

幌延深地層研究計画（地上からの調査段階）の現状

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター
副所長 武田 精悦

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、「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、2000）に示された深地層の研究施設計画のひとつであり、堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画として核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）が現在、北海道幌延町内において進めているものである。

本研究計画においてサイクル機構は、堆積岩における地層処分技術の信頼性向上に向けて、地表から地下深部までの地質環境の調査技術、地層処分の工学技術、安全評価手法の適用性を確認すること、また、地下施設において一般の方々や専門家の方々が実際に深地層を体験し、地層処分技術の研究開発に対する理解を深めていただく場として整備することを目標に掲げている。

本報告では、幌延深地層研究計画の調査研究と施設建設の現状と主な成果について述べる。

2. 経緯

平成12年11月に北海道、幌延町、サイクル機構の3者間で「幌延町における深地層の研究に関する協定」（以下、協定）が締結された。サイクル機構は本協定に基づいて深地層研究計画を策定し、13年3月に調査研究を開始した。協定には、「研究実施区域に放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない」、「深地層研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡、貸与しない」、「研究終了後は地上の施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻す」および「研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない」こと等が定められている。

14年7月には13年度の地上からの調査結果等に基づき、主な調査研究の展開場所となる研究所設置地区を幌延町北部の北進地区に選定した。これに引き続き15年3月には研究所設置地区内において、地上/地下施設を建設するための用地を取得し、15年度に第Ⅰ期の造成工事を16年度に第Ⅱ期の造成工事を行い、敷地造成の大部分を終了した。

3. 幌延深地層研究計画の概要

幌延深地層研究計画は、幌延町に存在する新第三紀以降の堆積岩を調査研究の対象とした20年程度の計画である。この計画は3つの段階に分けて実施する。第1段階である「地上からの調査研究段階」は協定締結後の13年3月から開始しており、17年度に終了する。第2段階である「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階」は17年度より開始する。地下施設は、深度500m程度の立坑3本（アクセス用立坑2本、換気用立坑1本）と試験研究のための水平坑道から成る。第3段階である「地下施設での調査研究段階」は、試験坑道を使用した地層処分技術に関する各種の試験研究を行う。これら各段階の研究計画については研究の進捗に合わせて適宜見直しを行っていく。

幌延深地層研究計画の各段階においては、深地層の科学的研究（以下、地層科学研究）と地層処分研究開発を実施する。地層科学研究としては、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、深地層における工学的技術の基礎の開発、地質環境の長期安定性に関する研究の4課題を、地層処分研究開発としては、処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化の2課題を設定している。

4. 幌延の地質環境

幌延町は天北堆積盆の東端部に位置し、町内には、白亜系を基盤岩として、古第三系の羽幌層・曲渕層、中期中新世前半の宗谷夾炭層・鬼志別層・増幌層、中期中新世後半～鮮新世

の稚内層・声問層，鮮新世～前期更新世の勇知層・更別層，中期更新世以降の段丘堆積物群，および完新世堆積物が分布している（岡・五十嵐，1997）。これらのうち，羽幌層・曲渕層は地表に露出しないが，深層ボーリングにおいて確認できる（石油公団，1995）。稚内層，声問層，勇知層，および更別層は，増幌層に不整合で重なる深海性→浅海性→半陸成～陸成の一連の堆積物で（岡・五十嵐，1997），各層の主な構成岩種はそれぞれ，硬質頁岩，珪藻質泥岩，細粒砂岩，および礫岩・砂岩・シルト岩である。幌延町は，いずれも北北西～南南東走向の東の幌延断層と西の大曲断層により3分され（岡，1986），幌延断層以東の東部，幌延断層と大曲断層の間の中部，および大曲断層以西の西部に区分される。それぞれの特徴を述べると，1) 東部は白亜系～新第三系が分布し，褶曲・断層が多く，2) 中部は主に稚内層・声問層が分布し，軸の走向が断層にほぼ平行な褶曲が雁行状に配列し，3) 西部は声問層・勇知層・更別層が分布し，緩傾斜の褶曲構造が発達する（秋山・保柳，1990）。また，東部および西部には，活断層，とう曲，傾動等の第四紀の新しい活構造も認められる（中田・今泉，2002）。

研究所設置地区は中部と西部の境界付近すなわち大曲断層近傍に位置し，地区近辺には稚内層および声問層が主に分布する。最近の研究により，これらの岩石中には割れ目が多く存在し，割れ目が地層の水理特性に大きな影響を与える可能性のあることがわかってきている。また，地層中に存在する地下水が「塩水系の地下水」と「淡水系の地下水」の2種類に分類されること，および地下水には溶存ガスが存在することが確認されている。幌延深地層研究計画では，このような地質環境の特徴に着目して研究を進めている。

5. 調査研究の進捗状況

5.1 地層科学研究

5.1.1 地質環境調査技術開発

(1) 地質環境データの取得

地上からの調査研究段階において，これまでに地質調査，空中／地上物理探査，表層水理調査，ボーリング調査等の地質環境調査を実施した。地質調査や空中／地上物理探査によると，研究所設置地区およびその周辺地域には声問層と稚内層が広く分布しており，これらの地層は埋没続成変質の程度により上下に区分される。調査地域には大曲断層が存在し，その位置や特徴が特定されつつある。声問層および稚内層中には亀裂が多く存在することが観察されており，これらの亀裂は層理面と高角に交差する亀裂と層理面とほぼ並行な亀裂に分類できた。また，前者の亀裂は密集し，亀裂ゾーンを形成していることがわかった。

地層の透水係数については，声問層が $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$ ，稚内層では $10^{-11} \sim 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ （亀裂帯）および $10^{-10} \sim 10^{-8} \text{ m s}^{-1}$ （健岩部）を示す。稚内層の透水係数は，非常に広い範囲に分布しており，亀裂の存在が透水係数に大きな影響を与えていることを示唆している。また，室内透水試験から得られた透水係数の多くは原位置水理試験結果に比べて数オーダー小さな値となるが，大曲断層西側の深部ではよく一致する区間も存在する。表層水理観測については，研究所設置地区およびその周辺地域における表層水理特性を把握するために河川流量観測システム，気象観測システムおよび地下水位・土壤水分観測システムを整備した。河川流量については，北進地区を流れる3つの河川のそれぞれ3地点に河川流量計を設置し，連続観測を行っている。気象観測については幌延町内に4箇所の観測所を設置し，降水量，温度，風速等の連続観測を行っている。また，森林からの蒸発散量および表層部の地下水位・土壤水分を観測するための機器類を新設し，観測を開始した。

地下水水質については，ボーリング孔から直接サンプリングした地下水およびボーリングコアを圧搾することによりサンプリングした間隙水を用いて分析した。同深度の場合，双方の水質がほぼ一致することが確認できた。これらの地下水は一般に，深度が大きくなるにつれて淡水から塩水へと徐々に変化する。地下水の起源を推定するために酸素・水素同位体比の分析を行った結果，研究所設置地区の地下水は，地下に浸透した降水と地層堆積時に閉じ込められた海水が混合しつつ，岩石とも反応しながら，現在の水質になっていると推察された。

力学特性は、声間層、声間層／稚内層の遷移部分および稚内層でそれぞれ異なる。一軸圧縮強度については、声間層で 5 MPa 程度、声間層／稚内層の遷移部分で 5～20 MPa 程度、稚内層で 20 MPa 程度である。水圧破砕法による応力測定の結果からは、最小主応力はほぼ深度に比例して増加すること、および最大主応力は最小主応力のほぼ 1.5 倍の範囲内にあることがわかった。

(2) 地質環境のモデル化

地質環境調査によって得られたデータに基づき地質環境モデル（地質構造モデル、水理モデル、地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデル）を作成・更新した。

地質構造については、大曲断層の内部構造を詳細に記述するとともに、堆積層序、大曲断層および亀裂ゾーンを考慮した地質構造モデルを構築した。水理については、地層構造を考慮した研究所用地を含む広域の地下水流動解析モデルを構築し、地下水流動の方向と流れの経路を予測した。地球化学については、地下水の水質形成モデルの構築に着手した。岩盤力学については、既存データに基づき、岩盤物性分布モデルを構築した。

(3) 調査技術の改良

ガス発生を考慮した水理試験手法の構築、定方位コア採取方法の検討、ボーリングコアからの間隙水抽出方法の考案、軟岩への適用を目指した岩盤力学測定装置の改良、原位置 pH-Eh 測定装置の開発、コントロール掘削技術の開発等を行った。このうち、原位置 pH-Eh 測定装置、コントロール掘削技術については開発を継続しており、その他の技術はこれまでのボーリング調査へ適用している。

5.1.2 地質環境モニタリング技術の開発

地下水の圧力と水質について、各種調査活動や地下施設建設による影響、およびその後の回復過程を系統的にモニタリングするために、これまでに掘削したボーリング孔に長期モニタリング装置を設置した。

また、地下施設周辺の構造や物性の変化などを遠隔監視するために、東濃地科学センターにおいて技術開発が進められているアクロス（ACROSS : Accurately Controlled Routinely Operated Signal System）を幌延の研究所設置地区に適用するための準備を行った。

5.1.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

研究所設置地区を対象とし、地下施設について、15 年度に基本設計、16 年度に実施設計を行い、地下施設のレイアウトおよび施工計画を策定している。施工計画の策定では、地下施設における調査研究の他、施設の安全性を確保するために岩盤特性に応じた地下空洞の安定性を評価するとともに、可燃性ガスの発生を前提に施設の通気や防災対策などを検討した。

5.1.4 地質環境の長期安定性に関する研究

幌延地域の現在の地殻変動を把握することを目的に、ボーリング孔内（深度 140 m）に 1 台、地上に 4 台の地震計を設置して連続観測を実施している。また、地殻変動観測用の電磁探査機器、GPS 観測機器を設置して地殻の歪み等の連続観測を実施している。さらに、地層に残された記録から過去の地質構造発達史を明らかにする観点で、段丘堆積物の調査、解析等を行い、その結果に基づき、研究所設置地区周辺の地形の変遷過程を試行的に記述した。

5.2 地層処分研究開発

5.2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアの搬送定置や支保工材料、坑道閉鎖、周辺岩盤を含む人工バリアの長期挙動に関して、第 2 段階以降に地下施設で行う試験計画について検討し、概要をまとめた。また、地下施設深部の塩水系地下水環境下での緩衝材の力学特性を把握するために、ボーリング孔から採取した地下水を用いて室内試験を実施するとともに試験結果を用いてオーバーパック

の沈下挙動解析を行った。さらに、第2次取りまとめで示した人工バリア設計手法の幌延の地質環境への適用性を検討するために、これまでの調査で取得した地質環境データを用いて人工バリアの試設計の検討を行った。

5.2.2 安全評価手法の高度化

不確実性を考慮に入れた地質環境モデルの体系的な構築方法を検討するために、研究所設置地区および周辺地域を対象とした文献調査やボーリング調査等により取得した地質環境調査データの整理を行い、地質環境の試行的なモデル化を行った。

6. 地下施設

15年度の基本設計によると、幌延深地層研究計画における地下施設は、東立坑(内径6.5m)、西立坑(内径6.5m)、換気立坑(内径4.5m)の3本を深度500m程度まで掘削することとし、また、最深部のほか途中の深度にも水平坑道を展開する計画としている。

地下施設の設計・施工計画については、研究環境を確保し、施設を安全に建設・維持できることが基本的な要件である。地下施設における調査研究の内容のほか、地下施設の安全性を確保するために、岩盤特性に応じた空洞の安定性を評価すると共に防災対策(可燃性ガス対策、坑内作業環境、火災等)を考慮している。さらに、一般の方々が深地層を体験する場であることを考慮して設計を行っている。

7. 今後の予定

本報告では第1段階における調査研究等の現状について簡単にまとめた。17年度には、第1段階の調査研究は終了し、第2段階の調査研究が始まる。地上からの調査研究の成果は第2段階および第3段階の調査研究のベースとなるものであり、立坑や試験坑道掘削に伴う影響評価、モデルによる予測技術の評価、試験坑道を使用した原位置試験計画の具体化等に反映される。また、幌延深地層研究計画で得られた成果は、処分事業の推進や国が進める安全基準等の具体化に反映される。

地上施設としては、17年度に研究管理棟、コア倉庫棟、ワークショップ棟などの建設を開始し、18年度には建設を終了する予定である。また、地下施設については、17年度に立坑掘削に着手、18年度より本格掘削を開始する。今後、幌延の地下研究施設は試験・研究を行うだけでなく、多くの人々が深地層を体験し、地層処分技術の研究開発に対する理解を一層深めるための体験の場として提供してゆく。

参考文献

- 秋山雅彦, 保柳康一(1990):「新第三系, 天北地域」, 日本の地質1 北海道地方, 共立出版, pp. 105-106.
- 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), 原子力委員会.
- 中田 高, 今泉俊文(2002): 活断層詳細デジタルマップ(+DVD2枚+付図), 東京大学出版会.
- 岡 孝雄(1986): 北海道の後期新生代堆積盆の分布とその形成に関わるテクトニクス, 地団研専報 31, pp. 295-320.
- 岡 孝雄, 五十嵐八枝子(1997): 北海道・天塩平野北部の上部新生界一特に勇知層・更別層の堆積相と花粉化石層序について一, 加藤誠教授退官記念論文集, pp. 341-365.
- 石油公団(1995): 国内石油・天然ガス基礎調査基礎試錐「天北」調査報告書, 石油公団.