

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：64303

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14602

研究課題名(和文)地質由来重元素安定同位体比を用いた、生物の移動履歴情報に関する精密解析手法の開発

研究課題名(英文)Development of the precise analytical techniques for studying migratory history using isotope ratios of heavy elements

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) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、微量元素濃度および重元素安定同位体比を用いて、生物の移動履歴情報を解析する手法の開発を行うことを目的とした。

岩手県大槌地域の淡水型のイトヨを材料として研究を行った結果、Sr同位体比は狭い地域においても場所の指標となることを示した。さらに、支流河川上流のイトヨ個体群には下流域から移動してきた個体は見られないが、下流個体群には上流個体群や小槌川本流などから移動してきたと考えられるイトヨが混在していることがわかった。

また、NdとPbについて、魚類の組織別・成長段階別に比較を行った結果、Ndは消化管やエラなど海水と強く交換する部位で最も高濃度であった。

研究成果の概要(英文)：We tried to demonstrate the utility of concentrations of rare elements and isotope ratios of heavy elements, which have not been well studied in the field of ecology for studying migratory patterns.

We analyzed strontium isotope ratios and Sr/Ca ratios of whole otoliths in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) caught at the coastal areas of Iwate, Japan. Strontium isotope ratios of otoliths and water in one tidal tributary showed that the sticklebacks caught at the upstream sites inhabited only within the upstream, but the sticklebacks caught at the downstream sites inhabited not only in the downstream but also in the upstream or the near mainstream sites.

Then, we measured the concentrations of Nd and Pb in goby species caught at several places in Japanese coasts. These elements were higher in gills and digestive organs that are connected directly with the outer environment than the rest of body.

研究分野：同位体生態学

キーワード：安定同位体 重元素 硬組織 ストロンチウム 生息履歴

1. 研究開始当初の背景

現代の生態学においては、炭素 ($\delta^{13}\text{C}$)・窒素 ($\delta^{15}\text{N}$)・イオウ ($\delta^{34}\text{S}$)・水素 ($\delta^2\text{H}$)・酸素 ($\delta^{18}\text{O}$)などの「軽元素安定同位体比」を用いて食物網構造や物質循環過程について研究する方法が、広く用いられるようになってきている。この「同位体生態学」と呼ばれる研究分野においては、アミノ酸や脂肪酸といった化合物レベルの安定同位体比分析が研究の最先端であり、本研究の研究代表者も、それに関連する課題を中心に据えて研究を進めている。

これらの「軽元素安定同位体比」が示すものは、生物の代謝過程に直接関わるものであり、生命活動が続く限り、物質の交代(ターンオーバー)は絶えず行なわれる。すなわち、「直近の」生物代謝が生物体の同位体比に反映される。その理由は、上記に示した「軽元素安定同位体比」は、主としてタンパク質を構成する元素であるからである。

一方、「重元素安定同位体比」と呼ばれるストロンチウム ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)・ネオジミウム ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)・鉛 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)といった地質由来重元素の安定同位体比は、地質学分野の研究には古くから用いられているが、生態学的研究にはあまり用いられて来なかった。その理由は、これらの元素が一般的に筋肉や臓器といった「タンパク質(軟組織)」部分にほとんど含まれておらず、耳石や骨、ヒレ、貝殻といった不活性な「硬組織」部分により含まれており、軽元素と同一手法で分析が不可能であるからである。これらの組織は、代謝されずに情報を蓄積する性質があり、それが生息地解析手法・移動履歴解析手法に新たな可能性を生む。

2. 研究の目的

本研究においては、このようにいままで十分に利用されて来なかった「重元素安定同位体比」を生態学的研究手法として提案し、新たな同位体生態学の可能性を追求することとした。

(1) 耳石のストロンチウム同位体比は、環境水中のストロンチウム同位体比と相関することが示されているが、自然環境中でその関係性は必ずしも1:1ではない場合もしばしば見られる。本研究においては、まず水環境が安定していると考えられる閉鎖水域でこの関係性を明らかにする。

その上で、サケの回遊等の大規模な魚類の移動の研究に使われてきた本手法を、岩手県大槌地域における淡水型のイトヨに適用する。調査対象とするのは岩手県大槌地域の淡水型のイトヨである。イトヨは北半球の亜寒帯域を中心に生息する魚種であり、日本はその南限域生息地の一つである。岩手県大槌地域には小槌川と大槌川の2つの本流河川があり、淡水型イトヨは湧水が湧いている沿岸域

の支流河川3か所と大槌川本流、そして、2011年の東日本大震災で起きた津波によって沿岸域にできた新規生息地に生息することが確認されている。この地域では、数kmの距離の中で淡水型イトヨの生息地が複数存在しているが、その生息地間で交流があるかどうかは、明らかとなっていない。そこで、本研究では小型魚類の移動についてストロンチウム同位体比を用いた研究手法について検討する。

(2) 重元素同位体比研究の中で、ネオジミウムと鉛はストロンチウムに比べ含有量が著しく低いと考えられる。特に、沿岸域の海水や生物のネオジミウムと鉛同位体比は、河川水や地下水を通して陸域固有の値をより強く反映すると予想されるが、両元素共に微量なこともあって報告例はほとんどない。そこで本研究においては、生物の組織の中ほどの程度含まれているかを検討する。

3. 研究の方法

(1) 本地域におけるイトヨ (*Gasterosteus aculeatus*)のうち、いくつかの生息域では、周囲の生息地から隔離され、湧水にほとんど依存していたり、堰によって物理的に隔離が確認されている。これらの生息地における溶存態ストロンチウム同位体比とイトヨ耳石のストロンチウム同位体比を比較した。

続いて、小槌川と大槌川及びその支流河川、東日本大震災における津波によって、大槌川の上流部や沿岸域の自噴湧水による水たまりがスポット状に点在した形態となっている新規生息地にもイトヨは生息が確認されている。本研究では、これらの水系における溶存態ストロンチウム同位体比の分布を調査して、ストロンチウム同位体比によって移動の有無が検出できる場所を特定した。

さらに、環境水のストロンチウム同位体比の変化が大きい小河川においてイトヨ耳石のストロンチウム同位体比を比較し、そのイトヨ個別の移動履歴を比較した。

(2) 本研究は、東北地域松島湾の複数の地点から得られたマハゼを中心に分析するとともに、日本各地から得られた複数種のハゼ科海産魚も比較のため分析した。試料は解剖の後、組織別に分け乾燥し、酸分解を経て、元素濃度分析および同位体分析に供した。

4. 研究成果

(1) 隔離個体群に生息するイトヨの耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を各地点10個体ずつ測定したところ、その $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は生息地環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と強い正の相関を示し、回帰式の傾きはほぼ1となった($r=0.99$, $p<0.001$)。また、各地点のイトヨ10個体の標準偏差(2SD)は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ で 7.6×10^{-5} 以内であり、各地点で水と耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の差は $1.7 \sim 3.1 \times 10^{-5}$ であった。一方、Sr/Ca濃度比は耳石と環境水で相関を示さな

かったことから、淡水域内で Sr/Ca のみを用いた研究は難しいことを示した。

これらの結果は、人為的な水の流路変更がない限り $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は安定しており、狭い地域においても場所の指標となることを示す。また、イトヨ耳石と生息地環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の関係に対する回帰式の傾きがほぼ 1 であることは、もしこの関係がずれる試料があれば、その個体は他地域から移動してきた個体である可能性を示すことがわかった。

続いて、大槌地域において水系別に溶存態ストロンチウム同位体比を比較したところ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は大きく異なり、大槌川本流では 0.70844~0.70854、小槌川本流では 0.70721~0.70759、小槌川の支流では 0.70886~0.70988 というように異なった値をとった。特に小槌川の支流 (KA) では大きな変化を示し、上流から KA1~4: 0.70947~0.70959、KA5~6: 0.70921、KA7: 0.70886 という値であった (図 1)。これらの結果は、特に環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が大きく変化する場所では、その解像度に応じた詳細な移動を検知できる可能性があることを示す。

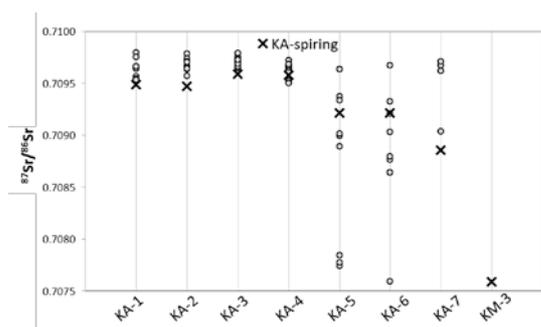


図 1 小槌川の支流 (KA) における河川水 (×) およびイトヨ耳石 (○) の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体比。KA1~7 は順に上流から下流の地点を示す。KA-spring は湧水、KM-3 は小槌川本流を示す。

さらに、その注目された小槌川の支流 (KA) におけるイトヨ耳石の詳細な研究を行った (図 1)。KA-1~4 の個体群の耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ とその領域内に含まれる湧水 (KA-spring) の範囲に含まれていた。このことから、KA-1~4 のイトヨは、KA-1~4 の生息地範囲内で行動していると考えられる。一方で、下流域 KA-5~7 のイトヨの耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、KA-5~7 の環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と近いものに加えて、KA-1~4 の環境水や小槌川本流や汽水域の環境水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と近い個体が存在した。それに加え、KA-5~7 の各地点で捕獲された個体群の耳石の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の標準偏差 ($3.2 \times 10^{-4} \sim 7.6 \times 10^{-4}$) と全地点の標準偏差 (6.7×10^{-4}) は、隔離地域の個体群内での $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の標準偏差である 3.5×10^{-5} や KA-5~7 の環境水の標準偏差 (2.0×10^{-5}) より顕著に大きかった。このことから、KA-5~7 の個体の中には、KA-5~7 に近接する地点か

ら移動してきた個体が存在すると推定される。

これらの結果より、支流河川上流のイトヨ個体群には下流域から移動してきた個体は見られないが、支流河川下流のイトヨ個体群には上流の個体群や小槌川本流や別の支流河川から移動してきたと考えられるイトヨが混在していることが明らかとなった。

(2) マハゼについて、異なる部位に分解して分析した結果、ネオジミウムは消化管やエラなど海水と強く交換する部位で最も高濃度であった。またネオジミウム濃度はアルミニウム濃度と強い相関を示し、体全体でも軟組織でも同様な関係が認められた。

マハゼは、ハゼ類の中でも一生を通して海水で生活することが知られている。松島湾の 5 地点で採取したマハゼのネオジミウム同位体比 (ϵ_{Nd} 値) は、分析誤差を超える変化を示した。さらに、このマハゼの ϵ_{Nd} 値は、陸域由来の ϵ_{Nd} 値と、より低い ϵ_{Nd} 値を示す沖合の海水の中間の値を示した。このことは、マハゼが沖合に移動あるいは沖合種を捕食している可能性を示唆する。しかし同一地点でも個体間の違いは大きく、その要因解明にはさらなる検討を必要とする。マハゼの鉛同位体比は有意な変化を示した。鉛同位体比の地点間の差異はネオジミウム同位体比に比べて明瞭であったが、地質では説明できる変化ではなく、周辺地質とは無関係な人間活動に由来する鉛が関与している可能性が高い。

(1) (2) 両研究を通じて、微量元素のパターンと重元素同位体比を用いた生物の移動の研究を行う意義は十分にあることがわかった。しかしながら、生物中に微量しか含まれていないネオジミウムと鉛については、まだ分析手法の難しさがある。また、生物中に微量しか含まれていないためどの組織を使うと履歴が明確に分かるかについても検討が必要であり、今後さらなる研究を進める必要があることがわかった。

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 0 件)

[学会発表] (計 16 件)

- 1) 札本果, 申基澈, 中野孝教, 森誠一, 陀安一郎「大槌域における河川水と淡水型イトヨのストロンチウム同位体比: 現在の生息域と過去の移動の推定法として」日本地球惑星科学連合 2015 年連合大会, 幕張メッセ 2015.05.27
- 2) 札本果「Sr 同位体からみる大槌町の水と

- イトヨ」2015年度日本魚類学会年会、市民公開講座(招待)、近畿大学奈良キャンパス、2015.09.07
- 3) 札本果, 森誠一, 申基澈, 中野孝教, 陀安一郎 「 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を用いた小型淡水魚の河川内の行動パターン評価」第5回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 京都 2015.12.25
 - 4) 札本果, 森誠一, 久米学, 西田翔太郎, 申基澈, 中野孝教, 陀安一郎 「ストロンチウム安定同位体比からみた淡水型イトヨ (*Gasterosteus aculeatus*) の河川支流内移動性」第63回日本生態学会仙台大会, 仙台国際センター, 仙台, 2016.03.22
 - 5) Ichiro Tayasu, Naoto F. Ishikawa, Takanori Nakano, Ki-Cheol Shin, Yutaka Kurita “Use of multiple isotopes in watershed ecology” IsoEcol 2016, Ito Hall, The University of Tokyo, Tokyo, 7 April 2016
 - 6) Konomi Fudamoto, Ichiro Tayasu, Takanori Nakano, Shin Ki-Cheol, Seiichi Mori, Manabu Kume, Syotaro Nishida “ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of whole otoliths reveal the different movement patterns between upstream and downstream populations of three - spined sticklebacks” IsoEcol 2016, Ito Hall, The University of Tokyo, Tokyo, 5 April 2016
 - 7) 陀安一郎, 申ギチヨル, 中野孝教 「多元素同位体を利用した地球環境学研究の展開」日本地球惑星科学連合2016年連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2016.05.24
 - 8) 齋藤有, 中野孝教, 申基澈, 山下勝行, 天川裕史, 由水千景, 松林順, 加藤義和, 富樫博幸, 天野洋典, 栗田豊, 奥田昇, 陀安一郎 「東北沿岸における貝類軟組織 Sr-Nd 同位体比の地域変化」日本地球惑星科学連合2016年連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2016.05.24
 - 9) 札本果, 申基澈, 中野孝教, 森誠一, 久米学, 西田翔太郎, 陀安一郎 「ストロンチウム安定同位体比と元素濃度を用いた水の動態と魚の過去の移動追跡」日本地球惑星科学連合2016年連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2016.05.24
 - 10) 札本果, 中野孝教, 申基澈, 森誠一, 久米学, 西田翔太郎, 木庭啓介, 陀安一郎 「小型魚類の河川内移動履歴解明における脊椎骨 Sr 同位体比の利用の検討」第6回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 京都, 2016.12.22
 - 11) 齋藤有, 申基澈, 中野孝教, 松林順, 加藤義和, 陀安一郎 「東北沿岸における貝類軟組織の Nd 同位体比の地理的多様性とその要因」第6回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 京都, 2016.12.22
 - 12) Elisa Palmisano “Elemental

concentration and Nd-Pb isotopic ratios in gobies: variation due to region, size, and body parts” 第6回同位体環境学シンポジウム, 総合地球環境学研究所, 京都, 2016.12.22

- 13) 陀安一郎 「多元素同位体、多元素分析アプローチについて」第64回日本生態学会大会, 早稲田大学, 東京, 2017.03.18
- 14) 札本果, 中野孝教, 申基澈, 森誠一, 久米学, 西田翔太郎, 木庭啓介, 陀安一郎 「小型河川魚の移動パターン解明のための複数組織同位体比の利用」第64回日本生態学会大会, 早稲田大学, 東京, 2017.03.15
- 15) 陀安一郎, SHIN Ki-Cheol, 中野孝教 「環境研究における多元素同位体マップ手法」JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉, 2017.05.23
- 16) 齋藤有, 松林順, 富樫博幸, 天川裕史, 申基澈, 中野孝教, 陀安一郎 “Nd isotopic variation of seawater along the Pacific coast of Tohoku district and its causal factor” JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 幕張メッセ, 千葉, 2017.05.23

6. 研究組織

(1) 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

(3) 連携研究者

中野孝教 (NAKANO, Takanori)
総合地球環境学研究所・名誉教授
研究者番号: 20155782

申 基澈 (SHIN, Ki-Cheol)
総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・助教
研究者番号: 50569283

齋藤 有 (SAITO, Yu)
総合地球環境学研究所・研究基盤国際センター・研究員
研究者番号: 60469616

(4) 研究協力者

札本果 (FUDAMOTO, Konomi)
京都大学大学院・理学研究科・修士課程
／博士後期課程

PALMISANO, Elisa
京都大学・生態学研究センター・研究生