スコリア層と呼ばれ、1707年に噴出したものであり、須走口登山道一合目付近では厚さ6m以上の層厚を有している。宝永スコリア層は暗灰色を呈する0.5～2cmの新鮮なスコリアを主体とし、最下部に厚さ数cm前後の黄白色の軽石層を伴っている。

#### 2.2 南房総鴨川及び茂原ガス田

本地域は千葉県房総半島の南～南東部に位置している。陸のほとんどが300m程度までの丘陵山地からなり、本地域では北側の房総丘陵と南側の嶺岡山地があり、その間には加茂川に沿った加茂川低地がある。また、茂原の東～東北側には九十九里浜につながる低地がひろがっている。房総丘陵は、標高 100～300m程度の低い丘陵地で、丘陵面は開

析が進み、標高のわりには谷が急峻である。この房総丘陵上にほぼ東西に走る稜線が大きな分水嶺となっている。

房総半島は、嶺岡山地に隆起地塊として分布する古第三系の嶺岡層群を除くと、新第三系以降の厚い海成層によって広く被覆されている。嶺岡層群を挟んでその北側と南側とに新第三系が東西方向に帯状に分布している。

本地域の基盤の一部とみなされている嶺岡層群は、比較的深い海の堆積物から構成されている。また、これら嶺岡層群の分布する嶺岡山地には超塩基性岩類及び玄武岩類が分布している。嶺岡層群の外側には中新世前期の保田層群が分布している。そしてその上位層として三浦層群（下位から木ノ根層、天津層、清澄層、そして安野層）が分布している。三浦層群はさらに新しい上総層群によって不整合（黒滝不整合と呼ばれる）に覆われている。上総層群は房総半島の東側でより下位の地層が出現しており、平面的にも三浦層群に対してアバットの関係を呈している。上総層群は下位から、黒滝層、勝浦層、浪花層、大原層、黄和田層、大田代層、梅ヶ瀬層、国本層、柿ノ木台層、長南層、万田野層、笠森層と区別されている。

茂原ガス田付近の地質図を図-1に示し、茂原ガス田付近を通る地質断面図を図-2に示す。

### 3. 分析・試験

#### 3.1 分析・試験の概要

茂原ガス田の試料の分析項目及び分析方法を一覧表にして表-1～2に示す。また、茂原ガス田の採水対象孔井位置を図-3に示す。

採取した試料について、間隙水の水質分析、地下水の水質分析を実施した。

#### 3.2 結果

##### 3.2.1 間隙水の水質分析

富士宝永スコリアの間隙水の水質分析結果を表-3に、ヘキサダイアグラムを図-4に示す。

##### 3.2.2 地下水の水質分析

茂原ガス田の地下水の現地及び室内水質分析結果を表-4に、ヘキサダイアグラムを

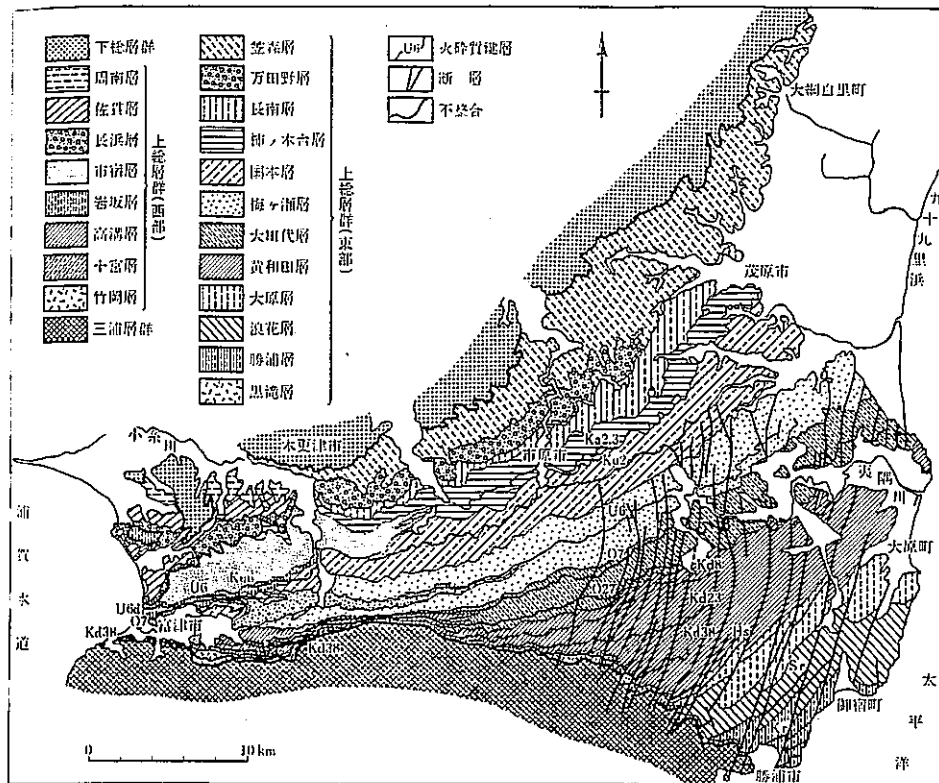


図-1 茂原ガス田付近の地質図 (日本の地質「関東地方」編集委員会, 1986)

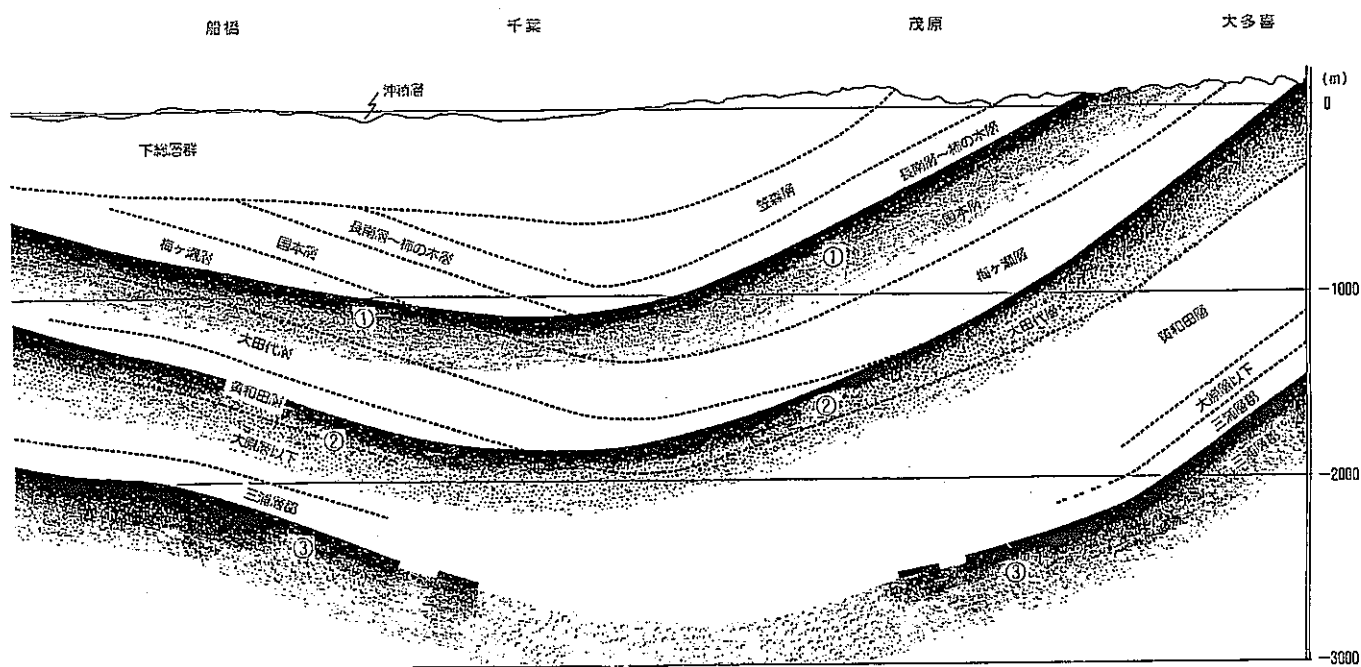


図-2 大多喜-船橋地質断面図 (星野ほか, 1992)

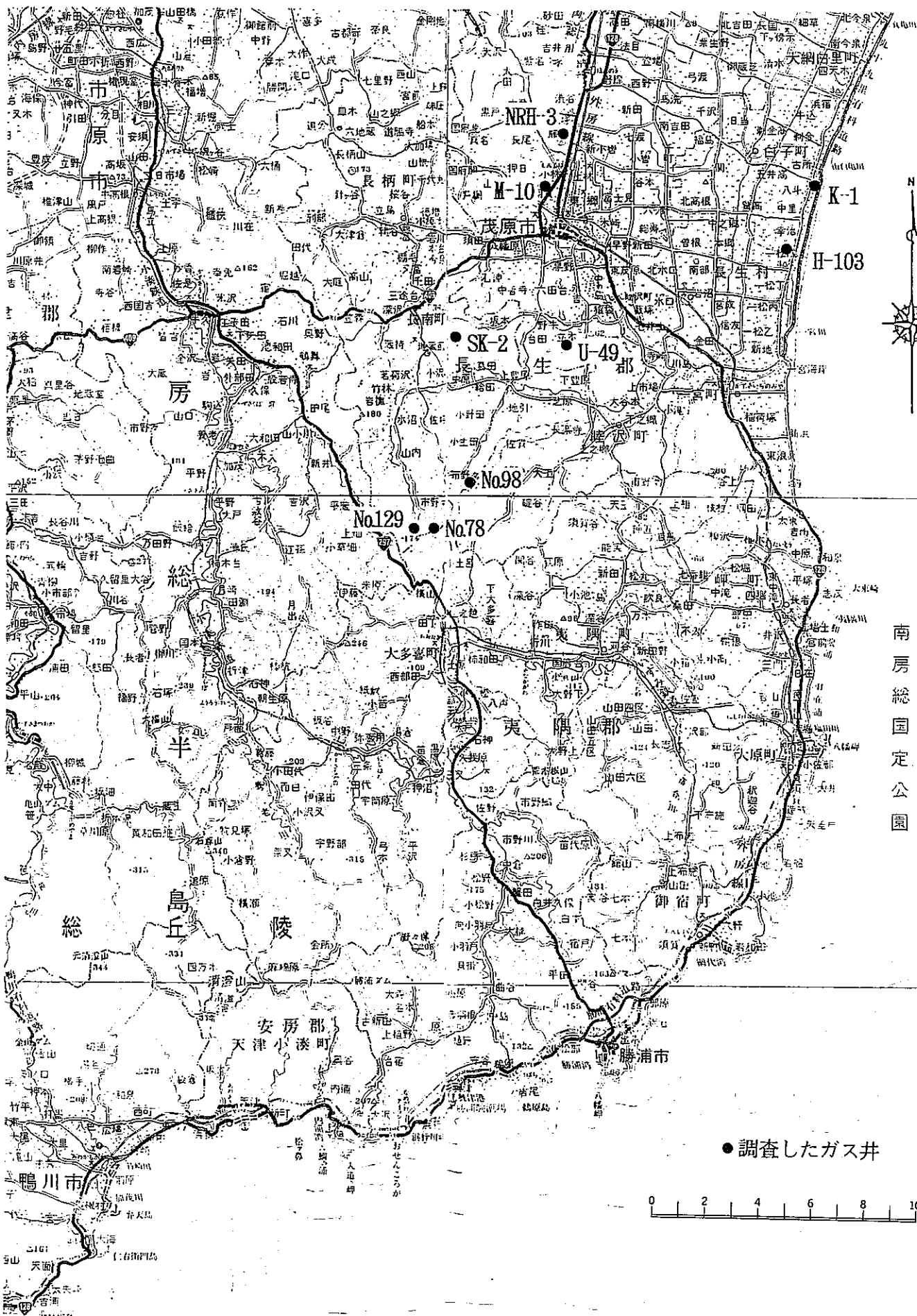


表-1 地下水の現地測定項目及び測定方法

測定項目	測定機器
気温	水銀棒温度計
水温	水銀棒温度計
電気伝導度	横河電気 SC82
pH	堀場製作所 D-14, ガラス電極
酸化還元電位 (ORP)	堀場製作所 D-14, 3.3mol KCl-AgCl 電極
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	滴定法 (JIS K 0101)

表-2 地下水の室内分析項目及び測定方法

分析成分	分析方法
Na <sup>+</sup>	フレイム光度法 (JIS K 0101)
K <sup>+</sup>	フレイム光度法 (JIS K 0101)
Mg <sup>2+</sup>	原子吸光法 (JIS K 0101)
Ca <sup>2+</sup>	原子吸光法 (JIS K 0101)
Fe	原子吸光法 (JIS K 0101)
Cl <sup>-</sup>	イオンクロマトグラフ法 (JIS K 0101)
Br <sup>-</sup>	滴定法 (JIS K 0101)
I <sup>-</sup>	滴定法 (JIS K 0101)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	イオンクロマトグラフ法 (JIS M 0202)
B	マンニット法による容量法 (鉱泉分析法指針)
SiO <sub>2</sub>	モリブデン黄法 (JIS K 0101)
S <sup>2-</sup>	メチレンブルー吸光光度法 (JIS K 0101)
δD	質量分析法 (亜鉛還元法)
δ <sup>18</sup> O	質量分析法 (H <sub>2</sub> O-CO <sub>2</sub> 平衡法)
TOC	燃焼-赤外線分析法 (JIS K 0102)
フミン酸	吸光光度法
フルボ酸	吸光光度法



● 調査したガス井

図-3 茂原ガス田採水対象孔井位置図

表-3 宝永スコリアの間隙水の水質分析結果

試料番号	HSII-1		HSII-2		HSII-3		HSII-4		HSII-2		HSII-3		HSII-4	
採取深度 (m)	-1.9		-2.5		-3.8		-6.0		-2.5		-3.8		-6.0	
試料の種類	減圧法による間隙水													
採取日	1992, 5, 8								1992, 8, 7					
pH	7.9		7.4		7.3		7.4		6.8		7.2		7.7	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Na <sup>+</sup>	1.97	0.09	1.17	0.05	1.05	0.05	2.03	0.09	2.56	0.11	3.94	0.17	4.37	0.19
K <sup>+</sup>	0.45	0.01	0.48	0.01	0.71	0.02	0.73	0.02	0.78	0.02	1.11	0.03	1.16	0.03
Ca <sup>2+</sup>	5.58	0.28	4.60	0.23	3.94	0.20	3.66	0.18	4.53	0.23	5.79	0.29	8.25	0.41
Mg <sup>2+</sup>	1.50	0.12	1.42	0.12	1.37	0.11	1.22	0.10	1.34	0.11	2.00	0.16	1.35	0.11
Fe <sup>2+</sup>	0.65	0.02	0.90	0.03	0.67	0.02	0.96	0.03	3.37	0.12	3.34	0.11	1.65	0.06
陽イオン合計		0.52		0.44		0.40		0.42		0.59		0.76		0.80
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0.43		0.28		0.25		0.33		0.20		0.33		0.55
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.8	0.06	3.2	0.07	3.4	0.07	2.1	0.04	4.84	0.10	4.59	0.10	2.33	0.05
Cl <sup>-</sup>	2.5	0.07	1.5	0.04	2.5	0.07	2.3	0.06	3.01	0.08	2.68	0.08	2.34	0.07
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.8	0.05	4.5	0.07	3.2	0.05	3.3	0.05	10.7	0.17	15.3	0.25	2.35	0.04
陰イオン合計		0.61		0.46		0.44		0.48		0.55		0.76		0.72
SiO <sub>2</sub>	33.9		33.3		36.0		33.2		41.1		46.6		39.6	

山麓（御殿場市付近）

山腹（須走口登山道一合目）

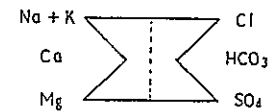
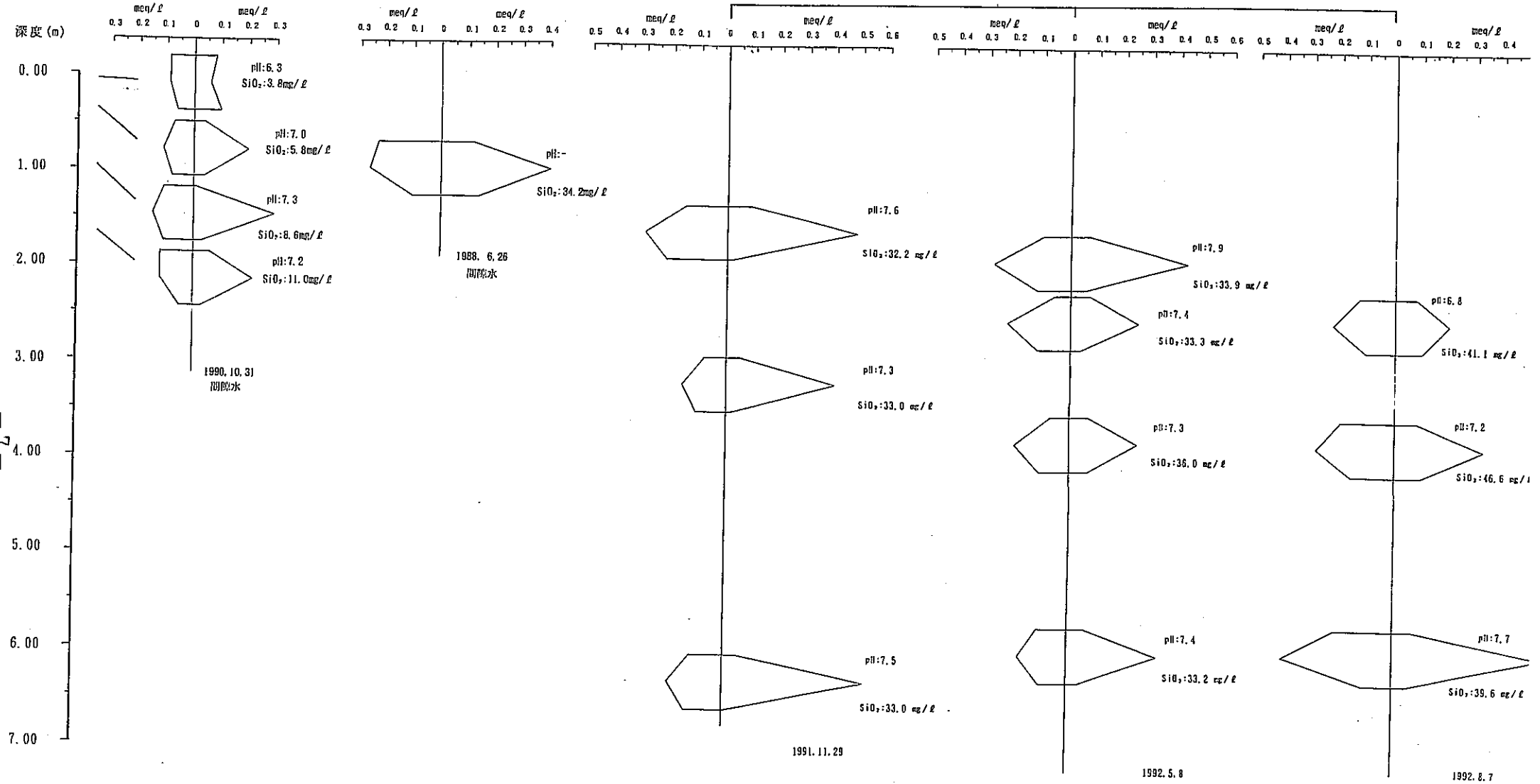


図-4 宝永スコリア層の間隙水のヘキサダイアグラム

表-4 茂原ガス田の地下水の水質分析結果

試料番号	No.78		No.98		No.129		SK-2		H-103		U-49		NRH-3		M-10	
稼行団体	合同資源産業㈱						関東天然瓦斯開発㈱						日本天然瓦斯興業㈱			
採取日	1992.7.7						1992.7.8						1992.7.9			
採水深度 (GL- m)	960~1202		895~1301		1030~1302		717~1140		489~1335		700~1501		1058~1801		517~949	
気温 (°C)	20.5		21.1		23.5		24.4		24.1		26.4		28.3		26.7	
水温 (°C)	27.8		28.6		25.5		24.0		29.3		31.3		34.5		24.9	
電気伝導度 (mS/cm25°C)	47.7		42.9		47.9		36.4		45.5		49.7		45.9		46.6	
pH	7.86		7.79		7.65		7.94		7.50		7.81		7.54		7.74	
ORP (mV) *	-256		-240		-232		-279		-285		-271		-263		-258	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Na <sup>+</sup>	10700	465	10400	452	9870	429	7410	322	10200	443	10600	461	9460	411	9390	408
K <sup>+</sup>	3020	77.2	2960	75.7	2960	75.7	2120	54.2	3030	77.5	3140	80.3	3080	78.8	2760	70.6
Ca <sup>2+</sup>	229	11.4	219	10.9	221	11.0	145	7.24	236	11.8	231	11.5	210	10.5	174	8.68
Mg <sup>2+</sup>	315	25.9	339	27.9	312	25.7	223	18.4	351	28.9	358	29.5	316	26.0	362	29.8
Fe <sup>2+</sup>	0.98	0.04	2.25	0.08	1.84	0.07	0.86	0.03	2.02	0.07	0.91	0.03	1.52	0.05	1.89	0.07
Fe <sup>3+</sup>	0.45	0.02	0.41	0.02	0.65	0.03	0.36	0.02	0.40	0.02	0.47	0.03	0.45	0.02	0.36	0.02
陽イオン合計	-	579.56	-	566.60	-	541.50	-	401.89	-	561.29	-	582.36	-	526.37	-	517.17
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	903	14.8	995	16.3	934	15.3	970	15.9	928	15.2	1129	18.5	1007	16.5	897	14.7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	22.3	0.46	17.7	0.37	20.2	0.42	20.6	0.43	23.0	0.48	24.7	0.51	28.4	0.59	19.8	0.41
Cl <sup>-</sup>	18800	530	19300	544	18400	519	13500	381	19000	536	19500	550	17600	496	17300	488
I <sup>-</sup>	131	1.03	128	1.01	136	1.07	83.7	0.66	100	0.79	120	0.95	109	0.86	111	0.87
Br <sup>-</sup>	136	1.70	134	1.68	129	1.61	95.8	1.20	128	1.60	128	1.60	119	1.49	122	1.53
HBO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	68.6	2.30	71.9	2.41	63.0	2.11	50.9	1.70	65.8	2.20	74.7	2.50	53.6	1.80	53.6	1.80
S <sup>2-</sup>	<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2		<0.2	
陰イオン合計	-	550.29	-	565.16	-	539.51	-	400.89	-	556.26	-	574.06	-	517.24	-	507.31
SiO <sub>2</sub>	70	-	73	-	64	-	64	-	68	-	74	-	81	-	61	-
δD (‰)	-0.4		1.9		6.7		-0.8		-0.1		1.2		-1.5		-3.2	
δ <sup>18</sup> O (‰)	-1.93		-1.90		-1.94		-2.61		-1.94		-1.61		-2.26		-2.53	
TOC	82	-	67	-	63	-	100	-	58	-	71	-	68	-	69	-
フミン酸	104	-	123	-	76	-	74	-	37	-	66	-	102	-	47	-
フルボ酸	75	-	74	-	71	-	178	-	57	-	70	-	80	-	66	-

\* ORP の値は現場での実測値を記入した。

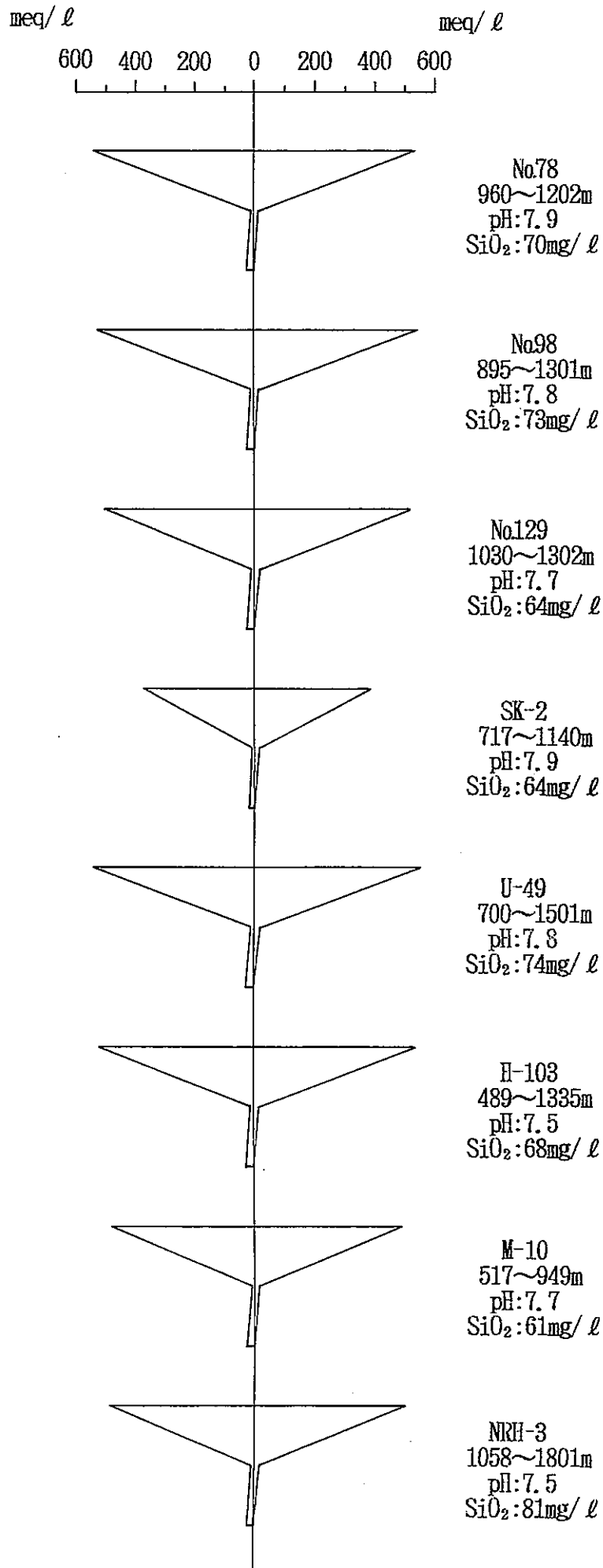


図-5 茂原ガス田の地下水のヘキサダイアグラムグラム

図-5に示す。

#### 4. 考察

##### 4.1 スコリアの変質に関与した地下水の水質

###### 4.1.1 富士

水質分析の結果(図-4参照)を見ると、地表付近(0.06m)ではCa-Cl・SO<sub>4</sub>型であるが、それ以深ではCa-HCO<sub>3</sub>型の水質を示す。また、深度が深くなるにつれて溶存分量及びSiO<sub>2</sub>濃度が大きくなりpHも高くなる傾向が認められる。

この間隙水の分析結果をもとに、H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>モル濃度とCa<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup>モル濃度比の関係及びTardy(1971)による岩石と地下水の反応における長石の変質相の領域を示したものを図-6に示す。これによれば、今年度の山腹試料の間隙水はモンモリロナイトと平衡である範囲にプロットされる。

###### 4.1.2 茂原ガス田

現地及び室内で実施した水質分析結果は、本地域から採取したいずれの地下水も海水とほぼ同様の水質であることを示しており、典型的な化石海水であることを示していると判断される。

#### 5. 問題点と今後の課題

今年度調査対象とした宝永スコリア層の露頭は、気象データの得られる御殿場測候所よりも標高で約900m高い。したがって、調査対象露頭付近の気象データとして外挿するには問題があると考えられる。

茂原ガス田については、水質分析結果に基づく考察から化石海水起源であることが判明した。したがって、このような地下水を賦存する地層中のスコリアガラスは、スコリア堆積後現在に至るまでほぼ海水と同じ組成を有する地下水の中に置かれてきたことになる。このことは、このような地層中のスコリアガラスの変質状況を調査することによって、海水、あるいはそれに近い高い塩分濃度の環境水における長期変質挙動の解明に対する極めて重要なナチュラル・アナログ研究のフィールドになることを示唆している。本地域のボーリング・コアにスコリア等を見いだし、分析することが望まれる。

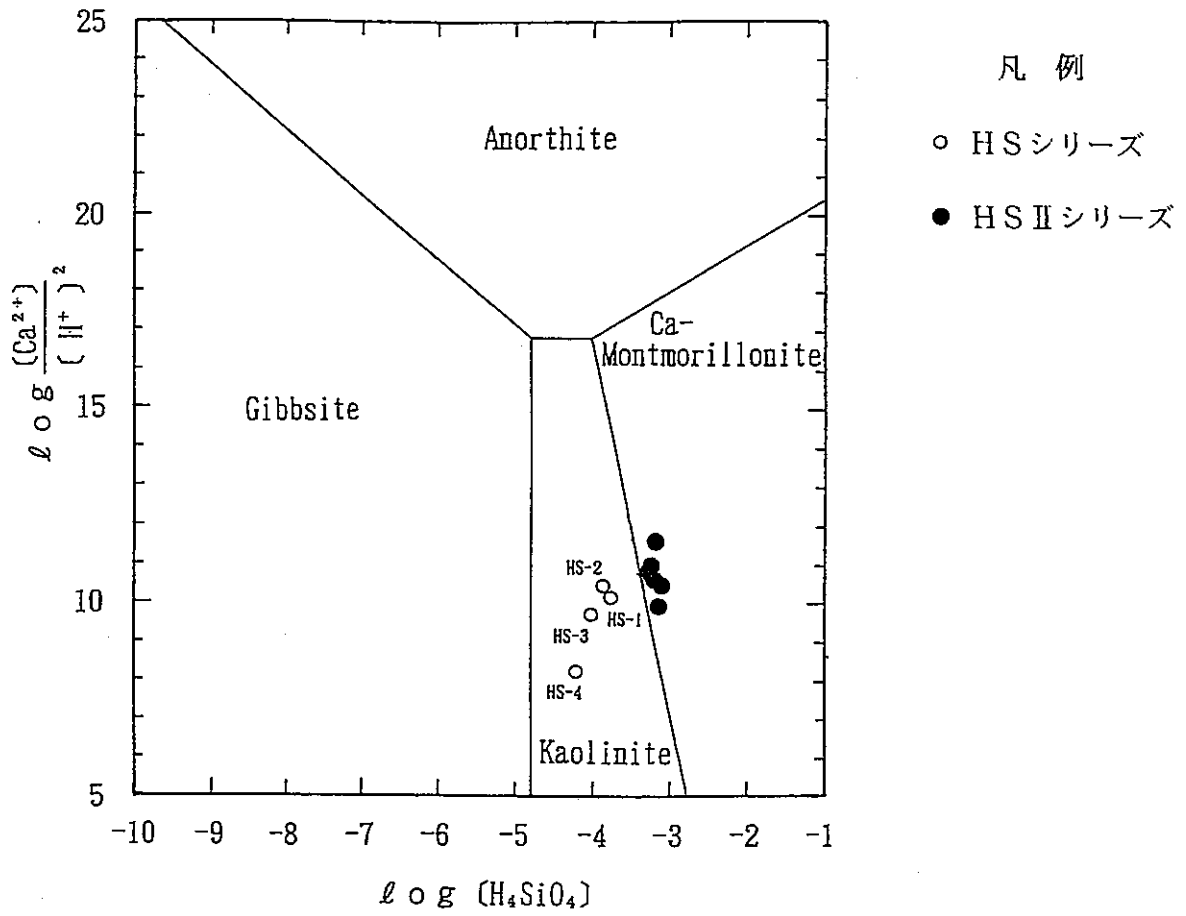


図-6 スコリア間隙水の  $[H_4SiO_4]$  と  $[Ca^{2+}] / [H^+]^2$  の関係図

Tardy (1971) のFig. 3より引用した。



## II. ベントナイト編

### 1. 調査目的

本調査では、新潟県の村上にあるセリサイト鉱床を対象として前年度までに実施されてきたベントナイトのナチュラル・アナログ研究を引継ぎ、本地域の年度、凝灰岩の緩衝材に対する類似性を検討することを目的として、試料の採取、室内分析・試験を行った。

さらに、調査対象としての適性を検討してきた山形県鶴岡市付近及び島根県出雲市から大田市に分布する酸性白土鉱床あるいはベントナイト鉱床のうち、島根県大田市北部地域について現地調査と試料採取を行い、室内分析を実施してベントナイトのナチュラル・アナログ研究候補地としての検討を行った。

### 2. 調査地の概要

#### 2.1 村上

調査対象地域は朝日山地の東縁部に位置し、標高 100~600mの深く開析された山地となっている。調査対象地域のほぼ中央には大須戸川が山地を東西に分断して南流しておりそれにそって比較的広い沖積平野が形成されている。

村上地域の層序と地質概要を表-5に、地質図を図-7に示す。

表-5 村上地域の地質層序表

区分	地層名		層相と特徴	層厚 (m)
第四紀	沖積層		礫層と砂層からなる。河床から比高い 3~4m の沖積段丘を形成している。	2~4
新 第 三 紀 新 世	朝 日 層	長坂峠流紋岩部層 黒雲母流紋岩層	灰白色黒雲母流紋岩からなる。風化すると流理構造が明瞭になる。	50~100+
		凝灰岩層	細粒ガラス質凝灰岩、火山礫凝灰岩。上部層準が粘土化している。	20~70
		白色流紋岩層	白色流紋岩。部分的に角礫状を呈する。	100+
		葡萄泥岩部層	黒色~暗オリーブ灰色の塊状泥岩からなる。海生の貝化石を産する。	約100
		天井山層	安山岩、安山岩質火山礫凝灰岩。	?
		葡萄層	軽石凝灰岩。軽微に溶結している。	?
先新第三紀	花崗岩類		中~粗粒花崗岩。アプライト脈を頻繁に挟む。	

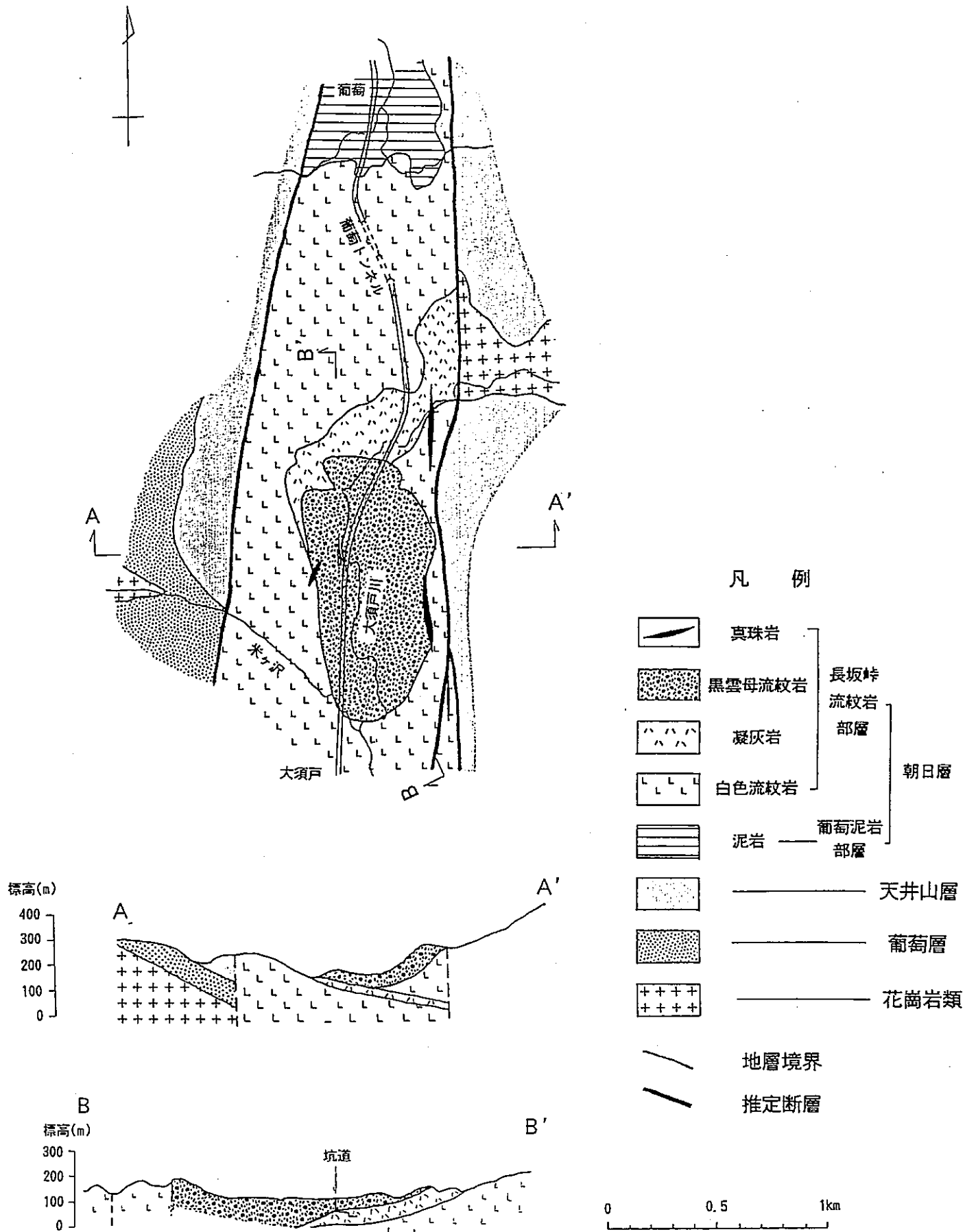


図-7 村上地域地質図及び地質断面図

調査対象地域及びその周辺には先新第三紀の花崗岩類を基盤とし、新第三紀の火山岩類、火山砕屑岩及び堆積岩が分布している。新第三紀の火山岩類及び堆積岩類は下位から、葡萄層、天井山層、朝日層の3層に区分されている。これらの地層のうち、調査対象地域には主として朝日層が分布している。

朝日層は、当地域では葡萄泥岩部層及び長坂峠流紋岩部層と称されており、長坂峠流紋岩部層は下位から白色流紋岩層、凝灰岩層、黒雲母流紋岩層の3層に細区分されている。また、長坂峠流紋岩部層中には黒色でガラス光沢のある真珠岩の小岩体が貫入している。

葡萄泥岩部層及び長坂峠流紋岩部層は南北に延びる地溝状に分布している。また、葡萄泥岩部層は東～南東に40～50°傾斜し、長坂峠流紋岩部層中の白色流紋岩層及び凝灰岩層は北西部で南東に20～40°傾斜し、南東部で水平ないし北東に緩く傾斜しており、全体としては南東～東に傾斜した構造を成している。

凝灰岩層の黒雲母流紋岩との接触部付近は厚さ20～30mの粘土化帯となっている。粘土化帯は青灰色～灰白色の非常に均質な粘土からなるが、一部に粗粒の軽石質凝灰岩様を呈する部分や原岩の堆積構造を残している部分が認められる。セリサイト鉱床は、この粘土化帯に胚胎している。

## 2.2 島根県大田市北部

調査対象地域の位置を図-8に示す。本地域にはベントナイト鉱床が認められている(図-9参照)。この鉱床は、新第三系堆積岩類中の凝灰岩が熱水変質を受けて生じたとされている。特に大田市北部の鉱床においては、モンモリロナイト生成後に貫入したと考えられている安山岩の岩脈が貫入している。

## 3. 室内分析

### 3.1 試料の概要

村上地域の試料採取位置を図-10～11に示し、それぞれの試料について実施した分析・試験の内訳を表-6に示す。また、島根県大田市北部地域でのX線回折分析用の試料採取位置を図-12に示す。

### 3.2 分析結果

村上地域の試料を用いた分析・試験結果によって得られた粘土及び凝灰岩の物理・化

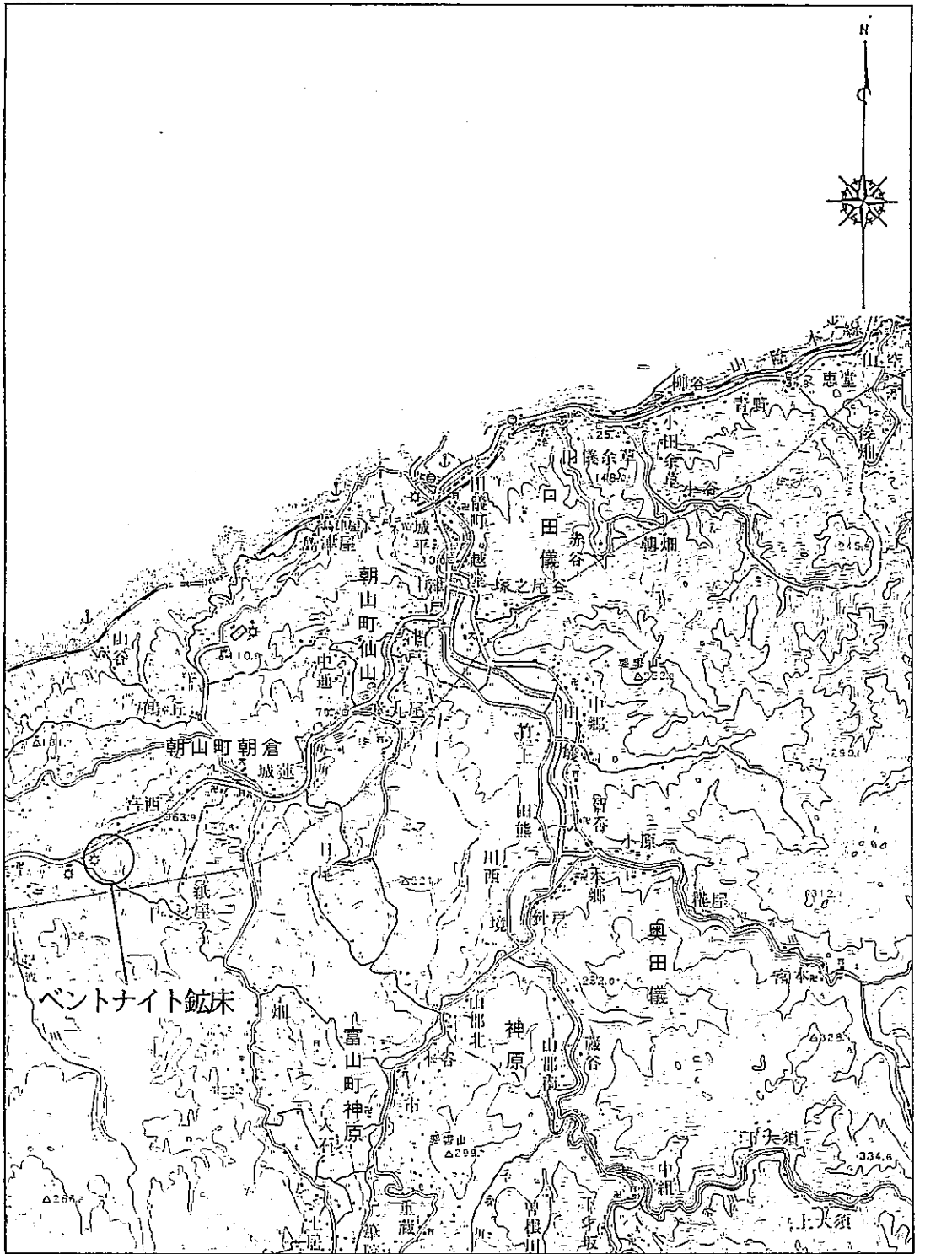
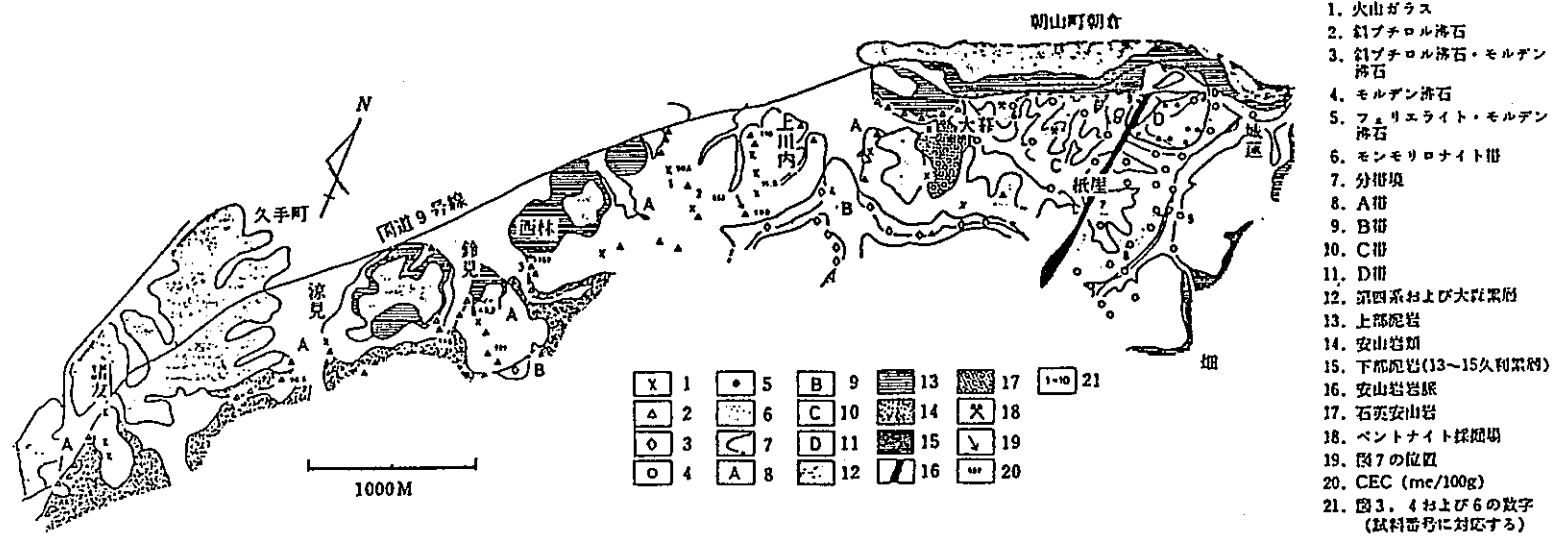


図-8 大田市北部調査位置



1. 火山ガラス
2. 斜方輝石
3. 斜方輝石・モルデン輝石
4. モルデン輝石
5. フェリエライト・モルデン輝石
6. モンモロナイト帯
7. 分母塊
8. A帯
9. B帯
10. C帯
11. D帯
12. 第四系および大粒黒岩
13. 上部泥岩
14. 安山岩類
15. 下部泥岩(13~15大粒黒岩)
16. 安山岩岩脈
17. 石英安山岩
18. ペントナイト採掘場
19. 図7の位置
20. CEC (mc/100g)
21. 図3. 4および6の数字 (試料番号に対応する)

図-9 沸石による変質分帯 (大田市北部)

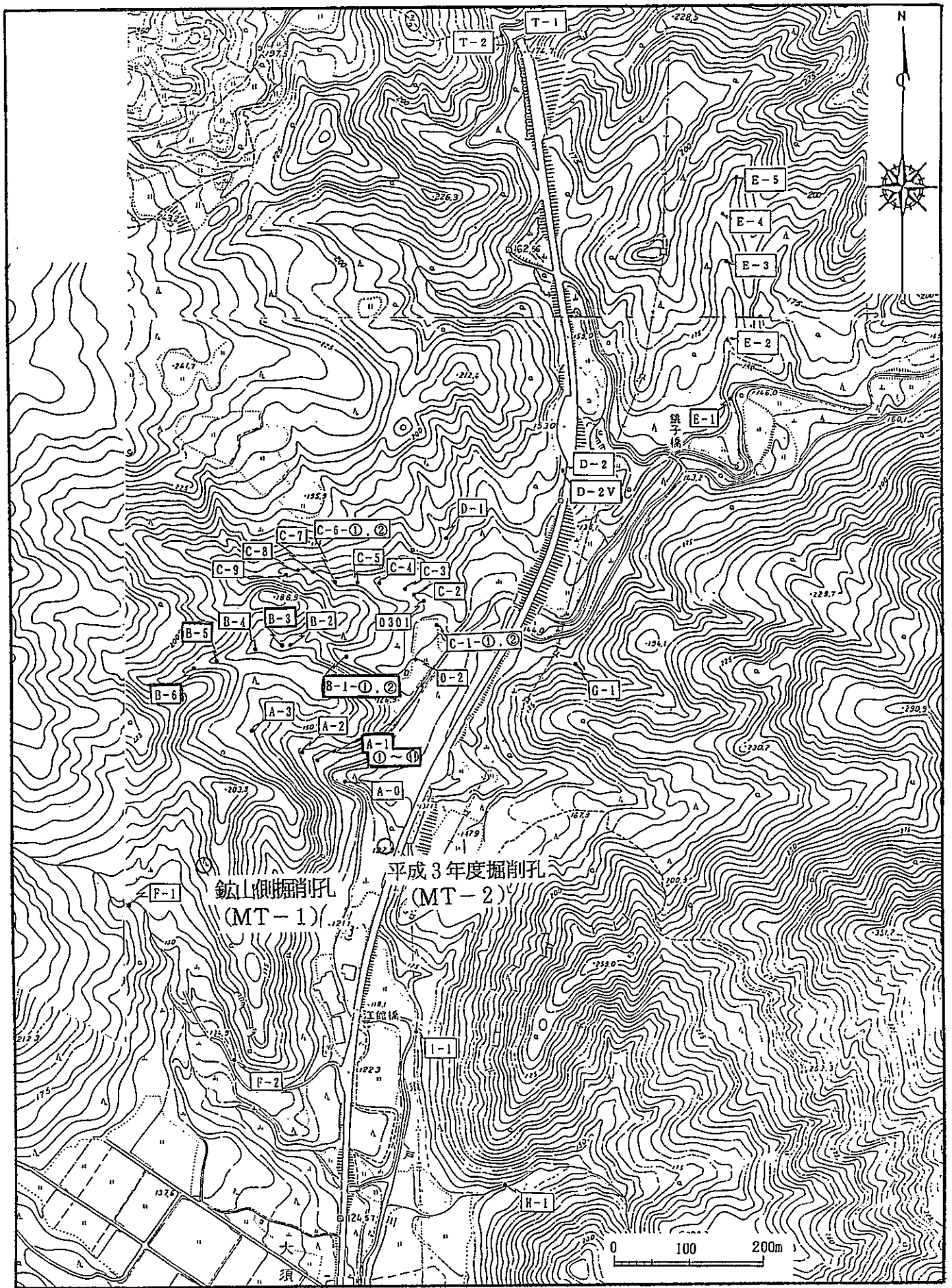


図-10 ボーリング位置および地表試料採取位置図

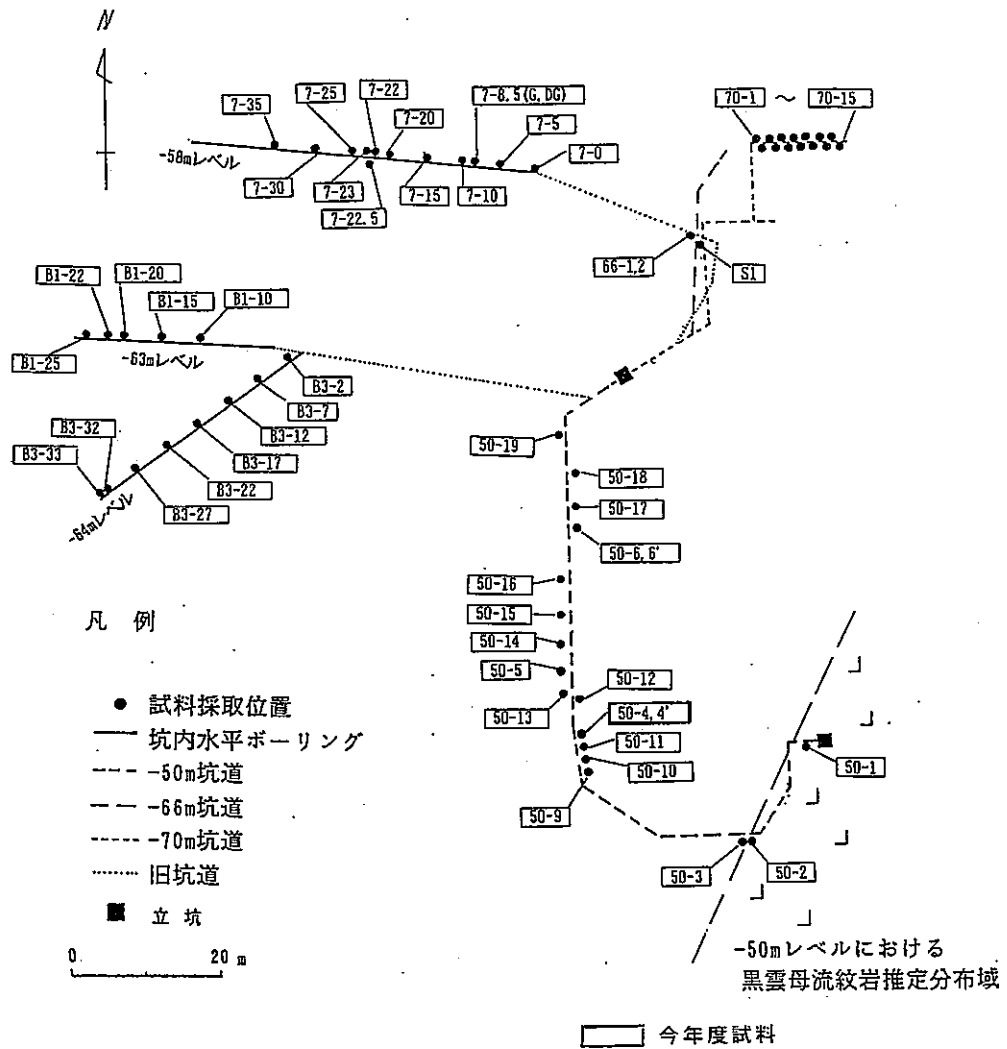


図-11 坑内試料採取位置図

表-6 物理及び化学特性試験の分析・測定内容

項目	試料	50-4-2	A1-1	B1-2	B3	B5	B6
化学成分		○	○	○	○	○	○
C	E	●	●	●	●	●	●
M	B	●	●	●	●	●	●
炭質物および硫酸塩含有率	C	●	●	●	●	●	●
交換性陽イオン組成		●	●	●	●	●	●
コンシステンシー		×	●	●	×	×	×
最大乾燥密度・最適含水比		×	●	●	×	×	×
膨潤度		●	●	●	●	●	●
熱伝導率		●	×	×	●	●	●

○：前年度までに分析済，●：今回分析・測定，×：測定が不可能なもの

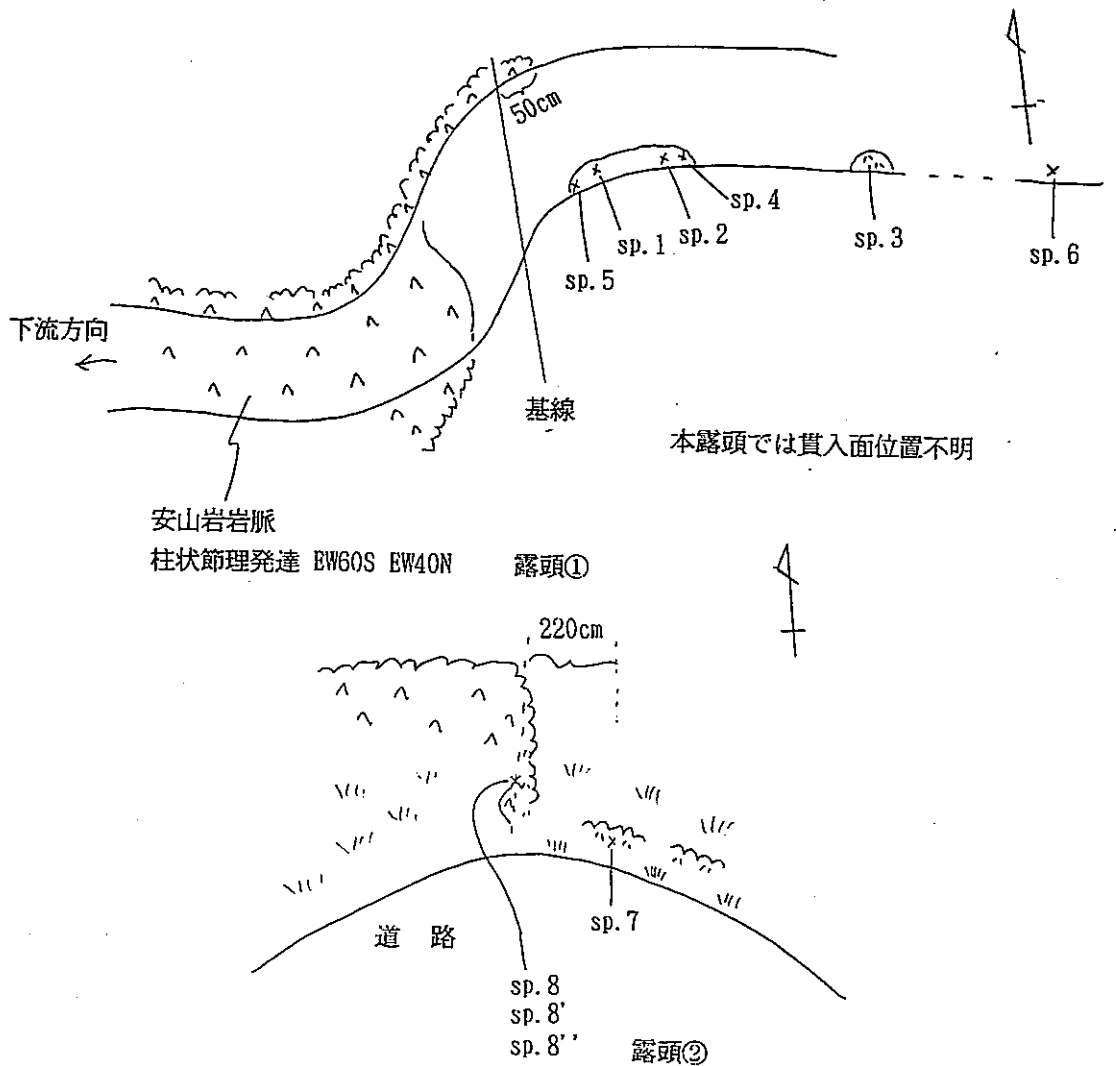
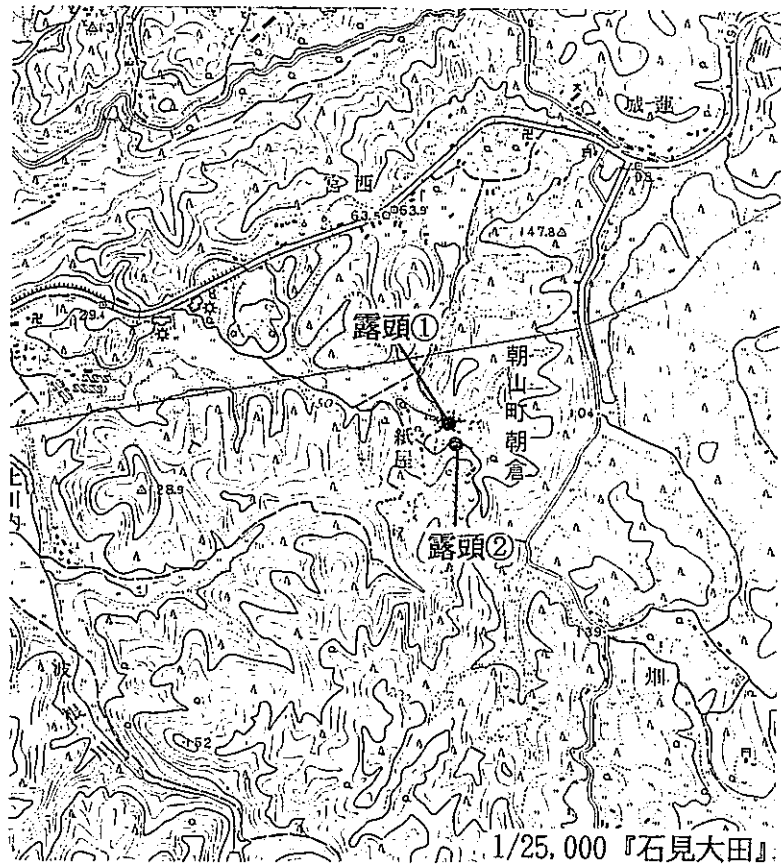


図-12 大田市北部地域の試料採取位置



学特性を表-7に示す。また、島根県大田市北部地域から採取した試料のX線回折分析結果を、貫入岩からの距離で整理して表-8に示す。表-8で明らかなように、本地域の貫入岩付近においては、主としてモンモリロナイトが認められ、 $\alpha$ -リンケイ石や $\alpha$ -クリストバル石が生成されているものの、より高温下で生成すると考えられるセリサイト/モンモリロナイト混合層鉱物やセリサイトは認められない。

#### 4. 考察

村上地域について、前年度までに得られた結果に、今年度の結果を加味して、以下に年代、変質鉱物分帯と変質帯形成史、熱水の化学組成そして物理、化学特性について考察する。

##### 4.1 年代

今年度のジルコンを用いたフィッション・トラック年代測定結果では、白色流紋岩及び凝灰岩試料の年代値が、6.5~6.8Ma.と比較的狭い範囲に集中しており、昨年度までの測定結果と整合している。さらに、微化石分析の結果では、泥岩試料中には珪藻化石が抽出・同定され、この珪藻化石群の示す化石帯がNPD7B帯であり、後期中新世後期~前期鮮新世(6.2~3.2Ma.)に相当していることから、本研究で実施した各種放射年代測定結果と同程度の年代を示している。

以上の年代測定結果及び微化石分析結果から推定される白色流紋岩及び凝灰岩の年代は、村松(1987)により報告された14.1Ma.である可能性は低い。したがって、今年度及び昨年度までの調査結果から推定される調査地の地史は、昨年度の考察を支持するといえる。すなわち、

- ①白色流紋岩の活動とこれに伴う凝灰岩の堆積
- ②黒雲母流紋岩の貫入
- ③粘土帯の形成

の順に地質現象が進行し、これら①~③の事象は、約650万年前から550万年前までの短期間に相前後して生じたものと考えられる。

##### 4.2 変質鉱物分帯と変質帯形成史

当地域の地表と坑内の各変質分帯を南から北、すなわち黒雲母流紋岩の岩体の中心か

表-7 村上地域の粘土、凝灰岩試料の物理及び化学特性

項目		試料					
		50-4-2	A1-1	B1-2	B3	B5	B6
CEC (meq/100g)		26.7	48.8	21.3	20.0	65.0	55.0
置換性塩類	Ca (meq/100g)	2.82	8.08	5.64	1.17	8.13	2.51
	Mg (meq/100g)	3.59	10.12	4.52	0.75	2.80	1.43
	Na (meq/100g)	1.10	0.11	0.19	3.23	13.19	7.22
	K (meq/100g)	17.90	0.64	0.59	2.70	0.37	21.56
MBC (mmol/100g)		8	8	2	6	4	2
炭質物 (%)		<0.1	2.1	2.2	1.6	1.0	1.0
硫酸塩 (mg/l)		16	577	102	176	333	361
液性限界 (%)		—	83.4	81.4	—	—	—
塑性限界 (%)		—	22.8	20.3	—	—	—
塑性指数		—	60.6	61.1	—	—	—
最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )		—	—	2.53	—	—	—
最適含水比 (%)		—	—	9.2	—	—	—
膨潤度 (ml/2g)	蒸留水	5.0	5.0	4.0	3.0	5.0	4.0
	0.03% NaCl	6.0	4.0	4.0	2.0	3.0	4.0
	3% NaCl	6.0	4.0	4.0	3.0	5.0	4.0
熱伝導率 ( $\times 10^{-3}$ cal/cm $\cdot$ s $\cdot$ °C)		3.581 $\pm$ .114	—	—	1.361 $\pm$ .072	1.900 $\pm$ .011	2.347 $\pm$ .125

表-8 変質鉱物と貫入面からの距離との関係

試料No.および 貫入面からの距離			鉱物名										
			緑 泥 石	イ ラ イ ト	モ ン モ リ ロ ナ イ ト	石 英	α ー リ ン ケ イ 石	α ー ク リ ス ト バ ル 石	チ タ ン 鉄 鉱	黄 鉄 鉱	カ リ 長 石	斜 長 石	
試 料 No.	SP-3	貫 入 面 か ら の 距 離 (cm)	680				○					○	○
	SP-4		355	・	・	・	◎					・	・
	SP-5		195	・	・	○	◎		・	・			・
	SP-6		1500	・		○	○						・
	SP-7		220			○			○			・	・
	SP-8		≒0			・	・	○			・		○
	SP-8'		≒0			○		○					○
	SP-8''		≒0			・			○		・		◎

相対含有量：◎多量，○中量，○少量，・微量，？不確定  
注) 平面的な位置関係は図を参照のこと。

ら周辺部の順にならべると、次の様になる。

- I. パイロフィライト帯
- ↓
- II. セリサイト帯
- ↓
- III. 高結晶度のモンモリロナイト帯
- ↓
- IV. セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯
- ↓
- V. 低結晶度のモンモリロナイト帯

上記の変質分帯を変質程度から判断すると、I帯からV帯までの分帯が一連の変質作用により形成されたとは考えにくく、I～III帯を形成した変質作用とIV～V帯を形成した変質作用とは区別されるべきものと考えられる。

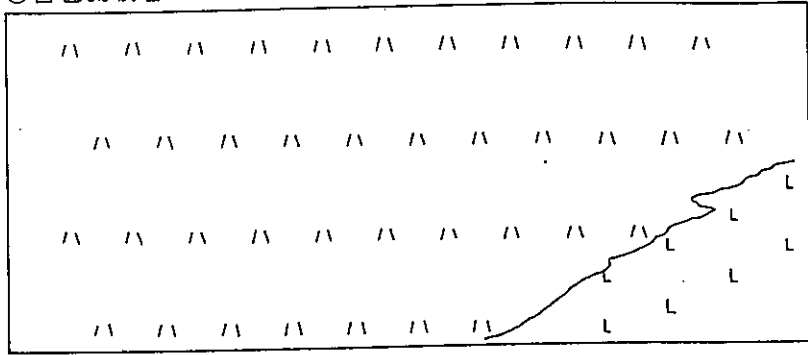
I～III帯は熱水変質作用により形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩に沿って酸性で高温の熱水が上昇してパイロフィライトが生成し、相対的に温度の低いところではセリサイトが生成した。さらに、この熱水が変質母岩中を浸透していく間に、その温度が低下するとともにpHもアルカリ性となり、高結晶度のモンモリロナイトを生成したと考えられる。このことは、前年度鉱山側で実施したボーリング内の変質鉱物分布からも裏付けられる。

一方、IV～V帯は、変質帯が黒雲母流紋岩を取り囲んで分布していることから、黒雲母流紋岩の熱による変質作用によって形成されたと考えられる。すなわち、黒雲母流紋岩に近く温度が高いところでは、少量のセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物が生成し、さらに岩体から離れた温度が低いところでは、少量の低結晶度のモンモリロナイトが生成した。

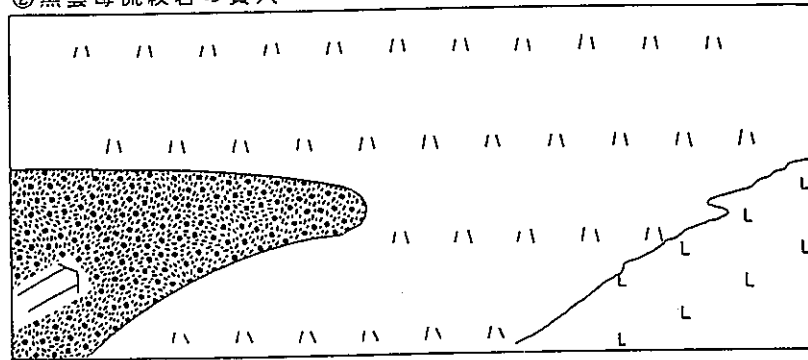
以上のことと層序、年代測定結果を総合すると変質帯の形成史は次のようにまとめることができる（図-13参照）。

- ①白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積
- ②黒雲母流紋岩の貫入
- ③黒雲母流紋岩の熱により、セリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物帯と低結晶度のモンモリロナイト帯の形成
- ④黒雲母流紋岩に沿った熱水の侵入
- ⑤熱水によるパイロフィライト帯、セリサイト帯、高結晶度のモンモリロナイト帯の形成

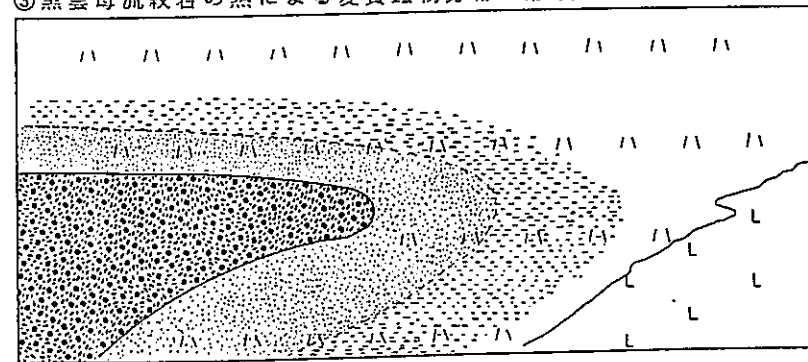
① 白色流紋岩の活動とそれに伴う凝灰岩の堆積



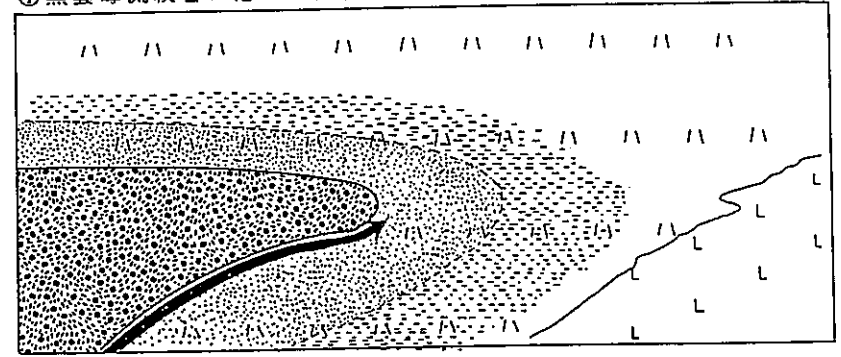
② 黒雲母流紋岩の貫入



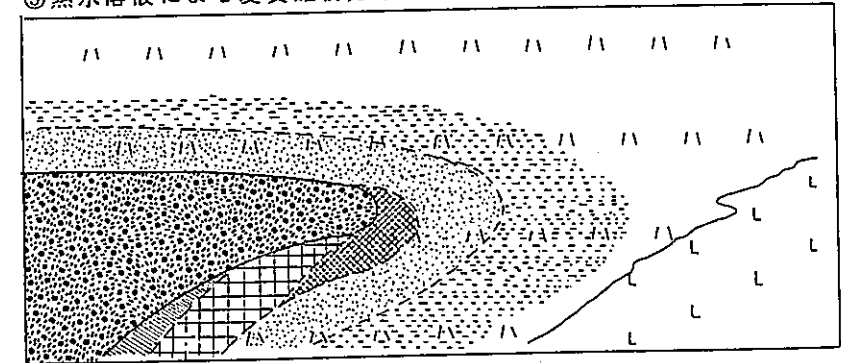
③ 黒雲母流紋岩の熱による変質鉱物分帯の形成



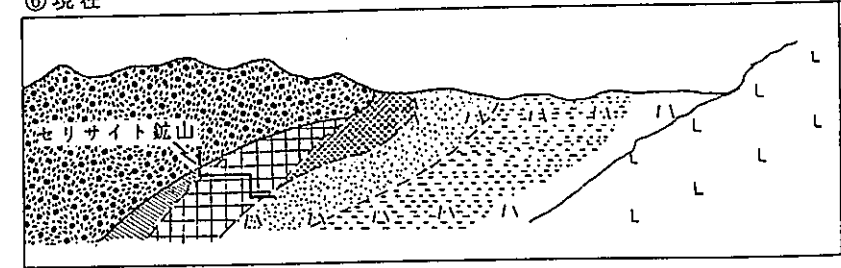
④ 黒雲母流紋岩に沿って酸性の熱水溶液が侵入



⑤ 熱水溶液による変質鉱物分帯の形成



⑥ 現在



- |  |              |  |                 |
|--|--------------|--|-----------------|
|  | 白色流紋岩        |  | モンロイト/セリサイト混合層帯 |
|  | 凝灰岩          |  | モンロイト帯【高結晶度】    |
|  | 黒雲母流紋岩       |  | セリサイト帯          |
|  | モンロイト帯【低結晶度】 |  | ネフェライト帯         |

(注) 縮尺は考慮されていない。

図-13 変質帯形成モデル

#### 4.3 熱水の化学組成について

凝灰岩から生成した各変質岩中の化学分析結果のうち、含水比測定を実施した試料について、個々の値を総計 100%に換算しなおし、さらに、個々の値を一定体積あたりの重量 (g/100cm<sup>3</sup>) に換算し、最後に、この重量を酸化物から元素に換算した値と試料の関係を図-14に示す。

50-4-②からA-1-⑩までを熱水変質の領域、B-1-①から B-6までを熱変質の領域としてみると、

- ・熱水変質の領域では、黒雲母流紋岩に近い方がSi, Alに富む
- ・熱変質の領域では、黒雲母流紋岩から遠いほうがSi, Alに富む
- ・Mg, Ca, Naの量には顕著な変化を認められない

これらのことから、熱水はSi, Al に富み、火成活動末期のものであって海水的なものではないと考えられる。また、全試料を通じてMgの量に顕著な変化が認められないことから、Mgを基本構成要素とするフェリエライトのMgの起源は、熱水から付加されたものとは考えにくく、本来岩石中に含まれていたMgを取り込んだものと考えられる。

以上のことを総合すると、調査地域に侵入した熱水は、高温、酸性で、Si, Alに富む酸性火成活動末期のものであるとまとめることができる。

#### 4.4 村上地域の粘土、凝灰岩試料の物理・化学特性について

今回測定を実施した項目のうち、全6試料について測定したCEC、置換性塩類、MBC、炭質物、硫酸塩そして膨潤度について、それぞれの結果を図-15~20に示す。陽イオン交換能に関する項目(図-15~17参照)についてみると、必ずしも粘土鉱物含有量の多いセリサイト帯及び高結晶度のモンモリロナイト帯試料の陽イオン交換能が高いとは限らず、むしろ低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯の試料の方が高くなっている。また、置換性塩類の総和とCECの値は、セリサイト帯の試料を除いて大きく異なっている。このことは、セリサイト帯以外の試料は全て地表から採取しており、これらの試料中の粘土鉱物が風化の影響を受けて交換性陽イオンがH<sup>+</sup>に変化している可能性が考えられる。MBCは大局的には貫入岩体に近い方が高い傾向にある。炭質物及び硫酸塩含有量は、最も貫入岩体に近く、且つ坑内試料であるセリサイト帯の試料が際立って少ない。膨潤度は大局的には貫入岩体に近いものが高いう傾向にあるものの、全体的には大きな差異はなく、水質の違いによる膨潤度の変化はほとんど認められない。

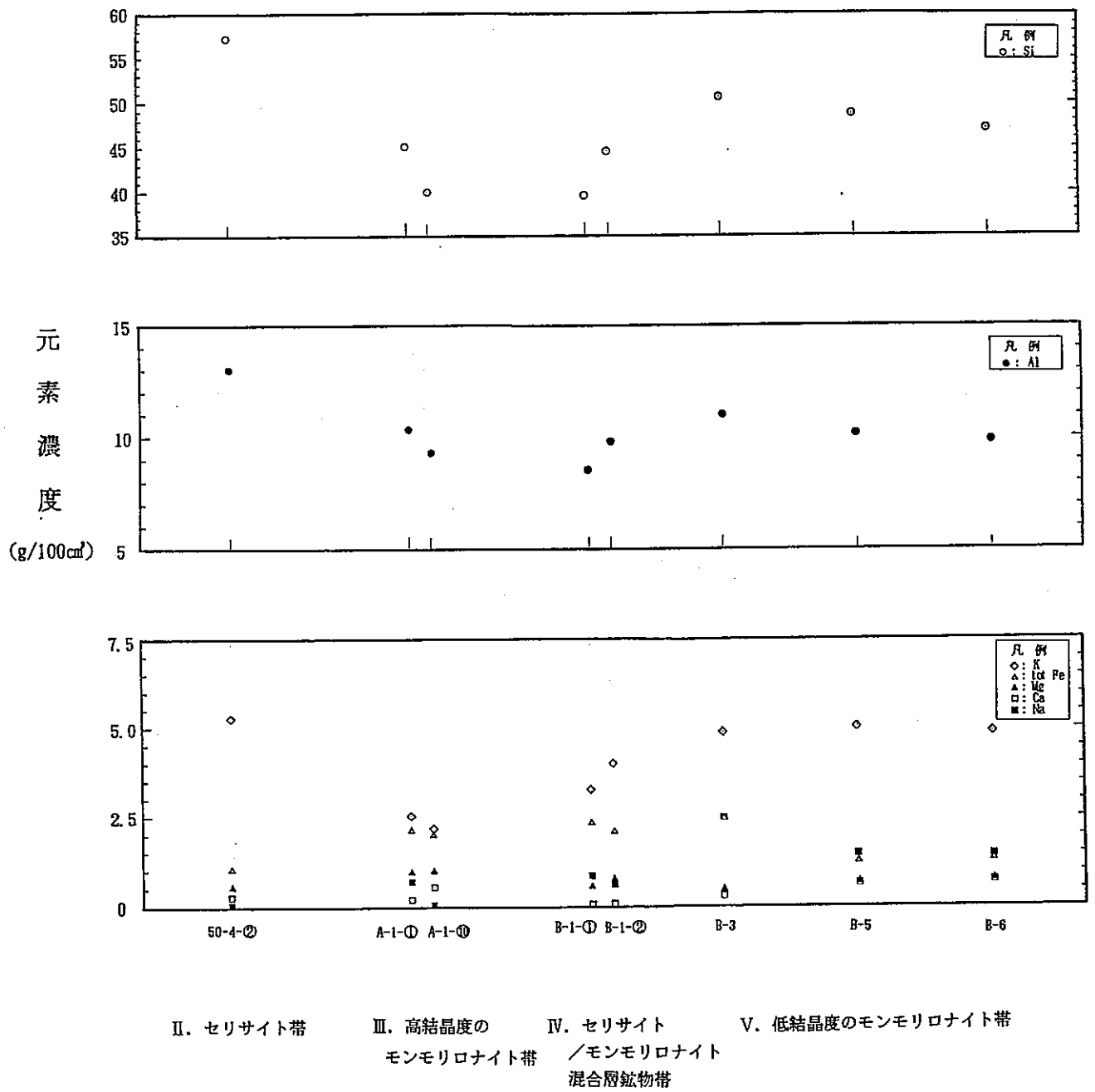


図-14 各試料における単位体積重量中の元素濃度

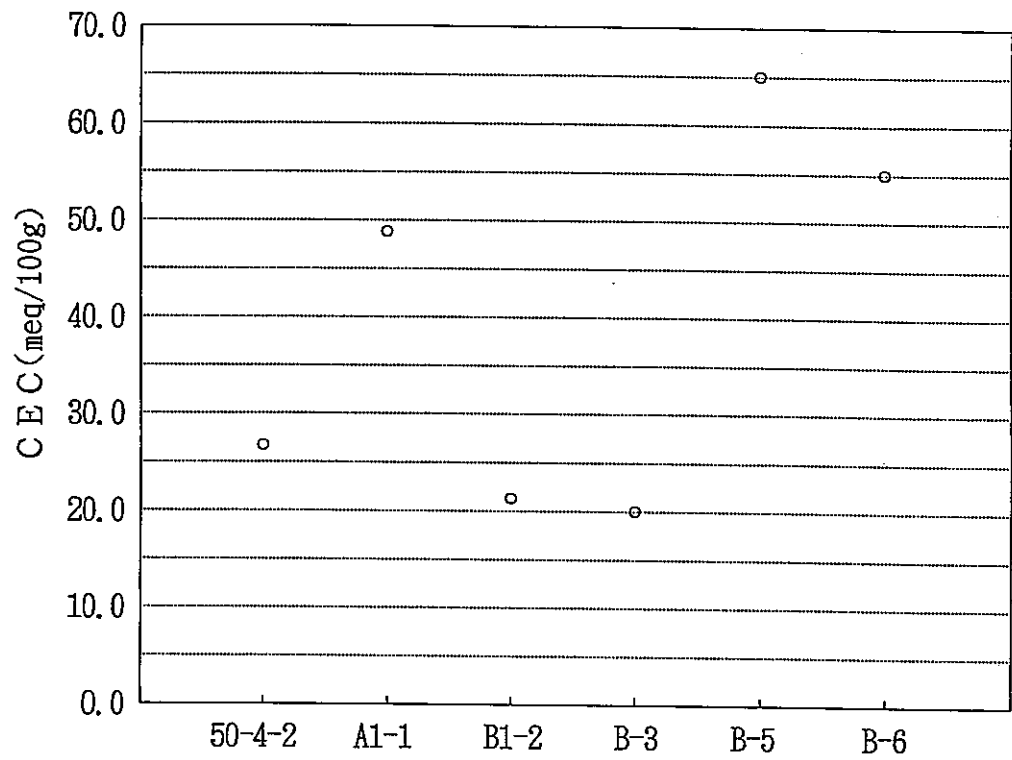


図-15 村上地域の粘土、凝灰岩試料のCEC

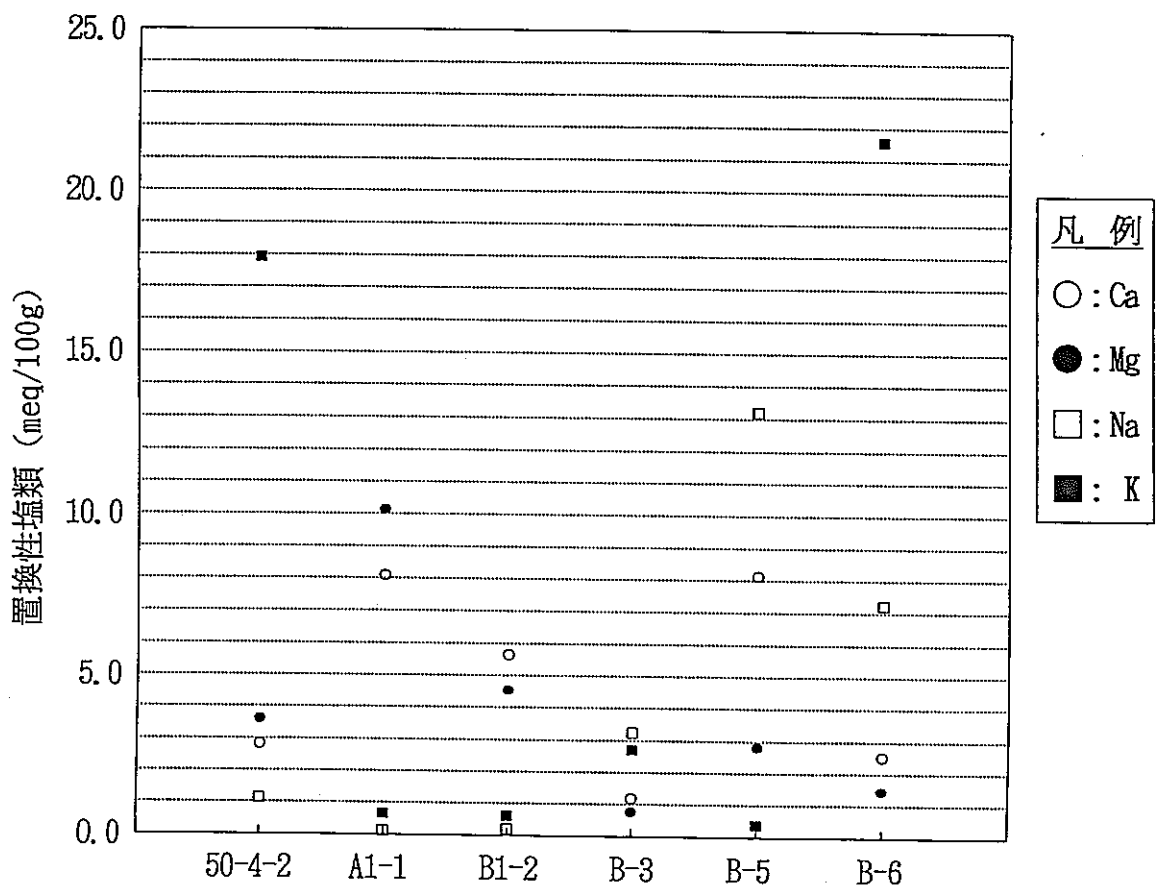


図-16 村上地域の粘土、凝灰岩試料の置換性塩類



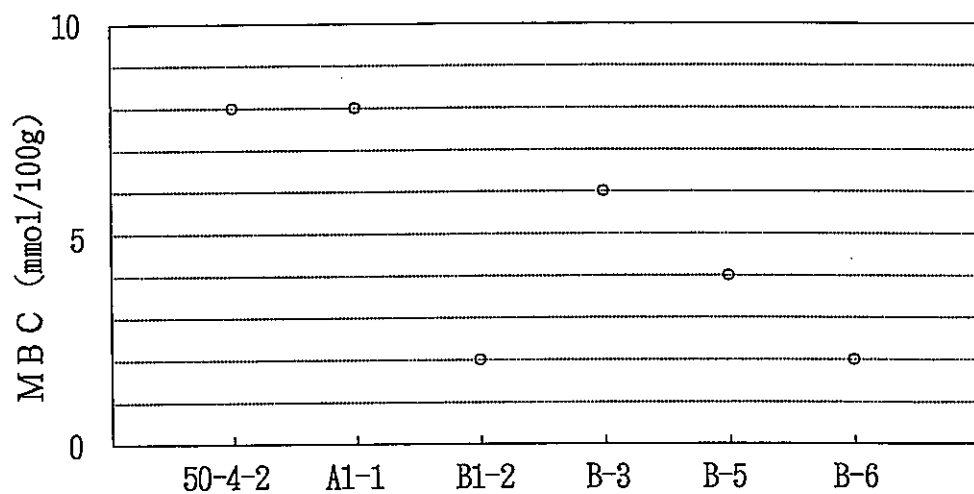
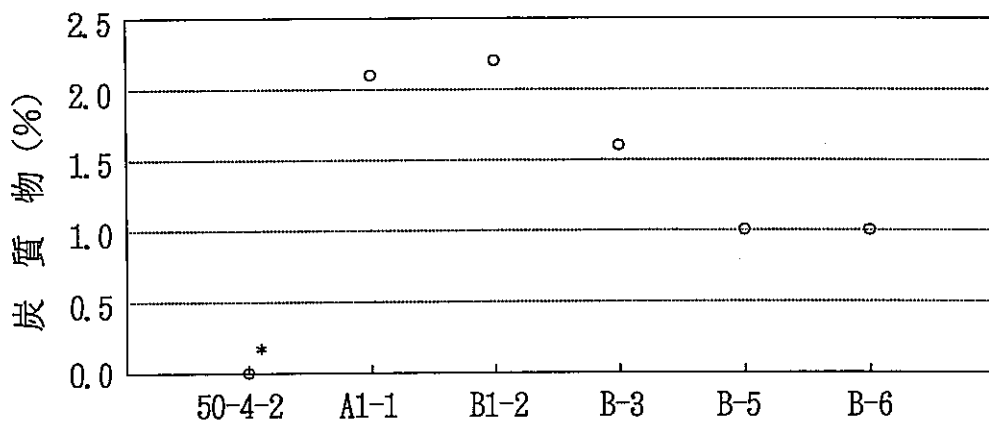


図-17 村上地域の粘土、凝灰岩試料のMBC



\*: 50-4-2は測定限界以下

図-18 村上地域の粘土、凝灰岩試料の炭質物

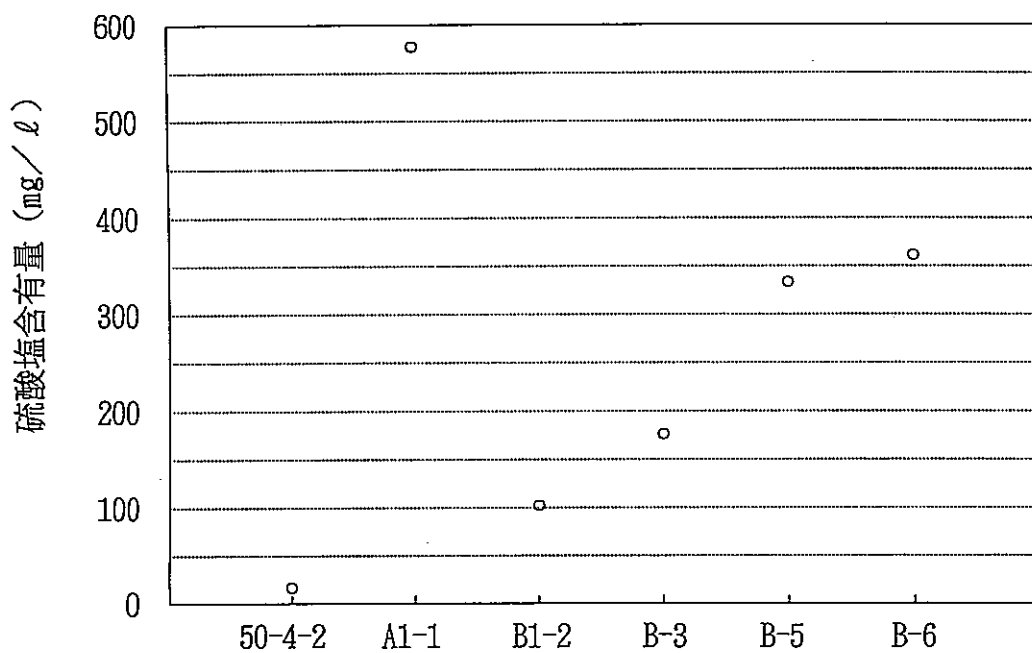


図-19 村上地域の粘土、凝灰岩試料の硫酸塩含有量

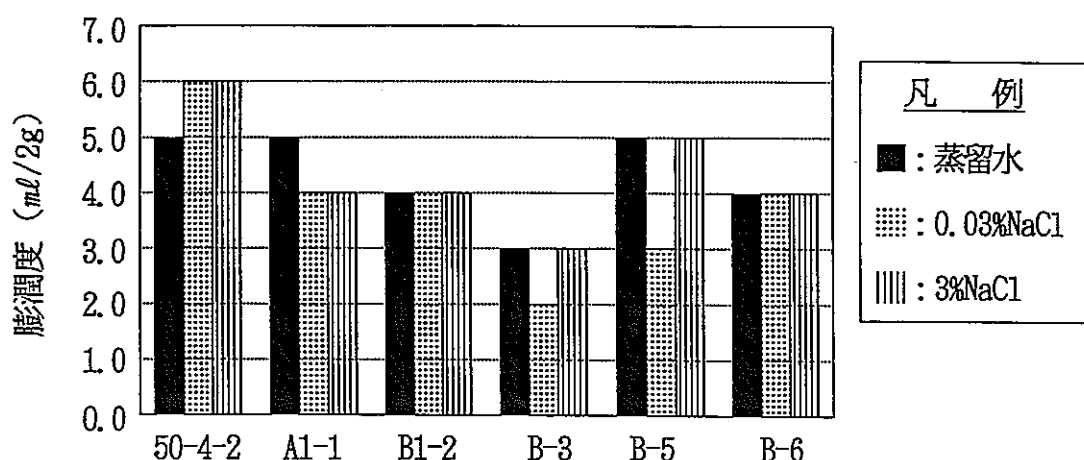


図-20 村上地域の粘土，凝灰岩試料の膨潤度

## 5. 問題点と今後の課題

現在までの調査によって，セリサイト鉱床及びその周辺の変質帯の成因等についてはかなり明らかにされたと考えられるが，変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布状況は，地表資料及び限られた坑内資料に基づいているにすぎない。変質帯の生成について，詳細に調査・研究するためには，より正確な変質帯及び貫入岩体の三次元的な分布の把握が必要と判断される。このためには，地表，あるいは坑内からのボーリング調査をさらに実施することが不可欠である。

さらに，高結晶度のモンモリロナイト帯の生成後も黒雲母流紋岩体は，約 110万年間は 200℃以上の残熱を有していたと推定されるため，黒雲母流紋岩体に接している高結晶度のモンモリロナイト帯（生成温度は 200℃以下）が，生成後，加熱された可能性が高いと考えられる。したがって，今後高結晶度のモンモリロナイト帯が生成後，どのような温度履歴を有しているかを検討していく必要がある。

粘土，凝灰岩試料の物理及び化学特性のうち，陽イオン交換能に関する項目については必ずしも粘土鉱物含有量の多い試料が高くはなく，むしろより粘土鉱物含有量の低い低結晶度のモンモリロナイト-沸石帯の試料の方が高くなっている。また，置換性塩類の総和とCECの値とはセリサイト帯の試料を除いて大きく異なっている。このことは，セリサイト帯以外の試料は全て地表から採取しており，風化の影響で交換性陽イオンが  $H^+$  に変化している可能性が想定される。この風化の影響を排除できるようなボーリング・コアで各帯の試料を求めて再試験することが望ましいと考えられる。

島根県大田市北部地域のモンモリロナイト鉱床については、今年度の現地調査対象の露頭ではセリサイトやセリサイト／モンモリロナイト混合層鉱物が生成されていないが、より規模の大きい貫入岩を探す必要がある。