

国立研究開発法人 水産研究・教育機構  
第19回成果発表会



どこまですすんだ？  
ウナギ研究

日時

2022.7.22 (金) 13:00 ~ 17:00  
( 12:30 開場 )

会場

水産研究・教育機構 横浜庁舎講堂  
神奈川県横浜市金沢区福浦 2-1 2-4

主催

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

後援：水産庁 (一社) 大日本水産会 全国漁業協同組合連合会 (一社) マリノフォーラム21

(公社) 全国豊かな海づくり推進協会 (一社) 海洋水産システム協会 (一社) 全日本持続的養鰻機構

# ごあいさつ

本日はお忙しい中、水産研究・教育機構の第19回成果発表会にご参加いただき、誠に有り難うございます。現在、当機構は令和3年度から第5期中長期計画に基づき、研究開発業務では「水産業の持続可能な発展のための水産資源に関する研究開発」、「水産業の持続可能な発展のための生産技術に関する研究開発」、「漁業・養殖業の安定的な生産確保のための開発調査」の3つの重点項目を掲げ、それぞれの課題に取り組んでおります。

また、令和4年からは新たな水産基本計画が開始されました。さらには農林水産省から令和3年5月にみどりの食料システム戦略が決定され、この戦略の実現に向けて関係者一丸となって取り組んでおります。振り返りますと、当機構は、明治30年の農商務省水産検査場、水産講習所試験研究部が設置されたことを起点に数えると本年で125周年を迎えます。世界の水産界を見まわしてみても当機構の規模、歴史とともにまれに見る水産に特化した研究・教育、そして社会実証まで行う機関です。

こうした歴史の中で長年にわたりウナギの研究に取り組んでいます。ウナギ研究を振り返ると昭和36年(1961年)にウナギ研究が始まってから、東京大学がホルモン投与により雄ウナギを成熟させ精液をとることに成功し、1970年代になって千葉水試、北海道大学が産卵に成功し、昭和48年(1973年)世界で初めて人工ふ化に成功したのち、平成11年(1999年)に水産総合研究センター(当機構の前名称)がレプトセファルス生産、平成14年(2002年)人工シラスウナギ生産に成功、平成22年(2010年)に完全養殖まで成功するに至っています。ここにたどり着くまで、ウナギ研究の先人たちの努力に感謝するとともにそのチャレンジ精神が脈々と引き継がれていると実感します。

初めてのウナギ産卵から50年、人工シラスウナギの生産成功から20年と経過したわけですが、農林水産省が示すみどりの食料戦略では、天然資源に負荷をかけない持続可能な養殖体制を目指し、2050年までに二ホンウナギをはじめとする主要養殖対象種の人工種苗比率を100%とする目標を設定しております。この目標達成のため、残り30年でいかに量産化するかといった機構の取り組みを皆さまに知っていただき応援していただければ幸いです。

私どもは、水産業の成長産業化による水産日本の復活をめざし、研究開発や人材育成を通じて日本の水産業を牽引する中核的研究開発機関となるように、業務を着実に、さらに効果的・効率的に進めて参ります。今後とも、より一層のご理解とご支援を賜りますよう、お願い申し上げます。



国立研究開発法人 水産研究・教育機構  
理事長 中山 一郎

# 講演プログラム



## 1 ニホンウナギ大回遊の謎

---

福田 野歩人（水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 主任研究員）

## 2 ウナギ成熟誘導ホルモン等を利用した 人為催熟・採卵技術の開発

---

風藤 行紀（水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部長）

## 3 ウナギ仔魚用飼料の開発

---

古板 博文（水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 飼餌料グループ長）

## 4 ウナギの品種改良にむけて ーレプトセファルス期間の長さは遺伝するー

---

野村 和晴（水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部基盤グループ長）

## 5 2050年に完全養殖ウナギを食べられるのか ーこれまでの成果の普及とこれからの取り組みー

---

山野 恵祐（水産技術研究所 養殖部門長）

## 6 パネルディスカッション

---

# 講演者の紹介



## 福田 野歩人

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 主任研究員

1979年生まれ（埼玉県出身）。2003年京都大学卒業。  
2010年東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物学専攻博士課程修了。  
2022年より現職。学生の頃から、ウナギの産卵場航海に参加したり、  
浜名湖でシラスウナギの遡上を調べたりしていた。専門は魚類行動学。  
趣味は、DIYの範疇を超えたDIY。



## 風藤 行紀

水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部長

1971年広島県生まれ。1994年北海道大学卒業、  
1999年北海道大学大学院水産学研究科博士課程修了。  
博士（水産学）。2021年より現職。主な研究テーマは魚類生殖生理学。  
ウナギも含め色々な魚を繁殖させるのが研究テーマ。  
研究が大好きで、趣味の1つとして公言してはばかりません。  
その他の趣味はバドミントンと登山。特に冬の雪山に登るのが大好きです。



## 古板 博文

水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 飼餌料グループ長

1968年京都府生まれ。1993年東京水産大学大学院博士前期過程修了。  
魚類の栄養や飼料に関する研究、主に種苗生産に関わるヒラメやウナギの親魚や  
仔魚期の栄養要求の研究や飼料開発に携わってきた。  
ウナギ仔魚用飼料の研究・開発は、2008年から取り組んでいる。  
ウナギ仔魚用飼料開発の他、マダイやブリ等の飼料の研究・開発にも携わっている。



## 野村 和晴

水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部基盤グループ長

1977年生まれ（熊本県出身）。1999年広島大学卒業。  
2001年北海道大学大学院水産科学研究科博士前期課程（修士）修了。  
2008年近畿大学大学院にて学位取得。博士（農学）。  
2002年に採用後、一貫してニホンウナギの種苗生産技術開発に従事。  
2018年より現職。専門は水産育種学。趣味はいろんなジャンルの読書。



## 山野 恵祐

水産技術研究所 養殖部門長

水産魚介類の生育や成熟の仕組みの解明や産卵誘発技術の開発に取り  
組んできました。海産無脊椎動物研究センター長、ウナギ種苗量産研  
究センター長を経て、現職を務めています。休みの日の楽しみはバイ  
クとウォーキング。



## ニホンウナギ大回遊の謎

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 主任研究員

福田 野歩人

ニホンウナギ（以下、ウナギ）は一生に一度、成育した川から外洋の産卵場まで 3000km の大回遊を行います。繁殖に向かうウナギがどのように遊泳して産卵場まで辿り着くのか、その実態は謎が多く、古くから人々の興味を惹きつけています。

私たちは、ウナギが産卵のために回遊する時にどのように泳ぐのかを明らかにしようと、超音波発信器をウナギのお腹に入れて、日本近海（黒潮流域）や産卵場のマリアナ海域で放流しました。（図 1）ウナギから出る超音波を船底に受信機を取り付けた照洋丸（水産庁）（図 2）で受信して追いかけてきました。追跡する時に水の流れを同時に測って、その時の移動が魚自身の遊泳によるものか、流されているだけなのかを分析しました。その結果、冬に黒潮流域で追跡したウナギは北東方向に移動しましたが、それはほとんど強い黒潮の流れによるもので、ウナギ自身は南へ向かって泳いでいたことがわかりました。

一方、夏に南の産卵場となるマリアナ海域で追跡したウナギの多くは北へ向かって泳いでいることがわかりました。また、放流直後にウナギが水深 400m より浅いところを昼に遊泳した時には、ぐるりと円を描く旋回行動も見られました。（図 3）



図 1. 追跡したウナギと超音波発信機（ピンガー）



図 2. 水産庁漁業調査船「照洋丸」（当時）

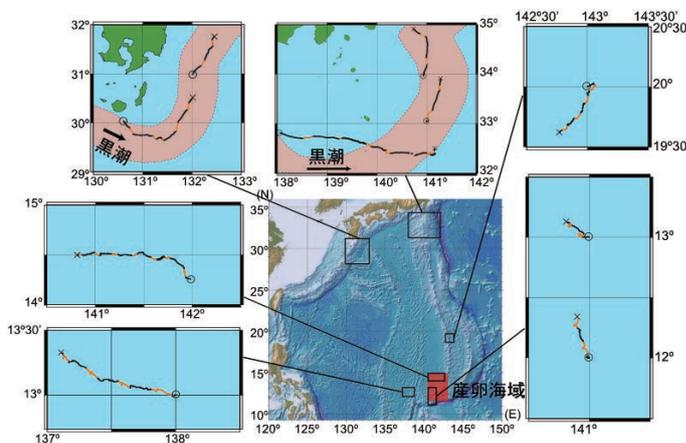


図 3. 超音波発信器を挿入したニホンウナギを日本近海とマリアナ海嶺周辺海域にて放流して追跡し、計 10 個体を分析。図中の丸（○）は放流地点、クロス（×）は追跡終了地点を示す。黒線は夜間の追跡軌道、黄線は黄色の追跡軌道を示す。

どうして黒潮域と産卵場の放流場所の違いでウナギの泳ぐ方向が変わったのでしょうか。例えば、伝書鳩のような鳥の場合、太陽コンパスと磁気コンパスを使って自分の巣に戻ると考えられています。ウナギは深海を泳ぐので、太陽の光が届きにくく、磁気コンパスを使って泳ぐ方向を決めているという仮説が立てられています。しかし、実際にはウナギが太陽の光に敏感に反応して泳いでいることが多く観察されます。例えば、ウナギは昼に水深 800m まで潜り、夜に水深 200m まで上がることを毎日繰り返して、深海でも太陽の出入りの時間を正確に感じています。また、放流直後、ウナギは深層の冷たい水にまだ馴れずに比較的暖かい水深 400m 以

浅を泳ぎますが、そこの太陽光はウナギにとって強すぎて、光を嫌がって反対方向に泳ごうとし、昼に太陽が東から西へ動く時にウナギが旋回したのだと考えられました。放流したウナギの泳ぐ方向をその場の太陽の動きと関係させて調べたところ、ウナギが南方向へ泳いだ場所で正午に太陽は南の空を通り、ウナギが北へ泳いだ場所で太陽は北の空を通っていました。このことから、ウナギは太陽を一つの手がかりとして泳ぐ方向を決めている可能性があると考えられました。

資源が減少し絶滅危惧種にも指定されたウナギの資源を回復させるためには、産卵親魚を増やす必要があります。どのように産卵回遊を行うかを理解することは、繁殖を多く参加できる地域を選んで守ったり、繁殖が期待できるウナギを人が作って放流したりするのに役立つと考えています。



## ウナギ成熟誘導ホルモン等を利用した人為催熟・採卵技術の開発

水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部長

風藤 行紀

### 研究の背景・目的

ウナギは飼育しても成熟しないため、養殖種苗であるシラスウナギを人工的に作るには、人為的に成熟を促す（人為催熟）必要があります。以前は、雄ではヒトの成熟誘導ホルモン（GTH）である hCG を、雌では GTH を含むサケの脳下垂体を注射することで人為催熟していました。しかし、雄では十分に成熟する個体の割合が低く、精子の質が不安定でした。また、雌では得られる卵の質が概ね悪く、健康な孵化仔魚が得られない場合が非常に多い状態でした。この様な不十分な結果はウナギ以外のホルモンをウナギの人為催熟に用いているためだと考えて、ウナギの GTH を利用した効率的な人為催熟・採卵技術の開発を目指しました。

### ウナギ GTH の大量生産方法の開発

ウナギの GTH には濾胞刺激ホルモン（FSH）と黄体形成ホルモン（LH）の 2 種類が知られており、これらは脳下垂体と言う組織に存在しますが、ウナギの脳下垂体を大量に集めることは非常に困難です。そこでウナギの FSH や LH の遺伝子を哺乳類の細胞に導入して、組換えホルモンを作製することを試みました。様々な条件検討・解析を重ねた結果、チャイニーズハムスターの卵巣由来の細胞を利用すると、ホルモン活性が高い FSH や LH を大量に作り出せることが明らかとなりました。この技術は特許を取得して、さらに民間企業への技術移転も行い、現在では、これら GTH は市販されています。

### ウナギ GTH による雄の人為催熟

雄ウナギに、FSH と LH を、それぞれ週に 1 回毎週注射して人為催熟を行いました。また、その際、従来人為催熟に使っていた hCG を注射する群も設け、実験結果を比較しました。その結果、LH を注射する場合が最も結果が良好でした。LH で人為催熟すると全ての雄が十分に成熟し、得られる精子の質は高く、精

液の量は hCG の場合に比べ、5-10 倍でした。これにより、従来の雄ウナギの人為催熟の問題は全て解決しました。

### ウナギ GTH による雌の人為催熟と採卵

雌ウナギに、FSH と LH を、それぞれ週に 1 回毎週注射して人為催熟を行いました。その結果、どちらの GTH で人為催熟しても完全に成熟し、FSH では LH の場合よりも卵巣が 1.2 ~ 1.5 倍に大きくなることが明らかになりました（図 1）。

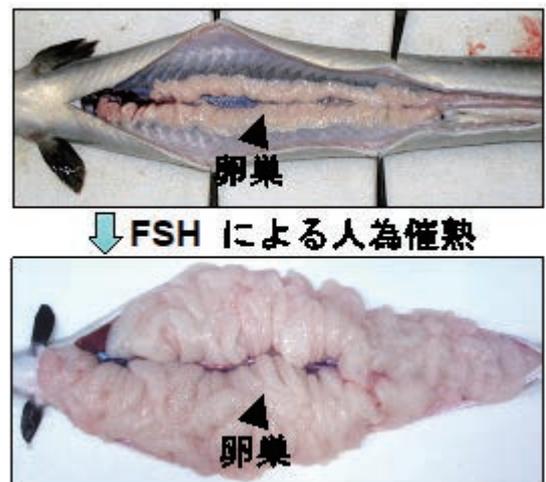


図 1 FSH により人為催熟した雌ウナギ

また、FSH 催熟すると、卵巣にある卵のもとになる卵母細胞の状態が良く揃っていました。卵母細胞は排卵させて初めて受精可能な配偶子になるため、次に排卵を誘導する方法を開発する必要があります。魚類では脳下垂体に蓄積された LH の放出を促進する系と抑制する系が知られています。そこで、様々な排卵誘導の条件検討を行った結果、FSH 催熟により成熟した個体に、LH 放出を促進する合成 LH 放出ホルモンと、LH 放出を抑制する系をブロックする薬剤であるピモジドを複合投与した後に、卵成熟を誘導するステロイドホルモンをさらに投与すると、ほぼ全ての個体で排卵が誘導され、これまでの方法に比べ約 1.5 倍高い質の卵が、約 1.5 倍の量

得られることが分かりました。この様な一連の技術開発により、最終的には 1 尾の雌親魚から得られる健康な孵化仔魚の量は約 2 倍となりました。この研究は、対象種には対象種ホルモンを用いることが最適である事を示した世界で初めての例となりました。しかし、この方法でも時折、採卵成績の悪い個体が認められるため、更なる改良を試みています。



## ウナギ仔魚用飼料の開発

水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 飼餌料グループ長

古板 博文

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いるのか、まだよく分かっていません。マダイやブリなど多くの海産魚の人工生産において、ふ化仔魚に与えられるシオミズツボウムシというプランクトンをウナギに与えてもわずかししか食わず、成長しません。そのため、ウナギを人工的に育てるにはウナギ仔魚に適した餌を開発する必要がありますがありました。

ウナギ仔魚の餌の候補となりそうなものを広い範囲から探した結果、アブラツノザメの卵をよく食べることが分かり、サメ卵とオキアミ分解物、大豆ペプチドなどを混合したサメ卵飼料が開発されました。サメ卵飼料の開発によってウナギ仔魚を飼育することが可能となり、2002年に世界で初めて人工的にシラスウナギを育成することに成功し、2010年には完全養殖に成功しました。しかし、アブラツノザメは資源量に限りがあるため、シラスウナギを大量生産するためには、サメ卵飼料に代わり安定的に利用できる原料を使ったウナギ仔魚用飼料の開発が必要でした。

一般に売られている製品からウナギ仔魚用飼料に利用できるものを探したところ、鶏卵黄と脱脂粉乳など牛乳由来のタンパク質を組み合わせた飼料で飼育すると、安定して飼育できることがわかりました。鶏卵黄と牛乳由来タンパク質を混ぜ合わせた飼料の改良と飼育を繰り返した結果、サメ卵飼料と変わらない成長や生残率が得られるようになり、シラスウナギに変態するまで育成できることもわかりました。この成果により、大量に利用できる原料を使用し、サメ卵飼料を置き換えることができるウナギ仔魚用飼料の開発に目処をつけることができました。現在では、鶏卵黄と牛乳タンパク質を組み合わせた飼料が、サメ卵飼料に代わってウナギ仔魚の飼育に用いられています。今後のシラスウナギ大量生産に向けて、より性能の良いウナギ仔魚用飼料の開発を

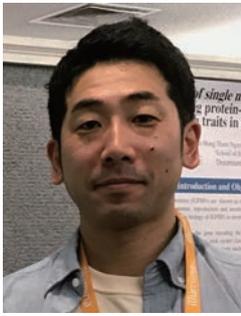
目指して改良を進めています。



図1 サメ卵飼料を食べているウナギ仔魚



図2 サメ卵飼料に代わるウナギ仔魚用飼料の原料



## ウナギの品種改良にむけて —レプトセファルス期間の長さは遺伝する—

水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部基盤グループ長

野村 和晴

水産研究・教育機構では、長年にわたり、人工シラスウナギを大量生産するための研究開発に取り組んでいます。現在の飼育技術では、ふ化からシラスウナギに変態するまでの仔魚（レプトセファルス）の期間がとても長く、160～400日（平均250日）程度を要しています。仔魚の飼育は大変な手間やコストがかかるため、仔魚期間が長いことで餌代や人件費などのコストがとても高くなっています。また、病気や衰弱などでシラスウナギになる前に死亡する個体も多くなってしまい、このことが人工シラスウナギを安く大量に作ることの障害になっています（図1）。天然の仔魚では、仔魚期間は約110～170日と推定されており、飼育下よりも短いことから、餌や飼育条件を改善することで仔魚期間を今よりも短くできると考えられています。

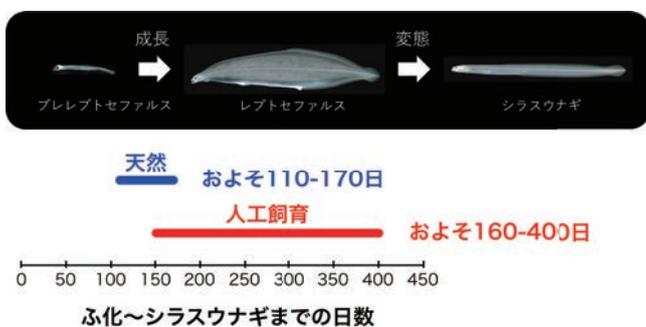


図1 現在の飼育方法では、シラスウナギにまで変態するまでの日数が天然よりも長く、このことがシラスウナギを安く大量に作ることの障害になっています。

一方で、私たちは、同じ餌や飼育方法でも、飼育するロットごとに仔魚期間の長さにはばらつきがあることに気がつきました。飼育するロットはそれぞれ違う親同士を交配させて得られた仔魚であるため、仔魚期間の長さは親の違いによって変わるのではないかと考えました。

そこで、そのことを確かめるために大規模な交配実験を行いました。1尾の雌から採れた卵に複数の雄から採れた精子を交配して得られた仔魚をシラス

ウナギまで飼育することを繰り返し、合計で雄43尾と雌32尾に由来する229組の交配組み合わせから得られた1730個体について、ふ化から変態開始するまでの日数や変態する時の体サイズに関するデータを集めました。集めたデータから、表現型のばらつきのうち環境の影響を取り除いて、どれくらいの割合が遺伝によって説明できるかを推定しました。もし遺伝の割合が大きければ、同じ親の組み合わせ同士の個体はそうでない個体よりもよく似ている（ばらつきが小さくなる）はずですが、その結果、変態開始するまでの日数や体サイズは、おおよそ3～4割が遺伝によって説明できることが明らかになりました。

仔魚期間の長さが親から子に遺伝することが確認されたことにより、仔魚期間の短い個体を選抜して次世代を作ることを繰り返すことで、従来よりも短い飼育期間でシラスウナギに変態する系統を作ることが可能であると考えられます（図2）。現在、実際に選抜した次の世代で仔魚期間が短縮されるかどうかを確かめる実験を進めています。このような品種改良を進めていき、早くシラスウナギに育つ系統を作ることができれば、完全養殖ウナギの生産コストが下がり、実用的な価格で市場に流通することが期待されます。

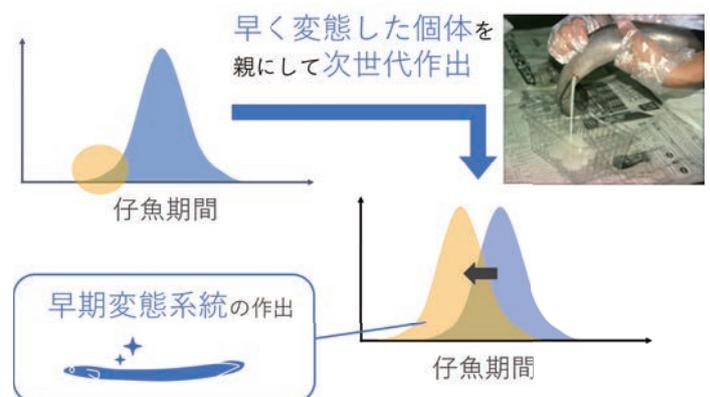


図2 仔魚期間の長さは、おおよそ3～4割が遺伝によって決まるため、選抜と交配を繰り返すことで徐々に短くすることができると考えられます。



## 2050年に完全養殖ウナギを食べられるのか —これまでの成果の普及とこれからの取り組み—

水産技術研究所 養殖部門長

山野 恵祐

私たちが食べている養殖ウナギは天然からシラスウナギ（ウナギの稚魚、体重は0.2g程度）を採集して、養殖場で食用となるサイズまで育てたものです。したがって養殖ウナギといっても、もともとは天然ウナギということになります。ニホンウナギの資源量は以前と比べて大きく減少し、年によっては養殖用のシラスウナギを十分に確保することができないこともあります。そのため、天然シラスウナギに頼らずに、生活史の全てを人為的に管理して養殖する完全養殖技術を利用したウナギ養殖業への転換が待ち望まれています。

農林水産省は、令和3年5月、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを目的とした「みどりの食料システム戦略」を公表しました。この戦略の目標のなかには「2050年までにニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比100%を実現する」ということが明記されています。随分先のこのように思うかもしれませんが、今のウナギ養殖における人工種苗比は0%であり、この目標の実現は容易ではありません。

ニホンウナギの人工種苗生産に関する研究開発は多くの人の努力によって一步一步進められてきました。1972年の人工ふ化の成功、1998年のウナギ仔魚が食べる餌の発見、2002年の世界初のシラスウナギの生産、2010年の完全養殖の達成といった経緯をたどり、現在では1カ所の研究施設において1万尾程度のシラスウナギを作ることができる技術レベルに到達しています。特に親魚を養成して受精卵を確保する技術は十分に産業利用が可能な段階に達しています。一方、受精卵からふ化した仔魚をシラスウナギまで育て上げる技術を社会実装するには、今よりも大量のシラスウナギをより安価に生産できるようにするための技術革新がまだまだ必要です。

ある程度の実用段階に達した親魚養成などの技術

については、積極的に公設水産試験場や民間企業へ技術移転を進めています。また、人工種苗を用いて民間養殖場での養殖試験も実施し、そこで育てられた人工ウナギの試食会なども行ってきました。今回の発表では、これまでの技術開発の歩みや社会実装のための取り組み、また、今後の展望についてご紹介します。



図1 養成した親魚から採卵し、育て上げたシラスウナギです。ふ化してからシラスウナギになるまでには半年から1年くらいかかります。



図2 人工シラスウナギを民間ウナギ養殖場で養殖試験を行いました。天然シラスウナギを育てた場合と同様に大きく育ち、蒲焼きの味にも違いはありませんでした。



神奈川県横浜市神奈川区新浦島町 1-1-25 テクノウエイブ 100 6階  
tel : 045-277-0136 e-mail : fra-pr@ml.affrc.go.jp

## 講演内容

1. ニホンウナギ大回遊の謎  
福田 野歩人 (水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 主任研究員)
2. ウナギ成熟誘導ホルモン等を利用した人為催熟・採卵技術の開発  
風藤 行紀 (水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部長)
3. ウナギ仔魚用飼料の開発  
古板 博文 (水産技術研究所 養殖部門 生理機能部 飼餌料グループ長)
4. ウナギの品種改良にむけて  
ーレプトセファルス期間の長さは遺伝するー  
野村 和晴 (水産技術研究所 養殖部門 シラスウナギ生産部基盤グループ長)
5. 2050年に完全養殖ウナギを食べられるのか  
ーこれまでの成果の普及とこれからの取り組みー  
山野 恵祐 (水産技術研究所 養殖部門長)
6. パネルディスカッション