

戦略的創造研究推進事業
チーム型研究(CREST)
研究領域中間評価用資料

研究領域「海洋生物多様性および生態系
の保全・再生に資する基盤技術の創出」

研究総括:小池 勲夫

2016年2月

目 次

1. 本研究領域の概要.....	1
(1)戦略目標	1
(2)研究領域	2
(3)研究総括	2
(4)採択課題・研究費.....	4
2. 研究総括のねらい.....	5
3. 研究課題の選考について.....	6
4. 領域アドバイザーについて.....	7
5. 研究領域の運営について.....	8
6. 研究の経過と所見.....	11
7. 総合所見	18

1. 本研究領域の概要

(1) 戦略目標

「海洋資源等の持続可能な利用に必要な海洋生物多様性の保全・再生のための高効率な海洋生態系の把握やモデルを用いた海洋生物の変動予測等に向けた基盤技術の創出」

本戦略目標で設定されている達成目標は以下の2点である。

- ・生物多様性維持の取り組みに必要となる海洋生物種の定量把握や種の同定を高効率化、高精度化するためのセンシング技術や遺伝子解析技術の開発
- ・資源・エネルギー開発や自然災害の影響等による海洋生物資源量や海洋生物多様性の変動を把握するための生態系モデルやモニタリング技術の開発

我が国は四方を海に囲まれた海洋国家であり、全海洋生物種数の14.6%が生息する生物多様性の「ホットスポット」として注目されている、広大な排他的経済水域を有している。しかし、社会活動や経済活動の拡大や地球温暖化の影響、過剰な水産資源の採取などにより、藻場や干潟の消失、貧酸素・富栄養化など特に沿岸域の海洋生態系の劣化が顕著となっている。こうした生態系に於ける生物多様性の崩壊は、水産資源の枯渇や、地球環境の悪化などを助長し、社会・経済に様々な影響を及ぼすことが懸念されている。

2010年10月に名古屋市でCOP10が開催され、これを受けて環境省は「海洋生物多様性保全戦略」を2011年3月にとりまとめ、情報基盤の整備や海洋保護区の充実等を提言した。また、国連環境計画（UNEP）が2010年10月に報告した「生態系と生物多様性の経済学」によれば、地球全体の生態系破壊により、最大で年4兆5000億ドルの経済損失が生じるとされ、このまま生態系の破壊が続けば年16兆円と推定される日本の漁業、水産加工業、海洋レジャーなど海洋産業への影響も計り知れない。また今後、我が国の経済が発展していくためには、海洋生物多様性の保全を図りつつ、海洋資源を有効活用していく必要がある。一例として、ますます重要性の高まるエネルギー・鉱物資源の開発において、海洋環境への影響を正しく評価し、生態系への影響を必要最低限に抑える必要があるが、その為の技術は未だ開発途上である。世界的な資源開発競争が行われる中、国を挙げて環境を評価、保全するための技術開発を行うことは日本の責務である。

このような現状を踏まえると、サンゴ礁や干潟などで多様な生物による複雑な生態系が維持されるメカニズムや、海洋における生物種の分布や密度がどうなっているのか、などの基盤的なデータや知見の不足は大きな課題であり、また、海洋生態系の変化を把握・予測するための技術もまだまだである。これらの原因は、海洋調査は陸上からのアクセスが困難であり、研究船などの設備を必要とすることや、海洋の生物圏が海面から深海底まで深さ方向に大きな広がりを持っていること、存在が推定される生物種が陸上より豊富であること、海洋生物は海流に乗り広い範囲を移動可能なこと、などにある。

そこで、本戦略目標では、海洋物理学、海洋化学、海洋生物学、統計学、生態学、分類学、分子系統学、海洋工学など広範な専門家の協同の下、生物多様性を維持した海洋利用

の実現に資する基礎的知見の向上、基盤技術の高度化を目指し、

- ①海洋生物種の定量把握や種の同定を高効率化、高精度化するための技術の開発
- ②様々な観測データから海洋生物資源量や海洋生物多様性の変動を把握するための技術開発

を行う。具体的には以下の研究開発課題が挙げられるが、このほか本戦略目標の達成に資する新たな技術の開発を目指す研究も期待される。

<研究開発課題>

- ①海洋生物種の定量把握や種の同定を高効率化、高精度化するための技術の開発
 - (i)各生物種の捕食―被食関係を安定同位体比等から把握する技術の開発
 - (ii)海洋生物種データベースを作成するためのDNAバーコーディング技術の開発
 - (iii)広域、連続的に海洋生物を把握する計測技術の開発
- ②海洋生物資源量や海洋生物多様性の変動を把握するための技術開発
 - (i)海洋保護区の設定のために必要な生物多様性の現状把握と解析に必要な技術開発
 - (ii)生物種の食物連鎖を考慮した生態系変動を把握する数値モデルの開発
 - (iii)リモートセンシングによる海洋生物多様性モニタリング手法の開発

(2) 研究領域

「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」(2011年度発足)本研究領域は、海洋生物多様性の保全・再生や海洋資源の持続的な利用に寄与する基盤技術の創出を目的として、現在の海洋研究で不足している基盤的なデータを効率的・網羅的に取得するための先進的な計測技術と、海洋生態系の現状を把握し生態系の変動予測に資する生態系モデルの開発を推進するものである。

計測技術については、既存の技術の改良だけではなく新規な概念に基づいた広域・連続的な計測技術や、生物種判別や定量把握を効率的に行う技術の開発、モデルについては明らかにしたい現象を特定した上での物理モデルとの融合や、複数の種のネットワークを考慮した生態系モデルの構築が求められる。このように、計測技術開発と生態系モデル構築に焦点を絞ることで、戦略目標の達成に向けて適切な研究領域が設定されている。

こうした研究を進めるためには、計測技術やモデルの研究者だけでなく、海洋生態学に関する分野の研究者の参画が求められ、研究内容に応じてフィールド研究を行う研究者と協同し、検証・実証していくことが重要となる。すなわち、戦略目標の達成に向けては、生態学、海洋物理学、化学、工学及びライフサイエンス等の多様な研究者がチームを組んで研究を行っていくことが必要であり、CRESTを選定することは適切である。

以上のとおり、本研究領域では既存の海洋生態学の研究者だけでなく、他の分野の研究者の参入を促すことで、分野横断的な優れた研究提案が多数見込まれる。

(3) 研究総括

小池 勲夫 (東京大学 名誉教授)

小池勲夫は海洋生物地球化学、海洋微生物生態学の分野で先駆的な研究を行い、コロイド粒子やマリンスノー等の海洋生物由来の有機物の生化学的特性解析や炭素・窒素安定同位体比、微生物群集の動態、海洋の窒素循環プロセスと微生物の役割等を明らかにしてきた。調査解析のみを対象としがちな海洋研究において、研究に必要な計測技術開発を自ら精力的に行うなど、分野を超えた研究活動を行った。その結果、1992年に日仏海洋学会賞、1999年に日本海洋学会賞を受賞するなど研究に対する評価も高く、十分な先見性及び洞察力を有している。そして、東京大学海洋研究所の所長や日本海洋学会の会長を歴任し、本研究領域発足当時は琉球大学で監事を務めていたことから海洋研究に対する知識や視野の広さが伺えるとともに、適切なマネジメントを行うことができる豊富な経験と能力を有している。

また、同氏は文部科学省科学技術・学術審議会の委員、同審議会海洋開発分科会の分科会長及び総合科学技術会議基本政策専門調査会環境プロジェクトチームの委員に就任しており、公平な視点で評価を行いうる資質を持ち合わせているとともに、海洋研究者や他分野の研究者から信頼を寄せられている。

以上を総合し、同氏はそのマネジメント力と視野の広さから、計測技術、モデリング等の各分野を連携させ海洋生物多様性の保全・再生に資する基盤技術の創出を目指す本研究領域の研究総括として適任である。(JST 記載)

(4) 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	中間評価時 所属・役職	研究課題	研究費* (直接経費)
2011	赤松 友成	水産総合研究センター水産工学研究所・グループ長	海洋生物の遠隔的種判別技術の開発	198
	浦 環	九州工業大学社会ロボット具現化センター・特別教授	センチメートル海底地形図と海底モザイク画像を基礎として生物サンプリングをおこなう自律型海中ロボット部隊の創出	486
	木暮 一啓	東京大学大気海洋研究所・教授	超高速遺伝子解析時代の海洋生態系評価手法の創出	407
	五條堀 孝	情報システム研究機構・国立遺伝学研究所・特任教授	Digital DNA chip による生物多様性評価と環境予測法の開発	410
	山中 康裕	北海道大学大学院地球環境科学研究院・教授	植物プランクトン群集の多様性に注目したナウキャスト技術開発	253
2012	岡村 寛	水産総合研究センター 中央水産研究所・グループ	海洋生態学と機械学習法の融合によるデータ不足下の生態系評価手法の開発	70
	小松 輝久	東京大学大気海洋研究所・准教授	ハイパー・マルチスペクトル空海リモートセンシングによる藻場 3 次元マッピング法の開発	319
	スミス・シャ ーウッド	海洋研究開発機構地球環境観測研究開発センター・主任研究員	北太平洋域における低次生態系の動的環境適応に基づいた新しい生態系モデルの開発	183
	竹山 春子	早稲田大学理工学術院・教授	シングルセルゲノム情報に基づいた海洋難培養微生物メタオミックス解析による環境リスク数理モデルの構築	212
	仲岡 雅裕	北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・教授	海洋生物群集の非線形応答解明のためのリアルタイム野外実験システムの開発	200
	山崎 秀勝	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科・教授	黒潮と内部波が影響する沿岸域における生物多様性および生物群集のマルチスケール変動に関する評価・予測技術の創出	396
2013	茅根 創	東京大学大学院理学系研究科・教授	海洋生態系の酸性化応答評価のための微量連続炭酸系計測システムの開発	182
	近藤 倫生	龍谷大学理工学部・教授	環境 DNA 分析に基づく魚類群集の定量モニタリングと生態系評価手法の開発	245

2013	陀安 一郎	総合地球環境学研究所研究 高度化支援センター・教授	沿岸生態系の多様性機能評価のための多 元素同位体トレーサー技術の開発	220
	永田 俊	東京大学大気海洋研究所・ 教授	極微量長半減期同位体を用いた革新的な 海洋生態系・物質動態トレース技術の創 出	325
	宮下 和士	北海道大学北方生物圏フィ ールド科学センター・教授	データ高回収率を実現するバイオロギン グ・システムの構築	310
			総研究費	4, 416

* 研究費：2015 年度上期までの実績額に 2015 年度下期以降の計画額を加算した金額

本研究領域においては、提案の内容に応じて適切に研究費を見直し、限られた予算の中で、自律型の海中計測装置開発といった大型予算を必要とする研究課題から、海洋生態系や生物多様性を評価・予測する新しいモデルの開発のような人件費を中心とした少額予算で実施可能な研究課題を組み合わせ採択した。

期中の予算見直しにおいては、特にチーム間の技術の連携、研究成果の社会への還元を意識した研究項目を重視し、2013 年度より毎年研究領域内でコンペティションを行い、年間数百～1 千万円規模での支援を行っている。

2. 研究総括のねらい

本研究領域では、海洋の生物多様性および生態系を把握するための先進的な計測技術と将来予測に資するモデルの研究開発を行い、これらを生物多様性および生態系の保全・再生するために必要な基盤技術として創出することを目的とする。

この目的を達成するための課題として、海洋の生物多様性および生態系の研究で現在ボトルネックとなっている、環境を含む生物データの取得技術とその将来予測に注目した。具体的には、

- (1) 海洋生物やその周辺環境の広域・連続的なセンシング・モニタリング技術、生物種の定量把握や同定の効率化、および生態系ネットワークの解明等による基盤的な生物・環境データの集積に資する先進的な技術等の開発、
- (2) 生態系や生物多様性の変動を把握し、生態系の将来予測に貢献する新規モデルの開発、研究

の 2 つを研究対象とした。(1)、(2)いずれの研究においても対象とする生物群集や現象等を明確にする必要があること、さらに開発ターゲットに即した海洋現場での調査・モニタリングによる実証を各研究課題には要求している。このため、フィールド観測分野の研究者との共同研究も奨励するが、調査観測やモニタリングのみの研究は対象としないこととした。

特に、従来の海洋研究の壁を乗り越えるため、工学やライフサイエンス等を専門とする

幅広い分野の研究者と海洋生物・生態研究者との共同研究を重視しており、このような研究を通して、生物への影響を考慮した海洋資源の持続的な利用や海洋保護区の設定などの海洋環境保全策の提示に貢献することを期待している。

3. 研究課題の選考について

本研究領域では、持続的な利用のための海洋生物資源の管理、海洋保護区の設定など海洋環境保全策の効果的な実施、生物多様性の保全を確保した海洋鉱物資源開発、地球温暖化の海洋生物多様性および生態系への影響の評価、大規模自然災害に伴う海洋生態系への影響把握と早期回復等のための改善策の提示など、出口を明確にした研究開発を行うことを目的とし、干潟から外洋までにおける多様な海洋生物群集の生物多様性および生態系を把握するために必要な「計測技術」と「生態系モデル」についての基盤技術の開発を行う研究課題を公募した（図1）。

初年度は、「海洋での生物多様性・生態系研究のボトルネックが具体的に提示され、それを解決するために新たな技術開発の確かなイメージが提案されているか」、「既にある技術・手法での観測・計測が研究の中心になっていないか」、「提案されているモデルに新規性はあるか」等の観点で評価を行い、メタゲノム、生態系モデルと衛星観測、AUV（自律型水中ロボット）、音響計測など、異分野の研究者の参画も含んだ5研究課題を選定した。

2年度目は初年度を踏まえて観測が中心の研究を対象外とする一方で、「より研究の焦点を絞った、コンパクトな研究提案か」、「工学、ライフサイエンスなど異分野の研究者、企業が技術開発の中核を担う提案を歓迎」、「多様性・生態系モデルは国内外の研究者との共同研究を歓迎」といった観点を追加し選考を行った。結果として、プランクトン群集の適応動態モデル、魚類生態系評価モデル、プランクトン動態モデルとモニタリングシステム開発、野外操作実験システムの開発、藻場の三次元リモートセンシング、シングルセル・ゲノミクスなど、様々な分野にわたる6研究課題を採択した。

最終年度は、前年度までの観点に加えて、技術開発中心の提案については緩和した条件で、研究課題の選考を行い、魚類群集の現存量の推定技術やバイオリギングの高効率化、多元素安定同位体やアルカリ度などをターゲットにした化学的計測技術など、様々な分野にわたる5研究課題を選考した。特に計測技術の開発は、ブレイクスルーを生み、生物多様性の維持や海洋生態系の保全に至る新たな道筋が明確に読み取れる提案を優先的に採択した。

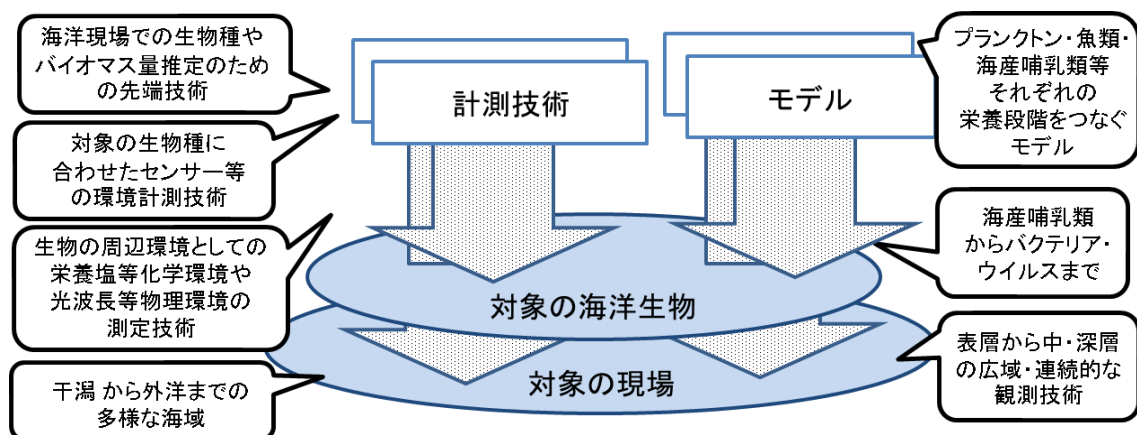


図1 本研究領域の対象となる技術、分野の俯瞰

4. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー 氏名	現在の所属	役職	任期
青木 一郎	東京大学	名誉教授	2011年8月～現在に至る
岸 道郎	北海道大学	名誉教授	2011年8月～現在に至る
中田 薫	水産総合研究センター研究推進部	研究主幹	2011年8月～現在に至る
西田 睦	琉球大学	理事・副学長	2011年9月～現在に至る
藤井 輝夫	東京大学生産技術研究所	教授	2011年8月～現在に至る
松田 裕之	横浜国立大学環境情報研究院	教授	2011年8月～現在に至る
安岡 善文	東京大学	名誉教授	2011年8月～現在に至る
矢原 徹一	九州大学大学院理学研究院	教授	2011年8月～現在に至る
和田 英太郎	京都大学	名誉教授	2011年8月～現在に至る
三宅 亮	東京大学大学院工学研究科	教授	2013年5月～現在に至る
黒川 顕	東京工業大学地球生命研究所	副所長・教授	2014年8月～現在に至る

本研究領域では、海洋に於ける生物多様性や生態系を深く理解し、その保全や再生に寄与する基盤となる技術の開発を主要な目標として、沿岸から外洋の深海までの海洋における細菌群集から海産ほ乳類までの幅広い海洋生物の種の同定やこれらの定量的把握のための広域センシング技術や遺伝子解析技術、資源・エネルギー開発や自然災害の影響等による海洋生物資源量や海洋生物多様性の変動量を把握するための生態系モデルやモニタリング技術の開発などの、極めて多様な分野にわたる提案が期待された。

このため領域アドバイザーとして、生物・化学系の研究分野から海産生物の遺伝子解析

で多くの研究をしている西田先生、窒素・炭素などの安定同位体の生態学への適用で顕著な業績を挙げている和田先生、生態学で生物の適応現象を研究している矢原先生、水産学分野では水産資源学で魚類等のバイオテレメトリーが専門の青木先生、水産海洋学が専門で水産総合研究センター等で開発した技術の現場でのニーズに関して幅広い知見を有している中田先生、また生態系等のモデル関係では海洋の生態系モデルの我が国での先駆者である岸先生、数理生態学を海洋に応用している松田先生、さらに工学系では地球観測衛星などが専門の安岡先生、応用マイクロ流体システムの海洋分野等への応用を行っている藤井先生と、それぞれ幅広い学問分野にわたり基礎から実証研究にわたる研究フェーズを縦横に俯瞰することのできる、前表の有識者の方々が就任した。また、就任依頼にあたって自分の専門分野だけでなく本研究領域全体にわたって幅広い視点での研究へのアドバイスができる有識者と言う点を重視した。

また、2013 年度に研究課題選考における「計測技術」を特に微量計測技術の評価を強化する観点から、マイクロ流体工学、マイクロ化学分析システム分野が専門の三宅先生が就任した。2014 年度には環境ゲノム関係の研究課題の進展に伴い、生物・環境試料メタデータの情報解析の重要性が高まったことから、ゲノム科学・バイオインフォマティクス分野が専門の黒川先生が就任した。

5. 研究領域の運営について

(1) 研究領域の運営方針

海洋の生物多様性および生態系を把握するための研究では、広大な海洋に於ける環境を含む広範な生物データの取得技術と、これらのデータから生物多様性や生態系の将来予測への展開が現在の大きな研究のボトルネックとなっている。2011 年度からの CREST では、これらのボトルネックを打破するための先進的な計測技術とモデルの研究開発を行い、海洋の生物多様性および生態系の保全・再生に必要な基盤技術を創出するための基盤となる研究を目指している。

この研究領域を運営するにあたって特に留意している事項は以下のとおりである。

- ①「計測技術」の開発を行う上では、例えば世界最高性能のセンサー等を開発することも確かに重要ではあるが、本研究領域では開発した技術が研究のための研究に陥らないように、実海域で利用可能な先端技術をモットーに「実海域でのボトルネックを打破することができるユニークな技術」の開発を目指した。また「モデル開発」においては、生物群集を含む海洋環境を仮想空間上に再現するだけでなく、それが実海域での環境の評価あるいは予測手法として機能するよう、実海域の観測データによる実証を常に意識した「実海域を理解し評価するためのモデル開発」を目指した。
- ②本研究領域での研究が従来の海洋生態系・生物多様性の研究の単なる延長にとどまることなく、計測工学やライフサイエンス、数理科学などの異分野の研究者との連携研

究によって、これまでにない新たな観測技術やモデル手法が生み出され、これらを駆使して新発見につながられるよう様々な取り組みを行っている。

- ③海洋の生態系や生物多様性の研究は公益性の高い研究分野であり、研究開発の成果が直接、新規の産業の創生や拡大に大きく寄与することをすべての研究課題に要求することはできないが、一方で社会のインフラである海洋環境の保全やその再生等に具体的にどのような形で寄与できるかを領域として常に提起し、その答えを各研究課題に求めている。
- ④海洋の分野は国際的な連携やネットワークが盛んなので、世界の研究者や異分野の研究者との共同研究の醸成を推進するため、広範な分野にわたる研究代表者を採択し、国際共同研究やチーム間連携の支援、分野毎あるいは分野横断の領域分科会を開催し、ネットワークや連携研究の醸成をはかっている。
- ⑤領域発足から4年度目までは連携の醸成や技術のブラッシュアップの為、研究領域関係者のみでの非公開の会議を開催して来たが、5年度目を迎えた本年度より、これまでに開発された技術等の成果をユーザーである現場での研究者や地域の行政・NGOなどに広く知ってもらうため、公開シンポジウムや国際展示会への出展など、研究領域としての情報発信を強化することとしている。

(2) 研究の進捗状況の把握とマネジメント

研究のマネジメントに関しては、海洋の生態系・生物多様性の研究分野に於ける研究基盤としての先端技術の創出とその実海域での従来手法に対する優位性の検証が本研究領域でのベースラインであることを常に念頭に置き、研究課題の研究代表者をはじめとする研究参加者にこのことを繰り返し提示している。一方で、研究代表者らが評価を意識して成果を充分解析することなく短期的な論文作成に走ったり、JSTの成果の実用化方針などにより過度に出口指向になって新たな発見の芽が摘まれることのないよう、各研究チームの自主性はできるだけ尊重し、研究代表者のリーダーシップと共同研究者の役割分担がうまくバランスして研究チームとしての活性が高まるよう意見交換をできるだけ行っている。

海洋科学分野の特性上、研究は研究室内だけで行われるものではなく、実際の環境・生物データの観測や収集は沿岸・外洋などの海上で行われているので、専門分野に近い領域アドバイザー数名とともに実際の観測・調査サイトを訪問し、開発した測器等による観測・調査の実態・進捗状況の把握を行っている。このサイトビジットは各研究課題の研究開始時からほぼ1年度目にまず行い、研究チームのまとまりを把握し、研究の方向性、課題の明確化などに関して意見を聴取している。また、2回目のサイトビジットは各研究課題の中間評価の数ヶ月前を目処に行っており、領域会議や各領域分科会等で出された課題にどのように対処しているかを、実際に研究に携わる若手の研究参加者も加わって数時間にわたり徹底的に議論し、中間評価までの研究の目標や、柔軟な計画修正などを助言している。このようなサイトビジットはこれまでに計27回行ってきているが、領域アドバイザーと現

場を見ることによって各研究課題に対する助言等がよりの確になるとともに、院生などの若手の研究参加者が、この研究領域全体の中において自分たちが行っている研究課題の位置付けを良く理解して貰うのに役だっていると感じている。

例えば、仲岡チームの北海道の厚岸湖におけるサイトビジットでは、海草藻場で二酸化炭素の添加を行う環境制御実験装置の開発において、現場での複雑に変化する流れ場に追従して添加条件を制御する装置の開発が必須であることが領域アドバイザーなどから強く指摘され、研究代表者にもこれが理解されて装置の大幅な改良に取り組むことになった。また、京都大学舞鶴水産実験所で行われた近藤チームのサイトビジットでは多くの院生が参加し、環境ゲノムに関する本研究領域におけるこのチームの課題である魚類の環境ゲノムの持つ意味を再認識していた。

さらに、研究の進捗を把握し、且つ各研究チーム間でお互いの研究内容・成果を共有し共同研究や成果の相互利用が醸成されるよう、年 1 回を目処に非公開の領域会議を行っている。しかし、この研究領域が極めて幅広い分野をカバーしていることを考慮して、2013 年度より「モデル」「遺伝子・物理計測」といったテーマを選定して開催する領域分科会を年 4 回程度開催している。このような領域会議や分科会を通じて、若手研究者を含めて研究チームを超えた交流や連携が行われており、海洋研究と言うある意味でこれまで閉じられた研究者空間が他の基礎・応用科学の分野へ開かれてきていることを感じる。

2015 年 12 月には、我が国の各地域の沿岸の保全や総合的管理に尽力している笹川平和財団海洋政策研究所との共同で、本研究領域の研究成果のうち特に沿岸の生物多様性・環境の保全や地域への貢献が期待される新しい技術を、各地域での海の環境保全や町おこしに関心のある一般の人達に紹介する公開シンポジウムを開催した。また、2016 年 3 月には、水産総合研究センター等の共催で、生物資源の持続的な利用・管理に資する新技術開発に関するシンポジウムの開催を予定しており、今後も研究成果と社会をマッチングさせるような情報発信を加速させたいと考えている。

(3) 研究費の配分

本研究領域で採択した研究課題においては、提案時にその内容を精査し、研究計画に基づいて予算配分を決定した。特に、海洋生態学の分野に工学的、分子生物学的アプローチを組み合わせた新たな観測・解析手法の開発を目指す研究課題には比較的大きな予算を、既存の観測データを活用し、海洋環境の予測・評価モデルに特化した開発を行う研究課題は人件費を中心とした少額予算配分を行った。また、これまで海洋科学の分野では実績のない技術の導入を試みる一部の研究課題においては、研究項目を限定してスタートしマイルストーンの達成にあわせて研究項目を拡げ予算を追加するよう設定した。

期中の裁量経費による予算増額については、特に国際連携、チーム間連携、研究成果の社会還元に向けた実証試験の取り組みを重視して行った。なお、これらの取り組みが単年度限りで終わることの無いよう、研究領域の裁量で予算を確保しながら 2013 年度より継続

的に実施している。

また、海洋環境の計測を行う領域の特性上、大雨・台風等の影響による装置の故障や流出、海底ケーブルの破損など想定外の事故にも緊急的に対応を行い、各チームの研究に遅滞が出ないように適切にフォローしている。

6. 研究の経過と所見

(1) 研究の状況

本研究領域では、提案者に対して、海洋における生物多様性・生態系の研究において、それぞれの分野での研究のボトルネックは何であり、また提案がそのボトルネックをどのように打破しようとしているかについて提案書に書くことを求めた。また、これまでの海洋の研究開発がどちらかと言うと海洋分野の研究者に限られてしまうことから、ライフサイエンスや工学関係の研究者との連携を組んで研究を進めることも明示した。さらに研究の出口としてはこの研究領域が目指しているところが公益性の高い海洋での生物多様性・生態系の保全・再生であることから、研究成果の社会への還元を重視して研究を進めるように、特に社会還元に対する取り組みの提案に対して追加の予算配分等をおこなっている。

このような研究領域全体の狙いに対して、採択された16研究課題は対象とする海域が水深数mの海藻場から数千mの深海熱水鉱床生物群集までにわたり、対象とする生物群集も微生物からイルカなど海産哺乳類まで多岐にわたったが、機械工学や生物工学、ライフサイエンス、情報科学、地球科学、農学などの研究代表者から共同研究者を含めると広範囲な研究分野の研究者がこの研究領域に参加している。例えば、サンゴ礁におけるアルカリ度の現場での自動測定機器の開発が課題の茅根チームでは、電気化学が専門の研究者と民間のマイクロ計測装置の開発を行っている技術者が、サンゴ礁の生態研究が専門の研究代表者と組むことによって装置の開発を行っている。既に実験室とほぼ同様の精度を持つコンパクトな試作機ができつつあり、シカゴで開催される理化学機器・分析機器分野における世界最大の見本市「Pittcon 2017」への出展を予定している。環境ゲノムを用いて沿岸域での生物群集の動態を評価する研究課題の五條堀チームでは、ゲノム情報を用いての分子進化の研究で優れた業績を挙げている国立遺伝学研究所の研究者が研究代表者となり、その元に海洋生態学、情報科学、水産学などの研究者が共同研究者となって研究を進めており、海洋関係における基盤的な遺伝子情報データベースの構築が国立遺伝学研究所のバックアップで行われている。また、海藻場の広域分布を解析する装置の開発を目指す小松チームの研究課題では、ハイパースペクトロセンサーで畑地の作物の生育状態をモニターする測器の開発を行っていた農学分野の研究者が、民間企業と共同で超小型高分解能のハイパースペクトロ分光器を開発し、複雑な分布を持つ岩礁帯の海藻場の種組成の解析に挑んでいる。このように、これまでの海洋研究の枠を超えた幅広い分野との連携が本研究領域できつつあることは、今後、我が国に於ける海洋の生物多様性・生態系の研究開

発を進める上での1つの大きな資産になると思われる。

さらに、本研究領域では各研究課題間で連携することによるシナジー効果により、1つの研究課題では達成できない成果を得ることを期待し、総括裁量経費などを使って公募により連携課題を募集してすでに3年目となっている。メタゲノム関係では超高速並列DNA シーケンサを用いた海洋微生物の遺伝子情報解析に関して研究を推進してきた木暮チームと、海水中の魚類環境DNA の検出に関して研究を推進してきた近藤チームが連携し、一回の海水のサンプリングにより、その海域の微生物と魚類の群集組成を同時並行的に明らかにする技術の開発を目指して研究を進めた。その結果、魚類環境DNA分析による魚類の種同定精度の向上や魚類環境DNA の解析ソフトウェアの開発が行われ、今後は、より多くの栄養段階の生物群集のデータを取り込むことにより、ほぼ全生物群集の環境DNAによる推定が可能となることが期待される。また、同じくメタゲノム解析に関連する研究課題の五條堀チーム、木暮チーム、竹山チームの3チームが、チーム間連携による統合メタゲノムデータベースの開発と構築を行っている。これは五條堀チームの開発したデータベースを基本として、追加調整できるよう改良することで、各チームのメタゲノム塩基配列を中心にデータ登録を共通で行えるようになった。そしてデータ登録を行って、3チーム間でメタゲノムデータ、およびデジタルDNAチップ解析システムの相互利用を開始している。また、配列解析やデータ取得手法の情報交換も行い、統合データベースを基盤とした解析技術およびデータの共有化へ向けた取り組みも開始している。

本研究領域では3つの研究チームが海洋の低次生産系に関するモデル開発を行っているが、その中で山崎チームは、乱流場と言う微細な物理環境が植物プランクトンなどの動態に与える効果を導入したモデル開発を行っており、スミスチームは各植物プランクトンが持つ生理的な柔軟性に着目したモデル開発を行っている。これまで生態系のモデル開発には取り込まれて来なかったこれら2つの新しい効果を同時に1つのモデルを組込むことにより、フィールドでの植物プランクトン群集の動態をよりの確に再現することを狙っている。既に1次元でのモデルの開発にはほぼ成功しており、今後3次元での動物プランクトンも入れた動態モデルに発展させることが予定されている。

現在、16研究課題のうち、2011年度と2012年度採択の11研究課題の中間評価が終わっており、その結果を見ると、各研究課題ともフィールドを対象にしている技術開発でもあり、天候等による実地検証での様々な問題を抱えているが、最終的には当初の目標に到達することができることを期待している。

(2) 特筆すべき研究成果の見通し

本研究領域で採択された16研究課題を研究手法で分けると、魚類やサンゴ礁を含めた環境メタゲノム解析を中心とするものが4研究課題、生物多様性や生態系のモデリングが魚類も含めて4研究課題、環境を含めた海洋生物群集のセンシング技術の開発が6研究課題、同位体等の化学的な手法による生態系把握を目指したものが2研究課題である。

この中でも大きな課題であったのは、数百万種類とも言われる極めて多様な生物群集が海洋と言う広大な 3 次元の空間場で時空間的にも大きく変動しているのを、どのようなセンシング技術を開発して把握するかであった。これはプランクトンネットや採水などによる従来の解析手法は研究船と言うプラットフォームと多くの人手を必要としており、時空間的に密な調査が難しかったからである。また、形態的には種の同定が難しい微生物等に関して、最近、技術的に大きな進展が見られる遺伝子情報をどのように扱って生物多様性の理解に切り込んでいくかの課題も大きかった。

本研究領域ではこのようなボトルネックに関して、幾つかの革新的な技術でその打開を狙い、既に大きな成果を挙げつつある研究課題がいくつかある。その 1 つは、浦チームによる航行型 AUV とホバリング型の AUV の連携による、深海底における広域/詳細な環境と生物群集の 3 次元マッピングである。これは AUV/ROV (無人探査機) に搭載できるマルチレゾリューションな 3 次元画像マッピングシステムを開発し、環境場と生物群集の同時モニタリングを行うもので、既に 2015 年の秋に沖縄近海の熱水地帯において、航行型 AUV やホバリング型 AUV による熱水地帯の広域/詳細調査を実施している。その結果、このような複数の AUV の運用によりマクロからミクロなレベルまでの海底面の地形情報および広域の生態系を同時に明らかにすることに成功している。なお、本研究課題で開発した 3 次元画像マッピング装置に加えて、そのデータ解析については、シドニー大学との連携で共同研究を進め、世界標準とすべくデータ解析の高精度化、効率化が現在進められている。また、この AUV に搭載された 3 次元画像マッピング装置による調査は、日本周辺のズワイガニなどの底生生物やキチジなどの底魚の広域マッピングにも適用されており、水産資源の保全・調査にも極めて有効なシステムであることが実証されつつある。

これまで目視や網等による捕獲では実現できなかった目標海域に生息する魚類の種組成やその密度分布を、体表の粘液や糞などと共に海水中に放出された魚由来の DNA (環境 DNA) から検出する手法開発に近藤チームが挑んでいる。近藤チームは次世代シーケンサを駆使し、また 5000 種におよぶ魚類の DNA データベースを整備することによって世界に先駆けて「魚類メタバーコーディング」の技術を開発し、沖縄美 (ちゅ) ら海水族館の 4 つの水槽の水から魚類の 9 割を越す 168 種の検出 (93.3%) に成功した。また、隣接するサンゴ礁域からとった自然海水からも、亜熱帯性魚類 93 種の検出に成功している。日本に生息が確認されている魚類は約 4000 種以上と考えられており、これらを捕獲して種類を決めるためには高度な専門的な知識と経験が必要であったが、海水を実験室で処理することで簡単にそのデータが得られるようになった。近藤チームでは、海域での魚類の種組成の分布を採水によってマッピングするだけでなく、その主要な種類の現存量も大まかではあるが推定することを最終目的として、舞鶴湾をフィールドにして実証実験を始めている。これに成功すれば、海洋の魚類など大型生物の分布や行動研究が大きく進展し、さらに水産業などに対する貢献も極めて大きいものと思われる。さらに、開発された技術では、1 回の分析で 1000 サンプル以上 (1000 箇所以上の水) のデータを得ることが可能なので、極めて大規模

なスケールでの魚類のマッピングが可能になり、ビッグデータで生物多様性を評価する先駆けとなることが期待される。

海洋生態系のモデルは、全球や大洋レベルでのタイプ別の植物プランクトンの分布や食物連鎖の再現を狙ったものが多く開発されているが、このような生態系モデルにおける物理場は、黒潮などの大きな流れ場の再現に重点が置かれており、沿岸域において潮汐流などで発生する乱流スケールの内部波などの物理現象は生態系モデルには取り込まれていない。山崎チームでは、沿岸域のこの内部波などがどのように沿岸域の低次生態系、特に動物・植物プランクトンの微細分布や種組成に寄与しているかのモデル化とその実証実験に取り組んでいる。既に、植物プランクトンの微細分布を反映したプランクトン生態モデルを、乱流研究で用いられているクロジャーマデルを応用して開発し、論文発表しているが、これはプランクトンがある空間内で均一分布をしているとする従来のモデルと異なり、不均一分布を再現した画期的なものである。山崎チームは以前に開発した乱流場とマイクロメータースケールの植物プランクトン分布の同時観測が可能な測器（ターボナップ）でのデータに加えて、大型の植物プランクトンや動物プランクトンの連続画像による取得が可能な装置を導入しての実証実験を大島近海で行うことを計画しているが、このようにモデル制作者が測器の開発も行って実証実験も行っていることの意義が大きい。

なお、16 研究課題の中で新規の同位体等の化学的手法による生態系把握を目標とする永田チームと陀安チームの2 課題は2013 年度に採択されたもので、いずれも研究代表者などが所属する研究機関が保有する加速器質量分析計（AMS）やマルチコレクタ ICP-MS などの高精度な大型分析機器による放射性同位体 ^{14}C などの軽元素や、Sr や Nd などの重元素の安定同位体計測を海洋生態系での生物群集の動態把握に応用することを目指している。現在は分析手法の確立やその微量化等により耳石などの限られたサンプル量から確実なデータを得るための技術開発などが行われているが、このような手法は、これまで海洋生態系や生物多様性には世界でも殆ど試みられていない手法なので、今後、実サンプルでの分析結果が蓄積することで、これまで分からなかった海洋生態系の新しい側面がこの手法で見えてくることが期待される。また、この研究課題には共同研究者として、窒素や炭素の安定同位体による海洋生物の栄養段階の推定に関する研究で世界のトップを走っている研究者も加わっており、これらの多様な同位体データを統合して海洋生物の動態を見ることによるシナジー効果も期待できる。

ここでは採択された16 研究課題を研究手法で分け、それぞれの手法での特筆すべき成果を記述したが、例えば広域マッピングに関しても、小型高分解能のハイパースペクトロセンサーを開発して無人機に搭載し、岩礁地帯の海藻藻場のマッピングを行うことを試みている小松チームや、双方向通信が可能なバイオリギングセンサーの開発により、魚類の群れ行動が追跡可能なシステムの開発なども進展している。

このように、工学分野やライフサイエンス分野での新規技術を組み合わせて複雑な海洋での生物多様性・生態系を総合的に理解し、それを社会貢献に結びつける本研究領域の目

的に沿った研究開発が行われており、我が国に於けるこの分野に大きな進展に寄与できると期待される。

(3) 研究の国際的な位置付けと科学技術へのインパクト

文部科学省海洋フロンティア開拓戦略策定の中でも議論がなされてきたが、海洋の調査研究・開発において、海洋現場のデータを取得するための観測プラットフォームと各種のセンサーは無くしてはならないものである。海洋観測の為にセンサー開発は、水温、塩分、光条件等の物理環境や溶存酸素、pH などの化学的な環境センサーの開発は進んでおり、これらを搭載したアルゴブイなどが世界の海洋で展開されている。一方、生物群集のモニタリングに関しては、測器によるモニタリングの手法がまだ未発展であり、海洋生物の多様性・生態系理解のボトルネックとなっている。

本研究領域では、工学系研究者やライフサイエンスの研究者などとの連携により、既存の水温、海流速、塩分などの物理的環境や溶存酸素や栄養塩などの化学的なデータと合わせて、プランクトン、魚類、海洋微生物などの多様な生物群集を確度良く効率的に取得する計測機器や観測手法の開発が進められている。また、既存の物理的・化学的な環境データとこれらの新たな技術で取得が可能となってきた生物データを組み合わせて、より正確な予測を可能とするモデル開発も進められている。既に浦チームや近藤チーム、山崎チームの成果については詳しく述べたが、赤松チームの広帯域ソナーの開発とそれを用いたマグロ漁における混獲防止への取り組みや、木暮チームの海洋微生物メタゲノム解析によるナトリウム排出ポンプの発見、山中チームの地球観測衛星を用いた海洋植物プランクトンの多様性評価への取り組み、竹山チームの微生物ゲノム情報に基づく環境リスク計測、茅根チームの海洋アルカリ度の微量連続計測システムなどは、現時点では未だ論文の被引用数での評価と言うところまでは現れていないものの、国際会議にて招待講演を受け、更にはその技術が国際的なプロジェクトに採用されるなど高い評価が得られつつある。これらの成果はいずれも、海洋生態学者と工学研究者などの協同による異分野融合により生み出された成果であり、本研究領域をきっかけに海洋生態学と工学、ライフサイエンス、農学、水産学などの分野連携が加速され、今後世界標準を採る基盤的な技術が日本から生まれることが大きく期待できる。

また、本研究領域では海洋現場での観測や調査を要求しており、また短期間の論文数で成果を語ることは難しい海洋と言うフィールドの研究分野ではあるが、研究領域発足から約5年で400報を超える論文が報告され、300件近い国際会議への成果発表が行われていることは、本研究領域の参加研究者のアクティビティの高さを示すものであり、国際学会発表のうち62件が招待講演となっていることから、既に相応のインパクトを生み出しているものと言える。また、本研究領域では海洋研究のボトルネックを克服する新しい観測技術の開発とその実海域への適用を志向しており、先にも述べたとおり現段階においてはほぼ全ての研究課題において基盤となる技術を確立し、これから実海域への適用と改良のフェ

ーズに入ることから、今後、さらにインパクトのある成果が世界に向けて発信され、海洋研究の中で生態系や生物多様性の分野での日本の存在感は増していくものと期待している。

前述のように、本研究領域では開発した技術が研究のための研究に陥らないように、「実海域で利用可能な先端技術をモットーに“ボトルネックを打破することができるユニークな技術”の開発」を目指してきた。このため、本研究領域では開発した技術が海域でのテストができるようになったところで、フィールドで今後広く使われる技術にするため、2014年度より、各研究代表者から研究成果の社会実装に向けた取り組みを提案してもらい、領域アドバイザーの協力を得て計画をブラッシュアップしつつ、総括裁量経費での支援を行っている。具体的には、浦チームでは、将来的に開発者でない一般運用者が運用を行うことができるよう、航海には民間船(ROV 搭載)を活用し AUV/ROV の運用を行い、観測システムの実用化、汎用化に向けた課題を抽出し、その成果をロボット部隊展開技術にフィードバックし、観測領域や対象の深化と拡大を図っている。また小松チームでは、東京都島しょ農林水産総合センターおよび地元組合より要望を受けて、光ハイパースペクトル法による大島周辺海域でのテングサ類のマクサ、オオブサの分布調査を進めているほか、えりも町でも超音波ナローマルチビームソナーによるコンブ場の調査を実施した。さらに、同チームでは将来ユーザーとして漁協関係者を想定し、実用的な低価格で誰でも運用可能な操作性を持つ装置開発も併せて進めている。宮下チームでは、開発したバイオリギング・システムの普及を目指し、福島県松浦湾内外での漁業資源の移動分散調査や、実際に資源管理を行っている団体にロガーを貸し出し、技術的なサポートを行いながら改良を重ねている。

我が国は水産技術に関しては国際的に優位に立っているものが多いが、本研究領域で開発を進めている魚類等に係る計測機器はその優位性をさらに高めるものとなっている。本研究領域で開発中の技術は海の生態系や生物多様性を新たな視点でモニターし、解析する画期的な技術であり、それらの開発には大手から中小まで様々な民間企業が技術連携、共同開発に参画している点も、リサーチツールの開発にとどまらず、将来的に市場に出せる技術にするための汎用性・拡張性、利便性・コストパフォーマンス等を考慮した設計がなされるという点で強みがある。

本研究領域が開始された 1 つの動機は、我が国に於ける海洋産業の、科学技術の進展による開拓にあるが、これに結びつく知的財産権などについての進展は残念ながらまだゆっくりしたものである。現状では多くの海洋測器の市場は欧米に握られており、海洋生態学の研究者もこれまでは工学等の研究者との連携が弱いため、自分達で開発するよりは海外の製品を選んで研究を進めることが多かった。しかし、安定性や正確性、メンテナンスのしやすさ、かゆいところに手の届く仕様など、国内研究者が国産機器に寄せる期待は大きい。本研究領域では国際的に見てもユニークな技術開発を進めているので、今後の社会実装を見据えてこのような知的財産の確保についてもケアしていきたい。なお、既に述べたように成果の社会発信として本研究領域で開発された幾つかの計測機器について、シカゴで開催される理化学機器・分析機器分野における世界最大の見本市「Pittcon 2017」への

出展を 2017 年に予定しておりそこでの反響が期待される。

(4) 今後の展望

本研究領域中間評価の段階で、研究領域全体としては折り返し点を超えた所と認識しているが、多くの研究課題において、スタートして 2~3 年は、研究チームとして幅を広げ色々なことにチャレンジしていく時期にあたる。そして、技術開発の過程で面白い現象が見つかり、新しいサイエンスの芽が生まれる時期でもある。本研究領域でも、環境ゲノムや分析手法の開発などのチームでは、例えば木暮チームによる新規の微生物によるナトリウム排出ポンプなどの新しい発見などがあり今後の発展が期待される。しかし、CREST においては研究課題中間評価が終わった時点位からは、出口である当初の目標に向かって全体をまとめて研究を収斂させていくことが研究代表者に要請される。特に本研究領域では実海域に於ける開発した新規技術・手法の適用によって、開発した技術等が従来の技術等よりも優れていることを実証することが要求されている。また、この実証実験によって、当該技術の開発者と技術の実際の利用者の対話が行われ、より使いやすい技術への発展が期待できる。従って、少なくとも 1 年以上の実海域での実証実験の時間が取れるように、各要素での技術開発の進展にばらつきがある研究課題には、予算の追加配分等を行ってその加速化を促している。

また、海洋分野では多くの研究が国際的な連携のもとで行われており、国際学会での発表や論文などにおいて、本研究領域で開発された技術や手法がこれまでのものに比べて優位なものであることが分かれば、その技術等の広がりやスピードは極めて速いことが予想される。従って、完成度の高い技術を本研究領域で作り上げることにより、社会的なインパクトを持つ海洋生物多様性・生態系へ貢献とすため、しっかりと後半をまとめていくことが大切であると考えている。

なお、これまでの懸案事項としては次の 2 つが挙げられる。その 1 つは異分野連携のむずかしさである。本研究領域は海洋の生態系のモニタリングに関する研究者の幅を広げるために、工学やライフサイエンス等の研究者との連携研究を積極的に進めた。そのため、幾つかの研究課題で研究の開始時には、研究手法や研究分野によるカルチャーの違いから、研究課題の研究代表者を中心にまとまって課題に取り組んでいくことがスムーズに行われていないと感じることもあった。しかし、ある程度時間が経つと、相互の理解が進展してあまりこの問題を感じないようになった。この点は、CREST のように 5 年間で成果を出すことが求められているような研究の場合は、当初から研究分野間のギャップを意識して、それを埋めるような努力を積極的にする必要があることがわかった。

また、研究上の課題としては、海と言う野外での開発中の測器のテストや調査が天候等で遅れたり、また、海底などに設置された測器が事故等で損したりすることがあり、このため、研究計画の遅れが生じる場合もある。特に、多くの研究課題では開発した測器の実装を小型の調査船等で行う場合が多く、シブタイムも限られているので、今後、各研究

課題がフィールドでの実証実験で野外での活動が多くなると、そのためのリスクも増えることが想定される。海での事故は人命にも関わることがあるので、このようなリスクに関しては、事故予防のための様々な措置や事故が起きた時の処置などについて、研究代表者に注意を喚起しており、今後も領域会議や領域分科会などの機会に繰り返しこのことを行っていく予定である。

7. 総合所見

本研究領域の目的は、海洋の生物多様性・生態系の保全・再生や生物資源の持続的利用に寄与できる基盤的な技術の創出であるが、研究開発の焦点を、海洋生物多様性・生態系の基盤的なデータを効率的・網羅的に取得するための先進的な計測技術と、海洋生物多様性・生態系の現状の把握と、それらの変動予測に資する生態系モデルの開発に課題を絞って開始した。これは戦略目標である「海洋資源等の持続可能な利用に必要な海洋生物多様性の保全・再生のための高効率な海洋生態系の把握やモデルを用いた海洋生物の変動予測等に向けた基盤技術の創出」における重要課題を抽出したものであり、研究の出口としては、地球温暖化、海洋生物資源の枯渇、海洋鉱物資源の開発など、海洋の生物多様性・生態系を巡る様々な課題の解決に資するための技術開発であることを明確にした。

3年間にわたって100件以上の応募から、対象海域としては沿岸の藻場から深海底の熱水生物群集までの現場を含む16研究課題を選定した。選定の際のキーワードは、「研究のボトルネックの打破」、「異分野の研究者との連携」、「明確な出口の設定」、「国際的な連携による研究推進」等であった。また、限られた研究予算を考慮して、自律型の海中計測装置開発といった大型予算を必要とする研究課題から、生態系を評価・予測する新しいモデルの開発のような人件費を中心とした少額予算で実施可能な研究課題を組み合わせ採択した。

この研究領域を運営するに当たって特に留意している事項は幾つかあるが、まず本研究領域では開発した技術が、研究のための研究に陥らないように「実海域でのボトルネックを打破することができるユニークな技術」の開発を目指し、研究期間終了時までに実海域での新技術の優位性を示す実証試験を求めている。また、この海洋の生態系や生物多様性の領域での研究開発は公益性が高いものが多いため、研究成果が直接新規の産業の創生やその拡大に大きく寄与することをすべての研究課題に要求することはできないが、一方で社会のインフラである海洋環境の保全やその再生等に、各研究課題が具体的にどのような形で寄与できるかを、研究領域として常に提起しその答えを各研究課題に求めている。なお、異分野の研究者との連携による新技術やモデル開発を推進していることから、研究チーム内や研究チーム間での密接な討議や会話による、いわゆる分野の壁を低くすることを、様々な機会に研究領域参加者に呼びかけている。これらのことを各研究課題での研究に周知してもらうため、領域会議や領域分科会のみならず、各研究チームの会合等にもできるだけ研究総括が出席して全体を把握するように努めている。

2015年の暮れの時点で既に16研究課題のうち11研究課題が中間評価を終えているが、その結果を見ると、開発した技術による社会実装が取得データのユーザーを含めて試みられている研究課題もいくつかあり、民間企業との連携も多くの研究課題で行われている。本研究領域では、船上からの制御で底生生物のサンプリング装置を備えたAUV、双方向通信ができるバイオリギングデータロガー、小型自動アルカリ度測定装置、超小型ハイパースペクトロセンサーなど、海洋生物をターゲットにしたこれまでに無い技術の開発が行われているが、これらの技術開発の成果をまとめて、シカゴで開催される理化学機器・分析機器分野における世界最大の見本市「Pittcon 2017」への出展を予定している。また、研究課題の研究代表者や共同研究者の多くは、国際的な研究組織や研究グループと密接な連携で技術開発を進めているので、これらのネットワークを通じて、本研究領域での研究開発の成果が広く世界に認知されることが期待される。これまで研究領域の参加者で行われた300件近い国際学会発表のうち62件が招待講演となっていることから、既にある程度のインパクトを生み出しているものと言える。

海洋科学の分野では、これまで計測技術の開発は、水温・流速・塩分・水中光量といった物理的環境や栄養塩・pHなどの化学的環境が多く、これらに比べて生物計測に関しての技術開発はあまり進展しておらず、特に我が国ではその傾向が強かった。これには計測機器等の技術開発には多くの研究資金が必要であるが、生物関係の研究にはあまり多くの研究資金は必要ないとする海洋分野全体での考え方や、そのための工学関係者の協力が得にくいということが、その背景の1つにあったように思われる。しかし、世界第6位の広大な排他的経済水域を抱え、海洋立国を目指す我が国において、生物資源の適切な維持・管理や、地球温暖化などの環境変動に対する生物多様性・生態系の保全、海底資源の開発に伴う環境保全等は、差し迫った課題になっている。海洋での様々な環境場の計測に合せて生物群集の効率的なデータ収集を行うことで、海洋生態系・生物多様性の理解がより加速され、この理解によって初めて上記の課題解決が可能になることから、国としての政策的な研究課題を推進するCRESTとして本研究領域が実施されることになったと理解している。

従って、本研究領域ではこれまで海洋にあまり注視してこなかった工学やライフサイエンスの研究者が、ある程度の規模の資金援助によって積極的にマクロな海洋生物多様性・生態系の分野に参画した点は、この分野における大きな進展である。様々なニーズは持っていたとしてもそれを解決する技術を持たないことの多い海洋の生態研究者が、必要とする計測機器を共同開発できる機会が与えられたことは貴重である。本研究領域で生まれた海洋の生態学以外を専門とする多くの研究者との連携を、今後も進展させ維持することで、社会が必要とする出口が明確な研究開発をより進展させることができ、さらに海洋のこの分野における我が国の存在感を国際的にも高めることができると考えられる。

特にライフサイエンスにおけるゲノム研究の技術開発の進展は目覚ましく、海外では海洋分野においてもメタゲノムをターゲットにした大きなプロジェクトが動いている。この海洋生物におけるメタゲノム研究にも、その膨大な情報を処理するバイオインフォマティ

クスの研究者などの参加が必須であり、装置や試薬等の経費も含めて CREST 規模の研究経費でないと大きなプロジェクトを立ち上げることは難しかった。幸い、本研究領域では我が国でこれまで海洋のメタゲノムに関わってきた代表的な研究者が研究課題を立ち上げており、この分野の国際的な進展に伍していけるようになると期待している。

海洋は、深海底などの未知な部分を持ったフロンティア領域であると共に、広大な生物・エネルギー・鉱物資源を有し、その利用が国際的にも大きく注目されており、中でも鉱物資源、生物資源や海洋生物の遺伝子資源は、それらの利用を巡り発展途上国も含めて多くの国間での研究開発の競争となりつつある。一方、海洋は地球における生存環境の維持に大きな役割を担っているが、中でも生物群集・生態系が果たしている機能は生態系サービスと呼ばれ、これを保全し持続させて次世代に渡すことは、今日の我々人類に課された責務である。従って、本研究領域における海洋の生物多様性・生態系を深く理解するための技術開発は、様々な海洋資源の利用という当面の我々人類に対して恩恵を与えるものであると同時に、我々の子孫に対して、海洋と言う生存環境の維持装置を持続させることで、恩恵をもたらすものでなくてはならない。なお、水産物などの生物資源の場合は、その持続的な利用を図るためにも、健全な海洋の生態系を維持する必要があることは言うまでもない。

本研究領域での研究開発は、この 2 つの大きな目標をどのようにして調和させ達成するかを、科学技術における具体的な研究開発の観点から答えていくことも、その最終的な目的の 1 つと考えている。具体的な研究成果が出始めているので、これらを研究領域全体として組み合わせることにより海洋の生物多様性・生態系の保全・再生と利用の調和を考えた基盤技術となるように、領域会議などを通じた議論を行っていきたいと考えている。