

JNC TN7400 2005-019

~~09~~

~~PNC PN7440 93-004~~

~~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【研究開発グループ】

図書室

平成4年度技術開発課年報

1993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)
1993

~~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。ついでには複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~本資料についての問合せは下記に願います。~~

~~〒509-51 岐阜県土岐市泉町定林寺字園戸959-31
動力炉 核燃料開発事業団
中部事業所 技術開発課~~



要 旨

本報告書は、中部事業所・技術開発課が平成4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。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の二つに分類して掲載した。

地層科学研究に係る技術開発については、リモートセンシング手法を地表調査に応用して広域の水理学的評価手法を開発するための①地形解析プログラムの作成と、仏製SPOT地球観測衛星データを利用して林相区分等を行い、②これらの植生情報による表層部の水文学的特性の推定について報告した。また、岩盤の特性を調査する技術のうち試錐孔を利用した物理調査手法の技術開発としては、弾性波トモグラフィーの解析に関して③弾性波速度分布を再構成するプログラムの改良と、④同プログラムを用いた実測データの解析結果について報告した。同様に処分場サイト特性調査で重要となる技術の⑤比抵抗トモグラフィーについて解析精度を向上させるための調査仕様とデータの解析仕様を数値実験により検討した成果を報告した。その他、分析技術開発として従来法の湿式分析を改良して有害物質の未使用と高感度化や迅速化を図った⑥高速液体クロマトグラフによる水中シアン分析法の検討試験結果を報告した。

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適した探査システムを開発するため、①ウラン探査地域での代表的な岩石の反射スペクトルデータのカatalogと、②同データを検索表示するプログラムの作成について報告した。また、不整合関連型ウラン鉱床の探査に必要な技術開発として③磁気探査3次元モデリングプログラムの作成や、④帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラムの作成、および⑤周波数領域電磁法シミュレーションプログラム出力部の作成について報告した。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ラドンの発生・挙動・抑制等に関する研究成果と安全部が所掌する安全評価研究のうち地質と環境放射線の変動要因に係る研究成果について報告した。

目 次

1. はじめに	1
2. 地層科学関連技術開発成果	3
A-1 地形解析プログラムの作成について (小出)	3
A-2 植生情報による表層部の水文学的特性の推定 (小出)	10
A-3 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)	16
A-4 弾性波トモグラフィ解析における偽像の発生について (長谷川)	20
A-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 (長谷川)	28
A-6 高速液体クロマトグラフ装置を利用した水中のシアン分析法 (沖田, 阿部)	30
3. 探鉱. 探鉱関連技術開発成果	52
B-1 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, 小出)	52
B-2 反射スペクトルデータ検索表示プログラム” PROSPECT” の作成 (山岸, 小出)	58
B-3 磁気探査3次元モデリングプログラムの作成 (長谷川)	61
B-4 帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラムの作成 (長谷川)	67
B-5 周波数領域空中電磁法シュミレーションプログラム出力部の作成 (長谷川)	80
B-6 地質と環境放射線の変動要因に関する研究 —カーボン測定データの調査、分析と線量計測システムの作成— (永崎)	84
B-7 放射線防護探鉱技術開発に関する研究 (永崎, 花木, 虎沢)	86

平成4年度 技術開発課外部発表一覧

- 4年6月 PNC TJ7615 92-001 床次眞司, 黒澤龍平, 片山健二郎, 花木達美
『ラドン連続モニターの研究』〔第29会理工学における同位元素研究発表会〕
- 4年10月 PNC TN7410 92-011 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健
『東濃地域の花崗岩を対象と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』〔日本原子力学会1992年秋の大会〕
- 4年10月 PNC TN7410 92-012 後藤和幸, 中野勝志, 柳沢孝一
『坑道周辺岩盤のゆるみ領域を水理学的に評価する測定装置の開発』〔日本原子力学会1992年秋の大会〕
- 4年12月 PNC TN7410 92-038 長谷川健, 仙波毅, 杉原弘造
『弾性波を用いた岩盤特性調査法の研究 断層のある堆積岩盤への弾性波トモグラフィの適用とモデル解析』〔日本原子力学会中部支部第24回研究発表会〕
- 5年2月 PNC TN7520 93-001 柳沢孝一, 後藤和幸, 中野勝志
『動燃式低水圧制御水理試験装置』〔大成基礎設計(株)の装置及び調査紹介用カタログ〕
- 5年3月 PNC TN7410 93-001 柳沢孝一, 尾方伸久, 中野勝志
『動燃式低水圧制御水理試験装置』〔地質と調査〕

平成4年度 技術開発課技術資料登録一覧

- 3年12月 PNC ZN7520 92-002 花木達美
『管理区域出入り手順』
- 4年1月 PNC ZN7520 92-003 花木達美
『キーレイク鉱石の取扱管理要領書』
- 4年1月 PNC TN7410 92-001 尾方伸久, 大澤英昭, 仙波毅, 柳澤孝一
『多変量統計解析手法を用いた結晶質岩盤の割れ目解析』
- 4年2月 PNC TN7410 92-006 杉原弘造, 吉岡尚也, 今井久, 松井裕哉
『新第三系堆積岩における立坑掘削影響試験の概要』
- 4年3月 PNC TN7410 92-005 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健, 岩崎浩, 渡辺邦夫
『ボアホールレーダーによる結晶質岩盤中の割れ目帯調査－釜石鉱山原位置試験場における調査結果について』
- 4年4月 PNC TJ7552 92-002 永崎靖志
『放射線防護採鉱技術開発に関する研究』
- 4年5月 PNC TM7572 92-001 長谷川健
『地熱探査技術等検証調査・断裂型貯留探査法開発・弾性波利用探査法開発丹那基礎実験フィールド研究成果』
- 4年6月 PNC TJ7615 92-001 床次眞司, 黒澤龍平, 片山健二郎, 花木達美
『ラドン連続モニターの研究』
- 4年6月 PNC PN7510 92-007 中野勝志, 瀬尾俊弘, 古屋和夫, 太田久仁雄 他5名
『AN-1号孔におけるアンビリアルホースシステムの水理試験および地下水の採水結果』
- 4年7月 PNC TM7529 92-001 長谷川健
『石油開発技術センター 研究成果報告会資料 物理探査研究室』
- 4年8月 PNC TN7410 92-023 小林孝男, 仙波毅, 山田康夫, 加藤喜行
『Application case studies of microcomputer-based favorability evaluation system for uranium exploration』
- 4年9月 PNC PN7600 92-005 山岸明子
『CHRISTIE LAKE PROJECT (GRID B) 出張報告書(1992)』

- 4年10月 PNC TN7410 92-011 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健
『東濃地域の花崗岩を対象と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』
- 4年10月 PNC TN7410 92-012 後藤和幸, 中野勝志, 柳澤孝一
『坑道周辺岩盤のゆるみ領域を水理学的に評価する測定装置の開発』
- 4年10月 PNC PN7440 92-001 沖田正俊, 宗藤勝, 長谷川健, 永崎靖志, 小出馨他3名
『平成3年度 技術開発課年報』
- 4年10月 PNC TN7410 92-038 長谷川健, 仙波毅, 杉原弘造
『弾性波を用いた岩盤特性調査法の研究-断層のある堆積岩盤への弾性波トモグラフィの適用とモデル解析-』
- 4年10月 PNC TN7410 92-041 仙波毅, 長谷川健
『釜石原位置試験場における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』
- 4年10月 PNC TN7410 92-040 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健
『ボアホールレーダーの堆積岩への適用試験-正馬様洞, 坑外インプレース・リーチング試験場における適用試験結果について』
- 4年10月 PNC PN7520 92-005 沖田正俊
『蛍光X線分析操作マニュアル』
- 4年10月 PNC PN7420 92-019 山岸明子
『Rudall project 1992 Uranium exploration program geophysical test survey in terpretational report Vol.1 & 2』
- 4年11月 PNC ZN7520 92-006 永崎靖志
『管理区域出入手順(東濃鉦山)改訂第2版』
- 4年12月 PNC TN7410 92-046 松井裕哉, 杉原弘造, 佐藤稔紀, 吉岡尚也
『堆積岩地山における立坑周りの力学的・水理学的な特性変化』
- 4年12月 PNC TN7410 92-051 佐藤稔紀, 松井裕哉, 杉原弘造, 吉岡尚也
『立坑掘削影響試験-地中変位計測に基づく掘削影響評価』
- 4年12月 PNC TN7410 92-054 杉原弘造, 吉岡尚也, 松井裕哉, 佐藤稔紀
『Preliminary Results of Study on Excavation Responses in Sedimentary Rock in Japan』

4年12月 PNC PN7460 92-001 長谷川健

『帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラム プログラム使用マニュアル・プログラム設計書』

5年1月 PNC ZN7410 92-044 仙波毅, 尾方伸久, 長谷川健

『ボアホールレーダーの各種岩盤を対象とした適用試験－調査結果について』

5年2月 PNC TN7410 92-042 小出馨

『オーストラリア・Rudall地域におけるリモートセンシングによる鉱床胚胎母層の抽出』

5年3月 PNC PN7450 92-002 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』

1. はじめに

1 はじめに

本報告書は中部事業所技術開発課が平成4年度に行った業務のうち技術開発についてまとめたものである。当年度は平成3年度に引き続き、地層科学関連技術開発、探鉱、採鉱関連技術開発などを実施した。

技術開発課の業務はこれらのほか、東濃鉱山の維持管理、放射線管理、掘削工事の施工管理、事業所技術情報管理、図書管理、分析の実施などの定常業務があった。

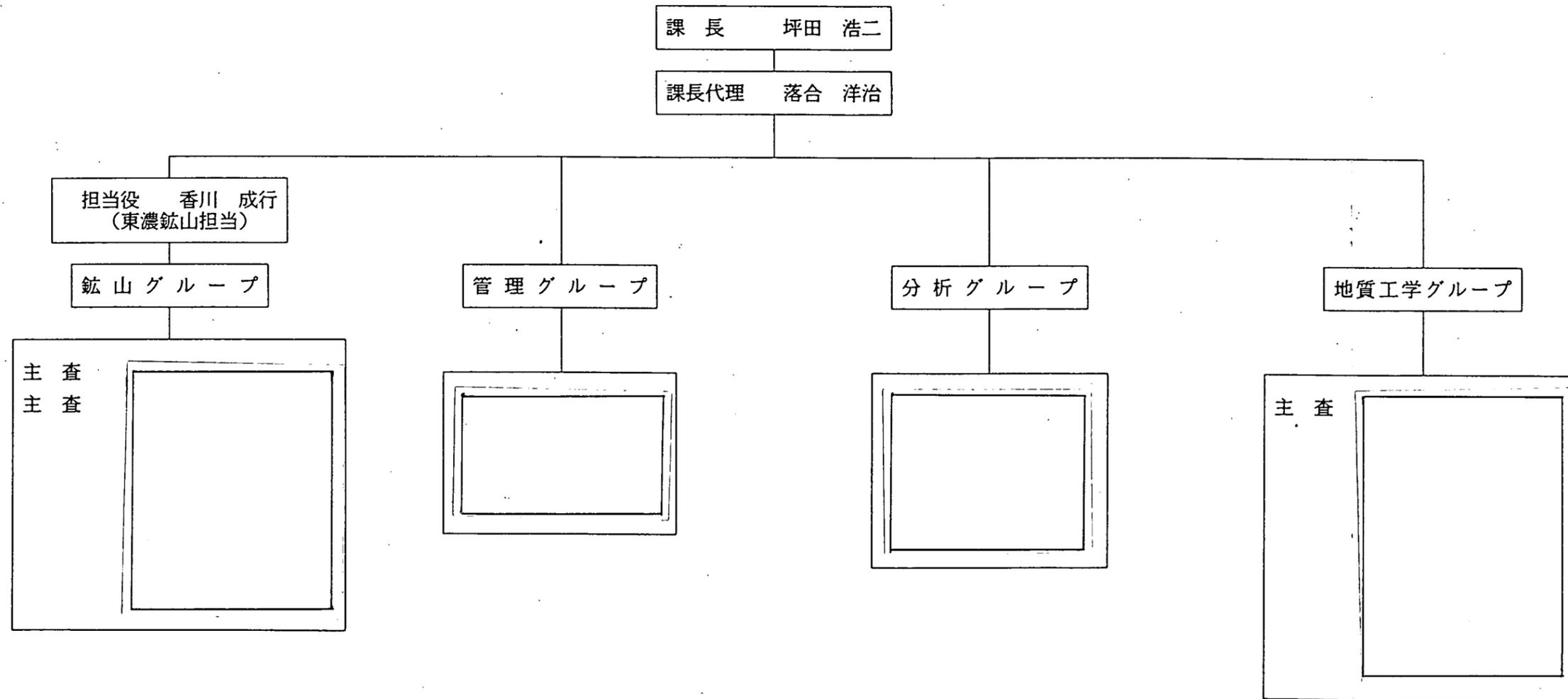
また、外部発表の一覧と技術資料登録一覧も合わせて載せている。

平成3年10月、第2立坑の竣工にともなう東濃鉱山の施業案の変更申請を行っているが、その認可手続きは平成4年度に持ち越され、それらに必要な業務を行った。

なお、平成4年4月1日現在の技術開発課組織を次ページに載せる。

平成4年度技術開発課 組織図

平成4年4月1日



注) (*)は環境地質課兼務
(**)は技術開発課兼務

2. 地層科学関連技術開発成果

A-1 地形解析プログラムの作成について

A-2 植生情報による表層部の水文学的特性の推定

A-3 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—

A-4 弾性波トモグラフィ解析における偽像の発生について

A-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

A-6 高速液体クロマトグラフ装置を利用した水中のシアン分析法

A-1 地形解析プログラムの作成について

(小出 馨)

A-1 地形解析プログラムの作成について

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で重要とされる水収支と関連する水文特性をリモートセンシングデータ等の地表情報から推定する手法の構築を目指している。

本報告では、本年度に作成した地形情報（標高、斜面の傾斜度・方位）を抽出するために作成した斜面方位・傾斜度算出プログラムの内容およびデジタル標高データのグリッド間隔の検討、さらに解析領域の地形特性解析の結果について述べる。

2. 目的

広域地下水流動解析を実施するためには境界条件として涵養量を設定する必要がある。この涵養量は、降水量から蒸発散量と河川流出量を差し引くことで求められる。この中で河川流出量は、河川に河川流量計を設置すれば求められるが、解析領域が広域の場合、解析に必要な台数の河川流量計の設置は現実的に不可能である。したがって、広域を網羅できるリモートセンシングデータ等から抽出された地表情報を基に解析領域内の降雨流出特性を推定し、これと有効降雨量から河川流出量を算定するといった方法が必要である。そこで、本研究は、水収支に関連する水文特性をリモートセンシングデータ等から抽出される地表情報から推定する手法の構築を目的としている。

3. 実施内容

地形特徴は、地形図の等高線の形状から求めることができる。しかし、このような人手による作業は、解析領域が広域になるほど、多大な時間と労力を必要とすると共に、解析担当者による作業精度のばらつきによって、結果の再現性が保証されないといった問題が生じてくる。そこで本研究では、地形図の代わりにデジタル標高データ（DEM: Digital Elevation Map）を用いて、地形特徴を計算機によって自動的に算出するプログラムを作成（内部実施）すると共に、本研究の解析領域である東濃鉾山周辺域の地形を表現するために必要なDEMのグリッド間隔について検討し、それを基に解析領域をカバーするDEMを作成した。また、作成したDEMを用いて解析領域の地形解析を実施した。

3.1 DEMを対象とした斜面方位・傾斜度算出プログラムの作成

DEMから斜面方位および傾斜度を算出する方法としては、国土数値情報のように着目した標高点とその点を囲む標高点を使って算出する方法がある。しかし、この方法では、算出される斜面方位や傾斜度のデータのグリッドデータ上の位置が実際の斜面の位置とずれてしまうため、リモートセンシングデータと斜面データをコンパイルして解析する場合に問題が生じる。

そこで、実際の斜面と算出点との間の位置のずれを解消する方法として図-1に示す方法を試みた。この方法は4点の標高点に囲まれた範囲を1つの斜面と考え、この4点の標高点から3点を選択し、この3点の標高点で規定される4組の平面の方位および傾斜度を算出し、最大傾斜度を持つ平面を着目した4点の標高点に囲まれた範囲の斜面と見なすものである。3点で規定される平面の方位および傾斜度の算出には以下の式¹⁾を用いた。

$$\tan \theta = \frac{(z_1 - y_2)(y_2 - y_3) - (y_1 - y_2)(z_2 - z_3)}{(x_1 - x_2)(z_2 - z_3) - (z_1 - z_2)(x_2 - x_3)} \quad (\text{式-1})$$

$$\tan \lambda = \frac{z_1 - z_2}{(x_1 - x_2) \sin \theta + (y_1 - y_2) \cos \theta} \quad (\text{式-2})$$

ここで θ : 方位角

λ : 傾斜角

x_1, y_1, z_1 : 標高点 P 1 の各座標値

x_2, y_2, z_2 : 標高点 P 2 の各座標値

x_3, y_3, z_3 : 標高点 P 3 の各座標値

作成したプログラム (ddslope) は C 言語で記述しており、処理時間は、SUN4/640モデル40を用いて 242×241 グリッド (58,322標高点) で約33秒である。計算結果は、テキストファイルとして出力し、各行は、グリッド座標値 (X, Y)、斜面方位角 (北を0度として時計回りの360度法を採用)、傾斜角の順番で記述されている。また、各項目の間にタブを入れており、マッキントッシュのエクセル等で、読み込みが可能である。

3.2 プログラムの検証

(1) DEMの作成および斜面方位・傾斜度の計算

プログラムの検証を行うため、東濃鉾山周辺の400m四方をテストエリア (図-2) として、この範囲のDEM (10m間隔、41×41グリッド) を1000分の1の地形図から作成した。このDEMに対してプログラムを実行し、各メッシュにおける斜面の傾斜度および方位を計算した (図-3)。

(2) 実測値と計算値との比較

算出された1600メッシュから任意のメッシュを64点 (縦横各方向に5点間隔でデータをサンプリング) を抽出し、各メッシュにおける計算値と実測値を比較した。なお、実測方法は、1000分の1の地形図を用いて、各メッシュ内の等高線から斜面方位と傾斜度を測定した。その結果、図-4に示すように、斜面方位の相関は0.996、平均誤差は4.9度、傾斜度の相関は0.844、平均誤差が2.4度であった。この程度の誤差であれば、実際の解析 (斜面方位は16方位、傾斜度を5度ステップで区分) では問題は生じないと思われる。

3.3 DEMのグリッド間隔の検討

プログラムの検証に用いたDEMを用いて、東濃鉾山周辺の地形を表現するために必要なDEMのグリッド間隔を以下の方法で検討した。まず、10mグリッドのDEMを基に、10mピッチで間隔を変えたDEMを作成し、各々のDEMから前述のプログラムを用いて斜面分布図を作成した。次にこの斜面分布図と実地形とを比較し、各グリッド間隔のDEMにおける地形の表現の度合いを調べた。この比較検討結果を図-5に示す。図-5の上

の図は、各グリッド間隔（10m、20m、30m）のDEMから作成した斜面分布図であり、下の図は、テストエリアの25,000分の1の地形図である。この図からわかるように地形図で表現される5本の谷は、グリッド間隔が20mまでは表現されているが、グリッド間隔が30mになると5番目の谷のように表現されない谷が生じてくる。このことから本地域の地形を表現するためには、30m未満のグリッド間隔が必要である。

3.4 解析領域のDEMおよび地形特性データファイルの作成

DEMのグリッド間隔の検討結果を基に、解析領域（図-6）をカバーするDEMを作成した。なお、作成はセントラル・コンピュータ・サービス株式会社に委託した。作成したDEMの仕様は、建設省国土地理院発行の25,000分の1の地形図を基にした20mグリッド間隔のDEMであり、グリッド数は東西方向が242グリッド、南北方向が241グリッドである。座標系は緯度経度の直交座標系を用いた。

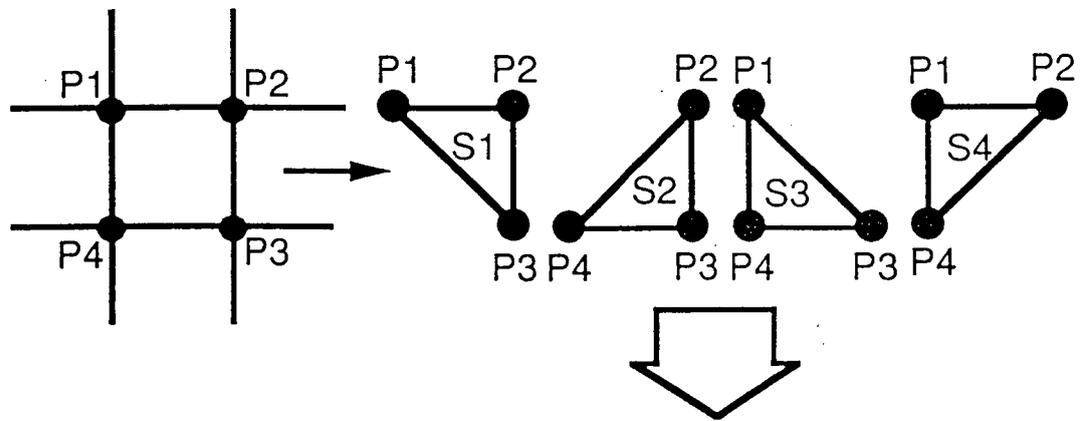
このDEMに対して、斜面方位・傾斜度算出プログラムを用いて解析対象領域の斜面方位、傾斜度および標高の各地形特性データファイルを作成した。これらの地形特性データファイルによって得られた解析領域の地形特性を図-7に示す。これらの結果から、本地域の地形特性としては、傾斜度は斜面方位別に大きく異ならず、平均傾斜度は10度前後であること、南東および南西方向の斜面が卓越していること、また、標高別頻度分布の丘陵部に対応する標高250mから320mの範囲の頻度分布形態から、丘陵上部面は緩く傾斜した平坦面を形成していること等が挙げられる。

4. 今後の予定

作成した地形特性データファイルと別途実施している植生解析結果を基に、解析領域における地形と植生との関連性を調査すると共に、地形と植生とをキーとした領域区分を実施する。これらの結果は、今後実施する地表特徴と水文特性との対応を調査する時の調査地点の選定に用いる予定である。

5. 参考文献

- 1) 野上道夫・杉浦芳夫（1985）, パソコンによる数理地理学演習, 古今書院, pp. 37-39



最大斜度の斜面をP1,P2,P3,P4に
囲まれたエリアの斜面とする。

図-1 斜面方位・傾斜度算出の概念

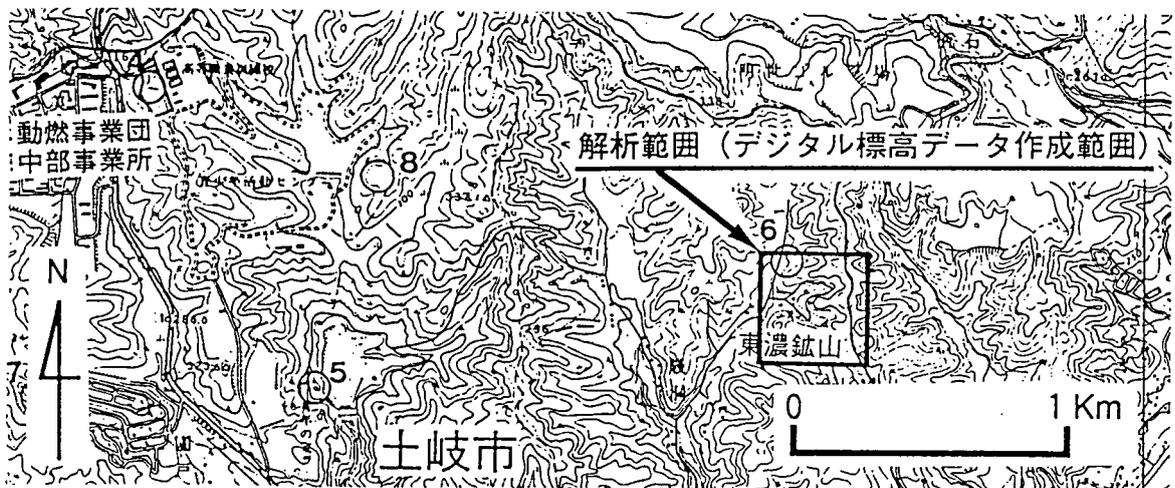


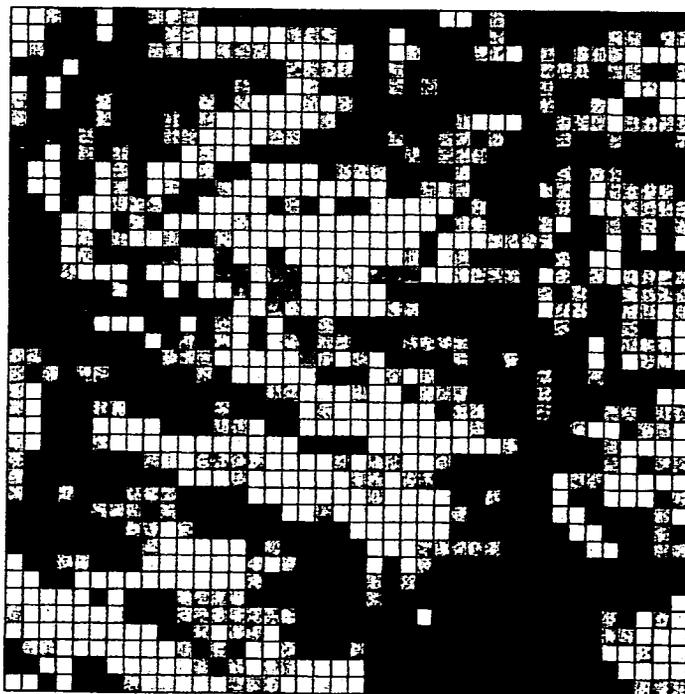
図-2 テストエリア位置図

斜面方位



- direction(degree)
- flat
 - N_(-22.5-->022.5)
 - NE(022.5-->067.5)
 - E_(067.5-->112.5)
 - SE(112.5-->157.5)
 - S_(157.5-->202.5)
 - SW(202.5-->247.5)
 - W_(247.5-->292.5)
 - NW(292.5-->337.5)
- Slope Analysis
GRID=10m
PNC CHUBU WORKS

傾斜度



- dip(degree)
- flat
 - 00-->05
 - 05-->10
 - 10-->15
 - 15-->20
 - 20-->25
 - 25-->30
 - 30-->35
 - 35-->40
 - 40-->45
 - 45-->50
 - 50-->55
- Slope Analysis
GRID=10m
PNC CHUBU WORKS

図-3 テストエリアにおける計算結果

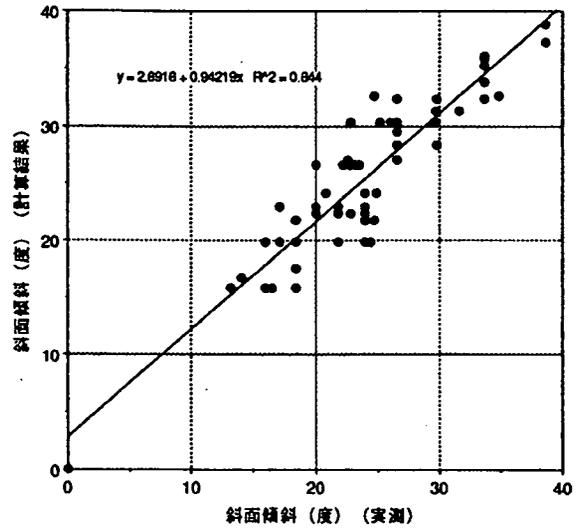
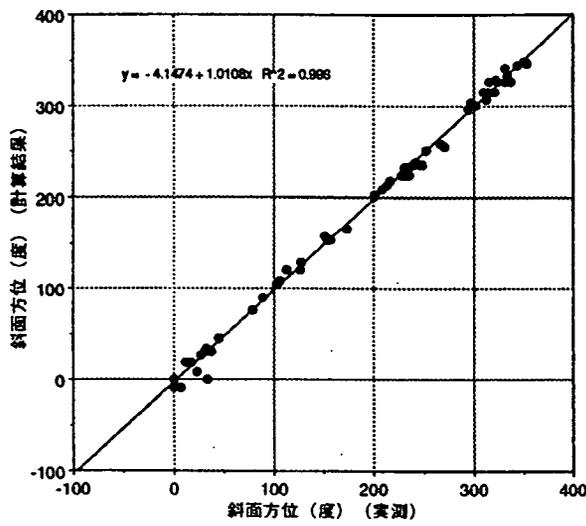
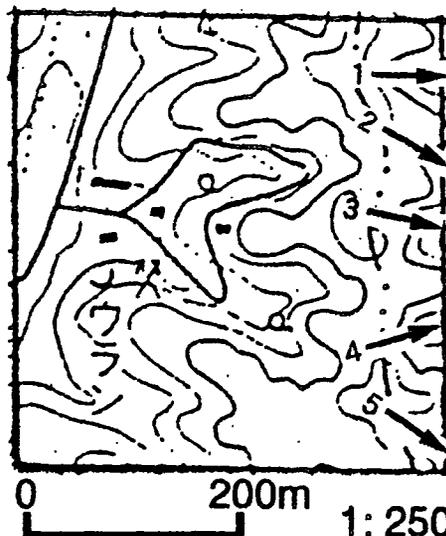
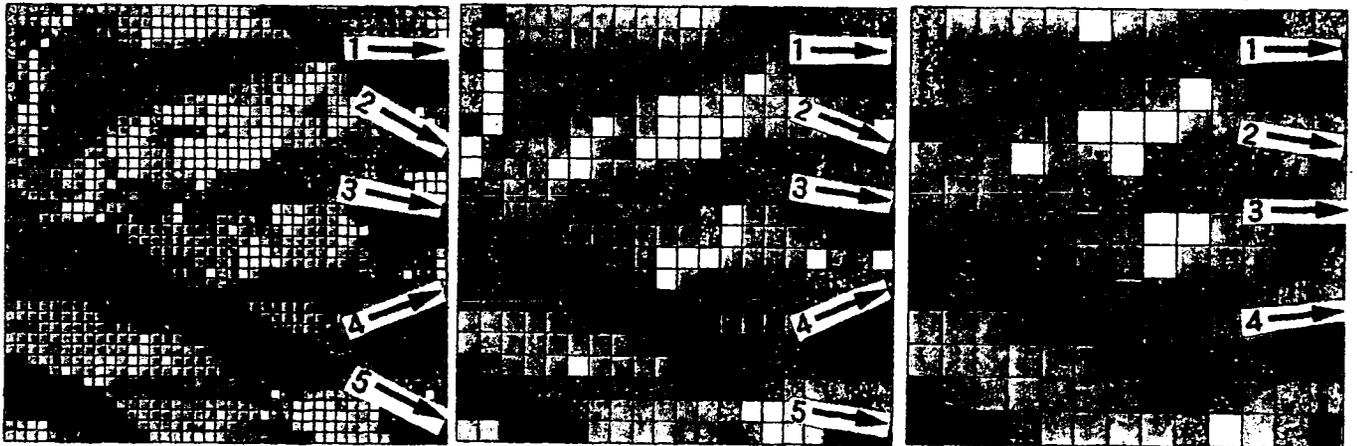


図-4 計算結果と実測値との比較

グリッド間隔 = 10m

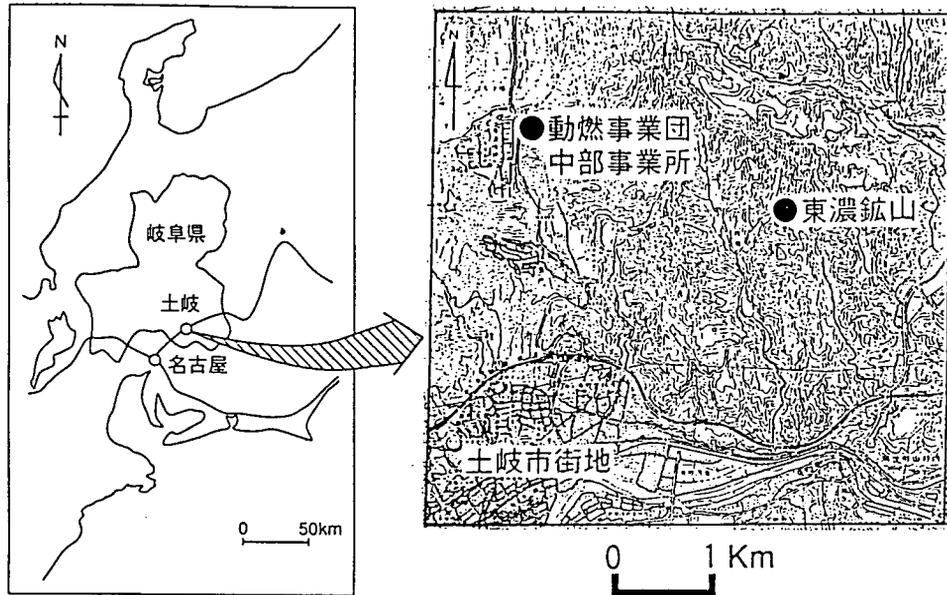
グリッド間隔 = 20m

グリッド間隔 = 30m

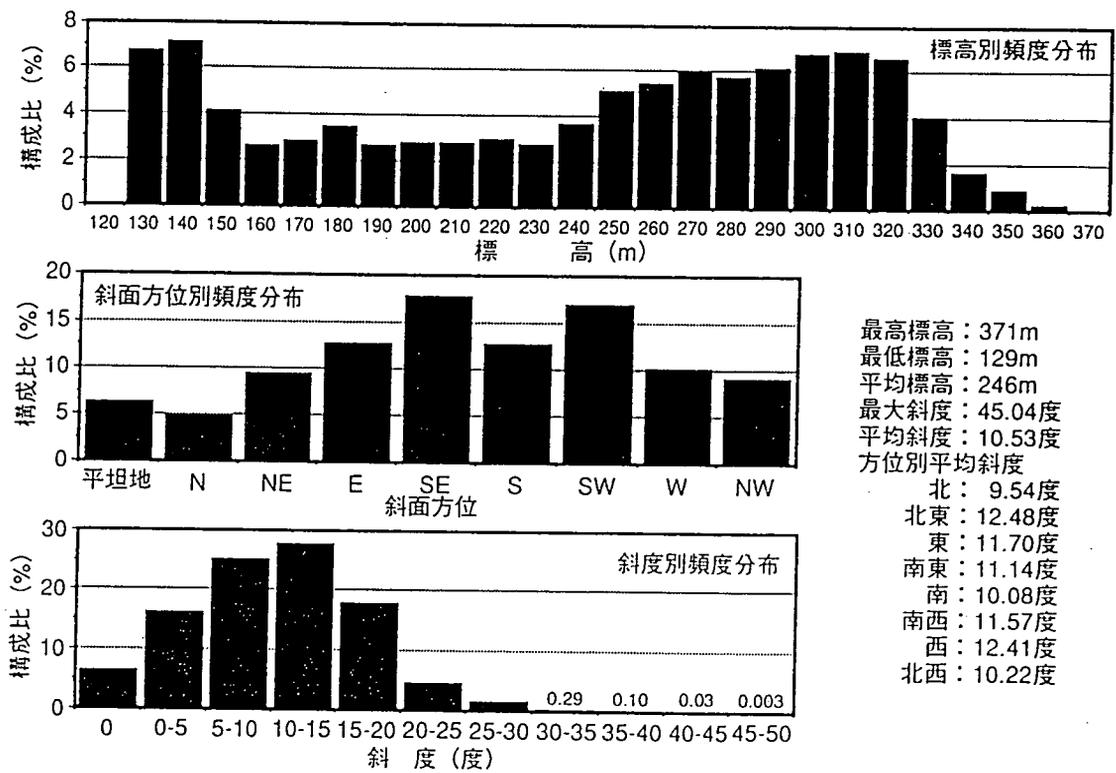


- 平坦地
- 北
- 北東
- 東
- 南東
- 南
- 南西
- 西
- 北西

図-5 各グリッド間隔のDEMにおける地形表現の変化



図一 6 DEM作成範囲



図一 7 東濃鉦山周辺域の地形特性

A-2 植生情報による表層部の水文学的特性の推定

(小出 馨)

A-2 植生情報による表層部の水文学的特性の推定（その1）

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文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で重要とされる水収支と関連する水理特性をリモートセンシングデータ等から抽出される地表情報から推定する手法の開発を目指している。

本報告では、本年度に実施したSPOT衛星データによる植生解析の方法および結果の概要について述べる。

なお、詳細は事業団登録資料「地表物理調査法の開発・リモートセンシング調査法－地形・植生情報による表層部の水文特性の推定（その1）－PNC PN7410 93-016」を参照されたい。

2. 目的

本研究は、広域地下水流動解析における上部境界条件、つまり涵養量の算出に必要な蒸発散量や降雨流出特性といった水文特性を、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を構築することを目的としている。

3. 実施内容

本研究では水収支の重要な要素である蒸発散および降雨流出特性に関与すると考えられる植生を地表情報項目として選択し、植生情報の抽出の一環として解析領域（図-1）における林相の区分（針葉樹林、針広混交林、広葉樹林）を行うため、衛星データによる林相区分の手法の検討およびデータ処理解析を実施した。

3.1 林相区分の必要性と区分方法の検討

蒸発散量や降雨流出特性といった水文特性は、樹木の葉の量や落葉層の構造に規制されると考えられ（図-2）、例えば渡辺、他(1992)¹⁾では、両者の関係の定量化が試みられている。葉の量や落葉層の構造は、針葉樹林と広葉樹林とでは大きく異なることが予想されることから、これらの植生情報と水文特性との関係を議論する場合、針葉樹林と広葉樹林とを区分して議論する必要がある。また、葉の量や落葉層の構造からこれらの水文特性を推定する場合も針葉樹林と広葉樹林の分布を把握する必要がある。

針葉樹林と広葉樹林を区分する方法は、地表踏査と空中写真判読の併用による方法が既に実用的に用いられている。しかし、既存の空中写真を利用する場合、調査時と時間的なずれがあるため、現在の林相と一致しないことが有り得る。また、新規に撮影する場合は、かなりの費用が必要となる。そこで、本研究では、空中写真に比較して即時性に優れた衛星データを利用した林相区分方法を検討した。

本研究の解析領域である東濃鉦山周辺の森林は、アカマツ等の常緑針葉樹およびコナラ、カエデ、ヤマザクラ等の落葉広葉樹から構成されている。したがって、落葉による樹木の植被率（地表を樹木などの葉が覆う割合）の変化を捉えることにより、針葉樹林と広葉樹林を区分することが可能である。植被率は、リモートセンシングデータから得られる正規化植生指標と高い相関が有ることが竹内(1987)²⁾で報告されており、リモートセンシングデータから得られる正規化植生指標の季節変化を捉えることで針葉樹林と広葉樹林とを区分することが可能であると考えられる。なお、正規化植生指標(NVI)は、図-2に示す式で定義されている。ここでIRとは近赤外域におけるリモートセンシングデータの値であり、Redは可視域の赤色に対応したリモートセンシングデータの値である。

3.2 解析対象データ

本研究で使用した衛星データは、フランスの地球観測衛星SPOTのHRVセンサーデータであり、夏のデータとして1990年6月19日のデータ、また、秋のデータとして同年11月16日のデータを用いた。SPOT衛星のデータは地上解像力が20mであり、表-1に示すように可視域の緑色の波長から近赤外域までの光の波長帯を3つのバンドに分けて観測している。

表-1 SPOT衛星データの諸元

○衛星名：SPOT1号	○HRVセンサーの諸元
センサー名：HRV（マルチスペクトル）	・地上解像力：20m
○受信局：鳩山（宇宙開発事業団）	・観測波長帯
シーングリッド：326-279	BAND1:0.50~0.59 μ m
○観測日 1990年6月19日（夏）	BAND2:0.61~0.68 μ m
1990年11月16日（秋）	BAND3:0.79~0.89 μ m

3.3 処理解析の流れ

SPOT衛星データの処理解析は、図-3に示すフローチャートに従って実施した。まずオリジナルデータに対し大気補正や幾何補正などの前処理を実施した後、季節変化の少ない市街地の部分のデータを用いて夏データと秋データとのレベルを合わせ、図-3に示すNVIの式を用いて各季節のNVIを算出した。なお、本研究ではNVIデータを画像化するためにNVIの値を100倍にしている。次に夏のNVIから秋のNVIを引き算して季節変化量を求め、求められたNVI季節変化量と各林相との関連性を検討した。

3.4 各林相におけるNVIの季節変化量

図-4は既に林相がわかっている部分でのNVIの季節変化量を示したグラフである。グラフから明らかなように針葉樹林と落葉広葉樹林とは平均値はもちろんのことデータのばらつきを考慮してもNVIの季節変化量によって区分が可能である。また、針広混交林のNVIの季節変化量の分布は、針葉樹林と広葉樹林のNVIの季節変化量の分布域を併せた広い範囲に渡っている。これは、一般に植物は群落を形成しているので、SPOT衛星データの解像力、つまり20m四方といった狭い領域で林相を見た場合、この領域内が

全て針葉樹あるいは広葉樹で構成されている場合が有り得ることから、このような広い分布を示していると考えられる。したがって、20m四方を評価単位とした場合の針広混交林のNVIの季節変化量は、30から40の範囲と思われる。

3.5 林相区分図の作成

図-4の結果を基にNVIの季節変化量データから林相区分図(図-5)を作成した。この図では、青～青緑が針葉樹林、緑が針広混交林、黄色から赤が広葉樹林を示している。この結果は、現地調査により、現地の林相と良く対応していることが確認された。

4. まとめ

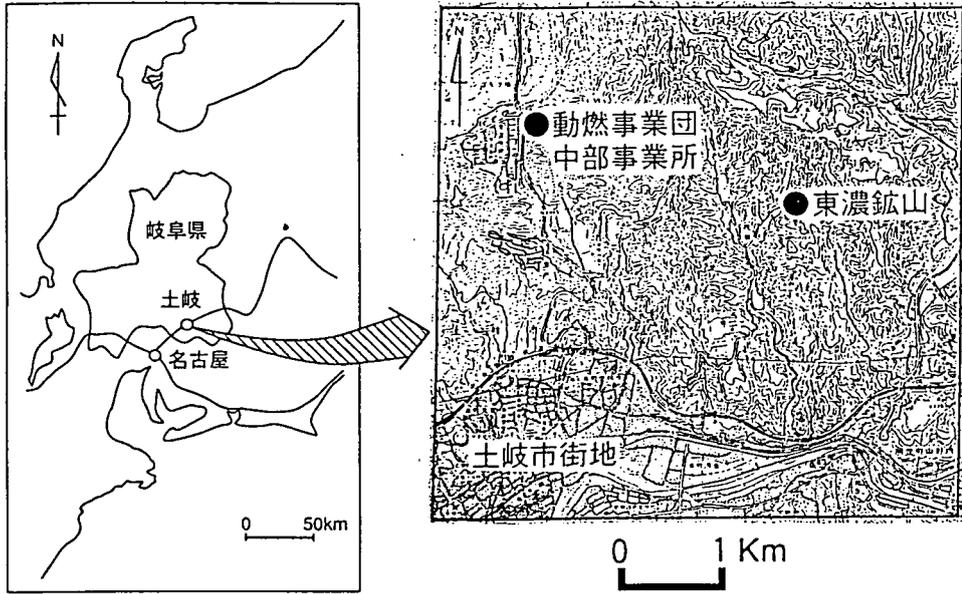
夏および秋の衛星データからNVIの季節変化量を算出することにより、針葉樹林、針広混交林および広葉樹林を区別できることが明らかになった。

5. 今後の予定

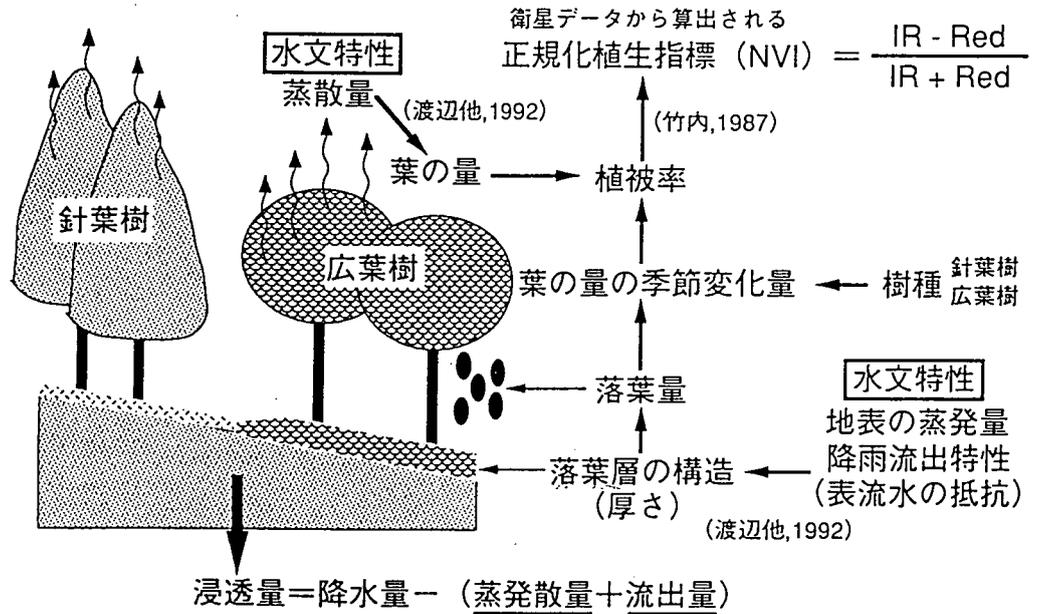
今回作成したNVIデータを基に植生と地形・地質との関連性について検討するとともに地表情報と水文特性とを結びつけるための樹種毎の蒸散量、落葉層の構造および降雨の樹冠遮断などに関するデータの取得を行い、植生情報と水文特性との関係を定量化していく予定である。

6. 参考文献

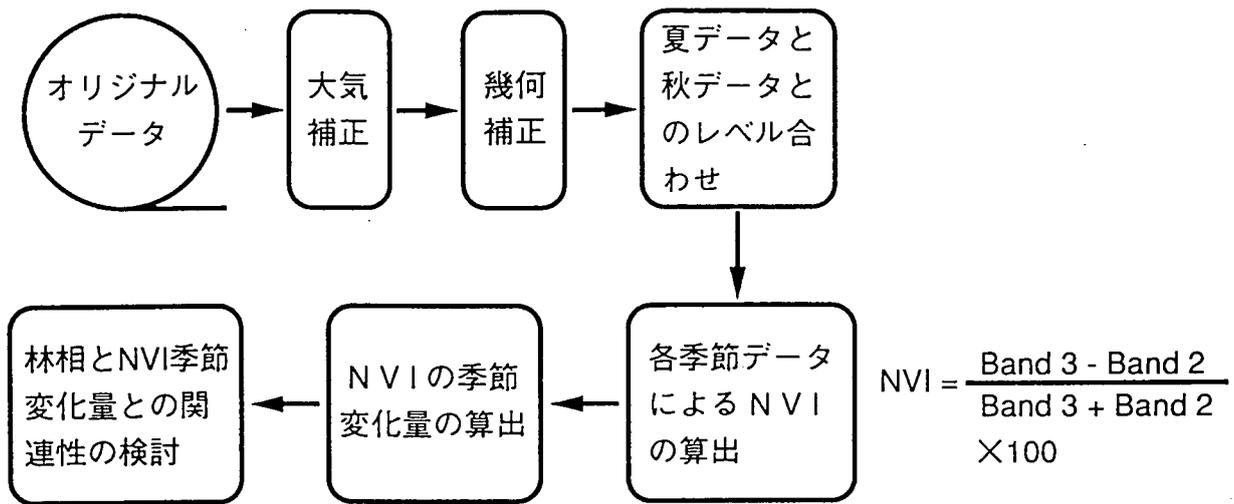
- 1) 渡辺, 他(1992), 斜面表層の地下水解析における、落葉層構造と平均蒸散量の考慮, 土木学会第47回年次学術講演会予稿集, 第3部, pp. 662-663
- 2) 竹内章司(1987), 衛星画像の植生指標による画素内緑被率の推定, 写真測量とリモートセンシング, vol. 26, No. 4. pp4-12



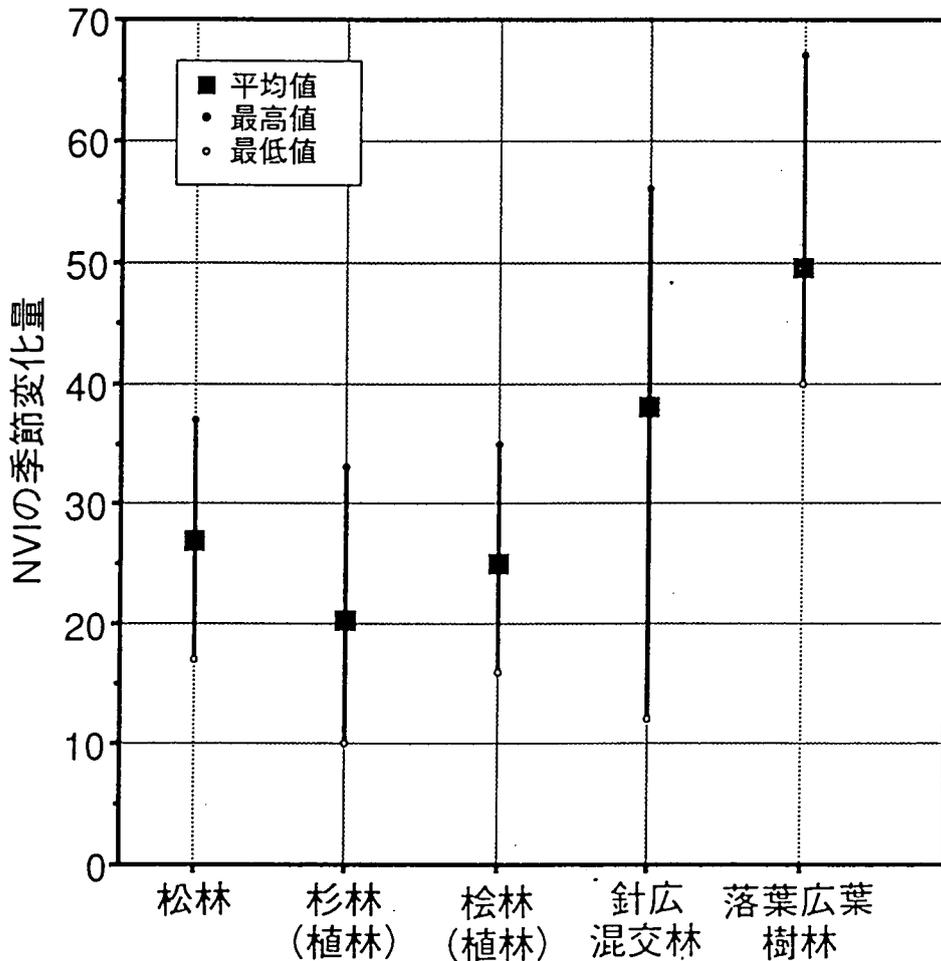
図一 解析領域



図一 2 植生と水文特性との相関



図－3 SPOT衛星データの処理解析の流れ



図－4 林相毎のNVIの季節変化量

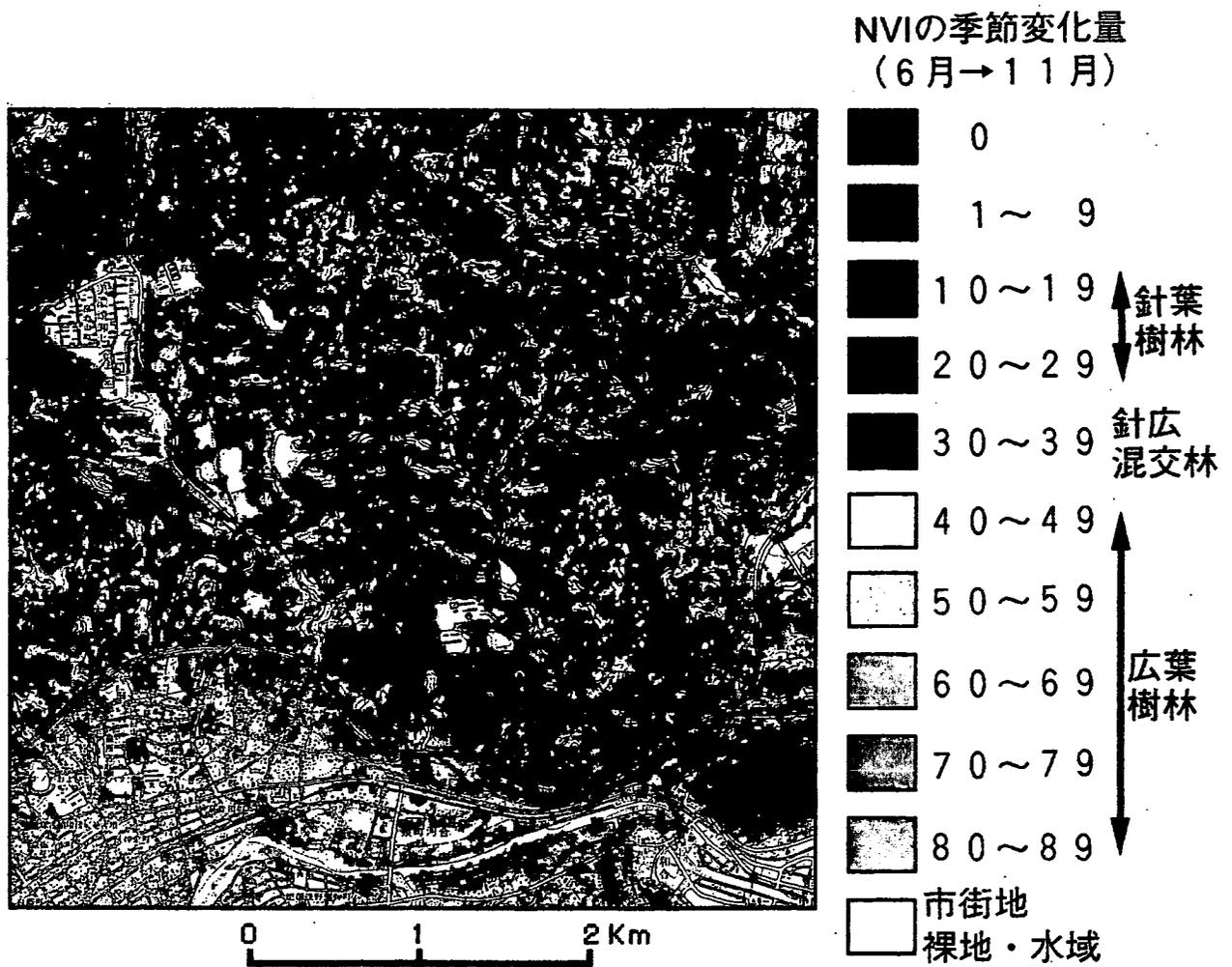


図-5 SPOT衛星データによる林相区分図

A-3 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)

A-3 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

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し、ワークステーション上で使用可能なプログラムの作成・改良を行ってきた¹⁾。平成4年度は、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作成し、メインプログラムに付加したので、その結果について報告する。

2. 速度分布再構成の際の問題点

弾性波トモグラフィの速度分布再構成（逆解析）とは、測定された走時データに対してそれを最も良く説明できる速度構造モデルを見つけ出すことである。一般にパラメータ数の大きなモデルは微細な構造を反映できるため、残差（モデルで求めた計算値と実測値との差）の二乗和が小さくなり、見かけのあてはまりは良くなる。しかし、データには必ず誤差が含まれているので、モデルのパラメータ数を必要以上に大きくすると、モデルは測定誤差をも忠実に再現することになってしまう。その結果、解析結果が真の構造をどこまで反映しているのかが定かでなくなり、信頼性のある情報を引き出すことが困難になる。一方、パラメータ数が少なすぎるとモデルが対象構造を十分反映できなくなり、得られる情報に偏り生じる。その中間に最もよいモデルが存在するはずで、それを選び出す客観的基準が必要になる。

3. 特異値分解法による最小二乗法

最小二乗法を用いて逆解析を行う場合は、(1)式で与えられる方程式を解く必要がある。

$$y = Ax \quad (1)$$

弾性波トモグラフィの場合には、波線がセルを横切る長さ（以下、セル波線長という）が係数行列Aの要素であり、yは測定値のベクトル、xが未知ベクトル（各セルの速度）となる。この未知ベクトルxを最小二乗法を用いて求めるのであるが、技術開発課では特異値分解法²⁾を用いて最小二乗界を求めている。

いま波線数をn、セル数をmとすると(1)式の係数行列Aはm×n行列となる。特異値分

に分解することで、行列Uと行列Vには次式の関係が成り立っている。

$$U'U = I_n, \quad V'V = I_m \quad (3)$$

ここで、 I_n および I_m はそれぞれ $n \times n$ 、 $m \times m$ の単位行列である。また、行列 Λ は(4)式で表される対角行列である。

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & \lambda_2 & & \cdot \\ \cdot & & & 0 \\ 0 & \cdot & 0 & \lambda_m \end{pmatrix} \quad (4)$$

(4)式の λ_i を行列Aの特異値と呼ぶ。(2)式を(1)式に代入し、(3)式の関係を用いて変形すると(5)式を得る。

$$x = V \Lambda^{-1} U' y \quad (5)$$

(5)式は係数行列Aが正則であっても非正則であっても成立する。 Λ の逆行列は(6)式に示すように λ_i の各々の対角要素の逆数を要素にもつ行列である。

$$\Lambda^{-1} = \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \lambda_2^{-1} & & \cdot & \\ \cdot & & & & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & \lambda_m^{-1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

ここで、Aが非正則に近い場合は(7)式に示すようにある整数pより大きいiに対する λ_i を0とおき、その逆数 λ_i^{-1} も0とおくことによって解の発散を抑制することができる。

$$\lambda_i = 0, \quad \lambda_i^{-1} = 0, \quad i = p+1, p+2, \dots, m \quad (7)$$

(7)式に示した条件を与えた場合の解を x_p とすると、解 x_p は(8)式で表される。

$$x_p = V \begin{pmatrix} \lambda_1^{-1} & & & & 0 \\ & \cdot & & & \\ & & \lambda_p^{-1} & & \\ & & & 0 & \\ & & & \cdot & \\ 0 & & & & 0 \end{pmatrix} U' y \quad (8)$$

ここで、 p の値をいくつにするのかが問題になる。平成 3 年度に作成・改良したプログラムでは、ある値 ($\varepsilon \times$ 特異値の最大値) よりも大きな特異値の個数を p とし、 ε は解析者が自らの判断で設定するようになっている。しかし、この ε の値については、これをいくらに設定すればよいのかを決める客観的な基準がなく、 ε の値をいくつか変えて解析を行い、最もよさそうなものを選択するというやり方で解析を行ってきた。しかし、このことは同一データを使用しても、複数の解析者が解析を行った場合、解析者の数だけ解析結果が生じる危険性があることを意味している。

そこで今回、実際に測定されるデータを用いて統計的モデルの悪さを評価するために導入された統計量である赤池の情報量基準 (AIC) 及びベイズアン情報量基準 (BIC) を用いて特異値の最適個数 p を決定するサブルーチンを作成した。

4. 情報量基準を用いた特異値の最適個数の決定³⁾

データに含まれるノイズが正規分布に従うと仮定すると、AIC 及び BIC は (9) 式及び (10) 式で定義される。

$$AIC = n \cdot \ln(\hat{\sigma}^2) + 2 \cdot k + \text{const} \quad (9)$$

$$BIC = n \cdot \ln(\hat{\sigma}^2) + k \cdot \ln(n) + \text{const} \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum (t_{i,j} - t_{i,j})^2 \quad (11)$$

ここで、 n はデータ数、 k は自由パラメータ数である。通常は自由パラメータ数 k にはモデルの未知数が用いられるが、ここでは使用する特異値の個数が k となる。

実際の解析は以下に示す手順で進められる。

各イタレーションにおいて、

- ① その時点で得られている速度分布に対してレイトレーシングを行い¹⁾、波線経路および理論走時を求める。
- ② 係数行列 A (要素はセル波線長) の要素特異値分解を行う。
- ③ 特異値の個数を 1 個ずつ増やしながら未知ベクトル x を求め、その都度 AIC 及び BIC の値を計算し、記憶する。
- ④ AIC 及び BIC の最小値を求め、その時の特異値の個数を最適個数とし、未知ベクトル x をあらためて求め、これを用いて各セルの速度の修正を行った後、次のイタレーションに入る。

「AIC から求められる個数を最適個数とするのか、BIC から求められる個数を最適個数とするのか」という問題については、数値実験を行って検討した。その結果、BIC から求められる個数の方が常に小さいことが判明したので、イタレーションの初期の段階では BIC による値を採用して解析を進め、ある程度解が収束した段階で AIC による値に切り換えてイタレーションを続行し、モデルが出来るだけ微細な構造を反映できるよう

に配慮した。

さらに、数値実験の結果、イタレーションが進み解が収束していくとB I C及びA I Cの最小値を与える特異値の個数が1となり、解の修正がほとんど行われなくなることが明らかになった。しかも、この段階で得られている解は、当初設定したモデルに充分近いと判断されることから、この段階で「解は収束した」と判定することにした。現時点では、この判定が正しいことを裏付ける理論的な根拠は見つかっていないが、実用上は問題ないものと考えられる。

5. 問題点と今後の課題

A I C及びB I Cは、自由パラメータ数に対しデータの数に充分大きいという前提で導き出された統計量である。従って、データの数にあまり大きくない時に今回作成したルーチンがどこまで正しく機能するかどうかは確認されていない。今後は、数値実験や実際のデータの解析を通じて、今回作成したサブルーチンの適用限界を明らかにしていく必要がある。

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) 計算機のための数値計算法 ; 日本コンピュータ協会
- 3) 統計学的情報量基準を用いた弾性波トモグラフィの逆解析 (1992) ; 鈴間俊之, 渡辺俊樹, 佐々宏一, 物理探査学会第86回学術講演会論文集, P. 55-P. 59

A-4 弾性波トモグラフィ解析における偽像の発生について

(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し、ワークステーション上で使用可能なプログラムの作成・改良を行ってきた¹⁾²⁾。

今回、このプログラムを用いて、東濃鉱山第2立坑・第1計測坑道で取得された実測データの解析を実施した。次に、解析結果を解釈するためにモデル解析を実施し、地質観察結果と整合しない部分が偽像であることを裏付ける結果が得られたので、その結果について報告する。

2. 実測データの解析と地質観察結果との対比

2.1 実測データ取得の概要³⁾

測定は、東濃鉱山第2立坑および第1計測坑道を利用して行った。測定対象領域の地質は新第三紀の堆積岩で、ほぼ水平に堆積した砂岩・泥岩の互層及び礫岩層から構成されている。また図1に示すように、月吉断層（走向EW，傾斜60°S）が存在している。

測定は、図1に示すように、第1計測坑道から掘られた4本の長さ80mの傾斜ボーリング孔（GT1～GT4）を使用して行った。この4本のボーリング孔は上面が2m、下面が約40mの正方形となる正四角錐状の形を形成する配置となっている。測定は、この4本のボーリング孔で作られる断面のうち、GT1-GT2断面の上部、GT1-GT3断面、GT2-GT3断面、GT3-GT4断面での4断面で行われた。測定使用の詳細は報告書「立坑掘削影響試験のうち岩盤挙動の調査（Ⅱ）（PNC ZJ7449 91-002）」を参照されたい。

今回はこの内、GT1-GT3断面、GT2-GT3断面の2断面の解析結果について検討した。

2.2 実測データの解析結果

図2が得られた解析結果である。弾性波速度は2000m/sec～3400m/secの間に分布しており、ボーリングコアの観察結果と対比すると、低速度部は凝灰質泥質岩に高速度部は礫岩層に概ね対応している。しかし、細部において地質観察結果と整合していない部分もいくつか見られる。その主なものを以下に示す。

- ①解析領域の底部で高速度部が解析されたが、この高速度部は凸状を呈しており試錐孔近傍での連続性が悪い。この高速度部が礫岩層に相当しているのであれば、試錐孔近傍まで層厚を減じることなく連続しているはずである。

- ②月吉断層は幅は狭いが破碎帯を伴っている。一般に破碎帯の弾性波速度は健全な岩盤に較べかなり低い、解析結果には断層破碎帯の存在を示すような幅の狭い低速度体は解析されていない。
- ③GT1-GT3 断面では、解析領域中央部の低速度部と中間速度部の境界が月吉断層の推定位置とほぼ一致しており、断層の上盤側と下盤側で速度がかなり異なるのではないかと考えられたが、GT2-GT3 断面での低速度部と中間速度部の境界は断層の推定位置とかなりずれている。
- ④ボーリング孔GT3 の中央付近には礫岩層が観察されていないにもかかわらず、GT2-GT3 断面のボーリング孔GT3 の近傍に高速度部が解析されている。

以上の問題点は、弾性波トモグラフィの解析上問題となる偽像と関連している可能性が高いと思われたので、モデル解析を行って弾性波速度構造モデルと偽像の関係について検討した。

3. モデル解析

3.1 モデル解析の方法

モデル解析の手順を以下に示す。

- ① 実測データの解析結果を参考にして、単純な速度構造モデルを設定する。
- ② ①の速度構造モデルに対して、実測の場合と同じ測定仕様で走時を計算する。
- ③ ②で得られた走時を実測データとみなして解析を行い、解析結果と設定したモデルの比較を行う。

3.2 モデル解析結果

3.2.1 解析領域の底部に位置する幅の広い高速度体のモデル解析

2.2 の①について検討するため、図3-1に示したモデルを設定し、モデル解析を行った。図3-2が解析結果であり、高速度体の厚さが一定でも、解析結果は高速度部が凸状に解析されることが明らかになった。従って、実測データの解析結果に現れた領域底部の高速度体は試錐孔近傍まで層厚を減じることなく連続しているものと解釈される。

3.2.2 幅の狭い低速度体のモデル解析

2.2 の②について検討するため、図4-1に示したモデルを設定し、モデル解析を行った。図4-2が解析結果であり、月吉断層の破碎帯を想定して設定した幅の狭い低速度体は正しく解析されず、解析領域全体の弾性波速度を僅かに下げるという形でその影響が現れ、局所的な偽像は生じないことが明らかになった。

3.2.3 幅の広い低速度体のモデル解析

2.2 の③について検討するため、図5-1に示したモデルを設定し、モデル解析を行った。図5-2が解析結果であり、モデルの速度境界を合わせて示してある。この図から分かるように、GT1-GT3 断面では速度境界はほぼ正しく解析されているが、GT2-GT3 断面で

は低速度部は実際よりも大きく解析されている。このことから、GT2-GT3 断面の実測データの解析で得られた低速度部と中間速度部の境界は、実際はもう少しGT3 側に寄っているものと考えられ、GT1-GT3 断面の実測データの解析結果及びモデル解析結果を考え合わせると、この境界は月吉断層面に相当するものと解釈される。

また、GT2-GT3 断面の低速度部の上部に局所的な高速度の偽像が生じていることから、2.2の④で問題となった高速度部はその下にある低速度部に起因する偽像であると考えられる。

4. まとめ

東濃鉱山第2立坑・第1計測坑道で取得された実測データの解析を実施した。次に、解析結果を解釈するためにモデル解析を実施した結果、地質観察結果と整合しない部分が偽像であることを裏付ける結果が得られた。

今回の試みは、モデル解析を実施することで、実測データの解析結果を解釈する上で非常に重要な情報が得られることを示しており、今後とも、実測データの解析の際には必ずモデル解析を平行して行い、解析結果の信頼性向上を図っ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(1992);長谷川健, 本報告書前項
- 3)立坑掘削影響試験のうち岩盤挙動の調査(Ⅱ)(PNC ZJ7449 91-002)

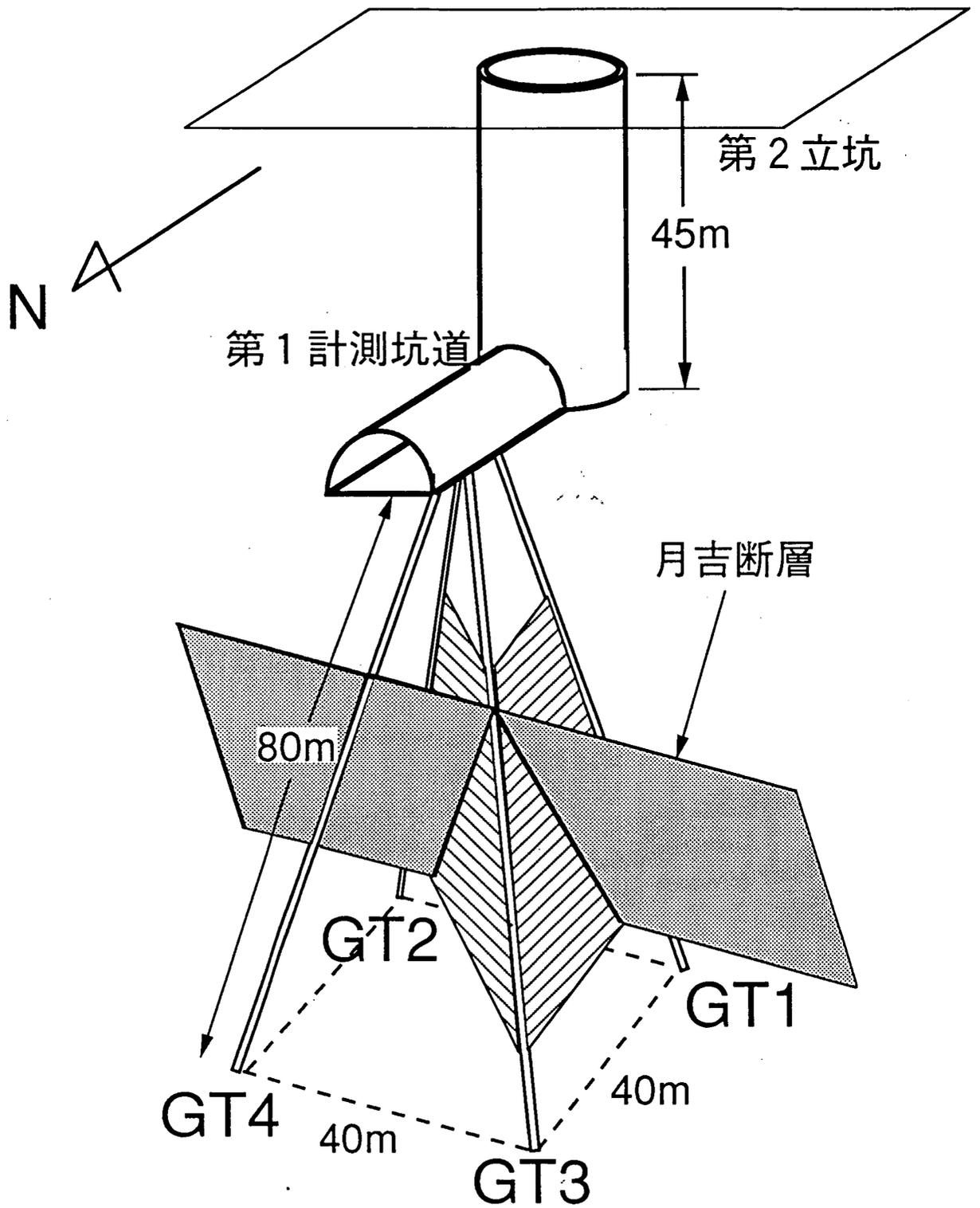


図1 試錐孔の空間的配置

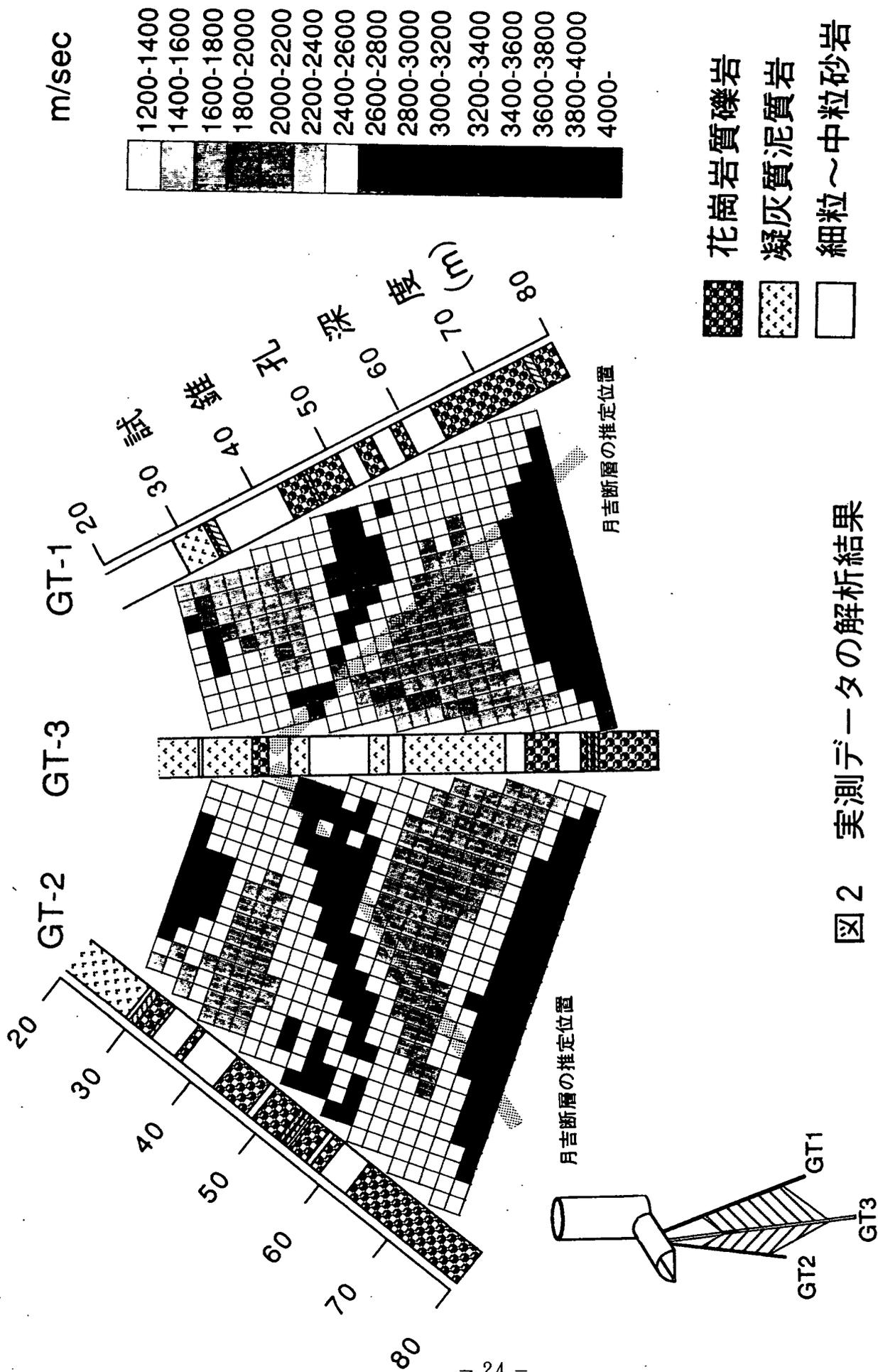
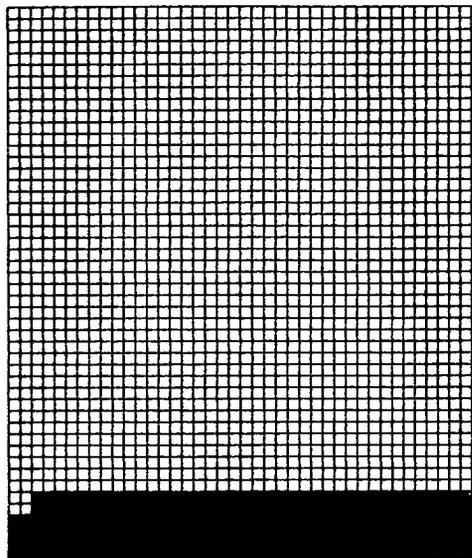


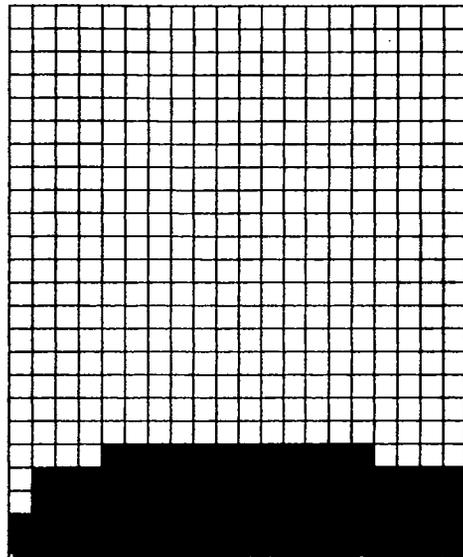
図2 実測データの解析結果

GT3 GT1

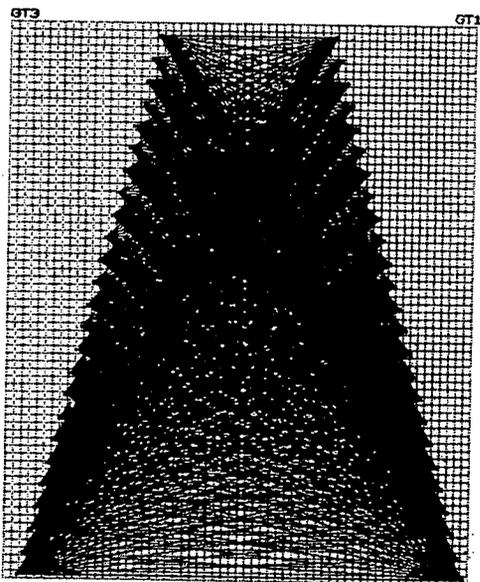


モデル

GT3 GT1



解析結果



発信点・受信点の
組み合わせ

m/sec

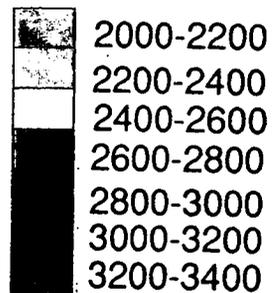


図3-1 速度構造モデル

図3-2 解析結果

図3 解析領域の底部に位置する
幅の広い高速度体のモデル解析結果

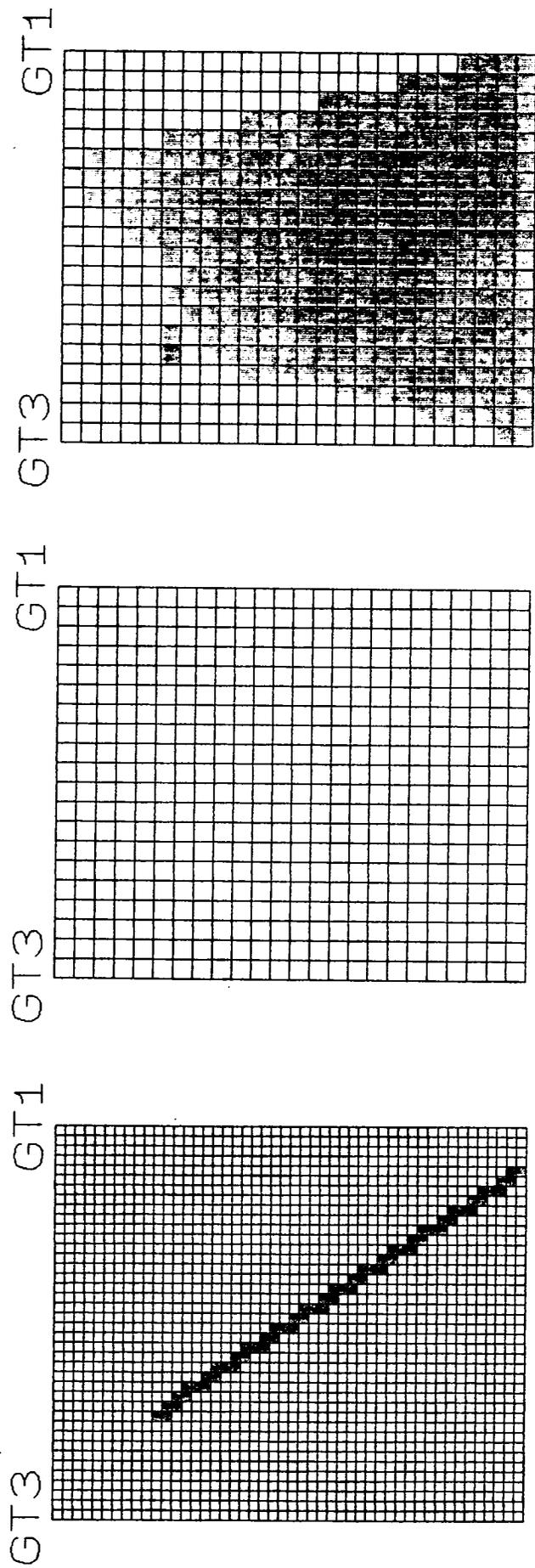
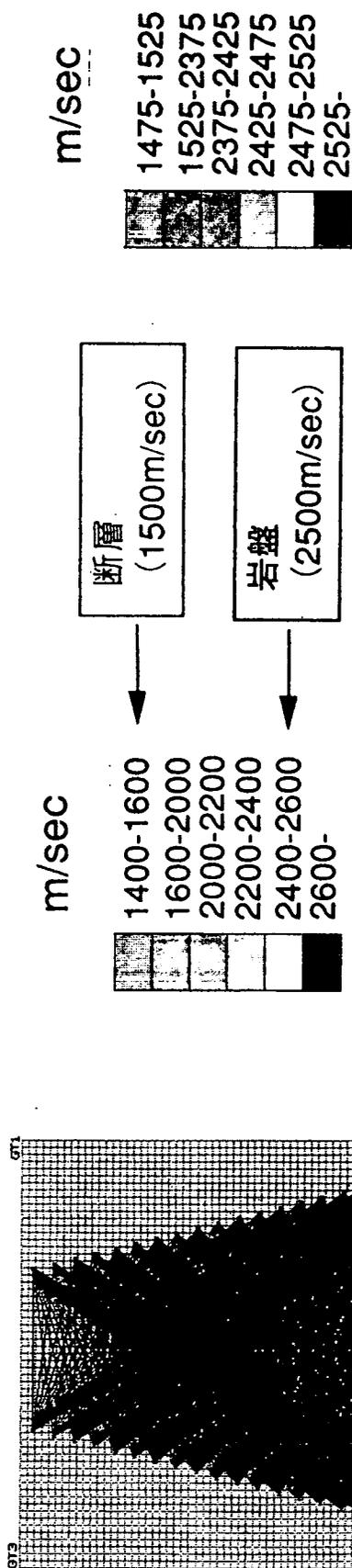


図4—1 速度構造モデル



表示-1

表示-2

図4—2 解析結果

図4 幅の狭い低速度体のモデル解析結果

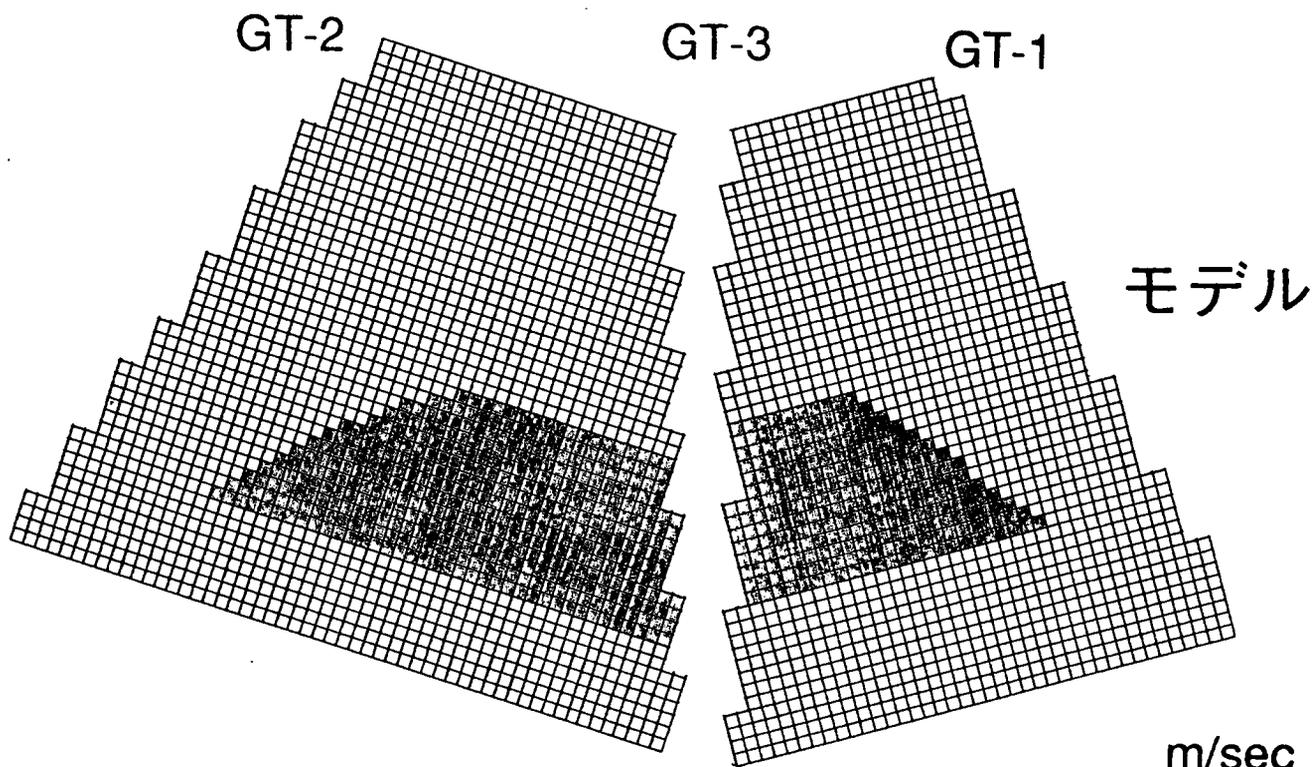


図5—1 速度構造モデル

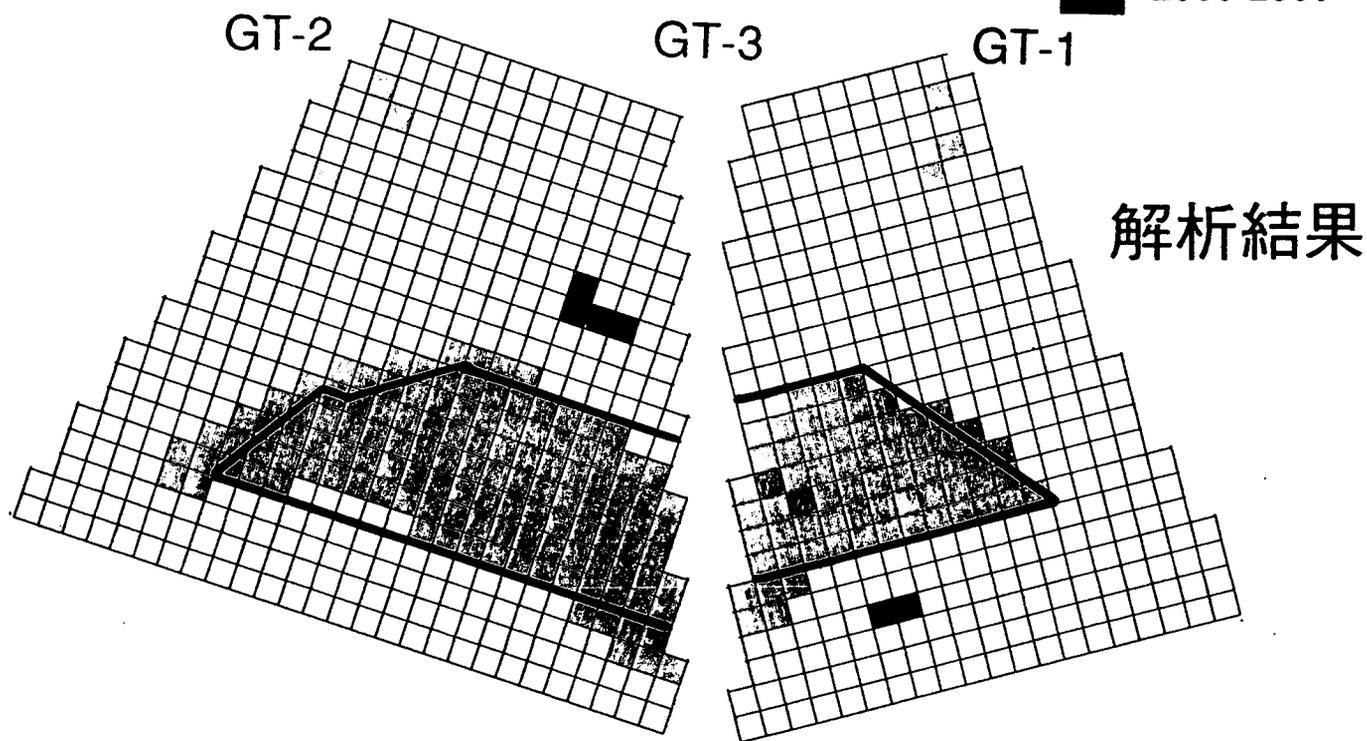
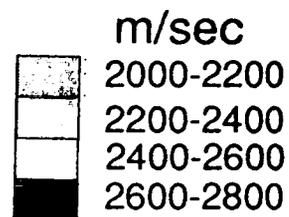


図5—2 解析結果

(黒枠はモデルとして与えた低速度体の輪郭)

図5 幅の広い低速度体のモデル解析結果

A-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

(長谷川 健)

A-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2)

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。その内の比抵抗トモグラフィについて、平成4年度、データの解析精度向上に関する研究(その2)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2)(PNC ZJ1606 93-001)」にまとめられている。

2. 成果の概要

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¹⁾²⁾ことから、サイト特性調査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4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、地表と一本の試錐孔のみが利用できる場合(平成3年度は、地表あるいは坑道壁面のみが使用可能な場合について検討³⁾)について、地下構造の分解能を明らかにするとともに、解析精度を向上させるための調査仕様およびデータの解析仕様を、数値実験により検討した。

解析精度を向上させるためには、データを空間的に高密度にサンプリングするだけでなく、電極配置の選択が重要であるという考えから、今回は代表的な3通りの電極配置について検討した。その結果、ダイポール・ダイポール電極配置、ポール・ダイポール電極配置、ポール・ポール電極配置の順で分解能が高いことが明らかになった。また、ダイポール長は一般に小さい方が分解能が高いが、特に孔内での測定の場合のダイポール長を小さくすることにより、孔周辺の分解能をかなり向上できることが明らかになった。

地形効果については、解析断面に地形を組み入れることによりほぼ完全に除去できることが確認できた。

さらに、孔—地表間マッピング法のデータの3次元インバージョンにより、地表電極配置だけでは把握できない深部の低比抵抗が明瞭に解析できることが確認できた。

3. 今後の方針

平成5年度は、複数の試錐孔が利用可能な場合について、地下構造分解能の解明及び分

解能を向上させるための調査仕様の検討を実施する。さらに、坑道から掘削された試錐孔を利用した調査の場合に問題となる、坑道の形状に起因するノイズの影響ならびにその除去法についても検討する予定である。

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1）(1992)；
佐々木 裕，PNC ZJ1606 92-002

A-6 高速液体クロマトグラフ装置を利用した水中のシアン分析法

(沖田正俊, 阿部雅人)

1. はじめに

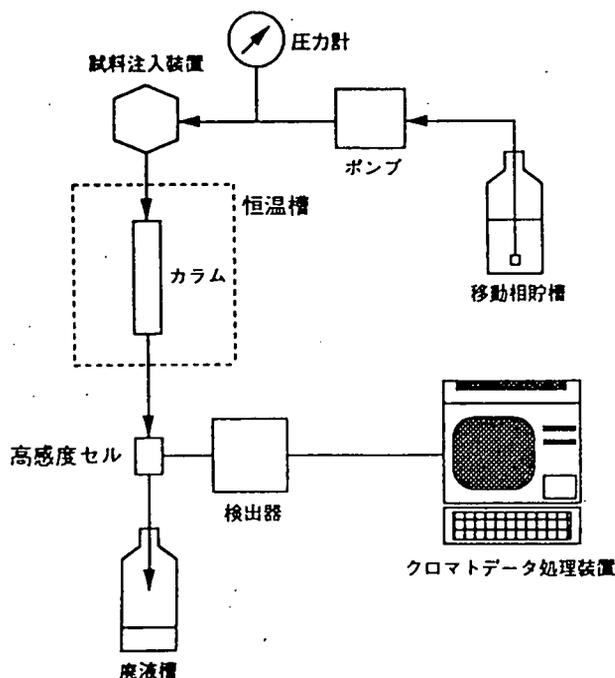
公害問題が各地で発生し、環境管理分析に高感度、高精度の分析法が各自治体や企業で注目されるようになった今日、中部事業所・技術開発課においても早急に新手法開発に取り組む、東濃鉱山よりの排水が周辺の環境へ影響を及ぼしているか否かを常に把握し、公害防止に努める必要がある。

ここで取り上げる東濃鉱山排水中のシアンについては、鉱山保安法で濃度分析が義務づけられており、この分析に当たっては従来工場排水試験法 J I S - K - 0 1 0 2 (蒸留分離-ピリジンピラズロン比色法) に基づいて分析をしていたが分析操作の過程に加熱蒸留操作の煩わしさ、そして異臭を発生する試薬 (ピリジン) 等を使用する為、作業の安全性及び作業環境等に改善の必要があった。そこで本来、深部地下水中に極微量 (ppb オーダ) だけ含まれている硫化水素や鉄イオンなどの還元性イオンを空気に触れさせない状態で分析する目的で導入した高速液体クロマトグラフ装置を利用して、水中のシアン分析が迅速且つ高精度に分析出来ないものかと種々検討試験を実施し良好な結果を得たのでここに紹介する。

装置の原理および構成等については、平成3年度技術開発課年報 (PNC PN744092-001) に詳しく報告されているので参照して頂くとして、本文では主に高速液体クロマトグラフ装置を用いて水中のシアン分析を行うにあたっての最適測定条件に至る検討試験を中心に報告する。

2. 装置の構成

2. 1 シアン分析用 高速液体クロマトグラフ装置の構成図



2. 2 装置の概要

- 移動相貯槽：吸引口には、異物が入らないようにステンレス製のサクションフィルターが取り付けられている。
- ポンプ：プランジャー型ポンプ（脈流減衰器：ダンパー）使用。〔島津製作所製〕
- 試料注入装置：六方高圧バルブ方式。〔レオダイン社製〕
- カラム：クロマト管（ステンレス製），固定相（弱陰イオン交換樹脂）。
〔ウオーターズ社製〕
- カラム恒温槽：循環空気浴槽式。〔島津製作所製〕
- 検出器：電気化学検出器（クーロケムⅡ），ウオールジェットセル（銀電極）。
〔クーロケム社製〕
- データ処理装置：クロマトパックC-R4AD。〔島津製作所製〕

3. 実施内容（検討内容）

3. 1 シアン標準溶液を用いて、電流出力フルスケール及びレコーダーフルスケールを変化させ検出レンジ（シアンピーク）の最適条件を求める。
別添 図3-1①～④ 参照
3. 2 移動相の溶液濃度（ $\text{LiOH}+2\text{Na-EDTA}$ ）を増減させて、ピークの高さ、ピーク位置の変化を調べ移動相の最適濃度を求める。
別添 図3-2①～⑥ 参照
3. 3 「3-2」で求めた濃度条件で流量を変化させ、最適流量を求める。
別添 図3-3①～④ 参照
3. 4 「3-2及び3-3」で求めた移動相濃度と流量でカラム温度を変化させ、最適カラム温度を求める。
別添 図3-4①～④ 参照
3. 5 「3-1～3-4」で求めた条件のもとで、電気化学検出器の設定電位を変化させ、感度と分離が最も良い電位を求める。
別添 図3-5①～④ 参照
3. 6 「3-1～3-5」の最適条件で、シアン標準溶液をもちい検量線を作成し、直線性、再現性及び定量下限を求める。
別添 図3-6①～④ 参照
3. 7 「3-6」の条件で実試料を測定。
別添 図3-7①～④ 参照

4. 結果

(1) シアン分析最適測定条件

検出レンジ	電流出力 2 nA ・ レコーダースケール 2 ⁶ mV
移動相	5.0 mM LiOH ・ 3 mM 2Na EDTA / 1 ℓ
流量	1.5 ml/min
カラム温度	40 °C
設定電位	0 mV

(2) 検出限界

0.5 ppb まで前濃縮なしで直接測定でき、これまでのピリジンピラゾロン法に比べ約3桁程度検出限界が向上した。

5. まとめ

東濃鉱山排水及び周辺の河川水中の高速液体クロマトグラフ装置によるシアン分析法については、今回まとめ上げた方法で満足できるのであるが、他のいかなる水についても全て適応可能かは今後の課題として残るので随時考えられる妨害成分について検討を継続していき汎用性の高い分析法の確立に努めたい。

6. 参考文献

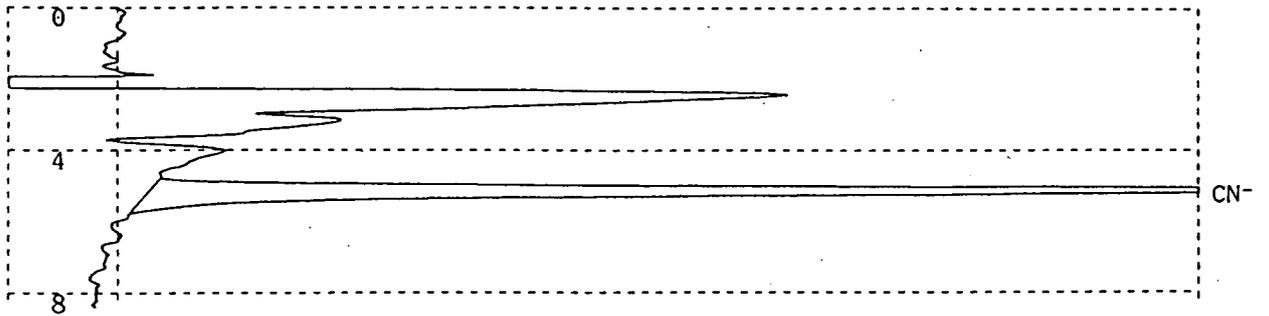
- 1) JIS K0556 : 超純水中の陰イオン試験方法 (1990)
- 2) 日本分析化学会北海道支部編 : 水の分析 (1972) 化学同人
- 3) 日本分析化学会関東支部編 : 高速液体クロマトグラフィーハンドブック (1985)
- 4) 石井大道, 後藤正志ほか : 高速液体クロマトグラフ法 (1986) 共立出版

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l 注入

電流出力フルスケール 2 nA

レコーダーフルスケール 2⁵ mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=17 クロマト=2:930516.C13



** 定量計算結果 **

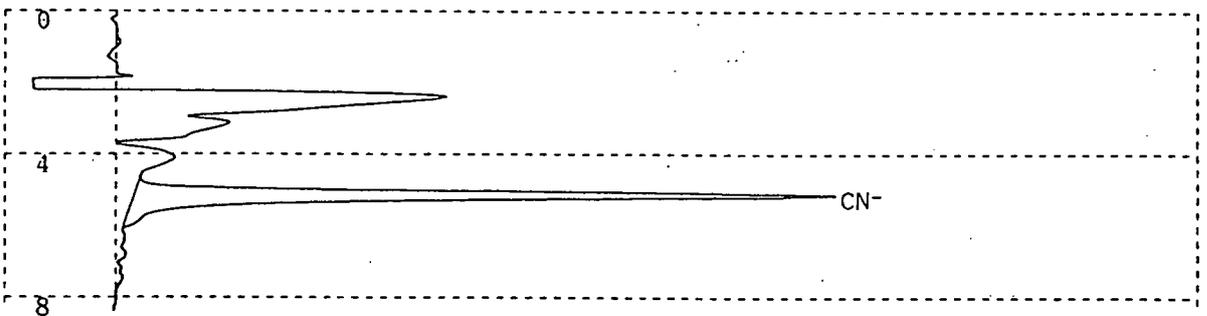
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	2	5.17	708655	41310		1	0.0095	CN ⁻
TOTAL			708655	41310			0.0095	

別添 図3-1①

電流出力フルスケール 2 nA

レコーダーフルスケール 2⁶ mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12



** 定量計算結果 **

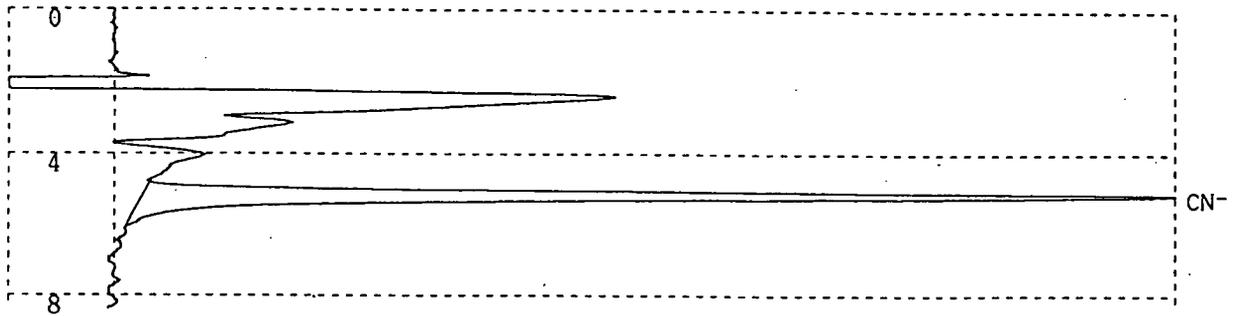
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN ⁻
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-1②

電流出力フルスケール 5 n A

レコーダーフルスケール 2⁴ mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=20 クロマト=2:930516.C05



** 定量計算結果 **

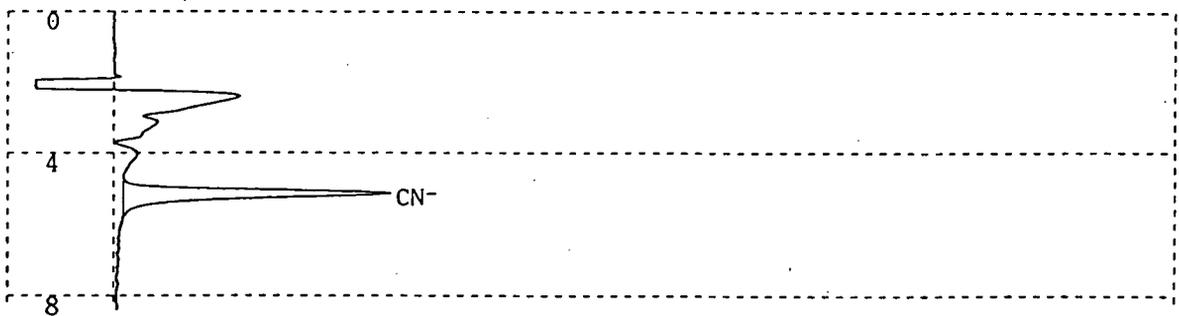
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.174	280137	15883		1	0.0097	CN-
TOTAL			280137	15883			0.0097	

別添 図3-1③

電流出力フルスケール 5 n A

レコーダーフルスケール 2⁶ mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=22 クロマト=2:930516.C07



** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	2	5.175	279935	16230		1	0.0097	CN-
TOTAL			279935	16230			0.0097	

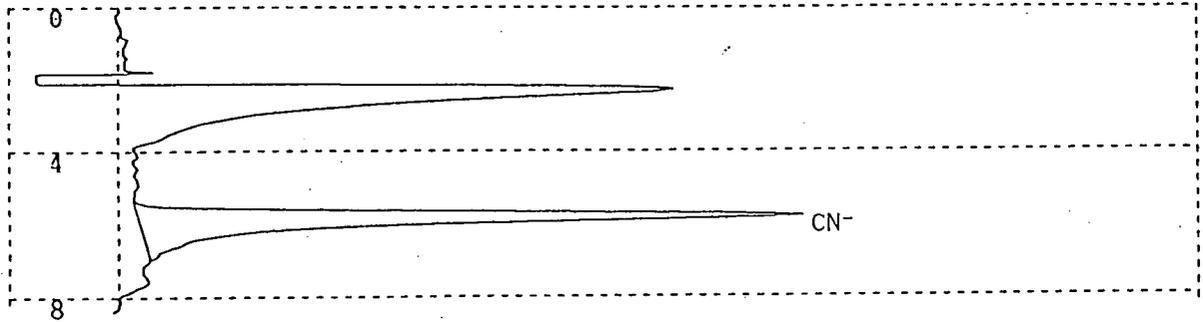
別添 図3-1④

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l 注入

移動相 50mM LiOH

0.3mM EDTA \cdot 2Na

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=20 クロマト=2:930520.C10 93/05/20 14:59:00



** 定量計算結果 **

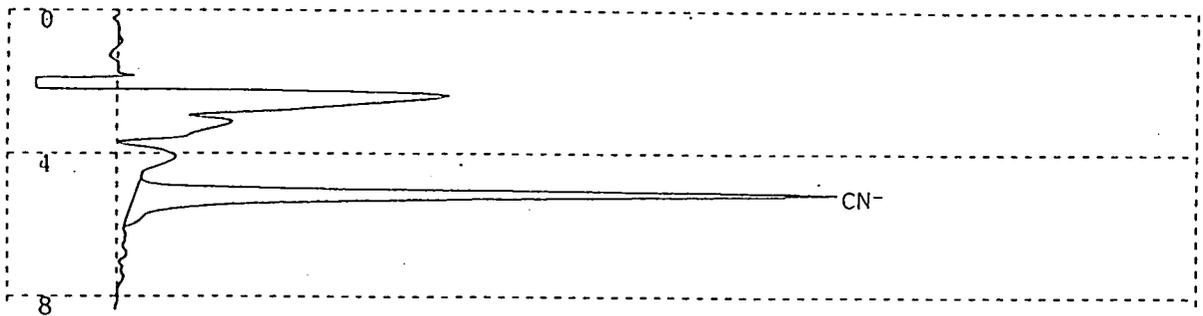
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	4	5.84	960995	39198		1	0.0129	CN-
TOTAL			960995	39198			0.0129	

別添 図3-2①

移動相 50mM LiOH

3mM EDTA \cdot 2Na

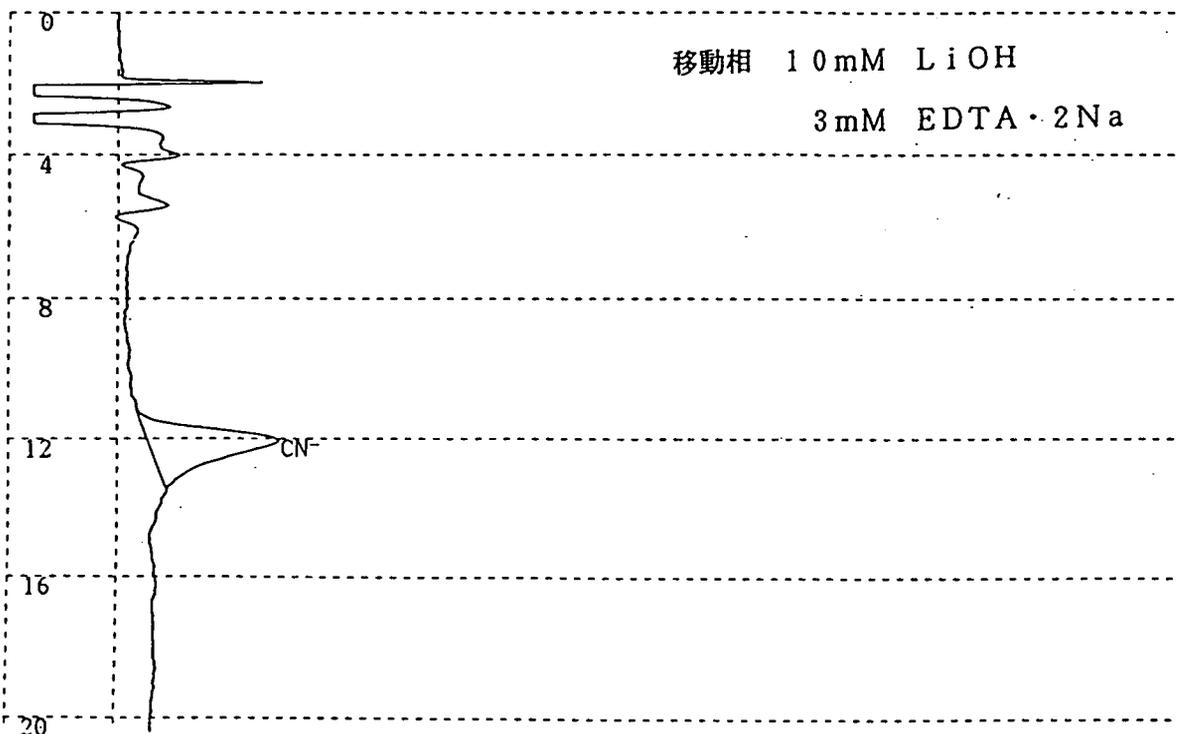
CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12



** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN-
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-2②

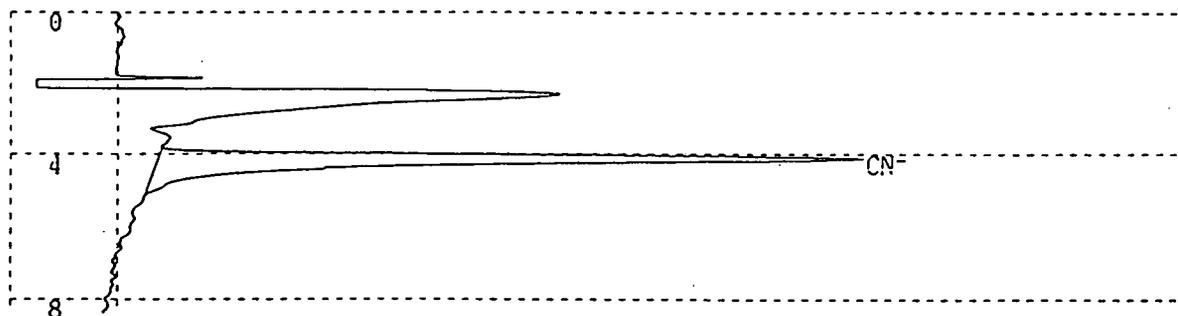


**** 定量計算結果 ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	9	12.077	440680	7888		1	0.0059	CN ⁻
TOTAL			440680	7888			0.0059	

別添 図3-2③

移動相 100mM LiOH
3mM EDTA·2Na

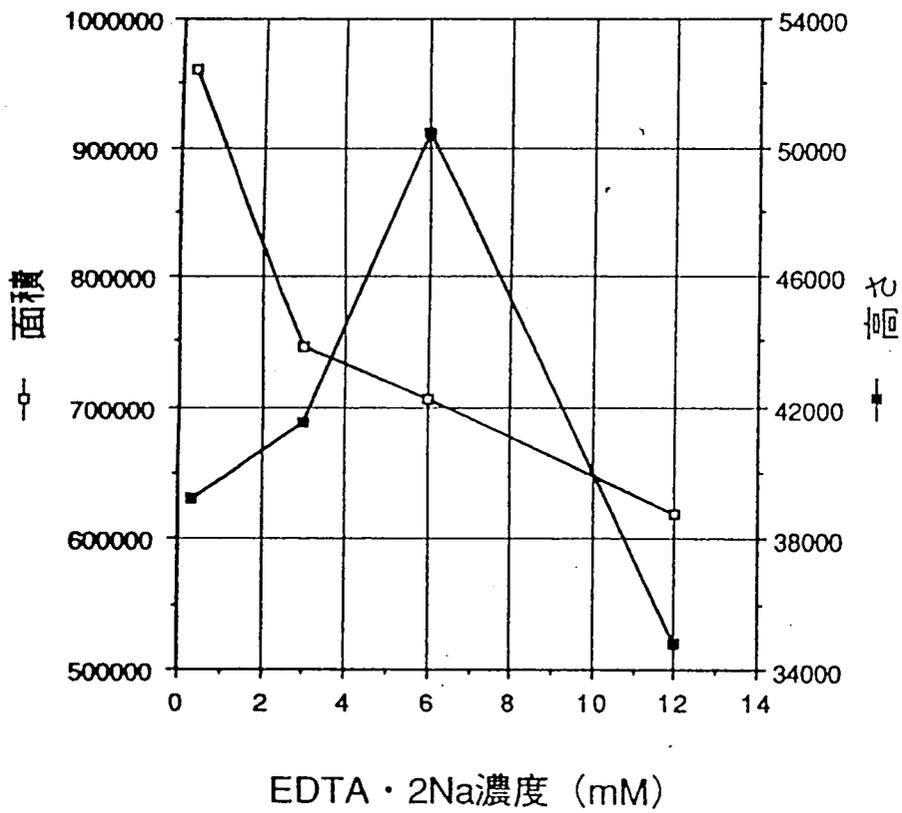
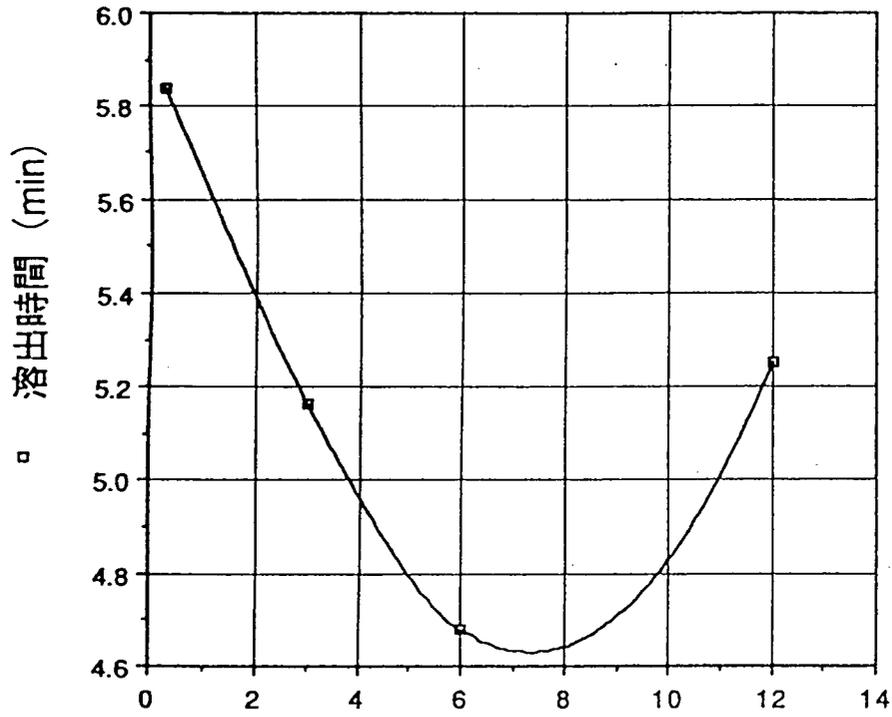


**** 定量計算結果 ****

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	2	4.141	811293	42511		1	0.0109	CN ⁻
TOTAL			811293	42511			0.0109	

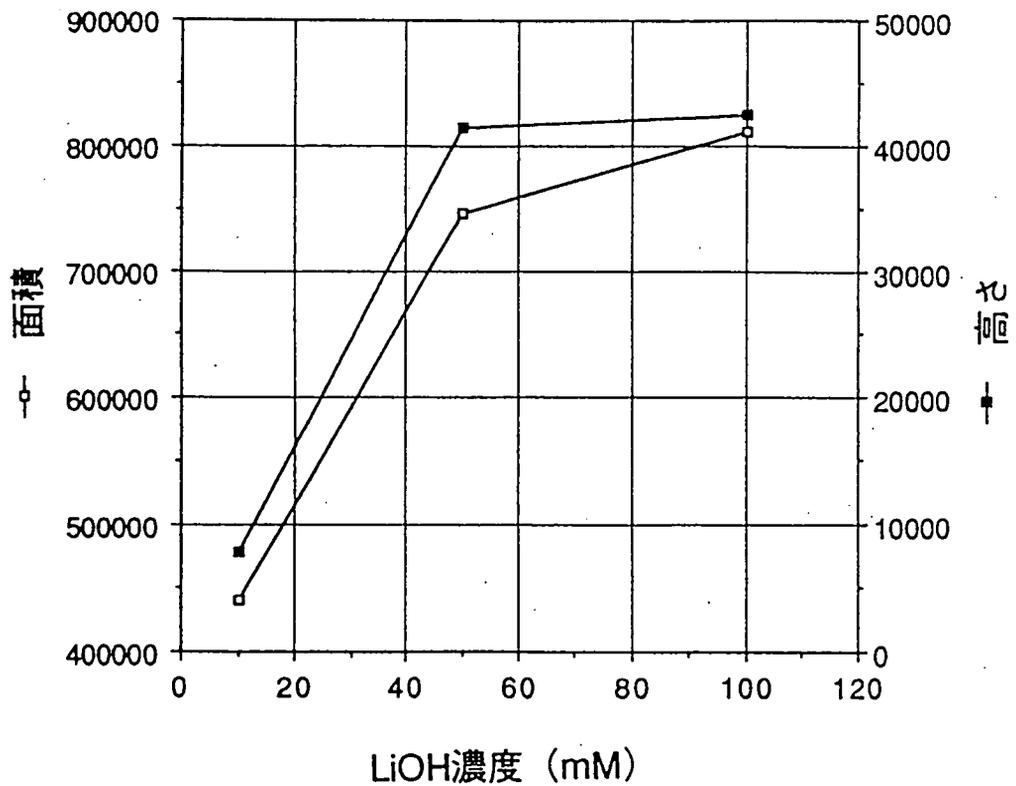
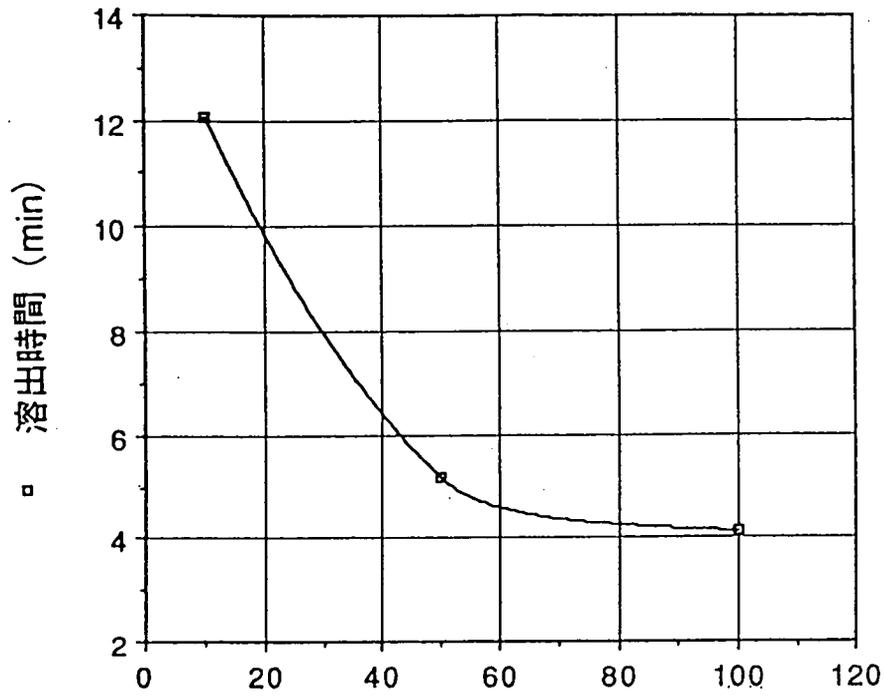
別添 図3-2④

移動相の溶液濃度の選択 (EDTA · 2Na)



別添 図3-2⑤

移動相の溶液濃度の選択 (LiOH)

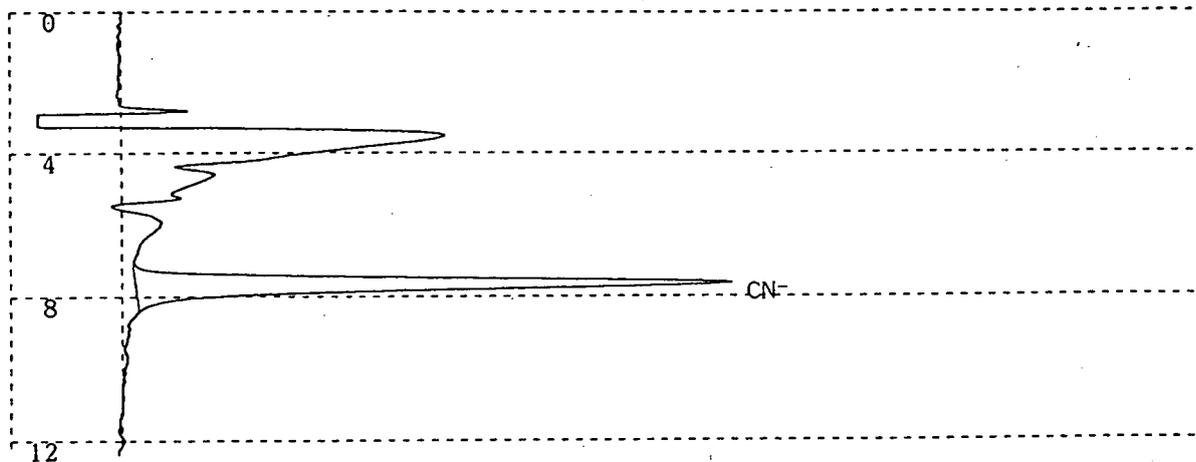


別添 図3-2⑥

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l注入

流量 1ml/min

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=30 クロマト=2:930519.C11



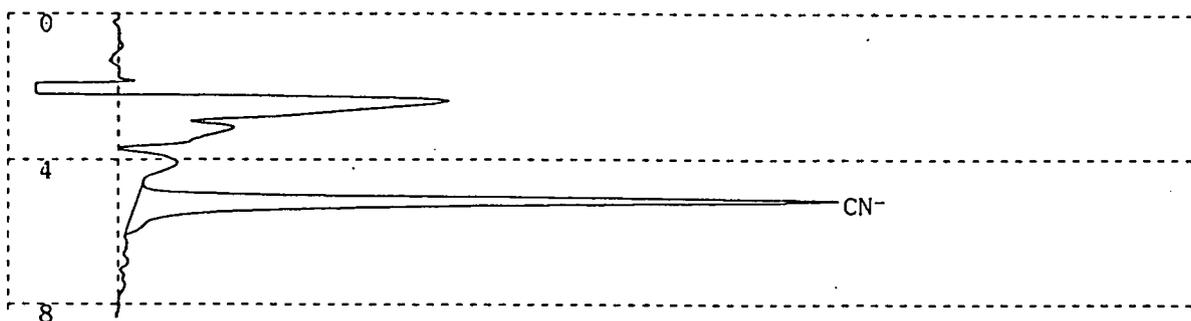
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	7.648	811142	35305		1	0.0109	CN ⁻
TOTAL			811142	35305			0.0109	

別添 図3-3①

流量 1.5ml/min

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12



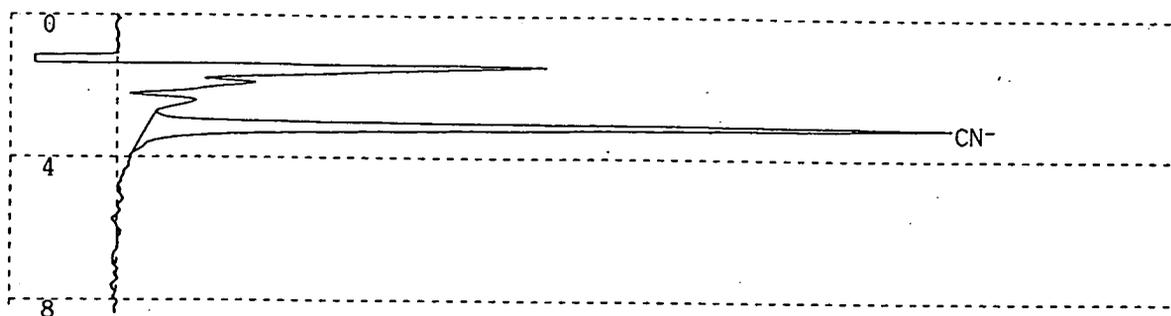
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN ⁻
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-3②

流量 2.5 ml/min

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=29 クロマト=2:930519.C13



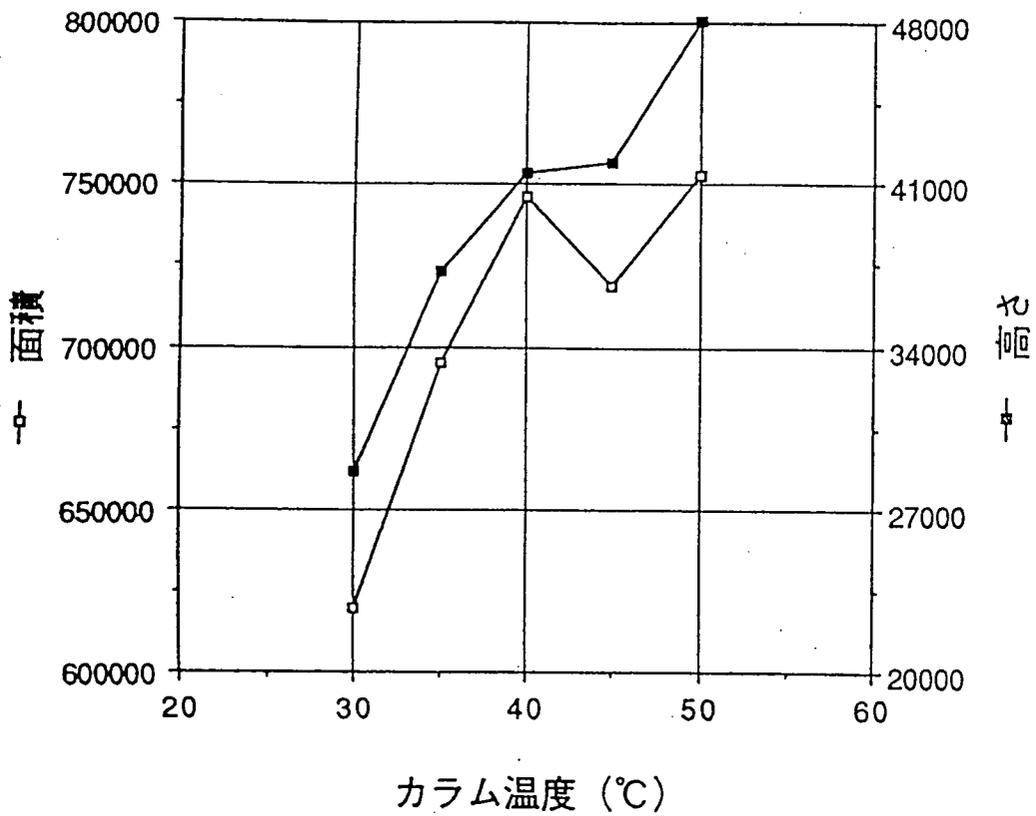
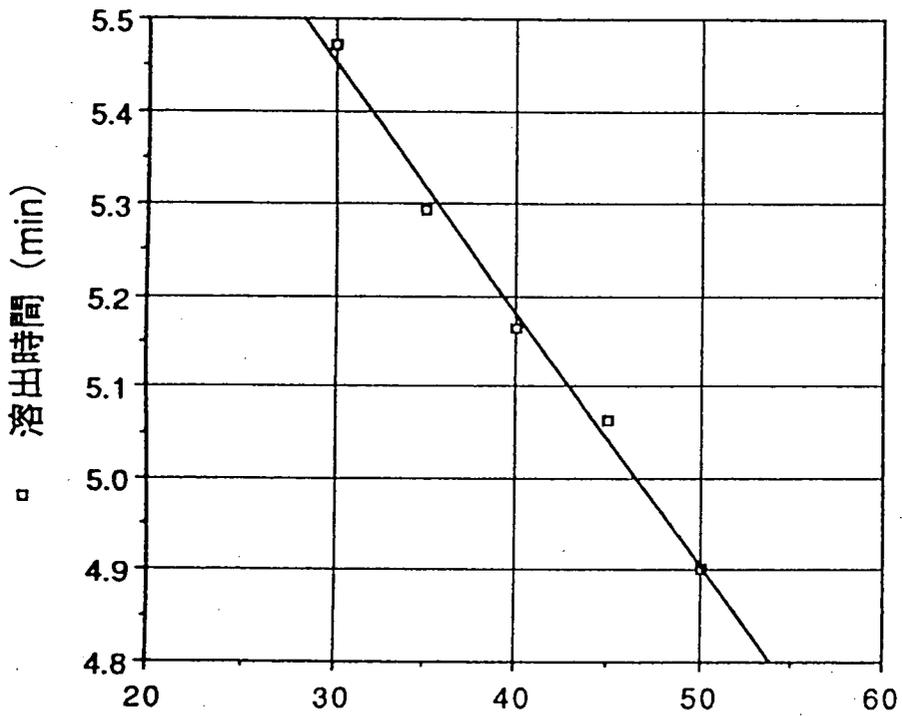
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	3.165	612907	48637		1	0.0082	CN-
TOTAL			612907	48637			0.0082	

別添 図3-3③

カラム温度の選択

$$y = 6.276 - 0.0274x \quad R = 1.00$$

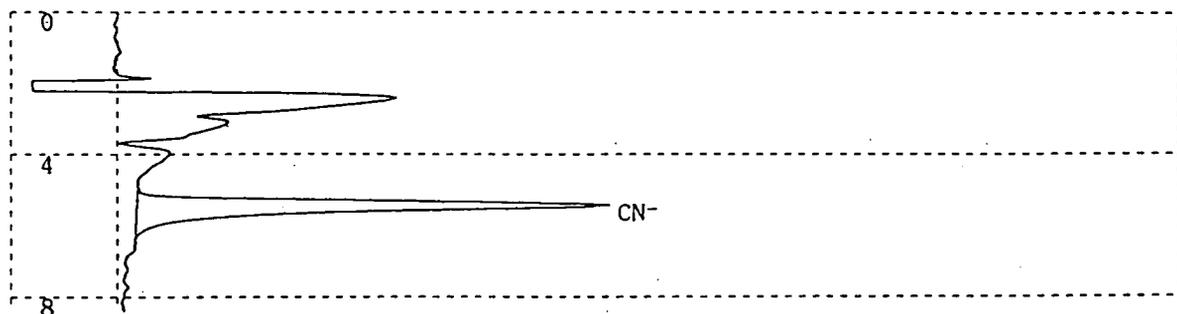


別添 図3-4④

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l注入

カラム温度 30 $^{\circ}$ C

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=31 クロマト=2:930519.C04



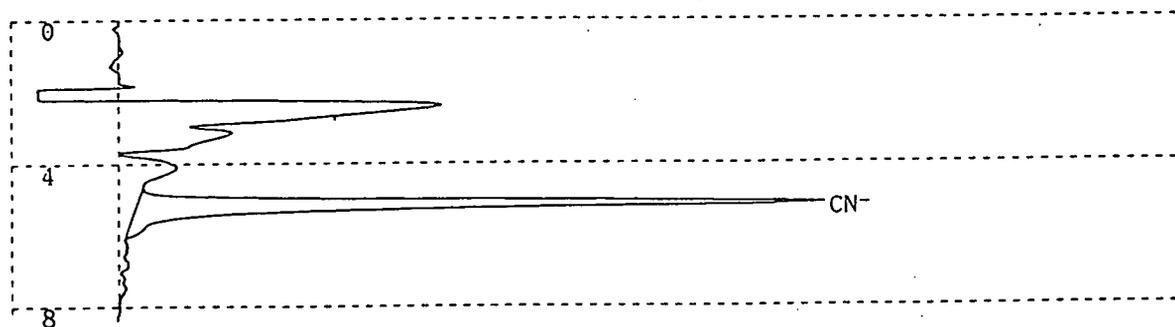
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	2	5.471	619759	28588		1	0.0083	CN-
TOTAL			619759	28588			0.0083	

別添 図3-4①

カラム温度 40 $^{\circ}$ C

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12

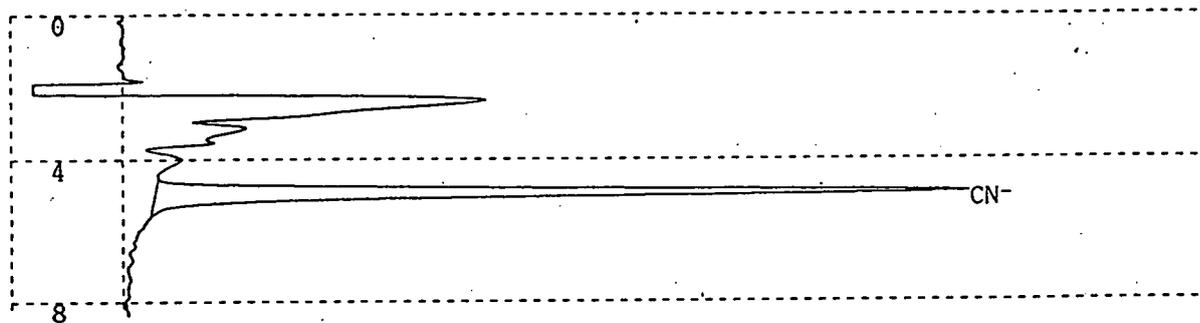


** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN-
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-4②

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=37 クロマト=2:930519.C08

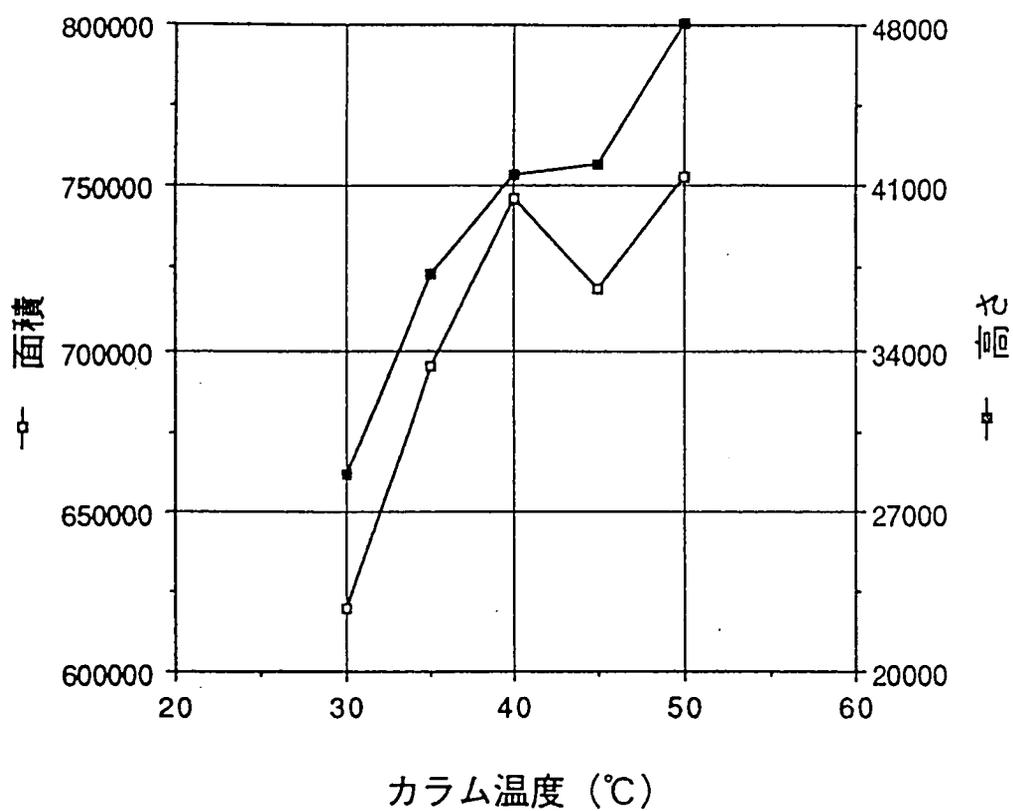
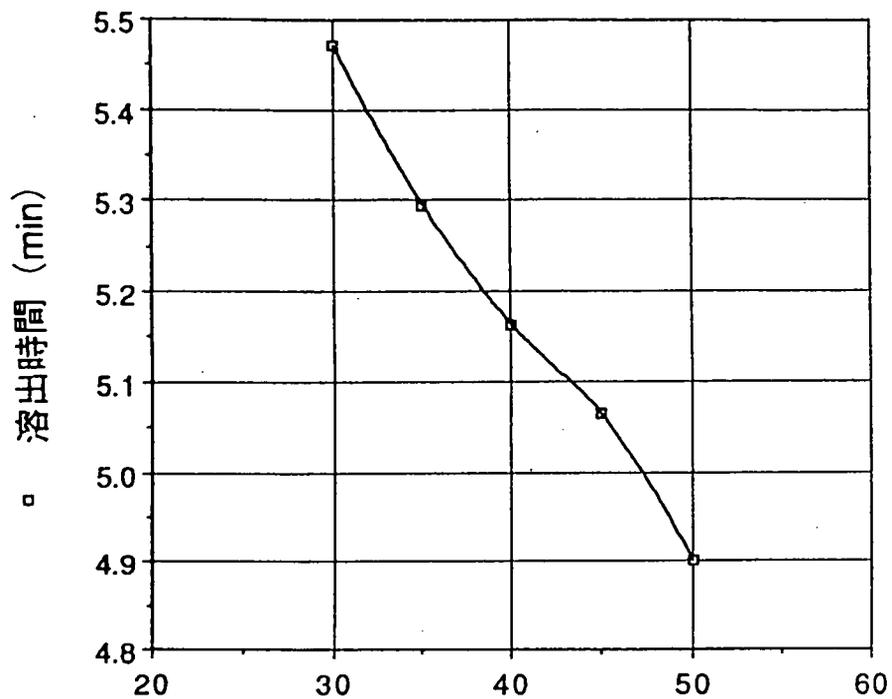


** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	4.9	752958	48112		1	0.0101	CN-
TOTAL			752958	48112			0.0101	

別添 図3-4③

カラム温度の選択

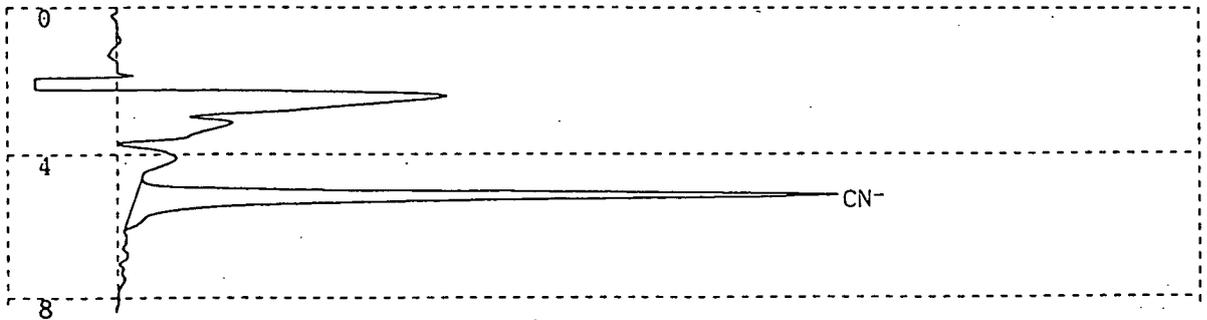


別添 図3-4④

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l 注入

設定電位 0mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12



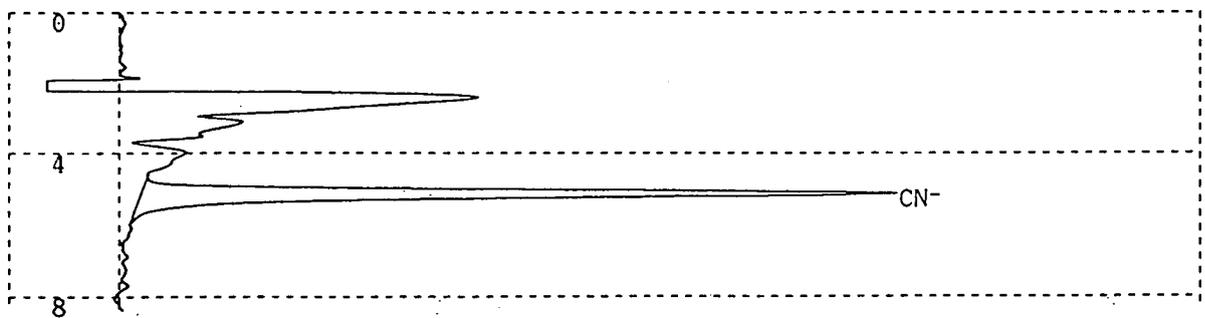
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN-
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-5①

設定電位 5mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=2 クロマト=2:930519.C17



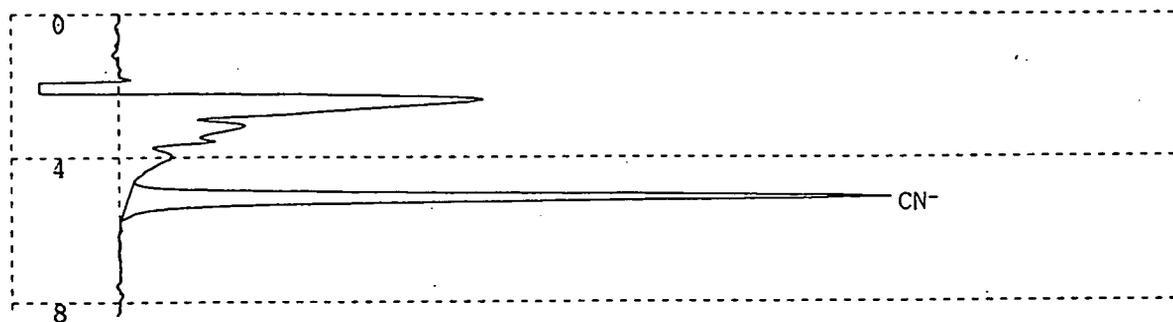
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.141	752878	44655		1	0.0099	CN-
TOTAL			752878	44655			0.0099	

別添 図3-5②

設定電位 20 mV

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=3 クロマト=2:930519.C20

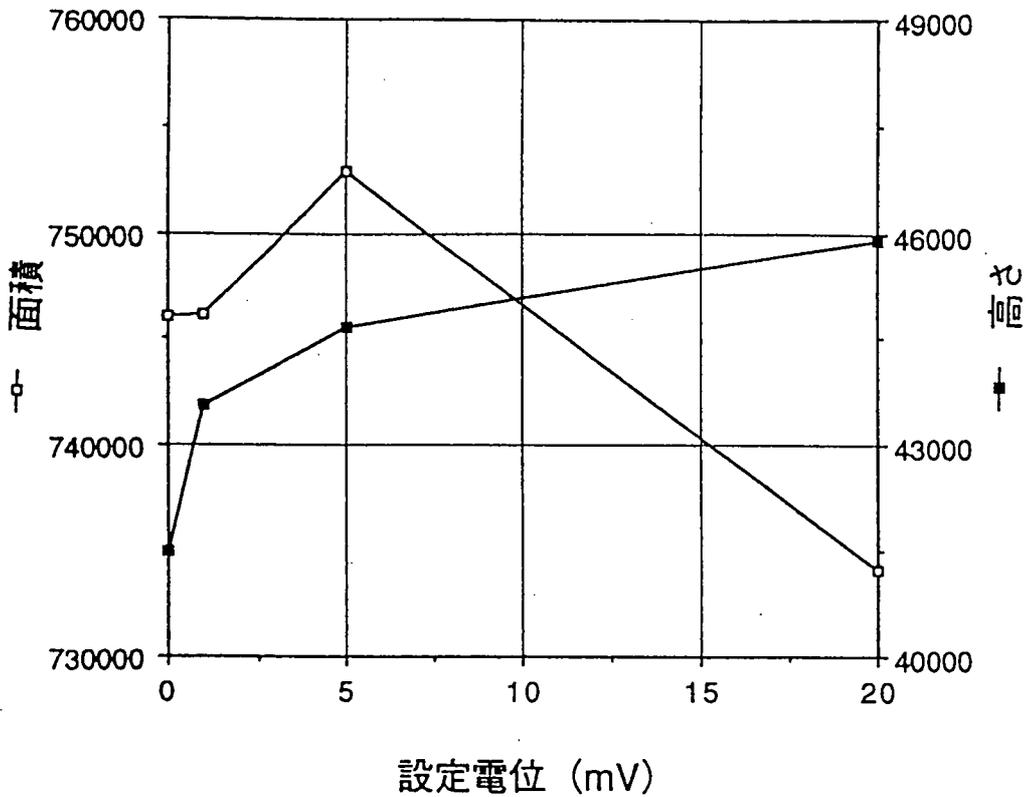
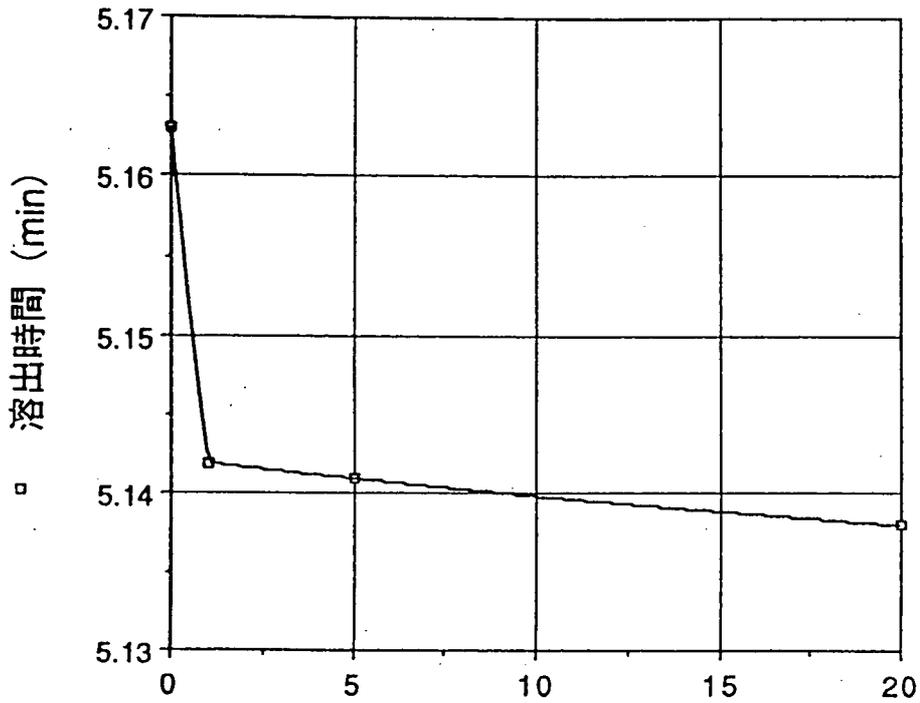


** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.138	734149	45900		1	0.0096	CN-
TOTAL			734149	45900			0.0096	

別添 図 3-5 ③

検出器の設定電位の選択

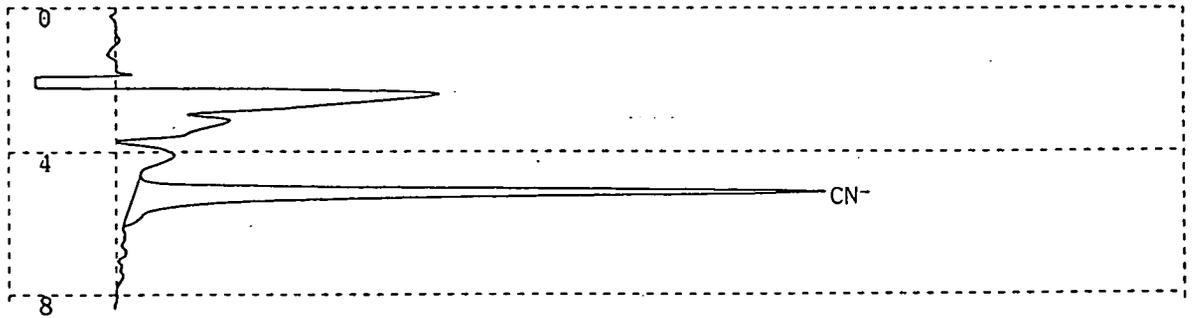


別添 図3-5④

シアン標準溶液 10ppb 20 μ l注入

濃度 10ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=15 クロマト=2:930516.C12



** 定量計算結果 **

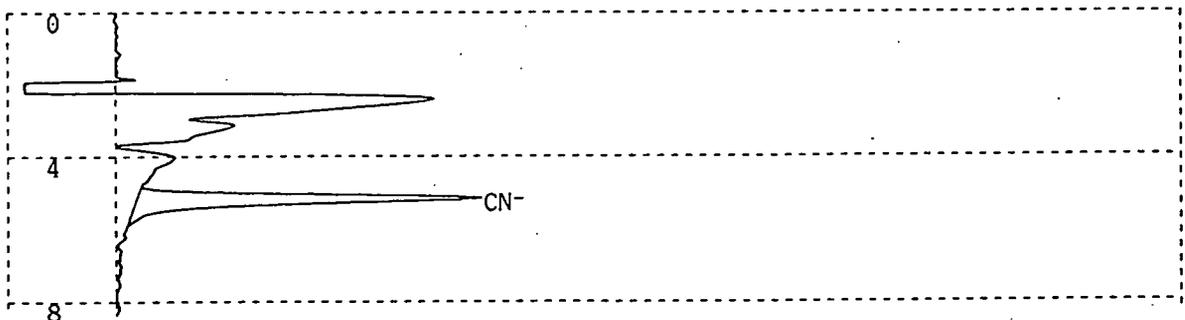
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.163	746102	41514		1	0.01	CN-
TOTAL			746102	41514			0.01	

別添 図3-6①

シアン標準溶液 5ppb 20 μ l注入

濃度 5ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=5 クロマト=2:930516.C15



** 定量計算結果 **

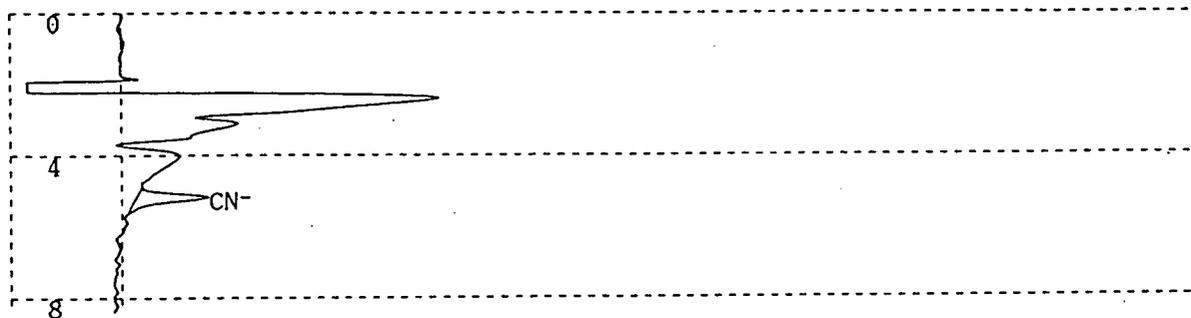
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.167	365097	20880		1	0.005	CN-
TOTAL			365097	20880			0.005	

別添 図3-6②

シアン標準溶液 1ppb 20μℓ注入

濃度 1ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=9 クロマト=2:930516.C16



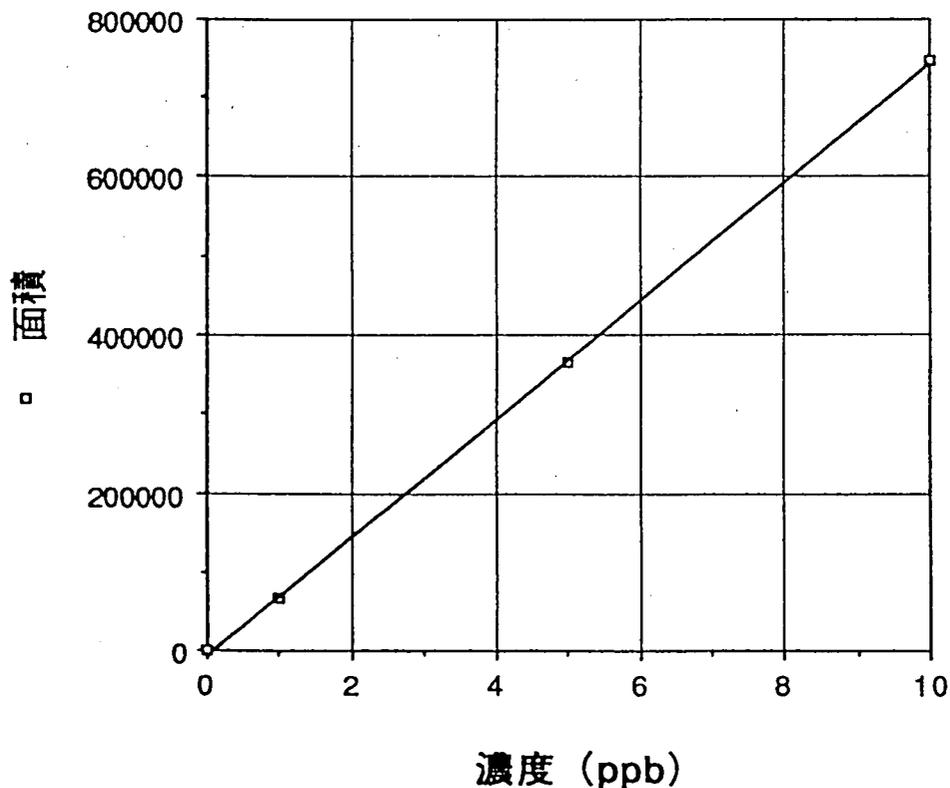
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.175	65952	4169		1	.0.001	CN-
TOTAL			65952	4169			0.001	

別添 図3-6③

シアン標準溶液の濃度確認

$$y = -5315.6694 + 7.490e+4x \quad R = 1.00$$

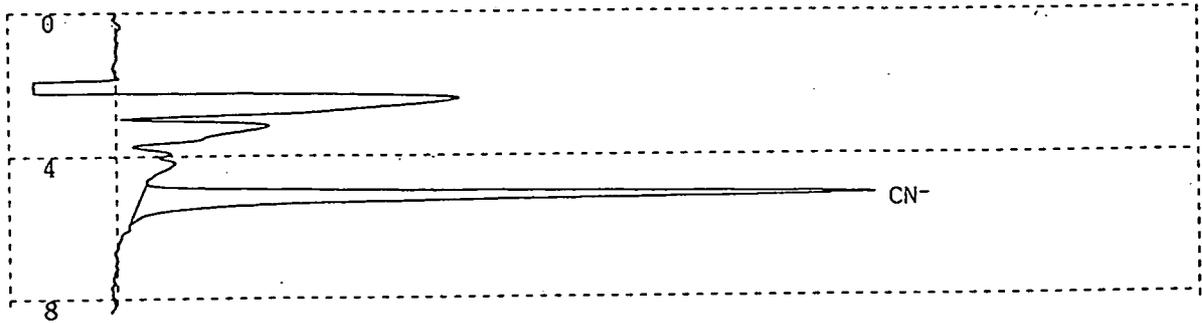


別添 図3-6④

シアン標準液10ppb+実試料 20 μ l注入

濃度 10ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=11 クロマト=2:930519.C25



** 定量計算結果 **

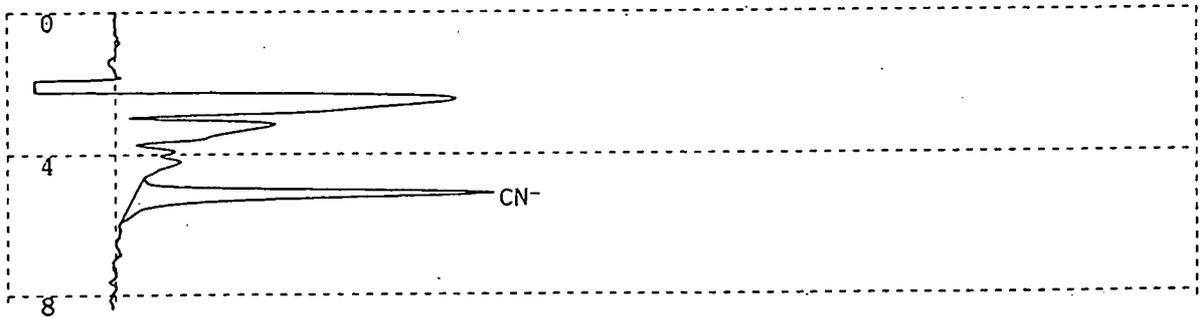
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.142	742645	43312		1	0.01	CN ⁻
TOTAL			742645	43312			0.01	

別添 図3-7①

シアン標準液5ppb+実試料 20 μ l注入

濃度 5ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=12 クロマト=2:930519.C24



** 定量計算結果 **

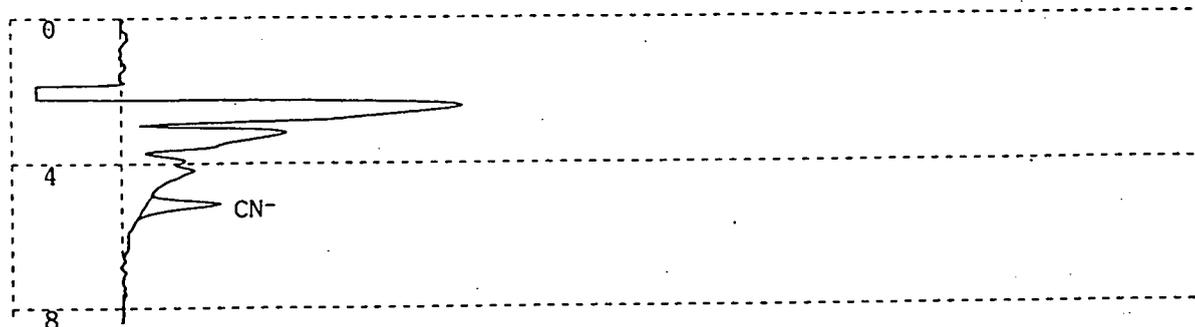
CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.145	371358	21190		1	0.005	CN ⁻
TOTAL			371358	21190			0.005	

別添 図3-7②

シアン標準液 1 ppb + 実試料 20 μl 注入

濃度 1 ppb

CHROMATOPAC C-R4A CH=2 REPORT No.=14 クロマト=2:930519.C27



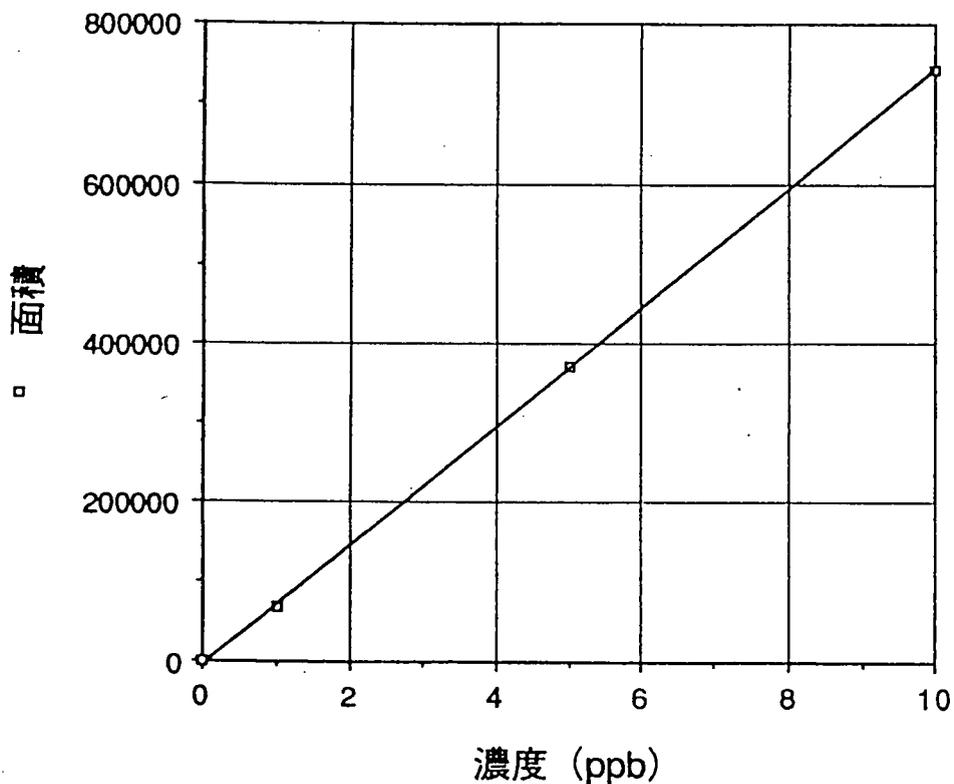
** 定量計算結果 **

CH	PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	MK	IDNO	CONC	NAME
2	1	5.14	69736	4274		1	0.001	CN-
TOTAL			69736	4274			0.001	

別添 図3-7③

実試料でのシアン標準液の濃度確認

$$y = -2002.0242 + 7.448e+4x \quad R = 1.00$$



別添 図3-7④

3. 探鉱. 探鉱関連技術開発成果

B-1 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

B-2 反射スペクトルデータ検索表示プログラム” PROSPECT” の作成

B-3 磁気探査3次元モデリングプログラムの作成

B-4 帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラムの作成

B-5 周波数領域空中電磁法シュミレーションプログラム出力部の作成

B-6 地質と環境放射線の変動要因に関する研究

—カーボン測定データの調査、分析と線量計測システムの作成—

B-7 放射線防護探鉱技術開発に関する研究

B-1 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, 小出 馨)

B-1 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

担当：山岸、小出

1. はじめに

技術開発課は平成元年度より、岩石の反射スペクトルデータ（分光反射率）から、解析の対象となるリモートセンシング用光学センサーのデータをシミュレーションし、特定岩種の抽出法等の検討を可能とするシステムの構築を行っている。これまでの経緯としては、平成元年度に中国・北票地区およびオーストラリア・ルーダル地区、タナマイ地区、また平成2年度にアーネムランド地区においてウラン探査対象層の岩石の反射スペクトルを測定した。さらに平成2年度に反射スペクトル解析プログラムの作成¹⁾、平成3年度に反射スペクトル解析のための画像処理システムの機能の強化²⁾、また、今年度には反射スペクトル検索表示プログラム”PROSPECT”の作成（B-2）を行い、反射スペクトルデータの解析環境の整備を進めている。

本報告では、オーストラリアのウラン資源探査地域において測定した、岩石の反射スペクトルデータをまとめて作成した、反射スペクトルデータカタログ集の内容と利用方法についての説明を行う。

2. 実施の目的

本カタログ集は、リモートセンシング技術の応用として、ウラン鉱床と関連する岩石をリモートセンシングデータから抽出するための基礎的なデータとして利用すること、すなわち、カタログ集に納められた種々の岩石の反射スペクトル特性を把握することにより、リモートセンシングデータからウラン資源探査の指標となる岩石を、現地調査の必要なく抽出する手法を開発していくことを目的として作成した。

3. 反射スペクトルデータカタログの諸元

3.1 反射スペクトルデータカタログの作成方針

カタログの作成方針として、岩石の反射スペクトル特性を記述するだけでなく、可能な限り岩石サンプル採取地点の写真や衛星画像を用いて地表状況に関する情報を提供すること、および、海外法人の利用を考慮し、和文・英文の併記とすることを念頭においた。

3.2 反射スペクトルデータカタログの対象地域および対象岩種

岩石採取を行った地域は、事業団の海外ウラン調査プロジェクト地域である、オーストラリア・北部準州のアリゲータリバー地域、ウエストパインクリーク地域、同・西オーストラリア州のルーダル地域およびタナマイ地域である（図1）。岩石サンプルはすべて、これらの地域における露頭表面から採取したものであり、岩種

は、始生代から新生代の火成岩、堆積岩、変成岩および表土である。今回のカタログ集は、全サンプル数として143件・25岩種のデータを掲載している（表-1）。

表-1 カタログ掲載岩種一覧表

	岩種
堆積岩	砂岩 変質砂岩 泥質岩 頁岩 苦灰岩 珪岩 礫岩 カルクシリケート岩 チャート 結晶質石灰岩
火成岩	花崗岩 超塩基性岩 粗粒玄武岩 煌斑岩
変成岩	片岩 片麻岩 角閃岩 変斑礫岩 蛇紋岩
その他	縞状石英-磁鉄鉱-角閃石岩 石英(脈) 玉髄 表土 カルクリート ラテライト

対象地域の選定理由としては、これらの地域には経済性の高いウラン鉱床が期待できる不整合関連型ウラン鉱床が存在していること、また、北部準州のアリゲータリバー地域の一部を除き、植生の被覆率（植物が地表を覆う割合）が低く、かつ、乾燥した地域であるので、水分による、岩石・鉱物の反射スペクトルの特徴への影響が少ないと考えられることから、リモートセンシング解析に適した地域であることが挙げられる。

岩石サンプルは、各地域のごく限られた範囲から採集しているため、今後プロジェクト地域の拡大に伴って、岩石サンプルの採集・反射スペクトルの取得を随時行っていく予定である。

3.3 岩石サンプル採取地域および掲載サンプル数

岩石サンプルの採取地域および各地域での掲載サンプルの数量は表-2の通りである。

表-2 岩石サンプルの採取位置および数量

地域名	地区名	数量(個)
アリゲータリバー	アーネムランド	2 2
	ジャビルカ鉱床区	2
	クンガラ鉱床区	7
	トルマー	8
	ラムジャングル	7
タナマイ ルーダル		1 3
	キンタイヤ鉱床区	7
	その他	7 7
	合計	1 4 3

3. 4 基本構成

(1)データソース

- ①アリゲータリバー、ウエストパインクリーク、ルーダル、タナマイ地域で採取した岩石サンプルの反射スペクトル特性図
- ②同、現地調査メモおよび岩石サンプル写真、地表写真、衛星画像
- ③同、岩石サンプルのX線分析による鉱物同定結果

(2)本カタログの構成

- ①要旨
- ②目的
- ③カタログ内容および測定方法（反射スペクトルおよびX線分析の測定方法）
- ④各地域の概況記述および岩石サンプル採取地点の地質図
- ⑤各岩石サンプルデータ記述内容

- ・サンプル名
- ・サンプル番号
- ・反射スペクトルデータ番号
- ・サンプル採取地域名
- ・サンプル採取地点名
- ・サンプル表面の特徴
- ・X線分析結果
- ・サンプル採取地点の地表状況
- ・反射スペクトル記述

および

- ・サンプルの写真
- ・サンプル採取地点の衛星画像
- ・採取地点の地表写真
- ・反射スペクトル特性図

(3)データの掲載順序

データは、地域別、岩種別（堆積岩、火成岩、変成岩、その他）の順に掲載してある。

3. 5 反射スペクトルデータベース

測定した反射スペクトルデータは、図2に示すシステムにより、まずパソコン上でGER社製の処理プログラムによって前処理を施した後、LANを介して画像処理システムのミニコンに転送し、図化プログラムによって反射スペクトル特性図を出力した。なお、反射スペクトルデータは、IBMコンピュータあるいはそれと同等のもので処理できるよう、カタログ集の作成と同時に、パーソナルコンピュータ用検索・表示プログラム（PROSPECT）とデータベースの作成を行い、カタログ集に添付した。

4. カタログ掲載例

本カタログ集の中から、一サンプルを例としてここに掲載する（図3）。

5. 反射スペクトルデータの利用方法

従来のリモートセンシング解析においては、各岩石の反射スペクトルの詳細な特徴が把握されていなかったため、リモートセンシングデータのうち、どのバンドを組み合わせていけば、指標となる岩石が最も良く抽出できるかを、実データを対象に試行錯誤によって決定しなければならず、したがって、多大な時間と労力を要した。しかし、本カタログ集の完成によって、反射スペクトルの特徴を把握した上で、岩石の抽出法の検討が行えるため、試行錯誤なしに、最適な抽出法を決定することができる。具体的には、抽出したい岩石とそれ以外の反射スペクトル特徴の違いに着目してそれを強調するバンドの組合せを選択するものであり、実データを処理する以前に手法の有効性が確認できる。

以上のようなことから、今回作成した反射スペクトルデータカタログは、地質分野におけるリモートセンシング解析の基礎的なデータになると共に、事業団のウラン資源探査におけるリモートセンシング利用技術開発に大きく寄与するものと考えられる。

6. 今後の予定

今後は、反射スペクトル検索プログラム”PROSPECT”を用いて、岩種ごとの反射スペクトルの特徴抽出を行い、その結果を基にリモートセンシングデータから効率的にウラン探査の指標となる岩石を抽出する方法の開発を行う。

7. 参考文献

- 1) 動燃事業団「岩石の反射スペクトル特性に関する研究－解析システムの構築とアリゲータリバー地域の岩石の分光反射特性－」
平成2年度技術開発課年報, 1991, P. 82～102
- 2) 動燃事業団「反射スペクトル解析のための画像処理システムの機能強化について」
平成3年度技術開発課年報, 1992, P. 99～109

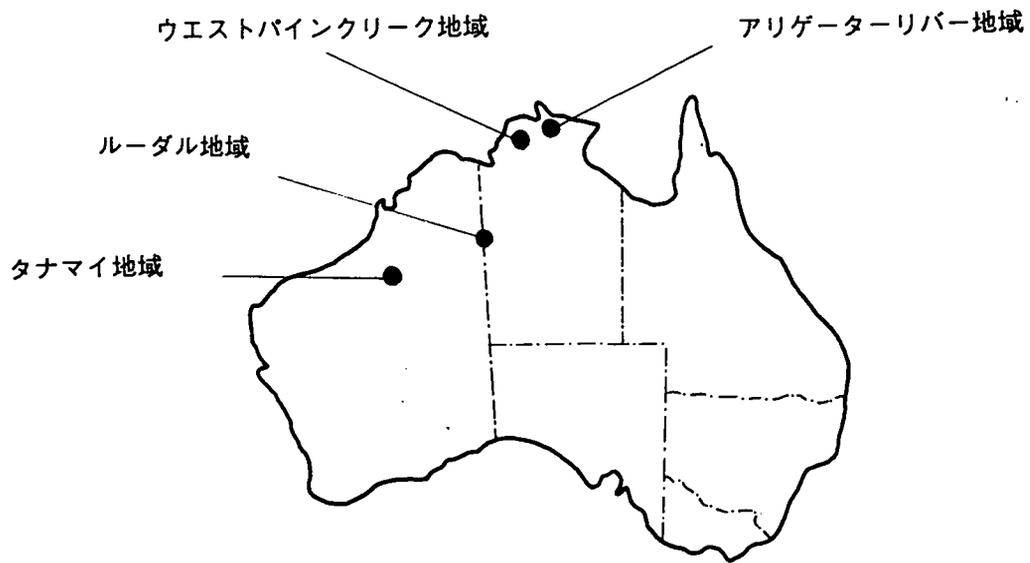


図 1 岩石サンプル採取地域

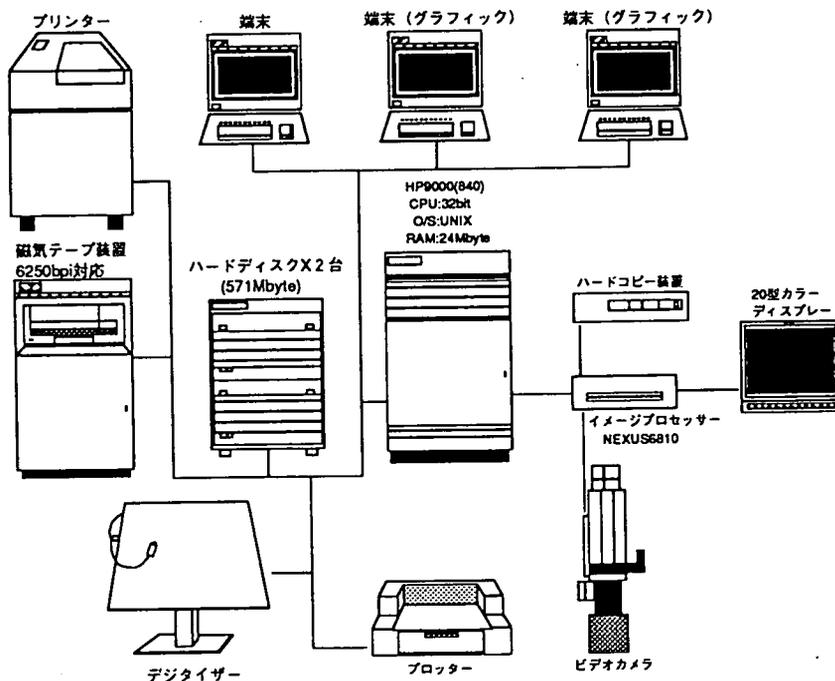
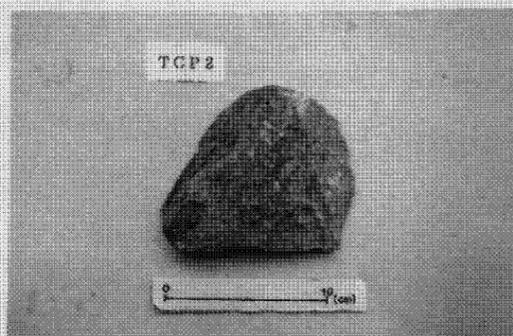
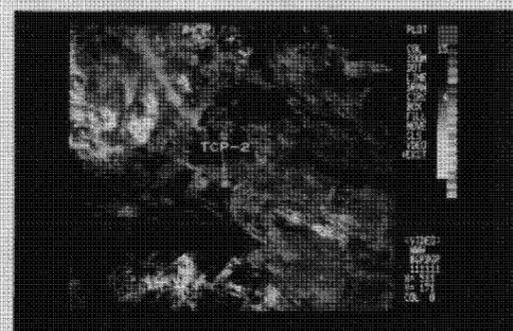


図 2 画像処理システムのハードウェア構成



サンプル写真
(Sample picture)



サンプル採取地点付近の衛星画像
(Satellite image of sampling point area)



サンプル採取地点の地表写真
(Picture of sampling area)

1. サンプル名 (Sample name)

岩石名: 煌斑岩
Lamprophyre
時代: 始生代?
Archaean?

2. サンプル番号 (Sample no.)

TCP-2

3. 反射スペクトルデータ番号
(Spectrum data no.)

austn002

4. サンプル採取地域名 (Sampling area name)

西オーストラリア州、タナマイ地域
The Tanami region, Western Australia

5. サンプル採取地点名 (Sampling point name)

TCP-2

6. サンプル表面の特徴 (色・変質等)
(Feature of sample surface)

表面は赤色～赤褐色。径2～7mmの結晶が等粒状組織をつくる。変質著しい。

Color: Red ~ reddish brown
Others: Equigranular texture ($\phi=2\sim7\text{mm}$).
Greatly altered.

7. X線分析結果 (X-ray measurement)

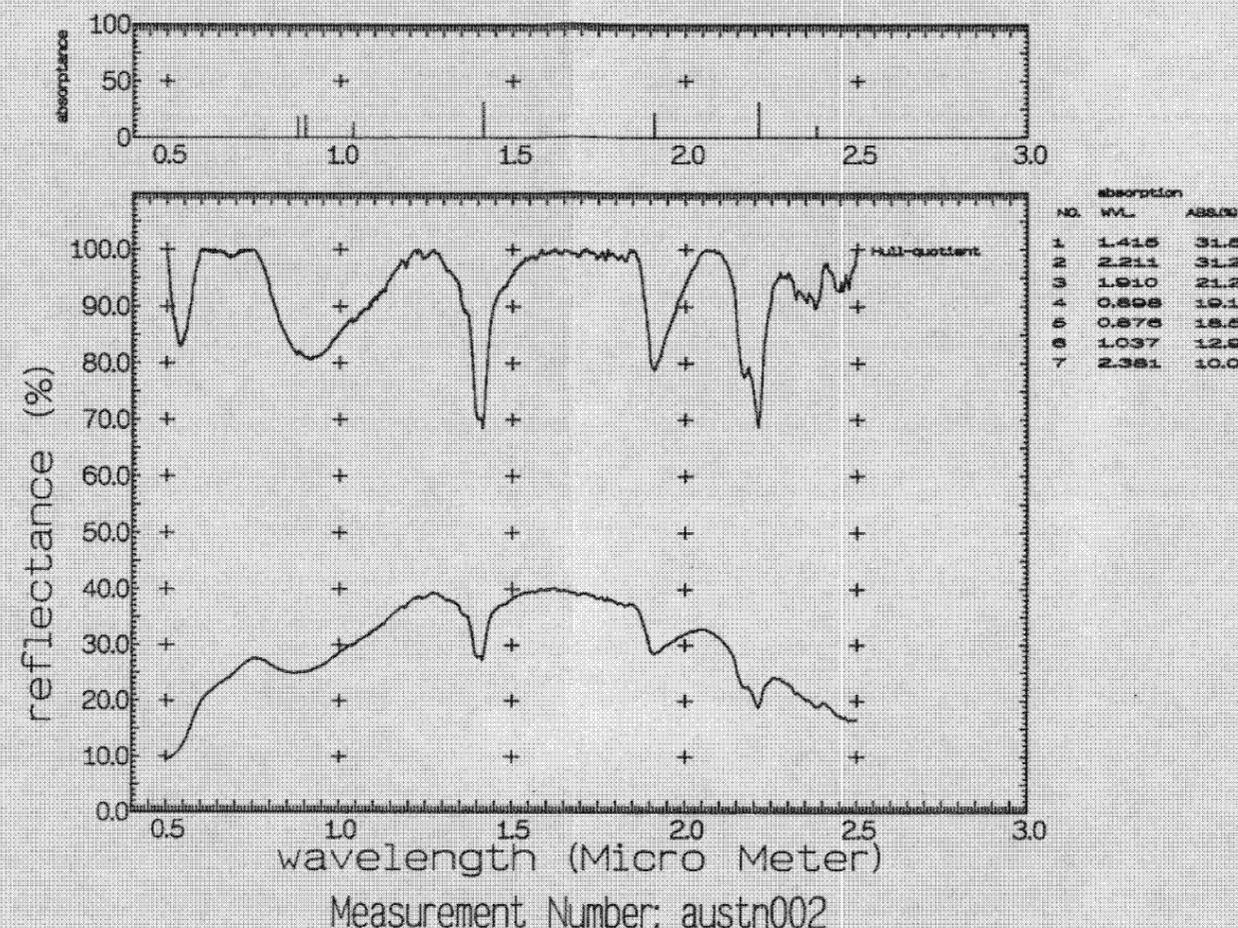
検出鉱物 (Detected minerals)
Qz, Kln, Mc, Trd

8. サンプル採取地点の地表状況
(Surface condition of sampling point)

本地点は、始生代のKilli Killi Bedsの砂岩層中の煌斑岩分布域に位置している。植生は、主にスピニフィクスとユーカリである。砂岩分布域に比べ煌斑岩分布域の植生密度は低い。

This point is located in the lamprophyre field that intrudes into sandstone formation (Killi Killi Beds). There is a mixture of spinifex and eucalyptus. The lamprophyre field has a lower percentage of vegetational cover than sandstone field.

反射スペクトル
(Reflectance spectrum)



9. 反射スペクトル記述
(Spectrum description)

反射率10～40%の範囲で、1.6 μm 付近を中心にした山なりの反射スペクトルを示す。1.4、1.91および2.2 μm に、白雲母とカオリナイトによる強い吸収が見られる。特に1.4および2.2 μm 付近にはカオリナイトの特徴である吸収ダブルレットが認められる。0.87 μm を中心にした幅広い吸収は赤鉄鉱によるものと思われる。

Reflection spectrum shows convex shape with a peak near 1.6 μm in the range between 10 and 40% of reflectance.

Muscovite and Kaolinite contribute strong absorption features at 1.4, 1.91 and 2.2 μm . Doubled sharp features observed near 1.4 and 2.2 μm are characteristics of Kaolinite.

A broad absorption feature observed near 0.87 μm is considered a contribution of Hematite.

B-2 反射スペクトルデータ検索表示プログラム”PROSPECT”の作成

(山岸明子, 小出 馨)

B-2 反射スペクトルデータ検索表示プログラム“PROSPECT”の作成

担当：山岸，小出

1. はじめに

技術開発課は平成元年度より、岩石の反射スペクトルデータ（分光反射率）から解析の対象となるリモートセンシング用光学センサーのデータをシミュレーションし、特定岩種の抽出法等の検討を可能とするシステムの構築を行っている。その一環として、これまでオーストラリアの事業団ウラン探査プロジェクト地区において採取した岩石の反射スペクトルデータをまとめた反射スペクトルデータカタログを平成4年度に作成した。

本報告の表題である「反射スペクトルデータ検索表示プログラム“PROSPECT”」は、反射スペクトルデータカタログの一環で作成したもので、カタログに掲載されている各岩石の反射スペクトルデータ（デジタルデータ）をパソコン上に表示するシステムである。ここでは、“PROSPECT”の機能の概略について報告する。なお、プログラムの詳細は事業団技術資料「反射スペクトルデータ検索表示プログラム“PROSPECT” PNC PN7520 93-002(1)」を参照されたい。

2. 作成の目的

本プログラムは、反射スペクトルデータカタログに掲載されている各岩石の反射スペクトルデータを迅速に検索し、パソコンのモニター上に反射スペクトル特性曲線図を表示することを目的に開発した。

3. プログラムの諸元と機能

3.1 使用するハードウェアおよびOSについて

本プログラムは、IBMのパソコンであるAT/PCおよび同等機種上で作動する。OSは、MS-DOSのバージョン5.0であり、カラー表示を行うことから、VGAボードおよびカラーモニターが必要である。使用言語は、C言語（ボーランド社のC++）であり、作動の高速化を図っている。なお、プログラムの作成は、株式会社情報数理研究所に委託した。

3.2 プログラムの機能について

本プログラムは、大別すると検索・表示、解析、データ入力・編集の3つの機能を持つ。
(1)検索・表示機能

反射スペクトルデータのファイル名を指定して、そのデータの反射スペクトル特性曲線図（図-1）を表示させる単純な機能と、岩石分類コード、地域コード、調査地点を指定して検索を行い、これに該当するデータの反射スペクトル特性曲線図を表示する機能とがある。本プログラムの反射スペクトル特性曲線図のレイアウトおよび反射スペクトル特性曲線上の位置・大きさの算出は、浦井(1989)¹⁾、YAMAGUCHI & LYON(1986)²⁾の方法を用い

ている。

(2)解析機能

複数の反射スペクトルデータを合成した結果の反射スペクトル特性曲線図の表示とリモートセンシング用光学センサーの観測波長帯と同一の波長帯での平均反射スペクトルデータを作成、表示する機能を持つ。これによって地表物のミキシングの問題などについても解析が可能である。

(3)データ入力・編集機能

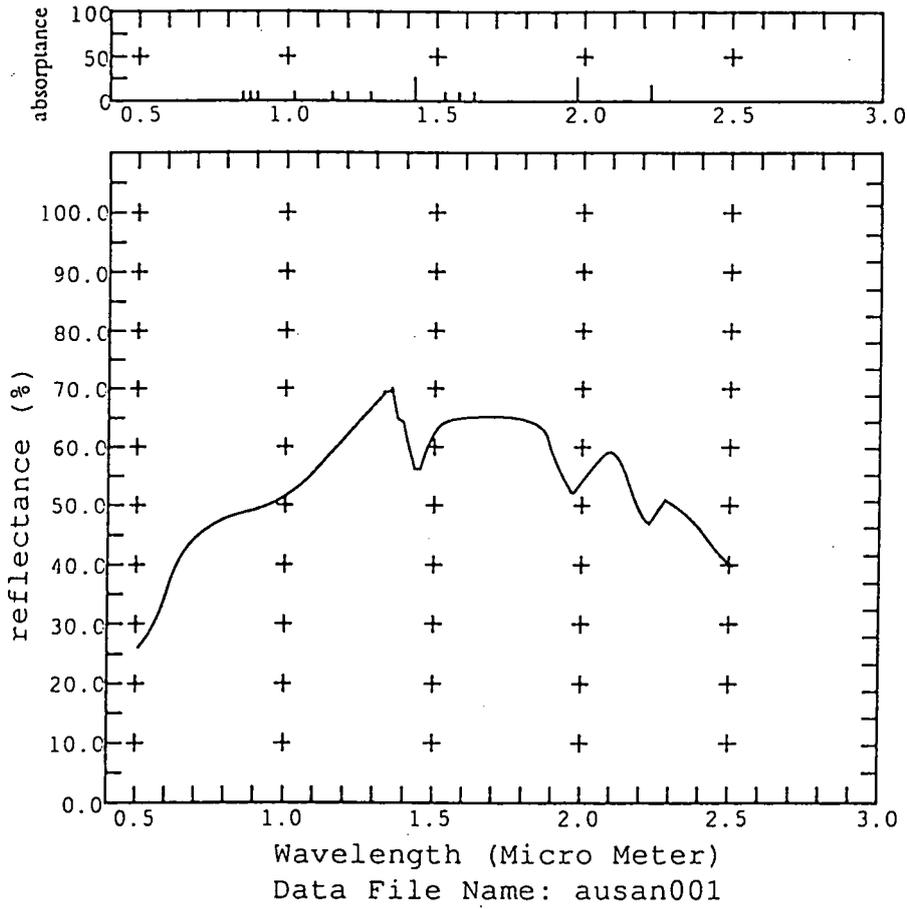
新規反射スペクトルデータの追加、ヘッダー情報の修正および他の計算機でも読み込み可能にするため、反射スペクトルデータをバイナリーデータからテキストデータに変換する機能を持つ。

4. 今後の予定

反射スペクトルデータカタログと同様に、データの種類および数量の拡充を図ると共に外部研究機関の反射スペクトルデータライブラリーも読み込み可能にするなど、プログラムの機能を充実していく予定である。

5. 参考文献

- 1) 浦井 稔 (1989), 岩石・鉱物の反射スペクトルデータとその表示用ソフトウェア (PCSPEC), 地質調査所研究資料集, 16p.
- 2) YAMAGUCHI & LYON (1986), Identification of clay minerals by feature coding of near-infrared spectra, Proceedings of the fifth conference on remote sensing for exploration geology, pp. 627-636



absorption		
NO.	WVL	ABS(%)
1	1.910	20.3
2	1.411	17.7
3	2.206	17.1
4	1.490	7.7
5	0.877	7.3
6	0.858	6.7
7	1.518	6.0
8	1.545	5.1
9	1.032	5.0
10	1.186	4.9
11	0.823	4.6
12	0.817	4.1
13	1.138	4.0
14	1.243	3.4

Rock Name
Sandstone

X Ray Measurement
Detected Minerals
Qz Mc Kln

図一 1 反射スペクトル特性曲線図

B-3 磁気探査3次元モデリングプログラムの作成

(長谷川 健)

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開発5ヶ年計画」に基づき、各種物理探査法のシミュレーション手法の開発を行っている。

シミュレーションを実施するためにはウラン鉱床の物理特性を解明する必要があることから、平成4年初頭にオーストラリア法人を通じてキンタイヤウラン鉱床の物理探査データを入手し検討を行った。その結果、キンタイヤ鉱床の鉱化帯と磁気異常の間に何らかの関係があるらしいことが判明した。

図1はキンタイヤ鉱床の磁気異常図であり、鉱化帯上に位置している磁気異常は、正と負の異常が対になった典型的な3次元磁気異常である。この磁気異常の原因を解明するためには3次元物体に起因する磁気応答を計算できるプログラムが必要であることから、磁気探査3次元モデリングプログラムの作成を実施した。

なお、プログラムの使用法については、報告書「磁気探査3次元モデリングプログラム(PNC PJ7270 93-001(1))」に、プログラムの構造については、報告書「磁気探査3次元モデリングプログラム(PNC PJ7270 93-001(2))」に詳しく述べられている。

2. プログラムの機能の概要

作成したプログラムは、入力パラメータ設定部、計算部および計算結果表示部から構成されている。プログラム全体のフローを図2-1に示す。なお、本プログラムはHP375上で動作するものである。以下、各部の機能について簡単に説明する。

(1)入力パラメータ設定部

Motifを用いたインターフェイスにより、磁性体・地磁気・測線等のパラメータの設定や変更を容易に行える。入力部のフローを図2-2に示す。

磁性体の形状は有限長の四角柱であり、現在の設定では四角柱は最大1000個まで設定できる。必要な場合は、計算部のプログラム中のパラメータ文の変更により最大個数の変更が可能である。

(2)計算部

B. K. Bhattacharyya(1964)の理論式¹⁾に基づいて、四角柱状の磁性体に起因する磁気応答を計算する。計算部のプログラムの言語はFORTRAN77である。

(3)計算結果表示部

X-Windowsのグラフィック機能を用い、計算結果をグラフ表示する。また、グラフ表示書式の設定をMotifにより容易に行える。計算結果表示部のフローを図2-3に、計

算結果の出力例を図3に示す。

4. まとめ

磁気探査3次元モデリングプログラムを作成した。このプログラムを用いれば、3次元の磁気異常の解析が容易に行えるので、キンタイヤ鉱床の鉱化帯と磁気異常の間の関係の解明に大いに役立つものと期待される。

参考文献

- 1) MAGNETIC ANOMALIES DUE TO PRISM-SHAPED BODIES WITH ARBITRARY POLARIZATION
(1964) ; B. K. Bhattacharyya, Geophysics, Vol. 24, p. 517-p. 531

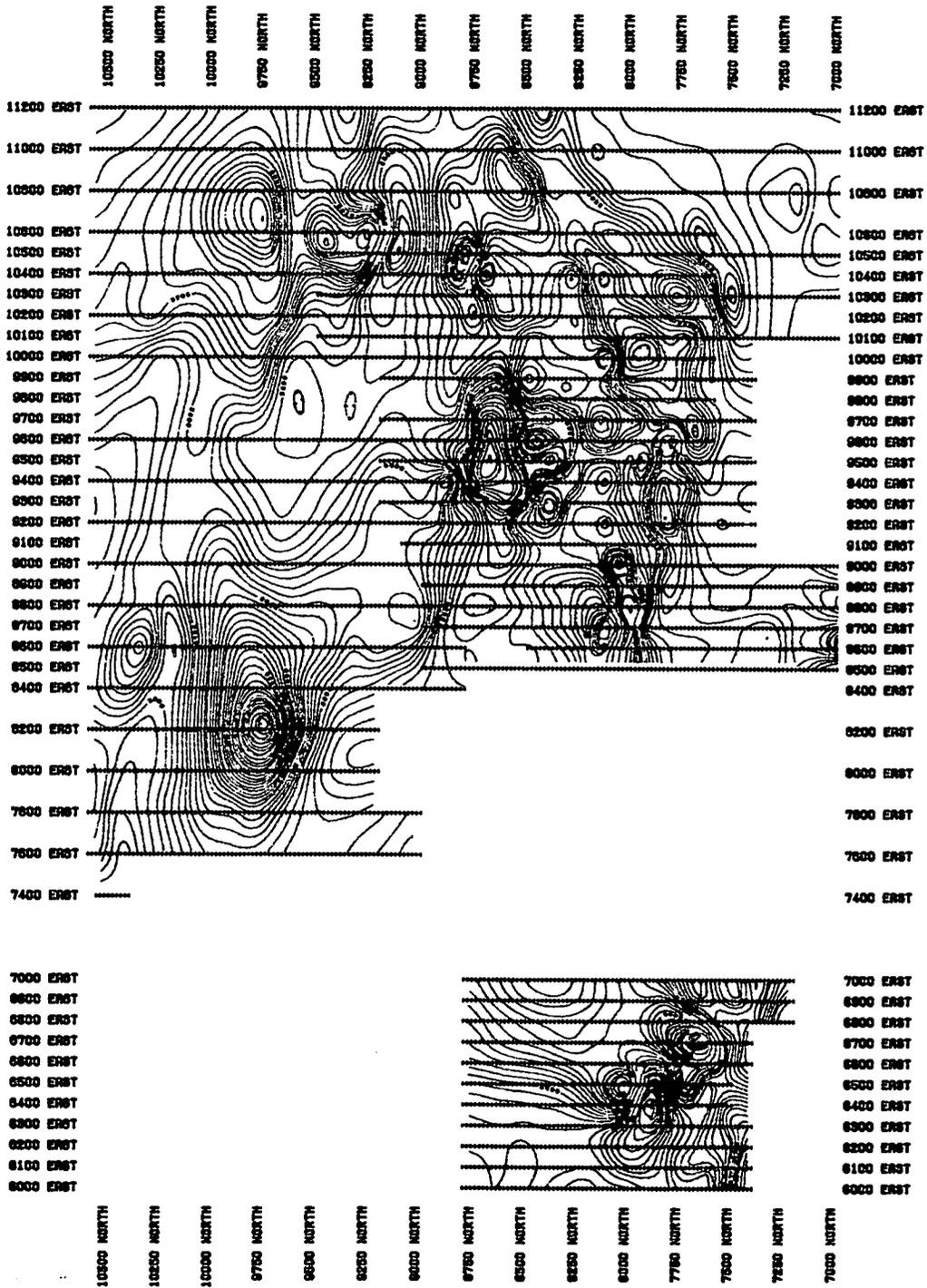


図1 キンタイヤ鉱床周辺の磁気異常

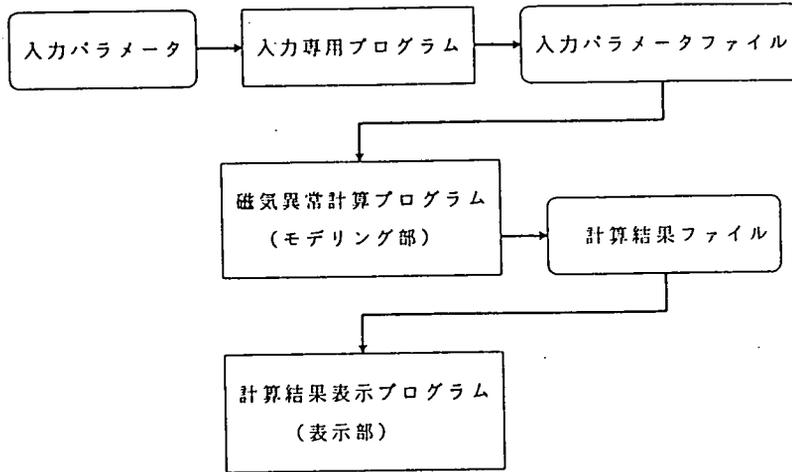


図2-1 プログラム全体のフロー

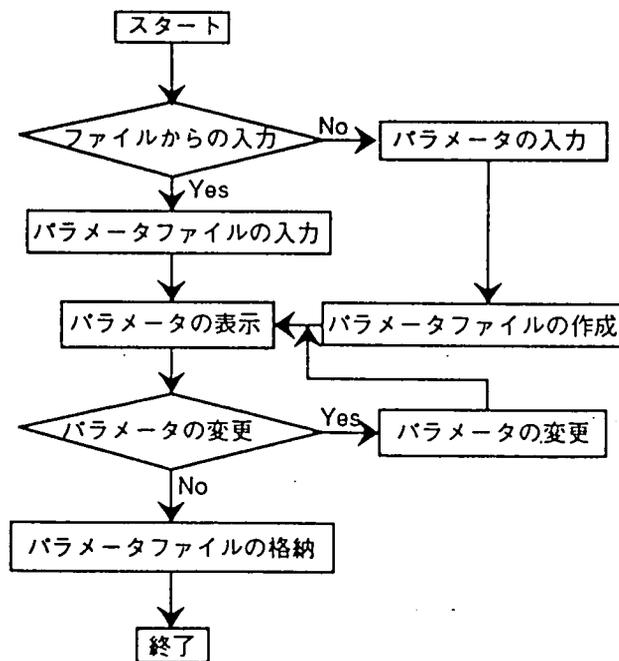


図2-2 入力部のフロー

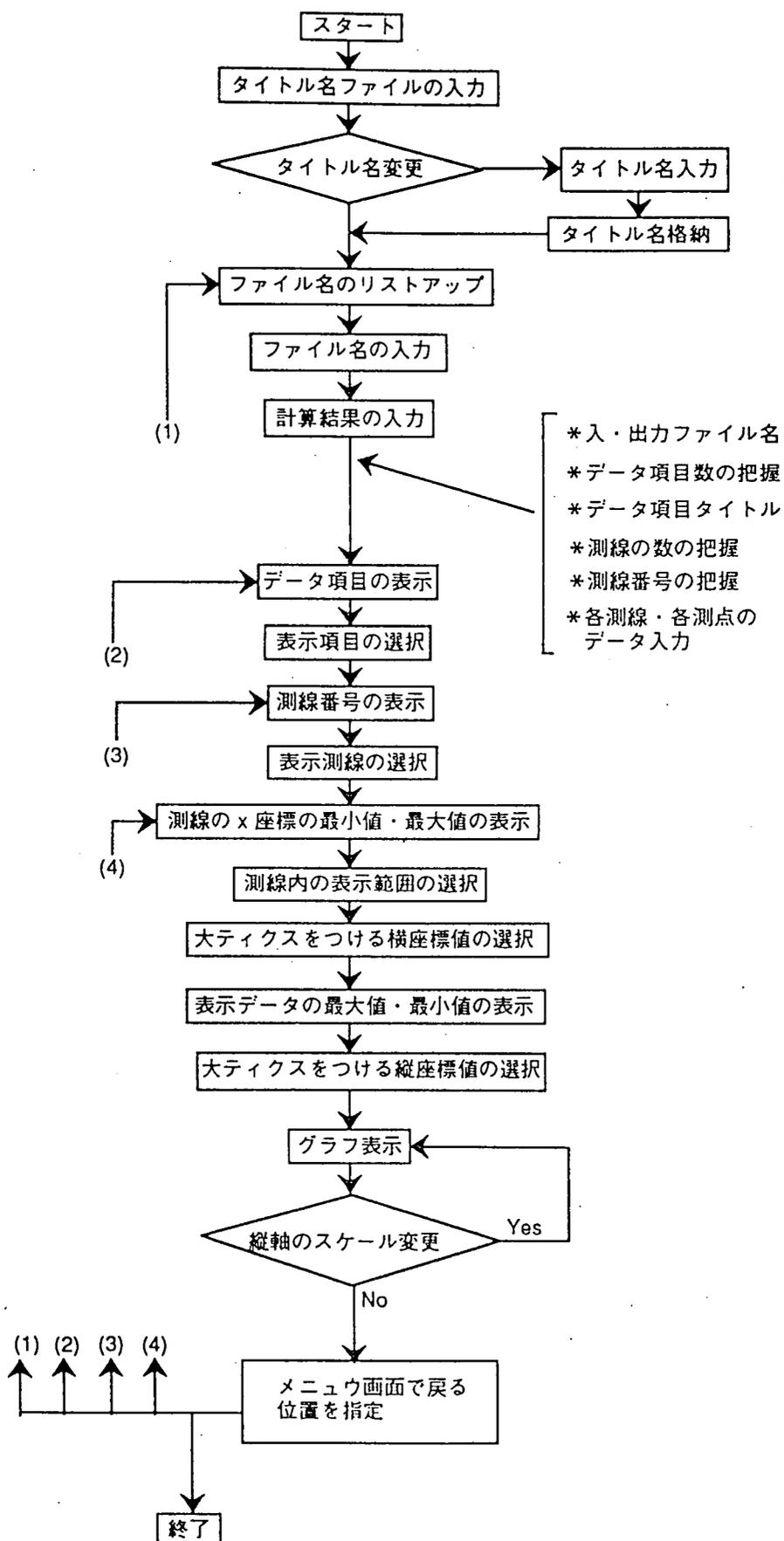


図 2—3 計算結果表示部のフロー

Simple model 114

j2p114.inp j2p114.xyz

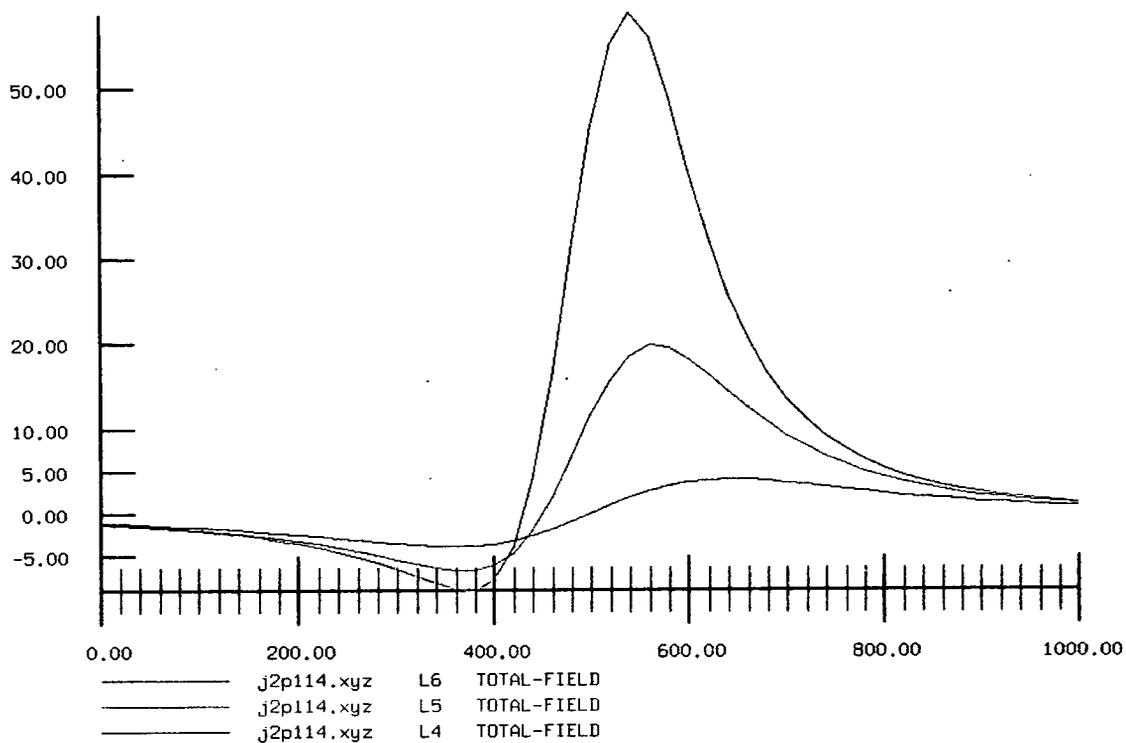


図3 計算結果の表示例

B-4 帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラムの作成

(長谷川 健)

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開発5ヶ年計画」に基づき、オーストラリアの地質環境に適した物理探査手法の開発を行っている。

ウラン鉱床の周囲に発達する熱水変質に伴う低比抵抗帯を抽出する手法として電磁探査法が優れていることは、カナダ北西準州のシーロン盆地周辺での探査結果からも明らかである¹⁾。通常、電磁探査はターゲットの帯磁率が真空のそれと同じという仮定で実施されており、カナダにおいても高帯磁率が探査の障害となるようなことはなかった。しかし、オーストラリア・アーネムランド地域においては、比較的高い帯磁率をもつドレライト岩脈がウラン鉱床と何らかの関係があることが分かってきており、この地域のウラン鉱床探査へ電磁法を適用するためには、ドレライト岩脈の高帯磁率が電磁法のデータに及ぼす影響をあらかじめ評価しておく必要がある。そこで、「帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラム」の作成を今年度実施した。

なお、プログラムの使用法および構造については、報告書「帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラム(PNC PN7460 92-001)」に詳しく述べられている。

2. 計算モデル及びプログラムの概要

2.1 計算モデル

ターゲットの帯磁率が電磁法データに及ぼす影響については、過去に検討された例がほとんどなく、従って計算手法についても確立された手法があるわけではない。計算手法についてサーベイした結果、木村(1961)²⁾による解が数値計算に利用可能な解析解として唯一得られたので、これを利用した。

モデルの条件を以下に示す。

- (1)モデルは球(この球が導電性と帯磁性の両方を性質を持つ)
- (2)モデルの周囲の媒質は空気
- (3)磁界源は磁気ダイポール
- (4)一次磁界は正弦波

計算に用いるパラメータの範囲については「補足1」に示した。

ただし、木村は球の鉛直上方に鉛直磁気ダイポール(軸対称の場合)及び水平磁気ダイポール(非軸対称の場合)がある場合の解しか与えていないので、一般的な調査仕様での計算が可能のように、座標変換式を導いた。詳細は「補足2」に示す。

また、プログラムにはフーリエ変換を利用して周波数領域の応答を時間領域の応答に変換するルーチンを付加した。

2.2 プログラムの概要

本プログラムは「補足」に示した解析解を数値計算するもので、言語は FORTRAN 77 である。プログラムは、計算パラメータ入力部、周波数領域電磁応答計算部、時間領域変換部及び計算結果出力部から構成されている。ただし、出力部は数値ファイルを出力するのみで、図形表示の機能は有していない。全体のフローを図1に、出力結果例を表1に示す。

3. まとめ

帯磁率を考慮した球構造の電磁応答計算プログラムを作成した。モデルが単純という制約があるものの、このプログラムを用いれば帯磁率が電磁法のデータに及ぼす影響を定量的に評価できるので、アーネムランド地域での電磁探査法の適用性をある程度評価できるものと期待される。

参考文献

- 1) Geophysical Exploration for Unconformity-Related Uranium Deposits in the Northeast Part of the Thelon Basin, Northwest Territories, Canada (1990); k. Haswaga, G. I. Davidson, P. Wollenberg and Y. Iida, Mining Geology, 40(2), p. 83-p. 95
- 2) 電磁法の研究(1961); 木村宏一, 京都大学工学部学位論文

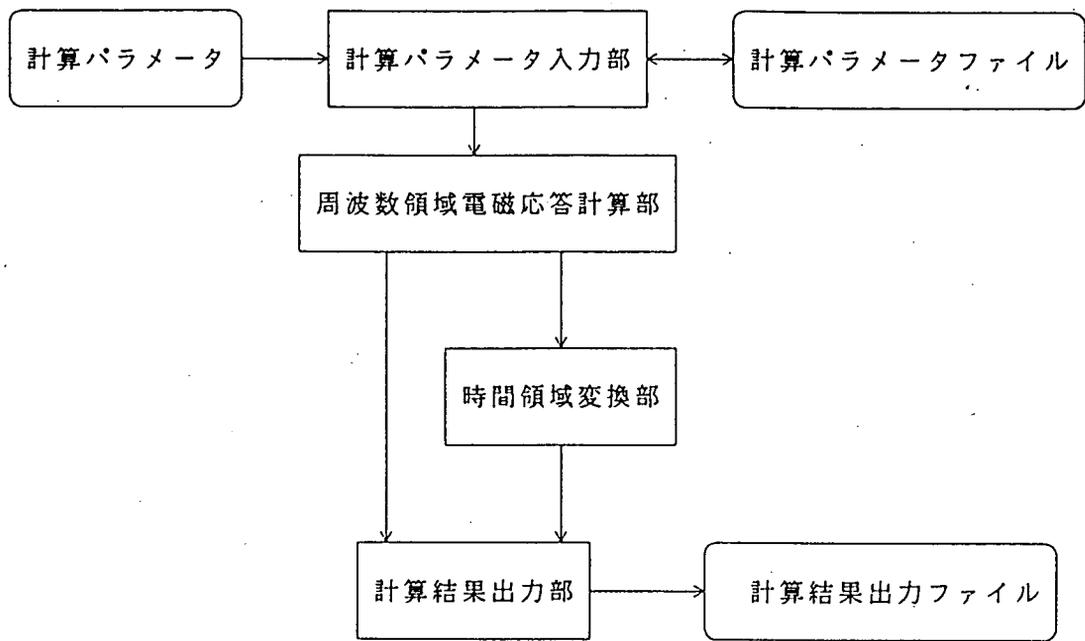


図1 プログラムのフロー

表1 出力結果例

lst0	0.000E+0	2.000E+1	0.000E+0	-1.000E+1	0.000E+0	0.000E+0	1.000E+1	0.000E+0
Freq.	Station	X-Real	X-Imag	Y-Real	Y-Imag	Z-Real	Z-Imag	
1.000E+1	-1.000E+1	1.583E+0	-9.179E-1	1.455E+0	-8.773E-1	-1.618E+0	9.257E-1	
1.000E+1	-5.000E+0	1.447E+0	-8.381E-1	1.950E+0	-1.180E+0	-3.472E+0	1.994E+0	
1.000E+1	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	2.139E+0	-1.297E+0	-4.537E+0	2.608E+0	
1.000E+1	5.000E+0	-1.447E+0	8.381E-1	1.950E+0	-1.180E+0	-3.472E+0	1.994E+0	
1.000E+1	1.000E+1	-1.583E+0	9.179E-1	1.455E+0	-8.773E-1	-1.618E+0	9.257E-1	
1.000E+2	-1.000E+1	7.021E-1	-4.615E-1	5.203E-1	-3.197E-1	-7.455E-1	4.887E-1	
1.000E+2	-5.000E+0	6.399E-1	-4.191E-1	6.360E-1	-3.604E-1	-1.573E+0	1.028E+0	
1.000E+2	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	6.628E-1	-3.555E-1	-2.042E+0	1.331E+0	
1.000E+2	5.000E+0	-6.399E-1	4.191E-1	6.360E-1	-3.604E-1	-1.573E+0	1.028E+0	
1.000E+2	1.000E+1	-7.021E-1	4.615E-1	5.203E-1	-3.197E-1	-7.455E-1	4.887E-1	
1.000E+3	-1.000E+1	3.823E-1	-2.310E-1	1.546E-1	-1.299E-1	-4.322E-1	2.555E-1	
1.000E+3	-5.000E+0	3.460E-1	-2.114E-1	1.047E-1	-1.320E-1	-8.854E-1	5.349E-1	
1.000E+3	0.000E+0	0.000E+0	0.000E+0	5.634E-2	-1.200E-1	-1.135E+0	6.923E-1	
1.000E+3	5.000E+0	-3.460E-1	2.114E-1	1.047E-1	-1.320E-1	-8.854E-1	5.349E-1	
1.000E+3	1.000E+1	-3.823E-1	2.310E-1	1.546E-1	-1.299E-1	-4.322E-1	2.555E-1	

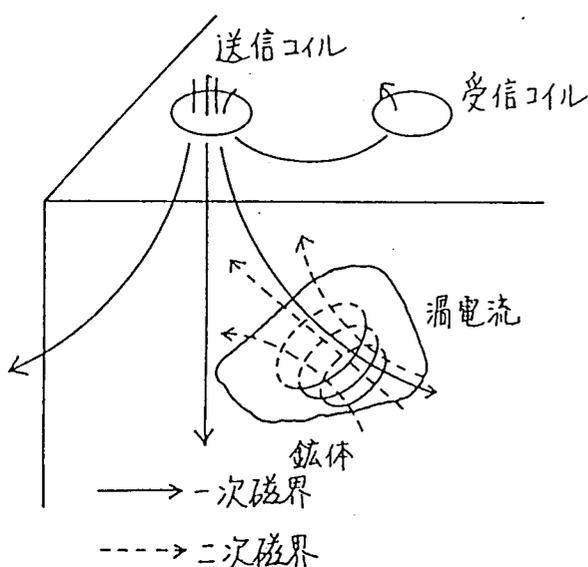
補足〔1〕入力パラメータの範囲

- ・球の中心と磁気ダイポールの距離と球の半径の比 < 0.75
- ・球の導電率 σ (mho/m) $> 10^{-3}$
- ・球の比帯磁率 μ_r (無名数) $1 \sim 200$
- ・周波数 f (Hz) $10 \sim 10^5$
- ・磁気ダイポールと受信コイルの距離 l (m) $5 \sim 300$

補足〔2〕送信コイル（磁気ダイポール）が作る磁界の理論解

本章では最も単純な地下構造の一つである球構造について、送信コイルが作る磁界の理論解について説明する。

2.1 基本概念



第2.1図 概念図

コイル・コイル法を用いて探査を行う状態について考えると、基本的には第2.1図のようになるので、解を求めるには空气中、大地中磁体中の各媒質内の電磁界の一般式を用い、一次磁界を考慮して各媒質の境界面における境界条件が満足されるように磁界の理論解を算出しなければならない。しかし実際の状態では各媒質の電磁氣的性質は一様でなく、磁体の形状も単純ではない。従って、一般の条件下で理論的な計算をすることは非常に困難なので、以下の様な仮定を設けることにする。

- (1) 磁体を取り囲む媒質の影響は無視できる程小さい。磁体と媒質との電磁氣的性質の差異が大きくなければ、電気探査そのものの効果が期待できないのは当然であるから、この仮定は妥当である。
- (2) 媒質の影響を無視する事から、地表面という境界を取り除き、全無限問題として考える。
- (3) 磁体の電氣的磁氣的性質は均質でかつ等方性である。
- (4) 周波数が低い場合、磁体中及びその周辺媒質中の変位電流による影響は無視できる。

(5)送信コイルの作る一次磁界は、コイル半径の5～6倍以上離れた場所では磁気双極子の作る磁界とほぼ同じになるので、一次磁界は磁気双極子によるものとする。

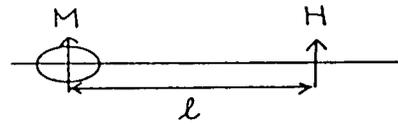
2.2 双極子磁界中の球構造の解析

先にも述べたように、送信コイルの作る一次磁界はコイル半径の5～6倍以上離れた場所では双極子の作る磁界とほぼ同じになる。また半径 a の微小円形単巻コイルによる磁気双極子の大きさは、 $M = \mu_0 I \pi a^2$ である。なお、磁気双極子による一次磁界は、双極子からこれと垂直方向に距離 ℓ の点で、

$$H = \frac{M}{4\pi\mu_0\ell^3} \quad (2.1)$$

である。(第2.2図)

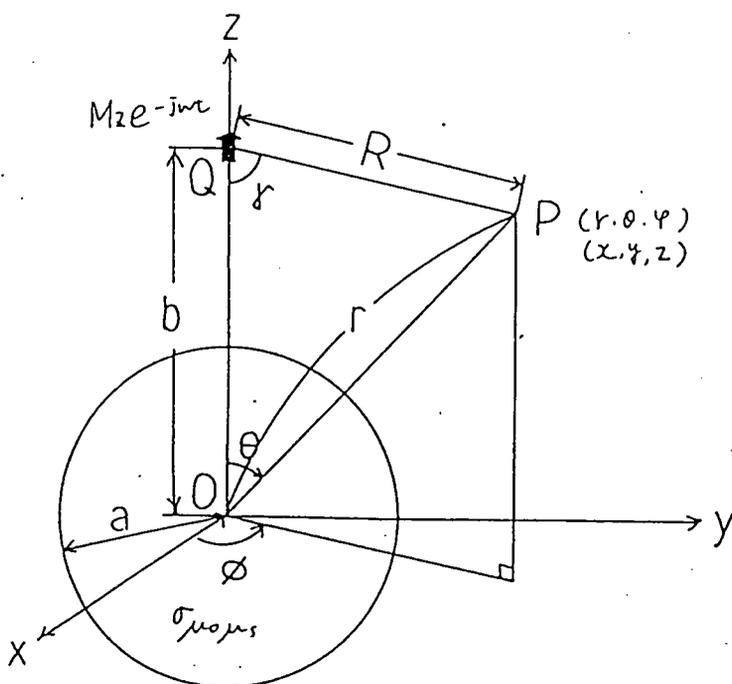
一般に任意の方向にある双極子に対しては、これを球に対する法線成分と接線成分とに分け、それらによる二次磁界を合成すればよい。従って、基本となる問題は、双極子が法線方向(軸対称)の場合と、接線方向(非軸対称)の場合になる。



第2.2図

磁気双極子による一次磁界

2.2.1 軸対称の場合と非軸対称の場合



μ_0 : 真空の透磁率

μ_r : 磁率

b : OQ

R : PQ

r : OP

第2.3図 軸対称の磁気双極子

第2.3図のように半径 a 、導電率 σ 、透磁率 $\mu_0 \mu_s$ 、誘電率 $\epsilon_0 \epsilon_s$ を持つ球構造の中心を原点とする球座標を選び、 z 軸方向の正弦波磁気双極子 $M_z e^{-j\omega t}$ が z 軸上の点 Q に置かれているとする。この時の球構造外部の任意の点 P の二次磁界として次式が得られている。

$$\left\{ \begin{aligned} H_r &= -\frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_z}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n(n+1) \frac{a^{n-1}}{b} \frac{a^{n+2}}{r} K_n P_n(\cos\theta) \right] \quad (2.2) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} H_\theta &= -\frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_z}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n \frac{a^{n-1}}{b} \frac{a^{n+2}}{r} K_n P_n^1(\cos\theta) \right] \quad (2.3) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} H_\phi &= 0 \quad (2.4) \end{aligned} \right.$$

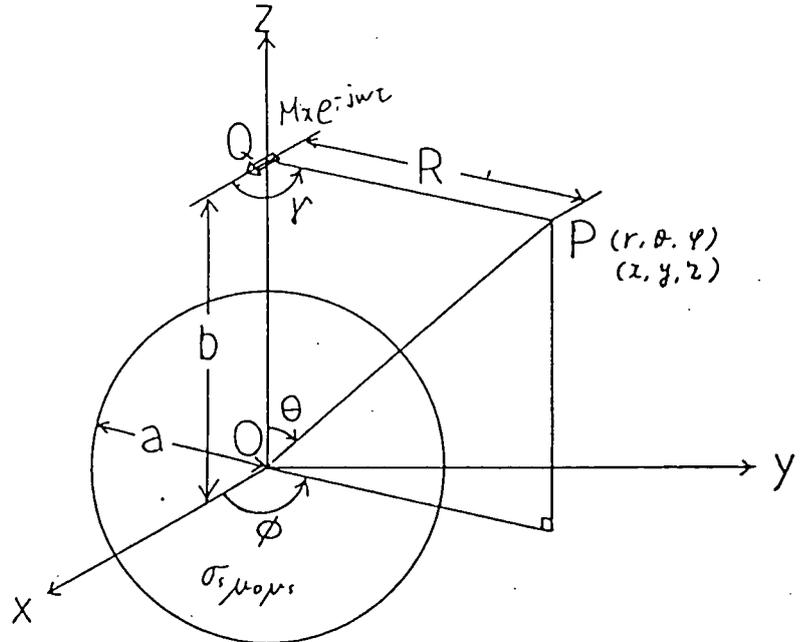
ここで、

$$K_n = \frac{(n+1)(1-\mu_s)J_{n+1/2}(K_s a) - (K_s a)J_{n+3/2}(K_s a)}{(n\mu_s + n+1)J_{n+1/2}(K_s a) - (K_s a)J_{n+3/2}(K_s a)} \quad (2.5)$$

$$K_s a = (1+j) \sqrt{(\sigma \mu_0 \mu_s \omega) \times a} / \sqrt{2} \quad (2.6)$$

である。又 $J_{n+1/2}(K_s a)$ 、 $J_{n+3/2}(K_s a)$ は半奇数次のBessel関数であり $P_n(\cos\theta)$ は第1種Legendre関数、 $P_n^1(\cos\theta)$ はLegendre陪関数である。

次に非軸対称の場合であるが、第2.4図のように z 軸上に x 方向の双極子 $M_x e^{-j\omega t}$ があるとしても一般性を失わない。このときの球構造外部の任意の点 P の二次磁界は、次のように表すことができる。



第2.4図 非軸対称の磁気双極子

$$\left\{ \begin{aligned} H_r &= \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n \frac{a^{n-1}}{b} \frac{a^{n+2}}{r} K_n P_n^1(\cos\theta) \right] \cos\phi \quad (2.7) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} H_\theta &= -\frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{n}{n+1} \frac{a^{n-1}}{b} \frac{a^{n+2}}{r} K_n \frac{d}{d\theta} \{ P_n^1(\cos\theta) \} \right] \cos\phi \quad (2.8) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} H_\phi &= \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{n}{n+1} \frac{a^{n-1}}{b} \frac{a^{n+2}}{r} K_n \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\sin\theta} \right] \sin\phi \quad (2.9) \end{aligned} \right.$$

2.2.2 任意の点に磁気双極子を置いた場合

任意の点に磁気双極子を置いた場合の磁界は、先の二つの場合を合成することによって得られる。

先ず $x y z$ 座標系と極座標系との関係は、第 2.5 図を参照して、

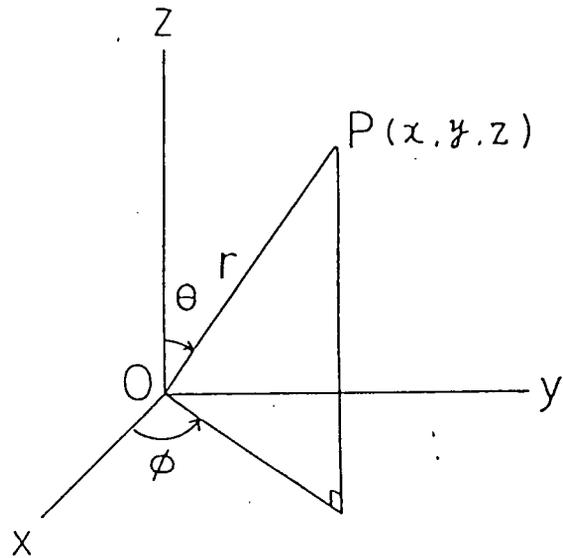
$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \phi \\ y = r \sin \theta \sin \phi \\ z = r \cos \theta \end{cases} \quad (2.10)$$

あるいは

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \quad (2.11)$$

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{z}{\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}} \\ \sin \theta = \frac{\sqrt{(x^2 + y^2)}}{\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} \cos \phi = \frac{x}{\sqrt{(x^2 + y^2)}} \\ \sin \phi = \frac{y}{\sqrt{(x^2 + y^2)}} \end{cases} \quad (2.13)$$



第 2.5 図

直交座標系と極座標系

で与えられる。

ベクトル $A (A_x, A_y, A_z)$ を極座標表示すれば

$$\begin{pmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \phi & \sin \theta \sin \phi & \cos \theta \\ \cos \theta \cos \phi & \cos \theta \sin \phi & -\sin \theta \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

であり、この行列は正規直交行列であること、及び (2.12) (2.13) 式を考慮すれば

$$\begin{aligned}
\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \sin\theta \cos\phi & \cos\theta \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\theta \sin\phi & \cos\theta \sin\phi & \cos\phi \\ \cos\theta & -\sin\phi & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{pmatrix} \\
&= \begin{pmatrix} \frac{x}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & \frac{zx}{\sqrt{(x^2+y^2)}\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & \frac{-y}{\sqrt{(x^2+y^2)}} \\ \frac{y}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & \frac{yz}{\sqrt{(x^2+y^2)}\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & \frac{x}{\sqrt{(x^2+y^2)}} \\ \frac{z}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & \frac{-\sqrt{(x^2+y^2)}}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{pmatrix} \quad (2.15)
\end{aligned}$$

となり (2.15) 式中の座標変換に関する行列を F_1 で表せば、

$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} = F_1 \begin{pmatrix} A_r \\ A_\theta \\ A_\phi \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

と表すことができる。従って極座標成分で表された磁界 (H_r, H_θ, H_ϕ) は次式を用いて x, y, z 座標成分に変換することができる。

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = F_1 \begin{pmatrix} H_r \\ H_\theta \\ H_\phi \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

M_x と M_z が同時に存在すれば、二次磁界の成分は

$$\begin{aligned}
H_r &= -\frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_z}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n(n+1) \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n(\cos\theta) \right] \\
&\quad + \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n^1(\cos\theta) \right] \cos\phi \quad (2.18)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_\theta &= -\frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_z}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[n \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n^1(\cos\theta) \right] \\
&\quad - \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{n}{n+1} \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n \frac{d}{d\theta} \{ P_n^1(\cos\theta) \} \right] \cos\phi \quad (2.19)
\end{aligned}$$

$$H_\phi = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{M_x}{b^3} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{n}{n+1} \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\sin\theta} \right] \sin\theta \quad (2.20)$$

となる。これを行列 F_2 を用いて表せば、次の様になる。

$$\begin{pmatrix} H_r \\ H_\theta \\ H_\phi \end{pmatrix} = \frac{1}{4\pi\mu_0 b^3} F_2 \begin{pmatrix} M_x \\ 0 \\ M_z \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

ここで

$$F_2 =$$

$$\begin{pmatrix} \sum_{n=1}^{\infty} n \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n^1(\cos\theta) \cos\phi, & 0, & -\sum_{n=1}^{\infty} n(n+1) \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n(\cos\theta) \\ -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n \frac{d}{d\theta} P_n^1(\cos\theta) \cos\phi, & 0, & -\sum_{n=1}^{\infty} n \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n P_n^1(\cos\theta) \\ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{n+1} \left(\frac{a}{b}\right)^{n-1} \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} K_n \frac{P_n^1(\cos\theta)}{\sin\theta} \sin\phi, & 0, & 0 \end{pmatrix}$$

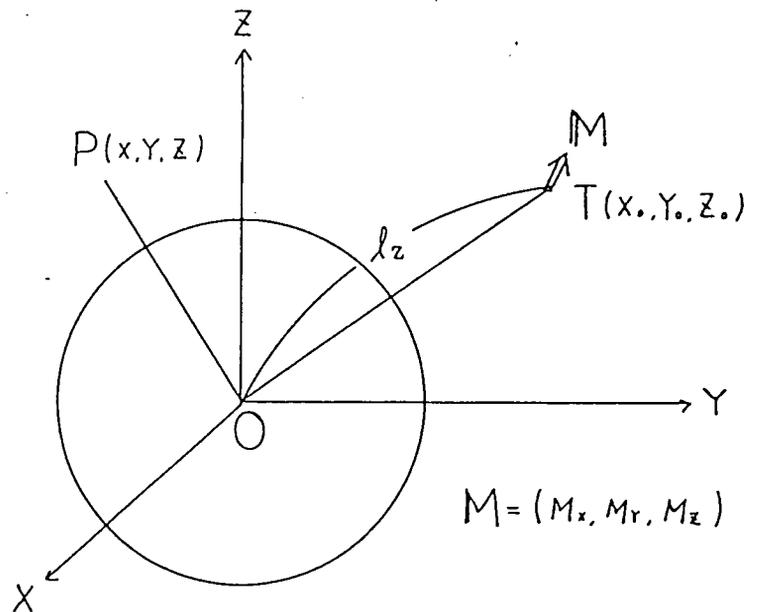
である。これを x, y, z 成分に変換すると(2.17)式を用いて、

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = \frac{1}{4\pi\mu_0 b^3} F_1 F_2 \begin{pmatrix} M_x \\ 0 \\ M_z \end{pmatrix} \quad (2.22)$$

となる。

さて、球の外部の任意の点に磁気双極子を置いた場合について考える。

第2.6図に示したように、座標系 $O-XYZ$ ($O-XYZ$ 系の単位ベクトルを $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$, とする) をとり、磁気双極子を置いた点の座標を $T(X_0, Y_0, Z_0)$ とする。但し、磁気双極子のモーメントを $\mathbf{M}(M_x, M_y, M_z)$ とする。次に新しい座標系 $O-x, y, z$ を z 軸を \vec{OT} の方向に、 \mathbf{M} の y 成分が 0 になるように選ぶ。 $O-x, y, z$ 系の単位ベクトルを $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ とすれば、



第2.6図 任意の点にある磁気双極子

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_z &= \frac{X_0 \mathbf{i} + Y_0 \mathbf{j} + Z_0 \mathbf{k}}{\sqrt{X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2}} \\ &= \frac{X_0 \mathbf{i} + Y_0 \mathbf{j} + Z_0 \mathbf{k}}{l_z} \end{aligned} \quad (2.23)$$

であり、ここで

$$l_z = \sqrt{(X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2)} \quad (2.24)$$

である。 \mathbf{e}_y は \vec{r} と \mathbf{M} に垂直であるので、

$$\mathbf{e}_y = \frac{\vec{r} \times \mathbf{M}}{|\vec{r} \times \mathbf{M}|}$$

である。ここで、

$$\begin{aligned} \vec{r} \times \mathbf{M} &= (Y_0 M_z - Z_0 M_y) \mathbf{i} + (Z_0 M_x - X_0 M_z) \mathbf{j} + (X_0 M_y - Y_0 M_x) \mathbf{k} \\ &= u_i \mathbf{i} + u_j \mathbf{j} + u_k \mathbf{k} \end{aligned}$$

但し、

$$\begin{cases} u_i = Y_0 M_z - Z_0 M_y \\ u_j = Z_0 M_x - X_0 M_z \\ u_k = X_0 M_y - Y_0 M_x \end{cases} \quad (2.25)$$

であるので、

$$\mathbf{e}_y = \frac{(u_i \mathbf{i} + u_j \mathbf{j} + u_k \mathbf{k})}{\sqrt{(u_i^2 + u_j^2 + u_k^2)}} = \frac{u_i \mathbf{i} + u_j \mathbf{j} + u_k \mathbf{k}}{l_0} \quad (2.26)$$

となる。ただし、

$$l_0 = \sqrt{(u_i^2 + u_j^2 + u_k^2)} \quad (2.27)$$

である。

また 0-xyz系が右手系をなすように座標系を選べば(2.23), (2.26) 式より、

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_x &= \mathbf{e}_y \times \mathbf{e}_z \\ &= \frac{(u_j Z_0 - u_k Y_0) \mathbf{i} + (u_k X_0 - u_i Z_0) \mathbf{j} + (u_i Y_0 - u_j X_0) \mathbf{k}}{l_z \cdot l_0} \\ &= \frac{v_i \mathbf{i} + v_j \mathbf{j} + v_k \mathbf{k}}{l_z \cdot l_0} \end{aligned} \quad (2.28)$$

なる。但し、

$$\begin{cases} v_i = u_j Z_0 - u_k Y_0 = (Y_0^2 + Z_0^2) M_x - X_0 Y_0 M_y - Z_0 X_0 M_z \\ v_j = u_k X_0 - u_i Z_0 = -X_0 Y_0 M_x + (Z_0^2 + X_0^2) M_y - Y_0 Z_0 M_z \\ v_k = u_i Y_0 - u_j X_0 = -Z_0 X_0 M_x - Y_0 Z_0 M_y + (X_0^2 + Y_0^2) M_z \end{cases} \quad (2.29)$$

である。これらの \mathbf{e}_x , \mathbf{e}_y , \mathbf{e}_z を用いれば、 \mathbf{M} の x, y, z 成分 (m_x, m_y, m_z) は、

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \mathbf{e}_x \\ \mathbf{e}_y \\ \mathbf{e}_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_i/\ell_0 \ell_z, v_j/\ell_0 \ell_z, v_k/\ell_0 \ell_z \\ u_i/\ell_0, u_j/\ell_0, u_k/\ell_0 \\ X_0/\ell_z, Y_0/\ell_z, Z_0/\ell_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} \ell_0/\ell_z \\ 0 \\ (X_0 M_x + Y_0 M_y + Z_0 M_z)/\ell_z \end{pmatrix} \quad (2.30)
 \end{aligned}$$

となり、

$$\mathbf{F}_3 = \begin{pmatrix} v_i/\ell_0 \ell_z, v_j/\ell_0 \ell_z, v_k/\ell_0 \ell_z \\ u_i/\ell_0, u_j/\ell_0, u_k/\ell_0 \\ X_0/\ell_z, Y_0/\ell_z, Z_0/\ell_z \end{pmatrix} \quad (2.31)$$

とおくと、

$$\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix} = \mathbf{F}_3 \mathbf{M} \quad (2.32)$$

と表わせる。点P(X, Y, Z)の0-xyz系の座標をP(x, y, z)とし点Pにおける0-xyz系の磁界の成分をH_x, H_y, H_zとすれば(2.31)式と(2.22)式から、

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = \frac{1}{4\pi\mu_0 \ell_z^3} \mathbf{F}_1 \mathbf{F}_2 \mathbf{F}_3 \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \quad (2.33)$$

となる。但し、行列F₁, F₂, 中のx, y, zは全て、

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \mathbf{F}_3 \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

で与えられる。

次に(H_x, H_y, H_z)を(H_x, H_y, H_z)に変換するためにはF₃の逆行列が必要であるが、F₃は座標の回転の変換行列であるから、正規直交行列であるので、

$$\mathbf{F}_3^{-1} = {}^t \mathbf{F}_3$$

で与えられる。よって、任意の点に磁気双極子を置いた場合の二次磁界の各成分は、次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{pmatrix} = \frac{1}{4\pi\mu_0 \ell_z^3} {}^t \mathbf{F}_3 \mathbf{F}_1 \mathbf{F}_2 \mathbf{F}_3 \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} \quad (2.35)$$

補足〔3〕特殊関数について

(1)ルジャンドル関数

$$(\nu+1)P_{\nu+1}(z) - (2\nu+1)zP_{\nu}(z) + \nu P_{\nu-1}(z) = 0.$$

$$1 = P_0(z), \quad z = P_1(z),$$

(2)ルジャンドル陪関数

$$(\nu-\mu+1)P_{\nu+1}^{\mu}(z) - (2\nu+1)zP_{\nu}^{\mu}(z) + (\nu+\mu)P_{\nu-1}^{\mu}(z) = 0.$$

$x = \cos \theta$ とする.

$$P_1^1(x) = (1-x^2)^{1/2} = \sin \theta,$$

$$P_2^1(x) = 3(1-x^2)^{1/2}x = 3 \sin \theta \cos \theta = (3/2) \sin 2\theta,$$

微分に関する漸化式

$$(z^2-1)dP_{\nu}^{\mu}(z)/dz = (\nu-\mu+1)P_{\nu+1}^{\mu}(z) - (\nu+1)zP_{\nu}^{\mu}(z),$$

$$\begin{aligned} (1-x^2)dP_{\nu}^{\mu}(x)/dx &= (\nu+1)xP_{\nu}^{\mu}(x) - (\nu-\mu+1)P_{\nu+1}^{\mu}(x) \\ &= (\nu+\mu)P_{\nu-1}^{\mu}(x) - xP_{\nu}^{\mu}(x) \\ &= \sqrt{1-x^2}P_{\nu}^{\mu+1}(x) - \mu xP_{\nu}^{\mu}(x) \\ &= \mu xP_{\nu}^{\mu}(x) - (\nu+\mu)(\nu-\mu+1)\sqrt{1-x^2}P_{\nu}^{\mu-1}(x). \end{aligned}$$

(3)式(2.5) K_n の漸化式

$$K_n = 1 + \frac{(2n+1) \mu_s L_n}{1 - (n\mu_s + n+1) L_n}$$

$$L_n = \frac{J_{n+1/2}(Ksa)}{(Ksa) J_{N+3/2}(Ksa)}$$

$$L_n = \frac{1}{(2n+1) - (Ksa)^2 L_{n-1}}$$

(4)半奇数次のベッセル関数

$$\begin{aligned}
 J_{n+1/2}(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi z}} \left[e^{iz} \sum_{r=0}^n \frac{i^{r-n-1}(n+r)!}{r!(n-r)!(2z)^r} \right. \\
 &\quad \left. + e^{-iz} \sum_{r=0}^n \frac{(-i)^{r-n-1}(n+r)!}{r!(n-r)!(2z)^r} \right] \\
 &= \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left[\sin\left(z - \frac{n\pi}{2}\right) \sum_{r=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} \frac{(-1)^r (n+2r)!}{(2r)!(n-2r)!(2z)^{2r}} \right. \\
 &\quad \left. + \cos\left(z - \frac{n\pi}{2}\right) \sum_{r=0}^{\lfloor (n-1)/2 \rfloor} \frac{(-1)^r (n+2r+1)!}{(2r+1)!(n-2r-1)!(2z)^{2r+1}} \right] \\
 &= (-1)^n \frac{(2z)^{n+(1/2)}}{\sqrt{\pi}} \frac{d^n}{d(z^2)^n} \frac{\sin z}{z} \\
 &= \sqrt{\frac{2}{\pi}} z^{n+(1/2)} \left(-\frac{d}{zdz}\right)^n \frac{\sin z}{z},
 \end{aligned}$$

$$J_{1/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \sin z, \quad J_{-1/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \cos z,$$

$$J_{3/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left(\frac{\sin z}{z} - \cos z\right), \quad J_{-3/2}(z) = -\sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left(\sin z + \frac{\cos z}{z}\right),$$

$$J_{5/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left[\left(\frac{3}{z^2} - 1\right) \sin z - \frac{3}{z} \cos z\right],$$

$$J_{-5/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left[\frac{3}{z} \sin z + \left(\frac{3}{z^2} - 1\right) \cos z\right],$$

$$J_{7/2}(z) = \sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left[\left(\frac{15}{z^3} - \frac{6}{z}\right) \sin z - \left(\frac{15}{z^2} - 1\right) \cos z\right],$$

$$J_{-7/2}(z) = -\sqrt{\frac{2}{\pi z}} \left[\left(\frac{15}{z^3} - 1\right) \sin z + \left(\frac{15}{z^2} - \frac{6}{z}\right) \cos z\right],$$

B-5 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

(長谷川 健)

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開発5ヶ年計画」に基づき、各種物理探査法のシミュレーション手法の開発を行っている。周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラムは DIGHEM システム等の周波数領域の空中電磁法について、3次元構造の電磁応答をシミュレーションできるプログラムである^{1) 2)}が、計算結果を数値ファイルとして出力するだけで、その結果を図形表示する機能を有していないため、本年度は図形出力部の作成を行った。

なお、プログラムの使用法ならびにプログラムの構造については、報告書「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(PNC ZJ7401 93-001)」に詳しく述べられている。

2. 図形出力部の機能の概要

作成したプログラムは、

- (1)「周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラム」の数値計算結果をプロファイル表示する機能
- (2)「周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラム」の数値計算結果から、SENGPIELの理論^{3) 4)}に基づいて比抵抗疑似断面を作成し、それをカラー表示する機能
- (3)計算に用いたモデルを表示する機能

を有する。さらに、本プログラムは DIGHEM システムで取得された実測データについて、

- (4)実測データをプロファイル表示する機能
- (5)実測データから、SENGPIELの理論に基づいて比抵抗疑似断面を作成し、それをカラー表示する機能

を有している。

プログラムはメニュー形式で入力パラメータ等を入力できるので、非常に使いやすいものとなっている。

なお、本プログラムの使用には以下の環境が必要である。

- (1) MS-WINDOWS Ver. 3.1 またはそれ以上
- (2)内部メモリ 4 Mbyte 以上
- (3) 20 Mbyte 以上のハードディスク空き容量
- (4)ワークステーションからのデータ転送に必要な通信ソフトおよびボード

図1から図4に出力結果例を示す。図1は計算で得られる磁界の同相成分及び離相成分をプロファイル表示したもの、図2はSENGPIELの理論に基づいて得られた見掛比抵抗プロ

ファイル、図3は得られた見掛比抵抗から作成した比抵抗疑似断面図、図4は計算に用いたモデルである。

4. まとめ

周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラムの出力部を作成した。このプログラムを用いれば、空中電磁法のシミュレーション結果の表示が非常に効率よく行え、シミュレーション作業全体の効率化が期待できるものと思われる。

参考文献

- 1) 周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラムの作成(1992);長谷川 健, 平成3年度技術開発課年報(PNC PN7440 92-001), P.127-P.128
- 2) 周波数領域空中電磁法シミュレーションプログラムの作成(1992);小西尚俊, PNC ZJ 7303 92-001
- 3) Resistivity/depth mapping with airborne electromagnetic survey data (1983); K. P. Sengpiel, Geophysics, Vol.48, No.2, p.181-p.196
- 4) APPROXIMATE INVERSION OF AIRBORNE EM DATA FROM A MULTILAYERED GROUND (1988); K. P. Sengpiel, Geophysical Prospecting, Vol.36, p.446-p.459

$f = 100 \text{ Hz}$
 $f = 200 \text{ Hz}$
 $f = 500 \text{ Hz}$

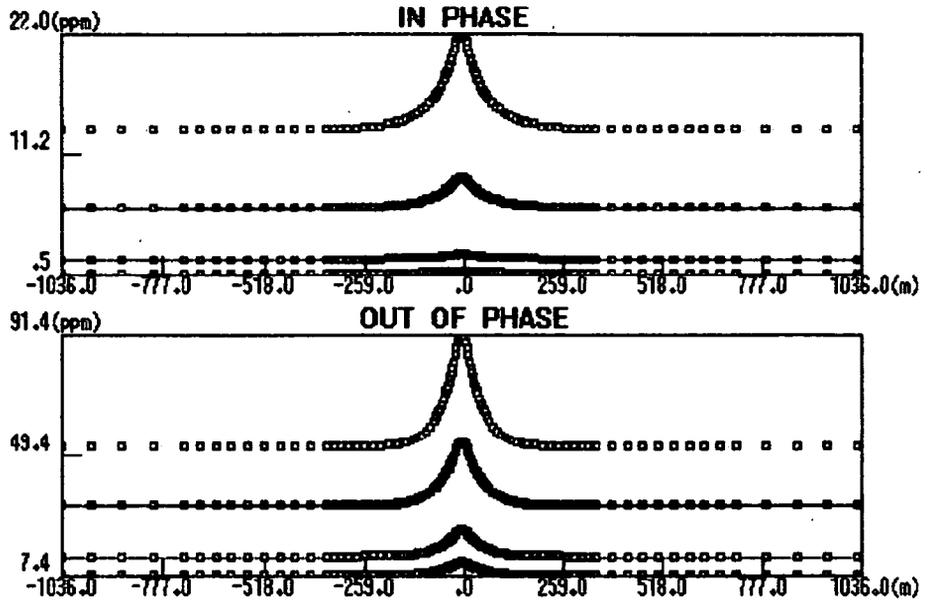


図1 磁界の同相成分（上）と離相成分（下）のプロファイル表示

$f = 100 \text{ Hz}$
 $f = 200 \text{ Hz}$
 $f = 500 \text{ Hz}$

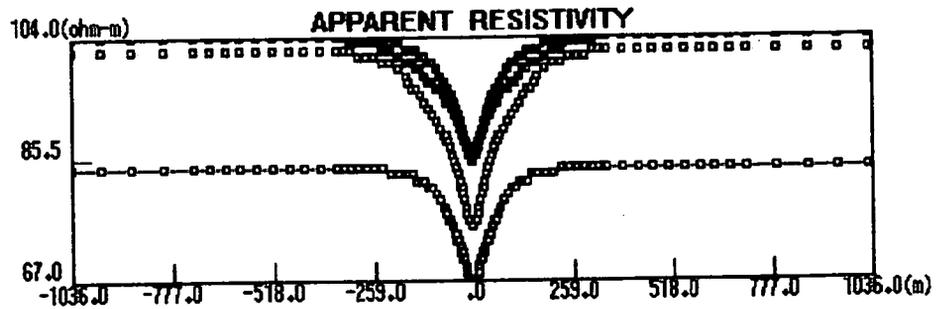


図2 SENGPIEL の理論に基づいて計算された見掛比抵抗曲線

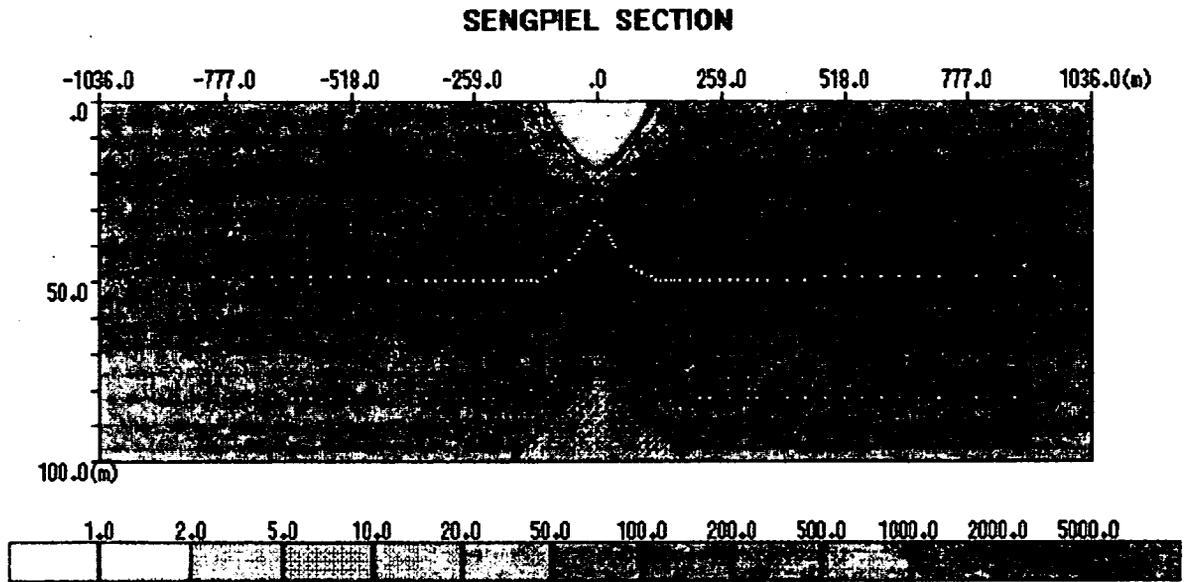


図3 SENGPIEL の理論から求められた見掛比抵抗疑似断面図

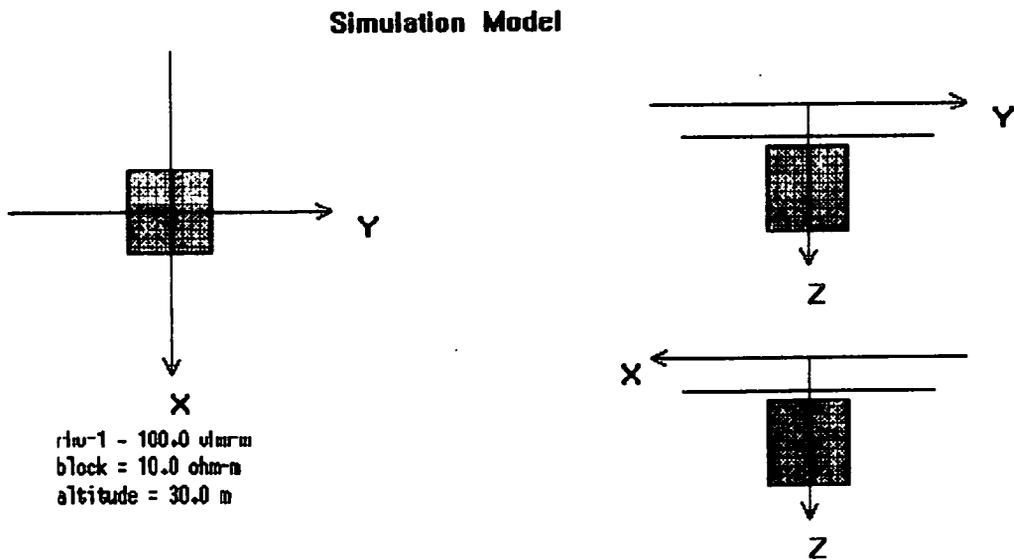


図4 シミュレーションにもちいたモデル

B-6 地質と環境放射線の変動要因に関する研究

—カーボン測定データの調査、分析と線量計測システムの作成—

(永崎靖志)

B-6 地質と環境放射線の変動要因に関する研究
— カーボン測定データの調査、分析と線量計測システムの作成 —

永崎靖志

1. はじめに

中部事業所技術開発課では国の環境放射能安全研究年次計画（平成3～7年度）において挙げられている「地質と環境放射線の関連性に関する研究」の一環として、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、分析及び現有するカーボン車に付加する線量計測システムの研究等を本社・安全部（安全研究課）との協力のもと、財団法人・原子力安全技術センターに委託した。その研究成果の概要について報告する。

なお、委託研究の詳細は報告書「環境放射線の変動要因に関する研究（Ⅲ）（PNC PJ1545 93-006）」にまとめられている。

2. 成果の概要

過去のカーボンデータの調査、分析の検討については、過去のカーボン測定データが活用可能な地域の中から調査対象地を選定し、現在のカーボン測定データとの相関を検討する事により、計数率（cps）で表されている過去のカーボン測定データを国民線量評価のデータとして利用可能な照射線量率（ $\mu\text{R}/\text{h}$ ）に換算しようとするものである。

このため、調査対象地として中部事業所の所在地である東濃地域を選定し、検討を行った。その結果、計数率と照射線量率との関係は、相関係数 0.956と良く一致している事が判明した。これは、過去の測定ルートがほぼ当時のままである場合（大規模な道路補修や区画整理が実施されていない）、再測定することなくその場の線量評価が可能となる。合わせて測定ルート周辺の地質が明らかな場合には、比較的容易に地質との関連性を示した線量率マップ作成が可能となるものである。

一方、線量計測システムの研究については、関連する事項として平成3年度にカーボンのような NaI(Tl)検出器の測定データから線量率を評価する手法について検討されている。¹⁾

本年度は、現有するカーボン車に積載されている5" ϕ × 5" の円筒型 NaI(Tl)検出器のエネルギー波高データから線量を計測評価するシステムを作成した。

通常、一般環境中の線量評価を行う場合の代表的手法としては、①その場の吸収線量（照射線量）を求め、それに換算係数を乗じて実効線量当量を求める方法と、②その場の粒子フルエンスを求め、それに換算係数を乗じて実効線量当量を求める方法等がある。我が国においては、国際放射線防護委員会（ICRP）1977年勧告の対応により②が主流となっている事から、本システムでも②の方法により一般環境の線量評価を行う事とした。従って、システムの構成も NaI(Tl)検出器の計数值より粒子フルエンスをもとめる部分と換算係数を乗じて実効線量当量を求める部分の2つで構成されている。なお、実効線量当量への換算係数としては、ICRP Publication 51のICRU球モデルでの平行入射による1 cm線量当量

の値を用いている。²⁾

これは、昭和63年5月8日付官報（号外第59号）の放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に示されるモデルと同一のものである。このモデルは各エネルギーに依存するデータを用いていることから、精度の高い線量評価が可能となっている。

このシステムにより、ある測定地点での線量を、1 cm線量当量（ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）、吸収線量（ $\mu\text{Gy}/\text{h}$ ）及び照射線量率（ $\mu\text{R}/\text{h}$ ）で表現する事が可能となった。

なお、本システムでは広範囲を移動しながら測定する事から、測定地点の緯度・経度の情報が蓄積できるように人工衛星を利用した位置データ自動読み取りシステムが付加されている。

3. 今後の計画

国民線量評価の基礎資料とすべく、テストケースとして土岐地区での線量計測システムを用いた調査を行い、合わせて過去のカーボン測定データによる検討を行い、土岐地区における地質と環境放射線の関連性を示した線量マップの作成を試みる。

<参考文献>

- 1) 地質・環境放射線調査委員会：環境放射線の変動要因に関する研究（Ⅱ）（原子力安全技術センター、平成4年3月）（PNC PJ1545 92-003）
- 2) ICRP Publication 51：“体外放射線に関する防護のためのデータ”（日本アイソトープ協会）（1988）

B-7 放射線防護探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。¹⁾

そのため、ウラン鉱山の坑内壁面のみならず ^{226}Ra を含有する土壌や壁面などから相当量が開放されている。このようなラドンは壁面などと接した空間に蓄積され、換気などが不十分な場合はかなりの濃度になることが知られている。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、壁面からのラドンの湧出を抑制するには適当な塗布剤により壁面を覆う方法が考えられる。

中部事業所技術開発課では、採鉱技術開発に関して、このラドンの発生、挙動、抑制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各種ラドン試験研究の場として整備したラドン試験場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(Ⅱ)(PNC PJ 7552 93-002)」にまとめられている。

2. ラドン試験場の概要

稼働中のウラン鉱山を想定した各種ラドン研究の場合、実際の坑内条件に近い規模での試験の必要がある。このための試験場として、国内に唯一の核原料物質鉱山であり、坑内全体が管理区域に設定されている東濃鉱山の一部を利用することとした。現在東濃鉱山の坑内には、未利用の空間としてのクロスカットが4ヵ所存在していることから、その一部をラドン試験場として整備した。

試験場は図-1に示すように下盤坑道の第2西クロス坑道に、幅2.16m、側壁の高さ0.58mの場所に天盤方向に半径1.1mのアーチ状の天井が取り付けられている構造となっている。試験場内は、2つの部屋からなり、ドアを取り付けた隔壁で分割されている。このドアにラドン抑制剤を塗布した試験材を固定しするようになっている。

下盤坑道手前側の部屋(ラドン測定室)はラドン測定器の整備・調整・保管や試料の採取、採取試料の測定、奥の部屋の諸条件の測定と制御のための測定室として、また奥の部屋(ラドンチャンバー室)はラドン濃度や娘核種濃度に関する実験空間とラドンや娘核種を含んだ試料空気の貯留空間として使用する。それぞれの部屋長は前者が3m、後者が6mとなっている。内部の床面は放射線施設などで使用されているプラスチック系の緻密な

モルタルが塗布されており、その上に鉄製で50cm幅のライナープレートでアーチ状の壁が構築されている。また、ライナープレートの配置については図-2を参照。ラドン測定室の内容積は9.42m³、ラドンチャンバー室は18.84m³となっている。

ラドン試験場の具体的な使用法は2種類に大別される。一つはラドンチャンバー室を完全な密封状態としてラドンチャンバー室にラドンを含む試料空気を注入し、その状態で試験を続ける方式である。ラドンチャンバー室が密封されていれば、リーク箇所さえなければ、ラドンチャンバー室のラドン濃度は物理的な壊変曲線に従って減衰する。従って若し急激な濃度変化を必要とする場合は、高濃度のラドンを含む試料空気を注入すると同時にそれに見合う量の空気を抜く必要がある。また逆にラドンを含まない空気を注入しながらラドンチャンバー室の空気を抜けば濃度は急速に低下する。もう一つの使用法はラドンチャンバー室に一定濃度のラドンを含む空気を流入させる方法である。流入させる空気は循環させなくても、また循環させても、さらには適当に空気を一部混合しても問題はない。ラドン測定に関する試験などの場合は実環境（実際のウラン鉱山坑内）に近い方が好ましく、そのためにはラドンを含む試料空気が静止している状態よりも常に試料空気が移動している方が好ましい。従って、本試験場ラドン測定室も含めて一定濃度のラドンを含む空気の流入、排気が可能な方式となっている。

3. ラドン試験場内のラドン及び娘核種濃度

ラドン試験場における各種試験を行う場合には、ラドンチャンバー室のラドン及びその娘核種濃度をあらかじめ把握しておく必要がある。

ラドン及びその娘核種濃度測定に関しては、測定技術の高度化の一部として、これまでに3台の用途別各種ラドン測定器を試作してきている。今回の濃度測定に関しては、これら測定器のうち、ラドンを測定する2段フィルター法にP A E Cモニターを取り付けた測定器で、ラドンとP A E Cが同時に測定可能な“ラドン-P A E Cモニター”による測定を実施した。

測定原理としては、娘核種濃度だけの計測から親のラドン濃度を求める方法である。約5ℓの円筒容器の両端にフィルターを備えた通気式の容器を用い、前段のフィルターで試料空気中のラドン娘核種をエアロゾル粒子とともに除去し、容器内にはラドンガスのみを導入する。容器内ではラドンが崩壊して娘核種が生じるが、この容器内で発生した娘核種だけを後段のフィルターで捕集する方式であり、最後にこのフィルター上の放射能を測定してラドン濃度としている。

本測定器に関しては、国内のラドン研究者間で実施している国内ラドン共同比較試験において、他の測定器とトレーサビリティがとられている早稲田大学理工学総合研究所のラドンモニターと比較して良い結果が得られており、また人形峠事業所の各種ラドン測定器との比較においても良い結果が得られている。

測定は、3月30日PM12～4月12日PM12の13日間に連続測定を実施した。測定器はラドンチャンバー室にセットし、前半の6日間はラドン測定室とラドンチャンバー室をドアによる隔壁で遮断した状態（4月2日に一部開放）で行い、主要扇風機による強制排気の影響

がないようにし、後半の8日間はドアを開放することで通常の坑内雰囲気の状態が得られるようにした。

図-3にこの結果を示す。この結果によるとラドンチャンバー室が密閉の状態においては、ラドンとその娘核種濃度は500Bq/m³前後で推移し、ラドン濃度と娘核種濃度の比で表される平衡係数は1となっている。また、ドアを開放した状態では主要扇風機が稼働中及び停止中における濃度変化が明瞭となっている。

4. 今後の計画

平成4年度に整備したラドン試験場において、ラドン湧出抑制剤の調査研究を実施し、そのとりまとめを行う。またラドン及びその娘核種濃度測定に関する研究開発の検討を行う。

<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

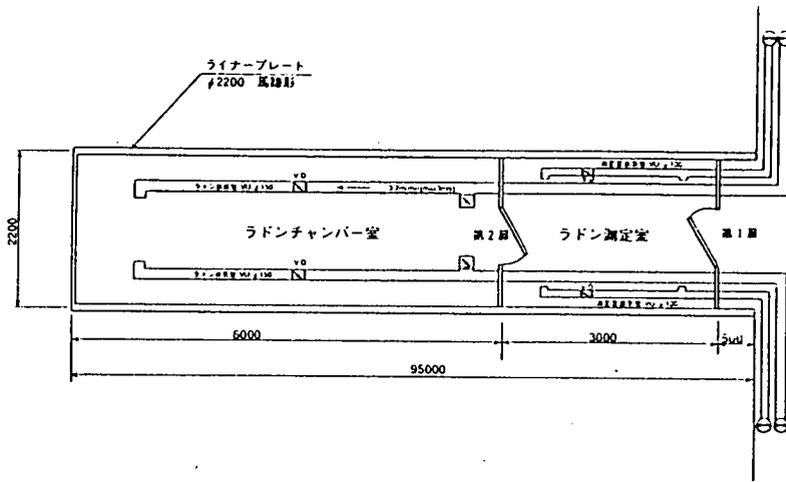
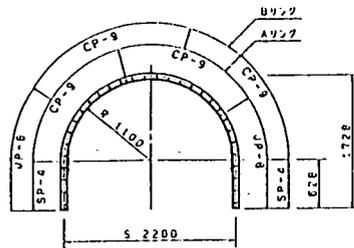


図-1 ラドン試験場平面図



側面図 S=1/40

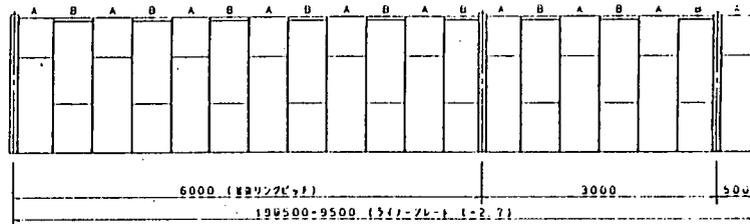
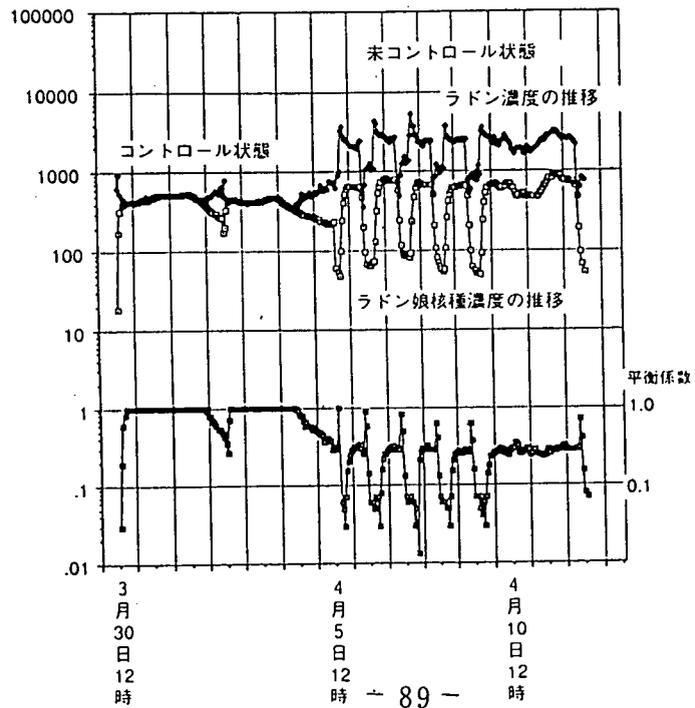


図-2 ライナープレート配置図

図-3

ラドン試験場における連続測定 (3月30日~4月12日)

(Bq/m³)



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