

課題名 S-9-5 海洋生態系における生物多様性損失の定量的評価と将来予測

課題代表者名 白山 義久 (国立研究開発法人海洋研究開発機構理事)

研究実施期間 平成23～27年度

累計予算額 313,492千円 (うち平成27年度: 57,260千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード EBSA、アジア、外洋、深海、沿岸、アマモ場、藻場、サンゴ礁、動物プランクトン、化学合成生物群集

研究体制

- (1) 沿岸生態系生物多様性のグローバルスケールでの時空間的変動の定量評価と将来予測 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)
- (2) 海藻生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測 (北海道大学)
- (3) アマモ場生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測 (東京大学)
- (4) サンゴ礁生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測 (国立研究開発法人国立環境研究所)
- (5) 日本周辺水域のプランクトン生態系に関する生物多様性変動の定量評価と将来予測 (国立研究開発法人水産総合研究センター)
- (6) 深海化学合成生態系における生物多様性損失の定量評価と将来予測 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

研究協力機関

琉球大学、東海大学、Indonesian Institute of Sciences, National University of Malaysia, University Sains Malaysia, Mindanao State University – Iligan Institute of Technology, Burapha University, Institute of Ecology and Biological Resources of Vietnam, Phuket Marine Biological Center, Marine Science Institute, University of the Philippines

研究概要

1. はじめに (研究背景等)

近年、海洋生態系の著しい劣化と水産資源への顕著な影響が指摘されている。また人間活動の影響は、沿岸域だけでなく外洋から深海にまで及んでいることが報告されている。海洋生物センサス(CoML: Census of Marine Life)により蓄積された世界的な生物多様性の出現データもこれを裏付けている。アジア周辺海域の生物多様性の豊富さも示されたが、地域的なデータは不十分でありこの生態系劣化の原因解明と対策の立案を難しくしている。

沿岸では、藻場やサンゴ礁が多様な生息環境を作り出し、濃密な生物多様性を維持している。一方、水深200mまでの浅い海は容積にしてわずかに3%しかなく、残りの97%は太陽の光が届かない深海である。そこには浅い海とは様相のちがう生態系が維持されており、多様な生物群集が生息している。気候変動の影響や海洋の酸性化、さらに深海底での鉱物資源やエネルギー資源の開発、投棄されたゴミなど環境の安全と水産資源への影響は沿岸から外洋および深海に広がる。適切な保全策を立案するには、現状の正確な把握と多様性を減少させている原因を特定しなければならない。海洋での生物多様性の調査研究には、従来の枠組みを越えた体制が不可欠である。

我が国は2012年まで生物多様性条約の議長国として、先に名古屋で行われた同条約のCOP10で海域の10%を保護区として設定することを目標に掲げた。また世界で6番目に広い管轄海域を保有し、かつ周辺海域の生物多様性が世界有数の豊かさをもつことなど、生物多様性の保全において世界をリードすべき立場にある。海域の保全では、科学的根拠に基づいた生態学的または生物学的に重要な海域 (EBSA: ecologically or biologically significant area) を選択しなければならない。その重要海域から保護区のネットワークを設定するためには、さらなる科学的根拠が必要になる。

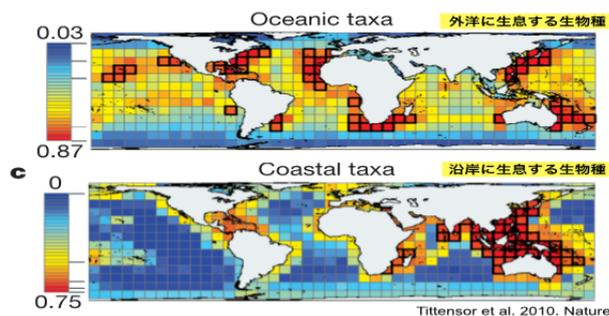


図1 CoMLのデータにより解析された海洋生物の多様性と分布の傾向

2. 研究開発目的

我が国周辺の重要な海洋生態系である沿岸浅海生態系のアマモ場・藻場・サンゴ礁、外洋表層生態系および深海化学合成生態系を対象として、リモートセンシングと現場情報のカップリングにより遠隔情報から海域の生物多様性を予測する技術を開発し、さらにその情報の時空間的変動から生物多様性劣化の定量評価と将来予測を行う。その成果をもとにアジア海域でのEBSA選定の条件を検討して候補海域を選定し、地域の海域環境に応じた保全と回復の方策を提案する。これにより環境政策の目標達成に貢献する。

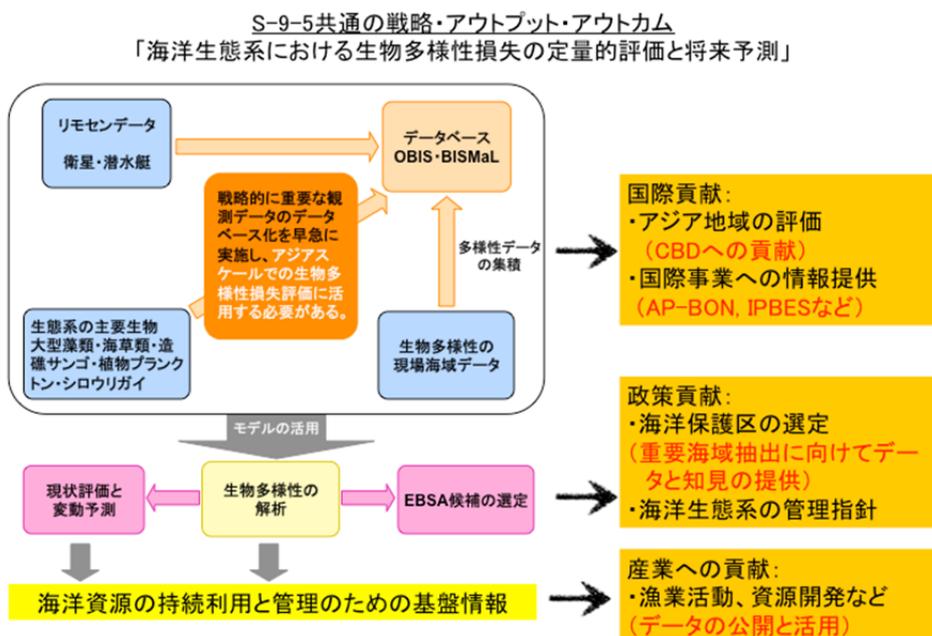


図2 S-9-5の研究開発での目的と貢献目標

3. 研究開発の方法

(1) 岸生生態系生物多様性のグローバルスケールでの時空間的変動の定量評価と将来予測

統一手法を用いたサンプリングに基づいてグローバルスケールで得られているアジア海域の生物多様性の情報を活かして、本研究の他のサブテーマが取得する生物分布状況と海域情報との関係を解析してモデルを確立し、多様性変動の定量評価と将来予測を行い、EBSA選定の条件と方法を検証する。EBSAの選定では、CBD専門部会（CBD: Convention on Biological Diversity, 生物の多様性に関する条約）が推奨した7項目の基準を採用した。各項目の基準には、具体的な数値目標や生物種が記載されていない。基準に適用可能な科学的なデータから海域におけるEBSAの選定をした。方法は、各項目で評点を付け総合得点を5段階評価する加算法および絶滅危惧種の保全を考慮した相補性解析の結果から総合評価した。

(2) 海藻生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

我が国沿岸域の主要生態系の1つである藻場生態系を対象域として、リモートセンシングデータと生物多様性データの相互関係を記述する空間明示的なモデルを開発する。これにより、藻場生態系の生物多様性の定量評価、今後の海藻生態系の生物多様性の変動の予測、およびEBSA選定を行う。具体的

には、まず、1) モデル海域（青森県尻屋崎周辺）にて、音響測深と映像記録を組み合わせた観測を元に、空間内挿法によりコンブ林の生物量の空間分布を評価する方法を開発すると共に、2) コンブ類の分子マーカーを開発し、それを用いて主要種の遺伝的構造を把握し、生物多様性解析で利用する分類群のユニットを確定する。続いて、3) 書誌情報（文献、報告書類など）、学術標本および既存のデータベース（環境省データベース、OBIS、GBIF等）から抽出した海藻類の在データを統一した生物多様性データベースを作成し、本テーマが準備する海洋生物多様性データベースに格納する。また、4) データベースおよび広域環境情報を用いて種分布推定モデルを作成し、コンブ目主要種について、北日本における分布推定を行うと共に環境要因との関連性を解析する。さらに、5) 環境要因について、IPCCのシナリオに基づく将来予測を実施し、複数の気候変動シナリオ下でのコンブ目海藻の分布の変化を推定する。一方、EBSAについては、6) 北海道レベル、および全国レベルで、CBDの基準6項目を定量的に評価することにより実施すると共に、海藻類の将来の分布範囲の予測結果を取り入れた選定法も開発する。

（3）アマモ場生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

1) 海草類データベースの構築

日本及び東南アジア海域を対象として、アマモ類をはじめとする海草類の分布情報および藻場面積等の生態学的属性情報を既往文献もしくはデータベース等から抽出した。集積した分布情報は統一フォーマットに整形して海草類分布データベースとして構築し、サブテーマ間で共通のデータベースであるBISMaL (Biological Information System for Marine Life) 上に登録した。

2) アマモ場生態系におけるEBSAの選定

収集した海草類の分布情報、アマモの現存量、およびアマモ集団間の遺伝的構造等の情報に基づいて日本沿岸海域を評価し、アマモ場生態系におけるEBSAを選出した。海域の評価は、CBD専門部会が推奨した7項目の評価基準に基づき、アマモ場生態系に最適化し、且つ広域スケールで海域間を客観的に比較可能な指標を用いた。

3) アマモ類の将来分布予測

IPCC気候変動シナリオ下での海水温変動の影響に基づいたアマモ類の分布について変動予測を行なった。温帯・亜寒帯種を中心とした6種を対象に、日本沿岸を5kmグリッドに区分けして、Maxentを利用して、気候変動モデルにより予測された将来の海水温変動の値を用いて、2090-2100年の最暖月における分布予測を、RCP2.6（低位安定化シナリオ）およびRCP8.5（高位参照シナリオ）の2つのシナリオについて行なった。

4) 次世代シーケンサーを用いたアマモ場生物多様性の新規評価手法開発

アマモ場生態系の迅速な生物多様性評価およびアマモ場生物群集間のコネクティビティの評価手法として、採集が容易で、様々な環境に適応した分類群を含み、環境および生物多様性の指標として適当と考えられるメイオベントス群集を用いた新規評価手法を検討した。日本沿岸および東南アジア海域において、代表的なアマモ場で現地調査を行い、採集した環境遺伝子試料（底質）よりDNAを抽出した。第二世代シーケンサーによりメイオベントス群集メタゲノムデータ（18s rDNA）を取得し、生物多様性およびコネクティビティの評価を試行した。

5) リモートセンシングによるアマモ場の時空間変動要因の検討

局所スケールにおける人為的な環境変化がアマモ場の時空間動態に与える影響を明らかにするため、過去に取得された人工衛星画像・航空写真アーカイブを用いて、リモートセンシングによりアマモ場の分布を時系列的に比較し、その時空間変動に関連する環境要因について検討した。

（4）サンゴ礁生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

1930年代から現在にかけてのサンゴ種分布データを収集するとともに、現地調査を行って日本近海のサンゴ種分布データベースを作成した。サンゴは分類体系が変化しており、過去の種名を改訂する必要がある。サンゴ種名に関して、World Register of Marine Species (WoRMS)を参照するとともに、最新の分類学の知見に基づいて種名を改訂した。これらのデータを用いて、1930年代から現在にかけてのサンゴ分布変化を検出し、過去から現在にかけての水温上昇や陸域負荷にともなうサンゴ分布変化を明らかにした。また、このデータベースを用いてEBSA基準の7項目の基準による解析をした。さらに、IPCC気候変動シナリオによる将来予測を試行した。

（5）日本周辺水域のプランクトン生態系に関する生物多様性変動の定量評価

外洋域生態系変動情報としてクロロフィルデータの衛星画像を利用したリモートセンシング手法に

より、基礎生産者の分布パターンや基礎生産量の季節変動および経年変動を解析し、日本周辺海域における基礎生産量の分布パターンを詳細に把握する。基礎生産を利用する一次消費者として外洋域で主要な役割を果たす動物プランクトンについては、水産総合研究センターの各研究所では、水産資源評価調査、卵稚仔分布調査、海洋環境調査等により、1950年代よりプランクトンネットを用いた採集調査が行われており、観測点は日本周辺海域を網羅している。しかし、これらの標本の多くは、現存量（湿重量あるいは沈殿量）を測定されただけでホルマリン液浸標本として保管されている。現在分散しているこの現存量データを整理統合して、半世紀以上にわたる日本周辺海域の動物プランクトン現存量の長期変動をレトロスペクティブに解析する。また、液浸標本は顕微鏡観察や画像処理システムにより種組成を再解析が可能であるため、過去にさかのぼってプランクトン種組成分析を行う。これまで、水産総合研究センター東北区水産研究所における標本管理体制が行き届いていたためアプローチが進められてきた本州東方海域のプランクトン解析（オダテデータ）に継続データを付加・充実させる。

同様な手法を用いて、全国の水産研究所に分散している日本周辺の様々な海域（黒潮域、日本海、東シナ海など）で得られた標本の解析も本課題進行中に順次行う。これらの成果を統合して世界的に多様度が高いと言われる日本周辺の亜熱帯から亜寒帯海域におけるプランクトンの種組成の長期変動データを整理するため、これらの標本解析を全国に拡大し「全日本オダテデータ」と呼べる解析データセットを構築し、分散的知見であった外洋域の生態系変動情報を集約する。また、得られた種組成データを用い、日本周辺のプランクトン群集がこれまでどのように変遷してきたかをレトロスペクティブに解析し、多様な外洋域の生物組成の変遷の実態を把握する。

これらの現場観測データの解析結果を基に、外洋域で顕著な鉛直移動を行うことが知られているカイアシ類の*Neocalanus*, *Eucalanus*, *Metridia*属などが表層の有機物を消費し、自らの鉛直移動によってこれらの炭素を深層へ輸送する過程を検証し、外洋域における生物による炭素の深層への輸送を把握することにより温暖化予測の高精度化に貢献する。また、プランクトン主要種の組成変動がもたらす生態系への影響、特に黒潮域における*Calanus*や*Paracalanus*属カイアシ類からより小型の*Oncaea*属への変化、親潮域における大型の*Neocalanus*属カイアシ類から小型の*Metridia*や*Acartia*属への変化などによりそれらを餌料として利用する魚類相が変化することによる生態系構造や、マイワシやサンマ、マサバなど長期にわたり資源変動を繰り返している漁業対象種の資源量変化の影響把握を行う。これらの解析を通じて海洋生態系におけるプランクトン鍵種を明らかにするとともに生態系変動に対応する種多様性の指標開発を行う。

これらの解析に用いられた日本の海洋観測を網羅する標本群は、水産総合研究センター東北区水産研究所の標本庫に収集、管理するとともに、さらなるデータベースの充実化をはかり、海洋の低次生態系の変動を継続的に把握できるシステムを構築する。

（6）深海化学合成生態系における生物多様性損失の定量評価と将来予測

海洋研究開発機構で運用する生物出現情報を集積したデータベース(BISMaL: biological information system for marine life)から、日本列島周辺の深海化学合成生態系サイトでの潜航調査の結果から抽出した生物分布と環境条件のデータを多様性解析用に整形した。データは、2011年以降の調査航海およびBISMaLにて公開されている過去の探査結果を使用した。EBSA評価では、各項目に対応するデータを検証し、保護すべき海域の選定を試みた。また環境因子と生物分布のデータから、分布を推定した。

S-9-5の各サブテーマで収集してデータセットは、データ共有と統合解析のため、入力変換のシステムを整え、海洋研究開発機構が管理するデータベース(BISMaL)において集積した。

4. 結果及び考察

（1）沿岸生態系生物多様性のグローバルスケールでの時空間的変動の定量評価と将来予測

本研究では、アジア海域の生物分布データから沿岸生態系での生物多様性の状況と変動を定量評価するため、生態学的・生物学的重要海域（EBSA: Ecologically and Biologically Significant Area）の7項目の基準による解析をした。使用したデータセットは、既存のデータベース、論文、航海報告等から抽出し、2,045,896件のデータを解析用に整形した。生物多様性と分布状況を分析して定量的に評価をし、その結果をEBSA評価基準に照らし合わせて優先的に保全すべき重要海域を推定した。その結果、対象としたアジア海域の15%が重要海域として選定された。重要海域の推定方法については、加算法と評価結果に重み付けをした相補性解析とを比較し、統合解析に適した手法を検討した。また、IPCC気候変動シナリオによる将来予測を試行し、動物プランクトンの分布変動と漁場への影響を評価することができた。

(2) 海藻生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

本研究では、我が国沿岸域の主要生態系の1つである藻場生態系を対象域として、リモートセンシングデータと生物多様性データを用いて、藻場生態系の生物多様性の定量評価、今後の海藻生態系の生物多様性の変動予測、およびEBSA選定を行った。まず、コンブ林を対象に、空間分布を詳細に解析できるリモートセンシング手法を開発すると共に、分子生物学的手法によるコンブ類の遺伝的構造を解析し、広域解析の単位となる種を確定した。次に、コンブ目海藻を中心に合計28,358件の海藻類のデータベースを構築し、種分布推定モデルを用いて、主要種の分布、環境要因との関連性を推定した上で、2100年における分布変化の将来予測を行った。コンブ目藻場を対象としたEBSAの推定については、複数の基準を定量的に評価して結合する方法を開発し、北海道全域および全国沿岸域で、EBSAとして選定されるべき海域を抽出した。さらに、海藻類の将来の分布予測を踏まえたEBSA選定法も開発した。

(3) アマモ場生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

沿岸域の生物多様性保全を検討する上で重要であるアマモ場生態系を対象として、日本沿岸および東南アジア域における分布情報の収集を行った。日本沿岸については約4,000件、東南アジア域については約3,000件の情報を収集した。これらの分布情報を中心に、そのほかの関連する情報と合わせてアマモ類の生物学的生態学的に重要な海域（EBSA）候補地の選定を行なった。EBSAの評価基準については、他の沿岸域のサブグループと連携して適切かつ類似する基準を選ぶように努めた。その結果、アマモ類のEBSA候補地の基準として、アマモ類の唯一の生息地・遺伝的に特異なアマモの分布地・絶滅危惧のアマモ類の分布・海草藻場の減少率・海草藻場の生産性・アマモ類の種数・自然海岸率を用いた。評価は緯度経度1度グリッドで行い、各基準の評価値をもとに各グリッドでその合計値を求めた場合のEBSA候補地と、各基準の評価値をMarxanを用いて行った相補性解析した場合のEBSA候補地について、それらの比較を行なった。その結果、両方法で選定された候補地はほぼ同一であった。このことは、抽出されたアマモ類のEBSA候補地が、EBSAとして適当である可能性が高いことを示唆している。気候変動シナリオに基づく予測水温から、温帯と亜寒帯のアマモ類の2090-2100年における生息地の将来予測を行った。Maxentを用いた将来予測の結果、多くの種で分布域は大きく減少すると予測され、東北・北海道沿岸が重要な分布域になるという結果が得られた。また、アマモ場生物群集の迅速な生物多様性評価およびアマモ場生物群集間のコネクティビティの評価の手法として次世代シーケンサーによる解析の検討を行ない、迅速な多様性およびコネクティビティの評価手法であり、またEBSA選定の上でも有用な手法であることが認められた。さらに航空写真および衛星画像を用いて局所的スケールにおける人為的な環境変化がアマモ場の分布に与える影響の検討を行い、その結果EBSA選定の上で人為的影響によるアマモ場の分布変動についても慎重に考慮する必要があると考えられた。

(4) サンゴ礁生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

1930年代から現在までの文献や標本情報から、31,036件のサンゴ種分布データを収集し、日本においては温帯域において水温上昇によりサンゴの分布北上が起きていること、亜熱帯域においては白化によりサンゴが減少し、さらに陸域からの影響が大きい海域においては白化後の回復が見られないことが明らかとなった。

EBSA基準に基づく評価によって、日本沿岸域のサンゴ礁域を対象に、保全優先度の高い海域を抽出することが可能であり、種の保全のために重要な海域を抽出可能であることが示された。

将来予測においては、シナリオごとの予測を行い、二酸化炭素排出の抑制がサンゴの保全に重要であることが示された。また、サンゴ分布の空間的な連続性及び将来の変化による時間的な連続性を考慮して保護区の配置が可能であることを示した。

(5) 日本周辺水域のプランクトン生態系に関する生物多様性変動の定量評価

水研センターの保有するプランクトン標本・データ等を解析することで、日本周辺水域の動物プランクトンの生物多様性の実態を解明し、さらに生態学的生物学的重要海域(EBSA)の候補を呈示した。動物プランクトン現存量の季節変動パターンを解析することによって、日本周辺水域の動物プランクトンは6つの水域に区分された。さらに、種レベルでカイアシ類を分析した結果、日本周辺水域でカイアシ類の群集は亜寒帯群集、沿岸・移行域群集、および亜熱帯群集の3つに区分することが出来た。4月では、日本海から三陸沖よりも北の広い範囲で亜寒帯群集が広がり、沿岸・移行域群集は太平洋側では茨城沖、日本海南部および東シナ海に見られた。亜熱帯群集は黒潮に影響を受ける、太平洋側の

薩南沖～千葉沖に見られた。11月では亜熱帯群集と亜寒帯群集のみが見られた。そのうち、亜熱帯群集は北海道の太平洋側を除く広い範囲に分布していた。一方でこの時期、亜寒帯群集の分布は限定的で北海道沖の親潮が影響する水域に限られていた。このように、カイアシ類の群集構造は季節によって大きく変動することが明らかとなった。また漁獲量を調べた結果、日本周辺水域は5つのグループ（1.亜寒帯、2.北海道、3.三陸・南北海道、4.日本海、5.黒潮・浮魚）に区分することができた。そのうちEBSA候補としてスコアの高かったエリアは3.三陸・南北海道と5.黒潮・浮魚のグループに見られた。さらにプランクトンデータを用いてEBSA抽出を試みた結果、遠州灘沖～黒潮続流、東北沖～道東沖、日本海北部、東シナ海および小笠原諸島付近に抽出された。これらのエリアは水産資源の重要な生育場・索餌場となっており、これらを保全していくためには、今後可能な限り地球温暖化ガスの排出を抑制していく必要があると考えられた。

（6）深海化学合成生態系における生物多様性損失の定量評価と将来予測

日本周辺海域の化学合成生態系サイト42地点を対象として底生生物（環形動物、軟体動物、節足動物）の出現情報から多様性を調べた。EBSA選定は希少性に重点をおいて試行した。相補性解析により固有種を含む全種を保全するために必要なサイトを推定したところ、42サイトのうち21サイトが常に選択され、7サイトが高い頻度で選択され、これら25サイトを重要海域として保全すれば日本周辺の化学合成生物群集を保全できることが示唆された。化学合成生物群集では、シロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類などの密集した群集を作る生物種が景観形成の役割をしている。これらの生物種の遺伝的連結性から生活史に関わる種の分散と定着を指標にしてサイトの重要度を判定するため、シマイシロウリガイと近縁種のアケビガイのミトコンドリア遺伝子（CO1）の変異から系統関係を調べた。深海化学合成生態系における環境要因とベントス分布の相関性を解析し、個体数と生息分布の推定に必要なモデルを考案した。収集したデータの多変量解析から、沖縄トラフの伊平屋北海丘のベントス群集は熱水性と非熱水性に有意に分類された、分布の特長は底質(泥,瓦礫,岩,岩盤), バクテリアマット, 水温の影響で説明できた。熱水域におけるベントス群集生息域において観測した底質の被覆率と水温などのデータから、ベントスの個体数を推定する線型モデルを作成した。

5. 本研究により得られた主な成果

（1）科学的意義

データ解析に関する技術ワークショップ等での情報共有により複数の研究機関が緊密に連携して沿岸から外洋さらに深海にまで対象を広げて生物多様性を統合的に調査研究する体制により、解析精度の向上、データセットの拡充と再解析などを効果的に進めることができた。また関連する他のプロジェクト（文科省気候変動リスク情報創生プログラム）と共同したワークショップにより精度の高い将来予測の手法開発を進めることができた。

EBSA候補海域の選定では、収集した科学データに基づいた評価により重要海域の選択ができた。今年度の結果では、評価項目の得点を統合解析する手法を検証し、EBSA評価の精度を向上することができた。さらにEBSA候補海域と現状の保護区との比較分析により、保全策の有効性を検証できた。

分布推定に向けては、環境因子と生息分布の関係を解析して優占種や絶滅危惧種等の生息分布の推定をすることができた。また将来予測では、IPCC気候変動シナリオを利用して、海洋の温暖化が生息分布に及ぼす影響を示すことができた。またサンゴ礁の事例では、酸性化による炭酸塩の溶解という化学環境との複合的な影響を評価し、低二酸化炭素放出シナリオの条件下であれば2090年においても日本列島の周辺海域にサンゴ礁が生残することを明らかにした。この結果から、現状に依存した保全策でなく、将来の環境変動を考量した分布推定の解析結果の必要性を示すことができた。

（2）環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

この事例研究の結果は、EBSA候補の抽出作業への専門家意見としてまた精度向上への知見として利用されている。既に、収集したデータの一部（サンゴ類）は環境省の重要海域抽出検討会に提供し、評価手法に関する知見も活用された。さらには、2015年11月のSubsidiary Body on Scientific Technical and Technological Advice (SBSTTA) において開催したside-evenでの会議参加者にS9-5によるEBSA関連の成果を公表した。2016年に開催されるCBDのCOP13でのEBSA選定に向け、2015年12月に生物多様性条約事務局が開催したEBSAリージョナルワークショップでの東アジア海域での選定作業において本研究の成果は活用された。また、2016年2月のEBSA expert 会合では解析手

法の検討結果を公表した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

気候変動シナリオに基づいてサンゴ礁に対する温暖化と酸性化の複合的な影響を解析した結果から、将来にわたり持続性がある保護区の設定や効果的な保全策を提言した。気候変動の影響は、サンゴ類に限らず、すべての生物が受けており、変動の長期予測を考量した保護区設定と保全策の設計に向けたデータ蓄積と手法の確立が達成すべき課題であることを対象とした環境と生物群集にて示すことができた。この成果は生物多様性のみならず水産資源の保全管理においても応用されると期待される。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

<査読付き論文>

- 1) T. YAMAKITA and M. NAKAOKA: *Procedia Social and Behavioral Sciences* 21: 177-183 (2011), Importance of considering grain and extent for the analysis on spatial dynamics: perspectives from comparison between theory and empirical example on seagrass bed dynamics in Tokyo Bay.
- 2) T. KOMATSU, T. NOIRAKSAR, S. X. SAKAMOTO, S. SAWAYAMA, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUJALAONG and S. NISHIDA: *Proceedings of SPIE*, 8527, 85270I-9, doi: 10.1117/12.978992 (2012), Detection of seagrass beds in Khunk Graben Bay, Thailand, using ALOS AVNI2 image.
- 3) H. YAMANO, K. SUGIHAR, K. GOTO, T. KAZAMA, K. YOKOYAMA and J. OKUNO: *Coral Reefs*, 31:663 (2012), Ranges of obligate coral-dwelling crabs extend northward as their hosts move north.
- 4) Y. YARA, M. VOGT, M. FUJII, H. YAMANO, C. HAURI, M. STEINACHER, N. GRUBER and Y. YAMANAKA: *Biogeosciences*, 9, 4955-4968 (2012), Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan.
- 5) S. NAKANO, Y. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (eds.): *The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region*, Springer (2012), BISMAL: Biological Information System for Marine Life and Role for Biodiversity Research (Hiroyuki Yamamoto, Katsuhiko Tanaka, Katsunori Fujikura and Tadashi Maruyama)
- 6) T. MAEDA, T. KAWAI, M. NAKAOKA and N. YOTSUKURA: *Journal of Applied Phycology*, 25, 337-347 (2013), Effective DNA extraction method for fragment analysis using capillary sequencer of the kelp, *Saccharina*.
- 7) H. WATANABE, E. SEO, Y. TAKAHASHI, T. YOSHIDA, S. KOJIMA, K. FUJIKURA and H. MIYAKE: *Journal of Oceanography*, 69, 129-134 (2013), Spatial distribution of sister species of vesicomid bivalves *Calyptogena okutanii* and *Calyptogena soyoae* along an environmental gradient in chemosynthetic biological communities in Japan.
- 8) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIKURA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ICHIKAWA, S. KAKEHI, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. KOGURE, T. KOMATSU, N. H. KUMAGAI, H. MIYAMOTO, K. MIYASHITA, H. MORIMOTO, R. NAKAJIMA, S. NISHIDA, K. NISHIUCHI, S. SAKAMOTO, M. SANO, K. SUDO, H. SUGISAKI, K. TADOKORO, K. TANAKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. WATANABE, H. WATANABE, Y. YARA, N. YOTSUKURA and Y. SHIRAYAMA: *Marine Policy*, 51 : 136-147 (2014), Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago: Establishment of a protocol for evaluating a broad area using ecologically and biologically significant areas selection criteria.
- 9) H. MIYAMOTO, M. KOTORI, H. ITOH and S. NISHIDA: *Journal of Plankton Research*, doi: 10.1093/plankt/fbu001 (2014), Species diversity of pelagic chaetognaths in the Indo-Pacific region.
- 10) A. MAKINO, C.J. KLEIN, H.P. POSSINGHAM, H. YAMANO, Y. YARA, T. ARIGA, K., MATSUHASHI and M. BEGER: *Conservation Letters*, 8, 320-328 (2015), The effect of applying alternate IPCC climate scenarios to marine reserve design for range changing species.
- 11) R. NAKAJIMA, H. YAMAMOTO, S. KAWAGUCCI, Y. TAKAYA, T. NOZAKI, C. CHEN, K. FUJIKURA, T. MIWA and K. TAKAI: *PLoS ONE*, DOI: 10.1371/journal.pone.0123095 (2015),

Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough.

- 12) Y. NISHIBE, I. TAKAHASHI, T. ICHIKAWA, K. HIDAKA, H. KUROKI, K. SEGAWA, and H. SAITO: *Limnol. Oceanogr.*, 60, 3,967-976 (2015), Degradation of discarded appendicularian houses by oncaeid copepods.
- 13) N. NAGAI, K. TADOKORO, K. KURODA, and T. SUGIMOTO: *Plankton Benthos Res*, 10,141-153 (2015), Latitudinal distribution of chaetognaths in winter along the 137° E meridian in the Philippine Sea.
- 14) K. TAKAHASHI, T. ICHIKAWA, and K. TADOKORO: *J. Plankton Res.*, 37,1181-1189 (2015), Diel colour changes in male *Sapphirina nigromaculata* (Cyclopoida, Copepoda).
- 15) N. YOTSUKURA, T. MAEDA, T. ABE, M. NAKAOKA and T. KAWAI: *Journal of Applied Phycology* (2016), Genetic differences among varieties of *Saccharina japonica* in northern Japan as determined by AFLP and SSR analyses.

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) 本郷宙軌、後藤和久、川俣秀樹：日本サンゴ礁学会第14回大会（2011）
「地球温暖化による大型台風がおよぼすサンゴ群集への影響：塊状サンゴとテーブル状サンゴについて」
- 2) H. YAMAMOTO : The 28th International Symposium on Space Technology and Science, Okinawa, Japan, (2011)
“Coral-reef observation from space: mapping, monitoring and management”
- 3) K. TADOKORO H. KURODA, and T. ONO: PICES2014, (2014)
“Decadal scale variation in phosphate concentration in the Oyashio and Kuroshi-Oyashio Transition waters, western North Pacific from 1955 to 2010”
- 4) T. KOMATSU, M. SANO, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, K. KOGURE and S. NISHIDA:
Subsidiary body on scientific, technical and technological advice (SBSTTA) 9th meeting, Montreal, Canada (2015)
“Estimating candidate EBSA and projecting future distribution of seagrasses in Japan, Nineteenth meeting of the Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. Integrative observation and assessments of marine biodiversity in Asia-Pacific region by the strategic project S-9-5 of Japan”
- 5) R. NAKAJIMA, T. YAMAKITA, H. WATANABE, K. FUJIKURA, K. TANAKA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: Subsidiary body on scientific, technical and technological advice (SBSTTA) 9th meeting, Montreal, Canada (2015)
“An attempt to identify priority areas for conservation in the deep-sea chemosynthetic ecosystems around the Japanese archipelago”
- 6) H. WATANABE, M. YAMAMOTO, T. OGURA, Y. TAKAHASHI, T. YAHAGI, M. NAKAMURA, M. SEO, S. KOJIMA, T. WATSUJI, K. TAKAI, J. ISHIBASHI and K. FUJIKURA: 14th Deep-Sea Biology Symposium, Aveiro, Portugal (2015)
“Habitat segregation in transition zones in hydrothermal vent fields in the Okinawa Trough, northwestern Pacific”
- 7) K. TADOKORO S. ITOH, and Y. OKAZAKI: 2nd International Ocean Research Conference, (2015)
Decadal scale variation in biodiversity of copepod community in the western North Pacific Ocean.
- 8) Y. UCHIFUNE, K. SUDO, T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: The 8th GEOSS Asia-Pacific Symposium, Beijing, China (2015)
“Identification of Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSAs) in Japan-Southeast Asia Region and Comparison with Established Marine Protected Areas”
- 9) H. MIYAMOTO, K. TADOKORO, T. OKUNISHI, H. SUGISAKI, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ONO, K. NISHIUCHI, S. KITAJIMA, T. KAMEDA, H. MORIMOTO and T. ICHIKAWA: PICES2015, (2015)
“Potential effect of climate change for copepods distribution in western North Pacific Ocea”
- 10) K. TADOKORO, Y. OKAZAKI and H. KASAI: PICES2015, (2015)
“Seasonal variation of mesozooplankton community in the Oyashio and Kuroshio-Oyashio

Transition waters, western North Pacific”

- 11) 渡辺健太郎, 四ツ倉典滋, 山北剛久, 仲岡雅裕: 日本生態学会大会第63回大会, 仙台市, (2016)
コンブ目重要海域の選定—その多様性・将来分布予測をもとに—

7. 研究者略歴

課題代表者：白山 義久

東京大学理学部卒業、理学博士、京都大学教授、現在、海洋研究開発機構理事

研究分担者

- 1) 仲岡 雅裕
東京大学理学部卒業、千葉大学准教授、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター教授
- 2) 宮下 和士
北海道大学水産学部卒業、海洋水産資源開発センター職員、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター教授
- 3) 四ツ倉 典滋
北海道大学水産学部卒業、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター准教授
- 4) 小松 輝久
京都大学農学部卒業、現在、東京大学大気海洋研究所准教授
- 5) 西田 周平
東京大学農学部卒業、現在、東京大学大気海洋研究所教授
- 6) 木暮 一啓
東京大学農学部卒業、現在、東京大学大気海洋研究所教授
- 7) 山野 博哉
東京大学理学部卒業、現在、国立環境研究所生物生態系環境研究センター・センター長
- 8) 河地 正伸
筑波大学生物学類卒業、現在、国立環境研究所生物資源保存研究推進室長
- 9) 杉崎 宏哉
東京大学農学部卒業、現在、水産総合研究センター海洋・生態系研究センター・センター長
- 10) 田所 和明
東海大学海洋学部卒業、現在、東北区水産研究所主幹研究員
- 11) 広田 祐一
京都大学農学部卒業、現在、中央水産研究所 海洋・生態系研究センター客員研究員
- 12) 市川 忠史
信州大学理学部卒業、現在、中央水産研究所 海洋・生態系研究センターグループ長
- 13) 亀田 卓彦
京都大学農学部卒業、現在、西海区水産研究所亜熱帯研究センター主幹研究員
- 14) 森本 晴之
京都大学農学部卒業、農学博士、現在、日本海区水産研究所グループ長
- 15) 日高 清隆
東京大学農学部卒業、現在、中央水産研究所海洋・生態系研究センター主任研究員
- 16) 西内 耕
北海道大学水産学部卒業、現在、西海区水産研究所・資源海洋部・主任研究員
- 17) 藤倉 克則
東京水産大学卒業、現在、海洋研究開発機構海洋生物多様性研究分野分野長
- 18) 山本 啓之
北海道大学水産部卒業、聖マリアンナ医科大学助教授、現在、海洋研究開発機構グループリーダー
- 19) 田中 克彦
筑波大学生物学類卒業、電力中央研究所研究員、現在、東海大学海洋学部講師
- 20) 渡部 裕美
千葉大学理学部卒業、東京大学海洋研究所研究員、現在、海洋研究開発機構技術主任

5. 海洋生態系における生物多様性損失の定量的評価と将来予測

(1) 沿岸生態系生物多様性のグローバルスケールでの時空間的変動の定量評価と将来予測

国立研究開発法人海洋研究開発機構

白山義久

<研究協力者>

国立研究開発法人海洋研究開発機構

内船芳江・山北剛久・田中義幸

北海道大学

須藤健二

平成23～27年度累計予算額：47,885千円（うち平成27年度：8,769千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、アジア海域の生物分布データから沿岸生態系での生物多様性の状況と変動を定量評価するため、生態学的・生物学的重要海域（EBSA: Ecologically and Biologically Significant Area）の7項目の基準による解析をした。使用したデータセットは、既存のデータベース、論文、航海報告等から抽出し、2,045,896件のデータを解析用に整形した。生物多様性と分布状況を分析して定量的に評価をし、その結果をEBSA評価基準に照らし合わせて優先的に保全すべき重要海域を推定した。その結果、対象としたアジア海域の15%が重要海域として選定された。重要海域の推定方法については、加算法と評価結果に重み付けをした相補性解析とを比較し、統合解析に適した手法を検討した。また、IPCC気候変動シナリオによる将来予測を試行し、動物プランクトンの分布変動と漁場への影響を評価することができた。

[キーワード]

アジア、CBD、EBSA、MPA

1. はじめに

海洋生態系は劣化が著しく、我が国を含むアジア周辺海域においても将来の状況を危惧されているが、未だ十分なデータによる解析が進んでいない。2010年に名古屋において行われた生物多様性条約（CBD）のCOP10では、海域の10%を保護区とすることが目標に掲げられたが、その設定に科学的根拠に基づく海域の保護区選定が必要とされた。これを受けて、COP10以降にEBSA評価基準による重要海域選定の地域ワークショップが各地で開催されている。我が国においてもEBSA基準を利用して重要海域抽出検討会が環境省により開催されている。

EBSA評価基準の7項目はいずれとも海洋生態系と生物多様性を支える基本事象を取り上げているが、指標とする具体的な生物種や基準値および調査手法についての具体的な記載はない。実際の作業では、適切な手法により収集されたデータについて専門家が検討し、海域の特徴に応じた指標を選定し、統計解析による客観的な評価を与えなければならない。その為には、分散しているデータの収集と解析に向けた整形、評価指標の選定、解析手法の特性の確認などの研究が必要である。

2. 研究開発目的

海域での保護区設定には、科学的根拠に基づいて重要海域を抽出し、その重要海域から保護区のネットワークを設定するための科学的根拠とそのため解析手法を確立する必要がある。適切な保全策の立案には、対象とする海域での生物多様性の正確な状況把握と多様性に影響をおよぼしている原因を特定し、将来変動の予測を考慮した評価手法も必要である。本研究では、上記の目標を達成するため、アジア海域から収集した生物分布と海域環境のデータを用い、EBSAの評価基準による生物多様性の現状の解析および将来の環境変動を考慮した予測を試みた。

3. 研究開発方法

データは、書誌情報（文献、航海報告など）および既存のデータベース（OBIS, GBIF）から抽出した。統一手法を用いたサンプリングに基づいてグローバルスケールで得られている生物分布のデータから、アジア海域の生物多様性の情報を抽出し、他のサブテーマが取得する生物分布の状況と海域環境の情報と統合してデータ整形をした。

EBSAの選定では、CBD専門部会が推奨した7項目の基準を採用した。各項目の基準には、具体的な数値目標や生物種が記載されていない。基準に適用可能な科学的なデータから海域におけるEBSAの選定をした。方法は、各項目で評点を付け総合得点を5段階評価する加算法および絶滅危惧種の保全を考慮した相補性解析の結果から総合評価した。アジア海域のEBSA候補の選定を試行した結果について、ギャップ分析により現状との比較をした。得られたデータセットを利用して分布推定とIPCCのシナリオ（CMIP5）による将来予測を実施した。

4. 結果及び考察

（1）データ収集

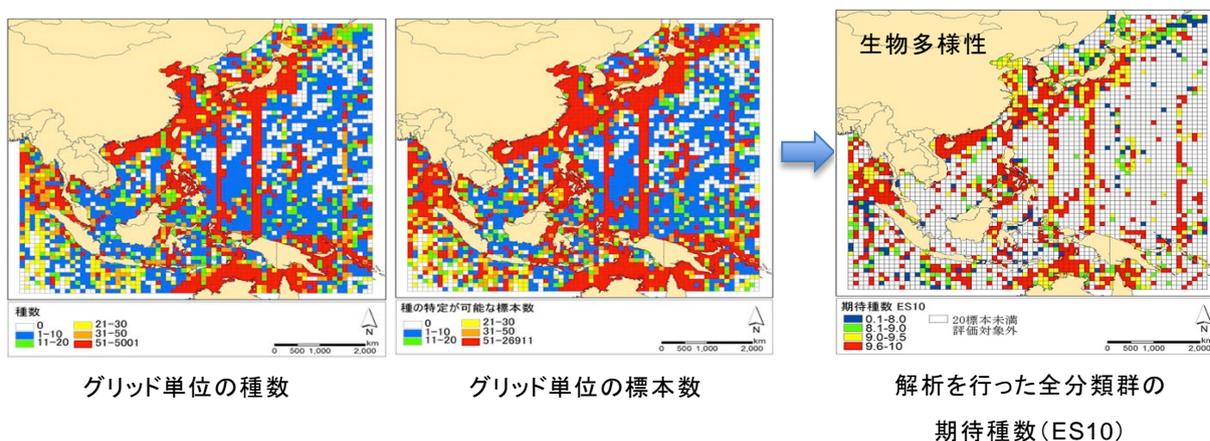
収集したデータには、1872年の博物館標本およびH.M.S. Challenger Expedition（1873-1876）の航海報告など過去の記載が含まれている。本研究においては、西太平洋のアジア海域（90°E～160°E、15°S～60°N）を対象としてデータを収集した。その内訳は、表に示した。なお、データセットからは、移動性が高い鳥類のデータと記載が重複するデータを除外した。当初は大型動物と底生動物のデータを収集したが、プロジェクト後半からは動物プランクトンと魚類を中心に21,463件のデータを追加収集した。総データ数の内、1,405,355件で明確に種の同定ができた。

表(1)-1 アジア海域について収集したデータの出典と内容

出典	年代	件数	
データベース	OBIS	1748～2013	1,120,974
	GBIF	1700～2013	* 842,569
	NaGISA	2002～2010	2,928
	COPEPOD	1974～1981	1,475
	PANGAEA	2005	19,100
航海レポート	H.M.S. Challenger Expedition	1874～1875	2,375
	Hakuho-Maru Cruise	1972～2006	20,169
	Snellius-II Expedition	1984～1985	3,434
	Rumphius Biohistorical Expedition	1990	2,085
	Anambas Expedition	2002	2,133
その他の文献	1939～2012	28,654	
合計	1700～2013	2,045,896	

* OBIS との重複を除いた件数

アジア海域でのデータ分布には、外洋域などの調査実績が乏しい海域での偏りが認められた。生物多様性の解析には、Hulbert’s Index による期待種数 (ES10) を採用した。解析では、1度グリッドでの標本数が限定されるため、グリッド内の標本数を20標本以上として算出した。



図(1)-1 アジア海域でのデータ分布と生物多様性の解析結果

(2) EBSA評価基準による解析

EBSAの評価項目を適用した解析では、収集した生物分布のデータセットに加えて、指標とした生物種の生態、絶滅危惧種の存在等に関する情報を文献や関連機関の報告 (IUCN Red List、NASA、NOAA UNEP-WCMC等) などから入手した。情報内容は、7項目のそれぞれに対して評価基準を充

足できるだけの情報量があるのか、適切な指標生物がいるのかなどを検証し、EBSAによる海域選定を実施した。また沿岸と沖合について比較し、評価に際しての課題を抽出した。

表(1)-2 EBSA選定での評価基準の見直し結果

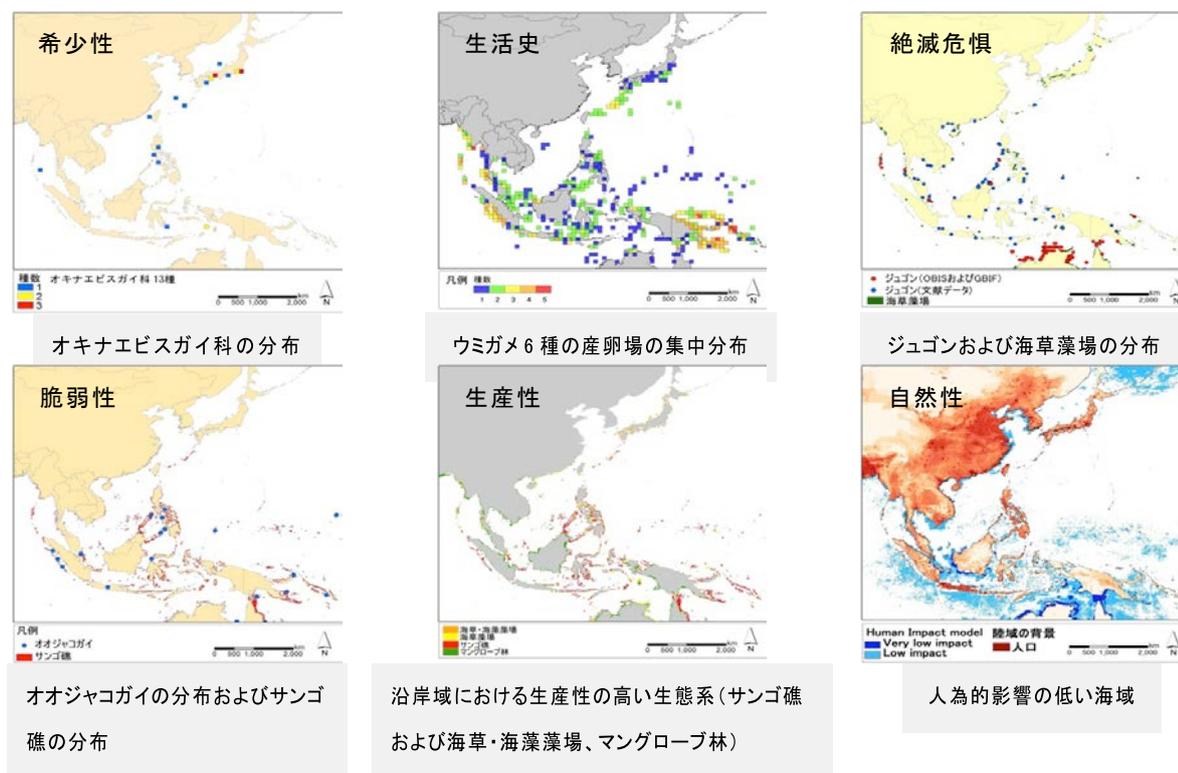
	評価内容
1. 唯一性、または希少性 Uniqueness and rarity	<ul style="list-style-type: none"> 固有種の分布から評価する・国内の希少種を使う 点数付けは、相補性解析の結果（選ばれる回数）を3段階評価する 近隣の集団と遺伝的差異が認められるアマモ集団
2. 種の生活史における重要性 Life history stages of species	<ul style="list-style-type: none"> データに不足があるため、S-9-5の解析で基準2を必須としない。 基盤種の分布密度とそこに生息する種数等は基準5と6で補填できる。
3. 絶滅危惧種または減少しつつある種の生育・生息地 Threatened species and habitats	<ul style="list-style-type: none"> 環境省の絶滅危惧種の4ランクについて、それぞれに1~4点を与える（CR=4点, EN=3点, VU=2点, NT=1点） 点数付けは基準1と同じで、相補性解析の結果を3段階評価する
4. 脆弱性、感受性または低回復性 Vulnerability	<ul style="list-style-type: none"> 生息数の経年的な変動データから、過去5年、10年で減少が大きいものを脆弱性があるとする
5. 生物学的生産性 Biological productivity	<ul style="list-style-type: none"> 文献による生産量のデータ（単位は gC/m²/y）に、アマモ、コンブ、サンゴの面積をかけて決める 外洋表層は植物プランクトンの一次生産のみで評価（動物プランクトンは含めない） 深海はシロウリガイやヒバリガイの分布面積を出して生産量を推定
6. 生物学的多様性 Biological diversity	<ul style="list-style-type: none"> 対象とするグリッド全部の種数のヒストグラムを書いて、含まれるグリッド数と同じになるように3等分し、下から1, 2, 3点を配分（平均点を2とする）
7. 自然性 Naturalness	<ul style="list-style-type: none"> 自然公園の設定、アマモでは集水域での土地利用、サンゴは赤土の影響など状況がサブテーマ毎に違うので基準は統一しない

表(1)-3 アジア海域でのEBSA選定での評価基準

基準	沿岸	沖合または沖合海底
1. 唯一性、または希少性	■対象海域における固有種のリスト等の入手ができれば、より基準に合致したデータセットが期待できる。	
2. 種の生活史における重要性	■Marine-IBAが対象海域において、公開された場合、海鳥の生活史で重要な海域のデータとして基準に適用可能。	■TOPPなどのバイオリギングに関するデータベースが生データを公表した場合、生活史の上で重要な海域の特定が期待できる。
3. 絶滅危惧種または減少しつつある種の生育・生息地	■絶滅危惧種の分布データ情報は極めて限られていることから、分布推定モデルを用いることで、より基準に合致した海域を抽出が期待できる。	
4. 脆弱性、感受性または低回復性	■海鳥の繁殖地、沿岸性鯨類の生息地、礁湖等の情報の取得により、基準に適用可能である。	■冷水性サンゴの分布情報及び深海底の環境データの取得により分布推定モデルが期待できる。
5. 生物学的生産性	■アジア海域における海藻藻場の分布情報が取得できれば、より充実した結果が期待できる。	■フロント域及び湧昇域の解析が確立できれば基準に合致する海域の抽出が期待できる。
6. 生物学的多様性	■対象海域において様々な分類群での生息地推定モデルの手法確立により、データ GAP 海域の補充が期待できる。	
7. 自然性	■Human impact model 及び Ocean health index を対象海域の特性及び高解像度のデータセットを用いることで、より詳細な解析が期待できる。特に漁獲データ及び混獲データの入手が重要。	

EBSA評価基準による分析の結果のうち（図(1)-2）、希少性では、生息場所が限定される希少種（例えばシーラカンス、カニクイガエル、オキナエビスなど）、固有種が多く発見される生息場所（海山、海溝、熱水・湧水活動域）を対象に評価した。希少性や唯一性については、存在自体に価値を認めることから統計処理による裏付けがなくとも評価ができるが、データの質と量を検証しておく必要がある。生活史では、ウミガメの6種とウナギの2種の産卵場を対象にした。いずれも研究調査が進展し、海域が特定された事例である。絶滅危惧ではレッドリスト記載種の集中分布域を対象とした。ただし、広域を移動する海鳥や鯨類および遊泳魚は、海域を基準とするEBSAに適用することが難しいため対象から除外した。また、サンゴ類については多くの危惧種が存在しており、集中分布域だけに注目するとフィリピンとインドネシア諸島およびソロモン諸島で囲まれる海域（coral triangle）の重要度のみが抽出されるため、相補性解析による保全海域の抽出が必要と判断した。

脆弱性では、生物と環境について検討した。成長が遅く、個体数回復に時間を要する生物種として、サンゴ礁のオオジャコガイ、深海にまで生息する冷水性サンゴ、深海のアイザメ類について評価した。冷水性サンゴは、北大西洋海域の研究事例で生息場の形成における重要度が指摘されているが、アジア海域での調査研究例はまだない。陸域の負荷（富栄養化、水質汚濁）から回復する速度が遅い閉鎖海域では、海水交換率の指標として潮汐に伴う海面の高低差から評価した。高低差の基準は、月による潮汐のうち最大の振幅を示すM2分潮の周期を利用した。振幅10cm以下の海域として、日本海とタイ湾の全域が抽出された。



図(1)-2 EBSAの評価項目を基準にした生物分布の解析結果

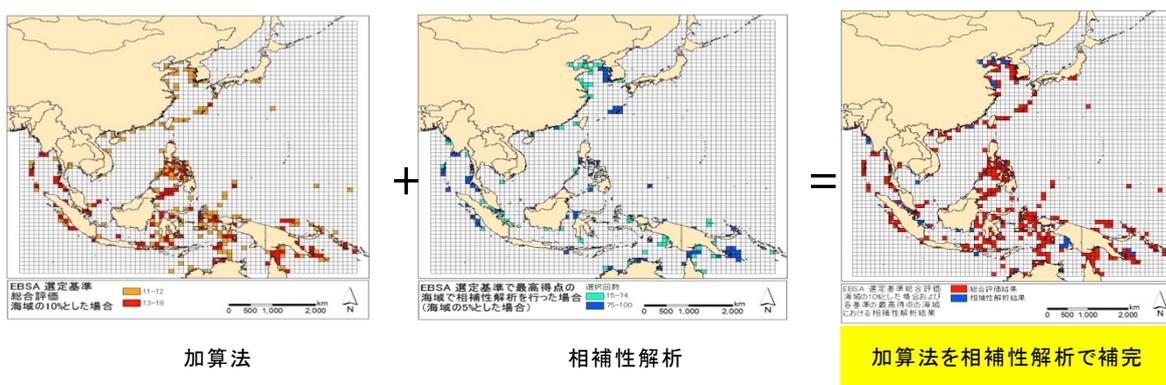
生産性では光合成活性の高い海域を対象とした。沿岸域ではサンゴ礁とマングローブ林および藻

場を選択し、沖合から外洋の海域では衛星リモートセンシングによるクロロフィル濃度のデータから評価した。生産性については、季節変動だけでなく、南北で分かれる気候区分にも考慮すべきである。アジア海域での生産性は、赤道付近で通年安定しており、温帯から亜寒帯では季節変動が顕著に現れていた。

多様性は、生物の出現情報のデータをもとにHulbert's Indexによる期待種数を算出し、生物群集の多様度を評価した。収集した1,816,320件のデータから、種レベルで同定されかつ付随情報が正確なデータ1,122,630件について解析した。結果では、沿岸域に生物多様度の高い海域が集中していた。ただし、解析に使用したデータの分布をみると、ベトナムからインドネシアにかけての海域と外洋域で少ないことを確認した。またデータ数は水深とともに減少していた。広域での評価では、データ収集の偏向を確認する必要がある。

自然性については直接的な指標となるデータがないため、Halpern et al(2008)によるHuman impact modelから人為的影響の低い海域を抽出して自然性の高い海域とした。さらに、影響の強度を検証するため陸域の人口密度のデータと比較した。その結果、人口の少ない陸域に隣接する海域の自然性がモデルでも高く評価されていた。ただし、モデルでは地球規模の人為的影響データのみを指標としており、地域の特徴が評価に反映されていない可能性がある。

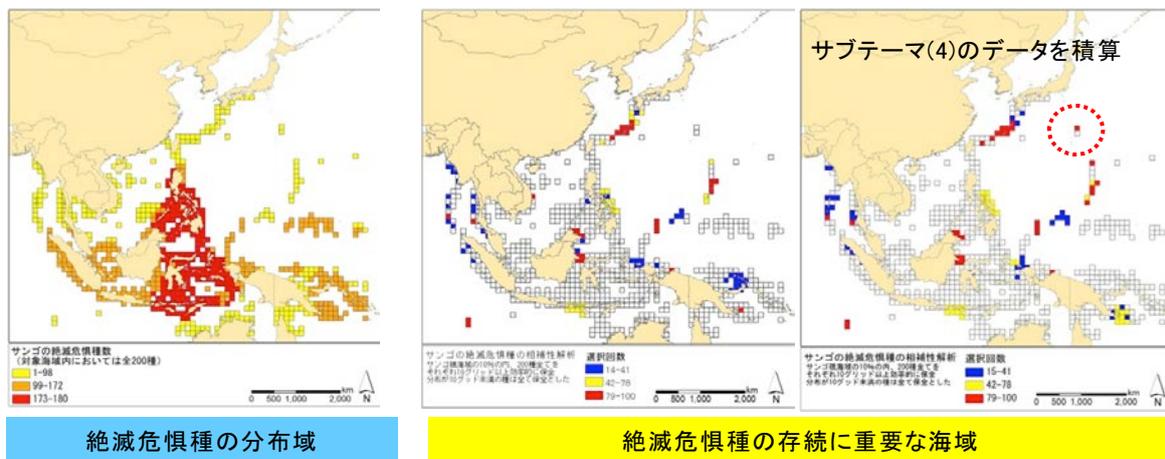
EBSAの評価法を比較した結果（図(1)-3）、判定結果を総和積算する加算法では点数の高い海域を重ねることで重要度を強調できるが、有意に重要と判断すべき単独の基準を見落とす可能性がある。今回の結果では、相補性解析よりも、加算法で選択される重要海域のグリッド数が大きくなる傾向が認められた。ただし、脆弱性については相補性解析でのグリッド数が増加した。事例研究を重ねることで、評価法の長所短所をより明確にできると考える。



図(1)-3 加算法と相補性解析の補完によるEBSA選定の事例

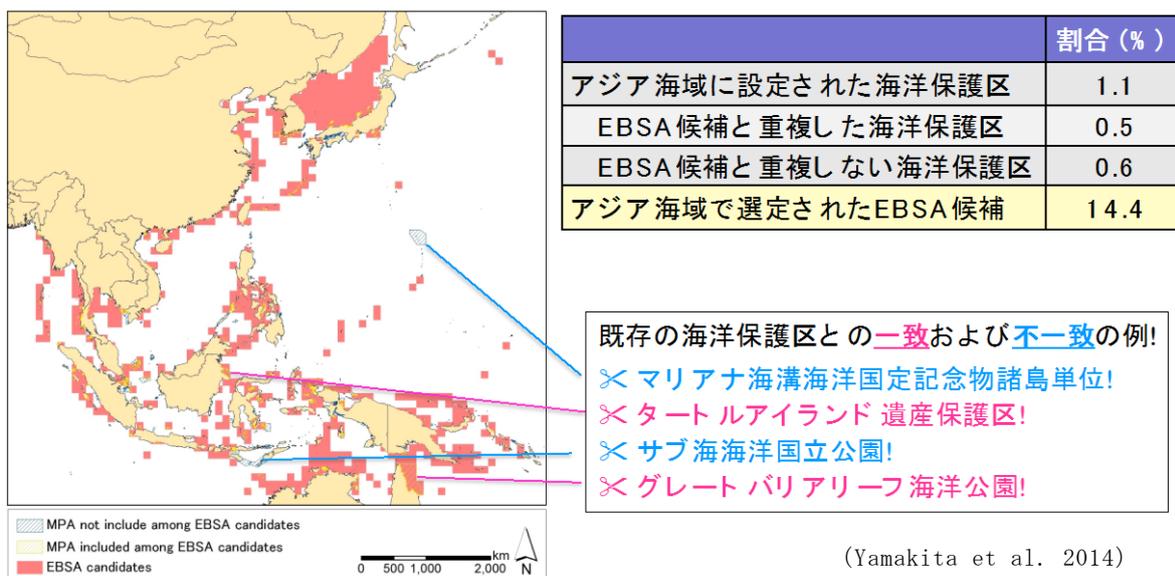
サンゴの事例では、サブテーマ(4)での収集データを取り込んで比較をした。サンゴ類には絶滅危惧種が多く、絶滅危惧種の集中分布域にのみ注目するとインドネシアからフィリピンの海域（Coral Triangle Area）が選択される。相補性解析により、すべての絶滅危惧種が保全できる条件を調べ、加算法の結果と比較した。相補性解析では対象海域の10%保全を目標として100回の繰り返し分析によりサイトを選定した。その結果、琉球列島とマリアナ諸島が選定された。さらにサブ

テーマ(4)による日本周辺での収集データを積算すると、絶滅危惧種の存続に重要な海域を解析した結果では小笠原と種子島の海域が新たに選定された。



図(1)-4 アジア海域のサンゴ絶滅危惧種を保全するための相補性解析

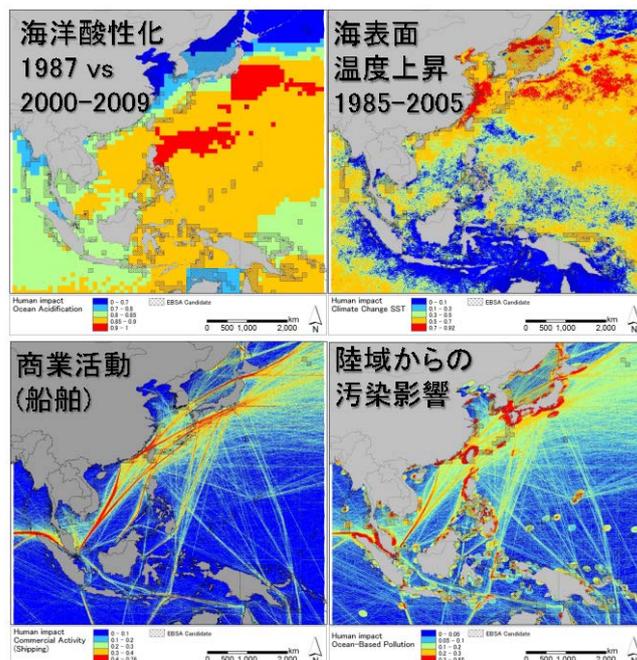
アジア海域の既存保護区と今回のEBSA候補海域との適合をGAP分析により検証した。



図(1)-5 アジア海域における保護区と選定したEBSA候補とのGAP分析

平均最高潮位線より海側に対象海域を設定し、マングローブ林の上流や塩性湿地などの陸側は除外した。既存保護区はProtected planet net <<http://www.protectedplanet.net>> のCurrent WDPAのデータを用いた。解析の結果、選定したEBSA候補海域の面積は、比較対象としたアジア海域の15%に相当した。一方、現在の保護区は対象海域の1.1%にすぎず、選定したEBSA候補海域がこの保護区と合致するのも0.5%の海域にすぎない。選定したEBSA候補海域内で保護区ではない海域は13.9%になる。これらを保護区に設定すると効果的な保全ができると推定できる。

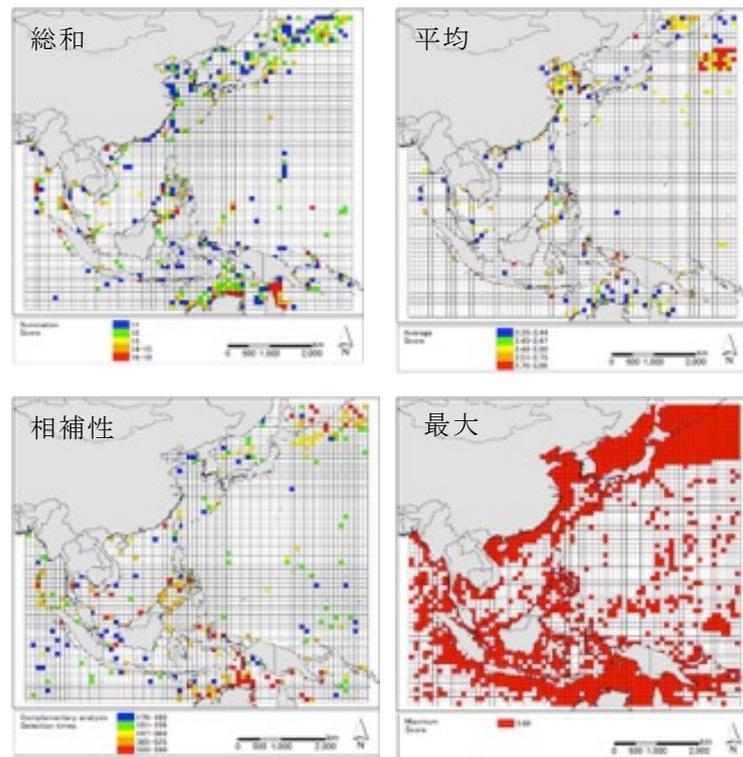
EBSA候補海域での環境変動にともなう危機要因の影響を分析した（図(1)-6）。温帯域全体では気候変動の影響が大きい、温暖化は日本海、海洋酸性化は太平洋側で影響が大きい傾向が認められた。フィリピン周辺では船舶航行の影響は低い、陸域からの汚染の影響が大きい、などの傾向が認められた。この分析結果は、候補地ごとの保全政策の優先順位付けに有効であり、危機要因の影響が強いEBSA海域では、保全策が必要であるとの根拠になると考える。



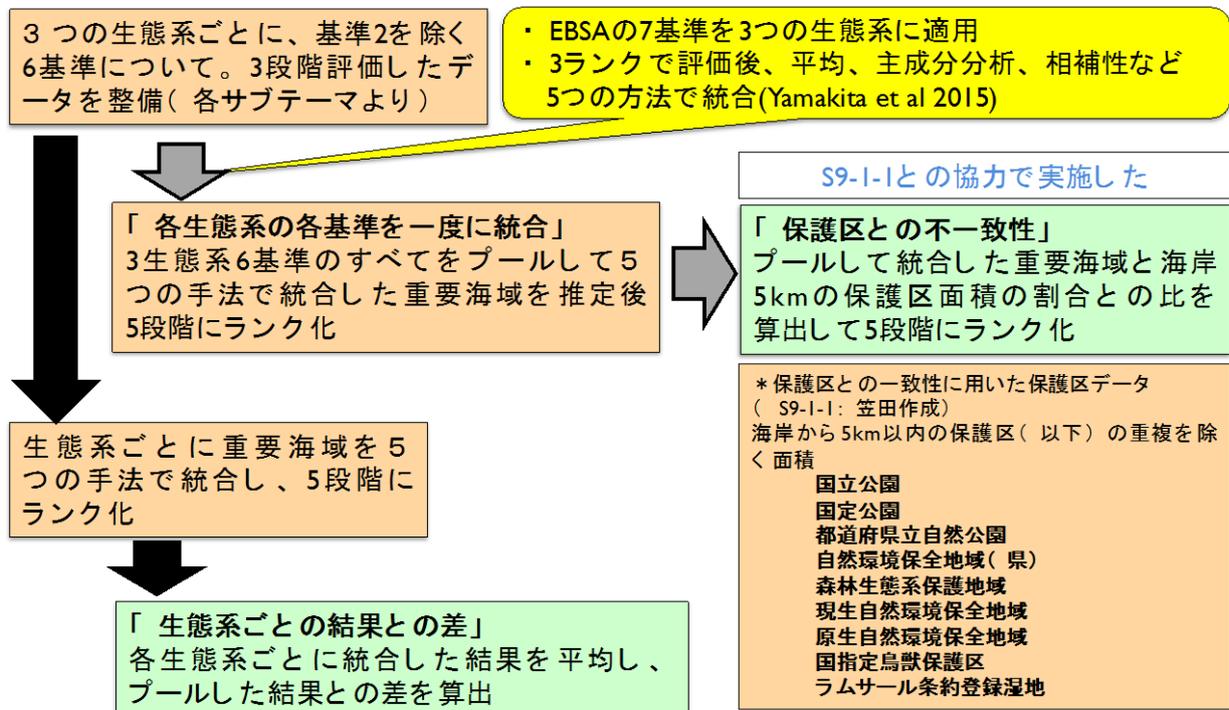
図(1)-6 アジア海域のEBSA候補海域での危機要因の分析

(3) 解析手法の検討

収集したデータをもとにEBSAの各項目について解析結果を検証したところ、種の集中分布域を基準にした解析では特定の海域のみが優先された。相補性解析（MARXAN）では、対象とする生物種を効率良く保全する海域が優先度ごとに選定された。データの質にばらつきがある場合にはデータの多い海域への偏向が確認された。7項目の基準を統合して解析する適正な方法を確認するため、「総和」、「平均」、「相補性」、「最大」を基準にして検証をした（図(1)-7）。各基準のスコアの最大値を利用した「最大」以外、いずれの方法とも閾値は10%にした。解析の結果、最大値だけでは保全の優先度を確認できないことが示された。またデータの質や量の影響は総和と平均で強くなるように見受けられた。相補性の解析では、優先度に応じた海域選定の結果が得られた。以上のことから、評価項目ごとの判定基準の違い、収集データの質と量が判定に与える影響などを確認できた。



図(1)-7 アジア海域についての多基準解析での統合結果



沿岸域の環境（コンブ藻場、アマモ場、サンゴ礁）でのEBSA抽出を統合解析した結果（図(1)-8）、PCAでは生態系における南北の分布差が影響し、北で正に、南では負の差が大きい傾向を認めた。平均では元の3ランクのデータ形式が影響し全体の値が高くなり、PCAでは1軸の影響がかなり大きく、値が高く偏った。相補性解析は適切な目標を選ぶと0から100の間でばらつき、全体の差は小さかったが、差が正に大きくなる点が見られた。相補性解析の保護優先ランクと既存保護区との割合の比から、保護区拡張の優先地域を抽出することができた。この解析は、S-9-1サブテーマ(1)の研究グループとの協働により実施した。

表(1)-4 EBSAの判定基準と定量解析に必要なデータ

Candidates for quantitative indices for each criterion	Data availability/Plausibility of the quantitative indices in Japan				
	Kelp Forest	Seagrass bed	Coral reefs	Offshore pelagic	Deep sea
Criteria 1					
Distribution of endemic species	n/a	some	some	n/a	limited
Unique species assemblage structure	available	limited			available
Unique genetic structure of key species	n/a	some			
Criteria 2					
Data on habitat use by important species	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Data on fisheries statistics of important species	available	n/a	n/a	n/a	n/a
Animal tracking data	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Molecular genetic data to specify source and sink populations					
Ocean current data to specify source and sink populations			used		
Criteria 3					
Occurrence in endangered species red lists	available	available	available	n/a	n/a
Criteria 4					
Data on long-term changes in habitat area	available	some	available	some	some
Indicator species information	n/a	n/a	some	n/a	n/a
Criteria 5					
Data on primary productivity	limited	available	limited	n/a	n/a
Area or coverage as a proxy of productivity	available	available	available	n/a	available
Secondary or higher trophic level productivity	some	some	available	available	available
Satellite images (e.g., ocean color)	some	some	some	available	n/a
Criteria 6					
Species richness and other diversity indices	available	available	available	available	available
Criteria 7					
Human population data	available	available	available	n/a	n/a
Data on coastal development	available	available	available	n/a	n/a
Level of protection as natural reserves	available	available	available	n/a	n/a
Fisheries data	some	n/a	some	available	n/a
Industrial use (e.g., marine mining)	limited	limited	limited	n/a	available

(Yamakita et al. 2014)

EBSA候補海域の選定では7項目の判定基準を使用するが、海域により利用できるデータは制約があるため、7項目すべてを統合した解析は沿岸域の環境に限定された（表(1)-4）。特に、深海では調査頻度が少ないため、観測海域が集中していた。7項目での解析結果にも現れているように（図(1)-1）、外洋域では規定の測線での調査航海が多く、データ分布に偏向が認められた。7項目の判定基準を統合してEBSAを選定するための条件を海域ごとに検証した結果、以下の評価手順が適切であると考えられた。

- 1) 7項目のいずれかに合致する場所を抽出する場合、各基準のランキング結果の最大値を使用するが適している。3段階評価では合致する場所が多くなる傾向がある。
- 2) 類似した基準をまとめる、あるいは似たものの重みを軽くするなら主成分分析（PCA）で統合する。
- 3) 7項目の基準にできるだけ該当する場所を選ぶなら相補性解析を用いる。

(4) 気候変動シナリオによる将来予測

アジア海域を対象にIPCC気候変動シナリオによる生息分布の変動予測解析をするため、サブテーマ(5)と協働してカイアシ類の分布推定、シナリオ分析をした。解析には、以下のデータを使用した。

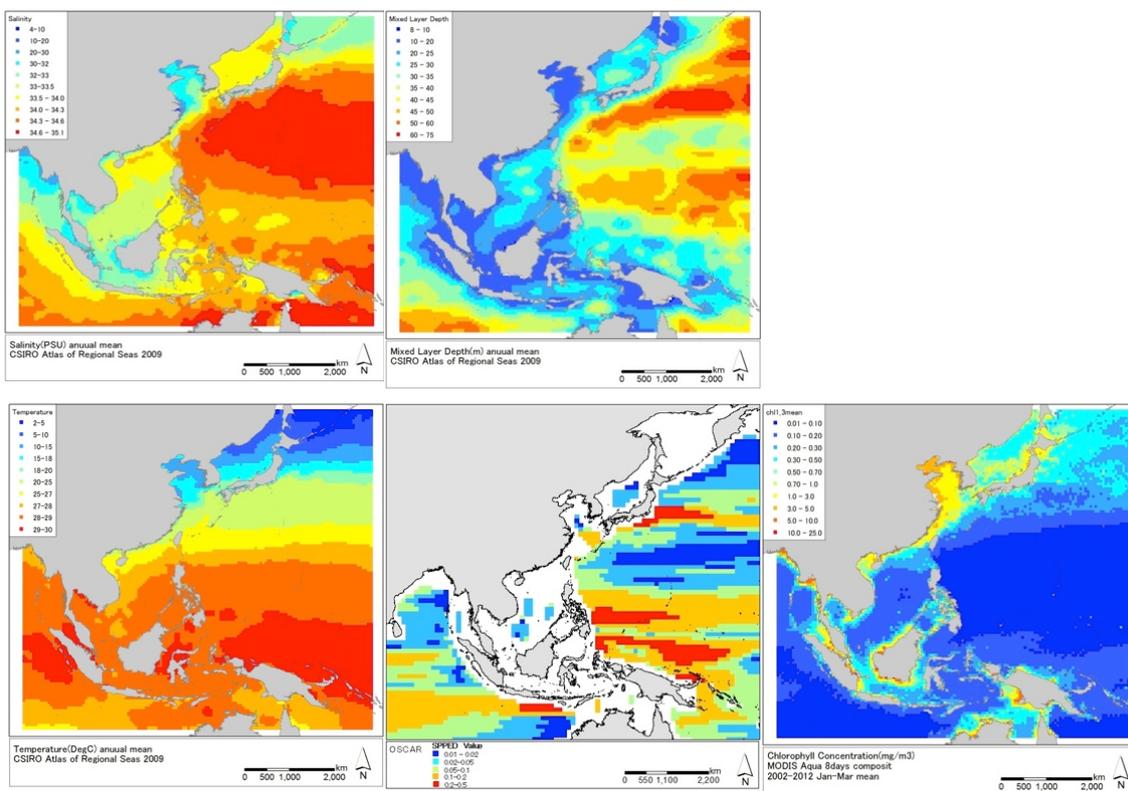
標本データ

- ・オダテコレクション（サブテーマ(5)との連携）
- ・JODCのプランクトンデータ及びWOD2009（OBIS）
- ・データベース：OBIS, GBIF, COPEPOD
- ・白鳳丸等の文献データ

環境データ

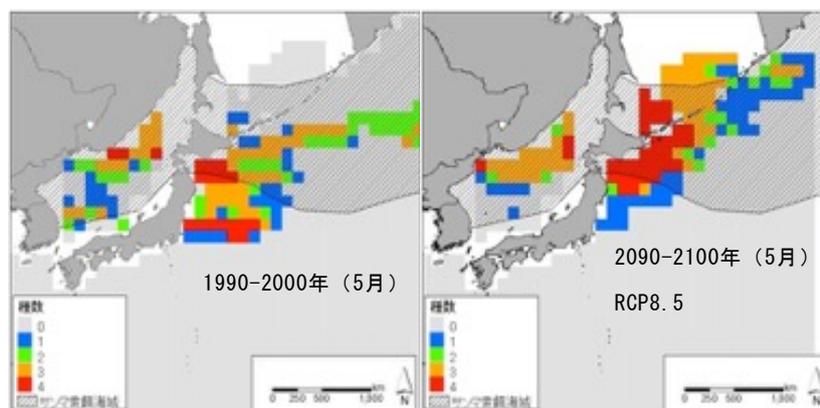
- ・MODIS AQUA 2002-2012
- ・NOAA World Ocean Atlas 2009, OSCAR

収集したデータは、分布が5グリッド未満の種を除外し、WoRMSにより分類を再確認した。分布推定は、MaXentを採用し、1度グリッドの解像度にて解析した（図(1)-9）。



図(1)-9 アジア海域について収集した環境データ

サンマなどの餌資源である親潮海域のカイアシ類の将来予測分布をIPCCのシナリオ（CMIP5）により解析した。その結果、温暖化によりカイアシ類の分布域は北上し、餌の分布のシフトにともない漁場も移動すると予測された（図(1)-10）。



図(1)-10 親潮海域のカイアシ優占種4種の将来予測結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

複数の研究機関が緊密に連携して沿岸から外洋さらに深海にまで対象を広げて生物多様性を統合的に調査研究する体制により、アジアおよび日本周辺海域から広範な海洋生物の多様性データを収集できた。同時にデータ欠落や重複また品質などの問題についても明らかにできた。これらは、今後の調査研究の計画立案、解析精度の向上、データセットの拡充と再解析などに活用する。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

研究の結果は、EBSA候補の抽出作業への専門家意見としてまた精度向上への知見として環境省重要海域抽出検討会に活用されている。

<行政が活用することが見込まれる成果>

アジア海域を対象にIPCC気候変動シナリオによる生物分布の変動予測解析の手法と解析結果は、生物多様性の保全と環境管理の施策に活用が期待できる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) S. PUTCHAKAM: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41:17-24 (2011), Species Diversity of Marine Sponges along Chanthaburi and Trat Provinces, the Eastern Coast of the Gulf of Thailand.

- 2) S. SAWANGARRERUK, P. YAOWASOOTH and S. POOVACHIRANON: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41 :25-34 (2011), Nematode Diversity at Thachin River Mouth, Samut Sakhon, Thailand.
- 3) A. A. A. EYA, D. G. LACUMA and A. S. ESPRA: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41:35-50 (2011), Gut Content Analysis of Selected Commercially Important Species of Coral Reef Fish in the Southwest Part of Iligan Bay, Northern Mindanao, Philippines.
- 4) O. AHMAD, T. F.P.TAY and K. YAHYA: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41 :51-62 (2011), Distribution of Intertidal Organisms in the Shores of Teluk Aling, Pulau Pinang, Malay
- 5) X. V. NGUYEN and H. D. NGUYEN: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41: 63-70 (2011), Re-Assessment of Sargassum Beds at Hon Chong Area, Nha Trang Bay, Vietnam.
- 6) N. M. RAZALLI, T. C. PENG, S. MOHD, Y. MOHD, J. MOHAMED, T. S. HWAI, Z. YASIN and A. L. ABDULLAH: Publications of the Seto Marine Biological Laboratory, 41:71-76 (2011), Distribution and Biomass of *Halophila ovalis* (R. Brown) Hook. f. at Pulau Gazumbo, Penang, Straits of Malacca.
- 7) Y. UCHIFUME, K. SUDO, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: The 1st Asia Parks Congress (November 2013), Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSAs) in the marine environments of Asia region- Candidates identification using the data archives of marine biodiversity project.
- 8) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIKURA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ICHIKAWA, S. KAKEHI, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. KOGURE, T. KOMATSU, N. H. KUMAGAI, H. MIYAMOTO, K. MIYASHITA, H. MORIMOTO, R. NAKAJIMA, S. NISHIDA, K. NISHIUCHI, S. SAKAMOTO, M. SANO, K. SUDO, H. SUGISAKI, K. TADOKORO, K. TANAKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. WATANABE, H. WATANABE, Y. YARA, N. YOTSUKURA and Y. SHIRAYAMA: Marine Policy, 51 : 136-147 (2014), Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago: Establishment of a protocol for evaluating a broad area using ecologically and biologically significant areas selection criteria.
- 9) S. NAKANO, Y. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds.): The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region, AP-BON Book 3, Springer (2014), Developing a Regional Network of Biodiversity Observation in the Asia-Pacific Region: Achievements and Challenges of AP BON. (T. YAHARA, K. MA, D. DARNAEDI, T. MIYASHITA, A. TAKENAKA, H. TACHIDA, T. NAKASHIZUKA, E-S. KIM, N. TAKAMURA, S. NAKANO, Y. SHIRAYAMA, H. YAMAMOTO, and S. G. VERGARA)
- 10) Y. TANAKA, G. A GO, A. WATANABE, T. MIYAJIMA, M. NAKAOKA, W. H. UY, K. NADAOKA, S. WATANABE and M. D. FORTES: Marine Pollution Bulletin, 88:81–85(2014), 17-year change in species composition of mixed seagrass beds around Santiago Island, Bolinao, the northwestern Philippines.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: The 5th EAFES International Congress (EAFES5) with the 59th Annual Meeting of the Ecological Society of Japan, Ootsu, Japan, 2012
“Integrative observations and assessments of marine biodiversity from reef to deep sea.”
- 2) H. YAMAMOTO, Y. UCHIFUNE, K. TANAKA, R. NAKAJIMA, K. FUJIKURA and Y. SHIRAYAMA: Biodiversity in changing coastal waters of tropical and subtropical Asia, International Symposium, 2012
“Data integration system for marine biodiversity assessment and EBSA identification.”
- 3) Y. UCHIFUNE, K. SUDO, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: Biodiversity in changing coastal waters of tropical and subtropical Asia, International Symposium, 2012
“Preliminary results of marine biodiversity analyses for Asia region using data archives.”
- 4) Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. SUDO, T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
“Identification of EBSA in Japan- Southeast Asia region and comparison with established marine protected area.”
- 5) H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, T. KOMATSU, K. TADOKORO, H. SUGISAKI, K. FUJIKURA and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
“Strategic research project (S-9-5) for integrative observation and assessments of marine biodiversity in Asia-Pacific region, and contribution to conservation planning.”
- 6) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIKURA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ICHIKAWA, S. KAKEHI, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. KOGURE, T. KOMATSU, N. H. KUMAGAI, H. MIYAMOTO, K. MIYASHITA, H. MORIMOTO, R. NAKAJIMA, S. NISHIDA, K. NISHIUCHI, S. SAKAMOTO, M. SANO, K. SUDO, H. SUGISAKI, K. TADOKORO, K. TANAKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. WATANABE, H. WATANABE, Y. YARA, N. YOTSUKURA and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
“Establishment of a protocol for selecting ecologically and biologically significant areas (EBSAs) using case studies in Japan.”
- 7) K. SUDO, M. NAKAOKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA; The 11th International Seagrass Biology Workshop, Sanya, China, 2014
“Quantitative evaluation of provisioning services from seagrass beds in Southeast Asian regions.”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) セミナー「海の生物多様性」(2011年12月11日、名護市、国際海洋環境情報センター、観客

40名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

国際シンポジウムでのポスター賞：

Y.JINTSU-UCHIFUNE, K. SUDO, T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA (2014)

Identification of EBSA in Japan- Southeast Asia region and comparison with established marine protected area. WCMB, Qingdao

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(2) 海藻生態系生物多様性の時空間的変動の定量評価と将来予測

北海道大学

仲岡雅裕・宮下和士・四ツ倉典滋

<研究協力者>

北海道大学

渡辺健太郎・邵花梅・前田高志

平成23～27年度累計予算額：28,503千円（うち平成27年度：5,700千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、我が国沿岸域の主要生態系の1つである藻場生態系を対象域として、リモートセンシングデータと生物多様性データを用いて、藻場生態系の生物多様性の定量評価、今後の海藻生態系の生物多様性の変動予測、およびEBSA選定を行った。まず、コンブ林を対象に、空間分布を詳細に解析できるリモートセンシング手法を開発すると共に、分子生物学的手法によるコンブ類の遺伝的構造を解析し、広域解析の単位となる種を確定した。次に、コンブ目海藻を中心に合計28,358件の海藻類のデータベースを構築し、種分布推定モデルを用いて、主要種の分布、環境要因との関連性を推定した上で、2100年における分布変化の将来予測を行った。コンブ目藻場を対象としたEBSAの推定については、複数の基準を定量的に評価して結合する方法を開発し、北海道全域および全国沿岸域で、EBSAとして選定されるべき海域を抽出した。さらに、海藻類の将来の分布予測を踏まえたEBSA選定法も開発した。

[キーワード]

海藻藻場、コンブ、EBSA、リモートセンシング、将来予測

1. はじめに

我が国を含む東アジアから東南アジアの沿岸海域は、世界の中でも海洋生物多様性が著しく高い海域である¹⁾。しかし、さまざまな人間の経済活動の影響を受け、生態系の劣化と生物多様性の損失が進行しており、その傾向は今後も続くと思われる。しかし、海洋生物多様性の情報は不十分かつ散逸しており、現状での定量的評価は十分に進んでいないのが現状である。特に、生物多様性条約（CBD）のCOP10では、海域の10%を保護区とすることが目標に掲げられたが、その選定方法は専門家の主観的判断に基づくものが主体であり、多様な環境情報、生物多様性・生態系のデータを十分に活かした科学的な選定基準の確立が求められている。

沿岸生態系の中でもコンブなどの海藻藻場やアマモ場などに代表される沿岸生態系は高い生物多様性を示し、また高い生態系機能を有している。また、北日本におけるコンブ目海藻類は、食用資源としてその持続的な生産性の維持管理は水産学的にも重要である。しかし近年の地球温暖化等の気候変動に伴い生物多様性の損失や生態系機能の劣化が憂慮されている。特に、磯焼けに代表されるコンブ目海藻の現存量の減少は深刻な事態である。これらの解決のため、海藻藻場の生物多様性、生態系機能の現状を多面的かつ広域的に評価し、将来の変動を予測すると共に、重要な保全地

域を選定することで今後の気候変動の適応策を検討することが必要となっている。

2. 研究開発目的

本研究では、沿岸浅海生態系のうち、生態系機能のみならず水産資源としても重要な北日本海域のコンブ目海藻藻場を対象として、リモートセンシングと現場情報のカップリングによって、遠隔情報から生物多様性・生態系機能を予測する技術を開発する。また、生物多様性情報について、統一的なデータベースを作成し、生物多様性の広域定量評価と将来予測を行う。また開発した技術を活用して、戦略課題全体の目標の一つである生物多様性ホットスポットの特定と生物多様性の損失を防ぐ有効な政策としてEBSAとすべき海域を選定する。

3. 研究開発方法

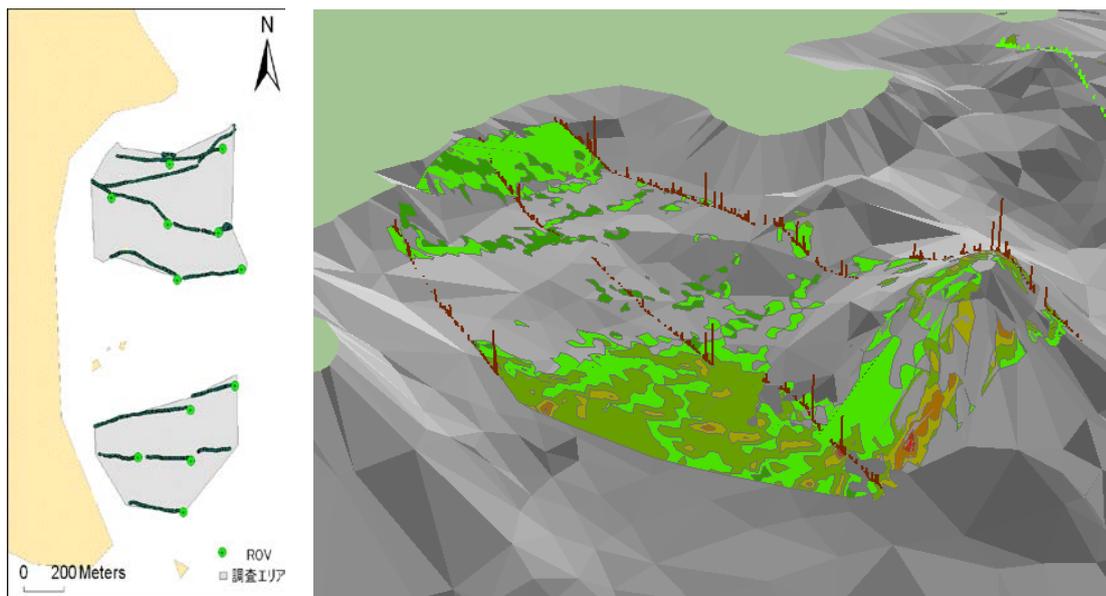
我が国沿岸域の主要生態系の1つである藻場生態系を対象域として、リモートセンシングデータと生物多様性データの相互関係を記述する空間明示的なモデルを開発する。これにより、藻場生態系の生物多様性の定量評価、今後の海藻生態系の生物多様性の変動の予測、およびEBSA選定を行う。具体的には、まず、(1)モデル海域(青森県尻屋崎周辺)にて、音響測深と映像記録を組み合わせた観測を元に、空間内挿法によりコンブ林の生物量の空間分布を評価する方法を開発すると共に、(2)コンブ類の分子マーカーを開発し、それをを用いて主要種の遺伝的構造を把握し、生物多様性解析で利用する分類群のユニットを確定する。続いて、(3)書誌情報(文献、報告書類など)、学術標本および既存のデータベース(環境省データベース、OBIS、GBIF等)から抽出した海藻類の存在するデータを統一した生物多様性データベースを作成し、本テーマが準備する海洋生物多様性データベースに格納する。また、(4)データベースおよび広域環境情報を用いて種分布推定モデルを作成し、コンブ目主要種について、北日本における分布推定を行うと共に環境要因との関連性を解析する。さらに、(5)環境要因について、IPCCのシナリオに基づく将来予測を実施し、複数の気候変動シナリオ下でのコンブ目海藻の分布の変化を推定する。一方、EBSAについては、(6)北海道レベル、および全国レベルで、CBDの基準6項目を定量的に評価することにより実施すると共に、海藻類の将来の分布範囲の予測結果を取り入れた選定法も開発する。

4. 結果及び考察

(1) リモートセンシングによるコンブ林の空間動態解析法の確立

主要サイト(青森県尻屋崎・石持周辺海域、北海道厚岸湾大黒島周辺海域)での総合調査により、光学リモートセンシング(衛星画像と航空写真)と音響リモートセンシング(魚群探知機)による海藻藻場の観測データを統合してコンブ林の面積とコンブの高さを算出し、生物量を推定する手法を確立した(図(2)-1)。

青森県尻屋崎においては、コンブ林の長期変動についても解析を行った。同じ調査海域で推定されたコンブ林の分布域と面積は、時間と共に大きく変異した。コンブの高さについては基本的に成長期である夏季(6月)の方が、衰退期である秋季(11月)よりも高く、また分布面積も高い傾向があった(図(2)-2、表(2)-1)。2013年6月から11月に急激な衰退が認められたが、その後2015年6月の間には著しい回復が見られた(図(2)-2)。



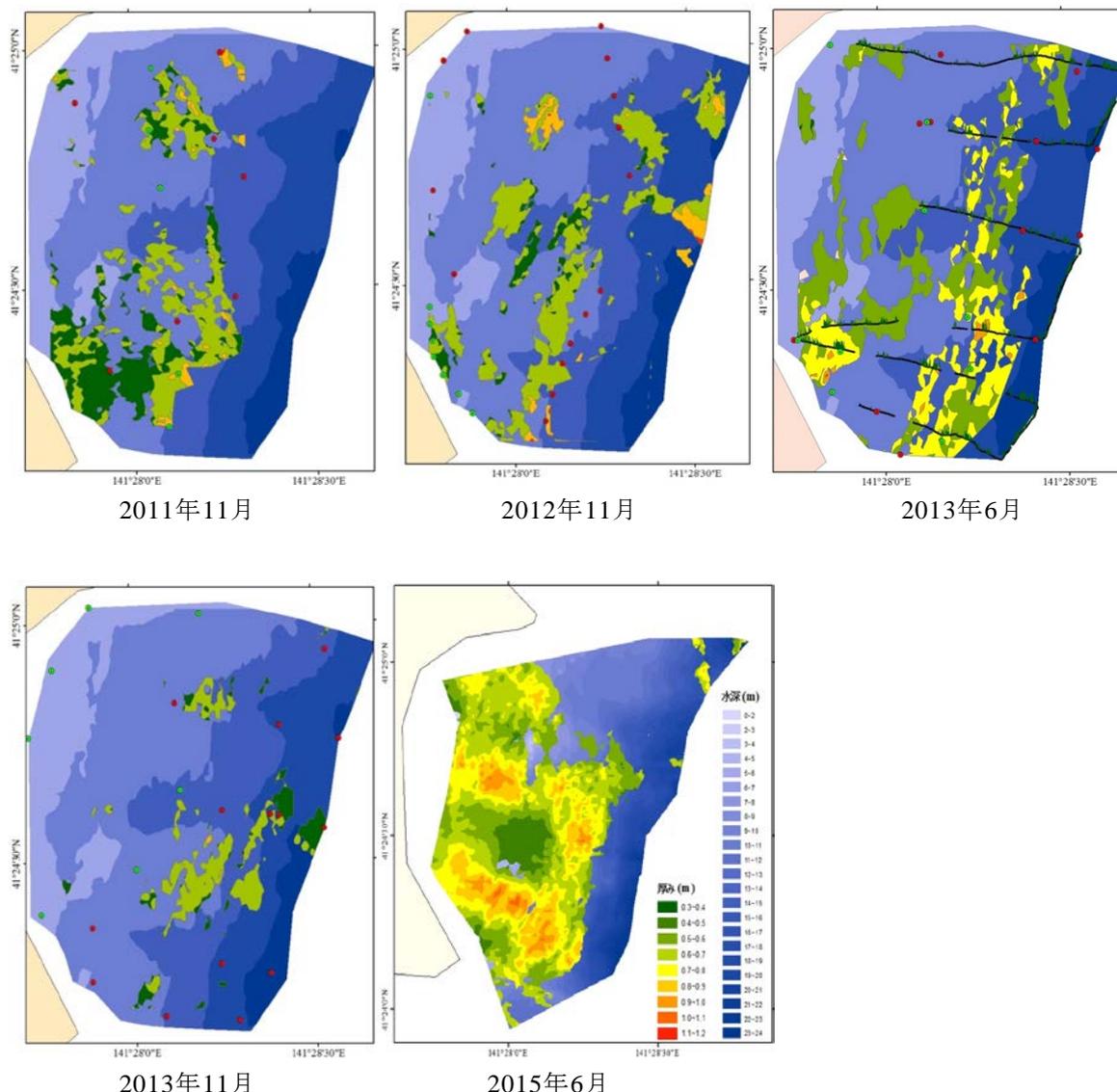
図(2)-1 尻屋崎海域における海底地形とコンブ林分布図（2011年11月9日）

表(2)-1 尻屋崎調査海域(1.80 km²)におけるコンブ林の面積

年/月	分布面積(km ²)	占有率(%)
2011/11	0.15	25
2012/11	0.17	28
2013/6	0.19	31
2013/11	0.04	6
2015/6	1.05	58

コンブの発芽は冬季の海域水温に影響され、低水温ほど発芽率が高く、その後の群落の大きさや生物量にも大きく影響することが知られている²⁾。尻屋崎沿岸海域の水温は、2012年2月の平均水温は7.2度、2013年は8.1度、2014年は5.9度、2015年は7.7度であった。2013年の水温が一番高かったため、その年の秋季の分布面積が小さくなった可能性が高い。夏季から秋季の面積の減少には、この他、ウニによる摂食の影響が考えられる。

今回確立したコンブ林の分布面積、現存量の変動解析法は、北日本沿岸の海藻藻場のEBSA選定において、脆弱性や生産性などの指標を定量的に評価するための科学的検証方法として有効である。



図(2)-2 尻屋崎におけるコンブ林の時間的変化
色は高さの変化の分布を示す。

(2) 分子生物学的手法によるコンブ類の遺伝的構造の解析

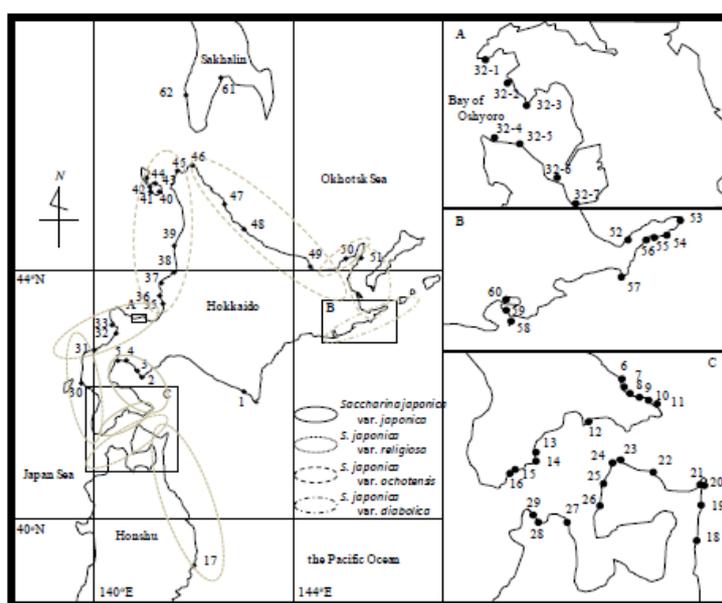
コンブ目海藻の種同定は従来形態に基づき行われてきたが、形態的形質が比較的単純であり、また環境条件に応じて表現型が可塑的に変異することも多く、実際に遺伝的分化を反映しているものかどうかについて検討の余地があった。遺伝的構造の把握は、本課題において、各種の広域分布状況の把握や、将来変動予測を行う上で、重要な知見を提供する。特に水産有用種であるマコンブ類は、産地ごとに固有の名称があり、それらは現在、変種として記載されているが、系統や遺伝的構造を反映したものであるかどうかは未解明であった。そこで、AFLPマーカー、SSRマーカーなど集団間の遺伝的構造の解析に有効な分子解析手法を用いて、北日本のマコンブ類の集団的遺伝解析を行った。

コンブは多糖類を多く含むため、DNAの精製がうまくいかない課題があった。これに対して、CTAB methodとSDS methodを組み合わせた新たな方法により、DNAの精製効率を飛躍的にあげる

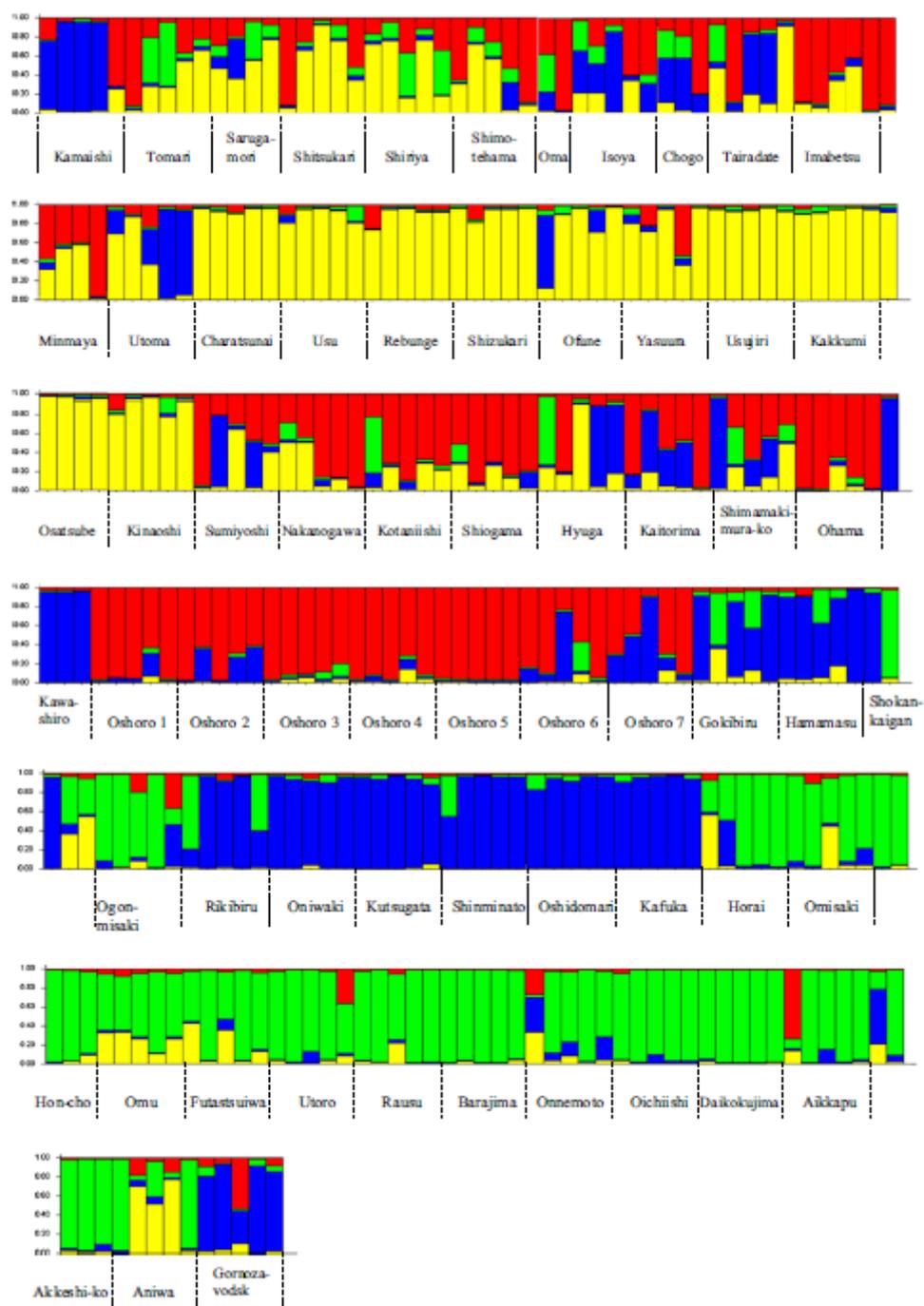
ことが可能になった³⁾。これにより新たにマイクロサテライトマーカーを開発した⁴⁾。

AFLPマーカーとSSRマーカーによる集団解析は、北海道から東北地方のマコンプ類62集団から採集した個体を対象に行った(図(2)-3)。その結果、マコンプ類は、AFLPマーカーを用いたBayesian clusteringでは2グループ、SSRマーカーでは4グループに分けられた(図(2)-4)。いずれの方法で分けられたグループについても、従来の変種によるグループとは一致しなかったことから、変種の分布域については今後見直しが必要であることが示唆された。

いずれの方法でもマコンプ類のグループ間の遺伝的変異は、通常の種間で認められる変異よりも非常に小さく、これらの変種が共通の遺伝的基盤を持っていることが明らかになった。このため、本課題においては、マコンプ類を1つの種*Saccharina japonica*として広域解析に利用することにした。



図(2)-3 遺伝的解析に用いたマコンプ類*Saccharina japonica* 62集団の位置⁵⁾



図(2)-4 SSRマーカーを元に解析されたマコンブ類*Saccharina japonica*の遺伝的構造 Bayesian clustering解析により4集団(異なる色に対応)に分類された⁵⁾。

(3) 日本沿岸の海藻類の生物多様性情報の収集と整理

文献、標本資料等による海藻藻場の生物多様性データとしては、文献、博物館標本資料、漁獲データ、環境省自然環境保全基礎調査(1978年から1997年)、北海道コンブ生産安定化事業での聞き取り調査結果(2000年と2009年)などを収集した。最終年度までに28,358件のデータを収集し、BISMaLに収納した(表(2)-2)。このうち最古のものは1872年の海藻標本資料までさかのぼる。

表(2)-2 本サブ課題で収集した海藻類のデータ一覧

出典		件数
データベース・事業	北海道コンブ安定化事業調査	3,020
	環境省自然環境保全基礎調査	14,942
	国立科学博物館DB	6,297
博物館標本・資料	北海道大学理学部博物館標本	935
	北海道大学理学部博物館デジタル画像	430
	北海道大学愛冠自然史博物館標本	548
文献引用		2,186
合計		28,358

収集した全データの位置情報を図(2)-5に示す。日本の海岸線ほぼ全域にわたって情報が収集された。ただし、ヒバマタ目のホンダワラ類については、標本の産地が本来は分布していない流れ藻の漂着地である可能性が示唆されたため、その精度については、今後検討することが必要であることが明らかになった。



図(2)-5 本サブ課題で収集された海藻データベースの全データの分布図

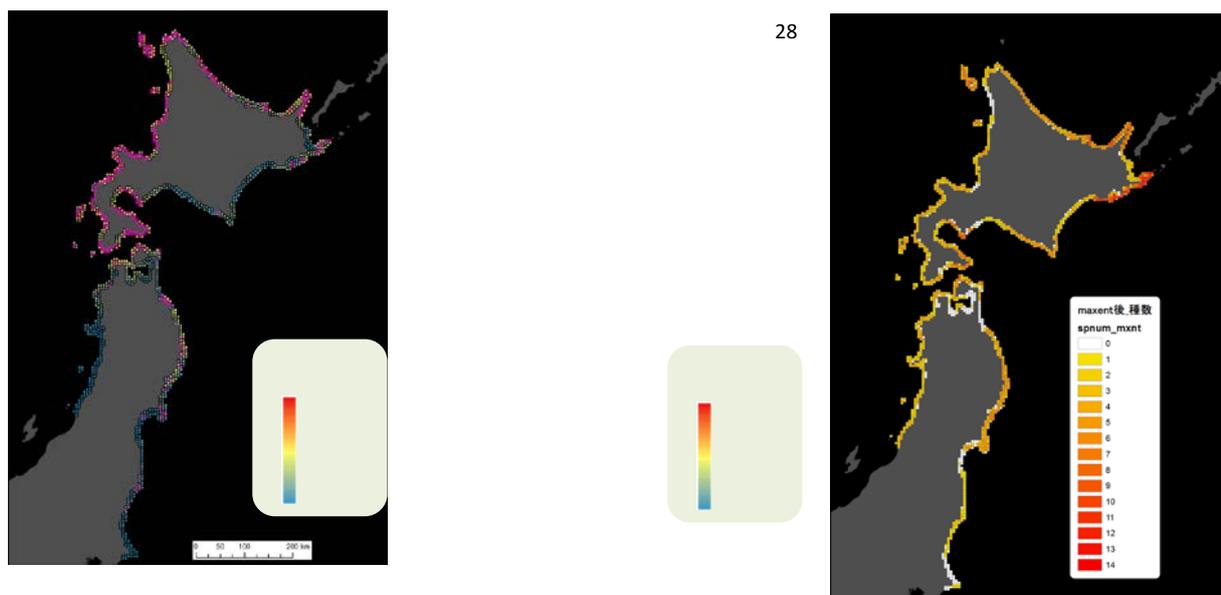
本データベースを用いて、希少種の分布状況の把握も可能になった。例えば、絶滅危惧Ⅱ類のホンソバワカメは道東のみに、準絶滅危惧種のエンドウコンブは噴火湾と日高沿岸のみに分布することが明らかになった。

(4) コンブ目海藻の分布および種多様性の空間評価

コンブ主要種19種について、SDM (Species distribution model)を用いて分布推定を行った。SDMにはMaxentを用い、種の在データとして上記(3)で構築したデータベースから計11,331 dataを利用した。在データは1982-1999の期間のものに限定した。推定範囲は北日本沿岸域(太平洋側は茨城県以北、日本海側は山形県以北)で解像度は5kmメッシュである。環境説明変数としては、水温、水深、波あたり、磯浜距離を採用した。

SDMの結果について、マコンブ類*Saccharina japonica*およびアナメ*Agarum clathratum*、さらに19種の結果を足し合わせた種多様性の空間分布を図(2)-6に示す。推定の信頼性を表すAUCの値は多くの種で0.7以上と高かったが、一部の種では0.7を下回った。全体の種多様性は北海道東部および北部で高く、この海域がコンブ目海藻類の生物多様性の保全に重要であることが示唆された。

SDMで得られた各種の空間分布を説明する環境変数の寄与率を表(2)-3に示す。コンブ目の多くの種の分布が特に水温(最暖月平均水温)と大きく関連していることが判明した。また、アントクメ属*Eckloniopsis*では水深も寄与率が大きかった。その他、波あたり(波高)や磯浜距離が比較的大きな寄与率を示す種も見られた。



図(2)-6 Maxentによるコンブ目海藻の分布推定の結果

マコンブ類*Saccharina japonica* (左) およびアナメ*Agarum clathratum* (中)、さらに19種の結果を足し合わせた種多様性の空間分布 (右) を示す。

表(2)-3 コンブ目海藻各種のMaxentモデルのAUCおよび説明変数寄与率

赤字は寄与率が80%以上、青字は50%以上80%未満のものを示す。

	アナメ	<i>A. cribrorum</i>	チガイソ	アイヌワカメ	ネコアシ コンブ	ツルモ	スジメ	<i>Ecklonia spp</i>
AUC	0.803	0.735	0.845	0.889	0.983	0.666	0.76	0.789
寄与率								
最暖月 平均水温	66.7	83.4	51	57.7	55.4	11.6	47.7	33.1
波高	10.5	1	24.4	31	28.5	6.7	7	23.8
磯浜距離	14.2	2.6	19.4	9.9	12.9	76	41.2	39.3
水深	8.6	13	5.2	1.4	3.2	5.7	4.1	3.8

	<i>Eckloniopsis</i>	<i>Eisenia spp</i>	ゴヘイコンブ	ミツイシ コンブ	チチミコンブ	ガツカラ コンブ	トロロコンブ	マコンブ類
AUC	0.468	0.842	0.98	0.906	0.86	0.98	0.97	0.753
寄与率								
最暖月 平均水温	8.6	41.3	54.6	73.3	35.7	56.5	75.3	40.7
波高	13.2	40.2	44.8	23.2	49.2	34.7	10.6	35
磯浜距離	9	15.5	0.6	3	2.8	8.2	13	19.2
水深	56.3	3	0	0.5	12.3	0.6	1.1	5

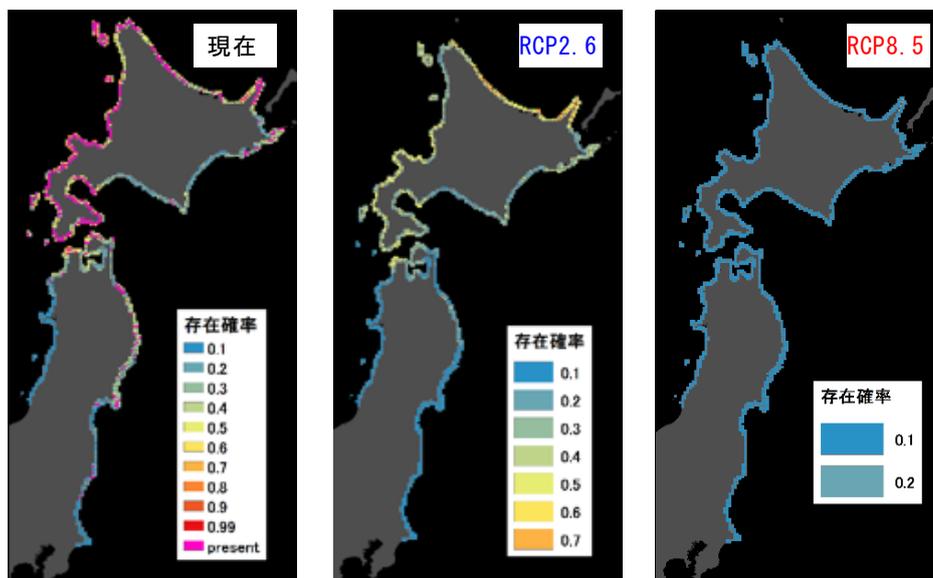
	アツバミスジ コンブ	エナガコンブ	ナガコンブ	カラフトトロロ コンブ	ガゴメコンブ	エンドウコンブ	<i>Undaria spp</i>
AUC	0.925	0.973	0.978	0.929	0.952	0.588	0.767
寄与率							
最暖月平均 水温	99.5	50.5	59.4	98.1	24.8	30.9	58.3
波高	0.1	49.4	36.1	1.2	49.5	0.1	2.3
磯浜距離	0.2	0.1	4.1	0.5	13.3	10	34.2
水深	0.3	0	0.4	0.1	12.5	58.9	5.2

(5) コンブ目海藻類の分布域変動の将来予測

SDMによる分布推定解析の結果、コンブ目海藻の多くの種で分布範囲を決める要因として水温が大きく影響することが推定された。そこで、水温上昇に関する気候変動将来予測モデルとMaxentを用いて、気候変動の異なるシナリオ下での2100年における各種の分布変動予測を行った。水温の将来予測においては、MIROC-ESMモデルを用い、2090年-2099年の最暖月の平均水温について、以下の2つのIPCCシナリオで、水温上昇を予測した。RCP2.6では水温は約2.5℃、RCP8.5では約7.0℃上昇することが予想されたため、この水温をMaxentに取り入れ、各種の将来の分布予測を行った。

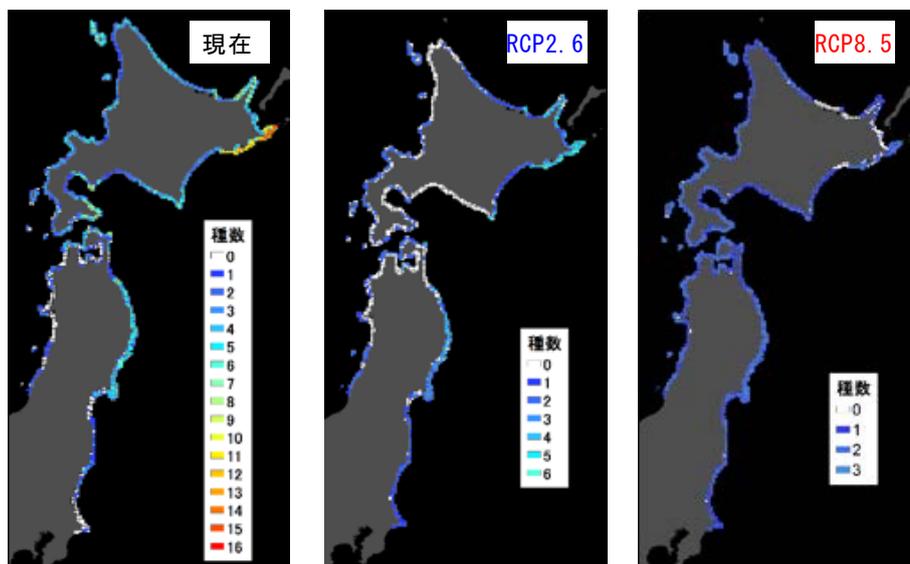
その結果、コンブ目海藻の多くの種で、いずれの気候シナリオでも分布域が大きく北上することが予想された。例えば、マコンブ類*Saccharina japonica*では、現在の主要分布域である北海道および三陸の沿岸域での2100年における分布確率は、RCP8.5では0.2以下、RCP2.6でも0.1~0.7に減少した(図(2)-7)。水産上重要であるマコンブ類は、このまま海水温の上昇が続くと日本沿岸には生息できなくなる可能性が高い。マコンブ類以外の寒流海域に生息するコンブ目のほとんどの種も日本沿岸に生息できなくなる可能性が予想された。一方、アラメやツルアラメなどの暖流域の種は今後東北北部や北海道での分布が拡大する可能性が示唆された。

コンブ目海藻の種多様性についても、現在の最大16種が共存している海域が、RCP2.6では6種以下、RCP8.5では3種以下に減少することが予測された（図(2)-8）。地球規模の気候変動に伴う水温上昇により、寒流域に生息するコンブ目のほとんどの種が日本沿岸に生息できなくなる可能性が指摘される。これは、マコンブ等の有用海藻類の水産資源管理や海藻藻場に依存する沿岸生物群集および沿岸海域の生産性にも大きな影響を与えるであろう。



図(2)-7 北日本海域のマコンブ類の将来分布予測

左図が現在の分布、中央の図がRCP2.6で予測される2100年時点での分布確率、右図がRCP8.5で予測される2100年時点での分布確率を示す。



図(2)-8 北日本全域のコンブ目藻場を対象とした種多様性の将来予測

左図が現在の種多様性の分布、中央の図がRCP2.6で予測される2100年時点での種多様性、右図がRCP8.5で予測される2100年時点での種多様性を示す。

(6) コンブ目海藻藻場のEBSA選定

まず、北海道沿岸のコンブ藻場を対象にしてEBSAの選定を行った。EBSA選定で利用される7指標について、下記のように科学的な知見をもとに定量的な評価を行った。

1) 基準1 (唯一性)

BISMaLよりコンブ目固有種18種をグリッド毎に集計、全種を保全するようMarxanによる相補性解析を行い、選択回数に応じ3段階に評価した。

2) 基準3 (絶滅危惧種)

BISMaLよりコンブ目の環境省レッドリスト記載種4種をグリッド毎に集計、全種を保全するよう相補性解析し、選択回数に応じ3段階に評価した。

3) 基準4 (脆弱性)

環境省および北海道の藻場調査よりグリッド毎に1978～2009年のコンブ目海藻藻場の減少した面積を算出し、3段階に評価した。

4) 基準5 (生物学的生産性)

2009年の北海道の藻場調査により集計したグリッド毎のコンブ藻場面積に応じ3段階に評価した。

5) 基準6 (生物学的多様性)

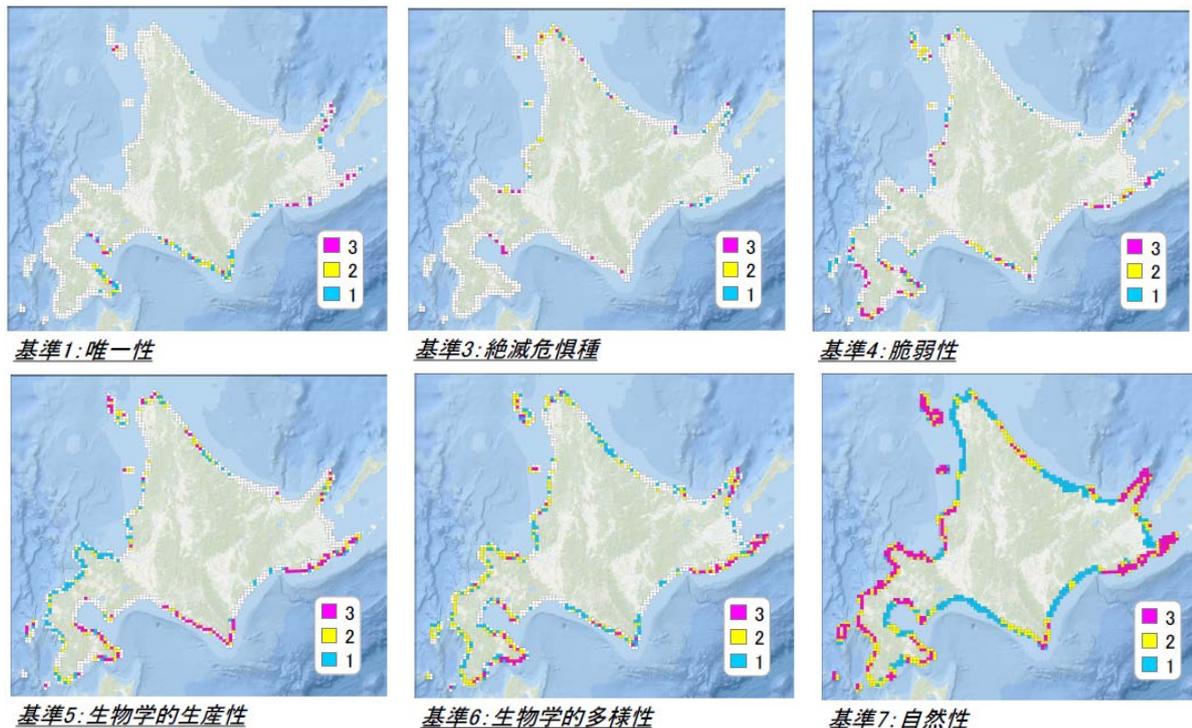
BISMaLより抽出したグリッド毎のコンブ目の種多様性に応じ3段階に評価した。

6) 基準7 (自然性)

環境省第4回自然環境基礎調査海岸をもとに、自然および半自然の岩石海岸・海食崖等の海岸長をグリッド毎に算出し3段階に評価した。

なお、基準2の生活史に関する項目は分析に足るだけの十分なデータがないため、今回の評価に使用しなかった。

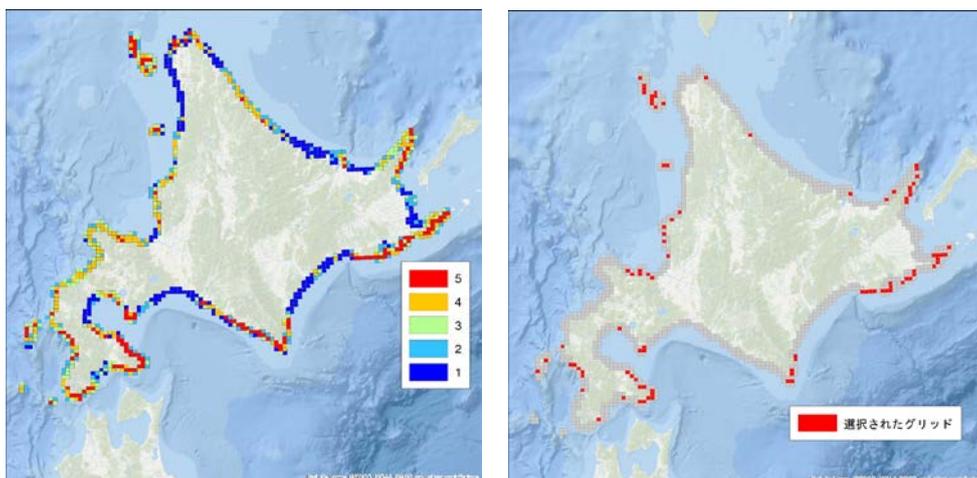
各基準のランクの分布は図(2)-9のようになった。



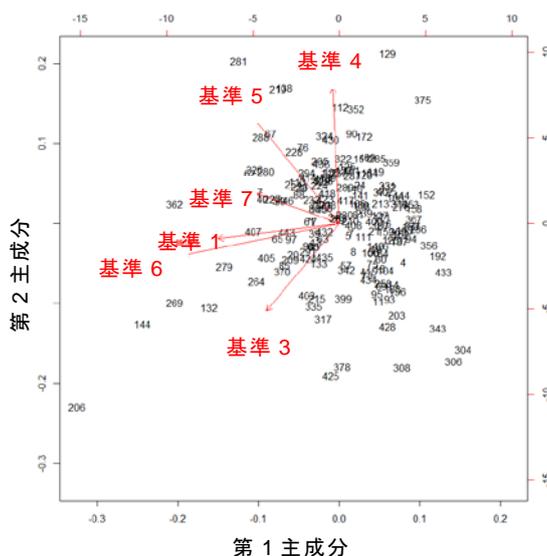
図(2)-9 北海道のコンブ目藻場におけるEBSA選定基準6指標の空間変異

6つの指標の評価値をもとに、加算法および相補性解析により総合評価を行った。加算法では、基準1-7のランクを総和し、5段階評価とした。一方、相補性解析では基準1-7の値をもとに、北海道全体で全ての基準が満たされるようにMarxanを用いて相補性解析し、全体の10%のグリッドを選択した。

その結果では、コンブ目の生息に重要な海域として道南地方の東部、道東地方の南部、道北地方の北西部が選定された。総合評価法を比較した場合、日高地方や道南地方の南西部などでの不一致が認められた(図(2)-10)。なお、EBSAの6基準についてその関連性の強さを序列化法(ordination)により解析したところ、基準1と6が同様の方向性の変異を示したが、他の基準は比較的独立していた(図(2)-11)。このことから、本方法が保全対象の特徴を多面的に評価できることが示された。



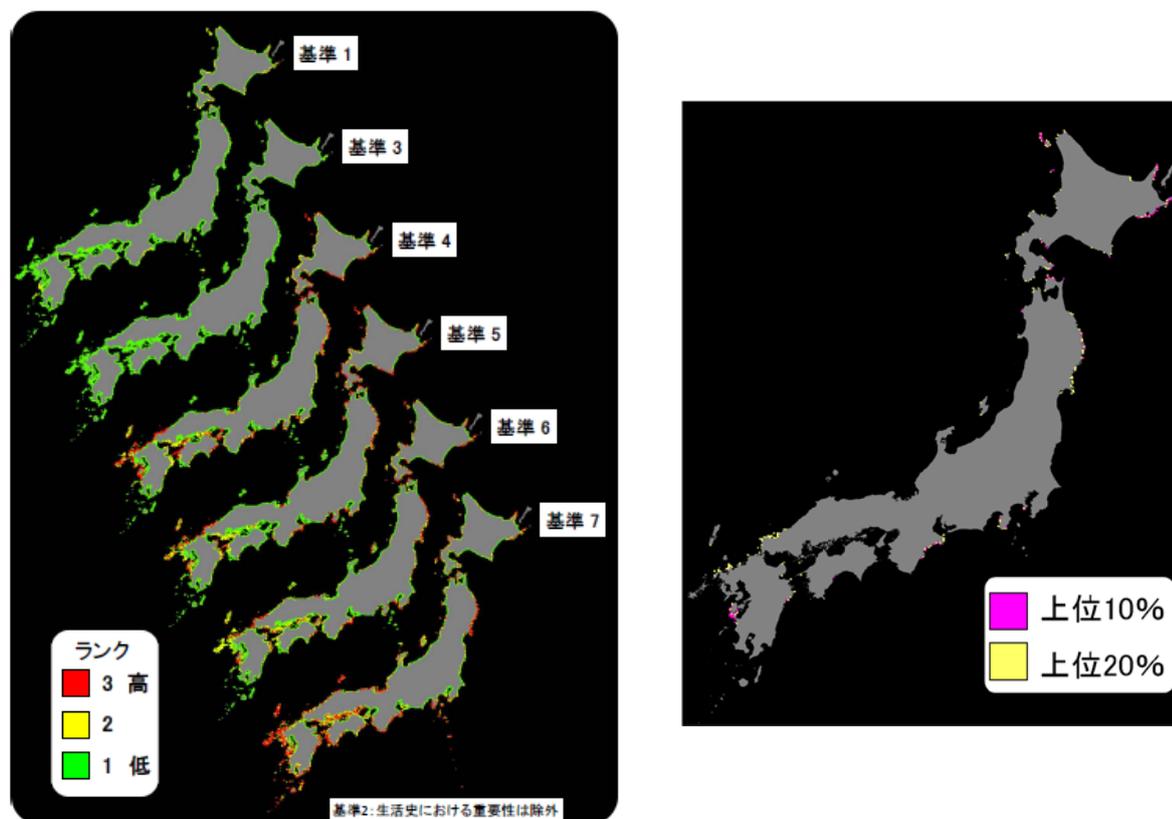
図(2)-10 北海道のコンブ目藻場におけるEBSA選定の結果
 左図は加算法による評価、右図は相補性解析で選択された海域を示す。



図(2)-11 EBSAの6基準に関連性に関する主成分分析の結果
 数値はグリッド番号を示す。

続いて、全国の海藻藻場を対象にEBSA選定を行った。解析範囲は日本沿岸域すべてで、解像度は5kmグリッドとした。海洋生物データベースBISMaLに入力した海藻データ 28,358件のうち、1951年から1990年に出現したコンブ目35種の計7,198件のデータを利用した。EBSAのランキングに利用した基準は、上述の北海道でのEBSA選定時と同じであるが、基準4,5については、北海道のデータしかないため、代わりに環境省自然環境基礎調査（第4,5回）に基づき藻場の面積とその減少率を算出した。

その結果、加算法では、北海道沿岸、三陸、伊豆半島、紀伊半島東岸、山口～長崎にかけてスコアが高く、EBSA候補として抽出された（図(2)-12）。



図(2)-12 日本全域のコンブ目藻場を対象としたEBSA評価の結果

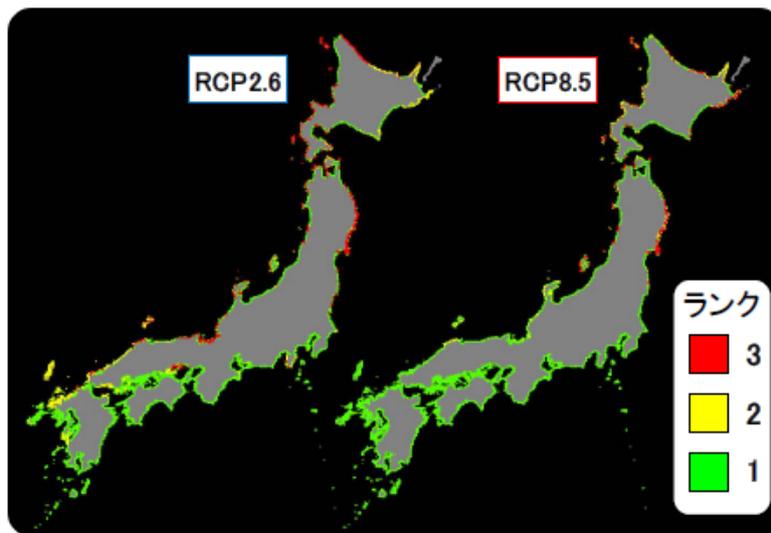
左図は各基準のランク値、右図は加算法により評価上位10%（桃）および10-20%（黄）だった海域を示す。

最後に、上記（4）で解析をした気候変動に伴う今後のコンブ類海藻の分布域の変動を考慮したEBSA選定について検討した。EBSAの7基準（基準2は未使用）に加え、基準8として、将来(2100年時点)における生物多様性（コンブ目海藻類の種多様性）を加え、総合評価を行った。

全国規模での将来予測解析では、コンブ目海藻類の種数は、RCP2.6、RCP8.5のいずれの気候変動シナリオに基づく予測でも、本州中部から四国、九州が著しく減少することが予測された。これを元に、将来分布が予測できたコンブ目海藻全種を保全できるように相補性解析し選択回数に応じて3段階評価レベルでのランキングを行い、これを基準8の指標とした（図(2)-13）。この基準は、RCP2.6では北海道、三陸、伊豆半島、若狭湾などが評点が高かったが、RCP8.5で評点が高い海域はほと

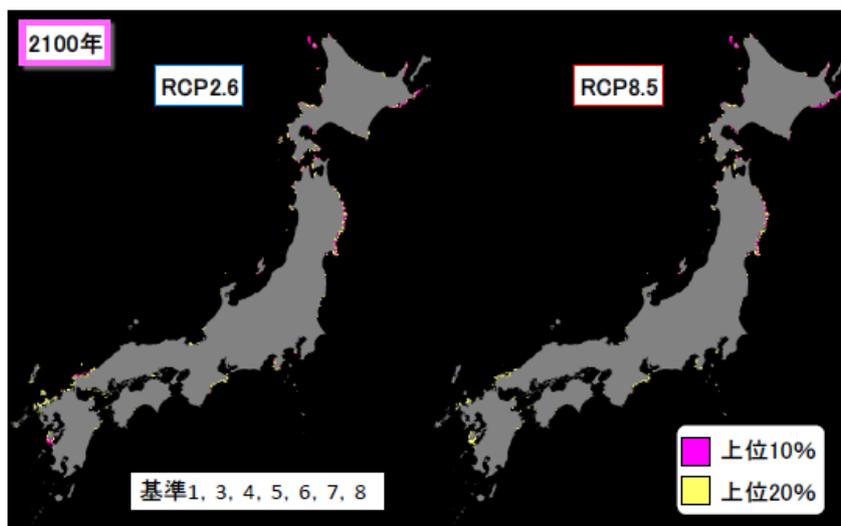
んど北海道と三陸海域に限定された。結果として各基準の加算法による統合で得られたEBSAは、RCP2.6では上位10%の海域に山口県日本海側や天草海域が一部含まれていたが、RCP8.5ではそのほとんどが北海道と三陸に限られていた（図(2)-14）。

このように将来の分布変化を考慮に入れた場合のEBSA選定では、海藻類が北上する三陸、北海道など高緯度地方の重要性が高くなるという結果が得られた。今後適応策として海洋保護区の設定や持続的な資源管理をするときにはこのような生物の分布変動予測を取り入れた検討が重要になると考えられる。



図(2)-13 新たに設定したEBSAの基準8の評点

将来予測された全種を保全するために保護する価値が高い海域をMarxanで選定した。



図(2)-14 海藻類の将来の分布変化を考慮したEBSA選定結果

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本サブ課題は、日本のコンブ目海藻藻場を対象とした本格的な分野統合的研究であり、さまざまな新たな知見が得られた。まず、リモートセンシングによる音響測定、画像記録および空間内挿法を組み合わせた手法の開発により、コンブ林の空間分布について詳細なスケールで時間的変動を明らかにできた。また、分子マーカーを利用したコンブ類の遺伝解析法の開発により、従来主に形態形質により分類されていたコンブ類の種同定および種内多型について、実際の遺伝的構造に基づいたより確実な分類が可能になった。これにより、遺伝的基盤を踏まえた生物多様性の空間構造の把握や時間的変動の解析の進展に道筋が付けられた。

28,000件を超す海藻類の生物多様性データをまとめたデータベースの構築により、未調査地を含めた日本沿岸海域での主要種の分布推定が行われ、コンブ目海藻類の我が国における分布状況の全容を推定することができるようになった。また、その分布の変異に影響を与える環境要因も種ごとに相対的重要性が異なることが明らかになった。さらに、これらのデータと気候変動予測モデルを組み合わせることにより、さまざまなシナリオ下での将来の分布変化を予測することができるようになった。これらの成果を、本課題の他サブ課題で取り扱っている他の生物群と合わせることで、今後の我が国周辺海域の生物多様性の将来予測が格段に進展し、今後の海洋保全や持続的な資源利用に対する諸施策の立案に生かすことができる。

生物多様性条約の愛知目標で設定した海洋保護区の設定に向けて、EBSAの科学的、客観的な選定方法を確立し、日本周辺の藻場のうち特に重要な海域を特定することができた点は大きな成果の一つである。本成果を他のサブ課題の成果と合わせることで、より総合的なEBSAの選定方法の開発に結び付けることができた（サブテーマ(1)の成果を参照）。さらに、これまでのEBSAの基準に、温暖化に伴う将来のコンブ目各種の分布変化を考慮した基準を加えて解析することで、今後の数十年スケールで変化していく海藻藻場生態系の状況に応じたEBSAの選定も可能になった。これは、順応的な保全管理計画を踏まえた新たな海域保全政策の立案に結びつくことが期待される。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

EBSA選定方法に関する研究の結果は、環境省重要海域抽出検討会において、EBSA候補の抽出方法に関する専門家意見として提出され、実際のEBSA選定の参考とされた。また、生物多様性条約によるEBSA選定においても、アジア海域のEBSA選定に活用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

今回の研究事業で実施されたリモートセンシングによるコンブ林の変動解析方法は、特に都道府県レベルでの海藻藻場のモニタリング事業に直接適用可能である。実際に北海道ではその方式によるモニタリングおよび資源管理の可能性について検討を行っている。分子マーカーによる遺伝的構造と遺伝的多様性の解析は、特にコンブ類の産地毎管理の補助的手段として、都道府県レベルの水産行政に活用されることが見込まれる。コンブ類の将来予測およびEBSAの選定方法と選定結果は、いずれも国と都道府県の両レベルで、海藻藻場の保全や持続的な資源利用に関する

諸施策に活用されることが望まれる。特に、将来予測の結果は、今後数十年スケールでの海洋保護区の設置・運営方法や、水産資源としての海藻類の資源管理、さらには気候変動適応策の計画等に広く活用が期待される。

6. 国際共同研究等の状況

(1) Kelp Ecosystem Ecological Network

研究代表者：Jarrett Byrnes, University of Massachusetts, USA

参加・連携状況：本国際プロジェクトは気候変動に代表される地球環境の変化が全世界のコンブ林に与える影響について、世界のコンブ生態系の研究者がネットワークを結んで研究を行うことにより解明しようとするものである。サブテーマ(2)代表者の仲岡は、本プロジェクトの立案段階より研究代表者と連絡を取り合い、太平洋北東部海域のコンブ林の生態系の担当している。

国際的な位置づけ：このプロジェクトでは、文献調査によるコンブ林の生態系構造の広域比較解析、共通化したモニタリングによる長期変動様式の解明、操作実験・統計モデリングによる環境変動とコンブ林生態系変動の関連性の解明に関する諸プロジェクトが行われる予定である。その内容は、S9-5(2)のサブ課題と密接に関連しているため、本課題の成果を全球的解析に利用することにより、海藻藻場生態系の生物多様性の変動について、より広域な視点からその一般性、特殊性を明らかにするうえで多大な成果が得られることが期待される。

(2) Belmont Forum Collaborative Research Project

Trans-system, unified approach for global and regional integration of social-ecological study toward sustainable use of biodiversity and ecosystem services, 研究代表者：仲岡雅裕, 北海道大学

参加・連携状況：本研究プロジェクトは、アジア地域における生物多様性と生態系サービスの持続的な利用を実践するために、多様な分野にわたる社会経済学および生態科学の研究者の国際ネットワークを構築し、新たな研究課題、アプローチを提案することを目的とする。ここでは、生物多様性にかかる高解像度空間情報を広域スケールでの解析に利用するための方法論を確立したうえで、生物多様性・生態系サービスの変動を解析することを目指しており、S9-5の各サブテーマで得られた情報および成果が直接利用される予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) T. MAEDA, T. KAWAI, M. NAKAOKA and N. YOTSUKURA: Journal of Applied Phycology, 25, 337-347 (2013), Effective DNA extraction method for fragment analysis using capillary sequencer of the kelp, *Saccharina*.
- 2) H. SHAO, Y. ITO, K. MINAMI, H. YASUMA and K. MIYASHITA: GIS/Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences, 5, 133-150 (2013), Spatial estimation of the kelp forests (*Laminaria* spp.) distributions in coastal waters of Otsuube Hokkaido, Japan, using acoustic method and geographic information system
- 3) S. NAKANO, Y. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds.): Integrative Observations and

- Assessments. Ecological Research Monographs, Springer, pp. 367-391 (2014), Regional comparison of the ecosystem services from seagrass beds in Asia (M. NAKAOKA, K-S. LEE, X. HUANG, T. ALMONTE, J. S. BUJANG, W. KISWARA, R. AMBO RAPPE, S. M. YAAKUB, M. P. PRABHAKARAN, M. K. ABU HENA, M. HORI, P. ZHANG, A. PRATHEP and M. D. FORTES)
- 4) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIKURA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ICHIKAWA, S. KAKEHI, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. KOGURE, T. KOMATSU, N. H. KUMAGAI, H. MIYAMOTO, K. MIYASHITA, H. MORIMOTO, R. NAKAJIMA, S. NISHIDA, K. NISHIUCHI, S. SAKAMOTO, M. SANO, K. SUDO, H. SUGISAKI, K. TADOKORO, K. TANAKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. WATANABE, H. WATANABE, Y. YARA, N. YOTSUKURA and Y. SHIRAYAMA: Marine Policy, 51 : 136-147 (2014), Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago: Establishment of a protocol for evaluating a broad area using ecologically and biologically significant areas selection criteria.
- 5) N. YOTSUKURA, T. MAEDA, T. ABE, M. NAKAOKA, T. KAWAI: Journal of Applied Phycology, (in press), Genetic differences among varieties of *Saccharina japonica* in northern Japan as determined by AFLP and SSR analyses.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) T. MAEDA, S. PANG and N. YOTSUKURA: 4th Congress of the International Society for Applied Phycology, Halifax, Canada, 2011
 “A trial on molecular marker detection for variety discrimination in *Saccharina japonica* (Phaeophyceae, Laminariales) by AFLP-based analysis.”
- 2) 前田高志, 山田嘉暢, 藤川義一, 桐原慎二, 四ツ倉典滋: 日本応用藻類学会第10回大会, 東京 (2011)
 「AFLP 分析によるマコンブ産地間の遺伝的多様性の解明と変種識別」
- 3) 四ツ倉典滋: 平成23年度北海道信用金庫理事長会議, 札幌 (2011) 【招待講演】
 「こんぶ”を知る、“こんぶ”について考える～伝統産業の発展と地域の活性化を目指して～」
- 4) T. MAEDA, T. KAWAI, Y. FUJIKAWA, S. KIRIHARA, M. NAKAOKA and N. YOTSUKURA: Vth Asian Pacific Phycological Forum, Yeosu, Korea, 2011
 “Elucidation of genetic diversity of *Saccharina japonica* in northern part of Japan based on DNA fragment analyses.”
- 5) 邵花梅, 盛田祐加, 伊藤祐介, 川内陽平, 園木詩織, 仲岡雅裕, 四ツ倉典滋, 安間洋樹, 福井信一, 渡辺健太郎, 前田高志, 藤川義一, 南憲史, 宮下和士: 平成23年度北海道音響資源調査研究報告会, 札幌 (2012)
 「響計測手法を用いたコンブ林の分布推定～磯焼けの動態把握に向けて～」
- 6) 前田高志, 川井唯史, 仲岡雅裕, 四ツ倉典滋: 日本応用藻類学会第11回大会, 東京 (2012)
 「コンブ多型解析に有効なマイクロサテライトマーカーの探索」
- 7) 四ツ倉典滋: 神恵内村開村140年記念事業「海の森林づくりシンポジウム in 神恵内」, 神恵内 (2012)
 「前浜の主役“ホソメコンブ”を知るー海洋生態系と伝統文化を守るためにー」

- 8) 四ツ倉典滋: 日本藻類学会第35回大会公開講座・2012年北海道大学総合博物館企画展示関連セミナー「コンブとマリモ-北海道の藻類の話」, 札幌 (2012)
「北海道におけるコンブ類研究」
- 9) 四ツ倉典滋: 北海道様似町ふるさとジオ塾講座「昆布と藻のおはなし」, 様似 (2012)
「様似のコンブ藻場を守るために-ミツイシコンブを知る、調べる」
- 10) M. NAKAOKA, T. SUZUKI, A. DAZAI, Y. SAKANISHI, K. YOKOI, M. NAKAGAWA and N. SATO: 41st Benthic Ecology Meeting, Norfolk, Virginia, USA, 2012
“Effect of the 2011 Tohoku earthquake and tsunami on benthic ecosystems in northeastern Japan.”
- 11) 邵花梅, 盛田祐加, 園木詩織, 藤川義一, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕, 宮下和士: 平成24年度日本水産学会秋季大会, 下関 (2012)
「小型計量魚探の開発④コンブ林の磯焼けの動態把握に向けて」
- 12) H. SHAO, Y. MORITA, S. SONOKI, K. MINAMI and K. MIYASHITA: The Sixth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society, Busan, Korea, 2012
“Spatial estimation of the kelp forest (*Laminaria* spp.) distributions in coastal waters of Aomori, Japan, using acoustic method.”
- 13) M. NAKAOKA, K-S. LEE, X. HUANG, T. ALMONTE, J. S. BUJANG, W. KISWARA, R. AMBO RAPPE, S. M. YAAKUB, M. P. PRABHAKARAN, M. K. ABU HENA, M. HORI, P. ZHANG, A. PRATHEP and M. D. FORTES: The First Asian Marine Biology Symposium. Phuket, Thailand, 2012
“Evaluation on ecosystem services from seagrass beds in Asia based on experts' knowledge.”
- 14) 渡辺健太郎, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕: 日本生態学会第60回大会, 静岡 (2013)
「北海道沿岸におけるコンブ藻場の長期変動」
- 15) T. MAEDA, T. KAWAI, M. NAKAOKA and N. YOTSUKURA: 21st International Seaweeds Symposium, Bali, Indonesia, 2013
“An approach to pinpoint the geographic origin of samples of *Saccharina japonica* by DNA fingerprinting.”
- 16) K. WATANABE, N. YOTSUKURA and M. NAKAOKA: International Research Meeting, Front of Diversity Research on Kelp in the North Pacific, Sapporo, 2013
“Long-term variation in distribution of konbu (*Saccharina*) beds along coasts of Hokkaido, Japan.”
- 17) N. YOTSUKURA: International Research Meeting, Front of Diversity Research on Kelp in the North Pacific, Sapporo, 2013
“Present situation and assignment of biodiversity research on kelp in Japan.”
- 18) T. MAEDA and N. YOTSUKURA: International Research Meeting, Front of Diversity Research on Kelp in the North Pacific, Sapporo, 2013
“Approach to elucidation of genetic diversity of *Saccharina japonica* in northern part of Japan based on DNA fingerprinting.”
- 19) H. SHAO and K. MIYASHITA: International Research Meeting, Front of Diversity Research on Kelp in the North Pacific, Sapporo, 2013
“Spatial estimation of the kelp forests (*Saccharina* spp.) distributions in coastal waters of Aomori,

Japan, using acoustic method.”

- 20) N. NAGAI and N. YOTSUKURA: International Research Meeting, Front of Diversity Research on Kelp in the North Pacific, Sapporo, 2013
 “A taxonomic re-examination of *Saccharina longipedalis* (Laminariales, Phaeophyceae).”
- 21) H. SHAO, Y. MORITA, S. SONOKI, K. MINAMI, N. YOTSUKURA, M. NAKAOKA and K. MIYASHITA: PIECES annual meeting 2013 Nanaimo, Canada, 2013
 “Spatiotemporal analysis of kelp forest distribution characteristics in sea desertification areas using acoustic and direct sensing methods.”
- 22) 渡辺健太郎, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕: 第61回日本生態学会大会, 広島 (2014)
 「北海道沿岸におけるコンブ類の多様性を考慮した重要海域の選定」
- 23) M. NAKAOKA, S. SAKAMOTO, H. TAMAKI, D. MURAOKA and T. KOMATSU: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
 “Broad-scale impact assessment of the 2011 Tohoku earthquake and tsunami on seagrass beds in Sanriku Coast, northeastern Japan.”
- 24) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIKURA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, T. ICHIKAWA, S. KAKEHI, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. KOGURE, T. KOMATSU, N. H. KUMAGAI, H. MIYAMOTO, K. MIYASHITA, H. MORIMOTO, R. NAKAJIMA, S. NISHIDA, K. NISHIUCHI, S. SAKAMOTO, M. SANO, K. SUDO, H. SUGISAKI, K. TADOKORO, K. TANAKA, Y. JINTSU-UCHIFUNE, K. WATANABE, H. WATANABE, Y. YARA, N. YOTSUKURA and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
 “Establishment of a protocol for selecting ecologically and biologically significant areas (EBSAs) using case studies in Japan.”
- 25) H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, T. KOMATSU, K. TADOKORO, H. SUGISAKI, K. FUJIKURA and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
 “Strategic research project (S-9-5) for integrative observation and assessments of marine biodiversity in Asia-Pacific region, and contribution to conservation planning.”
- 26) N. YOTSUKURA, T. MAEDA, M. NAKAOKA and T. Kawai: 7th Asian Pacific Phycological Forum, Wuhan, China, 2014
 “Population genetic structure of *Saccharina japonica* in northern Japan”
- 27) H. SHAO, K. MINAMI, T. OHMURA, Y. FUJIKAWA, N. YOTSUKURA, M. NAKAOKA and K. MIYASHITA: The Eighth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society, Kaohsiung, Taiwan, 2014
 “Analysis accuracy of kelp forests thickness and spatial distribution by acoustic method.”
- 28) 渡辺健太郎, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕: 第62回日本生態学会大会, 鹿児島市 (2015)
 「北日本沿岸におけるコンブ類の分布: 水温変化をもとにした将来予測」
- 29) 邵花梅, 南憲史, 大村敏昭, 藤川義一, 四ツ倉典滋, 仲岡雅裕, 宮下和士: 平成 26 年度北海道音響資源調査研究報告会, 函館市 (2015)
 「音響手法を用いたコンブ林の厚みと分布の精度解析」

- 30) H. SHAO, K. MINAMI, N. YOTSUKURA, M. NAKAOKA and K. MIYASHITA: ICES Symposium on Marine Ecosystem Acoustics, Nantes, France, 2015
 “Spatiotemporal analysis of kelp forest distribution characteristics in sea desertification areas using acoustic and direct sensing methods”
- 31) 渡辺健太郎, 四ツ倉典滋, 山北剛久, 仲岡雅裕: 日本生態学会大会第63回大会, 仙台市 (2016)
 「コンブ目重要海域の選定—その多様性・将来分布予測をもとに—」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

国際シンポジウムでのポスター賞：

Young Scientist Best Presentation Award : H. SHAO, Y. MORITA, S. SONOKI, K. MINAMI and K. MIYASHITA: The Sixth Annual Meeting of Asian Fisheries Acoustics Society (2012)
 “Spatial estimation of the kelp forest (*Laminaria* spp.) distributions in coastal waters of Aomori, Japan, using acoustic method”

8. 引用文献

- 1) K. FUJIKURA K, D. LINDSAY, H. KITAZATO, S. NISHIDA and Y. SHIRAHAMA (2010), Marine Biodiversity in Japanese Waters. PLoS ONE 5(8): e11836
- 2) 桐原慎二・仲村俊毅・能登谷正浩: 下北半島尻屋崎地先のマコンブの生育に及ぼす水温の影響. SUISANZOSHOKU 51(3), 273-280 (2003)
- 3) T. MAEDA, N. YOTSUKURA (2013), Development of microsatellite markers for *Saccharina japonica* by dual-suppression PCR. Algal Resour 6:67–71
- 4) T. MAEDA, T. KAWAI, M. NAKAOKA and N. YOTSUKURA (2013), Effective DNA extraction method for fragment analysis using capillary sequencer of the kelp, *Saccharina*. J Appl Phycol 25:337–347
- 5) N. YOTSUKURA, T. MAEDA, T. ABE, M. NAKAOKA and T. KAWAI (in press), Genetic differences among varieties of *Saccharina japonica* in northern Japan as determined by AFLP and SSR analyses. J Appl Phycol