

Future Asia 研究に向けた環境マップ事業 Environmental map project for Future Asia study

中野 孝教^{1*}

Takanori Nakano^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

昨年6月に第3回目の地球サミットが開催されましたが、地球環境問題解決には国際的な共同研究が不可欠です。国際科学会議(ICSU)は、20世紀後半から地球環境に関する4つの国際的研究プログラム、WCRP(気候変動)、DIVERSITAS(生物多様性)、IGBP(地球圏-生物圏相互作用)、IHDP(人間側側面研究)を実施してきましたが、今後は、これら4つのプロジェクトを「FUTURE EARTH(FE)」として統合することになりました。その中で日本は、アジアのFE研究の中心的役割を担うことが期待されています。地球研はFEネットワークのハブとして、日本オフィスGEC(Global Environmental Change)-JAPANを設け、FUTURE ASIA(FA)研究に向けて活動を始めたところです。

FE・FA研究では、自然環境を構成する大気、水、土、生物などを対象とする諸研究と人文社会研究を統合する科学(TS: Transdisciplinarity Science)が重視されています。地球研では、人と自然の相互作用環の解明を目指す認識科学的研究を実施してきましたが、さらに持続型環境社会の実現に向けて設計科学的プロジェクトを開始しています。FAやTSの実現には、作用環に関するより密度の高い環境情報、さらにその情報が社会に広く認知され利用されて行く必要があります。このような国際動向の中で、物質動態研究も新たな段階に入ってきたと言えます。

自然物にも人工物にも共通して含まれている元素とその指紋ともいべき機能を持つ安定同位体(SI: Stable Isotope)に関する情報は、この統合研究の基盤となりえます。同位体生態学の基本である炭素・窒素SI法はIGBPやDIVERSITASの中で進展してきましたし、同位体水文学を支える水素SIと酸素SIを用いた大気-水循環研究もWCRPやIGBPが後押ししてきました。FE-FA研究では、大気や生物に加えて、人間の生存に直接かかわる水や食、健康が重視されており、その連環の因果を解明するためには、生元素SIだけでなく金属元素SIも含めた情報が不可欠です。ここに同位体環境学と言う新分野創出の存在理由と、その実現に必要な元素とSI情報を多項目にわたって獲得できる地球研施設が果たすべき役割があります。

大学共同利用機関法人である地球研ではFA研究に向け、日本さらにアジアにおける各地の大学や環境関連機関と連携しながら、環境試料に含まれる元素やSIのデータベース化やマップ化を旨とした事業を開始しつつあります。本事業を通して、作用環研究に向けたSI手法の統合、施設や環境試料の共同利用、SI研究者やSI情報利用者の人材育成を図ることを目的としています。環境マップは他の地理情報と重ね合わせて行くことで、予防原則に立った環境診断情報として多面的な展開が期待できます。愛媛県の西条市など、地域の行政と連携・協働して作成した例では、地下水や森林の保全に利用され、条例作成にも生かされつつあります。とくにSIマップは、作用環を可視化する上で有効なため、欧米ではアイソスケープとして食の安全の基盤情報として、DNAと同様、国家財産としても重視されています。またこの情報は、古環境学や考古学など異分野への研究にも大きな貢献が期待されています。本セッションでは、FA研究における環境マップ事業の可能性や同位体環境学の基盤に向けた議論を行います。

キーワード: Future Asia, 環境マップ, 予防原則, 同位体環境学, 人材育成, 共同利用

Keywords: future asia, environmental map, precautionary principle, isotope environmental study, human resource development, cooperation

科学と社会の共創による環境同位体ネットワークの構築 Platform of environmental isotope monitoring with science in society

谷口 真人^{1*}
Makoto Taniguchi^{1*}

¹ 総合地球環境学研究所

¹ Research Institute for Humanity and Nature

2012年6月のRio+20では、地球環境問題の解決に向けた閣僚レベル会議など様々な議論が行われたが、温暖化防止に向けての取り組みの遅れに代表されるように、先進国と途上国との対立構造や、科学と社会の合意が未だにできない状況に変わりはない。Rio+20を機会に、国際学術会議(ICSU)や国際社会科学会議(ISSC)等の国際機関が、今後10年の地球環境研究の新たな枠組みを示したFuture Earthでは、これまでの問題点を踏まえて、(1) Co-design/ Co-production (科学と社会の共創)、(2) グローバルとローカルをつなぐリージョナルでの解決策、(3) 若手の登用、(4) 学際研究 (interdisciplinarity) を超えた統合研究 (transdisciplinarity) 等を中心概念においたプログラムを推進している。特に Co-design/ Co-production は、初期の段階からすべての利害関係者が問題点を共有し、その解決に向けての道すじを共に創り (co-design)、科学と社会との合意形成を繰り返しながら成果を出す (co-production) 新しい方法である。地球環境問題のように、様々な要因が複雑に絡む問題に対する社会の意思決定には co-design/ co-production に基づく科学的取り組みが必要不可欠である。

一方、GEC各プログラムの統合的研究の必要性から、議論と情報の共有化のためのGEC-Japan Platformがスタートした。その後、地球環境研究への資金提供団体であるベルモントフォーラムがICSU/ISSCやIGFAと連携し、2012年1月に地球研でベルモントフォーラムを開催し、Future Earth関連の国際共同研究公募(淡水資源の安全保障、沿岸の脆弱性)を開始した。またロンドンでのPlanet under PressuresやRio+20、クアラルンプールでのICSU Asia-Pacific regional meeting, そのフォローアップとして地球研でFuture Asia 国際会議等が開催され、Asiaという地域レベルでの地球環境研究の統合の重要性などが議論された。

環境同位体は、地球環境に関する様々な現象の「連環」を「統合的」に「可視化」する道具として重要な役割がある。気象・水文・生態などの個々のモニタリングを統合的にリンクし、ネットワークのプラットフォームを形成する上でも環境同位体が持つ意義は大きい。新しい手法の開発による連環のさらなる解明は、地球環境の統合的理解を進める上で、統合性と拡張性の両面から重要である。Future Earth/Asiaではすべてのステークホルダーが地球環境の問題点を共有し、科学と社会との共創を目指している。ユニバーサルな指標である環境同位体を用いる科学と社会の関係においてもAsiaの特徴が現れる可能性がある。

キーワード: フューチャーアース, 科学と社会との共創, 環境同位体

Keywords: future eaeth, co-design/co-production, environmental isotope

生物の同位体比から得られる生態系・生物多様性情報について On the information of ecosystem and biodiversity obtained from isotope ratios of living organisms

陀安 一郎^{1*}
Ichiro Tayasu^{1*}

¹ 京都大学生態学研究センター

¹ Center for Ecological Research, Kyoto University

軽元素の同位体情報は、主として生物の餌起源の推定や各生態系における食物網の推定といった生態学的研究に用いられているが、外来種問題や食物連鎖長の変化といった生態系影響についての研究にも展開されている。一方、安定同位体比は栄養塩の動態などの物質循環に影響を受けており、生物体の安定同位体比には環境情報も同時に記録されている。したがって、同位体情報は人間圏の活動の変化に対する生物群集の応答の指標としてとらえることもできる。

現在、地球環境研究の中で一つの重要な観点となっている生物多様性観測においては、個々の生物からどれだけの情報を引き出すことができるかが重要な視点となっている。安定同位体情報は、その中でも生物間の関係性と環境との関わりを示す情報として重要な役割を果たすと考えられている。

本発表では、現在進行中の環境省環境研究総合推進費「生物多様性の機能評価のための安定同位体指標に関する研究」の研究結果を例として紹介する。本研究は、集水域の土地利用などによって水域生態系がどのような影響を受けるかについて、生物多様性調査と栄養塩解析および各種の同位体情報解析によって解明することを目指している。新しい技術であるアミノ酸窒素同位体比など情報を現実の生態系にどのように用いていくかなどに関して紹介する。

キーワード: 同位体比, 情報, 生態系, 生物多様性

Keywords: isotope ratio, information, ecosystem, biodiversity

人類の食性に関する同位体生態学 Isotope ecology of human diet

大河内 直彦^{1*}, 力石 嘉人¹
Naohiko Ohkouchi^{1*}, Yoshito Chikaraishi¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

A method for precise estimation of trophic position was recently developed using analysis of the nitrogen isotopic composition of amino acids (McClelland and Montoya, 2002; Chikaraishi et al., 2009). This method is based on the empirical observations that difference in the $\delta^{15}\text{N}$ values of glutamic acid and phenylalanine in a given organism is a simple function of trophic position of the organism. The method has an advantage over the commonly used bulk isotope method in that it is not influenced by the temporal variations in $\delta^{15}\text{N}$ value of primary producer or substrate. The method has been proven useful for estimating the food sources of both aquatic and terrestrial organisms (Popp et al., 2007; Chikaraishi et al., 2009, 2010; Styring et al., 2010). Because isotopic relationship among amino acids is different between aquatic and terrestrial organisms, diets of omnivores like human cannot be uniquely solved even in this methodology.

Nevertheless, we have applied the nitrogen isotopic analysis of amino acids to the modern human nail. Our results suggested that diets of modern human are much less relied on marine organisms relative to coastal ancient human, as expected (Naito et al., 2012). Reflecting denitrification in the modern over-fertilized soil, phenylalanine from modern human is somewhat enriched in ^{15}N relative to that from ancient human (Naito et al., 2010). We are currently measuring terrestrial protein source of modern human diet (e.g., beef, chicken, pork, etc.) for better constraining the interpretation of the isotopic signature. Among modern human, phenylalanine from modern Japanese is somewhat depleted in ^{15}N while glutamic acid is enriched in ^{15}N relative to European people on average, reflecting more fish in their diets. In this presentation, I will overview the analytical results of modern human nail and try to nail down the human energy source from the natural energy flow.

キーワード: 人類, 食性, アミノ酸, 窒素同位体比
Keywords: Human, Diet, Amino acid, Nitrogen isotopic composition

アミノ酸窒素安定同位体比を用いた河川食物網解析 Analysis of stream food webs using stable nitrogen isotope ratios of amino acids

石川 尚人^{1*}, 加藤 義和², 富樫 博幸³, 吉村 真由美⁴, 由水 千景², 奥田 昇², 陀安 一郎²

Naoto F. Ishikawa^{1*}, Yoshikazu Kato², Hiroyuki Togashi³, Mayumi Yoshimura⁴, Chikage Yoshimizu², Noboru Okuda², Ichiro Tayasu²

¹ 海洋研究開発機構, ² 京大生態研, ³ 東北水研, ⁴ 森林総研

¹JAMSTEC, ²CER, Kyoto Univ., ³FRA, ⁴FFPRI

食物網は生態系の中で物質やエネルギーの流れを規定しており、その研究は生態学の中で最も重要なテーマの1つである。陸域と水域とをつなぐ河川生態系において、生物の餌起源の指標となる炭素安定同位体比は、小さなスケールで大きな変動を示す。一方、栄養段階の指標となる窒素安定同位体比は、生物分類群間で分別係数が異なることが知られている。このような従来手法の問題点を克服し、河川食物網を高精度に解析するためには、新たな指標の開発・応用が必要不可欠である。

近年、動物のアミノ酸窒素安定同位体比から栄養段階を推定する手法が開発され、注目を集めている。アミノ酸代謝において、脱アミノ基やアミノ基転移を繰り返すアミノ酸（例：グルタミン酸）は、栄養段階間で顕著に窒素同位体比が上昇するのに対し、C-N結合が保存されるアミノ酸（例：フェニルアラニン）は、栄養段階間で窒素同位体比がほとんど変化しない。この原理から、両アミノ酸の窒素同位体比の差は動物の栄養段階の一次関数となり、単一の一次生産者を起点とする食物連鎖に依存している動物の栄養段階は、以下の式により決定される（Chikaraishi et al. 2009）:

$$TL = ({}^{15}N_{Glu} - {}^{15}N_{Phe} +) / 7.6 + 1$$

ここで、TLは栄養段階、 ${}^{15}N_{Glu}$ ・ ${}^{15}N_{Phe}$ はそれぞれグルタミン酸・フェニルアラニンの窒素安定同位体比、は一次生産者のフェニルアラニン・グルタミン酸同位体比の差を表す。ところで、水域・陸域一次生産者はの値が異なることから、水域・陸域食物連鎖が混合する系においては、それぞれに由来する資源の混合割合を考慮する必要がある。しかしながら、複雑な食物網の解析にアミノ酸同位体比を応用した例はほとんどなく、この栄養段階推定法が生態系一般に広く応用可能かどうか、まだ分かっていない。

発表者らは、河川生態系の食物網を高精度に解析することを目的として、以下の研究を行った。まず河川生態系の時空間的な環境変動を捉えるために、流域土地利用の大きく異なる2河川の上下流2地点において、2011年11月と2012年5月の2季節に野外調査を行った。次に採集した水生昆虫や魚類、およびこれらの餌資源（礫表面付着性の藻類：水域一次生産者；C3植物リター：陸域一次生産者）から、Nピバロイル/イソプロピル誘導体化法によってアミノ酸を抽出し、ガスクロマトグラフ/燃焼/同位体比質量分析計を用いて各アミノ酸の窒素安定同位体比を測定した。

その結果、グルタミン酸とフェニルアラニンの窒素同位体比から、河川食物網の一次消費者（カゲロウやトビケラ幼虫）の栄養段階は、生産者（藻類や陸上植物リター）よりも1段階高く、食性に近い推定値が得られた。一方、肉食性の水生昆虫（カワゲラやヤゴ幼虫）や魚類の栄養段階は、単一の餌資源（水域生産者）を仮定すると、食性からの予測値よりも低く推定された。水域・陸域生産者間ではの値が異なることから、水域・陸域生産者に由来する食物連鎖の混合を考慮し、高次捕食者の栄養段階を計算したところ、食性からの予測値に近くなった。

本研究から、河川生態系のような複数の食物連鎖が食物網を構成する複雑系の解析において、アミノ酸窒素安定同位体比が有効な指標となることが示唆された。本発表では、特に高次捕食者の栄養段階推定結果について考察を加えるとともに、上下流間・河川間・季節間の比較についても議論したい。

引用文献

Chikaraishi Y, Ogawa NO, Kashiyama Y, Takano Y, Suga H, Tomitani A, Miyashita H, Kitazato H, Ohkouchi N (2009) Determination of aquatic food-web structure based on compound-specific nitrogen isotopic composition of amino acids. *Limnology and Oceanography Methods* 7:740-750

キーワード: 付着藻類, 陸上 C3 植物リター, 水生昆虫, 魚類, 餌起源, 栄養段階

Keywords: periphyton, terrestrial C3 litter, aquatic insect, fish, food source, trophic level

食品の産地判別への安定同位体比分析の適用 Tracing the Geographical Origin of Food Using Stable Isotope Analysis

鈴木 彌生子^{1*}, 中下 留美子²
Yaeko Suzuki^{1*}, Rumiko Nakashita²

¹(独)農研機構 食品総合研究所, ²(独)森林総合研究所

¹National Food Research Institute, ²Forestry and Forest Products research institute

近年、国産農畜水産物の需要の高まりとともに、輸入品を国産と偽装する食品の表示偽装事件も後を絶たない。食品の表示偽装を防ぐために、農林水産省は日本農林規格(JAS)法を導入している。JAS法は、全ての生鮮食品について原産地表示が義務付けられており、食品の公正な取引に貢献している。しかし、JAS法はあくまで書類上でのシステムであり、流通・加工過程において、偶然もしくは故意にそのラベルがすり替わる可能性が考えられることから、科学的根拠に基づいた産地判別技術が求められている。軽元素(炭素・窒素・酸素・水素)の安定同位体比は、生物が育った環境を反映することから、生物固有の“化学指紋”を読み取ることにつながり、生態学や地球化学などの分野で物質循環や起源推定のための手法として主に開発されてきた。近年では、続発する食品の表示偽装問題に対する科学的手法として、DNA分析・微量元素分析とともに注目を集めている。そこで、安定同位体比による食品の産地判別の可能性について発表する。

キーワード: 食品, 産地判別, 安定同位体比分析

Keywords: foods, geographical origin, stable isotope analysis

ストロンチウムと鉛の同位体比および多元素濃度を用いた穀物の産地判別 Determination of the Geographic Origins of Grains with Strontium and Lead Isotope Ratios and Multielement Concentrations

有山 薫^{1*}, 長岡 卓¹
Kaoru Ariyama^{1*}, Taku Nagaoka¹

¹ 一般財団法人日本穀物検定協会

¹ Japan Grain Inspection Association

【はじめに】

貿易のグローバル化および世界経済の発展により、食品表示に偽りのないことがますます重要になってきている。食品の産地表示は消費者にとって重要な情報であるため、近年、多くの国で食品素材の産地表示が行われている。産地表示は消費者の選択を助けるためだけでなく、ブランド戦略のためにも有効となり得る。食品原材料あるいは食材そのものの産地判別技術は以前から開発されてきた。しかし、従来の手法は対象とする品目ごとに膨大なデータベースを構築することを必要とし、一定レベルの誤判別が避けられないという欠点がある。そこで、これらの欠点を改善させた、SrとPbの同位体比を用いるより信頼性の高い手法の開発を試みた。これら元素の同位体比の特徴として、土壌中の植物に利用可能なSrとPbは同位体分別なく植物に吸収される。従って、土壌中のこれら同位体比から作物の同位体比を見積もることが可能であり、またその逆も可である。同じ地域で同じ土壌と水環境条件下で栽培された作物はこれら元素について同じ同位体比となるので、作物ごとに膨大なデータベースを構築する必要がない。よって、新たな作物の産地を決定することを可能とする。更に、SrとPbの同位体比は同一産地内での変動が他の手法で用いられるファクターに比べて小さいことが特徴であるため、この手法は高い信頼性を持つ。

本研究では、Pbの含有量が非常に低い精米を含む、穀物SrとPbの同位体比を決定する方法1),2)を原産国判別に適用した。十分な判別精度を得るため、多元素の濃度も分析した。3)

【試料】

穀物試料として、コメ (*Oryza sativa*)、オオムギ (*Hordeum vulgare*)、コムギ (*Triticum aestivum*) およびソバ (*Fagopyrum esculentum*) を用いた。

【方法】1),2)

試料は酸分解システム (SCP Science) を用いて有機物を分解し、0.05 M HNO₃ に溶解した。溶液中のSrとPbはSrレジン (Eichrom Technologies) を用いたクロマトグラフィにより分離、濃縮した。試料溶液中の⁸⁷Sr/⁸⁶SrとPb同位体比は二重収束型誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS; Element2, Thermo Fisher Scientific) により計測した。この分析法の不確かさは1sとして、⁸⁷Sr/⁸⁶Srに関して0.06%、Pb同位体比 (²⁰⁴Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb) に関して0.2%程度であった。多元素の濃度も同じ装置で測定した。

【結果】

日本産穀物の多くの⁸⁷Sr/⁸⁶Srは0.703-0.710の範囲に入り、この研究で対象とした他の国に比べて低い傾向があった。日本の北東地域、伊豆半島周辺および大分県産の穀物は他の地域産の穀物に比べて低い傾向があった。琵琶湖周辺産の穀物は他の地域産よりも高い傾向があった。同じ地域産の穀物は異なる品目でもほとんど同じ⁸⁷Sr/⁸⁶Srとなった。得られたデータを用いて、穀物の⁸⁷Sr/⁸⁶Sr地図を作製した。日本産穀物の鉛同位体組成は狭い範囲に入った。各国が特徴的な同位体組成を示した。特定の国のいくつかの穀物試料は同位体組成のみからその原産国を判別できたが、他の試料は多元素の濃度組成のデータも用いることで原産国を判別できた。

- 1) M. Shinozaki, K. Ariyama, A. Kawasaki, T. Hirata, Kunseki Kagaku, 2010, 59, 1003.
- 2) M. Shinozaki, K. Ariyama, A. Kawasaki, Y. Ishida, Anal. Sci., 2011, 27, 709.
- 3) M. Shinozaki, K. Ariyama, A. Kawasaki, J. Agric. Food Chem., 2012, 60, 1628.

キーワード: ストロンチウム, 鉛, 同位体比, 産地判別, 穀物, ICP-MS

Keywords: Sr, Pb, isotope ratio, geographic origin, grain, ICP-MS

重金属安定同位体の迅速分析による環境基礎情報の面的理解 stable-isotope geochemical map of metallic elements with rapid chemical purification technique

谷水 雅治^{1*}

Masaharu Tanimizu^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

Isotope ratios of light elements (O, C, N, H, and S) have been applied to various geochemical and ecological samples to understand their cycles in the geosphere. Samples are usually prepared in gaseous form to determine their precise isotope ratios by gas source MS. In contrast, precise determination of isotope ratios of other poly-isotopic elements, so called as metallic elements, had been difficult by conventional solid source MS, especially for the detection of their mass-dependent isotopic fractionation.

However, rapid and precise determination of isotope ratios is nowadays possible for metallic elements with ICP mass spectrometry (ICP-MS) with a multiple collector array. The most important advantage of this MS against conventional MS is its robustness to remaining matrix elements, and large sample throughput can be achieved with rapid chemical purification techniques for analytes. This new approach can be applied to understand the origin of metallic elements in the geosphere as isotope geochemical map. Potential applications of their isotope ratios will be outlined in this presentation as well as their purification techniques.

キーワード: ICP 質量分析法, 同位体比, 重金属元素, 地球化学図

Keywords: ICP-MS, isotope ratio, heavy elements, geochemical map

地質情報による日本列島の陸水 Sr 同位体比分布

Strontium isotope map of terrestrial water of the Japanese Archipelago based on the geological model

日下 宗一郎^{1*}, 中野孝教¹, 安渡敦史², SHIN Kicheol¹, 齋藤有³

Soichiro Kusaka^{1*}, NAKANO, Takanori¹, ANDO, Atsushi², Kicheol Shin¹, SAITOH, Yu³

¹ 総合地球環境学研究所, ² スミソニアン自然史博物館, ³ 高知大学海洋コア総合研究センター

¹Research Institute for Humanity and Nature, ²National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, ³Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University

陸水に含まれているストロンチウムの同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) は、流域の地質に対応した地理的变化を示し、その変化は生物にも反映されることから、地球化学、生態学、環境学、考古学などの様々な分野の研究に利用されている。我々は、水圏・生物圏トレーサーとしての Sr 同位体比の基礎的な情報を整備するため、地質情報から陸水の Sr 同位体比を求めるモデルを作成した。最初に、地質データベースから地質体を 5 種類に分類し、構成する岩石の Rb/Sr 比、Sr 濃度、地質年代を基に、地殻の地球化学的進化モデルからそれらの Sr 同位体比を計算して基盤岩の Sr 同位体マップを作成した。その結果、地質の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.704 ~ 0.724) は大きな地理的变化を示したが、流域地質が火成岩や石灰岩等の比較的均質な岩石で構成される場合は既存の測定値と高い相関を、一方構成岩石が多様な地球化学的特徴を示す場合 (堆積岩や変成岩など) は低い相関を示した。この基盤岩モデルを基に、実際に報告されている岩石の Sr 濃度、推定した風化度、水の流量と流向を考慮して、水の Sr 同位体比を計算した。この水モデルから求めた Sr 同位体比は、全国各地から集めたミネラルウォーターの Sr 同位体比の実測値 (170 試料: 0.704 ~ 0.712) と高い相関を示した。この結果は、岩石の Sr 同位体比から環境水の Sr 同位体比を再現できることを示している。

キーワード: ストロンチウム同位体比, ルビジウム, GIS, 同位体地図, Georoc データベース

Keywords: strontium isotope ratio, rubidium, GIS, isoscape, georoc databas

富士山南部地域の水質マップと地下水ガバナンスへの展開

Water quality map in the southern part of Mt. Fuji for establishment of groundwater governance

神谷 貴文^{1*}, 渡邊 雅之¹, 村中 康秀¹, 申 基チヨル², 丸山 誠史², 中野 孝教²Takafumi Kamitani^{1*}, WATANABE, Masayuki¹, MURANAKA, Yasuhide¹, SHIN, Ki-Cheol², MARUYAMA, Seiji², NAKANO, Takanori²¹ 静岡県環境衛生科学研究所, ² 総合地球環境学研究所¹ Shizuoka Institute of Environment and Hygiene, ² Research Institute for Humanity and Nature

富士山に蓄えられた豊かな地下水・湧水は、地域生態系を支え、特徴づけているだけでなく、古くから生活・産業用水として人間活動の営みの中で密接にかかわっており、この地域の水にまつわる文化の礎ともなってきた。富士山地域の持続的発展に向けて地下水の安定的な利用が不可欠であるが、地下水の保全・利用に係る方策を立てるためには流域全体の水循環、特に地下水流動メカニズムを解明する必要がある。現在、富士山南部地域の地下水・湧水の起源や涵養域を推定するために、降水や湧水に溶存する微量元素、安定同位体（水、ストロンチウム）を測定しており、地理情報システムによりマップ情報としてまとめているので報告する。また、これらの結果をもとに富士山地域における効果的な涵養対策の検討を進めており、合わせて発表する。

本研究では一斉調査として富士山麓の湧水に、箱根山、愛鷹山、天守山地などの周辺山塊の湧水を加え、133地点（2009年11~12月）でサンプリングを行った。また、2010年9月からは主要な湧水（35地点）、降水（17地点）の水質モニタリング調査を実施している。水質測定に際して、主要な溶存イオンについてはイオンクロマトグラフを、微量元素についてはICP-MSを使用した。また、水同位体比（ dD , $d^{18}O$ ）はキャピタリウム分光分析装置を、Sr同位体比（ $^{87}Sr/^{86}Sr$ ）は表面電離型質量分析計および二重収束型高分解能ICPマルチコレクタ質量分析計を用いて測定した。

富士山地域の降水に含まれているClとNaは、ほとんどの地点で冬~春先にかけて高くなっていた。また、標高が高く海から遠い地点で減少する傾向にあり、これは海塩粒子の寄与が小さくなるためと説明できる。地理分布でみると、富士山東麓の黄瀬川流域では西麓~西南麓と比較してClやNaの濃度が高い傾向にあり、富士山地域の風の流れが反映されていると考えられる。一方、降水の水素と酸素の安定同位体比は、季節変化は明瞭ではなかったものの、海塩粒子と同様に、平地の降水と比べて、標高が高くなるほど値が低下する、「高度効果」がみられた。 d 値は明瞭な季節変化を示し、塩分濃度と同様に、冬~春先にかけて高く、夏は低くなっていた。従来より、日本列島における降水の d 値は気団の違いにより太平洋側で低く、日本海側で高くなると説明されることが多いが、富士山地域では冬場の降雪も太平洋側の水蒸気が影響していると考えられることから、太平洋側の水蒸気の d 値が季節変動しているためと推測できる。

富士山系の湧水の $d^{18}O$ 値は-8~-10‰と他の山系と比べて低くなったが、富士山南西麓及び他の山系の湧水では-8‰以上と高くなった。低い $d^{18}O$ 値を示す湧水は d 値が大きくなる（ >14 ‰）傾向にあり、高標高（1,000~1,800m）の涵養域における冬季の降水量（積雪）の影響が大きいためと推測された。またこれらの湧水はV, P, As等の濃度が高く、長期間岩石と接触することによって溶出してきたと考えられる。一方、 $d^{18}O$ 値が比較的高い富士山南西麓や愛鷹山南麓では NO_3^- や Cl^- の濃度が高く、これらの湧水近辺には茶園が多く存在することから、この地域では低い標高（1,000m以下）で涵養された浅層の地下水が、肥料成分や主に風送塩を由来とする Cl^- とともに湧出していると推定される。また、湧水の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は、富士山や愛鷹山、箱根山で総じて0.7040以下と値が低く、これらの火山を構成している玄武岩由来しているといえる。

湧水のモニタリング調査の結果、濃度変動の幅は小さく、これまで述べた水質の地域特性は一時的なものではないことを確認した。ただし、富士山南西麓と南麓の溶存イオン濃度は10~12月に上昇し、4~6月に低下する季節変動性が認められた。南麓では $^{87}Sr/^{86}Sr$ 値が同様の变化をする一方で、V濃度や湧水量は10~12月に低く4~6月に高くなるという逆の挙動を示すことから、10~12月に浅層地下水の割合が多く、4~6月に深層地下水の割合が多いという、地下水比率の変動が一因と考えられた。

以上のように、微量元素や安定同位体の分析を通して水の地域性を明らかにすることができ、GISを用いてマップ化を図ったことで要因の解明や可視化が容易になった。このことは、流域住民が情報を共有化することで地域の水問題の解決に道筋をつけるという、地下水ガバナンスへの展開に向けた基盤づくりにつながると考えられる。今後は涵養源の推定だけでなく、人間活動や地球規模の環境変化の影響や、生物・生態系との関連性を解明するためのベースマップとしての活用が期待できる。

キーワード: 富士山, 湧水, 水質, GIS, 地下水涵養, 地下水ガバナンス

Keywords: Mt. Fuji, spring, water quality, GIS, groundwater recharge, groundwater governance

砕屑物のNd-Pb同位体比を用いたアラスカ氷河発達史の解析 History of Alaskan mountain glaciers analyzed by detrital Nd and Pb isotopes

堀川 恵司^{1*}, 小野寺丈尚太郎², 関宰³, 坂本竜彦²

Keiji Horikawa^{1*}, Jyonaotaro Onodera², Osamu Seki³, Tatsuhiko Sakamoto²

¹ 富山大学大学院理工学研究部, ² 海洋研究開発機構, ³ 北海道大学低温科学研究所

¹Graduate School of Science and Engineer, University of Toyama, ²JAMSTEC, ³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido Univ

Changes in atmospheric CO₂, ocean circulation, the extent of the cryosphere, or a combination of these boundary conditions are believed to have caused the Late Pliocene climate Transition (LPT, ~3.6 to 2.6 million years ago), characterized by development of more glaciated conditions. Yet, cryospheric evolution in northern high latitudes is not constrained well enough to properly understand the effect of high latitude cryosphere dynamics on LPT. Here, we present 4.1-million-year neodymium (Nd) and lead (Pb) isotope records of detrital sediments?tracers of sediment provenance?from the Bering Sea (Hole U1341B). We show that Bering Sea detrital sediments represented a mixture of sediments from the Aleutian and Alaskan sectors. During glacial and deglacial periods the contribution of Alaskan-origin clastics exceeds 50% due to melting of Alaskan glacier. We also found a stepwise increase (>~10%) in Alaskan-origin clastic supply beginning at ~4.1 Ma, implying that the northern high latitude cryosphere had started to grow 1 Ma before the major onset of Northern Hemisphere Glaciation. The early growth of Alaskan glaciers might be a result of combined effects of decreased atmospheric pCO₂ and enhanced moisture supply due to stagnation of Pacific meridional circulation induced by the Panamanian seaway closure during the early Pliocene.

キーワード: ネオジウム同位体, 鉛同位体, ベーリング海, 雪氷圏, 鮮新世温暖期

地球規模の水銀汚染とその実態把握に向けた水銀同位体計測技術 Applications of mercury isotope analysis for identifying Hg source and tracking Hg transformations in environment

武内 章記^{1*}

Akinori Takeuchi^{1*}

¹ 独立行政法人国立環境研究所

¹ National Institute for Environmental Studies (NIES)

産業革命以後、化石燃料の使用や産業廃棄物の焼却などによる地球規模での水銀汚染が進行している。水銀は環境中で残留性が高く、生物に蓄積されやすく、毒性が高い金属であるために、人間や野生生物への健康被害が懸念されている。こうした事態に、国際社会では2013年秋に水銀の環境への排出削減等を盛り込んだ「水俣条約」の締結を目指しており、より詳細な水銀の環境動態の解明やモニタリング、そして発生源を区別することが可能なトレーサーの開発が、今後の重要な課題である。そうした中、近年のCV-MC-ICP/MSを用いた水銀同位体分析システムの開発によって、高精度で自然界の極めてわずかな水銀同位体比 ($^{XXX}\text{Hg}/^{198}\text{Hg}$; XXX = 199, 200, 201, 202, 204) 変動を捉えることが可能となった。環境中の水銀の化学形態変化や生物濃縮過程は、生物地球化学的(酸化還元作用、代謝など)ならびに物理的(気液分離など)な現象に依存している。水銀同位体比は、発生源によって異なるのと同時に、こうした現象によって変動することがわかっている。例えば国内の水銀鉱床で採掘された鉱石の水銀同位体比 ($^{202}\text{Hg}_{\text{NIST3133}}$) は、概ね負の値を示し、海底熱水地帯のチムニーも概ね負の値を示す。反対に、日本近海で採捕されたマグロ筋肉中の ^{202}Hg は概ね正の値を示し、発生源からマグロに蓄積する過程で受けた化学反応によって同位体比変動が引き起こされていることを示唆する。また、水銀は光化学反応によって非質量依存同位体分別(MIF)が引き起こされる。岩石や底質試料ではMIFの存在は確認できないが、生物試料に比較的大きなMIFが確認できる。このように国立環境研究所に整備された水銀同位体比計測技術は、これまで区別することができなかった地質・環境試料中の水銀を区別することを可能とし、環境中の水銀循環の解明や汚染の発生源特定、そしてそれに関わる化学反応を推定する手法として地球環境における水銀のトレーサビリティシステム構築へ貢献することができる。

キーワード: 水銀, 環境汚染物質, 水銀同位体, CV-MC-ICP/MS

Keywords: Mercury, Environmental Pollutant, Mercury Isotope, CV-MC-ICP/MS

大気圧サンプリング法-レーザーアブレーション ICP 質量分析法による固体試料の直接微量元素分析法の開発 Development of atmospheric pressure sampling device for direct elemental analysis using LA-ICP-Mass Spectrometry

平田 岳史^{1*}, 坂田周平¹, 西口講平², 宇谷啓介²

Takafumi Hirata^{1*}, Shuhei Sakata¹, Kohei Nishiguchi², Keisuke Utani²

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 株式会社ジェイ・サイエンス・ラボ

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, ²J-Science Laboratory Co. Ltd.

Combination of laser ablation sample introduction technique and ICP-mass spectrometry (LA-ICPMS) has been widely used for element and isotopic analyses for various geochemical and biochemical samples [1]. The laser ablation utilising shorter wavelength or shorter pulse duration can minimise the elemental fractionation during both the laser ablation and ionisation processes, and the resulting precision for elemental and isotopic ratio measurements has been successfully improved. One of the great advantages to use the LA-ICPMS technique is that the analysis can be made under the atmospheric pressure, and therefore, this technique can be applied for the elemental analysis of the wet samples including cell or tissue. However, it should be noted that the sample was located inside the cell to improve the transmission efficiency of the sample aerosol from the sample to ICP ion source. This suggests that the elemental analysis could not be achieved for the large-sized sample or continuously delivering samples. To overcome this, we have developed direct sampling technique using the laser ablation under the atmospheric pressure conditions using a gas exchange device (GED) [2,3]. Laser ablation was carried out under the atmospheric air, and the laser induced sample aerosols were extracted and collected with air using a diaphragm pump. The carrier gas was converted from the air (N₂ and O₂) to Ar through the semipermeable filter, and the sample aerosol was introduced into the ICP in the same manner with the conventional laser ablation setup. To minimize the pulsation of the gas flow, which causes serious reduction in the analytical sensitivity of ICPMS, the glass capillary tubing (i.d. 0.4 mm) was adopted between the diaphragm pump and gas exchange tubing.

In this study, we have monitored the signal intensities of ²⁰⁸Pb, ²³²Th, ²³⁸U in order to test the collection yield of the sample aerosols. Signal intensities of ²³²Th¹⁶O and ²³⁸U¹⁶O were also monitored to test the production ratio of oxide signals, which could reflect the amount of residual O₂ in Ar carrier gas through the gas exchange process. With the simple extraction setup using a cut-off tubing and diaphragm pump, the resulting signal intensities for Pb, Th and U were almost one order of magnitude lower than those achieved by the conventional laser ablation setup (i.e., cell configuration). This indicates that the laser induced sample particles could not be collected by the simple extraction using the cut-off tubing. Although He was flushed onto the ablation pit toward the collection tubing (push-pull setup) in order to improve the collection efficiency, the signal intensities for Pb, Th and U became rather lower than the simple extraction setup. This could be due to deterioration in the evacuation rate of the diaphragm pump because of lower viscosity of He. In contrast, the production ratios for ThO⁺/U⁺ and UO⁺/O⁺ became lower when the higher flow rate of He flushing was employed. The lowering of the oxide production could be explained by the possible dilution of O₂ in air by He flushing. Principles and advantage of the present laser sampling technique and versatility in elemental mapping analysis will be demonstrated in this presentation.

[1] A. Moissette, Shepherd, T. J., Chenery, S. R., J. Anal. At. Spectrom., 1997, 12, 1337-1342.

[2] K. Nishiguchi, K. Utani, E. Fujimori, J. Anal. Atom. Spectrom., 2008, 23, 1125-1129.

[3] R. Kovacs, K. Nishiguchi, K. Utani, D. Gunther, J. Anal. Atom. Spectrom., 2010, 25, 142-147.

キーワード: 大気圧サンプリング, レーザーアブレーション, LA-ICP 質量分析法, 微量元素分析, 同位体分析

Keywords: Atmospheric Pressure Sampling, Air Sampling, Gas Exchange Device, Laser Ablation, LA-ICPMS Technique