

放流ウナギも海に帰れます！



ニホンウナギを増やすために、養殖場で育てられたウナギの放流が各地で行われています。放流されたウナギがどの程度生き残り産卵に参加しているのか、未だ明らかになっていませんが、これまでの調査・研究によって、放流効果の解明に繋がる様々な情報が得られています。

1. 放流由来のウナギの判別技術
2. 自然河川での放流ウナギの追跡
3. 銀化メカニズムの解明
4. 養殖ウナギの産卵回遊行動調査
5. 露地池を使った銀ウナギの作出
6. まとめ

1. 放流由来のウナギの判別技術

まず最初に川や湖で獲れたウナギで、自然に住み着いた天然遡上個体と、養殖で育てられた放流個体を、科学的に区別する方法についてご紹介します。

○ 耳石成分の分析による判別

ウナギの頭部には生まれてからゆっくりと成長を続ける「耳石」という小さな石（平衡器官）があります。ウナギの養殖はシラスウナギの頃から行われるので、養殖期間中に成長した部位に対応する耳石の中心部分は、養殖環境やその頃のウナギの状態を反映した成分になります。自然環境と比べて養殖環境では、大量の空気を投入された温かい池で、人工的に配合した特定の餌を与えられます。このような環境の違いがあると、耳石の「酸素と炭素の同位体組成^{注1}」という成分に違いがでます（図1）。

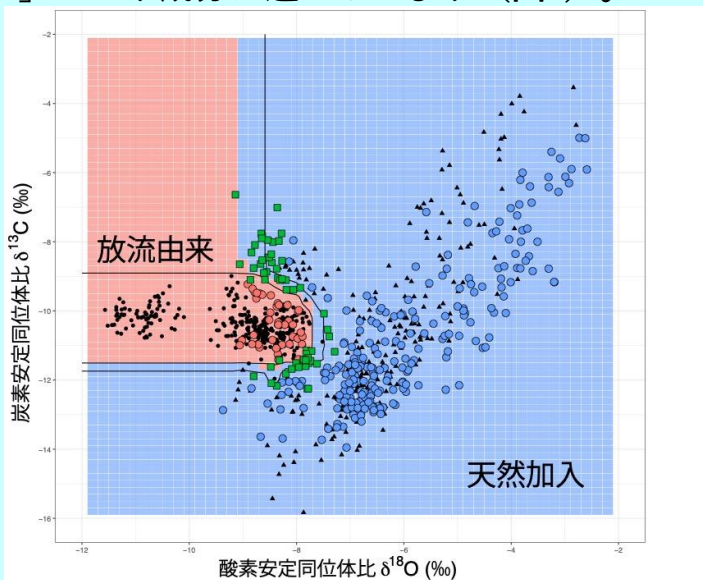


図1. ニホンウナギ耳石酸素・炭素安定同位体比プロット。

教師データ：（●）養殖，（▲）天然
分析データ：（●）天然加入個体，

（■）判別確率90%以下の個体，

（○）放流由来の個体。

（―）判別確率70%の境界線。赤色のエリアは放流の確率50%以上のエリア，青色は天然の確率が50%以上。

養殖と天然では、他にもいくつかの部位でいろいろな成分に違いが出るので、複数の成分を組み合わせることで判別の正確性を向上させています。

これまでの研究で、産卵場に向かうための準備が整った銀ウナギ^{注2}の中に、養殖で育てられて放流された個体が含まれていることがわかりました。

同位体とは^{注1}：同じ元素でも重さが異なる原子のことを同位体といいます。例えば酸素は重さが16, 17, 18の3種類の同位体があります。化学的性質はほとんど同じですが、ほんのわずかに反応性などが異なるため、由来や環境が異なると同位体の比率がわずかに異なります。同位体の組成を精密に調べることで、通常の化学分析では知ることができない情報を引き出すことが可能です。

銀ウナギとは^{注2}：産卵のために秋に海に向かって川を下るいぶし銀の様な色になったウナギです。

東北地方の湖や、ウナギが少ないとされる日本海側から産卵回遊する銀ウナギについて調べています。

○小川原湖の放流ウナギは海に帰るか？

青森県の小川原湖では、長年にわたりウナギの種苗放流が行われています。放流後の成長や生き残りについてはこれまであまり知られていませんでしたが、耳石を用いた由来判別が可能になったことで、小川原湖に放流されたウナギも産卵のため降海する銀ウナギになることがわかってきました。



小川原湖漁協による種苗放流

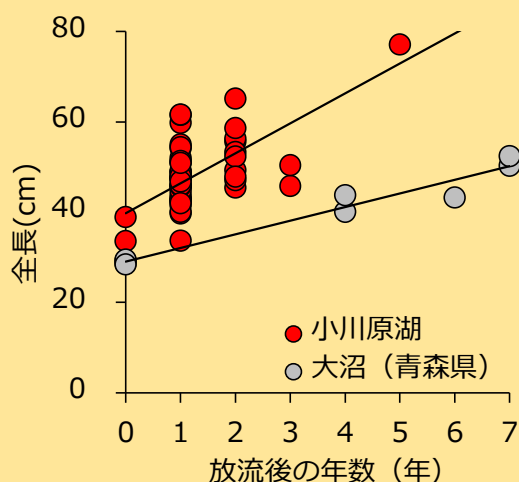


放流個体と判別された銀ウナギ

また、標識再捕調査により放流後の成長が非常に早いことが確認されるなど、小川原湖は放流ウナギにとって好適な環境にあることもわかってきました。小川原湖の事例が産卵回遊に寄与する放流手法開発の手掛かりになることが期待されます。



放流から5年後に再捕された
標識放流ウナギ



小川原湖と周辺の湖沼で標識再捕
されたウナギの成長

2. 自然河川での放流ウナギの追跡 ウナギが放流されたあと、自然河川で どのように育つか追跡しています。

放流ウナギを追いかける ～銀ウナギの確保を目指して～

鹿児島県では、1912年の県水産試験場による試験養殖に始まり、60年代から本格化、現在はニホンウナギの養殖生産量が日本一となっています。温暖な気候など、ウナギの生息地として適地である鹿児島。鹿児島県水産技術開発センターでは、鹿児島の川で放流ウナギを成熟状態（銀ウナギ）まで育み、近年懸念される資源量の減少にストップをかける方法を模索しているところです。銀ウナギでは、元々黄色かった腹部の体色は銀色に光り、胸びれや目が大きくなる等、海での長い旅に備えた風貌となります。

これまで、枕崎市の中央を流れる花渡川では、平成26年以降、様々な条件を変えて養殖ウナギの標識放流を実施しています。ここでは、月に1～2回の調査で、天然と養殖及び放流条件ごとの成長比較や資源量の増減等のモニタリングを継続的に行っています。調査において、特に重要なミッションは、放流した養殖個体が成熟状態になるかどうかを明らかにすべく、養殖由来の「銀ウナギ」を確保することにあります。一般的に川に入ったウナギが銀ウナギになるまでに、オスで5年、メスで10年ほどかかるといわれております。養殖個体の放流は平成26年から行っていることから、これらが成長した銀ウナギの回収が期待できます。



銀化



▲ウナギの銀化



▲PITタグの挿入

年度	年度別の放流尾数	
	花渡川	貝底川
H26	698	
H27	743	
H28	700	
H29	699	370
R2	750	925
R3	750	20
R4	750	24

一方で、銀ウナギの行動には謎が多く、鹿児島市貝底川では放流ウナギの降下のタイミングや条件の調査を併せて実施しています。

3. 銀化メカニズムの解明

雄が多いといわれている養殖ウナギでも、
飼い方によって大型の雌が現れることも分かりました。

露地養鰻池に現れた大型雌ウナギ「養ボク」

- 静岡県 の 浜名湖 地区には1990年代の初め頃まで露地養鰻池（写真）がたくさん残っており、池さらいすると、「養ボク」と呼ばれる大型の雌ウナギが多数池上げされました。
- ウナギを養殖すると大半が雄になることから、当時の筆者には雌が多く出現する理由がわからなかったのですが、その後、成長の遅い個体には相対的に雌が多いことがわかり¹⁾、この謎が解けました。
- ウナギは成長の個体差が大きいので、何回にも分けて、出荷サイズに達したウナギを順次獲り上げます。露地養鰻池では、出荷サイズに達しないウナギは抜ける目合いの網を引いてウナギを獲り上げました。よって、何回も出荷した後には、最も成長の遅い群、すなわち、雌が多い群が残りました。
- また、池に残ったウナギが少なくなると、他の池からウナギを足すこともしました。よって露地養鰻池には様々な年齢のウナギが混在していました。
- 池のウナギの数が少なくなって、網を引いてもたいして獲れなくなると、そのまま放置されることもありました。すると池に残った雌ウナギは池の中にいるえび・かにや昆虫などの生きものを食べてどんどん大きくなり、「養ボク」となったのです。
- 筆者は「養ボク」をはじめとして露地養鰻池から取り上げられた雌ウナギをサンプリングし、年齢、体重及び性成熟度（生殖腺重量比）を調べました^{2, 3)}。
- その結果以下のことがわかりました。
 - 1) 年齢は1～6歳。
 - 2) 4歳以上の性成熟度は1～3歳よりも高い。
 - 3) 各年齢とも、性成熟度は秋から冬にピークとなる。
- ウナギ資源の増大を目的に、産卵の可能性があるウナギを川に放流するならば、露地養鰻池で4歳以上になったウナギがよいと考えられますが、今では「養ボク」が出荷されることはほとんどありません。現存する露地養鰻池を活用した取り組みが必要でしょう。



1) Yoshikawa, M. (2013) : Sex differences in growth rates of early life stage Japanese eels *Anguilla japonica* under experimental conditions. *J. Fish Biol.* 83, 588-597.

2) 吉川昌之(1995) : ニホンウナギ *Anguilla japonica* 養殖魚における体重、年齢と生殖腺の成熟度の関係、ならびにその季節変化について. 静岡水試研報. 30, 23-27.

3) 吉川昌之(1995) : 天然および養殖ニホンウナギ *Anguilla japonica* の大型魚における性比と体重および年齢の関係. 静岡水試研報. 30, 29-34.

自然の産卵場に似ていると思われる冷たくてきれいな
“海洋深層水”を使って、ウナギが卵を産みたくなるか
調べています。

深層水を使ってウナギを銀化させる

・ウナギは産卵回遊のために川から海に降り、外洋に出て、深海で産卵することがわかっています。その過程で、胸鰭や腹部が黒くなる銀化が
起こり、黄ウナギから銀ウナギとなります。

・一方で、銀化のメカニズムについてはわかっていない点が多くあります。水温や塩分濃度などの外部要素や年齢や魚体の大きさといった身体的要素などが関わっているといわれています。

・本課題では、産卵環境に近い海水（深層水）を使って、銀化メカニズムの解明に取り組んでいます。ウナギの飼育水を深層水にすることでウナギの体内でどのようなことが起こっているのかを解明しています。

・銀化メカニズムが解明されることで、養殖ウナギが天然のウナギと同様に銀化し、産卵回遊を行うような銀ウナギ作出技術の開発が期待されます。この技術により養殖ウナギを銀化させて放流することで、産卵回遊するウナギを増やし、ウナギ資源の回復に繋げていきたいと考えています。



深層水で飼育することで銀ウナギに近づく

4. 養殖ウナギの産卵回遊行動調査

放流ウナギが海に入るとどんな行動を取るか、衛星通信型発信器を付けて追跡しています。

養殖ウナギの産卵回遊行動調査

- 天然環境で成長した放流ウナギや天然個体と遜色ない状態に育てた養殖ウナギが、産卵回遊を正常に行い、産卵場へ辿り着くことで初めて再生産に貢献しうると考えています。
- 天然ウナギは産卵回遊の時、毎日、深い層と浅い層を規則的に移動します。この動きは、捕食者から見つかりづらくしたり、成熟を進めたりする重要な行動と考えられています。
- 我々は、ポップアップ式衛星通信型タグという機械を養殖ウナギに付けて、飼育時の水温経験がこの浅深移動に影響するかを調べました。
- その結果、養殖ウナギが飼育時に高水温しか経験していなくても、天然個体と同じ浅深移動を行うことができることがわかりました。



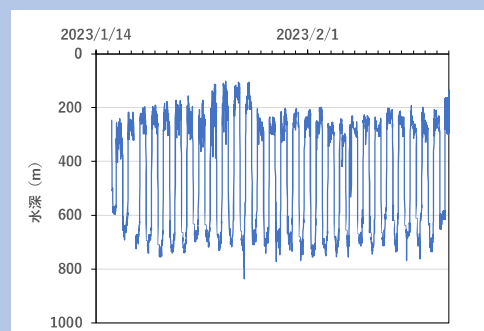
水産研究・教育機構蒼鷹丸で沖合（黒潮域）に放流



ポップアップ式衛星通信型タグ



放流直前の養殖ウナギ
(静岡県水産・海洋技術研究所
浜名湖分場で養成)



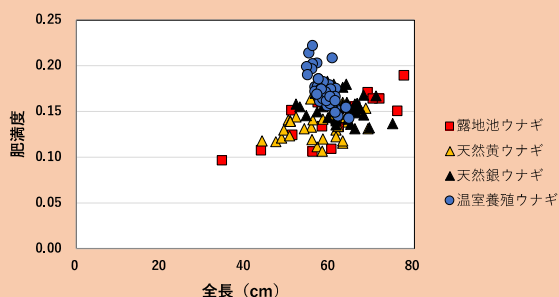
養殖ウナギも正常に日周鉛直移動を示した

5. 露地池を使った銀ウナギの作出

どんな飼い方をすれば産卵場へ行くウナギになるか、昔ながらの露地池を使って試行錯誤しています。

露地養殖池での 銀ウナギ作出の取り組み

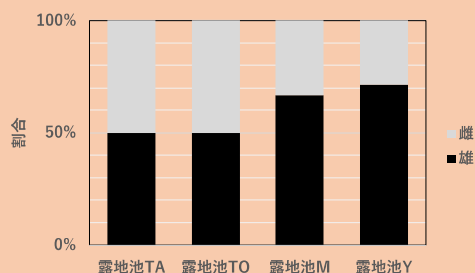
- ・ 養殖ウナギから天然個体と遜色のない銀ウナギを作出できれば、産卵場の親魚資源に直接的に貢献できる可能性があります。
- ・ 温室ハウスで短期間で大きく育てたウナギに、低水温や海水などの環境操作で銀化を促しても成熟度合いは低いままで、性ホルモン投与で無理に成熟を促しても天然個体のような回遊行動が見られないことがわかってきました。
- ・ 一方、放流ウナギは数年かけて河川や湖沼で成長し、天然の銀ウナギと見た目も成熟も遜色ない状態で産卵回遊を開始することがわかってきており、成育環境次第で養殖ウナギを天然個体に近づけられると考えられます。
- ・ 我々は、半自然条件の露地養殖池の中でじっくりと養殖ウナギを成育し、天然個体と遜色のない銀ウナギを作出する試験に取り組んでいます。



露地池ウナギの肥満度は、天然個体に類似



露地養殖池は水草で覆われ、自然に近い環境
(浜名湖うなぎ漁業生産組合)



露地池ウナギの雌雄は、偏りが無い



露地池ウナギの外観は、天然個体に類似

まとめ

- 養殖場で育てられた放流ウナギも自然環境の中で銀化することがわかりました。
- 河川における継続的なモニタリングにより、放流由来の銀ウナギ確保に取り組んでいます。
- 海洋深層水を使った産卵場に似せた飼いで、ウナギを人為的に銀化させることがわかりました。
- 養殖ウナギでも海に入ってから天然ウナギと同じ泳ぎ方ができることがわかりました。
- 半自然条件の露地養殖池を使い、天然の銀ウナギに近い養殖ウナギを作ることが可能と考えられます。

こうした発見や技術開発によって、産卵が期待できるニホンウナギを増やしていきます。

放流ウナギも海に帰れます！

【編集】 国立研究開発法人水産研究・教育機構 矢田 崇
【執筆】 東京大学大気海洋研究所 白井厚太郎，板倉 光， 宮城教育大学 棟方有宗
青森県産業技術センター 遠藤赳寛， 鹿児島県水産技術開発センター 上村沙起
静岡県水産・海洋技術研究所 吉川昌之，倉石 祐
水産研究・教育機構 横内一樹，須藤竜介，福田野歩人