

## 委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

<b>研究課題名</b>	現場ニーズ対応型研究のうちクロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発の開発	<b>担当開発官等名</b>	研究開発官(基礎・基盤、環境)室
		<b>連携する行政部局</b>	水産庁増殖推進部研究指導課 水産庁増殖推進部栽培養殖課
<b>研究期間</b>	H30～R4（5年間）	<b>総事業費（億円）</b>	3.7億円（見込）
<b>研究開発の段階</b>	<b>基礎</b>	<b>応用</b>	<b>開発</b>
			

### 研究課題の概要

現行のクロマグロ人工種苗では採卵の時期が初夏に限定されているため、稚魚のサイズが小さいまま冬季を迎えることにより稚魚の生残率が低い。このことが生産コストを高め、人工種苗（※1）の普及の障害になっている。また、安全な養殖生産物を安定供給するためには漁場環境への配慮が必要であるが、大量の餌を必要とするクロマグロ養殖の環境負荷対策は十分とはいえない。漁場環境や天然資源への負担が少ないクロマグロ養殖を確立するため、クロマグロの成熟・産卵を人工的に制御した早期採卵・人工種苗育成技術を開発することによりクロマグロ養殖用の人工種苗の供給を拡大させるとともに、給餌量管理及び魚病対策により環境負荷の少ない養殖技術を開発し、令和8年度を目途に天然種苗由来クロマグロの30%以上相当分を人工種苗由来にすることを目指す。

#### 1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ・天然種苗と同等の大きさの人工種苗の作出と、その人工種苗が1歳魚に至るまでの冬季の生存率（30～40%）を2倍に向上。
- ・疾病対策及び環境負荷低減対策により生産コストの10%削減。

#### 2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R8年）

令和8年度を目処に商業生産として天然種苗由来クロマグロの30%以上相当分を人工種苗由来にする。

### 【項目別評価】

#### 1. 研究成果の意義

**ランク：A**

- ・日本周辺を中心に北太平洋に広く分布しているクロマグロの近年の資源状態は歴史的最低水準にある。こうした状況に基づき、地域漁業管理機関である中西部太平洋まぐろ類委員会（WCPFC）での国際合意のもと、我が国ではクロマグロの漁獲量半減措置を実施し管理を強化している。この厳しい資源管理により、近年本種の資源量に回復基調が認められたとして、令和3年12月に開催されたWCPFC年次会合において大型魚の漁獲量増枠は合意されたものの、30kg未満の小型魚については半減措置が継続されており、引き続き資源管理に予断を許さない状況にある。
  - ・今後、クロマグロの資源量を適正に管理していくためには、養殖種苗等に用いられる小型魚の漁獲を抑制する必要があるが、令和元年における養殖出荷量では、天然種苗由来が17,389トンに対して人工種苗由来が2,199トンであり、未だ本種の養殖は天然種苗に大きく依存(89%)している状況である。
  - ・また国際的には、MELジャパン、MSC・ASC認証（※2）などの規格に沿った安全・安心かつ持続可能性に配慮した水産物への社会的需要が高まりつつある。その需要を満たすには、健全な漁場及び資源管理を推進することが必要であり、給餌量管理、魚病対策など環境に配慮した持続的な養殖技術を開発することが必要である。
  - ・農林水産省は、令和3年に策定した「みどりの食料システム戦略」の中で、天然資源に負荷をかけない持続的な養殖システムの構築に向けて2050年までに本種養殖の人工種苗使用比率を100%にする目標を掲げている。
- このようなことから、我が国の水産業の発展及び国民の食生活のニーズの観点から本研究の重要性は高い。

**①最終の到達目標に対する達成度**

本研究課題の最終到達目標として、「天然種苗と同等の大きさの人工種苗の作出と、その養殖用原魚が1歳魚に至るまでの冬季の生残率（30～40%）を2倍に向上」（小課題1）及び「環境負荷低減対策及び疾病対策により生産コストの10%削減」（小課題2及び3）を目指しており、令和3年度までに以下の具体的成果が得られている。

（小課題1：クロマグロにおける早期人工種苗供給システムの開発）

水温と日照を人工的に制御した新たな飼育環境プログラムのもとクロマグロ親魚を育成することで、目標である早期（4月）の産卵誘導に成功した。また、早期受精卵より生産した人工種苗を従来よりも2ヶ月早い5～6月に養殖海面（※3）、すなわち従来よりも低い水温環境下で飼育できることを実験水槽及び海面生簀を用いた飼育実験により明らかにした。さらに、早期人工種苗が冬季までに天然種苗と同程度である体重2kgまで成長し、1歳魚に至るまでの冬季の生存率が2倍（87%）に向上することを確認した。一方で、飼育環境プログラムを改良することで、早期産卵誘導に必要な約1年間の環境制御をわずか約3ヶ月間に短縮できる新たな方法を見出し、早期産卵誘導の大幅な低コスト化に成功した。

（小課題2：低環境負荷型クロマグロ給餌手法の開発）

クロマグロ稚魚における配合飼料の胃内滞留時間や消化酵素の分泌動態等を解明するとともに、その基礎情報をふまえて設定した異なる給餌頻度がクロマグロ稚魚の成長や生残に及ぼす影響を調査することで、稚魚期の最適給餌頻度を明らかにした。また、画像データより給餌開始直後から終了までの稚魚の遊泳行動を数値化し、リアルタイムで出力できる行動評価システムを開発し、給餌終了の判断を支援する給餌支援システムを開発した。最適給餌頻度に基づく給餌開始のタイミングと行動評価に基づく給餌終了のタイミングを組み合わせた自動給餌システムを構築し、陸上水槽における飼育期間中に、その有効性を調査した。その結果、従来の人による手撒き給餌と比較して、自動給餌システムを使用した場合では同等の生残及び成長を示した一方、試験期間中の給餌量を約3割、餌料費や人件費を含めた生産コストを約6割削減できることが明らかになった。クロマグロ稚魚は成長に伴って陸上水槽から海面生簀に移行して飼育を継続することから、養殖海面でも遊泳行動を指標化できるシステムへの改良を行い、予備検討において改良した自動給餌システムが正常に稼働することを確認した。

（小課題3：クロマグロの種苗期に発生する疾病の防除手法の開発）

疾病対策については、クロマグロのレンサ球菌及びイリドウイルス（※4）の感染試験手法を開発し、他魚種用に市販されているワクチン等のクロマグロ稚魚に対する効果を検証した。その結果、レンサ球菌については市販ワクチンが有効であること、イリドウイルスについては市販ワクチンの有効性は認められなかったものの、改良したワクチンでは有効性が認められることを明らかにした。

住血吸虫（※5）対策については、魚体内に寄生した虫体の卵が鰓血管を閉塞することにより宿主の死亡を引き起こすため、国内で特に多くの魚病被害をもたらしている*Cardicola orientalis*及び*C. opisthorchis*（※5）における魚体侵入から成熟・産卵までの期間等の生態的特性を解明し、それに基づいて最適な投薬間隔を明らかにした。また、生簀周辺のロープ等の清掃により住血吸虫の中間宿主（ゴカイ等）を駆除することによる駆虫剤に頼らない新たな寄生予防法を確立した。

以上のように、研究は順調に進捗しており、成果が得られている。

**②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠**

開発した環境制御プログラムにより目標とする早期（4月）の産卵誘導に複数年にわたって成功しており、得られた早期種苗を使用することで冬季の生残率を従来的人工種苗の2倍に向上できることを明らかにした。また、飼育環境プログラムの改良による早期産卵の低コスト化に成功し、想定以上の成果が得られている。既に最終の到達目標である「人工種苗が1歳魚に至るまでの冬季の生存率（30～40%）を2倍に向上」を達成しており、引き続き最終年度には低コスト化に向けた飼育環境プログラムの

最適化に取り組む。

また、開発した自動給餌システムを用いることで、陸上飼育期間中の生産コストを従来の人による手撒き給餌と比較して大幅に低減できることを明らかにし、本システムの海面生簀での応用に向けても良好な結果が得られつつある。最終年度には、本システムの海面生簀での性能評価試験を実施し、冬季までの飼育期間を通じての生産コストの削減効果を試算する。さらに、市販ワクチン及び改良型ワクチンの有効性を確認し、寄生虫の効果的な駆除方法を既に確立している。以上のことから、最終到達目標である「生産コスト10%削減」は達成可能と考えられる。

**3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性と  
その実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**

**ランク：A**

- ・令和元年における養殖出荷量では天然種苗由来が17,389トンに対して、人工種苗由来が2,199トンと天然種苗に大きく依存（89%）しているが、養殖当初の活け込み（※6）尾数は天然種苗と人工種苗ではほぼ同じである。開発した技術を用いて1歳魚に至るまでの冬季の生存率（現在30～40%）を2倍に向上させれば、1歳魚までの人工種苗の割合を最大40%程度まで向上させることができ、天然種苗由来クロマグロの30%相当分を人工種苗由来にするとしたアウトカム目標の達成は可能である。
- ・社会実装を速やかに進めるために、得られた早期卵を利用した民間養殖業者による実環境下での出荷魚までの育成を行う取組を研究計画に追加し、令和3年度から協力機関である民間養殖業者に配布を開始した。また、研究成果については、学会発表、論文等の学術活動のアウトリーチ活動によって、当該成果の広報や普及活動に努めている。特に、平成30年11月に全国クロマグロ養殖連絡協議会傘下に技術部会を発足させ、公設試験研究機関、民間養殖業者、流通業者等のステークホルダーに対して、技術シーズを始め、最新の技術や基盤技術の動向等を紹介することで、産官学連携下での情報・意見交換やニーズの汲み上げを積極的に推進している。これらの取組は、本成果の利用拡大と定着化を促進し、社会実装を加速化するうえで極めて重要であり、いずれも妥当である。
- ・摂餌特性に応じた至適給餌方法の開発より得られた知見や技術は、養殖産業の成長産業化に必須であるAIやRPA（※7）による養殖管理システムのスマート化を効率的に推進していくうえで大きく貢献する。
- ・魚病対策については、前述の学術活動のほかマニュアルを作成し普及に努めるとともに、有効性が認められたワクチンについては、得られた成果を基礎データとして製薬会社に提供し、速やかな承認申請及び市販化を目指す。

**4. 研究推進方法の妥当性**

**ランク：A**

- ・当初の研究目標に対して、予定していた研究推進方法に沿って研究を行うとともに、以下のような検討・見直しを行って多くの成果を得ることができたことから、研究推進方法は妥当である。
- ・最終目標の達成に向けて、外部専門家及び関係する行政部局で構成される運営委員会、研究コンソーシアムが自主的に開催する研究推進会議並びに小課題毎の研究打ち合わせ等で、研究内容や進捗状況を確認し、適切に年度計画や実施体制の見直しを行った。特に、至適給餌方法の開発における稚魚の遊泳行動の指標化においては、新たに群れの強度に着目した行動評価システムを取り入れることとし、研究チームの構成を見直した。
- ・社会実装を速やかに進めるため、生産者や県の公設試験場を含む協力機関を対象とした打ち合わせを年1回開催し、研究成果の普及に向けた意見交換を行った。加えて、得られた早期卵を利用した民間養殖業者による実環境下での出荷魚までの育成を行う取組を追加し、改良型ワクチンについては、その承認申請を速やかに進めるため製薬会社を協力機関として参画頂くよう進めている。
- ・研究成果の普及・実証に直結する早期人工種苗供給システムの開発や種苗期に発生する疾病の防除手法の開発には重点的に予算を配分した。その他、課題の推進に必要な予算を精査することで、成果の最大化を図るための予算配分を行った。

**【総括評価】**

**ランク：A**

**1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見**

- ・貴重な水産資源であるクロマグロの安定生産を目指した重要な研究課題であり、早期人工種苗供給システム、低環境負荷型給餌方法の開発、疾病の防除手法の開発のすべての課題において当初の目標に対して具体的な成果を上げている。
- ・普及に向けて様々なステークホルダーのニーズを踏まえた活動も積極的に実施し、報道件数なども

非常に顕著であり、アウトカム目標達成の道筋も非常に明確で大変すばらしい成果である。

## **2. 今後検討を要する事項に関する所見**

- ・特許の取得や研究成果の論文化を通じて、技術の権利化を確実に進めるための取組をさらに推進していただきたい。
- ・民間への技術移転が確実に実施されるよう、マニュアル作成等の取組もしっかり進めていただきたい。

[研究課題名] 現場ニーズ対応型研究のうちクロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
人工種苗	魚類養殖における種苗とは、養殖に用いる稚魚や幼魚のこと。人工種苗とは、自然水域で採捕した天然種苗とは異なり、水槽・生け簀等の人工的に隔離された環境下において繁殖させたり、人工授精したりすることによって生まれた種苗のこと。	1
MELジャパン、MSC・ASC認証	生態系や資源の持続性に配慮して漁獲された水産物であることを認証する機関。国内の水産関係団体によるMELジャパン（マリン・エコラベル・ジャパン）や国際機関MSC（海洋管理協議会）がある。また、天然ではなく養殖による水産物を認証する機関としてASC（水産養殖管理協議会）がある。	2
養殖海面	養殖を行っている海面のこと。	3
レンサ球菌及びイリドウイルス	クロマグロの代表的な疾病を引き起こす病原体。 レンサ球菌に感染すると、心外膜炎や尾柄部の壊死、眼球の突出や白濁などの症状が現れる。 イリドウイルスに感染すると、運動が不活発となり、極度の貧血症状、鰓の点状出血、脾臓の肥大などが現れる。	4
住血吸虫	寄生虫の一種。成虫は心臓や血管に寄生し、虫卵が鰓血管に蓄積することで血流を阻害して宿主は酸欠で死亡する。国内では3種類の住血吸虫（ <i>C. orientalis</i> 、 <i>C. opisthorchis</i> 、 <i>C. forsteri</i> ）が報告されている。	5
活け込み	養殖生け簀に種苗を移し入れること。	7
RPA	ロボティック・プロセス・オートメーション。事業プロセスの自動化技術の一種で、ソフトウェアロボットのこと。	8

⑬ クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための  
早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

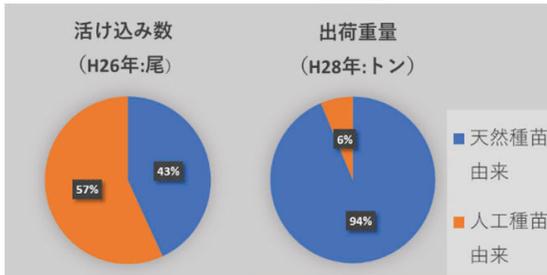
- クロマグロ養殖は、天然資源の保全に配慮した安定的な生産のため、天然種苗から人工種苗への転換が求められている。しかしながら、人工種苗の産卵時期は天然種苗に比べて遅いため、冬季における幼魚サイズが小さく、生残率や生産性が低いことから、養殖現場における転換が進んでいない状況。
- そこで、**クロマグロ人工種苗の採卵を天然種苗と同等の時期に行うための早期採卵・人工種苗育成技術、クロマグロの摂餌行動に基づく給餌量管理や魚病対策など環境に配慮した養殖技術を開発**する。
- これらの技術を用いて、天然種苗への依存度を低減し、競争力の高いクロマグロ養殖を実現する。

生産現場の課題

- ・人工種苗は、天然種苗に比べて産卵の時期が遅いためサイズが小さい。
- ・冬季の生残率や成長が悪く、生産性が低い。



<イメージ>

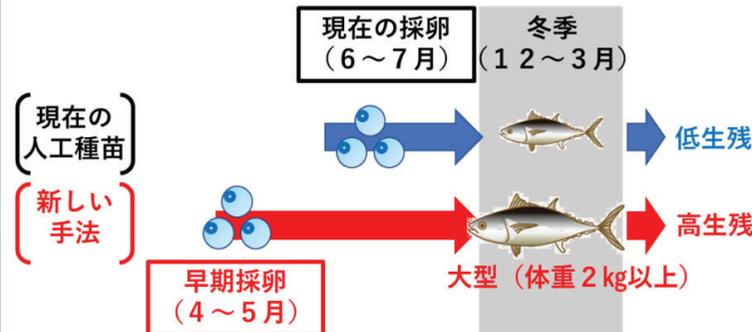


クロマグロ養殖実績  
(活け込みから出荷まで2年と仮定)

生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・天然種苗と遜色のない人工種苗として、低コストで高生残な早期採卵・人工種苗育成技術の開発。
- ・適切な資源管理に基づいた養殖クロマグロブランド創出に向けた給餌量管理や魚病対策など環境に配慮した養殖技術の開発。

<イメージ>



社会実装の進め方と  
期待される効果

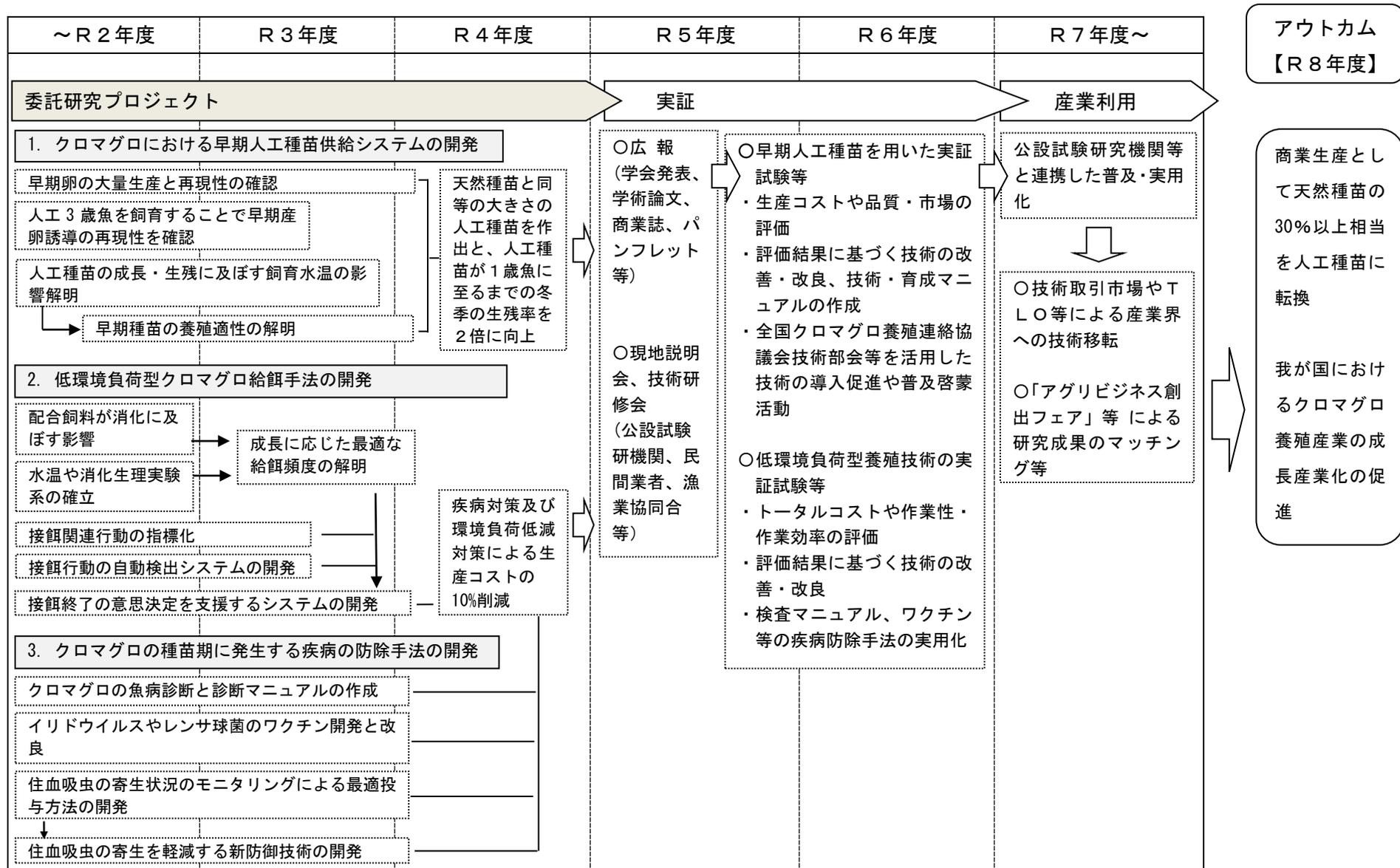
全国クロマグロ養殖連絡協議会等を利用して養殖生産者等と技術に関する意見交換、普及方策を検討の上、公設試験研究機関等と連携して普及・実用化を推進。

- ・人工種苗の冬季の生残率を2倍に向上、生産コストを10%削減。
- ・天然種苗への依存度が低減し、競争力の高いクロマグロ養殖が実現。



【ロードマップのイメージ（終了時評価段階）】

クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発



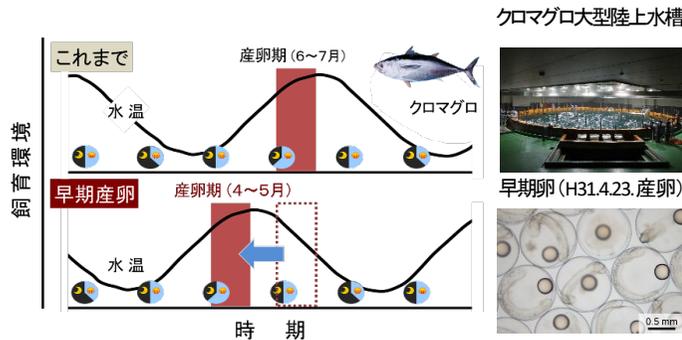
# クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

## 研究概要

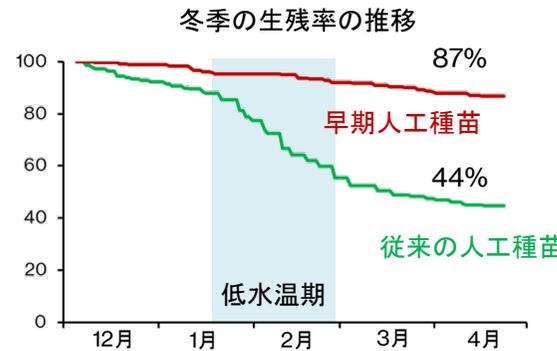
クロマグロ養殖における人工種苗の生産性向上と転換促進のために、従来よりも2ヶ月早い時期(4~5月)にクロマグロの産卵を誘導し、天然種苗と同等の大きさの人工種苗を作出するとともに、その養殖用原魚が1歳魚に至るまでの冬季の生残率(30~40%)を2倍に向上させる。また、環境負荷低減対策及び疾病対策によって、その生産コストを10%削減させる。

## 主要成果

### 早期人工種苗供給システムの開発



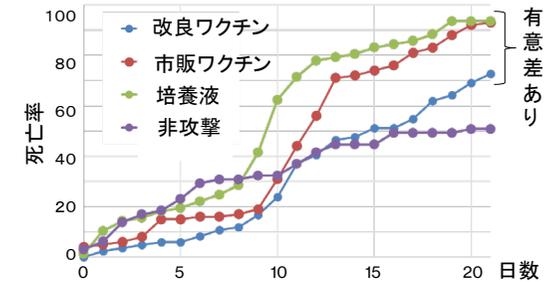
✓ 水温と日照を人工的に制御した飼育環境プログラムで親魚を育成することで、早期(4月)の産卵誘導に成功



✓ 早期人工種苗は天然種苗と同等の大きさまで成長  
✓ 従来の人工種苗と比較して、冬季の生残率が2倍

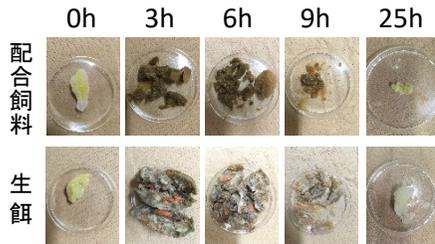
### 種苗期に発生する疾病の防除手法の開発

#### 改良イリドウイルスワクチンの有効性試験

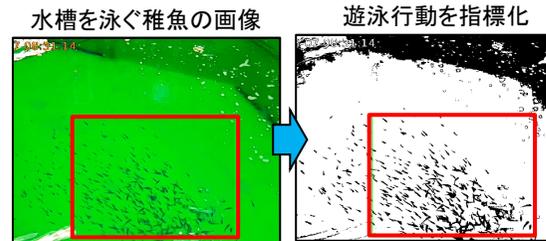


✓ 市販レンサ球菌ワクチン及びイリドウイルス改良型ワクチンの有効性を確認

### 低環境負荷型給餌手法の開発

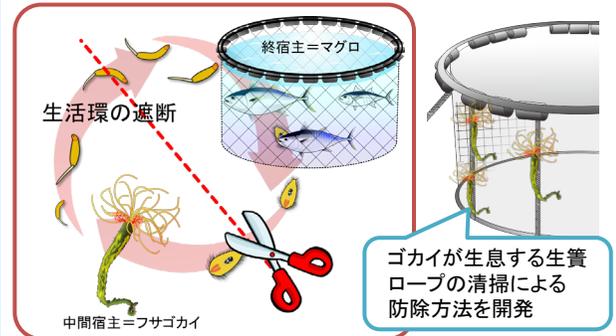
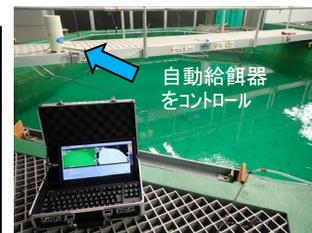


✓ 配合飼料の消化吸収特性に基づき、稚魚期の最適給餌頻度を解明



✓ 給餌開始から終了までの稚魚の遊泳行動を定量的に検出  
✓ 自動給餌システムを構築し、餌料費・人件費を含む生産コストを大幅削減

#### 自動給餌システム



✓ 虫体の生態的特性に基づく最適な投薬法を開発  
✓ ロープ等の清掃による駆虫剤に頼らない防除方法を開発

## 成果の社会実装に向けた方針

○ 早期卵の配布による早期人工種苗の普及、低環境負荷を実現する自動給餌システム及び疾病防除に有効な改良型ワクチンの市販化に向けた実証試験を推進し、クロマグロ養殖における人工種苗への転換促進を加速化させる。