

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT FUNDING AND RESEARCH CENTER TOPICS

2017.6.NO.122

目次

センターの活動状況	①
超深地層研究所計画における研究の歩み	④

センターの活動状況

I 運営状況

第20回理事会の開催

平成29年3月6日（月）開催の第20回理事会において、平成29年度事業計画及び収支予算等について付議し、それぞれ原案のとおり承認可決されました。

第15回評議員会の開催

平成29年3月16日（木）開催の第15回評議員会において、平成29年度事業計画及び収支予算、平成28年12月末をもって当センターにおける再処理等資金管理業務が終了したことに伴う定款の変更等について付議し、それぞれ原案のとおり承認可決されました。

第21回理事会の開催

平成29年6月5日（月）開催の第21回理事会において、平成28年度事業報告及び決算、主たる事務所の移転等について付議し、それぞれ原案のとおり承認可決されました。

第16回評議員会（定時）の開催

平成29年6月20日（火）開催の第16回評議員会（定時）において、平成28年度事業報告及び決算等について報告するとともに、任期満了に伴う評議員、理事及び監事の選任について付議し、それぞれ原案のとおり承認可決されました。今回の改選により、次の方が交代され、その他の方は再任されました。

(敬称略)

区 分	退 任 者	新 任 者	新任者所属・役職
評議員	秋元 勇巳	桑原 政昭	一般財団法人日本原子力文化財団 専務理事
評議員	工藤 健二	藤波 秀雄	一般財団法人電力中央研究所 特別顧問
評議員	阪口 正敏	倉田 千代治	中部電力株式会社 代表取締役 副社長執行役員 原子力本部長
評議員	服部 拓也	高橋 明男	一般社団法人日本原子力産業協会 理事長
理事（非常勤）	大谷 吉邦	山本 徳洋	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 理事
監事（常勤）	渡辺 正憲	長谷 毅	株式会社日本投資環境研究所 顧問

第16回評議員会（定時）終了後、同評議員会において選任された理事及び監事の全員に対して、理事長、専務理事及び常務理事の選定について提案をし、理事全員の同意の意思表示及び監事全員の異議がない旨の意思表示を得ましたので、6月20日付けをもって高橋彰理事が理事長、古賀洋一理事が専務理事、田中俊彦理事が常務理事にそれぞれ再任されました。

Ⅱ 成果等普及活動の実施状況

平成28年度 第4回原環センター講演会の開催

平成28年度第4回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：平成29年3月28日（火）15:00～16:15
会 場：日本交通協会 大会議室
演 題：スウェーデンとカナダにおける地層処分事業
の社会的側面の取り組み
講 演 者：技術情報調査プロジェクト 佐原 聡

特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月改定）において、国民との相互理解を深め、最終処分事業を円滑に推進するための社会的側面に関する調査研究も進めていくことが重要と指摘されています。本講演では、社会的側面の調査研究の実例として、スウェーデンの処分実施主体SKB社が2004～2010年にかけて自社の活動計画内で設定した「社会科学研究プログラム」、カナダの実施主体NWMOがサイト選定計画の立案段階で行った「社会調査研究プログラム」を取りあげ、どのような調査研究が行われたのかを紹介しました。



平成29年度 第1回原環センターセミナーの開催

放射性廃棄物処分の安全評価の入門知識を習得したい技術者・研究者を対象とした、第1回原環センターセミナー「放射性廃棄物処分の安全評価の基礎Ⅰ」を以下のとおり開催しました。受講者は26名で、最後の総合討論では、受講者からの質問に、講師から詳細に回答をしていただき、講義内容の理解を深めました。

開催日時：平成29年5月17日（水）10:30～18:15
開催場所：京都大学 東京オフィス A, B会議室
講師：公益財団法人原子力安全研究協会
技術顧問 朽山 修 氏

プログラム：

講義1 放射性廃棄物と社会
講義2 核反応・放射線の基礎と放射線の健康影響
講義3 放射性廃棄物処分の基本戦略
総合討論



平成29年度 第1回原環センター講演会の開催

平成29年度第1回原環センター講演会を以下のとおり開催しました。

開催日時：平成29年5月19日（金）15:00～17:00
会場：原環センター 第1、2会議室
演題：超深地層研究所計画における研究の歩み
講演者：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター 地層科学研究部
結晶質岩地質環境研究グループ
グループリーダー 笹尾 英嗣 氏

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構では、岐阜県瑞浪市において超深地層研究所計画を進めており、瑞浪超深地層研究所を設置して、結晶質岩（花崗岩）を対象とした深地層の科学的な研究（地層科学研究）を行っています。本講演では、超深地層研究所計画に参画されている研究者から、これまでの経緯及び成果、並びに研究の現状を紹介していただきました。



Ⅲ 事務所の移転のお知らせ

当センターの事務所を以下に移転し、9月11日（月）から業務を開始することとなりました。詳細はホームページでお知らせいたします。東京メトロ有楽町線「新富町」駅6番出口より徒歩6分、東京メトロ日比谷線「築地」駅3番出口より徒歩10分です。

【新事務所住所】

〒104-0044 東京都中央区明石町6番4号 ニチレイ明石町ビル12階

超深地層研究所計画における研究の歩み

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター 地層科学研究部
結晶質岩地質環境研究グループ
グループリーダー 笹尾 英嗣

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)は、原子力発電環境整備機構が進める高レベル放射性廃棄物の地層処分事業と国による安全規制の両面を支えるため、地層処分技術に関する研究開発を進めてきた。このうち、東濃地科学センターでは、深地層の科学的研究(地層科学研究)の一環として、岐阜県瑞浪市において「超深地層研究所計画」(以下、本計画)を進めている。本計画では、瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)を設置して、結晶質岩(花崗岩)を対象とした地層科学研究を行っている。

本計画は、原子力機構が前身である動力炉・核燃料開発事業団(以下、動燃事業団)および核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)の時代を通して、岐阜県瑞浪市で結晶質岩を主な研究対象として進める深地層の科学的研究であり、「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, 1994, 2000; 以下、原子力長計)、および「原子力政策大綱」(原子力委員会, 2005)が定める「深地層の研究施設計画」の一つである。なお、原子力長計では、深地層の研究施設の計画は処分場の計画とは明確に区別して進めることが明記されている。

本報告では、本計画を中心に、これまでの経緯および成果、並びに研究開発の現状を紹介する。

2. 東濃地科学センターの歴史

東濃地科学センターでは、国内外でのウラン資源調査探鉱と地層科学研究を担当してきた(図-1)。

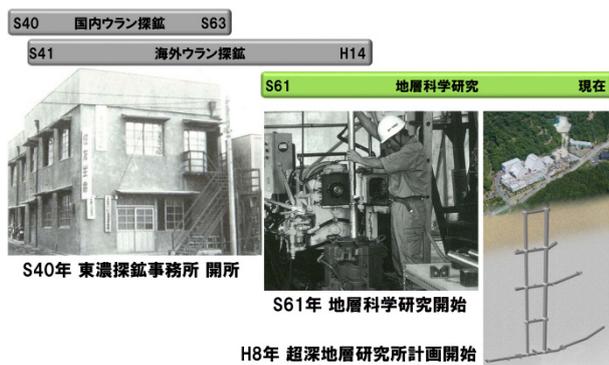


図-1 東濃地科学センターのあゆみ

東濃地科学センターが所在する岐阜県東濃地方はわが国最大のウラン鉱床地帯であり、昭和37年(1962年)に通商産業省工業技術院地質調査所(当時)が土岐市でウラン鉱床の露頭を発見した。その後、原子力機構の前身である原子燃料公社が昭和39年(1964年)に本格的な探鉱作業を開始し、昭和40年(1965年)に土岐市に東濃探鉱事務所を開設した。同事務所は国内外のウラン資源探査の基地としての役割を果たしてきたが、昭和61年(1986年)から地層処分技術の研究開発の一環としての地層科学研究を開始した。

地層科学研究では、「地質環境特性に関する研究」と「地質環境の長期安定性に関する研究」を行ってきた。地質環境特性に関する研究では、東濃鉱山およびその周辺における調査研究、広域地下水流動研究および本計画の3つのプロジェクトを推進した。このうち、東濃鉱山およびその周辺における調査研究では、ウラン鉱床が長期間保存された地質環境の調査研究や1,000m級のボーリング調査、立坑掘削影響試験などを実施した(平成15年度末で終了)。

3. 超深地層研究所計画の経緯

動燃事業団は平成7年(1995年)8月21日に本計画を公表した。同年12月28日に当時の岐阜県知事、瑞浪市長、土岐市長および動燃事業団理事長の四者により、本計画の前提を明文化した協定(東濃地科学センターにおける地層科学研究に係る協定)を締結した。これを受け、平成8年(1996年)から本計画を開始し、平成9年(1997年)から岐阜県瑞浪市の原子力機構の所有地である正馬様用地(図-2)において「地表からの調査予測研究段階(第1段階)」の調査研究を進めた。

超深地層研究所の設置場所については、当初は正馬様用地に建設する計画であったが、主に社会的な問題から建設工事が進められない状況が続いた。その後、瑞浪市からの提案により、同市の市有地(図-2)の瑞浪超深地層研究所)を借用して研究所の研究坑道などの施設を設置することとし、平成14年(2002年)1月に瑞浪市と市有地の賃貸借契約を締結して平成15年(2003年)7月に研究坑道の建設を開始した。



図-2 東濃地科学センターの主な施設

本計画を進めるに当たっては、地元自治体と3つの協定を締結している(図-3)。これらの協定では、研究所に放射性廃棄物を持ち込むことや使用することは一切しないこと、研究所を将来においても放射性廃棄物の処分場にしないこと、研究所を公開し、開かれた施設とすること、地域住民の生活環境を保全すること等を約束している。なお、環境保全協定は、立坑が花崗岩部分に到達した際に、地下水に含まれているフッ素、ホウ素の濃度が環境基準を超えたため、河川へ放流するための水質基準を定めたものである。

三つの協定を順守し研究を推進

- ✓ 地層科学研究に係る協定【平成7(1995)年】
- ✓ 研究用地の賃貸借契約に係る協定【平成14(2002)年】
- ✓ 環境保全協定【平成17(2005)年】

これらの協定で以下を約束

- ✓ 放射性廃棄物を持ち込むことや使用することは一切しない。
- ✓ 将来においても放射性廃棄物の処分場とはしない。
- ✓ 研究所を公開し、開かれた施設とする。
- ✓ 地域住民の生活環境を保全する。 など

図-3 研究を進めるにあたっての地域との約束

以下、西尾・大澤(2016)等に基づいて、本計画の主要な経緯をまとめる。

- ・平成7年(1995年)初めに「超深地層研究所構想」を岐阜県、瑞浪市、土岐市にご説明。その後「東濃研究学園都市」構想に相応しい施設となるよう両市・県と検討を重ね、計画を取りまとめ。
- ・平成7年8月21日 「超深地層研究所計画」について、瑞浪市議会にご説明後、報道機関に公表。
- ・平成7年8～9月 瑞浪市から科学技術庁および科学技術庁長官に放射性廃棄物を持ち込まないことや、最終処分場にしない旨を照会し、科学技術庁原子力局長(1995年8月31日付)および科学技術庁長官(1995年9月13日付)から回答。

- ・平成7年12月 地元の月吉区が「月吉区動燃対策委員会」(以下、対策委員会)設置。

- ・平成7年12月28日 岐阜県、瑞浪市、土岐市、動燃事業団の間で「東濃地科学センターにおける地層科学研究に係る協定」締結(科学技術庁原子力局長立ち合い)。

- ・平成8年(1996年) 「超深地層研究所計画」開始。

- ・平成9年(1997年) 正馬様用地において、ボーリング等の調査を開始。

- ・平成13年(2001年)6月 サイクル機構による「対策委員会」への事業説明会において、対策委員会としては、高レベル放射性廃棄物の最終処分場の建設や研究所の運営に予定していた新設市道の建設については容認できないとの意向を表明。

- ・平成13年6月29日 瑞浪市長からサイクル機構に対して、研究所の建設場所を明世町山野内区と戸狩区にまたがる市有地に変更する提案。

- ・平成13年12月 瑞浪市議会において、市有地に関する賃貸借契約について賛成多数で可決。

- ・平成14年(2002年)1月17日 瑞浪市とサイクル機構の間で、「土地賃貸借契約」および「土地賃貸借契約に係る協定」を締結。

- ・平成14年7月8日 着工式。その後、用地造成工事を開始。

- ・平成15年(2003年)7月 深度50mまでの立坑坑口工事に着手。

- ・平成17年(2005年)2月 深度50m以深の立坑掘削工事に着手。

- ・平成17年6月 深度100m予備ステージ貫通。

- ・平成17年10月27日 地下水中のふっ素、ほう素の濃度が環境基準を超えたため、掘削工事中断、排水停止。

- ・平成17年11月14日 岐阜県、瑞浪市と「環境保全協定」を締結。

- ・平成19年(2007年)9月 深度200m予備ステージ貫通。

- ・平成21年(2009年)1月 深度300m予備ステージ貫通。

- ・平成21年10月 深度400m予備ステージ貫通。

- ・平成24年(2012年)7月 深度500m予備ステージ貫通。

- ・平成26年(2014年)2月 深度500mまでの研究坑道の掘削が終了。

4. 超深地層研究所計画における研究開発の概要

本計画においては、全体目標として「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」の2つを設定している。本計画では、研究坑道の建設工程やこれに伴

う調査研究の課題、対象、空間スケールなどを考慮し、計画全体を第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）および第3段階（研究坑道を利用した研究段階）の3段階に区分して進めている（図-4）。全体目標を達成するため、3段階の各研究段階において以下の段階目標を設定している（原子力機構，2015）。

第1段階：地表からの調査予測研究段階

- ① 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
- ② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
- ③ 研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

第2段階：研究坑道の掘削を伴う研究段階

- ① 研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
- ② 研究坑道の施工・維持管理に係わる工学技術の有効性の確認
- ③ 研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

第3段階：研究坑道を利用した研究段階

- ① 研究坑道を利用した調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削から維持管理・閉鎖に伴う深部地質環境の変化の把握
- ② 深地層における工学技術の有効性の確認



図-4 超深地層研究所計画の進め方

地層処分においては、地下水流動や物質移動などの評価を行う必要があることから、地下施設を通る地下水流動系の涵養域から流出域までを包含した領域の評価が必要となる。また、不均質性を有する地質環境を限られた調査量で効率的に理解していくため、本計画では、図-5に示すようにリージョナル、ローカル、サイトおよびブロックの4つの空間スケールを設定し、調査研究を進めてきた（例えば、三枝ほか，2007）。なお、リージョナルスケールとローカルスケールにおける調査研究は、広域地下水流動研

究として実施した。

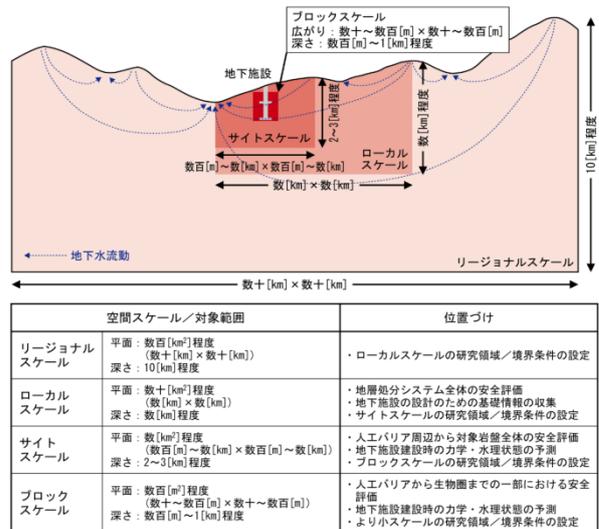


図-5 空間スケールの概念図（上）、対象範囲・位置づけ（下）

瑞浪超深地層研究所の施設は、地上施設と研究坑道からなる（図-6）。地上施設は、樁設備、巻上設備、給排水設備、換気設備、コンクリートプラント、排水処理設備、受変電設備、非常用発電設備、資材置場、火工所、管理棟などからなる。研究坑道は、主立坑（内径6.5m）および換気立坑（内径4.5m）、水平坑道である深度100mごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージ、深度300mステージ、深度500mステージからなる。

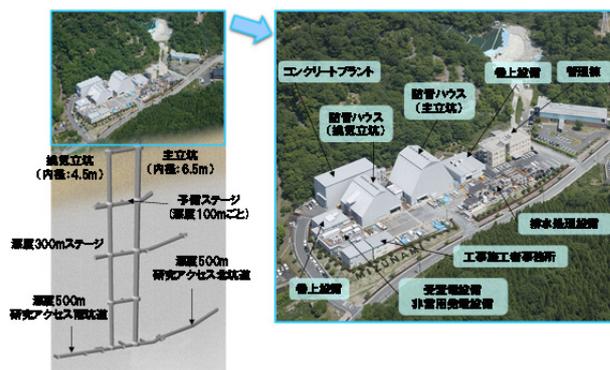


図-6 瑞浪超深地層研究所の施設の現状

5. これまでの主な研究成果

(ア) 広域地下水流動研究（リージョナルスケールおよびローカルスケールにおける調査研究）

地表から深度1,000mに及ぶ領域の地下水流動を理解するためには、涵養域から流出域までの一つの地下水流動系を包含する領域（ローカルスケール）を対象とした地下水流動のモデル化（水理地質構造のモデル化および地下水流動解析）を行う必要がある。ローカルスケールのモデル化対象領域や境界条

件を設定するためには、後背地地形などを考慮したより広範囲（リージョナルスケール）を対象とした予察的な地下水流動解析を行う必要がある（サイクル機構，2004）。

広域の地下水流動系は、後背地地形と大規模な不連続構造（断層など）に支配されると考えられる。そこで、リージョナルスケールにおける調査研究では、後背地地形の特徴から20km四方、35km四方、70km四方および115km四方の領域を対象として地下水流動解析を行った（図-7）。

この解析において、研究所の地表から深度1,000m程度までの地下水の流線を検討した結果、35km四方以上の領域の地下水流動解析においては、涵養域や流出域の位置などがほぼ整合した結果となった。一方、20km四方の領域の地下水流動解析における流線はこれらの結果と異なり、深度1,000m付近では地下水はモデルの側方から流入することが分かった。この結果から、20km四方の領域より外側に位置し、かつ35km四方までの領域に含まれる後背地地形が、研究所の地下水流動系を支配していることが分かった。また、研究所の地下水流動系は研究所北方の土岐川流域境界付近を涵養域とし、土岐川を流出域とする系であると推測された。

この結果に基づいて、研究所周辺の地下水の涵養域から流出域までの地下水流動系を包含する領域をローカールスケールの研究領域として設定するとともに（図-8）、解析に必要な境界条件を設定した（サイクル機構，2005）。

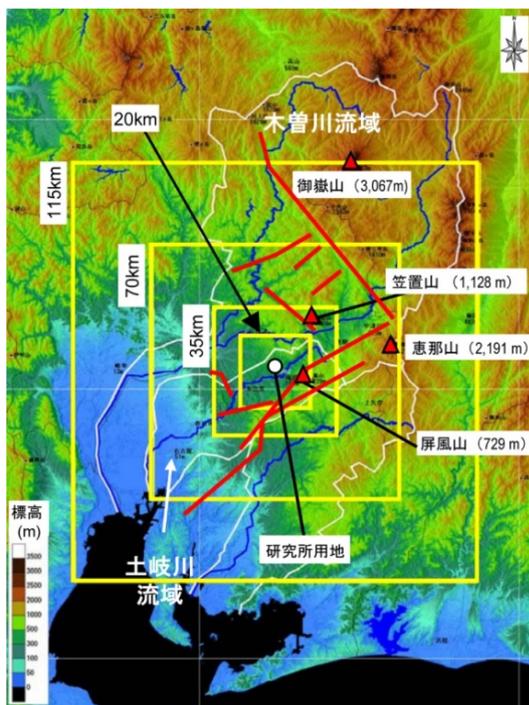


図-7 地下水流動解析領域（黄色の枠）およびモデルに取り込んだ断層（赤線）

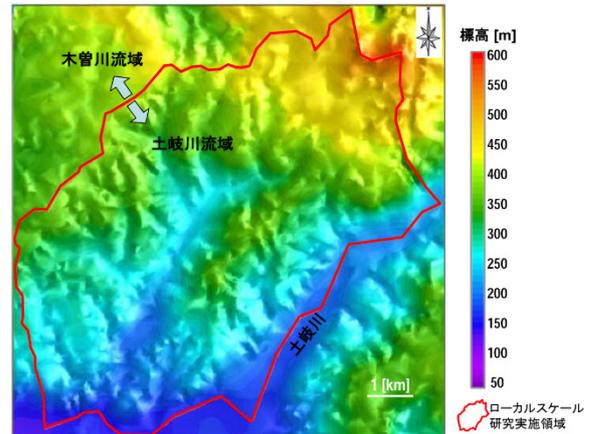


図-8 ローカールスケールの研究領域（赤枠）周辺の標高分布

ローカールスケールは、地層処分システム全体の安全性評価や、地下施設設計のための基礎情報の収集を想定した領域であるとともに、サイトスケールの調査研究領域と境界条件の設定を行うための領域である（図-5）。ローカールスケールの調査研究では、既存の文献情報を用いた調査・解析、物理探査や地表露頭調査などによる空中および地表からの調査・解析、ボーリング孔を利用した調査・解析を実施し、地質環境情報を取得するとともに、地質環境のモデル化を行った。その結果、空中および地上物理探査、ボーリング孔を利用した調査により、地下水流動を規制するような大規模な不連続構造の分布に関わる推定精度を向上させることができた。地下水流動に関しては、地下水の主流動方向に直交する方向の断層が地下水の流動特性に与える影響が大きいため、このような断層を優先した地質学的・水理学的特性の調査が有効であることが分かった。地球化学特性については、地下水の混合を主体とした水質形成プロセスについて、混合の端成分地下水の水質を明確に把握できたことにより、多変量解析に基づく定量的な水質解析方法を構築した。

地質環境のモデル化においては、上述の調査・解析により、領域全体で地質構造区分をモデル化したほか、地下水流動方向に沿ったボーリング孔で取得した地質環境情報を用いて構築した水理地質構造モデルに基づいて地下水流動解析を行った結果と水質変化から予測される流動方向を比較すると、両者はよく一致する結果が得られた（図-9、図-10）。

(イ) 超深地層研究所計画

① 地表からの調査予測研究段階（第1段階）

第1段階の調査研究は、地層処分事業では概要調査段階および精密調査段階において実施される地上からの調査に相当するフェーズと位置づけられる。このため、第1段階の調査研究は、地層処分事業における地上からの調査や、安全規制の検討に資するため

の技術基盤を強化する目的も有する。一般的に言えば、調査の量に応じて理解は深まるが、調査が進むにつれて調査量の増加に対する理解向上の感度は低くなる。さらには、いかに詳細な調査を行っても地質環境を完全に理解し尽くすことはできない。そこで、第1段階の調査研究では、不均質な地質環境を効率的に把握していくため、調査研究を5つのステップに分けて実施した(図-11)。具体的には、地質環境特性を面的に調査できる手法を用いて広い領域を概括的に把握した上で、詳細な情報を必要とする項目を抽出・特定し、それをボーリング孔を利用する調査によって把握するという手順で実施した(図-11)(三枝ほか, 2007)。

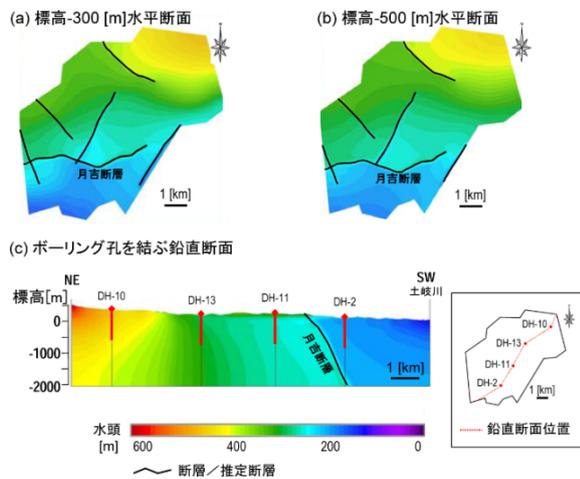


図-9 ローカルスケールを対象にした地下水流動解析の結果(水頭分布)

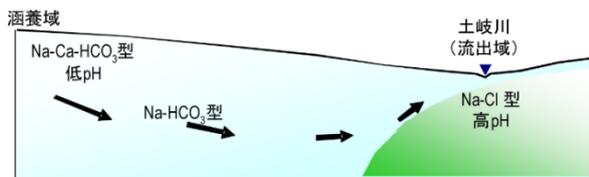


図-10 水質分布から推定された地下水の流動方向

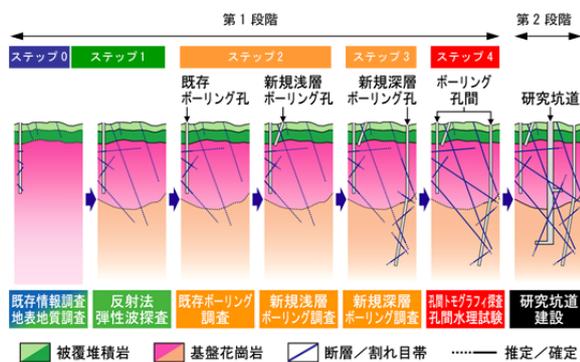


図-11 第1段階における調査研究の流れ

第1段階の調査研究の結果、地層境界や不連続構造(断層や割れ目)などの地質・地質構造の分布を把

握し、これらの分布を三次元的に表現した地質構造モデルを構築した。また、地上から掘削したボーリング孔を利用した地下水の間隙水圧や地下水位の観測により、地表から地下深部までの地下水の水圧分布を把握するとともに、透水性の異なる断層などの水理地質構造と地下水圧分布との関連性などについて検討した。さらに、地質構造モデルにボーリング孔を利用して実施した水理試験で得られた水理特性を当てはめることで水理地質構造モデルを構築し(図-12)、地下水流動解析を実施することで、研究坑道建設前の三次元的な地下水流動場を推定した。

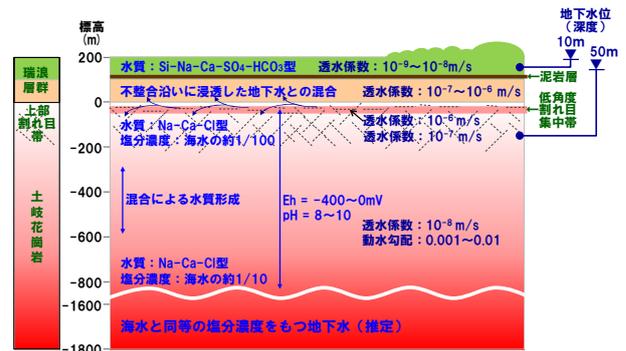


図-12 第1段階における水理地質構造・地球化学概念モデル

地下水の地球化学特性については、地上から掘削したボーリング孔を利用して地下水を採水し、その水質や年代などの分析を実施した。また、ボーリングコアを利用した鉱物分析結果に基づいて地下水の水質形成プロセスの解析を行い、地下水の水質、年代の三次元分布とその形成プロセスを表現した地球化学モデルを構築した(図-12)。

また、地上から掘削したボーリング孔を利用して岩盤の初期応力測定を実施するとともに、コアを用いた室内物理力学試験を実施し、これらの結果と地質・地質構造の情報に基づいて、岩盤力学概念モデルを構築した(図-13)。さらに、研究坑道の設計・施工計画立案のため、坑道の支保設計や安定性解析、耐震設計および通気網解析に基づく安全設備の設計などを実施した。



図-13 第1段階における岩盤力学概念モデル

なお、第1段階の調査研究は、2005年度末で終了している。

② 研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）

第2段階においては、地下に研究坑道が掘削され、地下深部へのアクセスが可能になることから、地質環境をより精度良く理解することができる。一方で、地下研究施設の建設に伴って、地質環境は人工的擾乱の影響を受ける。ただし、擾乱の程度は、領域によって異なる可能性もあることから、施設建設に伴う擾乱の程度を把握することによって、地質構造や水理地質構造の理解の深化につなげられる可能性もある。そこで、第2段階の調査研究では、研究坑道掘削時の壁面地質調査、ボーリングコアを用いた初期応力測定、地表および研究坑道から掘削したボーリング孔（研究坑道から掘削したボーリング孔の位置は図-14を参照）を用いた地下水の水圧・水質、地中変位等のモニタリングを実施するとともに、これらの調査試験から得られた地質環境データに基づいて地質環境モデル構築・更新作業を行った（図-15）（野原ほか、2016）。

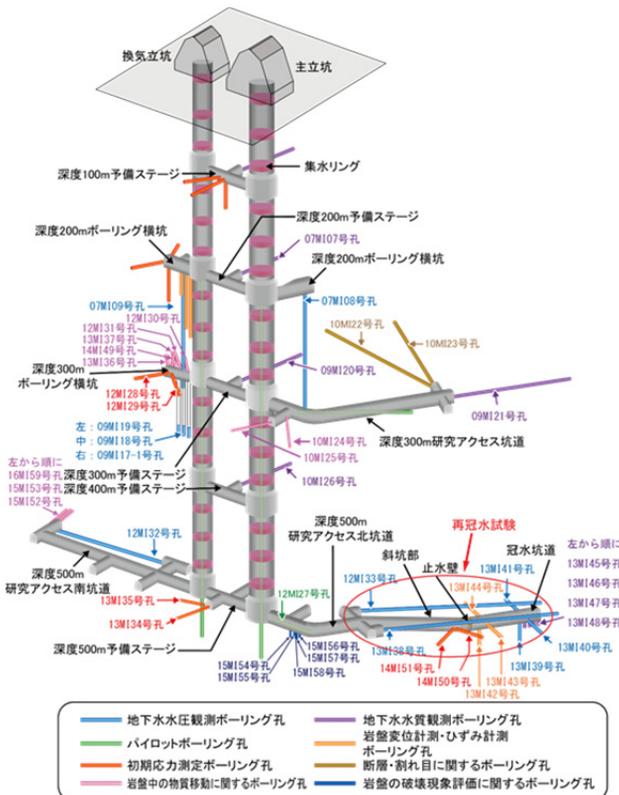


図-14 研究坑道から掘削したボーリング孔

第2段階までの調査研究の結果、研究所およびその周辺には高角度傾斜を有する北北西走向の断層群が卓越しており、そのうち主立坑で確認された断層は、地下水の流動を規制する低透水性の断層であると推定された（図-16）。また、地表および研究坑道から

掘削したボーリング孔を利用した水圧応答モニタリングの結果、低透水性の断層や堆積岩中の不透水層を境とした領域（水理学的コンパートメント構造）ごとに水圧の変動傾向が異なることを確認した（図-16）。

立坑付近の花崗岩中においては、低角度および高角度の割れ目が卓越する領域（上部割れ目帯）が深度460m付近まで分布し、それ以深は比較的割れ目頻度の低い下部割れ目低密度帯が分布すること、上部割れ目帯のうち深度約200～250mの間には、低角度傾斜の割れ目の集中帯が分布し、それらが透水性構造として機能していることが確認された（図-16）。さらには、地下水の水質の深度依存性なども把握された。

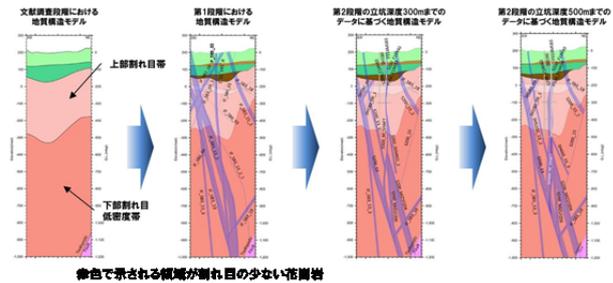


図-15 調査の進展に伴う地質構造モデルの更新結果

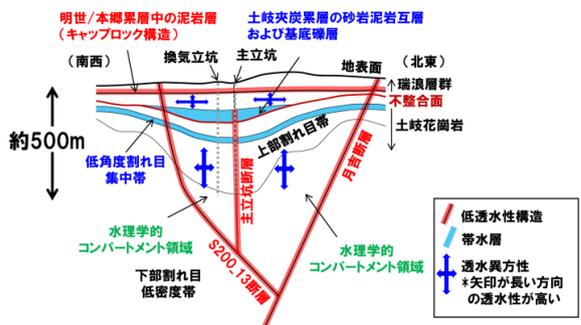


図-16 水圧モニタリングに基づく水理地質構造の概念化

研究坑道の掘削に伴う地下水の水質変化を把握するために、地表と研究坑道から掘削された複数のボーリング孔において、定期的な地下水の採水と分析を実施した。その結果、立坑の最深部においては相対的に深部にある地下水を引き込むことにより塩化物イオン濃度が上昇していること、立坑がより深部に掘進されるに従い、相対的に浅部の観測点の塩化物イオン濃度が徐々に低下していることを確認した（図-17）。また、研究坑道がより深部に展開されることに伴い、地表水が地下深部へ引き込まれることにより、一部の観測孔で観測当初に検出されなかったCFC（クロロフルオロカーボン）が確認された（図-17）。

深地層における工学技術の基盤の整備としては、研究坑道の掘削中に湧水抑制対策としてグラウチン

グを実施するとともに、地山崩落対策としてロックボルトによる補強とシリカレジンの注入による地山安定化対策を実施し、これらの施工対策技術の有効性を確認した。

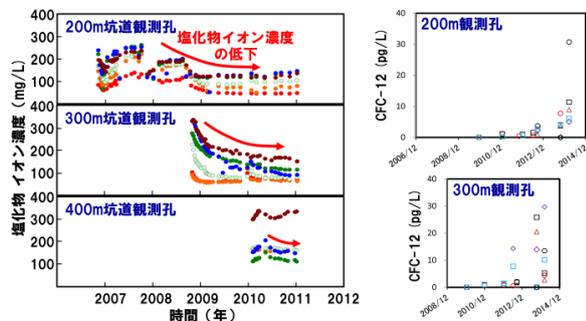


図-17 研究坑道の掘削による地下水の水質変化の例
塩化物イオン濃度の経年変化(左)、CFC濃度の経年変化(右)

なお、第2段階の調査研究は、2015年度以降の調査研究の主たる実施場所となる深度500mステージの研究坑道の掘削が2014年2月に完了したことから、2013年度末で、一旦、終了している。

6. 現在の調査研究

原子力機構は、高速増殖原型炉「もんじゅ」における保守管理の不備、大強度陽子加速器施設J-PARCにおける放射性物質の漏えい事故を発端に、国民社会からの信頼を大きく損なう事態となった。原子力機構は、文部科学省日本原子力研究開発機構改革本部が決定した「日本原子力研究開発機構の改革の基本的方向」(文部科学省, 2013)を受けて、改革計画(原子力機構, 2013)を策定した。本改革計画での事業の見直しの一環として、瑞浪と幌延の2つの深地層の研究施設については、2015年3月までに予定していた研究開発成果の取りまとめを前倒しして行い、2014年9月末に深地層の研究施設で行うべき残された必須の課題を提示した(原子力機構, 2014)。この中で、超深地層研究所計画においては、研究坑道を利用した研究段階(第3段階)の調査研究として、以下の3つの課題を抽出した

- ① 地下坑道における工学的対策技術の開発
- ② 物質移動モデル化技術の開発
- ③ 坑道埋め戻し技術の開発

以下、これら課題について、概要と現在までの調査研究を概括する。

① 地下坑道における工学的対策技術の開発

本課題では、研究坑道への湧水量をプレグラウチングとポストグラウチングの組合せによって制御可能とするウォータータイトグラウト施工技術を実証するとともに、地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化に取り組んでいる。

これまでに、深度500m研究アクセス南坑道でプレグラウチングを実施した区間を対象に坑道掘削後にポストグラウチングを実施した(図-18)。その結果、グラウチング実施前の予測湧水量1,380m³/日に対し、プレグラウチングによって50m³/日に、さらにポストグラウチングによって15m³/日に湧水量を低減させることができた。

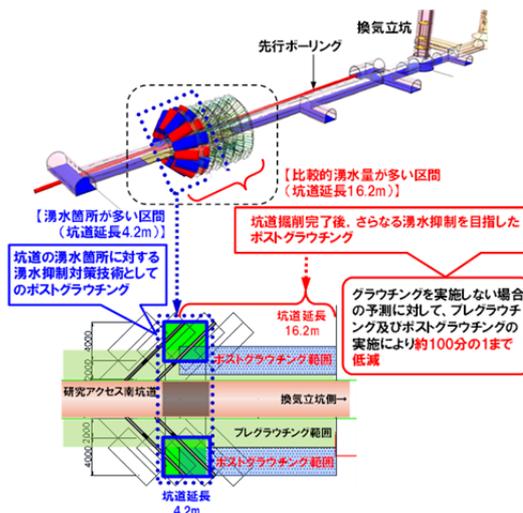


図-18 坑道の湧水箇所に対するポストグラウチングの概要

② 物質移動モデル化技術の開発

本課題では、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解してモデル化するための調査解析、および割れ目の透水性および地下水流動・水質の長期的変化や地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施することとしている。

これまでに、花崗岩のブロック試料(縦横300mm、高さ200mm)を用いた拡散試験の結果、トレーサーとして使用した蛍光染料(ウラン)は、添加孔を中心として不均質に拡散していることがわかった(図-19)。また、ウランの分布を詳細に観察した結果、石英などの鉱物ではマイクロクラックにウランが認められたのに対して、斜長石では鉱物内部の微小空隙にウランが確認された。

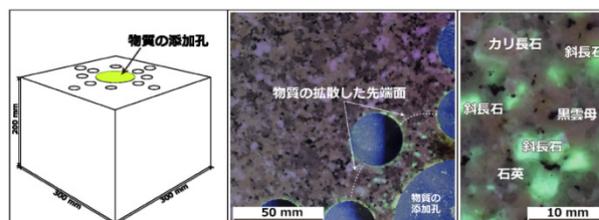


図-19 岩石ブロックを用いた拡散試験の結果

円盤状の岩石試料(直径25mm×厚さ5mm)を用いた透過拡散試験で得られた実効拡散係数と空隙の割合との間には正相関があることから(図-20)、観察された空隙は物質の移行を遅延する機能として重要

なマトリクス拡散経路として機能している可能性のあることが分かった。

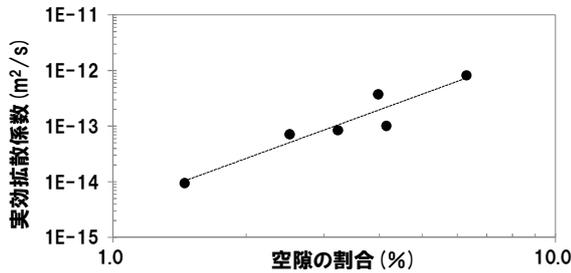


図-20 実効拡散係数と空隙の割合の関係

③坑道埋め戻し技術の開発

本課題では、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、地下水の水圧・水質および坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察し、地質環境の回復能力等を評価するとともに、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指している。また、長期の観測に必要なモニタリング技術の開発を実施している。

現在は、深度500m研究アクセス北坑道において、坑道の一部を閉鎖し地下水により冠水させる「再冠水試験」を行っている(図-21)。この試験は、地下施設の建設・操業により乱された地質環境の回復能力の例示と関連する技術の開発を目的としている。

これまでに図-14に示す場所に止水壁を設置し、坑道の一部(図-14の冠水坑道；幅5m、高さ4.5m、長さ約45m、容積約900m³)を坑道周辺の地下水により冠水させて冠水坑道内外の力学-水理-化学特性の変化過程を観測している。

この結果、坑道掘削後の冠水坑道周辺の水圧は1.5MPa(坑道掘削前の冠水坑道周辺の水圧は3.8~4.0MPa程度)であったが、冠水によって3.1~3.8MPa程度にまで回復した。その後、水圧は漸減し、2.5MPa程度で安定した(図-22)。

水質については、冠水坑道内の地下水は当初、大気に晒されていたため、冠水直後の地下水には酸素が溶存していたが、冠水直後から酸素濃度が減少し始め、約4か月後に検出限界(<0.02mg/L)となった。それと呼応して、地下水の酸化還元電位も冠水坑道掘削前の値と同等の-180mVまで低下し、約4か月前後で還元環境が回復することが確認された(図-23)。一方、pHは徐々に上昇し、坑道閉鎖6か月後の時点で約10のアルカリ状態となっており(図-23)、坑道壁面の吹き付けコンクリートに含まれるセメント材料の影響と考えられた。

7. おわりに

「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画(平成27年4月1日~

平成34年3月31日)」(以下、中長期計画)において、本計画については、「地下坑道における工学的対策技術の開発、物質移動モデル化技術の開発および坑道埋め戻し技術の開発に重点的に取り組む。これらに関する研究については、平成31年度末までの5年間で成果を出すことを前提に取り組む。また、同年度末までに、跡利用を検討するための委員会での議論も踏まえ、土地賃貸借期間の終了(平成34年1月)までに埋め戻しができるようにという前提で考え、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定する。」こととされている。従って、本計画においては、これまで通り、地元自治体との協定を遵守するとともに、中長期計画の達成に向け、最大限の成果が得られるよう研究開発を進めていく。



図-21 再冠水試験の流れ



図-22 冠水坑道内の水圧の変化

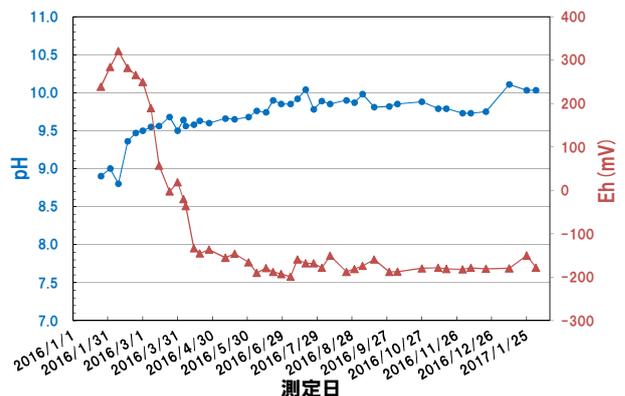


図-23 冠水坑道内のpHと酸化還元電位 (Eh) の変化

参考文献

- 原子力委員会（1994）原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月24日）。
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki1994/chokei.htm>
- 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）。
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/siryo/houkoku2/kettei.htm>
- 原子力委員会（2005）原子力政策大綱（平成17年10月11日）。
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/taikou/kettei/siryo1-3.pdf>
- 原子力機構（2013）日本原子力研究開発機構の改革計画 自己改革－「新生」へのみち－。
<https://www.jaea.go.jp/02/press2013/p13092601/01.pdf>
- 原子力機構（2014）日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書－今後の研究課題について－。
https://www.jaea.go.jp/04/tisou/kongono_kenkyu_kadai/pdf/kenkyu_kadai.pdf
- 原子力機構（2015）超深地層研究所 地層科学研究基本計画。JAEA-Review 2015-015.
- 文部科学省（2013）日本原子力研究開発機構の改革の基本的方向。
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/thousein/_icsFiles/afeldfile/2013/08/14/1338627_3_1.pdf
- 西尾和久・大澤英昭（2016）超深地層研究所計画における地域社会との共生に向けた活動から学んだ教訓－手続き的公正さと分配的公正さの視点から－。原子力バックエンド研究, vol.23, no.1, 9-24.
- 野原 壯ほか（2016）超深地層研究所計画における研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）研究成果報告書。JAEA-Research 2015-026.
- 三枝博光ほか（2007）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（第1段階）研究成果報告書。JAEA-Research 2007-043.
- サイクル機構（2004）広域地下水流動研究 年度計画書（平成16年度）。JNC TN7410 2004-001.
- サイクル機構（2005）高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の整備－平成17年取りまとめ－ 分冊1 深地層の科学的研究。JNC TN1400 2005-014.

（本稿は、平成29年度第1回原環センター講演会での講演内容を再構成して作成したものです。）

編集発行

公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター

〒104-0052 東京都中央区月島1丁目15番7号（パシフィックマークス月島8階）

TEL 03-3534-4511（代表） FAX 03-3534-4567

ホームページ <http://www.rwmc.or.jp/>