

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号:12601

研究種目:基盤研究(B)

研究期間:2009~2011

課題番号:21380122

研究課題名(和文)魚類耳石の安定同位体比による回遊履歴の解明

研究課題名(英文)Studies on fish migration history using otolith stable isotope ratios

研究代表者

大竹 二雄(OTAKE TSUGUO)

東京大学・大気海洋雄研究所・教授

研究者番号:20160525

研究成果の概要(和文):アユ、ビワマス、ウナギを主要な研究対象に耳石の Sr 安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) や酸素安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{O}$ ) を用いて産卵場所を含む回遊履歴を明らかにした。耳石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  からアユの母川回帰性がないことを示し、ビワマスには母川回帰性があるもののその性質は弱く、母川近隣河川に遡上する傾向が強いことを明らかにした。耳石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  に基づいて、ウナギ産卵海域で採捕された親ウナギの成長場所の推定を行い、一部のウナギが日本列島太平洋岸の河川、汽水域で育ったことを示した。また、シラスウナギの耳石中心部分の  $\delta^{13}\text{O}$  から卵の分布が水温 26.0 °C、水深 150-170 m であることを明らかにした。この結果は 2009 年、2011 年の学術研究船白鳳丸によるウナギ卵の採集に大きく貢献した。

研究成果の概要(英文): Migration history including spawning area of Ayu (*Plecoglossus altivelis*), Biwa trout (*Oncorhynchus masou rhodurus*), Japanese eel (*Anguilla japonica*) was studied using otolith stable isotope ratios ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ,  $\delta^{13}\text{O}$ ). Otolith  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  analysis showed that ayu juvenile did not migrate to the hatched river. The analysis also determined that Biwa trout returned to hatched river and spawned, but the returning migration being vague with entering into neighboring rivers of hatched one. Otolith  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  of spawning adult eels collected in the spawning area west of Mariana Trench revealed the growth area of some adult eels to be rivers or estuaries in the Pacific coast of Japan, suggesting that eels in Japan contribute to the reproduction of the species.  $\delta^{13}\text{O}$  of the central portion of glass eel otoliths determined the spawning temperature and depth of the Japanese eel to be 26 °C and 150-170 m deep, respectively, which provided important information for collecting eel eggs in spawning area of the Japanese eel in 2009 and 2011 by Hakuho-Maru research cruises.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	12,100,000	3,630,000	15,730,000

研究分野:農学

科研費の分科・細目:水産学・水産学一般

キーワード:魚類・耳石・安定同位体比・回遊・母川回帰

## 1. 研究開始当初の背景

(1) アユ、ビワマス、ウナギなどの水産上重要な回遊魚の資源の減少が大きな問題となっており、資源の保全・増殖策の策定が急務とされた。

(2) 回遊魚の保全・増殖策を検討する上で産卵場を含む回遊過程の理解が不可欠である。

(3) 近年の同位体分析技術の発展により、魚類耳石の微小領域における同位体分析が可能になり、回遊や生息場所の環境に関する情報が得られるようになった。

## 2. 研究の目的

(1) 魚類耳石の Sr 安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) や酸素同位体比 ( $\delta^{13}\text{O}$ ) の微小領域分析法を確立する。

(2) 魚類の生息場所推定における耳石 Sr 安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) の有効性を検証する。

(3) アユの母川回帰性の有無を明らかにする。

(4) ビワマスの母川回帰性と遡上個体群の群構造を明らかにする。

(5) ウナギの産卵場特定のために必須な卵の採捕に重要な情報である卵の分布水深を推定する。

(6) 産卵場に来遊したウナギ親魚の成長場所を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 伊勢湾流入河川と三陸沿岸域の河川で採集された遡上アユ、琵琶湖流入河川で採集されたビワマス遡上魚、利根川で採集されたシラスウナギ、マリアナ西方のウナギ産卵場で 2009 年、2010 年に (独) 水産総合研究センター開洋丸により採集された親ウナギの耳石を材料とした。

(2) アユとビワマスについては、供試魚が採集された河川水、親ウナギについては日本、台湾、韓国、中国の主要河川(それぞれ 7、4、5、6 河川)の河川水も併せて分析試料とした。

(3) 耳石の分析試料はマイクロリング法により分析部位から試料を採取し、酸分解・抽出 (Sr 安定同位体) 後に質量分析を行った。分析には TIMS (TRITON TI, Thermo scientific) を用いた。シラスウナギ耳石の酸素安定同位体は SIMS (IMS1280-ION MICROPROBE, CAMECA) を用いて非破壊局所分析法により分析を行った。河川水の Sr 安定同位体はイオン交換樹脂を用いて Sr を抽出した後、TIMS (MAT262 FINNIGAN) を用いて分析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) アユの母川回帰と回遊

伊勢湾流入 3 河川 (長良川、櫛田川、宮川) と岩手県大槌湾流入河川 (鵜住居川) で採集されたアユ、および各河川水を用いて、耳石と生息環境水との  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の対応を調べた。その結果、両者の関係は  $y = 0.93x + 0.05$  (95%信頼限界) で示され、ほぼ 1:1 の関係にあることが明らかになった (投稿中)。上記 4 河川のアユの耳石中心部の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を河川水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  と比較して母川回帰の有無を調べると、長良川で 1/6 個体、宮川で 3/6 個体、櫛田川 0/1 個体、鵜住居川で 0/4 個体であり、調べた 17 個体中で母川回帰したと考えられた個体は 4 個体 (23.5%) であった。このことはアユが生物特性としての母川回帰性を有していないことを示唆する。また、比較的母川回帰個体の割合が高かった宮川は河口域の流れの弱い河川であったことから、流下仔魚の分散に強く影響を与える河口域の流動環境がアユの母川回帰に影響を及ぼすものと考えられた。アユの母川回帰性を科学的に検証したのは本研究が初めてである。アユ資源の保全・増殖を目的とした稚魚放流や産卵場整備を行う上で母川回帰の有無、遡上集団の集団構造の把握は不可欠であり、本研究の今後の展開が期待されている。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災が三陸地域のアユ資源に及ぼした影響を耳石解析から明らかにした。調査は鵜住居川 (釜石市) と盛川 (大船渡市) を遡上したアユについて行われた。調査の結果、地震・津波により早生まれ個体群が両河川において消失し、遅生まれ個体が遡上個体群の主体をなしたことが明らかになった。例年では早生まれ個体が遡上個体群の主体をなすことから、早生まれ個体群の消失が今後のアユ資源に及ぼす影響を調べる必要がある。

### (2) ビワマスの琵琶湖内回遊と遡上個体群

琵琶湖流入 5 河川 (鵜川、石田川、知内川、塩津大川、犬上川) で採集された稚魚を用いて、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  や微量元素における耳石と生息環境水との間の関係を調べた。その結果、耳石と生息河川水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  には、 $y = 0.77x + 0.16$  ( $r^2 = 0.988$ ) の関係があることが示され、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  が母川指標として有効であることが示された (図 1)。また、微量元素の中の Sr/Ca が耳石と生息河川間で直線関係が認められ ( $y = 0.12x + 0.16$ ,  $r^2 = 0.937$ )、母川判別に有効な指標であることが示された (図 2)。

鵜川、安曇川、知内川、天野川、犬上川で採集された遡上魚の稚魚期に当たる耳石中心部分 (直径 400 ミクロン) の部分の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  と微量元素 (Sr/Ca) を河川水と比較して、各河川遡上個体群の母川回帰率を調べた。そ

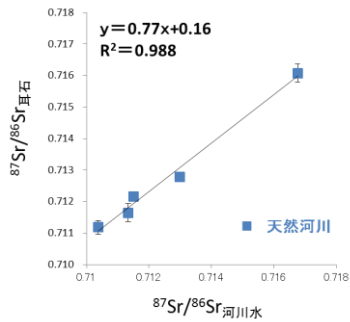


図1 ビワマスにおける耳石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  と生息河川水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  の関係

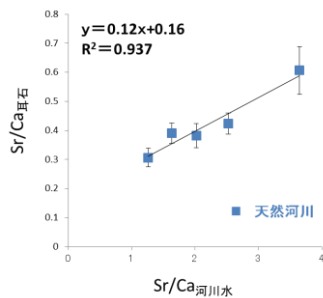


図2 ビワマスにおける耳石 Sr/Ca と生息河川水 Sr/Ca の関係

の結果、母川回帰率は河川により 0~50%と大きな違いを示した。一方、河川を琵琶湖北部、西武、東部の地域ごとにまとめて解析すると、それぞれの地域に回帰した個体の割合は 21~71%と計算された。このことは、母川回帰率は低いものの母川と地域を同一にする河川に回帰していることを示唆する。

### (3) 産卵親ウナギの育成場所と産卵

利根川に加入したシラスウナギの胚期に相当する耳石中心部分の  $\delta^{18}\text{O}$  を分析した。また、15、20、25、30 °Cで飼育したシラスウナギの耳石を用いて、耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と生息水温との関係を求めた。その結果、耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と生息水温との関係は  $y = 0.131x + 0.840$  ( $r^2 = 0.944$ 、関係式①)と示された(図3)。耳石中心部分の  $\delta^{18}\text{O}$  は -2.70~-2.40 であり、それを関係式①を用いて水温に換算すると卵の分布水温は 24.2~27.0 °C (平均 26.0 °C)と推定された(図4)。さらにウナギ産卵海域の水温の鉛直分布図からそれらの水温は水深 150~170 mに相当することが明らかになった。すなわち、ウナギの卵は水深 150~170 mに分布し、平均水温 26.0 °Cで発生が進み孵化するものと考えられた。この結果は2009年と2011年に実施された学術研究船白鳳丸航海におけるウナギ卵採集の成功に大きく貢献した。また、ウナギ人工種

苗生産技術の改良にも貢献するところが大きい。

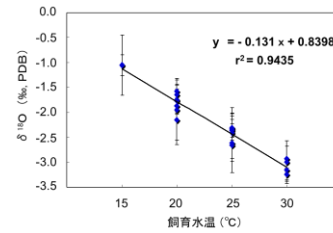


図3 シラスウナギの耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と生息水温の関係

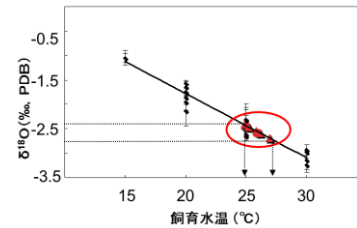


図4 シラスウナギ耳石  $\delta^{18}\text{O}$  と生息水温との関係図上に示したシラスウナギ耳石中心部分の  $\delta^{18}\text{O}$  の分析結果。耳石中心部分の  $\delta^{18}\text{O}$  は 24.2~27.0 °Cに相当することがわかる。

2009年、2010年にマリアナ諸島西方のウナギ産卵海域において水産庁漁業調査船開洋丸により採集された12個体の親ウナギの耳石における淡水、あるいは汽水生活期に相当する部分の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  を分析した。なお、分析に先立って、耳石 Sr/Ca 比分析により、それぞれの個体を川ウナギ、汽水ウナギ、海ウナギに分類し、川ウナギと汽水ウナギのみを  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  分析に供した。その結果、1尾の川ウナギの耳石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  は 0.707793、6尾の汽水ウナギでは 0.708580~0.70994であった。これらの結果と各国の河川水の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  値の傾向から、川ウナギを含む3個体(耳石  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  : 0.707793、0.708580、0.709068)は日本列島太平洋岸の河川や汽水域で成長し、産卵場に産卵回遊したことが示唆された。すなわち、日本に分布するウナギは産卵場に産卵回遊し再生産に寄与しているものと考えられた。

### (4) その他

#### ①イトウの回遊履歴に関する研究

イトウの鱗に蓄積された微量元素組成(Sr:Ca比)の局所分析を行い、それが個体の通し回遊履歴の有効な指標となることを明らかにした。この手法は耳石による回遊履歴研究とは異なり、対象魚を解剖する必要がない点でイトウのような希少性の高い魚種の研究には有効であり、将来の発展が期待される。また、浮上期稚魚の耳石 Sr 安定同位体比 ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) が母魚の卵黄の影響を受け

て変化することを示し、これより耳石への卵黄の影響を除ることにより耳石 Sr 安定同位体比が母川判別の指標として有効となる可能性を提示した。さらに河川生活期における食性の解析から同所的に分布するヤマメとの棲み分けの実態を明らかにした。

②ニシンの回遊と個体群構造に関する研究

本州太平洋沿岸地域（青森県尾駮沼、岩手県宮古湾、山田湾、越喜来湾、宮城県松島湾）、北海道日本海側地域（石狩湾、苫前沖）、北海道東部沿岸地域（藻琴湖、風蓮湖、厚岸湾）において採集された産卵魚について、耳石微量元素組成による個体群判別の可能性について検証した。本州太平洋沿岸地域内のサンプル間においては、約 70-92%の正判別率を示した。一方、北海道日本海側地域内のサンプル間においては約 76-80%、北海道東部沿岸地域内のサンプル間においては約 83-92%の正判別率を示した。これらの結果から、耳石中の微量元素組成は採集地点の間で有意に異なり、生息場所が異なる個体群の判別に有用であることが示された。

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 6 件）

- ① Yamane K., Shirai K., Nagakura Y., Otake T. Assessing the usefulness of otolith elemental compositions for evaluating the population structure of the Pacific herring *Clupea pallasii* in northern Japan. *Fisheries Science*, 78: 295-307, 2012. 査読有  
[DOI 10.1007/s12562-011-0466-0](https://doi.org/10.1007/s12562-011-0466-0)
- ② Suzuki K., Yoshitomi T., Kawaguchi Y., Ichimura M., Edo K., Otake T. Migration history of Sakhakin taimen *Hucho perryi* captured in the Sea of Okhotsk, northern Japan, using otolith Sr:Ca ratios. *Fisheries Science*, 77: 313-320, 2011. 査読有  
[DOI 10.1007/s12562-011-0335-x](https://doi.org/10.1007/s12562-011-0335-x)
- ③ Tsukamoto K., Chow S., Otake T., 他 16 名. Oceanic spawning ecology of freshwater eels in the western North Pacific. *Nature Communications*, February 1, 2011. 査読有  
[DOI 10.1038/ncomms1174](https://doi.org/10.1038/ncomms1174)  
[www.nature.com/ncomms](http://www.nature.com/ncomms)
- ④ Shinoda A., Otake T. 他 19 名. Evaluation of the larval distribution and migration of the Japanese eel in the western North Pacific. *Review of Fish Biology and Fisheries*. 21: 591-611, 2011. 査読有

[DOI 10.1007/s11160-010-9195-1](https://doi.org/10.1007/s11160-010-9195-1)

- ⑤ Miller M.J., Yoshinaga T., Aoyama J., Otake T., Mochioka N., Kurogi H., Tsukamoto K. Offshore spawning of Conger myriaste in the western North Pacific: evidence for convergent migration strategies of anguilliform eels in the Atlantic and Pacific. *Naturwissenschaften*, 98: 537-543, 2011. 査読有  
[DOI 10.1007/s00114-011-0787-y](https://doi.org/10.1007/s00114-011-0787-y)
- ⑥ Yamane K., Shirai K., Nagakura Y., Yamaguchi M., Takita A., Hori T., Tanaka N., Yamada S., Arai T., Otake T. Spatial variation in otolith elemental composition of the Pacific herring *Clupea pallasii* in northern Japan. *Aquatic Biology*, 10: 283-290, 2010. 査読有  
[DOI 10.3354/ab00291](https://doi.org/10.3354/ab00291)

〔学会発表〕（計 17 件）

- ① 畑正好. 平成の大津波とアユ. 三陸沿岸生態系に対する大津波の影響と回復過程に関する研究報告会（東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターシンポジウム）. 2011 年 12 月 17 日. 岩手県大槌町
- ② 山根広大. 宮古湾で生まれたニシン仔稚魚の生息環境. 三陸沿岸生態系に対する大津波の影響と回復過程に関する研究報告会（東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターシンポジウム）. 2011 年 12 月 17 日. 岩手県大槌町
- ③ Suzuki K. Element analysis of fish scale using micro-PIXE – Application for estimation of migration history of endangered species. 7th International Symposium on Bio-PIXE (Bio-PIXE 7). 2011 年 10 月 31 日. 仙台市
- ④ 畑正好. 東日本大震災を生き抜いたアユの日齢組成と回遊履歴. 平成 23 年度日本水産学会秋季大会. 2011 年 9 月 29 日. 長崎市
- ⑤ 鈴木享子. 降海型イトウの回遊履歴と胃内容物組成. 第 15 回応用生態工学会. 2011 年 9 月 14 日. 金沢市
- ⑥ 天野洋典. ビワマスの母川回帰性—耳石の安定同位体比と微量元素組成による検討—. 第 61 回琵琶湖博物館特別研究セミナー「琵琶湖にすむビワマスの生態に迫る」. 2011 年 7 月 24 日.

- 草津市
- ⑦ 山根広大. 耳石中の微量元素組成に基づいた日本沿岸域におけるニシンの個体群構造の推定.平成 22 年度日本水産学会春季大会. 2011 年 3 月 27 日. 東京
- ⑧ 天野洋典. ビワマスの母川指標としての耳石 Sr 安定同位体比の有効性. 平成 22 年度水産学会秋季大会. 2010 年 9 月 24 日. 京都市
- ⑨ 畑正好. 三陸沿岸域 (大船渡) におけるアユの初期生活史. 平成 22 年度日本水産学会秋季大会. 2010 年 9 月 23 日. 京都市
- ⑩ 山根広大. 岩手県宮古湾に生息するニシン仔稚魚の分布と塩分環境: 湾奥に存在する伏流水域の成育場としての利用. 平成 22 年度日本水産学会秋季大会. 2010 年 9 月 23 日. 京都市
- ⑪ Otake T. Otolith stable isotope analysis to determine the origin of the spawning adults. International Symposium on Eel 2010 – Advances in Reproductive Ecology, Physiology and Artificial Production of the Japanese Eel. 2010 年 6 月 25 日. 柏市
- ⑫ Shirai K. eel larvae may hatch in the surface layer near the West Mariana Ridge: Ion microprobe  $\delta^{18}O$  analysis with 7  $\mu m$  spatial resolution in glass eel otoliths. Annual Goldschmidt Conference. 2010 年 6 月 15 日. Knoxville (米国)
- ⑬ 天野洋典. 耳石の微量元素組成におけるビワマス遡上魚の個体群構造. 平成 22 年度日本水産学会春季大会. 2010 年 3 月 28 日. 藤沢市.
- ⑭ 鈴木享子. イトウの飼育環境と耳石・鱗における Sr 分布の関係. 第 26 回 PIXE シンポジウム. 2009 年 11 月 19 日. 千葉市.
- ⑮ 大竹二雄. ウナギの耳石酸素同位体比局所分析による産卵水温・水深の推定. 平成 21 年度日本水産学会秋季大会. 2009 年 10 月 2 日. 盛岡市
- ⑯ 畑正好. 三陸沿岸域におけるアユの初期生活史. 平成 21 年度日本水産学会秋季大会. 2009 年 10 月 2 日. 盛岡市
- ⑰ Shirai K. Assessing the usefulness of pressed powder pellets standard prepared from three biogenic calcium carbonate certified references material for improving the accuracy of otolith chemistry

using LA-ICP-MS. 4th International Otolith Symposium. 2009 年 8 月 25 日. Monterey (米国).

[図書] (計 1 件)

- ① 大竹二雄, 他、恒星社厚生閣、魚類生態学の基礎 (塚本勝巳編、9 章耳石解析)、2010、100-109

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大竹 二雄 (OTAKE TSUGUO)  
東京大学・大気海洋研究所・教授  
研究者番号：20160525

### (2) 研究分担者

天川 裕史 (AMAKAWA HIROSHI)  
東京大学・大気海洋研究所・特任研究員  
研究者番号：60260519

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：