

結晶質岩におけるボーリング調査の進展に伴う亀裂の分布特性に関するデータの変遷 Relationship between progress of borehole investigations and the geometric data of fractures at the crystalline rocks

石橋 正祐紀^{1*}; 笹尾 英嗣¹; 中畠 誠門²; 渥美 博行²; 尾上 博則¹; 三枝 博光¹; 川端 淳一²; 升元 一彦²; 瀬野 昭治²; 岩野 圭太²

ISHIBASHI, Masayuki^{1*}; SASAO, Eiji¹; NAKAJIMA, Makoto²; ATSUMI, Hiroyuki²; ONOE, Hironori¹; SAEGUSA, Hiromitsu¹; KAWABATA, Junichi²; MASUMOTO, Kazuhiko²; SENO, Shoji²; IWANO, Keita²

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 鹿島建設 株式会社 技術研究所 岩盤・地下水グループ

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Kajima Corporation Technical Research Institute Rock Mechanics and Hydrogeology Group

高レベル放射性廃棄物の地層処分や LPG の地下備蓄など、地下空間の利用にあたっては、割れ目や断層などの地下水の流動経路となる地質構造の把握が重要であり、特に結晶質岩のような亀裂性媒体では、亀裂の分布特性を明らかにする必要がある。地下深部における結晶質岩中の亀裂の分布は主にボーリング調査で把握されるが、亀裂の走向傾斜とボーリング孔との交差角に起因する遭遇率の違いより、ボーリング調査で取得した情報に基づく評価には過不足が生じることが考えられる。亀裂の分布特性を精度よく把握するためには、ボーリングの調査量を増やすことが考えられるが、必要な調査量や調査手順と言った調査の最適化のための方法論は十分に確立されているとは言えない。そこで、本研究では、100m 立方領域でのボーリング調査の進展に伴う亀裂の分布特性に関する情報量の変化について検討した。

本研究では、瑞浪超深地層研究所の深度 300m の水平坑道に分布する土岐花崗岩を対象に亀裂ネットワークモデル (DFN モデル) を構築し、モデルに仮想ボーリング孔を掘削した際の単位長さあたりの亀裂数 (以下、 P_{10}) に着目した。DFN モデルは、100m 立方の空間を対象に、亀裂の長さはべき乗分布、亀裂方位分布は Fisher 分布、亀裂の空間分布はポアソン分布を仮定した。構築した DFN モデルの P_{10} (以下、 $P_{10_{DFN}}$) は、1.58 本/m (このうち、NW 走向高角度傾斜の亀裂 (卓越方位は $N29^{\circ} W87^{\circ} E$) は 1.34 本/m, NE 走向高角度傾斜の亀裂 (卓越方位は $N43^{\circ} E88^{\circ} W$) は 0.12 本/m, 中~低角度の亀裂 (卓越方位は $N25^{\circ} E8^{\circ} E$) は 0.12 本/m), べき乗数は 4.0 である。仮想ボーリング孔は、DFN モデル中央部を通過するように、EW, NS, 鉛直の各方向に 5 本 (各 100m) を配置した。

仮想ボーリング孔と交差した亀裂の P_{10} (以下、 $P_{10_{BH}}$) の平均は、EW 方向の水平孔 (以下、EW 孔) で 1.87 本/m (1.18~1.95 本/m), NS 方向の水平孔 (以下、NS 孔) で 1.13 本/m (0.91~1.24 本/m), 鉛直方向の孔 (以下、鉛直孔) で 0.78 本/m (0.73~0.83 本/m) であった。 $P_{10_{BH}}$ と $P_{10_{DFN}}$ とを比較すると、EW 孔で 0.29 本/m, NS 孔で 0.45 本/m, 鉛直孔で 0.8 本/m の差が認められ、鉛直孔で最も大きな相違となった。亀裂の卓越方位ごとにもみると、鉛直孔では中~低角度の亀裂群については $P_{10_{BH}}$ が $P_{10_{DFN}}$ よりも大きく、NW 走向高角度傾斜の亀裂群については $P_{10_{DFN}}$ よりも小さい。すなわち、鉛直孔で遭遇しやすい中~低角度の亀裂群が過大に評価され、DFN モデル中で最も卓越する NW 走向高角度傾斜の亀裂群は過小評価されており、亀裂方位ごとに取得される情報の偏りが確認された。そのため、亀裂群との遭遇率が等しくなると考えられる亀裂の卓越方位の法線ベクトルの平均方向を掘削方向とした仮想ボーリング孔 (以下、法線平均孔) について検討した。その結果、法線平均孔での $P_{10_{BH}}$ の平均は 1.45 本/m (1.34~1.67 本/m) で、 $P_{10_{DFN}}$ との差が 0.13 本/m となり、EW 孔, NS 孔および鉛直孔およびそれぞれで得られた $P_{10_{BH}}$ の和の平均よりも $P_{10_{DFN}}$ に近い値が得られた。すなわち、亀裂の方向分布を考慮せずに掘削されたボーリング孔で得られる P_{10} の平均を用いても、取得されたデータの偏りを補正することは困難であると考えられる。

次に、仮想ボーリング孔の掘削方位ごとの調査量と $P_{10_{BH}}$ の変化について検討した。その結果、全方向の仮想ボーリング孔において、約 100m~200m 分 (仮想ボーリングで 1~2 本) 掘削した段階で $P_{10_{BH}}$ が安定する傾向が認められた。また、安定した際の $P_{10_{BH}}$ は、各方向の 5 本の仮想ボーリングで得られた $P_{10_{BH}}$ の平均に概ね等しい。このことから、同一方向の調査量を増やしても、ある調査量に達した時点で、得られる情報の変化は小さくなり、その値は同一方向の調査で得られる情報の限界を示していると考えられる。以上のことから、坑道から 100m 立法領域の調査を想定すると、亀裂の空間分布が一樣な場を対象とする場合は、総掘進長を約 100m 以上とし、掘削方向は亀裂との遭遇率が均一となる方向 (亀裂の卓越方位の法線ベクトルの平均方向) を選択することが有効と考えられる。

本研究の結果、亀裂の分布特性に関するデータを取得するためには、亀裂の卓越方位との遭遇率を考慮した調査計画を立案し、調査の進展とデータの関係から調査量の十分性を考慮することが重要であることが示唆された。すなわち、亀裂分布が一樣と想定できる場においては、既存情報などから把握された亀裂の卓越方向に基づいて掘削方向を決定し、最初のボーリング調査の結果から得られた亀裂の卓越方位分布から、再度掘削方向を検討することが有効と考えられる。

キーワード: ボーリング調査, DFN モデル, 調査方法, 亀裂密度

Keywords: Borehole investigation, DFN model, Methodology, Fracture intensity

割れ目間隔を利用した割れ目帯区分の試み—岐阜県南東部に分布する土岐花崗岩を例として— Characterization of the fracture zone on the basis of fracture spacing, case study at the Toki granite, central Japan

笹尾 英嗣^{1*}; 石橋 正祐紀¹
SASAO, Eiji^{1*}; ISHIBASHI, Masayuki¹

¹ 日本原子力研究開発機構地層処分研究開発部門
¹ Japan Atomic Energy Agency

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、割れ目や断層などの地下水の流動経路となる地質構造の把握が重要であり、結晶質岩においては、割れ目の数や分布特性に関する情報の取得が必要である。

日本原子力研究開発機構では、岐阜県南東部に分布する土岐花崗岩を対象として掘進長 500m 以上の深層ボーリング調査を行ってきた。この結果、土岐花崗岩の割れ目は上部で多く、下部で少ないことから、割れ目頻度に基づいた地質構造区分を行ってきた(三枝ほか, 2007)。しかし、岩体スケールでは、深度方向の割れ目頻度の変化が不明瞭な場合があり、また水平方向の割れ目頻度の変化も認められる。

割れ目を評価する上では、割れ目の分布特性に基づいて割れ目帯を区分し、割れ目帯ごとにモデル化が行われる。割れ目の分布特性としての割れ目頻度は、一般にある長さあたりの割れ目本数で表される。しかし、この本数はある区間の平均値であるため、割れ目分布の不均質性を考慮した割れ目帯区分には向かない面もある。そこで、本研究では、ボアホールカメラで把握した割れ目の交差深度から割れ目間隔を求め、それに基づいた割れ目帯区分の可能性を検討した。

割れ目の情報は、一般にはボアホールカメラによって、交差深度および走向・傾斜が取得される。対象としたボーリングは 15 孔、花崗岩の掘進長約 12,000m 分で、割れ目本数は約 32,800 本である。本研究では、ボーリング孔ごと、および全ボーリング孔の割れ目間隔の累積頻度曲線を作成し、50 パーセント値と 90 パーセント値に基づいた検討を行った。その結果、全ボーリング孔で観察された割れ目では、50 パーセント値と 90 パーセント値の間隔は 0.2m と 0.8m であった。つまり、土岐花崗岩全体で見ると、地表から深度 1000m 程度までの領域においては、1m 以下の間隔で割れ目が非常に多く発達しているといえる。

ところで、割れ目の成因について、低角度傾斜(傾斜角が平面から 30° 以下のもの)の割れ目とその他の割れ目で異なる可能性が指摘されている(笹尾・石橋, 2013)。特に、低角度傾斜の割れ目は、花崗岩が地表に露出した際の除荷によって形成されたと考えられており、岩体上部に集中している可能性がある(笹尾・石橋, 2013)。そこで、次に、低角度傾斜割れ目とその他(傾斜角が 30° を超す割れ目; 以下、中~高角度傾斜割れ目と呼ぶ)に分けて検討した。15 孔で認められた全割れ目のうち、低角度傾斜割れ目の間隔の 50 パーセント値と 90 パーセント値は 0.3m と 2.2m であるのに対して、中~高角度傾斜割れ目では 0.2m と 1.1m であった。このことから、土岐花崗岩では中~高角度傾斜が特に密集して発達していることがわかる。なお、割れ目本数は、低角度傾斜割れ目が 10,156 本、中~高角度傾斜割れ目が 22,618 本であった。

次に、ボーリング孔ごとに、割れ目本数と間隔の関係および割れ目分布の地域性について検討した。ここでは、岩体北西部に位置し、割れ目本数が最も少ない DH-3 号孔、岩体北東部に位置し、割れ目本数が中程度の DH-10 号孔、および岩体南部に位置し、割れ目本数が最も多い MIU-3 号孔について述べる。各ボーリング孔における割れ目本数、および間隔の累積頻度の 50 パーセント値と 90 パーセント値は以下の通りであった。

DH-3 号孔(掘進長 1011.4m)

全割れ目; 471 本, 0.3m, 1.8m
低角度傾斜割れ目; 84 本, 0.9m, 10.9m
中~高角度傾斜割れ目; 387 本, 0.4m, 2.3m

DH-10 号孔(掘進長 1012.3m)

全割れ目; 1,998 本, 0.2m, 1.3m
低角度傾斜割れ目; 448 本, 0.5m, 7.2m
中~高角度傾斜割れ目; 1,550 本, 0.2m, 1.6m

MIU-3 号孔(掘進長 1014m, うち花崗岩の掘進長 926m)

全割れ目; 3,764 本, 0.2m, 0.6m
低角度傾斜割れ目; 1,455 本, 0.2m, 1.4m
中~高角度傾斜割れ目; 2,309 本, 0.2m, 0.9m

この検討から、割れ目間隔は 1m 以下のものが全体の半数を占めるものの、全体としては割れ目本数が多いほど割れ目

HCG36-02

会場:411

時間:4月29日 15:30-15:45

間隔が小さいことがわかる。このことから、割れ目の多くは狭い範囲に密集して分布していることが示唆される。特に、中～高角度傾斜割れ目では、割れ目本数に関わらず、50パーセンタイル値に大きな違いがないことから、割れ目帯の識別や岩体スケールでの割れ目帯の分布を把握するためには、数十 cm 以下の間隔で割れ目が発達する割れ目密集部の有無を把握し、その分布に基づいて割れ目帯を区分していくことが考えられる。

今後は、割れ目間隔の深度方向および水平方向の変化と、割れ目密集部の抽出方法を検討し、割れ目密集部の分布に基づく割れ目帯の区分について具体的に示していくことが課題として挙げられる。

三枝ほか (2007) 日本原子力研究開発機構研究開発報告書類, JAEA-Research 2007-043.
笹尾・石橋 (2013) 日本地質学会第 120 年学術大会講演要旨, p.195.

キーワード: 割れ目帯, 割れ目間隔, 土岐花崗岩

Keywords: fracture zone, fracture spacing, Toki granite

現実的ニアフィールドプロセスの検討 Examination of realistic conceptual model of near-field process in HLW repository

吉田 英一^{1*}; 小島 圭二²; 大西 有三³; 朽山 修⁴; 西垣 誠⁵; 登坂 博行⁶; 杉原 弘造⁷; 尾方 伸久⁷
YOSHIDA, Hidekazu^{1*}; KOJIMA, Keiji²; OONISHI, Yuzo³; TOCHIYAMA, Osamu⁴; NISHIGAKI, Makoto⁵; TOSAKA,
Hiroyuki⁶; SUGIHARA, Kozo⁷; OGATA, Nobuhisa⁷

¹名古屋大学, ²地圏空間研究所, ³関西大学, ⁴原子力安全研究協会, ⁵岡山大学, ⁶東京大学, ⁷日本原子力研究開発機構
¹Nagoya University, ²Geospace Labo, ³Kansai University, ⁴Nuclear Safety Research Association, ⁵Okayama University, ⁶University
of Tokyo, ⁷Japan Atomic Energy Agency

地層処分におけるニアフィールド (NF) 環境 (ここでは、安全評価上のスケールとして処分場および、その周辺の約 100 メートル程度を想定した範囲として扱っている) では、様々な現象が連鎖的に、かつ相互的に関連・干渉し合いながら進行することが共通の認識となっている。しかしながら、これまでの安全評価においては、ニアフィールドにおける諸現象およびそれらの複合反応については、その重要性を理解し検討はなされているものの、地下環境の原位置に関する知見に限りがあったことなどから、日本の地下環境に関する現実的な知見を十分に反映したコンセプトであるのかどうかも含め、変動帯地下環境における適切な概念モデルであるのかの検討がなされた状況にはない。

これらの背景のもと、2000 年以降の知見を俯瞰しつつ、とくに深地層の研究施設における原位置の知見を反映させ、日本の変動帯地質環境における、より現実的なニアフィールドプロセスを抽出すると共にニアフィールドコンセプトを構築し、将来の地層処分事業に対してより効率よく応用し得るものにするを目的として検討を進めている。

本発表では、これまでの検討内容から日本の地下環境 (とくに結晶質岩系において) として、おおよそ現実的に想定される水みち等の構造モデルや、工学的技術 (とくにグラウチング) について、その考え方と課題について報告する。

キーワード: 地層処分, ニアフィールドプロセス

Keywords: Geological Disposal of Radioactive Waste, Near filed processes

放射性廃棄物地層処分に対する超長期の安全評価への反映を目的とした風化帯に関する情報の整理 An approach to establish information basis of Weathered zone for the Safety Assessment to HLW Disposal over long-term.

注連本 英典^{1*}; 若杉 圭一郎²; 柴田 雅博²; 山口 正秋²
SHIMEMOTO, Hidenori^{1*}; WAKASUGI, Keiichiro²; SHIBATA, Masahiro²; YAMAGUCHI, Masaaki²

¹ 日本原子力研究開発機構 *現所属:三菱マテリアルテクノ株式会社, ² 日本原子力研究開発機構
¹Japan Atomic Energy Agency (*Present position: Mitsubishi Materials Techno Corporation), ²Japan Atomic Energy Agency

1. はじめに

放射性廃棄物の安全評価では、超長期の地質環境条件の変遷を考慮する必要がある。継続的な隆起・侵食作用によって長期間のうちに処分場が地表に近接するようなシナリオに対しては、地下浅部の環境に基づいて核種移行の評価を行う必要がある。一般に、地下深部は還元環境で遅い地下水流速が期待されるのに対し、地下浅部では風化作用により酸化的環境が形成され、水理特性、化学条件等について地下深部とは異なることが考えられる。そこで、本研究では、超長期の地層処分システムの安全評価における環境条件の設定に資するため、既存文献の調査により、風化帯についての情報の整理を行った。

2. 手法

本研究では、風化帯に関する情報を文献調査により収集し、下記の項目について整理を行った。調査は「風化」をキーワードとするインターネット検索を行い、公開論文、学会講演資料等を収集した。調査で着目した点は、核種移行評価モデルを構築するための前提となる場の状態設定に資する観点から、以下のとおりである。

- ①風化帯の厚さ
- ②風化帯の地形との関係
- ③風化帯の地質環境条件(水理、化学環境条件(特に酸化還元条件)等)

また、これらが、岩種、地形、あるいは履歴などによって分類が可能でそれぞれに異なる特徴を持つかについても、検討を試みた。

3. 調査結果

①: 本集計における風化帯の厚さは、最大 150m に及ぶ。10m ごとの頻度分布では、母集団が少ないものの(N=37)、60m までの範囲に 33 箇所が含まれている。80~100m に見られる 3 箇所は花崗岩の事例で、温暖~冷温の湿潤な気候下で形成された風化と地殻変動に伴う岩盤の破碎作用が風化に関係するものがある(木宮,1975; 稲井・黒田,1968)。140~150m の事例はカルデラ内の溶岩や火砕流堆積物(火山岩類)で、長期間継続した常温風化と熱水変質等の高温酸化によるもの(横田ほか,2003)と考えられている。

堆積岩では、赤石山地の褶曲作用を受けた砂岩や頁岩において風化殻の厚さが 100m に及んでいる報告もある(徳山(1986)、具体的な場所不明のため本集計には含まれない)。

②: 風化帯と地形との関係を検討した結果、互いが平行(調和的)、風化帯が地形に無関係に水平、地形に斜行、地形に対し不規則、の4パターンに類型化した。各パターンの形成因子は、風化プロセス、隆起・侵食による影響、気候、岩種などであり、パターンにより形成因子の組み合わせや、個々の形成因子が及ぼす影響の度合いが異なる。

例えば、“地形に無関係に水平”は深層風化に強く依存し、風化帯形成時の気候、その後の穏やかな隆起・侵食、などが主な形成因子である。なお深層風化は、地形的には小起伏面あるいは準平原であることが多いとされる(木宮, 1981)。

③: 風化帯内部の地質環境条件は、地層岩石の引張強度や空隙率などの物性について比較的情報が得られる反面、酸化還元電位や透水性についての情報は限られている。

千木良(1988)は第四系泥岩の風化において、黄鉄鉱の溶解などにより pH が低下する溶解帯の上部が酸化帯であり、酸化フロントが地下水面付近にあることを報告するとともに、酸化フロント等と風化の進行との関係について推論している。

大山ほか(2009)は、六カ所サイトの試験空洞周辺の軽石凝灰岩や凝灰岩中の酸化還元電位を原位置で計測し、酸化帯(褐色部)で+400~+600mV、還元帯(灰色部)で+200mV 以下の値を報告した。

泥岩や泥質片岩の風化帯透水性は、透水係数等の直接的な情報が極めて少ないが、間隙率について報告事例がある(千木良,1988; 山崎・千木良,2008)。泥岩の例(千木良,1988)では、酸化帯で最も大きな値を示した後、溶解帯との境界下

HCG36-04

会場:411

時間:4月29日 16:15-16:30

部から減少して、新鮮岩帯で収束する傾向を示す。

花崗岩の風化帯透水性についても直接的な情報は少ないが、空隙率は風化部から地表に向かい漸移的に変化（増加）する傾向が報告されている（鈴木,1977）。

花崗岩の地下水質が地表から地下に向かい弱酸性から弱アルカリ性に変化する傾向は、既知（金井ほか,1998；JNC,1999）のとおりであるが、風化帯との対応は確認できなかった。

4. まとめおよび課題

わが国の風化帯の特徴や履歴、地形との関係について、関連する文献の調査を通じて、風化帯の厚さを整理すると共に、風化帯と地形との関係を類型化した。また、類型化したパターンと、風化帯の履歴（風化プロセスやその隆起・侵食や地形変化との関係）、風化帯の形成条件（気候、地下水に関する条件、岩種など）、現れる特徴（地形、風化帯の拡がり）等の関係について、表形式での整理を検討した。

本検討は、地層処分の安全評価に必要となる風化帯の状態設定のための基盤情報の整備を目的としているが、今後は現在の風化帯の情報に加えて、長期の時間変遷による風化帯の形状や地質環境条件の変化についての継続的な調査と、時間軸を考慮した条件変化のパターンの検討が必要である。

キーワード: 地層処分, 超長期, 安全評価, 風化帯, 地形, 地質環境条件

Keywords: HLW, Long-term, Safety Assessment, Weathered Zone, Landform, Geological Environmental Conditions

ヘリウム同位体比を考慮したベイズ統計学による未知の活断層の評価 A Bayesian approach to assess the probability of concealed active faults existing using helium isotope ratios

マーティンアンドリュース^{1*}; 石丸 恒存²; 梅田 浩司²; 浅森 浩一²
MARTIN, Andrew^{1*}; ISHIMARU, Tsuneari²; UMEDA, Koji²; ASAMORI, Koichi²

¹ スイス放射性廃棄物管理共同組合, ² 日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター
¹NAGRA, ²Tono Geoscience Center, JAEA

放射性廃棄物の地層処分のサイト選定や原子力施設の安全性評価などを念頭に、我が国においては地質環境の長期安定性に関する研究など多くの研究開発が進められてきているが、その中で活断層の時空分布を理解することは特に重要と考える。この場合、地表部に破断が及んでいなかったり地形に痕跡の残らない活断層（いわゆる「未知の活断層」）の存在をどのように考慮するかということが課題である。

一般に火山地域の地下水中に検出される高 He-3/He-4 比は、非火山地域の地下水にも検出される場合がある。非火山地域の高 He-3/He-4 比は断層等を移行経路としたマントル物質の脱ガスが原因であると考えられている（例えば Kennedy et al., 1997）。鳥取県西部地域を対象とした研究（Umeda and Ninomiya, 2009）では、He-3/He-4 比の分布が 2000 年鳥取県西部地震（Mw 6.8）の震源断層（地震以前は活断層として認定されていなかった）の存在を示す間接的な証拠となりうる可能性を示した。

本発表では、この仮説を定量的に表現するため、He-3/He-4 比をベイズ法によって組み込んだ推論モデルの開発について紹介する。ベイズ法の枠組みにおいて、まず最初に研究対象地域のテクトニックセッティングに基づく先験的前提（a priori assumption）を設定する。既知の活断層のトレースは、同じ距離間隔をもったセグメントに区分されている。未知の活断層セグメントは、既知の活断層セグメントの分布からそれほど離れていないということを今回の先験的前提としている。さらに、既知の活断層からの距離が近いほど対象地域での「未知の活断層」の存在確率は大きくなると仮定する。そして、既知の活断層セグメント分布を中心としてカーネル関数（kernel functions）を用いて（Martin et al., 2003）、未知の活断層の存在について二次元の事前（a priori）確率分布を計算する。その際、未知の活断層セグメントの存在確率が離間距離に応じてゼロにならないように、保守的にコーシー確率密度関数（PDF）を選択している。

次の段階では Martin et al. (2004, 2012) による手法を適用して、コルモゴロフ・スミルノフ検定（Kolmogorov-Smirnov statistical tests）に基づいて He-3/He-4 比の分布を「Likelihood 関数」と呼ばれている PDF の中に再配置する。そして、ベイズの定理を用いて、事前確率分布と Likelihood 関数を組み合わせることで事後（a posteriori）確率分布を計算する。

2000 年鳥取県西部地震が起こる以前のデータを使って計算した事後確率分布では、未知の活断層の存在確率が震源域において増加していることが示された。言い換えれば、鳥取県西部地域を対象に計算した事後確率分布は、活断層がマントル起源の希ガスの移行経路となっているという仮説を裏付けるものとも言えるだろう。

発表では、今回の手法を用いて他のデータ（例えば重力・地殻の歪み速度など）を組み込む可能性についても議論する。

引用文献

- Kennedy et al. (1997), Mantle fluids in the San Andreas fault system, California, *Science*, 278, 1278-1281.
Martin et al. (2003) *Acta Geophys.* 51, 271-289
Martin et al. (2004) *J. Geophys. Res.*, 109, B10208, doi:10.1029/2004JB003201.
Umeda, K. and Ninomiya, A. (2009) *Geochem. Geophys. Geosys.*, 10, Q08010, doi:10.1029/2009GC002501.
Martin A. J., Umeda K. and Ishimaru T. (2012) *InTech Pub.*, doi:10.5772/51859

キーワード: 活断層, ベイズ法, ヘリウム同位体比
Keywords: Active fault, Bayesian, Helium isotope ratio

南九州の剪断帯の深部比抵抗構造と地下水中のヘリウム同位体比 An active shear zone, southwest Japan: electromagnetic geophysics and noble gas geochemistry

梅田 浩司^{1*}; 浅森 浩一¹; 幕内 歩¹; 小堀 和雄¹
UMEDA, Koji^{1*}; ASAMORI, Koichi¹; MAKUUCHI, Ayumu¹; KOBORI, Kazuo¹

¹ 日本原子力研究開発機構
¹ Japan Atomic Energy Agency

宮崎市南部から霧島火山群を経て鹿児島県北西部に至る地域は、1961年吉松地震 (M=5.5)、1968年えびの地震 (M=6.1)、1994年大口地震 (M=5.7)、1997年鹿児島県北西部地震 (M=6.5, 6.3) 等、東-西~西北西-東南東方向の高角左横ずれを示す地震列が存在する (角田・後藤, 2002)。また、GPSデータの解析等によって推定されている北緯 32° の東西に延びる剪断帯もこの地震列に相当する。これらの剪断帯が生じた原因としては、沖縄トラフの拡大に伴うマントル上昇流による地殻の引きずり (Takayama and Yoshida, 2007) や九州・パラオ海嶺の沈み込み (Wallace et al., 2009) 等のモデルが提唱されているが、この地域には活断層の存在を含む明瞭な変動地形が認められないことから、剪断帯を伴う地殻変動は地質学的に極めて新しい時代に開始したものと考えられる。

筆者らは霧島火山群の西側の剪断帯 (1997年鹿児島県北西部震源域) の地殻~上部マントル構造を把握するため、地磁気・地電流観測による三次元比抵抗構造解析を行った。その結果、地下 10 km 以深から上部マントルに達する東西方向に延びる低比抵抗帯が存在し、その周辺 (高比抵抗帯との境界部) に上記の地震が発生していることが明らかになった。また、この低比抵抗帯は、白亜紀の四万十層群や中新世の紫尾山花崗閃緑岩の地域に位置するが、ここで採取した地下水の溶存ガスや遊離ガスに含まれるヘリウム同位体比 ($^3\text{He}/^4\text{He}$ 比) は、大気の 4 倍以上の値を示す。このことは、低比抵抗帯は地殻内に侵入したマントル起源の流体によって生じたものであることを示唆する。新しい剪断帯の形成に代表されるこの地域のネオテクトニクスは、マントル起源の流体や霧島火山群のマグマ活動 (約 30 万年前以降) によって生じた地殻の不均質性が関与している可能性がある。

キーワード: 1997 鹿児島県北西部地震, 剪断帯, 比抵抗構造, ヘリウム同位体

Keywords: 1997 Kagoshima earthquake doublet, active shear zone, magnetotelluric sounding, helium isotope

東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性セシウムの移動現象を規定する主要因について－福島県の山地森林の例－
Predominant process for transport of radiocaesium released by the TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

新里 忠史^{1*}; 石井 康雄¹; 阿部 寛信¹; 渡辺 貴善¹; 佐々木 祥人¹
NIIZATO, Tadafumi^{1*}; ISHII, Yasuo¹; ABE, Hironobu¹; WATANABE, Takayoshi¹; SASAKI, Yoshito¹

¹ 日本原子力研究開発機構福島環境安全センター

¹Fukushima Environmental Safety Center, Japan Atomic Energy Agency

東京電力福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウムは住民被ばくの主要因となる放射性核種であることから、その環境動態に関する理解は福島環境回復における基盤情報を提供する。現時点における放射性セシウムの主な供給源は、除染活動がまだ試験段階にある山地森林の分布域である。このため、山地森林から流出する放射性セシウムの移動現象と移動フラックス及び化学形態に関する知見は、山地森林から河川を経て海域に至る放射性セシウムの環境動態を考慮した被ばく線量評価において極めて重要な位置を占める。

本報告では、福島県の阿武隈山地に分布する山地森林において、放射性セシウムの移動現象を規定する主要因について議論する。調査地点は福島県東部の阿武隈山地において、植生、地形及び土壌種の異なる4か所を設定した。土壌試料は、山地の尾根、斜面及び谷底面において、土壌サンプラー及びスクレーパープレートにてそれぞれ40 cm及び20 cm深度まで採取した。調査地点では、表面流と土砂流亡をモニタリングするための40-60 m²面積を有する観測プロットを併せて設置した。土壌試料の分析の結果、森林土壌の極表層部における放射性セシウムの濃度は森林内の地形要素に関連しており、谷底といった堆積域で高く、山地斜面といった侵食域で低い傾向にあった。加えて、土壌粒子や植物片といった表面流出に含まれる固相の放射性セシウム濃度は、表面流出の液相と比較して1~2桁高い傾向にあった。

そのため、福島県の山地森林における放射性セシウムの移動現象を規定する主要因は、山地斜面における土砂の引きはがしを伴う表面流出と考えられ、山地森林における放射性セシウムの移動現象を検討する際には、対象地域における気象、植生、地形、及び土壌条件といった自然地理、地形及び地質学的要素に関する情報を総合的に捉える必要がある。

キーワード: 放射性セシウム, 環境動態, 山地森林, 原子力事故, 福島

Keywords: radiocaesium, environmental dynamics, mountain forest, nuclear accident, Fukushima

高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯等の追加地質調査の現況について Current State of the additional geological surveys of crush zones at the fast breeder prototype reactor "Monju" site

石丸 恒存^{1*}; 島田 耕史¹; 佐々木 亮道¹; 田中 遊雲¹; 宮崎 真之¹; 安江 健一¹; 丹羽 正和¹; 末岡 茂¹; 梅田 浩司¹; 池田 真輝典¹

ISHIMARU, Tsuneari^{1*}; SHIMADA, Koji¹; SASAKI, Akimichi¹; TANAKA, Yukumo¹; MIYAZAKI, Masashi¹; YASUE, Ken-ichi¹; NIWA, Masakazu¹; SUEOKA, Shigeru¹; UMEDA, Koji¹; IKEDA, Makinori¹

¹ (独) 日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

経緯: (独) 日本原子力研究開発機構の高速増殖原型炉もんじゅ (以下、「もんじゅ」) においては、平成 25 年 4 月 30 日に敷地内破碎帯の追加地質調査の報告書を取りまとめて、原子力規制委員会 (以下、「規制委員会」) に提出した。6 月 13 日には規制委員会の有識者事前会合が開催され、当機構は提出した報告書の要点について説明を行い、7 月 17 日-18 日、26 日-27 日の 2 回に分けて有識者による現地調査が行われ、8 月 26 日に第 1 回評価会合が開催された。評価会合での議論を踏まえ、9 月 25 日には規制委員会より更なる追加調査計画の策定の指示が発出され、当機構は 10 月 3 日に調査計画書を規制委員会に提出した。その後、当機構は 11 月 29 日に 11 月中旬までに得られた成果を「1 次とりまとめ報告」として規制委員会に提出し、平成 26 年 3 月中目途に「全体とりまとめ報告」を提出することとした。

追加調査の概要: 平成 25 年 9 月 25 日の規制委員会からの指示事項は、①もんじゅ敷地内断層の活動性を把握するため、剥ぎ取り調査地点の基盤岩中の断層において、変位マーカーの有無や形成年代の把握及び破碎帯内物質を対象とした年代測定等を実施すること、②もんじゅ敷地近傍の L-2 リニアメント及びその延長部等の評価についてデータ拡充を行うため、破碎帯の分布・性状、被覆層との関係及び被覆層の堆積年代 (14C 年代測定や火山灰分析等) の調査を実施すること、③活断層である白木-丹生断層周辺及び L-2 リニアメント延長等における海域の地質構造・活動性を把握するため、周辺海域における海上音波探査及び沿岸部における地形・地質調査等を実施すること、の大きく 3 点である。この指示事項を受ける形で調査計画を策定し、剥ぎ取り調査範囲を拡充しての追加調査や山地/段丘境界における詳細な地形・地質調査、沿岸海域での海上音波探査等を追加で実施した。

追加調査結果の概要: もんじゅ敷地のある敦賀半島北部の基盤岩類は白亜紀後期~古代三紀の江若 (こうじゃく) 花崗岩より構成される。敷地内破碎帯の性状調査では、原子炉建物基礎岩盤部で最長の α 破碎帯北方延長方向において、剥ぎ取り調査の範囲を拡充し、2 系統 (α 系、 β 系と呼ぶ) の複数の破碎帯の切断関係や変位量を把握し、 β 系よりも α 系が相対的に新しい構造であることを確認した。 α 系破碎帯は左横ずれセンスの幅数 cm の粘土脈で、幅は不規則に変化し粘土細脈が網目状に入っている。また、 α 系破碎帯により変位を被る玄武岩岩脈の K-Ar 年代は約 19Ma であった。この他、花崗岩や破碎帯内物質のジルコンやアパタイトを対象に FT 法や U-Pb 法による年代測定を実施し、花崗岩と破碎帯の熱史を検討した。これまでの調査結果からは、平成 25 年 4 月末のとりまとめ報告の結果と同様に、敷地内破碎帯が活動的であることを示す証拠は乏しく、これら破碎帯は、花崗岩が削剥により浅部に到達する以前に深部の熱水環境下で形成された小規模な古い地質構造である可能性が高い。山地/段丘境界における地形・地質調査では、境界付近に沿った走向の破碎帯は確認されず、花崗岩を覆う堆積層の火山灰分析と 14C 年代測定から、一部の露頭で約 4~5 万年前の堆積物の分布が確認できた。沿岸海域での海上音波探査では、平成 25 年 12 月に海底地形調査と合わせて実施し、データの解析を進めている。なお、既存の音波探査記録の各種データ処理を行った結果、既往検討結果の修正を要するような新たな情報は認められなかった。

今後の予定: 「全体とりまとめ報告」の提出以降も、敷地内の地質・地盤に係る情報蓄積やこれまでの調査結果の信頼性を更に高めるため、自主的な調査を継続する。また、上載地層法が適用できない断層破碎帯の活動性の評価手法等に関する基礎的研究を継続する。

キーワード: 高速増殖原型炉もんじゅ, 破碎帯調査, 江若花崗岩, 原子力規制委員会

Keywords: fast breeder reactor Monju, survey of crush zone, Kojyaku granite, Nuclear Regulation Authority