

ウナギ人工種苗生産研究の現状と課題

独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所

田中 秀樹 Hideki Tanaka

E-mail: htanaka@fra.affrc.go.jp

日本は世界一のウナギ消費国であり、近年の消費量は年間およそ10万トンにのぼっている。天然ウナギの漁獲量はわずか300t程度にすぎず、国産、輸入を含めて消費量の99%以上はシラスウナギと呼ばれる天然の稚魚を捕獲して育てた養殖ウナギである。多くの魚種で卵から親までの完全養殖が可能となっているが、ウナギは長年の多大な努力にもかかわらず、卵から稚魚まで育てることができなかつたため、今日でも養殖には天然種苗を採捕することが不可欠となっている。しかし、シラスウナギは年によって豊漁・不漁の波が大きく、長期的には資源は減少傾向にある。ウナギ資源減少の原因として、地球温暖化に伴う海洋構造の変化や淡水域の棲息場所の減少、河口堰やダムなどの障害物、水力発電所のタービン、河口や沿岸域の汚染などが指摘されているが、養殖のためのシラスウナギの漁獲も大きな影響を与えると危惧されている。

資源の減少は特にヨーロッパウナギで深刻な問題となっており、昨年6月にオランダのハーグで開催されたワシントン条約締約国会議で、ヨーロッパウナギをワシントン条約の付属書Ⅱに掲載することが93対9の圧倒的多数で可決された。これによって輸出には原産国政府の許可が必要となるが、ヨーロッパウナギに関しては2009年3月から規制が発効することが付記されており、若干の猶予が与えられている。また、これとほぼ同時にEUの農相理事会では、ヨーロッパで捕獲された12cm以下のウナギの稚魚の35%をヨーロッパの河川への放流に回すことを義務づける規制を決定した。この規制は2009年1月から導入され、放流に回す割合は段階的に引き上げられて、最終的には2013年に60%に達することになっている。

このようなヨーロッパウナギの稚魚に対する規制は、ニホンウナギを養殖している国内の養鰻業に直接の影響はないが、ニホンウナギのシラスが不漁の年にはヨーロッパウナギへの依存度が高くなっている中国の鰻養殖には数年以内に大きな影響が現れることが予想される。このことは日本市場へのウナギの供給量減少や東アジア一帯でのニホンウナギのシラス獲得をめぐる競争の激化などに波及し、最終的には我が国の養鰻業やウナギ市場にも大きな影響を与えることが心配される。

ウナギ資源の保全と養鰻業の安定化のために、ウナギの人工種苗生産技術を開発し、卵から親までの生活環を飼育下で完結させる完全養殖を実現することは従来から強く望まれていたが、最近の危機的な状況の下、ウナギ人工種苗の実用化に対する期待はかつてないほどに高まっている。昨年6月12日の記者会見で当時の赤城農林水産大臣はワシントン条約の問題に触れ、「現

在実施しているプロジェクト研究での取り組みを強化していきたい」と述べ、現状に対処する方向性を明らかにした。

独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所では、先人達の多くの研究成果を基に、90年代初めから親ウナギの成熟誘起や人工授精技術の改良に取り組み、かなり良質のふ化仔魚をある程度大量かつ計画的に生産できるようになった。このような状況の下、仔魚用飼料と飼育方法の開発に努め、2002年、ついに人工ふ化仔魚をシラスウナギにまで成長させることに成功したが、養殖用種苗としての実用化には依然として多数の困難な問題が残されている。ここでは、ウナギ人工種苗生産研究の歴史と現状について述べ、将来の養殖用種苗供給の可能性について展望する。

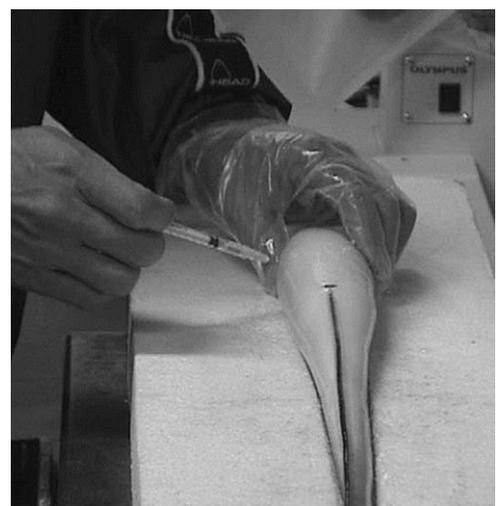
人為催熟および人工種苗生産研究の歴史

ウナギはどんなに歳をとっても、どんなに大きくなっても、飼育下あるいは河川や湖沼、沿岸など人目に触れる所では、自然に成熟・産卵した例は知られていない。養殖ウナギの雄では、成熟度の目安となる生殖腺体指数 ($GSI = \text{生殖腺重量} \times 100 / \text{体重}$) は周年に渡っておおむね0.2以下の極めて低い状態が続き、顕著な季節変化は見られないとされている。一方、養殖ウナギの雌は秋から冬にかけて生殖腺の成熟がわずかに進み、GSIは高いもので2程度、卵巣卵は油球期から卵黄球期の初期に達するが、春以降、卵黄球期の卵は退行し、GSIも低値に戻る。

一方、天然ウナギの雌については、秋から初冬にかけて大きな河川の下流域や汽水湖、沿岸などに、ある程度成熟が進んだ下りウナギが出現することが知られている。三河湾や伊勢湾湾口の神島周辺では、冬季GSIが3~4に達し、第2次卵黄球期の卵を持つ下りウナギが捕獲されるが、2~3月には姿を消し、4~8月は未熟なものしか獲れないことが報告されている。冬季に成熟を開始した下りウナギは、マリアナ諸島西方の産卵場に向かい、およそ半年間の回遊期間中に成熟を完了すると考えられるが、これまで黒潮より南側の外洋で産卵回遊中の下りウナギが捕獲された記録はなく、沿岸を離れた天然ウナギの成



ホルモン投与により成熟が進んだ雌ウナギ



最終成熟・排卵誘起のためのDHP投与

熟進行状況については情報が得られていなかった。この夏、産卵場付近で世界で初めて親魚が捕獲され、今後、これらの解析によって天然での成熟に関する情報が得られることが期待される。

上述のようにウナギは飼育下では自然に成熟しないために受精卵を得るにはホルモン処理によって人工的に成熟を促進することが不可欠である。我が国では1960年頃からニホンウナギの人為催熟の研究が始められ、ほどなく東京大学の日比谷らが哺乳類の脳下垂体および絨毛性性腺刺激ホルモンを混合したホルモン剤の投与によって雄の成熟を誘起し、精液を採取することに成功している。一方、雌の成熟誘起にはその後10年以上を要し、1970年代になって千葉水試の石田・石井、北海道大学の山本らなどが排卵させることに成功した。そして1973年、山本らは雌の下りウナギにサケの脳下垂体を、雄の下りウナギおよび養殖ウナギにシナホリン(脳下垂体および絨毛性性腺刺激ホルモンを混合したホルモン剤)を注射して熟卵および精液を採取し、世界初の人工ふ化に成功して、ふ化後5日間の発生を観察した。さらに、北海道大学の山内らは1976年にふ化後14日間の発生を報告している。

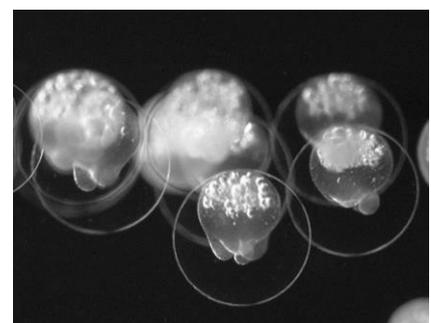
しかし、当時の成熟誘起法では卵は受精可能な状態になり排卵されることはまれで、成熟は進むが排卵されることなく過熟になってしまうことが多かった。これは、最終成熟に必要なステロイドホルモン(DHP)が分泌されないためであることが山内らの研究で1988年に明らかにされ、サケ脳下垂体の投与によって成熟が進み、体重増加を示した雌ウナギに $1\mu\text{g/g}$ 体重の DHP を投与することによって高い確率で排卵させることが出来るようになった。また、下りウナギを使った成熟誘起の研究では、親魚が入手できる季節に限られるばかりでなく、良質な親魚を数多く入手することが非常に困難であったため、養殖ウナギを親魚として用いることが考えられたが、養殖ウナギは極端に雄が多く、外見で雌雄を見分けることは出来ないため、雌親魚の確保が課題とされた。そこで、愛知水試の立木らは80年



排卵した雌ウナギからの採卵

代後半から養殖魚を産卵用雌親魚として育成する技術の開発に取り組み、1991年、シラスウナギに雌性ホルモン(エストラジオール- 17β)を経口投与して雌にする方法を開発した。さらに彼らは、雌化した後2年6ヵ月程度育て、ホルモン投与によって成熟を誘起し、ふ化仔魚を得ることに成功した。

これらの技術革新によりウナギの人為催熟・人工ふ化の研究は、そのチャンスが飛躍的に増加した。一方、水産庁養殖



受精2時間後の卵(直径約1.5mm)

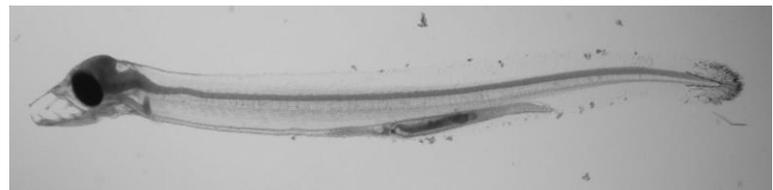
研究所(現 独立行政法人水産総合研究センター養殖研究所)では、農林水産省のプロジェクト研究でマダイ等を材料として魚類の成熟・産卵・初期発育の内分泌制御機構を解明してきたが、その成果を応用して、1993年から5年計画でウナギの催熟に取り組むことになった。以後、養殖研究所では今日までウナギ種苗生産研究が継続されており、養殖研究所が中核となって、水産研究所、栽培漁業センター、県の水産試験場、大学および仔魚用飼料の開発に関して養殖研究所と共同研究を実施している不二製油株式会社、日本水産株式会社などが総力を結集して、ウナギの人為催熟および人工種苗生産研究の分野では世界をリードする成果を上げている。

催熟・採卵・仔魚飼育技術の現状

養殖研究所ではウナギの成熟誘起技術を高めるために様々な条件を改良した。雌化した養殖ウナギへのホルモン投与量、投与方法、最終成熟を誘起するタイミング、催熟時の水温や塩分、雄については精子の運動活性を高める条件の検討を行い、精液の希釈・保存のための人工精漿を開発した。また、人工授精法では排卵後受精させるまでの時間が長くなるにつれて急速に受精率・ふ化率が低下するので、速やかに受精させることが受精成績の向上に不可欠であることも明らかにした。

一方、水産総合研究センター志布志栽培漁業センターおよび(株)いらご研究所などでは、ホルモン投与によって成熟を誘起した雌雄親魚を産卵槽に収容して、水槽内での自然産卵を促す『誘発産卵技術』の開発に取り組み、様々な条件の改善により、近年、誘発産卵の成功率が飛躍的に向上し、得られる卵の受精・ふ化成績も相対的に良好であることが報告されている。

受精卵およびふ化仔魚は、かつて21～23℃で管理していたが、



サメ卵を含む飼料を摂餌した仔魚(日齢8, 全長約7mm)



レプトセファルス幼生からシラスウナギへの変態

水質の維持さえ可能であれば25℃前後で管理したほうがふ化率が高く、仔魚の発生も健全に進行することが明らかになった。また、卵白を飼育水に10ppm程度添加することによって、仔魚の浮上斃死を防ぎ、初期の生残率を向上させることが示され、初期飼育の安定度が飛躍的に向上した。

仔魚の初期餌料は、他の海産魚で絶対的な有効性を示すワムシの給餌を長年にわたって試行したが、摂餌開始期以降のウナギ仔魚は多くの他の海産魚と異なり強い負の走光性を示すために水槽内でワムシと遭遇する機会が乏しく、ワムシを効率的に摂取させることはできなかった。現在までのところ、効率的な給餌が可能なのは水槽底面に沈殿する微細な粒子からなる液状の飼料のみであり、その主成分としてサメ卵を含まない限り、高率に充分量の摂餌をさせることはできず、長期にわたる飼育は不可能である。また、サメ卵だけでは栄養的に不十分であることが明らかになり、大豆ペプチドやオキアミ分解物、ビタミン等の添加物、添加量について検討を重ね、現行の飼料に到達した。さらに、水温や注水量の検討、水槽内を清潔に保つ工夫を重ね、長期飼育の安定度を少しずつ高めた結果、2002年、ついに飼育下でレプトセファルス幼生からシラスウナギへの変態が実現した。しかし、依然としてシラスウナギまでの生残率は極めて低く、変態までには200～500日と天然より遙かに長期間を要し、健全なシラスに育つ割合も低い。

残された課題と今後の展望

飼育下で初めてシラスウナギの生産に成功してからおよそ6年が経過し、養殖研究所では完全養殖を目指して人工生産ウナギを親魚にするために養成を続けている。また、養殖研究所に続いて、2004年には志布志栽培漁業センターで、2005年にはいらご研究所でシラスウナギの人工生産に成功し、実験室レベルでニホンウナギのシラスを生産することは再現性のある技術となった。しかし、養殖ウナギの性分化、親魚の養成、成熟誘起法、得られた配偶子の質、ふ化仔魚の健全性、仔魚の適正飼育環境、適正飼餌料、ふ化後の生残率および成長、健全に変態させる条件などに今なお数多くの謎と問題点が残されている。そして人工種苗が養鰻用種苗として



大きく育った人工ふ化ウナギ

実用化されるために不可欠な、大量生産のための餌と飼育方法の開発が現時点では全く進んでいないことが何より大きな課題である。我が国では養殖用の種苗として年間およそ 1 億尾のシラスウナギが必要とされており、養鰻業界にとっては 1 尾 100 円程度が許容できる価格の上限であるとの意見もある。人工種苗が養鰻業の安定化や天然資源の保全に貢献するには、着実に大量生産を実現するための技術開発と飛躍的なコストの低減が必要不可欠である。

このような背景の下、関係研究機関の総力を結集して、平成 17 年度から 4 年計画で農林水産技術会議の委託プロジェクトとして「ウナギ及びイセエビの種苗生産技術の開発」が実施されており、ふ化後 100 日目までの生残率を従来 of 10 倍に引き上げることを目標に努力を続けている。さらに昨年のワシントン条約等による規制を受けてこの分野の研究の平成 23 年までの強化・延長が決定されており、優良親魚の養成、種苗量産システムの確立を目指した仔魚用飼料と飼育環境の最適化を中心課題として、新たな取り組みが始められている。

人工生産したシラスウナギを放流向けとすることは、遺伝的多様性等の問題もあって慎重にならざるを得ないが、養殖用種苗の一部を人工種苗でまかなうことが出来れば、天然のシラスウナギに対する漁獲圧を少しでも和らげることができ、天然資源の保全に微力ながら貢献できるものと考えられる。また、人工種苗は季節を問わず生産が可能であるため、特に需要が大きい早期種苗の供給に寄与できる可能性もある。さらに、完全にコントロールされた環境下でシラスウナギを生産することによって病気や寄生虫の発生を根絶することや、人工生産ウナギの世代を重ねることによって成長や肉質の優れた系統を作り出すことも期待される。

参考文献

- 1) 山本喜一郎:ウナギの誕生 人工孵化への道. 北海道大学図書刊行会, pp. 155-200 (1980).
- 2) 田中秀樹:仔魚の飼育技術. ウナギのライフサイクルーその解明と制御ー. 月刊海洋 号外 No.18, 106-112 (1999).
- 3) 田中秀樹・太田博巳・香川浩彦:ウナギの人工催熟技術と仔魚の飼育技術の開発に関する研究. 日水誌 66, 623-626 (2000).
- 4) 廣瀬慶二:うなぎを増やす ベルソープックス 010. 成山堂, pp. 37-94 (2005).