

参考資料

【社会的なニーズ】

ニホンウナギは我が国の食文化を特徴付ける重要な水産生物であり、近年の国内養殖生産量はおよそ2万トン前後、海外からの輸入も含めると国内供給量は約5万トンに上ります。現在のウナギ養殖では、河口などで採捕した天然のシラスウナギを養殖用種苗として用いているため、種苗の確保や供給が不安定で、種苗価格はその年のシラスウナギの来遊量によって大きく変動します。さらに近年では、ニホンウナギは国際自然保護連合によって絶滅危惧種に指定され、ウナギの養殖業のみならず鰻業界全体の存続が危ぶまれるようになってきています。このような問題を根本的に解決する手段として、天然シラスウナギに依存しない人工シラスウナギによる完全養殖技術の確立とその商業的な実用化が切望されています。

【研究の背景】

水産研究・教育機構では、2010年、人工生産したシラスウナギを親魚にまで育てて人為的に成熟させて人工第二世代を作り出すこと（完全養殖）に成功しました。このことは、これまで不可能だった世代を重ねて集団の遺伝的な能力を改良すること、すなわち育種がニホンウナギで実施可能になったことを意味します。今後、積極的に育種を進めることで、現在よりも優れた特性を持つ品種を作出することが可能となり、養殖用種苗としての実用化を加速化することが期待されています。

一方、現在の飼育技術では、ふ化からシラスウナギになるまでの仔魚（レプトセファルス）期間の成長が天然に比べて遅く、シラスウナギへの変態までに要する期間は天然の2倍近く（平均250日程度）を要しています。もし、仔魚期の成長や変態までに要する期間に遺伝的な能力が関与しているとすれば、飼育技術の改良だけでなく、成長が早く変態までの期間が短い個体を選抜することによって仔魚期間の短縮が可能と考えられます。しかし、近縁種も含めて仔魚期の特性に関する遺伝学的な研究がなされた事例はなく、これらの形質¹⁾に関する遺伝機構については全くの未知でした。

【研究の内容・意義】

1. ニホンウナギの雄14尾と雌11尾を用いて、合計で114通りの組み合わせで交配を実施し、この交配に由来する746個体の子孫について、シラスウナギに変態を開始・完了するまでの日齢や体サイズなどの表現型²⁾を記録しました。
2. これらの個体について、DNAマーカー³⁾を用いて親子関係を調べ、血縁関係の情報と表現型の記録から、遺伝率⁴⁾や遺伝相関⁵⁾を調べました。
3. その結果、仔魚期間の長さ（変態開始時日齢）の遺伝率は0.41と推定されました。この値は、これまでに水産生物で選抜育種による遺伝的改良に成功している有用形質（体重や体長など）の遺伝率（0.1～0.4）と比較しても高い値です。このことから、仔魚期間の長さは、選抜育種による遺伝的改良が十分期待できる形質であることが明らかになりました。
4. 変態開始及び完了時の体サイズについても低～中程度の遺伝率（0.16～0.33）が認められ、変態開始時の日齢とは正の遺伝相関が認められました。このことから、単純に仔魚期間の短い個体を選抜した場合、シラスウナギの小型化が進行すると考えられました。これを回避するためには、選抜する際に、仔魚期間の長さや変態後のシラスウナギ体サイズの両方を考慮した指標を用いることが必要であることがわかりました。
5. 本研究を効率的に進めるためのツールとして、ニホンウナギのドラフトゲノム配列⁶⁾の高度化と遺伝連鎖地図⁷⁾の整備も行いました。これらのツールは、仔魚期間以外の形質についても、ゲノム情報を用いて優良な親魚を選抜するゲノム選抜法⁸⁾に活用されることが期

待されます。

【今後の展望】

水産研究・教育機構では、今回作出した大規模な交配に由来するニホンウナギ人工集団を用いて、仔魚期間を遺伝的に短縮した早期変態品種の育種を始めました。10～15年後を目処に、仔魚期間を20～40%短縮した早期変態品種の作出を目指す計画です。また、この過程では、仔魚期間が少しずつ短くなった仔魚が定期的に生産されます。これらの仔魚は、育種用として飼育・養成されるもの以外は、適宜、実験材料として提供されることになっており、様々な試験研究の短期化や効率化に貢献することが期待されています。

このように、従来からの取り組みである1) 安定採卵技術、2) 仔魚飼育技術、3) 飼料開発に加え、今後は新たに4) 育種を積極的に活用することにより、人工種苗生産技術の実用化が少しでも早く達成されることを期待しています。

【発表論文】

Nomura K, Fujiwara A, Iwasaki Y, Nishiki I, Matuura A, Ozaki A, Sudo R, Tanaka H (2018). Genetic parameters and quantitative trait loci analysis associated with body size and timing at metamorphosis into glass eels in captive-bred Japanese eels (*Anguilla japonica*). PLOS ONE. (ニホンウナギのシラスウナギへの変態期における体サイズ及び時期に関連する遺伝的パラメータと遺伝子座の推定)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201784>

【用語の解説】

1) 形質

広くは生物の持つ形態や生理学的・機能的な特徴のことを指す。遺伝学用語では、とくに表現型として次の世代に現れる性質のことを指す。遺伝形質ともいう。

2) 表現型

遺伝子の作用で現れる形態、構造、行動、生理的性質などの形質。

3) DNA マーカー

個体ごとに違い(多型)があるゲノム上の短いDNA配列。一塩基多型(SNP)やマイクロサテライトなど。配列の違いを目印として利用するためマーカーと称する。

4) 遺伝率

表現型にみられる変異のうち、どれだけが親から子へ遺伝する変異であるかを意味し、親の選抜により子の遺伝的な能力を改良する際の効率の尺度として用いられる。0から1までの値を取り、1に近いほど遺伝の影響が大きく、0に近いほど環境の影響が大きい。遺伝率が低い(0に近い)形質では、親の選抜で子の遺伝的能力が改良されにくい。

5) 遺伝相関

2つの形質間の相関の要因として、遺伝的要因と環境的要因がある。このうちの遺伝的要因による形質間の関連性を指す。-1から+1までの値を取り、+1に近い時はある形質に対する選抜の影響がもう一方の形質にも同じように及ぶ。-1に近い時は相反する応答となる。このようにある形質に対する選抜の影響が他の形質にどのように影響するかを知るうえで、遺伝相関は重要な情報となる。

6) ドラフトゲノム配列

生物を構成する基本的な染色体もしくは遺伝子全体のセットのことをゲノム(Genome)という。二倍体生物の体細胞には、両親から1組ずつ受け継いだ2組のゲノムが存在する。ゲノムの本体はDNAであり、このDNAの塩基配列を解読したものをゲノム配列と呼ぶ。しかし、ゲノムの

中には、解読の困難なDNA配列が多数あるために、ゲノム全体に渡って完全な塩基配列を得ることは極めて難しい。このため、ゲノム配列には未解読の領域や配列間の隙間が多く残っており、一般的にドラフト（下書き、概要の意味）ゲノム配列と呼ばれる。

7) 遺伝連鎖地図

同じ染色体上にある複数の変異が親から子へ一緒に遺伝する遺伝学的現象のことを連鎖という。染色体上のある部分で組換えが起こると連鎖しなくなる。近くにある DNA マーカーほど組換えが起こりにくく連鎖するため、多数の DNA マーカー間の連鎖状態から組換えの頻度を遺伝的な距離とみなし、この遺伝的距離をもとに各 DNA マーカーの染色体上の位置を図式化したものを遺伝連鎖地図という。ただし遺伝的な距離は物理的なマーカー間の距離を必ずしも反映せず、染色体上の場所や雌雄によっても異なる。

8) ゲノム選抜法

ゲノム中の多数の DNA マーカーの情報をもとに、育種の目標となる形質に対する遺伝的な能力を予測する方法のこと。長さや重さといった連続的な変異を持つ形質（量的形質）は、ゲノム中の複数の遺伝子の影響を受けることから、ゲノム中の特定の変異に注目せず、全ゲノムレベルの多数の DNA マーカーを用いることで予測精度を向上させる。

【予算元】

農研機構農研機構生物系特定産業技術研究支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業」のうち「水産物の国際競争に打ち勝つ横断的育種技術と新発想飼料の開発」（平成 28 年度～）