

JNC TN7410 2000-003

平成12年度地層科学研究情報・意見交換会

－要旨集－

(技術報告)

2000年11月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

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。

〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31
核燃料サイクル開発機構
東濃地科学センター
研究調整グループ

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Co-ordination Group,
Tono Geoscience Center,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
959-31, Jorinji, Izumi-machi, Toki-shi, Gifu-ken 509-5102,
Japan

核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Developement Institute)

2000

目次

1. 地層科学研究の現状と展望	1
2. 地質環境特性に関する研究 一研究の現状一	3
3. 花崗岩分布域における調査手法について ー土岐花崗岩を例とした地質学的調査についてー	5
4. 花崗岩分布域における調査手法について ー土岐花崗岩を例とした地球化学調査についてー	11
5. 水理地質構造モデルの不確実性と地下水流动解析	17
6. 繰り返しアプローチを用いた中領域の地質環境の評価手法について ー地下水流动調査・解析ー	25
7. 繰り返しアプローチを用いた中領域の地質環境の評価手法について ー応力分布と物性値分布についてー	35
8. 広域地下水流动研究と超深地層研究所計画の今後の計画	45
9. 地質環境の長期安定性に関する研究の今後の展開	53
10. 長期安定性評価ための「地質環境データベース」の構築	57

「地層科学研究の現状と展望」

主査の挨拶

武田 精悦

1. はじめに

地層科学研究とは、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」（原子力委員会、平成 6 年 6 月）が定める、地層処分研究開発の基盤となる「深部地質環境の科学的研究」に相当する研究である。この研究は、地質環境が本来備える特性を理解するための「地質環境の特性に関する研究」と地質環境の長期的な変化を明らかにするための「地質環境の長期安定性に関する研究」、及びこれらの研究を進めていくために必要な「調査技術開発」から構成されている。

2. 現状

「地質環境の特性に関する研究」と「調査技術開発」については、地質環境特性を把握するために必要な個々の要素技術の開発に加え、総合的な調査技術・評価手法の構築のため、岐阜県東濃鉱山とその周辺地域、岩手県釜石鉱山（平成 10 年に研究を終了）において、地質・地質構造、地下水水理、地球化学、物質移行、岩盤力学等に関する研究を進めてきた。東濃鉱山における試験研究では、岩盤の性質や坑道掘削による岩盤性質の変化とその範囲、及び岩盤中の地下水やウランなどの物質の動きや性質を明らかにするため、昭和 61 年度より坑道やボーリング孔などを掘削しての調査試験と地下水や岩石の試料を採取しての分析・試験を行っている。また、平成元年から同 3 年にかけて直径 6m、深さ 150m の第 2 立坑を掘削しつつ立坑掘削影響試験を行った。さらに、平成 4 年度より、地下深部までの地下水の流れや水質などを明らかにするために必要な調査・解析技術の開発を目的とし、東濃鉱山を含む一つの広域地下水流动系（約 10km 四方の領域）を例として、地下水流动や水質の研究を主とした、広域地下水流动研究を行っている。これらの研究の成果を踏まえ、地層科学研究の一層の拡充を図るために、平成 8 年度より超深地層研究所計画を開始した。

「地質環境の長期安定性に関する研究」については、地質環境の長期安定性に関連する重要な天然事象として火山活動、地震・断層運動、隆起・沈降運動/侵食作用、気候・海水準変動について研究を進めている。これらの事象が将来地質環境に与える影響の予測の手法としては、過去に生じた変化を将来に外挿することを基本としている。そのため、天然事象の分布、発生年代、活動規模など過去の履歴を全国規模で取りまとめるとともに、各事象による影響範囲を明らかにするための事例研究を実施してきた。

これまでの地層科学研究の成果はデータセットとして整備され、第 2 次取りまとめにおける地質環境モデル構築などに活用された。

3. 今後の展望

放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性

サイクル機構が平成 11 年 11 月に原子力委員会に提出した「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」については、現在、国による評価が行われている。一方、国会においては「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が平成 12 年度 5 月に成立した。また、これと並行して原子力安全委員会においては、「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的な考え方について」の取りまとめが行われている。このことは、地層処分は、基礎研究を主体とする段階から事業の推進や安全規制の整備を主体とする新たな段階を迎えたことを示している。

地層処分研究開発の基盤となる地層科学的研究においても、第 2 次取りまとめへの反映のための日本の地質を幅広く想定した研究開発から、具体的な地質環境を対象として調査技術の有効性を確認する研究開発へと移行していくことが求められてきている。今後は、概要調査地区において実施される概要調査に必要な地表からの調査技術や、精密調査地区において実施される精密調査に必要な地表及び坑道からの調査技術が必要になると考えられる。地層科学的研究は、これらの調査技術や安全基準の整備に必要な技術基盤や知見を提供するほか、地層処分の信頼性をさらに向上するための役割を果たして行きたいと考えている。

（注）本資料は、既存の資料を基に、現状の研究開発動向を踏まえ、今後の課題を抽出して示したものである。また、本資料は、地層処分研究開発の現状と、その課題を示すものであり、地層処分の実現に向けた方針や目標等は、別途示すものとする。

「地質環境特性に関する研究」

—研究の現状—

長谷川 健

1. はじめに

東濃地科学センターでは、地層処分研究開発の基盤となる地層科学研究の一環として、地下深部の地質環境を対象とした「広域地下水流动研究」及び「超深地層研究所計画」を実施している。前者は「広領域」すなわち超深地層研究所計画用地および東濃鉱山を含む約10km四方における地質環境に関する研究であり、後者の超深地層研究所計画は、「中～小領域」すなわち約14haの研究所用地における地質環境に関する研究であり、両者とも花崗岩を主な研究対象としている。これらの研究の主要な目的は、地表から地下深部(1,000m程度)までの地質や断層等の地質構造、地下水の水理や水質などを明らかにするために必要な調査・解析手法ならびに調査・解析結果の妥当性を評価するための手法(以下、地質環境の調査技術)を開発することにある。

2. 研究のアプローチ

広域地下水流动研究と超深地層研究所計画では、地質環境の調査実施手順として想定される、①計画立案/改定、②調査、③地質環境のモデル化、⑤地下水流动解析等の予測解析、⑥予測値と実測値との比較によるモデルや解析結果の評価、といった一連の調査・解析手法をそれぞれの研究対象領域に適用することにより、地質環境の調査技術開発を行っていく。これら一連のアプローチを通じて、調査の実施手順(調査手法の選定、調査・試験の条件、試験の精度や測定区間の設定など、個々の調査技術の有効性の評価などを含む)や地質環境のモデル化手法、予測解析手法等の有効性を確認する。

3. 現状

(1) 広域地下水流动研究

平成4年度から開始された広域地下水流动研究は、最初の5年間(平成4年度～平成8年度)は、主として調査・解析に関する要素技術の開発とその有効性・適用性の確認に主眼を置いた研究を行ってきた。その後、要素技術の開発と並行して、広領域を対象とした地下水の流动及び地球化学的性質に関する研究を通して、調査体系としての地質環境調査技術の有効性の確認を進めてきている。

具体的には、平成11年度までに、要素技術の適用性評価および地質環境に関する情報の取得のため、リモートセンシング調査、空中・地上物理探査、地表地質調査、表層水理調査、試錐調査(500m級試錐孔4本、1,000m級試錐孔7本)を実施し、研究実施領域

内に分布する基盤花崗岩の岩相変化や断層などの地質学的データ、地下水涵養量、岩盤の透水係数、間隙水圧分布などの水理学的データ、地下水の水質分布や年代（滞留時間）・起源などの地球化学的データを蓄積し広領域の地質環境特性を把握してきた。さらに、地質構造、水理地質構造、地下水の地球化学の各モデルの構築を行い、構築されたモデルに基づいた地下水流动解析を実施してきた。

これら一連の作業により、最初に想定した実施手順の一部に検討課題があることも明らかになった。また、今後は広領域における調査・解析手法等の有効性の確認を継続して実施し、適宜成果をとりまとめていく計画である。

（2）超深地層研究所計画

超深地層研究所での研究は、地表からの調査予測研究段階、坑道の掘削を伴う研究段階、坑道を利用した研究段階の3段階で実施することとしている。現在は第1段階である地表からの調査予測研究段階にあり、平成11年度までに正馬様洞用地内において、深度約1,000mの試錐孔3孔の掘削及び同試錐孔における各種の調査を実施し、基盤花崗岩の地質・地質構造、水理学的特性及び力学的特性に関するデータを蓄積し、研究実施領域内の地質環境特性を把握してきた。さらに、地質構造、水理地質構造等のモデルの構築を行い、構築されたモデルに基づいた地下水流动解析を実施してきた。

今後は研究坑道建設の地質環境への影響を予測するために必要な地質環境モデルの構築ならびに予測解析を進めていくとともに、それらの結果に基づいて第2段階以降の研究計画の詳細化を行っていく計画である。

4. 成果の反映先

広領域を対象とした広域地下水流动研究の成果は、概要調査地区を対象とする調査の調査の種類やそれらの仕様を決定する際の、あるいは調査結果を評価する場合の基準を策定する際の技術基盤として処分事業や安全規制へ反映されるものと考えている。

中領域を対象とした超深地層研究所計画の第1段階の研究成果は、概要調査地区並びに精密調査地区を対象とする調査に同様に反映されるものと考えている。

「花崗岩分布域における調査手法について」

—土岐花崗岩を例とした地質学的調査について—

天野 健治・前田 勝彦・武田 祐啓・小出 錦

1. はじめに

広域地下水流动研究においては、広領域（地下深部を流れる単一の地下水流动系の涵養域から流出域までを包含する領域）における地下水流动を把握することを主眼に置いた体系的な調査・解析技術の有効性を確認することが重要な課題である。地質学的調査は、地下水流动を規制する要因である地質および地質構造の分布や性質に関する情報を取得し、地下水流动を解析する場のモデルに反映することを目的としており、一連の研究体系において基盤的な役割を果たしている（柳沢，1995；尾方ほか，1998）。

本報告においては、これまでの地質学的調査において行われた調査結果の概要を報告するとともに、調査技術の最適化に向けた現状と今後の課題を示す。

2. 実施内容

本調査においては、地下水流动に特に大きな影響を与えるものとして、①地質の空間的広がり（基盤深度など）、②不連續構造（断層／岩脈など）、③不均質性（岩相変化、風化・変質帶の分布、異なる割れ目群の分布など）の把握を重要な要素として設定し、それらを精度良くかつ効率的に把握するために必要とされる調査技術の有効性の確認を行っている。具体的には、既存の調査技術をスケールに応じて有機的に組み合わせ、繰り返しアプローチや不確実性の評価を行うことにより、それらの有効性を段階的かつ反復的に確認・評価して最適化を試みるものである。

本調査で実施した調査・解析項目は、①文献調査およびリモートセンシング調査、②空中物理探査、③地表地質調査、④地上物理探査、⑤試錐孔調査の計5項目から構成される（表-1）。

3. 実施結果の概要

上記6項目の調査・解析から、主に 表-2 および図-1～4 に示す結果が取得された。上記で設定した3つの重要な地質学的要素に関する把握状況は以下のとおりである。

（1）対象となる地質の空間的広がり

文献調査、空中物理探査、地表地質調査および地上物理探査により、主な調査対象である土岐花崗岩体とそれを被覆する堆積岩類の空間的広がりが精度良く把握された。地上における岩体の分布を推定する際には、文献調査、空中物理探査（自然放射線探査）、地表地質調査の組み合わせが、また、地下における花崗岩体の分布については、地上物理探査（電磁探査／弾性波探査）の有効性が確認された。特に、電磁探査を用いた基盤地形の分布を推定した際の実際との誤差は、可探深度（約 1000m）の 2%以内であり、精度の高い調査手法であることが明らかとなった。

(2) 不連続構造の把握

主に断層を対象とした調査の結果、地表に露出しているスケールの異なる2系統の断層の分布（タイプA断層：10kmを超えるトレース長を有する／タイプB断層：10km以下のトレース長を有する）が文献調査およびリニアメント調査により明らかになったほか、タイプB断層に相当する規模のリニアメントが $2.4\text{ 本}/\text{km}^2$ の密度で抽出された。試錐孔調査の結果（表-3）から、それらの一部については地下における断層を表現している可能性が高いと判断される。現在、これらのリニアメントについては、月吉断層において分布推定の有効性が確認されている地上物理探査（反射法／屈折法弹性波探査：表-3）を併用することにより、月吉断層と同程度の規模を有する断層分布を把握できるものと考えている。

(3) 不均質性の把握

文献調査および地表地質調査により地表部における岩相変化が、また試錐孔調査により、岩体上部に分布する風化帯および割れ目帯が同定された。鉱物学的な調査結果から、岩体中央部に粒度の異なる花崗岩が貫入しているものの、大局的には明瞭な岩相変化は示さず、比較的均質な岩体であることが確認された。また、岩体上部に分布する風化帯や割れ目帯については、場所によってそれらの厚さが大きく変化するために、空間的広がりの推定が十分ではない。現在、それらの分布域内において、低角度の割れ目系が支配的であることに着目し、反射法弹性波探査の適用性を検討している。

4. 今後の進め方

現段階において、上記に設定した重要な地質学的要素の内、地質構造モデルの構築に十分な情報が得られているのは、「地質の空間的広がり」についてである（図-5）。他の2つの地質学的要素については、技術的理由や調査上の制限から、決定論的に分布を推定する際の不確実性が大きいと判断され、以下に示すような課題が残されている。

- ・ リニアメント調査により分布が推定されるタイプB断層の確認
- ・ タイプB断層より小さい規模の断層の抽出（もしくは調査限界の導出）
- ・ 風化帯や上部割れ目帯の空間的広がりの推定

上記の課題については、今後、上記の既存調査技術を組み合わせた調査手法の適用性を確認するほか、新たな調査手法の適用性試験を行う必要があると考えている。また、それぞれの調査・解析手法の有効性については、地下水流动解析による調査対象、調査項目、調査量および調査精度の過不足の評価や確率論的な手法を用いた不確実性の評価により、段階的に確認していく予定である。

引用文献

- 1) 尾方伸久、太田久仁雄、濱 克宏、坪田浩二（1998）：東濃地域を対象とした広域地下水流动研究の現状、サイクル機構技報 No. 1, pp.41-50.
- 2) 柳澤孝一（1995）：深層を含む広域地下水流动、島崎・新藤・吉田編「放射性廃棄物と地質科学 地層処分の現状と課題」、東京大学出版会, pp.69-103.

表-1 地質学的調査における調査・解析項目の概要

調査・解析項目	調査・解析対象	調査・解析内容
1) 文献調査およびリモートセンシング調査	<ul style="list-style-type: none"> 主要な地質・地質構造 大規模な不連続構造 植生情報（水文特性） 	<ul style="list-style-type: none"> 学術論文／技術資料の収集・解析、コンパイル地質図の作成 スケールの異なる三種類の画像（ランドサット TM 画像（縮尺 1/20 万）、スポット HRV 画像（縮尺 1/10 万）、空中写真（縮尺 1/4 万））を用いたりニアメントの判読 植生情報の画像解析（表層水理情報の抽出）
2) 空中物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 大規模な不連続構造 主要な岩相分布 	<ul style="list-style-type: none"> 航空機（固定翼機）による磁気探査（約 30km 四方の領域） ヘリコプターによる磁気探査／電磁探査／VLF 探査／自然放射線探査（約 10km 四方の領域）
3) 地表地質調査	<ul style="list-style-type: none"> 土岐花崗岩体内部の岩相変化、地質構造 	<ul style="list-style-type: none"> 土岐花崗岩体に着目した地表地質調査（地質境界に着目した分布調査、岩相変化に着目した岩石学的調査、露頭割れ目を対象とした構造地質学的調査）
4) 地上物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 詳細な岩相／不連続構造の分布 	<ul style="list-style-type: none"> 電磁探査（MT 法／CSMT 法） 月吉断層を対象とした反射法弾性波探査／屈折法弾性波探査
5) 試錐孔調査	<ul style="list-style-type: none"> 詳細な岩相／不連続構造の分布 各地質学的特徴の成因 	<ul style="list-style-type: none"> 500m 級 4 本の試錐孔および 1,000m 級 7 本の試錐孔を用いた岩芯観察／物理検査／ボアホールテレビ観察／室内分析 地質学的成因（花崗岩マグマの貫入・定置過程、風化・変質作用、割れ目・断層の形成過程）を明らかにするための詳細な地質学的調査

表-2 調査・解析結果の概要

調査・解析項目	主な調査・解析結果	把握可能な地質学的要素		
		空間的広がり	不連続構造	不均質性
1) 文献調査およびリモートセンシング調査	<ul style="list-style-type: none"> 研究対象領域における概略的な地質・地質構造の把握 スケールの異なる 2 種類のリニアメント（10km 以上の規模／10km より小さい規模）の抽出 一定方位のリニアメント群からなる構造区の抽出（図-1） 既知断層との対比、確認されていない断層の推定（図-1, 2） 	文献調査 △	△	×
		リモートセンシング 調査 △	△	×
2) 空中物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 航空機磁気探査による大規模な不連続構造（活断層）の抽出 航空機磁気探査による大略的な基盤地形の推定 ヘリコプター-電磁探査による概略的な基盤地形の推定（可探深度約 50m） ヘリコプター-自然放射線探査による基盤（花崗岩）露出分布の推定 	航空機探査 △	△注)	×
		ヘリコプター探査 △	△注)	×
3) 地表地質調査	<ul style="list-style-type: none"> 花崗岩体の分布に関する正確な把握（既往情報の確認・修正） 花崗岩体内部における岩相変化および割れ目系分布の把握 	○	△	△
4) 地上物理探査	<ul style="list-style-type: none"> 電磁探査による詳細な基盤地形の推定（図-3） 弾性波探査による基盤地形、不連続構造（月吉断層）、不均質性の推定（検討中） 	電磁探査 ○	×	×
		弾性波探査 ○	○	△
5) 試錐孔調査	<ul style="list-style-type: none"> 上記調査によって推定された地質、不連続構造、不均質性の確認（図-4, 5）／新たな地質学的要素の抽出（断層、割れ目帯） 	○	○	○

凡例) 把握程度 ○ (良い), △ (中程度もしくは把握可能性有), × (把握されない)

注) 10km 以上の不連続構造（活断層）に対して有効

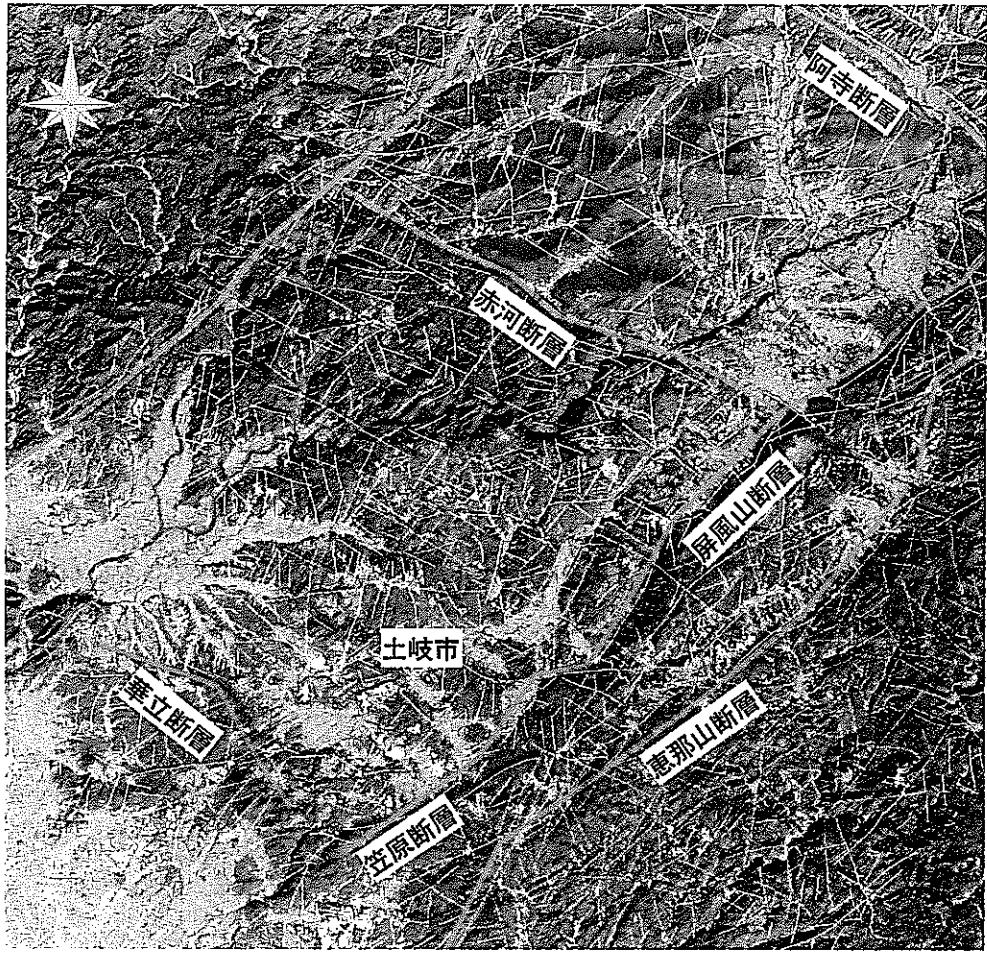


図-1 約30km四方の領域におけるリニアメント分布図 (LANDSAT衛星画像により判読)

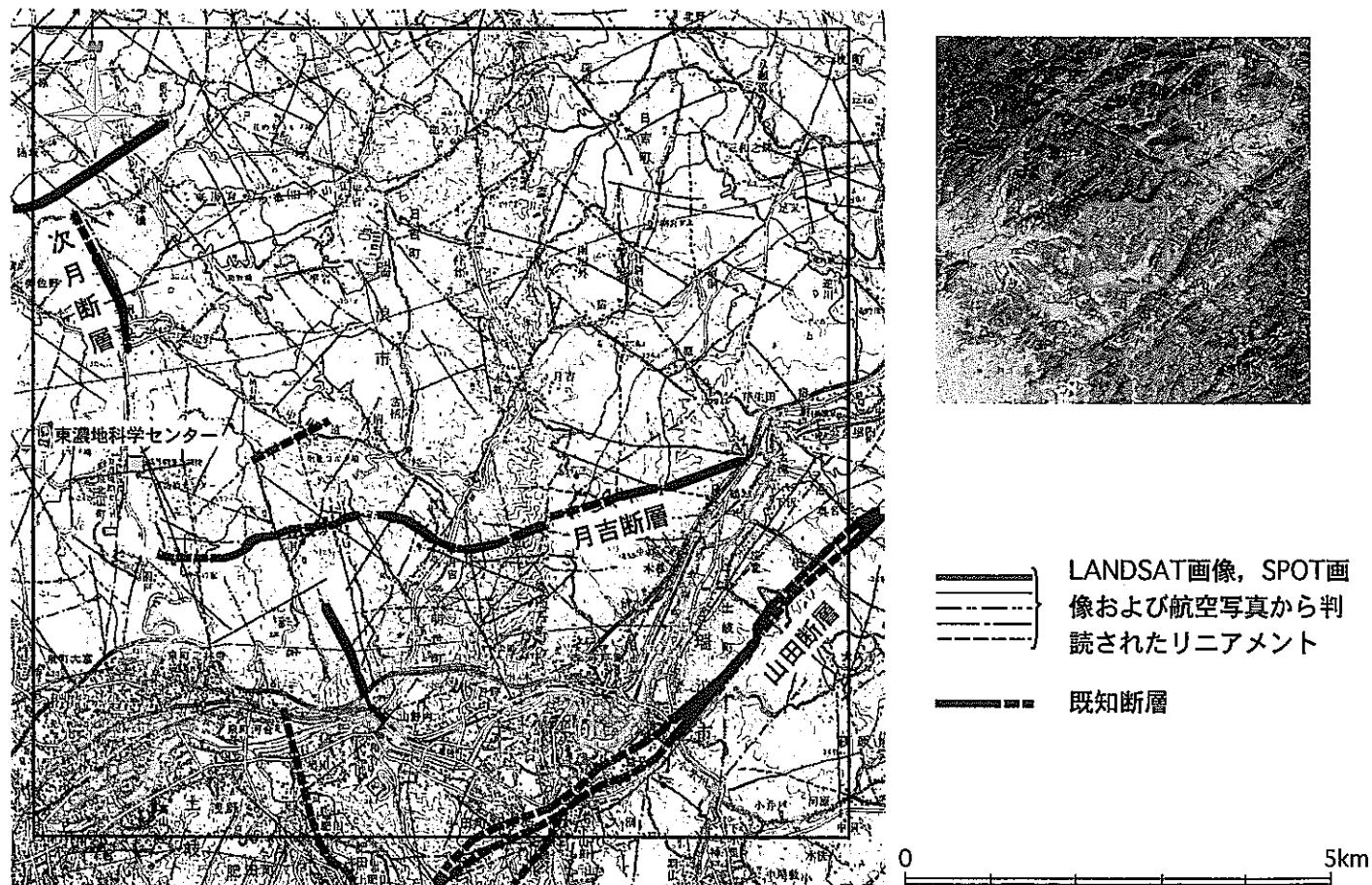


図-2 約10km四方の領域における数kmスケール規模のリニアメント分布図

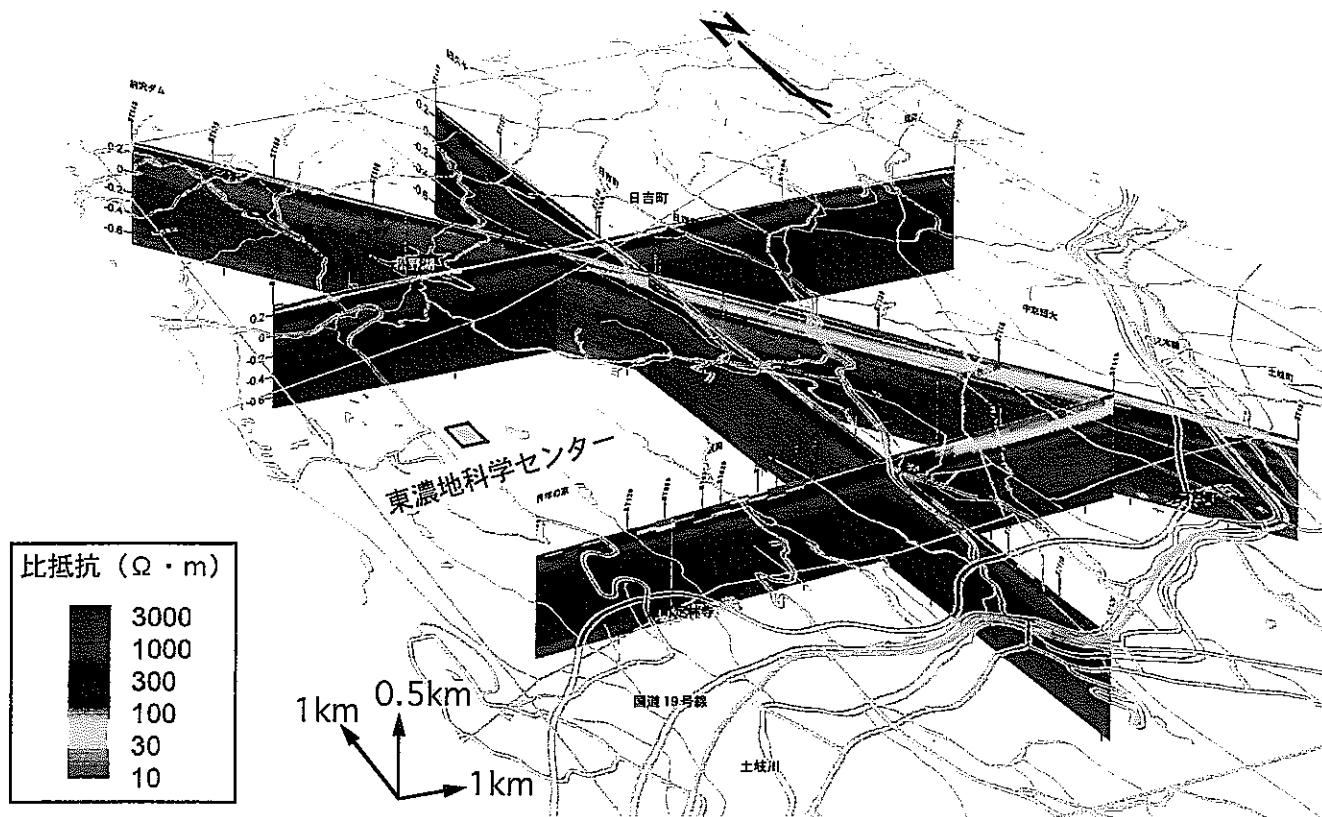


図-3 約10km四方の領域における地上電磁探査結果

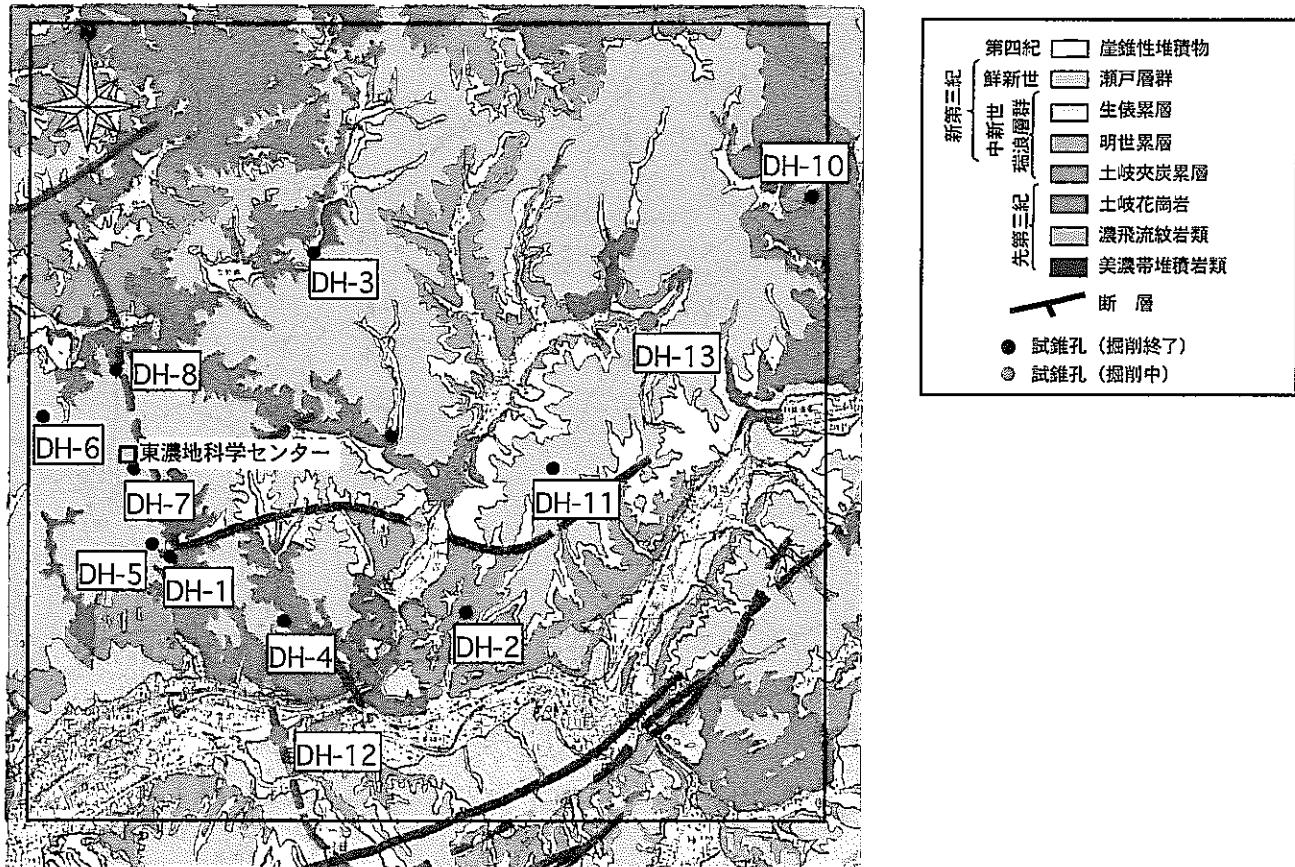


図-4 地質図および試錐孔位置図

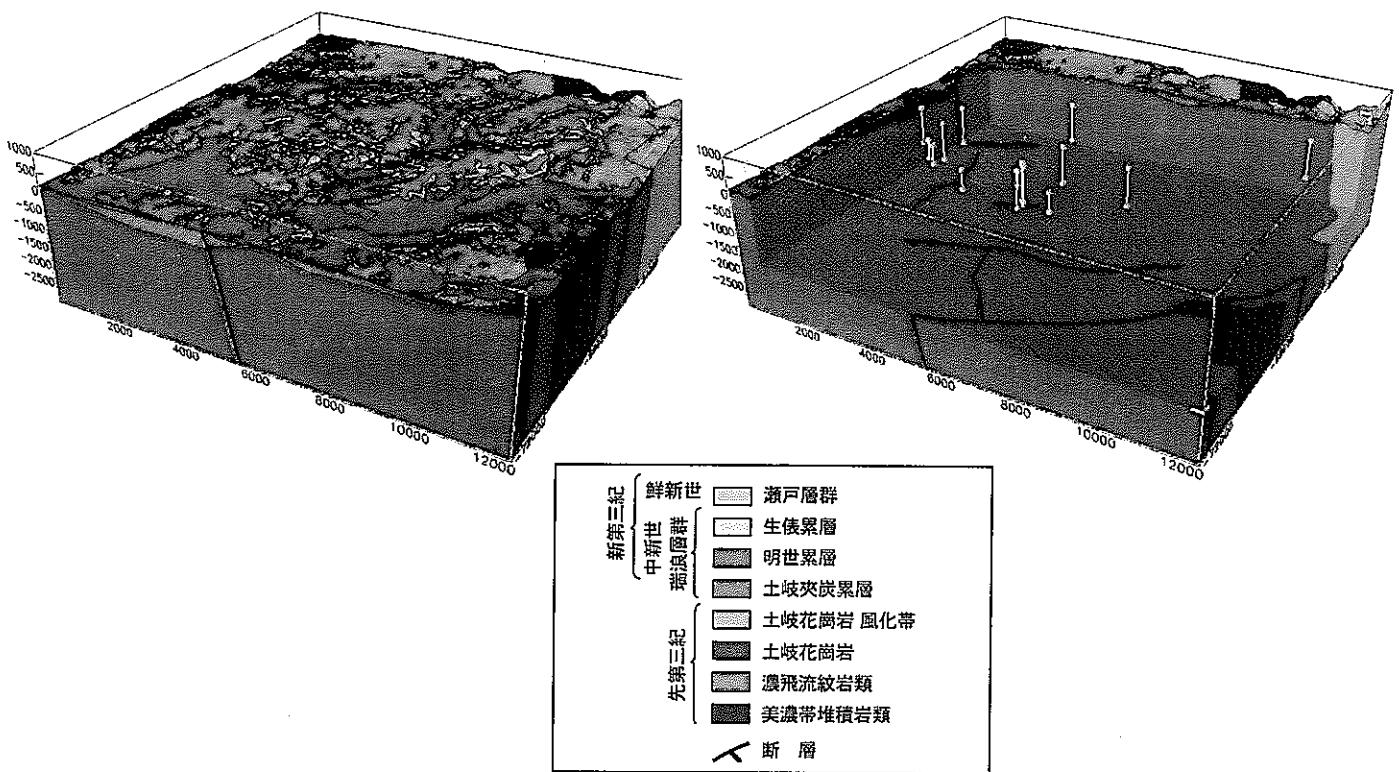


図-5 約10km四方の領域における地質構造モデル

表-3 不連続構造（断層）の抽出における各調査手法の適用

調査・解析項目	既往調査により確認されている主な断層			試錐孔調査で確認された断層（上段：試錐孔名、下段：分布深度（m））										
	月吉 断層	次月 断層	肥田 断層	DH-1	DH-2	DH-3	DH-4	DH-5	DH-7	DH-7	DH-8	DH-10	DH-10	DH-11
				110-220	428-459	586-603	455-480	376-478	123-133	394-401	419-476	381-440	881-1000	437-463
文献調査				△	×	×	×	△	△	△	△	△	×	×
リニアメント調査	LANDSAT	○	○	△	○	△	○	△	△	×	○	○	△	×
	SPOT	○	○	△	×	△	○	△	×	△	○	○	△	×
	航空写真	△	○	×	○	△	○	△	△	△	×	×	○	△
反射法弾性波探査	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
屈折法弾性波探査	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
断層の主な走向・傾斜	N80E70S	N30W90	N8W60E	不明	N72W52S	不明	N61E45S	N17W70W	N83E64S	N23W75S	N33W77S	N74W66S	N24W60S	N74W66S
被覆堆積岩の有無（層厚）／変位	有（最大150m）／約30m	有（最大150m）／約60m	有（最大150m）／約100m	無／不明	有（150m）／不明	無／不明	無／不明	有（31m）／不明	有（55m）／不明	有（55m）／不明	無／不明	無／不明	無／不明	有（265m）／不明

凡例) 抽出確度: ○(高い)、△(中程度)、×(抽出されない)、—(土地借用などの調査制限があるため未実施)

「花崗岩分布域における調査手法について」

—土岐花崗岩を例とした地球化学調査について—

濱 克宏・岩月 輝希

1. はじめに

本報は、広域地下水流动研究のうち地球化学調査について、調査計画の立案、調査の実施、結果の考察、必要な調査機器開発を含めて一連の調査プログラムとして報告する。また、昨年度の情報交換会以降、地下水中の微生物に関するデータの取得を開始しており、その進捗状況についても報告する。

2. 対象とする地球化学特性データ／情報

地層処分の安全評価における核種移行解析のためには、対象とする地域における地下水の地球化学特性データセットがまず必要である。ここで重要なことは、ある地下水の地球化学特性データセットがその地域の代表とみなせるかどうかである。そのためには、対象地域の地質構造、岩石の化学組成、鉱物組成を調査し、地下水水質形成機構（水—岩石反応）を特定することが必要である。また、地下水／岩石の反応時間に関する知見が必要であるため、地下水の滞留時間が必要な情報となる。地下水の滞留時間は、本調査とは別に実施する地下水流动解析結果のサポートデータになり得るとも考えられている。また、地下水水質形成機構・地下水の滞留時間の考察のためには、初期条件である雨水・河川水の地球化学データセットが必要である。

3. 実施内容

本研究は、上述のデータ／情報を合理的に取得するための体系的な調査技術として、一連の調査プログラムの確立を目指し、事例研究として本地域を対象とするものである。

3. 1 雨水・河川水の地球化学データセットの作成

広域地下水流动研究領域では、地表地質が大きく3つ（土岐花崗岩、瑞浪層群、瀬戸層群）に分けられる。河川水・雨水の水質分析の目的の1つは、研究領域に分布する地質を対象に、それぞれの地質における地下水水質について、定性的な情報（地下水のタイプなど）を取得することである。そのため、河川水採取地点は、地表地質分布を基に、調査領域に認められる地質およびその組み合わせの全てを網羅するように選定した（尾方ほか,1995）。雨水については、10km四方程度の領域内では採取場所による差はないと考え、1地点で採取した。

3. 2 地下水の地球化学特性データセットの作成

(1) 試錐掘削

広域地下水流动研究においては、図1に示す位置において試錐調査を実施した。また、試錐孔掘削深度については、1,000mとした。

試錐調査においては、1本の試錐孔において可能な限り多くのデータを取得することが効率的であり、これにより種々のデータを比較・検討することができる。当初は、当時の諸外国の調査事例などを参考に、以下の調査プログラムを作成し、調査を進めていた。

- ・試錐掘削（清水掘削）
- ・岩芯観察
- ・孔内物理検層
- ・試錐孔壁観察（ボアホールテレビ観察）
- ・水理試験
- ・採水試験

しかし、予測していなかった大規模な破碎帯の存在などにより、目的とするデータが取得できなかった試錐孔もあった。そのため、それらの事象にも対処できるように水理試験と採水試験を組み合わせて実施するなど試錐調査全体プログラムを再構築した。

(2) 地下水採水／分析

試錐孔を利用した地下水の採取を計画する場合には、試錐掘削を含めて全ての調査行為が、試錐孔周辺の地球化学環境に変化をもたらす可能性があり、その変化を評価するために必要な調査を含めることが重要である。地下水分析については、分析／測定を実施するために必要な地下水の採取方法、分析方法を検討し、プログラムを策定した。

以上述べた一連の調査の結果を基に、地下水の地球化学特性データセットを作成した。

3. 3 水質形成機構の特定

水質形成機構を明らかにするためには、岩石（特に水みちとなる割れ目）の鉱物組成データセットの作成、主要構成鉱物の微視的観察を行う必要がある。地下水中の主要化学成分濃度の深度分布、地球化学計算コードなどを用いた熱力学的解析結果を、上述の鉱物組成データセットなどと比較し、主要な水質形成機構を特定した。

3. 4 地下水滞留時間の推定

地下水の滞留時間推定に必要な同位体データセット、滞留時間の補正に必要な岩石化学組成・同位体組成データセットを作成し、滞留時間を推定した。

4. 結果

4. 1 雨水・河川水の地球化学データセット

広域地下水流动研究領域内での地表地質を考慮して、合計29地点での河川水の採取・分析を行った。その結果、全ての河川（流域）において、水質は $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$ 型であった（尾方ほか,1995）。このことは、瀬戸層群、瑞浪層群、土岐花崗岩浅部においては、 $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$ 型の地下水水質が想定すべき地下水水質の1つであることを示している。したがって、研究領域においては降水系地下水（サイクル機構,1999）の存在が示唆される。

4. 2 地下水の地球化学データセット

これまでに掘削した11本の試錐孔のうち6本（合計20点）で、地下水の地球化学特性データが取得できた。20点の地下水の地球化学特性データセットと岩石の鉱物組成データセットなどを組み合わせて考察することにより、水質形成機構の特定、地下水の地球化学特性の定性的な分布の推定が可能であった（図2、3）。

地下水中の微生物については、土岐花崗岩中の地下水および瑞浪層群中の地下水を利用して、全菌数の測定、特定微生物（硫酸還元菌、鉄酸化菌）分析を開始した。今までに得られている結果は以下のとおりである。

- ・全菌数は $10^6 \sim 10^7 \text{ cell/ml}$ の範囲であり、岩種や深度との明瞭な相関はない。
- ・硫酸還元菌については、全く検出されない深度や 10^3 CFU/ml 程度検出される深度がある。
- ・鉄酸化菌については、ほとんどの深度において $10^4 \sim 10^5 \text{ cell/ml}$ の範囲である。

地下水の地球化学特性と微生物存在度との関係については、今後検討を実施する計画である。

4. 3 水質形成機構

土岐花崗岩中の地下水水質は、黄鉄鉱の溶解、長石類の粘土鉱物化、方解石の溶解、地下水-粘土鉱物間のイオン交換反応により形成されていることが明かとなった（サイクル機構,1999）。

4. 4 地下水の滞留時間

土岐花崗岩中の地下水は水素・酸素安定同位体比測定結果から天水起源であることが明かとなっている。 ^{14}C 測定結果から、深度1,000mの地下水（DH-8号孔）の滞留時間が1万年程度と推定されている。ただし、トリチウムが有意に検出されている割れ目も存在

していた（DH-7号孔、深度837m）。

5. 調査プログラム

サイト選定や核種移行解析に必要なデータセットを作成するための調査プログラムを、これまで東濃地域を例として実施してきた種々の調査を基に検討した。その結果、土岐花崗岩と類似した地質環境においては、上述した一連の調査により目的とするデータセットが作成できる可能性が高いと考えられる。

6. 今後の課題

（1）地下水の地球化学データセット

コロイド／有機物／微生物については、今後データ取得を計画しているが、地表から掘削した試錐孔を利用する場合には、試錐掘削や採水時の汚染の評価が困難であるため、データ品質の限界を十分検討した上で、調査を実施する考えである。

（2）地下水滞留時間

同位体を利用して推定される滞留時間と地下水流動解析結果から推定される滞留時間の比較を行い、地下水流動解析の妥当性の確認を行うアプローチの可能性を検討する。また、他の同位体を利用した滞留時間推定も検討する。

引用文献

- 1) 尾方 伸久, 若松 尚則, 梅田 浩司, 柳澤 孝一(1995) : 河川水の流量および水質による表層部の地下水流動の推定, 応用地質, 36, pp.2-13.
- 2) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性分冊1, 核燃料サイクル開発機構技術報告書, JNC TN1400 99-021.
- 3) Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) (1999) : Working Programme for MIU-4 Borehole Investigations. JNC Technical Report, JNC TN7410 99-007, JNC Tono Geoscience Center.

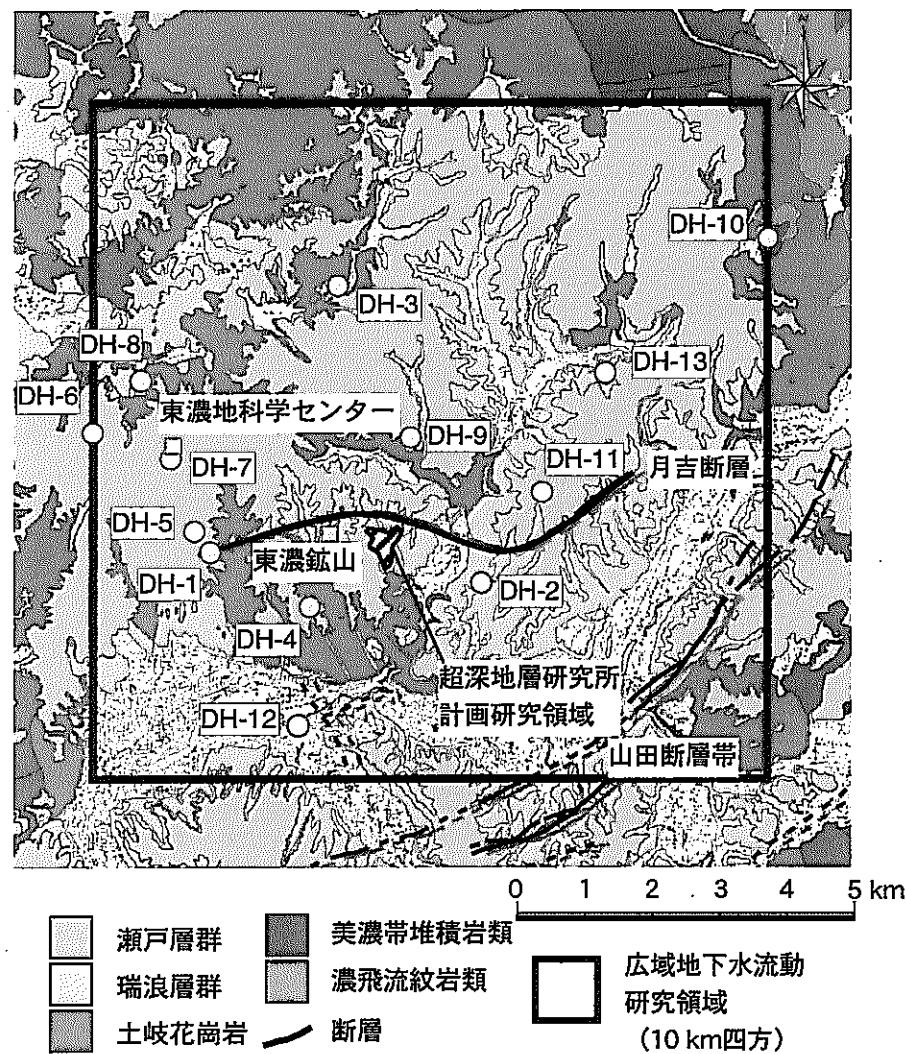


図 1. 広域地下水流动研究領域における試錐孔配置

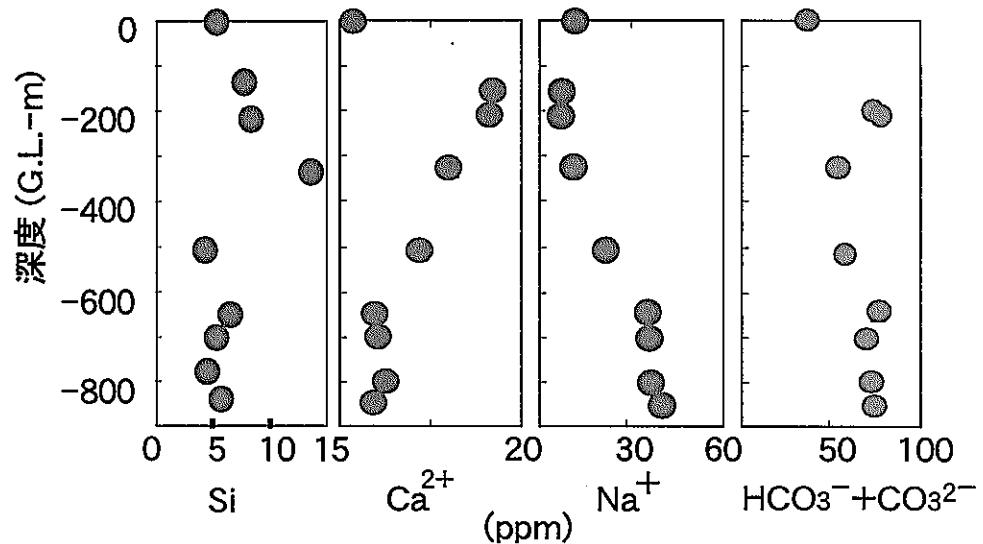


図 2. 地下水水質の深度分布

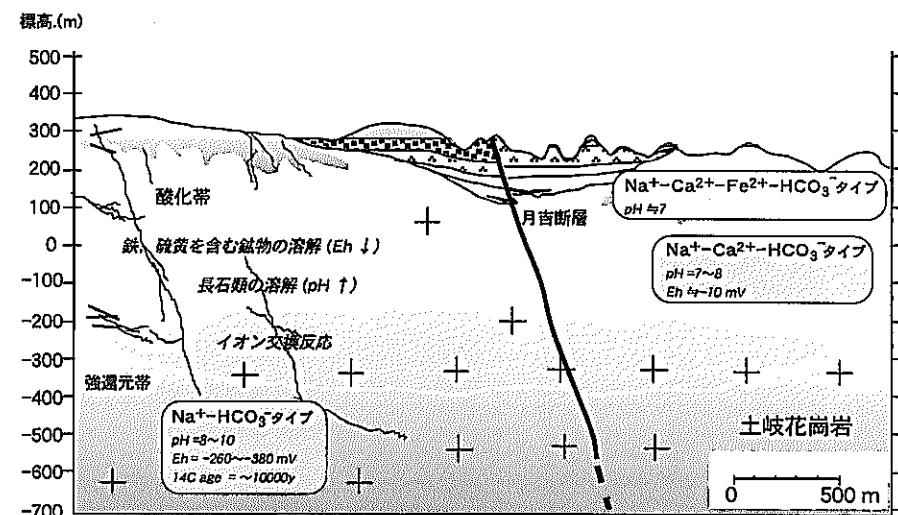


図 3. 地下水地球化学性質の分布

「水理地質構造モデルの不確実性と 地下水水流動解析」

三枝博光・稻葉 薫

1. はじめに

広域地下水水流動研究では、計画→調査→解析→検証というプロセスの繰り返しにより研究を進めている。これにより、地質環境特性についての理解度や不確実性等と解析結果の信頼性との関係についての情報を得ることが期待される。

以下では、このプロセスにおける地下水水流動特性の解析について報告する。

2. 地下水流動解析の流れ

広領域において大局的な地下水水流動特性を把握するため、以下の流れによって地下水水流動解析を行った。

- ① 地下水流動解析領域の設定
- ② 水理地質構造モデルにおいて考慮するべき地質構造要素の決定
- ③ 水理地質構造のモデル化
- ④ 地下水流動解析
- ⑤ 地下水流動解析結果の評価

3. 水理地質構造のモデル化及び地下水水流動解析

(1) 地下水流動解析領域の設定

広域地下水水流動解析領域を設定するために、東濃地域の主要な断層を含む尾根線や河川で囲まれた約 30km 四方の領域（図 1）を対象として予察的な地下水水流動解析を実施した。この解析結果から、東濃鉱山周辺の地下約 1,000m を通過する地下水は、東濃鉱山北部の尾根（分水界）の南側から涵養され、土岐川へ流出していると推定（図 2）し、広域地下水水流動解析領域を設定した（図 3）。

(2) 水理地質構造モデルにおいて考慮するべき地質構造要素の決定

水理地質構造モデルにおいて考慮するべき地質構造要素は、解析領域内の地下水の移行経路及び滞留時間等に大きな影響を与えており（透水性コントラストを有している）と考えられ、かつ、データが取得されている①地質の分布、②断層を考慮した。地質の分布については、瀬戸層群、瑞浪層群、土岐花崗岩の風化部及び基質部をモデル上考慮した。瑞浪層群は、その内部を層序により 3 区分した。断層は、月吉断層を考慮した。

(3) 水理地質構造のモデル化

(2)において決定した地質構造要素毎に、現場での調査試験結果を基にした水理学的物理値を均質に設定し（表 1）、また、境界条件を与えることにより水理地質構造モデルを

構築した（図 4）。また、月吉断層については、強い透水異方性や不均質性を有していることが確認されているものの、月吉断層に直交した方向の透水性や不均質性に関する定量的な物性情報は取得されていない。したがって、これまで東濃鉱山周辺領域を対象とした地下水流动解析において推定された値を基に、複数のケースを設定した。

また、上部境界面は、本解析では、飽和状態における地下水流动解析としたため、試錐孔情報に基づいて推定した自由地下水面を境界条件として与えた。

（4）地下水流动解析

地下水流动解析は、連續体における有限差分法による3次元飽和浸透流解析を実施した。また、地下水流动解析は、瑞浪層群の区分方法や広域地下水流动解析領域の東西尾根部の境界条件の設定方法、月吉断層の透水性が地下水流动解析結果に与える影響を把握することを目的とした感度解析を実施した（表2）。

（5）地下水流动解析結果

- ① 大局的な地下水の流动方向は、全ての解析ケースにおいて、地下水の分水界と考えられる北側尾根部から南側の土岐川へ向かう流れとなった。この結果は、広域地下水流动解析領域を設定するために実施した、約30km四方での地下水流动解析結果と整合的である（図5）。
- ② 全てのケースにおいて、MIU-2号孔の東側と西側の尾根部で地下水の分水界が確認できた（図6）。この結果から、超深地層研究所計画で実施している中領域での水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析領域を設定することが可能であることが示された。
- ③ 広域地下水流动解析領域の東西尾根部の境界条件に関する感度解析の結果、その設定方法の違いによる解析ケース間の差は、地下水流动解析領域境界近傍を除いて認められなかった（図7）。また、瑞浪層群の区分方法に関する感度解析の結果、その区分方法の違いによる地下水流动解析結果への影響は認められなかった（図7）。

このことから、広域地下水流动解析領域の東西尾根部の境界条件設定方法、及び瑞浪層群の区分方法が今回実施した地下水流动解析結果に与える影響は無視できると考えられる。

- ④ 月吉断層の透水性に関する感度解析の結果、その透水性は月吉断層南側における水頭分布に影響を及ぼしていることが確認された（図8）。

このことから、月吉断層の透水性が地下水流动解析結果に与える影響は大きいため、地下水流动解析の精度を向上させるためには、月吉断層の透水性（透水異方性及び不均質性）を把握することが重要であることが示された。

- ⑤ 月吉断層下盤に位置するDH-9号孔での水頭分布の実測値と解析値を比較すると、全ての解析ケースにおいて良い一致を示した（図7, 8）。また、月吉断層を貫いているMIU-2号孔の実測値では、標高-680m付近の月吉断層を境として約30mの急激な水頭差があることが確認されているが、解析では、月吉断層の透水性が 1 E-14 m/s のケースを除いて、この水頭差が再現できなかった。

また、その他のケースにおいては、月吉断層下盤での水頭分布の実測値と解析値は

良い一致を示しているものの、月吉断層上盤では下盤での水頭と同様な値（概ね静水圧分布）を示しており、実測値と解析値に差が認められた。

このことは、月吉断層上盤側と下盤側で自由地下水面の位置や形状が不連続的に変化していることに起因しているものと考えられ、月吉断層上下での水頭差を解析上で再現するためには、自由地下水面の位置や形状を精度良くモデル化するための情報の取得や推定手法の確立が必要である。

4. 今後の予定

- ① 様々な因子や水理地質構造のモデル化手法が地下水流動解析結果に与える影響度を把握することが重要である。この影響度を定量的に示すため、感度解析及び比較解析を継続し、その結果を広域での調査を考慮して設定した、水頭分布や地下水流量の分布、任意の地点を通過する地下水の涵養域から流出域までの移行経路等の比較項目に対する影響度として評価する（図9）。
- ② データ量の増加に伴う地質環境の不確定性への影響について検討するため、広域地下水流動研究における研究プロセスに基づいた水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析を継続する。
- ③ 本研究は、約 30 km 四方の領域を対象とした地下水流動解析結果による仮説に基づいて進められている。この仮説の内、特に土岐川における境界条件設定に関する妥当性を確認することを目的とした地下水流動解析を実施する。

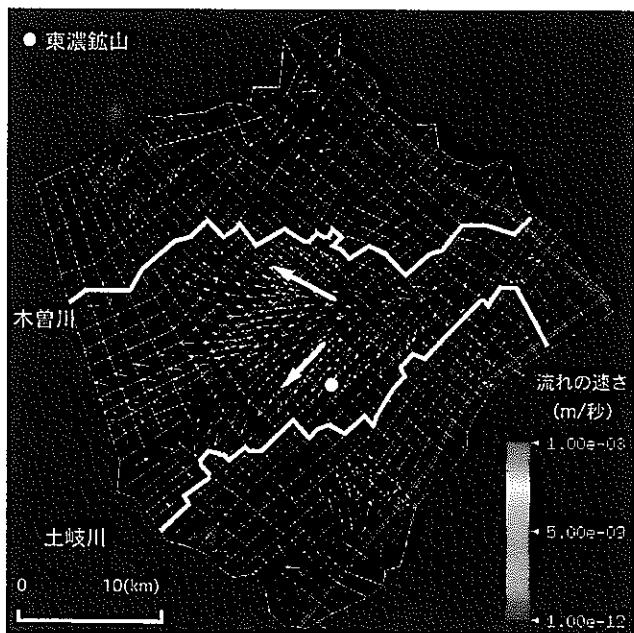
参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：“広域地下水流動研究 実施計画書 平成 10 年度、11 年度研究計画書”，サイクル機構技術報告書, JNC TN7410 99-005, (1999).
- 2) 核燃料サイクル開発機構：“広域地下水流動研究 実施計画書 平成 12～16 年度研究計画書”，サイクル機構技術報告書, JNC TN7410 2000-002, (2000).
- 3) 三枝博光, 稲葉秀雄 他: “東濃地域を対象とした広域地下水流動解析”, 動燃技術報告書, PNC TN7410 98-004, (1998).
- 4) 核燃料サイクル開発機構: “わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－ 総論レポート”, サイクル機構技術報告書, JNC TN1400 99-020, (1999).
- 5) 田中和広, 木方建造 他: “高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術 その 3 サイト選定のための調査・評価手法－”, 日本原子力学会 原子力バックエンド研究, Vol.5, No.2, pp.93-102, (1999).
- 6) 太田久仁雄, 天野健治 他: “広域地下水流動研究における三次元地質構造モデルの構築”, サイクル技報, No.4, pp.101-110, (1999).
- 7) O. Voborný, G. Resele et al.: Hydrodynamic Synthesis and Modeling of Groundwater Flow in Crystalline Rocks of Northern Switzerland , Nagra Technical Report, NTB92-04, (1994).

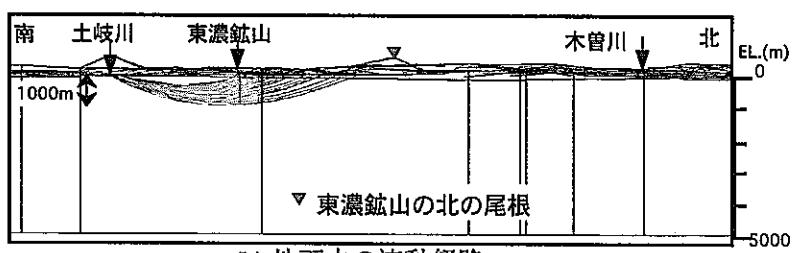


(国土地理院 1:200,000 地形図より)

図1 約30km四方の解析領域



(a) 地下水の流速ベクトル



(b) 地下水の流动経路

図2 約30km四方の解析結果

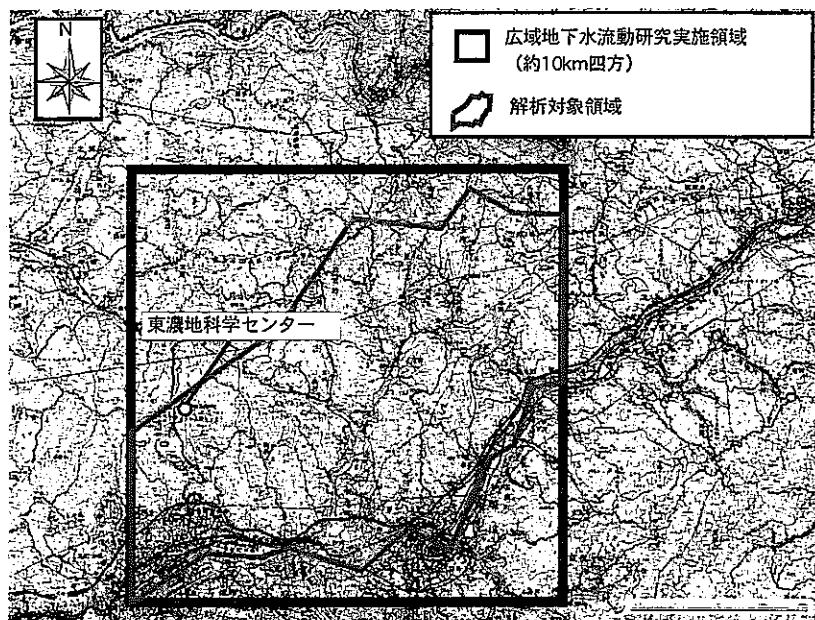


図3 広域地下水流动解析領域

表1 解析に使用した水理学的物性値

要素	透水係数 k[m/s]	比貯留係数 Ss[m ⁻¹]	有効間隙率 ne[%]
瀬戸層群	1×10^{-7}	1×10^{-4}	40
瑞浪層群(1つの層)	5×10^{-9}	1×10^{-5}	30
瑞浪層群(生俵累層)	1×10^{-9}	1×10^{-5}	30
瑞浪層群(明世累層)	1×10^{-8}	1×10^{-5}	30
瑞浪層群(土岐夾炭累層)	5×10^{-9}	5×10^{-6}	25
土岐花崗岩(風化部)	1×10^{-7}	1×10^{-5}	20
土岐花崗岩(健岩部)	1×10^{-9}	1×10^{-7}	5
月吉断層	1×10^{-10}	1×10^{-4}	10

表2 感度解析ケース

瑞浪層群の区分方法	東西の側方境界条件	月吉断層の透水性 (m/s)
ケース 1 3区分	不透水境界	1×10^{-10}
ケース 2 3区分	固定水頭境界	1×10^{-10}
ケース 3 区分なし	不透水境界	1×10^{-10}
ケース 4 区分なし	固定水頭境界	1×10^{-10}
ケース 5 3区分	固定水頭境界	1×10^{-12}
ケース 6 3区分	固定水頭境界	1×10^{-14}

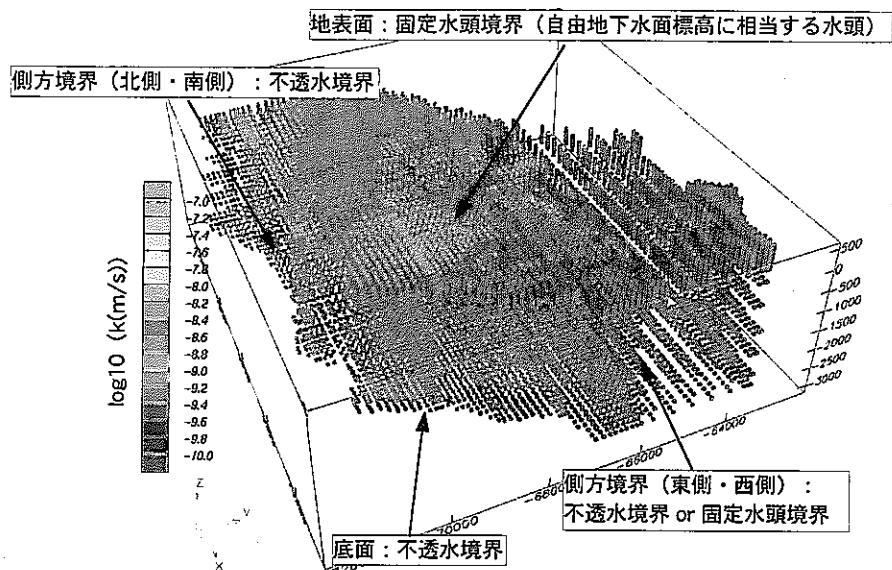


図4 広域地下水水流動解析領域の水理地質構造モデル

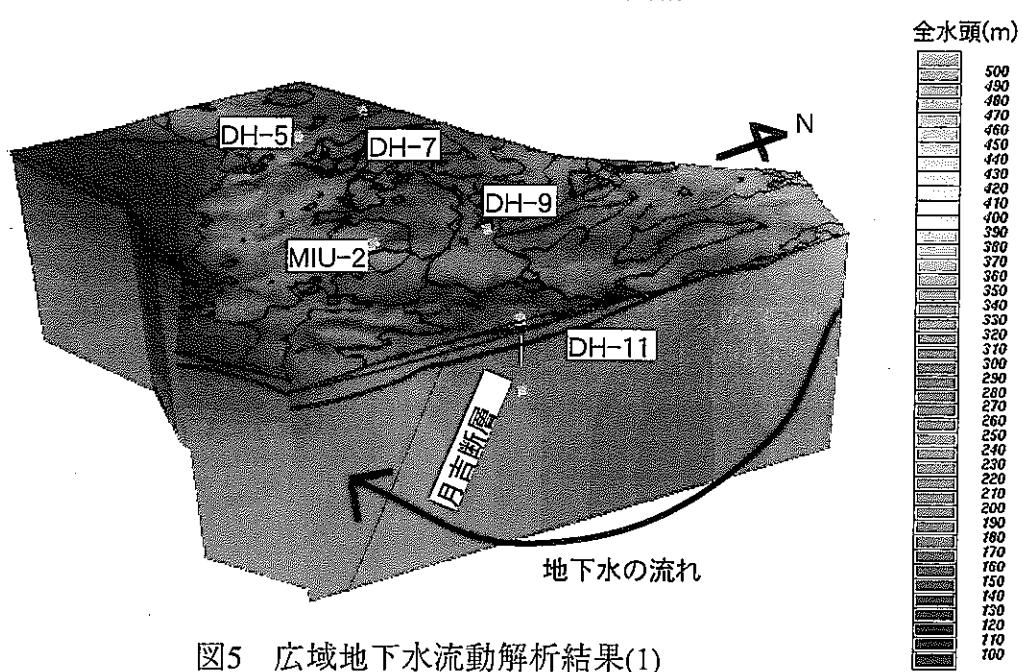


図5 広域地下水水流動解析結果(1)
水頭分布 (南北方向)

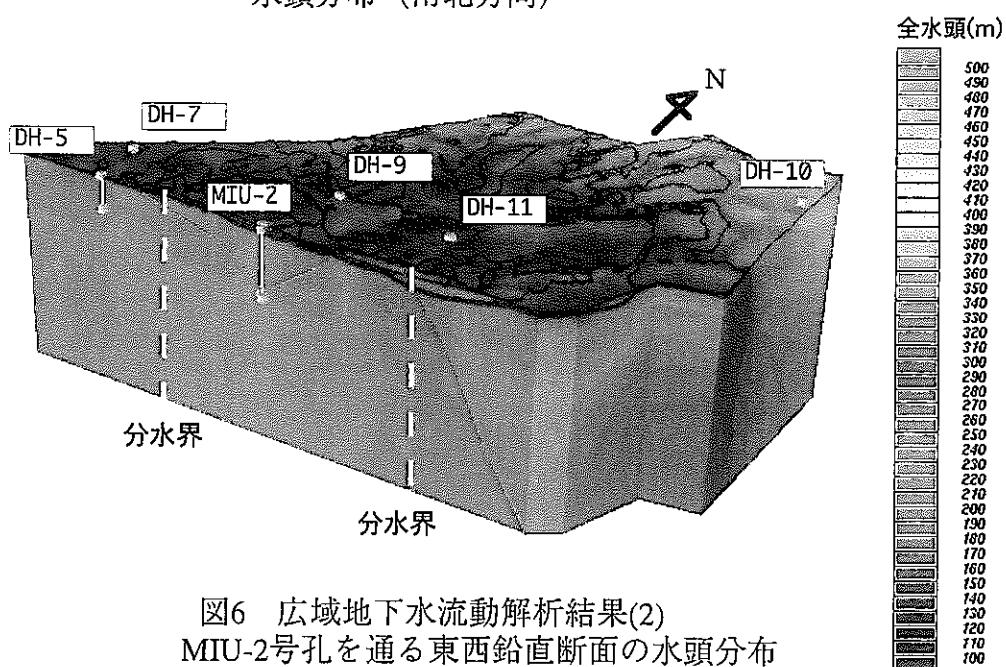


図6 広域地下水水流動解析結果(2)
MIU-2号孔を通る東西鉛直断面の水頭分布

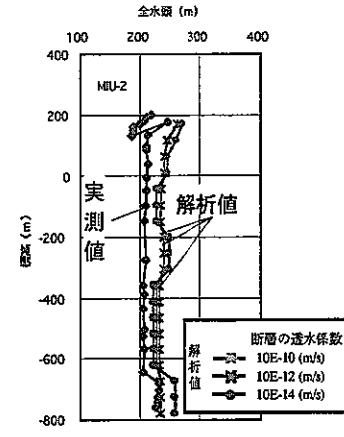
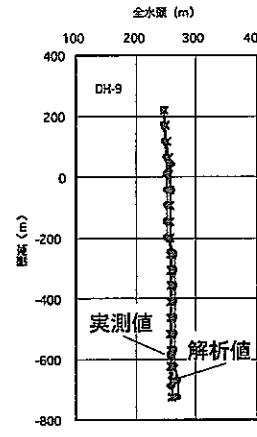
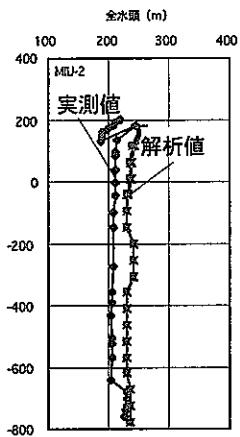
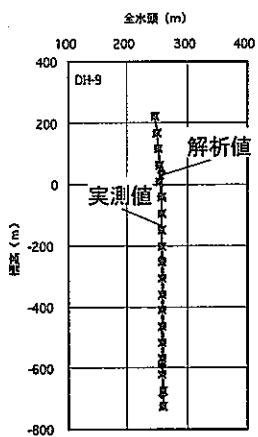


図7 広域地下水水流動解析結果(3)
試錐孔沿いの水頭分布（瑞浪層群区分方法及び
境界条件設定方法に関する感度解析）

図8 広域地下水水流動解析結果(3)
試錐孔沿いの水頭分布（月吉断層の透水性に
関する感度解析）

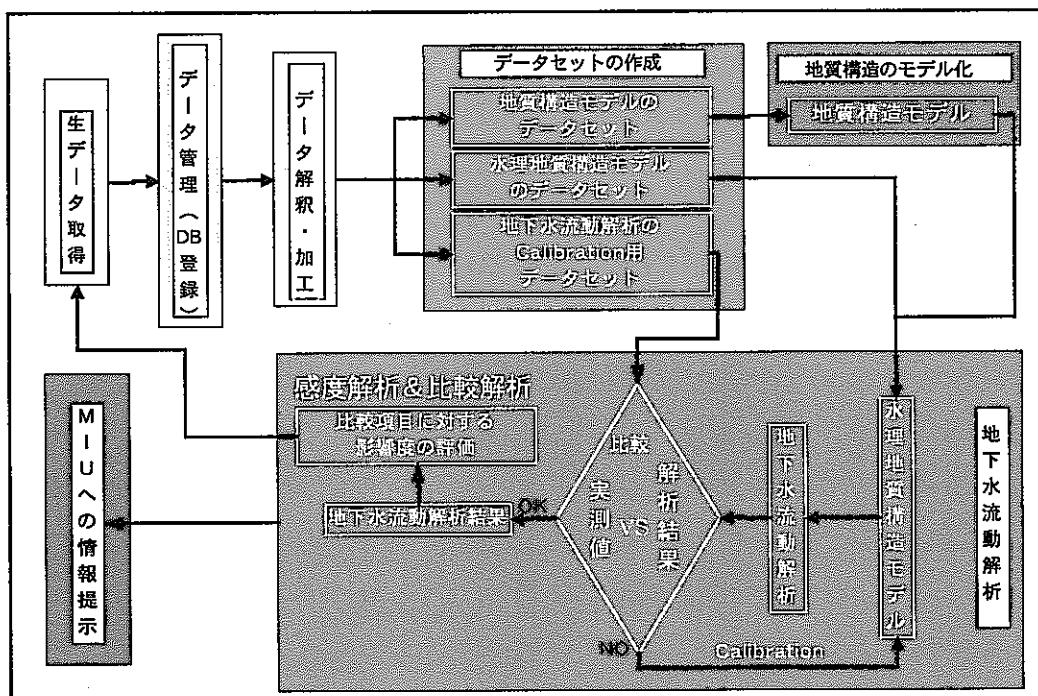


図9 水理地質構造のモデル化及び地下水水流動解析フロー

「繰り返しアプローチを用いた 中領域の地質環境の評価手法について」 －地下水流动調査・解析－

中野勝志・竹内真司・三枝博光・稻葉薰・山内大祐

1. はじめに

超深地層研究所計画における調査研究は、平成8年度より現在まで第1段階にあたる「地表からの調査予測研究段階」が進められてきた。この段階は、特に地下水流动の観点からは、数km×数kmの中領域（施設スケール）の調査研究として位置づけられる。地下水流动調査・解析では、地下水流动特性を地表からの調査により把握するための体系的な調査・解析・評価技術の有効性を確認することが重要な課題である。

2. 研究の進め方

2. 1 研究アプローチ

地下水流动調査・解析では、核種移行解析に必要な地下水流量の分布、地下水の流动経路および流动経路分布、地下水の滞留時間、地下水の最終到達地点、全水頭分布等の地下水流动特性を把握することが重要となる。この調査・解析にあたっては、取得すべき情報の理解度、情報の過不足、不確実性および取得情報の優先順位をそのつど明確にすることが重要となる。核種移行解析と地下水流动調査・解析の関係を図-1に示す。

核種移行解析において構築される地質環境モデルは、地下水流动調査・解析で構築される水理地質構造モデルに比べ、モデルの構造を単純化することが想定される（サイクル機構、1999）。このため、地下水流动調査・解析においては、図-1に示した「地下水流动解析ループ」を繰り返すアプローチにより、解析ループを形成している個々の要素および解析ループ全体の不確実性を評価することが必要である。

本研究においても、上述したアプローチを採用し進めている。ここで地下水流动調査・解析では、長期揚水試験や研究坑道の開削に伴う地下水流动現象などにより、水理地質構造モデルや地下水流动解析結果を評価する計画である。

2. 2 着目する地質構造

本研究は岐阜県東濃地域に分布する先新第三紀の土岐花崗岩体を対象としている。土岐花崗岩は、その上位を新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）が、さらにその上位に固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合に覆っている。また、研究領域には花崗岩と瑞浪層群を切る月吉断層が分布している。月吉断層は東西走向で70から80度の南傾斜の逆断層で落差は約30mである。

本研究では、広域地下水流动研究と東濃鉱山における試験研究で得られた知見およびこれまで研究成果を基に、地下水流动に大きく影響を与えていた構造として、①新第三紀堆積岩中の基底礫岩（高透水帶）、②花崗岩風化部（高透水帶）、③花崗岩上部割れ目帶（高透水帶）、④月吉断層（低透水／遮水構造）⑤月吉断層に伴う割れ目帶（高透水帶）の5つに着目している。これらを踏まえた地質構造の概念図を図-2に示す。

2. 3 水理地質構造のモデル化の考え方

岩盤内の地下水流动解析手法は、岩盤を多孔質の連続的な媒体と考える連續体モデルと割れ目などの不連續構造を取り出した不連續体モデルの2つに大きく分類される。本研究では、『地下水流动の解析領域が数 km × 数 km の平面的広がりをもつことから、地下水の流动経路となる割れ目等の不連續構造を巨視的にとらえ、割れ目密度分布やその傾向の把握に基づいたゾーン区分により、その物性を等価な連續体または不均質性を考慮した等価な連續体に置き換えて水理地質構造をモデル化する』との考え方の下、1回目および2回目の地下水流动解析ループの地下水流动解析が行われた。なお、2回目の地下水流动解析ループまでは以下に示す2つの理由から不連續体によるモデル化が行われていないが、平成12年度より双方のモデル化手法を用いて水理地質構造のモデル化と地下水流动解析が進められている。

- ①解析領域内の割れ目や透水係数の分布に関する情報が少ない
- ②数 km × 数 km の解析領域を不連續体で解析する場合の計算量や時間の制約

3. 研究成果

平成12年度の上半期までに、図-1に示した研究アプローチに沿って地下水流动解析ループが2回繰り返されている。本研究の解析領域は図-3に示すように研究実施領域を包含し、かつ一般に水理境界と考えられる尾根部と河川で囲まれた約 6km × 4km の範囲とした。

3. 1 1回目の地下水流动解析ループでの実施内容と成果

(1) 研究内容

第1回目の解析ループでは、広域地下水流动研究および東濃鉱山における調査研究で取得されている既存情報を用いて、地質構造および水理地質構造のモデル化と地下水流动解析を実施した。地質構造モデルは図-4に示すように、堆積岩類の各累層、花崗岩風化部および月吉断層を表現した。水理地質構造モデルにおける水理パラメータは東濃鉱山周辺域を対象とした地下水流动解析で用いた物性およびその解析結果を参考に設定した（稻葉ほか、1998）。なお、月吉断層と風化部を除く花崗岩の物性については、全体に一様の物性を与えた。

地下水流动解析には多孔質媒体を対象に開発された有限要素法による3次元飽和・不飽和浸透流解析プログラム TAGSAC を用いた（今井・柳沢、1990）。地下水流动解析は、

解析領域に存在する東濃鉱山の坑道を考慮した定常解析と超深地層研究所計画において1,000mの研究坑道（立坑）開削による地下水水流動を予測するための非定常解析を実施した。

（2）解析結果

定常解析により得られた全水頭分布と試錐孔調査により得られた実測値を比較した一例を図-5に示す。なお、図-5の(a)、(b)、(c)の各図においてそれぞれ標高約137m、269m、131mより上位が堆積岩で下位が花崗岩である。この解析結果は以下の3点にまとめられる。

- ① 図-5(a)に示すように解析で得られた堆積岩中の全水頭分布と実測値を比較すると、解析メッシュの大きさと実際の測定ポイントの間隔が整合していないことから、解析結果は細部を表現できていないものの、全水頭分布の全体傾向は表現できている。
- ② 図-5(b)および(c)に一例を示すように、花崗岩中の水頭分布の傾向は概ね表現できていると考えられる。しかし、ほとんどの試錐孔で解析値の水頭分布は実測値に比べ30m程度高い値となった。これは、調査で明らかとなった月吉断層およびその周辺の割れ目帯に起因する透水性のコントラスト、地下水位面などの上部境界条件および断層の位置や形状が水理地質構造モデルにおいて十分に表現できていないためと考えられる。
- ③ 図-6に示すように標高-758mにおける全水頭分布においても大局的な地形の影響が認められる。また、地下水は北から南へ流れている傾向にある。

非定常解析による解析結果は以下の2点にまとめられる。

- ① 研究坑道掘削により全水頭が低下する範囲は、解析領域として設定した約4km×6kmの範囲内で収束している。
- ② 平面的な全水頭低下量の分布は研究坑道の掘削位置を中心にはぼ同心円状となり、月吉断層が遮水構造を成している傾向はほとんど認められなかった。この結果からは月吉断層が地下水水流動に与える影響はあまり大きくない可能性が示唆された。

定常および非定常の解析結果より、2回目の解析ループを進める上では、特に花崗岩中の地下水の流動に大きく寄与していると考えられる月吉断層周辺の割れ目帯および他の割れ目帯の性状と水理特性の把握などが優先的な課題として挙げられた。

3. 2 2回目の地下水水流動解析ループでの実施内容と成果

（1）実施内容

2回目の解析ループにおける地質構造および水理地質構造のモデル化は、1回目の解析ループで得られた課題を踏まえ、1回目の解析ループと並行して進められていた研究実施領域内における深度約1,000mの3本の試錐調査(MIU-1, 2および3号孔)および反射法弾性波探査などの調査結果を加えて行われた。特に、試錐調査では花崗岩中の水みち構造と考えられる割れ目帯などに関するより詳細な情報を取得するために、コア観察およびボアホールテレビによる割れ目分布密度の調査、試錐孔全長の水理特性を把握するため

の約 100m 区間長の試験、および特定の水みちの水理特性を把握するための数 m 区間長の試験を併用して調査を実施した。なお、MIU-2 号孔では深度 900m 付近で、MIU-3 号孔では深度 700m 付近でそれぞれ月吉断層をとらえている。図-7 に調査結果の一例を示す。これらの調査結果を基に、花崗岩中の水理地質構造について検討した結果、以下の解釈がなされた。

- ① 花崗岩はその中の割れ目の頻度により、花崗岩上部割れ目、健岩部、月吉断層に伴う割れ目帯の三つのゾーンに大きく分類できる。
- ② 上部割れ目帯および月吉断層に伴う割れ目帯では透水性が高く、健岩部では透水性が低い傾向にある。
- ③ 月吉断層の下盤側（北側）は上盤側（南側）に比べて約 30m 水頭が高いことから、月吉断層は遮水壁として機能している可能性が高い。

地質構造のモデル化にあたっては、2 本の試錐孔で存在が確認されると共に、既存情報から解析領域内での連続性が高く地下水流动を規制していることが予想される月吉断層は決定論的に扱うこととした。また、花崗岩中の割れ目は、頻度分布に基づいて区分した三つのゾーン毎に割れ目の分布傾向（方向、開口幅、半径、密度）を考慮した上で統計的に与えることとした。

水理地質構造のモデル化においては、解析領域の広さや取得データの空間的密度を考えると花崗岩の個々の割れ目をモデル化することは非現実的なことから、断層等の不連続構造および不均質な割れ目分布の透水性への寄与をこれと等価な連続体で表現できる等価不均質連続体モデルを用いた（サイクル機構、2000）。図-8 に作成した水理地質構造モデルの断面を示す。このモデルでは花崗岩中の割れ目の不均質性を異なる 2 つの分布モデル（べき乗分布モデルと指数分布モデル）を用いて割れ目を統計的に発生させて等価不均質連続体モデルを作成した。また、比較のために、地質構造モデルで区分したゾーン毎に均質な物性を与えた連続体モデルも作成した。

地下水流动解析は、不均質性を有する多孔質媒体を対象に開発された飽和・不飽和浸透流解析コード EQUIV-FLO を用いた（サイクル機構、2000）。この解析では、研究坑道開削による影響予測を行なうまでの初期条件を得るための定常解析と研究坑道開削による影響の予測解析を実施し、水理地質構造のモデルの違いが解析結果に与える影響を検討した。

（2）解析結果

定常解析により得られた主な結果を以下に示す。

- ① 解析により得られた水頭分布から想定される地下水流动の向きは、いずれのモデルにおいても北から南方向である。
- ② 図-9 に示した解析により得られた水平面内の水頭分布の一例からも分かるように、いずれのモデルにおいても月吉断層は南北方向の地下水流动を遮断する傾向が認められる。特に、割れ目の分布を考慮した 2 つのモデルでは断層本体の遮水機能が顕著に表現されている。これは、割れ目分布を考慮したモデルにおいて、高透水性の割れ目の影響が現れているためと考えられる。

非定常解析により得られた主な結果を以下に示す。

- ① 図-10 に示した解析により得られた水頭分布の傾向より、割れ目の分布を考慮していないモデルでは、あたかも断層が遮水機能を果たしていないような南北対称な水頭低下領域が形成されている。一方、割れ目の分布を考慮した2つモデルでは断層の遮水効果が表現されている。
- ② 割れ目の分布を考慮したモデルと考慮していないモデルを比較すると、水頭低下の程度および研究坑道への湧水量に大きな差異が認められ、かつ割れ目の分布を考慮したモデルのうち、べき乗分布を用いたモデルでは特に割れ目分布の傾向に沿った不規則な水頭低下領域が形成された。これは、べき乗分布を用いたモデルでは割れ目の連続性が高く（割れ目の交差箇所が多く水みちとして連結性がよい）研究坑道を交差する割れ目に沿って岩盤内へ影響が及んでいることを示していると考えられる。
- ③ 研究坑道の掘削に伴う水頭低下は、坑道が月吉断層を通過するまでは断層の北側まではほとんど及んでいない。断層を通過した後、断層下盤（北側）に水頭が低下する領域が形成されている。水頭低下の影響範囲は発生した割れ目の分布に依存するが、今回の解析結果では割れ目の分布を考慮したモデルの方が割れ目の分布を考慮しなかったモデルに比べ小さかった。これは、割れ目の連続性に依存した不均質な物性分布の影響が現れた結果と考えられる。

4. 研究成果のまとめ

これまでの研究成果を以下にまとめる。

- ① 2回目の地下水流动解析ループにおける等価不均質連續体モデルによる地下水流动解析により、特に非定常解析の場合、割れ目の分布を考慮したモデルとしているモデルでは解析結果の水頭変化の程度および研究坑道への湧水量に大きな差異が認められ、かつ割れ目を考慮したモデルでは割れ目分布の傾向に沿った不規則な水頭低下領域が形成された。この結果は、数 km × 数 km の範囲であっても割れ目の分布を考慮することにより、より現実的な地下水流动を予測できることを示唆していると考えられる。
- ② 本解析領域に存在する月吉断層は、これまでの調査結果から断層を直交する方向に遮水的機能を果たしていると推定されている。①の定常解析および非定常解析結果において、等価不均質連續体モデルによる解析結果はこの仮説を水頭変化等で適切に表現できており、両方の結果と併せて考えると、このモデル化手法が割れ目や断層などを考慮した中領域の地下水流动解析への適用性の高いことが示された。

5. おわりに

1回目の地下水流动解析ループでの地下水流动解析結果は、その後の試錐調査により得られた実測値と比較した際、特に花崗岩中の全水頭分布において大きな隔たりなどが認められ、地下水流动調査・解析全体の不確実性を低減するために、地質環境特性に関するデータ取得（特に花崗岩中のデータ取得）が最優先課題として挙げられた。2回目の地下水流动解析ループでの地下水流动解析結果は、先の課題を受けて3本の試錐調査結果を加えた地下水流动解析を行い、第4章の①、②に示した成果等を得ることができ、より現実的な水理地質構造のモデル化および地下水流动解析が進められるに至った。このことは、研究アプローチが順調に機能し、調査・解析・評価技術の有効性の確認に向け着実に研究が進展していると考えられる。

現在、3回目の地下水流动解析ループに関する取り組みを開始している。この解析では比較解析などを取り入れて連続体と不連続体の双方で水理地質構造のモデル化を進めている。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構 (1999) : 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 -地層処分研究開発第2次とりまとめ- 総論レポート, JNC TN1400 99-020.
- 2) 稲葉秀雄他 (1998) : 東濃鉱山周辺域を対象とした地下水流动解析, 動燃技術報告書, PNC TN7410 98-001.
- 3) 今井久, 柳澤孝一 (1990) : 3次元飽和不飽和浸透流解析プログラム TAGSAC の概要, 動燃技術報告書, PNC TN7410 90-026.
- 4) 核燃料サイクル開発機構 (2000) : 不均質等価連続体モデルを用いた広域地下水流动解析, JNC TJ7400 2000-008.

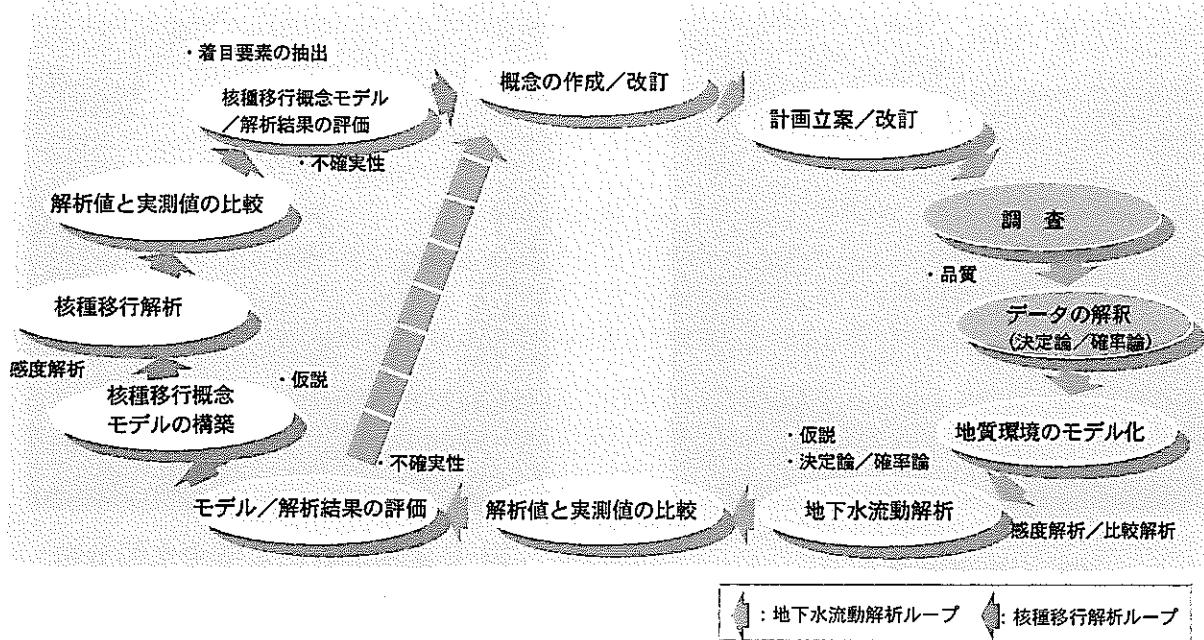


図-1 核種移行解析と地下水水流動調査・解析の関係

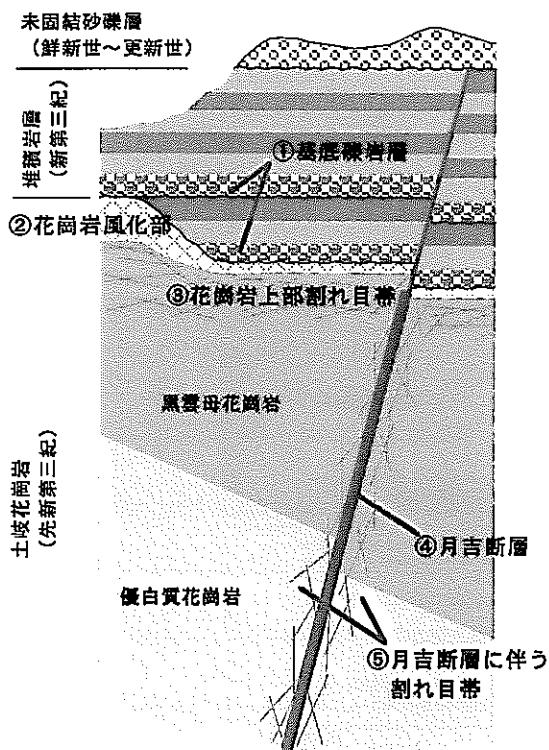


図-2 地質構造の概念図

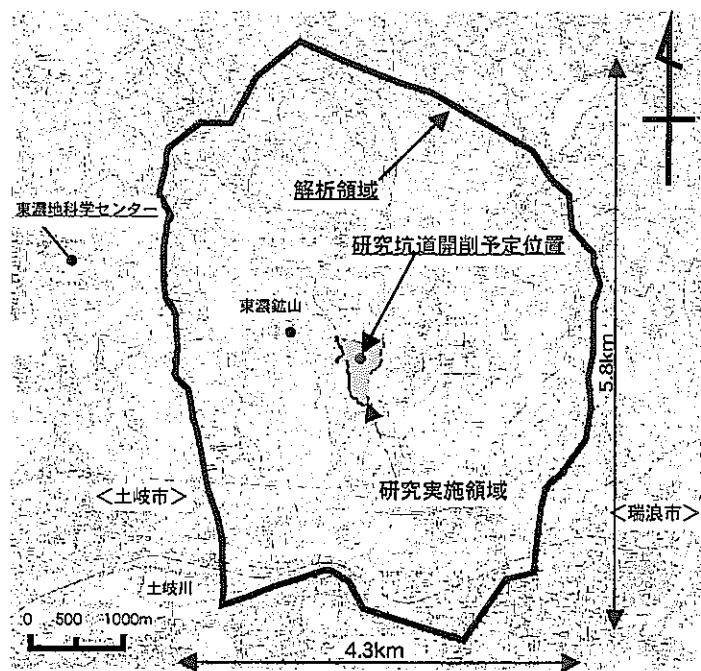


図-3 解析領域と研究実施領域

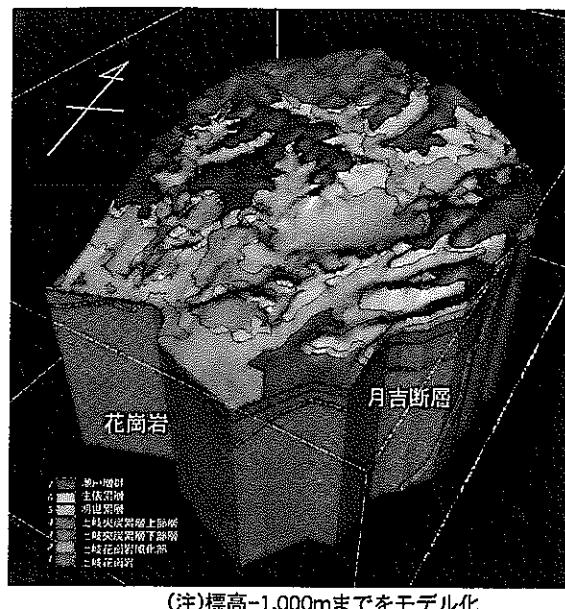


図-4 地質構造モデル

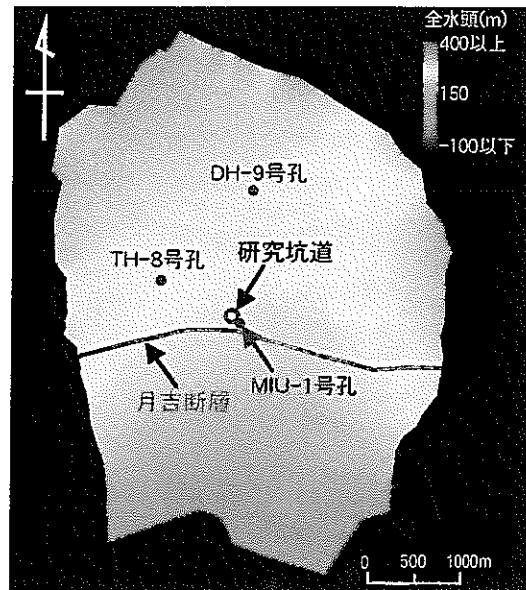


図-6 定常解析による全水頭分布
(標高-758m水平断面)

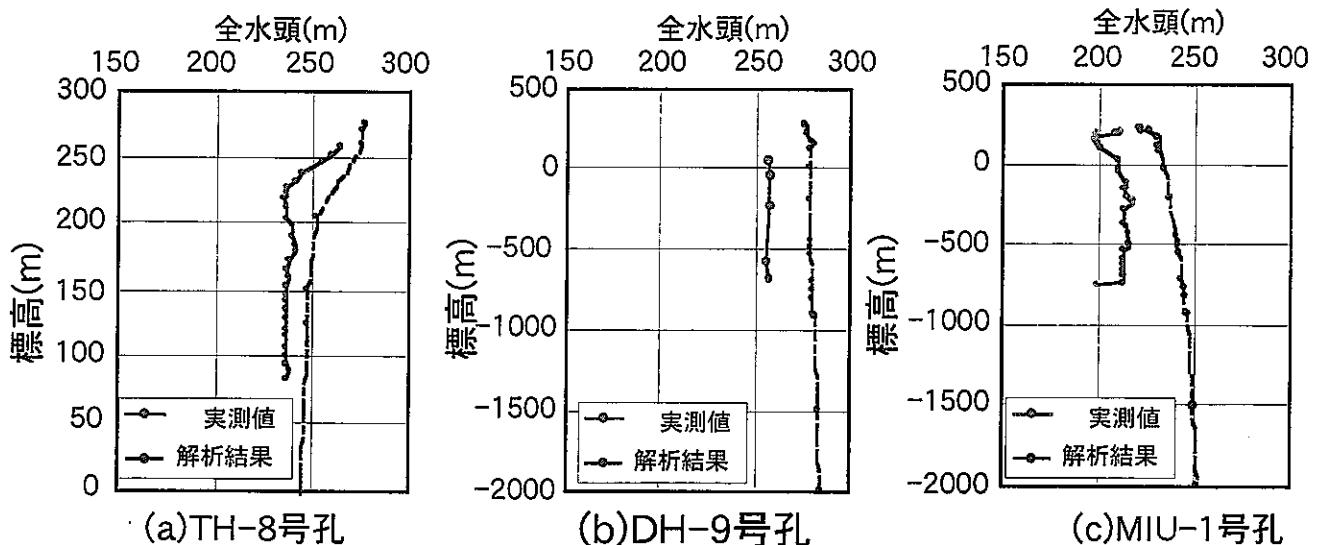


図-5 実測値と解析結果の比較

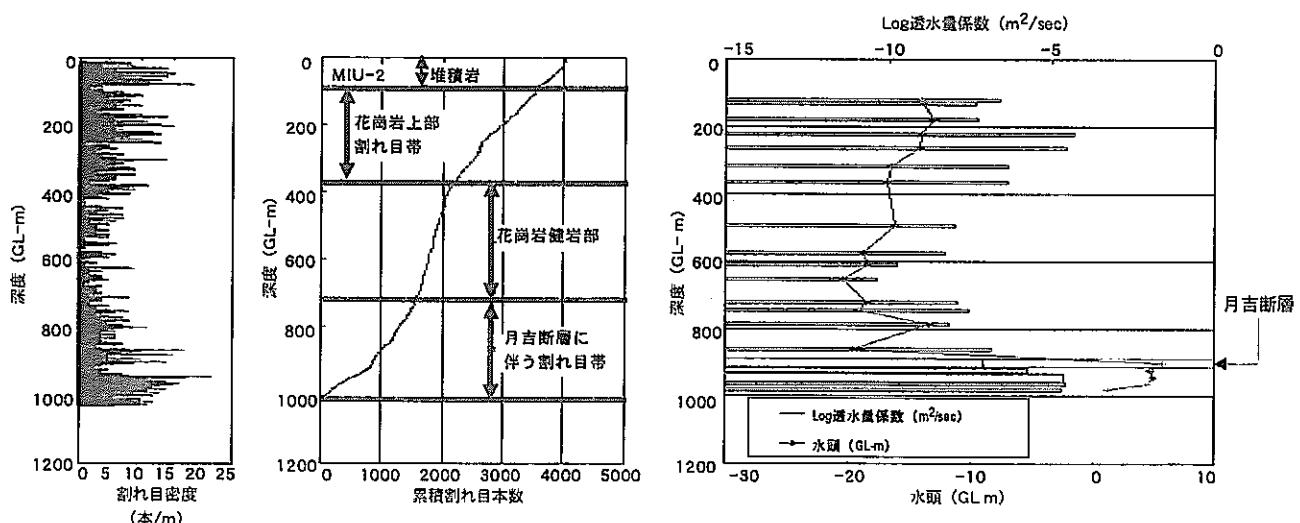
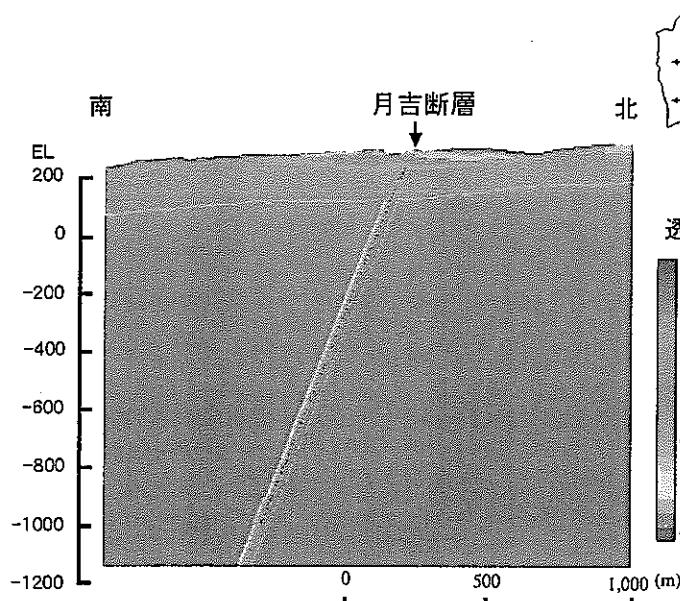
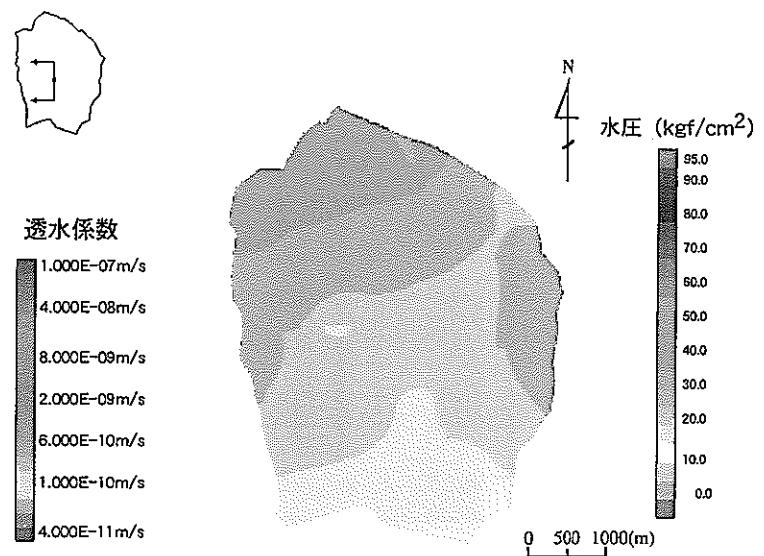


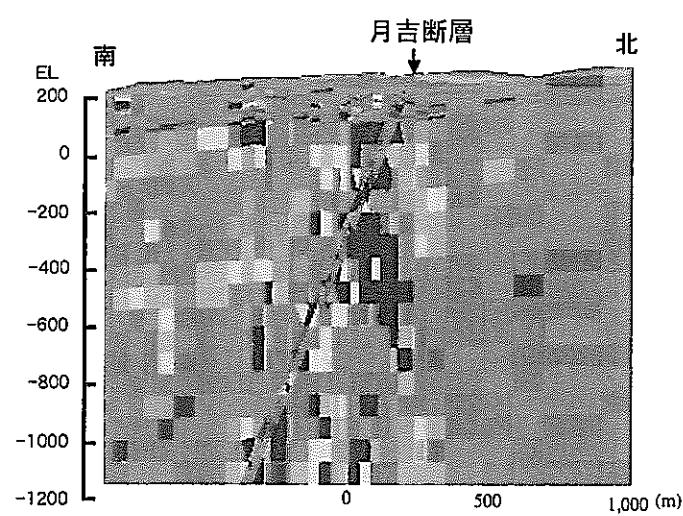
図-7 累積割れ日本数と単孔水理試験結果の比較



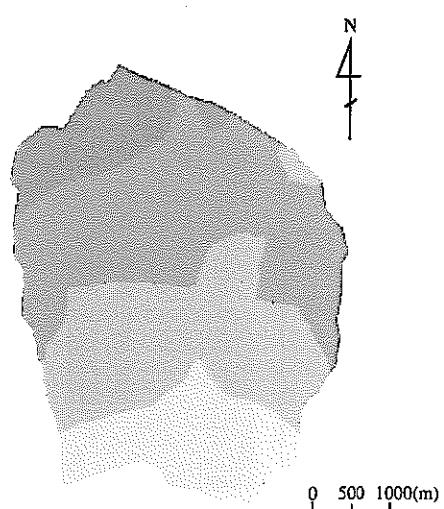
(a) 割れ目の分布を考慮しない均質なモデル



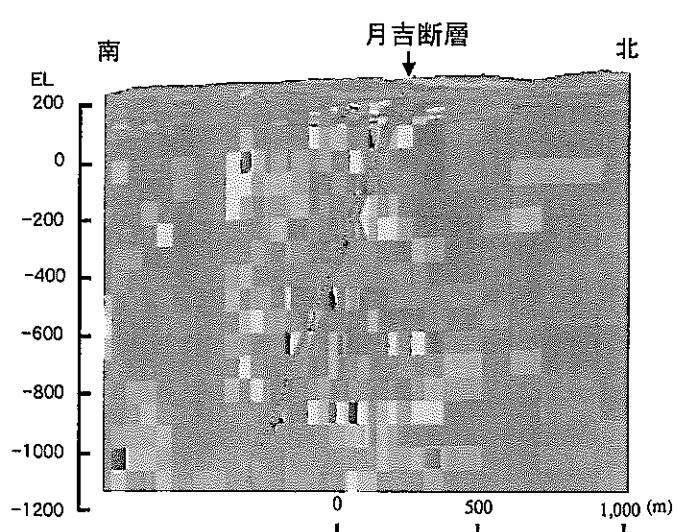
(a) 割れ目の分布を考慮しない均質なモデル



(b) 割れ目の分布を考慮したモデル（べき乗分布モデル）

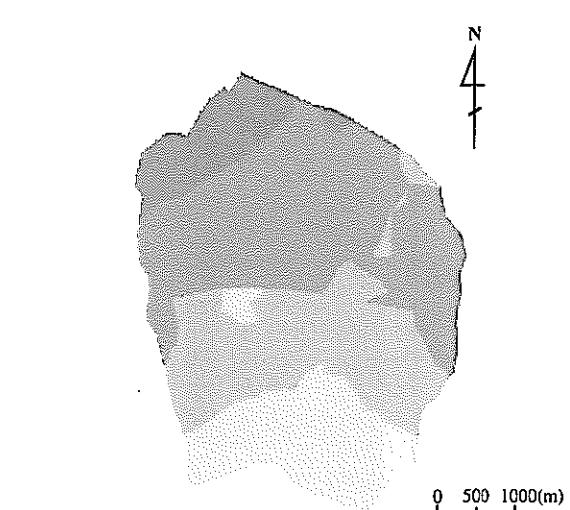


(b) 割れ目の分布を考慮したモデル（べき乗分布モデル）



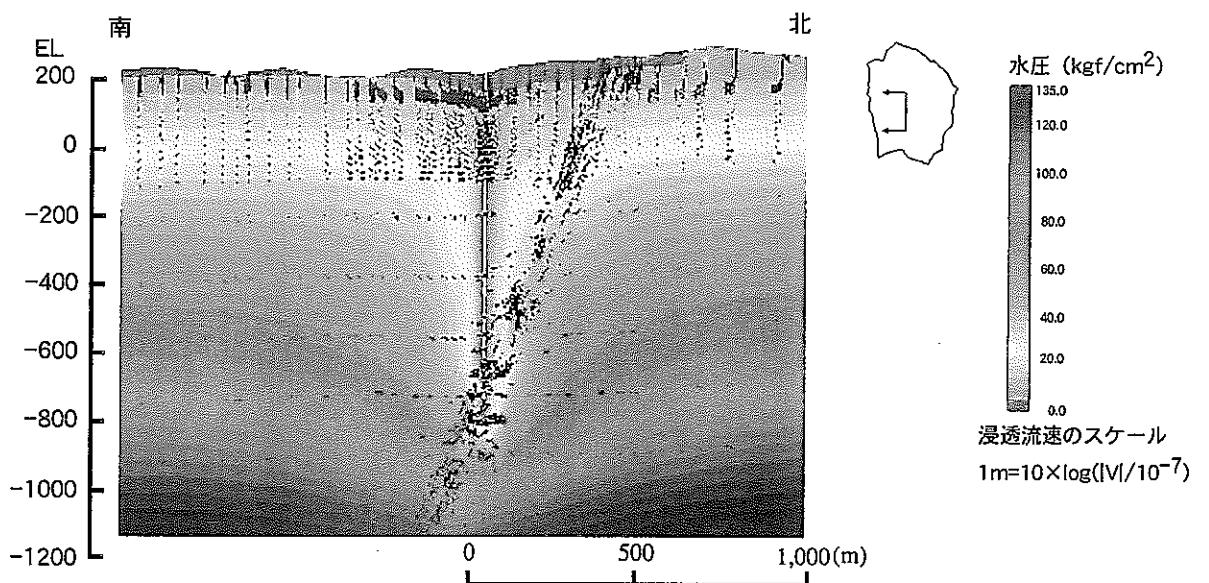
(c) 割れ目の分布を考慮したモデル（指数分布モデル）

図-8 水理地質構造モデル

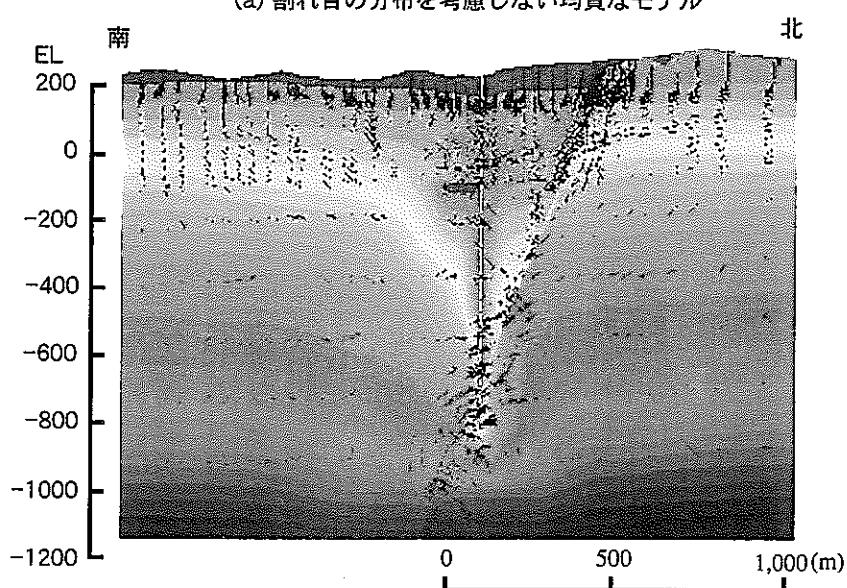


(c) 割れ目の分布を考慮したモデル（指数分布モデル）

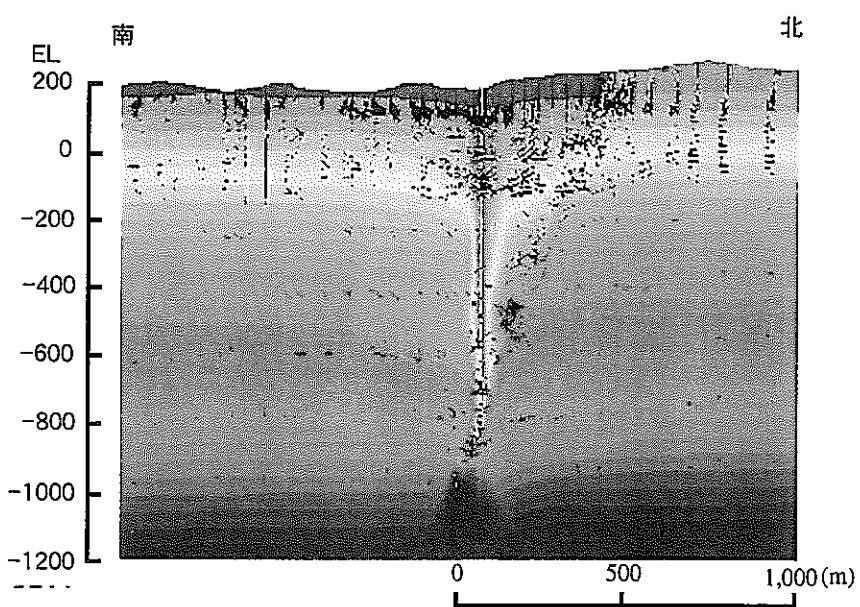
図-9 水平面内水圧分布
(EL0m, 土岐花崗岩上部割れ目帯相当深度)



(a) 割れ目の分布を考慮しない均質なモデル



(b) 割れ目の分布を考慮したモデル（べき乗分布モデル）



(c) 割れ目の分布を考慮したモデル（指数分布モデル）

図-10 研究坑道が断層貫通後の水圧分布（研究坑道を通る南北鉛直断面）

「繰り返しアプローチを用いた 中領域の地質環境の評価手法について」 -応力分布と物性値分布について-

松井裕哉・前田信行・吉川和夫

1. はじめに

超深地層研究所計画（サイクル機構、1996）は、現在、地表からの調査予測研究段階として 1000m 級試錐孔を利用した地質環境特性（地質、水理、地球化学、岩盤力学）に関する調査研究を実施しており、本報告は、岩盤力学に関する調査概要及び今までに得られた成果を示したものである。

2. 本調査の目的

本報告で示す地表からの調査予測段階における岩盤力学に関する調査は、超深地層研究所の設計及び超深地層研究所計画第 2、第 3 段階において予定されている工学技術に関する研究に必要となる岩盤力学的データの取得及び岩盤力学モデルの構築を目的としている。

3. 調査位置及び地質

調査領域の平面図を図-1 に示す。超深地層研究所計画が実施されている正馬様用地は、同図に示すように逆 3 角形の形状をしており、約 14ha の用地面積を有する。図中の AN-1, MIU-1,2,3 孔と呼ばれる試錐孔は、孔長 1000m で鉛直下向きに掘削されたものであり、岩盤力学に関する調査は、これら 1000m 級の試錐孔を利用して実施している。本調査領域の地質は、深さ数十 m～百数十 m 程度の範囲に瑞浪層群と呼ばれる新第三紀の堆積岩が分布し、それ以深はすべて土岐花崗岩と呼ばれる白亜紀に形成されたと考えられる花崗岩体で構成されている。また、同用地を横断する形で月吉断層と呼ばれる逆断層が存在する。これは、N80° E70° S 程度の走向傾斜を有する。

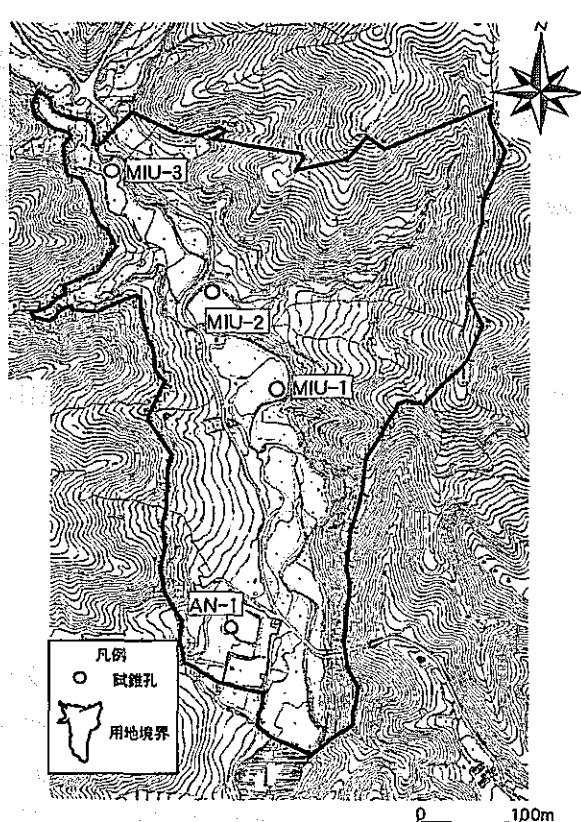


図-1 調査領域及び試錐孔配置図

4. 繰り返しアプローチによる調査の考え方

本調査の対象は、土岐花崗岩と呼ばれる結晶質岩であり、一般に不連続面の性状やその分布特性が原位置岩盤の力学的性質に大きな影響を及ぼす。また、調査領域には、月吉断層のような大規模不連続面が存在し、調査領域内の岩体の応力状態に大きな影響を与えていた可能性があると想定された。これらの影響因子を考慮しつつ、限られた試錐孔の調査によって、調査領域の岩盤のモデル化を進めるという観点から、本調査においては、AN-1~MIU-3 号孔に至る試錐孔毎に調査結果を分析・整理し、岩盤力学的概念モデルの構築・更新を行うアプローチを採用した。

5. 調査の考え方、調査内容及び調査結果

5. 1 調査の考え方

力学特性調査によって取得すべき情報は、岩盤物性及び応力状態の 2 つである。AN-1 号孔及び MIU-1 号孔における調査は、正馬様用地における試錐孔を用いた深度 1000m までの最初の調査であったため、地表～深度 1000m までの範囲の岩盤物性及び応力状態の情報を網羅的に取得する観点から、室内物性試験を約 100m ピッチで、初期応力測定を 50~100m ピッチで実施することとした。MIU-2 号孔の調査では、室内試験のサンプリング位置及び初期応力測定深度は、AN-1 号孔及び MIU-1 号孔における調査結果の評価に基づき構築した岩盤力学的概念モデルの妥当性の検討及び月吉断層下盤の岩体の力学特性の把握を念頭において設定した。MIU-3 号孔では、MIU-2 号孔までの調査により構築した月吉断層上盤側岩体の概念モデルの妥当性を検討することと、断層下盤側の岩体の力学特性を把握することの 2 つを主眼として調査を実施した。

5. 2 調査内容

室内物性試験は、岩石コアを用いて実施した。試験項目は、物理物性については、見かけ比重、有効空隙率、自然含水比、弾性波速度(P,S 波)等である。力学物性に関しては、静弾性係数(E_{50})、静ポアソン比、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、粘着力、内部摩擦角である。その他、岩石の熱特性試験や帶磁率測定も実施した。すべての試験は、ISRM 指針あるいは JIS 規格に準じて実施した。初期応力は、水圧破碎法により水平面内の主応力値及び方向を、岩石コアを用いて AE 法により鉛直方向の応力成分を測定することとした。水圧破碎法を採用した理由は、地表～地下 1000m 地点までの応力状態を計測する手法が同手法以外にないことと、既存の研究事例 (Yin ,J. · Cornet, 1995 ; Brudy · Zoback, 1993) から鉛直方向が主応力方向の一つとみなせる可能性があるためである。AE 法による鉛直応力の測定は、地表～深度 1000m までの範囲の鉛直応力分布と、一般に行われる単位体積重量から推定される土被り圧との関係を確認するために実施した。なお、AE 法による鉛直応力測定では、カイザー効果の時間依存性 (小島・松木, 1994) を考慮し、コア採取後 5 日以内に試験を完了するようにした。

MIU-2 号孔における物性試験の数量は、MIU-1 号孔の調査と同様 100m ピッチとした。これは、AN-1 号孔と MIU-1 号孔の割れ目数や物性値の深度方向の分布傾向が異なっており、両孔間の原位置岩盤の力学特性の分布が南北方向に連続しない可能性があつたためである。試験項目及び方法は、AN-1 号孔及び MIU-1 号孔の測定結果との比較の観点から、両孔における調査と同一である。また、MIU-2 号孔は、月吉断層と交差することが想定されていたため、初期応力測定についても断層上盤側と下盤側の両方で実施することを計画していた。しかし、MIU-2 号孔の断層下盤側の領域は既存割れ目が非常に多く、水圧破碎法によって有意な測定結果を得られると判断される測定ポイントを設定できなかつたため、ここでは実施していない。MIU-3 号孔における調査手法及び調査項目についても、上述した試験結果との比較の観点から同一としている。しかし、月吉断層上盤側の岩体については、AN-1～MIU-2 号孔の調査までである程度の情報が得られていたことと、他の調査（水理、地球化学）との関係からそれまでの調査に比べ数量を減じた。

5. 3 調査結果

図-2 に AN-1 号孔及び MIU-1 号孔で実施した室内物性試験結果を示す。同図より、地質学的には土岐花崗岩という単一の花崗岩においても、AN-1 号孔及び MIU-1 号孔とも得られた岩石物性が深度方向に一様でないことがわかる。図-3 の AN-1 号孔で実施した水圧破碎法による初期応力測定結果では、地表～地下 1000m までの応力値の分布は、必ずしも深度とともに線形的に増加しておらず、深度 300m と 700m 程度の地点で最小値をとり不連続的に変化している。水平面内の最大主応力方向については、深度 300m 程度まではほぼ NS 方向であるが、それ以深では NW-SE 方向に変化している。NW-SE 方向は、正馬様用地を含む領域で三角測量により求められている広域的な最大圧縮ひずみの方向にほぼ一致する。MIU-1 号孔のコアで実施した AE 法による鉛直応力測定では、実施した 10 点の測定結果のうち、3 点では局所的に応力値が推定土被り圧に比べ小さい部分があるが、残り 7 点はほぼ土被り圧に等しい。

図-4 に MIU-2 号孔における室内物性試験結果を示す。前述の結果と同様物性値の深度方向の分布は一様ではない。図-5 は、MIU-2 号孔における水圧破碎法による初期応力測定結果を示したものである。応力値の深度分布は、AN-1 号孔と同様深度方向に不連続的な変化を示している。特に主応力方向の深度方向の変化については、AN-1 と異なり、地表～深度 400m、深度 400～700m の領域では N-S→NW-SE 方向に回転するような傾向を示す。AE 法による応力測定結果では、断層上盤側では鉛直応力成分がほぼ推定土被り圧に等しいが、下盤側では低くなるような傾向を示す（サイクル機構、2000）。

図-6 は、MIU-3 号孔における物性試験結果である。試験点数は少ないものの、これまでの AN-1, MIU-1 及び MIU-2 号孔における結果と同様に、深度方向に物性値の分布は一様ではない。水圧破碎法による初期応力測定結果では、応力値については深度 500m 程度まではほぼ線形的に増加し 500m 以深では応力値が小さくなる（図-7）。特に、断層下盤側で測定された値は、上盤側のそれにくらべ著しく小さい。最大主応力方向については、深度 136m 地点は EW 方向に最大主応力方向があるが、それ以深はほぼ NNW-SSE 方向を中心として主応力方向が分布している。ただし、定方位コアを用いたコア周方向の

弾性波速度測定から求めた最小の P 波速度の方位は、図-5 の最大主応力の方位変化と類似している。岩石コアを用いた応力測定手法(DSCA 法等)の仮定が成立し、岩石コア採取時に主応力値に比例してそれに直交する方向のマイクロクラックが発達するすれば、MIU-3 号孔でも MIU-2 号孔と同様の主応力方向の回転が生じている可能性は考えられる。AE 法の測定結果では、断層近傍における鉛直応力の変化は複雑であるとともに、断層下盤側の深度 900m 以深では、推定土被り圧よりも鉛直応力が小さくなっている。

6. 考察及び概念モデル

6. 1 月吉断層上盤側岩体の岩盤力学的概念モデル

(1) AN-1 号孔及び MIU-1 号孔の調査結果に基づく概念モデル

図-6 に BTV 観察で得られた AN-1 号孔及び MIU-1 号孔における地表～地下 1000m までの割れ目数の深度分布を 50m 間隔毎に示す。この結果を見ると、深度 300m 程度及び 700m 程度の地点から割れ目数の増減傾向の変化が認められる。また、それぞれの領域内の割れ目の卓越方向分布も異なっている。上記の結果及び 5. に示した室内物性試験結果と対象岩盤が不連続性岩盤であることを考慮すると、原位置岩盤の力学物性もそれぞれの領域で異なる可能性が高いと判断した。また、初期応力測定結果においても割れ目数の変化が生じる地点付近で最大主応力方向の回転や応力値の不連続な変化が認められることから、調査対象領域の土岐花崗岩における岩盤力学的な概念モデルとして、地表～地下 1000m の範囲で 3 つの異なる力学物性や応力状態を有するゾーンで構成されるモデルを考えた。

(2) MIU-2 号孔までの調査結果に基づく概念モデル

MIU-2 号孔においても AN-1, MIU-1 号孔と同様に、深度方向に一様でない物性値分布や応力状態が得られた。特に、主応力方向の変化は複雑であり、これは断層に近付いたことによる影響と考えられる。また、変化点の深度も「6.1(1)」に示した結果と同様に物性と応力状態や主応力方向の変化点がほぼ一致している。図-8 に MIU-2 号孔の BTV 観察より得られた割れ目数の深度分布を示すが、この結果においても、図-7 と同様に深度 400m と 700m の地点で割れ目数が不連続的に変化しており、かつ割れ目数の変化の傾向は MIU-1 号とほぼ同様であった。これらの結果は、MIU-2 号孔地点の断層上盤側岩体の領域も 3 つの異なる力学特性を有するゾーンから構成されることを示しており、先に述べた AN-1 及び MIU-1 号孔の調査結果から想定したモデルと定性的には矛盾しないものと判断した。また、MIU-2 号孔付近の応力状態が複雑であったことから、この結果を説明しうる可能性のあるモデルとして、図-9 に示す調査領域の断層上盤側の岩体モデル（サイクル機構、2000）を構築した。このモデルは、断層上盤側の岩体を構成する 3 つの力学物性の異なるゾーンが、広域的な応力場により月吉断層に押しつけられている変形モードを意味している。

(3) MIU-3 号までの調査結果に基づく概念モデル

図-10にMIU-3号孔における割れ目数の深度変化を示す。図-7,8と同様な傾向が認められるが、MIU-1,MIU-2号孔ほど深度方向に割れ目数の疎密のコントラストがない。特に、MIU-2号孔までは割れ目数が少なかった深度300~700m程度までの領域の割れ目数が増加している。しかし、試験点数は少ないものの、MIU-3号孔における物性値分布も深度300mまでと深度300m~断層部までその変化の傾向が異なっており、その物性値分布の変化点は、MIU-3号孔における割れ目数の疎密が変化する深度とほぼ一致している。MIU-3号孔地点の応力状態も、5.に述べたようにMIU-2号孔と同様複雑な主応力の回転傾向を示している可能性がある。これらの結果は、図-9に示すMIU-2までの調査結果に基づき構築した概念モデルと矛盾しないため、同モデルは月吉断層上盤側岩体の概念モデルとして妥当と判断した。

6. 2 月吉断層下盤側岩体の岩盤力学的概念モデル

断層下盤側岩体に関する情報としてはMIU-2号孔の深度900m以深、MIU-3号孔の深度700m以深で取得されているのみであるため、ここに東濃鉱山にて実施した初期応力測定及び広域地下水流动研究で正馬様用地北側境界より約700mの位置に掘削したDH-9孔における試錐調査結果を加味することとした。図-11にDH-9孔におけるBTV観察(サイクル機構, 1999a)により得られた割れ目数の分布を示す。断層上盤側に比べると、同一の精度で計測しているにも係わらず割れ目数は半分以下に減少している。図-12は東濃鉱山における応力測定結果(サイクル機構, 1999b)を示したものであるが、土岐花崗岩部の測定結果を見ると、月吉断層の上盤側から下盤側に向かうにつれ明らかに応力値が減少する傾向を示す。これは、MIU-3号孔における初期応力測定結果で得られた断層上盤側と下盤側の応力状態の違いと同様の結果である。以上のことから、断層下盤側の岩体の応力値は、少なくとも調査対象領域北側境界付近では上盤側と比べかなり小さくなっている可能性が高い。岩石物性については、MIU-2,3号孔及び東濃鉱山の室内試験結果から、ほぼ上盤側と同程度であることが推定されるが、割れ目数が少ないため、原位置岩盤の力学物性は上盤側よりも高いことが想定される。これらの結果から現段階で想定される月吉断層下盤側岩体の力学的概念モデルを図-12に示す。

7. まとめ

6.の検討から、構築した月吉断層上盤側の岩盤力学的概念モデルは、調査領域である正馬様用地の土岐花崗岩体の概略的な岩盤力学的特性を表現しており、本調査で採用した繰り返しアプローチは、少ない試錐孔数の調査で断層のような大規模不連続面を含む結晶質岩体をモデル化する上で有効であると考える。また、MIU-3号孔における調査結果、東濃鉱山における応力測定結果、及びDH-9号孔における調査結果に基づき、月吉断層下盤側の岩盤力学的概念モデルを構築するとともに、正馬様用地における月吉断層上盤側・下盤側の土岐花崗岩体を対象とした岩盤力学的概念モデルを示した(図-14)。

8. 今後の予定

MIU-4 号孔における力学特性調査により、月吉断層及びそれに付随する割れ目帯の力学特性を把握するとともに、上記概念モデルをベースとした数値解析を実施し、同モデルの妥当性を検証する。さらに、不連続面の力学特性をジョイントせん断試験により評価し、割れ目の影響を考慮した原位置岩盤物性の評価を行い、上記概念モデルの定量化を図る。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(1996): 超深地層研究所地層科学研究基本計画,PNC TN7070 96-002
- 2) Yin,J., Cornet, F.H.(1995):Integrating hydraulic data and focal plane solution for regional stress determination, Proc. International Workshop on Rock Stress Measurement at Great Depth , pp13-18.
- 3) Brudy,M., Zoback,M.D.(1993):Compressive and tensile failure of boreholes arbitrarily-Induced to principal stress axis: application to the KTB borehole, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., pp.1035-1038.
- 4) 小島隆、松木浩二(1994):低応力レベルにおける岩石のカイザー効果に関する基礎的研究,資源と素材 Vol.110 pp.435-440.
- 5) 核燃料サイクル開発機構(2000):MIU-2 号孔における力学特性調査結果及び月吉断層上盤側岩体の岩盤力学的概念モデル, JNC TN 7420 2000-001.
- 6) 核燃料サイクル開発機構(1999a):広域地下水流动研究における試錐調査（その 2）(DH-9 号孔) , JNC TJ7440 98-002
- 7) 核燃料サイクル開発機構(1999b): 99SE-02 孔における水圧破碎法による初期応力測定, JNC TJ7430 2000-001

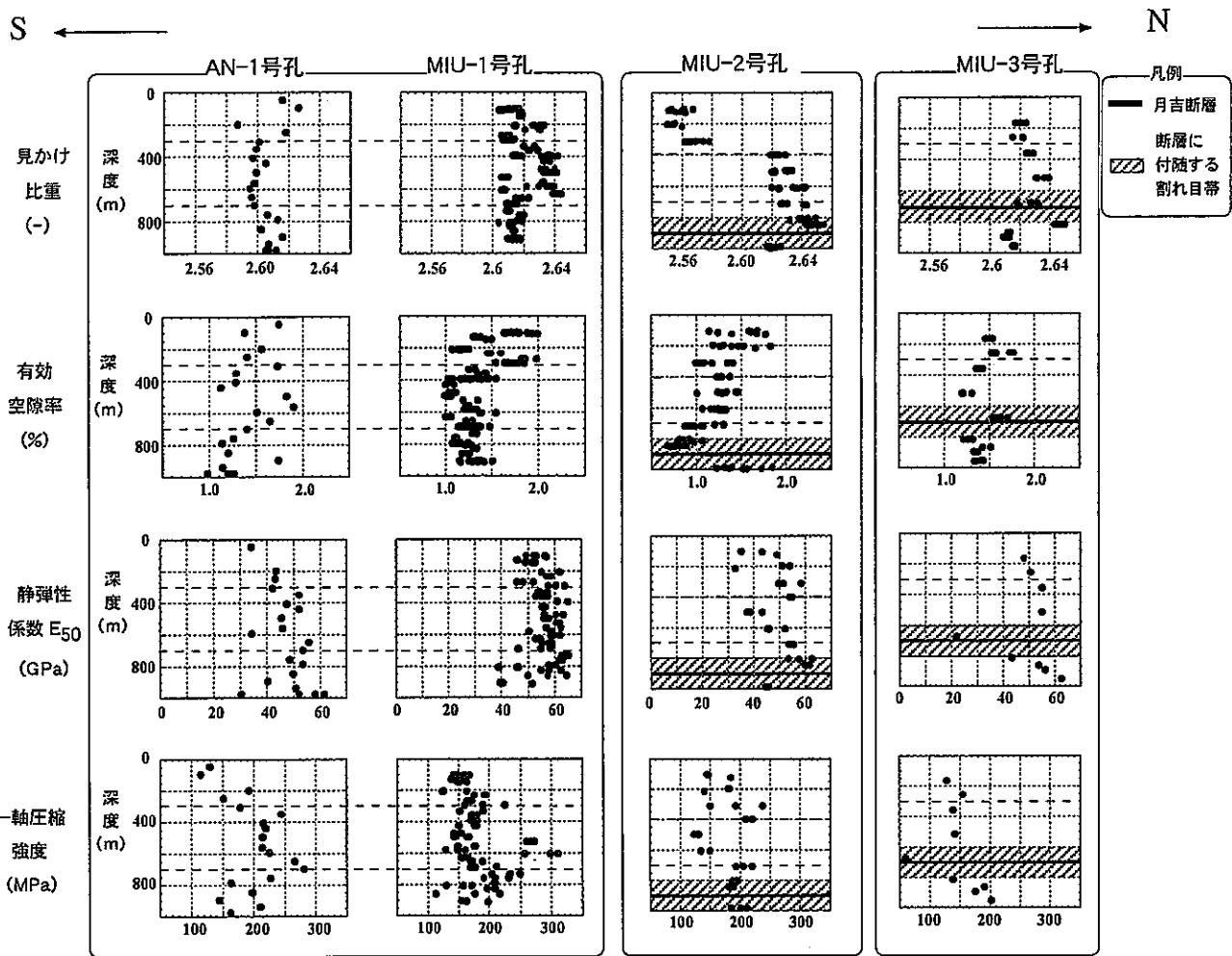


図-2 AN-1号孔及びMIU-1号孔における
室内物性試験結果

図-4 MIU-2号孔における
室内物性試験結果

(MIU-3号孔における
室内物性試験結果)

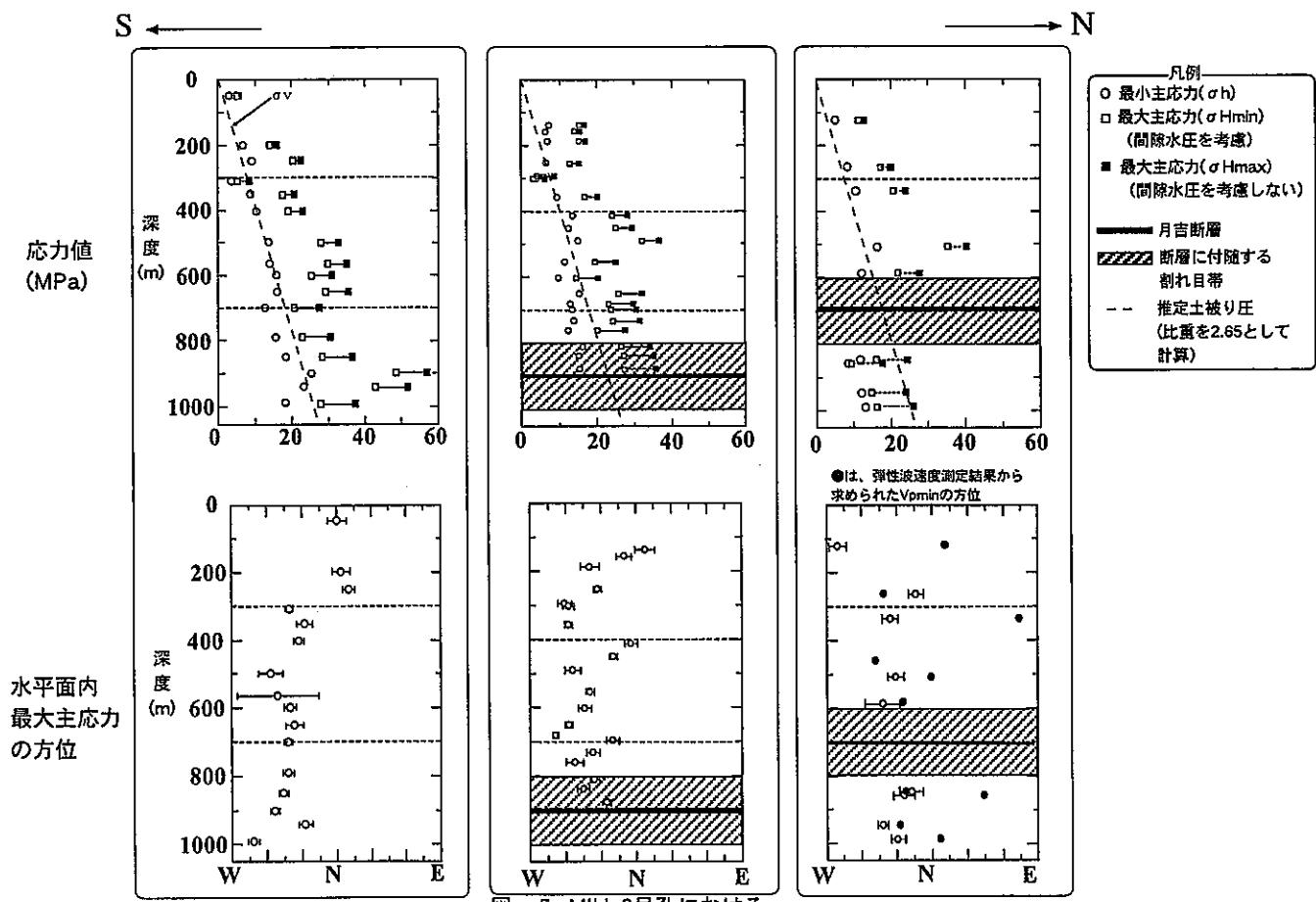


図-3 AN-1号孔における
水圧破碎法による
初期応力測定結果

図-5 MIU-2号孔における
水圧破碎法による
初期応力測定結果

図-6 MIU-3号孔における
水圧破碎法による
初期応力測定結果

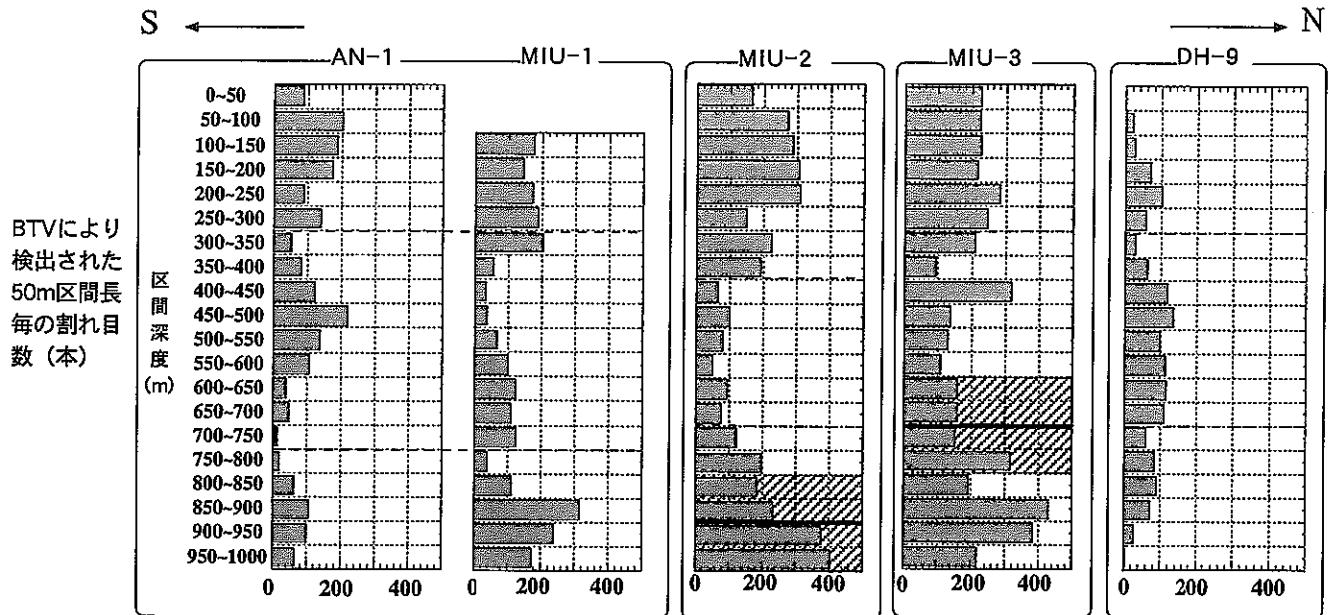


図-7 AN-1号孔及びMIU-1号孔 図-8 MIU-2号孔 図-10 MIU-3号孔 図-11 DH-9号孔

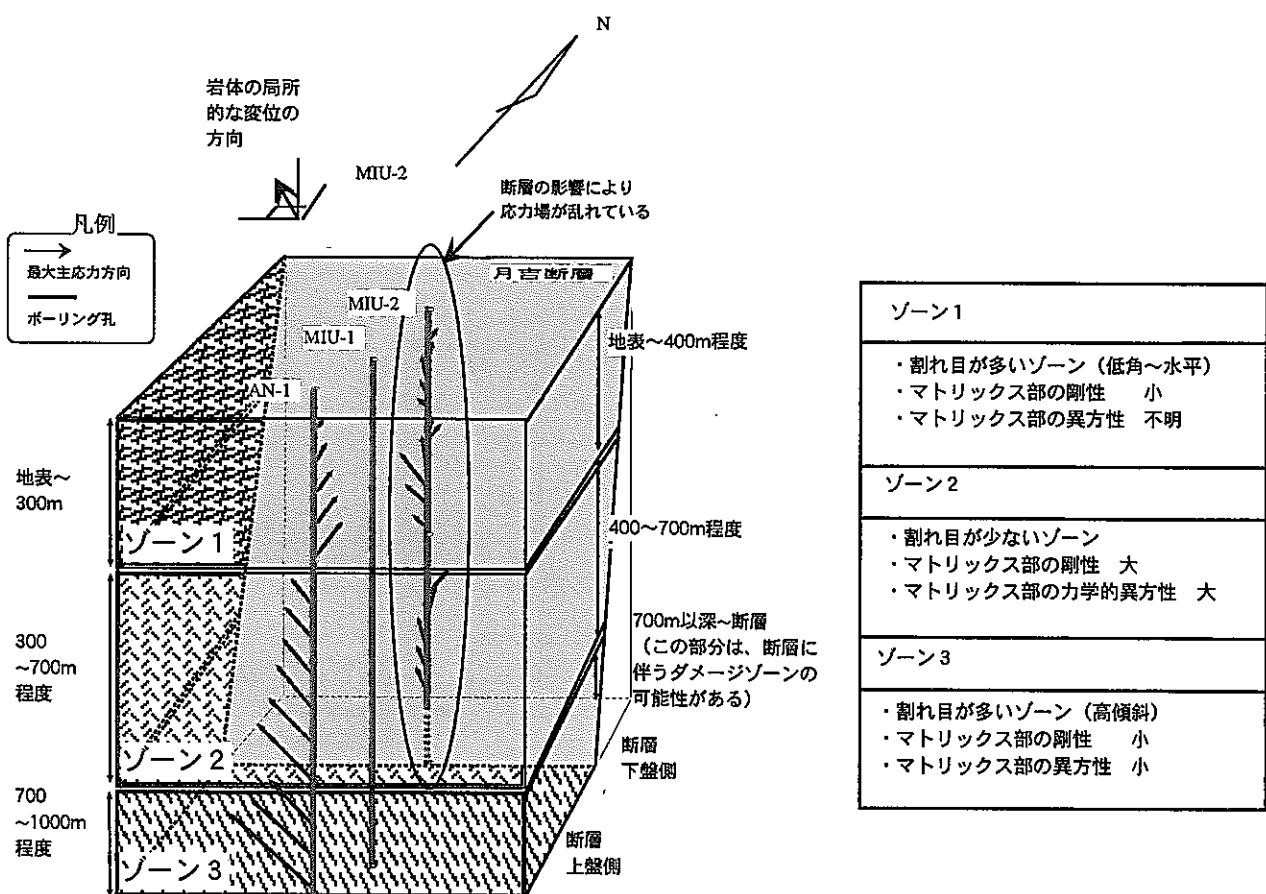


図-9 月吉断層上盤側の岩盤力学的概念モデル

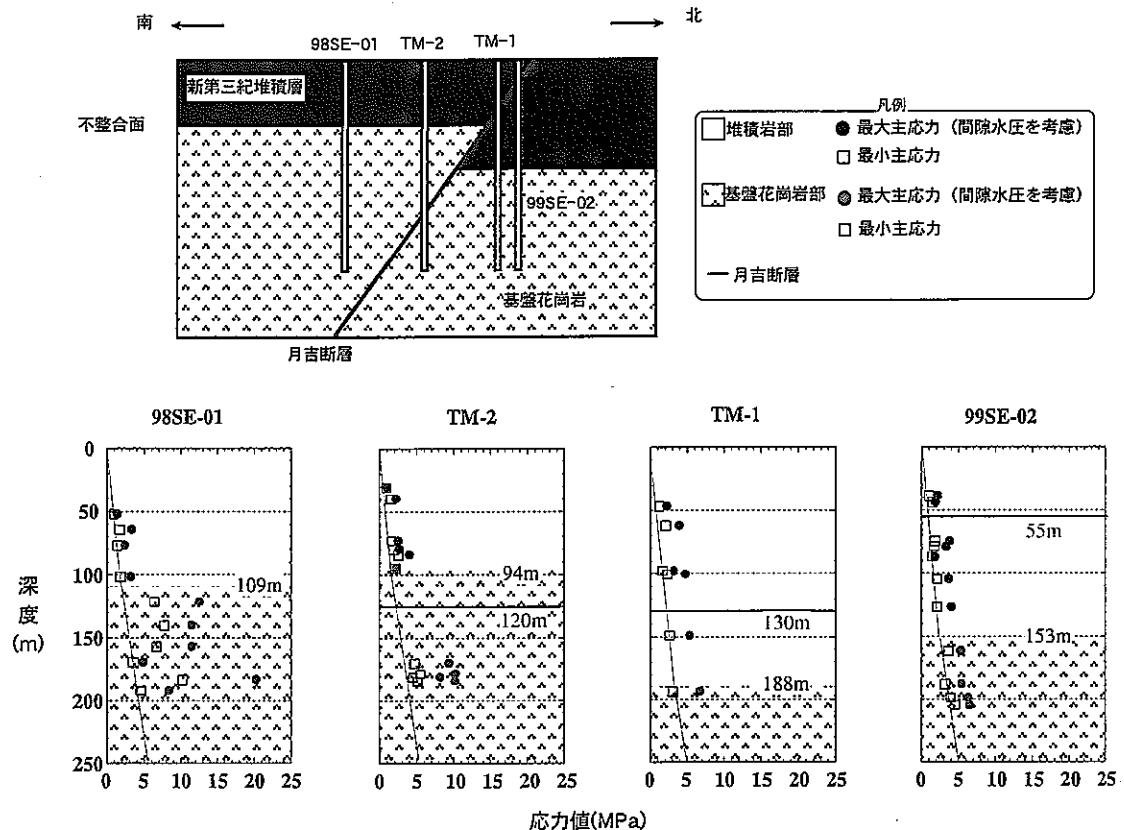


図-1-2 東濃鉱山における水圧破碎法による初期応力測定結果

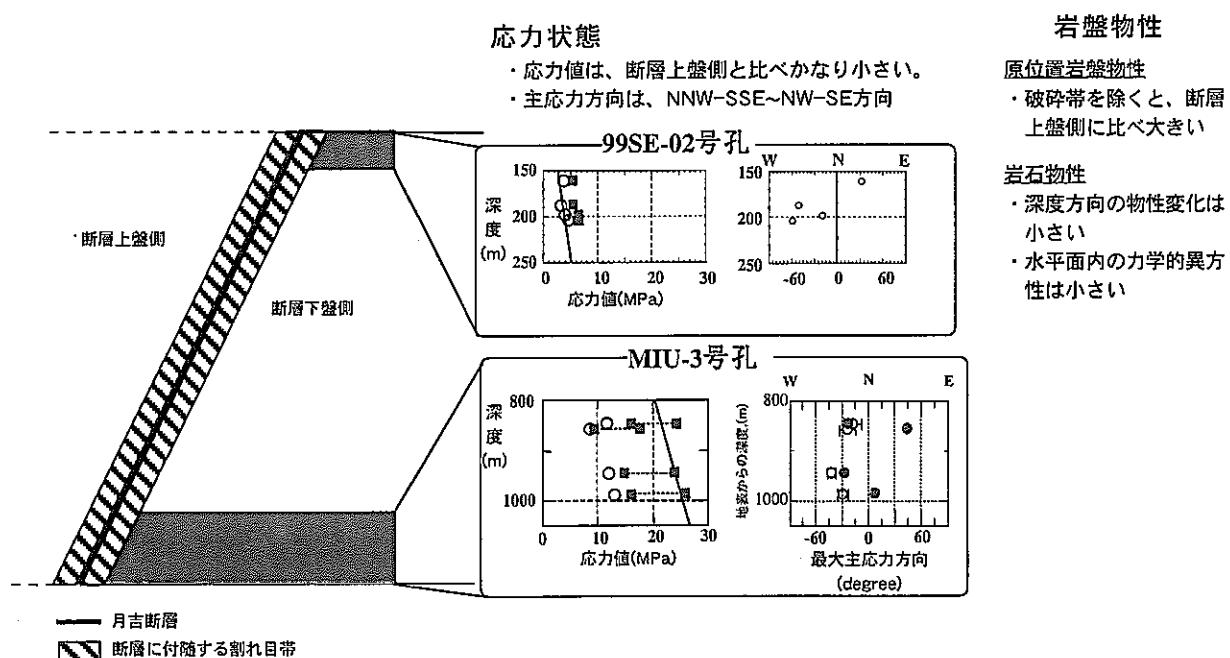
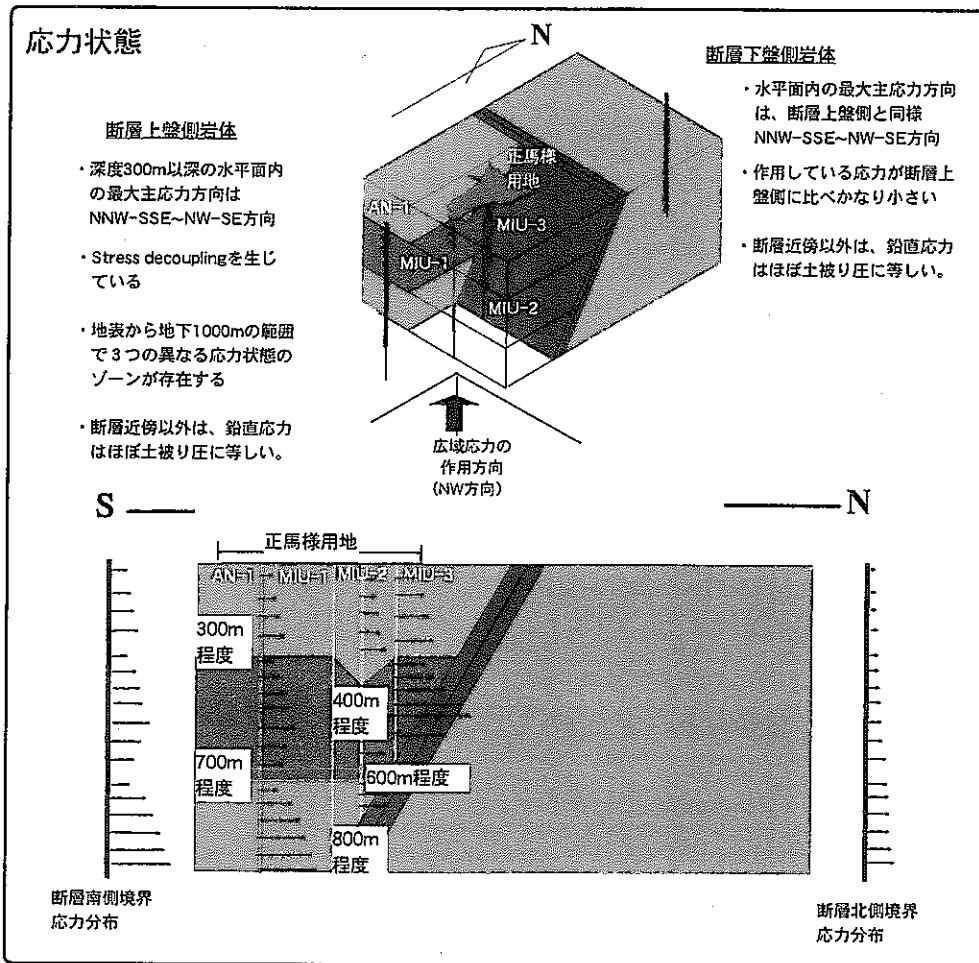


図-1-3 調査対象領域近傍の断層下盤側岩体の概念モデル



岩盤物性

	月吉断層上盤側岩体				月吉断層周辺部
	ゾーン1	ゾーン2	ゾーン3	ゾーン4	断層上盤側割れ目帯 断層下盤側割れ目帯
岩石マトリックス部の力学特性	・剛性 小 ・力学的異方性 不明	・剛性 大 ・力学的異方性 大	・剛性 小 ・力学的異方性 小	・剛性 小 ・力学的異方性 最小	・剛性 最小 ・力学的異方性 不明
割れ目の分布特性	・割れ目が多い ・低角～水平傾斜の割れ目が相対的に卓越	・割れ目が少ないゾーン	・割れ目が多いゾーン ・高傾斜の割れ目が卓越	・上盤側の岩体に比べ、極端に割れ目が少ない	・割れ目数は相対的に多い ・上盤側に比べ、断層下盤側の割れ目帯の方が相対的に割れ目が多い
原位置岩盤の力学特性	・剛性 ゾーン2に比べ小さい ・局所的な変化が大きい	・剛性 最も大きい ・局所的な変化は小さい	・剛性 ゾーン2に比べ小さい ・局所的な変化は大きい	・剛性 上盤側岩体とほぼ同等 ・割れ目密集部や断層破碎部以外の領域では、局所的な変化は最小	・剛性 最小値で他の領域の60%程度

図-14 調査対象領域の土岐花崗岩体の岩盤力学的概念モデル

「広域地下水流動研究と超深地層研究所計画の 今後の計画」

杉原 弘造

1. はじめに

広域地下水流動研究および超深地層研究所計画は、東濃地科学センターが行っている地層科学研究の主要プロジェクトである。一方、地層処分計画は以下のように進められることになっていることから、適切な時期に必要な研究成果が求められるものと考えられる。

地層処分に関する法律では、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、および最終処分施設建設地の選定の3段階で、処分地が選定されることが示されている。また、それぞれの段階での調査として、文献調査、概要調査、および精密調査を実施することが示されている。一方、「高レベル放射性廃棄物の処分に係わる安全規制の基本的考え方について（第1次報告）（案）（原子力安全委員会、平成12年10月）」では、精密調査地区選定開始時期までに安全審査基本指針を、安全審査開始前までに安全審査指針を、さらに最終処分施設建設地選定がなされるまでに処分場の技術基準を、それぞれ策定することが示されている（図-1）。

2. 研究成果の反映

2. 1 広域地下水流動研究

広域地下水流動研究は、広領域（地下水流動に関する涵養域から流出域を含む数km四方以上の領域）における地表から地下深部までの地質・地質構造、地下水の水理や水質などを明らかにするために必要な、調査・解析技術ならびに調査・解析結果の妥当性を評価するための技術の開発を目的とする。東濃鉱山周辺での涵養域から流出域への一連の地下水の流れを30km四方の地下水流動解析によって推定し、その領域を包含した10km四方を、この研究の実施領域としている。この領域に分布する花崗岩を例とした研究成果からは、主に概要調査に必要な情報を提供できるものと考えられる。

2. 2 超深地層研究所計画

超深地層研究所計画は、サイクル機構が所有する広さ14haの正馬様洞用地において、地質環境の総合的な調査技術を開発すること、深部の地質環境に関する情報を取得すること、および深地層における工学的技術の基礎を開発することを目的として実施されている。研究の進め方として、研究坑道の建設前から研究坑道の完成後までを、第1段階：地表からの調査予測研究段階、第2段階：坑道の掘削を伴う研究段階、第3段階：坑道を利用した研究段階の3段階に区分している。

第1段階では地表からの調査技術を適用し、研究実施領域の地質環境ならびに研究坑道

の建設に伴う地質環境の変化を予測する。その予測結果を、第2段階の研究坑道建設時の調査や計測により取得される実測データと比較することにより、地表からの調査技術・評価技術の有効性を確認する。第3段階では、坑道を利用した調査技術の有効性を確認する。この領域に分布する花崗岩を例とした研究成果からは、概要調査および精密調査に必要な情報を提供できるものと考えられる。また、第2次取りまとめに示された技術によって地層処分が安全に行われることを、できるだけ早い時期に国民各層に示し、地層処分に関する理解を得て行くために、2008年には研究坑道を一般に公開する計画である。

3. 今後の研究計画

概要調査および精密調査に反映される調査技術とは、具体的には、空中および地上物理探査、ボーリング調査、地下水や力学の試験、地質環境のモデル化、地質環境の変化の予測解析、モデルの妥当性の確認などに用いる調査技術と、これらの実施手順などを示した調査・評価フローである。その中には、モデル化すべき構造の抽出やモデル化に必要なデータ項目の選択、特性の空間分布の推定の方法などが含まれる。また、坑道を利用する調査技術には、地表からの調査が対象とするスケールより詳細なスケールで、地質・地質構造などの地質環境特性の分布を把握するための岩盤や地下水の計測の方法や物質移行試験の方法、地下水モデル・物質移行モデル・掘削影響評価モデルの構築などに用いる技術が含まれる。

広域地下水流动研究および超深地層研究所計画では、これまでにデータの取得からモデル化までの作業が概ねひととおり終了している。今後、モデル化の結果をデータ取得にフィードバックし、取得するべきデータの検討、ならびに花崗岩における要素技術の有効性の確認、それら要素技術を組み合わせて一連の調査・評価フローを構築するという調査技術の体系化に向けた作業を行っていく。

3. 1 広域地下水流动研究

これまでに実施してきた調査研究により、地質構造モデル、地下水の地球化学モデルが構築された。地下水の水理に関しても、岩盤部分や水みちにおいて透水係数および間隙水圧を測定している。

今後の調査研究のスケジュールを図-2に示す。現在掘削中の2本の試錐調査によるデータの取得と、それらを含めたデータに基づく地質環境モデルの構築および更新、さらに水理地質構造モデルを用いた地下水流动解析を実施する。また、既存文献で確認されている断層およびリモートセンシング調査などによって推定された断層に対して露頭調査などを行い、領域の広さに応じた、大規模な地質構造（断層など）の把握の方法を検討する。

これらの調査研究成果を基に、地質環境特性毎に構築した地質環境モデル間で相互的な解釈を行い、整合性のとれた総合的な地質環境の理解をした上で、各地質環境モデルを見直す。さらに、超深地層研究所計画で実施した調査の実績も含め、地表からの調査技術・解析手法について、調査の種類や量と、地質環境に関する総合的な理解度の関係を評価し、要素技術の組み合わせによる一連の調査・評価フローを構築する。

3. 2 超深地層研究所計画

(1) 第1段階の調査研究

これまでに実施してきた調査研究により、地質構造モデル、水理地質構造モデルが構築された。また、深度300m付近に酸化還元境界があることが推定され、さらに岩盤の諸物性が深度方向に大きく三つの区間で異なる傾向や鉛直方向の初期地圧が土被りに比例する傾向を確認した。

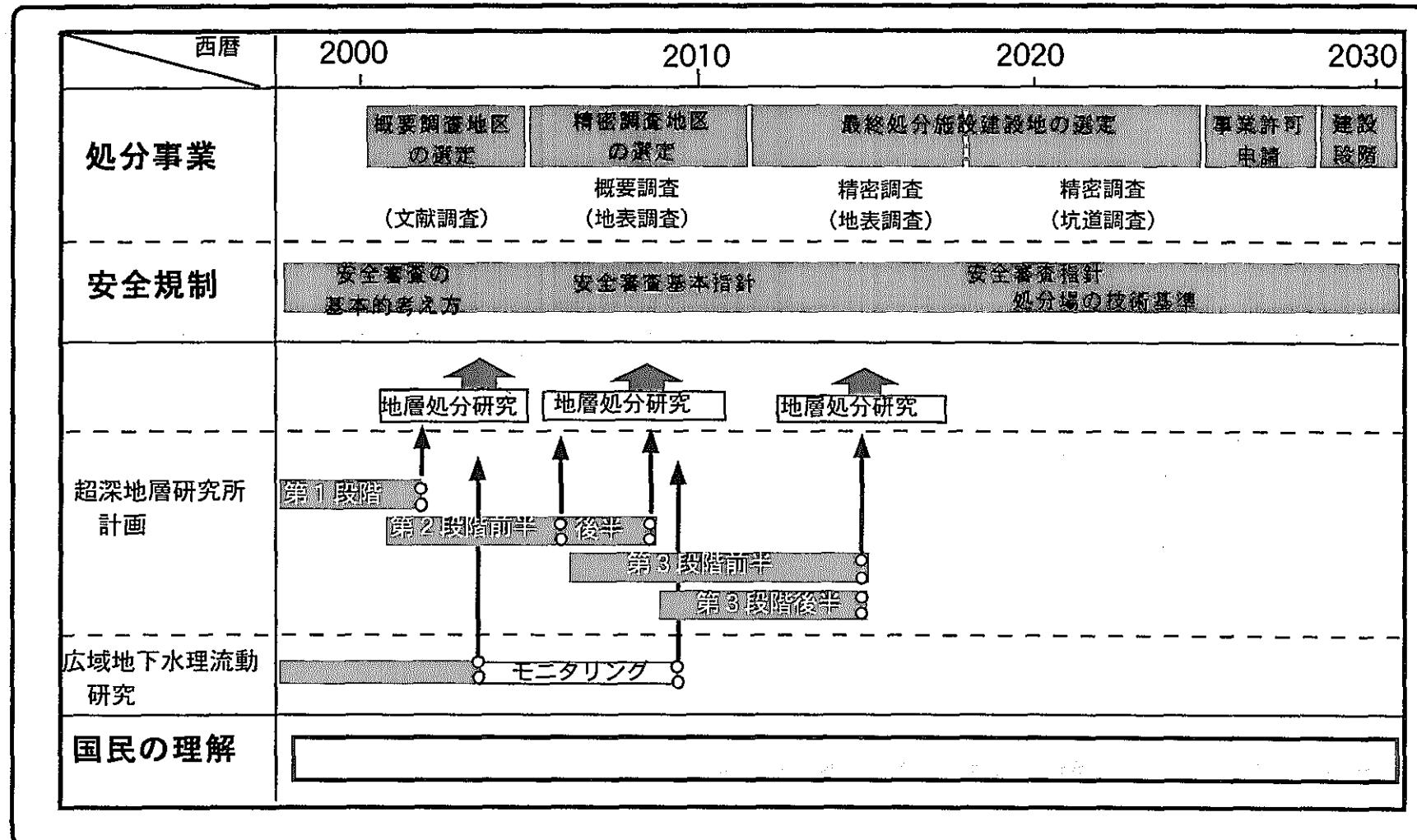
今後の第1段階の調査研究のスケジュールを図-3に示す。既存調査が実施されていない研究実施領域の北東部のデータを取得するため、ならびに高角な地質構造を確認するため、北東部に向けた傾斜試錐孔 MIU-4号孔の調査を行っている。次いで、立坑掘削のための予備的な試験として MIU-2号孔を揚水孔とした長期揚水試験を実施するとともに、深度1,000m以深のデータを取得するための MIU-5号孔の試錐調査を検討する。これらの調査データの増加に伴い、地質環境モデルを更新していく。更新を経て信頼性が確認された地質環境モデルを用いて、第2段階で掘削する研究坑道の掘削影響の予測解析を行い、同時に第2段階での予測結果の検証方法を策定する。

また、これまでに研究坑道で実施される試験・研究の構成、必要な岩盤の広さなどを整理し、研究坑道のレイアウトを検討している。今後は、坑道の各部位や各設備の詳細設計を行う。さらに、試験や掘削の展開手順の考え方を整理し、施工計画を策定する。

(2) 第2段階以降の調査研究

研究実施領域では、割れ目頻度の少ない岩盤(400~700m)と月吉断層の影響によって割れ目頻度の多い岩盤(800m以深)の2種類の岩盤が分布している。地質学的・水理学的・岩盤力学的特性が異なるこれらの岩盤に研究の場を確保するため、図-4に示す通り、最深部である深度1,000m程度で展開する水平坑道(最深ステージ)の他に、深度500m程度において水平坑道(中間ステージ)を展開する。さらに構内環境維持のための換気立坑、月吉断層を避けて最深ステージに到達するためのスパイラル坑道を展開する。研究坑道の建設は、深度500m程度までの建設(主立坑上部、中間ステージの水平坑道、換気立坑上部)と、深度500m程度から1,000m程度までの建設(主立坑下部、スパイラル坑道、最深ステージの水平坑道、換気立坑下部)の順に進める。それに伴って研究も前半と後半に分ける。調査研究の繰返しによって調査技術や建設技術の高度化を図ることが可能となる。

各研究期間で実施する調査研究は、表-1、2に示す通り、第1段階の予測結果を検証するデータを取得するための施設スケールの調査と、地質環境特性を詳細に調査するための坑道スケールの調査、また、工学的技術の適用性を評価するための試験などを計画している。



図－1 研究成果の反映

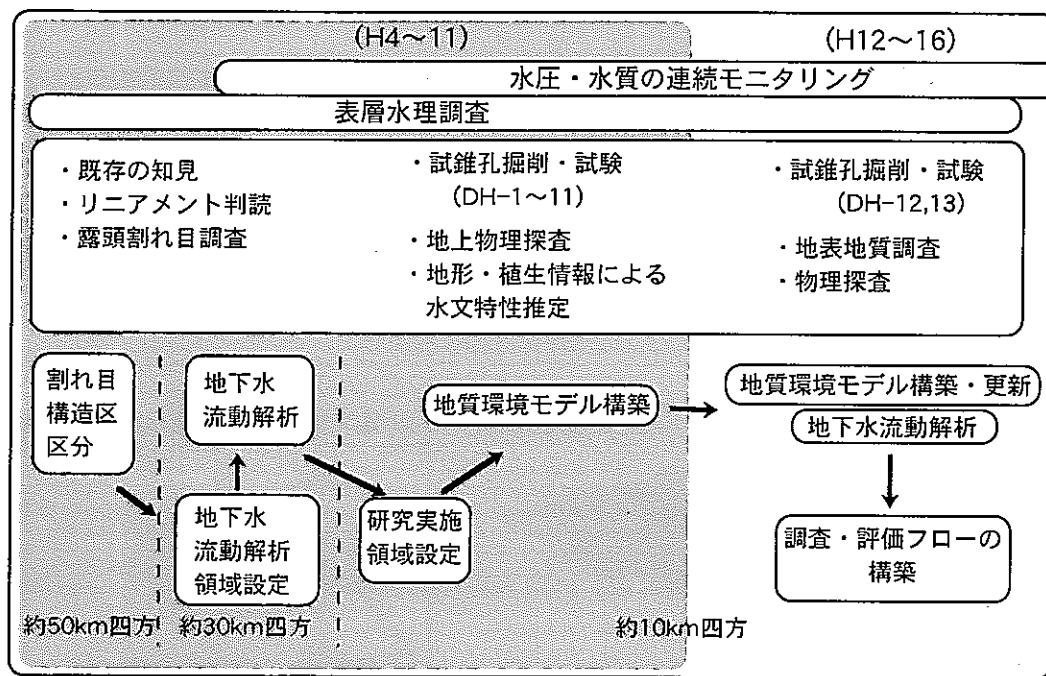


図-2 広域地下水流动研究のスケジュール

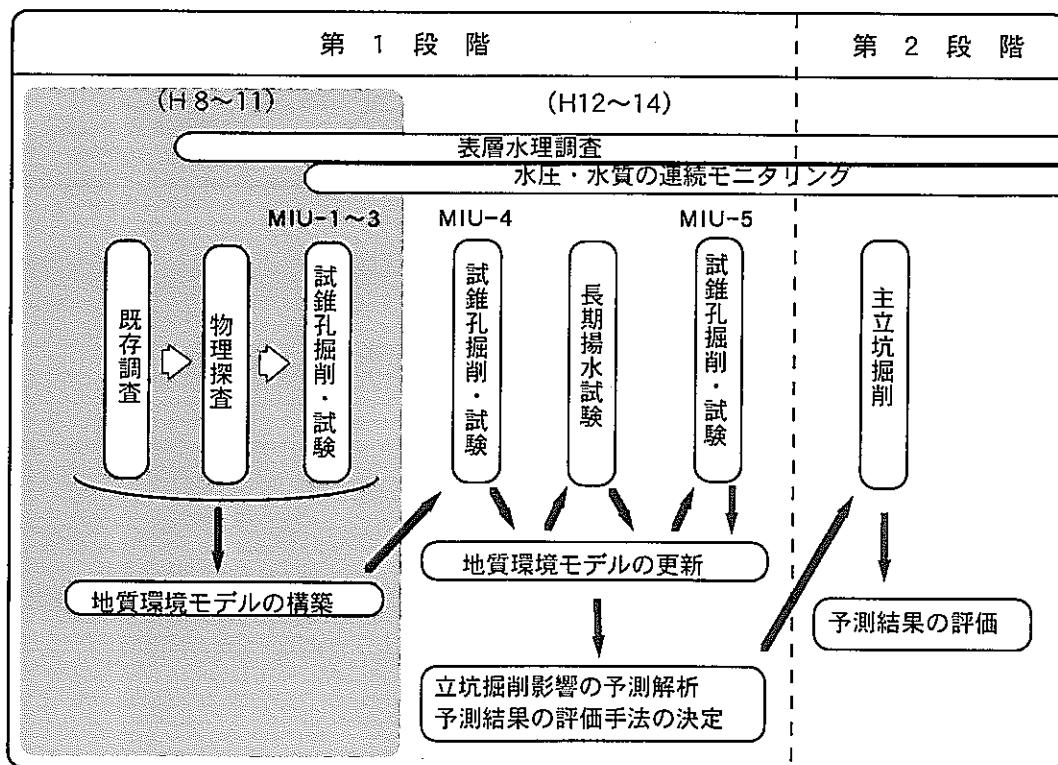


図-3 超深地層研究所計画第1段階の研究のスケジュール

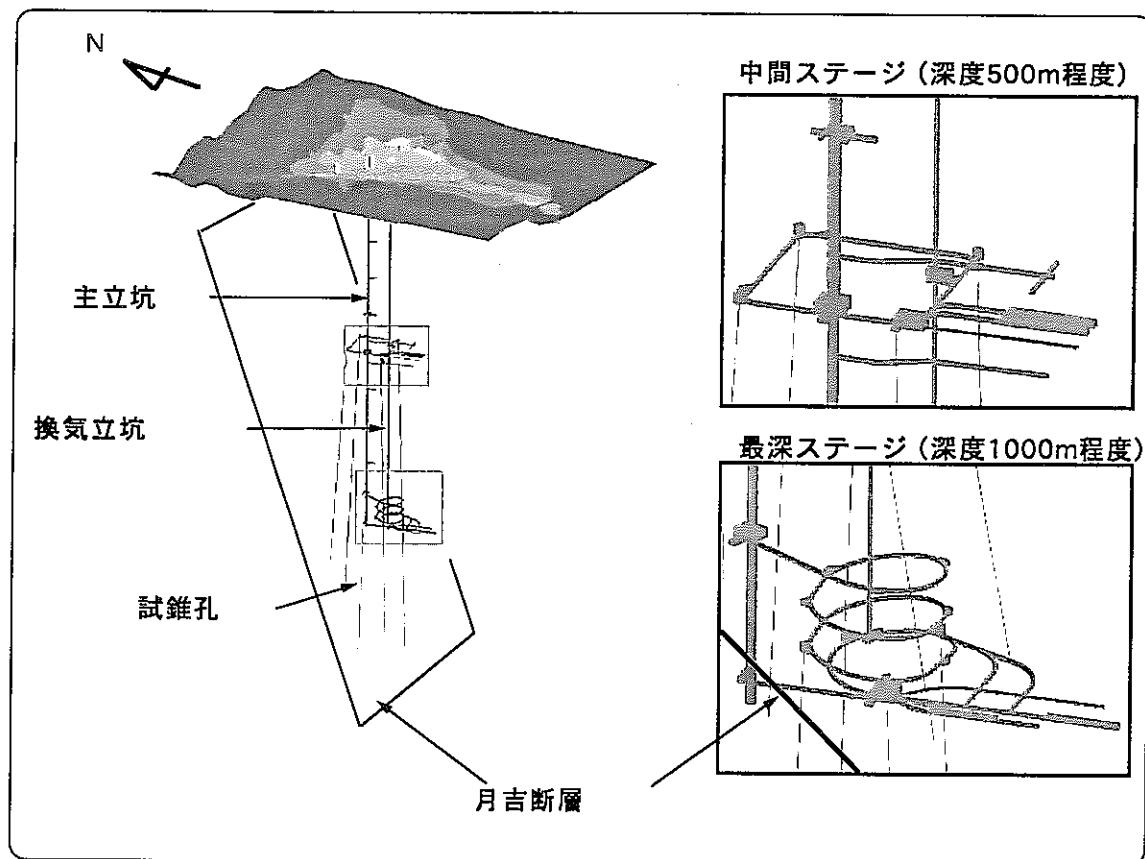


図-4 研究坑道レイアウト

表－1 超深地層研究所計画の第2段階および第3段階の調査実施内容（案）その1

本文の構成		地表から深度500m程度までの研究坑道掘削に伴う調査研究	深度500m程度から1000m程度までの掘削に伴う調査研究
地質環境の調査技術	地質構造	第2段階	第3段階
		坑壁地質調査 坑壁観察、坑壁画像判読	深部領域地質調査 坑内試錐孔（長尺）、物理探査
		坑道前方地質調査 先行試錐孔、BTB調査	坑道前方地質調査 先行試錐孔、BTB調査
		研究試験場地質調査 坑内試錐孔（短尺）、物理探査	研究試験場地質調査 坑内試錐孔（短尺）、物理探査
	地下水の水理	表層水理調査 気象観測、表面流出量調査 浅層試錐孔地下水位測定	(継続)
		深層水理調査 地表試錐孔間隙水圧観測 坑内試錐孔間隙水圧観測 坑内湧水量観測 坑内湧水トレーサー分析	(継続) (継続) (継続)
		代表的水みちの水理特性調査 先行試錐孔、物理探査、水理試験 圧力応答試験（既設試錐孔）	代表的水みちの水理特性調査 先行試錐孔、物理探査、水理試験 圧力応答試験（既設試錐孔）
		岩盤透水性調査 坑道規模透水試験（水平試錐孔） 床盤透水試験 熱応力下透水試験	岩盤透水性調査 坑道規模透水試験（水平試錐孔） 床盤透水試験 熱応力下透水試験
	地下水の地球化学	割れ目透水性調査 単一割れ目透水試験 複数割れ目透水試験	割れ目透水性調査 単一割れ目透水試験 複数割れ目透水試験
		地下水の地球化学調査 地表試錐孔水質観測 坑内試錐孔水質観測 坑内湧水水質観測	(継続・追加) (継続・追加) (継続・追加)
		水-岩石反応調査 岩石試料分析、室内実験	(継続・追加) (継続・追加) (継続・追加)
		代表的水みちの地球化学的性質調査（中間ステージ） 先行試錐孔水質観測	(継続) (継続)
	物質移行	坑壁周辺岩盤の酸化還元状態の調査（中間ステージ） 物理化学パラメータ観測	(継続) (継続)
		坑道周辺岩盤の酸化還元能力調査（中間ステージ） 物理化学パラメータ観測	(継続)
		水理／岩盤力学／地球化学複合現象の調査（中間ステージ）	(継続)
		单一割れ目物質移行調査(mスケール) 割れ目特性調査、原位置透水試験 トレーサー試験、レジン注入試験 破碎帶物質移行試験(10mスケール) 割れ目特性調査、原位置透水試験 トレーサー試験、レジン注入試験	破碎帶物質移行試験(10mスケール) 割れ目特性調査、原位置透水試験 トレーサー試験
	ブロックスケール物質移行調査	室内試験 パッチ吸着試験 カラム（コア）拡散試験	(継続・追加) (継続・追加) (継続・追加)
		ナチュラルアナログ研究 17試料を用いた物質移行試験 岩芯を用いたウラン系列核種やREEの移行・遅延現象の把握	(継続・追加) (継続・追加)

表-2 超深地層研究所計画の第2段階および第3段階の調査実施内容 (案) その2

本文の構成			地表から深度500m程度までの研究坑道掘削に伴う調査研究		深度500m程度から1000m程度までの掘削に伴う調査研究	
			第2段階	第3段階	第2段階	第3段階
地質環境の調査技術	岩盤力学	施設スケール岩盤力学調査	岩盤物性・応力調査（予備ステージ） 初期応力測定、坑内載荷試験 速度検層、室内物性試験	（継続・追加）	（継続・追加）	（継続・追加）
		坑道スケール岩盤力学調査	主立坑岩盤変位調査 岩盤内変位計測		主立坑岩盤変位調査 岩盤内変位計測	
			換気立坑岩盤変形挙動調査 岩盤内変位計測	（継続・追加）	換気立坑岩盤変形挙動調査 岩盤内変位計測	
			ジョイント変位計測、ひずみ計測		ジョイント変位計測、ひずみ計測	
			主立坑掘削影響調査 AE計測、発破振動計測、PS検層		主立坑掘削影響調査 AE計測、発破振動計測、PS検層	
	大深度地質環境下における工学的技術の基礎開発	研究坑道の設計・施工計画構築技術の開発	水平坑道掘削影響調査（中間ステージ） 屈折法弹性波探査、孔内載荷試験 断面形状計測、割れ目分布観察 弹性波トモグラフィー 長期観測（変位計測、AE計測）		坑道の長期安定性調査（中間ステージ） 屈折法弹性波探査、孔内載荷試験 断面形状計測、割れ目分布観察 弹性波トモグラフィー 長期観測（変位計測、AE計測）	
		研究坑道の建設技術の研究、および施工対策技術の開発	換気立坑掘削影響調査/破壊挙動 断面形状計測、AE計測		水平坑道掘削影響調査/破壊挙動（最深点） 屈折法弹性波探査、孔内載荷試験 断面形状計測、割れ目分布観察 変位計測、AE計測	
		安全性を確保する技術の開発				
		長期の維持補修技術の適用性の確認 管理体系の構築 坑内環境保全システムの適用性の確認				
		掘削影響の修復・軽減技術の開発	掘削影響修復技術（グラウト後の岩盤挙動研究） 坑道修復技術（埋め戻し後の岩盤挙動研究） 熱-水-応力挙動の研究			
工学的技術の基礎開発	工の処学基分的盤技術と技術な開のる発	人工材料の岩盤への長期影響評価試験	セメント系材料の岩盤への影響試験 ペントナイト系材料の岩盤への影響試験 ペントナイト-地下水相互作用調査			

「地質環境の長期安定性に関する研究

の今後の展開」

中司 昇

1. はじめに

鳥取県西部地震（本年 10 月 6 日）は地表に活断層が認定されていない場所で発生したとして、地震発生予測は不可能であるかの論調が一部マスコミにおいて展開された。しかしながら、本震源域では過去に地震活動が頻発しており、地形や地質構造にも何らかの特徴が示唆されている。このため、鳥取県西部地震のように地表に活断層が記載されていない地域においても、地表に現れる地形学的特徴、地震の分布、地下構造等の情報を総合的に解析し、地下における活動の有無を検討することが重要となる。

このように、地質環境の長期安定性の評価をより確かなものとするためには、地形・地質学的手法に地球物理学的手法や測地（観測）学的手法を加えた総合的な評価手法を整備していくことが有用と考えられる。

2. 背景・概要

地層処分研究開発の第 2 次とりまとめ以降の研究課題として、概要調査地区ならびに精密調査地区の選定や安全評価に必要な地質環境の長期安定性に関する調査・評価手法の信頼性の向上があげられている。

これらの課題を達成するには、わが国における地質環境の長期安定性の要件を明確にし、天然事象が地質環境へ与える影響を評価するための手法を確立すること、広域的及び局所的なテクトニクスを考慮した環境変動モデルを構築し、地質環境の将来変化を予測する技術を確立することが必要である。

まず第一段階として、第 2 次とりまとめで提示した地質環境の長期安定性に関する知見の信頼性を高めるために、関連するデータベースを整備するとともに、天然事象が地質環境へ与える影響を把握する手法の開発を目的として、事例研究を実施する。次の段階では、これらの成果をもとに、「安全審査基本指針」の整備を踏まえ、長期安定性評価手法の整備を行う。研究の実施に際しては、引き続き国内外の研究関係機関の協力を得ながら進めていく。

3. 研究開発項目

（1）地質環境総合解析データベースの整備

第 2 次取りまとめにおいて構築した天然事象・地質環境データベースを拡充し、地球物理学データや測地学的データを統合化した地質環境の長期安定性に関連する総合解析データベースを整備する。また、過去の地形変化、断層活動や熱水活動等の地質環境変化に関する情報を収集し、データベース化を行う。

(2) 天然現象の地質環境への影響評価に関する手法の開発

天然事象が地質環境へ与える影響について、過去の現象の規則性から将来を予測する地質学的な評価手法に加え、地球物理学的手法及び測地学的手法を踏まえた総合的な評価手法の整備を行う。本研究においては、火山活動や地震・断層運動等の天然事象別に調査技術（手法）の確立を目指すこととし、隆起・沈降や海面変動による地下水への影響調査手法、断層活動による周辺岩盤及び地下水への影響調査手法、火山・地熱活動による地球化学・熱的影響調査手法の開発のための事例研究を行う。

(3) 地質環境の長期安定性評価手法の整備

過去から現在までの地質環境の長期変化の解析・評価を目的とした長期安定性評価手法を整備するため、上記②で開発した個別要素技術を活用し、環境変動モデルを構築する。このため、古環境解析技術の整備および地殻変動モニタリングを行いつつ、地質環境の変化を評価するモデルの構築を実施する。モデルの構築に関しては、最新の知見をもとに、既存の地殻変動モデル等の適用性及び問題点を整理する。

①古環境解析技術

モデル地域を対象に、古地形、地下地質構造、隆起速度分布、侵食速度分布、断層変位速度分布、古応力場、古気候などを把握するための調査を行い、過去 100 万年～600 万年間程度の地形・地質構造発達史及び三次元地下構造を明らかにする。

②地殻変動モニタリング

モデル地域を対象に、主要構造線に囲まれた領域（ブロック）における地殻変動（GPSによる水平変動の検出、SAR データの解析による垂直変動の検出、ボアホール総合観測装置による地下深部の変動観測）の現在の活動性（向き、速度、広がり、異方性など）を把握する。

③環境変動モデルの構築

地殻構造、地形・地質構造発達史等の解析結果に基づいて、地質環境の長期変化を解析・予測するための統合的な環境変動モデルを構築し、将来変化予測を行う。予測結果は地殻変動モニタリングの結果および最新の地球科学データを踏まえ、その妥当性を検討する。

地質環境の長期安定性評価に関する研究

地質環境の長期安定性
評価手法の整備

地殻変動モニタリング

古環境解析技術
(地形・地質構造発達史の解明)
(三次元地下構造の解明)

環境変動モデルの構築

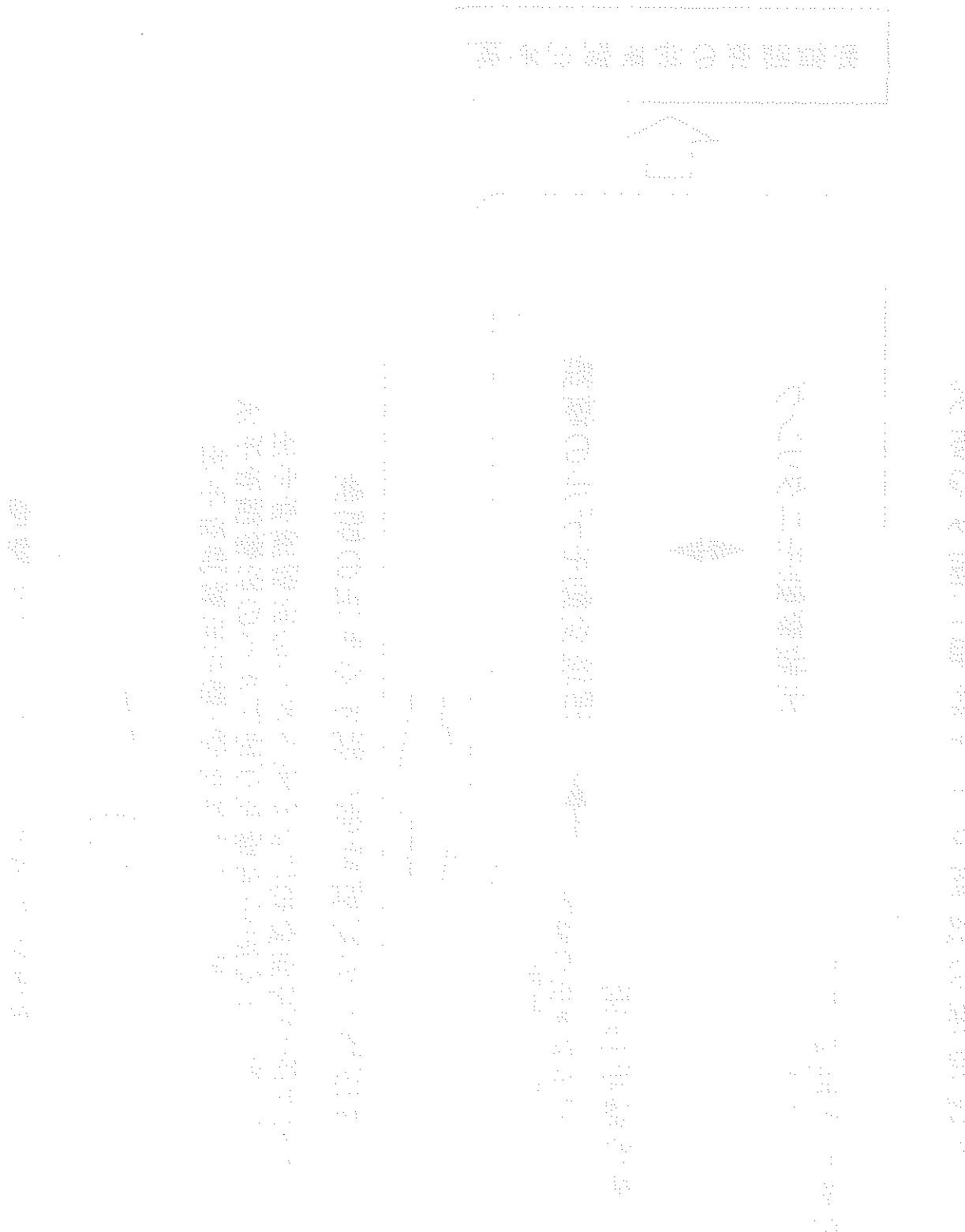
地質環境の将来変化予測

55

天然事象の地質環境への影響評価に関する手法の開発

- ・隆起沈降や海面変動による地下水への影響調査手法
- ・断層活動による周辺岩盤及び地下水への影響調査手法
- ・火山や地熱活動による地球化学・熱的影響調査手法

地質環境総合解析データベースの整備



「長期安定性評価のための 「地質環境データベース」の構築」

石丸恒存、郡谷順英、鈴木元孝

1. はじめに

「地質環境の長期安定性に関する研究」の一環として、日本列島全域を対象に断層、火山、隆起・沈降・侵食等の天然現象、並びに地理・地質に関する各種データを蓄積するとともに、これら各種データを統合的・一元的に管理するための「地質環境データベース」の整備を進めている。

「地質環境データベース」は、地質環境の長期安定性を評価するため、我が国の天然現象や地理・地質情報をG I S（地理情報システム）化することによって、地殻変動の履歴や規則性を解析するための支援システムとして活用していくことを目指している。今回は、これまでのデータベースの整備状況、活用例、今後の予定について紹介する。

地質環境の長期安定性に係わる評価を行う上で、地質環境データベースを有効活用するためには、今後は、シミュレーション技術を用いた解析とコンピュータグラフィックス(C G)による可視画像化とを組合せることによって、よりビジュアルに表現できるようにしていくことが必要である。

2. データベースの概要

(1) システムおよびデータフォーマット

図-1にデータベースの構成について概念的に示す。データベースを構成するG I Sデータは、ESRI社製（Environmental Systems Research Inc.）のG I Sアプリケーション（ArcInfo, ArcView）に対応するデータフォーマット（シェープファイル、カバレッジ）としている。データの表示・解析は、主にWindowsマシン上で運用できるArcViewを用いて行っている。

G I S化の手順としては、収集した地図データ（既存文献等）をイメージスキャナーによりデジタル画像化した後、地理座標を与えArcViewでの重ね合わせ表示可能なラスターデータとしている。ポイント（火山分布等）、ライン（活断層線等）、ポリゴン（段丘面分布等）情報は、ArcViewのシェープファイルとしてベクトルデータ化し、属性（名称、区分等）をあたえてデータベース化している。

(2) 整備データ

これまでにG I S化した地質環境に関する各種データは、各項目別に表-1に示す。

(3) G I Sの機能

データの表示・解析に用いているArcViewには主に以下のような機能がある。

GIS の基礎知識

○空間解析

地理的に重なり合う複数の空間データを位置情報に基づいて結合する。空間データの結合により、それぞれの属性情報をも結合することができる。

○ポリゴン・オーバレイ

2種の異なるテーマ(主題図)をオーバーレイ処理することにより細分化したポリゴンを生成し、両方の主題属性を考慮した視点からの分析が可能となる。

○バッファ検索

地図上に表現されている地物から等距離圏を発生させ、空間的な条件検索を行うことができる。

さらに ArcView の拡張機能である Spatial Analyst および 3DAnalyst を用いることによって、それぞれの以下のような解析を行うことができる。

○2次元地形解析<SpatialAnalyst>

標高値をもったポイント・データをもとに、地表の傾斜角や傾斜方向の計算、2次元での起伏の陰影処理、等高線を生成する。

○サーフェス解析<SpatialAnalyst>

離散ポイントで与えられているデータから、補間により連続的な面を生成する。また、フィーチャからの距離をあらわす距離圏バッファの生成や、セルの値をカテゴリ別に変更する再分類の機能も装備する。

○ラスター解析<SpatialAnalyst>

複数のグリッド・データ間の論理演算や数値計算により一定の条件を満たす地域を検出し、分析を行う。グリッド・データ間のみでなく、グリッドとベクトル型データが混在する環境での統合的な解析を行うことも可能である。

○3次元地形解析<3DAnalyst>

デジタル標高データを3次元での表示や解析に適したデータ形式(TIN)に変換し、SpatialAnalyst と同様にラスター形式のグリッドやコンターの生成、傾斜角や最大傾斜方向の算出、グリッドの陰影表示が行える。また、既存のデジタル標高データ等を用いて DEM (DIGITAL ELEVATION MODELS) ファイルの生成、等高線データの作成が可能となり、地形を考慮した地質環境データの解析が可能となる。

○見通し断面図作成および見通し領域解析<3DAnalyst>

見通し断面図作成と見通し領域解析が実行可能となる。また、解析結果の3次元表示が可能となる。

3. GIS データおよび解析の例

以下にこれまでに整備したデータの表示例および、GIS データを用いた解析の一例を紹介する。

(1) 活断層 GIS データを用いた解析例

活断層 GIS データを用いた解析例を図-2 に示す。I は活断層ワーキンググループのデータを用いて表示した活断層及び推定活断層分布図である。II は I データを用いて日本列島全体で単位面積あたりの活断層長を算出し、その値を用いて等値線を描いたものである。III はこれら活断層の変位量を基に日本列島における地殻歪量を算出したものであり、このような解析によって変動の大きな地域を把握することができる。

(2) 段丘分布 GIS データを用いた表示例

段丘分布 GIS データを用いた表示例を図-3 に示す。上図は四国東部地域の段丘面分布と旧汀線を表示したものである。陰影図は国土地理院発行の「数値地図 50m メッシュ（標高）」を用いて作成している。下図は上図表示地域を室戸岬沖よりの鳥瞰図として示したものである。

このようなデータベースの整備により、隆起・沈降運動の履歴を明らかにすることが可能となる。また、別に整備を進めている侵食量図とあわせて将来の侵食量を求めることができ、地質環境の長期安定性評価のための支援ツールとなる。

4. 今後の予定

地質環境の長期安定性を高い精度で評価するためには、地質環境のモデル化やパラメータの設定において、質・量ともに整った基礎的なデータが必要となると考えられることから、今後ともデータの整備を着実に進めることが重要である。

さらに、「地質環境データベース」を、地質環境の長期安定性評価のための支援システムとして活用するためには、地殻変動や火山活動などが地質環境に与える影響とその超長期（数万年間程度）にわたる将来的な変化について、シミュレーション技術と可視画像化技術を組合せて、対象地域の地質環境の長期安定性をわかり易く表現していくことも必要である。

また、これら地質環境に関する各種データは、火山噴火・地震防災や地すべり地域の解析等にも活用されるものと考えられることから、広く公開することを念頭に「地質環境データベース」の整備を進めていく予定である。

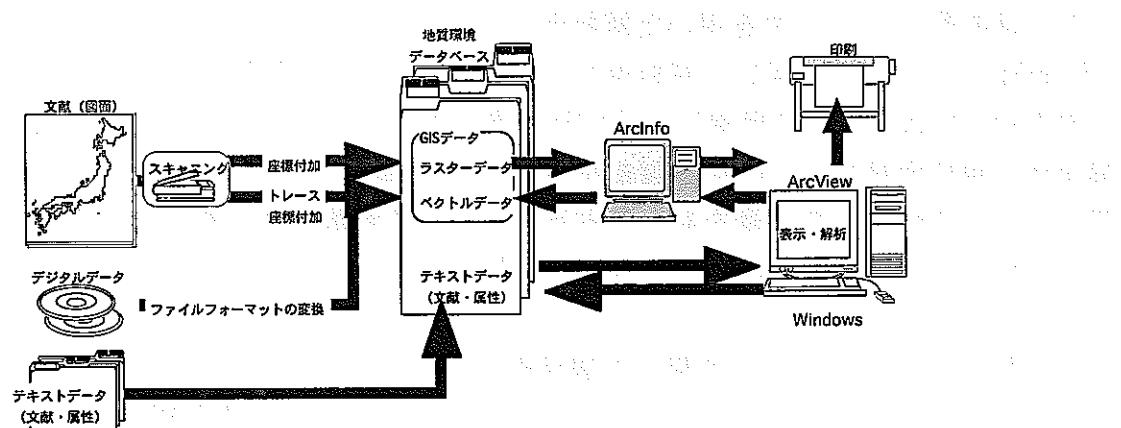


図-1 データベースの構成（概念図）

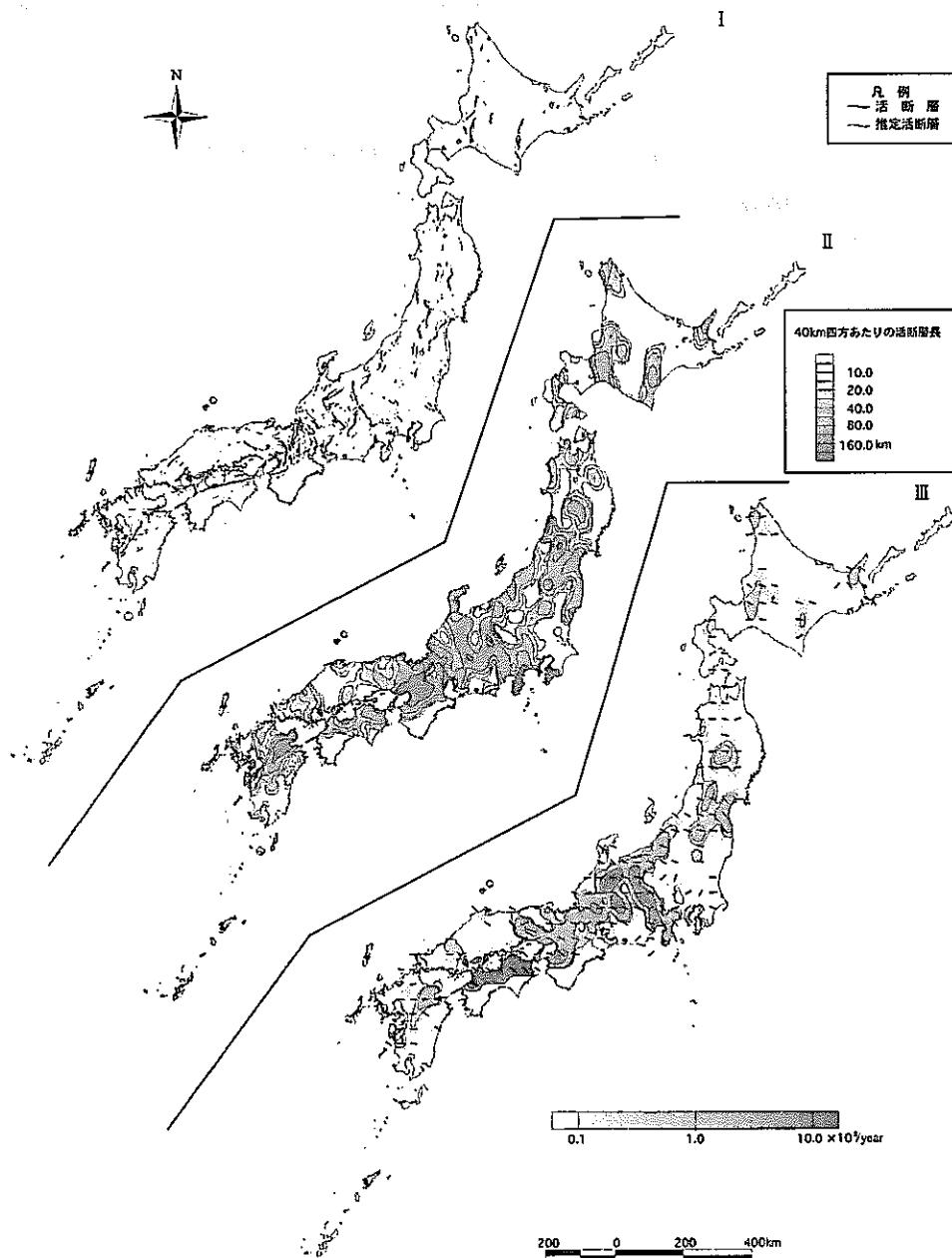


図-2 活断層 GIS データを用いた解析例

I : 活断層分布, II : 40km 平方あたりの活断層長の分布,
III : 活断層から求めた地殻歪量分布

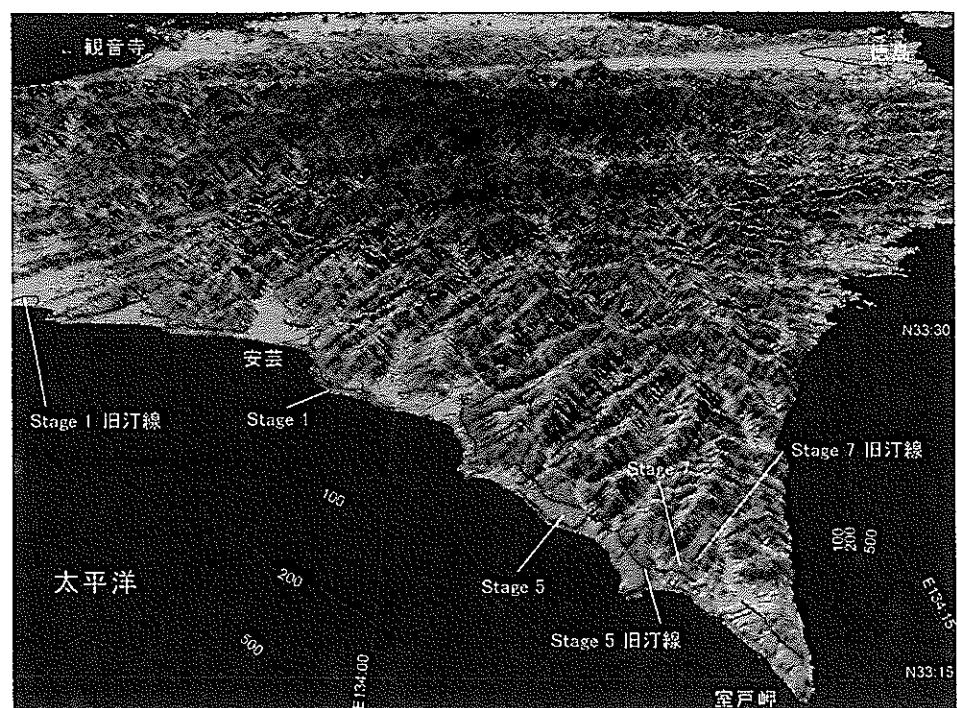
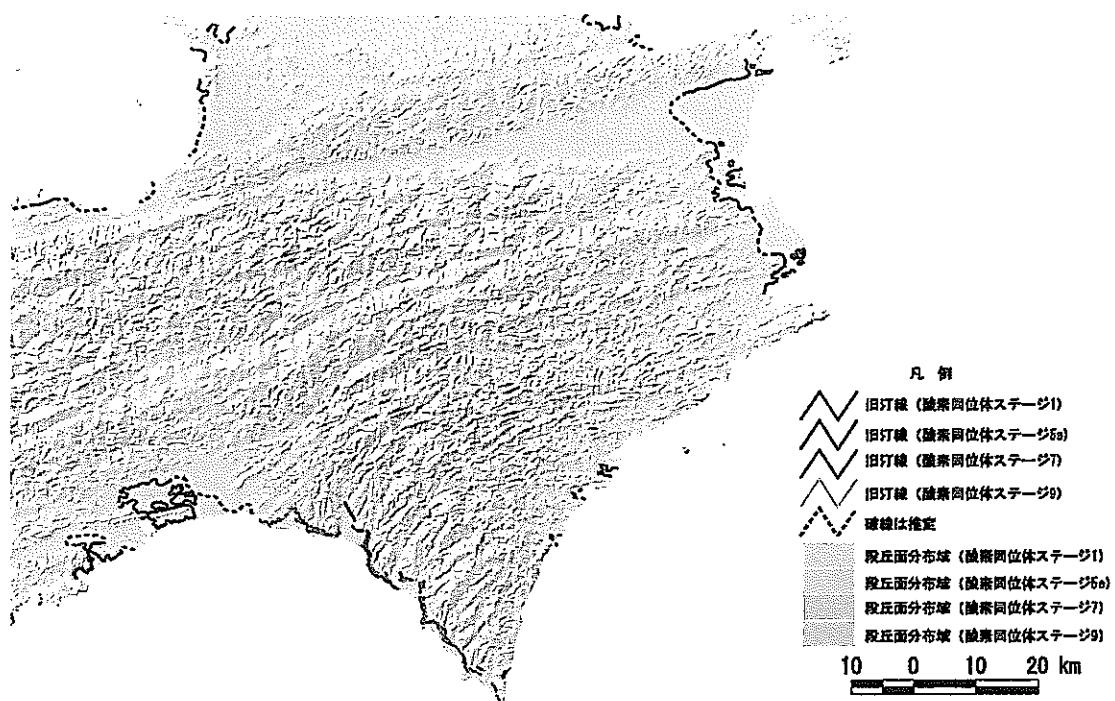


図-3 段丘分布 GIS データを用いた表示例

表-1 GISデータベースリスト

項目	データ	項目	データ
地勢図	地図画像	活断層	活断層, 活撓曲, 活褶曲 河川の屈曲, 尾根の屈曲 活断層タイプ別 活断層密度 断層時空分布 活断層から求められる水平地殻変形率
市区町村界			
海岸線, 河川・湖沼			
標高値			
DEM	「数値地図50mメッシュ(標高)」から作成		
地質	1/100万日本地質図	リニメント	1/4万白黒空中写真判読図
段丘面分布	1/50万活構造図		海底地形, 航跡, アイソバック 構造(断層・褶曲・地すべり)
活断層	「新編日本の活断層」(1991)	段丘分布	地殻変動データ地点 年代データ地点 旧汀線 旧汀線高度等值線 段丘面分布
断層線	1/5万地質図幅		
活構造	1/50万活構造図 ランドサット地質構造図		
地殻変動	上下変動 水平変動 水平歪 第四紀隆起沈降量 接峰面 GPS地殻変動		天塩, 十勝, 石狩, 津軽, 秋田臨海, 庄内, 北上, 仙台, 越後, 高田, 関東, 富山, 金沢, 福井, 濃尾・伊勢, 近江, 大阪, 米子・出雲, 高知, 福岡, 筑紫, 熊本, 宮崎
地震分布	震源分布 地震押し引き分布 被害地震	流域, 地形情報	流域(216河川)形状や統計量 河川流路(216河川) 高度分散量 侵食速度 高度分散量異常 地形分類図 高度分散量, 侵食速度
火山・地熱分布	第四紀火山分布 第四紀火山岩分布 新第三紀火山岩分布 地熱地域分布 温泉分布 温泉放熱量分布 地殻熱流量分布		第四紀火山の分布 第四紀火山の時空分布 第四紀火山の密度分布 マグマ噴出量の密度分布
	金属鉱床分布 非金属鉱床分布 油田・ガス田分布 炭田分布		表層地質図 第四紀層
	日本地質構造図 日本活構造図 日本及び隣接地域第四紀火山 日本花崗岩図 日本变成岩図 日本地熱資源図 日本地震図 日本及び隣接地域重力異常図 日本及び隣接地域地磁気異常図 日本及び隣接地域熱流量・キュリー点深度図		新第三紀層基盤地質図 先新第三紀層基盤地質図 海拔 0mの地質 海拔 -500mの地質 海拔 -1000mの地質 試錐位置(305本) 断面図(46断面) 断面付隨段丘面区分図 断面付隨地質図 表層地質図断層
	地震波速度分布図 日本列島地温勾配図 日本列島地温勾配センター図 日本列島温泉センター図 比抵抗構造図 コンラッド面等深度線図 モホ面等深度線図 フィリピン海プレート等深度線図 太平洋プレート等深度線図 100万分の1日本重力図(ブーゲ異常) 地震波トモグラフィー 堆積盆地分布	地下地質	柱状図 透水系数 物性試験結果 岩石試験結果 熱特性試験結果など
			日本周辺海底地質図 音波探査プロファイル
			地熱
			坑井データ 温泉地化学データ
地球物理・地質データ等	未GISデータ	その他	地勢図幅インデックス 地形図幅インデックス 地質図幅インデックス
	100万分の1日本重力図(ブーゲ異常)		
	地震波トモグラフィー		
	堆積盆地分布		