

ルリヨシノボリ *Rhinogobius* sp. CO の自然陸封個体群酒井治己¹・新井崇臣²・今井千文¹・杉山秀樹³・佐藤仁志⁴・田 祥麟⁵¹〒759-6595 山口県下関市永田本町2-7-1 独立行政法人水産大学校²〒028-1102 岩手県上閉伊郡大槌町赤浜2-106-1 東京大学海洋研究所付属国際沿岸海洋研究センター³〒010-0531 秋田県男鹿市船川港台島字鵜ノ崎16 秋田県水産振興センター⁴〒699-0406 島根県八束郡宍道町佐々布3575 島根県立緑化センター⁵〒140-857 韓国ソウル特別市龍山区梨泰院二洞4-10

(2004年5月17日受付；2004年7月27日改訂；2004年8月22日受理)

キーワード：ヨシノボリ属、両側回遊、陸封、耳石Sr:Ca比、アロザイム

魚類学雑誌
Japanese Journal of
Ichthyology

© The Ichthyological Society of Japan 2004

Harumi Sakai*, Takaomi Arai, Chifumi Imai, Hideki Sugiyama, Hitoshi Sato and Sang-Rin Jeon. 2004. Landlocked populations of an amphidromous goby, *Rhinogobius* sp. CO. Japan. J. Ichthyol., 51(2): 175–180.

Abstract Three landlocked populations of an amphidromous goby, *Rhinogobius* sp. CO, in San-name-gata Lake, Akita Pref., Ukinuno Pond, Shimane Pref., and Cheonmi River, Jeju Island, Korea, were identified and evidenced by allozyme and otolith analyses. Line analysis of strontium:calcium ratios along the life history transect of their otoliths showed relatively stable values as compared to those of amphidromous conspecifics, indicating the absence of sea-going career. The San-name-gata and Ukinuno populations would have been landlocked in the Jomon (6000 years ago) and the Hakuho (1300 years ago) periods, respectively. Landlocking of the Cheonmi population may have occurred occasionally.

*Corresponding author: National Fisheries University, 2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan (e-mail: sakaih@fish-u.ac.jp)

本邦には、分類学的には未整理ながら、ヨシノボリ属 *Rhinogobius* のハゼ十数種が生息するとされている（中坊, 2000）。そのうち、カワヨシノボリ *R. flumineus*, キバラヨシノボリ *R. sp. YB*, およびアオバラヨシノボリ *R. sp. BB* は河川性で、ほかはすべて両側回遊性とされ、トウヨシノボリ *R. sp. OR* またはその種群には湖沼に陸封されている個体群も多くあることが知られている（川那部ほか, 2001）。ほかの種については、川那部ほか(2001)は、ヒラヨシノボリ *R. sp. DL* 以外の種について、ため池やダム湖など人為的な環境での湖沼陸封性個体群の存在を示唆しているが、具体的な証拠を示していない。

杉山(1984)は、秋田県男鹿半島にある爆裂火口湖（目潟湖、このたびの三の目潟）から陸封性と

考えられるルリヨシノボリ *R. sp. CO* を初めて報告した。しかし、上原(1984)はそれはトウヨシノボリではないかと疑念を表明している。この疑念は、杉山(1984)の発見した魚が矮小なため、ルリヨシノボリの特徴である頬部のルリ点が不明瞭なことによるものと考えられるが、その後、杉山(1985)は同湖から得られたルリ点の現れた個体の写真を掲載している。

近年、Masuda et al. (1989) や Sakai et al. (2000) は、本州に分布するヨシノボリ属について、アロザイムをコードする遺伝子座の対立遺伝子組成を調査し、ルリヨシノボリがいくつかの遺伝子座において独自の対立遺伝子に固定されていることを示した。また、通し回遊魚について、耳石のカルシウムに対するストロンチウム濃度比 (Sr:Ca 比)

を調べることにより、その回遊履歴を推測できるようになってきており（新井, 2002），ハゼ科魚類についても Sr:Ca 比が海域生活期に高く河川生活期に低いことが実証された (Radtke et al., 1988)。

このたびは、ルリヨシノボリのアロザイム対立遺伝子組成と耳石の Sr:Ca 比を調査し、ルリヨシノボリに自然陸封個体群が存在することの確証を得たので報告する。

材料と方法

陸封性と予測された個体群として、秋田県の三の目潟、島根県の浮布の池、および韓国済州島の川尾川上流の3個体群、比較対象の両側回遊性と考えられる個体群として、秋田県男鹿半島の青砂川（流程 1.5 km）、山口県萩市の玉江川（流程 4.1 km）、および高知県室戸市の元川（流程 8.2 km）の3個体群を調査した (Fig. 1, Table 1)。

三の目潟は、男鹿半島にある三つの爆裂火口湖の一つで、20000–24000 年前の爆裂火口に水のたまつたものとされ（北村, 1990），水面高度 45 m，面積 0.11 km²，最大深度 31 m，海岸線からの距離は 500 m ほどで、流入および流出河川はない（下泉・土屋, 1973）。ルリヨシノボリのほかにはヌマチテグリが生息し、ワカサギも採集されたことがある（杉山, 未発表データ）。また、以前にはヒメマスの放流が試みられていたが、定着しておらず、生物相は貧弱である（下泉・土屋, 1973）。

浮布の池は、三瓶山西側山麓、標高約 350 m にあり、西暦 684 年（白鳳時代）の大地震の時の三瓶山の崩落により、静間川河口から約 15 km の最上流部にできた面積 0.27 km²、水深約 5 m の堰止湖である（石村, 1984）。細流が流れ込み、また、

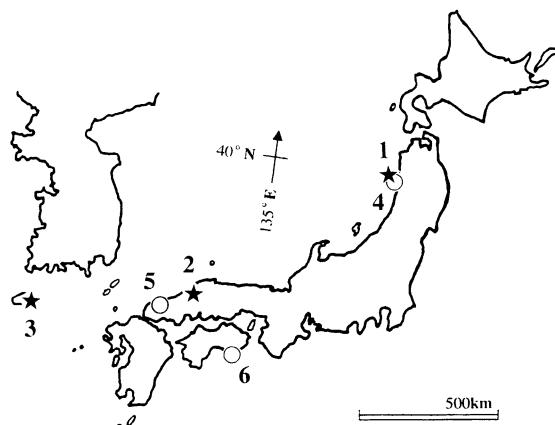


Fig. 1. Map showing the sampling locations of landlocked (1–3, stars) and amphidromous populations (4–6, circles) of *Rhinogobius* sp. CO. 1, San-nome-gata Lake; 2, Ukinuno Pond; 3, Cheonmi River; 4, Aosuna River; 5, Tamae River; 6, Moto River.

細い水路によって静間川に排水されている。ルリヨシノボリのほか、ウナギ、ワカサギ、タカハヤ、カワムツ、ホンモロコ、ギンブナ、ゲンゴロウブナ、コイ、シマドジョウ、ドジョウ、ナマズ、ギギ、メダカ、オオクチバス、ブルーギルの 16 種の魚類が確認されているが（佐藤, 未発表データ），以前から地元漁業協同組合による魚類の放流がなされており（石村, 1984），また、もともとが河川上流部であることもあり，在来の魚種はルリヨシノボリやタカハヤなどわずかなものではないかと考えられる。

済州島川尾川でのルリヨシノボリ採集地点は、河口から 7 km、標高約 200 m 付近にある。この川

Table 1. Three landlocked and three amphidromous populations of *Rhinogobius* sp. CO examined

No.	Abb.	Locality	Collection date	Number of individuals		Standard length (mm)
				Allozyme	Otolith*	
Landlocked						
1.	San	San-nome-gata Lake, Akita Pref.	Oct. 26, 2001	30	2	31.2–45.9
2.	Uki	Ukinuno Pond, Shimane Pref.	Aug. 5, 2000	18	2	30.5–51.6
3.	Jeju	Cheonmi River, Jeju Is., Korea	May 22, 2000	4	2	25.3–35.5
Amphidromous						
4.	Ao	Aosuna River, Akita Pref.	Jul. 20, 2000	34	2	44.7–57.5
5.	Tamae	Tamae River, Yamaguchi Pref.	Sep. 14, 1999	8		41.2–54.6
6.	Moto	Moto River, Kohchi Pref.	Aug. 5, 1999	11		46.6–59.9

*Included in the allozyme-analysed individuals.

は、火山灰地を流れているために通常は途中で伏流水となり、海との連絡は梅雨や台風の増水時だけである。ルリヨシノボリは、ところどころに残っている水たまりに生息していた。この状況は3年連続の調査でも変わらず、また成熟していると考えられる雌個体の確認された年もあった。ほかには3年間でギンブナが1個体採集されたのみであった（田、未発表データ）。同地点の上流、下流、および近隣に堰堤やダムによる堰止湖などではなく、このルリヨシノボリが他の止水域からの移住個体である可能性は低いと考えられる。

陸封個体と考えられるルリヨシノボリは、いずれも頬のルリ点が回遊個体に比較してあまり明瞭ではなかったが、尾鰭基底や胸鰭基底の斑紋はルリヨシノボリの特徴を示していた。

以上の個体群のアロザイム対立遺伝子組成のほか、3陸封個体群および青砂川の両側回遊個体群については、2個体ずつの耳石 Sr:Ca 比を調査した。

電気泳動法、および遺伝子座と対立遺伝子の命名は、既報 (Sakai et al., 2000) の方法に従った。調査遺伝子座は以下の24座である：aspartate aminotransferase (E.C. 2.6.1.1, *Aat-1**, *Aat-2**, *Aat-3**), fumarate hydratase (E.C. 4.2.1.2, *Fh**), glycerol-3-phosphate dehydrogenase (E.C. 1.1.1.8, *G3pdh**), glutamate dehydrogenase (E.C. 1.4.1.4, *Gdh**), glycerol-6-phosphate isomerase (E.C. 5.3.1.9, *Gpi-1**, *Gpi-2**), isocitrate dehydrogenase (E.C. 1.1.1.42, *Idhp-1**, *Idhp-2**), L-lactate dehydrogenase (E.C. 1.1.1.27, *Ldh-1**, *Ldh-2**, *Ldh-3**), malate dehydrogenase (E.C. 1.1.1.37, *Mdh-1**, *Mdh-2**, *Mdh-3**), malic enzyme (E.C. 1.1.1.40, *Me-1**, *Me-2**), phosphogluconate dehydrogenase (E.C. 1.1.1.44, *Pgdh**), phosphoglucomutase (E.C. 5.4.2.2, *Pgm**), superoxide dismutase (E.C. 1.15.1.1, *Sod**), general protein (*Prot-1**, *Prot-2**, *Prot-3**)。ルリヨシノボリは、そのうち *Me-1** に対立遺伝子 *102 を、*Prot-2** に *74 を有することによって本州産のヨシノボリ類他種と識別できる (Sakai et al., 2000)。

耳石解析には扁平石を用い、前報 (Arai et al., 2003) の方法に従った。すなわち、耳石をエポキシ樹脂（エポフィックス：ストラス社）に凹面を下にして水平に包埋後、粒度 70 μm と 13 μm のダイヤモンドカッブ砥石で凹面を核が露出する直前まで水平に研磨した。さらに粒径 6 μm と 1 μm のダイヤモンドペーストで研磨面を鏡面研磨し、核を露出させた。表面に白金パラジウム蒸着を施し

た試料は、波長分散型 X 線分析装置 (EPMA: JXA-8900R 型: 日本電子製) を用いて耳石断面の核から縁辺までの最長距離に沿ってストロンチウム (Sr) およびカルシウム (Ca) の濃度 (% 乾燥重量) を 5 μm 間隔で測定した。各側点の Sr:Ca 比 (Sr 濃度/Ca 濃度 × 1000) を算出し、Sr:Ca 比の変化から個体の生活履歴を推定した。

結果と考察

調査したすべての個体群において、*Me-1** は対立遺伝子 *102 に、*Prot-2** は *74 に固定されており、標本がすべてルリヨシノボリであることを確認できた。多型的であった 5 遺伝子座における対立遺伝子組成のみを Table 2 に示したが、多型率、平均ヘテロ接合体率ともに陸封性個体群よりも両側回遊性個体群の方が有意に高い値を示しており ($P < 0.05$ 、独立 2 試料無作為化検定)、前者が閉鎖的環境において瓶首効果や遺伝的浮動の影響を受けていることを示唆していた。川尾川については、変異が全く認められなかつたが、これは、調査個体数が少ないことも関係しているであろう。

耳石の核から縁辺までの Sr:Ca 比の変化を Fig. 2 に示した。青砂川の 2 個体は、途中で比が急激に下降していた (A-1 において平均 $8.5 \pm$ 標準偏差 1.3 から 3.9 ± 1.2 へ、A-2 において 7.9 ± 1.2 から 4.6 ± 1.2 へ、t 検定、 $df = 182, t = 23.80, P < 0.0001$ および $df = 147, t = 15.97, P < 0.0001$)。これは、この時点でこれらの魚が海水環境から淡水環境へ侵入したことを示していると考えられ (Radtke et al., 1988)、青砂川のルリヨシノボリが両側回遊性であることを強く裏づけている。

いっぽう、陸封性と考えられる 3 個体群については、比の急激な下降は認められなかった (三の目潟の S-1 では 5.8 ± 1.5 、S-2 では 5.4 ± 1.4 、浮布の池の U-1 では 6.4 ± 1.3 、U-2 では 5.6 ± 1.4 、川尾川の J-1 では 3.9 ± 1.4 、J-2 では 3.7 ± 1.4)。このことは、これらの魚に海への回遊履歴がないことを示していると考えられる。核側半分の平均値と縁辺側半分のそれとの比で t 検定を行った結果、三の目潟と浮布の池の個体については $P > 0.05$ ($df = 130 - 169, t = 0.48 - 1.81$) で差異はないと判断されたが、川尾川の個体については $0.05 > P > 0.01$ ($df = 152, t = 2.25$ および $df = 64, t = 2.43$) で必ずしも差異がないことを示せなかった。しかし、青砂川の個体に比較すれば核側と縁辺側の差異は圧倒的に小さく、このことはグラフを比べても明らかである (Fig. 2)。測定値の微妙なぶれが検定結果に現れて

いるものと考えられるが、ではなぜ川尾川の個体群がそうなのかについては、不安定な生息地の環境変動を含めて今後の検討が必要であろう。

池の個体群である三の目潟と浮布の池の魚のSr:Ca比（平均5.4–6.4）は、川尾川の魚（3.7–3.9）より高い値であった。後者の値は、両側回遊性個体群の河川での値（3.9–4.6）にほぼ一致していた。男鹿半島の目潟湖については、海岸に近いために海塩の影響を強く受け、一般的な湖よりも塩分含量の多いことが知られている（吉村、1936）。三の目潟でのSr:Ca比の高さは、このことを反映していると考えられる。いっぽう、浮布の池については、海岸から遠く標高も高いため、直接的な海塩の影響は考えにくいが、止水的環境においてある程度の塩類を蓄積しているのかもしれない、興味深い結果である。

以上のように、日本において2ヶ所、韓国において1ヶ所、ルリヨシノボリの陸封個体群が存在することを確認できた。両側回遊性のルリヨシノボリの生息環境〔川那部ほか（2001）を参照〕からすると、ヒメマスやワカサギ、コイなどの放流に混入したものではなく、すべて自然陸封個体群と考えるのが妥当であろう。いずれにおいても遺伝的多様性の減少が認められ、魚体は矮小化してお

り、頬部のルリ点は不明瞭なことが多い、陸封による小集団化や生息環境縮小による影響が現れている。

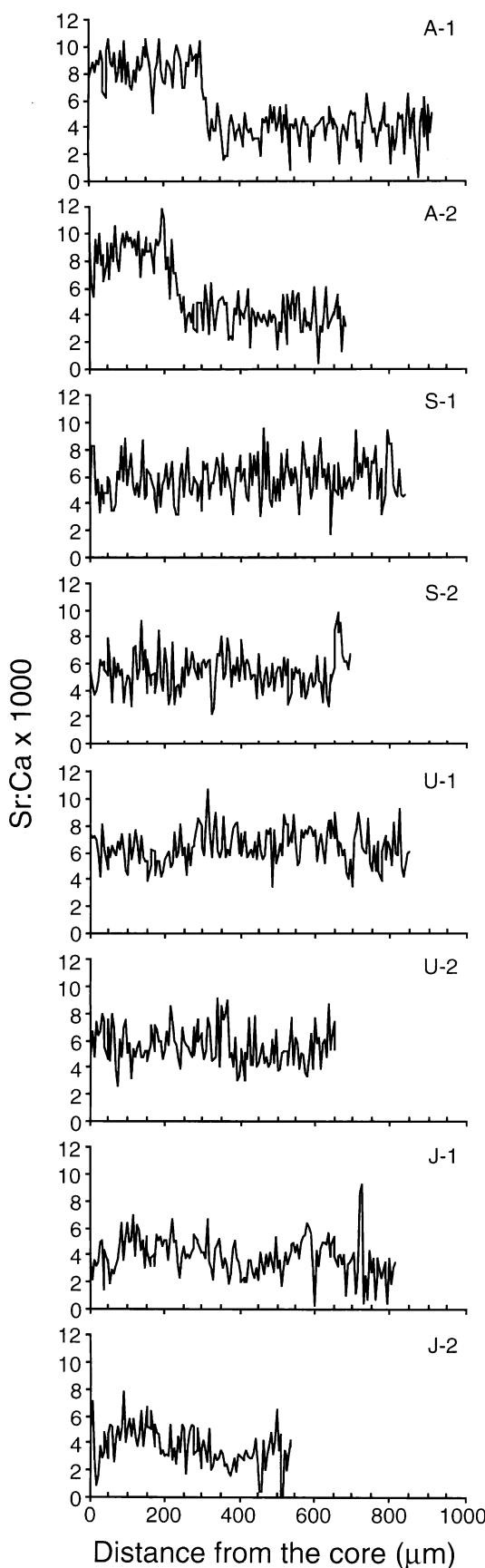
済州島川尾川の個体群については、その生息環境はきわめて狭く、また不安定で季節的に海と連結する環境である。周りの状況から他の陸封生息地からの移住の可能性は低く、また成熟した雌が採集されたことがあることからその場所で産卵している可能性も高い。いっぽう、仔魚の餌料環境はきわめて貧弱であろうと言わざるを得ない。そんな中でルリヨシノボリの再生産を可能にしていく一つの要因には、他の魚類がほとんどいないことが考えられるが、いずれにせよ、生息基盤はきわめて脆弱であろう。川尾川については、短期の陸封現象が繰り返し起こっている可能性があるかもしれない。

浮布の池については、貧弱ながら排水路があるため、約1300年前の堰き止め以来、完全に陸封されていたものとは限らないかもしれない。いっぽう、三の目潟には流出河川がなく、少なくとも現在では両側回遊魚が入り込むことはない。約20000–24000年前の爆裂以降、水がたまつた後のいつの時かルリヨシノボリの侵入できる連結水路が存在していたのであろうが、ルリヨシノボリが

Table 2. Allele frequencies at five polymorphic loci out of 24 loci examined in six populations of *Rhinogobius* sp. CO with ratios of polymorphic loci (PL; most common allele does not exceed 0.95) and average heterozygosity observed (Ho) and expected (He)

Locus	Allele	Population**					
		1. San	2. Uki	3. Jeju	4. Ao	5. Tamae	6. Moto
<i>Aat-1*</i>	*100	1.000	1.000	1.000	0.971	0.938	1.000
	*69	—	—	—	0.029	0.062	—
<i>Aat-2*</i>	*100	0.300	0.028	—	0.206	0.062	0.318
	*75	0.700	0.972	1.000	0.779	0.938	0.682
<i>G3pdh*</i>	*58	—	—	—	0.015	—	—
	*100	1.000	0.972	1.000	0.750	0.813	0.909
<i>Gpi-1*</i>	*77	—	0.028	—	0.250	0.187	0.091
	*106	—	—	—	0.029	—	—
<i>Pgdh*</i>	*100	1.000	0.861	1.000	0.942	1.000	0.909
	*86	—	0.139	—	0.029	—	0.091
<i>Pgdh*</i>	*100	0.750	0.111	1.000	0.882	0.625	0.909
	*90	0.250	0.889	—	0.118	0.375	0.091
PL		0.083	0.083	0	0.167	0.167	0.167
Ho		0.037	0.021	0	0.051	0.047	0.042
He		0.033	0.023	0	0.046	0.041	0.039

**Population names correspond to those in Table 1.



比較的温暖な地域の半島の河川などに多く分布すること（川那部ほか, 2001）から、温暖な縄文海進時代（約6000年前、小池・太田, 1996）のことではないかと考えられる。

いずれにしても、陸封は縄文時代から最近までの出来事であり、このたびの3水域はどれも生息環境として安定しているとはいがたい。それぞれ時代背景の異なった希少な自然陸封個体群として認識されるべきものであろう。浮布の池については、ブラックバスとブルーギルが侵入しているため、その影響も懸念される。

謝 詞

活魚時の標本の同定にご協力頂いた京都大学岩田明久博士にお礼申し上げる。

引 用 文 献

- 新井崇臣. 2002. 魚類の回遊履歴：解析手法の現状と課題. 魚類学雑誌, 4: 1–23.
 Arai, T., P. M. Lokman, A. Kotake and K. Tsukamoto. 2003. Migratory history and habitat use by New Zealand freshwater eels *Anguilla dieffenbachii* and *A. australis*, as revealed by otolith microchemistry. Ichthyol. Res., 50: 190–194.
 石村禎久. 1984. 三瓶山. 大田市観光物産館, 大田. 230 pp.
 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海（編). 2001. 日本の淡水魚, 改訂版. 山と渓谷社, 東京. 719 pp.
 北村繁. 1990. 男鹿半島目潟の形成年代. 東北地理, 42: 161–167.
 小池一之・太田陽子（編). 1996. 変化する日本の海岸, 最終氷期から現在まで. 古今書院, 東京. 185 pp.
 Masuda, Y., T. Ozawa and S. Enami. 1989. Genetic differentiation among eight color types of freshwater goby, *Rhinogobius brunneus*, from western Japan. Japan. J. Ichthyol., 36: 30–51.
 中坊徹次（編). 2000. 日本産魚類の検索：全種の同定, 第二版. 東海大学出版会, 東京. 1748 pp.
 Radtke, R. L., R. A. Kinzie, III and S. D. Folsom. 1988. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. Env. Biol. Fish., 23: 205–213.
 Sakai, H., K. Ikoma, S. V. Frolov, Y. Yamazaki, H. Takahashi and H. Ida. 2000. Morphological features of a Russian freshwater goby, *Rhinogobius lindbergii* (Pisces: Gobi-

Fig. 2. Plots of the otolith Sr:Ca ratios in *Rhinogobius* sp. CO along line transects from the core to the edge of the otoliths of fish from the Aosuna River (A-1, 57.5 mm SL; A-2, 55.7 mm SL), San-nome-gata Lake (S-1, 45.9 mm SL; S-2, 37.0 mm SL), Ukinuno Pond (U-1, 51.6 mm SL; U-2, 45.1 mm SL), and the Cheonmi River (J-1, 35.5 mm SL; J-2, 30.6 mm SL).

- idae), and its genetic relationships to Japanese species. *Biogeography*, 2: 51–61.
- 下泉重吉・土屋 厚. 1973. 男鹿半島の目潟の陸水生物. 財団法人日本自然保護協会(編), pp. 41–46. 男鹿半島自然公園学術調査報告. 秋田県, 秋田.
- 杉山秀樹. 1984. 秋田県における淡水魚類相とその特徴. 日本水産学会東北支部会報, 32: 93–97.
- 杉山秀樹. 1985. 秋田の淡水魚. 秋田魁新報社, 秋田. 165 pp.
- 上原伸一. 1984. 東北地方におけるヨシノボリ4型の分布. 横須賀市立博物館研究報告, 32: 33–49.
- 吉村信吉. 1936. 男鹿半島三ヶ口湖の湖沼學的豫察研究. 地理学評論, 11(10): 34–54.