

## ウナギ属4種における飛び出し行動とよじ登り能力

|       |                                                                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: Japanese                                                                                        |
|       | 出版者:                                                                                                |
|       | 公開日: 2024-08-06                                                                                     |
|       | キーワード (Ja):                                                                                         |
|       | キーワード (En):                                                                                         |
|       | 作成者: 松田, 圭史, 服部, 宏勇, 富山, 実, 矢田, 崇, 内田, 和男                                                           |
|       | メールアドレス:                                                                                            |
| URL   | 所属:                                                                                                 |
|       | <a href="https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010574">https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010574</a> |

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



## 原著論文

## ウナギ属 4 種における飛び出し行動とよじ登り能力

松田圭史<sup>\*1</sup>・服部宏勇<sup>\*2a</sup>・富山 実<sup>\*2</sup>・矢田 崇<sup>\*1</sup>・内田和男<sup>\*3</sup>

## Environmental conditions on inducing escape behavior and ability of climb a wall in breeding eels

Keishi MATSUDA, Hirotake HATTORI, Minoru TOMIYAMA,  
Takashi YADA and Kazuo UCHIDA

The environmental conditions, such as illumination, stocking density, water temperature and pH, of tanks were changed and jumping out rates (an index of escape behavior activity) were examined in *Anguilla japonica*, an *A. bicolor* × *A. marmorata* hybrid (hybrid eel), and *A. rostrata*. In second experiment, a slope and moisture characteristics of a climbing wall in a tank were changed, and ability of climb of the hybrid eel and *A. rostrata* was compared. Consequently, the tested conditions didn't concerned jumping out rates of intra- and interspecies. On the other hand, the hybrid eel was higher in the ability to climb the wall than *A. rostrata*, and the eels that climbed were typically smaller in size. The findings of this study showed that sidewall of breeding tank should be kept dry and be fitted with eel-guards to prevent the escape of breeding eels.

キーワード：異種ウナギ，飛び出し行動，よじ登り能力  
2014 年 10 月 24 日受付 2015 年 12 月 18 日受理

ウナギ養殖に不可欠なシラスウナギは 100% が天然産である。しかし日本のシラスウナギをはじめとする養鰻用種苗は 1960 年代始めに 200 トン以上であったが，1980 年代以降は 30 トン以下で推移し，2010 年からは 4 年連続で 10 トン以下の不漁となり，国内の養鰻業者はその需要量を十分に満たすことが困難な状況となっている（岸田・神頭 2013，望岡 2014）。このような状況に応じて，日本に養殖用種苗として，ニホンウナギ *Anguilla japonica* 以外のウナギ属魚類（以降，異種ウナギと称する）が輸入されたのは，1969 年に 10 トン程度のヨーロッパウナギ *A. anguilla* のシラスが輸入されたことに始まる（山辺ら 1973）。その後急増し，1973 年には 200 トン以

上のヨーロッパウナギシラスが，日本に輸入された（山辺ら 1973）。

これまでに異種ウナギ飼育への関心が高まった時期は 2 回あり，1 回目は 1973 年にヨーロッパウナギ，*A. bicolor* およびアメリカウナギ *A. rostrata* の飼育方法が紹介され（山辺ら 1973），2 回目は 2000 年に上記 3 種に加え，オオウナギ *A. marmorata*，オーストラリア，ニュージーランドに生息する *A. australis*，*A. reinhardtii* の飼育方法が検討されている（日本養鰻漁業協同組合連合会 2000）。このようななか，2010 年漁期（2009 年 12 月～2010 年 4 月シラス採捕期）から 4 漁期に渡りニホンウナギのシラスが不漁となったため，近年，3 回目の異種ウナギ輸

\*1 国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所（日光庁舎）  
〒321-1661 栃木県日光市中宮祠2482-3  
National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency,  
2482-3, Chuuguushi, Nikko, Tochigi 321-1661, JAPAN  
matsukei@affrc.go.jp

\*2 愛知県水産試験場内水面漁業研究所

\*3 国立研究開発法人 水産総合研究センター研究推進部

\*a 現所属：愛知県西三河農林水産事務所

入増加のきざしが見られている。

愛知県内の複数の養鰻業者から聞き取った限りでは、異種ウナギの養殖には関心があるものの、飼育方法が確立されていないことに加え、出荷魚の流通先の確保が難しい等の理由もあり、現時点では積極的に異種ウナギ養殖を行う状況ではないようである（服部未発表）。愛知県内には現在 140 軒程度の養鰻業者がいるが、異種ウナギを養殖しているのは 2 軒である（服部未発表）。ただし、今後シラス採捕量の減少によっては異種ウナギの輸入量が増加することは十分に考えられる。また、最近は異業種からの異種ウナギ養殖への参入もあり、ウナギ類の行動特性に関する知識不足も懸念される（富山未発表）。

一方で、養殖中に異種ウナギが自然界へ逸出した場合に、生態系へどのような影響を及ぼすかについてはこれまで明らかになっていない。ウナギ類は皮膚呼吸を行い、さらに鰓孔が極めて小さく鰓が乾燥から保護されているため、湿った地上を行動することが可能である（松井 1972）。よって養殖施設からの逸出には、他魚種以上の注意をはらう必要がある。また、異種ウナギを国内で養殖することで、養鰻場の排水を介して新たな寄生虫や病原菌が国内に持ち込まれる懸念や、逸出した場合ニホンウナギと生態的に競合する恐れのみならず、高次捕食者として生態系に与える影響もあるため国内への導入には細心の注意が必要であると考ええる。

異種ウナギが自然界に逸出する危険性については、輸入開始直後の 40 年以上前から危惧されている（松井 1972）。1997 年から 1998 年に定置網や籠で採集された大型ウナギのうち、三河湾では 12.4%、宍道湖では 31.4% がヨーロッパウナギと同定され、実際に自然界に異種ウナギが分布していることが確認されている（Zhang *et al.* 1999）。日本の天然水域における異種ウナギの分布原因は放流ウナギへの混入とともに養鰻場からの逸出が考えられる。

我が国においては、異種ウナギの養殖は根付いておらず、その生態や飼育方法等についての知見は乏しい状況にあり、どのような飼育条件が逸出に影響するか知られていない。しかしウナギの逸出行動の活性は周囲の環境条件が影響する可能性が考えられる。

本研究ではウナギの逸出行動活性の指標として、飛び出し行動（水面から跳ねながら、壁に接触して乗り越える行動）に着目して、水槽の環境条件（水槽内の照度、飼育密度、水温、pH）を変化させ、ニホンウナギと異種ウナギの水槽からの飛び出し率を比較した。また異種ウナギの壁をよじ登る能力を把握するため、壁の角度と乾燥状態を変化させ、よじ登り個体数とサイズを調べた。

## 材料と方法

**実験 1（飛び出し）** 実験は愛知県水産試験場内水面漁業研究所において行った。異種ウナギ稚魚とニホンウナ

ギ稚魚を環境条件（照度、飼育密度、水温、pH）を変化させた水槽に収容して、それぞれの水槽からの飛び出し率を比較した。

**供試魚** 本研究で使用したニホンウナギは鹿児島県の養鰻業者から購入しており、供試魚 16 尾を DNA 解析したところすべてニホンウナギであることが確認できた。業界通称名バイカラウナギとアメリカウナギは愛知県内の養鰻業者等から入手しており、それぞれの供試魚 16 尾を DNA 解析したところ、業界通称名バイカラウナギは 12 個体が *A. bicolor*、残りの 4 個体はオオウナギであり、アメリカウナギとして入手したものは全て当該種であった。よって本研究で使用した業界通称名バイカラウナギは「*A. bicolor* + オオウナギ」として扱った。なお DNA 解析は Yoshinaga *et al.* (2014) の手法で行った。熱帯ウナギは複数種が同一河川に混在するため、国内で流通する一般的な業界通称名バイカラウナギには一定の他種ウナギが混入していると推測される。

ニホンウナギ（平均体重  $\pm$  標準偏差 =  $2.92 \pm 0.61$  g;  $1.7 \sim 4.2$  g,  $n=120$ ）, 「*A. bicolor* + オオウナギ」 ( $4.01 \pm 0.95$  g;  $2.4 \sim 6.3$  g,  $n=120$ ) , アメリカウナギ ( $4.02 \pm 0.94$  g;  $2.4 \sim 6.4$  g,  $n=120$ ) を試験に用いた。複数の試験に同じ供試魚を用いて、その都度体重の測定を行うため、ハンドリングに強くなる大きさで実験を行った。実験開始前と実験中は各供試魚（170-180 尾）は屋内の 0.8 トン FRP 製水槽（長さ 1.6 × 幅 0.9 × 高さ 0.6m）で水温 28°C、pH 7.8-8.1、溶存酸素量 8.38-9.25 mg/L、自然日長の状態で飼育した。愛知県水産試験場内水面漁業研究所での「*A. bicolor* + オオウナギ」とアメリカウナギの飼育期間は約 5 ヶ月間であり、ニホンウナギは到着後 2 日間の馴致を行った後、試験に用いた。「*A. bicolor* + オオウナギ」とアメリカウナギは試験前は 1 日 2 回配合飼料を給餌したが、試験中はすべてのウナギで無給餌とした。供試魚はこの中から無作為に選び各試験につき 1 回のみ用いた。

**試験水槽** 試験水槽には直径 279 × 高さ 258 mm の容量 10L ポリエチレン容器を使用し、試験水槽から飛び出した供試魚を回収するために大型水槽内（長さ 2.0 × 幅 1.2 × 高さ 0.85 m）に設置した（図 1）。各試験水槽には給水チューブ（内径 4 mm、外径 5.5 mm）と直径 25 mm のエアストーンを入れ、溶存酸素量は 8.38-9.25 mg/L となるようにした。給水チューブから供給する水は容量 2 トンの貯水槽で調温と pH 調整を行い、約 1 回転/時間となるようにかけ流した。また試験水槽には水槽の縁から深さ 95 mm の位置に長さ 120 mm、幅 1 mm の切れ目を入れ、排水することで水面から水槽の縁までの高さ 85 mm を維持した（水容積 6.2 L）。水面から水槽の縁までの高さは予備実験において 55 mm、85 mm、135 mm の 3 段階に変化させて行動を観察し、明確な飛び出し行動を行った時に十分飛び出し可能な高さである 85 mm とすることで逸出行動活性を評価した。試験に用いたニホ

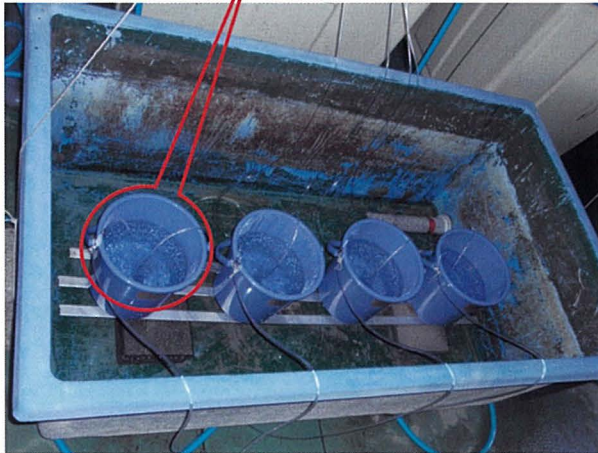
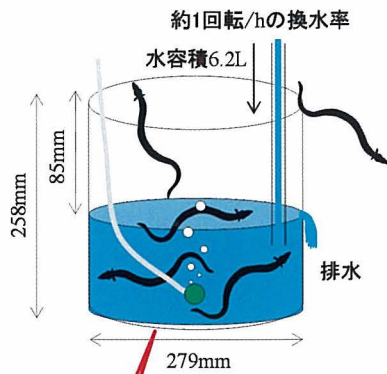


図1. 上：試験水槽，下：試験水槽4つを設置した逃避防止用大型水槽（長さ2.0×幅1.2×高さ0.85m）

ンウナギの全長は  $149.7 \pm 10.3$  mm (平均値±標準偏差)，「*A. bicolor* + オオウナギ」 $144.2 \pm 10.7$  mm，アメリカウナギ  $144.8 \pm 10.6$  mm であり，十分に 85 mm の壁を飛び出すことが可能であると考えられた。試験は 2013 年 9 月 18 日から 2013 年 10 月 3 日の期間に実施し，各種とも照度試験，飼育密度試験，水温試験，pH 試験の順で行った。pH はラコムテスター pH 計（Oakton 社製，pHSppear），溶存酸素はポータブルマルチメータ（HACH 社製，HQ30d LDO101-15）を用いて測定した。照度は照度計（マザーツール社製，LX-1108）を用いて測定した。

**試験 1：飛び出し行動と照度の関係** 試験水槽に供試魚を 10 尾ずつ収容し，LED 照明（テトラ社製，LED-4560）の照度を調節して試験中の水面照度を高照度区（1020 lx），中照度区（60 lx），自然日長区（日中 13:00 で平均 105 lx，夜間 0 lx）とし，18 時間後（開始 15:00，終了 09:00）に飛び出した供試魚数から，飛び出し率を調べた。各試験区の繰り返しは 4 回とした。その他の飼育条件は水温 28°C，pH7.8-8.1 とした。試験終了後にニホンウナギ，「*A. bicolor* + オオウナギ」，アメリカウナギの各区ですべての供試魚の重量を測定し，飛び出し群と飛び出し無し群で体重に差があるか各区で検定を行った。

**試験 2：飛び出し行動と飼育密度の関係** 一般的に養鰻場ではウナギが 2-4 g サイズの場合，養殖池（水深 0.5 m）での飼育密度は 60.6 尾 / m<sup>2</sup> 程度である（松田未発表）。通常密度飼育と高密度飼育の場合の影響を調べるため，供試魚の収容密度を 3 段階として，それぞれ高密度区（20 尾，飼育密度：327.3 尾 / m<sup>2</sup>），中密度区（10 尾，飼育密度：163.7 尾 / m<sup>2</sup>），低密度区（5 尾，飼育密度：81.8 尾 / m<sup>2</sup>）とした。18 時間後（開始 15:00，終了 09:00）に飛び出した供試魚数から，飛び出し率を調べた。各試験区の繰り返しは 4 回とした。その他の飼育条件は水温 28°C，pH7.8-8.1，自然日長（水面照度：日中 13:00 で平均 3.68 lx，夜間 0 lx）とした。

**試験 3：飛び出し行動と水温の関係** 試験水槽に供試魚を 10 尾ずつ収容し，水温を高水温区（33°C），中水温区（28°C），低水温区（23°C）とした。高水温区と中水温区の貯水槽の水温調節には投げ込み式の 1 kW ヒーター 2 本を用いた。低水温区の貯水槽の水温調節には 2 台の加熱冷却ユニット（アクア社製，NU-401AHD 400W）を用いた。18 時間後（開始 15:00，終了 09:00）に飛び出した供試魚数から，飛び出し率を調べた。各試験区の繰り返しは 4 回とした。その他の飼育条件は pH7.8-8.1，自然日長（水面照度：日中 13:00 で平均 3.68 lx，夜間 0 lx）とした。

**試験 4：飛び出し行動と pH の関係** 試験水槽に供試魚を 10 尾ずつ収容し，pH 値を 3 段階の pH 6.4 区，pH 7.9 区，pH 9.4 区とした。貯水槽の pH 値の調節には塩酸と水酸化ナトリウムを使用した。18 時間後（開始 15:00，終了 09:00）に飛び出した供試魚数から，飛び出し率を調べた。各試験区の繰り返しは 4 回とした。その他の飼育条件は水温 28°C，自然日長（水面照度：日中 13:00 で平均 3.68 lx，夜間 0 lx）とした。

**実験 2（よじ登り）** 実験は愛知県水産試験場内水面漁業研究所において行った。異種ウナギ稚魚の壁をよじ登る能力を把握するため，壁の角度と乾燥状態を変化させ，よじ登り個体の割合を調べた。

**供試魚** ニホンウナギのよじ登りが 0.18-0.81 g で確認されているため（松井・永井 1967），本研究においても比較するため同様のサイズの異種ウナギを用いた。*A. bicolor* + オオウナギ（平均体重±標準偏差 =  $0.44 \pm 0.21$  g， $n=197$ ），アメリカウナギ（ $0.63 \pm 0.67$  g， $n=203$ ）を用いた。これらの異種ウナギは実験 1 で使用した供試魚と同時に入手した個体である。各供試魚は試験開始 1 週間前に全個体の測定を行い，その後 1 週間は影響でほとんど餌を食べないため，無給餌として，屋内の 1 トン FRP 製水槽で水温 28°C，pH7.8-8.1，溶存酸素量 8.38-9.25 mg/L，自然日長の状態で飼育したものを用いた。

**よじ登り行動** 松井・永井（1967）のニホンウナギで行ったよじ登り行動試験を参考に，試験水槽には 0.8 トン FRP 製水槽（長さ 1.6 × 幅 0.9 × 高さ 0.6 m）を使用し，深さ 120 mm の水を張った水槽に長さ 1 m のコンクリー

ト板を水面に 60°, 90° の角度で傾け、コンクリート上部から絶えず表面を浸す程度の水を流した (写真 1)。なお、試験水槽は水温 28°C に加温し、通気した状態で無換水とし、コンクリートを流す水は小型ポンプを用いて水槽内の水を循環させた。

以上の条件で、夕方から翌朝までの 18 時間でコンクリート板を登りきった供試魚の全長と体重を測定した。なお、60° の角度ではコンクリート板に水を流さない乾燥状態においても試験を行った。

**統計処理** 実験 1 の飛び出した群と飛び出しの無い群の体重差の比較については、データの正規分布を仮定し、*F* 検定を行い等分散性がみなせたため、*t* 検定を行った。飛び出し率 (%) データは逆正弦変換し、以下の統計処理を行った。各条件の種内比較は、変換後のデータに正規分布や等分散性がみなせなかったため、クラスカル・ウォリス検定を行った。種間比較については、各条件の飛び出し率は種内で有意な差が認められなかったため、各条件の飛び出し率を 1 群とみなし、変換後のデータに正規分布や等分散性がみなせなかったため、クラスカル・ウォリス検定を行った。実験 2 ではよじ登った個体の割合はフィッシャーの正確確率検定で評価し、全供試魚と



写真 1. よじ登り試験水槽とコンクリート板

よじ登った個体群の体重データには正規分布や等分散性がみなせなかったため、比較にはマン・ホイットニーの *U* 検定を用いた。それぞれ有意水準 5% で検定した。

## 結 果

**実験 1 (飛び出し)** 各条件下での各種ウナギの飛び出し率は 15 ~ 75% となった (表 1-1, 表 1-2)。

飛び出した群と飛び出しの無い群の体重差 試験 1 で用いたニホンウナギ {(1,020 lx 区: *t* 検定, *t*=1.68, *d.f.*=38, *p*>0.05), (60 lx 区: *t*=1.00, *d.f.*=38, *p*>0.05), (自然日長区: *t*=0.86, *d.f.*=38, *p*>0.05)}, *A. bicolor* + オオウナギ {(1,020 lx 区: *t*=1.34, *d.f.*=38, *p*>0.05), (60 lx 区: *t*=0.89, *d.f.*=3, *p*>0.05), (自然日長区: *t*=1.47, *d.f.*=38, *p*>0.05)}, アメリカウナギ {(1,020 lx 区: *t*=0.09, *d.f.*=38, *p*>0.05), (60 lx 区: *t*=0.40, *d.f.*=38, *p*>0.05), (自然日長区: *t*=0.97, *d.f.*=38, *p*>0.05)} は各試験区で飛び出した群と飛び出しの無い群で体重に有意差は認められなかった。

**各条件の種内比較** 照度条件の変化 (試験 1) においてニホンウナギ (クラスカル・ウォリス検定, 統計量=4.47, *d.f.*=2, *p*>0.05), *A. bicolor* + オオウナギ (統計量=2.88, *d.f.*=2, *p*>0.05), アメリカウナギ (統計量=3.03, *d.f.*=2, *p*>0.05) で飛び出し率に有意差は認められなかった。密度条件の変化 (試験 2) においてニホンウナギ (統計量=0.90, *d.f.*=2, *p*>0.05), *A. bicolor* + オオウナギ (統計量=0.04, *d.f.*=2, *p*>0.05), アメリカウナギ (統計量=1.26, *d.f.*=2, *p*>0.05) で飛び出し率に有意差は認められなかった。水温条件の変化 (試験 3) においてニホンウナギ (統計量=2.82, *d.f.*=2, *p*>0.05), *A. bicolor* + オオウナギ (統計量=5.63, *d.f.*=2, *p*>0.05), アメリカウナギ (統計量=1.94, *d.f.*=2, *p*>0.05) で飛び出し率に有意差は認められなかった。pH 条件の変化 (試験 4) においてニホンウナギ (統計量=3.84, *d.f.*=2, *p*>0.05), *A. bicolor* + オオウナギ (統計量=5.91, *d.f.*=2, *p*>0.05), アメリカウナギ (統計量=2.15, *d.f.*=2, *p*>0.05) で飛び出し率に有

表 1-1. 各照度、密度条件下での各種ウナギの飛び出し率 (%)

|                           | 照度 (試験1)    |  |             |  |             |  | 密度 (試験2)    |  |             |             |
|---------------------------|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|-------------|
|                           | 1,020 lx    |  | 60 lx       |  | 自然日長        |  | 20尾         |  | 10尾         |             |
| ニホンウナギ                    | 45.0 ± 20.8 |  | 47.5 ± 15.0 |  | 70.0 ± 8.2  |  | 47.5 ± 14.4 |  | 47.5 ± 12.6 | 40.0 ± 16.3 |
| <i>A. bicolor</i> + オオウナギ | 52.5 ± 20.6 |  | 52.5 ± 15.0 |  | 70.0 ± 8.2  |  | 46.3 ± 25.0 |  | 47.5 ± 25.0 | 50.0 ± 25.8 |
| アメリカウナギ                   | 35.0 ± 17.3 |  | 52.5 ± 17.1 |  | 55.0 ± 12.9 |  | 28.8 ± 18.9 |  | 37.5 ± 38.6 | 15.0 ± 10.0 |
| 平均値 ± 標準偏差 ( <i>n</i> =4) |             |  |             |  |             |  |             |  |             |             |

表 1-2. 各水温、pH 条件下での各種ウナギの飛び出し率 (%)

|                           | 水温 (試験3)    |  |             |  |             |  | pH (試験4)    |  |             |             |
|---------------------------|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|--|-------------|-------------|
|                           | 33°C        |  | 28°C        |  | 23°C        |  | pH 6.4      |  | pH 7.9      |             |
| ニホンウナギ                    | 47.5 ± 9.6  |  | 42.5 ± 17.1 |  | 27.5 ± 17.1 |  | 60.0 ± 14.1 |  | 45.0 ± 20.8 | 32.5 ± 15.0 |
| <i>A. bicolor</i> + オオウナギ | 52.5 ± 9.6  |  | 30.0 ± 8.2  |  | 50.0 ± 14.1 |  | 45.0 ± 19.1 |  | 47.5 ± 22.2 | 75.0 ± 5.8  |
| アメリカウナギ                   | 35.0 ± 12.9 |  | 57.5 ± 26.3 |  | 40.0 ± 23.1 |  | 72.5 ± 22.2 |  | 57.5 ± 18.9 | 65.0 ± 12.9 |
| 平均値 ± 標準偏差 ( <i>n</i> =4) |             |  |             |  |             |  |             |  |             |             |

意差は認められなかった。

**種間比較** 種間比較については、各条件の飛び出し率は種内で有意な差が認められなかったため、各条件の飛び出し率を1群とみなして解析した。照度条件の変化（試験1）において、種間の飛び出し率に有意差は認められなかった（クラスカル・ウォリス検定、統計量=2.66,  $df=2$ ,  $p>0.05$ ）。密度条件の変化（試験2）において、種間の飛び出し率に有意差は認められなかった（統計量=6.02,  $df=2$ ,  $p>0.05$ ）。水温条件の変化（試験3）において、種間の飛び出し率に有意差は認められなかった（統計量=0.51,  $df=2$ ,  $p>0.05$ ）。pH条件の変化（試験4）において、種間の飛び出し率に有意差は認められなかった（統計量=5.36,  $df=2$ ,  $p>0.05$ ）。

**実験2（よじ登り）** 試験に使用した全個体と各条件のコンクリート板をよじ登った個体数と平均体重などを表2に示した。よじ登り個体は「*A. bicolor* + オオウナギ」では全ての条件、アメリカウナギでは湿潤60°条件のみで確認され、よじ登った全個体の割合は「*A. bicolor* + オオウナギ」の方が高かった（フィッシャーの正確確率検定,  $p<0.05$ ）。60°条件を比較すると、いずれのウナギでも乾燥条件よりも湿潤条件の方でよじ登り率が増加していた。種ごとに見ると「*A. bicolor* + オオウナギ」では、湿潤90°条件で最もよじ登り率が高かった。また、よじ登った全個体の体重は「*A. bicolor* + オオウナギ」で（平均体重±標準偏差=0.19±0.06 g,  $n=34$ ）、アメリカウナギで（0.19±0.04 g,  $n=17$ ）であり、試験に使用した全供試魚の体重「*A. bicolor* + オオウナギ」（0.44±0.21 g,  $n=197$ ）、アメリカウナギ（0.63±0.67 g,  $n=203$ ）と比較すると、「*A. bicolor* + オオウナギ」（マン・ホイットニーのU検定,  $U=623.5$ ,  $p<0.05$ ）、アメリカウナギ（ $U=744.5$ ,  $p<0.05$ ）のいずれもよじ登った個体は小型であった。

## 考 察

種間での飛び出し率に違いが認められなかったことから、本研究で使用した程度の照度、飼育密度、水温とpHの環境条件はこれらのウナギの飛び出し行動の活性に影響しないと考えられる。よって「*A. bicolor* + オオウナギ」とアメリカウナギで特殊な飼育環境を設定する必要はないと考えられる。今後、飼育水のアンモニアや

亜硝酸の濃度が飛び出し行動の活性に与える影響についても調査が必要であると考えられる。

ニホンウナギのよじ登り行動については、供試魚を200尾用いて1.83 mのスレート板を湿潤60°条件とした時に5%（体重0.18-0.81 g）、湿潤90°条件とした時に4.5%（体重0.20-0.43 g）の供試魚がよじ登るとされている（松井・永井1967）。壁の角度の違いによるよじのぼり率は「*A. bicolor* + オオウナギ」で湿潤60°よりも湿潤90°が高いが、アメリカウナギでは湿潤60°が高く、ニホンウナギでは同等であった。60°と90°の壁では滴る水の流速が異なっており、よじ登り行動が活発になる流速が種によって違う可能性が考えられる。本試験の結果より、「*A. bicolor* + オオウナギ」とアメリカウナギもニホンウナギのように壁をよじ登ることができ、「*A. bicolor* + オオウナギ」の方がアメリカウナギよりもよじ登る傾向があることが分かった。よって異種ウナギの飼育水槽の壁には返しを付けることが必須であり、「*A. bicolor* + オオウナギ」は特に注意が必要である。壁面が濡れている場合は、乾燥している場合よりもウナギが登りやすく、さらに小型個体ほど登りやすいことがわかった。小型個体が登りやすい理由については、体の体積が小さい方が相対的に壁面に触れる表面積が大きくなり、より壁に張り付くことができるためと考えられる。また、ニホンウナギの隠れ場選択の試験から、小さい個体（平均0.35 g）の方が大きな個体（平均1.59 g）よりも移動の習性が強い結果が得られていることも一因と考えられる（松田未発表）。このことから、異種ウナギを養殖する場合、サイズが小さい時期には特によじ登りによる逸出に注意が必要であり、その防止には壁面を乾燥させることが有効であるが「*A. bicolor* + オオウナギ」では万全ではない。また、ヨーロッパウナギの割合が95%とされるシラスウナギを用いて行った、目の粗い網地を木の板に被せて、35°に傾けたよじ登り試験では、水温12°Cと14.5°Cの間によじ登り行動を開始する温度の閾値があるとされている（Linton *et al.* 2007）。今後、本試験で使用した異種ウナギについても、よじ登り行動を開始する温度の閾値を調べる必要があると考える。

表2. 試験に使用した全個体と各条件のコンクリート板をよじ登った個体数と体重

|       | <i>A. bicolor</i> + オオウナギ |           |      |      | アメリカウナギ |           |      |      |
|-------|---------------------------|-----------|------|------|---------|-----------|------|------|
|       | 個体数                       | 体重(g)     |      |      | 個体数     | 体重(g)     |      |      |
|       |                           | 平均値±標準偏差  | 最大   | 最小   |         | 平均値±標準偏差  | 最大   | 最小   |
| 全供試魚  | 197                       | 0.44±0.21 | 1.16 | 0.09 | 203     | 0.63±0.67 | 3.84 | 0.07 |
| 乾燥60° | 5                         | 0.21±0.10 | 0.36 | 0.13 | 0       | —         | —    | —    |
| 湿潤60° | 9                         | 0.19±0.05 | 0.27 | 0.10 | 17      | 0.19±0.04 | 0.27 | 0.14 |
| 湿潤90° | 20                        | 0.18±0.06 | 0.28 | 0.08 | 0       | —         | —    | —    |

## 謝 辞

本研究を実施するに際して、多くの有益な助言を頂いた、北里大学の吉永龍起准教授、増養殖研究所の山本敏博博士に感謝致します。また供試魚の世話から測定まで手伝って頂いた、愛知県水産試験場内水面漁業研究所の岩田友三氏、中川武芳氏、村井節子氏に感謝致します。なお、本研究は平成 25 年度に水産庁増殖推進部栽培養殖課による「異種鰻育成手法緊急開発事業」として行われた。

## 文 献

岸田 達・神頭一郎 (2013) 我が国におけるシラスウナギ漁獲量再考. 水産海洋研究, **77**, 164-166.  
Linton ED, Jonsson B, Noakes DLG (2007) Effects of water temperature on the swimming and climbing behaviour of glass

eels, *Anguilla* spp.. *Environ. Biol. Fish.*, **78**, 189-192.  
松井 魁 (1972) 鰻学. 恒星社厚生閣, 東京, 280p.  
松井 魁・永井 泉 (1967) 鰻のそ上力. 木曾三川河口資源調査報告第 4 号下, 1325-1330.  
望岡典隆 (2014) 日本の希少魚類の現状と課題: ニホンウナギ・ドジョウ. 魚類学雑誌, **61**, 33-35.  
日本養鰻漁業協同組合連合会 (2000) 外国産シラスウナギ養殖技術開発事業報告書 (平成 7 年度～ 11 年度), 47p.  
山辺 晃・小山鉄雄・小林隼人・石井俊雄・平井聴人・阿井敬雄・西尾和民 (1973) 外国産鰻種苗飼育の手引. 養殖タイムス社, 東京, 104p.  
Yoshinaga T, Aoyama J, Shinoda A, Watanabe S, Azanza RV, Tsukamoto K (2014) Occurrence and biological characteristics of glass eels of the Japanese eel *Anguilla japonica* at the Cagayan River of Luzon Island, Philippines in 2009. *Zool. Stud.*, **53**: 13.  
Zhang H, Mikawa N, Yamada Y, Horie N, Okamura A, Utoh T, Tanaka S, Motonobu T (1999) Foreign eel species in the natural waters of Japan detected by polymerase chain reaction of mitochondrial cytochrome b region. *Fish. Sci.*, **65**, 684-686.

#### ウナギ属 4 種における飛び出し行動とよじ登り能力

松田圭史・服部宏勇・富山 実・矢田 崇・内田和男

水槽の環境条件（照度，飼育密度，水温，pH）を変化させ，ニホンウナギ，*Anguilla bicolor* とオオウナギの混合群，アメリカウナギの逸出行動活性の指標となる飛び出し率を比較した。さらに壁の角度と乾燥状態を変化させ，異種ウナギの壁をよじ登る能力を調べた。各条件を変えた時の種内の飛び出し率は，すべてのウナギで有意差は認められず，また種間においても有意差は認められなかった。両異種ウナギはサイズが小さい時期に壁のよじ登りが多く，「*A. bicolor* とオオウナギの混合群」の方がよじ登る傾向がみられた。本研究から異種ウナギの逸出防止には飼育水槽の壁面を乾燥させ，返しを付けることが有効と考えられた。