

生物圏科学
Biosphere Sci.
50 : 33–42 (2011)

耳石 Sr/Ca 比による高知県四万十川および物部川産 カマキリ当歳魚の遡上履歴の推定

岡部正也¹⁾・佐伯 昭¹⁾・芥川健二²⁾・清家 暁²⁾・海野徹也²⁾

¹⁾ 高知県内水面漁業センター, 〒785-0016 高知県香美市土佐山田町高川原687-4

²⁾ 広島大学大学院生物圏科学研究科, 〒739-8528 広島県東広島市鏡山1-4-4

要 旨 カマキリ当歳魚の遡上履歴を推定する目的で、耳石輪紋の日周性ならびに耳石 Sr/Ca 比と塩分濃度との関係について調べた。その結果、本種の耳石輪紋は日周輪であること、および耳石 Sr/Ca 比は海水中で顕著に上昇することを確認した。これらの結果をもとに、高知県四万十川および物部川で採集したカマキリ当歳魚の遡上時期を推定したところ、海水から淡水への移行期は、いずれの河川においても3月上旬と推定された。

キーワード：カマキリ、降河型回遊型、遡上履歴、耳石 Sr/Ca 比

緒 言

北半球に分布するカジカ属魚類は、そのほとんどが河川型を示すが、我が国に生息するカジカ属7種は降河型回遊型、両側回遊型、陸封型など多様な生活様式を持つ（後藤, 1989；後藤, 1994）、カマキリ *Cottus kazika* は、カジカ属に属する我が国固有の淡水魚であり（黒田, 1947；長田・細谷, 1997）、秋田県以南の日本海側および神奈川県以南の太平洋側で生息が確認されている（川那部・水野, 1996）。本種の鰓蓋の後縁には湾曲した4本の鋭い棘があり、この棘で鎌のように切られるという伝承が、標準和名の“カマキリ”の由来となっている。また、アユカケ、アラレカゴ、ガクブツ、タキタロウ、フチガマなどのユニークな地方名で称され、塩焼きやちり鍋、甘露煮などの伝統料理の食材としても珍重される（杉本, 1994）。

本種の遊泳力は乏しく、堰堤などの河川工作物の設置により生息域が容易に制限される（高木・谷口, 1992；宮本・原田, 1997；竹下ら, 2004）。そのため、近年、個体数が全国的に減少しており（杉本, 1995）、環境省の定めるレッドデータでは絶滅危惧Ⅱ類に分類され、神奈川県他2県で絶滅危惧Ⅰ類、福井県他7県で絶滅危惧Ⅱ類、新潟県他7県で準絶滅危惧種に指定されるなど、絶滅が危ぶまれる状態となっている。

一方、福井県および高知県では、本種の繁殖保護を目的とした種苗生産技術の開発が試みられており、親魚養成、人工採卵、孵化仔魚の飼育に関する技術が確立されつつある（鈴木・山田, 1990；杉本ら, 1994；上野ら, 1998；黒原, 2001；田原・岩谷, 2007）。しかしながら、淡水馴致以降における生残率が著しく低いため、放流種苗の量産には到っていないのが現状である。

カマキリの産卵は、12月～3月頃に比較的塩分濃度の高い河口で行われる（沖山, 1988）。孵化は、高知県四万十川および京都府由良川河口域では1月下旬～2月中旬とされ、孵化仔魚は主に塩分濃度が高い碎波帯で成長したのち着底し、生活領域を河口周辺へと移行する（原田ら, 1999；Kinoshita *et al.*, 1999）。人工飼育下では、孵化は水温10℃前後で受精後21～30日を要し、孵化仔魚は浮遊生活を経た後、全長16.2mmに達した50日目には着底する（杉田・山田, 1995）。また、本種の回遊型が、耳石ストロンチウム／カルシウム濃度比（以下、Sr/Ca 比）の変動パターンにより推定されており、降河型回遊を示すことが確認されている（Goto and Arai, 2006）。しかしながら、着底期以降の生態に関しては研究例が少なく、河口周辺での採

集状況に基づき、四万十川での遡上開始時期は3月頃 (Kinoshita *et al.*, 1999), 京都府由良川での遡上サイズは体長30mm 前後 (日齢80日前後) と推定されているにすぎない (原田ら, 1999)。前述のとおり, 人工飼育下では, この発育段階での減耗が極めて大きいことから, 天然魚の遡上開始時期の詳細が把握できれば, 種苗生産における生残率の向上が図られるものと考えられる。

そこで, 本研究では, 本種が海域から河川域へと移行する時期の日齢を推定するため, 天然河川で採集したカマキリ当歳魚を飼育することで, 耳石輪紋の日周期性および塩分濃度と耳石 Sr/Ca 比の関係を明らかにした。さらに, これらの結果をもとに, 高知県四万十川と物部川で採集したカマキリの遡上開始時期における日齢の推定を試みた。

材料と方法

供試魚

供試魚は, 四万十川の河口から約10km 上流の四万十川橋付近において2002年3月29日に30個体 (平均体長±標準偏差, 30.2mm ±3.1), 物部川の河口から約4km 上流の物部川橋付近において2000年7月27日と2002年6月18日にそれぞれ75個体 (65.4mm ±5.7) と32個体 (52.9mm ±9.3) を, タモ網を用いて徒手採集した (Fig. 1)。このうち, 物部川の2000年採集群から無作為に抽出した10個体を耳石輪紋の日周期性の確認に, 48個体を塩分濃度別飼育に供した。また, 四万十川については10個体, 物部川については2002年の採集群から20個体を無作為に抽出し, 耳石 Sr/Ca 比の分析に供した。

耳石輪紋の日周期性の確認

当歳魚の耳石を alizarin complexone (以下 ALC, 株式会社同仁) により蛍光染色して飼育し, 輪紋の形成過程を追跡して日周期性を確認した。実験は, 広島大学生物生産学部の飼育施設内において行い, 供試魚10個体を2002年11月28日の午前9時と, 12月12日午後5時の2度にわたり50ppm ALC 溶液中に24時間浸漬し, 12月22日まで飼育して取り上げ, 各個体から耳石を摘出した (Fig. 2A)。耳石は, 垂直に保持した状態で樹脂包埋し, 核が露出するまで#220-2400の耐水研磨紙で研磨した。次に, 研磨面をスライドガラスに接着し, 再度, 逆方向から同様の方法で両面を研磨して, 縦断面を得た (Fig. 2B)。この標本を, G 励起フィルターにより励起した蛍光顕微鏡下で観察し, 2度の ALC 染色に

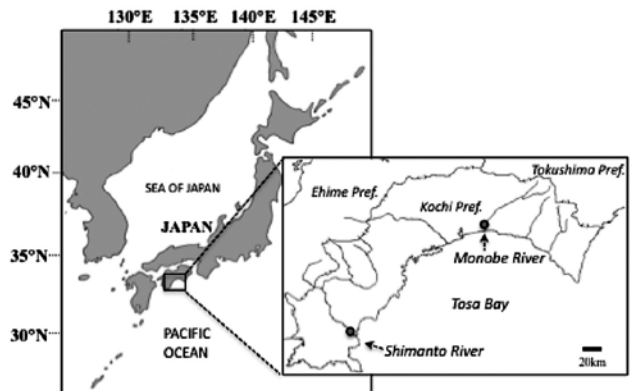


Fig.1. Location of collection sites. Circles on the detailed map represent sites at which up-stream *Cottus kazika* migrants were collected for the life-history scan in the Simanto (10 km from the mouth, March 29 2002) and Monobe Rivers (4 km from the mouth, Jun 18 2002).

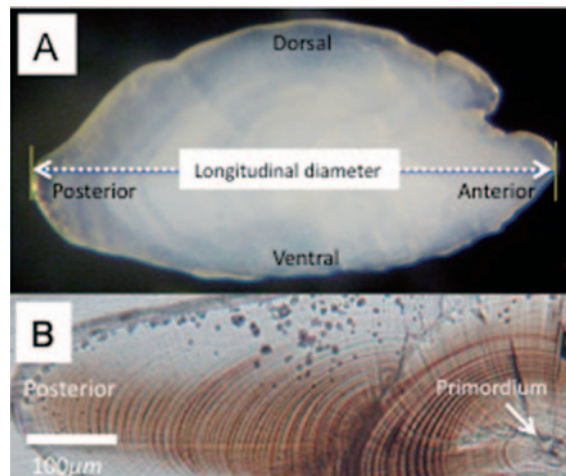


Fig.2. Whole sagittal otolith (A) and vertical plane (B) used for the life-history scan of juvenile *Cottus kazika*.

よる染色環の間の輪紋数を計数した。

耳石 Sr/Ca 比と飼育塩分濃度の関係

供試魚を塩分濃度の異なる飼育水で飼育し、耳石 Sr/Ca 比と塩分濃度との関係を調べた。実験は、高知県内水面漁業センターの飼育施設内において行い、淡水 (0.0psu)、半海水 (15.0psu) および全海水 (30.2psu) を満たした0.5t パンライト水槽3基に各16個体を収容して約1ヶ月間飼育した。実験には、同センターの敷地内にある取水井戸から汲み上げた地下水由来の淡水と、土佐湾沿岸の太平洋 (手結漁港地先) から直接採水した全海水を用い、半海水は両者を混合して調製した。飼育試験終了後、各区より生残個体を取りあげ、耳石 Sr/Ca 比分析を行った。各個体から摘出した耳石の両面を、前述の方法により研磨し、縦断面を得た。得られた研磨面は1 μ m および0.5 μ m のダイヤモンドペーストで鏡面仕上げして、炭素蒸着し、波長分散型電子線マイクロアナライザー (EPMA, JXA-733, 日本電子) を用いて、各個体の耳石 Sr/Ca 比を線分析と点分析により測定した。これらの分析の条件は、1ポイント当たりの測定時間を10秒、ビーム径5 μ m、電流値10nA、加速電圧15kv とし、線分析については耳石中心部から縁辺部にかけて5 μ m 間隔で波長を測定した (海野ら, 2001)。ストロンチウム濃度とカルシウム濃度の定量には、CaSiO₃ および SrTiO₄ を標準物質として用いた。また、点分析については、飼育試験時に形成された耳石の Sr/Ca 比を比較する目的で行い、線分析と同じ条件で各個体の耳石縁辺部について5点を測定した。

飼育水中の元素分析には誘導結合プラズマ発光分析装置 (SHIMADZU ICPQ 1012W, 島津製作所) を用い、各試験区の飼育水中のカルシウム濃度とストロンチウム濃度を測定した。

耳石 Sr/Ca 比分析

四万十川と物部川で採集したカマキリについて、線分析と面分析による耳石 Sr/Ca 比分析を行った。線分析については、前述の方法に準じた。また、面分析については、耳石表面のストロンチウムとカルシウムの濃度分布を比較する目的で、加速電圧15kV、照射電流値50nA、測定時間0.1秒、画素10 μ m の条件で測定を行った (海野ら, 2001)。これらの分析が終了した耳石については、分析面を1 μ m のダイヤモンドペーストにより再度研磨し、表面を0.1N エチレンジアミン四酢酸二ナトリウムで腐食処理した後、光学顕微鏡下で輪紋数を計数した。

結 果

耳石輪紋の日周期性

2度の ALC 染色を施したカマキリ当歳魚の耳石には、2本の明瞭な染色環が確認された (Fig. 3 A)。また、2本の染色環の間の平均輪紋数 \pm 標準偏差は13.2輪 \pm 0.5 (n=10) となり、染色を行った間隔である13日とよく一致した (Fig. 3 B)。これらの結果から、カマキリの耳石中に形成された輪紋は日周輪であると考えられた。

耳石 Sr/Ca 比と飼育塩分濃度

淡水区、半海水区および全海水区における飼育水温はいずれも21.5~24.5 $^{\circ}$ Cの範囲で推移し、区間で大き

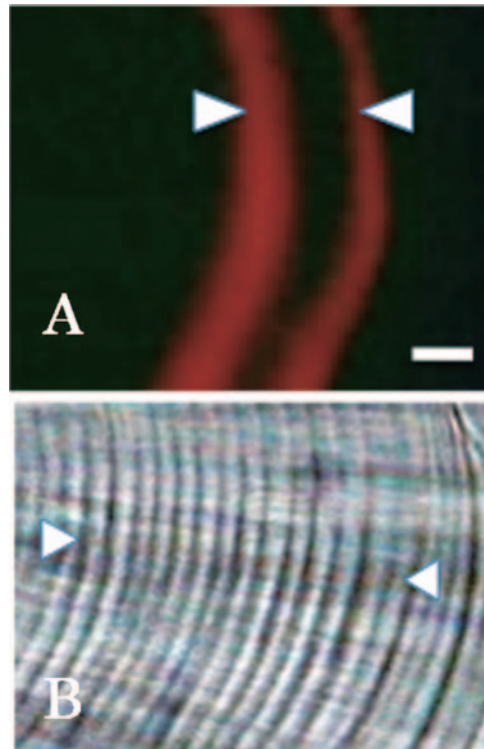


Fig.3. Sagittal otolith of *Cottus kazika* after being marked twice in a 50 ppm alizarin complexone (ALC) freshwater solution for 24 h. (A) Otolith photographed under UV light illustrating two consecutive fluorescent bands (bar=5 μ m). (B) Close up of the same otolith photographed under a white light. There are 13 daily increments between the two ALC marks.

な差は生じなかった。しかし、1ヶ月後の試験終了時における全海水区の生残率は31.3%と、死亡が見られなかった他の2区に比べて著しく低い値を示した。

線分析の結果、淡水区の個体の耳石 Sr/Ca 比はいずれも1前後の低い値で推移したが、半海水区および全海水区の耳石 Sr/Ca 比は、飼育試験開始後から著しく上昇し、いずれも4前後の値で上限に達した (Fig. 4)。また、点分析の結果、各区の個体の耳石縁辺部における Sr/Ca 比の平均値±標準偏差は、半海水区および全海水区では、それぞれ 4.4 ± 0.2 (n=16)、 4.5 ± 0.4 (n=5) と両区間で差異は認められなかったが、いずれも淡水区の 1.2 ± 0.4 (n=16) に比べて高い値を示した (Fig. 5)。

淡水から海水への移行時における耳石 Sr/Ca 比の境界値を特定するため、山口 (2006) の方法により、半海水区の供試魚の耳石中心から縁辺部までの全分析値についてヒストグラムを作成し、淡水と海水の値に相当する正規分布グラフの交点の Sr/Ca 比を求めた結果、2.1となった (Fig. 6A)。

淡水区、半海水区および全海水区における飼育水中のカルシウム濃度とストロンチウム濃度の定量を行った結果、各区のカルシウム濃度はそれぞれ26.8 ppm, 188.0 ppm, 357.3 ppm, およびストロンチウム濃度はそれぞれ0.13 ppm, 3.15 ppm, 6.29 ppm と、塩分濃度が高いほど高い値を示した。

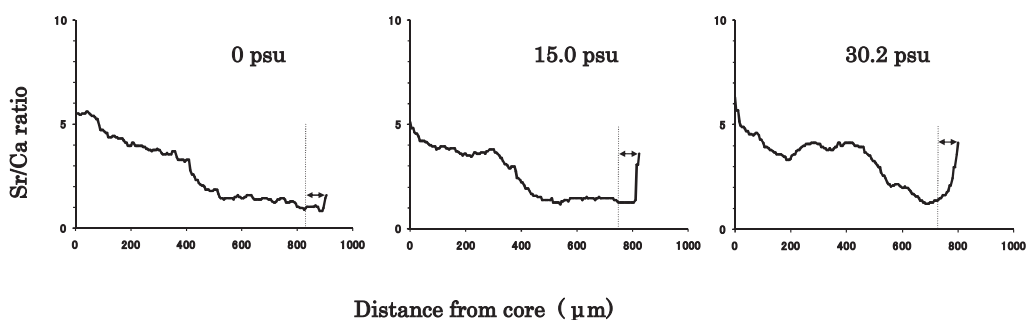


Fig.4. Changes in otolith Sr/Ca ratios in juvenile *Cottus kazika* reared for a month in ambient salinity, freshwater (0 psu), mixohaline water (15.0 psu), and seawater (30.2 psu). Horizontal arrows above the line represent the response period following changes in ambient salinity. The ratios were multiplied by 10^3 for visualization.

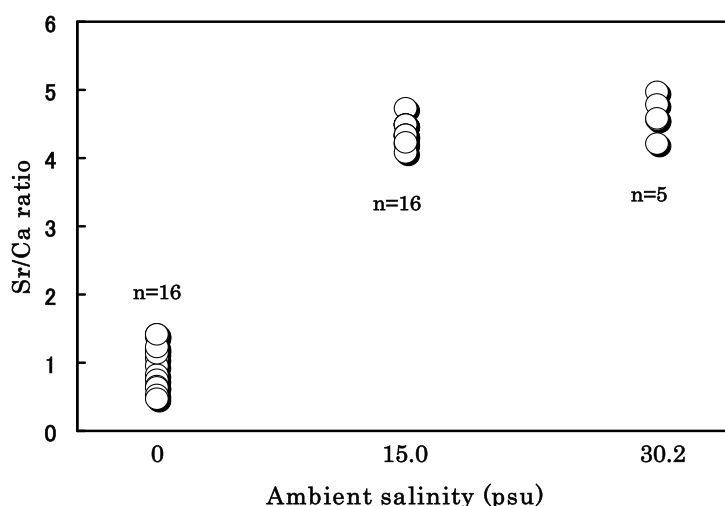


Fig.5. Point analysis of Sr/Ca ratios on the sagittal edge versus ambient salinity of juvenile *Cottus kazika*. Data for each individual represent the mean value of five points.

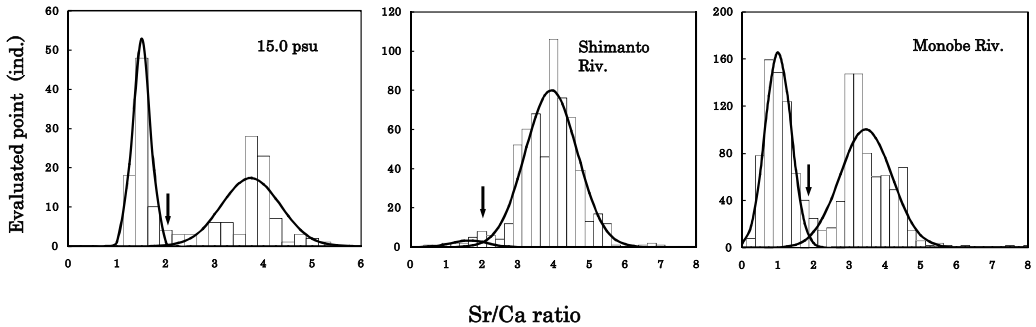


Fig.6. Frequency distribution of the points at which the Sr/Ca ratio was measured in the sagittal otolith of *Cottus kazika* held in mixohaline water (15.0 psu), the Shimanto River, or the Monobe River. The solid curves represent the estimated normal distribution based on the frequency distributions. Vertical arrows represent the cross points among fresh water and seawater phases.

物部川および四万十川産カマキリの耳石 Sr/Ca 比

線分析の結果、四万十川 (n=10) および物部川 (n=20) の各個体の Sr/Ca 比は、耳石中心から400~700 μ m 付近では、3~5の範囲で推移したが、それ以降1前後の低い値を示した (Figs. 7, 8)。さらに、面分析の結果、四万十川および物部川の各個体の耳石表面のカルシウム濃度は、いずれもほぼ均一であったが、ストロンチウム濃度は中心付近で高く、縁辺部で低い値を示しており (Fig. 9)、線分析の結果とよく一致した。したがって、耳石 Sr/Ca 比の変動パターンは、カマキリの生息域の移行に伴う環境水中の塩分濃度の変化を反映して

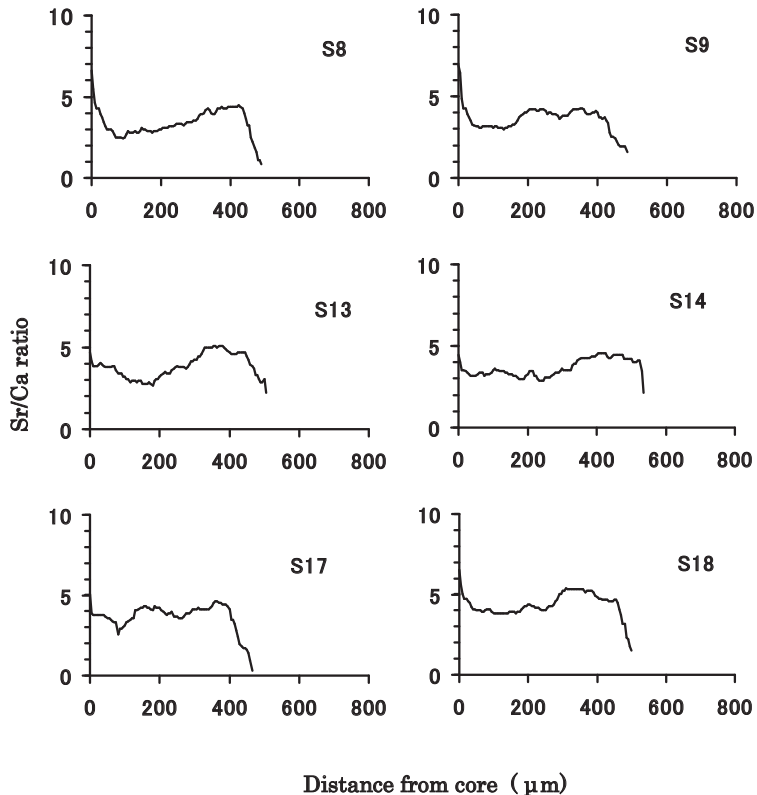


Fig.7. Changes in the Sr/Ca ratio between the core and the edge of the sagittal otolith of *Cottus kazika* from the Shimanto River.

いるものと判断された。

そこで、山口 (2006) の方法により、淡水と海水の値に相当する耳石 Sr/Ca 比の境界値を求めた結果、物部川で1.9、四万十川で2.0となった (Fig. 6B,C)。

さらに、この位置を淡水への移行期とみなして日周輪との照合をおこなった結果、縁部から移行期までの平均輪数は物部川で105.9輪 (80~108輪, n=6)、四万十川で20.4輪 (15~33輪, n=6) となった。

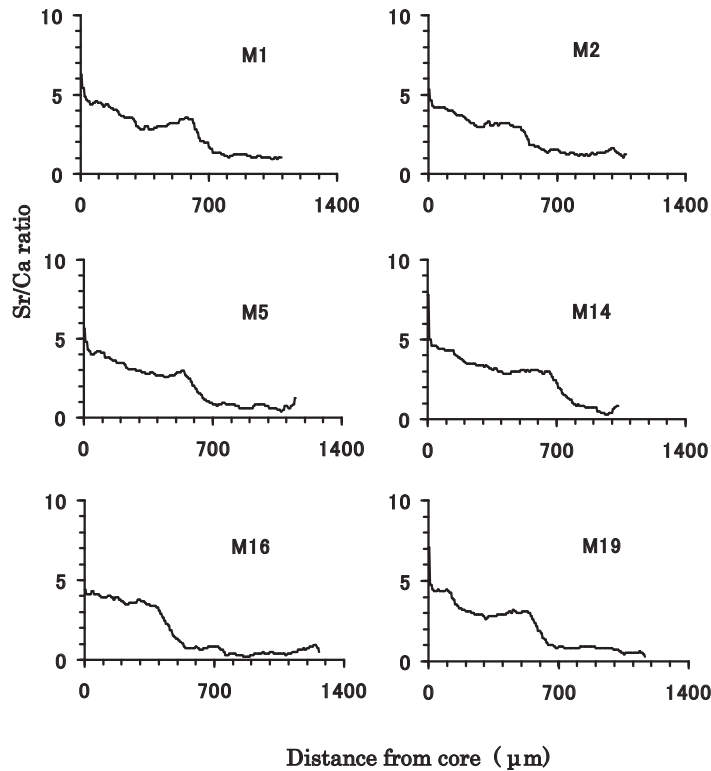


Fig.8. Changes in the Sr/Ca ratio between the core and the edge of the sagittal otolith of *Cottus kazika* from the Monobe River.

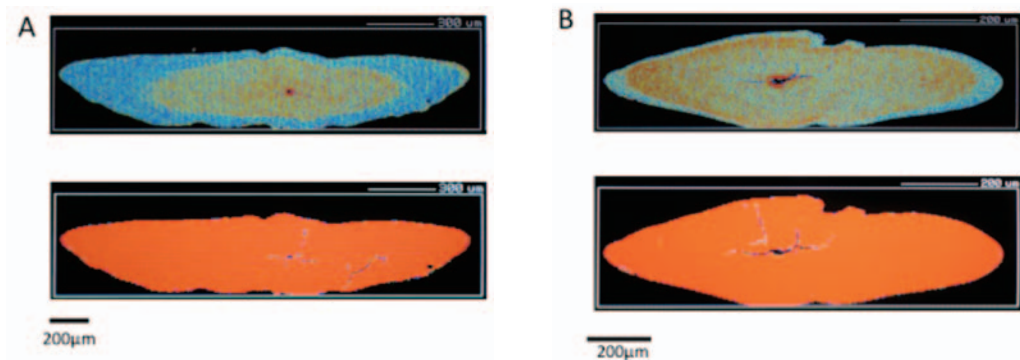


Fig.9. X-ray intensity of strontium (upper) and calcium (below) in *Cottus kazika* from the Monobe River (A) and Shimanto River (B).

考 察

カマキリの耳石輪紋数は、全長と高い相関を示すことが報告されているが（原田ら, 1999; Kinoshita *et al.*, 1999), その日周期性については詳細な検討がなされていない, また, 通し回遊魚の回遊履歴の推定に, 耳石 Sr/Ca 比分析を適用する場合には, 魚種ごとにその特性を把握しておく必要があるが（Secor and Rooker, 2000; Kraus and Secor, 2004), 本種では, 耳石 Sr/Ca 比と塩分濃度との関連が実験的に検証された例はない。そこで, 本研究では, まずカマキリ当歳魚の耳石輪紋の形成過程を追跡し, この輪紋が日周輪であることを確認した。また, 本種の耳石 Sr/Ca 比は, 淡水飼育では一定の低い値で推移したが, 海水飼育に移行することにより顕著な上昇が見られたこと, 淡水から海水に移行した時点の Sr/Ca 比の実験値は, 四万十川および物部川に遡上した個体の実測値とよく一致した, これらの結果から, カマキリでは, 耳石日周輪と Sr/Ca 比を照合することにより, 海域から淡水域への移行時の日令を正確に推定することが可能であると考えられた。

一般に, 魚類の耳石中に蓄積するストロンチウムは90%近くが環境水から取り込まれるとされているが（Farrell and Campana, 1996), Bath *et al.* (2000) は, 魚類の耳石中の Sr/Ca 比は環境水中のストロンチウムの絶対量ではなく, ストロンチウムとカルシウムの濃度比が反映される可能性を示唆した。本研究では, 半海水区の塩分濃度の調整に, 全海水区と同じ原海水を用いたことから, それらの Sr/Ca 濃度比は, それぞれ 1.675×10^{-2} および 1.760×10^{-2} とほぼ一定であった。また, これらを用いて飼育したカマキリの耳石 Sr/Ca 比はいずれも4前後となり, 両区間では差が認められなかった。これらの結果は, カマキリの耳石 Sr/Ca 比に, 環境水中の Sr/Ca 濃度比が反映されることを示唆しており, Bath *et al.* (2000) の報告を裏づけるものと考えられた。したがって, 本種の海域生活期の塩分環境を耳石 Sr/Ca 比により推定するためには, 生息域の海水の塩分濃度と Sr/Ca 比の関係を求める必要がある。さらに, 全海水区における試験終了時の生残率は31.3%と, 他の2区に比べて著しく低かったことから, 全海水区では, 塩分濃度の変化が魚体の浸透圧調節能力を上回っていたものと考えられた（岩谷ら, 2003a)。そのため, 魚体の生理状態に影響を与えない塩分濃度範囲において, 環境水中の Sr/Ca 比の違いが耳石 Sr/Ca 比にどの程度反映されるかを調べておく必要があると考えられた（Gallahar and Kingsford, 1996; Proctor and Thresher, 1998; Chang *et al.*, 2004)。

耳石中心から縁辺部までの全分析値から推定した, 淡水から海水, もしくは海水から淡水への移行時における各個体の Sr/Ca 比の平均値は, 塩分濃度別試験区で2.1, 天然河川で1.9（物部川）～2.0（四万十川）と, いずれもほぼ同じレベルを示した。これに対して, 山形県月光川で採集されたカマキリの耳石外縁部の Sr/Ca 比は2.4～3.2の範囲を推移し, その平均値は2.7であったことが報告されており（Goto and Arai, 2006), 本研究において淡水移行期と判断した値に比べてやや高い傾向を示している。これらの結果は, 本種の遡上パターンに地域差が存在することを示唆するもので, 採集した水域の環境水中における微量元素の組成, 水温などの物理的環境や, 地域個体群間の遺伝的背景についても比較検討する必要があると考えられた。

四万十川および物部川で採集したすべての個体において, 耳石縁辺部における Sr/Ca 比の顕著な低下が認められたことから, これらはすでに淡水域に移行した個体であると判断された。そこで, 日周輪と耳石 Sr/Ca 比の測定値を照合し, 淡水への移行期を推定したところ, いずれも3月上旬に相当し, Kinoshita *et al.* (1999) の報告とよく一致した。しかしながら, 淡水移行後の耳石 Sr/Ca 比については, 下流域（国土交通省直轄管理区間）の河床勾配が1/290と急流である物部川の個体に比べ, 1/1,200～1/2,200程度と緩やかで, 広い汽水域を持つ四万十川の個体で, より急激に低下する傾向が認められた。さらに, 淡水域への移行直後と考えられる四万十川の個体の平均体長は30.2mm と, 人工飼育下で淡水適応が可能とされる全長17.5mm（岩谷ら, 2003b) を大きく上回っていた, これらの結果は, カマキリの遡上が, 必ずしも発育段階や塩分濃度勾配に沿って行われるものではないことを示唆している。

本種の遊泳力は, 吸盤型の腹鰭を持つヨシノボリ類や, アユに比べて明らかに劣っており（高木・谷口, 1992; 竹下ら, 2004), 遡上時の流量, 流速などに大きく影響を受けると考えられる。そのため, 本研究の対象とした四万十川と物部川のカマキリについても, 河口域に広がる塩水くさびの消長（Kinoshita *et al.*, 1999) や, 河川ごとの物理的環境の違いにより, 遡上パターンに差異が生じたものと推察される。

謝 辞

耳石 Sr/Ca 比分析に際し、X線マイクロアナライザーの使用の機会を与えていただいた広島大学自然科学研究支援開発センター、分析に御協力いただいた広島大学技術センターの柴田恭宏技官、並びに水質分析に御協力いただいた科学技術庁放射線医学総合研究所の石井紀明博士(研究当時)に深く感謝致します。また、カマキリの採集に御協力いただいた四万十川中央漁業協同組合 故 亀谷 猛氏に心より感謝致します。

引用文献

- Bath, G. E., Thorrold, S. R., Jones, C. M., Campana, S. E., McLaren, J. W., Lam, J. W. H., 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **64**: 1705-1714.
- Chang, C.W., Lin, S. H., Iizuka, Y., Tzeng, W. N., 2004. Relationship between Sr: Ca ratios in otoliths of grey mullet *Mugil cephalus* and ambient salinity: validation, mechanisms, and applications. *Zoological Studies*. **43**: 74-85.
- Farrell, J., Campana, S. E., 1996. Regulation of Calcium and strontium deposition on the otoliths of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Comp. Biochem. Physiol. A*. **115**: 103-109.
- Gallahar, N. K., Kingsford, M. J., 1996. Factors influencing Sr/Ca ratios in otoliths of *Girella elevata*: an experimental investigation. *J. Fish Biol.* **48**: 174-186.
- 後藤 晃. 1989. 淡水カジカ類の分布と種文化. 「日本の淡水魚類」(水野信彦・後藤 晃 編) 東海大学出版会, 東京: 156-166.
- 後藤 晃. 1994. カジカ属魚類の繁殖様式と生活史変異. 「川と海を回遊する淡水魚-生活史と進化」(後藤 晃・塚本勝巳・前川光司 編著) 東海大学出版会, 東京: 141-153.
- Goto, A., Arai, T., 2006. Diverse migratory histories of Japanese Trachidermus and Cottus species (*Cottidae*) as inferred from otolith microchemistry. *J. Fish Biol.* **68**: 174-186.
- 原田慈雄・木下 泉・大美博昭・田中 克. 1999. 由良川河口域周辺におけるカマキリ *Cottus kazika* 仔稚魚の分布および移動. *魚類学雑誌*. **46**: 91-99.
- 岩谷芳白・竹井祥郎・井上広滋・渡 智美. 2003a, 淡水および人工海水で飼育したカマキリ (*Cottus kazika*) の成長と生残. *日水誌*. **62**: 52-56.
- 岩谷芳白・井上広滋・青海忠久・竹井祥郎. 2003b, カマキリ (*Cottus kazika*) 仔稚魚期の淡水耐性. *水産増殖*. **51**: 423-428.
- 川那部浩哉・水野信彦. 1996, アユカケ. 「日本の淡水魚」山と溪谷社, 東京: 655-657.
- Kinoshita, I., Azuma, K., Fujita, S., Takahashi, I., Niimi, K., Harada, S., 1999. Early life history of a catadromous sculpin in western Japan. *Environ. Biol. Fish.* **54**: 135-149.
- Kraus, R. T., Secor, D. H., 2004. Incorporation of strontium into otoliths of an estuarine fish. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **302**: 85-106.
- 黒田長礼. 1947. カマキリ (*Cottus Kazika* Jordan & Starks) に関する調査. *動物学雑誌*. **57**: 101-103.
- 黒原健朗. 2001. アユカケ増殖技術開発事業. 「平成11年度事業報告書」高知県内水面漁業センター, 高知: 37-45.
- 宮本敦史・原田増造. 1997. 希少水生生物保存対策試験事業 (対象魚種アユカケ). 「平成8年度三重県水産技術センター事業報告」三重県水産技術センター, 三重: 1-20.
- 長田芳和・細谷和海. 1997. カマキリ. 「日本の希少淡水魚の現状と系統保存-よみがえれ日本産淡水魚」緑書房, 東京: 18-19.
- 沖山宗雄. 1988. 「日本産稚魚図鑑」東海大学出版会, 東京: 843-845.
- Proctor, C. H., Thresher, R. E., 1998. Effects of specimen handling and otolith preparations on concentration of elements in fish otoliths. *Mar. Biol.* **131**: 681-694.
- Secor, D. H and J. R. Rooker. 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fish. Res.*

46: 359-371.

杉本剛士. 1994. アラレガコの種苗生産技術. 養殖. **387**: 70-74.

杉本剛士・鈴木聖子・根元 茂. 1994. カマキリ（アラレガコ）養殖技術開発試験. 「平成5年度福井県水産試験場事業報告書」福井県水産試験場, 福井: 123-151.

杉本剛士. 1995. カマキリ. 「日本の希少な野生水性生物に関する基礎資料（Ⅱ）」日本水産資源保護協会, 東京: 370-375.

杉田顕浩・山田洋雄. 1995. 飼育したカマキリ稚仔魚の行動と形態の変化. 水産増殖. **43**: 11-18.

鈴木康仁・山田洋雄. 1990. カマキリ（アラレガコ）増殖技術開発試験. 「昭和63年度福井県水産試験場事業報告書」福井県水産試験場, 福井: 143-153.

田原大輔・岩谷芳自. 2007. カマキリ *Cottus kazika* 養成親魚の卵質評価指標と異常採卵の特徴. 日水誌. **73**: 718-725.

高木基裕・谷口順彦. 1992. 高知県におけるカマキリの分布. 水産増殖. **40**: 329-333.

竹下直彦・鬼倉徳雄・松井誠一・木村清朗. 2004. 降河回遊型カジカ科魚類ヤマノカミとカマキリの初期生活史の比較. 水産大学校研究報告. **52**: 83-92.

上野幸徳・西山 勝・岡部正也・佐伯 昭. 1998. アユカケ増養殖技術開発試験. 「平成8年度事業報告書」高知県内水面漁業センター, 高知: 81-85.

海野徹也・清家 暁・大竹二雄・西山文隆・柴田恭宏・中川平介. 2001. 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定. 日水誌. **67**: 647-657.

山口幹人. 2006. 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. 北水誌研報. **70**: 1-72.

Reconstruction of the migratory history of the catadromous fourspine sculpin *Cottus kazika* from the Monobe and Shimanto River, Kochi prefecture in southern Shikoku, using otolith Sr/Ca concentration ratios

Masaya OKABE¹⁾ Akira SAHEKI¹⁾, Kenji AKUTAGAWA²⁾, Satoru SEIKE²⁾ and Tetsuya UMINO²⁾

¹⁾ Kochi Prefectural Freshwater Fisheries Center, Tosayamada, Kami, Kochi 782-0016, Japan.

²⁾ Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528, Japan.

Abstract The fourspine sculpin (*Cottus kazika*) is a catadromous member of the family Cottidae that is endemic to Japan. Our objective was to evaluate the utility of using sagittal otolith Sr/Ca concentration ratios to document the movement of juvenile sculpin between the estuarine areas and freshwater of the Shimanto and Monobe Rivers in southern Shikoku. We confirmed the daily periodicity of increment formation and the correlation between the otolith Sr/Ca ratio and ambient salinity at laboratory condition. Otolith profiles suggested that juveniles tended to move from seawater to freshwater at the beginning of March in both river systems.

Key words: Catadromy; sculpin, *Cottus kazika*, Migratory timing, Sr/Ca ratio