平成 28 年度水産学技術賞

ウナギ仔魚の飼育技術の高度化に関する研究開発

増 田 賢 嗣

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 増養殖研究所

Development of advanced larval rearing technologies for the Japanese eel

YOSHITSUGU MASUDA

*Minami-Izu Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, Fisheries Research Agency,
Minami-Izu, Shizuoka 415-0156, Japan*

養殖用ウナギの種苗たるシラスウナギ(ウナギの稚魚)の生産技術とは、レプトセファルス(ウナギの仔魚)の飼育技術に他なりません。一定のウナギ仔魚飼育技術を確立して人工シラスウナギの生産が初めて成功したのは2002年のことで、開発者は養殖研究所の田中秀樹博士でした。¹⁾ その技術は、(株)日本栽培漁業協会の南伊豆事業場でイセエビ飼育用に使用していた5Lの透明ボウル型水槽をウナギ仔魚のために導入し、市販の栄養強化剤の主原料であったアブラツノザメの卵に着目してそれを主体とした配合飼料を給餌するものでした。養殖研究所、(株)日本栽培漁業協会は、いずれも国立研究開発法人水産研究・教育機構(以下「水産機構」)の前身にあたります。

しかしシラスウナギの量産に対してサメの資源量は不安ですし、水槽も5L規模では稚魚の量産は困難です。さらにいえば、仔魚がふ化してから成長し、全長50mm前後に達した後に変態してシラスウナギになるまでの期間として平均300日ほどを要していて、²⁾ これは天然よりも長く、また当初は生残率も100日齢までで1%程度であり、³⁾ 改善が必要でした。

私がウナギ研究に参画した当時は、後述するような給餌法が量産の妨げになっているのではないかという見解もありました。しかし私は、とりあえず給餌法はこのままでも良いのではないかと考えました。私は田中博士が確立した手法をそのまま利用して量産技術を模索することにしましたのです。目標は研究室から現場へ、です。

飼育環境に関する技術開発

そもそも、その当時の技術だけでどこまで成績を伸ばすことができるのでしょうか。そのことについて試験し

ました。今までのところウナギ仔魚の標準的な飼育水温は23℃で、25℃では生残率が落ちてしまいます。⁴⁾ そこで、飼料を与える07:00-15:00だけ25℃として、夜間(15:00-07:00)を23℃としたところ、23℃のときと遜色のない生残率を得ることができました。⁴⁾ このことから、25℃では、16時間の無給餌状態を乗り切ることができない仔魚が多く現れるのではないかと推定しました。そこで次に、水温を25℃(後に27℃)とする一方、夜間(23:00)にも給餌することによって無給餌の時間を短くしました。そのうえで、摂餌状態を確認しながら順次分槽して仔魚の密度を低く保ったところ、最も速いものでは131日齢でシラスウナギとなりました。²⁾ 群単位でみても、平均200日前後でシラスウナギとなり、シラスウナギまでの生残率は3群の平均で12%以上を得ることができました。⁴⁾ このとき対照とした群(水温23℃, 1日5回給餌, 分槽なし)では、シラスウナギまでの生残率が7-8%, 要した日数は平均で300日前後でした。このようにして、条件次第では、飼育下でもそれまで知られていたよりも速くウナギ仔魚が成長することを明らかにしました(写真1)。ただし上述のような23:00の給餌を続けるのはとても大変で、実践的ではありません。この知見を今後の飼育技術にどのように活かしていくべきかが課題です。

なおこの仕事は、世界初の完全養殖によって得られた仔魚を用いて得られた成果でした。いま振り返っても、完全養殖の成功に沸く(水産総合研究センター(特に志布志庁舎, 現在は水産機構)と大隅地区の皆さまの熱気)に後押しされて得られた成果だと感じずにはられません(写真2)。

写真1 80日齢の仔魚

上段は高水温，高給餌頻度，低い仔魚の密度によるもの。下段は従来の水温，給餌頻度，仔魚の密度によるもの。それぞれの試験区で最大の個体を撮影した。

写真2 志布志市の目抜き通りに掲げられた完全養殖を祝賀する横断幕と筆者

飼育水槽の大型化のための技術開発

なぜ、ウナギ仔魚では大規模な飼育ができなかったのでしょうか。一般的に海産魚類の初期仔魚に餌料として用いられるのはワムシというプランクトンです。しかしウナギの仔魚にはこれまで索餌行動が確認されておらず、ワムシの使用を前提とした飼育手法が応用できません。そこで田中博士が開発した飼育手法では、まず餌料を懸濁態様に調製します。次に給餌直前に注水を停止して止水状態とした水槽底面にこの餌料を静置します。点灯状態では下方に遊泳するというウナギ仔魚の特徴を活かして、ウナギ仔魚を餌料と遭遇させるのです。このため、これまでの飼育水槽の水槽底部は全てすばまった形状であり、給餌時に仔魚を狭い範囲に密集させています。給餌以外の飼育における特徴として毎日の水槽交換が挙げられます。消灯下では遊泳を止めるウナギ仔魚の特徴を活かして、サイホンの原理を用いて水流に乗せて新しい水槽に仔魚を流し込むものです（以下「サイホン法」と呼びます）。この方法ではその原理上、一部の仔魚が移らずに元の水槽に残る可能性を排除できないた

め、残存の仔魚がいれば目視で発見して、人の手で移すことになります。これらの作業を無理なく実施するためには、飼育容器は仔魚の視認に適した小規模な透明水槽である必要がありました。

さて、もしも給餌法を変えなくても小規模な透明水槽から脱却できるとすると、いったい何が障害なのでしょう。私は水槽交換作業の中に解決すべき問題があるのではないかと考えました。そこで手始めに、仔魚の移槽をサイホン法でなくデカント（以下「デカント法」と呼びます）で実施して、飼育成績への影響を試験することにしました。その試験の初回の給餌を終えた夜のことで。その夜、夢の中でも私はウナギ仔魚を飼育していたのですが、水槽壁面を毎日スポンジでこすること（以下「拭浄法」と呼びます）によって、水槽交換を一度もしないままにシラスウナギ生産に成功したのです。あくまで夢の中の話ですが。夢から覚めた私は出勤後、急いで仔魚を水槽に収容して、「水槽交換は一切行わずに、毎日1～2回、水槽壁面を拭浄することで何日齢まで飼えるのか」という試験を始めました。なお水槽壁面の拭浄という発想自体は私のものではなく、他の研究者から教えていただいたものです。

結果としては、デカント法でも拭浄法でも、もちろん対照であるサイホン法でも、シラスウナギまでの飼育に成功しました。⁵⁾ 次の問題は、この成果をどのように活かすか、ということでした。問題は、拭浄する際に仔魚を殺傷してしまう危険があることです。仔魚には、点灯下では水槽底部に向かって泳ぐ性質があるからです。とりあえずはシーソー式水槽⁶⁾なるものを作って、拭浄面と仔魚とを分離することにしました。この水槽は小規模な水槽を多数操作するうえでは便利で、実験用として活用されていますが、量産規模（大規模化）となると、水槽を動かす必要性が障害となります。そこで、サイホン法を応用した「水管による移槽」と拭浄法とを組み合わせる方法を着想しました。すなわち、水流によって、水管を通して仔魚を移動させて水槽を交換する方法は従来通りです。しかし移送元水槽の水も捨てずに、注水しながら維持しておくことによって、移らずに残る仔魚の存在を許容できるのです。そのうえで仔魚が去った後の水槽を拭浄するのですが（図1）、ここに多少仔魚の残存があったとしても、そのすべてが死ぬわけではありません。つまり「残存の危険」×「殺傷の危険」の掛け算によって、危険を無視できるほど小さくできるという着想です。この方法で水槽交換作業を簡略化することにより、水槽を大きくすることができ、透明でない水槽で飼育することもできるようになるはずで、実際にそのような水槽でシラスウナギ生産に成功しました（写真3）。⁷⁾

図1 大型水槽、不透明水槽での飼育を可能としたアイデア

写真3 本研究で開発された1 kLサイズの双胴式蒲鉾型水槽

サメ卵代替飼料開発

サメ卵代替飼料の開発は、私が入所当時から取り組んでいる課題です。最初は仔魚が底面以外でも摂餌できるような方法を探索することから着手しました。その結果、牛乳を飼料モデルとして水槽中層・表層で摂餌させることには成功したのですが、⁸⁾ 残念ながら仔魚を成長させるには至らず、方針を転換することになりました。まずは沖縄県石垣島でサメ駆除の際に得られるアイザメやイタチザメの卵を入手し、アブラツノザメ卵主体飼料と同様に飼料を調製して飼育試験を実施したところ、いずれもウナギ仔魚の飼育が可能でした。⁹⁾ そこで次には、サメ卵以外の原料を主体とした飼料の開発に取り組むことにしました。といっても、実は鶏卵黄を主体とする飼

料開発の取り組みが早くから存在したので、後発の私としては、先輩方との競合を避けながら、成果が後から出ても意義があることをやろうと考えて、魚粉を主体とした飼料の開発に取り組むことにしました。もちろん鶏卵黄で飼料ができれば大きな前進なのですが、卵類は大きい視野で考えれば天然の初期餌料ともいえますので、これを使用しない飼料ができるならば、原料選択の幅はさらに広がるのではないかとというのが私の考えです。このため本研究では、開発の速さよりも、サメ卵だけでなく、鶏卵その他の卵類を用いずに飼料を開発することにこだわりました。

私は問題を解くカギはタンパク質の分解ではないかと想像し、原料を予め酵素で消化処理することで、ウナギ仔魚が育つ飼料を開発できるのではないかと考えました。最初はイカ肉をパイナップルで消化するというところから始め、主原料をイカ肉の代わりに魚粉、さらに魚肉タンパク分解物に、酵素役もパイナップルから始めてパパイン、オキアミ類、さらには生しらす（カタクチイワシ仔魚）と変えていきました。結果として、最初はウナギ仔魚から見向きもされなかったものが、改良とともにまずは20日齢までの成長が認められ、ついで生残日数が66日齢まで、¹⁰⁾ 80日齢まで、140日齢までと徐々に長くなり、やがてシラスウナギまでの飼育に成功したのです（表1）。¹¹⁾

このようにして本研究により、サメ卵や鶏卵等の卵類がなくても、ウナギ仔魚を飼育することが可能であることが証明されました。その飼育成績は最良事例では飼育開始（5日齢）から20日齢までの生残率が67%に達しましたが、平均的にはまだまだ低く、改善が必要です。

表1 魚粉飼料の改善と成績（最良事例）の改善の軌跡

試験開始	主原料	酵 素	最良事例成績		特筆事項
			20 日齢生残率	20 日齢全長	
2009 年 5 月	魚粉	パパイン	9%	8.3 mm	初めて成長を確認
2012 年 4 月	FPH ^{*1}	オキアミ	23%	10.9 mm	
2012 年 9 月	FPH ^{*1}	オキアミ			66 日齢まで生残
2014 年 5 月	FPH ^{*1}	オキアミ・生しらす	37%	12.0 mm	80 日齢まで生残
2014 年 6 月	FPH ^{*1}	オキアミ・生しらす	50%		140 日齢まで生残
2014 年 12 月	FPH ^{*1}	オキアミ・生しらす	54%	12.6 mm	初めてシラスウナギまで生残
2015 年 11 月	FPH ^{*1}	オキアミ・生しらす	67%		シラスウナギ生産を再現

*1 魚肉タンパク分解物 (Fish Protein Hydrolysate)

言うまでもなく、飼料原料に卵類を使用してはいけないという決まりはありませんし、魚粉飼料のシラスウナギ生産成功に先立って鶏卵黄飼料によるシラスウナギ生産の成功例も報告されていますので、今後はそれらも含めて、より良い配合を研究していけばよいのだろーと思えます。本研究の意義は何よりも、サメ卵や鶏卵など卵類がウナギ仔魚にとって must ではなく、現時点での best であったということを証明したことにあります。

田中博士が初のシラスウナギ生産に成功した当初と比べれば、その後の田中博士自身をはじめとする多くの研究者たちの努力によって、飼育成績が大きく改善されました。それは一本の芽を大切に育て、できた技術を参考に、その長所を活かしつつ次の技術を開発して置き換えるというような形で、過去を大切にしながら未来を育んできた積年の技術開発の成果だと思います。本研究もそうした成果の一つとも言えますし、同時に未来の技術の血肉となっていくのではないかと思います。本研究は勤務先の職員や現場の皆様とチームを組んで進めてきたものです。特に神保忠雄氏、谷田部誉史氏、島康洋氏には感謝いたします。他にも多くの研究者の方々、企業の方々の助言と協力をいただきました。本研究はそのほとんどが農林水産技術会議委託プロジェクト研究によるものでした。それぞれに感謝いたします。

文 献

- 1) Tanaka H, Kagawa H, Ohta H, Unuma T, Nomura K. The first production of glass eel in captivity: fish reproductive physiology facilitates great progress in aquaculture. *Fish Physiol. Biochem.* 2003; **28**: 493-497.
- 2) 増田賢嗣, 今泉 均, 小田憲太郎, 橋本 博, 照屋和久, 薄 浩則. 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. 日本水産学会誌 (短報) 2011; **77**: 416-418.
- 3) Tanaka H. Techniques for larval rearing. In: Aida K, Tsukamoto K, Yamauchi K (eds). *Eel biology* Springer-Verlag, Tokyo. 2003; 427-434.
- 4) 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. 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. 日本水産学会誌 2013; **79**: 198-205.
- 5) 増田賢嗣, 神保忠雄, 今泉 均, 藤本 宏, 永尾次郎, 川上 優. 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 2013; **6**: 33-38.
- 6) 増田賢嗣, 神保忠雄, 今泉 均, 藤本 宏. 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 2014; **6**: 169-174.
- 7) 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. 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 2017; **9**: 53-61.
- 8) 増田賢嗣, 奥 宏海, 野村和晴, 照屋和久, 田中秀樹. 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 2010; **2**: 99-104.
- 9) 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. 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 2011; **4**: 7-13.
- 10) Yoshitsugu Masuda, Tadao Jinbo, Hitoshi Imaizumi, Hirofumi Furuita, Hiroyuki Matsunari, Koji Murashita, Hiroshi Fujimoto, Jirou Nago, Yutaka Kawakami. A step forward in development of fish protein hydrolysate-based diets for larvae of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science* 2013; **79**: 681-688.
- 11) 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. 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. 日本水産学会誌 (短報) 2016; **82**: 131-133.