

水 - 岩石相互作用における重金属・希土類元素の地球化学的挙動メカニズム Geochemical behavior mechanism of base metal and rare earth elements in water-rock interaction

鹿園 直建^{1*}

SHIKAZONO, Naotatsu^{1*}

¹ 慶應義塾大学

¹ Keio University

水 - 岩石相互作用を高温における相互作用と低温における相互作用に分けることができる。高温では熱水変質、熱水性鉱床の生成がなされ、低温では風化作用、続成作用などがなされる。

高温の熱水系における物質移動については、熱水 - 岩石反応の実験的研究、コンピューターシミュレーションがこれまでに多くなされている。熱水系の貯留層における熱水の化学組成や熱水変質鉱物組成については、熱水 - 変質鉱物間の化学平衡をもとにその解釈がなされている (Shikazono, 1978 など)。一方、熱水系の流出帯においては、化学平衡論は適用できず、熱水流動・溶解カインेटックスモデルなどが適用され、黒鉱鉱床における鉱物分布の解釈などがなされている (Shikazono et al., 2012)。

低温下における水 - 岩石相互作用については、風化帯の鉱物分布や鉱床の二次風化帯の鉱物分布についてのカインेटックスモデルや反応経路モデルによる解釈などがあるが、高温下の水 - 岩石相互作用の研究に比べて、研究例が少ない。それは、物質移動メカニズムとして、流動、拡散、溶解、沈澱カインेटックス、吸脱着反応、イオン交換反応などがあげられ、様々な要因により、物質移動が支配されるからである。

水 - 岩石相互作用において、主成分元素 (アルカリ、アルカリ土類、Si など) の挙動メカニズムに関する研究例は多い。しかしながら、重金属元素、希土類元素などの微量元素の挙動メカニズムについての研究例は少なく、明らかになっていない点が多い。そこで、本発表においては、特に低温下の水 - 岩石相互作用における重金属元素、希土類元素の挙動メカニズムに焦点をあててみたい。その比較、検討の意味で主成分元素の挙動についても論じる。

研究対象として、土壤 (黒ボク土、ローム土) における重金属の深さ方向への元素濃度分布、高アルカリ水中のペントナイト相互作用における重金属、Cs、Sr の挙動 (フィリピン Mangataram 地方のペントナイト鉱山と地下水)、花崗岩風化作用における希土類元素の挙動 (日本、中国の風化花崗岩) について示し、これらの解釈を溶解、沈澱、イオン交換、吸着反応に注目し、行いたい。その際に地下水、土壤、風化岩の分析データ、水 - 岩石反応実験、抽出実験結果をもとに解釈を行う。高アルカリ地下水水質については、鉱物 - 水反応カインेटックスをもとにしたコンピューターシミュレーションを行った結果と水質データの比較、検討を行う。

これらの重金属元素、希土類元素の挙動メカニズムとして、1次鉱物の溶解、吸着メカニズムに注目する。また、イオン半径、表面錯体生成と元素移動度との関係についての考察を行う。

キーワード: 重金属元素, 希土類元素, 水 - 岩石相互作用, 地球化学的挙動メカニズム, 水質形成メカニズム, 風化作用
Keywords: base metal elements, rare earth elements, water-rock interaction, geochemical behavior mechanism, formation of water quality mechanism, weathering

北西太平洋域におけるマンガンクラスト生成環境の時空変動 Depositional Environments of Hydrogenetic Ferromanganese Crusts in the NW Pacific Oceans

臼井 朗^{1*}, 坂口 綾², 高橋 嘉夫², 得丸 絢加³, 浦辺 徹郎³, 鈴木 勝彦⁴

USUI, Akira^{1*}, SAKAGUCHI, Aya², TAKAHASHI, Yoshio², TOKUMARU, Ayaka³, URABE, Tetsuro³, SUZUKI, Katsuhiko⁴

¹ 臼井朗, ² 広島大学理学研究科地球惑星システム, ³ 東京大学理学系研究科地球惑星科学, ⁴ 海洋研究開発機構

¹USUI, Akira, ²Dept.Earth Planet. Sci., Hioshima Univ., ³Earth Planet. Sci. Univ. Tokyo, ⁴JAMSTEC

遠洋域の海山や海台などの露岩地帯には、海水起源の鉄・マンガン酸化物が集積してマンガンクラストを形成している。多様なレアメタル(コバルト, ニッケル, 白金, レアアースなど)を含有することから資源的価値が注目されている。一方、その成長速度は非常に遅い(数百万年に1cm程度)ため、堆積物コアのごとく、長レンジの海洋環境変動や地質イベントなどを記録する化学堆積岩としての展開も期待されている。しかし、その形成を規制する海洋学的、地質学的には十分特定されておらず、調査手法さえも未確立である。我々は、ROV(ハイパードルフィン3K)を用いて、1)マンガンクラスト分布の詳細、2)現海洋水の物理科学特性とクラスト生成環境、3)数千万年に遡った海洋環境変動やイベントの記録、4)有用金属元素や主成分元素の鉱物・化学形態の把握、などを主な研究テーマとしている。

ROVや潜水調査船を用いたマンガンクラストや団塊の研究は筆者らが、世界に先駆けて初めて実施したもので(Usui et al., 1993; 臼井ほか, 2010), 2009年(NY09-02; 首席浦辺徹郎)の南鳥島近傍の拓洋第5海山に始まる。ROVを用いると、マンガンクラストの不攪乱試料採取、微地形・底質など付随データの取得、微生物環境の把握、現場のクラスト物性測定などにも成功し、ROVの優位性と今後の展開が期待されている。

筆者らはその後、2010?2011年に、ハイパードルフィンを用いて3回のマンガンクラストの研究航海を実施した。NT10-11(拓洋第5海山), NT10-25(小笠原海台), KY11-02(流星海山)の何れの航海においても、水深1000m?3000mの海山斜面から、海水起源マンガンクラストを採取した。小笠原海台では南海山という巨大な平頂海山の東斜面を観察した結果、水深2200mのやや平坦な堆積物に覆われた海底から平頂部1300mまでの急斜面(平均勾配20度)の露岩はほぼ全面マンガンクラストに覆われている。基盤は主に石灰岩と石灰質の礫岩であり、クラスト厚さは5?11cmの間で変化する。平頂部には、平板状の10cm厚におよぶクラストが特徴的に分布し、急斜面にはモザイク状の破片が分布する。

流星海山は大きな火山体の一部をなす円錐形の海底火山と考えられ、その斜面の水深2200m?900mの斜面の露岩域には広くクラストが分布する。斜面の底質は、マンガンクラストの層厚は5mmから最大10cmまで変化する。底質を分類すると、1)堆積物のみ、2)堆積物とクラストの両方が混在、3)クラストのみ、に分けられ、概ねこの順に平均勾配が急になっている。両者の境界は約14-15°程度である。部分的にはマンガンクラストが極く薄い堆積物に覆われているが、全体には数cm?10cm厚まで変化しながら、露頭には全てクラストが発達している。

現在、下記の項目について分析・解析中である。

- 1) 表層から基盤までのクラスト断面の微細構造・鉱物組成の変化(高知大学)
- 2) ベリリウム放射性同位体による年代測定(広島大学東京大学)
- 3) オスミウム放射性同位体による年代測定(東京大学・海洋研究開発機構)
- 4) 表層1mm部分の化学組成の水深方向変化(広島大学)
- 5) 音響センサーを用いたマンガンクラスト厚さの非破壊、非接触測定装置の開発(東京大学生産研)
- 6) マンガンクラストを鉱床、鉱石と見なし、資源経済的データを収集(高知大学)
- 7) 検討中の項目: 基盤岩の岩石年代、比重測定による、金属フラックスの算定、古地磁気による年代測定、安定同位体による年代測定

講演では、科研費補助金課題(基盤C)の研究グループによる進行中の研究概要を解説する。

キーワード: マンガンクラスト, マンガン団塊, 鉄・マンガン酸化物, コバルトリッチ, 海山, レアメタル

Keywords: ferromanganese crust, manganese nodule, ferromanganese nodule, cobalt-rich, seamount, minor elements

リチウム同位体比によるネバダ州塩湖における高濃度リチウムの起源の推定 Estimation of lithium origin in salt lakes at Nevada by using lithium isotope ratio

荒岡 大輔^{1*}, 西尾 嘉朗², 高木 哲一³, 渡辺 寧³, 川幡 穂高⁴

ARAOKA, Daisuke^{1*}, NISHIO, Yoshiro², TAKAGI, Tetsuichi³, WATANABE, Yasushi³, KAWAHATA, hodaka⁴

¹ 東大・院・新領域, 東大・大気海洋研, ² 海洋研究開発機構・高知コア研究所, ³ 産総研・地圏資源環境, ⁴ 東大・大気海洋研

¹GSFS and AORI, The University of Tokyo, ²Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC, ³GREEN, AIST, ⁴AORI, The University of Tokyo

リチウムは工業的に有用な元素である。リチウムは水素、ヘリウムに次いで軽く、かつ最も酸化還元電位の低いという特徴をもつ。そのため、実用化されている中では最もエネルギー密度が高く、軽量・高出力・高性能なリチウム二次電池が脚光を浴びている。特に環境対策による電気自動車等のエネルギー源として、今後一層の需要の増加が見込まれている。

地球上で最大のリチウム資源は塩湖であり、乾燥気候下で蒸発・濃縮を繰り返すことで、塩湖には高濃度のリチウム資源が形成されていることが知られている。リチウムの需要の増加により、塩湖のリチウム資源開発が進められており、将来の資源探査のためにも、塩湖における高濃度リチウムの起源を知ることが重要となってくる。

リチウムは質量数6と7の2つの安定同位体を持ち、その相対質量差の大きさゆえに、リチウムの安定同位体比は、変質や風化等の水を媒介してリチウムが動く際に大きな同位体分別が起きる。そのため、リチウム同位体比は水・岩石反応の指標として近年注目を集めている。リチウムは特に流体に入りやすい元素の1つであり、高温時に岩石から流体に多量に溶出したリチウムは冷却過程においても流体中に残ることが知られている。塩湖におけるリチウムの濃集は、塩湖に流れ込んできたリチウムを含んだ流体が蒸発したことにより起こったため、塩湖から採取された試料のリチウム同位体比を測定することで、塩湖の高濃度リチウムの起源を推定できる可能性がある。

本研究では、ネバダ州にある複数の塩湖から採取された試料のリチウム同位体比および、ストロンチウム同位体比、微量元素濃度について報告する。リチウム同位体比は試料によって大きなばらつきがあるが、一般的な河川水の値に比べ総じて低く、上部地殻の値に近い結果が得られた。水・岩石反応において流体中のリチウム同位体比は、岩石中のそれに比べて必ず高い値を示し、また高温なほど流体と岩石間での同位体分別は小さくなるという特徴をもつ。以上から、これらの塩湖に運ばれたリチウムの起源は、地上での風化反応によるものではなく、高温での水・岩石反応により溶出されたリチウムであった可能性が高い。今後は、母岩のリチウム同位体比の初生値を推定するなど、詳細な検討が望まれる。

キーワード: リチウム同位体比, 塩湖, リチウム資源, 水・岩石相互作用, ネバダ

Keywords: Lithium isotope ratio, Salt lakes, Lithium resources, Water-rock interaction, Nevada

酸性温泉由来のインジウム、ヒ素の河川流下過程における分別挙動の解明 The fractionation mechanism between indium and arsenic originated from the acidic thermal water during river transport

小川 泰正^{1*}, 石山大三², 鹿園直建³, 土屋範芳¹

OGAWA, Yasumasa^{1*}, ISHIYAMA Daizo², SHIKAZANO Naotatsu³, TSUCHIYA Noriyoshi¹

¹ 東北大学, ² 秋田大学, ³ 慶應義塾大学

¹Tohoku University, ²Akita University, ³Keio University

The Kusatsu and Tamagawa hot springs contain toxic elements such as arsenic and lead as well as rare metals such as indium and rare earth elements. Because of the strong acidity and large discharge, both thermal waters are neutralized by lime input and construction of dams.

The neutralization of the Kusatsu thermal waters was rapidly completed, when the lime suspension was dropped. After the rapid neutralization, most of dissolved As and In is removed by suspended hydrous ferric oxide (HFO). Consequently, As and In are transported as sorbate onto the suspended HFO to the bed sediments of man-made lake without the significant fractionation. On the contrary, the Obuki thermal water is neutralized by not only lime addition but also the mixing with tributary. Consequently, the pH values gradually increased toward the downstream. Arsenic tends to be sorbed by HFO from the upstream region, leading to wide distribution in the entire watershed. Indium is transported until the lake inlet as stable chloride- and/or sulfate-complexes without significant removal, and then, is mostly precipitated in the man-made lake. As a result, In is effectively accumulated in the downstream lakebed compared to As.

The apparent difference in geochemical mobility of these elements in the Kusatsu and Tamagawa fields indicates that we could purposely control elemental mobility in the natural river system. For example, we could preferentially concentrate the useful metals in the lakebed sediments by the toxic metal exclusion. If possible, we could obtain the rare metal resource from the man-made mineral deposits.

キーワード: インジウム, ヒ素, 玉川温泉, 草津温泉

Keywords: indium, arsenic, Tamagawa hot spring, Kusatsu hot spring

二酸化炭素地中貯留に向けた玄武岩 - 水反応の溶解速度支配要因

Factors controlling dissolution rate of basalt for underground sequestration of carbon dioxide

梅村 友章^{1*}, 小山 竜志², 鹿園 直建², 吉田 尚弘¹

UMEMURA, Tomoaki^{1*}, KOYAMA Ryuji², SHIKAZONO, Naotatsu², YOSHIDA, Naohiro¹

¹ 東京工業大学 大学院総合理工学研究科, ² 慶應義塾大学 理工学部

¹Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, ²Faculty of Science and Technology, Keio University

1. はじめに

排出された CO₂ を回収し、地中に封じ込める CO₂ 地中貯留技術は、即効性の期待できる対策として昨今注目を集めている。

CO₂ を地中に圧入すると、CO₂ 岩石 水反応が起こり、地下水に CO₂ が溶解し、最終的には炭酸塩として固定される (溶解トラッピング・鉱物トラッピング) が、その化学反応の挙動についてはあまり明らかにされていない。上記の化学反応を考える上では岩石 水反応の溶解速度が基礎的データとして重要となるが、玄武岩においてはその溶解速度は試料や実験条件によって大きく異なっている。岩石 (玄武岩) の溶解速度を支配する要因としては、Si:O 比、結晶:ガラス比、ガラスの構造、実験系 (開放系・閉鎖系)、溶液の攪拌状況などが挙げられる。

そこで、本研究では結晶:ガラス比およびガラスの構造が玄武岩の溶解速度に及ぼす影響を検討する (実験 1)。また、実験系 (開放系・閉鎖系) の違い、攪拌の有無が溶解速度に及ぼす影響についても検討を行う (実験 2)。

2. 試料・分析方法

実験 1 においては、岩石試料は新期富士山の溶岩およびそれを溶融し徐冷・急冷させた玄武岩ガラスを用いた。耐圧容器に岩石試料と溶液を混入後、ガスボンベから CO₂ を 5MPa で圧入し、静置させ閉鎖系で反応させた。反応終了後、固相と液相を分離した。固相については、反応前後で XRD や XRF により構成鉱物や主成分元素組成を、SEM により表面分析を行った。液相については、ICP-MS によりカチオン (Ca²⁺ etc) および Si 濃度を分析した。

実験 2 においては、岩石試料は新期富士山の溶岩を用いた。実験系 (開放系・閉鎖系) および攪拌の有無の条件を変化させて溶解実験を行い、分析は実験 1 と同様に行った。

3. 結果・考察

実験 1 においては、溶岩 < 徐冷 < 急冷の順に 1~2 倍程度溶解速度が大きくなったものの、溶解速度にはそれほど差はみられない結果となった。地下 1000m 程度の帯水層に圧入することを想定した際、実際の条件は閉鎖系に近い。よって、CO₂ 地中貯留の条件下においてはマグマからの冷却速度、つまり結晶度の違いはそれほど溶解速度に影響を及ぼさないと考えられる。

実験 2 においては、開放系の方が閉鎖系よりも 10 倍程度溶解速度が大きい結果となった。また、反応後の試料表面を SEM により観察すると、開放系では試料表面に特に変化がみられないのに対し、閉鎖系では表面に沈殿物がみられた。このことから、閉鎖系では溶液濃度が上昇するにつれて Si, Al 等の沈殿が生じ、試料表面を覆うことによって変質層が形成し、溶解が妨げられた可能性が考えられる。地下 1000m 程度の帯水層に CO₂ を貯留することを想定した場合、実際の系は閉鎖系に近い。これまでは玄武岩 水反応の溶解速度は表面反応律速としたシミュレーションが行われてきたが、今後は変質層等による拡散を考慮に入れる必要性が示唆された。

キーワード: 二酸化炭素地中貯留, 地化学トラッピング, 溶解速度

Keywords: CCS, geochemical trapping, dissolution rate

海底噴出熱水のホウ素・リチウム濃度

Boron and lithium concentrations of vent fluids from submarine hydrothermal systems

洪恩松^{1*}, 山岡香子², 荒岡大輔¹, 蒲生俊敬¹, 川幡穂高¹

HONG, Ensong^{1*}, YAMAOKA, Kyoko², ARAOKA, Daisuke¹, GAMO, Toshitaka¹, KAWAHATA, hodaka¹

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, ² Geological Survey of Japan, AIST

Boron and lithium concentrations were determined for vent fluids from arc-backarc hydrothermal systems in West Pacific. The hydrothermal vent fluids were collected from the Suiyo Seamount in the Izu-Bonin arc, the Mariana Trough (Alice Springs and Forecast vent sites), the Manus Basin (Vienna Woods and PACMANUS sites), the North Fiji Basin (White Lady, Kaiyo, and LHOS sites), and the Okinawa Trough (JADE, CLAM, and South Ensei sites) twenty years ago. The boron and lithium concentration of vent fluids basically showed negative correlation with the magnesium concentration for each hydrothermal system, which indicates mixing of hydrothermal end member and ambient seawater. In hydrothermal fluids, Li concentrations are always higher than those in seawater (0.026 mmol/kg), while B concentrations are various compared with the seawater value (0.41 mmol/kg). Especially, at the sediment-hosted hydrothermal systems in the Okinawa Trough, the Li and B concentrations are significantly higher than those in seawater. The hydrothermal end members of Li and B concentrations in the Okinawa Trough are 4-6 mmol/kg and 4-5 mmol/kg, respectively. This suggests that large amounts of B and Li are derived from sediment during reaction between sediment and fluid. In sediment-starved hydrothermal systems, the vent fluids from the Suiyo Seamount and PACMANUS site in the Manus Basin were more enriched in B (1.6-1.8 mmol/kg) relative to other sites (0.4-0.8 mmol/kg). This difference is probably resulted from type of rock which fluid reacts with. It is suggested that dacitic rocks in the Suiyo Seamount and PACMANUS site provided more boron than basaltic rocks in other sites. On the other hand, the Li concentrations of the hydrothermal end members in sediment-starved sites ranged from 0.4 to 1.2 mmol/kg with no relationship with rock type. Further isotopic study on the vent fluids will help to reveal the behaviors of boron and lithium in submarine hydrothermal systems.

Keywords: Hydrothermal system, Boron, Lithium

キーワード: 海底噴出熱水, ホウ素, リチウム

Keywords: Hydrothermal system, Boron, Lithium

男鹿半島男鹿一湯本温泉の堆積物および温泉水中の天然放射性核種 Natural radionuclides included in the deposits and water of Oga-Yumoto hot springs, Oga Peninsula

西川 治^{1*}, 松井佑佳¹, 高島 勲¹

NISHIKAWA, Osamu^{1*}, Yuka Matsui¹, Isao Takashima¹

¹ 秋田大学大学院工学資源学研究科

¹ Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

Large scale travertine mounds which accumulated from approximately 30000 to 5000 years BP. are exposed in the Oga-Yumoto hot springs in the north coast of the Oga Peninsula. They are expected as a recorder of hot spring activity during late Quaternary. Radiation was found in the hot spring water and present calcareous deposit (Takashima, et al., 2008). However it has not been conducted quantitative analysis of concentration of radionuclides included in the water and deposits in Oga-Yumoto hot springs, and therefore not been identified their origin. In this study, in order to determine radionuclides and their concentrations, both ICP-MS analysis and gamma-ray measurement with Ge detector were performed on the hot spring water, present and past deposits in Oga-Yumoto hot springs. Radioactivity concentrations of U-series nuclides range from 243.6 to 1083.7 Bq/kg in the deposits and 12.3 Bq/kg in the hot spring water. In the past deposit, radiation is only detected samples younger than several thousand years. On the other hand, Th-series nuclides were not detected in the past deposits. However the concentrations of Th series nuclides in the present samples are relatively high ranging from 304.1 to 4594.0 Bq/kg. The values of both radioactivity concentration tend to change depending on mineral species and distance from spring well. Deposits rich in iron oxide-hydroxide show obviously higher radioactivity concentration than those rich in the carbonate. The concentration of Th and U in the deposits are very low, almost hundreds and tens ppt order, respectively. Therefore it can be said that parent nuclides included in the Oga-Yumoto hot springs are Ra-226 in U-series and Ra-228 in Th-series. The fact the presence of Ra-228, a relatively short-lived nuclide suggests prompt upwelling of hot spring water without holding after reaction with the source rocks.

キーワード: 天然放射性核種, 男鹿一湯本温泉, 石灰質温泉沈殿物

Keywords: natural radionuclide, Oga-Yumoto hot springs, travertine

ドーソン石はCO₂問題を解決する鉱物学的な切り札か? - CO₂地中貯留における役割と位置づけ -

Is dawsonite, NaAl(CO₃)(OH)₂, a mineralogical trump to fix CO₂ underground? - its changing roles in GCS

奥山 康子^{1*}

OKUYAMA, Yasuko^{1*}

¹産総研地圏資源環境研究部門

¹Institute for Geo-Resources and Environment, GSI, AIST

ドーソン石は NaAl(CO₃)(OH)₂ という、上部地殻に濃集する成分のみからなる、比較的単純な組成の鉱物である。化学的単純さにもかかわらずこの鉱物の産出は極めて限定的である。これまでに確認された産地での産状から、この鉱物の形成機構は次のように考えられている; 1) アルカリ火成岩分晶脈での最末期晶出相, 2) CO₂ 起源溶存種に富む強アルカリ性水質流体による交代作用, 3) CO₂ 質流体の侵入による CO₂ 交代作用。1990 年代以降、炭素エネルギー起源の CO₂ が大気中に増加することによる「地球温暖化」が科学技術的・社会的問題となって、火力発電所などの排ガスから CO₂ を分離・回収して地下地層に貯留する「CCS 技術体系」が炭素エネルギー利用のバックエンドとして注目されるようになった。CO₂ の地下地層への圧入 (CO₂ 地中貯留; GCS) では、圧入された CO₂ が地化学的反応により岩石の一部として固定される「鉱物固定」が、社会学的超長期のうちに起きると考えられているが (IPCC, 2005), この際にドーソン石は CO₂ を固定する鉱物として大きく期待された。GCS ではドーソン石を生成するために極めて好都合の化学的条件がそろっているからである。

GCS にて地下で長期的に進行すると考えられるプロセス、とくに圧入 CO₂ の帯水層地下水への溶解とそれに伴う鉱物間反応は、GCS が社会的に認知されるよう、安全な技術であることを科学的に説明することを主目的に、多くは基礎研究として研究が進められている。この中でドーソン石の役割は、研究初期に考えられていた量的に重要な固定相という位置づけから、徐々に変わってきている。GCS の長期的地下プロセスにてドーソン石がはたしうる役割について、最近の研究をもとに紹介したい。

キーワード: CO₂ 地中貯留, ドーソン石, 水-岩石反応, 塩水帯水層, 鉱物固定

Keywords: geological CO₂ storage, dawsonite, water-rock interaction, saline aquifer, mineral trapping

地質時代における海水ストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) の変動: 固体地球及び環境変動への示唆

Variation of the seawater Sr isotope on a geological time scale: implications for solid earth and environmental change.

柏木 洋彦^{1*}, 小川 泰正², 鹿園 直建³

KASHIWAGI, Hirohiko^{1*}, Yasumasa Ogawa², Naotatsu Shikazono³

¹ 慶應義塾大学, ² 東北大学, ³ 慶應義塾大学

¹ Keio University, ² Tohoku University, ³ Keio University

鉱床を形成する地殻(地層)の起源や生成年代、当時の地球環境などを知ることは、鉱床の成因のメカニズムを解明するためには不可欠であるといえる。

海底堆積物中に記録されているストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) (海水 Sr 同位体比) は、大陸起源の風化生成物と海底熱水反応等によりもたらされるマントル起源の物質のバランスによって規定されており、過去の地殻変動や環境変動を知る上で有用な指標となり得ることが知られている。本稿では、最近の地球化学的知見を基に、海水 Sr 同位体比の変動要因や検討すべき問題点を取り上げる。

まず、大陸風化との関係では大陸に分布する火成岩の重要性が指摘できる。このような火成岩の Sr 同位体比は低く、高い反応性を示すため、海水 Sr 同位体比の変動に大きく寄与すると考えられる。また、造山帯において変成作用を被った炭酸塩鉱物の重要性も指摘できる。これらの鉱物は周囲の珪酸塩鉱物等と反応して生成されるため、海生炭酸塩と比べてその Sr 同位体比が高い点に特徴がある。また、海底熱水作用については、従来、海嶺の軸部付近における高温の熱水反応が重要と考えられてきたが、海嶺の軸部から離れた領域においても反応が起きており、この反応も考慮する必要があると考えられる。

地質時代における海水 Sr 同位体比を時代に応じて変動させる要因としてしばしば挙げられるのは大陸面積や海水準の変動であり、始生代では、初期大陸の形成に伴う海水 Sr 同位体比の急激な上昇が挙げられる。また、ウィルソンサイクルとの対応関係、古生代から中生代の白亜紀までにかけての海水準変動との対応関係も指摘できる。

一方で、新生代では、海水 Sr 同位体比の変動は海水準の変動とは直接対応せず、海洋底拡大(海洋地殻の生成)、ヒマラヤ・チベットの隆起浸食、コロンビア洪水玄武岩等の大陸玄武岩の風化、氷河作用に伴う独特な風化パターンの形成、大気 CO₂ 濃度との関係などが議論されている。

このうち、新生代前期における海洋底拡大(海洋地殻の生成)は当時の海水 Sr 同位体比をコントロールしている一因である可能性がある。また、新生代後期はヒマラヤ・チベット地域の隆起との関連性が指摘されている。その具体的なメカニズムとしては、主に風化量の増加により海水 Sr 同位体比が上昇したという説と岩石の Sr 同位体比が高かったことが重要であるとする説とがあるが、数値モデルによれば、前者については風化量の増加はそれほど大きくなかったとの指摘がなされている。

海水 Sr 同位体比と大気 CO₂ 濃度との対応は上記ヒマラヤ・チベット地域の隆起との関連で議論されているが、新生代後期の大気 CO₂ 濃度は現代と同じ程度であって海水 Sr 同位体比の変動の傾向とは一致していないので、海水 Sr 同位体比の変動は大気 CO₂ 濃度の指標として用いることはできないと考えられる。

このように、地質時代における海水 Sr 同位体比の変動は、単一の原因によって説明することはできず、複合的な要因が組み合わさって変動してきたといえる。この点で、数値モデルを用いて各要因をパラメータ化してその変動要因を解析することは有用である。特に、大気 CO₂ 濃度や氷河作用と海水 Sr 同位体比との関係は、元素の挙動と環境変動との密接な関連性を示唆するものであり、今後もさらに詳細に検討していく必要がある。

キーワード: ストロンチウム同位体比, 風化, 熱水反応, 新生代, ヒマラヤ, 氷河作用

Keywords: strontium isotope, weathering, hydrothermal reaction, Cenozoic, Himalaya, glaciation

Application of a New Relationship between Effective Porosity and Specific Capacity on a Hypothetical Aquifer System

Application of a New Relationship between Effective Porosity and Specific Capacity on a Hypothetical Aquifer System

James Wilkinson^{1*}, Naotatsu Shikazono¹
WILKINSON, James^{1*}, SHIKAZONO, Naotatsu¹

¹Keio University

¹Keio University

Previous researches lead to the establishment of a relationship between effective porosity and specific capacity. This paper shows how this relationship can simplify the volumetric evaluation of a hypothetical aquifer system based solely on specific capacity data. Preliminary results of this type of application showed excellent results and that it can be used with confidence on aquifer systems without regard to well construction or the lithology of the aquifer. This relationship is useful for distributing effective porosity within 2 or 3 dimensional groundwater and particle tracking models on a cell-by-cell basis. More importantly, this relationship can be used for parameter estimation to determine effective porosity for contaminant transport models. The importance of this breakthrough is that can it be used based only on specific capacity data and can be used with different units of measure. This is important for the widespread application of this relationship among the international scientific community. In this presentation the solutions for the relationship in other measurement systems will be revealed to enable the widespread application of this new relationship in all conditions.

キーワード: effective porosity, specific capacity, groundwater, parameter estimation, hydraulic properties, modeling
Keywords: effective porosity, specific capacity, groundwater, parameter estimation, hydraulic properties, modeling

中央構造線ボーリングコアを用いた断層岩における熱水変質の定量的解析 Quantitative analysis on hydrothermal alteration on fault rocks in the borehole core penetrating the MTL

田中 伸明^{1*}, 藤本 光一郎¹, 重松 紀生²

TANAKA, Nobuaki^{1*}, FUJIMOTO, Koichiro¹, SHIGEMATSU, Norio²

¹ 東京学芸大学, ² 文部科学省

¹Tokyo Gakugei University, ²MEXT

本報告では、多変量解析の一種である主成分分析を用いて変質鉱物の定量的解析を行ない、過去の変形・変質環境や履歴のより詳細な復元を目的とする。本研究においては、長い断層活動の履歴を持ち、延性領域から脆性領域までの異なる条件下で形成した断層岩が分布する中央構造線 (MTL) の変質を解析した。

研究対象である産総研の松阪飯高観測点の坑井 (掘削長 600m) は、東南海・南海地震予測のために掘削され、掘削深度 473.9m で MTL を貫通し、上盤に領家帯の花崗岩類、下盤に三波川帯の変成岩が分布する。花崗岩類は、マイロナイト化の後、正断層性の応力場、南北方向の圧縮場の順に、脆性変形の応力場の変遷を経験し、現在の応力場である東西方向の圧縮場へ至ったと推定されている (重松ほか, 日本地質学会第 117 年学術大会での講演, 2010)。さらに、変形構造の解析と変質鉱物の解析を合わせることで、葡萄石の形成の後、正断層性の応力場を経験し、正断層性の応力場と同時期に濁沸石の形成が始まり、現在の応力場の下で終了したと推定されている (藤本ほか, 日本地質学会第 117 年学術大会での講演, 2010)。

ボーリングコアの掘削深度 138~473.9m において、深度を代表する岩片であるバルク試料を 124 試料、脆性小断層のすべり面上の断層物質を 129 試料それぞれ採取し、X 線回折 (XRD) による鉱物組成の解析を行なった。バルク試料・断層物質それぞれの鉱物組成のデータに対して主成分分析を行ない、以下の新たな説明変量を得た。主要なもの (寄与率の大きいもの) とそれら説明変量の内容を記す。

1) バルク試料の第 1 主成分。寄与率は 0.536。係数の絶対値が 0.1 以上の鉱物は、石英 (-0.659)、斜長石 (-0.237)、濁沸石 (0.267)、炭酸塩鉱物 (0.654)。源岩または壁岩の熱水変質の強弱を表わす。

2) バルク試料の第 2 主成分。寄与率 0.203。係数の絶対値が 0.1 以上の鉱物は、斜長石 (-0.598)、緑泥石 (-0.368)、炭酸塩鉱物 (0.399)、石英 (0.587)。熱水変質の種類 (炭酸塩鉱物優位か緑泥石優位か) を表わす。

3) バルク試料の第 3 主成分。寄与率 0.127。係数の絶対値が 0.1 以上の鉱物は、緑泥石 (-0.719)、炭酸塩鉱物 (-0.163)、石英 (-0.148)、斜長石 (0.160)、濁沸石 (0.444)、カリ長石 (0.458)。変質分帯 (カリ長石・緑泥石・濁沸石) を反映している。

4) 断層物質の第 1 主成分。寄与率 0.798。係数の絶対値が 0.1 以上の鉱物は、石英 (-0.612)、長石 (-0.186)、炭酸塩鉱物 (0.766)。炭酸塩鉱物の析出 (鉱物脈の形成) が主体の熱水変質を表わす。

5) 断層物質の第 2 主成分。寄与率 0.101。係数の絶対値が 0.1 以上の鉱物は、長石 (-0.423)、濁沸石 (-0.376)、緑泥石 (-0.252)、炭酸塩鉱物 (0.440)、石英 (0.646)。炭酸塩鉱物以外の析出 (結晶交代) が主体の熱水変質を表わす。

寄与率は最小が 0 で最大が 1 であり、寄与率が大きいほどデータセットの特徴をよく説明できる。各鉱物の係数は最小が -1 で最大が 1 であり、係数の絶対値が大きいほど当該主成分に深く関与する。

主要な各説明変量から、断層物質における熱水変質は炭酸塩鉱物の析出であるとして差し支えない一方、バルク試料では炭酸塩鉱物の析出以外の熱水変質もかなり含み、多様性があることがわかる。

濁沸石の係数に着目すると、バルク試料では第 1 主成分で炭酸塩鉱物と同じ傾向を示し第 2 主成分では係数が 0.1 未満である一方、断層物質では第 1 主成分では係数が 0.1 未満で第 2 主成分では炭酸塩鉱物と反対の傾向を示す。ゆえに、濁沸石と炭酸塩鉱物とはバルク試料では共存するが、断層物質 (断層すべり面上) では共存しないことが示された。理由として、濁沸石が結晶交代を主体とする変質作用で形成されて岩体中に散在する形態をとるのに対し、炭酸塩鉱物は鉱物脈形成を主体とする変質作用で形成されて割れ目を充填する形態をとり、かつ、濁沸石が炭酸塩鉱物の Ca の主要な供給源となるからであると考えられる。

石英の係数に着目すると、バルク試料及び断層物質の第 2 主成分で炭酸塩鉱物と同じ傾向を示している。炭酸塩鉱物と同じく熱水変質作用で割れ目を充填したとも、源岩の変質の進行に伴って石英のみが残留したとも考えられるが、コア内に石英脈があまり見られないことから後者が主因であると考えられる。しかし、マイロナイト中の石英の多くが再結晶石英であり、薄片観察や全岩化学分析などと併せて引き続き検討が必要である。

キーワード: 中央構造線, 断層, ボーリングコア, 熱水変質, 鉱物組成, 主成分分析

Keywords: Median Tectonic Line, Fault, Borehole core, Hydrothermal alteration, Mineral composition, Principle component analysis

分光計測を用いた H₂O-CO₂-X 系の臨界点の決定 Determination of critical point of H₂O-CO₂-X systems by spectrum measurement

関口 知寿^{1*}, 平野 伸夫¹, 岡本 敦¹, 土屋 範芳¹

SEKIGUCHI, Chizu^{1*}, Nobuo Hirano¹, OKAMOTO, Atsushi¹, TSUCHIYA, Noriyoshi¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies Tohoku University

Physicochemical state of H₂O are divided into three phases, solid, liquid and vapor. Especially, the vapor-liquid phase boundary is called the saturated steam pressure curve. The highest point of this curve is called the critical point. Liquid density becomes equal to gas density at that point. The fluid of that state is called supercritical fluid (water). Supercritical fluids exist near the deep-sea hydrothermal vent or in the Earth's crust.

Supercritical fluid has a characteristic property that chemical reactivity, solubility and/or ion product. It is very important for the understandings of crustal rocks and fluid interaction. Therefore, decision of state and supercritical point of crustal fluid is very important.

The fluid near a critical point has intense density fluctuation, so, it is considered that the optical transmissivity is very low.

The purpose of this study is to observe the state of the optical property of the fluid near the critical point, in order to develop a method for the critical point determination of multicomponent fluid by the spectral measurement of the transmitted light through the fluid.

キーワード: 臨界点, 超臨界流体, 分光計測

Keywords: critical point, supercritical fluid, spectrum measurement