

2. 海洋科学の全体像および貢献事例のとりまとめ結果

本章では、前章に示した調査による、海洋科学の全体像と各貢献事例のとりまとめ結果を示す。

2.1 海洋科学の全体像

2.1.1 海洋の特徴・特性（海洋科学技術の重要性及び必要性）

(1) 「知」の存在

生命は海に起源し、数多の未発見の生物が存在している。また、海底ではプレート変動など地球の活動が発生しており、地球の起源・歴史やメカニズムを理解するうえで海洋の研究は欠かせない。また、海洋と大気は相互に影響を及ぼしあっており、海洋の変化は気象・気候にも影響する。従って、海を理解することは、地球や人類の理解に直結すると言える。

(2) 「恵み」の存在

海には、水産資源（食）、海洋資源・エネルギー、医学・創薬に利用可能な海洋生物の存在等、陸域だけでは得られない多大な恩恵が存在する。特に、日本は世界第 6 位の面積の領海・排他的経済水域（Exclusive Economic Zone: EEZ）を有しており、大きな潜在的恵みを有していると言える。

(3) 海洋科学技術研究の重要性

上述の通り、海は多大な「知」及び「恵み」を有しており、人類の活動のみならず地球環境全体を根源的に支えているものである。一方で、海は人間が棲息できない困難な環境であり、具体的には「深い」、「遠い」、「見えない」、「アクセスしにくい」といった性格を持つ。かつ、海は陸や大気と複雑に影響しあっていることから、人間が制御することが非常に難しい。

海は人類全体に遍く大きな価値や恵みをもたらす世界全体の公共財でもある。無秩序な開発や利用は回避されるべきであり、科学的根拠に基づいた持続可能な利用も求められる。

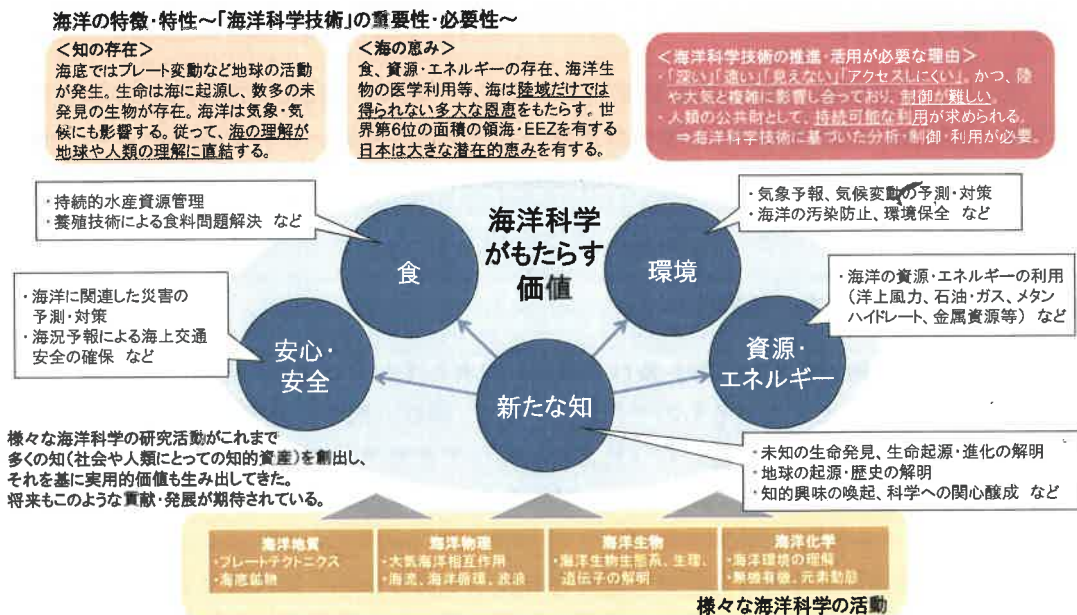
このように、海の「知」及び「恵み」を得るにあたっては、海洋科学に基づく海の理解と分析、そして正しい理解と高度な技術に基づく制御と利用の実現が重要と言える。

海洋科学は、非常に多分野にわたる。海洋地質（プレートテクトニクス、海底鉱物の形成メカニズム等）、海洋物理（大気海洋相互作用、海流、海洋循環、波浪等）、海洋生物（海洋生物生態系、生理、遺伝子の解明・利用等）、海洋化学（海洋環境の理解、無機有機、元素動態等）、そしてこれらを支える海洋工学など、様々な海洋科学の研究活動がこれまで多くの「知」（社会や人類にとっての知的資産）を創出してきた。

2.1.2 海洋科学がもたらす価値

海洋科学がもたらす「新たな知」は、人類や地球の理解を促し、人々の科学的興味・関心や知的好奇心を刺激している。また、基礎的研究が生み出す新たな「知」は、「食」、「環境」、「資源・エネルギー」といった実用的価値を生み出すことにもつながっており、将来もこのような貢献・発展が期待されている。海洋科学がもたらすこのような価値の具体例を以下に示す。

- 新たな知：未知の生命発見、生命起源・進化の解明、地球の起源・歴史の解明、知的興味の喚起、科学への関心醸成等
- 食：持続的水産資源管理、養殖技術による食料問題解決等
- 環境：気象予報、気候変動の予測・対策、海洋の汚染防止、環境保全等
- 安心・安全：海洋に関連した災害の予測・対策、海況予報による海上交通安全確保等
- 資源・エネルギー：海洋の資源・エネルギーの利用（洋上風力、石油・ガス、メタンハイドレート、金属資源等）等



以降では、これら海洋科学がもたらす価値やそれを支える基礎的研究等の重要性を整理することを目的として、これまでの取り組みと成果、そして今後の発展・貢献可能性について、その詳細を順に示す。

2.2 貢献事例 1：【新たな知】海洋基礎科学による知の開拓

2.2.1 当該貢献事例の全体像

海洋の探査、環境観測、生物を含む海洋サンプルの採取は海洋科学の基本である。近年は、そのための技術の発展が目覚ましく、研究船や無人探査機による大深度での画像・映像撮影やバイオリギング、コアサンプリングなどが可能となってきている。

探査、環境観測、採取により地上に持ち帰ったサンプルやデータを材料として、研究者たちは海洋科学、特に海洋基礎科学の研究に取り組むこととなる。その際、研究対象を海洋に限らない他研究分野（生態学、微生物学、火山学、医学等）の知見を活用することにより、さらなる研究の広がりが期待される。

海洋基礎科学における研究成果は、卓越したサイエンスの実現に寄与するばかりでなく、地球や生命の起源研究に迫る「知」の創出につながることもある。

創出された「知」は、主に教育の場や各種媒体を通して、広く一般に拡散される。未知のフロンティア領域である海洋における新発見は、人々の科学への関心を惹きつける。近年日本においては、ダイオウイカ発見等の海洋科学の大きな発見が続いたこともあり、関連する映像コンテンツや、展示会などのイベント等が増え、大きな動員数を確保している。

さらに、発見した「知」は、産業化や海洋科学以外の分野へ応用も期待される。海洋生物由来の物質は、医薬品や健康食品などに応用された例が多数ある。食や社会インフラ整備、資源開発への展開については、2.3 以降で具体例と共に紹介する。



図 2-2 【新たな知】貢献事例の全体像

(1) 探査、観測、採取

1) ダイオウイカの発見^{2 3 4}

① 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

ダイオウイカ (*Architeuthis dux*) は、ほぼ世界中の温帯海域から亜寒帯海域の深海に生息する世界最大級の無脊椎動物であり、世界各国の沿岸でかつてから死骸が漂着していたことにより、その存在が確認されてきた。海洋生物学者である窪寺恒己博士の研究グループは、不明点が多いダイオウイカの生態解明に取り組んでいる。

② 具体的な成果・貢献

窪寺博士のグループは、ダイオウイカがマッコウクジラの餌にされていることを発見し、マッコウクジラの潜水する水深600~900mにダイオウイカが生息していることを特定した。また、ダイオウイカが好むと考えられる水温(5~10℃)から、出現域の予測も実現した。

2002年には小笠原沖で調査を開始し、2004年には生きているダイオウイカのデジタル画像を撮影に成功した。さらに2006年には、ダイオウイカを生きたまま海面まで釣り上げ、その行動の観察、動画撮影に成功した。2012年7月には、NHKとディスカバリーチャンネルとの協働の下、630mの深海中で泳ぎ捕食行動をとるダイオウイカの撮影に世界で初めて成功した。この際は、1,000m潜水可能な潜水艇やダイオウイカに気付かれない波長の照明を備えた深海用のカメラの開発も、撮影成功に寄与した。

2) 深海底探査と生命の起源の探索^{5 6 7}

① 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

生命の起源については諸説ある中で、深海の熱水噴出孔で生命が誕生したという説も有力な説の1つとなっている。

2 国立科学博物館「みんなが聞きたい ダイオウイカの話」

(https://www.kahaku.go.jp/research/researcher/my_research/specimen/kubodera/index_vol2.html)

3 国立科学博物館「窪寺 恒己」

(<https://www.kahaku.go.jp/research/researcher/researcher.php?d=kubodera>)

4 公開文献に加え、窪寺博士へのインタビュー結果も参照。

5 JAMSTEC ニュース「~海底からつき出す煙突~ 熱水噴出孔 チムニー」

(https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20070601/)

6 JAXA インタビュー「高井研まだ見ぬ生命を深海・宇宙に求めて」

(http://www.jaxa.jp/article/interview/2013/vol78/index_j.html)

7 JAMSTEC プレスリリース「生命の進化を支える『窒素固定』はいつ始まったのか? ~ 35億年前の深海熱水環境に窒素固定微生物が存在していた可能性を発見~」

(http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20140516/)

日本では、深海における地形や地質、深海生物などの調査を行うことができる国立研究開発法人海洋研究開発機構（JAMSTEC）の有人潜水調査船「しんかい 6500」や無人探査船「かいこう 7000 II」などを活用して、熱水噴出孔周辺の観測、撮影、生物等のサンプルの採取に取り組んできた。深海の熱水噴出孔の周辺、チムニーと呼ばれる 350℃以上の熱水が噴き出す構造帯の周りには、独自の生態系が形成されている。噴き出す熱水には一般に硫黄化合物などが大量に含まれており、周辺からは化学合成細菌（硫黄細菌、硝化細菌、水素細菌、超高熱メタン菌など）や、それらを共生させた甲殻類などが発見されている。

その1つであるメタン生成古細菌は、生物に不可欠なタンパク質やDNAの材料となる重要な元素である分子態窒素を体内に取り込み、アンモニアに変換する窒素固定代謝を地球で行う生物であり、地球初期の光合成生態系の拡大と密接に関わってきたと考えられてきた。一方で、窒素固定を開始した時期などは未解明であった中で、JAMSTECと東京農工大学ならびに東京工業大学の研究グループは、中央インド洋海嶺「かいらい熱水フィールド」の潜航調査によって2006年に深海底から採取したメタン生成古細菌の培養実験により、生命誕生の35億年前の熱水環境下でのメタン生成古細菌の窒素固定の状況を明らかにした。

② 具体的な成果・貢献

メタン生成古細菌の培養実験の結果、生命誕生の35億年前の鉄やモリブデンに富む熱水環境下でメタン生成古細菌は高い窒素固定能を示すことが明らかになり、窒素固定代謝は地球初期の深海熱水環境で始まったという仮説を検証することができた。

また、現在海洋表層部で窒素固定を担っている光合成細菌がどのように窒素固定代謝のシステムを獲得したかは未解明であった。今回の研究で光合成生態系が誕生した時期（34億年前）より前の35億年前に深海熱水域で化学合成による窒素固定が行われていたことにより、メタン生成古細菌から光合成細菌の祖先に窒素固定遺伝子が伝播した可能性も示唆された。

(2) 探査、観測、採取に基づく研究^{8,9}

1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

2011年の東北地方太平洋沖地震では、観測データより、北米プレートに太平洋プレートが沈み込むプレート境界に位置する日本海溝最深部（海溝軸）付近での約50mの水平地殻変動（滑り）と、約7~10mの垂直地殻変動が巨大津波発生の原因になったものと推定されている。それまで、プレート境界の断層浅部は、地震を起こすような滑りを引き起こさない領域とされてきたため、そのメカニズムについての原因究明が求められていた。

2012年、JAMSTECの地球深部探査船「ちきゅう」では、地震を起こすような断層運動

⁸ JAMSTEC「プレート境界浅部巨大地震性滑りのメカニズムが明らかに」
(<http://www.jamstec.go.jp/chikyuj/exp343/findings.html>)

⁹ JAMSTEC プレスリリース「東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波発生メカニズムの解明～地球深部探査船『ちきゅう』の科学成果が『SCIENCE』誌に3編同時掲載～」
(http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20131206/)

としての滑りが震源から伝播した要因を探るために、日本海溝の海溝軸付近において地質資料の採取を行った。また、断層運動で生じた摩擦熱（残留摩擦熱）を長期で計測し、地震発生時にどのような滑りが発生したのか、解明を目指した。

2) 具体的な成果・貢献

「ちきゅう」が採集した地質試料を分析したところ、東北地方太平洋沖地震の発生時、日本海溝軸付近まで破壊が伝播したプレート境界断層は、強度が低く、かつ透水性が低い遠洋性粘土（スメクタイト）を約 78%と多量に含んでいることが明らかとなった。この結果から、地震時に断層の摩擦発熱により膨張した間隙水（プレート境界断層物質の隙間にある水）が透水性の低い地層に挟まれて逃げ場を失うことにより間隙水圧を上昇させ、断層を滑りやすくさせた（剪断応力を低下させた）と考えられている。残留摩擦熱の計測データの解析結果からも、滑りが生じた時の摩擦係数は 0.08 程度と非常に小さい値が見積もられており、断層が極めて滑りやすい状態であったと推定されている。また、プレート境界断層は 5m 未満の厚さしかなく、スメクタイトを多量に含み強度が低いため、断層が動きやすくなっていることも巨大地震及び津波を発生させた要因と考えられている。

(3) 「知」の創出^{10 11 12}

1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

オワンクラゲ (*Aequorea coerulea*) は、直径 10~20 センチほどのクラゲであり、日本各地の沿岸に広く生息している。刺激を受けると青白く発光することが知られていた。

生物学者の下村脩博士は、オワンクラゲを対象として、その発光のメカニズムを研究していた。1962 年、オワンクラゲの発光に必要な発光タンパク質（イクオリン）と緑色蛍光タンパク質（GFP:green fluorescent protein）を取り出すことに成功した。その後 1970 年代に、イクオリンがカルシウムと結合することで青く発光するエネルギーにより、GFP が緑色に発光するメカニズムを解明した。さらに、GFP が単独で、紫外線を照射することにより緑色に発光することを証明した。

また、Martin Chalfie 博士は遺伝子工学的手法を用いて、GFP を生体細胞内で発現させることに成功し、GFP の生命科学研究ツールとしての可能性を示した。さらに、Roger Y. Tsien 博士は、GFP の三次元構造、および発色団形成の分子機構を解明したことにより、緑色以外の色に光る人工蛍光タンパクを精製し、発光時間の延長や光度の強化を実現した。

¹⁰ 国立科学博物館「オワンクラゲの発光メカニズム：イクオリンと緑色蛍光タンパク質 (GFP)」

(<http://www.kahaku.go.jp/userguide/hotnews/theme.php?id=0001286268353983&p=3>)

¹¹ 国立科学博物館「蛍光タンパク質が教えてくれるもの」

(<http://www.kahaku.go.jp/userguide/hotnews/theme.php?id=0001286268353983&p=4>)

¹² 朝日新聞「ノーベル化学賞に下村脩さん 蛍光たんぱく質を発見

(<http://www.asahi.com/special/08015/TKY200810080238.html>)

2) 具体的な成果・貢献

特定のタンパク分子に GFP をつけ、紫外線を照射することにより、細胞や生体内でのそのタンパク分子の挙動を明らかにすることができる。この性質を活用し、GFP は現在では生命科学の実験で欠かせない道具となっている。例えば、がん細胞に特異的なタンパク質に GFP をつけることにより、がん細胞が体の中でどのように転移していくかを把握することができ、病気の解明への貢献が期待される。さらに手術時に転移のあるリンパ節だけを見分けることができるため、治療への効果も期待される。京都大学の山中伸弥教授らによって開発された iPS 細胞の研究の際も、様々な組織に分化する可能性のある万能性を持った細胞で働くタンパク質を見分けるために、GFP を使用した。

また、GFP を分離し、その生命科学の研究ツールへの応用の道筋を作った 3 名の博士には、2008 年、ノーベル化学賞が送られた。

(4) 自然への理解の増進

海洋科学が国民の海の科学への興味や理解向上につながった例の 1 つとして、ダイオウイカの発見がある。2012 年 7 月に撮影された、630m の深海中で泳ぎ捕食行動をとるダイオウイカの 23 分間の映像は、NHK が「世界初撮影！深海の超巨大イカ」として放送し、視聴率 16.8% と大きな反響を呼んだ。またダイオウイカを代表とする深海生態系や深海世界に対する国民の興味を大きく喚起し、国立科学博物館が開催した「深海展」は 3 か月で約 60 万人を動員した。その後も深海関連の展覧会や水族館の催しが続き、アート、「しんかい 6500」の TV ドラマ等への波及もあった。

2.2.2 当該貢献事例における海洋科学の現状・可能性

海洋は、人間にとってのフロンティア領域であり、未開拓の「知」の宝庫と言える。ここでは、今後さらに「知」の開拓が期待される「生命の起源」「未知の生命・生命の本質の解明及び産業化」「地球の起源」の 3 領域について、現時点までの実績や将来性について整理した¹³。

(1) 生命の起源

2.2.1(1)2) で示したように、深海の熱水噴出孔で生命が誕生したという説が有力な説の 1 つとなっている中、深海熱水噴出孔周辺に生息する生物の生態解明や、生物の進化プロセスの解析が進められている。

- しんかい 6500 : JAMSTEC が管理、保有する有人潜水調査船。6,500m の深さまで潜ることができる。1989 年に三菱重工業株式会社の神戸造船所で製造され、世

¹³ 新たな知の創出により産業化や社会への貢献が特に期待されるものの中で、「食」「環境」「安全・安心」「資源・エネルギー」への応用については次節以降でさら詳しく取りまとめることとし、ここでは生命科学に関わる領域での医薬品などへの応用・産業化についての事例を示した。

界中の海域で 1,400 回以上の潜航を行っている (2014 年 11 月)。¹⁴

(2) 未知の生命・生命の本質の解明及び産業化^{15 16 17}

既知の海洋生物の総種数は約 26 万種と試算されている中で、浅い海でもいまだに多くの新種が見つかり、深海を含めると全体数の正確な見積もりは難しい状況にある。日本近海にどの程度の種類の生物が生息しているかを調べた JAMSTEC の調査では、33,629 種の生物が存在していることが明らかになった。さらに新種/新分布記録は 121,913 種と評価され、日本近海においてはおよそ 70% の種類の生物が未知であることが示された。これまで、海洋生物由来の医薬品や健康食品、研究用試薬が多数生み出されてきたことを考えると、今後もこの未知の生物から人間にとって有用な物質や機構などが発見される可能性は高い。

これまで生まれた海洋生物由来の医薬品の例として、海綿動物のクロイソカイメン (*Halichondria okadai*) から得られた物質より生まれたエイプリン (商品名: ハラヴェン¹⁸ 静注) がある。エイプリンは抗がん剤であり、2010 年 11 月に米国で、2011 年に欧州と日本で乳がんを対象として承認を得た。現在は乳がん以外のがん種への対応を目指し、開発が進められている¹⁹。また、「2.2.1(3)「知」の創出」で示したように、オワンクラゲ由来の GFP は現在では生命科学の実験で欠かせない研究用試薬として位置づけられるようになっている。

さらに、海洋生物は陸上生物と比較して、単純な生体機構を持つことが多く、人工的に大量の個体などを得ることが可能である。その点を活用し、生命科学などの分野の実験に使用する材料として効率的に活用することも可能である。

今後も上記に挙げたような海洋科学や海洋生物の特性により、人間を含む動物の病変の解明や医薬品の開発などに、海洋科学の研究成果や海洋生物が活用されるポテンシャルは大きいと考えられる。

- インド洋で発見された白スケリーフット: スケリーフットは、熱水活動域に生息していることが知られているウロコフネタマガイ (*Chrysomallon squamiferum*) の通称。2001 年に硫化鉄により成る殻を持つ黒色のものに続き、2009 年に世界で

¹⁴ JAMSTEC「有人潜水調査船 しんかい 6500」(<http://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/>)

¹⁵ 環境省海洋生物多様性保全戦略第 3 章

(<https://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/guideline/05-2.html>)

¹⁶ JAMSTEC「日本は海洋生物のホットスポット」

(<https://www.jamstec.go.jp/jcom1/reference/c67B4.pdf>)

¹⁷ 東京大学海洋アライアンス海洋教育促進研究センター編「海洋教育のカリキュラム開発—研究と実践—」

¹⁸ エーザイ株式会社の登録商標。

¹⁹ 日経メディカル「テクニカルインパクト 2013 エーザイがイソ海綿由来の化合物から開発した新規抗がん剤」

(<http://medical.nikkeibp.co.jp/leaf/all/report/t210/201310/533124.html>)

初めて体色が白い種類が発見された。²⁰

- ウニから見つかったタンパク質が、がんの病態解明に貢献: Richard Timothy Hunt 博士は、ウニの発生において細胞周期を調整する役割を担うサイクリンというタンパク質を発見し、その成果はのちのがん細胞増殖のメカニズムに関する研究にも活用された。²¹

(3) 地球の起源^{22 23}

46 億年の歴史を持つ地球は、その質量の約 7 割がマントルから構成されている。マントルへの到達は人類の夢であり、米国ではマントルまで掘削を進める「モホール計画」が 1950 年代後半に開始されたが、目的は成し遂げられなかった。その後、「21 世紀モホール計画」として、日本が主導する掘削計画が進められている。「21 世紀モホール計画」では、モホ面を貫通し、マントル物質採取に至る海洋地質完全掘削を実施することが目標とされている。2010 年に、掘削地点の候補海域を 3 箇所（ハワイ沖、メキシコ沖、コスタリカ沖）に絞り込み、以降 10 年で取り組むべき技術開発のロードマップの基盤が構築された。今後は 3 地点について、音波により地下構造を調査する予定である。

今後マントルを入手することで、これまで推測されてきた地球深部の物質や構造の真相が解明される他、新たな生命の発見や、海溝型地震のメカニズム解明など、社会への大きなインパクトを生む可能性がある。

²⁰ JAMSTEC 「硫化鉄を纏わない白スケリーフットを世界で初めて発見～インド洋における新規熱水探査の成果～」 (http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20091130/)

²¹ 東京大学海洋アライアンス海洋教育促進研究センター編 「海洋教育のカリキュラム開発—研究と実践—」

²² JAMSTEC マントル・島孤掘削研究グループウェブサイト
(<http://www.jamstec.go.jp/ods/j/mantle/mantle.html>)

²³ 金沢大学 「国際ワークショップ『21 世紀モホール計画』報告」
(<http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/~Mohole/moholeFig.pdf>)

<生命の起源>

- 地球生命誕生時の生態系に似ていると考えられている深海熱水噴出孔など極限環境における生物研究は、生命の起源へ迫ることにつながります。
- これまで熱水噴出孔周辺では、多くの化学合成細菌(硫黄細菌、硝化細菌、水素細菌、超好熱メタン菌など)やそれらを共生させた貝類や甲殻類などが見つかっています。



有人潜水調査船「しんかい6500」
出所6) JAMSTEC

<未知の生命・生命の本質の解明及び産業化>

- 海洋には、未同定の生物が多く、年々発見されている新種の生物により、未知の生物機構や生態系が明らかになっています。
- また、単純な機構を持つことが多い海洋生物を研究することで、生命の本質が明らかになります。その結果、人間を含む動物の病変の解明や、医薬品(例:がん治療薬)の開発などに応用されることもあります。



インド洋で発見された
白スケリーフット
出所8) JAMSTEC



2細胞期のウニ:
ウニから見つかったタンパク質が、
ガンの病態解明に貢献。
(2001年、ノーベル賞)
出所7) JST「理科ねっとわーく」

<地球の起源>

- 46億年の歴史を持つ地球は、その質量の約7割がマントルから構成されています。しかしながら人類はまだまだマントルを手にしたことがありません。
- マントルを入手することで、これまで推測されてきた地球深部の物質や構造の真相が解明される他、新たな生命の発見や、海溝型地震のメカニズム解明など、社会への大きなインパクトを生む可能性があります。



掘削船によるマントル
掘削のイメージ
出所9) JAMSTEC

図 2-3 【新たな知】貢献事例における海洋科学の現状・可能性

2.2.3 当該貢献事例に関する参考情報

- JAMSTEC「有人潜水調査船『しんかい6500』」ウェブサイト
(<https://www.jamstec.go.jp/shinkai6500/>)
しんかい6500のミッションや、しんかい6500による深海探査の研究成果を確認できる。
- 東京大学海洋アライアンス海洋教育促進研究センター編「海洋教育のカリキュラム開発—研究と実践—」(日本教育新聞社)
海洋研究や海洋教育の意義、海洋教育の具体的な手法などが整理されている。
- 伏谷伸宏監修「マリンバイオテクノロジー—海洋生物成分の有効活用」(シーエムシー出版)
海洋生物由来の有用物質の研究結果について、ある程度網羅的に掲載されている。
- 海洋研究開発機構 高井研 著「命はなぜ生まれたのか—地球生物の起源の謎に迫る」(幻冬舎新書)

2.3 貢献事例2：【食】水産資源の持続的確保（動態管理、養殖等）

2.3.1 当該貢献事例の全体像

日本は天然魚（マイワシやスケトウダラ等）の資源量の増減要因について研究を進めており、乱獲による資源崩壊が生じないよう科学に基づく水産資源管理を主導している。

海洋生物の生態・動態研究では、海洋モニタリング技術を活用した生物の動態研究、魚類の分類や生理に関する基礎研究を基に、養殖・資源管理対象となる生物の生態を解明。養殖技術の基盤となる知識・技術を蓄積している。

生態・動態研究に基づく水産資源管理・養殖技術の解明では、生物の動態研究の成果を生かして、漁獲量の変化などの生物資源の変動とその要因を分析している。分析結果に基づいて、漁業資源の変動予測技術を開発し、科学的な水産資源管理の基盤を構築している。さらに、動態解明を通じた天然資源に頼らない養殖技術開発を進め水産資源の持続的確保に貢献している。

基礎研究を基に様々な魚の養殖に日本は成功してきた。特に、困難とされていたクロマグロの養殖を32年間の研究を経て成功させ、安定的かつ安価に生産できている。養殖技術はタイなど途上国にも移転し、食料生産にも貢献している。このように海洋生物の基礎科学を基にした養殖学・技術は幅広く発展し、多彩で効果的な生産技術開発に貢献している。クロマグロ等の漁獲量の減少が危惧される魚種についても、より安価で安定的に確保できるよう、技術開発・研究対象を拡大してきたことから、今後も幅広い経済効果や環境保全を実現することが望めるとともに、世界的な水産資源管理を主導し、資源を回復することで環境に配慮した安定的な水産資源確保を目指すことができる。水産資源の持続的確保（動態管理、養殖等）の貢献事例の全体像を図2-4に示す。

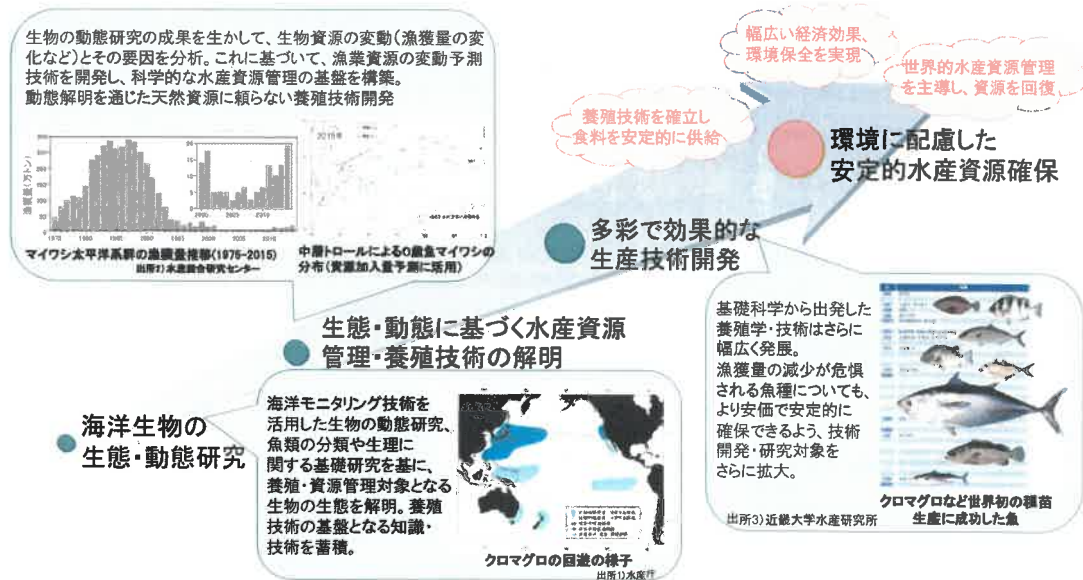


図 2-4 【食】貢献事例の全体像

(1) 海洋生物の生態・動態研究

1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

海洋モニタリング技術を活用した生物の動態研究、魚類の分類や生理に関する基礎研究を基に、養殖・資源管理対象となる生物の生態解明が進められている。これらの知識は、養殖技術の基盤として蓄積されている。

2) 具体的な成果・貢献

海洋生物の生態・動態研究における成果の一例として、クロマグロに関するものが挙げられる。太平洋に分布するクロマグロについての魚類の分類・動態に関する基礎研究が近年進展しており、例えば、クロマグロは大西洋に分布する大西洋クロマグロの地理的亜種とされていたが、現在では分子遺伝学的研究等により両種を別種とする研究成果が示されている。この両者は漁業資源として地理的な交流が認められないことから、ISC (International Scientific Committee for Tuna and Tuna-like Species in the North Pacific Ocean、北太平洋まぐろ類国際科学委員会)、IATTC (Inter-American Tropical Tuna Commission、全米熱帯まぐろ類委員会) 及び FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations、国際連合食糧農業機関) においては、前者を Pacific Bluefin Tuna (太平洋クロマグロ)、後者を Atlantic Bluefin Tuna (大西洋クロマグロ) と呼称し、別種として扱っている。

また日本海周辺のクロマグロは季節だけではなく、魚の年齢によっても分布が異なること等の生態の解明が進んでいる。具体的には、クロマグロは主に北緯 20~40 度の温帯域に分布し、0~1 歳魚は、夏季に日本海または太平洋側の日本沿岸を北上し、冬季に南下する一方で、2~3 歳魚は北西太平洋を主な分布域とし、春季に黒潮続流域を西進、夏季に三陸沖を黒潮分派に沿って北上した後、秋季は親潮前線に沿って東進、冬季に日付変更線付近で黒潮続流域に向かって南下、という海洋構造に応じた時計回りの回遊パターンが示されている。その他、クロマグロについては成長・成熟過程、食性の研究が進められること等、多くの側面から生態解明が進んでいる。

- 水産庁、独立行政法人 水産総合研究センター 国際漁業資源の持続的利用と適切な保存・管理のために
http://kokushi.fra.go.jp/H25/H25_04.html

(2) 生態・動態に基づく水産資源管理・養殖技術の解明

1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

水産総合研究センターは、マイワシ資源評価のため、毎年秋に太平洋北西沖合域の調査を続けている。マイワシは多獲性魚類であることから、その資源動向は漁業のみならず、流通・加工など多くの産業に影響を与える。水産総合研究センターによる調査では、2011~2014 年生まれのマイワシの数が多く、最近の資源量および漁獲量は増加傾向にあることが報告さ

れた。

生物の動態研究の成果を生かして、生物資源の変動（漁獲量の変化など）とその要因を分析し、これに基づいて、漁業資源の変動予測技術を開発し、科学的な水産資源管理の基盤を構築している。

2) 具体的な成果・貢献

マイワシ太平洋系群は、100万トン以上の漁獲があった1990年代前半以降、資源量が激減し、2008年には漁獲量がわずか2.7万トンとなったが、近年では2010年生まれの数が多いことがわかった。これらのマイワシが1歳魚となった2011年の夏には三陸北部漁場、さらには道東漁場まで来遊し、道東では18年ぶりとなるマイワシ漁場が形成された。

2015年秋の調査では、2015年生まれの数が多いことが報告された。このため、今後マイワシ資源量の増加傾向がさらに強まる可能性が高いとの予想が出された²⁴。このように、エビデンスに基づいた予測を活用することで、より精度の高い資源管理を実現することが期待される。

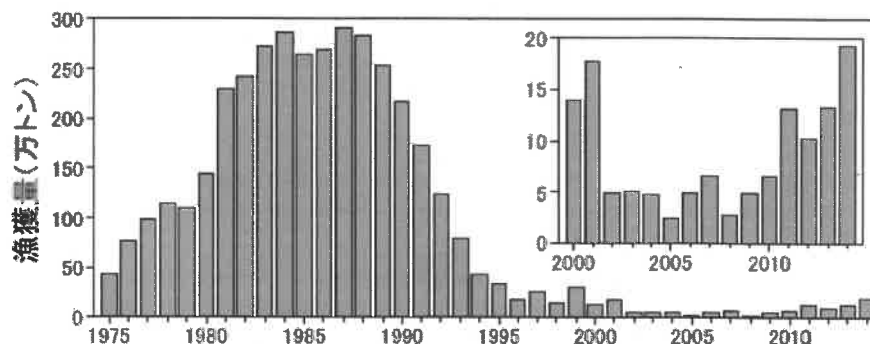


図 2-5 マイワシ太平洋系群の漁獲量の推移

(出所：水産総合研究センター (<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr27/20151214/index.html>))

(3) 多彩で効果的な生産技術開発

1) 研究開発、プロジェクトの内容・特徴

近畿大学水産研究所では、野生の海水魚を養殖種に改良し産卵親魚の養成に成功している。これらの研究は魚類栄養学、育種学、形態学、生理・生化学、魚病学などの基礎学問から養殖学への幅広い応用により新たな養殖技術の開発を行っている。

2) 具体的な成果・貢献

近畿大学水産研究所では1965年に世界で初めてのヒラメの人工ふ化による種苗生産を実現し、これまでに18魚種の種苗生産を成功させている。これらの種苗生産により漁獲量の

²⁴ 水産総合研究センター「マイワシの資源量の増加傾向がさらに強まる可能性が高い状況です」<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr27/20151214/index.html>

減少が危惧される魚種についてもより安価で安定的に確保できるよう技術開発するとともに、研究対象を拡大している。

特にクロマグロについては、完全養殖に世界で唯一成功している。完全養殖を実現することで成魚を出荷するだけでなく、稚魚を養殖業者に供給することも可能となり、産卵からふ化を経て、施設内で生育管理を行う完全養殖稚魚を供給することができれば天然資源の減少を防ぐとともに、品質や安全性が確かなクロマグロを市場に提供することが可能となる。

このような養殖技術の拡大は、海洋科学による貢献が大きい。例えば、メタゲノムと呼ばれる、培養が困難な細菌に関する遺伝子研究を行うことで、赤潮などの解明が取り組まれている。また、同じマグロでも遺伝子の型が異なるため、標識放流においてその遺伝子型の違いを標識として用い、資源量評価の精度を格段に上げることができ、管理の妥当性評価にも用いることが可能である。



図 2-6 近畿大学が世界で初めて人工ふ化から種苗生産に成功した魚種
 (出所：近畿大学水産研究所 (http://www.flku.jp/index_image/flku.pdf))

2.3.2 当該貢献事例における海洋科学の現状・可能性

日本の海洋資源管理・養殖技術は世界トップレベルであり、高い経済効果のみならず水産資源の持続的利用に貢献している。

日本の養殖技術は世界最先端をリードしている。これらの技術を活用することで水産資源の安定的な供給に加え、高い経済効果や環境保全を実現している。また、水産資源の管理技術と養殖技術を組み合わせて、食料問題の解決や、水産資源の持続的利用に貢献しつつある。

また、高レベルな資源管理・養殖技術は、海洋科学や観測技術の発展に支えられている。例えば遺伝子を使った魚群の系統解析は資源量評価の精度を向上させ、資源管理の妥当性評価を高めることができる。さらに、バイオロギング等のトレース技術はマグロやウナギの動態解析に寄与し、高レベルな資源管理・養殖技術に貢献している。このような基礎データの蓄積が、マイワシやスケトウダラ等の水産資源の変動要因を解明し、生態系に配慮した漁業管理手法を高度化に貢献している。

日本は、世界的な海洋資源管理の主導的立場にある。現在では漁獲可能量制度や資源回復計画といった手法を組み合わせた資源管理の取り組みが進められている。こうした日本型の漁業資源の保全・管理に関するルールは、途上国を中心に広く世界的に評価されている。

今後のさらなる可能性として、日本の食に関する海洋技術は食料問題と動物性食料生産業の課題解決に貢献しつつあり、水産資源の世界的な需要拡大にも対応できる可能性がある。

世界的な需要の増大を背景として水産資源の減少が懸念される中、日本が蓄積した社会・生態系と調和した海洋資源管理・養殖技術の役割は益々大きくなる可能性がある。今後日本発の技術を他の技術と組み合わせることで、世界的な需要拡大にも対応できる可能性がある。

さらに、日本が蓄積した海洋資源管理・養殖に関する知見・技術により、国際的な水産資源管理を主導し、一方では持続的な養殖生産技術を開発・普及することで、危機的状況を乗り越えることが期待される。貢献事例における海洋科学の現状・可能性を図 2-7 に示す。

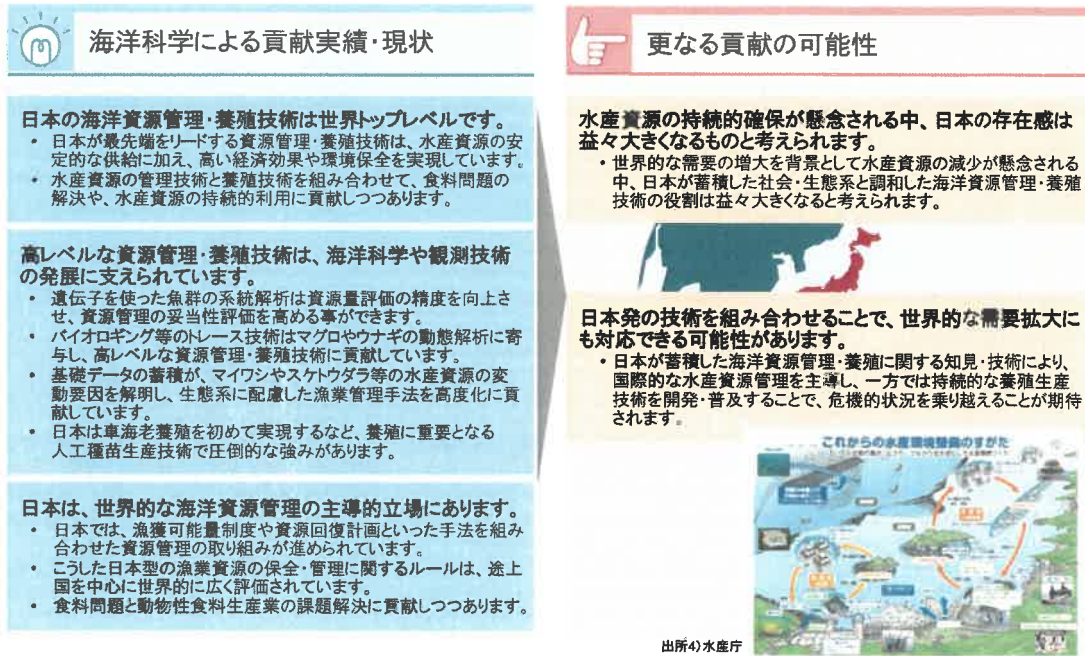


図 2-7 【食】貢献事例における海洋科学の現状・可能性

2.3.3 当該貢献事例の詳細

- 水産庁、独立行政法人 水産総合研究センター 国際漁業資源の持続的利用と適切な保存・管理のために
http://kokushi.fra.go.jp/H25/H25_04.html
- 完全養殖「近大マグロ」 “産業化” への挑戦・近畿大学
<http://www.kindai.ac.jp/about-kindai/pr/download-data/kindai-news/07.pdf>
- 国立研究開発法人水産総合研究センター H27.12.14 プレスリリース 「マイワシの資源量の増加傾向がさらに強まる可能性が高い状況です」
<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr27/20151214/index.html>
- 近畿大学 水産養殖種苗センター
http://www.flku.jp/index_image/flku.pdf
- 水産庁 水産白書 平成 26 年度水産の動向 p17 これからの水産環境整備のすがた
http://www.jfa.maff.go.jp/e/annual_report/2014/pdf/26suisan1-1-1.pdf