

マグロ類の新顔「スマ」の育種・完全養殖

試験研究計画名：新規マグロ類「スマ」の育種・完全養殖生産システムによる新産業創出と拡大

地域戦略名：新規マグロ類「スマ」の育種・完全養殖生産システムによる新産業創出と拡大

研究代表機関名：(国) 愛媛大学

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

愛媛県はマダイ養殖生産額が全国1位など、日本の魚類養殖基地としての役割を果たしています。しかし、近年の国民の魚離れなどにより養殖産業は苦境に立たされています。そんな中、マグロとサーモンの人気は衰えることがなく、回転寿司などの人気メニューのトップを争っています。現在、マグロ類の中で養殖されているのはクロマグロとミナミマグロの2種であり、日本国内ではクロマグロだけです。クロマグロは極めて大型で、養殖するには多額の設備投資が必要となり、中小の養殖企業が容易に参入できる産業ではありません。そこで、私たちの研究グループはクロマグロにひけをとらない美味しい魚で、しかも養殖がクロマグロよりも容易な魚である「スマ」を探し出し、世界の潮流である「完全養殖」による産業創出を目指しました。これまでに、「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業（実用技術開発ステージ）」【南予地域発】新規マグロ類「スマ」の早期種苗完全養殖システムの構築】によってスマ完全養殖基盤技術を開発しました。愛媛県産養殖魚のファミリー・ブランド「愛育フィッシュ」の新顔「伊予の媛貴海（ヒメタカミ）」としてブランド名を得て（愛媛県商標登録済）、産学官一体で積極的なPRを展開しています。今回は地域戦略として、1) 種苗の大量生産と、2) 育種-完全養殖によるスマの性能向上を掲げ、本格的産業化を目指す取り組みの強化を図りました。

技術体系の紹介：

スマは愛媛県産養殖魚の地域間競争及び国際競争において、優位性を確保するための戦略的魚種となり得る魚です。スマ養殖の成否に直結する最大の課題は、天然種苗以上の性能を有する種苗を作るかどうかにあります。そのため、先の「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」では、スマの早期種苗生産を成功させ、愛媛の通常産卵期の種苗に比べて2倍の速さで出荷サイズに達することを示し、さらに育種を可能とする完全養殖を実現しました。産業創出と拡大に向けて次の目標は、①大量に種苗を作ることと、②種苗の性能を高めることで、本事業ではその2点に取り組みました（図1）。

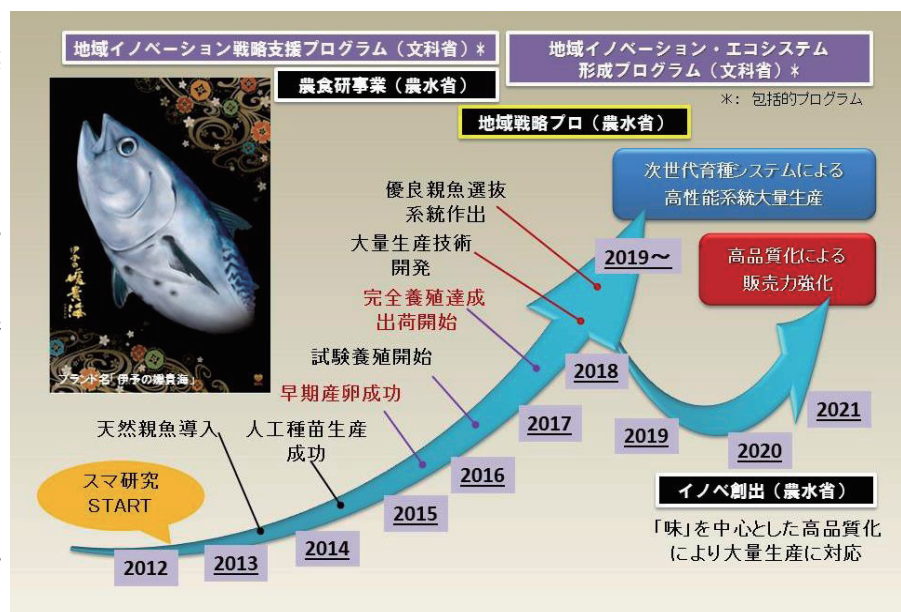


図1 スマ養殖について開発完了および開発中の技術体系

第一目標： 大量種苗生産を可能にする技術の構築

事業開始時の技術では、愛媛県水産研究センターにおいて最大 1-2 万尾の種苗生産が限界でした。制限要因はスマ仔魚に与える他魚種の孵化仔魚の供給量にあります。仔魚の利用量を減らす技術や孵化仔魚に代わる餌を開発する必要があります。愛媛県が公表した 2022 年の種苗生産計画は 8 万尾、生産額は 5 億円 / 年以上ですので、現行の 5 倍の種苗生産を可能とする技術開発を目標としました。

第二目標： 戦略的親魚選抜による「優良種苗」の作出

2016 年度に生産に成功した早期種苗の試験養殖において、天然由来の性質を残す種苗の成長はまちまちで、製品としてのばらつきが大きいことが明らかになりました。しかし、上位のものでは孵化後 7 ヶ月時点で体重 2.9kg に達し、1 年半経過時に 4.6kg に到達する高成長を見せるものが出現しました。そのため、商業的養殖に向け、高成長を示す優良な親魚を選抜し、成長差の少ない品質の高い種苗を生産すること、その他に低水温耐性などの優良形質の選抜技術の開発を第二の目標としました。

1. 早期種苗大量生産技術の開発

スマの種苗生産では、孵化後 2-10 日までシオミズツボウムシ、8-15 日は他種の孵化仔魚を与えます。スマの種苗生産に合わせて他魚種の孵化仔魚を大量に準備するには、多数の親魚を周年管理し、大型の水槽を必要とすることからコストや手間が莫大で、大量種苗生産のブレーキとなっています。そのため、孵化仔魚の餌利用を低減する技術は鍵となり、将来の 0% 使用を目指し、段階的低減を進めています。ここでは、極めて成長速度の早いスマ稚魚に合わせて、餌となる他魚種の稚魚を並行して大きくし、口に入る最適サイズの餌を与えることで孵化仔魚使用低減を図りました。

図 2 では、スマが食べることができるイサキの稚魚の

サイズを知るために、日齢ごとのスマの口径の変化とイサキの体高の変化を比べたグラフです。11 日齢のスマ（全長 11.0mm）は同じく 11 日齢のイサキ稚魚を呑み込むことが可能で、その時のイサキのサイズは全長 10.0mm でした。同様に調べるとマダイでは全長 7.3mm であり、それぞれ孵化直後の仔魚を使った場合の 82.2 尾分と 19.0 尾分の重量に相当します。2018 年のスマ種苗量産では、こうした稚魚を使って、1 尾のスマ種苗に与えた仔魚数を従来の 7,000 尾から 3,500 尾へと半減させることに成功しました。現在の施設、人員では 4 万尾のスマ種苗生産に必要なマダイ等の孵化仔魚供給が限界で、2022 年の 8 万尾生産には、餌用孵化仔魚の利用半減は必須であり、更なる低減技術の開発を目指しています。

また、実証規模の大量種苗生産を実現するために飼育条件を最適化する取り組みでは、仔稚魚期の最適な飼育密度を探索しました。0.5 トン水槽を使って、収容卵数を 1,000 粒と 5,000 粒で比較したところ、たくさん入れても取り上げ尾数は変わらず、1t あたり 1,000 粒程度が最適であることを明らかにしました（表 1）。この試験は繰り返し行い、同様の結果が得られたことから、大型水槽で量産する際もこの収容密度としており、良好な成績が得られています。

スマの稚魚は成長に伴って共食いや攻撃性が出てきます。顕著になるのは平均全長が 2.5cm を超える頃からで、大型個体が小型のものを捕食したり攻撃したりします。そこで、その平均サイズに達する孵化後 20 日前後でスリットを用いて

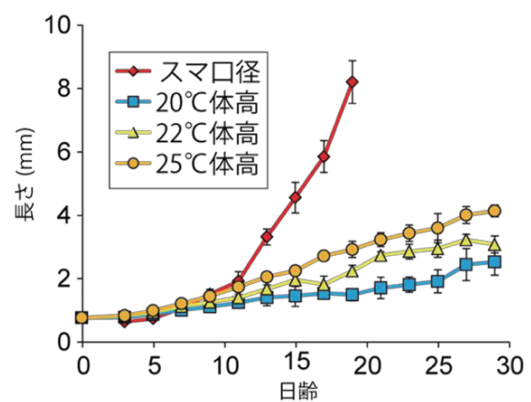
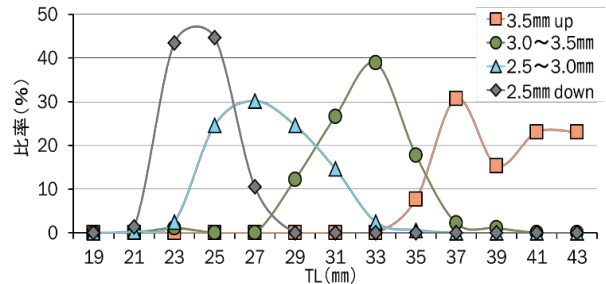
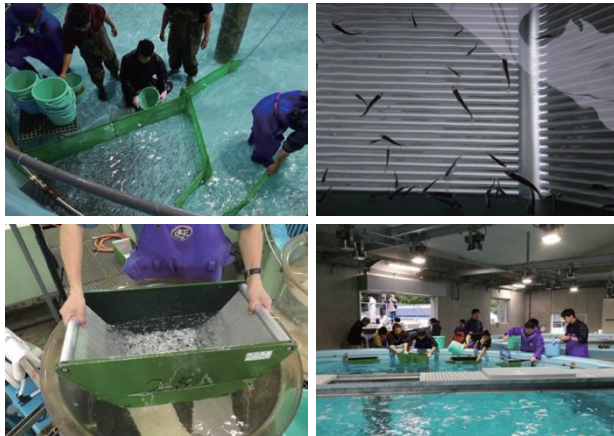


図 2 スマの口径とイサキの体高の推移

表 1 受精卵収容密度と生残率の比較

水槽 No.	収容卵数 (粒)	取揚げ (日齢)	取揚げ尾数 (尾)	取揚げ全長 (mm)	生残率 (%)
①	1,000	18	91	39.6	9.1
②			88	39.0	8.8
③	5,000	16	161	31.8	16.1
④			165	27.8	3.3

サイズ選別を実施することで、共食いや攻撃を減らせないか検討しました。従来、マグロ類はスレに弱く、スリット選別は行われていませんでしたが、スマはこの作業による減耗はごく僅かでした（図3左）。適切なスリットサイズを選び、稚魚を大中小3群程度に分けて飼育を継続することで（図3右上）、量産規模で従来の生残率10%程度から20%を超える技術へと改善しました（図3右下）。



水槽 100t	孵化仔魚数 (尾)	取揚 (日齢)	取揚尾数 (尾)	生残率 (%)
	145,000	16	35,005	24.1

図3 スリットを用いたスマ稚魚のサイズ選別作業（左）と選別されたスマの体長（右上）、およびスリット選別を導入した種苗量産試験での結果（右下）

2. 戦略的親魚選抜による「優良種苗」の作出

マグロ類はハンドリングに極端に弱く、生きたまま多数の体計測をするのは難しいとされてきました。ブリであれば、麻酔を行い3分程度かけて体計測作業を行っても、魚が死ぬことはありませんが、スマの場合は2分かかると死に至ることが頻繁に起こります。麻酔時のストレスや酸素欠乏に陥ることが原因と考えられます。そこで、スマでは麻酔を用いず、釣獲してから体計測し、磁気タグによる個体識別を行って、1分以内に別の生簀に戻すことで、98%以上の生残率での親魚候補選抜を可能にしました（知財化を検討中）。現在ではこの作業を3回行い個体毎の成長を追跡して高成長な親魚を選んでいきます。育種には長い期間が必要ですが、高成長選抜の結果、平均体重で親世代より約10%早く成長することが既にわかってきています（図4）。冬季14℃を下回ると死亡が見られるスマでは、低水温耐性が養殖海域拡大に欠かせません。低水温(13℃)耐性選抜試験を行い、それを親魚候補として育種を継続し、第二世代を飼育しています。また、親魚および孵化仔魚のマイクロサテライトDNAマーカーにおける遺伝子型を検出し、親子鑑定を可能にしました。この技術は優良家系の管理と近交の防除に配慮したスマ家系管理システムの構築につながります。

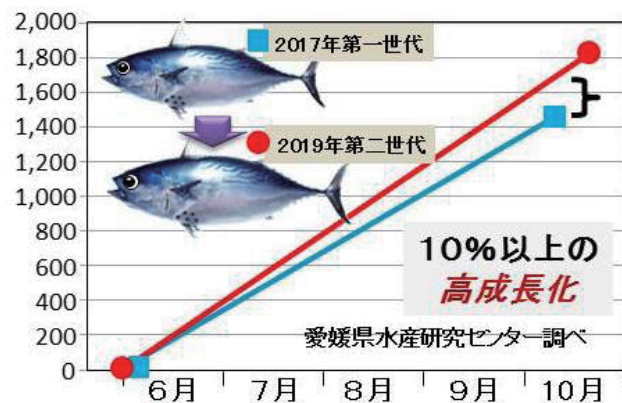


図4 スマ種苗の成長の2世代比較

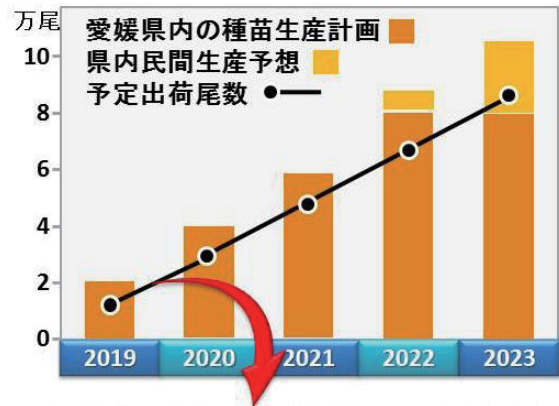
技術体系の経済性は：

経営改善効果

愛媛県は本邦屈指の養殖基地ですが、魚価の低迷、養殖漁場の環境変化、赤潮被害など、養殖産業を取り巻く状況は厳しいのが現状です。そのため、商業的競争力の高い新養殖対象種を導入してリスク分散する方策は有効です。スマの完全養殖は大規模な設備投資を必要としないため、中小経営体でも参加できるマグロ類養殖の道を拓きます。本事業で取り組んだ優良種苗の大量生産により、安定して儲けの出る養殖産業へと進化し続けることが期待できます。今は種苗供給数が少なく、養殖に係る経費を正確に算出できていませんが、クロマグロと比較すると少額であることがわかってきています（表2）。育種効果により生残率や成長は年々向上していることから、今後更なる向上が見込めます。

表2 スマとクロマグロの養殖にかかる経費の比較

設備	出荷までの飼育期間	必要人員
スマ ≪ クロ	スマ ≪ クロ	スマ < クロ
種苗代	製品 1kg に要する餌代	製品 1kg に要する経
スマ ≪ クロ	スマ ≒ クロ	スマ < クロ



商品価値の高いスマによる完全養殖産業拡大開始

図5 スマの種苗生産計画

経済的な波及効果

愛媛県では県産スマについて「愛育フィッシュ」というファミリー・ブランドに組み込み、品質の高いものについては「伊予の媛貴海」というブランド名をつけて、南予地域の養殖産業の強化実現の戦略的新商品として地位確立を進めています。本事業により、早期種苗大量生産技術は着実に開発が進み、愛媛県は2022年度（令和4年度）に8万尾の種苗を生産する予定を公表しています（図5）。今後さらなる増産も見込めることから養殖参画企業を増やすことが今後の焦点です。本事業で開始した育種の成果による高成長や低温耐性系統の作出により、1年未満出荷や養殖可能海域の拡大を通して生産量増加への道が拓けてきています。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

地域戦略では愛媛県内の養殖産業の体力強化と高品質スマの国内供給及び輸出を目指し、その強化策が進められています。そのため県内参加企業の優位性を保ちつつ、国内養殖適地での拡大へと展開が図られます。

技術導入にあたっての留意点：

スマは南方域に生息する魚であり、冬期水温により養殖適地が限られます。低水温耐性が遺伝性をもつことが判明し、低水温耐性選抜を進めていますが、まだ優良な系統作出には時間を要します。

研究担当機関名：(国) 愛媛大学、愛媛県水産研究センター、(研) 水産研究・教育機構、(国) 鹿児島大学

お問い合わせは：(国) 愛媛大学南予水産研究センター

電話 895-73-7112 E-mail matsu@agr.ehime-u.ac.jp

執筆分担 ((国) 愛媛大学 松原孝博、後藤理恵、愛媛県水産研究センター 中島兼太郎、眞鍋諒太郎)