

JNC TN7400 2005-020

~~009~~

~~≠~~  
~~PNC PN7440 94 004~~

~~社内一般~~

~~本資料は2000年3月31日付けで登録区分  
変更する。  
東濃地科学センター【研究調整グループ】~~

/

図書室

# 平成5年度技術開発課年報

1994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写・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下さい。~~

~~〒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~~

~~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)  
1994~~

~~この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついては複製、転植、引用等を行わないよう、また第三者への開示や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に注意して下さい。~~

~~本資料についての問い合わせは、下記に願います。~~

~~〒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、東濃地科学センター・技術開発課が、平成5年度に実施した研究開発業務の内容を取りまとめたものである。成果については、地層科学研究に係る技術開発と、探鉱や採鉱に関する技術開発、及び、共通的業務に関するものの三つに分類して掲載した。

A. 探鉱に関する技術開発では、オーストラリアの地質環境に対応した地球物理学的探鉱システムを開発するため、①西オーストラリア及び②北部準州アルンタ地域でのウラン探査地域における衛星画像処理と現地調査の対比により得られた知見、と③アルンタの現地調査で採取した岩石試料のX線回折による鉱物同定結果について報告した。

また、カナダ・アサバスカ地域での物理探査技術の改良として④クリスティーレイク岩芯試料の反射スペクトルを測定してX線回折で判読できない粘土鉱物の違いを測定したことなどを報告した。

採鉱技術の開発では、ウラン鉱山での内部被ばくを低減するために⑤ラドンの湧出抑制や測定評価技術に関する研究成果、と⑥過去に行われたカーボンの測定データを変換して地質と環境放射線の関連性を調べた安全評価研究の成果を報告した。

その他、過去に東濃鉱山で実施された⑦坑内インプレスリーチング試験場跡からの坑水を処理する施設の更新と坑水処理工程の合理化についても報告を行った。

B. 地層科学研究に係る技術開発では、(1)リモートセンシングによる広域水理学的評価手法の開発として、①衛星画像や空中写真から抽出したリニアメント情報から地形や地質・割れ目分布他の地質構造を解析した結果、と②衛星画像データ等を解析して得られた植生活性度の正の異常と水文地質の関係、について報告した。

(2)試錐孔を利用して岩盤の特性を調査する技術開発としては、③東濃地域でゼロオフセットS波VSP調査法の適用試験を行った成果、及び、④地下の水理環境を乱しにくい比抵抗トモグラフィ用電極プローブの設計・製作、⑤比抵抗トモグラフィの解析精度向上に関する研究成果、⑥坑道周辺の割れ目とその空間位置を調査する試錐孔用広帯域レーダープローブの設計、⑦弾性波トモグラフィ調査法の分解能を高めるために必要な高周波震源として有望な圧電系素子の基礎実験結果、⑧弾性波トモグラフィ解析プログラムの改良Ⅲとそのモデル解析結果、⑨レーダートモグラフィでの屈折電磁波線に関する速度比の影響評価、の報告を行った。

また、(3)地層科学研究用調査機器の開発として、⑩差圧多点式水圧観測装置の設計と接続機構部の一部製作、⑪試錐孔間水理試験装置の注水制御部と孔内注水区間の製作とその室内性能試験、⑫地球化学検層ユニットの製作、⑬1,000m対応水理試験装置の製作、⑭1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器採水部の製作、について報告した。

C. 共通的業務については、地層科学研究や探査部門に共通している①岩石および水質試料などの分析業務と、②技術資料や図書等の管理業務について報告した。なお、巻末には平成5年度に中部事業所で登録された技術資料や外部発表を一覧表にまとめた。



## 平成5年度 技術開発課技術資料登録一覧

資料番号	標	題	発行月
著 者			
PN7440 93-001	REPORT ON SCIENTIST EXCHANGE PROGRAM-ANALYSIS OF URANIUM SERIES NUCLIDES GUO DONGFA	IN ROCKS AND MINERALS	1992. 12
TJ7606 93-001	Three-Dimensional Resistivity Inversion using the Finite-Element Method 佐々木 裕 (長谷川 健)		1993. 1
TN7520 93-001	動燃式低水圧制御水理試験装置 (大成基礎設計㈱)の装置及び調査紹介用カタログ 柳澤 孝一, 後藤 和幸, 中野 勝志		1993. 2
PJ7270 93-001	磁気探査3次元モデリングプログラム (1)マニュアル (2)設計書 飯室 宏, 高市 和義, 末松 雅弘, 那須野 功 (長谷川 健)		1993. 2
PJ7308 93-001	弾性波トモグラフィのハードウェアに関する文献調査 二司 哲夫, 堀川 義夫, 阿蘇 弘生 (長谷川 健)		1993. 3
PN7520 93-002	(1) 反射スペクトルデータ検索表示プログラム"PROSPECT"使用マニュアル 山岸 明子 小出 馨 (2) PNC Rock's Spectral Reflectance Data Analysis System "PROSPECT" User's Manual		1993. 3
TN7410 93-001	動燃式低水圧制御水理試験装置 尾方 伸久, 中野 勝志, 柳澤 孝一		1993. 3
ZJ7205 93-001	試錐孔間水理試験装置の設計 下茂 道人, 古路 太一 (仙波 毅)		1993. 3
ZJ7401 93-001	周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラム出力部の作成 棚橋 道郎 (長谷川 健)		1993. 3
TJ7060 93-001	Estimation of Scale Effect on Effective Porosity and Longitudinal Dispersivity of a Tertiary Sedimentary Rock by Laboratory Tracer Tests and a Field Tracer Test 杉原 弘造 井伊 博行 櫛田 吉造 石川 泰		1993. 3

- TJ7606 93-003 Approximate 3-D inversion of borehole -to-surface resistivity data  
佐々木 裕 (長谷川 健) 1993. 3
- TJ7606 93-004 坑井—地表間比抵抗法のインバージョン  
佐々木 裕 (長谷川 健) 1993. 3
- TN7410 93-009 東濃鉍山における立坑掘削影響試験  
松井 裕哉 1993. 3
- PN7410 93-010 Resistivity Modelling for Kintyre Uranium Deposit  
山岸 明子 1993. 3
- PN7440 93-004 平成4年度 技術開発課年報 1993. 4
- TN7450 93-003 ウラン資源探査地域における岩石の反射スペクトルデータカタログの作成  
山岸 明子 1993. 9
- PN7410 93-016 広域地下水流動調査のための地表調査法の開発 リモートセンシング  
—地形および植生情報による表層部の水文特性の推定—その1  
小出 馨  
柳澤 孝一 1993.10
- TN7410 93-014 リニアメントによる岩盤中の割れ目特性の推定 (I) —リニアメントと対応する割れ目の特性—  
小出 馨  
若松 尚則  
柳澤 孝一 1993.10
- TN7410 93-022 The Use of car-borne gamma ray data for the studies of the natural  
radioactivity  
落合 洋治  
相馬 丞  
坪田 浩二  
永崎 靖志 1993
- TN7420 93-007 西オーストラリアにおけるウラン探鉱のための物理探査—ルーダル地域で行ったケーススタディとしての物理探査手法の検討—  
山岸 明子  
長谷川 健  
仙波 毅 1993.10
- TN7410 93-030 物理探査法を活用した潜頭鉍床の発見—カナダ北西準州アンドリュールレイク鉍床の発見—  
飯田 義正  
長谷川 健  
茂田 直孝 1993.11

- PN7410 93-024 (1) キンタイヤ鉱床における三次元磁気解析について  
狩野 嘉昭 (2) 3D interpretation results of the magnetic survey on the Kintyre  
長谷川 健 uranium deposit 1993. 12
- TN7410 93-027 リモートセンシングによる広域の水文特性の把握(1) —SPOT衛星データによる  
小出 馨 林相区分— 1993. 12  
柳澤 孝一
- TN7450 93-005 オーストラリアのウラン資源探査地域における岩石の反射スペクトルデータカ  
山岸 明子 タログ  
小出 馨 1993. 12
- TN7410 93-037 自然界におけるウラン系列核種の放射非平衡—分析方法と応用—  
沖田 正俊 1993. 12  
落合 洋治
- TJ7434 93-001 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  
山岸 明子 準州アルンタ地域— 1994. 1
- TN7410 93-036 パッカー式地下水サンプラー (基礎地盤コンサルタンツ(株)の装置紹介用パンフレット)  
中野 勝志, 柳澤 孝一, 瀬尾 俊弘, 濱 克宏, 後藤 和幸, 中嶋 幸房
- TN7410 94-001 平成3年度安全研究成果 (調査票) —地質と環境放射線の関連性に関する研究  
永崎 靖志 1994. 1
- TN7410 94-002 平成4年度安全研究成果 (調査票) —地質と環境放射線の関連性に関する研究  
永崎 靖志 1994. 1
- TN7410 94-003 リニアメント分布特性による広域地下水流動調査領域の検討  
小出 馨, 柳澤 孝一 1994. 1
- TN7410 94-004 東濃地域の花崗岩を対象としたレーダー法による割れ目調査  
仙波 毅, 長谷川 健 1994. 1
- PN7440 94-002 第21回 探鉱開発技術検討会資料 (探鉱技術開発)  
石堂 昭夫, 坪田 浩二, 長谷川 健 他 1994. 1
- PN7410 94-007 EM SOUNDING MODELING FOR SANDSTONE THICKNESS ESTIMATION  
山岸 明子 1994. 1

- PJ7308 94-001 原位置比抵抗測定用電磁プローブの設計・製作  
西田 薫, 是石 康則 (長谷川 健) 1994. 3
- ZJ7586 94-003 試錐孔用広域レーダープローブの設計(1)(2)  
牧野 憲一郎 (長谷川 健) 1994. 3
- ZJ7412 94-001 試錐孔用周波数弾性波振源開発のための基礎データの取得  
間組 (長谷川 健) 1994. 3
- ZJ7308 94-003 MPシステムによる水圧計測  
ダイヤコンサルタント (長谷川 健) 1994. 3
- PN7410 94-008 透磁率を考慮した球構造の電磁応答について  
狩野 嘉昭, 長谷川 健 1994. 3
- ZJ7308 94-007 東濃地域を対象にした屈折法弾性波探査による地質構造調査(その1)  
米田 茂夫 (小出 馨) 1994. 3
- TN7410 94-013 東濃鉱山と釜石鉱山における動燃の地層科学研究の概要  
杉原 弘造, 松井 裕哉, 佐藤 稔紀, 佐久間 秀樹 1994. 3
- TN7410 94-014 新第三系堆積岩での弾性波による地質構造と掘削影響の調査研究—弾性波を用いた調査手法の適用性と掘削影響に係わる要因の評価—  
杉原 弘造  
長谷川 健  
川上 純  
亀村 勝美 1994. 3

## 平成5年度 技術開発課外部発表一覧

資料番号	著 者	発表年月
標	題	発表先
TN7450 93-003	○山岸 明子 ウラン資源探査地域における岩石の反射スペクトルデータカタログの作成	1993. 9 動燃技報
TN7410 93-017	○杉原 弘造, 松井 裕哉, 佐藤 稔紀 立坑掘削影響試験における岩盤挙動調査の概要と成果	1993. 9 動燃技報
TN7410 93-030	○飯田 義正, 長谷川 健, 茂田 直孝 物理探査法を活用した潜頭鉱床の発見 —カナダ北部準州アンドリュールレイク鉱床の発見—	1993. 9 動燃技報
TN7420 93-007	○山岸 明子, 長谷川 健, 仙波 毅 西オーストラリアにおけるウラン探鉱のための物理探査 —ルーダル地域で行ったケーススタディとしての物理探査手法の検討—	1993. 10 物理探査学会 第89会学術講演会
TN7410 93-004	○小出 馨, 若松 尚則, 柳澤 孝一 リニアメントによる岩盤中の割れ目特性の推定 (I) —リニアメントと対応する割れ目の特性—	1993. 10 原子力学会 1993年秋の大会
TN7410 93-013	○佐藤 稔紀, 松井 裕哉, 杉原 弘造 水圧破碎法による東濃鉱山の岩盤の初期応力測定	1993. 10 原子力学会 1993年秋の大会
TN7410 93-022	○永崎 靖志, 落合 洋治, 相馬 丞, 坪田浩二 The Use of car-borne gamma ray data for the studies of the natural radioactivity	1993. 11 IAEA Technical Committee Meeting
TN7410 93-027	○小出 馨, 柳澤 孝一 リモートセンシングによる広域水文特性の把握 (I) —SPOT衛星データによる林相区分—	1993. 12 原子力学会 中部支部発表会
TN7410 93-036	○中野 勝志, 柳澤 孝一, 瀬尾 俊弘, 濱 克宏, 後藤 和幸, 中嶋 幸房 パッカー式地下水サンプラー—基礎地盤コンサルツ (株)の装置紹介用パンフレット—	装置紹介パンフレット 基礎地盤コンサルツ

TN7410 94-004 ○仙波 毅, 長谷川 健

東濃地域の花崗岩を対象としたレーダー法による割れ目調査

1994. 2

第256回地質  
調査所発表会

TN7410 94-003 ○小出 馨, 柳澤 孝一

リニアメント分布特性による広域地下水流動調査領域の検討

1994. 2

第256回地質  
調査所発表会

TN7410 93-037 ○沖田 正俊, 落合 洋治

自然界におけるウラン系列核種の放射非平衡—分析と応用—

1994. 2

動燃技報

# 1. はじめに

はじめに

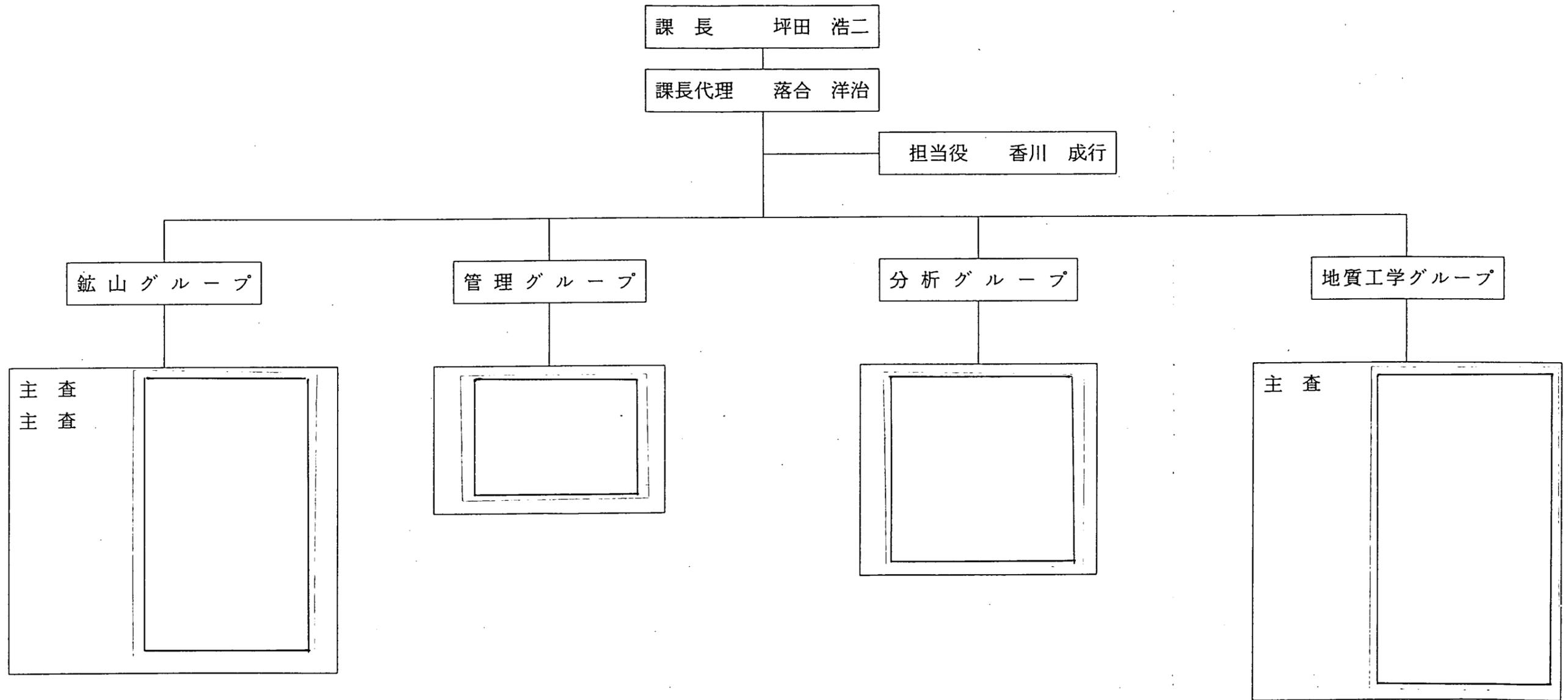
本報告書は、中部事業所・技術開発課が平成5年度に実施した研究開発の業務成果を取りまとめたものである。当年度は平成4年度に引き続き、地層科学兼連の技術開発、採鉱、採鉱の関連技術開発などを実施した。

技術開発課の業務は前年度と変わらず、これらのほか、東濃鉱山の維持管理、放射線管理、事業所技術情報管理、図書の管理、及び分析の実施等の定常業務があった。特に、東濃鉱山においては、第2立坑内の設備設置工事（エレベーター設置）の工事管理と坑水処理の変更及び施設の撤去工事があった。また、平成5年12月からは鉱山の敷地内で（株）日本無重量総合研究所が無重量落下試験施設の設置工事に入り、地上建屋工事が順調に進捗した。

また、外部発表の一覧と技術資料登録も合わせて載せている。

# 平成5年度技術開発課 組織図

平成5年4月1日



注) (\*) は環境地質課兼務  
(\*\*) は技術開発課兼務

## 2. 探鉱・採鉱関連技術開発成果

- A-1 西オーストラリア・ガスコイン地区のランドサットTM画像の作成
- A-2 カナダ・クリスティーレイクのコアサンプルの反射スペクトルの測定
- A-3 オーストラリア・アルンタ地区のランドサットTM画像の判読と解析
- A-4 ウラン鉱床地域の主要岩石を対象としたX線分析結果  
ーオーストラリア、北部準州アルンタ地域ー
- A-5 放射線防護採鉱技術開発に関する研究
- A-6 地質と環境放射線の関連性に関する研究
- A-7 東濃鉱山インプ्रेसリーチング試験廃液処理施設の合理化と  
坑水処理システムの更新

A-1 西オーストラリア・ガスコイン地区のランドサットTM画像の作成

(山岸 明子)

山岸明子

## 1. はじめに

本作業は、平成4年度より開始したオーストラリア・ガスコイン地区におけるプロジェクト開拓の一環として、オーストラリア法人パース事務所の依頼により実施したものである。作成した合成画像は、パース事務所からの依頼で、ランドサットのTMデータを使用した、バンド1.5.6（赤緑青）およびバンド4.5.7（青緑赤）のバンドの組み合わせおよび色の割当による2画像である。これらのバンドの組み合わせおよび色の割当は、以前報告を行った、『西豪州・ルーダル地区におけるTM画像の評価』<sup>1)</sup>の解析結果から、今回の対象地区の地質解析、特に基盤岩であるMORRISSEY 変成岩類の地質および地質構造の把握が可能であると判断されたものである。

作成した2つの画像は、平成5年度における現地調査に活用され、特にバンド4.5.7の画像からは対象地区の地質・岩相の区分に関し、良好な結果が得られた。

## 2. 実施内容

### 2.1 解析の目的

ウラン鉱床胚胎の有望地であるガスコイン地区における地質調査について、特に基盤岩であるMORRISSEY 変成岩類の地質および地質構造の把握を行う際の補足資料となる画像の作成を行う。

### 2.2 解析対象地区

オーストラリア・ガスコイン地区（南緯24° 15' ~25° 10'、東経 116° 00' ~116° 45'）の約 100Km×125Km 範囲（図-1）。

### 2.3 解析対象データ

使用データ：ランドサット5号 TMデータ（磁気テープ）

パス・ロウ：113-77

記録形式：BILフォーマット(6250BPI), バルク補正

観測日：1990.9.12

受信局：アリススプリングス

### 2.4 画像処理システム

本解析における画像処理作業は、すべて中部事業所・技術開発課所有の画像処理システム（ハードウェア：HP9000/840, ソフトウェア：CREST）によって行った。

### 2.5 処理内容

今回の作成画像は、TMデータのバンド1.5.6 およびバンド4.5.7の組み合わせの2つの画像である。作業手順は以下の①のフォーマット変換後、両画像とも②~⑤の順序で行った。なお、時間の都合上、今回の処理では幾何学的補正は行わな

った。

- ①磁気データのフォーマット変換
- ②コントラスト強調
- ③色調合わせ
- ④エッジ強調
- ⑤後処理

### 3. 成果品

画像データ作成後、そのポジカラーフィルム出力を業者に発注した（フジカラーサービス㈱）。その後、解析作業用プリントは現地法人で焼き付けを行い、技術開発課では、参考用のプリントのみを作成した（図-2）。

### 4. 各画像の地質解析適用性について

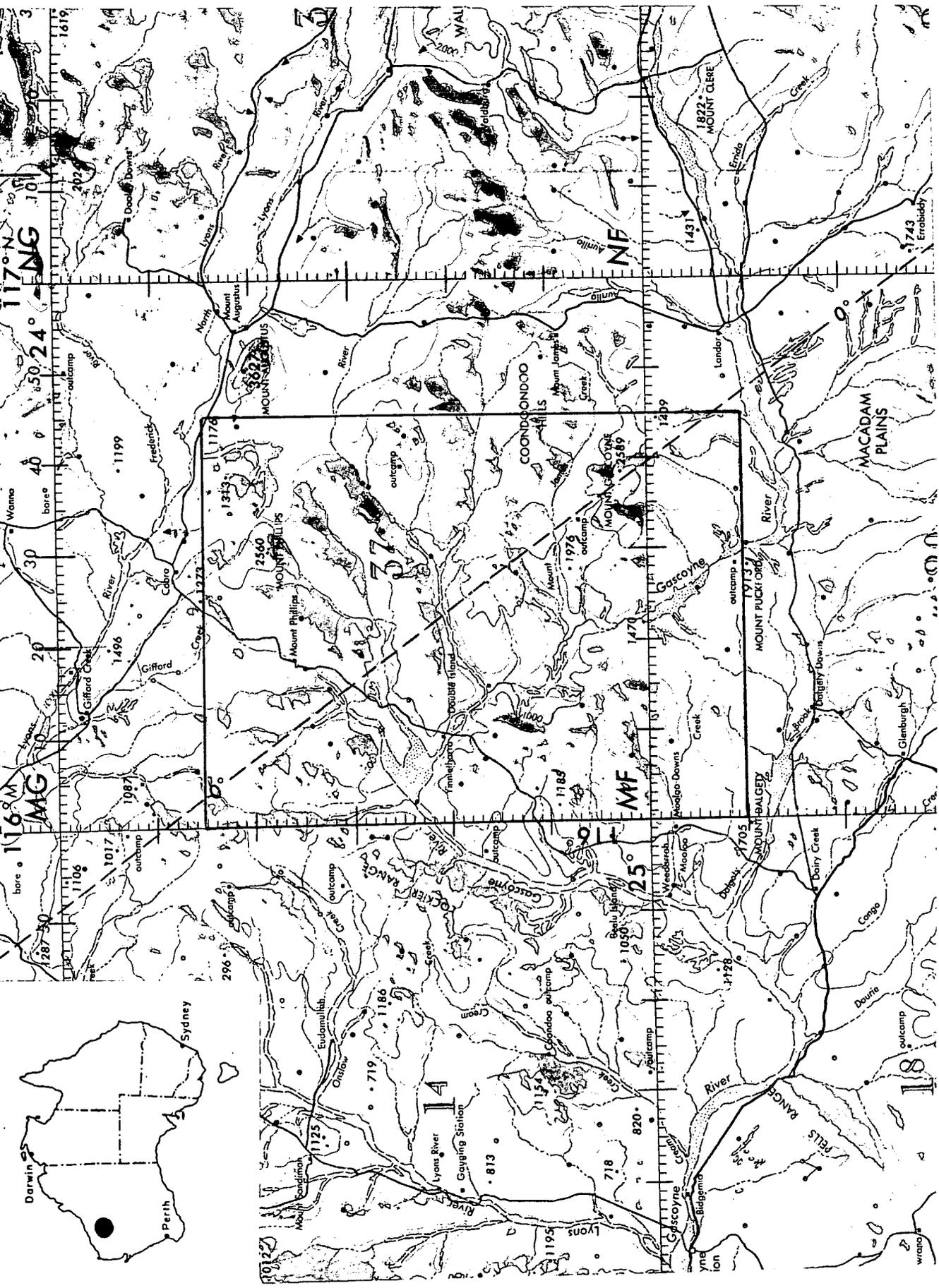
ガスコイン地区は河川域に第三紀の広がる、発達した浸食台地で特徴付けられ、標高600～1100m程度の丘をはじめとした丘陵地形を呈する<sup>2)</sup>。本地域には始生界の片麻岩・ミグマタイトおよび下部原生界の変成岩を基盤として、下部～中部原生界の弱変成した堆積岩類が不整合に覆っている。下部原生界のMORRISSEY 変成岩類は、珪岩、片岩、緑泥石片岩、石墨質片岩より構成され、炭酸塩岩を挟在している。有望地としての鉱床規制要素として次の3点が挙げられている。

- ①下部原生界の角閃岩相変成岩の存在
- ②始生界の存在
- ③下部原生界最初の海進相を示す炭酸塩岩・石墨質岩の存在

UGの調査により、炭酸塩岩中にタルク-緑泥石変質を伴うウラン鉱化作用がすでに発見されており、Kintyre 鉱床がモデル鉱床の一つとなっている<sup>3)</sup>。

平成5年に行われた地表調査と2つの画像を照合した結果、バンド1.5.6の画像では地層と画像上の色調にあまり多くの対応は見られなかったが、バンド4.5.7の画像では、変成岩類がさらにいくつかの色調で表現されており、地質・岩相の区分に優れていることがわかった。バンド4.5.7で良好な結果が得られたのは、本地区において、Kintyre 鉱床周辺に類似して、炭酸塩岩や緑泥石片岩等の粘土鉱物を含む岩石の露出が良く、ランドサットTMのバンド5およびバンド7が、これらの岩石の特徴をとらえているためと考えられる。

現地調査と対比した画像上の色調について、得られた知見を表1にまとめる。



Scale 1:1,000,000

图-1 解析对象范围 (□内)

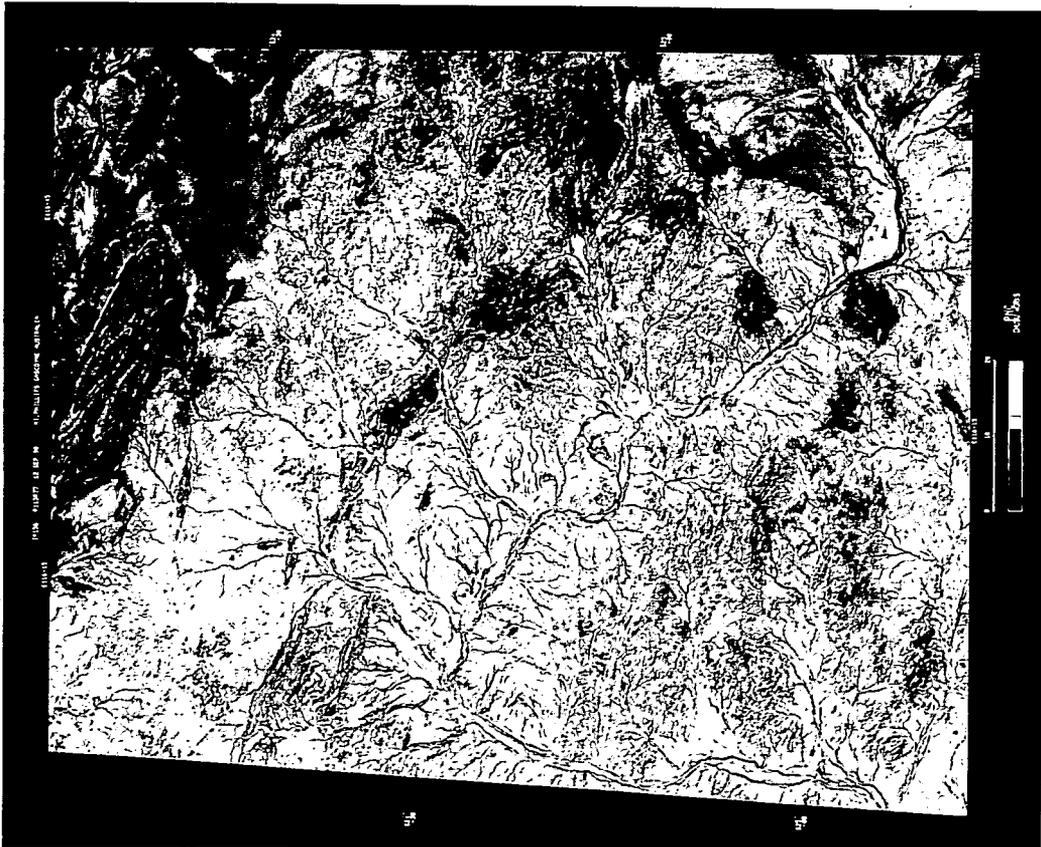
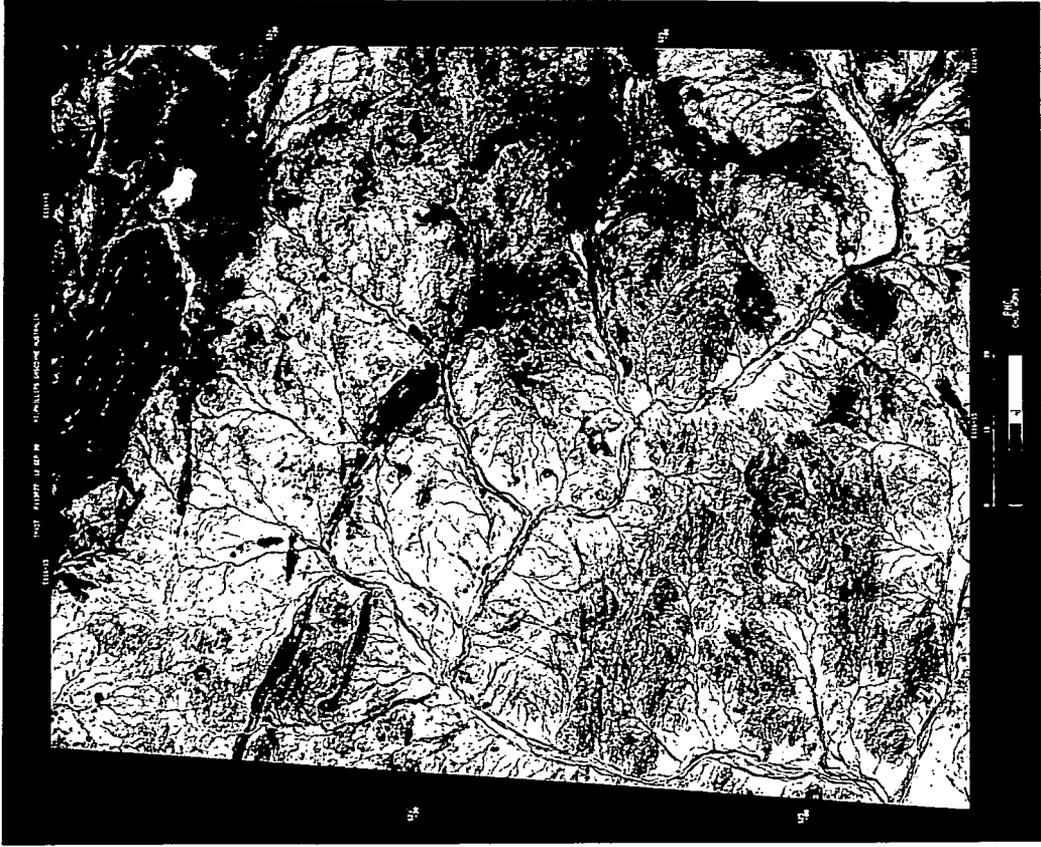


図-2 カラー合成画像 (左：バンド1.5.6、右：バンド4.5.7)

表1 地質と画像の色調の対比

地 層	バンド1.5.6	バンド4.5.7
BANGEMALLS GROUP 頁岩／砂岩／ドロマイトの互層から成るが、主にドレライトの岩床が卓越する。	青紫色	頁岩：濃褐色 ドレライト：淡褐色 砂岩：青色
Mt. JAMES FORMATION 砂岩およびアルコース砂岩が卓越する。 珪質岩 千枚岩－泥岩	茶色  茶色 紫色	青色  － －
YINNITHARRA GRANITE (EARLY-STAGE GNEISSIC GRANITOIDS) 斑状カリ長石質花崗岩（黒雲母－磁鉄鉱を含む） MINNIE CREEK BATHOLITH (LATE-STAGE GRANITOIDS) 黒雲母花崗閃緑岩から成り、この地域の主要なバソリスとなっている。 細粒黒雲母花崗岩 Mia Well-Claypan Well 花崗岩	淡紫色～黄色  淡緑～茶～黄色  － －	際立ったピンク色  淡緑色（丘陵部では茶色）  茶色かかった灰緑色 淡緑色
MOOLOO FORMATION 珪岩の尾根 大理石 緑泥石質変泥質岩 片麻岩質ミグマタイト	黄～茶～緑色 － － － －	全体的に青味かかった灰緑色 青色 灰ピンク色 緑色 茶色かかった淡緑色
DUNNAWAH FORMATION 長石質片麻岩 大理石 角閃岩 花崗岩／カルクシリケイト 石英長石質片麻岩 花崗片麻岩	茶～緑色 － 斑なピンク黄色 斑なピンク紫色 － － －	全体的に茶色 淡い灰緑色  灰褐色 灰褐色 淡ピンク色
その他 第4紀砂泥 クリーク（植生）	－ －	白色 青色
沖積世	黄色～青緑色	－

## 5. 今後の方針

ルーダル地区におけるランドサットTM画像評価の解析結果に基づき、今回バンド1.5.6 およびバンド4.5.7 の2つの画像を作成したが、そのうち、バンド4.5.7 の画像がガスコイン地区の地質・岩相の区分に優れていることが、地表調査結果との対比によりわかった。これは第4章で述べたように、今回解析したガスコイン地区が、ルーダル地区と類似して炭酸塩岩や緑泥石片岩等の粘土鉱物を含む岩石の露出が良く、ランドサットTMのバンド5およびバンド7が、これらの岩石の特徴をとらえているためと考えられる。この事実により、TMのバンド4.5.7 の画像が地質・岩相の区分能力に優れているとして、より一般性を持つことが明らかになり、今後もTMバンド4.5.7 の画像を概査の参考資料として広く適用していく。

## 6. 参考文献

- 1) 「西豪州・ルーダル地区におけるランドサットTM画像の評価」：動燃技報NO. 70, 1989. 6, P89～95
- 2) Explanatory Notes on the MOUNT PHILLIPS Geological Sheet, SG50-2
- 3) 第20回資源開発技術検討会資料

A-2 カナダ・クリスティーレイクのコアサンプルの反射スペクトルの測定

(山岸 明子)

山岸明子

## 1. はじめに

本測定作業は、1992年のカナダ・クリスティーレイクにおける冬期作業で採取したコアサンプルについて、海外調査探鉱課の依頼により実施したものである。測定を行った27のサンプルは、海外調査探鉱課の行ったX線回折により粘土鉱物が含まれていることが確認されている。同定された粘土鉱物のうち、カオリナイトと緑泥石については、X線回折において、強度の強い反射が同じ波長に現れるため、区別しにくい。このことから、スペクトル吸収特性により両者を識別できるか調べることが今回の目的である。

反射スペクトル測定後、サンプル毎に反射スペクトル特性図を出力し、各特性図に現れる吸収スペクトルから粘土鉱物を同定した。測定の結果ほとんどのサンプルにおいて、主に雲母粘土鉱物により2.2  $\mu\text{m}$ 付近に吸収が見られ、そのうち3サンプルについては、2.2  $\mu\text{m}$ の短波長側(2.16  $\mu\text{m}$ )にカオリナイトに特有のノッチが微かに認められた。また、緑泥石によると思われる吸収がX線回折では同定されなかったいくつかのサンプルについても認められた。

## 2. 実施内容

### 2.1 測定の目的

粘土鉱物に特有のスペクトル吸収特性から、X線回折では区別しにくいカオリナイトと緑泥石の識別が可能であるか調べることが目的とする。

### 2.2 測定試料

カナダ・クリスティーレイクの5つの試錐孔から採取した27個のコアサンプル(表-1)

### 2.3 測定方法

#### (1)測定機器

測定機器は米国GER社製スペクトロラジオメータIRIS MK-IVを使用した。本機器は測定波長範囲が0.5 ~ 2.50  $\mu\text{m}$ であり、波長分解能は0.5 ~ 1.00  $\mu\text{m}$ の範囲で0.002  $\mu\text{m}$ 、1.0 ~ 2.5  $\mu\text{m}$ で0.004  $\mu\text{m}$ と各鉱物の吸収部分をとらえるのに十分な波長分解能を持つ。

#### (2)測定方法

コアサンプルの寸法が反射スペクトル測定を行うには小さすぎたため、サンプルを粉末にし、直径約8cm、深さ約1.5cmのガラス製シャーレに、1mm程度の厚さに敷き詰めて測定を行った。測定時の光源はタングステンランプ(200W)を2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。

表1 粉末X線回折法により同定された鉱物一覧\*

Hole no.- depth(m)	Clay minerals	Other Minerals	Reflectance spectrum no.
1 CB10-532.7	M,S	Qtz	: cndch026
2 CB10-535.7	D>C,M	Dol,Rut	: cndch013
3 CB10-543	M,C>>D	Rut	: cndch012
4 CB10-550.5	K,S,M>>D		: cndch019
5 CB10-559	S,M>>D	Cal,Ura?	: cndch011
6 CB12-535.3	M	Qtz,Goe?	: (測定なし)
7 CB18-532.5	D,M,S+K?		: cndch008
8 CB18-541.7	M,S+K?>D	Py?	: cndch005
9 CB18-559	M,K+S>D	Cal	: cndch006
10 CB18-563.5	M,S	Gph	: cndch002
11 CB18-570.5	S>M	Rut	: cndch009
12 CB18-593.3	S,M	Qtz(tr)	: cndch023
13 CB18-597.8	M,S+C?	Qtz,Py?	: cndch007
14 CB18-599.3	M,S	Qtz,Sid	: cndch020
15 CB18-608	M,S	Qtz,Sid,Cal?	: cndch015
16 CB19-441.5	M,D>S,K?	Qtz	: cndch024
17 CB19-468.5	S>M>>D	Cal	: cndch016
18 CB19-472.5	M,S	Ura	: cndch027
19 CB19-479	M>S	Ana?	: cndch003
20 CB19-483.2	M>S		: cndch021
21 CB19-488	M>S		: cndch004
22 CB19-491	M,S>>D		: cndch022
23 CB19-494	M>S+C?>D	Qtz	: cndch001
24 CB20-429.5	S,K>>M		: cndch014
25 CB20-435.5	S,K,M>D	Hem	: cndch017
26 CB20-436.6	D>M,K>C	Sid?	: cndch018
27 CB20-442	D>M,K,S	Hem	: cndch010
28 CB20-454.5	M>K>>D	Qtz	: cndch025

凡例

M: Mica clay minerals

K: Kaolinite

S: Sudoite (Al-chlorite)

C: Chlorite (not classified, possibly including kaolinite)

D: Dravite

Qtz: Quartz

Goe:Goethite

Cal: Calcite

Gph: Graphite

Ura: Uraninite

Sid: Siderite

Py: Pyrite

Ana: Anatase

Dol: Dolomite

Hem: Hematite

Rut: Rutile

\* 海外調査探鉱課提供

## 2.4 測定結果

得られた反射スペクトルデータの特徴図出力結果を図2-1～2-7に示す。特徴図番号と各試料を採取した試錐孔番号との対応は表1の通りである。また、表2に各々の試料について同定された鉱物をまとめたものを示す。

表2 反射スペクトルに現れる吸収スペクトルから同定された鉱物

反射スペクトル 特徴図番号	同定された鉱物
cndch001	雲母粘土鉱物
cndch002	雲母粘土鉱物,
cndch003	雲母粘土鉱物
cndch004	雲母粘土鉱物,
cndch005	雲母粘土鉱物,
cndch006	雲母粘土鉱物, カオリナイト?
cndch007	雲母粘土鉱物,
cndch008	雲母粘土鉱物, カオリナイト?, 緑泥石?
cndch009	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch010	雲母粘土鉱物
cndch011	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch012	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch013	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch014	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch015	雲母粘土鉱物
cndch016	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch017	雲母粘土鉱物
cndch018	雲母粘土鉱物, カオリナイト?, 緑泥石?
cndch019	雲母粘土鉱物
cndch020	雲母粘土鉱物
cndch021	雲母粘土鉱物
cndch022	雲母粘土鉱物
cndch023	雲母粘土鉱物
cndch024	雲母粘土鉱物
cndch025	雲母粘土鉱物
cndch026	雲母粘土鉱物, 緑泥石?
cndch027	雲母粘土鉱物

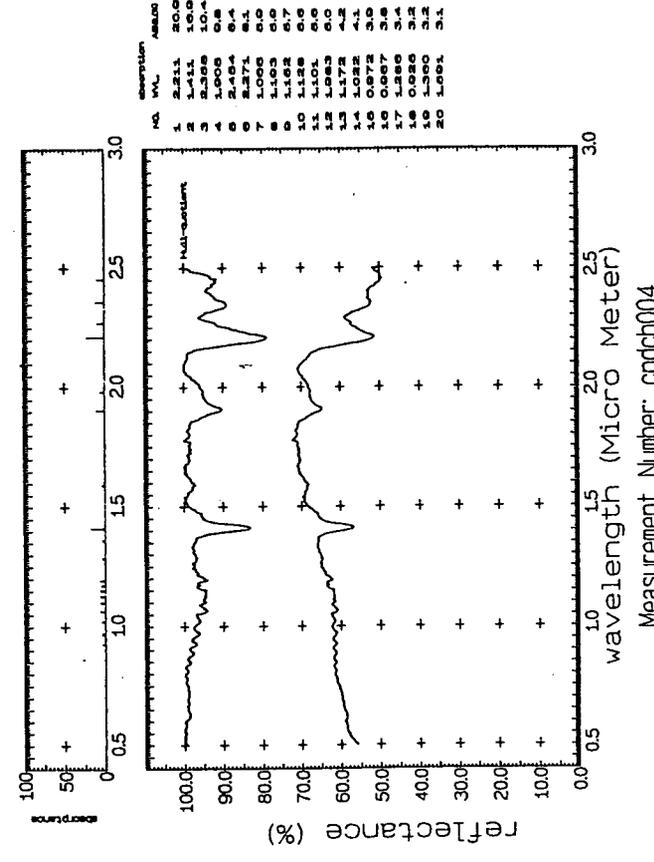
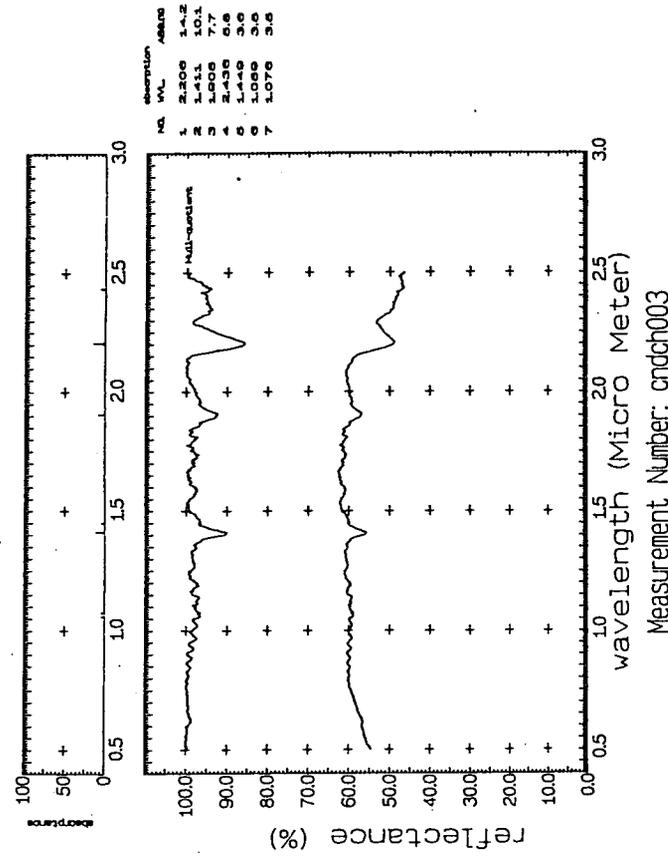
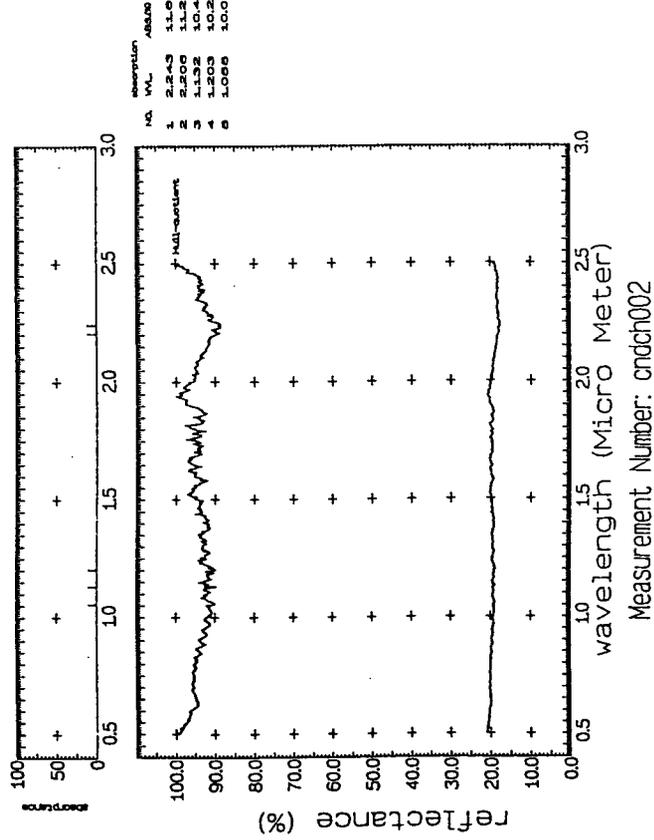
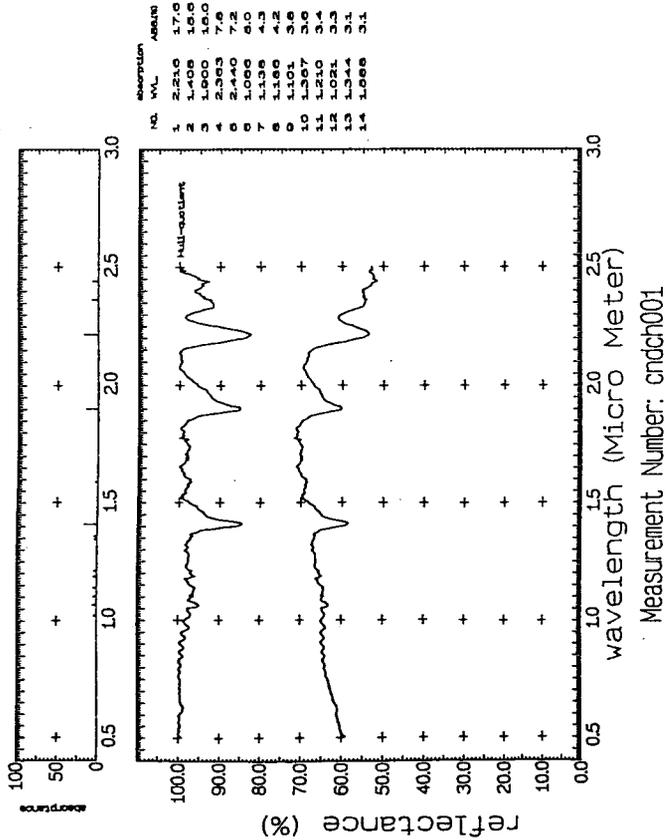


図2-1 反射スペクトル出力図

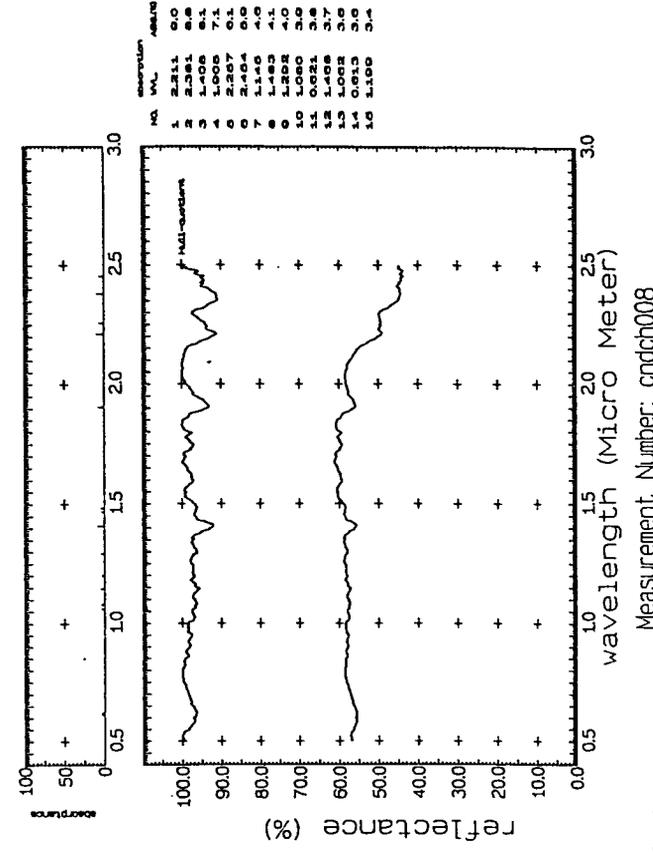
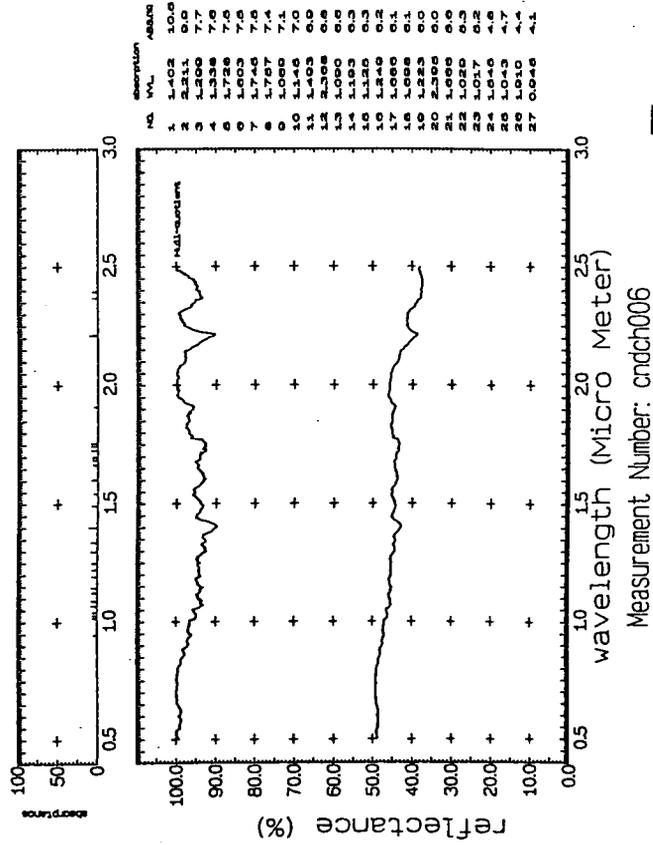
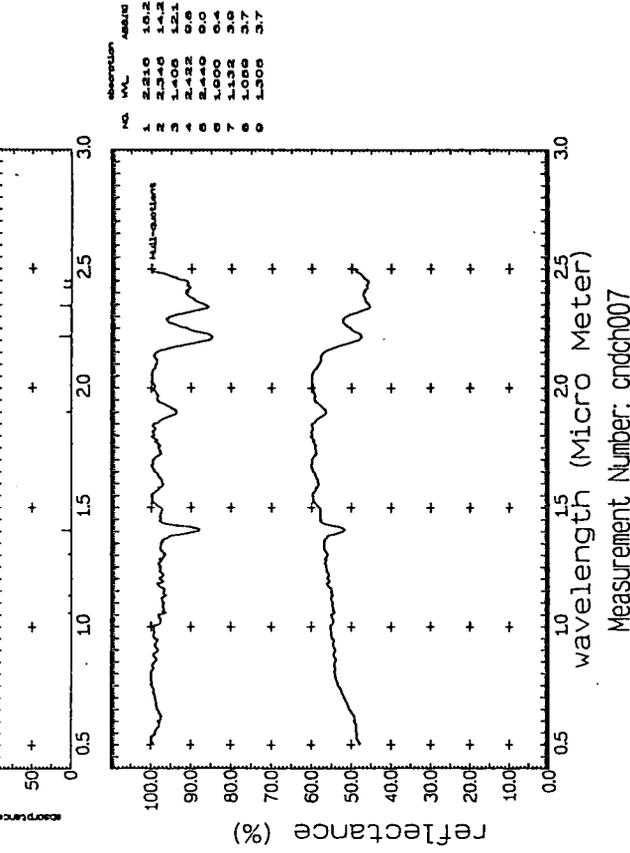
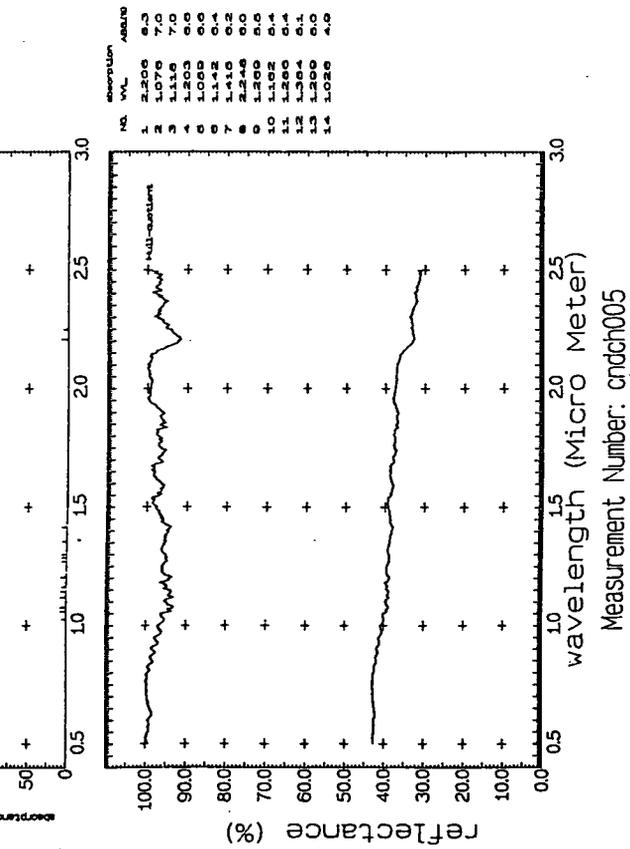
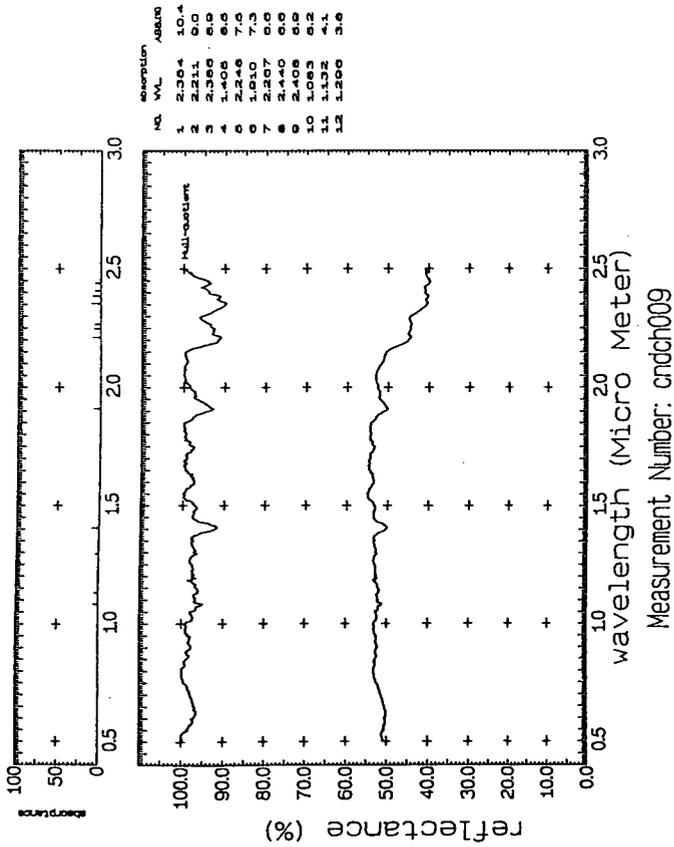
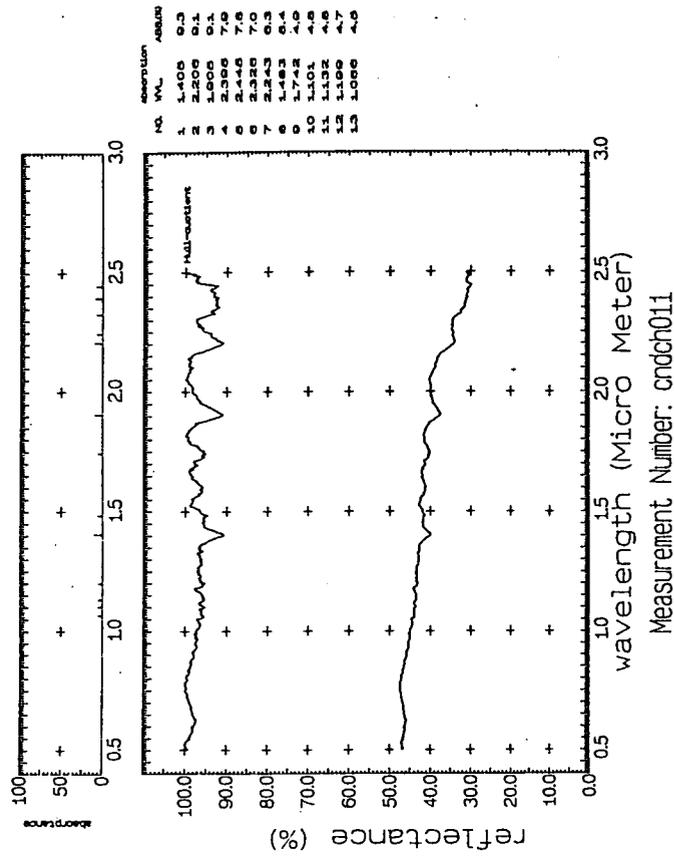


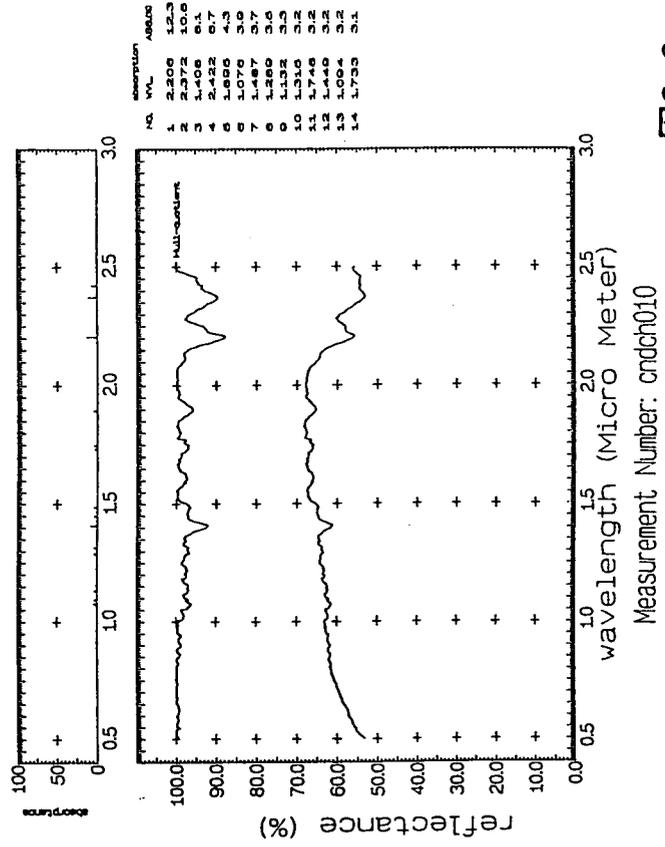
図2-2 反射スペクトル出力図



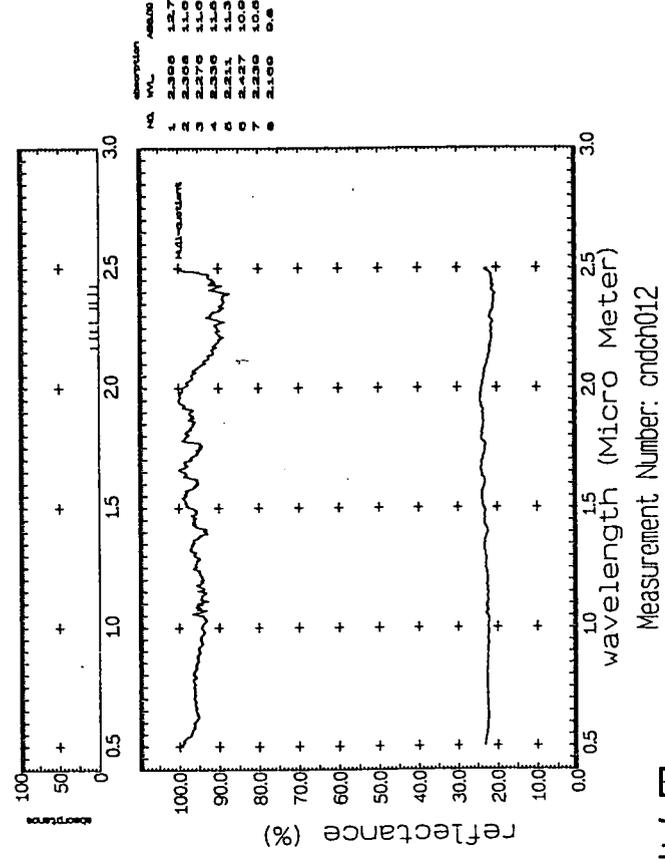
Measurement Number: cndch009



Measurement Number: cndch011



Measurement Number: cndch010



Measurement Number: cndch012

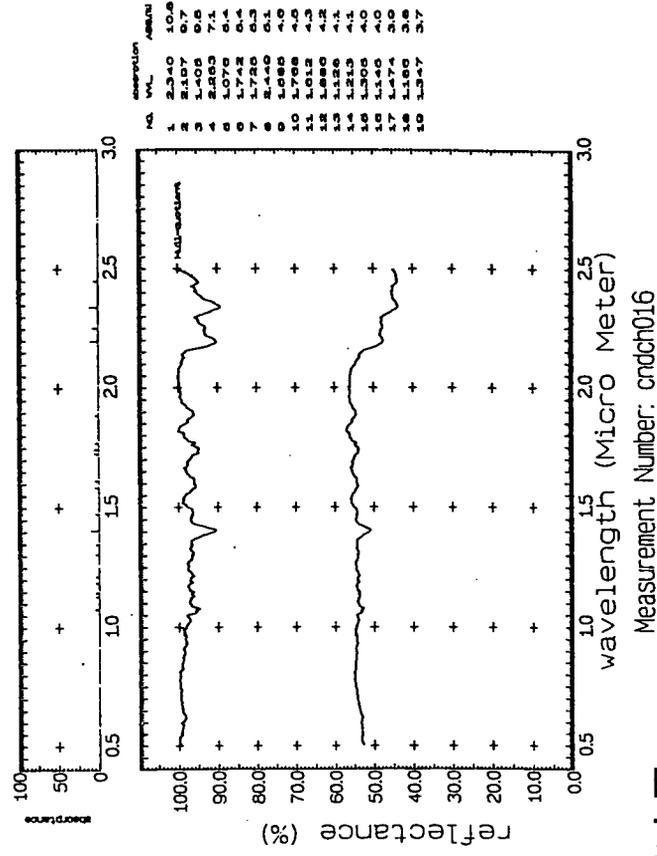
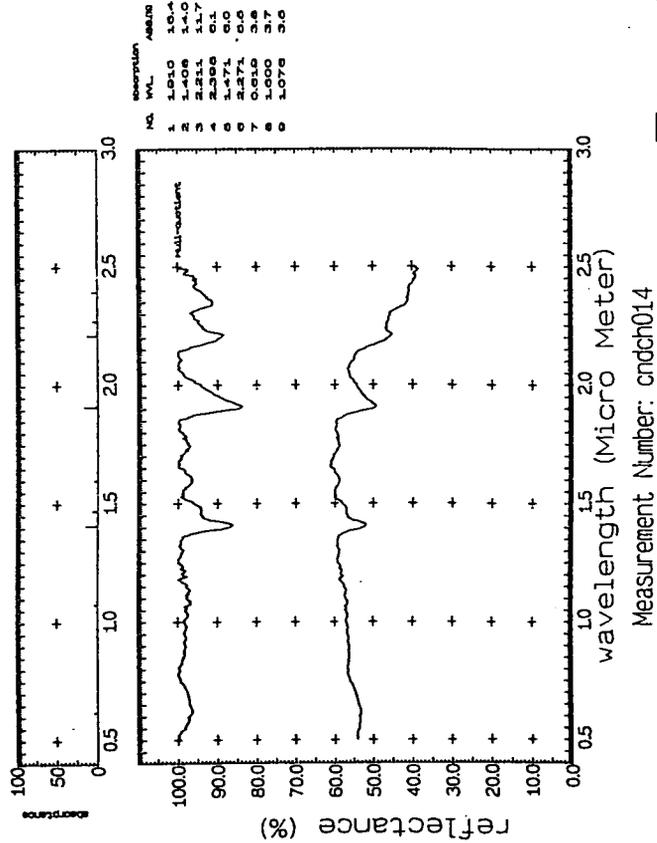
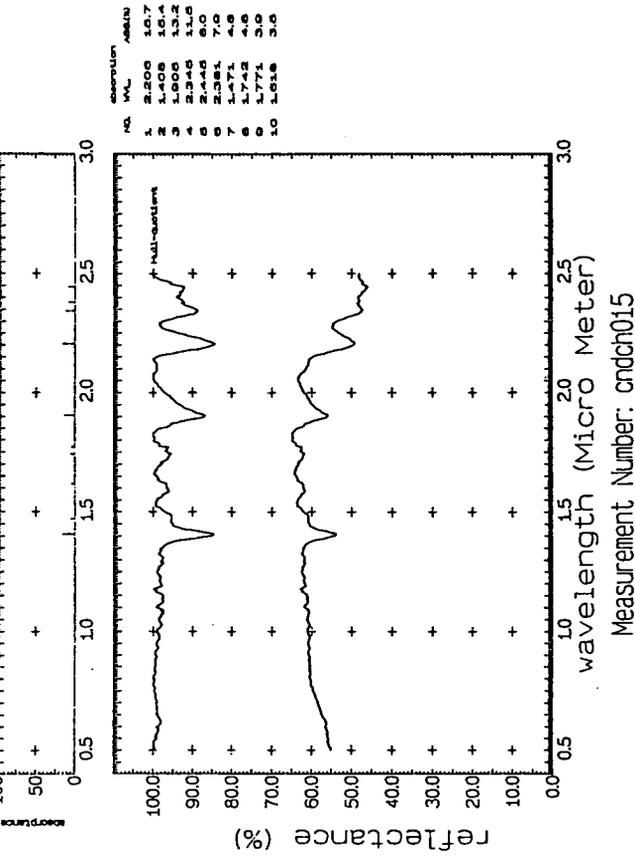
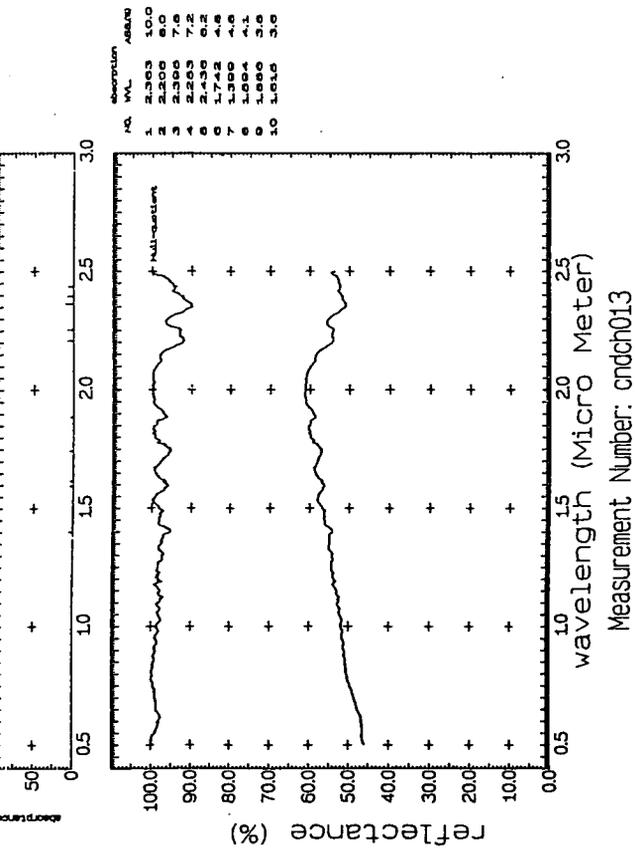


図2-4 反射スペクトル出力図

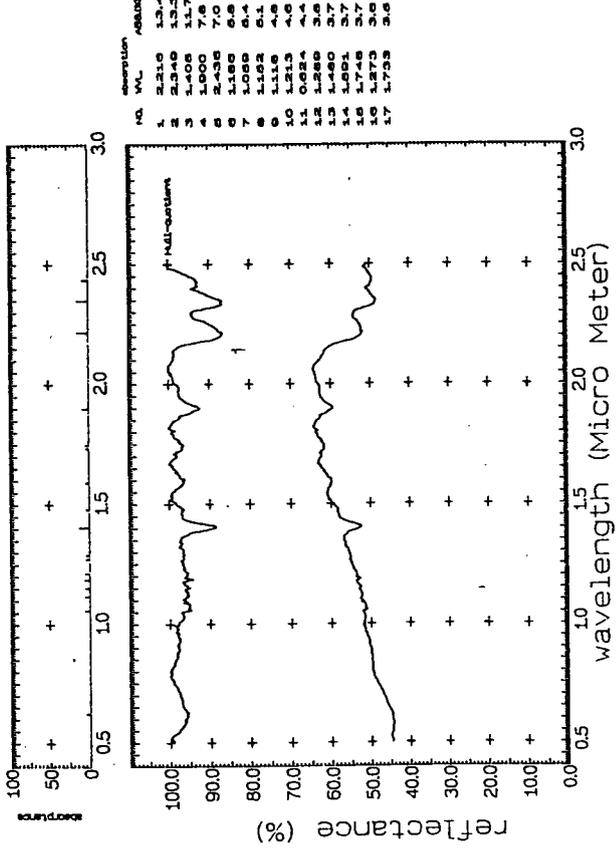
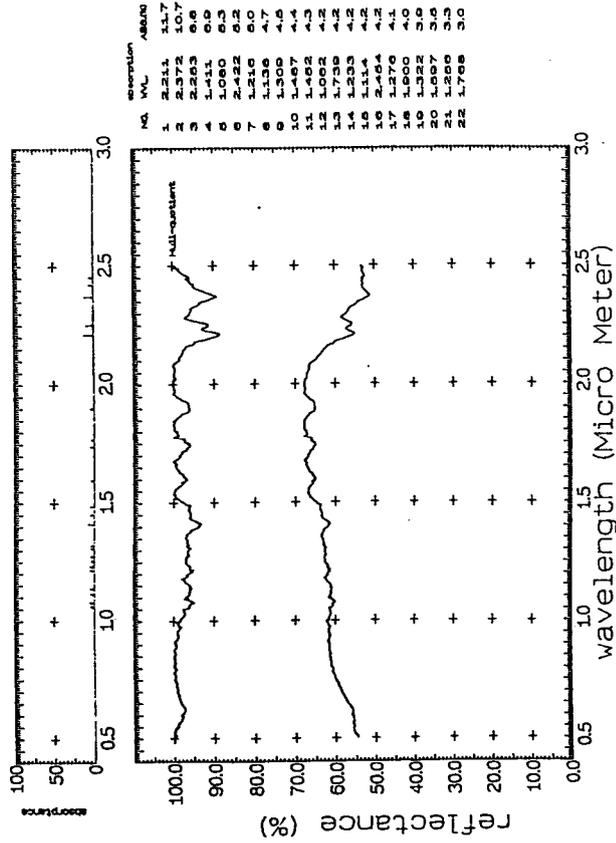
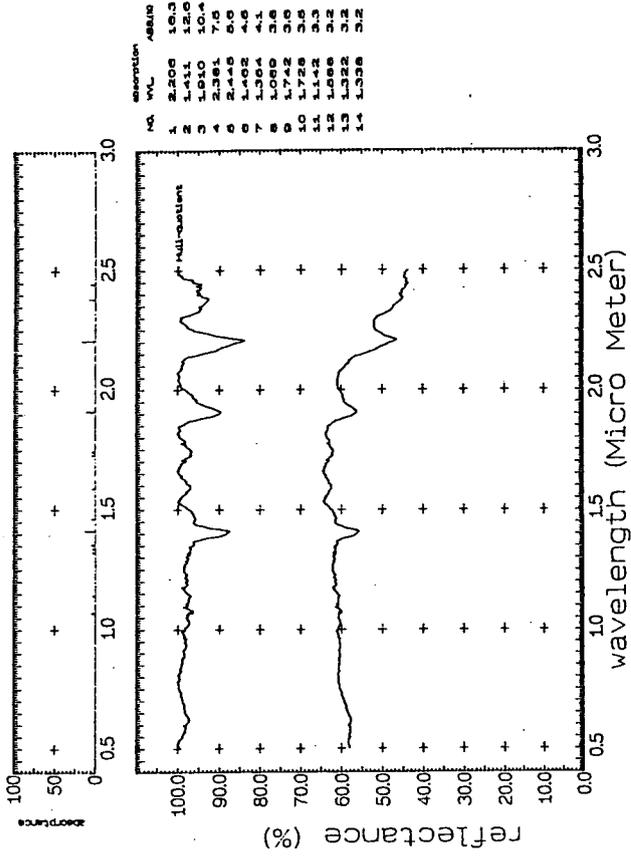
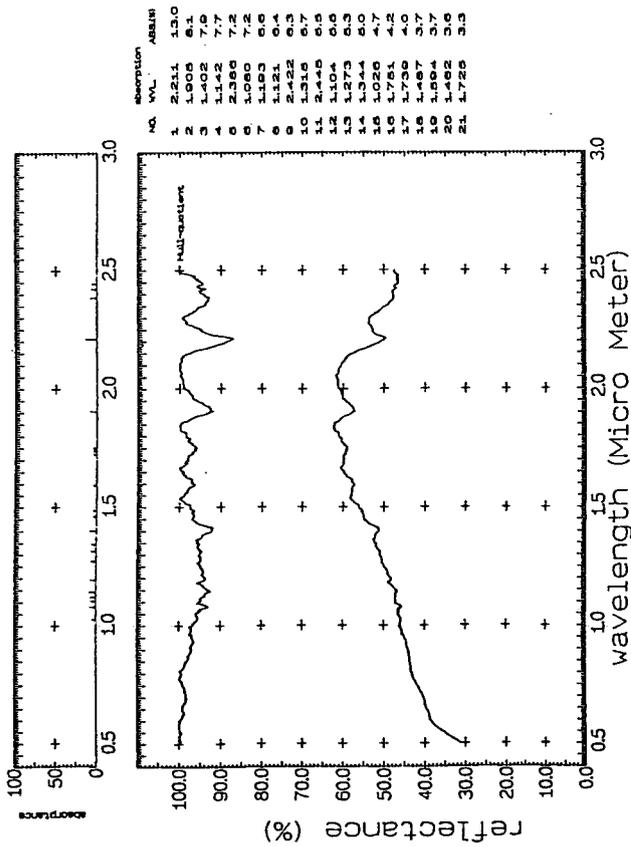


図2-5 反射スペクトル出力図

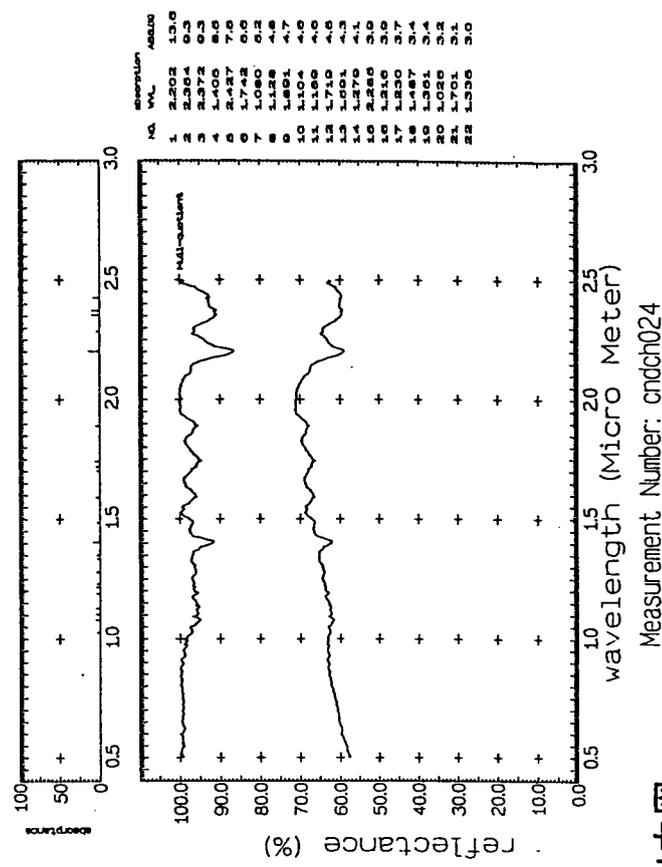
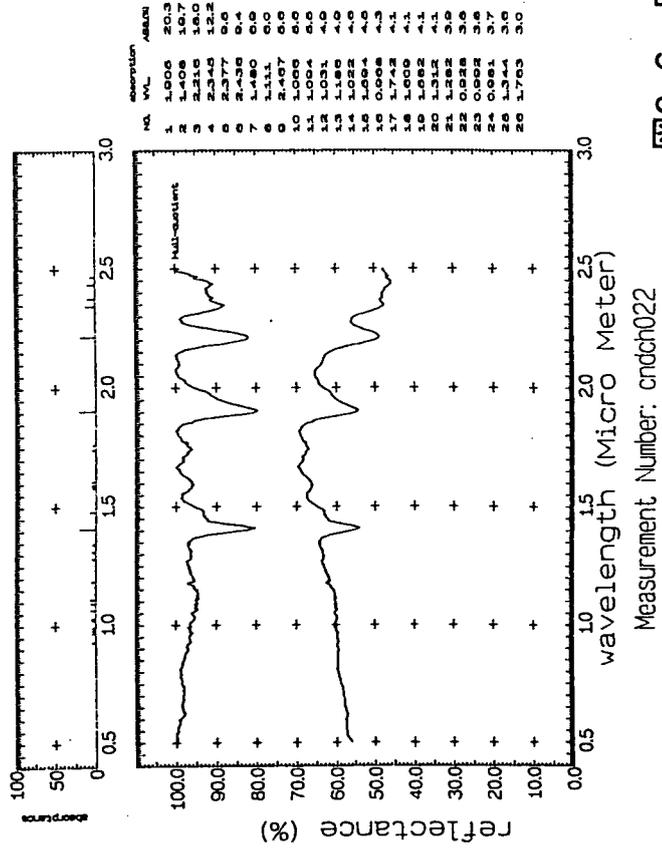
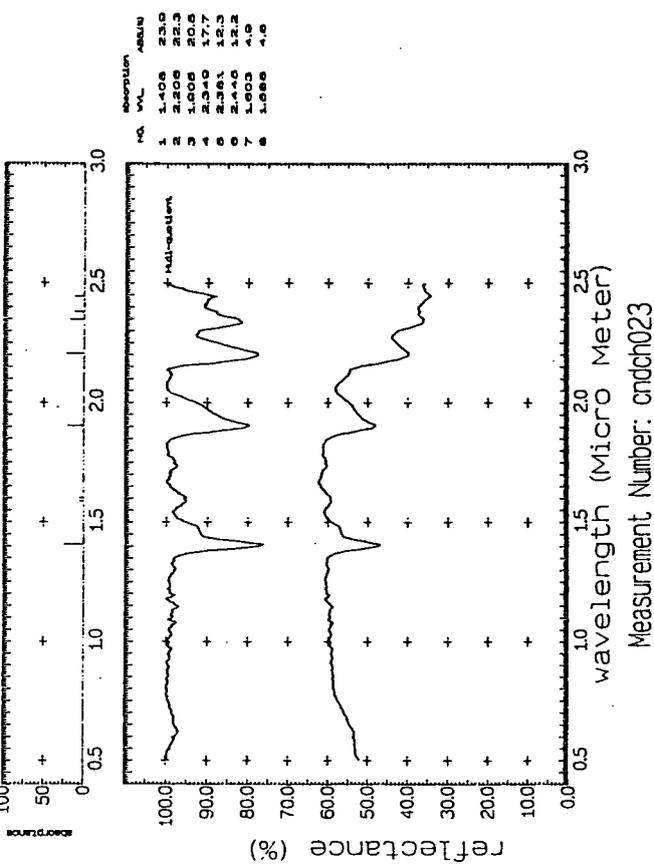
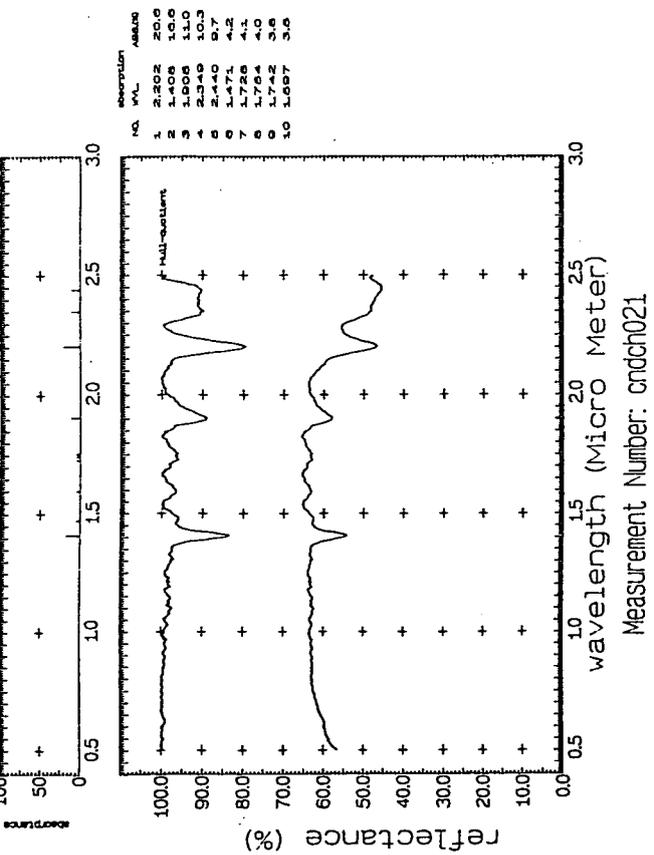


図2-6 反射スペクトル出力図

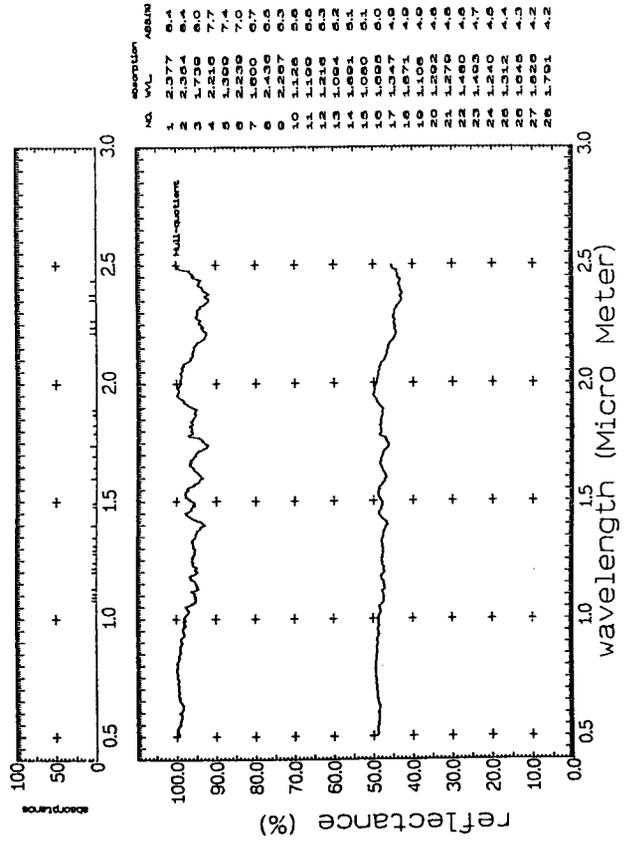
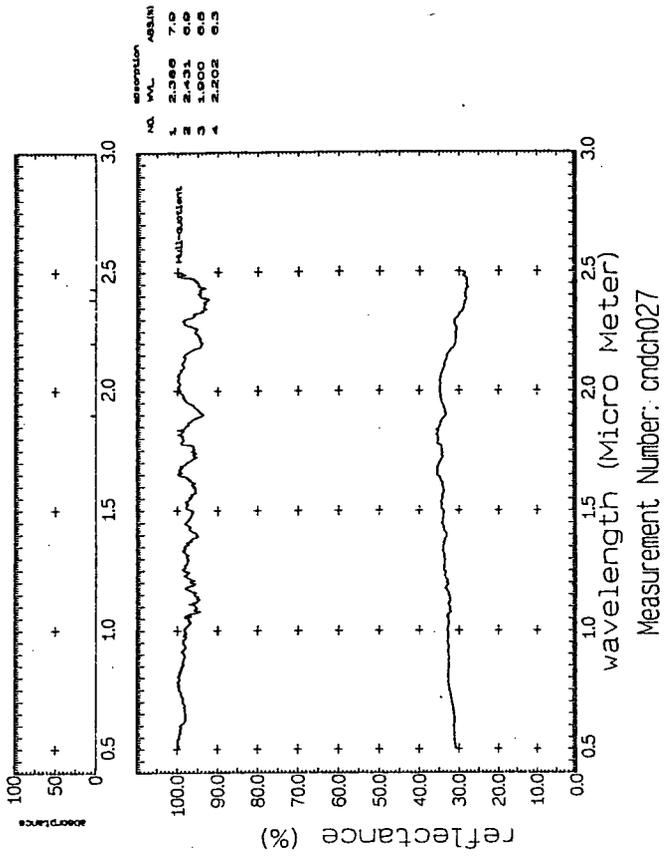
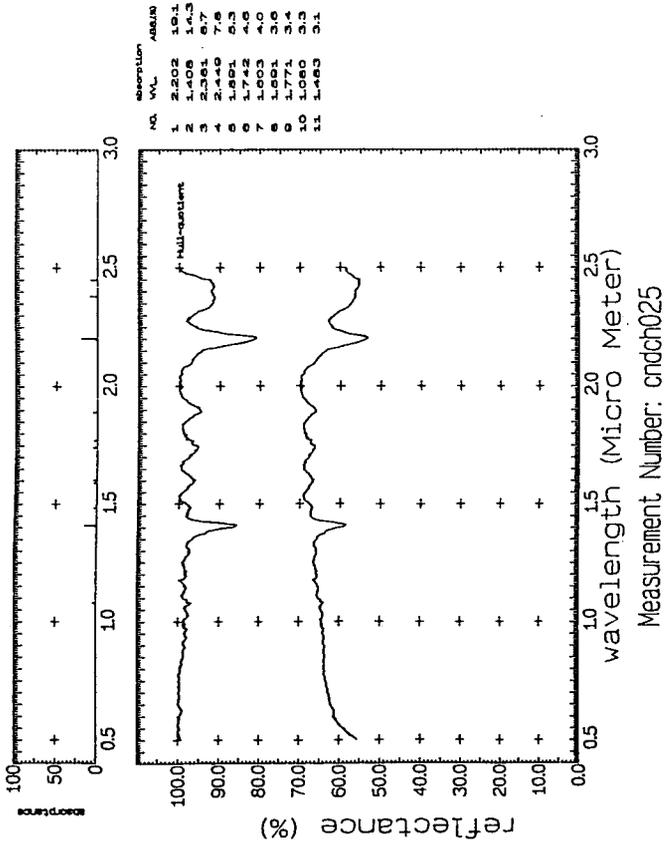


図2-7 反射スペクトル出力図

### 3. まとめおよび今後の方針

今回反射スペクトル測定を行った試料において、カオリナイトについては $2.2 \mu\text{m}$ 付近<sup>1)</sup>に現れる吸収ピークが短波長側にノッチを伴うかによって、また、緑泥石については、 $2.26$ および $2.34 \mu\text{m}$ 付近<sup>1)</sup>に吸収ピークが現れるかによって、それら鉱物の存在を推定した。しかしながら、吸収スペクトルは数多くの因子（分子結合の伸縮振動や変角振動等）が関係しており、正確な吸収スペクトルの帰属は難しく、標準試料のスペクトルとの比較するなどの方法をとるべきである。今回反射スペクトル測定によって、カオリナイトや緑泥石が、X線回折で検出されなかったサンプルについて推定されたといっても、参考の域にとどまるものである。

吸収スペクトル位置から、より詳しい鉱物同定を行うためには、 $2.5 \mu\text{m}$ より長波長の赤外域での吸収スペクトル<sup>2, 3)</sup>について検討する必要がある。

なお、吸収スペクトル測定は、X線回折より鉱物検出に時間がかからない利点を活かして、現場の原位置における簡易鉱物同定法として利用されており、蓄積された反射スペクトルデータを今後、反射スペクトルによる鉱物同定法を行う際に、標準試料として活用していく方向である。

### 5. 参考文献

- 1) Hunt R. G., Ashley P. R : Spectra of Altered Rocks in the Visible and Near Infrared, Economic Geology, vol. 74, pp 1613-1629, 1979
- 2) 下田 右 粘土鉱物研究法 pp148-173 創造社
- 3) 白水晴雄 粘土鉱物学－粘土科学の基礎－ pp82-87 朝倉書店

A-3 オーストラリア・アルンタ地区のランドサットTM画像の判読と解析

(山岸 明子)

## 1. はじめに

技術開発課では「ウラン資源探鉱開発に係わる研究5ヶ年計画」の一環として、オーストラリアにおける、リモートセンシング技術によるウラン鉱化関連母層の抽出手法の開発を行っている。

オーストラリア・北部準州アルンタ地域は、平成5年度から事業団独自のプロジェクト開拓地として地質調査が行われており、ヤンプラにおいて角閃岩に関連すると考えられるウラニナイトの転石の発見をみている。それにより、アルンタ地域はウラン鉱床胚胎に有望であるとされ、今後も引き続き地質精査が行われる予定である。

アルンタ地域は、今までランドサットTM画像の評価を行ってきたルーダル地域に比べ、表土で覆われている部分が比較的少なく、広い範囲で基盤岩の露頭が見られる。また、牧草地が点在するが全体的に乾燥地帯であり、植生による被覆率もルーダル地域と同程度に低いところである。さらに、単独プロジェクトであることから、リモートセンシング技術適用のための調査に関し、制限が少ないと考えられる。これらのことから、技術開発課では、アルンタ地域をリモートセンシング技術によるウラン鉱床胚胎母層の抽出手法の開発のための適用評価地に適すると考え、平成5年8月20日～23日にかけて現地に赴き、リモートセンシング解析の基礎的なデータとなる反射スペクトルデータ取得のため、角閃岩等、鉱区内に露頭する基盤岩のサンプリングを行っている。

ランドサットTM画像の判読と解析についての詳しい調査結果は、委託研究報告書「オーストラリア・アルンタ地区のランドサットTM画像の判読・解析(PNC PJ 7361 93-006)」：(アジア航測株式会社)にまとめられている。

## 2. 調査の概要

### 2.1 実施の目的

プロジェクト開拓地域の一つであるアルンタ地区において、ランドサットTM画像から地質および地質構造を判読し、多バンドリモートセンシングデータによる地質マッピング手法の開発・適用を図る際の基礎資料とする。

### 2.2 実施内容

アルンタ地区(約緯度E134-30～E136-30, 経度S22-30～S23-30)の範囲(図-1)で作成した、バンド1.5.6およびバンド4.5.7の2つのTM画像(図-2-1および図-2-2)から、地質および地質構造抽出等の写真判読を行う。さらに、判読・解析結果を既存の地質図等のデータと照合し、2種類の画像の有効性について考察を行う。

## 2.3 判読作業用画像の作成

判読作業用の画像は、すべて中部事業所・技術開発課所有の画像処理システム（ハードウェア：HP9000/840，ソフトウェア：CREST）によって行った。

以下に、使用したデータの仕様および処理方法を示す。

### (1)解析対象データ

使用データ： ランドサット5号 TMデータ（磁気テープ）

パス・ロウ： 101-076, 102-076

記録形式： BILフォーマット(6250BPI), バルク補正

観測日： 1992.7.26(101-076), 1992.8.3(102-076)

受信局： アリススプリングス

### (2)処理内容

作成した画像は、TMデータのバンド1.5.6 およびバンド4.5.7 の組み合わせの2つの画像である。作業手順は以下の①のフォーマット変換後、両画像とも②～⑥の順序で行った。

- ①磁気データのフォーマット変換
- ②コントラスト強調
- ③色調合わせ
- ④エッジ強調
- ⑤幾何補正
- ⑥後処理

### (3)作成プリント

画像データ作成後、それらのポジカラーフィルム出力を業者に発注した（フジカラーサービス㈱）。その後、解析作業用プリントとしてそれぞれ、1/10万および1/25万のプリントを作成した。

## 2.4 判読調査結果の概要

判読には作成した2画像のうち1/10万の縮尺を用いて行った。その判読の手順としてはまず、リニアメントの抽出を行い、その分布特性や構造区を境する構造線の検討を行った。また、組織地形から終極構造や環状構造を判読し、地域的な分布特性の検討を行った。これらの検討の結果、定性的ではあるが、調査対象地域の地質構造を9区の地質構造区に分割できた。また、地質単元は主として色調および肌理のそれぞれの差異の組み合わせから、53の地質単元を分類した。

2種類の画像の有効性については、基調をなす色調は異なるが、色調変化のパターン（輝きおよび色調構造で現された肌理や地形など）は両画像ともほぼ共通していることがわかった。個々の画像については、赤色が主体のバンド1.5.6の画像は起伏に富んだ地形が明瞭に表現され、さらに、準平原面上の繊細な凸凹もよく表現されている一方、青色が主体で比較的暗い色調で構成されているバンド4.5.7の画像は、色調変化が繊細で表現力に優れており、バンド1.5.6では判読できない地質単元の抽出が可能であった。

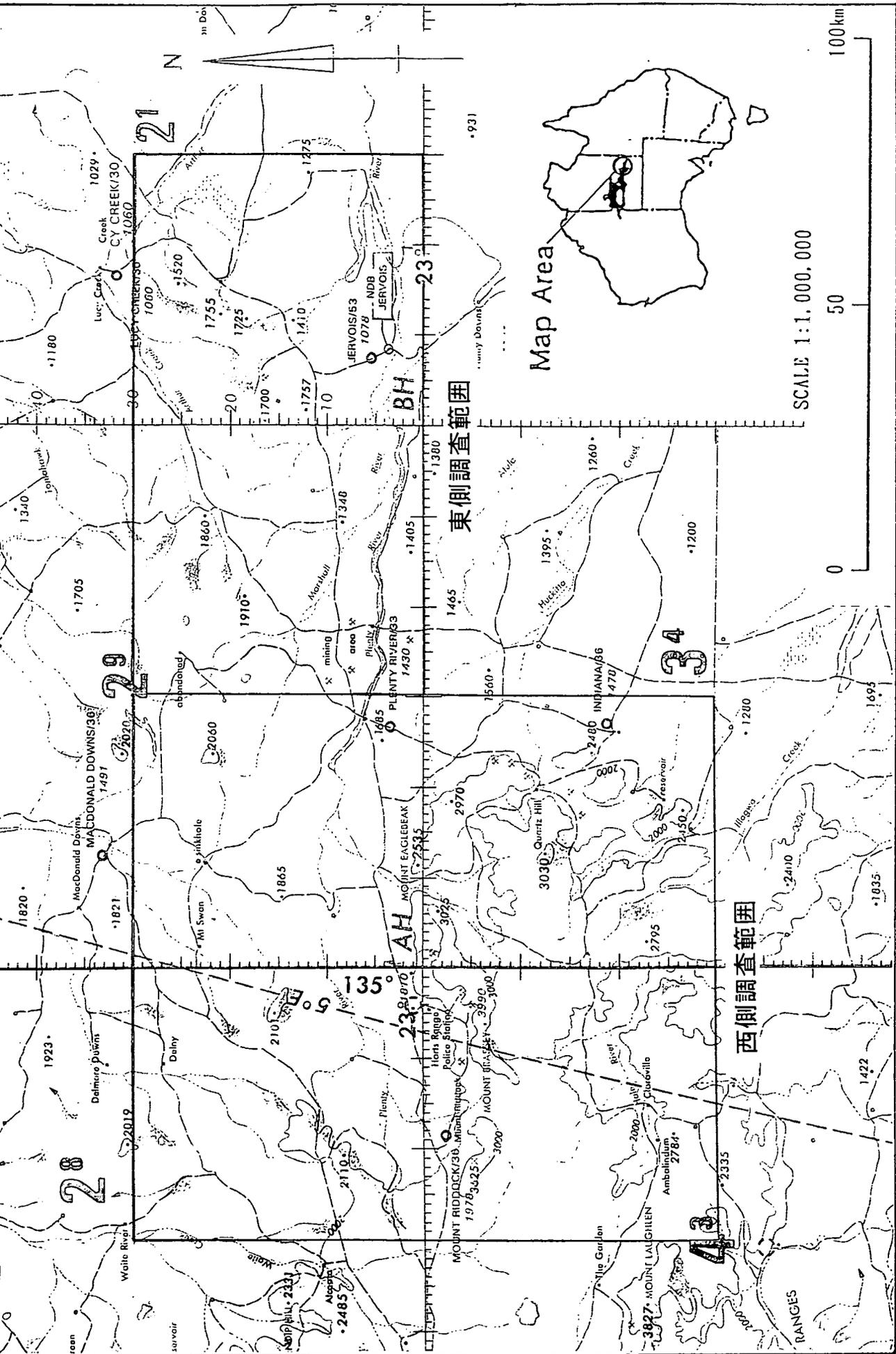


図-1 解析対象範囲 (□内)

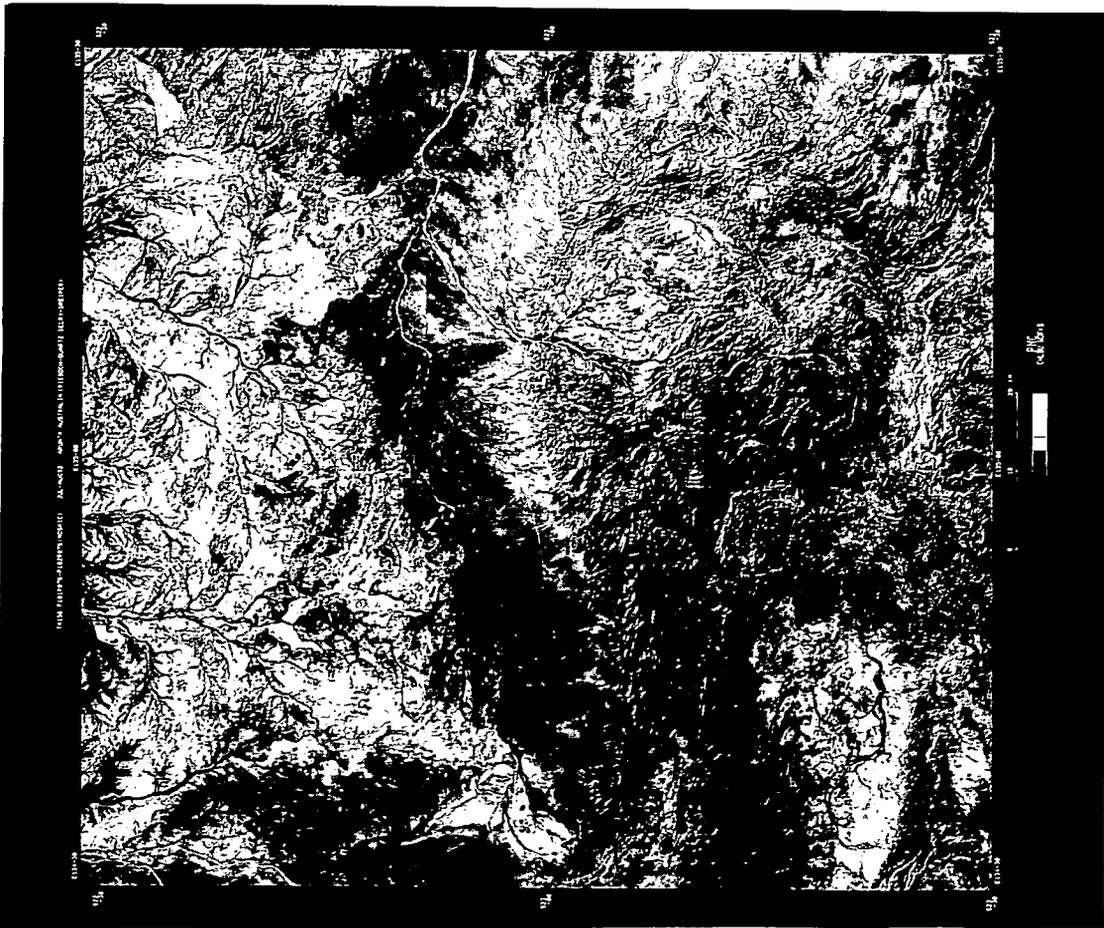


図-2-1 アルンタ西側調査範囲のカラー合成画像  
(左：バンド1.5.6、右：バンド4.5.7)

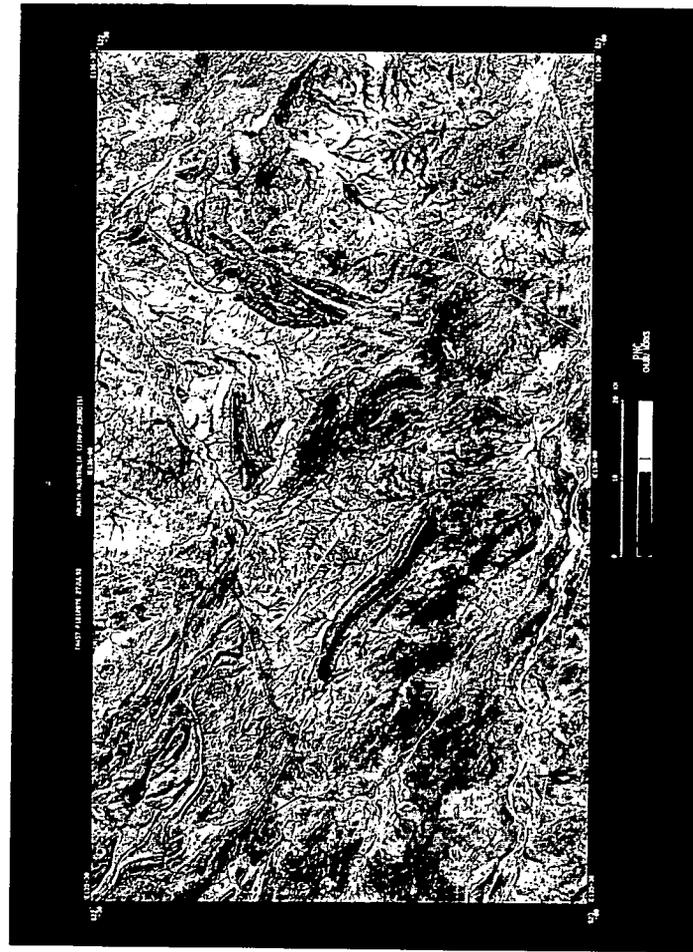


図-2-2 アルンタ東側調査範囲のカラー合成画像  
(左：バンド1.5.6、右：バンド4.5.7)

### 3. 今後の方針

アルンタ地域において、ランドサットTMデータよりも、短波長赤外領域におけるバンド数の多い、ふよう1号のデータによる地質マッピング手法の開発の適用を予定している。当該地区のふよう1号データが入手可能になり次第、今回の画像判読の結果抽出されたリニアメント、地質構造および单元等のデータを基礎資料として、ふよう1号のデータによる地質マッピング手法の開発を行っていく予定である。

A-4 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、北部準州アルンタ地域-

(山岸 明子)

A-4 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・北部準州アルンタ地域-

山岸明子

1. はじめに

技術開発課では「ウラン資源探鉱開発に係わる研究5ヶ年計画」の一環として、オーストラリアにおける、リモートセンシング技術によるウラン鉱床胚胎母岩の抽出手法（地質マッピング手法）の開発を行っている。

アルンタ地域については、「A-3 オーストラリア・アルンタ地区のランドサットTM画像の判読と解析」で述べたように、リモートセンシング技術によるウラン鉱床胚胎母岩の抽出手法の開発のための適用評価地とし、その準備として平成5年より、基礎となる資料の集積をおこなっている。

本作業は、平成5年8月20日～23日の間に現地で採取した岩石について、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ものである。詳しいX線回折結果は委託研究報告書「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・北部準州アルンタ地域-(PNC TJ7434 93-001)」：（ジオサイエンス株式会社）にまとめられている。

2. X線分析結果の概要

2.1 実施の目的

プロジェクト開拓地域の一つである、アルンタ地域において、リモートセンシングによる地質マッピング手法の開発・適用を図るための基礎資料とする。

2.2 測定試料

アルンタ地域から採取した18岩石サンプル（岩石採取地点については図-1参照）

2.3 分析方法

全試料について不定方位全岩分析および水ひ後、定方位分析を行った。また、必要な試料については、エチレングリコール処理分析・塩酸処理分析を行った。

2.4 記載項目

各岩石について、

- ①和名・英語名の岩石名
- ②サンプル番号
- ③サンプル採集地区名
- ④サンプル表面の特長（色・変質等）
- ⑤分析結果
- ⑥X線回折チャート（不定方位）

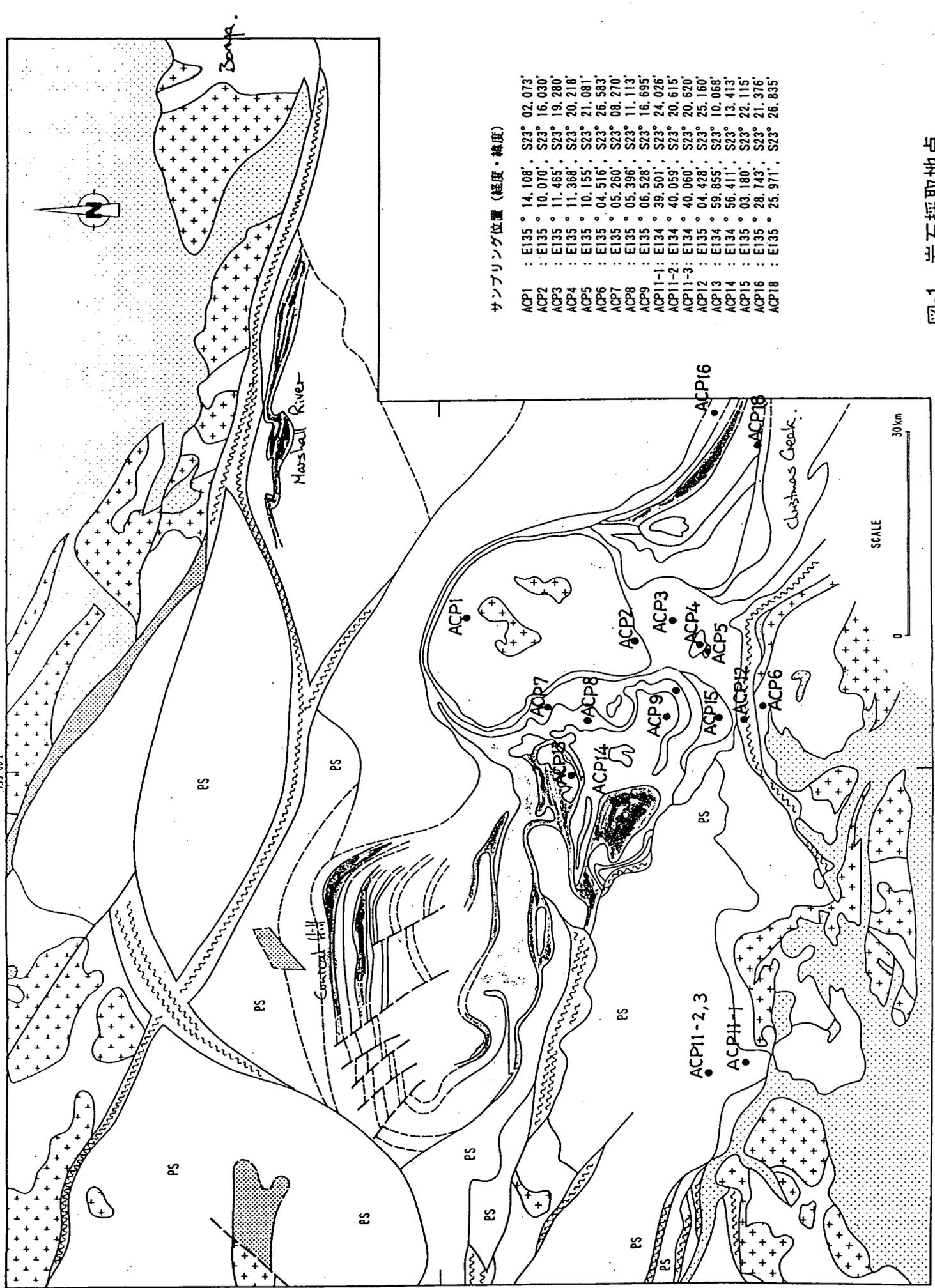
の項目について記載した。

## 2.5 結果一覧

各岩石で検出された鉱物についてまとめたものを表1に示す。

## 3. 今後の方針

アルンタ地域において、ランドサットTMデータよりも、短波長領域におけるバンド数の多い、ふよう1号のデータによる地質マッピング手法の開発の適用を予定している。当該地区のふよう1号データが入手可能になり次第、今回採取した岩石の反射スペクトル特性の調査および、X線回折および反射スペクトルの結果をもとに、ふよう1号のデータによる地質マッピング手法の開発を行っていく予定である。



サンプリング位置 (経度・緯度)

ACP1	: E135° 14.108'	S23° 02.073'
ACP2	: E135° 10.070'	S23° 16.030'
ACP3	: E135° 11.465'	S23° 19.280'
ACP4	: E135° 11.368'	S23° 20.218'
ACP5	: E135° 10.155'	S23° 21.081'
ACP6	: E135° 04.516'	S23° 26.583'
ACP7	: E135° 05.260'	S23° 08.270'
ACP8	: E135° 05.396'	S23° 11.113'
ACP9	: E135° 06.528'	S23° 16.695'
ACP11-1	: E134° 39.501'	S23° 24.026'
ACP11-2	: E134° 40.059'	S23° 20.615'
ACP11-3	: E134° 40.060'	S23° 20.620'
ACP12	: E135° 04.428'	S23° 25.160'
ACP13	: E134° 59.855'	S23° 10.068'
ACP14	: E134° 56.411'	S23° 13.413'
ACP15	: E135° 03.180'	S23° 22.115'
ACP16	: E135° 28.743'	S23° 21.376'
ACP18	: E135° 25.971'	S23° 26.835'

図-1 岩石採取地点

表1 X線回折による検出鉱物

サンプル番号および岩石名	Qz	Pl	Kf	Am	Cpx	Cal	Mag	Dol	Hm	Si1	Sca	Sph	Ga	Goe	Mc	Chl	Kao
ACP1 (珪長質片麻岩)	◎	◎			△										△		
ACP2 (珪長質片麻岩)	◎	◎	◎	△											+		
ACP3 (カリ長石片麻岩)	◎	◎	◎		△										◎		
ACP4 (マイロナイト質片麻岩)	△	◎		◎	△		+								△		
ACP5 (石英-粗粒玄武岩)	○	◎						△?							◎		
ACP6 (絹雲母-石英片岩)	◎	◎	◎			+									△		
ACP7 (ざくろ石-黒雲母片岩)	◎	◎											+		◎		
ACP8 (角閃岩)	△	◎		◎	△		+										
ACP9 (黒雲母片岩)	◎	○													◎		
ACP11-1 (石英脈)	◎																
ACP11-2 (石英-長石片麻岩)	◎	◎	◎			+									△		
ACP11-3 (黒雲母-長石-石英片麻岩)	◎	◎													◎		
ACP12 (絹雲母-石英片岩)	◎	◎						+							△	△	
ACP13 (珪線石-黒雲母片麻岩)	◎	○							△	○					◎		+
ACP14 (カルク-シリケイト-ホルンフェルス)	◎			△	△	△	+				○	△			+		
ACP15 (角閃岩)	△	◎	+	◎	+									1			
ACP16 (石英-黒雲母片麻岩)	◎	◎			+										◎		
ACP18 (黒雲母片麻岩)	◎		+						△	○				+	◎		+

凡 例

- ◎:多量    ○:中量    △:少量    +:微量    ? :不確定
- Qz : 石英    Pl : 斜長石    Mag : 菱苦土石    Sph : スフェーン    Kao : カオリン
- Cal : 方解石    Kf : カリ長石    Dol : 苦灰石    Ga : ガーネット
- Sca : 柱石    Am : 角閃岩    Hm : 赤鉄鉱    Goe : 褐鉄鉱    Mc : 雲母類
- Chl : 緑泥石    Sil : シリマナイト

A - 5 放射線防護採鉱技術開発に関する研究

(永崎 靖志)

(花木 達美)

(虎沢 均)

永崎靖志  
花木達美  
虎沢 均

## 1. はじめに

ウランの娘核種であるラドンは不活性気体であり、物質と化学的反応を起こすことがないため比較的容易に物質中を移動することができる。<sup>1)</sup>そのため、ウラン鉱山の坑道壁面のみならず一般環境中においては<sup>226</sup>Raを含有する土壌や壁面などからは相当量が散逸している。その後ラドンは順次娘核種を生成し、その多くは空気中に浮遊する超微粒子（エアロゾル）に付着し坑道内空間に浮遊する。これらは換気などによって減少させることができるが、本質的には壁面からのラドンの湧出を抑制することが鉱山労働者の内部被ばく低減化の観点からは重要である。このためには、壁面からのラドンの湧出を抑制するために適当な塗布剤により壁面を覆う方法が考えられる。また、作業者及び一般公衆の被ばく管理の観点からはこのラドン及びその娘核種を正確に測定評価する技術が必要である。

東濃地科学センター技術開発課では、このラドンの抑制、測定評価技術等に関する研究を社団法人資源・素材学会に委託した。ここでは、ラドン湧出抑制試験及び動的ラドン娘核種試験設備でのラドン娘核種測定技術に係る基礎試験に関する研究の概要について報告する。

なお、委託研究の詳細は報告書「放射線防護採鉱技術開発に関する研究（Ⅲ）（PNC PJ 7552 94-002）」にまとめられている。

## 2. 成果の概要

### 2.1 ラドン湧出抑制試験

坑道壁面から湧出するラドンを抑制する目的で、動的ラドン娘核種試験設備を用いたラドン湧出抑制試験を実施した。

#### (1)試験に用いた抑制剤

ポリウレタン樹脂塗料とセラミック粉末混合エポキシ樹脂塗料について、厚さの異なる供試体（0.5～1.0mm）を作成して試験に用いた。

それぞれの材料の長所、短所は以下のとおりである。

#### ①ポリウレタン樹脂塗料

本材料は、元来ロックボルト及び金網等の組合せによる岩盤支保技術と競合する支保技術を開発する為に研究された吹付塗料である。長所として、

- ・ 溶剤を含まず無臭。100%固化により減量がない。
- ・ 2成分吹付けにより継目のない仕上がりになる。
- ・ はね返りが少なく、滴りや弛みが無いので天井吹付けが容易である。
- ・ 施工は迅速で、約30秒で固化するため、多重塗りが可能である。
- ・ 仕上がり面が滑らかで、坑道の通気抵抗が減少する。

・磨耗、腐食、化学物質に対し耐性である。

一方短所としては、

・吹付け面が湿っていると付着性が低下する。

・60～80℃の高温になると柔らかくなる。

・吹付け施工時に、液体成分により呼吸困難をもたらす可能性がある。

## ②セラミック粉末混合エポキシ樹脂

長所として、

・磨耗、腐食、防水、機密性が高い。

短所として、

・硬化時間が長い。標準的には、完全硬化7日間程度の時間がかかる。

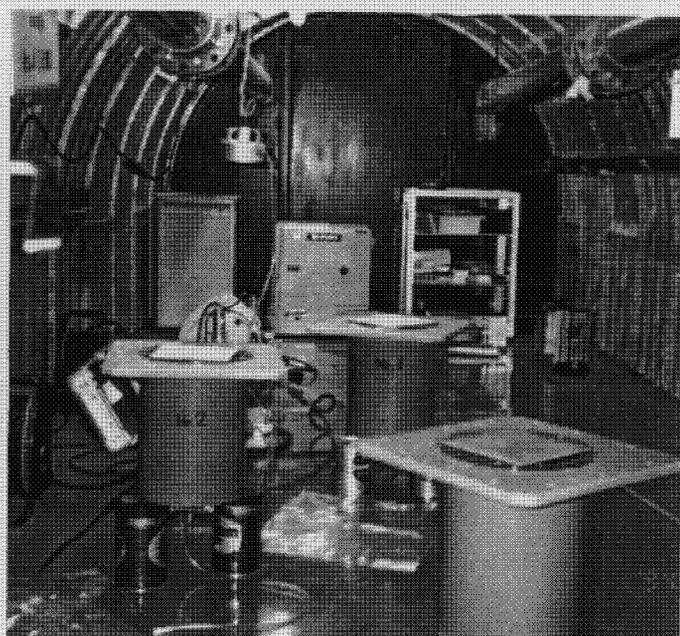
・粘性が高く、吹付けるためには加熱を要する。

・溶剤型の場合には、シンナーを使用しているため引火の危険性がある。

## (2)試験方法

試験の状況を図-1に示す。

試験装置は、22cmφの塩ビ容器の一方の端の開口部に供試体を取付けその容器の他端にゴム栓を施し、ゴム栓に取りつけたガラス管より容器内のラドンを採取できる構造とした。当初、この容器の供試体側をチャンバーの扉に取り付ける予定であったが、試験場所の都合と扉の機密性に多少の問題があったので容器ごとチャンバー内に入れて容器内に透過したラドンの量を測定することにした。ラドンは天然、人工いずれのゴムも透過する可能性があるが、この場合膜状のゴムの場合でゴム栓のよ



(図-1 ラドン湧出抑制試験の様子)

うなブロック状の試料を透過するとは考えられなかったが、念のために供試体の代わりにプラスチック板をセットし、漏れ試験を行ったが、問題ないことを確認している。また供試体はシリコン系のコーキング剤を用いて実験容器に密着させた。

供試体を取りつけた3個の試験容器を測定状態にセッティングし、高ラドン濃度のチャンバーに3週間放置した。この間、週に2回程度容器内の空気を低ラドン濃度の一般環境の空気と交換した。3週間経過してから2日間放置し、容器内空気をルーカセルで採取した。容器の内容積は7.77ℓであり、ルーカセルは約0.3ℓの容積なので1回の採取による容器内の減圧は4%程度で採取量による影響は僅かである。この暴露期間中のチャンバー内のラドン濃度は一定ではないので暴露開始と終了時の濃度の平均をもって供給源のラドン濃度とした。

### (3)試験結果

供試体はポリウレタン樹脂塗料が2種類（厚さ 0.5mm、1.0mm）、セラミック粉末混合エポキシ樹脂が1種類（厚さ 1.0mm）である。

この供試体を用いて、3/5～3/7、3/10～3/11、3/17～3/19、3/25～3/27、3/29～3/31の5回に渡って試験を繰り返した。この間、試料空気をルーカスセルにより採取し、ラドン濃度を測定したが、当初は2回の試験ではルーカスセル自体が持つバックグラウンド値を測定したため、第3回目以降のデータを使用して評価を実施した。

厚さ 0.5mmのポリウレタン樹脂塗料については、容器内のラドン濃度は周辺のラドン濃度の0.26%、0.35%、0.13%と変化した。また厚さ 1.0mmのポリウレタン樹脂塗料については第3回目の試験結果のみ有効で、0.04%であった。

一方セラミック粉末混合エポキシ樹脂については第3回目以降について異常値を示している。第1、2回目は、それぞれ0.07%、0.13%であった。

### (4)評価

本試験では、厚さ 0.5mmのポリウレタン樹脂塗料の試験結果が最も信頼性が高かった。このような試験を行う場合、例えば実際のコンクリート吹付け厚さである70～100mmで試験を実施していれば、おそらくラドンの透過量が全く認められなかったかもしれない。短時間で結果を求めるために極力薄い供試体を用いたが、この程度の厚さが試験を行う上で最適の厚さであることが認められた。

なお、実用上の面からはポリウレタン樹脂塗料がその特徴（元来岩盤支保用に開発）から有効と推定される。そこで、簡単なコスト試算を以下に示す。

#### ①ポリウレタン樹脂塗料の施工費用

施工費用は工事の規模、必要な仕上がり厚さ、現場条件等によって左右されるが概算値として次の費用となる。

・吹付け厚さ 2mmの場合 ⇒ 7,000円/㎡（材料、施工費）

坑内用のディーゼルエンジン付重機が通行可能な寸法の坑道を例にすれば、床面（床コンクリート上に吹付け）も含めて、周囲長が11.5mであるから、坑道1m当たりの施工費は以下のとおりとなる。

$$7,000\text{円}/\text{㎡} \times 11.5\text{㎡}/\text{m} = 80,500\text{円}/\text{m}$$

（\*通常の吹付けコンクリート： 40,000円/㎡×11.5㎡×10cm = 46,000円/m）

ポリウレタン樹脂塗料は元来吹付けによる岩盤支保を目的として開発されたものであるので、岩盤に直接吹付けることにより、岩盤支保とラドン湧出抑制の2つの目的が達成される。また、この種の材料は家庭や地下街さらには地下作業場の壁にラドンの湧出を抑制するために応用できる可能性がある。

### 2.2 ラドン娘核種測定技術に係る基礎試験

ラドン娘核種測定技術開発の目的のために東濃鉱山内に整備した、動的ラドン娘核種試験設備の運転・操作法等に関する基礎試験を実施した。特に平成5年度は、試験空間（チャンパー内）の安定性及びラドン娘核種濃度のコントロールの可能性等について調査、検討した。

#### (1) 試験に用いた測定器類

①ZnS(Ag)シンチレーション検出器 2台（アロカ）

②フィルター：ミリポア社Type, AA フィルター（孔径  $0.8\mu\text{m}$ ）

測定は5分間の補集の後、1分間の時間（フィルターを検出器に設置するために必要な時間）をはさんで、各5分間の測定を6～10回繰り返す。

③アスマン通風乾湿度計（安藤計器）

④ピエゾバランス粉塵計（日本カノマックス）

⑤ビラム風速計（太田計器製作所）

⑥自記気圧計（いすず）⇒ チェンバー内に2台設置（常時モニタリング）

⑦自記温湿度計（いすず）⇒ チェンバー内に2台設置（常時モニタリング）

⑧電離箱（大倉電気）1.0 l、1.5 l

## (2) 試験条件等

試験の様子を図-2に示す。

測定は1日に2つの条件を午前と午後に分けて設定した。（それぞれのラドン娘核種濃度は3回測定）各条件を設定する前にはチャンパー内の状態をリセットするためにチャンパーのドアを開放し、入排気のファンを強の状態です10分程度運転した。またそれぞれ第1回目の実験の際にはドアを閉じ、入排気のファンを条件通りに設定した後、5～8分程度珪化してから試料の採取を開始した。

入排気のファンはビラム風速計を用いて空気の乱れの少ない入気孔付近で流速を測定しそれにより風量を求めた。入排気管のファンの両スイッチを弱とした場合の送風量は $2.67\text{m}^3/\text{min}$ 、強とした場合は $4.12\text{m}^3/\text{min}$ であった。今回はチャンパー内部の濃度分布の安定性を調べると共に、種々のラドン娘核種濃度比を得るために両スイッチは弱とし、チャンパー内の空気の移動時間を長くした。

高湿度の環境下（通常、坑道内の湿度は100%に近い）で測定器を長時間動作させることはあまり好ましいことではないので、今回の実験では除湿器を常に作動状態とした。（チャンパー内の湿度はほぼ60%で安定する）

ラドン娘核種の濃度比を変えるためにエアロゾルを投入し、粒子条件を安定化した後除塵器を作動した。本来ならば、種々の粒径の単分散粒子をエアロゾルとして投入すべきであるが、今回の試験では多量のエアロゾルを投入する必要上、線香を用いた。用いた線香は $2\text{mm}\phi\times 142\text{mm}$ で、



(図-2 基礎試験の様子)

1本あたりの燃焼時間は約30分、発生したであろうエアロゾルの重量は約7mgと推定された。エアロゾルの投入により非付着成分のプレートアウト（壁面等への付着）は極めて少なくなり、ラドン濃度に対するラドン娘核種濃度の割合が増加するとともにラドン娘核種の濃度比が平衡に近くなることが期待された。一方除塵器を運転するとチャンバー内のエアロゾルがラドン娘核種と共に除去されるがラドンより新しい<sup>218</sup>Po(RaA)が生成し続ける。これらのラドン娘核種は空気中のエアロゾル濃度は低いためにエアロゾルに付着し難くなり非付着成分が増加することになる。

(3)試験結果

試験は、平成5年8月19～26日の間の6日間及び平成6年2月16～18日までの3日間実施した。本稿では、代表的な測定結果の例のみ表-1及び図-3に示す。

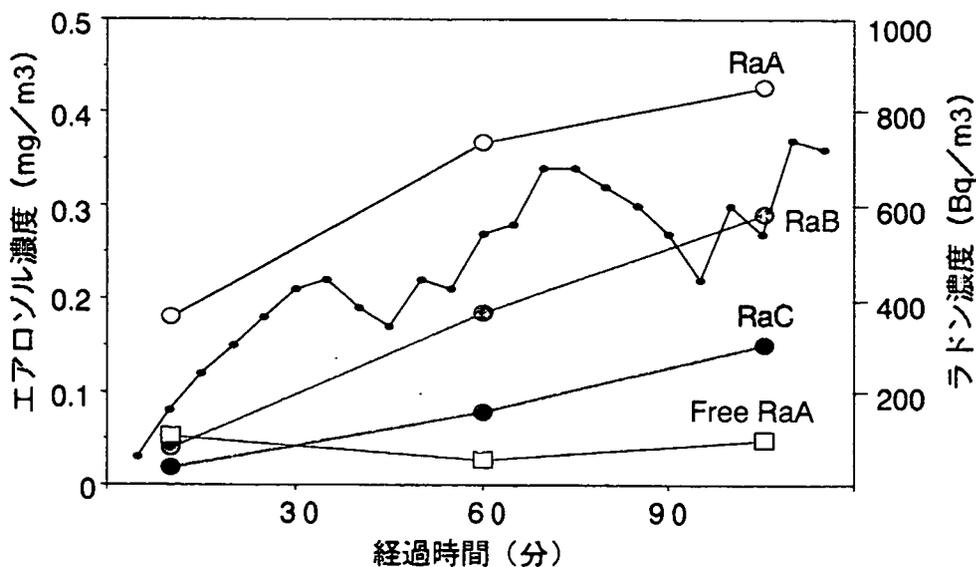
(表-1 ラドン濃度及びラドン娘核種濃度の試験結果例)

ラドン濃度およびラドン娘核種濃度の試験結果

<測定日> 94年2月17日(午前)

<条件> 初期設定…不平衡(除塵機19分間作動) エアロゾルの投入…○(7l) 除塵機の作動…×(7分) 試料空気の循環…○(7l)  
投入開始時刻 9:30 上段:上流側採取 中段:中央採取 下段:下流側採取

時刻(経過)	対象	Rn (Bq/m <sup>3</sup> )	RaA (Bq/m <sup>3</sup> )	RaB (Bq/m <sup>3</sup> )	RaC (Bq/m <sup>3</sup> )	EECRn (Bq/m <sup>3</sup> )	平衡係数	RaA/Rn	Free EEC <sub>Rn</sub> /EEC <sub>Rn</sub>	Free RaA/RaA	備考
9:30	全 7l- 全	732.9	378.5±26.3 102.8±26.8 301.8±36.8	90.7±6.6 11.6±5.6 60.9±9.1	30.1±8.8 10.4±7.7 42.2±12.0	97.7±5.5 20.6±5.0 78.9±7.5	0.13 0.03 0.11	0.52 0.14 0.41	0.211±0.053 0.261±0.068	0.272±0.073 0.341±0.098	
10:18	全 7l- 全	949.6	736.3±32.6 60.6±19.0 784.7±71.3	374.8±8.2 13.9±4.0 392.6±17.5	192.2±10.9 19.9±5.5 174.5±23.4	343.2±6.8 21.0±3.5 350.7±14.6	0.36 0.02 0.37	0.78 0.06 0.83	0.061±0.010 0.060±0.010	0.082±0.026 0.077±0.025	
11:04	全 7l- 全	1035.4	863.0±86.4 94.7±23.6 1060.9±66.7	524.7±21.6 18.0±4.9 528.7±16.4	297.5±28.8 1.4±6.8 260.8±21.8	473.9±18.0 19.7±4.4 482.6±13.8	0.46 0.02 0.47	0.83 0.09 1.02	0.042±0.009 0.041±0.009	0.110±0.029 0.089±0.023	



(図-3 エアロゾル濃度とラドン娘核種濃度比の関係例)

#### (4)評価

動的ラドン娘核種試験設備を、ラドン及びラドン娘核種濃度測定器の開発の場、また校正の場として今後利用していくためには、①幾つかの測定器をそのチャンバー内で使用してもラドン娘核種濃度の変動がないような容積もしくは方策が施されていること。②チャンバー内のラドン娘核種濃度が許容される範囲で一様であること。③ラドン娘核種濃度及び個別濃度比を広い範囲で変化させ得ること。④ラドン娘核種中の非付着成分の割合をかなりの範囲で変化させ得ること。⑤エアロゾル濃度や粒子径のコントロールが可能なこと。⑥温湿度・風速などがある幅で任意に設定できること等が必要である。⑤、⑥に関する実験は未実施であり今後の課題となるが、試験の結果からは①から④の要件については大略クリアーできるものと判断される。特にラドン娘核種個別濃度比として、RaA:RaB:RaCの全成分（エアロゾル付着成分+非付着成分）を 1:0.2:0.1から 1:0.7:0.5程度まで、また同フリー成分（非付着成分）についても 1:0.06:0.07から 1:0.3:0.7程度まで変化させうることが確認できた。

#### 4. 今後の計画

ラドン湧出抑制剤の調査研究については、新規抑制剤の調査と将来の実規模試験のための試験方法について検討する。またラドン娘核種測定技術に係る調査研究については、動的ラドン娘核種試験設備のオペレーションに関する検討を行い、今後の定常的な測定器校正作業に資する。

#### <参考文献>

- 1) 大気中のラドン族と環境放射能：ラドン族調査研究委員会 1985年9月

A-6 地質と環境放射線の関連性に関する研究

(永崎 靖志)

1. はじめに

原子力安全委員会の策定した国の環境放射能安全研究年次計画（平成3～7年度）においては、研究分野の一つとして環境放射線による国民線量評価に関する研究が挙げられており、一般公衆が生活環境における天然放射性核種を含む各種放射線源について、国土全般についてその強度分布や特性の把握が重要となっている。

東濃地科学センター技術開発課ではこの計画に基づき、「地質と環境放射線の関連性に関する研究」を平成2年度より実施してきている。

平成5年度においては、過去に実施した国内ウラン資源探査での車載型放射線測定装置（カーボン）データの調査、分析として、花崗岩、中・古生界を基盤とし、これを覆って新第三紀層が分布する岐阜県東濃地区（土岐市、多治見市、瑞浪市及びその周辺地域：測定ルート数40、測定距離141Km）と、主に中・古生層の砂岩、粘板岩、チャート、石灰岩、玄武岩溶岩及び火山破屑岩が広く分布する岐阜県西濃南部地区（損斐郡、本巣郡、不破郡におよび地域：測定ルート数58、測定距離297Km）について、過去のカーボンデータである計数率値を環境放射線量単位である吸収線量率値へ換算するとともに地質との関連性について調査した。本年報では特に、東濃地区の研究結果の概要について報告する。研究の詳細は報告書「国内カーボンデータに基づく地質と環境放射線の関連性評価（PNC TJ7409 94-001）（株）ペスコ委託報告書」にまとめられている。

なお本研究に関する主要な成果について、平成5年11月にオーストリア、ウィーンで開催されたIAEAのテクニカルコミッティーミーティングにおいて発表した。

2. 成果の概要

過去のカーボン測定データの調査、分析として以下の作業を実施した。

2.1 カーボン測定データの吸収線量率換算の実施

旧チャート（cpm）を平成4年度に検討した換算式を用いて、吸収線量率（nGy/h）に換算し、新チャートを作成した。（図-1）

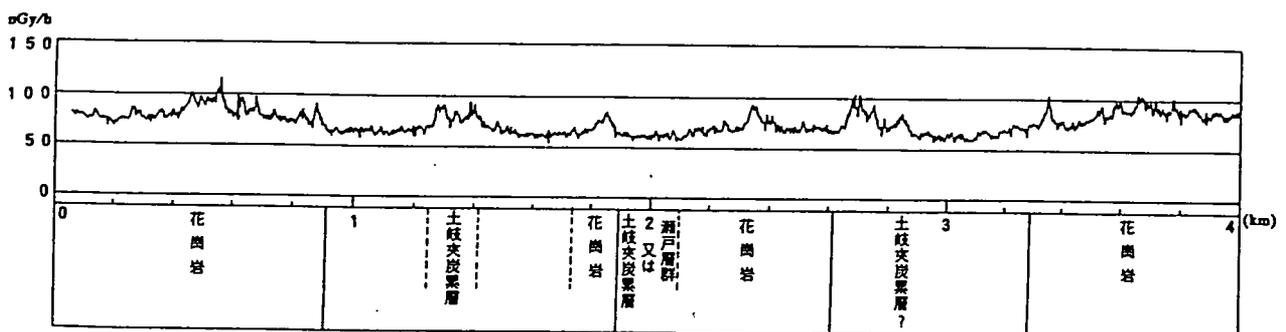


図-1 吸収線量率変換チャート

## 2.2 ルート別地質と測定値の対比及び評価

2.1の新チャートの吸収線量率と過去のカーボンルートマップ及び旧チャートに記載されているルート沿いの地質情報と地質図、地質文献・資料等<sup>1) 2) 3) 4) 5)</sup>を用いて対象地区全体の地質状況を把握するとともにルート別地質解釈及び地質と環境放射線との関連性の検討を行った。以下にその例を示す。

(例)

### ◎ルートNo.2 (瑞浪市日吉町平岩～高根権現山～雨乞山西方)

ルート起点より3km余りまでは花崗岩及びこれを覆う土岐夾炭累層が谷沿いの道路側に露出する。この付近は土岐夾炭累層中で強い放射線異常が確認されており、ウランの鉱化作用が確認されている。従って花崗岩だけでなく土岐夾炭累層の分布範囲でところにより80nGy/hを越える放射線量値を示す。3kmより先では花崗岩と古生層が交互に分布している。古生層は60～75nGy/hの値を示す。このうち60nGy/h前後の安定した値を示すところはチャート、60～75nGy/hを示すところは粘板岩の分布範囲と推定される。

## 2.3 吸収線量率図(新カーボンルートマップ)の作成

新チャートの吸収線量率をもとに40nGy/h以下、41～80nGy/h、81～120nGy/h、121nGy/h以上の4区分に分類した。

## 2.4 吸収線量率と地質との関連性の検討・評価

上記2.1～2.3の結果を基に吸収線量率強度と地質との関連性について対比検討・評価を行った。その結果を図-2に示す。(以下に示す地質についてその解説は省略)

カーボンの測定値を左右するものとして、

- (1)地質(ウラン等放射性核種の鉱化作用を含む)\*下記(2)、(3)に関連
- (2)露頭等の岩石、地質の露出状況(露頭の規模、表土の被覆状況)
- (3)露頭等の測定対象と測定器の距離。
- (4)花崗岩等による組石壁などの人工構造物

等が考えられる。検討・評価にあたってはこの点に充分配慮した。

- ① 美濃帯の中・古生層は50～95nGy/hの範囲を示す。ただし、粘板岩露頭は80～90nGy/hと高めの値を示すところの確認されている。これに対しチャート、砂岩部分は低めの値を示すと推定される。
- ② 花崗岩は55～135nGy/hの範囲の値を示すが、70～100nGy/hの範囲の値を示すところが多い。最高値はルートNo.20(笠原町～土岐市鶴里町柿野)で認められる。最低値はルートNo.3及びNo.4(土岐市北方)で認められる。美濃帯の中・古生層との境界の比較的近くに位置する。

ルートNo.17、18、20付近一帯には放射線量値が高い花崗岩が分布、露出していると判断される。このように花崗岩の放射線量値はかなり幅の広い範囲におよんでおり、苗木・上松型花崗岩の分布域と判断される。その他既存のデータによれば本地区では屏風山断層より南へ瀬戸市北方にかけて分布する花崗岩は新規領家花崗岩類

に属する伊奈川花崗岩である可能性が大きい。苗木・上松型花崗岩に比べ低い放射線量値を示す。低い方の値を示す部分は、非露出部分ないし小露頭を代表し、80nGy/h以上の高い値を示す部分は比較的規模の大きい露頭を代表していると判断される。

③ 上述から判断されるように花崗岩の型と放射線量値の間に関連性が認められる。土岐花崗岩分布域は55~105nGy/h、苗木・上松型花崗岩分布域は70~135nGy/h、伊奈川花崗岩分布域は55~80nGy/hとそれぞれの範囲の値を示している。

④ 可児夾炭累層は50~85nGy/hの範囲の値を示す。大部分は55~75nGy/hの範囲におさまる。

土岐夾炭累層はカーボンの範囲では分布範囲が限られている。50~100nGy/hの範囲の値を示すが、100nGy/hを示す場所はルートNo.2の瑞浪市日吉町平岩のウラン露頭箇所近く、この影響による判断される。通常は50~80nGy/hの範囲の値を示す。

水野夾炭累層は瀬戸市北方で認められ、43~67nGy/hの範囲の値を示す。可児・土岐夾炭累層は水野夾炭累層に比べ高めの放射線量値を示すが、これは前者中に強いウラン鉱化作用が認められることと関係があると判断される。

⑤ 可児層群平牧累層は30~65nGy/hの範囲の値を示す。土岐市南方に分布する下肥田累層はカーボンルートでは露頭が限られる。地質図によればルートNo.15で93~94nGy/hのピークを除く部分は大部分50~56nGy/hの範囲の値を示している。

⑥ 瀬戸層群は大部分土岐累層の砂礫層で42~75nGy/hの範囲の値を示すが大部分は50~70nGy/hの範囲におさまる。土岐市北方では50~75nGy/h、土岐市南方~瀬戸市北方では42~70nGy/hの範囲の値を示す。

⑦ 沖積層分布域では47~64nGy/hの範囲の値を示す。

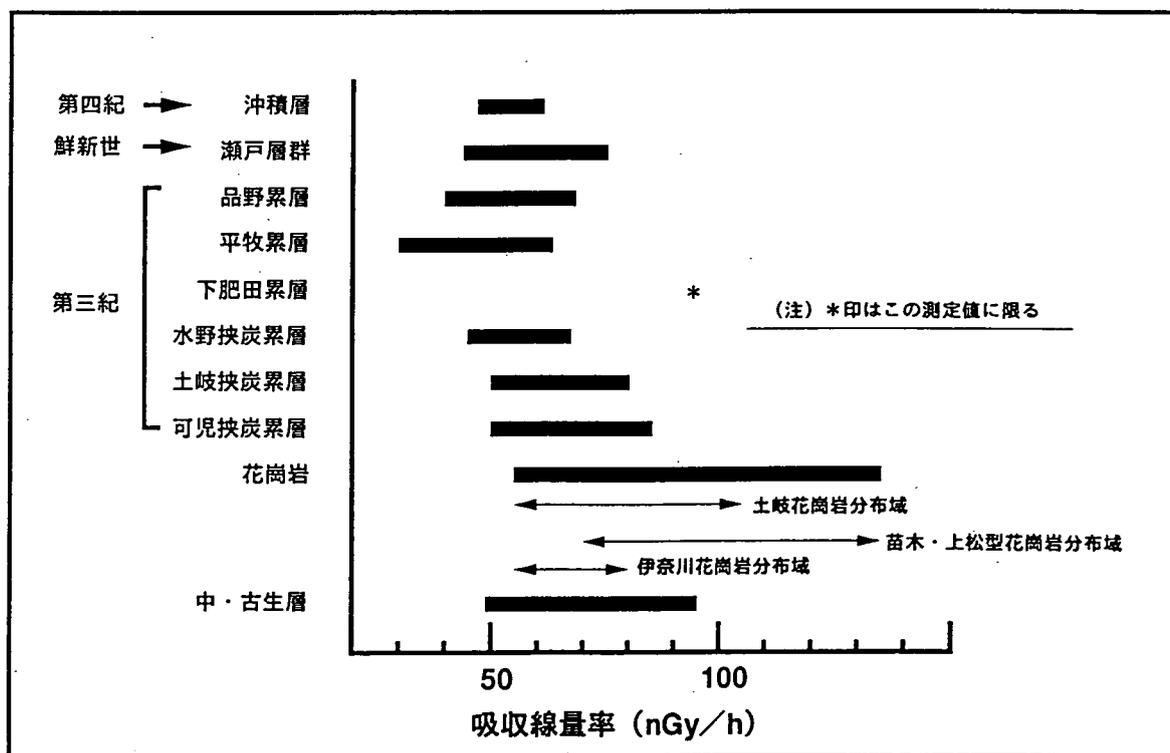


図-2 東濃地区における地質と吸収線量率関係

### 3. 今後の計画

国民線量評価の基礎資料とすべく、東濃地区における地質と環境放射線の関連性を示した環境放射線量図を作成する。

また、その他地区についても同様の作業を進める。

さらに本研究のこれまでの成果について公開資料化を進める。

#### <参考文献>

- 1) 土岐構造盆地の地質と地質構造、構造地質学研究室業績、名古屋大学理学部地球科学教室(1964) : 松沢、植村
- 2) 岐阜県瑞浪市南部・駄知地区の含ウラン層、地質調査所報告第 232号(1969) : 河野、坂巻、井上
- 3) 岐阜県御 地区の地質とウランの産状、地質調査所報告第 232号(1969) : 坂巻、鈴木、小尾
- 4) 岐阜県瑞浪市日吉地域の地質とウランの産状、地質調査所報告第 232号(1969) : 鈴木、浜地、根本、大久保、尾上
- 5) 岐阜県可児盆地東部の地質とウラン鉱化作用、鉱山地質第39巻79~94(1989) : 小林

A-7 東濃鉾山インプ्रेसリーチング試験廃液処理施設の  
合理化と坑水処理システムの更新

(宗藤 勝)

## A-7 東濃鉾山坑廃水処理施設等の撤去と水質調整設備の設置

宗藤 勝

### 1. はじめに

東濃鉾山における坑廃水処理施設の大部分は、インプレース・リーチング試験によって発生したウランを含むリーチング液からウランを除去し、あわせて弱アルカリ性であるリーチング液を中和処理する目的で設置されている。それ以外の坑水処理施設としては、沈降剤添加設備と沈殿池の2つがあるだけである。(表-1)

インプレース・リーチング試験が終了してから約9年が経過した現在では、試験場跡からの坑水中に含まれているウラン、水素イオンなどの処理を必要とする物質の濃度はバックグラウンドレベルに近い値にまで減少してきている。平成2年度から実施してきた坑水処理系統を合理化するための検討と現場試験の結果、インプレース・リーチング試験場跡からの坑水を簡便な方法で処理できることが確認できた。<sup>1)、2)</sup>

したがって本年度は、坑廃水処理施設等の撤去と水質調整設備の設置をするために必要な許認可申請と変更工事を実施したので、その概要を報告する。

### 2. 許認可申請

#### 2. 1 施業案の変更

##### (1)変更理由

平成5年1月25日付けで認可されている施業案には、「通気及び排水に関する事項」、「鉾害の防止のための施設の保全に関する事項」が記載されているが、下記の事項について変更があるので変更申請を行った。

- ①インプレース・リーチング試験に係わる施設の撤去と処理系統の変更
- ②鉾業廃棄物槽の移設と鉾業廃棄物埋立場の新設
- ③市道の拡幅工事による鉾山用地形状の変更

##### (2)変更認可

平成5年6月22日に施業案変更申請を行い、平成5年9月1日付けで認可された。

#### 2. 2 鉾業廃棄物埋立場の移設

##### (1)移設理由

無重量実験施設の設置と使用に係わる安全を確保するため、「確認書」に基づいて(株)日本無重量総合研究所の占有地内にある埋立場を移設する。

##### (2)移設方法 (図-1 参照)

鉾山保安監督部との調整の結果、次のような方法で実施することになった。

- ①届出が必要な規模である1000 m<sup>2</sup> 以下であるが、届出を提出する。
- ②捨石体積場は沈下するおそれがあるので、沈殿池付近に移す。
- ③既存の内容物は移設した鉾業廃棄物埋立場に収納する。

④既存の鉱業廃棄物埋立槽を掘り出して移動させることは、技術的に困難であるので、既存の埋立槽は解体撤去する。

⑤解体物はすべて鉱山内に新設する鉱業廃棄物埋立場に処分する。

(3)届出受理

平成5年8月31日に届出を行い、平成5年10月14日に受理された。

## 2. 3 坑水処理施設の変更

(1)変更理由

①インプレース・リーチング試験が終了してから約9年が経過した現在では、試験場跡からの坑水中に含まれているウラン、炭酸の濃度がバックグラウンドレベルに近い値にまで減少してきていること。

②平成2年度から実施してきた坑水処理試験の結果、簡便な方法で坑水処理ができる見通しが得られたこと。

③無重量落下施設の建設、来客数の増加などから、鉱山用地内にある建屋の有効利用が必要になってきたこと。

(2)変更方法（図-2, 3, 4参照）

①インプレース・リーチング試験に付随する坑水処理施設は、全て撤去する。

②インプレース・リーチング試験場跡からの坑水は、坑道内の側溝に設置したイオン交換樹脂槽でウランを除去したあと、他の坑内水とともに坑外へ排出する。

③坑外に排出された坑内水は、坑口バックでpH調整したあと、沈殿池を經由して放流する。

④イオン交換樹脂に捕捉したウランは、そのままケミカルドラム缶に入れて保管する。

⑤沈殿池の上部には、懸濁物質を沈殿・除去するために、SS濃度と流量にじて凝集剤を自動添加する装置を設置した。

(3)変更認可

平成5年10月7日に変更認可申請を行い、平成5年10月22日に認可された。

また、変更工事完了後の完成検査は平成6年3月4日に実施され、3月31日に検査合格書が交付された。

## 2. 4 鉱業廃棄物埋立場の設置と廃止

(1)設置理由

鉱業廃棄物埋立槽の解体、及び坑水処理施設・設備の解体によって発生する鉱業廃棄物を、一般の産業廃棄物処理業者に委託処分させても違法ではない。

しかし、

①一般廃棄物と放射性廃棄物を区分する明確な境界値が存在しないこと

②鉱山の管理外へ運び出すと、問題が発生した場合に対応が複雑になること

③鉱山内に鉱業廃棄物埋立場を設置しても、簡単に廃止できる上に跡地利用に

特別の制限がないこと。

等々の理由から、坑水処理施設を撤去した跡地に鉱業廃棄物埋立場を設置することにした。

(2)設置方法(図一5参照)

鉱山保安監督部との打合せの結果、次のような方法で実施することにした。

- ① 鉱業廃棄物埋立槽と坑水処理施設の解体によって発生した廃棄物を入れる。
- ② ウラン溶液を取り扱った設備、タンク、配管は入れない。
- ③ 解体物を入れ終わったら上部を土砂で埋め戻して更地にする。

(3)届出

平成6年1月7日に届出書類を提出し、1月10日に受理された。

### 3. 変更工事

#### 3. 1 鉱業廃棄物埋立槽

既存の鉱業廃棄物埋立槽と同一仕様のもを沈澱池の隣に新設して、内容物を新しい埋立槽へ移し替えたあと、古い埋立槽は撤去した。なお、撤去に係わる費用については、MGLABの負担とした。

#### 3. 2 坑水処理施設の変更

(1)インプレース・リーチング試験場跡からの坑水の処理方法(図一2, 3, 4, 5参照)

①イオン交換樹脂槽の設置(図一3参照)

インプレース・リーチング試験場跡からの坑水が集まる調査坑道下盤西ポンプ座の側溝を一部拡幅して、陰イオン交換樹脂PA-318が25リットル入ったイオン交換樹脂槽を2個直列にしたものをそれぞれ3つ並列に置き、坑水の自然流下によってウランを除去する。

②イオン交換樹脂の交換

樹脂へのウラン吸着量が74 Bq/g(=0.00284gU/g)未満になるように、次のような方法でイオン交換樹脂を交換する。なお、この74Bq/gは樹脂の破過交換容量よりも1桁程度低い値であるので、樹脂の吸着能力が十分に残っている状態で次の新しい樹脂に交換することになる。

イ. 一段目のイオン交換樹脂槽の入口と出口のウラン濃度および出口流量を毎週1回測定して、計算で樹脂への吸着量が74Bq/gになる日数を求め、それ以前に樹脂槽を取り出し樹脂を交換する。

(試算)

・入口濃度=330  $\mu$ gU/l, ・出口濃度=1  $\mu$ gU/l, ・流量=7/3  $m^3$ /日, ・イオン交換樹脂量=25l(比重=1) とすると、

$$0.00284 = ((330 - 1) \times 10^{-6} \times 7/3 \times 10^3 \times D) / (25 \times 10^3)$$

D = 92.5日となるので、2.5カ月(75日)程度で交換する。

この場合の年間発生量は、

$(365 / 75) \times 25 \times 3 = 365$  リットル

すなわち、年間にドラム缶で約2本ずつ増える。

ロ. 二段目に設置してあった樹脂槽を一段目の位置に移し、新しい樹脂の入っている樹脂槽を二段目に設置する。

### ③異常時の検討

万が一、イオン交換樹脂槽でウランが全く除去されないでリークした場合でも、大量の坑内水で希釈されて規制値の以下の濃度になり、そのまま排出しても問題はない。

(試算)

- ・インプレース試験場からの坑水量 =  $7 \text{ m}^3/\text{日}$
- ・インプレース試験場のウラン濃度 =  $330 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$
- ・その他の坑内水の水量 =  $40 \text{ m}^3/\text{日}$
- ・その他の坑内水のウラン濃度 =  $5 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$
- ・沈澱池に入る坑外からの水の水量 =  $8 \text{ m}^3/\text{日}$
- ・沈澱池に入る坑外からの水のウラン濃度 =  $5 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$

とすると、インプレース試験場跡からの坑水が、他の水で希釈されたあとのウラン濃度は、

$$(7 \times 330 + 40 \times 5 + 8 \times 5) / (7 + 40 + 8) = 46 \text{ } \mu\text{g}/\text{l} \text{ (規制値} = 800 \text{)}$$

## (2)坑外での坑水処理 (図-4 参照)

### ①坑口バックでの処理

従来はインプレース・リーチング試験場跡からの坑水についてのみ、坑水処理工程の最後にpH調整を行い、他の坑内水については全くpH調整をしていなかったために、沈澱池出口のpHが8を越えることが頻発した。

そこで今後は、全ての坑内水が集まる坑口バックにpH調整設備を設置して弱アルカリ性(pH = 8 から9)の坑内水の水質調整を行うことにした。また、

### ②沈澱池前の凝集沈降剤添加

降雨があると場内水や捨石体積場浸透水が濁るため、沈澱池入口部に懸濁物質(SS)濃度と流入量に応じて凝集・沈降剤を添加する設備を設置した。通常は坑内水は清浄であるが坑内で試験作業を実施すると、坑内水が濁ることがあるので、そのような場合には坑内水の流路を変えることによって、この凝集沈降剤添加槽を通すことができる。

## (3)溶離液の処理

### ①経緯

インプレースリーチング試験場(跡)からのウランを含む坑水は、坑外の坑水処理施設内のイオン交換塔でウランを除去してきた。このイオン交換塔に捕捉されたウランは、定期的に食塩水で溶離して専用タンク内に保管している。

当初はこの溶離ウラン液を人形峠事業所の精錬施設へ送る予定であったが人形峠事業所側の受入れが不可能な状況になっている。

## ②固化処理

溶液状態で保管すると、容器の劣化、腐食によって漏れだすおそれがあるので、溶離液に砂を入れかき混ぜながら加熱乾燥して固化して、塩ビの内張りしたケミカルドラム缶に入れて保管することにした。なお、最後の砂状固化物のウラン濃度が74 Bq/g 未満になるように加える砂の重量を調整した。

本作業を実施するにあたっては、作業マニュアルを作成して保安委員会の承認を得た。

### (4)施設の撤去（図一5 参照）

新しい坑内外の坑水処理設備が設置されて監督部の完成試験が終了したあとインプレース・リーチング試験に関連して設置された坑水処理設備は、全て撤去した。

工事業者による解体作業の前に、次の3つの作業を動燃で実施した。

- ①屋外硫酸タンク内の硫酸抜き取りと希釈したあと専門処理業者引渡し。
- ②ウランの入った溶液が保管されていたタンク類の処理。
- ③ウラン溶液が通過した（可能性のあるものも含む）機器配管類の撤去。

なお、②、③の廃棄物は厚さ30cmのコンクリート製である原水槽内に処分した。その他の廃棄物は、鉱山内に新設した鉱業廃棄物埋立場に埋設処分して、いっさい鉱山外へは出さなかった。

### 3. 3 鉱業廃棄物埋立場（図一6 参照）

鉱業廃棄物埋立槽と坑水処理施設の解体によって発生する廃棄物の推定量は430 m<sup>3</sup>であったので、撤去した坑水処理施設の跡地に、上部13m 四方で下部が8m四方で深さが5mの鉱業廃棄物埋立場（容量560m<sup>3</sup>）を設置した。底部にはコンクリートを敷いて遮水した。また、廃棄物と生コンを約2:1 の比率で交互に埋立て転圧して、将来的に地盤沈下が起こらないようにした。

## 4. 今後の計画

東濃鉱山への見学者は年間2000人近くにもなっており、平成6年度はMG施設建設が完了して運転操業に入ることから、今後さらに見学者は増加していくものと予想される。現在、来客用の水洗トイレの建設が進んでいるが、東濃鉱山を「快適で便利な地層研究の場」にしてゆくために、今後も計画的に鉱山諸施設・設備を拡充整備してゆく計画である。

来年度の東濃鉱山の工事および許認可申請の計画は次のとおりである。

### （工事計画）

- (1) 調査立坑ケージのセフティキャッチ取り付け。
- (2) 来客更衣室および会議室の更新。
- (3) 第2立坑第1計測坑道の整備。
- (4) 第2立坑第2計測坑道の保坑。
- (5) 土岐市上水道の設置。

(許認可申請計画)

- (1) MG進入市道建設に係わる山腹水路変更(捨石体積場の変更)。
- (2) 女子の坑内労働に係わる保安規程変更。
- (3) 東濃鉦山保安規程の全面改訂に係わる変更。

5. 参考文献

- 1) 平成2年度技術開発課年報(1991), PNC PN7410 91-037
- 2) 平成3年度技術開発課年報(1992), PNC PN7440 92-001

以上

表1 東濃鉱山の坑水処理関連施設変更の経緯

認可申請年月	申請の内容	理由
昭和47年2月申請 3月認可 47名鉱保第852号 坑処第28号  昭和47年9月 47名鉱保第3967号	1. 沈澱池 100 m <sup>2</sup> × 2 面 6 m <sup>2</sup> × 1 面 2. 排水路 3. 沈澱物の堆積場  上記の施設の施設検査	調査立坑の開削
昭和48年12月届出 昭和49年1月受理 49名鉱保第253号 坑処第1号	1. 中和, 凝集, 酸化その他の反応に 供する消耗資材 沈降促進剤として硫酸バンドを 10 kg / 回 使用	金則の改正
昭和53年2月申請 3月認可 53名鉱保第861号 坑処第1-2号  昭和53年6月 53名鉱保第1290号	1. 攪拌槽 (鉄板製) 0.94 m <sup>2</sup> × 1 基 坑口バックの前段に置く 2. 集水升 2.52 m <sup>2</sup> × 1 基 3. 沈降促進剤としてPAC(ポリ塩化 アルミ) を12 L/ 日使用 上記の施設の施設検査	坑水汚染の除去につい て試験研究
昭和55年3月申請 3月認可 55名鉱保第899号 坑処第1-3号  昭和55年12月 56名鉱保第269号	1. 廃液処理施設設備 一式 原水槽, 脱炭酸からPH調整槽 混合槽から脱水機, 埋立槽まで 2. 使用する薬剤 硫酸, 消石灰, 有機凝集剤, 沈降促進剤 3. 建屋 鉄骨スレート造り 上記の施設の施設検査	昭和55年度に計画し ているインブレース試 験により発生する廃液 の処理

認可申請年月	申請の内容	理由
昭和56年5月申請 5月認可 56中近鉦保 第375号 坑処1-4号	1. ばっ気装置の追加 ルーツブロワー 1ヶ 上記の施設の施設検査は省略	脱炭酸を効率的に行う
昭和56年7月申請 7月認可 56中近鉦保 第794号 坑処1-5号	1. イオン交換装置等の追加 砂濾過器 イオン交換装置 溶離液タンク、溶離液回収槽 処理水タンク、温水タンク	インプレースリーチング試験により発生する廃液中のウラン除去を効果的に行う
昭和58年1月申請 1月認可 58中近鉦保 第109号 坑処1-6号 昭和58年4月 第5241号	1. 沈澱池の増設等 沈澱池一面(100㎡)追加 導水路 35m(開渠) 導水路 45m(U字型溝) 集水枡 上記の施設の施設検査	沈澱池の澱物処理作業を効率的に行う
平成2年2月申請 3月認可 2中近鉦保 第324号 坑処1-7号 平成2年5月 第5477号	1. 坑水処理施設の新設(立坑用) 原水槽、凝集槽、中和槽 薬品混合塔の追加 2. 坑水処理系統の変更(立坑用) 立坑からの処理水を沈澱池に入れる。 3. 河川への放流経路の変更 上記の施設の施設検査	立坑及び水平試験坑道掘削に伴う坑内水の汚濁水の処理を行うため 河川流量計の設置
平成3年9月申請 9月認可 3中近鉦保 第1224号 坑処1-8号	1. 原水槽、凝集槽、中和槽 薬品混合塔の廃止 2. 坑水処理系統の変更	立坑工事終了に伴い上記の坑水処理施設を撤去して、坑底にポンプを設ける。

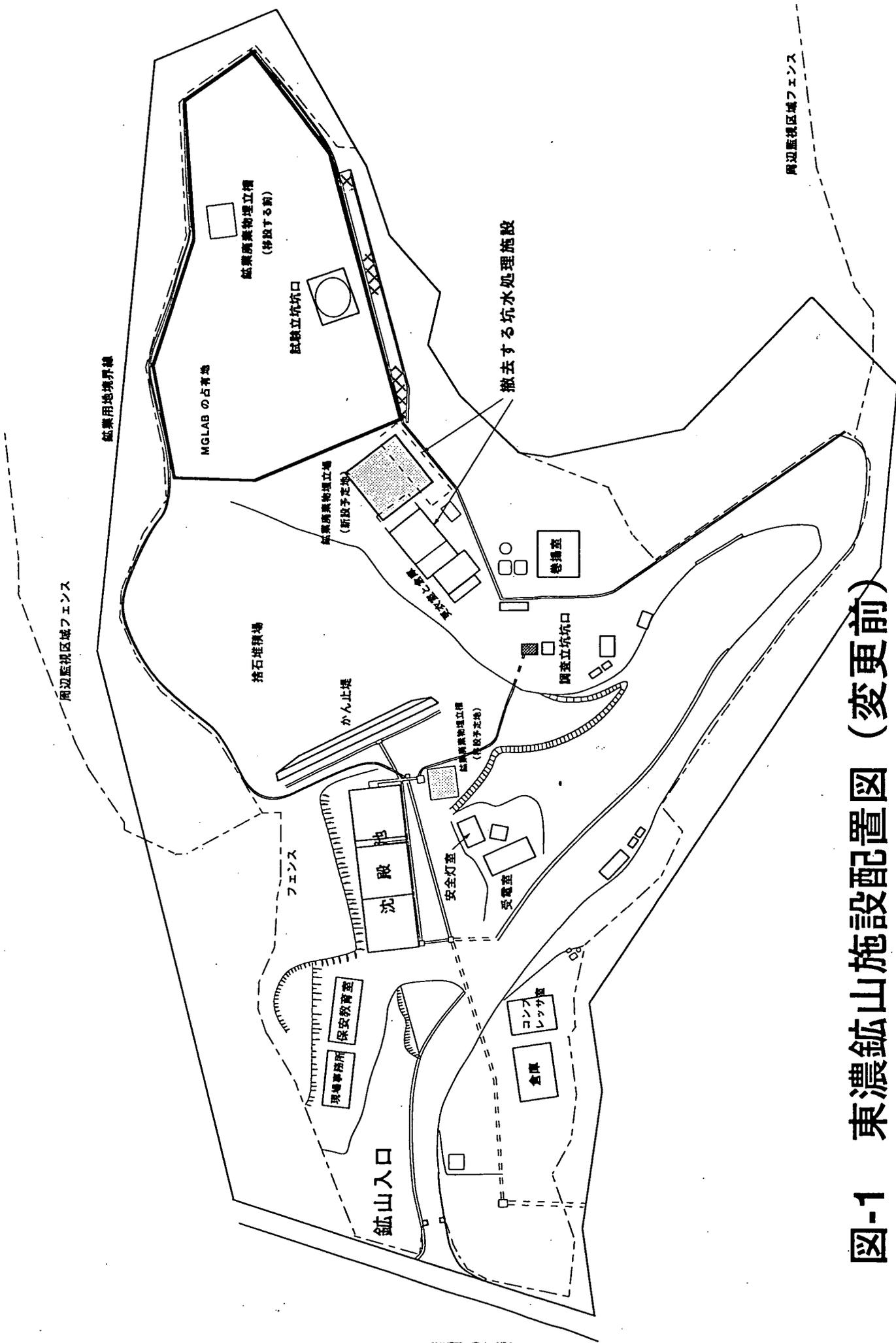
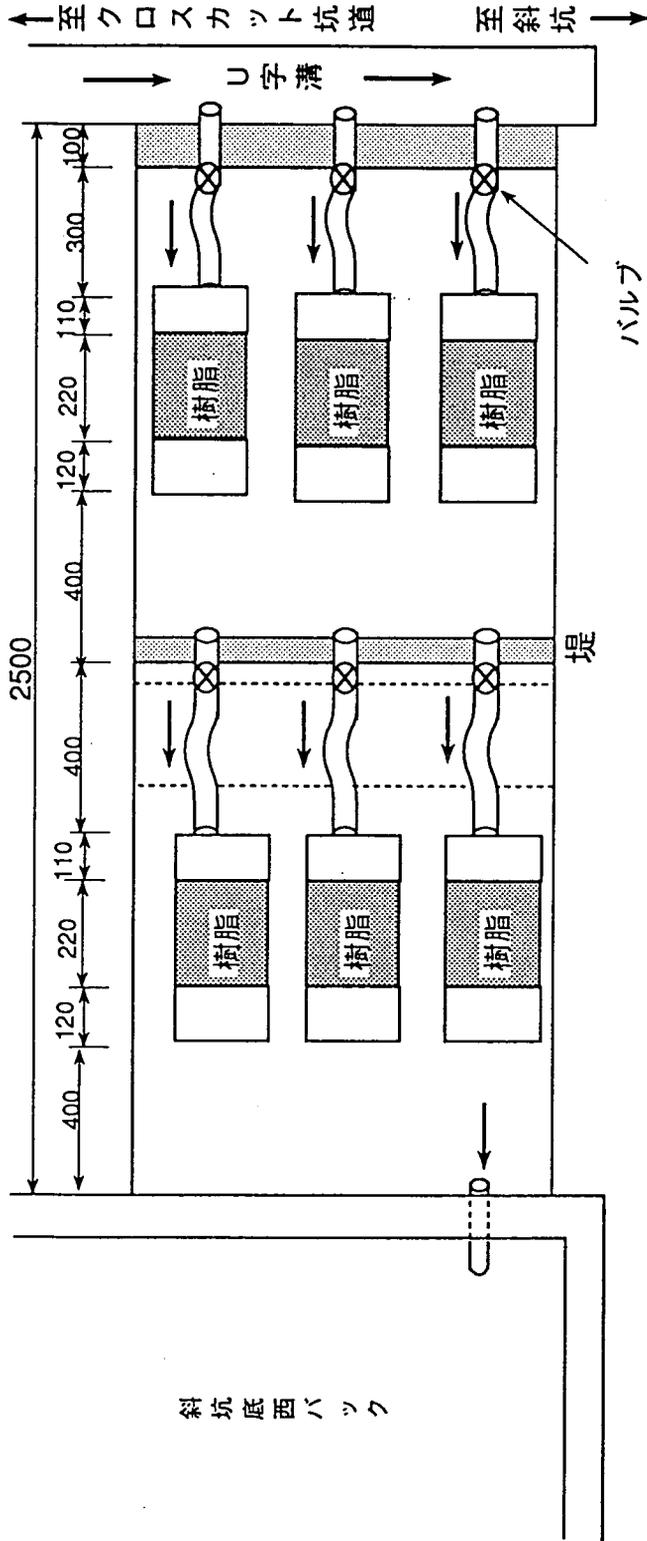
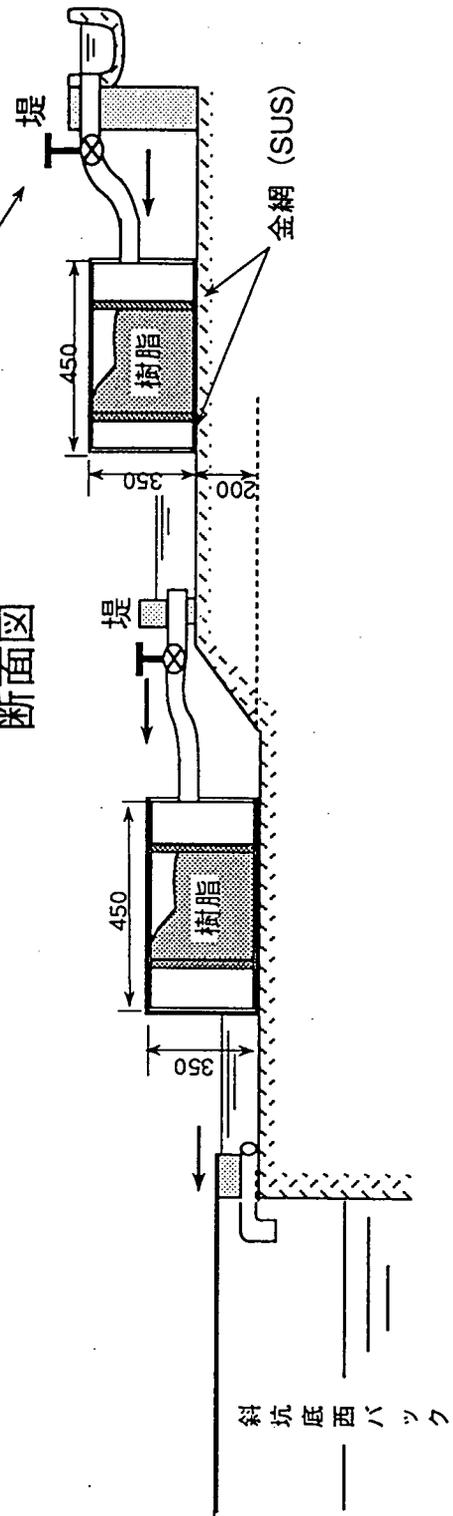


図-1 東濃鉬山施設配置図 (変更前)

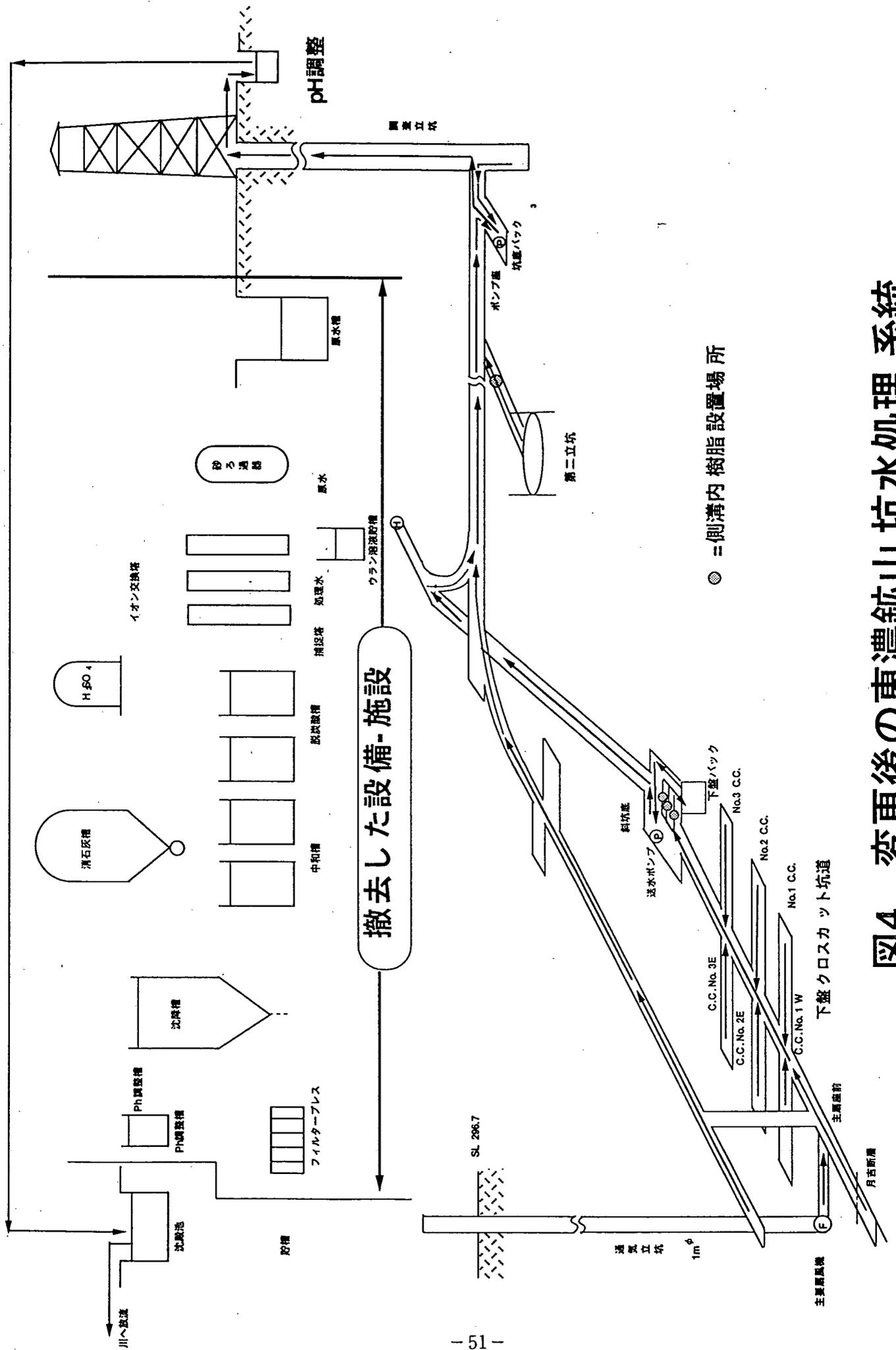
平面図



断面図



第3図 坑水処理に使用するイオン交換樹脂槽の設置図



● = 側溝内樹脂設置場所

図4 変更後の東濃鉱山坑水処理系統

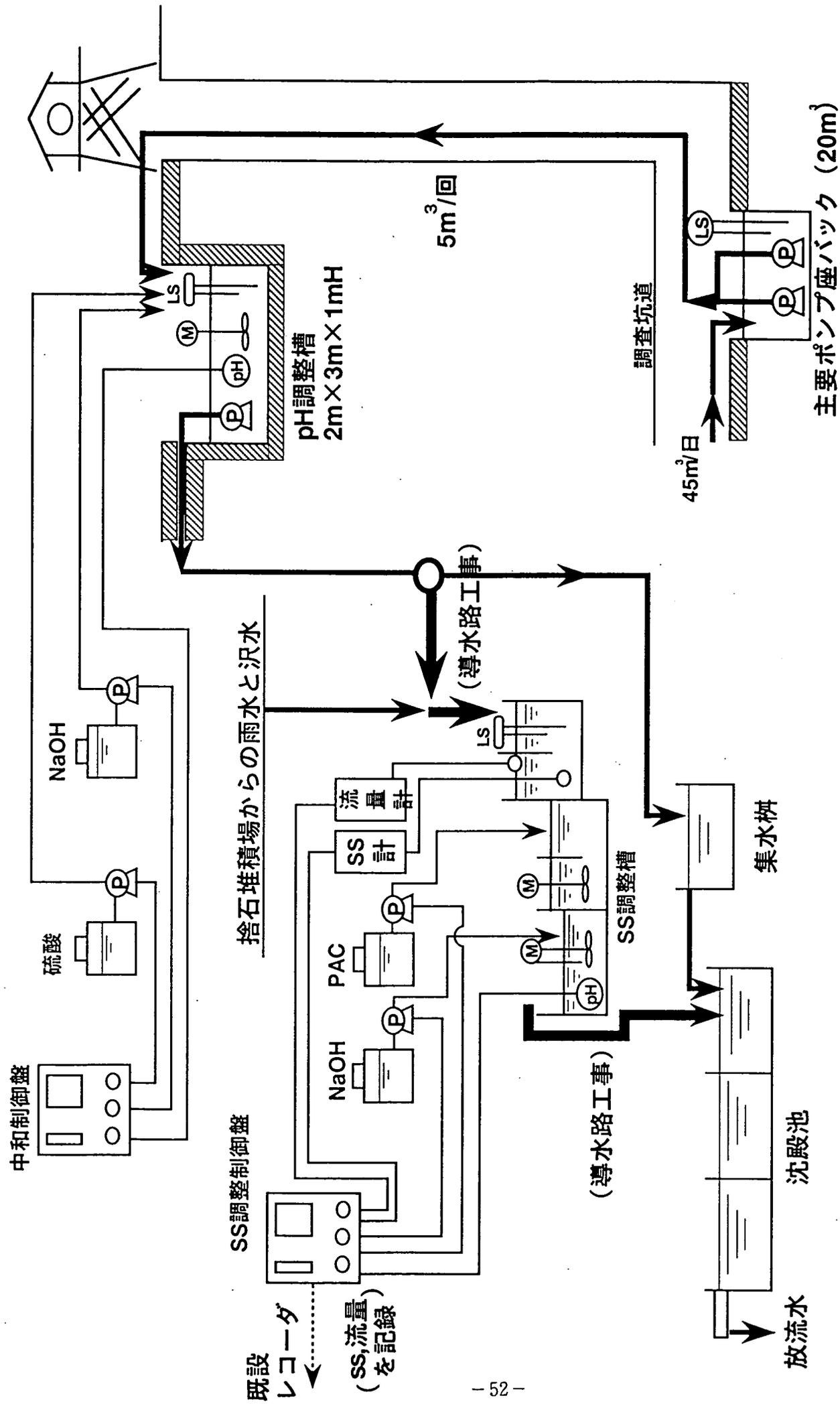
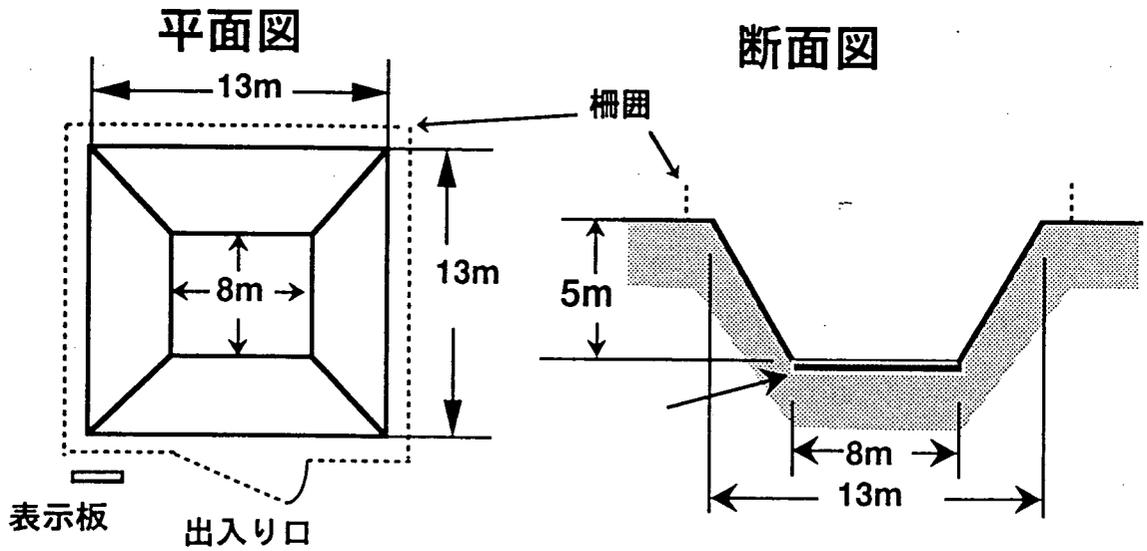


図-5 坑排水の水質調整設備設置概要

# (埋立前の形状)



# (構造)

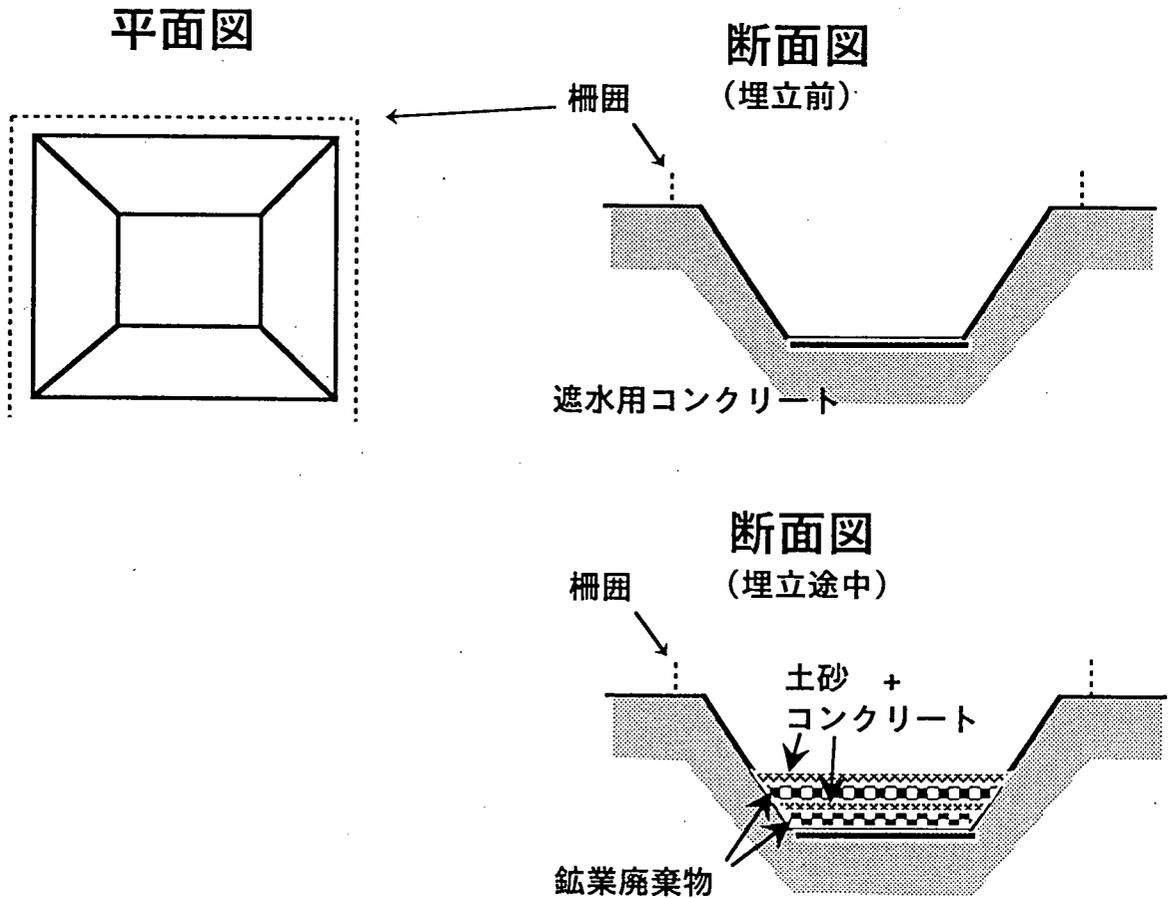


図-6 鉱業廃棄物埋立場の詳細図

### 3. 地層科学関連技術開発成果

- B-1 広域地下水流動調査のためのリモートセンシング調査法の開発  
ーリニアメントによる領域区分方法の検討ー
- B-2 広域地下水流動調査のためのリモートセンシングによる地表調査法の開発  
ー地形および植生情報による表層部の水文特性の推定ー その2
- B-3 ゼロオフセットS波VSP調査法の亀裂性岩盤への適用試験
- B-4 原位置比抵抗測定用電極プローブの設計・製作
- B-5 比抵抗トモグラフィ調査法データの解析精度向上に関する研究(その3)
- B-6 試錐孔用広帯域レーダープローブの設計
- B-7 試錐孔用高周波弾性波震源開発のための基礎データの取得
- B-8 弾性波トモグラフィ・速度分布再構成プログラムの改良(その2)
- B-9 レーダートモグラフィによる屈折波線の影響の検討
- B-10 差圧計測型多点式水圧観測装置の設計と一部試作
- B-11 試錐孔間水理試験装置の製作
- B-12 地球化学検層ユニットの製作
- B-13 1000m 対応水理試験装置の製作
- B-14 1000m 対応地下水の地球化学特性調査機器の製作

B-1 広域地下水流動調査のためのリモートセンシング調査法の開発

-リニアメントによる領域区分方法の検討-

(小出 馨)

## B-1 広域地下水流動調査のためのリモートセンシング調査法の開発 ーリニアメントによる領域区分法の検討ー

担当：小出

### 1. はじめに

花崗岩などの結晶質岩の場合、地下水は主に岩盤中の断層に伴う破碎帯や節理などの割れ目の集中帯に沿って流れると考えられる。したがって、結晶質岩からなる岩盤中の地下水流動を把握するためには、断層破碎帯や割れ目の集中帯などの位置や規模といった情報が必要不可欠である。

本研究は、地下水流動解析に必要とされる岩盤中の断層破碎帯や割れ目の集中帯などの情報を解析対象領域内（ここでは約10km四方といったいわゆるRegional Scale）から均一な精度で抽出するため、衛星画像や空中写真から抽出されるリニアメント（断層破碎帯や割れ目の集中帯などに起因する直線的な谷や連続する崖地形など）の情報から岩盤中の断層破碎帯や割れ目の集中帯の位置や規模、さらに割れ目系の分布特性を推定する解析手法の開発を目的にしており、広域地下水流動を把握するための調査機器ならびに調査解析技術の開発の場である岐阜県東濃地域を対象に研究を進めている。

本年報では、平成5年度に実施した判読対象画像の違いによるリニアメント判読結果の差異の検討および平成2年度に実施した地質構造区の区分結果<sup>1)</sup>を基に、東濃鉾山が位置する構造区の細区分、さらにフラクタル性に着目したリニアメントと地表の割れ目との比較の結果に関してその概要を報告する。なお、詳細は「東濃地域を対象にしたリニアメント調査（その1）PNC ZJ7361 94-002」を参照されたい。

### 2. 目的

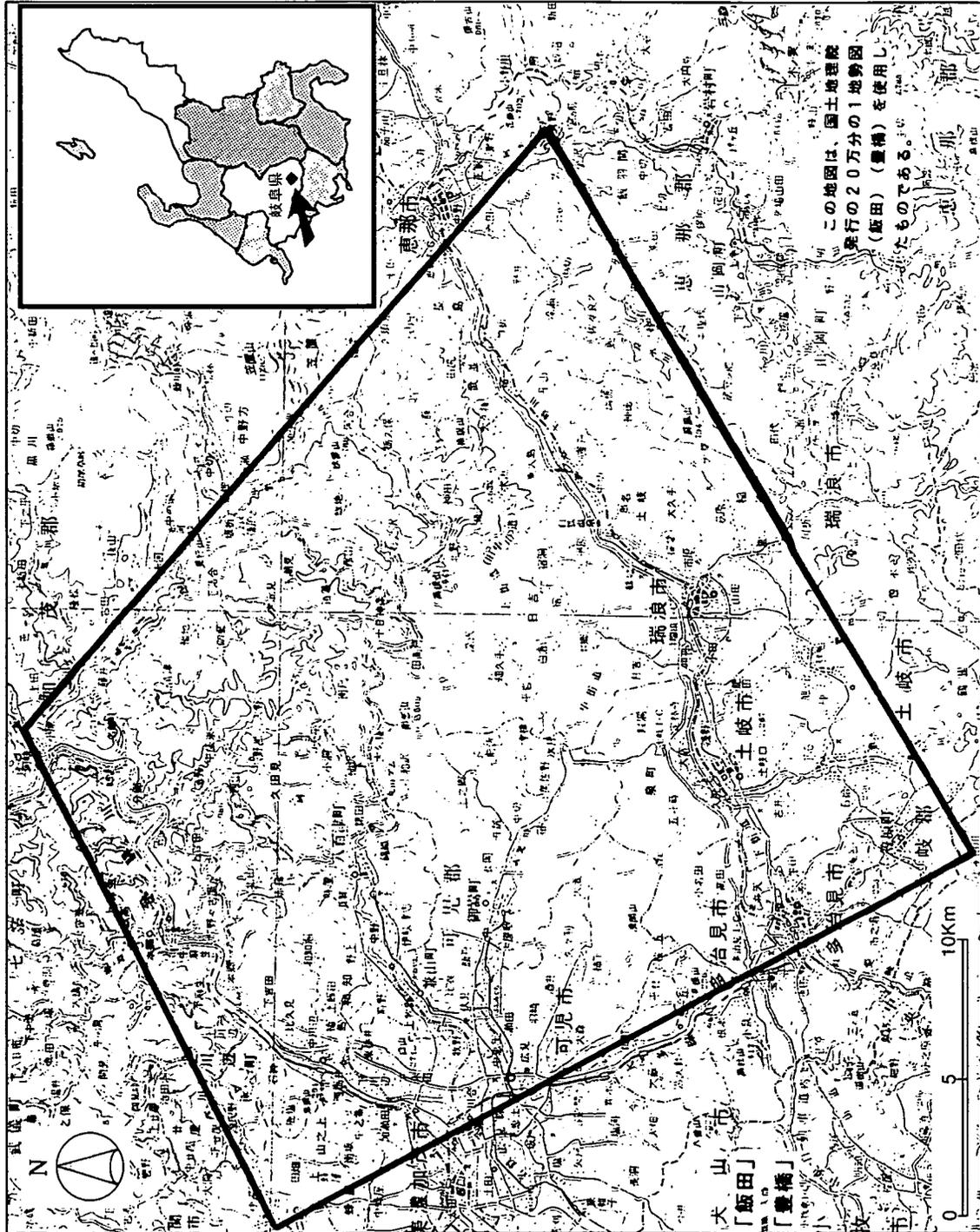
本解析は、リニアメントの情報から結晶質岩盤中の断層破碎帯や割れ目の集中帯などの位置や規模、ならびに割れ目系の分布特性を推定する手法の開発に必要な東濃地域のリニアメント判読図の作成および判読されたリニアメントによる構造区分、ならびに構造区分結果の妥当性を検証するために必要な地表割れ目との対応を明らかにすることを目的に実施した。

### 3. 実施内容

平成5年度は、以下に示す各項目について解析を実施した。なお、本解析はアジア航測株式会社に業務委託した。

#### (1) SPOT衛星画像を用いたリニアメント判読

SPOT衛星画像(HRVセンサー、パナクロマチックモード、ステレオ)を用いて、図-1に示す解析対象領域内(約30km四方)のリニアメント判読を実施した。



図一1 解析対象領域位置図

## (2) LANDSAT衛星画像、SPOT衛星画像、1/4万空中写真のリニアメント判読図作成

各画像によって作成されたリニアメント判読図ならびにこれらの判読結果をコンパイルしたリニアメント判読図を作成した。

## (3)判読対象画像の違いによるリニアメントの特徴の差異の検討

(2)のリニアメント判読図を基に、各画像によって判読されたリニアメントの特徴（分布、方向、抽出地形要素、密度など）の差異をまとめた。

## (4)リニアメント分布と地質との関係の検討

図-1の解析対象領域内の地形、地質と抽出されたリニアメント分布特性との関係を検討した。

## (5)リニアメントによる構造区解析

上記の解析結果を基に、解析対象領域内、すなわち、東濃地方におけるリニアメント解析<sup>1)</sup>で設定されたA地区（東濃鉦山が位置している）の細区分を実施した。また、構造区分に際してはリニアメントの分布特性項目の内、構造区分に有効と考えられる項目についての検討を行い、その項目を明らかにすると共に、その妥当性について考察した。

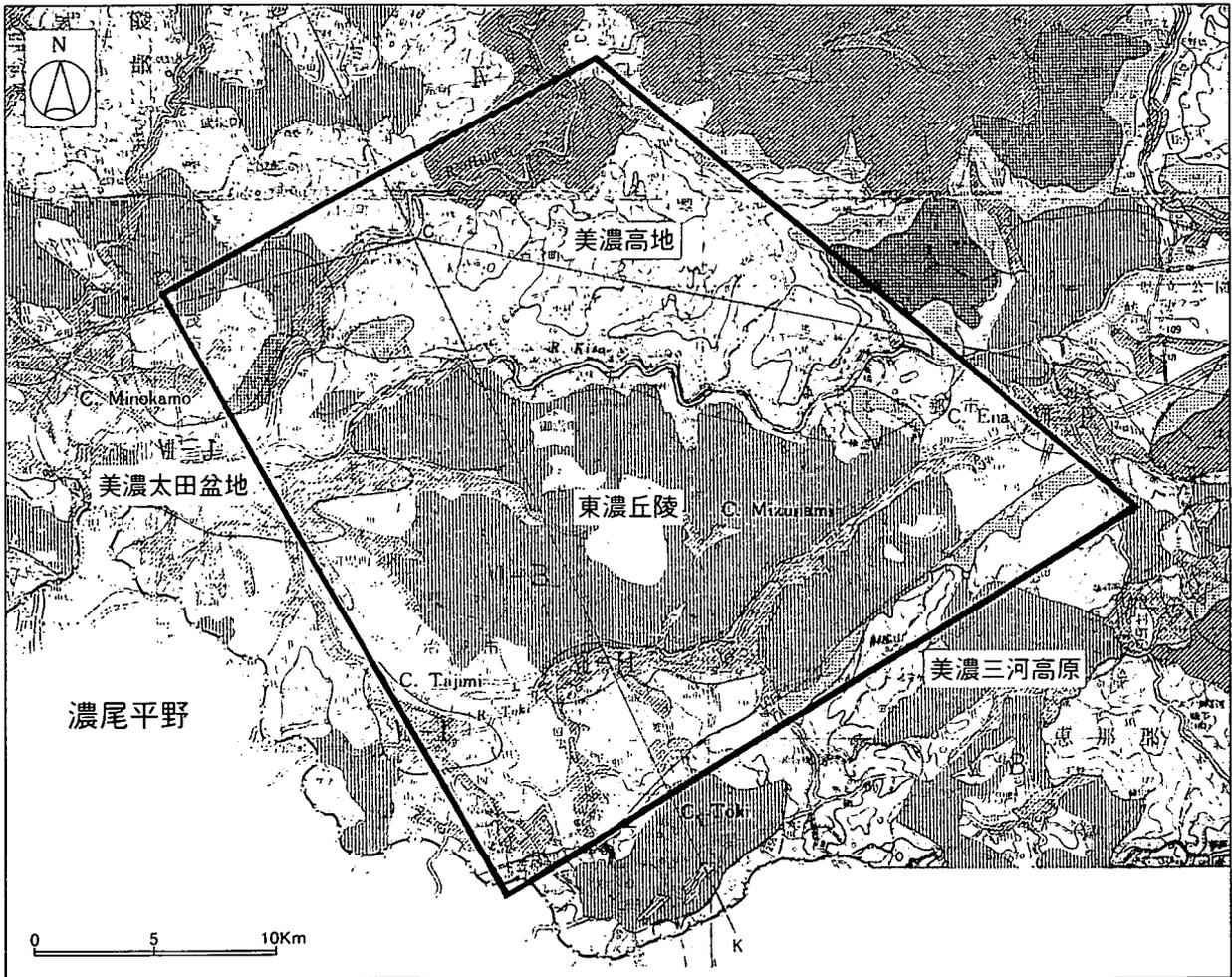
## (6)各構造区の地形・地質および割れ目分布の特徴の抽出

(5)の解析結果を基に、区分された構造区毎のリニアメントの分布特性、および地形・地質の特徴をまとめた。また、過去に実施した花崗岩露頭での割れ目調査の地点を含む構造区においては、リニアメントと現地で計測された割れ目との関係について検討した。

## 4. 解析対象領域の地形・地質概要

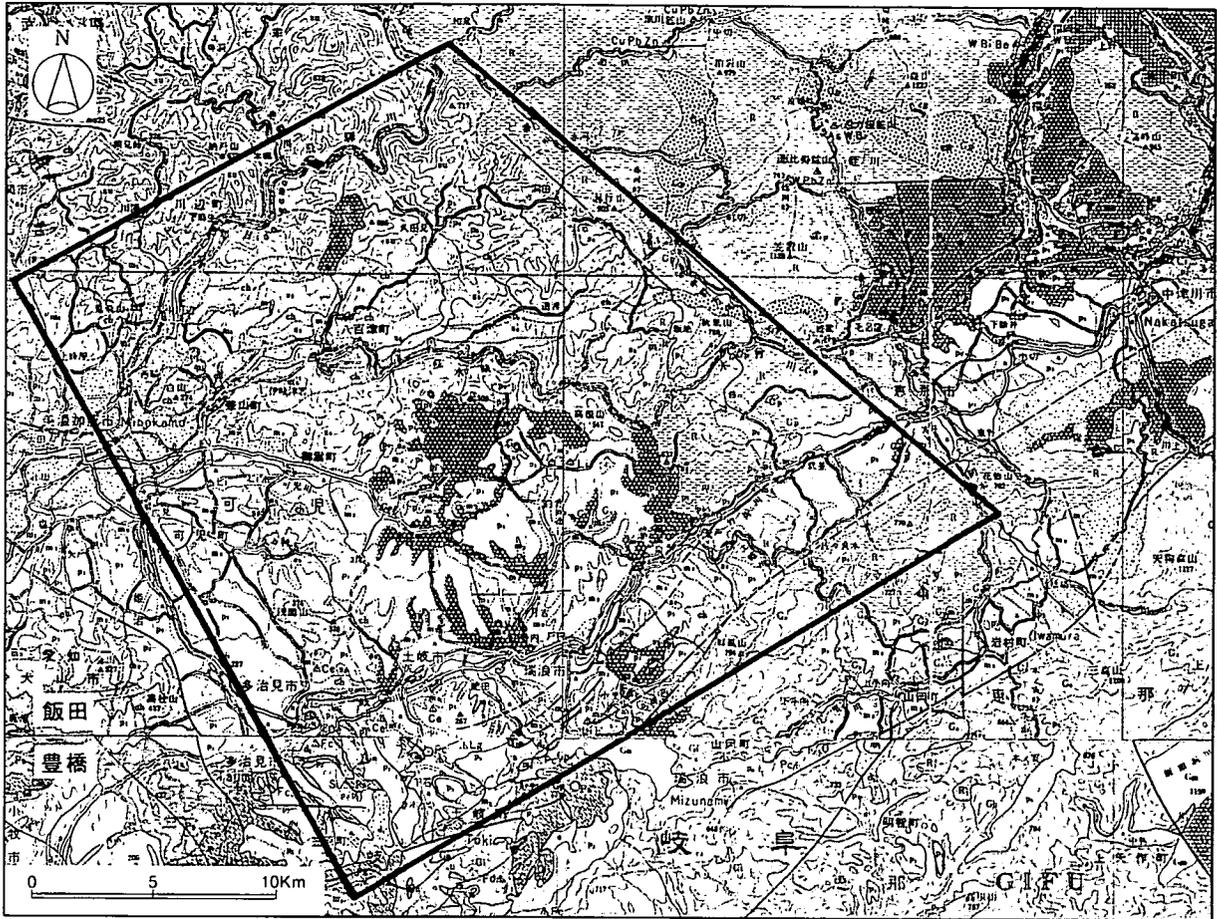
解析対象領域は、濃尾平野の東方にあり、図-2に示す通り、美濃高地と東濃丘陵に跨がっている。解析領域の木曾川より北側は美濃高地に区分されており、主に起伏量200~400mの小起伏山地となっている。ここでの山頂部は、標高が約400~600m程度で平坦化されているが、木曾川、飛驒川の流域には緩斜面や段丘面などの発達が悪く、河川の下刻地形が見られる。木曾川の南側には東濃丘陵があり、起伏量200m以下の丘陵が発達し、土岐川、可児川流域や美濃太田盆地には段丘や扇状地性低地が分布する。解析対象領域の東南側の境界付近には東濃丘陵と明瞭な遷緩線で接する美濃三河高原があり、北東-南西方向に尾根が伸び、その標高は約700mとなっている。

図-3に解析対象領域周辺の地質図を示すが、各地質の分布と地形分類（図-2）とが比較的良く対応していることがわかる。木曾川より北側の美濃高地には、古生代の堆積岩類がほぼ東西方向の走向で分布、露出しているが、赤川流域付近から北東側には濃飛流紋岩が広がる。木曾川より南側の東濃丘陵でも古生代の堆積岩類を基盤としているが、10km四方の白亜紀後期の花崗岩体や武並付近には濃飛流紋岩があり、さらにこれらを覆って中新世の瑞浪層群、鮮新世の瀬戸層群が分布している。また、地形分類と同様に遷緩線を境にその南側の美濃三河高原には広く花崗岩類が分布している。



山地		大起伏山地	起伏量600m以上の山地で、本県の東、北、西を取囲む環状の山地にみられる。高峻な山岳地帯を含む。海拔高度の大きい山地で、一般に河谷に深く刻まれ、起伏量、谷密度、山腹傾斜とも大である。
		中起伏山地	起伏量400~600mの山地で、本県の北部では東西の環状山地にはさまれた中間の山地、南部では環状山地の本領内に続く山地にみられる。一般に、標高1000~1500mの山を含む山地で、谷密度、起伏量、山腹傾斜は大起伏山地より小である。
		小起伏山地	起伏量200~400mの山地で、本県北部の中ほど、南部東西中起伏山地の間、南端部の環状付近の山地にみられる。一般に、谷密度、山腹傾斜などは中起伏山地よりさらに小で、山頂部には緩斜面が多くみられる。花崗岩、流紋岩、砂岩、粘板岩などの山地が多い。
丘陵地		大起伏丘陵地	起伏量100~200mの丘陵地で、東濃地方に広くみられ、中新世の礫層層群や、鮮新世の瀬戸層群よりなるところである。西美濃地方のこの丘陵地は古生層の粘板岩、砂岩などよりなるところである。
		小起伏丘陵地	起伏量100m以下の丘陵地で、東濃地方に広くみられるが、瀬戸層群の土砂砂層層よりなるところが多い。西美濃地方の奥老山地と鈴鹿山地の間の丘陵地は多良層群よりなるところで、間盆地、美濃太田盆地周辺の丘陵地は古生層の粘板岩、砂岩よりなる。
台地・段丘		砂礫台地段丘(上位面)	上位面砂礫台地段丘に相当するものは本県には少ない。わずかではあるが、飛騨川が木曽川に合流する地点の北にある上野平がその代表的なもので、その他断片的に木曽川の登山より上流の山地の山腹にみられる。
		砂礫台地段丘(中位面)	美濃太田盆地の木曽川左岸の伏見、今渡間、右岸の長良川流域と分水界をなす加茂野台地、山地をまた右岸の香取野台地などがこれに相当する代表的なところである。その他、木曽川上流などに断片的にみられる。
		砂礫台地段丘(低位面)	山間盆地周辺に比較的良好に発達する。高原川の神岡盆地における本岡台地・野替台地、高山盆地の上野平、飛騨川の萩原から下呂にかけて、木曽川の坂下盆地・美濃太田盆地などである。多くは数段の段丘が発達する。
低地		扇状地性低地	濃尾平野で、長良川、濃尾川、揖斐川、相川、牧田川などの山地の出口に緩勾配の扇状地を発達させ、それらが複合して扇状地帯を形成している。その他、奥老山地東部に急勾配の小扇状地が連なり、山間盆地にも小扇状地をみるところがある。

図一 2 解析対象領域周辺の地形分類図



時代	「飯 田」 (片田ほか, 1961)		「豊 橋」 (山田ほか, 1972)	
現世 更新世	沖積層	礫・砂および粘土	沖積層	礫・砂および粘土
	段丘及び崖錐	礫・砂、粘土および火山灰	上部更新統	礫・砂および粘土
新第三紀	鮮新世	伊那層	伊那層	礫・砂および粘土
	中新世	瀬戸層群	瀬戸層群	礫・砂・粘土および凝灰岩 粘土および砂
		瑞浪層群	瑞浪層群	砂岩・泥岩および礫岩
白亜紀後期	黒雲母花崗岩	黒雲母花崗岩	黒雲母花崗岩	黒雲母アダメロ岩
	角閃石黒雲母花崗斑岩	角閃石黒雲母花崗斑岩		
	濃飛流紋岩類	(角閃石) 黒雲母流紋岩など		
	河寺層	礫岩・火山砕屑岩類および頁岩		
白亜紀前期	粗粒角閃石黒雲母花崗斑岩	粗粒角閃石黒雲母花崗斑岩	伊奈川花崗岩	角閃石黒雲母花崗閃緑岩および 角閃石含有黒雲母アダメロ岩
				花崗斑岩
ジュラ紀後期 三世紀	頤家変成岩類	蛭母片状結晶岩 (雲母片岩) など		
	美濃帯	石灰岩 チャート 粘板岩・砂岩など 未区分層	美濃帯	頁岩・砂岩およびチャート

図-3 解析対象領域周辺の地質図

## 5. 解析結果

### 5.1 リニアメント判読図の作成

本解析において以下の図面を作成した。

- ① リニアメント判読図(1:2,500 1:25,000 1:100,000)
  - ・ SPOT衛星画像によるリニアメント判読図
  - ・ SPOT衛星画像によるリニアメント判読マイラー図
  - ・ LANDSAT衛星画像によるリニアメント判読図
  - ・ LANDSAT衛星画像によるリニアメント判読マイラー図
  - ・ 航空写真によるリニアメント判読図
  - ・ 航空写真によるリニアメント判読マイラー図
  - ・ 上記3種類のコンパイル・リニアメント判読図
  - ・ 上記3種類のコンパイル・リニアメント判読マイラー図
- ② 構造区分図
  - ・ 構造区分図(1:2,500)
  - ・ 構造区分図マイラー図(1:2,500 1:25,000 1:100,000 1:200,000)

### 5.2 判読対象画像の違いによるリニアメントの特徴の差異

各判読対象画像（LANDSAT 画像、SPOT画像、空中写真）から作成されたりニアメント判読図を比較し、判読対象画像の違いによるリニアメントの特徴の差異について検討した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- ① リニアメントの卓越方向については、各判読対象画像ともに同様な卓越方向を示す。
- ② リニアメント長さについては、LANDSAT 画像によるものが概して湾曲しながら長く、空中写真では直線的で短い傾向がみられる。また、SPOT画像によるものは、両者の中間的な特徴をなしている。
- ③ リニアメントの分布特性については、各判読対象画像によるリニアメントの分布が同様なフラクタル次元を示すことから、各判読対象画像とも同様な分布形態をしていると考えられる。
- ④ 各判読対象画像で抽出されたりニアメントの中で位置、方向、長さ等が一致しないリニアメントがみられるが、これは実体視の可否に伴うリニアメントを抽出するための判読要素の違いによるものと考えられる。

### 5.3 リニアメント分布と地質との関係

図-3の解析対象領域内の各地質分布域におけるリニアメント分布特性は以下の通りである。

- ① 古生層分布域では、北西方向および北東方向のリニアメントが卓越している。
- ② 濃飛流紋岩類分布域では、北西方向および北東方向のリニアメントが卓越している。
- ③ 花崗岩分布域では、北西方向および北北東方向のリニアメントが卓越しており、リニアメント密度も高い。

#### 5. 4 リニアメントによる構造区分析

本解析では、以下の観点で構造区分を実施した。

- ① 断裂は造構運動に伴う応力によって形成されるので、応力場を反映している断裂の方向が同じであれば、同一の構造特性とみなせる。したがって、各構造区内でのリニアメントの方向性に地域的偏りが小さくなるように構造区を設定する。
- ② リニアメントの規制（切断）関係から共役関係も考慮して構造区の境界を設定する。
- ③ 地形形状の大規模な境界線となるリニアメントおよび連続性の良いリニアメントは断裂としての規模が大きく、構造区境界をなしている。
- ④ 節理などの微小な断裂の反映である肌理の差異。

構造区分の結果、解析対象領域を図-4に示すように10構造区に区分した。区分された各構造区の特徴は以下の通りである。

##### ① a 地区

美濃高地の山地地形に位置し、濃飛流紋岩が分布している。北東方向のリニアメントが卓越している。

##### ② b 地区

地区の大部分は美濃高原の山地地形からなるが、西部には美濃太田盆地がある。地質は美濃太田盆地を除き大部分は古生層からなる。北西方向のリニアメントが卓越している。

##### ③ c 地区

美濃高原の山地地形からなり、地区のほぼ中央を流れる木曾川を境に、北側に古生層、南側に濃飛流紋岩が分布している。北西方向のリニアメントが卓越している。

##### ④ d 地区

東濃丘陵に位置し、起伏量は小さい。花崗岩が基盤をなし、瑞浪層群ならびに瀬戸層群が基盤を被覆している。北西方向のリニアメントが卓越している。

##### ⑤ e 地区

東濃丘陵に位置し、起伏量は小さい。花崗岩および濃飛流紋岩が基盤をなし、瑞浪層群ならびに瀬戸層群が基盤を被覆している。東西方向のリニアメントが卓越している。

##### ⑥ f 地区

東濃丘陵に位置し、起伏量は小さい。花崗岩が基盤をなし、瑞浪層群ならびに瀬戸層群が基盤を被覆している。北北西方向のリニアメントが卓越している。

##### ⑦ g 地区

東濃丘陵に位置し、起伏量は小さい。古生層が分布している。北西方向のリニアメントが卓越している。

##### ⑧ h 地区

大部分は東濃丘陵に位置するが、地区の北西端には美濃太田盆地が含まれる。地区の大部分は古生層が基盤をなしているが、東部には花崗岩も分布しており、これらを瑞浪層群ならびに瀬戸層群が被覆している。北西方向のリニアメントが卓越している。

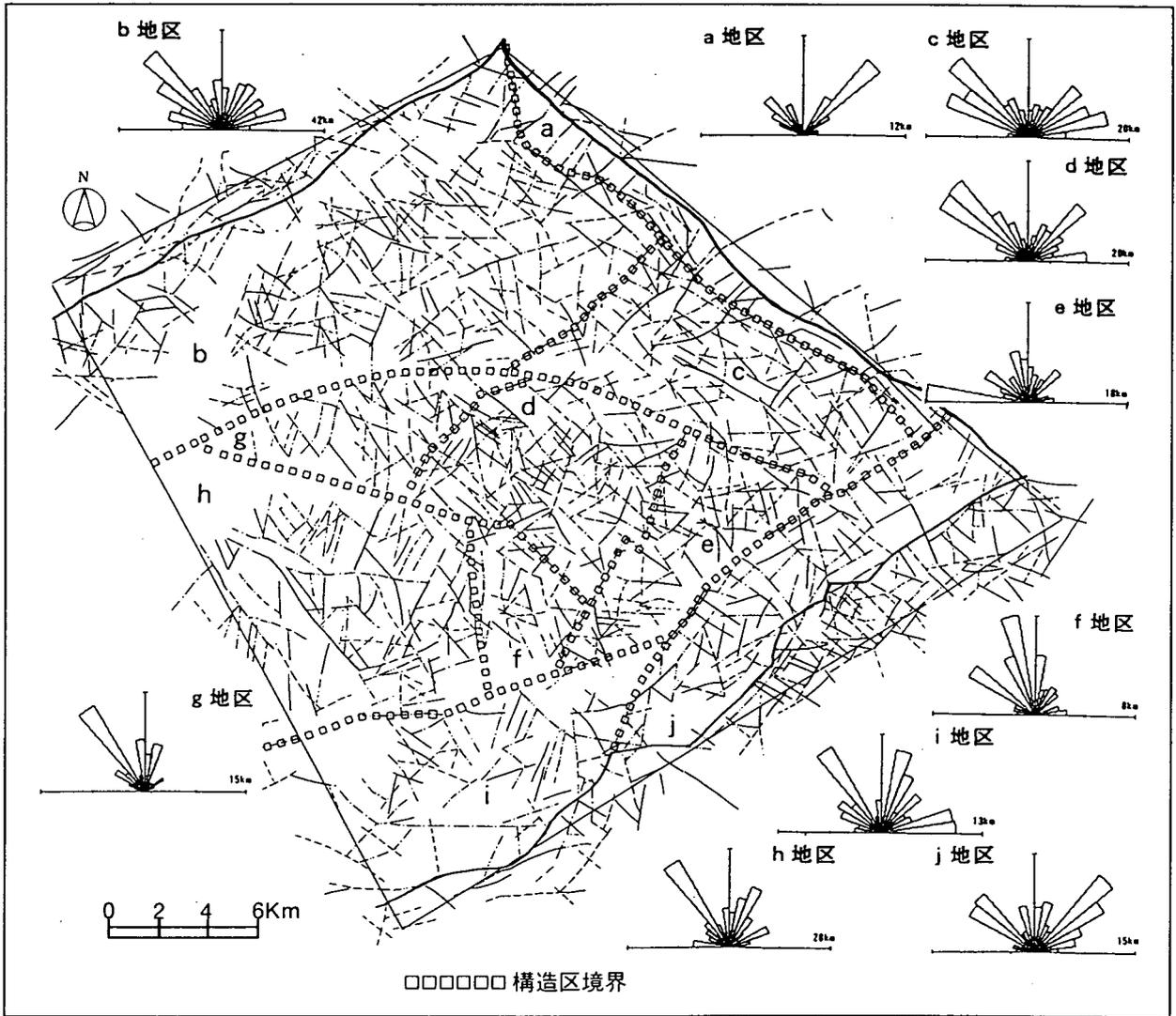


図-4 構造区分結果および各構造区におけるリニアメントのローズダイアグラム

#### ⑨ i 地区

東濃丘陵の段丘地形上に位置している。古生層が基盤をなしており、これを瀬戸層群が被覆している。北西方向、北北東方向、東西方向のリニアメントが卓越しており、他の古生層分布域に比較してリニアメントの密度は低い。

#### ⑩ j 地区

土岐川と美濃三河高原の間の丘陵地形に位置している。基盤は濃飛流紋岩、古生層、花崗岩と多様で、これらを瀬戸層群が被覆している。北東方向のリニアメントが卓越している。

### 5. 5 リニアメントと地表の割れ目との比較

区分された構造区の中で、f 地区を中心とした地域で花崗岩の露頭を対象とした割れ目調査<sup>2) 3)</sup>を実施している。この調査結果を基に f 地区のリニアメントと地表の割れ目とを比較し、両者の方向性ならびにフラクタル次元に関して検討を行った。

#### ①方向性

図-5の f 地区のほぼ中央に位置する露頭 (P-5) の割れ目のローズダイアグラムと同地区のリニアメントのローズダイアグラムから明らかなように、卓越方向が一致している。

#### ②フラクタル次元

図-6から明らかなように、地表の割れ目のトレース長とリニアメントの長さのフラクタル次元が同様な値を示している。このことから、地表の割れ目のトレース長とリニアメントの長さに関しては同様なフラクタル分布をしていることが推定できる。

以上のことから、リニアメントの情報から、地表の割れ目の卓越方向や長さに関する頻度を推測できる可能性が見出せた。

## 6. まとめ

### 6. 1 リニアメント判読における各画像の有効性

リニアメントを割れ目の情報として捉えたときの判読対象画像としての有効性、問題点をまとめると以下ようになる。

#### ①LANDSAT 画像

有効性： 大局的な地質構造の把握

問題点： 地形的不連続によるものの他は、実体視でなければ認識されない地形要素が抽出されない。

変位量がかかなり大きくないかぎり、活断層の認定は困難である。

#### ②SPOT画像

有効性： 大局的な構造方向も把握できるほか、単写真では認識できない変位地形・断層地形も判読可能であり、断裂系としての確実度は高い。

問題点： 分解能が空中写真ほど高くないので、起伏量の小さい所での抽出は難しい。変位量がかかなり大きくないかぎり、活断層の認定は困難である。

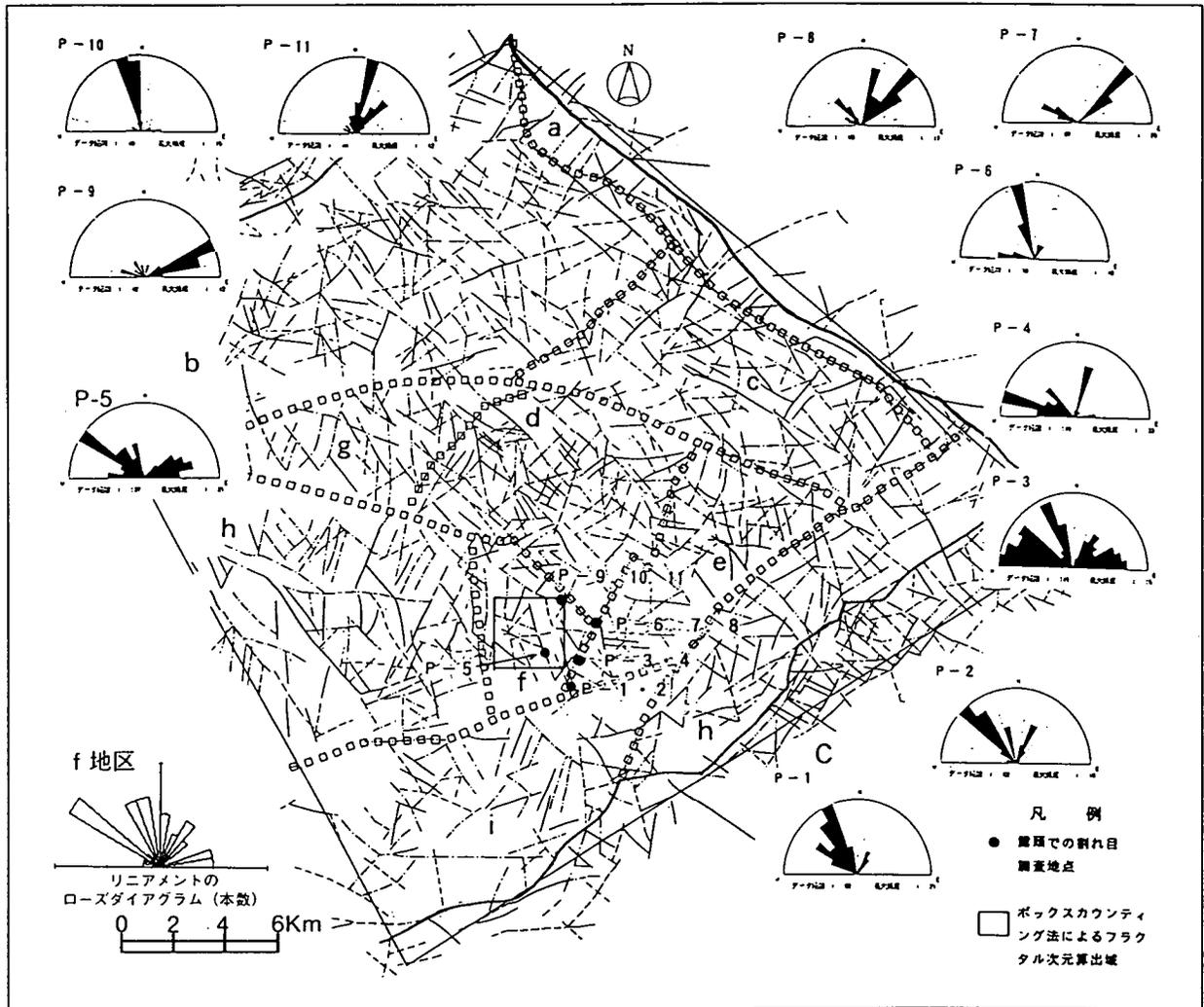
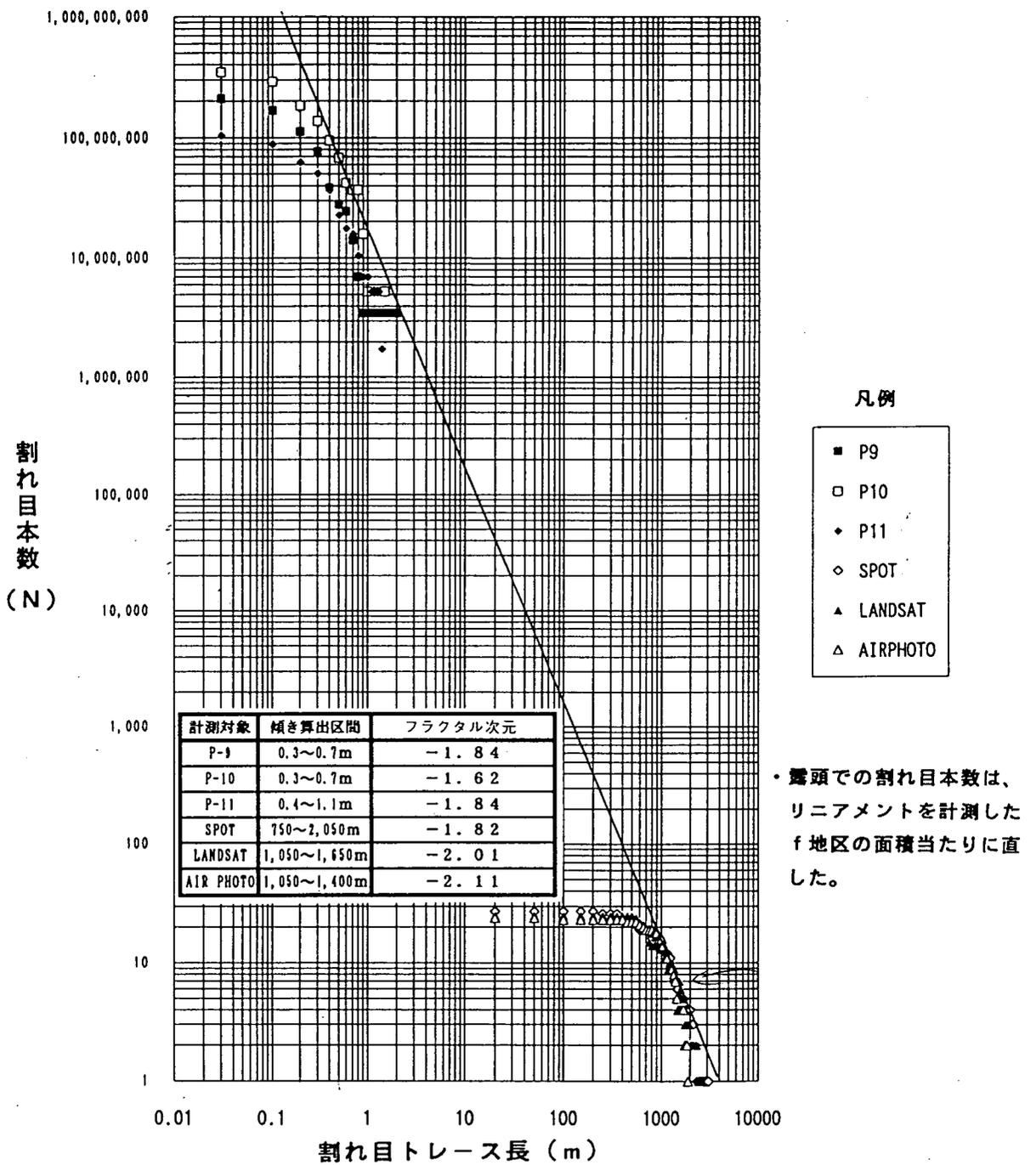


図-5 各調査地点の割れ目および f 地区のリニアメントのローズダイアグラム



図一六 地表の割れ目とリニアメントの  
トレース長に関するフラクタル分布

### ③ 1/4万空中写真

有効性： 詳細な地形判読が可能であるため、抽出されたリニアメントの断裂としての  
確実度は最も高い。

問題点： 1モデルでの判読範囲が最も小さいため、大局的な地形形状の把握が困難で  
あり、連続した構造線としての評価がしにくい。

このように、各画像ともに一長一短が有るため、リニアメント判読を実施する際は、こ  
れらの画像を組み合わせ、判読作業を実施することが重要である。

### 6.2 リニアメント分布特性に着目した構造区分の有効性

本解析ではリニアメントの方向性や密度を定量的に評価し、さらに断裂の形成史を念頭  
に置いたリニアメントの連続性や切断関係ならびに地形を指標とした断裂の規模を定性的  
に検討して構造区分を実施した。

本解析対象領域は、LANDSAT 画像を用いた過去の解析<sup>1)</sup>によって一つの構造区として区  
分されていることから、全域に渡り、リニアメントの方向性や密度に極端な偏りはみられ  
ない。しかし、4 Kmメッシュ毎の方向別のリニアメントの密度分布から、地形分類境界を  
なす断層付近や花崗岩分布域で密度が高い傾向が認められる等、およその地域性を把握す  
ることができた。

また、地形形状の大規模な境界線を示すリニアメントは、地質境界と一致するなど、構  
造区分上、有効な指標となっている。さらにリニアメントの切断関係や肌理の差異を用い  
た境界線の設定によってなされた構造区分は、地形分類と良く一致しており、変動地形な  
どには有効な指標となっている。

地質に関しても古生層、花崗岩、瑞浪層群、瀬戸層群の分布域と比較的調和しているが、  
例えば j 地区のように構造区内に異なる地質（古生層と濃飛流紋岩）が分布している場合  
でも、地質境界を示すリニアメントや各地質分布内でリニアメントの分布特性に大きな違  
いがみられない場合は単一の構造区に区分されてしまうことがある。一般に基盤岩の形成  
期や岩種が異なれば、そこに形成される断裂系の水理地質的特性にも違いがあると仮定し  
た方が自然であるので、構造区分の際は、リニアメント情報に地質図などの情報を補って  
区分するのが妥当と思われる。

### 6.3 リニアメントによる地表の割れ目のトレース長に関する頻度の推定

f 地区において、露頭で計測された割れ目のトレース長に関するフラクタル次元とリニ  
アメントの長さに関するフラクタル次元は、極めて近い値を示すことが明らかになった。  
これにより、リニアメントの長さに関するフラクタル分布から、ある長さ以上の割れ目が  
何本あるかといった地表における割れ目のトレース長と頻度の関係を推定できる可能性が  
見出せた。ただし、本解析では花崗岩分布域のみを対象としているため、今後は他の地質  
分布域での両者の関係について検討が必要である。

## 7. 今後の課題

今後の課題としては、本解析での構造区分結果の妥当性の検証のため、f 地区以外の構造区において露頭での割れ目調査を実施し、各構造区間での割れ目の分布特徴の差異についての検討が必要である。

### 参考文献

- 1)小出(1991)：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－，平成2年度技術開発課年報(PNC PN7410 91-037)，p. 7-22
- 2)動燃事業団(1990)：現地調査による水理地質構造の解析
- 3)山井，他(1993)：広域地下水流動に関する研究（その5）(PNC PJ7361 93-001)

B-2 広域地下水流動調査のためのリモートセンシングによる

地表調査法の開発

-地形および植生情報による表層部の水文特性の推定- その2

(小出 馨)

## B-2 広域地下水流動調査のためのリモートセンシング調査法の開発 -地形および植生情報による表層部の水文特性の推定(その2)-

担当：小出

### 1. はじめに

本研究は、リモートセンシングによる広域水理学的評価手法の開発の一環として実施しており、広域地下水流動解析並びにその解析結果の検証に必要とされる広域の水文特性をリモートセンシングデータ等から推定する手法の開発を目指している。

本年報では、その一環として実施したSPOT衛星データによる地下水流出域の抽出手法の検討結果についてその概要を報告する。

なお、詳細については「広域地下水流動調査のためのリモートセンシング調査法の開発-衛星データによる地下水流出域の抽出-(仮題)」で報告する予定である。

### 2. 目的

本研究は、広域地下水流動解析に必要な涵養量を規制する蒸発散量や降雨流出特性といった水文特性や地下水流動シミュレーション結果の検証のための地下水流出域などを広域性、精度の均一性、および即時性に優れた衛星データ等のリモートセンシングデータから推定する手法の開発を目的としている。

### 3. 実施内容

平成5年度は、平成4年度に実施した地形情報データの作成並びに林相区分結果<sup>1)</sup>を基に、地下水流動シミュレーション結果を検証するために有用な情報と考えられる地下水の流出域を衛星データから推定する手法を検討するため、各解析項目を図-3.1に示す手順で実施した。

#### (1)デジタル地表データの作成

図-3.1に示す8項目について同一の座標系を持つデジタルデータファイルを作成した。各データファイルのメッシュサイズは、SPOT衛星データの地上解像力と同一の20mとし、メッシュ数は東西方向に239、南北方向に238である。なお、標高、斜面方位、斜面傾斜、林相区分および活性度のデータファイルは平成4年度に作成したものである。また、斜面分類および地質境界については、プログラムを新規に作成し、データファイルを作成した。

#### (2)植生状態(活性度)への地形および表層地質の影響解析

植生状態、特に活性度に影響を与える主な因子は、図-3.2に示す項目が考えられる。その内、定常的な植生状態を決定する因子は、気候、地形、表層地質および地下水流動といった項目が挙げられるが、本研究が対象とする約5Km四方といった狭領域の場合、気候

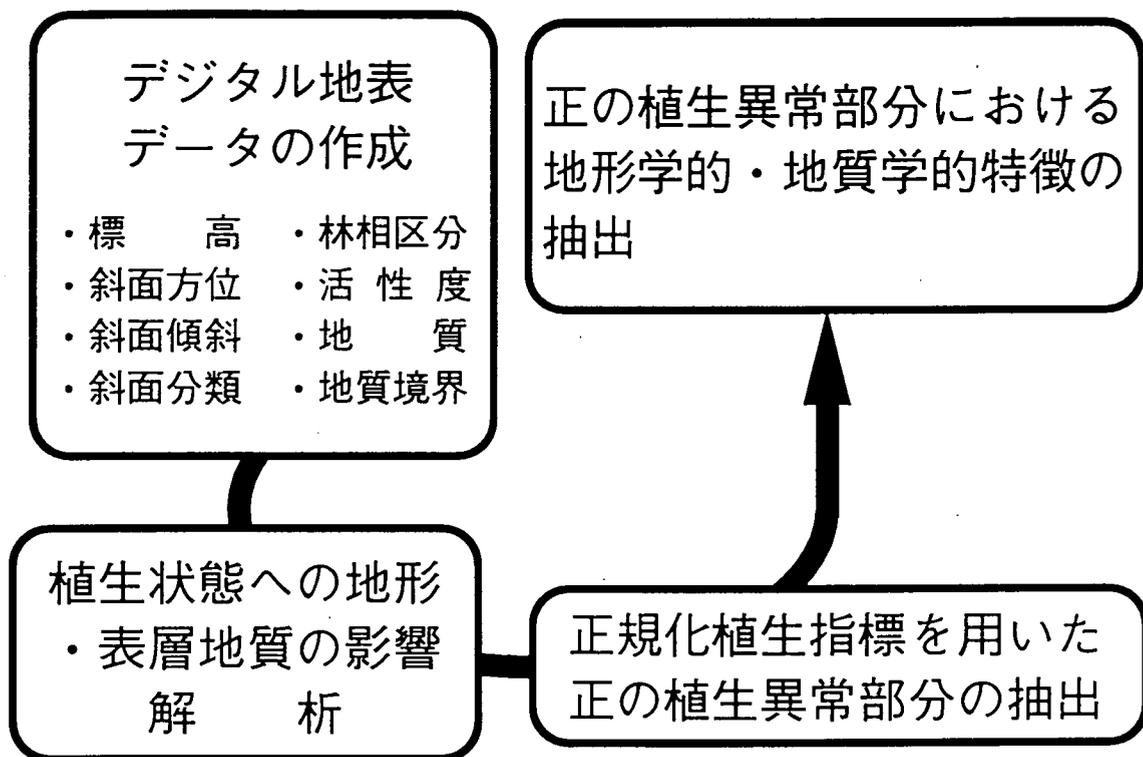


図-3.1 本研究における解析手順

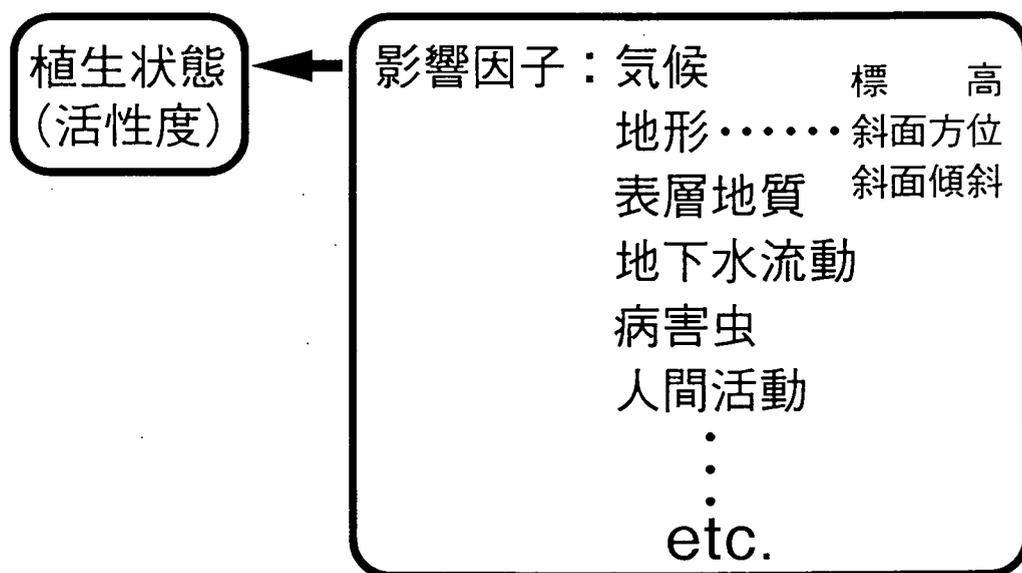


図-3.2 植生状態の影響因子

は一様と見なせることから、残る地形、表層地質および地下水流動が主要な影響因子と考えられる。本研究は地下水流動による植生状態への影響の抽出を目的としていることから、その他の因子である地形および表層地質による植生状態への影響を把握する必要がある。そのため、地形（本研究では標高、斜面方位、斜面傾斜の3項目）および表層地質について植生状態（活性度）がどのような変化を示すかを調査した。

### (3)正規化植生指標を用いた正の植生異常部分の抽出

地下水流出域では、湧水や地下水面の上昇によって地表付近に水分が供給されると考えられる。したがって、地下水流出域においては夏期の日照り等による植生への影響が、地下水流出域以外の場所に比較して小さいものと考えられる。生長期間が数十年から数百年にわたる樹木においては、1年間といった短期間で見れば僅かな差であっても、数十年～数百年といった累積期間を考慮すれば、たとえ高温多湿の日本であっても顕著な植生状態の差として現れるものと考えられる。

このような仮定から、本研究では植生の活性度の指標として一般に用いられる正規化植生指標<sup>2)</sup> (Normalized Vegetation Index, 以後、NVIと呼ぶ) を用いて、植生の高活性度部分を正の植生異常部分として抽出する方法を検討した。なお、NVIは以下の式で定義される。

$$NVI = \frac{IR - Red}{IR + Red} \quad (\text{式1})$$

IR : 近赤外域のリモートセンシングデータの値

Red : 可視域のリモートセンシングデータの値

### (4)抽出された正の植生異常部分における地形学的・地質学的特徴の抽出

抽出された正の植生異常部分と地下水流出域との対応を検討するために、正の植生異常部分における地形学的並びに地質学的特徴を調べ、地下水流出域との対応を検討した。

## 4. 解析対象領域と解析データ

### 4.1 解析対象領域

本研究の解析対象領域は、図-4.1に示すように岐阜県東濃地方の土岐市と瑞浪市に跨がる約5Km四方の範囲である。本領域内には、土岐市街および瑞浪市街の一部が含まれているが、そのほとんどは土岐川北岸の標高300m前後の丘陵地帯であり、ゴルフ場や商業団地などの造成地を除き、アカマツを主体とした森林に覆われている。

地質は、本地域の基盤をなす、美濃帯（領家帯）の苗木・上松型花崗岩、それを被覆する新第三紀中新世の堆積岩層（瑞浪層群）と鮮新世～第四紀更新世の未固結砂礫層（瀬戸層群）および沖積層からなる。

また、本領域内の東濃鉦山敷地内および正馬様洞鉦業用地内には、水収支観測のための土壤水分計、自由地下水面観測孔、気象観測施設および河川流量観測施設が設置されており、長期水文観測が実施されている<sup>3)</sup>。

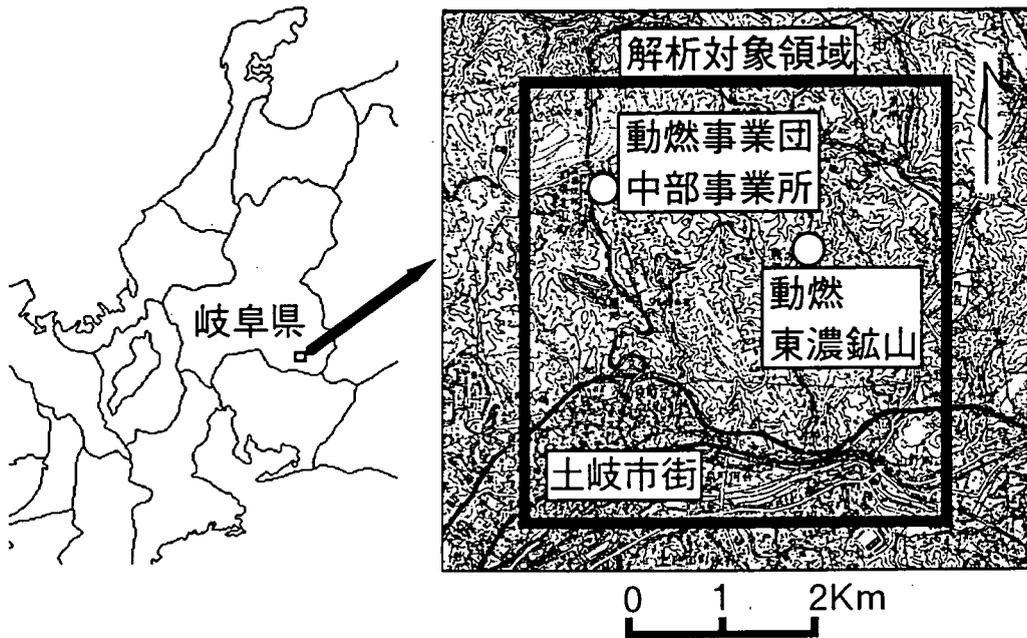


図-4.1 解析対象領域

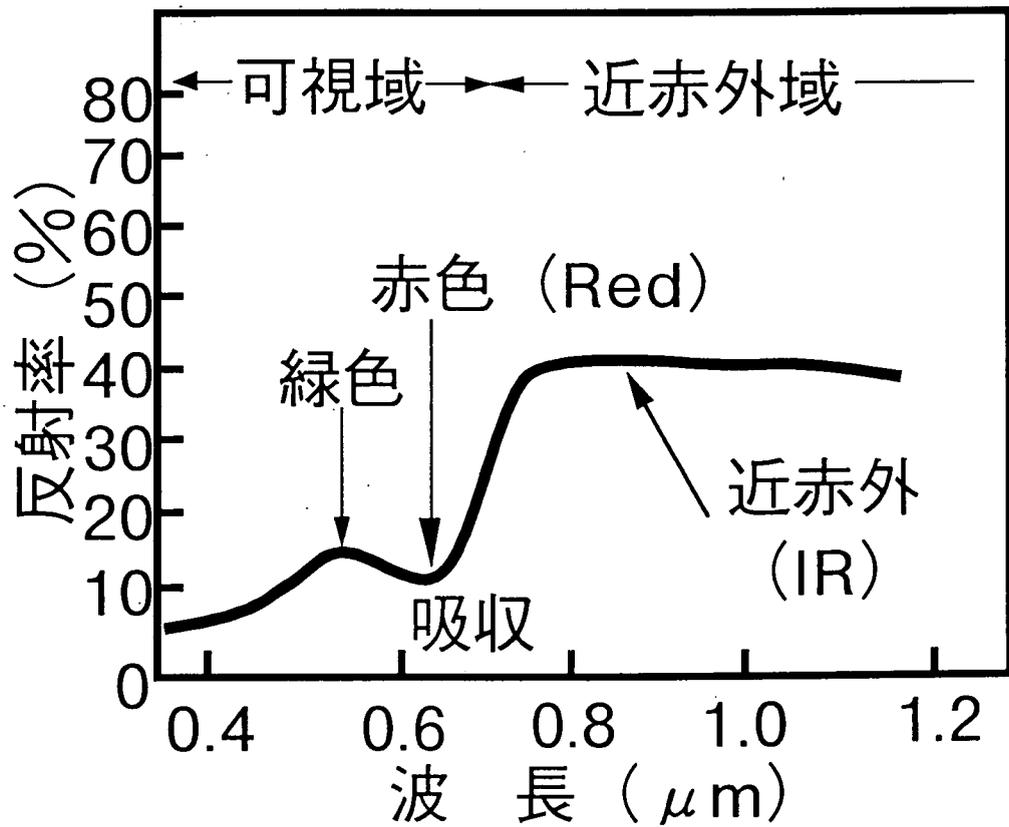


図-4.2 植生の葉の分光反射特性

## 4.2 解析データ

解析に使用したリモートセンシングデータは、フランスの地球観測衛星であるSPOT衛星のHRVセンサーデータ（マルチスペクトル）を用いた。本研究では、植生の葉からの反射スペクトル情報（図-4.2）を利用するために、地形による陰影の影響を可能な限り小さくするために1年中で太陽高度が最も高い6月のデータを使用した。なお、SPOT衛星データの仕様は表-4.1に示す通りである。

表-4.1 解析対象データの仕様

衛星名	地球観測衛星SPOT 1号
センサー名	HRVセンサー（マルチスペクトル）
観測日	1990年6月19日
軌道高度	832 Km
地上解像力	20 m
観測波長帯	
Band 1	0.50~0.59 $\mu$ m（可視域：緑色）
Band 2	0.61~0.68 $\mu$ m（可視域：赤色）
Band 3	0.79~0.89 $\mu$ m（近赤外域）

## 5. 解析結果および考察

### 5.1 植生状態への地形・表層地質の影響

#### (1)地形の影響

図-5.1から明らかなようにNVIの値は針葉樹林、針広混交林並びに広葉樹林ともに、標高が高くなるほど、また、斜面が急傾斜になるほど、増加している。また、斜面方位については、NVIの値は北斜面で最低値を示し、東から南に向かって徐々に増加し、西斜面で最大値を示す傾向が各林相に見られる。

地形に伴うNVIの値の変化の原因については、以下のことが考えられる。NVIの値は、葉に含まれるクロロフィルの量と共に植被率（植生の葉が地面を覆う割合）も関係している。図-5.1の標高に関するグラフにおいて、標高17.4 m以下は本研究の解析領域内で市街地に対応するため、この部分の植生は公園や神社などの立木がほとんどであると思われる。従って植被率は山林部分にあたる標高17.5 m以上の部分に比較して低いと考えられるので、標高によるNVIの値の変化は植被率の違いによるものと推定される。同様に斜面傾斜に伴うNVIの値の変化についても、傾斜の増加による見かけの植被率の増

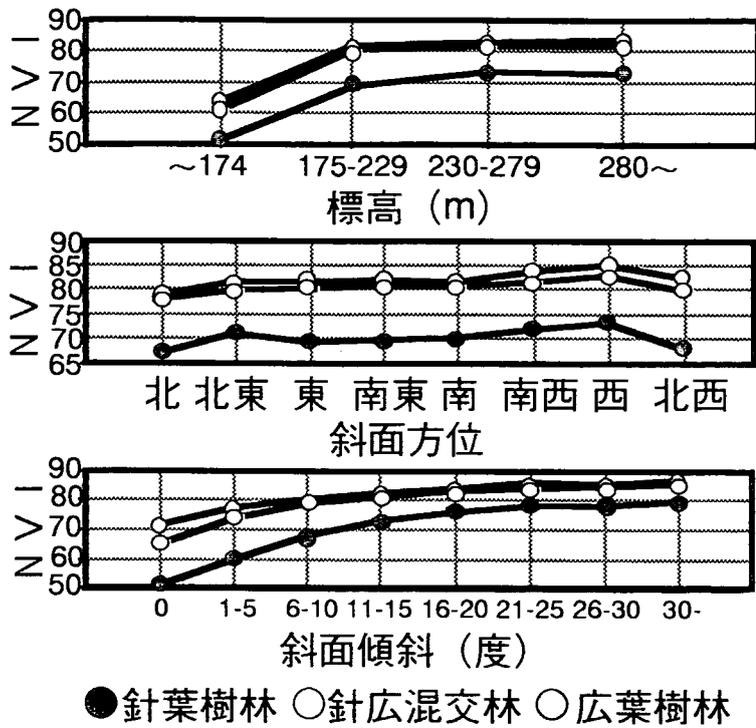


図-5.1 地形要素とN V Iとの関係

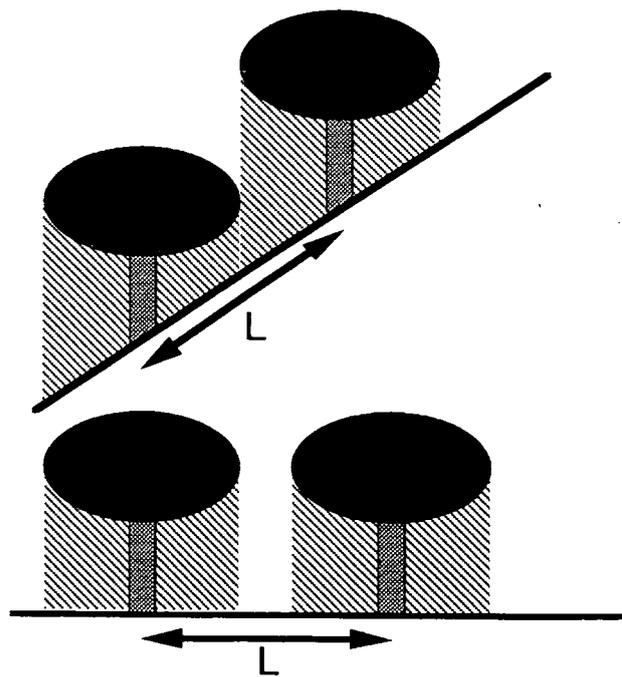


図-5.2 傾斜の増加による樹冠密度の増加

加によるものと考えられる（図－5.2）。

斜面方位に伴うNVIの値の変化については、各林相ともに同様な傾向が見られることや変化のパターンがスパイク的な変動ではなく、北から西へ緩やかに増加していることから、人為的な原因とは考えずらい。また、平成4年度に実施した地形解析においても、各斜面方位で極端な地形の差が認められず、また、丘陵地であることから地形による微小気象の影響とも考えにくい。このようなことから残された原因としては、斜面方位による太陽光の入射量の違いが考えられるが、これについては、地形データを用いて各斜面方位の年間累積入射量を求め、斜面方位での年間累積入射量の差の有無について検討していきたい。

## (2)表層地質の影響

表層地質に伴うNVIの値の変化は、全体的な傾向として第四紀の堆積層でNVIの値が低いことが図－5.3のグラフから読み取れる。しかし、各地層の分布標高とNVIの値のパターンを比較するとほぼ同様な傾向を示すことから、NVIの値の変化は表層地質の影響ではなく、標高の影響が現れていると考えられる。また、仮に表層地質に影響されているとしても、標高によって代替できることがこのグラフからいえる。

## 5.2 NVIを用いた正の植生異常部分の抽出

植生状態（活性度）への地形・表層地質の影響解析の結果から、NVIの値は地形、つまり標高、斜面方位および斜面傾斜に影響を受けていることが明らかになった。また、林相によってNVIの値が異なることから、地下水流動に起因する正の植生異常部分を抽出するためのしきい値を決定する際には、地形（標高、斜面方位、斜面傾斜）および林相を考慮する必要がある。

これらの影響因子を考慮して正の植生異常部分を抽出するためのしきい値を決定する方法として、本研究では、上記の4つの影響因子を図－5.4に示すように各影響因子を幾つかの段階に区分し、影響因子間の論理積によって地表状態を区分（768ケース）した上でケース毎のNVIの平均値および標準偏差を求め、得られたNVIの平均値に標準偏差を加えた値をしきい値とする方法を採用した。なお、実際には森林が存在しないケースが存在するために、555ケースがしきい値の算出に使用された。

上記の方法で正の植生異常部分を抽出した結果、解析対象領域全体のデータ数、56,882画素に対して、3,842画素（針葉樹林:2,342画素、針広混交林:1,067画素、広葉樹林:433画素）が正の植生異常部分として抽出された（図－5.5）。

## 5.3 正の植生異常部分における地形学的・地質学的特徴の抽出

抽出された正の植生異常部分が地下水流出域と対応しているかを検討するために、正の植生異常部分がどのような地形学および地質学的な場にあるかを調査した。

### (1)正の植生異常部分の地形学的特徴

図－5.6は、SPOT衛星画像とデジタル標高データによって作成した解析対象領域の3次元鳥瞰図に正の植生異常部分を重ねた画像である。この図から明らかのように、正の植生異常部分は、盆地周辺斜面の脚部および丘陵頂部の直下に多く分布している傾向が見られる。さらに斜面分類データを用いて正の植生異常部分の地形学的特徴を詳細に調べた

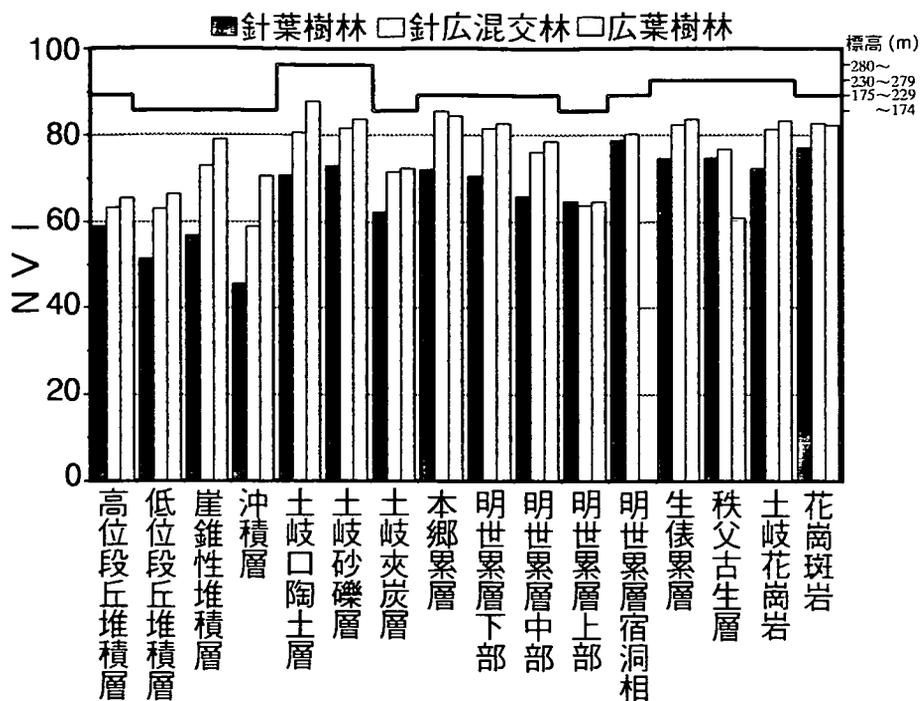


図-5.3 表層地質とNVIとの関係

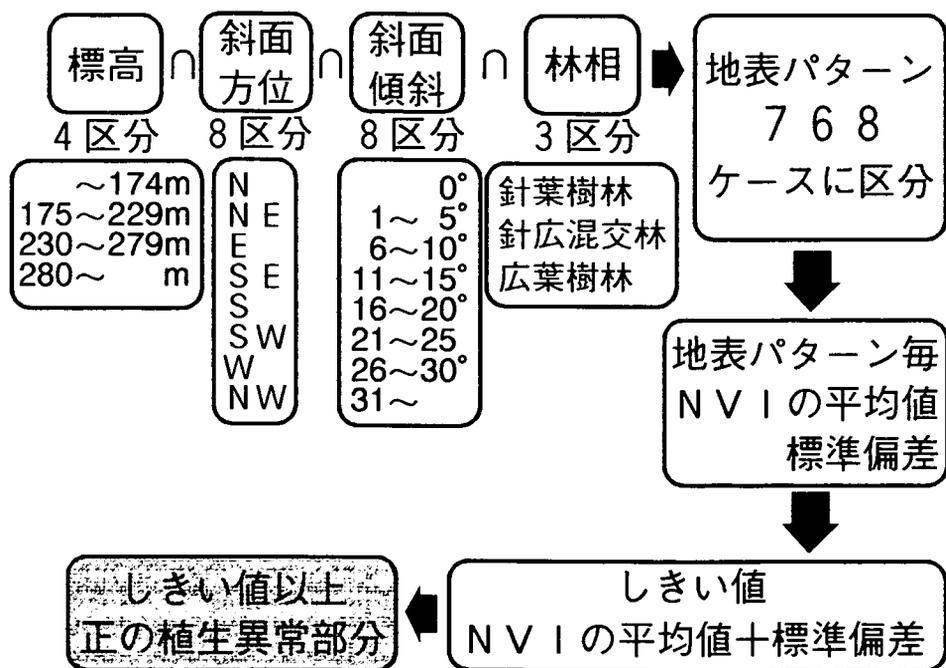
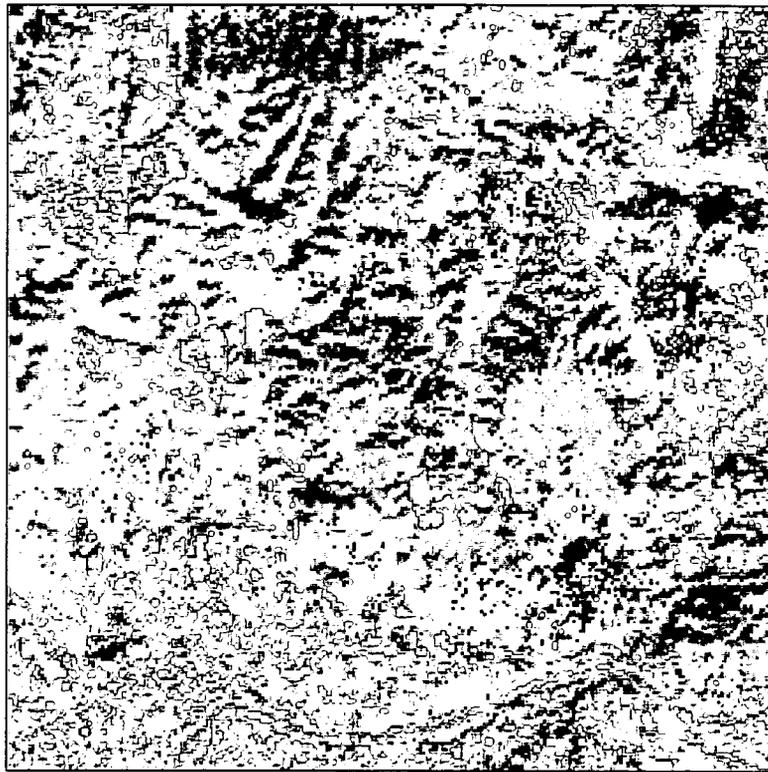


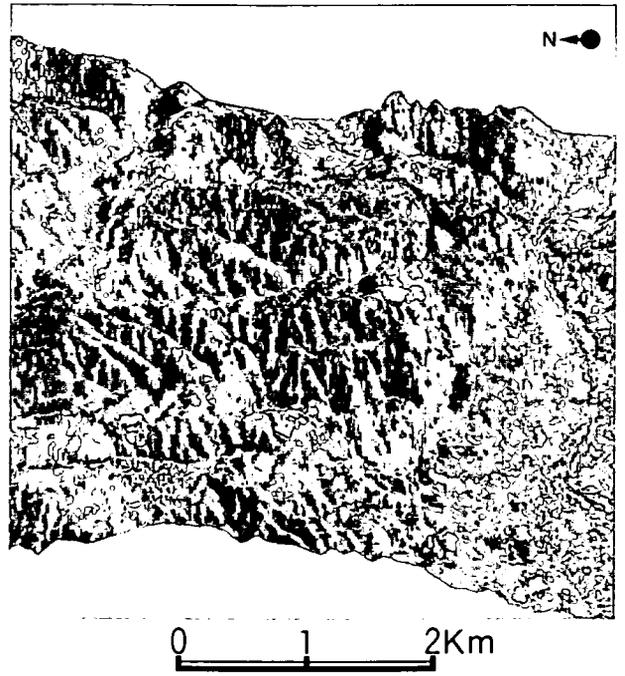
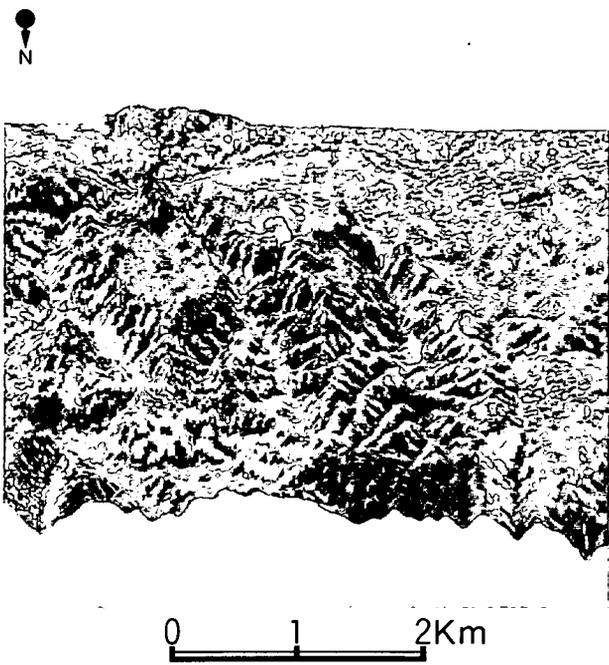
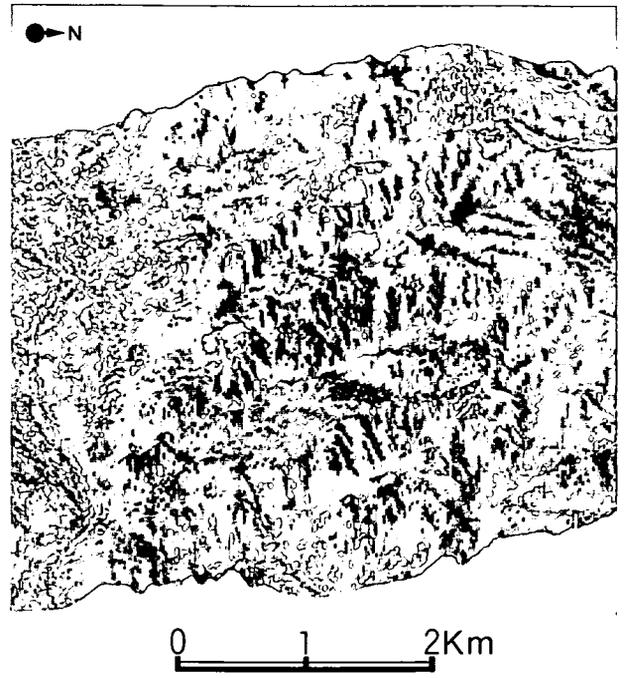
図-5.4 影響因子による地表パターン区分としきい値の決定



- 針葉樹林における  
正の植生異常部分
- ▨ 針広混交林における  
正の植生異常部分
- 広葉樹林における  
正の植生異常部分

0 1 2Km

図-5.5 抽出された正の植生異常分布



針葉樹林における  
 正の植生異常部分
  針広混交林における  
 正の植生異常部分
  広葉樹林における  
 正の植生異常部分

図-5.6 正の植生異常分布 (3次元鳥瞰図)

結果が図-5.7のヒストグラムである。図-5.7から明らかなように、正の植生異常部分は凸状斜面や凹状斜面といった傾斜変換点に多く分布している。一般に地下水面は地形に沿って分布しているが、凸状斜面や凹状斜面のように急激に傾斜が変化する部分では追従できずに、地下水が地表に流出しやすいことが考えられる。

## (2)正の植生異常部分の地質学的特徴

図-5.8は、解析対象領域の地質図<sup>1)</sup>に正の植生異常部分を重ねた画像である。図-5.8から明らかなように正の植生異常部分は各地層分布域の内側よりは、他の地質との境界付近に分布している傾向が読み取れる。さらにどのような地質との境界に多く分布しているかを地質境界データを用いて調べた結果、図-5.9に示すように、正の植生異常部分は未固結砂礫層である土岐砂礫層と花崗岩および新第三紀の堆積岩層の境界に多く分布していることが明らかになった。これらの地質境界は、これまでの表層水理調査においても高透水性ゾーンとされており、地表におけるこれらの部分は地下内部から地表への地下水の出口、つまり地下水の流出域と考えられる。

## 6. まとめ

平成5年度の解析結果をまとめると以下のようなになる。

- ① 植生の活性度(NVI)は標高、斜面方位、斜面傾斜に影響されていることが明らかになった。
- ② 地表パターンを地形および林相を基に768ケースに区分し、各ケースでNVIの平均値および標準偏差を求め、平均値に標準偏差を加えた値をしきい値として正の植生異常部分を抽出した結果、解析対象領域全体のデータ数、56,882画素に対して3,842画素が抽出された。
- ③ 抽出された正の植生異常部分は、地形学的には傾斜変換点に、また、地質学的には本地域の水理地質構造において高透水性ゾーンと考えられる未固結砂礫層と花崗岩および堆積岩との不整合付近に位置しており、地下水流出域との関連性が高いことが推測された。

## 7. 今後の予定

抽出された正の植生異常部分が、地下水流出域と対応していることを確認するために、植生調査、土壌調査、および表層水理定数観測(定点観測)などの調査を実施する予定である。

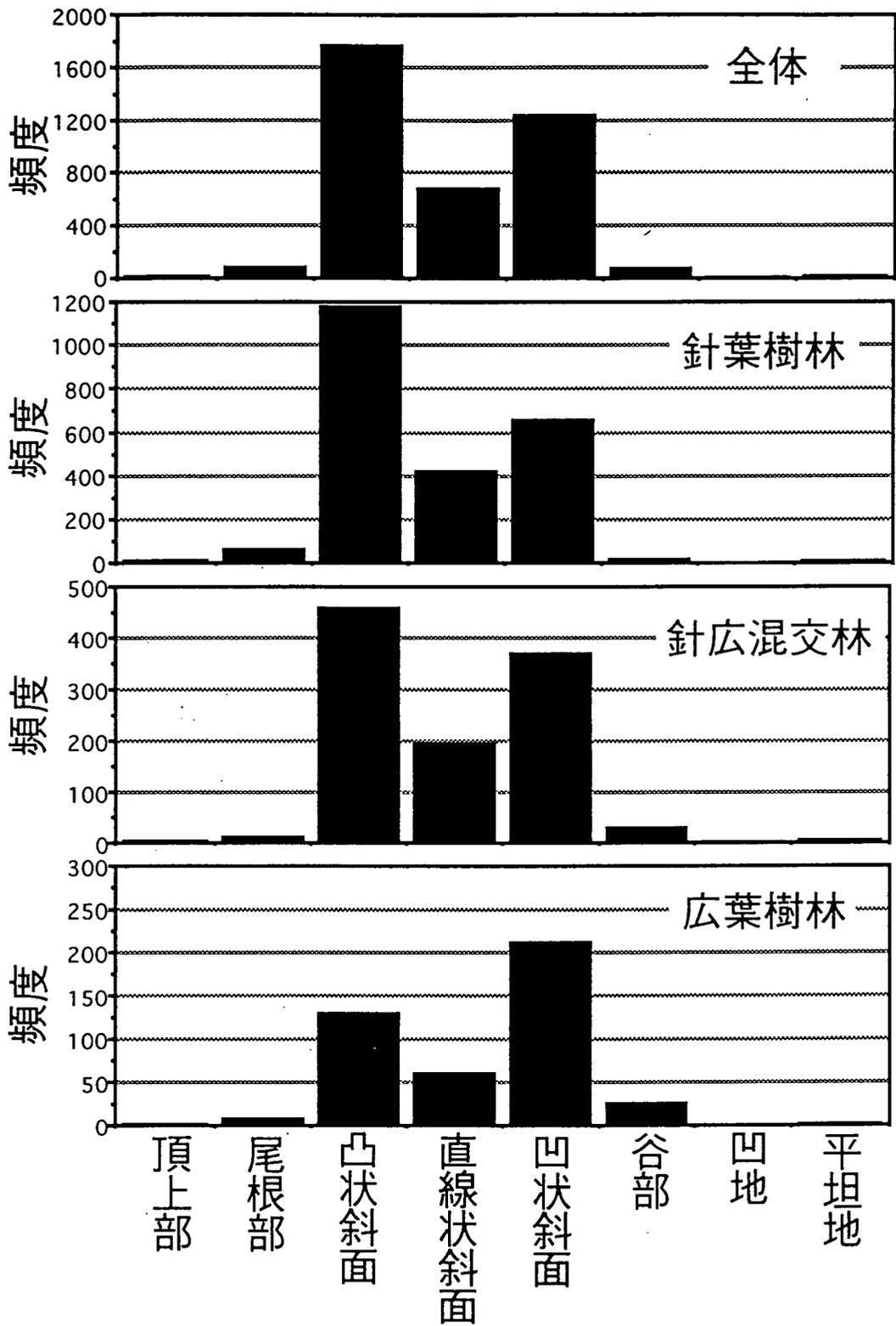


図-5.7 正の植生異常部分の地形学的特徴

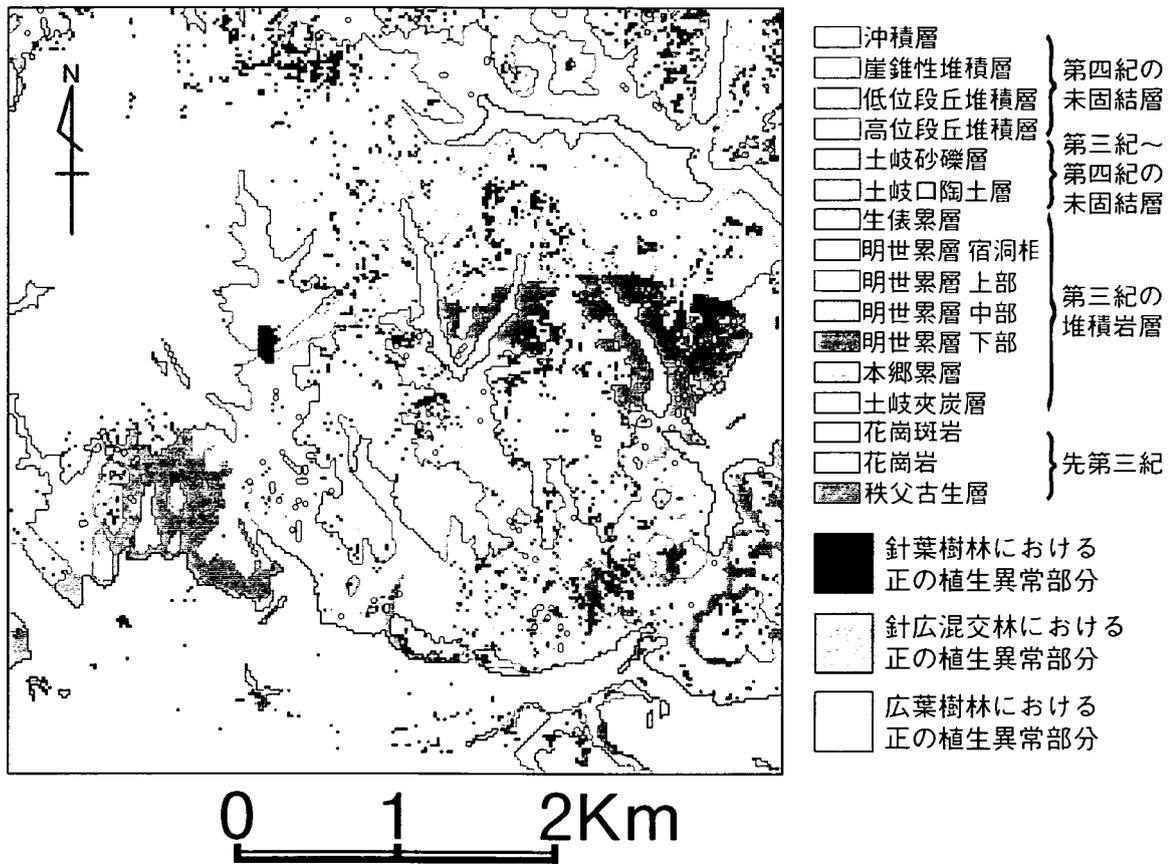
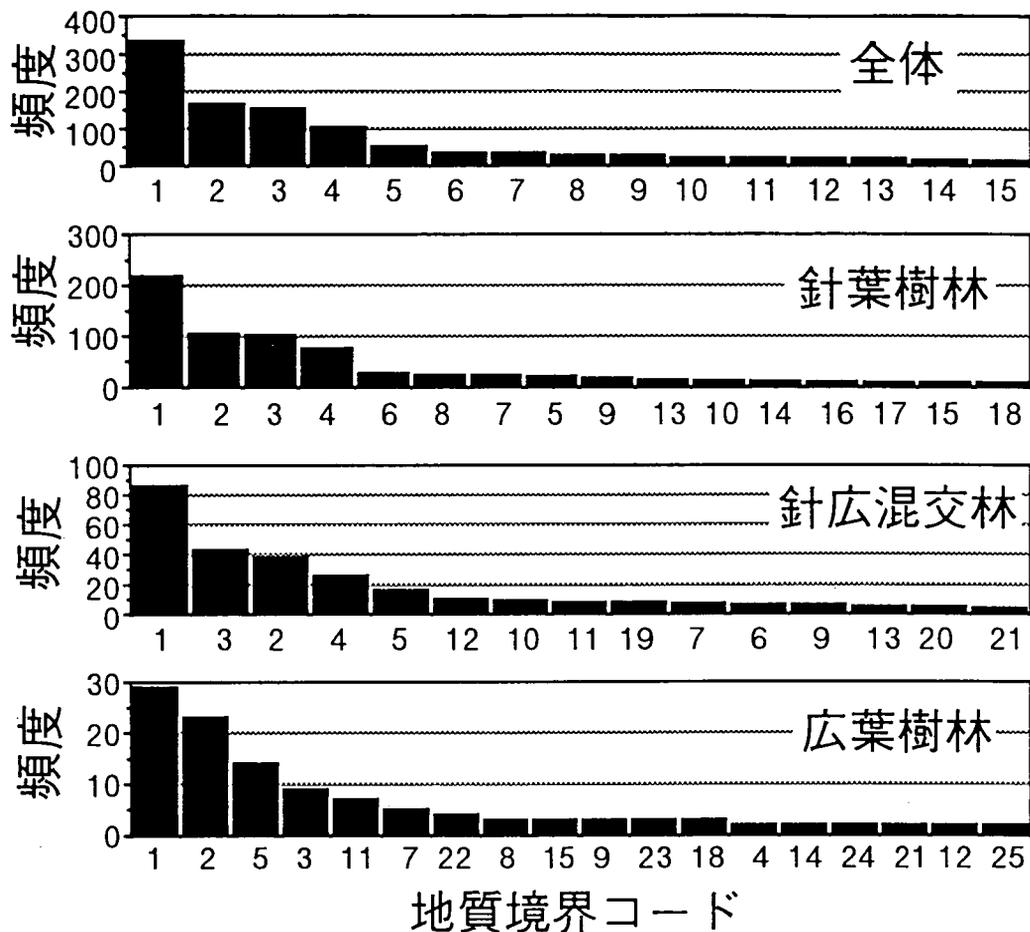


図-5.8 正の植生異常分布（地質図）



地質境界		地質境界	
コード	地質(地層)名	コード	地質(地層)名
1	土岐砂礫層/土岐花崗岩	14	明世累層中部/土岐花崗岩
2	土岐砂礫層/生俵累層	15	低位段丘堆積層/土岐夾炭
3	土岐砂礫層/明世累層下部	16	土岐夾炭層/土岐花崗岩
4	石英斑岩/土岐花崗岩	17	明世累層下部/土岐夾炭層
5	明世累層下部/土岐花崗岩	18	明世累層中部/明世累層下部/土岐花崗岩
6	明世累層中部/明世累層下部	19	土岐砂礫層/土岐口陶土層
7	高位段丘堆積層/明世累層中部	20	土岐砂礫層/明世累層下部/土岐花崗岩
8	沖積層/土岐花崗岩	21	低位段丘堆積層/本郷累層
9	低位段丘堆積層/明世累層下部	22	低位段丘堆積層/土岐夾炭層/土岐花崗岩
10	土岐砂礫層/明世累層中部	23	土岐砂礫層/生俵累層/土岐花崗岩
11	明世累層下部/本郷累層	24	低位段丘堆積層/土岐花崗岩
12	沖積層/明世累層下部	25	土岐砂礫層/生俵累層/明世累層下部
13	沖積層/明世累層中部		

図-5.9 正の植生異常部分における地質(地層)境界

参考文献

- 1)小出, 他(1993): 広域地下水流動調査のための地表調査法の開発 リモートセンシング -地形  
および植生情報による表層部の水文特性の推定 その1-, PNC PN  
7410 93-016
- 2)YATES H.W. et al. (1984): The Role of Meteorological Satellite in Agricultural  
Remote Sensing, REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT,  
Vol.14, pp.219-233
- 3)中野, 他(1991): 表層部における水収支の調査研究, PNC TN7410 91-052
- 4)糸魚川 (1980): 瑞浪地域の地質, 瑞浪市化石博物館専報, 第1号

B-3 ゼロオフセットS波VSP調査法の亀裂性岩盤への適用試験

(長谷川 健)

## 1. はじめに

地下のき裂は熱水や石油といった流体の貯留層やそれらの流路となることから、地熱や石油等の資源の探査において、地下のき裂に関する情報を的確に把握することが近年重要な課題となりつつある。このニーズに応えるべく、地質調査所をはじめとして幾つかの機関で調査技術の研究開発が実施されてきている。

一方、動力炉・核燃料開発事業団（動燃）が実施している地層科学研究では、広域の地下水の流動を解明することが重要な課題となっており、結晶質岩では地下水は主にき裂にそって流動すると考えられることから、やはり地下のき裂に関する情報を的確に把握する技術を必要としている。

地質調査所では、地表と地表から掘削された試錐孔を利用して地下のき裂に関する情報を得る技術であるVSP (Vertical Seismic Profiling) 調査法の技術開発を実施しているが、開発された技術の適用性を評価するためには、色々な岩種での適用試験が必要であり、新しい適用試験場所を求めていた。これに対し動燃は、地球物理学的手法を用いた地下のき裂調査に関して、まず既存の調査技術の現状を把握し、地層科学研究への適用性を評価することを計画していたことから両者の利害が一致し、VSP調査技術について平成5年度から共同研究を実施することになった。

共同研究では、S波VSP調査法の適用試験、ハイドロフォン用いたVSP調査法の適用試験等を実施する事とし、地質調査所が測定に必要な機器及びデータ解析技術を提供し、動燃が試験サイト及びその地域の地質（主にき裂）に関する情報を提供することになった（付録「地下き裂調査を目的としたVSP法の適用性に関する共同研究計画（案）」参照）。また、動燃・東濃地科学センターの正馬様洞試験サイトには深度 1,000m の試錐孔（AN-1号孔）が土岐花崗岩中に掘削されていることから、正馬様洞試験サイトが共同研究の第1年度の試験場所として選定された。

ここでは、第1年度の試験として実施されたゼロオフセットS波VSP調査法の適用試験について概要を報告する。なお、本適用試験の詳細については報告書「地質調査所/動燃事業団 共同研究報告書-ゼロオフセットS波VSP調査法の亀裂性岩盤への適用試験 - (PNC PJ1518 94-001)」にまとめられている。

## 2. 適用試験の目的

S波VSP調査法は、き裂の卓越方向と同じ振動方向を持つS波とそれに直行する振動方向をもつS波の速度の違いから、き裂の卓越方向とその密度を推定する手法である。適用試験の目的は、花崗岩を対象として本調査法を適用した場合、

- (1) S波速度にどの程度の速度異方性があれば現有技術で検出可能であるのか、  
また、それはどの程度のき裂の状態（密度や規模）に対応するのか

(2)速度異方性が一様な層の分解能（検出できる最小の層厚）はどれくらいなのか

(3)既存のS波震源での可探深度はどの程度であるのか

を実測されたデータを用いて明らかにすることであり、S波の速度異方性が検出された場合は、AN-1号孔で実施されたBTV（杉本-林氏）によるき裂調査結果との対比を行うことにより、解析結果の妥当性を検証することである。

### 3. データの取得

試験は正馬様洞試験サイト・AN-1号孔およびその周辺の敷地を用いて行った。S波震源としては地球科学総合研究所製の油圧インパクトJMI-400を使用した。S波の打撃方向は互いに直交する2組の4方向（N45E-S45W, N45W-S45E および N-S, E-W）とした。さらに、水平動地震計の方位決定のためにAN-1号孔から約300m離れた地点に重錘落下式P波震源を設置した。孔内地震計には地質調査所の3成分アナログジオフォンを使用した。データ取得に用いた測定器のリストを表1に示した。

測定は、一方向のS波震源位置を固定した状態で、孔内ジオフォンの深度を移動させて各深度におけるS波震源およびオフセットP波震源による震動を記録し、全深度の測定終了後に順次S波の打撃方向を変更するという手順で行った。測定機器の配置の模式図を図1に示す。信号の時間基準として、S波およびP波震源の打撃装置に取りつけられたトリガーセンサーの信号を用い、孔内のアナログジオフォンを用いて、上下動1成分と水平動2成分のアナログ波形信号を取得した。この信号をA/D変換器（Mark 1B）で16ビットの精度でデジタル化し、後の解析に用いた。また、各震源の近傍に地震計（Uphole）を設置し、Uphole波形の比較により震源波形の再現性等を確認した。サンプリング間隔は予想されるS波の周波数を考慮して1 msecとした。測定条件を表2にまとめた。

なお、データの取得は、平成5年8月19日から9月1日までの14日間で行った。

### 4. データの処理・解析結果

データの処理・解析は地質調査所が行った。以下、その結果を要約する。

#### 4.1 N45E-S45W, N45W-S45E震源で得られたデータについて

図2は、アルフォード回転（き裂に平行な方向とそれに直交する方向とに振動成分を分離するための手法一つ）前の波形を示したものである。ここで、X方向とはN45E-S45W、Y方向とはN45W-S45Eであり、例えばX-XはN45E-S45Wの震源によるN45E-S45W方向の振動を、y-xはN45W-S45Eの震源によるN45E-S45W方向の振動を表している。図2から、非対角成分x-yおよびy-xにエネルギーが集中していることが分かる。非対角成分x-yおよびy-xにエネルギーが集中している原因が媒質の異方性によるものであれば、深くなるに従って遷移的に非対角成分が増加することが期待される。しかし、この図では浅部から非対角成分のエネルギーが大きく、このことは地表近傍から発振方向と直交する方向にエネルギーが集中していることを意味している。また、x-xとy-yの波形を比較するとS波初動と考えられる波相で極性が反転している。アルフォード回転では、震源は互いに直交し

ておりその波形が同じであることが仮定として必要であるが、N45E-S45W, N45W-S45E震源で得られたデータではこの仮定が成り立っていない。従って、このデータの解析は実施できなかった。

#### 4.2 N-E, S-W 震源で得られたデータについて

図3は、アルフォード回転前の波形を示したものである。このデータについては、アルフォード回転の仮定が成り立っていると判断されたことから、引き続き解析を実施した。図4はアルフォード回転の結果得られたS1方向(き裂の卓越方向)とS1波(き裂の卓越方向に振動するS波)とS2波(S1方向に直交する方向に振動するS波)の時間差を示したものである。深度40mと60mの間と深度220mと240mの間でデータにギャップが見られる(特に時間差)。この原因として、この深度に層の境界があることが考えられたため、40mよりも浅い層をはぎ取って解析を続行した。図4がその結果を示したものである。S1方向はほぼ東西方向であることが分かるが、S1波とS2波の時間差はほとんど無く、S波の偏向異方性は非常に小さいという結論が得られた。

### 5. まとめと今後の予定

#### (1)異方性の検出限界について

今回の測定で得られたS波の速度は約2500m/sec、周波数は約20Hz、波長は約125mである。異方性はS1波とS2波の到達時間差から求められるわけであるが、今回のようにS波の波長が百メートル程度の場合、検出できる時間差は高々数msecである。一方、到達時間差は異方性を有する層の厚さにも関係し、層厚が大きければそれだけ到達時間差も大きくなる。従って、解析できる異方性の程度は最小検出時間差と層厚の関数となる。図5はS波速度を2500m/secとして、異方性の程度と層厚が変化した場合、どの程度の時間差が期待できるのかを示したもので、この図より、異方性としては少なくとも5%程度、層厚は少なくとも100m程度なければ、異方性の検出は非常に困難であることが分かる。

#### (2)異方性の解析結果について

解析の結論はS波の偏向異方性は非常に小さいというものであった。通常花崗岩はかなりの異方性を有していると言われており、今回の結果の妥当性については疑問が残る。試錐コア等を用いた異方性の確認等を含め、さらなる検討が必要であると考えられる。

#### (3)S波インパクターの可探深度について

今回の測定では深度700mまでのデータの取得が可能であった。

#### (4)S波インパクターの問題点

N-E, S-W方向の打撃では問題がなかったが、N45E-S45W, N45W-S45E方向の打撃で得られたデータは対角成分よりも非対角成分のエネルギーの方が大きかった。これは観測されたS波は打撃によって直接発生したS波ではなく、インパクター・表土層・花

崗岩の間で間接的に発生したS波である可能性が高いことを示している。S波の発生という基本的問題が未だ未解決であることが明らかになったわけで、今後はこの基本的問題にも取り組んでいく必要がある。

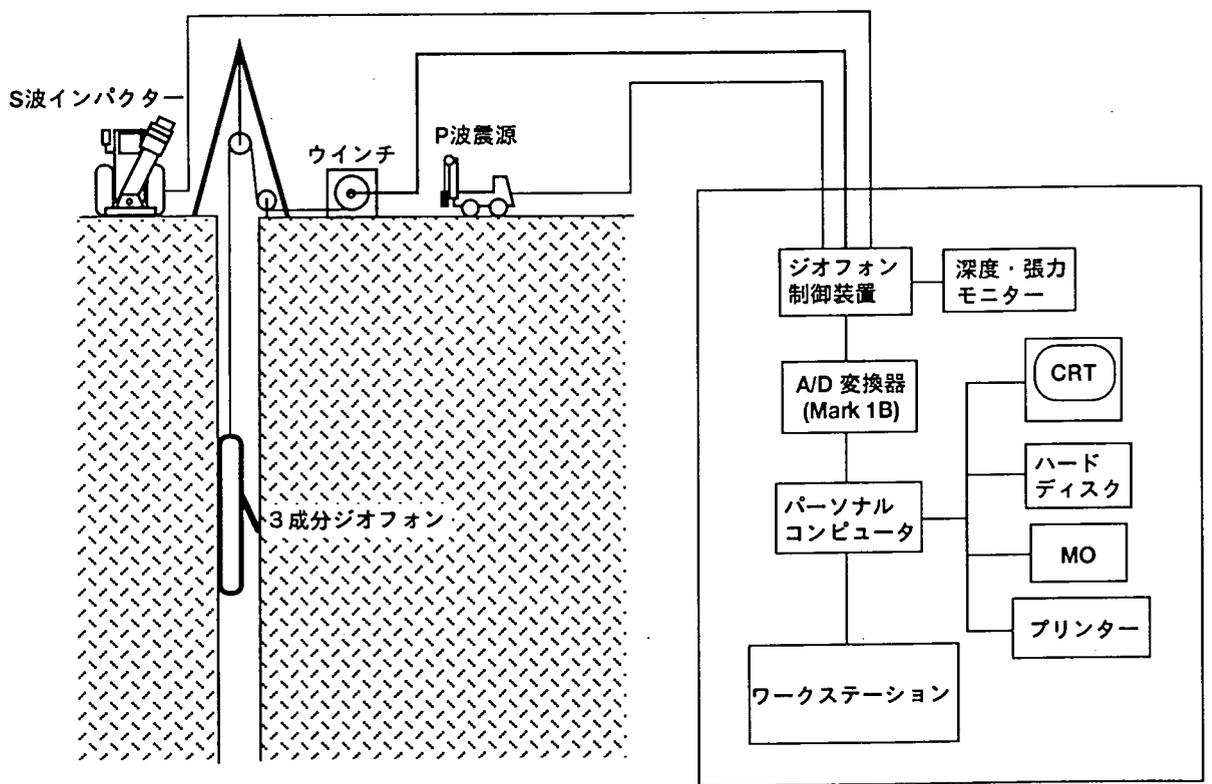


図1 測定機器配置模式図

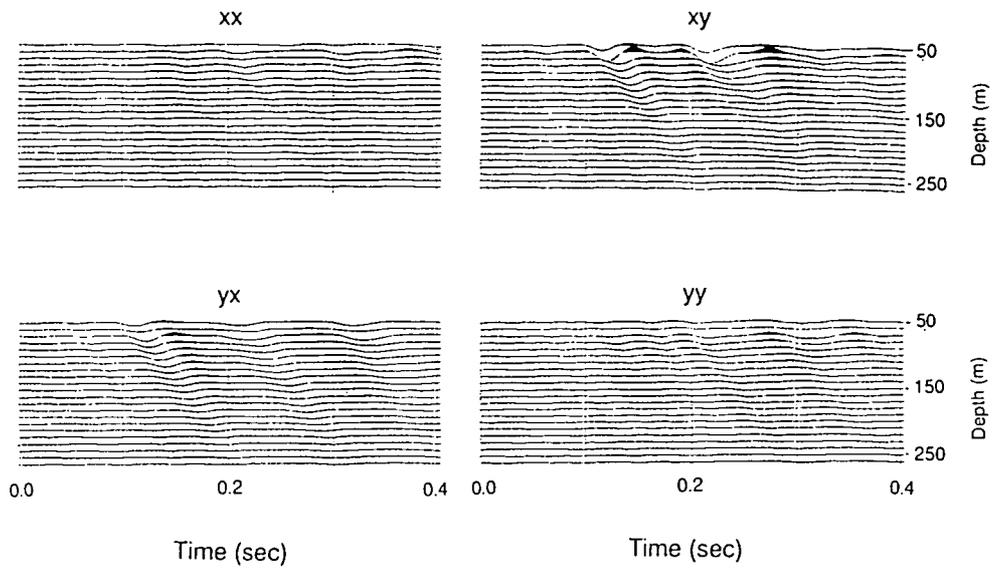


図2 N45E-S45W, N45W-S45E震源で得られたデータ  
(アルフォード回転前)

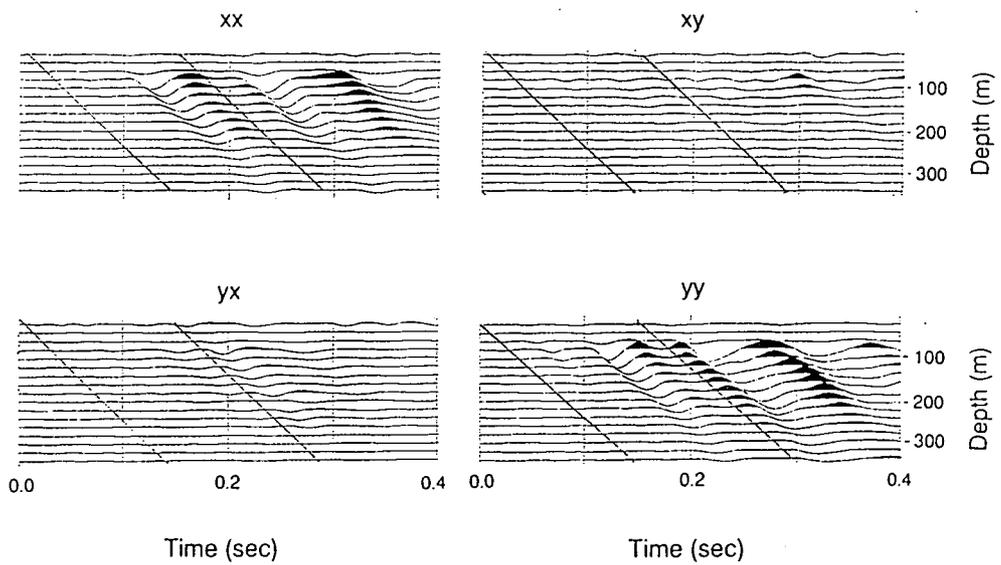


図3 N-S, E-W震源で得られたデータ  
(アルフォード回転前)

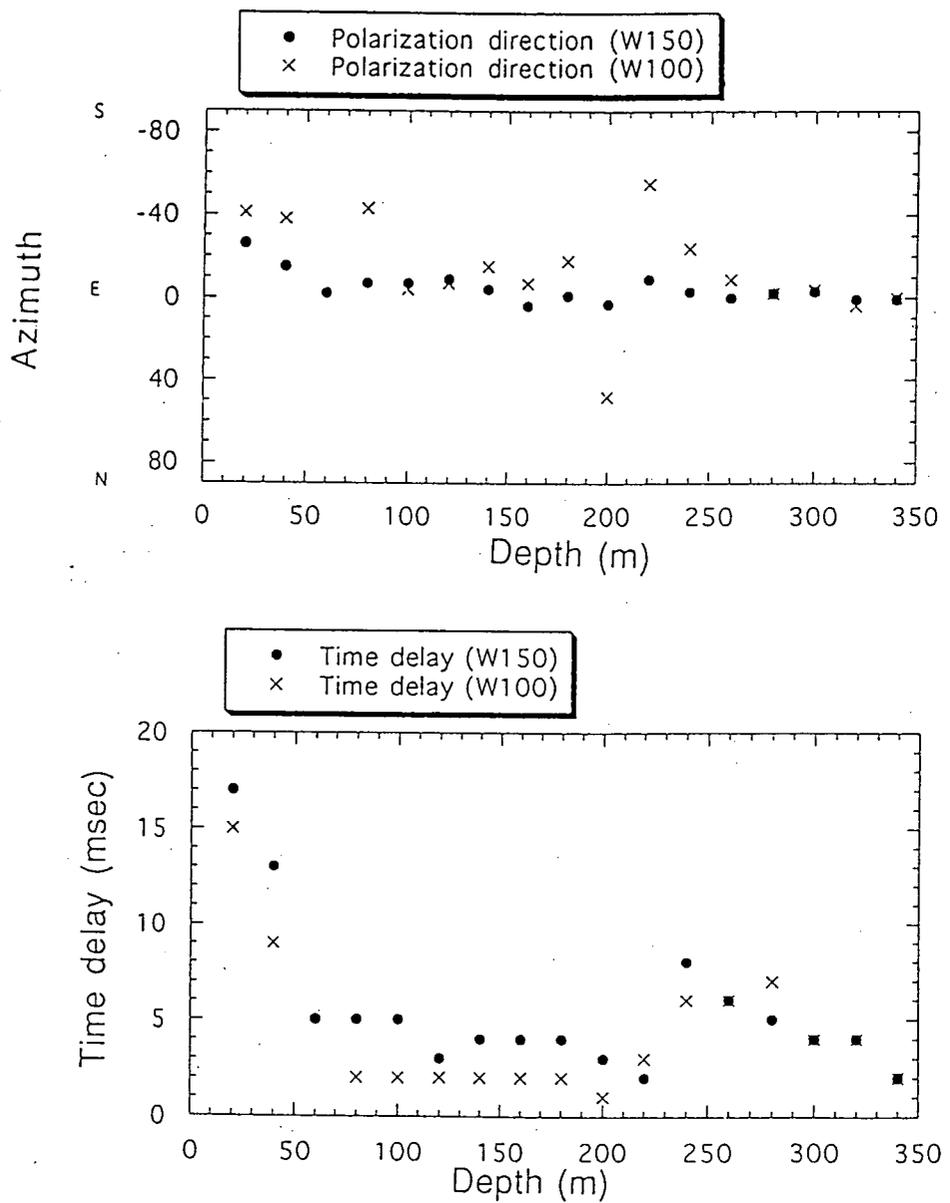


図4 最初のアルフォード回転で得られた S1 方向 (上図) と S1 波と S2 波の時間差 (下図)

- 解析ウインドウ 150 msec
- × 解析ウインドウ 100 msec

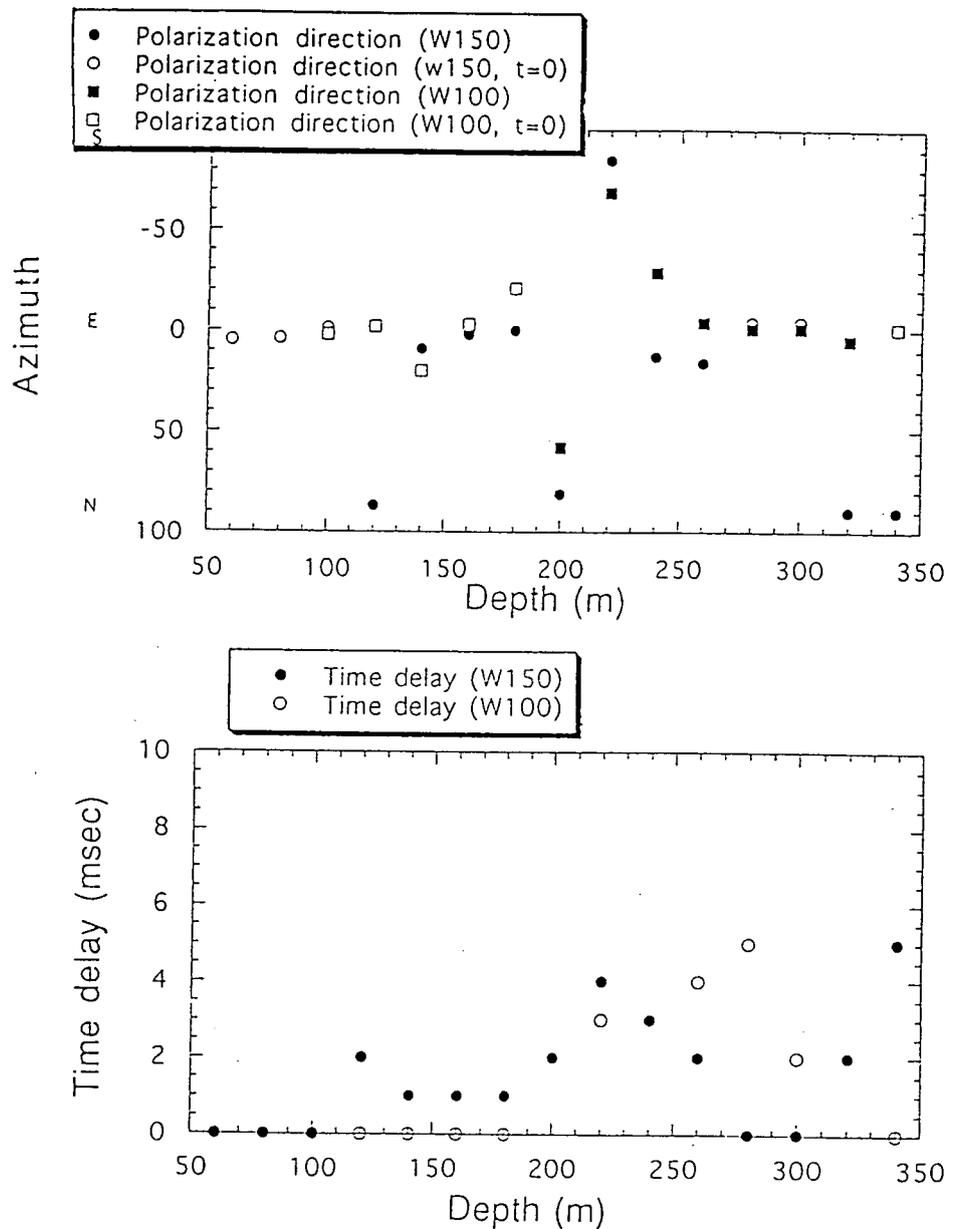


図5 1層目のはぎとりで得られたS1方向(上図)とS1波とS2波の時間差(下図)

- 解析ウインドウ 150 msec
- × 解析ウインドウ 100 msec

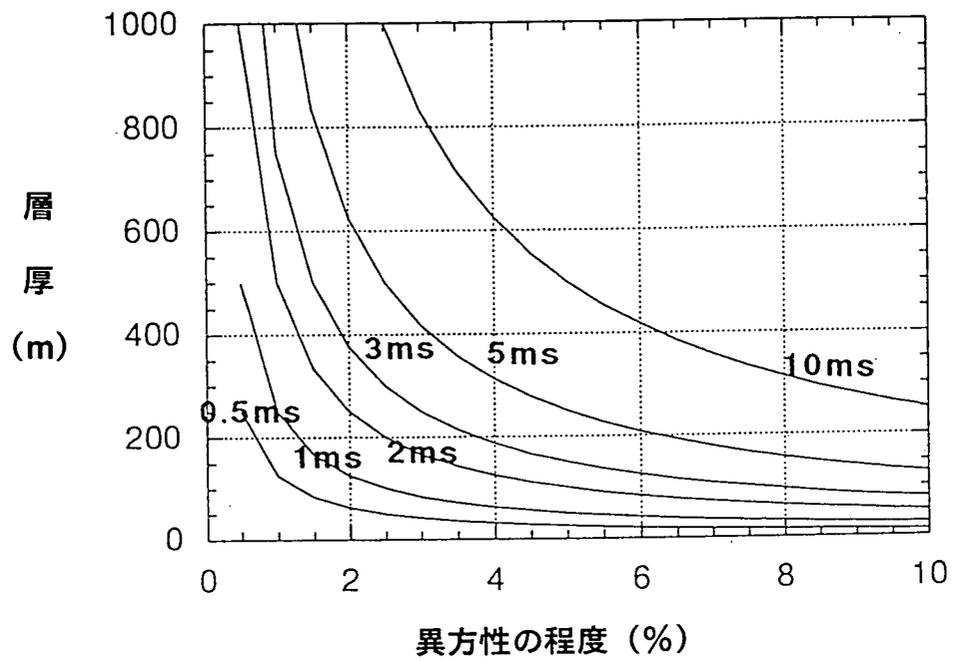


図6 異方性の程度と層厚が変化した時の期待される時間差

表1 測定装置

装置名	仕様
孔内ジオフォン	3成分速度型地震計（上下動1、水平動2成分） 固有周波数：4.5 Hz 坑壁圧着方式、プリアンプ内蔵 長さ：約1.5 m 直径：70 mm 重量：約26 kg
S波震源	(株) 地球科学総合研究所製 油圧インパクト JMI-400
P波震源	ガードレール工業 (株) WAH3400型
トリガーセンサー	Input/Output社製SS-1およびリレー式トリガー
Uphole用地震計	米国Mark Products社 L-22-3D 固有周波数 2 Hz, 3成分 (ゼロオフセットSインパクト近傍およびオフセットP震源近傍)
ウインチ	(株) 物理計測コンサルタント製電動式 7芯アーマードケーブル 1200m巻
データ収録装置	(株) エヌ・シー・シー Mark-1SC プログラマブル利得増幅器 (株) エヌ・シー・シー Mark-1b アナログデータ収録装置

表 2-1 測定条件

装置名	測定条件
坑井内ジオフォン	プリアンプゲイン 1,000倍
S波震源 油圧インパクト	ガス圧 5~6 ksc 傾斜 35°
P波震源	ウエイト重量 400 kg ウエイト高さ 約2 m
データ収録	サンプリング 1 ms データ長 4096 ms ハイカットフィルター 500 Hz A/D変換 16ビット

表 2-2 測定条件 -スタック回数-

S波震源打撃方向	深度 (m)	深度間隔 (m)	測定回数
N45° W-S45° E(a)	10~700	10	3~17
N45° E-S45° E(b)	10~700	10	3~17
N-S (c)	10~700	20	3~10
E-W (d)	10~700	20	3~10

地下き裂調査を目的としたVSP法の適用性に関する共同研究計画（案）

平成5年7月

技術開発課

1. 本共同研究の目的

本研究は、工業技術院地質調査所との共同研究である「東濃ウラン鉱床を対象としたナチュラルアナログ研究および我が国における断層の活動特性に関する研究」の内、我が国における断層の活動特性に関する研究の一環として、断層の規模や形態に関する情報を取得するために必要な物理探査技術の開発を目的とする。

2. 実施内容

試錐孔を用いて岩盤のき裂に関する情報（位置、規模、方向、透水性等）を非破壊で把握する技術の一つであるVSP（Vertical Seismic Profiling）法の適用試験を、地下深部までの地質環境に関する情報が比較的整っている東濃鉱山周辺において実施し、地層科学研究の観点からその効力を評価すると同時に、データ解析技術の高度化を図る。

具体的には、S波VSP法（ゼロオフセット及びオフセット法）とハイドロフォンVSP法のテスト調査を実施し、試錐孔周辺のき裂の検出とその空間的広がりを把握する技術並びに検出されたき裂の透水性を把握するための技術について、その高度化と適用性の評価を行う。

本研究は3ヶ年計画で実施することとする。オフセットVSP法の測定はゼロオフセットVSP法の測定に引き続いて実施するのが望ましいが、地質調査所が現在オフセットVSPデータの解析手法を開発中であり、その成果を本共同研究に反映させるため、オフセットVSP法の測定は3年目に実施することとする。

各年度での実施項目と課題は以下の通りである。

(1) 1年目（平成5年度）

(1)実施項目

- ・ゼロオフセットS波VSP法による測定
- ・き裂の位置および卓越方向の算定
- ・解析結果および解析手法の検討（き裂に関する既存情報との対比による）

(2)課題

- ・S波VSP法の解析の基礎となっている長波長近似の妥当性の確認
- ・S波VSP法による層区分技術の改良・高度化とその分解能の把握
- ・き裂サイズの推定の可能性の検討

(2) 2年目(平成6年度)

(1)実施項目

- ・ハイドロフォンVSP法による測定
- ・透水性き裂の抽出
- ・解析結果および解析手法の検討(水理に関する既存データとの対比による)

(2)課題

- ・ハイドロフォンVSP法のデータから透水係数を推定する技術の改良・高度化

(3) 3年目(平成7年度)

(1)実施項目

- ・オフセットVSP法による測定
- ・前年度までに解析されたき裂(き裂帯)の3次元的広がり解析
- ・VSP法の適用性に関する地層科学研究の観点からの全体的な評価

(2)課題

- ・オフセットVSPデータ処理プログラムの開発
- ・弾性波の伝播特性と水理特性を表現できるモデルの検討

3. 実施場所

(1)測定

正馬様洞AN-1号孔およびその周辺地域(ただし、鉱業用地内)

(2)データの処理

地質調査所

(3)解析・検討

動燃事業団, 地質調査所

4. 実施形態

(1)本研究は、き裂性の岩盤へのVSP法の適用に関し日本で最新の研究成果を有する地質調査所との共同研究として実施する。

(2)分 担

①測定

データの取得については、動燃事業団と地質調査所がそれぞれ人員を派遣し、共同で実施する。その他の分担は以下の通りである。

動燃事業団

・フィールドの提供

正馬様AN1号孔

・震源の提供

1年目 S波インパクト(地球科学総合研究所への請負)

2年目 雷管による起振(内部実施)

3年目 S波インパクト(地球科学総合研究所への請負)

- 地質調査所 ・測定器の提供
- 1年目 孔内用3軸ジオフォン及びデータ収録用機器
  - 2年目 孔内用多連 hidroフォン及びデータ収録用機器
  - 3年目 孔内用3軸ジオフォン及びデータ収録用機器

## ②データの処理

データの処理は、地質調査所が所有するコンピュータ及び地質調査所が開発したプログラムを使用し、地質調査所が中心となって実施する。

- 地質調査所 ・データ処理用コンピュータの提供
- 地質調査所 ・データ処理用プログラムの提供
- 1年目 ゼロオフセットS波VSP法データ処理プログラム
  - 2年目 hidroフォンVSP法データ処理プログラム
  - 3年目 オフセットS波VSP法データ処理プログラム<sup>1)</sup>
- 1) 現在開発中

## ③解析・検討

解析・検討は動燃事業団と地質調査所がそれぞれ人員を派遣し、共同で実施する。その他の分担は以下の通りである。

- 動燃事業団 ・AN1号孔の岩芯観察結果及びボアホールテレビ観察結果の提供
- 地質調査所 ・データ処理結果の提供

## (3)取得データ及び成果の所有権

原則として共有とする。

B-4 原位置比抵抗測定用電極プローブの設計・製作

(長谷川 健)

## 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、各種トモグラフィ技術の開発を行っている。

トモグラフィ技術は土木分野等ではすでに実用の域に達している技術であるが、地層科学研究に利用するためには、データ取得法についてさらなる改良の必要があることが、水理研究者等から指摘されている。

本年度は、トモグラフィ技術の一つである比抵抗トモグラフィについて、試錐孔周辺の水理環境をできるだけ乱すことなくデータを取得するために、新しいタイプの電極プローブの設計・製作を行った。ここでは、設計の基本思想や機器の仕様について概説する。

なお、仕様の詳細や使用法については報告書「原位置比抵抗測定用電極プローブの設計・製作(PNC ZJ7308 94-001)」にまとめられている。

## 2. 必要性

深部岩盤のゆるみ領域評価のためには、坑道周辺に発達すると考えられる不飽和領域の広がり詳細に把握する必要がある。しかし、岩盤の含水率を原位置で直接測定する手法は未だ確立されておらず、現時点では含水率と密接な関係がある電気比抵抗値から岩盤の含水状態を推定する手法が有効な手法の一つであると考えられている<sup>1)</sup>。

坑道から奥の電気比抵抗値を詳細に把握するためには、坑道壁面から掘削された試錐孔を用いる必要があるが、試錐孔口の圧力を開放した状態での測定は、通常試錐孔からの湧水を伴うため、測定しようとしている場の水理学的環境を変化させてしまう。

従って、水理学的環境を変化させることなく、原位置の電気比抵抗を測定できる電極プローブを開発する必要がある。

## 3. 開発の基本的考え方

坑道周辺岩盤の電気比抵抗分布を把握するための調査としては、

(1)坑道壁面からの調査

(1-1) 比抵抗電気探査

(2)坑道から掘削された試錐孔を用いた調査

(2-1) 検層

(2-2) 比抵抗トモグラフィ

が考えられる。

上記の調査および解析に必要なハードウェア及びソフトウェアの開発状況は以下の通りである。

## (1)ハードウェア

### (1-1) 測定器本体

- ・地質コンサルタント数社が機器開発を行っており、汎用品として購入あるいはレンタル可能な機器で十分な調査が可能である。

### (1-2) 試錐孔用電極プローブ

- ・地表から掘削された試錐孔用の電気検層プローブ等をそのまま使用しているのが現状であり、原位置の間隙水圧を保ったままでの測定が可能なプローブは存在しない。これは、地層科学研究の特殊性から生じるニーズであり、動燃事業団が開発していく必要がある。

## (2)ソフトウェア

- ・電極配置等の最適調査仕様の検討、解析の前処理として必要なデータの補正法および解析プログラムの開発については、平成3年度から3ヵ年計画で九州大学への委託研究として実施している。

## 4. 基本仕様

原位置の水理学的環境をできるだけ乱さずに電気比抵抗を測定するために、遮水用パッカーと比抵抗測定用電極を組み合わせた構造とする。全体構造の概略図を図1-1から図1-3に示す。

本電極プローブの特徴は以下の通りである。

### ①エアパッカーの採用

エアパッカーを膨らませることで伸縮性の電極を試錐孔壁に圧着すると同時に試錐孔壁からの湧水を抑える構造とした。耐圧は差圧で15 kg/cm<sup>2</sup>以上である。

### ②スプリング電極の採用

伸縮性の電極として、スプリングをリング状にした構造とした。電極は環状を呈しているため、測定値の補正などの際に理論的な取扱いが容易である。

### ③先端部のエア抜き機構

試錐孔内の先端部に残留空気が圧縮されて残り、パッカーの拡張に伴い岩盤中に圧入されることを防ぐため、エア抜き機構を設けた。

### ④パッカーの拡張速度

試錐孔内の残留空気を試錐孔外に自然に排出するため、パッカーへのガスの流入量に差をつけ、先端部のパッカーから順次拡張する構造とした。

### ⑤電線の保護

電線を保護し、しかもパッカーと試錐孔壁の圧着がなるべく滑らかになるように、電極からの電線とパッカーを上から覆うゴムカバーを採用した。

## 5. 今後の課題

まず、製作した電極プローブの適用試験を、東濃鉱山NATM坑道あるいは釜石鉱山

原位置試験場で実施し、適用性の把握や問題点の抽出を行う。これらの結果を踏まえて、実際の調査に活用していく。

参考文献

- 1) 原位置における不飽和領域の計測手法の研究 (1993) PNC ZJ7308 94-006

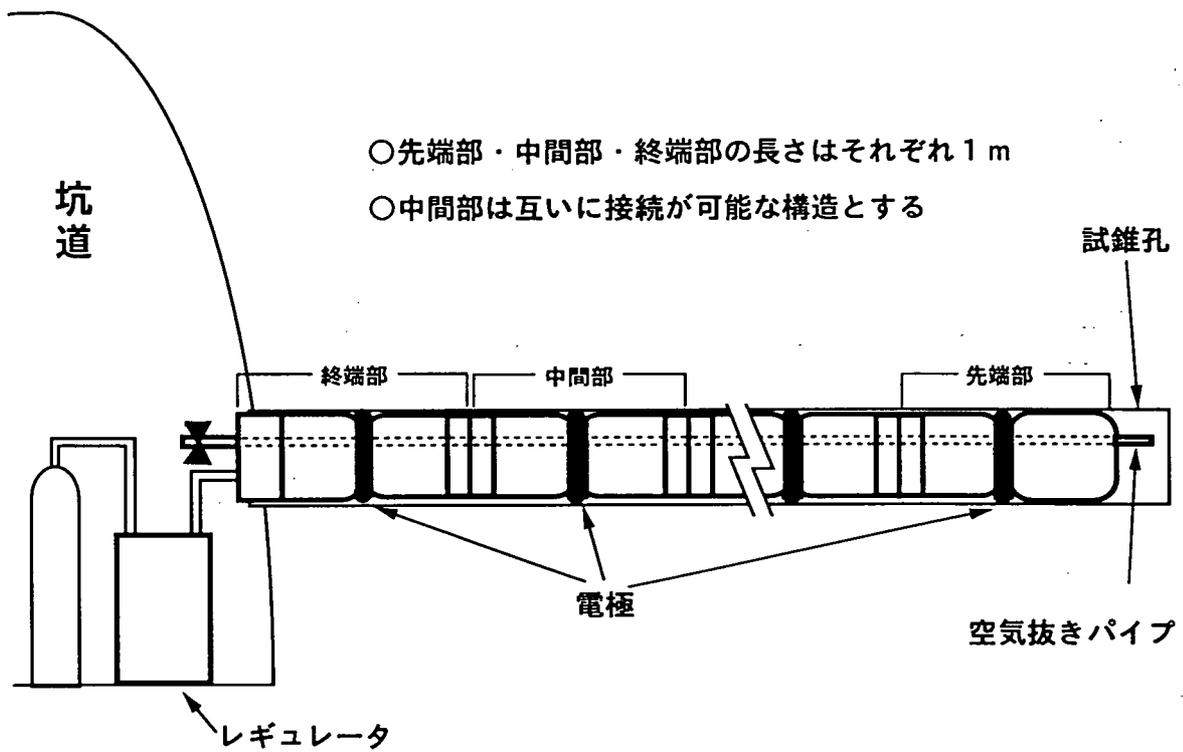


図1-1 電極プローブの概念図

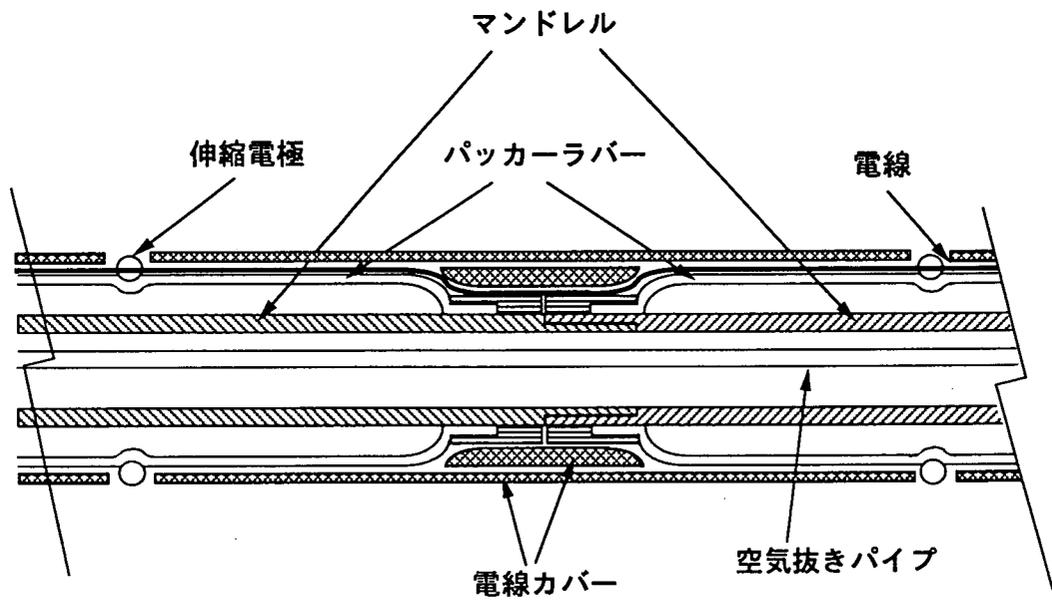


図1-2 電極プローブの断面図 (1)

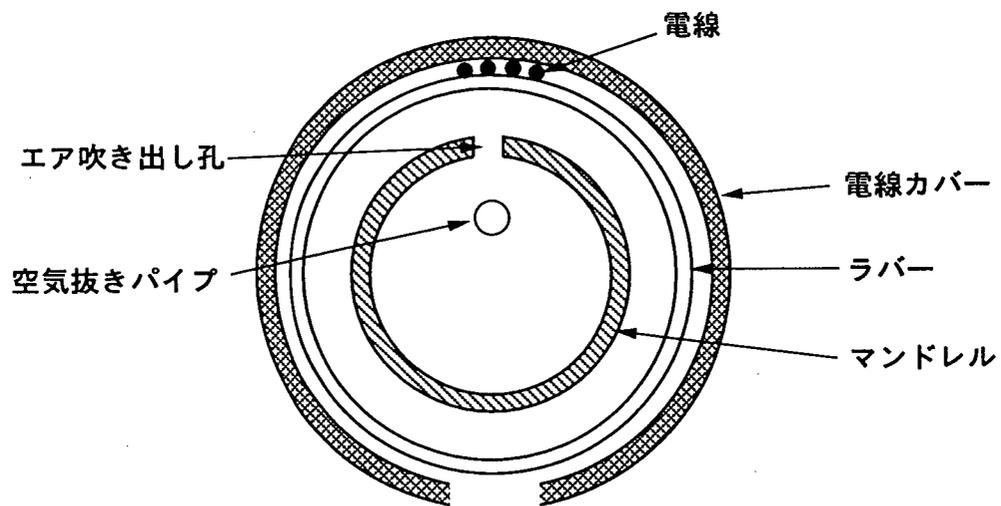


図1-3 電極プローブの断面図 (2)

B-5 比抵抗トモグラフィ調査法データの解析精度向上に関する研究(その3)

(長谷川 健)

## B - 5 比抵抗トモグラフィ調査法データの解析精度向上に関する研究 (その3)

長谷川 健

### 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、各種ジオトモグラフィ技術の開発を行っている。その内の比抵抗トモグラフィについて、平成5年度、データの解析精度向上に関する研究(その3)を九州大学工学部資源工学科探査工学研究室に委託した。ここでは、その研究成果の概要について報告する。

なお、委託研究の成果は報告書「比抵抗トモグラフィ調査法データ解析精度向上に関する研究(その3)(PNC ZJ1606 94-001)」にまとめられている。

### 2. 目的

比抵抗トモグラフィ調査法は、地下の岩盤の電気比抵抗の分布を、従来の電気探査法に比べ非常に高い精度で解析できる調査法であり、特に堆積岩では電気比抵抗と透水係数に密接な関係があることが明らかになっている<sup>1) 2)</sup>ことから、水理地質構造解明のための重要な技術の一つとなるものと考えられる。

平成5年度は、比抵抗トモグラフィ調査法のデータ解析精度の向上をはかることを目的とし、比抵抗に異方性がある場合の2次元逆解析プログラムの開発ならびに3次元構造の解析の可能性の検討を行った。

### 3. 実施内容

#### 3.1 比抵抗に異方性がある場合の2次元逆解析プログラムの開発

比抵抗の異方性を解析する場合、3次元解析を行うのが理想的であるが、3次元解析は現在開発段階にあることから、以下に示す前提条件を設けて2次元での逆解析プログラムを開発した。

〔前提条件〕

き裂性の岩盤について、比抵抗の異方性がき裂の存在にのみ起因している場合を考える(図1)と、き裂面に平行な方向の比抵抗は向きによらず一様であるが、き裂面に直交する方向の比抵抗はこれとは異なると考えられる。そこで、き裂面に直交する向きに $\rho_z$ 軸を取った直交座標系を考えると、 $\rho_x - \rho_y$ 平面はき裂面に平行となるので、 $\rho_x = \rho_y$ である2次元モデルとして取扱うことができ

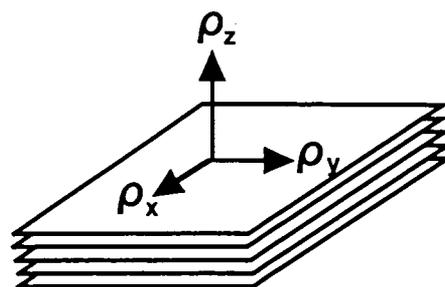


図1 比抵抗異方性の概念図

る(図2)。なお、図2中のXYZ座標は、電極系を規定する座標であり、 $\rho_y$ 軸はY軸と平行である必要があるが、 $\rho_x$ 軸および $\rho_z$ 軸はそれぞれX軸、Y軸に平行である必要はない。

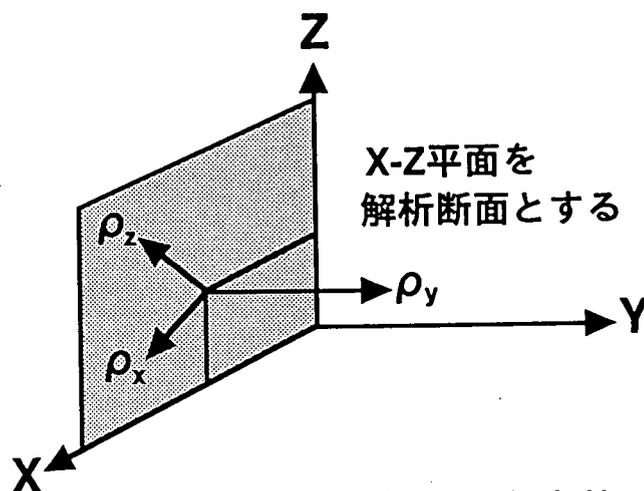


図2 2次元モデルと前提条件

今回採用した2次元モデルの場合、き裂面で代表されるモデルの走向と解析断面は直交している必要があるが、この条件を厳密に満たす形で実際の測定を行うことはかなり困難であることが予想される。そこで、実際の測定の際、この前提条件をどの程度厳密に満たす必要があるのかを知るために、図3(1)に示したモデルを用いて数値実験を行った。モデルは $\rho_x = 50 \Omega\text{m}$ 、 $\rho_z = 100 \Omega\text{m}$ 、 $\theta = 60^\circ$ の異方性均質媒質である。前提条件では $\rho_y$ 軸が紙面に直交していなければならない( $\delta = 90^\circ$ )だが、この $\delta$ が $90^\circ$ からずれた場合の影響について検討した。その結果、図3(2)に示すように $\delta$ が $70^\circ$ 以上であれば、 $\delta$ の値が解析結果に与える影響は無視しうることが明らかになった。

次に、幾つかの2次元異方性モデルを設定し、モデル解析を行った。その一例を図4に示す。モデルは $\rho_x = 50 \Omega\text{m}$ 、 $\rho_z = 100 \Omega\text{m}$ の異方性均質媒質のなかに、 $\rho = 10 \Omega\text{m}$ の等方性低比抵抗岩脈が存在するもの(図4(1))で、等方性を仮定して逆解析すると電極を配置した試錐孔の外側に高比抵抗の偽像が、解析領域の両端部に低比抵抗の偽像が現れる(図4(2))が、異方性を考慮して逆解析した場合、異方性均質媒質の比抵抗ならびに低比抵抗岩脈の位置および比抵抗がほぼ正しく再構成されている(図4(3))ことがわかる。

### 3.2 3次元構造の解析の可能性の検討

前年度までに開発した3次元インバージョン法<sup>3)</sup>をトモグラフィ測定に対応できるように拡張し、3次元構造の解析の可能性について数値実験で検討した。

図5(1)は4本の試錐孔を利用した全空間内のトモグラフィ測定を想定した3次元立体モデルであり、各試錐孔には16の電極点を配置してある。図5(2)が再構成結果であり、モデルの3次元構造がほぼ正しく再構成されていることがわかる。

図6(1)は地表がある場合の3次元立体モデルで、やはり各試錐孔に16の電極点を配置してある。図6(2)が再構成結果である。地表に近い方の低比抵抗体(立方体)の像が明瞭

ではないが、これは用いた測定系がこの低比抵抗体を十分にカバーできていないことが1つの原因であると考えられ、地表にも電極点を配置すれば低比抵抗体に対する分解能は当然向上するものと期待される。

#### 4. 成果

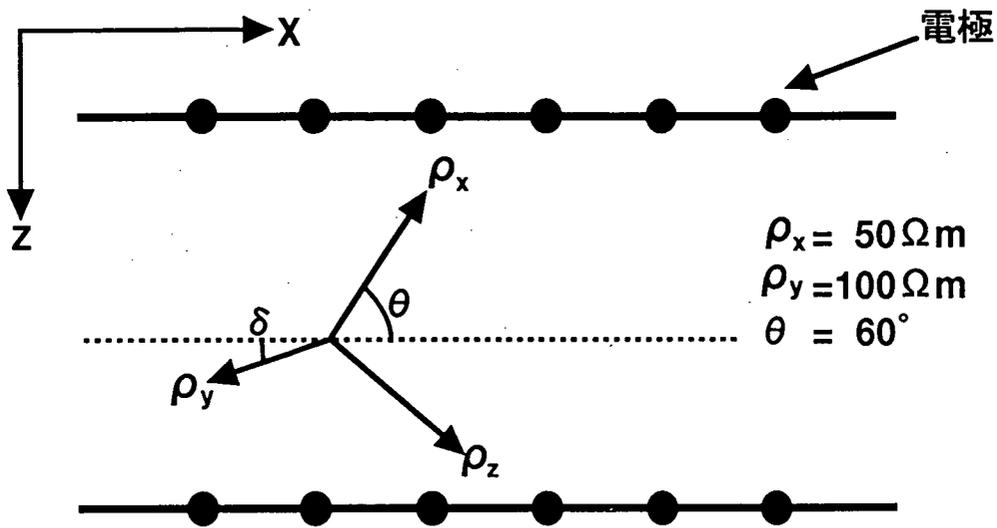
比抵抗に異方性がある場合の2次元逆解析プログラムを開発し、孔間測定により異方性パラメータを解析できることを数値実験により明らかにした。さらに、3次元構造の解析の可能性について数値実験により検討し、複数のボーリング孔や坑道を利用したトモグラフィ測定を行えば、3次元構造の解析が可能であることを明らかにした。

#### 5. 今後の方針

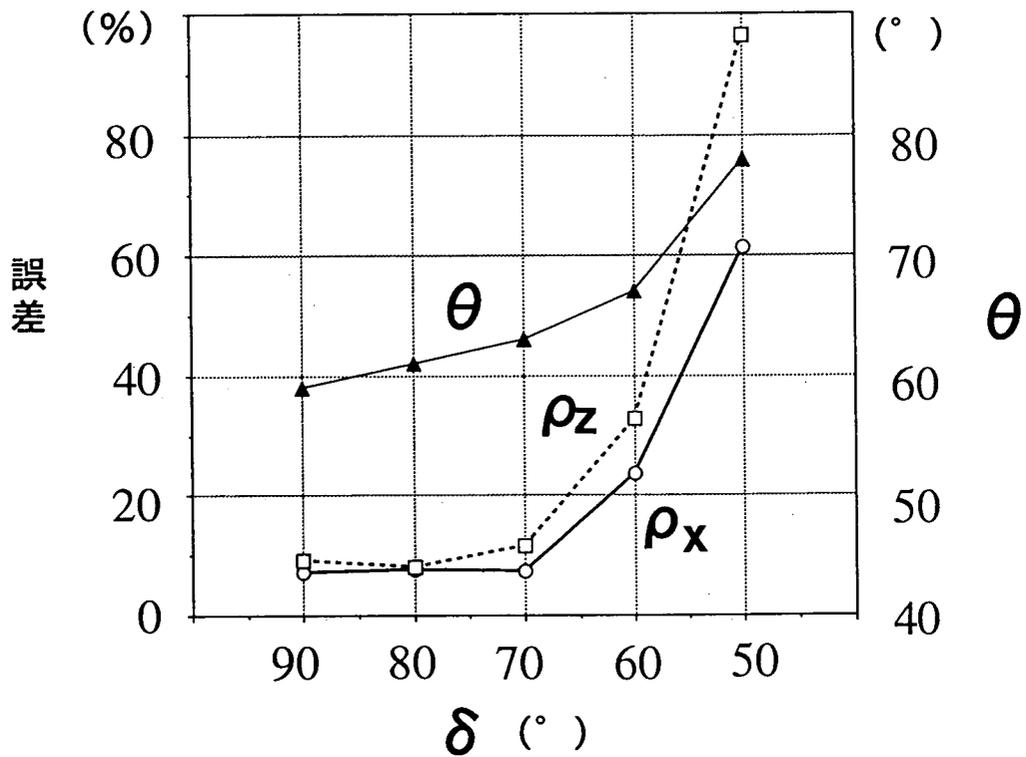
3ヵ年計画で実施してきた「比抵抗トモグラフィ調査法データの解析精度向上に関する研究」を通し、事業団は多大なノウハウと種々のコンピュータープログラムを入手することができた。今後は、この委託研究で得たノウハウを実際の調査に適用していく。また、コンピュータープログラムを中部事業所のワークステーションに移植し、データ解析能力をさらに高めていく予定である。

#### 参考文献

- 1)地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(1)(1989)；尾方伸久，大澤英昭，  
PNC TN7410 90-005
- 2)地下水特性調査技術開発の現状，検層技術(2)(1989)；尾方伸久，大澤英昭，  
PNC TN7410 90-006
- 3)比抵抗トモグラフィ調査法データの解析精度向上に関する研究（その2）(1993)；  
佐々木 裕，PNC ZJ1606 93-001



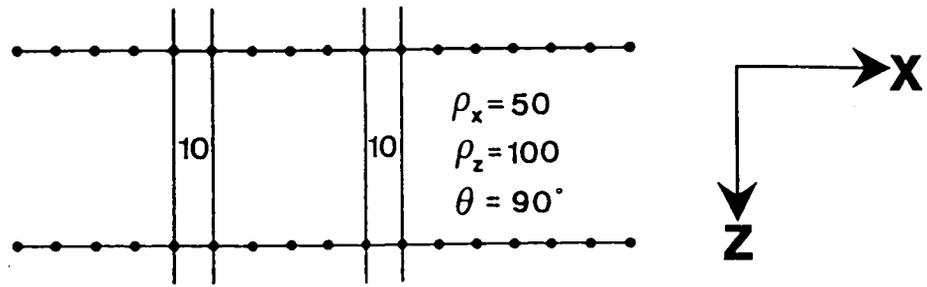
(1) 解析に用いたモデル



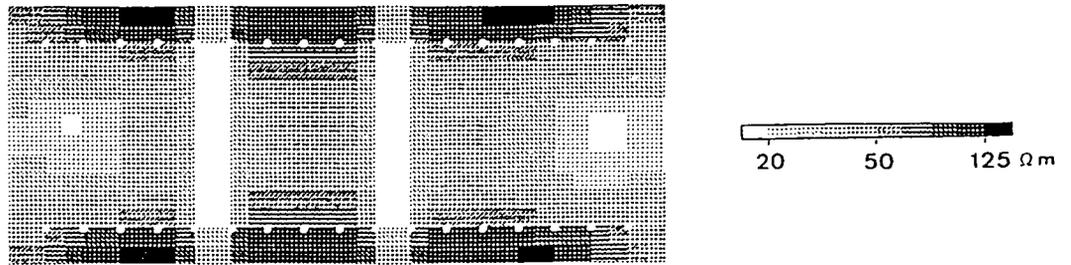
$$\text{誤差} = \frac{\sqrt{\sum (\rho_{i,j}(\text{再構成結果}) - \rho_{i,j}(\text{真値}))^2}}{\text{比抵抗ブロックの個数}}$$

(2)  $\delta$  と解析誤差の関係

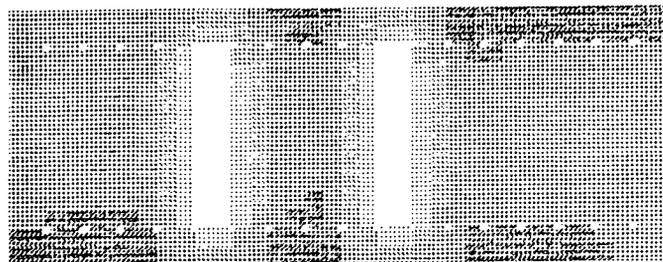
図3  $\rho_y$  軸が解析断面となす角が逆解析に与える影響



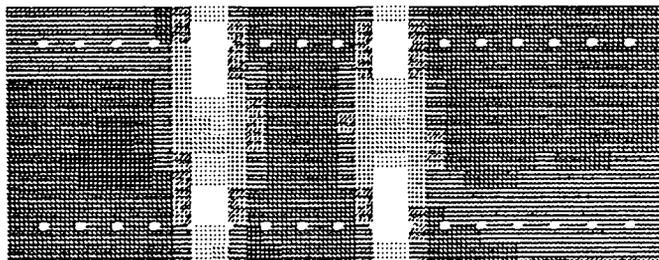
(1) モデル (比抵抗の単位は $\Omega m$ )



(2) 異方性を考慮しない場合の再構成結果



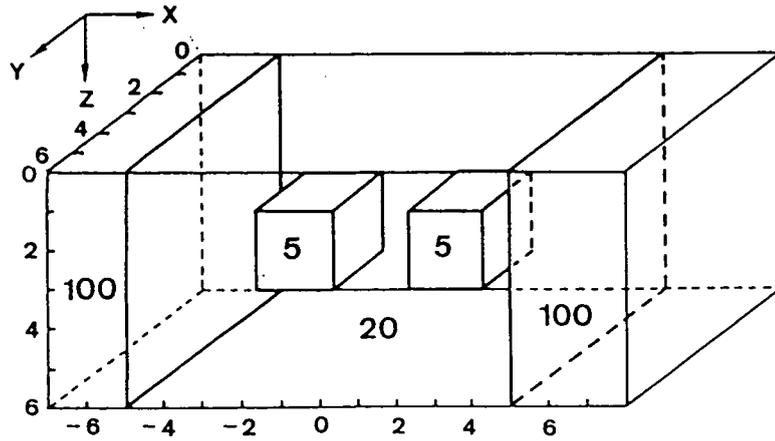
(3-1) x方向の比抵抗の再構成結果



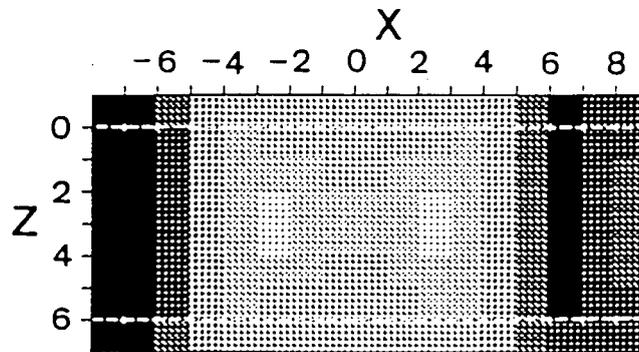
(3-2) z方向の比抵抗の再構成結果

(3) 異方性を考慮した場合の再構成結果

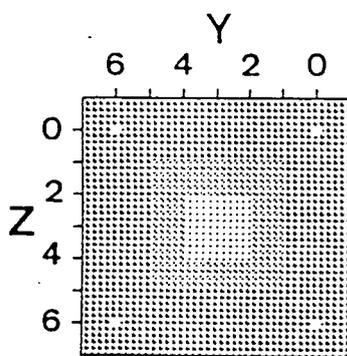
図4 異方性均質媒質中に等方性低比抵抗岩脈が混在する2次元モデルのモデル解析



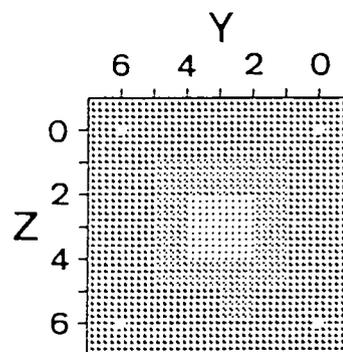
(1) 全空間3次元モデル  
(比抵抗の単位は $\Omega m$ )



(2-1) XZ平面 ( $Y = 3.5$ )



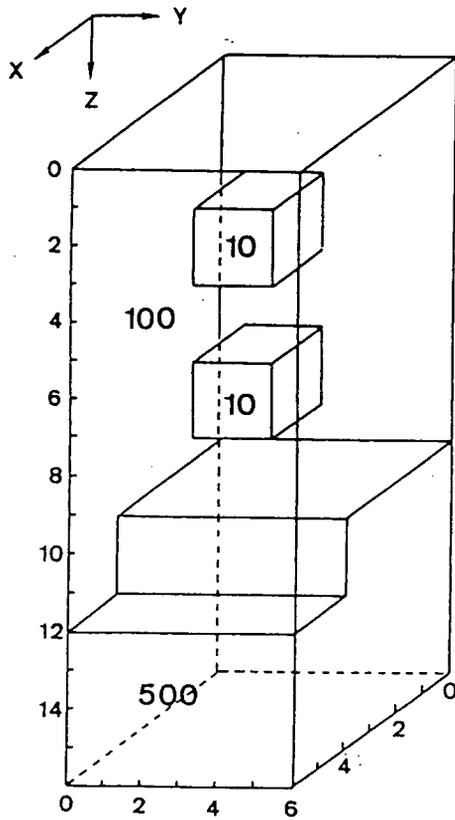
(2-2) YZ平面 ( $X = -2.5$ )



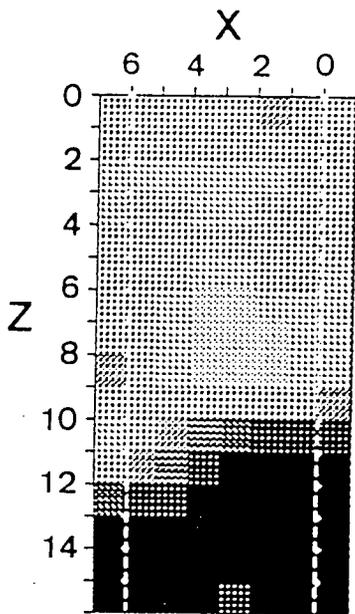
(2-3) YZ平面 ( $X = 2.5$ )

(2) 3次元逆解析による再構成結果

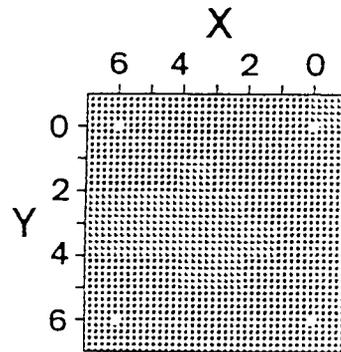
図5 全空間3次元モデルのモデル解析



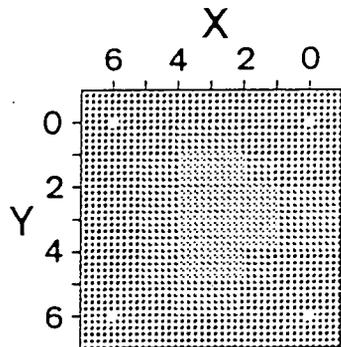
(1) 半無限空間3次元モデル  
(比抵抗の単位は $\Omega m$ )



(2-1) XZ平面 ( $Y=2.5$ )



(2-2) XY平面 ( $Z=2.5$ )



(2-3) XY平面 ( $X=7.5$ )

(2) 3次元逆解析による再構成結果

図6 半無限空間3次元モデルのモデル解析

B-6 試錐孔用広帯域レーダープローブの設計

(長谷川 健)

## 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、試錐孔用広帯域レーダープローブの開発を平成5年度より開始した。

試錐孔用広帯域レーダープローブは、坑道周辺に発達する割れ目の検出とその空間的位置を把握するための調査機器であり、平成5年度はその設計を行った。ここでは、設計の基本思想や機器の仕様について概説する。

なお、設計内容の詳細は報告書「試錐孔用広帯域レーダープローブの設計(PNC ZJ7586 94-003)」にまとめられている。

## 2. 目的および必要性

### 2.1 目的

坑道周辺に発達する割れ目の位置やその空間的広がりを詳細に把握するために、試錐孔用広帯域レーダープローブを開発する。

### 2.2 必要性

釜石原位置試験研究における深部岩盤のゆるみ領域評価のためには、坑道周辺に発達する割れ目の位置やその空間的広がりを詳細に把握する必要がある。試錐孔を用いて割れ目の位置やその空間的広がりを調査するための機器として事業団では孔内用レーダーシステム(RAMAC)を所有しているが、現有のレーダープローブはその周波数が60MHzであり、比較的大きな割れ目や割れ目帯については検出可能であるが、坑道周辺に発達する割れ目を詳細に把握するには波長が長く、十分な調査ができない。

従って、割れ目の詳細な調査を行うために、さらに短い波長を持ったレーダーシステムを開発する必要がある。

### 2.3 開発の基本的考え方

開発を短期間で終了させるため、現有のRAMACシステムの制御部等利用できるところは最大限利用する。

## 3. 開発スケジュール

平成5年度	設計
平成6年度	プロトタイプ製作(室内性能試験を含む)
平成7年度	現場性能試験と改良
平成8年度	現場適用

## 4. 仕様

### 4.1 基本仕様

本装置は、坑道から掘削された試錐孔を利用して坑道周辺の割れ目を調査するための試錐孔用レーダーの孔内プローブであり、割れ目を詳細に把握するため周波数帯域を10～400MHzとする。ただし、制御・収録・解析部は事業団所有の試錐孔用レーダーシステムRAMACを使用する。

### 4.2 基本構成

同装置の概念図を図1に、モジュールの構成図を図2に示す。

基本構成は以下の通りとする。

#### ① レシーバー部

レシーバーアンテナユニット、高周波増幅回路付サンプラーユニット、同期制御回路付A/D変換回路ユニット、光結合ユニット、低圧電源ユニット、バッテリーユニット

#### ② トランスミッター部

トランスミッターアンテナユニット、パルサーユニット、光結合ユニット、高圧電源ユニット、バッテリーユニット

### 4.3 各部の仕様

#### ① トランスミッター部、レシーバー部共通仕様

・周波数帯域	10～400MHz
・サンプリング時間	0.3n秒以上
・プローブ外径寸法	5.5mm以下
・耐圧	20Bar以上

#### ② トランスミッター部

・尖頭出力	300W以上(50Ω負荷)
・アンテナ方式	抵抗装荷ダイポール
・指向性	フェライト遮断方式による

#### ③ レシーバー部

・アンテナ端感度	20μV以上
・A/Dコンバータ	16Bit
・データ転送速度	1.2MBit
・アンテナ方式	抵抗装荷ダイポール
・指向性	フェライト遮断方式による

## 5. 今後の予定

開発スケジュールに従い、平成6年度にプローブの製作を実施する。

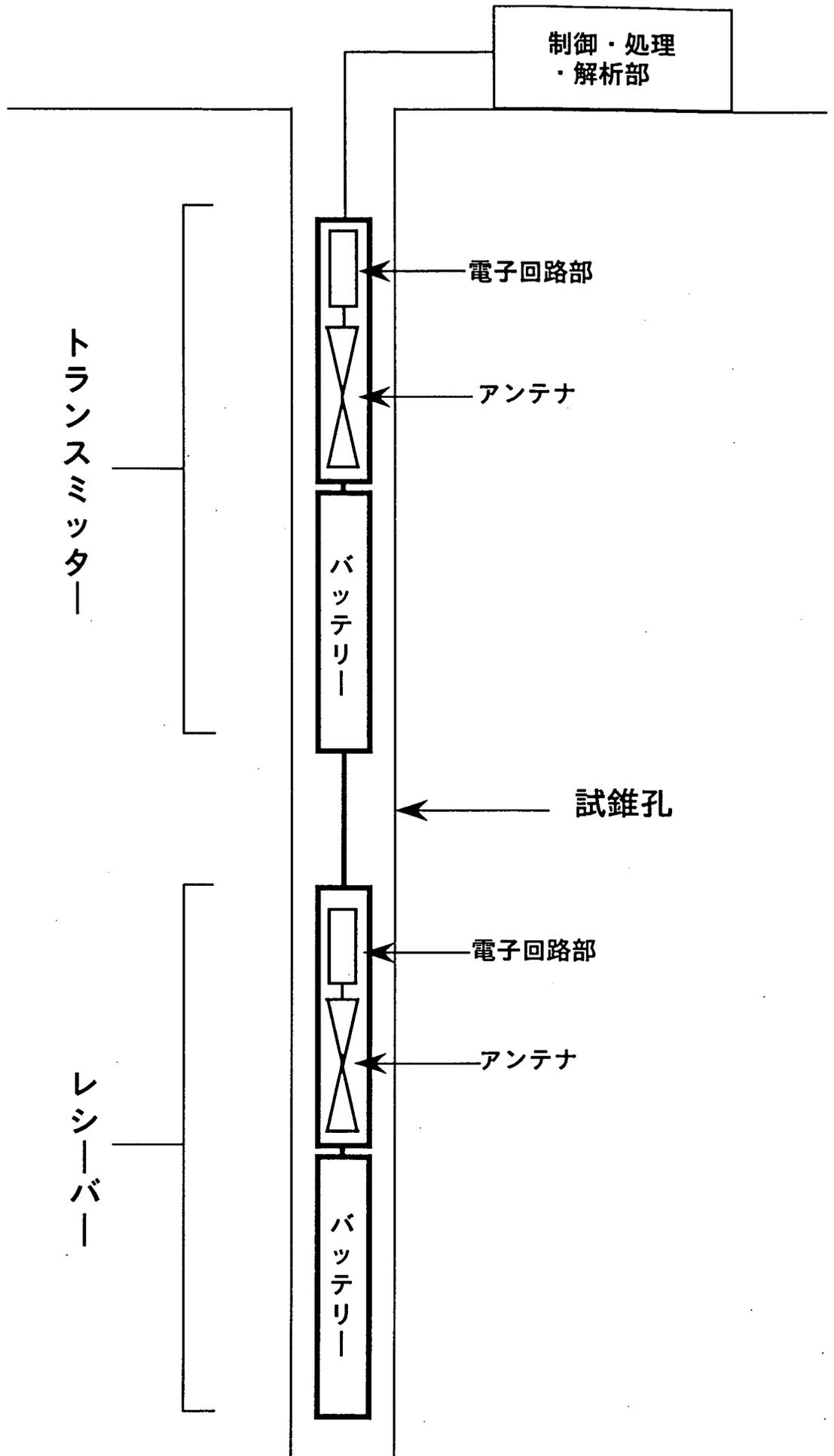


図1 装置の概念図

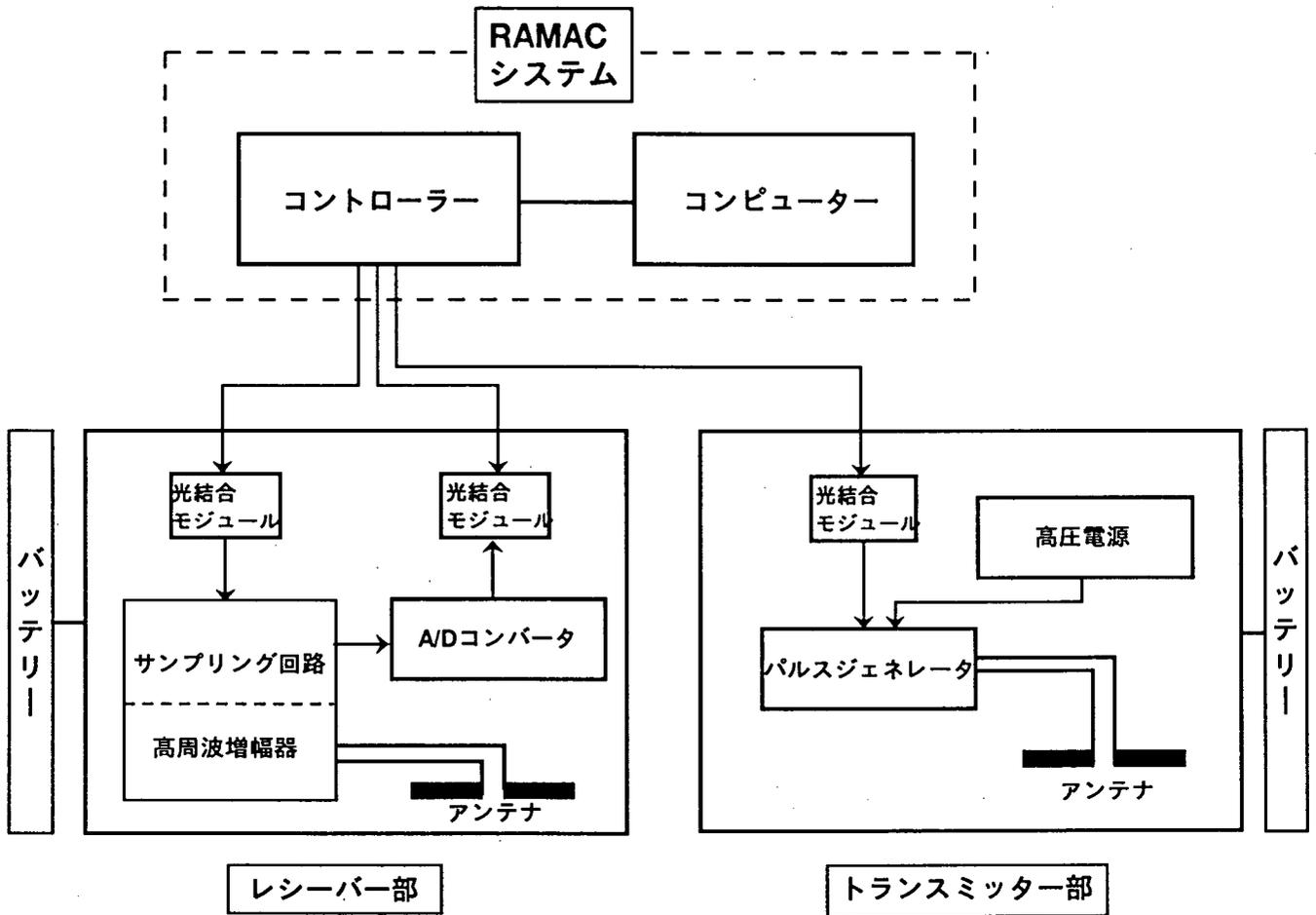


図2 モジュールの構成図

B-7 試錐孔用高周波弾性波震源開発のための基礎データの取得

(長谷川 健)

### 1. はじめに

技術開発課では、地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として各種トモグラフィ技術の開発を行っている。

トモグラフィ技術は土木分野等ではすでに実用の域に達している技術であるが、地層科学研究に応用するためには、さらに分解能を高める必要のあることが指摘されている。

本年度は、トモグラフィ技術の一つである弾性波トモグラフィについて、高分解能を得るために必要不可欠である「試錐孔用高周波弾性波震源」の開発に備え、基礎データを実験により取得した。ここでは、実験の仕様ならびに結果について概説する。なお、実験の仕様や結果の詳細については報告書「試錐孔用高周波弾性波震源開発のための基礎データの取得(PNC ZJ7412 94-001)」にまとめられている。

### 2. 高周波震源の必要性

岩盤の特性を非破壊で調査できる技術の一つに弾性波トモグラフィ調査法があるが、坑道周辺に発達するゆるみ領域の特性をより精度よく把握するためには、現在の弾性波トモグラフィ調査法の分解能をさらに高める必要がある。分解能を向上させるためには、測定点密度を高めればそれでよいように思われるが、実際には測定に使用する弾性波の周波数を測定点の密度に応じて高めなければ、高密度の測定も無意味になってしまう。平成4年度には弾性波震源および受信器についての文献調査を行った<sup>1)</sup>が、その結果を要約すると以下ようになる。

- ①既存の震源のほとんどは、その周波数が数百Hz以下であり、高いものでも1kHz程度である。
- ②既存の震源のほとんどが、発振部分が1m程度ある大型の震源である。
- ③高周波の弾性波振源の振動素子としては、圧電素子系の素子が有望である。

既存の震源の波長を試算すると、岩盤の弾性波伝播速度を3000m/secと仮定すると、周波数1kHzの弾性波の波長は3mとなる。弾性波の分解能は波長あるいは波長の2/1程度といわれている。よって、既存の震源による分解能は2m程度となり、高々数メートルとされているゆるみ領域を精密に調査するには充分ではないことがわかる。

### 3. 実験の目的

文献調査の結果、振動素子として圧電素子系の素子が有望であることが明らかになったが、本来は弾性波震源として開発されたものではないため、弾性波震源としての特性につ

いては不明な点が多い。そこで圧電素子系の素子の弾性波震源としての諸特性を把握するため、基礎データを実験により取得することとした。

#### 4. 実験および結果の概要

図1に示したようなセメントモルタル製の供試体を作成した。供試体には受信素子固定用の試錐孔が掘削されている。実験に使用した圧電素子系の素子は、

- ①圧電素子 (NBL-4528HA1(トーキン社製))
- ②圧電アクチュエータ (MLA. 10x10x18(トーキン社製))

の2種類である。

主な測定項目は、発振周波数・振幅・指向性の3点であり、素子を複数個使用した場合の特性等の把握も合わせて実施した。試験結果を表1～表2にまとめた。

なお、指向性については、両素子とも1個だけの場合は指向性が少ないのに、2個を並列にした場合は指向性が顕著に現れることが明らかになった。

表1 実験パラメータと初動振幅, 初動周波数の関係〔圧電素子〕

パラメータ	初動振幅	初動周波数
電圧 (10~50V)	比例的に増加	ほぼ一定
矩形パルス幅(5~100 $\mu$ s)	10 $\mu$ s で最大	ほぼ一定
素子数 (並列 2, 3 個)	2 個では 1 個の約 2 倍 3 個では 1 個の 3 倍以下	個数が増えると低下
素子間隔 (並列 5~20cm)	間隔 5~10cmで最大	ほぼ一定
素子配置 (並列, 直列)	—	—
発・受信距離(50 ~150cm)	減衰定数 2.5~3.0 (平面波を仮定)	距離とともに低下

表2 実験パラメータと初動振幅, 初動周波数の関係〔圧電アクチュエータ〕

パラメータ	初動振幅	初動周波数
電圧 (3~50V)	10 V以上は一定	ほぼ一定
矩形パルス幅(5~100 $\mu$ s)	10 $\mu$ s で最大	ほぼ一定
素子数 (並列2, 3個)	2個では1個の約2倍 3個では1個の約65%	ほぼ一定
素子間隔 (並列5~20cm)	間隔5cmで最大	ほぼ一定
素子配置 (並列, 直列)	直列では1個の約40%	ほぼ一定
発・受信距離(50~150cm)	減衰定数 求められず	距離とともにやや低下

## 5. まとめ

圧電素子の単体発振では初動周波数が50 KHz とかなり高いが、伝播距離1.5 mで初動周波数は30 KHz 以下に低下する。一方、圧電アクチュエータでは単体の発振では初動周波数が20 KHz と圧電素子に比べると半分以下であるが、距離による初動周波数の低下はほとんど見られない。これは、例え震源が50 KHz の高周波弾性波を発振したとしても高周波成分は急激に減衰してしまい、実際には20 KHz 程度の波しか利用できないことを示唆しており、10 kHz ~ 20 kHz 程度の周波数を目標に震源開発を行うのが妥当であると考えられる。また、素子を励起する電圧や個数を増やすことで発振エネルギーをコントロールできることが確認できた。

今後は、今回得られたデータを基に実際の震源の仕様を検討していく。

## 参考文献

- 1) 弾性波トモグラフィのハードウェアに関する文献調査(1993) PNC ZJ7412 94-001

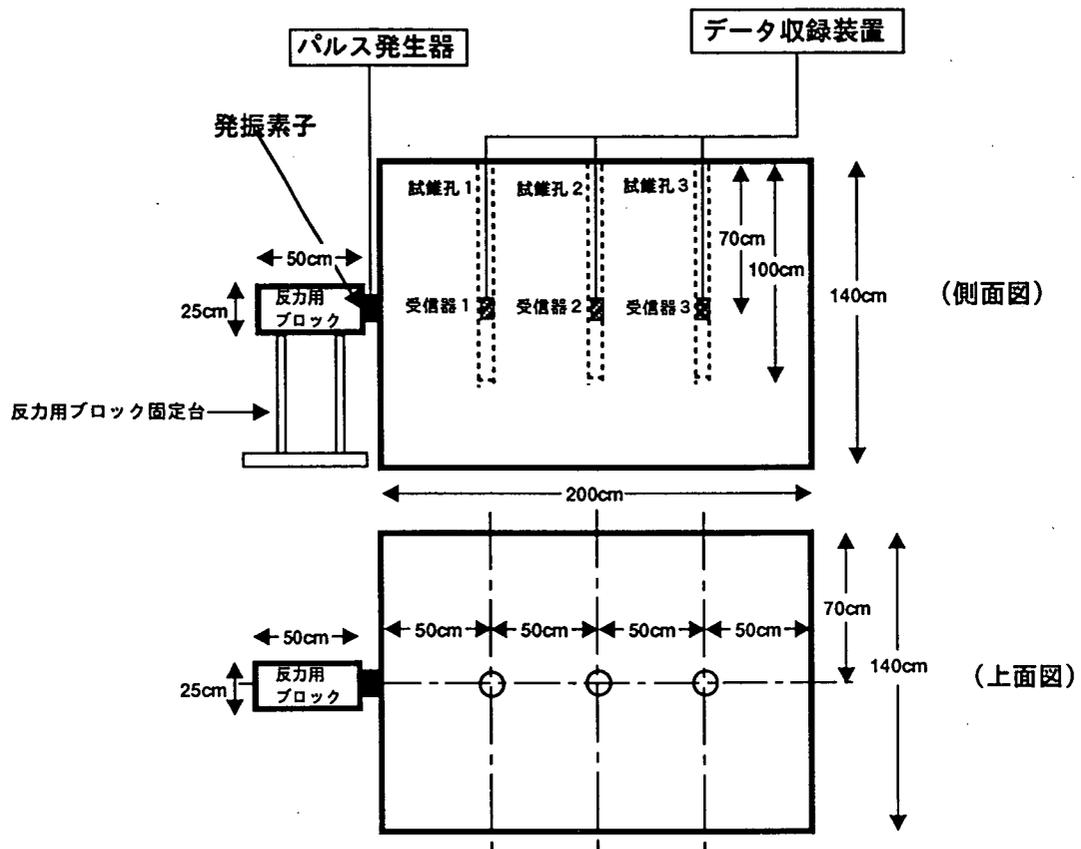


図 1-1 周波数・振幅測定用ブロック及び測定系の概念図

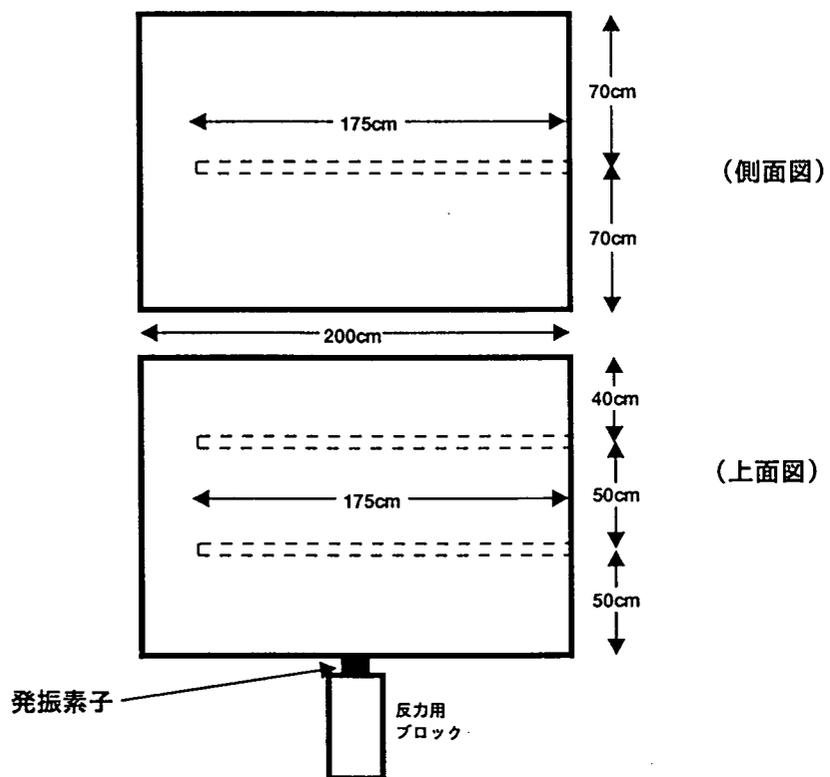


図 1-2 指向特性測定用ブロックの概念図

B-8 弾性波トモグラフィ・速度分布再構成プログラムの改良(その2)

(長谷川 健)

## B - 8 弾性波トモグラフィ・速度分布再構成プログラムの改良

### — 解析領域の形状が複雑な場合への対応について —

長谷川 健

#### 1. はじめに

中部事業所技術開発課では地層科学研究の内、岩盤の特性を調べるための調査技術・機器開発の一環として、各種ジオトモグラフィ技術の開発を行っている。その内の弾性波トモグラフィについては、弾性波の到達時間から岩盤の弾性波速度分布を求める速度トモグラフィの開発を実施してきており、平成3年度に京都大学工学部資源工学科探査工学研究室で開発された弾性波速度分布再構成アルゴリズムを導入<sup>1)</sup>、平成4年度には統計学的情報量基準を用いて最適パラメータ数を決定するためのサブルーチンをメインプログラムに付加した<sup>2)</sup>。平成5年度は、解析領域の形状が複雑な場合、例えば解析領域内に馬蹄形の空洞があるような場合でも逆解析ができるように、プログラムの改良を行った。

本報告では、プログラムの改良の概要ならびに改良したプログラムを用いて行ったモデル解析結果について述べる。

#### 2. プログラムの改良について

既存の弾性波トモグラフィ速度再構成プログラムでは、解析領域を正方形の要素に分割し、1つの要素内での弾性波速度は一定という仮定を設けて、解析領域全体の速度分布を再構成する。この際、弾性波が解析領域内をどういった経路で伝播するのかを計算する必要があるが（以後、この計算をレイトレーシングと呼ぶ）、このレイトレーシングは速度要素をさらに等間隔で分割したメッシュを用いて行っている<sup>1)</sup>（図1参照）。従って、このままでは既知の速度境界が速度要素を横切っているような場合は、正確なモデル形状の表現ができない（図2）。

そこで、今回細かな速度境界の表現を可能とするため、基本メッシュをレイトレーシング用のメッシュとし、レイトレーシング用のメッシュの上に速度要素を張りつけるという考えを採用した（図3）。この改良により、かなり複雑な速度境界を正確に表現できるようになった。

#### 3. モデル解析結果

東濃鉱山N A T M坑道では、掘削影響領域の検出を目的に弾性波トモグラフィの適用試験が実施されている<sup>3)</sup>。測定仕様の概要は図4に示した通りであり、結果を要約すると以下のようなになる。

(1)坑道内に起・受振点を設けない場合は坑道そのものの検出が困難である。

(2)坑道内に起・受振点を設けた場合、掘削影響領域と考えられる速度低下領域が坑道壁面から約1mの深度まで広がっている。

(2)の結果は、後ほど実施された屈折法調査の結果ともよく一致していたが、解析に用い

られたメッシュの大きさが約1m×1mであることから、トモグラフィ解析で得られた1mという数字にどの程度の信頼性があるのかを確認しておくことは、今後の調査の際の仕様を検討する上で貴重な資料となると考えられる。そこで、モデル解析を実施し、実際の速度境界と速度要素の境界の位置関係が解析結果に与える影響について検討した。また、(1)の結果について、坑道が存在することを既知とした場合にどのような解析結果が得られるのかということについても検討を行った。

### 3.1 実際の速度境界と速度要素の境界の位置関係が解析結果に与える影響について

(2)の結果に基づき、岩盤の弾性波速度を2250m/sとし、坑道周辺の速度低下領域を0.5mから2mまで変化させた。この時、速度低下領域の弾性波速度を以下のような考えの基に設定した。必要なモデルは、全体の走時は一定であるが速度構造が異なっている複数のモデルである。(2)の結果では、速度低下領域の弾性波速度は1750m/sであり、その厚みは1mであるから、坑道壁面から2mの位置までの伝播時間は1.016m秒である。この伝播時間が一定になるように速度構造を決めれば、速度構造は異なっているが全体の走時はほぼ一定であるモデルが得られる。

図5(1)は速度低下領域の幅が1m(速度は1750m/s)の場合の速度構造モデルであり、図5(2)が速度の再構成結果である。再構成結果でも、速度低下領域の厚さはほぼ1mであり、速度もかなり正しく再現されている。図6(1)は速度低下領域の幅が0.5m(速度は1432m/s)の場合の速度構造モデルであり、図6(2)が速度の再構成結果である。この場合、速度については実際の速度よりも高く解析されているが、速度低下領域の厚さはほぼ1mと実際の厚さの倍という再構成結果になっている。表1は今回実施したモデル解析結果をまとめたものである。今回のモデル解析の結果、例えば速度要素の大きさが1m×1mの場合、解析の結果得られた低速度帯の幅が1mであっても、実際の厚さは0～2mの間であり、弾性波トモグラフィの解析から真の厚さを解析することが出来ないことが明らかになった。

### 3.2 坑道が既知の場合の解析結果

坑道内に起・受振点を設けない場合の逆解析について、坑道の存在を既知とした場合どのような結果が得られるのかをモデル解析で確認した。図6(1)が速度構造モデル、図6(2)が坑道の存在を与えない場合の再構成結果である。この場合、坑道部分に相当する速度要素にも1500m/s程度の速度が割り振られるが、結果を見やすくするために坑道部分は白く抜いた。図6(3)は坑道の存在を既知として逆解析した場合の再構成結果である。坑道の存在を既知とした場合の方が、より真の構造に近い結果を与えていることが分かる。

利用できる情報を出来るだけ取り込んで解析精度を向上させるという考え方は、今後重要になると考えられる。今回のモデル解析は、今後この種の研究を進めていく上での最初の足掛かりとなるものと期待される。

## 4. 今後の予定

弾性波トモグラフィ速度再構成プログラムの改良については、今回の改良をもって一応

終了した。今後は、モデル解析や実際のデータの解析に活用していく予定である。

プログラムそのものについては、骨格は京都大学工学部資源工学科探査工学研究室で開発されたものであり、学会・業界の認知を受けたものであるが、レイトレーシングの方法やインバージョンの方法について、今後も情報収集を行い、さらに完成度の高いプログラムにしていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1)弾性波トモグラフィ・速度分布再構成プログラムの導入と改良(1992)；長谷川健，山岸明子，平成3年度技術開発課年報(PNC PN7440 92-001)，P.192-P.210
- 2)弾性波トモグラフィ・速度分布再構成プログラムの改良－情報量基準にもとづく最適パラメータ数決定ルーチンの付加－；長谷川健，平成3年度技術開発課年報(PNC PN7440 93-004)，P.16-P.19
- 3)掘削による緩み領域の計測・評価手法の研究開発(Ⅱ)(1989)；大成建設他(PNC SJ4449 89-003(1))，P.110-P.170

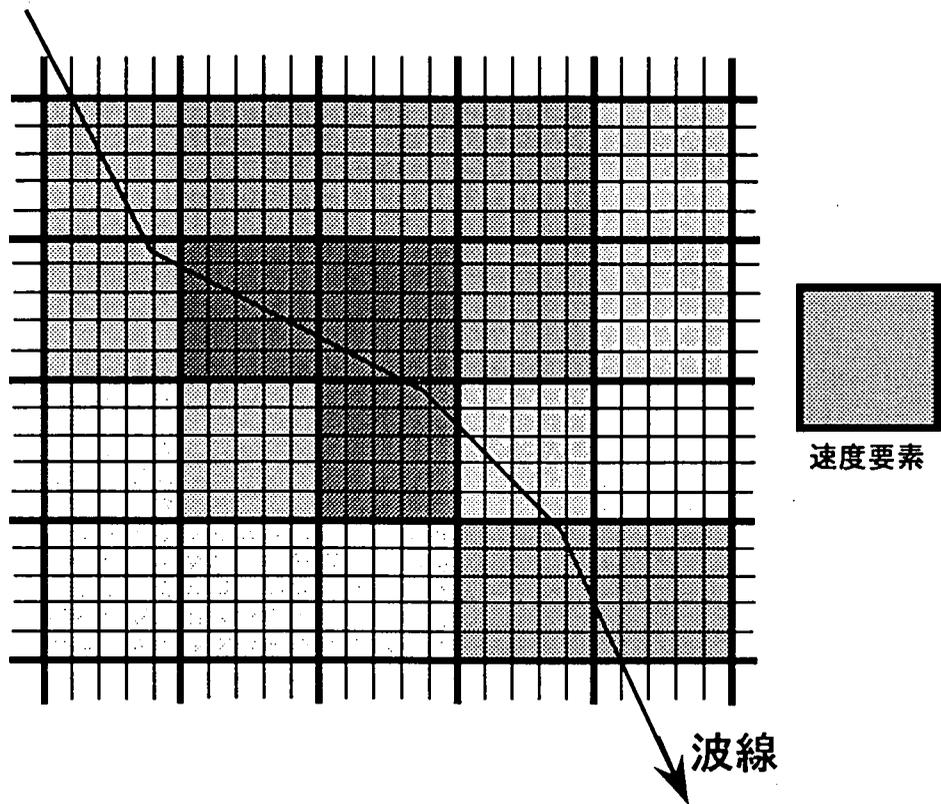


図1 レイトレーシング用メッシュと速度要素の関係

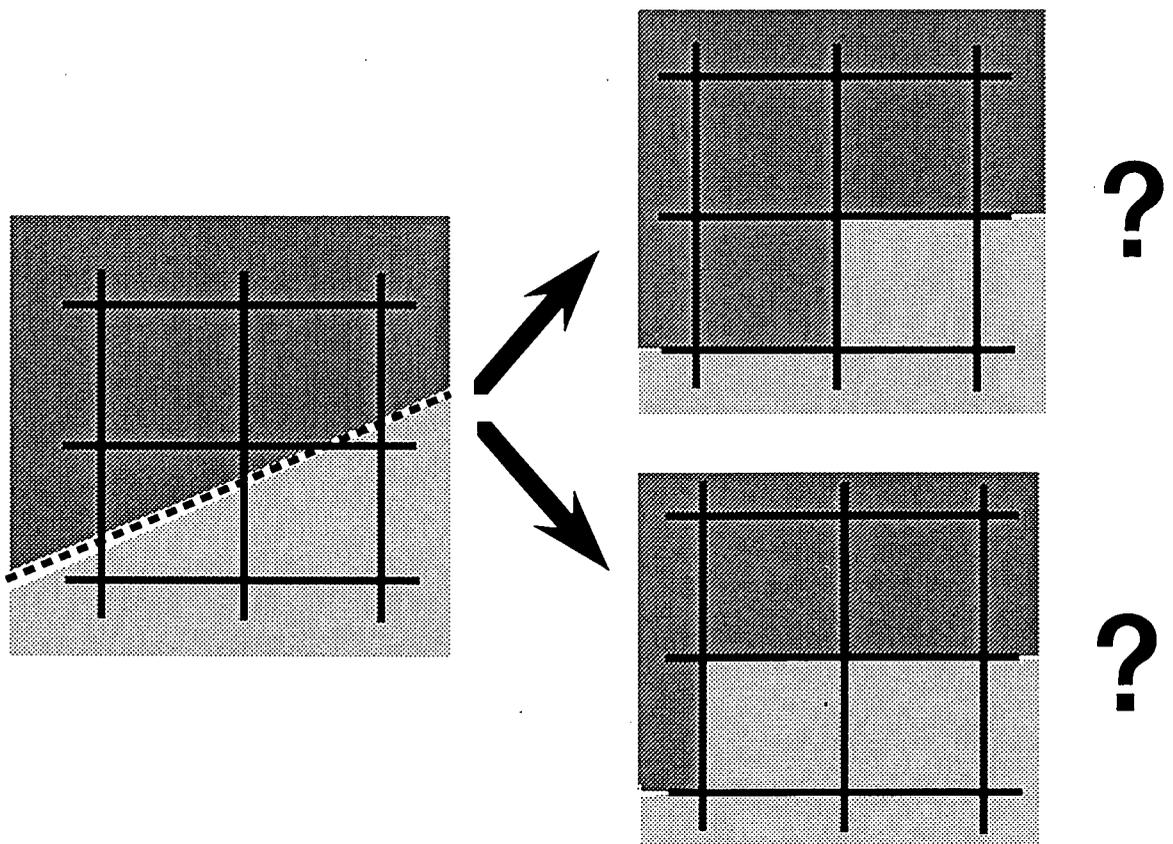


図2 速度境界の設定の際の問題点

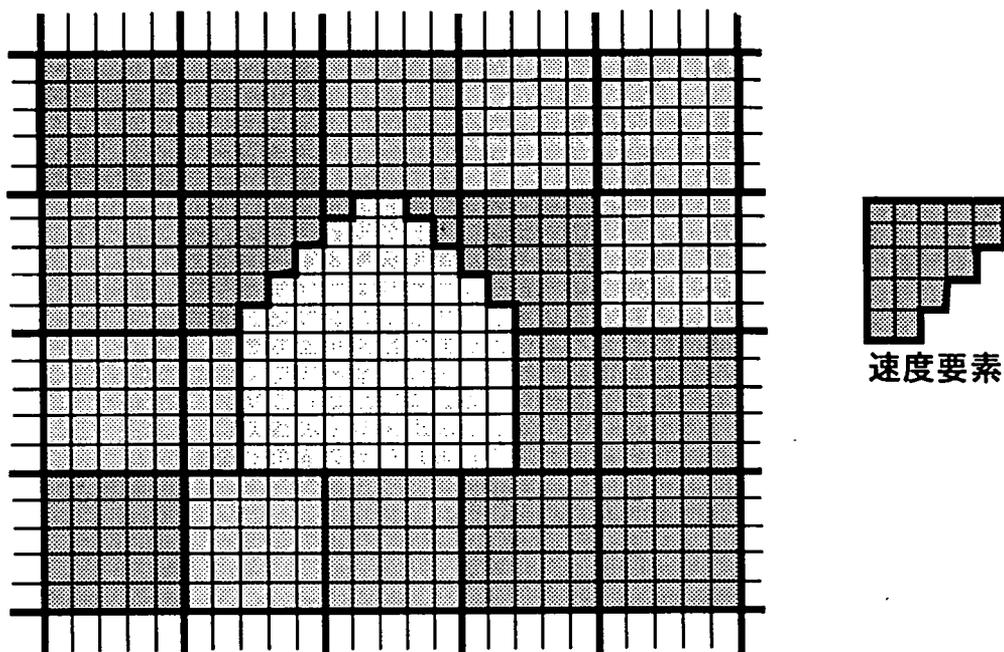


図3 レイトレーシング用メッシュへの速度要素の張り付け  
 レイトレーシング用メッシュを最小単位として速度要素の形を自由に設定できる

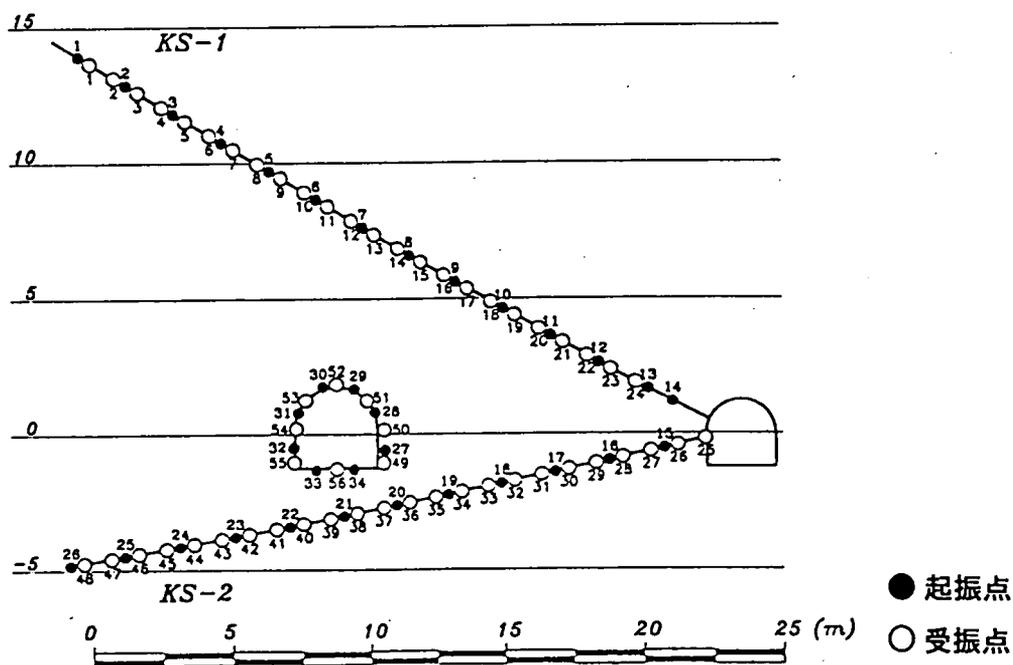
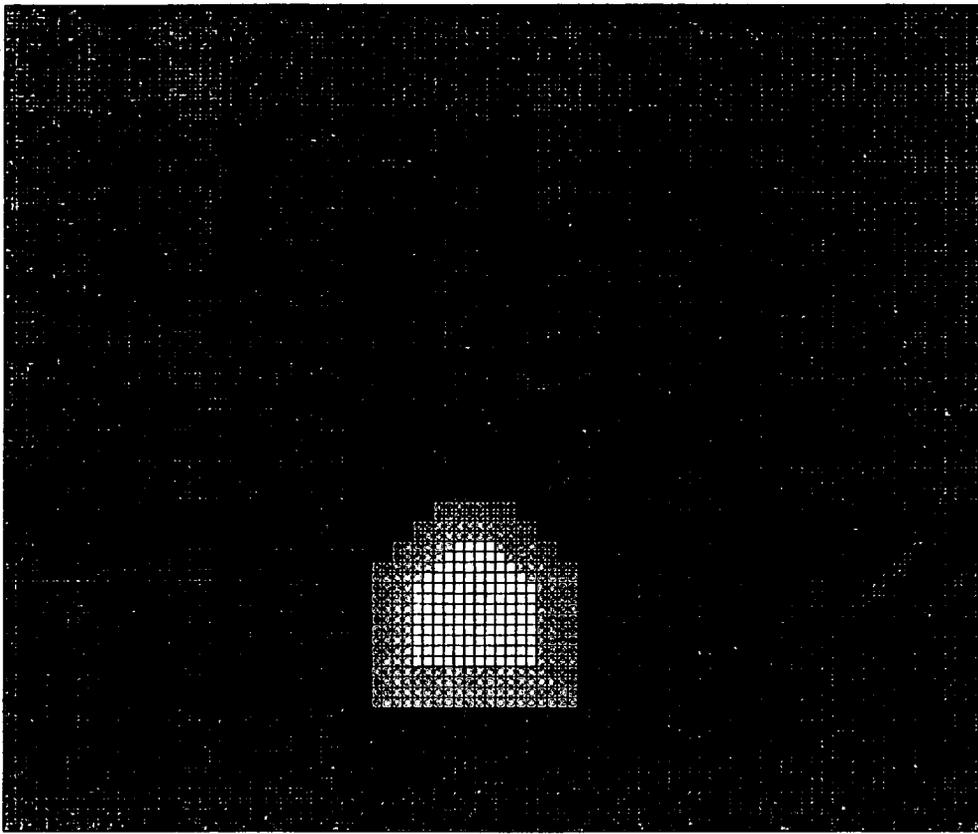
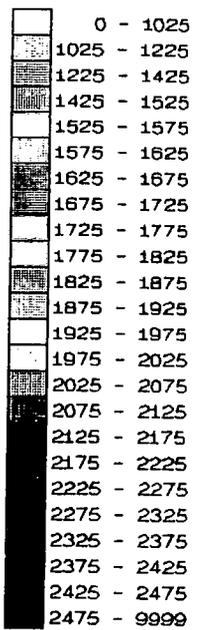


図4 NATM 坑道で行われた弾性波トモグラフィ調査の際の  
 起振点・受振点の配置

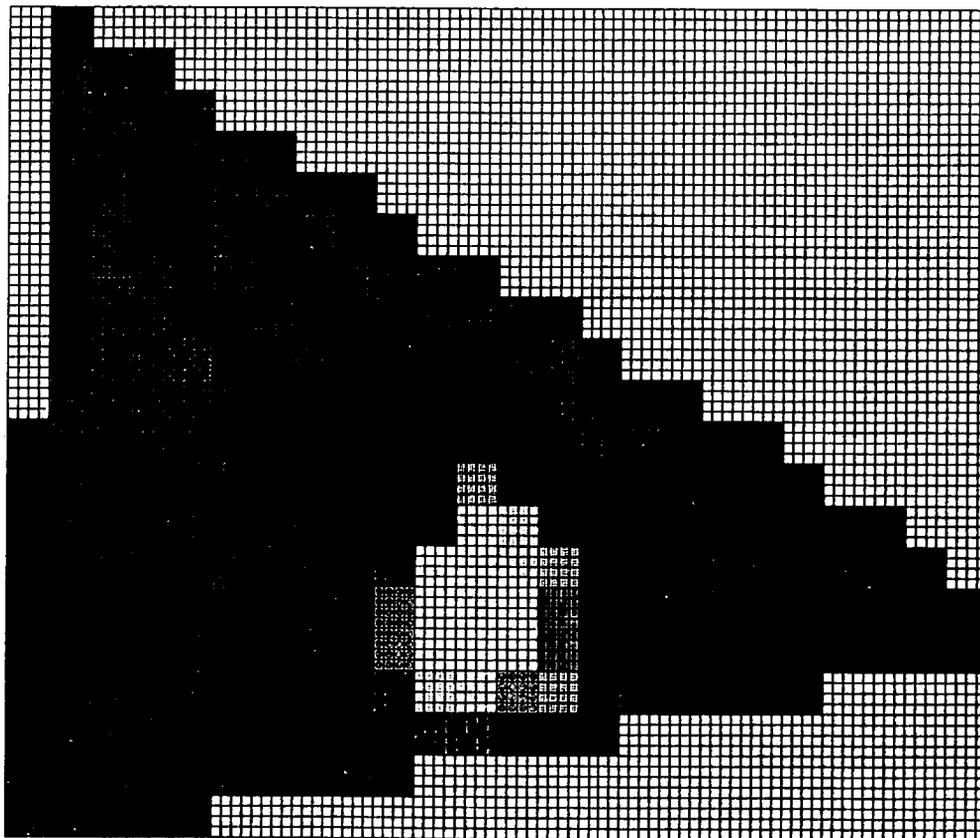


(1) 速度構造モデル      速度低下領域 幅 1 m  
 速度 1750 m/s

m/sec



SEISMIC TOMOGRAPHY  
 PNC CHUBU WORKS

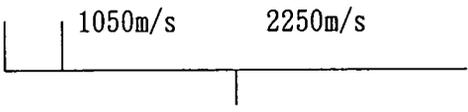
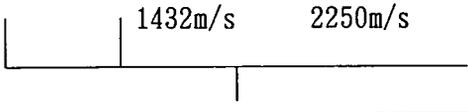
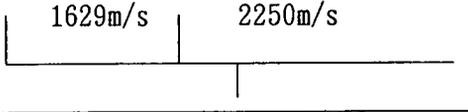
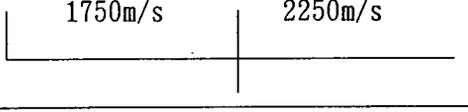
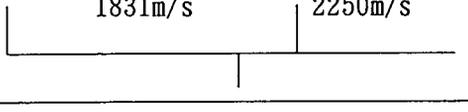
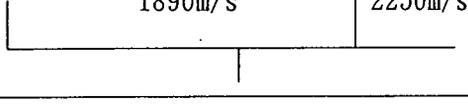
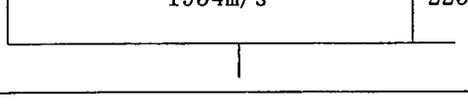
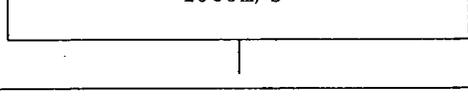
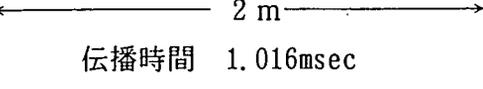


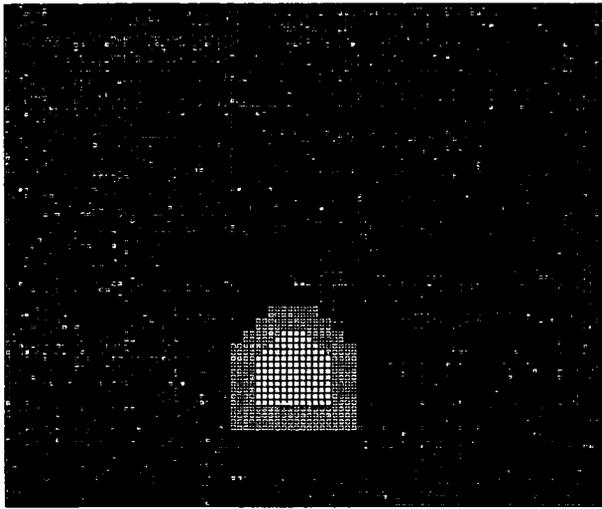
(2) 再構成結果

図5 実際の速度境界と速度要素の境界が解析結果に与える影響

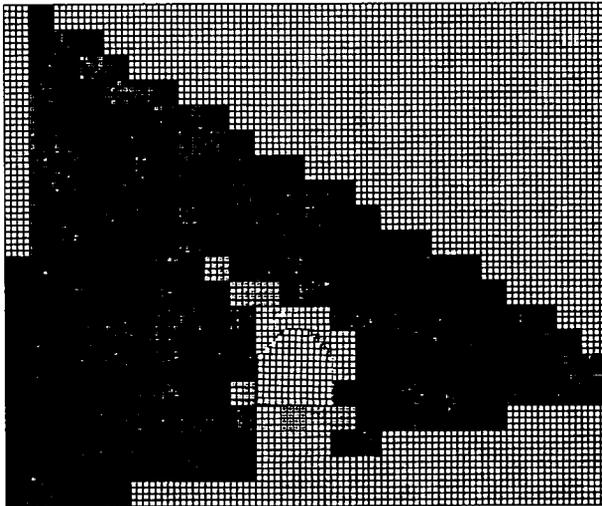


表1 弾性波トモグラフィ・モデル解析結果のまとめ

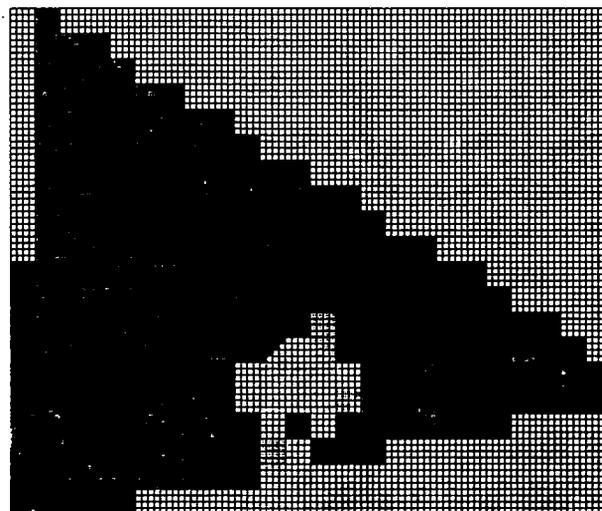
坑道壁面近傍の速度構造	低速度帯幅	結果の要約
	0.25m	低速度帯は解析されない
	0.50m	低速度帯幅 1 m 速度過大評価
	0.75m	低速度帯幅 1 m 速度過大評価
	1.00m	低速度帯幅 1 m 速度はほぼ正しい
	1.25m	低速度帯幅 1 m 速度過小評価
	1.50m	低速度帯幅 1 m 速度過小評価
	1.75m	低速度帯幅 1 m 速度過小評価
	2.00m	低速度帯幅 2 m 速度はほぼ正しい
備		
考	<ul style="list-style-type: none"> <li>・壁面から 2 mの弾性波伝播時間を一定にして、低速度帯の速度と厚さを変化</li> <li>・速度要素の大きさ 1 m × 1 m</li> </ul>	



(1) 速度構造モデル 速度低下領域 幅 1 m  
速度 1750 m/s



(2) 坑道の存在を未知とした場合の再構成結果



(3) 坑道の存在を既知とした場合の再構成結果

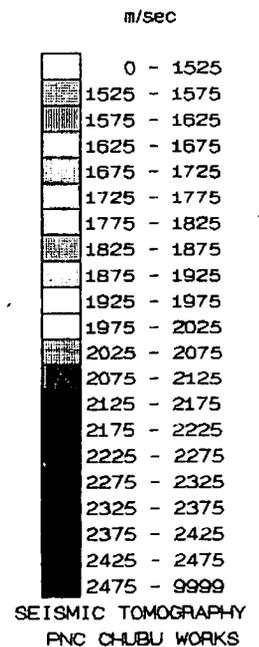


図7 坑道の存在を未知あるいは既知とした場合の再構成結果の比較

B-9 レーダートモグラフィによる屈折波線の影響の検討

(仙波 毅)

## 1. はじめに

動燃事業団では岩盤内の割れ目の位置・規模・その透水性を非破壊でかつ3次的に把握するための調査技術開発の一環として、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システム（RAMAC）を1988年に導入し、日本の岩盤における適用試験を実施してきた<sup>1) 2) 3)</sup>。

RAMACシステムは、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一や不連続面等を調べる手法である<sup>1)</sup>。レーダ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。岩盤の電気的な特性は岩盤の含水量や水の電気比抵抗と密接な関係があり、例えば岩盤中に割れ目等が発達していると、その部分の含水量が多くなる。含水量が多くなると電磁波の速度は遅くなり、減衰は大きくなる。このような含水量の違いに起因する電磁波の速度や減衰特性の変化から岩盤の水理特性に深く関与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<sup>3)</sup>。

岩盤内を伝播する電磁波は、ある電磁波速度を持つ媒質（例えば、岩盤マトリックス部）から別の電磁波速度を持つ媒質（例えば、割れ目帯）に入射する場合、その境界面で反射・屈折するが、レーダートモグラフィにより岩盤内の割れ目帯の分布を把握しようとする場合、一般的に電磁波伝播経路は、送信器（以下、トランスミッタとする）と受信器（以下、レシーバとする）を結んだ直線であると仮定して解析を行う。しかし実際には、上記のように電磁波速度の異なった媒質がある場合には、そこで屈折するため<sup>3)</sup>、伝播経路はトランスミッタとレシーバを結んだ直線とはならない。このときの屈折角は入射角と媒質の速度の比によって決定し、速度の比が1に近づくほど屈折角度と入射角度の差は小さくなる。

本稿では、速度の比がどの程度になると、トモグラフィ解析結果に電磁波が屈折することによる影響が現れるか、すなわち、速度比がどの程度であれば屈折波線を直線波線と仮定してよいかを定性的に評価するために、簡単なモデルを用いて解析を試みたので、その結果について報告する。

## 2. 電磁波の屈折・反射について

図-1のような、異なる媒質（媒質Ⅰ：電磁波速度 $V_1$ 、媒質Ⅱ：電磁波速度 $V_2$ ）の境界面を考える。x軸を境界面にとり、y軸をその垂直方向にとる。

電磁波が媒質Ⅰから入射するとき、入射角を $\theta_i$ とすると、一部は $\theta_i$ で反射し一部は $\theta_r$ で屈折透過する。入射角 $\theta_i$ に対する屈折角 $\theta_r$ はスネルの法則により、媒質Ⅰと媒質Ⅱの電磁波速度から求まり、以下で示される<sup>3)</sup>。

$$\sin \theta_i / \sin \theta_r = V_1 / V_2$$

(1)によれば、 $V_1/V_2$ が1に近づくほど、 $\sin\theta_i / \sin\theta_r$ が1に近づく。すなわち、 $\theta_i$ と $\theta_r$ の差が小さくなるため、伝播経路は直線に近似されていく。

### 3. 解析に用いたモデルおよび解析方法

#### 3.1 モデル

今回用いたモデルは全て3層構造のものとした。図-2に示すように、モデルは1層目と3層目を同じ電磁波速度を持つものとし、2層目は別の電磁波速度を持つものとした。

速度の比は、釜石鉱山と正馬様で実施したトモグラフィ結果を参考として設定した(3.1.2参照)。また、電磁波の伝播経路はそれぞれの速度比について屈折波線の影響を検討するために、直線タイプと屈折タイプを設定した(3.1.1参照)。

##### 3.1.1 直線タイプと屈折タイプ

前述したように、レーダートモグラフィ解析では、一般的に電磁波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ているが、実際の伝播経路は岩盤内の異なる媒質の境界面で屈折している。トモグラフィ解析で用いる走時(トランスミッタで発信された電磁波がレシーバで取得されるまでの時間)は、この屈折した経路を通ってきた時間である。そこで、直線を仮定した伝播経路と屈折を考慮した伝播経路ではトモグラフィ結果にどのような違いが生じるかを検討するために、以下の2種類の伝播経路タイプを考えた(図-3)。

###### ①直線タイプ

伝播経路はトランスミッタとレシーバを結んだ直線と仮定し、走時は屈折を考慮したもの。これは、現在一般的に用いられている解析手法に相当する。

###### ②屈折タイプ

伝播経路、走時とも屈折を考慮したもの。

上記2種類の伝播経路タイプについて、1層目と2層目の電磁波速度を変えてそれぞれトモグラフィ解析を行い、どれくらいの速度比であれば屈折波線の影響が生じるかを検討した。

##### 3.1.2 解析に用いたモデルの速度について

次に、解析に用いたモデルの電磁波速度の設定について述べる。

前述したように、モデルは、3層の速度構造を持ち、1層目と3層目が同じ電磁波速度で、2層目はそれらとは別の電磁波速度としてある。1層目と2層目の速度の比は、釜石鉱山および正馬様で実施したトモグラフィ解析結果の最低速度と最高速度を参考とした。

釜石鉱山の場合、最低速度は  $102.5\text{m}/\mu\text{sec}$ 、最高速度は  $109.2\text{m}/\mu\text{sec}$  で<sup>3)</sup>、低い方の速度を高い方の速度で割った値(以下、この値を速度比とする)は  $0.94$  となり、正馬様の場合、最低速度は  $117.9\text{m}/\mu\text{sec}$ 、最高速度は  $122.2\text{m}/\mu\text{sec}$  で<sup>6)</sup>、速度比は  $0.96$  となる。この速度比に近くなるように、モデルの速度を設定した。

まず、低い方の速度（以下、低速度部）は  $100.0\text{m}/\mu\text{sec}$  で一定とした。次に、高い方の速度（以下、高速度部）は、釜石鉱山および正馬様でのトモグラフィ解析結果から求めた速度比より、それぞれ  $106.5\text{m}/\mu\text{sec}$ （速度比：0.94）および  $104.0\text{m}/\mu\text{sec}$ （速度比：0.96）とした。以下、高速度部が  $106.5\text{m}/\mu\text{sec}$  のものを釜石タイプ、 $104.0\text{m}/\mu\text{sec}$  のものを正馬様タイプとする。

以上のように、速度比を 0.94 と 0.96 とし、直線モデルと屈折モデルについて解析を行い、屈折波線の影響を検討した。

以上で設定したモデルを、以下「設定モデル」と呼ぶ。

### 3.2 トモグラフィ解析

トモグラフィ解析では、3.1で設定したモデルについて走時を計算し、その走時と電磁波伝播経路から電磁波速度分布を再構成する。以下に詳細を示す。

#### 3.2.1 走時の算出

図-4に示すように、トモグラフィ解析の対象領域は42m（深度）×10m（試錐孔間距離）、図の両側に試錐孔を設置した。各試錐孔には、トランスミッタとレシーバを別々に挿入したとし、それぞれ深度0.5mから40.5mの間に2mおきに計21個配置した（波線の合計は441本）。

トモグラフィ解析に用いる走時は各波線について、スネルの法則に基づいて伝播経路を求め、各層を通過する波線の長さと同層の電磁波速度から求めた。例えば、1層目から3層目へ伝播する波線の走時（T）は次式で求める。

$$T = l_1/V_1 + l_2/V_2 + l_3/V_3$$

ここで、 $l_1$ ：トランスミッタと、1層目と2層目の境界面における屈折点間の距離

$l_2$ ：1層目と2層目の境界面における屈折点と、2層目と3層目の境界面における屈折点間の距離

$l_3$ ：2層目と3層目の境界面における屈折点と、レシーバ間の距離

$V_1$ ：1層目の電磁波速度

$V_2$ ：2層目の電磁波速度

$V_3$ ：3層目の電磁波速度（ $=V_1$ ）

このようにして求めた走時を用いて、対象領域内の電磁波速度分布の再構成を試みた。

#### 3.2.2 電磁波速度分布の再構成の方法

電磁波速度分布の再構成を行うために、対象領域を2m×2mのセルで分割し（図-4）、各セル内の電磁波速度は一定と仮定して、対象領域の電磁波速度分布を求めた。解析はRAMACシステムのプログラムと同様に、CG法（Conjugate Gradient method；共役勾配法）を用いた<sup>3)</sup>。このとき使用したプログラムは、平成3年度に導入した京都大学工学部

資源工学科探査工学研究室で開発された弾性波速度分布再構成アルゴリズムを改良したものである<sup>7)</sup>。

実際の調査で取得したデータをトモグラフィ解析し、電磁波速度分布を求める場合、直線波線と仮定した場合は、伝播経路が既知となるが、屈折を考慮しようとした場合には、屈折点の位置は未知であるため、伝播経路も未知となる。今回は、直線モデルと屈折モデルを同じレベルで解析し屈折波線の影響を検討するため、また、屈折波線の影響を検討するための第1段階と位置づけ、屈折モデルでは屈折点の位置をあらかじめ入力して解析を行った。

#### 4. 解析結果

解析は2種類の速度比のタイプ（釜石タイプ、正馬様タイプ）の2種類の伝播経路タイプ（直線モデル、屈折モデル）について、2層目の位置を10m～20mとして行った。以下に、その結果を示す。

なお、モデル名は、例えば

KL-1  
①② ③

のように示してあるが、①の部分は速度比のタイプを示し、「K」は釜石タイプ「S」は正馬様タイプである。②の部分は伝播経路タイプを示し、「L」は直線タイプ「R」は屈折タイプである。③の部分は高速度部がどの層にあるかを示し、「1」は1層目および3層目、「2」は2層目にあるとする。

##### 4.1 釜石タイプ

###### 4.1.1 モデルKL-1、モデルKR-1

図-5にKL-1の結果を、図-6にKR-1の結果を示す。どちらも左から、設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-5と図-6の電磁波速度再構成結果によれば、屈折モデルの結果は設定モデルを良く表しているが、直線モデルの結果は設定モデルとは異なる結果となっている。これは、実際には伝播経路が屈折しているにもかかわらず、伝播経路を直線としたため、各セルを通過する波線の長さが実際とは異なるものになってしまったためである（図-5と図-6の電磁波伝播経路参照）。このようにKL-1のような速度比の設定モデルでは、屈折波線の影響が大きいことがわかる。

###### 4.1.2 モデルKL-2、モデルKR-2

図-7にKL-2の結果を、図-8にKR-2の結果を示す。どちらも左から、設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-7と図-8の電磁波速度再構成結果によれば、モデルKL-1・KR-1と同様、屈折モデルの結果は設定モデルを良く表しているが、直線モデルの結果は設定モデルとは異なる結果となっている。これは、実際には伝播経路が屈折しているにもかかわらず、伝播経路を直線としたため、各セルを通過する波線の長さが実際とは異なるものになってしまったためである（図-7と図-8の電磁波伝播経路参照）。このようにKL-2のような速度比の設定モデルでは、屈折波線の影響が大きいことがわかる。

## 4.2 正馬様タイプ

### 4.2.1 モデルSL-1、モデルSR-1

図-9にSL-1の結果を、図-10にSR-1の結果を示す。どちらも左から、設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-9と図-10の電磁波速度再構成結果によれば、屈折モデルの結果、直線モデルの結果とも設定モデルを良く表している。これは、実際の屈折した伝播経路を直線と仮定しても、各セルを通過する波線の長さがほとんどかわらないためである（図-9と図-10の電磁波伝播経路参照）。このようにSL-1のような速度比の設定モデルでは、屈折波線の影響が小さいことがわかる。

### 4.2.2 モデルSL-2、モデルSR-2

図-11にSL-2の結果を、図-12にSR-2の結果を示す。どちらも左から、設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-11と図-12の電磁波速度再構成結果によれば、モデルKL-1・KR-1と同様、屈折モデルの結果、直線モデルの結果とも設定モデルを良く表している。これは、実際の屈折した伝播経路を直線と仮定しても、各セルを通過する波線の長さがほとんどかわらないためである（図-11と図-12の電磁波伝播経路参照）。このようにSL-2のような速度比の設定モデルでは、屈折波線の影響が小さいことがわかる。

## 5. 直線波線と仮定してよいと考えられる速度比について

前章で速度比が釜石タイプ（速度比：0.94）と正馬様タイプ（速度比：0.96）の結果について示し、釜石タイプは屈折波線の影響が大きく、正馬様タイプは屈折波線の影響が小さいことがわかった。

そこで、速度比がどの程度であれば屈折波線の影響が現れるかを把握するために、速度比が0.95（高速度部の速度：105m/μsec）の設定モデルを考えた。その結果を図-13～図-16に示す。図-13と図-15は直線タイプ、図-14と図-16は屈折タイプで、図-13と図-14は1層目と3層目が高速度部、図-15と図-16は2層目が高速度部である。また全てのモデルについて、2層目の位置は深度10m～20mであり、左から設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-13と図-14および図-15と図-16の電磁波速度再構成結果によれば、屈折タイプの

結果（図-14・図-16）は設定モデルを良く表しているが、直線タイプの結果（図-13・図-15）は設定モデルとは異なるものとなっている。このように、速度比が 0.95 となる場合は屈折波線の影響があることがわかった。

次に、速度比が 1 に近づくほど屈折波線の影響が小さくなると考えられるため、これを確認するために、速度比が 0.96（正馬様タイプ）より 1 に近い、0.97（高速度部の速度：103m/ $\mu$ sec）の速度比の設定モデルを考えた。その結果を図-17～図-20に示す。図-17と図-19は直線タイプ、図-18と図-20は屈折タイプで、図-17と図-18は 1 層目と 3 層目が高速度部、図-19と図-20は 2 層目が高速度部である。また全てのモデルについて、2 層目の位置は深度 10m～20m であり、左から設定モデル、電磁波伝播経路、電磁波速度再構成結果を示す。

図-17と図-18および図-19と図-20の電磁波速度再構成結果によれば、屈折タイプの結果（図-18・図-20）、直線タイプの結果（図-17・図-19）とも設定モデルを良く表している。このように、速度比が 0.97 となる場合は屈折波線の影響が小さいことがわかった。

以上から、速度比が 0.96 以上であれば、屈折波線の影響が小さく電磁波伝播経路を直線としても問題はないが、0.96 未満となれば屈折波線の影響が大きくなるため、屈折を考慮した解析をしたほうがよいことがわかった。

## 6. まとめ

今回、屈折波線の影響を検討するための第 1 段階として、4 種類の速度比のタイプを設定し、それぞれ 2 種類の電磁波伝播経路のタイプの電磁波速度の再構成を行なった。そして、直線タイプと屈折タイプの結果を比較することにより、速度比がどの程度になると、トモグラフィ解析結果に電磁波が屈折することによる影響が現れるかを検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 速度比が 0.96 以上の場合は、電磁波の伝播経路を直線と仮定してもよい。
- (2) 速度比が 0.96 未満の場合は、屈折波線の影響が大きくなるため、詳細なトモグラフィ解析を行うためには、屈折を考慮したほうがよい。

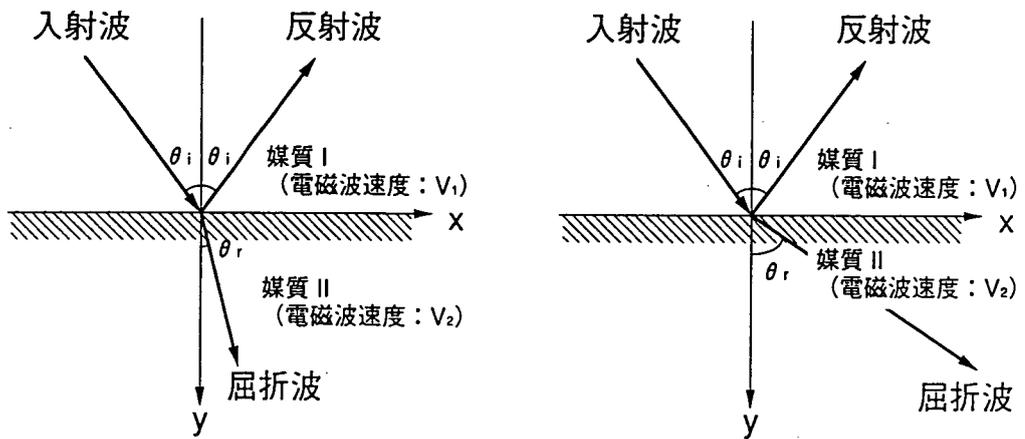
以上のように、今回簡単なモデルを用いて屈折波線の影響を定性的に検討した結果、速度比がどの程度になれば、トモグラフィ解析結果に電磁波が屈折することによる影響が現れるかがわかった。

今回の解析では、屈折モデルについては屈折点の位置をあらかじめ入力しておいたが、実際の調査で取得したデータを解析する場合、屈折点の位置は未知であるため、屈折点の位置を求めるために電磁波伝播経路の決定（レイトレーシング）が必要となる。屈折波線の影響をさらに詳細に検討するためには、屈折点の位置を未知とした解析を行う必要があるが、レイトレーシングを行う際には計算誤差が含まれるため<sup>1)</sup>、誤差の程度を把握する必要がある。

そこで今後は、レイトレーシングの計算誤差がどの程度であるかを明らかにし、レイトレーシングの誤差と直線モデルの誤差を比較し、どちらの精度が高いかを把握することによって、速度比がどの程度であれば直線波線と仮定してよいかを定量的に検討していく必要がある。

#### 参考文献

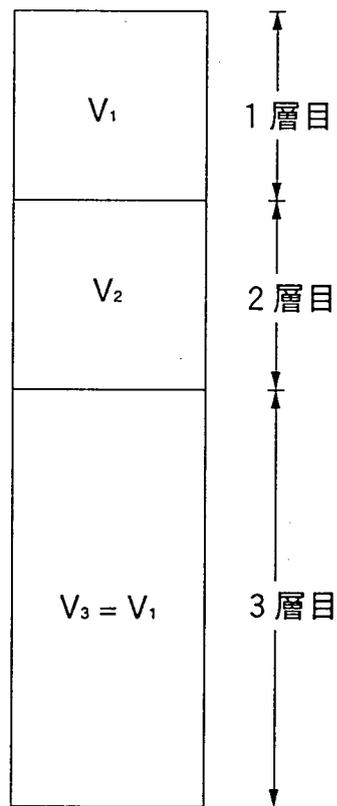
- 1) 佐久間秀樹, 坪田浩二 (1988) : 土岐花崗岩におけるRAMACシステムの適用試験について、物理探査学会第78回学術講演論文集、pp. 305-309
- 2) 仙波毅, 尾方伸久, 坪田浩二, 大沢英昭 (1989) : ボアホールレーダの適用例 (特に花崗岩に対するRAMACの適用)、地下電磁計測ワークショップ - 地下探査レーダ, ボアホールレーダの現状と展望 - 論文集、pp. 66-7
- 3) 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健, 岩崎浩, 渡辺邦夫 (1992) : ボアホールレーダによる花崗岩岩盤特性調査 - 釜石原位置試験場における調査結果について -、応用地質、第32巻、6号、pp. 34-42
- 4) OLSSON, O., FALK, L., FORSLAND, D., LUNDMARK, L., SANDBERG, E. (1987): Crosshole Investigation -Results from Borehole Radar Investigations, Stripa Project TR 87-11, SKB, Stockholm, Sweden
- 5) 堤井信力 (1978) : 電磁波の基礎、内田老鶴圃
- 6) 仙波毅 (1992) : 東濃地域の花崗岩を対象にしたレーダー法クロスホール調査 - 反射波に着目した解析結果について、平成3年度技術開発課年報 PNC PN7440 92-001、pp. 156-171
- 7) 長谷川健, 山岸明子 (1992) : 弾性波トモグラフィ・速度構造プログラムの導入と改良、平成3年度技術開発課年報 PNC PN7440 92-001、pp. 192-210



(a)  $V_1 > V_2$  の場合

(b)  $V_1 < V_2$  の場合

図一 異なる媒質の境界面における電磁波の反射・屈折



図一 2 モデル説明図

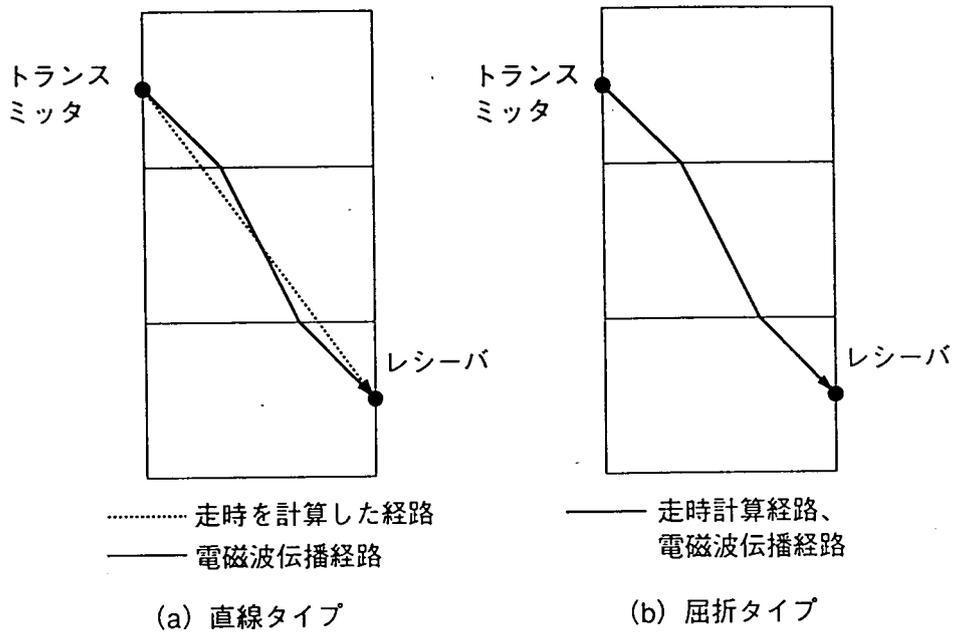


図-3 直線タイプと屈折タイプ

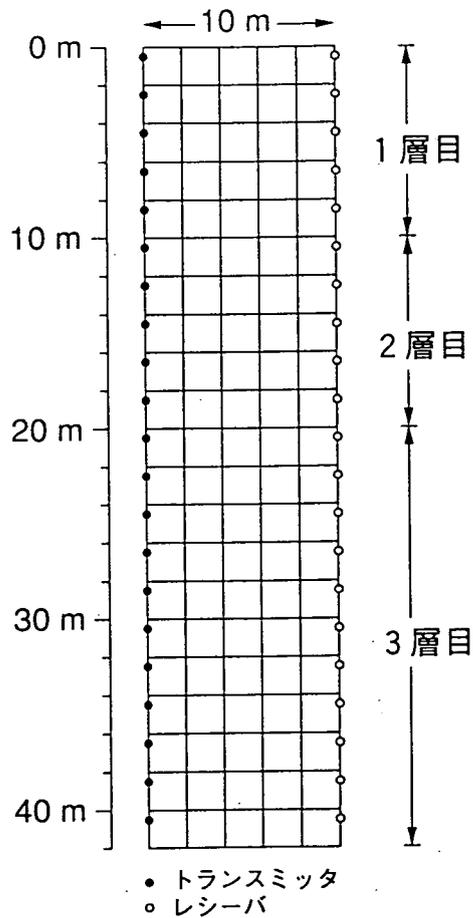
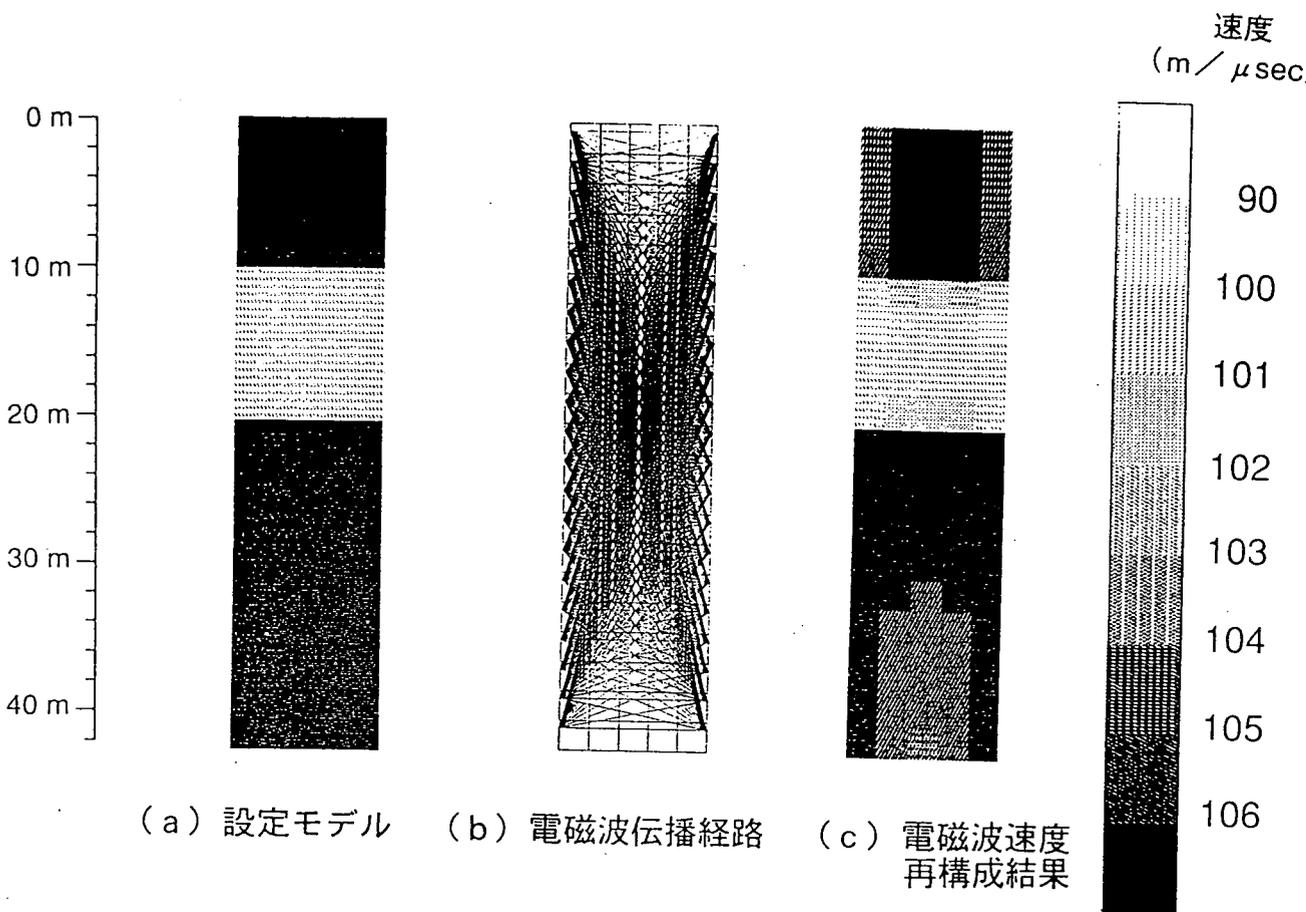
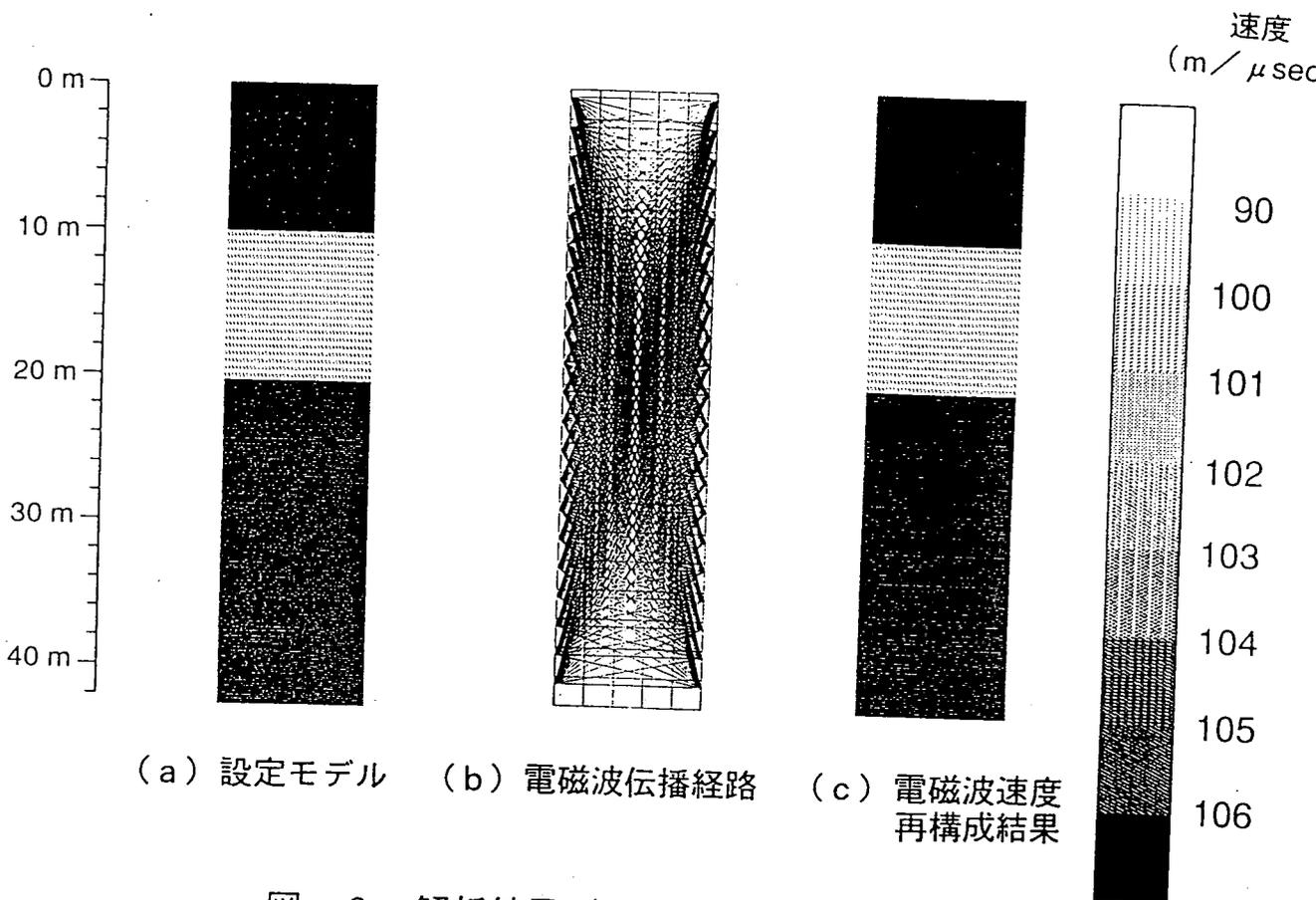


図-4 解析領域

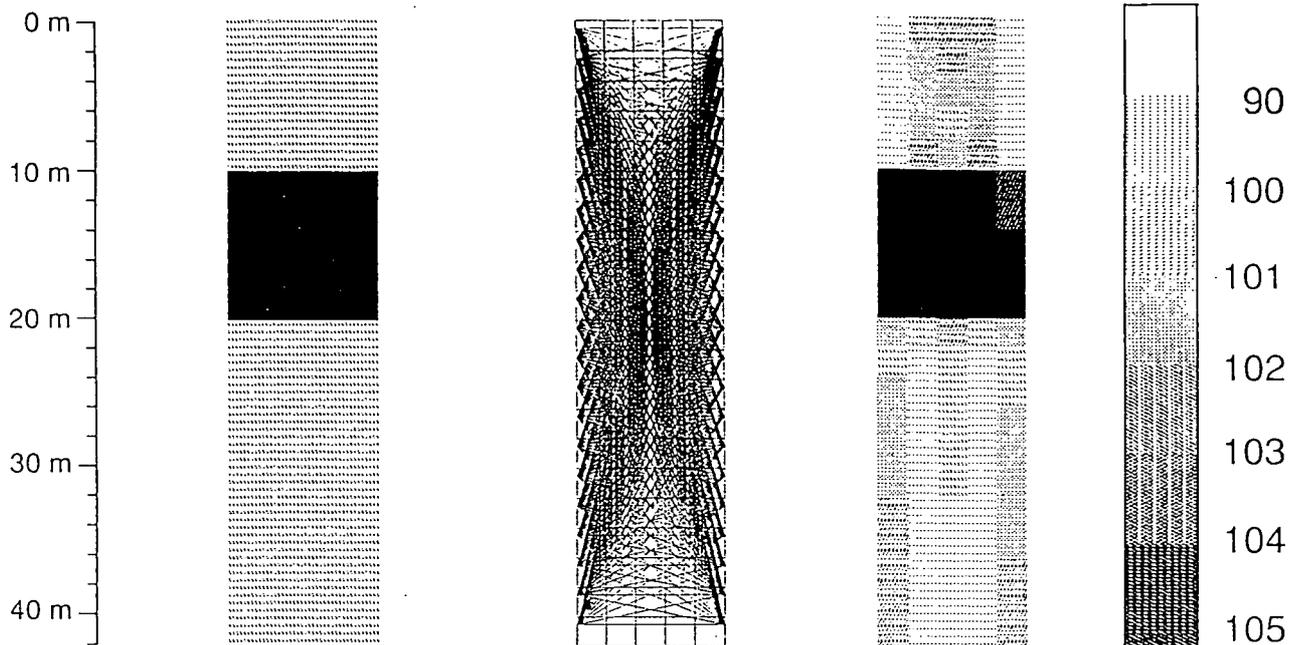


図一五 解析結果 (モデル KL-1)



図一六 解析結果 (モデル KR-1)

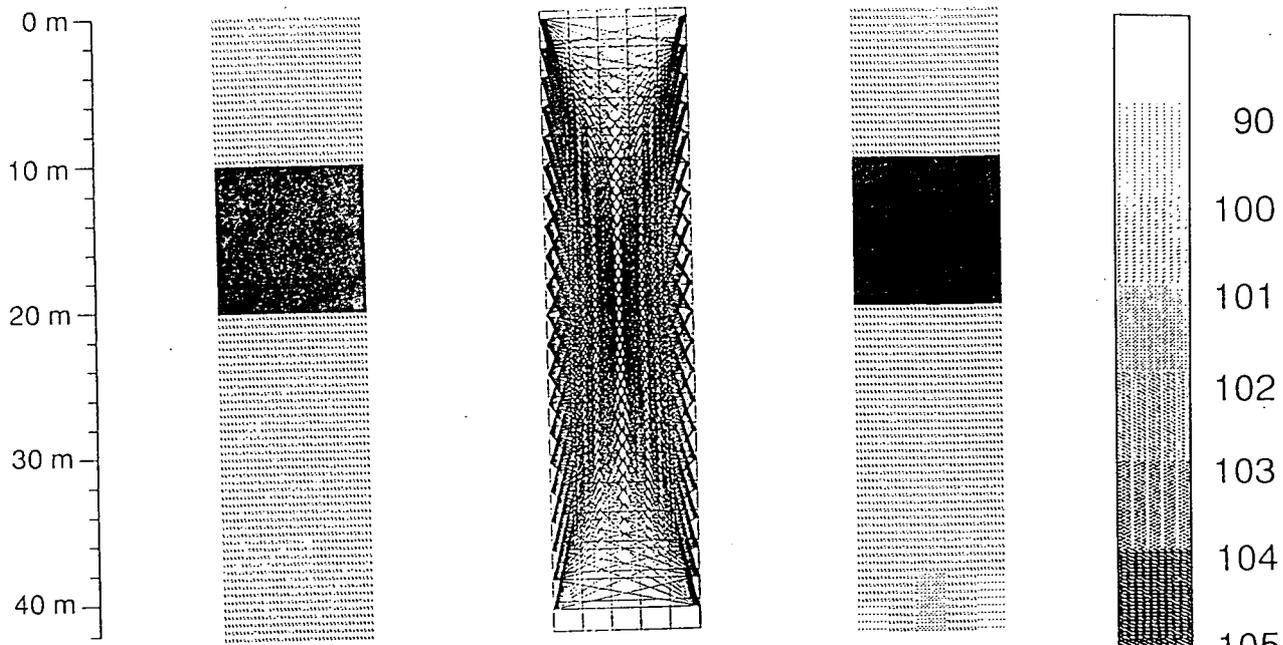
速度  
(m/μsec)



(a) 設定モデル (b) 電磁波伝播経路 (c) 電磁波速度再構成結果

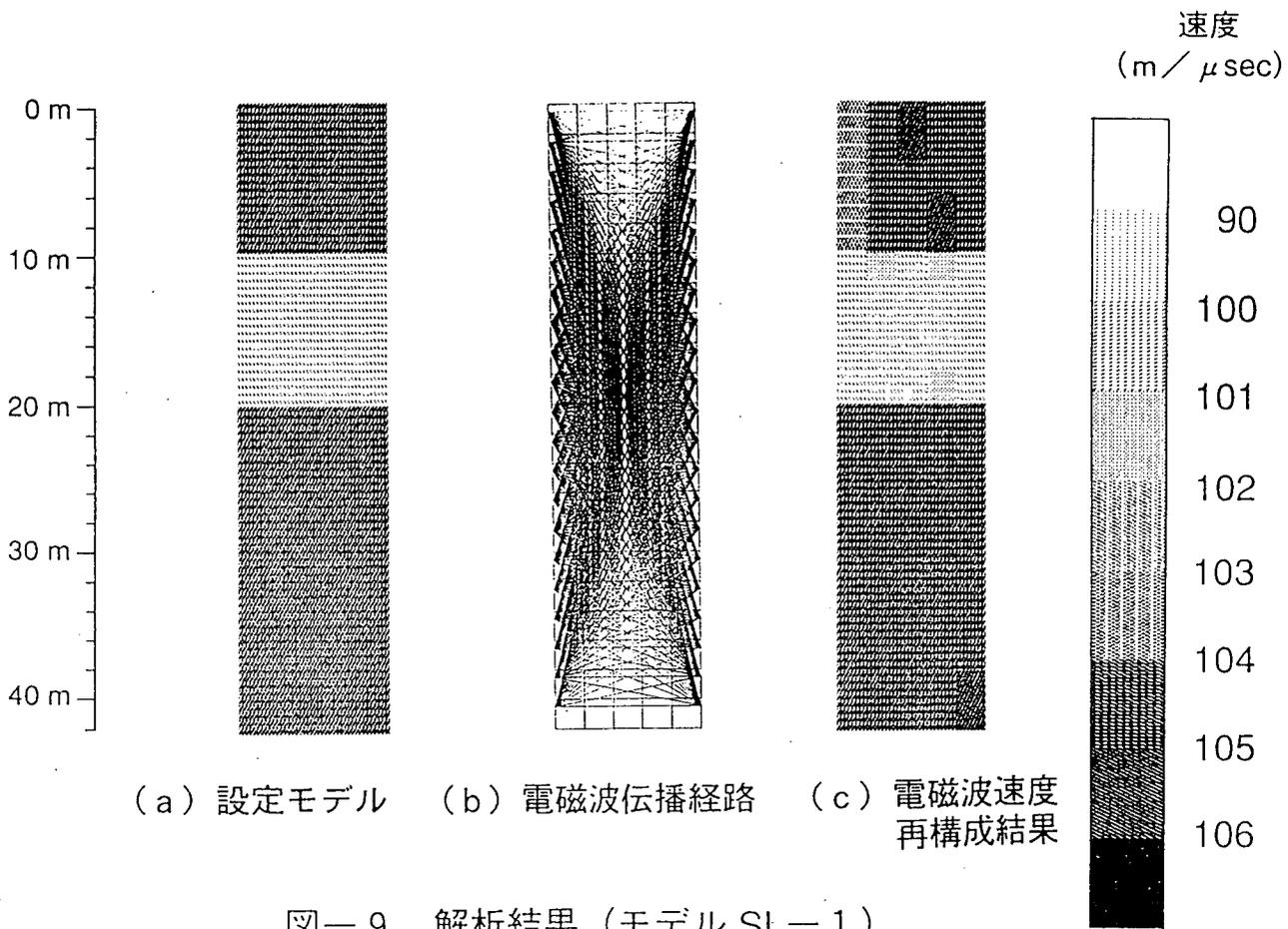
図一七 解析結果 (モデル KL-2)

速度  
(m/μsec)

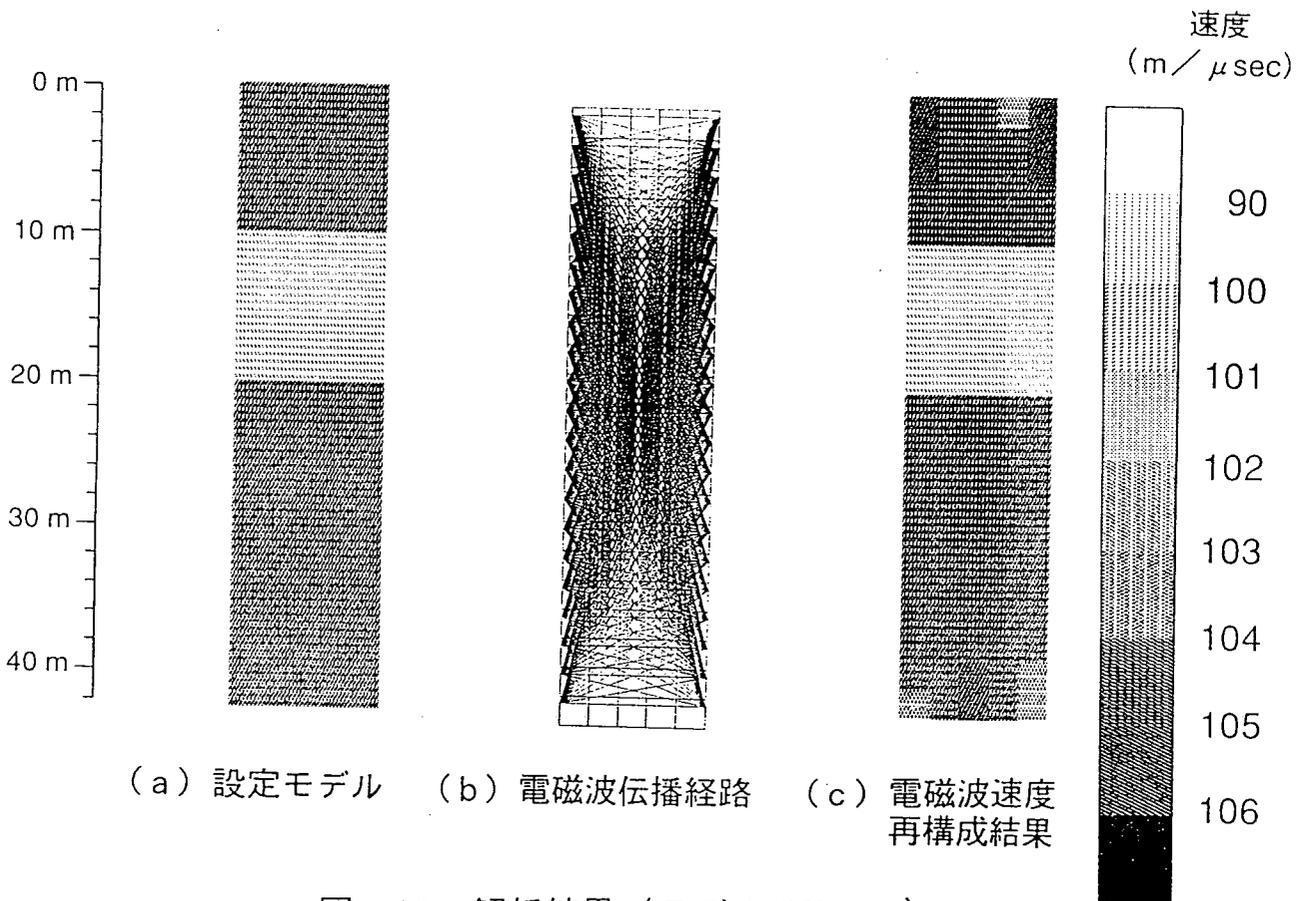


(a) 設定モデル (b) 電磁波伝播経路 (c) 電磁波速度再構成結果

図一八 解析結果 (モデル KR-2)



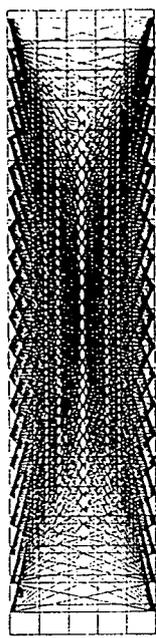
図一9 解析結果 (モデル SL-1)



図一10 解析結果 (モデル SR-1)

速度  
(m/ $\mu$ sec)

0 m  
10 m  
20 m  
30 m  
40 m



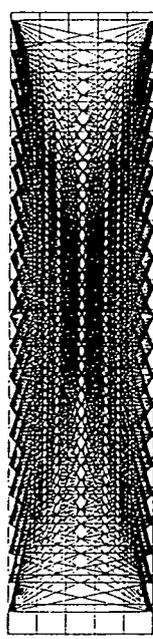
90  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106

(a) 設定モデル (b) 電磁波伝播経路 (c) 電磁波速度再構成結果

図一11 解析結果 (モデル SL-2)

速度  
(m/ $\mu$ sec)

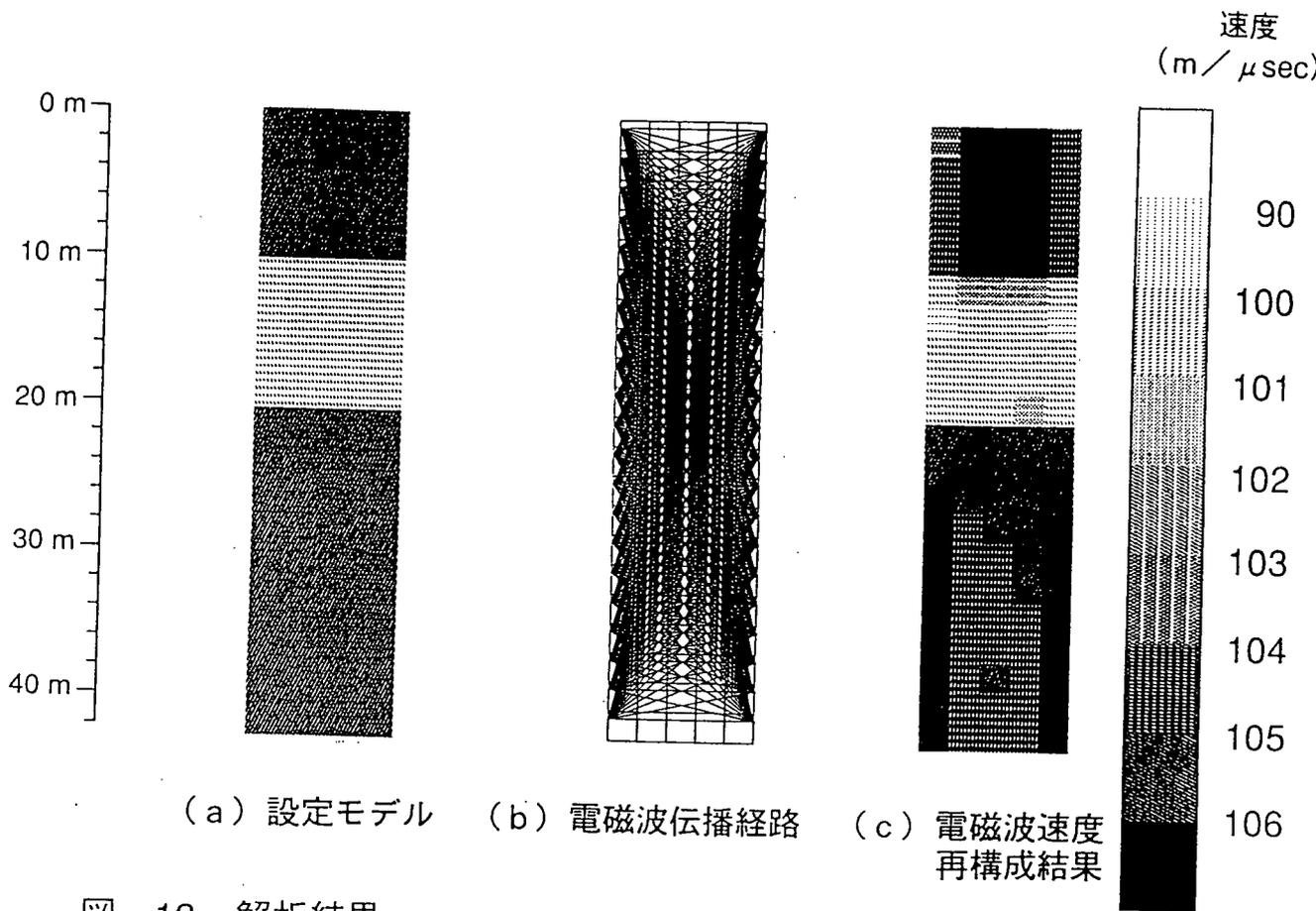
0 m  
10 m  
20 m  
30 m  
40 m



90  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106

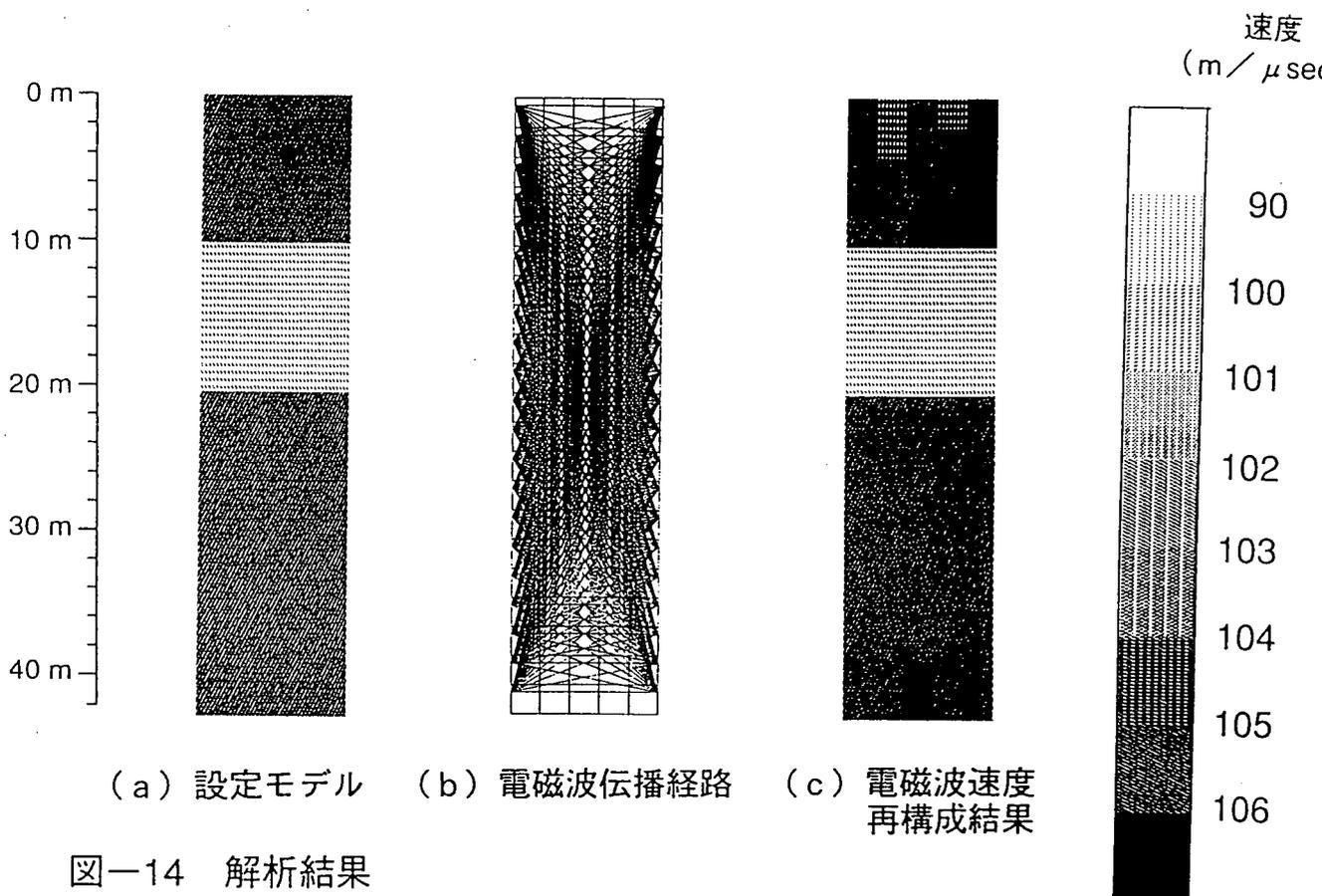
(a) 設定モデル (b) 電磁波伝播経路 (c) 電磁波速度再構成結果

図一12 解析結果 (モデル SR-2)



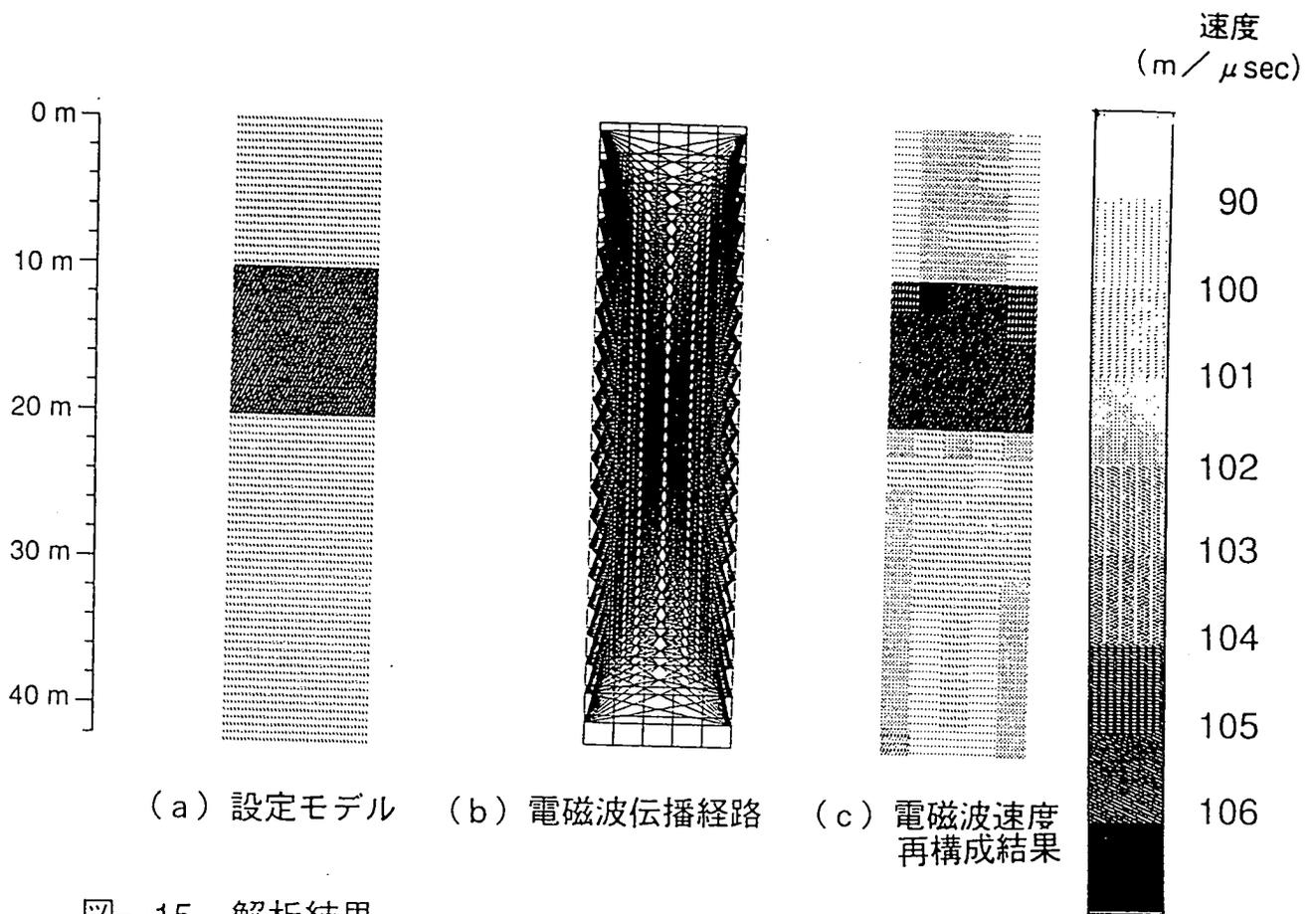
図一13 解析結果

(速度比：0.95、直線タイプ、高速度部の位置：1・3層目)



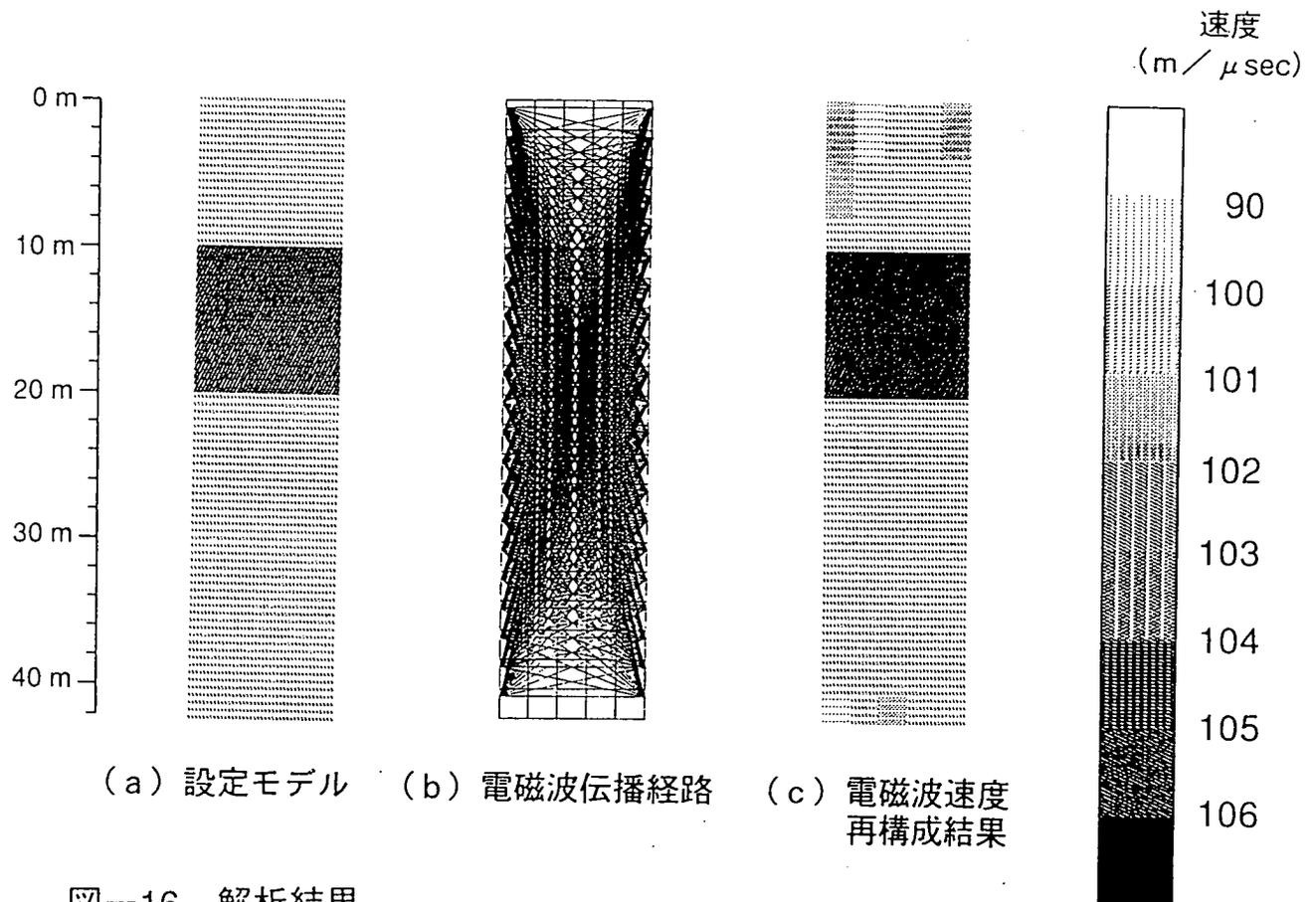
図一14 解析結果

(速度比：0.95、屈折タイプ、高速度部の位置：1・3層目)



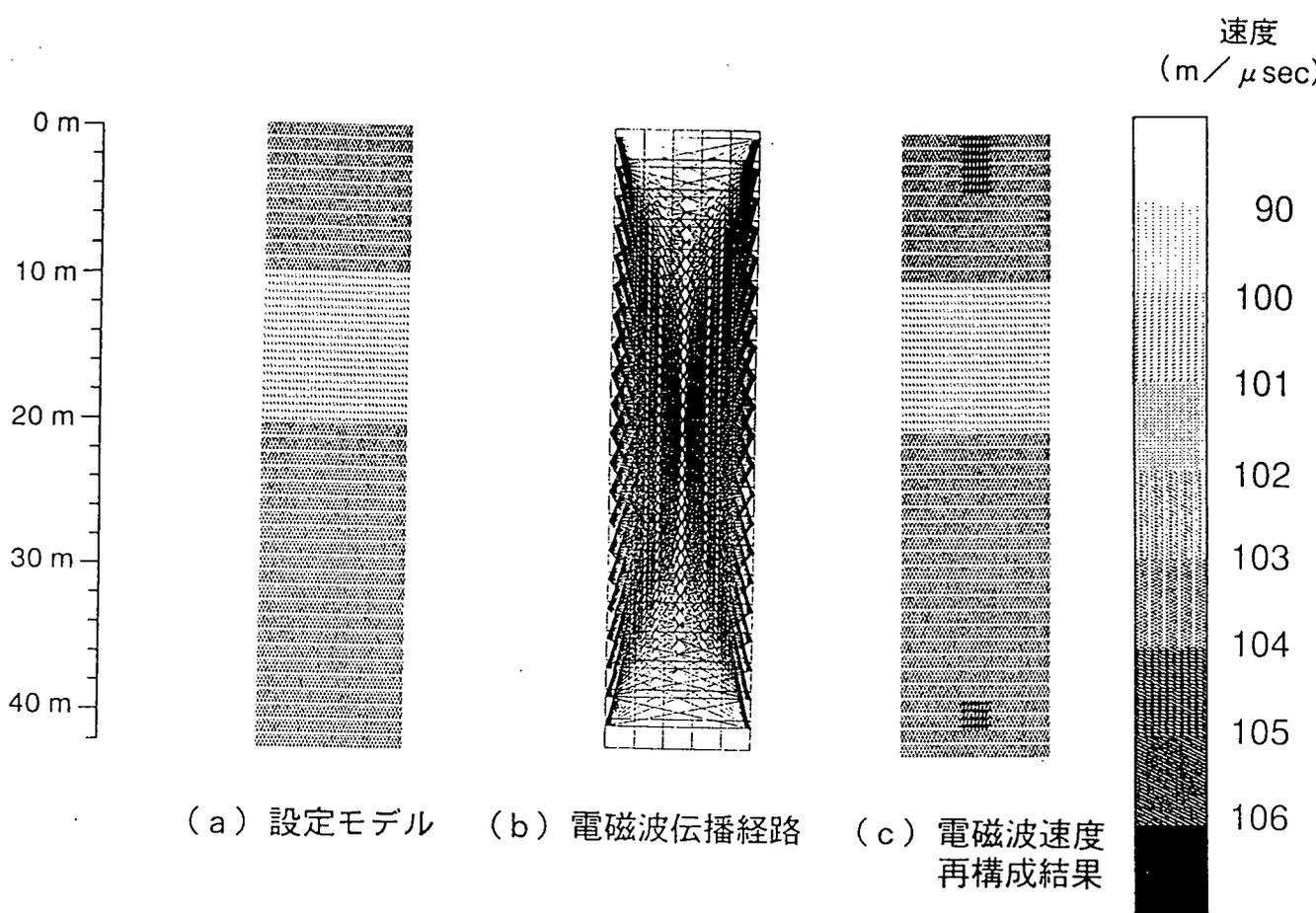
図一15 解析結果

(速度比 : 0.95、直線タイプ、高速度部の位置 : 2層目)



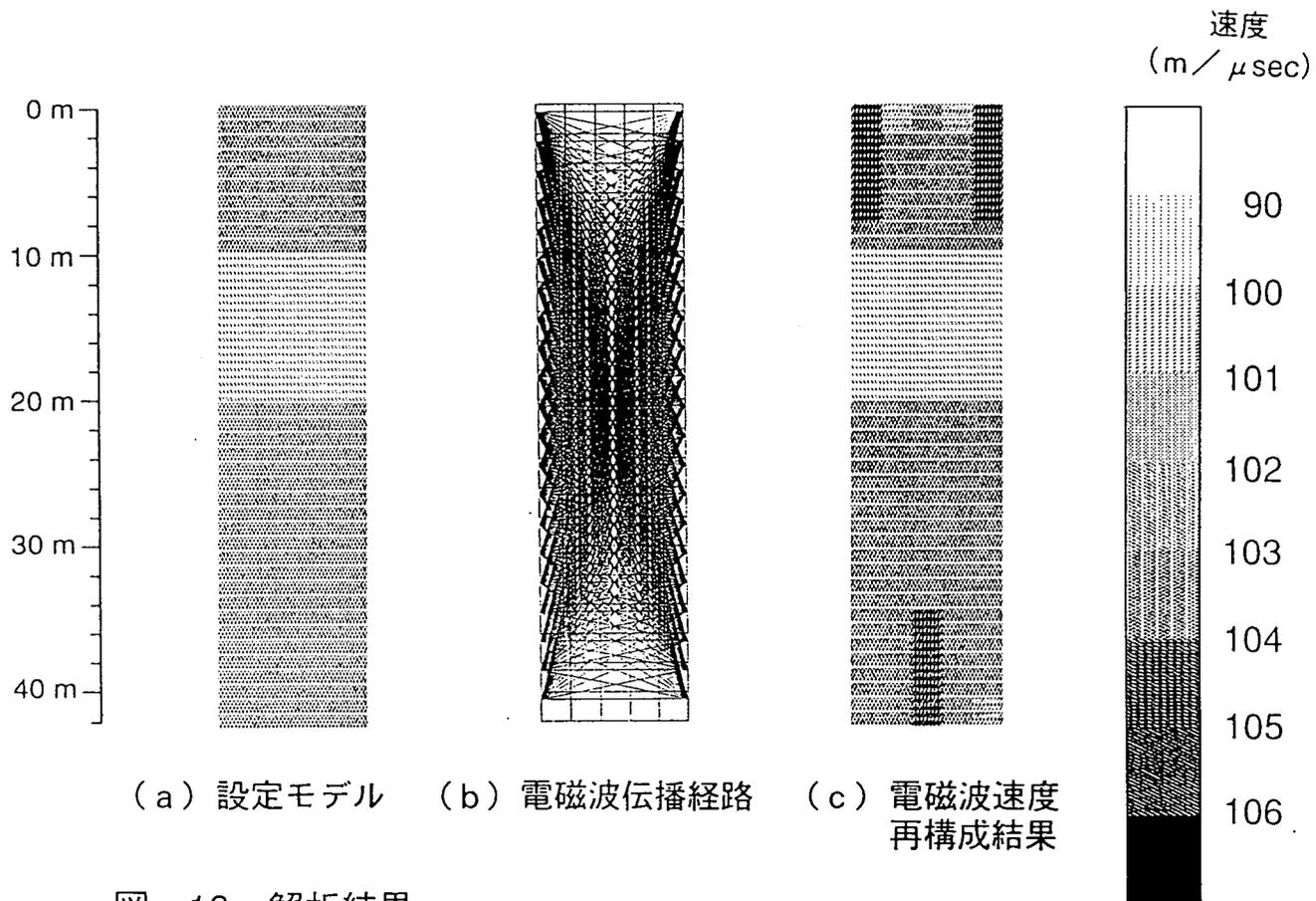
図一16 解析結果

(速度比 : 0.95、屈折タイプ、高速度部の位置 : 2層目)



図一17 解析結果

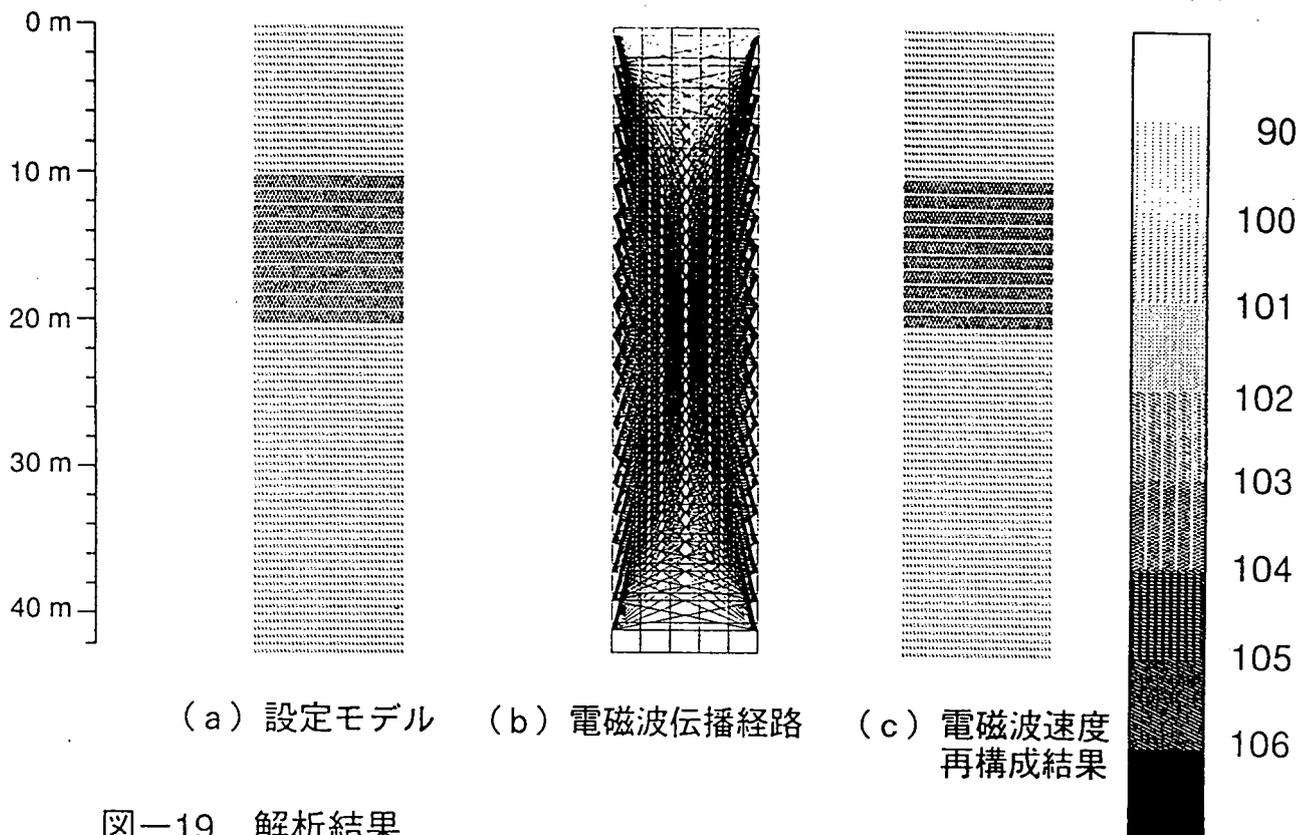
(速度比：0.97、直線タイプ、高速度部の位置：1・3層目)



図一18 解析結果

(速度比：0.97、屈折タイプ、高速度部の位置：1・3層目)

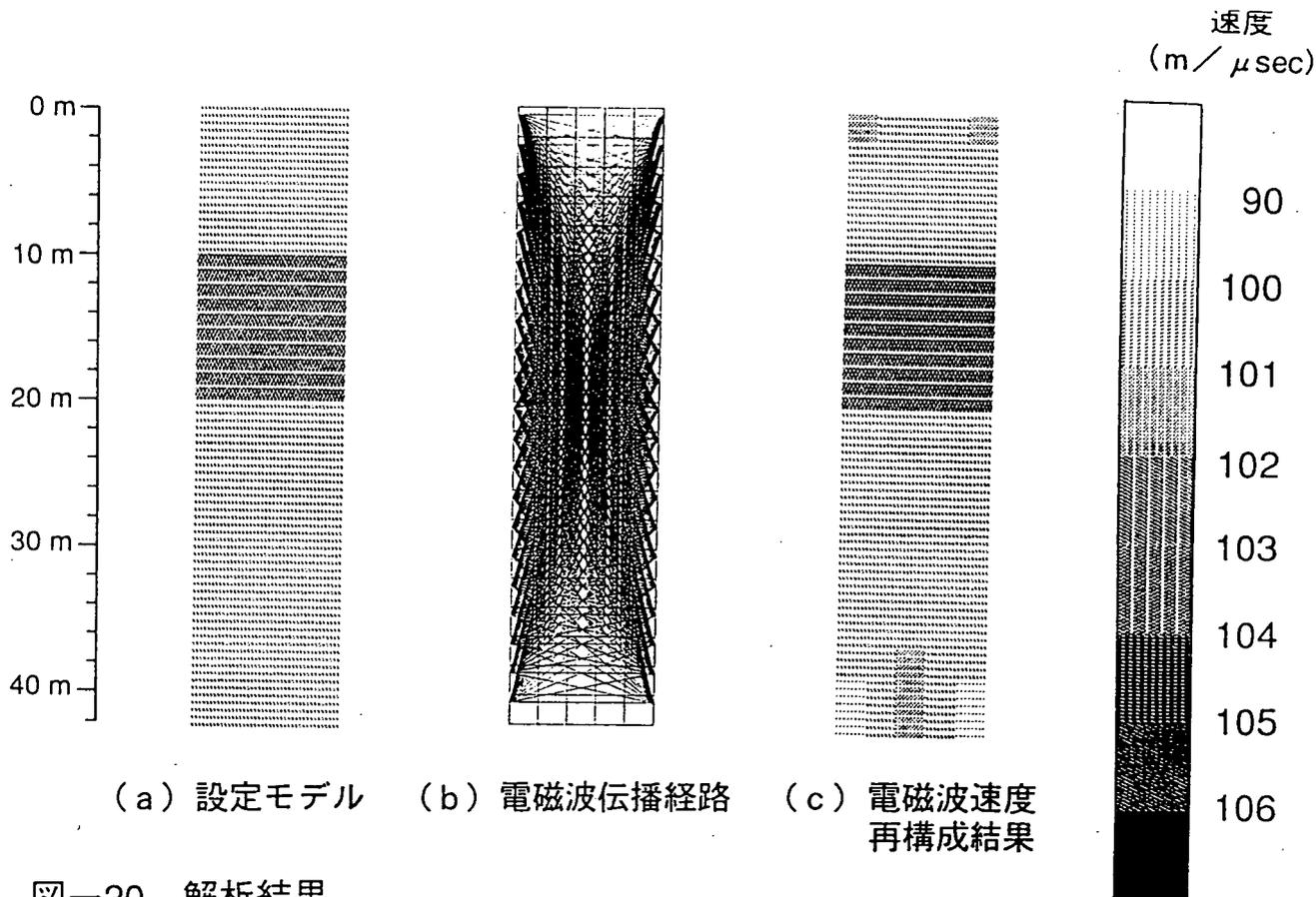
速度  
(m/μsec)



図一19 解析結果

(速度比：0.97、直線タイプ、高速度部の位置：2層目)

速度  
(m/μsec)



図一20 解析結果

(速度比：0.97、屈折タイプ、高速度部の位置：2層目)

B-10 差圧計測型多点式水圧観測装置の設計と一部試作

(後藤 和幸)

(柳澤 孝一)

(中野 勝志)

## B - 10 差圧計測型多点式水圧観測装置の設計と一部試作

後藤和幸 柳澤孝一 中野勝志

### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、地表から掘削した1本の試錐孔を利用し、測定深度および大きな間隙水圧差等の測定環境に左右されず深度方向別に多区間の間隙水圧を精度良く観測できる多点式水圧観測装置を開発することを目的としている。平成5年度は、装置の基本設計と一部試作を実施したので、その概要について報告する。

### 2. 実施内容

本年度は、上記開発目的に沿って間隙水圧測定方法の検討、測定ポート開閉機構、測定ポート接続機構の設計、試作および室内試験を実施した。また、これらの結果を踏まえ装置の基本構成を検討した。

#### 2. 1 高精度の間隙水圧測定方法の検討

上述した測定環境において間隙水圧を高精度に測定する方法を検討した結果、測定区間と次の測定区間の間の水圧差を順次測定する差圧計測方法を考案した。この方法は、容量の小さい圧力計で大深度の間隙水圧が測定できるため精度が向上し、また、毎回差圧を計る前に0点を補正できるため、地下水の密度変化に対する誤差も除くことができた。

#### 2. 2 測定ポート部バルブの構造検討

測定ポートの内外に大きな水圧差が発生した場合においても確実に測定ポート部のバルブが開閉できる構造を検討した。その結果、水圧の圧力軸と直角方向に作動する構造のバルブを新たに設計した。このバルブ構造は、円筒形のバルブを回転させスライドすることでポートを開閉するものとした。

#### 2. 3 測定ポートとインナープローブ内圧力計との接続機構の検討

この接続機構とは、ケーシング部に多段で設置してある任意の測定ポートとケーシング内を昇降する圧力測定用のインナープローブのポートとを接続するものであり、確実に接続することを目的として検討した。その結果接続機構は、無指向性のダブルパッカー式と指向性を持たせた圧着接続式の2案が残った。このため、これらの機構部を試作し実験を基に互いの優劣を比較検討した。

#### 2. 4 室内性能試験

室内性能試験を行うために試作した部分は、ケーシング部の測定ポートバルブと2種類の測定ポート接続機構部である。室内試験項目は、高差圧環境における作動試験とリーク試験である。作動試験の結果試作した装置は、全て正常に作動し目的を満足した。リーク試験では、接続機構の圧着接続式のみ圧着力不足でリークした。

### 3. まとめ

上記実施内容の結果から以下に示す装置構造とした。

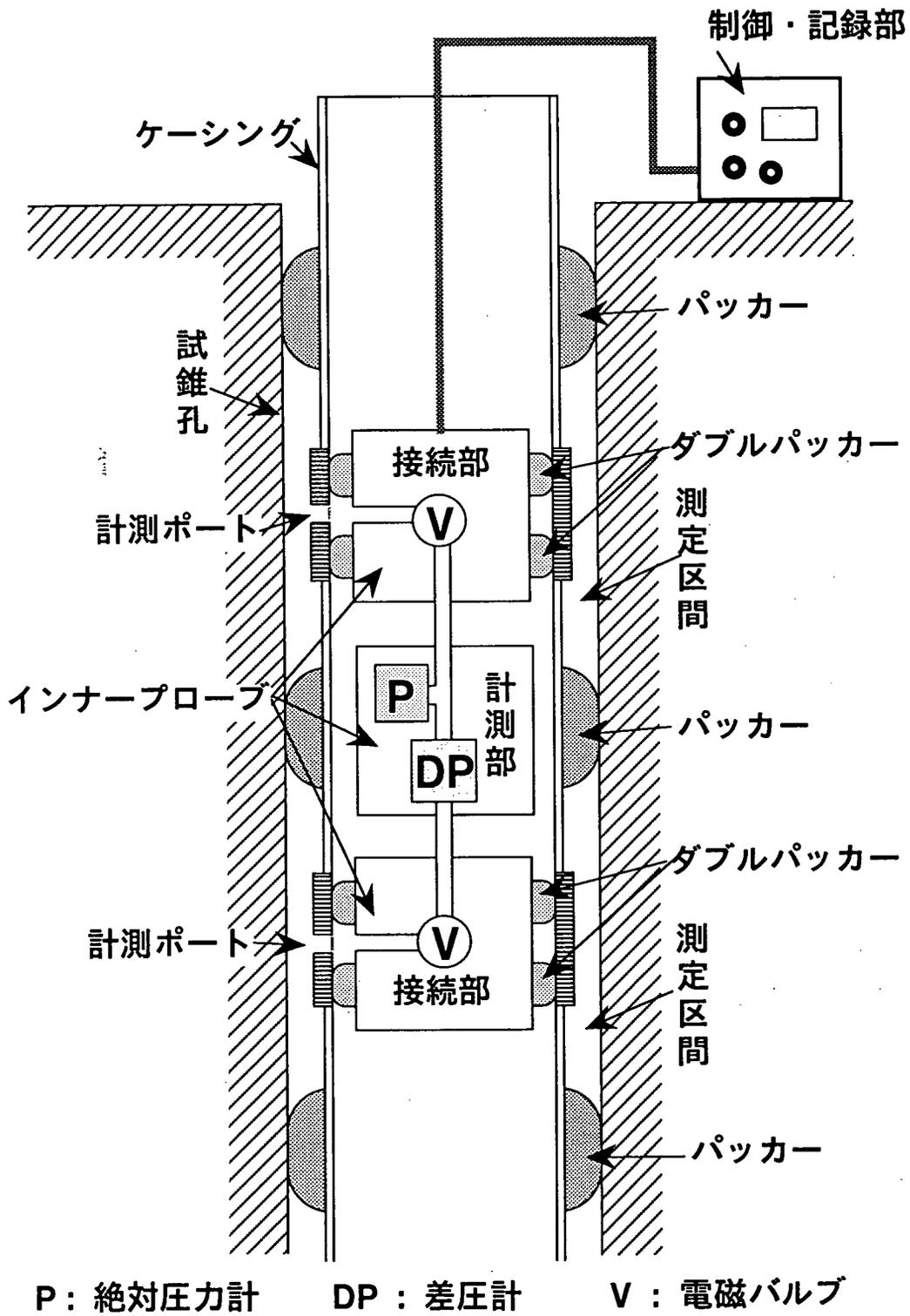
- ①間隙水圧の測定は、差圧計測方式
- ②測定ポート部のバルブ機構は、スライド式
- ③接続機構は、無指向性のダブルパッカー式

また、これらの結果を踏まえた装置の基本構成は、図1に示す。

### 4. 今後の方針

平成6年度以降は平成5年度の試作装置の性能試験結果に基づき詳細設計を実施し、最終的に大深度対応の差圧計測型多点式水圧観測装置を完成させる。

図1 差圧計測型多点式水圧観測装置の基本構成図



B-11 試錐孔間水理試験装置の製作

-注水制御装置と孔内装置の注水区間の製作-

(仙波 毅)

(後藤 和幸)

(中野 勝志)

(柳澤 孝一)

## B-11 試錐孔間水理試験装置の製作 —注水制御装置と孔内装置の注水区間の製作—

仙波 毅, 後藤 和幸,  
中野 勝志, 柳澤 孝一

### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、坑道内に掘削した複数の試錐孔を利用し、坑道周辺の単一割れ目の透水係数、比貯留係数、透水異方性（単一割れ目内の流向）、間隙水圧などの水理学的特性を把握できる試錐孔間水理試験装置を開発することを目的としている。

平成5年度は、平成4年度に実施した設計<sup>1)</sup>をもとに注水制御装置と孔内装置の注水区間を製作したので<sup>2)</sup>、その概要について報告する。

### 2. 実施内容

試験装置は、図-1に示すように、坑道内に設置する注水制御装置、計測システム、流量測定装置、圧力計測装置と試錐孔内に設置する孔内装置（注水孔内用装置および観測孔内用装置）から構成される。試験方法は、バックグラウンドの地下水圧の変動による影響を受けない正弦波（シヌソイダル）注水<sup>3)</sup>を採用した。また、定圧および定流量注水も行えるようにした。

平成5年度は、注水制御装置と孔内装置の注水区間を製作し、それぞれの装置の室内性能試験を実施した。装置の製作にあっては、設計段階で念頭においた試験装置の性能、現場試験機としての使いやすさ（大きさ、メンテナンスの容易さを含む）に十分配慮した。

#### 2. 1 注水制御装置の製作

本装置は、広い流量範囲（0.02～200 l/h）に対して、0.1～50 kgf/cm<sup>2</sup>の圧力を高い精度で発生、制御するための装置で、制御用コンピュータ、ポンプ、配管、油圧源などからなる。本装置の正弦波および定圧注水には油圧サーボ方式のダブルブースターポンプを用い、定流量注水には水サーボ弁を用いた。これらは、コンピュータにより制御する。

本装置から孔内装置までの配管材料は剛性を最優先に考えステンレス鋼とした。配管内のバルブの内開閉操作を頻繁に行うものについては、制御用コンピュータで遠隔操作・集中管理が行えるように自動バルブを用いた。

油圧源は振動や熱を発生するため、制御・計測系に影響を及ぼさないようにポンプの入った容器には収めないようにした。

#### 2. 2 孔内装置の注水区間

注水制御装置で発生された圧力・流量は本区間を通して、岩盤の単一割れ目に注入される。本区間は、パッカー、ロッド、圧力計などからなる。

パッカーには、高止水性および高剛性の両者を満足するように二重被覆のゴムを採用した。

ロッドは、試錐孔内の水の体積を小さくするために大口径のものをを用いた。ただし、重量が過大になりすぎないように薄肉厚のものとした。

圧力計には微小な圧力変動を高精度に計測するために、孔内に設置する絶対圧センサーと地上に設置する差圧センサーの両者を採用する。絶対圧センサーは、高精度（0.02%）・高解像度（0.01 ppm）を有する水晶発振型圧力変換器を用いた。差圧センサーは、精度0.06%の特注仕様のものを用いた。

### 2. 3 室内性能試験

注水制御装置および孔内装置の注水区間の製作終了後、所定の性能を有することを確認するために、室内において注水制御装置の正弦波および定圧・定流量制御機能と、孔内注水装置のロッド接続部の止水性およびパッカーの遮水性などの性能試験を実施した。その結果、仕様を満足し、所定の性能を有することが確認できた。

### 3. まとめ

平成5年度は、平成4年度に実施した設計をもとに、注水制御装置と孔内装置の注水区間の製作し、製作終了後それらの室内性能試験を実施した。

その結果、製作した装置は仕様を満足し、所定の性能を有することが確認できた。

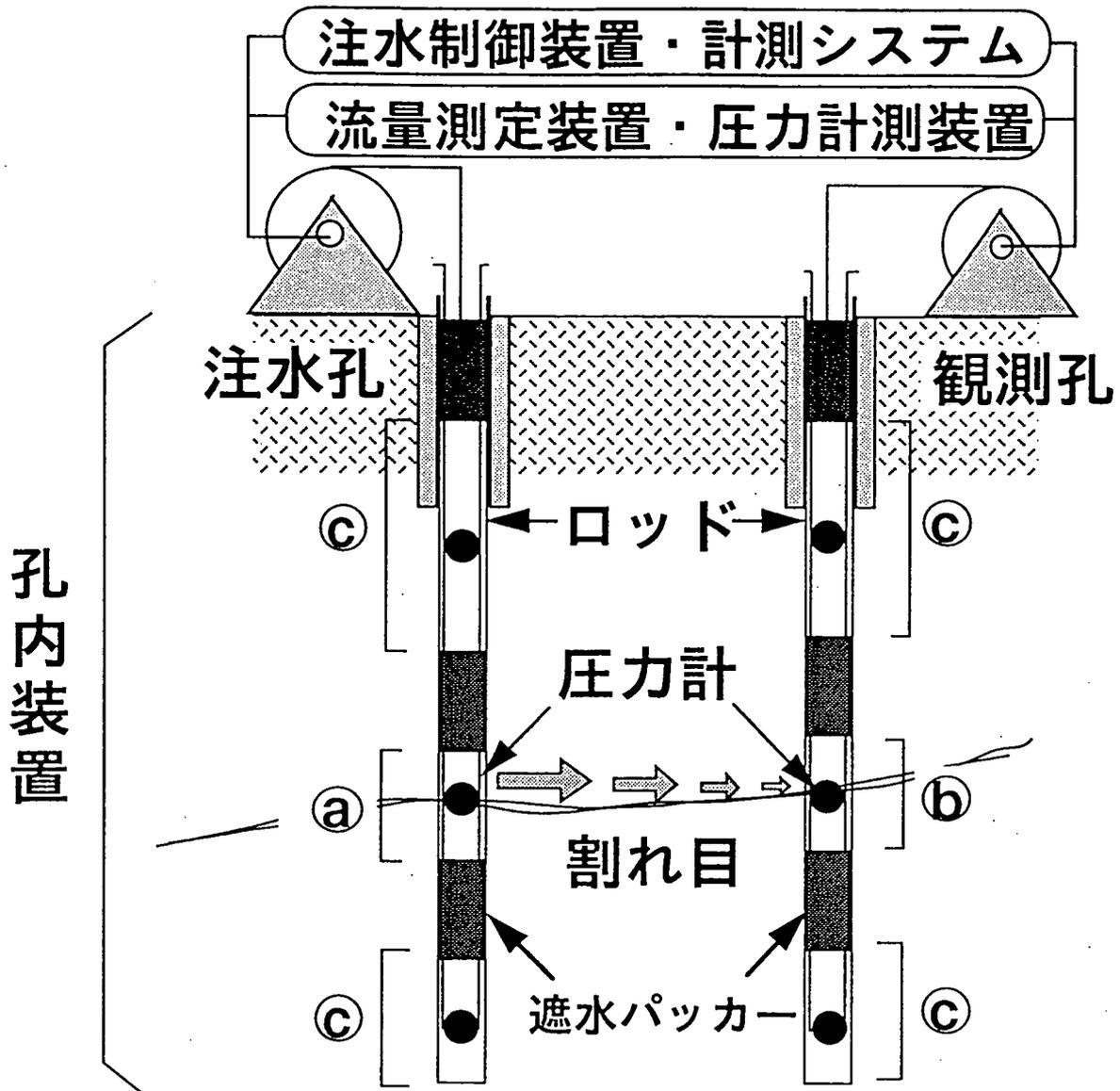
### 4. 今後の方針

平成6年度は平成5年度に引き続き、計測システムと流量計測装置の製作を実施する。平成7年度以降に残りの装置を製作し、試錐孔間水理試験装置を完成させる。

### 5. 参考文献

- 1)大成建設(株) (1993) : 試錐孔間水理試験装置の設計、PNC ZJ7205 93-001
- 2)大成建設(株) (1994) : 試錐孔間水理試験装置の製作（注水制御装置と孔内装置の注水区間の製作）、PNC ZJ7205 94-001
- 3)John H. Black et al. (1986): Crosshole Investigations - The method, theory and analysis of crosshole sinusoidal pressure tests in fissured rock, Stripa Project IR 86-03, SKB, Stockholm, Sweden

図一 1 試錐孔間水理試験装置の概念



凡例

- ① 注水区間
- ② 主観測区間
- ③ 副観測区間

試験方法

- 正弦波注水 (孔間)
- 定圧・定流量注水 (単孔)

B-12 地球科学検層ユニットの開発

(濱 克宏)

(瀬尾 俊弘)

(後藤 和幸)

(中野 勝志)

(柳澤 孝一)

## B-12 地球化学検層ユニットの開発

濱 克宏、瀬尾 俊弘、後藤 和幸  
中野 勝志、柳澤 孝一

### 1. はじめに

本業務は、地層科学研究の調査技術・機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、深度1,000mまでの地下水の物理化学パラメータ(pH, 酸化還元電位(ORP), 電気伝導度(EC), 水温(T), 硫化物イオン濃度(pS))を測定できる装置(地球化学検層ユニット)を開発するものである。

同装置の開発は、平成3年度に着手し<sup>1)</sup>、平成4年度に物理化学パラメータ測定センサーの設計を終了した<sup>2)</sup>。平成5年度には、地球化学検層ユニットの製作を終了したので、装置の概要を以下に報告する。

### 2. 実施内容

#### 2.1 本装置の開発の基本概念

本装置の開発にあたっては、以下の3つの点を考慮した。

- ①深度1,000mで想定される温度・圧力(50℃, 100kgf/cm<sup>2</sup>)条件に耐えうること。
- ②還元性で緩衝性が低い地下水の測定が可能であること。
- ③試錐孔内で使用すること。

#### 2.2 基本仕様

本装置は図1に示すように、深度1,000m対応の採水装置の孔内システムと組み合わせて使用する。基本仕様を以下に示す。

- ①適用深度：1,000m
- ②適用孔径：φ75mm~130mm
- ③寸法：外径57mm, 長さ3.6m
- ④重量：60kg
- ⑤外筒材質：ステンレス鋼
- ⑥測定項目：pH, ORP, EC, T, pS

#### 2.3 各部の仕様

地球化学検層ユニットは大きく①センサー部、②アンプ部、③データ処理部、④外筒部から構成される(図2)。

##### ①センサー部

センサー部は以下の4部分から構成され、pHなどの物理化学パラメータ測定電極を備えている。センサー部の仕様を表1に示す。

##### i) pH測定部

ガラス電極、参照電極各1本から構成される。

##### ii) ORP・pS測定部

ORP測定用作用電極(白金、金、グラシーカーボン)およびpS測定用作用電極(硫化銀)を一体化した作用電極1本、参照電極1本から構成される。

iii) T測定部

白金抵抗測温体 (Pt100Ω) で構成され、EC電極に内蔵されている。

iv) EC測定部

交流2電極(2本)と電磁誘導式電極(1本)から構成される。

②アンプ部

センサー部からの出力電位を増幅する機能を有し、上記の測定項目に対して、各々1枚のアンプ基板を備えている。

③データ処理部

A/D変換ボード、16bitCPUから構成され、アンプ部で増幅された電位信号をデジタル変換し、地上へ通信する機能を有する。

④外筒部

センサー部、アンプ部およびデータ処理部を収納でき、上端と下端は深度1,000m対応の採水装置の孔内システムと結合するための複合コネクタで構成されている。

2. 4 室内性能試験

地球化学検層ユニットの製作終了後、所定の性能を有することを確認するために、室内において、耐圧試験・耐熱試験(150kgf/cm<sup>2</sup>, 50℃)を実施した。

3. まとめ

地球化学検層ユニットを製作し、深度1,000mで想定される温度・圧力条件下で性能試験を実施した。その結果、本装置は仕様を満足し、所定の性能を有することが確認された。

4. 今後の予定

平成7年1月より3ヶ月間の予定で、正馬様洞試験サイトAN-1号孔において、深度1,000m対応地下水採取装置と組み合わせた適用試験を実施し、平成7年度より調査に使用する計画である。

5. 参考文献

1)基礎地盤コンサルタンツ(株)(1992):地球化学検層ユニットの設計, PNC ZJ1411

92-001

2)(株)環境技術研究所(1993):地球化学パラメータ測定センサーの設計, PNC ZJ7422

93-001

3)(株)環境技術研究所(1994):地球化学検層ユニットの製作, PNC ZJ7422 94-001

表1.電極の仕様

測定項目	作用電極	参照電極	測定範囲	測定精度
pH	ガラス	銀/塩化銀	0~14	±0.1
酸化還元電位	金 白金 ガラス-カーボン	銀/塩化銀	-1V~1V	±10mV
電気伝導度	交流2電極式	—	0~500 $\mu\text{S}/\text{cm}$	±2%FS
	電磁誘導式	—	0~2,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 0~100mS/cm	
pS	銀/硫化銀	銀/塩化銀	-1V~0V	±5mV
水温	白金抵抗測温体	—	0~60°C	±0.1°C

図1. 深度1000m対応採水装置および地球化学検層ユニットの概要

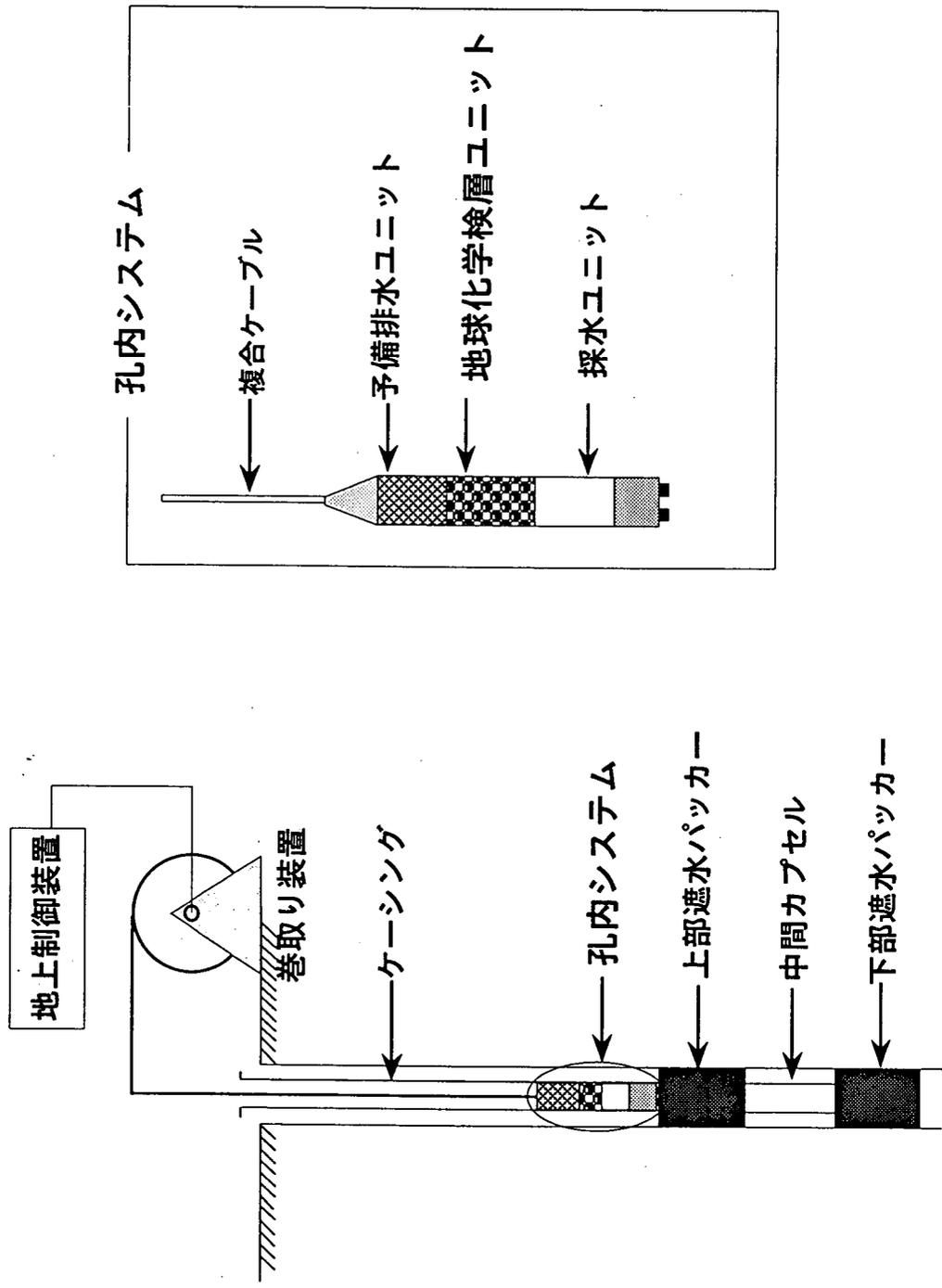
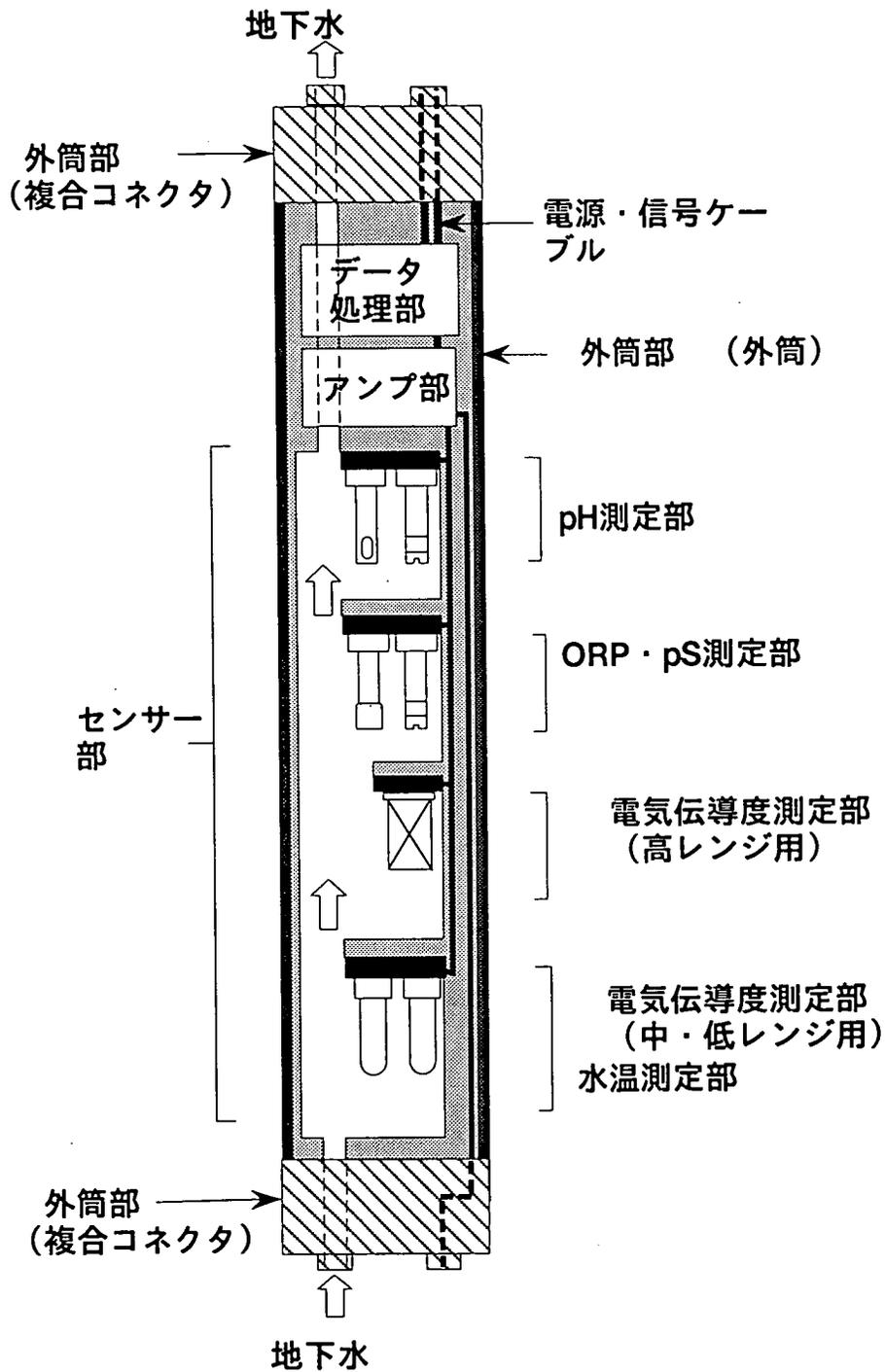


図2.地球化学検層ユニットの概要



B-13 1,000m対応水理試験装置の製作

(中野 勝志)

(後藤 和幸)

(仙波 毅)

(柳澤 孝一)

## B - 13 1,000m対応水理試験装置の製作

中野 勝志, 後藤 和幸  
仙波 毅 , 柳澤 孝一

### 1. はじめに

本件は、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、地表から地下深部までの透水係数、間隙水圧などの水理学的特性を正確にかつ効率的に把握できる深度 1,000m対応の水理試験装置を開発するものである。

同装置の開発は、平成3年度に着手し<sup>1)</sup>、平成4年度までに詳細設計が終了した<sup>2)</sup>。現在は平成5年度から6年度の2年計画で製作を進めている過程にある。よって、本報では装置の概要と平成5年度末時点の試験装置の製作の進捗状況について報告する。

### 2. 試験装置の概要

試験装置は、図-1に示すように、試錐孔内で水理試験を実施するための主機能を集約した孔内部、孔内部の試錐孔内への挿入と地上部と孔内部の電氣的な通信媒体となる中継部、および孔内部や中継部を地表で制御すると共にデータの観測・記録・解析を行う地上部で構成する。以下に試験装置の特徴を示す。

- ①試錐孔の崩壊などへの対応を重視し中継部の基本構造に強度等に優れたパイプシステムを採用した。
- ②試錐孔内の崩壊の危険性や試験深度を確実に設定するために、孔内の状況を事前に把握できるボアホールテレビを孔内部の先端に備えた。
- ③試験を効率的に行うために、試錐孔内で多区間の試験区間設定ができ区間長を地上から変更できるマルチパッカーシステムを備えた。
- ④信頼性の高いデータを取得するために、定常法と非定常法および難透水性岩盤を対象に水圧伝播を利用したパルス法を採用した。

また、この試験装置の性能は以下の通りである。

適用深度 : GL - 1,000mまで

適用孔径 :  $\phi 70 \sim 100$ mmまで

水理試験法 : 定常揚水試験, 非定常回復・注入試験, パルス試験

透水係数の測定範囲 :  $10^{-4}$ cm/s $\sim 10^{-9}$ cm/sオーダー

地下水位の低下限界 : GL - 300mまで

### 3. 進捗状況

平成6年3月末日時点における製作作業の進捗状況は、製作開始前に策定した作業計画に沿って順調に進んでいる。具体的には、各部の部品の製作がほぼ終了し、組み立て段階へ移行しつつある。

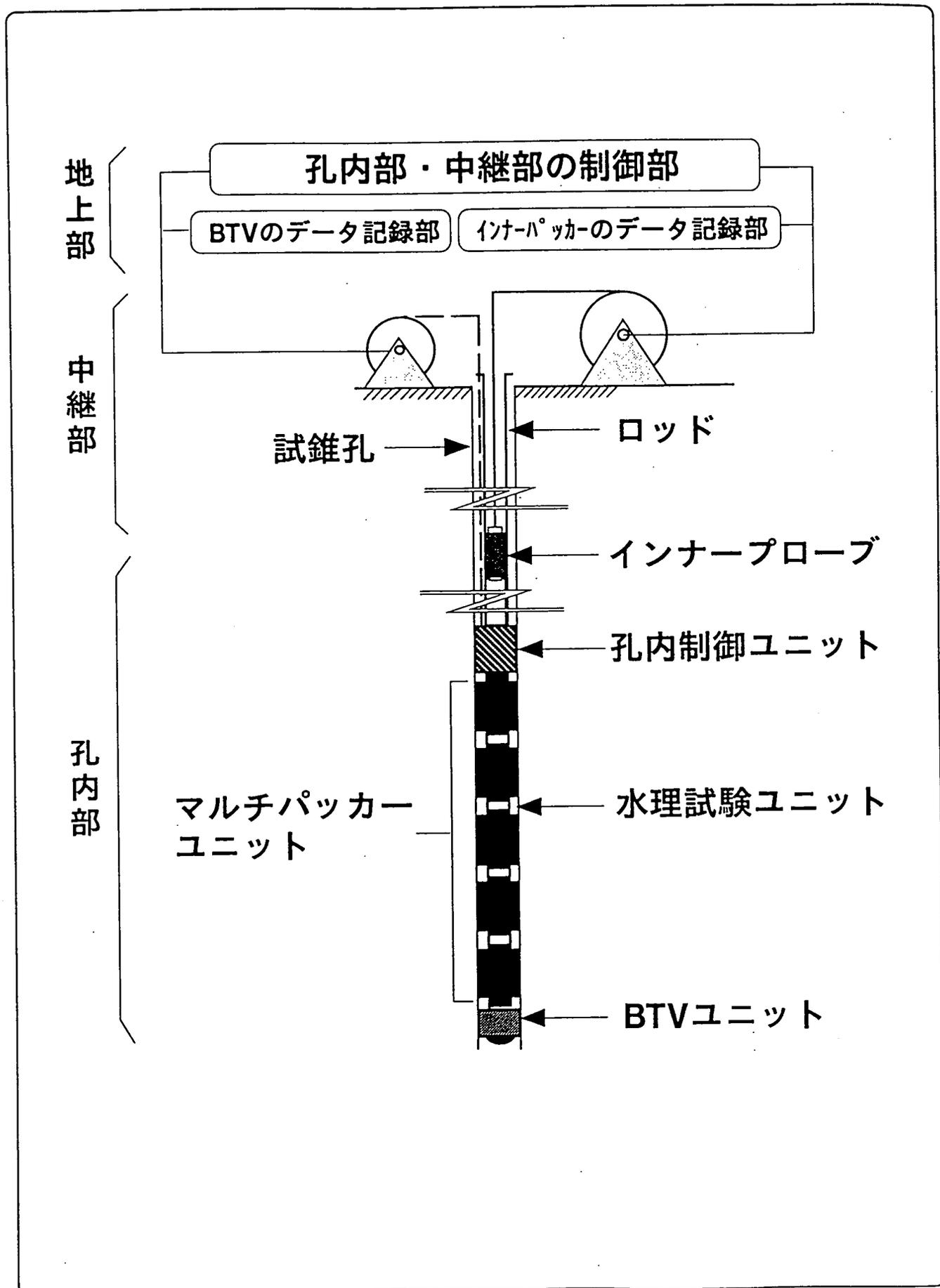
#### 4. 今後の方針

平成6年度は平成5年度に引き続き製作作業を継続する。具体的には、装置の組み立てと室内性能試験を7月末までに終了させ、8月より10月に間で孔内性能試験を実施する。よって、試験装置および提出図書類の全ての納品は11月から12月となる。また、製作終了後、平成7年1月より3ヵ月の予定で適用試験を実施する計画である。

#### 5. 参考文献

- 1)大成基礎設計(株)(1992)：深度1,000 m対応動燃式低水圧制御水理試験装置の設計，  
PNC ZJ1439 92-001
- 2)大成基礎設計(株)(1993)：1,000m対応水理試験装置の詳細設計，PNC ZJ1439 93-001

図一 1 1000m対応水理試験装置の概要



B-14 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の製作

(瀬尾 俊弘)

(濱 克宏)

(後藤 和幸)

(中野 勝志)

(柳澤 孝一)

## B - 14 1,000m対応地下水の地球化学特性調査機器の製作

瀬尾 俊弘, 濱 克宏 , 後藤 和幸,  
中野 勝志, 柳澤 孝一

### 1. はじめに

本件は、地層科学研究の調査技術および機器開発の一環として、地表から掘削した試錐孔を利用して、地下深部の地下水の性質を正確にかつ効率的に把握するために深度 1,000 m対応の採水装置を開発するものである。

同装置の開発は、平成3年度に着手し<sup>1)</sup>、平成4年度までに詳細設計が終了した<sup>2)</sup>。現在は平成5年度から6年度の2年計画で製作を進めている過程にある。よって、本報では装置の概要と平成5年度末時点の試験装置の製作の進捗状況について報告する。

### 2. 試験装置の概要

装置は、図-1に示すように、地層中の地下水を採取するための主機能を集約した孔内部、孔内部の試錐孔内への挿入と地上部と孔内部の電気的な通信および地下水の運搬経路となる中継部、孔内部や中継部を地表で制御すると共にデータの観測・記録を行う地上部で構成する。以下に試験装置の特徴を示す。

- ①試錐孔の崩壊などへの対応を重視し中継部の基本構造に強度等に優れたパイプシステムを採用した。
- ②地層中の地下水を安全にかつ確実に採取するために、装置の主機能を孔内部の孔内システムに集約し、同システムがパイプ内を昇降する構造とした。
- ③採水を効率的に行うために、被圧不活性状態で地下水を採取できるバッチ式採水機能とポンプアップによる連続排水機能を備えた。

また、この採水装置の性能は以下の通りである。

適用深度 : GL - 1,000mまで  
適用孔径 :  $\phi$ 75~130mmまで  
採水方法 : バッチ式(被圧不活性状態での採水), 連続排水方式  
採水量 : バッチ式 500cc / 1回  
          連続排水方式 1~100cc / min  
地下水位の低下限界 : GL - 300mまで

### 3. 進捗状況

平成6年3月末日時点における製作作業の進捗状況は、製作開始前に策定した作業計画に沿って順調に進んでいる。具体的には、各部の部品の製作がほぼ終了し、組み立て段階へ移行しつつある。

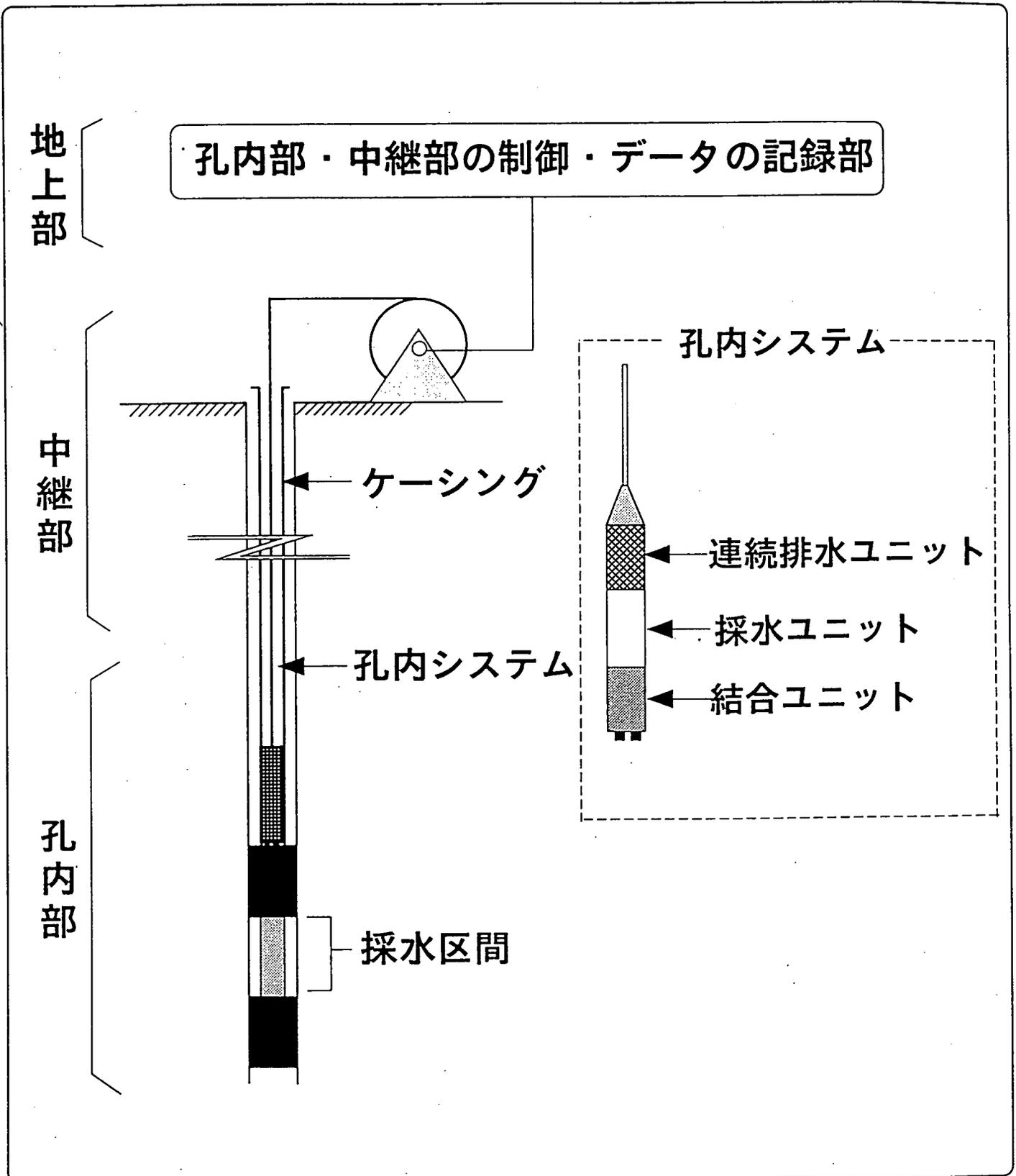
#### 4. 今後の方針

平成6年度は平成5年度に引き続き製作作業を継続する。具体的には、装置の組み立てと室内性能試験を6月末までに終了させ、7月より8月の間に孔内性能試験を実施する。よって、試験装置および提出図書類の全ての納品は10月から12月となる。また、製作終了後、平成7年1月より3ヵ月の予定で適用試験を実施する計画である。

#### 5. 参考文献

- 1)基礎地盤コンサルタンツ(株)(1992)：深度1,000 m対応パッカー式地下水サンプラーの設計, PNC ZJ1411 92-002
- 2)基礎地盤コンサルタンツ(株)(1993)：1,000 m対応地下水の地球化学特性調査機器の詳細設計, PNC ZJ1411 93-001

# 図一 1 1000m対応地下水の地球化学特性調査機器の概要



## 4. 共通的业务の成果

C1. 分析業務

C2. 図書・技術情報の管理

C-1 分析業務

## C-1 分析業務について

担当：沖田 正俊

### 1. はじめに

中部事業所・技術開発課・分析グループにおいては、海外調査探鉱課、環境地質課、技術開発課および保安係等より依頼のある岩石試料および水質試料等の分析を定常業務として実施している。一方、業務拡大に伴い種々分析法も新たな要求としてあり、手法の改良、改善も行っている。

ここでは、平成5年度に実施した業務の概要について報告する。

### 2. 業務の概要

2.1 第14回分析技術報告会において、高速液体クロマトグラフ装置を利用しての水中の全シアン分析の迅速化および精度向上について報告した。

2.2 自然界におけるウラン系列核種の放射非平衡（－分析方法と応用－）について動燃技法に投稿した。

### 3. 定常業務の実績

#### ・岩石試料

〔内訳〕	海外調査探鉱課	.....	217試料	(2,761成分)
	環境地質課	.....	104試料	( 589成分)
	技術開発課	.....	9試料	( 59成分)
	その他（人形峠事業所）	.....	9試料	( 18成分)
			計	339試料 (3,427成分)

#### ・水質試料

〔内訳〕	環境地質課	.....	445試料	(5,085成分)
	技術開発課	.....	702試料	(3,636成分)
	保安係	.....	75試料	( 706成分)
			計	1,222試料 (9,427成分)

分析総数：1,561試料 (12,854成分)

### 4. その他

#### ① 分析標準作業法の見直し作業

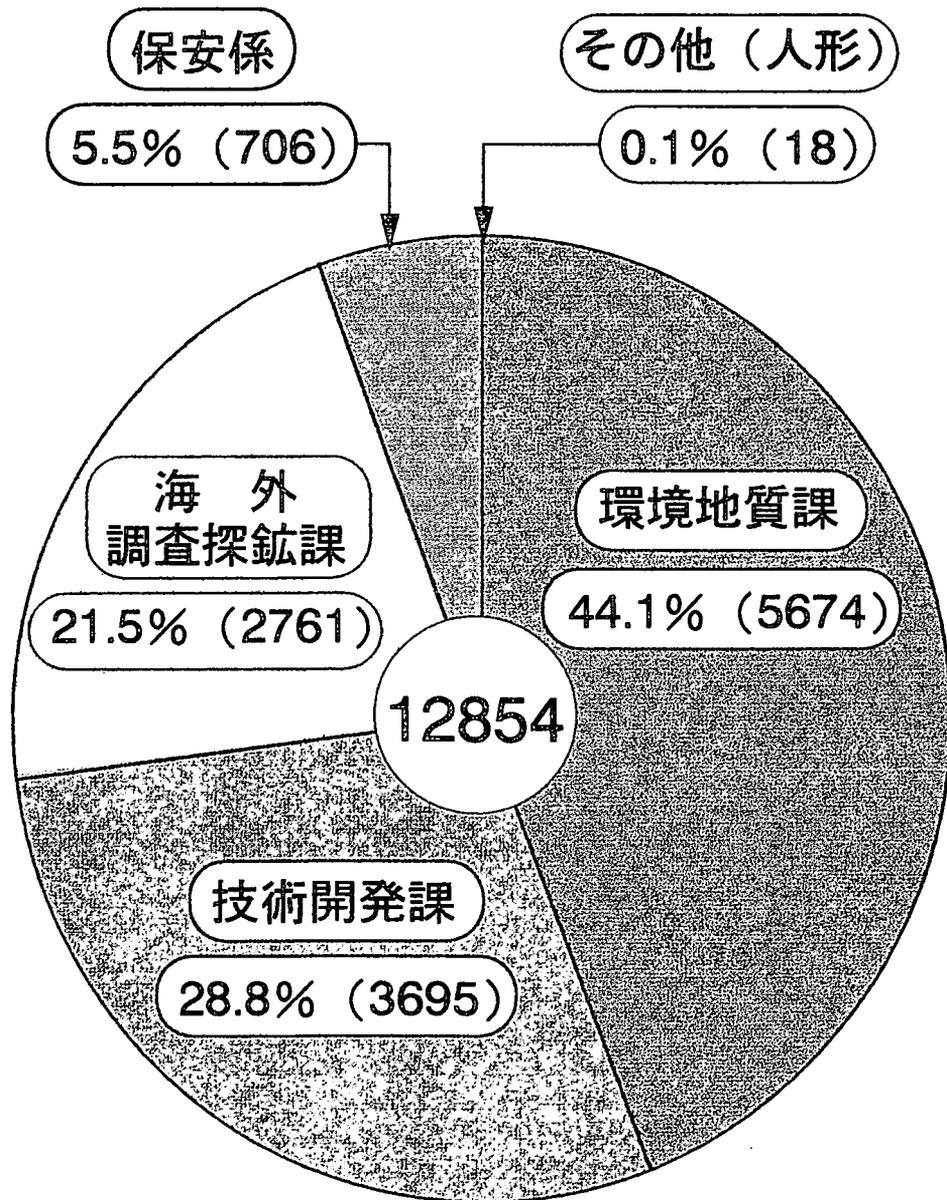
[1983年作成した作業法を見直し改訂を考えての取組]

#### ② 排ガス洗浄装置・pH処理装置および排気ダクトの更新を実施。

# 平成5年度作業実績表

(単位：試料件数 / 成分件数)

課	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	合計
		環境地質課	岩石 3/54 水質 9/102	17/81	29/438	10/44 1/1	10/80 63/226	15/107 47/423	19/52 81/1361	8/19 73/875	10/30 36/630	19/173 10/10	10/30 75/854	10/30 4/84
技術開発課	岩石 水質			5/15	58/299 94/371	57/295	4/44	68/317	61/305	41/267	62/310	37/258	9/59 702/3636	
海外 調査探査課	岩石 水質	1/17	26/312		23/253			67/847	100/1332				217/2761	
保安係	水質			2/10					73/696				75/706	
その他	岩石	3/6	6/12										9/18	
小計	岩石	7/77	32/324		38/312	10/80	15/107	23/96	75/866	110/1362	19/173		10/30	339/3427
	水質	60/386	48/157	109/980	59/300	157/597	104/718	145/1683	141/1192	170/1631	51/277	137/1164	41/342	1222/9427
合計		67/463	80/481	109/980	97/612	167/677	119/825	168/1779	216/2058	280/2993	70/450	137/1164	51/372	1561/12854



## 平成5年度全体分析実績

C-2 図書・技術情報の管理

C - 2 図書管理室の業務について

担当：林，石丸 (☎)

1. はじめに

中部事業所内の“図書室”は図書管理室，書架，閲覧室の3つの室で構成されており図書室の業務は、主に図書管理室で行われている。図書室の主な業務として以下のものが挙げられる。①技術資料の採番から登録までの一連の作業及び開示，保管・管理 ②書籍の購入手続き及び登録，分類，保管・管理 ③定期講読誌の申込み，継続手続き，支払い手続き，保管・管理 ④情報提供，検索，蔵書貸出，返却作業などである。ここでは、平成5年度に行われたそれらの業務の概要について報告する。

2. 業務の概要

2.1 技術資料の登録管理について

技術資料の登録管理システムは、平成元年から運用が開始されており、同時に中部事業所図書室での一括管理が行われるようになった。ここでは、平成5年の登録件数と運用開始からの登録件数の推移を以下の図表に示した。

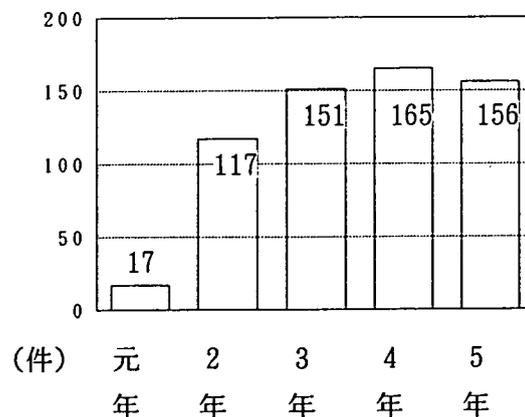
〔平成5年度 技術資料登録件数〕

	ウラン資源探鉱関係	地層科学関係	その他
公開資料(T)	9	38	0
限定資料(Z)	21	10	0
社内資料(P)	67	8	3
計十(件)	97	56	3

〔登録件数の推移〕

平成5年の登録件数は、上記表に示した通りウラン資源探鉱関係97件、地層科学関係56件、その他3件であった。

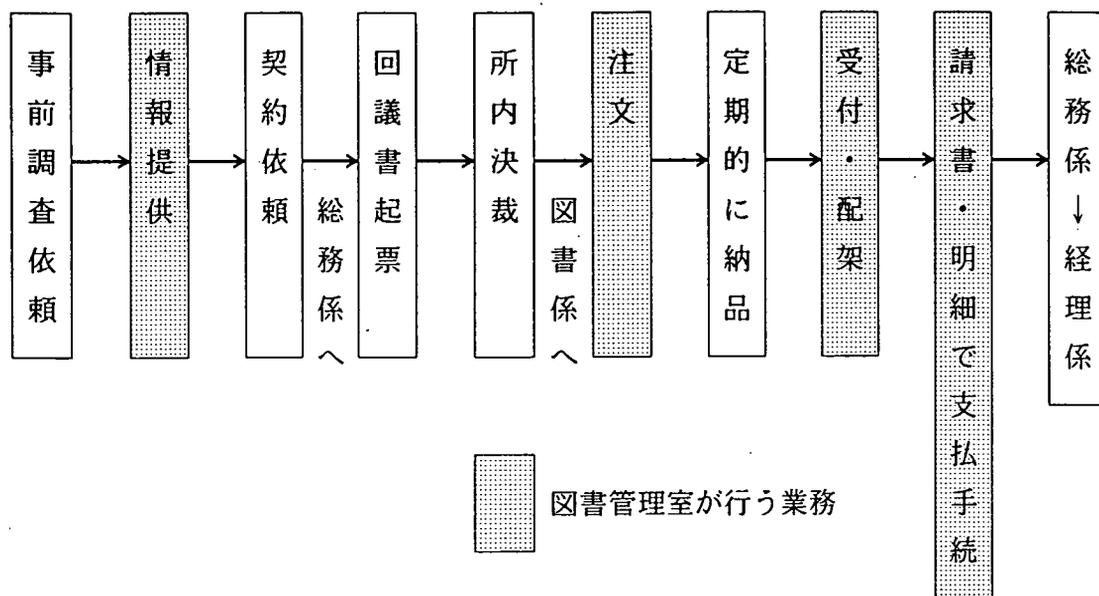
また、右図に示した通り登録管理システム運用開始から5年間で登録資料数が増加傾向にあることがわかる。



### 2.3 定期講読誌のについて

新聞を含む定期刊行雑誌・学会誌などの受け入れ、登録を行っている。以下にその作業の流れと、平成元年から5年間の契約件数を示した。

〔作業の流れ・定期講読誌の場合〕



〔定期講読誌契約件数〕

課名 \ 年度	元年度	2年度	3年度	4年度	5年度
総務課	55	54	54	53	54
鉦山保安係	11	14	14	9	9
海外調査探鉦課	34	33	33	38	26
鉦床解析室	4	5	6	11	12
技術開発課	4	2	3	3	8
環境地質課	20	22	24	31	35
計十(件)	128	130	134	145	127

平成元年度から5年度まで、かなりの雑誌・学会誌が受け入れられ、それらを保管管理しているが、現在保管スペースが無くなりつつあり、保管管理の方法の見直しをせまられており、従来の講読→保管ではなく検索(情報センター等)→入手(必要文献)に移行する方向で情報収集及び検討を行っている。

#### 2.4 情報提供, 情報検索, 蔵書貸出, 返却について

現在図書室で利用できる外部オンライン情報サービスは、(特)日本科学技術情報センターが提供しているJOIS (JICST オンライン インフォメーション サービス) のみである。今後増え続ける技術情報への対応方法を外部の情報提供サービスの利用を含め検討していかなければならない。

また、それらのサービスを効果的に利用することは減容化の面からも有効であると思われるので今後、情報提供サービス導入に向けて検討を行いアクセス方法の充実を図りたい。

従来の図書管理システムを廃止し、新たに図書管理システム「マック キャリス」を導入した。現在、データ等の移行中であり本格的に運用が開始されれば蔵書の貸出、返却、検索が迅速且つ円滑に行える。

(図書室で発行している資料)

誌名	掲載内容
LIBRARY INFORMATION (隔月 偶数月)	中部事業所新着図書情報 最新ソフトウェア情報 娯楽情報 (C D. ビデオ) 特集記事
雑誌コンテンツ (不定期)	中部事業所受け入れ雑誌目次 日本科学技術情報センター送付目次 (探鉱関係)

以上

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