耳石 Sr:Ca 比による岡山県吉井川および高梁川産シラウオの 回遊履歴の推定

草加耕司,^{1*} 甲田和也,^{2a} 山本雅樹,^{2a} 岩本俊樹,^{1b}
弘奥正憲,^{1c} 竹本浩之,^{1b} 片山知史,³ 海野徹也²

(2019年7月26日受付, 2019年11月25日受理, 2020年2月18日J-STAGE 早期公開)

¹岡山県農林水産総合センター水産研究所, ²広島大学大学院生物圏科学研究科, ³東北大学大学院農学研究科

Estimation of the migratory history of Japanese icefish *Salangichthys microdon* in
the Yoshii and Takahashi Rivers, Okayama Prefecture, using otolith Sr:Ca ratio

KOJI KUSAKA,^{1*} KAZUYA KODA,^{2a} MASAKI YAMAMOTO,^{2a} TOSHIKI IWAMOTO,^{1b}
MASANORI HIROOKU,^{1c} HIROYUKI TAKEMOTO,^{1b} SATOSHI KATAYAMA³
AND TETSUYA UMINO²

¹Okayama Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry, and Fisheries Research Institute for Fisheries Science, Ushimado, Setouchi, Okayama 701-4303, ²Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University, Higashi-hiroshima, Hiroshima 739-8528, ³Graduate School of Agricultural Science, Tohoku University, Sendai, Miyagi 980-8572, Japan

Catch quantities of the Japanese icefish *Salangichthys microdon* (family Salangidae) in the Yoshii and Takahashi Rivers have declined gradually over the past several decades. The migratory history of Japanese icefish collected from brackish waters in the Yoshii and Takahashi Rivers was examined using otolith strontium-to-calcium (Sr:Ca) ratios of 27 and 25 specimens, respectively. The otolith Sr:Ca ratio of all individuals from both rivers changed throughout the otolith profiles, from the core to the edge, in increments of $10\text{--}30 \times 10^{-3}$, a value intermediate between the ratios otherwise reported for individuals from freshwater (Lake Kasumigaura, $1.2\text{--}4.4 \times 10^{-3}$) and from a marine area (off Misawa, $25.3\text{--}32.2 \times 10^{-3}$). These results suggested that all specimens collected from the two rivers had scarcely been resident in freshwater or seawater; thus, all the studied fish could be categorized as a non-diadromous form resident in brackish water.

キーワード：回遊履歴, シラウオ, 耳石 Sr:Ca 比, 高梁川, 吉井川

シラウオ *Salangichthys microdon* はキュウリウオ亜目シラウオ科に属し, 体長は 70–100 mm, 幼形成熟して満 1 年で寿命を完結する年魚である。¹⁾ 朝鮮半島東海岸からロシア沿海地方, 国内では北海道から岡山までの太平洋岸および熊本までの日本海沿岸の汽水湖を中心として河口域や沿岸域等に分布する広塩性の魚類で,¹⁾ ワカ

サギ *Hypomesus nipponensis* と並び汽水域における重要な水産資源となっている。

農林水産省の内水面漁業生産統計調査 (農林水産省 2019 : http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei/index.html, 2019年4月25日) によると, 全国の漁獲量は近年減少傾向にあるが, 年間 600 トン前後

で安定している。その主産地は青森県小川原湖、茨城県霞ヶ浦、北海道網走湖、鳥根県宍道湖等の淡水および汽水湖で全体の9割以上を占めており、河川河口域の産地では激減している。岡山県のシラウオ漁業は1950年代から高梁川や吉井川の下流域で始まり、固定式さし網や四つ手網により最盛期には年間10トン前後の漁獲があったが、現在では統計に上がらない量まで減少し、漁業の存続が危ぶまれている。こうした現状から2011年、2012年に吉井川で固定式さし網を行う2漁協が操業を自粛したものの、翌年以降の漁獲量増加には結び付かず、本種の生態や河川環境にあった資源管理方策や環境保全策の検討が求められている。

本種の生息環境および生態について、比較的資源の安定している汽水湖では、全生活史にわたる調査が行われ、資源管理の取組みもなされている。一方、河川での知見は福岡県室見川（小谷、未発表）、京都府由良川（桑村、未発表）および北海道石狩川²⁾等の日本海沿岸の数例のみと不十分であり、特に瀬戸内海での報告は見当たらない。そこで筆者らは、2013–2016年に吉井川下流および河口域において終年の採集調査を実施し、当水域における産卵期が2–5月で、5月から体長10–20 mmの仔魚が沿岸の砂浜付近に出現、6–11月の間に稚魚となって泥干潟等で40 mmに成長し、1, 2月には80 mmの成魚となるなど、生息環境や成長、成熟、分布等の生態と生活史の一端を明らかにした。³⁾しかし、資源管理方策を構築する上で不可欠な分布範囲や移動・回遊⁴⁾の詳細は未解明な課題として残された。

本種の分布域は、海跡湖、河川河口域や沿岸部など淡水と海水の双方の影響を受ける水域で、茨城県涸沼⁵⁾では終年湖内に分布するが、網走湖⁶⁾や小川原湖⁷⁾では降海群と湖内に終年残留する群の混在が示されている。また、室見川（小谷、未発表）および由良川（桑村、未発表）など外海に面する水系の分布範囲は河川内の塩水楔と河口周辺域に限定され、河口を大きく離れて回遊しないとされるなど、その回遊パターンは水系によって様々である。河川下流の多くに堰堤が整備され、河口域から静穏な内湾が続く瀬戸内海では、河口から離れ海洋沿岸域を渡るような長距離移動やそれに伴う近隣河川群との交流など、これまで報告にない新たな回遊パターンを含む生活史多型が存在する可能性は否定できない。

近年、耳石微量元素、特にカルシウムに対するストロンチウム濃度比（Sr:Ca比）の挙動から、淡水、汽水、海水といった塩分の異なる水域間を行き来する通し回遊魚の回遊履歴を推定する技術が確立⁸⁾、その有効性が確認され、本種^{6,7,9)}をはじめとした回遊の詳細が明らかにされている。そこで本研究では、淡水湖である霞ヶ浦や太平洋沿岸の三沢地先海域で採集されたシラウオの耳石微量元素の測定により、まず淡水および海水生活期の

Fig. 1 Map showing sampling locations of the Japanese icefish *Salangichthys microdon* (dotted circles) collected for otolith analysis. Water samples were collected at Harima-nada, Mizushima-nada, Lake Kasumigaura, and off Misawa (solid circles) for determination of the environmental concentrations of strontium and calcium.

Sr:Ca比を明らかにした上で、高梁川と吉井川産シラウオの耳石Sr:Ca比分析を行い、両河川における分布範囲や分散・移動等の履歴の推定を試みた。

材料と方法

調査水域 瀬戸内海に流入する岡山県三大河川のうち吉井川と高梁川の下流および河口域を調査対象とした（Fig. 1）。吉井川は県東部を南北に貫通し、児島湾を経て播磨灘北西部に注ぐ長さ133 km、流域面積2,060 m²の一級河川である。河口から約7 km上流には灌漑のために設置された鴨越堰が上流への塩水遡上を遮断しているため、堰から下流が感潮域となっている。吉井川河口の児島湾は岡山市街地の南に位置し、東西方向に約10 kmと長く、吉井川のほか旭川、人工湖である児島湖からの流入が複雑で富栄養化しやすい内湾である。一方、高梁川は県西部を流れ、倉敷市と水島工業地帯を経て水島灘に注ぐ長さ111 km、流域面積2,670 m²の一級河川である。河口から約5 km上流に河口堰があり、堰から下流にかけては直線的な河岸が続いたあと、河口から水島灘に直接開放している。両河川の堰堤から河口域にかけての水域は、河川流量の増減や潮汐による水温、塩分等の環境変動が激しい汽水域である。^{3,10,11)}

これら2河川のほか、シラウオにおける耳石のSr:Ca比の上限値と下限値の把握を目的として本州太平洋側の霞ヶ浦および小川原湖至近の三沢地先を調査対象とした。霞ヶ浦（西浦）は、茨城県の東南部に位置する湖面

積 172 km², 平均水深 4 m (最大 7 m) の淡水の海跡湖である。一方, 小川原湖は青森県東部の湖面積 63 km², 平均水深 11 m (最大 25 m) の淡水に近い汽水の海跡湖である。湖の東北部から流出する高瀬川が三沢海岸に注ぎ太平洋と通じており, 小川原湖の降海群⁷⁾と考えられる個体が三沢地先で漁獲されている。

供試魚 2012 年 2 月 16 日に吉井川および 2015 年 2 月 19 日に高梁川下流において, 押網 (網幅 8.5 m) および四ッ手網 (6 m 四方) により採集されたシラウオ成魚, それぞれ 27 個体と 25 個体を供試した。さらに, 淡水域の対象として 2014 年 11 月 25 日に霞ヶ浦の曳網 (袖網と袋網長 20 m) で, また外海域の対象として同年 4 月 15 日に三沢市地先の水深約 5 m 海域における刺網で採集された各 5 個体を加えた計 62 個体を耳石微量成分分析用検体とした (Table 1)。また, 2013–2015 年の間に吉井川河口域で採集された仔魚から成魚計 120 個体の体長を測定後, 耳石 (扁平石) を取り出して最大半径を測定し, 耳石半径と体長との関係式を求めた。

供試魚は原則として -80°C で冷凍保存した後, 解凍し, テジタルノギスを用いて標準体長を測定後, 実体顕微鏡下で摘出した耳石の半径をデジタルカメラの計測システム (DP21, OLYMPUS 社) により 1 μm の精度で測定した。

耳石分析方法 各産地の魚体頭部からピンセットを用いて耳石を摘出し, アルコール中で付着物を完全に除去した。耳石凸面が上になるようにエポキシ樹脂 (Epo-fix, Struers 社) に包埋し, 真空デシケーター内で乾燥させた。次に耳石の核が露出するまで耐水研磨紙 (#320–2,400) を用いて研磨機 (S5629, Struers 社) で研磨し, 1–3 μm のダイヤモンドペーストで研磨面を鏡面仕上げした。さらに表面にカーボン蒸着を施し, 波長分散型電子線プローブマイクロアナライザー (日本電子, JXA-8200 型) の試料とした。全ての耳石について, 耳石中心核から縁辺に至る線上で線分析を行い, 発育に伴う耳石のカルシウムとストロンチウムの濃度変化を調べた。線分析は, 1 ポイント当たりの分析時間を 10 秒, 加速電圧および照射電流値はそれぞれ 15 kV および 10 nA とし, 吉井川産の 27 個体については測定間隔

5 μm, ビーム径 5 μm, それ以外の検体は測定間隔 3 μm, ビーム径 2 μm とした。線分析は, 耳石中心核から最長部位の縁辺までの線上で行い, プロファイルを得た。カルシウムとストロンチウム濃度の定量には, それぞれ CaSiO₃ および SrTiO₃ を標準試料として用い, カルシウムに対するストロンチウムの濃度比 (Sr/Ca) を 10³ 倍した値を Sr:Ca 比とした。

吉井川と高梁川産の分析結果については, 上記の吉井川産 120 個体から求めた耳石最大半径と体長との関係式を用いて耳石中心からの距離を体長に換算し, さらに計測距離から推定される理論体長と実側体長の割合を補正して, 体長変化に伴う Sr:Ca 比の推移として図示した。

環境水のストロンチウム濃度 成育環境である霞ヶ浦, 三沢地先 (太平洋), 吉井川, および高梁川河口の塩分とストロンチウム濃度を把握するため, 2015 年 11 月に各水域の水深 7–15 m の定点で船上からポリプロピレン製の容器を用いて表層水を採取し, -20°C で冷凍保存した。両河川については, 汽水域に河川水と混在している播磨灘および水島灘の海水を採水した (Fig. 1)。採水に用いた容器等は, 希塩酸および純水で洗浄後, 乾燥したものを用いた。環境水中のカルシウムとストロンチウム濃度は, 誘導結合プラズマ (ICP) 発光分析装置 (Varian 社, 730-ES) を用いて分析した。

なお, 各調査水域の 10 m 以浅における終年の塩分範囲は, 霞ヶ浦が 0.5 未満,¹²⁾ 小川原湖が 0.5–1.5,¹³⁾ 三沢地先が 32.7–33.6,¹⁴⁾ 吉井川河口が 0.8–27.3,³⁾ 高梁川河口が 6.2–31.1,¹¹⁾ 播磨灘が 30.9–33.2,¹⁵⁾ 水島灘が 30.5–32.8¹⁵⁾ である。

結 果

環境水中の Sr, Ca 濃度 霞ヶ浦の環境水は, 塩分 0.3, Sr 濃度は検出限界以下であった。一方, 太平洋三沢地先の塩分は 30.2, Sr 濃度は 5.7 mg/mL であり, Sr:Ca 比は 21 であった。吉井川および高梁川河口沖の瀬戸内海播磨灘と水島灘の塩分はそれぞれ 31.3 と 31.5, Sr 濃度は 6.1 mg/mL, Sr:Ca 比は 16.5 と 16.1 でほぼ同値であった。播磨灘と水島灘の環境水の Sr:Ca 比は, 淡水湖の霞ヶ浦より高く, 外海域の三沢地先の 78% と 76% の値を示した (Table 2)。

霞ヶ浦と三沢産の耳石 Sr:Ca 比 霞ヶ浦産 5 個体 (体長範囲: 54.5–69.5 mm) の耳石中心から縁辺部までの Sr:Ca 比の範囲は 1.2–4.4, 平均 2.6 と終始低レベルを推移した。同様に, 三沢産 5 個体 (56.6–61.4 mm) の Sr:Ca 比は全ての個体で耳石径 200 μm までは 4.3–11.2, 平均 6.7 と一定であった。しかし, その後 235 μm までの間に MS-1 を除く 4 個体で急激に上昇し, MS-2–5 における最大値の範囲は 25.3–32.2, 平均 29.2 に達した (Fig. 2)。

Table 1 Salinity characteristics of the study areas and a list of the *Salangichthys microdon* collected for otolith analysis

Locality	Salinity characteristic	Sampling date	Sample size	Standard length (range, mm)
Lake Kasumigaura	Freshwater	Nov 2014	5	54.5–69.5
Pacific, off Misawa	Seawater	Apr 2014	5	56.6–61.4
Yoshii River	Brackish water	Feb 2012	27	72.7–86.9
Takahashi River	Brackish water	Feb 2015	25	74.3–91.6

Table 2 Measures of salinity and the concentrations of strontium and calcium in Lake Kasumigaura and in the marine areas of Harima-nada and Mizushima-nada (Seto Inland Sea) and off Misawa (Pacific Ocean), Japan

Location	Depth (m)	Salinity	Sr (mg/L)	Ca (mg/L)	Sr/Ca ratio ($\times 10^3$)
Lake Kasumigaura	7	0.3	<0.1	14	—
Coast off Misawa (Pacific Ocean)	8	30.2	5.7	270	21.1
Harima-nada (Seto Inland Sea)	12	31.3	6.1	370	16.5
Mizushima-nada (Seto Inland Sea)	15	31.5	6.1	380	16.1

Fig. 2 The otolith strontium-to-calcium (Sr:Ca) ratios, measured with an electron microprobe from otolith core to edge, of *Salangichthys microdon* collected from fresh water (Lake Kasumigaura [KS]) and from a marine area (Pacific Ocean, off Misawa [MS]) in Japan. Labels within each panel are the sample code and the standard length of each specimen.

体長と耳石半径の関係 吉井川河口域で採集された仔魚から成魚に至る 120 個体 (12.1–90.9 mm) の耳石最大半径 (x) と体長 (y) との関係を見ると、概ね耳石径 50–100 μm の間に体長は 15–25 mm まで緩やかに増加、100–200 μm の間は 30 mm 前後ではほぼ一定し、200–300 μm で 75–90 mm にまで増加後、再び一定となった。これらの関係は、次式の回帰曲線で表せた (Fig. 3)。

Fig. 3 Regression curve depicting the relationship between otolith radius and standard length of the *Salangichthys microdon* collected in the Yoshii River, Japan.

$$y = 3.65E^{-11}x^5 - 1.50E^{-7}x^4 + 9.58E^{-4}x^3 - 0.0217x^2 + 2.06x - 45.4$$

$$(R^2 = 0.872, p < 0.001)$$

吉井川と高梁川産の耳石 Sr:Ca 比 吉井川産 27 個体 (72.7–88.9 mm) の Sr:Ca 比は、全期間の平均が 14.5、概ね 10–25 の範囲で推移した。体長別に見ると、発育初期の体長 20 mm までの Sr:Ca 比は、それ以降と比較して変動幅が少ない個体が大半であった。体長 20–50 mm の間には 4 個体 (No. YS-6, 10, 16, 22) で引き続き一定に推移したものの、他の 23 個体では変動が大きく、この期間中に最大値を示すものが多かった。体長 50 mm 以降は横ばいまたは上昇傾向ではほぼ一定に推移した (Fig. 4)。

高梁川産 25 個体 (74.3–91.6 mm) の Sr:Ca 比は、平均が 21.6、概ね 15–30 の範囲で推移した。吉井川産と同様に体長 20 mm までの Sr:Ca 比は、それ以降と比較して変動幅が少なかった。体長 20–50 mm の間には高いレベルで激しく変動して、特に 25 mm 前後に最大値 28 以上を示す個体が過半数であった。50 mm 以降は横ばいまたは減少傾向ではほぼ一定に推移した (Fig. 5)。

両河川を比較すると、プロファイルは高梁川産で全個体が一様であったのに対し、吉井川産では僅かながら個体差がみられ、全般に高梁川産より低かった。ただし、吉井川、高梁川産のいずれにおいても極端な変動および明瞭なパターンは認められなかった。

考 察

汽水域に生息する吉井川と高梁川産シラウオの回遊履歴推定のため、まずは淡水湖である霞ヶ浦と外海域の三沢産シラウオの耳石核から縁辺部までの Sr:Ca 比を測定し、上限と下限値を調べた。環境水の塩分が 0.3、Sr が検出限界以下 (Table 2) の霞ヶ浦産では、耳石 Sr:Ca 比の変動はみられず、平均 2.6 と低レベルで推移した (Fig. 2)。このことから淡水生活期を示す Sr:Ca 比の下限値は約 2 と判断された。今回 5 個体の測定ではある

Fig. 4 The otolith strontium-to-calcium (Sr/Ca) profiles, measured by electron microprobe from otolith core to edge (dotted line), for *Salangichthys microdon* collected from the Yoshii River (YS), Japan; otolith radii were converted to fish standard length (solid line). Labels within each panel are the sample code and the standard length of each fish specimen.

が、全個体が一樣であり他のパターンは確認されなかったことから、霞ヶ浦の個体群は汽水や海水など他水域への移動はなく、生涯を淡水湖内で過ごすことが示唆された。

次に環境水の塩分が 30.2 で Sr:Ca 比が 21.1 (Table 2) と高かった三沢産の耳石 Sr:Ca 比は、耳石核付近では 6.7 前後で一定であったが、その外側では 5 個体中 4 個体で約 30 にまで上昇した (Fig. 2)。片山ら⁷⁾は、三沢近隣の小川原湖内と流出河川である高瀬川で採集したシラウオ成魚 18 個体の耳石 Sr:Ca 比を測定し、常に 4-8 の低値で推移するパターンと約 30 まで急激な上昇を示すパターンに分け、それぞれを湖内残留型と遡河回遊型と判断している。本研究で急上昇のみられた 4 個体は後者の挙動と酷似し、沿岸採集群の分析からも遡河回遊型の存在を支持する結果となった。なお、急上昇のみられなかった 1 個体は、降海後間もなく採集された

ため、耳石縁辺部の測定値に反映されなかったものと推察された。これらのことから、海水生活期を示す Sr:Ca 比の上限値は約 30 であり、2 と 30 の間を汽水生活期と定義した。霞ヶ浦と三沢産から求めた Sr:Ca 比の範囲は、淡水湖と日本海沿岸の双方を分布域にもつ石狩川産の 0-30⁹⁾ と概ね一致した。シラウオの Sr:Ca 比範囲は、これまでに測定された他の通し回遊魚および周縁性魚類、ワカサギの 1-15,¹⁶⁾ アユ *Plecoglossus altivelis* の 1-10,¹⁷⁾ サツキマス *Salvelinus fontinalis* の 1-8,¹⁸⁾ マハゼの *Acanthogobius flavimanus* 0 - 10,¹⁹⁾ スズキ *Lateolabrax japonicus* の 0-8²⁰⁾ 等と比較すると、上限値が高く変動幅が大きい特徴があった。

吉井川産シラウオ耳石の Sr:Ca 比は、全期間の平均が 14.5, 10-25 の範囲 (Fig. 4) であり、全個体が淡水と海水が混合する汽水域での生活履歴を示した。吉井川河口沖の播磨灘海水の Sr:Ca 比が三沢沿岸水の 78% とや

Fig. 5 The otolith strontium-to-calcium (Sr/Ca) profiles, measured by electron microprobe from otolith core to edge (dotted line), for *Salangichthys microdon* collected from the Takahashi River (TK), Japan; otolith radii were converted to fish standard length (solid line). Labels within each panel are the sample code and the standard length of each fish specimen.

や低い (Table 2) ことを考慮しても海水域への移動は考えられず、また淡水域への侵入履歴も認められなかった。一方、高梁川産耳石では平均 21.6、範囲 15–30 とやや高めで推移し、体長 20–50 mm の稚魚期には 28 を超える個体が大半を占める (Fig. 5) など、汽水生活を主としながらも一部に海水での生活履歴も示唆する数値を示した。外海に開口する由良川 (桑村, 未発表)、石狩川²⁾の下流および河口では、稚魚や未成魚期には底層の塩水楔内に分布するとされている。堰から下流にかけて直線的な河岸が続いたあと河口から水島灘に直接開放する高梁川では、幼期に塩分の高い塩水楔等へ滞留、生息していることや沿岸の汽水域周縁部に分布する可能性が考えられた。ただし、高梁川産でみられた 30 前後の Sr:Ca 比はごく短期間の一時的な上昇値 (Fig. 5) であり、生活史の一部として海水域へ移動することによる変動とは考えられなかった。

吉井川河口域における産卵期は 2–5 月で、5 月から体

長 10–20 mm の仔魚が出現、6–11 月の間に稚魚となって 40 mm に成長し、1, 2 月には 80 mm の成魚となる。³⁾ 両河川産の Sr:Ca 比はいずれも体長 20 mm までは一定で、20–50 mm の間は変動が激しく、50 mm 以降は再び安定するなど、体長による変動幅や傾向が異なり (Figs. 4, 5)、前述の発育段階と概ね合致した。吉井川河口では仔魚は砂浜のサーフゾーン、稚魚や未成魚は泥干潟で多く採集された³⁾が、こうした発育段階別の生息場所や分布層の違いが Sr:Ca 比の変動差として現れる可能性がある。特に河川流量の増加する夏季には塩分環境の変動が激しい³⁾ため、これらが体長 20–50 mm の稚魚期の Sr:Ca 比に反映された結果と考えられた。また両河川を比較すると、吉井川は広域かつ閉鎖的な児島湾を河口に有することから、高梁川産より Sr:Ca 比が低くプロファイルが一様ではないなどの特徴がみられたものと考えられる。河川産では、河川流量や河口の地理的性状に伴う塩分環境の違いにより、プロファイルの差異が生じ

ることが確認された。

シラウオの生活様式は水域により様々であり、非通し回遊型の生息域としては河口周辺の汽水域で一生を過ごす由良川(桑村, 未発表)や汽水湖内で完結する潤沼⁵⁾が知られている。一方、通し回遊型の生息域は、河口沿岸から河川支流の淡水湖へ遡上する両側回遊型の石狩川,²⁾ 汽水湖から降海する遡河回遊型の小川原湖⁷⁾および網走湖⁶⁾が報告され、こうした通し回遊型が存在する全ての水域では非回遊型の残留群も混在する生活史の多型が存在するという。これら既存の知見に照合すると、本研究で分析した両河川産のプロファイルは石狩川の沿岸域残留型²⁾と類似し、全て非通し回遊型の汽水魚と判断された。室見川(小谷, 未発表), 由良川(桑村, 未発表)を含め他水域の河川産シラウオの多くはこのタイプにあたり、生活史多型は存在しないと考えられる。

今回の耳石 Sr:Ca 比分析により、岡山県の2河川で採集されたシラウオは河口汽水域に依存していることが明らかとなった。今後は、分布域を河川に続く汽水域に限定した上で、産卵場、成育場等の各発育段階の生息場所を特定し、その特性を明らかにする必要がある。これらの個体群は回遊パターンが多様ではないだけに、当水域内で現在機能している生息場所の保全に努め、環境整備策も検討すべきであろう。一方、受動的な漂流²¹⁾等を通じた他水域由来の仔魚供給による資源回復の可能性も考えられることから、集団遺伝的な手法を用いた調査を行うなど他県近隣河川との遺伝的交流の有無についても検討したい。

謝 辞

耳石 Sr:Ca 比分析に際し、広島大学自然科学研究支援開発センターの電子線マイクロアナライザーを使用した。分析に際して多大なるご協力を頂いた同技術センターの柴田恭宏 技術専門員に厚くお礼を申し上げる。霞ヶ浦および三沢地先の標本採集に当たっては、茨城県水産試験場内水面支場所 史隆氏、青森県八戸水産事務所の職員の皆様に大変お世話になった。謹んで感謝の意を表する。

文 献

- 1) 落合 明, 田中 克. 37・2 シラウオ. 新版 魚類学(下) 恒星社厚生閣, 東京. 1986; 475-477.
- 2) 山口幹人. 石狩川下流域および沿岸域に分布するシラウオの資源生態学的研究. 北海道立水産試験場研究報告 2006; **70**: 1-72.
- 3) 草加耕司, 弘奥正憲, 岩本俊樹, 竹本浩之. 吉井川河口域におけるシラウオの成長, 成熟および分布. 岡山県農林水産総合センター水産研究所研究報告 2018; **33**: 1-9.
- 4) 新井崇臣. 魚類の回遊履歴: 解析手法の現状と課題. 魚

- 類学雑誌 2002; **49**: 1-23.
- 5) Saruwatari T. Studies on the reproductive biology of Japanese Salangid fishes. PhD Thesis, Tokyo University, Tokyo. 1988.
- 6) Arai T, Hayano H, Asami H, Miyazaki N. Coexistence of anadromous and lacustrine life histories of the shirauo, *Salangichthys microdon*. *Fish. Oceanogr* 2003; **12**: 134-139.
- 7) 片山知史, 榎 昌文, 鶴ヶ崎昭彦, 沼辺啓市. 耳石微量成分分析から推定された青森県小川原湖におけるシラウオの遡河回遊群. 水産増殖 2008; **56**: 121-126.
- 8) Arai T. Studies on life history and migration in fish by otolith analyses. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2007; **73**: 652-655 (in Japanese with English abstract).
- 9) Yamaguchi M, Katayama S, Omori M. Migration pattern of shirauo *Salangichthys microdon* Bleeker, in Ishikari River system and adjacent nearshore sea area, Japan, as estimated by otolith microchemistry analysis. *Fish. Sci.* 2004; **70**: 546-552.
- 10) 高木秀蔵, 難波洋平, 藤沢節茂, 渡辺康憲, 藤原建紀. 備讃瀬戸に流入する河川水の広がりとなり漁場への栄養塩供給. 水産海洋研究 2012; **76**: 197-204.
- 11) 千田哲資. 岡山県高梁川におけるシラウオの産卵場. 魚類学雑誌 1973; **20**: 25-28.
- 12) 外岡健夫, 野内孝則, 富永 敦, 半澤浩美. 2004 年度霞ヶ浦北浦環境調査結果(資料). 茨城県内水面水産試験場研究報告 2006; **40**: 81-93.
- 13) 佐藤晋一, 静 一徳. 小川原湖の環境変動について. 青森県産業技術センター水産総合研究所研究報告 2014; **8**: 21-28.
- 14) 佐藤晋一. 青森県鮫角東方における海況について. 青森県水産総合研究センター研究報告 2004; **4**: 31-38.
- 15) 岩本俊樹, 高木秀蔵, 飯野浩太郎. 平成 21 年度岡山県沿岸の海況及び水質. 岡山県農林水産総合センター水産研究所報告 2010; **25**: 51-55.
- 16) Katayama S, Saruwatari T, Kimura K, Yamaguchi M, Sasaki T, Torao M, Fujioka T, Okada N. Variation in migration patterns of pond smelt, *Hypomesus niltonensis*, in Japan determined by otolith microchemical analysis. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.* 2007; **71**: 175-182.
- 17) 海野徹也, 清家 暁, 高塚 順, 平野美穂, 中川平介, 大竹二雄, 石井紀明, 後藤悦郎. 耳石 Sr/Ca 比およびアロザイムによる島根県斐伊川産アユの生態学的研究. 水産増殖 2005; **53**: 175-180.
- 18) Umino T, Seike S, Otake T, Nishiyama F, Shibata Y, Nakagawa H. Application of otolith microchemistry to reconstruct for migration history of amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawai*, captured at the Ohta River. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2001; **67**: 647-657 (in Japanese with English abstract).
- 19) Matsuzaki K, Kanou K, Kohno H. Upstream migratory history in juvenile stage of yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus* in Tokyo Bay as revealed by otolith Sr:Ca ratios. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2014; **80**: 928-933 (in Japanese with English abstract).
- 20) 太田太郎. 耳石情報による有明海産スズキの淡水遡上生態に関する研究. 博士論文, 京都大学, 京都. 2004.
- 21) 田中 克, 田川正朋, 中山耕至. 仔稚魚は回遊するか? 稚魚 生残と変態の生理生態学 京都大学出版会, 京都. 2009; 107-131.