

第4回 深部地質環境研究センター研究発表会講演要旨及びポスター発表概要*

深部地質環境研究センターにおける地層処分研究

笹田政克¹

産総研深部地質環境研究センターでは、高レベル放射性廃棄物の地層処分事業に対し、国が行う安全規制への技術的支援として、地質現象の長期変動及び地質環境の隔離性能に関する地質学的、水文地質学的知見を整備し、節目ごとに技術情報としてとりまとめていくことを計画しており、最終的には安全審査において必要となる放射性核種移行評価に向けて、技術基盤を確保するための研究を進めている。このような視点から現在、当センターでは以下の4つの重点研究課題を中心に研究活動を展開している。

①地質現象の長期変動に関する研究

将来にわたる地震・断層活動、火山・火成活動、隆起・浸食の長期変動が地層処分システムに与える影響を評価するために必要な地質学的知見を整備し、技術情報として取りまとめる。

②地質現象が地下水に与える影響に関する研究

将来にわたる地震・火山・熱水活動の長期変動が、地層処分システムの地下水に与える影響を評価するために必要な水文地質学的知見を整備し、技術情報として取りまとめる。

③地質環境のベースライン特性に関する研究

自然状態における地質環境、特に地下施設を建設する前の地質環境を把握するために必要な地質学的、水文地質学的知見を整備し、技術情報として取りまとめる。

④地質環境の隔離性能に関する研究

放射性核種移行評価に向けて、地質環境の隔離性能にかかる諸プロセス解明のための実験手法などを整備し、規制当局の安全評価を支援できる研究基盤を確保する。

今回の講演では、これらの4つの重点課題の主要な研究成果について、その概要を述べるとともに、長期にわたる地層処分事業とそれへの安全規制を見通して、当センターにおける今後の研究の方向性について述べた。当センターの研究は国の安全規制への技術的支援を目的としており、規制支援機関である原子力地層処分安全基盤機構及び日本原子力研究開発機構安全研究センターとともに、日本の地質環境に即した安全評価の技術体系を構築していくことが大きな課題である。当センターではこの課題を視野におき、地質及び水文地質の分野において、安全評価における不確実性を低減する科学的知見を

集積する研究を進めるとともに安全規制行政への技術的支援を行っていきたいと考えている。

(¹ 深部地質環境研究センター)

Keywords: geological disposal, nuclear waste, deep geological environment, safety assessment

東北日本背弧域に新期出現した 砂子原・沼沢カルデラ火山噴出物の成因

山元孝広¹

東北日本ではその地下に東から太平洋プレートが沈み込み、これに対応して脊梁山地沿いに火山活動が最も活発な火山フロントが存在する。フロントよりも太平洋側の前弧域では火山活動がほとんどなく、フロントを挟んで活動の明暗がはっきりしている。一方、フロントよりも日本海側の背弧域では火山の分布がまだらになるが、火山の位置は固定していない。これまでの研究により、特に東北日本南部では30万年前以降に火山活動場が火山フロント周辺から背弧側へ大きく拡大し、第四紀火山空白域でも砂子原カルデラや沼沢火山が新期に出現したことをこれまでに明らかにしている。本講演では、火山の新期出現にかかわるマグマの発生プロセスを明らかにする目的で、砂子原カルデラ・沼沢火山の噴出物についてその地球化学的特徴を検討した結果を紹介した。

29万年前に出現した砂子原カルデラ火山噴出物の全岩化学組成主成分分析の特徴は、第四紀火山としてはかなり特異なものである。すなわち、各噴出物のSiO₂含有量は76~78%と同程度であるが、アルミナ飽和度が大きく異なっている。カルデラ形成時の噴出物のアルミナ飽和度は1.4と強パーアルミナスな特徴を持つ。泥質堆積岩の部分溶融では、S-typeと呼ばれるパーアルミナスな珪長質マグマが発生することが知られている。しかしながらSn-SKの⁸⁷Sr/⁸⁶Srは0.7057と東北日本の堆積岩起源とするには低すぎ、別の起源物質を考えなくてはならない。幾つかの部分溶解実験を参考にすると、中性・珪長質深成岩のWetな部分溶融でパーアルミナスマグマが発生し得る。このことは長期間火山活動が停止していた背弧域で火山活動が再開する場合、地殻の再加熱による部分溶融で始まることを意味すると解釈できよう。また、11万年前に出現した沼沢火山噴出物の流紋岩・デイサイトは、時間とともにSiO₂に乏しくなる傾向が明らかである。微量成分の組

*平成18年1月23日 産業技術総合研究所つくばセンター中央 共用講堂大会議室において開催

成変化も合わせて考えると、組成変化は部分溶融度の上昇に関連するとみられ、噴出率の増加とも対応がよい。Sr - Nd同位体比の特徴から、沼沢火山噴出物は下部地殻の苦鉄質火成岩に由来すると考えられる。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: silicic volcanism, Numazawa volcano, Sunagohara caldera, Japan, zoned magma chamber

地下水の長期安定性の評価手法について

風早康平¹

高レベル放射性廃棄物地層処分地の深度は300 mより深い場所とされている。そのような深い場所では、地下水流動の実態が定かでない地下水あるいは温泉水などが存在している。我々はこれらを一括して深層地下水と呼んでいる。処分地近傍の地下水に関する長期安定性の評価を行うには、広域地下水系がその場にどのように作用しているのかを知る必要がある。帯水層のように水平的な広がりを有するものでも、鉛直方向の物質循環の程度も知る必要があるため、実際には広域地下水系では地表から深度1,000 m程度までの地下水の実態を把握する必要がある。地下水を採取して分析をすることにより、化学的な特徴を知ることができる。しかし、下記に示す点については、地下水流動系を理解する上で大変重要な項目であるが、その調査解析手法が完備しているとは言い難いのが現状である。

- 1) 化学組成はどのように変化するか？
- 2) 起源は？どこから流れてきたのか？
- 3) どの程度の平均滞留時間（年齢）であるか？

これらの問いに答えるには、非常に長い時間軸の中で対象とする深層地下水の起源、組成、流動などの変動の歴史を読み解くことが重要であると思われる。

放射性廃棄物地層処分の課題としては、10万年程度の長期的な安定性の評価が重要になる。しかし、このように古い地下水の年代測定手法はこれまでは存在しなかった。我々は、¹⁴C及び⁴He濃度を用い、地下水の超長期年代測定に関して、新手法開発の研究を続けてきた。本発表では、中でも最も重要であると考えられる地下水の超長期年代測定に関して、神戸地域の堆積岩（大阪層群）、阿武隈花崗岩体などにおける予察的事例を紹介した。神戸地域では、10万年より古い可能性のある深層地下水が深度1,500 mに存在していることが明らかとなった。また、阿武隈花崗岩体では、2本の試錐井の結果から、深度70 m及び270 mにおいて、約1万年前に涵養したと考えられる地下水が見つかった。これらの結果は、日本のような地下水の豊富な変動帯においても、長期的に安定な地下水系が存在し

ていることを示している。

本発表では、更に地下水の長期安定性と地質及び地質構造との関連性についても言及し、長期安定性評価に重要なポイントについてまとめた。

* 共同研究者：森川徳敏・塚本 斉・安原正也・高橋正明・高橋 浩・大和田道子・稲村明彦・仲間純子・半田宙子・伊藤順一・中村俊夫（名古屋大学）・Jean-Baptiste, P（仏・LSCE）・Fourre, E（仏・LSCE）・長尾敬介・角野浩史（東京大学）

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: nuclear waste disposal, groundwater, hydrothermal activity, isotopic composition, retention time

地層処分研究における地質学への期待

江崎哲郎¹

「安全とは対象物の危険度が解明、評価され、その危険度が決められた許容レベル以内に管理されている状態である。そして、どのレベルの安全を求めるかを広く議論し、その結論としての合意に基づく許容レベルを達成するように維持・管理が進められるべきである。」これは社会基盤の安全問題で絶対安全か？という問に対して、小生が、ある論説に記したものである。

高レベル放射性廃棄物地層処分に係る安全規制もこの考え方に沿うものであろうが、これまでに検証や経験をしたことのない極めて長期間にわたっての事象の解明・評価は、全く未踏の分野であり、研究開発が唯一の道である。しかし極めて難解な問題であることは間違いない。

一般的に地下の開発は、他の開発事業と異なり、危険の徴候が感知しにくいこと、感知されるようになるのは既に深刻な状況となっている時であり、その場合の完全回復はほとんど不可能であるという特殊事情がある。更に、これらの立地環境は、自然条件及び社会の要求ともに厳しく、ときには、それが特異な社会感情までを伴うなど厳しい現状を認めざるを得ない。

これに立ち向うには、地質学の持つ貴重な知識や他にない独自の技術を生かした新しい視点・視座に立つ科学技術の展開が不可欠と思われる。地質学は本来地球の本質、構造、成因、歴史などを研究する自然科学であり、地球の諸現象及び、その空間的、時間的過程を解明することが目的である。この学理を駆使することは極めて重要である。しかし、その自然科学の成果そのものが、安全規制に役立つかどうかは今一度考えてみる必要がある。安全規制に役立つ部分を選択し、

他の分野と組合せた明確な目的を持った技術としての展開が求められよう。

また今日、科学技術は領域細分化が進んでいる。最先端技術を使った分析技術などは本当に素晴らしいが、例え、その単独技術が決め手であったとしても、安全や環境問題の解決には他の分野との共同作業が欠かせない。地質専門家の地球に対する知識、自然に対する理解は、これらの実践に大いに役立つものである。新しい命題を持った研究者・技術者が、地層処分の全容を俯瞰しながら、地球の歴史を問いかけ、人々の自然観、生命観を理解しつつ、広い視野で取組むことで道が拓かれるのであろう。市民に真に信頼される技術の創出、未来に向かって安心安全な社会実現のための活動が今求められている。厳しいときに良い技術が生れることを信じ、進取の気風の旺盛な皆様の一層の御発展を期待したい。

(¹九州大学大学院工学研究院)

Keywords: geological disposal of high-level radioactive wastes, safety regulation, geology, natural environment, science and technology

地質環境特性のベースライン調査と 物理探査モニタリング

石戸恒雄¹

地下の諸現象を対象とするモニタリングの目的として、地下の状況の把握に加え、地下のモデルを構築するためのデータ取得があげられる。特に人工的に加えられた擾乱に対する地下の応答をモニタリングによって捉え、これをモデルによって再現するような数値モデルを修正する作業をヒストリーマッチングという。モニタリングによって得たデータが質的にも量的にも十分であれば、それを拘束条件として構築された数値モデルを用いて“将来予測”を行うことが可能となる。

平成17年度から開始した堆積岩地域の物理探査のテーマでは、天然バリアの水理モデルの構築、検証を主たる使用目的として、地下処分場の建設前、稼動中、埋設後の数十年の期間にわたって行う地球物理学的モニタリング手法について、測定・解析技術に加えヒストリーマッチング技術の研究を行う計画を立てている。取り上げる手法は深度1 km程度までの水理的な変動に感度のある精密重力、比抵抗、自然電位測定、並びにGPSによる測地並びに微小地震のモニタリングである。

これらの手法については、これまでに地圏資源環境研究部門において地熱分野などで研究開発を進めてきたが、精密重力モニタリングでは可搬型絶対重力計と相対重力計を用いたハイブリッド測定が、数十年にわ

たる数年毎の繰り返し測定の高精度化に有効であることを示している。自然電位モニタリングでは、1～10 m程度の深度に非分極性電極を設置することで安定した観測を実現している。また、詳細な比抵抗構造のデータを加味することで解析精度の向上を図っている。これらのモニタリング手法で得られたデータは単独に解析した場合、任意性が大きく確定的な知見を導けないが、地質、地化学、地球物理、掘削、検層などのデータによって作られた地下水理モデルをヒストリーマッチングによって修正する過程で有効に用いることができる。特に地下水位の変動や不飽和帯の水飽和度の変動、更に物理化学的変動にも感度があるので、水理モデルの検証には重要な役割を果たすことが期待される。また、地下処分場の埋設後は、その遠隔監視並びに比較的容易に広域をカバーできる特性から、その重要性を増すものと考えられる。

平成17年度は、深度1 km程度までを対象に比抵抗構造調査を行い、地下水基盤の形状などの分布を大まかに把握する。また、広域にわたる自然電位分布調査を行い、地形起伏などに伴う地下水流動によって発生している流動電位を把握する。重力については、重力基盤把握のための補足調査、微小地震については、2年次以降の臨時観測のための地震計設置点の選定を行う。精密重力、比抵抗、自然電位の繰り返し、もしくは連続測定では、2年次以降、季節変動などの自然の変動や調査井の水理試験時の変動を捉えることで、測定技術の確立を図る予定である。

(¹地圏資源環境研究部門・深部地質環境研究センター併任)

Keywords: geophysical monitoring, microgravity, resistivity, self-potential, microearthquake, subsurface hydrology, History-matching

地下環境機能の研究—天然バリアの安全評価に向けて

竹野直人¹

1. 背景

高レベル放射性廃棄物の深地層処分は、天然バリアと人工バリアの多重バリアシステムにより、放射性核種を長期間、人間社会から隔離しようとするものである。総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会報告書(2003)は処分事業の安全規制のために必要な研究課題のひとつとして、重要研究分野「母岩領域」及び重点研究テーマ「母岩領域の『モデル化』『パラメータ取得』」を示した。我々は従来から当該分野及びテーマについて、地質環境の数値モデル化の研究を進めてきたが、今年度から始まる第2期中期計画では、独立した重点課題「地質環境の隔離性能

に関する研究」に発展させて進めることとなった。

2. 概要

この課題の取組みは、核種移行にかかる地下環境機能を定量的に評価する技術の開発とそれを基にしたプロセスの解明を OECD/NEA 国際起因事象リスト中のこれまで十分研究が進展していない重要な事象などについて行うもので、次のものがある。(力学・水理) 断層帯域の間隙構造と水理特性の解明並びにスケールモデル実験による応力・地層条件を変えた変形挙動と水理特性の規則性の解明。(力学・物性) 伸張試験技術を確立し伸張場条件下での物性の解明。(熱・化学・物性) 熱水浸潤実験及び人工亀裂を入れた反応流通実験を行い連成現象における物性変化とキーププロセスの同定。(力学) 油圧セル方式応力変化試験の現場への適用。(水理・化学) 拡散試験の迅速化のための新技術の開発と適用。(化学) コロイドのキャラクタライゼーションのための試験手法の開発と適用。炭酸塩系での共沈現象と分配実験。(生物) 硝酸を電子受容体にした微生物の嫌氣的核種酸化の実体解明及び核種還元沈澱能を有する微生物の深部地質環境での分布と活性の解明。(水理) 連成解析用並列水理シミュレータの開発。

3. 代表的成果

今回の発表はこれらの中から次の先行的な成果について紹介した。

・間隙構造と物性:この研究では、圧縮試験機により断層に相当する変形を与えた試料の断層面内及び周辺の間隙構造をマイクロX線CTを用いて非破壊的に観察した。変形前と後で明瞭に変化が認められ、間隙構造の変化により新たな流体の通路が形成されうることが示された。またマイクロX線CTにより収録されたデジタルデータは、解析処理により、空間の全方向にわたる走査線上の単位長さあたりの間隙数としてシュミットネット上に投影され、3次元異方性を定量的に評価することができるようになった。

・スケールモデル実験:この研究はアナログ砂箱実験であるが、従来のものにくらべ間隙水の影響を考慮できる点に新規性がある。予備実験として、相似則を考慮した飽和条件と乾燥条件2条件での衝上断層生成実験を行い、どちらの条件においても想定した幾何スケール比に近い結果を得て、実験の信頼性を確認した。

・拡散試験:従来の拡散試験は濃度変化が定常状態に達してから解析していたが、この方法では試験期間が数か月にわたることもまれではなかった。この間、試験条件を一定に保つことは容易でなく、制御の不完全さは誤差の原因ともなった。本研究では、定常状態に達する前のトランジェントな状態を厳密解析解を適用することで積極的に利用し、試験の迅速化と精度の向上を目指した。解の一意性や実測値と計算値の一致などを示すことで、本手法の有効性を確認した。

4. まとめと展望

間隙構造と物性及びスケールモデル実験は、日本に数多くありながら不明な点が多い断層の水理的な役割について、モデル化への道を拓くものとして期待される。拡散試験は移行遅延に影響するマトリクス効果について信頼できるデータを迅速に提供できるものと期待される。ここに紹介しなかった他のテーマの多くは連成現象にかかるテーマであり、これまで十分解明されてきたとはいえない課題である。これらについてはキーププロセスの特定と解明から構成則の特定、パラメータの取得へと研究のフェーズを進めていくことになるであろう。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: microfocus X-ray CT, fracture, diffusion experiment, scale model experiment

[ポスター発表]

複成火山におけるマグマ・地熱活動の地下水・
温泉水への影響範囲に関する研究(その2)

伊藤順一¹・風早康平¹・安原正也¹・牧野雅彦²・
大和田道子¹・稲村明彦¹・住田達哉²・渡邊史郎¹・
佐藤 努²・北川有¹・松本哲一²・高橋正明¹・
森川徳敏¹・高橋 浩¹・小泉尚嗣²・仲間純子¹・
半田宙子¹

マグマや地熱活動に関連する地下水・温泉水の影響範囲を評価するためには、地下水涵養源から流下域までの地下水流動プロセスを解明する必要があるが、そのためには、山体外周部における地質構造の把握とともに、地下水・温泉水の涵養源・供給源である火山体そのものの地下構造の理解が必要である。また、地下水・温泉水の熱源について考えた場合、現在の噴火活動には直接関与しないが、周辺域での地熱活動の源となっている過去のマグマについて検討する必要がある。火山体を形作ってきた過去数十万年前からのマグマのマグマプロセスについて理解する必要がある。特に複成火山は10～100万年もの間地殻内にマグマを蓄積し、深部から供給されるマグマと噴火・貫入により移動するマグマのバランスにより、噴火中心や地熱活動域の位置を変えながらも、継続的な熱異常として存在し続け、熱伝導及び地下水・温泉水を通して周辺地域へ影響を及ぼす。また、複成火体は、山体崩壊やその後の山体の再生、また噴火中心の移動など、複雑な地質構造を持っている。このような地質構造は火山体から流れ出る地下水・温泉水の流路に大きな影響を与えると考えられている。

そこで、火山活動の影響範囲を評価するための基礎

的指針を得て、スタンダードケースを提示することを目的として、日本の代表的な成層火山であり、近傍には日本有数の地熱地帯を控える活火山である岩手火山群を取り上げ、1) 地表及び試錐調査による噴火活動史の検討、2) 噴出物の岩石学的研究によるマグマ進化の検討、3) 火山周辺域に分布する地下水・温泉水の化学的・同位体化学的研究による地下水流動プロセスの検討、4) 精密重力測定などの地球物理探査による山体及びその周辺域の地下構造の検討を平成15年度から実施している。

今回の発表では、本研究計画の概要を紹介するとともに、これまでに得られた成果として、岩手山周辺の地下水・温泉水調査から得られた分布異常及び平成16年度に実施した試錐調査結果の概要を紹介した。

(¹深部地質環境研究センター,²地質情報研究部門)

Keywords: stratovolcano, aerial consequence, volcanic process

結晶質岩分布地域における地下水理地質 構造調査法の確立に向けて ～北中部阿武隈花崗岩体における 調査結果とその解釈について～

塚本 齊¹・風早康平¹・安原正也¹・高橋正明¹・
高橋 浩¹・森川徳敏¹・大和田道子¹・稲村明彦¹・
半田宙子¹・仲間純子¹・山元孝広¹・高木哲一¹・
高橋 学¹・富島康夫¹・竹村貴人¹・牧野雅彦²・
住田達哉²・渡邊史郎¹・亀井淳志³

結晶質岩分布地域において地下水シナリオを検討する上で最も重要となる地質環境特性は、地下深部から地表へいたる“みず道”とそこに存在する地下水の特性である。地下水理地質構造調査・評価技術においては、この“みず道”を地表探査からの確かつ合理的に推定する手法の確立が必要である。北中部阿武隈花崗岩体における3本のボーリング調査により、地下の透水性と現地形との密接な関係が示唆され、また地下の高角な“みず道”とリニアメントとの直接的な対応が確認された。ボーリング調査数は3本と十分な数ではないが、これらの事実は現地形の詳細な解析と地質調査、重力探査及び弾性波探査を組み合わせることによって、地下深部から地表へいたる経路となりうる“みず道”が地表探査から十分な合理性をもって推定できることを示している。

極大規模な地質構造（盛岡 - 白河構造線）は、深層地下水流動系に大きな影響を与えている。盛岡 - 白河構造線の影響を被っていない地域では、深度増加に伴って地下水の年代値が急速に古くなり（深度60 m 程

度で1 万年以上の値）、水質も深層地下水型に急速に変化するのに対して、盛岡 - 白河構造線の影響を被っている地域では深度増加に伴う地下水年代値の増加がそれほどではなく、また水質の変化もそれほど急激ではない。また、盛岡 - 白河構造線の影響を被っている地域の地下水質・同位体組成は、最終氷期における海面の低下に伴う鉛直的な地下水流動の活発化の影響を強く受けたと推定され、海水準変動の影響が極大規模な地質構造に沿って内陸部深くまで及んでいたと推定される。また、このような大構造とは異なるが局所的ではあるが地下水移行特性を考える上で重要な地下水理構造として、リニアメントのstep構造部において表層水と深層地下水の鉛直的な混合が深度180 m 以上に及んでいることを示す直接的なデータが得られた。この局所・鉛直的な地下水理構造は、結晶質岩地域における“みず道”の評価を行う上で極めて重要な地質環境要因となると考えられる。

(¹深部地質環境研究センター、²地質情報研究部門、³島根大学)

Keywords: geologic disposal of high-level radioactive wastes, hydro-geologic conditions, crystalline rocks, site-descriptive model, site characterization

関東平野中央部における高Cl⁻濃度 地下水の分布について

安原正也¹・高橋正明¹・稲村明彦¹・牧野雅彦²・
高橋 浩¹・林 武司²・半田宙子¹

関東平野中央部に分布する水道用水源井から採取した地下水を対象として、一般水質、酸素・水素安定同位体比、炭素同位体比を測定した。その結果、高い塩化物イオン(Cl⁻)濃度(100 mg/l 以上；最高濃度216 mg/l)を有し、かつ低酸素・水素同位体比、低d-value、更には高炭素同位体比によって特徴づけられる地下水が、埼玉県加須市 - 菖蒲町 - 蓮田町 - 春日部市 - 越谷市を結ぶラインに沿って北西 - 南東方向に帯状に分布していることが明らかとなった。更に、綾瀬川断層を境として、その東西でCl⁻濃度に著しい相異が存在すること、反対に、断層が認められない戸田市、川口市、草加市、流山市域では、地下水のCl⁻濃度分布には東西方向に顕著な差異は見られなかった。これらの事実は、綾瀬川断層が不透水境界として、その両側の地下水の交流を妨げていることを示唆している。一方、利根川右岸部においてもCl⁻濃度と同位体組成が東西方向に急変する傾向が認められたが、綾瀬川断層から15 km程度(北)東側に相当するこのラインは、いわゆる元荒川構造帯の北東側に相当している可能性が高い。すなわち、

埼玉県東部の関東平野を北西 - 南東に延びる高 Cl⁻ 濃度、低酸素・水素同位体比、高炭素同位体比によって特徴づけられる地下水帯は、その両側に存在する不透水性の地質不連続線によって水文地質学的には“ブロック状”に孤立していることが明らかとなり、断層などの地質不連続構造が関東平野中央部の広域地下水流動系に決定的な影響を及ぼしていることが強く示唆された。

(¹ 深部地質環境研究センター, ² 地質情報研究部門)

Keywords: Kanto Plain, regional groundwater flow, fault, Cl-rich groundwater, isotopes

有馬・紀伊半島の温泉の化学・同位体組成 ～前弧域非火山性温泉の起源について～

森川徳敏¹・風早康平¹・安原正也¹・稲村明彦¹・
高橋 浩¹・高橋正明¹・大和田道子¹・仲間純子¹・
半田宙子¹・佐藤 努²・Ritchie, B. E. ³・長尾敬介⁴・
角野浩史⁴

プレート沈み込み帯に位置する日本列島は世界でもっとも変動する場所にあり、放射性廃棄物の地層処分にあたっては、安全性確保のため考慮しなければならない事象が数多くある。処分地深度とされる300 m以深の深層地下水の起源は、降水起源だけでなく、マグマから放出されたマグマ水、古海水に加えて、スラブ脱水起源深部流体などの混入などが考えられ、その実態については、未解明な部分が多い。地下水の長期安定性・長期変動を評価するには、これらの温泉の化学組成・起源を明らかにした上で、その供給量・分布地域・温泉の分布を決定づける要因を解明する必要がある。

起源のわからない深層地下水の代表的な例として、神戸市有馬地域より紀伊半島にかけた地域に胚胎する温泉がある。この地域は、西南日本の前弧域に位置し、第四紀以降の火山活動がないにもかかわらず、高温高塩濃度の温泉が多数湧出している。これらの温泉の中には、高温高塩濃度であるだけでなく、強酸性で二酸化炭素を主成分とする温泉ガスを伴っている。この温泉の起源として、古海水・スラブ脱水起源深部上昇熱水があげられているが、いまだ統一的な見解はない。

この地域に湧出する温泉の化学的特徴を列挙すると以下ようになる；(1) 有馬温泉及び、大阪府河内長野市石仏地域では、水素 - 酸素同位体が天水線からマグマ水の方向にずれ（シフト）している。水素 - 酸素同位体のシフトの程度と塩化物イオン濃度とは明瞭な正の相関が見られる。これらは、一般的に有馬型熱水と呼ばれている。(2) 温泉水・温泉ガスのヘリウム同位体比

は大気と比べて高いものが多い。溶存炭酸は、同位体的に重い炭素を多く含む。これら溶存ガス成分の特徴は、水素 - 酸素同位体のシフトの有無にかかわらず、紀伊半島の広範囲で観測されている。ヘリウム同位体比の高さは、ヘリウムの起源がマントルに由来するものであることを示している。近年、このヘリウムは、地球物理学的な観測結果と併せて、スラブ脱水起源のH₂O流体とともに地表まで上昇しているものであると主張されている。溶存大気起源希ガス成分（ネオンなど）の濃度から、深層に分布する熱水の脱ガス・脱ガス成分の上昇及び浅層の温泉への溶解が考えられる。このことは、天水起源の温泉分布地域においても、より深層では、有馬型熱水が分布していることが示唆される。

有馬型熱水がスラブ脱水起源である場合、その上昇量は、地下水水質の長期変動を評価する上で重要となってくる。熱水の上昇量の推定として、有馬及び、石仏地域の河川の化学・同位体組成及び流量測定を行った。塩化物イオン濃度を、有馬型熱水の混入の指標とした結果、この地域の熱水の上昇量は3 l/secと見積もられた。上記のように、水の同位体組成が天水である温泉についても、その深部では有馬型熱水が上昇していることが考えられるため、熱水の上昇量は上記の観測値よりも更に多いことが予測される。なお、背弧域・火山フロントの火山より放出される水の量とプレートの沈み込みによる水の供給量との比較から、この有馬・紀伊地域で放出される水の量は9～75 l/secと計算される。

(¹ 深部地質環境研究センター, ² 地質情報研究部門, ³ USGS, ⁴ 東京大学)

Keywords: hot spring, Arima-type thermal water, isotopic composition, Helium isotopes, Kii-Peninsula

三宅島および浅間山火山における火山ガス観測(2)

風早康平¹・大和田道子¹・森 俊哉²・首藤知昭²・
平林順一³・気象庁COSPEC隊⁴

産総研は、火山噴火予知連絡会に機関メンバーとして参加しており、火山噴火時には、主に地質の分野において緊急調査などを行い、観測結果を予知連に報告している。深部地質環境研究センターでは、第7次噴火予知計画に沿って、火山噴火時などに地質情報研究部門と協力し、地質調査総合センターとして緊急対応を行っている。2005年度については、2004年9月1日から噴火活動が続いている浅間山においてSO₂（二酸化硫黄）放出量観測を行っている。

三宅島火山噴火対応では、2000年9月以来、ヘリコプターを用いたSO₂放出量の繰り返し観測が続けてい

る。現在は観測システムを旧来のCOSPECにかわり我々が新開発したDOASシステムに切り替えて気象庁が観測を行っている。SO₂放出量は2000年12月のピーク値（平均54,000トン/日）後、2002年夏まで徐々に減少し、それ以後、現在まで3,000～5,000トン規模で安定している状況である（Kazahaya *et al.*, 2004; <http://staff.aist.go.jp/kazahaya-k/>）。しかし、この規模でも、世界最大級の放出量であり、全世界の活火山から放出される火山ガスの10～15%を占めている。2000年夏以来のSO₂の総放出量は、実に2,300万トンに達しており、これまでに約110億トンのマグマが脱ガスしたと推定される。この量は約3 km³のマグマに相当し、巨大なマグマ溜まりから延びるマグマ火道が地表に連結されていることを示している。

浅間山火山噴火対応では、2004年9月1日の最初の噴火を受け、9月3日から新型のDOASシステムを用いて、東京大学、東京工業大学などと共にSO₂放出量の観測を開始し、現在までに約30回の繰り返し観測結果を得た。観測結果については、即時、気象庁に報告し、産総研のwebsite (<http://staff.aist.go.jp/ohwada.m/>) において公表している。非噴火時のSO₂放出量は500～2,000トン/日、噴火中は3,000トン/日の結果がこれまでに得られている。これらの量は、これまで浅間山で観測されたことがないほど多量であり、脱ガスに関与しているマグマ量は、一日あたり約100万トンの規模に達した。この結果は、今回の火山噴火活動が1973年以降の活動規模のものであることを示している。なお、浅間山の火山ガス放出量観測で使用しているDOASシステムは、現在もなお、ソフトウェアを中心に改良を続けている。

(¹深部地質環境研究センター、²東京大学、³東京工業大学、⁴気象庁)

Keywords: COSPEC, DOAS, Miyakejima volcano, Asama volcano, SO₂ flux

島原半島における土壌からのマグマ性二酸化炭素放出～地域分布と放出過程～

高橋 浩¹・風早康平¹・篠原宏志¹・森川徳敏¹・大和田道子¹・半田宙子¹・中村俊夫²

火山の周辺では、山頂以外の山体全体からじわじわとしたガス放出が起こっていることが指摘されている。このような現象は、多くの火山で確認されている。本研究の調査地域である雲仙火山においても、広範囲にマグマ性CO₂の散逸があり、火山から離れた地点でも火山からの影響が及んでいることが、これまでの研究から明らかとなっている。本研究では、このような広

域にわたるマグマ性CO₂の放出に関して、その地域分布を把握し、どの程度の量のマグマ性CO₂が、どのくらいの範囲に影響を及ぼしているのか、また、どのような過程で放出しているのかについて議論している。

広域にわたるCO₂放出を捉えるために、島原半島のほぼ全域にわたって、土壌ガスをを用いた調査を行った。土壌からのCO₂フラックス、深さ30 cmにおけるCO₂濃度・δ¹³Cを測定した。一部の試料については¹⁴C測定を行った。土壌ガス中のCO₂のうちどの程度の割合がマグマ起源であるのかを、CO₂濃度と同位体の関係を利用して計算し、土壌からのCO₂フラックスとの積から、マグマ性CO₂のフラックスを算出した。

これまでの多くの研究では、マグマ性CO₂の山体放出は、バックグラウンドである植生による土壌からのCO₂放出と比べて、桁違いに高いCO₂フラックスとして検出されてきたが、本研究ではそのような非常に高いCO₂フラックスは観測されなかった。しかし、炭素同位体を用いた解析により、広範囲にマグマ性CO₂の寄与が及んでおり、土壌から放出していることがわかった。土壌からのマグマ性CO₂のフラックスは、およそ95トン/日に及び、現在の山頂からのCO₂放出量を遙かに上回っていることもわかった。

土壌からのマグマ性CO₂のフラックスは、主として雲仙地溝の内側で検出された。これは、地溝を形成する断層がバリアになって、地溝の内側から外側へ向けての断層を越えたガスの移動を妨げている結果と考えられる。マグマ性CO₂が検出された地溝の内側では、東側（島原市側）で高いフラックスが認められた。東側は、最近噴火した火口が集中しており、基盤深度が深く断層活動が活発であることなどが、高いフラックスと関連があると考えられる。また、活動度の高い断層沿いにマグマ性CO₂の高いフラックスが認められ、断層がマグマ性の流体が上昇する際の通り道となっている可能性が考えられる。

(¹深部地質環境研究センター、²名古屋大学)

Keywords: Unzen volcano, diffusive CO₂ degassing, carbon isotopes, soil gas, CO₂ flux

金丸ウラン鉱化地域における浅部地下水流動系の地球化学的検討

Bros, R.¹・関 陽児¹・亀井淳志²・金井 豊¹・奥澤康一¹・渡部芳夫¹

本研究は、委託研究で実施している山形県金丸地域での放射性元素移行にかかるナチュラルアナログ研究をとりまとめ、ウラン濃集時期・現在のウラン溶脱状況・地下水環境の季節変動・地下水の起源などを、各

種地下水化学的検討から議論したものである。そしてこれらにより、核種地下水移行シミュレーションに対する天水の供給とこれに伴う物質移行に関する制約条件が与えられることを示した。

Groundwater flow investigations in natural geological systems aim to model past flow patterns over long time-scales (1 Ma or more). These models can be extrapolated to the future, although the current flow system may differ from past states and may not be at equilibrium with present driving forces. Numerical flow simulation are better constrained using geochemical information from both groundwater and bed rocks in addition to hydrogeological data such as hydraulic conductivity and groundwater heads.

During a study of the Kanamaru low-grade U mineralization area (Northeastern Japan), geochemical approaches for understanding a shallow (0-50 m) fresh groundwater flow and related element transport are being assessed. The field of studies is located near a discharge zone and consists of a granodiorite basement overlain by Tertiary fluvial conglomerates, arkosic sandstones and siltstones. U concentrations up to 320 ppm were identified in mineralized sedimentary layers. $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (0.8-1.7) and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ (0.5-1.8) activity ratios in the mineralized horizon indicate that U remobilization and close redeposition took place within the last 350,000 years. The rate of U lixiviation was sufficiently fast to prevent ^{230}Th from growing back into secular equilibrium with its precursor ^{234}U . U dissolution still continues as indicated by the presence of dissolved U in pore water (0.1-2.5 ppb) and by the good agreement between the concentration of dissolved U and that of the host rock.

Deep waters in the granitic basement are relatively Ca^{2+} and HCO_3^- dominated and show slightly acidic to slightly alkaline pH (6.5-7.3) and higher TDS. Shallow waters display lower pH (4.5-6.5). They are more dilute and contain higher Cl content reflecting shallow alteration and soil formation. Variations of Cl and Br concentrations suggest the existence of a Br-rich and Cl-depleted deep groundwater in the basement. Concentrations are in good agreement with hydraulic parameters, i.e. inflow of fresh, dilute water and low concentrations in hydraulically conductive fractures.

Seasonal variations are also observed in deep groundwater with lower halide concentrations, likely related to inflow of fresh water, during the typhoon season. Variations in F concentrations are more er-

ratic and might be controlled by different processes, possibly reflecting water/rock interactions and groundwater residence time rather than pure mixing alone.

Variations of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of dissolved Sr indicate the occurrence of two isotopically different groundwater types: deep waters having low isotopic ratio (0.7090-0.7094) and shallow waters within sediments displaying higher ratios (0.7100-0.7107). Reported in a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $1/\text{Sr}$ diagram, the samples plot on a mixing line between two poles: a granitic component containing 70-80 ppb Sr and a more dilute sedimentary component (10-13 ppb). The data suggest upward migration of low permeable granite-derived Sr through the sedimentary column. This likely occurs by diffusion-type process through permeable sediments therefore competing with the main lateral groundwater flow. The inferred minimum distance of upward transfer is nearly 10 m. This case study shows that the present methods can constrain models for fresh groundwater flow and associated mass transfers.

(¹ 深部地質環境研究センター, ² 島根大学)

Keywords: hydrogeochemistry, isotopes, geological barrier, Uranium, alkaline-earths, retardation

金丸ウラン鉱床地周辺の溪流水中での ウラン負荷量の流下変化

関 陽児¹・上岡 晃¹・金井 豊¹・鈴木正哉¹・
間中光雄¹・内藤一樹¹・亀井淳志²・奥澤康一¹・
竹田幹郎¹・渡部芳夫¹

表流水系中のウランの挙動は、HLW地層処分事業の安全評価や、環境ベースライン調査などにおいて重要な情報であるが、その詳細には不明な点が多く野外での実測例も少ない。本研究は、ウラン濃度の高いペグマタイトの存在が知られている山形県金丸鉱床周辺の溪流を対象に、表流水中でのウランの挙動を明らかにする目的で実施された。対象とした溪流は、金丸鉱床の上流域を源流とし、新潟・山形県境付近を流下したのち一級河川荒川に流入する上ノ沢で、金丸鉱床の直上を上流端とする流下距離約3.5 kmの区間を対象とした。本流上の観測点は、鉱床地域からの流入水や主要な支流の合流地点、砂防ダムなどの上・下流側を含むようにして合計7箇所にて設けられた。観測対象とした支流や流入水の合計は6箇所である。現地調査は流量と比べて2倍程度の流量の低水状態であった。各観

測定の流量と溶質組成を測定・分析し、各種成分の負荷量（＝濃度×流量）を算出し、その流下変化を調べた。流量は、本流上と流量の大きな支流ではプライス式流速計を用いて小区間分割合算法により、流量の小さな支流では容器法により測定した。現場では水温、pH、電気伝導度、溶存酸素濃度、酸化還元電位を測定した。採取当日に0.45 μm でろ過した試水の主要・微量成分組成を、後日ICP-MASSにより分析した。流量の流下変化は、流下区間全体を通じてバランス、ないし未測定支流からの流入分と考えられる付加が認められる。流量が減少する区間は認められず、全体としては表流量が卓越する典型的な山地溪流水の流況を示す。表流水中のウラン濃度は、本流上で0.06～1.1 ppb、支流ないし流れ込みで0.01～11.7 ppbの範囲を示した。鉱床地域の upstream で0.3 (mg 毎分、以下同じ)であった本流上のウラン負荷量は、鉱床地域流末で10.9に急増したのち、その下流側で6.3に減少、更に減少を続け、調査区間の最下流では1.9まで低下する。ウラン負荷量の増加が認められるのは鉱床地域に限られ、ウラン負荷の大部分が鉱床と反応した水の流入によりもたらされている可能性が高い。鉱床から下流で認められるウラン負荷量の減少は一定ではなく段階的に生じている。最も減衰率が高い区間は鉱床地域の直下流であり、約400 m間で40%強の減少が認められる。更に下流の砂防ダムを挟む300 m間でも40%弱の減少が認められる。今回の発表では、ウランと他の成分との負荷量挙動の相違点、pH、酸化還元電位などの水質パラメータとウランの負荷量流下変化との関係などを示し、それらの原因を考察した。

(¹ 深部地質環境研究センター、² 島根大学)

Keywords: uranium load, stream water, attenuation, downstream change, Kanamaru district

Si-Al 系におけるウラン濃集機構について ～ HAS イオン(Hydroxyl Aluminum Silicate ion)生成時におけるウランの挙動～

鈴木正哉¹・本田純子¹・吉田崇宏¹・内藤一樹¹・関陽児¹・渡部芳夫¹

1. はじめに

地層中における放射性核種の移行遅延効果解明に向け、アナログ元素の中でも天然におけるウランの濃集現象を対象とし、その濃集形態及び濃集機構の把握から核種移行遅延効果をもたらし物質及びそのメカニズムについて解明することを目的としている。ウランの濃集機構については、ケイ酸塩鉱物が形成される初期過程での水和アルミニウムケイ酸塩イオン(HAS イオ

ン)形成時において、ウランがHAS イオンに取り込まれる可能性がある。そこで本研究では、Si-Al-Uを含む酸性混合溶液に水酸化ナトリウムを加えてHAS イオンを形成させ、その形成時におけるウランの挙動について検討を行った。

2. 実験方法

Al 源として調整した20 mMの塩化アルミニウム水溶液250 mlに、0.05 mMの硝酸ウランウム水溶液100 mlと0.1N 塩酸を200 ml添加後、更に純水を200 ml加え、最後にSi 源として調整した20 mMのオルトケイ酸ナトリウム水溶液250 mlを加え十分攪拌した。その後、各所定のpHとなるように0.1Nの水酸化ナトリウム水溶液を0.2 ml / 分の速さで滴下した後、pHが安定するまで約1時間攪拌を行った。pHが安定したところで溶液を10 ml採取し、濁度計による濁度を測定した後、450 nmのフィルターにより濾過を行った。この操作をpHが6になるまで行った。濾液の濃度についてはICP-AESにより測定を行い、初期濃度と濾液濃度との差から、非晶質の定量化を行った。

3. 結果と考察

pHが4.1まではHASイオンの形成は見られなかったが、pH4.3以降において若干のHASイオンが生成し、そのHASイオンはSiとAlとUからなっていることが確認された。その後pHが5.6となると、Al及びUはすべてHASイオン中に取り込まれ、溶液中に存在するのは、初期濃度に対して約3割のSiが存在するだけであった。このHASイオン形成時におけるウランの取り込みについては、以下のように推測される。形成されたHASイオンは正の電荷を有しているが、pHが5以下では溶液中のウランは正の電荷を有するイオンとして存在している。しかしpHが5.3付近においては空気中から供給される二酸化炭素により炭酸を含むウラン錯体が形成され始めるが、この錯体は陰イオンとなる。そのため正の電荷を有するHASイオンにウラン錯体が吸着あるいは重合することにより、ウランがHASイオンに取り込まれると推察される。

(¹ 深部地質環境研究センター)

Keywords: uranium, HAS ion, oxidation, carbon dioxide, colloid

改良した室内透過型拡散試験技術による 岩石試験体の物質移行特性測定

張 銘¹・竹田幹郎¹・中島英夫¹

マルチバリアシステムによる核廃棄物地層処分施設の安全性評価においては地質媒体における物質移行特性を正確に評価することが必要不可欠である。地下水

の流速が非常に遅い場合では、地質媒体における核種の拡散及び地質媒体への核種の吸着が物質移行と遅延の主要メカニズムとなり、これら関連のパラメータ（即ち、有効拡散係数と岩石保持因子）を適切に測定・評価することは安全評価の上で極めて重要である。

室内拡散試験、特に透過型拡散試験は岩石の有効拡散係数と岩石保持因子を測定するためによく利用されているが、従来の透過型拡散試験は試験手順が比較的煩雑で、試験に必要な時間が長く、また、解析假定と実際の試験条件との乖離による誤差があるなど、多数の欠点が挙げられる。

上述した従来の透過型拡散試験の問題点を解決するために、本研究では、試験体の上流側トレーサー溶液槽及び下流側計測溶液槽における濃度変化を考慮できる厳密解析理論を提案した。試験体の上下流側に最適に設計した有限の溶液槽を設けることによって、各溶液槽における濃度変化を敏感に検出することができ、拡散試験はよりはやく、しかも精度よく実施されることが可能となった。また、逆解析法に基づき、計測結果から試験体の有効拡散係数と岩石保持因子を直接算出できる解析手法も提案した。これにより、従来の図解法などによる人為的誤差を避けることも可能となった。

この改良した透過型拡散試験技術を金丸研究サイトから採取してきた代表的岩石コアに適用した。試験に用いた岩石コアは地下12.03～12.04 mのものであり、この深度あたりは低品質ウラン濃集層が発見された層準に位置する。この検証試験より以下に示す幾つかの知見が得られた。

1) 試験体上下流側両溶液槽における濃度変化を考慮した厳密解析理論は改良した透過型透過試験を精度よく評価できる。

2) 上流側トレーサー溶液槽における濃度低下、下流側測定溶液槽における濃度低下及び両溶液槽における濃度差の経時的变化より算出した試験体の有効拡散係数及び岩石保持因子はほぼ同じ値を取っており、解析と測定精度の高いことが実証された。

3) 吸着が線形であれば、上流側のトレーサー溶液槽における濃度低下のみ利用しても試験体の有効拡散係数と岩石保持因子を精度よく評価できる。これによって、より長い試験体を利用することができ、岩盤マトリクスにより近い岩石の物質移行特性を評価することが可能となる。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: diffusion test, rock, improved technique, through diffusion, geological disposal

河川水におけるコロイドを介した元素移動 —新潟県金丸地区における予察的検討

上岡 晃¹・鈴木正哉¹・関 陽児¹・間中光雄¹・
金井 豊¹

地表水における元素の移動へのコロイド粒子の関与などを調べるため、新潟・山形県境の金丸地区の上ノ沢において、0.45 μm 及び0.025 μm の2種の孔径のフィルターを通した水試料を採取し、ICP質量分析法によって化学分析を行った。この地域は、基盤の岩船花崗岩（白亜紀後期）上の新第三紀・釜杭層（アルコーズ質砂岩）中にウラン濃集帯が存在することで知られる。上ノ沢の支流にウラン濃集帯へ向かう水系（崩沢）があり、また上流には金丸鉱山（ペグマタイト中の長石を採鉱）が存在する。試料は崩沢との合流点より下流約500 mから、金丸鉱山下の約300 m上流に至る約4 km弱の範囲の7箇所採取した。

濾過した試料の化学組成のうち孔径0.45 μm を通したものでは、ウランが金丸鉱山下で約1.7 ppbと高濃度で、下流に向かって徐々に濃度が下がり、最下流では約0.1 ppbとなった。最上流では最下流と同様に低濃度である。同様な傾向はモリブデン及びトリウムでも見られる。これらの元素は、ペグマタイトと接触する水から供給され、下流に向かって希釈あるいは除去されて濃度が下がっているものと思われる。その他、鉄、マンガン、コバルトは場所による濃度の変動が半ケタ-1ケタと比較的大きい。その他の元素は場所ごとの濃度差はプラスマイナス20～30%以内と比較的少ない。

0.025 μm で濾過した試料中の元素濃度を0.45 μm で濾過した試料中濃度に対する比として表すと、コロイド粒子を形成する元素ではこの比が低くなると予想される。ケイ素やストロンチウム、ウランなどの比は1に近く、コロイドを介した移動はほぼ無いものと思われる。これに対し、鉄及び希土類元素は比が顕著に低い試料があり、それらの一部がコロイド粒子を形成していることを示唆する。鉄の比が最も低い試料につき、分析したすべての元素の比をみると、鉄、アルミニウム、希土類元素が顕著に低い比を持つことがわかった。鉄及びアルミニウムを多く含むコロイド（水酸化物または有機物コロイドなど）が形成され、それに希土類元素の一部が吸着しているものと推定される。また希土類元素においては、軽希土の方が重希土よりもコロイドへ吸着される割合が大きいことも推定できる。

希土類元素につき、0.025 μm フィルターを通過するものを溶存、0.45 μm は通過するが0.025 μm には捕捉されるものをコロイド態と假定してコロイド態/溶存態重量比を求めると、軽希土では50～60%が、重希土では20～30%がコロイド態と考えられる。また、セリ

ウムが特にコロイド態が多いのは、一部が3価から4価へと酸化されることによるものと思われる。実際に試料の希土類元素存在度パターンには、セリウムの顕著な負アノーマリーが見られる。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: colloid, stream water, Kanamaru, rare earth element, aluminum, iron

コロイド形成時におけるウランの挙動と 共存陰イオンの影響

鈴木正哉¹・本田純子¹

1. はじめに

核種移行に関する影響を評価する上では、コロイドの生成及び非晶質物質からなる沈澱物の生成について検討することが必要である。とりわけ人工バリアにおけるベントナイト中の間隙水が地下水中へと浸透し、そして希釈されながら核種が移行する過程においては、アルカリセメントの影響による高pH溶液となったベントナイト中の間隙水が地下水と混合することによる中性化に伴い、沈澱物（非晶質あるいは無機コロイド）が生成する可能性が推測される。そこで本研究では、まず最初の試みとしてSi-Al-Uからなる溶液において、pHを10程度から6.5程度まで中性付近に変化させることにより、固相の生成とそれに伴う元素の移動について検討を行った。

2. 実験方法

926 mlの純水に、0.1Nの水酸化ナトリウム水溶液を8 ml加え、Si源として調整した20 mMのオルトケイ酸ナトリウム水溶液8 mlを加えた。更にAl源として調整した20 mMの塩化アルミニウム水溶液8 mlに、ウラン濃度が20 ppmの硝酸ウランウム水溶液50 mlを添加後十分攪拌した。その後、各所定のpHとなるように0.1Nの塩酸あるいは0.1Nの硝酸を滴下した後、pHが安定するまで約30分攪拌を行った。pHが安定したところで溶液を10 ml採取し、孔径25 nmと200 nmのフィルターにより濾過を行った。この操作をpHが10から6.5まで、0.5ずつ変化させて行った。濾液の濃度についてはICP-AESにより測定を行い、初期濃度と濾液濃度との差から、非晶質の定量を行った。

3. 結果

pHが9.5以下の領域においてアルカリから中性付近へとシフトしていくにつれ、濾液のSi-Al-Uの濃度は徐々に低くなっていき、pHが7.0になると初期出発溶液に対して、Siは約30%、Alは約99%、Uは約85%が固相へと移行していた。固相の組成は、塩酸添加の場合Siは0.083 mMol、Alは0.143 mMol、Uは0.0033 mMolであり、硝酸添加の場合Siは0.068 mMol、Alは0.152 mMol、Uは0.0030 mMolであった。ウランの含

有量としては、塩酸添加の場合11.4重量%、硝酸添加の場合10.6重量%であった。SiとAlからなる溶液は、pHが中性付近になると、含水アルミニウムケイ酸塩（HAS: Hydroxyl Aluminum Silicate）を生じることが知られており、今回の実験においても、その組成からHASが生じていると推測される。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: colloid, HAS ion, anion, alkali

三軸伸張試験の可能性

竹村貴人¹・高橋 学¹・本郷 公¹

深部領域での空洞周辺で起こりうる山はねやディスキングを初めとする岩石・岩盤の破壊や、空洞掘削に伴い発生するクラックなどによる掘削影響領域の形成メカニズムは、単なる引張り応力場での破壊ではなく、むしろ伸張応力場であるといえる。また、地質構造の側面においても、このような伸張応力場は岩体に発達する水平方向のシーティングジョイントや広域応力場での地下の岩石・岩盤の変形メカニズムなどにも適用される。このように処分場建設及びそれに関連する調査における応力状態を評価する上で重要であるにもかかわらず、伸張応力場での実験的研究は多くの技術的な問題を抱えていることから報告例は極めて少ない。本研究では既往の三軸圧縮試験機の制御プログラムを修正・改良することで伸張応力場を発生させ、その歪みの計測を精密に行う手法を確立した。また、実験に用いた試料は新第三紀白浜砂岩である。

等方応力場から伸張応力場へと応力状態を変化させるには2種類の経路があるが、今回はその内の空洞やボーリング孔を掘削するときの周辺の応力再配分を想定した条件での経路に沿って実験を行った。その結果、中間主応力が最大主応力と等しい伸張応力場で変形させられた砂岩の歪みは、中間主応力が最小主応力と等しい圧縮応力場で変形させられた場合と比べはるかに大きいことが明らかにされた。また、精密に計測された応力-歪み関係から新たな亀裂の発生を伴うダイラタンシーの発生も伸張応力場の方が圧縮応力場に比べはるかに低応力で発生することも予察的ながら得られた。これらのことから、例えば空洞・ボーリング孔の周辺岩盤はこれまで考えられている応力より低い応力レベルで孔軸と平行な方向に亀裂を伴うような変形が起こっていることを示唆している。

(¹深部地質環境研究センター)

Keywords: extension, cracked rock, permeability, anisotropy, tectonic stress