

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25550013

研究課題名(和文)地球温暖化精密予測に向けた高分解能X線顕微鏡によるエアロゾル中の吸湿性化学種同定

研究課題名(英文) Speciation of hygroscopic species in aerosols by X-ray microscopy for the precise prediction of global warming

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地球温暖化の精密予測のためには、エアロゾルの吸湿特性とそれによる地球冷却効果の理解が不可欠である。こうしたエアロゾルの吸湿性の理解には、エアロゾルの化学特性の把握が重要であり、個別粒子中の様々な元素の化学種解析が必須となる。この目的のためには、高い空間分解能で化学種分析が可能な走査型透過X線顕微鏡(STXM)の利用が有効であり、本研究では、Photon FactoryのBL-15AでのSTXMの様々なシステム整備を行うと共に、UVSORのBL4UIに設置されたSTXMを用いて、エアロゾル個別粒子中のカルシウムおよび硫黄化学種の解析を行い、これらの元素が受けた化学過程の解明を行った。

研究成果の概要(英文)：Evaluation of hygroscopic characteristics of aerosols is very important for the precise prediction of global warming effect. To understand the cooling effect of hygroscopic aerosols that can become cloud condensation nuclei (CCN), precise determination of chemical species such as sulfate and organic matter is important. For this purpose, scanning transmission X-ray microscopy (STXM) is a powerful tool that can identify various chemical species with spatial resolution better than 50 nm. The application of STXM in a new beamline BL-15A was developed in Photon Factory in this study. We have also employed a new STXM system for the determination of sulfur and calcium species in aerosols. As a result, identification of sulfate and oxalate species was identified for calcium species in aerosols that should be produced by the neutralization of calcium carbonate in mineral aerosols. As for the speciation of sulfur, ammonium and calcium salt for sulfate species was identified in aerosols.

研究分野：地球化学、環境化学

キーワード：化学種解明 XAFS エアロゾル STXM カルシウム 硫黄

### 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化の将来予測を正確に行うことは、地球環境問題の中でも最重要な課題の1つである。この予測の中で、エアロゾルの影響、特に間接的冷却効果(エアロゾルが雲の生成を促し地球を冷やす効果; 雲アルベド効果とも呼ばれる)には、最も大きな不確実性が見込まれている。特に硫酸エアロゾルや有機エアロゾル(主にシュウ酸エアロゾルなど)は、吸湿性で雲凝結核(CCN; Cloud Condensation Nuclei)となるため、間接的冷却効果の主要な担い手であり、盛んに研究がなされている(Satheesh and Moorthy, 2005)。我々は最近X線吸収スペクトル(XAFS)の測定から、間接的冷却効果があるとされるシュウ酸が、実際には不溶性(=吸湿性はない)のシュウ酸-金属錯体として存在することを見出した(Furukawa and Takahashi, 2011)。この結果は、シュウ酸エアロゾルの間接的冷却効果が従来の予測よりもはるかに小さいことを示唆しており、精密な温暖化予測のために重要である。

### 2. 研究の目的

1と同様の議論は硫酸エアロゾルでも重要であると予想され、今後エアロゾル中の硫酸塩やシュウ酸塩の化学種の同定が、温暖化研究において重要になると予測される。しかし化学種の情報を得ることは他の手法では困難であり、XAFSの利用が不可欠である。またエアロゾル粒子は、実際には無機物(主に硫酸イオン)と有機物(黒色炭素など)が内部混合することで吸湿性が変化する(Adachi and Buseck, 2008)。従って今後は、個々の粒子中の硫酸塩やシュウ酸塩の化学種解析とその分布状態や、有機-無機混合のパラメータであるO/C比(Massoli et al., 2010)のマッピングを行う必要がある。しかし、これが可能なX線顕微鏡は国内には存在せず、特に硫黄などを対象にした高分解能X線顕微鏡は世界的にも殆ど例がない。この要請に対し、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光実験施設(Photon Factory)では、硫黄などを対象にした新ビームライン BL-15Aを建設することになり、2013年から $\mu$ -XRF-XAFS法の開発を進めている。一方で申請者らは、2012年度までの経済産業省の研究資金で、硫黄、炭素、カルシウムなどを対象にした高分解能X線顕微鏡(走査型透過X線顕微鏡; Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM))を開発中であり、BL-15Aの利用を計画している。これが利用可能となれば、硫黄や炭素、カルシウムの化学種解析を強力に推進することができる。

### 3. 研究の方法

本研究ではまず、2012年度より開発中の高分解能X線顕微鏡(走査型透過X線顕微鏡; STXM)を、Photon FactoryのBL-13AおよびBL-15Aで利用する。特に硫黄のエネルギー領

域でのX線の集光や検出系の開発を進める。ただし、当初計画とは異なり、BL-15Aの開発には予想外の障害が多く発生したため、硫黄のL端XANESの測定は、分子科学研究所UVSORのBL4UのSTXMでも行った。これらの装置を用いて、エアロゾル中の硫黄、カルシウム、炭素などの化学種を50 nm程度の高空間分解能で調べた。

### 4. 研究成果

Photon FactoryのBL15Aは、関係者の多大な努力にも関わらず、ビームの位置の変動が大きく、まだ十分に顕微分光に応用できる状態にはない。そこで本研究では、ビームラインの開発を行うと同時に、本研究で提案した実際の実験については、本研究と同時期に開発が進んだUVSORのBL4Uに設置されているSTXMを用い、炭素K端、硫黄L端、カルシウムL端などのXANES測定を行った。測定は常温・大気圧下で行った。

放射光をフレネルゾーンプレートで微小スポットに集光し、透過したX線強度を試料スキャンして検出することにより元素イメージングを行なった。X線のエネルギーをスキャンしながら元素分布を取得するイメージスタック法により、各部位のXANESスペクトルも得た。なお、STXMでは主に透過法での測定となるため、試料の厚みが重要となる。特にエアロゾルの場合、炭酸カルシウムなどの粗大粒子は数ミクロンの大きさがあり、X線が透過しない。そのため、測定試料の一部は、FIBによる試料作製を行った。またX線が十分に透過する微細粒子は、TEM用銅メッシュに採取して、分析に供した。

2014年春に東広島で採取した数ミクロンの粒子について、まずCa L端の分析を行った。その結果、炭酸カルシウム粒子を取り囲むようにシュウ酸カルシウムおよび硫酸カルシウムが存在していることが分かった。これは炭酸カルシウムが大気中を長距離輸送される際に、シュウ酸や硫酸などの酸性物質と反応した結果であると考えられる。またこうした不溶性物質に取り囲まれることで、反応性の高い炭酸カルシウムも大気中で残存したと考えられる。

次に0.69-1.3  $\mu$ mの粒径の試料について同様の実験を行ったところ、これら微細粒子に含まれる硫黄化合物は殆どが硫酸アンモニウムであることが分かった。これらは炭酸カルシウムなどの鉱物粒子と反応して生成したものではなく、大気中の液滴中で生成したものと考えられる。

このように同じ硫酸エアロゾルでも、粒径に依存して、鉱物表面での反応生成物である場合と、液滴中で生成した中和生成物である場合があることが分かった。

### 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 49 件、すべて査読有)

S. Kikuchi, H. Makita, U. Konno, F. Shiraishi, A. Ijiri, K. Takai, M. Maeda, Y. Takahashi, Limited reduction of ferrihydrite encrusted by goethite in a freshwater sediment. *Geobiology*, 2016, 1-16,

DOI:0.1111/gbi.12181.

Z. W. Zhang, G. D. Zheng, Y. Takahashi, C. Q. Wu, C. F. Zheng, J. H. Yao, C. Y. Xiao, Extreme enrichment of rare earth elements in hard clay rocks and its potential as a resource. *Ore Geol. Rev.*, 72, 2016, 191-212,

DOI: 10.1016/j.oregeorev.2015.07.018.

Y. Moritomo, K. Yonezawa, T. Sakurai, T. Yasuda, Y. Takeichi, H. Kamioka, H. Suga, Y. Takahashi, Y. Yoshida, N. Inami, K. Mase, K. Ono, Morphology of F8T2/PC71BM blend film as investigated by Scanning Transmission X-ray Microscope (STXM). *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 620, 2016, 32-37,

DOI: 10.1080/15421406.2015.1094854.

R. Nakada, A. Waseda, F. Okumura, Y. Takahashi, Impact of the decarboxylation reaction on rare earth elements binding to organic matter: From humic substances to crude oil. *Chem. Geol.*, 420, 2016, 231-239,

DOI:10.1016/j.chemgeo.2015.11.021.

K. Fukushi, M. Sakai, T. Munemoto, Y. Yokoyama, Y. Takahashi, Arsenate sorption on monohydrocalcite by coprecipitation during transformation to aragonite. *J. Hazardous Mat.*, 304, 2016, 110-117,

DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.10.019.

Y. Takeichi, N. Inami, H. Suga, C. Miyamoto, T. Ueno, K. Mase, Y. Takahashi, K. Ono, Design and performance of a compact scanning transmission X-ray microscope at the Photon Factory. *Rev. Sci. Instrum.*, 87, 2016, 013704, DOI: 10.1063/1.4940409.

Y. Takahashi, Y. Hayasaka, K. Morita, T. Kashiwabara, R. Nakada, M. A. Marcus, K. Kato, K. Tanaka, H. Shmizu, Transfer of rare earth elements (REE) from manganese oxides to phosphates during early diagenesis in pelagic sediments inferred from REE patterns, X-ray absorption spectroscopy, and chemical leaching method. *Geochem. J.*, 49, 2015, 653-674, DOI: 10.2343/geochemj.2.0393.

Y. Watanabe, Y. Takahashi, An Experimental Study of Stabilization of Trivalent Thallium by Natural Organic Matters. *Chem. Lett.*, 44, 2015,

1356-1358, DOI:10.1246/cl.150551.

Y. Moritomo, T. Yasuda, K. Yonezawa, T. Sakurai, Y. Takeichi, H. Suga, Y. Takahashi, N. Inami, K. Mase, K. Ono, Fullerene mixing effect on carrier formation in bulk-hetero organic solar cell. *Sci. Rep.*, 5, 2015, 9483, DOI: 10.1038/srep09483.

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<sup>3+</sup> and Sm<sup>3+</sup> LIII edge EXAFS analysis. *Chem. Geol.*, 396, 2015, 218-227, DOI: 0.1016/j.chemgeo.2014.12.024.

A. Das, Y. Takahashi, A. Tanaki, Application of X-ray Absorption Fine Structure (XAFS) spectroscopy to speciation of Lead (Pb) contaminants in plastics. *Bull. Chem. Soc. Jap.*, 88, 2015, 341-345,

DOI:10.1246/bcsj.20140272.

S. Mitsunobu, M. Zhu, Y. Takeichi, T. Ohigashi, H. Suga, H. Makita, M. Sakata, K. Ono, Y. Takahashi, Nano-scale identification of extracellular organic substances at microbe-mineral interface by scanning transmission X-ray microscopy (STXM). *Chem. Lett.*, 44, 2015, 91-93,

DOI:10.1246/cl.140880.

K. Tanaka, H. Iwatani, A. Sakaguchi, Q. Fan, Y. Takahashi, Size-dependent distribution of radiocesium in riverbed sediments and its relevance to the migration of radiocesium in river systems after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ., Radioactivity*, 139, 2015, 390-397,

DOI:10.1016/j.jenvrad.2014.05.002.

Y. Onda, H. Kato, M. Hoshi, Y. Takahashi, Minh-Long Nguyend, Soil sampling and analytical strategies for mapping fallout in nuclear emergencies based on the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioactivity*, 139, 2015, 300-307, DOI:10.1016/j.jenvrad.2014.06.002.

A. Sakaguchi, K. Tanaka, H. Iwatani, H. Chiga, Q. Fan, Y. Onda, Y. Takahashi, Size distribution studies of <sup>137</sup>Cs in river water in the Abukuma riverine system following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *J. Environ. Radioactivity*, 139, 2015, 379-389, DOI:10.1016/j.jenvrad.2014.05.011.

X. F. Xu, G. D. Zheng, S. Li, Y. Takahashi, G. Shen, D. Dermatas, A quantitative XANES evaluation of the

- TCLP applicability in phosphate-induced lead stabilization for firing range soils. *Environ. Earth Sci.*, 73, 2015, 1641-1647, DOI:10.1246/cl.140880.
- S.-H. Lee, K.-W. Kim, H. Choi, Y. Takahashi, Simultaneous photooxidation and sorptive removal of As(III) by TiO<sub>2</sub> supported layered double hydroxide. *J. Environ. Manage.*, 161, 2015, 228-236, DOI:10.1016/j.jenvman.2015.06.049.
- T. Imaoka, K. Nakashima, A. Kamei, Y. Hayasaka, Y. Ogita, T. Ikawa, T. Itaya, Y. Takahashi, H. Kagami, Anatomy of the cretaceous hobenzan pluton, SW Japan: Internal structure of a small zoned pluton, and its genesis. *Lithos*, 201, 2014, 81-103, DOI:10.1016/j.lithos.2014.09.002.
- Q. Fan, N. Yamaguchi, M. Tanaka, H. Tsukada, Y. Takahashi, Relationship between the adsorption species of cesium and radiocesium interception potential in soils and minerals: An EXAFS study. *J. Environ. Radioactivity*, 13, 2014, 92-100, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2014.08.009.
- Nakada, T. Shirai, S. Takahashi, N. Suzuki, K. Ogawa, Y. Takahashi, A geochemical constraint on the formation process of a manganese carbonate nodule in the siliceous mudstone of the Jurassic accretionary complex in the Mino Belt. *J. Asian Earth Sci.*, 96, 2014, 59-68, DOI: 10.1016/j.jseaes.2014.08.032.
- ②① Q. H. Fan, K. Tanaka, A. Sakaguchi, H. Kondo, N. Watanabe, and Y. Takahashi, Factors controlling radiocesium distribution in river sediments: Field and laboratory studies after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Appl. Geochem.*, 48, 2014, 93-103, DOI: 10.1016/j.apgeochem.2014.07.012.
- ②② J. Ishibashi, T. Noguchi, T. Toki, S. Miyabe, S. Yamagami, Y. Onishi, T. Yamanaka, Y. Yokoyama, R. Omori, Y. Takahashi, K. Hatada, J. Nakaguchi, M. Yoshizaki, U. Konno, T. Shibuya, K. Takai, F. Inagaki, S. Kawagucci, Similarity and diversity of fluid geochemistry in active hydrothermal fields in the Izena Cauldron, in the middle Okinawa Trough back-arc basin. *Geochem. J.*, 48, 2014, 357-369, DOI: 10.2343/geochemj.2.0311.
- ②③ A. Manceau, M. Lanson, 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, DOI: 10.2138/am-2014-4742.
- ②④ H. Suga, Q. Fan, Y. Takeichi, K. Tanaka, H. Kondo, V. V. Kanivets, A. Sakaguchi, K. Kato, N. Inami, K. Mase, K. Ono, Y. Takahashi, Characterization of particulate matters in the Pripyat River in Chernobyl related to its adsorption of radiocesium with inhibition effect by natural organic matter. *Chem. Lett.*, 43, 2014, 1128-1130, DOI: 10.1246/cl.140222.
- ②⑤ A. Sakaguchi, P. Steier, Y. Takahashi, M. Yamamoto, Isotopic Compositions of <sup>236</sup>U and Pu Isotopes in "Black Substances" Collected from Roadsides in Fukushima Prefecture: Fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. *Environ. Sci. Technol.*, 48, 2014, 3691-3697, DOI: 10.1021/es405294s.
- ②⑥ K. Tanaka, H. Iwatani, A. Sakaguchi, Y. Takahashi, Y. Onda, Relationship between particle size and radiocesium in fluvial suspended sediment related to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 301, 607-613, DOI: 10.1007/s10967-014-3159-1
- ②⑦ Y. Moritomo, T. Sakurai, T. Yasuda, Y. Takeichi, K. Yonezawa, H. Kamioka, H. Suga, Y. Takahashi, Y. Yoshida, N. Inami, K. Mase, K. Ono, Molecular mixing in donor and acceptor domains as investigated by scanning transmission X-ray microscopy. *Appl. Phys. Express*, 7, 2014, 052302, DOI: 10.1021/es405294s.
- ②⑧ Q.H. Fan, Y. Takahashi, K. Tanaka, 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, DOI: 10.1016/j.gca.2014.02.049.
- ②⑨ T. Kashiwabara, Y. Oishi, A. Sakaguchi, T. Sugiyama, A. Usui, Y. Takahashi, Chemical processes for the extreme enrichment of tellurium into marine ferromanganese oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 131, 2014, 150-163, DOI:doi:10.1016/j.gca.2014.01.020.
- ③⑩ N. Yamaguchi, T. Ohkura, Y. Takahashi, Y. Maejima, 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. DOI:10.1021/es402739a.

- ③① M. Tanaka, Y. S. Shimamoto, N. Yamaguchi, Y. Takahashi, An EXAFS study on the adsorption structure of phenyl-substituted organoarsenic compounds on ferrihydrites. *J. Colloid Interface Sci.*, 415, 2014, 13-17, DOI: doi:10.1016/j.jcis.2013.10.006.
- ③② S. Kikuchi, H. Makita, K. Takai, N. Yamaguchi, Y. Takahashi, Characterization of Biogenic Iron Oxides Collected by the Newly Designed Liquid Culture Method using Diffusion Chambers. *Geobiology*, 12, 2014, 133-145, DOI:10.1111/gbi.12073.
- ③③ R. Martinez, O. Pourret, Y. Takahashi, Modeling of rare earth element sorption to the Gram positive *Bacillus subtilis* bacteria surface. *J. Colloid Interface Sci.*, 413, 2014, 106-111, DOI: doi:10.1016/j.jcis.2013.09.037.
- ③④ Y. Takeichi, N. Inami, H. Suga, K. Ono, Y. Takahashi, Development of a Compact Scanning Transmission X-ray Microscope (STXM) at the Photon Factory. *Chem. Lett.*, 43, 2014, 373-375, DOI: 10.1246/cl.130948.
- ③⑤ R. Nakada, K. Ogawa, N. Suzuki, S. Takahashi, 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. DOI: 10.1016/j.palaeo.2013.10.014.
- ③⑥ T. Kashiwabara, R. Toda, K. Fujinaga, T. Honma, Y. Takahashi, Y. Kato, Determination of Host Phase of Lanthanum in Deep-sea REY-rich Mud by XAFS and  $\mu$ -XRF using High-energy Synchrotron Radiation. *Chem. Lett.*, 43, 2014, 199-200, DOI: 10.1246/cl.130853.
- ③⑦ K. Sakata, A. Sakaguchi, M. Tanimizu, Y. Takaku, Y. Yokoyama, Y. Takahashi, Identification of sources of lead in the atmosphere by chemical speciation using X-ray absorption near-edge structure (XANES) spectroscopy. *J. Environ. Sci.*, 26, 2014, 343-352, DOI: 10.1016/S1001-0742(13)60430-1.
- ③⑧ Y. Takahashi, K. Kondo, A. Miyaji, Y. Watanabe, Q. H. Fan, T. Honma, K. Tanaka, Recovery and separation of rare earth elements using salmon milt. *PLoS One*, 9, 2014, e114858, DOI: 10.1371/journal.pone.0114858.
- ③⑨ K. Tanaka, H. Iwatani, Y. Takahashi, A. Sakaguchi, K. Yoshimura, Y. Onda, Investigation of spatial distribution of radiocesium in a paddy field as a potential sink. *PLoS One*, 8, 2013, e80794, DOI: journal.pone.0080794.
- ④⑩ R. Nakada, M. Tanimizu, 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, DOI:10.1016/j.gca.2013.07.014.
- ④⑪ Y. Takahashi, T. Furukawa, Y. Kanai, M. Uematsu, G. Zheng, 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, DOI:10.5194/acp-13-7695-2013.
- ④⑫ K. Tokunaga, Y. Yokoyama, S. Kawagucci, A. Sakaguchi, Y. Terada, Y. Takahashi, Selenium Coprecipitated with Barite in Marine Sediments as a Possible Redox Indicator. *Chem. Lett.*, 42, 2013, 1068-1069, DOI:10.1246/cl.130399.
- ④⑬ M. Tanaka, D. Ariga, Y. Takahashi, Estimation of pKa of selenic acid by the correlation of experimental pKa values with those estimated by DFT calculation for inorganic oxoacids. *Chem Lett.*, 42, 2013, 912-914, DOI:10.1246/cl.130289.
- ④⑭ T. Kashiwabara, Y. Takahashi, M. A. Marcus, T. Uruga, H. Tanida, Y. Terada, 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, DOI: 10.1016/j.gca.2012.12.026.
- ④⑮ M. Tanaka, Y. Takahashi, N. Yamaguchi, K.-W. Kim, G. D. Zheng, M. Sakamitsu, 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, DOI: 10.1016/j.gca.2012.12.004.
- ④⑯ R. Nakada, Y. Takahashi, 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, DOI:10.1016/j.gca.2012.10.045.
- ④⑰ K. Tanaka, H. Iwatani, A. Sakaguchi, Y. Takahashi, Y. Onda, Local distribution of radioactivity in tree leaves contaminated by fallout of the radionuclides emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

J. Radioanal. Nucl. Chem., 295, 2013, 2007-2014,

DOI: 10.1007/s10967-012-2192-1.

- ④⑧ K. Tanaka, A. Sakaguchi, Y. Kanai, H. Tsuruta, A. Shinohara, Y. Takahashi, Heterogeneous distribution of radiocesium in aerosols, soil and particulate matters emitted by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Retention of micro-scale heterogeneity during the migration of radiocesium from the air into ground and river systems. J. Radioanal. Nucl. Chem., 295, 2013, 1927-1937, DOI: 10.1007/s10967-012-2160-9.

- ④⑨ K. Tokunaga, Y. Yokoyama, Y. Takahashi, Estimation of Se(VI)/Se(IV) ratio in water by the ratio recorded in barite, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 14, 2013, 4826-4834, DOI: 10.1002/ggge.20295.

[学会発表](計 69 件)

高橋嘉夫, 土壌-河川-海洋系でのセシウムの挙動解析: XAFS による化学素過程を中心に、第 12 回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会(招待講演)、2016 年 3 月 23 日、東京大学(東京都文京区)

高橋嘉夫, 放射光を用いた地球化学・環境化学: 夢と安全の追求、2015 年度量子ビームサイエンスフェスタ基調講演(招待講演)、2016 年 3 月 15 日、つくば国際会議場(茨城県つくば市)

高橋嘉夫, 放射光を用いた XAFS 法などによる環境中の有害元素の挙動解明、第 2 回 SLiT-J 利用分野調査検討ワークショップ(招待講演)、2016 年 3 月 8 日、東北大学(宮城県仙台市)

Y. Takahashi, Incorporation of anions into calcite and barite, "The 28th Reimei Workshop on Radioactive Waste Treatment and Remediation(招待講演)", 2016 年 2 月 26 日、日本原子力研究開発機構(茨城県那珂郡)

Y. Takahashi, Speciation and water soluble fraction of iron in aerosols from various sources, American Geophysical Union 2015 Fall Meeting(招待講演)、2015 年 12 月 14 日、モスコン・コンベンションセンター(アメリカ)

高橋嘉夫, エアロゾル中の鉄の化学種および同位体比: 海洋への水溶性鉄の供給に関連して、一般財団法人海洋化学研究所 69 周年秋季講演会(招待講演)、2015 年 11 月 13 日、京都大学(京都府京都市)

高橋嘉夫, STXM を用いた環境中微粒子の観察に基づく地球化学・環境化学、UV-SOR シンポジウム(招待講演)、2015 年 11 月 7 日、分子化学研究所(愛知県岡崎市)

高橋嘉夫, PF-STXM を応用したサステナブル科学: 環境・資源科学における STXM の必要性、PF 研究会「X 線顕微分析の新展開: STXM から硬 X 線複合分析まで」(招待講演)、2015 年 10 月 2 日、高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市)

高橋嘉夫, XAFS 法などによる化学種解析に基づく環境地球化学的研究、日本地球化学会賞受賞講演(招待講演)、2015 年 9 月 17 日、横浜国立大学(神奈川県横浜市)

高橋嘉夫, XAFS を用いた大気海洋系でのマグネシウムの化学状態の解明とその地球化学的意義、立命館大学 S R センター研究成果報告会(招待講演)、2015 年 6 月 13 日、立命館大学(滋賀県草津市)

[図書](計 6 件)

高橋嘉夫(分担者執筆)、朝倉書店、放射化学の事典、2015、358(173 174、264 265)

坂田昌弘、磯部友彦、梶井克純、加藤義久、高橋嘉夫、田辺信介、藤江幸一、益永茂樹、講談社、環境化学、2015、263(96 138) 臼井朗、高橋嘉夫、伊藤孝、丸山明彦、鈴木勝彦、東大出版会、海底マンガニウム床の地球科学、2015、264(105-170)

高橋嘉夫(分担者執筆)、成山堂書店、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 -、2014、242(62-71)

高橋嘉夫(分担者執筆)、東大出版会、原発事故環境汚染-福島第一原発事故の地球科学的側面、2014、310(142 148)

佐野有司、高橋嘉夫、共立出版、地球化学、2013、322(195 252、279 313)

[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: 1 0 3 0 4 3 9 6

(2) 研究分担者

仁谷 浩明 (NITANI, Hiroaki)  
高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・助教  
研究者番号: 2 0 5 5 4 6 0 3