

超 深 地 層 研 究 所 計 画

年度計画書(平成 14 年度)

(技術報告)

2002 年 7 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。

〒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)

2002

(目 次)

1 はじめに	1
2 既存情報等に基づく瑞浪超深地層研究所用地およびその周辺の地質環境特性	1
3 瑞浪超深地層研究所の調査・研究計画	8
4 正馬様用地における調査・研究計画	15
5 調査技術・調査機器の開発	17
6 スケジュール	20
参考文献	24

参考「花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究」

1 はじめに

超深地層研究所計画では、原子力委員会(2000)および原子力安全委員会(2000)であげられている「第2次取りまとめ」(核燃料サイクル開発機構,1999)以降の深地層の科学的研究に関連する課題のうち、特に「地表からの地下深部までの調査の体系化」を行うこと、安全評価における「実際の地質環境条件を適切に考慮した設計、シナリオに基づく評価」の手法を確認していくことに必要な地質環境の情報を取得することを課題として進めている。

平成13年度から、瑞浪超深地層研究所の建設場所が、岐阜県瑞浪市明世町に位置する、瑞浪市から借用した瑞浪超深地層研究所用地(約7.5ha、以下、研究所用地)に移るにあたり、研究所用地において地表からの調査予測研究段階である第1段階の調査・研究を行う(核燃料サイクル開発機構,2002)。また、正馬様用地では、本計画の全体計画のひとつである深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し、これまで蓄積された月吉断層やその周辺の地質環境の情報や試錐孔などの研究資源を利用した要素技術開発の場として活用する。また、正馬様用地で進められている地表からの調査結果による地質環境のモデル化に向けた調査・研究については、情報量とモデルの精度との関係を把握するため、一連の調査・解析を繰り返し行い、モデルの高度化を行うとともに、一連の調査・解析・評価手法の有効性を把握する。さらに、既存の試錐孔を利用して、地下水圧などの連続観測を行う。

なお、花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究の全体スコープについては本計画書の参考に示すとおり、対象とする空間スケールを広域スケール(数十km四方以上)、ローカルスケール(数km四方)、ブロックスケール(数百m四方)に設定し、このうち超深地層研究所計画はブロックスケールを対象としたものである。

2 既存情報等に基づく瑞浪超深地層研究所用地およびその周辺の地質環境特性

ウラン鉱床を対象とした調査、広域地下水流動研究などの既存情報を整理するとともに、リニアメント解析および地表における地表概査を行った。これらの情報から、地表からの調査・研究で確認する必要がある地質環境特性を抽出した。

研究所用地およびその周辺の地質環境特性は以下のとおりである。

地質・地質構造

- ・ 研究所用地周辺には、基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩とそれを覆う第三系の瑞浪層群が分布する(図1)。
- ・ 堆積岩と花崗岩の不整合面には、起伏の変化に富むチャンネル構造が存在する(図2)。研究所用地近傍にある既存試錐孔(DH-2号孔)では堆積岩の層厚が約170m程度である。また、研究所用地内で過去に掘削された試錐孔情報から、堆積岩の層厚が場所により大きく変化すると予想される(図3)。
- ・ 堆積岩の最下部には、高透水性と推察される基底礫岩層が分布する。また、堆積岩中の中～上部には低透水性と推察される数層の凝灰質泥岩層が挟在する。
- ・ リニアメント判読結果から、北北西-南南東系、北西-南東系、北東-南西系、東西系から構成される複数の不連続構造が分布する可能性が想定される(図4)。特に、研究所用地南東部の地下壕跡地で確認された北北西-南南東系の不連続構

造（高角度東傾斜の断層）は，比較的規模が大きく，研究所用地と交差する可能性が高い（図5）。

地下水の水理

- ・ 研究所用地周辺の地下水は，地形に依存し，概ね北東から南西の方向に流れている（図6）。
- ・ 「地質・地質構造」に示したチャンネル構造，地質構造，断層などに，地下水流動は規制されていると考えられる。

地下水の化学

- ・ 堆積岩中に酸化還元境界が存在する可能性が高い。
- ・ 花崗岩中の浅部（深度 300m 以浅）の地下水は Na-Ca-HCO₃ 型で，中性（pH7）かつ酸化性（Eh>0mV）の地下水であるのに対し，深部（深度 300m 以深）の地下水は，Na-HCO₃ 型で，弱アルカリ性（pH9）かつ還元性（Eh<-300mV）の地下水である（図7）。
- ・ 土岐川近傍で掘削された試錐孔（DH-12 号孔）において，上記の地下水と異なる，Na-Cl 型の地下水が確認されている（図8）。Na-Cl 型の地下水が存在した場合，研究坑道を掘削することによる地下水流動の変化により，Na-HCO₃ 型と Na-Cl 型の地下水の混合が予想される。

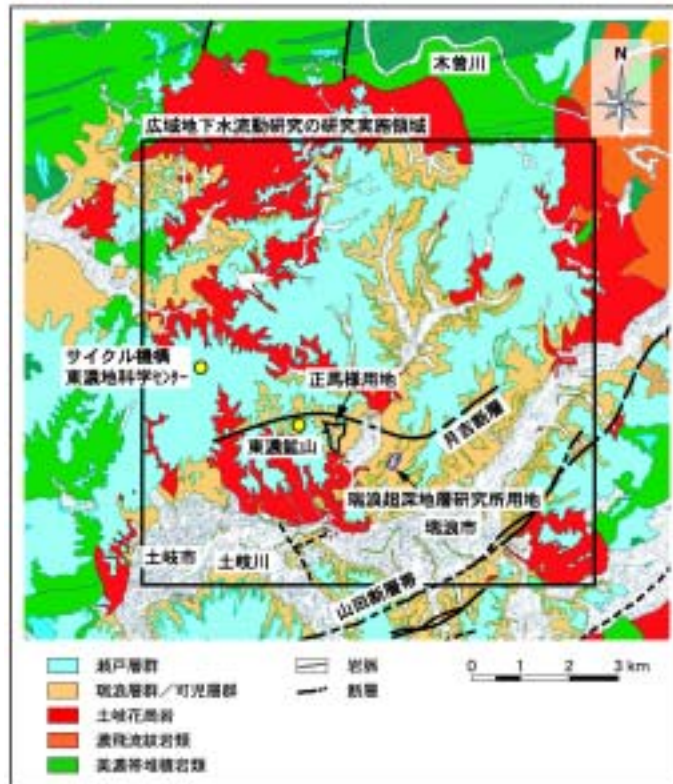


図1 東濃地域の地質概要



図2 堆積岩と基盤花崗岩の不整合面の等高線図

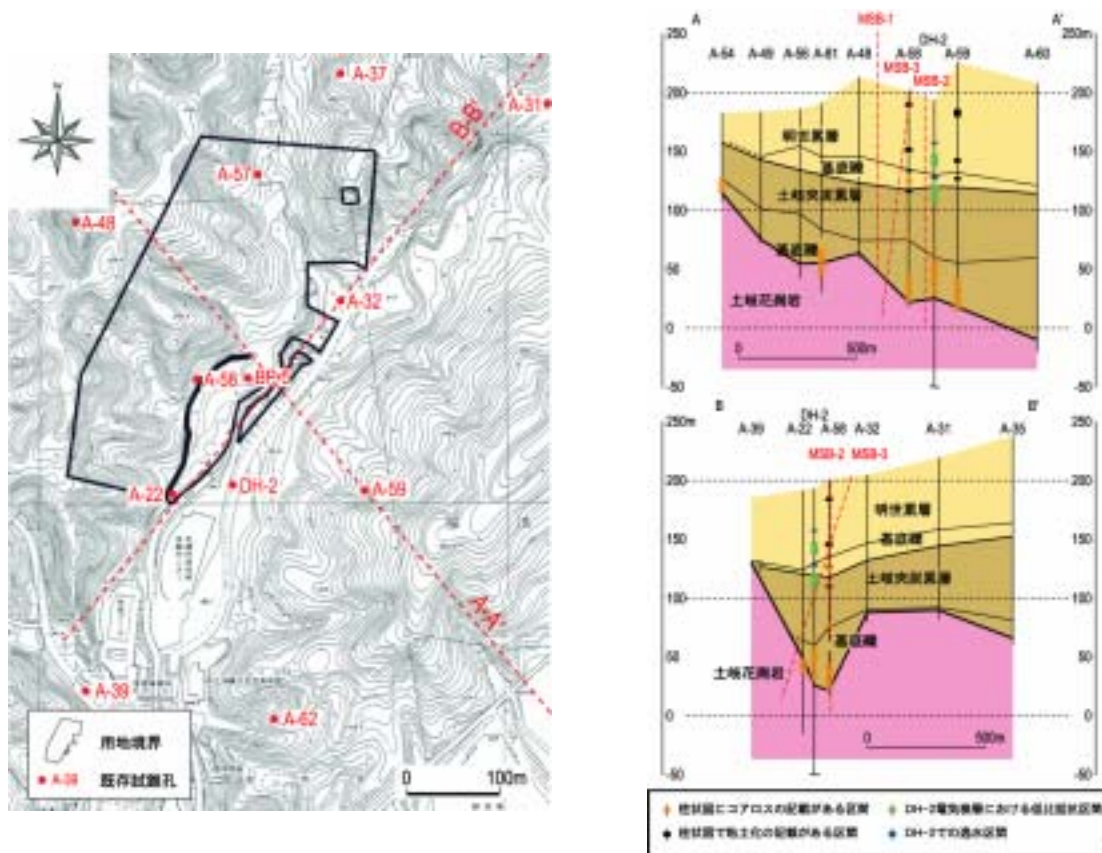


図3 研究所用地の地質断面図

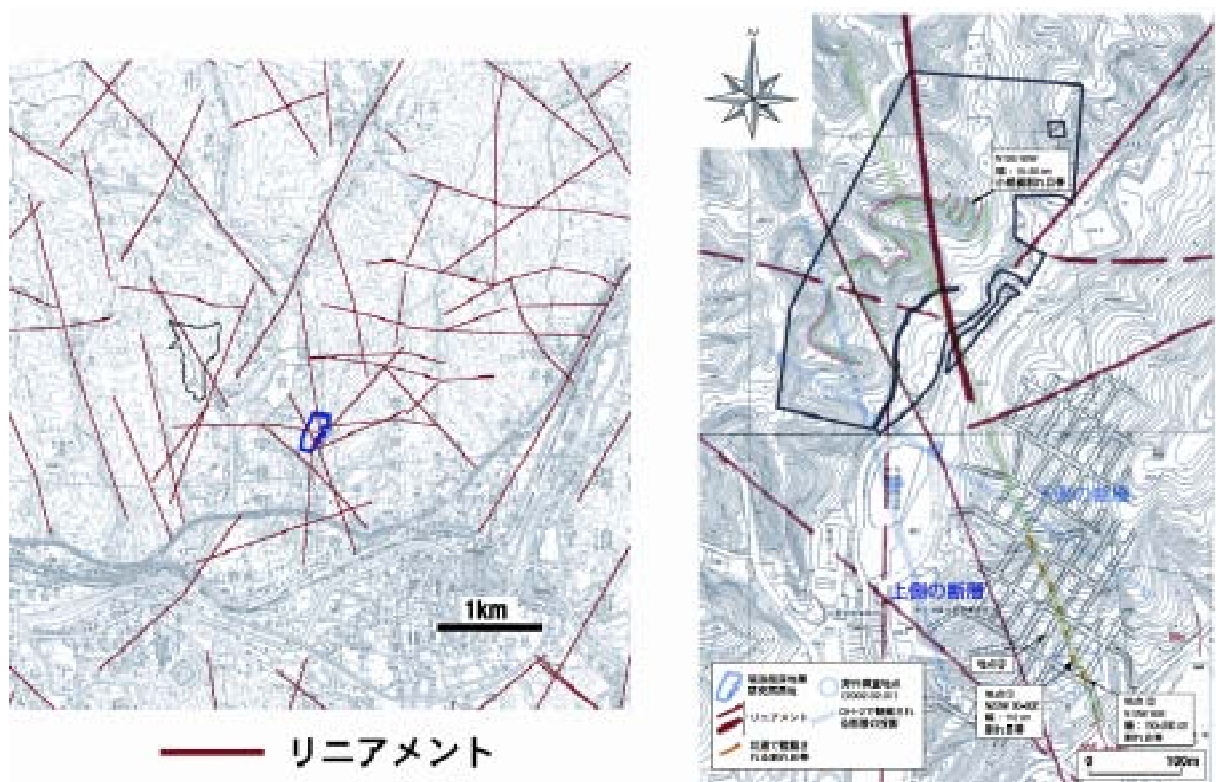
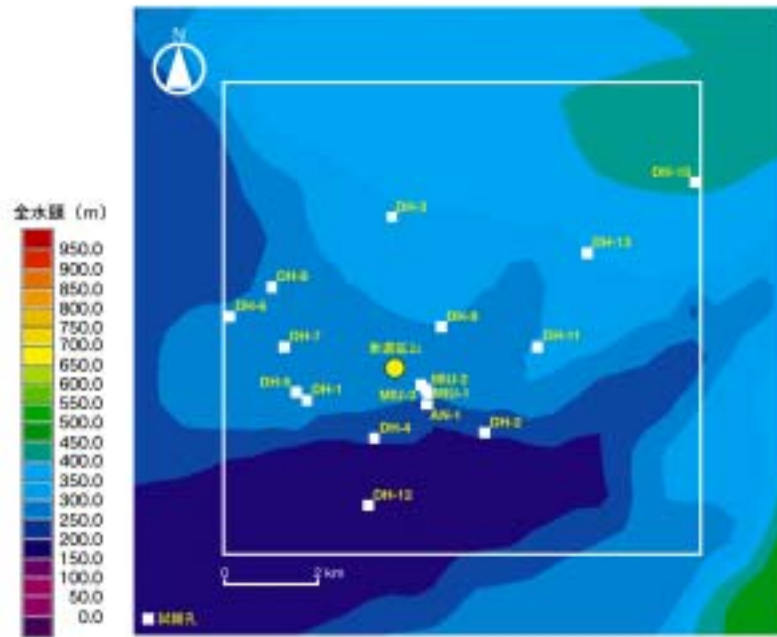


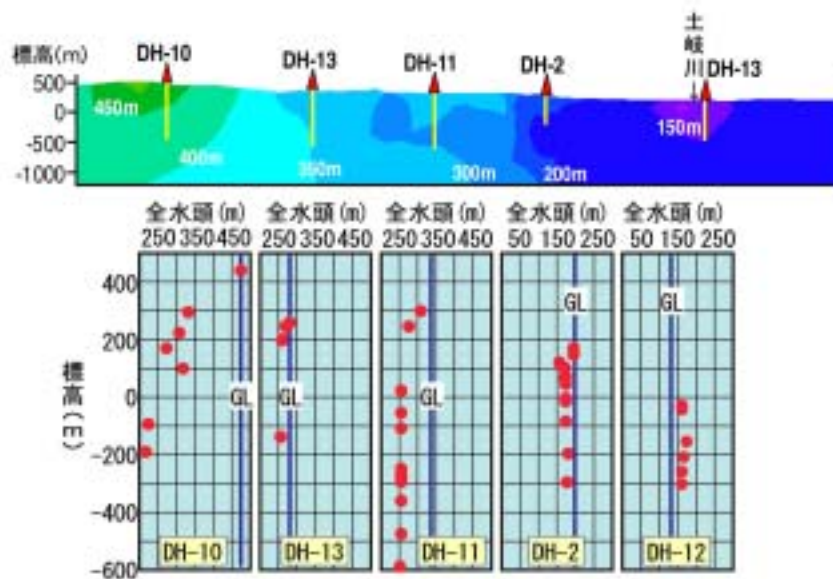
図 4 研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層



図 5 地下壕で確認された断層露頭



(a) 標高-1,000mにおける地下水の全水頭分布(解析結果)



(b) DH-10号孔～DH-12号孔間の全水頭分布
(解析結果(上), 実測値(下))

図6 研究所用地周辺の地下水流動(サイクル機構, 2001)

図7 地下水の水質(サイクル機構, 2001)

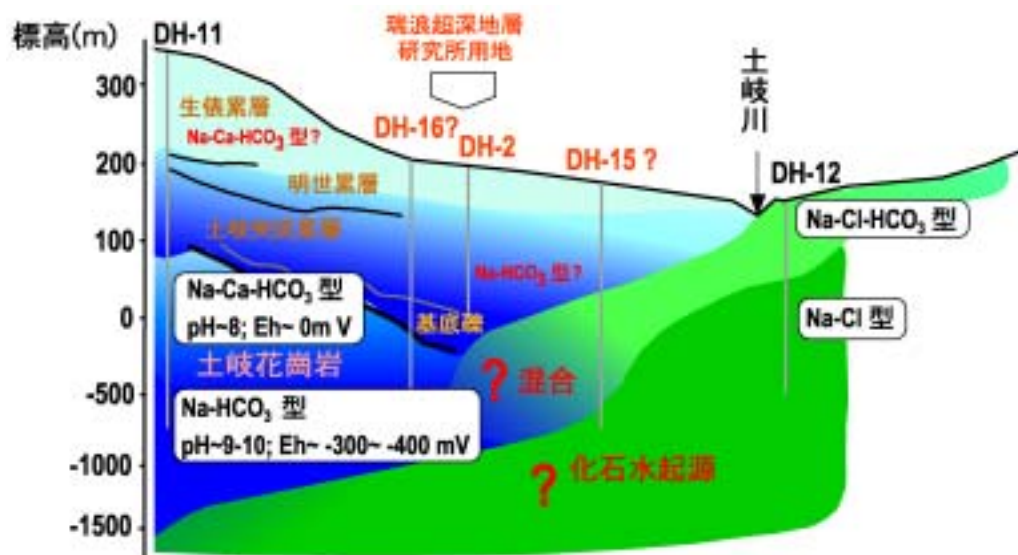


図8 地下水の水質分布の概念

これらの研究所用地およびその周辺における地質環境を考慮し、以下に示すような調査・研究の課題を抽出した。なお、これらの課題については、今後取得される情報も含めてさらに整理・分析をくわえ、より具体的なものとしていく。

堆積岩

研究所用地付近では、堆積岩と基盤花崗岩の不整合面がチャンネル構造(チャンネルの軸は北西から南東方向)を形成し、チャンネル構造に沿って高透水性の礫岩層が存在すること、堆積岩が厚いこと、それに沿った地下水流動が想定される。このことを踏まえ、堆積岩の地下水流動が花崗岩中の地下水流動にどのように影響しているのか、また、研究坑道掘削により、その地下水流動がどのように変化するのか確認する必要がある。

堆積岩中の地下水の地球化学については、これまでの東濃鉦山での調査・研究の知見から、堆積岩中に酸化還元境界が存在することが予想されるため、研究坑道掘削により、どう変化するかを確認する必要がある。

また、研究所用地周辺での地質調査により、本用地の南西部を通過する断層が想定されたため、今後の調査・研究計画を策定する上でも、かつ施工計画に早期に情報を反映するためにも、断層の有無と位置の確認を行うことが必要である。

花崗岩

地質・地質構造に関しては、現在推定されている不連続構造の有無、種類、位置、規模、空間的分布、幾何学的形状等の地質学的特性の把握と、それらが地下水流動に与える影響を把握していくことが重要な課題である。しかし、試錐孔調査については調査数量に制限があるため、研究所用地およびその周辺において、地上物理探査を行い、試錐孔調査を効率的に行うことが必要である。

地下水流動に関しては、研究所用地周辺の全体的な地下水流動が北東から南西方向であることを踏まえ、この全体の地下水流動の流れに沿って試錐孔調査を行い、ローカルスケール全体の地下水流動を把握するとともに、研究坑道掘削による影響を把握するためのモニタリング孔として用いることが必要である。

地下水の水質に関しては、土岐川近傍で掘削された試錐孔(DH-12号孔)において、Na-Cl型の地下水が確認されている。Na-Cl型の地下水が存在した場合、研究坑道掘削による地下水流動の変化によりNa-HCO₃型とNa-Cl型の地下水の混合が予想されるため、全体の地下水流動の方向に沿って試錐孔を配置し、地下水の水質を確認するとともに、研究坑道掘削中の地下水の水質の変化を確認していく必要がある。

さらには、1,000m級の研究坑道を掘削するものの、これまで1,000m以深の地質環境に関する情報を取得していない。1,000m級の研究坑道を想定して地下水流動解析を行う場合、境界条件の影響を踏まえ、1,000mより深い部分までモデル化し解析する必要がある。

3 瑞浪超深地層研究所における調査・研究計画

第1段階では、研究所用地(図1)における研究坑道掘削前の地質環境特性を詳細に把握するための、様々な調査・研究が地表から実施される。地表では地質調査、物理探査ならびに表層水理調査を実施するとともに、深度1,000 m級の試錐孔を掘削し、その試錐孔における検層、水理試験や力学試験などにより深部地質環境に関する各分野の情報を取得する。あわせて、岩芯を用いた室内試験なども実施する。

これらの調査・研究によって得られた情報に基づき、研究所用地およびその周辺の地質・地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学、岩盤力学の各分野における地質環境モデルを構築する。また、この地質環境モデルに基づいて、研究坑道掘削前の深部地質環境の状態を推定する。

一方、上記の調査・研究により取得した深部地質環境に関する情報などをもとに、第2段階における具体的な調査・研究計画、および第3段階における概略的な調査・研究計画を策定し、研究坑道の詳細レイアウトを決定する。あわせて、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。研究坑道の施工は、研究坑道掘削前の地質環境を可能な限り乱さないように配慮する。また、研究坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化を効果的に把握できるように観測機器の配置などを検討する。本段階における調査・研究の目標は以下のとおりである。

地表からの調査・研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査・研究計画の策定

平成14年度においては、平成13年度から準備を開始した地上物理探査、浅層を対象とした試錐調査を開始する。また、研究所における研究坑道などや地上施設の設計、施工計画の具体化を適宜実施する。以下に、研究所用地を対象に、平成14年度に実施する調査・研究の概要を述べる。

(1) 研究成果の統合化

地表から地下深部までの地質環境に関する情報や知見などについては、分野ごとに取りまとめを行うとともに、分野間の横断的な議論および解釈をとおして分野間における成果の関連ならびに整合性を確認する。これにより、地質環境モデルが構築され、深部地質環境の総合的な理解が促進される。また、構築した地質環境モデルを用いて、研究坑道掘削前の深部地質環境が推定され、それらの情報が、次段階以降の調査・研究計画の策定、研究坑道の詳細設計および地層処分研究開発で行われる核種移行解析などに反映される。そのため、次段階以降の調査・研究計画の策定、研究坑道の詳細設計および地層処分研究開発で行われる核種移行解析を、地表からの調査・研究で得られる情報の出力先として設定し、具体的なアウトプットを明確にする。そして、調査・研究を進める過程で、調査・試験、解析、モデル化およびシミュレーションをとおし、どのような調査手法・解析手法により、最終的なアウトプットに到達できるのかという方法論を、例示することとなる。

一方、地表からの調査・研究に必要とされる要素技術については、それぞれ高度化を図

りつつ、その有効性を確認する。また、取得した情報と利用可能な解析・評価手法を用い、深部地質環境の評価に至る一連のプロセスを繰り返し実施する。その過程で研究所用地において評価すべき項目を抽出し、その項目の重要度を段階的に把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法および結果の精度との関係を事例的に明らかにする。これにより、深部地質環境を評価するための調査・解析・評価手法を段階的に整備する。

平成 14 年度においては、正馬様用地で行われた平成 8 年度から平成 11 年度までの研究成果に基づいた調査・解析・評価の統合化データフローを参考に、研究所用地およびその周辺における第 1 段階の調査・研究計画の具体化と並行し、第 1 段階の調査・解析・評価の統合化データフローを作成する。この統合化データフローに基づき、今後行う調査・解析の統合化の方法論や、その中で適用された調査技術・解析技術の適用性を整理していく。

(2) 地質・地質構造に関する調査・研究

第 1 段階においては、地上物理探査(反射法弾性波探査)、浅層および深層を対象とした試錐孔を利用した調査・研究(岩芯観察、物理検層、VSP 調査、トモグラフィ調査など)や岩芯を用いた室内分析などにより、研究所用地における地質・地質構造を把握する。とくに、地下水の流動や水質形成などを規制すると考えられる地質構造要素(岩相、風化帯、変質帯、透水性割れ目、断層、岩脈など)に着目し、その分布および性状を詳細に把握する。また、岩芯を用いた室内調査や後述する地下水の採水・分析の結果などにより、酸化還元領域を把握する。これらの調査・研究においては、土岐花崗岩体に関する既存の地質学的情報をもとにした地質構造モデルの構築を出発点とし、各調査・研究ごとに、段階的に、地質構造モデルの妥当性の評価およびモデルの更新を行う。最終的に、研究坑道周辺の地質構造要素の三次元的な地質構造モデルを構築する。

平成 14 年度においては、研究所用地およびその周辺の地質・地質構造に関する情報を取得するため、地上物理探査を行うとともに、堆積岩から花崗岩表層部の地質環境の情報を取得するための浅層試錐調査を行う。また、研究所用地内において花崗岩における地質・地質構造の情報を取得するための深層試錐調査を開始する。さらに、地上物理探査、浅層試錐調査の結果を基にし、広域地下水流動研究で行う調査・試験の結果も活用して地質構造モデルを更新する。

() 地上物理探査

研究所用地およびその周辺の地質・地質構造(断層などの不連続構造、堆積岩と花崗岩の不整合面の形状、堆積岩の堆積構造など)に関する情報を取得するため、研究所用地およびその周辺において反射法弾性波探査を実施する(図 9)。

() 浅層試錐調査

浅層部の地質環境(地質・地質構造、地下水流動、地下水の地球化学)を把握するため、試錐調査(4 孔、総掘削長約 800 m)を実施する(図 10)。4 孔の試錐孔のうち、2 孔(試錐孔 A および B)は浅層部の岩盤および地下水の地球化学に関する情報を取得することを、1 孔(試錐孔 C)は研究所用地と交差すると想定されている断層の存在と位置を確認することを、残りの 1 孔(試錐孔 D)は、研究所用地周辺の地下水流動を把握することを主な目的として行う。各試錐孔における調査項目は以下のとおりである。

(a) 試錐孔 A および試錐孔 B(鉛直孔:掘削長約 190 m)

岩芯調査:岩相,変質,割れ目等の記載(本数,深度,傾斜角,形状,面上の構造,成因,変質の種類・幅,充填物の種類・幅等)

物理および流体検層:電気検層,密度検層,中性子・ガンマ線検層,スペクトルガンマ線検層,音波検層,温度検層,孔径検層,孔曲がり検層,フローメータ検層(スピナー式,電磁式,ヒートパルス式)

ボアホールテレビ調査(BTV 調査):割れ目の位置,方向,幅,形状など

岩石鉱物試験:顕微鏡観察,粉末 X 線回折,全岩化学組成分析

水理試験:(揚水試験,スラグ試験,パルス試験)

採水・分析

原位置測定・分析項目:水温,pH,酸化還元電位,電気伝導度,溶存酸素,主要および微量溶存成分,溶存ガスなど

MP(Multiple Piezometer)システムによる長期観測:水圧,地下水化学組成

(b) 試錐孔 C(傾斜孔:掘削長約 270 m)

岩芯調査:岩相,変質,割れ目等の記載(本数,深度,傾斜角,形状,面上の構造,成因,変質の種類・幅,充填物の種類・幅等)

物理および流体検層:電気検層,密度検層,中性子・ガンマ線検層,スペクトルガンマ線検層,音波検層,温度検層,孔径検層,孔曲がり検層,フローメータ検層(スピナー式,電磁式)

ボアホールテレビ調査(BTV 調査):割れ目の位置,方向,幅,形状など

水理試験:(揚水試験,スラグ試験,パルス試験)

MP システムによる長期観測:水位,水圧

(c) 試錐孔 D(鉛直孔:掘削長約 110 m)

岩芯調査:岩相,変質,割れ目等(本数,深度,傾斜角,形状,面上の構造,成因,変質の種類・幅,充填物の種類・幅等)

物理および流体検層:電気検層,密度検層,中性子・ガンマ線検層,スペクトルガンマ線検層,音波検層,温度検層,孔径検層,孔曲がり検層,フローメータ検層(スピナー式,電磁式,ヒートパルス式)

ボアホールテレビ調査(BTV 調査):割れ目の位置,方向,幅,形状など

水理試験:(揚水試験,スラグ試験,パルス試験)

MP システムによる長期観測:水圧

()深層試錐調査

研究所用地において,地質・地質構造(岩相,断層,割れ目など)に関する情報を取得するため,深層試錐調査を開始する。本深層試錐調査は,平成 14 年度から平成 16 年度の 3 カ年にわたって行う計画である。なお,深層試錐調査の位置やレイアウト,および取得する情報の詳細な仕様については,平成 14 年度前半に実施する地上物理探査の結果等を踏まえ決定することとなる。

()地質構造モデルの構築

地上物理探査, 浅層試錐調査, および広域地下水流動研究で行う調査・試験の結果に基づき, 既存情報等から構築した既存の地質構造モデルの評価を行うとともに, モデルを更新する。



図9 反射法弾性波探査の測線位置



図10 浅層試錐調査の試錐孔位置図

(3) 地下水の水理に関する調査・研究

第1段階においては、試錐孔における水理試験(単孔式および孔間水理試験)や表層水理観測などにより、地質構造モデルで表現された地質構造要素の水理学的特性ならびに水理学的連続性を把握し、水理地質構造モデルを構築する。また、このモデルおよび広域地下水流動研究で構築されるより広い領域のモデルを用いて地下水流動解析を行い、研究所用地における研究坑道建設前の地下水流動場の状態を推定する。また、研究坑道掘削に伴う地下水流動場の変化(研究坑道への流入量、研究坑道周辺の地下水圧の変化など)を推定し、研究坑道の詳細設計や次段階以降の調査・研究計画の策定に反映する。

平成14年度においては、浅層部の地下水流動に関する情報を取得するため、浅層部を対象に掘削した試錐孔において水理試験・流体検層を行う。また、研究所用地内において花崗岩における水理特性の情報を取得するための深層試錐調査を開始する。さらに、これらの情報と広域地下水流動研究で行う調査・試験の結果に基づき、水理地質構造モデルを構築するとともに、予備的な地下水流動解析を行う。

(4) 地下水の地球化学に関する調査・研究

第1段階においては、試錐孔における地下水の採水や化学分析結果により、研究所用地およびその周辺における土岐花崗岩中の深部地下水の地球化学的特性(物理化学パラメータ、化学組成および同位体組成)の三次元的分布を把握する。また、水-岩石反応試験や熱力学解析などにより、地下水の水質形成を支配する主要な要因を抽出し、上記の地下水の採水や化学分析の結果と合わせて現有の地球化学モデル(水質形成モデル)を確認する。さらに、酸化還元状態に関与する有機物ならびに微生物の種類や存在量などについても情報を取得する。

平成14年度においては、浅層部を対象として試錐孔において地下水採水や化学分析などを行い、浅層部の地下水の主要溶存成分、微量溶存成分、溶存ガス、環境同位体、微生物および有機物に関する情報を取得する。また、研究所用地内において花崗岩における地下水の地球化学に関する情報を取得するための深層試錐調査を開始する。

(5) 岩盤の力学に関する調査・研究

第1段階においては、岩芯を用いた室内試験や試錐孔における力学試験(例えば、水圧破砕法による初期応力測定)などにより、研究所用地における土岐花崗岩の力学物性、割れ目面の3次元的な岩盤力学モデルを構築する。このモデルを用いて、研究坑道掘削前の応力状態などの初期状態を推定する。

平成14年度においては、研究所用地付近で掘削されたDH-2号孔の岩芯(土岐花崗岩)を用いた室内応力測定(DSCA法)、割れ目試料を用いたジョイントせん断試験を行い、研究所用地付近の土岐花崗岩体の力学的な特性を把握し、研究実施領域における三次元的な岩盤力学モデルの構築を開始する。

また、研究所用地内においては深層試錐調査を開始し、土岐花崗岩の岩盤力学特性に関する情報を取得する。

(6) 岩盤中の物質移動に関する調査・研究

第1段階においては、岩芯を用いた室内試験(たとえば、空隙構造調査)などにより、土岐花崗岩中における物質移行・遅延現象を把握するための基礎情報として、透水性割れ目

およびその近傍岩盤における地球化学的・鉱物学的特性、空隙構造および収着・拡散データを整備する。また、天然に存在する核種を用いた調査・研究を実施し、地質学的に長期間にわたる物質の移行・遅延現象を把握する。

平成 14 年度においては、正馬様用地で取得した透水性割れ目の特徴を整理・分析するとともに、それらの結果を踏まえて、研究所用地での本調査・研究の計画を検討する。

(7) 深地層における工学技術に関する研究

本段階における工学技術に関するおもな研究項目は、研究坑道の設計および施工計画の策定にかかわる技術である。前述のように、第 2 段階および第 3 段階では、研究坑道において各分野の調査・研究が展開される。したがって、研究坑道や従来の地下空洞やトンネルなどとは異なり、地下深部において各調査・研究が合理的かつ効率的に実施できるように設計され、その施工計画が具体化される必要がある。

本研究においては、国内外の先行事例などを参考にして選定した、第 2 段階および第 3 段階において実施する必要がある調査・研究項目を考慮し、また研究所用地における深部地質環境の現時点における情報に基づき、研究坑道レイアウト案を策定する。また、今後、研究所用地において取得される深部地質環境の情報により見直される第 2 段階における調査・研究計画および第 3 段階における概略的な調査・研究計画に基づき、研究坑道の調整設計を実施する。最終的に研究坑道の詳細レイアウトを確定するとともに、実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を決定する。

平成 13 年度より開始した、研究所用地を対象とした、以下の項目についての検討を継続し、最終的に確定する。確定したレイアウトや施工計画は、今後研究所用地において新たに取得される情報に基づく検討の基本とする。

第 2 段階および第 3 段階における研究計画に基づく、研究坑道の詳細なレイアウト
研究坑道掘削に必要な資機材や機器設備などの仕様および具体的な施工計画

このうち については、研究坑道で実施する調査・研究項目の目的、内容について詳細に検討し、これらの研究を適切に実施できるよう、中間ステージ、最深ステージおよび予備ステージのレイアウト案を確定する。検討にあたっては、研究所用地およびその周辺の深部地質環境に関する現時点での情報、第 2 段階および第 3 段階の研究課題や、第 2 次取りまとめで示された今後の研究開発課題などの必要性を踏まえる。さらに、研究坑道の詳細設計および施工計画の策定は、今後取得される深部地質環境に関する知見、第 2 段階の調査・研究計画の策定状況も踏まえ、調査・研究計画との整合性をとりつつ、合理的かつ安全な施工計画としていく。あわせて、第 2 段階において実施する必要がある調査・研究の実施に向けて具体化を図る。施工計画は、通気解析にもとづき、施工段階ごとの通気方法について、局部通気方式、坑道通気方式、およびその切り替え時期などについての詳細な検討を行う。また、立坑掘削技術について、今後取得する深部地質環境に関する情報にもとづき、岩盤の空隙構造を考慮したグラウト工法と止水効果の影響範囲の評価方法などについての検討を行う。

については、研究坑道の詳細なレイアウトをもとに資機材や機器設備などを選定するとともに、具体的な安全対策などの検討を行うことにより、仕様、施工計画を確定する。安全対策については、熱環境解析にもとづいた適切な防災計画を立案し、坑内環境の情報管理方法についての検討を行う。

なお、研究坑道の掘削は、研究所用地周辺の地下水位などに影響を与える可能性もあ

ることから、研究坑道の掘削前に、周辺地域の井戸の地下水位とその変動幅に関する調査を行うとともに、騒音と振動の測定を実施する。

(8)次段階以降の調査・研究計画の策定

第1段階においては、第1段階の調査・研究により取得する深部地質環境に関する情報や、構築した地質環境モデルなどを踏まえ、第2段階における調査・研究計画の具体化を図る。あわせて、第3段階における概略的な調査・研究計画を必要に応じて見直す。具体的には、詳細な地質環境モデルの構築と、本段階において深部地質環境に関して推定した結果の妥当性の確認ができるように、これまでに抽出した調査・研究課題の優先度を検討し、その絞り込みを行う。この際、第2次取りまとめの評価報告書(原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会、2000)などに示された今後の研究開発の課題なども考慮する。また、必要に応じて新たな調査・研究課題の設定を行う。

研究坑道などを掘削する場所が研究所用地に変更されるにあたり、第2段階の調査・研究計画の策定については、既存情報および今後取得される地質環境の情報に基づき策定する必要がある。そのため、平成14年度から、第2段階の調査・研究についての検討を開始するとともに、平成14年度から収集・整理する地質環境の情報に基づき、適宜見直す。

4 正馬様用地における調査・研究計画

正馬様用地では、超深地層研究所計画の全体目標のひとつである深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備に関連し、これまで蓄積してきた月吉断層やその周辺の地質環境の情報や試錐孔などの研究資源(図 11)を利用した要素技術開発の場として活用し、研究所用地での調査・研究の効率化を図るための要素技術の高度化に向けた調査・研究を実施する。また、正馬様用地で進められている地表からの調査結果による地質環境のモデル化に向けた調査・研究については、情報量とモデルの精度との関係を把握するため、一連の調査・解析を繰り返し行い、モデルの高度化を進めるとともに、一連の調査・解析・評価手法の有効性を把握する。さらに、既存試錐孔を利用して、地下水圧などの連続観測を行う。

具体的には、地質環境のモデル化技術の高度化を目的として、透水性割れ目の同定・分類手法の確立および地質構造のモデル化技術の構築、長期揚水試験や地下水長期観測とそれらに基づく水理地質構造のモデル化技術の構築、MPシステムを用いた採水調査や土岐花崗岩中の深部地下水の年代測定とそれらに基づく地球化学モデルの構築、応力集中による空洞周辺岩盤の破壊現象のメカニズムに関する研究などを行う。また、調査技術・調査機器の開発を目的として、フローメータ検層技術の適用性の評価、岩盤浸透量の評価技術の検討などを行う。

平成 14 年度の調査・研究の計画を以下に示す。

(1) 地質環境のモデル化技術の高度化

研究成果の統合化

正馬様用地でこれまで適用してきた地表からの調査・解析に関する統合化の方法論の取りまとめを行う。

地質・地質構造に関する調査・研究

平成 14 年度においては、これまでに行った試錐調査による地質・地質構造と地上物理探査(反射法弾性波探査)との対比結果を補完するため、VSP 法探査を行う(図 12)。また、亀裂性岩盤のモデルで表現すべき透水性割れ目の同定・分類手法の確立に向け、正馬様用地でこれまで行った試錐調査(MIU-1~4 号孔)のデータを整理し、透水性割れ目の同定・分類手法の確立を試みる。

地下水の水理に関する調査・研究

平成 14 年度においては、地質環境の情報量やモデル化手法の違いによる解析結果のバラツキ(不確実性)の幅や不確実性に寄与する要因の評価の検討を目的とし、複数のモデル化手法を用いた地下水流動解析を行う。そのために、平成 13 年度に行った長期揚水試験の結果を用いて、これまで構築した地質構造モデルや水理地質構造の妥当性の評価およびモデルのキャリブレーションを行う。また、用地内の観測施設を利用して、水収支観測や地下水の間隙水圧などの長期観測を行う。

地下水の地球化学に関する調査・研究

平成14年度においては、これまで取得した情報を取りまとめ、地球化学モデルを構築する。必要に応じて、MPシステムを用いた採水・分析などを行う。

岩盤の力学に関する調査・研究

研究所用地での解析に先立ち、この現象のメカニズムを解明し、岩盤物性の変化の範囲や程度を評価しうるモデル化手法の開発を正馬様用地で取得された試験結果を参考に実施する。

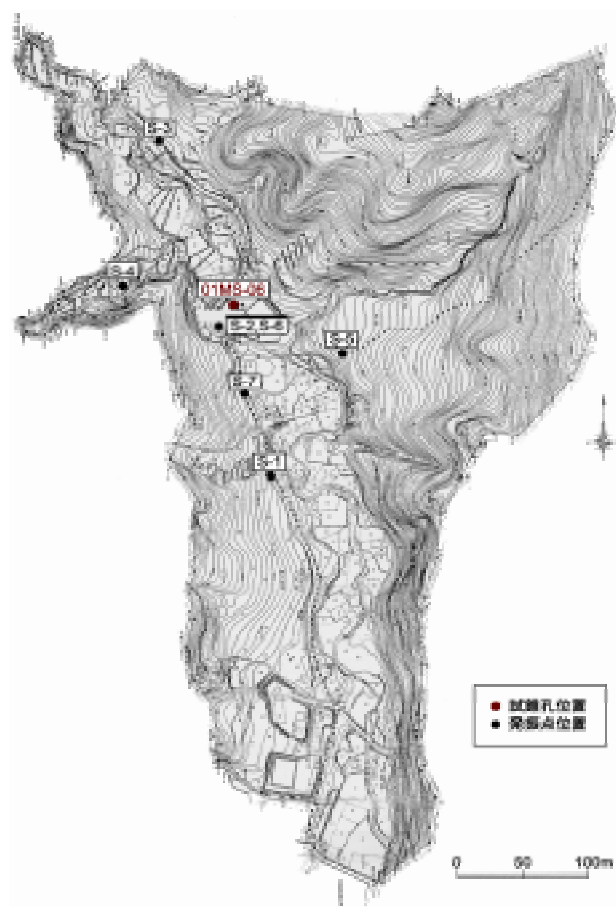


図 11 試錐孔位置図

図 12 VSP探査位置図

(2) 調査技術・調査機器の開発

正馬様用地では、気象観測装置、河川流量計、地下水位計、土壌水分計が設置されている。これらの観測装置を用い、正馬様用地で表層水理観測(図13)を計測し、地下水の岩盤浸透量の算定手法の検討を行う。



図 13 表層水理調査実施位置

5 調査技術・調査機器の開発

第1段階において必要とされる既存技術については、その適用性の確認あるいは部分的な改良を図る。第2段階および第3段階において必要と考えられる調査技術・調査機器の開発を実施する。また、必要に応じて新たな技術開発を行う。さらに、地質環境特性の異なる様々な地域への適用を考慮し、これらの技術の適用条件や適用範囲などを明確にする。

(1) 平成14年度の実施内容

本計画の各研究分野で必要とされる調査技術・調査機器の開発として、以下の項目が挙げられる。

地質構造調査技術開発

地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

岩盤の力学特性調査技術開発

次段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発

データベースの構築

地質環境データ解析・可視化システムの構築

情報公開技術の開発

以下に、平成 14 年度における開発計画を示す。

地質構造調査技術開発

これまでに、平成 12 年度から掘削を開始した MIU-4 号孔試錐調査の結果を用いて、透水性割れ目の検出方法に関する検討を行った。これまで行った MIU-1, MIU-2, MIU-3 号孔における試錐調査によって得られた知見、透水性割れ目に関する国内外の研究事例などを参考に、鉱物学的・地球化学的手法を用いた解析、地球物理学的手法を用いた解析、および構造地質学的手法を用いた解析を試みた。

平成 14 年度においては、これまでに実施した反射法弾性波探査の再解析結果などを基に、地質構造の空間的な広がりを把握するために適用した手法の予備的な評価と取りまとめを行う。また、MIU-4 号孔における試錐調査における岩芯観察結果、BTV 調査結果および物理検層結果などの新たな調査の結果を順次吟味し、それらの相互比較から、水みちの抽出・分類や、割れ目の分布とその幾何学的特性などを把握するための調査技術の適用条件や適用範囲を検討する。さらに、より確実に不整合や割れ目帯および断層などの不連続構造を推定するための補完的な技術の有効性確認のため、過去に実施した弾性波探査の測線上に試錐孔を掘削し、VSP 探査を実施する。また、MIU-4 号孔における試錐調査において、水みちの抽出・分類や、割れ目の分布および幾何学的特性を把握するための技術の有効性確認を継続し、その結果をとりまとめる。

地下水の水理特性・地球化学特性調査技術開発

地表から地下深部までの水理特性・地球化学特性に関する信頼性の高いデータを取得するため、1,000 m 対応および高温(70 度)対応の調査機器および単孔式揚水試験に対応できる調査機器を開発してきた。平成 13 年度までに、パッカーの遮水性をさらに向上させるため、および多数の亀裂を有する岩盤においても遮水性を確保するために、パッカーを多数連結して同時拡張を行える機能を付加する改良を行った。

平成 14 年度においては、これまでの使用実績を確認し、適宜改良を行う。特に、平成 14 年度以降行う試錐調査(1,500m 深度まで)に対応するため、本装置を 1,500m まで対応可能な装置に改良する。また、本装置を、高透水性区間でも対応可能な装置に改良する。

岩盤の力学特性調査技術開発

(a)1,000m 対応初期応力測定装置の開発

岩盤の初期応力データは、研究坑道掘削時の岩盤の力学的変形挙動などに関する研究や、研究坑道の設計施工に必要不可欠である。既存の初期応力測定方法は、それぞれに長所短所を有しており、地表から地下深部までを対象とした汎用性のある初期応力の測定方法が確立されているわけではない。したがって、既存の測定技術の評価を通して、地表から地下深部までの岩盤の三次元初期応力に関するデータを取得することが可能な測定装置を開発している。本装置は平成 12 年度までに、装置の製作を完了している。

平成 13 年度は装置の設計および各部の製作を行い、これらを装置として組み上げ、原位置試錐孔(最深深度 20m)にて適用試験を実施した。

平成 14 年度は、前年度の適用試験で用いた装置に必要な改良を加えた後、原位置試錐

孔(最深深度 200m)にて適用試験を実施する。

次段階以降に必要となる調査技術・調査機器の開発

(a)連続波レーダー調査技術の開発

レーダーを用いた調査・計測を支配する主要な物性は(複素)誘電率である。地下を対象とした場合、岩盤の誘電率に比べて水の誘電率は大きく、両者には大きなコントラストがあるので、例えば透水性の割れ目帯において電磁波の反射現象や電磁波速度の低下が考えられる。したがって、このような現象に着目することにより、レーダー調査技術は、透水性の割れ目帯を対象とした調査に有効であると考えられる。

第3段階においては、複数の試錐孔を利用したレーダートモグラフィ調査の適用が考えられるが、大まかな制御のパルス波を用い、受信信号だけを用いた時間領域解析を行う従来の手法の探査可能距離は一般に数10 m程度が限界であり、弾性波トモグラフィ等と比べて大きくない。また、空間分解能は、卓越する周波数の波長程度であり、探査距離拡大のために減衰の少ない低い周波数を使うと、空間分解能を落とすことになる。これに対して、精密制御した連続波を採用し、適当な期間を観測することにより、必要な探査距離と空間分解能を共に確保することが可能である。また、広い周波数範囲の連続波を周波数領域別に解析することにより、地質構造の調査・解釈に有為な情報となりうる岩石物性の周波数特性の違いを抽出することも可能である。これらの優位性に着目して連続波レーダー調査技術の開発に取り組んでいる。

平成13年度においては、探査距離の拡大と空間分解能向上の両立の可能性を検証するため、12年度までに開発した実験機と時間区間蓄積型データロガー等を組み合わせた特性試験(地下レーダーとしては比較的低い周波数を対象とする)を行うための準備を行った。

平成14年度においては、探査距離の拡大と空間分解能向上の両立におけるデータ取得・処理・解析要素技術(精密制御定常信号、アレイ観測、合成開口処理、存否解析等)の有効性を確認するために準備を進めてきたアレイ観測試験(正馬様洞で実施)を本格化し、その結果得られる知見を基に連続波レーダーの特性試験を計画・実施する。

(b)正弦波水理試験システムの開発

平成13年度までに、孔間の不均質場を推定するための解析手法の開発における基礎的な研究として、孔間試験を模擬した数値実験を行うとともに、正弦波水理試験により空間的な水理パラメータを推定するための手法の検討を適宜行ってきた。

平成14年度においては、正弦波水理試験により空間的な水理パラメータを推定するための手法の検討を適宜行う。

(c)トモグラフィデータの解析手法の高度化

坑道を利用した調査・研究段階においては、複数の試錐孔を利用した各種のトモグラフィ調査が、地下深部での不連続面の広がりを調査する上で有効である。

平成13年度までに、解析手法に関して抽出された課題のうちとくに速度構造初期モデル依存性が大きい点(初期モデルから大幅な修正が期待できない点や初期モデルと真の速度構造の違いが大きいと安定した解が得にくい点など)について、他の解法の導入などを含めて改良を検討した結果、周波数領域の解法(逐次修正解析の初期段階では低周波数成分

を扱って比較的大きな構造を再現し、解析が進むにつれて高周波成分を扱って小さな構造を再現する解法)が有効である可能性があることがわかった。

平成14年度においては、本解法の適用性やメリット・デメリットを明らかにしながら引き続き上記課題の解決方法について検討を行う。また、解析対象となる実波形データの品質およびその管理について、弾性波を用いた地質構造調査で得られる実データ・知見を通じて確認する。

データベースの構築

平成14年度については、これまでに構築してきた調査用データベースの運用を通して、適宜改良を行う。

地質環境データ解析・可視化システムの構築

平成12年度までに本システムの開発は概ね終了した。今後は、本格的な運用を行うとともに、今後の運用で抽出される課題などについては適宜、改善を図る。

情報提供技術の開発

(a) VRシステムの構築

本計画を一般の方々にわかりやすく説明するため、VR(バーチャルリアリティー)技術を利用した情報提供を実現する。

平成13年度までに、本計画において実施している調査・研究について、一般の方々の理解を促進させるために、VRシステムの適用を開始し、本計画および研究所施設紹介のためのデスクトップパソコン用の「超深地層研究所の仮想体験」ソフトの開発と改良などを実施するとともに、従来作成したソフトウェアの整理・改良、超深地層研究所に設置する具体的なシステムの検討、および関連して必要となるVR技術の開発などを行った。

平成14年度においては、研究坑道等の設置場所変更に伴う既存ソフトの修正、および一般の方々に楽しみながら地下のことを知っていただくためのソフトの改良、視覚以外の感覚も利用した広報用の地下疑似体験VRシステムの検討などを行う。

6 スケジュール

平成14年度に実施する主な調査・研究のスケジュールを表1に示す。

表1 平成14年度 調査・研究スケジュール(瑞浪超深地層研究所計画用地)(1/3)

	平成14年度												
	H14									H15			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
(1)研究成果の統合化													
					統合化データフローの検討								
(2)地質・地質構造													
・地上物理探査	調査	○			解析								
・浅層試錐調査				調査				○		解析			
・深層試錐調査											調査		
・モデルの構築													
(3)地下水の水理													
・浅層試錐調査				調査				○		解析			
・深層試錐調査											調査(随時)		
・モデルの構築/地下水流動解析													
(4)地下水の地球化学													
・浅層試錐調査				調査				○		解析			
・深層試錐調査											調査(随時)		
・モデルの構築													
(5)岩盤の力学特性													
・深層試錐調査											調査(随時)		
・モデルの構築													
(6)物質移動に関する調査・研究													
					既存情報の整理・分析/計画検討								
(7)深地層における工学技術に関する研究													
					レイアウト/施工計画/安全対策の具体化								

表1 平成14年度 調査・研究スケジュール[正馬様用地](2/3)

	平成14年度												
	H14									H15			
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
(1)地質環境のモデル化技術の高度化													
研究成果の統合化					統合化の方法論の取りまとめ								
地質・地質構造			試錐孔掘削、VSP探査							解析			
地下水の水理				透水性割れ目の同定・分類手法の検討									
					観測の継続								
地下水の地球化学 ・地球化学モデルの構築			長期揚水試験結果等を用いたモデルのキャリブレーションなど										
				地球化学モデルの検討									
(2)調査技術・調査機器の開発				表層水理観測、涵養量の設定方法の検討									

表1 平成14年度 調査・研究スケジュール[調査技術・調査機器の開発](3/3)

	平成14年度											
	H14									H15		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
・地質構造調査技術開発												
				透水性割れ目の同定・分類技術								
・地下水の水理特性・地球化学特性調査 技術開発				改良(現場対応) 深度1,500m対応の装置に改良								
・岩盤の力学特性調査機器技術開発 - 1,000m対応初期応力測定装置の開発						適用試験						
・次段階以降の調査技術/調査機器の開発												
- 連続波レーダー調査技術の開発				特性試験の計画・実施								
- 正弦波水理試験システムの開発				手法の検討								
- トモグラフィデータの解析手法の高度化				解析手法の検討								
・データベースの構築				データベースの運用、今後の開発課題の検討								
・地質環境データ解析・可視化システムの 構築				システムの運用と課題の抽出								
・情報提供技術の開発 - VRシステムの構築				VRシステムの改良								

参考文献

原子力安全委員会(2000):高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)。

原子力委員会(2000):原子力の研究,開発及び利用に関する長期計画(平成12年11月24日)。

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会(2000):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術的信頼性の評価(平成12年10月1日)。

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 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -, サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020 ~ -024。

核燃料サイクル開発機構(2001):広域地下水流動研究年度報告書(平成12年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017。

核燃料サイクル開発機構(2002):超深地層研究所地層科学研究基本計画2002年2月, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018。

参考

「花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究」
(地表からの調査・研究)

1. 花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究のこれまでの概要

東濃地科学センターが地質環境特性に関する研究を進めている岐阜県東濃地域には、白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)が広く分布する。この土岐花崗岩を基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)と、固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が分布する。これらのうち、わが国に広く分布する白亜紀花崗岩体のひとつである、土岐花崗岩を主な対象として、広域地下水流動研究および超深地層研究所計画を進めている(図1)。

広域地下水流動研究は、深地層の科学的研究の一環として、平成4年度から東濃鉦山周辺地域を研究開発の場として実施している。本研究の目標は、広域(ここでは地下水流動系の涵養域から流出域までを包含する数十 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、地下水の流動特性や地球化学特性などを明らかにするために必要な調査・解析技術の開発と、その適用性の評価であり、この目標に向け、地下深部の地質環境に関わる現象やそのメカニズムに関する研究を進めている。本研究では、開始から5年程度の間は、主として調査・解析技術に関する要素技術とその有効性・適用性の確認に主眼を置いた調査・研究を行った。具体的には、試錐調査を中心に深度 1,000m 対応の地下水調査機器を実用化するとともに、試錐孔の清水掘削技術などのノウハウを蓄積した(サイクル機構, 2000; 小出・前田, 2001)。また、これらの試錐調査により得られた地下水の流動特性および地球化学特性の深度方向の変化などを整理し、「第2次取りまとめ」に反映した。これまでに行われてきた試錐調査の位置を図2に示す。「第2次取りまとめ」以降は、それまでの要素技術開発と並行して、地下深部の地下水流動系の全体像を把握するための地上からの調査技術やモデル化技術の整備を進めている。

超深地層研究所計画は、結晶質岩を主な対象に、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」と「深地層における工学技術の基盤の整備」を全体目標として、約20年間からなる調査・研究を進めている(サイクル機構, 2002)。本計画は以下の三つの段階に分けて進める。

- ・ 第1段階: 地表からの調査予測研究段階
- ・ 第2段階: 研究坑道の掘削を伴う研究段階
- ・ 第3段階: 研究坑道を利用した研究段階

本計画では、第1段階の研究として、平成8年度より岐阜県瑞浪市明世町正馬様にサイクル機構が保有する用地(正馬様用地: 約14ha)において、地上物理探査、表層水理調査および深度700~1,000mの試錐調査を実施してきた。本計画の試錐調査は、これまで4孔(MIU-1, MIU-2, MIU-3, MIU-4号孔)を掘削し、物理検層、岩芯観察、水理試験、力学試験および岩芯を用いた室内試験などを行った(図3)。また、これらの情報に基づき、段階的に地質環境モデルを構築するとともに、これらに用いた調査手法・モデル化手法の適用性についての知見を蓄積してきた(サイクル機構, 2001a; 中野・大澤, 2001)。さらに、国内外の先行事例や国の原子力長期計画が示した深地層の研究施設に求める成果などを考慮し、第2段階および第3段階の調査・研究項目を抽出するとともに、研究坑道の展開手順や研究坑道掘削の仕様の決定方法などを検討した。

その後、超深地層研究所計画については、平成14年1月17日に、瑞浪市と瑞浪市明世町の市有地(瑞浪超深地層研究所用地、以下「研究所用地」)の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道および関連施設を設置することとなった。

今後、地質環境特性に関する研究を進めるにあたっては、実際の地質環境を対象とした

調査・研究を通して、取得される情報量と地質環境の理解の程度との関係を事例的に示すとともに、用いられた各種調査・解析技術の適用性の評価と、それらの技術の組合せや手順および適用に際しての留意点などを示した調査・解析フローの構築がひとつの重要な課題である。そのためには、特に、研究所用地とそれを対象領域として含む広域地下水流動研究の研究成果を相互に活用するよう計画を策定し、広い領域から研究坑道を展開する研究所用地の領域までの、それぞれのスケールを対象とした調査手法および調査データを一連のものとして、調査・解析手法の適用性に関する知見を蓄積することが必要となる。

本資料は、「花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究」のうち、地表からの調査・研究計画の検討状況を示したものである。

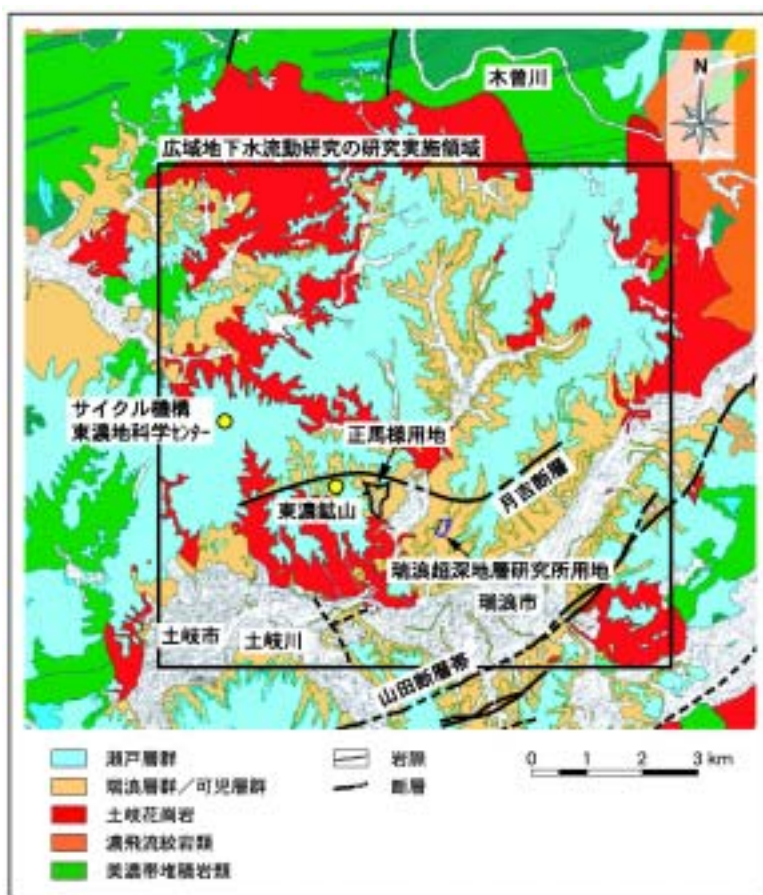


図1 東濃地域の地質概要

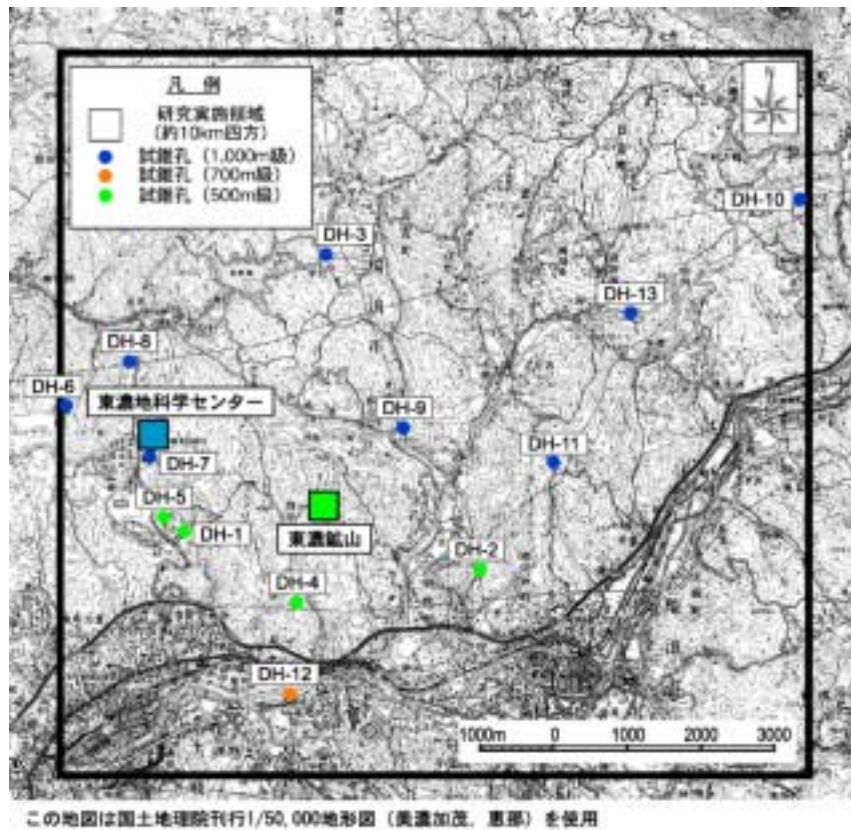


図2 広域地下水流動研究で実施した試錐調査位置図(サイクル機構,2001b)



図3 超深地層研究所計画(正馬様用地)における調査・研究の概要

2. 花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究の今後の進め方

2.1 調査・研究のアプローチ

地質環境特性に関する研究を行う場合、岩盤の不均質性を考慮した調査・研究のアプローチが重要である。しかしながら、不均質な岩盤から取得した限られた量・品質のデータに基づく地質環境モデル（例えば、水理地質構造モデル）の構築には任意性があり、そのモデルを用いた解析結果（例えば、地下水流動解析結果）には不確実性が含まれる。また、データが限られてくることに起因して、様々なデータの解釈やモデル化・解析の方法が適用され、これが地下水流動解析結果などの不確実性を増幅する原因ともなっており、ともすれば解析結果の不確実性や解釈の不確実性のために有効な調査が実施できずデータの不確実性を生ずることとなる。さらに、性能評価への展開を考えた場合、上述した不確実性に加えてモデルの簡略化に伴う不確実性や核種移行特性の不確実性が加味されることになる（図4）。理想的には、原位置データ、データの解釈、地質環境のモデル化の各段階における不確実性を定量的に評価するとともに、評価全体にわたる不確実性の影響の伝播を分析し、それぞれの不確実性の影響度と重要な不確実性要因の種類についての検討を繰り返し行い不確実性の要因を洗い出すとともに、不確実性の低減に資する効果的な取り組みが必要となる。そのため、以下に示す2つの考え方を基本に、調査・研究を進める。

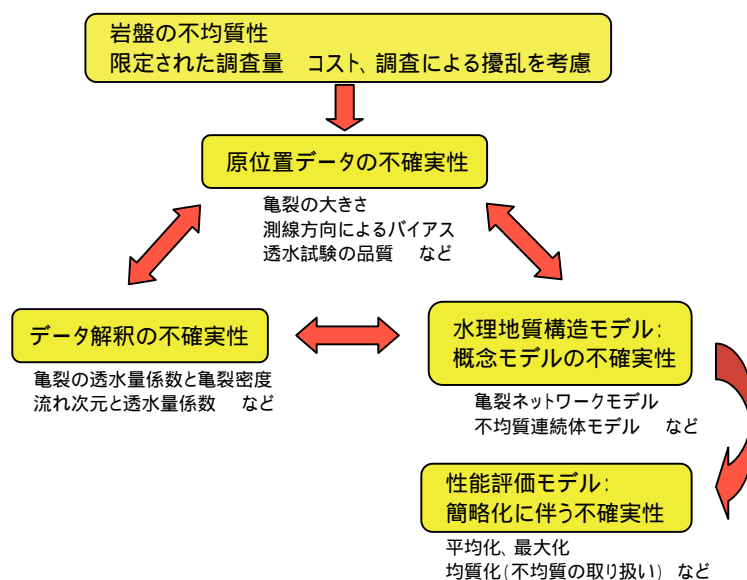



図4 地質環境の把握に関わる不確実性

統合化データフロー

正馬様用地における調査・研究において、調査・研究の全体の戦略とゴールを明確にしつつ全体の体系化と、各分野の知見の統合化を図るため、先行事例を参

考にして（Nagra，1999），調査開始からデータ解釈，地質環境のモデル化を通して評価に至るまでのデータの流れと成果の反映項目を系統的に整理した統合化データフローを構築している（図5）。

花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究を進めるにあたっては，正馬様用地で構築された統合化データフローを参考に構築する。これらの統合化データフローに沿って調査・研究の成果の統合化を進めるとともに，必要に応じて，統合化データフローを改良する。これらの知見により，地表からの調査・解析の統合化の方法論を例示することとなる。

図5 統合化のデータフローの例(地質・地質構造)
( :地質・地質構造のデータフローに直接関係する部分)

繰り返しアプローチ

花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究では，対象となるスケールは広域から段階的に調査・研究を進める。また，調査も目的に応じて地表踏査，物理探査，試錐調査と段階的に推移し，試錐調査は単孔から多孔間と調査が進展する。これらの過

程を通して得られる地質環境特性に関するデータの種類と数量は、段階的に増加する。調査の進展に応じて統合化データフローを更新しつつ、データやその解釈の不確実性を考慮して地質環境をモデル化し評価項目を定量化する。重要度が高く現実的に不確実性の低減に寄与しうる項目を統合化データフローに基づき抽出し、次の調査計画へ反映させる。これらのアプローチを調査の進展に応じて繰り返し実施することで、不確実性の低減に向けた合理的な調査と評価の体系を段階的に例示することとなる(図6)。

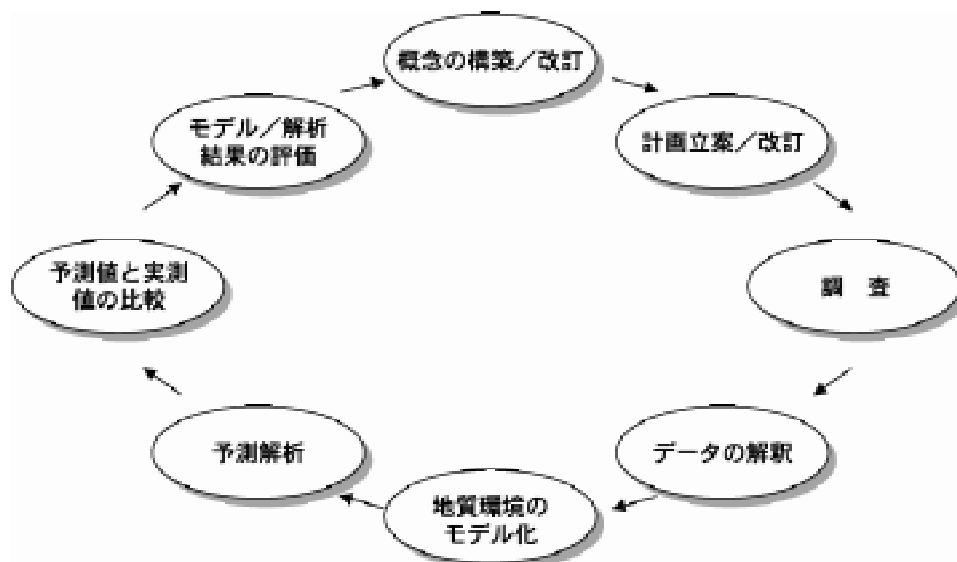


図6 調査ステップごとの調査・解析・評価の繰り返しアプローチ

2.2 スケール

地質環境特性に関する研究の成果は、処分事業における各段階の技術基盤となるよう、深部地質環境の調査・解析手法の基盤の整備を行うとともに、安全基準等の整備に対する技術基盤とする必要がある。そのため、対象とする地質環境の範囲と、建設する地下研究施設の大きさを踏まえ、海外の研究事例 (Gustafsson G. et al., 1991) を参考に、以下に示すような広域、ローカル、ブロックスケールにわけて、地表からの調査・研究を進める(図7)。これらの調査・研究により、広域スケールから順に、対象とする地質環境を絞るとともに、段階的に調査の精度を上げながら、調査で取得する情報量と地質環境の理解の程度に関する知見を得る。これらを通じて、使用した調査・解析手法の適用性の評価を例示することができる。

- 広域スケール (数十 km 四方以上)

本研究に関わる地表からの調査・研究では、ローカルスケールの対象領域および境界条件を設定することを目的とし、文献調査および既存データに基づく地形解析などにより感度解析的に地下水流動解析を行う。この解析・評価を通じて、サイト特性調査を展開すべきローカルスケールの対象領域や境界条件の設定に関する手法の適用性を例示することとなる。

- ローカルスケール (数 km 四方)

本スケールは、研究所用地を囲む、地下水の涵養域から流出域を含む範囲である。本スケールを対象とした地表からの調査・研究では、水理特性に関する評価項目として、地層処分システムの安全性を評価する上で重要と考えられるパラメータ、並びにブロックスケールの境界条件を設定するために重要と考えられるパラメータとして、地下水の移行経路、流量分布、ブロックスケールの領域の地下水流動場(水頭・流量分布)などを設定し、段階的に行う調査・研究の計画立案、データの解釈、地質環境のモデル化および評価を通して、地質環境の理解の程度を確認していく。この過程を通じて、地表からの調査・研究で最も重要なローカルスケールにおける調査・解析手法の適用性を評価することとなる。

- ブロックスケール (数百 m 四方)

本スケールは、ローカルスケールで構築した地質環境モデルを、実際に研究坑道や研究坑道から行う試錐調査などにより得られた情報で評価するための領域と位置づける。なお、本スケールの対象領域の範囲は、地表からの調査・研究で取得される地質環境の情報と、第2段階および第3段階で扱う各分野の課題を基に設定するため、その範囲については、今後行う第2段階および第3段階の調査・研究の具体化と並行して行っていく。

これらのスケールのうち、広域スケールおよびローカルスケールを対象とした調査・研究は主に広域地下水流動研究で、ブロックスケールを対象とした調査・研究は主に超深地層研究所計画で行っており、それぞれの研究成果は相互に活用していく。

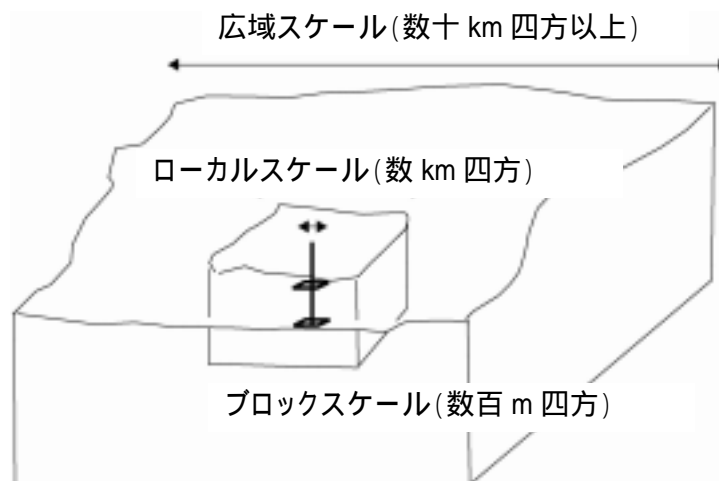


図7 スケールの概念

2.3 既存情報等に基づく瑞浪超深地層研究所用地およびその周辺の地質環境特性

ウラン鉱床を対象とした調査，広域地下水流動研究などの既存情報を整理するとともに，リニアメント解析および地表における地表概査を行った。これらの情報から，地表からの調査・研究で確認する必要がある地質環境特性を抽出した。

研究所用地およびその周辺の地質環境特性は以下のとおりである。

地質・地質構造

- ・ 研究所用地周辺には，基盤である後期白亜紀の土岐花崗岩とそれを覆う第三系の瑞浪層群が分布する（図1）。
- ・ 堆積岩と花崗岩の不整合面には，起伏の変化に富むチャンネル構造が存在する（図8）。研究所用地近傍にある既存試錐孔（DH-2号孔）では堆積岩の層厚が約170m程度である。また，研究所用地内で過去に掘削された試錐孔情報から，堆積岩の層厚が場所により大きく変化すると予想される（図9）。
- ・ 堆積岩の最下部には，高透水性と推察される基底礫岩層が分布する。また，堆積岩中の中～上部には低透水性と推察される数層の凝灰質泥岩層が挟在する。
- ・ リニアメント判読結果から，北北西-南南東系，北西-南東系，北東-南西系，東西系から構成される複数の不連続構造が分布する可能性が想定される（図10）。特に，研究所用地南東部の地下壕跡地で確認された北北西-南南東系の不連続構造（高角度東傾斜の断層）は，比較的規模が大きく，研究所用地と交差する可能性が高い（図11）。

地下水の水理

- ・ 研究所用地周辺の地下水は，地形に依存し，概ね北東から南西の方向に流れている（図12）。
- ・ 「地質・地質構造」に示したチャンネル構造，地質構造，断層などに，地下水流動は規制されていると考えられる。

地下水の化学

- ・ 堆積岩中に酸化還元境界が存在する可能性が高い。
- ・ 花崗岩中の浅部（深度300m以浅）の地下水はNa-Ca-HCO₃型で，中性（pH7）かつ酸化性（Eh>0mV）の地下水であるのに対し，深部（深度300m以深）の地下水は，Na-HCO₃型で，弱アルカリ性（pH9）かつ還元性（Eh<-300mV）の地下水である（図13）。
- ・ 土岐川近傍で掘削された試錐孔（DH-12号孔）において，上記の地下水と異なる，Na-Cl型の地下水が確認されている（図14）。Na-Cl型の地下水が存在した場合，研究坑道を掘削することによる地下水流動の変化により，Na-HCO₃型とNa-Cl型の地下水の混合が予想される。



図8 堆積岩と基盤花崗岩の不整合面の等高線図

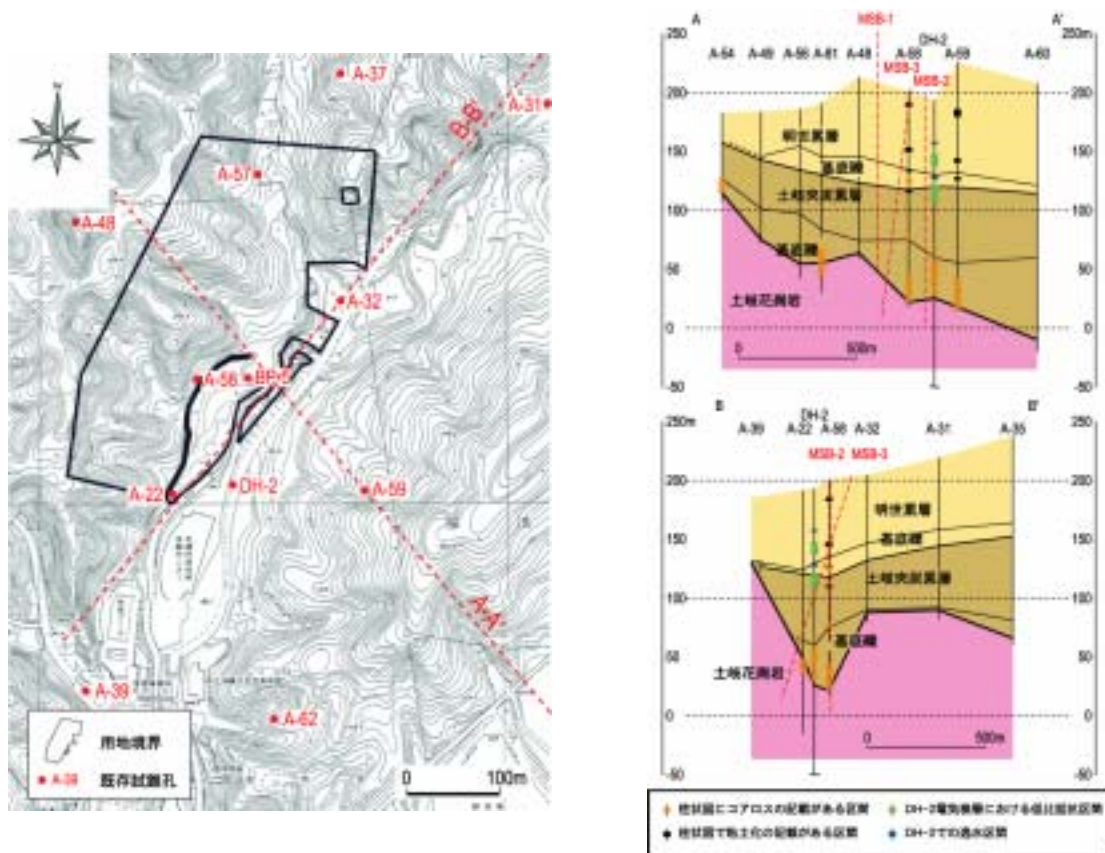


図9 研究所用地の地質断面図

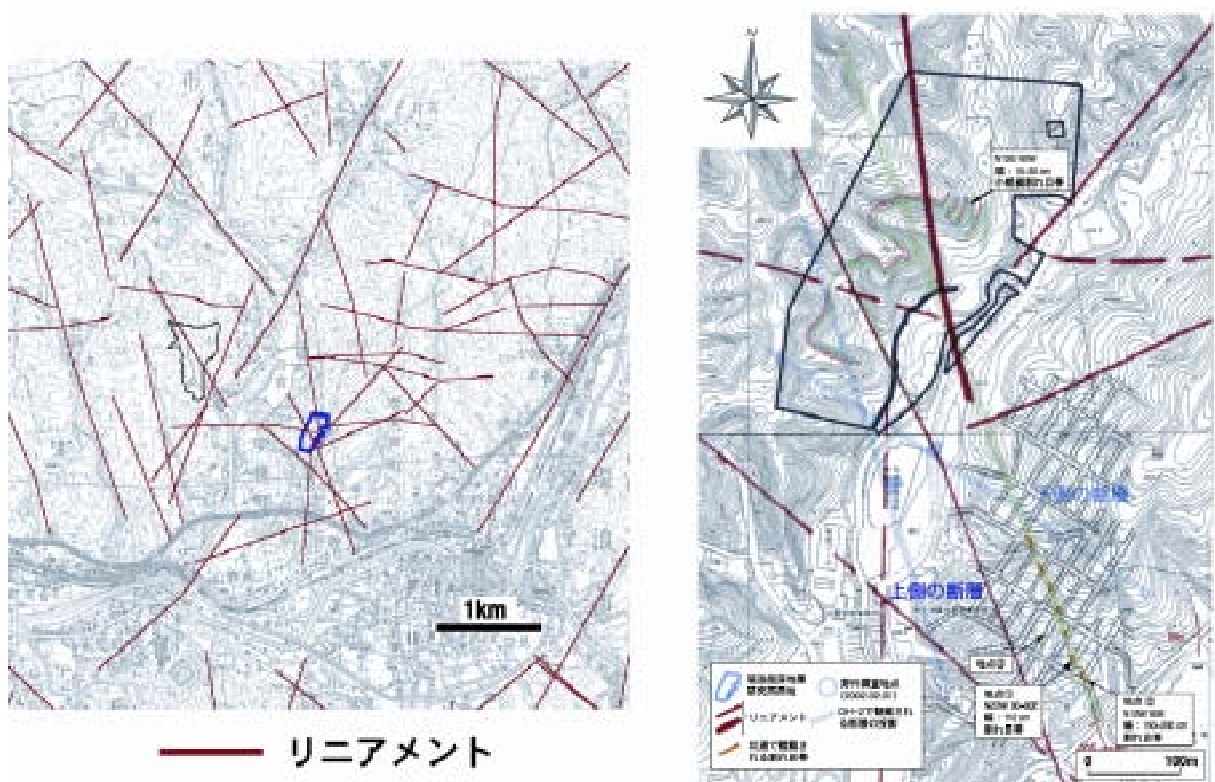
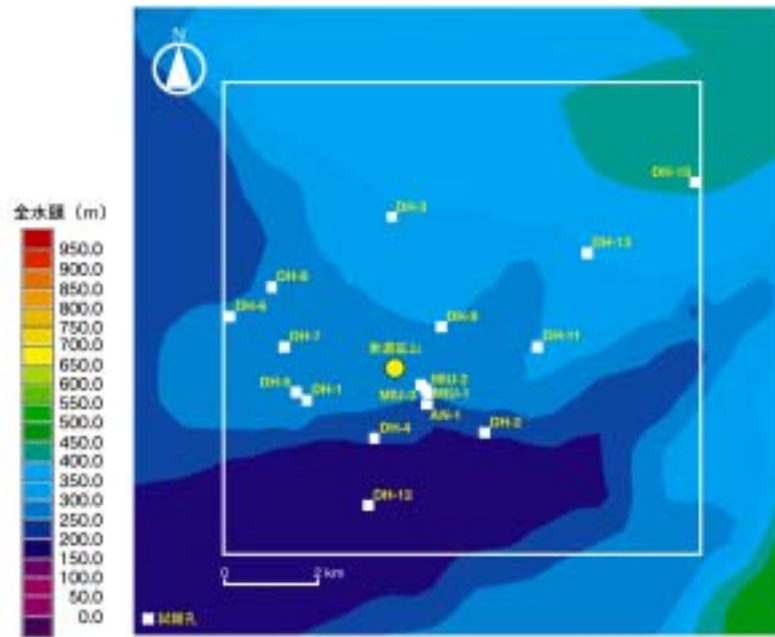


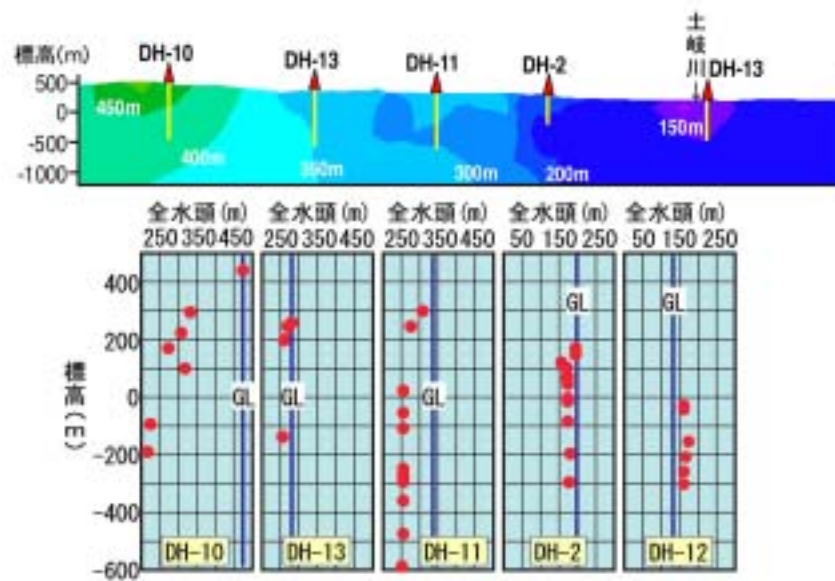
図 10 研究所用地周辺のリニアメントおよび推定断層



図 11 地下壕で確認された断層露頭



(a) 標高-1,000m における地下水の全水頭分布(解析結果)



(b) DH-10 号孔 ~ DH-12 号孔間の全水頭分布
(解析結果(上), 実測値(下))

図 12 研究所用地周辺の地下水流動(サイクル機構, 2001b)

図 13 地下水の水質(サイクル機構, 2001b)

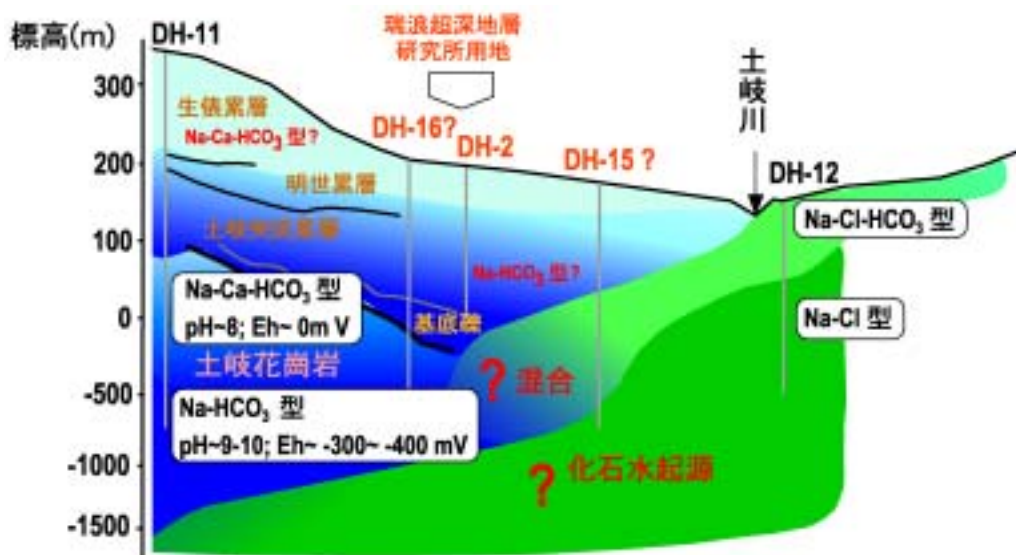


図 14 地下水の水質分布の概念

これらの研究所用地およびその周辺における地質環境を考慮し、以下に示すような調査・研究の課題を抽出した。なお、これらの課題については、今後取得される情報も含めてさらに整理・分析をくわえ、より具体的なものとしていく。

堆積岩

研究所用地付近では、堆積岩と基盤花崗岩の不整合面がチャンネル構造(チャンネルの軸は北西から南東方向)を形成し、チャンネル構造に沿って高透水性の礫岩層が存在すること、堆積岩が厚いこと、それに沿った地下水流動が想定される。このことを踏まえ、堆積岩の地下水流動が花崗岩中の地下水流動にどのように影響しているのか、また、研究坑道掘削により、その地下水流動がどのように変化するのか確認する必要がある。

堆積岩中の地下水の地球化学については、これまでの東濃鉦山での調査・研究の知見から、堆積岩中に酸化還元境界が存在することが予想されるため、研究坑道掘削により、どう変化するかを確認する必要がある。

また、研究所用地周辺での地質調査により、本用地の南西部を通過する断層が想定されたため、今後の調査・研究計画を策定する上でも、かつ施工計画に早期に情報を反映するためにも、断層の有無と位置の確認を行うことが必要である。

花崗岩

地質・地質構造に関しては、現在推定されている不連続構造の有無、種類、位置、規模、空間的分布、幾何学的形状等の地質学的特性の把握と、それらが地下水流動に与える影響を把握していくことが重要な課題である。しかし、試錐孔調査については調査数量に制限があるため、研究所用地およびその周辺において、地上物理探査を行い、試錐孔調査を効率的に行うことが必要である。

地下水流動に関しては、研究所用地周辺の全体的な地下水流動が北東から南西方向であることを踏まえ、この全体の地下水流動の流れに沿って試錐孔調査を行い、ローカルスケール全体の地下水流動を把握するとともに、研究坑道掘削による影響を把握するためのモニタリング孔として用いることが必要である。

地下水の水質に関しては、土岐川近傍で掘削された試錐孔(DH-12号孔)において、Na-Cl型の地下水が確認されている。Na-Cl型の地下水が存在した場合、研究坑道掘削による地下水流動の変化によりNa-HCO₃型とNa-Cl型の地下水の混合が予想されるため、全体の地下水流動の方向に沿って試錐孔を配置し、地下水の水質を確認するとともに、研究坑道掘削中の地下水の水質の変化を確認していく必要がある。

さらには、1,000m級の研究坑道を掘削するものの、これまで1,000m以深の地質環境に関する情報を取得していない。1,000m級の研究坑道を想定して地下水流動解析を行う場合、境界条件の影響を踏まえ、1,000mより深い部分までモデル化し解析する必要がある。

2.4 調査ステップ

花崗岩を対象とした地質環境特性に関する研究の調査ステップの概念を以下に示す(図15)。

ステップ1：広域スケールにおける地下水流動解析

広域スケールでの地下水流動を理解し，ローカルスケールの解析領域および境界条件を設定することを目的とし，文献調査および地形解析結果に基づき，地形，断層，および断層やモデルに設定する各地質の水理パラメータや境界条件に着目し，地下水流動解析(感度解析)を行う。この結果から，地下1,000mの地下水の涵養域から流出域を含む1つの地下水流動系を包含する範囲を，ローカルスケールの領域の地下水流動場を対象領域として設定する。

ステップ2：既存情報等に基づく地質環境のモデル化

ステップ1で設定したローカルスケールの対象領域において，既存情報に基いたローカルスケールの地質環境モデルを構築する。また，このモデルを用い，地下水流動解析を行う。この際，水理特性に関する評価項目として，地層処分システムの安全性を評価する上で重要と考えられるパラメータ，並びにブロックスケールの領域の地下水流動場を推定するために重要と考えられるパラメータとして，地下水の移行経路，流量分布，水頭分布を設定し，ステップ3以降に行う調査・研究計画の立案，さらには，調査により得られたデータの解釈，地質環境のモデル化および評価を通して，地質環境の理解度を確認していくこととなる。

ステップ3：地上物理探査，浅層試錐調査，既存試錐孔における調査などに基づく地質環境のモデル化

研究所用地およびその周辺の地質構造(断層などの不連続構造，堆積岩と花崗岩の不整合面の形状，堆積岩の堆積岩など)に関する情報を取得するため地上物理探査を行う。また，堆積岩から花崗岩風化部までを含む浅層部(以下，浅層部)の地質環境(地質・地質構造，地下水流動，地下水の地球化学)を把握するため，また研究所用地内に存在が想定されている北北西-南南東系の断層などの有無と位置を確認するため，研究所用地で浅層試錐調査を行う。さらに，研究所用地近傍の既存試錐孔を利用して，地下約500mまでの地質・地質構造，岩盤の水理，地下水の水質，岩盤力学に関する情報を取得する。これら浅層部，および研究所用地近傍の約500mまでの地質環境の情報に基づき，ローカルスケールの地質環境モデルの更新およびブロックスケールの地質環境モデルの構築を行う。調査を行った浅層試錐孔と既存試錐孔は，必要に応じてモニタリング孔として用いる。

ステップ4：地上物理探査および深層試錐調査等に基づく地質環境のモデル化

本ステップは2つのステップに区分される。最初のステップでは，ステップ3の結果を踏まえ，研究所用地およびその周辺で深層試錐調査を行う。さらに，次のステップでは，研究所用地周辺で2回目の地上物理探査を行い，その情報に基づき深層試錐調査を行う。これらの深層部の地質環境の情報に基づき地質環境モデルを更新する。

ステップ5：孔間トモグラフィー，孔間水理試験等に基づく地質環境のモデル化

研究所用地近傍の既存試錐孔および研究所用地で掘削した深層試錐孔を用いて，孔間トモグラフィーおよび孔間水理試験を行い，地質環境モデルの更新を行う。

なお，プロジェクトの品質管理という観点では，各ステップの成果をレビューし，次のステップに進むことが妥当であることを判断した後で，次のステップに進むべきではあるが，時間的な制約のため，各ステップを同時並行的に進めなければならない。そのため，適宜，その時点まで得られた成果の取りまとめ状況の質を勘案しつつ，次のステップへ知見を反映することが必要である。

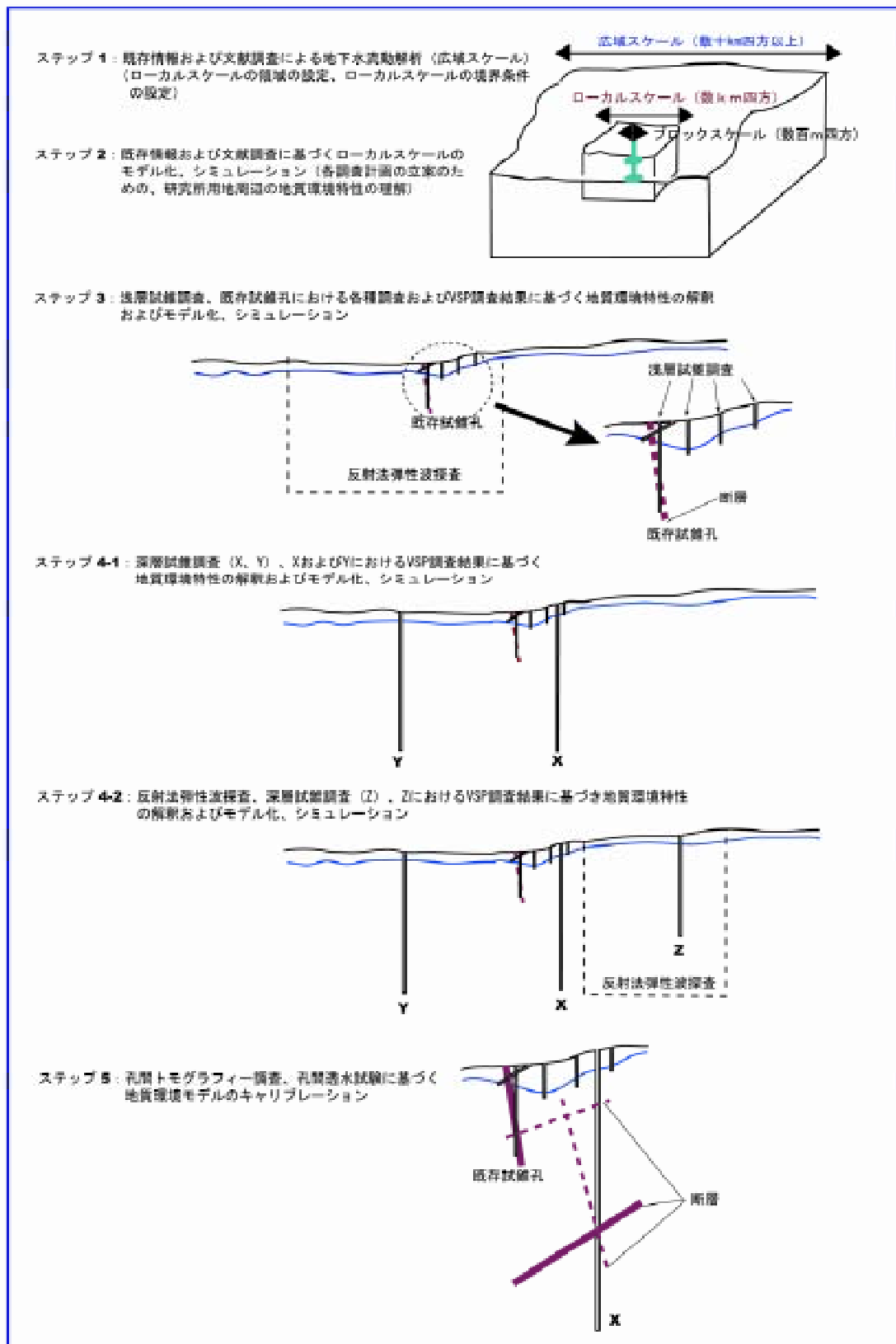


図 15 調査ステップの概念

参考文献

Gustafsson G., Liedholm M, Rhen I., Stanfors R. and Wikberg P.(1991):Aspo Hard Rock Laboratory. Predictions prior to excavation and the process of their validation, SKB Technical Report 91-23.

核燃料サイクル開発機構(2000):広域地下水流動研究の現状 - 平成 4 年度～平成 11 年度 - , サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-014 .

核燃料サイクル開発機構(2001a):超深地層研究所計画の現状 - 平成 8 年度～平成 11 年度 - , サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001 .

核燃料サイクル開発機構(2001b):広域地下水流動研究年度報告書(平成 12 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-017 .

核燃料サイクル開発機構(2002):超深地層研究所地層科学研究基本計画 2002 年 2 月, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018 .

小出 馨, 前田勝彦(2001):東濃地域を対象とした広域地下水流動研究の現状(その 2), サイクル機構技報, No.12, pp.107-122.

中野勝志, 大澤英昭(2001):超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階の現状, サイクル機構技報, No.12, pp.91-106.

Nagra(1999):Synthesis of the geological investigations at Wellenberg, Nagra Bulletin, No 32.