

断層破砕帯における物質移動：破砕による影響と母岩の組成の影響 Mass transport in a fault zone: effects of fracturing and host rock lithology

丹羽 正和^{1*}, 黒澤 英樹¹, 水落 幸広², 棚瀬 充史³
Masakazu Niwa^{1*}, Hideki Kurosawa¹, Yukihiko Mizuochi², Atsushi Tanase³

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 住鉱資源開発, ³ 地圏総合コンサルタント
¹ Japan Atomic Energy Agency, ² SRED, ³ Chi-ken Sogo Consultants Co., Ltd.

断層破砕帯の発達には岩盤の透水構造を大きく変化させる場合が多いので、しばしば地下水流動に影響を及ぼす(例えば, Caine et al., 1996, *Geology*)。地下での物質移動は地下水流動に大きく依存することから、放射性廃棄物の地層処分における安全評価などでは、断層活動と物質移動との関係を明らかにすることが非常に重要である。これらの安全評価では、対象となる地質環境をモデル化し、核種移行解析などが行われるが、現状では、断層活動に伴う物質移動のモデル構築に必要な実測データが十分とは言えない。そこで本研究では、詳細な露頭記載のある岐阜県の阿寺断層の破砕帯を対象に、断層岩の蛍光X線分析及び誘導結合プラズマ質量分析による全岩化学組成分析を行い、断層活動に伴う物質移動について検討を進めた。

調査地域では、北西-南東走向の断層を挟んで西側に濃飛流紋岩の溶結凝灰岩、東側に苗木-上松花崗岩が分布する(Niwa et al., 2009, *Island Arc*)。破砕帯露頭は西側から、溶結凝灰岩の断層角礫からなるダメージゾーン、溶結凝灰岩や花崗岩の断層角礫及びガウジを主体とする断層コア、花崗岩のカタクレーサイトからなるダメージゾーンの順に分布する。X線回折分析からは、断層コアや溶結凝灰岩の断層角礫はスメクタイトに非常に富む。花崗岩のカタクレーサイトは一般に粘土鉱物に乏しいが、若干のカオリナイトが認められる。断層コアには、上野玄武岩起源と想定される苦鉄質岩の黒色の角礫や、単斜輝石の鉱物片も含まれる。苦鉄質岩の角礫は、炭酸塩鉱物でコーティングされているのが特徴である。化学分析結果のうち、希土類元素(REE)やU, Thについて着目すると、特に重希土類元素(HREE)やUが、断層コアに濃集する傾向が認められた。

断層活動に伴う破砕粒子の細粒化による反応表面積の増大やフリーラジカルの新生が、粘土鉱物形成を引き起こす水-岩石反応を促進させることは既に指摘されており(Wintsch et al., 1995, *JGR*; Kameda et al., 2003, *GRL*)、本露頭でも、断層岩の産状と粘土鉱物組成から、同様の傾向が見えている(Niwa et al., 2009)。HREEやUの断層コアへの濃集が断層活動に伴って起こったとすると、その濃集メカニズムとして、粘土鉱物への吸着が考えられる。粘土鉱物への吸着反応としては主に、イオン交換反応と鉱物表面への錯体反応がある。イオン交換反応に関しては、軽希土類元素(LREE)の方がHREEよりイオン半径が大きいために水和半径が小さく、スメクタイトのような2:1型粘土鉱物中に選択的に固定されやすいとされている(大谷ほか, 2005, *資源地質*)。一方、表面錯体反応については、REEは炭酸塩や有機物と錯体を作りやすいが、これらの錯体は、HREEの方がLREEよりも安定であるとされている(鹿園ほか, 2006, *資源地質*)。断層コアでは前述の通り、苦鉄質岩の角礫への炭酸塩鉱物の濃集が顕著であり、それに伴いHREEも移動した可能性がある。なお、粘土鉱物とは別に、鉄酸化物や鉄水酸化物による吸着(赤川ほか, 2004, *地質雑*)も考えられるが、本露頭ではHREEやUとFeの間に明瞭な正の相関は見られない。

REE, U, Thの濃集メカニズムとしては吸着の他に、これらの元素を含む鉱物の溶解・沈殿が挙げられる。苗木-上松花崗岩はジルコンやモナザイト等の放射性鉱物に富むが(Ishihara and Wu, 2001, *地質調査研究報告*)、HREE, UとZrやPとの間に明瞭な正の相関は無く、放射性鉱物の偏在性がHREEやUの濃集の主要因となっている可能性は低い。また、4価のCeを除き、HREEはLREEよりも低いpHでしか沈殿しないため(鈴木, 1998, *希土類の話*, 裳華房)、HREEの濃集の主要因は、沈殿によるとは考えにくい。一方、Th/U-Ce/Uプロットからは、断層コアは相対的にCeに乏しくUに富み、還元的な環境を示す。断層コアでは、苦鉄質岩の角礫へのCaの濃集に加え、Sの濃集も認められる。地下水中のUが炭酸イオンや硫酸イオンと結合して錯イオンを形成し、還元環境下の断層コアで沈殿(小林, 1989, *鉱山地質*)した可能性がある。

以上の検討より、本地域では、粘土鉱物を形成するような破砕に伴う水-岩石反応に加え、破砕帯に沿って苦鉄質岩の角礫が混入しているという母岩の不均質性が、REEの表面錯体反応やUの溶解・沈殿というイベントを通じて、断層活動における物質の濃集に大きく影響していることが示唆される。

キーワード: 断層破砕帯, 物質移動, 希土類元素, 粘土鉱物, 炭酸塩鉱物

Keywords: fault zone, mass transport, rare earth element, clay mineral, carbonate

SCG066-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 14:00-16:30

断層帯のジルコン熱年代学~跡津川断層系茂住祐延断層を例として~ Zircon thermochronology of fault zones:Case study of the Mozumi-Sukenobu fault, central Japan

郁芳 随徹^{1*}, 長谷部 徳子², 山田 国見⁴, 末岡 茂¹, 村上 雅紀¹, 田上 高広¹, 渡邊 裕美子¹, 山田 隆二³, 荒井 章司²
Zuitetsu Ikuho^{1*}, Noriko Hasebe², Kunimi Yamada⁴, Shigeru Sueoka¹, Masaki Murakami¹, Takahiro Tagami¹, Yumiko Watanabe¹,
Ryuji Yamada³, Shoji Arai²

¹ 京都大, ² 金沢大, ³ 防災科研, ⁴ 日本原子力機構

¹Kyoto University, ²Kanazawa University, ³NIED, ⁴JAEA

Quantitatively understanding of heat generation and transformation associated with faulting is a key to understand not only dynamics of faults but also heat budget, temperature structure and range records. To understand thermal history along faults, geologic thermometers such as thermochronometers, homogenization temperatures of fluid inclusions and vitrinite reflectances have been used. Zircon fission-track thermochronology has been one of the most powerful tools to reveal thermal history along faults (e.g., Murakami et al., 2004; Tagami and Murakami, 2007). Zircon fission-track thermochronology has advantages as below: (1) fission tracks are annealed only by heating, (2) zircon is physically robust and chemically stable and can occur along fracture zones, and (3) short-term annealing kinetics of zircon fission tracks is well understood based on laboratory experiments.

In the Mozumi-Sukenobu fault, the strongest thermal anomalies were detected between two fracture zones identified in the tunnel by using zircon fission track methods. This secondary heating is attributed to ore deposit water probably sourced from the Kamioka mine on the basis of spatial distribution of ZFT and ZHe ages, numerical calculations using the 1-D thermal diffusion equation, geological observations and ZFT inversion calculations.

キーワード: 熱年代学, 断層, 跡津川断層系

Keywords: thermochronology, fault, Atotsugawa fault group

SCG066-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 14:00-16:30

活火山噴気中のラドン濃度の時間的変動と要因分析

Temporal change and factor analysis of radon concentrations in discharged gas of an active volcano

植山 隆義^{1*}, 坂本 典夫¹, 吉永 徹², 小池 克明¹

Takayoshi Ueyama^{1*}, Norio Sakamoto¹, Toru Yoshinaga², Katsuaki Koike¹

¹ 熊大・院・自然科学, ² 熊大・工

¹ Science & Technology, Kumamoto Univ., ² Faculty of Engineering, Kumamoto Univ.

資源探査や地下空間の利用, 地震に対する防災対策を行う上で, 地質構造や地殻環境を詳細に把握することが求められる。特に地殻変動の特徴の抽出とメカニズムの解明は, 種々の分野で重要な課題となっている。この課題に対して, 本研究では断層, 地下水, 地熱などの調査で広く用いられている放射能探査に注目した。すなわち, 地殻変動が活発な地域において, 放射性核種濃度を定点観測するとともに, この時間的変化を支配する要因を明らかにすることを目的とした。その要因として, 地震, 潮汐, 火山活動, 地殻流体(地下水や熱水)の移動, 放射性核種のソース深度での温度や圧力の変化などが考えられる。活火山はこれらの要因すべてを含んでいる。そこで, 日本の代表的な活火山であり, 火山性地震が頻発している九州中部の阿蘇山を研究対象に選んだ。その火口西側の噴気帯において2001年9月11日から2004年1月15日にかけて10分毎の放射性核種濃度の連続測定を行った。

放射性核種は壊変によって別の核種に移行するが, このときアルファ線, ベータ線およびガンマ線を放出する。放射能探査はこれらの放射線を測定するが, 本研究ではアルファ線を検出するイオン化チェンバー法を用いた。対象となる核種は放射性核種の中で唯一気体として存在する不活性な Rn (^{222}Rn) であり, この壊変によるアルファ線を電離作用によって生じた電荷や電流を電圧の出力信号として計測する。連続測定には AlphaGURAD (Genitron 社) を用いた。この機器によると ^{222}Rn の濃度 (単位 Bq/m^3), 気温, 気圧, 湿度, データの質などが10分間隔で得られる。深さ1mの測定孔からは, 電動ポンプにより $0.5 \text{ l}/\text{min}$ の割合でガスの吸入を行う。ガスは高温・多湿であるために, 測定器への移動の過程で冷やされ, 水滴が生ずる。これが測定器内に入るとシステムが不安定になり, 正確なデータが得られない。この対策として除湿器をポンプと測定器の間に設けた。また, 換気と照明の装置が付いた小屋内に AlphaGUARD を入れ, 機器周辺の温度や湿度が大きく変化することがないように留意した。

計測の結果, Rn 濃度は一定ではなく, 時間とともに大きく変動した。そこで, まず Rn 濃度と1日の平均気温との関連性について検討したところ, 強い相関が得られたので, Rn 濃度から気温成分を除去し, これを残差成分と定義した。次に, 残差成分と地球潮汐との関連を検討するため, 主要9分潮による影響量を計算できる GOTIC2 (Matsumoto *et al.*, 2001) を用いた。その結果, 地球潮汐の増加に伴って Rn 濃度が高くなる傾向が明らかになり, 潮汐力が地殻上部の圧力に強い影響を及ぼし, ガスの移動を支配していることが推察される。さらに, 火山性地震データを比較に用いたところ, Rn 濃度とよい対応が見られた。

Rn 濃度に及ぼす地球潮汐の影響を検証するために, 水槽を用いて地盤モデルを作成し, 室内実験を行った。すなわち, 一般に他の岩種よりも放射能が強い花崗岩を Rn ソースとし, これをまさ土で埋めて, まさ土の表層で Rn 濃度を連続的に測定した。その結果, スケールの小さな地盤モデルでも, 地球潮汐との関連性を見出すことができ, 地球潮汐はラドンガスの上昇に影響を及ぼすことが確認できた。

以上から, 地殻環境における Rn 濃度の支配要因は地球潮汐と地震であり, 地下から Rn は上昇するが, 地表付近の温度にガスの拡散速度は影響を受けて, Rn 濃度が変化することが明らかとなった。

キーワード: ラドン, 気温, 火山性地震, 地球潮汐, 阿蘇山

Keywords: radon, temperature, volcanic earthquake, earth tide, Mt. Aso

Japan Geoscience Union Meeting 2011

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

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG066-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 14:00-16:30

ユビキタス質量観測計の紹介 Introduction of a new groundwater and gas monitoring system

村上 雅紀^{1*}, 杉本 雅明²

Masaki Murakami^{1*}, Masaaki Sugimoto²

¹ 京都大学, ² 東京大学

¹Kyoto University, ²University of Tokyo

我々が開発しています質量観測計は地中ガスの挙動を (1) 無人で (2) いつでも (3) どこでも観測することができ、(4) 誰でも (5) どこからでも監視することができます。今回は現在開発中の質量観測計 (Groundwater data analyzing system; GROWDAS) を御紹介いたします。大学インフォメーションパネルでも装置の詳しい説明をしておりますので、そちらもご覧下さい。