

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 科学研究費助成事業

## 研究成果報告書



平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2012～2016

課題番号：24101010

研究課題名（和文）多元素同位体比分析による古代西アジアにおける古環境復元

研究課題名（英文）A multi-isotope approach for understanding paleo-environments in West Asia

研究代表者

丸岡 照幸（MARUOKA, Teruyuki）

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80400646

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,100,000 円

研究成果の概要（和文）：環境変動は人類の移動・拡散、文明盛衰に深く関与する。本研究では環境に関する情報を骨や歯などの考古資料から直接引き出すための多元素同位体比分析法の確立を目指した。高融点金属炉を導入することで、これまで多くの研究で不完全であったリン酸、炭酸、硫酸態酸素の高精度同位体分析が可能になった。突発的な環境変動を引き起こす要因となり得る、火山活動、隕石衝突、宇宙線強度変動が生物活動にどのような影響を与えうのか検討した。

研究成果の概要（英文）：Paleoenvironmental signals can be withdrawn from isotopic compositions of archeological materials, such as bones and teeth of animals and humans. In this project, we aim to establish multi-isotope approach for such materials. A high temperature furnace system was newly installed for a He continuous flow isotope ratio mass spectrometer (CF-IR-MS) for the analysis of oxygen stable isotope compositions in solid samples, especially those of phosphate, sulfate and carbonate, whose isotope compositions are currently difficult to determine. We discuss the following catastrophic events as the triggers that can induce the catastrophic environmental perturbations; (a) massive volcanism, (b) impact of extraterrestrial material, and (c) variation of cosmic ray flux. We aim to establish stable isotope studies to infer such trigger events that may affect human migrations and civilizations.

研究分野：同位体地球化学

キーワード：同位体 質量分析 環境変動解析

### 1. 研究開始当初の背景

環境変動が人類拡散や文明盛衰に関わることは想像できるが、どのような環境変動が関わっていたのか、その原因が何なのかを実際に読み取れたケースは少ない。環境変動について議論するためにはその時代に、その場所で形成された何らかの物質から情報を抽出する必要があるが、そのような物質が存在することが稀であることが理由であろう。

環境変動を記録する媒質として樹木年輪が利用されるが、対象とする地層に対象とする年代の年輪を含んだ樹木が“都合よく”出土することは極めてまれである。一方で、骨や歯は考古学において研究対象となる資料であり、そこから環境情報を引き出すことができれば、人類拡散や文明盛衰といった諸問題に関連する環境変動を資料から直接的に引き出すことになる。これまでの研究でも炭素・窒素の同位体を用いた研究などにより環境変動を捉える試みは行われてきたが、これらの指標だけで得られる情報は十分とは言えなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は骨や歯などの同一の考古資料から化学的情報を多数引き出す方法を確立することにある。同一試料からの多元素同位体比分析をもとに古代西アジアの環境復元を行い、環境変動が文明にどのような影響を与えているのか、そのような環境変動の要因は何なのかを議論する。

これまでの骨や歯から抽出されたコラーゲンの炭素・窒素同位体比測定が行われてきた。これらの同位体比を組み合わせることで主に（ヒトを含めた）動物の食性を復元し、それをもとに環境変動が理解されてきた。骨や歯などの生体試料にはこれら以外にも環境情報を記録している可能性があり、それを引き出すことを目標に研究を進めた。

### 3. 研究の方法

骨や歯のような生物起源の考古資料の同位体比分析としては、有機物（主にコラーゲン）の炭素・窒素の分析がこれまで多く行われてきた。これらは食性を反映することがよく知られている。窒素同位体( $\delta^{15}\text{N}$ )は栄養段階により変化することが把握されている。栄養段階とは“食べる”-“食べられる”の関係を数値化したもので、植物を1とし、それを食べる動物は2、それを食べる動物は3というようにカウントされる。栄養段階が1増加すると水圏生態系では3.3‰の $\delta^{15}\text{N}$ の上昇が起こることが知られている。炭素同位体( $\delta^{13}\text{C}$ )は植物の光合成の種類により、大きく異なる。光合成は利用される有機物をもとにC3回路、C4回路と分けられ、それぞれを利用する植物はC3植物、C4植物と分類されている。このC3植物、C4植物では平均で20%程度の $\delta^{13}\text{C}$ の違いがある。C4植物は高温・乾燥に強い傾向にあり、野生動物の骨などを利用する

と、その生育時の乾燥程度などを読み解くことが可能になる。また、C3・C4植物のそれぞれの作り出す有機物も、温度、湿度、栄養状態などの生育条件により $\delta^{13}\text{C}$ が変化する。このような炭素・窒素同位体を組み合わせた研究はその分析手法の発達もあり、多く進められてきた。一方でコラーゲンには硫黄、酸素、水素などの元素が含まれており、炭素・窒素以外の同位体比を含めた研究が可能である。コラーゲンの炭素・窒素は主成分であるが、それら以外は微量成分として含まれる。また、貴重資料からのサンプリングとなるため、微小試料の微量元素分析が必要となる。本研究では特に硫黄高感度同位体分析に取り組んでいる。骨や歯を利用する場合には主成分である、ヒドロキシアパタイト $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ の酸素同位体比も情報として利用できる。本研究でも中心課題として取り組んだ。

降水の酸素同位体は気温に左右される。寒冷な場所の $\delta^{18}\text{O}$ は低くなり、温暖な場所での $\delta^{18}\text{O}$ は高くなる。また、同じ場所でも季節により気温が違い、 $\delta^{18}\text{O}$ も季節ごとに变化する。水に含まれるリン酸の酸素同位体はその水の酸素同位体比を反映した値となるため、リン酸酸素同位体を用いることで当時の気温の復元が可能になる。動物の骨は形成後常に外部との交換があるが、歯は元素交換が起きにくい。このため動物の歯の成長線に沿った同位体比分析が可能になると、年間にわたる温度の変遷を得ることができる。

コラーゲンと同様に主成分だけでなく、アパタイトには微量元素として炭酸、硫酸イオンが含まれる。炭酸・硫酸はそれぞれ炭素・硫黄だけでなく、それらと結びついた酸素の同位体分析も利用することができる。

環境変動要因をどのように読み解くのかに関しても議論を行った。特に、生物活動に影響を大いに与えるような気候変動を起こす事象である、火山活動、隕石衝突、宇宙線強度変動に関して議論を進めた。火山活動や隕石衝突では大気に $\text{SO}_2$ を付加することが示されている。大気中 $\text{SO}_2$ ガス濃度の増加は淡水環境の堆積物にも影響を与える。 $\text{SO}_2$ は大気中で $\text{SO}_3$ を経て硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )へと変換される。この硫酸は、硫酸エアロゾルを形成し、雲核になり地表面に酸性雨として降下する。このような硫酸が淡水に入ると硫酸イオン濃度は増加する。湖沼の堆積物中では硫酸還元バクテリアの働きによって硫化水素( $\text{H}_2\text{S}$ )が形成され、最終的にパイライト( $\text{FeS}_2$ )として堆積物中に保存される。湖沼におけるパイライト生成量は硫酸イオン濃度が支配しており、硫酸イオン濃度が増加するとパイライト生成量が増加する。実際に近代の酸性雨の影響の目撃される地域の湖沼では、堆積物中のパイライト濃度の上昇が目撃されている。同様の議論は火山活動や隕石衝突で供給される硫酸イオンにおいても適用可能であり、本研究でも利用できる。火山灰は堆積

物に残る可能性があるが、原因となる火山に近いところでなければ残りにくい。一方で、火山ガスは全地球的にその影響が見いだせる。本研究では火山関連の堆積物や火山活動で生成される鉱床の同位体比測定を進めた。また植物体の硫黄同位体に関しても分析を行った。

大気に入り込む宇宙線強度が増加すると、大気と宇宙線の相互作用で一酸化窒素 ( $\text{NO}$ ) が生成される。また、隕石衝突においても、その隕石前面大気の断熱圧縮 (空力加熱) により  $\text{NO}$  が生成される。これらの  $\text{NO}$  は二酸化窒素 ( $\text{NO}_2$ ) へと酸化され、最終的に雨とともに硝酸として地表面に達する。酸としては微量であり、生物に直接的な影響はないと考えられるが、硝酸性窒素は栄養塩であるので、光合成を活発化する。また、宇宙線強度の増加により、雲量が増加し、日傘効果により低温化する (スベンスマルク効果)。このような“富栄養 + 低温”の組み合わせた環境変動を如何に読み解くのかを検討した。栄養塩の過剰は光合成において、植物の  $^{13}\text{C}$  の上昇を引き起こし、これが化石骨や堆積物に保存される。これと温度の指標となるリン酸  $\delta^{18}\text{O}$  を組み合わせることで“富栄養 + 低温”を捉えることができる。

#### 4. 研究成果

本研究で利用した連続フロー型安定同位体質量分析装置は炭素・窒素用にカスタマイズされており、他の同位体を測定するためには装置の一部を変更・改良する必要がある。特に、リン酸、炭酸、硫酸態酸素同位体比測定を目指して改良を行った。

炭素、窒素同位体比の測定では、それぞれ  $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$  ガスに変換し、質量分析計に導入される。この場合には、測定試料はスズ・カプセルを包み、酸素とともに 1000 程度の石英反応管に導入する。このスズの燃焼熱により試料を加熱することで  $\text{CO}_2$  や  $\text{N}_2$  が生成される。一方、酸素同位体比測定では測定すべき酸素は一酸化炭素 ( $\text{CO}$ ) ガスに変換するが、試料・カプセルを酸化することはできないので (試料起源酸素以外の酸素が混入するため) 燃焼熱は利用できない。そのために炉温度を炭素・窒素同位体分析よりも高く設定する必要がある。有機物酸素に関しては装置付属の高温炉 (最高温度 1300 ) と高温加熱用反応管 (アルミナ外管、グラッシーカーボン内管) を用いることで  $\text{CO}$  に変換することができる。一方、リン酸塩酸素に関しては 100% 変換が不可能であった。100% のガスが変換できない場合には、ガス抽出後に残る固体残渣に酸素が残り、次の試料の測定値に影響を及ぼすことになる。変換効率は温度に依存することが予想できるが、わずかな温度変化によっても変換効率や同位体分別が変化し、測定値に影響が出る。実際に、有機物酸素よりもリン酸酸素の  $\delta^{18}\text{O}$  のばらつきが大きくなっていた。このようなリン酸塩酸素同

位体比測定における問題点を解決するために、より高温に対応した反応炉を導入し、連続フロー型質量分析計に取り付けた。

本研究では、サンプルを反応管に導入するためのオートサンプラー部分は現有装置のものをそのまま利用できるようにした。このことによりソフトウェアの変更は不要である。導入した炉は堀口鉄工所により制作されたもので 2000 までの加熱実績がある。

これまでの反応管に用いられているアルミナ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + グラッシーカーボンという組み合わせでは、温度上昇に伴って反応管自体の反応により  $\text{CO}$  ガスが発生することが示されていた。このような状況を防ぐために、反応管を高融点金属製に変更することにした。通常の高温度炉ではタンタルが反応管として使われるが、タンタルは酸素との反応性が高いので、反応管にはタングステンを用いることにした。タングステンでも酸素雰囲気では加熱すると酸化するので、反応管の外側は真空状態にする必要がある。

導入した炉は 2000 までの加熱が可能であったが、一旦 2000 まで加熱するとその直後の冷却でタングステン管に“割れ”が生じた。反応管を新しいものに変えて以降は 1800 までの加熱で使用している。この温度でリン酸酸素は 100% の効率で  $\text{CO}$  に変換することが可能になった。また、この抽出炉を用いることで、炭酸カルシウムの酸素同位体分析も可能になった。炭酸  $\text{CO}_3^{2-}$  の 3 酸素原子うちの 2 原子のみが  $\text{CO}$  に変換され、残った酸素が後の分析に影響を及ぼしていた (メモリー効果と呼ばれる)。銀カプセルに添加剤として塩化銀を導入することですべての酸素を  $\text{CO}$  に変換することができた。リン酸の酸素同位体分析はリン酸銀を測定試料に用いるが、リン酸銀の同位体国際標準試料はないので、他の化学種の同位体を基準としなければならない。酸素の同位体は水もしくは炭酸カルシウムで確立されており、それらとの比較が必要であった。高温炉の導入で炭酸カルシウムにおいても 100% の変換が可能になったので、炭酸塩標準試料と比較することでリン酸でも正確な同位体比測定を行うことが可能になった。金属製高温炉の導入により炭酸塩鉱物、硫酸塩鉱物、リン酸塩鉱物において 100  $\mu\text{g}$  の酸素で 0.2‰ の精度での分析が可能になった。

炉温 1800 においては、珪酸塩酸素の  $\text{CO}$  への変換率は  $\text{AgCl}$  添加で 20% 程度、PTFE 添加で 60% 程度であった。この温度でも完全に変換するのは難しい。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  は  $\text{AgCl}$  の添加により 100% に近い変換効率であったが同位体比のばらつきが大きく、まだ検討が必要である。 $\text{KNO}_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  は  $\text{CO}$  への変換は容易であるが、 $\text{CO}$  と同じ  $m/z$  28 にピークを持つ  $\text{N}_2$  が発生する。これらは酸素抽出炉と質量分析計の間にあるガスクロマトグラフィーにより分離される。カラム温度で  $\text{CO}$ - $\text{N}_2$  分離効率が決まり、低温にするほど質量分析

計への到達時間に差が生じる。カラム温度を高温にするとピークに重なりが生じ、低温にするとピークが扁平になり測定精度が低下する。このために現状では含窒素物質の酸素同位体分析は成功していない。

酸素を例にとっても、コラーゲン、アパタイト両方に含まれる。アパタイトでも主成分のリン酸態以外にも、水酸化物イオン(OH<sup>-</sup>)、炭酸、硫酸に含まれる。それらは異なる同位体比を持ち、まとめて測定しては意味がない。このように同位体比測定はそれを保持する担体を分離した測定が必要となる。また、担体を分離するための化学処理により測定結果に影響が生じることもある。測定試料(例えば、リン酸の場合には Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>、硫酸の場合には BaSO<sub>4</sub>)や標準試料となる物質が吸湿することにより大気中の水に含まれる酸素が混入することもある。化学処理中を含めて目的とする化学種を高純度で単離するのは容易ではないが、高精度分析のためには不可欠である。化学処理中の他からの影響を評価するために、対象となる物質について繰り返し処理・測定ができる(国際)標準試料の準備が必要である。

硫黄に関して化学種別の同位体比分析が必要となる。硫黄のように価数が変化する元素は価数ごとに同位体比の変位は大きい。化学処理の途中に価数が変化して混入する場合がある。硫酸態(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)硫黄の価数は“+6”である。堆積物には黄鉄鉱(pyrite; FeS<sub>2</sub>)として含まれ、価数は“-1”となる。一般的な大気圧下では硫酸が安定であるが、化学処理の途中で硫化物が酸化されて硫酸に変わってしまうことが起こり得る。これが起こると硫酸態硫黄として測定した硫黄同位体に硫化物態硫黄が混入する。炭酸塩鉱物の化学組成分析用の国際標準試料である JLS-1, JCp-1, JCt-1 には、硫酸態、硫化物態硫黄が含まれており、これまで報告されているいくつかの化学操作で硫酸態硫黄の回収を試みた。国際標準試料を用いた回収実験は均質な試料を繰り返し測定することができるので、化学処理中の他成分の影響を評価するという目的には最適である。手順によっては硫酸態酸素に硫化物態硫黄の影響が出ることが示すことができた。

分析装置のセットアップと並行し、人類の拡散、絶滅(もしくは人口低下)に関わるような環境変動を検討するとともに、それを化学的指標で読み解くための方法論を検討した。人類移動や文明の衰退繁栄には気温変化が最も重要なファクターとなり得るが、気温変化が起こるのにも理由がある。そのような気候変動の要因として地球軌道要素が議論されることは多く、氷床コアや海洋堆積物コアから得られた 10 万年の氷期・間氷期サイクルや、2 万年、4 万年周期の気候変動はこれらで説明がつくとされている。しかし、気候変動を引き起こす要因はそれだけではない。最近の研究では、火山活動、隕石・彗星

といった地球外天体(隕石)衝突(大気圏内で消滅したものも含める)、さらに超新星爆発、ガンマ線バーストなどの天体現象が、気候変動の要因となりうるということが明らかになってきた。これら 3 現象と生物活動の関連をとりまめ、学術研究会・論文で発表することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 23 件)

[1] Teruyuki Maruoka, Takamasa Kawamoto, Takeshi Ohno, Yasuyuki Muramatsu, Hiroyuki Matsuzaki, Takuya Matsumoto, and Pradeep Aggarwal, Tritium and iodine-129 concentrations in precipitation at Tsukuba, Japan, after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *Geochemical Journal* 【査読有】, 印刷中

[2] Li Tang, M. Santosh, Toshiaki Tsunogae, Teruyuki Maruoka, Paleoproterozoic meta-carbonates from the central segment of the Trans-North China Orogen: Zircon U - Pb geochronology, geochemistry, and carbon and oxygen isotopes, *Precambrian Research* 【査読有】 284 (2016) 14-29 doi.org/10.1016/j.precamres.2016.08.001

[3] Yuya Izumino, Teruyuki Maruoka, Kazuo Nakashima, Effect of oxidation state on Bi mineral speciation in oxidized and reduced granitoids from the Uetsu region, NE Japan, *Mineralium Deposita* 【査読有】 51(2016) 603-618 doi:10.1007/s00126-015-0629-5

[4] Kei Ikehata; Teruyuki Maruoka, Sulfur isotopic characteristics of volcanic products from the September 2014 Mount Ontake eruption, Japan, *Earth, Planets and Space* 【査読有】 68/116 (2016) 1-7 DOI: 10.1186/s40623-016-0496-z

[5] Tomo Shibata, Teruyuki Maruoka, Takuya Echigo, Inferring origin of mercury inclusions in quartz by multifractal analysis, *Nonlinear Processes in Geophysics* 【査読有】 22(2015) 47-52 doi:10.5194/npg-22-47-2015

[6] Takanori Kagoshima, Yuji Sano, Naoto Takahata, Teruyuki Maruoka, Tobias P Fischer, Keiko Hattori, Sulphur geodynamic cycle, *Scientific Reports* 【査読有】 5 (2015) Article number: 8330 doi:10.1038/srep08330

[7] 丸岡 照幸, 同位体質量分析計を用いた環境変動解析, *Journal of the Mass Spectrometry Society of Japan* 【査読有】 62 (2014) 49-60 doi.org/10.5702/massspec.14-59

[8] 丸岡 照幸, 白亜紀末の大量絶滅イベントを引き起こした環境変動 地球化学が

らの制約, 日本生態学会誌【査読有】64 (2014) 63-75

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009810894>

[9] Takuya Matsumoto, Teruyuki Maruoka, Gen Shimoda, Hajime Obata, Hiroyuki Kagi, Katsuhiko Suzuki, Koshi Yamamoto, Takehiro Mitsuguchi, Kyoko Hagino, Naotaka Tomioka, Chinmaya Sambandam, Daniela Brummer, Philipp Martin Klaus, Pradeep Aggarwal, Tritium in Japanese precipitation following the March 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident, Science of The Total Environment【査読有】445-446 (2013) 365-370

[doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.069](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.069)

[10] Takaaki Itai, Teruyuki Maruoka, Minoru Kusakabe, Kenji Uesugi, Muneki Mitamura, Use of soil color meter for aqueous iron and ammonium measurements, Soil Science and Plant Nutrition【査読有】59 (2013) 450-454

DOI: 10.1080/00380768.2013.772887

〔学会発表〕(計52件)

[1] 丸岡照幸, 熱分解型元素分析装置付き同位体質量分析システムを利用した固体試料酸素同位体比分析, 日本質量分析学会同位体比部会研究会, 2016/11/16, さとみ温泉(秋田県秋田市)

[2] Kei Ikehata and Teruyuki Maruoka, Mineralogical and geochemical characteristics of the pyroclastic materials from the September 2014 Mount Ontake eruption, Japan, 2016 Geological Society of America, Annual Meeting, 2016/9/26, デンバー(アメリカ合衆国)

[3] Teruyuki Maruoka, Sachiko Agematsu, Katsuo Sashida and Niza Mat, A Multi-Isotope Approach to Understand Paleoenvironmental Perturbations of the Late Ordovician Mass Extinction Event, Goldschmidt Conference 2016, 2016/6/27, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

[4] Kei Ikehata, Kohsuke Chida, Theodore J. Bornhorst, Junichiro Ishibashi and Takafumi Hirata, Using copper isotopic composition to distinguish native copper formation mechanisms, 2015 Geological Society of America, Annual Meeting, 2015/11/3, Baltimore(USA)、

[5] Kei Ikehata, Junichiro Ishibashi and Takafumi Hirata, Copper isotope systematics of chalcopyrites in ancient and modern seafloor hydrothermal deposits, measured by a femtosecond LA-MC-ICP-MS, Society of Economic Geologist(SEG) 2015 Conference, 2015/9/28, Hobart(Australia)

[6] 池端 慶・丸岡照幸, 『御嶽山 2014 年噴火で放出された熱水変質鉱物の鉱物学的・地

球化学的特徴, 2015 年度資源地質学会年会, 2015/6/26 日, 東京大学(東京都文京区)

[7] 丸岡照幸, 固体試料の酸素同位体比分析のための連続フロー型同位体質量分析装置の開発, 第 63 回質量分析総合討論会, 2015/6/18, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

[8] 丸岡照幸, 連続フロー型同位体質量分析装置によるリン酸塩酸素同位体比分析, 日本質量分析学会同位体比部会研究会, 2014/11/27, 筑波山温泉旅館・一望(茨城県つくば市)

[9] 池端 慶・丸岡照幸・千田康介, 2014 年度同位体比部会, 『御嶽山 2014 年 9 月噴出物の鉱物学的・地球化学的特徴』, 2014 年 11 月 26 日, 筑波山温泉, 茨城県つくば市

[10] 池端 慶・丸岡照幸・千田康介, 御嶽山 2014 年 9 月噴出物の硫黄同位体比の特徴, 日本火山学会 2014 年秋季大会, 2014/11/2 日, 福岡大学(福岡県福岡市)

[doi.org/10.18940/vsj.2014.0\\_U17](https://doi.org/10.18940/vsj.2014.0_U17)

[11] 丸岡照幸, 上松佐知子, 指田勝男, 生物大量絶滅に関わる環境変動の解析: 軽元素安定同位体比分析によるアプローチ, 第 62 回質量分析総合討論会, 2014/05/16, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府吹田市)

[12] 丸岡照幸, 生体化学と宇宙・地球化学の接点, 日本質量分析学会同位体比部会研究会, 2013/12/4, 湯坂温泉郷・賀茂川荘(広島県竹原市)

[13] 丸岡照幸, 連続フロー型同位体質量分析装置による固体試料の酸素同位体比分析, 2013/12/4, 湯坂温泉郷・賀茂川荘(広島県竹原市)

[14] 丸岡照幸, 生物大量絶滅を引き起こした環境変動: 地球化学からの制約, 日本地質学会第 120 年学術大会, 2013/09/15, 東北大学(宮城県仙台市)

[15] 丸岡 照幸, 同位体質量分析を用いた環境変動解析に関する研究, 質量分析総合討論会, 2013/09/11, つくば国際会議場(茨城県つくば市)

[16] Kei Ikehata, Characteristics of hot spring water and carbonate deposit from the Obama hot spring in the Unzen Volcanic Area Global Geopark, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI) 2013 Scientific Assembly, 2013/7/24, かごしま県民交流センター(鹿児島県鹿児島市)

[17] 池端 慶, 銅同位体比局所分析法の開発と資源地質学への応用, 2013 年度資源地質学会年会, 2013/6/26, 東京大学(東京都文京区)

[18] 丸岡 照幸, 西尾 嘉朗, 小木 曾 哲, 鈴木 勝彦, 白亜紀-古第三紀(K-Pg)境界粘土層に含まれる銀及び銅含有粒子の化学状態分析, 日本地球化学会 2012 年度年会, 2012/09/12, 九州大学(福岡県福岡市)

〔図書〕(計3件)

[1] 丸岡照幸, 化学の目で読み解く古環境, 西アジア文明学への招待, 悠書館, 2014/12, pp.72-86

ISBN 978-4-903487-96-0

[2] 丸岡照幸, 大量絶滅と生命の進化, アストロバイオロジー - 宇宙に生命の起源を求めて(山岸明彦 編)化学同人, 2013/3/31, pp. 179-191

ISBN 9784759815047

[3] 丸岡照幸, 隕石衝突と生物大量絶滅、地球と宇宙の化学事典(日本地球化学会 編), 朝倉書店, 2012/9, pp. 33-34,

ISBN 978-4-254-16057-4

〔その他〕

アウトリーチ活動

[1] 丸岡照幸, 未来の地球の姿 - 過去・現在を理解して未来を予測する, 2015/12/22, 茨城県県民大学講座「46 億年の地球史について」講師, 茨城県県南生涯学習センター(茨城県土浦市)

[2] 丸岡照幸, 化学の目で読み解く古環境-同位体比から読み解く食性解析-, 2015/12/20, 出前授業、千葉県立佐原高等学校(千葉県香取市)

[3] 丸岡照幸, いん石クレーターをつくってみよう, 2015/12/8, 出前授業, 古河市立古河第一小学校(茨城県・古河市)

[4] 池端慶, マグマ発生と火山の噴火, 火山災害, 2015/12/1, 茨城県県民大学講座「46 億年の地球史について」講師, 茨城県県南生涯学習センター(茨城県土浦市)

[5] 丸岡照幸, 隕石クレーターを作ろう 隕石衝突と地球環境のかかわり, 2015/06/29, 出前授業, 創価高等学校(東京都小平市)

[6] 丸岡照幸, 地球に刻まれる縞々(しましま)のひみつ, 2015/3/22, 出前授業, 広尾学園中学校・高等学校(東京都港区)

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸岡 照幸 (Teruyuki Maruoka)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：80400646

(2)研究分担者

池端 慶 (Kei Ikehata)

筑波大学・生命環境系・助教

研究者番号：70622017

(3)連携研究者

柴田 智郎 (Tomo Shibata)

京都大学大学院・理学研究科・准教授

研究者番号：80446369

上松 佐知子 (Sachiko Agematsu)

筑波大学・生命環境系・准教授