

資料

水槽中層に給餌皿を設置する, ウナギ仔魚飼育における新たな給餌手法

増田賢嗣*1・田丸 修*2・高橋英樹*2・高橋勇樹*3・米山和良*3・
岸真二郎*4・大村智宏*5・山野恵祐*6・鴨志田正晃*7・谷田部誉史*6・
島 康洋*8・有元 操*6

Development of feeding procedure for Japanese eel larvae using equipment independent of
the tank body

Yoshitsugu MASUDA, Osamu TAMARU, Hideki TAKAHASHI, Yuki TAKAHASHI, Kazuyoshi
KOMEYAMA, Shinjiro KISHI, Yoshihiro OHMURA, Keisuke YAMANO, Masaaki KAMOSHIDA,
Takashi YATABE, Yasuhiro SHIMA and Misao ARIMOTO

Mass production of Japanese eel larvae is difficult because the best way to feed them has not been established. In the current procedure of feeding eel larvae, slurry type food is put on the bottom of breeding tanks and larvae eat along the bottom surface of the tanks. The bottom of such ordinary tanks needs a semicircular or hemisphere shape to help with feed efficiency and good water flow. Thus, depending on the tank shape, the food may become rotten and the water quality deteriorate. To determine an appropriate procedure and tank type for feeding larvae, it is necessary to balance the smoothness of water flow and feeding efficiency. We developed new feeding tanks which had plates set in the middle layer of the tank to feed larvae, so that the flow of water is adequate and the larvae are easier to feed. We successfully raised 40-day larvae (15.7 mm in total length) to 170-day larvae (30.3 mm in total length), and obtained one glass eel, with such feeding tanks.

キーワード：ウナギ, 種苗生産, 量産
2019年7月9日受付 2020年10月30日受理

ニホンウナギ *Anguilla japonica* の養殖では種苗として天然の稚魚（シラスウナギ）を用いているが、そのシラスウナギの漁獲量は近年減少している（Tanaka 2014）。

一方で、ニホンウナギは仔魚から大きな形態変化（変態）を経て稚魚になる（Mochioka 2003）ことから、仔魚に対しては稚魚以降とは異なる飼育手法が必要である。飼

-
- *1 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所沿岸生態システム部
〒321-1661 栃木県日光市中宮祠2482-3
Coastal and Inland Fisheries Ecosystems Division, Fisheries Technology Institute, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2482-3,
Chugushi, Nikko, Tochigi 321-1661, Japan
masuday@affrc.go.jp
- *2 ヤンマー株式会社
- *3 北海道大学水産科学研究院
- *4 一般社団法人マリノフォーラム21
- *5 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所水産工学部
- *6 国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所シラスウナギ生産部
- *7 国立研究開発法人水産研究・教育機構本部経営企画部
- *8 元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

育下での初めてのニホンウナギ稚魚生産の成功 (Tanaka *et al.* 2003) が報告されて以来、研究開発の目標は種苗である稚魚の大量生産のための技術開発に向けられてきた。Tanaka *et al.* (2001) は、懸濁態飼料を水槽の底面で給餌するという方法 (以下底面法と称する) によってニホンウナギ仔魚の長期飼育およびその結果としての稚魚期までの飼育を成功させた。その後現在まで、ニホンウナギの種苗量産技術開発においては底面法が踏襲されている。たとえば、当初はニホンウナギ仔魚の飼育は10~20L規模の水槽に限られていた (Tanaka *et al.* 2001, 田中ら 2006, Okamura *et al.* 2009, 増田ら 2013a, 増田ら 2014) が、その後1,000L規模の水槽での稚魚の生産が可能であることが明らかにされた (増田ら 2017)。この際に1,000L水槽で採用された給餌法は底面法であった。また飼料そのものの研究開発においても、当初のサメ卵主体飼料 (Tanaka *et al.* 2001) に加えて鶏卵黄主体のもの (Okamura *et al.* 2013)、魚粉主体のもの (Masuda *et al.* 2013) などが研究され、開口期から稚魚期までの飼育に成功した事例も報告された (増田ら 2016) が、それらはすべて懸濁態飼料であり、給餌法はいずれの場合でも底面法であった。底面法によれば、仔魚を水槽底部の飼料に遭遇させるために、仔魚が明条件下では下方に遊泳する性質 (Yamada *et al.* 2009) を利用する。効率的な給餌のためには仔魚を密集させる必要がある一方、給餌時以外は死骸や糞が沈殿するのを防ぎ、元気な仔魚がこれら汚染原因物質と接触する機会を減少させるとともに、水槽全体の飼育水を回転させることによって水質の均一化を図り、速やかに水槽内の汚れを排出することが求められると田中ら (2006) は指摘している。また仔魚期のウナギは顎部等に部分的に化骨が認められる時期が長く継続する (Masuda *et al.* 2019) が、この時期に用いる水槽の選択によって顎部の形態異常の発生に違いが生じることが示唆されている (Okamura *et al.* 2009)。こうした必要性を満たすために、底面法においては水槽本体およびその一部を利用する給餌場の形状が制約を受ける。そのため、これまでにニホンウナギ稚魚の生産に成功した水槽はすべて水槽断面が半円形から円形となっており (Tanaka *et al.* 2001, 田中ら 2006, Okamura *et al.* 2009, 増田ら 2013a, 増田ら 2013b, 増田ら 2014, 増田ら 2017)、また給餌場は水槽最深部に位置する底面に限定されている。したがって底面法による限り給餌場の形状および位置を検討することは困難であり、また給餌場のみを交換することも困難であった。この問題を解決するために、水槽中層に浮遊する飼料を摂餌させる手法が提案されている (増田ら 2010, 友田ら 2015) が、これまでのところ仔魚を成長させた例は報告されていない。底面法によるウナギ仔魚飼育においては毎回水槽底面の同じ場所に飼料を給餌することによる水槽の汚染部位への仔魚の接触が懸念され、また水槽を拡大した場合には仔魚と飼料との遭遇確率の低下や給餌場における仔魚の

高密度化による個体干渉が発生する可能性も考えられるが、これらの懸念について水槽の形状や給餌法の検討によって検証し、必要に応じて改善しようとしても、これまでは困難であった。

そこで本研究では、水槽内に給餌用の皿 (以下「給餌皿」) を設置して給餌する方法 (以下「架皿法」) を開発した。この方法を用いて、ふ化後40日 (以下「40日齢」, 平均全長15.7mm) から稚魚期までの飼育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 (ニホンウナギ稚魚) を雌化養成 (立木ら 1997) して用いた。すなわち搬入後54日目から150日間エストラジオール-17 β (E2, シグマアルドリッチジャパン) を投与した群と、搬入後19日目から144日間、E2を投与した群とを混合したうちから1尾を使用した。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300g程度と指定して購入した養殖ウナギを、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 (Ohta *et al.* 2017) を投与することによって催熟した。続いて雌に対しては17 α -ヒドロキシプロジェステロン (Miura *et al.* 2013) を投与することによって最終成熟を促した。雄についても、産卵前日に17 α -ヒドロキシプロジェステロンを投与した。雌1尾 (催熟開始時全長68.6cm) および雄3尾 (催熟開始時全長55.7~57.8cm) を同一の水槽に収容し、誘発産卵 (Satoh *et al.* 1992, 堀江ら 2008) によって受精卵を得た。得られた受精卵からふ化した仔魚には、輸送 (後述) 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 (ニホンウナギ稚魚) 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、国立研究開発法人水産研究・教育機構志布志庁舎 (以下志布志庁舎) において行われた。

飼育試験 仔魚は4日齢に志布志庁舎から宅配便を利用して国立研究開発法人水産研究・教育機構南伊豆庁舎 (以下南伊豆庁舎) へ輸送された。40日齢まで実水量103Lの円筒形横置型水槽 (ハーフパイプ水槽 (Greve 1968, 田中ら 2006)、径長230mm, 軸長2,491mm, 透明アクリル製) に収容し、サメ卵主体懸濁態飼料を用いた底面法によって給餌飼養した後に飼育試験に用いた。40日齢の仔魚 (平均全長15.7mm) 1,500尾を実水量92Lのクライゼル水槽 (径長671mm, 軸長260mm, 透明アクリル製) (Greve 1968, Okamura *et al.* 2009) に収容して実験に供した (試験区)。水温は23°Cとした。照明は給

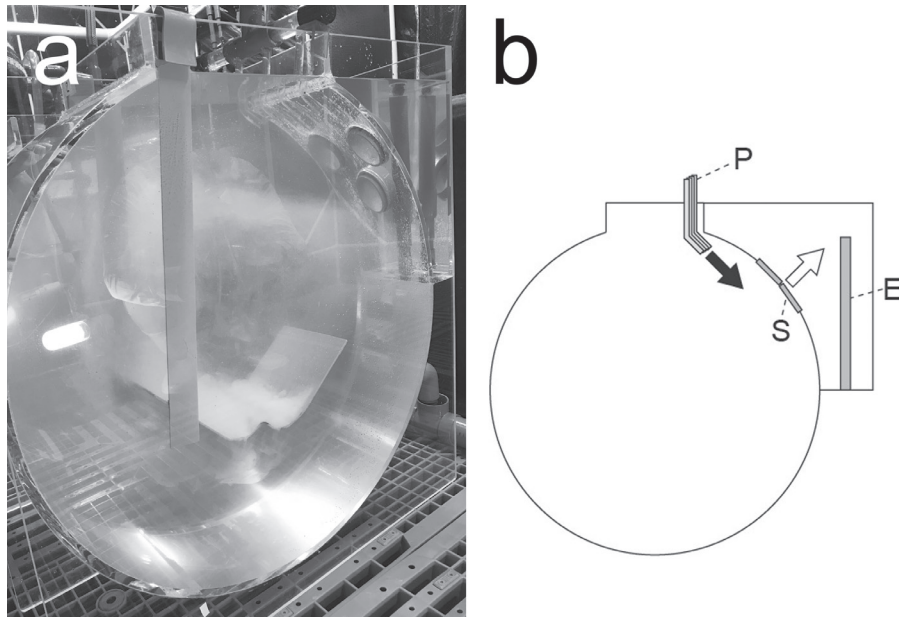


図1. 本試験に用いた100Lクライゼル水槽および給餌場として用いた給餌皿 (a), 本試験における水槽の注排水の構造 (b)
E: 排水管 (水位調節用), P: 注水管 (4本), S: 排水用スクリーン (3枚), 黒矢印: 注水の向き, 白矢印: 排水の向き

餌時のみ点灯した。照度は給餌作業中は約300lux, それ以外では5lux以下とした。給餌は架皿法とし, 2時間毎に5回 (07:00, 09:30, 11:30, 13:30, 15:30) とした。灰色塩ビ製の板 (400mm×230mm, 厚さ5mm) を, ガスバーナーを用いて加熱して曲げ加工することによって給餌皿を製作し, 給餌場として用いた (図1, 2)。給餌皿には塩ビ製の腕を2ヶ所取り付け, 水槽壁面より吊架することによって, 給餌皿を水槽中層 (中心よりやや下部) に設置した。飼料にはサメ卵主体懸濁態飼料 (増田ら2011) を改変したものを用いた (アブラツノザメ卵768g, 大豆ペプチド (ハイニユートHK, 不二製油) 64g, オキアミ自己消化物 (YOP-C, 日本水産) 52g, ビタミン混合物 (フィッシュエードC, MSDアニマルヘルス) 8g, 精製水1,200g; 混合後湯煎処理 (64°C 30分間))。給餌は電動ピペッターを用い, 専用のチップとアクリルパイプ (内径4mm) を接続して給餌皿まで届けた。給餌量は1回70~80mLとし, 1回あたりの給餌時間は15分間とした。給餌場は給餌開始直前に設置した。給餌中は注水を停止せず, 給餌場は給餌時間終了後に撤去した。注水量は10L/分とし, 内径10mmのアクリル管4本から, 先行の報告 (Okamura *et al.* 2009) にならって水槽壁面 (曲面) に沿って注水し, 注水直下流 (水流が時計回りとして, およそ1~2時の位置) の水槽壁面 (曲面) に設置した直径65mmのスクリーン式排水ネット3枚から排水した。仔魚は1日1回, 09:30の給餌後にサイホン管によって清潔な水槽に移送された。試験区と同じ由来の40日齢の仔魚150尾を実水量6.5Lのシーソー式水槽 (透明G-PET製) (増田ら2014) に収容した (標準区)。給餌は底面法とし, 給餌量は1回あたり6mLとした。仔魚は1日1回, 最終 (15:30) の給餌後に, 転倒により飼育槽を交換した (増田ら2014)。飼育は170日齢まで継続した。

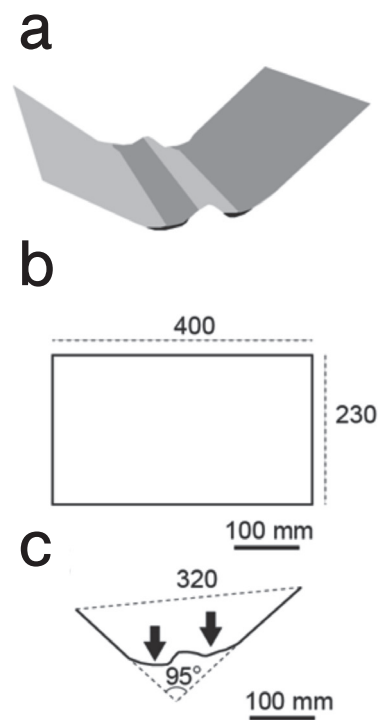


図2. 本試験において給餌場として用いた給餌皿の俯瞰図 (a), 給餌皿を製作するために用意した塩ビ板 (加工前) (b), 加工後の横から見た図 (c)
(a) においては, 板の裏面を黒で, 右奥から光を照射した場合に影になる部分を濃い灰色で示した
(c) の矢印は, この部分で両端をわずかに折り返して, 深さ1cm程度の皿状に加工したことを示す
(b) および (c) における単位の無い数字は長さ (mm) を表す

変態を開始した仔魚は飼育水槽から取り上げ, 別途用意した10L蒲鉾型水槽 (透明塩ビ製) (増田ら2013a) において変態を完了して稚魚期に達するまで無給餌で維持した。試験は試験区, 標準区各1面で実施した。収

容時(40日齢)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400ppm下で麻酔し、万能投影機(ミットヨ, PJ-H30A1010B)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。

$$\text{生残率}(\%) = (\text{生残尾数}) / (\text{収容尾数}) \times 100$$

結 果

試験区においては、水槽の周縁部で比較的速い流れが生じる一方で、水槽中央部には比較的流れが遅い部分が形成される様子が観察された(図3)。そのような流れ場の中で、照明点灯時には、水槽下部では仔魚が流れの速い部分に突入し、流れに乗って水槽上部へと運ばれ、水槽上部においては仔魚が流れの速い部分から流れの遅い部位に出てきて、そのまま下向きに遊泳する様子が観察された(図3)。給餌皿を設置した際には、仔魚は下向きの遊泳によって給餌皿に達した後に、給餌皿に設けた傾斜に沿って給餌皿の底部に達した(図3)。一部の仔魚は給餌皿の両端から脱落し、下向きに遊泳して水槽底部に達して、再度流れに乗って水槽上部へと運ばれた。給餌終了時までには多くの仔魚が摂餌しており、目視では摂餌していない仔魚を発見できない状態になった。

試験区では、40日齢において収容尾数1,500尾、平均全長15.7mmであったものが100日齢では生残尾数396尾(26.4%)、平均全長27.8mm、170日齢では生残尾数254尾(16.9%)、平均全長39.0mmとなった(図4)。168日

齢に変態を開始した個体1尾を認め、飼育水槽から取り上げた。この個体は178日齢で変態を完了し、稚魚期に達した(全長47.5mm, 肛門前長18.0mm, 体高3.5mm)(図4)。標準区では、40日齢において収容尾数150尾、全長15.7mmであったものが100日齢では生残尾数61尾(40.7%)、平均全長25.2mm、170日齢では生残尾数36尾

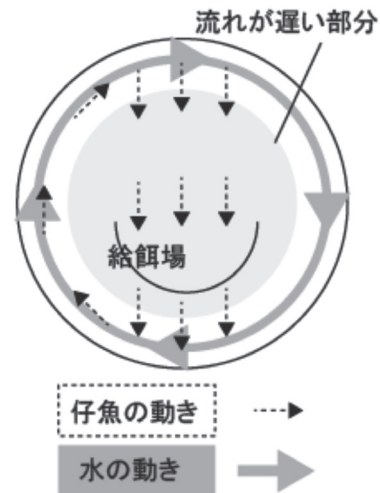


図3. 本試験において生じた水の流ると仔魚の動きの概要図
水槽周辺部には速い流れが発生し、水槽中央部には流れが遅い部分が形成された
仔魚は下に向かって遊泳し、水槽底部に達すると、水の流りに沿って水槽上部まで運ばれた
水槽上部に達した仔魚は速い流れを離脱して流れが遅い部分に入り、下向きに遊泳した
給餌皿を設置する位置も模式的に示した

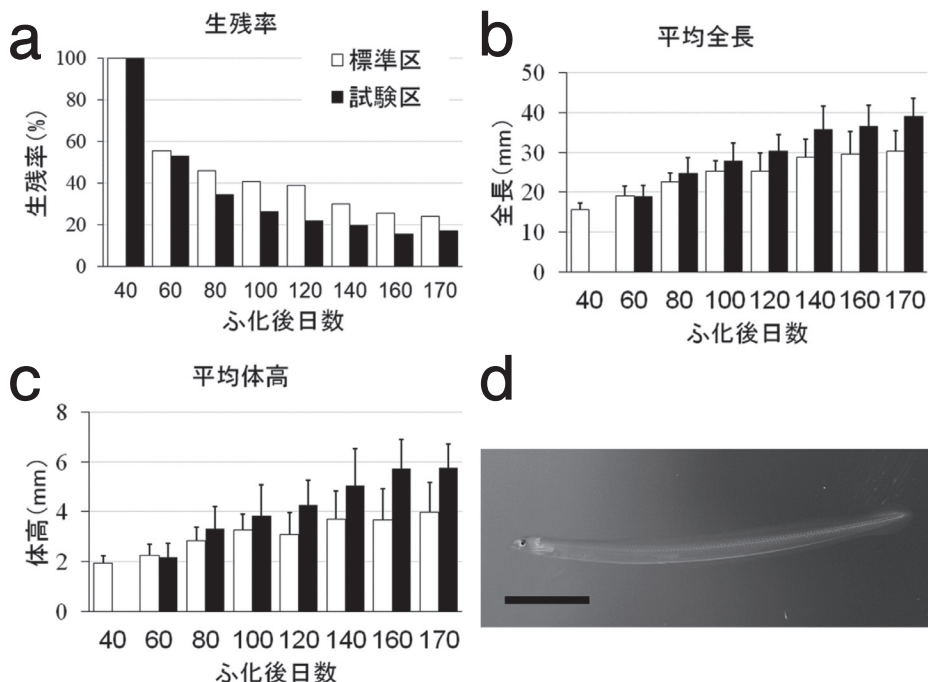


図4. 飼育試験における生残率(a)、平均全長(b)および平均体高(c)の推移と、給餌場として給餌皿を用いる給餌法(架皿法)により得られたシラスウナギ(ニホンウナギ稚魚)(d)
スケールバーは10mm
エラーバーは標準偏差を示す

(24.0%)、平均全長30.3mmとなった(図4)。標準区では170日齢までに変態を開始した個体は認められなかった。

考 察

本研究で用いた給餌方式の特徴は、飼料については懸濁態飼料を用いつつ、給餌場については水槽中層に設置した給餌皿を給餌場として使用する架皿法によって給餌する点であり、この方法を用いてニホンウナギ仔魚を約130日間飼育し、成長・変態させ、稚魚を得ることに成功した。これにより、水槽本体を給餌場とする方法によらずにニホンウナギ仔魚に給餌し、これを成長させること、およびニホンウナギ仔魚に対する注水の停止/再開を伴わない給餌が可能であることが示された。

増田ら(2013a)によれば、飼育水温23°C、1日5回給餌、間引きなしの条件で、100日齢における生残は4.4~7.4尾/L、平均全長は20~24mm程度と報告されている。また増田ら(2013b)によれば、同様の条件で100日齢における生残は5.0~6.5尾/L、平均全長は23~26mm程度、160日齢で生残が3.0~4.0尾/L、平均全長が32~36mm程度と報告されている。増田ら(2014)においては、100日齢では生残が4.0~12.3尾/L、平均全長が26.8mm、160日齢では生残が9.4尾/Lという成績が示されている。また本研究における標準区では、100日齢では生残が9.4尾/L、平均全長が25.2mm、160日齢では生残が5.8尾/L、平均全長が29.6mmであった。一方で本研究における試験区の飼育成績は生残が100日齢で4.3尾/L、160日齢で2.5尾/L、成長は平均全長が100日齢で27.8mm、160日齢で36.5mmであった。以上より、今回の飼育事例においては、6.5~10L規模の水槽を用いた従来の飼育事例と同等もしくはそれと大きく異なる効率で架皿法によってニホンウナギ仔魚が摂餌しており、それによって平均全長15.7mmの仔魚から稚魚までの飼育が可能となったものと考えられる。しかし架皿法においては水流および給餌皿の形状、位置等によって飼育成績が大きく変わる可能性がある。まずはそれらの各要素を検討し、飼育成績に与える影響を解明することが必要である。たとえば給餌皿の形状については、単純なV型では仔魚が過度に密集してしまうおそれもあると考えて、本研究ではW型のものを用いたが、より適切な形状を検討する必要がある。

クライゼル水槽においては水槽壁面(曲面)に沿って注水する(Okamura *et al.* 2009)ことにより、水槽周縁部で比較的速い流速が生じるとともに、水槽中央部には比較的流速が遅い部分が形成される様子が観察される。一方で、ニホンウナギ仔魚は明条件下では一貫して下向きに遊泳を試みることが知られている(Yamada *et al.* 2009)。このことから、明条件下においては、水槽下部では仔魚の遊泳力を水流が上回る水槽周縁部に仔魚が下

向きの遊泳によって突入することによって仔魚が水槽下部から水槽上部へと運ばれ、一方で水槽上部ではやはり下向きの遊泳によって仔魚が水槽周縁部から離脱して自由に遊泳することができる水槽中央部に侵入し水槽下部へ向かう、というサイクルが形成されるものと考えられる。その際に水槽上部から水槽下部に向かって流速の遅い水槽中央部を横切る形になる。このために、流速の遅い部分に給餌場を設けて摂餌させることが可能になった。試験区においては、給餌中も絶えず一定数の仔魚が給餌場から脱落し、上方から一定数の仔魚が給餌場に到達する様子が観察された。このような特徴を活かすことができれば、給餌場の面積に対して、より密集度を低く維持したまま多くの仔魚に対して給餌を実現できる可能性もある。このように本研究において水槽底面以外の場所での給餌が可能になった理由は、(1)多くの仔魚が比較的狭い領域を必ず通過する水流を作り出すことに成功し、その領域に給餌皿を設置したこと(2)そのような水流を起こしつつ、給餌皿を設置した領域については水流が弱く、供給された飼料の拡散が起こらないことの2点として要約できる。そしてクライゼル水槽においては上記の条件を満たすような水流が定常的に発生していることから、給餌のための注水の操作を不要とすることができた。

底面法では水槽本体の一部(底面)を給餌場として利用するという特徴があった。このため水流と給餌の両方の必要性によって水槽本体の形状が制約され、それに伴って給餌場の形状も制約される。すなわち水槽の形状はボウル型(底面は半球型)(Tanaka *et al.* 2001, 増田ら2013b)もしくは円筒を横に置いた形(田中ら2006, Okamura *et al.* 2009, 増田ら2013a, 増田ら2014, 増田ら2017)に限られており、それに伴って給餌場の位置は水槽最深部に位置する底面に限定される。給餌場は微生物による汚染が水槽内で最も速く進行すると推定されるが、その場所に給餌のたびに仔魚を密集させざるをえないことから、1日ないし数日に1回の水槽交換(Tanaka *et al.* 2003, Okamura *et al.* 2009, 岡村ら2009)、もしくは拭浄法(増田ら2013a)による対応が必要となっている(Okamura *et al.* 2014)。また底面法でも仔魚が下向きに遊泳する性質(Yamada *et al.* 2009)を給餌のために利用するが、水槽の規模を拡大すると仔魚が水槽底面に達するまでの距離が延び、また水槽底面付近で傾斜角が緩い面が広がるために、仔魚が効率的に密集せずに飼料に遭遇する効率さが下がる可能性が懸念される。しかし一方で水槽の規模が拡大して収容尾数が増え、給餌時に過度の密集によって個体干渉などの問題が起こりうる。底面法においては、これまでのところこのような課題に対して給餌場の形状や位置、あるいは交換頻度を検討することができなかった。また底面法では、仔魚の下向きの遊泳および給餌場での密集を容易にするとともに、給餌中の飼料の飛散を防止するために給餌時に注水

を停止している (Tanaka *et al.* 2001) ために、給餌の度に注水の停止・再開の作業が必要となる。そして給餌時間が終了した後の残餌は通常の注水のみでは消失しないか、もしくは消失に長い時間を要する場合があることから、通常の注水とは別の水流によって吹き飛ばす作業を伴っていた (Tanaka *et al.* 2001)。これらの作業についても代替となりうる手法が無いことから、改善のための検討例が報告されてこなかった。水槽本体とは独立の給餌場を設けることができれば、これらの問題に対して検討することが可能となる。

架皿法においては、水槽の交換を伴わずに給餌場のみを清潔なものに交換することが可能であり、また残餌については引き揚げてから水槽の外で洗浄することができるが、その代わりに給餌皿の着脱という新たな作業が発生する。給餌皿の着脱作業そのものは、仔魚の逸走のリスクがないことから、水槽を交換する作業 (Tanaka *et al.* 2003, 増田ら 2013a) と比較すれば容易ではあるが、水槽交換を底面法の場合と同様に実施し、加えて給餌皿の着脱が必要なのであれば、作業量はむしろ増えることになる。このため、架皿法を用いることによって水槽交換の頻度を減らすことができるのかどうかも検討を要する。このような問題はあるが、本研究においては、これまで困難とみられてきた水槽中層においてウナギ仔魚に給餌して成長させることに初めて成功した。また本研究によって、給餌場の形状を自由に検討できる給餌手法が初めて示された。これらの成果は、今後のウナギ仔魚飼育技術の開発において新たな検討材料・検討手法を提案するものである。

謝 辞

本研究は小澤仁美氏、山田麻由美氏、稲葉順子氏、関雄大氏、栗本加苗氏、岩田まや氏、佐藤舞氏、稲葉顕吾氏、久保田恵子氏、柿沼理之氏、外岡久美氏、太田さをり氏、鈴木靖子氏が飼育と実験の作業を担当した。論文作成にあたっては、大上真市氏、山口さの江氏および篠田馨子氏にご助力いただいた。各位にお礼を申し上げる。実験に必要な仔魚を供給して下さった、今泉均氏をはじめとする国立研究開発法人水産研究・教育機構志布志庁舎の皆様へ感謝する。また実験にあたっては国立研究開発法人水産研究・教育機構の虫明敬一博士、薄浩則博士および公益社団法人全国豊かな海づくり推進協会の桑田博博士の知見をお借りした。また国立研究開発法人水産研究・教育機構の鈴木重則氏、鈴木美恵子氏、公益財団法人福島県栽培漁業協会の各務諒氏、小林琢氏には、実験の実施にご協力いただいた。それぞれに感謝する。本研究は水産庁事業「ウナギ種苗大量生産システムの実証事業」および「ウナギ種苗の商業化に向けた大量生産システムの実証事業」によって行われた。

文 献

- Greve W (1968) The "planktonkreisler", a new device for culturing zooplankton. *Mar. Biol.* **1**, 201–203.
- 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.
- Kagawa H, Tanaka H, Ohta H, Okuzawa K, Iinuma 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・奥 宏海・野村和晴・照屋和久・田中秀樹 (2010) 飼育水に含まれるコロイド状物質がウナギ仔魚の飼料となる可能性. *水産技術*, **2**, 99–104.
- 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 (2011) 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.
- 増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・藤本 宏・永尾次郎・川上 優 (2013a) 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・橋本 博・小田憲太郎・松田圭史・照屋和久・薄 浩則 (2013b) 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.
- 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.
- 増田賢嗣・神保忠雄・今泉 均・藤本 宏 (2014) 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.
- 増田賢嗣・谷田部誉史・松成宏之・古板博文・鴨志田正晃・島 康洋・桑田 博 (2016) 魚肉タンパク分解物を主原料とする飼料によってニホンウナギ *Anguilla japonica* 仔魚のシラスウナギまでの飼育が可能である (短報). *日水誌*, **82**, 131–133.
- 増田賢嗣・今泉 均・藤本 宏・鴨志田正晃・谷田部誉史・島 康洋・古板博文・桑田 博 (2017) 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. *水産技術*, **9**, 53–61.
- Masuda Y, Shima Y, Tamaru O, Takahashi Y, Ohmura Y, Iwasaki T, Kamoshida M, Arimoto M, Yamano K, Yatabe T (2019) Japanese eel jaw and vertebra ossification occurring respectively during the larval stage and metamorphosis. *Fish Sci.*, **85**, 1045–1054.
- 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.
- Mochioka N (2003) Leptocephali. In "Eel biology" (ed. By Aida K, Tsukamoto K, Yamauchi K), Springer, Berlin, pp. 51 - 60.
- 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.
- Ohta H, Sato Y, Imaizumi H, Kazeto Y (2017) Changes in milt volume and sperm quality with time after an injection of recombinant Japanese eel luteinizing hormone in male Japanese eels. *Aquaculture*, **479**, 150 - 154.
- 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 (2009) Rearing eel leptocephali (*Anguilla japonica*) in a planktonkreisel. *Aquacult. Res.*, **40**, 509 - 512.
- 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.
- Okamura A, Horie N, Mikawa N, Yamada Y, Tsukamoto K (2014) Recent advances in artificial production of glass eels for conservation of anguillid eel populations. *Ecol. Freshwater Fish*, **23**, 95 - 110.
- 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.
- 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.
- 田中秀樹・野村和晴・山本剛史・奥 宏海 (2006) ウナギ仔魚用飼料・飼育システムの開発-世界で初めてシラスウナギの人工生産に成功-. 水産総合研究センター研報, 別刷第5号, 63 - 69.
- 友田 努・黒木洋明・岡内正典・鴨志田正晃・今泉 均・神保忠雄・野村和晴・古板博文・田中秀樹 (2015) ウナギ仔魚はマリンスノーの起源物質を摂取する. 日水誌, **81**, 715 - 721.
- 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.