

令和 6 年 9 月 10 日現在

機関番号：64303

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04784

研究課題名(和文) 多元素同位体地図および個体履歴保存部位分析を用いた、移動履歴生態学の構築

研究課題名(英文) Development of migration history ecology using multi-isoscapes and analysis of tissues having an individual history

研究代表者

陀安 一郎 (Tayasu, Ichiro)

総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・教授

研究者番号：80353449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、研究手法として多元素(炭素、窒素、硫黄、水素、酸素)同位体比の分析およびアミノ酸の炭素、窒素同位体比の分析を用い、移動履歴保存部位として水晶体などを活用することによって、陸域植物(種子)から淡水性魚類、海洋性魚類、鳥類までの移動履歴を推定する手法の検討を行った。その結果、同位体地図を得ることができる地域においては、本手法の有効性が示された。今後の研究の発展性のためには、多元素同位体地図の充実が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、事前にタグをつけることなしに、生物のサンプリングをすることで生物の移動履歴を解明しようとする研究である。本研究手法によって移動履歴が解明できる条件は、成長によって履歴が蓄積し、さかのぼって測定することができる部位(水晶体、脊椎骨椎体、耳石など)が存在することと、同位体比の違いがある生態系間を移動することがあることである。これらの同位体比の違いをあらかじめ知っておくためには、同位体比の違いを示した地図(同位体地図：Isoscape)が必要であり、より確からしさを求めるためには多元素の同位体地図が必要となる。

研究成果の概要(英文)：We investigated a method to estimate the migration history of terrestrial plants (seeds) to freshwater fish, marine fish, and birds, by using multi-elemental (carbon, nitrogen, sulfur, hydrogen, and oxygen) isotope ratio analysis and the carbon and nitrogen isotope ratio analysis of individual amino acids as research methods, and by utilizing eye lens and other parts as sites for storing migration history. The results showed the effectiveness of this method in areas where isotopic maps (Isoscapes) can be obtained. The multi-elemental isoscapes are expected for the enhancement of the further development of this research.

研究分野：同位体生態学

キーワード：移動履歴生態学 同位体地図 履歴保存部位 分子レベル解析 多元素同位体解析

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年顕著になっている地球温暖化などの環境変動は、生物の移動を変化させることで生態系間のつながりに複雑な影響を与える。また、各地域で引き起こされる環境変化の影響は、生物の移動を通じて、その地域のみで完結することなく他の生態系にも波及する。そのため、生物個体に含まれた移動履歴情報を解析することで、時空間的に隔てられた生態系間相互作用を検出する手法が必要となる。本研究では、安定同位体分析をもとに、生物の移動履歴を扱う手法開発を課題とするが、その中でいくつかの研究課題が提起された。

まず、〈テーマ1〉として同位体分析手法に着目する。鳥類や魚類などは、生活史の中で陸域と水域をまたいだ移動を行うため、それぞれの生態系を区別できる同位体手法の確立が必要である。

続いて、〈テーマ2〉として陸域生態系に着目する。地球温暖化が進むなか、固着性の植物は種子分散によって気温の低い高高度・高緯度に避難する必要がある。高度方向に変異のある酸素同位体比を利用することで高度方向の種子分散を評価できることが報告されており、同位体を用いた種子分散評価手法の確立が求められている。

また、〈テーマ3〉として集水域生態系内での動物の生息地利用とそれに伴う移動の実態について着目する。河川における移動履歴研究として、天然同位体比を用いた動物の移動履歴研究への応用の可能性についてもまだよくわかっていない。

さらに、〈テーマ4〉として海洋生態系における研究に着目する。脊椎骨椎体を履歴保存部位として、その放射性炭素の微量分析技術を応用することで、回遊履歴を復元できるかどうかを検証することが研究開始当初の背景であった。これに窒素安定同位体比の同位体地図と時系列同位体情報を組み合わせて、複数元素の同位体比を用いた移動履歴推定モデルを構築することを想定していた。

また、生物の移動を研究する手法として、水素安定同位体比の分析は世界各地で用いられているが、生物組織を構成する有機物には「非交換性水素」と「交換性水素」が存在するために、分析に不確定要素があった。それを解消する方法として、Uniprep2 オートサンプラーを導入し、「非交換性水素」の分析手法を確立する必要がある。本手法を用いた、鳥類に関する2つのテーマを追加で開始した。まず、〈テーマ5〉として、水素同位体比の利用についての検討を行う。地球温暖化が進むなか、世界的に鳥類の渡り行動の縮小や喪失が報告され、生態系サービスの低下が懸念されている中、日本の鳥類の渡り行動の適切な把握が求められている。緯度方向に変異がある水素同位体比を利用することで、緯度方向の渡り行動を評価することを想定した。

ついで、〈テーマ6〉として、魚類において移動履歴や経験環境の復元に用いられている水晶体と骨を用いた時系列同位体分析を、鳥類での復元可能性を検証することが研究開始当初の背景であった。鳥類特有の柔らかい水晶体と薄い骨を剥離するための技術開発とその復元された情報の検証が必要であった。

2. 研究の目的

以上の研究の背景から、各テーマに関して以降の目的を立てた。

〈テーマ1〉陸域と水域の有機物が混合する生態系の解析に有効な、メチオニンの窒素同位体比を効率的に測定する方法論を確立する。

〈テーマ2〉種子の酸素同位体比と植物形質との関係を明らかにするとともに、酸素とそれ以外の元素の併用が種子分散距離の推定精度を向上させるか検証することを目的とする。

〈テーマ3〉淡水生態系内での動物の生息地利用とそれに伴う移動の実態について、まずは天然同位体比分析の動物の移動履歴研究への適用ができるのかどうか調べ、可能であればその手法を用いて動物の淡水生態系内での移動履歴を調べることを目的とする。

〈テーマ4〉脊椎骨よりも正確に同位体情報が保存され、かつ前処理が簡便であり、分析に必要な試料の量が確保しやすい水晶体に着目して研究を進める方針に変更した。このため、研究の目的を「魚類の水晶体から十分な時間解像度を持った同位体比の履歴を復元する技術を開発する」とした。また、既存の移動履歴推定モデルを複数元素の同位体比データに適用できるように発展させることで推定精度の向上を目的とする。

〈テーマ5〉Uniprep2 オートサンプラーを用いた水素同位体分析手法を確立する。そして、緯度方向への渡り行動の縮小を把握するために、日本における水素安定同位体分析手法の確立と他の同位体との併用による渡り鳥の地理的分布域を評価することを目的とする。

〈テーマ6〉鳥類の水晶体と骨に適した解剖法を開発し、ウズラの給餌実験に基づいて同位体比の時系列情報を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

研究の目的に合わせて行った手法はそれぞれのテーマにおいて以下の通りである。

〈テーマ1〉高速液体クロマトグラフィー（HPLC）と元素分析計／同位体比質量分析計（EA/IRMS）を用いて、標準物質と生物試料のアミノ酸の炭素（ $\delta^{13}\text{C}$ ）および窒素（ $\delta^{15}\text{N}$ ）同位体比を測定した。

〈テーマ2〉種子の酸素同位体比と植物形質との関係を詳細に検討するため、日光植物園で

採取した 42 植物種の種子の酸素同位体分析を行なった。また、多系統の樹木種で種子の酸素同位体比が高度方向に変異が見られるかを調査した。さらに、炭素が種子分散の評価に利用できるか、また酸素と炭素の併用が種子分散距離の推定精度を向上させるかを評価した。

<テーマ 3> まずは移動のない固着型生物の淡水生態系内での場所による同位体比の違いを調べ、それが違った場合には移動性の動物の水晶体などを層ごとに分析し、移動実態を調べた。

<テーマ 4> 既存研究においては、生の状態の水晶体の中心部分のみを連続的に剥離し、同位体比を測定する手法がとられていた。しかし、この手法では水晶体径の約 1/3 を占める液状の辺縁部を連続的に分析することはできず、また水晶体の各層がどの体サイズの時に形成されたかを推定することが困難であった。そこで、辺縁部を含む水晶体全体から多数の切片を剥離し、同位体比の時系列変化を復元するための前処理手法の検討を実施した。また、新規前処理手法を様々な魚種に適用し、その汎用性の確認と炭素・窒素安定同位体比分析を実施した。同位体比については、特に辺縁部（生の状態では液状だった部分）における変動に着目することで、本手法の妥当性を評価した。移動履歴推定モデルの開発については、複数元素の同位体比データに適用可能なモデルを実装し、複数の魚種の実データへの適用を行った。

<テーマ 5> まず、有機物の水素安定同位体比を分析する手法として、熱分解型元素分析計のカラムセッティングとしてクロムを用いた分析手法を用いることにした。さらに、分析する試料によって、比較平衡法 (Comparative equilibration) もしくは二重水蒸気平衡法 (Dual-vapor equilibration) で行う手法を検討した。その手法を用いて、以下の研究を行なった。まず、宮崎県で越冬するツバメと渡りをするツバメにおいて、水素、硫黄、炭素、窒素同位体比を用いた isotopic space を描き分布域を比較し、形態的な分岐との関係性を検証した。窒素同位体比については、アミノ酸分析を行い、食物連鎖による影響を除外した。ジオロケータの装着により、同位体による地理的な分布域の推定の妥当性を検証した。

<テーマ 6> 水晶体の外側から剥離していく既存の手法は鳥類に使用することができない。鳥の水晶体が室温で溶解して、形状を維持できないからである。水晶体の圧縮を行わない鳥の水晶体は、中心部分まで柔らかい構造となっている。そこで、エタノールで脱水後に乾燥させることで、形状を保存し、柔らかい表面をこそぎとることで分析に必要な量を分取した。また、大腿骨、脛骨、ふしよ骨、上腕骨を脱灰し、薄く剥離し、分析に必要な量を分取した。これらの手法を用いて、ウズラの飼育実験個体における出生前の情報（母由来の C₄ 植物由来の餌情報）、出生後の C₃ 植物由来の餌からと C₄ 植物由来の餌への餌の切り替え情報の復元を試み、鳥類の一般的な復元手法である羽の同位体情報と比較した。

4. 研究成果

研究成果として以下の結果が得られた。

<テーマ 1> 当初目的としていたメチオニンの安定した $\delta^{15}\text{N}$ 測定が困難なことがわかったため、アミノ酸の $\delta^{13}\text{C}$ を用いた、生物の移動に伴って変化する餌資源のベースライン情報を推定するための方法論の確立に取り組んだ。標準物質を用いた測定法を確立させて論文として発表した (Sun et al. 2023)。

さらに、アミノ酸の $\delta^{13}\text{C}$ を、すでに研究の進んでいるアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ とあわせることで、代謝の前駆体や経路の違いを反映したプロットを描けることがわかった (Sun et al. 2023 : 図 1)。これを応用することで、生物移動によって変化するベースラインを推定できる可能性がある。現在、いくつかの海産魚類と哺乳類では、既に予備的なデータも得られている。今後、追加分析のデータとともに、論文としてまとめていく予定である。

<テーマ 2> 1 地点での多系統の植物の種子酸素同位体の測定から、結実期など単純な植物形質から植物の種子酸素同位体比が求められることを明らかにした。また広葉樹や針葉樹といった系統に関係なく、酸素同位体比を用いて高度方向の種子分散が評価できることを明らかになった。さらに樹種内の樹体サイズや樹齢は種子分散距離の推定の際にノイズにならないことが示唆された。炭素については、酸素と併用することで種子分散距離の精度向上に役立つことが示唆された。一連の結果から、同位体を用いた高度方向の種子分散評価手法は多系統の植物で効果的に利用できることが示された。

<テーマ 3> 今回このテーマで分析した炭素と窒素の同位体比のみでは氾濫原域と河川域の同位体比の違いが季節の変化を下回ったため、川と氾濫原の動物の移動履歴の検出が困難であった。川と氾濫原の動物の移動履歴を調べるためには硫黄同位体など他の同位体の利用を検討する必要がある。一方で、湖とその流入河川の間では炭素と窒素の同位体比が十分に異なっており、これらの同位体で動物の移動履歴を研究することができることが分かった。

<テーマ 4> 辺縁部を含む水晶体全体の時系列分析をするための前処理手法として、水晶体を弱度の減圧下で脱水収縮させる手法を考案した。本手法により予め水晶体全体を脱水収縮さ

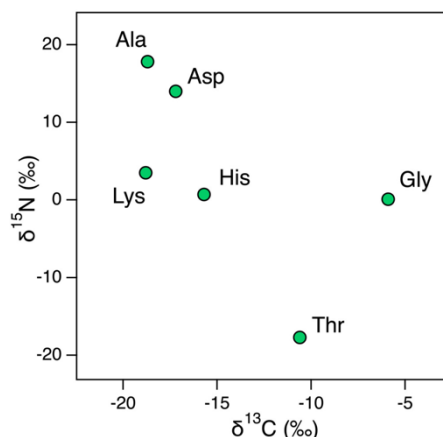


図 1 ゴマサバ筋肉のアミノ酸炭素・窒素同位体比分析例 (Ala, alanine; Asp, aspartic acid; Gly, glycine; His, histidine; Lys, lysine; Thr, threonine)

せることで、水晶体中心部と辺縁部で同程度の凝縮度合いとなるため、乾燥後の水晶体径と体長との関連付けがしやすくなり、また生の状態では液状だった辺縁部でも多数の切片に分割して同位体比の分析ができるようになった。また、本手法をカツオ、ビンナガ、サケ、サクラマス、アジなど様々な魚類に適用し、すべての魚種に適用可能であることが確認された。本手法を用いてカツオの炭素・窒素安定同位体比の時系列変化を復元した結果、辺縁部においても窒素安定同位体比で3‰以上の大きな変動が確認されたことから、これまでの生の試料を用いた分析では不可能だった生活史全体を通じた同位体比の履歴復元が可能になったことが示された。当初想定していなかったこととして、実データに対して移動履歴推定モデルの妥当性を検討した結果、既存のモデルでは同位体地図の不確実性が移動経路の推定結果を大きく歪めてしまうことがわかった。そこで、推定方法の再検討を行い、同位体地図の再標本抽出により上記の問題を解決した。

<テーマ5>本研究によって、有機物の水素安定同位体分析にはクロム還元炉が有効に機能することが確認された。ついで、ケラチン試料においては比較平衡法で問題なく分析できることが確認された。また、標準物質がない物質の関しては、UniPrep2の機能を用いて、地球研で作成した2種類の同位体比を持つ水 ($\delta^2\text{H} = -320.7\text{‰}$ および 273.9‰)と 60°C で平衡させ測定する二重水蒸気平衡法を採用し、問題なく分析できることを確認した。これらを用いて、以下の分析を行った。

硫黄同位体比と、水素、炭素、窒素同位体比の関係性を描いた isotopic space においてツバメの越冬個体は渡り個体よりも有意に小さい領域を示した(図2)ことから、越冬個体は海からの距離の変異が少ない、渡り鳥よりも限定された地域で越冬していることが支持された。アミノ酸の窒素同位体比の測定により、窒素同位体比の変異が食物連鎖の影響ではなく、地理的な変異によることが示唆され、ジオロケータの回収記録も、1年を通して日本とその近隣の狭い地域に生息していることを支持した。越冬個体は渡り個体よりも渡りの能力と関係する翼長が短く、装飾も異なっていたことから、これらの結果から、多元素同位体比で描いた isotopic space による地理的分布域の評価の有効性が示され、長距離の渡り行動の喪失が形態学的な分岐を促進していることが示唆された。

<テーマ6>鳥類の水晶体の時系列分析をするための前処理手法として、水晶体をエタノールで脱水し、乾燥させる手法を考案した。さらに、崩れやすい水晶体の剥離手法として、鋭利なピンセットによって表面をこそぎとる手法の有効性が明らかになった。本手法を用いてウズラの飼育実験個体での時系列情報の復元の検証により、鳥類の骨において時系列同位体情報が確認できなかった一方で、水晶体に生前の情報を含めて連続的に同位体情報が保存されていることを明らかにした。換羽時に限定された同位体情報を残す羽に対して、水晶体は出生前からの連続的な情報を得ることができる鳥類において全く新しい手法である。しかし、餌の切り替えタイミングや飼育期間が同じであっても、水晶体切片の同位体比にしばしば大きなばらつきが見られた。これには成長の個体差や水晶体の解剖作業の精度などが影響したと考えられる。

これらの研究を通じて、多元素同位体地図および個体履歴保存部位分析を用いた移動履歴生態学を構築するという所期の目的に関して、手法的検討、陸域植物(種子)から淡水性魚類、海洋性魚類、鳥類までの検討を行えたことはある程度目的を達したと考えている。今後は、原著論文でできていない結果が多数あるので、論文化に向けて検討するとともに、これらの研究をさらに深めることによって同位体手法を用いた、生物の移動履歴の研究を深めていきたいと考えている。また、今後の研究の発展のためには、多元素同位体地図の充実が期待される。

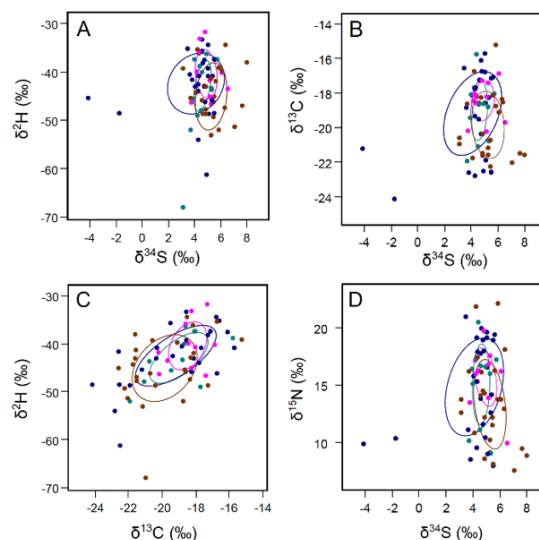


図2 A:水素-硫黄同位体比、B:炭素-硫黄同位体比、C:水素-炭素同位体比、D:窒素-硫黄同位体比の2次元プロット。オスの渡り個体(暗青色)、オスの越冬個体(緑色)、メスの渡り個体(茶色)、メスの越冬個体(桃色)を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Harada Yota, Ito Shin-ichi, Ogawa Nanako O., Yoshikawa Chisato, Ishikawa Naoto F., Yoneda Michio, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Compound-Specific Nitrogen Isotope Analysis of Amino Acids in Eye Lenses as a New Tool to Reconstruct the Geographic and Trophic Histories of Fish	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 796532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2021.796532	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Ogawa Nanako O., Sun Yuchen, Chikaraishi Yoshito, Takano Yoshinori, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 20
2. 論文標題 Integrative assessment of amino acid nitrogen isotopic composition in biological tissue samples determined by GC/C/IRMS, LC × EA/IRMS, and LC × GC/C/IRMS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography: Methods	6. 最初と最後の頁 531 ~ 542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lom3.10502	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsubayashi Jun, Kimura Katsuya, Ohkouchi Naohiko, Ogawa Nanako O., Ishikawa Naoto F., Chikaraishi Yoshito, Tsuda Yuichi, Minami Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Using geostatistical analysis for simultaneous estimation of isoscapes and ontogenetic shifts in isotope ratios of highly migratory marine fish	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1049056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.1049056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Amano Yosuke, Otake Tsuguo, Togashi Hiroyuki, Wada Toshihiro, Kasai Akihito, Kato Yoshikazu, Yoshimizu Chikage, Tayasu Ichiro, Kurita Yutaka, Shirai Kotaro	4. 巻 277
2. 論文標題 Otolith isotopic characterization as a nursery habitat indicator for stone flounder <i>Platichthys bicoloratus</i>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Estuarine, Coastal and Shelf Science	6. 最初と最後の頁 108028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecss.2022.108028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 栗田豊, 富永修, 白井厚太郎, 陀安一郎	4. 巻 87
2. 論文標題 多元素同位体を用いた魚類の移動履歴推定-最新の技術と応用: はじめに	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nippon Suisan Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 541 ~ 541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2331/suisan.WA2863-0	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 陀安一郎	4. 巻 87
2. 論文標題 -2. 同位体地図 (Isoscape) を用いた生態学的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nippon Suisan Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 543 ~ 543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2331/suisan.WA2863-2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 栗田豊, 富永修, 白井厚太郎, 陀安一郎	4. 巻 53
2. 論文標題 多元素同位体を用いた魚類の移動履歴推定-最新の技術と応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月間海洋	6. 最初と最後の頁 599-602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 陀安一郎	4. 巻 53
2. 論文標題 同位体地図 (Isoscape) を用いた生態学的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月間海洋	6. 最初と最後の頁 605-612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 ISHIKAWA Naoto F.	4. 巻 71
2. 論文標題 Compound-specific Nitrogen Isotope and Radiocarbon Analyses of Amino Acids in Biological Samples	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BUNSEKI KAGAKU	6. 最初と最後の頁 653 ~ 662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/bunsekikagaku.71.653	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sun Yuchen, Ogawa Nanako O., Ishikawa Naoto F., Blattmann Thomas M., Takano Yoshinori, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 37
2. 論文標題 Application of a porous graphitic carbon column to carbon and nitrogen isotope analysis of underivatized individual amino acids using high performance liquid chromatography coupled with elemental analyzer/isotope ratio mass spectrometry	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 e9602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.9602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohno Yosuke, Umezawa Yu, Okunishi Takeshi, Yukami Ryuji, Kamimura Yasuhiro, Yoshimizu Chikage, Tayasu Ichiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Investigation of inter-annual variation in the feeding habits of Japanese sardine (<i>Sardinops melanostictus</i>) and mackerels (<i>Scomber</i> spp.) in the Western North Pacific based on bulk and amino acid stable isotopes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1225923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2023.1225923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nitzsche Kai Nils, Yoshimura Toshihiro, Ishikawa Naoto F., Kajita Hiroto, Kawahata Hodaka, Ogawa Nanako O., Suzuki Katsuhiko, Yokoyama Yusuke, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Metal contamination in a sediment core from Osaka Bay during the last 400?years	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-022-00517-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Tadokoro Kazuaki, Matsubayashi Jun, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 26
2. 論文標題 Biomass Pyramids of Marine Mesozooplankton Communities as Inferred From Their Integrated Trophic Positions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ecosystems	6. 最初と最後の頁 217 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10021-022-00753-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Michal Bogdziewicz, ..., Shoji Naoe, ..., James S. Clark	4. 巻 32
2. 論文標題 Linking seed size and number to trait syndromes in trees	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Global Ecology and Biogeography	6. 最初と最後の頁 683 ~ 694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/geb.13652	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tong Qiu, ..., Shoji Naoe, ..., James S. Clark	4. 巻 9
2. 論文標題 Masting is uncommon in trees that depend on mutualist dispersers in the context of global climate and fertility gradients	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Plants	6. 最初と最後の頁 1044 ~ 1056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41477-023-01446-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kurasawa Akira, Onishi Yuji, Koba Keisuke, Fukushima Keitaro, Uno Hiromi	4. 巻 68
2. 論文標題 Multipath ecological influence of an iteroparous fish migration from Lake Biwa to an alluvial stream	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Freshwater Biology	6. 最初と最後の頁 1400 ~ 1412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/fwb.14112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Takashima Ayaka, Maruoka Hirokazu, Kondoh Michio	4. 巻 15
2. 論文標題 Integrated trophic position as a proxy for food web complexity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Methods in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 164 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/2041-210X.14256	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa NF, Chen C, Hashimoto R, Ogawa NO, Uyeno D, Nomaki H	4. 巻 727
2. 論文標題 Amino acid nitrogen isotopic compositions show seep copepods gain nutrition from host animals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 81 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/meps14503	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nitzsche Kai Nils, Ishikawa Naoto F, Yoshimura Toshihiro, Kajita Hiroto, Kawahata Hodaka, Ogawa Nanako O, Suga Hisami, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 2024
2. 論文標題 Historical trend of polycyclic aromatic hydrocarbons in a sediment core from Osaka Bay during the Meghalayan	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Holocene	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/09596836241236320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計12件(うち招待講演 1件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 陀安一郎, SHIN Ki-Cheol
2. 発表標題 多元素同位体手法による環境トレーサビリティ手法の活用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陀安一郎, 申ギチヨル, 鷹野真也
2. 発表標題 環境トレーサビリティ手法としての多元素同位体分析の活用
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陀安一郎, 申ギチヨル, 鷹野真也, 大西雄二
2. 発表標題 環境トレーサビリティ手法を活用した学際研究の展開
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鷹野真也, 兵藤不二夫, 岸本圭子, 菱拓雄, 陀安一郎
2. 発表標題 糞虫の非交換性水素同位体比と採集地点の降水の水素同位体比の比較について
3. 学会等名 第13回同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Emi Arai, Jun Matsubayashi, Ichiro Tayasu, Tatsuhiko Goto, Haruka Inoue, Chikage Yoshimizu, Masaru Hasegawa, Takumi Akasaka
2. 発表標題 Assessing the feasibility of retrospective isotope analysis via avian eye lens through a feeding trial
3. 学会等名 IsoEcoI2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長谷川絵美、松林順、陀安一郎、後藤達彦、井上晴香、由水千景、長谷川克、赤坂卓美
2. 発表標題 ウズラの水晶体による生活史初期の同位体情報復元の実現可能性の検討
3. 学会等名 日本動物学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ichiro Tayasu and Ki-Cheol Shin
2. 発表標題 Use of multiple isoscapes on environmental research
3. 学会等名 Workshop on “Biodiversity, Genetic Resources and Innovative Bioresources Technology for Future Sustainable Use of Biodiversity” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shoji Naoe
2. 発表標題 Directionality of long-distance dispersal of seeds: the role of altitudinal, latitudinal, and longitudinal seed dispersal under climate change
3. 学会等名 INTECOL2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川絵美、長谷川克、由水千景、石川尚人、大河内直彦、陀安一郎
2. 発表標題 宮崎県のツバメ個体群内にみられる性特異的な装飾形質の分岐
3. 学会等名 第12回同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松林順
2. 発表標題 Iso-loggingによるカツオ (Katsuwonus pelamis) の回遊履歴復元
3. 学会等名 第71回日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 直江将司、生方正俊、綱本良啓、陀安一郎
2. 発表標題 樹木サイズが種子の酸素同位体比に与える影響：種子散布の観点から
3. 学会等名 第71回日本生態学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長谷川絵美、松林順、陀安一郎、後藤達彦、井上晴香、由水千景、長谷川克、赤坂卓美
2. 発表標題 鳥の水晶体によるレトロスペクティブな同位体情報の復元の実現可能性の検討
3. 学会等名 第13回同位体環境学シンポジウム
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松林 順 (Matsubayashi Jun) (30756052)	福井県立大学・海洋生物資源学部・准教授 (23401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	宇野 裕美 (Uno Hiromi) (30803499)	北海道大学・地球環境科学研究所・特別研究院 (CPD) (10101)	
研究分担者	申 基子ヨル (Shin Ki-Cheol) (50569283)	総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・准教授 (64303)	
研究分担者	石川 尚人 (Ishikawa Naoto F.) (80609389)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(生物地球化学センター)・副主任研究員 (82706)	
研究分担者	直江 将司 (Naoe Shoji) (80732247)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等 (82105)	
研究分担者	長田 穰 (Osada Yutaka) (90750084)	東北大学・生命科学研究所・助教 (11301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	長谷川 絵美 (Hasegawa Emi) (10793151)	総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・特別研究員 RPD (64303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------