

超深地層研究所での地層科学研究計画 -地表からの調査予測研究段階計画を中心にして-

川瀬啓一[†] 戸高法文[†] 杉原弘造^{††}

動燃では、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(地層科学研究)を行うために、超深地層研究所を計画している。この研究所では、地層科学研究だけではなく、地震研究や地下空間を利用する研究などの幅広い分野の研究も実施することが可能である。本稿では、超深地層研究所で実施される地層科学研究計画のうち、最初の地表からの調査予測研究段階の研究計画を中心に報告する。この段階では、研究所建設用地内の地下の地質構造、地下水の流れや性質等が地表から調査される。これらの調査結果を基に、地下深部の地質環境の予測が実施され、この段階以降の研究項目の具体化や、地下施設の設計が行われる。本研究所での研究計画は、研究の進捗状況や様々な研究分野の要請に応じて、柔軟に見直しを行いながら研究を実施する予定である。

Keywords: 地層科学研究, 超深地層研究所, 地層処分, 研究計画, 深地層, 結晶質岩

The Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PNC) plans to construct the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU), in order to promote scientific studies of the deep geological environment (the Geoscientific Research Program), with a view of providing a sound basis for research and development programs regarding geological disposal projects.

The MIU project can be divided into three phases: Before, during and after the construction of the laboratory. In this paper, the research plan of the first phase (surface-based investigations) will be mainly described. In this phase, the following items will be investigated from the ground surface: Geological structures and flow field/characteristics of the groundwater, etc. in the MIU site. Based on these survey results, the prediction of the deep geological environment will be carried out, and the specific research items after the first phase and the design of underground facilities will be established.

Keywords: geoscientific research program, MIU, geological disposal, research program, deep geological conditions crystalline rock

1 はじめに

原子力委員会が平成6年6月にまとめた『原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画』(以下、原子力長計)では、日本における地層処分研究開発は、当面、地域や岩石の種類を特定することなく、幅広い地質環境を研究対象として進められ、科学的・技術的に地層処分の実現性について評価し、国民に地層処分についての理解を得て行くことを目的としている[1]。原子力長計では、「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を着実に進めること」との指針を示し、深地層の研究施設について、深地層の環境条件として考慮されるべき特性等の正確な把握や、処分技術の研究開発、地層処分システムの性能評価を行うモデルの信頼性向上等、地層処分研究に共通の研究基盤となる施設であり、我が国における深地層についての学術的研究にも寄与できる総合的な研究の場として、複数の設置が望ましいとしている。

動力炉・核燃料開発事業団(以下、動燃)では、国の方針に基づき、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を、地層科学研究として進めている。本稿で述べる超深地層研究所は、国の方針に示された深地層の研究施設の一つであり、結晶質岩を主な研究対象として岐阜県

瑞浪市の動燃用地内に建設を予定しているものである[2,3]。超深地層研究所では、地層科学研究の他に、地震の観測や地震波の伝わり方の研究、地下空間を利用する研究などが実施される予定である。超深地層研究所の全体計画については、既に報告されているため[4]、本稿では、その概略を示すにとどめ、主として超深地層研究所で行われる地層科学研究の3つの段階の研究のうち、最初の段階(地表からの調査予測研究段階)の計画について紹介する。

1.1 超深地層研究所の位置づけ

地質環境特性に関する研究については、これまで主に堆積岩を対象とした研究を東濃鉱山とその周辺において、また結晶質岩を対象とした研究を釜石鉱山において実施してきている。これらの研究は、地質に関する既存の情報や鉱山の坑道といった研究資源を活用して行われ、それぞれの岩種からなる地質環境に関する情報が蓄積されている。さらに、地質環境を調べるための要素技術の開発と、それらを組み合わせて行う試験の設計・実施・解析手法の適用と評価が進み、同一の地質環境において、適切な手順を踏んで一体的な手法として適用し、その過不足を確かめることが可能な時期にきている。

超深地層研究所では、次の理由から東濃鉱山や釜石鉱山のような既存の地下空洞に比べ、より好適な条件のもとで地層科学研究を一層拡充することができる。

- ① 地質環境の研究を、人間の手の入っていない自然の状態から開始できること。
- ② 地層科学研究の観点から地下施設を設計できるので鉱

[†] Geoscientific Research Program of Mizunami Underground Research Laboratory -Study Plan of Surface-based Investigation Phase-, by Keiichi Kawase (kawase@tono.pnc.go.jp), Norifumi Todaka and Kozo Sugihara

^{††} 動力炉・核燃料開発事業団東濃地科学センター 超深地層研究所計画室 Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Tono Geoscience Center, URL Planning Section 〒509-5102 岐阜県土岐市泉町定林寺 959-31

山の坑道などを利用する場合と比べて坑道の展開等の研究設計上の自由度が大きいこと。

③ 同一の場において、調査-解析-予測-検証の一連の手法を実施できるため、所期の成果に到達できなかった場合、任意の時点まで後戻りして研究を繰り返すことが容易であること。

その成果は、地層処分研究開発が当面の目標とする、日本における地層処分の技術的信頼性の評価を行う上での基盤的情報となるとともに、将来、特定の地質環境を対象とする研究段階に進むための、技術的な拠り所として役立つと期待される。

1.2 超深地層研究所(地層科学研究)計画の概要

超深地層研究所での地層科学研究は、以下の3段階に分け、地下施設の建設前から地下施設の完成後まで約20年をかけて実施する計画である。

(1) 第1段階：地表からの調査予測研究段階(5~6年間)

地表からの調査やボーリング孔を利用し、深地層の岩石や地下水の様子といった地質環境を、自然の状態をできるだけ乱さないように調査し、その予測を行う。また、地上施設の整備、地下施設の設計を行う。

(2) 第2段階：坑道の掘削を伴う研究段階(7~8年間)

立坑等の地下施設を建設しながら、その周囲の地質構造や地下水の状態を調査し、第1段階の予測の検証を行う。

(3) 第3段階：坑道を利用した研究段階(12~13年間)

地下施設を利用して、地下深部の岩石や地下水の長期にわたる研究や、地下深部での現象などの研究を行う。

1.3 超深地層研究所での地層科学研究の目標

超深地層研究所における研究内容は段階ごとに異なることから、目標を全体目標と段階目標に分けて設定しており、全体目標は以下の通りである。

(1) 地質環境の総合的な調査技術を確立すること。

超深地層研究所では、これまで個別に開発・改良されてきた要素技術や、それらを基に開発される技術を系統的に組み合わせ、同一の場所において地上や地下から高い精度で効率よく地質環境を調査研究・予測・検証する。このような調査研究の進め方の手法としての有効性を確認する。

(2) 深部の地質環境に関する情報を取得すること。

地質環境に関する質の高い情報を体系的に集める。これらの情報は、国内外の地球科学分野の学術的研究の成果などと併せて、日本の地質環境を概略的に示す地質構造モデルや水理地質構造モデルなどの信頼性の向上や、地下利用に用いられる工学材料の適性などを検討する上でも参考として用いられる。

(3) 深地層における工学的技術の基礎を開発すること。

将来における地下利用の基礎として、深地層に大規模な

施設を設計・施工する技術の有効性を確かめ、施設が地質環境に与える長期的な影響(例えば、各種工学材料と地下水や岩盤との相互作用など)を明らかにする。また、施設における安全確保、環境維持のための研究も行う。

1.4 施設の概要

本研究所は地上施設と地下施設から構成され、地上施設には研究管理棟、採取された岩石試料などの試料保管棟、調査機器の保守等を行うワークショップが含まれる。これらの地上施設は、対象地域の自然環境と調和するように設計・施工される。地下施設の中心となるのは、深さ1000mに達する立坑であり、その建設行為自体も地層科学研究の一部である。

海外の先行事例をみると、地下施設の配置や形状については、研究の進捗に伴って大きく見直されることが稀ではない。これは、事前に推定できなかった地質環境に遭遇し、これを回避あるいは新たな研究対象とするために当初の設計が見直されるという場合が多い。このような考え方を、"DESIGN AS YOU GO"と呼び、施設建設の基本姿勢としていくことから、本計画においてもこの考え方を参考として地下施設の配置等を具体化して行く予定である。

2 地表からの調査予測研究段階の計画

超深地層研究所で行われる地層科学研究の3つの段階の研究のうち、第1段階(地表からの調査予測研究段階)の計画について述べる。この段階に続く第2段階、第3段階の計画については、現状では概略のみを策定しており、調査・研究で得られた情報を基に、順次詳細化して行く計画である。

2.1 概要

地表からの調査予測研究段階では、超深地層研究所建設予定地の地質環境を対象に、まず地表における調査と、地表からの試錐孔を利用した調査が行われる。この段階では、地質構造、地下水の水理、地下水の地球化学に関する情報の収集が主体となる。その調査においては、「調査-解析-解析結果の評価-追加調査-再解析」というプロセスを繰り返すことにより、研究成果の信頼性の向上を図っていく(図1)。具体的には、事前の調査・解析によって得られた予測結果と、実際に行って得られた調査結果が大きく異なる場合には、その原因について考察し、必要に応じて調査を繰り返すこととしている。これに基づいて、調査手法の最適化についても随時検討していく。

これにより、対象となる地質環境の性質、および地下施設建設による地質環境への影響が予測される。予測の検証にあたっては、予測結果の評価方法や評価基準を事前に

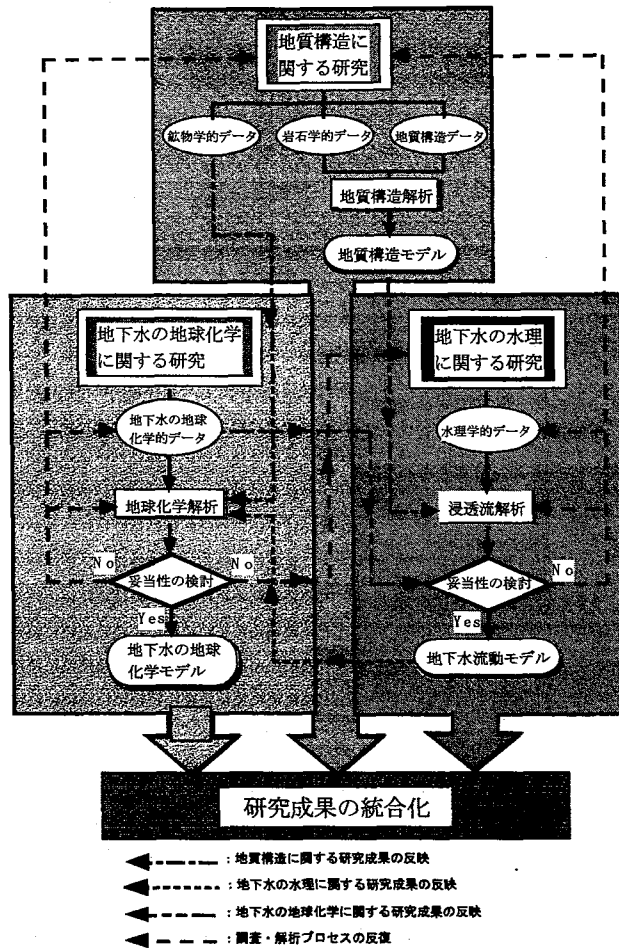


図1 超深地層研究所計画の各種調査研究の進め方

設定しておくことが重要である。一方、このような一連の調査・解析を繰り返す過程で、解析に必要なデータの種類やその質と量が明らかにされることから、地質環境に応じた調査手法の最適化が可能となっていく。調査技術・機器ならびに解析手法については、既存のものを活用して調査を実施することを基本とするが、それだけでは調査の目標を達成できない場合には、可能な範囲内で手法の開発・改良を実施する計画である。

以上のことから、地表からの調査予測研究段階では、段階目標として以下の3項目を設定している。

- ① 地表からの調査により取得される地質環境に関するデータを基に、地下の地質環境を推定し、地下施設建設に伴う影響を予測すること。
- ② 予測結果の評価方法・評価基準を定めること。
- ③ 地下施設の詳細設計を行い、坑道の掘削を伴う研究段階の計画を詳細に決定すること。

これらの目標を達成するために、地表からの調査予測段階で実施する調査研究項目の詳細について以下に示す。

2.2 地質構造調査

地質構造調査では、調査対象領域の地表から地下深部ま

での地質構造を系統的に調査し、簡明な地質構造モデルを構築することが課題となる。また、与えられた地質環境に適合した調査手法の開発を目指すことが重要であり、モデル等による予測の内容を次段階において得られる調査結果と比較することによって、手法の妥当性を確かめていくことが重要である。

ここでは、地質調査、物理探査および試錐調査が主体となる。物理探査(電気探査、弾性波・レーダー・比抵抗のトモグラフィ調査)の情報を基に、地質構造モデルを構築し、地下水水理調査および地下水の地球化学調査に活用してゆく。試錐調査では、断層や破碎帯などの形状や連続性を詳細に把握し、これに基づき地下施設の設計を行う。構築された地質構造モデルは、以降の試錐孔地点の選定にも重要な情報となる。

現時点における知見に基づく立坑予定位置、および1,000m級の試錐孔の掘削予定位置を図2に示す。このほかにも、必要に応じて浅い試錐孔を掘削する予定である。現時点での立坑計画については、地下深部への安全なアクセスという観点から、施工上問題となる地盤状況にないことが可能なこと等を考慮して、用地の中央付近に想定している。また、試錐孔は、水理地質学的な観点から考慮して、立坑予定位置を中心に3方向に、かつ放射状に配置する計画である。各方向の試錐間隔は、掘削影響の大きい立坑近傍は細かく、外側に向かって徐々に粗く配置する。これまで研究所の用地内では、既に南側において2本の試錐孔(AN-1, 3号孔)が掘削されており、現在MIU-1号孔の掘削が行われている。さらに、平成9年度内には立坑予定位置でMIU-2号孔の掘削を開始する予定である。

試錐調査で得られた結果を用いて、孔間の地質構造の推定と検証を繰り返し、地質環境を把握するため最も適した試錐孔配置についての検討を行う。したがって、現時点で幾何学的に配置されている各試錐孔は、それまでの調査結果に基づいて掘削位置を最終的に決定する。また、立坑掘削位置についても、試錐調査の結果を反映させて最終的な位置を決定する計画である。

地表からの調査予測研究段階で構築した地質構造モデルは、坑道の掘削を伴う研究段階において得られる岩相の分布や割れ目・断層などの規模や位置に関するデータと対比し、その妥当性を評価する。

2.3 地下水水理調査

地下水の水理に関する研究課題としては、500m以深の岩盤領域の透水係数を測定し、その深度依存性を把握すること、主要な水理地質構造と考えられる破碎帯の水理学的性質の解明が挙げられる。日本の地質における破碎帯の水理学的性質は、破碎帯の形成年代や地殻変動量の違いに

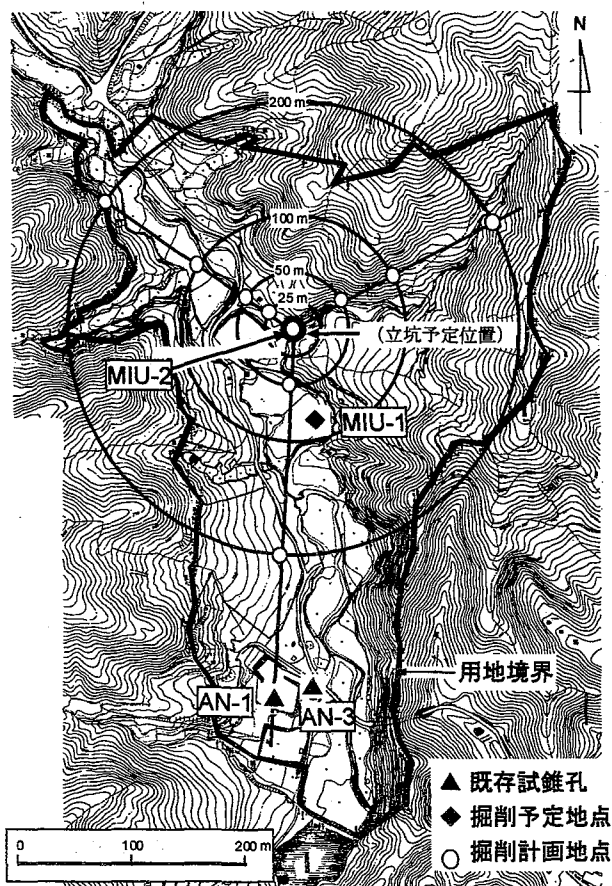


図2 現時点で想定されている深度約1,000mの試錐孔掘削地点

より、スウェーデンやカナダなどの先カンブリア紀の安定地塊における破碎帯の水理学的性質とは、透水性の点で異なるものと予想されるため、日本固有の研究課題として重要である。さらに、本計画では、岩盤の透水性が結晶質岩中の割れ目や破碎帯などの分布に支配される亀裂性岩盤を対象としているため、これに対応した地下水流動解析手法および透水係数の空間分布の推定手法の検討が必要である。

本調査では、1,000m級の試錐孔を用いて、揚水試験などを実施する。これにより得られる情報に基づき水理地質構造モデルを構築し、地下水流動解析を実施し、地下施設の掘削前の地下水流動状態を把握する。

モデル構築の一連の調査・解析は、1) 場を理解するための関連データを取得する調査、2) その調査結果を基に行う地下水流動の検討と3) モデル構築のための解析および4) モデルの妥当性の評価より成る。作成された水理地質構造モデルを基に、5) 坑道掘削に伴う地下水流動の変化を予測する。

水理地質構造モデルの構築および解析結果の検証に必要な地質学的、地球化学的情報については、地質構造調査ならびに地下水の地球化学調査の成果も活用する。

地下水流動解析の結果は、試錐孔での間隙水圧などの実測データや長期揚水試験結果との比較により評価され、必要に応じて前述の1)から4)の手順を繰り返し、モデルの最適化を図ることとなる。構築した水理地質構造モデルを用いて、地下施設の掘削に伴う周辺岩盤中の間隙水圧の変化などの範囲と規模、さらに掘削される坑道内への湧水量を予測する。これらは、坑道の掘削に伴う研究段階で計測される実測値との比較により評価される。

2.4 地下水の地球化学的調査

地下深部における地下水の地球化学的性質は、地下水の流動経路と、そこに分布する岩種に大きく影響されるものと考えられる。これまでの地層科学研究の結果においても、堆積岩と花崗岩では地下水の地球化学的性質の異なることが認められている。これらの相違は地下水が地下深部の現在位置に到達するまでにかかった時間と通過してきた岩種の相違によって生じているものと思われる。したがって、地下水の地球化学的調査は、地下水の流動や水-岩石反応を支配する地質構造調査、および地下水水理調査の結果と対比しながら進める。

ここでは、地下施設の建設が地質環境に影響を与える前の地下水の地球化学的性質の把握と、本段階に続く地下施設の建設(坑道掘削)に伴うその変化の予測を行うために必要な試錐調査、および地下水の組成変化や地下水の流動方向を簡明に表現する地球化学モデル構築のための一連の調査や予測解析が行われる。

モデル構築の一連の調査・解析は、1) 場を理解するための関連データを取得する調査、2) 水質形成メカニズムの検討、3) モデル構築のための解析および4) モデルの妥当性の評価より成る。構築された地下水の地球化学モデルを基に、5) 坑道掘削に伴う地球化学的性質変化を予測する。

地下水の地球化学モデルの構築、および地下施設の建設の影響予測に関しては、地球化学モデルを基に、調査・解析の繰り返しのなかで、地下水水理および地質構造の調査結果との比較・評価を行いつつ、その精度を高めていく予定である。

2.5 工学的技術

本研究は、地下施設の設計方法の検討、超深地層研究所での研究目標を達成するための地下施設の設計、実際の施工方法や設備の検討、さらには長期にわたる研究環境に関する問題の検討など多岐にわたる。

地下施設の設計・施工の検討に役立てるために、超深地層研究所と同様の地下研究施設を含む国内外の地下構造物の設計方法や施工実績などについて、詳細な調査を行うことが重要である。調査対象としては、スウェーデンの

HRL, カナダの URL, アメリカの ESF, スイスの GTS などの地下研究所, 金属・石炭鉱山, 地下発電所および石油地下備蓄の地下施設などがある。

地下施設は第2段階(坑道の掘削を伴う研究段階)で立坑掘削が本格的に着手されることから, その実施設計は十分な余裕をもって第1段階のうちに終了されなければならない。立坑の設計・施工は, 地表からの調査予測研究の成果を考慮して進められるものの, 現実に工事が開始されると, 予測とは違った地質環境に遭遇することが予想される。したがって, 立坑掘削段階で得られる地質環境条件を踏まえて, 逐次設計を見直すことができる柔軟性をもった考え方が基本である。

また, 本研究施設は, 約20年間にわたって使用されることから, 坑道の安定性確保や坑内環境の維持方法等長期にわたる作業上の安全性や研究環境の保持も重要な問題である。

2.6 調査技術・調査機器

地表からの調査段階では, 地表から地下深部までの地質環境が本来的に有する性質を, 出来るだけ乱すことなく正確に把握する必要があり, 各調査の目的に従って, 個々の調査手法を体系化することが重要である。

この研究段階では原則として, 既存の調査技術・調査機器を活用して調査を実施することを基本としているが, 既存技術・機器だけでは各調査の目標を達成できない場合には, その改良・高度化ならびに新しい技術・機器の開発についても検討する。開発した成果は, 順次, 本計画における調査研究に適用し, 実績を重ね改良を加えていく計画である。

以下に, 各要素技術毎の実施内容を示す。

(1) 試錐掘削技術

岩盤本来の透水性や地下水の地球化学的性質を極力乱さないために, 試錐掘削には清水を利用しているが, 掘削流体として泥水を用いない場合は孔壁崩壊が発生しやすい。そこで, 出来るだけ孔壁崩壊を誘発しない掘削方法(例えば, 三重管掘削工法)や, 部分的な孔壁崩壊に対応するために部分保孔技術などが必要である。部分保孔技術に関しては, 部分拡孔装置の開発を実施中である。

(2) 岩盤の力学調査技術

地表から地下深部までの岩盤中の3次元応力場などに関するデータを効率的に取得可能な測定手法の確立を目指し, 既存の測定技術を評価する。また, 必要に応じて測定技術の改良を行う。

(3) 1,000m 対応の水理調査装置および地球化学調査装置の改良

これまでに開発した1,000m 対応の水理調査装置および地球化学調査装置について, 使用可能な環境温度をさらに

高める改良を実施する他, 操作性・メンテナンス性を高めるための改良を実施している。

(4) 試錐孔を利用した長期モニタリング装置の開発

地下深部の間隙水圧は既存の装置で観測可能であるが, 立坑の掘削に伴い発生する立坑近傍での地下水位の低下や, 大規模な揚水試験によって発生する地下水位の低下に起因する高差圧環境に対応できるモニタリング装置の開発を実施している。

(5) 長期揚水試験装置の開発

実際の立坑掘削による地下水の低下を想定した, 大規模で長時間の揚水試験を実施するために, 大容量の揚水試験に対応できる装置の開発を実施している。

(6) 第2段階に必要な調査技術・調査機器の開発

地表からの調査予測研究段階において決定される第2段階(坑道の掘削を伴う研究段階)での調査試験研究の仕様を念頭に, 必要な調査技術・調査機器を開発する。この段階の調査では, より高い分解能が各調査技術に求められる他, 限られた空間の中で作業する必要があること, 坑道壁面と周辺岩盤の間に発生する大きな水圧の差に対応できること等が要求される。

2.7 データベースおよび地質環境データ解析・可視化システム

種々の調査で取得されるデータや, 坑道の掘削工事記録等に関連する大量のデータを効率よく管理し利用するために, 新たに専用のデータベースを構築する。さらに, 地質構造や地下水の流動現象などを解析し, その結果を3次元的に可視化できる計算機システムを構築する。このシステムは, 分野や世代の異なる研究者間の認識の共有のみならず, 専門家以外の人々への情報提供にも重要なツールになると期待される。

3 超深地層研究所の運営

超深地層研究所における地層科学研究は, 約20年という長期間にわたって進められる学術的な研究であり, 性能評価研究を中心とする地層処分研究開発の共通の基盤となる。また, 深地層の地質環境の把握は地球科学研究分野の新しい課題であるとともに, 地下約1kmまでの地震動や地震に伴う地質環境の変化などの研究についても, 大きな成果が得られると期待されている。そのために, 国内外の専門家の幅広い参加を得て, 研究分野間あるいは研究者の世代間における情報の共有化を図りつつ, 研究成果についても関連する学会等で積極的に公表し, 評価を受けてゆく方針である。

超深地層研究所の運営に際しては, 研究従事者の安全確保, および研究所周辺環境の維持は最優先に配慮される事

項である。研究を円滑に進めるためには、関係する自治体および市民の方々の理解と支援が継続的に得られることが不可欠であるため、研究成果の公開のみならず、地域住民との日常的な交流が重要であると考えている。

4 おわりに

本稿では3段階に分けて進められる超深地層研究所計画のうち、第1段階を中心に紹介した。本研究所では、地下深部の地質環境の科学的な研究と、地下空間利用の工学的な研究、さらにそれらのための調査技術開発、および地下空間の利用について、地層科学研究としてのみならず、幅広い分野の研究者や技術者がテーマを持ち寄って研究

を実施することができる。また、本研究所での研究計画は、研究の進捗状況や様々な研究分野の要請に応じて、柔軟に見直しを行いつつ進めていく予定である。

参考文献

- [1]原子力委員会：原子力の研究、開発および利用に関する長期計画 (1994).
- [2]動力炉・核燃料開発事業団 東濃地科学センター編：深地層における研究-超深地層研究所計画 (1996).
- [3]動力炉・核燃料開発事業団編：超深地層研究所計画(地層科学研究編) PNC TN7410, 95-065 (1996).
- [4]坪谷隆夫：超深地層研究所計画，放射性廃棄物研究，3, 109-114 (1997).