

## 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<sup>1\*</sup>, 山岡 香子<sup>2</sup>, 荒岡 大輔<sup>1</sup>, 蒲生 俊敬<sup>1</sup>, 川幡 穂高<sup>1</sup>

HONG, Ensong<sup>1\*</sup>, YAMAOKA, Kyoko<sup>2</sup>, ARAOKA, Daisuke<sup>1</sup>, GAMO, Toshitaka<sup>1</sup>, KAWAHATA, hodaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

<sup>1</sup> Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup> 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<sup>1\*</sup>, 松井佑佳<sup>1</sup>, 高島 勲<sup>1</sup>

NISHIKAWA, Osamu<sup>1\*</sup>, Yuka Matsui<sup>1</sup>, Isao Takashima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 秋田大学大学院工学資源学研究科

<sup>1</sup> 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CO<sub>2</sub>問題を解決する鉱物学的な切り札か？ - CO<sub>2</sub>地中貯留における役割と位置づけ -

Is dawsonite, NaAl(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>2</sub>, a mineralogical trump to fix CO<sub>2</sub> underground? - its changing roles in GCS

奥山 康子<sup>1\*</sup>

OKUYAMA, Yasuko<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研地圏資源環境研究部門

<sup>1</sup>Institute for Geo-Resources and Environment, GSI, AIST

ドーソン石は NaAl(CO<sub>3</sub>)(OH)<sub>2</sub> 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) CO<sub>2</sub> 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) CO<sub>2</sub> 質流体の侵入による CO<sub>2</sub> 交代作用。1990 年代以降、炭素エネルギー起源の CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。CO<sub>2</sub> の地下地層への圧入（CO<sub>2</sub> 地中貯留；GCS）では、圧入された CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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: CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>1\*</sup>, 小川 泰正<sup>2</sup>, 鹿園 直建<sup>3</sup>

KASHIWAGI, Hirohiko<sup>1\*</sup>, Yasumasa Ogawa<sup>2</sup>, Naotatsu Shikazono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 慶應義塾大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> 慶應義塾大学

<sup>1</sup> Keio University, <sup>2</sup> Tohoku University, <sup>3</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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<sup>1\*</sup>, Naotatsu Shikazono<sup>1</sup>  
WILKINSON, James<sup>1\*</sup>, SHIKAZONO, Naotatsu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Keio University

<sup>1</sup>Keio 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<sup>1\*</sup>, 藤本 光一郎<sup>1</sup>, 重松 紀生<sup>2</sup>

TANAKA, Nobuaki<sup>1\*</sup>, FUJIMOTO, Koichiro<sup>1</sup>, SHIGEMATSU, Norio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学, <sup>2</sup> 文部科学省

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>2</sup>MEXT

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 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-X 系の臨界点の決定 Determination of critical point of H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-X systems by spectrum measurement

関口 知寿<sup>1\*</sup>, 平野 伸夫<sup>1</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>

SEKIGUCHI, Chizu<sup>1\*</sup>, Nobuo Hirano<sup>1</sup>, OKAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>, TSUCHIYA, Noriyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies Tohoku University

Physicochemical state of H<sub>2</sub>O 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