

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：52101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25701002

研究課題名(和文)炭酸塩の微小領域安定同位体比の新展開：環境の相対変動解析から絶対変動解析への変革

研究課題名(英文) Progress of the microscale isotopic analytical technique of carbonate and the development of the new environmental proxy: changes from relative proxy to absolute proxy.

研究代表者

石村 豊穂 (ISHIMURA, Toyoho)

茨城工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：80422012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,700,000円

研究成果の概要(和文)：微量炭酸塩安定同位体分析を用いて、有孔虫・魚類の耳石・岩石・海水の同位体組成に関わる複数の新規環境指標の開発を推進した。また、共同研究への応答も積極的に開始し、国内外の需要に応える研究体制の構築を進めた。

この目的のもと、安定同位体比質量分析計を新たに導入し、自作のハードウェアとソフトウェアをベースに開発した総合分析システムを構築した。生物源炭酸塩(微小領域～)と周辺水のダイレクトな比較を一元管理下で行うことが可能で、環境指標としての厳密な評価と新たな環境指標の構築に活用できる。今後の当該研究の発展に向けた確固たる基盤が確立し、当初想定した以上の研究体制を構築することができた。

研究成果の概要(英文)：Through this project, I have successfully enhanced the field of application of microscale isotopic analytical technique (MICAL3) to: (1) High precision and high sensitive stable isotopic analysis by using customized CF/DI-IRMS system for IsoPrime100. (2) Stable carbon and oxygen isotopic dispersions of individual foraminifera: new proxy to estimate the sea environmental condition precisely. (3) High-resolution stable isotopic analysis of CaCO₃ to clarify the life history recorded in fish otolith. (4) Clarifying the impact of the concentrated heavy rain to coastal area: the result of monitoring the fluctuations of stable oxygen isotope of seawater.

研究分野：安定同位体地球化学

キーワード：carbonate 有孔虫 安定同位体比 環境指標 微量分析 炭酸塩 耳石 MICAL3

1. 研究開始当初の背景

生物源炭酸塩、特に石灰質有孔虫は海洋に広域に生息し、殻の炭素酸素安定同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) は過去の地球環境変動を記録することから、過去 60 年以上にわたり世界中で環境解析に多用されてきた。しかし、(A) 環境要素と有孔虫殻の化学組成との関係は明らかにされていない部分も多く、同位体非平衡 (いわゆる vital effect など) の複雑さから、個別の同位体組成が直接の環境指標として積極的に応用されるには至っていない。(B) さらに分析技術の限界から、数千種にもおよぶ底生有孔虫の中で安定同位体分析に用いられた種は数えるほどしかなく、環境指標としての有効活用には至っていない。

これまでの私の研究で、微小な石灰質生物殻の安定同位体組成を定量し、環境プロキシマーとして積極的に活用することができる強力なツール (Ishimura et al., 2004, 2008) を開発した。この研究成果により、私たちが扱う有孔虫全てを分析対象とすることが可能になった。その結果、試行錯誤を重ねつつも複数の萌芽的な研究成果へと導びつき、炭酸塩同位体研究における「同位体非平衡」と「分析技術の限界」という二つの問題点の解決への糸口も見えてきている。

この微量炭酸塩安定同位体比分析法は開発から約 10 年になるが、この分析法のレベルに到達した研究は皆無で、世界でも私のみが開発・維持をすることができる高水準の分析法である。本申請で推進する絶対変動解析の実現に向けた研究は世界をリードする高品質・高解像度炭酸塩安定同位体環境解析の重要課題の 1 つであり、現在もさらなる応用分野の拡大に取り組んでいる。この研究は海外からの反響も大きく、今、我々がリードを続けなければ、本邦での高解像度炭酸塩環境解析の発展は遅れをとる。世界をリードできる研究分野へ発展させるには、(C) 確固たる研究基盤と研究体制の確立、そして維持・継続が今後の最重要課題である。

2. 研究の目的

本研究は、①これまでの相対変動解析を主体とした生物源炭酸塩の安定同位体比による環境変動解析から、海洋そのものの同位体値復元に基づく絶対変動解析への変革を目指すこと、そのために②微小領域の安定同位体比分析を用いて海洋の底層・中層・表層それぞれの正確な同位体組成を抽出して鉛直構造を復元する方法の確立を目指すこと、また、③世界唯一の分析技術に対する国内外の幅広い需要に応えるために確固たる研究基盤を構築し、その維持と改良を継続することを当初の目的とした。

3. 研究の方法

具体的には、微量炭酸塩安定同位体分析を用いて、これまで分析することができなかった微小な有孔虫殻の安定同位体組成を 1 個

体毎もしくは部位毎に定量して、同種内の同位体組成個体分散を見積もった。さらに、浅海性生物源炭酸塩であるコケムシの現場飼育サンプルの同位体温度計としての信頼性の検証をおこなった。また、これまで検討していなかった魚類耳石 (水産資源として重要な魚種を主として) の安定同位体組成の基礎データの集積を開始した。

この目的の実現のために、安定同位体比質量分析計を導入し、自作の微量分析用前処理装置の設置調整を開始した。これらは自作のハードウェアとソフトウェアをベースに開発した総合分析システムとなり、生物源炭酸塩 (微小領域) と周辺水のダイレクトな比較を一元管理下で行うことが可能で、環境指標としての厳密な評価と新たな環境指標の構築に活用できるようになった。

4. 研究成果

微量炭酸塩安定同位体分析を用いて、新たに魚類の耳石・有孔虫・岩石・海水の同位体組成に関わる複数の共同研究への応答も積極的に開始し、国内外の需要に応える研究体制の構築と応用研究の展開をおこなった。その結果、当初の想定以上の応用研究成果を得ることができた。以下に本研究課題における研究成果の代表例を項目ごとにまとめる。

(1) 安定同位体比質量分析計 IsoPrime100 を用いた高精度・高感度分析システムの開発

炭酸塩、特に炭酸カルシウム (CaCO_3) の炭素酸素安定同位体組成 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) は、生成当時の環境履歴をその同位体値に記録することから、過去 60 年以上にわたり世界中の地球科学研究で活用されてきた。特に生物源炭酸塩殻の安定同位体組成は、海水の $\delta^{18}\text{O}$ (塩分変動・全球氷床量) と水温履歴、そして溶存無機炭素 (DIC) の $\delta^{13}\text{C}$ を記録するので、物質循環や環境変動メカニズムの解明に関わる基礎情報として重要である。また、堆積物中や岩石中で無機沈殿によって形成される炭酸塩の安定同位体組成も、生成に伴う環境履歴を記録していることから、周辺水の温度や流体に含まれる炭素源の推定に活用することができる。この安定同位体値を国際対比するためには、国際標準炭酸塩や標準海水を用いた安定同位体比分析を高精度で安定して行うことが分析の基本となる。同時に、常に同じ基準での分析を維持するためには分析機器の長期安定性を確保する必要がある。しかし最近の商用分析システムは自動化と電子化 (=ブラックボックス化) が進み、結果的に経年劣化への対応に困難を伴う場合があり、常に国際対比に耐えうるだけの分析精度を維持することが容易ではない。

当該研究の進展に伴い、高解像度解析を目的とした微量炭酸塩の「高感度」安定同位体比分析が重要視されている。また、近年注目されている絶対温度指標である clumped-isotope 古水温計 (Gosh et al., 2006 年

ど)の研究には質量数 47 の CO₂ の高精度分析が必須であり、従来よりも「高精度」での分析をおこなう必要がある。これらの問題を解決するために、2014 年に安定同位体比質量分析計 IsoPrime100 を導入し、分析計の高度な調整を進めた。加えて、信頼性と安定性の高い分析を実現するための試料導入システムを独自に構築し、高精度化と高感度化を実現しつつ分析の効率化と透明性の確保を目指した。

[高精度安定同位体比分析の概要]

デュアルインレット式安定同位体比質量分析計と、独自に構築した小型多連式ガス精製・保存システム (SPICAL2) およびガス試料導入システムからなる、100 % CO₂ ガス分析の外部精度は $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ とともに 0.01%前後であり、内部精度とほぼ同等の外部精度を引き出せることがわかった。また、国際標準炭酸塩 NBS19 の外部精度は、短期 (1 日, n=5) で $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ とともに $\pm 0.011\%$ 、長期 (1 ヶ月, n=36) では $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ それぞれ、 $\pm 0.026\%$ と $\pm 0.056\%$ であった。

[高感度安定同位体比分析の概要]

連続フロー型安定同位体比質量分析計と自作の前処理システム (Ishimura et al., 2004, 2008) から構成され、炭酸塩試料と海水試料を分析した際の外部精度は $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ とともに $\pm 0.1\%$ 程度であり、0.1 μg 以上の炭酸塩 (CO₂ で 1nmol に相当) でも同位体比を測定できることがわかった。分析に必要な炭酸塩量は、最新の商用分析システムと比べても 1/100 以下での分析が可能であり、ナノグラムオーダーの炭酸塩の安定同位体組成を古海洋学・環境解析学に有用な精度で簡便に分析することが可能である。これまでの安定同位体比分析と比較すると、(1) サンプル量が少なく同位体比分析が困難であった試料を研究対象することが可能で、貴重な測定対象の消失も最小限に抑えることができ、(2) 分析に用いる炭酸塩量を事前に秤量する必要が無く、試料サイズに対する自由度が高い (0.1~500 μg までの分析実績がある)、また (3) 反応した炭酸塩重量を高感度で簡単に定量でき、さらに (4) 質量分析計に導入しなかったガスを保持することによって、複数回の導入・分析が可能で、必要に応じて分析値の検証や分析精度の向上が可能である。

(2) 有孔虫の安定同位体組成の検証

底生有孔虫の炭素・酸素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) は海洋底層環境の環境変動を記録することから、古環境解析に広く用いられてきた。特に *Uvigerina* 属は、汎世界的に産出し、殻が厚く堆積物中に保存されやすいという特性から、古環境解析に広く用いられる種である。先行研究では *Uvigerina* 属の複数種を一括して同位体比分析をおこない環境の「相対変動」解析に用いられることもあったが、同じ *Uvigerina* 属でも種によって一様に環境指標としての信頼性があるかどうかは明らか

にされていない部分が多い。より信頼性の高い環境解析をおこなうためには種毎の環境指標としての信頼性についても検証する必要がある。そこで本研究ではオホーツク海の 4 地点で得られた海洋表層試料を用い、微量炭酸塩安定同位体比分析法を用いて各地点の個別分析から①種毎の安定同位体比の均質性を評価して環境指標としての汎用性を明らかにすること、また②種間での安定同位体比に違いが無いのかどうかを明らかにすることを目的に、*Uvigerina* 属の環境指標としての有用性を再検討した。

分析の結果、*Uvigerina* 属の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{18}\text{O}$ は収集地点・堆積深度によらず均質性は高い ($< \pm 0.2\%$) ことがわかった。これは国際標準物質 NBS-19 の均質性とほぼ一致し、*Uvigerina* 属の安定同位体組成の高い均質性を裏付けるものであり、*Uvigerina* 属は高精度な古環境解析に適した有孔虫属であることが明らかとなった。さらに $\delta^{18}\text{O}$ は海水の同位体値・水温から換算される同位体平衡値とほぼ一致することから、殻形成当時の水温を直接復元する「絶対変動解析」への利用が可能である。一方で、全ての地点で $\delta^{18}\text{O}$ 値は一定値を示すのに対し、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は *U. akitaensis*, *U. ochotica* の 2 種間で、いずれの地点でも約 0.7%の有意な差を示すことが明らかとなった。検討の結果、この有意な差は装飾・体形・殻の汚れ・体長の違いに依存するものではないため、両種の生態や石灰化メカニズムの違いに起因すると考えられる。

本研究の結果より、*Uvigerina* 属の $\delta^{18}\text{O}$ は生物的・地理的要因に影響を受けない、均質な安定同位体組成を持ち、水温を直接反映するため、古環境指標としての高い信頼性が保証された。また、他種・他地域でも同様の検証を進めており、有孔虫の絶対環境指標としての信頼性評価を継続している。

(3) 魚類耳石の高解像度回遊履歴解析

炭酸カルシウムで形成される魚類の耳石の酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$) は生息環境の温度を反映し、また炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) が餌や代謝といった生体内の情報を反映することが近年の研究にて報告されている (例えば Kitagawa et al., 2013)。さらに、耳石の日周輪形成とともにその日の安定同位体組成を記録する特徴を利用して、生態推定や環境指標への活用が期待されている。しかしながら、耳石を高解像度で成長段階ごとに切削し同位体比を定量するには、切削した極微量の粉末試料の回収方法の検討と、微量での同位体分析の実践が必要であった。

本研究に先立ち、マイクロドリルを用いて耳石の微小領域を手動で切削・回収し、微量炭酸塩安定同位体比質量分析システム (MICAL3, Ishimura et al., 2008) を改良した MICAL3c (茨城高専) を用いて予察的な安定同位体比測定をおこなった。結果、この分析手法を用いて耳石に残された環境情報を

数十マイクロメートルオーダーで詳細に分析できる能力があることを確認した。そこで本研究では、微小領域を精密に切削することができる高精度マイクロミルシステム Geomill326 を活用し、すでに回遊経路が解明されているマイワシの耳石を成長段階ごとに切削・回収し、それらの安定同位体比からマイワシの回遊履歴全体を再現できるかどうかについて検討した。

分析の結果、マイワシの耳石中心部・縁辺部の安定同位体組成に明確な違いがあることがわかった。特に縁辺部 $\delta^{18}\text{O}$ 値は、個体が採取された時点の生息環境の $\delta^{18}\text{O}$ を精度良く反映している。また、耳石 $\delta^{13}\text{C}$ 値を見てみると2つのグループに分かれることが明らかとなり、それぞれグループには食性や代謝過程の違いがある可能性が示唆される。この考察に関しては、マイワシの生態をふまえたうえで今後の詳細な検討が必要である。つぎに、一般量販店で購入した1歳魚と推定される千葉県産マイワシの耳石を成長段階ごとに詳細に切削し、それらの安定同位体比を測定した。その結果、成長段階によって安定同位体組成が明瞭に変動することを確認でき、このマイワシ耳石の同位体比の変動幅から北西太平洋を回遊する群集であることが推測された。そこで回遊経路を照合したところ、黒潮から混合域、そして親潮へ移動した情報が耳石に記録されており、実際の回遊経路とも整合性があることが示された。

これらの結果から、Geomill326とMICAL3cを組み合わせた微小領域における炭酸塩の安定同位体比分析は、今後の高解像度環境解析に有効に活用できることを裏付けた。今後は、より正確に日周輪にそって耳石を切削するためにも、切削深度や切削に用いるサンプルの選定について検討する必要がある。

(4) 「海水の同位体比」(平成27年9月関東・東北豪雨)による沿岸域への淡水流入の時系列変化)

海水の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)は蒸発の影響や河川からの淡水の流入などによって変動し、塩分と相関があることが知られている。常に変動し続ける海水の $\delta^{18}\text{O}$ を、定点において高時間分解能で観測する研究例は少ない。特に沿岸域においては大量の淡水流入が、どの程度海水の $\delta^{18}\text{O}$ 変動(≒塩分変動)に影響を与えるのかといった評価や、その変動によって周辺環境に生息する水産資源にどのような影響をあたえるかについての評価が難しい。

本研究では、魚類耳石の安定同位体組成の基礎データを蓄積するため、水族館飼育海水の $\delta^{18}\text{O}$ の長期安定性について観測することを目的に、茨城県大洗沖の定点から汲み上げられた魚類飼育用海水を2015年8~12月の4ヶ月間にわたって採取して海水の $\delta^{18}\text{O}$ の測定を行った。しかし海水採取を開始して約1週間後に史上最大規模の集中豪雨である「平

成27年9月関東・東北豪雨」が発生し、大量の淡水が海洋へと供給された。そのため、大雨による沿岸域への淡水の影響を海水の $\delta^{18}\text{O}$ から評価することに研究目的を再設定した。

研究試料には①大洗沖600m水深10mの定点から常時くみ上げられている飼育用海水(補給水)と、②マイワシ展示水槽内の飼育水を1~3日ごとに採取した海水(飼育水)を用いた。海水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は CO_2 平衡法を用いて微量安定同位体比分析システム(MICAL3c)にて定量した。8月末に -0.2% 付近であった $\delta^{18}\text{O}$ 値は集中豪雨から2週間ほどかけて -0.7% 付近まで低下し、11月中旬までの1ヶ月間かけて $-0.1\sim-0.2\%$ まで上昇し安定したことが確認できた。このことから、大雨による大洗沖沿岸への淡水流入の影響のピークが約2週間後であり、その影響は1ヶ月にもおよぶことがわかった。また、海水の $\delta^{18}\text{O}$ と塩分換算式から求めた淡水の寄与率は最大規模の集中豪雨が起きた場合でも最大で9%程度であることがわかり、この数値をもとに飼育魚種や水産資源への影響を検討することが可能となる。今後はより長期間にわたる海水の採取と同位体分析を行うことにより、沿岸域における海水 $\delta^{18}\text{O}$ の変動を明らかにできると期待される。

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 11 件)

- ① Nobuhara, T., Onda, D., Sato, T., Aosawa, H., Ishimura, T., Ijiri, A., Tsunogai, U., Kikuchi, N., Kondo, Y., Kiel, S. 2016. Mass occurrence of the enigmatic gastropod *Elmira* in the Late Cretaceous Sada Limestone seep deposit in southwestern Shikoku, Japan. *Paläontologische Zeitschrift*, 90(4), 701-722. DOI: 10.1007/s12542-016-0326-4
- ② Aleksey, S., Darling, K. F., Ishimura, T., Wade, C. M., Kimoto, K., Singh, A. D., Anand, P., Kroon, D., Jung, S., Ganssen, G., Ganeshram, R., Tsunogai, U., Elderfield, H. 2016. Geochemical imprints of genotypic variants of *Globigerina bulloides* in the Arabian Sea. *Paleoceanography*, 31, doi:10.1002/2016PA002947.
- ③ Suzuki, Y., Mukai, H., Ishimura, T., Yokoyama, T.D., Sakata, S., Hirata, T., Iwatsuki, T., Mizuno, T. 2016. Formation and Geological Sequestration of Uranium Nanoparticles in Deep Granitic Aquifer. *Scientific Reports*. 6, 22701; doi:

- ④ 尾田昌紀, 鐵智美, 坂井三郎, 石村豊穂. 2016. 耳石の安定同位体比分析を用いたマイワシ回遊履歴の判別法. *水産海洋研究*. 80(1), 48-55.
- ⑤ Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., and Hirano, H., 2015. Individual migration pathways of modern planktic foraminifers: Chamber-by-chamber assessment of stable isotopes. *Paleontological Research*, doi:10.2517/2015PR036.
- ⑥ Yoshimura, T., Izumida, H., Nakashima, R., Ishimura, T., Shikazono, N., Kawahata, H., Suzuki, A. 2015. Stable carbon isotope values in dissolved inorganic carbon of ambient waters and shell carbonate of the freshwater pearl mussel (*Hyriopsis* sp.). *Journal of Paleolimnology*. DOI: 10.1007/s10933-015-9834-6
- ⑦ Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., Hirano, H. 2015. Exploring photosymbiotic ecology of planktic foraminifers from chamber-by-chamber isotopic history of individual foraminifers. *Paleobiology*. 41. 1. 108-121. doi:10.1017/pab.2014.7
- ⑧ Nishida, K., Ishikawa, K., Iguchi, A., Tanaka, Y., Sato, M., Ishimura, T., Inoue, M., Nakamura, T., Sakai, K., Suzuki, A. (2014). Skeletal oxygen and carbon isotope compositions of *Acropora* coral primary polyps experimentally cultured at different temperatures. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15(7), 2840-2849. DOI: 10.1002/2014GC005322
- ⑨ Nishida, K., Iguchi, A., Ishimura, T., Sakai, K., Suzuki, A. 2014. Skeletal isotopic responses of the Scleractinian coral *Isopora palifera* to experimentally controlled water temperatures. *Geochemical Journal*. doi:10.2343/geochemj.2.0317 (2014.6.)
- ⑩ 西田 梢・鈴木 淳・石村豊穂・佐藤圭・佐々木猛智. 2014. 二枚貝の貝殻微細構造形成への水温の影響. *月刊地球*. 36. 1. 29-34 (2014.1.1)
- ⑪ Kitagawa, T., Ishimura, T., Uozato, R., Shirai, K., Amano, H., Shinoda, A., Tsunogai, U., and Kimura, S. 2013. Validity of otolith $\delta^{18}\text{O}$ of Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) as an indicator for ambient environment. *Marine Ecology Progress*

[学会発表] (計 61 件)

- ① 石村豊穂, 生物源炭酸塩に記録された生態履歴の高解像度抽出への挑戦: 魚類耳石を例として. 平成 28 年度古生物学会・シンポジウム. 2017.1.27
- ② 石村豊穂, 魚類耳石を用いた高解像度回遊履歴解析の進展. 国立研究開発法人水産研究教育機構・西海ブロック漁海況予報会議・特別講演. 2016.10.27
- ③ 石村豊穂・添田周吾・大森溪一郎・齋藤伸輔・徳永幸太郎・小藤一弥, 「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」による沿岸域への淡水流入. 海水安定同位体比変動の 4 ヶ月記録. ~その寄与率と時系列変化~. 日本地球化学会. 2016.9.
- ④ 石村豊穂・長谷川四郎・池原研. 有孔虫安定同位体組成のバラツキを活かす: 海洋環境指標としての信頼性評価とアーカイブ試料の活用. 日本地球化学会. 2016.9
- ⑤ 石村豊穂, 安定同位体比分析の高度化による炭酸塩地球科学の新展開. 公開シンポジウム「新たな炭化水素資源と革新的地化学探査技術」. 北海道大学. 2016.3.17.
- ⑥ 石村豊穂, 微量炭酸塩の酸素・炭素同位体分析システムの開発について. 金沢大学・同位体環境学セミナー. 2015.12.14.
- ⑦ 石村豊穂・長谷川四郎・池原研. 底生有孔虫の個体別同位体組成の均質性: 再堆積評価への応用. 日本古生物学会年会. 産業技術総合研究所. 2015. 6.27.
- ⑧ TANAKA, T. ISHIMURA, T., HARADA, N. KIMOTO, K. Reliable stable isotopic compositions of individual *Uvigerina* spp. as sea environmental proxy. 日本地球惑星科学連合大会. (国際セッション). 幕張メッセ国際会議場. 2015.5.26.
- ⑨ 中根雅晴・田中崇史・鐵智美・高木悠花・石村豊穂. 安定同位体比質量分析計 IsoPrime100 を用いた高精度・高感度分析システムの開発. 日本地球惑星科学連合大会. 幕張メッセ国際会議場. 2015. 5.24.
- ⑩ 石村豊穂・坂井三郎・鐵智美. Geomill326 と微量炭酸塩安定同位体比分析システムのコラボレーション. 質量分析学会同位体比部会. つくば. 2014.11.

- ⑪ 石村豊穂. 微小領域における炭酸塩の安定同位体比分析の現状 (基調講演). 日本地球化学会年会. 2014.9.16 富山大学.
- ⑫ 石村豊穂・角皆潤・長谷川四郎・中川書子・大井剛志・北里洋・菅寿美・豊福高志. 底生有孔虫の炭素酸素安定同位体組成・”vital effect”の全体像を捉える ~環境指標としての高精度化とその有効活用をめざして~. 地球化学会年会. 筑波大学. 2013.9.11

[図書] (計 1 件)

- ① Amano, Y., Shiao, J. C., Ishimura, T., Yokouchi, K., Shirai, K. (2015). Otolith Geochemical Analysis for Stock Discrimination and Migratory Ecology of Tunas. *Biology and Ecology of Bluefin Tuna*, 225-257. CRC Press 2015 DOI: 10.1201/b18714-14

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

<http://researchmap.jp/toyoho/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

石村 豊穂 (ISHIMURA, Toyoho)

茨城工業高等専門学校・物質工学科・准教授

研究者番号：80422012