

養殖研究レター

第6号(2010年7月)ウナギ特集号



ウナギ仔魚への給餌作業

編集 養殖研究所



独立行政法人
水産総合研究センター

ウナギ研究特集号

巻頭言

- 日本人にはなくてはならない「鰻」 3

研究情報

- ウナギの完全養殖成功！
ーウナギ完全養殖達成の意義と今後の展望ー 4
- ウナギに産卵させる方法
ーウナギの人為催熟技術の現状と今後ー 5
- ウナギ仔魚のメインディッシュはサメの卵
ーウナギ仔魚の摂餌の特徴と餌の開発ー 6
- 次の目標はシラスウナギの大量生産
ー農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ウナギの種苗生産技術の開発」ー 7

所の動き

- はるか太平洋沖にウナギの聖地はあった
ーウナギ産卵場調査航海記ー 8

表紙写真説明

ウナギ仔魚が泳ぐ5リットルの半球型水槽の1つ1つに、細菌やカビの繁殖に注意しながら、サメの卵を中心に様々な材料を混ぜたポタージュスープ状の餌を、毎日、早朝から夕方まで2時間おきに、ピペットを用いて給餌します。飼育室は仔魚が生息する深海をイメージした青い光で照らされており、シラスウナギに変態するまでここで飼育します。

日本人にはなくてはならない「鰻」

(所長：飯田貴次)



「鰻」は日本人には大変に馴染みの深い食べ物で、古くは万葉集にも鰻を詠んだ歌があるとのこと。嫌いな人もいるかもしれませんが、鰻の蒲焼きは日本人の好きな食べ物のベスト5に入るのではないのでしょうか。

あの匂いを思い出しただけでもヨダレが出てきます。

落語の小噺に「蒲焼きの匂いでご飯を食べていた一家に、鰻屋が月末に『匂いの嗅ぎ代』を取りにきた。その一家の主人は銭の音だけ聞かせて追い返した」というのがあります。本当に匂いだけでも一膳はいけそうです。鰻がでてくる落語には「うなぎの幫間（たいこ）」、「素人鰻」、「子別れ」など人気の噺がいくつもあり（是非一度聞いてみてください）、やはり鰻が日本人に馴染み深い証拠の一つでしょう。「蒲焼きは関東では背開き、関西では腹開き」、「鰻と梅干しは食い合わせが悪い」などなど、鰻にまつわる話はいくつもあり、その謂われを一つ一つ紐解くと紙面がいくらあっても足りそうありません。「土用丑の日」は江戸時代にあの平賀源内が鰻屋に頼まれて考え出した鰻のコマーシャルだとか、日本最初の大成功キャッチコピーでしょう。

このように日本人に馴染みの深い鰻も、平賀源内さんが食べていたのは当然のことながら天然もの。養殖が始まったのは明治になってから、東京の深川でというのですからビックリです。その後はご存じ浜名湖畔に養殖の中心が移りました。第二次世界大戦中はさすがに衰退しましたが、戦後は順調に養殖量を増やし、平成元年には3万9,000 トンを超えるまでになりましたが、ここ数年は2万トン程の生産で推移しています。

消費量をみると多いときには10万トンを軽く超えているのですから、まだまだ国内生産を伸ばす余地は十分にあるわけです。しかし、海外からの輸入攻勢や餌代の値上げ、燃油代の高騰（今の養鰻はハウス式養殖で冬場にはボイラーで水温を上げています）など、今の養鰻業は厳しい経営状況にあります。それに追い打ちをかけるように養殖種苗のシラスウナギも激減しています。以前は200トンほど獲れていたのが、最近では15トン前後、昨季は25トン程度、今季は9トンほどと特に今季の落ち込みがひどく、このままでは本当に鰻が食べられなくなると心配されるほどです。シラスウナギを大量に生産することができれば、養殖種苗の心配だけはなくなります。

この「養殖研究レター」第2号の巻頭言でも紹介しましたが、養殖研究所ではこれまで長年ウナギの種苗生産技術の開発に取り組んできました。その結果、2002年には卵からシラスウナギまでの飼育に成功し、そして、今年になり遂に卵から育ててきたウナギから卵を採り孵化させること（完全養殖）に成功しました。シラスウナギの大量生産という究極の目標にさらに一歩近づくことができました。

・・・ということで、今回の「養殖研究レター」はウナギ特集です。これからも、更に究極の目標に向かって頑張っていきますので、ご声援のほど、よろしくお願いします。



ウナギの完全養殖成功！ ーウナギ完全養殖達成の意義と今後の展望ー

農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ウナギの種苗生産技術の開発」
チームリーダー(生産技術部：田中秀樹)

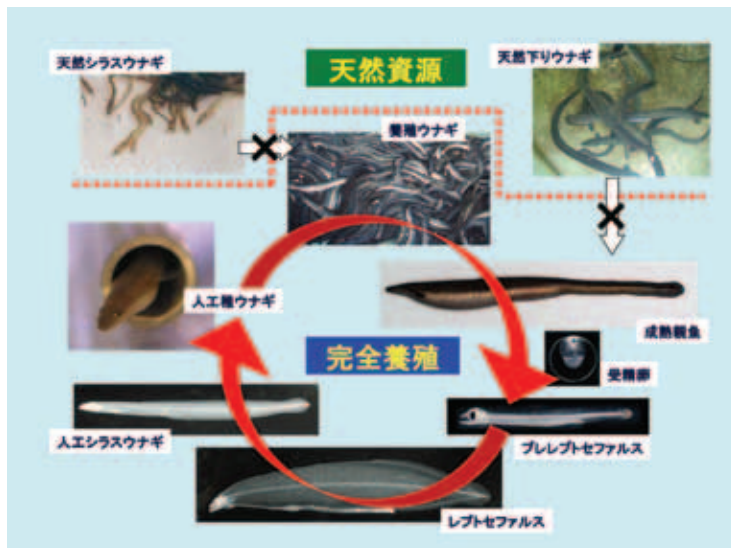


図1. 完全養殖は天然資源に依存しない養殖を可能にする

2010年4月8日、午後4時のNHKニュースで「ウナギの完全養殖成功！」の第一報が伝えられました。そしてその日の夜、東京へ向かう新幹線車内の電光ニュースで、「ウナギ完全養殖に成功 水総研」の文字が流れるのを目の当たりにし、この成果が一般社会でも重大ニュースとして取り扱われていることを実感しました。その後の反響の大きさは予想をはるかに上回るもので、発表後もひっきりなしに取材が続いています。

「完全養殖」というのは、人工ふ化したウナギの雌雄を親にまで育て、それらを成熟させて卵と精子を採り、授精させて次世代のウナギの子供をふ化させることです(図1)。人工ふ化したウナギを稚魚にまで育てる技術は、養殖研究所において2002年に開発されました。その技術は、水産総合研究センターの志布志栽培漁業センターにも移転され、志布志でも2004年以降、人工ふ化したウナギを稚魚にまで育てることが可能になりました。その後水研センター内の2ヶ所で平行して人工ふ化ウナギを親にまで育てる取り組みを続けてきましたが、昨年末に雌



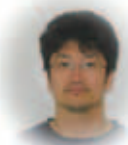
図2. 養殖研生まれの完全養殖ウナギ
(ふ化後1日、全長4.4mm)

雄共に育っていることが確認されたので、今年初めから完全養殖実現に向けた共同作戦が開始されました。成熟が進むにつれて体長を崩すウナギが出現し一時は完全養殖が危ぶまれましたが、志布志では3月26日以降、9個体の雌から合計200万個以上の卵が得られ、多数の完全養殖ウナギが誕生しました。養殖研でも、苦しみながらも何とか2個体から受精卵が得られ、少数ながら完全養殖ウナギのふ化が確認されています(図2)。

完全養殖が達成されたことによって天然資源に依存しないウナギの養殖が理論的には可能となりましたが(図1)、実際の養殖に役立つにはシラスウナギを大量生産する技術の開発が必要です。大量生産が可能となって養殖用の稚魚の一部を完全養殖ウナギでまかなうことが出来れば、天然のウナギ資源の保護に役立つとともに天然稚魚に依存していた不安定な種苗供給を少しでも安定化することが出来ます。また、資源の減少が危惧されているウナギを世界一たくさん消費している日本は、ウナギを作り育てる技術の開発でも世界の最先端にあることを国際社会においてアピールできるでしょう。さらに、完全養殖ウナギの世代を重ねることによって、育てやすく、おいしく、安全・安心な水研センターブランドのウナギが作り出され、「鰻」という日本の食文化が末永く守られることも期待されます。

ウナギに産卵させる方法 —ウナギの人為催熟技術の現状と今後—

(生産技術部：風藤行紀)



養殖用の稚魚を作るには、まず、状態のいい受精可能な配偶子（卵と精子）が必要です。しかし、多くの養殖対象種では、いくら飼育して成長してもうまく成熟が進まない「成熟の停止」という現象が起こり、いい配偶子が手に入りません。ウナギでは、この「成熟の停止」が雄雌ともに生殖腺発達の非常に初期の段階で起きることが知られており、これがウナギの種苗生産における最大の難関となっていました。

このような魚種の種苗生産を行なう場合には、親魚の成熟を促す生殖腺刺激ホルモン（GTH）を投与して人為的に成熟させなければなりません。ウナギでも、雌ではGTHを多量に含むサケ脳下垂体抽出液（SPE）を、雄ではヒトの胎盤由来のGTH（ヒト絨毛性生殖腺刺激ホルモン:hCG）を週1回、数ヶ月にわたり繰り返し注射することによって成熟を促し受精可能な配偶子を得ることが出来ます（図1）。しかし、この方法では卵質が安定しないなど、なかなか状態のいい配偶子を得ることができません。これは、催熟にウナギ由来ではない異種ホルモンが用いられていることが原因と考えられています。またSPEにはGTH以外にも様々なサケのホルモンが含まれているため

に、SPE投与は単に成熟を誘導する以外にも、様々な生理的变化を魚体に及ぼしているのではないかと考えられます。更に、催熟される魚は繰り返し注射による多大なストレスにもさらされています。

これらの問題を解決するためには、ウナギ自身のGTHを大量生産して人為催熟に用いることと、注射によるストレスを与えない投与方法を開発することが重要となります。そこで、まず、ウナギGTHを安定的にかつ大量に作るため、培養細胞を用

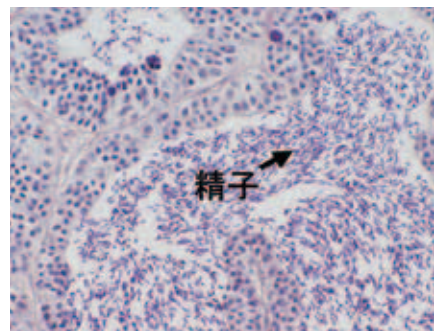


図2. 組換えウナギGTH投与により誘導された精子形成

いて遺伝子組換えによるウナギGTHの大量生産を試みました。その結果、大量培養したヒト腎臓由来293細胞にウナギGTH遺伝子を組み込むことで、効率的にウナギGTHを作り出すことができました。また、この方法で作

り出されたウナギGTHを未熟な雄ウナギに投与したところ、精巣が発達し、精巣中には多量の精子が作られました（図2）。魚へのストレスを軽減する方法としては「オズモティックポンプ（浸透圧ポンプ）」を用いたホルモン投与を考えています。このカプセルを体内に埋め込むと、少なくとも数週間は一定量のホルモンを出し続けるので、繰り返し投与によるストレスを減らすだけでなく、催熟効果も期待できます。

今後は、これらの方法を組み合わせたストレスの少ない人為催熟法を確立し、良質なウナギ種苗の安定供給に貢献したいと考えています。

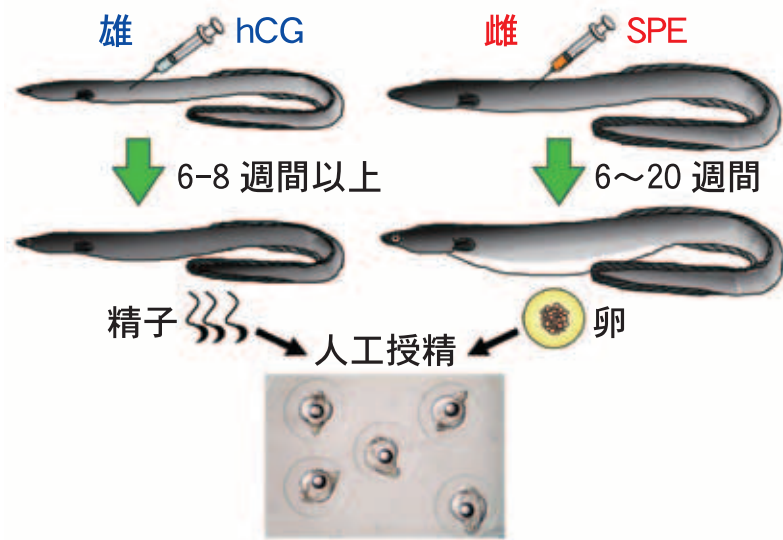


図1. 現行のウナギ人為催熟法

ウナギ仔魚のメインディッシュはサメの卵 ーウナギ仔魚の摂餌の特徴と餌の開発ー

改良した餌の成分



図1. ウナギ仔魚用飼料の原料

ウナギは日本から遠く離れたマリアナ諸島近海で生まれるために（ウナギ産卵場航海記の項を参照）その生態には謎が多く、ふ化してから何をどのように食べて育っているのかよく分かっていません。天然で採れたレプトセファルス（胃内容物の調査などにより、オタマボヤの糞、マリンスノー（プランクトンの死骸や、それらが分解されて水中に懸濁しているもの）などを食べていると考えられるようになってきました。しかし、それらを大量に集めたり、人工的に大量に作ったりすることはまだ出来ていません。

ほとんどの海産魚の種苗生産では、ふ化してから配合飼料を食べるようになるまでの餌料として、大量に培養できるシオミズツボワムシ（ワムシ）やアルテミア幼生などが使われています。しかし、ウナギ仔魚ではこれらのプランクトンを給餌しても十分に摂餌せず、また成長しませんでした。この原因は、ウナギ仔魚の咽喉の構造が他の魚類と異なり、ワムシのような大きさのプランクトンのみ込みにくいと考えられています。

（生産システム部：古板博文）

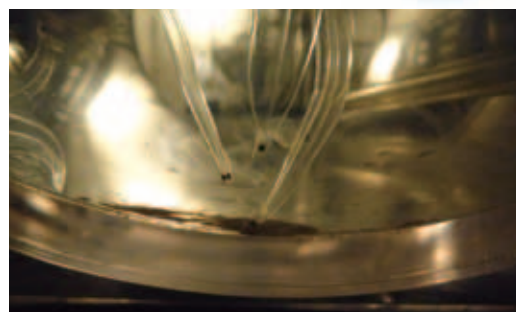


図2. サメ卵飼料を食べているウナギ仔魚

このようにウナギ仔魚の飼育には、他魚種の種苗生産で使われている餌料が利用できなかったため、まず、ウナギ仔魚に適した餌を開発する必要がありました。ウナギ仔魚が活発に摂餌する餌を探した結果、ワムシやアルテミア幼生を培養する際の餌として市販されていたサメの卵をよく食べることが分かりました。しかし、サメ卵だけでは栄養的に不足するものがあるようで、長期間の飼育は困難でした。そこで、サメ卵に不足すると考えられる物質を加え、飼料の試作と飼育を繰り返し、サメ卵、大豆ペプチド（大豆タンパク質を分解したもの）、オキアミ分解物、ビタミン、ミネラル、オキアミ抽出液からなるポタージュスープ状の飼料を開発しました（図1）。この飼料の開発に成功したことにより、はじめてシラスウナギまでの飼育が可能となりました（図2）。シラスウナギ以降は、養殖ウナギの生産と同様の飼料で飼育することにより、親ウナギまで育成することができます。現在でも、このスープ飼料を若干改良したものをウナギ仔魚の飼育に用いています。

サメ卵を使った現在の飼料は、原料の安定確保やスープ状の飼料の給餌や食べ残しの除去に大きな労力を伴うなどの問題により、大規模飼育には適していません。このため、入手しやすい原料を用い、かつ大量生産に適した餌の研究を進めています。

次の目標はシラスウナギの大量生産 ―農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ウナギの種苗生産技術の開発」―

農林水産技術会議委託プロジェクト研究「ウナギの種苗生産技術の開発」
研究推進リーダー(生産技術部長：虫明敬一)



2007年6月にオランダのハーグで開催されたワシントン条約第14回締約国会議で、ヨーロッパウナギをワシントン条約附属書Ⅱ（掲載基準：現在は必ずしも絶滅のおそれはないが、取引を規制しなければ絶滅のおそれのあるもの）に掲載することが可決されました。これにより、2009年3月から規制が発効され、わが国のニホンウナギ養殖業には直接的な影響はないものの、ウナギ養殖に必要な天然シラスウナギの獲得をめぐる国際競争の激化などへの波及が懸念されています。このため、人工シラスウナギの種苗生産技術の開発が強く期待されています。

水産総合研究センターでは、平成17年度から大学や県の水産試験場等と共同で農林水産技術会議の委託プロジェクト研究に取り組んできました。平成17～19年度の間は、「ウナギ及びイセエビの種苗生産技術の開発」として取り組んできましたが、上記のようなウナギの国際的な取引に関する情勢の変化により、ウナギの種苗生産技術に関わる研究の強化が必要となりました。これを受けて、ウナギに関してはこれまでの研究内容を見直し、平成20年度から新たな4年間（平成23年度まで）の計画を設けて委託プロジェクト研究「ウナギの種苗生産技術の開発」として新たに仕切り直すこととなりました。プロジェクトでは、「良質卵の安定大量生産技術の開発」と「量産のための飼育システムの開発」を大きな柱として取り組んでいます。

今回、世界に先駆けてウナギの完全養殖に成功した背景には、2002年の養殖研究所での世界を驚かせた人工シラスウナギの生産に成功という前人未踏の輝かしい実績があります。この成功なしに今回の完全養殖達成もあり得ませんでした。こ

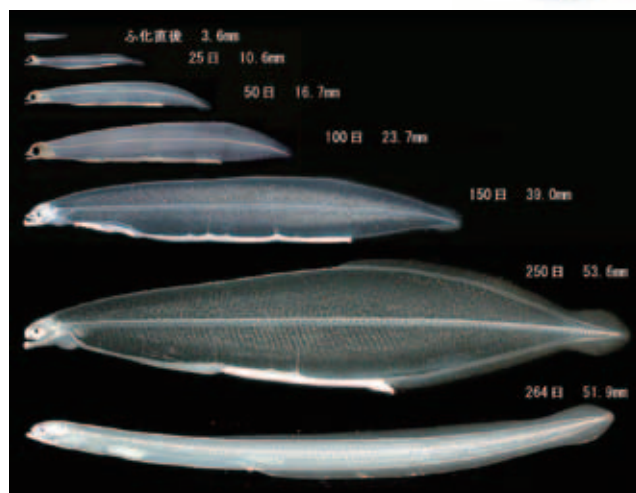


図. ウナギの成長と変態

れまで多くの先人たちの努力と成果に加え、現在の農林水産技術会議の委託プロジェクト研究に取り組んでいる研究者の総力を結集した快挙であることは疑う余地はありません。

日本は世界一のウナギ消費国です。完全養殖の実現により将来的には天然資源に依存しないウナギ養殖が可能になりますが、実際の養殖業に貢献するためには人工シラスウナギを大量に生産できる技術の開発が必要です。日本は消費国であるとともに、世界一の生産国を目指すべく、今後も継続して研究・技術開発を進めていく必要があります。さらに、完全養殖が可能になったことで、安全・安心はもとより生産者や消費者のニーズに見合った育てやすく美味しいウナギの国産ブランドの開発も夢ではなくなりました。委託プロジェクト研究では、次なる目標である人工シラスウナギの大量生産に向けてすでに走り始めました。国民の食卓に安全で美味しい人工ウナギをお届けできる日がそう遠くはない時期に必ず来ることを信じています。

はるか太平洋沖にウナギの聖地はあった —ウナギ産卵場調査航海記—



図. 太平洋沖のウナギ産卵場海域

(生産技術部：野村和晴)



は得られませんでした。今までの調査結果から、ウナギの産卵は新月前の数日間のみ行われていることが示唆されており、調査員には焦りと疲労だけが募っていきました。

そんな中、我々が調査をしていた海域から200kmほど南で調査を行っていた東京大学海洋研究所の調査船白鳳丸より「ウナギ産卵の兆候をとらえた」と一報が入りました。我々もただちに同海域へ移動し調査を開始したところ、プランクトンネットの採集物にふ化後数日のウナギ仔魚が見つかりました。どうやら、昨年よりもかなり南側の海域に産卵場が形成されていたようでした。すでに新月を過ぎ、産卵は終わった

後と考えられましたが、産卵後の親魚はまだ近くにいるはずですが、一縷の望みをかけて中層トロールを続けましたが、ついに親魚の捕獲はできませんでした。そこで、我々は作戦を変え、仔魚を継続的に採捕して天然環境の仔魚に関する情報を収集することにし、仔魚期の生息水深や水温、摂餌状況や成長過程に関する貴重な情報を得ることができました。また、バイオテレメトリーによるウナギ追跡調査を行い、外洋域におけるウナギの遊泳行動に関する貴重なデータを得ることができました。

6月5日未明、すべての調査を終了し、開洋丸は沖縄那覇港に向けて帰還の途に就きました。外界から隔絶された外洋での調査は、思いがけない機器の不調など想定外の事態が次々と起こり困難の連続でしたが、それだけに毎日が新鮮で、発見にあふれており、大いに冒険心を刺激される体験となりました。産卵場の海域は、想像よりもずっと青く、広大で、静粛であり、新月の夜は漆黒の闇に包まれてウナギの聖地としての奇妙な神秘性さえ漂わせていました。

平成21年度の水産庁漁業調査船開洋丸によるウナギ産卵場生態調査航海の第1レグに次席調査員として参加しました。前年の調査では、世界で初めて外洋域でウナギの成魚が捕獲され、歴史的な快挙として大きなニュースになりました。本調査でも、前年に引き続き親魚の捕獲を狙うとともに、卵・仔魚の採集やバイオテレメトリーによるウナギ成魚の行動追跡により、未だに謎に包まれた外洋域でのウナギの生態を解明することが目的でした。

平成21年5月18日、開洋丸ははるか太平洋沖、西マリアナ海嶺南部海域のウナギ産卵場に向けて東京有明を出港しました。距離にしておよそ2500km。毎時16ノットで航行しても到着するまでに丸々4日間を要する航海です。調査海域に着くと、CTDによる海洋データ観測、中層トロールによる親魚狙いの曳網、プランクトンネットによる卵・仔魚および各種プランクトンの採集、と昼夜を問わず休みなく調査が行われ、連日寝不足でした。新月である5月24日まで4日間調査を継続しましたが、ウナギの産卵を示す証拠

養殖研究レター No.6 (平成 22 年 7 月)

編集・発行：(独) 水産総合研究センター 養殖研究所 業務推進部 (伊藤文成、澁野拓郎、若松和希子)
〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1 TEL: 0599-66-1830 FAX: 0599-66-1962
URL: <http://nria.fra.affrc.go.jp/>