

原著論文

大型で不透明な水槽による ニホンウナギ仔魚飼育手法の開発

増田賢嗣^{*1}・今泉 均^{*2}・藤本 宏^{*2}・鴨志田正晃^{*1}・
谷田部誉史^{*1}・島 康洋^{*1}・古板博文^{*3}・桑田 博^{*1}

Development of rearing procedure of larvae of Japanese eel *Anguilla japonica* using large-scale and opaque tanks

Yoshitsugu MASUDA, Hitoshi IMAIZUMI, Hiroshi FUJIMOTO, Masaaki KAMOSHIDA
Takashi YATABE, Yasuhiro SHIMA, Hirofumi FURUITA and Hiroshi KUWADA

Japanese eel larvae have been reared only in small (5–20 L), transparent tanks because of certain requirements in rearing operations, which is one obstacle to the mass production of glass eels. In this study, we made a new model tank, which is composed of two semicylindrical tanks connected to each other by pipes for translocation of larvae, and tested it for rearing Japanese eel larvae. The results demonstrated that Japanese eel larvae can survive in this system until metamorphosis. This showed that Japanese eel larvae can be reared in larger, opaque tanks.

キーワード：ウナギ, 種苗生産, 量産
2015年11月13日受付 2017年1月26日受理

我が国のニホンウナギ *Anguilla japonica* の供給はほとんどが養殖によるものであり, 種苗である稚魚(シラスウナギ)はすべてを天然からの漁獲に依存しているが, そのシラスウナギの漁獲量は近年減少している(Tanaka 2014)ため, 量産技術を一刻も早く確立することが求められている。仔魚の飼育技術は, 飼料原料としてサメ卵の有用性が見いだされたこと(Tanaka et al. 2001)を契機に進展し, 2002年には人工シラスウナギが初めて得られ(Tanaka et al. 2003), 2010年には, 人工飼育下で得られた受精卵から育てたニホンウナギ(F1)を両親とする仔魚(F2)が初めて得られた(Masuda et al. 2012)。しかしながら, 大規模な飼育が不可能であったため, 人工シラスウナギ生産尾数は現在でも年間数百尾

に留まっている(Masuda et al. 2012)。

飼育規模の拡大には, 大型の水槽を用いるかもしくは水槽数を増大する必要があるが, これまでいずれも実現しなかった。すなわち従来の給餌開始以降の飼育例報告は5~19Lの規模の水槽を用いたものが主であり(田中ら1999, Tanaka et al. 2001, 岡村ら2009, Okamura et al. 2009a, Okamura et al. 2009b, 増田ら2011b, Okamura et al. 2013, Masuda et al. 2013, 増田ら2013a, 増田ら2013b, 増田ら2013c)。それ以上の規模では, 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所志布志庁舎(以下志布志庁舎)で, 100L規模の飼育水槽によりシラスウナギまでの飼育に成功した(今泉ら, 未発表)例があるのみであった。次に水槽の材質はアクリル(Tanaka et

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所南伊豆庁舎
〒415-0156 静岡県賀茂郡南伊豆町石廊崎183-2

Minami-Izu Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Japan Fisheries Research and Education Agency, Minami-Izu, Shizuoka 415-0156, Japan
masuday@affrc.go.jp

*2 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所志布志庁舎

*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所南勢庁舎

al. 2001, Tanaka et al. 2003, Okamura et al. 2009a, 増田ら 2013b, Tanaka 2003) もしくはポリエチレンテレフタレート (PET) (増田ら 2013c) 等の透明なものに限定されており, 不透明な水槽でのウナギ仔魚飼育は水槽大型化以上の難事であり, ふ化後 20 日までの飼育例すら絶無であった。これら飼育規模の拡大および不透明な水槽による飼育を阻んできた要因の一つは, 仔魚の飼育に際して必須とされてきた, 1 日~数日に 1 度の水槽交換作業 (Tanaka et al. 2001, Okamura et al. 2009a, Okamura et al. 2009b, 増田ら 2013b) である。従来の飼育法 (田中ら 1999, Tanaka et al. 2003) では, 仔魚の移槽には新旧水槽をサイホン管でつなぎ, 新水槽から排水する手法で旧水槽から新水槽への水流を発生させ仔魚を移送した。しかしこの方法では, 旧水槽内の仔魚の残留を完全に排除することが不可能であるため, 残留した仔魚についてはピペット等を用いて新水槽に移す必要があった。このため, 水槽は 10L 程度の規模で透明なものに制限され, また作業員あたりの水槽数を増やすことができなかった。このような状況の下で, 水槽壁面・底面の拭き掃除を行うこと (拭浄法) によって, 水槽交換を行わずに飼育可能であることが示された (増田ら 2013b) が, 仔魚が明条件下では下方に向かって遊泳するために (Yamada et al. 2009), 拭浄されるべき水槽底面付近に仔魚が偏在することとなり, 拭浄の際に仔魚が殺傷される危険に曝される。従って大規模な飼育に対して拭浄法をそのまま適用することは困難であった。そこで, 2 個の個槽を接合して, シーソー様に転回することによって交互に使用することとし, これによって拭浄すべき水槽壁面と仔魚が存在する飼育水とが分離するシーソー式水槽が考案された (増田ら 2013c)。しかしながら, シーソー式水槽では湛水状態の水槽を転回させる必要があるという問題があり, これも大型水槽へ適用することは困難であった。

これらの結果を受けて本研究においては, これまでより規模が大きく, かつ不透明な水槽によるウナギ仔魚の飼育を可能とするために蒲鉾型水槽 (増田ら 2013b) 2 基を連結した形状の水槽 (双胴式蒲鉾型水槽) を考案した。この水槽は, 水流によって片方の個槽に仔魚を集めて飼育を行い, 他方の個槽を拭浄する形で運用される。この水槽を用いることにより, 従来の技術ではニホンウナギ仔魚の飼育が不可能と考えられていた, 不透明な素材からなる 1,000L 規模の水槽 (実水量 850 L) で給餌開始期からシラスウナギに変態するまで飼育することに成功したので報告する。

材料と方法

親魚の処理とふ化管理 雌親魚には, 鹿児島県大隅地方の有明町シラス採捕組合から購入したシラスウナギの稚魚期にエストラジオール -17 β (シグマアルドリッチジャパン) を投与して雌化養成 (立木ら 1997) したものの

もしくは天然の雌ニホンウナギ (島根県の宍道湖もしくは神西湖で秋季に漁獲されたウナギ) を購入し, 催熟開始まで無給餌で飼育管理したものを使用した。雄親魚には, 鹿児島県東部の大隅地区養まん漁業協同組合から購入し, 催熟開始まで無給餌で飼育管理したものを使用した。雌親魚に対してはサケ脳下垂体抽出物 (Kagawa et al. 1997, Kagawa et al. 2013), 雄親魚に対してはヒト胎盤性性腺刺激ホルモン (Ohta et al. 1996) もしくは遺伝子組換えニホンウナギ黄体形成ホルモン (風藤ら, 未発表) を投与することによって催熟した。続いて最終成熟処理を施し, 誘発産卵もしくは人工授精によって受精卵を得た。誘発産卵 (Satoh et al. 1992, 堀江ら 2008) の場合には 17- α ヒドロキシプロジェステロン (Miura et al. 2013) を雌雄ともに, 人工授精の場合は雌のみに投与することによって最終成熟を促した。このようにして得た受精卵からふ化した仔魚には試験開始まで給餌せず, 水温 25°C で飼育管理した。購入したシラスウナギおよびウナギ成魚の養成, 催熟, 採卵およびふ化仔魚の管理は, 志布志庁舎または国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所南勢庁舎 (以下南勢庁舎) において行われた。

飼育水槽 2 個の水槽 (以下各々を「個槽」と称する) から成る 3 種類の双胴式蒲鉾型水槽 1 (K-1, 図 1a, 図 2a), 2 (K-2, 図 1b, 図 2b) および 3 (K-3, 図 1c, 図 2c) を試作した。

K-1 は灰色塩ビ製で, 個槽 1 個あたり満水量が約 135 L (水槽 1 基で約 270 L), 実水量が約 108 L (同約 216 L) である。2 個の個槽を最深部が一直線になるように接合した。給水口および排水口を個槽 1 個当たり 1ヶ所ずつ設置した。また両個槽を結ぶ通水管を 2ヶ所設置した。

K-2 は乳白色塩ビ製で, 個槽 1 個あたり満水量が約 1,000 L (水槽 1 基で約 2,000 L), 実水量が約 850 L (同約 1,700 L) である。2 個の個槽は最深部が平行に並ぶように接合した。給水口および排水口を個槽 1 個あたりそれぞれ 3ヶ所および 4ヶ所設置した。両個槽を結ぶ通水管を 10ヶ所設置した。この変更により, 通水管を仔魚の通過域に万遍なく複数開口させることができた。

K-3 は白色塩ビ製で, 給水口・排水口・通水管の個数や水槽容積も K-2 と同様としたが, 縦・横の寸法を変更して相対的に長辺方向を短くした。これにより, 仔魚の水槽内分布の偏りが軽減されることを狙った。

K-1, K-2 および K-3 のいずれにおいても, 片方の個槽に取り付けられた排水口を開口し, 他方の個槽に取り付けられた排水口を閉塞させることによって, 片側の個槽からの飼育水の出口が通水管以外に無くなることから, 両個槽間に上流・下流の関係が生じる。これにより仔魚が下流側の個槽に集まることから, 下流側で給餌を行うとともに上流側の個槽において水槽壁面および底面の拭浄を行うことが可能となった。また, どちらの個槽も下

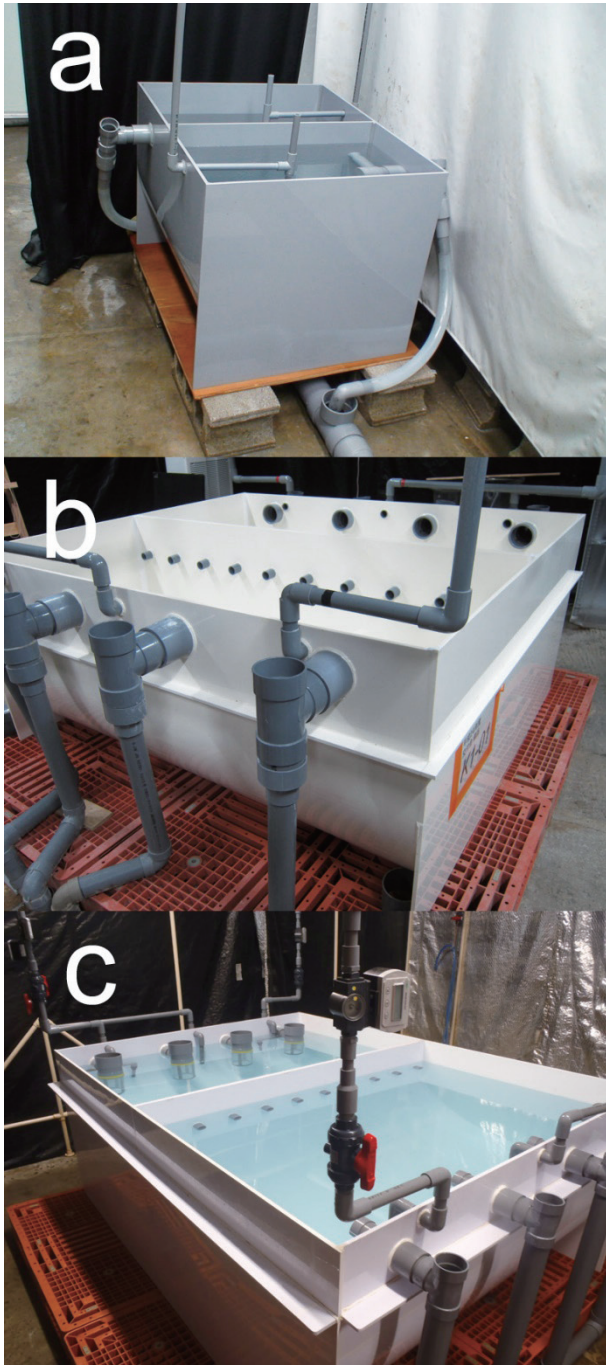


図 1. 試験に供した双胴式蒲鉾型水槽 K-1 (a), K-2 (b) および K-3 (c)

流側として設定可能であるため、両個槽を交互に使用することが可能となった。

K-1 を用いた飼育試験 K-1 を用いて、双胴式蒲鉾型水槽によるニホンウナギ仔魚飼育の可能性を検討した。2012 年 12 月 9 日にふ化した仔魚を K-1 にふ化後 5 日（5 日齢）で全数計数によって 2,500 尾収容し、100 日齢まで飼育した。本試験は志布志庁舎において実施した。飼育水温は 25°C とした。ふ化後 6 日から（神保ら 2013）

1 日 5 回（07:00～15:00 の間に 2 時間毎）アブラツノザメ卵主体飼料（増田ら 2011b）を給餌した。毎日 15:00 の給餌中に、排水ストレーナの付け替えによって上流側と下流側を交替し、翌朝の 07:00 の給餌までに清潔な個槽に仔魚が移動した。水槽の清潔さを維持するために、拭浄法（増田ら 2013b）を適用し、給餌中もしくは給餌と給餌の間に、上流側個槽を適宜拭浄した。拭浄によって壁面から剥がれた微細な汚れは下流側個槽を経て水槽外に排出されたと考えられる。注水量は各個槽に 3L/分ずつの、合計 6 L/分とした。20 日齢および以後 20 日毎に生残尾数を全数計数によって計数するとともに、20 尾ずつを 2-フェノキシエタノール 400 ppm 下で麻酔し、万能投影機（Nikon, V-12B）を用いて全長および体高を測定した。生残率は以下の式によって計算した。
生残率 (%) = (生残尾数) / (収容尾数) × 100

K-2 を用いた飼育試験 K-1 を用いた飼育試験の結果から双胴式蒲鉾型水槽によるニホンウナギ仔魚の飼育が可能であることが明らかとなったことを受け、K-2 を用いて 1,000L 規模の水槽を用いたニホンウナギ仔魚の飼育可能性を検討した。2013 年 6 月 8 日にふ化した仔魚を 4 日齢で志布志庁舎から発送した。仔魚は 5 日齢に国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所南伊豆庁舎（以下南伊豆庁舎）に到着した。到着後直ちに仔魚を K-2 に収容し、514 日齢まで飼育した。収容尾数は、容量法によって 27,965 尾と計数された。試験期間中に変態を開始したと判断された個体はその時点で試験の終了とし、別途用意した 10L 水槽に移した。飼育水温は加温によって 23°C とし、自然水温が 23°C を上回った時期には、ヒートポンプを用いて自然水温より最大 1°C 程度、水温を低下させた。給餌は収容当日には 10:00 および 15:00 に行い、翌日以降は 2 時間毎の 1 日 5 回（07:00～15:00）とした。51～60 日齢は水温が 25°C 以上に上昇したため、過去の事例（増田ら 2013a）を参照して給餌回数を増やして 1 日 6 回（05:30～21:00）としたが、水槽壁面が早く汚れるように見受けられたため、その後 61～442 日齢は、作業の都合も考慮して、水温が上昇した時期も含めて 1 日 5 回（05:30～15:00）、443 日齢以降は 1 日 5 回（08:00～16:00）とした。飼料はアブラツノザメ卵主体飼料（増田ら 2011b）を改変したものを用いた。256～350 日齢は、1 日 5 回の給餌のうち初回を除く 4 回について水分含量を削減した飼料を使用した。毎日 15:00（443 日齢以降は 16:00）の給餌中に、排水ストレーナの付け替えによって上流側と下流側を交換した。給餌中もしくは給餌と給餌の間に、上流側個槽を適宜拭浄した。注水にはすべての給水口を用い、注水量は合計で 60 L/分とした。20 日齢までの毎日および 30 日齢以後 5 日毎（200 日齢～280 日齢は 20 日毎、以後は 500 日齢まで計数せず）に生残尾数を容量法によって計数して生残率を、K-1 を用いた飼育試験と同様に算出するとともに、

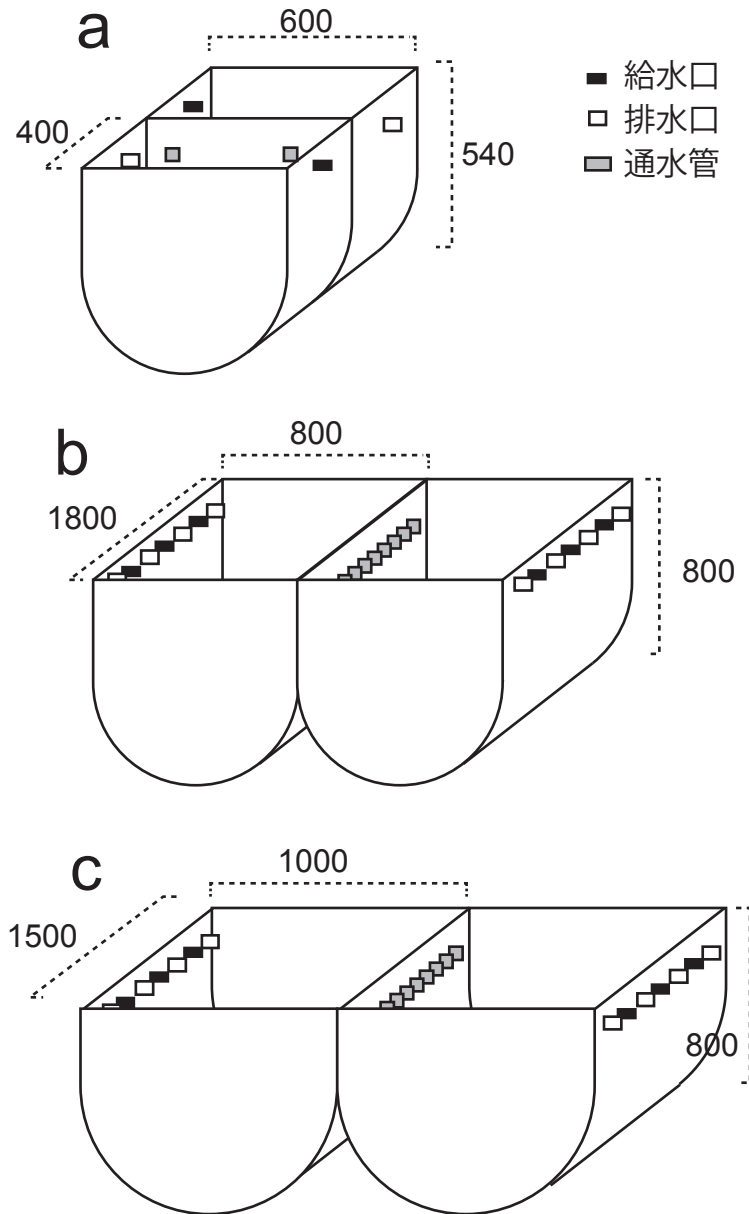


図2. 双胴式蒲鋒型水槽 K-1 (a), K-2 (b) および K-3(c) の模式図
水槽の素材は灰色塩ビ (a), 乳白色塩ビ (b) もしくは白色塩ビ (c),
寸法の単位は mm

20 日齢以後 20 日毎に全長および体高を同試験と同様に測定した。また、十分に成長した仔魚から順次シラスウナギに変態してゆくことから、累積のシラスウナギ生産尾数から、下記の式で「シラスウナギまでの到達率」を算出した。

シラスウナギまでの到達率 (%) = (累積シラスウナギ生産尾数) / (収容尾数) × 100

K-3 を用いた飼育試験 双胴式蒲鋒型水槽 K-2 の形状を改変した K-3 を用いて水槽形状および飼育方法の違い

が飼育に及ぼす影響を検討するとともに、1,000L 規模の水槽によるニホンウナギ仔魚の飼育の再現性を検討した。2014 年 6 月 18 日にふ化した仔魚を 4 日齢で南勢庁舎から発送し、5 日齢で南伊豆庁舎に到着したものを試験に供した。収容尾数は、容量法によって 20,993 尾と計数された。試験は 480 日齢まで実施した。飼育法は概ね K-2 と同様としたが、本試験では水槽 K-3 を使用した。また K-2 を用いた飼育試験では水分含量を削減した飼料を使用した。本試験では使用せず、加えて本試験では給餌回数は一貫して 1 日 5 回 (05:30~15:00, 68 日齢

以降は 08:00~16:00) とした。さらに本試験の実施中に、サイホンを用いて個槽間を移槽し、サイホンホースに吸い込まれる仔魚をカウントする全数計数法が開発されたため、これを用いて 140 日齢および 200 日齢以降、20 日毎に全数計数によって尾数を計数した。

結果

K-1 を用いた飼育試験 100 日齢までの生残率、全長および体高の推移を図 3 に示した。100 日齢の生残率は 1.0% であり、100 日齢時点での平均全長 ± 標準偏差および平均体高 ± 標準偏差は、それぞれ 30.51 ± 5.51 mm および 4.28 ± 1.09 mm に達した。100 日齢の時点で、最大で全長は 40.1mm、体高は 5.8mm の個体が認められた。

K-2 を用いた飼育試験 飼育水温は、50~69 日齢、89~100 日齢、450~469 日齢のそれぞれの期間で 24°C を上回り、最高で 26.2°C に達した。180 日齢までの生残率、全長および体高の推移、ならびに得られたシラスウナギの 20 日毎の尾数と累積尾数を図 4 に示した。生残率は、20 日齢に 30% 程度となった後に漸減傾向で推移した。平均全長は 20 日齢時点では 10 mm に満たなかったが、80 日齢には 20 mm を超えた。平均体高は 80 日齢に 3.0 mm を、120 日齢に 4.0 mm を超えた。184 日齢に、シラスウナギに変態を完了した 1 尾目の個体を認めた。300 日齢までに 99 尾 (到達率 0.4%)、400 日齢までに 331 尾 (1.2%)、500 日齢までに 430 尾 (1.5%) のシラスウナギが得られた。514 日齢で飼育を終了し、最終的には 441 尾 (1.6%) のシラスウナギが得られた。514 日齢で未変態のまま生残していた仔魚は 47 尾であった。

K-3 を用いた飼育試験 本試験においても水温 23°C を越えた際には冷却が十分でなく、75~94 日齢、417~452 日齢に 24°C を越え、最高で 27.1°C に達した。240

日齢までの生残率、全長および体高の推移、ならびに得られたシラスウナギの 20 日毎の尾数と累積尾数を図 5 に示した。生残率は、20 日齢に 20% 程度となった後に漸減傾向で推移した。平均全長は 20 日齢時点では 10 mm に満たなかったが、100 日齢には 20 mm を超えた。平均体高は 100 日齢に 3.0 mm を超えた。245 日齢に、シラスウナギに変態を完了した 1 尾目の個体を認めた。300 日齢までに 22 尾 (到達率 0.1%)、400 日齢までに 113 尾 (0.5%)、480 日齢までに 179 尾 (0.9%) のシラスウナギが得られた。480 日齢で生残していた未変態の仔魚は 35 尾であった。これらのうち、無給餌で管理するうちに変態完了したものも含め、最終的には 190 尾のシラスウナギが得られた (0.9%)。

考察

本研究においては、仔魚を視認して捕獲する作業を省略することができる新型の水槽および飼育法を開発し、これによってこれまでより規模が大きく、また不透明な水槽によるニホンウナギ仔魚の変態までの飼育に成功した。本研究において考案された手法は、2 基の水槽を交互に使用する方法 (田中ら 1999, Tanaka et al. 2003) を踏襲しつつ、これに水槽を移動せず、湛水状態のまま清潔さを維持できる拭浄法 (増田ら 2013b) を組み合わせたものである。個槽の形状は蒲鉾型で下半部が横置き半円筒形であり (増田ら 2013b)、全体として円筒型に近い流れ場が形成されて底面上では流れが概ね一方を向くという特徴から、クライゼル水槽 (Okamura et al. 2009a) と同じ類型とみることが出来る。このような個槽を 2 個接合した「双胴式蒲鉾型水槽」を作製し、双方の個槽に注水して、片方の個槽からのみ排水することにより、2 個の個槽間に水流を作り出した。これにより仔魚を下流側の個槽に集めることが可能となり、移槽を効率化した。

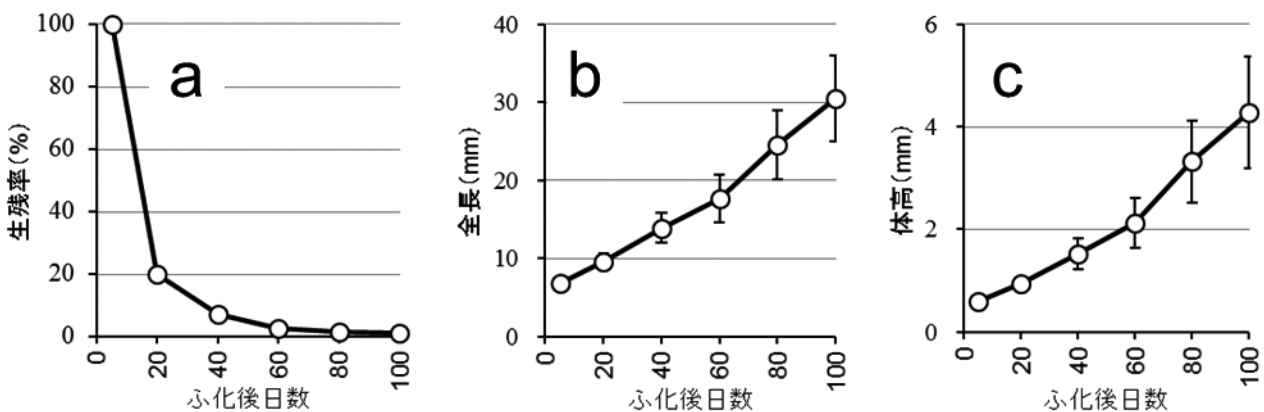


図 3. K-1 を用いた飼育試験における生残率 (a)、平均全長 (b) および平均体高 (c) の推移
エラーバーは標準偏差を示す

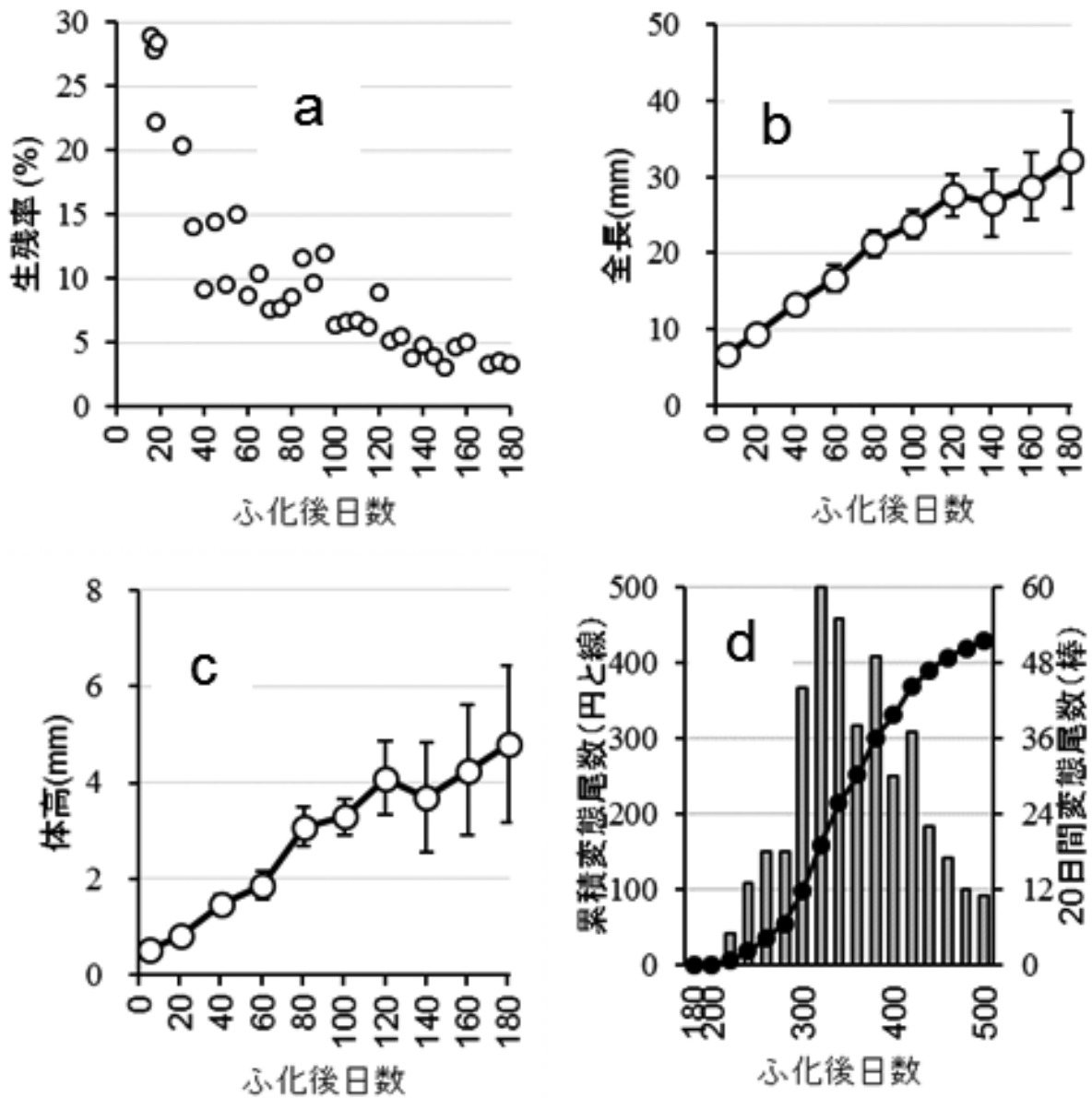


図4. K-2を用いた飼育試験における生残率 (a), 平均全長 (b), 平均体高 (c) および変態尾数 (d) の推移
エラーバーは標準偏差を示し, (a) における白丸は容量法による推定尾数を, (d) における黒丸は実数計数値を示す

拭浄法では、水槽底面に蟄集した仔魚を拭浄の際に巻き込んで殺傷する可能性があるという問題があった (増田ら 2013b)。本水槽においては下流側の個槽で給餌飼育を行うとともに、上流側の個槽を湛水状態のまま拭浄し、上流側と下流側を適宜入れ替えることで仔魚と拭浄される壁面・底面とを分離することによってこの問題の解決を図った。もっとも、シーソー式水槽 (増田ら 2013c) とは異なり、本法では仔魚が上流側の個槽に残留する可能性を完全に排除することはできない。しかし上流側個槽は湛水状態にあり換水もされるため仔魚は生存が可能で、拭浄の際に殺傷されるとしても、それはそのうちのさらに一部である。このように上流側個槽に若干の仔魚が残存する余地が残り、実際に少数の仔魚が上

流側個槽にたびたび認められながらも、大規模で不透明な水槽による長期の飼育が可能となった。本方式によって仔魚がどのくらい速く確実に移槽するのか、という問題は個槽の形状や連結方法、流量等の影響を受ける可能性があるが、これは今後検討していくべきであると考えられる。

上流側個槽における拭浄によって壁面から剥離した汚れのうち水中に浮遊するものは下流側個槽に移行し、そこから排水とともに排出されていると考えられる。沈降した汚れは手作業により除去される。水槽交換をせずとも水槽内壁面の拭浄と換水のみで長期の飼育が可能であること (増田ら 2013b) を考慮すると、仔魚が存在する個槽へ拭浄による汚れが流入しても、それが浮遊性の汚

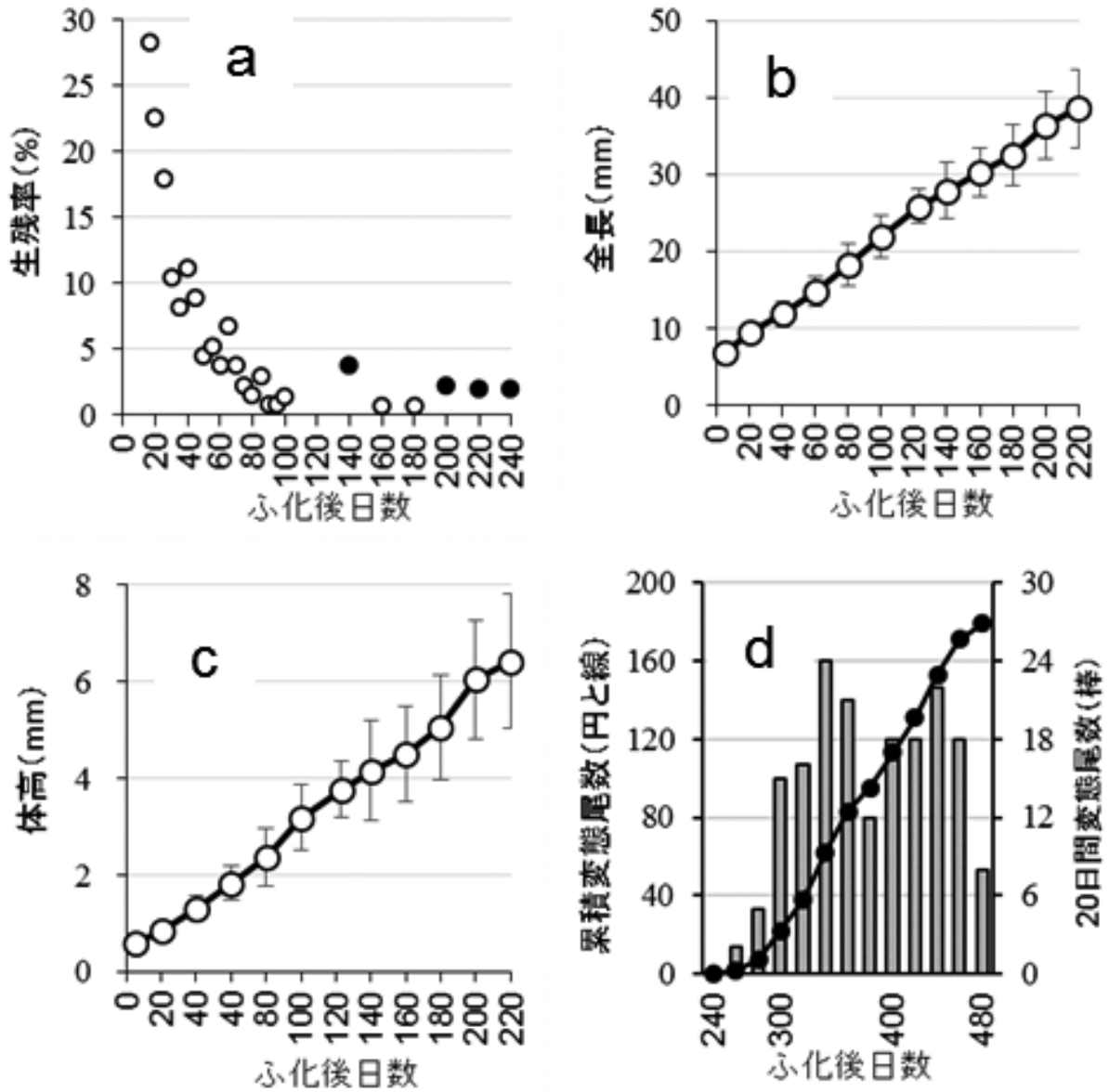


図5. K-3を用いた飼育試験における生残率 (a), 平均全長 (b), 平均体高 (c) および変態尾数 (d) の推移
エラーバーは標準偏差を示し, (a) における白丸は容量法による推定尾数を, (a) および (d) における黒丸は実数計数値を示す

れである限りは生残に影響を及ぼす影響は小さいと考えられる。また、水槽洗浄のための移動や飼育水の排出・再湛水等を必要としない点も拭浄法の優れた点であるが(増田ら 2013b), 本方式ではそれに加えて、シーソー式水槽のような水槽の転回操作も必要としない。この点も、大型の水槽による長期の飼育には有利である。

双胴式蒲鉾型水槽においては、この他にも従来の水槽より優れた点がある。まず、水槽交換のための作業は排水口の開閉のみとなり、これまで水槽交換の都度実施されてきた、移槽用の水管の設置と撤去の作業が省略された。また、サイホンの原理を用いた水槽交換法においては、水管に空気が詰まって閉塞し、交換前水槽から飼育

水が溢れて仔魚を逸失する危険があったが、これも解消された。さらに、本研究における飼育事例においては、水槽1基によって数百尾のシラスウナギを生産することが可能となったことから、生産尾数当たりの操作回数(給餌作業やバルブ操作等の回数)が大幅に減少する等、作業工程が効率化された。

本研究では、双胴式蒲鉾型水槽を用いて給餌開始期から変態期までのニホンウナギ仔魚の飼育に成功したが、1,000L水槽での飼育事例では100日齢での平均全長が22.0~23.7mm、シラスウナギまでの生残尾数が190~441尾であり、10Lボウル水槽、あるいはシーソー式水槽を用いて同様の条件で飼育した過去の実績(100日齢

平均全長 20.9~28.6mm, シラスウナギまでの生残尾数 12~21 尾) (増田ら 2013a, 増田ら 2013b, 増田ら 2013c) と比較して成長や生残が良いとは言えない。K-2 を用いた飼育試験では, 仔魚は成長に伴い, 給餌時に水槽の両短辺側付近の底部に偏在するようになり, その分, 中央付近では極端に疎らになった。この状態では, 仔魚が局在する部分での飼料の不足や中央部での飼料の無駄が懸念された。そこで K-3 の長辺は K-2 よりも相対的に短くした。これにより, 仔魚の偏在はある程度軽減された。一方で沈降する汚れが増えることが観察され, 壁面が汚れやすい環境になっているとすれば別途対策が必要であろう。また 10L 水槽を用いたこれまでの飼育実験によって, 飼育初期については給餌回数と成長の速さとの間に正の相関関係があることが明らかとなっており (神保ら 2013, 増田ら 2013a), 死亡が多い給餌開始直後の成育過程を速やかに通過させることで, 双胴式蒲鉾型水槽での成長や生残率が向上できるかもしれない。

K-2 を用いた飼育試験では, 1,000L 規模では初めてのニホンウナギ仔魚の飼育事例であったことから, 本来の飼育試験と同時にいくつかの飼育条件を検討しながら飼育を実施した。たとえば水温の上昇に伴って, 代謝の活発化による栄養不足を懸念して給餌回数を増加したが, 予想以上に水槽壁面の汚れの進行が速かったため, 短期で中止した。

このような試行錯誤を重ねながらも, 本研究においては, これまでよりも大型で不透明な水槽によってニホンウナギ仔魚の給餌開始期から変態期までの飼育が可能であることが示された。その一方で, たとえば換水率が 10L 水槽における飼育手法 (増田ら 2011b, Masuda et al. 2013, 増田ら 2013a, 増田ら 2013b, 増田ら 2013c) と同水準に留まっているため, 経済的観点からは注水量の削減を検討すべきであるなど, まだ改良が必要な部分が残されている。今後は水槽形状や飼育工程のさらなる改良によって生残率の向上および作業の省力化を図ることにより, シラスウナギ生産技術の一層の効率化が期待できる。

謝辞

本研究は, 志布志庁舎においては山元栄一氏, 恒吉守一氏, 上野裕幸氏, 湯地幸枝氏, 清水武宏氏, 春口嵩紘氏, 白鳥智恵美氏, 田中佑次郎氏, 南伊豆庁舎においては小澤仁美氏, 山田麻由美氏, 鈴木敦雄氏, 石田真樹氏, 新谷千紗氏, 簾田馨子氏, 安藤大祐氏, 稲葉順子氏, 関雄大氏, 伊藤寿長氏, 中田峻輔氏, 土屋昌幸氏, 藤井千波氏が調餌作業および飼育作業を担当した。各氏にお礼申し上げる。同じく, 両庁舎において管理業務を担当された山口さの江氏, 豊島可奈美氏および桐原久子氏にお礼を申し上げる。組換えニホンウナギ LH を提供していただいた風藤行紀博士には厚く御礼申し上げます。有用な

助言を下された虫明敬一博士, 薄浩則博士, 松本淳氏, ならびに飼育の実施にご助力をいただいた志布志庁舎の松田圭史博士, 平井慈恵博士, 神保忠雄氏, 友田努博士, 南伊豆庁舎の鈴木重則氏, 鈴木美恵子氏, 渡辺麻衣氏, 進士勝也氏, 公益財団法人福島県栽培漁業協会の丸添隆義氏, 大和田淳郎氏, 久保田光祐氏および小野寺海氏に感謝する。また開発の継続にご尽力いただいた岩本明雄氏に感謝する。本研究は農林水産技術会議委託プロジェクト研究「天然資源に依存しない持続的な養殖生産技術の開発」によって行われた。

引用文献

- 堀江則行・宇藤朋子・三河直美・山田祥朗・岡村明浩・田中 悟・塚本勝巳 (2008) ウナギの人工種苗生産における採卵法が卵質に及ぼす影響 (搾出媒精法と自然産卵法の比較). 日水誌, **74**, 26-35.
- 神保忠雄・増田賢嗣・今泉 均・橋本 博・松田圭史・永尾次郎・田中秀樹 (2013) 給餌開始日齢が初期のウナギ仔魚の成長および生残に及ぼす影響. 水産増殖, **61**, 403-406.
- Kagawa H, Tanaka H, Ohta H, Okuzawa K, Inuma N (1997) Induced ovulation by injection of 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the artificially matured Japanese eel, with special reference to ovulation time. *Fish. Sci.*, **63**, 365-367.
- Kagawa H, Sakurai Y, Horiuchi R, Kazeto Y, Gen K, Imaizumi H, Masuda Y (2013) Mechanism of oocyte maturation and ovulation and its application to seed production in the Japanese eel. *Fish Physiol. Biochem.*, **39**, 13-17.
- 増田賢嗣・今泉 均・小田憲太郎・橋本 博・照屋和久・薄 浩則 (2011a) 飼育環境下のニホンウナギ *Anguilla japonica* 仔魚は最速で 131 日齢までに変態しうる (短報). 日水誌, **77**, 416-418.
- 増田賢嗣・今泉 均・橋本 博・小田憲太郎・古板博文・松成宏之・照屋和久・薄 浩則 (2011b) イタチザメ卵とアイザメ卵を主体とした飼料によるウナギ初期飼育の可能性. 水産技術, **4**, 7-13.
- Masuda Y, Imaizumi H, Oda K, Hashimoto H, Usuki H, Teruya K (2012) Artificial completion of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, life cycle: challenge to mass production. *Bull. Fish. Res. Agen.*, **35**, 111-117.
- 増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・橋本 博・小田憲太郎・松田圭史・照屋和久・薄 浩則 (2013a) 水温・給餌回数・飼育密度の調整によるウナギ *Anguilla japonica* 仔魚期間の短縮. 日水誌, **79**, 198-205.
- 増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・藤本 宏・永尾次郎・川上優 (2013b) ウナギ仔魚飼育における水槽交換作業の簡略化の可能性について. 水産技術, **6**, 33-38.
- 増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・藤本 宏 (2013c) シーソー式水槽によるニホンウナギ仔魚の飼育手法の簡略化. 水産技術, **6**, 169-174.
- Masuda Y, Jinbo T, Imaizumi H, Furuita H, Matsunari H, Murashita K, Fujimoto H, Nagao J, Kawakami Y (2013) A step forward in development of fish protein hydrolysate-based diets for larvae of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **79**, 681-688.
- Miura A, Nomura K, Imaizumi H, Jinbo T, Masuda Y, Tanaka H, Ohta H (2013) Administration of 17 α -hydroxyprogesterone into

- mature male Japanese eel reduces sperm motility by decreasing potassium ion concentrations in the seminal plasma. *Aquaculture*, **414-415**, 217-223.
- Ohta H, Kagawa H, Tanaka H, Okuzawa K, Hirose K (1996) Change in fertilization and hatching rates with time after ovulation induced by 17,20 β -dihydroxy-4-pregnen-3-one in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Aquaculture*, **139**, 291-301.
- 岡村明浩・山田祥朗・堀江則行・三河直美・宇藤朋子・田中 悟・塚本勝巳 (2009) ウナギ卵・仔魚の飼育における銀イオンの添加：毒性と抗菌作用. 日水誌, **75**, 786-792.
- Okamura A, Yamada Y, Horita T, Horie N, Mikawa N, Utoh T, Tanaka S, Tsukamoto K (2009a) Rearing eel leptocephali (*Anguilla japonica*) in a planktonkreisel. *Aquacult. Res.*, **40**, 509-512.
- Okamura A, Yamada Y, Mikawa N, Horie N, Utoh T, Kaneko T, Tanaka S, Tsukamoto K (2009b) Growth and survival of eel leptocephali (*Anguilla japonica*) in low salinity-water. *Aquaculture*, **296**, 367-372.
- Okamura A, Yamada Y, Horie N, Mikawa N, Tanaka S, Kobayashi H, Tsukamoto K (2013) Hen egg yolk and skinned krill as possible foods for rearing leptocephalus larvae of *Anguilla japonica* Temminck & Schlegel. *Aquacult. Res.*, **44**, 1531-1538.
- Satoh H, Yamamori K, Hibiya T (1992) Induced spawning of the Japanese eel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 825-832.
- 立木宏幸・中川武芳・田村憲二・廣瀬慶二 (1997) ニホンウナギにおける estradiol-17 β の経口投与による雌化効果, 成長および親魚養成. 水産増殖, **45**, 61-66.
- Tanaka E (2014) Stock assessment of Japanese eels using Japanese abundance indices. *Fish. Sci.*, **80**, 1129-1144.
- 田中秀樹・香川浩彦・太田博巳, ウナギ孵化仔魚の飼育方法. 特許第 2909536 号, 1999.
- Tanaka H. (2003) Techniques for larval rearing. in "Eel biology" (ed. By Aida K, Tsukamoto K, Yamauchi K), Springer-Verlag, Tokyo, p. 427-434.
- Tanaka H, Kagawa H, Ohta H (2001) Production of leptocephali of Japanese eel *Anguilla japonica* in captivity. *Aquaculture*, **201**, 51-60.
- Tanaka H, Kagawa H, Ohta H, Unuma T, Nomura K (2003) The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish Physiol. Biochem.*, **28**, 493-497.
- Yamada Y, Okamura A, Mikawa N, Utoh T, Horie N, Tanaka S, Miller MJ, Tsukamoto K (2009) Ontogenetic change in phototactic behavior during metamorphosis of artificially reared Japanese eel *Anguilla japonica* larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **379**, 241-251.