

# 海洋生物資源確保技術高度化 事後評価結果

令和4年4月

科学技術・学術審議会

海洋開発分科会

# 海洋生物資源確保技術高度化

## 概要

### 1. 課題実施期間及び評価実施時期

平成23年度～令和2年度

事前評価：平成22年8月、中間評価：平成28年6月、事後評価：令和4年3月

### 2. 課題の概要・目的

近年、食料自給率の向上や海洋生物資源の枯渇などへの問題意識が高まっている。海洋生物資源を安定的、持続的に供給するためには、対象となる生物の生態的特性に基づいた天然資源の持続的な管理技術、利用技術の開発および養殖技術の高度化が特に重要である。そこで、本施策では、海洋生物資源の生態を解明し、正確な資源量予測・管理につなげるための研究開発、海洋生物資源を直接生産する技術に関する研究開発といった海洋生物資源の確保技術の高度化に関する基盤的技術開発を、競争的資金により実施する。

### 3. 研究開発の必要性等（事前評価結果等より）

#### （1）施策の重要性

水温の上昇により、サンマやイワシ、スルメイカ等の魚種の回遊ルートが変動して漁獲量が減少し、価格が高騰するなど、近年、地球温暖化によって海洋生物資源に影響が出ている。また、クロマグロについては2010年3月にワシントン条約締結国会議で国際取引禁止が議論されるなど、ここ数年、我が国の食糧としての海洋生物資源の確保に関する問題意識が高まっている。食料自給率が低い我が国にとって、海洋生物資源の安定的・持続的供給は、安全保障上重要な取り組みであり、「新成長戦略」等において指摘されているとおり、国が率先して取り組むべき課題である。海洋生物資源確保に関する研究開発については、多くの基礎的な課題を残しながら、基盤研究を担うべき大学等において、必ずしも活発に行われていない。それは、当該研究が、成果が見えるまでに時間がかかり、評価されにくい研究である等の理由によるものと考えられる。そのため、管理・養殖技術の飛躍的な高度化を図るためには、特に国民ニーズの高い海洋生物資源について、農林水産省等関係機関と連携しつつ、文部科学省において基礎的な研究開発を確実に実施することが重要である。

#### （2）実施方法の最適性

施策においては、農林水産省等関係機関の意見を踏まえつつ、有識者による委員会において、求められる課題を設定し、公募により、課題を達成するポテンシャルを有する大学等の研究機関を選定することとしている。これにより、本施策によって得られた海洋生物資源の生態等についての知見及び海洋生物資源を直接生産するための技術が産学官で共有され、水産業の活性化に貢献するとともに、生物学や海洋化学、生命工学などの学術の観点や生物多様性の維持など環境保全の観点からも重要な発展をもたらすなど、広範囲に成果が波及することが期待される。

### (3) 効率性

施策においては、特に国民ニーズの高い海洋生物資源を中心に、研究開発能力・実績を有する大学等の研究機関に対して、生態の解明とそれを踏まえた管理技術や生産技術の開発を委託することにより、効率的・効果的な研究開発を実施。

#### 4. 予算（執行額）の変遷

年度	H23 (初年度)	H24	H25	H26	H27
予算額	165百万	139百万	143百万	136百万	122百万
執行額	163百万	137百万	143百万	136百万	121百万

年度	H28	H29	H30	R 1	R 2	総額
予算額	103百万	102百万	70百万	65百万	53百万	1,098百万
執行額	99百万	98百万	70百万	61百万	47百万	1,079百万

#### 5. 課題実施機関・体制

プログラムディレクター：琉球大学学長 西田 睦

<テーマ①>海洋生物の生理機能を解明し、革新的な生産につなげる研究開発

研究課題 1：生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発

研究代表者：東京海洋大学 学術研究院 海洋生物資源学部門教授 吉崎 悟朗

<テーマ②>海洋生物の正確な資源利用予測を行うための生態系を総合的に解明する研究開発

研究課題 2：我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明

研究代表者：

水産総合研究センター東北水産研究所グループ長 齊藤 宏明（H23～H25年度、役職はH25年時点）

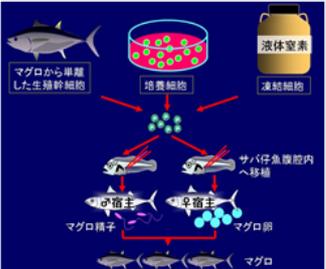
水産研究・教育機構西海区水産工学研究所部長 山田 陽巳（H26～H27年度、役職はH27年時点）

水産研究・教育機構水産資源 研究センター主幹研究員 高橋 素光（H28～R2年度）

研究課題 3：沿岸海域複合生態系の変動機構に基づく生物資源生産力の再生・保

全と持続的利用に関する研究（H29年度終了）

研究代表者：東京大学大気海洋研究所教授 渡邊 良朗（当時）

テーマ	① 海洋生物の生理機能を解明し、革新的な生産につなげる研究開発		② 海洋生物の正確な資源利用予測を行うための生態系を総合的に解明する研究開発
研究開発体制	研究代表者： 吉崎悟朗（東京海洋大学）	研究代表者： 高橋素光（水産研究・教育機構） 参画機関： 北海道大学、東京大学等の国立大学法人（5法人）	研究代表者： 渡辺良朗（東京大学） 参画機関： 京都大学、香川大学、水産研究・教育機構
研究開発内容	<p>生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発</p> <p>小型のサバ科魚種を代理の親魚として利用することでクロマグロ等の大型種の卵や精子を小型種に生産させ、大型魚の種苗生産を簡略化させる技術の開発を目指す。</p> 	<p>我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明</p> <p>黒潮生態系の構造と機能を明らかにし、環境変動に対する応答を理解し予測することにより、生態系の総合的な生産力の活用を図る研究を実施。</p> 	<p>沿岸海域複合生態系の変動機構に基づく生物資源生産力の再生・保全と持続的利用に関する研究</p> <p>複数の個生態系（河口干潟、岩礁藻場、外浜砂浜等）が相互に関連する沿岸海域について、生態系の構造・機能・変動や複合生態系内における生物資源の再生産過程と変動機構の解明、壊滅的攪乱を受けた海域の生態系機能復元過程と定常的生態系機能の解明に取り組む。</p> 

6. その他

研究課題3「沿岸海域複合生態系の変動機構に基づく生物資源生産力の再生・保全と持続的利用に関する研究」（東京大学大気海洋研究所）については、H27年度中間評価にて「東北マリンサイエンス拠点形成事業との連携・一部統合等を検討すべきである」との評価を受け、H29年度に終了し、別途、事後評価を実施している。このため、研究課題評価としては本評価票に含まれない。

# 事後評価票

(令和4年3月現在)

## 1. 課題名

海洋生物資源確保技術高度化

## 2. 研究開発計画との関係

研究開発計画との関係

施策目標：国家戦略上重要な基幹技術の推進

大目標（概要）：

世界規模での人口増加と地球温暖化等の変化による将来的な食料不足や栽培適地の変化が顕在化しつつある中で、国民に食料の安定供給を確保することは喫緊の課題であり、かつ国の重要な責務でもある。一方で、農林水産業は、我が国の地域経済を支える重要な産業であることから、環太平洋パートナーシップ（TPP）交渉等の結果も踏まえた農林水産業の生産性の向上や関連産業の活性化が課題である。このため、農林水産物・食品の輸出の促進及び食料自給率向上の実現を目指す。（第5期科学技術イノベーション基本計画）

中目標（概要）：

水産物・食品の輸出の促進及び食料自給率向上を実現するために、水産資源を含む海洋生物資源の安定的確保及び持続可能な利用に向けた取組を進める。このため、海洋生物資源の増殖や養殖に繋がる研究開発を推進し、生産性の革新的な向上を目指すとともに、関係機関と連携のもと高精度の海洋観測を継続的に実施し、海洋環境や水産資源の変動を再現・予測する手法を開発し、その活用を進めていく。

重点取組（概要）：

海洋生物資源の持続可能な利活用のために、「海洋生物の生理機能を解明し、革新的な生産につなげる研究開発」と「海洋生物の正確な資源利用予測を行うための生態系を総合的に解明する研究開発」を実施する。

具体的には、生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発を行い、低コストで安定した水産資源の供給や育種の加速、種の保全につながる革新的な増養殖技術を開発するとともに、我が国の漁業にとって重要な黒潮海域における生態系全体の生産力を持続的に利用するための手法等を開発する。

指標（目標値）：

アウトカム指標：

○本事業によって開発された海洋生物資源の安定的・持続的供給を可能とす

るための手法が他機関において利用、応用された件数  
H30～R2年度の3年間で49件の技術移転があった。

○海洋生態系の変動を再現する数値計算モデルの開発数  
H30～R2年度の3年間で25のモデルが開発された。

アウトプット指標：

○海洋生物資源の安定的・持続的供給を可能とするための手法開発  
に資する掲載論文数（29年度で1課題終了）  
H30～R2年度の3年間で71件の論文掲載があった。

## (1) 課題の達成状況

### (ア) 必要性

本事業は、気候変動が進行し、海洋の生態系サービスの持続可能な利用が世界的な課題となり、2010年3月にはワシントン条約締結国会議でクロマグロの国際取引の禁止について議論されるなど、我が国の食料としての海洋生物資源の確保に関する問題意識が高まる中、2011年より開始した。10年が経過した現在でも、このような問題を解決するための技術への期待は大きく、本事業の目的はこのニーズに十分適合したものであった。

また、各個別課題とも下記の通りこのニーズ応える成果を挙げており、国費投入の必要性があったと評価できる。

評価項目【科学的・技術的意義（独創性、革新性、先導性、発展性）】

○課題1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➤小型サバ科魚類を代理親として大型クロマグロの種苗生産を図る独創的なアイデアを進展させた。クロマグロの代理親魚には至らなかったが、課題解決のため既存の技術を取り入れ応用する過程で得られた成果の科学的意義は多大である。生殖科学の応用を基本とする水産業に代理親による配偶子生産など新たな視点を導入した点、養殖業生産を拡大・維持のため不可欠な人工種苗の量産や育種の効率化を図る上で基盤となる技術を確立した点で、その先導性、発展性とも高く評価できる。

○課題2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➤黒潮域における複数の食物鎖 Tunicate food-chain と Grazing food-chain、Microbial food-chain の発見、衛星画像分析による群集毎の光合成速度計測技術確立、 $\delta^{13}C$ - $\delta^{15}N$ による食物網構造解析など、個々の研究成果としては科学的・技術的意義のあるものが得られたものと評価できる。また、高解像度物理モデル、複数魚種の回遊・競合モデルにデータを存分に提供

し、解析を進められたことも 10 年間の積み重ねによる貴重な成果である。今後、これらの成果が、黒潮のパラドックスに関する独創的なメカニズムの提案につながることを期待する。

評価項目【社会的・経済的意義（産業・経済活動の高度化、知的財産権の取得・活用、社会的価値の創出）】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➤養殖生産量の増加に期待がかかる中、本事業における研究成果のうち代理親・冷凍細胞からの配偶子生産技術については水産試験場等への技術移転実績も 115 件あり、また民間企業（3 社）との共同研究も進められており産業界が参画する機運をもたらしていること、特許を 11 件出願し（うち 6 件は取得済）、発明の保護・利用を図っていることから、十分に社会的・経済的意義のある研究成果が得られているものと評価できる。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➤水産経済学分野の研究を導入したことで、生産現場から消費に至る流通経路を通じた累計生産額を試算できた点は、社会的価値の創出の観点から評価できる。

### （イ）有効性

海洋資源の持続的利用に貢献する研究論文が多数出ていることから、十分に科学的知見の提供につながるプログラムであったと評価できる。また、水産試験場等への技術移転実績もあり、民間企業との共同研究も進められていることから、産業界等のニーズを踏まえた具体的な実用化の道筋を示すことができている、と評価できる。加えて、各課題とも多くの若手を育成することができており、人材の養成に貢献した。以上のことから本事業は有効であったと評価できる。なお、各課題に対する評価は下記の通り。

評価項目【海洋生物資源の持続的及び安定的な確保につながる技術の高度化】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➤従来、天然からの採捕に依存していた養殖種苗の安定的な人工生産、効率的な養殖生産に不可欠な育種に要する時間の大幅な短縮化を可能とするなど、海洋生物資源の持続的かつ安定的な確保に資する実用的な技術が確立された。また、社会的な観点でも、マグロ漁業への制約が国際的に強まるなかで、本研究の挑戦は日本の水産業が先端科学を取り入れた高度化を進めていることを示す好事例となったと評価できる。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➢今後の海洋生物資源の管理には生態系ベース型、或いは生態系アプローチ型の持続可能な資源管理手法が必然であり、その意味で本研究の果たした役割は極めて大きいと評価できる。

評価項目【新しい概念や基盤的技術を確立するなど今後の学術研究への貢献】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発 (東京海洋大学)

➢凍結生殖細胞、移植生殖細胞、ゲノム編集および生殖幹細胞の培養などの個々の技術は今後の水産有用魚類の研究に応用されることが期待される。開発した凍結保存法及びこれに係る種々の実験結果は、遺伝子資源の半永久的な保存につながるものであり、すでに多くの研究グループへと技術移転され、世界各地の絶滅危惧種の遺伝子資源保存に利用されており高く評価できる。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明 (水産研究・教育機構)

➢黒潮の海域によるプランクトン優占種の違いと、生息魚種の違いの説明などを基に、栄養塩の分布と食物網との関係を示した。数年毎のモデルとの対照など時間軸を利用した比較解析は 10 年間の資源調査を実施した本研究ならではの成果である。

評価項目【農林水産省等の関係省庁、産業界及び国民のニーズを踏まえた、実用化への道筋】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発 (東京海洋大学)

➢既に都道府県の水産試験場等に技術移転され、例えば長崎県における全雄のトラフグ養殖種苗の作出等が始まっているほか、民間企業との共同研究も進められており、具体的な実用化への道筋が示されている。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明 (水産研究・教育機構)

➢物理化学観測データを用いて生態系をモデル化し個体群レベルまで落とし込むことで、より現実的な生産モデルに近づけることができ、漁場形成の理解に繋がった。10 年間に及ぶ貴重で広範且つ多様な研究成果が得られており、今後はそれらを包括的にまとめ「バックキャストをベースとする生態系アプローチ型の持続可能な資源管理」を確立することで、更に実用化につながることを期待する。

評価項目【人材養成】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発 (東京海洋大学)

➢10 年間で査読付き研究論文 88 報を発表するとともに、博論 7、修論 40、卒

論 37 の計 172 報として個々の成果を取りまとめた。これらの成果を背景に、若手研究者が数多くのポストを獲得している。また、学生は学理の考究に加えて、実際の生物飼育にも携わったことにより、生産現場における多様な課題にも対応可能な人材が育成されたと評価できる。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➢機関・分野を超えた幅広い研究組織での運営であり、また観測を含め多くの人々が参加した。また教育成果として、5 報の博士論文を含む 76 報の論文にまとめられ、水産試験場等公的機関への就職や大学院への進学があったことから、人材の養成に繋がったと評価できる。

### (ウ) 効率性

研究開発課題により発想や推進体制が大きく異なる中、研究開発期間を通じて 1 人の PD が責任を持ち一貫してプログラム運営を統括し、運営委員会等を通して進捗・計画の点検や、今後の研究計画の見直し等の助言を確実に実施しており、本事業の実施体制は、十分有効に機能したと評価できる。

課題 1 は、仮説を立ててから成果が現れて説の可否が検証されるまで長い期間が必要な研究であり、細胞を移植した仔魚を成魚まで育て、その次世代を確認するまでの一連の調査を、10 年という研究期間で繰り返し試行することで、目的の魚種を選択し技術移転可能となる成果を創出することができた。課題 2 では黒潮という変動の大きな海流を対象に、長期間・広範囲に及ぶ海洋観測とモデル化を通じ得られた情報が多く、諸現象の変動の全体像に迫ることができた。総じて、10 年間で効果的に活用したプログラム運営であったと評価できる。

### 評価項目【研究開発の進め方（手順、手法）】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➢当初に代理親として予定したマサバがクロマグロにとって必ずしも適していないことが判明するなどの事態は発生したが、適宜試行錯誤を行って解決策を探る過程で研究論文としての成果も多数出ており、適切に研究が進められていたものと評価できる。

○課題 2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➢プロジェクトの参加メンバーが多岐に渡っており、研究マネジメントに苦勞があったと推察されるが、全体的に研究開発の進め方は概ね適切であったと評価できる。

### 評価項目【計画・実施体制】

○課題 1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➤初期の段階で実験設備を整備し、以降はこれを活用し集中的な研究開発を実施した。仮説を立ててから成果が現れて説の可否が検証されるまで長い期間が必要な研究であったが、10年間に十分に活用し、細胞を移植した仔魚を成魚まで育て、その次世代を確認するまでの一連の調査を、研究開発期間内に繰り返し試行することができている。研究開発では、代表者の強いリーダーシップの下、コンパクトな研究体制の利点を活かした柔軟な研究推進を通して多数の成果を出しており、適切な計画・実施体制になっていたものと評価できる。

○課題2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➤最初の5年で観測を集中し、後半でデータをまとめ、モデルに落とし込む手順と実施体制は良く機能したと考えられる。代表者が交代したのは想定外であったが、交代時には、前代表がしばらく補佐することで計画が円滑に進行したと評価する。

#### 評価項目【経費の妥当性】

○課題1. 生殖幹細胞操作によるクロマグロ等の新たな受精卵供給法の開発（東京海洋大学）

➤技術開発と人材育成の両面で十分な成果が上がっていることから、経費は妥当であったと評価される。

○課題2. 我が国の魚類生産を支える黒潮生態系の変動機構の解明（水産研究・教育機構）

➤限られた経費で、効率的な研究を展開できたと考えられ、経費は妥当であったと評価される。

## (2) 総合評価

### ①総合評価

本事業では、（テーマ1）として海洋生物の生理機能を解明し、革新的な生産につなげる研究開発、（テーマ2）として海洋生物の正確な資源量とその変動を予測するための生態系を総合的に解明する研究開発を進めた。

（テーマ1）では小型のサバ科魚種を代理の親魚として利用することでクロマグロ等の大型種の卵や精子を小型種に生産させ、大型魚の種苗生産を簡略化させる技術の開発を目指した。試行錯誤のプロセスで得られた知見・技術は科学的・技術的・社会的意義に富むものと評価できる。また、従来、天然からの採捕に依存していた養殖種苗の安定的な人工生産、効率的な養殖生産に不可欠な育種に要する時間の大幅な短縮化を可能とするなど、海洋生物資源の持続的かつ安定的な確保に資する実用的な技術が確立された。

（テーマ2）では黒潮域及び沿岸域における生態系についての研究を実施した。黒潮を対象とした研究では、黒潮生態系の構造と機能を明らかにし、環境変動に対

する応答を理解し予測することにより、生態系の総合的な生産力の活用を図ることを目的とし、様々な分野の研究者を取り入れたチームで取り組んだ。その結果、複数の食物鎖Tunicate food-chainとGrazing food-chain、Microbial food-chainの発見、衛星画像分析による群集毎の光合成速度技術確立や生産現場から消費に至る流通経路を通じた累計生産額の試算を可能にした点など、個々の研究としては十分に科学的・技術的・経済的意義を持つ成果が得られた。今後、これらの研究成果の統合に基づく独創的なメカニズムの提案に繋がることが期待される。

各テーマとも上記のように一定の成果が得られており、海洋生物資源の持続的かつ安定的な確保に資するという本事業の目標は概ね達成できたと評価できる。またこれらの成果は、今後の後続研究や産業界を含めた更なる実用的な技術獲得の礎となるものと評価できる。

## **②評価概要**

研究開発課題により発想や推進体制が大きく異なる中、研究開発期間を通じて1人のPDが責任を持ち一貫してプログラム運営を統括し、運営委員会等を通して進捗・計画の点検や、今後の研究計画の見直し等の助言を確実に実施しており、本事業の実施体制は、十分有効に機能したと評価できる。

各研究課題とも実施期間を有効に活用し、海洋生物資源の安定的、持続的確保に繋がる新たな知見を見出すとともに、民間企業への技術移転も実施している。多くの若手研究者、学生の養成に貢献した点を含め、本事業の意義は大きかったと考えられる。

## **(3) 今後の展望**

本事業で設定されたそれぞれのテーマは、研究対象の本質からして長期の研究開発期間を要するものであった。10年の研究開発期間においては、研究の進展によって得られた成果や研究手法の発展などを踏まえ、柔軟に研究計画を見直すことにより、数々の意義ある成果が挙げられている。代理親・冷凍細胞からの配偶子生産技術など今すぐ活用可能なものも含まれるが、今後も、海洋生物資源の安定的、持続的確保に直接的につなげていく努力を続けていく必要がある。

今後、海洋資源の持続的供給のため、生態系に基づく、或いは生態系アプローチによる資源管理が必然となってくるが、本事業の成果はこの資源管理手法の実現に向けた土台となりうる。そのため、本事業における広範かつ多様な研究成果を包括的にまとめ、「バックキャストをベースとする生態系アプローチ型の持続可能な資源管理」の確立に向け研究を発展させていくことを期待する。

また、天然資源に依存しない養殖種苗の生産や養殖対象種の効率的な育種などは、我が国養殖業の発展とともに、間接的に天然資源の保全にもつながるものと考えられる。引き続き技術移転等を推し進め、産業界・一般社会を巻き込むことでより一層研究を発展させていくことを期待する。

本事業を通し、長期的な視点で基礎科学を推進することの重要性、長期観測と分野横断型研究の重要性が明らかとなった。また、社会実装を見据えて基礎科学の進展をわかりやすく発信していく過程では、学生・大学院生の関心を集めることに貢献するとともに、水産試験場等の現場においても人材の専門教育や研究力

の向上にも繋がった。今後もこのような成果が見込まれる事業を展開していくことを期待する。