

戦略的プロジェクト研究推進事業

「持続可能な養殖・漁業生産技術の開発」  
クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発

平成28年度 最終年度報告書

中課題番号	11105380
中課題名	クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発

研究実施期間	平成24年度～平成28年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構
研究開発責任者	岡 雅一
研究開発責任者 連絡先	TEL : 0848-73-5020
	FAX : 0848-73-5340
	E-mail : moka@affrc.go.jp
共同研究機関	国立大学法人 鹿児島大学 水産学部
	学校法人 近畿大学 水産研究所、水産養殖種苗センター、農学部
	長崎県総合水産試験場 種苗量産技術開発センター
	林兼産業株式会社
普及・実用化 支援組織	長崎県総合水産試験場 種苗量産技術開発センター
農林水産省内 本事業担当	農林水産技術会議事務局研究開発官（基礎・基盤、環境）室 代表：03-3502-8111（内線5870）

## クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発

2017年3月



<p>B-2-2 健全種苗の生産に向けた飼餌料の開発と減耗防除技術の開発</p>	<p>仔稚魚の消化生理の把握</p> <p>←→</p> <p>種苗生産後期のミンチに代わる配合飼料の開発</p> <p>←→</p> <p>種苗生産中期のふ化仔魚に代わる配合飼料の有効性の検討</p> <p>←→</p> <p>種苗生産中期から後期の減耗防除技術の開発</p> <p>←→</p>	<p>水産研究・教育機構</p> <p>鹿児島大学 林兼産業 長崎県総合水産試験場</p>	<p>増養殖研究所 飼餌料グループ 西海区水産研究所 種苗量産グループ 水族栄養学研究室 技術開発課 種苗量産技術開発センター魚類科</p>
<p>3. クロマグロ養殖場における池入れ後の生残率の向上</p> <p>B-3-1 育成過程における減耗防除技術の開発</p>	<p>沖出し直後の死亡原因の解明</p> <p>←→</p> <p>生残率に及ぼす生簀網の深さの影響</p> <p>←→</p> <p>適正収容密度の把握</p> <p>←→</p> <p>効率の良い沖出し方法の開発</p> <p>←→</p> <p>稚魚選別、計数方法の開発</p> <p>←→</p> <p>衝突防除効果の高い飼育生簀の開発（夜間照明、側面模様）</p> <p>←→</p>	<p>近畿大学</p>	<p>農学部水産学科 水産研究所 水産養殖種苗センター</p>

I - 2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	◎ 岡 雅一
1. 陸上水槽を用いたクロマグロの採卵技術の開発	西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	○ 岡 雅一
B-1-1 陸上水槽における親魚養成基盤技術および環境制御による成熟・産卵誘導技術の開発	西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	△ 岡 雅一 虫明 敬一 (～2015.3) 玄 浩一郎 高志 利宣 樋口 健太郎 澤口 小有美 相馬 智史 (2016.4～) 門田 立 (2013.4～2014.3) 鈴木 絢子 (2014.5～) 辻田 明子 (2014.5～) 小西 淳平 (2014.5～) 伊奈 佳晃 (2015.4～) 塩澤 聡 二階堂 英城 (～2014.3) 森岡 泰三 (2014.4～) 久門 一紀 田中 庸介 (～2015.3) 西 明文 (～2014.3) 橋本 博 (2014.4～) 江場 岳史 樋口 理人 (2013.4～2015.3) 外山 義典 (2015.4～) 風籐 行紀 (2013.4～) 馬久地みゆき (2013.4～) 安池 元重 (2013.4～)
B-1-2 閉鎖循環システムを用いた飼育水の維持管理技術の開発	増養殖研究所 中央水産研究所	養殖技術部 水産遺伝子解析センター	
	西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	△ 高志利宣 虫明 敬一 (～2015.3) 岡 雅一 玄 浩一郎 樋口 健太郎 澤口 小有美 相馬 智史 (2016.4～) 門田 立 (2013.4～2014.3) 鈴木 絢子 (2014.5～) 辻田 明子 (2014.5～) 小西 淳平 (2014.5～) 伊奈 佳晃 (2015.4～) 江場 岳史 外山 義典 (2015.4～) 山本 義久 森田 哲夫 今井 正 今井 智 (2013.4～)
	瀬戸内海区水産研究所	資源生産部	

2. クロマグロの種苗量産に向けた飼養技術の高度化 B-2-1 成魚の栄養特性の解明と親魚用飼料の開発	東北区水産研究所	資源環境部	出濱 和弥 (2013.4～2015.3) 吉浦 康寿 (2015.4～) 坂見 知子 (2015.4～)
	増養殖研究所	養殖システム研究センター	○ 山本剛史
	増養殖研究所	養殖システム研究センター	△ 山本剛史 古板 博文 奥 宏海 (2013.4～) 村下 幸司 松成 宏之 浜田 和久 塩澤 聡 二階堂 英城 (~2014.3) 森岡 泰三 (2014.4～) 久門 一紀 田中 庸介 (~2015.3) 西 明文 (~2014.3) 橋本 博 (2014.4～) 江場 岳史 樋口 理人 (2013.4～2015.3) 外山 義典 (2015.4～) 三代 健造 三宅 謙嗣 藤本周治 末吉利次 (2014.4～2015.3) 門田洋二 大谷諒敬
	増養殖研究所 西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	
B-2-2 健全種苗の生産に向けた飼餌料の開発と減耗防除技術の開発	林兼産業株式会社	飼料事業部	
	西海区水産研究所	まぐろ増養殖研究センター	△ 塩澤 聡 二階堂 英城 (~2014.3) 森岡 泰三 (2014.4～) 久門 一紀 田中 庸介 (~2015.3) 西 明文 (~2014.3) 橋本 博 (2014.4～) 江場 岳史 樋口 理人 (2013.4～2015.3) 外山 義典 (2015.4～)
	増養殖研究所	養殖システム研究センター	山本 剛史 古板 博文 奥 宏海 (2013.4～) 村下 幸司 松成 宏之 浜田 和久
	鹿児島大学	水産学部	越塩 俊介 横山 佐一郎
	長崎県総合水産試験場	種苗量産技術開発センター	濱崎 将臣 (~2015.3) 宮木 廉夫 (~2013.3) 山田 敏之 (2013.4～) 中田 久 (~2014.3) 吉川 壮太 (2014.4～)

<p>3. クロマグロ養殖場における池入れ後の生残率の向上 B-3-1 育成過程における減耗防除技術の開発</p>	<p>林兼産業株式会社  近畿大学  近畿大学</p>	<p>飼料事業部  水産研究所  水産研究所  水産養殖種苗センター  農学部</p>	<p>門村 和志 (2014.4～) 中塚 直征 (2014.4～) 三代 健造 三宅 謙嗣 藤本周治 末吉利次 (2014.4～2015.3) 門田洋二 大谷諒敬  ○ 宮下 盛 (～2014.11) ○ 升間主計 (2013.4～)  △ 宮下 盛 (～2014.11) △ 升間主計 (2013.4～) 澤田 好史 阿川 泰夫 中田 久 (2015.4～) 倉田 道雄 (2013.4～) 本領 智紀 岡田 貴彦 田村 利博 (2012.4～2013.3) 宮武 弘文 (2013.4～2016.3) 中井 彰治 (2013.4～) 河原 正人 (2013.4～) 津田 裕一 (2013.4～2014.3) 永井 孝朗 (2014.4～2015.3) 石橋 泰典 (2013.4～)</p>
---	---	---	---

中課題番号	11105380	研究期間	平成24～28年度
大課題名	持続可能な養殖・漁業生産技術の開発		
中課題名	クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発		
代表機関・研究開発責任者名	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 岡 雅一		

### I-1. 研究目的

クロマグロの天然資源は高価格で取引されており、その資源量は世界的にも減少している。このため、各海域でも資源管理方策の強化が実施されている。このような情勢にあつて、平成23年度から我が国国内でも旋網による未成魚の漁獲制限が開始された。近年、人工種苗の養殖への応用が試験的に行われるようになったが、依然として養殖用原魚は天然海域から採捕した幼魚にほぼ完全に依存している。一方、国内のクロマグロ養殖生産量は年々増加する傾向にあり、可及的速やかに養殖原魚のうち人工種苗の割合を増加させることが、天然資源の保護・保全と養殖産業の推進に必要不可欠となっている。産業レベルで人工種苗を養殖業に利用していくには、受精卵の供給が不安定であること、種苗生産効率が低いこと、人工種苗の海面生簀での生残率が低いことなど、多くの問題点が残されている。本提案課題では、将来的に人工種苗の利用による持続的な養殖生産技術を開発することを目的とする。

このため、本研究では、

1. 陸上水槽を用いたクロマグロの採卵技術の開発
2. クロマグロの種苗量産に向けた飼養技術の高度化
3. クロマグロ養殖場における池入れ後（海面生簀飼育）の生残率の向上

により、養殖原魚の生産技術工程を3課題に分け、各課題における量産レベルでの効率化を阻む要因を解明し、養殖原魚10万尾の安定供給技術の開発を目標とする。目標到達の技術的指標として、それぞれの小課題で順に、ふ化仔魚700万尾の確保、配合飼料を活用して種苗生産における生残率3%の達成、原魚サイズ生残率50%の達成、を数値目標に設定し、これらを達成することで総合的な技術としての目標の到達を目指す。

その結果、

1. 自然条件に左右されない安定した受精卵の確保。
2. 人工種苗生産および原魚の海面飼育の効率化、省コスト化。
3. 安定した人工生産された原魚の利用による持続的なクロマグロ養殖業の発展。
4. 天然種苗の養殖用への利用負担の軽減によるクロマグロ天然資源の保全。
5. 国民の期待が高い重要食材であるクロマグロの安定供給。
6. 世界の養殖分野における日本の技術的先進性におけるプレゼンスの高揚。

が期待される。

## I-2. 研究結果

5年間にわたる研究開発を実施してきた結果、各小課題の目標は数値目標を含め達成し、課題全体の目標である養殖原魚10万尾を安定供給する技術開発については達成したと考える。

陸上水槽を用いた採卵技術の開発では、親魚養成技術開発と環境制御による成熟・産卵の誘導技術開発、および閉鎖循環システムを用いた飼育水維持管理技術の開発に取り組んだ。人工2歳魚を生簀網から取り上げ、活魚輸送船への収容、輸送、および輸送船から水槽へ収容する技術を確立した。海面親魚養成における過去の成熟、産卵の知見を参考に水温、日長を設計した環境制御によって、陸上水槽で2歳魚を約1年間親魚養成することで、平成26年に産卵に成功した。さらに、平成28年にはその再現性を確認した。平成26、28年は水槽内産卵により大量採卵に成功して、数値目標であるふ化仔魚700万尾の確保を達成した。小課題B-1の担当機関である長崎総合水産試験場、増養殖研究所、西水研奄美庁舎へ得られた受精卵の一部を輸送し、仔魚飼育に供したところ、良好な初期生残であり質的にも種苗生産に問題ないことを確認した。また、遺伝子解析により陸上水槽内で産卵した特定の2尾の雌について、産卵生態の一部を明らかとした。水槽内での親魚養成を支える閉鎖循環課題では、基礎的な知見である窒素代謝に加え、ろ材の硝化菌細菌相変化の解明やろ材の硝化細菌の維持方法を明らかとし、クロマグロだけでなく、他分野や他種の閉鎖循環飼育に応用できる結果を得た。なお、陸上水槽と生物ろ過槽間の循環量や新水添加量の削減が水質、および親魚養成へ与える影響を調査して、経費の削減効果を示した。

種苗量産に向けた飼養技術の高度化においては、親魚用配合飼料の開発、および種苗生産過程における仔稚魚用配合飼料の開発と減耗防除技術の開発に取り組んだ。親魚用配合飼料開発について、ブリを使って試験した結果、飼料中のリン脂質およびDHAの強化が成熟、産卵へ有効である結果を得た。この知見を元に脂質強化とともに良質な魚粉を配合、調整した親魚用飼料をクロマグロ2歳魚に与えて産卵試験を実施したが、3歳魚では産卵は認められなかった。開発した成魚の人工消化実験系による配合飼料や魚粉のタンパク質の消化性、および、幼稚魚の糞等の分析結果から、成熟前の供試魚の栄養状態が十分ではなかった可能性が示唆され、満3歳魚を産卵させるために必要な飼餌料の改善点を示した。種苗生産段階の配合飼料開発では、沖出し後に利用可能な配合飼料をベースに、配合する原料や餌付け方法を検討した結果、イカナゴシラスミンチを完全に代替することができた。また、種苗生産中期以降では、餌料用ふ化仔魚をクロマグロ仔魚全長約7mmから単独給餌することによる体サイズの均一化と、併用する餌料用ふ化仔魚から配合飼料へ切り替える給餌法の開発により、目標生残率3%を上回った。さらに、餌料用ふ化仔魚を全く用いずに複数回の種苗生産に成功した（最高生残率は約4%）。一方、開発した仔魚の人工消化実験系により新規原料を調整し、同原料を配合した飼料がふ化仔魚代替飼料として有効であることを確認した。

クロマグロ養殖場における池入れ後（海面生簀飼育）の生残率の向上に関しては、死亡原因の調査を行い、多方面の減耗対策に取り組んだ。海面生簀飼育における死亡原因の調査では、成長不良と異物誤飲が主であることを明らかとした。沖出し（陸上水槽から生産種苗を取り上げ海面生簀へ収容する工程の呼称）方法の改善として、それまでの直径30 m円形生簀に直接収容ではなく13 m角型生簀あるいは直径20 m円形生簀へ変更することで生残率向上効果が認められた。沖出し時の輸送・ハンドリングストレスの回復時間の調査に加えて、沖出し前の無給餌における生残率向上効果を確認して、適切な無給餌時間、および給餌再開時間を明らかにした。なお、夜間照明による沖出し種苗の網への衝突防止効果を向上させるため、照射強度や照

射範囲について検討したところ水表面で10,000 lx以上必要である事が判明した。5年間の研究の結果、開発前は原魚サイズの海面生簀飼育（沖出しサイズ全長6cmから約30cmまでの飼育）生残率は約30%程度であったが、平成27、28年度では50%以上に改善し（28年度は64%）、数値目標を達成するとともに再現性を含めて技術を確立できた。

### I-3. 今後の課題

本プロジェクトにより、技術的に人工種苗の生産効率が飛躍的に高まった。すでに開発された成果は、養殖機関の多くが参加している日本水産学会、水産増殖学会、研究集会等（クロマグロ養殖技術研究会、因島種苗生産技術交流会など）、および論文で公表してきており、水産庁が実施している全国の養殖実態調査では、平成26年度の生簀収容実績は約29.3万尾（沖出しサイズは約6cmであることに注意）から、平成27年度には約54.8万尾に増大しており、種苗生産現場での技術的な底上げに貢献している。さらにプロジェクト成果を養殖機関へ技術移転し現場で定着させることが今後の課題である。

クロマグロ親魚用の陸上水槽施設の建設費は高額なため、各機関に普及できるものではないため、現行の陸上水槽を研究施設として維持しながら種苗生産機関へのニーズに合わせ受精卵を渡す枠組みの模索が必要である。技術面の重要点では陸上水槽を用いた採卵技術に関しては、業界ニーズが高い早期採卵技術開発は陸上水槽でしかできない課題である。親魚養成の技術をさらに効率化するためには、4,5歳魚の水槽内産卵を目指すことが必要であり、そのための衝突死軽減技術の開発が求められる。閉鎖循環関連課題では、クロマグロの窒素代謝はさらに精査することで、養殖環境負荷の評価など、持続的な養殖技術を進めていく上で貢献するツールとなりうる。

配合飼料関連では、養殖用配合飼料の性能が生餌より劣り、かつ、環境への汚濁負荷が大きいと考えられるため、クロマグロ側での飼料原料の消化性を改善させる方策を検討するか、消化性の良い原料を探索・開発して配合する必要があると考えられる。種苗量産のための配合飼料については、より馴致を円滑にできるように配合飼料の物性や配合組成・栄養価などの改良を行うとともに、餌料用ふ化仔魚を用いない場合には、原因不明の大量斃死の原因究明と解決が必要である。これらの研究開発を通じて開発された配合飼料の市販化は次の目標である。

沖出し種苗から原魚サイズまでの海面育成技術については、海域等の違い、環境要因の影響により本研究で開発・確立した技術で必ずしも生残率が向上するとは限らないので、今後、さらに実証試験を重ねるなど飼育データを積み重ねて普遍性を確かめ、高度化する事が今後の課題である。

中課題番号	11105380	研究期間	平成24～28年度
小課題番号	B-1	研究期間	平成24～28年度
中課題名	クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発		
小課題名	B-1、陸上水槽を用いたクロマグロの採卵技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 西海区水産研究所 まぐろ増養殖研究センター 岡 雅一		

## 1) 研究目的

クロマグロ親魚は、現状では海面の大型生簀で飼育されており、産卵はその年の自然条件に大きく左右されるため、年によって産卵状況も異なり安定した採卵結果は得られていない。この不安定な産卵状況が、その後の計画的な人工種苗の量産化を妨げる大きな要因の一つとなっている。本研究課題では、大型陸上水槽を用いたクロマグロ親魚の養成に当たり、閉鎖循環システムを利用した経済的かつ効率的な運用技術の開発を図るとともに、環境条件の制御等による親魚からの安定的かつ計画的な採卵技術を開発する。なお、課題目標である10万尾の養殖原魚の供給技術の開発には、本中課題として年間700万尾のふ化仔魚の確保を目標とする。

## 2) 研究成果

本小課題については、さらに課題を「陸上水槽における親魚養成基盤技術および環境制御による成熟産卵誘導技術の開発」と「閉鎖循環システムを用いた飼育水の維持管理技術の開発」に分けて研究を推進した。

### (1) 陸上水槽における親魚養成基盤技術および環境制御による成熟産卵誘導技術の開発

本研究開発の流れとして、まず水槽内産卵のための基盤技術である大型陸上水槽への親魚候補の輸送・収容技術開発、および水槽内の親魚候補の死亡原因究明・対策などの親養成技術を進めたうえで、環境制御による産卵誘導へと研究開発を進めた。水槽内産卵誘導成功後は、採卵期間や採卵数の規模、受精卵の質や親魚の産卵生態について調査に及んだ。以下はこのような研究開発の流れを項目別に取りまとめた。

#### 【2歳親魚候補の輸送と陸上水槽への収容】

平成24年末に西海区水産研究所長崎庁舎の隣接敷地に、クロマグロ親魚の産卵実験を行うための大型陸上水槽（直径20m、深さ6m、水槽容量1880m<sup>3</sup>：図1）2面を中心とした施設が竣工した。これらの水槽を使って、親魚養成を開始するには親魚候補を海面生簀から取り上げ、陸上水槽へ輸送・収容が必要であった。このため同研究所奄美庁舎で種苗生産し、海面生簀で飼育したクロマグロ人工2歳魚を、大型の活魚運搬船で長崎庁舎まで輸送し陸上水槽へ収容する技術開発を実施した。平成25、27年にそれぞれ3および2回の輸送・収容試験には、共通して図2～7に示した方法を採用した。海面生簀（直径18m、図2）から2歳魚を正方形生簀（一辺5m）へと誘導した後、人力によって1尾ずつ取り揚げビニール製担架に収容した。その後、直ちに活魚船の活魚槽に収容し（図3）、活魚船への収容完了後

は長崎庁舎に向けて奄美庁舎を後にし、九州西岸海上を約45時間かけて航行した（図4）。長崎庁舎に到着後、活魚槽から魚を担架へ1尾ずつ収容し、担架ごと輸送船クレーンで軽トラック荷台に乗せたFRP角型水槽に収容し（図5）、軽トラックで大型陸上水槽建屋入口まで移動した。水槽建屋入口では、未成魚の個々の遺伝的なDNA情報を把握するため全個体から第二背鰭の一部をサンプリングするとともに、全個体の識別が可能ないように電子標識（商品名：PITタグ、長さ11 mm、直径2.1 mm）を背側筋肉内に埋め込み（図6）、水槽内（直径20m、深さ6m）に収容した（図7）。

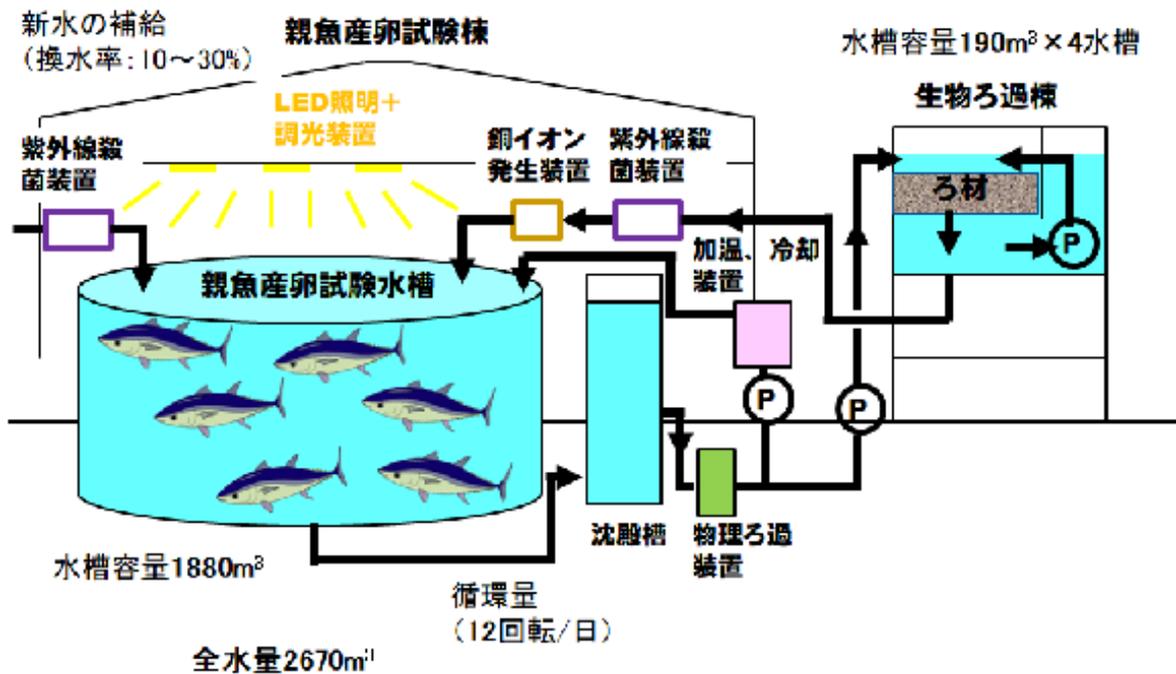


図1 クロマグロ産卵試験用の大型陸上水槽（H24末完成）



図2 2歳魚育成生簀(奄美庁舎)



図3 担架で活漁船収容



図4 海上輸送(奄美-長崎)



図5 担架を軽トラック荷台へ



図6 DNA サンプリング、



図7 2歳魚を水槽収容 PIT タグ装着

平成25、27年に実施した合計5回の人工2歳魚の輸送・収容の結果を表1に示した。平成25年に実施した1回次の輸送では、奄美庁舎での海面生簀から輸送船収容までの過程において、前日までの大雨による濁りが主因となり、活魚船の生簀側への排水の水流の影響による魚の網への衝突、海面生簀と取揚げ生簀の連結部分の網なりの不備も重なって、輸送生残率（水槽収容数/生簀取揚げ尾数×100：%）は45.2%であった。同年の2,3回次には、海面の濁りは1回次ほどの異常性はなかった状況で、活魚船の排水、および生簀の連結部分の網なりの改善により、2,3回次は88%以上の輸送生残率を達成した。平成25年には合計3回の輸送により大型陸上水槽2面に対して、平均体重14.5kgの2歳魚各63尾の収容を完了した（平均生残率63.6%）。平成27年には合計2回の輸送を行い、平均輸送生残率は94.8%と高い値を達成し、平成25年の2,3回次の輸送生残率との比較でも5%程度向上した。全体の作業工程における作業練度が上がった効果と考えられ、輸送・収容技術を確立した。

表1 クロマグロ人工2歳魚輸送・収容結果

輸送回次	取揚げ開始尾数(A)	輸送船積込み尾数	水槽収容月日	水槽収容尾数(B)	輸送生残率(B/A)	平均体重(推定)
H25-1	93尾	58尾	5/22	42尾	45.2%	
H25-2	73尾	67尾	6/8	64尾	87.7%	
H25-3	22尾	20尾	6/20	20尾	90.9%	
<b>H25合計</b>	<b>198尾</b>	<b>145尾</b>		<b>126尾</b>	<b>63.6%</b>	<b>14.5kg</b>
H27-1	82尾	79尾	5/30	78尾	95.1%	
H27-2	73尾	70尾	6/18	69尾	94.5%	
<b>H27合計</b>	<b>155尾</b>	<b>149尾</b>		<b>147尾</b>	<b>94.8%</b>	<b>12.7kg</b>

#### 【親魚養成における水質維持および給餌方法】

平成25年5月から大型陸上水槽の2歳魚親魚養成を開始した。大型陸上水槽（図1）は閉鎖循環システムを採用したことにより、新水（紫外線殺菌ろ過海水）の換水率は水槽容量の10～30%/日であった。生物ろ過槽と飼育水槽間の循環量は12回転/日とした。

親魚養成開始後約3週間はイカナゴだけを毎日給餌した。その後は解凍したサバおよび配合飼料（商品名：ツナッコ、林兼産業社製）を生餌重量換算比で3：1（配合飼料には係数3をかけて生餌重量へ換算）を給餌した。平成25年12月からはサバ：スルメイカ：配合飼料を生餌重量換算比5：1：2で平成26年6月まで与えた。平成26年7月からは平成25年12月以前のサバおよび配合飼料の2種を当時の比率で給餌を行った。全養成期間の給餌頻度は基本的に1週間に3回で、飽食するまで与えた。日間平均給餌率は推定体重の1.5～3.0%の範囲であった。平成27年から養成を開始した新たな親魚養成群に対しても上記方法と同様な換水および給餌を行った。

#### 【親魚養成における水槽壁への衝突軽減】

親魚養成開始後は散発的に養成魚の死亡が確認された。死亡個体の魚体観察から、ほとんどの死亡魚には、峡部の断裂（図8）、脊椎骨の損傷（図9）、副蝶頸骨・鋤骨の損傷（図10）の少なくとも1つの所見が観察され、これらの所見から魚体が瞬間的に大きな力を受ける水槽壁への衝突が死亡原因であることを明らかとした。

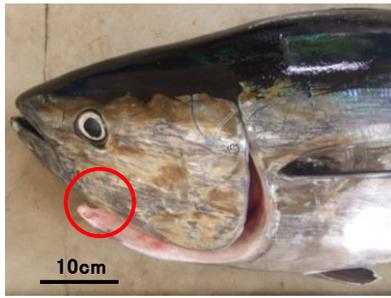


図8 峡部の断裂

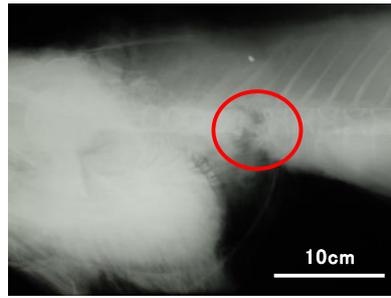


図9 脊椎骨の損傷

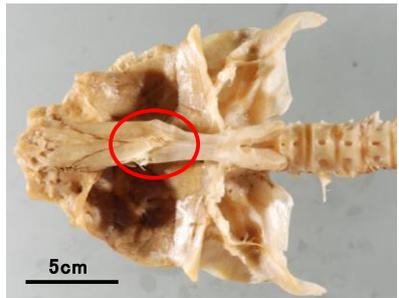


図10 副蝶脛骨・鋤骨の損傷

水槽内観察用ビデオカメラにより通常の遊泳をしていた魚が、突如遊泳速度を上げ、水槽壁にほぼ垂直の角度で衝突し死亡に至る映像が確認された。このような行動を「突進遊泳」と呼称し、水槽壁への衝突死の原因と考え以下の調査を実施した。

平成26年度に大型陸上水槽1面で3歳魚10尾（推定体重約35kg）の親魚群を対象として、1日の時間帯別の時間当たり突進遊泳回数を調査した。1日を光条件で6つの時間帯（増光：7～9時、2時間 昼①：11～13時、2時間 昼②：15～16時、1時間 減光：16～18時、2時間 夜①：20～22時、2時間 夜②：0～1時、1時間）に分け、ビデオカメラで6日間撮影を行ったのち、得られた映像から時間当たり突進遊泳回数を求めたところ、1日のうち突進遊泳頻度は増光時が最も高く、次いで夜間が他の時間帯よりも高いことを明らかとした（図11）。

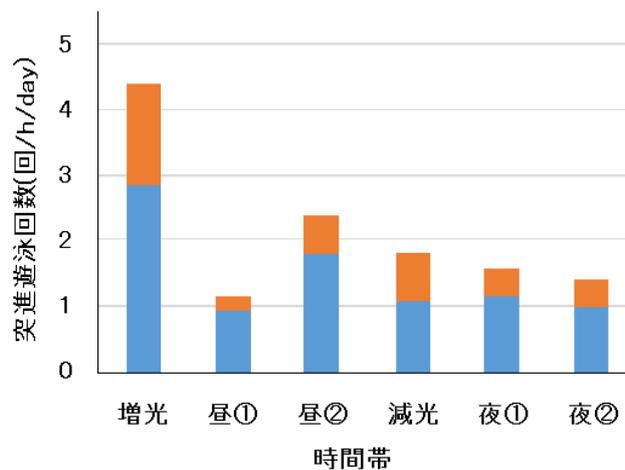


図11 水槽親魚群の時間帯別突進遊泳回数

増光：7～9時 昼①：11～13時 昼②：15～16時

減光：16～18時 夜①：20～22時 夜②：0～1時

■：単独個体の突進遊泳回数 ■：複数個体の突進遊泳回数

この結果を受け衝突死対策として、昼夜照度変化の減少効果を検証した。平成25年水槽収容時、昼14時間、夜間10時間、昼照度1000Lx、夜間照度9Lx、2時間で段階的に昼夜照度切り替えの条件を、平成27年の水槽収容（2面）では、収容日3日まで終日照明を点灯（1000Lx）、その後、昼夜時間および切り替えは平成25年と同じで、11日目までは照度を夜間22Lx、昼1000Lxとし、11日目以降は平成25年と全く同じ条件にして、死亡魚数の変化を比較した。平成27年では平成25年と比べて10日までの死亡が激減した（図12）。

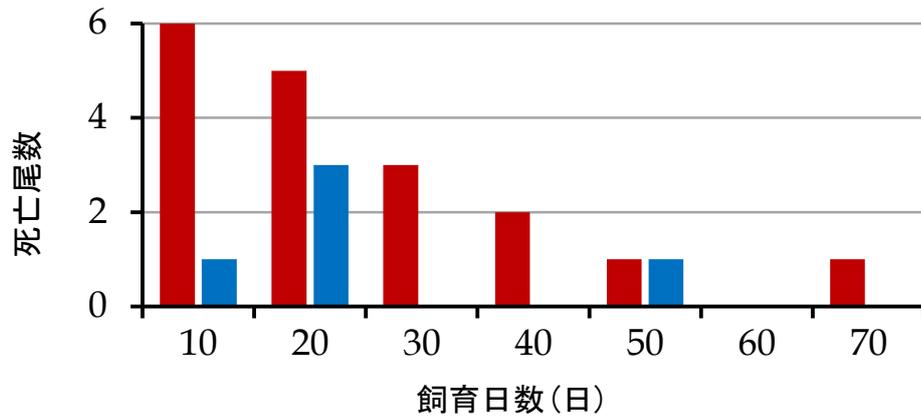


図 1 2 飼育開始からの日数別の死亡魚数の変化 (■：平成25年、■：平成27年)

収容初期は短期間でも昼夜の照度変化の減少が死亡の抑制に効果的であった。

平成25,27年に収容した親魚群合計4群の産卵までの約1年間の生残率を比較した。平成25年に養成開始した群(平成25年養成群)は平成26年5月中下旬に産卵し、その時点の生残数(生残率)は38尾(60.3%)と35尾(55.5%)であった。平成27年養成群は、平成28年5月下旬時には73尾(93.6%)と56尾(81.1%)が生残した。上述した死亡対策は平成27年養成群だけに対して実施されたものであり、生残率の向上に貢献したと考えられた。しかしながら、平成25,27年養成群に共通して3歳時の産卵期後の9月を中心に死亡が顕著であった。死亡原因は状況からは産卵の影響が疑われたが、突進遊泳行動との関連を含め原因を明らかにするまでには至らなかった。

【水槽内環境制御プログラムと評価】

環境制御による成熟・産卵の誘発に関しては、まず2歳魚から3歳での産卵までの環境条件(水温・日長)を決定するため、「マグロ類の人工種苗による新規養殖技術の開発」(2007～2010：技会実用技術開発事業)における全国4か所(鹿児島奄美大島、高知柏島、和歌山串本、長崎五島)の水温、日長データと産卵、成熟概況を元に再度検討し、高知柏島の水温、日長の環境が成熟に最も適していると考え、当地の水温、日長を参考に環境プログラムを設計した(図13、14)。

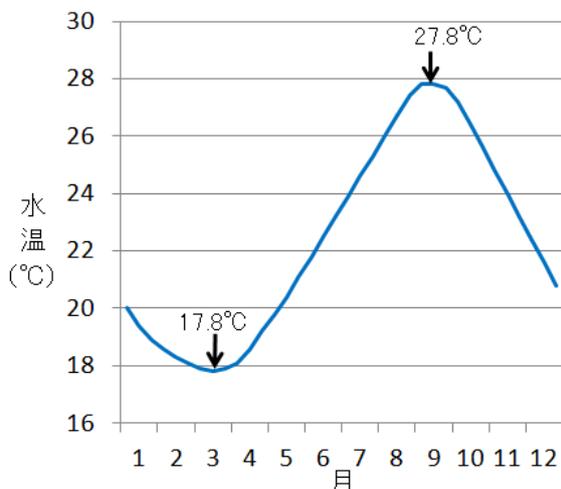


図 1 3 設計した水温プログラム

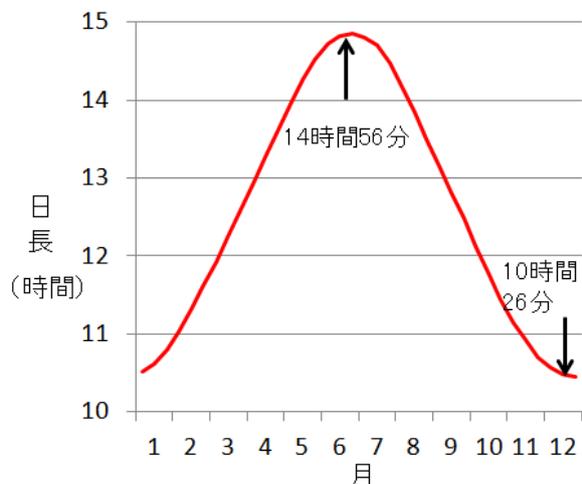


図 1 4 設計した日長プログラム

平成25年5,6月から大型陸上水槽2面において、これに従った環境制御を行ったところ、平成26年5月中、下旬に2面とも雌を先頭に雄が多くの場合複数尾追尾する産卵行動（図15）が確認され、受精卵（図16）が採取された。さらに平成27年5月から陸上水槽1面で前回と同じ環境制御を行った結果、平成28年5月に産卵に成功したことから、本環境制御プログラムは水槽内成熟・産卵の誘導に有効でありその再現性を確認できた。しかしながら、平成27年6月から養成を開始した他の水槽1面に収容した親魚群については、平成25年5月に成功した産卵よりも1カ月早い4月産卵を目的として、1カ月前倒しをした水温、日長の環境制御を行ったが、産卵に至らなかった。



図15 水槽内で観察された産卵行動（平成26年） 図16 水槽内で採卵された受精卵

#### 【大型陸上水槽内採卵】

平成26,28年にはそれぞれ親魚養成群2群と1群について、設計した水温、日長プログラムに従い親魚養成を実施した結果、良質卵の大量採卵に成功した（表2）。平成26年は2群（水槽）の合計で総採卵数5,500万粒、平均正常ふ化率88%を記録した。平成28年は1群であったが総採卵数8,900万粒、平均正常ふ化率77%であった。なお、平成26,28年に受精卵の一部を小課題B-2の種苗生産試験に供したが、種苗生産経過は順調であった。本小課題の当初目標として、年間ふ化仔魚700万尾の確保を掲げて研究開発を実施したが、この両年で大きく目標を超える採卵結果を達成した。

表2 大型陸上水槽での採卵結果（平成26,28年度）

項目/年度	平成26年	平成28年
産卵水槽数	2水槽	1水槽
親魚尾数*	合計73尾	56尾
推定親魚体重*	28.4kg	23.9kg
産卵期間	5/16～8/29（105日）	5/27～8/12（78日）
総採卵数	5,527 万粒	8,920 万粒
総浮上卵数	4,488 万粒	7,046 万粒
平均正常ふ化率	87.9%	77.4%
<b>正常ふ化仔魚数</b>	<b>3,933万尾</b>	<b>5,454万尾</b>

注\*：産卵開始時

### 【水槽内産卵生態】

水槽内の産卵生態の解明を目的とし、平成26年の産卵親魚1群について、親魚および卵あるいはふ化仔魚のmtDNAハプロタイプ解析を行った。親魚には3タイプのハプロタイプ(A~C)が確認され、2種のハプロタイプA,Cについて雌が各1尾であることを確認した。この2タイプの親魚と産卵期間を通して収集した卵あるいはふ化仔魚サンプルの解析結果より、ハプロタイプAの親は産卵期を通じて2~5日産卵を継続し、産卵休止後は産卵を再開させるパターンを示した。1日当たり約0.2~26.2万粒の産卵数に対し、産卵期の合計で400万粒と推定された。一方、ハプロタイプCの親魚は連続した産卵はなく親魚群の産卵期間中に6日産卵したにすぎず、1日当たり1.7~15万粒産卵し、総産卵数は約33万粒と推定された(表3)。このようにハプロタイプAとCの親では違った産卵生態を示した。

このほかにハプロタイプBの親魚の産卵が確認されているが、本親魚群は継代親魚1世代目であることから、本解析手法では個体識別が不可能であったため、ハプロタイプBの親魚のうち何尾の雌が産卵に関与したかは明らかにはならなかった。

表3 3歳産卵親魚における各ハプロタイプの雌1個体当たりの産卵の概要(平成26年)

ハプロタイプ	産卵日数	産卵間隔	推定最少産卵数/日(万粒)	推定最多産卵数/日(万粒)	推定総産卵数(万粒)
A	54日	連日産卵あり(2~5日)	0.2	26.2	400
C	6日	連日産卵なし(3~14日に1回)	1.7	15.6	33

### (2) 閉鎖循環システムを用いた飼育水の維持管理技術の開発

クロマグロの親魚養成に用いる大型陸上水槽には、経費削減の観点から閉鎖循環システムを導入している。本課題では、大型閉鎖循環システムにより飼育水の維持を図るとともに、効率的かつ低コストで運用が可能となるよう、クロマグロの窒素負荷量や硝化細菌相の動態などの基礎的知見を集積するとともに、ろ材の保管方法や疾病対策のための銅イオンの利用など実用的な課題にも取り組んだ。

#### 【クロマグロ飼育に伴う窒素負荷量】

クロマグロの飼育に伴う窒素負荷量を把握するため、残餌から溶出する窒素量、および飼育中のクロマグロから排泄される窒素量を調べた。残餌に由来する窒素の溶出量の影響について調べたところ、配合飼料と比較して生餌の溶出速度が高くなることが分かった。また、摂餌したクロマグロから排泄されるアンモニア態窒素量や糞として排泄される窒素量を調べた。その結果、摂餌した餌に含まれる窒素量を100%とした場合、溶存態窒素(尿)として排泄されるのは27.7~52.1%で、粒状態窒素(糞)では0.3~1.6%となった(図17)。また、成長に転化される窒素の割合は46.6~71.7%となる事が試算された。

#### 【生物ろ過槽の硝化速度と硝化細菌の経時変化】

生物ろ過槽の硝化速度の経時変化とろ材の洗浄による硝化速度の改善効果を調べた。そ

の結果、調査開始時のろ過槽の硝化速度を100とすると運用開始1年間で26～28まで低下したが、ろ材の洗浄により36～39まで改善した（図18）。

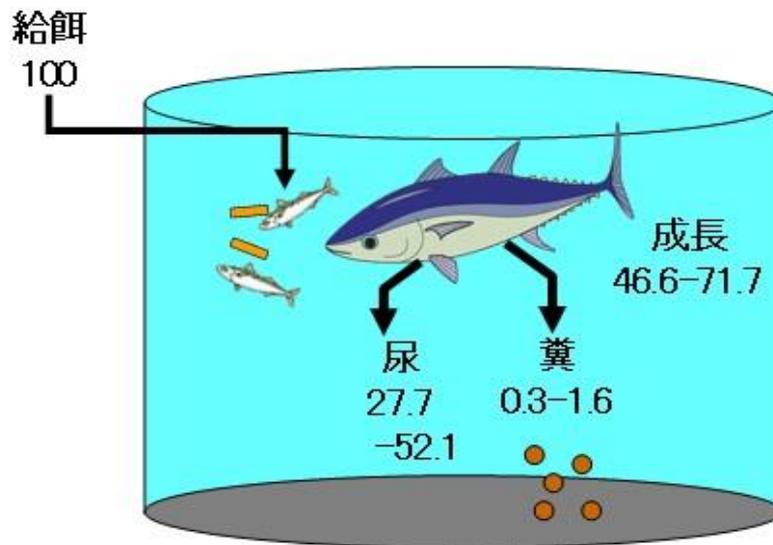


図17 摂餌に伴うクロマグロの窒素代謝の割合（％）

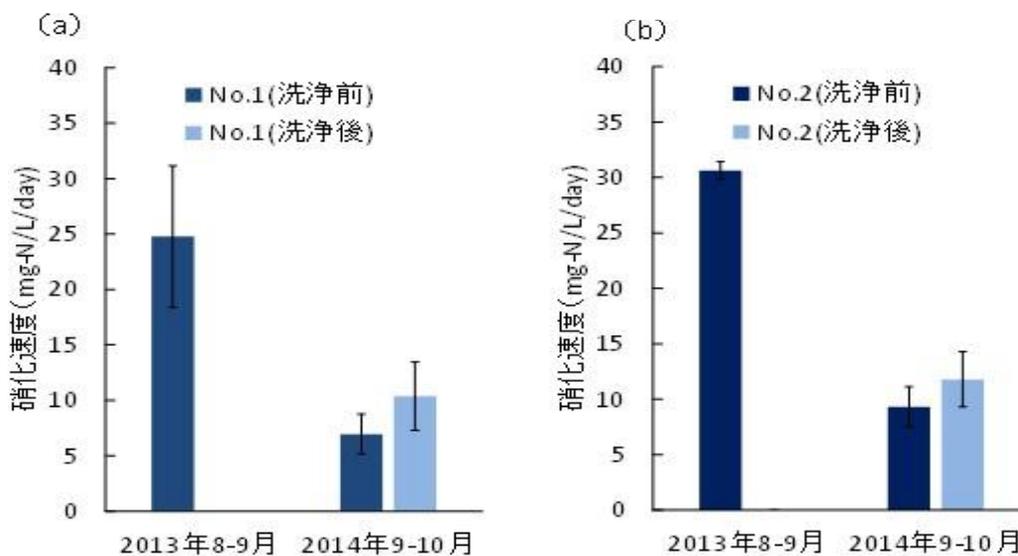


図18 クロマグロ収容後と収容後1年の硝化速度。収容1年後にはろ過材の洗浄を実施し硝化速度を比較した。(a) No.1水槽、(b) No.2水槽

生物ろ過槽のろ材に付着する硝化細菌相の経時変化を把握するため、陸上水槽2面の生物ろ過槽へ由来の異なる2種類のろ材に付着した硝化細菌をそれぞれに接種、拡大培養しその後の動態を調べた。拡大培養後（平成25年7月）の真正細菌型と古細菌型の硝化細菌組成は元種とは異なり、真正細菌型では組成に水槽間の差があったが、古細菌型では同一の細菌のみ確認できた（図19、図20）。その後、両細菌型の組成は経時的に変化し、平成26年9月にはほぼ水槽間で類似した組成となった。自然環境下での硝化細菌相はアンモニア濃度

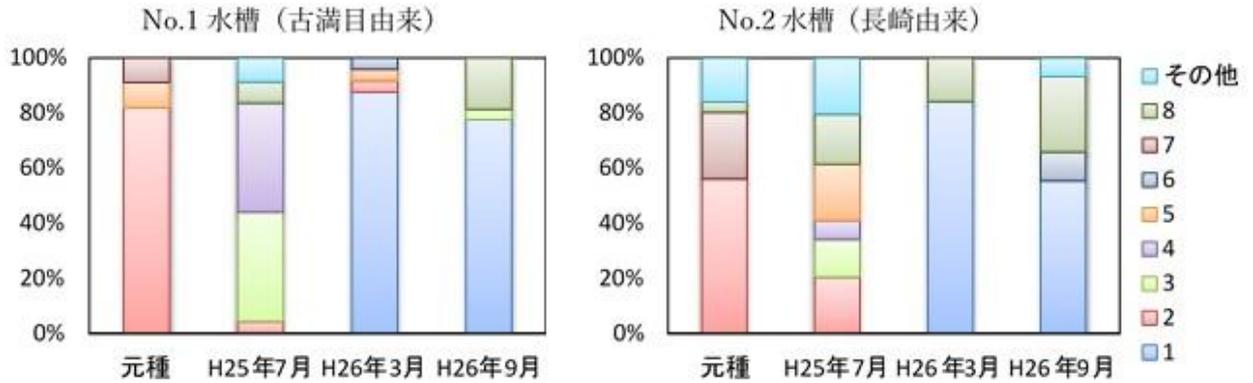


図 19 元種と飼育開始後のろ材の真正細菌型硝化細菌相の経時変化

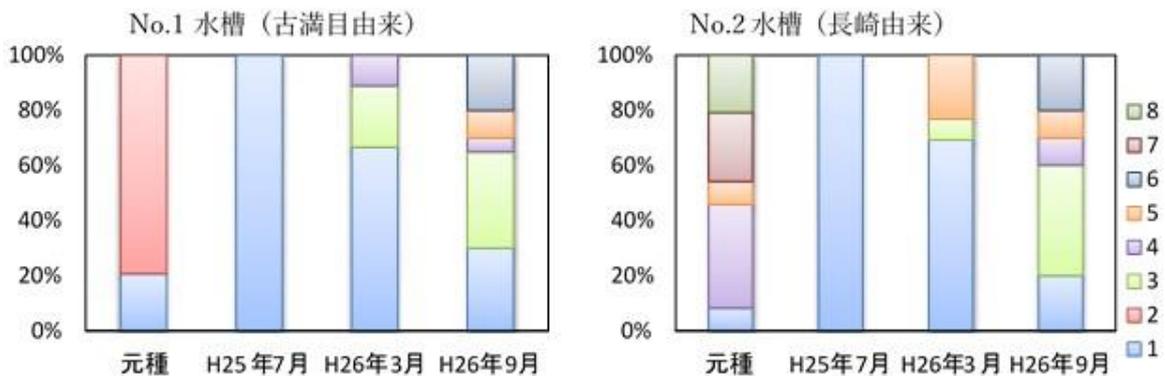


図 20 元種と飼育開始後のろ材の古細菌型硝化細菌相の経時変化

の影響により変化することが知られており、生物ろ過槽のろ材の細菌相についてもアンモニア負荷量などの環境条件に適応した組成に収束しているものと考えられた。

【ろ材の保管方法】

陸上水槽で親魚飼育を終了し、新たに親魚を収容して飼育する場合には、疾病防除などのため生物ろ過槽を殺菌消毒し、再度、硝化細菌を培養する必要がある。その際、ろ材の熟成時間短縮やろ材に付着した硝化細菌を再利用するため、飼育で使用していたろ材の細菌相を保存し元種として使用する事が望ましい。そこで、ろ材に付着する硝化細菌を維持したまま保存する方法を検討した。実験では、アンモニア供給を絶った場合、干出密封した場合など様々な条件で検討した結果、密閉容器に入れたろ材を冷蔵保存すれば、少なくとも180日間はろ材の硝化細菌と硝化活性を維持する事が可能であることが分かった(図 21)。

【銅イオンがクロマグロに及ぼす影響】

寄生虫防除のため他魚種の親魚養成では銅イオン発生装置が広く使用されている。大型陸上水槽においても、閉鎖循環系に銅イオン発生装置を備えており疾病の防除対策として使用している。銅イオンは高濃度になると摂餌不良などを引き起こす場合もあり、どの程度の濃度でクロマグロに影響を与えるのかを飼育実験により検討した。その結果、銅イオンが50ppb以上で嗅房細胞に損傷が確認され、摂餌行動や摂餌量に影響を及ぼすことが示

唆された（図22、図23）。ハマフエフキの場合では100ppb程度でも行動や摂餌に影響を及ぼすことはないことが報告されており、クロマグロは銅イオンに対する感受性が強い可能性が示唆された。

【配合飼料給餌に伴う濁りの発生原因】

陸上水槽において、クロマグロ親魚に配合飼料を給餌すると、飼育水が白濁する問題が発生した。クロマグロは強い濁りが発生すると、突進遊泳行動の増加することが経験的にわかっており、衝突死の多発が懸念される。このため、小課題B-2と連携して親魚水槽において配合飼料給餌後に発生する濁りの原因物質の調査を行った。飼育水の分析を行った

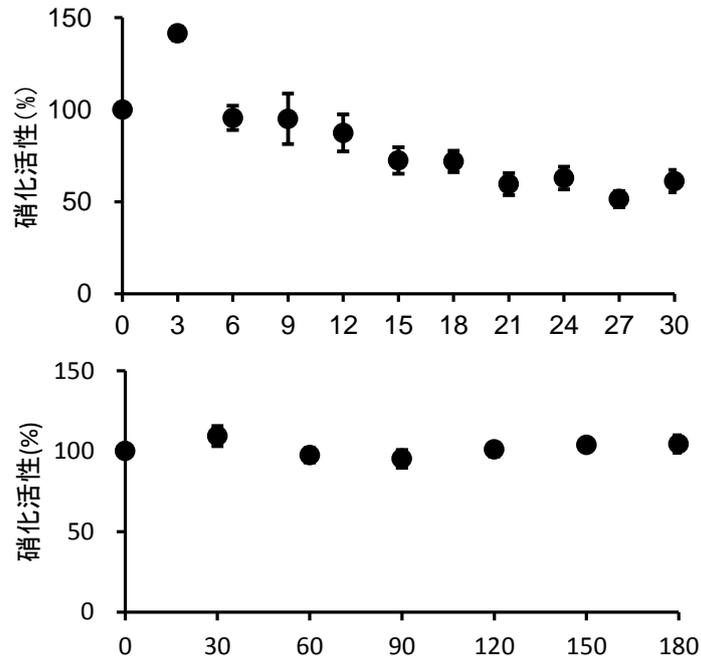


図21 ろ材を（上）密封・常温保存した場合、（下）密閉・冷蔵保存した場合の硝化活性の日変化



図22 銅イオン暴露による嗅細胞（赤矢印）の損傷していることを示す

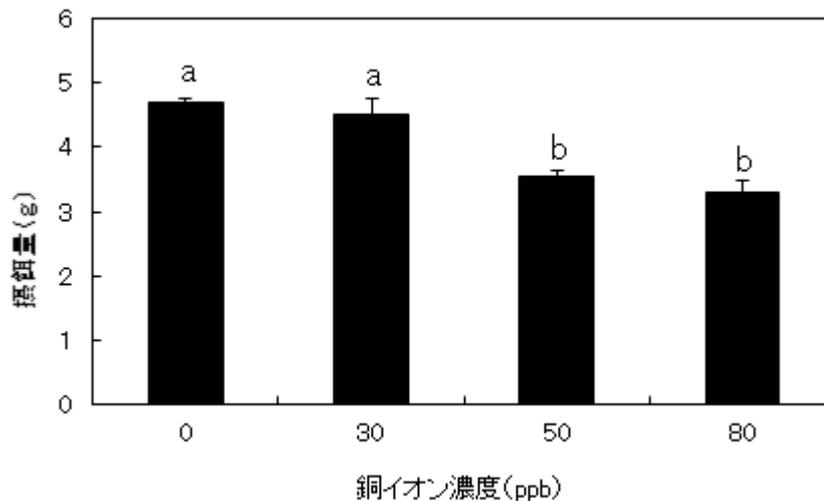


図 2 3 銅イオン暴露がクロマグロの飽食摂餌量に及ぼす影響。  
異なるアルファベット間には有意差があることを示す(p < 0.05)

結果、脂質が原因である可能性が示されたが、これを低減させるような手法などについては明らかにすることが出来なかった。

#### 【効率的な閉鎖循環システムの運用】

クロマグロ飼育に伴う窒素負荷量の定量、ろ過槽における硝化速度に関する知見などを元に、閉鎖循環システムの省エネルギー化を検討した。従来は親魚水槽1面あたり2台の循環ポンプを用いて飼育水を循環していたが、循環流量を半分に減少させてもアンモニアの低減が見込めることから、循環ポンプ1台での運用を試みた。その結果、1台で運用した水槽のアンモニア濃度は2台で運用した場合に比べて高く推移したものの、飼育魚への影響はなく省エネルギー化に貢献した。

### 3) 成果活用における留意点

陸上水槽における環境制御による成熟・産卵の成功については、プレスリリースとともに、内外の学会で成果を公表した。関連の研究開発成果については、積極的に養殖機関が集う研究集会（水産研究・教育機構主催のブロック関係研究推進会議、クロマグロ養殖技術研究会、他機関主催の研究集会、アグリビジネスフェアなどのイベント）、雑誌への投稿を行い、それによって、新聞、テレビ、雑誌でも広く取り上げられた。

留意点としては、クロマグロ親魚養成用の陸上水槽は西海区水産研究所しか保有しておらず、建設費は高額であるため、各養殖機関が陸上水槽を建設するという将来像は考えにくい。一方、陸上水槽1面でも平成28年度では約7,000万粒の受精卵確保に成功しており、この採卵数のポテンシャルは、もしこれらを適切に種苗生産機関へ渡して、種苗生産生残率3%、中間育成生残率50%で原魚生産すると仮定すると、日本の養殖クロマグロのキャパシティと推定される年間50万尾あまりの養殖原魚供給が可能と計算される。将来の商業化を模索するためには、本施設は研究用として国の補助金により施設整備された経緯から、研究用の施設運用を基本に多数の種苗生産機関により経費を分担する方式の維持、管理が現実的と考えられる。その緒端として平成28年度には水産研究・教育機構は受精卵の有償

配布を実施した。それを通して業界からは早期採卵、受精卵の自家調達不調時のバックアップについて、強いニーズがあることが確認された。

陸上水槽での産卵の成功により、親魚と受精卵サンプルの親子鑑定が可能となった。その結果、わずか2尾の雌ではあるが、1個体当たりの産卵生態の一部が明らかになった。雌1尾の1日あたりの産卵数や、産卵間隔、産卵期の総産卵数の推定は、増養殖分野のみならず、資源研究においても示唆を与える研究結果である。

閉鎖循環課題の成果のうち、クロマグロの窒素代謝の調査結果は、経験的に分かっている増肉係数とは値が少し異なっているがさらに精査することで陸上水槽での応用だけではなく、屋外における養殖漁場の窒素負荷や漁場環境の評価に関する基本的な知見として応用が可能である。硝化菌の細菌相の調査結果や硝化菌の元種の保存技術については、クロマグロだけでなく他の魚種の閉鎖循環に応用が可能であり、さらに広く成果を発信していく必要がある。一方、銅イオン発生装置の運用や水槽と生物ろ過槽間の循環量の検討等は、大型陸上水槽システム特有の運用効率化技術として整理される。

#### 4) 今後の課題

当初目標に関しては達成し、副次的な知見も多く得られた。ここでは、さらに陸上水槽による親魚養成、成熟・産卵の効率化、実用化を促進する観点から課題をとりまとめた。

養殖機関からは、九州以北の養殖場の人工当歳魚の越冬生残率の向上するために、早期受精卵が強く望まれており平成28年には早期産卵試験は失敗したが、今後、人工種苗の付加価値を高めていく技術として重要な開発項目である。今までの取り組みで2歳魚を水槽収容し、1年間の環境制御によって産卵に成功したが、親魚養成の効率化のためには2歳魚時点での水槽収容を後送りできればさらに水槽収容から産卵までの期間短縮することができる。それに対応したさらなる大型魚の輸送・収容技術が必要となる。また、給餌量を制限して親魚の成長を抑える一方で、成熟・産卵を通常通り可能とする省力化した養成方法についても取り組むべき課題である。さらには、4,5歳における水槽内産卵を実現するためには親魚養成における生残率向上が必要であり、水槽壁への衝突防止技術を進める必要がある。そのために、突進遊泳が衝突死の起因となっている仮説のもとで、突進遊泳を昼夜観察できる機材、手法を整え、大型水槽内の1日の時間帯別の突進遊泳頻度の調査や昇光時間を変化させて突進遊泳への影響を評価してきた。しかし、親魚は大型のため実験が難しいため、稚魚、もしくは幼魚を使って、衝突防止対策を進める必要がある。

閉鎖循環課題については多くの新たな知見を得て実用化、適応技術も進んできた。本プロジェクトで明らかとしたクロマグロの窒素代謝は、若干の疑問点が残っているのでさらなる応用にむけて精査すべき課題である。残った課題としては、陸上水槽で親魚養成に使用する餌は、疾病防除、餌の内容物の安定性の観点から配合飼料を使用することが望ましい。しかし、配合飼料だけを給餌すると飼育水の濁度が上がり親魚の行動にも影響するので、現在は生餌との併用給餌を実施しているが、閉鎖循環に特化した配合飼料の改良は残された課題である。

中課題番号	11105380	研究期間	平成24～28年度
小課題番号	B-2	研究期間	平成24～28年度
中課題名	クロマグロ高品質稚魚の供給技術の開発		
小課題名	B-2、クロマグロの種苗量産に向けた飼養技術の高度化		
小課題責任者名・研究機関	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 増養殖研究所 養殖システム研究センター 山本 剛史		

## 1) 研究目的

クロマグロ人工種苗の量産化を図る上では、養成親魚からの計画的かつ大量の受精卵確保が必要不可欠である。これには健全な親魚の育成が大前提となり、生餌由来の病原微生物の侵入・感染を未然に防止することや水質環境の魚体への負荷を最小限に食い止める必要がある。そのため栄養学の面からは、成魚の栄養特性を解明すると同時に、成熟および産卵に必要なとされる物質を添加した配合飼料を設計・開発する必要がある。これまで、クロマグロが配合飼料給餌だけで産卵した報告はなく、卵質の向上も含めた配合飼料の開発が必要である。一方、種苗生産では、他魚種のふ化仔魚を餌として大量に給餌していることや魚肉ミンチが飼育水の水質環境を悪化させていることが課題となっているほか、これらの原因も相俟って大きな減耗を引き起こしている。種苗の量産化を目指すためには、これらの問題を根本的に解決する必要がある、種苗生産過程における仔稚魚用配合飼料の開発と減耗防除技術の開発は、必要不可欠な課題である。

## 2) 研究成果

クロマグロの親魚用飼料を開発するにあたっては、①消化生理を把握するための実験系を構築し、各種原料・成分の消化性を比較するとともに、②受精卵の成分特性を解明して良質卵に特有の栄養成分を把握した上で、③それらの結果をもとに親魚用飼料を調整して奄美庁舎の海面生簀で養成している親魚に与えた。

開発したクロマグロ成魚の消化液を用いた人工消化実験系では各種生餌に比べ、魚粉や各種配合飼料やタンパク質の消化性が劣り（図1）、また、幼稚魚の糞等の分析結果からは脂質（図2、3）と、市販飼料グレードの魚粉のタンパク質（図3）の消化性が劣った。一方、クロマグロの受精卵は与えた飼餌料の成分含量を反映し、生餌（サバ）を与えた場合に比べ、市販配合飼料を与えると受精卵のビタミン含量は高いもののDHAが少なかった（図4）。また、ブリ親魚における検討では配合飼料を与えると生餌（サバ、イカ）を与えた場合に比べて卵巣のDHAが少なかったため、水産加工残渣由来のリン脂質およびDHAを強化した飼料を与えたところ、卵巣や肝臓のDHAが増加し、かつ、成熟の促進・同期化がみられた。

以上のことからリン脂質（クロマグロ用飼料では大豆レシチンを使用）およびDHAを強化して、さらに良質な魚粉を配合した親魚用飼料を調整してクロマグロの成熟開始前の2月から与えたが、満3歳魚では産卵は認められなかった。なお、奄美庁舎の海面生簀および

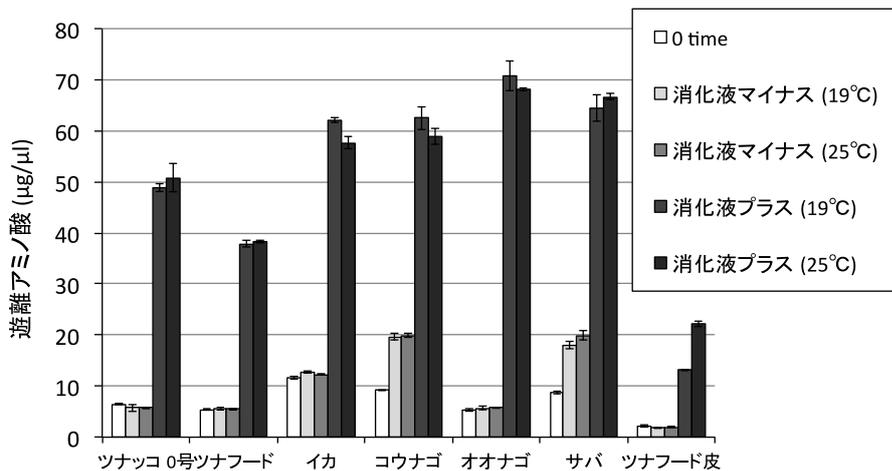


図1 クロマグロ成魚の人工消化実験系における各種飼餌料のタンパク質の消化性

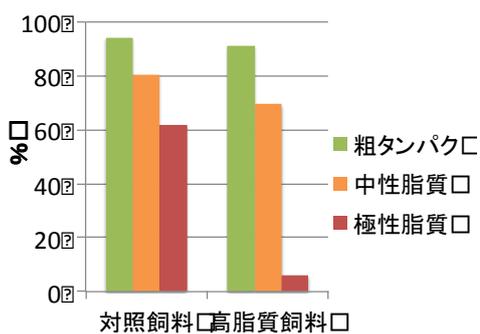


図2 稚魚用に調整した配合飼料のクロマグロにおける消化吸収率 (%)

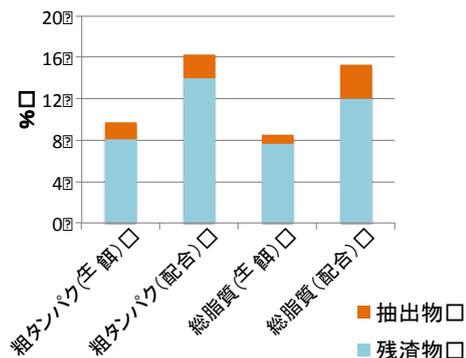


図3 クロマグロ幼魚に生餌および市販配合飼料を与えて得た糞の成分含量 (%)

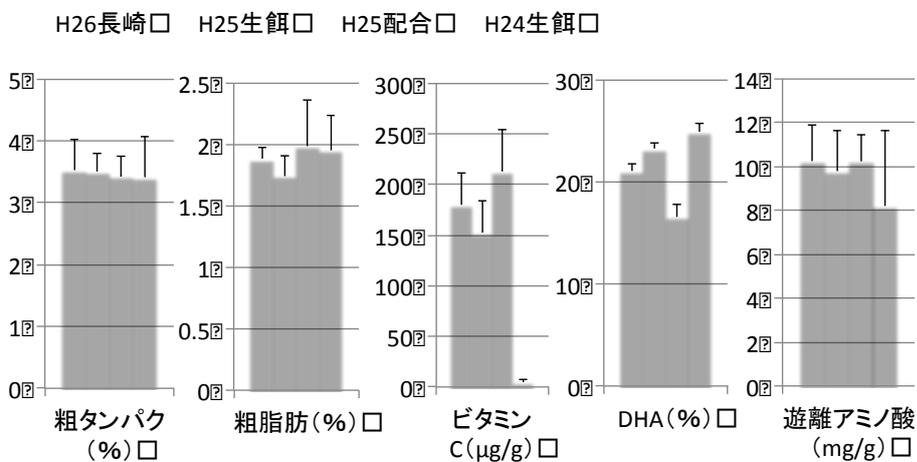


図4 生餌および配合飼料で養成したクロマグロ親魚から得られた受精卵の成分含量 (長崎庁舎では生餌と配合飼料を併用給餌)

長崎庁舎の陸上水槽で与えた飼餌料の分析結果から、成熟前の養成期間に与えた生餌や市販配合飼料のロット（栄養価）によってはクロマグロ満3歳魚の成熟前の栄養状態が十分ではなかった可能性が示唆された。

クロマグロの種苗量産化にあたっては、①クロマグロ仔稚魚の消化生理を明らかにして、それに合致した原料を配合した飼料を開発することにより、魚肉ミンチや餌料用ふ化仔魚の使用量を削減することと、②種苗生産中期以降の減耗要因を明らかにして、その減耗を防除する技術開発を目標とした。

クロマグロの種苗生産において、沖出し後に利用可能な配合飼料をベースに、配合する原料や餌付け方法を検討した結果、酵素処理した魚粉と魚卵（ブリ由来）を配合した飼料により、種苗生産後期に与えるイカナゴミンチを完全に代替することができた（図5）。この成果を受け、当該飼料を後述の減耗防除技術開発では活用した。一方、開発したクロマグロ仔魚の消化液を用いた人工消化実験系により仔魚の消化生理や餌料用ふ化仔魚の消化性を考慮し、かつ、素材の持つ機能を活用して調整した新規原料を配合した飼料で種苗生産したところ、同原料を配合した飼料がふ化仔魚代替飼料として有効であることを確認した（特許出願中）。

また、クロマグロの種苗生産中期以降の減耗要因は主として共食いと配合飼料の摂餌不良であることが判明し、前者は餌料用ふ化仔魚を摂餌可能な全長約7mmから単独給餌することで体サイズを均一化することにより（図6）、後者は配合飼料へ馴致する場合に併用する餌料用ふ化仔魚を少量・多回給餌して効率的に配合飼料に餌付けることにより、ともに減耗が防除された結果、取り上げ時の目標生残率（3%）を上回った（表1）。なお、配合飼料のサイズを微細化して全長10mmから配合飼料へ馴致を開始することで早期に配合飼料の餌付けが可能となり、餌料用ふ化仔魚の使用量を50%以上削減することができた（表1）。さらに、ワムシとアルテミアとの併用給餌による配合飼料への餌付けを行い、餌料用ふ化仔魚を用いずに複数回の種苗生産に成功した（取り上げ時の生残率は最大で約4%）。

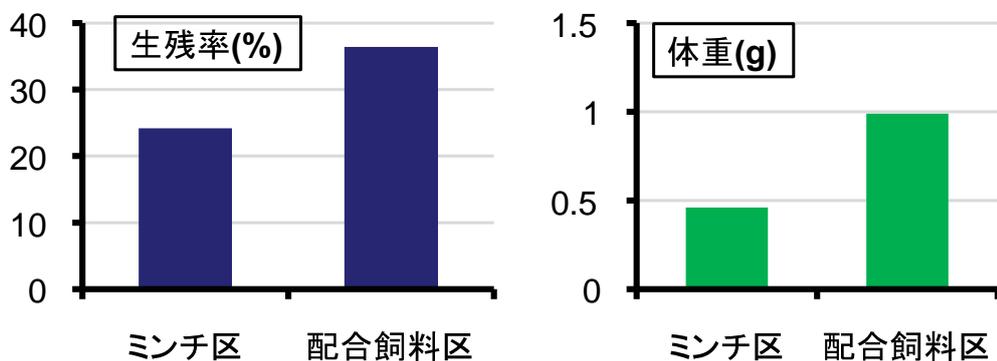


図5 イカナゴミンチおよび配合飼料を与えたクロマグロの種苗生産結果  
（両区とも餌料用ふ化仔魚を併用給餌）

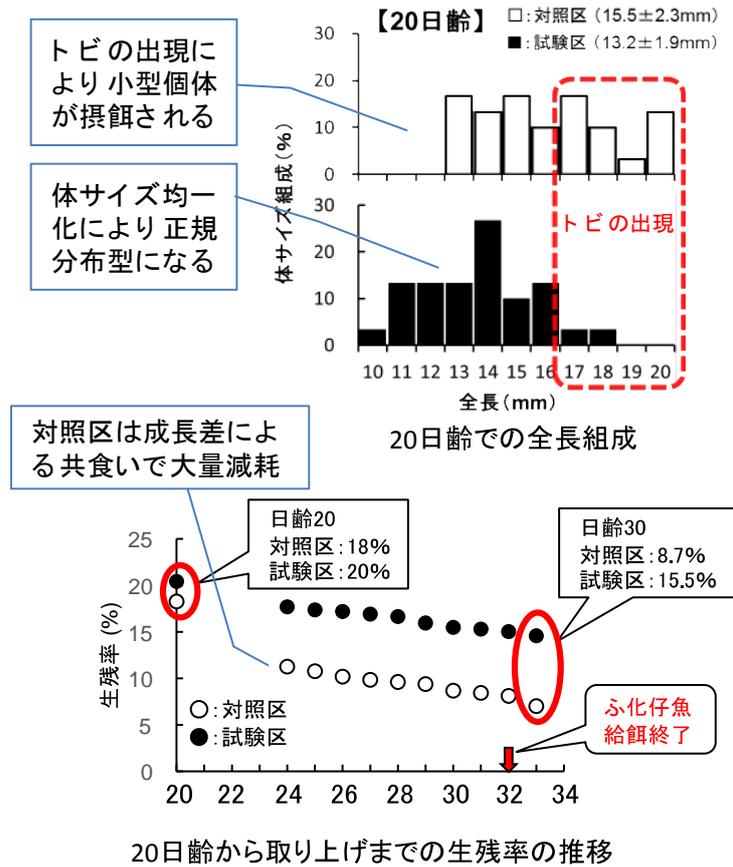


図6 早期から餌料用ふ化仔魚を単独給餌することによる体サイズの均一化と減耗防除効果 (12日齢から対照区: ワムシ、アルテミア、餌料用ふ化仔魚を併用、試験区: 餌料用ふ化仔魚を単独給餌)

表1 餌料用ふ化仔魚と配合飼料の給餌適正化による生残率の改善とふ化仔魚使用量の削減効果

	体サイズ均一化	配合飼料給餌開始	餌付け時のふ化仔魚給餌方法	取り上げ尾数(尾)	生残率(%)	1尾あたりのふ化仔魚尾数(万尾)
H26	あり	全長15mm	連続飽食	9,767	2.9	5.3
H27	あり	全長15mm	連続少量	12,855	7.1	2.2
H28	あり	全長10mm	全長15mmまで連続飽食 全長15mmから少量多回	5,957	4.8	1.5

### 3) 成果活用における留意点

クロマグロの親魚用飼料については、生物試料の適正なサンプリングが困難であることから、間接的な評価結果から満3歳魚を産卵させるための栄養学的な条件を推察した点が多いが、今後、満3歳魚を産卵させる、また、満3歳で産卵する個体数を増加させるためには、成熟開始にかなり先立った時点から消化性の良い原料を配合し、DHAなどの栄養素を強化した飼料を与えることで万全を期する必要性を示すことができた。

クロマグロの種苗量産については、早期からの餌料用ふ化仔魚の単独給餌と配合飼料への馴致開始により、体サイズを均一化して生残率を向上させ、かつ、餌料用ふ化仔魚の使

用量を大幅に削減可能な餌料系列が確立された。一方で、さらなる生残率の改善には、同餌料系列における配合飼料への餌付け完了に要する期間（約10日）を短縮する技術開発が必要である。また、餌料用ふ化仔魚をまったく使用せずに種苗を量産する可能性も十分にみえてきたが、餌料用ふ化仔魚を使用する場合と同様に配合飼料への馴致に時間を要するだけでなく、その間の成長が劣るため、配合飼料の摂餌性や栄養価の改善等が必要である。

#### 4) 今後の課題

現在の原料事情の下では、親魚用飼料はともかく、クロマグロの養殖用配合飼料の性能が生餌より劣り、かつ、環境への汚濁負荷が大きいと考えられるため、配合飼料によるクロマグロの持続可能な養殖および陸上水槽における養成には、クロマグロの消化生理を基礎から検討し、クロマグロ側での飼料原料の消化性を改善させる方策を検討するか、消化性の良い原料を探索・開発して配合する必要があると考えられる。

種苗量産のための配合飼料については、より馴致を円滑にできるように配合飼料の物性や配合組成・栄養価などの改良を行うとともに、餌料用ふ化仔魚をまったく用いない場合には種苗生産終盤に原因不明の大量斃死が起こる事例があったことから、その原因究明と解決も必要である。

中課題番号	11105380	研究期間	平成24～28年度
小課題番号	B-3-1	研究期間	平成24～28年度
中課題名	クロマグロ養魚場における池入れ後の生残率の向上		
小課題名	B-3-1、育成過程における減耗防除技術の開発		
小課題責任者名・研究機関	近畿大学水産研究所 升間主計		

## 1) 研究目的

クロマグロの種苗生産過程では、全長5～7 cmの稚魚を海面網生簀に池入れ後、養殖用原魚として用いられる全長約30cmの若魚（ヨコワ）にまで育成する間に、衝突など様々な原因によって70～100%が死亡する。そこで、この育成過程における減耗防除技術を開発し、本種の人工種苗の安定的量産化を行い、持続的なクロマグロ養殖を可能にすることを目的とする。

このため、本研究では

- (1) 沖出し直後の死亡原因の解明
- (2) 生残率に及ぼす生簀網の深さの影響
- (3) 適正収容密度の把握
- (4) 効率の良い沖出し方法の開発
- (5) 稚魚選別・計数方法の開発
- (6) 衝突防止効果の高い飼育生簀の開発

その結果、最終年度には原魚サイズ（全長約30cm、沖出し後50日間）の生残率を50%以上に向上させる技術を確立する。

## 2) 研究成果

- (1) 沖出し直後の死亡原因の解明（平成24～28年度）

直径30 mの生簀網へ約10,000尾収容し、採集された斃死魚の死亡原因を詳細に調べ分類した。死亡魚および生残魚を沖出しから3・5・7・14・21・28日後に採取し、全長・体重を計測後に軟x線写真を撮影して骨折の有無を確認し、胃内容物を解剖によって調べた。また同日に採取した生残魚の平均体重と死亡魚の体重を比較して棄却検定を用いて評価し、有意に小さい死亡個体を成長不良とした。死亡原因とその発生率から生残率を向上させるために克服すべき課題に優先順位をつけ、その対策を検証した。

沖出しから1カ月以内に発生する全死亡数の内50%以上が最初の7日間で発生した（Fig. 1, 2）。その原因として成長不良と異物（浮遊性の発砲スチロール片や木の枝等）の誤飲が多くこれらを防除する飼育技術の開発が必要である事が分かった（Fig. 3）。

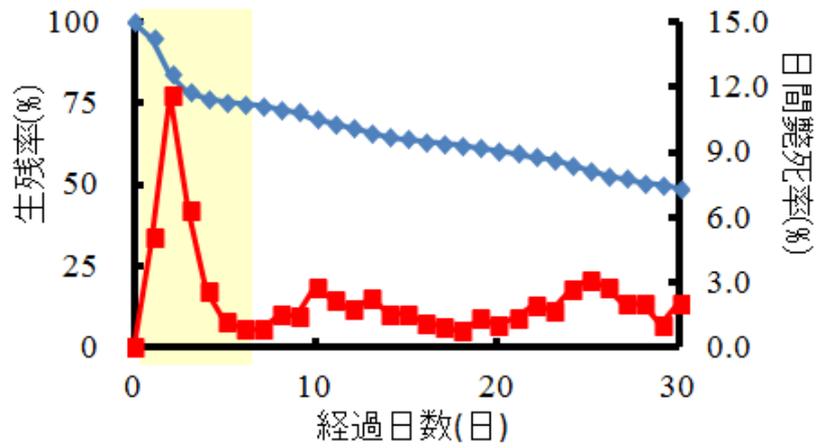


Fig. 1 沖出し後の生存率と日間死亡率の変化  
 ◆:生存率 (%) ■:日間死亡率 (%)

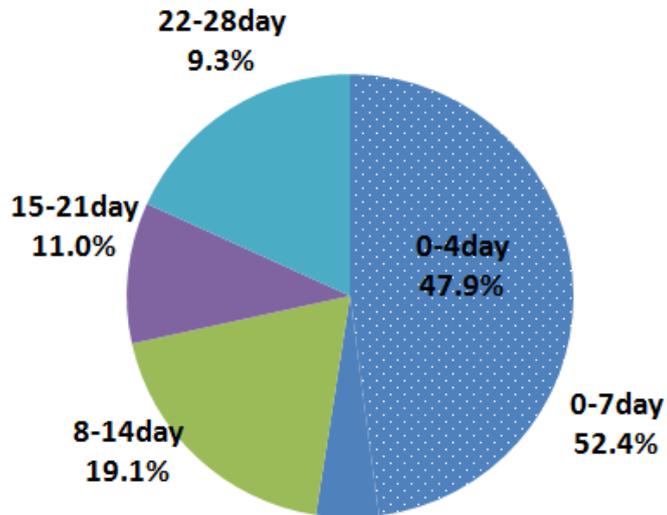


Fig. 2 沖出し7日間毎の死亡率 (%) の変化

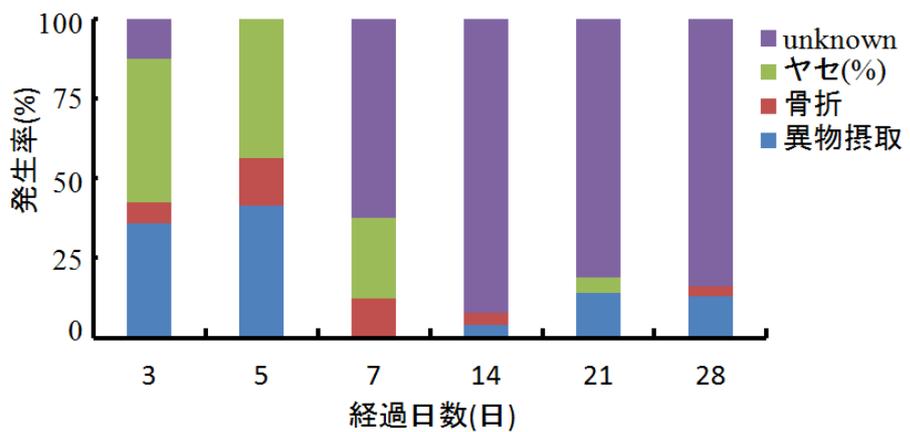


Fig. 3 主な死亡原因の発生率

池入れ(沖出し)から30日間とする中間育成期間における生残率を向上させる為には、池入れ直後の減耗防除対策が重要である事が示され、本研究以降はそれらを実施した。

異物誤飲の対策としてゴミ除けネットを設置したが、海況や潮流の変化あるいは風によって異物は生簀網内へ流入し、また夜間給餌の実施によっても生残率の改善効果は認められなかった。異物誤飲の減耗は生簀内に異物が流入する限りその対策は難しく、排除する作業努力が必要で根本的な解決と技術確立には今後さらに検討する必要がある。

(2) 生残率に及ぼす生簀網の深さの影響 (平成24~25年度)

クロマグロは鉛直方向にも活発に行動することが知られているが、これまでクロマグロの中間育成期間における生簀網の深さが成長・生残に及ぼす影響を調べた例はなかった。そこで本研究では一片13 mの角生簀と直径20 mの円形生簀を使用し、網の深さが4・6・8・10 mの各試験区を設けて飼育成績を比較した。

いずれの生簀でも深さ10 mの方が生残率は向上する傾向を示した (Fig. 4, 5) が、潜水作業による死亡魚の回収 (生残率の算出) 等の作業効率、生簀の設置・維持・管理、コスト等を考慮すると6 mの深さが最適と判断した。

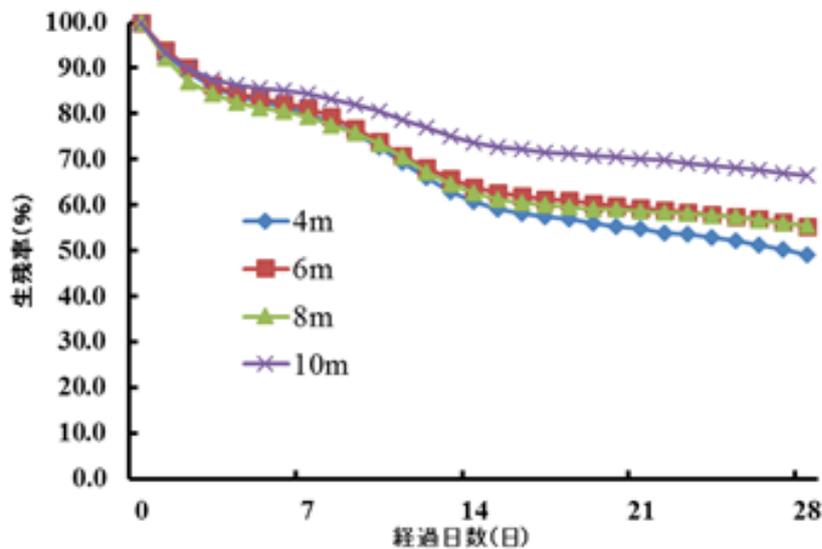


Fig. 4 生残率の推移

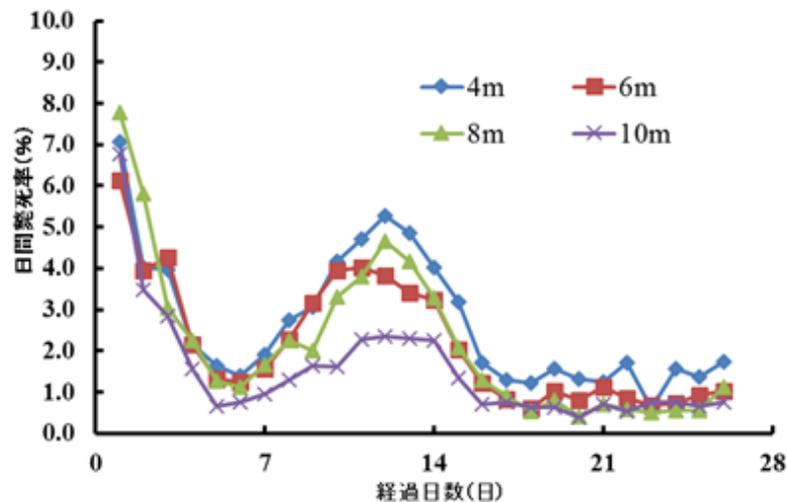


Fig. 5 日間斃死率の推移

### (3) 適正収容密度の把握（平成25～26年度）

他魚種と比べ高速で回遊し、成長速度も速いクロマグロの生簀育成において、沖出し時の適正な初期収容密度を把握する事は生産性を考慮すると重要な項目である。そこで本研究では一辺13 m 深さ6mの角生簀を用いて適正収容密度 (2.73, 5.29および10.72g/m<sup>3</sup>) について検討した。

沖出し直後から、収容密度が高い試験区ほど日間斃死率が高く、生残率は、低密度の区から順に 60、47、37% となり、収容密度が高いほど生残率が低い傾向がみられた (Fig. 6)。研究の結果 13 m 角生簀の場合は 1,500～2,000 尾程度 (約 3 g/m<sup>3</sup>) が適している事が判明した。

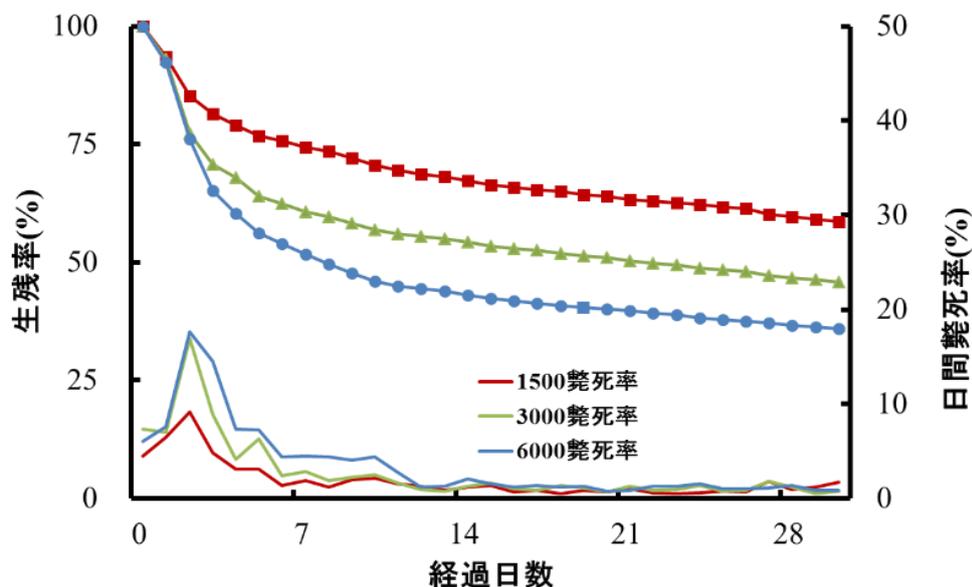


Fig. 6 収容密度と生残率の関係

### (4) 効率の良い沖出し方法の開発（平成25～28年度）

本研究では成長不良への対策、沖出し方法でクロマグロに負荷されるストレス反応とその回復に要する期間、およびその改善に向けた研究を実施した。

現在の沖出しに伴う輸送・ハンドリングストレスを評価した結果、回復には少なくとも2日間（48時間）を要し3日目より体成分等の回復が確認された。このストレス反応と体成分の減少を改善する為に着目したのが沖出し前の無給時時間と給餌再開時間で、結果として無給時時間は3～15時間必要で再開には輸送から9時間後が最も適していると判断された。

### (5) 稚魚選別・計数方法の開発（平成27～28年度）

近畿大学ではクロマグロ稚魚を30～35日齢、全長約70 mm、体重約3gで沖出ししているが、平均以下の小個体も同時に沖出しされ、それらが餌料を摂餌できないあるいはストレス負荷から回復できない等の原因で死亡すると仮定し試験を実施した。すなわち、陸上水槽で飼育期間を延長し10 cmサイズまで飼育してから沖出しする大サイズの試験区とこれまでの同サイズでの対照区を比較した。

研究の結果、沖出しサイズが大きくなるとハンドリングや輸送の影響により沖出し当日の死亡率が上昇する事が判明した (Fig. 7, 8)。そこで次に小サイズによる早期沖出し試験を実施した結果、対照区と同程度の生残率および成長が確認されたことからクロマグロ

種苗

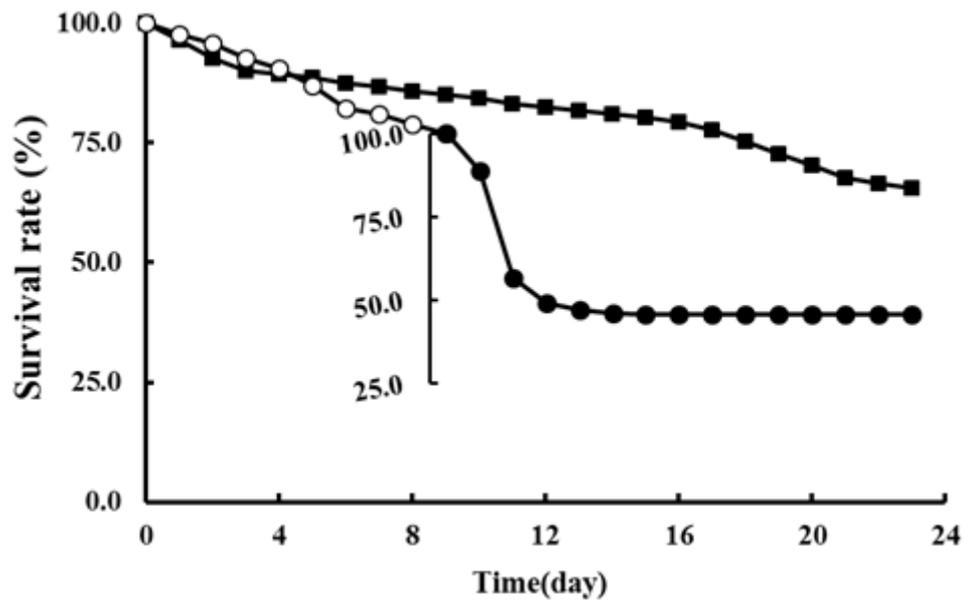


Fig. 7 陸上水槽飼育中および沖出し後の生残率  
 ■ : Normal(TL7cm) ○ : 陸上水槽  
 ● : Large(TL10cm)  
 ab有意差あり ( $t$ -test  $P=0.013$ ,  $n=3$ )

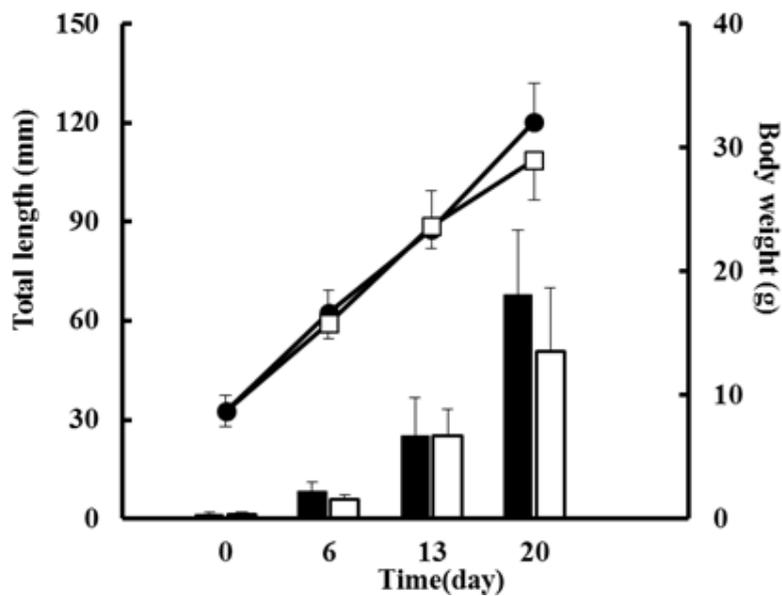


Fig. 8 沖出し後の成長  
 ■ : サイズ(小) □ : 対照区  
 ● : サイズ(小) □ : 対照区

生産のさらなる効率が期待される成果を得る事ができた(Fig.8)。

(6) 衝突防止効果の高い飼育生簀の開発 (平成26~28年度)

これまでクロマグロの中間育成期間には夜間照明が生残率の向上に有効である事を報告したが、本研究ではその照射強度や照射範囲について検討した。試験には照射範囲を同一としたLED照明装置を作製し、試験区は夜間照明を設置しない対照区 (0 lx) から30,000 lxまで照射強度を変えて実施した。さらにLED照明器具を複数基設置して照射範囲が生残率等に及ぼす影響を調べた。

夜間照明の照射強度と沖出しから14日後の生残には強い正の相関関係が認められ、生簀中央の水表面で10,000 lx以上が必要である事が判明した。また、照射範囲について調べたところ夜間照明の照射強度が十分 (10,000 lx) あれば、その照射範囲はそれほど重要でない可能性が示唆され、この結果は再現性も確認された(Fig.9)。

以上の本課題における5年間の研究結果を統合した結果、初年度に沖出しから1か月後の生残率が50%程度であった中間育成期間においてその生残率は約70%に改善された。また、この高い生残率は平成27年度および28年度の2カ年に渡って複数台の生簀で確認できた事から当初の目標に到達し、技術を確立できたと考える。

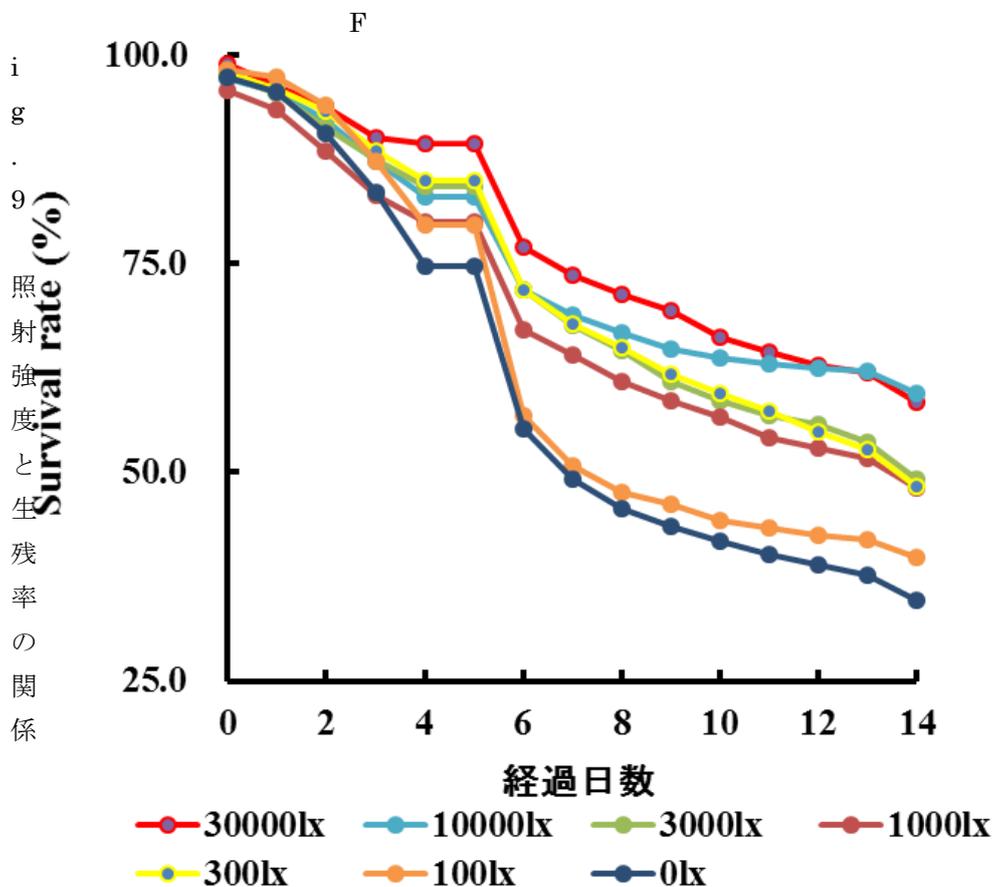


Fig. 9 照射強度と生残率の関係

3) 成果活用における留意点

本研究結果の一部は学術論文として既に発表されており、本種の持続的養殖の実現に向

けて広く活用される事を希望する。しかし、本種は西日本の各地で養殖される事からそれぞれの海域に合致した対策が必要であると考えられる。また海上生簀での飼育である為、海況や潮流など特に透明度等の環境要因に強く影響を受ける可能性が指摘され留意すべき点である。

#### 4) 今後の課題

上記3) 成果活用における留意点でも報告した様に、海域等の違い、環境要因の影響により本研究で開発・確立した技術で必ずしも生残率が向上するとは限らない。今後、さらに実証試験を重ねるなど飼育データを積み重ねる事が今後の課題だと考えられる。

## 成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等			報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	取得			
11105380	2	3	40	7	12	0	0	0	55	1	0

## (1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	機関名	タイトル	著者		巻(号)	掲載ページ	発行年	発行月
1	①	水産研究・教育機構	海水型生物ろ過槽のろ材のアンモニア酸化活性に及ぼす乾燥の影響	今井 正・吉浦康寿・森田哲男・今井 智・山本義久・高志利宣・岡 雅一	水産増殖	64(3)	273-280	2016	9
2	①	水産研究・教育機構	親魚水槽からの残留精子の効率的な除去方法	今井 正・吉浦康寿・高志利宣・森田哲男・今井 智・山本義久・岡 雅一	水産増殖			2017	
3	①	近畿大学	The cause of death of juvenile Pacific bluefin tuna ( <i>Thunnus orientalis</i> ) reared in sea net cages	Tokihiko Okada, Tomoki Honryo, Yoshihumi Sawada, Yasuo Agawa, Shigeru Miyashita, Yasunori Ishibashi	Aquacultural engineering	59	23-25	2014	3
4	①	水産研究・教育機構	Disinfection of fertilized eggs of Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> with electrolyzed sea water for prevention of viral nervous necrosis	樋口健太郎・小西淳平・高志利宣・田中庸介・鈴木絢子・辻田明子・澤口有美・岡雅一・虫明敬一	水産増殖	63(3)	333-341	2015	9
5	①	水産研究・教育機構	Prevalence of collision death in 2-year-old Pacific bluefin tuna, <i>Thunnus orientalis</i> , reared in land-based tanks for broodstock management	Kadota T., Takashi T., Oka M., Higuchi K., Gen K., Tanaka Y., Sawaguchi S., Mushiake K.	Aquaculture	454	252-256	2016	3

## (2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	持続的養殖プロ研マグロー1:異なる藻類で培養したワムシの給与がクロマグロ仔魚の成長および生残に及ぼす影響	松成宏之	水産研究・教育機構	日本水産学会	2012	9
2	持続的養殖プロ研マグロー2:ワムシおよびアルテミア幼生へのアミノ酸強化の可能性	松成宏之	水産研究・教育機構	日本水産学会	2012	9
3	持続的養殖プロ研マグロー3:クロマグロ稚魚の生簀網における死亡原因の調査	岡田貴彦	近畿大学	日本水産学会	2013	3
4	持続的養殖プロ研マグロー4:クロマグロに用いる生物餌料・配合飼料の残餌が水質悪化に及ぼす経過時間と水温の影響	今井 正	水産研究・教育機構	日本水産学会	2013	9
5	持続的養殖プロ研マグロー5:クロマグロが排泄するアンモニアと糞の量	今井 正	水産研究・教育機構	日本水産学会	2013	9
6	持続的養殖プロ研マグロー6:生物餌料および配合飼料の給餌に伴うクロマグロのアンモニア排泄量	高志利宣	水産研究・教育機構	日本水産学会	2013	9

7	持続的養殖プロ研マグロ-7:クロマグロ仔魚用飼料の適正サイズの検討	松成宏之	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
8	持続的養殖プロ研マグロ-8:クロマグロ仔稚魚期における消化酵素の性状と成長に伴う変化	村下幸司	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
9	持続的養殖プロ研マグロ-9:クロマグロ仔稚魚における膵臓リパーゼおよび胆汁酸活性化リパーゼの特徴	村下幸司	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
10	持続的養殖プロ研マグロ-10:ブリ親魚飼料における添加油脂の質および含量が成長および卵巣脂質に及ぼす影響	古板博文	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
11	持続的養殖プロ研マグロ-11:クロマグロ後期種苗用配合飼料の開発	横山佐一郎	鹿児島大学	日本水産学会	2014	3
12	持続的養殖プロ研マグロ-12:クロマグロの安定採卵に向けた大型陸上水槽への人工2歳魚の輸送と収容後の飼育	高志 利宣	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
13	持続的養殖プロ研マグロ-13:クロマグロ2歳魚の陸上水槽飼育における衝突死	門田 立	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	3
14	持続的養殖プロ研マグロ-14:クロマグロ成魚・仔魚抽出液を用いた人工消化の検討	村下幸司	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	9
15	持続的養殖プロ研マグロ-15:クロマグロ稚魚における飼料タンパク質源の消化性	瀬川豊太	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	9
16	持続的養殖プロ研マグロ-16:大型陸上水槽内でのクロマグロ人工3歳魚の産卵	岡雅一	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
17	持続的養殖プロ研マグロ-17:飢餓時および給餌時のクロマグロの窒素排泄量	高志利宣	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
18	持続的養殖プロ研マグロ-18:クロマグロ親魚水槽における突発遊泳行動の日周変化について	辻田明子	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
19	持続的養殖プロ研マグロ-19:ウイルス性神経壊死症防除を目的とした電解海水によるクロマグロ受精卵の洗浄条件の検討	小西淳平	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
20	持続的養殖プロ研マグロ-20:硝化細菌に及ぼすアンモニア源の供給停止と乾燥の影響	今井 正	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
21	持続的養殖プロ研マグロ-21:ミトコンドリアDNAのハプロタイプ解析から推定した陸上水槽におけるクロマグロの産卵特性	鈴木絢子	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3

22	持続的養殖プロ研マグロー22:クロマグロゲノム情報を用いた仔魚期の栄養状態指標となるバイオマーカーの探索	樋口 理人	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
23	持続的養殖プロ研マグロー23:カプセル餌料のヒラメ仔魚における利用性—クロマグロへの応用の予備的検討—	松成宏之	水産研究・教育機構	日本水産学会	2015	3
24	持続的養殖プロ研マグロー24:クロマグロ稚魚の成長、生残と体組成におよぼす新規飼料の影響	永田光	鹿児島大学	日本水産学会	2015	9
25	持続的養殖プロ研マグロー25:親魚水槽内の残留精子の効率的な除去法の検討	今井 正	水産研究・教育機構	水産増殖学会	2015	11
26	持続的養殖プロ研マグロー26:クロマグロ種苗生産における配合飼料の餌付け方法	横山佐一郎	鹿児島大学	日本水産学会	2016	3
27	持続的養殖プロ研マグロー27:クロマグロ種苗生産における体サイズ均一化手法の開発	吉川壮太	長崎総合水産試験場	日本水産学会	2016	3
28	持続的養殖プロ研マグロー28:クロマグロ仔魚への冷凍アルテミアの給餌効果	松成宏之	水産研究・教育機構	日本水産学会	2016	3
29	持続的養殖プロ研マグロー29:養成クロマグロの産卵間隔および産卵数の推定	鈴木絢子	水産研究・教育機構	日本水産学会	2016	3
30	持続的養殖プロ研マグロー30:クロマグロ稚魚の輸送および沖だし後の生残率等に及ぼす魚体サイズの影響と皮膚の発達	村山 昂	近畿大学	日本水産学会	2016	9
31	持続的養殖プロ研マグロー31:クロマグロの中間育成期間における夜間給餌の影響	岡田貴彦	近畿大学	日本水産学会	2016	9
32	持続的養殖プロ研マグロー32:クロマグロ親魚水槽の生物ろ過槽におけるアンモニア酸化細菌の動態	高志利宣	水産研究・教育機構	日本水産学会	2016	9
33	持続的養殖プロ研マグロー33:昇光時間の調節によるクロマグロ親魚の突進遊泳頻度の低減効果	辻田明子	水産研究・教育機構	日本水産学会	2016	9
34	持続的養殖プロ研マグロー34:養成クロマグロ1尾当たりの産卵間隔および産卵数の推定	鈴木絢子	水産研究・教育機構	日本水産学会九州支部大会	2016	12
35	持続的養殖プロ研マグロー35:クロマグロ種苗生産に不可欠な餌料ふ化仔魚に替わる配合飼料の開発	久門一紀	水産研究・教育機構	日本水産学会	2017	3
36	持続的養殖プロ研マグロー36:クロマグロ稚魚の成長、消化吸収および摂餌性におよぼす飼料水分量の影響	横山佐一郎	鹿児島大学	日本水産学会	2017	3
37	持続的養殖プロ研マグロー37:大型陸上水槽におけるクロマグロ親魚の生残率向上と産卵の再現性確認	樋口健太郎	水産研究・教育機構	日本水産学会	2017	3
38	持続的養殖プロ研マグロー38:硝化細菌に及ぼすアンモニア源の供給停止の影響	今井正	水産研究・教育機構	日本水産学会	2017	3

39	持続的養殖プロ研マグロ-39:多孔質ろ材の洗浄が硝化細菌に及ぼす影響	今井正	水産研究・教育機構	日本水産学会	2017	3
40	持続的養殖プロ研マグロ-40:クロマグロ稚魚におけるタンパク質と脂質の消化性	山本剛史	水産研究・教育機構	日本水産学会	2017	3
41	A prospect of research and development on broodstock management and larviculture of Pacific bluefin tuna	Oka M.	水産研究・教育機構	World Aquaculture Fin fish Symposium	2013	10
42	Current and future research on aquaculture technology in Pacific bluefin tuna.	Oka M.	水産研究・教育機構	Taiwan Fisheries Research Symposium	2013	12
43	Development of Pacific Bluefin Tuna Transport Technique	Takashi T.	水産研究・教育機構	World Aquaculture 2014、Adeleide	2014	6
44	Spontaneous spawning of 3-year-old Pacific bluefin tuna, <i>Thunnus orientalis</i> , reared by manipulating water temperature and photoperiod in land-based tanks	Oka M.	水産研究・教育機構	Aquaculture 2015	2015	8
45	Evaluation of Nitrogen excretion in young immature and adult Pacific bluefin tuna ( <i>Thunnus orientalis</i> ) in the land-base tank	Takashi T.	水産研究・教育機構	UJNR水産増養殖専門部会シンポジウム	2016	10
46	Interval and spawning frequency of Pacific bluefin tuna <i>Thunnus orientalis</i> in a land-based tank	Suzuki A.	水産研究・教育機構	UJNR水産増養殖専門部会シンポジウム	2016	10
47	Diurnal changes in frequency of the burst swimming behavior of adult Pacific bluefin tuna, <i>Thunnus orientalis</i> , in a land-based tank	Tujita A.	水産研究・教育機構	UJNR水産増養殖専門部会シンポジウム	2016	10

## (3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	②	世界初の陸上採卵研究がスタート—乱獲されるクロマグロを資源管理	虫明敬一	水産研究・教育機構	財界九州	2013	8
2	②	まぐろ飼育研究施設の稼働と目指す研究方向	虫明敬一	水産研究・教育機構	ながさき経済	2013	11
3	②	水産総合研究センターまぐろ飼育研究施設の稼働	虫明敬一	水産研究・教育機構	日本水産学会	2014	1
4	②	マグロ養殖の配合飼料研究 摂餌の向上と消化吸収率	横山佐一郎	鹿児島大学	緑書房	2014	11
5	②	陸上水槽でクロマグロを産卵させる —研究施設では世界初、大型陸上水槽での産卵の意義—	岡雅一	水産研究・教育機構	BIO九州	2015	8
6	②	技術が拓くクロマグロ養殖の未来	岡雅一	水産研究・教育機構	理大科学フォーラム	2015	11
7	②	「Aquaculture2015に参加して」、水産研究のフロントから、	岡雅一	水産研究・教育機構	日本水産学会	2016	2
8	②	飼料・栄養剤企業の取り組み	大谷諒敬・三宅謙嗣	林兼産業株式会社	緑書房	2016	3
9	②	国内クロマグロ養殖の現状と課題	塩澤聡	水産研究・教育機構	農林水産食品産業技術振興協会	2016	11
10	②	養殖用人工種苗の量産技術開発と養殖技術の展望	岡雅一	水産研究・教育機構	農林水産食品産業技術振興協会	2016	11
11	④	クロマグロの水槽内産卵試験施設が完成！～受精卵の安定的確保を目指して～	岡雅一	水産研究・教育機構	西海	2013	4
12	④	大型陸上水槽でクロマグロ3歳魚が産卵に成功！—研究施設建設から1年目の研究成果—	岡雅一	水産研究・教育機構	西海	2015	5

## (4) 国内特許権等

整理番号	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日
	該当無し							

## (5)国際特許権等

整理番号	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	特許権等 の種類	番号	出願年月日	取得年月日
	該当無し							

## (6)報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名等	掲載月	掲載日	機関名	備考
①	「クロマグロ陸上水槽が完成！ー人工種苗の 安定的生産を目指してー」	水産研究・教育機構	2013.6	3日	水産研究・教育機構	
①	大型陸上水槽でのクロマグロの産卵に成功！ 「人工種苗の安定的生産への第 一步」	水産研究・教育機構	2014.5	23日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ陸上で養殖 安定供給狙う	日本経済新聞夕刊	2012.12	5日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ稚魚安定生産へ	みなと新聞	2012.12	18日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ完全養殖用研究施設が完成	毎日新聞	2013.6	4日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ水槽で養殖	読売新聞	2013.6	4日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ採卵場完成、陸上で世界初完全養 殖目指す	西日本新聞	2013.6	4日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ陸上水槽完成、水温や光を制御、 採卵	水産経済新聞	2013.6	5日	水産研究・教育機構	
②	陸上生産研究着手へ	みなと新聞	2013.6	5日	水産研究・教育機構	
②	高級クロマグロ稚魚の安定生産に向けた研究 施設完成	長崎JCネットニュース	2013.6	5日	水産研究・教育機構	
②	陸上採卵施設にマグロ搬入	長崎新聞	2013.6	10日	水産研究・教育機構	
②	まぐろ飼育研究施設完成	西日本新聞	2013.6	22日	水産研究・教育機構	
②	海のダイヤ 陸上採卵試験	読売新聞	2013.6	25日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ陸上採卵試験	読売新聞	2013.6	27日	水産研究・教育機構	
②	陸上でクロマグロ養殖 長崎の採卵施設が稼 働	日本経済新聞	2013.7	3日	水産研究・教育機構	
②	高級クロマグロ稚魚の安定生産に向けた研究 施設完成	長崎新聞	2013.7	4日	水産研究・教育機構	
②	世界初、水槽で卵を	長崎新聞	2013.7	27日	水産研究・教育機構	
②	産卵の謎 追求するロマン	朝日新聞	2013.8	1日	水産研究・教育機構	

②	資源管理へ、待たれる成果、クロマグロ陸上採卵	長崎新聞	2013.8	2日	水産研究・教育機構	
②	高級魚クロマグロは身近な食材になるか 水槽で産卵、研究スタート	日本経済新聞	2013.8	12日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロの産卵 稚魚の安定供給目指し	毎日新聞	2013.8	26日	水産研究・教育機構	
②	養殖マグロ育ち盛り	日本経済新聞	2014.1	1日	水産研究・教育機構	
②	養殖マグロ育ち盛り 天然資源、損なわない	産経新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ水槽で産卵 世界初 幼魚安定供給に道	読売新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ 水槽産卵 長崎の研究所 陸上飼育で世界初、安定供給へ一歩	毎日新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ産卵成功 水産総研 屋内施設では世界初	神奈川新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ手届きやすく? 屋内施設で産卵成功	東京新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ 水槽で産卵 水産総合研究センター、屋内初 大量養殖に期待	日経新聞	2014.5	24日	水産研究・教育機構	
②	偏差値の高いクロマグロ養殖	週刊新潮	2014.6	5日	水産研究・教育機構	
②	陸上でクロマグロの産卵に成功 水研センター、長崎市内の施設で	水産タイムス	2014.6	26日	水産研究・教育機構	
②	陸上水槽でマグロが産卵 水研センター種苗の安定確保へ	水経新聞	2014.6	26日	水産研究・教育機構	
②	陸上水槽でクロマグロ産卵 水研センターが世界で初めて成功	水産通信	2014.6	26日	水産研究・教育機構	
②	クロマグロ陸上採卵に成功 種苗安定生産へ「第一歩」	みなと新聞	2014.6	26日	水産研究・教育機構	
②	大型陸上水槽でクロマグロ産卵成功 人工種苗の安定的生産への第一歩	読売新聞	2014.7	24日	水産研究・教育機構	
②	横山政務官が西海区水研など視察 クロマグロ増養殖に理解 次世代型陸上システムも	水経新聞	2014.8	22日	水産研究・教育機構	
②	最新の増養殖研究報告、水研センターマグロ陸上施設産卵など	水産経済新聞	2015.2	2日	水産研究・教育機構	
②	ORPTセミナー 完全養殖技術実用化へ クロマグロ陸上養殖研究を発表	みなと新聞	2015.3	23日	水産研究・教育機構	
②	陸上水槽での産卵・孵化の世界初成功から1年 研究の成果、進行中の実験、新たなる計画 見えてきた目標達成の見通し	西日本新聞	2015.6	27日	水産研究・教育機構	

②	クロマグロを完全養殖 県総合水試など“県産”初成功「将来的には販売まで	長崎新聞	2015.9	3日	長崎県総合水産試験場	
②	クロマグロ 稚魚生産数、過去最高へ 県総合水産試験場「生残率」4%4万匹	毎日新聞	2015.9	4日	長崎県総合水産試験場	
②	クロマグロ人工種苗 生残倍率の6% 完全養殖で長崎県総合水試	みなと新聞	2015.9	4日	長崎県総合水産試験場	
②	クロマグロ種苗 長崎でも量産成功 県総合水試が4万尾 初の完全養殖	水産経済新聞	2015.9	4日	長崎県総合水産試験場	
②	水研センターがクロマグロ受精卵を有償配布へ	水産経済新聞	2015.12	14	水産研究・教育機構	
②	養殖マグロ特集・原魚の安定生産技術開発	みなと新聞	2016.5	26	水産研究・教育機構	
②	クロマグロの完全養殖を目指す国家プロジェクト、最終年度 —5ヵ年計画の進展とこれまでの成果、そして新たな課題と目標に向けて—	西日本新聞	2016.6	27	水産研究・教育機構	
③	クロマグロ養殖研究	NHKニュース	2012.12	28日	水産研究・教育機構	
③	クロマグロ完全養殖目指す施設完成	NHKニュース	2013.7	3日	水産研究・教育機構	
③	マグロ採卵、陸上施設で 資源保護へ世界初の試み	MSN産経ニュース	2013.7	3日	水産研究・教育機構	
③	クロマグロの陸上飼育開始	NNNストレイトニュース	2013.7	7日	水産研究・教育機構	
③	マグロを食べないで！の真相	読売テレビ, ウェークアップ! ぷらす	2013.8	31日	水産研究・教育機構	
③	陸上水槽でクロマグロが産卵	NHKニュース7	2013.5	23日	水産研究・教育機構	
③	大型陸上水槽でのクロマグロの産卵に成功!	NBC.見んと!	2013.6	6日	水産研究・教育機構	
③	番組「ダーウィンが来た」クロマグロの水槽内産卵映像放映	NHK	2017.1	1日	水産研究・教育機構	番組の一部で、水槽内産卵映像とともに紹介
④	研究施設の大型陸上水槽で世界初、クロマグロの産卵ふ化に成功	aff、August2015	2015.8	1日	水産研究・教育機構	
④	第13回因島種苗生産技術交流会、養殖クロマグロ人工種苗生産について、各社の取り組みを報告	養殖ビジネス2015.10	2015.11	1日	水産研究・教育機構	

(7) 普及に移しうる成果

区分: ①普及に移されたもの、製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの

区分	成果の名称	機関名	普及(製品化) 年月		主な利用場面	普及状況
			年	月		
②	餌料ふ化仔魚に代替可能なクロマグロ用新規飼料の開発	林兼産業株式会社	2016	1	クロマグロ種苗生産	国立研究開発法人水産研究・教育機構長崎県総合水産試験場で実用試験

(8) 発表会の主催の状況

(シンポジウム・セミナー等を記載する。)

整理番号	発表会の名称	年月日			開催場所	参加者数	機関名	備考
1	該当無し							

(9) アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

区分: ①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、

③その他(子供向け出前授業等)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	年月日			参加者数	主な参加者	機関名	備考
1	①	講演「マグロを中心とした養殖技術の現状」	2013	10	23	アグリビジネス創出フェア、水産シンポジウム	70	一般、会社員、主婦、学生、行政、試験研究等	水産研究・教育機構
2	①	講演「クロマグロ陸上飼育施設の稼働と研究の方向性」	2014	2	13	第2回クロマグロ養殖技術研究会	62	養殖機関、大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構

3	①	講演「クロマグロ産卵試験水槽施設を使った研究について」	2014	2	20	平成25年度国際資源評価等推進事業まぐろ調査研究成果報告会	80	大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構	
4	①	これからも美味しいまぐろを食べるために ～くろまぐろ研究の最前線を知ろう～	2014	10	19	サイエンスカフェ、西海区水産研究所一般公開	25	一般、子供、学生、行政、試験研究等	水産研究・教育機構	
5	①	クロマグロ養殖の未来とは	2014	10	19	サイエンスカフェ、西海区水産研究所一般公開	23	一般、学生、試験研究等	水産研究・教育機構	
6	①	講演「西水研まぐろ飼育研究施設におけるクロマグロ人工3歳魚の産卵について」	2014	12	5	長崎県種苗生産技術研究会	30	養殖機関、長崎市、長崎県	水産研究・教育機構	
7	①	講演「大型陸上水槽におけるクロマグロ人工3歳魚の産卵」	2014	12	8	第3回クロマグロ養殖技術研究会	73	養殖機関、大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構	
8	①	講演「クロマグロ養殖の今後の展望」	2014	12	13	第11回海洋教育フォーラム、私たちと海のめぐみ	25	一般、会社員、学生、行政、試験研究等	水産研究・教育機構	
9	①	講演「マグロの陸上施設での産卵実験」	2015	1	15	水産総合研究センター第12回成果発表会、卵から食卓まで～水産増養殖の新たな展開～	300	一般、会社員、学生、行政、業界関係者、試験研究等	水産研究・教育機構	
10	①	講演「農林水産技術会議委託プロジェクト研究クロマグロ高品質稚魚の安定供給技術の開発の成果について」	2015	8	6	第13回因島種苗生産技術交流会	82	大学、学生、行政、業界関係者、試験研究等	水産研究・教育機構	
11	①	講演「まぐろ増養殖研究センターの研究概要について」	2015	11	12	平成27年度国際水産資源関係研究開発推進会議	51	行政、業界関係者、大学、試験研究、水産庁	水産研究・教育機構	
12	①	講演「光とクロマグロの行動」	2015	12	10	第4回クロマグロ養殖技術研究会	76	養殖機関、大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構	
13	①	講演「クロマグロ養殖技術の問題点」	2015	12	10	第4回クロマグロ養殖技術研究会	76	養殖機関、大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構	
14	①	講演「クロマグロ養殖技術の問題点」、平成27年度鹿児島県クロマグロ養殖振興協議会	2016	1	22	平成27年度鹿児島県クロマグロ養殖振興協議会	30	養殖機関、鹿児島県、関係団体、	水産研究・教育機構	
15	①	講演「クロマグロ産卵試験水槽施設を使った研究成果」	2016	2	26	平成27年度国際資源評価等推進事業、まぐろ成果報告会	54	大学、県、関係団体、水産庁	水産研究・教育機構	
16	①	講演「世界に誇るクロマグロ養殖技術」	2016	11	16	長崎南ロータリークラブ例会	41	ロータリークラブ会員	水産研究・教育機構	