

JNC TN7400 2005-017

021

~~冬~~
~~PNC-PN7410-91-037~~

図書室

~~本資料は2000年 3月 31日付けで登録区分
変更する。~~

~~社内一般~~

~~研究調整 Gr【管理担当箇所名】~~

平成 2 年度技術開発課年報

1991年 4 月

動力炉・核燃料開発事業団

中部事業所・技術開発課

~~本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部又は一部を複製・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。~~

~~〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地4-9
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課~~

~~Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai mura, Naka gun, Ibaraki 319-1184,
Japan~~

~~© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 〒319-1184~~

~~この資料は、動燃事業団内における検討を目的とする社内資料です。については複製、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注意して下さい。~~

~~本資料についての問合せは下記に願います。
〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31
—動力炉・核燃料開発事業団—
—中部事業所—技術開発課—~~



要 旨

本報告書は、中部事業所・技術開発課が平成2年度に実施した研究開発業務成果をとりまとめたものであり、主な報告内容は①地層科学研究（調査技術開発、立坑掘削影響試験）、②地質環境調査（断裂系に関する調査）、③ウラン探鉱技術開発（主としてオーストラリアの不整合関連型鉱床を対象としたリモートセンシング・物理探査・評価技術開発）、④探鉱技術開発（坑外インプレースリーチング、ラドン測定器の現状）⑤分析技術開発についてである。なお、前述した成果の中で外部発表または報告書の作成が既に終了しているものについては、そのリストを添付し、報告内容については省略した。

また、平成3年6月に事業団の社内評価用資料として提出された研究開発業務中期報告書を添付する。本報告書はリモートセンシング技術開発、物理探査技術開発、地球科学の関連分野におけるエキスパートシステムの開発と、高品位鉱床内放射線防護技術開発の4つのテーマに係わる過去5年間の実績をまとめたものである。

目次

1. はじめに	1
2. 成果報告	7
2.1 地層科学研究	7
(1) 『大規模断裂系の水理学的特性に関する評価法の開発』 —— 東濃地方におけるリニアメント解析 ——	7
(2) 『ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査』 — 釜石鉦山原位置試験場における調査結果について —	23
(3) 『東濃地域における立坑掘削影響試験』 —— 岩盤挙動調査 ——	40
2.2 地質環境調査	63
(1) 『断裂系に関する調査』 — 中部日本におけるリニアメントの分布と特性 —	63
2.3 ウラン探鉱技術開発	82
(1) 『岩石の反射スペクトル特性に関する研究』 — 解析システムの構築とアリゲータリバー地域の岩石の分光反射特性 —	82
2.4 探鉱技術開発	103
(1) 『ラドン測定器の現状』	103
2.5 分析技術開発	118
(1) 『 α 線スペクトル分析前処理法の迅速化試験』	118
(2) 『地下水中のウラン分離濃縮試験』	148
(3) 『地下水中の全有機体炭素分析装置の導入試験』	165
3. 付録	186

1. はじめに

はじめに

本報告書は中部事業所技術開発課の平成2年度業務のうちの研究開発業務についてその成果を取りまとめたものである。

平成2年度は前年度に引き続きウラン探鉱技術開発、採鉱技術開発、分析技術開発、および地層科学研究、地質環境調査に係わる業務を実施した。

平成2年度の組織は図に示す通りで、課内を地質工学部門、分析部門、鉱山部門、管理部門に再編成した。本年度の各部門の主な研究開発業務を以下に示す。

地質工学部門

1. 地層科学研究

調査技術開発の一環として、大規模断裂系の水理学的特性に関する評価法の開発、難透水性岩石を対象とした室内透水試験装置の開発、ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査、および4チャンネルカーボン調査技術開発を行った。また、立坑掘削影響試験の一環として岩盤挙動調査を行った。

2. 地質環境調査

地質環境調査における地表調査の断裂系に関する調査の一環として中部日本を対象としたリニアメントの分布と特性の調査・解析を実施した。

3. ウラン探鉱技術開発

岩石の反射スペクトル特性に着目した解析技術開発を重点課題とし、オーストラリア・アーネムランド域での現地調査・スペクトル解析を実施するとともに、オーストラリアの不整合型関連鉱床を対象とした物理探査法の検討および関連ソフトウェアの整備を行った。さらにIRESS（ウラン資源探査のための知的支援システム）の一環としてData Directed Numerical Method (DdM)による資源量の評価手法開発を完成させるべく、文献調査、オーストラリア・アーネムランド域での実証試験およびソフトの改良を行った。

分析部門

分析精度の向上および分析の迅速化を図るための試験・検討、地層中のウラン系列核種の挙動研究の一環としての地下水中のウラン分離濃縮試験を行った。

鉱山部門

地層科学研究の一環としての第2立坑掘削による掘削影響試験（岩盤挙動調査）、鉱山の放射線防護・管理を目的としたラドン測定器の製作・検討を行った。また、昭和58年度より行ってきた坑外インプレースリーチング技術開発およびトレーサ試験については試験を終了し、これまでの結果をとりまとめた。

技術開発課の業務は上記の他に、第2立坑掘削（平成2年度1月着工，同年7月末完工）にともなう工事・保安・管理および連絡坑道の一部掘削，分析の実施（地層科学研究のナチュラルアナログ研究で採取される自然水や岩石の分析，ウラン探査で採取される岩石の分析，鉦山保安のためのモニタリング地下水の分析）東濃鉦山の維持管理などを行った。また、技術資料管理規程の改正・施行（平成2年12月1日改正，平成3年1月1日施行）にともない、技術開発課が中部事業所の管理担当箇所になった。このために、管理室（図書室）の整備を行い技術資料等の管理を開始した。

本報告書に記載した“テーマと執筆者リスト” 別添-1

本年度の外部発表、および作成済報告書リスト 別添-2

1. 地層科学研究

1-1『大規模断裂系の水理学的特性に関する評価法の開発』

—— 東濃地方におけるリニアメント解析 ——

担当 小出 馨

1-2『ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査』

— 釜石鉦山原位置試験場における調査結果について —

担当 仙波 毅
長谷川 健
尾方 伸久

1-3『東濃地域における立坑掘削影響試験』

—— 岩盤挙動調査 ——

担当 松井 裕哉
杉原 弘造
吉岡 尚也

2. 地質環境調査

2-1『断裂系に関する調査』

— 中部日本におけるリニアメントの分布と特性 —

担当 小出 馨
石丸 恒存
清水 和彦

3. ウラン探鉱技術開発

3-1『岩石の反射スペクトル特性に関する研究』

— 解析システムの構築とアリゲータリバー地域の岩石の分光反射特性 —

担当 小出 馨

4. 探鉱技術開発

4-1『ラドン測定器の現状』

担当 花木 達美

5. 分析技術開発

5-1『 α 線スペクトル分析前処理法の迅速化試験』

担当 沖田 正俊

5-2『地下水中のウラン分離濃縮試験』

担当 落合 洋治

5-3『地下水中の全有機体炭素分析装置の導入試験』

担当 鶴尾 政弘

外部発表、および作成済報告書リスト

1. 地層科学研究

- 1-1 PNC PJ7187 91-001 『東濃鉱山における物理探査電磁法データの取得』
作成者 三井金属資源開発
- 1-2 PNC N7410 90-010 『難透水性岩石を対象とした室内透水試験装置の開発』
作成者 中野 勝志
- 1-3 動燃技法 No.75 1990.0資料番号：75-9 『難透水性岩石を対象とした室内透水試験装置の開発』
作成者 中野 勝志
- 1-4 土質工学会論文報告集（1991）Vol. 31, No3 『難透水性岩石を対象とした室内透水試験』
作成者 中野 勝志
- 1-5 PNC PN7410 91-019 『4チャンネルカーボン適用試験』
作成者 目黒 昇

2. 地質環境調査

- 2-1 PNC ZJ7363 90-003 『北陸及び南関東における広域地質環境評価のための断裂系調査』
作成者 日鉱探開
- 2-2 PNC ZJ7361 90-006 『中部及び北関東における広域地質環境評価のための断裂系調査』
作成者 アジア航測

3. ウラン探鉱技術開発

- 3-1 PNC PN7410 91-008 『遼東半島における見掛比抵抗及び帯磁率測定結果について』
作成者 仙波 毅
- 3-2 PNC SN7410 90-027 『オーストラリア北部準州アーネムランド地域におけるリニアメント解析報告』
作成者 小出 馨
- 3-3 PNC ZJ7434 91-001 『ウラン鉱床地域の主要岩石を対象としたX線分析結果 — オーストラリア・北部準州アーネムランド地域及び西オーストラリア州ルーダル地域』
作成者 ジオサイエンス
- 3-4 PNC SN7420 90-008 『RUDALL PROJECT & THREE SISTERS PROJECT 物理探査(1990)解析結果報告書』
作成者 長谷川 健
- 3-5 PNC PN7440 91-002 『モデリング解析を用いた、電磁探査法への低比抵抗表土層の影響評価』
作成者 長谷川 健
- 3-6 PNC PJ7401 91-001 『空中電磁法データの再解析』
作成者 同和工営
- 3-7 PNC PN7410 91-014 『時間領域空中電磁法(Geotem)データの再解析結果について』
作成者 長谷川 健
- 3-8 PNC SJ7359 90-002 (vol.1) 『IRESSの開発(その3) vol.1 成果報告書』
作成者 情報数理研究所

3-9 PNC SJ7359 90-002 (vol.2~3) 『IRESSの開発(その3) vol.2 ~3システム設計書及びユーザー・マニュアル』

作成者 情報数理研究所

3-10PNC SJ7359 90-002 (vol.4) 『IRESSの開発(その3) vol.1 プログラム設計書』

作成者 情報数理研究所

3-11PNC SJ7359 90-002 (vol.5) 『IRESSの開発(その3) vol.5 打ち合わせ議事録』

作成者 情報数理研究所

4. 採鉱技術開発

4-1 PNC ZN7410 91-003 『坑外インプレース・リーチング技術開発成果報告書』

作成者 石川 泰・杉原 弘造・宗藤 勝
(動燃技法H3年6月号掲載予定)

4-2 PNC SJ7060 90-002 『トレーサー試験の事後解析の継続』

作成者 石川 泰

4-3 PNC TN7410 91-009 『トレーサーを用いた野外における透水層の有効間隙率測定』

作成者 石川 泰

(地下水学会誌投稿中)

4-4 PNC ZN7460 91-001 『利用者の手引き(流線解析プログラム)』

作成者 石川 泰

4-5 PNC TN7410 91-005 『インプレース・リーチング操業評価に係わるデータの取得
その1. 水理特性の把握』

作成者 石川 泰・杉原 弘造
(動燃技法H3年6月号掲載予定)

4-6 PNC TN7410 91-006 『インプレース・リーチング操業評価に係わるデータの取得
その2. 物質移動特性の把握』

作成者 石川 泰・杉原 弘造
(動燃技法H3年6月号掲載予定)

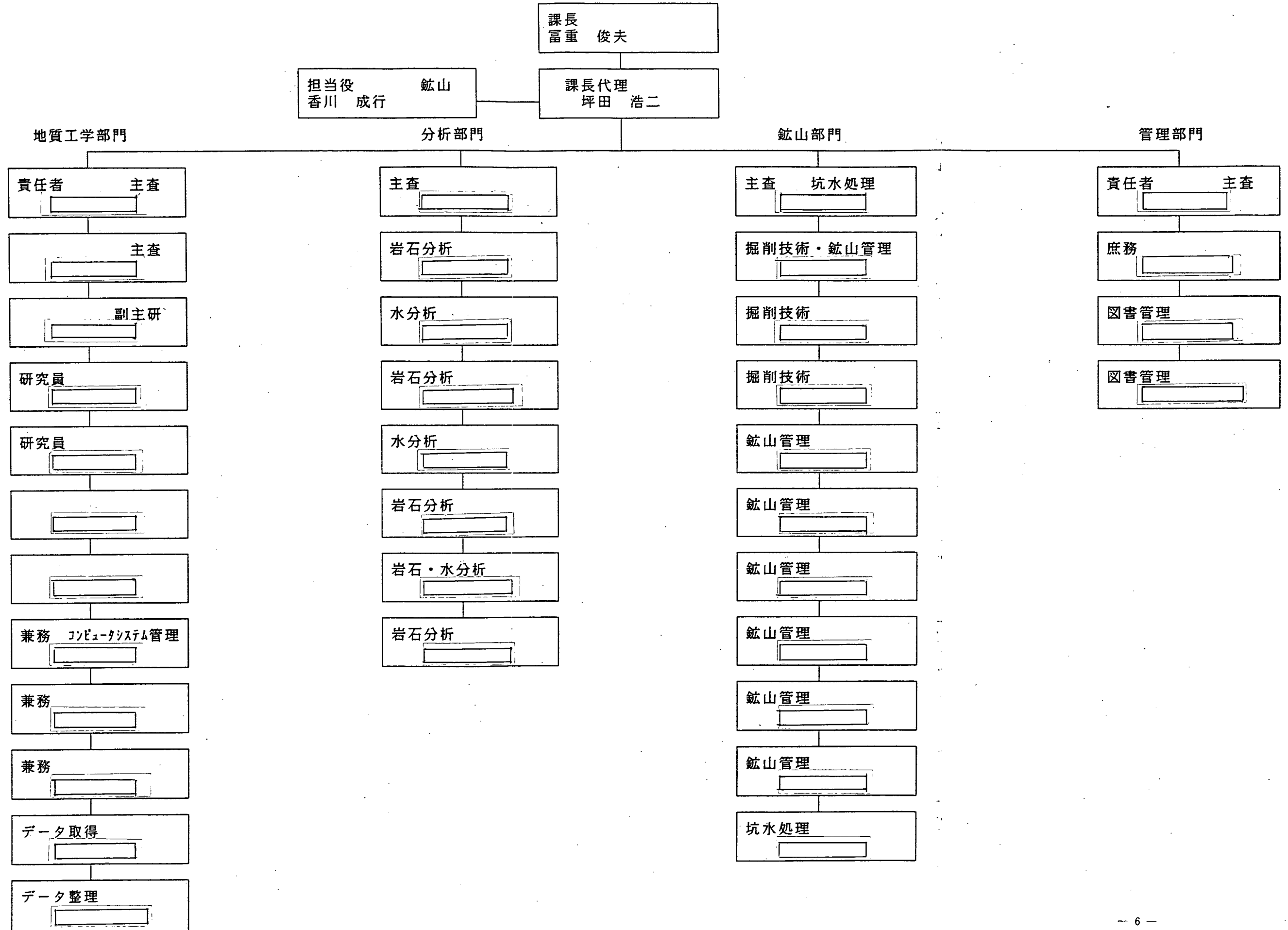
5. その他

5-1 PNC PN7440 91-001 『チタン鉱石に関する補足試験結果』

作成者 和田 洋明

技術開発課機能組織図

平成2年4月1日



2. 成果報告

2. 1 地層科学研究

2. 2 地質環境調査

2. 3 ウラン探査技術開発

2. 4 採鉍技術開発

2. 5 分析技術開発

2. 1 地層科学研究

- (1) 『大規模断裂系の水理学的特性に関する評価法の開発』

—— 東濃地方におけるリニアメント解析 ——

- (2) 『ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査』

— 釜石鉦山原位置試験場における調査結果について —

- (3) 『東濃地域における立坑掘削影響試験』

—— 岩盤挙動調査 ——

大規模断裂系の水理学的特性に関する評価法の開発
—東濃地方におけるリニアメント解析—

小出 馨

1. はじめに

本解析は、地層処分システムの性能評価を実施する上で重要な広域地下水流動調査解析に関する地表調査法の開発の一環として実施しており、空中写真や衛星画像から構造地質学的線構造（以下、リニアメントと呼ぶ）として抽出される比較的大規模な断裂系の水理学的特性を評価する手法の開発を目的とする。開発の第1段階として、岐阜県東濃地方を対象にリニアメント解析を実施し、日本の代表的な活断層の一つである阿寺断層をはじめとした活断層系によって区分されている地区毎のリニアメントの分布特性を抽出した。

解析の結果、活断層系によって区分されている地区毎にリニアメントの分布特性（卓越方向、平均長、交差性）が異なっていることが明らかになり、この結果を基に当地域における活断層系の役割や地区毎のリニアメントの分布の違いについて考察を試みた。

2. 実施内容

2.1 解析対象地域

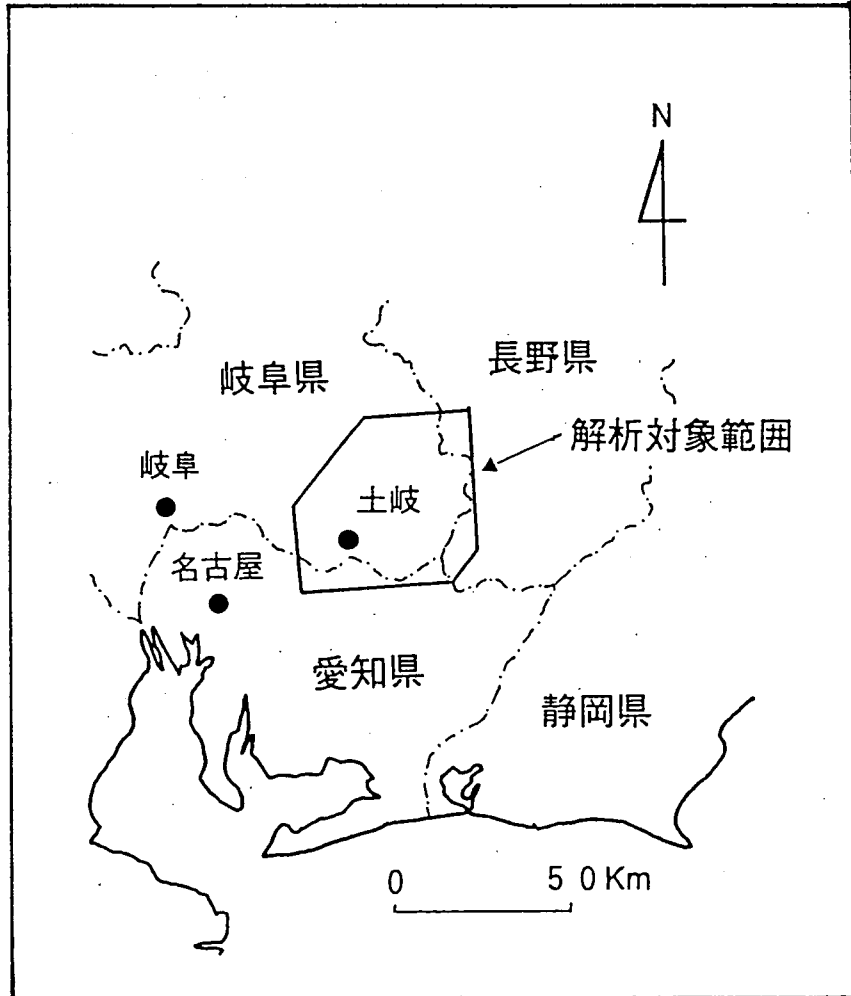
解析対象地域は、名古屋から北東に約50 Kmに位置している約50 Km四方の範囲である（図-1）。

本地域は、美濃三河高原にあたり、300 m～1500 mの準平原地形が広がっている。地形の傾向としては、北方及び東方に高く、南西にいくにしたがって標高は低下し、最後は濃尾平野に続いている。また、本地域に発達する北西-南東方向（例えば阿寺断層）および北西-南東方向（例えば屏風山断層）の断層に区分されており、標高の不揃いなブロックをはめ込んだようなモザイク状の地形を示している。

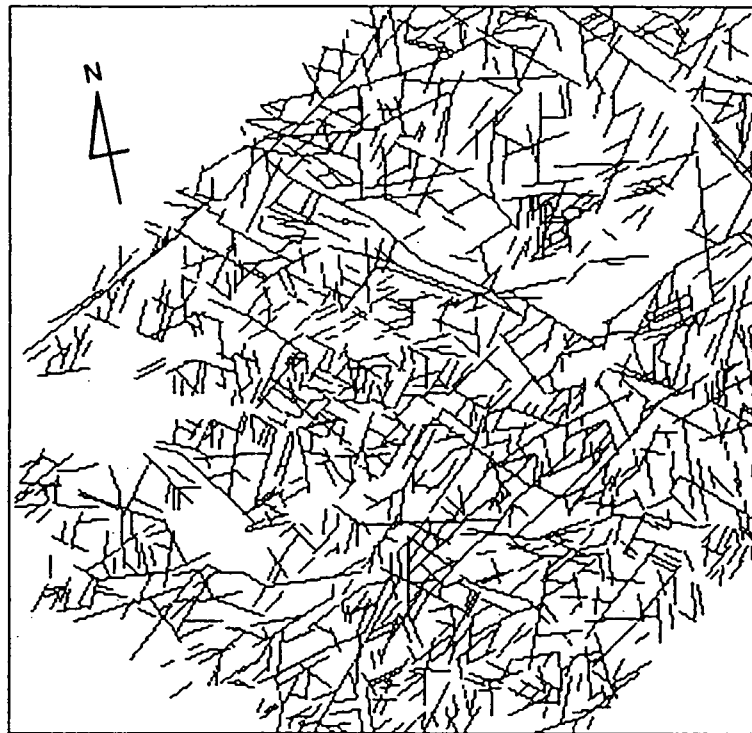
2.2 解析内容

解析対象地域をカバーするランドサットTM画像から判読されたリニアメント判読図¹⁾（図-2）を基に、本地域内に発達する活断層系（阿寺断層、屏風山断層、赤河断層、白川断層、恵那山断層、華立断層）に囲まれた4つの地区（図-3）の各リニアメント特性（図-4）を抽出した。なお、4地区中1地区（A地区）のみ、1/4万空中写真によるリニアメント判読結果²⁾（図-5）を用いて、ランドサットTM画像の場合と比較した。

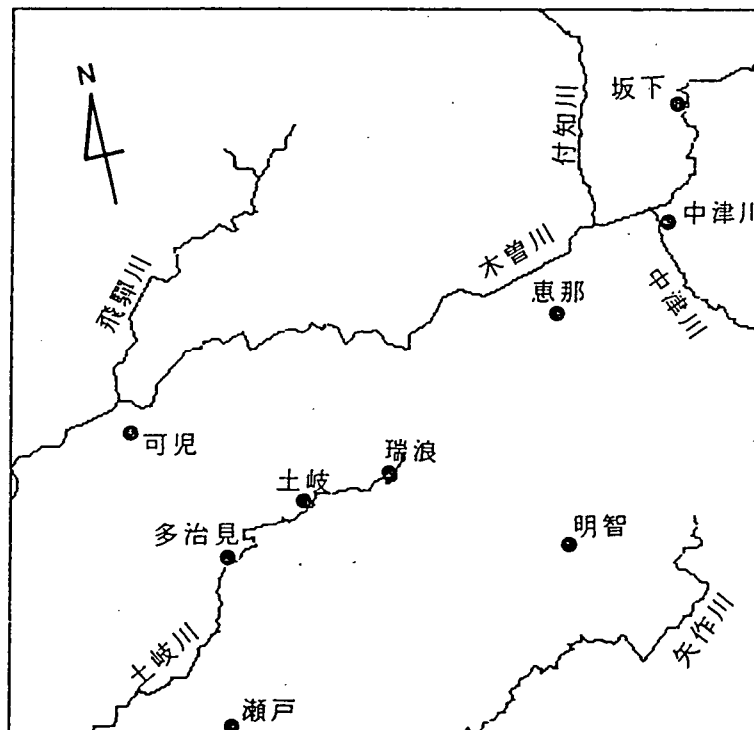
本解析におけるリニアメントの分布特性の抽出には、自作のリニアメント解析プログラムを用いた。このプログラムはNECのPC9801上で作動し、リニアメント判読図のデジタイザー入力、平均長・卓越方向・リニアメント密度の算出、ローズダイアグラム・ヒストグラム・密度コンター図の作図等の機能を有する³⁾。



図一 1 解析対象範囲

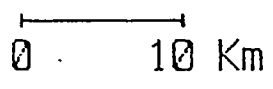
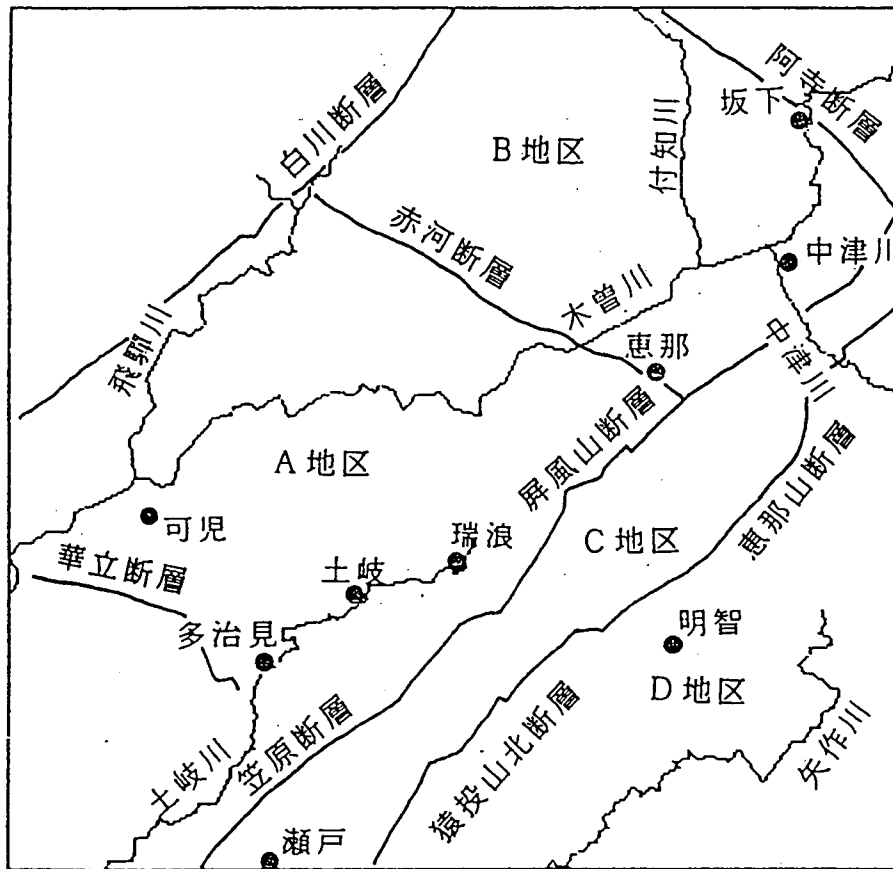


0 10 Km



0 10 Km

図一2 リニアメント判読図 (ランドサットTM画像)



図一 3 東濃地方の主な活断層系と解析単位地区

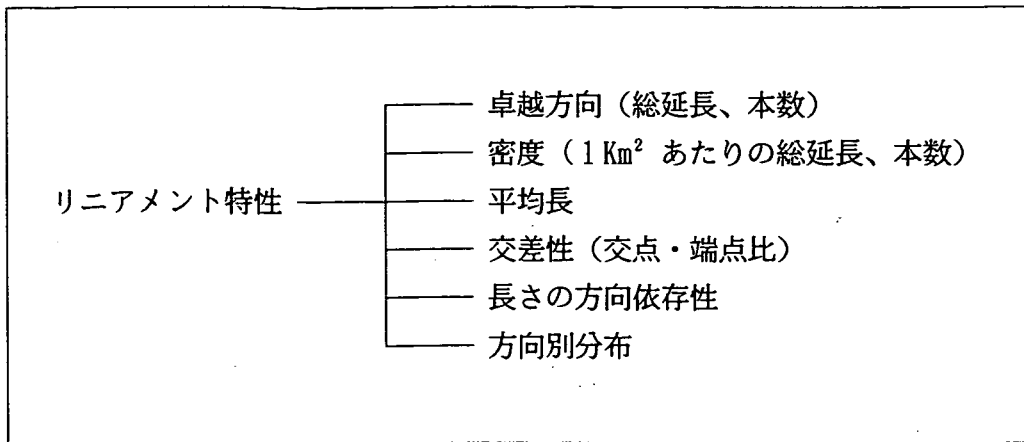


図-4 本解析で対象にしたリニアメント特性項目

3. 解析結果

3.1 各地区のリニアメントの分布特性

(1)A地区

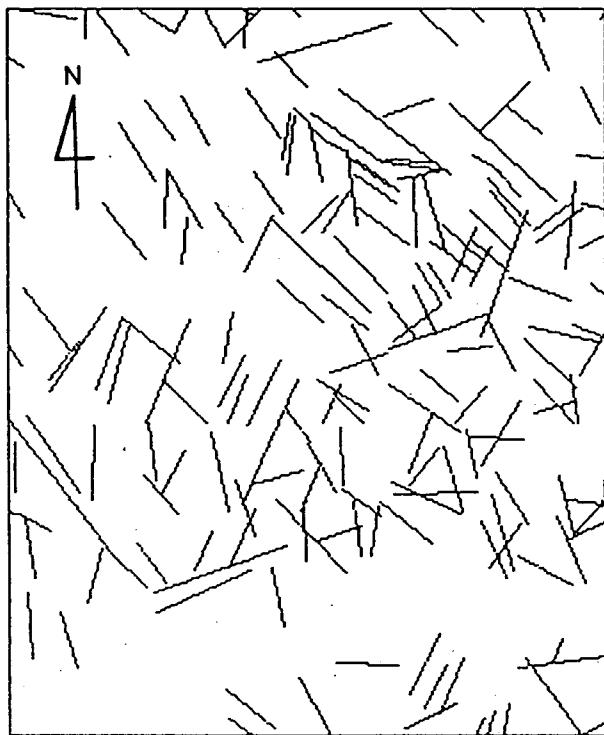
A地区は北西を飛驒川沿いに発達する白川断層、北東を赤河断層、南東を屏風山断層、南西を華立断層に囲まれた地区で、面積約 760Km² である。本地区のリニアメントの卓越方向は、総延長及び本数とも北西方向であり、総延長と本数のローズダイアグラム（図-6）のパターンがほぼ同一であることから、リニアメントの長さの方向による違いは認められない。

リニアメント密度は本数、延長、各々0.52本/Km²、1.02Km/Km² であり、平均長は1.95Kmである。また、リニアメントの交差性を示す交点・端点比の値は、0.385 である。

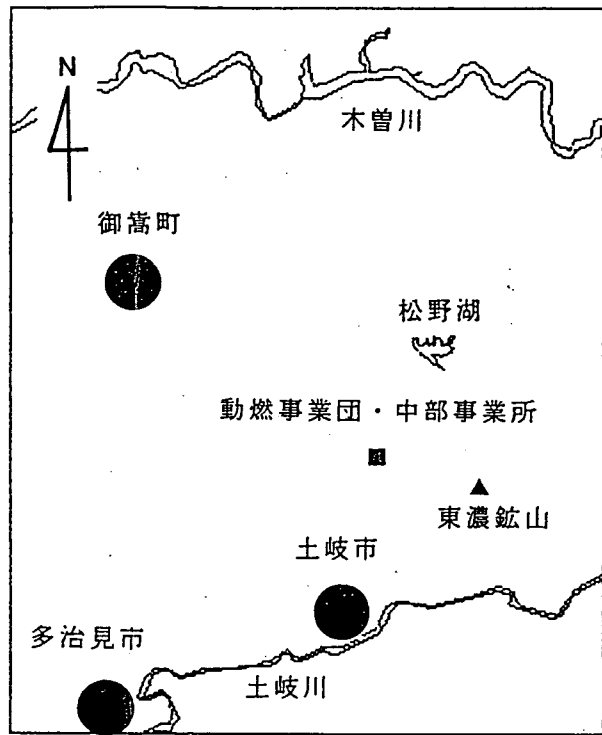
本地区内での各方向のリニアメントの分布特徴を表-1に示す。

表-1 A地区におけるリニアメントの分布特徴

E W	: ほぼ全域に分布しているが、木曾川の南岸域に多く分布する。
E NE	: 木曾川の北岸や土岐川の北部の古生層（美濃帯）分布域に見られる。
N E	: 地区の中央から北東にかけての土岐花崗岩分布域（新第三系の欠如部分）および木曾川北岸の古生層分布域に見られる。
N NE	: 地区の中央部である土岐花崗岩分布域（新第三系分布域を含む）に見られる。
N S	: 木曾川両岸の古生層分布域に見られる。
NNW	: 地区の南東部に分布するが、本数は比較的少ない。
N W	: 地区の中央部から北東の赤河断層までの範囲に多く分布する。リニアメントの長さは、古生層分布域で長く、土岐花崗岩分布域はで短い傾向が見られる。
WNW	: 地区の北東部、赤河断層沿いの濃飛流紋岩分布域で見られる。



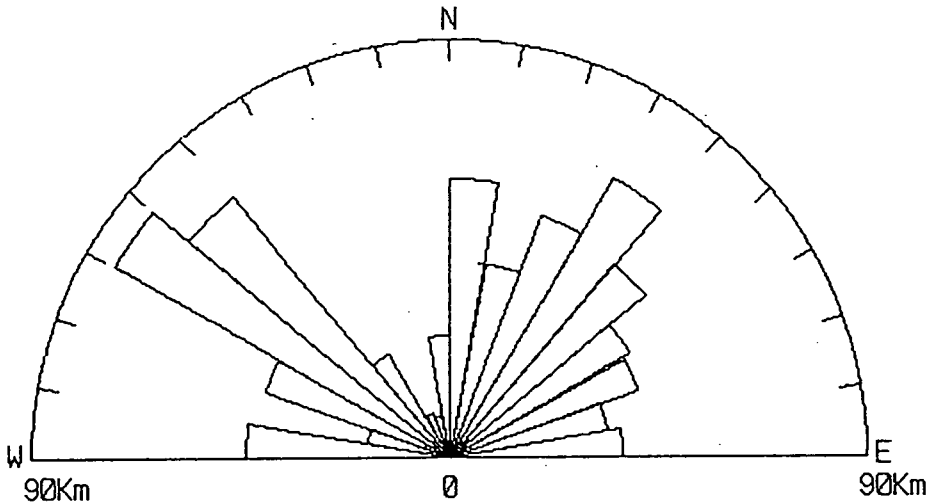
0 2 Km



0 2 Km

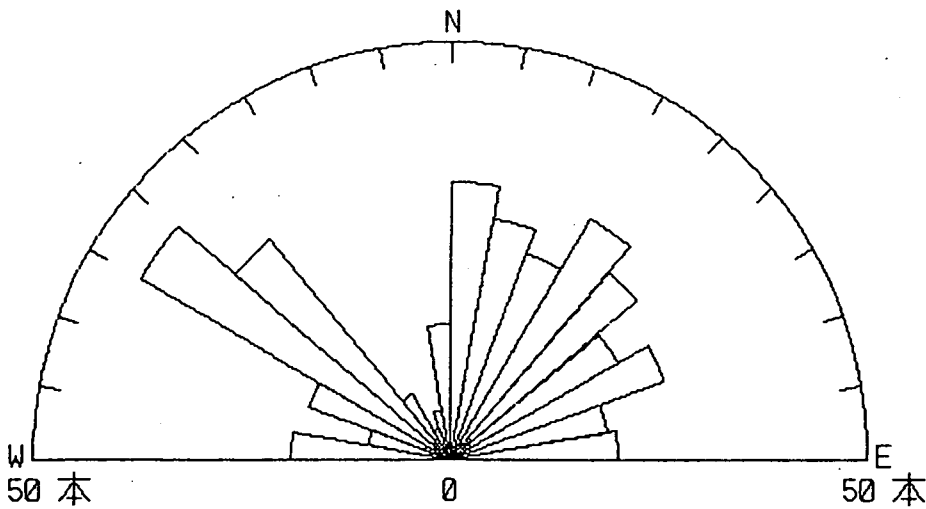
図-5 リニアメント判読図 (空中写真)

解析対象地区名：A



N80°-90°W:	44.00Km
N70°-80°W:	17.90Km
N60°-70°W:	42.28Km
N50°-60°W:	83.15Km
N40°-50°W:	73.19Km
N30°-40°W:	26.25Km
N20°-30°W:	10.16Km
N10°-20°W:	9.42Km
N00°-10°W:	26.37Km
N00°-10°E:	60.15Km
N10°-20°E:	42.76Km
N20°-30°E:	55.85Km
N30°-40°E:	69.93Km
N40°-50°E:	54.46Km
N50°-60°E:	44.68Km
N60°-70°E:	42.71Km
N70°-80°E:	34.04Km
N80°-90°E:	36.92Km

解析対象地区名：A



N80°-90°W:	19 本
N70°-80°W:	10 本
N60°-70°W:	18 本
N50°-60°W:	43 本
N40°-50°W:	34 本
N30°-40°W:	9 本
N20°-30°W:	4 本
N10°-20°W:	6 本
N00°-10°W:	16 本
N00°-10°E:	33 本
N10°-20°E:	29 本
N20°-30°E:	26 本
N30°-40°E:	33 本
N40°-50°E:	29 本
N50°-60°E:	23 本
N60°-70°E:	27 本
N70°-80°E:	19 本
N80°-90°E:	20 本

図-6 A地区に分布するリニアメントのローズダイアグラム

(2)A地区中央部（1/4万空中写真判読域）

本地区は、A地区のほぼ中央部にあたる北緯35度29分から35度20分、東経137度6分から137度15分の範囲で、面積は約230Km²である。本地区の卓越方向は総延長及び本数とも北西方向であり、また、方向による長さの違いは認められない（図-7）。

リニアメント密度は、本数、延長、各々0.8本/Km²、1.06Km/Km²であり、平均長は1.32Kmである。また、リニアメントの交差性を示す交点・端点比の値は、0.206である。ランドサットTM画像によるものと比較すると、密度や交差性の値に若干の違いが見られるが、これは空中写真の方がより小規模のリニアメントを抽出していることと縮尺の違いによるリニアメントの連続性についての判断が異なるためと思われる。しかし、ローズダイアグラムのパターンは同一傾向を示しており、ランドサットTM画像と空中写真との結果は整合している。

本地区内での各方向のリニアメントの分布特徴を表-2に示す。

表-2 A地区中央部のリニアメントの分布特徴

E W：地区の東半分の土岐花崗岩分布域に見られるが、本数は少ない。
E N E：松野湖と土岐市を結ぶ地帯に分布するが、本数は少ない。
N E：土岐花崗岩分布域に見られるが、本数は少ない。
N N E：土岐市から御嵩町にかけての新第三系が古生層を覆う地域に分布する。
N S：本数は少なく、分散している。
N N W：松野湖から東濃鉾山にかけての土岐花崗岩分布域に見られる。
N W：地区全体に見られるが、土岐花崗岩分布域でやや多く見られる。
W N W：本数は少なく、分散しているが、土岐花崗岩分布域に偏る傾向が見られる。

(3)B地区

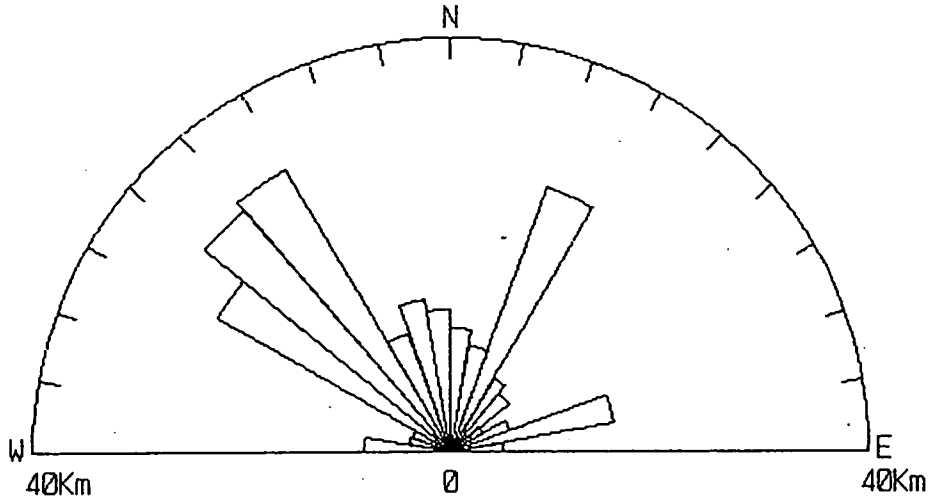
B地区は、北西を白川断層、北東を阿寺断層、南東を屏風山断層、南西を赤河断層に囲まれた地区で、面積は約540Km²である。

本地区のリニアメントの卓越方向は、総延長及び本数とも東西方向であり、総延長と本数のローズダイアグラム（図-8）のパターンがほぼ同一であることから、リニアメントの長さの方向による大きな違いは認められないが、若干東西系のリニアメントが他の方向のリニアメントに比べ長い傾向が見られる。

リニアメント密度は本数、延長、各々0.4本/Km²、0.92Km/Km²であり、平均長は2.31Kmである。また、リニアメントの交差性を示す交点・端点比の値は、0.548である。

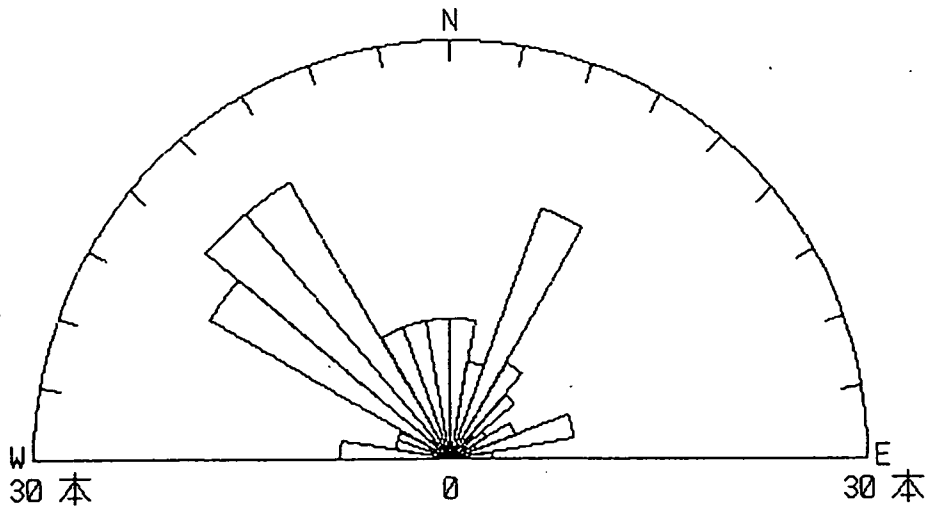
本地区内での各方向のリニアメントの分布特徴を表-3に示す。

解析対象地区名：A(AERIAL PHOTOGRAPH)



N80°-90°W:	8.47Km
N70°-80°W:	4.29Km
N60°-70°W:	3.94Km
N50°-60°W:	25.87Km
N40°-50°W:	30.58Km
N30°-40°W:	31.66Km
N20°-30°W:	12.27Km
N10°-20°W:	14.91Km
N00°-10°W:	13.73Km
N00°-10°E:	12.04Km
N10°-20°E:	10.34Km
N20°-30°E:	27.12Km
N30°-40°E:	8.23Km
N40°-50°E:	7.15Km
N50°-60°E:	3.64Km
N60°-70°E:	6.05Km
N70°-80°E:	15.72Km
N80°-90°E:	4.99Km

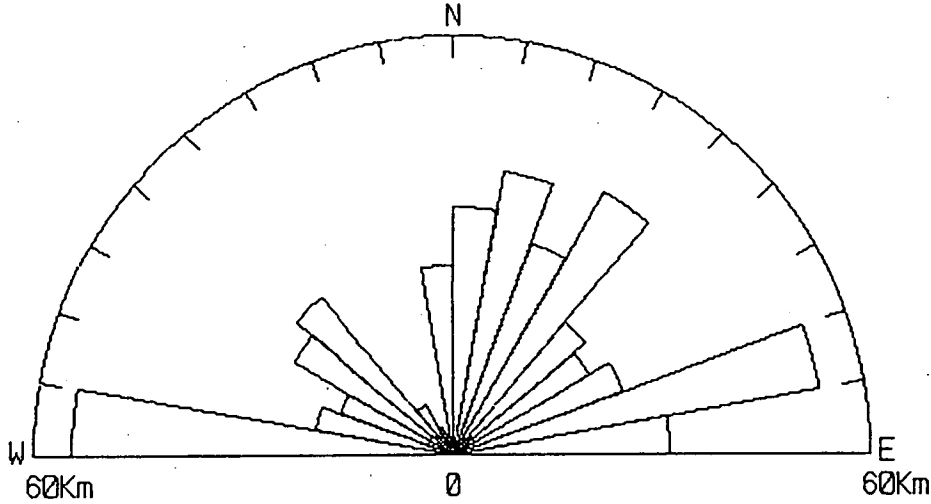
解析対象地区名：A(AERIAL PHOTOGRAPH)



N80°-90°W:	8本
N70°-80°W:	4本
N60°-70°W:	4本
N50°-60°W:	20本
N40°-50°W:	23本
N30°-40°W:	23本
N20°-30°W:	10本
N10°-20°W:	10本
N00°-10°W:	10本
N00°-10°E:	10本
N10°-20°E:	7本
N20°-30°E:	19本
N30°-40°E:	8本
N40°-50°E:	6本
N50°-60°E:	3本
N60°-70°E:	5本
N70°-80°E:	9本
N80°-90°E:	3本

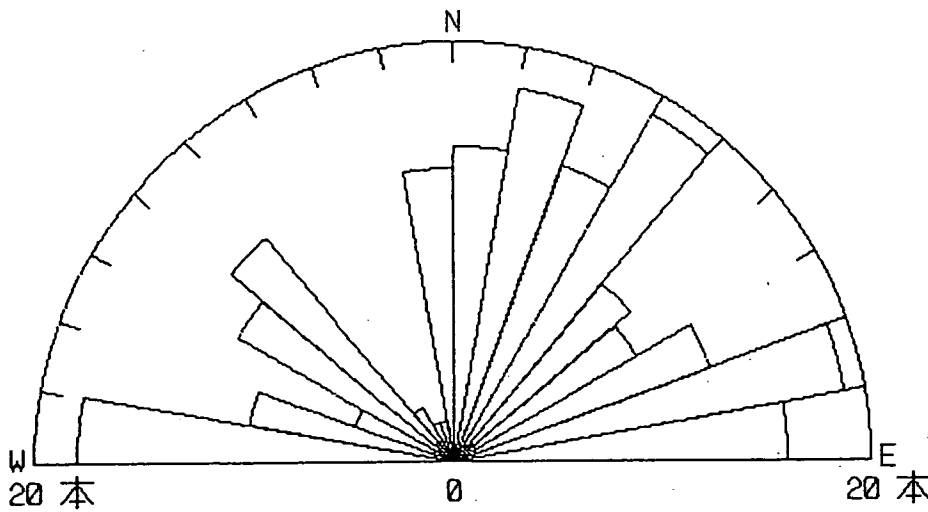
図-7 A地区中央部に分布するリニアメントのローズダイアグラム

解析対象地区名：B



N80°-90°W:	54.70Km
N70°-80°W:	20.24Km
N60°-70°W:	17.09Km
N50°-60°W:	26.48Km
N40°-50°W:	29.49Km
N30°-40°W:	8.09Km
N20°-30°W:	4.22Km
N10°-20°W:	2.32Km
N00°-10°W:	26.87Km
N00°-10°E:	35.34Km
N10°-20°E:	40.96Km
N20°-30°E:	32.06Km
N30°-40°E:	43.29Km
N40°-50°E:	24.52Km
N50°-60°E:	22.58Km
N60°-70°E:	25.92Km
N70°-80°E:	53.45Km
N80°-90°E:	30.82Km

解析対象地区名：B



N80°-90°W:	18 本
N70°-80°W:	10 本
N60°-70°W:	5 本
N50°-60°W:	12 本
N40°-50°W:	14 本
N30°-40°W:	3 本
N20°-30°W:	2 本
N10°-20°W:	2 本
N00°-10°W:	14 本
N00°-10°E:	15 本
N10°-20°E:	18 本
N20°-30°E:	15 本
N30°-40°E:	19 本
N40°-50°E:	11 本
N50°-60°E:	10 本
N60°-70°E:	13 本
N70°-80°E:	19 本
N80°-90°E:	16 本

図一 8 B地区に分布するリニアメントのローズダイアグラム

表-3 B地区のリニアメント分布特徴

E W	：ほぼ全域に分布しているが、地区の中央を東西方向に集中する傾向が見られる。
E NE	：木曽川北岸の苗木上松花崗岩分布域及び北部の濃飛流紋岩分布域に見られる。
N E	：ほぼ全域に見られるが、濃飛流紋岩分布域に多数見られる。
N NE	：木曽川北岸に分布し、岩種による差は認められない。
N S	：地区の中央から西部にかけての木曽川と付知川に囲まれた範囲に分布する。
NNW	：花崗岩分布域にわずかに見られる。
N W	：新第三系分布域を除き、ほぼ全域に分布する。
WNW	：地区の北西部の濃飛流紋岩分布域及び苗木上松花崗岩分布域に見られるが、比較的本数は少ない。

(4)C地区

C地区は、北西の屏風山断層と南東の恵那山断層に挟まれた幅の狭い地区であり、面積は約 310Km² である。

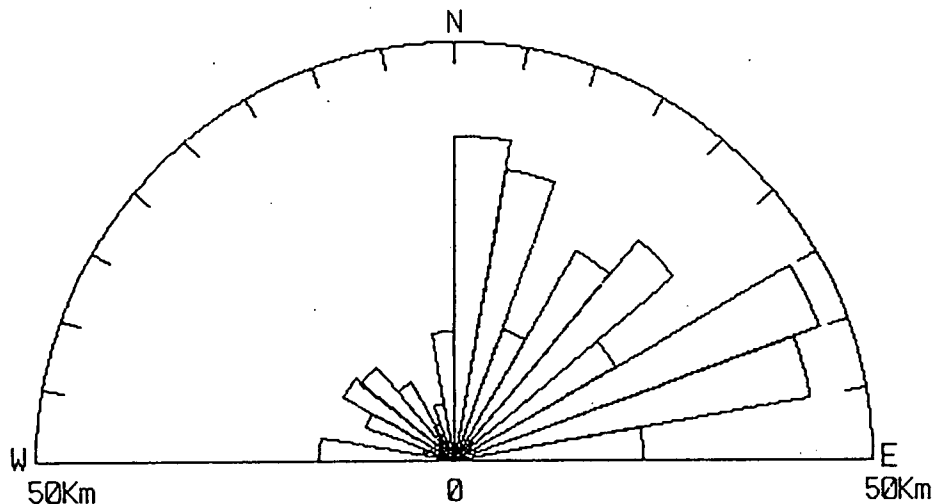
本地区のリニアメントの卓越方向は、総延長及び本数とも東北東方向であり、総延長と本数のローズダイアグラム（図-9）のパターンがほぼ同一であることから、リニアメントの長さの方向による大きな違いは認められない。

リニアメント密度は本数、延長、各々 0.6本/Km²、1.25Km/Km² であり、平均長は2.03Kmである。また、リニアメントの交差性を示す交点・端点比の値は 0.632であり、比較した4地区中で最大の値を示す。本地区での各方向のリニアメント特徴を表-4に示す。

表-4 C地区のリニアメント分布特徴

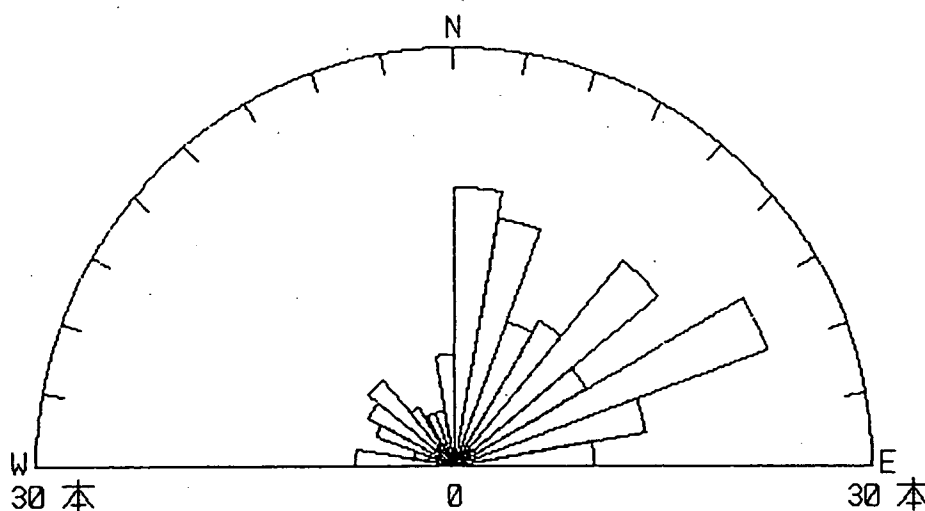
E W	：中津川以南の新第三系分布域を除く地区に分布する。
E NE	：濃飛流紋岩分布域を除く地域（新第三系分布域を含む）に分布する。
N E	：地区の中央部に分布し、岩種による差は認められない。
N NE	：恵那市南方の領家花崗岩及び濃飛流紋岩分布域および瀬戸市北方の領家・苗木上松花崗岩分布域（新第三系分布域を含む）に見られる。
N S	：ほぼ全域に分布する。
NNW	：恵那市南方の領家花崗岩および濃飛流紋岩分布域（新第三系分布域を含む）にわずかに見られる。
N W	：地区の中央部、主に古生層分布域（新第三系分布域を含む）に見られるが、本数は少ない。
WNW	：本数は少なく分散している。岩種による差は認められない。

解析対象地区名：C



N80°-90°W:	16.29Km
N70°-80°W:	3.88Km
N60°-70°W:	11.35Km
N50°-60°W:	15.62Km
N40°-50°W:	14.55Km
N30°-40°W:	10.67Km
N20°-30°W:	4.82Km
N10°-20°W:	7.10Km
N00°-10°W:	15.43Km
N00°-10°E:	38.84Km
N10°-20°E:	35.19Km
N20°-30°E:	16.84Km
N30°-40°E:	28.95Km
N40°-50°E:	34.36Km
N50°-60°E:	22.28Km
N60°-70°E:	46.54Km
N70°-80°E:	43.13Km
N80°-90°E:	22.40Km

解析対象地区名：C



N80°-90°W:	7本
N70°-80°W:	3本
N60°-70°W:	6本
N50°-60°W:	7本
N40°-50°W:	8本
N30°-40°W:	5本
N20°-30°W:	4本
N10°-20°W:	4本
N00°-10°W:	8本
N00°-10°E:	20本
N10°-20°E:	18本
N20°-30°E:	11本
N30°-40°E:	12本
N40°-50°E:	19本
N50°-60°E:	11本
N60°-70°E:	24本
N70°-80°E:	14本
N80°-90°E:	10本

図-9 C地区に分布するリニアメントのローズダイアグラム

(5)D地区

D地区は、北西の恵那山断層を境界とする領家花崗岩分布域で面積は約 500Km² である。本地区のリニアメントの卓越方向は、総延長および本数とも南北方向であり、総延長と本数のローズダイアグラム（図-10）のパターンがほぼ同一であることから、リニアメントの長さの方向による大きな違いは認められない。

リニアメント密度は本数、延長、各々 0.6本/Km²、1.16Km/Km² であり、平均長は1.91Kmである。また、リニアメントの交差性を示す交点・端点比の値は、0.390 である。本地区内での各方向のリニアメントの分布特徴を表-5に示す。

表-5 D地区のリニアメントの分布特徴

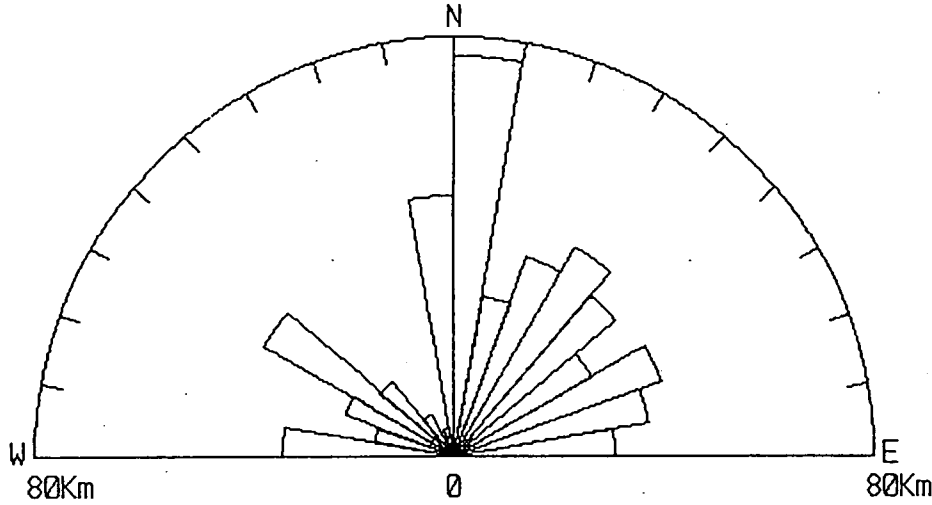
E W	明智町周辺や矢作川沿いの地帯に見られる。
E NE	恵那山断層から南に約5 Km隔てた地帯に並行して分布している。
N E	地区の中・南部に見られる。
N NE	ほぼ全域に分布している。
N S	地区の北東端の濃飛流紋岩分布域を除き、ほぼ全域に分布している。
NNW	本数は非常に少なく、地区の中央以南に分散している。
N W	本数は少なく、分散している。
WNW	地区の中央部、明智町周辺に多く分布する。

4. 結果のまとめ

各地区のリニアメントの特性をまとめると以下のようなになる。

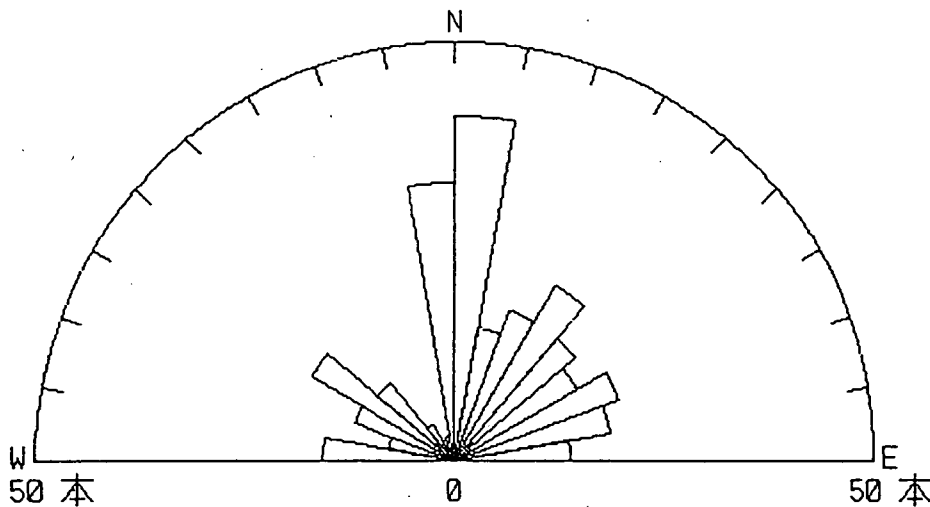
- ① 解析対象地域に発達する活断層系（高角度の逆断層や横ずれ断層）によって区分された地区のリニアメントの卓越方向は、地区毎に異なる。
A地区→北西系、B地区→東西系、C地区→東北東系、D地区→南北系
- ② リニアメント平均長が最も長い地区はB地区であり、以下、C地区、A地区、D地区の順になる。これを分布する地質と対応させると、濃飛流紋岩・苗木上松花崗岩分布域のリニアメントが最も長く、以下、古生層・土岐花崗岩・新第三系分布域、領家花崗岩分布域の順になる。なお、C地区は断層集中帯である。
- ③ リニアメント密度が最も高い地区はC地区であり、以下、D地区、A地区、B地区の順になる。これを分布する地質と対応させる、断層集中帯、領家花崗岩分布域、古生層・土岐花崗岩・新第三系分布域、濃飛流紋岩・苗木上松花崗岩分布域の順になる。
- ④ リニアメントの交差性が最も高い地区はC地区であり、以下、B地区、D地区、A地区の順になる。これを分布する地質と対応させると、断層集中帯、濃飛流紋岩・苗木上松花崗岩分布域、領家花崗岩分布域、古生層・土岐花崗岩・新第三系分布域の順になる。
- ⑤ ランドサットTM画像と空中写真とによるリニアメント判読結果を比較した結果、ローズダイアグラムのパターンに整合性が認められた。しかし、他のリニアメント特徴については、データの縮尺の違いや実体視の可否等により、若干異なる値が得られた。

解析対象地区名：D



N80°-90°W:	33.09Km
N70°-80°W:	15.48Km
N60°-70°W:	22.99Km
N50°-60°W:	42.59Km
N40°-50°W:	18.77Km
N30°-40°W:	9.17Km
N20°-30°W:	3.39Km
N10°-20°W:	5.65Km
N00°-10°W:	50.17Km
N00°-10°E:	76.48Km
N10°-20°E:	31.35Km
N20°-30°E:	40.99Km
N30°-40°E:	46.44Km
N40°-50°E:	40.22Km
N50°-60°E:	30.46Km
N60°-70°E:	42.10Km
N70°-80°E:	37.72Km
N80°-90°E:	30.99Km

解析対象地区名：D



N80°-90°W:	16本
N70°-80°W:	8本
N60°-70°W:	13本
N50°-60°W:	20本
N40°-50°W:	12本
N30°-40°W:	5本
N20°-30°W:	2本
N10°-20°W:	3本
N00°-10°W:	33本
N00°-10°E:	41本
N10°-20°E:	16本
N20°-30°E:	19本
N30°-40°E:	24本
N40°-50°E:	19本
N50°-60°E:	17本
N60°-70°E:	21本
N70°-80°E:	19本
N80°-90°E:	14本

図-10 D地区に分布するリニアメントのローズダイアグラム

4. 活断層系の役割とリニアメント分布特性の違いについて

解析の結果から、リニアメントの分布特性は、解析対象地域に発達する活断層系（高角度の逆断層や横ずれ断層）に区分されている地区毎に異なることが明らかになった。ここで判読されたリニアメントは、断層や節理といった断裂系の運動やそれに沿った差別侵食で形成されたと仮定すれば、各活断層系に区分されている地区内に発達する断裂系は、地区毎に卓越方向が異なっていることから、異なる応力場で形成されたものと考えられる。本地域に発達する活断層系は、後期中新世末（6～7 Ma）から現在にかけて東西圧縮場において発達してきた断層であり⁴⁾、これらの活断層系の走向である北東-南西方向及び北西-南東方向の断裂系は、比較的新しい断裂系とすることができる。これに対し、これ以外の走向の断裂系は、現在の広域応力場以前の古い広域応力場によって形成された断裂系と考えることができる。

もし、活断層系に区分されている地区内にも、現在の広域応力場と同一な応力がかかっているとすれば、地区を区分する活断層系と同一の走向を持つ断裂系が発達し、地区毎のリニアメントの卓越方向は、同様な傾向を示すであろう。確かに各地区のリニアメントのローズダイアグラムは、地区を区分する活断層系の走向と同一の方向のリニアメントの存在を示しているが、これらの走向のリニアメントは、卓越方向になるまでには発達していない。したがって、各地区内部の応力場は、現在の広域応力場によって形成される断裂系が十分に発達する以前に変化した可能性が考えられる。この応力場の変化の主たる原因としては、地区を区分する活断層系が応力解放の場となり、地区内部には断裂系を発達させる程の応力が発生しなくなったことが考えられる。

以上のことから、各地区には、現在の広域応力場によって生じた断裂系と過去における広域応力場で形成された断層とが共存する形で保持されていると考えられる。この過去における広域応力場によって形成された断裂系については、地区毎に異なる時代の地質が分布していることから、各地区での断裂系の形成時期は異なっていると推測される。したがって同一の広域応力場で形成されていないことから、走向は地区毎で異なるものと考えられる。

6. 結論

本解析によって岐阜県東濃地方に発達する北西系および北東系の活断層系は、異なるリニアメント分布特性を示す地区間の境界をなしていることが明らかになり、このことは、地下水流動の主要な規制要因の一つである断裂系の分布形態が、活断層系を境にして異なっていることを示しているものと考えられる。また、このような比較的大規模な断層は一般に谷地形を形成しており、当地方の主な河川（例えば飛驒川や付知川等）もこれらの断層に沿って流下していることから、地下水流動系の境界と見なすことができる。

したがって、異なるリニアメント分布特性を示す地区間の境界をなしているような比較的大規模の大きい断裂系は、広域地下水流動解析の対象範囲を決定する際の判断材料の一つとして考えることができる。

7. 今後の予定

本解析によって、比較的規模の大きい断裂系は、岩盤中に発達する断裂系の分布形態や広域的な地下水流動系を規制する役割をなしている可能性が見いだされた。今後は、本解析で予想された事象を検証するために、地表や試錐孔等で観察された断裂系の分布との比較によるリニアメントとの対応性の評価や湧水地点等によるこれらの断裂系の透水性の評価等を実施し、これらの結果を基に、最終的には断裂系の水理学的な特性を勘案した広域地下水流動解析を実施する予定である。

8. 参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団・アジア航測 (1987) : 航空写真等による水理地質構造の解析 P. 39
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団・アジア航測 (1990) : 中部地方における広域地質環境評価のための断裂系調査(PNC ZJ7361 90-001) P. 51-53
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団 (1987) : 昭和61年度ウラン探鉱・採鉱に関する技術開発の現況(PNC N7400 87003) P. 84-89
- 4) 竹内 (1983) : 跡津川断層のルーツ, 月間地球, Vol. 5, No. 6, P. 373-377

ボアホールレーダーによる花崗岩岩盤特性調査

— 釜石鉱山原位置試験場における調査結果について —

仙波 毅 長谷川 健

尾方 伸久（環境地質課）

1. はじめに

結晶質岩盤中では地下水は主に割れ目や割れ目帯を流れると考えられ、結晶質岩の水理地質特性を評価するためには、割れ目や割れ目帯すなわち「水みち」の位置・規模・その透水性を把握することが必要不可欠である¹⁾。動力炉・核燃料開発事業団では、この割れ目や割れ目帯の位置・規模・その透水性を非破壊で且つ3次的に把握するための調査技術開発の一貫として、スウェーデン廃棄物管理公社（SKB）が開発した試錐孔内用レーダーシステム（RAMAC）を1988年度に導入し、日本の岩盤における適用試験を実施してきた^{2) 3)}。

レーダー法は波長の短い電磁パルスを岩盤内に発信させ、電磁波の速度や減衰特性の変化に着目して、非破壊で岩盤の不均質性や不連続面等を調べる手法である⁴⁾。レーダー法で得られる情報は岩盤の電気的な特性に関するものであるが、岩盤の電気的な特性はその含水量と密接な関係があり、岩水量の違いに起因する電磁波の速度や減衰の特性の変化から、岩盤の水理地質特性に深く関連している割れ目や割れ目帯の3次的分布を推定することが可能となる。

本稿では、試錐孔内用レーダーシステム（RAMAC）の、日本の岩盤における適用試験の一環として、釜石鉱山・原位置試験場内に掘削された試錐孔を用いてクロスホール調査を行ったので、その結果について報告する。

2. 調査位置

釜石鉱山は岩手県釜石市と遠野市の中間に位置する（図-1）。調査を実施した試錐孔は、海拔575.6mに位置する550mレベル坑道に掘削されており、試錐孔は全て栗橋花崗閃緑岩中に掘削されている（図-2）。図-3は調査に使用した試錐孔の位置を示したものである。この図に示したように、KD-89坑道からKH-5号孔が水平に掘削されており、KH-5号孔を中心として、同一坑道の東側にKH-6号孔が孔間距離12mで、西側のKD-88坑道に孔間距離13mでKH-4号孔がそれぞれ同一平面内に水平に掘削されている。また、KH-5号孔垂直上方13mのKB-89B試錐座からKH-7号孔が水平に掘削されている。なお、試錐孔の掘削長は約50mである。

3. 測定及び解析法

3.1 クロスホール調査の場合の測定法

クロスホール調査は2本以上の試錐孔を利用して行う。この調査では、一方の試錐孔にトランスミッタ（発信プローブ）を、他の試錐孔にレシーバ（受信プローブ）を設置し、

トランスミッタを一定深度に固定し、レシーバを一定間隔で移動させ測定を行う。トランスミッタとレシーバ間の距離が大きくなり、明瞭な受信信号が得られなくなれば、このトランスミッタ深度における測定を終了し、トランスミッタを次の点に移動し、同様の測定を繰り返す(図-4)。今回の調査ではトランスミッタ、レシーバとも2m間隔で移動させた。測定に用いたアンテナの中心周波数は20MHz及び60MHzである。表-1に各測定断面における測定仕様、測定波線数及び解析に用いた波線数をそれぞれ示す。ただし、測定深度は、各試錐孔の孔口からの深度で示してある。各プローブの3次元的位置は、試錐孔の孔曲りデータを用いて決定した。

なお、測定は平成2年3月21日から3月25日に実施した。

3. 2 解析法

クロスホール調査で得られたデータを用いて、トモグラフィ解析を行った。トモグラフィ解析では、試錐孔間の岩盤を幾つかの格子(セル)に分割し、各セル内の電磁波の遅さは一定と仮定して試錐孔間の岩盤の電磁波の遅さ分布を求める。ここで、電磁波の遅さは速度の逆数、すなわち、(遅さ) = 1 / (速度) である。今回の解析では、電磁波の伝播経路をトランスミッタとレシーバを結んだ直線であると仮定し(反射、回折等は考えない)、CG法(Conjugate Gradient method; 共役勾配法)を用いて解析を行った^{5) 6) 7)}。今回は1m×1mの正方形セルを用いて解析を行った。

トモグラフィ解析結果から得られる遅さは、基準値との差(遅さ残差; residual slowness)で示した。ここでは遅さの基準値として9259p秒/mを用いた。これは、KH-7とKH-5号孔間の測定波線の内、46本の波線を用いて求めた電磁波の平均伝播速度108m/μ秒の逆数である。なお、明らかに測定誤差が大きいと考えられる波線については、予め測定データから除去して解析を行った。

4. 解析結果

図-5が解析の結果得られた遅さ分布図であり、縦軸方向に試錐孔深度をとってある。この図では寒色系は遅さが小さいこと(以後、速度が速いと表現する)を表し、暖色系は遅さが大きいこと(以後、速度が遅いと表現する)を表しており、左から、KH-6・KH-5号孔間断面、KH-4・KH-5号孔間断面、KH-7・KH-5号孔間断面、KH-7・KH-6号孔間断面及びKH-7・KH-4号孔間断面の解析結果である。解析結果では電磁波速度の速い部分及び遅い部分の連続が認められ、これをまとめると、図-6及び図-7のようになる。前者はトモグラフィ解析結果から推定される低速度(102~105m/μsec)を示す部分の連続(低速度部1~4)を、後者はトモグラフィ解析結果から推定される比較的高速度(106~107m/μsec)を示す部分(高速度部1~2)の連続を示す。

今回の調査から以下のことが明らかになった。

(1) 低速度を示す部分の連続について(図-6)

・低速度部1

KH-7・KH-6号孔間断面の深度5m付近にみられる低速度部は、KH-7・KH-5号孔間断面を通り、KH-4・KH-5号孔間断面をかすめ、KH-7・KH-4号孔間断面へ抜ける。

・低速度部 2

KH-7・KH-6号孔間断面の深度 10m付近にみられる低速度部は、KH-6・KH-5号孔間断面を通り、KH-7・KH-5号孔間断面に抜けるが、KH-4・KH-5号孔間断面においてはKH-4号孔に向かっては延びていかない。

・低速度部 3

KH-7・KH-4号孔間断面の深度 7m 付近にみられる低速度部は、KH-7・KH-5号孔間断面を通り、KH-6・KH-5号孔間断面に抜ける。

・低速度部 4

KH-7・KH-4号孔間断面の深度 37m付近にみられる低速度部は、KH-7・KH-5号孔間断面を通り、KH-6・KH-5号孔間断面に抜ける。

(2) 比較的高速度を示す部分の連続について (図-7)

・高速度部 1

KH-7号孔孔口付近からKH-4, 5, 6号孔を含む断面の深度 30m付近へ抜けるように比較的高速度を示す部分が、連続している(トモグラフィ解析結果ではある厚みをもっているが、ここでは便宜上平面として図示した)。この部分の走行はNE系、傾斜はNW系である。

・高速度部 2

KH-4・KH-5号孔間断面、KH-6・KH-5号孔間断面及びKH-7・KH-5号孔間断面の孔口付近に比較的高速度を示す部分が認められる。この高速度部は、KH-7・KH-4号孔間断面及びKH-7・KH-6号孔間断面へは連続していない。

5. 考察

岩盤中を伝播する電磁波の速度 V_p は、真空中を伝播する電磁波の速度を V_c (= 299.8 m/ μ sec)、岩盤の比誘電率を ϵ とすると、

$$V_p = V_c / \sqrt{\epsilon} \quad (1)$$

で表される。上式に示すように、岩盤中を伝播する電磁波の速度は岩盤の比誘電率によって決定される。岩盤のマトリックス部の比誘電率は一般的に5~10であるのに対し、水の比誘電率は約80と非常に大きな値をとるため¹⁾、岩盤の比誘電率は岩盤中の含水量に大きな影響を受ける。すなわち、空隙率が大きくなったり、割れ目が発達して岩盤中の含水量が多くなれば、岩盤の比誘電率が大きくなるため電磁波の速度は遅くなる。従って、前章で述べたトモグラフィ解析結果で確認された電磁波速度が遅い部分は含水量が多い部分であると考えられる。また、電磁波速度が速い部分は岩盤中に割れ目等が発達していないために含水量が少ない部分であるか、あるいは割れ目等が発達していてもその含水量が少ない部分であると考えられる。

KH-4, 5, 6, 7号孔においてはボアホールテレビにより孔内の割れ目観察が行われている。この結果、割れ目の卓越方向としてN30~40°E系とN80~90°W系の2方向が確認されたが、トモグラフィ解析結果より推定した上記低速度部1~4の連続のうち、1と2はN80~90°W系、3と4がN30~40°E系と読み取れ、両結果は整合している。また、

試錐孔KH-4、5、6号孔では、湧水割れ目の位置がボアホールテレビにより確認されている。図-5中に示した●が湧水割れ目の位置であり、湧水割れ目の位置と電磁波速度の遅い部分の位置は良く一致している。先にも述べたように、電磁波速度の遅い部分は含水量の多い部分であると考えられるので、電磁波の遅い部分は湧水割れ目を含む割れ目帯であると考えられ、先に推定した電磁波の低速度部の3次元的連続(図-6参照)は、湧水割れ目を含む割れ目帯の連続であると推定される。

6. 調査終了後に掘削された坑道壁面で観察された割れ目との比較

この試験場では試錐孔を利用した調査終了後、KH-5号孔に沿って水平坑道(KD-90 坑道深度約50m)が掘削された(図-8参照)。この坑道壁面における割れ目分布状況を調べることにより、試錐孔内の観察結果だけではなく、さらに広範囲の割れ目とトモグラフィ解析結果との対比が可能となった。

図-9にKD-90坑道における割れ目観察結果を示す。この図は坑道天盤を中心とした展開図となっている。坑道の天盤の位置はKH-7・KH-5号孔間断面においては、KH-5号孔からKH-7号孔に向かって3番目のセルに相当する。また坑道壁面の位置は、KH-4・KH-5号孔間断面ではKH-5号孔からKH-4号孔に向かって2番目のセルに相当し、KH-6・KH-5号孔間断面ではKH-5号孔からKH-6号孔に向かってやはり2番目のセルに相当する。トモグラフィ解析結果と坑道壁面で観察された割れ目とを定性的に対比するにあたり、坑道天盤で観察された割れ目の集中度合いにより、A~Eの5つのゾーンに分割した。各ゾーンとトモグラフィ解析結果とを比較した結果について以下に示す。

(1) ゾーンA(0m~10m)

このゾーンは全体的に割れ目の密度が低く、割れ目充填鉱物としては石英、方解石、濁沸石、束沸石、ブドウ石等が認められる。割れ目に伴う変質は少なく、天盤からの滴水は殆ど認められない。坑道壁面においては特に東側の側壁で多数の湧水点が認められたが、湧水量は極わずかであった。

トモグラフィ解析結果では、KH-4・KH-5孔間、KH-6・KH-5孔間及びKH-7・とKH-5号孔間の各断面でこのゾーンで電磁波の速度が速くなっているが、これは上記のように、割れ目の発達が少ないことと対応しているものと考えられるが、ここは坑道の解放面側であるため、坑道壁面からの水分の蒸発により岩盤内の水分量が減少している可能性もある。

トモグラフィ解析結果では、KH-5号孔を含む水平面内でKH-6号孔方向と比較して、KH-4号孔方向が電磁波の速度が速くなっている。この部分では以前にKD-88坑道から2本の試錐孔(KH-6及びKH-7号孔、孔長はそれぞれ15m)がKH-5号孔と直行する方向に掘削されていた(図-8参照)。これら2本の試錐孔では掘削直後は多量の湧水が認められたが、その後湧水量は漸次減少しクロスホール調査時点では湧水はほとんど観察されなかった。つまり、この2本の試錐孔が新たな水みちとなり、試錐孔周辺岩盤の水をKH-4号孔側より多く排水する形になり岩盤の乾燥が進んだため、KH-4号孔側の電磁波速度がKH-5号孔側の電磁波速度よりも速くなったものと考えられる。

(2) ゾーンB (10 m～20 m)～ゾーンC (20 m～30 m)

このゾーンは割れ目密度が高く破碎帯も認められる。割れ目充填鉱物としては、石英、方解石、濁沸石、束沸石、ブドウ石等が基本的に認められ、他に緑レン石、緑泥石等も多く認められる。また、割れ目に伴う変質も発達する。ゾーンBにおいては天盤及び側壁において多数の流水・滴水箇所が認められる。

トモグラフィ解析結果では、KH-4・KH-5号孔間、KH-6・KH-5号孔間及びKH-7・KH-5号孔間の各断面とも低速度部が認められる。特にゾーンBの天盤の位置には電磁波速度が非常に遅い部分が解析されており、割れ目観察結果とよい対応を示している。また、ゾーンBでは破碎帯は天盤から西方向に延びているが、この部分では電磁波速度はKH-6号孔側（東側方向）よりもKH-4号孔側（西側方向）で遅くなっている。逆に、ゾーンCでは破碎帯は天盤から東方向に延びているが、この部分では電磁波速度はKH-4号孔側（西側方向）よりもKH-6号孔側（東側方向）で遅くなっており、トモグラフィ解析結果と割れ目観察結果はやはりよい対応を示している。

(3) ゾーンD (30 m～35 m)

このゾーンの割れ目密度はゾーンAよりは若干高いが、ゾーンB～Cよりは低くなっている。割れ目充填鉱物はゾーンB～Cとほぼ同様で、割れ目に伴う変質はゾーンB～Cと比較して少ないが発達している。またこの区間は坑道天盤及び側壁からの滴水はほとんど観察されない。

トモグラフィ解析結果では、KH-4・KH-5号孔間、KH-6・KH-5号孔間及びKH-7・KH-5号孔間の各断面とも電磁波速度はゾーンB～Cよりも速いが、ゾーンAよりは遅い中間の速さを示している。

(4) ゾーンE (35 m～)

このゾーンは割れ目密度が最も高く、ゾーンB～Cと同様に破碎帯も発達している。割れ目充填鉱物はゾーンB～Cと同様である。割れ目に伴う変質はゾーンB～Cに次いで多く発達する。坑道天盤及び側壁からの流水、滴水箇所及び湧水量は他のどのゾーンよりも多く観察されている。

トモグラフィ解析結果では、KH-4・KH-5号孔間、KH-6・KH-5号孔間及びKH-7・KH-5号孔間の各断面ともゾーンB～Cと比較して電磁波の速度が遅くなっており、坑道天盤及び側壁からの流水、滴水量が他のどのゾーンよりも多いこととよく対応している。

さらに、KH-7・KH-5号孔間断面には他の断面と比較してより低速度を示す部分があり、天盤方向に湧水割れ目を含む割れ目帯が発達しているものと考えられる。

以上示したように、坑道壁面観察の結果、岩盤の含水量が多いと考えられる部分とトモグラフィ解析の結果得られた電磁波速度の低速度部は非常によりよい対応を示し、電磁波の低速度部が湧水割れ目を含む割れ目帯の連続であるという推定の妥当性が確認された。

7. まとめ

釜石鉱山・原位置試験場内に掘削された試錐孔を利用してレーダー法クロスホール調査

を行い、そのデータを用いたトモグラフィ解析結果と試錐孔及び坑道側壁面観察結果を比較した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) トモグラフィ解析結果により岩盤内の電磁波速度の低速部及び高速部の3次元の連続性を推定することができた。
- (2) トモグラフィ解析結果で把握できた電磁波速度の低速度部は湧水割れ目を含む割れ目帯の集中している場所であり、低速度部の3次元の連続は湧水割れ目を含む割れ目帯の連続であるという推定の妥当性が確認された。

以上、本稿において、クロスホール調査で得られたデータをトモグラフィ解析することにより岩盤内の含水状況を定性的に把握できることを示したが、岩盤の空隙率とその誘電率の関係を明らかにすることにより、(1)式を用いて電磁波速度から直接岩盤の空隙率を推定出来るものと考えられる。そこで今後は、トモグラフィ解析結果から岩盤の空隙率分布を求め、岩盤内の含水量を定量的に把握する手法を構築し、その結果及び透水試験、地質記載等により岩盤の透水性を3次元的に評価するための手法を開発していく予定である。

参考文献

- 1) 渡辺邦夫、柳沢孝一、PUSCH R.、佐久間秀樹、藍沢稔幸、山本肇、神田信之：蒸発量計測によるトンネル壁面からの湧水量の測定（その2）—現場計測—、応用地質、第31巻、第1号、p.1~p.11（1990）
- 2) 佐久間秀樹、坪田浩二：土岐花崗岩におけるRAMACシステムの適用試験について、物理探査学会第78回学術講演会講演論文集、p.305~p.309（1988）
- 3) 仙波毅、尾方伸久、坪田浩二、大沢英昭：ボアホールレーダの適用例（特に花崗岩に対するRAMACの適用）、地下電磁計測ワークショップ—地中探査レーダ、ボアホールレーダの現状と展望—論文集、p.66~p.70（1989）
- 4) OLSSON, O., FALK, L., FORSLAND, O., LUNDMARK, L., SANDBERG, E. : Crosshole Investigations - Results from Borehole Radar Investigations, Stripa Project TR 87-11, SKB, Stockholm, Sweden (1987)
- 5) IVANSSON, S. : Crosshole investigations - Tomography and its application to crosshole seismic measurements, Stripa Project IR 84-08, SKB, Stockholm, Sweden (1984)
- 6) 坪田浩二、則竹和光、伊東慎司、落合竜夫：Geotomographyにおける再構成手法評価（その1）、物理探査学会第79回学術講演会講演論文集、p.49~p.54（1988）
- 7) 坪田浩二、則竹和光、伊東慎司、落合竜夫：Geotomographyにおける再構成手法評価（その2）、物理探査学会第80回学術講演会講演論文集、p.36~p.41（1989）
- 8) CARMICHAEL, R.S. : Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, Inc. (1989)

表 - 1 測定仕様

KH-4・KH-5号孔間	
電磁パルスの中心周波数	60 MHz
サンプリング周波数	632 MHz
測定深度 トランスミッタ	1. 20 m ~ 45. 20 m (KH-5号孔)
レシーバ	1. 27 m ~ 41. 27 m (KH-4号孔)
測定波線数の総数	419
解析に用いた波線の総数	354
KH-6・KH-5号孔間	
電磁パルスの中心周波数	60 MHz
サンプリング周波数	632 MHz
測定深度 トランスミッタ	1. 20 m ~ 43. 20 m (KH-5号孔)
レシーバ	1. 30 m ~ 45. 30 m (KH-6号孔)
測定波線数の総数	439
解析に用いた波線の総数	356
KH-7・KH-5号孔間	
電磁パルスの中心周波数	60 MHz
サンプリング周波数	632 MHz
測定深度 トランスミッタ	1. 20 m ~ 45. 20 m (KH-5号孔)
レシーバ	1. 20 m ~ 47. 20 m (KH-7号孔)
測定波線数の総数	482
解析に用いた波線の総数	425
KH-7・KH-4号孔間	
電磁パルスの中心周波数	20 MHz
サンプリング周波数	230 MHz
測定深度 トランスミッタ	1. 27 m ~ 41. 27 m (KH-4号孔)
レシーバ	1. 20 m ~ 47. 20 m (KH-7号孔)
測定波線数の総数	504
解析に用いた波線の総数	246
KH-7・KH-6号孔間	
電磁パルスの中心周波数	20 MHz
サンプリング周波数	230 MHz
測定深度 トランスミッタ	1. 30 m ~ 45. 30 m (KH-6号孔)
レシーバ	1. 20 m ~ 47. 20 m (KH-7号孔)
測定波線数の総数	552
解析に用いた波線の総数	254
サンプル数	512
スタッキング数	128

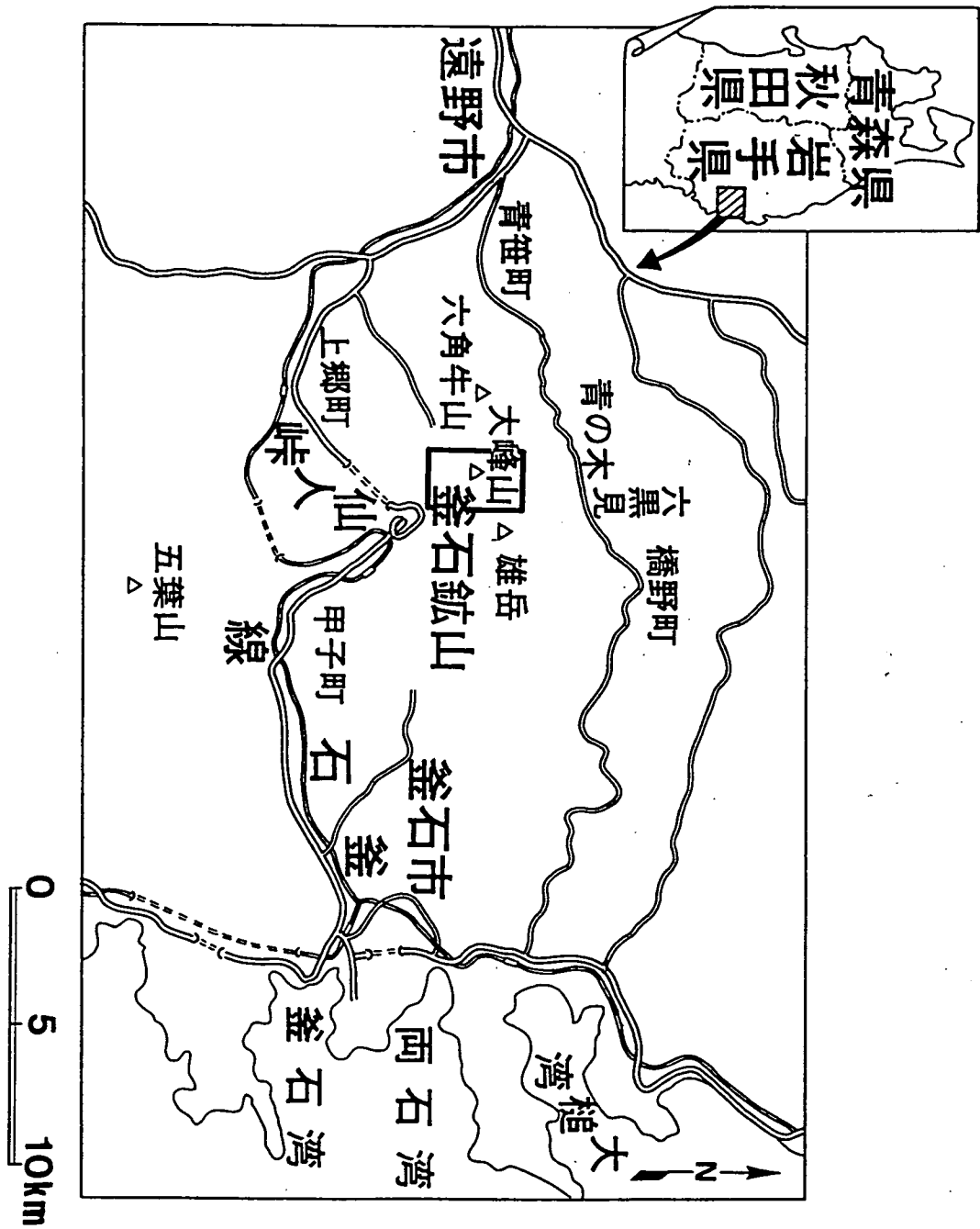


図-1 釜石鉱山位置図

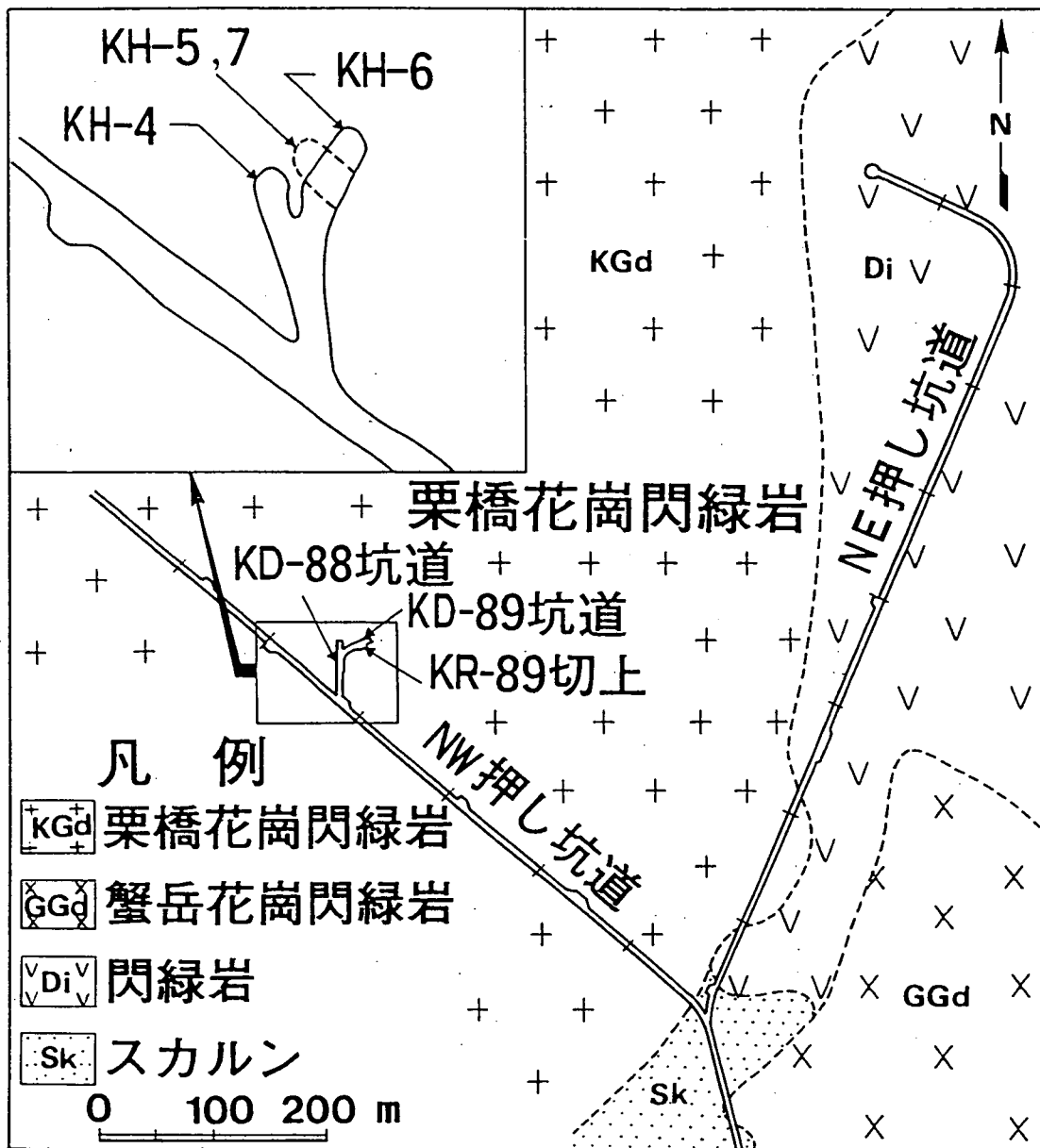


図-2 原位置試験場550m 坑道位置

及び 地質平面図

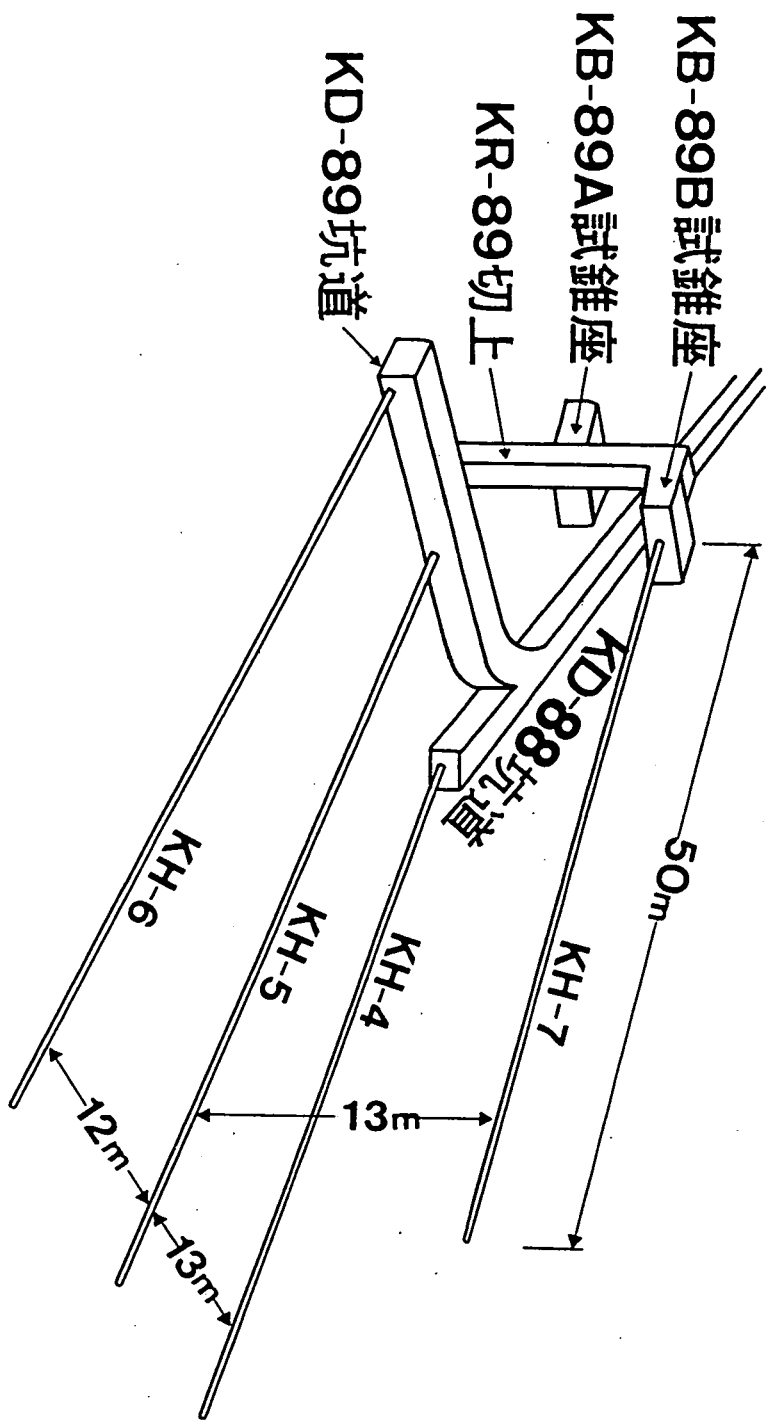


圖-3 試錐孔配置詳細圖

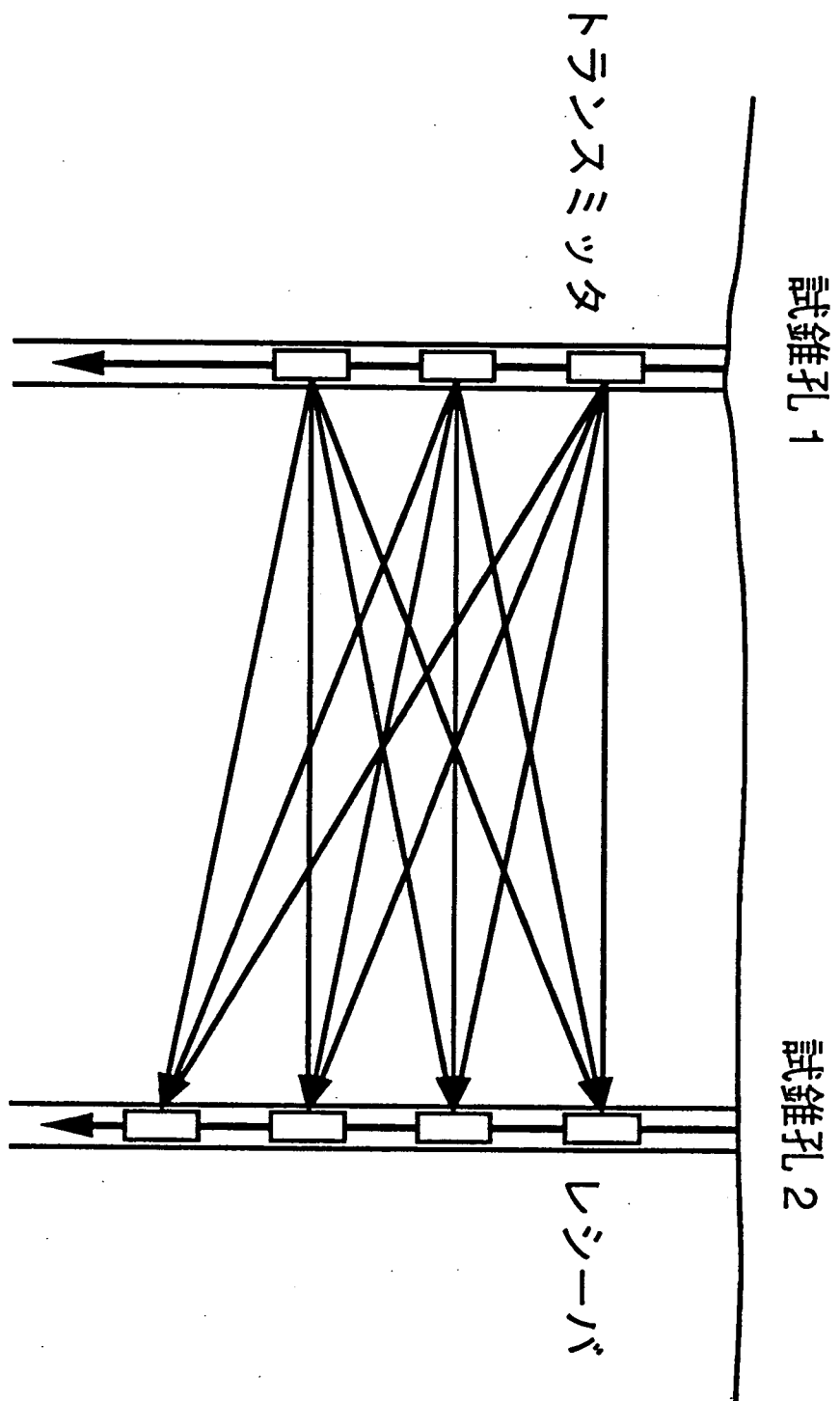


図-4 クロスホール調査概念図

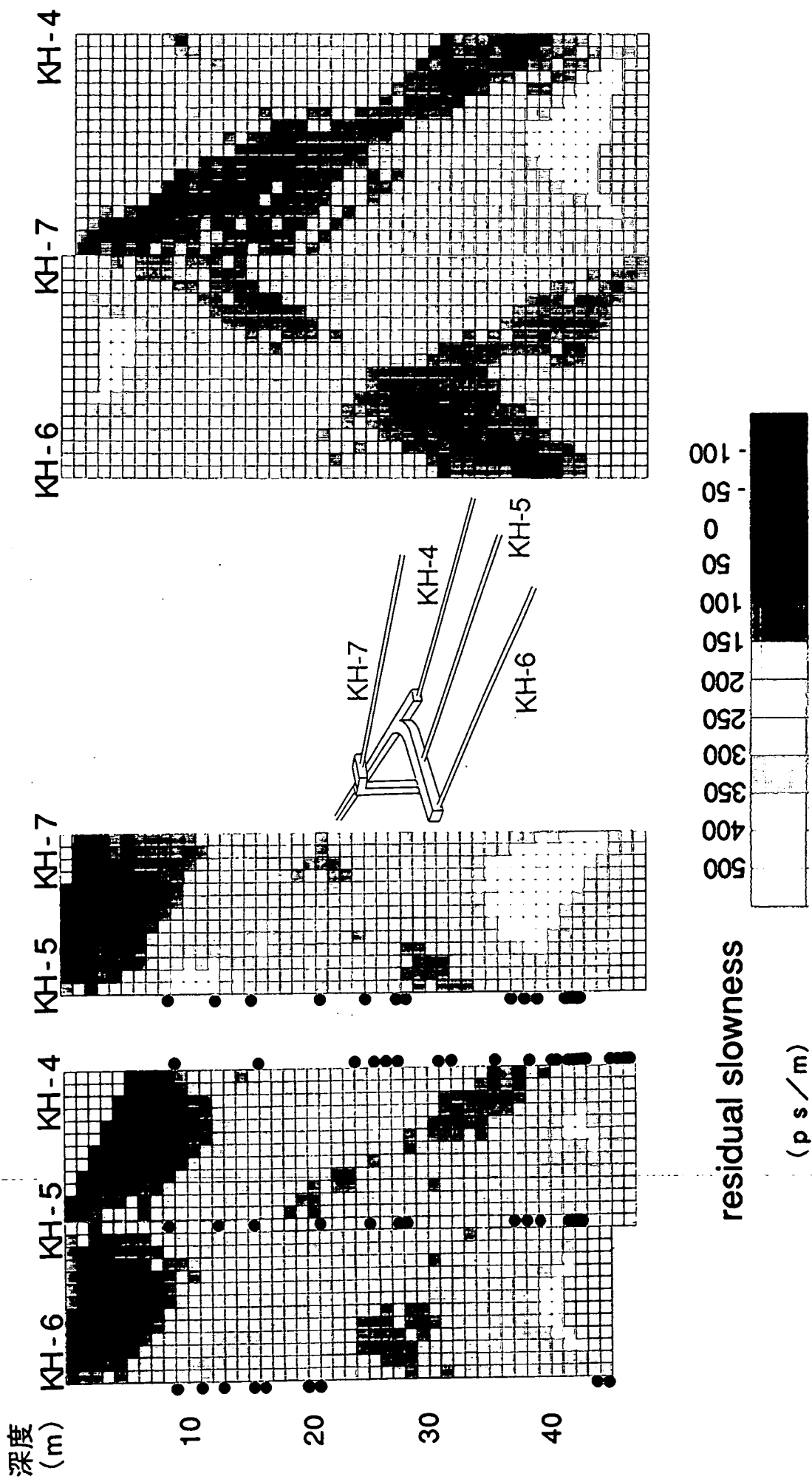


図-5 トモグラフィ解析結果

(図中の●は、ボアホールテレビで観察された

湧水点位置を示す)

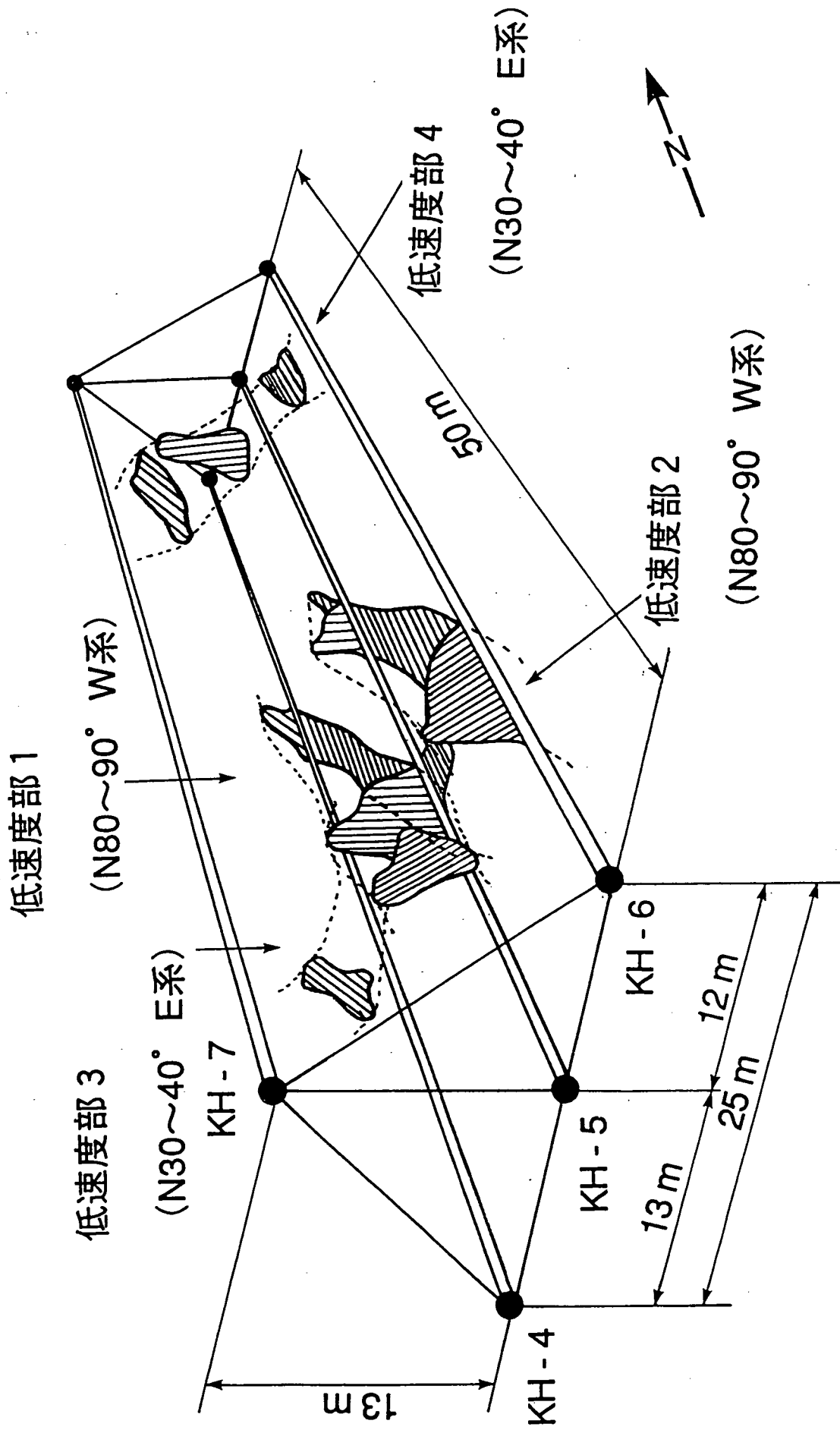


図-6 トモグラフィ解析結果から推定される低速度部

(102 ~ 105m/μsec) の3次元の連続

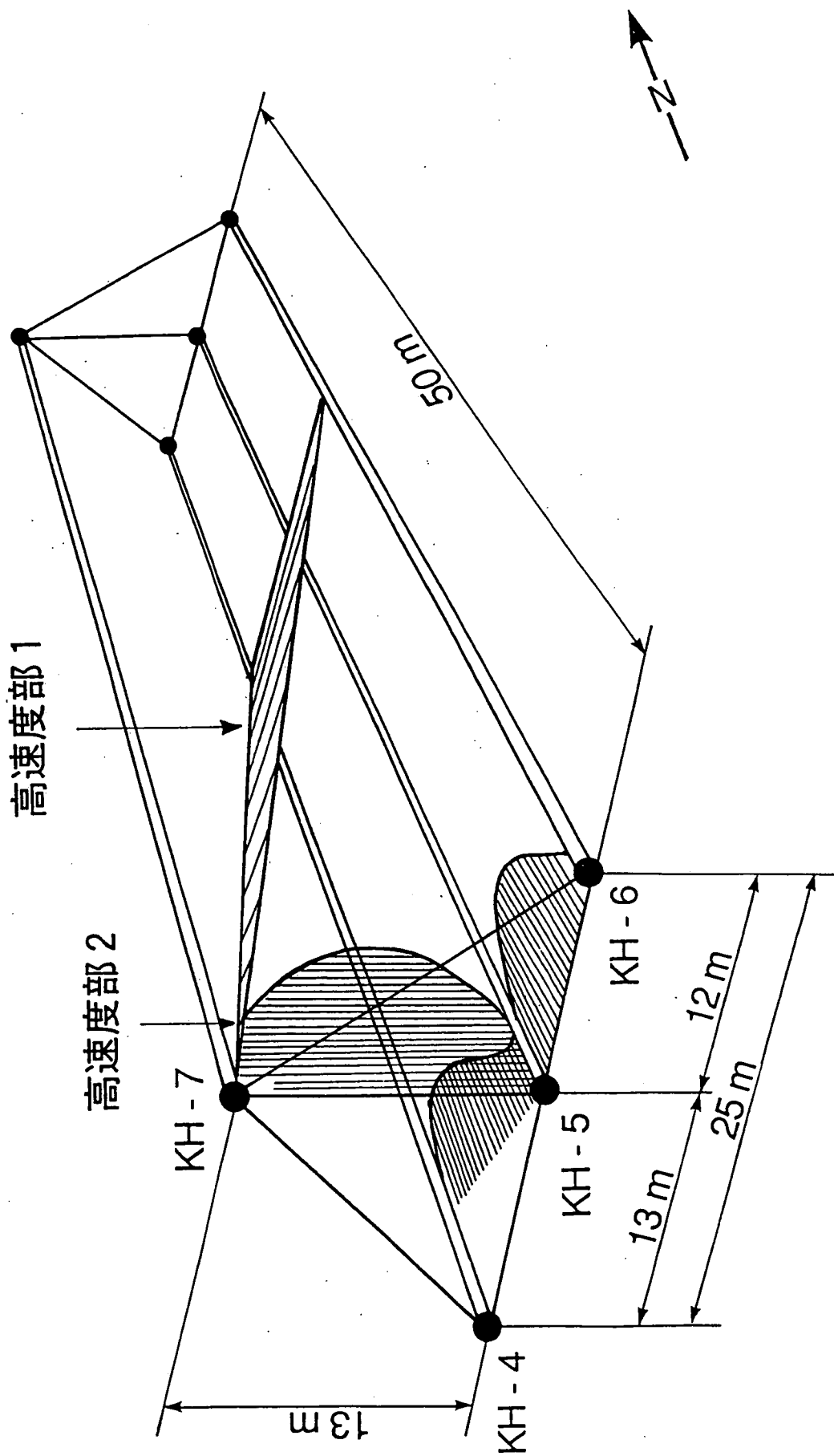


図-7 トモグラフィ解析結果から推定される高速部

(106 ~ 107m/μsec) の3次的連続

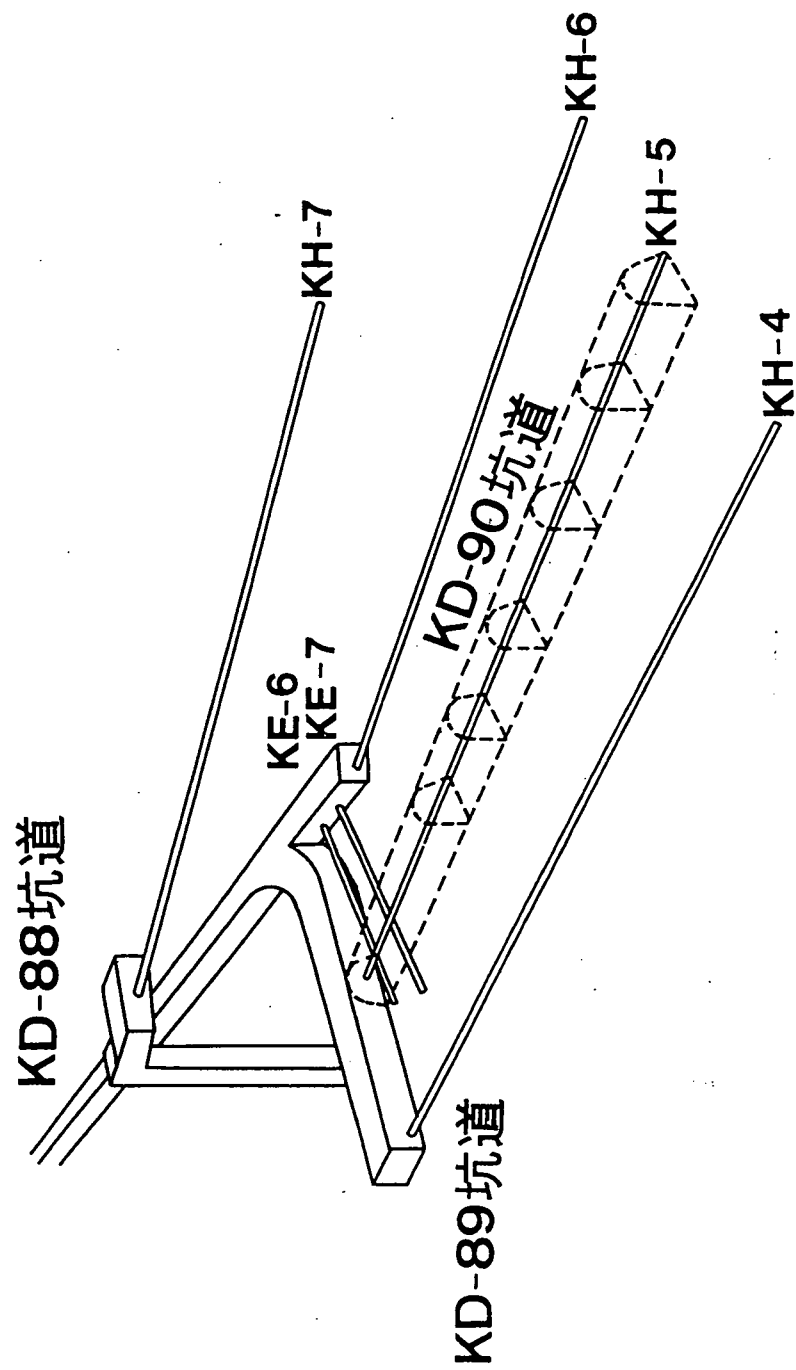


图-8 KD-90坑道及びKE-6、KE-7号孔位置图

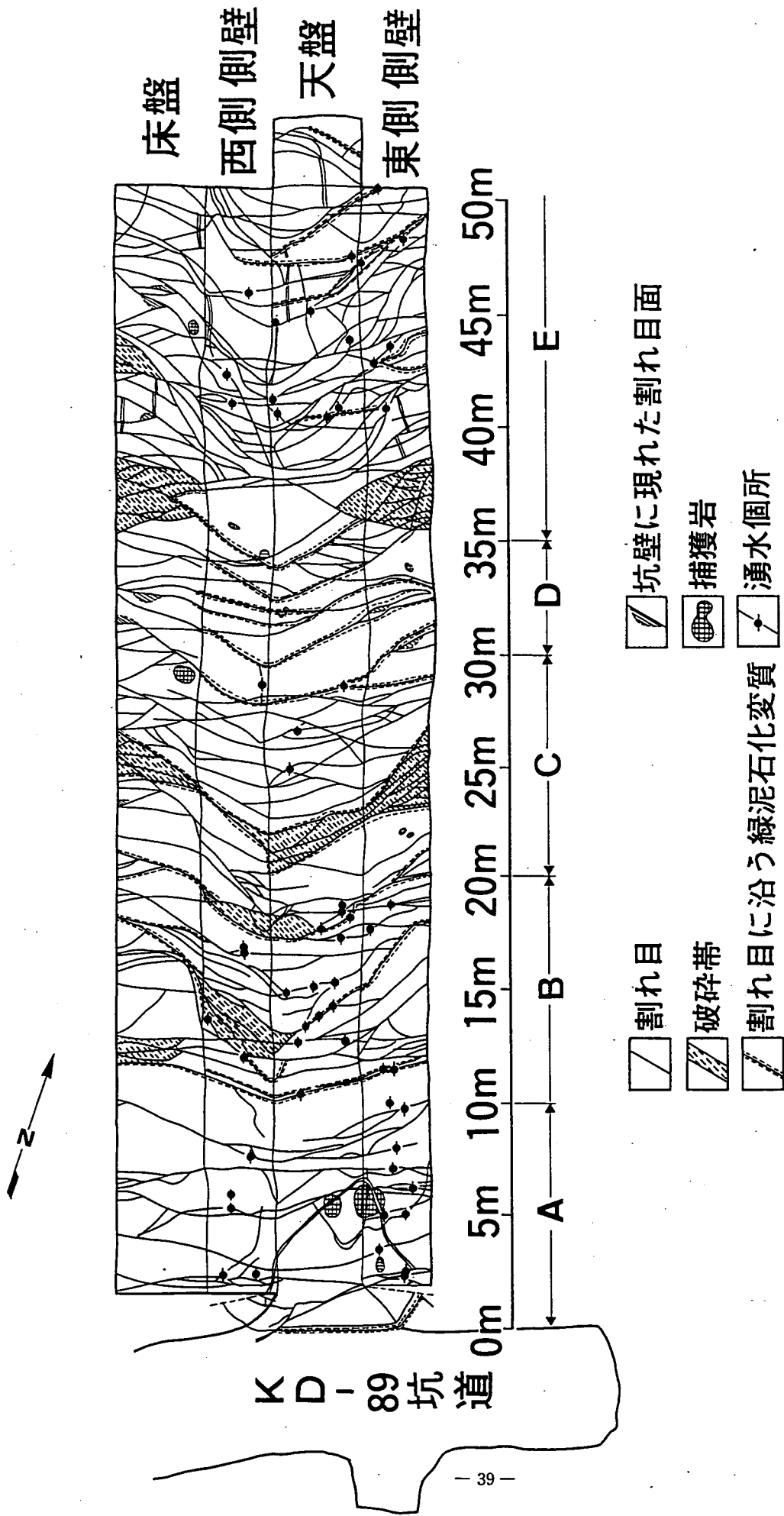


図-9 KD-90坑道における壁面観察結果

東濃地域における立坑掘削影響試験

—岩盤挙動調査—

松井裕哉

杉原弘造 吉岡尚也（環境地質課）

1. はじめに

地層処分場を建設するために、岩盤に立坑や水平坑道などの空洞を掘削すると、周辺岩盤が力学的、水理学的に影響を受けると考えられる。これらの影響を定量的に評価し、その発生メカニズムを明らかにすることは、地層処分場の設計、建設、閉鎖に重要な情報を与える意味で、また、地層処分システムにおける人工バリア性能評価の境界条件を設定する上で重要である。さらに、地下水流動に関する研究において、地下に坑道を掘削することは、その予測モデルの検証という重要な意味を持っている。立坑掘削による影響は、周辺岩盤への力学的、水理学的影響と、周辺地域の地下水流動への影響に分けることができるので、立坑掘削影響試験は次の2項目に分けて実施している。

①岩盤挙動調査

②水理調査

岩盤挙動調査は比較的立坑近傍の領域を対象とし、水理調査は岩盤挙動調査より広い領域を対象としている。ここでは立坑掘削影響試験のうち、岩盤挙動調査の概要と、これまでの結果について、平成3年4月末までに得られたデータに基づき報告する。

2. 実施内容

岩盤挙動調査は既存手法による計測を基本に行っており、前述した目的に合致するようなデータを得る上で、現時点でどのような問題があるかを明確にすることも重要なテーマである。また、このような各種計測により得られたデータに基づき、数値解析によるデータの解析を行い、周辺岩盤においてどのような現象が起こっていると考えられるかを検討、評価する。

立坑掘削に伴って岩盤本来の特性が影響を受ける領域を本研究ではゆるみ領域と呼んでいる。このゆるみ領域の特性やその広がりなどを定量的に把握するために、立坑掘削前の状況を調査する事前調査を行い、立坑掘削中及び掘削後の状況を調査する計測断面を立坑内に設定した。

事前調査では、データ評価の基礎となる地質状況の概略を把握するために地表において弾性波調査を行った。また、立坑掘削による岩盤の動きを計測するために、立坑掘削壁から1m離れた位置に180mの試錐（CL-1, 2）を行い、このボーリング孔に挿入式傾斜計を設置し、立坑掘削前の初期値を測定した。

立坑掘削中の計測は、大きく2種類に分けることができる。

①支保工と周辺岩盤の変形挙動に関する調査（図-1）

②力学的, 水理学的特性変化に関する調査 (図-2)

支保工と周辺岩盤の変形挙動に関する調査では、挿入式傾斜計による測定に加え、図-6に示すような断面を設定し、掘削切羽が計測断面に到達した時点で各計測項目に対応する計測機器を設置し、掘削再開以後の経時変化を測定している。計測項目を表-1にまとめて示す。計測は、支保工にかかる応力を測定する覆工応力測定、支保工応力測定、背面土圧測定や、岩盤の変位を測定する地中変位測定、内空変位測定、天端沈下測定などを行っている。立坑掘削終了後も設置した計測機器による長期観測を継続する計画である。力学的, 水理学的特性変化に関する調査では、掘削切羽が図-2に示すような計測断面に到達した時点で各計測項目の掘削前のデータを採取し、掘削切羽が計測断面から十分離れた時点で掘削後のデータを採取し、この両者を比較している。計測項目を表-1にまとめて示す。計測は、変形特性を測定する孔内載荷試験、透水性を測定する透水試験、弾性波の伝播速度を測定する孔間弾性波測定、割れ目の分布を測定するボアホールテレビ観察などを行っている。

特に、ジオトモグラフィーの計測は第一及び、第二計測坑道掘削後、立坑掘削終了後の3回行い、これらのデータを掘削前、掘削中、掘削後のデータとして比較、検討する予定である。また、連続ひずみ測定では第二計測坑道掘削後、月吉断層の上盤と下盤にひずみ計を埋設し、立坑掘進中の周辺岩盤における応力変化を測定し、立坑掘削終了後オーバーコアリングによりこのひずみ計を回収して残留応力を測定する予定である。

3. 成果

本研究は現在進行中であり、全てのデータは得られておらず、評価も終了していないので、ここでは岩盤挙動調査のこれまで得られたデータの中で、比較的まとまっていて初期的な評価ができた以下の項目について述べる。

3. 1 力学的, 水理学的特性変化に関する調査 (A, B断面)

A断面では、孔内載荷試験、透水試験、ボアホールテレビ観察、超音波パルス試験を、B断面では、孔内載荷試験、透水試験、ボアホールテレビ観察、孔間弾性波測定を、それぞれ行った(図-2)。これらの試験は全て掘削前と掘削後に行い、その結果を比較している。

A断面では立坑壁から東西に6mのボーリング孔を1孔ずつ(東側:A-1, 西側:A-2)掘削している。B断面では第一計測坑道から立坑に平行に2.3mのボーリング孔を4孔(立坑壁に近いほうからB-1~4)掘削している。これらのボーリング孔は立坑壁から各々0.8, 1.3, 2.3, 3.3m離れている。GL-60m(第一計測坑道下盤から深度14.5m)に明世累層と土岐夾炭累層の境界があるので、地層の差による影響の程度の差を測定することが、B断面での計測の目的のひとつである。

孔内載荷試験はボアホールジャッキにより、10, 20, 30kg/cm²の圧力で繰り返し載荷を行っている。A断面ではA-1で行っており、B断面では各孔において2点ずつ行っている。測定位置を図-3, 5, 6に示す。

透水試験は低圧ルジオン試験を行っており、0.25, 0.50, 0.75, 1.00 kg/cm²の有効圧力での段階的な注入試験を行っている。A断面ではA-2で行っており、B断面では各孔において2点ずつ行っている。測定位置を図-4, 7, 8に示す。

ボアホールテレビ観察はボアホールスキャナーにより、両断面の全ボーリング孔の全長で行っている。

超音波パルス試験では、東北大学で開発された回転探触子型割れ目検知計³⁾により割れ目の分布を測定する。A断面の2孔で実施した。

孔間弾性波測定はB-1あるいはB-4を起振孔として他のボーリング孔を受振孔とし、1mピッチで測定を行った。この結果に基づき、各ボーリング孔間の弾性波速度を評価した。

A断面で行った孔内載荷試験結果を図-3に、透水試験結果を図-4に示す。この結果によると、弾性係数は掘削後大きくなり、透水係数は小さくなっている。弾性係数は坑壁に近いほど変化が大きく、透水係数は各測定区間における掘削後の透水係数がほぼ同じ値となっているという傾向がある。また、ボアホールテレビ観察、超音波パルス試験では掘削前後で大きな差異は測定されなかった。

B断面で行った孔内載荷試験結果を図-5, 6に、透水試験結果を図-7, 8に示す。この結果によると、弾性係数はA断面と同じく掘削後大きくなっている傾向があるが、透水係数はB-1以外変化が少なく、B-1ではA断面とは逆に大きくなっている。弾性波速度測定ではB-1, 2間で速度低下領域が現れた。また、ボアホールテレビ観察では各ボーリング孔のGL-60.5~65.5mの区間で割れ目が増加しているが、全体的には掘削前後で大きな差異は測定されなかった。

以上の結果から、次のことが明らかとなった。

- ①弾性係数は全般的に掘削後は大きくなっている。
- ②透水係数は立坑から1m以上離れると変化がないか小さくなっている。
- ③立坑壁から1m以内では透水係数は大きくなり弾性波速度が低下している。
- ④掘削前後での割れ目の変化は少ない。

調査によって得られたこれらの現象を理解するために簡単な数値解析を行った。図-19に示すように等方・均質を仮定したため、解析対象領域は四半円とした。解析手法としては、2次元の弾塑性FEMを用い、破壊条件式としてはDrucker-Pragerの破壊条件を採用した。解析に用いたパラメータのうち、弾性係数については原位置での孔内載荷試験結果を用い、ポアソン比は0.35と仮定した。破壊条件に用いるC, Φ はコアサンプルを用いた室内でのジョイントせん断試験から決定した。また、初期応力場は、明世累層では、カイザー効果を利用したAE (Acoustic Emission) 法により岩盤の初期応力を測定しており、図-12に示すような異方的な応力場が測定されているのでこの結果を参考に設定した。A, B断面を対象とした解析により得られた再配分応力の分布図を図-10, 11に示す。この解析結果から、立坑周辺数mの範囲で応力集中が起こっている可能性がある。従って、①, ②については、立坑掘削による周辺岩盤内の応力再配分により、弾性的な地山アーチが形成され、空隙が閉塞することが原因の一つである可能性がある。また、異方的な応力場が、A, B断面における結果の違いに関係している可能性もある。さらに、③については、立坑掘削により発生した不飽和領域が影響している可能性

がある。しかし、現時点ではこれらの可能性に関する定量的な評価は終了していない。

3. 2 支保工と周辺岩盤の変形挙動に関する調査 (M2断面)

地中変位及び覆工応力の測定をM2断面で行った。地中変位は、機械式のアンカーを持つ6点式の地中変位計を立坑から水平に6か所設置し、各地中変位計において立坑壁より0.75, 1, 2, 3, 4, 6mの位置の変位を測定した。覆工応力はコンクリート覆工中にコンクリート有効応力計を6か所埋設し測定した。これらの測定は地表のコンピューターで測定が行えるシステムになっている。

M2断面における地中変位と覆工応力の測定結果を図-12, 13に示す。地中変位量は立坑壁から1m以内が多いが、その絶対量は測定断面の深度がGL-67.5mと浅いため少ない。特に北東と南東方向はほとんど変位が測定されていない。また、覆工応力は北東、南西方向が大きくなっている。この結果は図-17に示した初期応力の方向と一致しているが、地中変位の傾向はこれらとは異なっている。

これらの現象を理解するためにM2断面を対象として行った解析結果と実測結果を図-14, 15に示す。解析に用いたパラメータ及び設定方法は前述したA, B断面を対象とした解析と同様である。これらの図は、最大主応力方向に最も近い方向の立坑壁面の変位を基準値として各変位を基準化して表示したものである。これを見ると、解析によって得られた変形モードと地中変位計測結果から得られた壁面の変形モードを比較した場合、必ずしも一致しておらず、特に南西方向の変位モードが解析結果に比べ、著しく異なっている。図-16に実測値から求めた体積ひずみ分布を示す。これを見ると、南西方向においては壁面近傍で室内試験で得られた破壊時の体積ひずみを越えており、この領域では、岩盤が破壊したため、相対的に大きな変形が生じた可能性が考えられる。しかし、実測された覆工応力分布と地中変位の傾向は必ずしも整合的ではなく、計測手法自体の問題である可能性もある。

4. まとめ

以上をまとめると次のようなことが明らかとなった。

・力学的・水理学的物性変化に関する調査 (A, B断面)

- ①弾性係数は全般的に掘削後は大きくなっている。
- ②透水係数は立坑から1m以上離れると変化がないか小さくなっている。
- ③立坑壁から1m以内では透水係数が大きくなり、弾性波速度が低下している。
- ④掘削前後での割れ目の変化は少ない。

・支保工と周辺岩盤の変形挙動に関する調査 (M2断面)

南西方向に相対的に大きな変形が観測されるものの、絶対量としては小さい。(数mm程度)

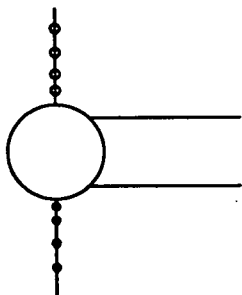
これらの現象が生じる原因は種々考えられるが、これらの可能性に関する定量的な評価はまだ終了していない。今後の予定としては、岩盤挙動調査については、変形挙動と特性変化の関係を評価し、ここで用いた手法の問題点の抽出と改良を行う。また、データの採取を進めるとともに、データの総合的な解析、評価を行い、立坑掘削による影響を定量的に評価し、その発生メカニズムの解明を行っていく計画である。

参考文献

- 1) 杉原弘造, 吉岡尚也, 柳澤孝一, 松井裕哉: 東濃地域における立坑掘削 影響試験
-全体計画-, 日本原子力学会「1991春の年会」要旨集, P524 (1991)
- 2) 杉原弘造: 東濃地域における立坑掘削影響試験、第7回放射性廃棄物夏期セミナー,
日本原子力学会 (1991)
- 3) 小林良二, 杉本文男: 回転探触子型岩盤割れ目検知計による現場試験 -岩盤内の割
れ目の分布と音速の変化に関する研究(続報)-、日本鉱業会誌, 96 [1107],
pp307~312 (1980)

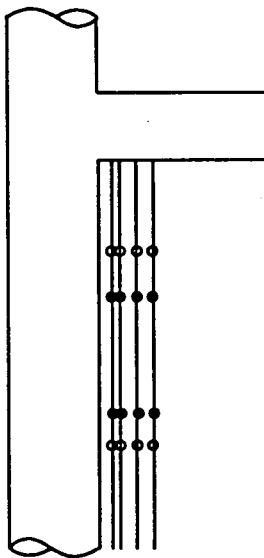
A断面

- ・ 透水試験
- ・ 孔内载荷試験
- ・ 超音波パルス試験
- ・ ホールテレビ
- ・ 室内試験



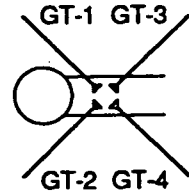
B断面

- ・ 透水試験
- ・ 孔内载荷試験
- ・ 孔間弾性波
- ・ ホールテレビ
- ・ 室内試験



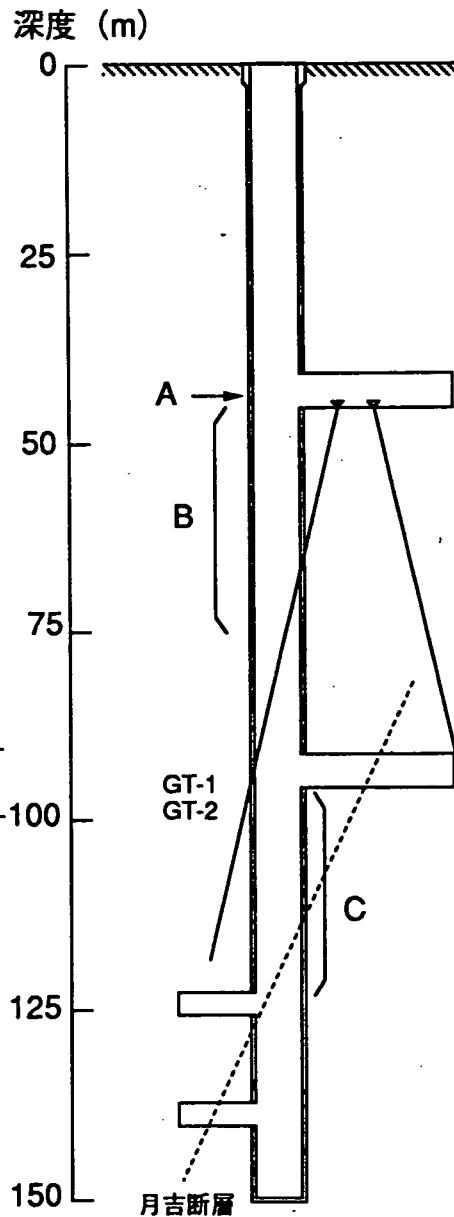
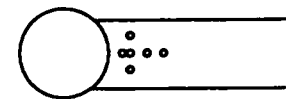
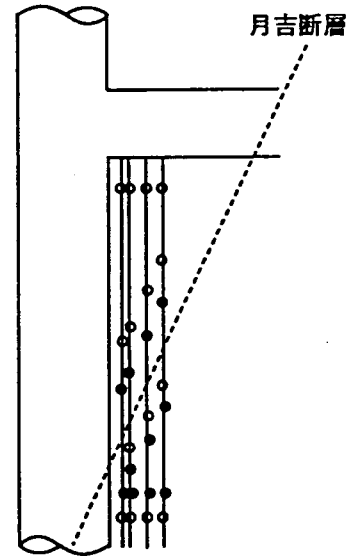
GT-1,2,3,4孔

・ ジットグラフィー



C断面

- ・ 透水試験
- ・ 孔内载荷試験
- ・ 孔間弾性波
- ・ 孔間レーダー
- ・ ホールテレビ
- ・ 連続ひずみ測定
- ・ 室内試験

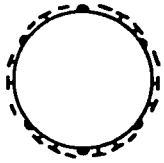


凡例

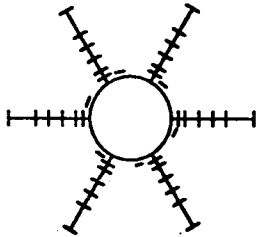
- 孔内载荷試験位置
- 透水試験位置

図-1 力学的・水理学的特性変化に関する調査概念図

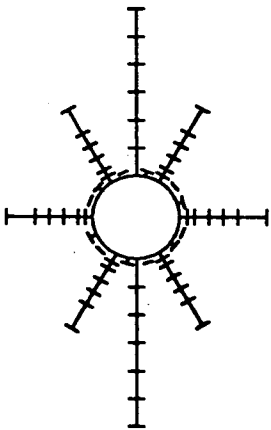
- S1断面
 ・覆工応力測定
 ・背面土圧測定
 ・支保工応力測定



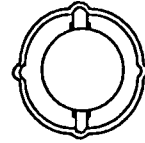
- M1,M2,M3断面
 ・覆工応力測定
 ・地中変位測定
 ・ホアホルテレビ (M3断面のみ)



- M4断面
 ・覆工応力測定
 ・支保工応力測定
 ・地中変位測定
 ・ホアホルテレビ



- CL-1,CL-2孔
 ・傾斜計による変位測定

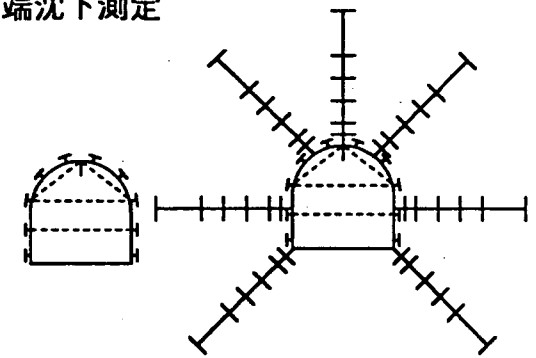


- K1,K2断面
 ・内空変位測定
 ・天端沈下測定

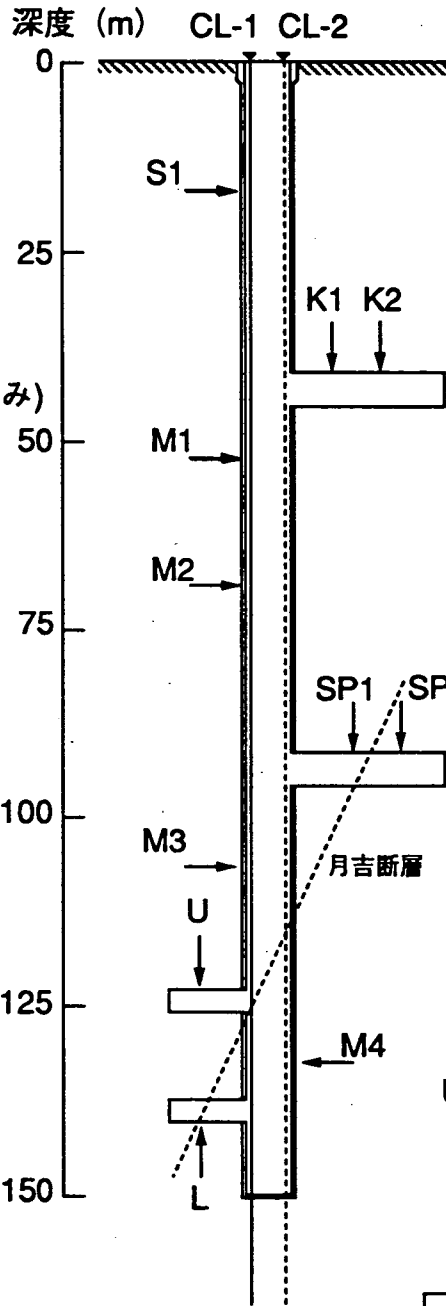
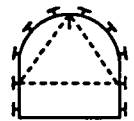


- SP2断面
 ・支保工応力測定
 ・地中変位測定
 ・内空変位測定
 ・天端沈下測定

- SP1断面
 ・支保工応力測定
 ・内空変位測定
 ・天端沈下測定



- U,L断面
 ・支保工応力測定(Uのみ)
 ・内空変位測定
 ・天端沈下測定



凡例

— 覆工応力計	++++ 地中変位計
T 支保工応力計	
- 背面土圧計	

図-2 支保工と周辺岩盤の変形挙動に関する調査概念図

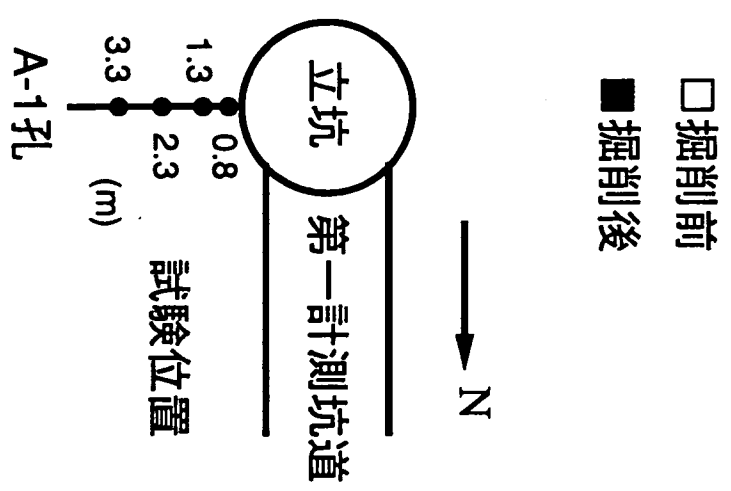
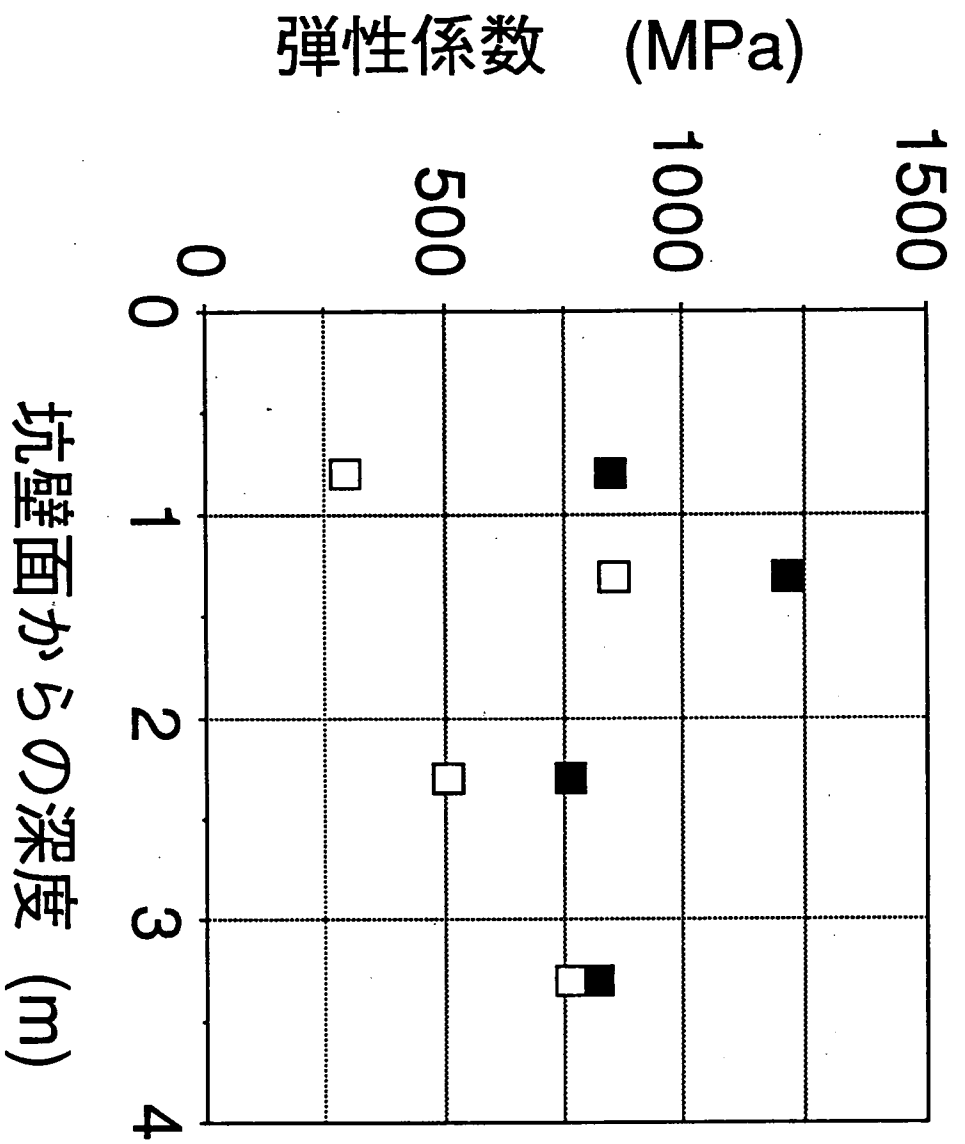


図-3 A断面における孔内載荷試験結果 (GL-45m)

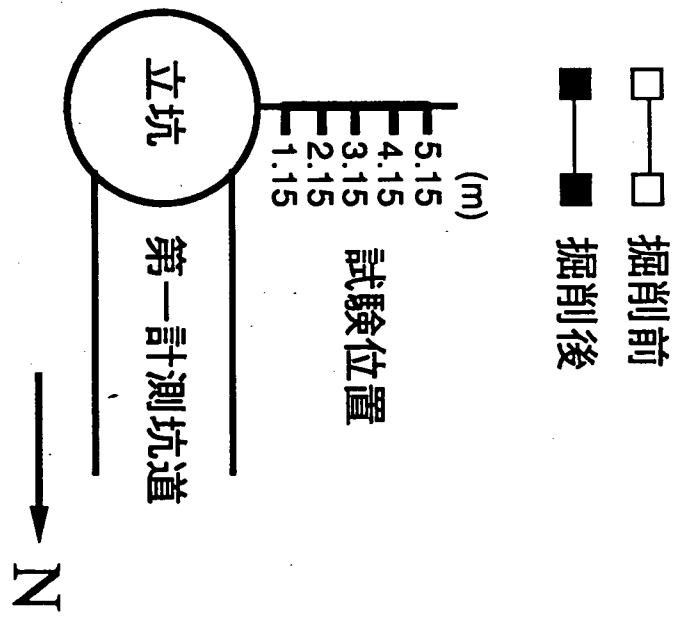
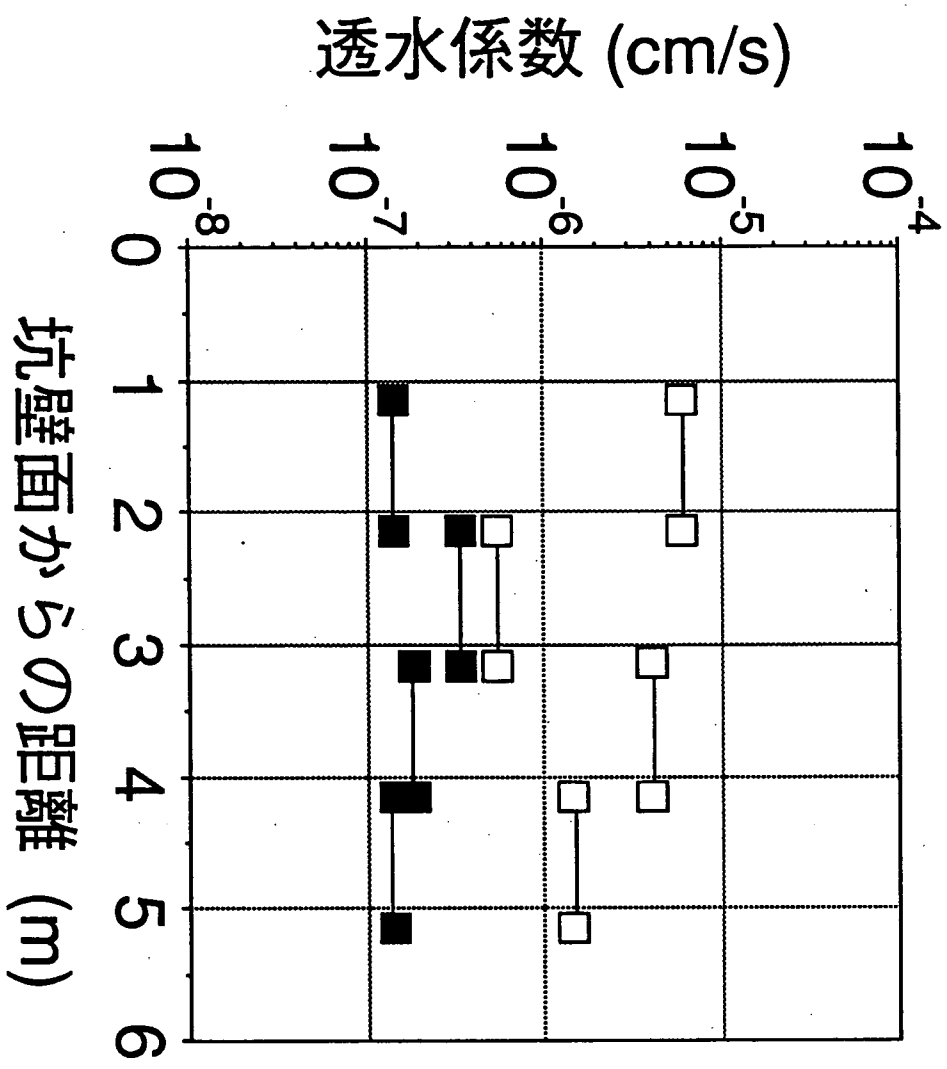


図-4 A断面における透水試験結果
(GL-45m)

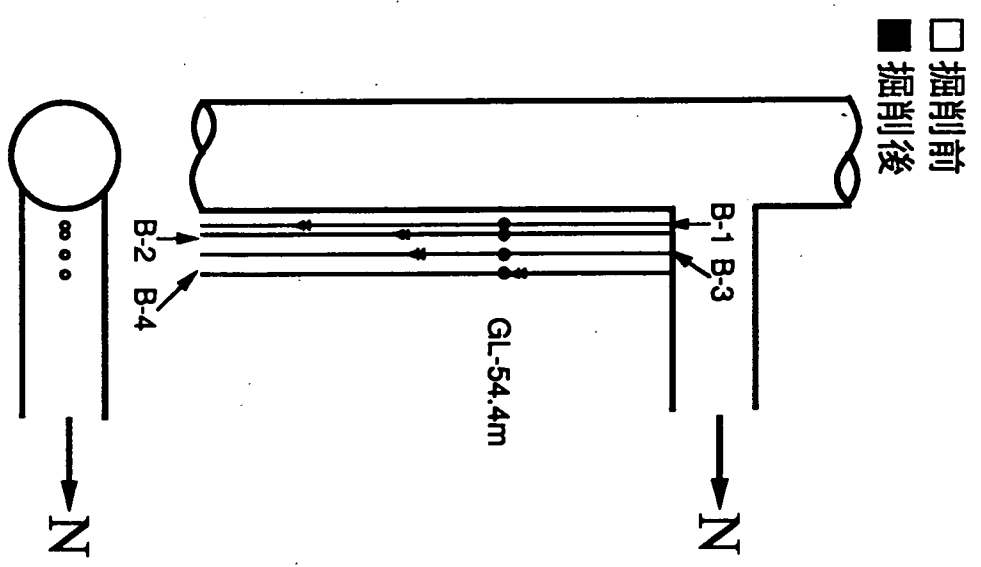
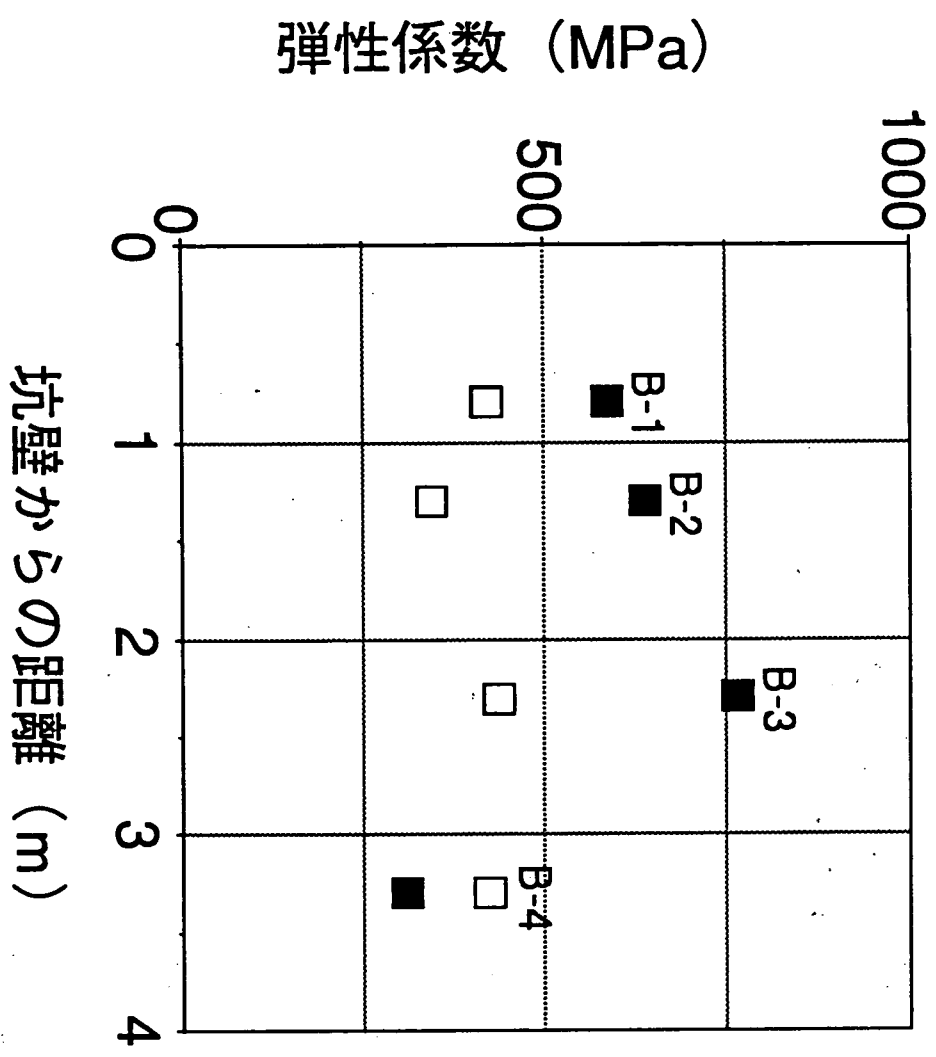
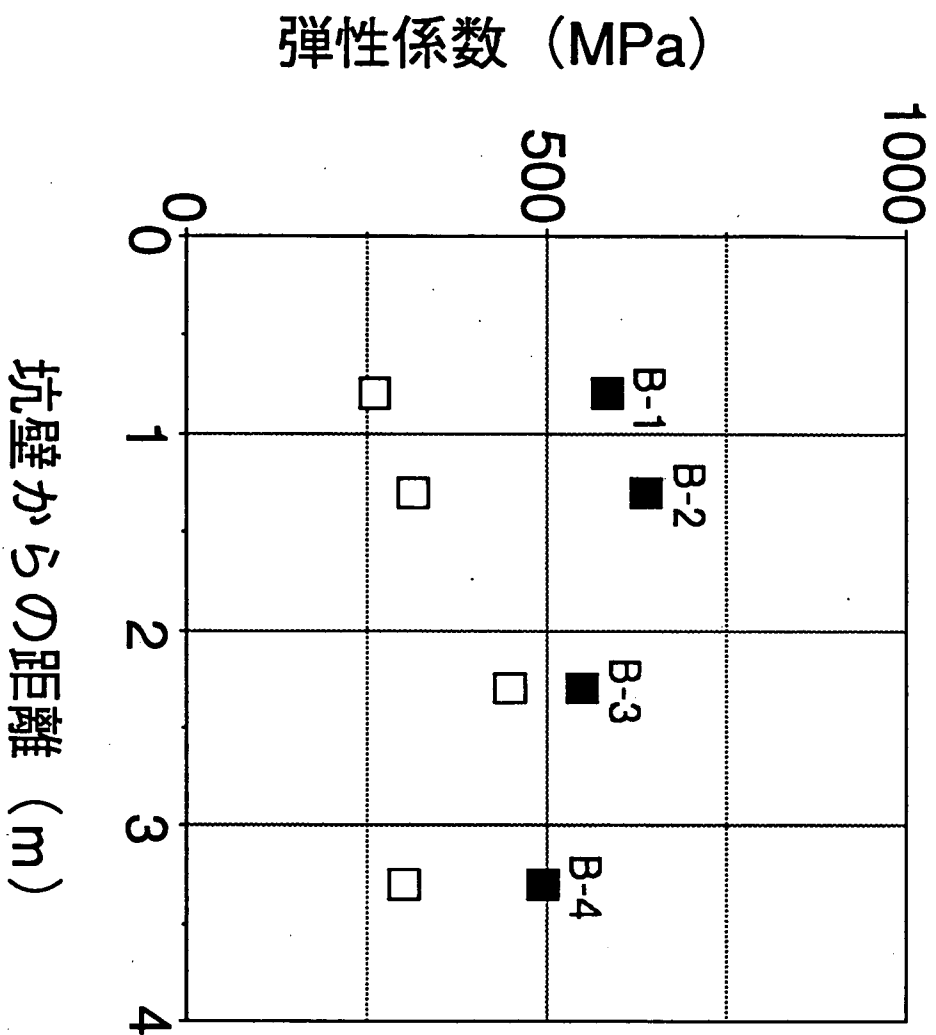


図-5 B断面における孔内載荷試験結果
(GL-54.4m)



□ 掘削前
■ 掘削後

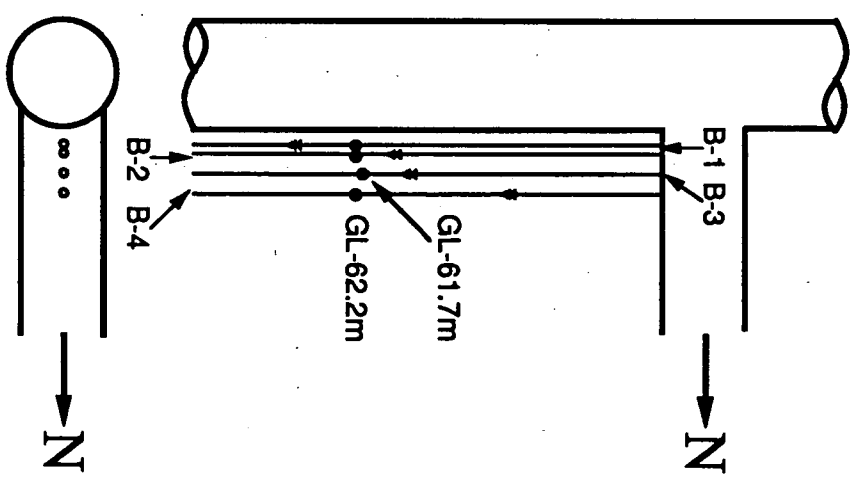


図-6 B断面における孔内載荷試験結果
(GL-61.7~62.2m)

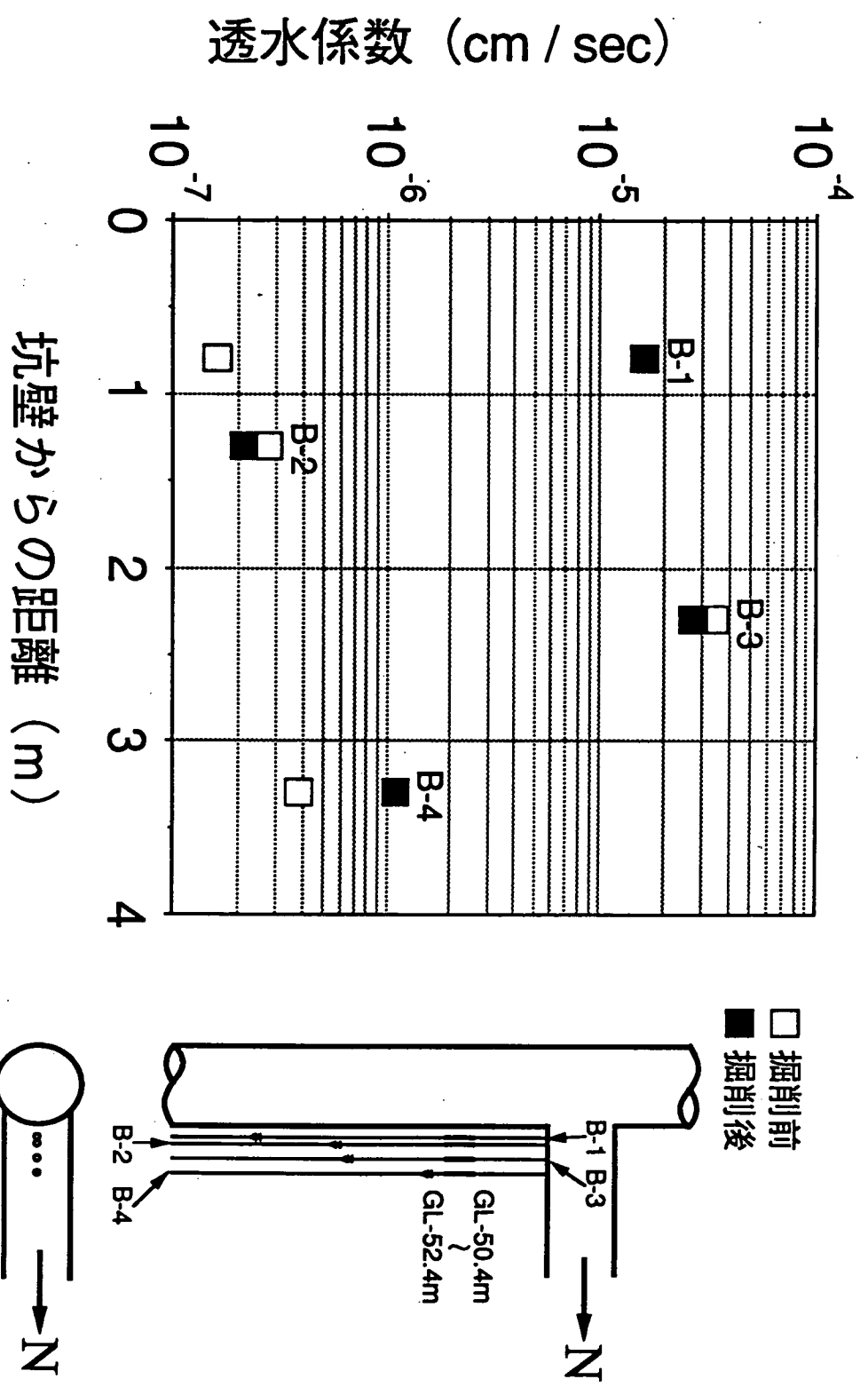


図-7 B断面における透水試験結果
(GL-50.4~52.4m)

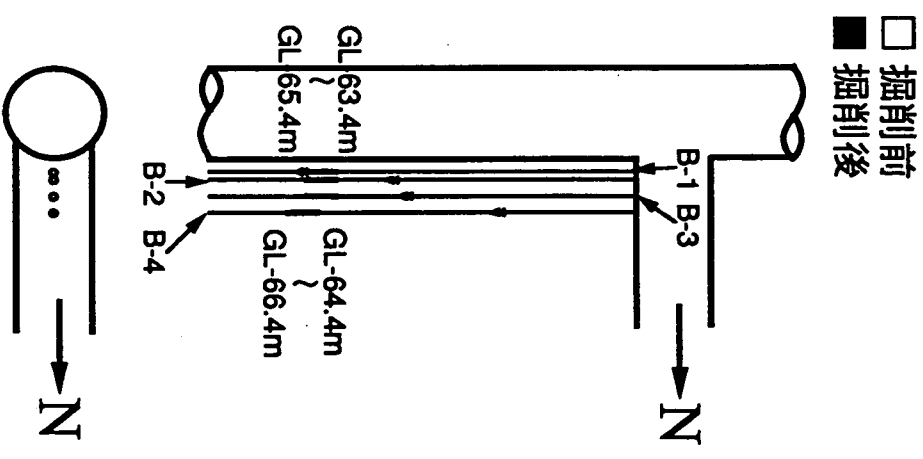
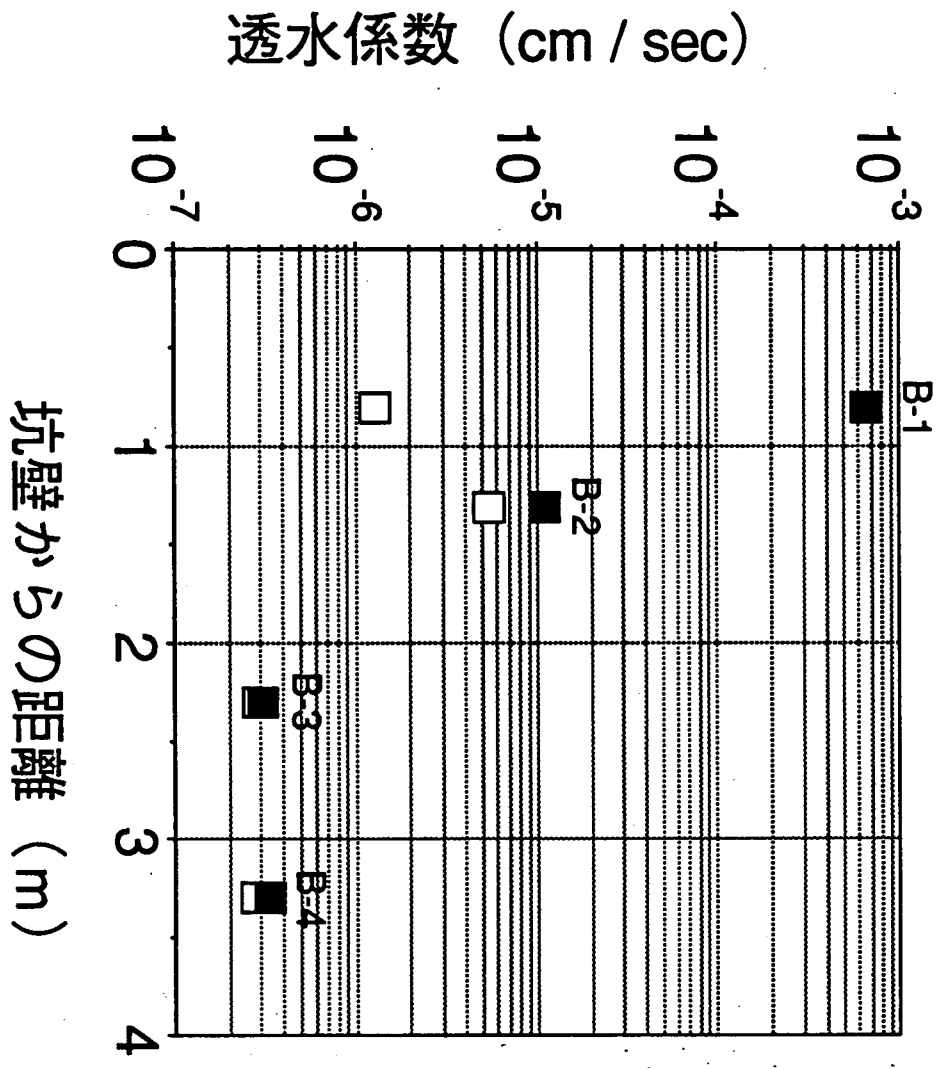


図-8 B断面における透水試験結果
 (GL-63.4~66.4m)

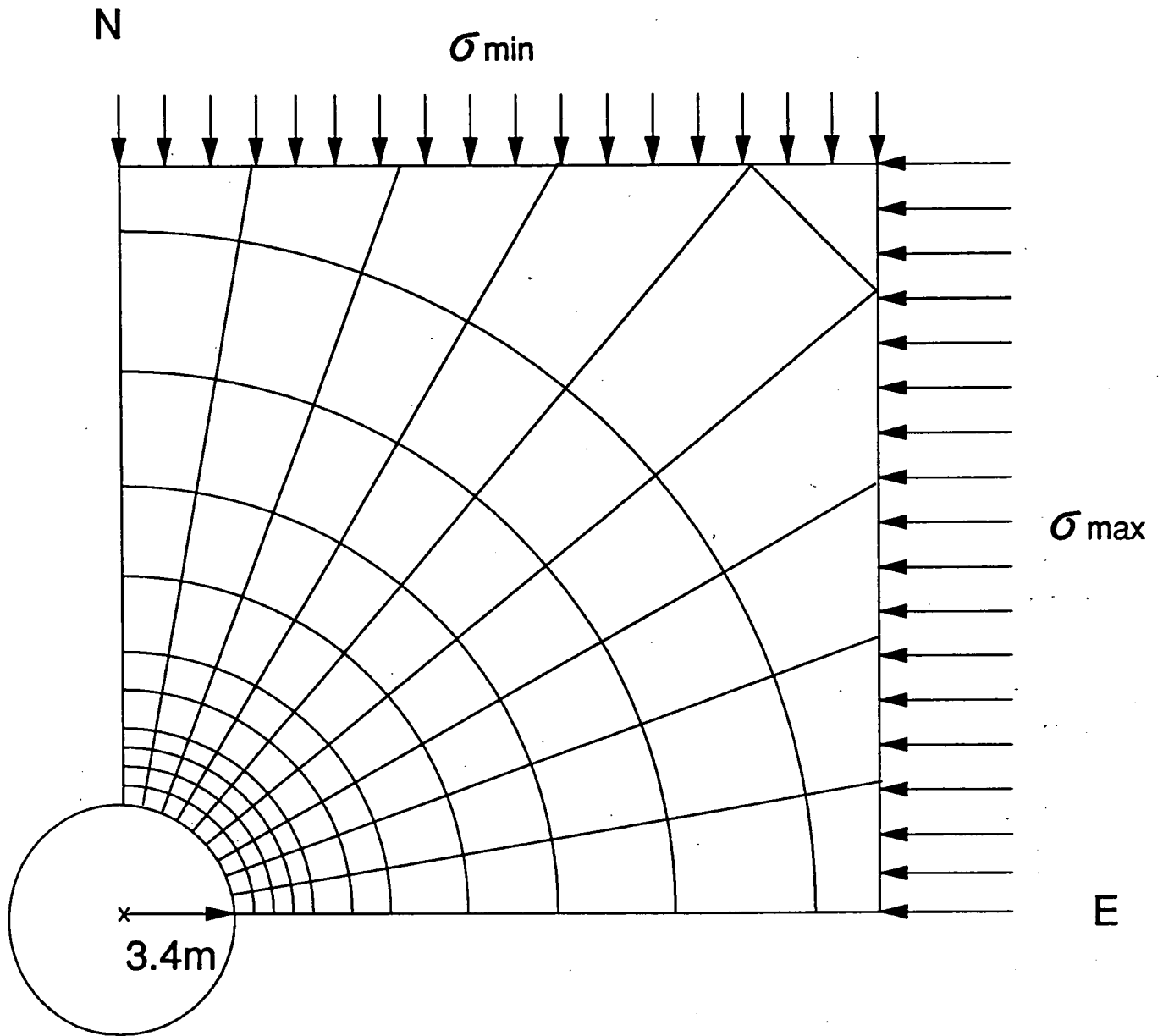


图-9 要素分割图

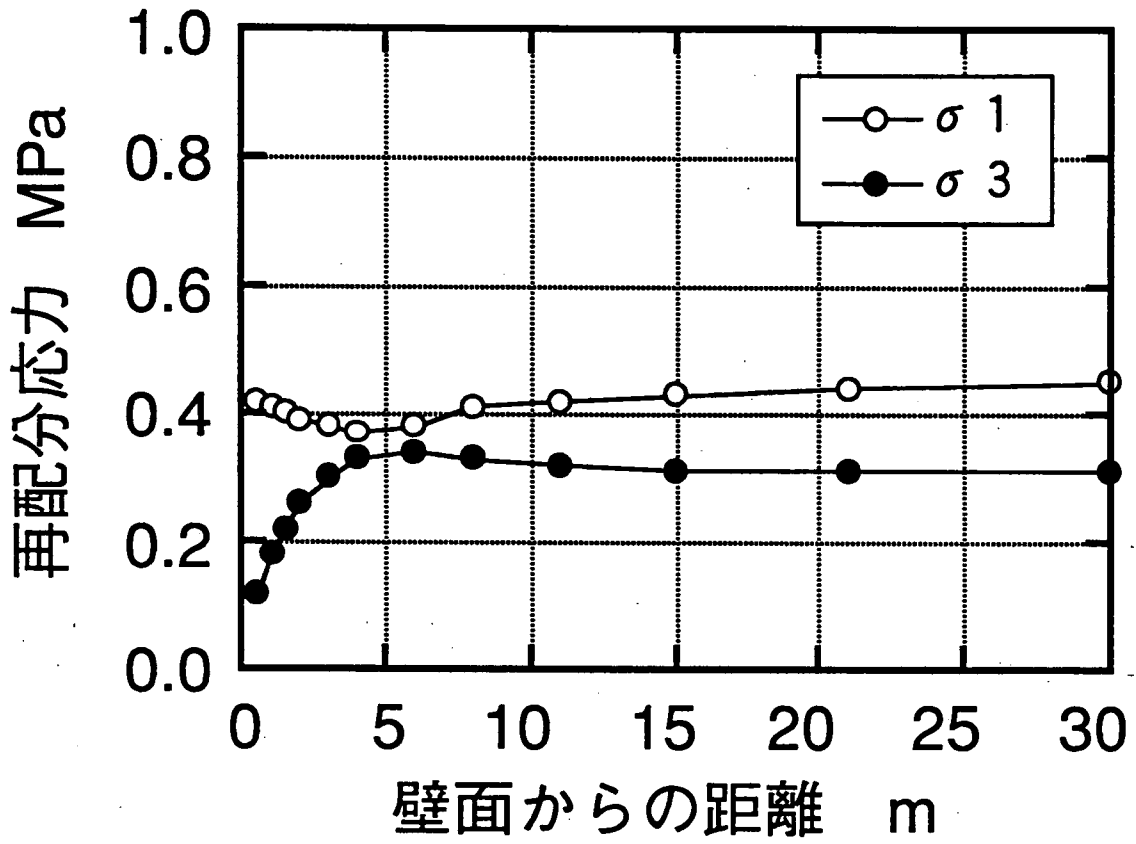


図-10 A断面における掘削後の応力分布 σ_1 方向

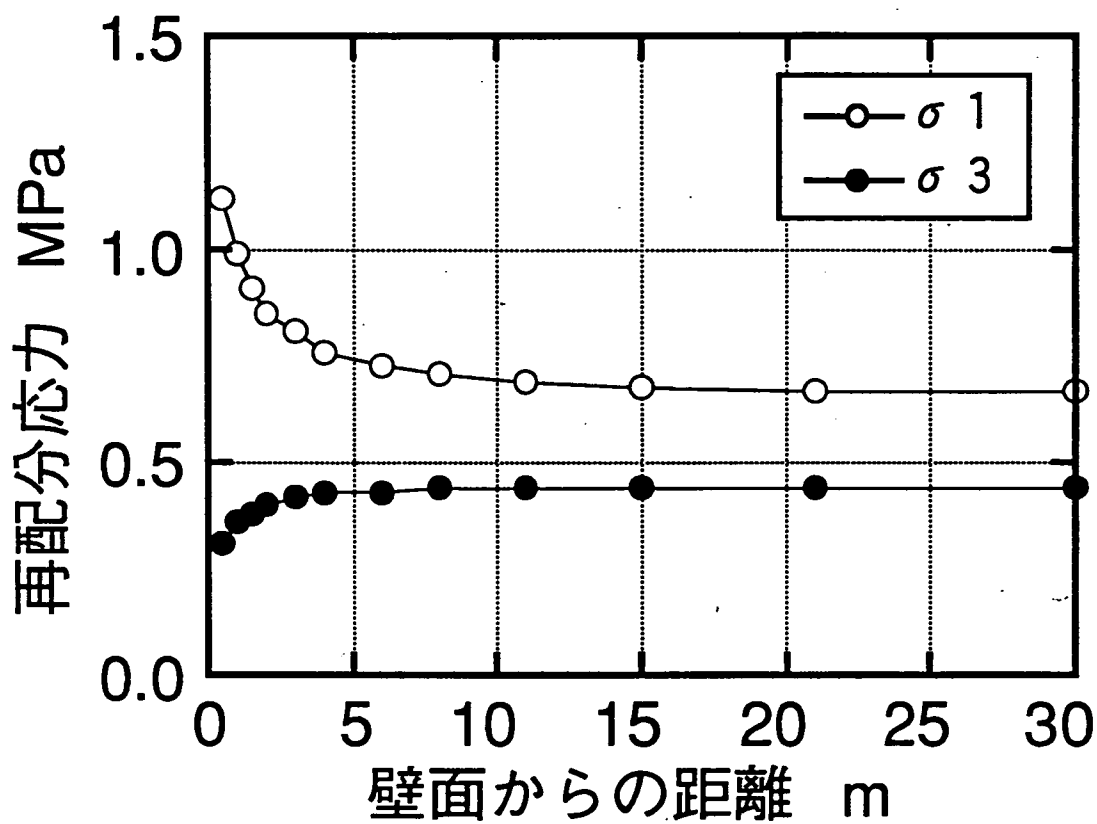


図-1 1 B断面における掘削後の応力分布 σ_3 方向

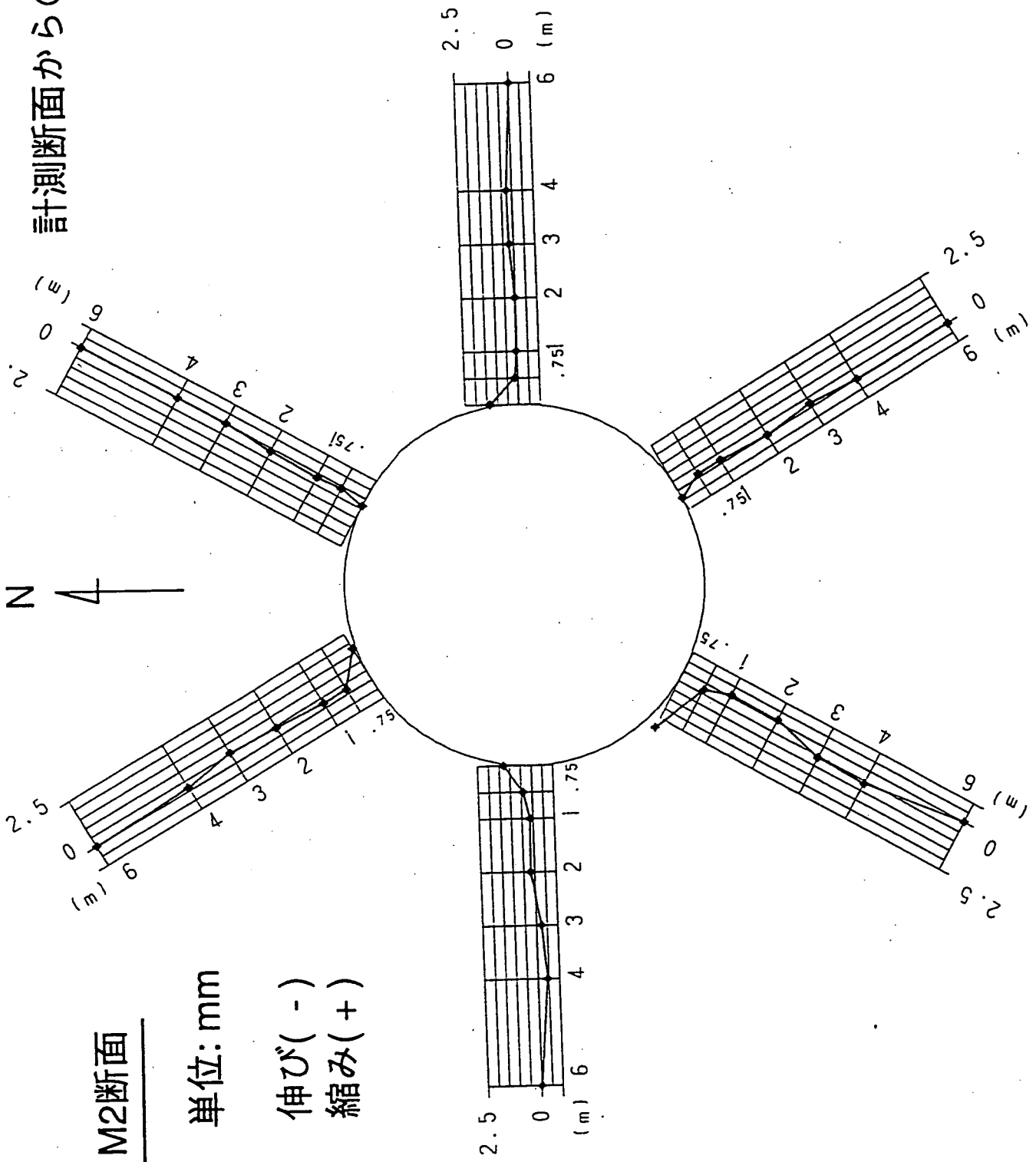
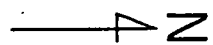


図-12 地中変位分布図

M2断面



計測断面からの切羽離れ: 3D

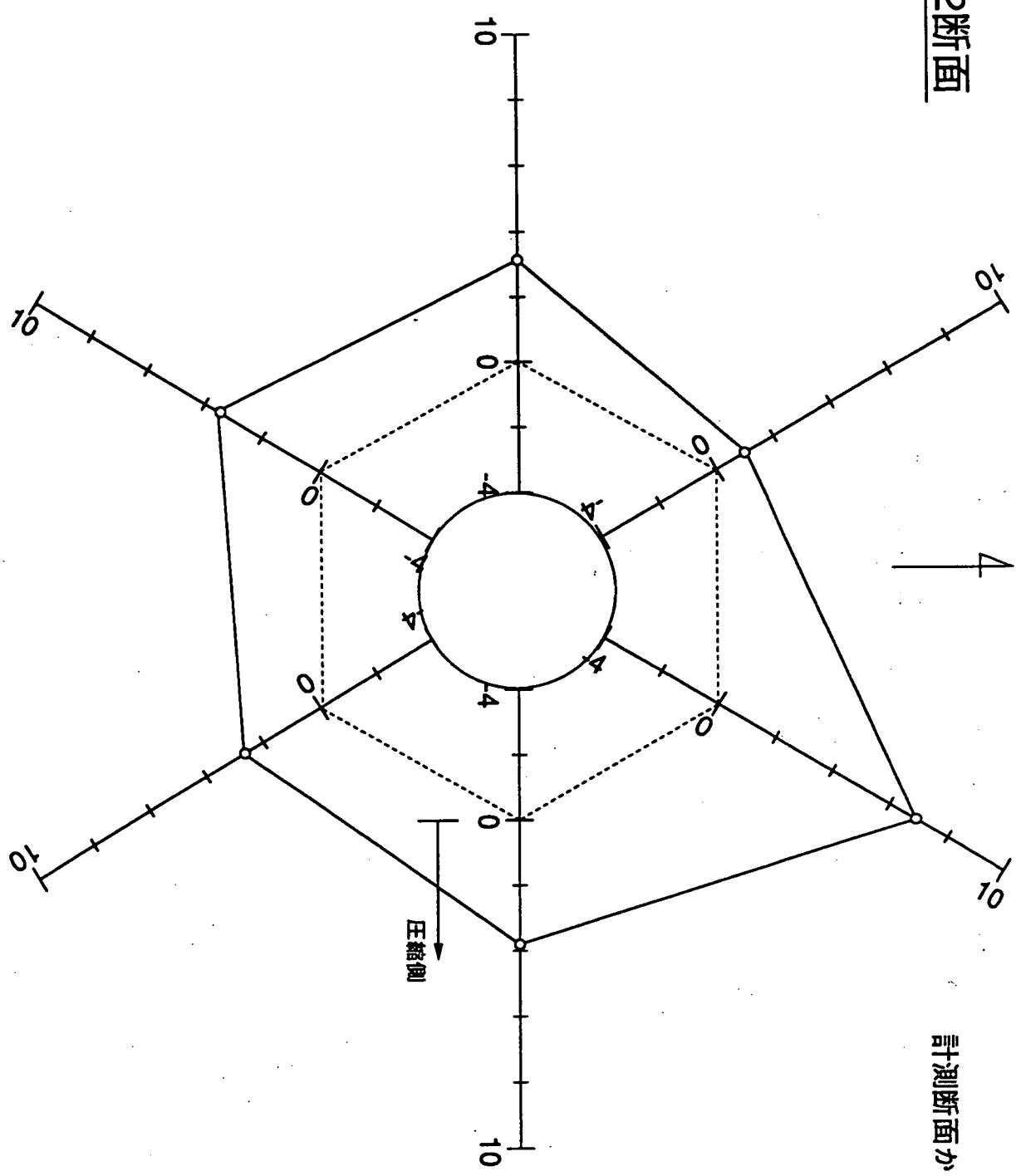


図-13 覆工応力分布図(単位:kgf / cm²)

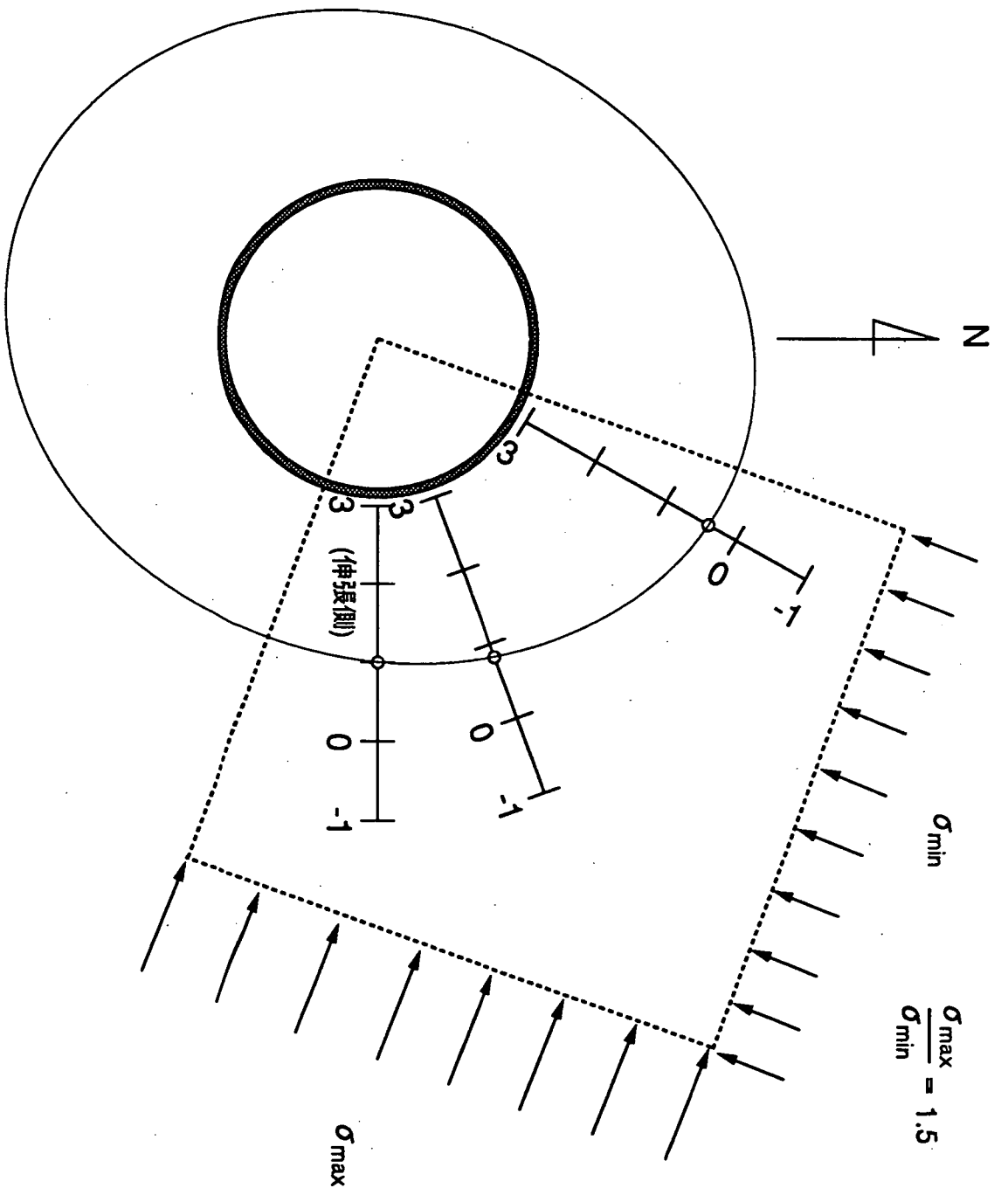


图-14 壁面変位分布图 (計算値)

M2断面

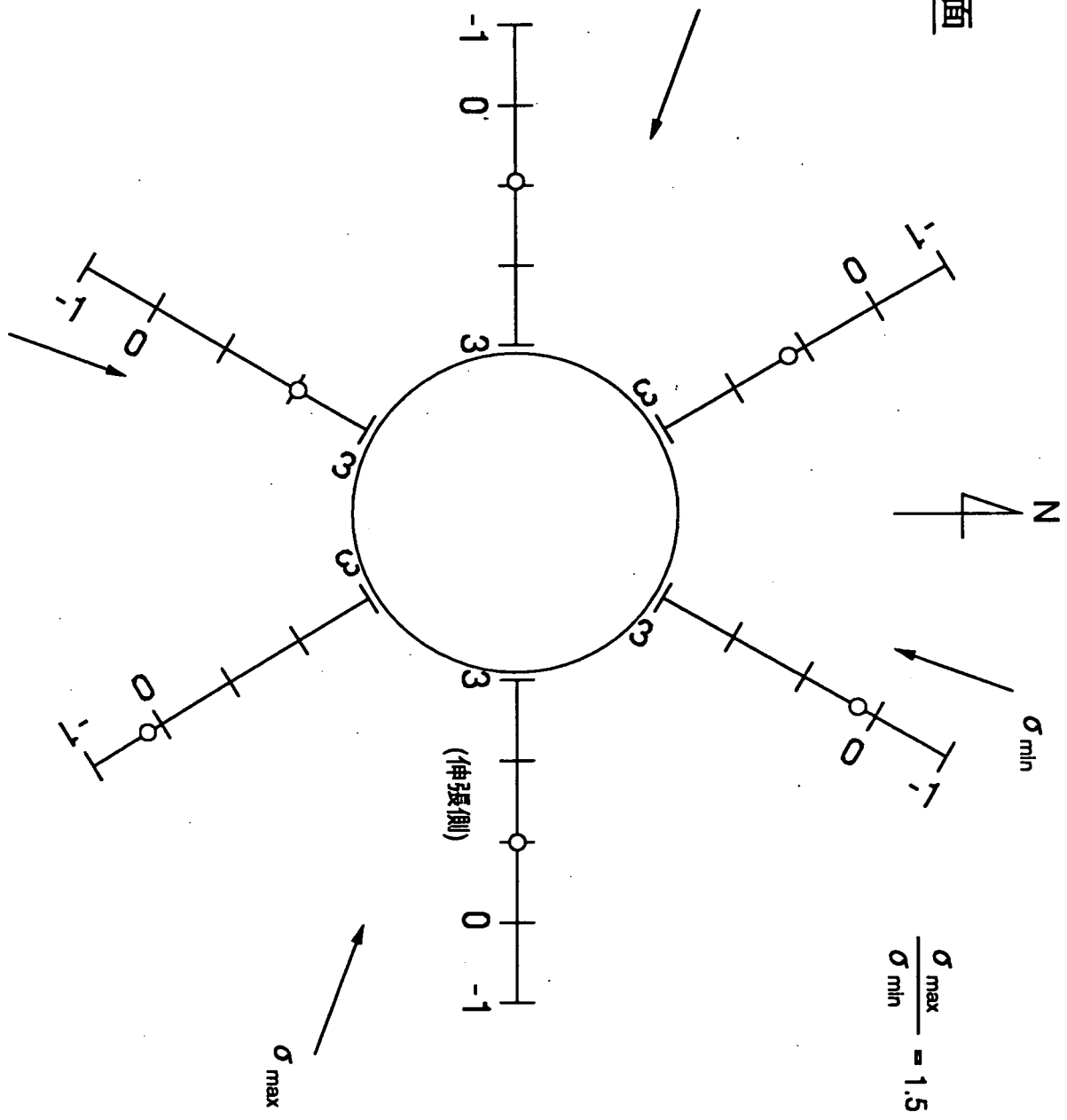


图-15 壁面変位分布图 (実測値)

岩種: 凝灰質泥岩

$\epsilon_{ult} = 0.15\%$

//// : 非弾性域

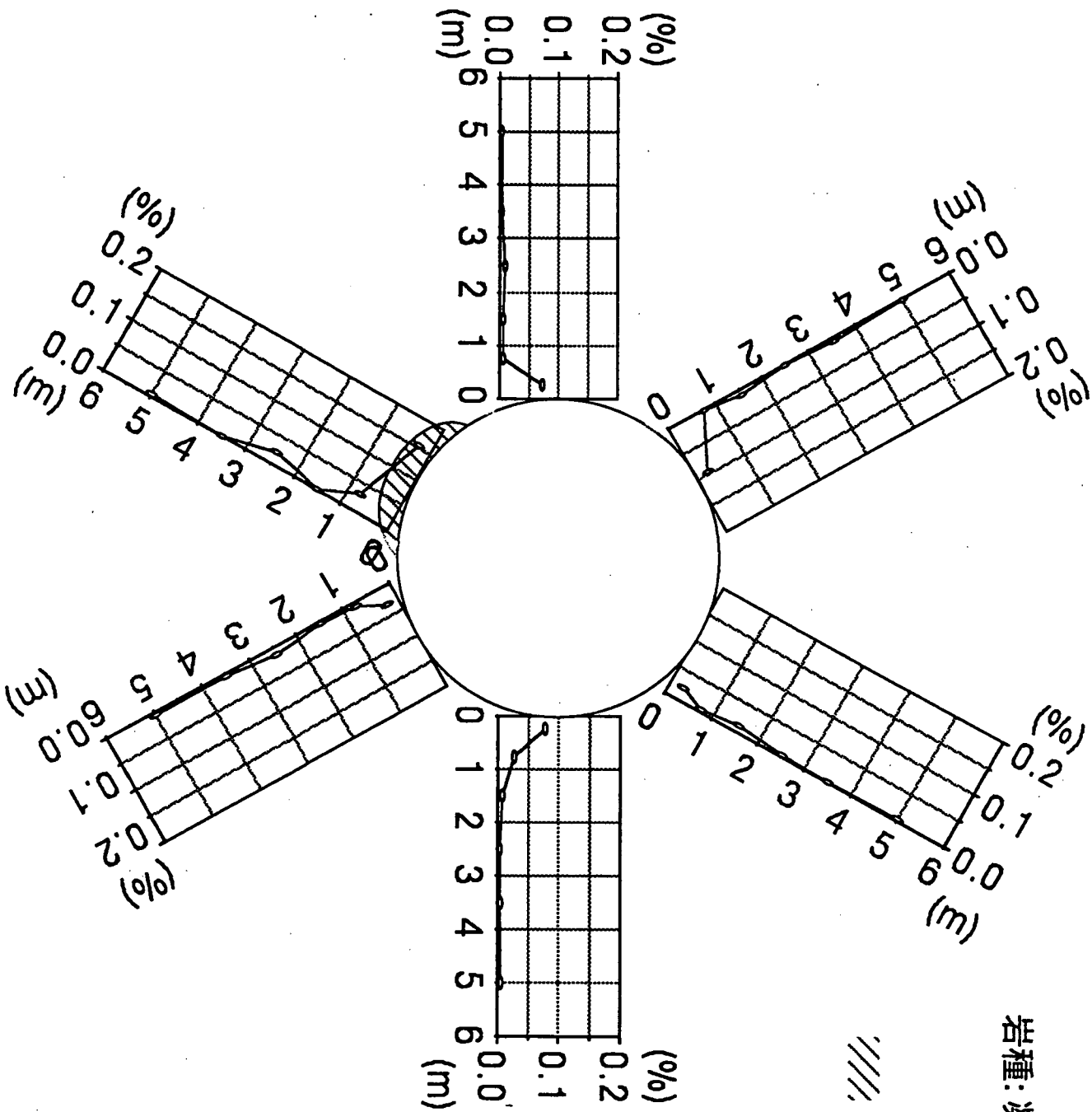
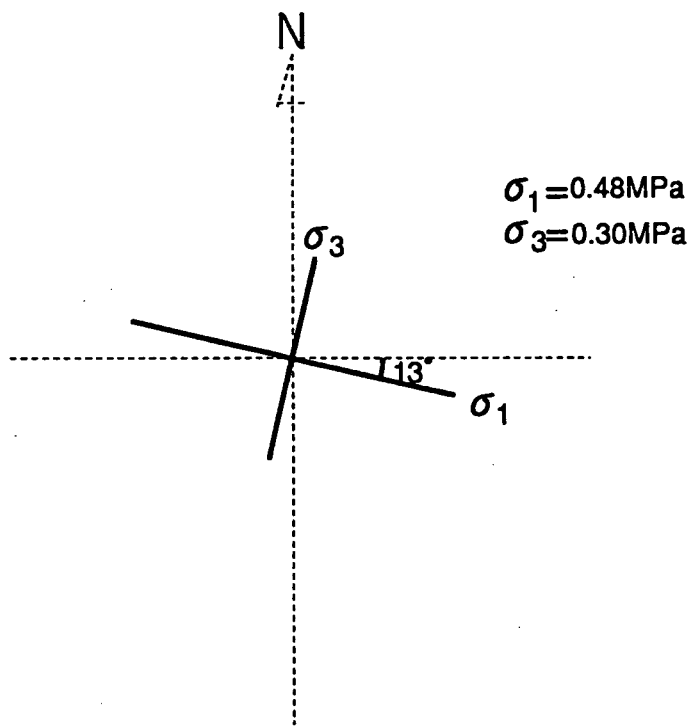
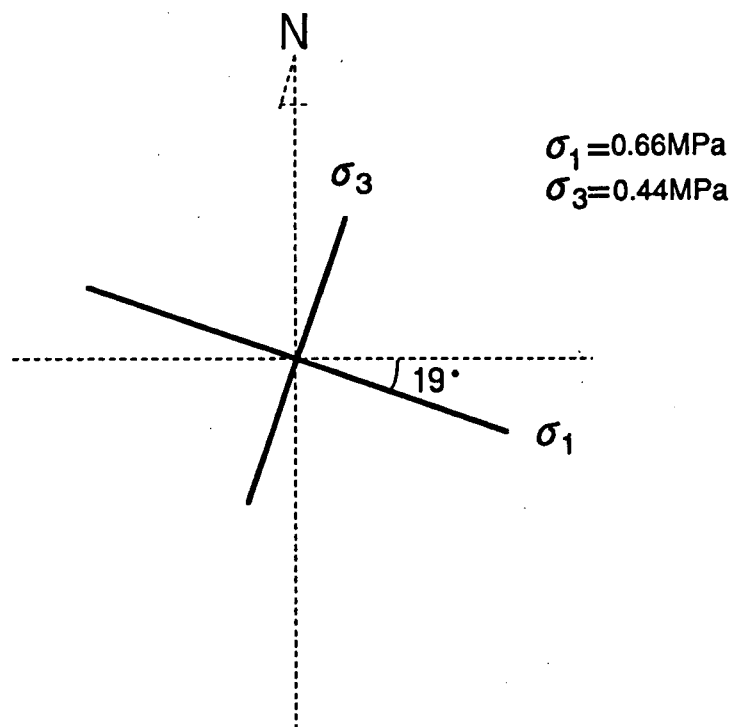


図-16 体積ひずみ分布図



初期応力測定結果 (GL-44.4m)



初期応力測定結果 (GL-55m)

図-17 初期応力測定結果

2.2 地質環境調査

(1) 『断裂系に関する調査』

— 中部日本におけるリニアメントの分布と特性 —

断 裂 系 に 関 す る 調 査

—中部日本におけるリニアメントの分布と特性—

小 出 馨

石丸恒存（環境地質課）

清水和彦（環境地質課）

1. はじめに

断層や節理といった断裂系は、岩盤中における地下水流動や岩盤の安定性等に大きく影響を与えると考えられるため、地層処分システムの隔離性能を評価する場合に欠くことのできない重要な地質環境特性の一つである。

そこで、我が国における断裂系の分布特性を把握するために、日本全国を対象にした空中写真によるリニアメント（構造地質学的直線構造）判読解析および地層処分システムにおいて重要な地質環境特性（IABA, 1983）とリニアメントの分布特性との関連性を明らかにするための解析を実施している。

本解析は、その地質環境特性と断裂系の関連を明らかにするための解析の一環であり、地質環境特性の中の構造運動に着目した解析を実施した。その結果、リニアメントの分布特性は地域や時代に支配されていること、およびリニアメントの長さは岩種と関連があること等の知見が得られた。以下に本解析の内容および結果について紹介する。

2. 本解析の目的

本解析は、地質環境調査の一環として実施しており、地層処分システムの隔離性能評価において重要な地質環境特性の把握を目的にしている。

具体的には、(1)地質環境の各種特性に深く関与すると思われるリニアメントの分布を全国規模で把握すること、(2)地質構造区や岩種毎のリニアメントの分布状況を解析し、リニアメントの分布特性と地質環境特性との関係性を評価することの2項目である。

これによって表-1に示す地質環境特性の内、構造運動、地質環境の空間的拡がり、地質工学特性及び水理地質特性といった各地質環境特性とリニアメントとの関係性の評価ができるものと期待できる。（図-1参照）

表-1 地層処分システムにおいて重要な地質環境特性（IABA, 1983）¹⁾

(1)地質環境の空間的拡がり	(5)構造運動
(2)地質工学特性	(6)人工的及び自然的特徴
(3)水理地質特性	(7)地下資源の可能性
(4)地球化学特性	(8)地表への配慮

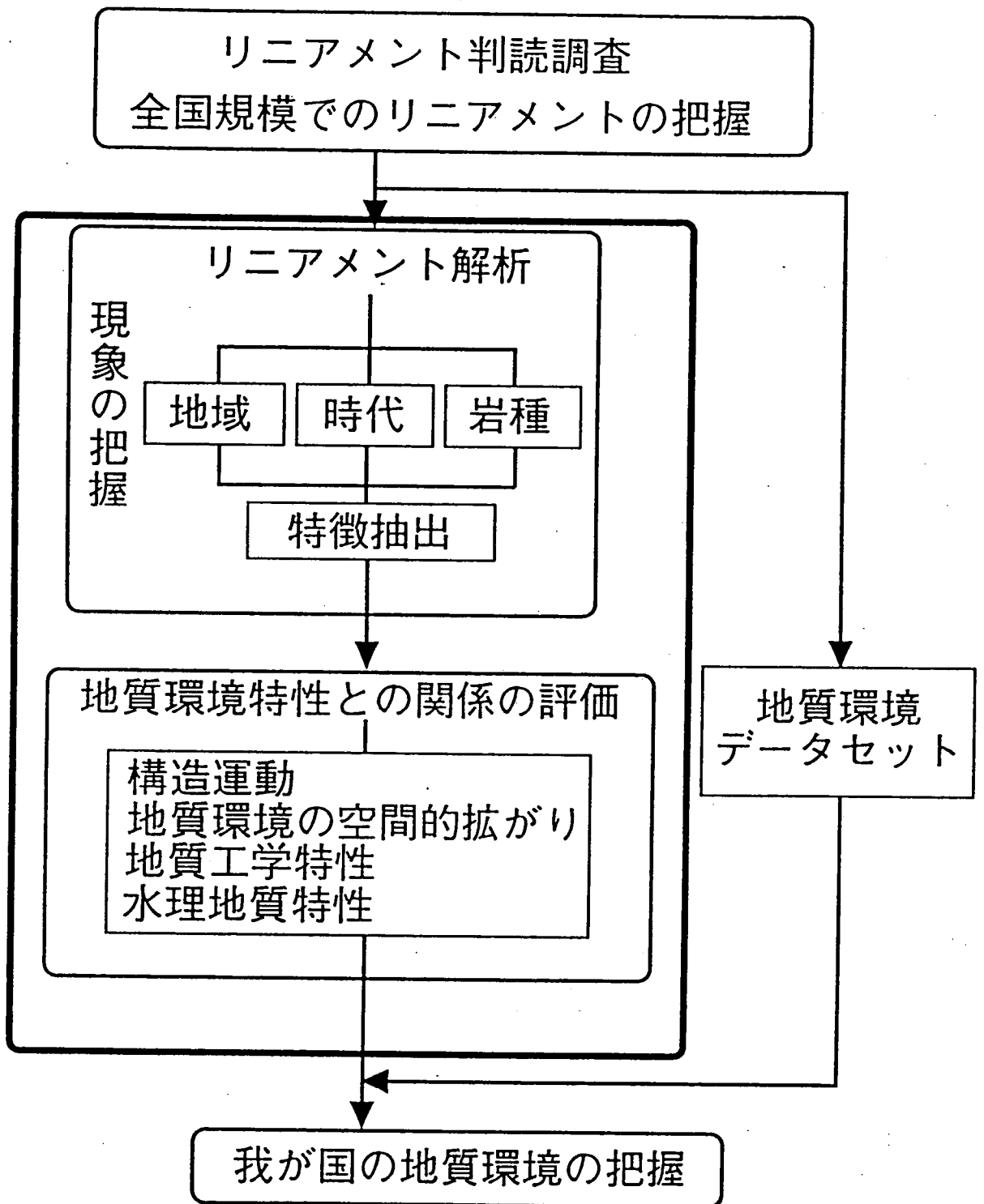


図-1 リニアメント解析の作業フロー

3. 解析内容

本解析は、地質環境特性に関するデータの蓄積の一環として実施している 1/4万白黒空中写真によるリニアメント判読解析の結果を基に、日本の代表的な地質構造区が隣接している中部日本を対象として、判読されたリニアメントの分布および特性を地質構造区毎および岩種毎にまとめた。

ここで用いているリニアメントという言葉は、一般的に「地質構造を反映した大規模な線状地形²⁾」と定義されている。この定義の中の地質構造には、本解析が対象としている断層以外の地質構造（たとえば層理等）が含まれるために、本解析では、断層の運動によって直接的あるいは間接的に形成される組織・変位地形（図-2）が、線状に配列しているような地形をリニアメントとした。

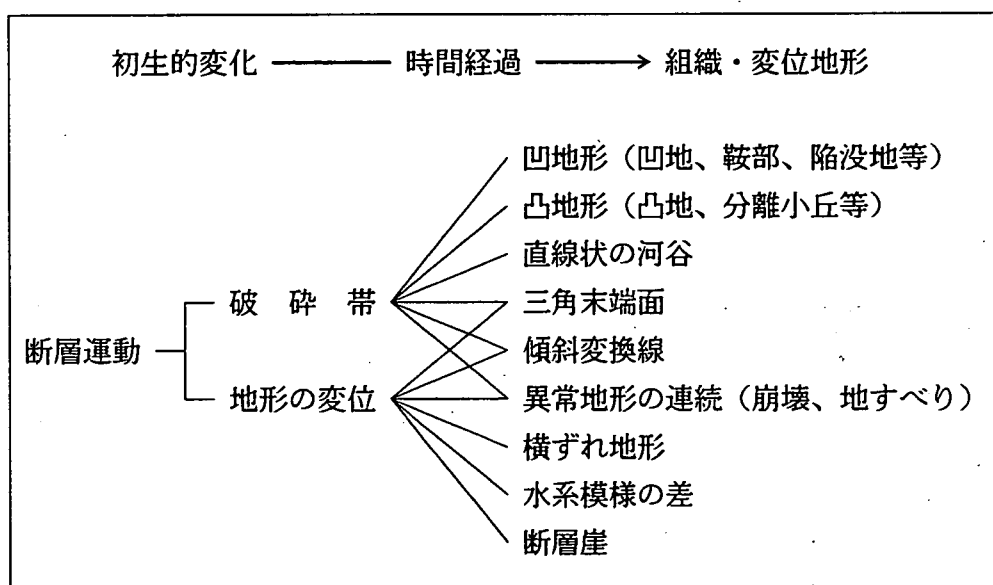


図-2 断層の運動によって形成される組織・変位地形

3.1 使用データ

本解析では、昭和63年度から開始された 1/4万白黒空中写真によるリニアメント判読解析によって得られたリニアメント属性一覧表（図-3、表-2）を用いた。これは、判読されたリニアメント毎の属性をまとめたものであり、その内容は以下に示す7項目から成る³⁾。

- ①分類：断層の運動によって直接的に形成される変位地形の有無によって判読されたリニアメントを活断層と推定されるリニアメントと地質断層と推定されるリニアメントに分類している。したがって分類の判断は、あくまでも地形的特徴から判断していることから、ここでの活断層の定義は第四紀に活動した可能性のある断層ということになる。

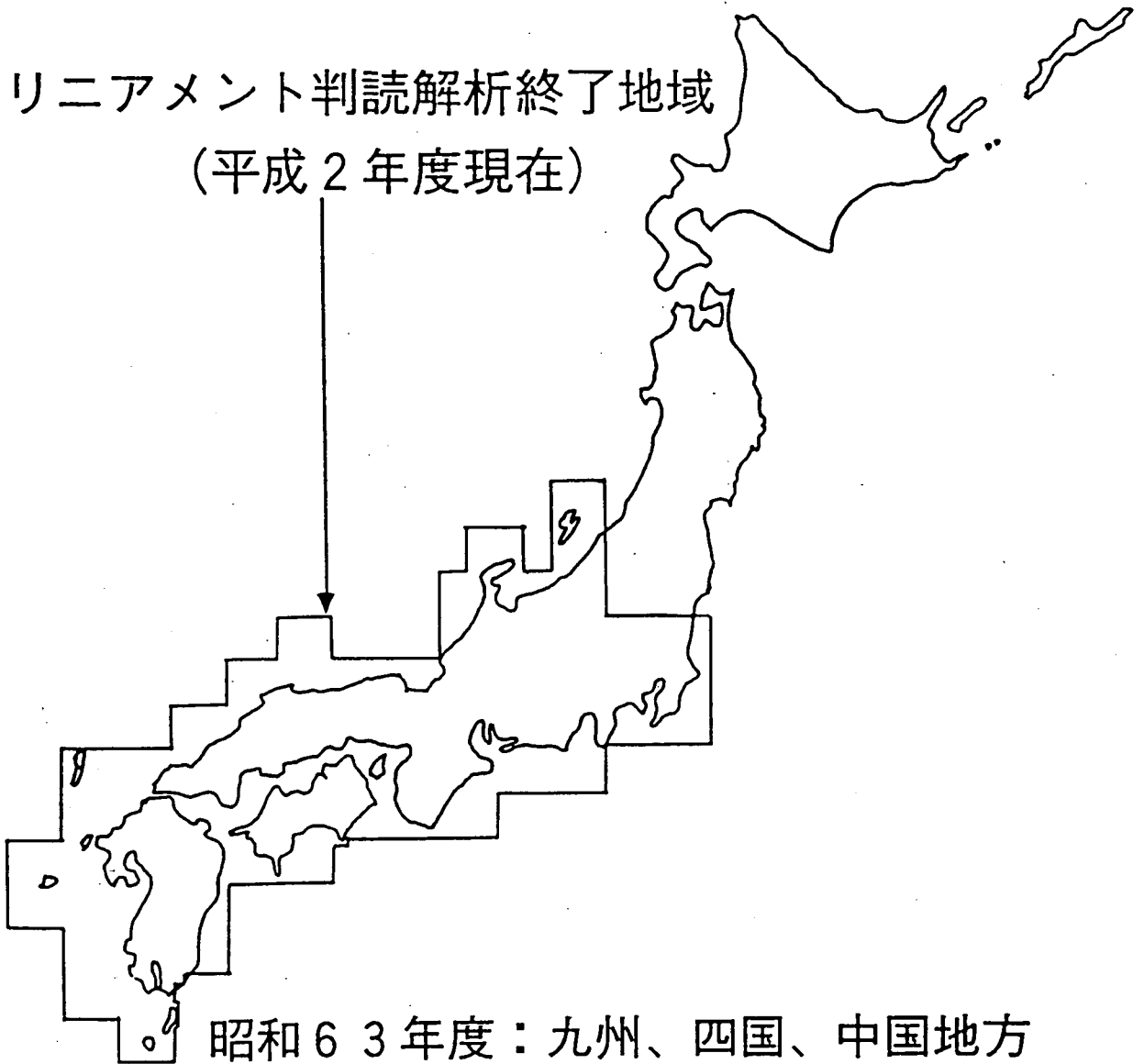


図-3 空中写真によるリニアメント判読解析の進捗状況

表一 2 リニアメント属性一覽表 (例)

位置1/20万	位置1/5万	リニアメント番号	分類	确实度	長さ (Km)	走行	判読要素	記数文献	地質	備考
長野	13	4	1	2	2.0	N 58 E	3,6	1	Q	田子 f.(I)
		5	1	2	1.8	N 33 E	4	1	Q	田子 f.(I)
		6	1	2	1.5	N 45 E	4,6	1	N Ⅳ	善光寺 f.(I)
		7a	1	2	1.6	N 48 E	3,4,6	1	Q	善光寺地震 f.
		7b	1	2	1.8	N 73 E	3,4	1	Q	善光寺地震 f.
		8	1	2	3.1	N 15 E	3,4	1	Q	小松原地震 f.
		9	2	2	4.3	N 60 E	5,7	-	N Ⅳ	-
		10a	2	2	3.3	N 61 E	6,7	-	B Ⅳ	-
		10b	2	2	2.3	N 47 E	5,7	-	B Ⅳ	-
		11	2	2	2.7	N 33 E	5,7	-	B Ⅳ	-
		12	2	2	2.7	N 58 E	5,6,7	-	N Ⅳ	-
		13	2	2	3.5	N 13 W	7	-	N Ⅳ	-
		14	2	2	4.3	N 23 E	4,5,7	-	N Ⅳ	-
		15	2	2	3.6	N 25 W	5,7	-	B Ⅳ	-
		16	2	2	2.9	N 84 E	5,6,7	-	B Ⅳ, N Ⅳ	-
		17a	2	2	1.3	N 31 W	7	-	N Ⅳ	-
		17b	2	2	1.2	N 17 W	7	-	N Ⅳ	-
		18	2	2	2.1	N 8 W	6,7	-	N Ⅳ	-
		19	2	2	2.2	N 9 W	5,7	-	N Ⅳ	-
		20	2	2	2.3	N 4 W	5	-	N Ⅳ	-
		21	2	2	2.5	N 24 E	5,7	-	N Ⅳ	-
		22	2	2	4.3	N 51 E	5,6,7	-	N Ⅳ	-
		23	2	2	5.2	N 62 E	5,6	-	B Ⅳ	-
		24	1	2	1.8	N 64 E	3	-	Q	-
		25	2	2	3.4	N 52 W	5,6	-	B Ⅳ	-
		26	2	2	1.7	N 9 E	5,6	-	B Ⅳ	-
		27	2	2	2.2	N 60 E	4	-	B Ⅳ	-
		28	2	2	3.9	N 37 E	6,7	-	B Ⅳ	田沢付近 (Ⅱ)
		29	1	2	1.5	N 62 E	3	1	Q	-
		30	2	2	2.6	N 42 E	4,5	-	N Ⅳ	-
		31	2	2	3.9	N 58 W	5,6,7	-	B Ⅳ	-

- ② 確実度 : リニアメントの判読要素である断層・変位地形の明瞭度や記載文献の有無によって確実度を2段階に設定している。
 - ③ 長さ : リニアメントの起点から終点までの距離であり、100m単位まで測定し、Km表示としている。
 - ④ 走向 : リニアメントの起点から終点までの方向であり、北から東または北から西へ振った角度を1°単位で計測し表示している。1本のリニアメントが途中で10°以上屈曲している場合は、屈曲地点でリニアメントを区分し、各々のリニアメントの方向を測定している。
 - ⑤ 判読要素 : 判読された断層・変位地形の種類
 - ⑥ 地質 : リニアメントが位置する地区の地質
 - ⑦ 記載文献 : リニアメントと対応する断層に関する文献
- 本解析では上記7項目の内、分類、長さ、走向および地質の4項目を解析に使用した。

3.2 解析対象範囲

解析対象範囲は図-4に示す黒枠内であり、面積約4.9万Km²の範囲である。本地域は、地質的に糸魚川-静岡構造線によって東北日本と西南日本とに2分され、更に中央構造線によって内帯と外帯に2分される。また、本解析では、活断層研究会が設定した地質構造区⁴⁾を参考にしているために、東北日本内帯および東北日本外帯を更に海側と陸側に2分している。したがって本解析では、解析対象範囲に6つの地質構造区を設定した。なお、図-4の地質構造区に付けられたローマ数字は活断層研究会が設定した記号である。

4. 解析結果

図-4に示す解析対象範囲におけるリニアメント属性一覧表のデータ(約5千件)を用いて、解析対象範囲内のリニアメントの諸特性を地質構造区毎および岩種毎にまとめた。以下に各々の解析結果について述べる。

4.1 リニアメントの諸特性と地質構造区との関係

解析対象範囲内に設定した6つの地質構造区毎にリニアメントの密度、平均長及び走向頻度分布を調べ、リニアメントの諸特性と地質構造区との関係を検討した。

(1) リニアメント密度

図-5は、各地質構造区のリニアメント密度(100Km²あたりの本数)を示したグラフである。斜線は活断層と推定されるリニアメント(以後、活断層と呼ぶ)、破線は地質断層と推定されるリニアメント(以後、地質断層と呼ぶ)、黒棒は活断層と地質断層とを総合した全リニアメントであり、各々の密度を示している。

図-5の全リニアメントの密度に着目すると、西南日本内帯VIcが最も高く、100Km²あたり15.1本であり、次に東北日本外帯が高い密度を示す。逆に、密度の低い地質構造区は、東北日本内帯及び西南日本外帯である。

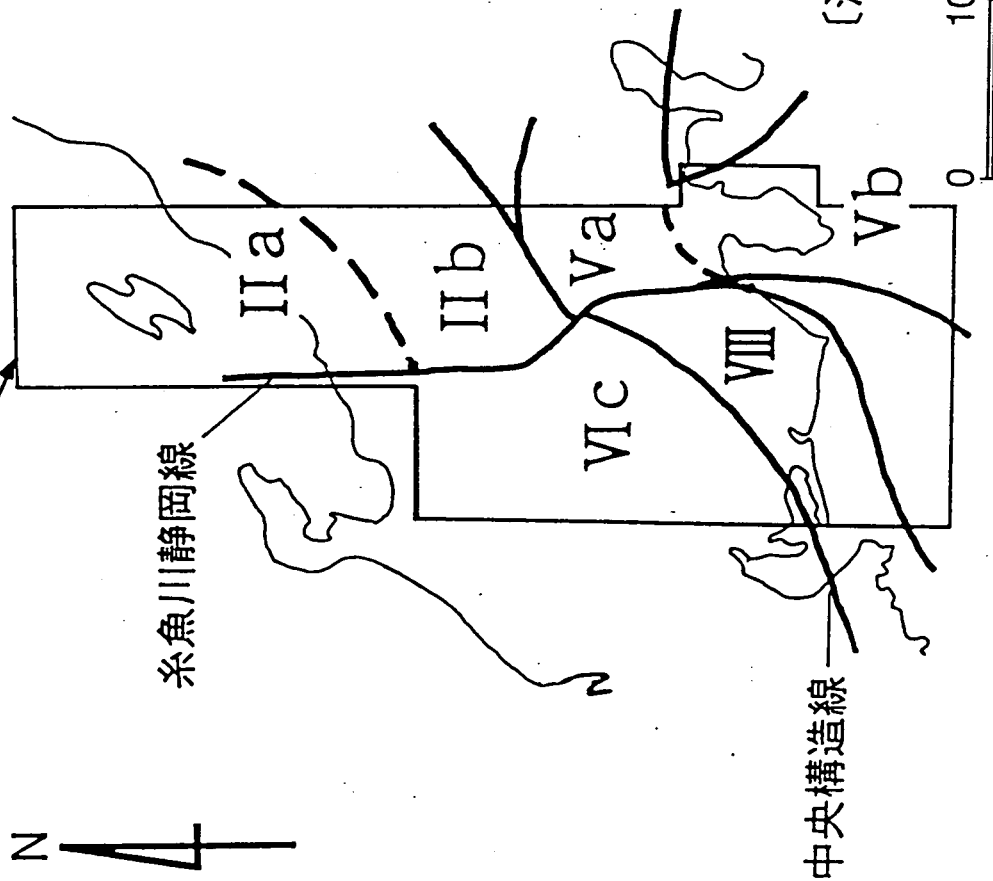
次に活断層に着目すると、東北日本外帯Vbを除く地質構造区の密度は、100Km²あたり4本以下の値を示すが、東北日本外帯Vbは他の地質構造区の約2倍の密度値(7.5本

解析対象地域 (中部地方)

面積：約4.9万Km²

解析対象範囲における

リニアメントの本数：4968本



[活断層研究会・編 (1980)]

図—4 解析対象範囲と地質構造区的位置

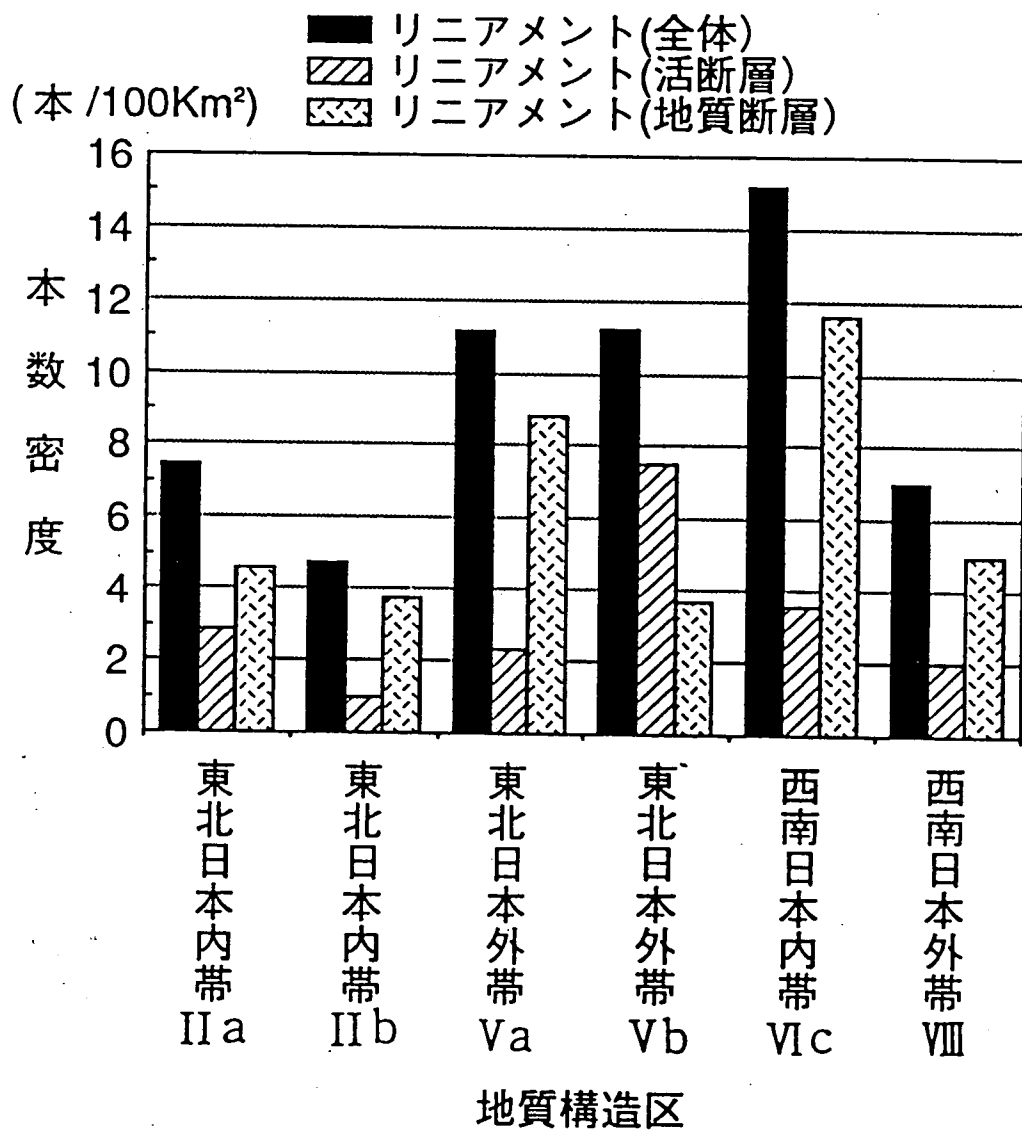


図-5 各地質構造区のリニアメント密度

/100Km²) を示している。このことから、東北日本外帯V b (伊豆半島地域) は、他の地質構造区と比較して特異な地域であると言える。

(2) リニアメント平均長

図-6 は、各地質構造区のリニアメント平均長を示すグラフである。凡例はリニアメント密度グラフと同一である。

全リニアメントの平均長は、各地質構造区ともに2~3 Kmの値を示しているが、東北日本外帯V b の平均長が他の地質構造区と比較して若干短い。

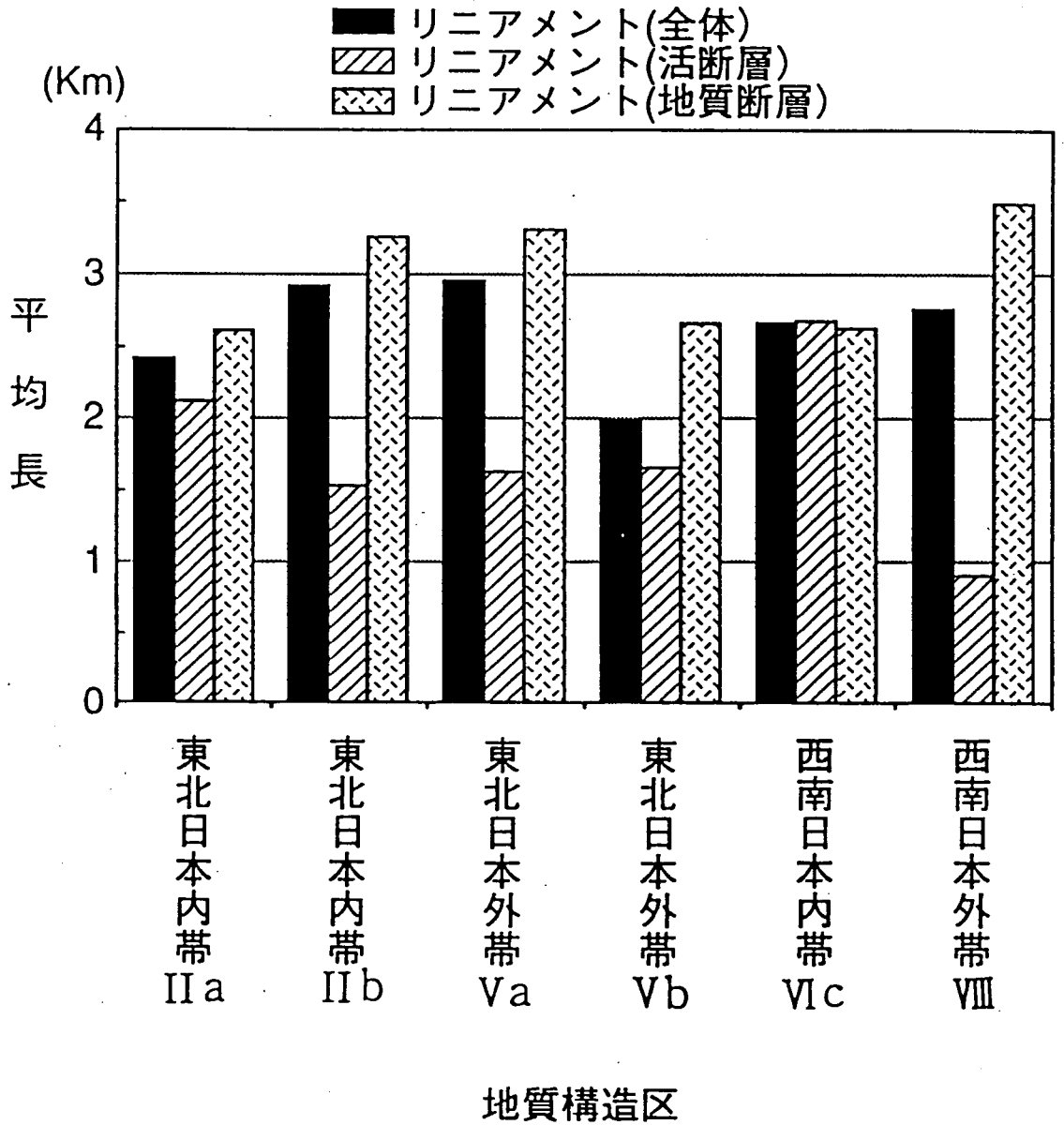
また、活断層と地質断層のリニアメント平均長を比較すると、東北日本内帯II a および西南日本内帯VI c を除く地質構造区では、活断層の平均長が地質断層の平均長の約半分、あるいはそれ以下の長さを示す。しかし、東北日本内帯II a と西南日本内帯VI c では、両者の平均長はほぼ等しい値を示し、他の地質構造区に対し活断層と地質断層の関係が異なっている。

(3) 走向頻度分布

各地質構造区のリニアメントの走向頻度分布を図-7 に示す。このグラフでは、地質断層と活断層とを分けてプロットしている。その理由は、地質断層と活断層の活動時期が異なるため(地質断層は過去に活動し、現在活動を停止している断層を意味し、活断層は現在活動中の断層を意味する。)、両者の走向頻度分布を比較することによって、断層活動の時代的变化を捉えられる可能性が有るからである。

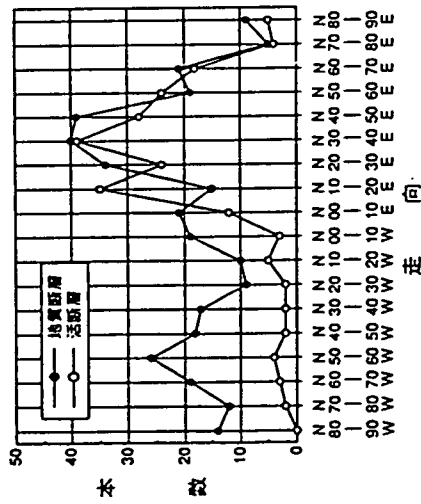
図-7 より各地質構造区の走向頻度分布の特徴をまとめると以下のようになる。

- ・東北日本内帯II a : 地質断層と活断層の主卓越方向(北東系)が一致している。また、地質断層には北西系にも卓越方向が認められるが、活断層には認められない。
- ・東北日本内帯II b : 地質断層の主卓越方向は北西~西北西系であり、北北東系、東北東系にも顕著な卓越方向が認められる。一方、活断層は、南北系が若干卓越するものの、顕著な卓越方向は認められない。
- ・東北日本外帯V a : 地質断層には顕著な卓越方向が3つあり、主卓越方向が北西系、次に北東系、南北系である。活断層は、東北日本内帯II b よりも更に顕著な卓越方向が認められず、ほぼ一様な走向頻度分布を示している。
- ・東北日本外帯V b : 地質断層は、北西~西北西系が卓越し、活断層は南北~北北西系が卓越しており、地質断層と活断層の主卓越方向は一致していない。
- ・西南日本内帯VI c : 地質断層および活断層共に北東~東北東方向が卓越している。また、地質断層には北西系にも卓越方向が認められるが、活断層には認められない。
- ・西南日本内帯VIII : 地質断層の主卓越方向は南北~北北東系である。活断層は南北~北東系が卓越しているがグラフ上に顕著なピークは認められない。また、活断層には北西系にも卓越方向が認められる。

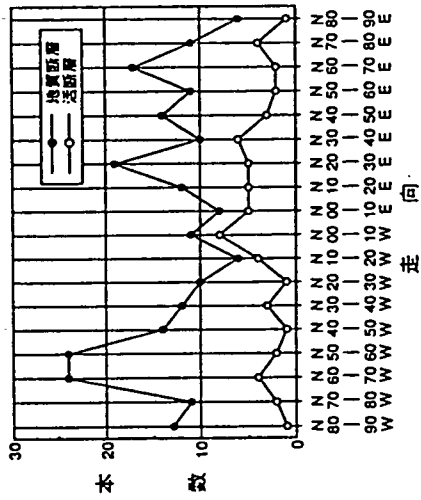


図一6 各地質構造区のリニアメント平均長

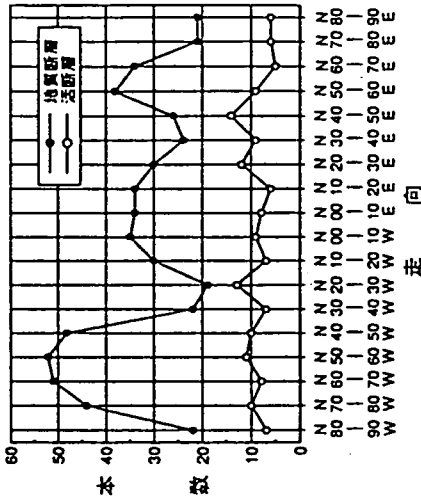
地質構造区：IIa



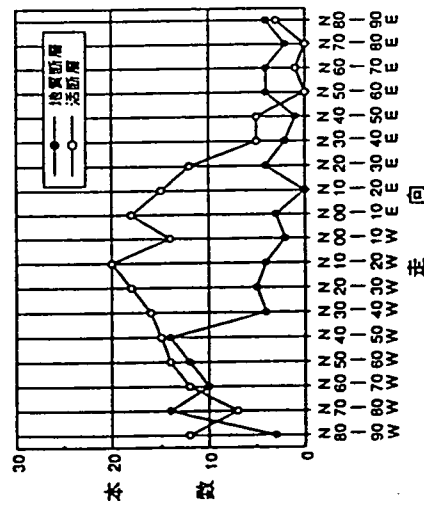
地質構造区：IIb



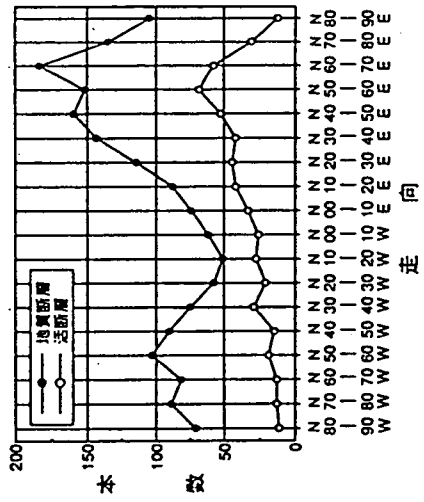
地質構造区：Va



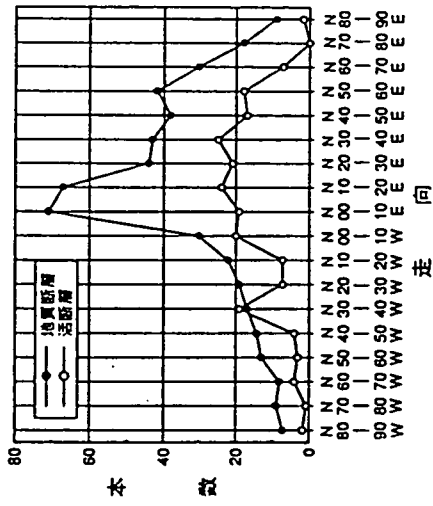
地質構造区：Vb



地質構造区：VIC



地質構造区：VIII



図一七 各地質構造区のリニアメントの走向頻度分布

(4)リニアメントの分布特徴による地質構造区の分類

各地質構造区のリニアメントの平均長および走向頻度分布の特徴をまとめると、図-8に示す3つのタイプに分類できる。なお、図-8は各タイプの概念的な図であり、走向頻度分布図に見られる細かなピークは省略している。従って、ここで述べる卓越方向は各地質構造区での大略的な傾向である。

以下に各タイプの特徴について説明する。

タイプ1の特徴は、地質断層と活断層の主卓越方向が一致していることであるが、地質断層あるいは活断層における主卓越方向以外の卓越方向の有無によってタイプ1を更に以下の2つに分類している。

- ・タイプ1 aの特徴：地質断層と活断層の主卓越方向が一致している。
地質断層には2系統の卓越方向が認められる。
地質断層と活断層の平均長がほぼ等しい。
- ・タイプ1 bの特徴：地質断層と活断層の主卓越方向が一致している。
活断層には2系統の卓越方向が認められる。
地質断層の平均長が活断層に比較して長い。

タイプ2の特徴は地質断層と活断層の主卓越方向が一致していないことと地質断層の平均長が活断層に比較して長いことである。

タイプ3の特徴は地質断層には複数の卓越方向が認められること、活断層には顕著な卓越方向が認められないことおよび地質断層の平均長が活断層に比較して長いことである。

これら3つのタイプの特徴を基に本解析で対象とした6つの地質構造区を分類した結果、各地質構造区は、表-3のように分類された。

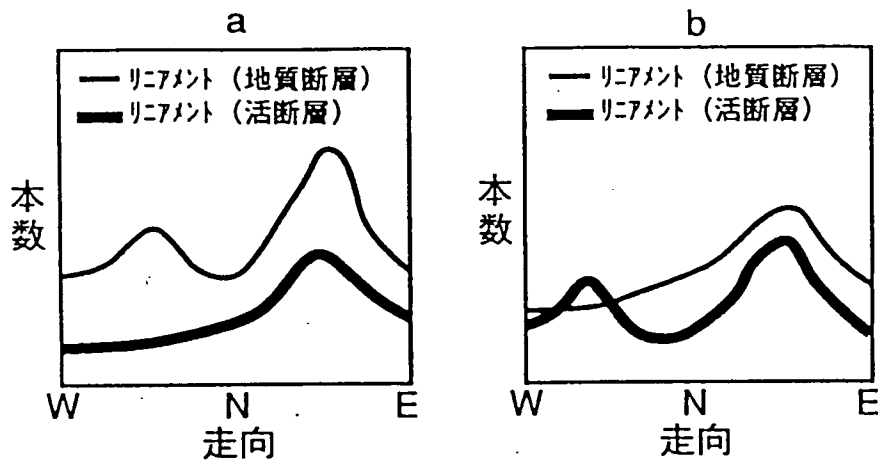
表-3 分類結果

タイプ1 a	：東北日本内帯Ⅱ a、西南日本内帯Ⅵ c
タイプ1 b	：西南日本外帯Ⅷ
タイプ2	：東北日本外帯Ⅴ b
タイプ3	：東北日本内帯Ⅱ b、東北日本外帯Ⅴ a

(5)各タイプの特徴を基にした各地質構造区の構造運動の考察

3つのリニアメント特性のタイプを基に、各タイプに分類された地質構造区の構造運動、特に応力場の変遷等について考察を試みた。なお、考察を行うにあたり、地質断層は新第三紀以前、また、活断層は第四紀以降の応力場を反映していると仮定した。

TYPE 1



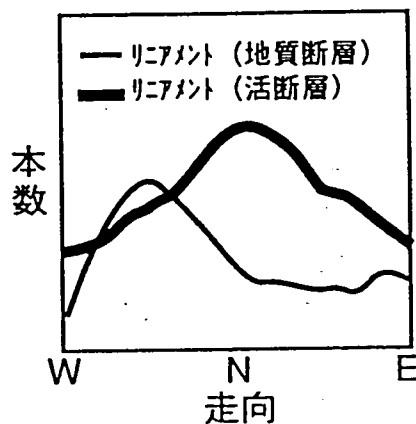
リニアメント平均長

リニアメント平均長

リニアメント (地) = リニアメント (活)

リニアメント (地) > リニアメント (活)

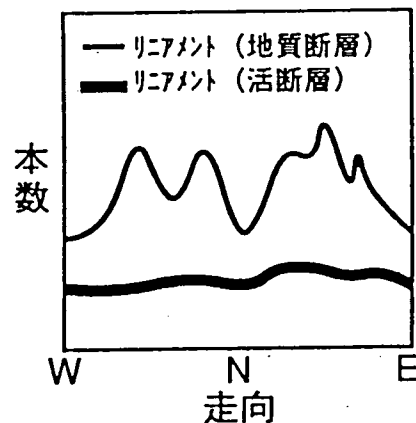
TYPE 2



リニアメント平均長

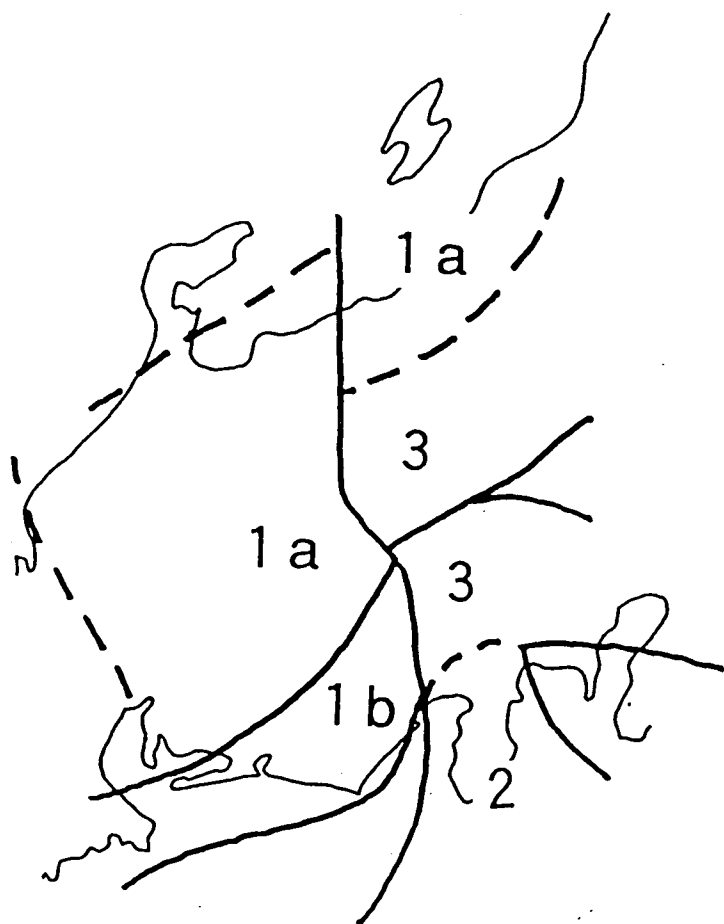
リニアメント (地) > リニアメント (活)

TYPE 3



リニアメント平均長

リニアメント (地) > リニアメント (活)



数字は各タイプの番号

図-8 各タイプの特徴と地質構造区の種類

①タイプ1 a (東北日本内帯Ⅱ a、西南日本内帯Ⅷ)

地質断層の走向頻度分布に2系統の卓越方向が認められることから、新第三紀以前において複数回の応力場の変化が起きた可能性はあるが、その回数は比較的少ないものと推測される。また、地質断層と活断層の主卓越方向が一致していることから、これらの地質構造区は新第三紀から現在まで応力場がさほど変化していないものと思われる。

タイプ1 aのもう一つの特徴である活断層と地質断層の平均長がほぼ等しいことについての理由としては、以下のようなことが考えられる。なお、断層の長さは、断層運動による変位(ズレ)の累積によって発達すると仮定した。

- 一定の応力場が長い期間保持されていた。つまり、断層の活動期間が長く継続することにより、活断層の長さが他の地質構造区の活断層より長くなっていると思われる。
- 地質断層が再活動した。これは、過去に形成された断層が応力場との関係から再び活動し、元々の長さに新規の活動による延長分が加わったと考えられる。
- 他の地質構造区に比較して、第四紀における活動度が高い。これは活動周期が短い、1回あたりの変位量が大きいために、同一期間でも変位の累積量が大きい。

②タイプ1 b (西南日本外帯Ⅷ)

地質断層の走向頻度分布には単一の卓越方向しか認められないことから、新第三紀以前において応力場の大きな変化は、ほとんど起きていないものと推測される。また、活断層と地質断層の主卓越方向が一致していることから、新第三紀から第四紀までに応力場の変化はほとんどなかったと思われる。しかし、活断層には主卓越方向の他にもう1つの卓越方向が認められることから、最近において応力場が変化した可能性がある。

③タイプ2 (東北日本外帯Ⅴ b)

地質断層と活断層の主卓越方向が異なることから、新第三紀以前と第四紀以降では応力場が変化していることが推測される。その原因の1つとしては、50万年前の伊豆半島の本州弧への衝突が考えられる。また、地質断層の走向頻度分布に卓越方向が1系統しか認められないが、その理由としては、本地質構造区(伊豆半島)の表面を覆う新第三紀以降の火山岩類によって古い断層が地形に現れていないことが考えられる。

④タイプ3 (東北日本内帯Ⅱ b、東北日本外帯Ⅴ a)

地質断層の走向頻度分布をみると、卓越方向が複数認められる。このことから新第三紀以前において多くの応力場の変化が起きたものと推測される。このことは、このタイプに分類された地質構造区の位置からも推測される。つまり、これらの地質構造区はフォッサマグナの位置にあり、東北日本と西南日本との衝突や伊豆・小笠原弧の本州弧への衝突等の影響を受けているものと思われる。また、活断層の走向頻度分布には顕著な卓越方向がなく、ほぼ様な走向頻度分布を示している。その理由としては、各方向の断層が数多く分布することにより、単一応力場でも各方向の断層が活動し、応力を解放していることが考えられる。

4.2 リニアメントの諸特性と時代および岩種との関係

(1) リニアメントの走向頻度分布と時代および岩種との関係

次にリニアメントの諸特性と時代および岩種との関係について解析した。図-9は同一地質構造区における岩種毎のリニアメント走向頻度分布を比較したものである。図-9からわかるように、先新第三紀の花崗岩類、流紋岩類および堆積岩類の各走向頻度分布は、岩種が異なるにもかかわらず、ほぼ同じパターンを示している。しかし、先新第三紀と新第三紀の堆積岩類の走向頻度分布を比較すると、同一岩種にもかかわらず、異なるパターンを示している。このことから、同一地質構造区内では岩種によらず、各時代によって異なる走向頻度分布を示していることがわかる。

図-10は、異なる地質構造区における同一岩種のリニアメント走向頻度分布を比較したグラフである。この図より、同一時代、同一岩種でも地質構造区が異なると走向頻度分布のパターンが異なることがわかる。

したがってリニアメントの走向頻度分布は岩種によらず、地域や時代に支配されているものと考えられる。

(2) リニアメントの平均長と岩種との関係

図-11は各岩種のリニアメントの平均長を示したグラフである。図-11では、先新第三紀と新第三紀とに時代を分けているが、各時代とも花崗岩類が最も平均長が長く、以下、流紋岩類、堆積岩類の順で平均長が短縮しているといった同一な傾向を示している。

この理由の1つとしては、岩盤の物性の違いが断層の発達に影響を与えていることが考えられるが、詳細な物性との関係については今後の課題である。

また、先新第三紀と新第三紀のリニアメントの平均長を比較すると、新第三紀の方が長いことがわかる。その理由としては、先新第三紀の方が各方向の断層が発達し、各断層が切った切られたの関係になっていることから、個々の断層の長さが短くなっていると思われる。一方、新第三紀は多くの応力場の変遷を受けていないことから、比較的断層本来の長さが保持されているものと思われる。

5. 解析結果のまとめ

中部日本の地質構造区毎および岩種毎のリニアメントの諸特徴をまとめた結果、以下の知見が得られた。

- ① リニアメントの特徴から対象とした6つの地質構造区を3つのタイプに分類した。
各々のタイプは、活断層および地質断層の走向頻度分布や平均長が異なっている。
- ② リニアメントの走向頻度分布は、岩種によらず、地域や時代によって異なる。
- ③ 火成岩類のリニアメントの平均長は、堆積岩類に比較して長い傾向を示す。

以上の結果より、リニアメントの走向頻度分布、平均長および密度から構造運動の地域特性や変化を推定できる可能性および岩盤の地質工学的な特性と関連づけられる可能性が見い出され、地質環境特性との関連性の一端を把握することができた。

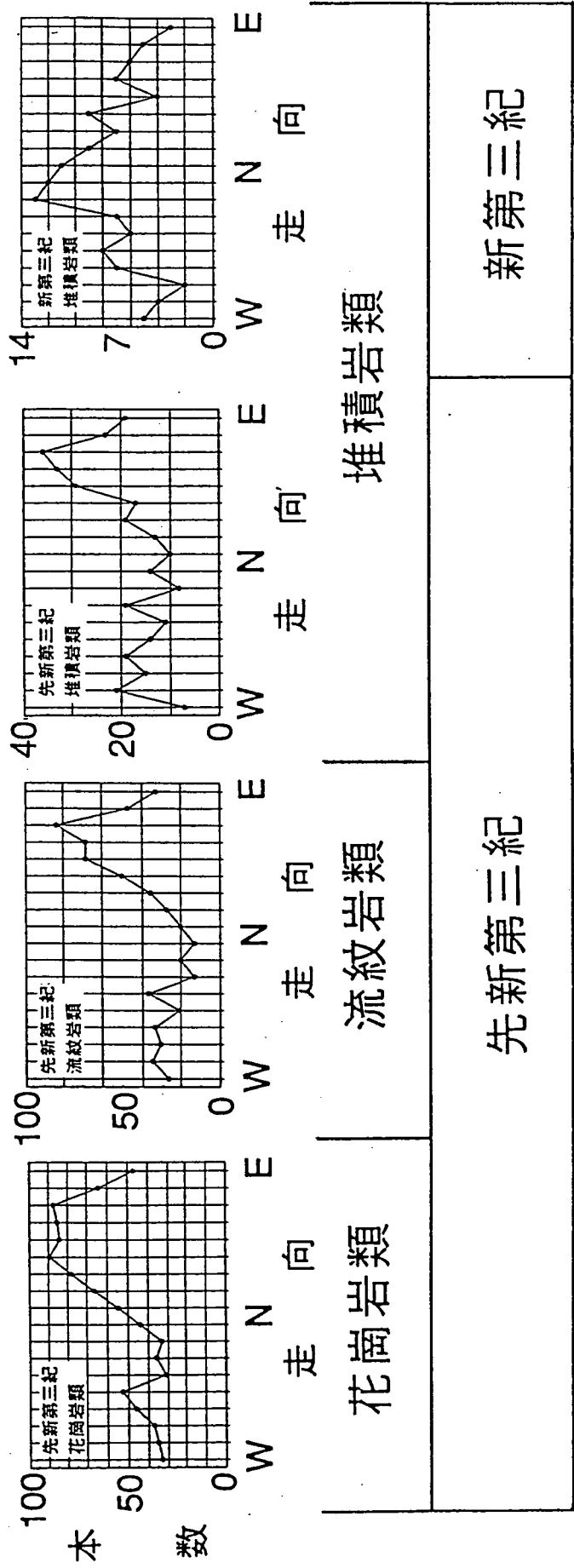
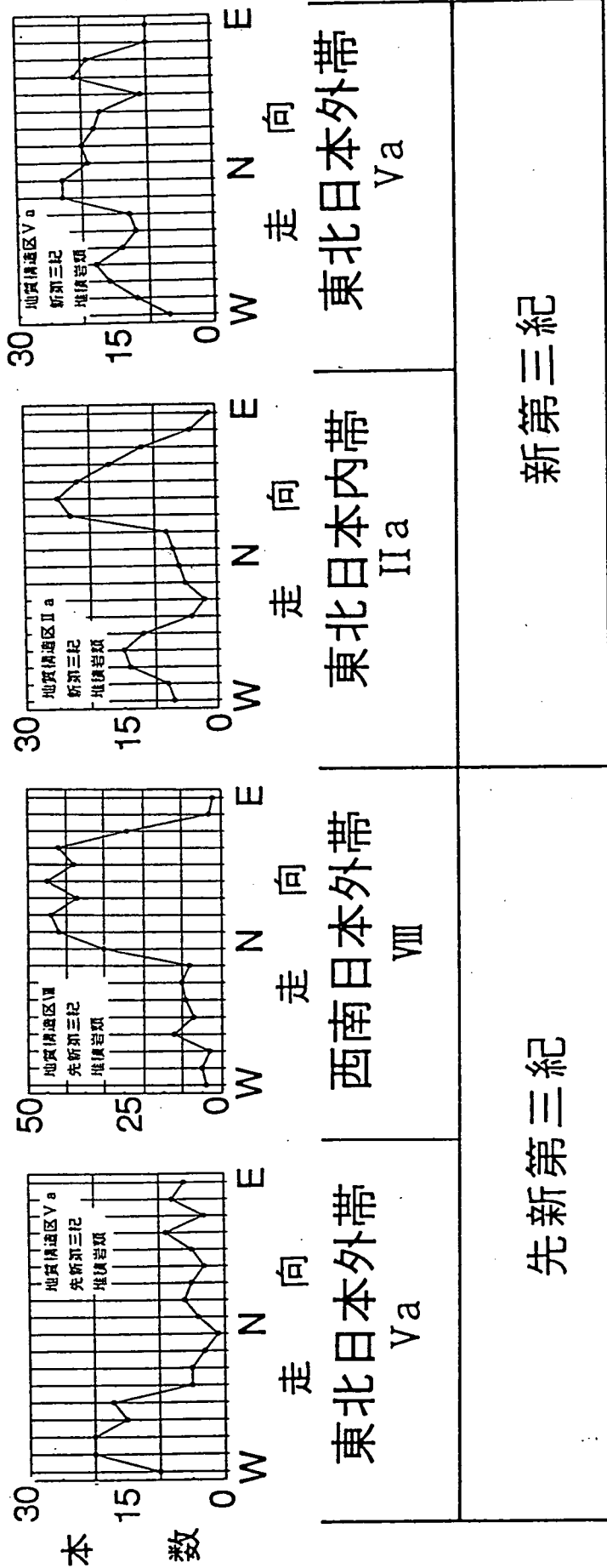


図-9 同一地質構造区における岩種毎のリニアメント走向頻度分布



図一10 異なる地質構造区における同一岩種（堆積岩）の
リニアメント走向頻度分布

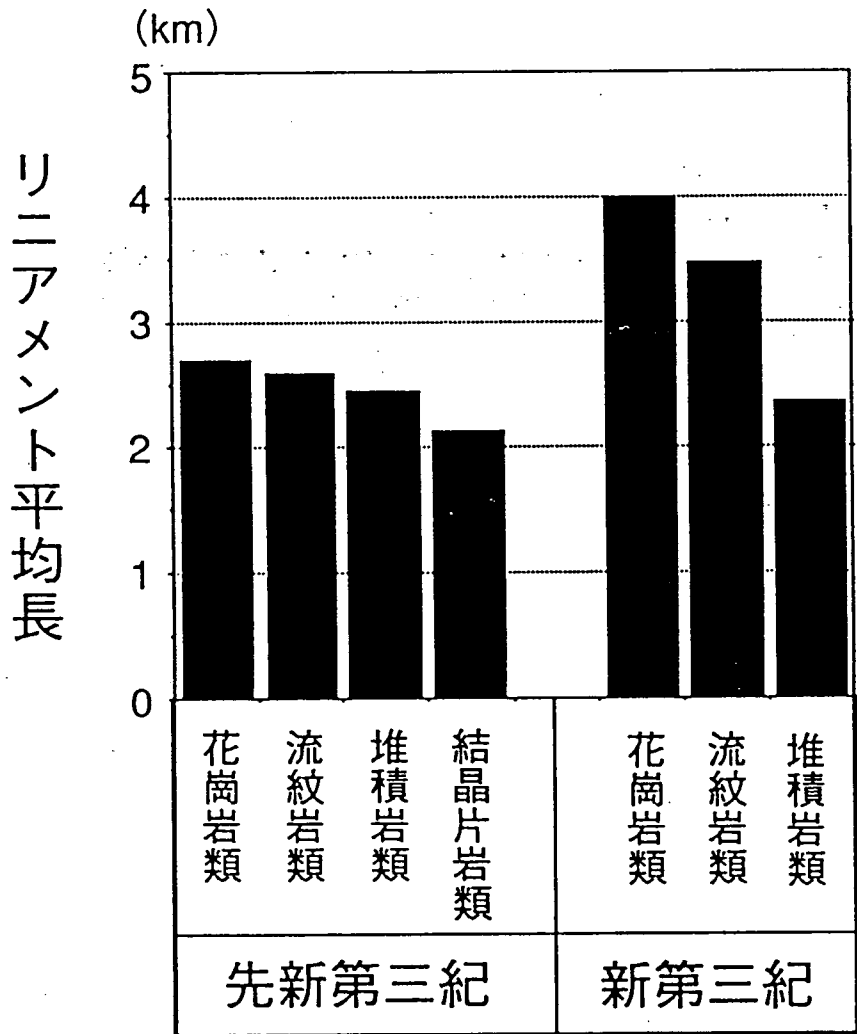


図-11 各岩種のリニアメント平均長

6. 今後の予定

リニアメントの分布特性と地質環境特性との関連性を探るため、その第1段階として構造運動の地域性や時代的变化に着目した解析を実施した。その結果、リニアメントの走向頻度分布や平均長などによって、構造運動の原因となる応力場の変遷を推測できる可能性が見い出された。また、リニアメントの特徴を基に地質構造区をいくつかタイプ分けできたことにより、地質環境の適正を評価する際に不可欠と思われる地質環境のモデル化について少なくとも構造運動については、いくつかのタイプに区分できる可能性があると考えられる。

今後は空中写真によるリニアメント判読調査を継続し、地質断層を含む全国リニアメント分布図を完成させ、上記のような解析を他の地域に対して実施する必要がある。また、今回の解析では除外した断層の長さ頻度の比較、断層の運動方向と規模、共役断層の検討による詳細な応力場の決定やその変化の把握といった解析を実施し、今回設定したリニアメント分布特徴の各タイプについての構造地質学的な意味を再検討する必要がある。

また、時代による断層の発生位置の変遷、断層運動による地形変位量の地域性および岩盤の物性値と断層の規模との関係などの検討についても天然事象の将来予測や広域の岩盤評価の観点から解析を行う必要がある。

7. 参考文献

- 1) International Atomic Energy Agency (IAEA) (1983): Criteria for Underground Disposal of Solid Radioactive Wastes. Safety Series, No. 60, P.1-46.
- 2) 地学団体研究会・編 平凡社：地学辞典 P.1597
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団、アジア航測(1991)：中部及び北関東地方における広域地質環境評価のための断裂系調査 P.18-22.
- 4) 活断層研究会・編 東京大学出版会：日本の活断層—分布図と資料 P.21-25

2.3 ウラン探鉱技術開発

(1) 『岩石反射スペクトル特性に関する研究』

—— 解析システムの構築とアリゲーターリバー地域の岩石の分光反射特性 ——

岩石の反射スペクトル特性に関する研究 —解析システムの構築とアリゲータリバー地域の岩石の分光反射特性—

小 出 馨

1. はじめに

1970年代後半、アメリカのHuntらによって粘土鉱物や炭酸塩鉱物の抽出には2 μ m付近の短波長赤外域が有効であることが提唱され¹⁾、1982年に打ち上げられた米国の地球観測衛星ランドサット4号のセマティックマッパー (TM) センサーに始めてこの波長帯域が採用された。その後、TMセンサーのこの波長帯のデータが金属鉱床探査の探査指標のひとつである熱水変質帯の抽出に有効であることが、多くの研究者によって報告され (例えば、井上・Lyon 1984)²⁾、これをきっかけに岩石の反射スペクトルに関する研究が世界各国で行われるようになった。

このような状況の下、技術開発課は、昭和63年度に岩石表面の分光反射率を測定するためのスペクトラジオメーターを導入し、炭酸塩鉱物からなる岩石をウラン鉱床の胚胎母層とするオーストラリアの不整合関連型のウラン鉱床を対象として、鉱床周辺に分布する主な岩石の反射スペクトルデータの収集に努めてきた。また、データの収集と共に、測定された反射スペクトルデータの解析環境の整備および分光反射特性と鉱物組成との関係を明らかにするために、岩石サンプルのX線回折による鉱物同定を実施した。

本報告では、この内、平成2年度に実施した反射スペクトル解析システムの構築とオーストラリア北部準州アリゲータリバー地域における岩石サンプルの反射スペクトル測定結果およびX線分析結果について報告する。

2. 目的

本解析は、オーストラリアの不整合関連型ウラン鉱床を対象にした探査に有効なりモートセンシングデータの処理・解析手法の開発の一環として実施しており、特にウラン鉱床胚胎母層の抽出手法の開発を目的にしている。

3. 実施内容

3.1 反射スペクトル測定・解析システムの構築

資源探査分野におけるリモートセンシング解析には、基礎データとして各種岩石表面の反射スペクトルデータが必要不可欠である。反射スペクトルデータとは、光の波長毎の反射率であり、これを分光反射率という。このデータを用いて波長を横軸に、反射率を縦軸にして描いた曲線が分光反射特性曲線であり、含まれる鉱物によって特徴的な吸収 (反射率の低下部分) が現れる。この吸収の位置、大きさ、吸収部分の曲線の形によって、岩石に含まれる鉱物の種類を推測することができ、また、特定の岩種を抽出するための手法を検討する際の手掛かりとなる。

反射スペクトル解析は、従来、解析担当者が手作業によって分光反射特性曲線図から吸収部分を抽出し、吸収の位置や吸収の大きさを測定していた。しかし、この方法は、特に吸収部分の抽出に解析担当者の主観が入るため、担当者が変わると結果が異なる可能性があり、また、件数が多くなるほど、解析精度にバラツキが生じる恐れがある。そこで、解析担当者の判断に任されていた吸収部分の抽出作業を自動化することで、省力化と解析精度の向上を図ることにした。

(1) 吸収部分の自動抽出法

分光反射特性曲線上の吸収部分を自動抽出する方法は、地質調査所から提案されており(浦井他, 1989)³⁾、この方法による反射スペクトルカタログ⁴⁾が公開されている。そこで、地質調査所のデータと相互利用ができるように、地質調査所の方法を採用した。

この吸収部分の自動抽出法は以下に示す3つのプロセスから構成されている。

① 分光反射特性曲線上の極小点の抽出

吸収部分を抽出するための第1段階として、分光反射特性曲線上の極小点を抽出する。抽出する方法は、図-1から分かるように、分光反射特性曲線のある波長の反射率に着目し、この波長の長波長側および短波長側の各々3点の反射率と比較する。もし、着目している波長の反射率が両側の波長のどの反射率よりも小さい場合は、この波長を極小点として抽出している。

② 吸収の大きさの測定

この段階では、①の作業で抽出された極小点における吸収の大きさを測定する。吸収の大きさを測定するにあたり、ハル・クオシエント(Hull-quotient)法(Green 他, 1985)⁵⁾により、分光反射特性曲線の接線を求めてから、これを基準に吸収の大きさを求めている。図-2は、この方法を図示したもので、分光反射特性曲線図中の太線がオリジナルの分光反射特性曲線で、接線と記されている細線がハル・クオシエント法によって求められた接線である。この2つの線を用いて、①で抽出された分光反射特性曲線上の極小点に着目し、極小点の波長における接線上の反射率(L)とオリジナルの分光反射特性曲線上の反射率と接線上の反射率の差(A)との比(%)を求め、それを吸収の大きさとしている。

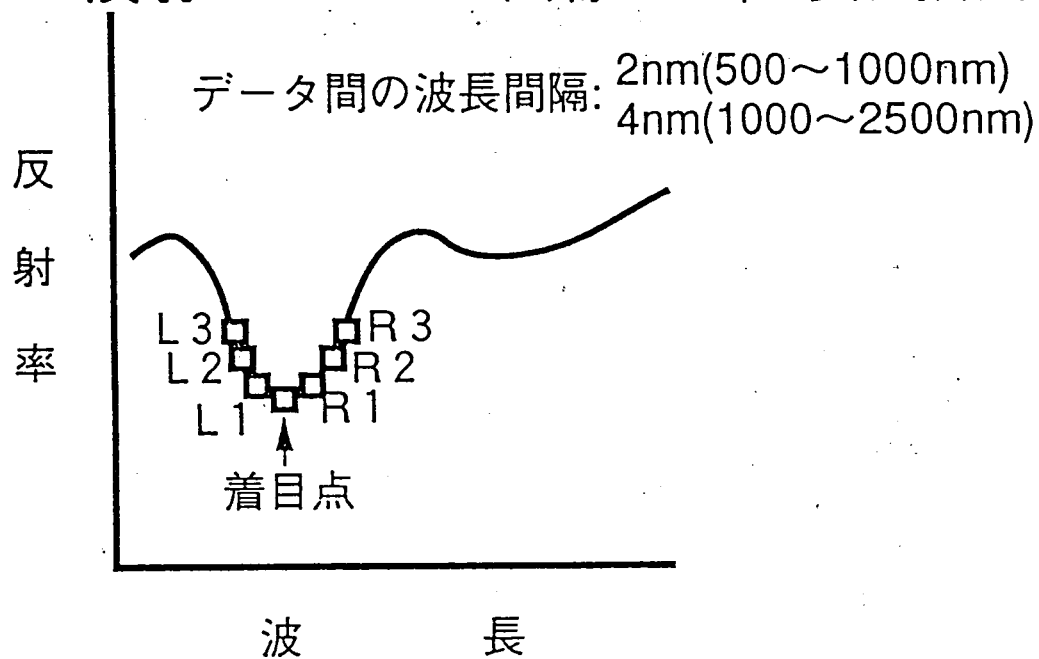
③ 吸収の大きさを基にした吸収部分の判定

極小点を全て吸収部分として採用すると、ノイズのような分光反射特性曲線上の微小な凹凸も含まれてしまう。そこで、ノイズのような微小な凹凸を削除するために②で得られた各極小点における吸収の大きさを基に、着目した極小点が吸収部分であるか否かを判定する。判定の条件としては、地質調査所における解析の経験から吸収の大きさが2%以上の極小点を吸収部分と判定している。

(2) 反射スペクトルデータ解析プログラムの作成

(1)で述べた吸収部分の自動抽出機能を含めた反射スペクトルデータ処理プログラムを画像処理システムのホストコンピュータであるミニコン上に作成した。使用した言語は、C言語である。機能としては、上述の吸収部分の自動抽出の他に、ハル・クオシエント法による正規化された分光反射特性曲線、吸収の位置(波長)と強さのグラフと表がオリジナルの分光反射特性曲線と共に端末の画面に表示される。また、この結果は、XYプロッターにも出力可能である。図-3に出力例を示す。

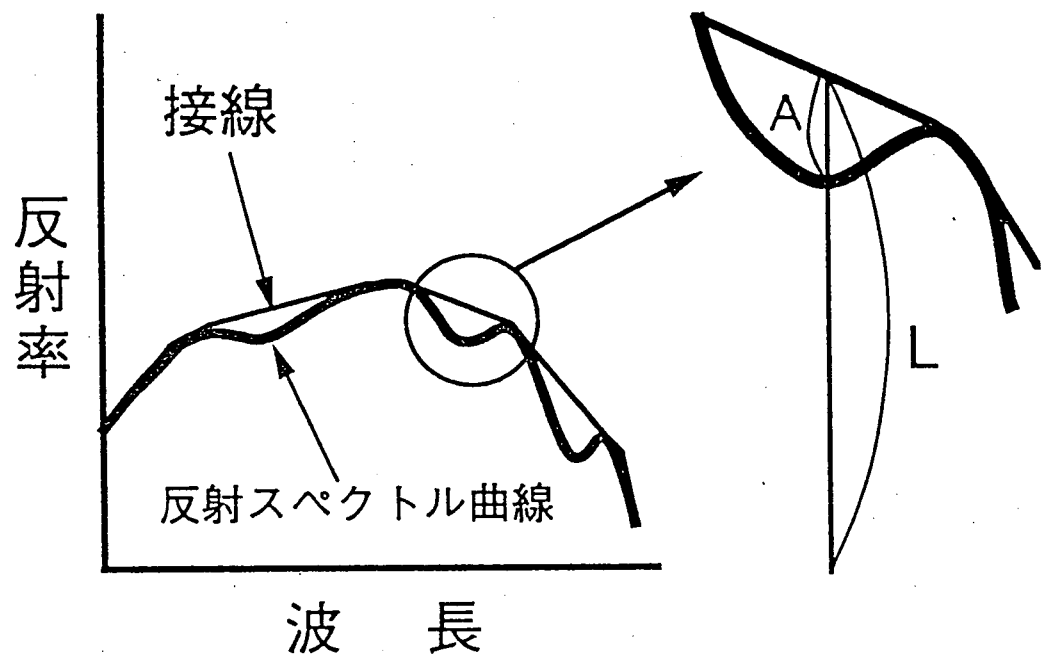
反射スペクトル曲線上の極小点抽出



極小点抽出条件

着目点の反射率 < R1, R2, R3 の反射率
L1, L2, L3

図一 1 分光反射特性曲線上の極小点の抽出



吸収の大きさ = A/L (%)

図一 2 吸収の大きさの測定

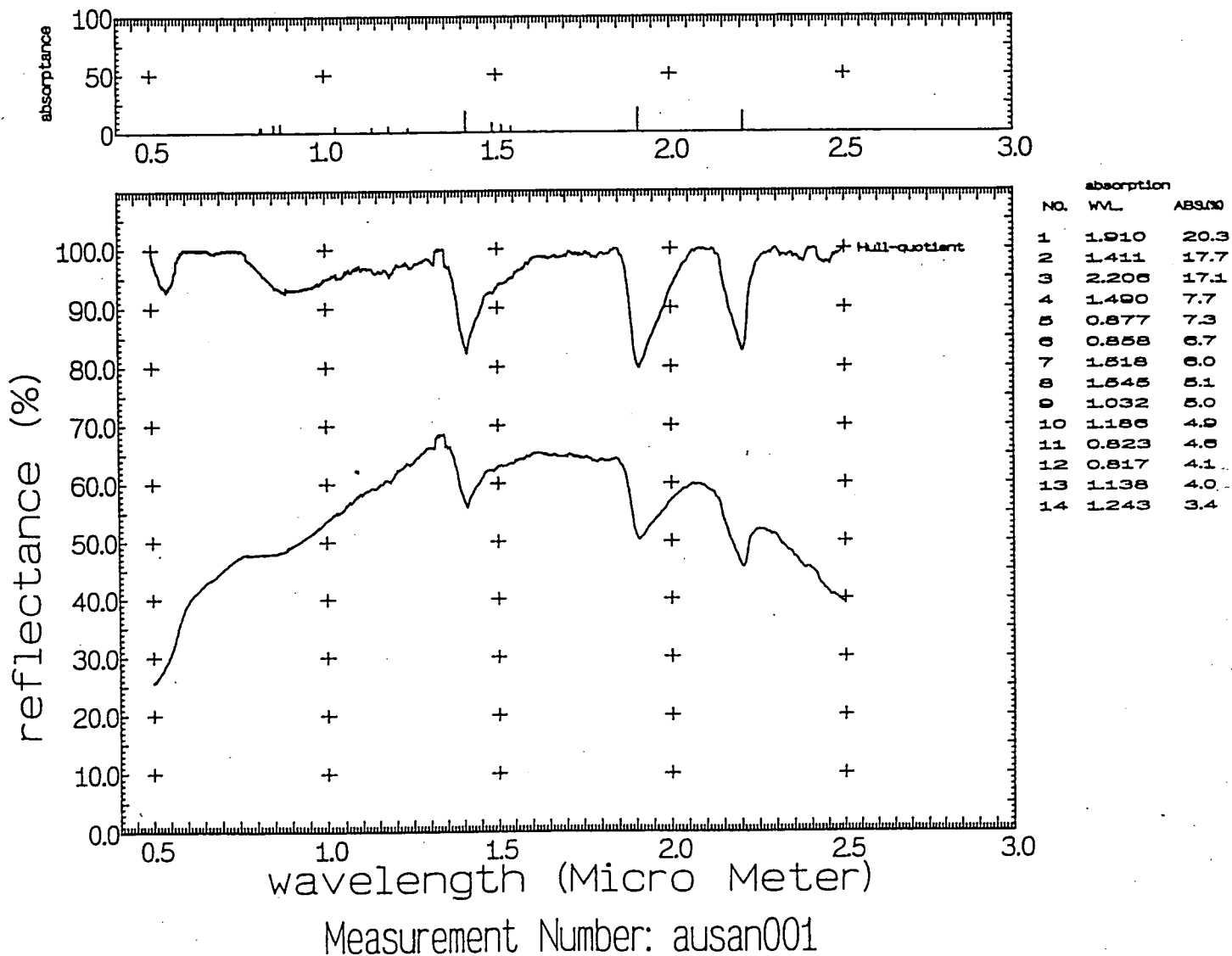


図-3 本解析システムによる出力例

(3)反射スペクトル測定・解析システムの構築

昭和63年度にスペクトロラジオメーターを導入して以来、反射スペクトルの測定・解析に関するシステムの整備を実施してきた。今回、反射スペクトルの解析作業部分を整備したことで、図-4に示すような反射スペクトル測定・解析システムが完成した。これにより、岩石サンプルに対する反射スペクトルの測定から、各岩石サンプルの分光反射特性の抽出、反射スペクトルデータによるリモートセンシング光学センサーデータのシミュレーションおよびシミュレーションデータによる画像処理手法の検討⁶⁾といった一連の解析が可能になった。今後は、システムの作業項目毎の改良を行い、解析精度や操作性の向上を図る予定である。

3.2 アリゲータリバー地域の岩石の分光反射特性

岩石の反射スペクトルデータの蓄積を目的に、平成元年度から事業団の海外ウラン探査プロジェクト地域を対象に、そこに分布する主要な岩石や探査対象層の岩石のサンプリングを実施してきている。本年度は、世界的にもウラン鉱床胚胎ポテンシャルの高い、オーストラリア北部準州アリゲータリバー地域(図-5)の事業団鉱区域およびジャビルカ、クンガラといった既知ウラン鉱床域で岩石のサンプリングを実施した。この節では、当地域におけるウラン鉱床胚胎母層のカーヒル累層(下部原生代)の雲母片岩およびその被覆層であるコンボロジー砂岩(中部原生代)さらにウラン鉱床の成因に関係があるとされているドレライト(粗粒玄武岩、下部原生代)の分光反射特性とX線分析結果を報告する。

(1)反射スペクトルの測定方法およびX線分析内容

①反射スペクトルの測定機器

本解析では、反射スペクトルを測定するために、米国GER社製の野外用スペクトロラジオメーターIRIS Mk-IVを使用した。本機は、測定波長範囲が350~3000nmであり、波長分解能は350~1000nmの範囲で2nm、1000~3000nmで4nmと各鉱物の吸収部分を捉えるのに十分な波長分解能を持つ。

②反射スペクトルの測定方法

本解析では、反射スペクトルの測定範囲をIRIS Mk-IVの野外測定モードである350~2500nmに設定した。測定時の光源は、300Wのタングステンランプを1燈使用し、また、標準反射板として硫酸バリウムを塗布したアルミプレートを用いた。

③X線分析の内容

反射スペクトルを測定した岩石サンプルは、鉱物組成を調べるためにX線回折による鉱物同定を実施した。分析の内容は、全サンプルに対して無定方位試料によるバルク処理を行い、特に分光反射特性曲線に吸収が認められるサンプルについては、更に水ひ処理、エチレングリコール処理および塩酸処理によって詳細な粘土鉱物の同定を実施した。なお、X線分析はジオサイエンス社に委託外注した⁷⁾。

(2)ウラン鉱床胚胎母層および被覆層の岩石の分光反射特性と鉱物組成

①コンボロジー砂岩(非鉱床区)

コンボロジー砂岩は中部原生代に堆積した中粒から粗粒の石英砂岩であり、色は灰色から紫色を呈している。なお個体差は有るが、オーストラリアの露頭における岩石の例に漏れず、表面に赤鉄鉱や褐鉄鉱などの酸化鉄が付着している。

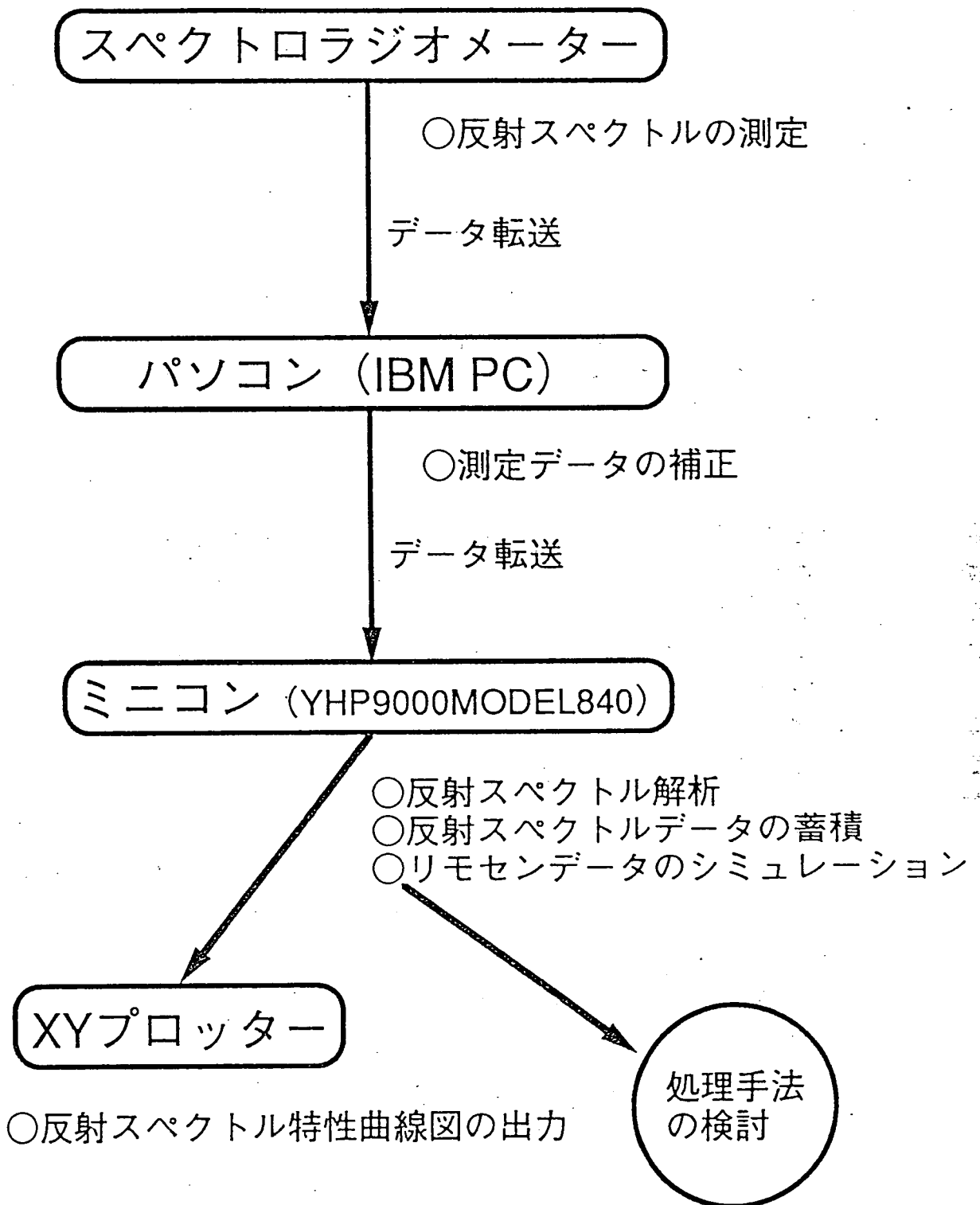


図-4 反射スペクトル測定・解析システム

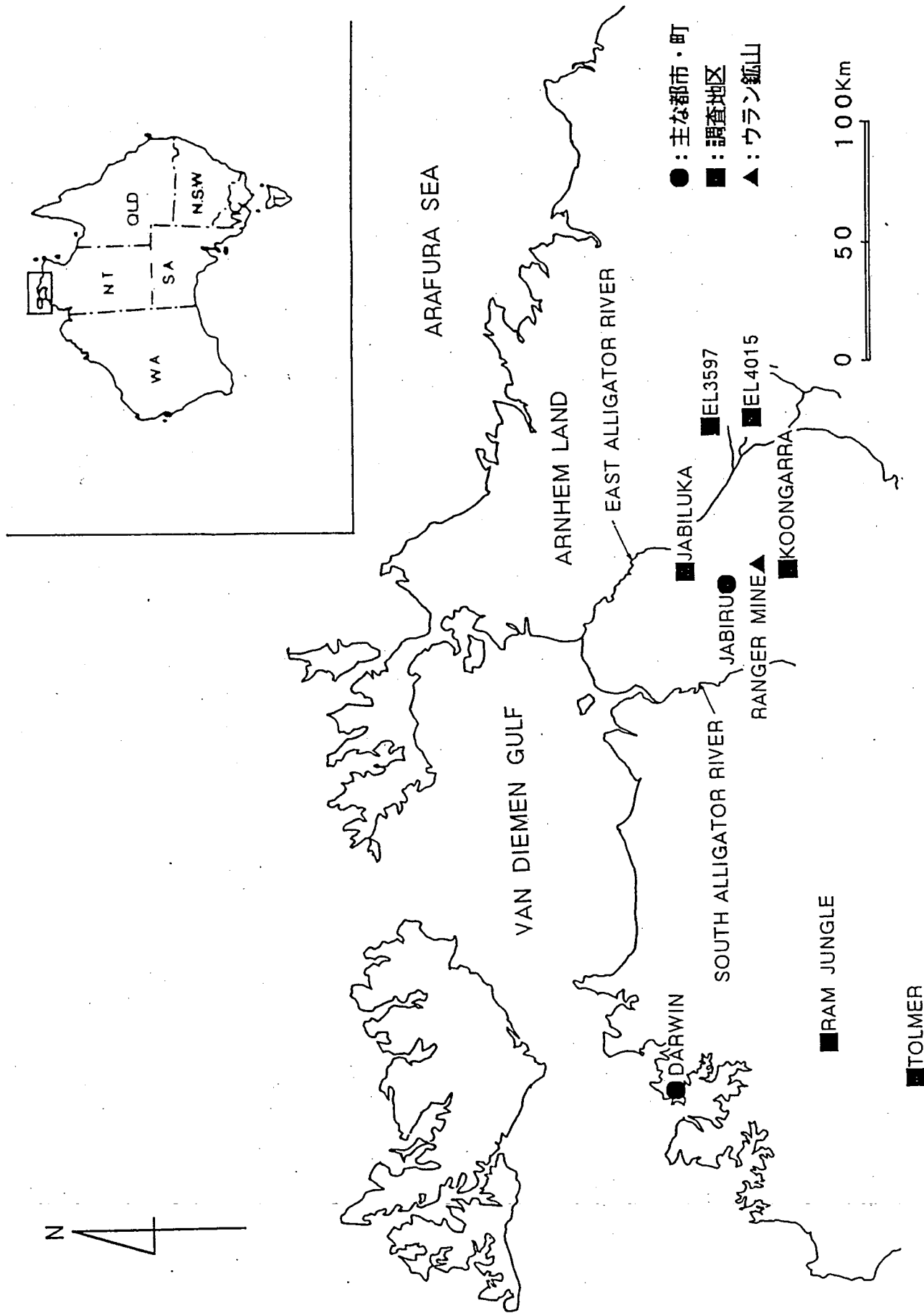


図-5 アリゲーターリバー地域における現地調査地区位置図

図-6は、ジャビルカ鉱床の東方約60kmに位置する事業団鉱区EL3597内の調査地点1A（図-7）で採取したサンプルの分光反射特性曲線図である。図-6から明らかなように分光反射特性曲線上の1.4 μ m、1.9 μ mおよび2.2 μ mに強い吸収があり、また、0.9 μ m付近に幅の広い吸収が認められる。過去の文献^{4) 8)}を基に吸収の位置や形からサンプルに含まれる鉱物の推定を試みた結果、前者の強い吸収は白雲母によるもので、後者の幅の広い吸収は褐鉄鉱によるものと推定された。X線分析の結果、このサンプルから石英、白雲母および極微量にカオリナイトが同定されており、鉱物組成が分光反射特性に反映されていることがわかる。なお、石英の分光反射特性上の特徴は、本解析で使用しているスペクトラジオメーターの測定波長域よりさらに長波長側（8 μ m \sim ）に有ることから、本解析における分光反射特性曲線上には現れていない。また、カオリナイトの吸収は、1.4 μ m、1.9 μ mおよび2.2 μ m付近に現れ、特に1.4 μ mのダブルット（小さな吸収が2つ並ぶ）および2.2 μ mの吸収の短波長側の斜面にある2.16 μ m付近の小さなノッチが大きな特徴である。このカオリナイトの影響が、ハル・クオシエント法により正規化された分光反射特性曲線上の2.2 μ mの吸収の短波長側の斜面にわずかなノッチとして現れている。

②コンボロジー砂岩（鉱床区）

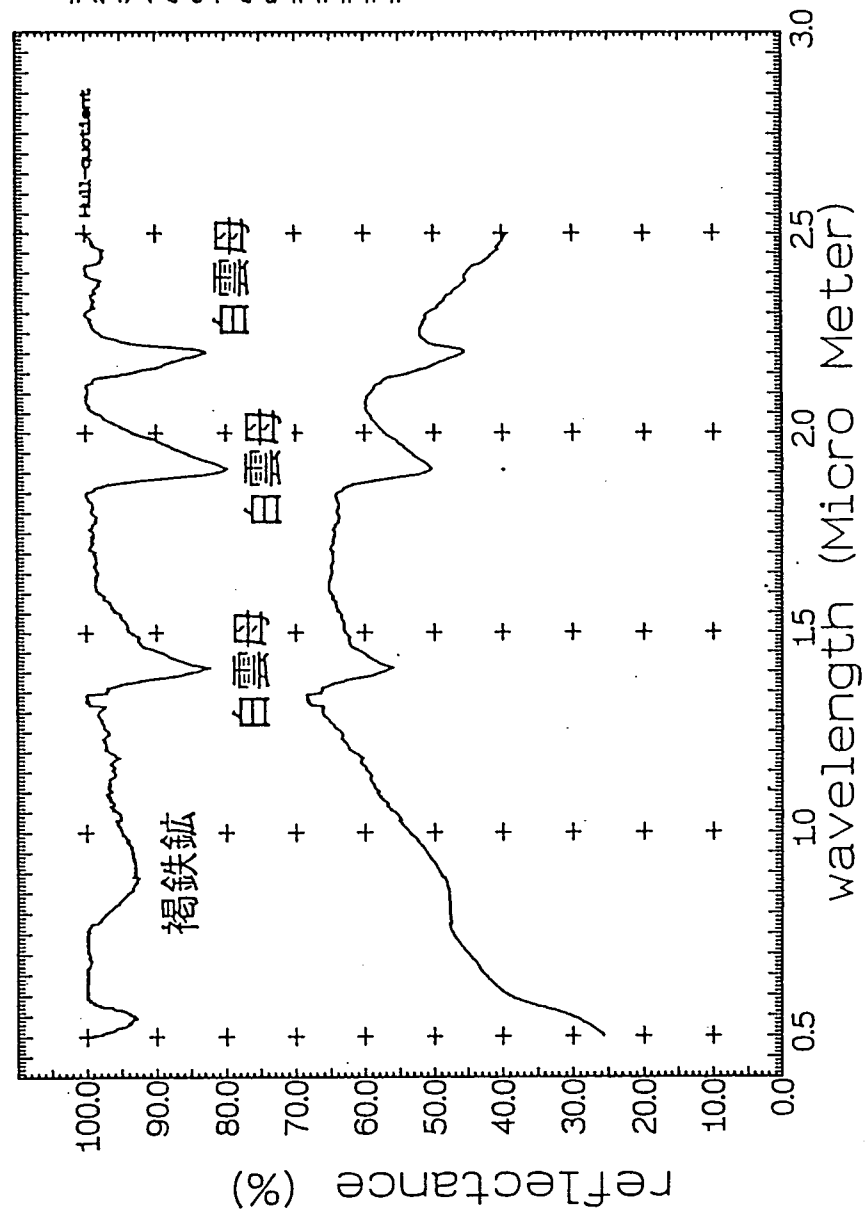
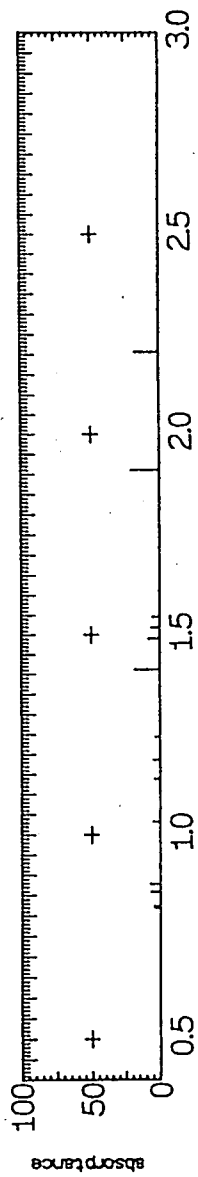
図-8は、クンガラ鉱床（図-9）の直上の露頭から採取したコンボロジー砂岩の分光反射特性である。この岩石サンプルの特徴としては、漂白作用を受け、色が淡赤色であること、割れ目にそって赤鉄鉱の結晶が付着していることが挙げられる。このサンプルの分光反射特性としては、非鉱床区のサンプルの分光反射特性（図-6）に見られた白雲母による吸収は認められない代わりに、1.4 μ m、1.9 μ mおよび2.2 μ mにカオリナイトによる吸収が認められ、また、褐鉄鉱と思われる0.9 μ m付近に幅の広い吸収が認められることが挙げられる。X線分析の結果でも、このサンプルから石英、カオリナイトおよび褐鉄鉱が同定されており、ここでも鉱物組成が分光反射特性に反映されていることがわかる。

③ドレライト

図-10は、事業団鉱区EL3597の南東約10kmに位置する事業団鉱区EL4015内の調査地点10（図-11）で採取したドレライトの分光反射特性である。ドレライトの分光反射特性は、顕著な吸収が認められず、全体に分光反射特性曲線が平坦で、かつ15%前後の低い反射率を示すことである。しかし、ハル・クオシエント法による正規化処理を行うと、オリジナルの分光反射特性曲線では認められなかった吸収（1.0 μ m付近の幅の広い吸収と2.2 \sim 2.4 μ m付近の吸収）が現れる。吸収の位置から推定すると前者は2価の鉄を含む塩基性の岩石特有の吸収であり、後者は2.26 μ mおよび2.34 μ mの吸収が認められることから緑泥石によるものと推定される。X線分析の結果でも、磁鉄鉱、角閃石、緑泥石が同定されている。

④ウラン鉱床胚胎母層（カーヒル累層）

図-12は、ジャビルカI鉱床（図-9）直上から採取した雲母片岩（転石）の分光反射特性曲線である。分光反射特性曲線上には、1.4 μ m、1.9 μ mおよび2.2 μ mに強い吸収と0.9 μ mを中心にした幅の広い比較的顕著な吸収が認められる。前者は白雲母による吸収であり、後者は褐鉄鉱による吸収と推定される。また、ハル・クオシエント法で正規化処理を行った分光反射特性曲線には2.35 μ m付近に小さな吸収が見られるが、これはそ



No.	WVL	absorption	ABS.100
1	1.910		20.3
2	1.411		17.7
3	2.208		17.1
4	1.490		7.7
5	0.877		7.3
6	0.858		6.7
7	1.518		6.0
8	1.645		5.1
9	1.032		5.0
10	1.188		4.9
11	0.823		4.6
12	0.917		4.1
13	1.136		4.0
14	1.243		3.4

コンボロジ-砂岩
(非鉱床区)

表面の色:淡褐色

同定された鉱物

石英 ◎

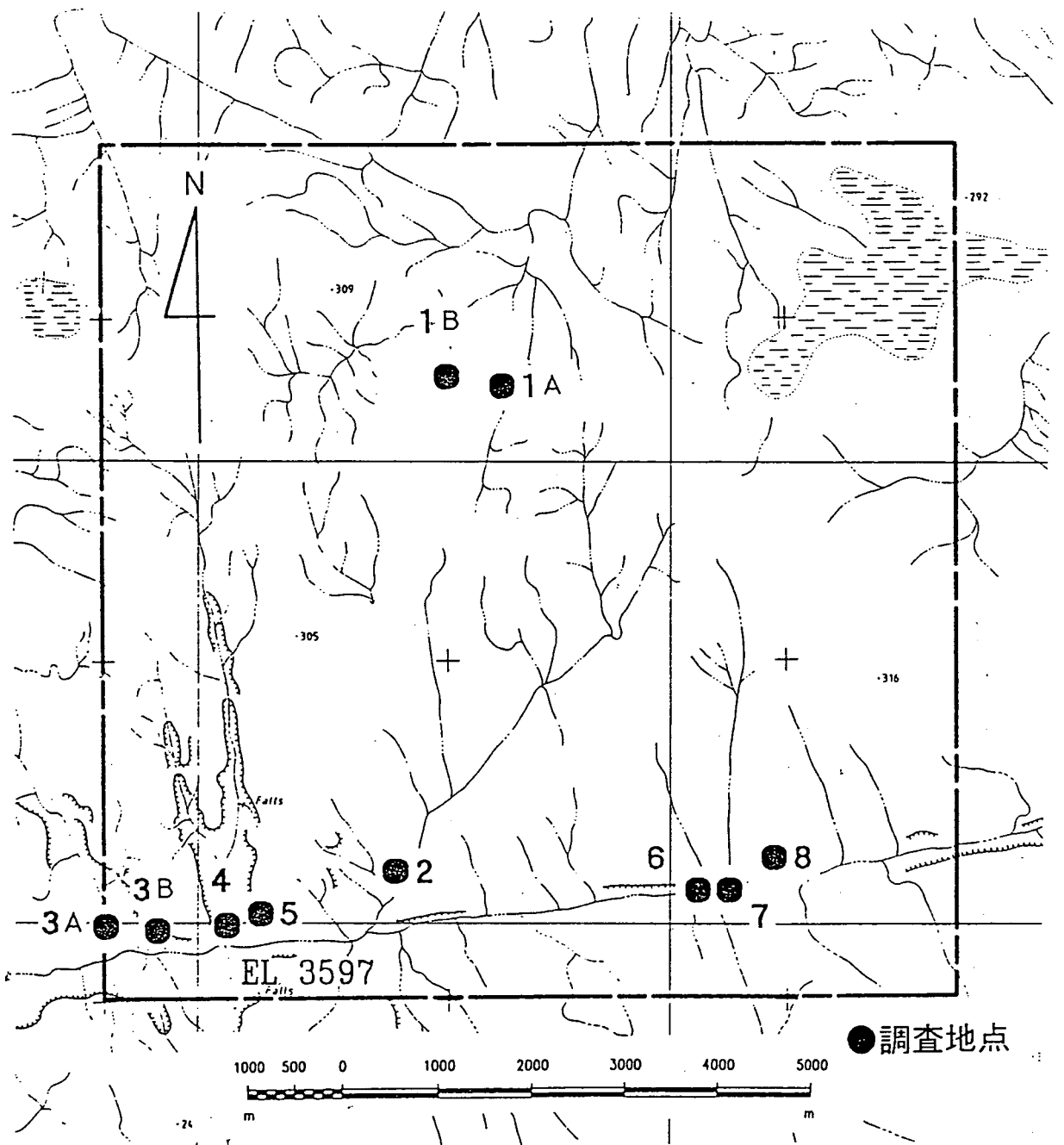
白雲母 △

カリナト -

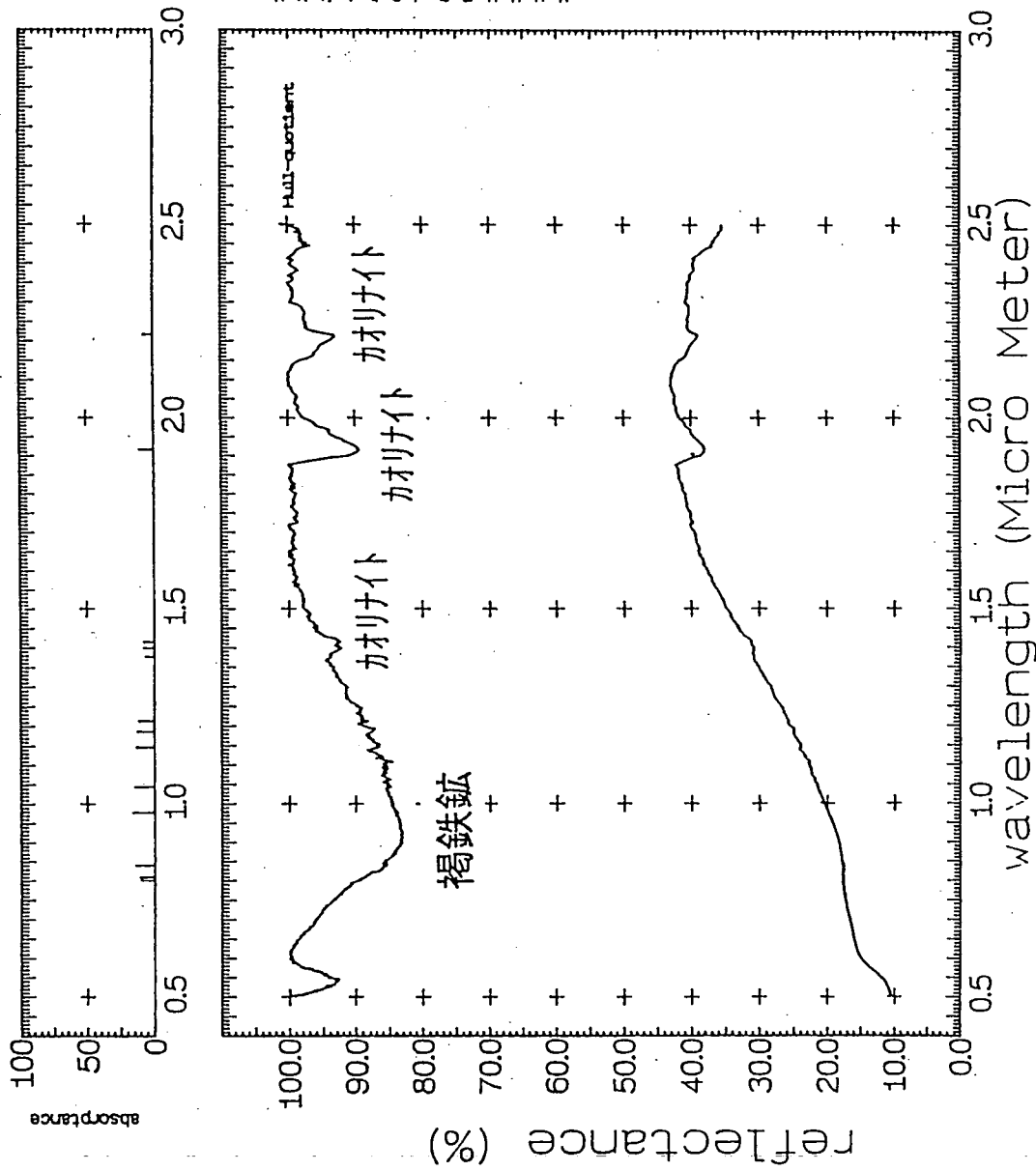
Measurement Number: ausan001

◎大量 ○中量 △小量
+微量 -極微量

図-6 コンボロジ-砂岩の分光反射特性



図一 7 事業団鉦区EL3597内の調査地点位置図



NO.	WVL	absorption	ABS(%)
1	0.878		16.2
2	1.044		16.2
3	0.840		14.5
4	1.146		13.4
5	1.186		12.5
6	1.213		11.7
7	0.810		11.3
8	1.316		10.6
9	0.801		10.6
10	1.399		7.7
11	1.415		7.5
12	2.216		6.9
13	1.376		6.2

コンボロジ-砂岩
(鉱床区)

表面の色:淡赤色
同定された鉱物

- 石英 ○
- カリアイト +
- 褐鉄鉱 +

Measurement Number: ausan028

◎大量 ○中量 △小量
+微量 -極微量

図-8 コンボロジ-砂岩の分光反射特性

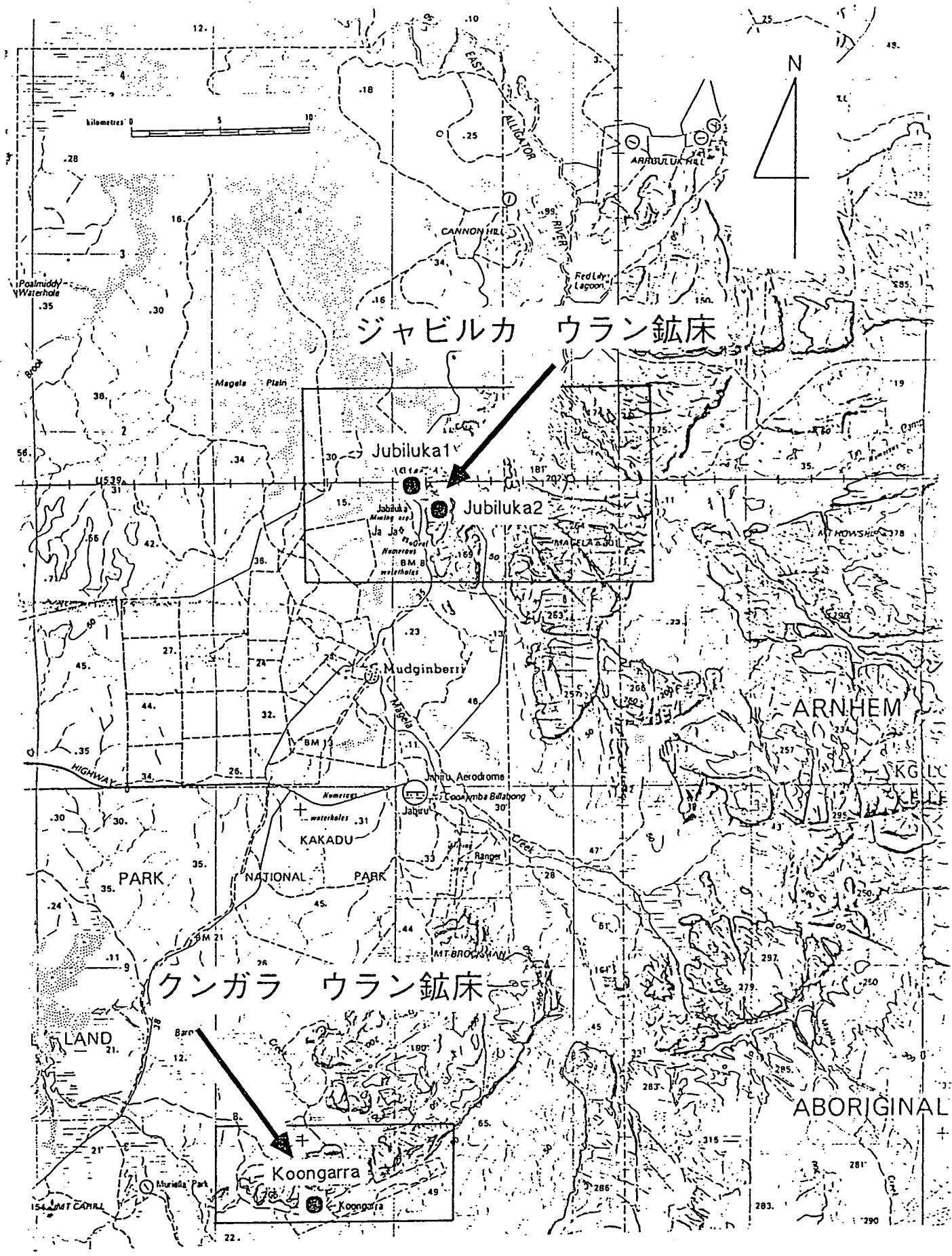
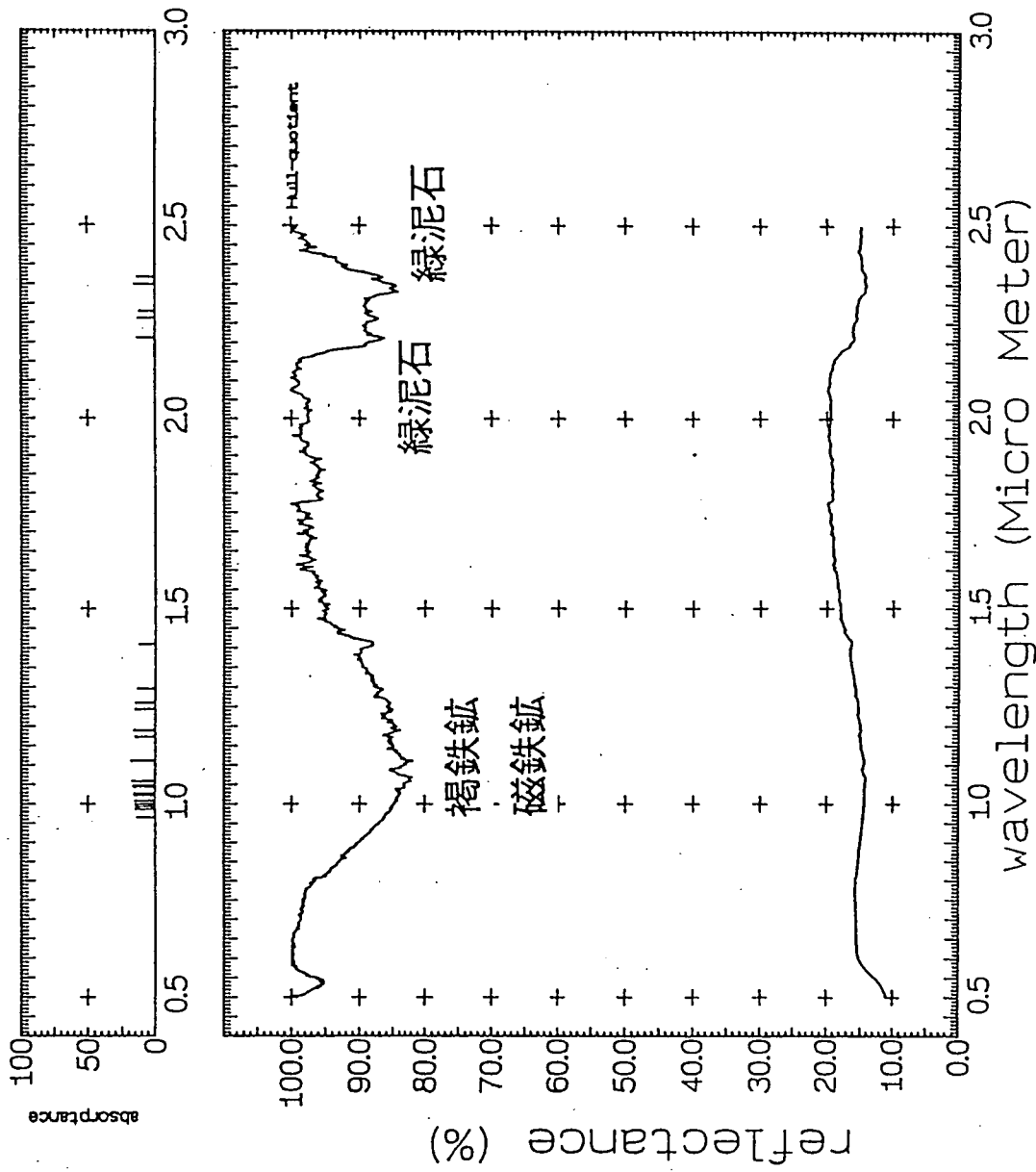


図-9 既知ウラン鉱床位置図



Measurement Number: ausan015

NO.	WVL.	absorption	ABS(NM)
1	1.111	18.2	18.2
2	1.059	17.9	17.9
3	1.048	17.0	17.0
4	1.043	16.9	16.9
5	1.028	16.2	16.2
6	1.189	16.1	16.1
7	1.022	16.1	16.1
8	1.009	16.7	16.7
9	2.349	16.3	16.3
10	1.000	16.1	16.1
11	1.172	16.1	16.1
12	0.993	16.0	16.0
13	1.243	16.0	16.0
14	0.988	14.9	14.9
15	1.259	14.6	14.6
16	0.986	13.8	13.8
17	2.211	13.7	13.7
18	2.368	13.5	13.5
19	1.296	13.5	13.5
20	2.262	12.8	12.8
21	1.408	12.0	12.0
22	2.280	11.9	11.9

ドレライト
 表面の色:黄褐色～灰褐色
 同定された鉱物

- 石 英 ○
- 斜長石 ◎
- 磁鉄鉱 ○
- 角閃石 ○
- 緑泥石 ○

◎大量 ○中量 △小量
 +微量 -極微量

図-10 ドレライトの分光反射特性

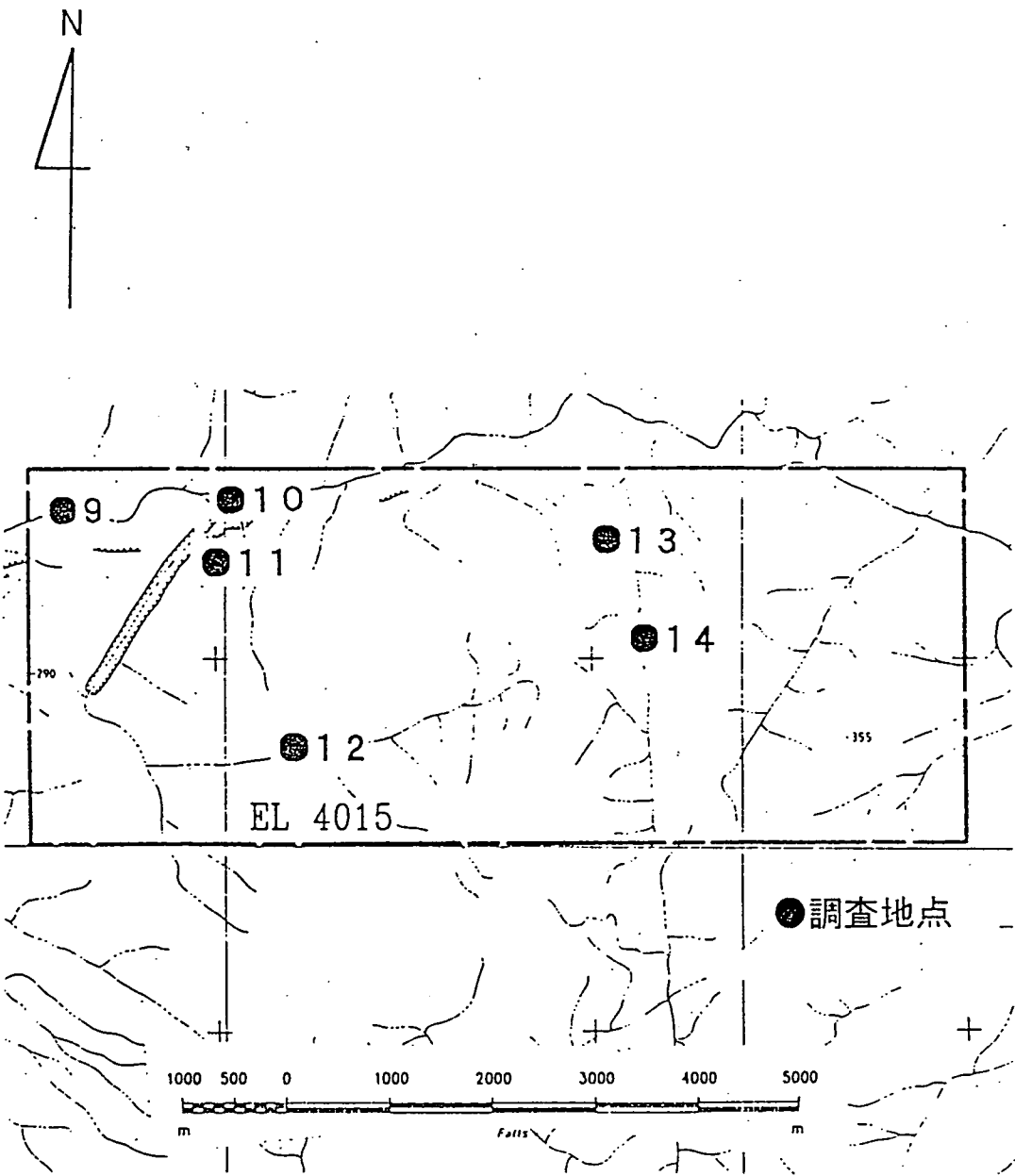
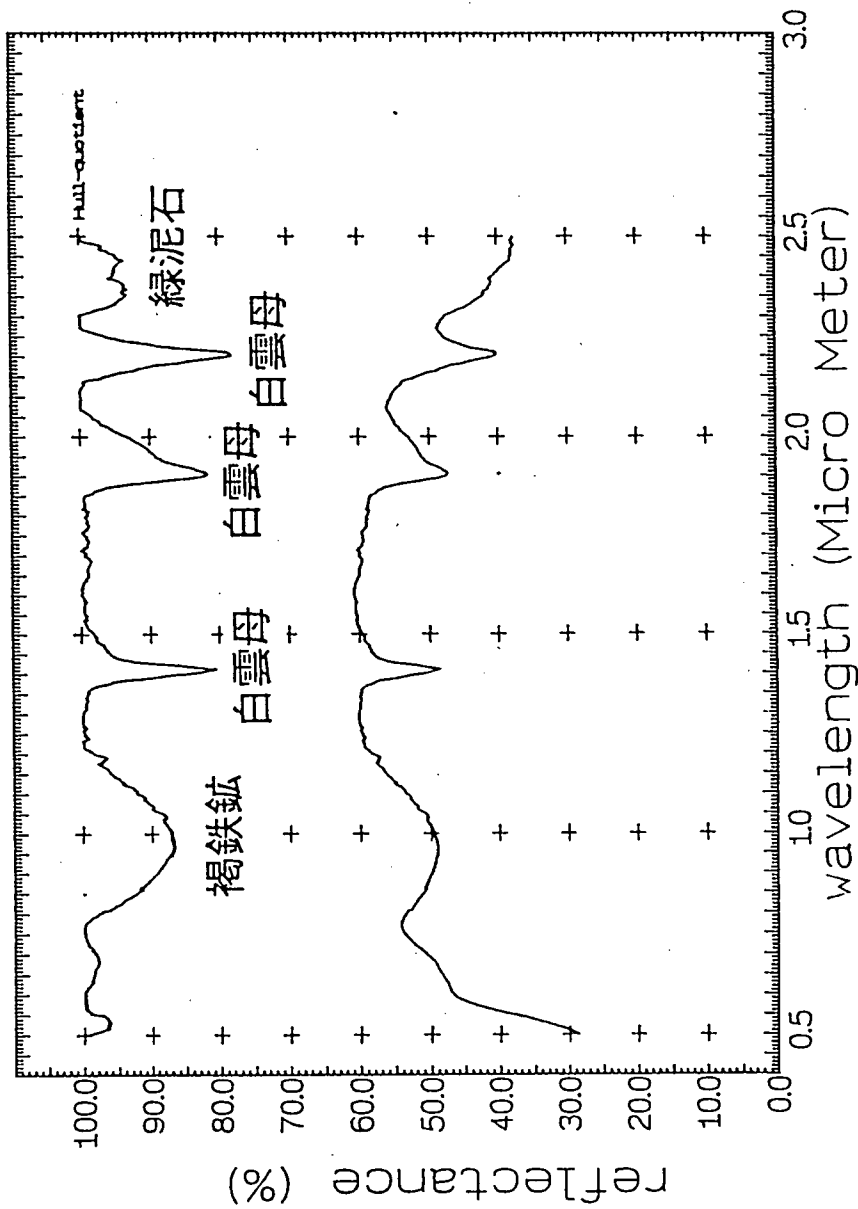
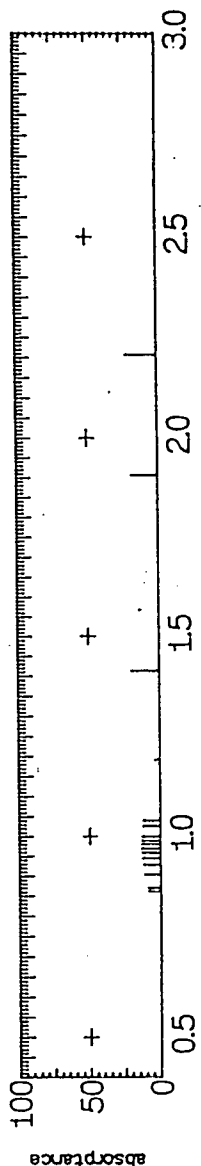


図-1 1 事業団鉦区EL4015内の調査地点位置図



NO.	WVL	ABSORN
1	2.208	21.8
2	1.411	18.6
3	1.908	18.6
4	0.968	13.6
5	0.979	13.4
6	0.967	13.4
7	0.988	13.3
8	0.989	13.1
9	0.942	13.1
10	1.025	12.4
11	1.039	12.4
12	0.927	12.2
13	0.902	11.1
14	0.888	9.0
15	0.869	8.7
16	1.189	3.5

雲母片岩
 鈹床胚胎母層
 表面の色:淡黄橙色
 同定された鉱物
 石 英 ◎
 白雲母 ◎
 鱗珪石 +?
 緑泥石 △
 才け付 △

図-1 2 雲母片岩の分光反射特性
 Measurement Number: ausan023

◎大量 ○中量 △小量
 +微量 一極微量

の位置から緑泥石による吸収と思われる。X線分析の結果でも、白雲母、鱗珪石、緑泥石、カオリナイトが同定されている。本サンプルは白雲母の含有量が多いため、図-6のコンボロジー砂岩の場合と違い、カオリナイトの特徴が完全に消されている。

図-13は、クンガラ鉱床直上で採取した片岩類の分光反射特性曲線である。図-12と同様に $1.4\mu\text{m}$ 、 $1.9\mu\text{m}$ および $2.2\mu\text{m}$ に吸収が見られるが、 $1.4\mu\text{m}$ の吸収がダブルットで、かつ $2.2\mu\text{m}$ の吸収の短波長側の斜面には $2.16\mu\text{m}$ にノッチが認められることから、この吸収はカオリナイトによる吸収である。また、 $0.85\mu\text{m}$ 付近の顕著な吸収は、褐鉄鉱の吸収より若干短波長側に吸収の底があり、かつ、吸収の幅が比較的狭いため、赤鉄鉱による吸収と推定される。X線分析の結果からも、これらの鉱物が同定されている。また、白雲母も極微量に検出されているが、図-12の場合とは逆にカオリナイトの特徴のみが反映されている。

(3)ウラン鉱床区および非鉱床区のコンボロジー砂岩の鉱物組成の違い

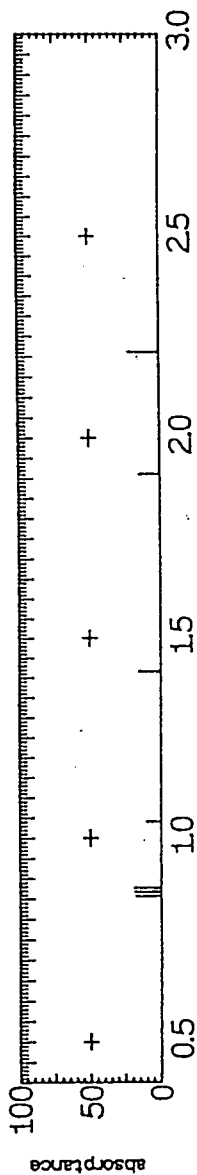
事業団が現在鉱床区を保有しているアーネムランド地域(図-5)では、ウラン鉱床胚胎母層である下部原生代の地層が谷底部を除き、全て中部原生代のコンボロジー砂岩層に被覆されている。したがって、直接には地表の情報しか得られないリモートセンシング手法では、当地域での利用について、自ずと限界があるものと考えられる。

しかし、ウラン鉱床近傍のコンボロジー砂岩とそれ以外のコンボロジー砂岩とに特に分光反射特性の違いが存在すれば、リモートセンシング手法による本地域での潜頭鉱床探査の可能性が出てくる。

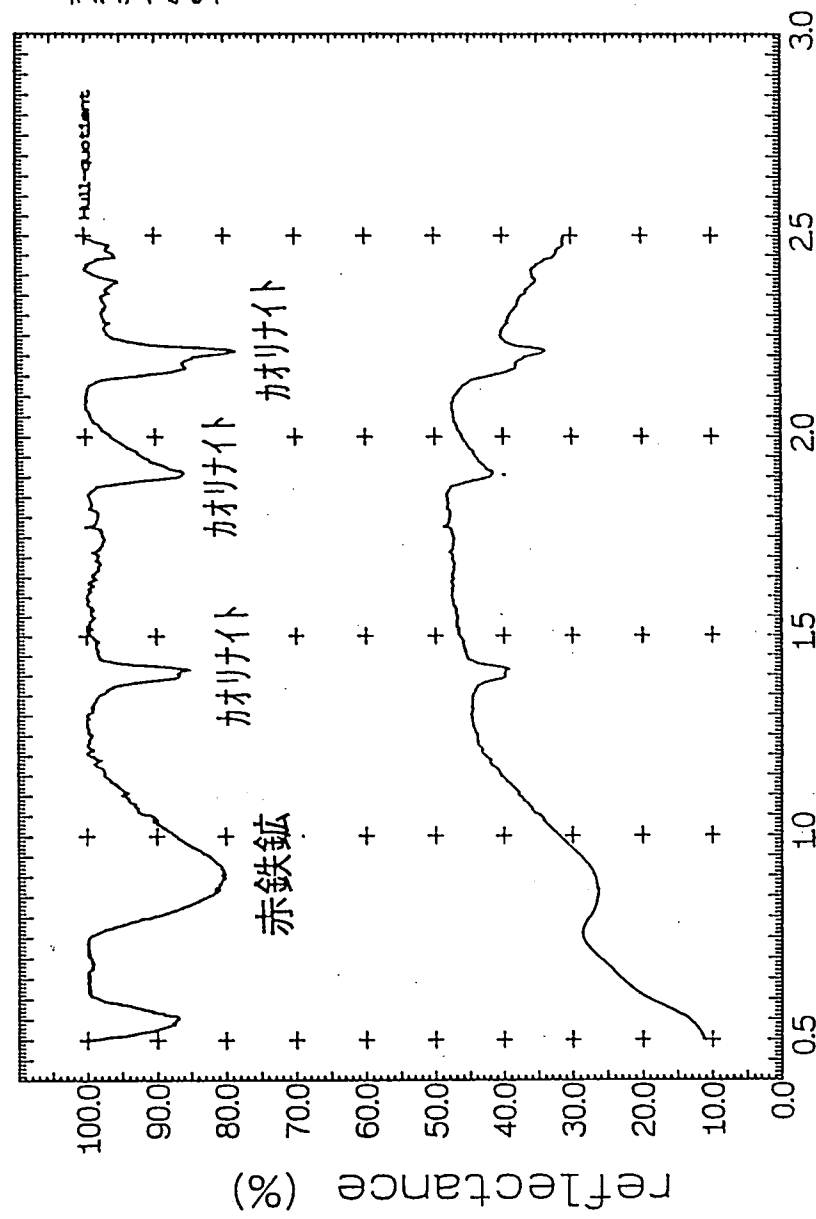
そこで、岩石の分光反射特性を左右する鉱物組成についてウラン鉱床区と非鉱床区とのコンボロジー砂岩を比較した。その結果を表-1に示す。

表-1から明らかのように、ウラン鉱床区と非鉱床区とのコンボロジー砂岩の鉱物組成の大きな違いは、白雲母と緑泥石の有無についてである。白雲母の場合、非鉱床区のコンボロジー砂岩には量の多少は有るものの、全てのサンプルに含まれているが、ウラン鉱床区のコンボロジー砂岩には、ジャビルカⅡ鉱床のサンプル(J-2)に極微量含まれている他は白雲母は検出されていない。また、緑泥石については、非鉱床区の13個のサンプル中2個に微量~極微量含まれているにすぎず、ウラン鉱床区のサンプルに緑泥石が多く含まれている。このような鉱物組成の違いは、ウラン鉱床区と非鉱床区との熱的環境が異なることから生じたものと考えられる。これは、緑泥石の生成温度が白雲母のそれよりも高いことから言えることであり、換言すれば、ウラン鉱床形成に熱水が関与していたことを裏付けている。

以上のことから、ウラン鉱床区と非鉱床区とのコンボロジー砂岩には、白雲母および緑泥石の有無といった鉱物組成上の違いが存在することが明らかになった。白雲母および緑泥石は、(2)で述べたように、分光反射特性曲線上で特徴的な吸収を示すことから、本解析で用いたスペクトララジオメーターと同様な波長分解能を持つ光学センサーが航空機や人工衛星に搭載されれば、コンボロジー砂岩の鉱物組成の違いを指標とした地域評価が可能になるであろうが、現有のランドサットのTMセンサー等のデータでは、波長分解能の点から困難と思われる。これについての詳細な検討は今後の課題としたい。



No.	WVL	absorption
1	2.211	21.6
2	0.877	19.2
3	0.867	19.1
4	0.856	18.1
5	1.416	14.9
6	1.910	14.3
7	1.040	10.1



片岩類
 鉱床胚胎母層
 表面の色:褐色
 同定された鉱物
 石英 ◎
 白雲母 -?
 カリナイト △
 赤鉄鉱 +

Measurement Number: ausan025

◎大量 ○中量 △小量
 +微量 -極微量

図-1 3片岩類の分光反射特性

表-1 ウラン鉱床区および非鉱床区のコンボロジ-砂岩の鉱物組成の違い

		石英	カリ長石	角閃石	磁鉄鉱	白雲母	緑泥石	カリアト	褐鉄鉱	赤鉄鉱
非 鉱 床 区	CP1-1	◎				△		-		
	CP1-2	◎				△		△		
	CP2-1	◎				-		+	-	-
	CP2-2	◎		-?		-		+		
	CP5-2	◎	-			△	-			-?
	CP601	◎				+		-?		
	CP7-1	◎	-			+				
	CP8-1	◎				△		+		
	CP8-2	◎				+		+		-
	CP1101	◎				+		-		
	CP1102	◎				+		-		
	CP1103	◎				+		+		
	CP13-2	◎				+	+			
鉱 床 区	J-2	◎				-	△	△		
	K-3	◎					○	○		
	K-4	◎						+	+	
	K-5	◎						+		
	K-6	◎				-?				
	K-7	◎	+				-			

◎：大量 ○：中量 △：少量 +：微量 -：極微量

4. まとめ

平成2年度の作業を通し、以下の知見および成果が得られた。

- ① 反射スペクトル解析用のプログラムを作成し、反射スペクトルの測定から特徴抽出、リモートセンシングデータのシミュレーションおよびシミュレーション結果を用いた画像処理手法の検討といったリモートセンシング手法における一連のスペクトル情報を利用した解析が可能になった。
- ② オーストラリア・北部準州のアリゲータリバー地域における主要岩石の分光反射特性と鉱物組成との関係を比較した結果、鉱物組成が分光反射特性に反映されていることが明らかになった。
- ③ ジャビルカ鉱床およびクンガラ鉱床に見られる漂白されたコンボロジー砂岩には、非鉱床区の同岩石に共通して含まれる白雲母が欠如あるいは極微量しか含まれないことが明らかになり、コンボロジー砂岩の鉱物組成上の違いを指標としたリモートセンシング手法による地域評価の可能性が見出された。

5. 今後の予定

今後の作業として以下の項目を予定している。

- ① 反射スペクトル測定結果と鉱物同定結果を基に岩石の反射スペクトルデータカタログを作成する。
- ② 反射スペクトルデータカタログを基にオーストラリアにおける不整合関連型ウラン鉱床を対象としたリモートセンシング探査手法の検討を行う。

6. 参考文献

- 1) G. R. Hunt (1979), Near-infrared (1.3 - 2.4 μ m) spectra of alteration minerals - Potential for use in remote sensing, GEOPHYSICS, VOL. 44, NO. 12, P. 1974-1986
- 2) 井上・Lyon Ronald (1984), リモートセンシングによる地熱変質帯の抽出, 応用地質 25巻, 4号, P. 8-20
- 3) 浦井 (1989), 岩石・鉱物の反射スペクトル・データとその表示用ソフトウェア(PCSPC), 地質調査所研究資料集, 1989-139, 16P.
- 4) 浦井・佐藤 他 (1989), 可視～短波長赤外域における岩石・鉱物の反射スペクトル・カタログ, 地質調査所, 367P.
- 5) Green & Craig (1985), Analysis of aircraft spectrometer data with log residuals, Proc. AIS Data Analysis Workshop, JPL Publication 85-41, P. 111-119
- 6) 佐藤 (1988), ラジアンズ・シミュレーション法の開発について, 地質リモートセンシングシステムの研究, 地質調査所, P. 107-114
- 7) 動燃事業団 (1991), ウラン鉱床地域の主要岩石を対象としたX線分析結果, PNC ZN 7434 91-001

8) Green & Huntington (1987), Remote Sensing for Surface Mineralogy, Proceedings of Exploration '87, P.213-228

2.4 採鉱技術開発

- (1) 『ラドン測定器の現状』

1. はじめに

昭和58年から開始された高品位ウラン鉱床の採鉱法に関する研究は、昭和62年度までに既開発の露天掘鉱山の実態調査から始まり、複数の採鉱法の設計、被ばく線量等予測とそれに係る基礎研究及び採鉱機械の自動化に係る概念設計を実施してきた。

昭和63年度から平成2年度は、坑内作業場、坑外作業場及び、周辺環境の放射線管理方法に重点をおいて研究を実施し、昭和62年度までに得られた放射線関係の基礎研究を基にラドン測定器を3台製作した。この3台の測定器は東濃鉱山において各種データが仕様どおり採取できることを確認後、各現場で測定を実施し十分な結果が得られている。本報では、それぞれの測定器の原理及び構成について示し、併せて、比較表と中部事業所におけるラドン測定器の一覧を付録1に付録2に示す。

2. 各測定器の概要

平成2年度に可搬型精密ラドン娘核種測定器及び、P A E Cモニターの2台、平成3年度はR n濃度—P A E Cモニターを製作した。以下に、この3台の測定器の概略を述べる。

2-1 可搬型精密ラドン娘核種測定器

ウラン鉱山の施設内及び周辺環境に於けるラドン娘核種濃度の把握のために製作された。

(1) 原理

ラドン娘核種を自動連続送りのフィルター上に採取しながら、RaA 及び RaC' の α 線をシリコン半導体検出器で別々に3回測定し、その値からRaA, RaB, RaC 及び EEC濃度を1時間毎に表示する測定器である。

(2) 構成

測定部本体と吸引部から成り、測定結果はその場でプリントアウトされる。図—1にブロック図を示す。

2-2 P A E C (Potential Alpha Energy Concentration)モニター

ウラン鉱山の施設内及び周辺環境に於ける放射線的环境レベルを数箇所と同時に連続モニタリングするための1台として試作された。

(1) 原理

ラドン娘核種をフィルター上に連続的に採取しながら、RaA, RaC' 及び、

ThC'の α 線をシリコン半導体検出器で別々に測定しPAECを決定する方式で、測定データはデータレコーダに蓄えられた後パソコンで処理されRaA濃度RaB + RaC PAEC、Rn(PAEC,濃度,平衡係数)、及びTn(PAEC,濃度)が算出される。(30分毎)

(2) 構成

検出部、記憶部(データレコーダ)、吸引部及び、プリンタより構成され現場ではプリンタによりオリジナル計数値を見ることができる。実際の測定データはデータレコーダとパソコンをRS-232Cで接続して求める。図-2にブロック図を示す。

2-3 Rn濃度—PAECモニター

ウラン鉱山の施設内及び周辺環境に於ける放射線的环境レベルの把握のために製作され、ラドンとPAECを同時に測定し平衡係数を求めることができる。

(1) 原理

ラドンを測定する2段フィルター法測定器に上記PAECモニターを取り付けた測定器で、ラドンとPAECが同時に測定できる。

[2段フィルター法]¹⁾

娘核種濃度だけの計測から親のラドン濃度を求める方法である。

数~数10ℓの円筒容器の両端にフィルタを備えた通気式の容器を用い前段のフィルタで試料ガス中のラドン・トロン娘核種をエアロゾル粒子と共に除去し、容器内にはガスのみを導入する。容器内では、ラドン・トロンが崩壊して娘核種が生じるが、この容器内で発生した娘核種だけを後段のフィルタで捕集する。このフィルタ上の放射能を測定してラドン濃度とする。

(2) 構成

検出部、SCA部、記憶部(データレコーダ)、吸引部及びプリンタより構成され現場ではプリンタによりオリジナル計数値のみを見ることができるシステムであったが、平成3年4月に現場でも実際の測定値が読み取れるように改造した。

図-3にブロック図を示す。

3. ラドン測定の今後の展開

ウラン鉱山の施設内及び周辺環境に於ける放射線的环境レベルの把握のために製作された3台の測定器は、それぞれの現場で有効に利用されている。しかし、測定されたデータが正確なものであるかどうかの判断は今までの経験により行っているのが現

状であり、最終的には最近良く言われているトレーサビリティの問題となってくる。このために、標準ラドンチャンバが必要になってくるが、我が国では人形峠事業所に低濃度標準ラドンチャンバが平成2年度に製作され、現在各種試験を実施しているのが現状で、高濃度標準ラドンチャンバについては、まだ製作されていない。

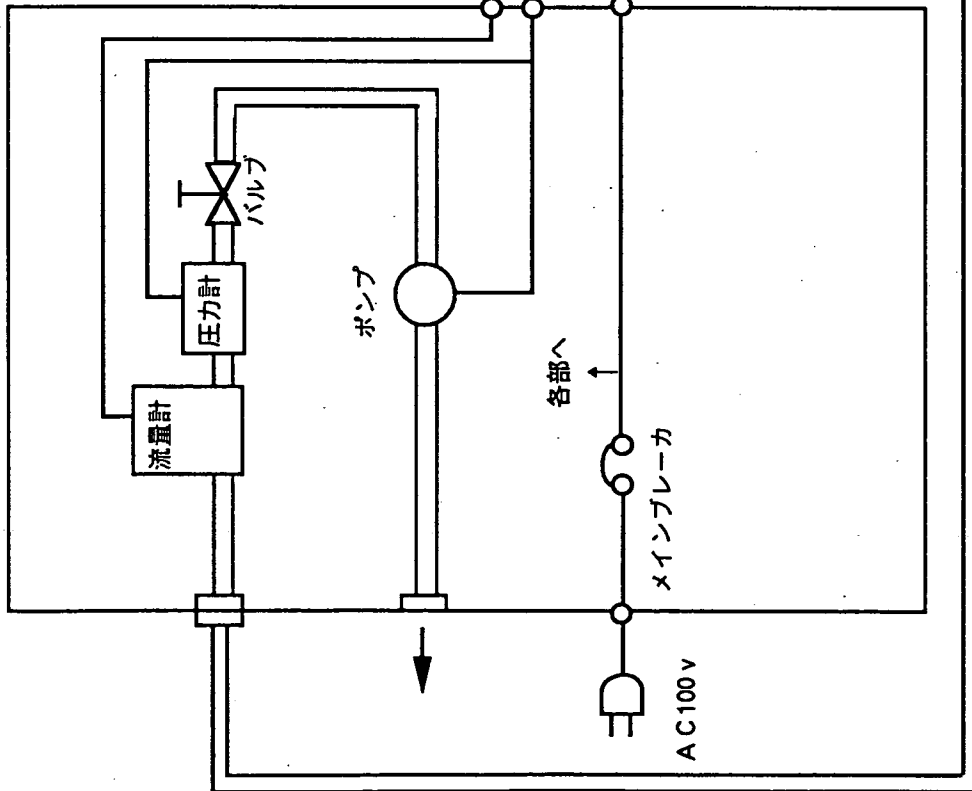
高濃度標準ラドンチャンバの条件としては、容易に高ラドン濃度が得られ、その排気も容易にできることが第1条件となる。これは、東濃鉱山内の一部の坑道を改造すれば高濃度標準ラドンチャンバとして活用することも可能である。この問題は、今後十分検討していきたい。

PAECモニタによる鉱山内外のラドンモニタリングシステムの構築と、あらゆる現場で簡便にラドン娘核種が測定できるポータブルラドン測定器の試作を検討していく。

参考文献

- 1) 下道国、飯田孝夫 : ラドン・トロンとその娘核種—測定法の現状と課題—, J C A C No.18 (1990)
- 2) 資源・素材学会 : 高品位ウラン鉱床の採鉱法の設計とその基礎研究, PNC SJ4552 89-003, (1989.6)
- 3) 資源・素材学会 : 高品位ウラン鉱床の採鉱法の設計とその基礎研究, PNC SJ4552 90-000, (1990.7)

吸引部



測定器本体

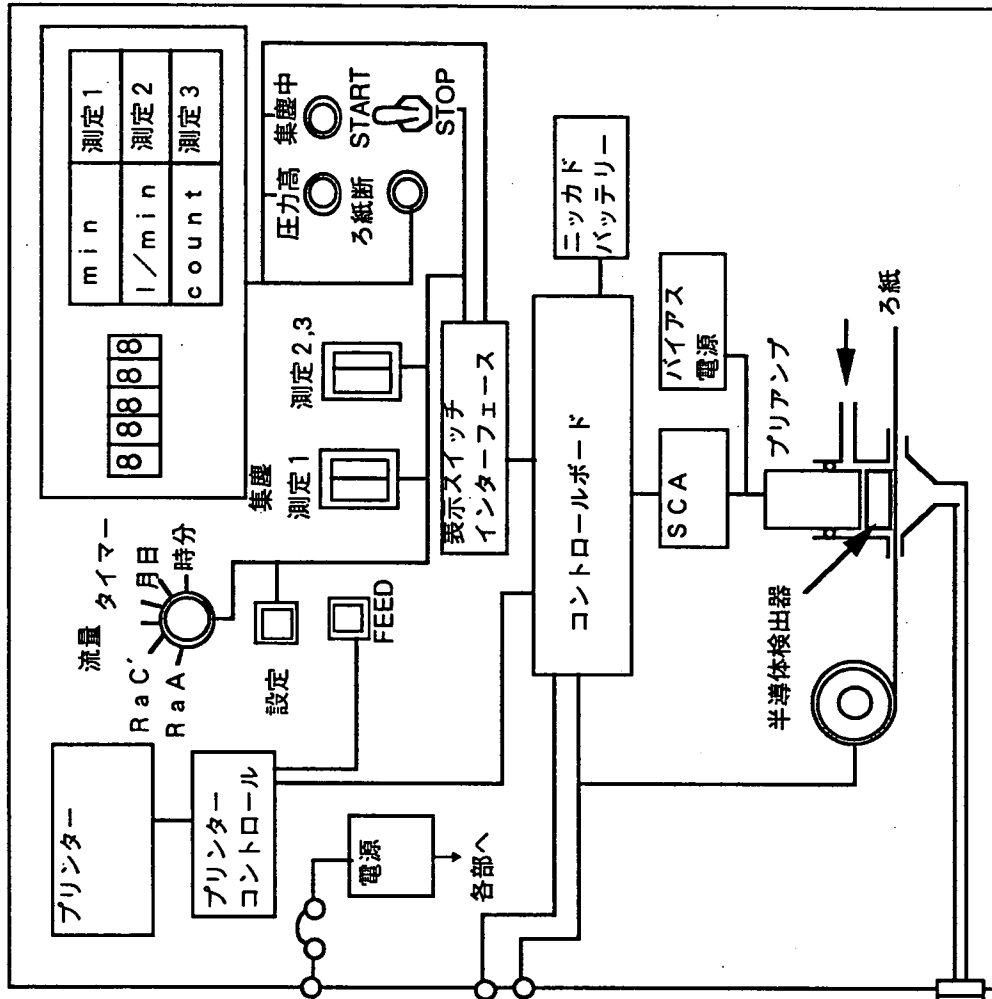


図-1 可搬型精密ラドン娘核種測定器ブロック図

(MGR-R17-3419-1)

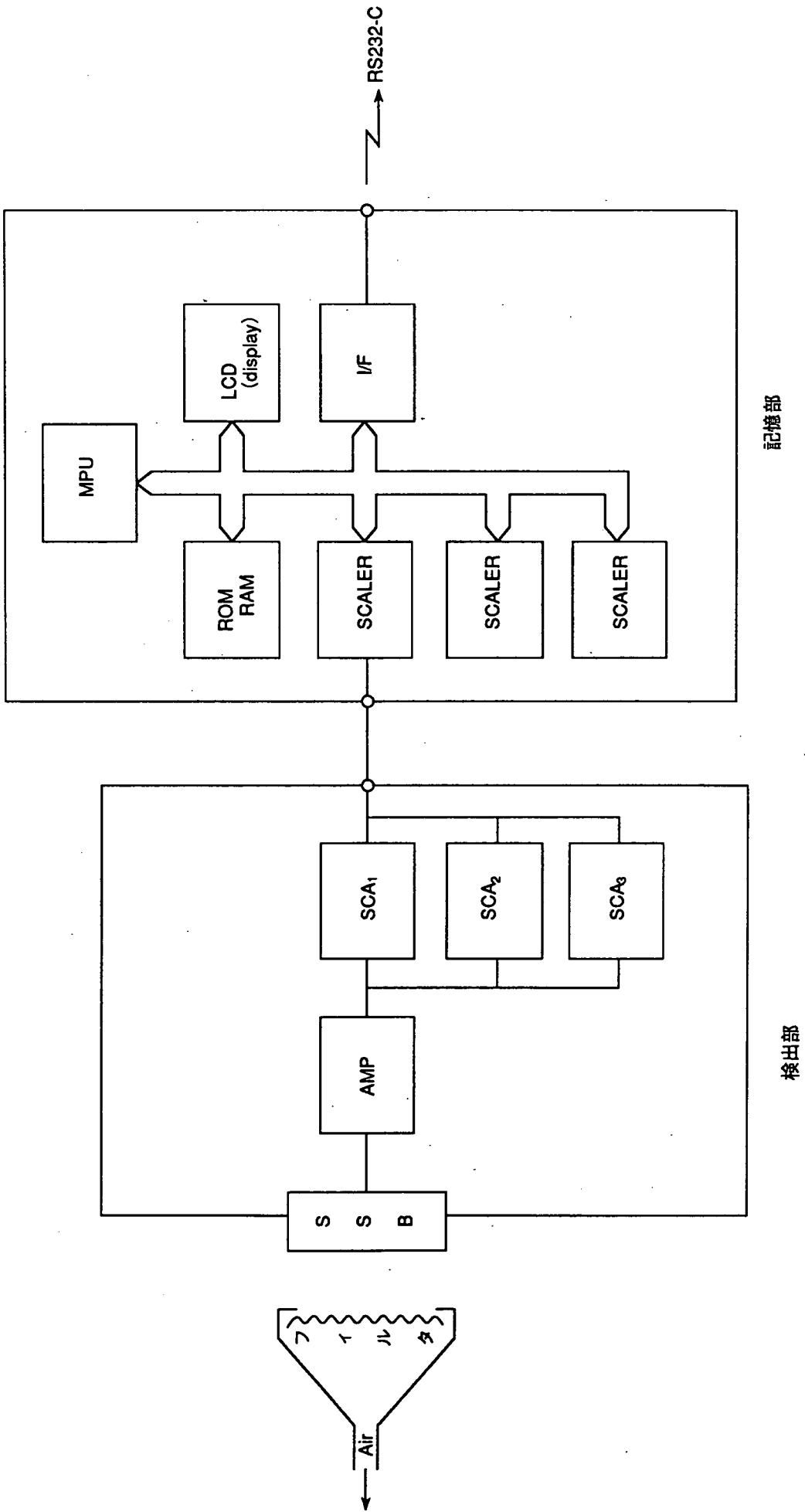


図-2 PAECモニターブロック図

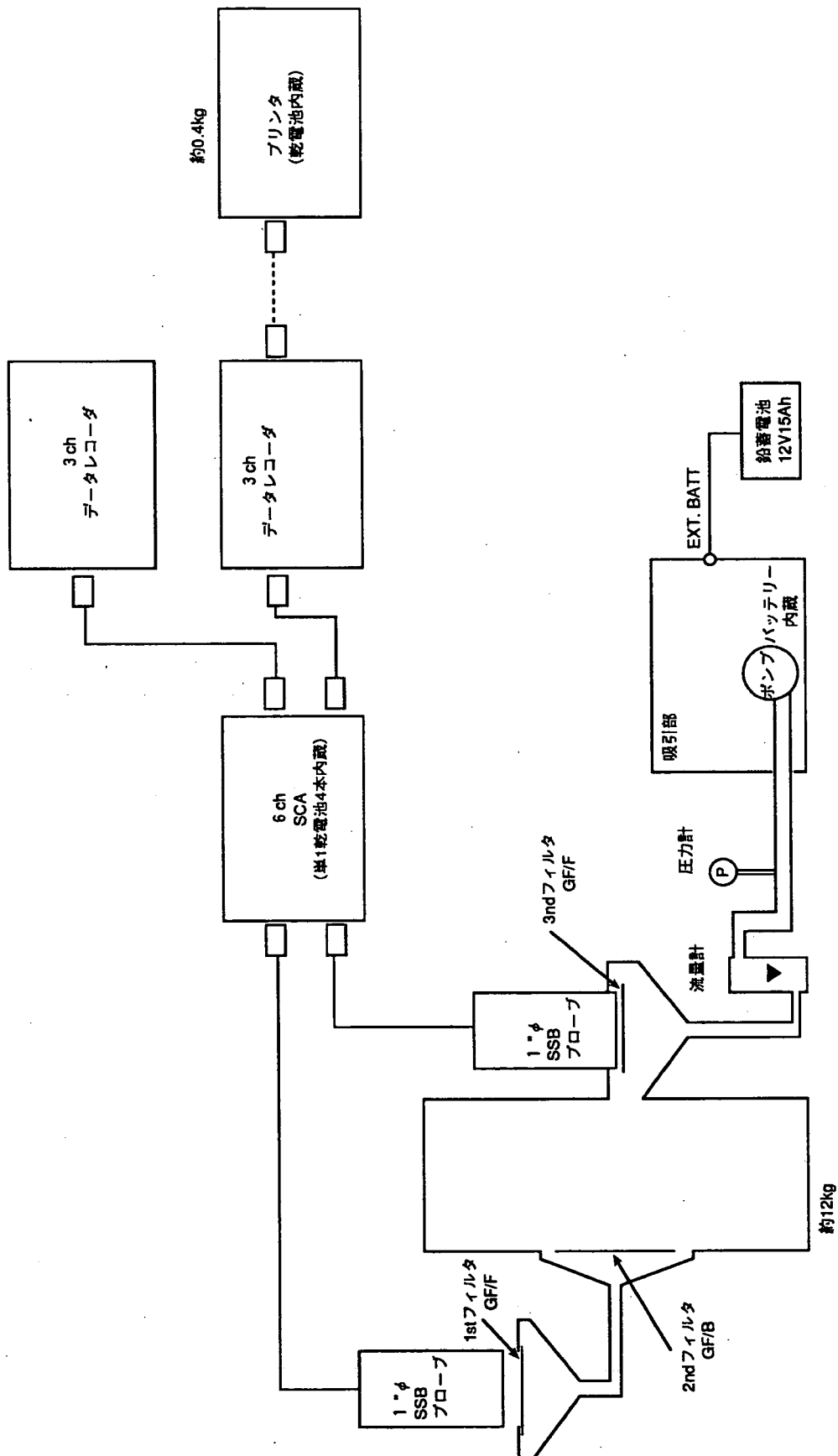


図-3 Rn濃度-PAECモニターブロック図

〔付録1〕ラドン測定器の比較表

〔測定器の概要〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
測定対象	EECRN (平衡等価ラドン濃度)	PAEC (potential alpha energy concentration)	Rn濃度及びPAEC
測定方式	フィルター法 (フィルター自動送り)	フィルター法 (3日毎に交換)	二段フィルター法
製造年月	平成元年2月	平成元年2月	平成2年3月 平成3年4月改造
製造メーカー	アロカ(株)	アロカ(株)	アロカ(株)

〔検出部本体〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
測定線種	α 線	α 線	α 線
検出器	Siサーフェースバリア形半導体検出器	Siサーフェースバリア形半導体検出器	Siサーフェースバリア形半導体検出器 2個
検出器有効径	21mm ϕ	21mm ϕ	21mm ϕ
集塵面積	24mm ϕ	24mm ϕ	24mm ϕ
濾紙送り	30mm間欠送り	—	—

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
使用濾紙	東洋濾紙 A080A 30mm巾×10m	ワットマン GFF	ワットマン GF/B ワットマン GF/F
SCA	3ch SCA レベル内部半固定	3ch SCA レベル内部半固定	(SCA部参照)
チャンバ容量	—	—	約9ℓ (35φ×10cm)
検出器 ハイス電源	Li電池	Li電池	(SCA部より供給)
検出器電源	DC±5V	DC±5V	(SCA部より供給)
計数表示方式	スケーラ方式	—	—
表示チャンネル	RaA オリジナル計数値 RaC' " 流量 日時	(プリント出力) RaA オリジナル計数値 RaC' " TnC "	—
プリント出力	日時・測定時間・流量 RaA オリジナル計数値 RaC' " RaA 濃度 RaB 濃度 RaC' 濃度 EEC (1時間毎)	(PC98orJ3100で処理後) RaA 濃度 RaB+C PAEC Rn濃度 PAEC 平衡係数 Tn PAEC (30分毎)	(リアルタイム表示器) RaA オリジナル計数値 Rn " RaA 濃度 RaA + RaB 濃度 PAEC濃度(mWL) Rn濃度 (30分毎)

〔SCA部〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
SCA	(検出部本体に内蔵)	(吸引部に内蔵)	6ch SCA レベル内部半固定
検出器 ハイス電源	(検出部本体に内蔵)	(吸引部に内蔵)	Li電池
検出器電源	(検出部本体に内蔵)	(吸引部に内蔵)	単1アルカリ乾電池4本 (連続動作時間40時間)

〔吸引部〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
流量	10ℓ/分以上	3ℓ/分以上 (定流量ポンプ使用)	3ℓ/分以上 (定流量コントロール付)
流量計	マスフロー流量計	—	
圧力計	警報設定付	警報設定付	—
圧力異常	圧力高警報	圧力高警報	—
電源	AC100V	AC100V	内蔵 鉛蓄電池 約5H 外付 鉛蓄電池 約8H AC動作可能

〔記憶部〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
計数回路	——	10進6桁3ch	10進6桁3ch
カウントタイム	——	30分固定	30分固定
表示	(測定部本体に表示)	RaA ch オリジナル 計数值 RaC ch " " ThC ch " " ΔRaC ch	RaA ch オリジナル 計数值 RaC ch " " ThC ch " " ΔRaC ch
メモリ容量	——	3ch 10進6桁計数值及び時刻を1000データ	3ch 10進6桁計数值及び時刻を1000データ
データ出力	——	RS-232C	RS-232C
電源	——	DC5V	SCA 部より供給を受ける

〔外部プリンタ〕

	可搬型精密ラドン娘核種測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAECモニター
印字方式	(測定部本体に内蔵)	シリアルロッドインパクト方式 (5×7ドットマトリク)	サーマルロッドマトリクス方式 (5×7ドットマトリク)
桁数		最大40桁	最大40桁
印字速度		約1.2行/秒	約0.6行/秒
記録紙		巾69mm×外径60φ ロール紙	巾80mm×外径40φ サーマルペーパー

色		黒	黒
所要電源		AC100V 50/60Hz 40VA 以下	単 3 アルカリ乾電池 4 本

〔構成〕

	可搬型精密ラドン娘核種 測定器	PAECモニター	Rn濃度—PAEC モニター
構成	測定部本体 × 1 吸引部 × 1	検出部 × 1 記憶部 × 2 吸引部 × 1 プリンタ × 1	検出部 × 1 SCA部 × 1 吸引部 × 1 記憶部 × 4 プリンタ × 1

〔付録2〕 中部事業所のラドン測定器一覽

平成3年3月現在

用途	ラドン				ラドン娘核種			
	坑内	周辺監視区域						
型式	1-2080/1 (1-4050)	ラドトラック	PR-7	GS-201B	MGR-R17-3419 -1	MGR-R17-3419 -2	MGR-R17-4004	WLM-200
方法	2段フィルター 一法	Cup法	パッシブ型	パッシブ型	フィルター捕 集法	フィルター捕 集法	2段フィルター 一法	フィルター捕 集法
検出器	Siサーフェー スバリア形半 導体検出器	CR-39	TLD	CNフィルム	Siサーフェー スバリア形半 導体検出器	Siサーフェー スバリア形半 導体検出器	Siサーフェー スバリア形半 導体検出器	Siサーフェー スバリア形半 導体検出器
測定核種	^{222}Rn	^{222}Rn	^{222}Rn	^{222}Rn	EEC Rn	PAEC	^{222}Rn & PAEC	EEC Rn
検出限界	37 Bq/m ³	1110 Bq/m ³ d	3.7 Bq/m ³	0.7 Bq/m ³				0.37 Bq/m ³
容量・流量	1.5 ℓ	22cc	7 ℓ	1.54 ℓ	13 ℓ/min	3 ℓ/min	4 ℓ/min	30 ~ 300 ℓ/min
備考	坑内毎週1回 測定	坑内周辺16箇 所に設置	鉱山周辺20箇 所に設置 (早稲田 方式)	鉱山周辺10箇 所に設置 (名大方式)	可搬型精密ラ ドン娘核種測 定器 (アロカ製)	PAECモニター (アロカ製)	ラドン濃度一 PAECモニター (アロカ製)	西独 Tracerlab 製
		4台						2台

2.5 分析技術開発

- (1) 『 α 線スペクトル分析前処理法の迅速化研究』
- (2) 『地下水中のウラン分離濃縮試験』
- (3) 『地下水中の全有機体炭素分析装置の導入試験』

1. はじめに

現在、中部事業所環境地質課で進めているナチュラルアナログ研究において、特に半減期の長いウラン系列 α 崩壊核種である ^{238}U 、 ^{234}U と ^{230}Th の3つの核種間の放射非平衡状態が、長期間に亘る地層中での核種移行に関する貴重な情報を与えてくれることから、放射非平衡の分析は極めて重要である。岩石中のウラン系列核種を α 線スペクトル分析する為には、試料を酸分解しウラン同位体とトリウム同位体を分離精製した後、ステンレス円板に電着するという前処理操作が必要である。この前処理操作では、これまでイオン交換分離操作を主体として行ってきた。しかし、この操作は岩石10試料(U, Th20件)を処理するまでに7日間もの日数が必要であった。そこで、 α 線スペクトル分析のための前処理法を迅速化、効率化する目的で、ウラン同位体の分離精製法について検討試験を実施したので報告する。

また、この検討の結果、これまで7日間かかっていた一連の操作が4.5日~5日にまで短縮でき作業性が大幅に向上したので、分析マニュアルを改訂する作業も行った。新しく作成したマニュアルは参考資料として、本文の最後に添付した。

2. 実施内容

α 線スペクトル分析の前処理法において重要な点は、ウラン・トリウムを完全に分離・精製することである。すなわち、図-1に示したように、天然ウラン系列核種である ^{234}U と ^{230}Th は α 線エネルギーが近接しているため、完全に相互に分離されていないと、 α 線スペクトルピークが重なって大きな測定誤差の原因となる。また、岩石中に含まれている様々の元素、特に溶媒抽出やイオン交換の過程で、ウランと類似の挙動をする鉄を完全に除去分離しておかないと、ウラン同位体やトリウム同位体からの α 線が共存元素によって吸収されてしまい、 α 線スペクトルがブロードになって、測定誤差を生じさせる。

従って、この検討試験では、これまで通りウランとトリウムが相互に完全に分離精製され、なおかつ操作性、迅速性に優れた分析法を確立する事に重点を置いて、以下の項目について検討試験を行なった。

- ① 分離・精製法の検討
- ② 溶媒抽出試薬の検討試験
- ③ 溶媒抽出でのウラン回収率向上・検討試験
- ④ 溶媒抽出液量の検討試験

更に、ステンレス円盤上に電着されるウラン量が多すぎると、 α 線がウランそれ自身によって吸収されるので(自己吸収)、電着する際の最適ウラン量に関する検討試験もあわせて実施した。

そして最後に、これらの検討試験結果に基づいて改善した一連の前処理化学操作手順に従って、数多くのウラン鉱石実試料を処理した。そして α 線スペクトル測定を行ない、 α

線ピークの半値幅、ウランの化学収率、およびウラン濃度等を求め、改善した前処理化学操作法が従来法と比較して、優れている事を確認した。

(1) 分離・精製法の検討

これまで、 α 線スペクトル分析の為の前処理は、(図-2)に示したような強塩基性陰イオン交換樹脂を使った分離法を使っていた。

この陰イオン交換樹脂を利用する分離方法は最も一般的な方法であり、ウラン系列核種の放射非平衡に関する教科書的な本である「Uranium Series Disequilibrium」²⁾にも、陰イオン交換樹脂を使った分離法の操作フローが紹介されている。このほか、数多くの文献^{1), 5), 6), 7)}において、岩石や地下水の中に含まれるウランおよびトリウム系列核種を α 線スペクトル分析するため分離法として、陰イオン交換樹脂を利用する方法が報告されている。

確かに陰イオン交換樹脂分離法は、ウラン、トリウムを完全に分離精製する方法としては、安全確実な方法である。しかし、迅速性に欠ける点、および図-3、4に示したよう収率(Chemical Yield)が低くてバラツキがある点で問題がある。

一方溶媒抽出分離法は、 α 線スペクトル分析のための前処理法として適用したという文献は皆無であるものの、理論的に十分に適用が可能であると考えられる⁴⁾。また、中部事業所ではウランの湿式分析に溶媒抽出分離法を利用していることから、その迅速性は既に実証済みであり、豊富な経験も持っている。

これらの理由から、これまでの陰イオン交換樹脂分離法を主体とする分離法に代えて溶媒抽出分離法を使った操作法について検討することにした。

(2) 溶媒抽出試薬の検討試験

ウランの溶媒抽出試薬としては、ウランの湿式分析によく使われる(TBP+ケロシン)と(TBP+四塩化炭素)の2種類を用いて抽出し、ウランおよび鉄の分離回収率を比較した。また、一部はステンレス円板上に電着し、その表面状態を観察した。なお検討試験において、ウランに鉄を共存させたのは、溶媒抽出分離の際に最も妨害する元素として、鉄が考えられるからである。

試験条件は次の通りである。

- | | |
|---|--|
| { | 200 μ g 又は 2 mg ウラン + 50 mg 鉄 |
| | サンプル名 A~C : [TBP+ケロシン (3+7)] 抽出-塩酸逆抽出 |
| | サンプル名 D~F : [TBP+四塩化炭素 (1+9)] 抽出-塩酸逆抽出 |

なお、抽出試薬の混合比率は以下の検討試験でも同じである。

この検討試験結果を表-1に示した。

この試験の結果から次の事がわかる。

- ① ウランの抽出は(TBP+四塩化炭素)-塩酸逆抽出が有効である。
- ② 電着の際に鉄が存在すると α 線が吸収され測定妨害となるが、今回の試験結果からでは完全に分離されているので問題ない。
- ③ 高濃度のウランでは電着状態が不良になる。

表-1 溶媒抽出試薬の検討結果

サンプル名	Fe分析値 (mg)	U 分析値 (mg)	電着状態	備 考
A	49.9	0.214	——	U回収率10.7% Fe回収率99.8%
B	50.2	0.214	——	U回収率10.7% Fe回収率100.4%
C	49.9	——	良好	電着板表面がきれいであった
D	50.2	1.429	——	U回収率71.5% Fe回収率100.4%
E	49.9	1.429	——	U回収率71.5% Fe回収率99.8%
F	49.9	——	不良	ウラン濃度が高い為と考える

(3) 溶媒抽出におけるウラン回収率向上試験

ウラン含有量の低い岩石試料や地下水試料中のウラン系列核種を、高い精度で分析するためには、できるだけ高いウラン回収率が得られる抽出分離法が望ましい。

(2)の結果から(TBP+ケロシン)抽出-塩酸逆抽出では、11%程度のウランしか抽出分離されなかった。しかし、(TBP+四塩化炭素)抽出-塩酸逆抽出では、72%程度のウランが抽出されることがわかった。そこで、(2)で得られた72%よりも更に高い溶媒抽出条件を見出すための検討試験を行った。

なお、抽出試験に用いたウラン量は200 μ gに減らした。これはウラン量が多いと電着状態が悪くなるためである。鉄の共存量は(2)と同様に50mgとした。また、ここでも(TBP+四塩化炭素)抽出-塩酸逆抽出について試験したが、(2)の条件と異なる点は液量を10mlから20mlに増して、より抽出効率が上がるようにした。

試験条件とその結果を次に示す。

- i) (TBP+ケロシン抽出) - 硫酸アンモニウム逆抽出法
- ii) (TBP+ケロシン抽出) - 炭酸アンモニウム逆抽出法
- iii) (TBP+四塩化炭素抽出) - 塩酸逆抽出法

表-2 溶媒抽出におけるウラン回収率向上試験結果

抽出法 サンプル	i	ii	iii
	U μ g	U μ g	U μ g
1	174	134	182
2	185	130	180
3	180	128	176
4	182	131	185
5	183	126	184
平均値	180	130	181
回収率	90%	65%	90.5%

結果

- ① 操作 i), iii) は平均 90% の回収率が得られた。
- ② 抽出液量を 10ml から 20ml に増加させると、抽出効率が 90% まで向上する。
- ③ i), iii) について良い回収率が得られたので、このあとの操作である濃縮、乾固を実施した。その結果、i) の操作は濃縮乾固時に突沸するので、危険であるだけでなく収率が低下する。一方 iii) の操作はその問題もなく乾固できる。

(4) 溶媒抽出液量の検討試験

以上の結果から、(TBP+四塩化炭素)抽出-塩酸逆抽出という組み合わせが、抽出効率と操作性の点で最も優れていることが分かった。また、抽出液量によっても抽出が変化することが分かった。

したがって、(TBP+四塩化炭素)抽出と塩酸逆抽出の液量、および繰り返し回数をパラメーターとして、最適抽出条件を検討した。

試験条件とその結果を次に示す。なお、ウラン、鉄添加量は(3)と同じ。

- i) (TBP+四塩化炭素) 20ml抽出-塩酸(1+11) 30ml逆抽出。
- ii) (TBP+四塩化炭素) で 2回抽出(1回目20ml, 2回目10ml)-塩酸(1+11) で 2回抽出(1回目30ml, 2回目10ml)。

表-3 溶媒抽出液量の検討結果

抽出法 サンプル	i	ii
	U μg	U μg
1	184	200
2	195	190
3	194	205
4	209	195
5	183	192
平均値	193	196
回収率	96.5	98.0

結果

- ① 溶媒抽出液量を 20ml として抽出したあと、逆抽出液量を 30ml として抽出すれば、抽出率が 90% から 96.5% まで向上する。
- ② 更に溶媒抽出および逆抽出をそれぞれ 2 回繰り返すとほぼ完全に抽出され、98% の抽出率となる。

以上の検討試験結果から、ウラン抽出分離操作法は次のような手順で行なうこととした。

TBP-CCl₄(10%) 20ml でウランを抽出 → 有機相を別の (A) 分液ロートに移す
 → 水相側に再度 TBP-CCl₄(10%) 10ml を加え残っているウランを抽出する
 → (A) 分液ロートに加える → 塩酸(1+11) 30ml を加えウラン逆抽出操作を行う。

(5) 電着操作の液性の検討

以上の検討試験によって、回収率が高く操作性にも優れた溶媒抽出条件を決めることができた。次に、分離精製したウラン，トリウム同位体をステンレス円板上に電着させる際の電解液の最適な液性について検討した。この検討結果は表-4に示した。

試験条件 ○ウラン添加量 200 μ g
 ○電着操作開始時のPH値 = 2

結果

- ① 塩酸逆抽出液を一度乾固してから硫酸で溶解する。このあとアンモニアでPH調整して、硫酸アンモニウム系液性で電着する方法が最も回収率が高い。
- ② 炭酸ナトリウム-硫酸系の液性ではウランは全く電着されない。これはウラン炭酸錯イオンが安定なためと予想される。
- ③ 塩酸逆抽出液をアンモニアでPH調整した塩化アンモニウム系の液性では、50%程度のウランしか電着されなくて、効率が良くない。

表-4 電着時の液性の検討結果

液性の種類	電着ウラン量	ウラン回収率
硫酸アンモニウム溶液	179 μ g	90%
炭酸ナトリウム+硫酸溶液	17 μ g	0.5%
塩化アンモニウム溶液	112 μ g	56%

(6) α 線スペクトル分析の為の最適ウラン量の検討試験

ウラン同位体の量（その殆どはU-238）が多ければ多いほど、崩壊数が多くなるので α 線スペクトルのピーク高さは高くなり、短時間の測定で充分のように見える。しかし、(2)の検討試験結果からわかるように、電着されるウラン量が多くなると電着層の厚みが厚くなる。このため、下部から放出される α 線のエネルギーは、上部のウランに吸収されて（自己吸収）減衰してしまうため、ブロードな α 線スペクトルピークになってしまう。ピーク形状がブロードになると、ピーク領域設定の誤差が大きくなり、分析精度が悪くなる。（図-5-1～図-5-4参照）

そこで、電着させるウラン量をパラメーターとして、 α 線スペクトルのピーク形状の変化を調べることによって、最適の電着ウラン量を求めた。

試験にはウランの標準溶液とウラン鉱石標準試料（NBL鉱石）を用いた。また、 ^{238}U の α 線スペクトルの半値幅（ピーク高さの半分になる位置のチャンネル幅，FWHM）でピークがどの程度ブロードになっているか評価した。

表-5 電着ウラン量と半値幅の関係

U μ g	FWHM (NBL 鉱石)	FWHM (標準液)	備 考
50		15 Ch	^{238}U 収率 93%
100	19 Ch	16 Ch	^{238}U 収率 87% NBL " 85%
200		21 Ch	^{238}U 収率 87%
300		27 Ch	^{238}U 収率 86%
400		29 Ch	^{238}U 収率 87%
500	41 Ch	34 Ch	^{238}U 収率 86% NBL " 82%
1,000	52 Ch	47 Ch	^{238}U 収率 80% NBL " 78%

結果

- ① 実際のウラン鉱石試料でもウランの標準溶液でも、各電着ウラン量に対してほぼ同じ半値幅になる。
- ② 電着ウラン最適値は200 μ g程度までであって、ウラン量が500 μ g以上になると、電着表面がザラザラして光沢がなくなってくる。
- ③ ^{238}U の回収率はウラン濃度が高くなるとやや低下する傾向があるが、ほぼ80%以上の値が得られる。

(7) ウラン鉱石試料での総合試験

以上の検討試験の結果、迅速で回収率の高い一連の α 線スペクトル分析前処理操作法を最適化することができたので、最後にいろいろなウラン濃度の実際のウラン鉱石試料(全部で72サンプル)を使って全試験を行った。そして、得られたウラン同位体の回収率を従来の方法であるイオン交換分離法での回収率と比較を行った。また、 α 線スペクトル分析法によって得られた岩石試料中のウラン分析値を湿式分析法での分析値と比較した。

これら結果を図-3、4、6、7に示した。

結果

- ① 図-3および図-4から明らかなように、今回の検討試験によって最適化した溶媒抽出分離法の方は、ウランの化学収率(回収率)が60~90%と高い値で安定しているのに対し、従来のイオン交換分離法では化学収率が15~80%と低めの値で大きくバラツキている。

- ② 岩石試料（72試料）のウラン分析値は、 α 線スペクトル法で求めた値は湿式分析法（固体蛍光法又は分光光度法）で求めた値と広い濃度範囲にわたって極めて良く一致している。（図-6参照）
方法の異なる二つの方法で分析した値が良く一致しているという事実は、 α 線スペクトル分析法と湿式分析法の両方が正しい操作法である事を示している。
- ③ 以上の結果から、今回さまざまな検討試験によって最適化した α 線スペクトル分析のための前化学処理操作法が、従来採用していたイオン交換分離法を主体とする操作法に比較すると、化学収率が高く操作性にも優れた方法であることが分かる。

3. 成果

- (1) 従来の陰イオン交換分離操作は、試料秤量から電着操作終了まで岩石10試料(U, Th 20件) 処理するのに実質7日間必要であったのにたいし、ウラン系を溶媒抽出法に変えたことで4.5~5日間と2日間短縮でき作業能率そして分析精度も向上した。
- (2) イオン交換操作が減ったことで高価なイオン交換樹脂の節約となった。
- (3) 湿式分析値と α 線スペクトル分析値が良い相関関係にあることも実証された。
- (4) α 線スペクトル測定の最適ウラン量が確認された。

4. まとめ

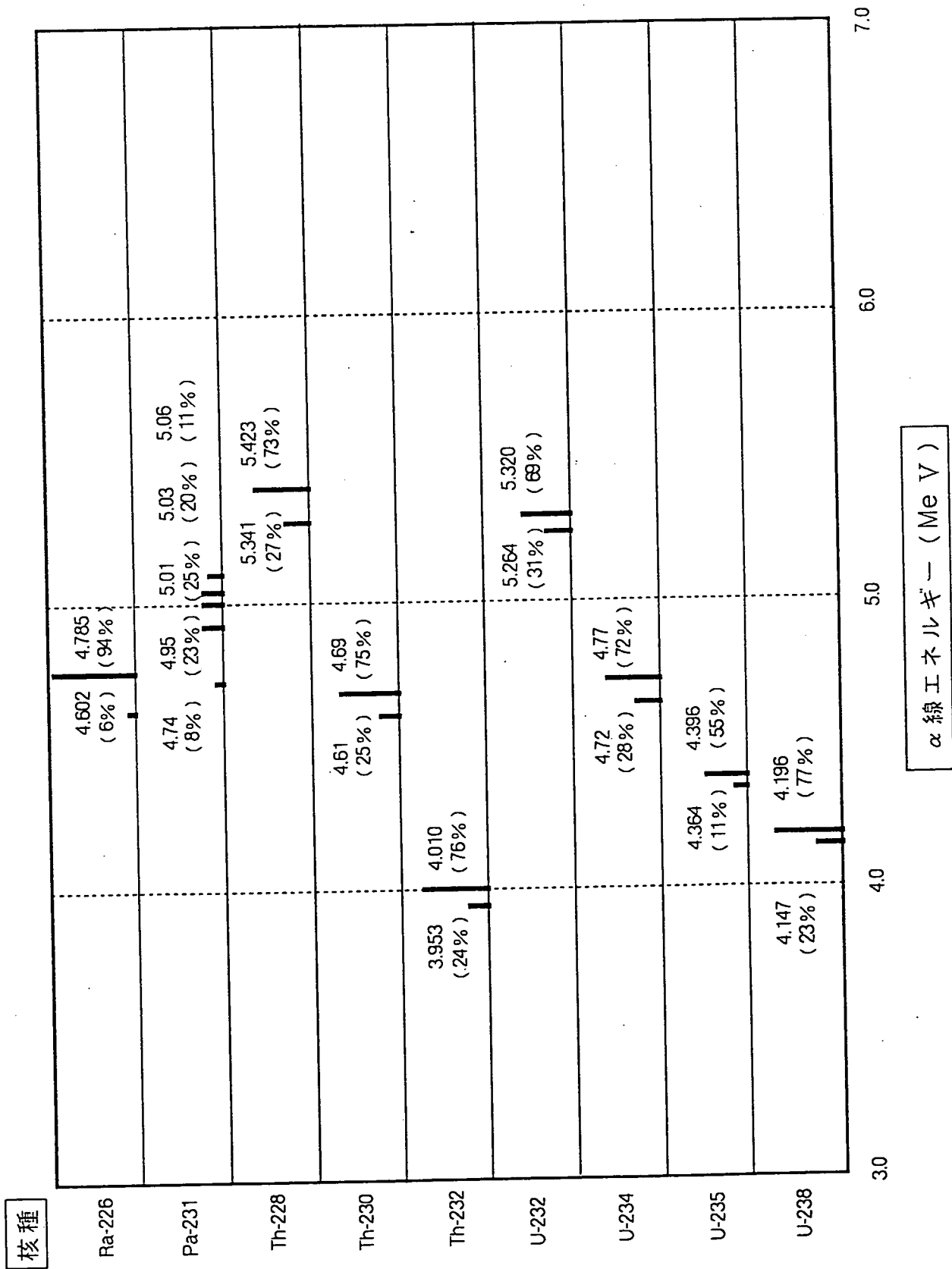
本成果をもとに岩石中の ^{238}U , ^{234}U および ^{230}Th の α 線スペクトル分析マニュアルを改訂作成した。

参考文献

- 1) ORO-471-1, 1972
- 2) M. Ivanovich, Uranium Series Disequilibrium, OXFORD SCIENCE PUBLICATIONS, 1982.
- 3) N. A. Talvitie, Electrodeposition of Actinides for Alpha Spectrometric Determination, ANALYTICAL CHEMISTRY, Vol. 44, No.2, 1972.
- 4) アイソトープ便覧, 日本アイソトープ協会編, 丸善改訂3版 P-59~61

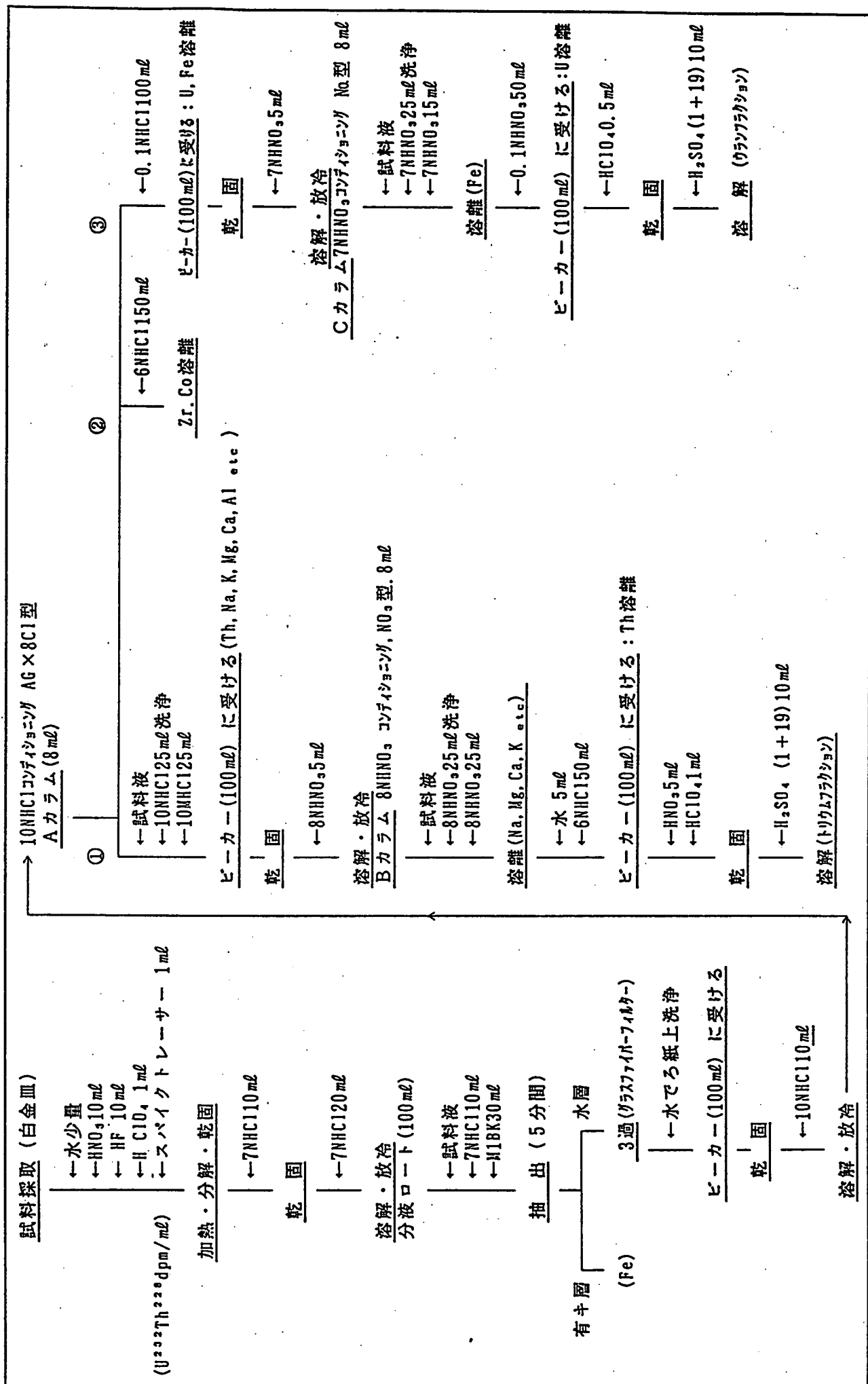
- 5) 満田但, 現生および化石貝殻のウラン含有量および $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比, 地球化学 17, P-19~25 (1983)
- 6) M. Gascoyne, A Simple Method of Uranium Extraction from Carbonate Groundwater and It's Application to $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ Disequilibrium Studies, Journal of Geochemical Exploration 14, P199~207 (1981)
- 7) (財) 原子力安全研究協会, 廃棄物長期隔離に関する地球化学的研究 (II), P-19~42 (1989)

《天然α線放出核種のエネルギーと強度比》

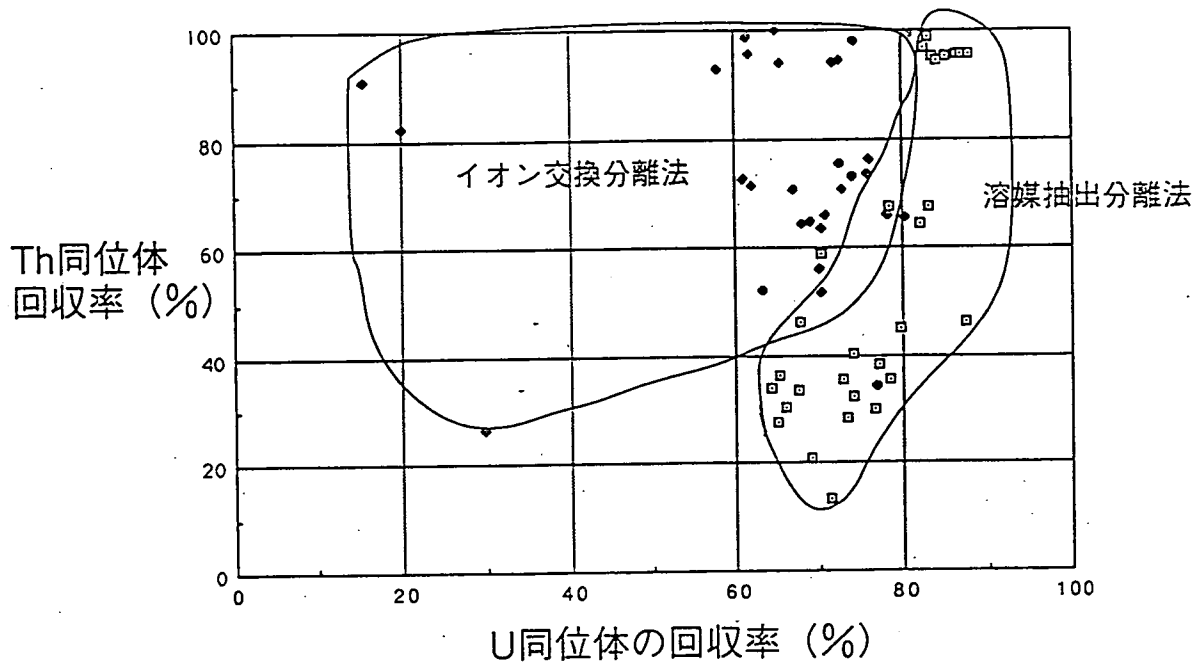


α線エネルギー (MeV)

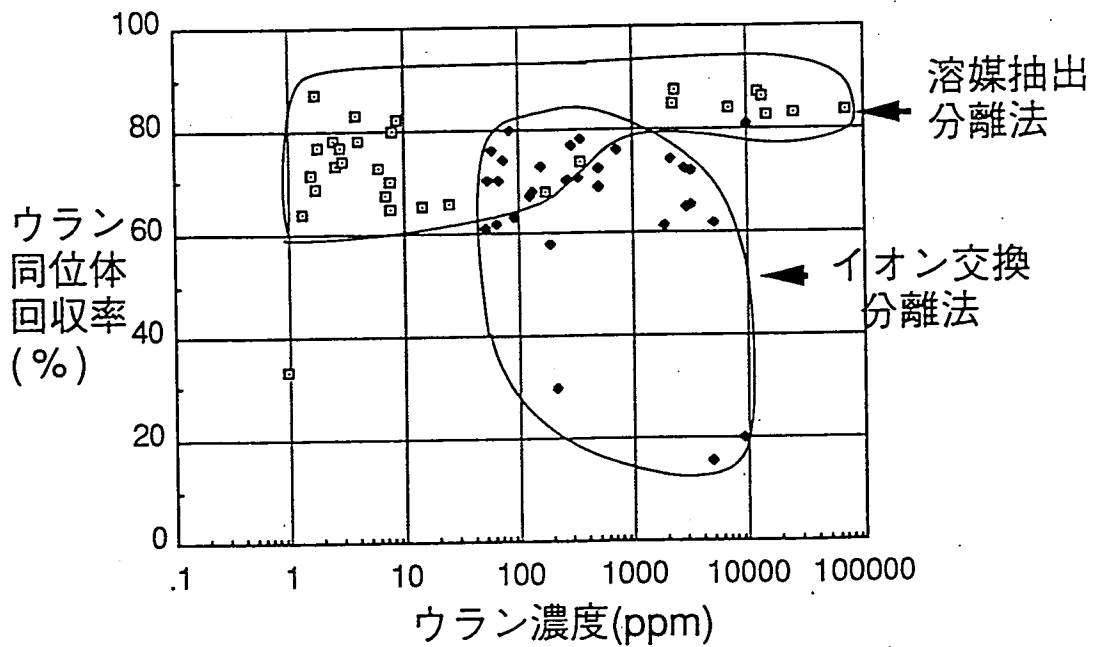
図-2 岩石中のα線スペクトル分析前処理法フローシート〔強塩基性陰イオン交換樹脂分離法〕



図一 3 イオン交換分離法と溶媒抽出分離法のThおよびU同位体の回収率(%)比較



図一 4 イオン交換分離法と溶媒抽出分離法とのウラン同位体回収率(%)比較



DATA ID 0
 PHA NO 1 SEGMENT NO 2 SIZE 1024
 LIVE TIME 80336 ROI GROSS 0
 REAL TIME 80336 ROI NET 0
 PRESET (OF) STATUS STOP
 DEAD TIME 0%

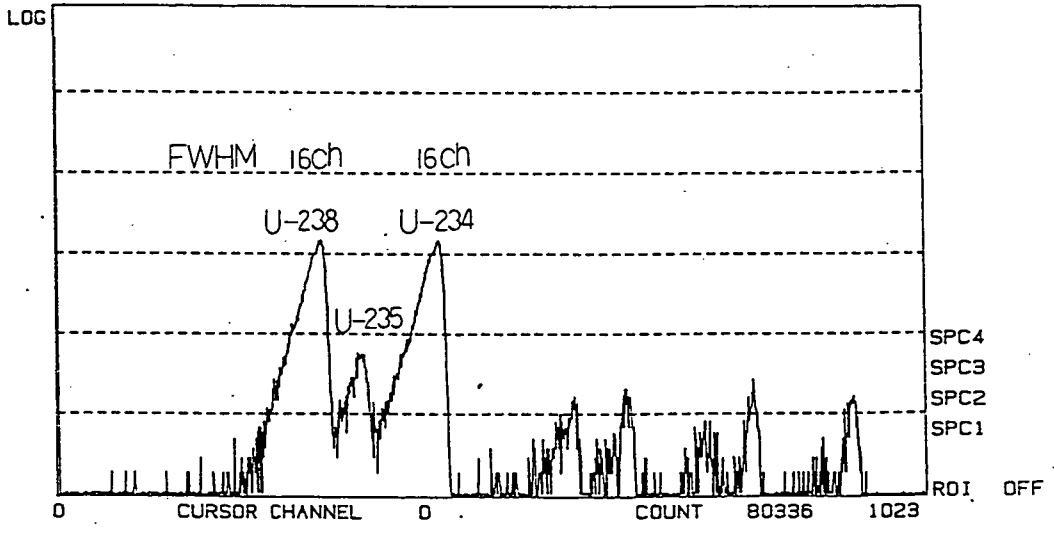
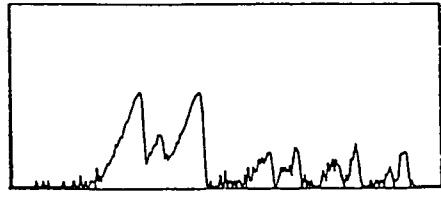


図-5-1 ウラン電着量とアルファスペクトル形状 (U=100ug)

DATA ID 0
 PHA NO 2 SEGMENT NO 1 SIZE 1024
 LIVE TIME 80336 ROI GROSS 0
 REAL TIME 80338 ROI NET 0
 PRESET (OF) STATUS STOP
 DEAD TIME 0%

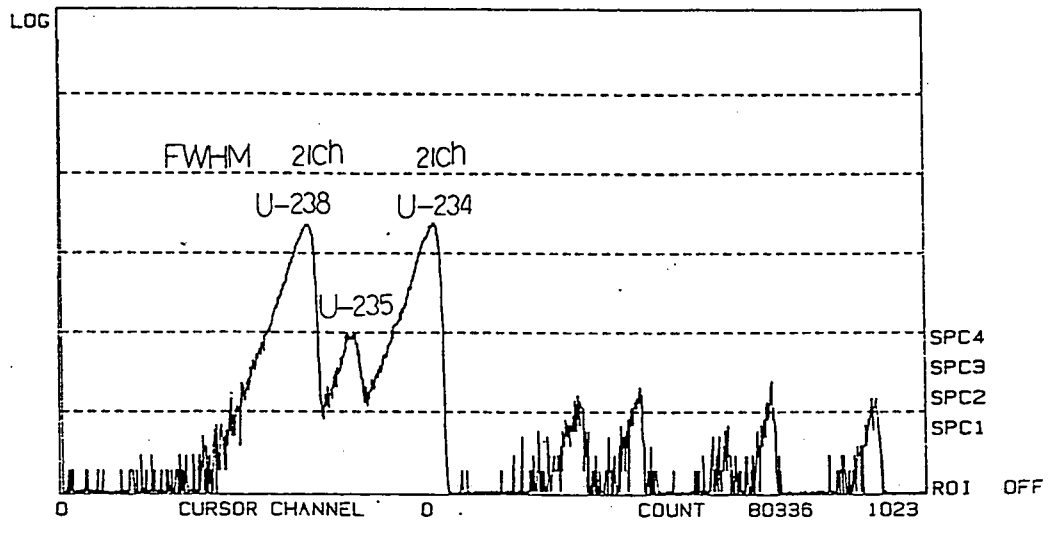
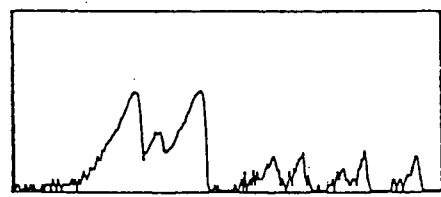


図-5-2 ウラン電着量とアルファスペクトル形状 (U=200ug)

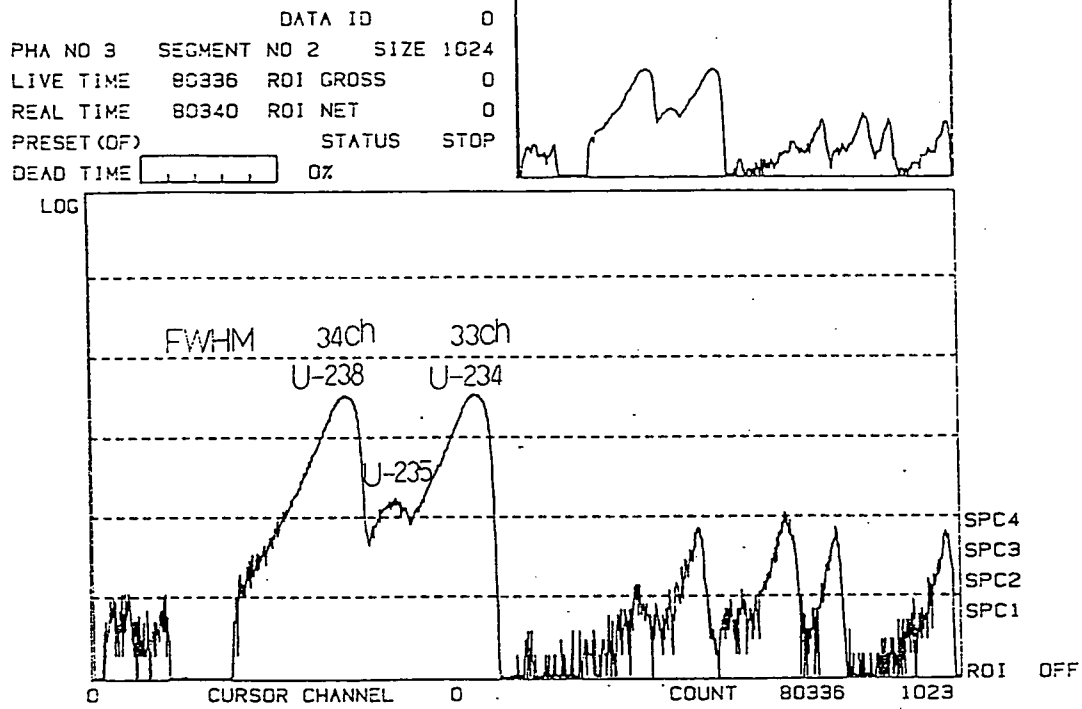


図-5-3 ウラン電着量とアルファスペクトル形状 (U=500ug)

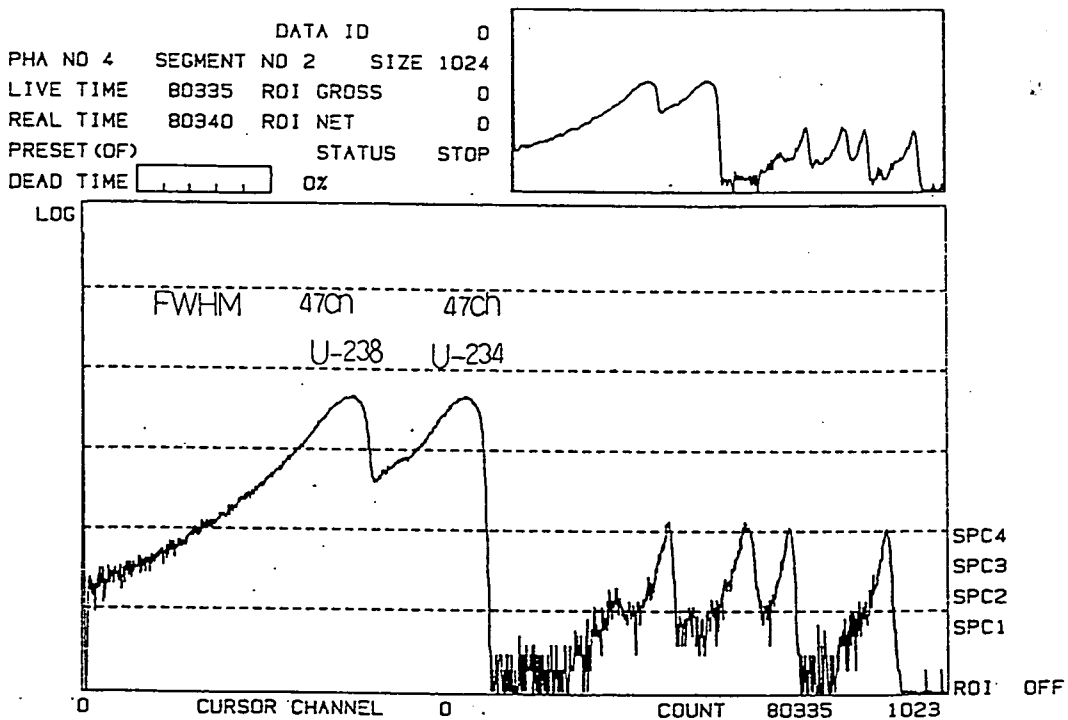
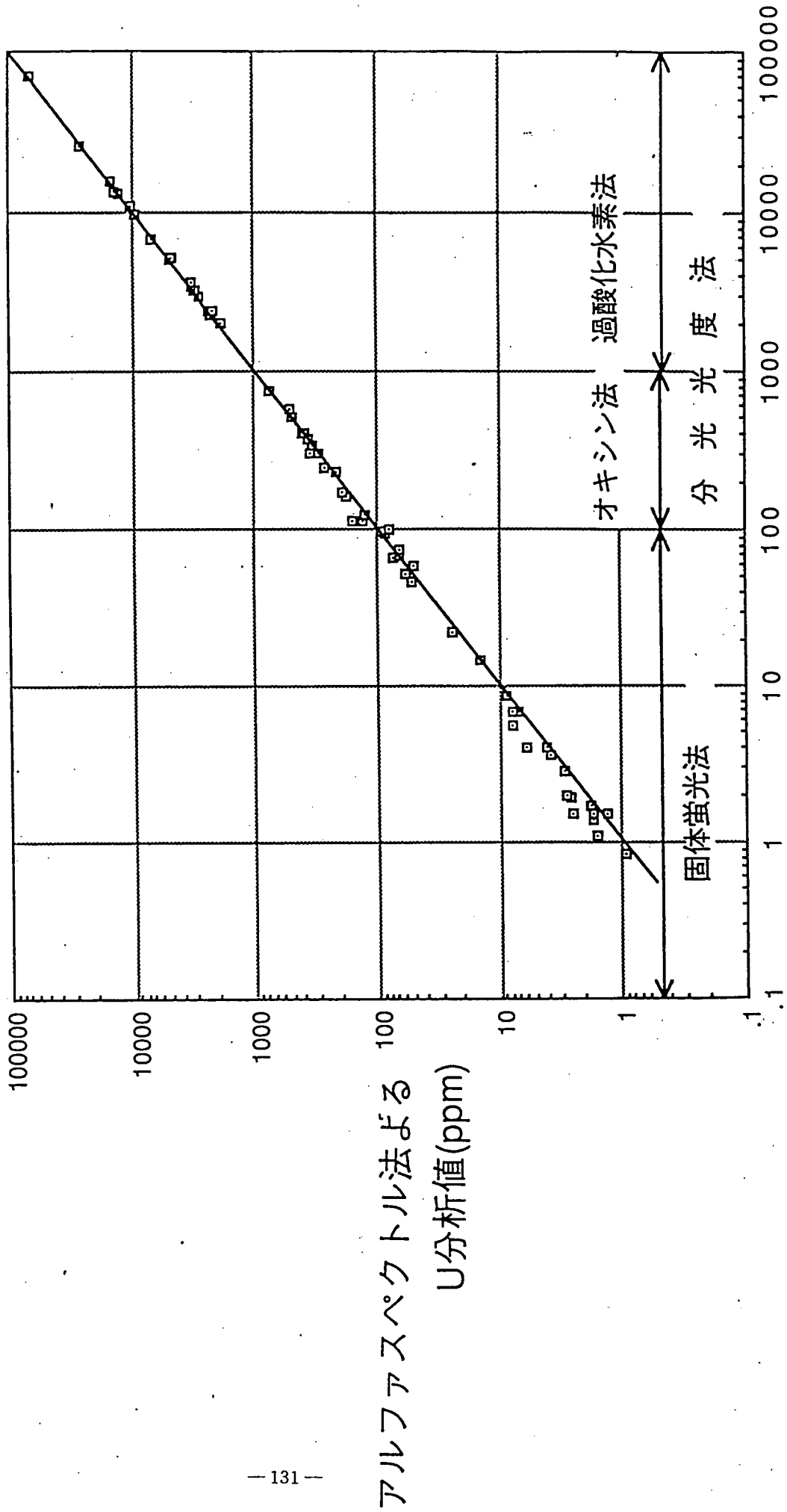


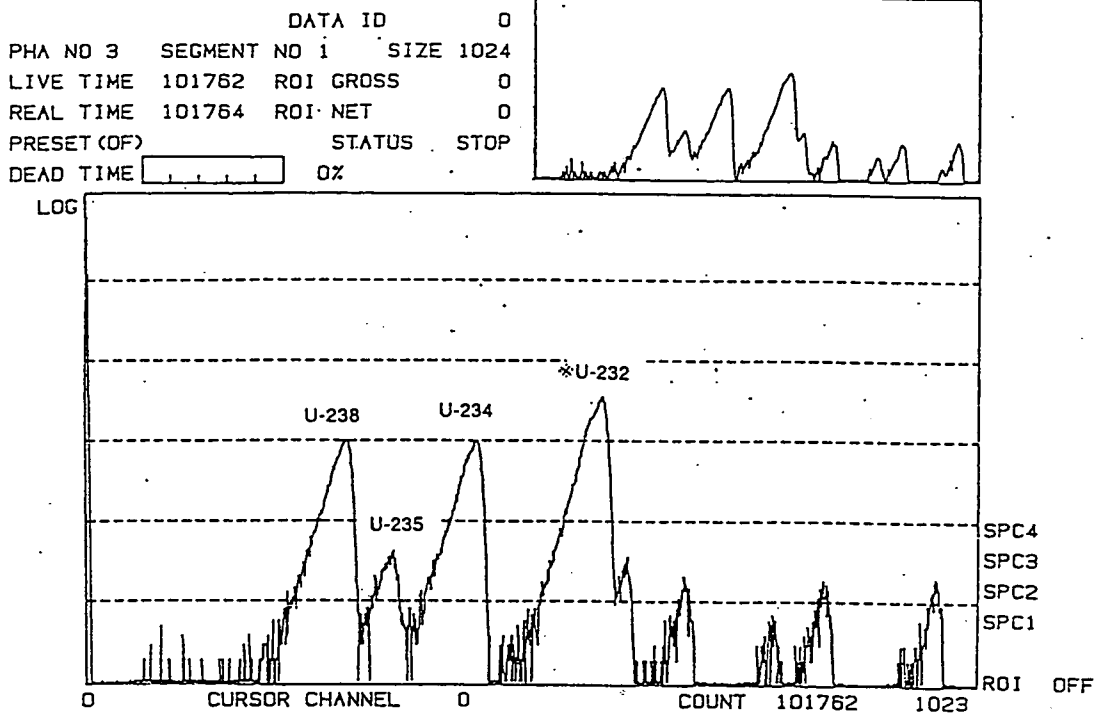
図-5-4 ウラン電着量とアルファスペクトル形状 (U=1000ug)

図-6 岩石試料のウラン分析値の比較

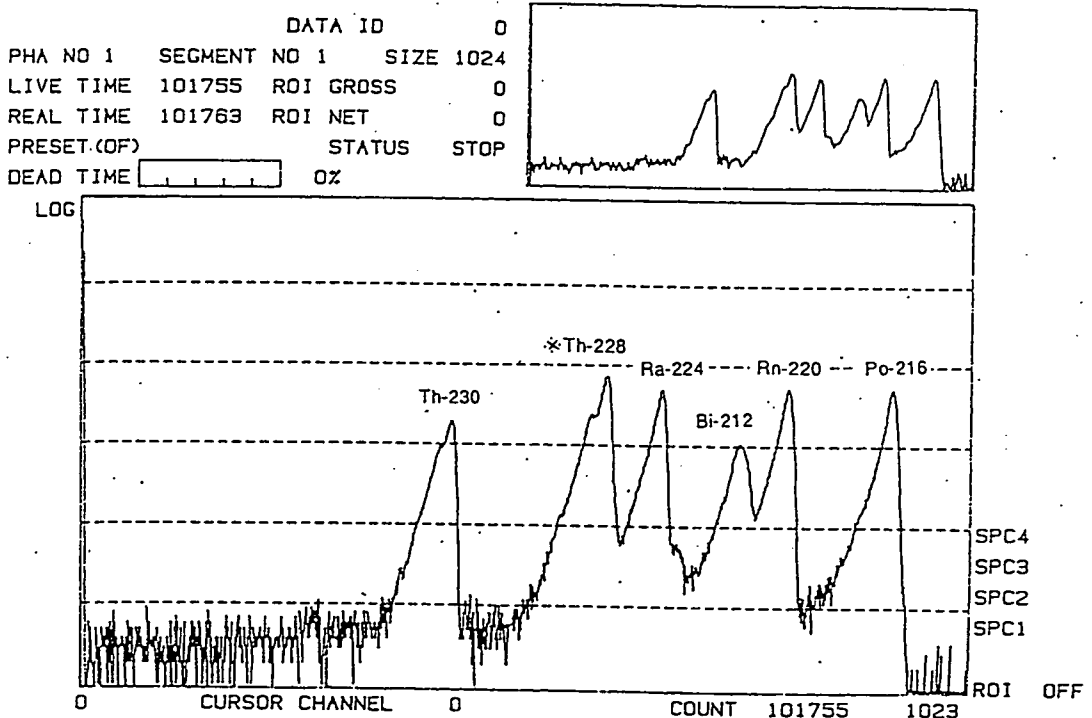
(α 線スペクトル分析法と湿式分析法)



図一 7 岩石中の α 線スペクトル分析实例



ウランフラクションのアルファスペクトル



トリウムフラクションのアルファスペクトル

岩石中のU-238, U-234 およびTh-230 の α 線スペクトル分析法

1. 要 旨

試料にフッ化水素酸, 硝酸, 過塩素酸および ^{232}U と ^{228}Th の標準溶液を加え、加熱分解し乾固する。これを塩酸で溶解して陰イオン交換操作によりウランとトリウムを分離し、トリウムフラクションは硝酸溶液として陰イオン交換によって分離精製したあと、ステンレス円板に電着する。ウランフラクションはリン酸トリ-nブチル-四塩化炭素の溶媒抽出により分離精製し同様ステンレス円板に電着する。この電着板についてマルチチャンネルアナライザーと接続した半導体検出器によって α 線スペクトルを測定して、ウランおよびトリウム同位体の定量を行う。

2. 適用範囲

本法は、岩石中のウラン含有量が1 ppm以上である試料の ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th の分析に適用する。バックグランド計数率 0.0005cps, 計数効率30%, 回収率60%の場合に、バックグランド計数の標準偏差の3倍を検出限界とすると、検出限界値は0.0083Bq(0.67 μg 天然ウラン相当)/試料である。

3. 試薬および器具

試 薬

- (1) スパイクトレーサー標準溶液： ^{232}U と ^{228}Th が放射平衡にある標準原液を2N硝酸で正確に希釈して、4 Bq/ml程度にする。
- (2) 塩 酸：10N, 6 N, 1 N, 0.1N
- (3) 硝 酸：8 N, (3+11)
- (4) 硫 酸：(1+19)
- (5) 過塩素酸
- (6) フッ化水素酸
- (7) アンモニア水：(1+1)
- (8) 硝酸ナトリウム溶液：50%
- (9) リン酸トリ-nブチル-四塩化炭素：(1+9)
- (10) チモールブルー指示薬：チモールブルー100mgをエチルアルコール90mlと水10mlで溶解する。
- (11) イオン交換樹脂：バイオラドAG1-X8C1型(100~200メッシュ)を次のようにコンディショニングする。一度使用した樹脂は捨てる。
 - ① 樹脂 500mlを3 ℓ のビーカーに入れ、水2 ℓ を加えよく攪拌し、静置後樹脂が沈降したら、上澄みをデカンテーションにより取り除く。この操作を3回繰り返す。
 - ② 水酸化ナトリウム溶液(120gNaOH/ ℓ)を1 ℓ 加えよく攪拌する。上澄みをデカンテーションにより取り除く。

- ③ 水1ℓを加えよく攪拌する。上澄みをデカンテーションにより取り除く。
- ④ 塩酸(1+1)2ℓを加えよく攪拌する。上澄みをデカンテーションにより取り除く。
- ⑤ 水2ℓを加えよく攪拌し、静置後上澄みをデカンテーションにより取り除く。この操作を3回繰り返す。
- ⑥ 樹脂は、ポリビン等に入れて水を浸し保存する。

器具

- (1) イオン交換カラム：図1のイオン交換カラムの底部にガラスウールを詰めたあと、10cmの高さまで樹脂を入れ、樹脂床上部にもガラスウールを詰める。また、カラム上部の液だめの下端に焼結ガラス円板を入れておく。
(図1参照)
- (2) 電着セル：SUS製ホルダーにプラスチック製の電着筒を取り付ける。この電着筒は1回使用したら捨てる。(図2, 3参照)
- (3) 電着装置：東京光電機製ANA-2-2型
- (4) α線スペクトル分析装置：SEIKO EG&G納入。次のモジュールから構成される。
 - ① ORTEC 4001Aビン電源
 - ② ORTEC 576A アルファスペクトロメーター(有効面積450mm²のSi半導体検出器8個付)
 - ③ ORTEC 476-4 マルチプレクサー
 - ④ SEIKO EG&G 1820アナログデジタルコンバーター
 - ⑤ SEIKO EG&G 7800マルチチャンネルアナライザー
 - ⑥ HEWLETT・PACKARD 7470A X-Yプロッター
 - ⑦ NEC PC9801Vm パーソナルコンピューター
 - ⑧ EPSON SP20プリンター
 - ⑨ HITACHI 160VP真空ポンプ
- (5) アップルコンピュータ製 マッキントッシュII パソコン

4. 安全

フッ化水素酸、塩酸、硝酸、過塩素酸、アンモニア水などの皮膚、眼への飛散または濃厚ガスの吸入などのないよう注意する。

5. 分析操作

操 作	備 考
1) 試料の分解、化学分離、電着 (1) 試料を正確に磁製ルツボに秤り取る。	(1)ウラン量が多いとスペクトルがブ

操 作	備 考												
(2) 電気炉中700℃で30分間灰化する。													
(3) 白金皿 (容量100ml) に注意して移す。	ロードになるので、試料秤り取り量は次の通りとする。												
(4) 少量の水で湿らせたあと、硝酸10ml、フッ化水素酸10ml、過塩素酸 3 ml、およびスパイクトレーサー標準溶液 1 mlを加える。	<table border="1" data-bbox="934 331 1242 497"> <thead> <tr> <th>ウラン濃度</th> <th>試料秤り取り量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.02%以下</td> <td>1 g</td> </tr> <tr> <td>0.02~0.05%</td> <td>0.5 g</td> </tr> <tr> <td>0.05~0.1 %</td> <td>0.2 g</td> </tr> <tr> <td>0.1 ~0.3 %</td> <td>0.1 g</td> </tr> <tr> <td>0.3 %以上</td> <td>0.5 g</td> </tr> </tbody> </table>	ウラン濃度	試料秤り取り量	0.02%以下	1 g	0.02~0.05%	0.5 g	0.05~0.1 %	0.2 g	0.1 ~0.3 %	0.1 g	0.3 %以上	0.5 g
ウラン濃度	試料秤り取り量												
0.02%以下	1 g												
0.02~0.05%	0.5 g												
0.05~0.1 %	0.2 g												
0.1 ~0.3 %	0.1 g												
0.3 %以上	0.5 g												
(5) 砂浴上で加熱分解し、過塩素酸の白煙が出るまで乾固する。	<small>(*)スパイクトレーサーを添加しないで分解したあと100mlにメスアップする。ここからウラン量が 200 μg 以下になるように分取し、スパイクトレーサーを加えて(6)以降の操作を行う。</small>												
(6) 放冷後、10N塩酸10mlを加え、砂浴上で乾固する。	(6)完全にフッ化水素酸を除く。												
(7) 10N塩酸10mlを加え加温し、残渣を溶解する。													
(8) 放冷後、予めコンディショニングしてあるイオン交換樹脂カラムAに、溶解液を通す。流出液は、ビーカー (容量100ml) に受ける。	(8)溶解後、洗液がこぼれないようにガラス棒を伝わせて、カラムに移す。												
(9) 10N塩酸 5 mlで5回ビーカーを洗浄し、洗液を陰イオン交換カラムに移し、カラムを洗浄する。													
(10) 10N塩酸25mlをカラムに通し、カラムを洗浄する。	(10)操作(8)~(10)の溶離液を合わせる。												
(11) 溶離液を砂浴上で蒸発乾固する。	この流出液にはトリウムアルカリ												
(12) 操作(11)で行っている間カラムAに0.1NHCl100mlを通し、溶離液をビーカー (容量250ml) に受ける。	金属、アルカリ土類金属等が含まれる。本分離 (ウラン,トリウム) を行った日付は、スパイクトレーサーの												
(13) 0.1NHCl溶離液は、砂浴上で蒸発乾固する。	²²⁸ Th濃度を計算する上で必要な												
(14) 操作(11)において蒸発乾固した試料に 8 N硝酸10mlを加えて加温し、残渣を溶解する。	ので記録しておく。												
(15) 溶離液は、放冷後、予め 8 N硝酸50mlでコンディショニングしておいたイオン交換樹脂カラムBに通し、トリウムを吸着させる。													
(16) 8 N硝酸 5 mlで5回ビーカーを洗い、洗液をイオン交換カラムに移し、カラムを洗浄する。	(16) 8 N硝酸 5 ml × 5 回 = 25ml												
(17) 8 N硝酸25mlをカラムに通し、カラムを洗浄する。	(17)操作(16)(17)の溶離液は捨てる。												
(18) このカラムに水 5 mlを通したあと、6 N塩酸50mlを通し、トリウムを溶離させ溶離液はビーカー (容量100ml) に受ける。													
(19) 硝酸 5 mlと過塩素酸 1 mlを加え、砂浴上で蒸発乾固する。													
(20) 放冷後、硫酸 (1 + 19) 10mlを加え加温溶解放冷する。													
(21) チモール・ブルー指示薬 1 ~ 2 滴加え、溶液の色がピンクから黄色に変わるまでアンモニア水 (1 + 1) を少量ずつ加える。													

操 作	備 考
② 次に黄色からピンクに変色するまで硫酸 (1+19) を少量ずつ加え、後加剰に3滴加える。	②この時のpH値は≒2となる。
③ この液を電着セルに移し入れ、電解装置にセットし直流1.2Aで2時間電気分解を行い、SUS円板にトリウム同位体を電着させる。	③白金陽極⊕側にSUS円板側を⊖側に接続する。
④ セル内にアンモニア水 (1+1) 1mlを加え、さらに1分間通電させる。	
⑤ 電解装置から電着セルを外し、残液を捨て、セル内部を水で洗浄する。	⑤この操作はすばやく行うこと。
⑥ 電着セルを分解して、電着板を取り出し、水で洗った後、電着板の裏側に試料名を記入しておく。	⑥電着板の表面には手を触れないようにする。
⑦ 電着板を乾燥器で水分を除いた後、電気コンロの上で乾燥・焼付する。	⑦α線スペクトル分析装置で測定。 (トリウム測定)
⑧ 操作③で蒸発乾固させた試料に硝酸 (3+11) 30mlを加え溶解する。	
⑨ 放冷後、試料液を(I)分液ロート (容量100ml) に移し、硝酸ナトリウム溶液 (50%) 5mlおよびリン酸トリ-nブチル-四塩化炭素溶液 (10%) 20mlを加える。	⑨ビーカーを硝酸 (3+11) 少量で洗い、分液ロートに加える。
⑩ 分液ロートをシェーカーで5分間振りとうし、TBP-四塩化炭素相にウランを抽出する。	⑩有機相と水相が分離するのを待つ。
⑪ TBP-四塩化炭素相を(II)分液ロート (容量100ml) に移す。	
⑫ 水相が残っている(I)分液ロートにTBP-四塩化炭素溶液 (10%) 10mlを加え5分間振りとうし、有機相にウランを抽出する。	⑫有機相と水相が分離するのを待つ。 水相は捨てる。
⑬ 有機相を(II)分液ロートに移す。さらに硝酸ナトリウム溶液 (50%) 20ml加え5分間シェーカーで振りとうし、洗浄を行う。	⑬有機相と水相が分離するのを待つ。 水相は捨てる。
⑭ 有機相を(III)分液ロート (容量100ml) に移し、塩酸 (1+11) 30mlを加え、10分間シェーカーで振りとうし、ウランを水相側へ逆抽出する。	⑭有機相と水相が分離するのを待つ。 有機相は所定の容器に捨てる。
⑮ 水相をビーカー (容量100ml) に移し、硝酸5mlおよび過塩素酸1mlを加え蒸発乾固する。	
⑯ 放冷後、硫酸 (1+19) 10mlを加え加温溶解放冷する。	⑯時計皿で覆い溶解する。
⑰ 以降操作②から同様に行う。但し、電気分解時の	

操 作	備 考
<p>時間は、トリウムと異なり1.5時間である。</p> <p>2) α線スペクトルの測定</p> <p>(1) α線スペクトル分析装置下部のパワースイッチ、リレースイッチをONにし、マルチチャンネルアナライザー（以下MCAと略）の裏側にある電源スイッチをONにする。</p> <p>(2) ビン電源および真空ポンプのスイッチをONにしたあと、アルファスペクトロメーターの検出器印加電圧スイッチをONにする。</p> <p>(3) アルファスペクトロメーター前面の試料ホルダーを抜き取り、その中央部に測定しようとする電着板をセットし、もとの位置にはめ込む。</p> <p>(4) スペクトロメーター前面のVENT/PUMP切替スイッチをPUMPに回し、検出器内を真空にする。</p> <p>(5) MCAのDISPLAYスイッチを押し、PHA1とSEG1のスイッチを押し、PHA1-SEG1に残っているスペクトルデータをMCAの画面に表示させる。</p> <p>(6) ERASEスイッチを2回押し、PHA1-SEG1に残っているスペクトルデータを消去したあと、STARTスイッチを押し測定を開始する。</p> <p>(7) (5)、(6)の操作をPHA1-SEG2からPHA4-SEG2まで繰り返す。</p> <p>(8) 測定核種のピークカウント積分値が10000以上になるまで1日～1週間程度測定を続ける。</p> <p>(9) MCAのDISPLAYスイッチを押し、次にPHA1とSEG1スイッチを押し、PHA1-SEG1で測定されたα線スペクトルをMCAの画面に表示させる。</p> <p>(10) STOPスイッチを押して測定を終了させた後、測定試料がウランフラクシヨンの場合にはU-238、U-234、U-232の各ピークについて、トリウムフラクシヨンの場合はTh-232、Th-230、Th-228、Ra-224の各ピークについてROIを設定し、各ピークのカウント積分値、ピークチャンネル、ROI</p>	<p>(3)本装置は、一度に8試料が同時に測定できる。</p> <p>(5)検出器1-1～4-2までの測定は、各々MCAのPHA1-SEG1～PHA4-SEG2で行われる。</p> <p>(8)試料中のウラン含有量が100ppm以上の試料では、1日程度の測定時間でよい。</p>

操 作	備 考
<p>設定開始チャンネル, ROI設定終了チャンネル, 測定時間を記録する (表-1及び図-5,6 参照。)</p> <p>(11) α線スペクトルプロファイルをX-Yプロッターに出力する時は、MCAに接続されているX-Yプロッターの電源を入れ、A-4サイズ of 用紙とペンをセットする。次にMCAのIO STARTスイッチを押した後、PLOTスイッチを押すとMCA上のスペクトルプロファイルがX-Yプロッターで描かれる。</p> <p>(12) (9), (10), (11)の操作をPHA1-SEG2からPHA4-SEG2まで繰り返し、各試料について測定時間, ピーク積分カウント, ピークチャンネル, ROIの設定開始チャンネルと終了チャンネルを記録する。</p> <p>(13) PC9801Vmパソコンの電源を入れ、MCAエミュレーションプログラムディスクをドライブ1に、データ保存用ディスクをドライブ2に入れロックする。</p> <p>(14) 自動的にエミュレーションプログラムが起動して、パソコンの画面に図4のような図面が表示される。</p> <p>(15) ファンクションキーf・5を押した後、MCAからPC98にデータ転送しようとするMCA番号, SEG番号をインプットする。</p> <p>(16) ファンクションキーf・7を押した後、数字の1をインプットすると、LDAD SPECTRUM DATA FROM MCAの表示が出て、しばらくしてからMCAのデータがPC98に転送され、画面上にスペクトルプロファイルが表示される。</p> <p>(17) ファンクションキーf・6を押した後、数字の2をインプットすると、ENTER SAVE FILE NAME[(name).CHN]と表示されるのでB:に続けて測定した試料名を六文字以内で入力すると、データ保存用ディスクにスペクトルデータが記録される。</p> <p>(18) (15), (16), (17)の操作を繰り返し、MCA1 (PHA1)-SEG1からMCA4 (PHA4)-SEG2までのデータをフロッピーディスクに収納する。</p> <p>(19) ファンクションキーf・10を押すと、MCAエミ</p>	<p>(12) ROIの設定はカーソルを\squareキーでピークの立ち上がりの位置まで移動させた後、ROIスイッチを押して、ROI SETの状態にしてからピーク終了端までカーソルを移動させる。次のピークに移る時は、ROIスイッチを2回押して、ROI OFFの状態にしてからカーソルを移動させる。測定時間は画面左上のLIVE TIMEの次に表示され、ピークカウント積分値はROI GROSの次に表示される。カーソル位置のチャンネル値は画面下部に表示される。</p> <p>(15) ディスプレーモード</p> <p>(16) ロードモード</p> <p>(17) セーブモード 例えば89年の受付No.51のThフラクションの測定データの場合にはB:8951THと入力する。</p>

操 作	備 考
<p>ュレーションプログラムが終了し、A>の表示がでたらドライブ1, 2のフロッピーディスクを抜き出す。</p> <p>(20) アルファスペクトロメーター前面のVENT/PUMP 切替スイッチをVENT側に回し、電着板を試料ホルダーから取り出し、もとの試料皿に戻す。</p> <p>(21) 試料を入れない状態で(4)~(12)の操作を行い、バックグラウンドの測定をして、(10)及び(12)の操作で設定した同じROI領域のバックグラウンドカウント値、測定時間を記録する。</p> <p>(22) 測定が全て終わったら、検出器の印加電圧、ビン電源、MCA電源、α線スペクトル装置パワー電源及び真空ポンプ電源スイッチをOFFにする。</p>	<p>(21)バックグラウンド計数値が高い時は検出器を取り外し、ティッシュにアルコールを付け軽く拭き取る。</p> <p>(22)真空ポンプをOFFにしたら、装置裏側のリークバルブを開放したあと、また閉じておく。</p>
<p>3) 測定データの解析</p> <p>(1) アップルコンピュータ製マッキントッシュIIパソコン及びレーザープリンターの電源を入れる。</p> <p>(2) 画面にWelcome to Macintoshの表示が出たら、α線スペクトル解析用表計算ソフトが格納されている3.5インチフロッピーディスクをセットする。</p> <p>(3) しばらくしてディスク(ディスク名=ALPHA DATA)に格納されているファイルが画面に表示されるので、マウスをデータ解析の位置に移動させ、2回クリックするとデータ解析のファイルが開いて表-2に示したようなテーブルが画面に表示される。</p> <p>(4) D列2行目の位置にマウスを移動させ、クリックを押す。サンプル名からRa-224バックグラウンド積分カウントまでの入力データを順次インプットしてゆく。</p> <p>(5) D列30行目までのデータ入力が終わったらC列32行目をクリックし、クリックを押したままC列81行目までマウスを移動させ、クリックを放す。 <input type="checkbox"/>キーを押しながら<input type="checkbox"/>キーを押すとこの部分の計算式がコピーされるので、次に画面右端の上下移動部にマウスを移動させ、D列32行が画面に表示されるまでクリックを押す。</p>	<p>(3)Wing Z ver.1.0Jでデータ解析表リストは作られている。</p> <p>(4)1つデータを入れたらリターンキーを押す。日付のインプットは、例えば90年5月6日の場合には90-5-6とインプットしてリターンキーを押すと6-May-90のように画面に変換されて表示される。</p>

操 作	備 考
(6) D列32行目にマウスを移動させクリックを押す。次に \square キーを押しながら ∇ キーを押すとD列について測定時のU-232 濃度からTh濃度までが計算され表示される。	(6)計算式をペーストする操作
(7) (4), (5), (6)と同様の操作をE列以降についても行い、全てのサンプルの測定データの入力と表計算をする。	
(8) \square キーを押しながら \square キーを押したあと、OKをクリックするとレーザープリンターに作表結果が出力される。	(8)作表結果の出力操作
(9) マウスを画面上部のファイルの位置に移動し、クリックを押しながら保存. . . の位置に移動させクリックを放す。保存ファイル名 データ解析と表示されるので「delete」キーを押した後作表結果を保存するファイル名をインプットする。	(9)作表結果のディスク格納操作 保存ファイル名としては例えば90年環境受付No.1~10までのデータならば90KN01-10とする。
(10) \square キーを押しながら \square キーを押すとフロッピーディスクに格納されているファイル名が表示されるので、(9)で保存したファイル名が存在する事を確認する。	
(11) マウスを画面上部のスペシャルの位置に移動させて、クリックを押したまま終了の位置に移動させると、フロッピーディスクが取り出せる状態になったあと電源が切れる。	(11)解析終了操作

6. 計 算

- 1) 表3-1及び表3-2に変数の定義と計算式を示した。
- 2) 各検出器の計数効率はこの通り (Am標準線源を使って求めた値)

検出器No	計数効率
1-1	33.47%
1-2	32.25
2-1	32.18
2-2	30.43
3-1	31.60
3-2	30.43
4-1	31.27
4-2	32.27

7. 解説

通常の測定で、スペクトルが出現する主な α 線の放射体の核データを次に示す。

(出典 Table of Isotopes 7 Ed.)

核種	α 線エネルギー MeV (放出率%)	半減期
Th-232	3.957 (23) 4.016 (77)	1.411×10^{10} y
U-238	4.149 (23.4) 4.196 (77.4)	4.468×10^9 y
Th-230	4.621 (23.4) 4.688 (76.3)	8.03×10^4 y
U-234	4.723 (27.5) 4.774 (72.5)	2.446×10^5 y
U-232	5.264 (31.2) 5.321 (68.7)	71.79 y
Th-228	5.339 (26.7) 5.421 (72.7)	1.913 y
Ra-224	5.449 (5.5) 5.689 (94)	3.605 d
Bi-212	6.051 (69.9) 6.090 (27.2)	63.3 m
Ra-220	6.288 (99.9)	55.65
Po-216	6.779 (99+)	0.145 s

表-1 汚染線スペクトルデータ測定記録用紙

受付NO.	単位				
サンプル名					
スパイクトレーサ初期濃度	Bq/ml	3.08	3.08	3.08	3.08
スパイクトレーサ濃度誤差	Bq/ml	0.14	0.14	0.14	0.14
スパイクトレーサ検定日	Y-M-D	1988年6月7日	1988年6月7日	1988年6月7日	1988年6月7日
スパイクトレーサ添加量	ml				
試料量	g				
U-1h分離日	Y-M-D				
U同位体測定日	Y-M-D				
U同位体測定日	Y-M-D				
U同位体測定器No & 計数効率	%				
Th同位体測定器No & 計数効率	%				
U同位体サンプル計数時間	Sec				
U-238ビーク積分カウンント	Counts				
U-234ビーク積分カウンント	Counts				
U-232ビーク積分カウンント	Counts				
U同位体バックグラウンド計数時間	Sec				
U-238バックグラウンド積分カウンント	Counts				
U-234バックグラウンド積分カウンント	Counts				
U-232バックグラウンド積分カウンント	Counts				
Th同位体サンプル計数時間	Sec				
Th-232ビーク積分カウンント	Counts				
Th-230ビーク積分カウンント	Counts				
Th-228ビーク積分カウンント	Counts				
Ra-224ビーク積分カウンント	Counts				
Th同位体バックグラウンド計数時間	BTTh				
Th-232バックグラウンド積分カウンント	BTTh2				
Th-230バックグラウンド積分カウンント	BTTh0				
Th-228バックグラウンド積分カウンント	BTTh8				
Ra-224バックグラウンド積分カウンント	BRa4				

表2 計算結果の出力例

	A	B	C	D	E
1		単位			
2	サンプル名		Example		
3	スパイクトレーサ初期濃度	Bq/ml	3.95		
4	スパイクトレーサ濃度誤差	Bq/ml	0.20		
5	スパイクトレーサ検定日	DATE	3-Aug-90		
6	スパイクトレーサ添加量	ml	1.00		
7	試料量	g	0.50		
8	U-Th分離日	DATE	1-Jun-90		
9	U同位体測定日	DATE	4-Jun-90		
10	Th同位体測定日	DATE	4-Jun-90		
11	U同位体測定器計数効率	%	31.60		
12	Th同位体測定器計数効率	%	33.47		
13	U同位体サンプル計数時間	Sec	66608		
14	U-238ピーク積分カウント	Counts	48522		
15	U-234ピーク積分カウント	Counts	48236		
16	U-232ピーク積分カウント	Counts	54797		
17	U同位体バックグラウンド計数時間	Sec	71962		
18	U-238バックグラウンド積分カウント	Counts	2		
19	U-234バックグラウンド積分カウント	Counts	16		
20	U-232バックグラウンド積分カウント	Counts	32		
21	Th同位体サンプル計数時間	Sec	66641		
22	Th-232ピーク積分カウント	Counts	352		
23	Th-230ピーク積分カウント	Counts	20325		
24	Th-228ピーク積分カウント	Counts	24859		
25	Ra-224ピーク積分カウント	Counts	5061		
26	Th同位体バックグラウンド計数時間	Sec	72151		
27	Th-232バックグラウンド積分カウント	Counts	4		
28	Th-230バックグラウンド積分カウント	Counts	17		
29	Th-228バックグラウンド積分カウント	Counts	322		
30	Ra-224バックグラウンド積分カウント	Counts	975		
31					
32	測定時のU-232濃度	Bq/ml	3.956		
33					
34	分離時のTh-232濃度	Bq/ml	4.063		
35					
36	測定時のTh-232濃度	Bq/ml	4.051		
37					
38	U-238カウントレート	Cps	0.728		
39					
40	U-234カウントレート	Cps	0.724		
41					
42	U-232カウントレート	Cps	0.822		
43					
44	Th-232カウントレート	Cps	0.005		
45					
46	Th-230カウントレート	Cps	0.305		
47					
48	Th-228カウントレート	Cps	0.359		
49					
50	Th-228カウントレートの誤差	Cps	0.002		
51					
52	U-238の放射能濃度	Bq/g	7.360		
53					
54	U-234の放射能濃度	Bq/g	7.315		
55					
56	Th-232の放射能濃度	Bq/g	0.124		
57					
58	Th-230の放射能濃度	Bq/g	7.226		
59					
60	U-238の放射能濃度誤差	Bq/g	0.375		
61					
62	U-234の放射能濃度誤差	Bq/g	0.373		
63					
64	Th-230の放射能濃度誤差	Bq/g	0.373		
65					
66					
67	U-234/U238 放射能比率		0.994		
68					
69	U-234/U238 放射能比率誤差		0.006		
70					
71	Th-230/U234 放射能比率		0.988		
72					
73	Th-230/U234 放射能比率誤差		0.072		
74					
75	Uの収率	%	65.769		
76					
77	Thの収率	%	26.463		
78					
79	Uの濃度	ppm	596.20		
80	U湿式分析値				
81	Thの濃度	ppm	30.608		
82	79/80		ERR 9		

表3-1 計算に使用している変数の定義とその計算式

1	A	B	C
1	サンプル名	変数 SAMPLE\$	単位
2	サンプルレーザ初期速度	SPU2	Bq/ml
3	サンプルレーザ速度係数	ESPU2	Bq/ml
4	サンプルレーザ検定日	DT1	DATE
5	サンプルレーザ係加算	WJ	ml
6	試験番号	WT	ml
7	U-Th分離日	DT2	DATE
8	U-Th分離日	DT3	DATE
9	U-Th分離日	DT4	DATE
10	U-Th分離日	DT4	DATE
11	U-Th分離日	DT4	DATE
12	U-Th分離日	DT4	DATE
13	U-Th分離日	DT4	DATE
14	U-Th分離日	DT4	DATE
15	U-Th分離日	DT4	DATE
16	U-Th分離日	DT4	DATE
17	U-Th分離日	DT4	DATE
18	U-Th分離日	DT4	DATE
19	U-Th分離日	DT4	DATE
20	U-Th分離日	DT4	DATE
21	U-Th分離日	DT4	DATE
22	U-Th分離日	DT4	DATE
23	U-Th分離日	DT4	DATE
24	U-Th分離日	DT4	DATE
25	U-Th分離日	DT4	DATE
26	U-Th分離日	DT4	DATE
27	U-Th分離日	DT4	DATE
28	U-Th分離日	DT4	DATE
29	U-Th分離日	DT4	DATE
30	U-Th分離日	DT4	DATE
31	U-Th分離日	DT4	DATE
32	測定時のU-232濃度	SPU2	Bq/ml
33	分離時のU-232濃度	SPTh81	Bq/ml
34	分離時のU-232濃度	SPTh81	Bq/ml
35	測定時のU-232濃度	SPTh82	Bq/ml
36	測定時のU-232濃度	SPTh81	Bq/ml
37	U-238カウントレート	UR8	OS
38	U-238カウントレート	UR4	OS
39	U-234カウントレート	UR2	OS
40	U-232カウントレート	UR2	OS
41	U-232カウントレート	UR2	OS
42	U-232カウントレート	UR2	OS
43	U-232カウントレート	UR2	OS
44	U-232カウントレート	UR2	OS
45	U-230カウントレート	UR2	OS
46	U-230カウントレート	UR2	OS
47	U-230カウントレート	UR2	OS
48	U-230カウントレート	UR2	OS
49	U-230カウントレート	UR2	OS
50	U-238のカウントレートの諸差	ETTh8	OS
51	U-238のカウントレートの諸差	CONU8	Bq/g
52	U-238の放射能濃度	CONU8	Bq/g
53	U-238の放射能濃度	CONU8	Bq/g

表3-2 計算に使用している変数の定義とその計算式

	A	B	C
54	U-234の放射能濃度	CONU4	Bq/g
55	U-234の放射能濃度	式=UR4*SPU2*VOL/UR2*WT	Bq/g
58	Th-232の放射能濃度	CONTh2	Bq/g
57	Th-232の放射能濃度	式=ThR2*SPTh82*VOL/ThR8*WT	Bq/g
58	Th-230の放射能濃度	CONTh0	Bq/g
59	Th-230の放射能濃度	式=ThR0*SPTh82*VOL/ThR8*WT	Bq/g
60	U-238の放射能濃度誤差	ECONU8	Bq/g
61	U-238の放射能濃度誤差	式=CONU8*SQRT((U2*B*U ² -U ²)/U2*B*U ² -U ²) ² /(U8*B*U ² -U ²) ² +(U8*B*U ² -U ²)/U8*B*U ² -U ²) ² +ESPU2/SPU2 ²	Bq/g
62	U-234の放射能濃度誤差	ECONU4	Bq/g
63	U-234の放射能濃度誤差	式=CONU4*SQRT((U2*B*U ² -U ²)/U2*B*U ² -U ²) ² /(U4*B*U ² -U ²) ² +(U4*B*U ² -U ²)/U4*B*U ² -U ²) ² +ESPU2/SPU2 ²	Bq/g
64	Th-230の放射能濃度誤差	ECONTh0	Bq/g
65	Th-230の放射能濃度誤差	式=CONTh0*SQRT((ThR8/ThR8) ² +(Th0*B*Th ⁰ -Th ⁰) ² /(Th0*B*Th ⁰ -Th ⁰) ² +ESPU2/SPU2 ²) ²	Bq/g
66		RAT48	
67	U-234/U238 放射能比率	式=UR4/UR8	
68		ERAT48	
69	U-234/U238 放射能比率誤差	式=RAT48*SQRT((UR8*B*U ² -U ²)/UR8*B*U ² -U ²) ² /(U4*B*U ² -U ²) ² +(U4*B*U ² -U ²)/U4*B*U ² -U ²) ²	
70		RAT04	
71	Th-230/U234 放射能比率	式=CONTh0/CONU4	
72		ERAT04	
73	Th-230/U234 放射能比率誤差	式=RAT04*SQRT((ECONU4/CONU4) ² +(ECONTh0/CONTh0) ²)	
74		VJ	%
75	Uの収率	式=UR2*10000/(EU*SPU2*VOL)	%
76		YTh	%
77	Thの収率	式=ThR8*10000/(ETh*SPTh82*VOL)	%
78	Uの濃度	Uppm	ppm
79	Uの濃度	式=CONU8*81	ppm
80		Thppm	ppm
81	Thの濃度	式=CONTh2*247	ppm
82			

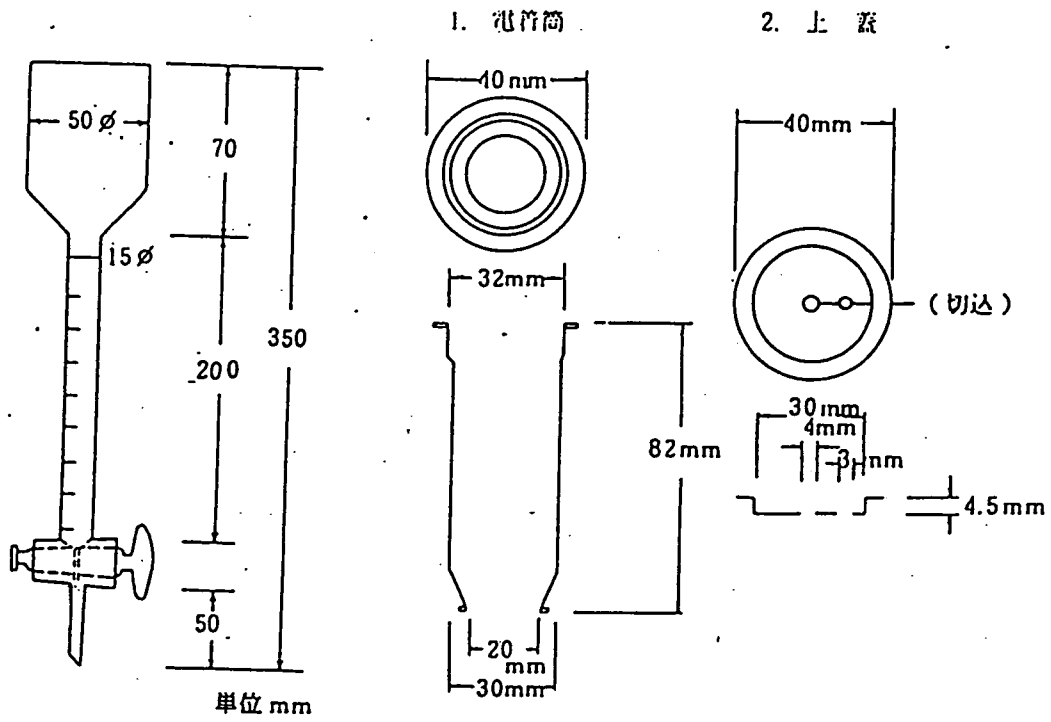


図1 イオン交換カラム

図2 電符セル

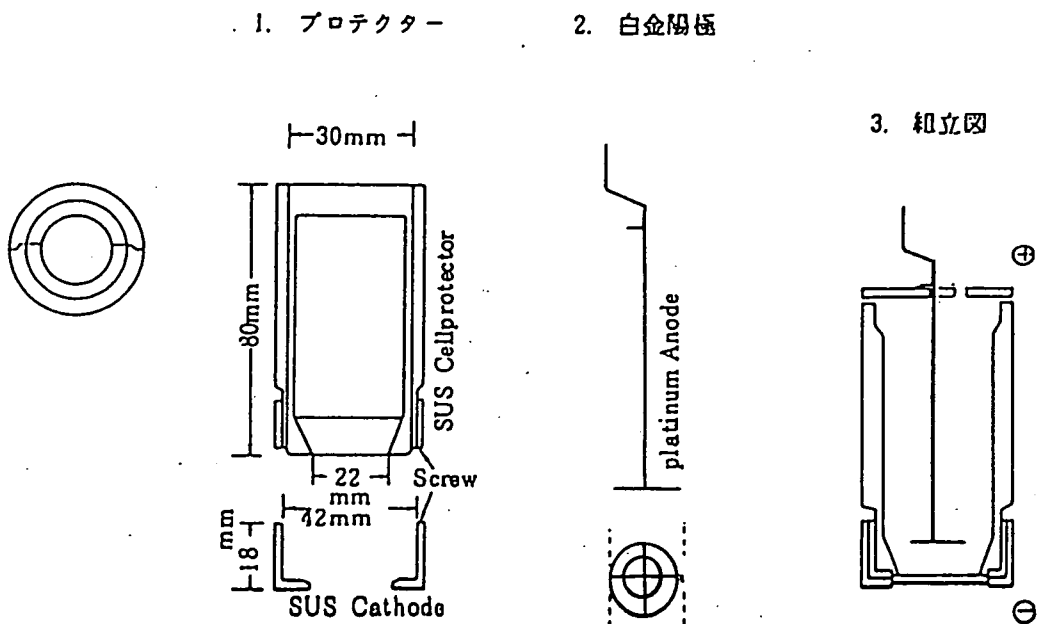
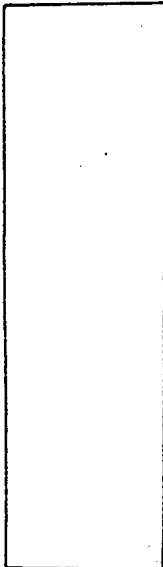


図3 電符セルプロテクターと白金電極

90/06/13 09:20:58 SEIKO EGMG V1.3G
MCA NO. 1 SEGMENT NO. 1 SIZE 1024
LIVE TIME 74365.00 DATE 88/08/24
REAL TIME 74366.00 TIME 11:13:00
PRESET(OF) H SIZE 1024



[LOCAL]

1:SETROI

2:CLRROI

3:ALLROI

4:ROIFLG

5:SET PK

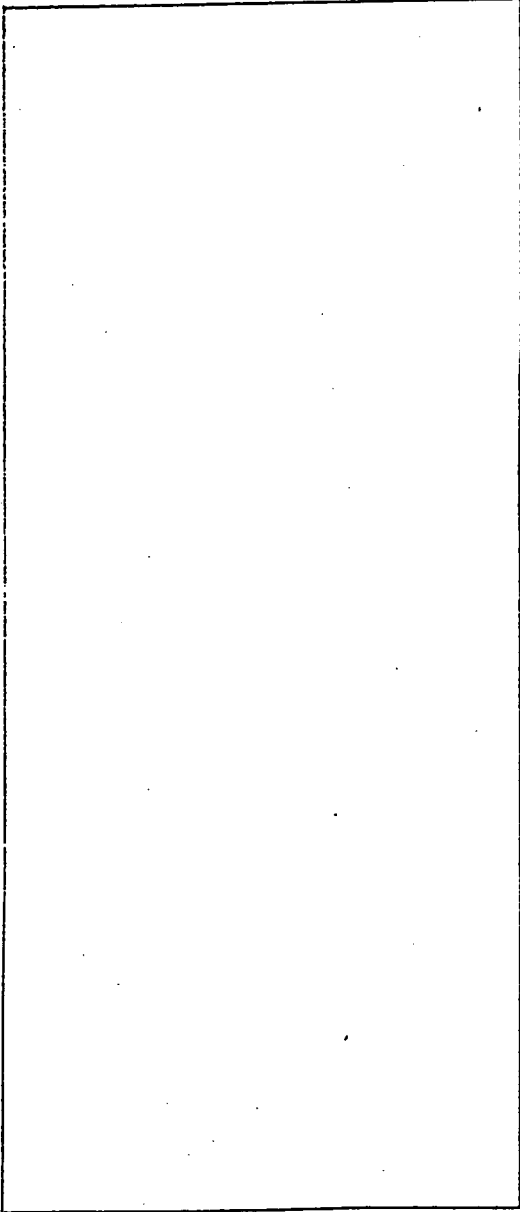
6:CLR PK

7:ALL PK

8:PKFLG

9:VSCALE

LOG



MEM : 1
ROI : OFF
PKS : OFF

1023

0

COUNT

0

CURSOR CH

0

図-4 MCAエミュレーションプログラム起動時の表示画面

1. はじめに

地層中におけるウラン系列核種の挙動を研究する上で、地下水中のウラン系列核種組成は、岩石中のそれと同様に重要な情報である。ウランとラジウムの同位体は地下に溶けて移動しやすく、天然トレーサーとして地下水の年代学や物質移動研究にも使われている。^{1) 2)} 水と岩石から成る系において、岩石中の放射性核種が水に移行する過程に α 崩壊による反跳効果(α -反跳)が寄与している。³⁾ その最も顕著で良く知られている例は、岩石中の ^{238}U と ^{234}U が地下水などに溶け出す際にみられる。単なる化学的溶解ならば、地下水中の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射比は1.0になるはずであるが、実際には図-1に示したように1以上の値になっている。⁴⁾ この放射非平衡の原因は、岩石中の ^{234}U は α 反跳効果を受けているので、 α 反跳効果を受けない ^{238}U に比べ、 ^{234}U は溶け出し易いためである。

$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比が1以上になる度合は、水と接触しないで岩石が経た時間が長いほど、岩石と水が接触していてもその水が入れ替らなかつた期間が長いほど、そして還元性雰囲気が強くとウランの化学的溶解が抑制されるほど、大きくなることが知られている。

このようなことから、東濃ウラン鉱床を利用したナチュラルアナログ研究においても、主に ^{234}U と ^{238}U の放射能濃度と放射能比の分析が昭和62年から行われてきた。しかし、この分析は原子力安全協会への委託研究として実施されてきたために⁵⁾、輸送上の困難から分析に供している試料量は1ℓであり、分析値の信頼性に欠けるといった問題があった。

更に最近、MP採水器やバット採水器を利用して数多くの試錐孔から継続的に地下水が採水されるようになり、地層(地質)と地下水の関係が明確に対応づけられるようになってきた。このため岩石中のウラン系列放射非平衡だけでなく、地下水中のウラン系列放射非平衡についても、中部事業所技術開発課で分析できるようにしてほしいという強い要請があった。

東濃ウラン鉱床周辺の地下水中に存在するウランの濃度は、表-1に示したように極めて低く、これを精度良く分析するには少なくとも10ℓ以上の試料水から分離濃縮したあと、 α 線スペクトル分析しないと、計数誤差が大きすぎて分析精度が著しく悪くなる。即ち、地下水中に存在する極微量レベルのウラン同位体を精度良く分析するには、大量の地下水から効率的に分離濃縮する手法を確立することが必要である。これが本試験を実施した目的の1つである。

もう1つの大きな目的は、東濃鉱山における坑水処理法を簡素化することである。

図-2に示したように、現在東濃鉱山のインプレース試験場跡からのウラン濃度が比較的高い坑水は、地上の坑水処理施設でイオン交換-硫酸バリウム共沈-PH調整を行ない、ウラン、ラジウムを除去したあと、他の一般坑内水と一緒にして河川に放流している。しかし、この坑水処理施設は、インプレースリーチング試験によって溶出されたウラン貴液からウランを回収する目的で設計され、運転されてきたものであって、若干ウラン濃度が高い坑水を処理するだけの目的には、余りにも過大な施設である。更に、新しく無重力実

力施設建設に向けて試錐立坑の開削が進行するのに伴ない、東濃鉾山敷地が手狭になってきたため、現在ある坑水処理施設をより簡易なものにするための方策を早急に講じる必要が生じてきていた。

以上に述べた2つの目的から地下水中のウラン分離試験を実施した。

2. 実施内容

2.1 分離方法の検討

水の中に含まれている微量のウランを分離濃縮する方法としては、キレート樹脂又は陰イオン交換樹脂で捕捉分離する樹脂法と、水酸化第二鉄とともに共沈分離する水酸化鉄共沈法がある。これらの方法の特徴、適用例を表-2に示した。

地下水中の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能濃度分析のためのウラン同位体分離法としては、このうちの水酸化第二鉄共沈法が使われる例が多く、原子力安全協会への委託研究や米国ASTM分析マニュアルでも鉄共沈法が使われている。しかし、分析する試料量が1ℓ程度の少量ならば、水酸化鉄共沈法は樹脂法に比べ簡便であるが、試料量が10ℓ以上の量になってくると、水酸化鉄の沈澱をろ過するのに非常に時間がかかる上に、添加すべき塩化第二鉄の量が多くなり、この試薬中に不純物として含まれる ^{238}U 、 ^{234}U の影響（試薬ブランク）が無視できなくなるので、水酸化鉄共沈法よりも樹脂法の方がすぐれている。

本試験では、坑水処理および $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 分析のための分離操作の両方とも、大量の水を処理する必要があることから、分離方法としては樹脂法で試験を行うことにした。

2.2 樹脂の選択

地下水中のウランは強塩基性陰イオン交換樹脂、または、キレート樹脂で分離できることが報告されているので^{6) 7)}、この二種類の樹脂を選んだ。また、樹脂タイプとしては通常のゲル型樹脂と、より多孔質であるポーラス型樹脂の2タイプについて、更に、粒度が揃っており純度の高い分析用樹脂（高価）と、精製されていない工業用樹脂（安価）の両方についても、性能が試験できるように全部で7種類の樹脂を選んで試験を行った。

本試験に用いた樹脂の種類を表-3に示した。この表の中で、三菱化成製のPA318は現在東濃鉾山の坑水処理施設で使用されており、工業用の強塩基性陰イオン交換樹脂である。また、三菱化成製の工業用キレート樹脂CR-50は、人形峠事業所でダム廃水からのウラン回収に利用されているアミドキシム型キレート樹脂である。このCR-50は、約80種類の中から試験して選択されたものである⁸⁾。

この樹脂の改良型がCR-55である。工業技術院四国工業技術試験所で、海水中のウラン回収する補集剤として開発されたが、三菱化成では、現在CR-55を製造していない。

2.3 バッチ法による吸着性能試験

工業用と分析用の強塩基性陰イオン交換樹脂が4種類、キレート樹脂が3種類の合計7種類の中から、最もウランを吸着分離する性能が優れた樹脂を運ぶために、吸着性能試験を行った。この試験に使用した試料水は、東濃鉱山インプレースリーチング試験場跡からの排水（通称坑内原水）を0.45 μ mフィルターでろ過したものであり、ウラン濃度540 μ g/ ℓ 、PH8.7である。主要成分の分析結果を表-4に示した。硫酸を添加して酸性（PH=1.1）にした試料についても、ウランの分離試験を行った。試験条件は、樹脂量0.5g（湿潤重量）に対して試料液量500mlを加え、バッチ法で1時間攪拌し、それぞれの樹脂にウランを吸着させた。樹脂はろ過して分離したあと、0.1N塩酸溶液でウランを溶離した。この溶離液のウラン濃度を、固体蛍光法およびアルセメゾーⅢ比色法で分析し、ウランの分配係数Kdを算出した。KDの値が大きい程、樹脂にウランがよく吸着分離されていることを示している。図-3に、7種類の樹脂によるウラン分離試験結果を示した。この結果から、次の事が分かった。

- ① 分析用マクロポラス型強塩基性陰イオン交換樹脂AGMPが、試験した7種類の樹脂のうちで最も吸着性能がよい。
- ② AGMPは硫酸酸性（PH=1）でも、ウランを効率的に分離できることから、自然水中のウラン同位体を α 線スペクトル分析する際の分離濃縮材として適している。
- ③ 工業用強塩基性陰イオン交換樹脂でPA318やSA10Aもウランの吸着特性がよく、適切に使用すれば、東濃鉱山のインプレース試験場跡からの排水処理に充分利用できる。

2.4 カラム法による貫通交換容量試験

東濃鉱山の排水処理を行う場合、1 ℓ の樹脂で分離除去できる最大ウラン量を把握しておく必要がある。2.4の結果から工業用の樹脂のうちで最も性能のよかったPA318を使って、カラム法で貫通交換容量を測定した。カラムの寸法は直径12mmで、樹脂高さは17mm、樹脂量は20ml（コンディショニング後の体積）である。

試料水のウラン濃度は48ppmであり、坑内原水よりも約100倍程度高濃度のものを使った。これはウラン濃度が低いと、ウランの貫通（破過）が起こるまでに極めて多量の試料水をカラムに通す必要があるため、高濃度ウラン溶液を使った。

試験結果を図-4に示した。この図から貫通交換容量は、20gU/ ℓ -樹脂程度であることがわかった。この値をもとにしてPA318樹脂を使って原水（ウラン濃度500 μ g/ ℓ 、湧水量4.5 m^3 /日）を処理できる最大日数を計算すると、1 ℓ の樹脂で8.8日間処理できることになる。即ち、PA318樹脂を41 ℓ 使えば、一年間樹脂を交換しなくても、調査坑道からの原水を処理できる計算になる。

2.5 イオン交換樹脂濃縮- α 線スペクトル分析法による東濃鉱山周辺試料の分析

表-1に示したようにウラン濃度が1ppb程度以上あれば、水試料を1ℓ採取して、そこから ^{238}U 、 ^{234}U を70%の収率で分離精製すれば、約1日間の測定で $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比を10%以下での精度で分析することができる。1日間程度の測定で同様の精度を得ようとするならば、ウラン濃度が0.1ppbの場合には10ℓ、0.01ppbの場合には100ℓの試料水が必要となる。言い換えれば、ウラン同位体を α 線スペクトル分析するためには、水試料中のウラン濃度が1ppb以上の場合には、バッチ法で分離できる。一方、ウラン濃度が1ppb以下の場合には、カラム法によって10~100ℓ程度の大量の試料から、ウランを濃縮分離する事が最も効率的である。

東濃鉱山周辺の水試料について、分析用強塩基性陰イオン交換樹脂(AGMP)を利用して、バッチ法及びカラム法でウラン同位体を分離濃縮したあと、 α 線スペクトル分析法で $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能濃度比およびウラン濃度を測定した。カラム法では、試料は0.45 μm でろ過して、懸濁物質を除去したあと、硫酸を添加してPH=1.1~1.2に調整した。

そして、 ^{232}U スパイクトレーサー溶液を添加して一夜放置したあと、陰イオン交換樹脂カラムに6.7 ml/分の通過速度で流し、ウラン同位体を補足分離した。図-5に、本試験で用いたカラム法による極微量ウランの分離濃縮方法を示した。また、同じ試料を固体蛍光法で分析して、 α 線スペクトル分析法での結果と比較した。これらの結果を図-6および図-7に示した。

東濃鉱山周辺地下水の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能濃度比は3~5程度と高く、 α -反跳によって ^{234}U が選択的に溶脱している事が図-6からわかる。また、20年近く降雨にさらされてきたウラン鉱石を通過した雨水は、ウラン濃度は比較的高いものの、 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比は0.75と、1以下の値になっている。

一方、図-7に示したように、 α 線スペクトル法で分析したウラン濃度と、固体蛍光法で分析したウラン濃度はよく一致しており、方法が異なる二種類に方法での分析値がよく一致していることは、両分析法が正確な方法であることを示している。

2.6 調査坑道内におけるウラン除去現場試験

工業用陰イオン交換樹脂PA318を使えば、東濃鉱山インプレース試験現場跡から出ている坑水中に含まれるウランを効果的に除去できることが分かった。従って、調査坑内のクロスカット坑道から流れ出る坑水を集めて排水路の中に、このPA318樹脂を設置し、ウラン除去現場試験を実施した。使用した樹脂量は6ℓであるが、計算上はこれだけの量があれば50日間程度ウランを除去することが可能である。

一般に、試料水中に有機物が入っていると、イオン交換樹脂の性能劣化がはやくなることから、PA318陰イオン交換樹脂の前段に活性炭を入れて、溶存している有機物を除去した。図-8に現場試験模式図を示した。

試験の結果、わずか2日でウランが破過してしまい、予想と大きくくいちがう結果になってしまった。この原因は、試験に使った樹脂が6年以上前に購入した古いものであり、保管状態も悪く、性能劣化が進んでいたためと思われる。新しい樹脂を使って再度試験を行う予定である。

3. 成果

- ① 強塩基性陰イオン交換樹脂AGAPは、中性領域だけでなく、硫酸酸性領域でも優れたウラン吸着特性を示すことから、地下水中に存在する微量ウラン同位体を、 α 線スペクトル分析するための前濃縮分離材として、優れていることがわかった。
- ② 特に地下水中のウラン濃度が0.1ppb以下の極微量である場合には、10ℓ以上の大量の地下水からウランを効率的に分離する必要があるので、このような時にはAGMP樹脂を使ったカラム法は操作が容易であるだけでなく、コンタミの心配もないことから最適の分離方法である。
- ③ AGMP樹脂を使った分離法を、実際の東濃鉱山周辺試料水中の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能濃度比およびウラン濃度に適用したところ、固体蛍光法で分析した値とよく一致し、操作法も極めて簡便であった。
以上の事から、地下水中の極微量ウラン同位体を α 線スペクトル法で定量するための必須条件である。大量の地下水から効率的にウラン同位体を分離濃縮する方法は確立できたと結論づけられる。
- ④ 一方、東濃鉱山のインプレース試験場跡からの排水中に含まれるウラン除去する方策については、ほぼ見通しがついた。
市販の工業用ポーラス型強塩基性陰イオン交換樹脂PA318を適切に使用すれば、41ℓの樹脂（約5万円）で一年間坑水処理できる計算になる。
従って、今回現場試験を行ったように、計算坑道内の排水路にPA318樹脂を設置する現場除去法が順調にいけば、人員と予算の節約が可能であるだけでなく、既存の坑水処理施設そのものが不要になって、東濃鉱山の敷地を有効利用できるようになる。

4. 今後の計画

4.1 ウラン除去現場試験

東濃鉱山調査坑道内の現場で行ったウラン除去試験では、使用した樹脂が古い上に保存状態もよくなかったので、工業用ポーラス型強塩基性陰イオン交換樹脂PA318を新しく購入して、また樹脂量も20ℓ程度に増やして現場試験を行う。

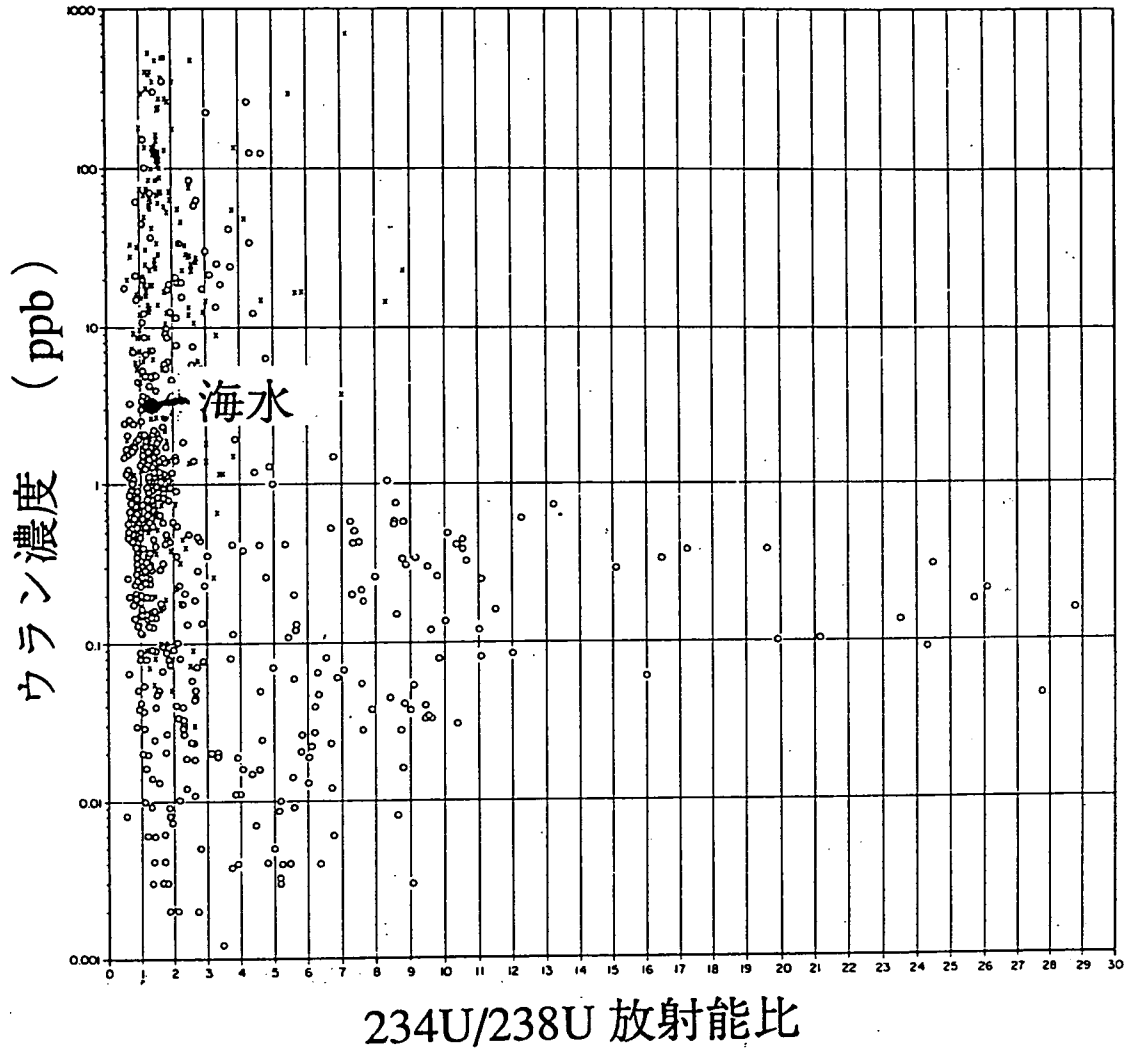
4.2 地下水中の極微量ラジウム濃縮方法の確立

ラジウムはウランよりも水に溶けて移動しやすいことから、地下水流動や水-岩石相互作用を調査する上で、有効な天然のトレーサーである。

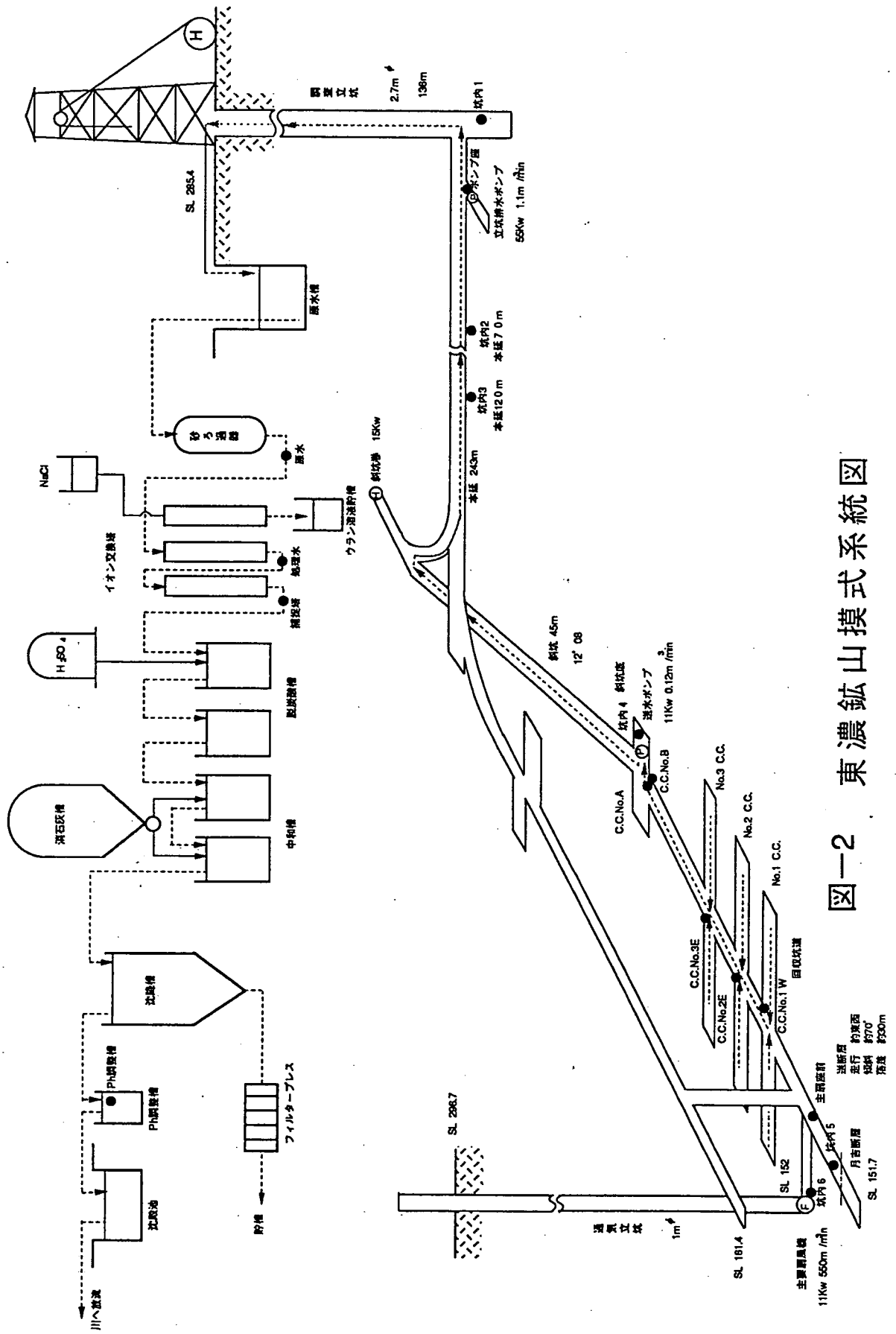
技術開発課では現在エマネーション法でラジウム分析を行っているが、この分析法での検出限界は3mBq/ℓである。この濃度はほぼ0.4ppbのウランと放射平衡にあるラジウム濃度に相当し、十分な感度とはいえない。従って、サンプリング量を大きくして、そこから微量ラジウムを分離濃縮する方法を確立する。

参考文献

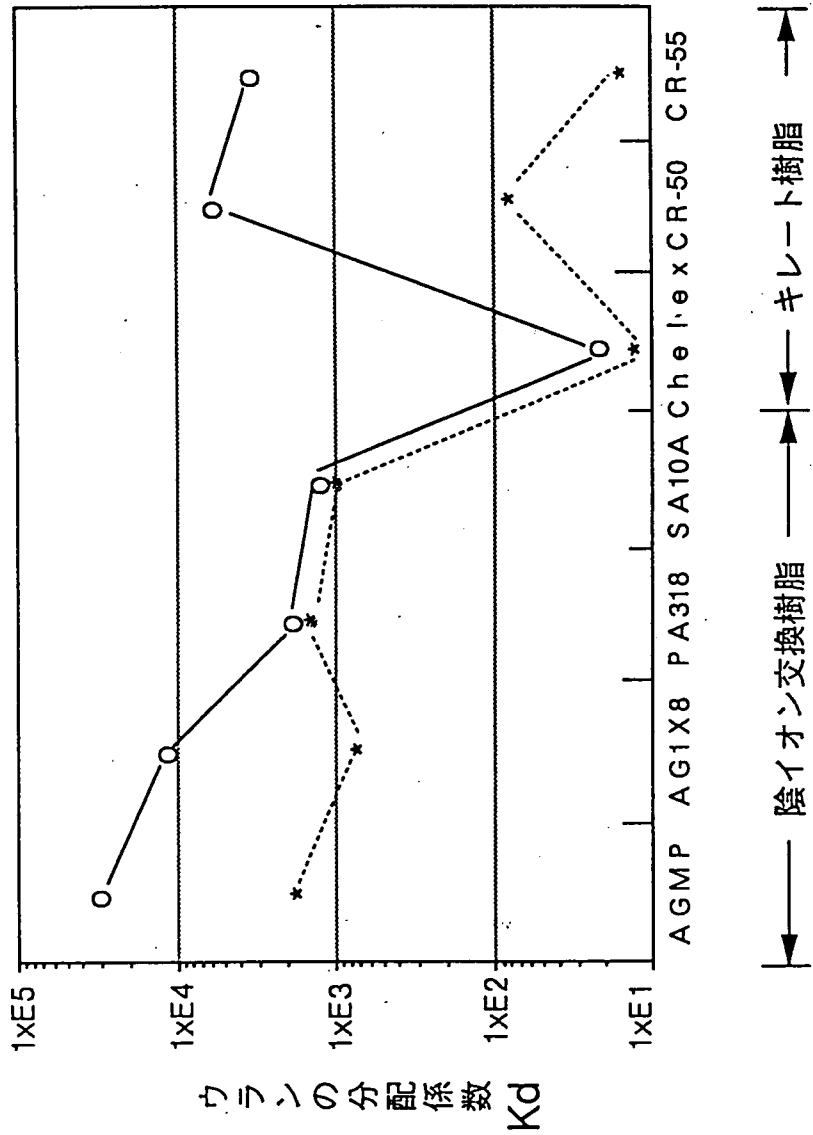
- (1) S. N. Dawis et al, Dating Groundwater-A Short Review-ACS Symposium Series 176, American Chemical Society(1982), P. 187-222
- (2) E. M. Durrance, Radioactivity in Geology-Principles and Applications. Ellis Horwood Ltd, West Sussex, (1986), P. 98-142
- (3) K. Kigoshi, Alpha-recoil Thorium-234:Dissolution into Water and the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ Disequilibrium in Nature, Science, Vol. 173, P. 47-48.
- (4) J. K. Oswald et al., Uranium Disequilibrium in Groundwater as an Indicator of Anomalies, Int. J. Appl. Radiat. Isot. vol. 34, P. 283-308
- (5) (財)原子力安全研究協会, 廃棄物長期隔離に関する地球化学的研究(Ⅱ, 1989)19-42
- (6) M. Gascoyne, A Simple Method of Uranium Extraction from Carbonate Groundwater and It's Application to $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ Disequilibrium Studies. J. Geochem. Explo, vol. 14 (1981) 199-207
- (7) 望月常一ほか, 岩石中のウラン分析法, 地質調査所化学分析法, NO. 46, P1~7. 1970.
- (8) 河本薫明, ダム廃水からのウランの回収, 動燃技報, NO. 54 (1985) 90-96



図一1 自然水中の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比
(Osmond et al., 1983による)



図一2 東濃鉦山模式系統図



○ : pH=8.7
 * : pH=1.1 (硫酸酸性)

試験条件
 樹脂量=0.5g
 液量=500ml
 ウラン濃度=540μg/L
 バッチ法
 攪拌時間=1.0Hr.

$$Kd = \frac{U_{resin}}{U_{solution}} \times \frac{V_{solution}}{W_{resin}}$$

—○— 陰イオン交換樹脂 —*— キレート樹脂

図-3 各種の樹脂による調査坑内排水からのウラン分離試験結果

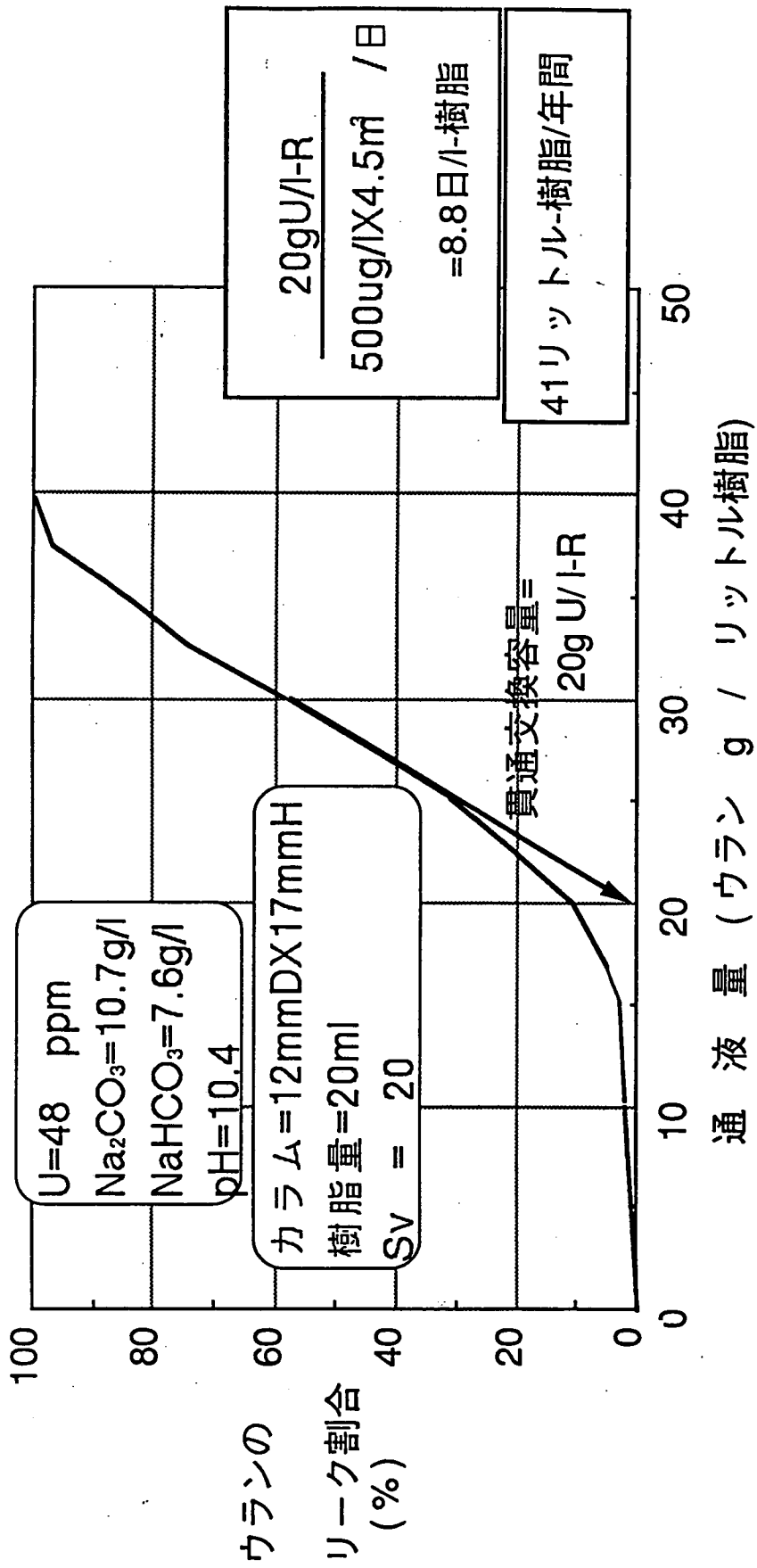
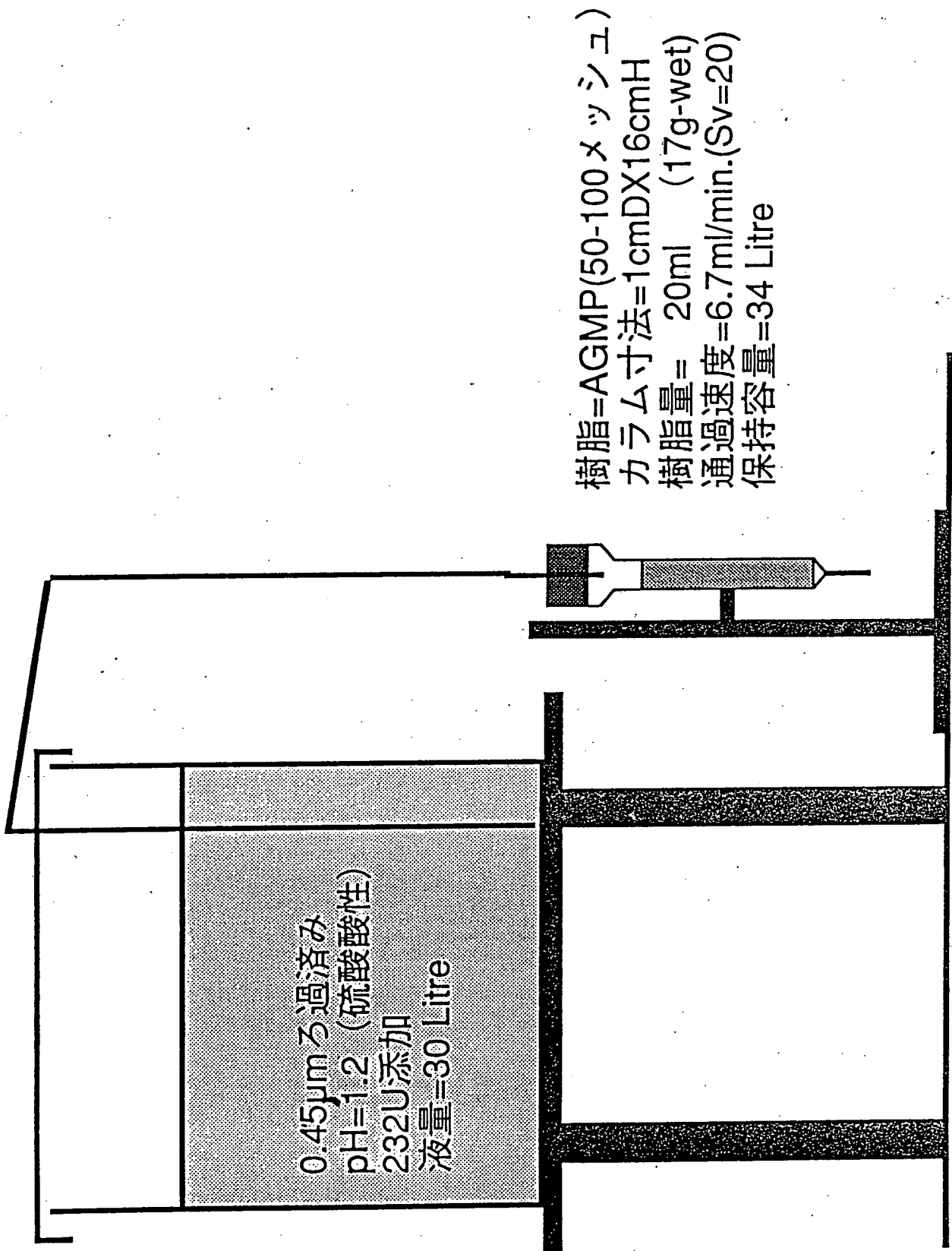


図-4 陰イオン交換樹脂PA-318の貫通交換容量



0.45 μ m 超過済み
 pH=1.2 (硫酸酸性)
 232U 添加
 液量=30 Litre

樹脂=AGMP(50-100メッシュ)
 カラム寸法=1cmDX16cmH
 樹脂量= 20ml (17g-wet)
 通過速度=6.7ml/min.(Sv=20)
 保持容量=34 Litre

図-5

カラム法による極微量ウランの分離濃縮方法

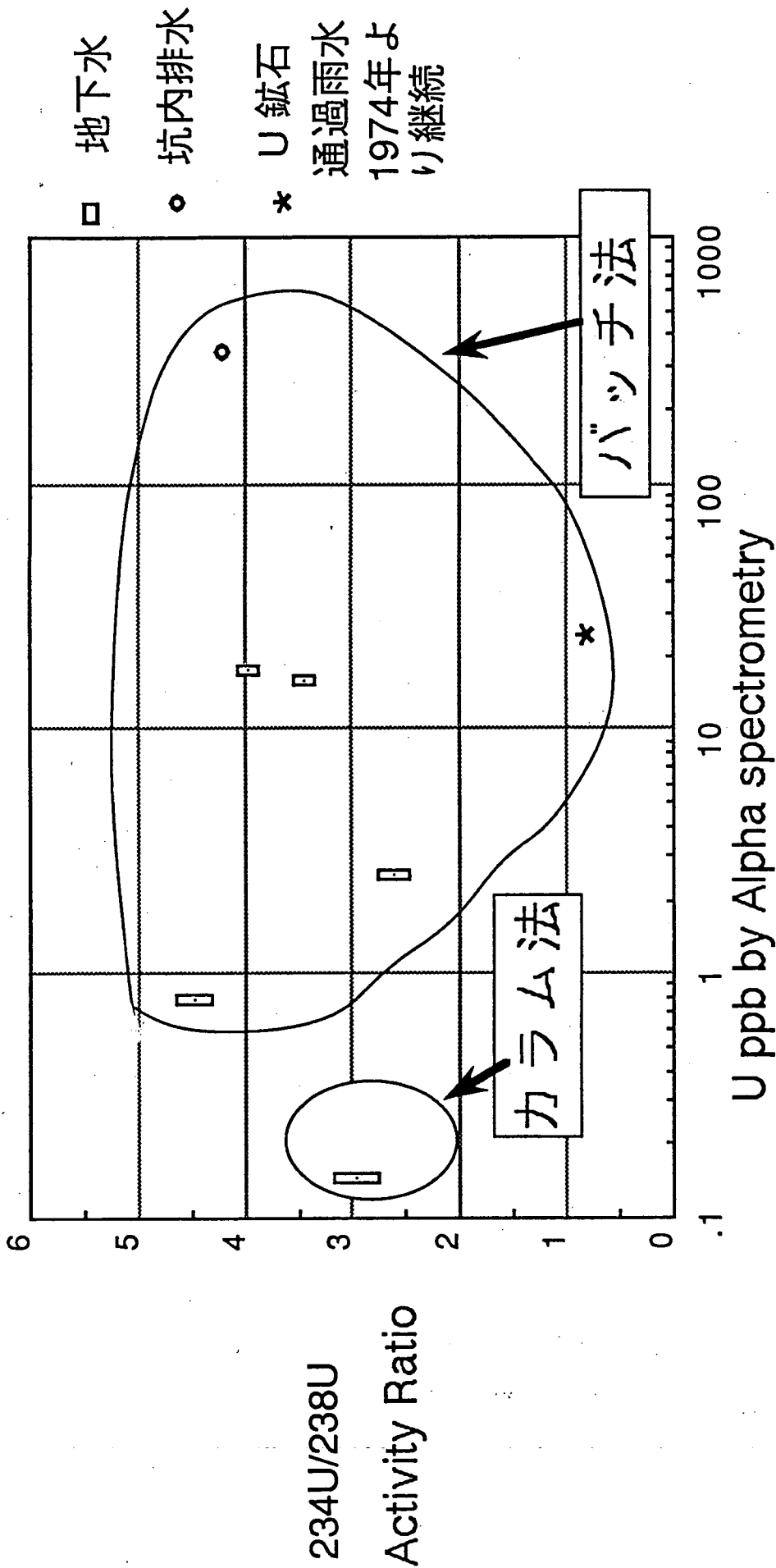
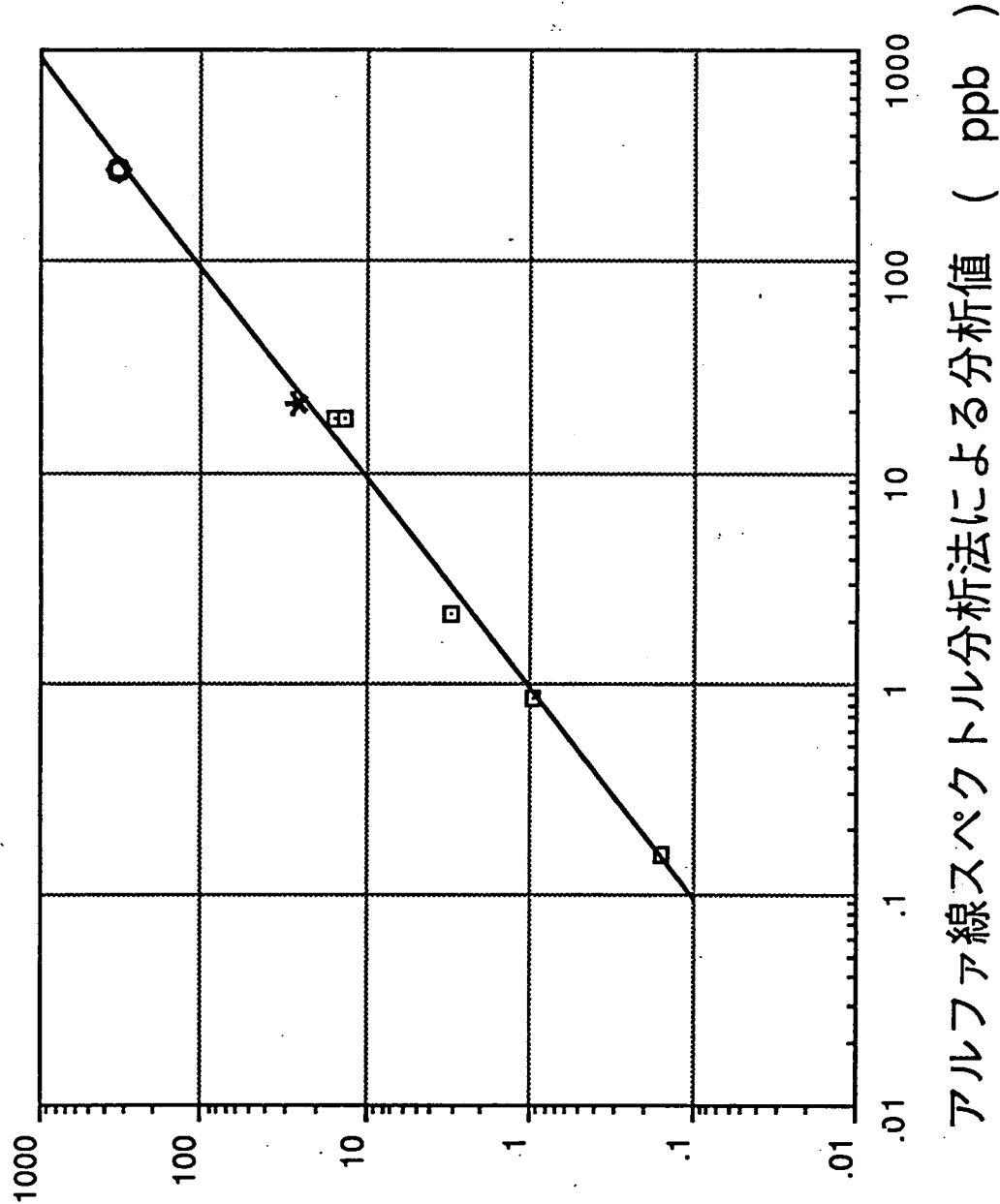


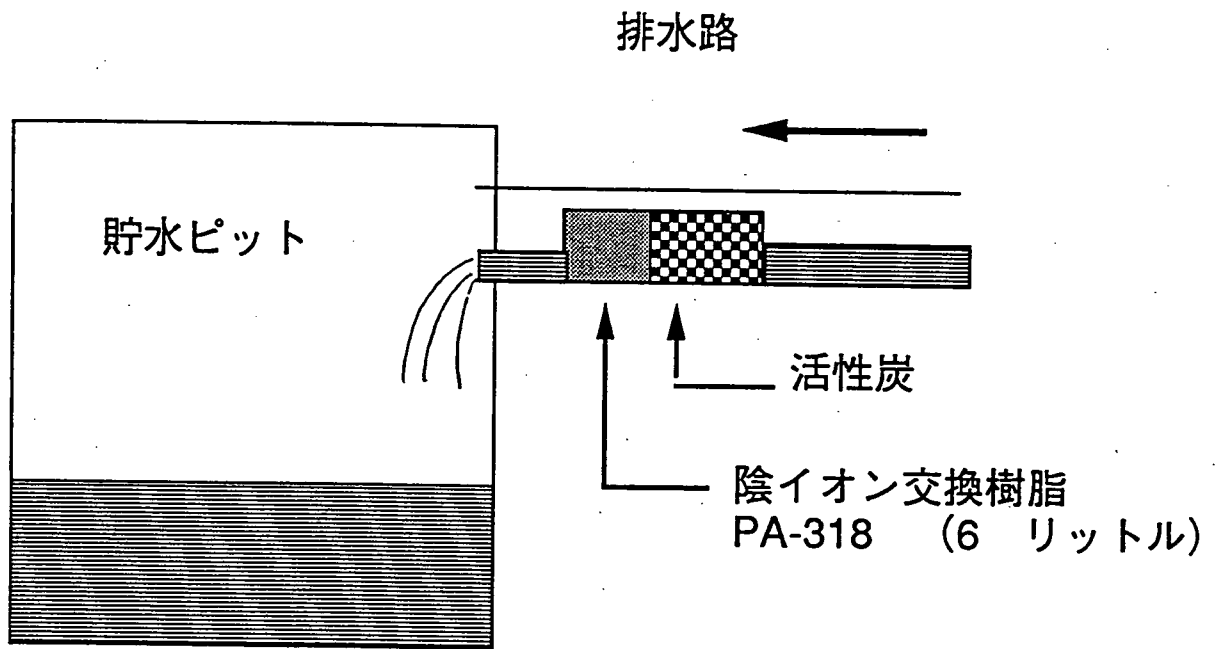
図-6 イオン交換樹脂濃縮-アルファスペクトル分析法による
東濃鉍山周辺地下水中の $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比とウラン濃度



固体蛍光法による
分析値 (ppb)

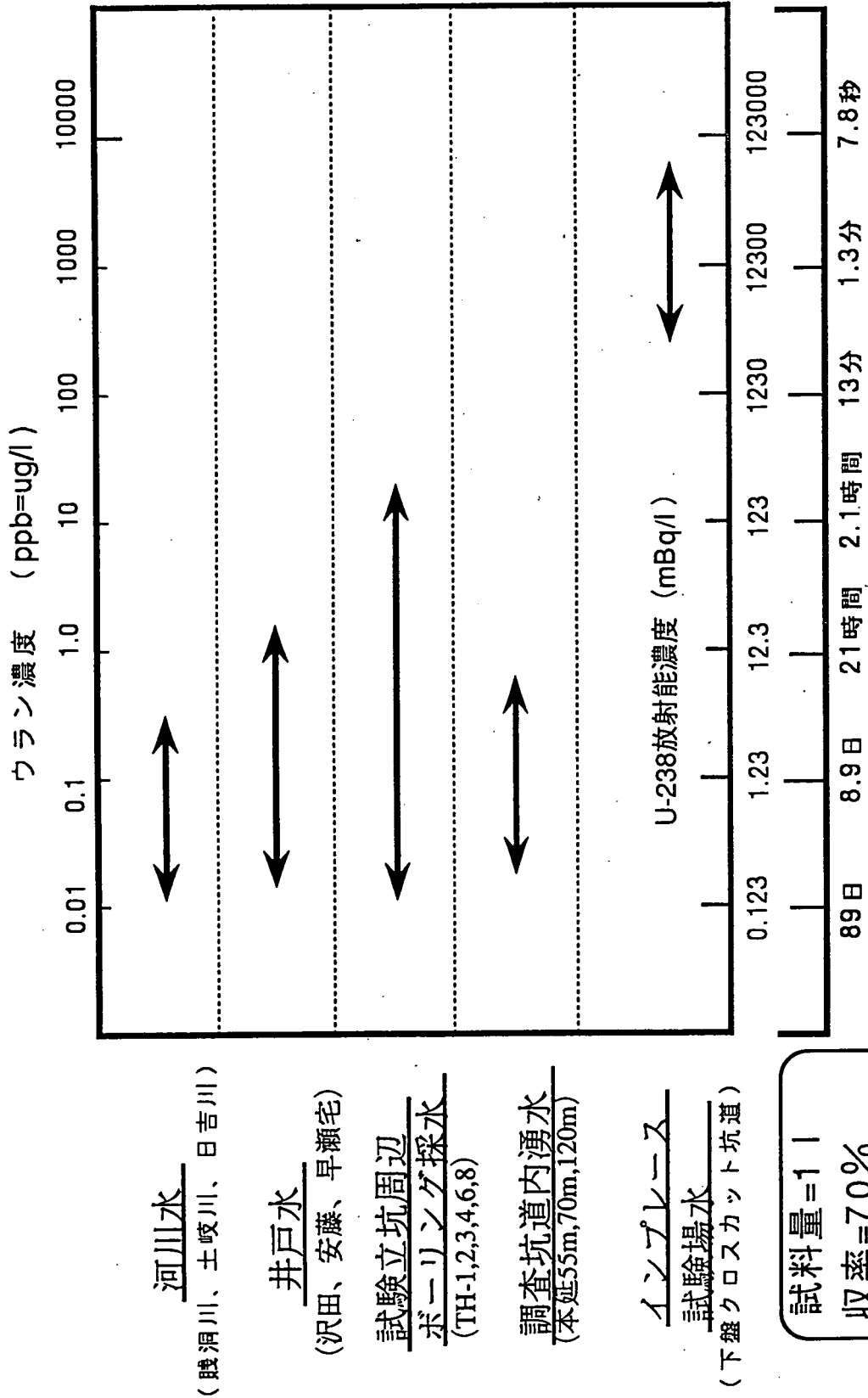
アルファ線スペクトル分析法による分析値 (ppb)

図一七 東濃鉍山周辺地下水などのウラン分析値比較



図一8 東濃鉾山インプレース試験場跡からの排水処理
現場試験模式図

表一1 東濃鉾山周辺自然水中のウラン濃度と計数必要時間



試料量=1 l
 収率=70%
 計数効率=30%

U-234/U-238比を10%の誤差で測定するのに必要な時間

表-2 水中のウラン分離法とその特徴

方法	長所	短所	適用例
水酸化鉄共沈法	簡便、 安価	少量処理	ASTM など多数
キレート樹脂法	選択性良	高価	海水中のU分離 人形峠排水処理
陰イオン交換 樹脂法	大量処理	選択性欠	自然水中のU分離 東濃鉱山排水処理 (中性領域)

表-3 試験に使用した樹脂

NO.	樹脂名 (メーカー)	種類	型式	一般用途	備考
1	AGMP (バイオラド)	強塩基性陰イオン 交換樹脂	マクロポーラス型	分析用	
2	AG1X8 (バイオラド)	強塩基性陰イオン 交換樹脂	ゲル型	分析用	
3	PA318(三菱化成)	強塩基性陰イオン 交換樹脂	マクロポーラス型	工業用	東濃鉱山で使用
4	SA10A(三菱化成)	強塩基性陰イオン 交換樹脂	ゲル型	工業用	
5	Chelex-100 (バイオラド)	キレート樹脂	ゲル型	分析用	
6	CR-50(三菱化成)	キレート樹脂	ポーラス型	工業用	人形峠で使用
7	CR-55(三菱化成)	キレート樹脂	ポーラス型	工業用	海水中のU回収 で使用

表-4 ウラン吸着分離試験に使用した試料水の化学分析値

項目	坑内原水	KNA-2 湧水	項目	坑内原水	KNA-2 湧水
COND(μ s/cm)	386	179	Na (ppm)	109	38
pH	8.6	8.6	K (ppm)	1.80	0.22
Eh (mv)	78	164	F ⁻ (ppm)	4.4	3.7
Si (ppm)	8.0	8.6	Cl ⁻ (ppm)	1.56	0.97
Ti (ppm)	<0.01	<0.01	NO ₃ ⁻ (ppm)	0.20	<0.02
Al (ppm)	0.06	<0.1	SO ₄ ²⁻ (ppm)	23.9	0.44
Fe ²⁺ (ppm)	<0.02	<0.02	CO ₃ ²⁻ (ppm)	8	7
Fe ³⁺ (ppm)	<0.02	<0.02	HCO ₃ ⁻ (ppm)	184	90
Mn (ppm)	<0.01	<0.01			
Mg (ppm)	0.08	0.05	U (ppb)	540	0.17
Ca (ppm)	3.5	3.5			

1. はじめに

地下水中の核種移行には溶存している無機イオンの化学種と濃度のほかに、フミン酸やフルボ酸のような有機物やコロイド状物質、電気化学的な状態などが重要な役割を果たすといわれている。^{1) 2)}

現在、中部事業所では地下水中に溶存している無機陽イオンは原子吸光分析法やICP発光分光法で、無機陰イオンはイオンクロマト分析法や滴定分析法により定量している。

地下水中には前記の無機物質以外に有機コロイドやフミン酸フルボ酸等有機物のほか微生物など種々の有機物が存在している。そしてこれらの有機物は地下の酸化還元環境を左右し、種々の核種と有機錯体を形成するため地層中での核種移行を研究する上で非常に重要である。しかし、これまでは地下水中の有機物分析装置の定量感度が100ppbであったため測定することが困難であった。

近年新型の有機体炭素分析装置が発表され地下水中の有機物を10ppbまで定量できるようになった。この分析装置は有機物の骨格である炭素を、熱分解もしくは酸化することにより炭酸ガスに変換し気化させ、二酸化炭素濃度の変化として非分散型赤外線ガス分析計で定量するものである。

この装置は全有機体炭素(TOC)のみならず無機体炭素(IC)や不揮発性有機炭素(NPOC)も分析することができる。更に、試料溶液注入システムはガス分析装置のため閉鎖系になっており、MP採水器やBAT採水器などによって採水した深部地下水を外気に接触することなく分析装置に直接注入できるなど、今までの分析手法には無い長所がある。通常の地下水分析では試料を採取してから測定するまでの間に試料容器の入替えを行うため、大気に触れて酸化したり、ガス成分が逸散して本来の地下環境とは異なる地下水に変質する可能性がある。しかし、新たに導入した全有機体炭素分析装置は大気に曝すことなく試料注入することができるので水質が変化せず質の高い分析が期待できる。

この他、TOCは排水での分析を義務づけられている化学的酸素消費量(COD)の代用にもなるほか³⁾、地下水の還元状態を知るための地化学探査分析項目としても有用性が高い。ただし、この装置は液体試料用に設計されているため、原理的に可能な岩石中の有機炭素分析には応用できない。

ここでは、平成2年度に技術開発課で新たに導入した全有機体分析装置の機器性能や特徴について、購入前のテスト分析結果と導入後の試料分析結果より得られた知見をもとにこの分析装置の有用性と期待できる効果について報告する。なお、この報文内で用いた分析専門用語のうち必要と思われる語句については説明を加え、TOC分析操作手順と共に参考資料として図表の前に配置した。

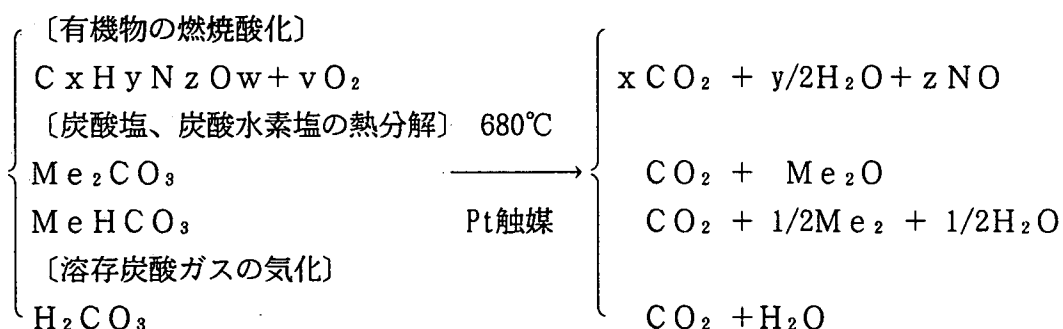
2. 測定原理

中部事業所で導入された全有機体炭素分析装置T0C-5000は、水溶液試料中の全炭素量（TC）、無機炭素量（IC）およびTCからICを減じた全有機体炭素（TOC）を自動的に処理・定量する分析装置である。図-1にT0C-5000分析装置の構成図を示す。

この装置は大きく分けて試料採水部、全炭素（TC）前処理部、無機炭素（IC）前処理部、検出部、演算処理部の5つの部分より構成されている。この装置では準備された水溶液試料を自動的に分取し、全炭素および無機炭素前処理部でそれぞれに対応した炭素化合物を二酸化炭素（CO₂）に変換させ、気体状のCO₂を非分散型赤外線吸収ガス分析計により検出し、炭素量に変換して定量するものである。装置の基本形態はキャリアガスに高純度空気を用いるガス分析装置の一種であり、流路の途中にTCやICの前処理部などや検出器等を配置している。

試料採水部では、ガスタイトシリンジを用いた任意の分取量設定が可能な自動サンプリング機能を備えており、採水チューブを試料水中に入れておくと一連の分析操作が終わるまで自動的に注入や測定をしてくれる。また、オートサンプラの増設も可能である。

全炭素（TC）前処理部では水溶液中の有機物や無機炭素などの全ての炭素化合物を、キャリアガス中で680℃に加熱されたTC炉の中に導入し、燃焼酸化もしくは熱分解させて二酸化炭素に変換している。TC炉の中では以下の様な化学反応が起きている。



注意：x～z～vはそれぞれ原子の係数。Meは陽イオンもしくは金属原子。

〔参考〕：上記のうち有機物の燃焼酸化は温度や酸素分圧が高いほど、また圧力が低いほど左辺から右辺へ移行し、炭酸塩および炭酸水素塩の熱分解は可逆的なため高温であるほど右側に進むなど、TC炉の反応条件は装置の特性を知るうえで非常に重要である。

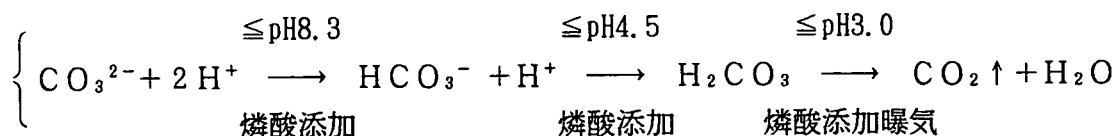
TC測定時の有機物酸化分解方法には前記燃焼法の他に、湿式酸化法、紫外線酸化法などがあり、酸化効率が優れているのは燃焼法で次に湿式酸化法、紫外線酸化法の順番である。ただし、通常JIS法などで使用されているフタル酸水素カリウムやn-プロパノールなどの標準試薬はどの方法でも完全に酸化することができる。

次頁に続く。

無機炭素（IC）前処理部では、キャリアガスで曝気したIC反応容器中の磷酸溶液に試料液を注入し、炭酸塩等の酸分解で生じる二酸化炭素ガスを水溶液から分離している。

図-2に25℃での各pHの水溶液に対するそれぞれ全炭酸（ H_2CO_3 ）、炭酸水素イオン（ HCO_3^- ）、炭酸イオン（ CO_3^{2-} ）のモル濃度による存在量を示す。

IC前処理部では酸性溶液中（pH3以下）に存在する炭酸（ H_2CO_3 ）を曝気すると二酸化炭素（ CO_2 ）として気化する以下のような化学反応を利用している。



TCおよびIC前処理部で発生した水蒸気を含む CO_2 は、電子クーラーで除湿され一定湿度に調整後、TC炉で生じた腐食性のハロゲンガスをスクラバーで吸収する。

CO_2 以外の SO_x や NO_x などの燃焼ガスはIC反応液等に吸収されてしまう。その後フィルターを通り、非分散型赤外線ガス分析計（NDIR検出器）によりキャリアガス中の二酸化炭素ガス濃度として測定される。NDIRは熱源からの光をスプリッターで二分して同じ光路長のセルに導き、参照側と試料側セルの赤外線吸収の差から二酸化炭素ガス濃度に比例した電気信号を発生させている。またこの検出器は受光部に CO_2 が封入されているため検出器自体に選択性を持ち、妨害成分が少ない。

この電気信号をアンプで増幅し時間毎にプロットして、演算処理部で変曲点の検出と面積計算をさせてから二酸化炭素量に変換している。赤外線吸収強度は CO_2 濃度に比例し、面積は CO_2 量に比例する。実際の赤外線吸収量はLambert-Beerの法則の成立条件を超えて測定しているため高濃度になると感度が落ちてしまい吸収量と面積の直線関係が成り立たなくなる。これを電氣的に補正し2次回帰により CO_2 濃度に変換している。 CO_2 濃度と炭素量の関係は標準試料の測定によって行う。これらの測定の根本は CO_2 濃度であるためキャリアガス流量変動や温度変化、圧力変化などが誤差要因になってしまう。

〔参考〕：IC測定法は酸性溶液中で曝気する以外に良い方法が無く、加える酸の種類や測定フローが異なる程度の確立された分析手法である。試料溶液の酸性化に磷酸を用いているのは腐食性が少ないため分析装置（検出器）の劣化を防止できるからである。

二酸化炭素の検出方法には、赤外線吸収を利用するもの、熱伝導度の差を利用するものまたはガスクロなどのガス分析装置を利用するものなどの種類がある。これらの中でNDIRが一番簡便な検出方法であり安価に製造できる長所がある。図-3に地下水中に存在すると思われる有機物の概念図を示す。これらの有機物は大部分が安定な炭化水素であるため、官能基が少なく溶液のまま直接検出することは難しい。一部の有機物は共存する官能基の性質を利用して液体クロマトや電気泳動などで分離定量する方法もあるが、全ての有機物には適用できない。TOC分析はこの有機物自体を燃焼させガス体として定量するもので現状の分析手法の中では安価でかつ一番感度が良い。そのほか困難であるが有機物を高精度に分離濃縮できれば、ガスクロマト質量分析法によって高感度定性・定量分析を行ない大まかな構造式を決定するなど未知有機物の理論的解析ができる可能性がある。

3. 実施内容

3-1 概要

TOC分析装置の製造メーカーのうちカタログデータおよび現在の市場動向を総合的に判断し、最新機種である島津製作所製TOC-5000のテスト分析を行った。

テスト分析は担当者が島津製作所・京都分析センターに出張し、分析用デモ機を使用して行った。試料は中部分析Grで使用している蒸留イオン交換水（以下、純水と略する）および中部周辺の代表的な地下水と、海水に近い幌延の地下水を実際に分析してみた。

分析項目はTC、IC、TOC、NPOCの4種類について行いTOC-5000の測定モードをすべて網羅した。また、芳香のある幌延の地下水は旧機種TOC-500でのVOC測定機能を利用して150℃で揮発する有機物を定量した。

テスト分析結果では、清浄な地下水中にはIC成分が大部分でTC、IC共に約5~20ppmだったほか、純粋な有機体炭素（NPOC）として0.7~2.0ppm含有していた。しかし、純水中にもTCとして0.13ppm、ICは0.05ppm(TOC=0.08ppm)、NPOCとして0.02ppm存在しており試料含有量に比較してバックグラウンドが大きすぎることが判明した。

（通常、バックグラウンドの存在量は試料含有量の1/10以下であることが望ましい。）

導入後は、地下水の採水に合わせて1日8~15件程度ずつのTOC分析を行った。

今回の採水では掘削水にレスター（グア種子胚乳の粘稠成分、多糖類主成分）を加えたAN-1試錐孔の深部地下水で有機物が特異的に多く検出された。この地下水ではTOC（有機物）およびICともに高濃度でありヨーグルトのような腐敗臭からも嫌気性微生物の生息が示唆された。

その他の試料分析結果から、河川水にはIC値(0.8ppm)よりもTOC値(1.6ppm)が多く、地表の生物圏の影響を受けていることが示唆された。地下水ではIC測定値と炭酸滴定値が良い相関を示すとともにIC値(14~80ppm)に比較してTOC値(0~2ppm)が少なくほとんどがICとして存在することがわかった。また、数ppm程度しかNPOCが存在しておらず採取環境および保存環境からの汚染が心配された。

3-2 テスト分析の実施

(1) TOC分析装置機種選定

表-1、2に島津製作所作成のTOC-5000と他社TOC計の比較表を示す。

TC酸化方法は、前記の通り湿式酸化と紫外線酸化、燃焼法の3種類に大別できるが、湿式酸化では対象物や酸化条件による効率に差があるほか反応時間が長いなどの問題があり、紫外線酸化ではフミン質や蛋白質等の高分子有機物の酸化が確実に行えないなどの障害がある。（TOC関連の略語説明も参照のこと）

上記の理由により地下水の様にフミン質などの高分子物質を含む可能性がある試料では燃焼法によるTC酸化方法が優れており、なかでもドーマン社の900℃の酸素気流中で燃焼させる方式が一番信頼性が高い。しかし、高温でのTC測定は燃焼管やヒーターの寿命が短くあまり経済的でないほか、バックグラウンドの上昇や配管からのガス漏れなどを生じ易く取扱が難しい。その中で島津採用の680℃空気燃焼は手頃な酸化手法であり、燃焼管

の寿命が2～3倍に延びているほか試料注入幅も大きくルーチン分析に適している。また、TOC-5000は旧型のTOC-500を除いて一番安価であり近年の販売実績も良く、半導体製造用超純水のTOC分析にも使用されておりコストパフォーマンスが良い。

測定面でも島津製TOC-5000は酸化触媒を2種類用意して低濃度測定も可能にするほか、内部触媒の汚染状況が確認できる石英ガラス燃焼管を使うなど保守や分析操作が簡単なように設計されていて初心者でも取扱い易いようにバランス良くまとめられている。

機能面では島津製TOC-5000だけが内蔵ガスタイトシリンジによる任意量の自動注入（8～2000 μ l間を1～3 μ l刻み）が可能であるほか、測定値の自動演算処理や測定ピークの表示など他社には無い優れた点が多い。比較表以外にも数社がTOC分析装置を製造しているが、高価であるためTOC-5000とは競合しない。

上記の理由により島津製作所の最新機種TOC-5000をTOCテスト分析の対象として選定するとともに、テスト分析による確認後、購入対象とした。

（2）テスト分析実施方法

分析用の試料は中部事業所で使用している純水と周辺の代表的な採取しやすい地下水や有機物を大量に含んでいるようなものを選んだ。これは中部のバックグラウンドを知るためと実際の試料を合わせてテスト分析するためである。

事前に大気となるべく接触しない様に地下水試料を採取し、共栓付き三角フラスコに移し入れバルカーテープとビニールテープで密封した後、京都・島津分析センターまで送付した。試料は遮光して冷蔵庫に保存するように依頼し、微生物等の繁殖の影響が無いように注意した。実際の分析は担当者が現地に出張し、依頼分析担当者から機器使用方法の教育を受けながらデモ機を用いて実施した。

テスト分析は平成2年11月22日に行い、分析センターで事前に調整したTCおよびICの検量線を利用して試料を定量した。標準溶液の希釈はセンターの純水製造装置から直接汲み取ったものを使用し、大気中の炭酸ガスからのIC汚染を防いだ。原則的にNPOC測定以外は試料の濾過や前処理は行わず、そのまま地下水試料を分析した。

以下に各試料の概要を記する。

(a) PW-1, PW-2は中部事業所・分析Grで使用しているヤマト製蒸留水製造装置WA-72によって製造した純水である。この純水製造装置は水道水を濾過して金属蒸留缶で蒸留した後、溶け出した金属イオンなどをイオン交換樹脂で除去している。PW-1はイオン交換後直ぐに分取し密封したもので、PW-2は同じ純水を1日ポリタンクに保存してから分取したものである。PW-2の方が実際の分析操作で使用されている純水に近い。

(b) GW-AN-7は明世ナチュラル・アナログ7号孔からBAT採水機により地下70mから採水した清浄な地下水である。SUS製採水ボトルを開封する際に微かにH₂Sの臭いがする。無色透明で浮遊物等の混入はない。

(c) GW-KNA-2は調査坑本延べ95m地点に掘削された坑内ナチュラル・アナログ2号孔から湧出している地下水を直接密封したもので、GW-AN-7よりも強いH₂S臭がある。湧水孔の内面には灰白色の付着物があり微生物等の活動が予想されるが、試料自体は無色透明で浮遊物等も無い。GW-KNA-2Naは同じ地下水に水酸化ナトリウム(NaOH)をpH10以上になるように添加し、溶存H₂SをHS⁻として保持させたものである。

(d) UDW-C-Aはウラン鉱床部の調査坑下盤坑道・クロスカットNo. Aの浸透水溜まり水

を採取したものである。この試料は坑木等の腐食が原因と予想される有機物系薄茶色の着色があるほか、微細な浮遊物があった。

(e) GW-H-533, 1865 は北海道・幌延の1000m試錐孔から採水した、ほぼ海水に近い高塩濃度地下水試料であり、茶色の着色と有機物系の甘い芳香がある。かなり明瞭な茶色の着色はCOD分析により消失するため、フミン質など有機物の存在が予想される。

(3) テスト分析結果

表-3にテスト分析結果を記す。また、テスト分析での分析例を図-4に記す。これらの分析結果から以下のような事実が判明した。

- ① PW-1, PW-2の純水については1日程度ポリタンクに保存しただけで大気中の炭酸ガスを吸収し測定に影響を及ぼす。また、分析センターの純水(TC 100, IC30ppb)に比較して中部の純水(minTC130, IC50ppb)の方が有機物を多く含有していた。
- ② GW-H-533, 1865 の様な海水に近い高塩濃度試料でも十分に測定が可能であること。
- ③ 芳香のある地下水試料GW-H-533, 1865 でも150°C以下で揮発する有機成分(炭素数が8個以下の化合物)が0.2~0.3%程度と少なかった。
- ④ GW-H-533, 1865 の試料では湿式手法のCOD測定値300ppmと比較してTOC測定値が160ppmと半分しか検出されなかった。
- ⑤ GW-AN-7, GW-KNA-2の様な普通の地下水ではIC(炭酸塩)が大半を占めTOCやNPOCは1/10以下であった。
- ⑥ ICより計算されたe. CO₂はpH滴定によるCO₃²⁻/HCO₃⁻分析値から計算したT・CO₂と良く一致していた。

(4) 考 察

- (1) ①、⑤から純水への炭酸ガスの溶解量が表-4の理論値よりも大きくバックグラウンドの影響が無視できない。また、ppmオーダーの分析ではTOCの測定誤差が大きく地下水の定量に問題があること。
- (2) ③、④より芳香のある有機物は通常低分子量のため沸点が低く高揮発性なのでVOCが多いと予想されたが実際には少なかった。これは人の嗅覚が我々の予想以上に高感度であることを再認識させるとともに、地下水採取者や分析担当者の感覚に頼った偏見だけでなく客観的な定量基準に順次置き換えて行く必要がある。
- (3) ④でのCOD値とTOC値(NPOC)が一致しないのは、試料中に塩素が多量に含まれているためCOD分析の際に硫酸銀で行う塩素のマスキングが不十分であったため、もしくはTC燃焼炉の酸化効率が悪いため、または試料保管中に微生物等により有機物が分解されたなどの可能性がある。通常、湿式酸化のCODは酸化効率が悪くTOCよりも低濃度になることが多いため、TC炉の酸化効率を高分子有機物などで確認する必要がある。

3-3 導入後分析結果

(1) 実施要領

試料地下水は採水時の1ℓポリプロピレン（以下P.P.と略記する）製丸瓶から分取し、通常の地下水分析のために0.45μmメンブレンフィルターで濾過後、小型P.P.製容器に保存していたものから分取して定量した。地下水はTOC分析前に20mlガラス試験管に分取し、自動測定機能を利用してTC測定とIC測定を連続的に行なった。また、一部の試料についてはNPOC測定も実施した。試験管には共栓付のものを用いて測定時以外は蓋をして空気中の浮遊物からの汚染を防いだ。TC燃焼炉には標準触媒を使用し、試料注入量は100μℓ以下で測定分析した。NPOCは事前に塩酸(1+1)を0.2ml加えてpH3以下の塩酸酸性に調整し、高純度空気ガスを15分間以上曝気した後、TCと同じ手法で測定した。

地下水試料の詳細については依頼者である環境地質課に確認のこと。

(2) 分析結果

導入後の分析結果を表-5、6に示す。

これらの分析結果から以下のような事実が明らかになった。

- ① 図-5に示すようにe. CO₃ (IC)とT・CO₃ (pH滴定)の間には良い相関があり、双方の分析値がともに正しいことを証明できた。相対的に見てIC測定の方が高濃度側に検出されている。また、AN-1号レスター掘削孔の試料では、e. CO₃とT・CO₃の差が他試料よりも大きく平均11%、最大30%もの誤差が生じた。
- ② TOCでは全試料数の約35%において理論的にあり得ないマイナス値を示しており、TC燃焼炉内でIC成分が完全に熱分解されていないことが予想された。地下水試料ではIC成分が多いため、TCからICを減じてTOC（有機体炭素量）を計算する方法は誤差が大きく、NPOCへの転換が必要である。
- ③ 各地下水試料のTCとIC、もしくはNPOC分析では連続測定しても1日に10~20件程度しか定量できず、自動化されているにも係わらず分析処理能力が余り大きくないことがわかった。また、分析値のデータ整理にも測定と同程度の時間が必要だった。
- ④ 掘削水にレスターを加えたAN-1試錐孔のアンビリカルホースシステム採水試料のうちH2環水441~463では地下水の採水日時の経過（地下水採水量に比例）と共にTC、IC濃度が上昇している。この地質層準では明らかに有機体炭素の増加が見られる。
- ⑤ そのほか図-6に示すようにNDIR検出器自体ではCO₂のピークが検出されているのにTOC-5000本体側で検出されないような現象に遭遇した。

4. 考察および今後の課題

- (1) ①での誤差はpH滴定とIC測定の実験日の違いによって地下水の平衡状態が変化したものと考えられる。AN-1号孔の試料ではIC測定の方がpH滴定よりも早く行われたためCO₂の気散量が少なく誤差が生じたと考えられる。今後は試料採取から分析するまでの経過時間なども考慮する必要がある。
- (2) ②はIC成分がTC炉内で完全に熱分解できないため、TC測定値を低く検出して生じるものである。これは分析装置の特性に起因するため炉の温度や触媒を変更しなければ改善できない。そのため現状での最適条件に合わせて分析し、測定値が不完全であることを理解したうえで利用する必要がある。以上のことより地下水試料の有機物分析を行なう際は、TC測定結果の精度が悪いためIC測定と塩酸添加曝気処理によるNPOC測定の2種類のみを定量すれば良いことが判明した。
- (3) ③についてはイオンクロマトやガスクロと同様にクロマト分析に共通の問題点であり、1件当たりの分析時間が大きくなるのは止むを得ない。試料をある程度溜めてから分析するなどの工夫が必要である。今後、地下水試料の全数分析を行うならば分析担当者の増員もしくはオートサンプラー等の導入が不可欠である。特に新しい分析者に操作方法を教育する際は、両者を対象分析機器に専属させて継続的に訓練を行なう必要性を痛感した。
- (4) ④のAN-1号孔では孔壁周辺に存在する嫌気性微生物の影響により汚染した地下水が徐々に浸出してくるため有機物濃度が上昇していると予想される。今後は分析時だけでなく採水時や掘削時にも充分留意して地下水分析を行なう必要がある。
- (5) 図-6の現象は試料注入量が多いときおよびベースラインが不安定なときに生じやすい。原因はTOC-5000本体内のROMに書き込まれた演算処理プログラムがこれらに対応していないために生じている。これはこの装置自体が地下水用に設計されていないことや装置寿命を延ばすため注入試料量が少なくなる場合を基本に設計されているためである。

上記のほかTOC分析装置は気体状の炭酸ガスを赤外線により検出しているため、大気中に存在する炭酸ガス(CO₂ = 約350ppm)に少なからず影響されることが判明した。これらは特に通常触媒のTC(NPOC)測定を妨害し、バックグラウンドの上昇および定量精度の低下、さらには未検出ピークの増加等の悪影響を及ぼす。これらは、分析装置を長時間定常的に運転していると少しずつ改善して行くが、数ppmオーダーの有機体炭素を定量するためには最低1日以上予備加熱が必要であることがわかった。

試料分析結果によると、河川水では無機体炭素(IC)と全有機体炭素(TOC)がほぼ等しく全炭素(TC)として1ppm~10ppm程度含まれていた他、清浄な地下水では無機体炭素(IC)が平均20ppm(14~80ppm)、全有機体炭素(TOC)が平均1ppm(0~2ppm)含まれており大部分がICとして存在していた。また、地下水では採取地質層準により含有するNPOC量に違いがある可能性が示唆された。

そのほか地下水中のNPOC量が少ないことから周辺環境からの汚染が懸念された。特に採水時のポリプロピレン製ボトルや土壌、人体などからの汚染が考えられ、実際の地下水試料採水時に十分な確認試験を行なう必要がある。

今後はこの装置を使い様々な性状の地下水についてNPOCやIC測定を行い、再現性やバックグラウンドレベルの安定性に関するデータを蓄積すると共に、他の分析手法によって測定されたCOD濃度や炭酸濃度との相関性を確認して行きたい。

5. 参考文献

- 1) F. J. Stevenson, Humus Chemistry,
A Wiley-Interscience Publication
- 2) P. Vilks, D. J. Drow,
The Effect of Colloids on Actinido
Migration (1986) 2nd Int. Conf.
Radioactive Waste Management
- 3) 半谷 高久, 小倉 紀雄, 水質調査法 (1985), 丸善

参考資料1. 語句の説明

(1) TOC関連の略語説明

TC (Total Carbon) :

全炭素。有機および無機炭素を合わせた全ての炭素化合物中の炭素量

TOC (Total Organic Carbon) : 全有機体炭素、有機体炭素。

JIS-K-0102(1986)「工場排水試験法」の定義によると「水中に存在する有機物炭素を云う。この定量には燃焼-赤外線分析法を適用する」となっている。水中の水質汚濁の指標としてかなり古くから重要視されていた成分

IC (Inorganic Carbon) :

無機体炭素、実質は炭酸体炭素。溶存炭酸 (CO_2) および炭酸塩 (Me_2CO_3)、炭酸水素塩 (MeHCO_3) とそのイオンの中に含まれる炭素。普通は酸を加え pH 3 以下の液性にしてから曝気して生じる二酸化炭素から求める。

TIC (Total Inorganic Carbon) :

全無機体炭素。無機化合物として定義された炭素化合物の総量。上記 IC の他に定義した CN などの無機炭素化合物を含めた炭素量。

以下、水中での存在形態により分類した TOC の呼称

[曝気時揮発性]

POC (Purgeable Organic Carbon) : 揮発性有機体炭素

NPOC (None-Purgeable Organic Carbon) : 不揮発性有機体炭素、酸を加えて曝気し、生じた二酸化炭素量から求める。

[蒸気温度揮発性]

TOC — VOC (Volatile organic Carbon) : 揮発性有機体炭素

— NVOOC (Non-Volatile organic Carbon) : 不揮発性有機体炭素

[溶解・非溶解性]

DOC (Dissolved Organic Carbon) : 溶解性有機体炭素

POC (Particulate Organic Carbon) : 粒子状有機体炭素

[参考] : 島津製作所製 TOC-5000 全有機体炭素計では、上記 TOC 関連のうち 680°C 空気燃焼酸化させて CO_2 を生じるものを TC として、リン酸曝気酸化して CO_2 を生じるものを IC として、また、試料液を事前に酸性曝気した後 TC 測定するものを NPOC として表現している。このほか、TC から IC を減じたものを TOC と呼んでいる。これらは語句の定義からみると微妙に異なっているが測定手法から規定した表現である。標準試料測定では定義と良く一致しているが、実試料では小さな誤差が生じることがある。なお、旧機種 TOC-500 では 150°C で揮発する有機物を VOC と呼んでいる。

(2) 有機化合物と無機化合物

化合物を分類するのに有機と無機化合物に大別できる。有機化合物の定義は歴史的な変遷があり、現在は大体炭素化合物と同義語のように慣用されている。通常、有機化合物の定義を先に決める。生物関係の炭素化合物を有機として分類することが多い。

有機化合物（炭素化合物）：

化合物の骨格が炭素原子であるもの、またはC-H結合を含むものを云う。ただし、一酸化炭素（CO）および二酸化炭素（CO₂）、炭酸（CO₃）とその塩類などを除き、シュウ酸{(COOH)₂}や酢酸(CH₃COOH)を含む。二硫化炭素(CS₂)、四塩化炭素(CCl₄)、ホスゲン(CClO₂)、シアン(CN)などは有機と無機の間接的な化合物である。有機化合物の大部分はC、Hを主成分としておりO、N、S、Pやハロゲンなどを含むものも多く、無機化合物に較べて種類が極めて多いほか構造的な差異が大きいのが特徴である。このため、有機物を酸素や空气中で燃焼させ、生じた炭酸ガスや水などのガスを分析する手法は古くから有機化合物の定性および定量方法に利用されてきた。(TOCも原理的にはこれと同じ有機物燃焼法によるガス分析の一種である。)

無機化合物：

有機化合物以外の化合物。通常、炭素原子が1個までの比較的簡単な炭素化合物までを無機化合物に分類することが多い。ただし、有機酸の塩類や有機化合物を配位子とする金属錯塩などは無機化学の研究対象であり、有機、無機の区別は便宜的なものである。

(以上、化学大辞典より抜粋。)

(3) 分析関係の略語説明

炭酸ガス(Carbonic acid gas)と二酸化炭素(Carbon dioxide)：

化学形はどちらも同じCO₂〔気体、gas〕を意味する。炭酸ガスは二酸化炭素の慣用名。この報文ではTOC-5000分析装置で処理する前のCO₂を炭酸ガスと呼び、処理後は二酸化炭素の表現で統一した。炭酸ガスには自然界の大気中に含まれるもの(約350ppm)や水溶液中に溶存するものなどのバックグラウンドが少なからず存在する。また、周辺大気中のCO₂は人や動植物、自動車などの存在により少しだけ増減する。これらの存在はTOC測定において分析値のマイナス側の変動要因として誤差の原因になる。

曝気(Airation)：

溶液中に気体を通気させて溶存しているガスを気液交換により放出または交換させること。語源は溶液中の気体を大気に曝すことよりきている。分析専門用語

AAS(Atomic Absorption Spectrometry)：

原子吸光分析。試料溶液を化学炎などの原子励起源に導入し、原子固有の励起光の吸収を利用して元素濃度を定量する分析手法。定量する元素は原子の状態である必要があり、発光分光とは裏表の関係にあたる。利用される励起源が比較的低温のためアルカリ金属やアルカリ土類の励起され易い元素の感度が高い。

ICP(Ion Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry)：

ICP発光分光分析、高温のプラズマ中に試料溶液を導入し励起される元素固有の励起光の発光強度により元素濃度を定量する分析手法。原子吸光に較べ励起源が高温のため重元素も高感度な反面バックグラウンドが高くなるので濃度差の大きい元素の定量が難しい。原子吸光と共に励起源への試料導入は噴霧器(ネブライザー)で行われている。

COD (Chemical Oxygen demand) :

化学的酸素消費量（もしくは化学的酸素要求量）、試料溶液中の有機物他の被酸化性物質の目安。一定温度（80or95℃）で消費する過マンガン酸カリウム（ KMnO_4 ＝酸化剤）の液量から求める。湿式酸化法の一つで水中の有機物汚染の指標。通常、燃焼法から求めるTOCよりも酸化効率が低い。また、 KMnO_4 自体は塩素を酸化するなど特異な酸化特性を持つ。

pH (Potential of Hydrogen) :

水素イオン強度。通常、ガラス膜水素イオン電極と参照電極の液間電位差により求められる溶液中の水素イオンの濃度を対数表示したもの。

Eh (Electrode potential of hydrogen)

(もしくは Oxidation-Reduction potential / redox potential) :

酸化還元電位、単位〔mV〕。試料溶液の電位を白金などの単極と参照電極間の電位差として表現した溶液中の酸化還元の目安。第一種酸化還元電極の示す単極電位。正確には標準水素電極に対する電位差を指すが、中部での表記は銀-塩化銀電極に対する電位差を表している（本来はORPと記すべきもの）。溶液によって対極が変わると表示電位が変化するものもあるので注意すること。

COND (Specific Electric Conductivity) :

比電気伝導度、単位〔 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 〕。1 cm^3 の形状をした物質の電気の流れ易さを表す量で、単位体積の電気抵抗の逆数から電導面積を割った数値。ECと略することも多い。

e. CO_3 (equivalent Carbonic Acid Conc.) : = IC \times 60.01 / 12.01

IC換算炭酸濃度。pH3.0以下の磷酸酸性溶液から曝気気化させた炭酸ガス濃度より算した溶液中の炭酸イオン濃度、単位〔ppm〕。IC測定は最大3分程度で終了する。TOC-5000およびpH滴定で求めた炭酸成分の比較をするため便宜的に用いた。一般的に使用されている略語ではない。

$\text{CO}_3^{2-} / \text{HCO}_3^-$ (Carbonic Acid Conc.) :

pH滴定炭酸イオン分析。pH滴定により求めた炭酸イオン（pH8.3）と重炭酸イオン（pH4.5）の濃度、単位〔ppm〕。通常、試料溶液 100mlをN/20- H_2SO_4 により30分程度かけてpH滴定する。

T · CO_3 (Total Carbonic Acid Conc.) :

$$\text{T} \cdot \text{CO}_3 = \text{CO}_3^{2-} \times 12.01/60.01 + \text{HCO}_3^- \times 12.01/60.02$$

pH滴定より求めた炭酸イオン濃度を、e. CO_3 と比較するために炭酸分子の形に換算したもの。T · CO_3 は炭酸をイオンの型で電気化学的に検出し、e. CO_3 はガス濃度として分析している。どちらも根本的には同じ炭酸の測定である。しかし、厳密に言えばドロマイトなど難解離性の炭酸塩浮遊物が多く存在すればIC側で検出できず、また、T · CO_3 でも検知が鈍るため誤差を生じる可能性がある。ただし、このような事象は稀であるため通常は数%以内の誤差で一致する。

参考資料 2. TOC分析手順

※ 表記方法について

- [] : [] 内に表示されたキーの入力を行う。
「 」 : 装置の液晶画面に表示されるメニューおよび表示
() : 内容の説明および分析上の注意事項

- (1) マニュアル通りに配管および触媒をTOC本体に取り付け、高純度空気ガスの元栓を開く。(週2~4日の使用で3~6ヶ月使用できる。高純度ガスは入手に時間を要するので必ず予備の7m³ボンベを購入しておくこと。)
- (2) TOC-5000の電源を入れ、装置液晶画面の左上RAMとROMのOKサインと、キャリアガス圧力が4~5kg/cm²、ガス流量が150ml/minであることを確認し必要により調整する。
- (3) [F1] キーを押してメインメニュー「MAIN MENU」に移ってから、[8] キーと[ENTER] キーを続けて押し「8 MAINTENANCE」(メンテナンス)に移る。「DATE & TIME」の前にカーソルが来ているので[ENTER] キーを押し「1991/04/01」と「08:35:00」の書式で日付と時間を入力する。
- (4) [F2] キーを押してメインメニュー「MAIN MENU」に戻り、[3] キーと[ENTER] キーを続けて押し、「3 GENERAL CONDITIONS」(ゼネラルコンディション)に移る。
- (5) 下から2つ目の「TC FURNACE ON/OFF」まで[↑] キーを2回押し移動してから、[2] と[ENTER] キーを続けて押しTC燃焼炉の電源を入れる。(約1時間で炉内温度が規定の680℃まで昇温するがベースライン「Baseline」を安定させるため最低1日以上ガスと電気炉の電源を付けたまま放置する。)

TC燃焼炉と同様に、液晶画面上で以下の設定を行う。

「3 GENERAL CONDITIONS」

- TC CATALYST(TC CAT) : 2 (1=NORMAL SENS 2=HIGH SENS)
SYRINGE SIZE, μ l(SYR SIZE) : 1 (1=250 2=500 3=1000 4=2500)
NUMBER OF WASHES : 5 (0-9 NORMAL 4)
UNIT OF CONC(UNIT) : 1 (1=ppm 2=ppb 3=mg/l 4= μ g/l 5=NO UNIT)
AUTO RANGING AND INJ VOL : 1 (1=ON 2=OFF)
AUTO REGENERATION OF IC SOLUTION : 1 (1=ON 2=OFF)
AUTO PRINTOUT : 2 (1=DATA ONLY 2=DATA & PEAK PLOT 3=OFF)
TC FURNACE ON/OFF : 1 (1=ON 2=OFF)
BUZZER : 1 (1=USED 2=NOT USED)」

- (6) マニュアルに従ってTC標準試薬のフタル酸カリウム {C₆H₄(COOK)(COOH): 2.125g/l} およびIC標準試薬の炭酸ナトリウム (Na₂CO₃: 4.41g) と炭酸水素ナトリウム (NaHCO₃: +3.50g/l) を純水1lに溶解して1000ppmの標準溶液を調整し、全量ピペットでそれぞれ100, 10, 1ppmに希釈する。このとき希釈に用いる純水はTCとして1ppm以下であること。また、TC標準液には塩酸(1+1)を1.0ml/100mlの割合で添加して曝気処理後、検量線測定を行うこと。
- (7) [F2] キーを押して「MAIN MENU」に戻り[1] キーと[ENTER] キーを押し「CALIBRATION CONDITIONS」を選んで検量線を作成する。検量線の測定は「NO OF INJECTS :

- 3]を通常3回、「MAX NO OF INJ : 5」最高5回で行う。まず、TCまたはIC測定かを〔1〕か〔2〕で選択し、高濃度側(1st STD CONC)から低濃度側(4th STD CONC)へ検量線濃度を設定する。100ppmは「Renge : ×30」で、10ppmは「Renge : ×5」で、1ppmは「Renge : ×1」でそれぞれ100 μ ℓずつ注入し測定する。(この装置は検量線測定の途中で注入ミスなどの失敗をすともう一度濃度設定からやり直す必要がある。)
- (8) すべての標準液を測定後、自動的に検量線が作成されるので0ppm標準液の面積が0以外の場合は右上の「SHIFT TO ORIGIN :」を〔1〕に設定し検量線から希釈した純水に含まれる有機物の影響を除く。(検量線から0ppm標準液の面積を減じる。)
- (9) 〔F 2〕キーを押して「MAIN MENU」に戻り〔3〕と〔ENTER〕キーを押して「8 MAINTENANCE」に移り、〔↓〕キーを5回押して「SPARGE GAS FLOW」を選択し〔ENTER〕キーを押してNPOC測定のための空気ガスによる曝気を行う。(「FLOW」と表示されて空気ガスが流れ始める。)
- (10) 〔F 2〕キーを押して「MAIN MENU」に戻り〔2〕と〔ENTER〕キーを押して「SAMPLE MEASUREMENT/CONDITIONS」に移り、TCを除いたICとNPOCを測定する。
- (11) 標準溶液の測定により求めたIC検量線を低濃度から「1st CAL CURVE#」に設定し、高濃度の「3rd CAL CURVE#」まで設定する。NPOC用にはTC検量線を使用する。
- (12) 試料溶液を20mlガラス試験管2本に分取し、1本はIC測定用にそのまま利用し、残りのNPOC測定用試験管には試料20mlにつき塩酸(1+1)0.2mlを加える。必要ならば濾過を行うなどの前処理を実施しDOCやPOCとして測定する。
- (13) 塩酸未添加のIC用サンプルをセットし〔NEXT〕キーと〔START〕を押し自動測定する。IC測定をしている間に、塩酸添加したNPOC用試験管に曝気用チューブを入れて溶液中の炭酸ガスを除去しておくが良い。(除去効率を上げるためになるべく底部から曝気させる。)
- (14) IC測定終了後、サンプルのピークと面積を確認し異常がなければ次のNPOC測定に移る。異常があった場合は続けて〔START/STOP〕を押すともう一度だけ測定を繰り返すので必要なだけ再測定を行う。
- (15) 事前に10分間以上曝気して炭酸ガスを除去した試料をセットしICと同様にNPOC測定を行う。特に低濃度側のNPOC測定は1回目に注入したピーク面積だけが大きくなる傾向が強いので注意すること。
- (16) 測定中にピーク面積が少しずつ減少してきたら、TC触媒中にアルカリ過酸化物や不燃性の残渣が蓄積していることが多いので、試料測定後〔F 2〕キーで「MAIN MENU」に戻り「8 MAINTENANCE」画面の「REGENERATION OF TC CATALYST」を〔↓〕キーで選択し、2N-HClによりTC触媒を再生する。この症状はTC炉内にIC量として1000 μ g以上蓄積している場合に生じ易い。
- (17) 「SAMPLE MEASUREMENT/CONDITIONS」画面で試料溶液の測定が終了したら平均的な標準溶液と純水を2回ずつ定量し、検量線の再確認と配管系の洗浄を行う。
- (18) その後「MAIN MENU」に戻り〔7〕と〔ENTER〕キーを押して装置停止用の画面「STANDBY OPTIONS」に移って〔F 1〕(STANBY)キーを押すと30分後にTC燃焼炉を放冷後ブザーが鳴るのでそれから電源をOFFにして高純度空気ガスの元栓を閉める。(急いでいるときは、試料測定後純水を注入しガスの元栓を締め電源を切るだけでも良い。)

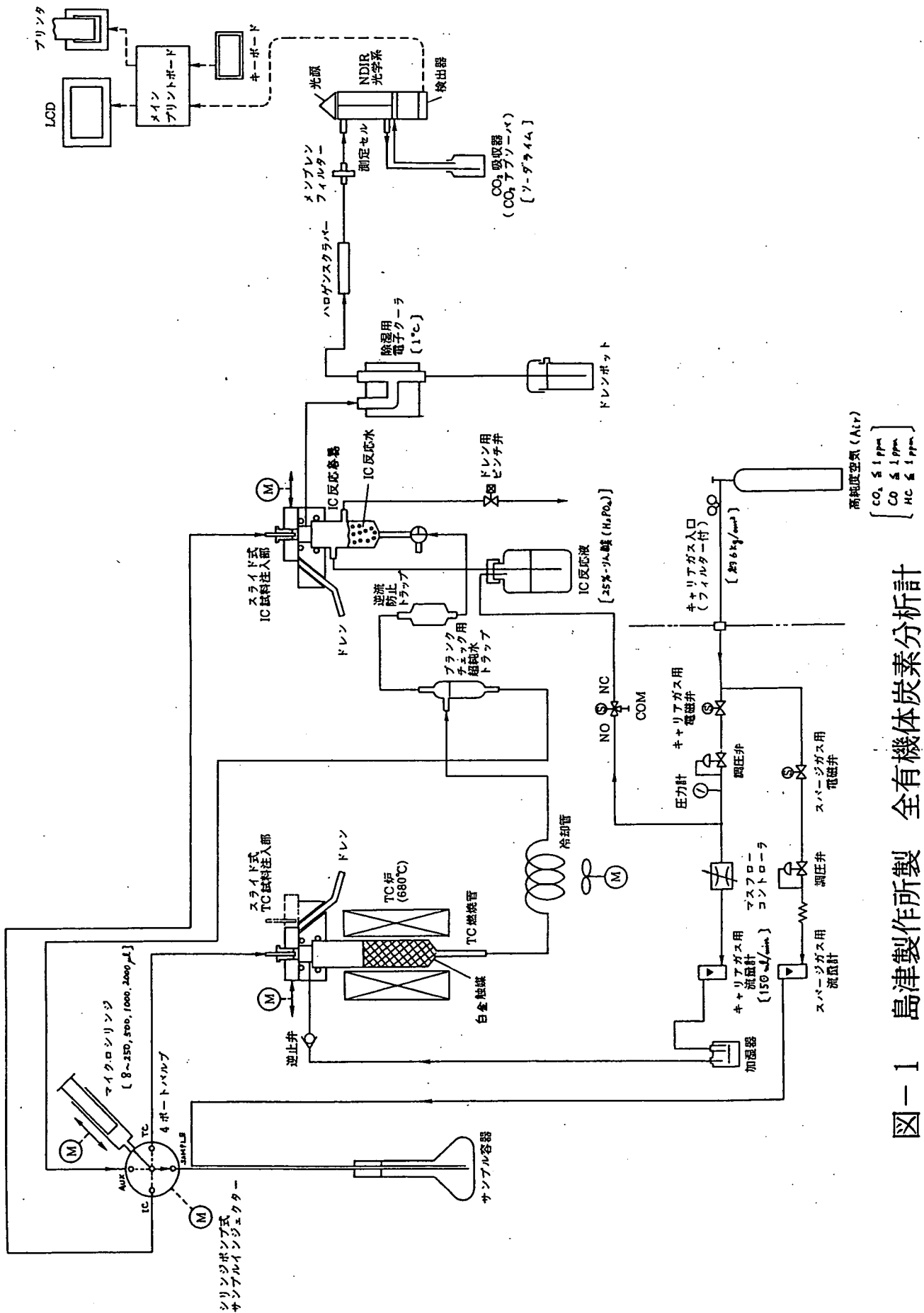


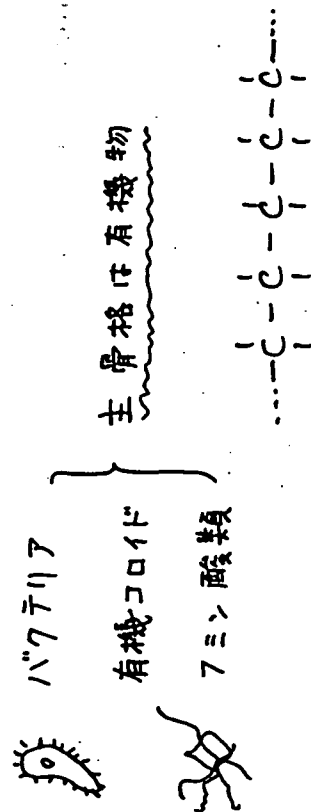
図-1 島津製作所製 全有機体炭素分析計

TOC-5000 構成図

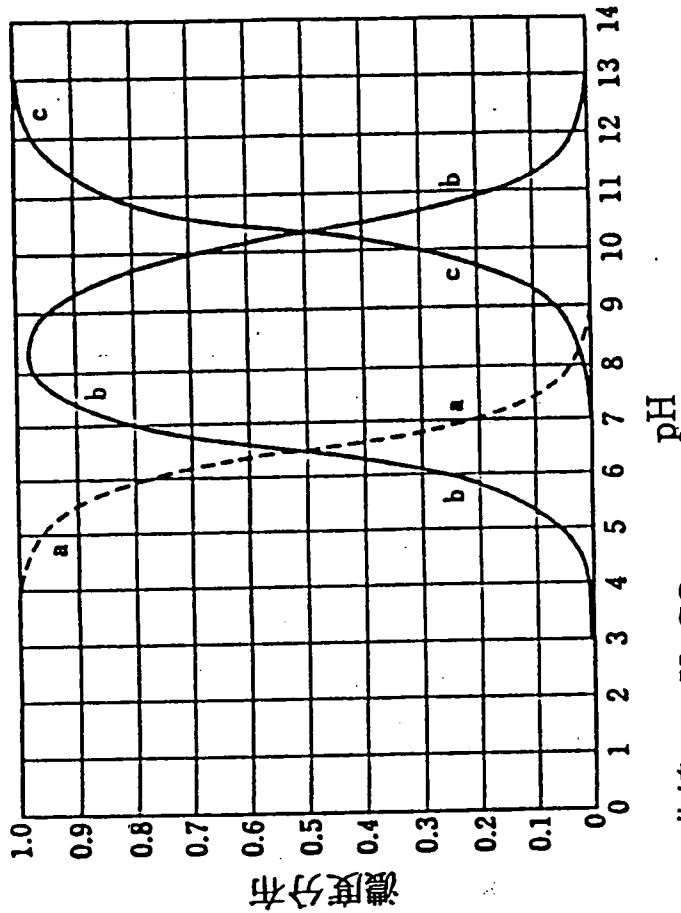
表-4 大気と平衡にある蒸留水に含まれるCO₂濃度

大気中のCO ₂ (vol%)*	温度(°C)	0	5	10	15	20	25	30
0.030		1.00	0.83	0.79	0.59	0.51	0.44	0.38
地上大気 0.033		1.10	0.91	0.76	0.65	0.56	0.48	0.42
0.044		1.47	1.22	1.02	0.87	0.74	0.64	0.56

図-3 地下水中の有機化合物概念図



C = 炭素量に比例している。



曲線 a : H₂CO₃
 曲線 b : HCO₃⁻
 曲線 c : CO₃²⁻

図-2 pHに対する炭酸の溶解形態 (25°C).

試料の pH (25°C) における全炭酸に対する炭酸、炭酸水素イオン及び炭酸イオンそれぞれのモル比を示す。

表-1 島津TOC-5000と他社燃焼式TOC計の比較

メーカー名	島津製作所		備考	
	TOC-5000形	DC-90	TOCAMASTER	
測定成分	TC, IC, TOC(TC-IC) NPOC*	TC, IC, TOC(TC-IC)	TC, IC, TOC(TC-IC)	* NPOC (酸性過酸化処理により測定したTOC) TOC-5000はNPOCも自動測定できる
燃焼方式	680℃燃焼	900℃燃焼	950℃燃焼	TOC-5000はヒータ寿命が他より2倍以上長い
燃焼管の材質	石英ガラス(低温燃焼のため寿命が長く、内部が見える。)	セラミックス(寿命は長い内部が見えない)	石英ガラス(高温燃焼のため寿命が短い。内部が見える。)	寿命の差は特に塩分含有試料で差が出る内部が見えないと取り扱いがしにくい。
キャリアガス等のユーティリティ	高純度空気 150ml/min	純酸素 200ml/min 超純水 4ℓ/日	高純度空気 300ml/min	DC-90は、キャリアガスと共に超純水もキャリア水として連続的に燃焼管に注入する。この超純水中のTOC分はマイナス誤差となる。
測定範囲	4ppb~4000ppm(自動注入)	100ppb~2500ppm(自動注入) または手動による 0.5ppm~10000ppm	40ppb~4000ppm(手動注入)	低濃度測定が出来るのは島津のみ、高濃度測定は希釈すればよく大きな差ではない。
測定時間	TC : 2~3分 IC : 2~3分	TC : 3~4分 IC : 3~4分	TC : 2~4分 IC : 2~4分	
繰り返し精度	±1%以内(2000ppm未満) ±2%以内(2000~4000ppm) 最高感度では±2ppb以内	±2%以内 最高感度では40ppb以内	±2%以内 最高感度では±20ppb以内	TOC-5000はよく使う濃度範囲(数ppm~数百ppm)での精度がよい また最高感度の精度にもすぐれている
サンプル注入方法と注入量可変方式	シリンジポンプによる自動注入・1種類のシリンジで広く注入量を変えられる。 3~250μℓ(250μℓシリンジ) 50~2000μℓ(2500μℓシリンジ)	ループサンプリングによる自動注入もしくはシリンジによる手動注入 自動注入の場合の注入量変更はループの交換による。	シリンジによる手動注入 シリンジの交換	シリンジによる手動注入は面倒であり測定値に個人差が出る。 ループサンプリングの注入量変更はループ交換のため面倒である。
IC測定方式	リン酸との常温反応(酸の補給が必要)	酸との常温反応(酸の補給が必要)	加熱りん酸との反応(硝酸イオンの妨害有)	
IC前処理	オートスパージ標準装備	マニュアルスパージ(オプション)	マニュアルスパージ(オプション)	
データ処理および各種機能	○ ・1~4点検出線による濃度演算 ・3本の検出線からの最適検出線の自動選択 ・最大18本の検出線ファイル ・異常値の自動削除と自動追加測定・再計算 ・SD/CV計算 ・最適分析条件の自動選択 ・レンジ・注入量の自動変更による再測定 ・メンテナンス/チェック機能 ・異常検出 ・再スタートのタイマー予約	○ ・1~2点検出線による濃度演算	○ ・多点検出線による濃度演算 最大10本の検出線ファイル	TOC-5000のみ種々の便利な機能をもっている。
ディスプレイ表示	大形液晶(バックライト付) 22行×88文字	LED 4桁	蛍光管電管 2行×22文字	TOC-5000のみピーク波が表示できる。
プリンター	内蔵形	別置形	別置形	
外形寸法(W)×(H)×(D)mm	480×480×500mm	分析部 480×640×660mm 電気部 330×600×660mm	775×622×610mm	設置面積が小さいので場所をとらない。
重さ(kg)	46kg	82kg	73kg	
所要電源	AC100V 50/60Hz 共用 5A	AC100V 50/60Hz 共用 19A	AC100V 50/60Hz 共用 20A	TOC-5000のみ15Aコンセントで使用できる。
価格(万円)	390万円	400万円	524万円	
総合評価	○ 1. 100ppb以下を実用的に使用できる。唯一の燃焼式TOCであり、最も良く使用される数ppm~数百ppmでの精度でもすぐれている。 2. 注入量の変換範囲が広く高精度なオートインジェクタやオートスパージ機能を有し、自動測定が可能である。 3. 大形液晶ディスプレイに豊富なAI機能を有し、操作性がバグンによる。 4. 省電力消費、小さな設置面積等、使用側立った設計である。	○ 1. 超純水分野をわらってのキャリア水使用の燃焼式はキャリア水中のTOC値が、そのままマイナス誤差となるという問題ををかかえている。 2. ループサンプリングによる自動注入は注入量変更が面倒で使いにくい。 3. 高温燃焼は特に塩分試料の測定が難しい。 4. データ処理や表示機能に劣る。 5. 大電力消費や大きな設置スペースはユーザー泣かせである。	○ 1. システムプランクが大きく、精度も悪い0~5ppm以下の測定は困難。 2. 高温燃焼は特に塩分試料の測定が難しい。 3. マニュアル注入、マニュアルスパージ(オプション)は測定に手間がかかる。 4. 大電力消費や大きな設置スペースはユーザー泣かせであり価格も高い。 5. データ処理や表示機能に劣る。	○ 超純水から海水まで、幅広く正確に測れるのはTOC-5000のみ!

表-2 島津TOC-5000と他社湿式TOC計の比較

メーカー名	島津製作所		備考	
	TOC-5000形	DC-180	700	
測定成分	TC, IC, TOC(TC-IC) NPOC	TC, IC, TOC(TC-IC) NPOC	TC, IC, TOC(TC-IC) NPOC	
酸化方式(酸化力比較)	燃焼式	UV-酸化剤併用式	酸化剤のみ	湿式は含窒素炭化水素や、粒子状有機物あるいは高塩分試料の酸化が不十分である。
測定範囲	4ppb~4000ppm(自動注入)	10ppb~2500ppm(自動注入) または手動による 0.5ppm~30000ppm	4ppb~250ppm(自動注入) または手動による 4ppb~10000ppm	再現性のよい自動注入方式では、一番範囲が広く、実用的である。 4000ppmを超える試料は少ない。 湿式は測定時間が長い。
測定時間	TC : 2~3分 IC : 2~3分	TC : 3~5分 IC : 3~5分	TC : 約6分 IC : 約3分	
繰り返し精度	±1%以内(2000ppm未満) ±2%以内(2000~4000ppm) 最高感度では±2ppb	±2%以内 最高感度では±5ppb	±2%以内 最高感度では±2ppb	TOC-5000は、よく使う濃度範囲(数ppm~数百ppm)での精度がよい
キャリアガス	高純度空気 150ml/min	純酸素 400ml/min	純窒素またはヘリウム 600ml/min	
サンプル注入法と注入量可変方式	シリンジポンプによる自動注入 3~250μℓ(250μℓシリンジ) 50~2000μℓ(2500μℓシリンジ)	ループサンプリングによる自動注入もしくはシリンジによる手動注入 自動注入の場合の注入量変更はループの交換による。	ループサンプリングによる自動注入もしくはシリンジによる手動注入 自動注入の場合の注入量変更はループの交換による。	シリンジによる手動注入は面倒であり、測定値に個人差が出る。 ループサンプリングの注入量変更はループ交換のため面倒である。
酸化剤	使用しない。	○ 多量の酸化剤を使用する。	多量の酸化剤を使用する。	酸化剤の寿命は短い。(約1週間)
IC反応剤	りん酸	りん酸	りん酸	
データ処理および各種機能	○ ・1~4点検出線による濃度演算 ・3本の検出線からの最適検出線の自動選択 ・最大18本の検出線ファイル ・異常値の自動削除と自動追加測定・再計算 ・SD/CV計算 ・最適分析条件の自動選択 ・レンジ・注入量の自動変更による再測定 ・メンテナンス/チェック機能 ・異常検出 ・再スタートのタイマー予約	○ 検出線ファイル有(本数不明)	○ ・1~2点検出線による濃度演算	TOC-5000のみ種々の便利な機能をもっている。
ディスプレイ表示	大形液晶(バックライト付) 22行×88文字	小形CRT 15行×30文字	超小形液晶(バックライト無) 1行のみ	TOC-5000のみピーク波が表示できる。
プリンター	内蔵形	別置形	別置形	
外形寸法(W)×(H)×(D)mm	480×480×500mm	分析部 480×480×500mm 電気部 380×480×710mm	610×570×550mm	TOC-5000は設置面積が小さいので場所をとらない。
重さ(kg)	46kg	88kg	91kg	
所要電源	AC100V 50/60Hz 共用 5A	AC100V 50/60Hz 共用 8A	AC100V 50/60Hz 共用 8A	
価格(万円)	390万円	425万円	730万円	
総合評価	○ 1. 強力な酸化力をもつ燃焼式のため、全てのサンプルを信頼性高く測定できる。 2. 酸化剤を使用せず、ガス消費量も少ないため、保守が容易である。 3. 注入量の変換範囲が広く高精度なオートインジェクタ、大形液晶ディスプレイや豊富なAI機能を有し操作性がバグンによる。 4. 設置スペースが小さい。	○ 1. 酸化不十分なTOC成分の問題があり高塩分試料の測定も難しい。 2. 酸化剤が必要であり、ガス消費量も多いため、保守が面倒である。 3. 小形CRTを有するが見にくく、データ処理機能なども劣る。 4. 設置スペースが大きい。	○ 1. 同左 2. 同左 3. データ処理機能、表示能力が劣る。 4. 設置スペースが大きい。	○ TOC-5000が最もコストパフォーマンスがよい

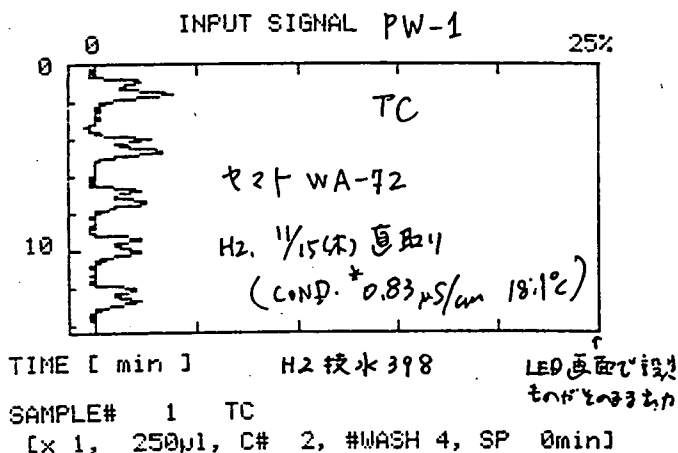
表-3 平成2年度TOCテスト分析結果(島津製作所製TOC-5000)

受付番号	整理番号	試料番号	採取場所	NPOC (ppm)	TOC (ppm)	TC (ppm)	IC (ppm)	e.CO3 (ppm)	T.CO3 (ppm)	e.CO3-T.CO3 (ppm)	VOC (ppm)
H2技水398	PW-1	-	直取り蒸留イオン交換水 11/15	-	0.08	0.13	0.05	0.26	<6	<6	-
H2技水399	PW-2	-	1日保存同上純水 11/9採水	-	0.09	0.44	0.34	1.75	<6	<6	-
H2技水400	GW-AN-7	環314,316	AN-7(G)-70m,91目,BAT-No8 11/9	1.99	0.76	7.9	7.1	36.1	0.0	36.1	-
H2技水401	GW-KNA-2	技376相当	本延95m,KNA-2湧水11/8	0.69	-0.74	18.1	18.9	96.0	3	93.0	-
H2技水402	GW-KNA-2Na	技376相当	同上+5M-NaOH 2ml(0.03M)	0.92	-1.5	19.0	20.5	104	3	101.2	-
H2技水403	UDW-C-A	技357,396	下盤クロスカットNo.A 11/9採水	6.7	2.6	148	145	737	0	737	-
H2技水404	GW-H-533	環278	幌延,-990m,5331目 9/22採水	159	164	429	265	1346	0	1346	0.9
H2技水405	GW-H-1865	環318	幌延,-990m,18651目 10/15採水	165	153	429	276	1402	0	1402.3	1.4

受付番号	整理番号	試料番号	備考	CO3 (ppm)	HCO3 (ppm)	COD (ppm)	水温 °C	pH (-)	Eh (mV)	COND (μS/cm)	Cl- (ppm)
H2技水398	PW-1	-	ヤマト製オースチルWA-72	<3	<3	-	20	6.4	-	0.83	<0.02
H2技水399	PW-2	-	金属蒸留缶+イオン交換樹脂	<3	<3	-	22	6.4	-	1.12	<0.02
H2技水400	GW-AN-7	環314,316	軽い硫化水素臭がする	5	28	-	18	9.4	55	406	5.0
H2技水401	GW-KNA-2	技376相当	硫化水素臭(H2S)がする	<3	100	-	18.3	8.8	-320	179	0.97
H2技水402	GW-KNA-2Na	技376相当	硫化水素保持の為NaOHを添加	<3	100	-	18.3	10.5	140	>20,000	0.97
H2技水403	UDW-C-A	技357,396	坑木からのフミン物質を含む	130	800	-	19.3	9.3	-75	1600	-
H2技水404	GW-H-533	環278	ほぼ海水と同一組成,技405と同じ	97	1340	306	-	8.4	26	44400	19400
H2技水405	GW-H-1865	環318	有機物による着色と芳香あり	50	1350	285	-	8.4	-135	44600	19500

PW-1 直取り蒸留イオン交換水(純水)

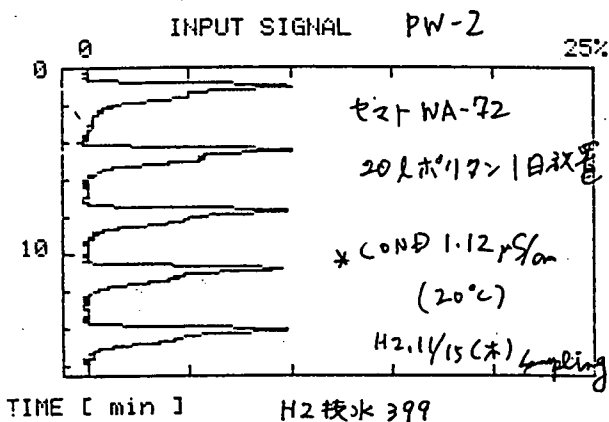
PW-2 同左1日保存純水



#	AREA ppm	C#	μl	RG
1	2785	0.1727		
2	2909	0.1804		
3	2160	0.1339		
4	2149	0.1332		
5	2152	0.1334		

MN	2153	0.1335
SD	5	0.0004
CU	0.26	%
COR CONC DIL	0.1335	[x 1.0]
COR CONC INJ	0.1335	[x 1.0]

DATE 11(NOV)-22-1990 14:27

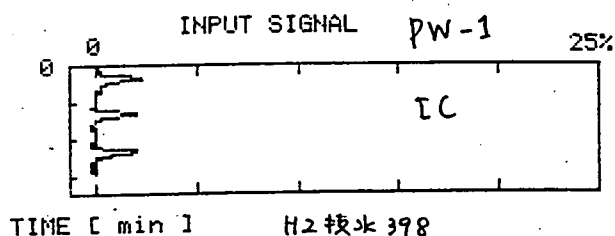


25ml 抽出液
30.15 μl

#	AREA ppm	C#	μl	RG
1	7720	0.4787		
2	7928	0.4916		
3	7276	0.4512		
4	7015	0.4350		
5	6924	0.4294		

MN	7071	0.4385
SD	182	0.0113
CU	2.59	%
COR CONC DIL	0.4385	[x 1.0]
COR CONC INJ	0.4385	[x 1.0]

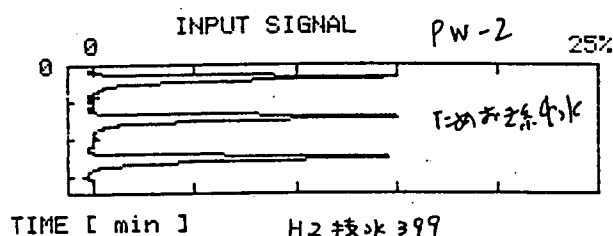
DATE 11(NOV)-22-1990 14:55



#	AREA ppm	C#	μl	RG
1	827	0.0522		
2	713	0.0450		
3	860	0.0542		

MN	800	0.0505
SD	77	0.0049
CU	9.64	%
COR CONC DIL	0.0505	[x 1.0]
COR CONC INJ	0.0505	[x 1.0]

DATE 11(NOV)-22-1990 14:36



#	AREA ppm	C#	μl	RG
1	5434	0.3430		
2	5514	0.3480		
3	5441	0.3434		

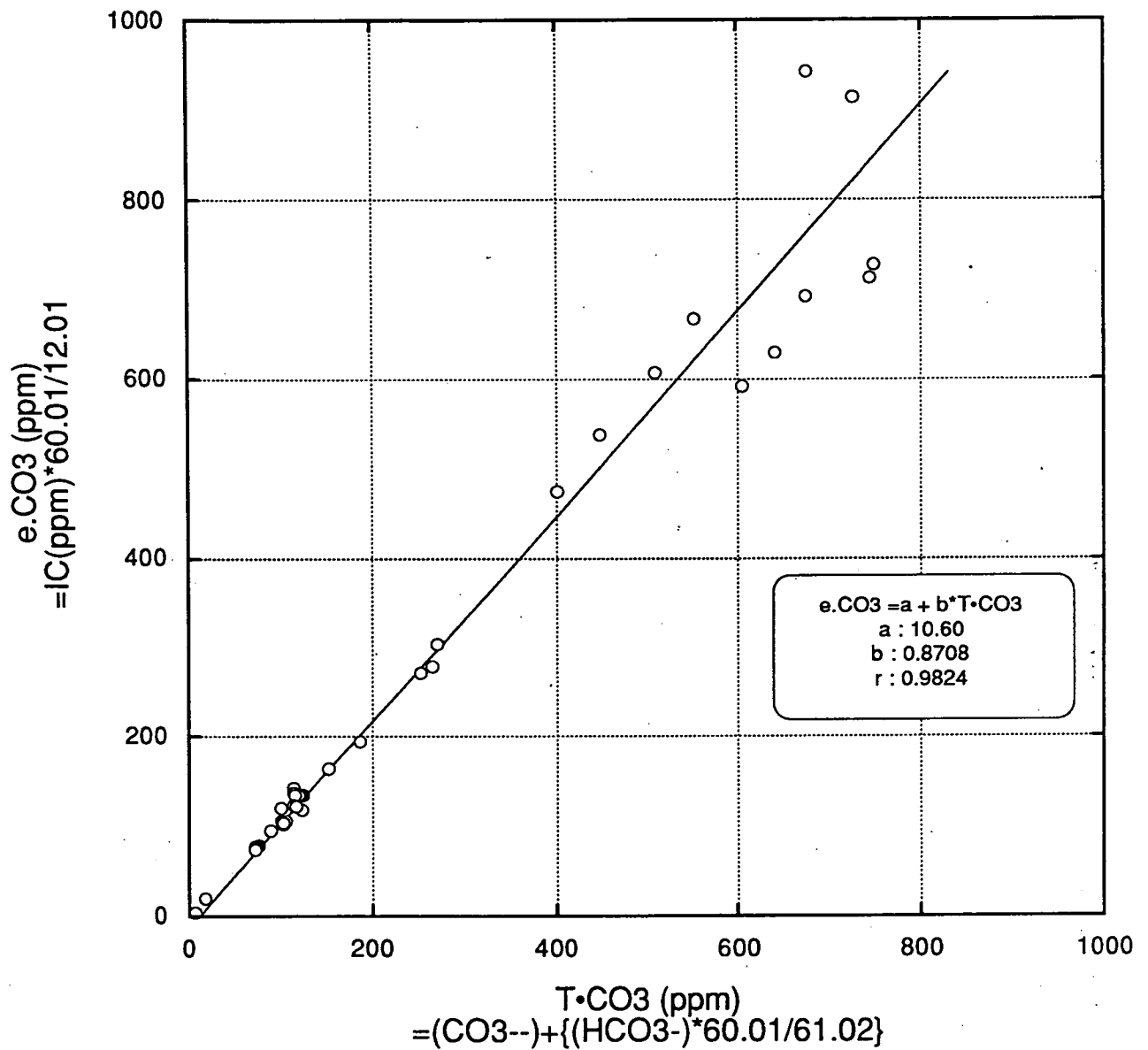
MN	5463	0.3448
SD	44	0.0028
CU	0.81	%
COR CONC DIL	0.3448	[x 1.0]
COR CONC INJ	0.3448	[x 1.0]

DATE 11(NOV)-22-1990 15:04

図-4 TOCテスト分析生データの例

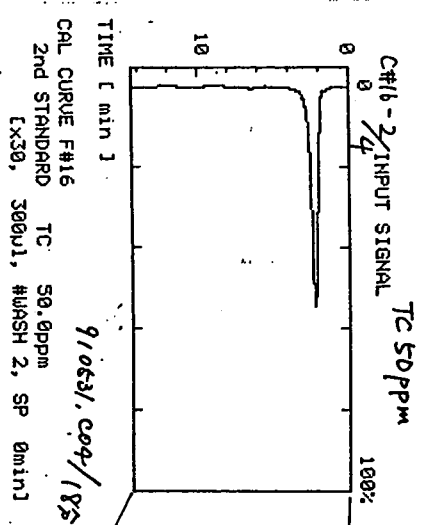
図-5 H3年度TOC分析結果

T・CO3(pH滴定)対e.CO3(IC測定)比較グラフ



[TOC-5000本体側]

[TOC-5000検出器 (NDIR) 出力]



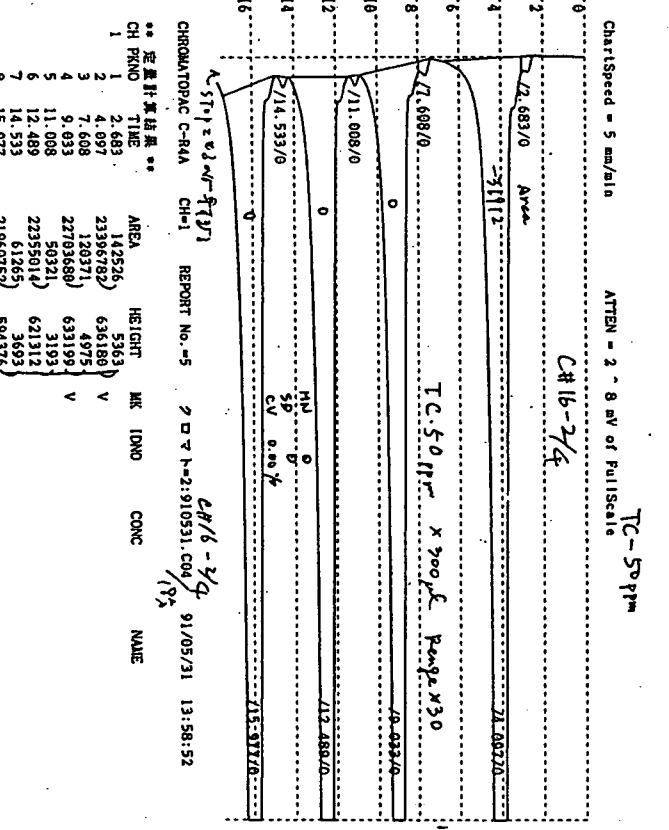
第2~第4ピーク
主成分本体側
内蔵データ処理
装置に検知
されていません。

DATE 05(MAY)-31-1991 14:16

TC 50.0ppm
#X30, 300ul, #WASH 2, SP 0min]

#	AREA
1-31912	2359308 = 142526 + 2339182
2	2282404 = 120321 + 2279360
3	2245315 = 50321 + 223504
4	2202207 = 61245 + 2196072

MN 0
SD 0
CU 0.00 %

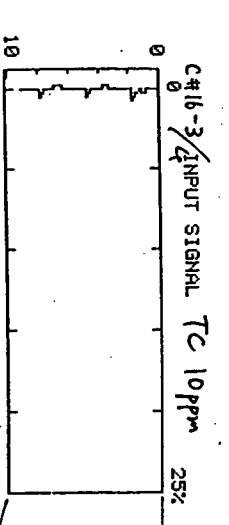


CHROMATOLOG C-R4A CH-1 REPORT No.-5

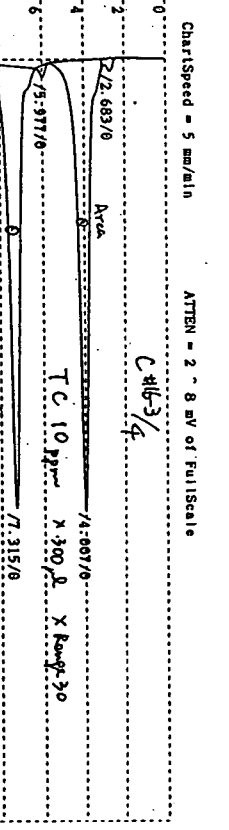
クロマト: 2: 910531.C04 / 19%

91/05/31 13:58:52

CH FNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.2683	142526	5963	V			
2	1.5097	23395782	636180	V			
3	1.8608	120321	4975	V			
4	1.9093	22783680	633199	V			
5	11.008	50321	3193				
6	12.489	22355014	621312				
7	14.533	61245	3693				
8	15.977	2196072	594376				
TOTAL		90790656	2502291			0	



本体側データ
処理装置には
検出されていません。



CHROMATOLOG C-R4A CH-1 REPORT No.-6

クロマト: 2: 910531.C05 / 12%

91/05/31 14:19:19

CH FNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.2683	108453	4329	V			
2	1.5097	5296570	152805	V			
3	1.8607	64770	3846	V			
4	1.9139	5067727	149139	V			

9/0531.C05/12%

910503 + 108453 + 5296570
513247 = 64770 + 5067727
9096570 = 22865 + 5007821

正確にピーク
検出されています。

(本体側データ
処理装置に
検出されて
いない問題)

CHROMATOLOG C-R4A CH-1 REPORT No.-6

クロマト: 2: 910531.C05 / 12%

91/05/31 14:19:19

CH FNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.2683	108453	4329	V			
2	1.5097	5296570	152805	V			
3	1.8607	64770	3846	V			
4	1.9139	5067727	149139	V			

DATE 05(MAY)-31-1991 14:30

図-6 TOC-5000本体側データ処理部での未検出ピーク

3. 付 録

總 括 說 明 資 料

平成3年5月7日

国際部

1. 我が国における探鉱活動の意義

必要な天然ウランのすべてを海外に依存し、世界のウラン消費量の16%を消費している我が国にとって、操業中の鉱山から製品としてウランを購入するのみではなく自主的な探鉱活動及び鉱山開発への経営参加等を実施し、我が国のウラン資源確保量の増大を計るとともに世界のウラン資源量の増大、市場の安定化に原子力利用国としての貢献をすることが重要である。

2. 背景

(1) IAEA/OECD, NEAによれば(Red Book, 1989)、1990年の日本のウラン必要量は6,900tUでWOGA諸国の必要量(41,913tU)の約16%を占め、2005年の日本の必要量は12,800tUでWOGA諸国のウラン必要量52,908tUの約24%まで上昇すると予測されている。

(2) 我が国は世界の既知資源(340万tU)の2.9%に相当するウラン量(9万tU-動燃4万t, 出光興産2万t, 日豪ウラン0.9万t, 海外ウラン1.5万t, 国際資源0.6万t)の権益を確保しているにすぎない。一方、世界的に需給が緩和基調にある中でウラン生産企業の統合・寡占化が進んでいる(なお、生産量としてはカメコ, コンヤ, RTZの3社が世界の65%を実質支配)。

(3) 我が国の民間企業のウラン探鉱開発活動は1977年~78年前後が最盛期で、一時は10数社のウラン探鉱会社が設立され世界各地で活動したが、現在では生産鉱山に参加している2社(海外ウラン, 日豪ウラン)と企業化探鉱を実施している1社(出光興産)のみである。

(4) 事業団は世界各地でウラン資源の調査探鉱を実施している他、探鉱・採鉱・製錬・鉱山跡処置等に関する技術開発を行っており現状では我が国のウラン資源の探鉱・開発に関する技術を保有する中核機関となっている。

3. 事業団の役割と当面の進め方

民間企業の探査活動が低迷している現状を踏まえ、事業団は自主的な調査探鉱活動を実施し、我が国のウラン資源確保量の増大を計るとともに世界のウラン資源量の増大とウラン市況の安定に貢献する為に以下のように海外ウラン資源の調査探鉱を進める。

(1) 事業団は当面、高品位・大規模鉱床が発見される可能性の高いと判断されるカナダ・オーストラリアを重点に調査探鉱を実施し、その成果を民間を通じて国内のみならず広く国際社会に提供する。地質的有望度が高いが、各種理由から未探査地域が多く存在する中国・アフリカ・南米において、探鉱技術の高度化をはかりつつ、一定限度内で初期的調査探鉱を実施する。

(2) ウランの探鉱開発に関する経験・技術・情報を保有する技術集団として、分析試験、情報解析、関連技術開発、及び評価機能をさらに充実し、この分野における我が国のセンサーの役割を果たしていくとともに、開発途上国からの要請に対しては可能な協力を行う。

(3) 上記の業務を推進するために以下の探査・鉱山開発にかかわる技術開発を行う。

① 探査技術 — カナダで鉱床発見に結びつけることができた物理探査技術を、今後は先ずオーストラリア、アフリカ、中国で適用するための試験・改良を行う。

② 製錬技術 — 既存技術では資源的価値が低いとされている難溶性鉱石等の活用のための新製錬法の開発を行う。

③ 探鉱・鉱山管理技術 — 当面カナダ・プロジェクトにおいてICRPの新勧告に合致する坑内ラッド対策、環境保全対策として排水並びに廃泥・廃石の管理等の鉱山管理技術開発を行う。

4. これらの業務を遂行することにより期待される効果
具体的には以下の効果が期待される。

(1) 我が国の資源確保量の増大に貢献
我が国の自主的な探鉱活動により、資源確保量を増大し、我が国の資源安定供給に貢献する。
なお、事業団成果の民間継承に当たっては、民間との意志疎通を図りつつ進めるものとする。

(2) 世界の確認埋蔵量の増大、供給地多様化に貢献
カナダ、オーストラリアとともに、中国、アフリカ、南米等における調査探鉱を通じて世界の確認埋蔵量の増大並びに供給地の多様化に貢献する。

(3) 世界のウラン市場への参画等により市場の安定化に寄与
我が国の資源確保の観点のみならず、事業団の成果を継承した民間が世界のウラン市場へ生産物を提供することにより、ウラン市場の安定化に寄与する。

(4) 開発途上国との協力関係の形成
ウラン資源を保有する開発途上国との技術協力を進め、これら諸国の探鉱技術レベルの向上を図るとともに将来の資源供給国との協力関係を形成、維持する。

ウラン資源開発に関わる研究開発の現状と基本的考え方

1. 資源開発に関する技術開発について

ウラン鉱床発見という成果を得るためには、長期間に亘りさまざまな探査法を駆使する必要がある。

現在、事業団では世界各地で海外調査探鉱を実施しており、プロジェクトの評価は、その時々のもスケージで探鉱・採鉱・製錬の面でより広く評価していかねばならない。このため、新しい探鉱・採鉱・製錬技術の開発及び既存技術の改造、改良な必要不可欠であり、これを積極的に進めていく事が肝要である。

現状における世界のウラン探査は、従来の地表におけるウラン露頭を手掛かりとした調査の時代に終わりを告げ、今やその主流はカナダ・アサバスカ東部地域に代表されるような潜頭鉱床調査、それも地下数百メートルの深部を調査する時代に移行している。さらに、その対象鉱床は、不整合関連型といわれる高品位鉱床であり、これに合わせた新規調査技術の開発が要求される。

物理探査及びリモートセンシング技術の応用は、集中的かつ効率的に広い地域から有望地を選定する事にある。プロジェクトを短期間にかつ効率的に進めるには、これらの情報精度と解析技術を高める必要がある。

また、事業団は前述のカナダ・アサバスカ地域において積極的に調査を実施しているが、この地域のウラン鉱床は、特にウラン品位が高い事から、放射線による被曝の問題がある。これについては、放射線被曝低減化を図った探鉱技術開発を進める必要がある。通常の探鉱については、既に確立された方法があるものの、露天探鉱が困難な、数

%もの高品位鉱床については、現在までに確立した探鉱法がなく、事業団が15%のシェアを持つミッドウエストプロジェクトが世界で最初の鉱山となるものと期待されている。

さらに鉱山の跡地置（ミルテリーング）については、環境保全の立場から世界的に厳しく規制されつつあり。例えば鉱山排水に極微量に含まれているウランを除去したのちに生活圏に放流する必要がある。周辺への安全を確保する事は何にも増して再重要事項であり、ぜひ確立しておかなければならない問題である。

製錬技術及び探鉱技術を有する事は、探査段階のプロジェクトの評価、或いは権利取得に際しての有効な武器になりえるとともに、プロジェクトを民間移転したあとに発生する、民間からのあらゆる質問・要望に的確に対応出来るものである。

また、世界各地には鉱床が小規模なもの、あるいは副産物の形でしか利用出来ない未利用のウラン資源が存在する。これらは、その鉱床の特性に合わせた製錬技術及び探鉱技術開発によってウラン鉱山になり得るものであり、資源量の増加につながる可能性がある。

ウラン資源に限らず、全ての鉱物資源の探査を行うおとする場合、その資源の関する種々の情報・知見を迅速かつ客観的に解析し、それを意志決定に資する必要がある。従来これらの作業は、個人の経験と勘に負うところが大きかったが、事業団では、これらの作業をコンピュータ処理するシステムを開発中である。

既に開発されている、鉱山評価システムエキスパートを組み合わせる事により、新規プロジェクトの評価、各探査段階毎の評価、経済性の評価等、プロジェクトの開始から鉱山開発の段階まで、現在より迅速かつ客観的に評価する事が可能になり、ウラン資源の探鉱、開発が効率的に行われるようになるものと期待される。

海外調査探鉱は前述したように、今以上に対象深度が深くなるとともに、探査地域が僻地化する傾向にある。

探鉱にかかるリスクの軽減には、以上のような技術開発が是非とも必要である。

現在、日本でウラン資源探査を組織的に実施出来るところは調査技術、人、ノウハウ、豊富な経験・知識・資料等を有している事業団が唯一であり、そのノウハウを探鉱技術開発に有効に活用出来る利点がある。

2. 今後の研究開発の課題

探査技術においては最近事業団によるカナダにおけるウラン鉱床探査を成功に導いた物理探査技術を、同じタイプの鉱床探査へ応用すると共に物理探査、リモートセンシング、エキスパートシステム等を使用したオーストラリアにおける鉱床特性の異なる不整合関連型探査手法を確立することが重要である。

探鉱技術開発ではICRP新勧告に向けた坑内ラドソク対策や、鉱山管理技術開発が必要である。

また製錬技術開発においては、難溶性鉱石等現在では資源的に価値の低い鉱石に対する製錬技術の開発によるウラン資源量の増大を目指すことが重要である。

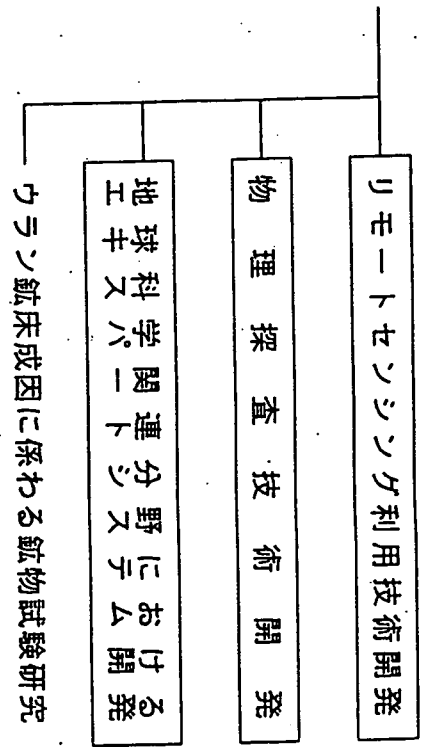
一方最近のウラン市況の低迷によるウラン鉱山の休廃止や、世界的な環境問題の高まりから、今後ウラン鉱山の開発跡地置までの一連の環境保全対策は必要不可欠であり、技術開発の項目として重点的に取り組んでいきたい。

(参考資料)

- ・ ウラン資源研究WBS
- ・ 組織人員
- ・ 予算
- ・ 人員の推移
- ・ 実施予算の推移

ウラン資源研究開発 W B S

探鉱技術開発
(探鉱技術)



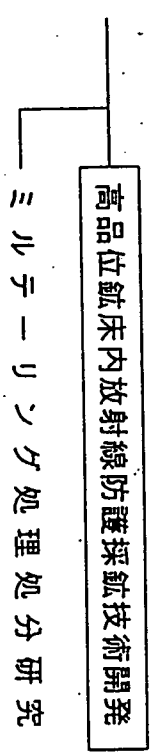
中部技術開発課

中部技術開発課

中部技術開発課

人形峠環境資源開発課

探鉱技術開発
(探鉱技術)



中部技術開発課

人形峠環境資源開発課

製錬技術開発
(製錬する技術)



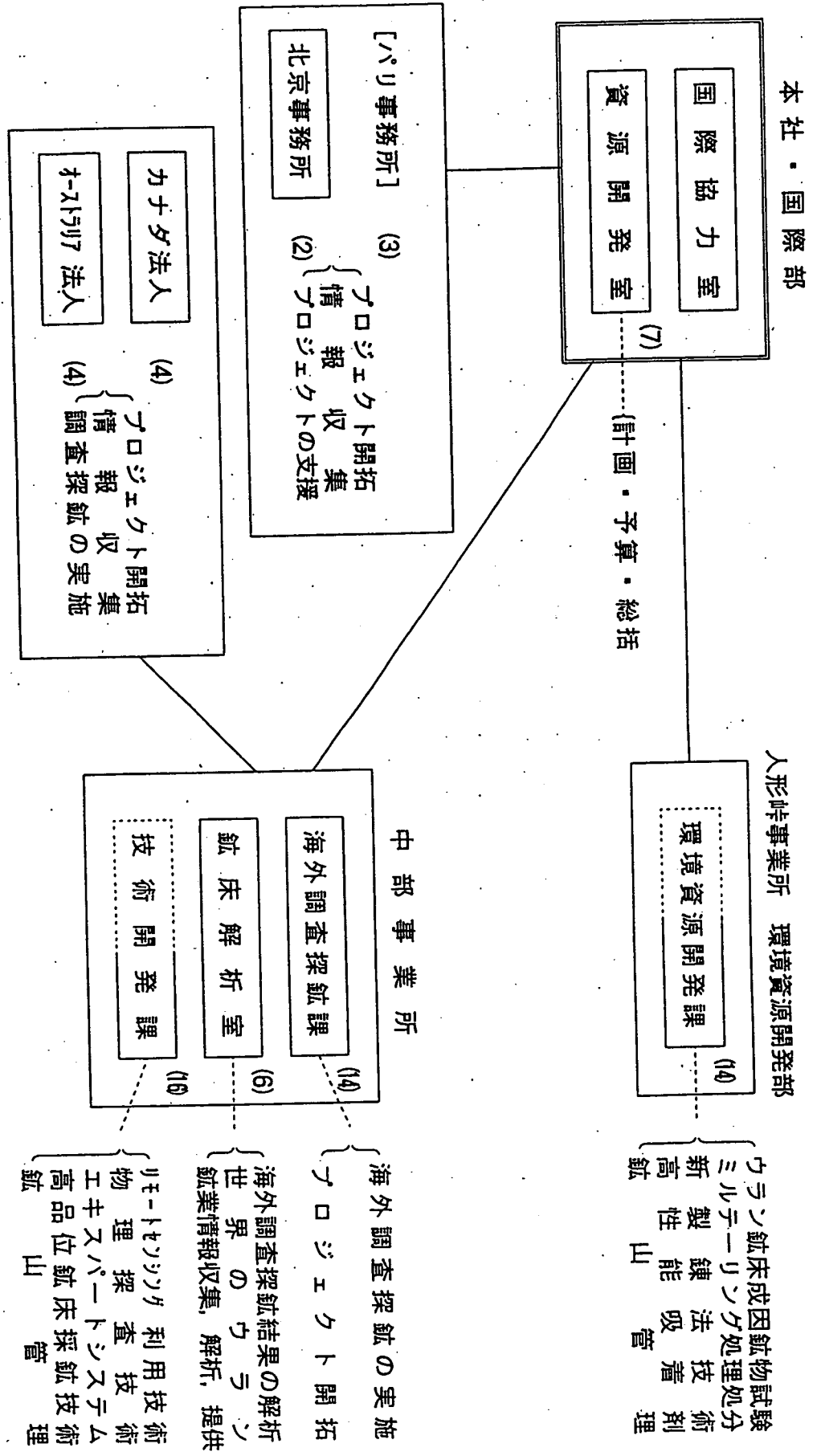
人形峠環境資源開発課

人形峠環境資源開発課



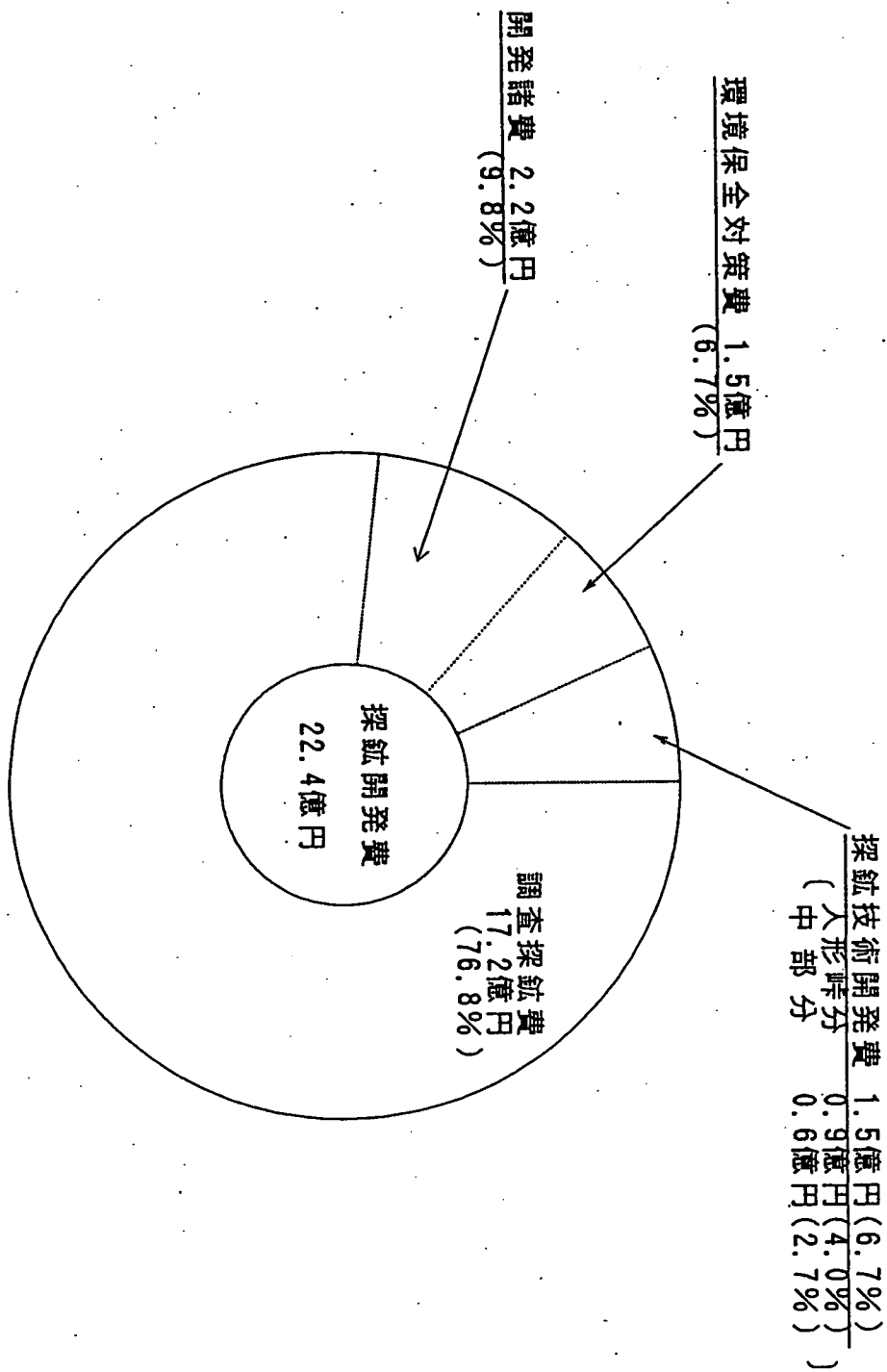
内は今回評価対象ターマ

組織人員



注 [] : 他部との共管
 () : 人員数

予 算 (平成 3 年度実施予算国際部所掌分)



人員の推移（昭和61年度～平成3年度）

単位：人

テ ー マ	年 度						
	61	62	63	H1	H2	H3	
リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)	2	2	2	2	1	2	
物 理 探 査 技 術 開 発	2	2	2	2	1.5	1.5	
地球科学関連分野における エキスパートプロジェクト評価システム (ウラン資源探査プロジェクト評価システム)	2	3	4	1.5	1	1*	
高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	
計（人）	6.5	7.5	8.5	6.0	4.0	5.5	

* データベース 0.5 (鉱床解析室職員) を含む

実施予算の推移（昭和61年度～平成3年度）

単位：百万円

テ ー マ	年 度					
	61	62	63	H1	H2	H3
リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)	9	16	10	10	10	4
物 理 探 査 技 術 開 発	7	16	22	10	10	10
地球科学関連分野における エキスパートシステム開発 (ウラン資源探査プロジェクト評価システム)	16	17	23	20	21	5
高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発	20	15	15	20	7	13
計（百万円）	52	64	70	60	48	32

ウラン資源探査（フロー）

ウラン資源探査においては、探査地の選定に始まり実際に探鉱・製錬にたどりつくまでには、10～20年という非常に長い年月を要する。その間、概略次の様なステップに基づいて探査が進行して行く。

- ① 探査地を選定するための「プロジェクト開拓」
- ② 鉱化帯を発見するための「広域調査（概査）」
- ③ 鉱化帯の性質を解明し、分布を把握するための「精密調査（精査）」
- ④ 鉱量を確認するための「探鉱」
- ⑤ 企業化調査をするための「ファイジビリティ・スタディ（F S）」
- ⑥ 探鉱・製錬を行うための「開発・生産」

探査の進め方	探査目的	探査方法	探査手段	探査結果	探査設備
①プロジェクト開拓	探査地の選定	探鉱・鉱床 鉱床分布 現地予察（地質、地質条件）	リポート・センシング 地形図 地形図 地形図 地形図		
②広域調査	鉱化帯の発見	エアボーン・カーボーン 地質調査 物理探査・化学探査 構造試験	エアボーン・カーボーン 地質調査 物理探査 構造試験		
③精密調査	鉱化帯の性質解明 鉱化帯の分布把握	地質精査 物理探査・化学探査 試鉱 トレンチ	トレンチ 試鉱 物理探査 化学探査 試鉱 トレンチ		
④探鉱	鉱量の確認	探鉱精査 構造試験 環境調査	探鉱精査 構造試験 環境調査		
⑤ファイジビリティ・スタディ	企業化調査	探査結果のとりまとめ 製錬試験（パイロット・プラント） 試鉱抗造・ピッチ 経済性評価 開発計画の作成	パイロット・プラント 試鉱抗造 経済性評価 開発計画の作成		
⑥開発・生産	探鉱・製錬	開発会社設立 建設 探鉱・製錬	開発会社設立 建設 探鉱・製錬		

ウラン資源探査（段階）と探鉱・探鉱支援技術開発

探査の段階	探 鉱 技 術 開 発			目 的	
	探 鉱	技 術	開 発		
① プロジェクト開拓 (初期調査)	リモートセンシング利用技術開発 1. 画像処理技術開発 2. 画像解析技術開発 3. 現地調査	物理探査技術開発 1. 初期的プロジェクト調査技術開発 2. 深部調査技術開発 3. 技術支援(探査の実施)	ウラン探査カバレッジ評価システム開発 1. データベースの開発 2. データベース利用環境の整備 3. ウラン探査支援システム開発	高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発 1. 探鉱技術開発 2. 放射線防護技術開発	探査地の選定 [広域地質 地形 気候・植生]
② 広域調査	・ランドサット、スポット等 衛星データ ・航空写真 ・現地のスペクトルデータ (地質図・文献)	・重力探査 ・磁気探査 (地質図・文献)	・データベース ・IRISS (地質図・文献)		鉱化帯の発見 地質構造 (岩石諸单元、変質帯)
③ 精密調査	・航空機MSS ・航空写真(大縮尺) ・現地調査	・重力探査(2次元) シェッド ・電気探査(電磁法、誘導法) ・地震探査(反射法・屈折法) ・レーダ法			鉱化帯の性質説明 鉱化帯の分布把握 (岩化帯・地質構造、 岩化帯の特徴)
④ 探 鉱					鉱量の確認
⑤ イメージリタイマー スタディ			・鉱量計算、コスト計算 ・経済性評価	・ウラン鉱床の実態調査 ・鉱床のモデル化 ・探鉱技術の開発・設計・研究 ・放射線防護対策	企業化調査
⑥ 開発・生産					探鉱・製錬

探 査 の 段 階 の 進 展

リモートセンシング技術開発報告書

(探鉱技術開発)

【技術開発業務中期報告書】(評価用)

期間 (昭和61年4月～平成3年8月)

本報告書作成：技術開発課(中部) 責任事業部長： 国産部 資源開発室

作成日付 平成3年 8月 日

分類項目	テ	ー	ヤ	担当課(室)長	担当課(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
探鉱技術開発				[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課	[印]	アジア航測(株)、大手開発(株) 日鉱探明(株)、ジオサイエンス(株)
				[実施箇所(施設)]		

①【研究開発の目的・対象】
 ランドサット等、主として人工衛星データを用いたウラン探査の初期段階に於いて、探査に必要な情報(地質構造、岩石、および変質帯等)を抽出する技術を確認するとともにそれらの情報を用いた地質評価(有望地の選定・他)技術を開発する。

②【実績説明】
 現在、ウラン探査の初期段階に必要な地質情報や地理的情報は縮尺、1/25万～1/10万の画像・解折図として提供できる状態となっており、地質評価についてもある程度可能となり、中国の遼寧・北票・アムール川流域の試みの結果では有望地区と評価した地区で多くのウラン賦存地が確認されている。又、アムール川流域、オーストラリア・アムール川流域のウラン賦存地についても良好な結果を得ている。更に、地質環境調査の一環として断層系調査・解折を行うとともに東麓山周辺の3次元画像(像ほか各種処理画像)を作成・提供している。なお、各種処理画像についてはPNCのPR用にも活用されている。

1) 画像処理技術(開発・向上・実施)
 効果的画像処理法を検討するため昭和61年度にスーパーミニコンピュータを中核とする画像処理システムを導入し、以降システムの維持・改良に取組みつつ、オーストラリア、カナダ、および中国アムール川流域の試みの結果では有望地区と評価した地区で多くのウラン賦存地が確認されている。また、地質環境調査の一環として断層系調査・解折を行うとともに東麓山周辺の3次元画像(像ほか各種処理画像)を作成・提供している。なお、各種処理画像についてはPNCのPR用にも活用されている。

2) 画像解折技術(開発・向上・実施)
 各種衛星データ(ランドサット・MSS・TM、スポット-HRV、SAR)および航空写真を用いたウラン探査プロジェクトの判読・解折を実施し、面を抽出し、カナダ・中国・オーストラリア・アムール川流域等の探査プロジェクトへ情報を提供した。なお、解折用として衛星データはランドサット・TMとスポット-HRV画像の併用が効果的であることがわかった。また、解折用ソフトウェアとしてリニアメント解折、スベクトル区別解折、および物探データ開表示、RAMACデータの2次元表示、東麓山周辺断層系マップの3次元表示等のソフトウェアを開発を行った。

3) 現地調査・測定
 画像処理・解折実施地域を対象に処理・解折精度の精度向上を図るため現地の地表状況の把握とスケッチ測定を目的として現地調査を中国、オーストラリアで実施した。中国については日中共同研究に参加し、事前に解折・評価した有望地で多くの異常地が確認された。

4) その他
 ①現在までに日本を含む10ヶ所の探査対象地域の衛星データ、358シーン(ランドサットの場合：185km X 185km/シーン)を調査・収集した。
 ②その他関連業務として、物探データとの組合せ手法の検討、日中共同研究への参加、各種展示会への出席、国産資源衛星(ERS-1)打ち上げのためのリモートセンシング組合への参加、関連文献調査、ITCへの留学生派遣、環境地質課のための断層系調査等を実施した。

担当課(室)長	担当課(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課	[印]	アジア航測(株)、大手開発(株) 日鉱探明(株)、ジオサイエンス(株)
[実施箇所(施設)]		

③【プロジェクトへの反映】
 ・ウラン探査を進める上で必要とされる広域の地形・植生・地質等に関する情報を迅速かつ経済的に提供できる。(特に探査の初期段階において効果大)
 ・有望地の選定が可能。(中国、カナダ、アムール川流域、他の処理にも適用が可能)
 ・処理・解折ソフトウェアは物理探査ソフトウェア、他の処理にも適用が可能。
 ・環境調査(断層系、植生)に有効。

④【技術移転】
 リモートセンシング技術についてはウラン探査を対象として開発してきたが、これまでに開発してきた画像処理・解折技術は地形・地質・植生・水質等環境調査にも活用できるし、地質・地質・物理探査ソフトウェア等の処理にも活用できるので今後、他部門への利用が期待できる。

⑤【実施体制・予算・要員の変遷の説明】

予算(百万円)	61	62	63	H1	H2	H3
人員(人)	9	16	10	10	10	4

⑥【今後の計画と課題】
 既存の衛星データ、航空写真等を用いた画像処理、解折技術については、実用の段階にあるが比較的小規模な地質構造・岩体・変質帯の抽出、粘土鉱物や炭酸塩鉱物の細分及び地表のリニアメントと地下割れ目との関連性調査等には抽出・識別精度を向上させる必要がある。従って、この対策として今後は、画像処理法の改善、地上分解能、スケッチ区別解折などの中で、優れた性能を有する新センサー(ERS-1、航空機MSS等)の利用および物探データ他と組み合わせたい総合解折手法に取り組む。

⑦【事業部長及び事業所長所見】
 平成2年度技術確立を目標に研究開発を進めて来たが、ランドサット・MSSデータを用いた処理・解折技術についてはほぼ当初の目標を達成できたと考えられる。しかし、まだ精度の面で現場の要求を満すまでには到っていない。したがって、今後はより精度の向上を図る必要がある。

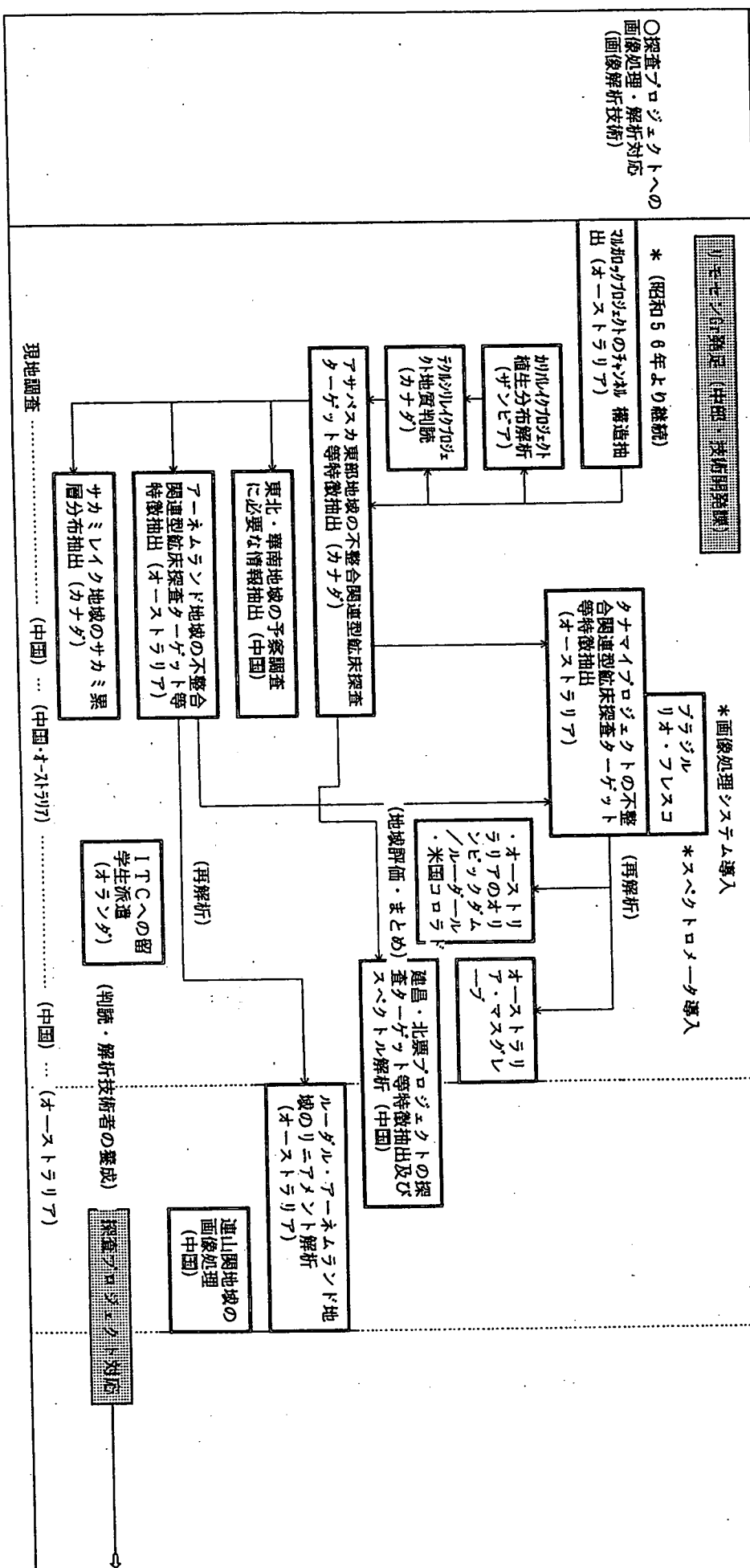
部長印	所長印

② 研究開発の流れ図①

分類項目	ナ		ヤ		チ		リ		外部委託機関があるときはその機関名		
	昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)		3 (1991)	4 (1992)
探航技術開発											
リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)											
担当課(室)長	中		中		中		中		中		
実施担当課(室)	中		中		中		中		中		
実施箇所(施設)	中		中		中		中		中		
											アジア航測㈱, 大手開発㈱ 日航探測㈱, ジオサイエンス㈱

年度	昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降
小テマ											

○探航プロジェクトへの
画像処理・解析対応
(画像解析技術)



② 研究開発の流れ図②

分類項目	テ					ー					ヤ				
	昭和58年 (1988)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降				
探鉱技術開発 (リモートセンシング技術開発 リモートセンシング利用技術開発)	[担当課(室)長] 印 [担当部(室)長]											[印] 外部委託機関があるときはその機関名			
	[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課											アジア航測㈱, 大手開発㈱ 日航探開㈱, ジオサイエンス㈱			
	[実施箇所(施設)]														
年度	昭和58年 (1988)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降				
〇画像処理技術	<p>画像処理システム システム導入</p> <p>大十勝産業博への出展</p> <p>大札幌博への出展</p> <p>〔画像処理の実施及びシステムの充実、改善(ソフト・ハード)〕</p> <p>システム開発 システム導入</p> <p>〔データ取得・解析〕</p>														
〇現地調査・測定	<p>中国</p> <p>中国 中国 中国</p> <p>中国 中国</p> <p>中国 中国</p> <p>*日中共同研究</p> <p>*日中共同調査開始 (建昌北票)</p>														

分類項目	テーマ		担当課(室)印	担当部(室)長	外部委員の関与があるときはその機関名
探査技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)		【実施担当課(室)】 中部事業課 技術開発課 【実施箇所(施設)】		アジテック(株) 大手開発(株) 日航探査(株) ジオサイエンス(株)
	小テーマ	年度	6 3	H 1	H 2
1. 画像処理技術 (開発・向上・実 施)	画像処理システムの導入 (システムの調査・検討) 10月(導入) ↓ システムの調査・検討, 解析作業室 内の整備以外の検討を行い、 仕様を決定した。		6 3 画像処理の実施およびシステムの充実・改善(ハード・ソフト) ↓ (イ) スリカ、カチ (中国スウェーデン) ↓ 札幌市周辺のラジカルM画像を作成した。 ・スリカ、カチのラジカルM画像に効果的な画像を抽出し、効果的と判断される5種の画像を作成し、現地法人へ提供した。 ・中国・建昌—北票(青龍鉱床周辺域)でラジカルM画像を試み、5万分の1地形図を作成した。 ・画像処理技術の向上を図るため米田・G&R社製のスウェーデンを導入した。(一部委員)	H 1 ↓ (イ) スリカ、カチ (中国スウェーデン) ↓ ・スリカ、カチ、ラジカルM画像のラジカルM画像(1:5万)およびカチ・カチのラジカルM画像のラジカルM画像のラジカルM画像を作成した。 ・中国・北票地域の現地調査で取得したスウェーデンを処理し、各岩石の反射分光特性曲線図を生成し、同域における紅床鉄結晶層・他の抽出に有効な処理手法を検討し、3種の手法を選定した。(一部委員)	H 2 ↓ レールマガ、解析結果出力マガ 1および地形断面図作成マガ 1を作成した。 ・東麓山周辺3次元データ処理画像を作成した。
	6 1	6 2			

分類項目	テーマ		担当課(室)長印	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
探検技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)		[実施担当課(室)] 中部事業所	技術開発課	アジア航測院 大手開発院 日航航測院 ジオサイエンス院
	小テーマ	年度	6 3	H1	H2
2. 画像解析技術 (衛星・向上・実地)	カナダ・中国・オーストラリア (衛星・解析・地域評価)	オーストラリア(カナダ) (衛星・解析・地域評価)	オーストラリア 米国 カナダ 日本 (衛星・解析・地域評価)	オーストラリア, 中国 (衛星・解析・地域評価)	中国(北票), (オーストラリア) (衛星・解析・地域評価)
	<p>・カナダについては、カナダの地区における防衛施設母層、防衛施設の分布を衛星、MSS 画像および航空写真を用いて判読・解析・抽出し、カナダ法人に情報を提供した。また、ケベック東部地域の情報が実施された。</p> <p>・日中共同研究で前年度の解析結果の検討および現地調査結果から共同調査有望地10地区選定</p> <p>・中国新規タカト 開拓稼種地(華南地域) についてタカト MSS画像 (7/14タカト)を用いた有望地選定作業を行い8地区を選定した。【花崗岩型(4)、火山岩型(1)、堆積岩型(3)】</p> <p>・オーストラリアのタカトタカト外域についてタカトMSS 画像による地質判読・解析を行い地質情報を抽出した。 (一部委託)</p>	<p>オーストラリア・タカトタカト 地域について判読解析(タカト)、タカト解析および重タカト 解析を行い、それらの情報をもとに有望地を選定し、オーストラリア法人に報告した。また、タカトタカト 域について資料・情報収集・解析を行った。 (一部委託)</p>	<p>オーストラリアの7-タカト(TM・SPOT)、タカトタカト(TM・SPOT・航空写真・現地タカト 写真・岩石タカト・重力データ・1/25万地形図・地質文献・法人報告書)タカトタカト(タカト・MSS)およびタカト外域について判読・解析を実施し、地質・地質構造 有望地に關する情報を法人へ提供した。なお、7-タカト およびタカトタカトについては新たなタカトを用いた再判読・解析である。また、ケベック東部域について地質判読 解析まとめ、タカト解析を行った。 (一部委託)</p>	<p>・オーストラリア・タカト外域のタカト・TM画像の判読を行い、その結果と既存の地質図・物探データを統合解析し、有望地1地区を選定した。 (一部委託)</p>	<p>・オーストラリア・タカト外域でタカト外解析を行い、既知タカト 鉱床域と類似の特徴を示す地区を抽出した。(タカト地区ではその後調査で、抽出地区内(タカト) 異常地帯確認されている。)</p> <p>・本域のタカトと大規模地質構造との関係を調べた。また、中部日本全域についてタカト外域の分布とその特徴を明らかにした。</p>

分類項目	年度	テーマ			担当課(室) 長 印 (担当部(室) 長) 印	外部委員(機関)があるときはその機関名					
		6 1	6 2	6 3							
探査技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)	[実施担当課(室)] 中部研策所 技術開発課		[実施箇所(施設)]	アジア航測機 大手開発機 日航探測機、ジオサイエンス機						
		小テーマ	年度	6 1	6 2	6 3	H 1	H 2			
3. 現地調査・測定	中国 ↓ 中国	中国・建昌—北票地域の域における日中共同研究の一環として同域で現地調査を行い、現地の地表状況・地質・鉱床等に関する情報を収集するとともに前年度に実施した半断・解析結果の校射を行い、前年度に選定した有望地で多くの方角 微候地を確認した。		トナリツ、クニツカツカツカツでのクニツカツ画像の半断解析結果と現地地質等との対比・校射を行い、より具体的な巨つ正確な解析に資するため、9月に現地調査を行った(クニツカツ測定を含む)。また8月3日には中国・建昌—北票地域における共同調査参加者の校射と共同研究(不整合型)に必要な資料・情報の収集を目的とした現地調査を行った。		中国 ↓ 中国		中国・遼寧省の北票地域で岩石・土壌の分光反射率の測定(クニツカツ測定)および地表状況の調査を行った。	トナリツ、ルカおよびクニツカツカツカツ地域で岩石・土壌のクニツカツ測定を行った。また、採取した試料については鉱物試験による主成分鉱物の測定を行った。		
		9ヶ国 (157シーン)	9ヶ国 (250シーン)	10ヶ国 (343シーン)	10ヶ国 (357シーン)	10ヶ国 (358シーン)					
		ランドサット・スボット	ランドサット・スボット、MOS-1	ランドサット・スボット、MOS-1	ランドサット・スボット、MOS-1	ランドサット・スボット、MOS-1					
		(日中共同研究 企画担当の購(廣会での発表 リモセン組合)	(とから産業展 リモセン組合) (資産大学)	(リモセン組合、7月(文庫)調査(環境)の断裂系調査、ITC派遣)	(環境)の断裂系調査、ITC派遣)	(断裂系調査(環境) ・広域地下水流動解析(環境) ・計算機管理)					
4. リモートセンシングデータの調査・収集	5. その他関連業務	外部-①		外部-②、③		外部-④、⑤、⑥		外部-⑦		外部-⑧、⑨	
		社内-①、②		社内-③、④、⑤		社内-⑥、⑦		社内-⑧、⑨、⑩、⑪、⑫、⑬、⑭、⑮		社内-⑯、⑰	
○技術資料、成果発表		*外部 (外部委員)		*社内 (社内/作成)		*発表 (成果発表)					

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ヤ	担当課(室)長		外部委託機関があるときはその機関名			
			[実施担当課(室)]	[実施箇所(施設)]				
探鉱技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)		[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課	アジア航測(株), 大手開発(株) 日鉱探開(株), シオサイエンス(株)			
技術資料(社内)								
地	資料コード	標	題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内	容
①	ZN4410 86-001		中国新規プロジェクト提案地域におけるラ ンドサット画像解析(その1a)	1985. 11	成果報告書	和田		・ランドサット、ゾナルスカラ一画像と既存の資料文献を用いて中国東北地域の四冊調査 に必要な情報を抽出した
②	ZN4410 86-002		中国新規プロジェクト提案地域におけるラ ンドサット画像解析(その1b)	1986. 3	成果報告書	和田		・ランドサット、ゾナルスカラ一画像の写真地質学的手法による判読、解析技術に関する 専門業者間比較調査(5社)で中国の画像データ判読、解析のための予備調査を兼ねて 実施
③	ZN7420 87-002		中国新規プロジェクト提案地域における鉱 業事情調査(共同研究)報告書	1987. 3	成果報告書	和田		・中国・遼昌一北票地区での各種データ収集と前年度のランドサットMSS画像解析結果 の検討および共同調査有望地の選定
④	N7400 87-002		カナダ・サカミレイク地区におけるランド サット画像再解析	1987. 6	技術開発課 年報	小出		・ランドサットMSS画像上での既知サカミ層群の特徴抽出
⑤	N7400 87-003		中国華南地区主要ウラン鉱床周辺のリエ メント解析	1987. 6	技術開発課 年報	小出		・ランドサットMSS画像解析で抽出されたリエメントについて統計的処理を行い、主 要既知ウラン鉱床毎の断裂構造の特徴を抽出した
⑥	SN4420 88-004		オーストラリア・タナヤイ地区におけるリ モートセンシング現地調査報告書	1988. 3	成果報告書	和田		・現地でのスペクトル測定、サンプリングおよび前年度実施のランドサット・MSS画像 解析結果の検討
⑦	N7440 880034		画像処理システムの導入とテスト処理結果 について	1988. 11	技術開発課 年報	小出		・ミニコンをホストコンピュータとする画像処理システムの導入
⑧	217361 89-001		広域地質環境評価のための断裂系調査	1989. 3	成果報告書	小出		・高レベル廃棄物の地層処分のための1/4万航空写真による断裂系に起因するリエメン ト抽出のまとめ(九州・四国・中国地方)
⑨	217363 89-001		広域地質環境評価のための断裂系調査	1989. 3	成果報告書	小出		・高レベル廃棄物の地層処分のための1/4万航空写真による断裂系に起因するリエメン ト抽出のまとめ(九州・四国・中国地方)
⑩	SN7410 89-001		カナダ・アサバスカ東部域におけるリモ ートセンシング解析(その1)	1989. 3	成果報告書	和田		・リモートセンシング解析による本域の地質ターゲット抽出・識別法の検討および物探デ ータ・関連文献の検討とウラン探査有望地の選定
⑪	N7410 89-031		スチュアートシエール地域におけるリモ ートセンシング解析	1989. 4	技術開発課 年報	小出		・ランドサットMSS画像から既知ウラン鉱床域と類似の特徴を示す地区を抽出
⑫	N7410 89-031		ランドサットMSS画像によるアサバスカ ペーネン半島域リエメント解析	1989. 4	技術開発課 年報	小出		・ランドサットMSS画像から抽出されたリエメントおよび環状構造の分布特性を調べ 、既知ウラン鉱床域と類似の特徴を示す地区を選定

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ ー マ	担当課(室)長		外部委託機関があるときはその機関名		
		担当課(室)長	担当部(室)長			
探鉱技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)	[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]		アジア航測㈱, 大手開発㈱ 日航探測㈱, ジオサイエンス㈱		
技術資料(社内)						
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
⑬	N7410 89-031	・西蒙古・ルーデル地区におけるランドサットTM画像の評価	1989. 4	技術開発課 年報 動燃技報	小出	・ランドサット・TMデータを用いた本域の画像処理法の検討と評価
⑭	TN1310 89-002	・西蒙古・ルーデル地区におけるランドサットTM画像の評価	1989. 4	技術開発課 年報 動燃技報	小出	・ランドサット・TMデータを用いた画像処理法の検討と評価
⑮	SN7600 89-009	・中国北票地区におけるリモートセンシング解析現地調査	1989. 6	成果報告書	小出	・中国・東北地域の画像解析のための基礎データ(スベクトルデータ)の取得
⑯	ZJ7361 90-001	・広域地質環境評価のための断裂系調査	1990. 3	成果報告書	小出	・高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境特性調査で1/4万航空写真による断裂系リニアメント抽出とその分布特性解析(中部・近畿地方)
⑰	ZJ7363 90-001	・広域地質環境評価のための断裂系調査	1990. 3	成果報告書	小出	・高レベル放射性廃棄物地層処分のための地質環境特性調査で1/4万航空写真による断裂系リニアメント抽出とその分布特性解析(中部・近畿地方)
⑱	SN7410 90-027	・オーストラリア北部準州アーネムランド地域におけるリニアメント解析報告書	1990. 12	成果報告書	小出	・オーストラリア北部準州アーネムランド地域のリニアメント分布特徴の抽出と既知航床地区と類似した地区の抽出

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ヤ	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
探鉱技術開発			[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]		アジテ航測(株)、大手開発(株) 日航探明(株)、ジオサイエンス(株)

技術資料(外部委託)

No	資料コード	種 別	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
①	SJ7361 86-002	・カナダ・サカミシイク地区に於けるランドサット画像の判読・解析報告書	1986. 7	アジテ航測		・ランドサットMSS画像による既知ウラン鉱床層と同じ特徴を有する地域の選定と地質構造解析
②	SJ7361 87-003	・オーストラリア・ブライニツタナナイ地区に於けるランドサット画像の判読・解析報告書	1987. 3	アジテ航測		・ランドサットMSS画像による地質判読と地質構造解析および地域評価
③	SJ7257 87-001	・ブラジル・リオフレスコ地区に於けるランドサット画像の地質判読	1987. 7	大手開発(株)		・ランドサットTM画像による地質判読と地質構造解析
④	SJ7361 88-001	・オーストラリア・オリンピックダム地区に於けるランドサット画像の判読・解析業務報告書	1988. 3	アジテ航測		・ランドサットMSS/TM画像による地質判読と地域評価
⑤	SJ7361 88-002	・オーストラリア・アーネムランドおよびブライニツタナナイ地域における再判読・解析業務報告書	1988. 3	アジテ航測		・ランドサットMSS画像データでは抽出・識別が困難あるいは不可能であった地質情報についてランドサットTM・SPOT画像データ、航空写真、現地調査データを加えて抽出・識別を試みた
⑥	SJ7361 88-003	・オーストラリア・ルーラル地区に於けるランドサット画像の判読・解析業務報告書	1988. 3	アジテ航測		・ランドサットTM画像による地質判読と地域評価
⑦	SJ7361 89-002	・オーストラリア・マズグレイブ地区に於けるランドサット画像の判読・解析業務報告書	1989. 8	アジテ航測		・ランドサットTM画像による地質判読と地域評価
⑧	ZJ7361 90-006	・中部及び北関東地方に於ける広域地質環境評価のための断裂系調査	1991. 1	アジテ航測	村田	・中部及び北関東地方を対象にした1/4万空中写真によるリニアメント判読解析
⑨	ZJ7363 90-003	・北陸及び南関東地方に於ける広域地質環境評価のための断裂系調査	1991. 1	日航探明	武田	・北陸及び南関東地方を対象にした1/4万空中写真によるリニアメント判読解析
⑩	ZJ7434 91-001	・ウラン鉱床地域の主要岩石を対象としたX線分析結果	1991. 3	ジオサイエンス	加藤	・オーストラリア・ルーラル地区及びアーネムランド地域の主要岩石のX線分析による鉱物同定

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	ネー	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内容	担当
						外部委託機関があるときはその機関名
探鉱技術開発	リモートセンシング技術開発 (リモートセンシング利用技術開発)	1986. 8	ISPRS の第 7 回国際シ ンポジウム	和田	・ランドサットMSSデータ解析によるオーストラリア・オプティクサーペーズン域のウラン鉱床胚胎ポテンシャル評価手法について	[担当課 (室) 長] 町 [担当部 (室) 長]
						[実施担当課 (室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所 (施設)]
成果発表						
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
①	シオウリ	・ An evaluation of potential uranium deposit area by land sat data analysis in Officer basin, South-Western part of Australia	1986. 8	ISPRS の第 7 回国際シ ンポジウム	和田	・ランドサットMSSデータ解析によるオーストラリア・オプティクサーペーズン域のウラン鉱床胚胎ポテンシャル評価手法について

物 理 探 查 技 術 開 發 報 告 書

(探 鈇 技 術 開 發)

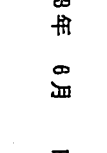

【技術開発業務中期報告書】(部所用)

期間 (昭和61年4月~平成3年3月)

本報告書作成: 技術開発課(中部)
責任事業部長: 国際部 資源開発室

作成日付 平成3年 6月 日

(1) 本文

分類項目	ネ	ー	ヤ	(担当課(室)長)印	(担当部(室)長)印	外部委託機関があるときはその機関名																											
探鉱技術開発	物理探査技術開発			(実施担当課(室)) 中部事業所 技術開発課 (実施箇所(施設))		三井金属資源開発㈱ 川崎地質㈱ C C S 社 C R C 社																											
<p>①【研究開発の目的・対象】 ウラン鉱床と密接な関係をもつ地質構造、特定岩体および変質帯等を調査・抽出する各種物理探査手法(電気、電磁、磁気、地震、重力)の開発のほか、61年度からは地層科学研究の技術開発業務を進めてきた。</p> <p>②【実績説明】 昭和54年に発足した探鉱技術開発班時代から、探鉱現場のニーズに基づき物理探査手法の開発を行ってきた。当初は、砂岩型ウラン鉱床探査のため地震探査法の適用を試み、続いてカナダを始めとする商品位ウラン鉱床が主流になり、カナダ法人に技術者の派遣を行ない、電磁法のデータ解析技術の向上を図った。また、地層科学研究が始まってからは調査技術の開発を行ってきた。探鉱調査技術開発及びび3) 調査手法の開発の一部(PLMT法、精密電磁法)については、地層科学研究の技術開発である。</p> <p>1) 初期的プロジェクト調査技術開発 ①(1)砂岩型ウラン鉱床探査のための地震探査法を初めて取り上げ、月吉鉱床上で適用試験をした後、アフリカニジェールプロジェクトにて広域地質構造調査に用い(3ヵ年で約200kmの延長) 試験候補地点の選定を行った。また、現地でデータ解析を行うためのソフトウェアを開発した。このほか、月吉鉱床上で重力及び磁気調査を行い砂岩型ウラン鉱床への適用性を検討した。 ②(2)不整合関連型ウラン鉱床探査法の開発 カナダにおける不整合関連型ウラン鉱床探査を開発するため、現地法人に物理探査技術者を派遣し、プロジェクトにおける物理探査解析を行い、これまでにアサバスカ盆地とソロン盆地における鉱床発見に著しい貢献を果たしている。</p> <p>2) 深部調査技術開発 深部調査技術開発は地層科学研究のうち調査技術開発の一部として行っている。これまでに岩盤中の割れ目帯把握のためのレーザ法の開発を行っている。レーザ法の開発は岩盤中の電磁波伝播に関する基礎研究とストリーバプロジェクトで開発されたRAMACレーザ測定器を用いた測定及び解析法開発を行っている。</p> <p>3) 調査手法の開発 地下の地質学的及び水理学的情報を効率よく調査する手法の開発として各種調査手法の開発を実施してきた。地下数百mまでの地下比抵抗構造を効果的に調査する方法として、送信源として全国どこにでも送電線を利用した電磁探査法の開発を行い、実用化している。また、商品位ウラン鉱床の選定する各要因分析が難しいことがわかった。そのほか探鉱調査技術開発として電磁法解析ソフトウェア開発(精密電磁法)を実施している。</p>																																	
<p>③【プロジェクトへの反映】 物理探査手法はウラン探査に必要な地下の地質構造、特定岩体および変質帯等を抽出・識別できるウラン探査プロジェクトにおいて重要な探査手法である。カナダの不整合関連型鉱床の大半が本手法により発見されている。そのほか地質環境調査に使われている。また、中国プロジェクトへの各種物理探査手法の適用についても日中共同研究として平成2年度より進めている。</p> <p>④【技術移転】 昭和54年度に探鉱技術開発班が設置されて以来、物理探査技術開発は基本的に現場のニーズに合わせた業務を展開してきたがその成果はできる限り学会に(おもに物理探査学会)に発表してきた。又、PLMT法は国内の温泉調査に適用されている。</p> <p>⑤【実施体制・予算・要員の変遷の説明】</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>61</td> <td>62</td> <td>63</td> <td>H1</td> <td>H2</td> <td>H3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">予算(百万円)</td> <td>探鉱</td> <td>7</td> <td>16</td> <td>22</td> <td>10</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>環境</td> <td>15</td> <td>13</td> <td>5</td> <td>25</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>人員(人)</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>1.5</td> <td>1.5</td> </tr> </table> <p>⑥【今後の計画と課題】 物理探査技術は潜頭ウラン鉱床探査に不可欠な技術であり、特にまた、探査の手法が確立されていないオーストラリアでのウラン鉱床探査でも重要な技術である。 オーストラリアでのウラン鉱床探査手法開発には地質学的モデルの確立(特定鉱床の地質学的データ)とその物性値の違い(物性試験の実施)に着目した適切な物理探査手法の抽出の後、現地試験による確認が不可欠である。</p> <p>⑦【事業部長及び所長所見】 世界の代表的ウラン鉱床タイプである不整合関連型ウラン鉱床探査(特にオーストラリア)に有効な物理探査技術の確立を目標に技術開発を進めるとともに既存技術の維持・改善・精度の向上を図るべきである。</p>								61	62	63	H1	H2	H3	予算(百万円)	探鉱	7	16	22	10	10	環境	15	13	5	25	10	人員(人)	2	2	2	2	1.5	1.5
	61	62	63	H1	H2	H3																											
予算(百万円)	探鉱	7	16	22	10	10																											
	環境	15	13	5	25	10																											
人員(人)	2	2	2	2	1.5	1.5																											
<p>部長印 </p> <p>所長印 </p>																																	

② 研究開発の流れ図②

分類項目	昭和					平成				外部委託機関があるときはその機関名	
	昭和58年 (1983)	59年 (1984)	60年 (1985)	61年 (1986)	62年 (1987)	63年 (1988)	平成元年 (1989)	2年 (1990)	3年 (1991)		4年 (1992)
探査技術開発	物理探査技術開発										
	[担当課(室)長] 須藤 [担当部(室)長] 山本 [実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]										
<p>2) 深部調査技術開発</p> <p>・レーザー法基礎研究</p> <p>基礎試験(各種岩盤中のレーザー波透過実験)</p> <p>岩石の高周波数領域の電気的特性試験</p> <p>ソフトラウエア検討</p> <p>・RAMACレーザを用いた割目帯調査法開発</p> <p>土岐花崗岩と奥連花崗岩への適用試験</p> <p>システム導入</p> <p>釜石鉱山を利用したクロスホール調査法開発</p> <p>地質環境調査への実用化</p> <p>PLMT法開発</p> <p>大理事長表彰(創意工夫功績賞)・PLMT装置の開発</p> <p>熱流量探査法開発</p> <p>精密電磁法開発</p> <p>(10台販売・平成2年度末現在)</p>											
<p>3) 調査手法の開発</p>											

分類項目	テーマ	担当課(室)長	担当部(室)長	担当課(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
探査技術開発	物理探査技術開発	[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]			三井金属資源開発(株) 川崎地質(株) CCS社 CRC社
小テーマ	年度	61	62	63	H1
1. 初期的プロジェクト調査技術開発	・プログラムの整備・開発 (①)シミュレーション	・重力探査の実施(月吉) ・ニジュール物理探査委員会 ↓	・東濃鉱山周辺で重力探査を実施し、月吉鉱床が河川を示す低重力帯に含まれていることが明らかになった。 ・聖生地地区、シラノ川、ウツリ川地区およびウツリ川、ウツリ川地区の重力探査を実施した。	・東濃鉱山周辺で磁気探査を実施したが月吉鉱床の基礎形状を反映する結果は得られなかった。 ↓	・オーストラリアにおける物理探査技術の検討・開発 ↓
2. 探査調査技術開発	物理探査(①) 計算プログラム 整備の環境として① シミュレーションについて現地データ処理ソフトとしてF-RAM、F-RAM、F-RAMおよび反射記録作成プログラムを開発した。(委託) また、②シミュレーションプログラムとして電気探査関係：比抵抗法について1次元・2次元プログラム1次元プログラム、電磁法関係領域のプログラム、RF法に関する2次元構造のプログラム、重力探査：1次元構造に関するプログラムプログラム、2次元構造に関するプログラムプログラムを整備した。(委託)	・レーダー法基礎試験 ↓	・レーダー法に係わる岩石物性試験 ↓	・レーダー法による岩盤特性調査 ↓	・オーストラリアで取得された空中電磁法データに対して、ウツリ川処理 ・周波数応答処理・MIRIAM処理を実施した。その結果垂直板状電導体抽出することができ、空中電磁法データを断然内部で解析するための基礎を確立することができた。 (委託)
	・レーダー法基礎試験 ↓	・レーダー法(RAMACシステム) 試験 ・トモグラフィック開発(委託) ↓	・RAMACシステムの導入 ↓	(反射法、透過法) 試験孔での試験 ↓	・孔内レーダーシステム開発 (解析技術開発) ↓
	・岩盤中にシエータ波がどの様に伝播するか知見を得るため野外でレーダー波の伝播実験を行った。(共同研究)	・レーダー法による岩盤中伝播特性を明らかにした。また、RAMACシステムの適用試験を行い、レーダー法に関する今後の方針を決定した。 ・トモグラフィックを開発するための手法の検討を行った結果、CG法が有利であることが判明し、ソフトウェアを作成した。(委託)	・レーダー法：岩盤の速いによる物性の違いを測定した。また、RAMACシステムを導入し、検収のための試験および技術員の研修を行った。 ・トモグラフィック法の問題点を分析し、一部についてソフトウェアを改良した。(委託)	・前年度に導入したRAMACシステムを用いて東濃鉱山周辺の試験孔で、ソリッド(反射法) 試験およびソリッド(透過法) 試験を実施し、それらの結果と岩石物性調査結果、物理検査結果と比較検討・解析を行った。	・ソリッド 調査結果により求めた電磁液の岩盤内伝播特性と物理検査による電気比抵抗との関係を調べた。その結果、両者には正の相関があり岩盤の電気比抵抗により調査可能な電導を推定できることがわかった。 ・加減非駆動システムを用いたソフトウェア結果による湧水創れ目を含む創れ目帯の連続性を推定できることがわかった。

分類項目	テーマ	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
探査技術開発	物理探査技術開発	[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課	三井金属資源開発株式会社 川崎地区(株) CCS社 CRCC社
		[実施箇所(施設)]		
小テーマ	年度			
3. 調査手法の開発	01	02	03	H1
	<p>・ PLMT法の開発</p> <p>・ 商用周波数およびその周波数を使った広域電磁法探査 (PLMT法) 装置の設計・製作および実地検証を行った。(委部)</p> <p>・ PLMT法を完成し、第77回物理探査学会講演会にて報告した。</p> <p>・ 熱流量探査装置の開発</p> <p>・ 熱流量探査装置を試作した。また、実用化に向け測定仕様の検討・機器の性能に関する実験データを収集中。(委部)</p> <p>・ 精密電磁法の開発</p> <p>・ 東濃湖山坑道内に送信源を設置し、地表で電磁界を測定する実験を行った。(委部)</p> <p>・ 時間傾斜電磁法データをアナライズし、任意の深度の比抵抗断面を計算するソフトウェアを開発した。(委部)</p> <p>・ 東濃湖山周辺で時間傾斜電磁法のデータ取得を行い、データ取得に関する報告書を作成した。このデータを利用して今後のソフトウェア開発を行っていく。(委部)</p>			
	<p>・ 三重県一志郡狭杉村において重力探査を実施した。</p> <p>・ オーストラリア 北領地州/クィーンズランド州において既存の重力コア図から地下構造を計算・推定し、結果をオーストラリア人へ報告した。</p> <p>・ 人形峠の CSMT法 人形峠の VSP法および地殻の地震探査について資料提供およびコアアウトした。</p> <p>①人形峠の VSP法について資料提供およびコアアウトした。②中国における日中共同調査(健康) 専門家会議に出席し、コアアウトとともにコアアウトの密度と推進率を測定した。③オーストラリアの好エントウカワ・カガハの物探再解析を実施した。カガハ・オーストラリア/クィーンズランド州において現場調査(支援)を行った。</p> <p>・ 東濃湖山周辺で時間傾斜電磁法のデータ取得を行い、データ取得に関する報告書を作成した。このデータを利用して今後のソフトウェア開発を行っていく。(委部)</p> <p>・ オーストラリア、中国</p> <p>・ オーストラリア/クィーンズランド州で行われている地上物理探査(電磁法)のデータを解析した。当加シカノの代表的な地震構造について、電磁法の適用限界を知るための理論計算を行った。また、現地に出張し電気探査(注カウラー法と時間傾斜電磁法)を実施し、解析を行った。日中共同研究の一環として中国・遼東半島域において表層の比抵抗測定を行った。</p>			
	<p>4. 技術支援(探査の実施)</p> <p>重力探査</p> <p>(三重県 オーストラリア)</p> <p>(カナダ・クリスチアーレイク)</p> <p>(カナダ・オーストラリア)</p> <p>(カナダ・中国 健康・オーストラリア)</p> <p>(オーストラリア、中国)</p>			

分類項目	テナー		担当課 (室) 長 (短)	担当部 (室) 長	前
探査技術開発	物理探査技術開発		[実務担当課 (室)]	中部事業所 技術開発課	三井金属資源開発株式会社 川崎地区(株) CCS社 CRC社
	小テナー	年度			
		6 1	6 2	6 3	H 1
5. その他関連	(利用受信器の製作)				
	↓ ・電気探査用リガッドおよびリガッド部を製作した。(委託)		↓ ・MTT法・ソフトウェア開発 (委託) ・解析関係ソフトウェア購入 ・共同模倣実験 (供大先)		↓ ・解析技術向上によるコネクティング能力を図るため①Mapping System ②Modelling Packageを導入した。(委託)
	↓ ・測定データの処理・表示用プログラムの導入した。また、弾性波トモグラフィ法のためのリガッド用プログラムの導入及び解析プログラムの京都大学より入手した。		↓ ・ソフトウェアの整備		
(カナダ法人への長期滞在) (オーストラリア法人への対応)					
テナスペースにおける不整合関連型鉱床探査の実施 オーストラリアにおける不整合関連型鉱床探査の技術開発					
○技術資料, 成果発表 *外部 (外部委託) *社内 (社内作成) *発表 (成果発表)					
外部-①, ②		外部-③, ④	外部-⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨, ⑩	外部-⑪, ⑫	外部-⑬, ⑭, ⑮ 社内-①
発表-①, ②, ③		発表-④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨	発表-⑩, ⑪, ⑫, ⑬, ⑭	発表-⑮, ⑯	

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	ネ	ヤ	報告機関	筆頭執筆者	内 容	担当課 (室) 長	担当課 (室) 長	外部委託機関があるときはその機関名
						[実施担当課 (室)]	[実施箇所 (施設)]	
探鉱技術開発	物理探査技術開発							三井金属資源開発(株) 川崎地質(株) C C S 社 C R C 社
技術資料 (社内)								
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容		
①	SN7420 90-008	・RUDALL PROJECT & THREE SISTERS PROJECT 物理探査(1990)解析結果報告書	1990. 9	P N C	長谷川	・西オーストラリア州, ルーガルプロジェクト及びスリースタープロジェクトにおいて実施した物理探査データ解析結果		
②	PN7440 91-002	・モデルリング解析を用いた電磁探査法への低 比抵抗表土層の影響評価	1991. 2	P N C	長谷川	・低比抵抗表土層が電磁探査法に及ぼす影響をモデルリング解析により確認		

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	種 別	発 行 年 月	報 告 機 関	筆 頭 執 筆 者	内 容	担当課 (室) 長	外部委託機関があるときはその機関名
						〔実務担当課 (室) 〕 中部事業所 技術開発課 〔実務箇所 (施設) 〕	三井金属資源開発 川崎地質部 C C S 社 C R C 社
技術資料 (外部委託)							
探鉱技術開発	物理探査技術開発						
①	SJ7363 86-001	地震探査反射法基本処理システム	1986. 4	エドウィン(株)	佐藤	・地震探査反射法の基本的なデータ処理システムの構築 ・重力探査法二次元モデルシミュレーションプログラムの作成及びプログラムの評価	
②	SJ7229 86-004	重力探査法二次元モデルシミュレーション	1987. 1	エドウィン(株) カー・サ・ビズ(株)	野村	・電磁波探査に必要な基礎的物性試験の実施	
③	SJ7410 87-001	試験孔内電磁波探査法による基礎的物性試験	1987. 3	川崎地質(株)	飯室	・MT法, 比抵抗法の二次元解析用プログラムの作成	
④	SJ7270 87-001	二次元MT法・比抵抗法モデル計算プログラム	1987. 3	エドウィン(株) カー・サ・ビズ(株)	野村	・地中に存在する発熱源が地温分布に与える影響を熱伝導論に基づく数値シミュレーションによる評価検討	
⑤	SJ7363 88-001	地下熱伝導シミュレーション報告書	1987. 4	日鉱探開(株)	齊藤	・PLMT法開発のための予備試験の実施	
⑥	SJ7187 88-001	広域比抵抗測定法実証試験	1987. 3	三井金属資源開発(株)	伊藤	・トモグラフィ解析における各種再構成手法を評価する為のプログラムの作成及びプログラムの評価	
⑦	SJ7299 88-001	Tomography による地下構造解析プログラム	1988. 3	エドウィン(株) カー・サ・ビズ(株)	伊藤	・オーストラリア, グラニットクナマイ地区における地質, 鉱床に関する各種情報の定量的解析	
⑧	ZN7410 88-008	オーストラリア・グラニットクナマイ地区の総合解析	1988. 4	三井金属鉱業(株)	真島	・「Tomography による地下構造解析プログラム」により作成したプログラムの改良	
⑨	SJ7299 88-003	Geotomography に関する実験・分解	1988. 7	エドウィン(株) カー・サ・ビズ(株)	伊藤	・PLMT法による調査結果とCSAMT法による調査結果とを比較検討した。	
⑩	SJ4187 88-001	花崗岩体を対象としたPLMT法の適用試験	1988. 8	三井金属資源開発(株)	大屋	・試験孔内電磁波探査法による基礎的物性試験にデータを追加するとともにデータの再評価を実施	
⑪	SJ7374 89-001	レーザー法に関する岩石物性試験	1988. 8	川崎地質(株)	大屋	・アナリタイクックコンテナイミュエーション理論の東濃鉱山での測定値への適用	
⑫	SJ7187 89-001	時間領域電磁法を用いた精密電気探査法開発	1989. 6	三井金属資源開発(株)	大屋	・岩石の含水率変化による電気的 특성変化の測定を実施	
⑬	SJ7374 90-001	レーザー法に関する岩石物性試験 (その3)	1990. 3	川崎地質(株)			

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	子	業	[印]		外部委託機関があるときはその機関名	
			担当課(室)長	担当課(室)長		
探鉱技術開発	物理探査技術開発		[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課	三井金属資源開発(株) 川崎地質(株) C C S 社	
			[実施箇所(施設)]		C R C 社	
技術資料(外部委託)						
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
⑭	SJ7363 90-002	・熱流量探査装置の開発(その3)	1990. 3	日鉱探開(株)	野村	・地形、岩種、地下水流動などが地温に及ぼす影響を検討
⑮	SJ7187 90-002	・時間傾斜電磁法を用いた精密電気探査法開発	1990. 3	三井金属資源開発(株)	斉藤	・アナリティックコンテナニューション理論の検討等による解析プログラムの完成
⑯	PJ7401 91-001	・空中電磁法データの再解析	1991. 3	同和工営(株)	小西	・空中電磁法ジオデータのコンピューターを使ったデータ解析手法の検討
⑰	PJ7187 91-001	・東濃鉱山における物理探査電磁法データの取得	1991. 3	三井金属資源開発(株)	斉藤	・時間傾斜電磁法の実測データの取得について(場所：東濃鉱山周辺)

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	ネ	ヤ	[担当課(室)長] [担当部(室)長]		[外部委託機関があるときはその機関名]	
			[実施担当課(室)]	[中部事業所 技術開発課]		
探鉱技術開発	物理探査技術開発		[実施箇所(施設)]		三井金属資源開発株式会社 川崎地質株式会社	
成果発表表						
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
①	鉱山地質 Vol 37(2)	・ニジェール共和国のウラン探鉱における浅層反射法(ミニウ)の適用について ・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その1)	1987. 6	鉱山地質	坪田	・ニジェール共和国での浅層反射法調査及びその結果
②	70-62-007	・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その1)	1987. 10	物探学会	坪田	・簡易電磁探査法の理論的検討と適用試験結果
③	70-62-009	・地震探査反射法現場データ処理システムの開発 ・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その2)	1987. 10	物探学会	茂田	・動燃が開発したデータ処理システム及びびデータ処理結果
④	70-63-001	・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その2)	1988. 5	物探学会	坪田	・簡易電磁探査法の適用試験結果(他の物理探査法の測定結果との比較)
⑤	第78回物理探査 学会論文集	・岩石に対する電磁波特性基礎実験(その1)	1988. 5	物探学会	坪田	・自然の岩盤内の電磁波の伝搬速度・減衰定数の使用法と測定結果
⑥	第78回物理探査 学会論文集	・土岐花崗岩におけるラマンシステムの適用試験 ・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発	1988. 5	物探学会	坪田	・孔内用レーザー法調査装置の適用試験とその結果
⑦	70-63-004	・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発	1988. 6	動燃技報	坪田	・簡易電磁探査法の開発経緯と適用試験結果のまとめ
⑧	70-63-014	・Geotomographyにおける再構成手法評価(その1)	1988. 10	物探学会	坪田	・数学的再構成手法(計11手法)の比較及び長所短所の抽出
⑨	70-63-013	・商用周波数及びその高周波を使った簡易電磁探査法の開発(その3)	1988. 10	物探学会	坪田	・簡易電磁探査法の適用試験結果(送電線からの距離の影響検討)
⑩	70-01-001	・Geotomographyにおける再構成手法評価(その2)	1989. 5	物探学会	坪田	・数学的再構成手法のひとつであるCG法の欠点とその解決法の検討
⑪	70-63-028	・岩石に対する電磁波特性基礎実験(その2)	1989. 5	物探学会	坪田	・岩石試料の誘電率及び比抵抗の測定法と測定結果
⑫	70-01-023	・時間領域電磁法のイメージング	1989. 11	物探学会	坪田	・時間領域電磁法データの解析法の理論的検討
⑬	70-01-028	・ポアホールレーダの応用例	1989. 12	地下電磁計測ワークショップ	仙波	・土岐花崗岩を対象とした孔内用レーザー法を用いた調査結果

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ヤ	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
			(実施担当課(室)) 中部事業所 技術開発課 (実施箇所(施設))		
探鉱技術開発	物理探査技術開発				

成果発表

No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
⑭	40-63-054	カナダ、サスカチュワン州、アサバスカ盆地のウラン鉱床探査「クリスチアーレイク地区の探査活動をテーマとしたプロジェクト」	1989.	鉱山地質 日本鉱業協会	黒沼	・事業団単独プロジェクトであるクリスチアーレイクプロジェクトを対象とした物理探査手法の概要
⑮	70-02-052	カナダ北西準州シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査	1990.	日本鉱業協会	長谷川	・シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査の最近の進歩について
⑯	70-02-006	カナダ北西準州シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査	1990. 2	日本鉱業協会・現場担当者会議	飯田	・シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査の最近の進歩について *表彰④を参照

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ー	ー	受賞年月	授与機関	受賞者	受賞名	表彰	
								担当課(室)長(員)	(担当部(室)長)
探鉱技術開発	物理探査技術開発							[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課
								[実施箇所(施設)]	三井金属資源開発(株) 川崎地質(株) C C S 社 C R C 社
①	物理探査技術開発	・ P L M T 装置の開発	1988. 10	勲燃事業団	坪田 則竹 佐久間	理事長表彰 (創意工夫功績賞)	送電線からの商用周波数電磁場を信号源とした、地下数百m程度の比抵抗構造調査装置の開発に対して	外部委託機関があるときはその機関名	
②	物理探査技術開発	・カナダにおける物理探査手法の改良と鉱床発見	1989. 10	勲燃事業団	PNCカナダ 法人	理事長表彰 (創意工夫功績賞)	・カナダ北西準州シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査の改良活用と鉱床発見に知して (フリントセメリアプロジェクト)		
③	物理探査技術開発	・時間領域電磁探査法データ解析プログラムの開発	1989. 10	勲燃事業団	長谷川	理事長表彰 (創意工夫功績賞)	・カナダサスカチュオン州アサバヌカ東部地域での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした時間領域電磁探査法データ解析プログラムの開発に対して (クリステンレーイクプロジェクトでの鉱化帯発見につながる)		
④	物理探査技術開発	・カナダ北西準州シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象	1991. 3	日本鉱業協会	長谷川	日本鉱業協会 賞(探査部門)	・カナダ北西準州シエロン盆地北東部での不整合関連型ウラン鉱床を対象とした物理探査の最近の進歩についての論文に知して (フリントセメリアプロジェクト) *成果発表⑩を参照		

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	ネ	ヤ	印	印	外部委託機関があるときはその機関名
探鉱技術開発	物理探査技術開発		[担当課(室)長]	[担当部(室)長]	三井金属資源開発(株) 川崎地質(株) C C S社
			[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課	
			[実施箇所(施設)]		C R C社

工業所有権出願

№	テーマ	発明の名称	種類	出願番号	出願形態	共同出願人	審査請求	備考
①	物理探査技術開発	・商用周波数信号を利用した地下探査方法及び装置	特許	63-094875	共同	三井金属資源開発(株)	出願中	・ P L M T法の測定法原理
②	物理探査技術開発	・地下比抵抗探査におけるデータ処理及び装置	特許	63-094876	共同	三井金属資源開発(株)	出願中	・ P L M T法の測定手法で時間領域でスタッキング(重ね合わせ)に、フーリエ変換する測定法原理

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	子	一	マ	担当課(室)長	担当部(室)長	備考
				[実施担当課(室)]	[実施箇所(施設)]	
探鉱技術開発	物理探査技術開発			[実施担当課(室)]	中部事業所 技術開発課	外部委託機関があるときはその機関名 三井金属資源開発(株) C C S 社 川崎地質(株) C R C 社
製品販売実績						
No	子一マ	製品名	販売元	単価	販売実績	備考
①	物理探査技術開発	・ P L M T 装置	三井金属資源開発(株)	450万円	10台	(平成2年度末現在) *うち、動燃事業団1台、三井金属資源開発(株)3台

地球科学関連分野における
エキスパートシステム開発報告書

(探鉱技術開発)

【技術開発業務中期報告書】(評価用)

期間 (昭和61年4月～平成3年3月)

本報告書作成：技術開発課(中部) (責任事業部名：国際部 資源開発室)

作成日付 平成3年 6月 日

(1) 本文

分類項目	テ	ー	ヤ	担当課(室)長	印	担当部(室)長	印	外部委託機関があるときはその機関名
探鉱技術開発				[実施担当課(室)]		中部事業所 技術開発課		情報数理研究所 野村総合研究所 CCSS社
				[実施箇所(施設)]				

①【研究開発の目的・対象】
本技術開発は、初期段階のウラン探鉱プロジェクトを的確に把握するために、ウラン資源探査データのデータベース化と定量的評価のための評価手法の確立である。

②【実績説明】
ウラン探査のためのエキスパートシステムは、地質や探査データなどのデータベース化、それらを利用できる環境とそれらを使い実際に評価するときに必要なシステムの構築からなる。

1) ウラン資源探査データベース(DB)開発
各探査段階において、その段階特有の各種技術的・戦略的データを基にした意志決定が必要で、これを総合的に支援するソフト開発として、物理探査データおよび地質調査データを対象としてデータベース管理システム(データベース)を体系的に管理したり、効率よく引き出したりする仕組み(シェル)を昭和62年度に完成させた。また、SDB運用の効率を高めるために昭和63年度には照会(検索)機能の改造とコマンド表の付加を行った。平成元年度からは国内外の探査データの入力作業を行っている。

2) データベース利用環境の整備
現場取得データのデータベースへの流入とデータベースに蓄積されたデータの利用の円滑化を図るため、昭和61年度よりHP社のスーパーコンピュータ (HP9000シリーズ520、840)及びウランシステムソフトウェア(375)を導入し、解析環境を整備している。又、ウラン資源探鉱データの解析の場として構想された計算機上の仮想的作業環境“データハンドリング”環境等を開発した。

3) 探査評価に係わる知的支援システム(IRESS)の開発
【第1段階】
プロジェクトの有望度評価における専門家の経験的な知識のエキスパート化を目的とし、た資源探査エキスパート“プロスペクティブ”を開発(昭和61年度)し、人工知能展(於東京、昭和61年)やNTS エンジニアリングセミナー(昭和61年)で一般に紹介するとともに昭和62年にはプロスペクティブのために作成した開発ツールを別用評価エキスパートシェル“コキト”として発売した。

【第2段階】
昭和62年度より探査を行う専門家の研究や調査を幅広く支援することを目的とし、専門家がウラン鉱床探査に関する研究を行う上で必要な理論機能を持つ他、鉱床成因に関する知識や探査手法に関する知識などの専門知識、ウラン鉱床や地球化学に関するウラン資源探査に係わる知的支援環境(IRESS)の開発を開始した。平成元年度にはIRESSの機能として地質学的事象や探査データを直接多段階的に処理する米國地質調査所が提案した“データ指向型数値解析法(以下Ddm)”を取り込み、調査地の有望度や資源量を見積もるといふ、ウラン資源有望度評価システムが完成した。

担当課(室)長	印	担当部(室)長	印	外部委託機関があるときはその機関名
[実施担当課(室)]		中部事業所 技術開発課		情報数理研究所 野村総合研究所 CCSS社
[実施箇所(施設)]				

③【プロジェクトへの反映】
平成2年度オーストラリア・アーネムランド地域の地質データをDdM法において評価したが暫くの間は、具体的なプロジェクトへの適用試験が無く、既に開発されているウラン資源データベース(SDB)とエキスパートシステムを組み合わせたことにより、新規プロジェクトの評価、各探査段階毎の評価を迅速かつ客観的に評価する事が可能となり、ウラン資源探査及び開発が効率的に行われるようになるものと期待される。又、東海地方の試験地質データをSDBに入力したが、今後も探査データをデータベース化し、事業団の業績を保存し、活用する。

④【技術移転】
資源探査における評価システム開発を実施している研究機関が少なく、学会、講演会等での発表は常に注目されている。
また、汎用エキスパートシェル“コキト”は資源探査分野だけに留まらず各方面から反響があった。

⑤【実施体制・予算・要員の変遷の説明】

予算(百万円)	01	02	03	H1	H2	H3
人員(人)	10	17	23	20	21	5
	2	3	4	1.5	1	1

⑥【今後の計画と課題】
今後は、これまでに開発したDdM法の具体的新規プロジェクトへの適用によるシステムそのものの完成とIRESSの機能付加に努める。
課題は、開発を行う人員と予算の確保である。
また、エキスパートシステムを委託するソフトウェア会社に常優秀な人材を確保する必要があり、この目的には、相当の予算を毎年投入しなければ対象会社内に優秀な人材が異動等で逃げる問題がある。

⑦【事業部長及び事業所長所見】
最新のコンピュータ技術を活用し、ウラン探査技術者事業団が目指すシステムは、最終的な客観的な判断を下せるような環境を構築することである。今後は、IRESS/DdMを用いた実規模の未探査地有望度評価のケーススタディを数多く実施するとともに、IRESSの機能付加に努め、初期段階のウラン探査プロジェクトのスケラツアップを果敢と実施する。
場合の有力な判断手法として確立させる必要がある。

部長印	所長印

実績補足説明書：有・無

(2) 研究開発の流れ図

分類項目	年度		年 度					外部委託機関があるときはその機関名					
	昭和	平成	58年	59年	60年	61年	62年	63年	平成元年	2	3	4	5年以降
探鉱技術開発	地球科学関連分野におけるエキスパートシステム開発 (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)												
担当課(室)長	[担当課(室)長] 中野 博												
実施担当課(室)	[実施担当課(室)] 中野事業所 技術開発課												
実施箇所(施設)	[実施箇所(施設)]												
外部委託機関	情報数理研究所 野村総合研究所 CCSS社												
1)ウラン資源探鉱データベース開発	昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降		
<p>The flowchart illustrates the development process of the Uranium Resource Exploration Database. It starts with 'Physical Exploration System Analysis/Program Design' in 1985, leading to 'Physical Exploration Program Development' in 1986. This is followed by 'Geological Exploration System Analysis/Program Design' in 1987, which then leads to 'Geological Exploration Program Development' in 1988. A parallel path involves 'Field Investigation of Rocks Related to Geological Exploration Program Development' in 1988, which also feeds into the 1988 development phase. The final step is 'Database System Development (Expansion of Search Types)' in 1989, which is supported by 'Data Entry' from 1990 onwards. The database is implemented on HP 9000 Series Computers, with data entry performed on HP 520, HP 840 Superminicomputers, and HP 350 Workstations. The system is accessed via HP 375 Workstations.</p>													
2)データベース利用環境の整備	<p>HP 9000シリーズコンピュータのリース</p> <p>データ入力</p> <p>HP 520</p> <p>HP 840スーパーミニコン</p> <p>HP 350ワークステーション</p> <p>HP 375 ワークステーション</p>												

② 研究開発の流れ図

分類項目	年 度	年 度										5年以降 1993年以降
		昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	63 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	
探鉱技術開発	地球科学関連分野におけるエキスパートシステム開発 (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)	[担当課(室)長]印 [担当部(室)長]										外部委託機関があるときはその機関名 情報数理研究所 野村総合研究所 CCS社
		[実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]										
3) 探査評価に係わる知的 支援システム(IRESS)の 開発	小テナー	* 初期的ウラン資源探査プロジェクト 評価手法開発プロジェクト										
○数値化しにくい地質専門家の知識と経験をエキスパート化する事により初期段階にあるプロジェクトの評価を客観的に実施するシステムの開発 (プロスペクター)	プロスペクター 開発	* 人工知能展出展 * N T S エンジン * エキスパートシェル "コギト" 発売開始 ⇒ (58セット発売・平成2年度現在)										
	"プロスペクター" 開発 (概念設計)	ウラン資源探査における知的支援システム(IRESS)の開発										
○探査技術者の思考を幅広く支援する環境システムの開発 (IRESS)	"プロスペクター" 開発 (システム設計)	システム設計										
		D d M 法システム開発										
		* 鉱床探査の為に人工知能利用国際会議への発表										
		オーストラリアへの適用(1地域/年)										
		鉱床成因に関する文献調査										
		* オーストラリア・アース・アネムランド地域の 鉱床成因論の学会発表										

分類項目	テ ー マ		担当課 (室) 長	担当部 (室) 長	担当	外部委託機関があるときはその機関名	
探査技術開発	地球科学分野におけるエキスパートシステム (ウラン探査ソフトウェア評価システム開発)		[実施担当課 (室)] 中部事業所 技術開発課			情報処理研究所 野村総合研究所 CCS社	
	小分-2	年度	6.1	6.2	6.3	H1	H2
データベース利用環境の整備	データベース利用環境		HP8000シリーズコンピュータのリース		HP8400スーパーミニコン		HP875 カラグラフィック
			H.P. 5 2 0		HP8400スーパーミニコン		HP875 カラグラフィック
					データベース利用アプリケーションの検討		

・遠隔地からのデータの出力実装を実施した結果回線状態でもデータベースが利用できるようになった。

・データベース間のデータ通信システム
コンピュータ間のデータ通信システム (計算機システム間の広域的な連携)

・SDBを利用する際計算機ソフトウェアのデータ媒体やファイル利用者自ら処理・加工(プログラム)が変更や必要なデータをSDBから選別するための環境を市販のツールがデータベースを利用することにより開発した。

知識の体系化 (知的支援システム "IRES")
↓
知識の体系化継続

知識の体系化として①ウラン濃集および濃集の化学と②鉱床形成および推定手法の体系化を行った。また、③体系化された知識および関連する資料のデータベース化(1-1型)を行った。知的支援環境の開発を開始し、本年度はウランおよびウラン濃集のデータベース化の推進試験を行った。

知識の体系化として、米国地質調査所が提案したData-directed Numerical Method (データ指向型数値解析法、以下DdM)を取り込むこととし、開発を開始した。

開発継続
・オーストラリア・ブーネムラントンでのソットの検証
・資源評価報告書
↓
DdM開発の一環としてオーストラリアブーネムラントンに分布する既知鉱床周辺の地質・地質構造ほかの知識を整理し、本手法をPNCの探査候補地域に適用し、有望度評価を行った。なお、DdMについては、オーストラリアでの適用試験を含め人工知能的手法国際会議(於東京大学)で発表した。また、動燃技法(12月号の人工知能特集)で紹介した。

昭和59～60年度に開発したウラン資源探査ソフトウェア「加ハカ」の評価・見直しを行った結果、探査専門家の思考支援向きでないとの結論に到り、探査専門家の知的支援を目的とした知的支援システム「IRES」の開発へ方向転換することとした。加ハカの開発のために作成した開発ツールを汎用評価ソフトウェアとして発売した。

探査評価に係わる知的支援システム「IRES」の開発

・データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

データベース利用アプリケーションの検討

分類項目	年度	テ ー マ	担当課 (国) 長 / 担当部 (国) 長		外部委託機関があるときはその機関名	
			【国】担当課 (国) 長	【部】担当部 (国) 長		
探鉱技術開発		地球科学分野におけるエキスパートシステム (オンライン調査プログラム) 評価システム開発	【国】探鉱担当課 (国) 長	【部】探鉱所 技術開発課	情報数理研究所 野村総合研究所 CCS社	
小ホク	6 1		6 2	6 3	H 1	H 2
オンライン資源探鉱データベース開発		技術サーバ系 管理システム完成 システム報告書 (5件) ↓	<p>・地質調査データ等対象部一終了 (オンライン探鉱サーバシステムの基本部分完成)</p> <p>↓</p> <p>オンライン資源探鉱データベース強化 (発表形態の改造とコード表の付加)</p> <p>↓</p> <p>・各探査段階において技術的・戦略的データを基にした意思決定を行うが、これを機動的に交換する各種ソフトウェアの有機的な集合体であるシステム (その中核はサーバ系群で技術サーバ系配属サーバ系から構築される業務サーバ系から構成される) のうち技術サーバ系に当たるオンライン資源探鉱サーバ系 (SDB) を完成させた。…正確には技術サーバ系管理システム (SDRMS)</p> <p>(案書B)</p>	<p>・前年度で開発を終了したオンライン資源探鉱 (SDB) の運用効率を高めるため、本年度は照会 (検索) 機能の改造と、コード表の付加を行った。</p> <p>(案書B)</p>	<p>国内探鉱データの入力 ・奥佐野/蘭坂鉱床の試験効層データ入力 (約400孔分)</p>	<p>国内探鉱データの入力 ・月吉鉱床等の試験効層データ入力 (約1,500孔分)</p>
			<p>外部一②</p> <p>発表一④</p>	<p>外部一③</p> <p>発表一⑤</p>	<p>外部一④, ⑤, ⑥</p> <p>発表一⑦</p>	<p>外部一⑦, ⑧</p> <p>発表一⑨, ⑩, ⑪, ⑫</p>
			<p>外部一①</p> <p>発表一①, ②, ③</p>	<p>外部一⑤</p> <p>発表一⑥</p>	<p>外部一④, ⑤, ⑥</p> <p>発表一⑦, ⑧, ⑨, ⑩</p>	<p>外部一⑦, ⑧</p> <p>発表一⑨, ⑩, ⑪, ⑫</p>

○技術資料, 成果発表

- *外部 (外部委託)
- *社内 (社内作成)
- *発表 (成果発表)

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ー	ラ	報告機関	筆頭執筆者	内	容	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
								[実施担当課(室)]	[中野事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]]	
探鉱技術開発	地球科学分野におけるエキスパートシステム (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)									
技術資料(社内)										
№	資料コード	標	題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内	容		
①	TN7410 91-004		・資源探査の有望地評価システムの開発及び オーストラリア・ウラン鉱床地帯への適用	1991. 2	成果報告書	山田	・オーストラリア・ターネムランド地域への適用とその結果			
②	TN7410 91-002		・ A Microcomputer-based system for the estimation of uranium endowment using a data-directed numerical method and its Application to the Arnhemland uranium area, Northern Territory, Australia	1991. 4	成果報告書	坪田	・オーストラリア・ターネムランド地域への適用とその結果			

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ヤ	報告機関	筆頭執筆者	担当		外部委託機関があるときはその機関名
					課長(室長)	部長(室長)	
探鉱技術開発	地球科学分野におけるエキスパートシステム (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)				[担当課(室)長] 野村 正司 [実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]	情報数理研究所 野村総合研究所 CCS社	
技術資料(外部委託)							
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容	
①	SJ4359 86-001	ウラン資源探査エキスパートシステムの開発	1986. 4	情報数理研究所	稲垣	知識分析に関する作業及びプロトタイププログラムの設計	
②	SJ7359 87-002	初期的ウラン資源探査プロジェクト評価エキスパートシステムの開発 (初1.概念化)	1987. 3	情報数理研究所	小山	鉱床生成モデルに関する知識の体系化と概念化の試案のとりまとめ	
③	SJ7359 88-002	初期的ウラン資源探査プロジェクト評価エキスパートシステムの開発 (初2.概念設計)	1988. 2	情報数理研究所	小木田	前年度に引き続く知識の体系化の実施及び全体システムの概念設計	
④	SJ7295 89-001	高度集中解析システムの開発 (概念設計)	1988. 3	野村総合研究所	辻	図形、画像データ処理に係わる一般動向から、既存システムの機能とデータ構造の整理を行い、高度集中解析システムの概念設計を検討。	
⑤	SJ7559 89-001	ウラン鉱床成因論に関する知識の抽出と構造化	1989. 3	情報数理研究所	庄司	知識の体系化及び概念化の検討。	
⑥	SJ7559 89-002	I R E S S の開発	1989. 2	情報数理研究所	庄司	I R E S S の開発に関する調査を実施する過程で行った打ち合わせ履歴と基本的コードリスト。	
⑦	SJ7359 90-001	I R E S S の開発 (その2)	1990. 3	情報数理研究所	庄司	I R E S S の一機能としてDDMに基づくウラン資源量評価機能をインテグレートし、実際の資源量評価として、グランソツ地域の評価を実施。	
⑧	SJ7259 90-001	高度集中解析システム拡張機能開発及び調査	1990. 3	野村総合研究所	辻	図形入力のために必要となる作業をサポートするシステムの概念設計	

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テーマ	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	担当	
					担当課(室)長	担当部(室)長
探鉱技術開発	地球科学関連分野におけるエキスパートシステム開発 (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)				[担当課(室)長] 野村 敬 [実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]	外部委託機関があるときはその機関名 情報数理研究所 野村総合研究所 CCS社
成果発表表						
No	資料コード	題 名	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
①	1987.4月号	ウラン資源探査エキスパートシステム	1986.4	原子力工業	石堂	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状
②	動燃技報No.60	ウラン資源探査エキスパートシステム開発	1986.12	動燃技報	石堂	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状
③	イキナト特集1986	ウラン資源探査ネットワーク型データ構造の利用	1986.4	オーム社	石堂	・エキスパートシステム構造の現実とノウハウ
④	情報地質研究発表会(第2回)	ウラン資源探査エキスパートシステム	1987.6	情報地質研究講演会	石堂	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状
⑤	70-63-005	ウラン資源探査における知的支援システム(I.R.E.S.S.)の開発(その1), (その2)	1988.4	物理探査学会春季講演会	石堂	・動燃におけるI.R.E.S.S.の概要
⑥	70-63-020	地下資源探査におけるエキスパートシステム	1989.4	イコト資源第10巻1号	石堂	・地下資源探査におけるAI技術の利用
⑦	70-02-005	ウラン探査におけるエキスパートシステム	1990.4	日本鉱業協会・探査部会	則竹	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状
⑧	鉱山地質 Vol.41(2)	資源探査の有望地評価システムの開発及びオーストラリアウラン鉱床地帯への適用例	1991.6	日本鉱業協会・現場担当者会議	山田	・DdMとプロジェクト有望度評価システムの概要とオーストラリア・アーネムランドの適用とその結果
⑨	70-02-041 (PMC TN7410 90-002)	A microcomputer-based system for the estimation of uranium endowment using a Data-directed Numerical Method, and its application to the Arnhemland uranium area, Northern Territory, Australia	1990.10	鉱床探査の為に人工知能利用国際会議	坪田	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状とオーストラリア北部準州アーネムランド地区における未発見ウラン資源の評価検討
⑩	70-02-022	ウラン資源探査エキスパートシステムの開発と実績	1990.12	動燃技報	坪田	・動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ ー マ	[担当課(室)長]印 [担当部(室)長]印		外部委託機関があるときはその機関名		
		[実施担当課(室)] [実施箇所(施設)]	中部事業所 技術開発課			
探鉱技術開発	地球科学関連分野におけるエキスパートシステム開発 (ウラン探査プロジェクト評価システム開発)			情報管理研究所 野村総合研究所 CCS社		
成果発表						
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容
⑩	TN7410 91-002	A microcomputer-based system for the estimation of uranium endowment using a Data-directed Numerical Method and its application to the Arnhemland uranium area, Northern Territory, Australia	1991. 4	資源・素材学会	坪田	・ 動燃におけるエキスパートシステムの開発の現状とオーストラリア北部準州アーネムランド地区における未発見ウラン資源の評価検討

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	種別	製品名	販売元	単価	販売実績	備考	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
							[実施担当課(室)]	[実施箇所(施設)]	
探鉱技術開発									情報数理研究所 野村総合研究所 CCSS社
製品販売実績									
①	地球科学関連分野におけるエキスパートシステム開発	・評価エキスパート・シミュル”コギト”	情報数理研究所	96千円	58本	(平成2年度未現在)			

高品位鉍床放射線防護採鉍技術開發報告書

(採鉍技術開發)

【技術開発業務中期報告書】(副査用)

期間 (昭和61年4月～平成3年3月)

本報告書作成：技術開発課(中部) 作成日付 平成3年 6月 日
 (責任事業部長名： 国際部 資源開発室)

(1) 本文

分類項目	テ	ー	ー	ヤ
探鉱技術開発	高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発			
探鉱技術開発	高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発			
担当課(室)長	担当部(室)長	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
[実施担当課(室)]	中部事業所	技術開発課		
[実施箇所(施設)]				社団法人 資源・素材学会

①【研究開発の目的・対象】

ここ数年カナダ等で発見されている不整合関連型と呼ばれる高品位ウラン鉱床を経済的、効率的、かつ安全に探掘する技術の開発である。

②【実績説明】

昭和58年度のボーソンレイクプロジェクトへの参入を機会としてスタートした探鉱法の設計は経済的、高効率、安全性を基本として地道な研究を実施してきたが、昭和62年度に参入した年度、その権益を民間移転したミッドプロダクションの鉱山開発計画の立案に際し、探鉱法については、本研究の成果をプロジェクトに提案し、ほぼ本研究の成果を踏まえた形で開発される事となった。また、本研究の一環として実施していた放射線防護研究において、試作した可搬型Rn測定器により、金風鉱山等保安規則の変更に伴い、新しく導入された周辺監視区域設定に関するデータ取得に大いに活用された。

1) 探掘技術開発

昭和58年度から取り組んできた数種の探鉱法の内、下向きホールポローラー法及び遠隔長孔発波式探鉱法については、ミッドプロダクション鉱床探掘法決定に大きな役割を果たした。下向きホールポローラー法については、実際の試験掘削に活用され、岩盤状況、湧水状況、コスト評価等のデータ取得に活用され、このデータに基づき更に放射線被ばく防護が考慮された遠隔長孔発波式探鉱法が採用される事になった。

2) 放射線防護技術開発

昭和62年度までの各種基礎試験により得られたデータを基に、昭和63年度に可搬型Rn娘核種測定器と可搬型P A E Cモニタを平成元年度にR n - P A E Cモニタを簡単に作した。平成元年度の金風鉱山等保安規則改正迄、国内には環境中のR n娘核種濃度を簡単に計測できる測定器が無く、可搬型R n娘核種測定器が有効に利用された。また、可搬型P A E Cモニタは鉱山労働者の被ばく評価のため、東濃鉱山坑内で種々のデータを採取した。更に、被ばく評価の基礎研究として平衡係数を求める事が可能となるR n - P A E Cモニタを平成元年度に試作し、現在改良を行っている。

③【プロジェクトへの反映】

昭和58年度カナダ、サスカチュワン州アサバスカ地域のボーソンレイクプロジェクト参入を機会に、高品位ウラン鉱床の探鉱技術に急激な関心が集まり、以来探掘技術及び放射線防護技術の両面から研究開発を進めてきた結果、その研究成果が勲励事業団が保持するミッドプロダクションの民間鉱山会社(海外ウラン資源開発株式会社)への権益移転に際して軟弱岩盤での探掘、鉱山労働者への放射線防護対策のF S (フレイムシビリチイムスタグイ)に活かされている。

④【技術移転】

ミッドプロダクションプロジェクトの民間鉱山会社への権益移転に際して、これまで取り組んできた研究成果が活用された事は、大きな成果である。ミッドプロダクションプロジェクトのパートナーであったデニソン社は、事業団の研究開発成果を高く評価しており、F S作成において事業団の意見が十分に反映された。

⑤【実施体制・予算・要員の変遷の説明】

	61	62	63	H1	H2	H3
予算(百万円)	20	15	15	20	7	13
人員(人)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1

⑥【今後の計画と課題】

研究対象のひとつとしていたミッドプロダクションプロジェクトが民間移転したことから、探掘技術については具体的ニーズが弱くなってきているが、放射線防護技術については、世界的な環境規制強化の観点から、近々発表されるであろうICRP勧告に対応した鉱山管理等の研究開発を目指す必要がある。

⑦【事業部長及び事業所長所見】

昭和58年度から開始した本技術開発が、本年のミッドプロダクションの民間移転に果たした役割は大きい。今後は、次の開発プロジェクトに向けた基礎研究と放射線防護技術開発として、ラドン研究を強化させるべきであろう。

部長印	所長印
	

実績補足説明書：有・無

(2) 研究開発の流れ図①

分類項目	年	昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	68 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降	機関名
探鉱技術開発	探鉱技術開発	高品位鉱床放射線防護探鉱技術開発											外部委託機関があるときはその機関名
		[担当課(室)長] 田中 [担当部(室)長] 中野 [実施担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]											社団法人 資源・素材学会

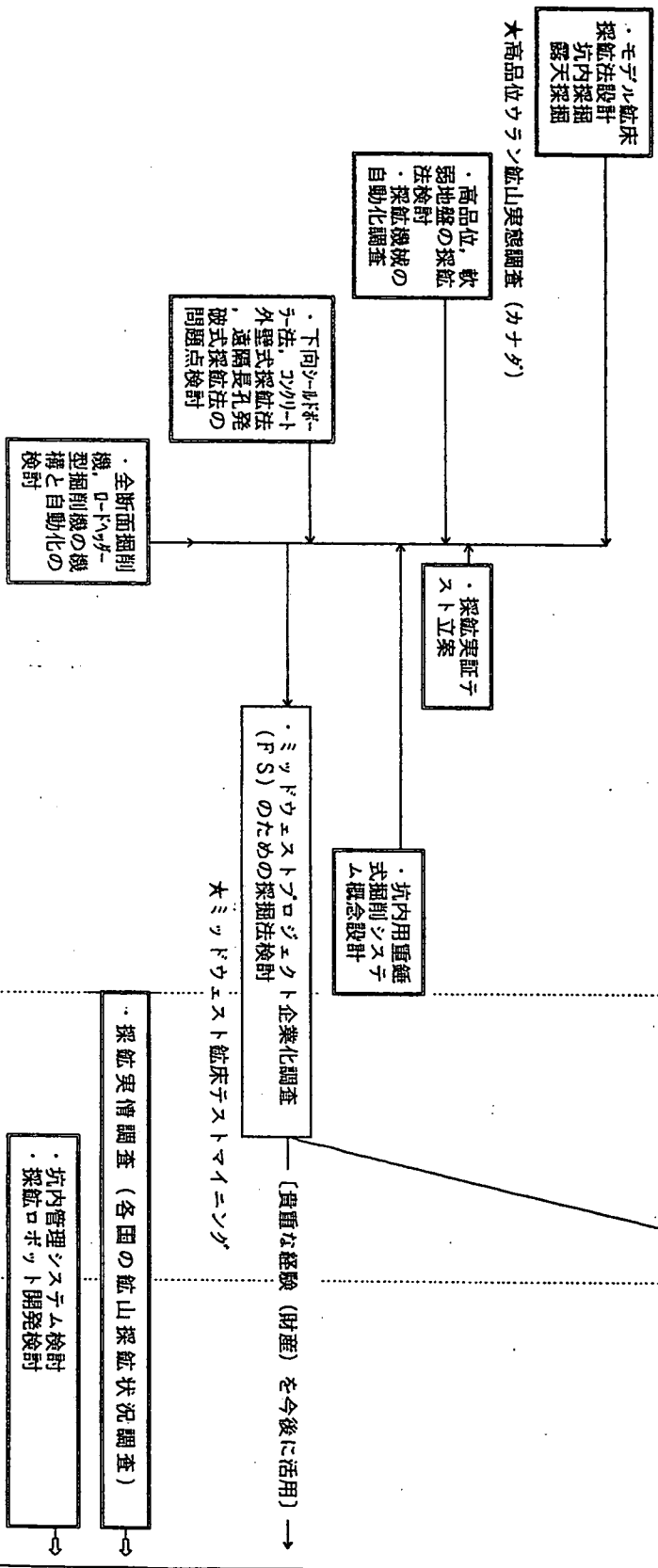
年度	昭和58年 (1983)	59 (1984)	60 (1985)	61 (1986)	62 (1987)	68 (1988)	平成元年 (1989)	2 (1990)	3 (1991)	4 (1992)	5年以降 1993年以降
----	-----------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------------	-------------	-------------	-------------	-----------------

★ポーンレイクプロジェクト
共同調査参入(高品位ウラン鉱床)

高品位ウラン鉱床の探鉱技術開発研究開始 [委託研究(日本鉱業協会(日本鉱業協会: 現資源・素材学会))]

★ミッドウエストプロジェクト
共同調査参入(高品位ウラン鉱床)

探鉱技術開発の進捗



分類項目	年度	テーマ	担当		担当部署	担当部長	担当部長	外部委託機関があるときはその機関名						
			(担当課(室)長)	(担当課(室)長)										
探鉱技術開発	61	高品位鉱床放射線探鉱技術開発	(担当課(室)長)	(担当課(室)長)	中部探業所 技術開発課	菅	菅	外部委託機関があるときはその機関名						
			(実施箇所(施設))											
小テーマ	61	62	63	H1	H2									
○探鉱技術開発														
<p>下向きが、ルボネ子及び下向きタイプ掘削機を坑内で用いる場合への検討を行った。その結果、ヘッドの場合には掘削径2mでも回転機軸が外中にあるため3mの高さに収まるが、全断面掘削型のボネ子では4~4.5mの高さになる見込みになった。そのため掘削直径を2mから1.6mに小さくし、掘削機全体を小型化することで、高さを3.5mまで低くできる見通しを得た。</p> <p>(委部)</p>			<p>試作機が完成したと仮定し、国内においてどの様な実証テストを実施すれば良いのかという試験計画の立案を検討するとともに、探鉱法の周辺部門として排水、通気の問題を検討した。また、自動化に関する問題については、これまで未着手であった坑道掘削機と坑道支保機機の検討を実施した。</p> <p>(委部)</p>			<p>昭和62年度までの研究開発による一連の探鉱技術については概念設計を完了した。次の段階としては、掘削機の試作が考えられたが、多額の予算を必要とする事から、これを断念し、昭和62年度の掘削機が完成した場合の実証テスト立案をもって中断とした。</p>			<p>シカゴの鉱床において試験探鉱が実施され、実際に高品位鉱床の上層に坑道を掘進したが、そこでの坑道や坑内掘削機が岩の崩落現象では、坑内には地圧に起因する現象が殆ど出現せず、坑外から吹き付けの空気などで充分であること、従って地圧による大口径の孔の押し出しは発生しない事が判明した。これにより下向きボネ子方式を適用した場合が不要と判断され、探鉱坑の低減に有利な状況になった。</p> <p>この為、重連式掘削探鉱法として下向きボネ子の変形ではあるが、掘削機としては回転式でなく操業コストの安い重連式の落下による打撃力で鉱石を粉砕して、エアーで破砕鉱を揚送排出して回収するシステムを掘削機のみでなく、掘削機を地上へ送る設備までをシステムとして概念設計した。</p> <p>(委部)</p>			<p>シカゴの鉱床の民権移転に伴い、これまで実施してきた研究開発が中止された事により、一連の高品位鉱床探鉱技術については一段落した。</p> <p>しかしながら、世界的には環境規制が厳しくなるという現象もあり、また放射線探鉱法に関する見通しであり、披ざく量低減化の方針から、既存鉱山を含めた探鉱法の再検討が迫られた。この為、現在稼働中のカウ鉱山の事態を調査し、探鉱法の研究開発課題や新しいORP報告に対応するために各鉱山がどの様に対応するか等について、探鉱実情調査を平成3年度に実施する。この為の準備作業を実施した。</p> <p>(委部)</p>		

分類項目	年度	ナー	担当者		社団法人 資源・材料学会	
			担当課(室)長	担当部(室)長		
採鉱技術開発	高品位放射線防護採鉱技術開発	[更だ担当課(室)] 中部事業所 技術開発課 [更だ箇所(施設)]	外部委員機関があるときはその機関名	[更だ担当課(室)] 中部事業所 技術開発課		
				[更だ箇所(施設)]		
				社団法人 資源・材料学会		
小ナー	年度	6 1	6 2	6 3	H 1	H 2
○放射線防護技術開発						
<p>ナー作業室における樹ばく量評価と、そのための基礎実験として、下向きナーの模擬実験装置(高品位放射線粉末を水底で照射するもの)を作成し、水中Rnの挙動等について研究した。その結果、作業者の樹ばく量の推定として、約2.3rem/yrの樹ばくがあると推定された。この状態で年間2000時間作業すると約4.6rem/yとなる。これは、5rem/yの許容範囲内であるが、通常作業に基づくと作業者の樹ばく量ができるだけ少なくし、異常事故時の対応が可能となる余裕がある樹ばく管理方式の必要がある。(委部)</p>						
<p>坑内のRnの発生源は坑内に取り残された鉱石、坑道や切羽の壁面、Rnを含んだ湧水等である。このうち鉱石に対しては破碎後、早急に回収する事が原則であり、それ以外の適当な対策は無い。これに対して、坑内の壁面についてRn湧出を防止する事が可能である。このため、市販のナトリウム剤について室内試験を実施したが、発生したRnの湧水に対する効果等について説明しなければならない点が発見されていることが判明した。(委部)</p>						
<p>鉱山及び鉱山周辺地区の放射線レベルを増加させぬような方策をとることは勿論であるが、それを担保するモニタリングが必要である。前年度までに得られた、高品位放射線測定器を基に、可搬型Rn検出器の基礎試験を基に、可搬型Rn検出器と可搬型PACeC-モニターが設計されており、各種試験を実施するとともに、高品位放射線測定器の坑内及び周辺環境におけるモニタリングの概念設計を行った。(委部)</p>						
<p>前年度の研究では、可搬型Rn検出器と可搬型PACeC-モニターを各々1台ずつ製作し、栗屋鉱山において坑内環境測定に使用されている。今年度は、Rn濃度と平衡等価Rn濃度の両方を1台で同時に測定可能な測定器を設計・製作し、前年度と同様に栗屋鉱山において各種モニターが設計されており、採取できるかどうかについて試験測定を実施した。(委部)</p>						
<p>前年度開発したRn-PACeC-モニターでは、実際の測定値がその場で読み取れないため、これを現場でRn及びRn濃度測定値が読み取れる様に改造し、鉱山及び鉱山周辺環境での測定を実施した。また、栗屋鉱山の坑道を利用して、計測機器の検定が可能となる比較的小型の標準型モニターに近々発表されるであろうICRP勧告への技術的対応についての検討を実施した。(委部)</p>						
○技術資料、成果発表						
<p>*外部 (外部委員) 外部一①</p> <p>*社内 (社内作成) 外部一②</p> <p>*発表 (成果発表) 外部一③</p> <p>外部一④ ⑤</p> <p>外部一⑥</p>						

(3) 技術資料・成果発表・工業所有権出願等

分類項目	テ	ヤ	報告機関	筆頭執筆者	内 容	担当課(室)長	担当部(室)長	外部委託機関があるときはその機関名
						[実施担当課(室)]	[中部事業所 技術開発課 [実施箇所(施設)]]	
探鉱技術開発		高品位鉱床内放射線防護探鉱技術開発						社団法人 資源・素材学会
技術資料(外部委託)								
No	資料コード	標 題	発行年月	報告機関	筆頭執筆者	内 容		
①	SJ4552 86-001	・高品位ウラン鉱床の探鉱法の概念設計とその基礎研究	1986. 3	日本鉱業協会・現資源・素材学会	山口	・下向きシールドボーラー法、コンクリート外壁式探鉱法、遠隔・長孔サンプレベル探鉱法の問題点と試算コストの算定及び放射線保安に係わる基礎試験を実施 ・全断面掘削機及びローバ「ヘッダー」型掘削機の機構と自動化方式の概念設計と水底の高品位ウラン鉱床から放出されるRnの水中における挙動観測を実施		
②	SJ4552 87-002	・高品位ウラン鉱床の探鉱法の設計とその基礎研究	1987. 5	日本鉱業協会・現資源・素材学会	西松	・探鉱実証テストに必要な国内鉱山における試作機の実証テスト計画の立案及び放射線防護研究として非定常状態における被爆量の予測解析を実施		
③	SJ4552 88-002	・高品位ウラン鉱床の探鉱法の設計とその基礎研究	1988. 6	日本鉱業協会・現資源・素材学会	西松	・1985年より実施されている高品位ウラン鉱床探鉱法に関する研究の経過と概要		
④	SJ4552 89-001	・高品位ウラン鉱床の探鉱法に関する設計研究(総集編)	1988. 6	日本鉱業協会・現資源・素材学会	井上	・可搬型精密ラドン娘核種測定器を試作し高品位ウラン鉱山の坑内及び周辺環境におけるモニタリングシステムの概念設計を実施		
⑤	SJ4552 89-003	・高品位ウラン鉱床の探鉱法の設計とその基礎研究	1989. 6	資源・素材学会	黒沢	・重錳式掘削機と塵出スラリー鉱石の地表への流送システムの概念設計とRn濃度とPAECを同時に測定できるモニタの開発を実施		
⑥	SJ4552 90-002	・高品位ウラン鉱床の探鉱法の設計とその基礎研究	1990. 7	資源・素材学会	黒沢			

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005