

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2010～2014

課題番号：22224011

研究課題名(和文) 分子地球化学：原子レベルの状態分析に基づく地球と生命の進化史の精密解析

研究課題名(英文) Molecular Geochemistry: Analyses of Evolution of Earth and Life based on Speciation from Atomic Scale

研究代表者

高橋 嘉夫 (Takahashi, Yoshio)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10304396

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 54,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、XAFS法などにより固液界面での元素の局所構造を調べる(化学種解析)ことで、海洋での微量元素の固相への吸着反応に伴う元素の固液分配や同位体分別のメカニズム解明を解明し、それに基づいた精密な古海洋の酸化還元状態解析や海洋の酸化還元環境の変化に伴う元素の溶解度の変化などに関する研究を行った。その結果、Mo同位体比とW同位体比の複合的利用、Ce安定同位体比とCe異常の複合的利用、バライト中のセレンやヒ素の価数の比較などから、試料が生成した時の酸化還元状態をより定量的に推定できることを明らかにした。また固液界面への吸着構造とイオンの溶解性に明確な関係を見出し、その系統的理解を進めた。

研究成果の概要(英文)：We studied solid-water distribution and isotopic fractionation of trace elements during adsorption on solid media in seawater based on speciation analysis such as by X-ray absorption fine structure (XAFS). The distribution and isotopic information for various elements were interpreted systematically to establish accurate estimation methods of paleoredox condition and change of their concentrations under various redox conditions in seawater. In this study, following results were obtained: (i) multiple analyses of isotopes of Mo and W provide accurate redox information, (ii) combination of cerium stable isotope and degree of Ce anomaly can be also an accurate redox probe, (iii) oxidation states of selenium and arsenic in barite can contain redox information when the barite was precipitated, and (iv) a clear relationship was found between adsorption structure on the solid media and solubility of the elements during adsorption reactions.

研究分野：地球化学、環境化学

キーワード：化学種解明 XAFS モリブデン タングステン セリウム異常 酸化還元状態 セレン ヒ素

1. 研究開始当初の背景

地球化学の発展により、地球科学試料の元素濃度や同位体組成は様々に利用され、地球進化史の解明、物質循環研究、環境問題に対して多大な貢献をしてきている。しかしながら、こうしたデータはその数が増すにつれて、その数値の本質を顧みられることなく、盲目的に利用されている場合も多い。このような濃度や同位体組成は、様々な物理化学的・生物化学的なプロセスの最終結果として得られるので、その素過程を十分に吟味することで、これまでにない新たな知見が得られる可能性がある。我々の研究グループでは、原子・分子レベルでの元素の化学種を明らかにし化学的素過程を調べることで、マクロな現象の地球化学的本質を明らかにする研究を展開しており、このような分野を「分子地球化学」とよんで精力的に研究を行っている。特にこれまで適切な方法がなく、調べるのが困難だった固相や固液界面に存在する微量元素の化学状態を X 線吸収微細構造法 (XAFS) で調べることで、地球化学・環境化学的に様々な研究成果が得られている。特に本研究開始時までの研究で、XAFS に基づく固液界面での化学種の解明が、微量元素の海洋環境での同位体比の変動や海水中への元素の溶解性に直接つながることが分かりつつあった。

2. 研究の目的

本研究では、XAFS 法などにより固液界面での元素の局所構造を精密に調べる (化学種解析) ことで、海洋での微量元素の固相への吸着反応に伴う同位体分別のメカニズム解明を行うと共に、それに基づいた精密な古海洋の酸化還元状態解析を行うことを目的とした。一方、微量元素の水溶解性は固相への吸着反応に規定されるので、固液界面の元素の局所構造の情報を基に、元素の水溶解性を支配する因子を明らかにすることも目指した。こうした元素の固液分配を酸化的な海洋と還元的な海洋を想定した系で調べ、地球の進化に伴う酸化還元状態の変化により微量元素の溶解性がどのように変わったかを明らかにすることを目指した。そして、これらの結果と生体必須元素の変遷とを比較し、地球の酸化還元環境の変化史・元素の水溶解性・生命進化を関連づけた分子地球化学的・生物地球化学的研究を行った。

3. 研究の方法

研究代表者である高橋嘉夫は、研究の総括を行うと共に、放射光実験を担当し、博士課程の大学院生であった柏原輝彦氏 (現海洋研究開発機構研究員) や横山由佳氏らと協力して、以下の実験を遂行した。

(1) 実験室系でマンガン酸化物、水酸化鉄、炭酸カルシウム、パイライトなどに吸着されたモリブデン、タングステン、ヒ素、セレン、セリウムなどの吸着構造を、放射光を用いた広域 X 線吸収微細構造法 (EXAFS 法) および

X 線吸収端構造法 (XANES 法) で明らかにした。得られた局所構造の情報を基に、固液分配や同位体分別などの議論を進めた。

(2) 天然試料として、鉄マンガン団塊・クラスト、沖縄熱水域堆積物、熱水性硫化物などに含まれるモリブデン、希土類元素、鉄、マンガン、ヒ素などの元素の EXAFS および XANES を調べた。これらの実験は、本研究の骨格をなすものである。

(3) 研究分担者である谷水雅治氏の協力を得て、重元素同位体比 (セリウム、ネオジウム、サマリウムなどの軽希土類元素およびタングステンなど) を分析した。希土類元素の安定同位体比は、本研究課題推進中に新たに組み込んだ課題であり、これまで世界的に殆ど測定されることがなく、今後大きく発展する可能性もあるテーマである。さらに量子化学計算を用い、固液分配過程におけるモリブデン同位体比の分別の程度を定量的に計算する研究も行った。

4. 研究成果

主に以下の研究成果を得た。

(1) 海水-鉄マンガン酸化物間におけるモリブデン (Mo) の固液分配および同位体分別機構: XAFS による詳細な Mo 吸着種の構造解析から、(a) マンガン酸化物への吸着に伴って Mo は 4 面体 4 配位構造から 8 面体 6 配位構造の内圏錯体に変化する、(b) 水酸化鉄に対しては溶存 MoO_4^{2-} が四面体を保ったまま外圏錯体として吸着される、などのことが分かった。さらに天然の鉄マンガン酸化物中で Mo は、マンガン酸化物への吸着態と同じ局所構造を保持していることが分かり、鉄マンガン酸化物中の Mo のホスト相はマンガン酸化物であることが分かった。これらのことから、Mo の海洋環境での同位体分別の主要因は、天然の鉄マンガン酸化物中のマンガン酸化物相に取り込まれた Mo が 6 配位の吸着態に構造変化するためであることが分かった (Kashiwabara et al., 2011)。得られた構造に基づき、量子化学計算によりマンガン酸化物への MoO_4^{2-} の吸着に伴う同位体分別の程度を計算したところ、実測値を再現した (Ariga et al., in preparation)。これまで多くの研究でこの大きな同位体分別の計算が試みられてきたが、本研究で正しい構造を用いることにより、こうした計算結果が得られたことは、同位体分別メカニズムを解明する上で意義深い。

(2) 新規分析手法の導入によるタングステン (W) の XAFS 測定の実現および Mo との分配挙動の比較: 本研究では、蛍光分光 XAFS 法を導入することで W の構造情報の取得に初めて成功した。その結果、天然試料中の W は 8 面体の対称性を持った吸着態として存在すること、W は水酸化鉄とマンガン酸化物のどちらに対しても 8 面体の対称性を持った内圏錯体を形成すること、などが分かった (Kashiwabara et al., 2010, 2013)。これ

ら構造および分配実験データの比較から、MoとWは水酸化鉄に対する吸着構造が異なり、このことが海水-鉄マンガン酸化物間におけるWとMoの濃集率の違いを生むと考えられた。この結果から、W同位体比は水酸化鉄およびマンガン酸化物のどちらに吸着する場合でも分別することを示す。以上から、大気中の酸素濃度の増加に伴って海洋中で生成する水酸化鉄とマンガン酸化物に対して、Mo同位体比は後者の生成のみに応答し、W同位体比は両者の生成に応答すると予想される。マンガン酸化物は水酸化鉄に比べて酸素濃度が高くなければ生成しないので、様々な地球化学的試料に対してMoとWの同位体比の変動を比較することで、酸素濃度の上昇の歴史を詳細に解明できる可能性がある。

(3) セリウム (Ce) 安定同位体分別に基づく古酸化還元状態の解明の可能性：REEパターンに現れるCe異常は過去の酸化還元状態を推測する上で重要な指標となり得るため、これまで様々な研究が行われている。しかし、これまでの研究ではREEパターンに基づく定性的な議論しか行われていない上、Ce異常の生成プロセスは十分に理解できていない。本研究では、安定同位体比変動と価数変化を組み合わせ、Ce異常の生成にはどのような化学的プロセスがあるかを明らかにし、Ce安定同位体比を古酸化還元状態の指標として確立することを目的とした。その結果、酸化を伴わない吸着、酸化を伴う自発沈殿、酸化的吸着の順に、環境がより酸化的になるにつれて固液間でのCe安定同位体比の分別が大きくなること示された。この結果は、Ceの安定同位体比と化学状態を組み合わせることで酸化還元状態の変化を詳細に判別する有用なトレーサーとなり得ることを示す (Nakada et al., 2013)。Ce安定同位体に着目した古酸化還元トレーサーの提案は本研究が初めてであり、極めて独創性が高い。

(4) バクテリアが重希土類を濃縮する原因のEXAFS法による解明：希土類元素(REE)とバクテリアとの相互作用について、バクテリアと水の間の希土類元素の間のREE分配パターンは、中希土類元素(MREE)付近に極大を持ち、重希土類元素(HREE)で著しく増加する特徴的な形状を示す (Takahashi et al., 2007)。この研究に基づき、REEパターンが天然のバクテリア相の指標となることをより明確に示すために、EXAFS法からバクテリア表面のREE吸着サイトなどを特定する研究を行った。様々なREEでREE-O結合距離を比較し、リン酸基との結合を詳細に調べた結果は、HREEがバクテリアと強く結合することを示しており、これがバクテリアのREEパターンにおけるHREEの濃集をもたらすと考えられる。天然のバイオフィルムやバイオマットなどのREEパターンに見られるHREEの濃集も、これらのバクテリアに関連した物質に含まれるリン酸基が原因となっていると考えられた (Takahashi et al., 2010)。この研究

から発展して、リン酸基とREEの親和性に着目して、DNAを用いたレアアースの分離回収が可能であることを示す研究 (Takahashi et al., 2012) も進展し、特許3件を申請するに至った。

(5) 地球進化に伴う酸化還元状態の変化がモリブデンおよびタングステンの水溶解性に与える影響：海水中のMoおよびWの海洋での溶解性(溶存濃度)は、地球史を通じた酸化還元環境の変遷に伴い大きく変化したと考えられるが、還元的環境でのMoおよびWの溶解性については十分な研究がなされていない。そこで本研究では、MoおよびWの還元的海洋での水溶解性を支配する固相への分配挙動を明らかにするために4つの実験を行い、以下の知見を得た。(i) 還元的な海洋においてPyriteへの吸着がMoとWの溶解性を支配しており、(ii) Wよりも硫化物化しやすいMoがPyriteへ多く吸着することが明らかになった。従って、Pyriteが溶解性を支配している還元的海洋においてはMoが吸着によって取り除かれ、吸着しにくいWが溶存するため、MoよりもWの溶解性が高いことが示唆された。これは、鉄マンガン酸化物への吸着が支配的でWよりもMoの溶解性が高い現在の海洋とは対照的な結果である。この結果は、地球進化過程で海洋の酸化還元状態が変わることでMoとWの溶解性が大きく変化した可能性が高いことを示し、さらにこのことは、生物に必須な元素の時代による変遷とも関連があると推定される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計83件)

(*以下全て査読有)

- ① R. Marsac, M. Davranche, N. Briant, G. Morin, Y. Takahashi, G. Gruau, A. Dia, Effect of loading on the nature of the REE-humate complexes as determined by Yb^{3+} and Sm^{3+} L_{III} edge EXAFS analysis. *Chem. Geol.*, 396, 2015, 218.
- ② Y. Moritomo, T. Yasuda, K. Yonezawa, T. Sakurai, Y. Takeichi, H. Suga, Y. Takahashi, N. Inami, K. Mase, and K. Ono, Fullerene mixing effect on carrier formation in bulk-hetero organic solar cell. *Sci. Rep.*, 5, 2015, 9483, DOI: 10.1038/srep09483.
- ③ Y. Takahashi, K. Kondo, A. Miyaji, Y. Watanabe, Q. H. Fan, T. Honma, and K. Tanaka, Recovery and separation of rare earth elements using salmon milt, *PLoS One*, 9, 2014, e114858.
- ④ A. Manceau, M. Lanson, and Y. Takahashi, Mineralogy and crystal chemistry of Mn, Co, Ni, and Cu in a deep-sea Pacific polymetallic nodule, *Am. Mineral.*, 99, 2014, 2068-2083.
- ⑤ Q.H. Fan, Y. Takahashi, K. Tanaka, and A.

- Sakaguchi, An EXAFS Study on the Effects of Natural Organic Matter and the Expandability of Clay Minerals on Cesium Adsorption and Mobility, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 135, 2014, 49-65.
- ⑥ T. Kashiwabara, Y. Oishi, A. Sakaguchi, T. Sugiyama, A. Usui, and Y. Takahashi, Chemical processes for the extreme enrichment of tellurium into marine ferromanganese oxides, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 131, 2014, 150-163.
- ⑦ N. Yamaguchi, Y. Takahashi, T. Ohkura, Y. Maejima, and T. Arao, Arsenic distribution and speciation near rice roots influenced by iron plaques and redox conditions of the soil matrix, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 2014, 1549-1556.
- ⑧ S. Kikuchi, H. Makita, K. Takai, N. Yamaguchi, and Y. Takahashi, Characterization of Biogenic Iron Oxides Collected by the Newly Designed Liquid Culture Method using Diffusion Chambers, *Geobiology*, 12, 2014, 133-145.
- ⑨ R. Martinez, O. Pourret, and Y. Takahashi, Modeling of rare earth element sorption to the Gram positive *Bacillus subtilis* bacteria surface. *J. Colloid Interface Sci.*, 413, 2014, 106-111.
- ⑩ R. Nakada, K. Ogawa, N. Suzuki, S. Takahashi, and Y. Takahashi, Late Triassic compositional changes of aeolian dusts in the pelagic Panthalassa: Response to the continental climatic change, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 393, 2014, 61-75.
- ⑪ K. Tokunaga, Y. Yokoyama, and Y. Takahashi, Estimation of Se(VI)/Se(IV) ratio in water by the ratio recorded in barite, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14, 2013, 4826-4834.
- ⑫ R. Nakada, M. Tanimizu, and Y. Takahashi, Difference in the stable isotopic fractionations of Ce, Nd, and Sm during adsorption on iron and manganese oxides and its interpretation based on their local structures. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 121, 2013, 105-119.
- ⑬ Y. Takahashi, T. Furukawa, Y. Kanai, M. Uematsu, G. Zheng, and M. A. Marcus, Seasonal changes in Fe species and soluble Fe concentration in the atmosphere in the Northwest Pacific region based on the analysis of aerosols collected in Tsukuba, Japan. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 2013, 7695-7710.
- ⑭ T. Kashiwabara, Y. Takahashi, M. A. Marcus, T. Uruga, H. Tanida, Y. Terada, and A. Usui, Tungsten species in natural ferromanganese oxides related to its different behavior in oxic ocean from molybdenum. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 106, 2013, 364-378.
- ⑮ M. Tanaka, Y. Takahashi, N. Yamaguchi, K.-W. Kim, G. D. Zheng, and M. Sakamoto, The difference of diffusion coefficients in water for arsenic compounds at various pH and its dominant factors implied by molecular simulations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 105, 2013, 360-371.
- ⑯ R. Nakada, Y. Takahashi, and M. Tanimizu, An isotopic and speciation study on cerium during its solid-water distribution with implication for Ce stable isotope as a paleo-redox proxy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 103, 2013, 49-62.
- ⑰ S. Asaoka, Y. Takahashi, Y. Araki, and M. Tanimizu, Comparison of antimony and arsenic behavior in an Ichinokawa river water-sediment system. *Chem. Geol.*, 334, 2012, 1-8.
- ⑱ Y. Takahashi, K. Kondo, A. Miyaji, M. Umeo, T. Honma, and S. Asaoka, Recovery and separation of rare earth elements using columns loaded with DNA-filter hybrid. *Anal. Sci.*, 28, 2012, 985-992.
- ⑲ Y. Yokoyama, K. Tanaka, and Y. Takahashi, Differences in the immobilization of arsenite and arsenate into calcite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 91, 2012, 202-219.
- ⑳ N. Yoshida and Y. Takahashi, Land-surface contamination by radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *Elements*, 8, 2012, 201-206.
- ㉑ S. Mitsunobu, F. Shiraiishi, H. Makita, B. Orcutt, S. Kikuchi, B. Jorgensen, and Y. Takahashi, Bacteriogenic Fe(III) (oxyhydr) oxides characterized by synchrotron microprobe coupled with spatially-resolved phylogenetic analysis, *Environ. Sci. Technol.*, 46, 2012, 3304-3311.
- ㉒ A. G. Gault, S. Langely, A. Ibrahim, R. Renaud, Y. Takahashi, C. Boothman, J. R. Lloyd, I. D. Clark, F. G. Ferris, and D. Fortin, Seasonal changes in mineralogy, geochemistry and microbial community of bacteriogenic iron oxides (BIOS) deposited in a circumneutral wetland, *Geomicrobiol. J.* 29, 2012, 161-172.
- ㉓ Y. Takahashi, M. Higashi, T. Furukawa, and S. Mitsunobu, Change of iron species and iron solubility in Asian dust during the long-range transport from western China to Japan, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 2011, 11237-11252
- ㉔ T. Kashiwabara, Y. Takahashi, M. Tanimizu, and A. Usui. Molecular-scale mechanisms of distribution and isotopic fractionation of molybdenum between seawater and ferromanganese oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 75, 2011, 5762-5784
- ㉕ A. G. Gault, S. Langely, A. Ibrahim, R. Renaud, Y. Takahashi, C. Boothman, J. R.

- Lloyd, I. D. Clark, F. G. Ferris, and D. Fortin, Microbial and geochemical features suggest iron redox cycling within bacteriogenic iron oxide-rich sediments. *Chem. Geol.*, 281 (2011) 41-51.
- ②⑥ T. Furukawa and Y. Takahashi, Oxalate metal complexes in aerosol particles: implications for the hygroscopicity of oxalate-containing particles. *Atmos. Chem. Phys.*, 11 (2011) 4289-4301.
- ②⑦ S. Mitsunobu, Y. Takahashi, S. Utsunomiya, M. A. Marcus, S. C. Fakra, Y. Terada, T. Iwamura, and M. Sakata, Identification and characterization of Sb-bearing nanoparticles in natural soil near Sb mine tailing. *Am. Mineral.*, 96 (2011) 1171-1181.
- ②⑧ Y. S. Shimamoto, Y. Takahashi, and Y. Terada, Formation of organic iodine supplied as iodide in a soil-water system in Chiba, Japan. *Environ. Sci. Technol.*, 45 (2011) 2086-2091
- ②⑨ M. Tanimizu, Y. Araki, S. Asaoka, and Y. Takahashi, Determination of natural isotopic variation in antimony using inductively coupled plasma mass spectrometry for an uncertainty estimation of the standard atomic weight of antimony, *Geochem. J.*, 45 (2011) 27-32.
- ③⑩ F. Shiraishi, K. Okumura, Y. Takahashi, and A. Kano, Influence of microbial photo synthesis on tufa stromatolite formation and ambient water chemistry, SW Japan, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (2010) 5289-5304.
- ③⑪ K. Tanaka, Y. Tani, Y. Takahashi, M. Tanimizu, Y. Suzuki, N. Kozai, and T. Ohnuki, A specific Ce oxidation process during sorption of rare earth elements on biogenic Mn oxide produced by *Acremonium* sp strain KR21-2, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (2010) 5463-5477.
- ③⑫ K. Tsuji, K. Nakano, Y. Takahashi, K. Hayashi, and C-U. Ro, X-ray Spectrometry, *Anal. Chem.*, 82 (2010) 4950-4987.
- ③⑬ Y. Takahashi, M. Yamamoto, Y. Yamamoto, and K. Tanaka, EXAFS study on the cause of enrichment of heavy REEs on bacterial cell surfaces, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 74 (2010) 5443-5462.
- ③⑭ S. Mitsunobu, Y. Takahashi, Y. Terada, and M. Sakata, Antimony(V) incorporation into synthetic ferrihydrite, goethite, and natural Fe oxyhydroxides, *Environ. Sci. Technol.*, 44 (2010) 3712-3718.
- ③⑮ S. Mitsunobu, Y. Takahashi, and Y. Terada, micro-XANES evidence for reduction of Sb(V) to Sb(III) in soil formed in Sb mine tailing, *Environ. Sci. Technol.*, 44 (2010) 1281-1287.
- ③⑯ Y. Yamamoto, Y. Takahashi, and H. Shimizu, Systematic change in relative stabilities of REE-humic complexes at various metal loading levels. *Geochem. J.* 44 (2010) 39-63.
- [学会発表] (計 215 件)
- ① Y. Takahashi, Molecular environmental geochemistry: a bridge between atomic- and macro-scale phenomena, The 74th Okazaki Conference "Frontier of X-ray Absorption Spectroscopy and Molecular Science", 2015 年 2 月 5 日, 分子科学研究所 (愛知県岡崎市) .
- ② Y. Takahashi, Speciation of Elements in Aerosols related to the Neutralization of Acid Rain, Global Cooling Effect, and Iron Supply to the Pacific Ocean, 2014 International Aerosol Conference, 2014 年 8 月 30 日, 釜山 (韓国) .
- ③ Y. Takahashi and N. Yoshida (2014) Migration of Radionuclides in Land-Surface in Fukushima: Mechanisms of Secondary Transport, Goldschmidt 2015, 2014 年 6 月 10 日, サクラメント (米国) ..
- ④ Y. Takahashi, Q. Fan, A. Sakaguchi, Y. S. Togo, and K. Tanaka, Migration of radiocesium and radioiodine in soil-water-river system related to Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant Accident, Goldschmidt2013, 2013 年 8 月 29 日, フィレンツェ (イタリア) .
- ⑤ Y. Takahashi, Changes of Ca and Fe species in Asian dust during its transport to the Pacific Ocean related to neutralization of acid rain and Fe solubility, AOGS-AGU (WPGM) Joint Assembly 2012, 2012 年 8 月 17 日, シンガポール.
- ⑥ Y. Takahashi (2012) XAFS applications to environmental & resource studies, The 6th Asia-Oceania Forum for Synchrotron Radiation Research (AOFSSR 2012), 2012 年 8 月 8 日, バンコク (タイ) .
- ⑦ Y. Takahashi (2012) speciation of elements in aerosols by XAFS related to the neutralization of acid rain, cooling effect, and iron supply to the Pacific Ocean, The 15th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (XAFS15), 2012 年 7 月 23 日, 北京 (中国) .
- ⑧ Y. Takahashi (2012) Speciation of elements in aerosols by XAFS related to the neutralization of acid rain, cooling effect, and iron supply to the Pacific Ocean, 27th International symposium on environmental analytical chemistry, 2012 年 5 月 24 日, アントワープ (ベルギー) .
- ⑨ Y. Takahashi, K. Tanaka, A. Sakaguchi, and Y. S. Shimamoto, A Preliminary Study on the Vertical Distributions of Radioiodine and Radiocesium in Soils, 2011 年 5 月 24 日、IUPAC International Congress on Analytical Sciences (ICAS2011) , 京都国際会議場

- (京都市) .
- ⑩ Y. Takahashi, Sensitive measurement of fluorescence XAFS using bent crystal analyzer and its application to radiogenic osmium in molybdenite. 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月16日, ハワイ (米国) .
- ⑪ Y. Takahashi, Rare Earth element patterns as biomineralization probes, Goldschmidt Conference 2010, 2010年6月14日, Goldschmidt Conference 2010, ノックスビル (米国) .

[図書] (計6件)

- ① 高橋嘉夫, 地球を救うメタルバイオテクノロジー—微生物と金属資源のはなし—, 成山堂書店 (2014) 242頁 (分担執筆) .
- ② 高橋嘉夫, 原発事故環境汚染—福島第一原発事故の地球科学的側面—, 東大出版会 (2014) 312頁 (分担執筆) .
- ③ 佐野有司・高橋嘉夫, 地球化学, 共立出版 (2013) 322頁 (分担執筆) .
- ④ 高橋嘉夫, 宇宙と地球の化学事典, 朝倉書店 (2012) 479頁 (編集、分担執筆) .
- ⑤ 高橋嘉夫・近藤和博, レアアースの最新技術動向と資源戦略, シーエムシー出版 (2011) 213頁 (分担執筆) .
- ⑥ 高橋嘉夫, 地球化学実験法, 地球化学講座8, 培風館 (2010) 332頁 (分担執筆) .

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

- ① 名称: レアアースの回収方法
名称: 核酸のゲル化沈殿による希土類金属の回収方法
発明者: 近藤和博, 高橋嘉夫, 宮地亜沙美
権利者: アイシン精機株式会社、国立大学法人広島大学
種類: 特許
番号: 特願 2012-228261
出願年月日: 平成 24 年 10 月 15 日
国内外の別: 国内
- ② 名称: レアアースの回収方法
発明者: 高橋嘉夫, 宮地亜沙美, 近藤和博
権利者: 国立大学法人広島大学、アイシン精機株式会社
種類: 特許
番号: 特願 2012-085321
出願年月日: 平成 24 年 4 月 4 日
国内外の別: 国内
- ③ 名称: 希土類金属回収材および希土類金属回収方法

発明者: 近藤和博, 高橋嘉夫, 浅岡聡
権利者: アイシン精機株式会社、国立大学法人広島大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-037488
出願年月日: 平成 23 年 2 月 23 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計1件)

- ① 名称: 希土類金属回収材および希土類金属回収方法
発明者: 近藤和博, 高橋嘉夫, 浅岡聡
権利者: アイシン精機株式会社、国立大学法人広島大学
種類: 特許
番号: 特許 5713390 号
出願年月日: 平成 23 年 2 月 23 日
取得年月日: 平成 27 年 3 月 20 日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等
<http://www-gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~environment/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 嘉夫 (TAKAHASHI, Yoshio)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号: 10304396

(2) 研究分担者

谷水 雅治 (TANIMIZU, Masaharu)
海洋研究開発機構・高知コア研究所・サブリーダー
研究者番号: 20373459

坂口 綾 (SAKAGUCHI, Aya)
筑波大学・数理物質科学研究科・准教授
研究者番号: 00526254

植木 龍也 (UEKI, Tatsuya)
広島大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 10274505

勝本 之晶 (KATSUMOTO, Yukiteru)
広島大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 90351741

光延 聖 (MITSUNOBU, Satoshi)
静岡県立大学・環境科学研究所・助教
研究者番号: 70537951