

## セメントへのセシウムイオン吸着に関する分子動力学を用いた研究 Molecular Dynamics Study of Adsorption States of Cesium Ion in Cement Matrix

小林 和弥<sup>1\*</sup>, 梁云峰<sup>1</sup>, イアン・ボーグ<sup>2</sup>, 松岡俊文<sup>1</sup>

Kazuya Kobayashi<sup>1\*</sup>, LIANG, Yunfeng<sup>1</sup>, BOURG, Ian<sup>2</sup>, MATSUOKA, Toshifumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学工学研究科, <sup>2</sup> ローレンスバークレー国立研究所地球科学

<sup>1</sup>Kyoto University, Faculty of Engineering, <sup>2</sup>Lawrence Berkeley National Laboratory, Earth Sciences Division

原子力発電に伴って発生する Cs<sup>+</sup> イオンは半減期の長さやその可動性から、セメントによる固定が期待されている。一般にセメントは微視的に複数のナノクリスタルの集合体と考えられ、Cs<sup>+</sup> イオンのナノクリスタルに対する吸着は固定の安定性を評価するために重要であるといえる。本研究ではふたつの主たるセメント結晶構造であるトバモライト、ジェナイトに対する CsCl 溶液と NaCl 溶液それぞれの界面における分子動力学シミュレーションを行い、イオン吸着における結晶の構成原子、構造の影響、イオンの吸着状態について評価を行った。シミュレーション結果は Cs<sup>+</sup> イオンと Na<sup>+</sup> イオンにおける吸着状態を明らかにし、Na<sup>+</sup> イオンはハイドレーションシェルの内側での吸着であるインナースフィア型、ハイドレーションシェルの外側の吸着であるアウトースフィア型吸着の両方を行い、Cs<sup>+</sup> イオンではインナースフィア型の吸着のみ観察された。またトバモライトはジェナイトよりもイオン吸着特性が優れていることが示唆された。この結果からセメントイオン固定についてより深い議論が進むことが期待できる。

キーワード: 放射性廃棄物処分, セシウムイオン固定, イオン吸着, 分子動力学

Keywords: Geological Disposal, Cs Fixation, Ionic Adsorption, Molecular Dynamics

## 日本の花崗岩に適した化学的風化指標 Chemical weathering index suitable for Japanese granitic rocks

亀井 淳志<sup>1\*</sup>

Atsushi Kamei<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 島根大学大学院総合理工学研究科地球資源環境学領域

<sup>1</sup>Department of Geoscience, Shimane University

岩石の化学的風化作用は主に水 - 岩石反応で進行する (Nesbitt, 1979; White and Brantley, 1995)。この反応過程では、Na や Ca などのアルカリ金属・アルカリ土類金属元素が溶脱し、残留元素は二次鉱物や難溶性鉱物に分配される (Reiche, 1943; Vogel, 1975; Nesbitt et al, 1980; Nesbitt and Young, 1982; Harnois, 1988)。このシステムは全岩化学組成を用いた岩石の化学的風化度を測定する手法として用いられ、現在までに 30 以上の指標が提案されている (Duzgoren-Aydin et al., 2002)。

花崗岩類は大陸地殻を構成する主要岩石であり、ゆえに花崗岩類を対象とした風化指標の研究は数多い (Ruxton, 1968; Vogel, 1975; Harnois, 1988)。この指標は地質学、環境科学、土木工学などの様々な分野に関連が深い (Hencher and McNicholl, 1995; Irfan 1996; Nesbitt and Markovics, 1997; Panahi et al., 2000)。ただし、そのほとんどが新鮮なコアストーン ~ 風化殻に至る連続試料やボーリングコアを使用し、限られた狭い範囲の事例研究に留まっている (Nesbitt and Markovics, 1997; Guan, et al., 2001; Kirschbaum, et al., 2005)。したがって、比較的広い範囲から採取された花崗岩類の風化度を正確に見積もることは難しい (Kamei et al., 2012)。

岩体もしくは地質体の規模でみる風化花崗岩の化学組成とは、マグマ活動に由来する初生的な組成変化の上に、様々な程度の風化作用による組成変化が重複した複雑なものである。優れた化学的風化指標とは、幅広い岩石に有効であり、かつ新鮮な岩石と風化岩石とを明瞭に区分できるものと定義されている (Fedó et al., 1995; Price and Velbel, 2003)。Kamei et al. (2012) は、既存の風化指標に岩石学的な考察を取り入れ、風化指標からマグマ活動に伴う組成変化の影響を除去する手法を提案した。これにより、初生的に化学組成が異なる様々な花崗岩類の化学的風化度を同一基準で比較可能となった。

本発表では、Kamei et al. (2012) の方法に基づき、日本の花崗岩に最適な化学的風化指標を特定する検討を行った。その結果、CaO および Na<sub>2</sub>O を溶脱元素とし、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を残留元素と設定した指標が機能的であることが示された。これらの元素は、花崗岩中の斜長石の主要元素である。日本の花崗岩の風化作用を議論した報告では、風化作用に敏感な鉱物として斜長石と黒雲母が重要であることが知られている (三浦, 1973; 北川, 1999; 福土ほか, 2000; 歌田, 2003; Yokoyama and Matsukura, 2006; Kamei et al., 2012)。一般に日本の花崗岩では、斜長石は黒雲母より多い。このことから、CaO, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を使用した風化指標が最も機能的であることは、これらの事実と矛盾しない。以上より、日本の花崗岩に最も適した風化指標は CaO, Na<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> からなる指標であると考えられる。

本研究成果は原子力安全・保安院「地層処分に係る地質情報データの整備」の一部として実施されたものである。

キーワード: 花崗岩, 化学的風化作用, 風化指標

Keywords: granitic rocks, chemical weathering, weathering index

## 堆積岩中の物質移動経路となり得る割れ目の構造とその特徴 幌延深地層研究所における事例

### Formation and the feature of Flow-path fractures in a sedimentary rock - A Case study at Horonobe URL -

横田 秀晴<sup>1\*</sup>, 吉田 英一<sup>2</sup>

Hideharu Yokota<sup>1\*</sup>, Hidekazu Yoshida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup> 名古屋大学博物館

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup> Nagoya University Museum

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価の観点では、岩盤中の物質移動特性を理解することは最も重要な項目の一つであり、そのためには岩盤中で物質の移動経路となる割れ目の特性を把握する必要がある。割れ目の構造と物質移動経路としての特徴に関する研究は、結晶質岩においては、瑞浪超深地層研究所や地下貯留などの分野においても例があるものの、堆積岩における例は少ない。そこで本研究では、日本原子力研究開発機構が北海道北部の幌延町で実施している幌延深地層研究計画における調査研究のうち、換気立坑で実施した壁面の地質観察（深度 250.5m ~ 350.5m の鉛直 100m 区間）結果の解析により、幌延地域の新第三系堆積岩における実際の地下での割れ目の構造、分布、性状、連続性の把握を試みた。また、東立坑から採取した岩石試料を用いて、割れ目を充填する炭酸塩鉱物の観察、元素マッピング、Sr 同位体分析を実施し、それらの結果と幌延地域の構造発達史から物質移動経路の形成過程を考察した。以下では、断層岩類を伴う割れ目を「断層」、それ以外を「開口性割れ目」とし、単に「割れ目」とした場合は両者を併せたものを指す。

換気立坑の対象区間には一様な珪質泥岩からなる新第三系の稚内層が分布する。この区間は従来の調査研究から多くの連続的な割れ目が把握され、割れ目の研究に適している。立坑の掘削では、深度 250m まで立坑を掘削した状態で、深度 380m 程度までを対象に湧水抑制のためのグラウト施工が実施された。改良範囲は立坑壁面の奥側約 1.5m までである。グラウト材は連続的な割れ目を伝って充填されるため、本研究では物質移動経路としてグラウト材が充填された割れ目に着目した。

観察の結果、割れ目の総数は 4528 本で、そのうち、掘削影響により形成された割れ目を除いた数は 3029 本であった。グラウト材が充填された割れ目は 3029 本中 954 本であり、グラウト材は断層における断層岩類と周辺母岩との境界や一部の開口性割れ目に充填が認められた。割れ目計数の重複を避けるため、およそ NE-SW 走向の割れ目が卓越して分布することを考慮して立坑壁面の NW 方向に鉛直の計測ラインを設定し、それと交差する割れ目を計測した結果、全割れ目 183 本（掘削影響による割れ目除く）のうち、グラウト材が充填された割れ目は 41 本（22.4%）で、それらは主に N70 ~ 80 °E60 ~ 80 °N と水平に近い低角に集中した。また、グラウト材が充填された割れ目の鉛直方向の分布頻度は、断層で 0.04 本/m、開口性割れ目で 0.37 本/m となった。グラウト材が認められない割れ目の分布は N70 ~ 80 °E60 ~ 80 °N と N45 °W45 °S あたりに主に集中する。後者は層理面とほぼ同じ姿勢である。前者はグラウト材が充填された割れ目と同じ集中を示すことから、本地域の地質構造に支配された物質移動経路が存在することを示唆する。なお、グラウト材に充填された開口性割れ目の薄片観察では、母岩とグラウト材の間にシャープな境界が認められ、グラウト注入によるせん断破壊の痕跡は認められなかった。

一方、換気立坑近傍の東立坑の稚内層において認められた炭酸塩鉱物脈に充填された割れ目は、肉眼観察の結果、せん断性をもつ開口性割れ目で、それを充填する炭酸塩鉱物に晶洞と自形結晶が確認され、薄片観察では割れ目の開口部の空間で母岩側から中心部に向かう結晶の成長が認められた。また、それとは不連続なタイミングで結晶化した方解石が前述の自形結晶と母岩の割れ目面との間に観察された。また、元素マッピング結果は方解石が均質で割れ目面とシャープな境界を成すことを示し、同位体分析の結果は割れ目の周辺部と中心部の方解石が同一の地下水により形成されたことを示唆した。以上より、物質移動経路は空隙をもつ割れ目が形成されることにより発生し、連続的な地質環境の変遷の中でその空隙形成には少なくとも 2 段階のステージの存在が示された。また、ステージ間は時間間隔が小さいまたは連続的に推移したと考えられ、一様に存在した地下水は形成される物質移動経路に継続的に流入し、充填が早く生じたと推測される。

以上の結果から、物質移動経路形成ステージと既存の研究による本地域の地質構造発達史との関連を考察した。堆積盆の沈降に伴う圧密続成作用と東西圧縮場での応力による東西走向の割れ目の形成段階と、その後の褶曲構造の発達と隆起に伴う応力解放による割れ目の再動とそれによる開口性割れ目の形成段階が見いだされ、段階的な物質移動経路形成が明らかとなった。

本研究により、本地域の物質移動経路形成過程が明らかとなった。今後、割れ目の規模と連続性の関係やその分布範囲を整理し、堆積岩地域における物質移行経路の構造とその長期変遷の理解に反映していく。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-03

会場:国際会議室

時間:5月21日 16:45-17:00

キーワード: 物質移動経路, 割れ目, 堆積岩, 幌延

Keywords: Flow-path, fracture, sedimentary rock, Horonobe

## 花崗岩体を対象とした亀裂のマルチスケール解析と地下水流動推定への応用 東濃地域におけるケーススタディ Multiscale Fracture Analysis and Regional Groundwater Flow Estimation of a Granitic Body: a Case Study of Tono Area

久保 大樹<sup>1\*</sup>, 松田 典大<sup>2</sup>, 柏谷 公希<sup>1</sup>, 小池 克明<sup>1</sup>  
Taiki Kubo<sup>1\*</sup>, MATSUDA, Norihiro<sup>2</sup>, Kouki Kashiwaya<sup>1</sup>, Katsuaki Koike<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院工学研究科, <sup>2</sup> 京都大学工学部

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University, <sup>2</sup> Faculty of Engineering, Kyoto university

地殻の工学的利用に関する様々な分野において、地下深部の水理構造を適切に把握することが求められている。とりわけ地層の貯留機能を応用する地層処分計画では、その安全性評価のために対象地域の広域的な地下水流動形態を明らかにする必要がある。花崗岩に代表される難透水性の岩体中においては、断層や節理などの亀裂構造や風化・変質帯が高透水性ゾーンとして機能し、地下水流動の支配的要素となることが知られている。こうした地質特性と岩石の透水性の関連性を明らかにした上で、その空間分布を推定することにより、地下深部の水理構造をより詳細に把握することが可能となる。

本研究では、岐阜県東濃地域を対象地域に選び、実験的・数値解析的手法によりマルチスケールで岩石の透水性と地質特性との関連性を明らかにし、広域的な地下水理構造を把握することを目的とした。本地域は、土岐花崗岩と呼ばれる白亜紀後期の花崗岩を基盤岩とする。はじめに、広域的な亀裂分布形態を明らかにするために地球統計学的シミュレーション法である GEOFRAC (Koike *et al.*, 2012) を適用した。さらに、対象地域で取得された複数のボーリングコアを試料として、浸透率測定と画像解析による微小亀裂の特性評価を行った。浸透率測定では、岩石の風化・変質の程度に対応する透水性の変化が明らかになった。さらに、亀裂面に近づくにつれて透水性が増加する傾向や、微小亀裂の卓越方位と調和した透水異方性の存在が確かめられた。微小亀裂と浸透率の卓越方位は、GEOFRAC によって得られた広域シミュレーション亀裂の配向性とも調和的であり、異なるスケールで共通する亀裂配向性の存在が示唆される。このような亀裂配向性を生じさせる要因として、広域応力場や断層運動が考えられる。

対象地域では、ボーリング孔を利用した透水試験が行われている。これによって得られた透水係数と近傍のシミュレーション亀裂の面積を比較すると、正の相関関係が存在することが確認された。この相関関係から求められる透水係数を GEOFRAC による亀裂分布モデルに割り当て、地球統計学の一手法である逐次ガウスシミュレーションを用いることで、東西 12 km、南北 8 km、深度方向 1.5 km の 3 次元透水係数分布モデルを構築した。この透水係数分布モデルに、3 次元差分法を用いた地下水流動解析モデルである MODFLOW を適用し、対象地域における広域的な地下水流動シミュレーションを実施した。シミュレーション結果より、連続性のよいシミュレーション亀裂として表現される断層周辺での地下水流動の異方性が明らかとなった。

謝辞：解析のためのデータをはじめ、解析方法と結果に関して種々ご教示・討議いただいた (独) 日本原子力研究開発機構の研究者諸氏に深甚の謝意を表したい。

### 参考文献

Koike, K., Liu, C., Sanga, T. (2012): Incorporation of fracture directions into 3D geostatistical methods for a rock fracture system, *Environmental Earth Sciences*, vol. 66, no. 5, pp. 1403-1414.

キーワード: 亀裂構造, 地球統計学, 地下水, 透水係数, MODFLOW, 土岐花崗岩

Keywords: fracture system, geostatistics, groundwater, hydraulic conductivity, MODFLOW, Toki granite

## 東濃地震科学研究所地域における応力と地下水の関連性について - 間隙弾性体を考慮した考察

### Relationship between stress and groundwater around TRIES area - consideration taking into account poroelasticity -

石井 紘<sup>1\*</sup>, 浅井 康広<sup>1</sup>  
Hiroshi Ishii<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Asai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

<sup>1</sup>Tono Research Institute of Earthquake Science (TRIES) ADEP

東濃地震科学研究所では深部ボアホールで連続観測可能な応力計や総合観測装置を開発している。現在、研究所周辺の10km四方の地域に約15カ所のボアホール観測を実施し、地殻変動や地下水の振る舞いなどを調べている。研究所の近くには原子力研究開発機構(JAEA)が直径6.5mと4.5mのそれぞれ主立坑と換気立坑を掘削している。両立坑は40m離れており、立坑はステージと呼ばれる横坑で繋がっている。200m深度のステージに約20mのボアホールを掘削し応力計と水圧計を設置しデータを蓄積している。この立坑の近くにはNNW断層が存在している。遠い地震でもある程度以上の大きさの地震が発生すると水圧計は圧力が増加し、応力計は圧縮応力が減少し、長期的に最初の状態に戻っていくことが観測されている。このような現象はNNW断層や地下水の流動と関連していると考えられる。水圧計と応力計は同じボアホールに設置されているので興味あるデータが得られる。立坑内の工事で湧水が発生するとこれらの計器はそれに伴う変化を記録する。その変化は応力計の鉛直成分と水圧計で同じ変化量を示すことから開発した応力計は応力を正確に記録し検定も正しく行われていることが明らかである。2011の3.11地震による地震波も水圧計と応力計の鉛直成分で全く同じ波形を記録している。しかし極性は逆に水圧計が圧力増加の時に応力計は圧力減少を示す。振幅は応力の方が2倍大きい。また、時間的には水圧計は0.35秒遅れて変化している。このほか潮汐変化や長期的変化などの比較した結果も考慮して地下水の振る舞いと応力変化の関連や間隙弾性体の性質について検討した結果を報告する。

キーワード: 応力計, 水圧計, 地下水のふるまい, 間隙弾性体

Keywords: stressmeter, water-pressure gauge, behavior of groundwater, poroelasticity

## 震源断層周辺のヘリウム同位体比の分布：活断層の調査・評価技術の構築に向けて Geographic distribution of $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios along seismic source faults in Japan

梅田 浩司<sup>1\*</sup>, 浅森 浩一<sup>1</sup>, 草野 友宏<sup>1</sup>  
Koji Umeda<sup>1\*</sup>, Koichi Asamori<sup>1</sup>, Tomohiro Kusano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

<sup>1</sup> Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

It is well known that mantle degassing does not occur homogeneously over the Earth's surface. The elevated  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios found in volcanic regions and tectonically active areas are higher than the atmospheric values. This distribution is interpreted to indicate transfer of mantle volatiles into the crust by processes or mechanisms such as magmatic intrusion, continental underplating and lithospheric rifting. This study was undertaken to elucidate the geographic distribution of  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios around seismic source faults in Japan, using helium isotope data obtained from gas samples. Several case studies suggest that there is a significant trend of high  $^3\text{He}$  emanations along the trace of active faults, resulting in leakage of mantle volatiles through crustal pathways (faults) due to more frequent development of higher permeability pathways and/or upwelling of mantle fluids through the ductile lower crust. From the viewpoint of site selection and implementation of a geological disposal facility, helium isotopes may be regarded as a tool for investigating and/or mapping concealed active faults with no surface expression.

Keywords: helium isotope, active fault

## 1999年集集地震による地下水位変化と地震動との関係 Groundwater change by seismic ground motion of the 1999 Chi-Chi earthquake

比嘉 万友美<sup>1\*</sup>, 中村 衛<sup>1</sup>, 小泉 尚嗣<sup>2</sup>  
Mayumi Higa<sup>1\*</sup>, Mamoru Nakamura<sup>1</sup>, Naoji Koizumi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 琉球大学理学部, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Faculty of Science, University of the Ryukyus, <sup>2</sup> Advanced Industrial Science and Technology

地震時または地震直後に地下水位が変動する現象がこれまで数多く報告されている。変動の要因として、地殻変動による体積歪・垂直変動、および動的体積歪・地震動が考えられている。例えば1999年台湾集集地震(Mw7.6)では断層近傍の山間部で水位低下、断層から離れた海岸平野では10m近い水位上昇が見られた。Wang et al.(2001)では山間部の水位低下は空隙増加による地下水圧低下、海岸平野での水位上昇は液状化によるものとした。過去の研究によると地震動の最大加速度振幅・最大速度振幅と地下水位変化量の間には正の相関が見られる。だが、どの地震についてもこの関係が成り立つのかについては不明な点が多い。また地震動の卓越周波数は地震ごとに異なるため、地震動の最大振幅だけでなく、周波数ごとの最大振幅で考える必要がある。しかし、様々な周波数の地震動に対する地下水位変化についてはこれまで十分には研究されてこなかった。また、これらの井戸の中には地球潮汐による体積歪変化(10<sup>-9</sup>?~10<sup>-10</sup>?)によって地下水位が変化する井戸と変化しない井戸とがある。地球潮汐に応答する井戸は地震動による歪変化に対しても応答性が良いと考えられるが、井戸の潮汐応答性と地震動に対する応答性はこれまで比較されてこなかった。そこで、地震動の周波数ごとの応答スペクトルと地下水位変化を比較し、地震動のどのような周波数成分が地下水位変化に影響を与えているのか検証した。

上記のような研究を行うためには、地震と地下水位の両方において、多点・高密度の観測網のデータを使用する必要がある。台湾の観測網はその条件に適しており、その観測網の中で発生した1999年集集地震(Mw7.6)の時に広範囲かつ高密度で地震波形と地下水位データが得られた。そこで、台湾の観測データを用いて1999年集集地震時の地下水位変化と地震動の最大速度・応答スペクトルとの関係を調べた。データは台湾水資源管理局が台中付近で管理する井戸での水位(1994年1月1日~2000年12月31日)、および台湾中央気象局が管理する強震計の波形記録を用いた。

まず、Baytap-G(田村, 1995)を用いて地下水位データに含まれる潮汐成分を抽出し、地球潮汐応答を示す観測井戸を選択した。観測井戸183本のうち、地球潮汐応答のある井戸は20本、潮汐応答のない井戸は163本であった。次に地震時の地下水位変化の有無を確認した。地震時に地下水位変化が見られた観測井戸は183本のうち162本であった。次に周波数ごとに地震動の最大速度振幅・応答スペクトルと水位変化量を比較した結果、以下の2つのことが明らかになった。まず、地球潮汐応答のある井戸において、最大速度振幅・速度応答スペクトルと水位変化量との間にやや高い相関が見られた。例えば0.1-0.2Hzにおける上下動最大速度との相関係数は0.68、0.1Hzにおける上下動速度応答スペクトルとの相関係数は0.65であった。地球潮汐応答のある井戸は応答しない井戸よりも歪変化に対する感度が高い、または水の出入りの効果が小さいため水圧変化を正しく記録できたと考える。また、地下水位変化は高周波より低周波で相関が高かった。集集地震の速度振幅・変位振幅が低周波で大きく、大きな振幅の方が水位変化により反映されやすいため、低周波側で相関が高くなったと考えられる。

地下水データを提供していただいた台湾成功大学の頼文基博士に感謝します。

キーワード: 1999年集集地震, 地下水位変化, 地震動, 液状化

Keywords: the 1999 Chi-Chi earthquake, groundwater change, seismic ground motion, liquefaction

## 東濃地域における東北地方太平洋沖地震後の地下水圧の変化 Groundwater pressure changes induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in Tono area, Japan

露口 耕治<sup>1\*</sup>, 狩野 智之<sup>1</sup>, 尾上 博則<sup>1</sup>, 竹内 竜史<sup>1</sup>

Koji Tsuyuguchi<sup>1\*</sup>, Tomoyuki Karino<sup>1</sup>, ONOE, Hironori<sup>1</sup>, TAKEUCHI, Ryuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

### 1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構では、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、岐阜県の東濃地域において超深地層研究所計画及び広域地下水流動研究を進めている。これらの研究では、瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）における研究坑道の掘削に伴う周辺の地下水流動場の変化の把握を主な目的として、地上及び研究坑道から掘削されたボーリング孔を利用して、約9km四方、深さ約1kmまでの地下水圧の長期モニタリングを実施している。本研究では、2011年3月11日に発生した三陸沖を震源域とする東北地方太平洋沖地震（以下、地震）に伴う長期モニタリングで確認された水圧変化について考察した。

### 2. 研究所周辺の地質概要

東濃地域の地質は、白亜紀後期の花崗岩（土岐花崗岩）からなる基盤を、新第三紀中新世の堆積岩（瑞浪層群）や固結度の低い新第三紀鮮新世～第四紀更新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合で覆っている。研究所周辺には、空中写真等の地形解析から判読される複数のリニアメントが存在する他、研究所用地の中央部には、大規模な断層として土岐花崗岩及び瑞浪層群を変位させる「月吉断層」や研究所の立坑で観察される「主立坑断層」等が存在している。研究所周辺の概略的な地下水流動は、北側の尾根部から研究所用地を通過し、南側の土岐川に至ると推定されており、これらの断層は、周辺の岩盤と透水性が異なる大規模な水理地質構造であることから、地下深部の地下水流動に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

### 3. モニタリング結果

地震に伴う地下水圧の変化傾向は、ボーリング孔と水理地質構造の位置関係によって大きく異なることが確認された。その特徴を、これらの水理地質構造に着目して区分した領域毎に、地下水流動系の上流側から下流側の順に示す。

#### 3-1. 月吉断層北側領域

月吉断層の北側は、研究坑道の掘削に伴う地下水圧の変化が小さい領域である。地震直後から0.5~4m程度の地下水圧の低下が認められた。地下水圧の低下の傾向は、数週間~数カ月かけて緩やかに低下するモニタリング区間と、短期間で低下するモニタリング区間に分類される。その後、地下水圧は、全体的に地震前の地下水圧へ回復する傾向が認められた。

#### 3-2. 月吉断層と主立坑断層に挟まれた領域

月吉断層と研究所用地の中央部に分布する主立坑断層に挟まれた領域は、研究坑道の掘削に伴って30m程度の地下水圧の低下が認められる。地震直後から2~3カ月かけて地下水圧が1~2m程度緩やかに上昇する傾向が認められ、その後緩やかに低下し、地震後約1年間でほぼ地震前の地下水圧に回復した。

#### 3-3. 主立坑断層と研究所南側の断層に挟まれた領域

主立坑断層と研究所用地の南端部に位置する断層に挟まれた領域は、研究坑道の掘削に伴って80m程度の地下水圧の低下が認められ、掘削の影響を大きく受けている。地震直後から約1カ月間で急激に上昇し、その後緩やかな低下傾向を示す。ピーク時の地下水圧の上昇量は約15mであり、全モニタリング地点の中で最も大きい変化量を示した。

### 4. 考察

地震直後の地下水圧の変化は、全体の傾向として月吉断層や主立坑断層を境として大きく異なることが確認された。一方、主要な水理地質構造が確認されていない月吉断層北側領域においては、ボーリング孔毎に異なる地下水圧の変化傾向が認められる。当該領域内には、前述するリニアメントが分布しており、これらの地下水圧の変化は、リニアメントから推定される断層等に起因している可能性がある。

今後は、地下水圧の長期モニタリングを継続するとともに、他の地震に伴う地下水圧の変化と地殻歪みや地下水の水質の関連性について詳細な分析を行う。また、リニアメントから推定される断層が地下水流動に及ぼす影響や岩盤の透水性等の水理地質構造を検討し、研究所用地周辺における地下水流動場の理解を深める予定である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 地下水圧, 地震後の変化, 東濃地域

Keywords: Tohoku Earthquake, Groundwater pressure, Postseismic change, Tono area

## 超深地層研究所計画の第2段階における地下水の水圧長期モニタリング Long-term Groundwater Pressure Monitoring in Mizunami Underground Research Laboratory Project (Phase II)

狩野 智之<sup>1\*</sup>, 露口 耕治<sup>1</sup>, 尾上 博則<sup>1</sup>, 竹内 竜史<sup>1</sup>

Tomoyuki Karino<sup>1\*</sup>, Tsuyuguchi Koji<sup>1</sup>, Onoe Hironori<sup>1</sup>, Takeuchi Ryuji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

### はじめに

(独)日本原子力研究開発機構では、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象とした超深地層研究所計画(以下、MIU計画)を岐阜県瑞浪市にある瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)において進めている。本計画は、「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」、「第3段階;研究坑道を利用した研究段階」の3段階からなる約20年の計画であり、現在は、第2段階および第3段階における調査研究を進めている。本計画の第2段階は、「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」を目標の一つとしており、その一環として、地下水の水圧長期モニタリングを実施している。

### 実施概要

研究所周辺には、白亜紀の花崗岩(土岐花崗岩)が分布し、この土岐花崗岩を基盤として、新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)と、固結度の低い新第三紀中新世~第四紀更新世の砂礫層(瀬戸層群)が分布する。研究所用地の中央部と南端部には北西走向の2条の断層、また、研究所用地の北方には東西走向の月吉断層が分布している。

地下水の水圧長期モニタリングは、ボーリング孔に多区間で間隙水圧を観測できる装置を設置して実施しており、広さ約8haの研究所用地内(地上:6孔,研究坑道内:6孔)、および研究所用地から北西へ約1.5km離れた広さ約14haの正馬様用地内(地上:6孔)で間隙水圧を観測している。また、両用地を取り囲んだ約10km四方のエリアにおいても間隙水圧を観測している(地上:6孔)。

研究坑道は、主に2本の立坑(主立坑:掘削深度500.4m,換気立坑:掘削深度500.2m)と100m毎に2本の立坑を連絡する予備ステージおよび主立坑の深度300mから北方向に掘削した深度300m研究アクセス坑道からなる(2013年1月現在)。研究坑道は主として、この地域の基盤をなす土岐花崗岩中に建設されており、主立坑は研究所用地中央部の断層に沿うように位置し、換気立坑は中央部と南端部の断層に挟まれた領域に位置する。

### 観測結果

第2段階での地下水の水圧長期モニタリングの結果、研究所用地内における瑞浪層群の明世/本郷累層の観測区間では、研究坑道掘削に伴う水圧変化がほとんど観測されていない。明世/本郷累層の下部には低透水性の泥岩層の分布が確認されていることから、これが地表付近と地下深部の地下水流動を区分する水理境界として機能していることが推定される。また、土岐花崗岩部では、研究所用地の中央部と南端部に位置する2条の断層を境として、研究坑道掘削に伴う水圧変化が大きく異なる結果が得られた。特に換気立坑が位置する研究所用地の中央部と南端部の断層に挟まれた領域における水圧変化量が大きく(全水頭で最大80m程度)、その外側の領域の水圧変化量と比較すると3倍程度であった。研究所用地の中央部と南端部に位置する2条の断層は、垂直方向の透水性が周辺岩盤に比べて低いことが確認されており、これらの断層は、研究所用地を3つに区分する水理境界を形成していることが考えられる。

研究所用地外における広範囲の水圧変化をみると、正馬様用地内の土岐花崗岩部では、月吉断層上盤側(南側)で研究坑道掘削に伴う水圧変化が全水頭で最大15m程度が観測されるが、下盤側(北側)ではほとんど水圧変化がみられない。また、正馬様用地以外の月吉断層下盤側の水圧変化をみた場合、研究所用地からの距離が正馬様用地と同程度のボーリング孔(研究所用地から北東へ約2km)で水圧変化がみられるが、研究坑道の掘削進捗との関連性は不明瞭である。仮に研究坑道掘削に伴う水圧変化としても、その変化量は月吉断層上盤側の半分程度であった。これらのことから、垂直方向に低透水性を有する月吉断層が広範囲の地下水流動を区分する水理境界を形成する水理地質構造であることが確認できた。

### まとめ

複数のボーリング孔で観測された地下水の水圧変化データに基づき、研究所用地内およびその周辺の地下水流動特性を評価する上で重要となる水理地質構造を推定することができた。今後も地下水の水圧長期モニタリングを継続して観測データを蓄積するとともに、水圧観測データと水理地質構造の三次元分布との関連性について詳細な検討を行う。さらに、それらを踏まえて、水圧長期モニタリングの考え方・手法についての最適化を検討する予定である。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30

キーワード: 水圧長期モニタリング, 地下水の水圧変化, 瑞浪超深地層研究所

Keywords: Long-term groundwater pressure monitoring, Groundwater pressure change, MIU (Mizunami Underground Research Laboratory)

## 地下深部におけるコロイド調査に関わる品質管理とアナログ元素のコロイドサイズ依存性について

### Hydrogeochemical investigation of colloid and trace elements by using quality-controlled sample at Mizunami Underground

岩月 輝希<sup>1\*</sup>, 大森 一秋<sup>1</sup>, 新宮 信也<sup>1</sup>

Teruki Iwatsuki<sup>1\*</sup>, Ohmori Kazuaki<sup>1</sup>, Shingu Shinya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

地下水中的コロイド粒子は、特定の元素を担持した擬似コロイドとして地下水の流れとともに物質を移動させたり、地下水の流動経路となる岩盤中の間隙の狭窄部において物理的にろ過されるなど、様々なメカニズムにより物質の移動・遅延に参与する。そのため、コロイド粒子による物質移動・遅延効果を評価するためには、その種類や主要・微量元素組成、それらのサイズごとの違いなどを調査し、その移動経路となる岩盤中の間隙サイズを勘案しながら移動プロセスを理解するための調査解析手法が必要となる。

岐阜県瑞浪市に建設中の瑞浪超深地層研究所では、地下坑道（深度 200m, 300m, 400m）から掘削したボーリング孔で採取した地下水を対象として、地下深部におけるコロイド態での物質移動メカニズムを理解するための調査研究を行っている。これまでにコロイド粒子の種類や量、放射性核種のアナログ元素となるウランやトリウム、希土類元素濃度の調査品質に関わる課題やその要因として、以下のような知見を得ている。

・ボーリング孔から地下水を採取して行う調査手法では、アナログ元素濃度が採水時間とともに変化することがあり、コロイド粒子の分離濃集作業に長時間を要する限外ろ過手法では代表的な値を得ることができないことがある（アナログ元素濃度の経時変化の理由は、採水区間の地下水の入れ替わりや次に述べる人為生成コロイドの剥離などの要因が考えられる）。

・ボーリング孔を利用した調査では、ボーリング孔掘削により新たに地下水に接することになるボーリング孔壁の岩石表面が水-鉱物反応により変質し、従来存在していなかったコロイド態物質が生成する場合があることが確認されている。このようなコロイドは、限外ろ過作業時の圧力変化に伴いボーリング孔壁から非定常的に剥離し、限外ろ過作業の再現性を低下させる。

・理論上はろ過孔径が小さくなるほどろ過膜で捕集されるコロイド粒子量が増えるため、ろ過液中のアナログ元素濃度が減少するため、その差異によりアナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性を確認することができるが、以上のような品質低下要因により、ろ過孔径の小さいろ過液の方がろ過孔径の大きいろ過液よりもアナログ元素濃度が高くなることもあり、コロイド態のアナログ元素の移動について考察できない。

本研究では、以上の課題を踏まえて、深度 300m の地下坑道で観察される 2ヶ所の湧水割れ目（実際に地下水の流れとともにコロイド粒子が移動している可能性のある割れ目）の地下水をバッチ式気密容器に採取して研究試料とすることで、ボーリング掘削に伴う人為的なコロイド生成や地下水の経時変化といった品質低下要因のない条件下で地下水をろ過孔径の異なる複数のろ過膜で限外ろ過し、アナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について考察した。

0.2  $\mu\text{m}$ 、200 kDa、50 kDa、10kDa (Da: 分画分子量) のろ過膜を用いて限外ろ過を実施し、ろ過膜上のコロイド粒子の SEM-EDX 分析を行った結果、地下水中的コロイド粒子は C や S, Si, Al, Na, Ca, Fe などから構成されていた。これらの化学組成から、コロイド粒子は主に有機物、ケイ酸塩鉱物、水酸化鉄などにより構成されていると考えられた。ろ過液中のアナログ元素濃度は、ろ過孔径により違いが認められ、概ねろ過孔径が小さくなるほど濃度が低くなる傾向を確認することができた。このため、今回得られたデータは、アナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について考察可能な品質であると考えられた。

ろ過孔径ごとのろ過液中のアナログ元素の濃度差は、0.2  $\mu\text{m}$  ~ 200 kDa、200 kDa ~ 50 kDa の間で大きく、50 kDa ~ 10kDa では小さかった。各ろ過孔径のろ過液中のアナログ元素濃度の差分に基づいてアナログ元素濃度のコロイドサイズ依存性について確認したところ、0.2  $\mu\text{m}$  ~ 50 kDa、10kDa 以下のサイズ画分のアナログ元素濃度が 50 kDa ~ 10kDa のサイズ画分に比べて高く、アナログ元素が主に 0.2  $\mu\text{m}$  ~ 50 kDa および 10kDa 以下のサイズのコロイド粒子に担持され移動していると推察された。ただし、10kDa 以下のサイズ画分については溶存態のアナログ元素も含まれており、コロイド態と溶存態のアナログ元素の量比は明らかでない。既往研究 (1) では、この地域の花崗岩中の割れ目開口幅が主に 0.01mm 以上であることを示しており、今回確認した 0.2  $\mu\text{m}$  以下のコロイド粒子は、大部分が割れ目狭窄部で遅延されることなく地下水の流れとともに移動しているものと推察される。今後は、0.2  $\mu\text{m}$  以上のコロイド粒子および懸濁液中のアナログ元素濃度の確認を行っていく予定である。

参考文献

1) 笹本ほか (2012): 日本原子力学会和文論文誌, Vol.11, p.233-246.

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 18:15-19:30

キーワード: 瑞浪超深地層研究所, 深部地下水, コロイド, 希土類元素

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, Deep groundwater, Colloid, REE