

(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

東京大学大気海洋研究所

小松輝久・西田周平・木暮一啓

<研究協力者>

東京大学大気海洋研究所

阪本真吾・佐々修司・佐野雅美・澤山周平・
宮本洋臣

平成23～27年度累計予算額：66,422千円（うち平成27年度：11,831千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

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。

[キーワード]

アマモ場生物群集、EBSA、気候変動シナリオ、遺伝子解析、リモートセンシング

1. はじめに

アマモ場生態系は沿岸域において、生物多様性および生物生産力が特に高い生態系のひとつであり、我が国を含むアジア周辺海域の海洋保護区を検討する上で重要度が高い。またアマモ場は沿岸

域開発や漁業活動、汚染等による人為的影響を受けやすいことから、保全が求められている。さらに、特に日本沿岸に分布する温帯性アマモ類については、将来予想される海水温上昇等の環境変動によって分布域の変化が懸念される。

本研究ではこのような背景のもと、アジア周辺海域を対象としてアマモ場生物多様性を定量的に評価し、その時空間変動の駆動要因を検討する。またこれにより将来的な時空間変動を予測する。さらにこれらの情報に基づいて、EBSA（生態学的・生物学的に重要な海域）を選出し、海洋保護区選定の基礎的知見とする。

2. 研究開発目的

本サブグループでは、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、他サブグループと連携してEBSA選定の条件と方法の有効性を検証する。また、分布推定とシナリオ分析を併用した手法により海草類の多様性変動の定量評価と将来予測をする。

さらに主要サイトのアマモ場のリモートセンシング(RS)および現場調査(環境および遺伝子試料採集含む)を実施する。この解析では、アマモ場分布に及ぼしている人為的圧力の指標となるものについて検討する。これら、そしてこれら以外のアマモ場においてもデータが得られるところでは、藻場の属性(位置, 面積, 密度など)と指数化した人為的環境改変圧力などをもとに、それらの相互の関係を統計的に解析し、変動を引き起こす要因を調べる。海草を含むアマモ場の主要構成種のバイオマスや分布面積の変動が、各分類群の種多様性と関係しているのかについてモデルを用いて検討する。

3. 研究開発方法

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。

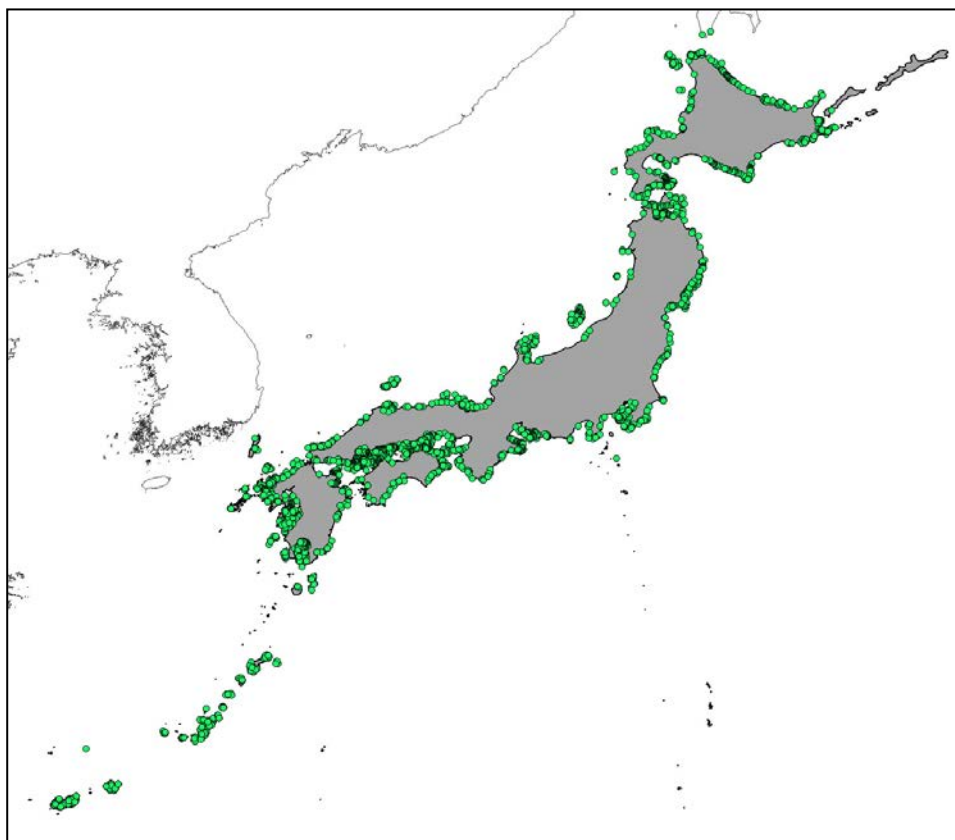
5) リモートセンシングによるアマモ場の時空間変動要因の検討

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. 結果及び考察

1) 海草類データベースの構築

日本国内におけるアマモ類の分布について、アマモ類の遺伝的多様性の解析調査報告書(水研センター)および自然環境基礎調査報告(環境省, 平成20年度)などの書誌情報からデータを収集し、アマモ類22種の4,437件の分布データを得た(図(3)-1)。東南アジアにおける分布情報についても書誌情報からデータを収集し、3,000件の分布情報についてBISMaLへの登録準備を進めている。



図(3)-1 日本沿岸におけるアマモ類の分布情報

2) アマモ場生態系におけるEBSAの選定

アマモ類の生物学的生態系学的に重要な海域（EBSA）の候補地の選定を行なった。他のサブグループと連携してEBSAの評価基準について検討し、CBD-EBSAの7項目のうちアマモ類の特性を反映した6項目に対応した7指標により評価を行なった（表(3)-1）。基準1については、アマモ類の唯一の生息地と遺伝的に特異なアマモの分布地を評価指標とし、前者についてはヒメスガモ、ウミシヨウブの国内唯一の生息地および本州唯一のオオアマモの生息地とし、後者についてはアマモ類の遺伝的多様性の解析調査報告書(水研センター)のFstデータを元に評価を行なった。基準3については環境省のレッドデータリストの絶滅危惧種のランクに基づき各種の生息地にスコアリングを行い評価した。基準4は他のサブグループと共同で、1978-1998年でのアマモ場面積の減少（自然環境保全基礎調査）に基づき評価した。基準5は、一次生産者として、またハビタットとして生物多様性に寄与するアマモ場の機能を、生産量を指標として評価した。文献による生産量のデータに面積をかけて求めた（炭素固定量＝面積 × 株密度 × P/B ratio × 炭素含有率）。基準6は生息するアマモ類の種数を元に評価した。基準7については、他のサブグループと共同で、自然海岸率を元に評価した。なお評価にあたっては、1度グリッドに区分けして行なった。

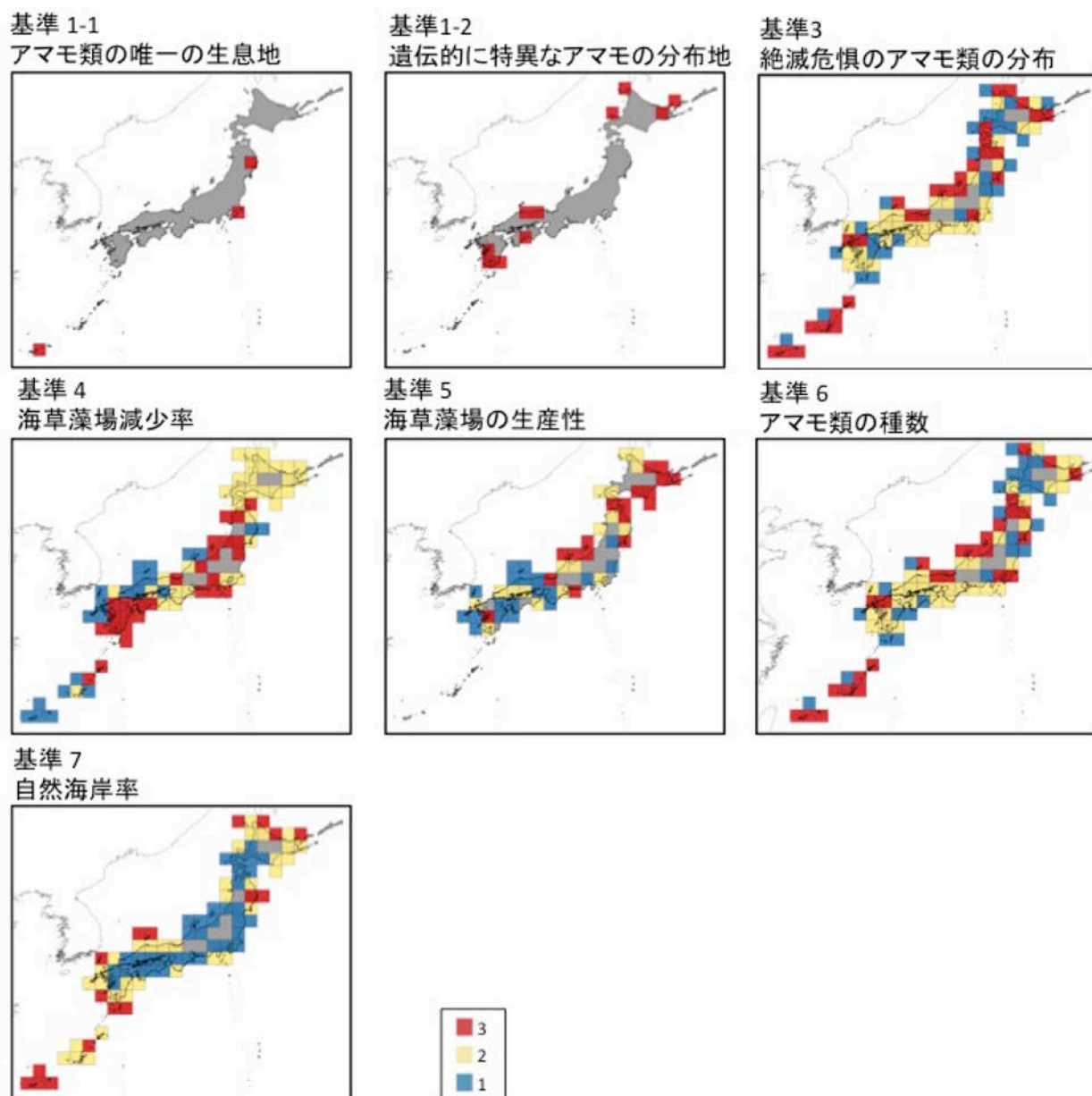
表(3)-1 アマモ類の生物学的生物学的に重要な海域の候補地の選定基準

EBSA選定基準	アマモ場の評価指標
1.唯一性または希少性	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
2.種の生活史における重要性	適切なデータが存在しないため、基準2は使用せず
3.絶滅危惧種または減少しつつある種の生育・生息地	絶滅危惧のアマモ類の分布
4.脆弱性、感受性または低回復性	海草藻場の減少率
5.生物学的生産性	海草藻場の生産性
6.生物学的多様性	アマモ類の種数
7.自然性	自然海岸率

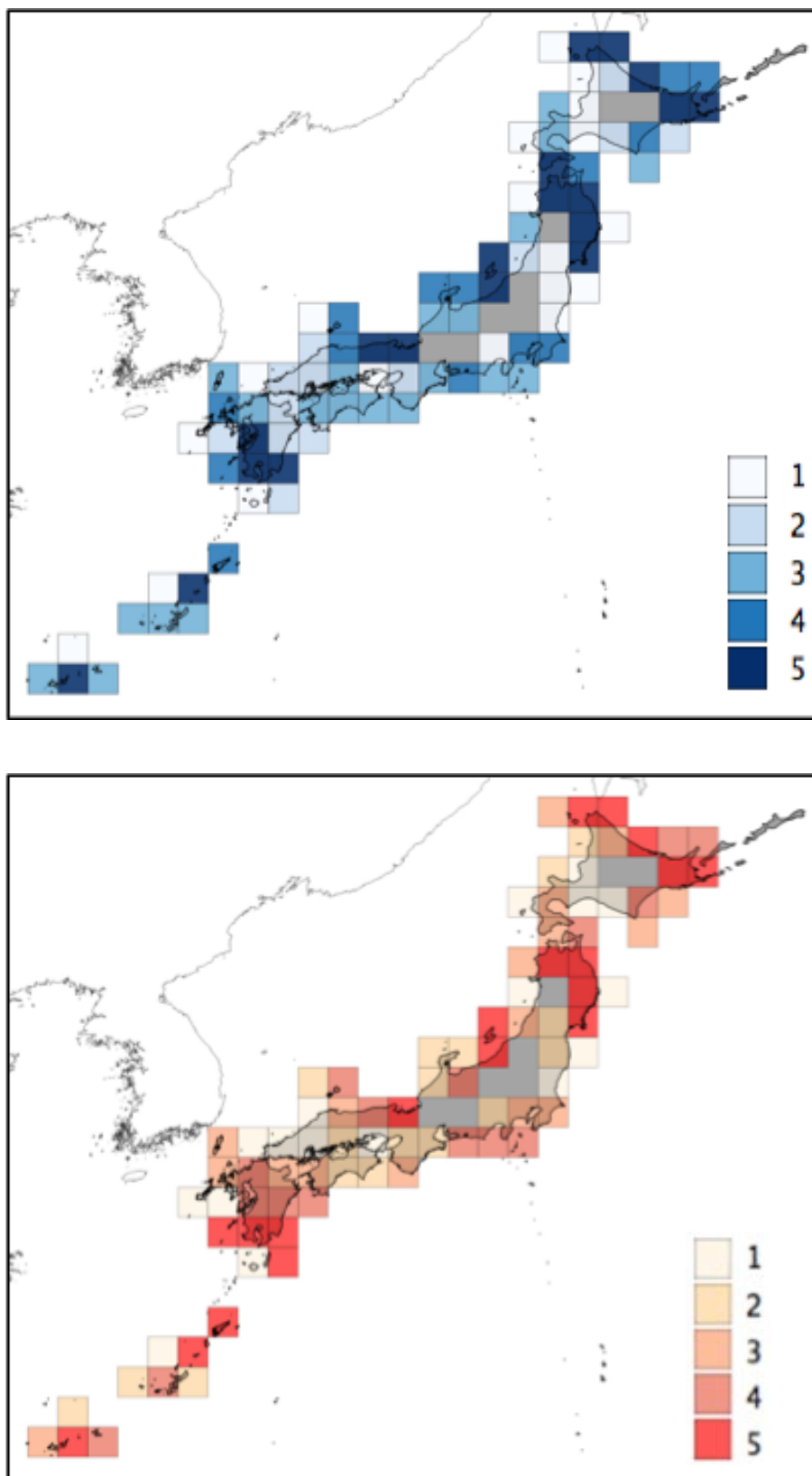
以上の基準をもとにグリッドの値の分布が3等分されるように3段階評価を行なった。各基準における高スコアのグリッドは基準4、基準5以外は亜寒帯から亜熱帯まで偏りなく存在した（図(3)-2）。

この各基準の値に基づいてアマモ類のEBSA候補地の選定を行なった。選定のために、各基準の値を単純に足した総和に基づく方法と相補性解析の2種類の方法を用いた。総和の場合は、グリッ

下の総和値の分布が5等分されるように5段階評価を行った。総和に基づく方法では、情報の少ない基準が全体の評価によく反映されない可能性がある。そこで、相補性解析による結果との比較を行った。相補性解析においては各基準の値に基づき、保全区域を設計する際に広く用いられているソフトウェアであるMarxanを用いて評価した。Marxanでの評価にあたっては、1,000回試行を行い選択された回数を用いた。その結果、選択された評価上位（20%、図中の5）のグリッドは総和・相補性解析ともに大きく変わらなかった（図(3)-3）。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しており、選択された地域は各基準の点数がいずれも高いためと考えられる。アマモ類のEBSA候補地として選択された海域は東北地方および北海道で多い傾向があった。



図(3)-2 アマモ類のEBSA候補地の選定における各基準の評価結果

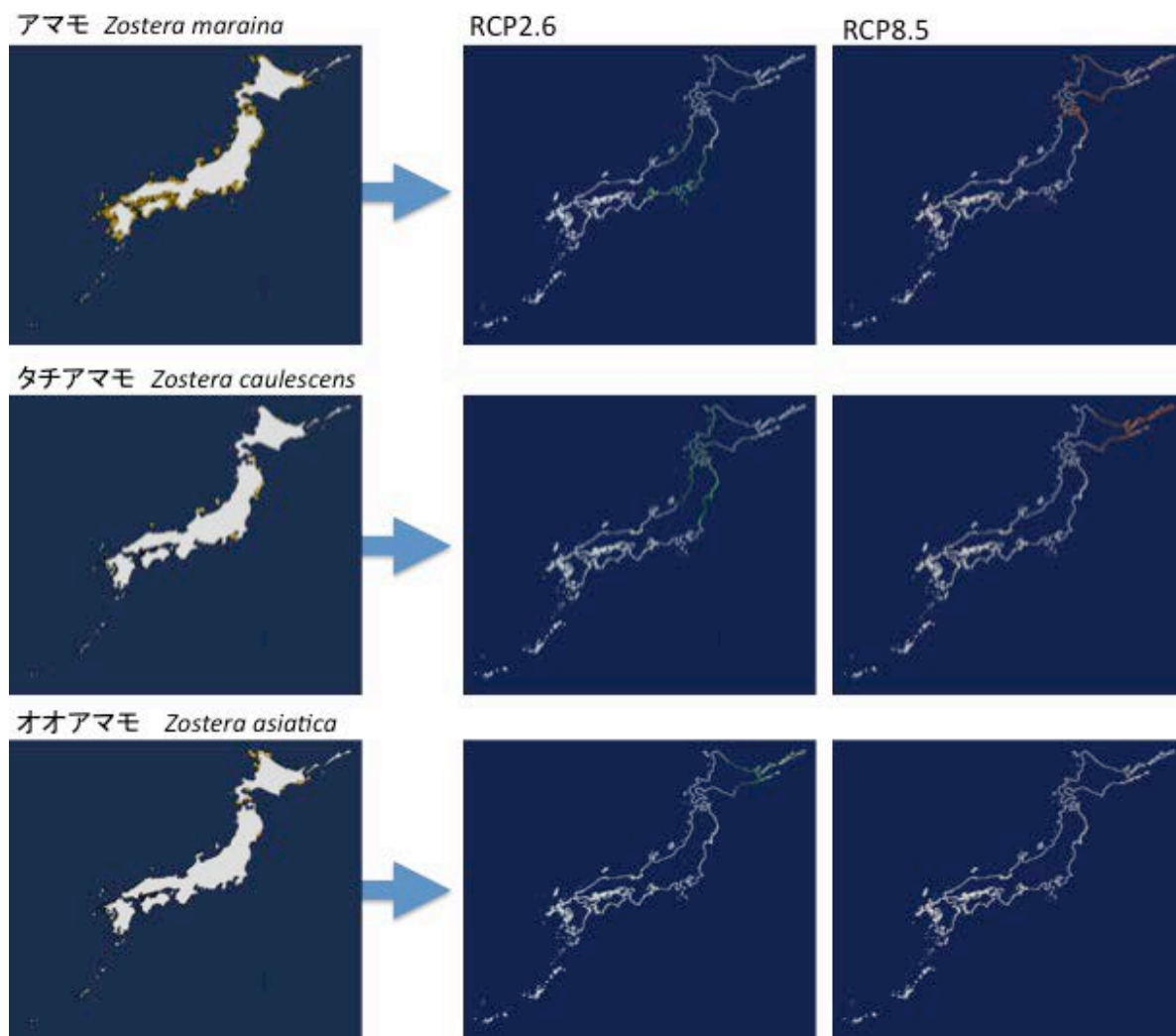


図(3)-3 アマモ類のEBSA候補地の選定結果

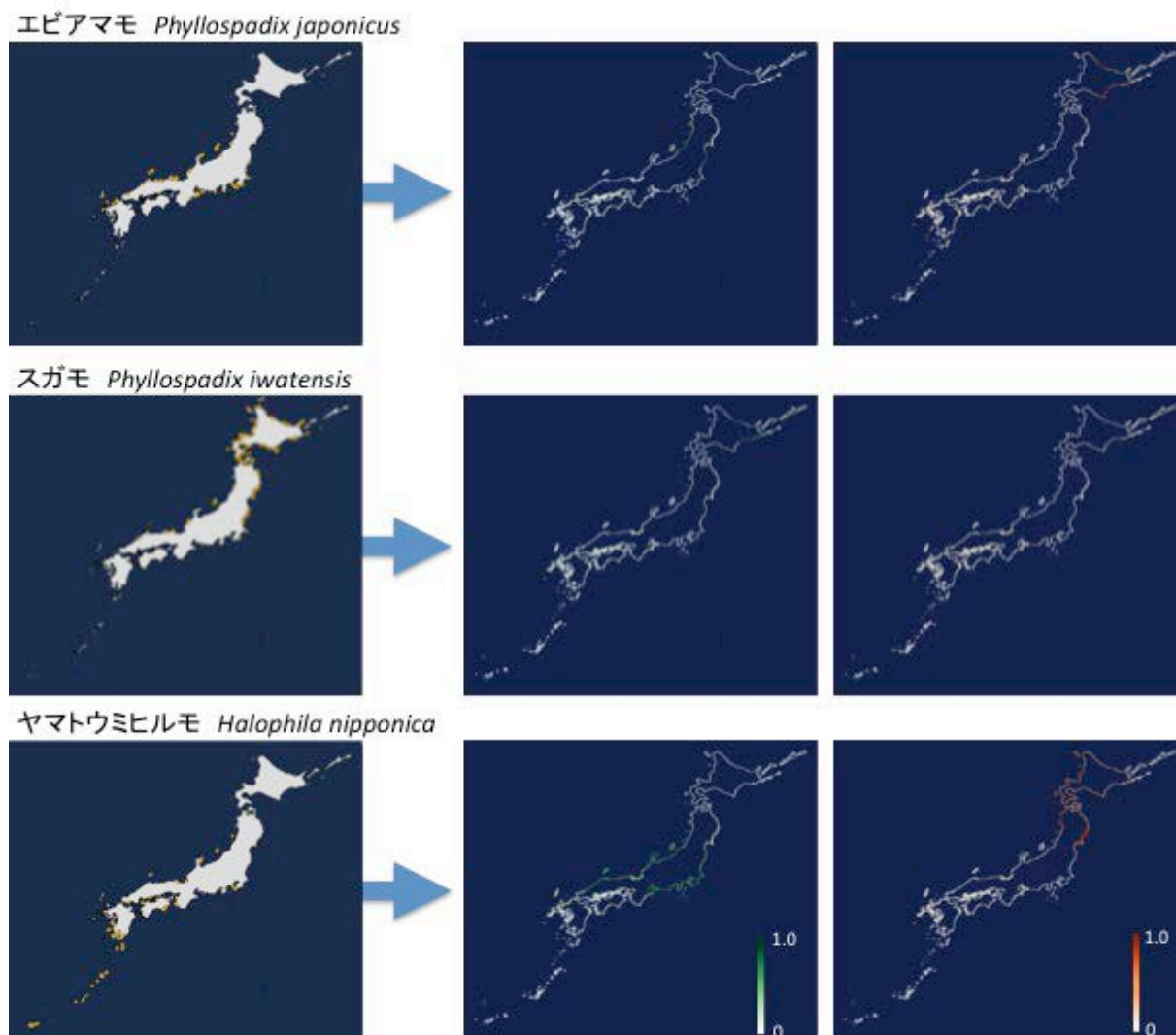
上段：総和による評価結果、下段：相補性解析による解析結果。上位20%（図中5）が候補地。

3) アマモ類の将来分布予測

IPCCがこれまで用いてきたSRESシナリオには、政策主導的な排出削減対策が考慮されていないなどの課題があった。そこで、IPCCの第5次評価報告書に向けて気候変動の予測を行うために、放射強制力（地球温暖化を引き起こす効果）をもたらす大気中の温室効果ガス濃度やエアロゾルの量がどのように変化するか仮定（シナリオ）が用意された。政策的な温室効果ガスの緩和策を前提として、将来の温室効果ガス安定化レベルとそこに至るまでの経路のうち代表的なものを選んだRCP（Representative Concentration Pathways）シナリオが用いられている。RCPシナリオでは、シナリオ相互の放射強制力が明確に離れていることなどを考慮して、2100年以降も放射強制力の上昇が続く「高位参照シナリオ」（RCP8.5）、2100年までにピークを迎えその後減少する「低位安定化シナリオ」（RCP2.6）、これらの間に位置して2100年以降に安定化する「高位安定化シナリオ」（RCP6.0）と「中位安定化シナリオ」（RCP4.5）の4シナリオが選択された。”RCP”に続く数値が大きいほど2100年における放射強制力が大きい。



図(3)-4 Maxentを用いたアマモ類の分布域の将来予測
2090-2100年の最暖月における予測。

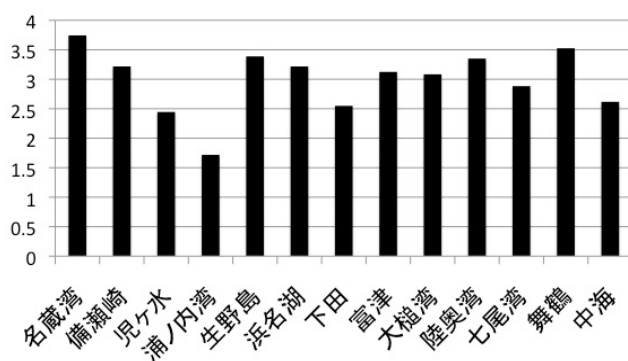


図(3)-4 の続き

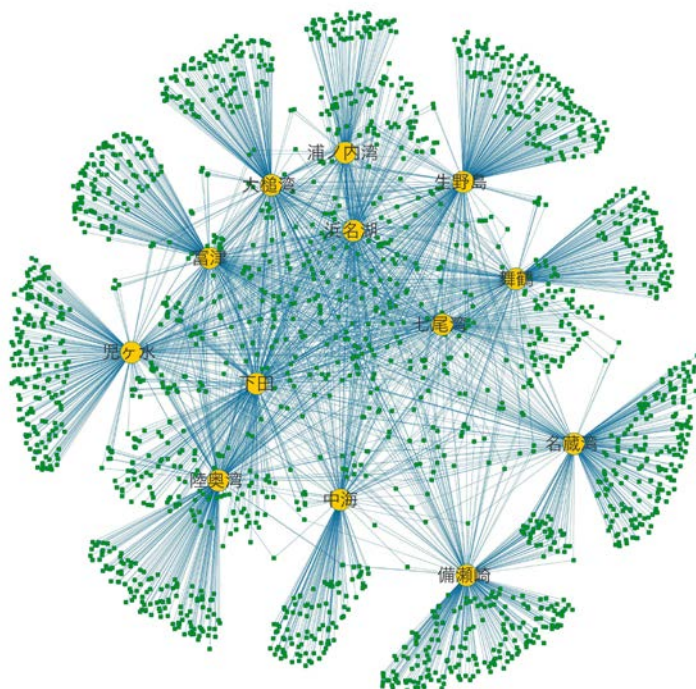
Maxentを用いた将来予測の結果では、いずれも高い精度でモデルが構築され(AUC:0.856~0.996)、いずれのシナリオでも全ての種で分布確率が著しく減少した(図(3)-4)。アマモの場合、RCP8.5では北海道および東北の一部にのみ分布し、RCP2.6でも西日本以南の分布は失われると予測された。タチアマモの場合、RCP8.5では北海道の一部のみ、RCP2.6では東北および北海道沿岸に限られ、オオアマモはRCP8.5では日本沿岸からは分布域が消失すると予測され、RCP2.6でも分布する可能性があったのは北海道沿岸の一部のみであった。エビアマモは現在の分布より大きく変動し、RCP2.6では現在の分布の北限に、RCP8.5では北海道沿岸で分布確率が高かった。スガモの場合は、RCP8.5では北海道沿岸の一部に低い分布確率が認められ、RCP2.6でも分布の可能性が認められたのは北海道沿岸の一部であった。現在南西諸島を中心に分布するヤマトウミヒルモは、RCP8.5では北海道・東北沿岸に、RCP2.6においては現在分布情報の少ない本州中部で高い分布確率が認められた。以上のように、多くの種で東北および北海道沿岸がいずれのモデルにおいても生息地として重要であると推測された。アマモ類のEBSA候補地の選定においても東北および北海道沿岸は重要な海域であり、これらの海域は将来の分布域との両面で重要な海域と考えられる。

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

新規に開発した手法により、迅速に各アマモ場群集の多様度およびコネクティビティを評価することができた。解析により得られた配列情報を97%の相同性により操作的分類群(OTU)に区分し、これに基づき各アマモ場における群集の多様度が評価された(図(3)-5)。各アマモ場間で多様度が大きく異なる事が分かる。また図3-(6)に示す様に各アマモ場間で共通するOTUや各アマモ場におけるユニークなOTUをネットワークとして可視化することができた。本手法はEBSA選定にあっても有用と考えられ、例えば、多様度からは浦ノ内湾は選定の上で優先度が最も低い、OTUネットワークからは浦ノ内湾にもユニークなOTUが多く存在することが分かる。さらにMaxentによる分布推定とMarxanによる相補性解析を行なうことで重要海域の選定に役立てることが出来ると考えられる。



図(3)-5 各アマモ場におけるメイオベントス群集の多様度指数 (Shannon)



図(3)-6 各アマモ場間のOTUネットワーク図

緑の点は操作的分類群(OTU)を示し、線は各地点における各OTUの分布を示す。

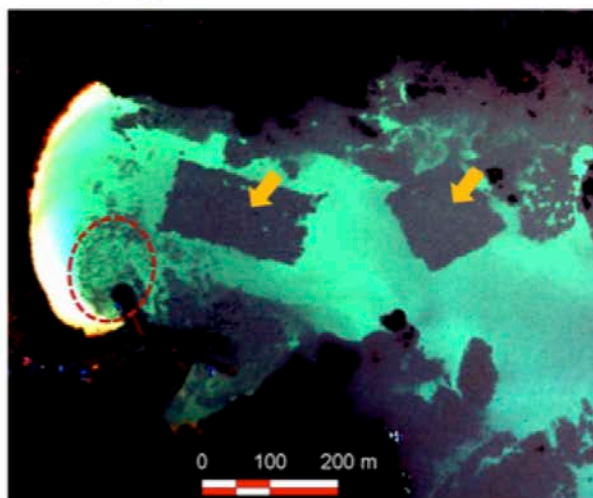
5) リモートセンシングによるアマモ場の時空間変動要因の検討

図(3)-7に同海域の1978年の航空写真と2009年の衛星画像を示す。後者では突堤内側から湾の中央に向かって砂底に広くアマモ場が分布していることが確認できたが、前者ではほぼ見られなかった(図(3)-7中の赤色の破線で囲まれた範囲)。同海域では、1991～1992年と1994～1995年の2回にわたり、水産資源増殖を目的とした県事業での大規模な天然石の投入による魚礁の造成が行われた(図(3)-7右図中の黄色い矢印で示された2つの四角形の影)。その結果、造成された魚礁が消波効果を及ぼした。この湾奥の波浪環境の静穏化にともなって底質の安定化が生じ、アマモ場の拡大につながったことが示唆された。EBSA選定にあたっては、このような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る。

1978年2月27日



2009年5月10日



図(3)-7 静岡県下田市外浦湾の1978年撮影の航空写真(左, 国土地理院)および2009年撮影の衛星画像(右, GeoEye-1衛星)

衛星画像はさざ波による太陽光の海面反射を補正したマルチスペクトル画像のトゥルーカラー表示。図中の赤い破線はアマモ場が出現した範囲を示す。右図中の黄色い矢印で示された四角形の影は天然石の投入された地先型増殖場。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

アジアおよび日本周辺海域から広範なアマモ類の多様性データを収集できた。同時にデータの不足している海域や品質などの問題についても明らかにできた。気候変動シナリオに基づいた日本沿岸におけるアマモ類の分布予測により多くの種で分布域は大きく減少すると予測された。また、新規に開発した手法により、迅速に各アマモ場群集の多様度およびコネクティビティを評価することができた。リモートセンシングにより、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について知見を得ることができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

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

日本学術振興会アジア研究教育拠点事業（Asian CORE）、東南アジアにおける沿岸海洋学の研究教育ネットワーク構築、研究代表者、Dr. Tran Dinh Lan・Institute of Marine Environment and Resources・ベトナム、Prof. Fatimah M.D. Yusoff・Universiti Putra Malaysia・マレーシア、Dr. Dirhamsyah・Research Center for Oceanography LIPI・インドネシア、Prof. Miguel D. Fortes・University of the Philippines・フィリピン、Ass. Prof. Voranop Viyakarn・Chulalongkorn University・タイ。

参加・連携状況は、東京大学大気海洋研究所の西田周平が主導し、アジア海域の生物多様性、物理過程、および汚染物質に関する調査とデータベースの整備を推進した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 澤山周平、小松輝久：La Mer, 48, 87-100 (2011), 衛星画像を用いた石西礁湖の底質環境マッピングからの生態情報の抽出
- 2) T. KOMATSU, T. SAGAWA, S. SAWAYAMA, H. TANOUE, A. MOHRI and Y. SAKANISHI: In Sustainable Development - Education, Business and Management - Architecture and Building Construction - Agriculture and Food Security (ISBN 978-953-51-0116-1) edited by C. Ghenai, p.145-160 (2012), Mapping is a key for sustainable development of coastal waters.
- 3) T. KOMATSU, T. NOIRAKSAR, S. X. SAKAMOTO, S. SAWAYAMA, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUALAONG 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.
- 4) S. SAWAYAMA, T. KOMATSU and N. NURDIN: Proceedings of SPIE, 8525, 85250P-8, doi: 10.1117/12.975777 (2012), Coral reef habitats mapping of Spermonde Archipelago using remote sensing compared with in situ survey of fish abundance.
- 5) P. M. THU, T. P. H. SON and T. KOMATSU: Proceedings of SPIE, 8525, 85250T-8, doi: 10.1117/12.977422 (2012), Using remote sensing technique for analyzing temporal changes of seagrass beds by human impacts in waters of Cam Ranh Bay, Vietnam.
- 6) S. PHAUK, T. KOMATSU, S. SAWAYAMA and T. NOIRAKSAR: Proceedings of SPIE, 8525, 85250V-6, doi: 10.1117/12.999310 (2012), Marine habitat mapping: using ALOS AVNIR-2 satellite image for seagrass beds at Rabbit (Koh Tonsay) Island, Cambodia.

- 7) S. SASA, S. SAWAYAMA, S. X. SAKAMOTO, R. TSUJIMOTO, G. TERAUCHI, H. YAGI and T. KOMATSU: Proceedings of SPIE, 8525, 85250X-6, doi: 10.1117/12.999307 (2012), Did huge tsunami on 11 March 2011 impact seagrass bed distributions in Shizugawa Bay, Sanriku Coast, Japan?
- 8) C. V. LUONG, N. V. THAO, T. KOMATSU, N. D. VE and D. D. TIEN: Proceedings of SPIE, 8525, 852512-13, doi: 10.1117/12.977277 (2012), Status and threats on seagrass beds using GIS in Vietnam.
- 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) T. KOMATSU, T. OHTAKI, S. SAKAMOTO, S. SAWAYAMA, Y. HAMANA, M. SHIBATA, K. SHIBATA and S. SASA: In Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems, edited by Ceccaldi, H.J., Hénocque, Y., Koike, Y., Komatsu, T., Stora, G. and Tusseau-Vuillemin, M.-H., Springer International Publishing Switzerland, Cham, p. 43-53 (2015), Impact of the 2011 Tsunami on seagrass and seaweed beds in Otsuchi Bay, Sanriku Coast, Japan.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) T. KOMATSU, T. NOIRAKSAR, S. X. SAKAMOTO, S. SAWAYAMA, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUALAONG and S. NISHIDA: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Detection of seagrass beds in Khunk Graben Bay, Thailand, using ALOS AVNI2 image."
- 2) S. SAWAYAMA, T. KOMATSU and N. NURDIN: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Coral reef habitats mapping of Spermonde Archipelago using remote sensing compared with in situ survey of fish abundance."
- 3) P. M. THU, T. P. H. SON and T. KOMATSU: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Using remote sensing technique for analyzing temporal changes of seagrass beds by human impacts in waters of Cam Ranh Bay, Vietnam."
- 4) S. PHAUK, T. KOMATSU, S. SAWAYAMA and T. NOIRAKSAR: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Marine habitat mapping: using ALOS AVNIR-2 satellite image for seagrass beds at Rabbit (Koh Tonsay) Island, Cambodia."
- 5) S. SASA, S. SAWAYAMA, S. X. SAKAMOTO, R. TSUJIMOTO, G. TERAUCHI, H. YAGI and T. KOMATSU: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Did huge tsunami on 11 March 2011 impact seagrass bed distributions in Shizugawa Bay, Sanriku Coast, Japan?"
- 6) C. V. LUONG, N. V. THAO, T. KOMATSU, N. D. VE AND D. D. TIEN: the 8th SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, Kyoto, Japan, 2011
"Status and threats on seagrass beds using GIS in Vietnam."

- 7) S. NISHIDA and H. MIYAMOTO: Zooplankton biodiversity in the Indo-West Pacific Region : LIPI-JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Jakarta, Indonesia, 2012
"A case study for data mining, compilation, analysis and prediction."
- 8) S. NISHIDA, S. SAWAMOTO, H. MIYAMOTO, J. NISHIKAWA, A.R.S. BALQIS, M. ABDULLAH-TAHHIR, K. PERUMAL, Z.A. RANI, B.H.R. OTHMAN, and F.M. YUSOFF: LIPI-JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Jakarta, Indonesia, 2012
"Zooplankton in seagrass areas of Merambong and Tinggi Islands, Johor, Malaysia: A preliminary report."
- 9) K. HAYASHIZAKI, S. NISHIDA, T. TSUNODA, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, J. NISHIKAWA, S. SAWAMOTO , A.R.S. BALQIS, M. ABDULLAH-TAHHIR, K. PERUMAL, F.M. YUSOFF, Z.A., RANI, Z. SAMAD, G. WANSHI, B.H.R. OTHMAN, Z. MUTA HARA, S.B. JAPAR, A. PRATHEP, P. TANTIPRAPAS and E. RATTANACHOTE: LIPI-JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Jakarta, Indonesia, 2012
"Preliminary report on food web analysis of seagrass bed ecosystem using carbon and nitrogen stable isotopes."
- 10) H. B. ROMDHANE, T. KOMATSU, N. NURDIN, M. LANURU and T. YANAGI: LIPI-JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Jakarta, Indonesia, 2012 "Remote sensing of coral reef habitats in a tropical island with combining satellite-born optical and acoustic sensors: a case of Barrang Lompo Island, Spermonde Archipelago, South Sulawesi, Indonesia."
- 11) M. HASHIM, M. I. SEENI MOHD, N. N. YAHYA, S. AHMAD and T. KOMATSU: LIPI-JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Jakarta, Indonesia, 2012
"Mapping of sea bottom features using satellite remote sensing techniques."
- 12) H. MIYAMOTO, M. KOTORI, H. ITOH and S. NISHIDA: Biodiversity in Changing Coastal Waters of Tropical and Subtropical Asia, Amakusa, Japan, 2012
"Species diversity of pelagic chaetognaths in the Indo-Pacific Region."
- 13) M. SANO, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, T. KOMATSU and S. NISHIDA: JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Chiangmai, Thailand, 2013
"Estimating biodiversity of seagrass ecosystems in Japan and Southeast Asia"
- 14) K. HAYASHIZAKI, S. NISHIDA, T. TSUNODA, M. SANO, F. M. YUSOFF, M. H. ZAKAIRA, J. S. BUJANG, A. PRATHEP, P. TANTRIPRAPAS, E. RATTANACHOT, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, J. NISHIKAWA, S. SAWAMOTO and B. H. R. OTHMAN: JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Chiangmai, Thailand, 2013
"Food web analysis on seagrass bed ecosystem in Malaysia using carbon and nitrogen stable isotops"
- 15) T. KOMATSU , T. NOIRAKSAR, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUALAONG, S. SAWAYAMA and S. NISHIDA : JSPS Joint International Seminar on Coastal Ecosystems in Southeast Asia, Chiangmai, Thailand, 2013

- “Development of decision tree method to classify seagrass beds: example in Kung Kraben Bay, Gulf of Thailand, with use of ALOS AVNIR-2”
- 16) T. KOMATSU, T. NOIRAKSAR, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUALAONG, S. SAWAYAMA and S. NISHIDA: 3rd International Marine Protected Areas Congress, Marseille, France, 2013
 “An idea for setting regional MPA or EBSA from a case study research based on response of seagrass species to global warming around Japan under A2 scenario”
- 17) 小松輝久：S9 公開講演会、東京大学弥生講堂（2014）
 「東南アジアにおける海洋の生物多様性－現状と課題－」
- 18) M. SANO, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, R. KANEKO, K. KOGURE, T. KOMATSU and S. NISHIDA: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014
 “Application of metagenomic community analysis as a biodiversity measure for seagrass ecosystems.”
- 19) N. NURDIN, T. KOMATSU, AGUS and M. AS AKBAR: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014
 “Multisensor and multitemporal images for damage detection on coral reef, Small Island - Spermonde Archipelago, Indonesia. “
- 20) T. KOMATSU, T. NOIRAKSAR, S. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, S. PHAUK, P. THONGDEE, S. JUALAONG, S. SAWAYAMA and S. NISHIDA: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014
 “Can a decision tree method classify seagrass beds in Kung Kraben Bay, Gulf of Thailand, with use of ALOS AVNIR-2?”
- 21) M. HASHIM, N. N. YAHYA, S. MISBARI, S. AHMAD and T. KOMATSU: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014
 “Satellite-based change detection of seagrass biomass in Merambong shoal. WESTPAC 9th International Scientific Symposium.”
- 22) S. SAWAYAMA, T. KOMATSU, N. NURDIN, S. X. SAKAMOTO and M. AS AKBAR: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014
 “Developing the research on fish-habitat relationships in Indonesian coral reefs using remote sensing.”
- 23) S. WOUTHUYZEN, J. LORWENS and T. KOMATSU: WESTPAC 9th International Scientific Symposium, Nha trang, Vietnam, 2014 “Observation on the coastal ecosystems of the Numfor Island, Papua, Indonesia Using Landsat Satellite.”
- 24) 佐野雅美・阪本真吾・宮本洋臣・小松輝久・木暮一啓・西田周平：2014年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会（2014）
 「マレーシア・ジョホール州におけるアマモ場メイオベントス群集のメタゲノム解析」
- 25) M. SANO, S. X. SAKAMOTO, H. MIYAMOTO, R. KANEKO, K. KOGURE, T. KOMATSU and S. NISHIDA: World Conference on Marine Biodiversity. Qingtao, China, 2014. “Metagenomic analysis of meiobenthic diversity in seagrass ecosystems in Johor, Malaysia.”

- 26) S. X. SAKAMOTO, S. SASA, S. SAWAYAMA, G. TERAUCHI, T. MAEDA, R. TSUJIMOTO and T. KOMATSU: The 11th International Seagrass Biology Workshop. Sanya, China, 2014.
 “Disturbance and recovery of seagrass beds in Shizugawa Bay after the huge tsunami of the 2011 Tohoku earthquake. “
- 27) M. HASHIM, S. MISBARI, N. N. YAHYA, S. AHMAD and T. KOMATSU: MoE-UPM-JSPS (ACORE-COMSEA) International Workshop on Integrative Research on Seagrass Ecosystems (IER) in Southeast Asia. Marine Science Center, Universiti Putra Malaysia, Port Dickson, Malaysia, 2014
 “Satellite-based seagrass habitat mapping at two different coastal waters clarity with input from SONAR observation and analysis.“
- 28) M. HASHIM, S. MISBARI, N. N. YAHYA, S. AHMAD and T. KOMATSU: MoE-UPM-JSPS (ACORE-COMSEA) International Workshop on Integrative Research on Seagrass Ecosystems (IER) in Southeast Asia. Marine Science Center, Universiti Putra Malaysia, Port Dickson, Malaysia, 2014
 “Satellite-based seagrass habitat mapping at two different coastal waters clarity with input from SONAR observation and analysis.“
- 29) M. SANO, S. NISHIDA and F.M. YUSOFF: MoE-UPM-JSPS (ACORE-COMSEA) International Workshop on Integrative Research on Seagrass Ecosystems (IER) in Southeast Asia. Marine Science Center, Universiti Putra Malaysia, Port Dickson, Malaysia, 2014
 “Metagenomic analysis of meiobenthic communities.“
- 30) 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”
- 31) S. NISHIDA and T. KOMATSU: International Cooperation Symposium for Marine Biodiversity 2015 “Integrated Policy and Exchange for Management of Marine Living Resources”, Seoul, Korea, 2015
 “Marine Biodiversity in Southeast Asia: Outcome from Multilateral Collaboration”,
- 32) 西田周平：第15回日本分類学会連合公開シンポジウム：東南アジアにおける生物多様性研究最前線 ～現在、そして未来～ (2016)
 「東南アジアの海洋生物多様性：研究・教育への取り組みと最近の成果」

(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

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(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

生物・生態系環境研究センター

山野博哉・河地正伸

<研究協力者>

国立研究開発法人国立環境研究所

本郷宙軌・屋良由美子・Jorge Garcia-Molinos・
熊谷直喜

平成23～27年度累計予算額：53,443千円（うち平成27年度：9,960千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

本研究では、サンゴ礁域の生物多様性の状況と変動を定量評価するため、サンゴの分布データを収集し、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。さらに、IPCC気候変動シナリオによる将来予測を試行して、サンゴ分布は水温上昇と海洋酸性化の影響を大きく受けることを明らかにし、水温上昇による変化に対応した保護区の設計方法を考案した。

[キーワード]

サンゴ礁、EBSA、気候変動、陸域負荷

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。

サンゴは、褐虫藻と呼ばれる微細藻類を共生させており、それが光合成を行うことによって一次生産を担う、生態系の基盤となる生物である。また、サンゴは骨格を形成し、三次元的な構造を持つため、多様な生物の棲み場所となる。こうしたことから、サンゴ礁は地球表面のわずか0.1%を占めるのみであるが、そこには約9万種の生物が生息している。しかしながら、サンゴ礁は気候変動や土砂流入など、環境変動の影響を特に受けやすい生態系とされ、愛知目標10において、「2015年までに、気候変動又は海洋酸性化により影響を受けるサンゴ礁その他の脆弱な生態系について、その生態系を悪化させる複合的な人為的圧力を最小化し、その健全性と機能を維持する。」と名指しされている。過去からのサンゴ分布の変遷を明らかにし、重要海域の選定や環境変動の影響評価を行うことが急務である。

2. 研究開発目的

本研究においては、日本近海を対象とし、過去から現在にかけてのサンゴ分布データを収集・整備する。整備したデータベースに基づき、環境変動の影響を広域で明らかにするとともに、EBSAの評価基準によりサンゴの多様性を保全するための重要海域の選定試行を行う。さらに、水温上昇と海洋酸性化にともなう分布予測を行い、将来の保護区設計を行う。

3. 研究開発方法

(1) データベース作成と変化検出

日本においては古くから水温観測とサンゴの分布調査が行われてきた。水温の観測は100年以上前から行われており、日本近海においては、水温が最近100年間で0.7-1.6度上昇したことが明らかとなっている。一方、サンゴの分布調査は80年前から行われており、調査結果のデータベース化を行って、水温とサンゴ分布を比較することにより、水温上昇をはじめ環境変化の影響を評価できると期待される。

サンゴ分布の調査時期は、大きく以下の4つの時期に分けられる。

1) 1930年代

日本周辺のサンゴ分布を初めて調べたのは東北帝国大学（現在の東北大学）の矢部博士と杉山博士であった。両博士は、マーシャル諸島やパラオから本州にかけて19の地域でサンゴの分布を調べ、標本を採取した。現在、その標本は東北大学博物館に所蔵されている。

2) 1960～1970年代

海中公園を設定するために、日本の各都道府県で海洋調査が行われた。このときにサンゴ調査も行われ、各県で出現したサンゴの種リストが報告書に掲載されている。

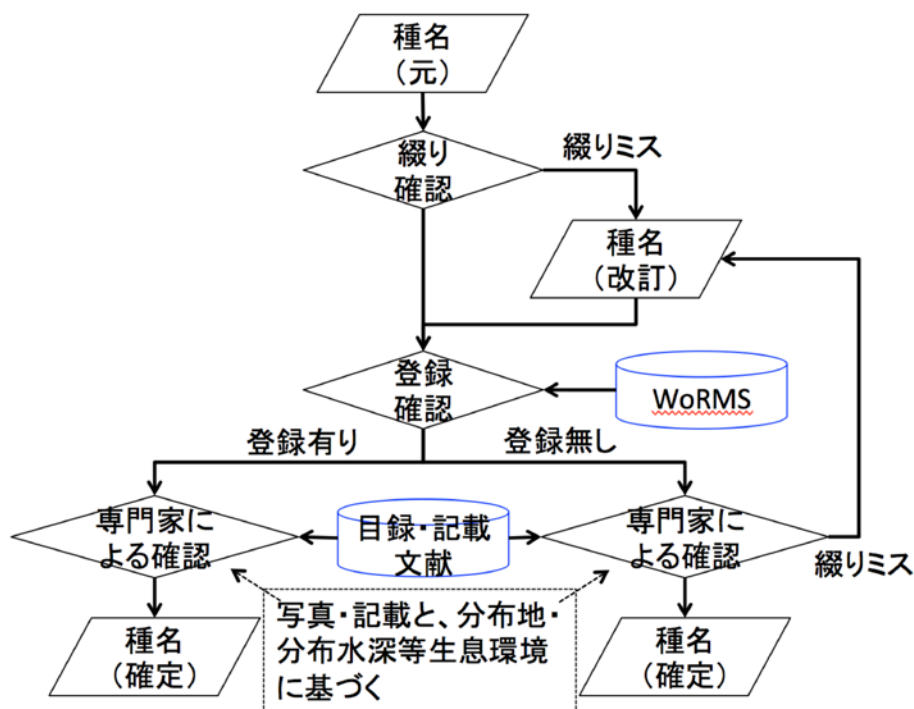
3) 1980～1990年代

世界的なサンゴ研究者のオーストラリア海洋研究所のVeron博士が日本を訪れ、沖縄から本州にかけてのサンゴ分布を明らかにした。現在、日本で最も良く使われている1995年発行の西平・Veronのサンゴ図鑑はこの時の成果に基づいている。

4) 1990年代後半～2000年代

環境省モニタリングサイト1000事業、沖縄県定点調査をはじめ、様々な主体によって各地のサンゴ分布が調べられている。

以上の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。また、元文献の形態の記載や写真、生息環境の情報に基づいて、誤同定と判断される種に関して種名の改訂を行った（図(4)-1）。DarwinCore形式にデータを整形し、JAMSTECの国際海洋環境情報センター（GODAC）が運用するBiological Information System for Marine Life (BISMaL)に登録した。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た。



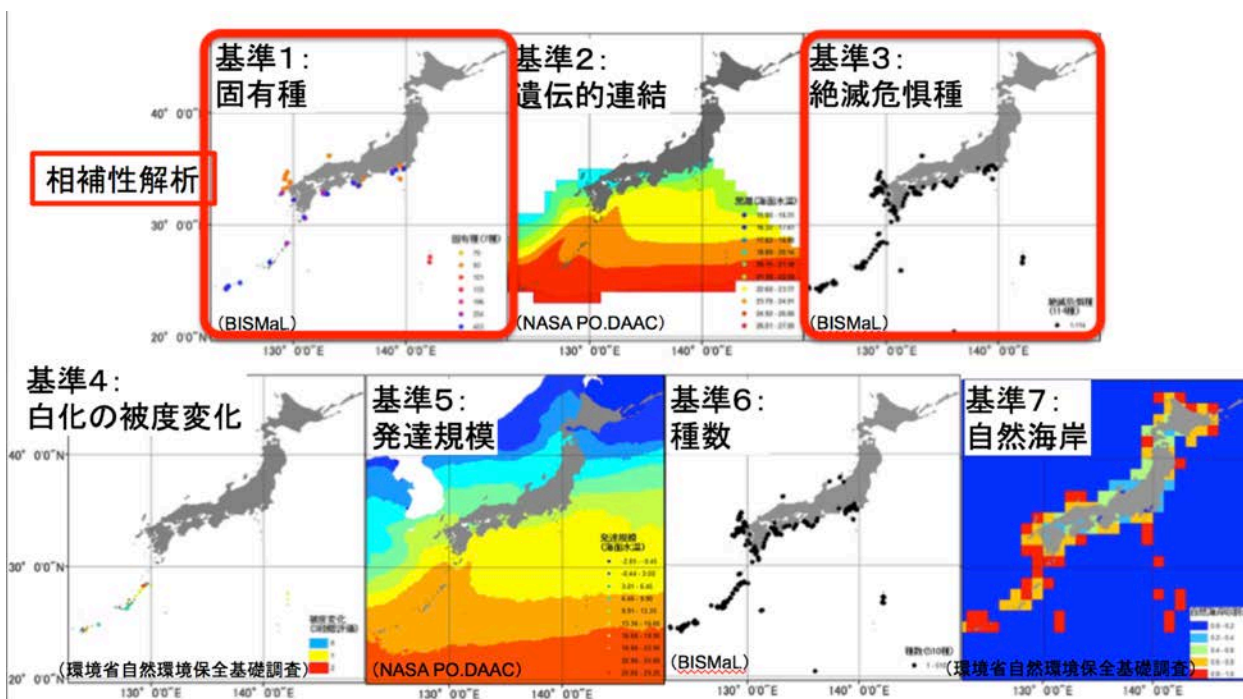
図(4)-1 サンゴ種分布データベースの作成フローチャート

(2) EBSA選定

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。サブテーマ(1)と情報の共有を行ってサンゴを考慮したカスタマイズを行い、基準を選定した(表(4)-1、図(4)-2)。サンゴ種分布データベースは基準1,3,6に活用した。基準2に関しては、サンゴの卵や幼生を輸送する日本近海の海流データに基づいて海域間の連結性を評価した。基準4に関しては、環境省自然環境保全基礎調査(1996年)及びサンゴ礁分布図(2008年)のサンゴ被度を比較した。これにより、1998年の大規模白化現象前後の変化を検出した。基準5に関しては、サンゴ礁の発達を規定する水温に基づき評価した。基準7に関しては、環境省自然環境保全基礎調査のデータから自然海岸の割合を求めた。各項目で1点から3点までの評点を付け、総合評価を行った。

表(4)-1 サンゴ礁域におけるEBSA基準の内容

	評価内容
1. 唯一性、または希少性 Uniqueness and rarity	固有種の相補性を基準に選定（選択回数が多いほど点が高い）
2. 種の生活史における重要性 Life history stages of species	遺伝的連結性を考慮（上流側が点が高い）
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	絶滅危惧種の相補性を基準に選定（選択回数が多いほど点が高い）
4. 脆弱性、感受性または低回復性 Vulnerability	1998年白化後の被度変化（回復低いほど点が高い）
5. 生物学的生産性 Biological productivity	サンゴ礁の発達規模を規定する水温（発達がよいほど点が高い）
6. 生物学的多様性 Biological diversity	種数（種数が多いほど高い）
7. 自然性 Naturalness	自然海岸（割合が多いほど高い）



図(4)-2 サンゴ礁域におけるEBSA基準（表(4)-1）に用いたデータのマッピング結果

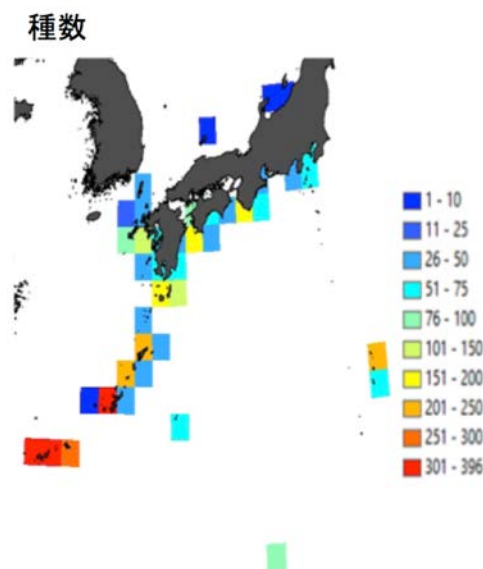
（3）将来予測

サンゴは炭酸カルシウム骨格を形成するため、将来予測を行うためには、水温上昇のみならず、二酸化炭素が海水に溶け込んで起こる「海洋酸性化」の影響を評価する必要がある。水温と海洋酸性化両方を計算できるNCARのモデルに基づき、シナリオとしてはこのまま二酸化炭素の排出を続

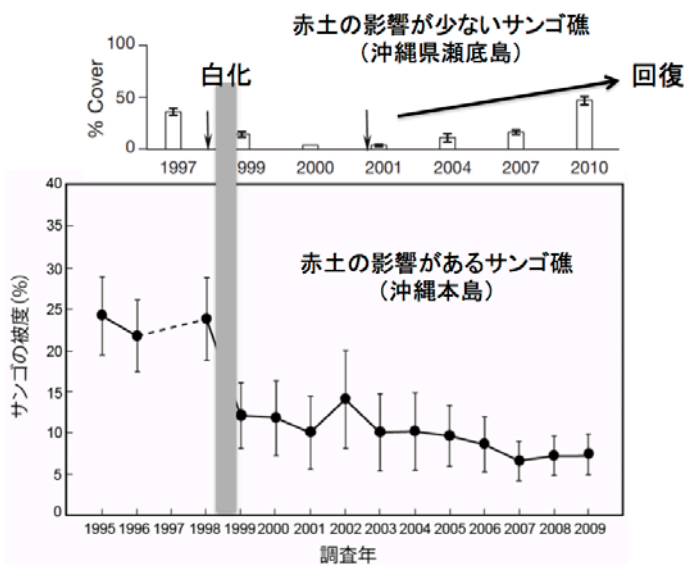
けるなりゆき（SRES A2）と低炭素（SRES B1）シナリオを用いて将来の水温変化と海洋酸性化を求めた。サンゴの分布限界に関しては、文献調査及びデータベースから検出したサンゴ分布限界に基づき、水温閾値を最寒月の平均水温10度、最暖月の平均水温30度、海洋酸性化閾値を海水中のアラゴナイト（サンゴの骨格を形成する炭酸カルシウム）飽和度2.3と設定した。なお、サンゴが将来の環境に適応できる可能性はあるが、本予測ではそれは考慮していない。さらに、CIMIP5のシナリオを用いて予測結果を更新し、将来の分布変化を考慮した保護区的设计可能性を検討した。

4. 結果及び考察

(1) データベース作成と変化検出



図(4)-3 作成したサンゴ種分布データベースに基づく日本周辺海域のサンゴ種数



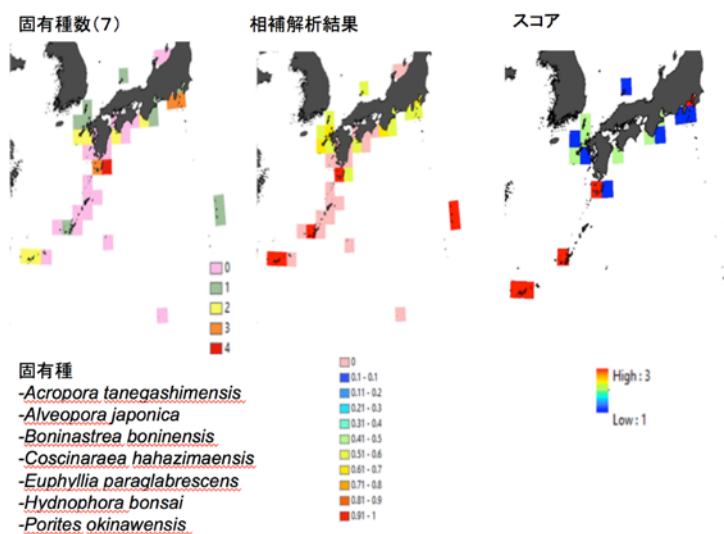
図(4)-4 沖縄県瀬底島と沖縄本島におけるサンゴの白化と回復

陸域負荷の大きい沖縄本島周辺においては白化からのサンゴの回復が観察されない。

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、日本全国のサンゴ分布状況を明らかにした(図(4)-3)。過去から現在の分布データを比較したところ、温帯域において4種のサンゴ類(クシハダミドリイシ、スギノキミドリイシ、エンタクミドリイシ、シコロサンゴ)が年あたり14kmの速度で北上したことを確認した。一方、亜熱帯域では、1998年の大規模白化により劇的に減少した種(ショウガサンゴ)、変化が認められない種(コブハマサンゴ)、また減少から増加に転じた種(ハナヤサイサンゴ)など種ごとに変動の違いが認められた。サンゴ被度については、河川からの土砂流入の影響のある沖縄本島周辺においては、1998年の白化以降サンゴ被度が回復していないことが明らかとなった(図(4)-4)。一方で、土砂流入の影響の少ない島(瀬底島)においては、1998年の白化で被度が減少したものの、その後回復が見られることが示されている。これらにより、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。

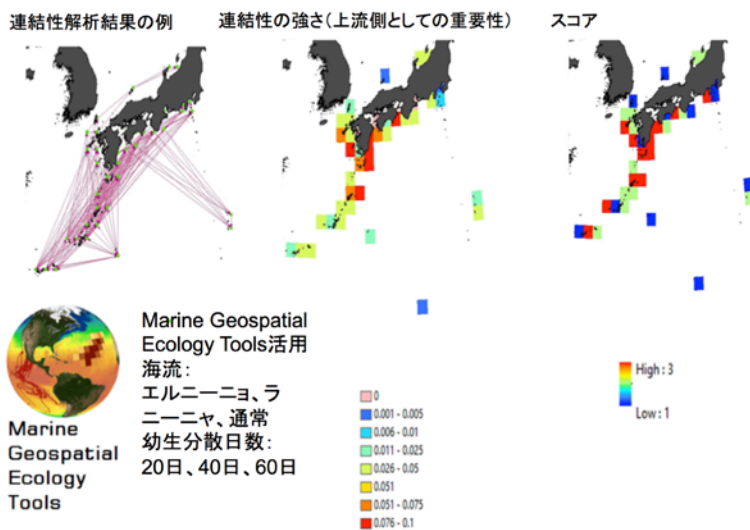
(2) EBSA選定

EBSA基準に基づく評価(図(4)-5)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(図(4)-6)。

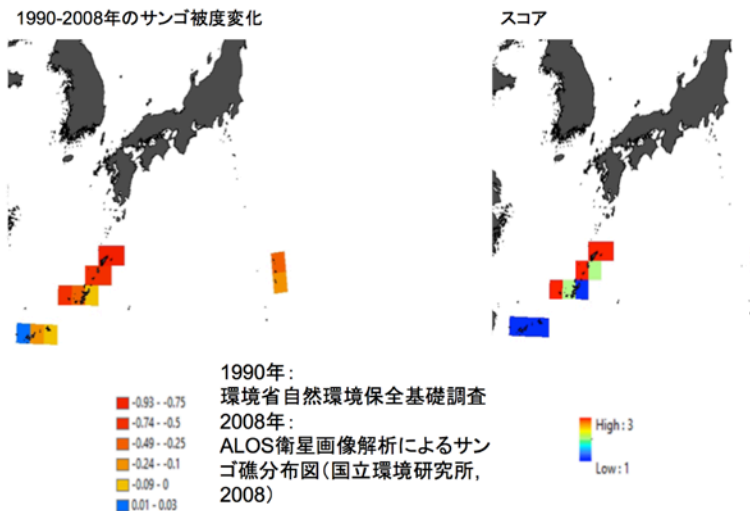


基準 1

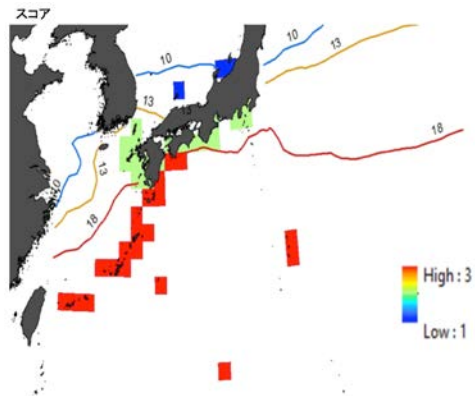
図(4)-5 EBSAの各基準の評価とそれに基づくスコアの例



基準 2

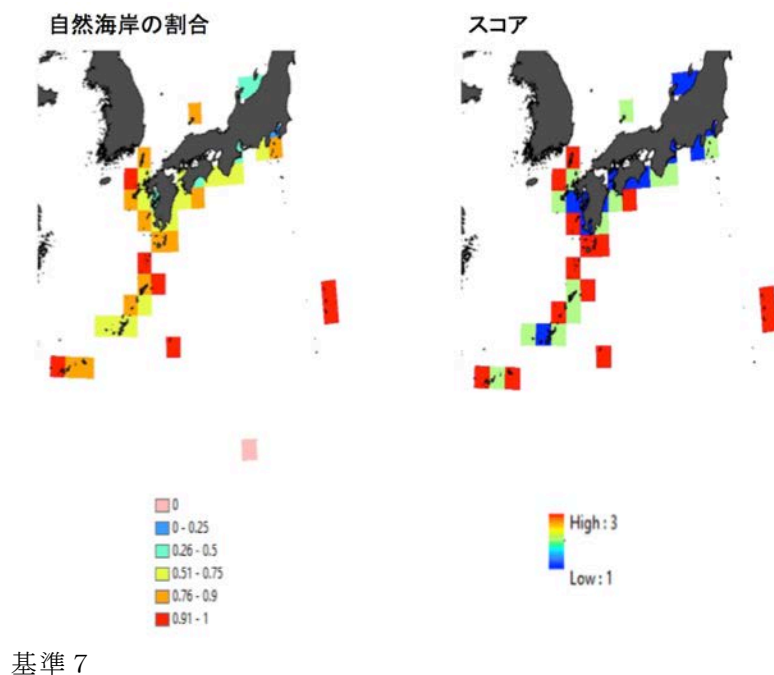


基準 4



基準 5

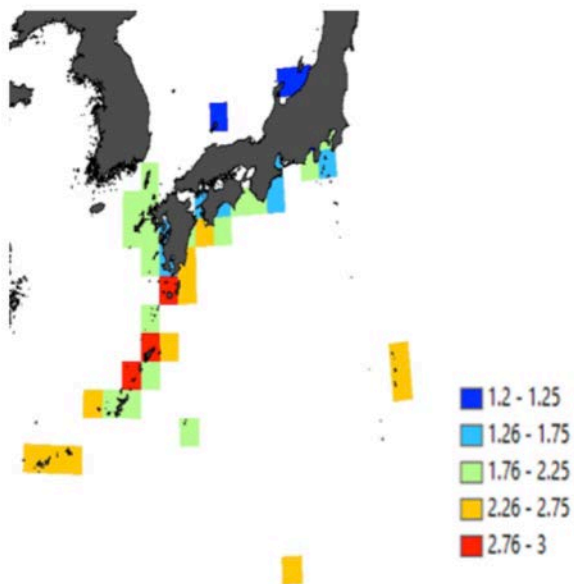
図(4)-5 の続き



基準 7

図(4)-5 の続き

スコアの平均値

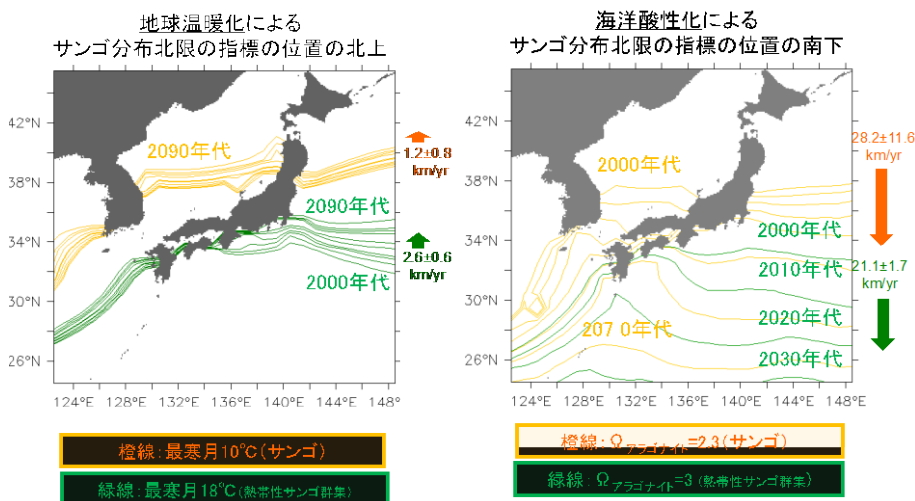


図(4)-6 各基準のスコアの平均値を用いたEBSA選定例

(3) 将来予測

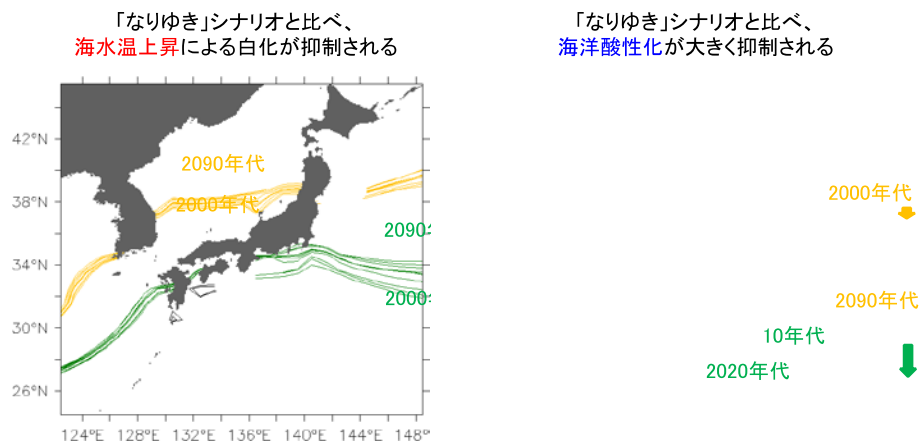
なりゆき (SRES A2) シナリオにおいては、水温上昇により温帯ではサンゴが北上するが、亜熱帯域では水温上昇によって白化が起ること、海洋酸性化の影響によってサンゴ分布北限は南下し、結果として2070年代に日本周辺からサンゴの生息可能域が消失してしまうという結果が得られた

(図(4-7)。それに対し、低炭素（SRES B1）シナリオにおいては、白化と海洋酸性化の影響は限定的で、九州以南にサンゴ生息可能域が保全されることが示された(図(4-8)。これらにより、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。



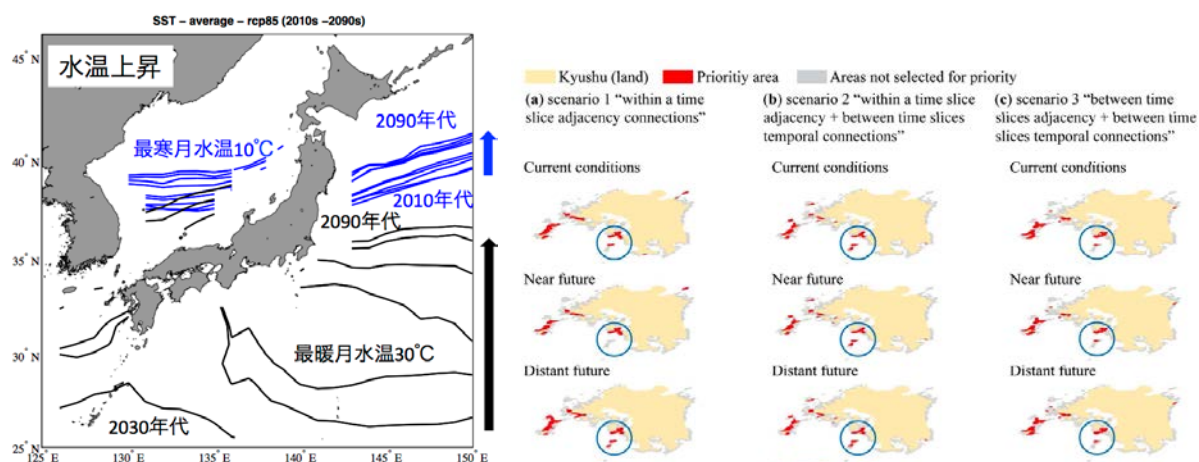
図(4-7) SRES A2シナリオでの温暖化と海洋酸性化によるサンゴ分布の変動予測

$\Omega_{\text{アラゴナイト}}$ はサンゴ骨格の材料となるアラゴナイトの海水中での飽和度を示す。



図(4-8) SRES B1シナリオでの温暖化と海洋酸性化によるサンゴ分布の変動予測

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が示され、分布変化に対応した保護区の設計が可能であることが示された (図(4-9)。



図(4)-9 気候モデル出力によるサンゴの潜在分布可能域の予測（左）と、時空間的連続性の考慮の有無による保護区配置の違い（右）

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

過去から現在にかけてのサンゴ種データベースは世界でも類を見ないものであり、このデータベースを用いたサンゴ北上の検出は世界初の例である。これにより、沿岸域の生態系が気候変動により変化していることが実証された。また、このデータベースにより、陸域対策が気候変動により劣化しているサンゴ礁の保全に効果的であるという示唆が得られた。既存のデータセットを用いた客観的な指標によってサンゴ礁域のEBSA選定が可能であることを示した。将来予測においては、海洋酸性化の影響が深刻であることを示し、低炭素社会構築の必要性の根拠を示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究で収集したサンゴ分布データは、環境省重要海域抽出検討会に提供され活用された。サンゴ分布データに基づいて日本周辺のサンゴ礁生態系分布図を作成し、環境省が策定したサンゴ礁保全行動計画2016-2020に提供した。サンゴの変化に関する科学的知見は「気候変動の影響への適応計画」（平成27年11月27日閣議決定）の根拠資料として活用された。サンゴ礁の将来予測に関する成果は、生物多様性条約第5回国別報告書で引用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

サンゴ礁域を対象にしたEBSAの抽出結果と、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

温帯域のサンゴ分布に関して、日本学術振興会二国間共同研究の枠組みを活用し、韓国海洋研究院のKiseong Hyeong博士と壱岐・対馬～韓国のサンゴ分布に関する共同調査及び情報収集を行い、

論文発表を行った。また、将来の変化を考慮した保護区の設計に関して、オーストラリア Queensland 大の Hugh Possingham 博士、Maria Beger 博士、牧野梓博士と共同研究を行い、論文発表を行った。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上发表

< 論文 (査読あり) >

- 1) H. YAMANO, K. SUGIHARA, T. WATANABE, M. SHIMAMURA, and K. HYEONG: *Geology*, 40, 835-838 (2012), Coral reefs at 34°N, Japan: Exploring the end of environmental gradients.
- 2) H. YAMANO, K. SUGIHARA, 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.
- 3) 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.
- 4) C. HONGO: *Quaternary Science Reviews*, 35:82-99 (2012), Holocene key coral species in the Northwest Pacific: indicators of reef formation and reef ecosystem responses to global climate change and anthropogenic stresses in the near future.
- 5) C. HONGO and H. YAMANO: *PLoS One* 8, e60952 (2013), Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995-2009).
- 6) A. MAKINO, H. YAMANO, M. BEGER, C. J. KLEIN, and H. P. POSSINGHAM: *Diversity and Distributions*, 20: 859-871 (2014), Spatio-temporal marine conservation planning to support high-latitude coral range expansion under climate change.
- 7) Y. YARA, M. FUJII, H. YAMANO, Y. YAMANAKA: *Hydrobiologia*, 733, 19-29 (2014), Projected coral bleaching in response to future sea surface temperature rises and the uncertainties among climate models.
- 8) E.T. MAGDAONG, M. FUJII, H. YAMANO, W.Y. LICUANAN, A. MAYPA, W. L. CAMPOS, A.C. ALCALA, A.T. WHITE, D. APISTAR and R. MARTINEZ: *Hydrobiologia*, 733: 5-17 (2014), Long-term change in coral cover and the effectiveness of marine protected areas in the Philippines: a meta-analysis.
- 9) H. YAMANO, H. HATA, T. MIYAJIMA, K. NOZAKI, K. KATO, A. NEGISHI, M. TAMURA and H. KAYANNE: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (eds.) *The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity*, Springer, 275-293 (2014), Water circulation in a fringing reef, and implications for coral distribution and resilience.
- 10) H. YAMANO, C. HONGO, K. SUGIHARA, Y. YARA, Y. NAKAO and M. FUJII: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (eds.) *The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity*, Springer, 65-81 (2014), Current status of national coral database in Japan: dataset development, applications,

and future directions.

- 11) E. MAGDAONG, H. YAMANO and M. FUJII: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA eds., The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity, Springer, 83-109 (2014), Development of a large-scale, long-term coral cover and disturbance database in the Philippines.
- 12) K. SUGIHARA, H. YAMANO, K.-S. CHOI and K. HYEONG: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA eds., The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity, Springer, 111-130 (2014), Zooxanthellate scleractinian corals of Jeju Island, Republic of Korea.
- 13) M. AKASAKA, A. TAKENAKA, F. ISHIHAMA, T. KADOYA, M. OGAWA, T. OSAWA, T. YAMAKITA, S. TAGANE, R. ISHII, S. NAGAI, H. TAKI, T. AKASAKA, H. OGUMA, T. SUZUKI and H. YAMANO: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity, Springer, 209-229 (2014), Development of a national land-use/cover dataset to estimate biodiversity and ecosystem services.
- 14) M. ISHIHARA, H. HASEGAWA, S. HAYASHI and H. YAMANO: In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA(eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity, Springer, 231-237 (2014), Land cover classification using multi-temporal satellite images in a subtropical area.
- 15) YAMAKITA, T., 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 (2015), 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.
- 16) 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.
- 17) Y. YARA, H. YAMANO, M. STEINACHER, M. FUJII, M. VOGT, N. GRUBER, and Y. YAMANAKA: In: Nakano, S., Yahara, T., and Nakashizuka, T. (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region, Springer (in press), Potential future coral habitats around Japan depend strongly on anthropogenic CO₂ emissions.

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 本郷宙軌：月刊ダイバー、133 (2011)
「化石サンゴでタイムスリップ」
- 2) 日本サンゴ礁学会編：サンゴ礁学、東海大学出版会、73-91 (2011)

- 「サンゴの海をしらべる（山野博哉）」
- 3) 日本リモートセンシング学会編：基礎からわかるリモートセンシング、理工図書、70-72 (2011)
「サンゴ礁・藻場・水生生物（山野博哉）」
 - 4) J.A. Goodman, S.J. Purkis and S.R. Phinn (Eds) Coral reef remote sensing, Springer (2012)
“Multispectral application (Hiroya Yamano)”
 - 5) 山野博哉：国立公園、702, 16-19 (2012)
「地球温暖化と北限の造礁サンゴ」
 - 6) 柴山知也・茅根 創編：日本の海岸、朝倉書店、102-103 (2013)
「九州・四国・本州のサンゴ群集（執筆担当：山野博哉・杉原 薫）」
 - 7) 国立環境研究所編：環境儀、2014年6月号
「サンゴ礁の過去・現在・未来 環境変化との関わりから保全へ（執筆担当：山野博哉）」
 - 8) 山野博哉：科学, 85 (10), 923-925 (2015)
「サンゴ礁から俯瞰する世界」
 - 9) 山野博哉：グリーン・パワー, (10), 28 (2015)
「生物多様性情報学の時代6 分布の変化を明らかにする」
 - 10) 山野博哉：遺伝, 70, 28-33 (2016)
「モニタリングが明らかにするサンゴ礁の現在と未来」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 山野博哉：日本付着生物学会シンポジウム「環境変動と付着生物」(2011)
「気候変動と造礁サンゴ：地球温暖化と海洋酸性化の複合影響」
- 2) 日高清隆・杉崎宏哉・市川忠史・廣江豊・栗山美樹子：2011年度水産海洋学会（2011）
「本州南方海域における春季ブルームの推移と動物プランクトン群集構造」
- 3) 本郷宙軌、山野博哉：第14回自然系調査研究機関連絡会議（2011）
「サンゴ礁生態系の時空間変動の解明：1万年前から現在にかけての造礁サンゴ類の種組成について」
- 4) 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」
- 5) 山野博哉、杉原薫、河地正伸、野島哲、岩瀬文人、野村恵一、清本正人、横山耕作：日本サンゴ礁学会第14回大会（2011）
「サンゴ分布北上とそのモニタリング」
- 6) 山野博哉：日本サンゴ礁学会第14回大会（2011）
「モデルの構築や広域での保全に必要な情報としての群集調査について」
- 7) 本郷宙軌、茅根創：第118回日本地質学会（2011）
「Key speciesを用いたサンゴ礁生態系の復元」
- 8) H. YAMANO : International Workshop on Asian Air Pollution and Biodiversity Conservation, Okinawa, Japan, 2011

“Environmental changes and Japanese corals”

- 9) Y. YARA, M. VOGT, C. HAURI, M. STEINACHER, M. FUJII, H. YAMANO, Y. YAMANAKA, and N. GRUBER: 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 2012
“Effects of rising sea surface temperature and ocean acidification on corals.”
- 10) H. YAMANO and K. SUGIHARA: 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, 2012
“High-latitude corals and coral reefs in Japan .“
- 11) 屋良由美子、山野博哉、藤井賢彦、山中康裕：第15回日本サンゴ礁学会（2012）
「地球温暖化に伴う水温上昇がサンゴ分布に及ぼす影響～温室効果ガスの排出シナリオの違いから～」
- 12) A. MAKINO, H. YAMANO, M. BEGER, C.J. KLEIN, Y. YARA and H. POSSINGHAM：第15回日本サンゴ礁学会（2012）
「Dynamic marine conservation planning under the climate change」
- 13) H. YAMANO, K. SUGIHARA, M. KAWACHI, R. TERADA, T. SUNOBE, N.H. KUMAGAI, M. FUJII and Y. YAMANAKA：Amakusa Biodiversity Symposium, Reihoku, Japan, 2012
“Poleward range shifts/expansions of shallow-water marine organisms around Japan“
- 14) K. SUGIHARA, S. NOJIMA, F. IWASE, K. NOMURA, M. KIYOMOTO, K. YOKOYAMA and H. YAMANO: Amakusa Biodiversity Symposium, Reihoku, Japan, 2012
“Zooxanthellate coral communities in temperate regions of Japan“
- 15) E. MAGDAONG, H. YAMANO, and M. FUJII: Amakusa Biodiversity Symposium, Reihoku, Japan, 2012
“Assessing long-term coral cover change in the Philippines: a meta-analysis“
- 16) Y. YARA, M. FUJII, H. YAMANO and Y. YAMANAKA: Amakusa Biodiversity Symposium, Reihoku, Japan, 2012
“Projection and uncertainty of coral bleaching in response to rise in water temperature: A multiple climate model study“
- 17) Y. YARA, H. YAMANO, M. FUJII and Y. YAMANAKA: Amakusa Biodiversity Symposium, Reihoku, Japan, 2012
“Projected shift of coral habitats around Japan under different future CO₂ emission scenarios“
- 18) 山野博哉：アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究：公開講演会2013（2013）
「海の生物と気候変動：地球温暖化と海洋酸性化」
- 19) 山野博哉、杉原薫：日本地球惑星科学連合2013年大会，幕張，（2013）
「温帯のサンゴ礁・サンゴ群集と最近の変化」
- 20) 屋良由美子、山野博哉、Marco Steinacher、藤井賢彦、Meike Vogt、Nicolas Gruber、山中康裕：日本地球惑星科学連合2013年大会，幕張，（2013）
「地球温暖化に伴う水温上昇および海洋酸性化が日本近海のサンゴ分布に及ぼす影響 ～CO₂排出シナリオの違いから～」
- 21) 山野博哉：地球温暖化防止とサンゴ礁保全に関する国際会議，沖縄，（2013）
「サンゴ生態系と地形の気候変動影響と適応」
- 22) H. YAMANO: Japan-Australia Marine Science Workshop，東京，（2013）

“Climate change and corals of Japan: evidence from the 20th century and projection for the 21st century”

- 23) Y. YARA, M. VOGT, M. FUJII, H. YAMANO, C. HAURI, M. STEINACHER, N. GRUBER and Y. YAMANAKA: International Workshop "Ocean acidification in coral reefs", 東京, (2013)
 “Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan”
- 24) 山野博哉：第11回環境研究シンポジウム, (2013)
 「サンゴ礁への気候変動の影響：地球温暖化と海洋酸性化」
- 25) 山野博哉：第1回にじゅうまるプロジェクトパートナーズ会合 (2014)
 「サンゴ礁の過去・現在・未来ー日本全国のサンゴのデータベースから見えてきたものー」
- 26) 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. SANNO, 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”
- 27) 屋良由美子、山野博哉、杉原薫、本郷宙軌、須藤健二、田中克彦、白山義久：日本海洋学会2014年度秋季大会 (2014)
 「日本全国の造礁サンゴ種分布データベースの作成と種の保全上重要な海域の選定試行」
- 28) 屋良由美子、山野博哉、杉原薫、本郷宙軌、須藤健二、田中克彦、白山義久：日本サンゴ礁学会第17回大会 (2014)
 「日本全国の造礁サンゴ種分布データベースの作成と種の保全上重要な海域の選定試行」
- 29) 山野博哉：環境省環境研究総合推進費一般向け研究成果報告会(2015)
 「海洋酸性化がわが国周辺の生物に与える影響を評価する」
- 30) N.H. KUMAGAI, S. TAKAO, H. YAMANO, M. FUJII, and Y. YAMANAKA: Biological range shifts in response to climate change (Organized by the Environmental Research and Technology Development (S-9) of Ministry of the Environment, Japan, and Kanto branch of Ecological Society of Japan), 2015
 “Degradation of seaweed beds and expansion of coral reefs in Japanese subtidal rocky habitats under current and near-future climates”

(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) S9公開講演会にて講演 (2013年1月06日)

- 2) 上智大学公開講座にて講演（2014年1月18日）
- 3) 筑波大学自然保護寄附講座公開講座にて講演（2014年11月16日）
- 4) 日立財団環境サイエンスカフェにて講演（2015年10月21日）
- 5) 筑波大学自然保護寄附講座公開講座にて講演（2015年12月6日）
- 6) つくばエキスポセンターにて熱帯沿岸生態系（サンゴ礁含む）の展示（2016年3月5日～4月3日）
- 7) 国立環境研究所一般公開にて展示及び説明（2011年～2015年の毎年4月及び7月）

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 成果の記者発表（2013年1月9日、於国立環境研究所、「地球温暖化と海洋酸性化が日本近海のサンゴ分布に及ぼす影響の予測に初めて成功」）。
- 2) NHKニュース茨城県内版及び首都圏ネットワーク（2012年1月9日、地球温暖化と海洋酸性化が日本近海のサンゴ分布に及ぼす影響の成果について1分ほど紹介）
- 3) 北海道新聞（2013年1月9日、10頁、「サンゴ生息 大幅減予測」）
- 4) 朝日新聞（2013年1月10日、全国版、38頁、「サンゴ、60年後絶滅？」）
- 5) 読売新聞（2013年1月10日、全国版、38頁、「近海サンゴ2070年代に危機」）
- 6) 日本経済新聞（2013年1月10日、全国版、38頁、「日本近海サンゴ2070年代に絶滅も」）
- 7) 琉球新報（2013年1月10日、21頁、「サンゴ大幅縮小も 生息分布 海水酸性化で予測」）
- 8) 茨城新聞（2013年1月10日、20頁、「サンゴ大幅減予測」）
- 9) 常陽新聞（2013年1月11日、2頁、「日本近海のサンゴ2070年代に危機的状況？」）
- 10) 毎日新聞（2013年1月11日、全国版、23頁、「日本近海 サンゴ減も」）
- 11) しんぶん赤旗（2013年2月11日、全国版、14頁、「日本のサンゴ2070年代に消滅？」）
- 12) 成果の記者発表「15年間のモニタリングデータによって、赤土等汚染によって沖縄本島のサンゴ礁の回復力が低下していることが明らかに」（2013年4月3日、於国立環境研究所）
- 13) 朝日新聞（2013年4月4日、全国版、「サンゴ回復阻む赤土」）
- 14) 日経新聞（2013年4月4日、全国版、「沖縄のサンゴ、回復力低下」）
- 15) 八重山日報（2013年4月4日、「サンゴ礁の回復力が低下 赤土汚染の影響」）
- 16) 産経新聞（2013年4月5日、全国版、「沖縄サンゴ回復力低下」）
- 17) NHKおはよう日本（2013年6月29日、全国版、「サンゴ礁の将来予測および海洋酸性化と高水温のサンゴ礁への影響について」）
- 18) NHKサイエンスゼロ（2016年1月10日、全国版、「サンゴ礁の将来予測および海洋酸性化と高水温のサンゴ礁への影響について」（上記ニュースの映像使用））

(6) その他

- 1) 第118回日本地質学会「優秀ポスター賞」：本郷宙軌、茅根創：第118回日本地質学会（2011）
「Key speciesを用いたサンゴ礁生態系の復元」

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

(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

中央水産研究所海洋・生態系研究センター	杉崎 宏哉・広田 祐一・ 市川 忠史 (H23-H26年度)
日本海区水産研究所資源環境部	森本 晴之
東北区水産研究所資源海洋部	田所 和明
西海区水産研究所亜熱帯研究センター	亀田 卓彦
西海区水産研究所資源海洋部	西内 耕

平成23～27年度累計予算額：48,878千円（うち平成27年度：9,000千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

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・生物学的な重要海域(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。

[キーワード]

プランクトン、生物多様性、カイアシ類、温暖化、漁獲量

1. はじめに

我が国周辺水域は狭い緯度帯に亜熱帯～亜寒帯が存在し、さらに強い西岸境界流である黒潮や親潮が東岸を流れている。そのため暖水塊・冷水塊といった中規模スケールの渦が多く形成されている。また縁辺海である日本海やオホーツク海も擁している。それらの結果、複雑かつ多様な海洋

構造が形成されている。生態系は海洋環境と密接に関係しているため、その構造も多様なものとなっている。近年の研究¹⁾では、我が国周辺水域の生物多様性は地球上でも最も高い水域の1つであることが示されている。我が国の重要な水産資源であるマイワシ、サンマ、マアジ等はこのような多様な海洋環境を生活史に応じて移動し成長する。例えばマイワシは黒潮域で産卵するが、その仔稚魚は黒潮によって黒潮親潮混合域へ輸送され、そこで成長し、さらに幼魚期になると豊富なプランクトンを求め親潮域まで移動する。すなわち多様な海洋環境と生態系が形成されることで、多彩で豊富な水産資源が育まれていると考えられる。

一方で、近年世界的に生物多様性の低下が大きな問題となっており、我が国周辺水域においても、これらを正確に把握し、健全な生態系を維持する施策を打ち出すことが社会的な要求となっている。さらに海洋の生物多様性の低下は漁業やレクリエーション等の生態系サービスの低下を引き起こす。そのためその実態の把握と対策が求められている。これまでは海洋生態系の生産に着目して水産資源との関係を調べてきた。一方で水産資源と海洋生態系との関係をより深く理解するには生態系の質についても調べる必要がある。さらにCOP10では排他的経済水域（EEZ）の10%を海洋保護区として設定することが愛知目標として採択されたが、外洋に関しては、その選定のための基礎的な知見は不足している。そこで本課題では水研センターの保有するプランクトン標本および人工衛星等のデータ解析することで、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)の候補を呈示することで政策的な貢献を行う。

2. 研究開発目的

クロロフィルa濃度の衛星画像を利用したリモートセンシング解析手法を用い、日本周辺全域の海洋表層における基礎生産者の分布の季節変動、経年変動をとらえ、海洋基礎生産量分布マップを提示する。この基礎生産の分布に対応する消費者である動物プランクトンの生物量、種組成の季節・経年変動を水産総合研究センターが長期にわたり取得管理している現場観測データおよび標本を用いて解析し、プランクトン群集の時空間的な分布変動パターンを明らかにする。得られたインベントリデータは水産総合研究センターのデータポリシーに則って海洋生物地理データベースに格納する。このデータ解析結果と水研センターで解析を続けている漁業管理情報などを総合的に解析することにより、海洋の低次生産が漁業資源の再生産に寄与するホットスポットの抽出を目指す。

3. 研究開発方法

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（図(5)-1）。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

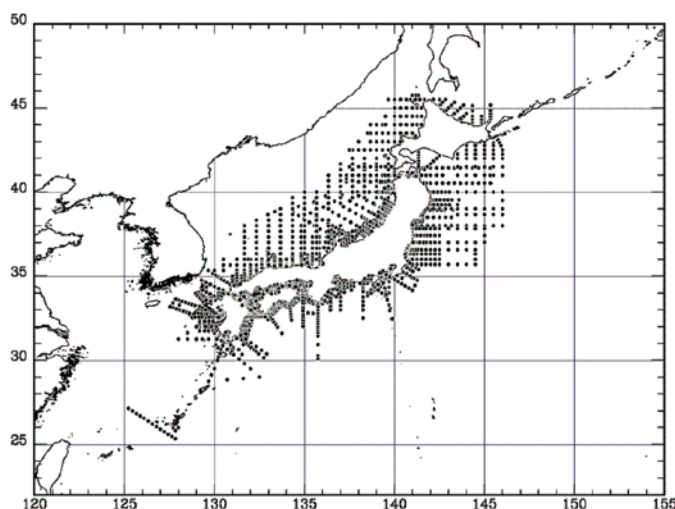
プランクトン種組成分析を行う。これまで、水産総合研究センター東北区水産研究所における標本管理体制が行き届いていたためアプローチが進められてきた本州東方海域のプランクトン解析(オダテデータ)に継続データを付加・充実させる。

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。

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。



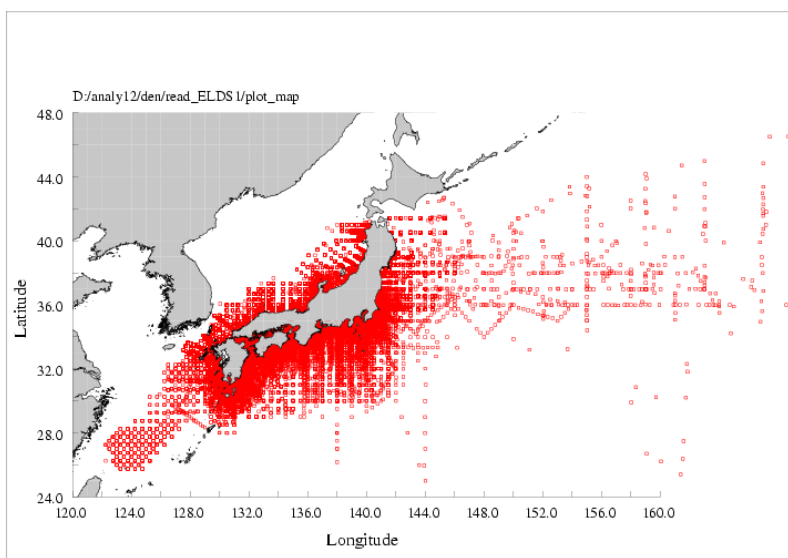
図(5)-1 FRESCOシステムに登録されている動物プランクトンデータの採集点

4. 結果及び考察

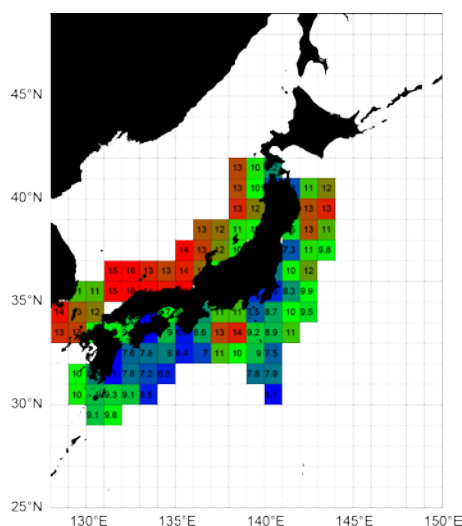
(1) 日本周辺水域における動物プランクトン現存量・クロロフィル濃度の季節変動

水研センターでは「我が国周辺水産資源情報システム：FRESCO」を用いて、魚類卵稚仔および動物プランクトンデータを管理している。この主体は水産庁事業である「我が国周辺水域資源評価等推進委託事業」によって各都府県が丸特ネット又はノルパックネットによって採集したものである。これらのデータを分析することによって、日本周辺水域の動物プランクトン現存量の地理的な変動について検討を行った。このシステムに登録されている1978年～2007年の計123,558点の湿重量データを動物プランクトン現存量として用いた（図(5)-2）。

さらに、1998年～2010年にSeaWiFSで採集した、クロロフィルa濃度データ、1965年～2010年に気象庁が採集した硝酸塩データも用いた。それらのデータは、緯度1度、経度1度のグリッド毎に、月平均値を求めた。



図(5)-2 FRESCOシステムに登録されている動物プランクトンデータの採集点

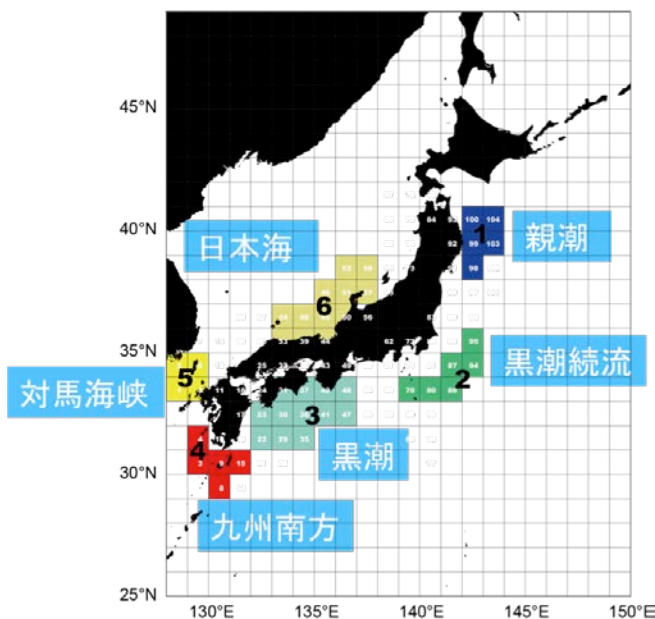


図(5)-3 1度グリッド毎の動物プランクトンの年平均現存量(g m^{-2})

日本海のデータの無い12月～2月および7月～8月は除く。

動物プランクトンの現存量の年平均は日本海、東北沖で高い値を示した（図(5)-3）。一方、黒潮域で低い値を示した。

次に各グリッドの動物プランクトン現存量の季節変動パターンをクラスター解析することによって海域を区分した。その結果、日本周辺水域は6つに区分された（図(5)-4）。次に、それらの季節変動を見ると、何れの水域でも現存量は春にピークを示し夏に低下するというパターンを示した。しかし増加のタイミングは水域によって異なった(表(5)-1)。黒潮、黒潮続流、九州南方、対馬海峡および日本海では2月から増加が始まり4月にピークを示した。親潮では4月に急速に増加しピークを示した。年間の平均現存量を水域間で比較すると、親潮が 11.2 g m^{-2} と最も高い値を示したものの、対馬海峡でも 10.0 g m^{-2} とそれに匹敵する値を示した。また黒潮続流は 8.5 g m^{-2} 、黒潮は 6.8 g m^{-2} 、九州南方は 8.7 g m^{-2} 、日本海（7、8、12月の値を含まない値） 11.7 g m^{-2} となり、親潮と比べて極端に低いという値とはならなかった。この現存量の分布と冬季（1-3月）の表層の硝酸塩濃度と比較した結果、有意な正の相関関係が見られた。さらに硝酸塩濃度とSeaWiFSによるChl-a濃度の間でも有意な正の相関関係が見られた。これらのことから栄養塩供給量が、一次生産および動物プランクトン生産の地理的変動に関係していると推測された。



図(5)-4 動物プランクトン現存量の季節変動パターンをクラスター解析した結果に基づいた、日本周辺水域の海域区分

表(5)-1 年平均動物プランクトン現存量、Chl-a濃度、硝酸塩濃度および動物プランクトン現存量の増加開始月とピークの月

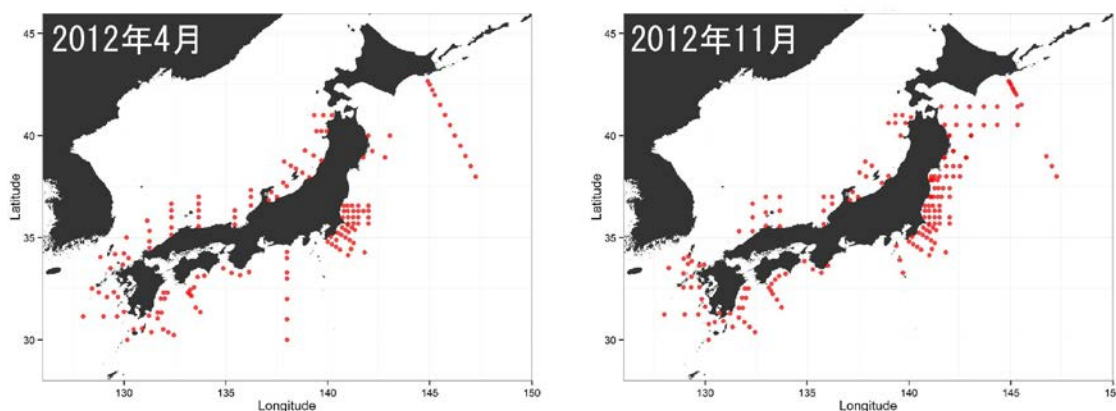
	年平均現存量		冬季(1-3月)	現存量現存量	
	動物プランクトン	Chl-a	NO ₃	増加開始月	ピークの月
親潮	11.2	0.72	8.6	4	4
黒潮続流	8.5	0.26	1.6	2	4
黒潮	6.8	0.29	1.2	2	4
九州南方	8.7	0.29	1.0	2	4
対馬海峡	10.0	0.71	4.0	2	4
日本海	11.7	0.52	4.1	2	4

現存量の単位
動物プランクトン: g m^{-2}
Chl-a: mg m^{-3}

(2) 日本周辺水域におけるカイアシ類の群集構造の地理的変化

日本周辺水域では浮魚類の卵稚仔を調べるために一斉調査が行われており、その観測点数は、年間で約7千点以上となる。この調査では表層を対象として、ノルパックを用いた0-150mの鉛直曳網で標本を採集しているが、同時に動物プランクトンも採集されているがそれらは調べられていない。しかし、それらを調べることによって日本周辺の広い範囲の動物プランクトンの分布を明らかにすることができると考えられる。そこで本研究ではそれらのサンプルを用いて、日本周辺水域におけるカイアシ類の群集構造の地理的変化について調べた。

使用したのは、2012年4月（春）と11月（秋）に採集したノルパック標本である（図(5)-5）。これらのサンプルについて種レベルで個体数を計数することで、それぞれの観測点におけるカイアシ類の種組成を調べた。さらに各観測点の種毎の個体数を4乗根で変換した後、クラスター解析を行うことで、観測点を区分した。



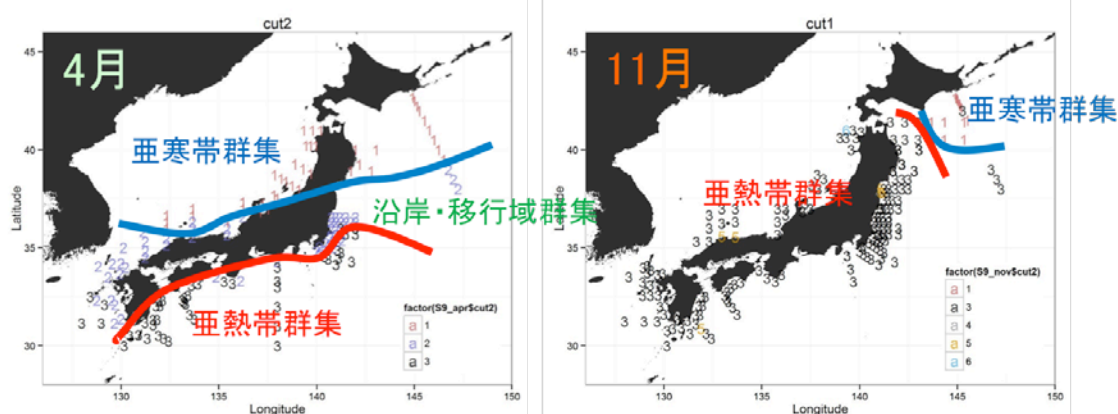
図(5)-5 解析に用いた動物プランクトン試料の採集点

その結果、観測点は亜寒帯群集、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き、そのうち沿岸・移行域群集は4月のみ見られた（図(5)-6）。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っているのが明らかとなった。亜寒帯群集の主要なカイアシ類は、*Neocalanus*属3種や、*Metridia*属2種、*Eucalanus bungii*で、何れも大型のカラヌス目カイアシ類である。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、亜熱帯群集は4月、11月共に日本周辺水域の広い範囲で分布していたが、クラスター解析の結果をさらに詳細に見ると、両者のクラスターは分かれていることが明らかとなった。即ち同じ亜熱帯群集でも季節によってその組成は若干異なることが明らかとなった。また、11月に亜熱帯群集は北海道沖を除いた非常に広い範囲に分布するが、出現する種数を見ると南で出現種数が多く、北で少ないことが明らかとなった。

以上から、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。このような季節による地理的分布の変化の要因としては、まず水温の変化が考えられる。日本周辺水域の表層域は季節による温度変化が非常に大きく、春先である4月では冬季の冷却の影響で表層水温が低い水域が広く広がるため、亜寒帯群集および沿岸・移行域群集が広く分布出来ると考えられるが。

一方で夏季～秋季には表層は日射や大気によって暖められるため、広い範囲で温度の高い水域が広がる。そのため亜熱帯群集が広い範囲に分布し、亜寒帯群集は親潮が影響する北海道沖にのみ分布するようになったと推測された。もう一つの要因として考えられるのは、亜熱帯種と亜寒帯種の生活史の違いである。主要な亜熱帯種の寿命は数週間程度と短く、また表層で生活史が完結しているものが多い。従って季節的な温度上昇に短時間で対応して分布を北に広げる事が出来ると考えられる一方で、亜寒帯種の主要種は1年～数年の寿命を持ち、さらに春～夏にのみ表層に分布し、秋～冬に中深層で休眠するものが多い。すなわち11月には生活史に関連して亜寒帯種の多くは休眠のため表層からいなくなってしまうため、日本周辺水域では広い範囲で亜寒帯群集が分布するようになると推測された。

水産資源の多くは、どのようなプランクトンでも食べられる訳ではなく、ある特定の種のプランクトンを餌とする。従って、水産資源の餌料環境の季節変動を考えるためには、このような季節によるプランクトン群集の遷移を念頭に置いておく必要がある。また、プランクトン群集の地理的な分布には水温が関係していることが、今回の結果から示唆されたが、IPCCのAR5等では将来的な地球温暖化に伴う水温の上昇を予測しており、そのような変化は水産資源の餌料環境にも影響すること考えられる。



図(5)-6 クラスタ分析によって区分された動物プランクトン群集の分布

(3) 漁獲データから見た日本周辺水域の水産資源の生物多様性とその地理的変化

日本周辺水域は世界的に見ても、非常に水産資源の豊かな水域である。FAOの統計によれば、日本を含む北西太平洋（Area61）の漁獲量は全世界の26%を占めている。さらに漁獲される水産資源の種類も多様で、全漁獲量の8割を占める魚種数を見ると、漁業国であるノルウェーでは5種、アイスランドでは6種であるのに対し、日本は18種類にも及ぶ。このように日本周辺水域は豊富で多様な水産資源を擁しているが、その多様性についての地理的な変動に関してはあまり研究が進んでいなかった。そこで本研究では種別の漁獲量データを用いることで、日本周辺水域の水産資源の多様性を解析した。さらに7つのEBSA基準のなかで、適応可能な3つの基準を用いて、漁獲データから見たEBSA候補の提示を行った。

データは水産庁が海面漁業生産統計調査データとして以下のウェブサイトにて公開しており、そこから市町村別データが公開されている2004年～2013年のデータを入手して用いた。

ウェブサイト http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/

データは市町村別に記録されており、水産物はその近傍で採集されたと過程して解析を行った。また、採集位置は各市町村の海岸線の中心緯度経度としてプロットした。対象魚種は今回の解析での全期間で記録されていた47種である（表(5)-2）。種辺の漁獲量データは各月で緯度1度、経度1度のグリッド毎に積算した上で、さらに全対象年で平均値を求めた。

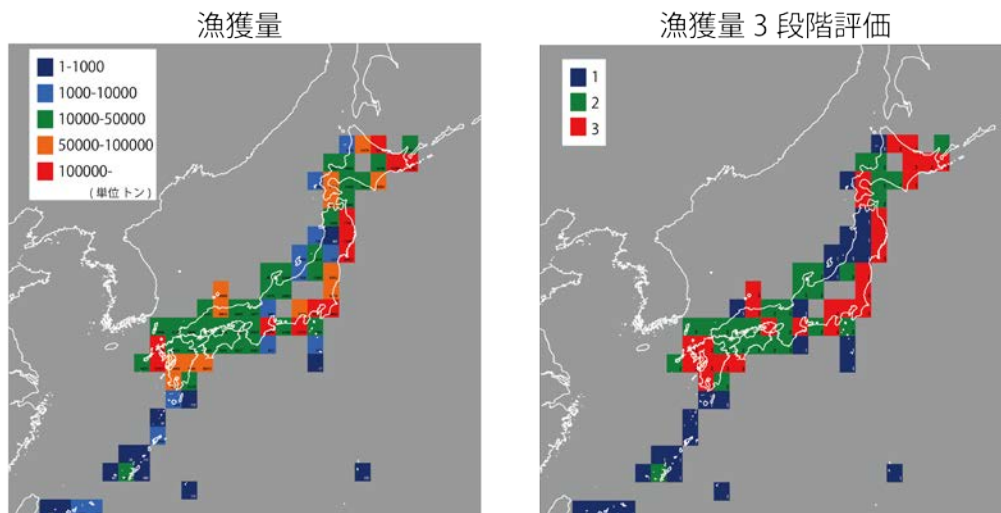
EBSAの基準の一つである“生物学的生産性”を考えるために漁獲量を調べた。その結果、高い値は長崎、静岡～千葉、宮城～岩手、釧路・根室・紋別に見られた（図(5)-7）。一方で低い値は沖縄～鹿児島、小笠原諸島に見られた。EBSAの基準の一つである“生物学的多様性”を考えるために漁獲種数を調べた。その結果、高い値を示したのは主に、日本海北部と神奈川以北の本州太平洋側であった（図(5)-8）。

表(5)-2 解析対象魚種

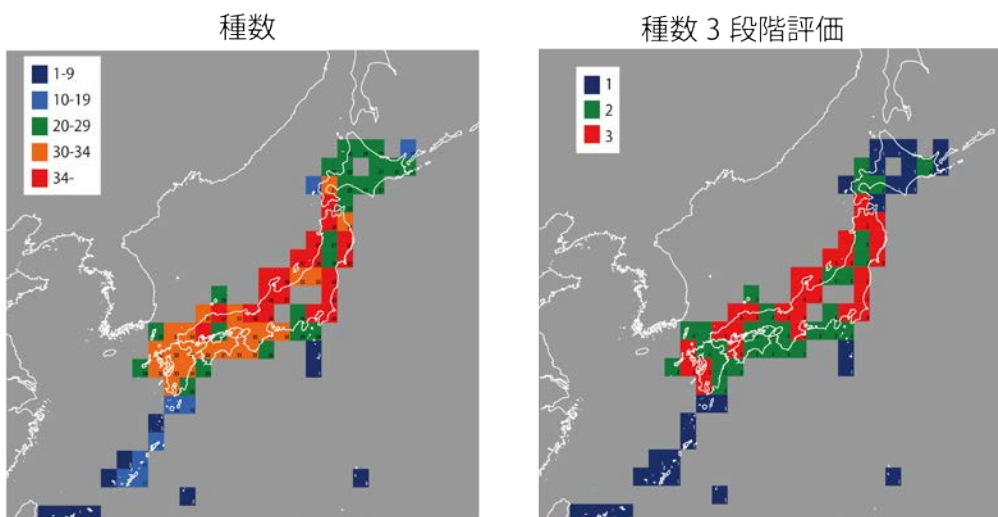
灰色の箇所は種レベルで調べられている魚種、白い箇所は属レベル以上の大分類群で纏められた魚種。

本解析では、両者は区別なく解析した。

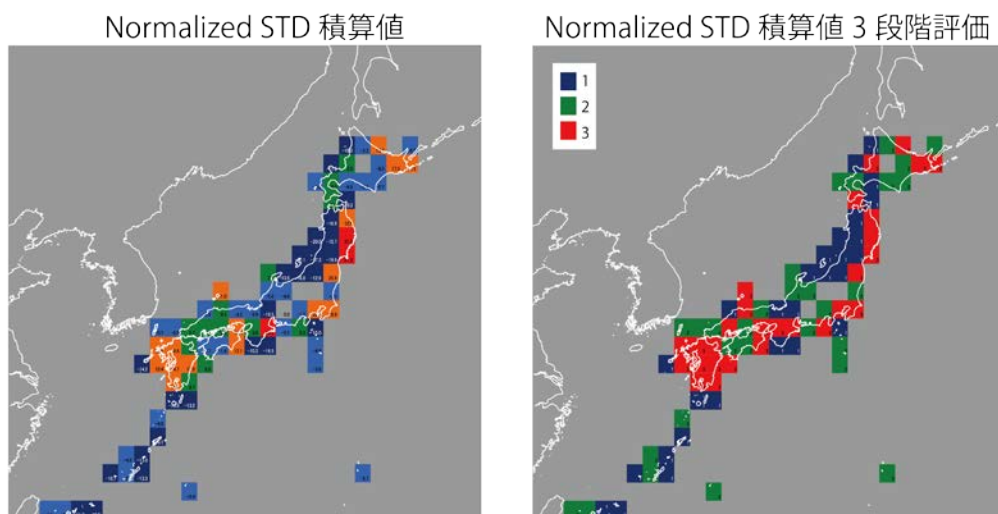
Code	標準和名	分類レベル	学名
1	そうだがつお類	Genus	Auxis spp.
2	さけ類	Genus	Oncorhynchus spp.
3	ます類	Genus	Oncorhynchus spp.
4	このしろ	Species	Konosirus punctatus
5	にしん	Species	Clupea pallasii
6	まいわし	Species	Sardinops melanostictus
7	うるめいわし	Species	Etrumeus teres
8	かたくちいわし	Species	Engraulis japonicus
9	まあじ	Species	Trachurus japonicus
10	むろあじ類	Genus	Decapterus spp.
11	さば類	Genus	Grammatorcynus spp.
12	さんま	Species	Cololabis saira
13	ぶり類	Genus	Seriola spp.
14	ひらめ	Species	Paralichthys olivaceus
15	かれい類	Order	Pleuronectiformes spp.
16	まだら	Species	Gadus macrocephalus
17	すけとうだら	Species	Theragra chalcogramma
18	ほっけ	Species	Pleurogrammus azonus
19	きちじ	Species	Sebastolobus macrochir
20	はたはた	Species	Arctoscopus japonicus
21	にぎす類	Genus	Glossanodon spp.
22	あなご類	Family	Congridae spp.
23	たちうお	Species	Trichiurus japonicus
24	まだい	Species	Pagrus major
25	ちだい・きだい	Species	Dentex tumifrons, Evynnis tumifrons
26	くろだい・へだい	Species	Acanthopagrus schlegelii, Rhabdosargus sarba
27	いさき	Species	Parapristipoma trilineatum
28	さわら類	Tribe	Scomberomorini spp.
29	すずき類	Genus	Lateolabrax spp.
30	いかなご	Species	Ammodytes personatus
31	あまだい類	Genus	Branchiostegus spp.
32	ふぐ類	Order	Tetraodontiformes spp.
33	いせえび	Species	Panulirus japonicus
34	くるまえび	Species	Marsupenaeus japonicus
35	ずわいがり	Species	Chionoecetes opilio
36	べにずわいがり	Species	Chionoecetes japonicus
37	がざみ類	Genus	Portunus spp.
38	おきあみ類	Species	Euphausia pacifica
39	あわび類	Genus	Haliotis spp.
40	さざえ	Species	Turbo (Batillus) cornutus
41	あさり類		
42	ほたてがい	Species	Mizuhopecten yessoensis
43	するめいか	Species	Todarodes pacificus
44	あかい	Species	Ommastrephes bartramii
45	たこ類	Order	Octopoda spp.
46	うに類	Class	Echinoidea spp.
47	こんぶ類	Family	Laminariaceae spp.



図(5)-7 グリッド毎の平均漁獲量 (左) およびその3段階評価 (右)



図(5)-8 グリッド毎の出現種数 (左) およびその3段階評価 (右)

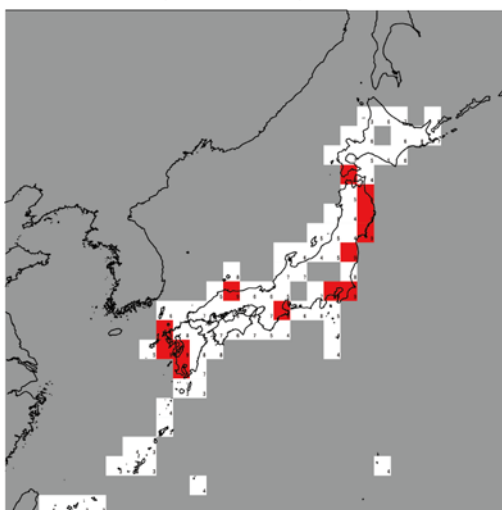


図(5)-9 標準化した漁獲用の標準偏差の積算値 (左) およびその3段階評価 (右)

最後にEBSAの基準の一つである、“脆弱性、感受性又は低回復性”を考えるために、種別に対象期間内での漁獲量の標準偏差を求めさらに、それを標準化したものを積算して指標化した。すなわち値が高ければ、資源量変動が大きく、感受性が高いと言える。その結果、値の高かったのは福島～青森、神奈川～千葉、長崎～鹿児島、三河湾・大阪湾付近、鳥取の一部となった（図(5)-9）。

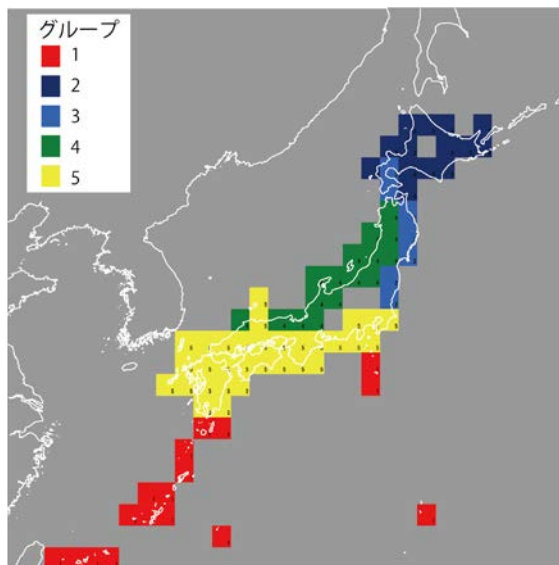
次に漁獲から見たEBSAの候補を抽出するために、以上の三つの値を三段階評価した指数を積算した上で、上位%のグリッドを求めた（図(5)-10）。その結果スコアの高かったのは、長崎～鹿児島、鳥取の一部、三河湾、神奈川～千葉、福島から青森の太平洋側および、道南であった。

上位 10%(積算値 9) のグリッド



図(5)-10 漁獲量、漁獲種数、標準化した標準偏差の積算値の段階評価を積算した上の上位10%赤いグリッドで示す。

次に種別の漁獲量を対数変換した上で、クラスター分析を行いグリッドの区分を行った（図(5)-11）。その結果、5つに区分することが出来た。それらは、その組成から1.亜寒帯、2.北海道、3.三陸・南北海道、4.日本海、5.黒潮・浮魚群集とした。図(5)-10で示した、スコアの高かった上位10%は、3.三陸・南北海道および5.黒潮・浮魚に含まれていた。そのうち5.黒潮・浮魚では、浮き魚の資源量が多く、その資源量変動大きいためスコアの高いグリッドが見られたと考えられた。また3.三陸・南北海道では、ホタテの資源量が多く、また高水温の影響による資源量変動や原発事故による操業停止の影響が大きいためスコアの高いグリッドが見られたと考えられた。従って、今後は震災の影響を除去するため、2010年以前のデータを用いた解析を行う必要があると考えられた。



	1 亜熱帯	2 北海道	3 三陸・南北海道	4 日本海	5 黒潮・浮魚
順位					
1	むろあじ類 17	するめいか 16237	ほたてがい 18870	するめいか 1709	さば類 11470
2	さわら類 10	さば類 15992	すけとうだら 9333	ぶり類 1176	かたくちいわし 8657
3	たご類 9	さんま 11204	さけ類 9003	まあじ 1074	まあじ 4904
4	ぶり類 9	すけとうだら 10529	さんま 7361	かれい類 750	まいわし 2104
5	さば類 6	かたくちいわし 7306	ほっけ 6114	かたくちいわし 723	うるめいわし 1805
総漁獲量	1289	115443	68956	14624	63782

漁獲量 トン

図(5)-11 上：クラスター分析に基づいたグリッドの区分
5つに区分することができた。

下：5つの区分をその組成から1.亜寒帯、2.北海道、3.三陸・南北海道、4.日本海、5.黒潮・浮魚としたときの上位5種

(4) 日本周辺水域におけるプランクトンの将来予測とEBSA候補の抽出

動物プランクトンデータに基づいた、近年の研究¹⁾では、我が国周辺水域の生物多様性は地球上でも最も高い水域の1つであることが示されている。しかしながらその研究ではプランクトンの中で重要なカイアシ類のデータは解析していない。従って、プランクトン生態系の生物多様性を明らかにするためには、カイアシ類を対象とした研究が不可欠である。そこで、カイアシ類の生物多様性について解析を行い、さらに将来予測を行った。その上で我が国のEEZ内でのEBSA候補の抽出を試みた。

水研センターが保有する日本周辺水域の標本484本(図(5)-12)を種レベル分析することによってその個体数を計数した。また基礎生産のデータは人工衛星画像に基づいた再解析データを用いた。



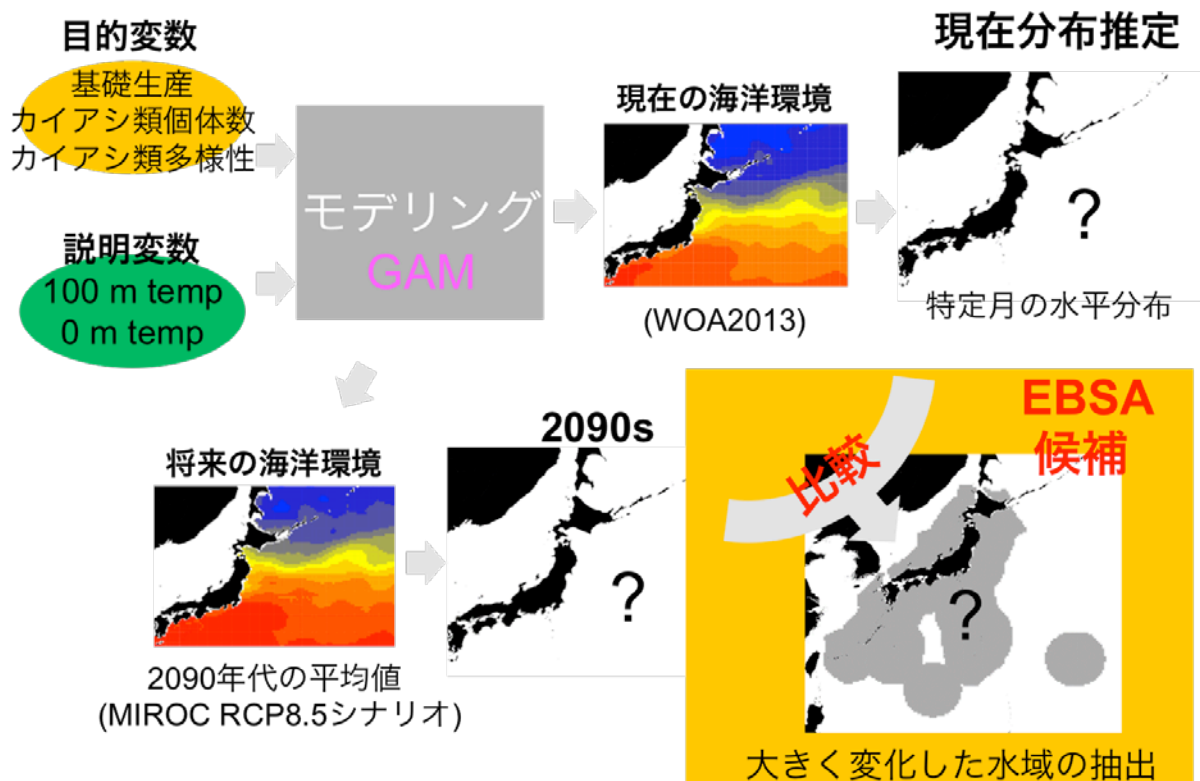
図(5)-12 サンプルの採集点

採集はノルパックネットによる0-150mの鉛直曳網で行われた。目合い0.330-0.335mm、採集期間は1960年～2014年である。

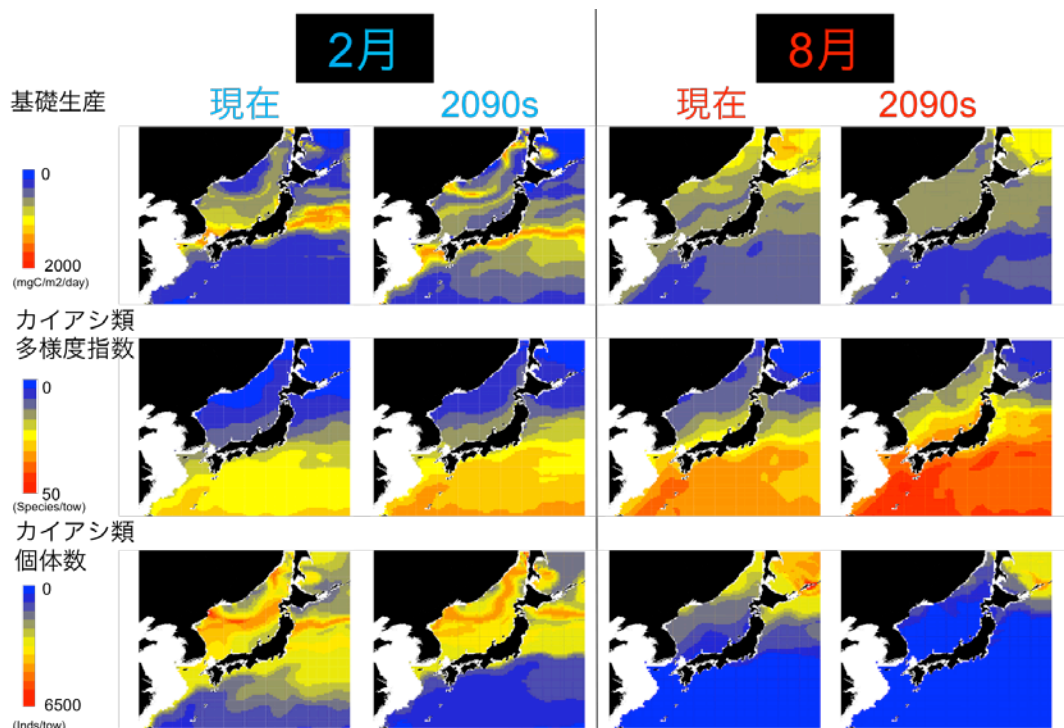
EBSAを抽出するためには7つの基準がある。そのうち今回は適応可能な1.脆弱性、感受性又は低回復性、2.生物学的生産性、3.生物学的多様性を用いた。具体的には、まず現在の基礎生産およびカイアシ類の個体数を2.生物学的生産性と考え、カイアシ類の多様性を3.生物学的多様性として考えた。そしてそれらについて現在の値と将来の値を比較することで、変化の大きい場所が、脆弱性、感受性が高い水域と考えた（図(5)-13）。現在と将来の分布を推定するためにはGAMを用いた。説明変数は表面および100m水温で、現在の値はWOA2013を用い、将来の値はRCP8.5シナリオに基づいたMIROCモデルの出力結果から2090年代の値を用いた。対象としたのは2月と8月である。

2月の基礎生産は現在では黒潮続流域に広く広がっているが、2090年代には高い値を示すエリアの幅が狭くなると予測された（図(5)-14）。また8月では亜寒帯、とりわけオホーツク海における基礎生産が低下することが示された。カイアシ類の多様性は2月、8月共に2090年代に高まること示された。一方でカイアシ類の個体数は、2月、8月共に2090年代に減少する事が示された。次にそれぞれの変数において年代間で比較し、変化が大きかった上位25%のエリアを抽出した。その上で、それらのスコアを積算し上位の25%のエリアを抽出しEBSAの候補とした（図(5)-15）。

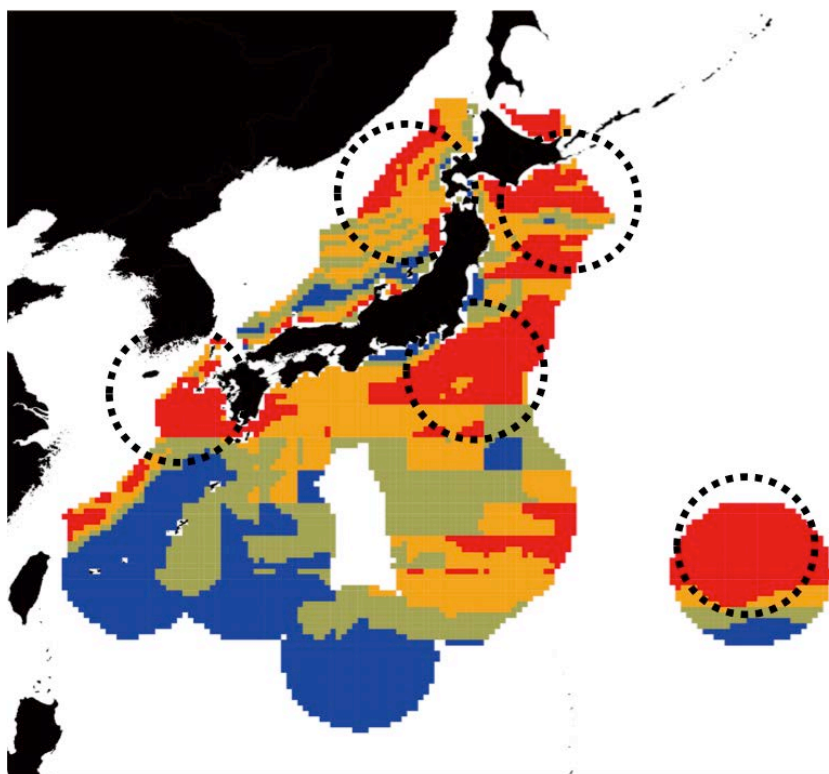
EBSAの候補のエリアは、遠州灘沖～黒潮続流、東北沖～道東沖、日本海北部、東シナ海および小笠原諸島付近に抽出された。これらのエリアは水産資源として重要なマイワシやマサバ、マアジ、スケトウダラ等の重要な生育場・索餌場となっている。RCP8.5は抑制無く地球温暖化ガスを排出するシナリオであるが、その場合これらの水域を重要な生育場・索餌場とするこれらの水産資源に対して大きな影響が及ぶ可能性がある。従って、これらを保全していくためには、今後可能な限り地球温暖化ガスの排出を抑制していく必要があると考えられる。



図(5)-13 EBSA候補抽出の模式図



図(5)-14 現在と2090年代の分布予測結果



図(5)-15 EBSAの候補
赤いエリアで示す。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本周辺水域における動物プランクトン現存量の季節変動パターンの地理的な差異が明確に示された。さらにこれまで明らかとなっていなかったカイアシ類群集の地理的な変動およびその季節変動が明らかとなった。これまで殆ど研究が行われてこなかった、動物プランクトンの分布の将来予測を行うことで、日本周辺水域における低次生態系に対する地球温暖化を評価できるようになった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本課題では外洋のプランクトンデータを用いることで、EBSA(Ecologically Biologically Significant Areas)の抽出を試みた。COP10では排他的経済水域 (EEZ) の10%を海洋保護区として設定することが愛知目標として採択されており、そのための科学的な基礎知見として活用されることが見込まれる。

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) 市川忠史,日高清隆,田所和明,杉崎宏哉:日本プランクトン学会報,61巻,1号,55-59(2014), 卓上型VPR (B-VPR) による動物プランクトン標本の大量解析-水産関係試験研究機関による日本周辺海域のプランクトン採集と解析-
- 2) T. YAMAKITA, H. YAMAMOTO, M. NAKAOKA, H. YAMANO, K. FUJIWARA, 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, and K. TANAKA: Mar. Policy, 51,136-147 (2015), Identification of important marine areas around the Japanese Archipelago: Establishment of protocol for evaluating a broad area using ecologically and biologically significant areas selection criteria.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) K. TAKAHASHI, T. ICHIKAWA, and K. TADOKORO: J. Plankton Res., 37,1181-1189(2015), Diel colour changes in male *Sapphirina nigromaculata* (Cyclopoida, Copepoda).

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 亀田卓彦: 水産海洋研究、80,1,57-58(2016)
「日本周辺海域の海洋環境の特徴」
- 2) 亀田卓彦: 日本リモートセンシング学会第59回学術講演会論文集,169-170(2015)
「リモートセンシングデータへの適用に向けた日本周辺海域におけるクロロフィルa濃度分布のモデル化」
- 3) 亀田卓彦、増島雅親、鈴木伸明: 水産海洋研究、79, 3,152-153(2015)
「リモートセンシングによるクロマグロ産卵場の環境モニタリング」
- 4) 田所和明: 図説地球環境の事典、170-171(2013)
「太平洋の海洋環境とプランクトン」
- 5) 森本晴之: 日本海ブロック試験研究集録、46,16-20(2013)
「いわし類資源変動要因としての餌料環境～過去のプランクトンデータ・試料の限界と今後展開」

- 6) 亀田卓彦: 水産海洋研究、76, 4,215-216(2012)
「海面クロロフィルa濃度から見たブルーミング時期の変遷」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) M. AIDA, R. ISHII, and K. TADOKORO: 2012 AGU Fall Meeting, 2012
“Relationship between carbon and nitrogen isotope ratios for lower trophic ecosystem in marine environments”
- 2) 田所和明、岡崎雄二、笥 茂穂、高須賀明典、市川忠史、日高清隆、杉崎宏哉: 2012年度水産海洋学会研究発表大会(2012)
「日本周辺水域におけるメソ動物プランクトン標本の保存・管理および利活用」
- 3) K. TADOKORO, Y. OKAZAKI, A. TAKASUKA, T. ICHIKAWA and H. SUGISAKI: PICES2012, 2012
“Archiving historical meso-zooplankton, samples collected around Japan”
- 4) K. TADOKORO: ECOFOR Workshop, 2012
“Ecosystem and fish population data archives: Zooplankton, Northwest Pacific”
- 5) 森本晴之、後藤常夫、井口直樹: 2012年度水産海洋学会研究発表大会(2012)
「春季の水温が日本海産カタクチイワシ仔魚・成魚の餌料環境に及ぼす影響」
- 6) 市川忠史、日高清隆、清水学、廣田祐一、栗山美樹子、杉崎宏哉、森本晴之、亀田卓彦、北島聡、西内耕、杉崎宏哉: 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会 (黒潮・黒潮続流域における前線・水塊・混合・輸送の実態と海洋生態系・魚種交替へのインパクト) (2012)
「黒潮周辺海域の動物プランクトン長期変動と魚種交代」
- 7) A. YOSHIKI, S. CHIBA, T. ICHIKAWA, and H. SUGISAKI: PICES2013, 2013
“Geographical shift of warm water species distribution in western subarctic North Pacific based on CPR sample during 2001-2010”
- 8) K. TADOKORO, S. KAKEHI, A. TAKASUKA, K. HIDAKA, Y. HIROTA, H. MORIMOTO, T. KAMEDA, S. KITAJIMA, K. NISHIUCHI, and H. SUGISAKI: PICES2013, 2013
“Geographical and temporal variations in mesozooplankton biomass around Japan, western North Pacific”
- 9) 田所和明、笥茂穂、高須賀明典、日高清隆、市川忠史、森本晴之、亀田卓彦、北島聡、西内耕、杉崎宏哉: 2013年度水産海洋学会研究発表大会 (2013)
「日本周辺水域における動物プランクトン現存量の季節・経年変動」
- 10) K. TADOKORO, and H. SUGISAKI: 3rd World Conference on Marine Biodiversity, 2014
“Geographical variations in biodiversity of copepod community in the western and central North Pacific Ocean”
- 11) 亀田卓彦: 2014年度水産海洋学会研究発表大会(2014)
「黒潮続流域の植物プランクトン現存量の季節変動」
- 12) 平田貴文、宮本洋臣、岡崎雄二、鈴木光次、齊藤宏明、田所和明、中神正康: 2014年度日本海洋学会秋季大会(2014)
「黒潮続流域および西部北太平洋域におけるカイアシ類群集構造と植物プランクトン群集構

造との関係」

- 13) 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”
- 14) 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”
- 15) 田所和明、日高清隆、廣田祐一、市川忠史、亀田卓彦、北島聡、森本晴之、西内耕、杉崎宏哉: 2014年度水産海洋学会研究発表大会(2014)
「日本周辺水域における動物プランクトンの特性」
- 16) 亀田卓彦: 2014年度水産海洋学会研究発表大会(2014)
「日本周辺海域の海洋環境の特徴」
- 17) 日高清隆、市川忠史、清水勇吾、廣江豊、日下彰、小埜恒夫、長谷川淳、原田慈雄、梶達也、甲斐史文、瀬藤聡、平井惇也、寒川清佳、杉崎宏哉、田所和明: 2015年度日本海洋学会春季大会 (2015)
「黒潮に沿った本州南方海域の環境変動とカイアシ類群集組成」
- 18) 寒川清佳、杉崎宏哉、日高清隆、田所和明、菊池知彦: 2015年度日本海洋学会春季大会(2015)
「オキアミ類の炭素・窒素安定同位体比解析～親潮と混合水域～」
- 19) 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 Ocean”
- 20) 高橋一生、市川忠史、田所和明: 2015年度日本海洋学会秋季大会(2015)
「カイアシ類*Sapphirina nigromaculata*雄における体色の日周変化」
- 21) K. TADOKORO, Y. OKAZAKI, H. KASAI: PICES2015, 2015
“Seasonal variation of mesozooplankton community in the Oyashio and Kuroshio-Oyashio Transition waters, western North Pacific”
- 22) 日高清隆、小埜恒夫、清水勇吾、廣江豊、日下彰、児玉武稔、平井惇也、市川忠史: 2015年度水産海洋学会研究発表大会(2015)
「東経138 度線上・黒潮流軸付近のプランクトン群集構造」
- 23) 児玉武稔、森本晴之、後藤常夫、井口直樹、和川拓、福留研一、高橋卓: 2016年度日本海洋学会春季大会(2016)
「若狭湾と富山湾の動物プランクトン群集組成の違い」
- 24) 日高清隆、寒川清佳、齋藤宏明、小埜恒夫: 2016年度水産海洋シンポジウム(2016)
「伊豆諸島周辺海域から下流域にかけてのプランクトン生産構造」

(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) 公開講演会「生物多様性観測・評価・予測研究の最前線 4 ～生物多様性と第一次産業～」(主催: 環境省 環境研究総合推進費 新戦略型課題 S-9、2015年1月7日、東京大学農学部弥生講堂、参加者約100名) にて講演

(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

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) D. P. TITTENSOR, C. MORA, W. JETZ, H. K. LOTZE, D. RICHARD, E. V. BERGHE, and B. WORM: Nature, 466, 1098-1011(2010), Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa.

(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

海洋生物多様性研究分野

藤倉克則・渡部裕美

国際海洋環境情報センター

田中克彦 (H23～H26年度)

海底資源研究開発センター

山本啓之

<研究協力者>

国立研究開発法人海洋研究開発機構

中嶋亮太・伊勢戸徹 (H26年～H27年度) ・

細野隆史 (H27年～H27年度)

東海大学

田中克彦 (H26年～H27年度)

平成23～27年度累計予算額：68,361千円（うち平成27年度：12,000千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

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高密度で生息す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としてサイトの重要度を判定するため、深海化学合成生物群集に広く分布する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)の変異に基づき遺伝的連結性を推定した。深海化学合成生態系における環境要因と底生生物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熱水域の底生生物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。熱水域における底生生物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、底生生物の個体数を推定する線型モデルを作成した。

[キーワード]

化学合成生物群集、底生生物、景観形成種、EBSA、分布推定

1. はじめに

海洋の容積の90%を占める深海環境には、冷水性サンゴ群集、海綿動物群集、熱水活動やメタン湧水での化学合成生物群集などの生物群集が高密度で分布している。そのエネルギー源は、表層の光合成生産からの沈降フラックス、熱水や湧水に含まれる還元物質などである。これらの深海生物群集は、周辺環境に生物生産の一部を供給するとともに、生息環境、産卵と成育の場所として利用さ

れていることが調査研究により明らかにされ、また人間活動の影響を強く受けていることも報告されてきた。例えば、深海トロールは、海底の生息環境を物理的に破壊し、生物群集の再生に影響することが報告されている。北大西洋では、冷水性サンゴ群集が水産有用種の成育に重要との評価から、石油パイプラインの敷設において保全策が取られている。この他にも深海底に集積した投棄ゴミ、流出した漁具、マイクロプラスチックなど様々な物質が深海に沈積していることが知られている。また、技術の向上により、水深1,000mを越える海底からも石油・天然ガスの商業採掘、メタンハイドレートの試掘が実施されている。鉱物資源の開発では、深海の熱水鉱床とコバルトリッチクラストの探査と試掘が始められている。経済活動は深海域にも広がり、その影響を的確に評価することが必要である。

2. 研究開発目的

日本列島は海洋プレートの沈み込み帯に位置していることから、周辺には海溝と隣接した深海域が広がり、熱水活動域とメタン湧水域が数多く分布している。日本周辺での深海調査は1980年代から本格的に始められ、多くの生物試料と環境データが海洋研究開発機構により収集されてきた。本研究では、過去に収集された深海調査のデータから、日本周辺の深海環境に特徴的な化学合成生物群集を指標にした生物多様性損失の定量評価と将来予測についての手法開発と現状評価の研究を実施した。

3. 研究開発方法

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。

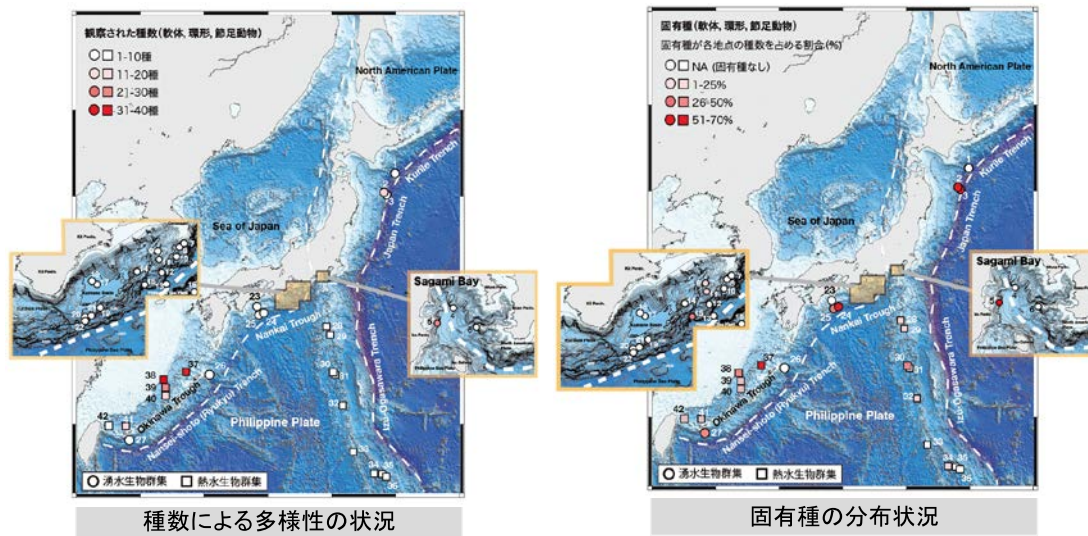
S-9-5の各サブテーマで収集してデータセットは、データ共有と統合解析のため、入力変換のシステムを整え、海洋研究開発機構が管理するデータベース(BISMaL)において集積した。

4. 結果及び考察

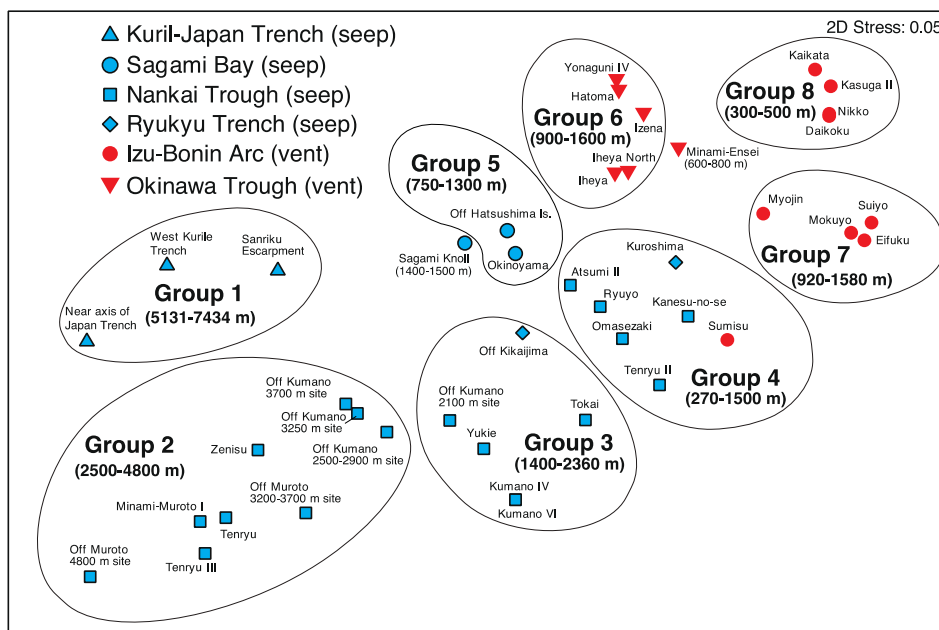
(1) 多様性解析とEBSA評価基準による解析

日本周辺海域において調査実績がある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)の出現情報を抽出した。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。解析対象に選定した151種には、生物標本によるものと、遺伝子の分子系統解析でのみ同定されている種が含まれていた。

化学合成生物群集の出現種数を見ると、相模湾の初島沖、沖縄トラフの南奄西海丘・伊平屋北海嶺・伊平屋海嶺でサイトあたりにして20-40種と有意に高く、19サイトの群集において地域の固有種が存在した(図(6)-1)。ただし、この解析では、調査頻度およびサイト内での調査面積などから生じる努力量に対する重み付けはしていない。従って、固有種の分布範囲は、実際よりも狭く評価している可能性がある。

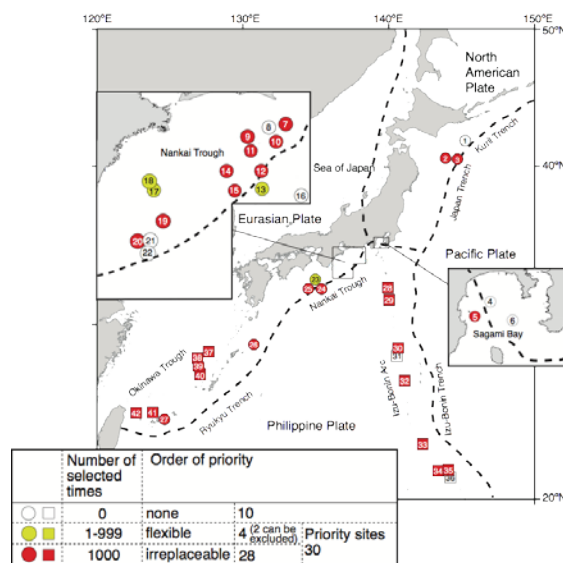


図(6-1) 日本周辺海域での化学合成生物群集の分布域と多様性の状況



図(6-2) 日本周辺の深海化学合成生物群集の構成

群集を構成する151種を対象にBray-Curtis類似度指数による解析をした(図(6-2))。その結果、各サイトは地理的条件において8群に大別された。その特性は、水平方向での距離、水深により層別、という属性で大きなグループを形成した。



図(6)-3 日本周辺の深海化学合成生物群集のEBSA判定基準による解析結果

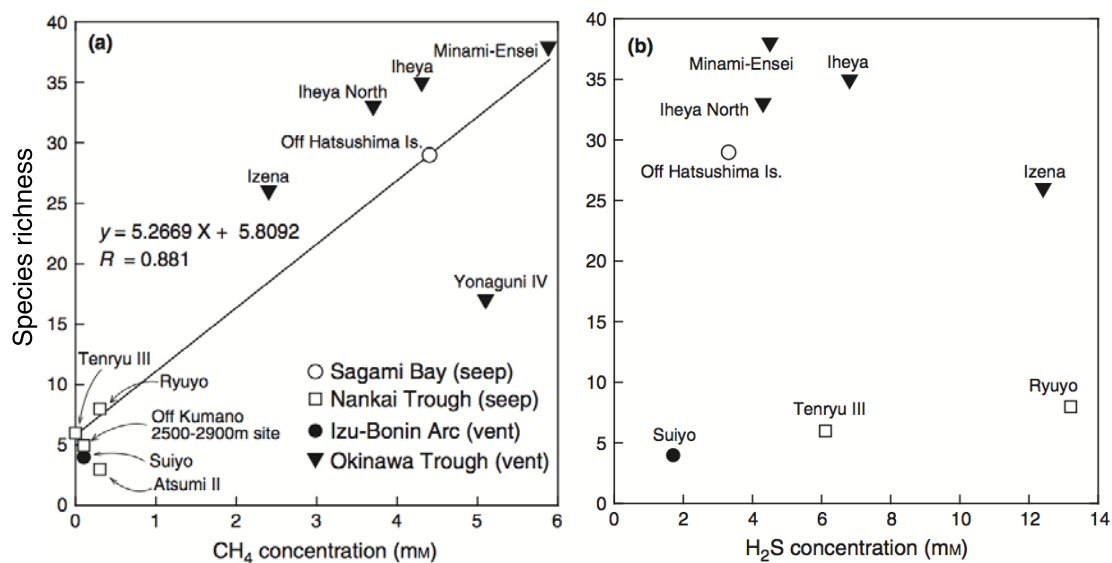
右図の赤・黄色サイトが保全すべき重要海域

深海の化学合成生態系には、多くの固有種が生息し、高密度の生物群集が維持されているが、調査データが点在しており、EBSAの判定基準に使えるデータは限定されていた。固有種が多いことから希少性の項目のみを基準にし、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。データが存在する42サイトの生物群集は30サイトを重要海域として保全すれば8グループで構成される日本周辺の化学合成生物群集に生息する155種を保全できることが示唆された(図(6)-3)。

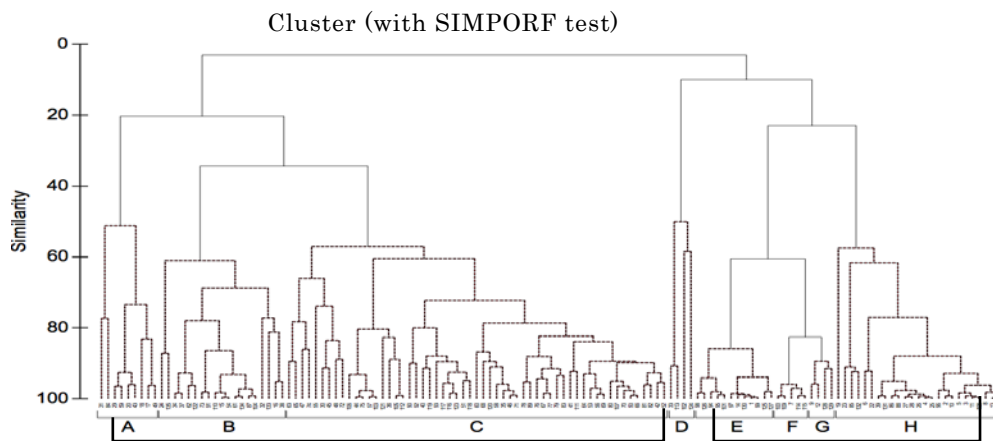
(2) 分布推定の解析

化学合成の主要なエネルギー源であるメタンと硫化水素の環境濃度とサイトに生息する種数の相関を調べた(図(6)-4)。その結果、メタン濃度と相関して種数が増える傾向が認められた。一方、硫化水素では有意な傾向が見られなかった。この結果については、反応性の高い硫化水素が溶存酸素と素早く反応して硫酸塩に変化するため、正確な濃度を実験室で計測できないという技術上の課題があることを考慮しなければならない。結果として、エネルギー量が多く供給されるサイトでは種数も多く、個体数も増加すると考えられる。

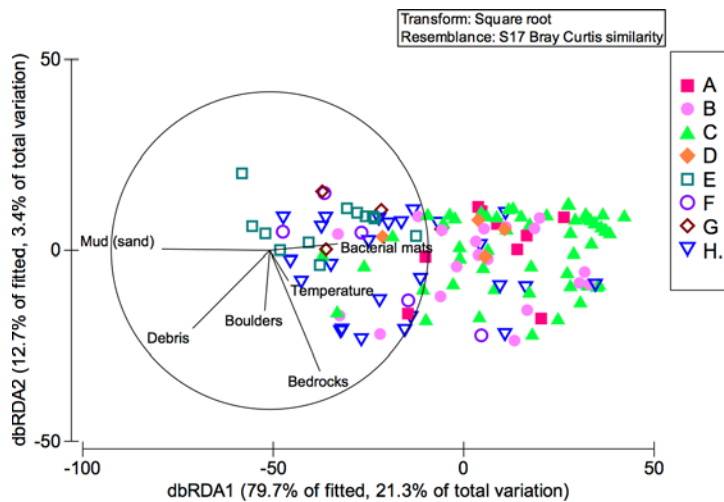
深海化学合成生態系における環境要因と底生生物分布の相関性を沖縄トラフの伊平屋北海丘の調査データから解析した。収集した生物群集のクラスタ分析から、伊平屋北の底生生物群集は熱水依性存群(*Sinkaia*, *Bathymodiolus*など)と非依存群のグループ(図(6)-5)に大別された。生物分布と環境条件の相関性をRDA分析により調べた結果では、底質(泥,瓦礫,岩,岩盤),バクテリアマット,水温などの環境条件の影響から底生生物群集の分布の特徴を説明することができた(図(6)-6)。これらの結果から、環境条件から生息分布域を推定することが可能と考えられた。



図(6)-4 深海化学合成生物群集の種数に対するメタンと硫化水素の濃度の関係



図(6)-5 伊平屋北海丘での生物群集構成のクラスター分析の結果



図(6)-6 伊平屋北海丘での生物群集の分布と環境条件とのRDA分析

ベントス個体群の一般線形モデル

Shinkaia crosnieri
 $Y = \exp(-1.00 + 0.03 * \text{Boulders} + 0.03 * \text{Bedrocks} + 0.05 * \text{Bacterial mat})$

Paralomis crabs
 $Y = \exp(-23.2 + 0.05 * \text{Mud} + 0.04 * \text{Boulders} + 0.05 * \text{Bedrocks} - 0.07 * \text{Bacterial mat} + 3.89 * \text{Temp} + 0.05 * \text{Shinkaia abundance} + 8.54 * \text{Holothurioidea abundance})$

Bathymodiolus mussels
 $Y = \exp(-13.0 + 0.03 * \text{Boulders} + 0.03 * \text{Bedrocks} + 3.01 * \text{Temp})$

Rossellidae sponges
 $Y = \exp(-5.64 - 0.09 * \text{Bedrocks} + 1.06 * \text{Temp})$

Holothurioidea
 $Y = \exp(-1.48 + 0.01 * \text{Mud} + 0.06 * \text{Boulders} + 0.06 * \text{Bedrocks})$

$Y = \exp(a + b * X_1 + c * X_2 \dots)$

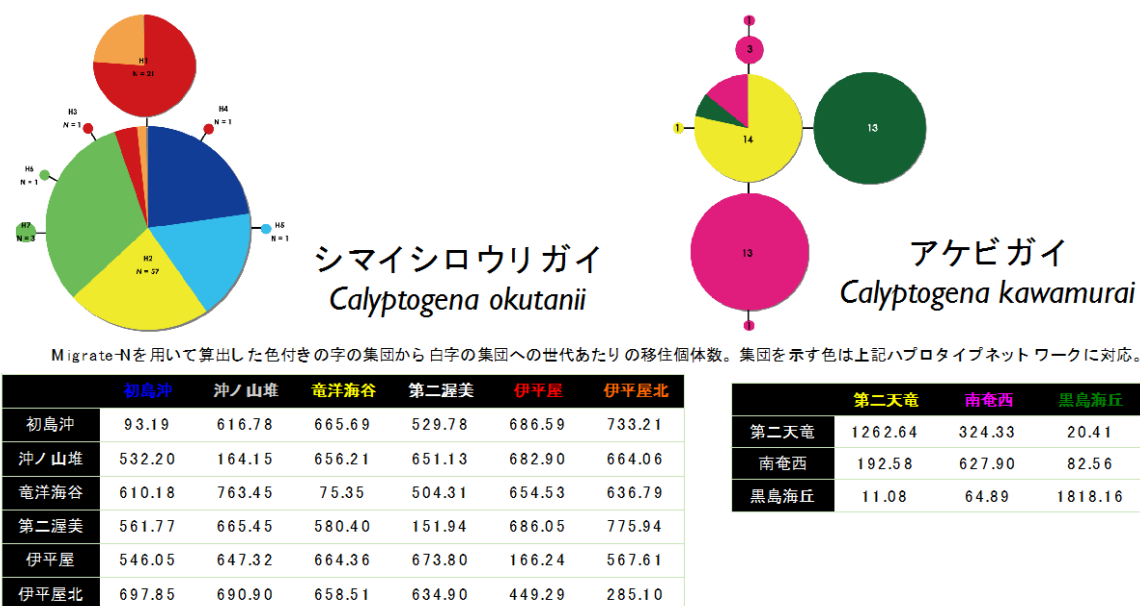
X: %被覆率 or 水温
 Y: 個体数 (inds/m²)

図(6)-7 生息環境条件から底生生物個体群の分布を推定するモデル

分析結果をもとに、環境因子から個体数を推定する暫定モデルを試作した(図(6)-7)。捕食性の甲殻類*Paralomis*については、餌となる生物の量を要素に追加した。個体密度からサイト毎の生産性を推定するには、一次生産者のバクテリアを共生する底生生物(*Shinkaia*, *Bathymodiolus* など)のデータが基礎生産に近似すると考えられた。

(3) 遺伝子による系統解析

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高密度で分布す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種の分散と定着を指標としてサイト間の個体交流頻度の推定をした。その結果、シマイシロウリガイとアケビガイのミトコンドリア



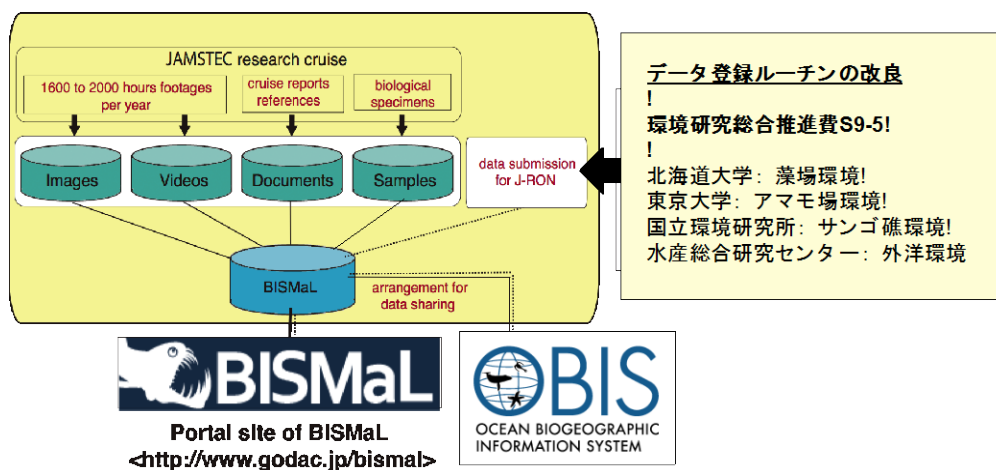
図(6)-8 シロウリガイ類の近縁2種における集団間の遺伝的連結性の推定

遺伝子（CO1）の変異から、各サイトの集団間での遺伝的な交流の状況を有意に推定することができた（図(6)-8）。いずれの場合も、沖縄トラフの熱水噴出域と太平洋側のメタン湧水域の集団間では遺伝的連結性が制限されていることが明らかになった。

不連続に孤立した生息地（熱水活動、メタン湧水など）に分布する化学合成生物群集に対し、環境条件に適応した固有種を指標として各群集の系統関係と分散定着の歴史に加えて、分散経路の決定因子である海洋物理構造の情報を取り入れことで生態系及び群集としての頑強性と復元力を評価できると考えられた。

（４）データベース

各サブテーマにおいて収集した生物種の出現情報などのデータは、BISMaLのシステムに登録している。データ共有のため、入力データはDarwin Core書式に整形し、品質管理として入力ミスやデータ重複の検証などを行っている。このデータ登録作業の自動化を進めるためにBISMaLの入力システム用にS-9-5専用のデータ登録ルーチンを設置した（図(6)-9、表(6)-1）。



図(6)-9 データの登録と共有の経路

表(6)-1 BISMALのデータベースに収録したS9の解析用データセットの内訳 (2016年3月時点)

対象	データセット名	レコード数	分類群数	期間
沿岸域	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Akkeshi Marine Station, Hokkaido University	38	11	2002
	Natural Geographi In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Department of Nematology, IEBR, Vietnam	122	49	2008
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Institute of Oceanography, Vietnam	70	32	2009
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Marine and Coastal Resources Research Center	148	71	2007-2008
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, MarineBio Lab, UP Visayas, NaGISA	640	136	2007-2008
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, MarineBio Lab UP Visayas, Solar I Benthos Project	114	54	2007
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Seto Marine Biological Laboratory	1,681	445	2002-2010
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, NaGISA-Files	92	25	2004
	Natural Geography In Shore Areas (NaGISA) Dataset, Universiti Sains Malaysia, Penang	23	20	2007-2008
サンゴ	Coral Reef Dataset	18,904	508	1930-2010
海草	Seagrass Dataset	4,437	28	1943-2007
	Seagrass in Southeast Asia	74	8	1980-1995
コンブ	Kelp Dataset	28,358	709	1883-2011
プランクトン	FRA-PLANKTON DATASET	82,539	293	1960-2012
深海化学合成群集	E-library of Deep-sea Images, JAMSTEC	36,984	834	1982- 2013
	Marine Biological Sample Database, JAMSTEC	25,616	1,433	1982-2015
合計	16 データセット	199,840	3,889	1883-2015

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

日本列島周辺海域の深海化学合成生物群集の分布データを統合し、生物多様性の状況、遺伝的連結性、分布推定等の解析において成果を得ることができた。この成果は、研究開発において収集したデータセットとともに、今後の深海生態系研究に有用な知識として活用できる。

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>

収集した深海生物のデータと解析手法は、商業ベースでの開発が計画されている海底資源開発での環境影響評価の基準と制度を決める際に基礎情報として活用される。

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) Y. TAKAHASHI, Y. SASAKI, Y. CHIKARAISHI, M. TSUCHIYA, H. WATANABE, T. ASAHIDA, T. MARUYAMA and K. FUJIKURA: Researches in Organic Geochemistry, 28, 23-26 (2012), Does the symbiotic scale-worm feed on the host mussel in deep-sea vent fields?
- 2) S. NAKANO, Y. YAHARA, 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).
- 3) 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.
- 4) T. OKUTANI, K. FUJIKURA, H. WATANABE and Y. OHARA: Venus, 71, 39-47 (2013), *Calyptogena (Abyssogena) mariana*: Discovery of a New Vesicomid Clam from the Southern

Mariana Trench.

- 5) R. NAKAJIMA, T. KOMUKU, T. YAMAKITA, D.J. LINDSAY, Y. JINTSU-UCHIFUNE, H. WATANABE, K. TANAKA, Y. SHIRAYAMA, H. YAMAMOTO and K. FUJIKURA: JAMSTEC Report of Research and Development, 19: 59-66 (2014), A new method for estimating the area of the seafloor from oblique image taken by deep-sea submersible survey platforms.
- 6) R. NAKAJIMA, T. YAMAKAITA, H. WATANABE, K. FUJIKURA, K. TANAKA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA: Diversity and Distributions, 20: 1160-1172 (2014), Species richness and community structure of benthic macrofauna and megafauna in the deep-sea chemosynthetic ecosystems around the Japanese Archipelago: an attempt to identify priority areas for conservation.
- 7) R. NAKAJIMA, H. YAMAMOTO, S. KAWAGUCCI, Y. TAKAYA, T. NOZAKI, C. CHEN, K. FUJIKURA, T. MIWA and K. TAKAI: PLoS ONE, 10: e0123095 (2015), Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough.

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 佐々木猛智、渡部裕美、狩野泰則、藤倉克則、小島茂明：日本動物分類学会 (2011)
「深海性化学合成生物群集の貝類の多様性 - 最近の発見」
- 2) K. TANAKA, K. FUJIKURA, H. YAMAMOTO, A. VANROOSEBEKE, H. SAITO, A. SONODA and T. MARUYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Aberdeen, Scotland, 2011
“Developing a new data system, the Biological Information System for Marine Life, to integrate marine biodiversity information in the adjacent waters of Japan”
- 3) K. FUJIKURA, D. J. LINDSAY, H. KITAZATO, S. NISHIDA and Y. SHIRAYAMA: World Conference on Marine Biodiversity, Aberdeen, Scotland, 2011
“Marine Biodiversity in Sagami Bay, Japan”
- 4) H. WATANABE, M. SEO, S. KOJIMA, K. FUJIKURA, T. MIWA and T. TOYOHARAa: World Conference on Marine Biodiversity, Aberdeen, Scotland, 2011
“Population connectivity among hydrothermal vent fields in the western Pacific”
- 5) 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”
- 6) 渡部裕美、小倉知美、高橋幸愛、矢萩拓也、徐美恵、小島茂明、中村雅子、山本正浩、和辻智郎、高井研、鈴木庸平、石橋純一郎、藤倉克則、NT11-20航海乗船者一同：Blue earth 2012 (2012)
「沖縄トラフ熱水噴出域に分布する生物群集の多様性」
- 7) 小倉知美、渡部裕美、佐々木猛智、藤倉克則：Blue earth 2012 (2012)
「深海化学合成生物群集に生息するハイカブリニナ属腹足類の種分化過程の推測」
- 8) 高橋幸愛、藤倉克則、三宅裕志、渡部裕美、丸山正：Blue earth 2012 (2012)
「日本周辺の深海化学合成生態系に生息するシンカイヒバリガイ属とウロコムシ科多毛類

の共生について」

- 9) 渡部裕美、瀬尾絵理子、高橋幸愛、吉田尊雄、小島茂明、藤倉克則、三宅裕志：日本地球惑星科学連合2012年大会（2012）
「日本周辺化学合成生物群集におけるシロウリガイ類の分布勾配」
- 10) Y. OHARA, M. K. REAGAN, K. FUJIKURA, H. WATANABE, K. MICHIBAYASHI, T. ISHII, R. J. STERN, F. MARTINEZ and K. A. KELLEY: 日本地球惑星科学連合2012年大会（2012）
“Southern Mariana Forearc: geology and chemosynthetic biological community of a serpentinite terrain”
- 11) K. TANAKA, H. SAITO, Y. HANAFUSA, H. YAMAMOTO, K. FUJIKURA, A. SONODA and T. MARUYAMA: 日本地球惑星科学連合2012年大会（2012）
“A new framework to integrate the marine biodiversity information around Japan”
- 12) H. WATANABE, M. YAMAMOTO, T. OGURA, Y. TAKAHASHI, T. YAHAGI, M. NAKAMURA, M. H. SEO, S. KOJIMA, T. WATSUJI, K. TAKAI, J. ISHIBASHI and K. FUJIKURA: 13th Deep-Sea Biology Symposium, 2012
“Biodiversity of deep-sea hydrothermal vent fauna and its relationships to environmental factors in Okinawa Trough”
- 13) T. OGURA, H. WATANABE, T. SASAKI and K. FUJIKURA: 13th Deep-Sea Biology Symposium, 2012
“Speciation of *Provanna* spp. (Gastropoda: Provannidae) in the deep-sea chemosynthetic community around Japan”
- 14) 佐々木猛智、鈴木庸平、植松勝之、渡部裕美、藤倉克則、小島茂明：動物分類学会（2012）
「アルビンガイ類の比較解剖：鰓の構造と共生細菌に注目して」
- 15) 高橋幸愛、藤倉克則、三宅裕志、力石嘉人、渡部裕美、丸山正：日本地球化学会年会（2012）
「日本周辺の深海化学合成生態系に生息するシンカイヒバリガイ属とエラウロコムシ亜科の共生について」
- 16) K. TANAKA, H. SAITO, Y. HANAFUSA, H. YAMAMOTO, K. FUJIKURA, A. SONODA and T. MARUYAMA：日本学術会議主催学術フォーラム「データと発見」（2012）
“New framework and data system to integrate the marine biodiversity information around Japan”
- 17) 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”
- 18) 中嶋亮太、山北剛久、渡部裕美、藤倉克則、田中克彦、山本啓之、白山義久：2013年海洋学会春季大会（2013）
「日本周辺の深海化学合成生態系における重要海域選定の試み」
- 19) 中嶋亮太、山北剛久、渡部裕美、藤倉克則、田中克彦、山本啓之、白山義久：2013年プランクトン底生生物学会合同大会（2013）
「日本周辺の深海化学合成生態系におけるマクロ・メガ底生生物の種数および群集構造：重要海域選定の試み」

- 20) 小倉知美、渡部裕美、佐々木猛智、藤倉克則： Blue earth 2013 (2013)
「深海化学合成生物群集に生息するハイカブリニナ属腹足類の種分化過程の推測」
- 21) 高橋幸愛、三宅裕志、力石嘉人、土屋正史、渡部裕美、丸山正、藤倉克則： Blue earth 2013 (2013)
「日本周辺の深海化学合成生態系に生息するシンカイヒバリガイ属とエラウロコムシ亜科の共生について」
- 22) R. NAKAJIMA, T. YAMAKITA, H. WATANABE, K. FUJIKURA, T. TANAKA, H. YAMAMOTO and Y. SHIRAYAMA : World Conference on Marine Biodiversity 2014, Qingdao, Chania, 2014
“Species richness and community structure of benthic macrofauna and megafauna in the deep-sea chemosynthetic ecosystems around the Japanese archipelago: an attempt to identify priority areas for conservation”
- 23) R. NAKAJIMA: 2nd International JAMBIO Symposium “Aquatic Ecosystems: Past, Present and Future”, University of Tsukuba, Japan, 2014
“2nd International JAMBIO Symposium “Aquatic Ecosystems: Past, Present and Future”, Tokyo Campus, University of Tsukuba (Japan)”
- 24) H. WATANABE, S. MITARAI, S. KOJIMA, H. KUMAGAI and J. ISHIBASHI: World Conference on Marine Biodiversity, Qingdao, China, 2014
"Diversity of deep-sea hydrothermal vent faunas in the western Pacific."
- 25) 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”
- 26) R. NAKAJIMA, H. YAMAMOTO, S. KAWAGUCCI, N. TAKAYA, T. NOZAKI, C. CHEN, K. FUJIKURA and T. TAKAI: 14th Deep-Sea Biology Symposium, Aveiro, Portugal, 2015
"Post-drilling changes in seabed landscape and megabenthos in a deep-sea hydrothermal system, the Iheya North field, Okinawa Trough"
- 27) R. NAKAJIMA, T. KOMUKU, T. YAMAKITA, D. J. LINDSAY, Y. JINTSU-UCHIFUNE, H. WATANABE, K. TANAKA, Y. SHIRAYAMA, H. YAMAMOTO and K. FUJIKURA: International Conference on Biodiversity, Ecology and Conservation of Marine Ecosystems 2015, The University of Hong Kong, Hong Kong, 2015
“A new method for estimating the area of the seafloor from oblique images taken by deep-sea submersible survey platforms”
- 28) 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”
- 29) R. NAKAJIMA, H. YAMAMOTO, S. KAWAGUCCI, N. TAKAYA, T. NOZAKI, C. CHEN, K.

FUJIKURA, T. MIWA and K. TAKAI: From Seafloor Hydrothermal Systems to the Sustainable Exploitation of Massive Sulfide Deposits: Myths and Realities of the Deep Sea, University of Bergen, Norway, 2015

"The influence of drill-induced disturbance to the benthic communities of deep-sea hydrothermal ecosystems"

- 30) K. FUJIKURA: JSPS-FAPESP workshop, Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, 2015

"Japan: a marine biodiversity hotspot!"

- 31) K. FUJIKURA: 15th Japan-Australia Joint Science and Technology Committee Meeting, Sydney, Australia, 2015

"Marine science, ocean observation and biodiversity"

- 32) 中嶋亮太、山本啓之、川口慎介、高谷雄太郎、野崎達生、Chong Chen、藤倉克則、高井研：ブルーアース（2015）

「沖縄トラフ伊平屋北熱水フィールドにおけるIODP331掘削後の海底環境と生物相の変化」

- 33) 中嶋亮太、山本啓之、川口慎介、高谷雄太郎、野崎達生、Chong Chen、藤倉克則、高井研：日本海洋学会春季大会（2015）

「沖縄トラフ伊平屋北熱水フィールドにおける掘削後の海底環境とメガ底生生物相の変化」

- 34) K. FUJIKURA: 17th POGO Plenary Meeting (POGO-17), Yokohama, Japan, 2016

"Submersibles for deep-sea biology at JAMSTEC"

- 35) 伊勢戸徹、細野隆史、藤倉克則、園田朗:日本海洋学会JODC50年シンポジウム,東京(2016)

"J-OBISの役割およびデータ管理の現状と展望"

(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) 藤倉克則：第124回 地球情報館公開セミナー（2011）

「世界の、そして日本の海の生物多様性」

- 2) 佐々木猛智，渡部裕美，狩野泰則，藤倉克則，小島茂明：日本動物分類学会（2011）

「深海性化学合成生物群集の貝類の多様性 - 最近の発見」

- 3) 藤倉克則：大島国際海洋高校講演（2011）

「海洋生物のセンサス・深海生物の生き方」

- 4) 藤倉克則：国連大学サステナビリティと平和研究所（UNU-ISP）「国際生物多様性の日シンポジウム—豊かな海と生きる—」（2012）

「海の生物の豊かさ，不思議さ，そして・・・」

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 藤倉克則：FM Tokyo（2011年5月21日、「中村正人の夜は庭イヂリ」）

- 2) 藤倉克則：朝日小学生新聞（2011年9月27日、「海の研究おどろき最前線」）

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

Assessing Biodiversity Loss in Marine Ecosystem

Principal Investigator: Yoshihisa SHIRAYAMA

Institution: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
(JAMSTEC)

Natsushima-cho 2-15, Yokosuka-City, Kanagawa
237-0061, JAPAN

Tel: +81-46-866-3811 / Fax: +81-46-867-9025

E-mail: yshira@jamstec.go.jp

Cooperated by: Hokkaido University, University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, Fisheries Research Agency

[Abstract]

Key Words: EBSA, Asia, off shore, coast, deep-sea, seagrass, seaweed, coral reef, zooplankton, chemosynthetic community

This project aimed at assessing biodiversity loss in Asian marine ecosystems and selecting ecologically or biologically significant area (EBSA) in Asia by organizing six research teams on 1) integration of assessments on the following ecosystems, 2) kelp forest and seaweed beds, 3) seagrass beds, 4) coral reefs, 5) plankton communities in pelagic water, and 6) deep-sea chemosynthesis-based communities.

Since 2011, the project collected over 2,213,148 records from database (OBIS, GBIF, etc.), cruise reports, literature and specimen records. Based on the assessments of biodiversity states in target areas, we developed a protocol to select candidate EBSAs based on data obtained from all over the Asia-Pacific coastal sea. For seven criteria of EBSA identification process, we examined quantitative indices for selecting EBSA candidates. Then, we improved methods of criteria integration to identify EBSA and to compare selected candidate EBSAs with currently managed marine protected areas (MPAs). The results revealed significant gaps between the candidate EBSAs and MPAs of coast area.

The selected EBSAs of off shore area around Japanese Islands included the waters south of Shizuoka prefecture-Kuroshio extension, offshore Tohoku-east Hokkaido, northern waters of Sea of Japan, East China Sea, and the waters around Ogasawara islands. Those are feeding and nursery waters for the commercially important fishes such as Japanese sardine.

Species richness and endemism of deep-sea chemosynthetic communities from 42 vents and seeps around Japanese archipelago were examined using the distributional data

of 155 mollusks, annelid and arthropod species. The deep-sea chemosynthetic-bearing animals, such as *Calyptogena* clams and *Bathymodiolus* mussels, formed dense populations and turned out to act as ecosystem engineers. Multivariate multiple regressions revealed that these community structures was sharpened by benthic variables (mud, debris, boulders and bedrocks), bacterial mat, and water temperature.

In each of the ecosystems listed above (2-5), we adopted the IPCC scenario to assess risk of biodiversity loss in future including potential effects on feeding and nursery habitats of the commercially important fishes and identify priority areas of future biodiversity conservation.

These results have been adopted as expert opinion or base-line data for CBD EBSA workshops, and could further contribute to achieve the Aichi Target and assessments in the International Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES).