

地層処分事業の安全確保のための自然現象の将来予測と安全評価 (その1) Forecast of natural phenomena and safety analysis for safety of geological disposal

後藤 淳一^{1*}, 幡谷 竜太¹, 石井 英一¹, 江橋 健¹, 石黒 勝彦¹, 土 宏之¹

Junichi Goto^{1*}, Ryuta Hataya¹, Eiichi Ishii¹, Takeshi Ebashi¹, Katsuhiko Ishiguro¹, Hiroyuki Tsuchi¹

¹ 原子力発電環境整備機構

¹ NUMO

1. 安全確保の目標と方策

NUMOは、地層処分事業の安全性に関わる目標として「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」を設定し、前者では、放射性廃棄物を安定な地下深部に隔離し、人工バリアと天然バリアからなる多重バリアにより放射性核種を閉じ込めることにより達成する。そのため、事業の節目で「適切なサイト選定と確認」、「処分場の設計・施工などの適切な工学的対策」、「地層処分システムの長期安全性の評価」を繰り返し行う。地層処分における安全評価の期間は、一般公衆に対する評価線量が最大となる時期まで¹⁾とされ、第2次とりまとめ²⁾の事例では、その時期は約80万年後とされている。このため、地層処分の安全評価では、数10万年あるいは100万年を超える将来についての地質環境の評価が必要となる可能性がある。我が国の火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食などの自然現象の長期的な挙動については、将来10万年程度までは信頼性の高い予測が可能とされているが^{1),3)}、それを超える長期の評価には、多くの議論がある。このような状況を鑑み、NUMOでは、安全評価に向けた超長期を含めた自然現象の将来予測の考え方や方法論について検討している。

2. サイト選定における不確実性への対応

サイト選定は、文献調査、概要調査、精密調査の3段階で実施し、これらには常に不確実性が伴うが、段階的調査等により情報量を増やし、セーフティケースを精緻化し、安全性を確保する。不確実性への対応方針としては、候補地から除外、工学的対策、安全評価による安全性の確認の3つが考えられる。例として、隆起・侵食を考えると、将来著しい隆起・侵食が見込まれる地域をサイトとして選定しないこと、想定される隆起・侵食に対して設置位置・深度を適切に設定すること、シナリオ解析・安全評価により想定される隆起・侵食が生じてもおおむね将来の被曝が小さいと見込まれることを確認することなどである。実際のサイト選定では、これらを適切に組合せて意思決定を行う。

3. 自然現象の将来予測

NUMOにおける自然現象の将来予測は、最も一般的な外挿法を基本とし、類推、数値解析、確率解析なども必要に応じて補完的に組合せて行う。一般に、(1)過去から現在までの状態、(2)変動の傾向・法則性、(3)変動を引き起こすメカニズム、(4)メカニズムの動力となる外部要因の順に検討し、この順序を逆にたどって将来予測を行う。しかしながら、(2)または(3)から議論が出発する場合、(2)と(4)の関係に基づいて議論する場合もある。このため、将来予測では、どこにどんな仮定を置くかを明らかにした上で議論を進めることが重要である。また、データの品質・量により、さらに、対象とする地域ごと事象ごとに予測可能な期間や予測の不確実性が異なることにも留意する。

4. 将来予測の不確実性と安全評価に向けた予測期間

地質調査の不確実性として、一般に、(a)データが本質的に有する不確実性(ばらつき、計測誤差など)、(b)地質環境の概念化における不確実性(異なるデータ解釈、複数の作業仮説など)があるが、さらに、数10万年先といった将来予測では、(c)将来予測の前提の変化に対する挙動を考える必要がある。これらの不確実性と予測可能性の観点から、安全評価におけるシナリオ構築に向けた定性的な予測期間を、以下の3つに区分する。

期間A: 過去～現在の情報が充分にあり、外挿法などによる将来予測が可能な期間。

期間B: 不確実性は大きくなるが、外挿法などによる将来予測が可能な期間。

期間C: 外挿法による将来予測が難しい期間。

安全評価のシナリオ構築に向けて、前項に提示した考え方に沿った検討を行い、事象と地域性を考慮して、各期間に対して具体的な年代を与え、将来予測の不確実性の情報を提供する。予測期間に対するシナリオ構築の考え方については、(その2)で述べる。

5. 今後の課題

現在 NUMO では、安全評価との連携に向け、地域ごとに各自然現象の特徴の相違点・類似点を分類し共通する特徴

を記述する(類型化)とともに、将来予測の確からしさに基づく時間枠の設定の仕方、さらに、プレート運動やローカルテクトニクスに変化が生じた場合に各地域に生じうる現象やそれに類似する具体例に関する検討を進めている。なお、本報告に関する詳細については、NUMO 技術報告書「地層処分事業の安全確保 2010」を参照されたい。

参考文献：

- 1) 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
- 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 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ -
- 3) 土木学会 (2001) 概要調査地区選定に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方

キーワード: 地層処分, サイト選定, 安全評価, 自然現象, 将来予測, 不確実性

Keywords: geological disposal, siting, safety analysis, natural phenomena, future forecast, uncertainty

地層処分事業の安全確保のための自然現象の将来予測と安全評価 (その2) Forecast of natural phenomena and safety analysis for safety of geological disposal

江橋 健^{1*}, 幡谷 竜太¹, 後藤 淳一¹, 稲垣学¹, 石黒勝彦¹, 土宏之¹

Takeshi Ebashi^{1*}, Ryuta Hataya¹, Junichi Goto¹, Manabu Inagaki¹, Katsuhiko Ishiguro¹, Hiroyuki Tsuchi¹

¹ 原子力発電環境整備機構

¹ NUMO

1. はじめに

地層処分では、火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・侵食といった自然現象の著しい影響は、適切なサイト選定によって回避することが基本的な考え方である。しかしながら、地層処分の安全評価では、対象とする時間スケールが数10万年以上の長期にわたる可能性がある。このため、NUMOでは、我が国の一般的な特徴やサイト固有の特徴を考慮した上で、将来において自然現象が地層処分システムに与える潜在的な影響を評価し、安全性を確かめるための手法を整備している。

安全評価においては、設定したシステムに基づき、シナリオ構築、モデル開発、パラメータ設定、影響解析が実施される¹⁾。このうち、シナリオは、処分システムの将来挙動を記述するものであり、安全評価の出発点となるものである。実際の処分システムでは、様々な現象が複合的に関連し、処分システムを取り巻く環境は長期的に複雑に変化する。今後、サイトが特定された段階では、種々の調査結果に基づき、このような環境条件の変遷についての理解を深めることとなる。しかし、将来のシステムの全ての状態変化を精緻に把握することは容易ではない。また、自然現象の発生時期や頻度、規模などに関する不確実性を考慮すると、将来の処分場ならびにその周辺の物理的・化学的状態については、その想定にある程度の幅が生じることとなる。従って、シナリオの構築にあたっては、安全評価上の保守性や核種移行の観点から、重大な抜け落ちがないように配慮しつつ、現象の単純化を図ることが必要となる。

そこで、本発表では、将来予測から安全評価へ至る作業の中で取り組むべき課題として、前報で述べた将来予測とシナリオ区分の関係、および自然現象に対する安全評価シナリオ構築手法について報告する。

2. 将来予測とシナリオ区分

原子力安全委員会は、避けることができない不確実性を考慮して安全評価を行う際、シナリオの発生の可能性とその影響を組み合わせたリスク論的考え方の適用を提案している²⁾。安全評価においては、一般公衆に対する評価線量が最大となる時期においても基準値を超えていないことを確認することが基本であるが、地質環境や生活環境などの不確実性が增大する超長期の放射線防護基準については、天然の放射能濃度との相対的比較などの補完的指標を考慮することも考えられる³⁾。以下では、将来予測とシナリオ区分との関係について記述する。

期間A + 期間Bの期間内では、地質環境の変遷や自然現象の予測を行うとともに、さまざまな不確実さの影響をシナリオに反映し、そのシナリオによって計算された線量と基準とを比較することを持って地層処分システムが閉鎖後長期間にわたって安全に構築されていることを確認する。また、期間Aにおいては予測の不確実性は比較的小さいことから、最新の知見に照らして科学的に確からしいと予見される標準的なシナリオを策定することが可能と考えられる。

一方、期間Cでは、不確実性が大きすぎ、必ずしも将来の人間環境における放射線レベルへの影響を評価するための論拠とはならないことから、線量評価の結果を基準値と比較しても科学的に意味がない。従って、考慮する地質環境の変遷や自然現象を類型化して、天然の放射能濃度との相対的な比較を行うなどの補完的な評価方法について検討を行う。

3. 自然現象に対するシナリオ構築手法

以下では、自然現象のうち、地震・断層活動が処分システムに与える影響評価手法について述べる。ここでは、まず、新たに新生・伸長した断層が処分場を直撃することを想定し、処分システムが受ける影響を、熱、水理、力学、化学の観点から整理した。整理した知見に基づき、廃棄体や人工バリアの破壊などの直接的な影響を受ける廃棄体と、地下水流動や地下水質の変化などの間接的な影響を受ける廃棄体とに分類した。さらに、安全評価上感度が高い地下水流動および地下水質に着目し、深部地下水が上昇するケースと地表水の引き込みが生じるケースを抽出した。

4. おわりに

本検討では、将来予測とシナリオ区分および自然現象に対するシナリオ構築手法について示した。これにより、科学的な知見や過度な保守性の排除という観点から、特定のサイトを対象とした自然現象の安全評価を行うための出発点を整備した。今後は、特定のサイトを対象とした地層処分の安全確保に向けて、これらの考え方や手法をより実用的な

ものに具体化していく。

- 1) OECD/NEA (1991b) : Review of Safety Assessment Methods, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, France.
- 2) 原子力安全委員会 (2004) : 放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について.
- 3) 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).

キーワード: 地層処分,, サイト選定,, 安全評価, 自然現象, 将来予測, 不確実性

Keywords: geological disposal, siting, safety analysis, natural phenomena, future forecast, uncertainty

SCG068-03

会場:104

時間:5月22日 14:45-15:00

結晶質岩系岩盤における現実的なNF環境・コンセプトの再検討 Rethinking of NF concept in crystalline rock

吉田 英一^{1*}

Hidekazu Yoshida^{1*}

¹ 名古屋大学

¹Nagoya University

地層処分システムの多重バリア機能の健全性は、地下環境を構成する岩石や地下水の性質だけでなく、掘削された地下空洞環境の工学的施工状態に大きく左右されることは間違いない。しかしながら、これまでの平成12年レポートをはじめとする多重バリア機能は、地下環境/工学的設置環境の情報不足から、いわば理想的状態での設置環境におけるコンセプトだと言わざるを得ない部分があることは否めない。そのような状況に成らざるを得なかった理由の1つは、実際の多重バリアを設置する地下環境についての、どのような知見が重要なのかなど、既存の知識と経験に関する情報が共有化されていなかったことによると言えるだろう。一方で、安全評価においては、地下環境における情報不足と、その「保守的(過ぎるとも言える)」概念から、over estimateとも言える手法を構築してきた。その「弊害」は、実際の地下環境から乖離した状態での、人工バリア機能の評価や核種移行評価を増長させてきたとも言えなくはない。このような状況は、さまざまな研究開発における効率化を妨げるものであり、現実的な多重バリア機能の評価を行うためには、より現実的な地下環境(岩石?地下水?コンクリート等人工素材の複合環境)に基づいた概念の再構築が必要である。

将来の地層処分場で遭遇すると考えられる坑道周辺は、地下岩盤(岩石・鉱物)と地下水で満たされた地下地質環境とグラウト材やコンクリート支保材など、人工材料とのインターフェースであり、また操業に伴う力学的擾乱や酸化還元反応などといった物理的・化学的变化を伴う環境(場)である。これまでの平成12年度レポートをはじめ、我が国の性能評価の概念モデルにおいては、これらの複合状態(より現実的な状態)の理解が明確ではなく、信頼性の高い安全評価体系を整備するためには、実環境をより現実的に示すことのできる情報(データ)と調査技術を早急に準備することが必要と考えられる。またこれらの情報と技術は、多重バリア性能の健全性を明確にするためのニアフィールド(NF)におけるSafety caseを抽出/構築する上でも不可欠である。とくに、実際の処分事業を効率的に進めていくためには、現場に即した状態でのNF環境、あるいは核種移行に関する性能評価を実施する上での、より現実的な「場」のモデルを構築しなければならない。そのためには、NF環境を中心としたバリア機能の評価するための現象プロセスを適切に抽出し、その優先順位を念頭においた現実的なシナリオを設定することが重要である。このような背景のもと、我が国の地下研をはじめとする地下環境研究の今後の課題と進め方について、とくに理解すべきニアフィールド現象との相関を念頭にその考え方を提示したい。

キーワード: ニアフィールドコンセプト, 結晶質岩, バリア機能

Keywords: NF concept, Crystalline rock, Barrier function

SCG068-04

会場:104

時間:5月22日 15:00-15:15

瑞浪超深地層研究所における地球化学に関する調査研究 -第1段階結果の妥当性確認について-

Hydrochemical Characterization at Mizunami Underground Research Laboratory - Adequacy assessment of the result of surfac

水野 崇^{1*}, 青才 大介¹, 新宮 信也¹, 山本 祐平¹, 福田 朱里¹, 萩原 大樹¹

Mizuno Takashi^{1*}, Aosai Daisuke¹, Shingu Shinya¹, Yamamoto Yuhei¹, Fukuda Akari¹, Hagiwara Hiroki¹

¹ 日本原子力研究開発機構

¹JAEA

日本原子力研究開発機構が進めている超深地層研究所計画は、現在、第2段階（研究坑道の掘削を伴う研究段階）を進めつつ、平成22年度からは第3段階（研究坑道を利用した調査研究）を開始している。第2段階では、第1段階（地表からの調査予測研究段階）で構築した地質環境モデルの妥当性を確認することにより、第1段階で用いた調査評価技術（調査手法、手順など）の適用性を評価することが主要な課題の一つである。地球化学に関する調査研究では、地下水の塩分濃度分布、酸化還元環境及びpHを把握するための調査評価技術の構築を目標として設定している。本報告では、これまでの第2段階の結果に基づき、第1段階で構築した地球化学概念モデルの妥当性を評価するとともに、第1段階において用いた調査評価技術の適用性について考察する。

第1段階における地球化学に関する調査研究の結果として、研究坑道掘削前における初期状態での水質分布と水質形成プロセスを記述した地球化学概念モデルを提示した。地球化学概念モデルでは、1) 深度約80m以浅においてNa-(Ca)-HCO₃型地下水が分布、2) 深度約80m以深ではNa-Cl型地下水が分布し、深度とともに塩分濃度が増加、3) 前者は水-岩石反応により、後者は深部に存在が推定されるより高塩分濃度のNa-Cl型地下水と浅部のNa-(Ca)-HCO₃型地下水が混合することにより水質が形成、ということ記述している。また、pHについては8.9の範囲に分布することがわかった。酸化還元環境については、浅部では主にFeが、より深部ではFeに加えてSが関与した酸化還元反応により酸化還元環境が支配されていることを、得られた水質に基づく熱力学的解析及び鉱物の観察より推定した。

第2段階における地球化学に関する調査研究では、地上から掘削した2本の浅層ボーリング孔（掘削長約100mおよび200m）、研究坑道に深度100m毎に設置された水平坑道から掘削した4本の水平ボーリング孔（掘削長約50m?100m）、研究坑道壁面からの湧水及び研究坑道内に深度約30m毎に設置した集水リングで捕集される地下水を対象に水質観測を実施している。これらの水質観測の結果、Na-(Ca)-HCO₃型地下水とNa-Cl型地下水の空間分布及びpHの範囲は第1段階の結果と一致した。また、セメント等の人工材料と接触する地下水（坑道壁面からの湧水や集水リングで捕集される地下水）は当初、pHが10以上の高い値を示したが、観測開始から2年程度経過した後は、人工材料の影響を受けていない地下水と同様の範囲に回復することがわかった。酸化還元環境については、深度200mの水平坑道から掘削した水平ボーリング孔において被圧・嫌気状態での原位置測定により、主にFeの酸化還元反応が地下水の酸化還元環境を支配していることが明らかとなり、第1段階での推定結果の妥当性が確かめられた。これらのことから、第1段階で用いた塩分濃度の分布、酸化還元環境及びpHを把握するための調査評価技術が適切であったと考えられる。

他方、第2段階での水質観測では、研究坑道近傍において、より深部の地下水が上昇し、水質分布が変化していること及び研究坑道と交差する低透水性の断層を境に、水質分布の変化の程度が異なることが明らかとなった。これらの現象は第1段階では予測されておらず、研究坑道掘削に伴う地下水流動状態の変化に起因すると考えられる。これらの現象を定量的に理解するため、現在、第1段階の結果に基づく水質分布を初期条件とした三次元非定常移流分散解析を行い、研究坑道掘削に伴う水質分布の変化を推定している。

以上のことから、第1段階での調査研究結果として得られた、地下水の塩分濃度分布、酸化還元環境及びpHの妥当性を第2段階の調査研究によって確認することにより、第1段階において適用した調査技術の信頼性を示すことができた。ただし、第2段階では、第1段階で予測していなかった水質分布の変化が認められたため、今後は、第2段階で得られる知見に基づき、研究坑道掘削に伴う水質分布の変化に関する予測解析手法の信頼性向上を図っていく予定である。

キーワード: 瑞浪超深地層研究所, 地球化学, 掘削影響

Keywords: MIU, hydrochemistry, influence of shaft construction

SCG068-05

会場:104

時間:5月22日 15:15-15:30

堆積岩中の重要な水理地質構造に関わる地球化学的考察 微量元素濃度を指標としたナチュラルアナログ

Natural analogue study using U, Th, REEs to identify the pragmatic hydrogeological structure in sedimentary rock

岩月 輝希^{1*}, 本多照幸², 村上 裕晃¹

Teruki Iwatsuki^{1*}, Teruyuki Honda², Hiroaki Murakami¹

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 東京都市大学

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Tokyo City University

【はじめに】

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、その安全性を評価するために地下深部の物質移行経路や移行経路における地質環境条件（地下水の流束や化学特性など）を明らかにした上で、放射性核種の長期的な移行について解析する必要がある。このような解析・評価では、移行経路の分布や地質環境条件の長期的変動などの情報に様々な不確実性が含まれている。例えば、堆積岩は一般的に多孔質媒体と見なされることが多いが、断層や割れ目が存在する場合には割れ目媒体の性質も併せ持つことになる。一般に核種の移行経路となり得る地質構造の複雑さに対して、調査や解釈が十分でない場合、核種の移行経路に関わる情報には大きな不確実性が伴う。このような不確実性を補完する手法として、放射性核種と化学的性質が類似している天然類似元素（ナチュラルアナログ元素）を利用する方法がある。本研究では、北海道幌延地域を対象として岩石中の主要元素、ウラン、トリウム、希土類元素濃度の分布に基づいて、堆積岩中の重要な物質移行経路の推測を試み、その同定手法について考察した。

【研究地域の概要】

幌延地域の研究対象領域には下位から新第三系の稚内層（珪質泥岩）、声問層（珪藻質泥岩）が分布しており、これらの地層の水理地質特性は、1)断層（割れ目）が存在するものの、その連続性・連結性が小さい声問層、2)断層（割れ目）の連続性・連結性が相対的に高く高透水性構造が形成された深度約400m以浅の稚内層、3)断層（割れ目）の連続性・連結性が相対的に低く低透水性の深度約400m以深の稚内層に区分されている。なお、1)の浅部、2)には淡水～汽水、3)には、地層堆積時に地層中に閉じ込められたと考えられる化石海水が分布しており、領域毎に化学環境が長期的に異なる状況にあったと推測されている。

【結果・考察】

上記1)～3)の各領域の岩石試料（健岩部、断層・割れ目部、割れ目充填鉱物など）を対象として全岩中の主要・微量元素濃度の分析を行った。その結果、ヨウ素やホウ素濃度などについては領域毎に異なっているものの、有機物濃度と相関があり、主に堆積時における珪藻由来の有機物の濃度に依存しているものと考えられた。一方、希土類元素濃度については、領域2)の一部の試料を除いて、ほぼ一様であり、水理地質特性や長期的な化学環境の違いにもかかわらず、濃度の不均質性をもたらすような元素の移動は無かったと考えられた。領域2)の一部の断層の角礫部・ガウジ部、割れ目を充填する炭酸塩鉱物においては、ウラン、トリウム、希土類元素濃度に不均質性が認められた。断層部では周辺の健岩部に比べ、軽希土類元素、ウラン、トリウム濃度が高めの、重希土類元素が低めの値を示した。断層部は健岩部に比べ粘土鉱物に富んでおり、軽希土類元素は粘土部に濃集している可能性がある。一方、割れ目を充填する炭酸塩鉱物では、軽希土類元素に比べ重希土類元素濃度が高くなる傾向が認められた。

以上の事から幌延地域の堆積岩は、物質移行の観点で多孔質媒体よりむしろ割れ目媒体としての性質に着目する必要があると考えられた。領域2)の断層、割れ目は、既存研究により長さ数百m規模の連続性・連結性を持つと推測されており、長期的に元素の移動し得る距離も同程度になる可能性がある。ただし、断層部は健岩部に比べ、より実効的な物質移行経路になり得るものの放射性核種のアナログとなるウラン、トリウム、軽希土類元素に関しては、粘土鉱物への濃集により移動が抑制されるものと推察される。重希土類元素については、地下水中での炭酸錯体の形成などにより、粘土鉱物への濃集よりも炭酸塩鉱物として沈殿するプロセスが支配的である可能性があるが、その詳細なメカニズムの解明は今後の研究課題である。

キーワード: 幌延地域, 堆積岩, 物質移動経路, ナチュラルアナログ, 希土類元素

Keywords: horonobe area, sedimentary rock, solute transport path, natural analogue, rare earth element

SCG068-06

会場:104

時間:5月22日 15:30-15:45

地下水流動解析モデルの検証のための原位置データの取得 Hydrogeological investigations for validation of groundwater flow modelling

松末 和之^{1*}, 宗像 雅広¹, 久田 公一¹, 木村 英雄¹

Kazuyuki Matsue^{1*}, Masahiro Munakata¹, Kimikazu Hisada¹, Hideo Kimura¹

¹ 日本原子力研究開発機構安全研究センター

¹Nuclear Safety Research Center, JAEA

独立行政法人日本原子力研究会開発機構（原子力機構）安全研究センターは高レベル放射性廃棄物地層処分安全規制の整備に向けた研究（安全規制支援研究）を進めている。地層処分における安全評価では、地下水シナリオによる流動解析を経て物質の移行経路や移行時期が適切に評価されている必要があり、そのためには広域かつ長期的な地下水流動の評価が不可欠となる。安全研究センターでは、幌延深地層研究所（幌延 URL）の周辺領域において、安全規制支援研究で実施した広域地下水流動解析結果を、新たに取得する原位置データを使って検証し、地下水流動の評価に係る技術的課題を取りまとめ、安全規制支援に必要な技術基盤を整備する目的で調査・研究を行っている。

本報告は、幌延地域の広域地下水流動解析モデルの検証を行うための原位置データを取得するために、幌延 URL 付近の東側の涵養域と西側の流出域において実施したボーリング掘削調査及び孔内原位置試験等の結果を述べるものである。

平成 21 年度は、幌延 URL 東側において SAB-2 孔を深度 460m まで掘削して物理検層及び水理試験（3 区間）を実施した。平成 22 年度は、SAB-2 孔を 710m まで増掘りして物理検層及び水理試験（3 区間）を実施するとともに、幌延 URL 西方において SAB-3、SAB-4 孔（掘削長各 160m）を掘削して物理検層及び水理試験（各孔 2 区間）を実施した。また、各孔から採取した岩芯の室内試験（物理試験、間隙水の水質分析等）を行った。

SAB-2 孔では深度 100～710m 間の岩芯を採取した。地質は地表から深度 5m までは河床堆積物、深度 5～75m 間は後期中新世の稚内層の珪藻質泥岩、深度 75m 以深は稚内層の珪質泥岩が分布する。深度 100m 以深において温度検層、音波検層、孔壁画像検層、流体電気伝導度検層等を実施し、その結果から岩盤からの湧水が認められた 6 区間において間隙水圧測定及び透水試験を実施した。室内試験としては、岩芯の間隙水の水質分析、物理試験、室内透水試験、岩石薄片顕微鏡観察、X 線分析、岩石の年代測定等を実施した。

SAB-2 孔における調査結果から、深度 450m 付近を境に岩盤の透水性や地下水の水質に差が認められた。深度 450m 以浅では平衡水位が GL+5m 付近でほぼ一定であるが、深度 450m 以深では GL+20m 程度と間隙水圧が高くなっている。原位置で測定した岩盤の透水性に関しては深度 450m 以浅では透水係数が 10^{-8} m/s 程度であるが、深度 450m 以深では 10^{-11} m/s 程度と低透水性を示した。また、地下水の水質は深度 450m 付近までは深度とともに塩分濃度が徐々に上昇するが、深度 450m 以深では塩素濃度 3,100～4,400mg/L で深度によらずほぼ一定となっている。これらの結果から、SAB-2 孔地点では深度 450m 付近より上位では海成の稚内層堆積時の古海水由来の塩水がその後の天水の浸透により洗い出しを受けているが、深度 450m 以深では古海水由来の塩水がほとんど移動していない可能性が考えられる。

また、流出域にあたる幌延 URL 西方の SAB-3、SAB-4 孔においては、深度 25～160m 間の岩芯を採取した。SAB-3 孔の地質は深度 17.5m まで沖積層、深度 17.5～123.9m 間は鮮新世の勇知層、深度 123.9m 以深は後期中新世～鮮新世の声問層が分布する。一方、SAB-4 孔の地質は深度 27.5m まで沖積層、深度 27.5～46.7m 間は勇知層、深度 46.7m 以深は声問層が分布する。両孔とも、温度検層、音波検層及び孔壁画像検層を実施するとともに、勇知層と声問層においてそれぞれ間隙水圧測定及び湧水圧試験を実施した。また、室内試験として、岩芯の間隙水の水質分析、室内透水試験、物理試験等を実施した。原位置で測定した岩盤の透水係数は、2 孔とも勇知層で 10^{-9} m/s 程度、声問層で 10^{-10} m/s 程度であった。

本成果は、独立行政法人原子力安全基盤機構より日本原子力研究開発機構が受託し実施した「平成 21～22 年度地下水流動解析モデルの総合的検証手法の検討（幌延ボーリング調査）」の一部である。

キーワード: 地下水流動モデル, ボーリング, 透水係数, 水質, 地下水位

Keywords: groundwater flow model, borehole, hydraulic conductivity, groundwater chemistry, hydraulic head

SCG068-07

会場:104

時間:5月22日 15:45-16:00

北海道幌延地域、SAB-2孔における塩素同位体を用いた地下水年代の推定に関する調査 Study of chlorine-36 dating of groundwater in the SAB-2 borehole, Horonobe, Hokkaido

久田 公一^{1*}, 宗像 雅広¹, 松末 和之¹, 木村 英雄¹
Kimikazu Hisada^{1*}, Masahiro Munakata¹, Kazuyuki Matsusue¹, Hideo Kimura¹

¹ 日本原子力研究開発機構安全研究センター
¹Nuclear Safety Research Center, JAEA

高レベル放射性廃棄物等の地層処分の安全評価においては、地下水流動に伴う物質の移行の評価が必要である。このため、(独)日本原子力研究開発機構安全研究センターでは、幌延地域において広域的な地下水流動モデルの構築を行い、地下水の流路や滞留時間の評価を含む地下水流動に関する調査を行っている。信頼性のあるモデルの構築には、解析結果と実際の地下水の滞留時間との比較により検証を行う必要がある。幌延地域では、新第三紀の海成層からなる岩盤中の地下水の滞留時間を評価対象とするため、半減期が30.1万年の³⁶Clによる年代測定法が適している。したがって、本調査では、安全研究センターが幌延町北進地域で行ったボーリング調査(SAB-2孔、掘削深度710m)から得られたコア間隙水と原位置地下水の³⁶Cl/Cl値およびClイオン濃度を基に、地下水年代の推定に関する検討を行った。

SAB-2孔における地下水の³⁶Cl/Cl値は、孔口付近の地表水(沢水)で 80×10^{-15} 程度、GL-100~-150mにおいて 30×10^{-15} 程度、深部に行くにしたがい 5×10^{-15} 程度に収束する傾向を示す。また、Clイオン濃度は地表水で15mg/L、GL-150mまでは数10mg/L程度と低い。さらに、GL-150~-450mではClイオン濃度は深度とともに3,000mg/L程度まで増加し、それ以深ではおよそ3,100~4,400mg/Lの範囲でほぼ一定となっている。

深部の地下水は、³⁶Cl/Cl値がほぼ一定値を示す傾向が認められることから放射平衡に達している可能性が高く、100万年オーダーの古い地下水であると推定される。一方、GL-450m以浅の地下水については、Clイオン濃度および³⁶Cl濃度の深度プロファイルをもとに地下水形成過程を検討した。本発表ではこれらの検討に基づいたSAB-2孔の地下水年代に関する調査結果について報告する。

なお、本成果は(独)原子力安全基盤機構より(独)日本原子力研究開発機構が受託し実施した「平成21~22年度地下水流動解析モデルの総合的検証手法の検討(幌延ボーリング調査)」の一部である。

キーワード: 塩素同位体, 地下水年代, 幌延

Keywords: chlorine-36, groundwater age, Horonobe

SCG068-08

会場:104

時間:5月22日 16:00-16:15

北海道幌延町における ^{14}C を用いた堆積岩中の地下水の滞留時間推定の試み Estimation of groundwater retention time by Carbon-14 in the sedimentary rocks at the Horonobe study site

村上 裕晃^{1*}, 天野 由記¹, 國分 (斎藤) 陽子¹, 岩月 輝希¹
Hiroaki Murakami^{1*}, Yuki Amano¹, Yoko Saito-Kokubu¹, Teruki Iwatsuki¹

¹ 日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency

[はじめに] 高レベル放射性廃棄物の地層処分では、その安全性を評価するために深部地下水の流動状態を把握することが重要である。地下水の流動状態を把握する方法としては、放射性同位体などを利用する地球化学的方法と岩盤の透水係数や動水勾配などに基づいて数値解析を行う水理学的な手法がある。本研究では幌延地域を対象として、 ^{14}C 濃度を用いた同位体的手法によって深部地下水の滞留時間推測を試みた。

[概要・方法] 研究対象地域には下位から新第三系の海成層である稚内層（珪質泥岩）および声問層（珪藻質泥岩）が分布している。また、稚内層深部においては滞留時間が100万年以上と見積もられた化石海水が分布することが明らかになっている（中田・長谷川，2010）が、それ以浅では正確な年代が報告されていない。本研究では、現在建設中の幌延深地層研究所において、声問層中に建設された深度140m調査坑道と深度250m調査坑道から掘削されたボーリング孔から得られる地下水湧水を測定対象とした。

各坑道において地下水湧水を1Lデュラン瓶に2~5分程度オーバーフローさせて採水した後、NaOHとSrCl₂を加えて速やかに蓋をし、地下水中の無機炭素をSrCO₃として沈殿回収した。実験室において、大気中の炭酸ガスを除去したグローブボックス内でSrCO₃を反応管に移し、真空ラインに接続した後、SrCO₃とリン酸を反応させてCO₂を発生させ、鉄触媒による水素還元にてグラファイト化した。 ^{14}C 濃度の測定にはタンデム型加速器質量分析装置（JAEA-AMS-TONO）を用いた。

[結果と考察] 採取した地下水中の溶存無機炭素濃度は430~690mg/L、 ^{13}C は+19.3~+21.8‰、 ^{14}C 濃度は0.39~1.04pMCであった。同時に測定したトリチウム（ ^3H ）濃度は検出下限値以下であり、ボーリング孔掘削時に添加したトレーサー（ウラニン）も検出されなかったことから、掘削水による汚染はないと考えられた。また、検出した ^{14}C が試料採取から分析までの大気中の炭酸ガスの混入に伴う汚染である可能性が考えられたため、その品質確認を行った。その結果、大気中の炭酸ガス（濃度：390ppm、 ^{14}C 濃度：100pMC）の混入により検出された ^{14}C 濃度になるためには、13.4~33.4Lの大気と接触している必要があると見積もられ、作業手順上の汚染は無いと判断された。以上の検討から、測定された ^{14}C は湧水に含まれるものと判断され、 ^{14}C 濃度を元に地下水の滞留時間を推測したところ約40,000年という値が得られた。一方で、涵養当初の地下水の ^{13}C は陸域の表層水あるいは海水の ^{13}C の0~-25‰の範囲にあったと推測されるが、現在の地下水の ^{13}C 値は約+20‰であり、両者の間には非常に大きな差が生じている。実際の地層中では ^{14}C を含まないデッドカーボン（55,000年以上経た方解石や有機物に由来する無機炭素）の付加による ^{14}C 濃度の希釈や、様々な同位体分別反応が起こっていると考えられることから、真の滞留時間を算定するためにはこれらの同位体希釈や分別に関わるプロセスを理解し、 ^{14}C 濃度を補正する必要がある。今後、その要因について検討を行っていく。

キーワード: 地下水, 滞留時間, 同位体, ^{14}C

Keywords: groundwater, retention time, isotope, ^{14}C

SCG068-09

会場:104

時間:5月22日 16:30-16:45

堆積岩地域における地下水流動の検証データの整備方法に関する検討 - 幌延浜里地域の例 -

Study on Preparation methods for Validation data of Groundwater Flow System in a Sedimentary Rock Area

酒井 隆太郎^{1*}, 宗像 雅広¹, 木村 英雄¹

Ryutaro Sakai^{1*}, Masahiro Munakata¹, Hideo Kimura¹

¹ 日本原子力研究開発機構 安全研究センター

¹Nuclear Safety Research Center, JAEA

放射性廃棄物の地層処分では、人間社会への核種の地下水移行を信頼性高く評価するためには、数万年を超えるような長期的な地下水流動評価のためのモデル構築と地下水流動モデルの検証方法（地下水流動モデルの妥当性の確認方法）の構築が重要である。地下浅所の短期的な地下水流動については、地下水流動解析によって求まる地下水流速を水位・水頭分布による検証方法の適用が可能であるが、地下浅部～深部の長期的な地下水流動については、深部の水理データの欠如、緩慢な地下水流動のため、流動の認識が困難であるなどの理由から同様な方法による検証は困難である。このため、まず、重力を駆動力とする天水起源の地下水の流動下限深度となる地下水流動境界、地層の堆積当時に取り込まれて以来、現在に至るまではほとんど流動に関与しない停滞性地下水の分布域などの評価が重要となる。このため、地下水流動モデルの検証のためには、これまで離散していた水圧以外、水質、水温、地下水年代など複数の有用な指標データを集約・整備する必要がある。

日本原子力研究開発機構は、昨年度、房総半島について水圧、水質、水温、地下水年代など複数の指標データを用いて調査対象とするスケールの違いによって地下水流動境界、流動特性を検証項目としてどこまで評価可能かを報告した。本報告では、房総半島と同様な検討を地下水流速の小さい地下水環境である幌延浜里地域に適用した。検討の結果、浜里地域においては、深度 30 m ~ 60 m 間の地下水は Na-HCO₃ ~ Na-Cl 型の停滞性地下水であり、海成の粘土層～シルト層の分布域と一致する。また、深度 30 m 以浅の砂層中には主として Ca-HCO₃ 型地下水、深度 60 m 以深の沖積層下部～更別層中には Na-HCO₃ ~ Na(Ca)-Cl 型地下水が賦存し、主成分分析結果から、これらの地下水と Na-HCO₃ ~ Na-Cl 型地下水とは異なる地下水混合系にあるものと推測される。さらに、Na-HCO₃ ~ Na-Cl 型地下水の分布する粘土層～シルト層上面境界を境としてそれよりも浅は水圧、水温の観点から季節変動による影響を受けていることが整理された。これらの地下水賦存状況および当地域の地史を考慮すると、深度 30 m ~ 60 m の粘土層～シルト層は、1 万年前～7,900 年前の海面上昇期の堆積（幌延地圏環境研究所、2007）[1] 以降、表層水と地下深部の地下水との交流を遮断する地下水流動境界の役割を果たしているものと推定された。なお、酒井ほか（2010）[2] は、浜里周辺の 2 次元地下水流動解析に際して、深度 5km までの地質構造モデルに粘土層～シルト層の存在を考慮した場合、粘土層～シルト層は低透水性であるため、将来、海面低下による侵食・削割された場合、それ以深の更別層中の地下水流動に影響を及ぼす可能性があることを報告しており、今回の結果は、酒井ほか（2010）[2] による解析モデルの妥当性を裏付ける結果となっている。

今後は、浜里以外の地下水環境の異なる地域に対して同様な検討を行い、房総半島、浜里地域の結果と比較し、検証のためのデータ整備方法の課題を整理する予定である。なお、本研究は、原子力安全・保安院「平成 22 年度地層処分の安全審査に向けた評価方法等の整備」として実施した。

参考文献：

[1] 幌延地圏環境研究所（2007）：平成 18 年度地圏環境研究事業研究成果報告書、297p.

[2] 酒井他（2010）：第 26 回バックエンド夏期セミナー資料集、ポスター 17.

SCG068-10

会場:104

時間:5月22日 16:45-17:00

長期的地下水流動評価において考慮すべき透水係数の時間変化に関する検討 Study on Temporal Change of Hydraulic Conductivity for Long-term Groundwater Flow Analysis

宗像 雅広^{1*}, 久田公一¹, 木村 英雄¹
Masahiro Munakata^{1*}, Kimikazu Hisada¹, Hideo Kimura¹

¹ 日本原子力研究開発機構安全研究センター

¹ Nuclear Safety Research Center, JAEA

高レベル放射性廃棄物等の地層処分において処分場閉鎖後の安全性を評価するためには、放射性物質を長期間にわたって閉じ込めるための人工バリアの性能を評価するとともに、人工バリアから漏出した放射性物質を運ぶ地下水の流動や地層中における放射性物質の移行についての評価を行うことが必要である。安全審査の際に規制機関は、長期における評価の不確実性をふまえて、その評価が確からしいか、あるいは少なくとも保守的であるかについて妥当性を判断する必要がある。こうした規制機関による妥当性判断に必要な技術情報の整備を行うことを目的として、日本原子力研究開発機構・安全研究センターでは、地下水シナリオに基づく安全評価の基本となる地下水流動評価手法を整備している。長期的な地下水流動を評価する場合には、安全評価の対象となる期間が長期に及ぶことから、透水係数等の水理特性の時間的な変化がどの程度安全評価結果に影響を及ぼす可能性があるかを把握しておく必要がある。とくに、隆起・沈降等の地質構造の変化を伴う地域における時間的変動特性を理解した上で地下水流動評価及び安全評価が行われる必要がある。本報告では幌延地域を対象として、取得された試錐コアの物性値などを元に、透水係数の時間的な変化について検討を行った。まず、試錐コアでの物性データから透水係数を推定する方法を検討し、推定した透水係数から透水係数の時間・深度依存性を考慮すべき地層を抽出し、抽出した各層に対して時間・深度に対する透水係数の変化幅を求めた。これら結果から、将来的に透水係数の時間・深度依存性を考慮すべき地層(未来の堆積物を含む)を検討し、透水係数の変化幅を推定した。

本報告では、幌延深地層研究計画で行われたHDB-1からHDB-8試錐データ(太田ほか、2007;核燃料サイクル開発機構、2002;2003;2004)、貯蔵工学センター立地環境調査として行われたD-1試錐調査データ(伊勢村ほか、1987)を使用した。幌延地域での試錐データでは、更別層以下の地質についてのみ透水係数などの物性値が計測されており、沖積層などの浅層の未固結堆積物については透水係数が明らかにされていない。このために解析には、沖積層・洪積層における物性値の代表として、関東平野の地下地質・地盤データベース(独立行政法人産業技術総合研究所RIO-DB)および統合化地下構造データベース(独立行政法人防災科学技術研究所)より試錐調査データの収集を行った。これらデータの年代は最も古い年代で13,086yrBPであるため、これらを沖積層と称している。これらデータ解析から、S波速度からの透水係数の関係を整理すると硬質の稚内層から固結度の低い沖積層までの広い範囲で両者の相関性が高い($R^2=0.87$)ことがわかった。また、孔口からの深度と透水係数値の相関関係から、同一深度で±1~2オーダー程度のばらつきがあるものの、埋没深度の増加とともに、透水係数が低くなる傾向にあること、層相が泥質なものは砂質に比べて、系統的に透水係数が低くなることが示唆された。また、幌延地域での各地層の代表的年代と埋没深度の関係から時間と透水係数の変化に関する検討を行った。10万年程度の期間変化を扱う場合には、対象地域ではサロベツ原野で-0.6m/year程度の沈降速度が考えられることから、100m以下の埋没深度の透水係数の変化を重視すべきであり、この期間中に堆積した堆積物の最大埋没深度は100m弱が予想されるため、透水係数は埋没深度と共に表層付近の 10^{-4} から 10^{-7} m/secまで透水係数が変化すると推定できた。これら検討の結果、本地域での10万年程度の将来的な地下水流動解析における透水係数の変化を考える場合には、深度変化に対して透水係数の変化が大きい勇知層程度までが重要であり、勇知層までの区間では概ね最大埋没深に依存すると考えることができる。なお、本研究は、原子力安全・保安院「平成22年度地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備」として実施した。

キーワード: 地層処分, 安全評価, 地下水流動解析

Keywords: Geologic Disposal, Safety Assessment, Groundwater Analysis

SCG068-11

会場:104

時間:5月22日 17:00-17:15

拘束圧条件下における堆積岩の化学的浸透特性の評価 Effect of confining pressure on the chemico-osmotic property of sedimentary rock

竹田 幹郎^{1*}, 間中 光雄¹, 伊藤一誠¹
Mikio Takeda^{1*}, Mitsuo Manaka¹, Kazumasa Ito¹

¹ 独立行政法人産業技術総合研究所

¹ AIST

放射性廃棄物地層処分の安全評価では処分候補地における地下水流動システムを正確に把握することが不可欠である。沿岸域における低透水性の堆積岩地域では、地層中の非均一な塩濃度の分布により化学的浸透が発生し、静水圧分布から乖離した間隙水圧分布をとる可能性がある。このような地域における地下水流動システムの把握には、地層中での化学的浸透の発生可能性を実験的、数値的に検討する必要がある。本研究では、地下深部の地盤圧力と同等の拘束圧条件下で岩石の化学的浸透特性を測定できる室内実験装置を開発し、北海道幌延地域において採取された硅質泥岩を対象に浸透圧実験を実施した。実験では拘束圧条件を 1 MPa から 20MPa まで段階的に増加させ、各拘束圧条件において化学的浸透により生じる岩石サンプル両端の圧力差を測定した。一連の実験における岩石サンプル両端の塩濃度差は 0.110~0.118 M NaCl であり、計測された圧力差は 9.1~26.4kPa であった。これらの圧力差および塩濃度差から van 't Hoff の式を用いて算出された反射係数は 0.020~0.049 であり、拘束圧の増加にともない反射係数は増加する傾向が認められた。今後は得られた実験結果に基づき、海水・淡水の塩濃度差において実地層スケールで発生しうる浸透圧の数値的評価を進める。

キーワード: 堆積岩, 化学的浸透, 浸透圧, 室内実験

Keywords: sedimentary rock, chemical osmosis, osmotic pressure, laboratory experiment

SCG068-12

会場:104

時間:5月22日 17:15-17:30

抽出法の違いによる間隙水の化学分析結果の比較 omparison of pore water chemistry after extraction from sedimentary rock by different methods

井川 怜欧^{1*}, 西崎 聖史¹, 町田 功¹, 越谷 賢¹, 丸井 敦尚¹, 伊藤 成輝¹

Reo Ikawa^{1*}, Seiji Nishizaki¹, Isao Machida¹, Masaru Koshigai¹, Atsunao Marui¹, Narimitsu Ito¹

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター

¹ Geological Survey of Japan, AIST

透水性の低い堆積岩地域では、深度が増加するほど地下水の流動速度は遅くなり、物理的なデータを得ることが難しくなる。このような地域においては、地下水の地球化学的情報から流動状況を把握することが重要となるが、現位置において地下水サンプルを得ることは時間、コスト、および技術的側面から難しい。このような場合、岩石コアに含まれる間隙水の地球化学的データが非常に有益であることが多くの研究によって示唆されている。

間隙水的主要抽出方法として、圧縮抽水法、遠心分離法、リーチング法、平衡法などが提案されている。コアから直接的に間隙水を取り出す方法としては、汎用性の広さから圧縮抽水法が使用される場合が多い。しかしながら、圧縮抽水法は適切な圧力条件での抽水が必要であることが指摘されており、また多くの研究において抽水圧力が統一されておらず、比較研究の有効性においても疑問が残る。一方で、遠心分離法は、岩石破壊などの影響はないものの、泥岩への適応が難しく大気との接触による酸化や同位体比への影響も指摘されている。しかしながら、日本の軟質の堆積岩における間隙水の水質を対象とした詳細な比較研究の報告例はない。

そこで本研究では、これら2つの方法で取り出した間隙水の水質データを基に、各抽出方法の利点と欠点について詳細な検討を行った。その結果、手法の違いによる影響は、同位体比よりむしろ水質において大きかった、さらに、同一の手法を用いたとしても、圧力条件や回転数の違いが特定のイオンに関して表れることが明らかとなった。

本発表では、これまでに得られた最新の研究結果を報告する。

キーワード: 間隙水, 圧縮抽水, 遠心分離, 水質, 安定同位体比

Keywords: pore water, squeezing, centrifugation, water chemistry, stable isotopic ratio

SCG068-13

会場:104

時間:5月22日 17:30-17:45

長半減期放射性核種の移行に及ぼす微生物の影響 - 好気性条件におけるアクチノイドの微生物への吸着挙動 - Effect of microorganisms on migration of radionuclide - Sorption of actinides on microbial cells in aerobic condition -

大貫 敏彦^{1*}, 岩井和加里¹, 香西直文¹, 鈴木 庸平²
Toshihiko Ohnuki^{1*}, Wakari Iwai¹, Naofumi kozai¹, Yohey Suzuki²

¹ 原子力機構, ² 産総研
¹JAEA, ²AIST

緒言: 地層処分安全評価においては、アクチノイドなどの長半減期核種の地層中移行挙動を明らかにする必要がある。アクチノイドは移行過程において地層を構成する無機あるいは有機物に吸着される。そのため、鉱物などの無機構成物質によるアクチノイドの吸着に関する研究が多くの研究者により実施されてきた。

最近の地下環境における微生物の調査により、地下数百mの環境でも地表と匹敵する数の微生物が生息していることが明らかになった(1)。しかしながら、微生物のアクチノイドの移行挙動への影響は未だ明らかにされていない。そこで、アクチノイドの微生物への吸着挙動を明らかにする研究に着手した。微生物細胞表面は、構造の違いによりグラム陽性菌と陰性菌に分けられる。本研究では、アクチノイドとしてU(VI)を用いて *Shewanella putrefaciens* (グラム陰性菌) 及び *Bacillus subtilis* (グラム陽性菌) への吸着挙動を検討した。

実験: 予め培養した微生物を 0.1mol/L の NaCl 溶液で 3 回洗浄した後、約 1×10^{-5} mol/L の U(VI) を含む溶液 (以下、An 溶液) に添加した。溶液の pH を 3.0、4.0、5.0 及び 6.0 に調整して、25 °C で 4 時間振とうした。溶液中の U 濃度を調べるため、微生物を添加した後 2 時間及び 4 時間後に上澄み溶液を採取し、遠心分離の後、0.2µm のフィルターにより固相を分離した。U 濃度は液体シンチレーションあるいは ICP-MS により測定した。U(VI) の微生物への吸着に対する菌体重量、Ca イオン濃度、クエン酸濃度及び炭素源としてグルコース濃度の影響を調べた。さらに、吸着した U の化学状態を調べるため、U を吸着した *S. putrefaciens* について KEK、PF の実験ステーション BL-27B において U の LIII 吸収端 EXAFS スペクトルを測定した。

結果及び考察: 吸着実験を行った pH 領域では、微生物を添加してから 2 時間及び 4 時間後の溶液中濃度はほぼ同じであった。この結果から、微生物添加後 2 時間で吸着は平衡に達したものと考えられる。溶液に pH が 3 における U 濃度は両微生物の菌体重量が 0.02g/L の場合、およそ 2×10^{-6} mol/L であった。溶液中の pH の上昇に伴い溶液中の U 濃度は減少した。この結果は、微生物の細胞表面の電荷が溶液の pH の上昇に伴い、負に荷電量が増加することと一致する。EXAFS スペクトルを解析した結果から、U-P が認められた。これらの結果から、U は微生物細胞表面のリン酸基などの官能基に吸着していると考えられる。

溶液中における Ca イオン (0.01-0.05mol/L) の存在は、*S. putrefaciens* への吸着へはほとんど影響がなかった。一方、*B. subtilis* への吸着では、Ca イオン濃度の増加により U 濃度が上昇した。溶液中におけるクエン酸イオン (0.01-0.05mol/L) の存在は、*S. putrefaciens* への吸着ではクエン酸イオン濃度の増加により U 濃度が上昇した。*B. subtilis* への吸着では、クエン酸イオン濃度の増加により U 濃度が増加したものの、増加の割合は *S. putrefaciens* よりも小さかった。溶液中におけるグルコース (0.01-0.05mol/L) の存在は、*S. putrefaciens* への吸着へはほとんど影響がなかった。*B. subtilis* への吸着では、グルコース濃度の増加により U 濃度が増加した。これらの結果から、水溶液中に存在する陽イオン、有機酸などは U(VI) の微生物への吸着に影響する。その影響は微生物種、あるいは細胞表面の構造に依存する可能性がある。

本研究は原子力安全・保安院「平成 22 年度地層処分に係る地質評価手法等の整備」として実施した。

キーワード: 地層処分, 吸着, 微生物, 長半減期核種, 移行

Keywords: Geological disposal, adsorption, microorganism, long-lived radionuclides, migration

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG068-14

会場:104

時間:5月22日 17:45-18:00

スイス、グリムゼル地下試験場における花崗岩地下水の生物地球化学的調査 Biogeochemical Biogeochemical Investigations of Granitic Groundwater from the Grim- sel Test Site, Switzerland

今野 祐多^{1*}, 幸塚 麻里子¹, 鈴木 庸平¹, 伊藤一誠¹, 渡部 芳夫¹
Uta Konno^{1*}, Mariko Kouduka¹, Yohey Suzuki¹, Ito Kazumasa¹, Yoshio Watanabe¹

¹ 産業技術総合研究所深部地質研究コア

¹ AIST

放射性廃棄物地層処分の安全性を確保するために、地下水中の地球化学特性の変動や将来予測が必要となる。核種移行に大きな影響を与える地球化学因子のひとつである酸化還元状態は、岩石 - 微生物 - 水の相互作用、特に地下微生物代謝活動により支配・形成されている。そのため地球化学特性の変動や将来予測をおこなうために、現在の地球化学環境の解明と進行しているプロセスの解明をおこなう必要がある。そこで本研究では、スイス、グリムゼル地下試験場における試錐孔 JPG09.002、LCS08.002、BOADUS、US85.02.i1 および VE88.003.i1 より地下水試を採取し、地球化学・微生物特性のキャラクタリゼーションを行った。本発表では、淡水系花崗岩地下水を胚胎するグリムゼル地下試験場における生物地球化学特性の一般性と固有性について議論する。

本研究は原子力安全・保安院「平成 22 年度地層処分に係る地質評価手法等の整備」として実施した。

SCG068-15

会場:104

時間:5月22日 18:00-18:15

高アルカリ地下水とベントナイトの長期反応に関するナチュラルアナログ研究 Natural analogue study on long-term reaction of bentonite and highly alkaline groundwater

大井 真哉^{1*}, 鹿園 直建¹, 山川 稔², 藤井 直樹²

Masaya Oi^{1*}, Naotatsu Shikazono¹, Minoru Yamakawa², Naoki Fujii²

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科, ² 原子力環境整備促進・資金管理センター

¹ Graduate School of Keio University, ² RWMC

現在高レベル放射性廃棄物を地層処分する計画が各国で検討されている。日本の処分においては高レベル放射性廃棄物をガラス固化体とし、それを金属性の容器で覆い（オーバーパック）、緩衝材による人工バリアと地層という天然バリアからなる多重バリアシステムによる処分が考えられている。人工バリア材料の1つはベントナイトが検討されており、そのベントナイトに求められる機能は対象とする廃棄物に応じた処分方法で異なるが、いずれも長期健全性を有することが必要である。しかし、ベントナイトと支保等で使用されるセメント系材料を併用した場合、セメント系材料と地下水との反応により生成する高アルカリ地下水によってベントナイト系バリア材料が溶解・変質し、期待される要求機能が損なわれる可能性が指摘されている。また、高レベル放射性廃棄物の放射能レベルが自然のバックグラウンドレベルに減衰するまでには数十万年程度はかかるため、ベントナイトと高アルカリ地下水との長期の反応をみる必要があるが、室内実験ではそれが不可能である。そこで有力な方法として挙げられるのがナチュラルアナログ研究である。ナチュラルアナログ研究は、長期の地層処分の評価を自然界に存在する類似現象に置き換える手法である。本研究では、フィリピン Mngataram 地方をナチュラルアナログ研究の調査地域とした。その理由としては以下のことが挙げられる。

- ・ オフィオライト複合岩体が広域に分布している。オフィオライトはかんらん岩、斑レイ岩、玄武岩などの数種類の岩石の組み合わせから成る層状岩体であり、塩基性岩と地下水の反応メカニズムの解明につながる。

- ・ 天然のベントナイト鉱床が存在（Saile Mine）し、鉱山のため、露頭の観察が可能である。

- ・ Saile Mine には過去に高アルカリ地下水が存在していた証拠もあり（Mn-Staining）、ベントナイトと高アルカリ地下水の反応の調査が可能である。

- ・ 世界有数の高アルカリ地下水湧出スポットが存在（Manleluag 国立公園）している。

- ・ ベントナイトと高アルカリ地下水が現在も反応している可能性のある地区が存在（Bigbiga）している。

このような特徴をもったフィリピン Mngataram 地方を調査することにより、本研究では次の2つのテーマの解明が大きな目的となる。

高アルカリ地下水の成因の解明、高アルカリ地下水とベントナイト間の反応の長期挙動の解明

現在は主に高アルカリ地下水とベントナイト間の反応の長期挙動の解明を扱っている。分析試料は2009年度、2010年度に採取されたベントナイト鉱山トレンチ、採石場露頭、岩石（転石等）試料である。これらの試料についてXRFによる主成分元素分析、ICP-MSによる希土類元素（REE）・微量元素（重金属元素等）分析、XRDによる鉱物同定を行った。

分析結果より、露頭試料とトレンチ試料ではいくつか異なる点があることがわかった。両試料に含まれるベントナイトやゼオライトの源岩は同じものであると考えた場合、このような差異は過去に断層沿いを上げてきた高アルカリ地下水との反応によるものと考えられるであろう。より深度の深い位置にあるトレンチ試料は、露頭試料に比べ高アルカリ水の影響を強く受けるが、露頭試料はその影響が少なかった。

キーワード: 高レベル放射性廃棄物, ナチュラルアナログ研究, ベントナイト, 高アルカリ地下水, 超塩基性岩, 希土類元素
Keywords: high level nuclear waste, natural analogue study, bentonite, highly alkaline groundwater, basic rocks, rare earth element

環流丘陵を伴う旧河谷の堆積物は過去数十万年間の隆起量推定の指標になるか？ Study on investigation techniques of uplift rate using sediment of incised meander scars

安江 健一^{1*}, 谷川 晋一¹, 二ノ宮 淳², 棚瀬 充史³

Ken-ichi Yasue^{1*}, Shin-ichi Tanikawa¹, Atusi Ninomiya², Atsushi Tanase³

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 住鉱資源開発(株), ³ (株) 地圏総合コンサルタント

¹JAEA, ²SRED, ³CSC

隆起・侵食が地層処分システムに及ぼす影響としては、処分場の地表への接近と地下水流動等の地質環境の変化が考えられ、サイト選定や安全評価に際して十分留意する必要がある。地層処分において重要となる数万年～数十万年程度の隆起量については、一般的に段丘を指標として見積られる。海岸付近では海成段丘、内陸部では河成段丘を指標とした手法が用いられるが、そのような指標が少ない内陸の山間部や西南日本においては隆起量の推定が困難である。そのため、山間部や西南日本の隆起量を推定するためには、これまでとは異なる別の指標を用いた調査手法が必要である。そこで、本研究では、河川沿いに分布する環流丘陵を伴う旧河谷に着目し、そこに分布する旧河床堆積物を指標とした隆起量の推定手法の適用性について検討した。

内陸部の河川においては、下刻して谷を作りながら蛇行している場合がある。蛇行した河川においては、側方侵食等が進むことで生じる流路の短絡により離水し、環流丘陵を伴う半環状の旧河谷となる。この旧河谷は、現在の河床に対して様々な高さに分布することから、そこに分布する旧河床堆積物の堆積時期と分布高度を用いて、河川の下刻速度を推定することができる。さらに、過去数十万年の期間において、河川が気候変動に対応した縦断形状を形成していると仮定すれば、ここで得られる下刻速度は隆起速度を反映していると考えられる。

まず、本研究では日本全国の2万5千分の1の地形図を判読し、800以上の環流丘陵を伴う旧河谷を抽出した。その内の約半分は、現河床からの比高が20m以下であった。その数は比高が増すごとに減少するが、一部では比高100mを越すものも認められた。また、地域差があるものの、この旧河谷はほぼ日本全国に分布していることを確認した。これらの特徴から、環流丘陵を伴う旧河谷に分布する旧河床堆積物は隆起速度を推定するための指標となると考えられる。

次に、これらの旧河谷に分布する旧河床堆積物の堆積時期を明らかにする。本研究では、典型的な半環状の旧河谷が様々な標高に分布する十津川(熊野川)流域を事例として研究を行った。空中写真判読により旧河谷の分布や形状を把握した後、機械ボーリング掘削により堆積物を採取した。掘削地点の決定に際しては、空中写真および踏査に基づいて様々な開析程度の旧河谷の形状からその発達過程と埋没している旧河床面の形状を検討し、分析に必要な砂層が被覆層に覆われて保存されていると推定される旧河谷の最奥部を掘削地点とした。掘削は、連続的な堆積構造の観察を行うため、緩い礫質土や地下水位以下でも高いコア採取率と乱れの少ないコア採取が可能な高品質ボーリングを行った。採取したコアは、光ルミネッセンス(OSL)年代測定用の試料を採取するため、日光に曝さないように処置して速やかにコア箱に収め、赤色光の下でOSL年代測定に適した砂質試料を半割にしたコアの中央部から採取し、遮光保存した。続いて通常の光の下、層相の観察および火山灰分析用の試料を採取した。堆積物は、主に砂層からなる堆積物とそれを覆う不淘汰な角礫層(最大約11m)に区別できる。このように厚い角礫層によって、河床堆積物が保存されていることが明らかになった。この角礫層の礫径は3m程度の間隔で規則的に変化する傾向が認められる。また、角礫層の2.6m以浅では、10万年前以降の火山灰であるK-Tz, AT, K-Ahが下位から噴出年代順に識別された。これらのことから、かなり粗い検討ではあるが、約10万年間に堆積する角礫層の層厚が約3mとして概括的に旧河床堆積物の堆積時期を推定すると、現河床からの比高約90mの旧河床堆積物の堆積は約30～40万年前となる。一方、隣接する別の地点において、現河床からの比高約25mの段丘堆積物の直上にK-Tzが認められることから、この堆積物は約10万年前に堆積したと考えられる。

今回推定した環流丘陵を伴う旧河谷の堆積物と段丘堆積物の堆積時期から、この地域では1,000年に数十cmの速度で下刻があったことになり、その速度で隆起してきた可能性がある。この手法で隆起速度を明らかにするためには、対象とする河川において平衡河川が形成されていることを示す手法も合わせて提示する必要がある。また、OSL年代や角礫層の粒度組成変化の特徴も合わせて河床堆積物の堆積時期を検討するとともに、手法の妥当性を示すために別の手法から推定される隆起速度との比較や適用事例を増やすことが課題である。

キーワード: 隆起, 侵食, 旧河谷, 環流丘陵

Keywords: uplift, denudation, incised meander scars, detached meander core