

## 幌延沿岸域における地下水研究の成果と今後の課題

The results of groundwater studies and the future plan in the Horonobe coastal area.

井川 怜欧<sup>1\*</sup>, 町田 功<sup>1</sup>, 越谷 賢<sup>1</sup>, 西崎 聖史<sup>2</sup>, 丸井 敦尚<sup>1</sup>

IKAWA, Reo<sup>1\*</sup>, MACHIDA, Isao<sup>1</sup>, KOSHIGAI, Masaru<sup>1</sup>, Seiji Nishizaki<sup>2</sup>, MARUI, Atsunao<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所・地質調査総合センター, <sup>2</sup> 日本工営株式会社

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, <sup>2</sup> NIPPON KOEI CO.,LTD.

HLW や CCS のような沿岸域の地下深部空間を利用するプロジェクトにおいて、地下水の特性を知ることは地下環境を評価する上で非常に重要である。一般に低透水性堆積岩地域では深部ほど動水勾配が低下するとともに地層の圧密が増加するため、効率的に地下水試料を得ることが難しい。地下水における主要溶存成分や同位体比といった地球化学データは、地下水の流動、起源、ならびに滞留時間を把握する上で非常に有用であるが、深部地下水の採水は、費用対効果や揚水技術など技術的な観点から困難な場合が多い。このような場合、地下水と化学的に同一な間隙水を用いることにより、深部地下水環境を把握する試みが数多く行われてきた。本研究では、北海道幌延町浜里地区で深度 1000m のオールコアボーリングを実施し、コアから抽出した間隙水を用いて様々な地下水研究を行ってきた。その結果、本地域においては 5 つの水文ユニットが形成され、さらに物理探査により陸域から連続した淡水性地下水が海底下に存在していることが明らかとなった。また間隙水の抽水法や水質分析手法についても幾つかの知見を得ることができた。

本発表では、これまで得られた地下水研究の成果と、その成果から見えてきた今後の課題について紹介する。

キーワード: 沿岸域, 間隙水, 深部地下水, 低透水性堆積岩

Keywords: Coastal area, Pore water, Deep groundwater, Low permeability sedimentary rock

## 海水準変動に伴う海底下地下水流動機構の数値解析的検討

## Numerical analysis of groundwater flow system under the seabed accompanying sea level fluctuations

小原 直樹<sup>1\*</sup>, 丸井 敦尚<sup>2</sup>

KOHARA, Naoki<sup>1\*</sup>, MARUI, Atsunao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所 / 日本工営株式会社, <sup>2</sup> 独立行政法人産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST / Nippon Koei Co., Ltd., <sup>2</sup> Geological Survey of Japan, AIST

沿岸域海底下は、自然科学的・社会的側面から地層処分における有力な処分地の一つとして考えられている（長谷川ほか、2001）。ただし、このような地域における調査の実績は極めて少なく、現位置の地質環境特性を把握するための調査手法や評価手法の確立が急務である。特に、浅海域については将来の気候変動や海水準変動によって、海底下の地下水流動環境は大きく変動することが考えられ、長期的な地下水流動環境の変遷を予測することが地質環境の安定性を評価する上で重要な課題として認識されている（資源エネルギー庁・原子力機構、2006）。

近年の調査技術の高度化に伴って、幌延地域を始めとして、世界各地の沿岸域において、海底下に淡水性の古地下水が存在していることが指摘されている。これは海水と地下水と天水の混合や拡散が複雑に絡み合っていることの証左であり、このプロセスの解明によって海底下の地下水環境の推定をより論理的に行うことが可能である。

本研究では、幌延沿岸域及び磐城沖沿岸域を対象として、塩濃度と地下水年代を考慮可能な数値解析手法を用いて、実スケールでの様々なパラメータスタディ、スコーピングアナリシスを行い、過去数十万年に及ぶ地下水流動環境の変遷を推定した。沿岸域におけるボーリング調査結果や浅海域の物理探査結果を再現するためには海底面に詳細な海水準変動条件を与える必要があることが証明され、浅海域特有の地下水流動解析手法の導入が求められることがわかった。解析結果によれば、多くの解析ケースにおいて、海底下に淡水性の地下水が存在することが推定され、これらの地下水は周期的な海水準変動によってウォッシュアウトされる特性を持つことが明らかとなった。本手法を活用すれば、沿岸域海底下を処分地とした場合、今後の海域調査の調査方針の検討や安定領域の推定に役立つものと期待される。

### 参考文献：

資源エネルギー庁・日本原子力研究開発機構 (2006)：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”。

長谷川琢磨・五十嵐敏文・田中靖治・土宏之・小野文彦 (2001)：沿岸海底下の地下水流動状況に関する数値解析的検討．地下水学会誌，43 (4)，289-300．

キーワード: 海底下, 地下水流動, 海水準変動, 数値解析, 密度流, 地下水年代

Keywords: under the seabed, groundwater flow, sea level fluctuation, numerical simulation, density flow, groundwater age

## 土岐花崗岩における亀裂特性および熱水変質程度と浸透率の関係

### Correlating permeability with fracture property and hydrothermal alteration intensity of Toki granite samples

柏谷 公希<sup>1\*</sup>, 浜田 拓良<sup>1</sup>, 久保 大樹<sup>2</sup>, 吉永 徹<sup>3</sup>, 小池 克明<sup>2</sup>

KASHIWAYA, Kouki<sup>1\*</sup>, Takurou HAMADA<sup>1</sup>, Taiki KUBO<sup>2</sup>, Tohru YOSHINAGA<sup>3</sup>, KOIKE, Katsuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 熊本大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院工学研究科, <sup>3</sup> 熊本大学工学部技術部

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, <sup>2</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University,

<sup>3</sup> Technical division, Faculty of Engineering, Kumamoto University

広域的な地下水流動解析を高精度化するためには、岩盤内部の透水性の空間分布を把握する必要がある。本研究では、簡便に岩石試料の浸透率を測定できる窒素ガス圧入式パーミアメータを用いて岩石コアの浸透率測定を行い、コアスケールでの浸透率の空間分布や異方性を明らかにした。また、薄片からマイクロクラックおよびコア切断面からメソクラックを抽出し、画像解析を行うことで検討試料の亀裂特性と浸透率の関係について検討した。さらに、検討試料では熱水変質の影響が認められたことから、変質程度と浸透率の関係についても考察した。

研究試料は日本原子力研究開発機構（以下 JAEA とする）によって岐阜県瑞浪市で掘削された MIZ-1 号孔のボーリングコア 1 個（鉛直サンプル）と、JAEA の瑞浪超深地層研究所研究坑道内で掘削された 10MI22 号孔および 10MI23 号孔のボーリングコア 30 個（水平サンプル）である。

鉛直サンプルはコアを斜めに横切る割れ目（以下巨視的な割れ目とする）によって隣接するコアと分断されている。浸透率と割れ目からの距離との関係と、浸透率と方位との関係（異方性）を明らかにする目的で、割れ目からの距離が異なる 6 つの水平面で 16 方位の浸透率を測定した。また、水平サンプルではコアの両端から 2cm の位置とコア中央部の 3 点で浸透率を測定した。浸透率測定には TEMCO 社製パーミアメータ MP-401 を用いた。

亀裂のキャラクタリゼーションのため、マイクロクラックとメソクラックを対象とした画像解析を行った。鉛直サンプルで浸透率を測定した同じ水平面で薄片を作製し、顕微鏡画像のトレースを行い、マイクロクラック解析用亀裂画像とした。また、蛍光染料を混合した樹脂と蛍光ランブイメーシスキャナを用いた蛍光法でコア切断面の画像を取得し、亀裂をトレースすることでメソクラック解析用亀裂画像を得た。これらの画像を対象に、二値化、細線化、交差点削除による亀裂の切り離しを行った上で、亀裂の数、長さ、方位、連結度（亀裂の交差点の数）の各データを収集した。

水平サンプルは JAEA の変質区分で健岩部、割れ目帯、断層帯、変質帯に分類され、変質程度が大きく異なる。浸透率と変質程度との関係を明らかにするため、粉末 X 線回折分析（XRD）による鉱物組成分析と蛍光 X 線分析（XRF）による化学組成分析を行った。

鉛直サンプルの浸透率測定から、巨視的な割れ目の近傍で大きな浸透率が得られ、割れ目からコア軸方向に離れるにしたがって浸透率が減少する傾向が認められた。また、コア軸に直交する水平面内での浸透率には異方性が認められ、NE-SW 方向と NW-SE 方向の浸透率が大きいことが明らかとなった。

マイクロクラックの画像解析では、巨視的な割れ目近傍で相対的に長い亀裂が存在し、連結度も大きいことから、亀裂が交差してネットワーク状に存在していることが示された。ある水平面内での亀裂は、NE-SW 方向と NW-SE 方向で卓越する傾向が認められた。同様の結果がメソクラックの解析結果でも得られ、巨視的な割れ目近傍では亀裂数、連結度ともに増加すること、および NE-SW 方向と NW-SE 方向の亀裂が卓越することが明らかとなった。

亀裂の卓越方向はマイクロクラックとメソクラックで対応しており、観察スケールの異なる亀裂が同様の配向性を持つことが示された。亀裂の卓越方向は浸透率が大きい方向にも調和的であり、亀裂配向性が浸透率の異方性を規制していると考えられる。

MIZ-1 号孔周辺で 250m 以深の最大圧縮応力軸は NW-SE 方向であることが知られている [1]。本研究で明らかとなった土岐花崗岩の浸透率の異方性と亀裂の配向性は上記の圧縮応力軸と整合しており、このような広域応力場の影響でマイクロクラックとメソクラックの配向性、さらには浸透率の異方性が生じた可能性がある。

XRF 分析からは、水平サンプルでは変質程度に応じて化学組成が異なり、特に Ca 濃度の変動が大きいことが明らかとなった。そのため、Ca 濃度を変質程度の指標として浸透率との関係を求めたところ、Ca 濃度が低い健岩部では浸透率が低く、Ca 濃度が高い割れ目帯で浸透率が高くなる傾向が認められた。土岐花崗岩では、熱水変質により黒雲母の緑泥石化、斜長石のイライト化、方解石の沈殿が生じたことが知られており [2]、浸透率が高い箇所では熱水の循環が生じやすいことで熱水変質が進行しやすく、方解石の沈殿などの結果 Ca 濃度が上昇したものと解釈できる。

[1] 佐藤稔紀ら、1000m 試錐孔における岩盤の初期応力測定、サイクル機構技報 No.5, 95-99, 1999.

[2] 西本昌司ら、地下深部花崗岩の変質プロセス解析-土岐花崗岩を例にして-, 応用地質, 49, 94-104, 2008.

キーワード: 浸透率, パーミアメータ, 土岐花崗岩, 亀裂特性, 熱水変質, 異方性

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG61-03

会場:104

時間:5月20日 09:30-09:45

Keywords: Permeability, Permeameter, Toki granite, Fracture property, Hydrothermal alteration, Anisotropy

## 神奈川県平塚市東海大学キャンパス内試錐試料におけるスメクタイトを伴う変質について

### Smectitic Alterations in Drill Cores obtained from the campus of Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa Prefecture

江藤 次郎<sup>1\*</sup>, 石井智子<sup>1</sup>, 大和田仁<sup>1</sup>, 佐藤久夫<sup>2</sup>, 山口耕平<sup>2</sup>, 大江俊昭<sup>3</sup>

ETO, Jiro<sup>1\*</sup>, ISHII, Tomoko<sup>1</sup>, OWADA, Hitoshi<sup>1</sup>, SATOH, Hisao<sup>2</sup>, YAMAGUCHI, Kohei<sup>2</sup>, OHE, Toshiaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 原子力環境整備促進・資金管理センター, <sup>2</sup> 三菱マテリアル株式会社, <sup>3</sup> 東海大学

<sup>1</sup>Radioactive Waste Management Funding and Research Center, <sup>2</sup>Mitsubishi Materials Corporation, <sup>3</sup>Tokai University

放射性廃棄物の地層処分においては、放射性核種の閉じ込めや移行遅延のための人工バリアの材料としてセメントや、スメクタイトを主要な鉱物とするベントナイトを用いることが検討されている。セメント-ベントナイトの相互影響が人工バリアの性能に与える影響については、数万年以上のタイムスケールでの検討を要するため、室内試験や数値解析に加え、ナチュラルアナログを用いた研究が実施されている。

人工バリア中のセメントの影響により生成する高カルシウム濃度の地下水(以下、高Ca地下水)のスメクタイトへの影響に関するナチュラルアナログの試料採取を目的として、神奈川県平塚市の東海大学キャンパス内に深度250mの試錐を実施し、岩芯試料中のスメクタイトへの高Ca地下水の影響に関する調査を実施した。上記スメクタイトは、高Ca地下水に接する地層中に産出し、Caに富む化学組成を持つ。本調査ではスメクタイトと共存鉱物の鉱物学的特徴を調査・検討するとともに、フィッシュトラック法、U-Pb法にてスメクタイトを含む岩石の年代測定を実施した。また、併せて岩芯試料中の鉱物組成が熱力学データなどに基づいた地化学計算にてどの程度説明可能かを検討した。これらの検討により、高Ca地下水によるスメクタイトの変質の特性や時間的条件に関する知見の強化を目指した。

本試錐調査地周辺の地質は新第三紀中新世の丹沢層群を基盤とし、愛川層群、それらの上位を被覆する鮮新統~下部更新統、中~後期更新世相模層群、後期更新世の新期段丘堆積物、及び沖積層からなる(岡ほか, 1979等)。

岩芯試料の239.7m以深はスメクタイトを含む砂質凝灰岩類であり、有孔虫の微化石や海綿の骨芯が認められたことから、海面下で堆積したものと考えられる。また、同岩よりジルコンを分離しフィッシュトラック法及びU-Pb法による年代測定を実施した結果、約10Maの年代値が得られ、これ以降の堆積が推定された。試錐調査地周辺は、0.13Ma(下末吉期)には陸化した(岡, 1980)ことから、砂質凝灰岩は最大で約1000万年の間、海水の影響を受けたと推定される。

上記スメクタイトにはa)、b)の2つの産状が見られた。

a) 初めに存在していたゼオライトがスメクタイトに変質しており、EPMA分析の結果、スメクタイトは2八面体のモンモリロナイトであった。また、スメクタイト-ゼオライト間の酸素同位体平衡から約40の平衡温度を得た。

b) カルサイトと共存するスメクタイトが比較的粗粒なゼオライトに包有された組織であり、EPMA分析の結果、スメクタイトは3八面体のサボナイトであった。また、スメクタイト-ゼオライト間の酸素同位体平衡から165の平衡温度を得た。

これらから、砂質凝灰岩類中のスメクタイトは少なくとも2つの時期に生成したものが混在すると推定された。

スメクタイトのCa型化に寄与した溶液は、玄武岩質砕屑物を多く含む堆積物中の斜長石等のCa鉱物が地下水と反応し、Caイオンが供給されたものと推定される。砂質凝灰岩層中のスメクタイトと斜長石のCa/(Ca+Na)組成を深度毎に比較したところ、スメクタイトと斜長石とのCa/(Ca+Na)組成の深度による変化の傾向は概して一致し、上記の推定を支持した。

砂質凝灰岩類の鉱物組成の熱力学データ等に基づく地化学計算による説明可能性を検討するため、長期変質解析(地化学計算)を実施した。計算では同位置の初期鉱物組成(玄武岩質)を仮定し、反応溶液を海水とした。モンモリロナイトとしてNa型のみを沈殿させ、これに基づきNaイオン交換サイトを設定、イオン交換反応選択係数に基づきCa、K、Mgに置換させた。その結果得られた各イオン交換サイトの量から各型のモンモリロナイト量を算出した。

計算の結果、鉱物組成は1万年後にはほぼ安定し、Ca型のモンモリロナイト及びサボナイトが優勢であり、Na型のモンモリロナイト及びサボナイトがこれに次いだ。このCaに富むスメクタイト組成は岩芯試料中のスメクタイト組成と定性的に一致した。

溶液組成の計算結果は、近傍の温泉水の分析値と1桁から2桁程度の範囲で一致した。

これらことから、岩芯試料中のCa型スメクタイトの生成には海水に近い組成を持つ地下水との反応が関与しており、同様の反応により近傍温泉水が形成されたものと推定された。

本報は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「平成23年度地層処分技術調査等事業(TRU廃棄物処分技術:人工バリア長期性能評価技術開発)」の成果の一部である。

文献:

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG61-04

会場:104

時間:5月20日 09:45-10:00

岡重文ほか：藤沢地域の地質，地質調査所 (1979).

岡重文：相模堆積盆地，アーバンクボタ，no.18, p.26-33, (1980)

キーワード: 放射性廃棄物, 地層処分, ナチュラルアナログ, ベントナイト, スメクタイト, 変質  
Keywords: radioactive waste, geological disposal, natural analogues, bentonite, smectite, alteration

## ニアフィールド岩盤 - 緩衝材の長期力学的相互作用に関する新しい評価手法の開発 Development of new evaluation technique of long term geomechanical interaction between bedrock and buffer in near-field

西本 壮志<sup>1\*</sup>, 岡田 哲実<sup>1</sup>, 澤田 昌孝<sup>1</sup>

NISHIMOTO, Soshi<sup>1\*</sup>, Tetsuji Okada<sup>1</sup>, Masataka Sawada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(財)電力中央研究所

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry

高レベル放射性廃棄物処分施設周辺(ニアフィールド)では熱-水-応力連成現象が長期にわたり発生する。このため、廃棄体の支持性や核種移行経路に影響を及ぼしうる緩衝材や周辺岩盤の長期挙動を評価し、施設の安全評価の信頼性向上を図る必要がある。一方で、長期挙動評価のための数値解析シミュレーションにおけるその妥当性検証に実証試験を長期間実施することは困難である。遠心力場の相似則(自重応力の再現や時間短縮の効果)を利用し、縮尺模型による遠心力載荷試験を行えば、ニアフィールドの長期挙動(オーバーバックの変位量や緩衝材の膨潤挙動、周辺岩盤のひずみ等)を再現・評価できる可能性がある。そこで本研究では遠心力載荷模型試験により、周辺岩盤と緩衝材の力学的相互作用に着目したオーバーバックの変位量、緩衝材の土圧、周辺岩盤のひずみに関するニアフィールド長期挙動データの取得を行った。これにより、ニアフィールド場で生じる連成現象を実規模実証試験、数値解析シミュレーション以外の方法、すなわち、遠心力載荷模型試験により評価する新しいニアフィールド長期挙動評価手法の骨格を提示する。

本研究で用いる縮尺模型は、模擬処分孔1孔を削孔した直径180mm×高さ180mmの岩盤、ベントナイト緩衝材(クニゲルV1)、模擬オーバーバック1体から成る。模型は、電中研・電事連共同研究報告書(1999)において提案されている縦置き処分孔、緩衝材、オーバーバックのサイズの1/30の大きさである。模型は圧力容器に封入された後、所定の地圧に対応する応力を負荷(2~10MPa)、遠心加速度30Gを付与した後、模型下面より注水し、実験開始とした。実験は最長約2ヶ月(実物換算時間で約165年相当)行った。

結果として、模擬オーバーバックの変位量において、注水開始後、自重によるごくわずかな沈下が計測された。その後、オーバーバックは急激な浮上を示し、ピーク値を以て緩やかな沈下傾向を示し、その値は収束しなかった。また、沈下量に比べ浮上量の方が数倍大きい。緩衝材の土圧は、緩衝材が吸水・膨潤を開始するまで発生しないが、膨潤が開始すると急激に上昇する。ピーク値を計測した後は緩やかな減少傾向を示し、その値は収束しなかった。オーバーバックの変位量、緩衝材の土圧のピーク値に注目すると、負荷した地圧によってその値が大きく異なる。すなわち、結果には岩盤の変形に起因する地圧依存性が認められた。また、既往のオーバーバックと緩衝材のみの模型を金属製の試験容器に封入して行ったひずみ拘束条件の遠心力載荷試験(中村・田中, 2009)では、ピーク値を計測した後、オーバーバックの変位量、緩衝材の土圧は実物換算時間で約50~70年相当経過時点で収束している。一方で、応力拘束条件の本研究では、いずれの実験においてもこれらの値は収束せず、明らかな時間依存性が認められた。すなわち、ニアフィールドの長期挙動が、(1)地圧に応じた岩盤の変形と緩衝材の膨潤挙動の力学的相互作用により変化したこと、(2)この相互作用により最長2ヶ月の実験期間においても収束しないことを実験的に初めて明らかにした。

キーワード: 高レベル放射性廃棄物処分施設, ニアフィールド, 遠心力模型試験, 長期挙動, 力学的相互作用

Keywords: High-level radioactive waste disposal repository, Near-field, Centrifugal model test, Long term behavior, Geomechanical interaction

## 地下環境の酸化還元緩衝作用と適切な処分深度との相関に関する検討 Redox buffering of host rock and its suitable repository depth

吉田 英一<sup>1\*</sup>, 山本 鋼志<sup>1</sup>

YOSHIDA, Hidekazu<sup>1\*</sup>, YAMAMOTO, Koshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup>Nagoya University

我が国の地層処分深度は、地下 300m 以深が想定されている（特定放射性廃棄物処分法；2000）。この処分深度は、特定の処分サイトが決まっていない日本において、長期的な安全評価の観点（とくに隆起速度）から、生物圏への影響が及ばない深さとして示されたものである。しかしながら、地質学的に見れば日本全体が一様に隆起しているわけではなく（地質環境長期安定性委員会；2011・地質リーフレット No.4）隆起による処分場への影響は、サイト毎に評価されることになると思われる。一方、近年の地下環境に関する地質学的や地球化学的データ、またナチュラルアナログ的に確認される、過去の酸化した地下水の浸透と思われる酸化還元フロントなどから、およそその岩盤が有する緩衝作用（緩衝深度）についての知見が具体的に蓄積しつつある。その形態は、基本的には地下水の水みちである割れ目や空隙構造の空間的連続性と密接に関っており、またその水みち周辺の造岩鉱物の種類とそれらへのアクセスの度合い、そして反応速度によって規制されることが明らかとなってきた。

本報告では、岐阜県東濃地域土岐花崗岩類、岡山県倉敷における LPG 地下備蓄サイト花崗岩類、宮崎県日向地域四万十層群などの地下岩盤、地下環境に関する事例を基に、地下環境が有する酸化水の浸透等に対する酸化還元緩衝作用のメカニズムと、とくに地表からの酸化水の浸透にみる影響範囲（適切な処分深度）について論じる。

キーワード: 地下環境, 酸化還元, 緩衝作用, 処分深度

Keywords: Underground environment, Redox processes, Buffering capacity, disposal depth

## 長期の侵食活動の定量的評価手法について - 宇宙線照射生成核種を用いた取組み - Approaches to quantitative determination of surface erosion rates

城谷 和代<sup>1\*</sup>, 伊藤 順一<sup>1</sup>, 大坪 誠<sup>1</sup>  
SHIROYA, Kazuyo<sup>1\*</sup>, ITOH, Jun'ichi<sup>1</sup>, OTSUBO, Makoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological survey of Japan, AIST

地形発達を議論するうえでは、侵食作用について把握することは重要である。本邦において従来、一般的に用いられてきた侵食速度の算定方法には、間接的な推定として 1) ダム堆砂量に基づく推定 (藤原ほか, 1999 など), 2) 河川侵食の地形面オフセット (Yamamoto, 2005), 3) フィッショントラックを用いた熱履歴解析 (Willett et al., 2003) などがある。しながら時間スケールの適応範囲の偏在や、侵食速度の検出限界といった手法上の制約問題を避けることができず、十万～百万年の長期的な地表面の侵食量を評価する手法は確立されていない。

本発表では、本邦における侵食速度定量に関する既往手法の問題点と、近年、地質学および地形学分野においても注目を集めている宇宙線照射生成核種を用いた侵食速度定量の新技术 (例えば Shiroya et al., 2010) に関する、有用性および実用的な評価手法としての確立にむけた取組について紹介する。

本発表は、一部独立行政法人原子力安全基盤機構「平成 23 年度地質・気候関連事象の時間スケールに対する不確実性の検討」として実施した成果を加えたものである。

### 引用文献:

藤原 治・三箇智二・大森博雄 (1999) 日本列島における侵食速度の分布・サイクル  
機構技報, 5, 85-93.

Shiroya, K., Yokoyama, Y. and Matsuzaki, H. 2010. Quantitative determination of long-term erosion rates of weathered granitic soil surfaces in western Abukuma, Japan using cosmogenic <sup>10</sup>Be and <sup>26</sup>Al depth profile. *Geochemical Journal*, 44, e23 - e27.

Yamamoto, T. (2005) The rate of fluvial incision during the Late Quaternary period in the Abukuma Mountains, northeast Japan, deduced from tephrochronology. *Island Arc*, 14, 199-212.

Willett, S., Fisher, D., Fuller, C., En-Chao, Y. and Chia-Yu, L. (2003) Erosion rates and orogenic-wedge kinematics in Taiwan inferred from fission-track thermochronometry, *Geology*, 31, 945-948.

キーワード: 侵食速度, 宇宙線照射生成核種, 深度プロファイル

Keywords: erosion rate, in situ Terrestrial Cosmogenic Nuclide, depth profile

## 長期の安全評価における地震・断層活動の時間スケールに対する不確実性について Uncertainty in the temporal scale on earthquake and fault activity

大坪 誠<sup>1\*</sup>, 藤内 智士<sup>1</sup>, 伊藤 順一<sup>1</sup>  
OTSUBO, Makoto<sup>1\*</sup>, TONAI, Satoshi<sup>1</sup>, ITOH, Jun'ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan/AIST

「地震・断層活動」をはじめとする地層処分場の安全機能に著しい影響を与える地質・気候関連事象は、本来、処分場の立地段階で排除される必要がある。つまり、これらの事象は立地の初期段階において、その発生が見込まれない事が求められると同時に、サイト周辺を含む地質環境の変動履歴等を元に将来の発生を予測することが必要とされている。本研究では、「地震・断層活動」のうち発生予測において不確実性を持つ事象を抽出し、それらの時間スケールを整理した。続いて、抽出された事象ごとに既往成果をとりまとめて、発生の可能性が予測できる期間を検討した。予測可能期間がおおむね数10万年に満たない場合には、予測に関する考え方を整理し、外挿に係る不確実性の提示が可能なものと、不可能なものに係る予測期間の時間スケールを整理した。

その結果「地震・断層活動」における安全評価に向けて排除しきれない不確実性のある事象として、(A) 内陸地震の主断層の活動、(B) 主断層からの派生断層、(C) 地質断層の再活動、を抽出した。いずれの事象も地下水水質の変化や移行経路の変化として処分地に影響を与えるものである。不確実性を議論する場合、将来の断層活動予測がどの程度明確化されるかが重要である。断層活動予測では、断層面にかかる応力情報の精度が不確実性を生む。ここでは、地震活動における時間スケールごとの将来予測とその不確実性を検討する際、各変動事象のベースとなる3つの項目(1) プレート相対運動、2) 広域応力場および、3) 解析手法) について検討した。そして、上記の3つの事象に対して求められる外挿を行う上で必要な項目をまとめ、その項目を確保した上での予測期間を示す。

本発表は、一部独立行政法人原子力安全基盤機構「平成23年度地質・気候関連事象の時間スケールに対する不確実性の検討」として実施した成果を加えたものである。

キーワード: 地層処分, 地震, 断層, 応力, 地下水流動

Keywords: Geological disposal, Earthquake, Fault, Stress, Groundwater Flow System

## 既存断層の再活動性評価に向けた断層周辺の応力場解析

### Stress field analysis around faults for the safety assessment of reactivation of pre-existing faults

藤内 智士<sup>1\*</sup>, 大坪 誠<sup>1</sup>, 伊藤 順一<sup>1</sup>

TONAI, Satoshi<sup>1\*</sup>, OTSUBO, Makoto<sup>1</sup>, ITOH, Jun'ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

高レベル放射性廃棄物処分の立地選定における概要調査結果の妥当性評価に向けた検討として、評価対象地域及びその周辺地域に存在する顕著な断層については、規模・構造地質学的な特徴と成因を明らかにし、その再活動性を評価する必要がある（深部地質環境研究センター編，2007）。このとき、応力場に対する姿勢にもとづいた断層の滑りやすさ（スリップテンデンス：Morris et al., 1996）は、再活動性を評価する指標のひとつとなる。この解析では断層を面として扱うことが多いが、実際の断層は幅を持ったダメージゾーン（Caine et al., 1996）を伴うのが一般的である。ダメージゾーンは内部の強度が不均質であり、主断層面にかかる応力に影響を与える可能性が指摘されている（Rice, 1992 など）。よって、スリップテンデンスの解析にはダメージゾーンの影響による断層周辺の応力場を考慮しなければならない。

本研究では断層周辺の応力場を調べるために、良好な断層露頭が報告されている阿寺断層系の川上地域を対象として、断層スリップデータ（小規模な滑り面の走向・傾斜・滑りセンス、からなる）を用いた応力逆解析を実施した。ここでみられる断層露頭は、主断層面を挟んで幅 40m 程度のダメージゾーンが発達している（Niwa et al., 2009）。断層スリップデータは、今回新たに取得したものに加え、藤内ほか（2011）で報告されているものも使った。

多重逆解析法（Yamaji, 2000）による解析から、主断層面から 0-0.4m のスリップデータは、ほぼ東西で水平に近い  $\sigma_1$  とほぼ南北で水平に近い  $\sigma_3$  を持つ横ずれ断層型の応力で活動し、一方で、主断層面から 0.5-2.5m 離れたダメージゾーンのスリップデータは東北東-西南西方向で水平に近い  $\sigma_1$  と北北西-南南東方向で水平に近い  $\sigma_3$  を持つ横ずれ断層型応力で活動したとする結果を得た。また、主断層面からおよそ 100m 離れた母岩のスリップデータは、精度は高くないものの北西-南東方向で水平に近い  $\sigma_1$  を持つ応力で活動したという結果を得た。

今回の結果は、断層周辺の応力場は一様でなく、特に、主断層面から数十 cm 以上離れただけで主断層面とは応力状態が異なる可能性を示す。特に、断層周辺で発生する一様でない応力場は、断層のダメージゾーンの状態に大きく影響を受けている可能性がある。断層周辺の産状が応力場に与える影響を調べるためには、断層周辺の応力場とダメージゾーンとの関係をより詳細に調べていくと同時に、異なる複数の断層系による比較研究が必要である。

本研究の一部は、原子力安全・保安院「平成 23 年度地層処分に係る地質評価手法等の整備」として実施した成果を含む。

#### References

Caine, J. S. et al., 1996, *Geology*, 24, 1025-1028.

Morris, A. et al., 1996, *Geology*, 24, 275-278.

Niwa, M. et al., 2009, *Island Arc*, 18, 577-598,

Rice, J. R., 1992, *Fault Mechanics and Transport Properties of Rocks*, edited by B. Evans and T. Wong, 475-503.

深部地質環境研究センター編，2007，地質調査総合センター研究資料集，no. 459。

藤内智士ほか，2011，活断層・古地震研究報告，11,139-150。

Yamaji, A., 2000, *Jour. Struct. Geol.*, 22, 441-452.

キーワード: 応力逆解析, ダメージゾーン, 断層, 阿寺断層系

Keywords: stress inversion, damage zone, fault, the Atera fault system

## 火山活動の長期予測における不確実性の時間スケール Time-scale of uncertainty on long-term forecasting for volcanic activities in Japan

山元 孝広<sup>1\*</sup>, 伊藤 順一<sup>1</sup>, 宮城 磯治<sup>1</sup>  
YAMAMOTO, Takahiro<sup>1\*</sup>, ITOH, Jun'ichi<sup>1</sup>, MIYAGI, Isoji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST

地層処分で求められるような長期にわたって火山活動を予測するためには、日本列島における過去の火山活動履歴を将来に外挿することが基本となる。将来も活動を繰り返すとみられる活火山に対しては、マグマ噴出量積算図のような噴火履歴から、ある程度その活動を予測することが可能である。すなわち、履歴からマグマ供給のトレンドが示せるような火山であれば、平均化した噴火再来間隔を求めることができ、次回の噴火に対する予測も可能となる。しかしながら、個々のマグマ供給系には寿命があるため、既存の活火山の“予測可能な期間”も将来数万程度に限られてくる。数10万年を超える時間スケールでは、新たな火山の出現を予測する必要があり、そのためには火山活動の時空分布の変遷を明らかにし、これを元に外挿する必要がある。その一方で、火山活動の特徴やその時空分布は火山弧毎に異なる特徴があるため、島弧毎に“外挿可能な期間”や“合理的予測が不可能な期間”を考えなければならない。一般的には、日本列島の第四紀火山は、プレートの沈み込み境界から陸側プレート内に200~300km離れた位置にある火山フロント上に最も密に分布し、火山フロントと沈み込み境界の間(前弧域)には火山が分布しない。また、火山フロントから背弧域に離れるほどの火山の分布がまばらになる傾向も顕著である。しかしながら、火山フロント位置の時間変化パターンは島弧毎に異なっており、その成因を踏まえた上で火山活動将来予測の不確実性を議論しなければならない。例えば東北日本弧では中期中新世以降、背弧側に向かって火山フロントが後退する傾向が顕著であるが、その成因は冷たい太平洋プレートの沈み込みによるマントルウエッジの冷却で説明され、このシステムは今後少なくとも100万年程度は継続するものと見られる。西南日本の中国地方でも中期中新世以降、背弧側に向かって火山フロントが後退する傾向が顕著であるが、その成因はフィリピン海プレートの沈み込みによってマントル深部からのダイアピルの上昇が遮られることで説明されている。一方、九州南部では新第三紀後半から第四紀にかけてむしろ火山フロントは海溝側に移動し、活動場・活動様式も変動が著しい。GPS等による測地観測から判断しても、現在の九州南部のテクトニクスは不安定で、将来10万年を超えるような将来予測は難しい。

キーワード: 地層処分, 火山活動, 長期予測

Keywords: volcanic activity, geological disposal, long-term forecasting

## 地殻変動の一樣継続性と地質学的現象の将来予測

### Geological prediction and tectonically linear continuity based on geomorphic development model

梅田 浩司<sup>1\*</sup>, 谷川 晋一<sup>1</sup>, 安江 健一<sup>1</sup>

UMEDA, Koji<sup>1\*</sup>, TANIKAWA, Shin-ichi<sup>1</sup>, YASUE, Ken-ichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(独) 日本原子力研究開発機構

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

#### 1. はじめに

地層処分の安全評価に際しては、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、基準値として定められた放射線防護レベルを超えていないこと等を確認することが基本とされている(原子力安全委員会, 2000)。一方、評価期間が長期になると、処分システム領域に対する地質学的現象といった外乱の発生予測の不確実性が増加することに起因して、評価結果の信頼性が低下する可能性もあることから、評価期間の設定に際しては、計算上のピーク発生時期と関連する外乱事象発生の予測可能性とを併せ考慮していく必要がある(総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会, 2003)。地層処分の安全評価に関連する地質学的現象の将来予測は、火山活動等の急激かつ局所的な現象が新たに発生する可能性や隆起・侵食、気候・海水準変動等の緩慢かつ広域的な現象の変動の大きさ等を検討することとなる。これらの将来予測には、外挿法による予測(過去の傾向を未来に延長して予測する)、類推法による予測(予測しようとする現象と類似の事例を過去のデータ探し出して、そのアナロジーにより予測する)、確率・統計による予測(現象の生起確率を統計的に求めて、将来の発生確率を予測する)、数値シミュレーションによる予測(現象に関与する物理法則を見いたして、物理(数学)モデルによる数値実験から予測する)等があるが、地殻変動のように変化が遅く、持続性がある現象には、外挿法が特に有効な予測法と考えられている(例えば、日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編, 2011)。外挿法による予測が可能な期間については、過去の傾向がどの程度継続していたかを把握することが重要となる。すなわち、現在のネオテクトニクスの枠組みの中で変動方向の一樣性、変動の等速性といった地殻変動の一樣継続性(松田, 1987)がどの地域でいつ頃に成立したかを見出すことになる。これまでに得られている様々な地形・地質学的情報によると、日本列島の多くの地域においてこの一樣継続性が成立したのは、概ね中期更新世以降と考えられている(例えば、松田, 1988; 米倉ほか編, 2001)。

#### 2. 山地発達モデルによる一樣継続性の評価

日本列島の山地では、平均高度、起伏および侵食速度に相関があるとされており、山地の平均高度が増していくことによって、起伏が大きくなり、それに伴って侵食速度が増加していくという発達モデルが提唱されている(例えば、Ohmori, 1978)。本研究では、この山地発達モデルに基づき、現在の山地が一定の速度で隆起していると仮定した場合、それぞれの山地について発達段階および隆起の開始時期を求めた。山地発達モデルにおける山地の平均高度の時間変化は、

$$dH/dt = U - R = U - D = U - bHa$$

と表すことができる。ここでHは山地の平均高度、Uは隆起速度、Rは侵食速度、Dは高度分散量である。また、a, b, はそれぞれ定数であり、ダム堆砂量と、DEMから計算した各山地やダム流域の平均高度と高度分散量を使って、回帰分析によって求めることができる。一方、隆起速度については、MIS5eの旧汀線高度や河成段丘の比高等によって推定された最近10万年程度の隆起量分布(日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編, 2011)から与えた。その結果、日高山地や飛騨山地等では動的平衡に相当する高度と現在の平均高度が同程度であるのに対して、近畿三角帯や日本海沿岸の山地は現在の平均高度が低く山地の成長はこれからも継続すると考えられる。さらに、山地の隆起の開始時期(正確には隆起速度が等速となった時期)をみると、日本海東縁変動帯や新潟-神戸歪集中帯に位置する天塩山地、北海道南西部、出羽山地、佐渡島、近畿三角帯等の地域では1.0Ma以降に現在の隆起速度と同程度になったと考えられる。これらの結果は、地形・地質学的情報から推定した一樣継続性が成立した時期とも整合的である。

#### 3. 外挿法による予測の可能な期間

外挿法のような時系列解析モデルを用いた予測では、一般に過去の期間(N)に成り立っていた関係性(定常性)は、0.1N~0.2N程度であれば関係性が継続する確率が高いと考えられている。そのため、中期更新世以降に地殻変動の一樣継続性が成立した地域では、信頼性の高い予測が行える期間は将来10万年程度と考えるのが妥当であろう。

キーワード: 安全評価, 将来予測, 一樣継続性