

Environment Research and Technology Development Fund
環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

S15-3 海域における自然資本・生態系サービスがもたらす自然
的価値の予測評価

(JPMEERF16S11530)

平成28年度～令和2年度

Predicting and assessing the natural values of marine ecosystems from natural capital and
ecosystem services

<研究代表機関>

国立研究開発法人海洋研究開発機構

<研究分担機関>

国立大学法人北海道大学

国立研究開発法人国立環境研究所

国立研究開発法人水産研究・教育機構

<研究協力機関>

甲南大学

国立大学法人東京大学

国立大学法人京都大学

国立大学法人鹿児島大学

令和3年5月

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・	1
1. はじめに（研究背景等）		
2. 研究開発目的		
3. 研究目標		
4. 研究開発内容		
5. 研究成果		
5-1. 成果の概要		
5-2. 環境政策等への貢献		
5-3. 研究目標の達成状況		
6. 研究成果の発表状況		
6-1. 査読付き論文		
6-2. 知的財産権		
6-3. その他発表件数		
7. 国際共同研究等の状況		
8. 研究者略歴		
II. 成果の詳細		
II-1 海域の環境要因の将来予測データの整備および自然資本・生態系サービス予測評価の統合	・・・・・・・・・・	15
(国立研究開発法人海洋研究開発機構)		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-2 経済活動に起因するドライバーが海域の自然資本・生態系サービスに与える影響の予測評価	・・・・・・・・・・	25
(国立大学法人北海道大学)		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-3 気候変動等を考慮した将来シナリオにもとづく海域の自然資本・生態系サービスの予測評価	・・・・・・・・・・	39
(国立研究開発法人国立環境研究所)		
要旨		
1. 研究開発目的		
2. 研究目標		
3. 研究開発内容		
4. 結果及び考察		
5. 研究目標の達成状況		
6. 引用文献		
II-4 海域管理による介入オプションの検討にもとづく自然資本・生態系サービスの予測評価	・・・・・・・・・・	47
(国立研究開発法人水産研究・教育機構)		

要旨

1. 研究開発目的
2. 研究目標
3. 研究開発内容
4. 結果及び考察
5. 研究目標の達成状況
6. 引用文献

III. 研究成果の発表状況の詳細	59
IV. 英文Abstract	75

I. 成果の概要

課題名 S15-3 海域における自然資本・生態系サービスがもたらす自然的価値の予測評価
 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 特任参事)

研究実施期間 平成28年度～令和2年度

研究経費 (千円)

	契約額	実績額 (前事業年度繰越分支出額含む)
平成28年度	47,500	47,416
平成29年度	47,500	47,201
平成30年度	45,125	45,179
令和1年度	47,500	45,472
令和2年度	47,500	46,556
合計額	235,125	231,824

本研究のキーワード 沿岸、海洋、生物多様性、地図化、将来シナリオ、自然のもたらすもの (nature's contributions to people; NCP)、生態系サービス、気候変動

研究体制

(サブテーマ3(1)) 海域の環境要因の将来予測データの整備および自然資本・生態系サービス予測評価の統合 (国立研究開発法人海洋研究開発機構) (体系的番号 JPMEERF16S11509)
 (サブテーマ3(2)) 経済活動に起因するドライバーが海域の自然資本・生態系サービスに与える影響の予測評価 (国立大学法人北海道大学) (体系的番号 JPMEERF16S11511)
 (サブテーマ3(3)) 気候変動等を考慮した将来シナリオにもとづく海域の自然資本・生態系サービスの予測評価 (国立研究開発法人国立環境研究所) (体系的番号 JPMEERF16S11512)
 (サブテーマ3(4)) 海域管理による介入オプションの検討にもとづく自然資本・生態系サービスの予測評価 (国立研究開発法人水産研究・教育機構) (体系的番号 JPMEERF16S11513)

研究協力機関

甲南大学
 国立大学法人東京大学
 国立大学法人京都大学
 国立大学法人鹿児島大学

1. はじめに (研究背景等)

生態系の劣化とその社会への影響が認識されるにつれ、生物多様性条約 (CBD) 等の保全の体制、海洋生物地理情報システム (OBIS) 等の生物多様性情報学の取り組み、地球規模生物多様性概況第4版 (GB04) 等による現状の広域把握と統合評価などの国際的取組が急速に進行している。陸域では多くの分類群で空間明示的な過去の分布変化の評価や将来予測が進み、それを基にした重要地域の選定や保護区とのギャップ分析、地誌的背景の検討などが行われている。

海洋においても、外洋域のデータを中心に将来の物理環境や低次生態系の予測が行われ、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 等に反映されている。また、国際的には公海上で生態学的生物学的重要海域 (EBSA) や脆弱な海洋生態系 (VME) の基準を使った重要海域評価が行われている。生態系サービスの評価については、海の生態系サービスを定量的に把握した例は国際的にも陸域と比較して決して多くはない一方で、国際的には国別の海洋の健全度の指標 (OHI) を提案する研究例も見られる。

国内においても、CBDの愛知目標達成のために同様の手法を適用する動きはみられ、国内においても日本の重要海域などの検討が進められるが、特に海の生態系サービスを定量的に把握した例は少なく、全国

的な評価は困難か、地域スケールであっても沿岸域の保全や利用に資する十分な解像度や精度に至っていないのが現状である。また、将来予測を行うためには、様々な時空間スケールでのデータの整備とモデルの構築が必要不可欠であるが、海域の将来予測は1度グリッド程度の解像度で提供されていた。

こうした点を検討・改善した成果は、CBDの愛知目標達成だけではなく、2012年に新たに設立された生物多様性及び生態系サービス(BES)に関する政府間科学政策プラットフォーム(IPBES)における科学的評価など国際的な枠組みに活かされることも強く期待されている。近年では愛知目標の期限にあたる生物多様性条約のCOP15の開催が予定されその準備段階の会合が開催されている。国内では、これに合わせて生物多様性及び生態系サービスの総合評価2021の検討が進んでおり、こうした国レベルでの政策の他に、各地での国立・国定公園なども更新への情報提供も期待される。また、国際的にはIPBES以外にも持続可能な開発のための国連海洋科学の10年などの取り組みのための基盤として、情報整備と研究のコラボレーションの促進も期待されている。

2. 研究開発目的

上記の背景から本テーマでは、a) 予測を含む環境データについて、沿岸での解析に適したものを作成し、それらを用いた生態系の機能とサービス・資本の評価事例を検討するとともに、各サブテーマで利活用するためのデータベースを整備すること、b) テーマ4と連携した経済評価を含む各種の機能・サービス・資本の評価結果を統合した指標を検討し、テーマ1と連携したシナリオ毎の評価につなげることを目的とする。そのために、各サブテーマで相互に協力し、研究期間にわたって以下の内容を実施する。

1) まず、予測を含む環境データを作成し、各サブテーマで利活用するためのデータベースを整備する。それらを用いた生態系の機能、サービス、および自然資本の評価について事例地域を中心に検討する。また、各種の生態系機能、サービス、自然資本の評価結果を統合した指標を検討し、テーマ1と連携した社会経済シナリオ毎の評価につなげる。

2) 海域・陸域の経済活動が沿岸域の自然資本・生態系サービスに与える影響を統合的に解明する。沿岸域の自然資本・生態系サービスの変化を地域スケールおよび全国スケールで把握すると共に、水質汚染・海域利用などの経済的ドライバーとの関連性を理解する。集水域研究サイトにて、陸域と海域の生態系変動を詳細に解析するプロセスモデルを作成し、陸海の経済活動の変化に伴う沿岸域の自然資本・生態系サービスの変化を定量的に評価する。また、流域に住む主要ステークホルダーを対象に意識調査を行い、それらの結果を踏まえて今後の生態系管理や持続性に関する指針を提言する。さらに、全国スケールで河川を通じた陸域の土地利用の変化が沿岸生態系の自然資本・生態系サービスに与える影響について予測評価する。

3) 気候変動に対する浅海域の地形・生物の変化予測と、その認識・利用状況に基づいて、自然資本・生態系サービスの予測評価を行う。地形・生物に関する全国規模のデータの整備を行い、文献調査・モニタリング等により生物の特性を明らかにする。その上で、各種自然資本・生態系サービスを評価し、各種気候変動シナリオに基づく予測評価を行う。

4) 人間社会と生態系の相互作用や、外部要因がこれらの系全体に与える影響を考察するSocial-Ecological System (SES) アプローチは、「自然と共生する世界の実現」を模索する新たな方法論としてIPBESでも採用されている。日本を含むアジア海域のSESは、主に亜寒帯～熱帯生態系において、伝統的な水産セクターの利用に加え、近年は経済成長・都市化・ステークホルダーの多様化も進んでいるという特徴を有している。よって本サブテーマでは、アジア太平洋海域における日本の海域生態系の変化を予測し、その変化をどのように社会として評価するのか、そして、複数の将来シナリオを前提に、どのように介入オプションを選び取るのか、を検討する。

3. 研究目標

全体目標	海域の自然資本・生態系サービス予測評価の結果を全国あるいは地域の例を通じて統合的に示すことで、社会・生態システムの長期的・中期的変化が生物多様性・生態系に及ぼす影響を明らかにし、科学-政策インターフェースの強化を図る。
サブテーマ3(1)	海域の環境要因の将来予測データの整備および自然資本・生態系サービス予測評価の統合
サブテーマリーダー/所属機関	白山 義久/国立研究開発法人海洋研究開発機構

目標	シナリオにおける政策オプションの代表的なサービスについての影響の有無を他のサブテーマと協力して示す。代表的なサービスの評価に利用可能な統合指標の開発を行ない、得られた成果の地図化を行う。
サブテーマ3(2)	経済活動に起因するドライバーが海域の自然資本・生態系サービスに与える影響の予測評価
サブテーマリーダー/所属機関	仲岡 雅裕/国立大学法人北海道大学
目標	全国スケールでの将来シナリオの下での陸域から沿岸域への影響評価を行い、本テーマ全体の政策提言に反映させる。集水域研究サイトでは陸域動態モデルと海域生態系モデルの連結によるシナリオ毎の生態系サービス変動の予測を実施し、地方自治体、地域住民主体の保全および生態系サービスの持続的利用に向けた将来計画案の作成に利用できる提言集を作成する。
サブテーマ3(3)	気候変動等を考慮した将来シナリオにもとづく海域の自然資本・生態系サービスの予測評価
サブテーマリーダー/所属機関	山野 博哉/国立研究開発法人国立環境研究所
目標	気候変動シナリオ（RCP2.6及びRCP8.5）に対応した今世紀中頃と今世紀末における浅海域生態系の予測を行う。予測結果と浅海域生態系の生態系サービスの経済評価結果を統合し、将来の浅海域の自然資本・生態系サービスの予測評価を行うとともに、モデル地域においてシナリオ分析を行う。
サブテーマ3(4)	海域管理による介入オプションの検討にもとづく自然資本・生態系サービスの予測評価
サブテーマリーダー/所属機関	名波 敦/国立研究開発法人水産研究・教育機構
目標	サブテーマ3(1)で提示されたPANCESシナリオに準じた、モデル地区（石西礁湖）における生態系サービス利用の地域シナリオを提案する。加えて、気候変動予測シナリオによる生態系サービスの変化予測を行い、それら地域シナリオに応じた政策オプションを提案する。

4. 研究開発内容

研究計画書に基づき主に以下の内容について実施した。

- 生態系サービスの現状の分布の検討について、ほかのサブテーマと協力して供給、調整、文化の各サービスのうち、代表的なものを収集し、地域差を視覚的に地図化するとともに、市町村等の解像度でシナジータとトレードオフ等の評価を実施した。（サブテーマ3(1)・サブテーマ3(4)中心にテーマ内連携）
- 海洋健全度指数（OHI）による過去と近未来の評価を含む統合指標の検討について、日本沿岸の各種サービスを評価するにあたって利用可能な、統合指標として開発を行ない、地図上に示した。（サブテーマ3(1)、サブテーマ3(2)中心に検討）
- 海域における将来シナリオの構築について、他のテーマ・サブテーマと協力して、主に陸域を対象に作られたシナリオに関連した海域の要素の検討を行い海版のシナリオを構築した。（全テーマで議論しサブテーマ3(1)でとりまとめ）
- シナリオ分析による生態系サービスの将来予測について、シナリオと連動させた環境や社会の変化を推定するとともに、異なるシナリオにおける政策オプションによる効果の検討を行い、各サービスのうち、代表的なものについての影響の有無を示した。（サブテーマ3(1)とサブテーマ3(4)中心にテーマ全体で議論、テーマ1、サブテーマ3(2)、テーマ4などと連携）
- 気候変動とシナリオが生態系サービスへ与える影響について、全国スケールで、海水温や海流の10kmおよび2kmの高解像度な環境データを複数のシナリオとモデルで用意しその分布と生態系サービスの関係を示すとともに共有し、テーマ内で協力して解析を検討した。（サブテーマ3(3)中心に検討し、サブテーマ3(2)、サブテーマ3(1)が一部データ作成）
- 5-1) 北日本のコンブ藻場への気候変動の甚大な影響について、海域の自然資本・生態系サービスの時空間

変異に関連するドライバーの1つとして気候が大きな要因となることと、それによる社会への影響の大きさを示した。

5-2) 南日本の藻場やサンゴ礁への気候変動の影響について、生物の分布や現存量情報を全国規模で収集し、各種自然資本・生態系サービスに関する気候変動シナリオによる分析と地図化を実施した。

5-3) 砂浜のレクリエーション価値への気候変動の影響について、浅海域の生態系サービスに関する利用実態と、気候変動による将来の浅海域の地形（海面上昇）予測結果との統合的な解析によって検討した。

5-4) コンブ場とサンゴ礁の気候変動影響緩和の社会経済的価値について、浅海域の各種自然資本・生態系サービスに関する価値評価のアンケートを実施することによって示した。

5-5) アマモ場と海藻藻場の将来シナリオによる変化分析について、全国スケールでの経済的ドライバー（主に人口、土地利用と気候変動）と自然資本の関連性の解析として行ない、テーマ4の価値評価へと情報を提供した。

6) 地域スケールの検討である、北海道における陸域から海域への影響を考慮した生態系サービスの予測評価について、以下の点について検討した。（サブテーマ3(2)中心にサブテーマ3(4)、テーマ2と連携して検討）

6-1) 陸域の生態系・土地利用の変化が沿岸生態系に与える影響を考慮した統合的管理施策について、事例調査地域の北海道東部において陸域海域連結型モデルを用いて、土地利用および海域利用に関する複数の将来シナリオの間での陸域から沿岸域の影響の比較解析を行った。

6-2) 陸・里・海のステークホルダーの協働による賢い集水域生態系保全、利用管理体制の構築について、上記の成果を基に、地方自治体、地域住民等の将来計画案の作成に利用できるよう、別寒辺牛川流域にてステークホルダーの分析と住民へのアンケート調査を行い、PANCESシナリオと対応した地域シナリオに基づく提言を作成した。

7) 沖縄におけるシナリオに基づく評価と介入オプションの検討について、各種利用形態とステークホルダーの関係を海域SESとしてまとめた（中間評価までの成果）とともに、以下の点について検討した。（サブテーマ3(4)、気候変動でサブテーマ3(3)、農地に関しての本島での検討をサブテーマ3(3)で連携して実施）

7-1) 地域社会のニーズを活用した将来シナリオの構築について、中間評価までに上記北海道と同様に実施したステークホルダーの把握および各種指標化を参考に、参加型のワークショップを開催したアンケートを通じて作成した。

7-2) 地域シナリオに応じた海洋保護区の設定を含む介入オプションの検討について、潜在的な生態系サービスと生態系サービス利用のギャップを生じさせる要因の把握、そのギャップ解消のための介入オプションという視点から検討をすすめ、空間的にその構造を示すとともに対応する政策等の整理も実施した。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

1) 生態系サービスの現状の分布と地域差の検討（サブテーマ3(1)・サブテーマ3(4)中心にテーマ内連携）

体系的レビューを行った結果、海域の生態系サービスについて明示して検討された論文は2016年時点まででわずか56件であり特にアジア太平洋域で少ないことがわかった。このレビューに基づき、優先的な評価対象を決定し、情報を収集した。得られた主要な生態系サービスの全国分布とサービス間の関係性について、主に本州での沿岸生態系に関連した魚介類（沿岸魚種）の漁獲量のランキングに基づく供給サービスと、炭素固定による調整サービスと沿岸の利用者数による文化的サービスを評価した（図1.3）。10kmメッシュでの解析の結果、湾などを中心に、市町村程度の狭い地域でも周辺より値の高い場所が散在した。特に藻場の分布などはその傾向が顕著である。そのため、これらの地点の環境変化と特産品や観光資源との関係に個別に注視する必要がある。

また、サービス間では、沿岸魚種の生産のランクの高さと炭素固定が西日本の一部で相関して高い値をとる傾向があった。また、沿岸の利用者の数も温暖な西日本で多く生産との相関も高い。そのため西日本での環境の変化、例えば気候変動の影響について、変化の絶対値（水温など）以上に社会的影響が大きい懸念がある。また、地域的な変化の例としては、例えばコンブの生息適地減少やダイビング適地の本州での増加などがすでに示唆されている（Sudo et al. 2020; Yamakita 2018）。そのため、地域ごとの特色を考慮して、各サービスの重要性和他のサービスとの相互関係の有無を把握した施策が必要である。特に生態系サービスを受けるためのインフラ等への社会的な資本の投資を行うにあたっては、地域ごとの生態系とその利用の特性と変化に合わせて検討することや、すでにインフラがある地域との柔軟な連携の考慮が必要である。

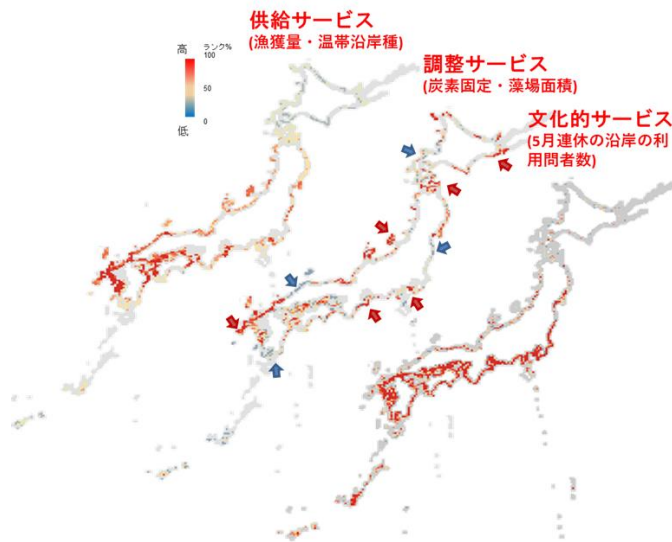


図1.3 各タイプの生態系サービスの全国の現在気候での分布
 本州沿岸の自然資本と対応した魚種の漁獲量ランクの積算値、全国7地域の自然資本ごとの原単位による炭素貯留量推定値（固定相当 桑江他 2019）、携帯電話位置情報による海岸利用者数のGWと冬季の差のランクに基づく。

2) 海洋健全度指数 (OHI) による過去から近未来の評価を含む統合指標の検討 (サブテーマ3(1)、サブテーマ3(2) 中心に検討)

海洋健全度指数 (OHI) は、人間が海洋から享受するさまざまな生態系サービスを機能的・社会・経済学的アプローチから定めた目標により包括的に評価する指標である。本指数では各目標に対する評価値を100点満点で算出することにより、各目標や各対象地間の比較を行うことができる。ここでは北海道と全国の各範囲について利用できるデータに基づいた指標作成を用い、過去10年間の各指標の最大値を主とする目標値を設定し、それぞれの評価を作成した。

本解析から、各地の地域社会の産業構造や自然生態系の違いにより、同じ都道府県内においても、主要な生態系サービスの構成およびその評価値が大きく異なるケースがあることが判明した。

全国の都道府県別の評価値をまとめた結果においては (図0.1)、水質のように過去10年の全国の最大値を目標とした値と比較して改善または値が維持されており、評価の得点が高いものがある一方で、多くの指標は過去と比べて低い値をとった。また、北海道の地域間で得られた結果と同様に、本州の都道府県間でも大きく異なる傾向が得られた。将来シナリオに基づく環境施策の策定には、全国スケールだけでなく各地域の生態系自体の特殊性やそれを利用する社会の状況を考慮することが重要であること、過去の値に対する評価が低い地域について、目標に近づくように回復させる必要性が示された。

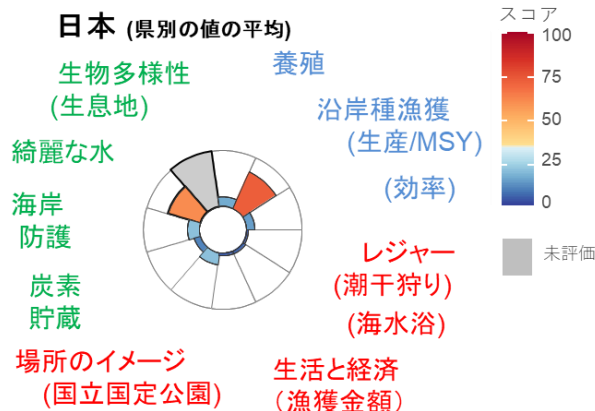


図0.1 全国の沿岸に関する海洋健全度の比較解析結果の平均値 (ver0.47)。
 なお、北海道版と全国版では同じOHIの項目であっても得られるデータに応じて異なる指標を目標値の計算に用いており、評価の点の絶対値は比較可能なものではない。

3) 海域における将来シナリオの構築 (全テーマで議論しサブテーマ3(1)でとりまとめ)

海域においては社会経済の将来シナリオについてこれまでに定型的なものではなく、PANCESシナリオの軸に沿った海域独自の要素について検討を行ない、海域の変化要素の特定と対応する施策を定性的に示した。

海域独自の変化の要素については、ブレインストーミングを行った後に、専門家の合議によって抽出・特定され、変化の方向を示した (図0.2)。その結果、主要な要素としては、人工資本化にしたがって、沿岸での生産が減り、給餌養殖や沖合、遠洋の漁獲を含む域外からの輸入が増加すること、コンパクト化 (人工集中) にしたがって、護岸や養殖などのインフラの整備を都市近郊に限定すること、文化的には自然資本になるにしたがって、エコツーリズムなどの新規産業を促進するなどの要素が抽出された。

これらの要素と対応する施策は定性的に以下を指摘できる。まず、人工資本シナリオでは、人工資本構

築による生態系劣化をミティゲートする施策（対象生物の生活史に即した保護区ネットワークの構築、劣化した場の自然再生事業、必要に応じて漁礁設置や種苗放流など）が重要である。自然資本シナリオでは、海洋保護区を含む生態系保全・再生施策の充実とともに、水産資源管理およびエコツーリズムの強化が求められる。人口集中シナリオでは、都市域での人口が維持されるため、都市を含む流域では陸域起源の負荷への対策（汚染物質など）を総合的に推進する体制を構築することが有効であろう。人口分散シナリオでは、スマート水産業など、IoT の推進をつうじた広域ネットワーク化・省労力化も必要である。



図0.2 海域版のシナリオの構成軸と各シナリオの特徴

4) シナリオ分析による生態系サービスの将来予測（サブテーマ3(1)とサブテーマ3(4)中心にテーマ全体で議論、テーマ1、サブテーマ3(2)、テーマ4などと連携）

社会経済シナリオによる生態系サービスの変化傾向について、供給サービスのうち、漁港の持続性と生産性、カキ養殖ポテンシャルとその需要、ノリ養殖適地について検討した（表1.3）。特に人口集中シナリオにおいて、郊外で営まれているほとんどの漁業の生産は低下するが、都市域でも生産可能な養殖業については増加のポテンシャルがあることを示した。また、調整サービスのうち、災害（波浪、台風、津波）の将来の影響について社会シナリオごとに国土スケール（空間解像度1 kmグリッド）で評価した。その結果、どの社会シナリオでも将来の災害による影響は減少することが明らかになった。これはいずれの社会シナリオでも将来の人口が減少し、災害への曝露が低減することが影響していた。水質浄化や炭素吸収については、変化は小さいものの、水質や人口などと関連したシナリオ間の差異がみられうることを示した。

表1.3 シナリオごとの変化の傾向。

シナリオの要素からは人口による変化を用いた例が多く、調整サービスではその他の要素や気候変動の要素も考慮している。

	シナリオから利用した要素										
	2015	BAU	自然集中	自然分散	人工集中	人工分散	人口	土地利用	水質	その他	気候
供給											
漁港の持続性		↘	↓	↘	↓	↘	☑				
漁港生産		↘	↓	↘	↓	↘	☑				
カキ養殖適地		→	↗	→	↘	↓	☑			☑	
（背景：カキ需要）		↘	↘	↓	↘	↓	☑				
ノリ養殖		→	↘	→	↘	→			☑		
調整											
災害の影響			↘	↘	↘	↘	☑	☑			☑
水質調整や炭素固定											
アマモ場の面積		→	↘	→	→	→	☑	☑	☑		☑
海藻バイオマス		→	→	→	↘	↘			☑		☑

5) 気候変動とシナリオが生態系サービスへ与える影響 (サブテーマ3(3)中心に検討し、サブテーマ3(2)、サブテーマ3(1)が一部データ作成)

気候モデルの物理学的シミュレーションを用いたダウンスケーリングを行った結果、海流などによる影響のために気候変動の地域差が生じた。特に、海水温については東日本太平洋側などで変化量が大きい一方で、不確実性も大きいことを示した(図0.3)。気候変動の影響はそのほかにも100km以下の領域で異なっており、海水温予測値の変化と生態系サービスのランクの分布との相関も低いものが多かった。また、気候変動による影響を導入した将来の生態系サービスの予測では、シナリオ間の違いに対して、気候変動自体の影響が大きい例も見られた。

そのため、社会経済シナリオで考慮される地域性とは別に、気候変動の度合いの異なる海域ごとに、変化の程度に応じた生態系サービスの質の変化の予測をする必要があり、現在受けているサービスや社会構造が同程度の地域であっても、気候変動によって生態系サービスの将来の変化に地域差が生じる可能性に着目する必要がある。

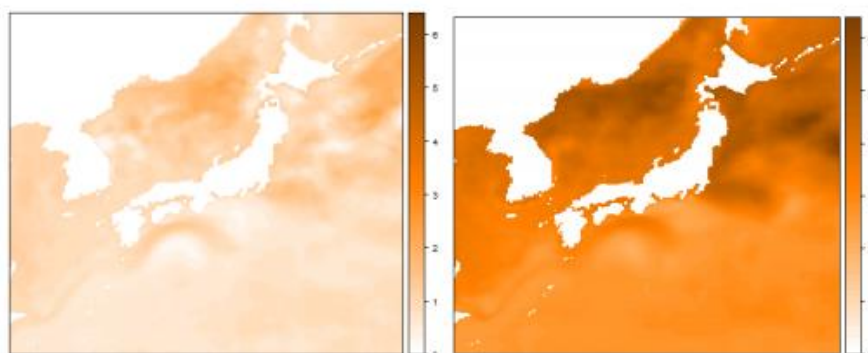


図0.3 2050年、2100年に推定される海表面温度と現在との差。東日本の太平洋側と和歌山沖までの黒潮域で特に高く上昇する傾向を示した。ただし、東日本太平洋側の海流の混合域は推定値の分散も大きい。

5-1) 北日本の藻場への気候変動の甚大な影響

上記の具体例として、北日本のコンブ藻場への気候変動の影響を評価した。その結果、影響は大きく、水温の著しい上昇シナリオでは現在分布している種の多くが消失する可能性がある。影響は排出量のシナリオによってはより小さく、気候変動の緩和策の重要性を示す。同時に、漁獲対象種の転換や養殖適地の選定など、自然状態で維持できない可能性を踏まえた施策の検討が必要であった。

また、アマモ場の面積について社会経済シナリオと、気候変動を同時に検討した場合に、人口分散シナリオが人口集中シナリオと比較して相対的にこれらの自然資本の分布面積を維持した。しかし、海水温変動を考慮しないモデルでは面積の減少量は最大2%であるのに対し、2050年の海水温を考慮することで、最大5%の減少量であった。この変化には北海道の面積の大きなアマモ場の分布変化の影響が大きかった。

5-2) 南日本の藻場やサンゴ礁への気候変動の影響

主に温帯域、亜熱帯域については、大型海藻の衰退とサンゴの分布北上、サンゴ白化予測、大型海藻及びサンゴについて分布と現存量の変化予測を実施し、海藻、サンゴ、食害魚類の分布推移速度、平均白化確率と紫外線量提言シナリオの効果、通年性の海藻の生息確率の本州での減少と、季節性海藻の生息確率の南北海域での弱い増加傾向、を定量的に示し、特に分布と現存量については気候変動シナリオ別の変化や海洋酸性化の効果について不確実性が大きいことも示した。

5-3) 砂浜のレクリエーション価値への気候変動(海面上昇)の影響

また、海面状況の影響として、携帯電話位置情報を用いて砂浜のレクリエーションとしての価値評価を行った。気候変動(海面上昇)による将来の砂浜減少率より価値の減少の方が大きく、自然環境の予測のみに基づいた気候変動の影響評価結果は社会における影響を過小評価している可能性を示した。また、現在と将来で砂浜のレクリエーション価値に基づく海浜利用の順位が変化する可能性があり、砂浜保全の優先順位を考慮する際に将来の状態も考慮する必要性を示した。

5-4) コンブ場とサンゴ礁の気候変動影響緩和の社会経済的価値

気候変動や開発等の影響を軽減し、沿岸環境を保全することに対する市民の支払意志額に関して、コンブ場、海藻藻場、海藻とサンゴの混成域、アマモ場、干潟、サンゴ礁の6つの生態系の場の評価を行った。その結果、コンブ場とサンゴ礁の評価が高いことが明らかとなった。これらは、ともに気候変動の影響を受けやすく、特に気候変動についてこれらの対策を重視すべき根拠の1つを示した。

5-5) アマモ場と海藻場の将来シナリオによる変化分析

テーマ2で作成した将来シナリオによる栄養塩流出量と、その他の説明変数を入れアマモ場および海藻場の面積の社会経済および気候変化シナリオによる変動を検討した。その結果、例えばアマモ場については気候変動の影響を考慮する場合としない場合と、現況の分布面積からの減少率に3%程度の違いが生じ、その影響は社会経済シナリオによる変化と同じもしくはより大きいことが推定された。

6) 北海道における陸域から海域への影響を考慮した生態系サービスの予測評価 (サブテーマ3(2)中心にサブテーマ3(4)、テーマ2と連携して検討)

6-1) 陸域の生態系・土地利用の変化が沿岸生態系に与える影響を考慮した統合的管理施策

事例調査地域の地域スケールの検討について、北海道東部において流域の土地利用の変化が沿岸生態系に与える影響を解析したところ、農地開発に伴う河川を通じた沿岸域への栄養塩流出量の増加は、海域によっては富栄養化の進行をもたらし、水産有用種を含むさまざまな海洋動植物の生産量に影響をおよぼす可能性が示唆された。このことは陸域から沿岸域への影響を評価する際に、受け手となる沿岸域生態系の特性の違いを考慮することの重要性を示す。そのため、陸域における地域社会の変動の予測評価については、集水域全体およびその周囲に位置する沿岸海域へのインパクトを含めて実施することが必要である。

6-2) 陸・里・海のステークホルダーの協働による賢い集水域生態系保全、利用管理体制の構築

上記のように陸域における土地利用の変化が河川や湿原を通じて海域生態系に影響を与えている別寒辺牛川流域の住民(厚岸町民)を対象に、地域社会や自然生態系に対する認識、および人口減に関連する社会変化や気候変動がそれらに与える影響や懸念、および今後の対応策についてアンケート調査を通じて解析を行った。その結果、この地域では、海域生態系にかかるステークホルダーだけでなく、陸域生態系(森林や農地)や里(市街地)にかかるステークホルダーも、漁業やカキ養殖、汽水湖やコンブなどの海産物や海洋環境および海洋での人間活動に強い関心を持っていることが判明した。これより、本集水域における自然生態系の保全および人間活動(特に一次産業)の持続可能性を高めるためには、陸、里、海のステークホルダーが協働して集水域全体での生態系保全や持続的な一次産業の構築にかかわる施策や意思決定を行うような仕組みづくり、すなわちNew Commonsによる管理体制を作ることが重要であることが明らかになった(図2.11の右側)、この活動の効果はPANCESシナリオの分散型社会のような人口減少が緩やかな時に特に維持されやすい(図2.11の右上)と思われる。

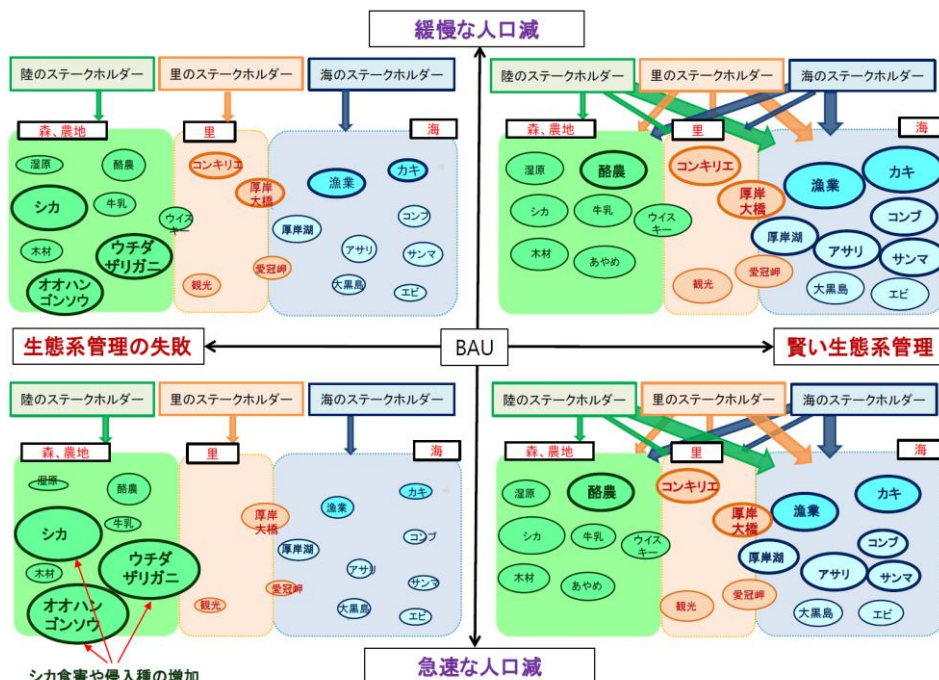


図2.11 住民アンケートを基に作成した別寒辺牛川水系(厚岸町)の重要な生態系サービスや人間活動の将来予測。中央が現状(BAU)としたときに、横軸は異なる生態系のステークホルダーによる生態系保全や持続的な一次産業の管理が成功した場合(右)と失敗した場合(左)、縦軸は人口減少が緩やかな場合(上)と

急激な場合（下）に、厚岸らしさを示す自然資本や人工資本、生態系サービスや人間活動がどのように変化するかを模式的に示した。

7) 沖縄におけるシナリオに基づく評価と介入オプションの検討（サブテーマ3(4)、気候変動でサブテーマ3(3)、農地に関しての本島での検討をサブテーマ3(3)で連携して実施）

7-1) 地域社会のニーズを活用した将来シナリオの構築

生物多様性が著しく高いサンゴ礁域を対象に地域住民がもつ「地域特有の環境との関わり」を重視し、あるべき地域社会のシナリオの提案を検討した。八重山諸島に位置する石西礁湖を擁する石垣島において住民参加型のワークショップを開催し、PANCESシナリオとも類似した2つの軸が抽出され、その各象限に相当する4つのシナリオを作成した。なお、2つの軸の1つ目は「自然資本活用-人工資本活用」の軸であり、2つ目は「観光開発-地域社会の保護」の軸であった(図4.11)。

この4つのシナリオに対して主要となる産業を想定し、サンゴ礁の多種多様な生態系サービスを関連づけることで、各シナリオ関連する対象生物が異なることを示した。これは、サンゴ礁の種多様性の結果としての様々な生態系サービスを示すとともに、次の保護区の検討へと活用された。

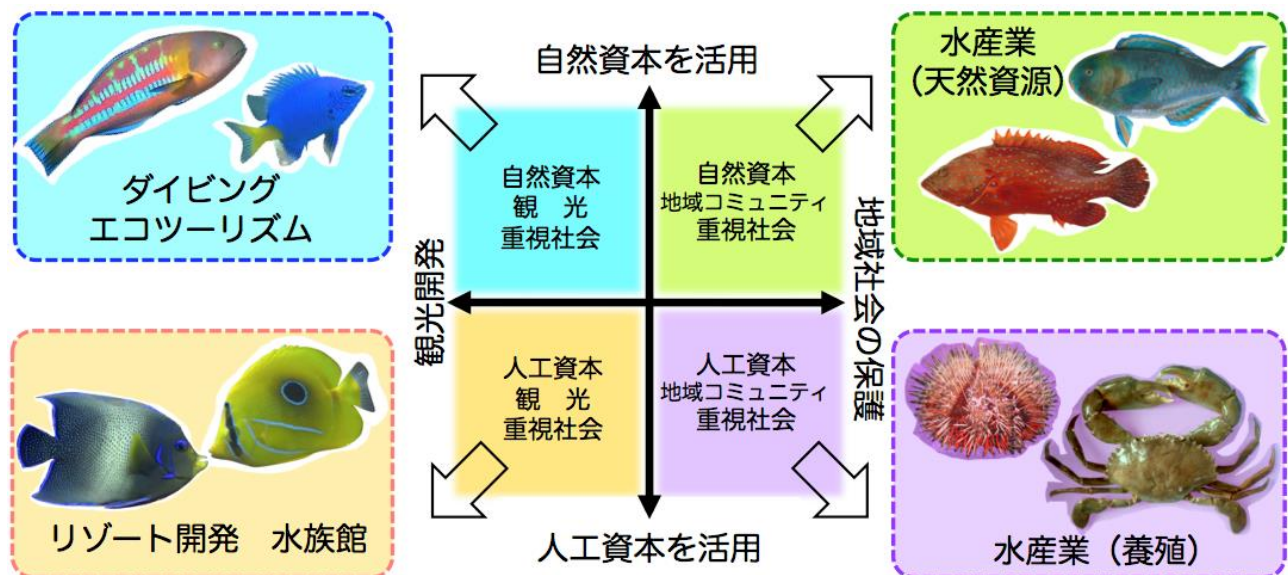


図4.11 地域社会のニーズを活用して提案された4つの将来シナリオと各シナリオに対応する産業および対象となる海洋生物のグループ。

7-2) 地域シナリオに応じた海洋保護区の設定を含む介入オプションの検討

サンゴ礁の自然資本と生態系サービスの維持に有効な海洋保護区については、複数の将来シナリオに応じて「保護する目的」、「保護対象種」、「保護の強度」の3つの指標を設定し、その条件を満たす候補海域を決定した。特に生態系サービスを担う生物（魚類とサンゴ）の分布特性を詳細に調べた上で、前述シナリオのうち、3シナリオについて、指標に応じた海洋保護区を提案した。その結果、海洋保護区の候補地はシナリオによって異なり、総面積も異なった(図4.13)。また、候補海域の決定への、保護の対象となる生物の実際の分布特性への配慮の重要性を示したといえる。さらに今後、将来の気候変動を見据えた海洋保護区を設定する場合は、生物の分布特性と気候変動の関係を検討する必要がある。

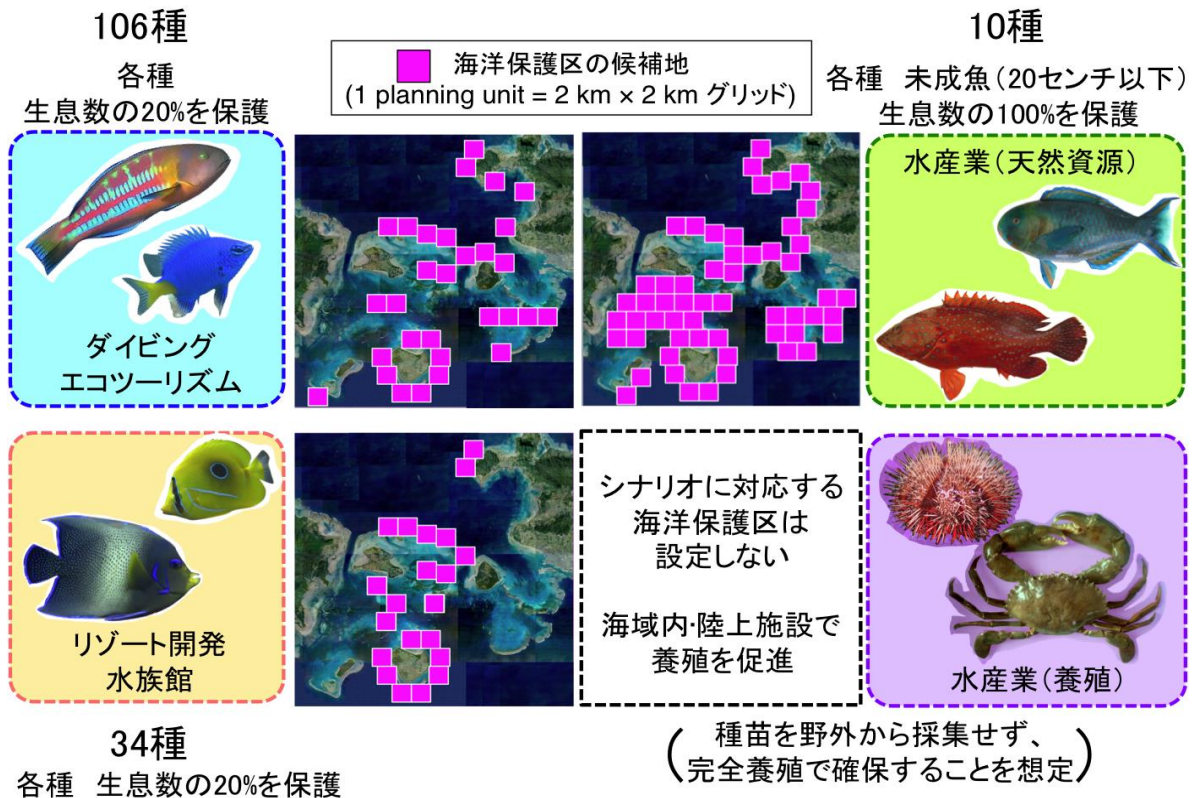


図4.13 ①自然資本・観光重視社会、②自然資本・地域コミュニティ重視社会、
③人工資本・観光重視社会の3シナリオにおける海洋保護区の設定場所

さらに、上記の海洋保護区を実現するための介入オプションとステークホルダーをシナリオ別に整理した。特に、3つのシナリオに共通する介入オプションとステークホルダーについても整理した結果、各省庁が連携してとりくむ様々な施策が有効と考えられた。

5-2. 環境政策等への貢献

<行政等が既に活用した成果>

- IPBESのMEPやIPBES Deliverable 2(b)Regional/subregional assessments on biodiversity and ecosystem services、Asia-Pacific regional assessmentのLead Authorとして本研究において収集した情報に基づき、アセスメントの文章や引用資料作成等に貢献し、本課題の成果として出された論文も引用される形で、2018年3月のIPBES総会において地域アセスメントが公表された。
- IPBESシナリオ・モデリングタスクフォースのワークショップのメンバーとして海域のシナリオによる変化の情報のインプットへと貢献した。
- 国連のWorld Ocean Assessmentにおいて、サンゴ礁の章の執筆者として参加し、日本及びアジア・太平洋のサンゴ礁の状況や保全に関する情報をとりまとめ、本課題の成果論文も引用された。
- AP-BONの委員としてAP-BONの会合において、サブプログラムとなるAP-MBONを設立し、本事業で我が国を対象に進めた海洋生物多様性、自然資本、生態系サービスのモニタリング、評価、将来予測などの手法をアジア各国に適用するためのロードマップとなる提案文書を作成して、World Conference of Marine BiodiversityやGEO-BONの会議などを通じて発信した。
- 国連 Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030)にむけた、Global Ocean Science Report (2020年に出版済)、SCOR (Special Committee on Oceanic Research in ICSU)による国際会議OceanObs (2019)において、全球的な研究、海洋観測の現状とニーズを報告する白書の作成に本課題担当者が携わることになり、研究成果を提供するとともに、2021年初頭に行われたDecade of Ocean Science for Sustainable Developmentプログラム提案において、MBON、OBIS、GOOSなどの国際諸組織と共にMarine Life 2030の事業提案を行った。
- 大阪G20に向けた日本学術会議のS20の提言へ貢献および、日本学術会議の学術の動向に参加者として本研究を踏まえた記載を行った。また、G7 Future of the Seas and Oceans WG (2021年6月)や、CBD

EBSAのワークショップ（2020年2月 Brusselsなど）等で本研究の成果について概説した。

- 持続可能な開発のための国連海洋科学の10年の日本国内委員会における分野別の動向の情報資料として本事業の成果を含めた内容が利用された。
- 本課題において作成されたテーマ別の政策サマリーについて環境省生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会の資料として活用された。
- 環境省が中心に検討を進めている、沖合域における海洋保護区の設定に向けた検討会の委員として、本事業で得られた知見も踏まえ、海における生物多様性保全の理念や指定方針などを助言することにより、自然環境保全法の改正および沖合海底自然環境保全地域の指定に貢献した。
- 陸域生態系と海域生態系の関連性を考慮した生態系管理について、北海道東部の厚岸町および標茶町における取組について、各種の提言を行った。本研究課題を紹介する地域講演会を2017年に開催するとともに、自治体の政策責任者や漁業協同組合、農業協同組合などの主要ステークホルダー団体との定期的な連携を通じて、本地域の今後の将来変動を踏まえた具体的な提言を行っている。また、浜中町、根室市、網走市などの周辺自治体、および北海道庁においても関連情報の交換を通じて、環境政策決定に有益な情報を科学的知見を提供している。提供した情報および知見は、2021年3月に指定された厚岸霧多布昆布森国定公園の選定過程においても有効に利用された。
- 研究分担者（藤井賢彦北海道大学准教授）が北海道環境審議会副会長、地球温暖化対策部会部会長として、北海道環境計画（第3次）及び北海道地球温暖化対策推進計画（第3次）の策定、北海道気候変動適応センターの設置に携わり、その結果として2021年4月に設置された北海道気候変動適応センターに地域の気候変動適応に関する本研究課題の成果を研究情報として提供した。
- 研究分担者（藤井賢彦北海道大学准教授）が石狩市環境審議会委員として、石狩市環境計画（第3次）及び石狩市地球温暖化対策推進計画の策定に携わった。
- 調査の副次的な結果として得られた北海道東部、釧路振興局管内（厚岸町標茶町、および浜中町）における大型野生動物のヒグマやエゾシカに関する人身被害・農業被害に関する地域住民の懸念事項や地域住民から得られた分布・生息状況に関する知見について、今後の北海道における大型野生動物管理、特にヒグマによる人身被害防止に関する政策策定の資料として活用された。
- 気候変動に伴う海洋生物および自然資本。生態系サービスの変動予測については、北日本のコンブに関する本事業の研究成果が北海道の各漁業組合のコンブ漁業および養殖事業の展開に関する知見として広く利用されるとともに、令和元年度の水産白書で示され、今後の水産業に係る気候変動適応策・緩和策の策定の基礎資料として活用された。
- サンゴ及び大型藻類の予測結果は、環境省地域適応コンソーシアム全国事業において、足摺宇和海国立公園及び奄美群島国立公園の気候変動適応を検討するための基礎資料として活用された。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

- 2030年目標では、海洋保護区30%と原案が公表されているCBD昆明のCOPにおいて、EBSAの議論が予想される。今回の特にサブテーマ3(4)の成果は、今後の海洋保護区策定に貢献でき可能性が高い。
- 2021年6月のIPBESのPlenaryにメンバーが参加の予定で、今回の成果の反映が見込まれる。
- 海の生態系サービスの地図化や統合評価の例を横須賀市ブルーカーボン推進検討会の資料として提供しており、ブルーカーボン評価のとりまとめの検討に活用される見込みである。
- 2021年4月に設置された北海道気候変動適応センターにおける政策、事業計画において、本研究課題で実施された主要生態系サービスの将来予測の結果が活用される見込みである。

5-3. 研究目標の達成状況

研究目標に記載のとおり、海域の自然資本・生態系サービス予測評価の結果を全国あるいは地域の例を通じて統合的に示すことができた。特に、全国においては日本の沿岸に利用可能な統合指標の開発を行ない、過去のトレンドと近未来の変化を含めた評価の地図化によってその地域性を明らかにした。さらに、気候変動についての高解像度なデータの作成を含めて、将来の環境変化による各種サービスや生態系の将来変動の推定事例を作成し、特にサンゴ礁や昆布藻場で大きなインパクトがある可能性を定量的に示した。

また、社会・生態システムの長期的・中期的変化が生物多様性・生態系に及ぼす影響について、海域版のシナリオの作成やほかのテーマとの連携を通じた陸域の変化による変数に基づき、シナリオにおける政策オプションが代表的な生態系サービスへ及ぼす影響の検討を実現した。結果は当初予定していた全国評価以上に地域差を定量的に示す形で実現し、人口の分布のシナリオの影響が大きいことや、気候変動の影響がより大きい可能性を示すだけでなく、それらのサービスごとに対する地域での変化への応答の違いや地域における価値の評価の違いが重要であることを示した。

さらに、事例調査地域においては特に北海道東と沖縄において、地域住民主体の保全および生態系サー

ビスの持続的利用に向けた将来計画案の検討、および生態系サービス利用の地域シナリオの検討を実施し、それら地域シナリオに応じた政策オプションを提案した。これらのモデルや地図化を通じて、科学-政策インターフェースの強化を実現し、行政の検討などでも活用された。

特に研究体制としては、サブテーマ間、テーマ間で多数の連携が見られ、特に当初企画した価値評価の検討についてはテーマ4やサブテーマ3(4)を中心とした以上にサブテーマ3(3)や3(1)も協力した連携が、社会経済シナリオについては、テーマ1とサブテーマ3(1)との連携を中心としてテーマ全体での検討を進めることによって、当初テーマ単体ごとの目標としていた生態系や検討対象単体の評価から大きく発展し、金銭なども含む価値の評価や政策に応じたシナリオ別の予測を横断的に実現した。また、事例調査地域における検討を、特にサブテーマ3(2)、3(4)が北海道、サブテーマ3(4)、3(3)が沖縄において、途中から当初の計画以上に大幅に追加された作業も含めて実施した。その結果として、当初計画した以上に、これらの地域において地方自治体も参照できる科学-政策インターフェースにつながる成果を生み出すことを実現した。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

42件(重複3件除く)

<主な査読付き論文>

- 1) T. Kubo, S. Uryu, H. Yamano, T. Tsuge, T. Yamakita, Y. Shirayama (2020) Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management*, 77, 104010. (IF:7.2)
- 2) K. Sudo, K. Watanabe, N. Yotsukura, M. Nakaoka (2020) Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan. *Ecological Research*, 35-1, p47-60 (IF:1.5)
- 3) M. Sato, A. Nanami, C.J. Bayne, M. Makino, M. Hori (2020) Changes in the potential stocks of coral reef ecosystem services following coral bleaching in Sekisei Lagoon, southern Japan: implications for the future under global warming. *Sustainability Science* 15:863-883 (IF 5.301)
- 4) N. H. Kumagai, J. G. Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2018) Ocean currents and herbivory drive macroalgal-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 115, p.8990-8995. (IF:9.4)
- 5) M. Hori, H. Hamaoka, M. Hirota, F. Lagarde, S. Vaz, M. Hamaguchi, J. Hori, M. Makino (2018) Application of the coastal ecosystem complex concept toward integrated management for sustainable coastal fisheries under oligotrophication. *Fisheries Science*, 84, p.283-292. (IF:1.1)
- 6) N. H. Kumagai, H. Yamano, Sango Map Project Committee (2018) High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management. *PeerJ*, 6:e4382. (IF:2.3)
- 7) M. Nakaoka, K. Sudo, M. Namba, H. Shibata, F. Nakamura, S. Ishikawa, M. Makino, H. Yamano, S. S. Matsuzaki, T. Yamakita, X. Yu, X.Hou, X. Li, J. Brodie, K. Kanemoto, D. Moran, F. Verones (2018) TSUNAGARI: A new interdisciplinary and transdisciplinary study toward conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services. *Ecological Research*, 33, p.35-49. (IF:1.5)
- 8) L. M. Nordlund, E. L. Jackson, M. Nakaoka, J. Samper-Villarreal, P. Beca-Carretero, J. C. Creed (2017) Seagrass ecosystem services – what’s next?. *Marine Pollution Bulletin*, 134, p.145-151. (IF:4.0)
- 9) T. Yamakita, Y. Matsuoka, S. Iwasaki (2017) Impact of the 2011 Tohoku earthquake on the use of tidal flats: A case study in inner Tokyo bay. *Journal of Environmental Information Science*, 2017-1, p.25-36.
- 10) T. Yamakita, K. Sudo, Y. Jintsu-Uchifune, H. Yamamoto, Y. Shirayama (2017) Identification of important marine areas using ecologically or biologically significant areas(EBSAs) criteria in the east to southeast Asia region and comparison with existing registered areas for the purpose of conservation. *Marine Policy*, 81, p.273-284 (IF:3.2)

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	23件（重複1件除く）
口頭発表（学会等）	151件（重複17件除く）
「国民との科学・技術対話」の実施	18件
マスコミ等への公表・報道等	47件
本研究に関連する受賞	5件

7. 国際共同研究等の状況

Zostera Experimental Network、カウンターパート氏名：Emmett Duffy (Smithsonian Institution・USA)、本ネットワークは、温帯域に広く生息するアマモ場の生物多様性・生態系機能・生態系サービスの広域理解を目指す研究者の組織であり、世界14カ国25サイトの研究グループが、同じデザインの観測、実験を行っている。本グループからは仲岡と堀が参加し、アマモ場生態学の最先端の知見導出に貢献している。

MBON (Marine Biodiversity Observation Network), GEOS傘下にあるGEO-BON (Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network) において、海洋生物多様性の観測を推進するために設立された研究ネットワークであり、日本はAsia-Pacific MBONの一員として、本グループの白山、山北、山野、仲岡らが参画している。アジア太平洋海域における海洋生物多様性・生態系サービスの変異と時間変化について、本課題の成果が貢献することが期待されている。

IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) 「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム」は、世界中の研究成果を基に政策提言を行う政府間組織として設立され、「科学的評価」、「能力養成」、「知見生成」、「政策立案支援」の4つの機能を活動の柱としており、科学的な見地から効果的・効率的な取組みが一層推進されることが期待されている。IPBESのMEPとして白山が、IPBES アジア太平洋地域アセスメントのLead Authorとして山北、山野、牧野が参画。

8. 研究者略歴

研究代表者

白山 義久

東京大学大学院理学系研究科動物学専攻博士課程修了、理学博士、現在、海洋研究開発機構 特任参事

研究分担者

1) 白山 義久

東京大学大学院理学系研究科動物学専攻博士課程修了、理学博士、現在、海洋研究開発機構 特任参事

2) 仲岡 雅裕

東京大学大学院理学系研究科動物学専攻博士課程修了、博士（理学）、現在、北海道大学教授

3) 山野 博哉

東京大学大学院理学系研究科修了、博士（理学）、現在、国立環境研究所生物・生態系環境研究センター長

4) 名波 敦（2020年4月～）

東北大学大学院理学系研究科生物学専攻博士後期課程修了、博士（理学）、現在、水産研究・教育機構 主任研究員

牧野 光琢（～2020年3月）

京都大学大学院人間・環境学研究科士課程修了、博士、水産研究・教育機構 グループ長(～2019年3月)、現在、東京大学教授

Ⅱ. 成果の詳細

Ⅱ-1 海域の環境要因の将来予測データの整備および自然資本・生態系サービス予測評価の統合

国立研究開発法人海洋研究開発機構

特任参事 白山 義久、
地球環境部門 山北 剛久、橋岡 豪人、笹井 義一
付加価値情報創生部門 石川 洋一、森岡 優志、宮澤 泰正、齋藤 秀亮、細野 隆史、五十嵐 弘道

<研究協力者>

国立研究開発法人海洋研究開発機構

田中裕介、松葉史紗子、小熊幸子（平成28年度）、Emily Skeehan（平成28年度）、袖山文彰（平成29年度～令和2年度）、上野優美（令和元年度～令和2年度）、亀崎久光（令和元年度～令和2年度）

[要旨]

生態系サービスの評価の状況について国内、国内の論文をレビューし、海域における研究例自体がヨーロッパと北米を除き、陸域とくらべてかなり少ない現状を知るとともに、評価が必要な対象を抽出した。その結果を受けて、生態系サービスの現状の分布の検討について、代表的なものを収集し、地域差を視覚的に地図化するとともに、市町村等の解像度でシナジーとトレードオフ等の評価を実施した。特に、環境データとしては、高解像度な水温、海面高度等の将来予測のデータを作成し、最終的に複数のモデルとシナリオを利用できる環境を整備し他のサブテーマと連携した検討を実施した。また、日本沿岸の各種サービスを評価するために、海洋健全度指数（OHI）を調整した過去と近未来の評価を含む10項目の統合指標を開発し総合的な評価でも地域差による特徴を示した。海域における将来シナリオについて、他のテーマ・サブテーマと協力して構築し、シナリオ分析による生態系サービスの将来予測をテーマ内で協力して実施し統合した。特に供給サービスについては、漁港の存続性、カキ養殖の需要と供給、調整サービスについては、災害影響の規模の予測、藻場の分布変化などを検討した。その結果を4つのシナリオの象限における政策オプションによって、比較することで、人口分散シナリオは相対的に低下が小さいものの、地域による差が大きいことをしめした。成果は政策決定者向けのサマリーとして日・英で展開され、環境省のJB03の検討やAP-BON/MBON、IPBESのアセスメント等へ提供されるなど、科学政策インターフェースの強化へと貢献した。

1. 研究開発目的

予測を含む環境データを作成し、各サブテーマで利活用するためのデータベースを整備する。それらを用いた生態系の機能、サービス、および自然資本の評価について事例地域を中心に検討する。また、各種の生態系機能、サービス、自然資本の評価結果を統合した指標を検討し、テーマ1と連携した社会経済シナリオ毎の評価につなげる。また、テーマ全体の統合を行い、各サブテーマで相互に協力する体制を整える。

2. 研究目標

シナリオにおける政策オプションの代表的なサービスについての影響の有無を他のサブテーマと協力して示す。代表的なサービスの評価に利用可能な統合指標の開発を行ない、得られた成果の地図化に取り組む。

3. 研究開発内容

- 1) 生態系サービスの評価の基盤となるデータの収集のうち、物理環境のデータの作成について、水温などの環境変数に関して情報収集・データの作成を行ない、サブテーマ3(3)をはじめとする他のテーマ・サブテーマへと提供した。特にプロジェクトの開始段階では1度メッシュの水温予測から内挿によって作成した1kmメッシュの環境データを提供した。その後、海水温や海流の高解像度な環境データとして、力学的なデータ同化を行った10kmおよび2kmと高解像度な水温等の将来予測のデータを作成し、最終的に複数のモデルとシナリオを利用できる環境を整備した。
- 2) 関連するデータの収集について、他のサブテーマで協力して生態系サービスを評価する対象、必要な変数、解像度に関して検討を行ない、必要なデータを入手した。特に、既存の研究のレビューを実施し、生態系サービスの評価の状況について国内、国内の論文をレビューすることで、海域での評価自体が他

の生態系と比べて少ないことを示すとともに、評価が必要な対象を抽出した。

また、全国スケールでの現状評価について、対応するサブテーマや担当者の分担などを検討した。特に、それらのデータの収集について、藻場の分布変動の抽出、ダイビングスポットの分布、利用者数データについての検討を主導し、利用者や藻場については変化のトレンドの検討も行った。

- 3) 供給、調整、文化の各サービスのうち、代表的なものである漁獲量、炭素吸収量・固定量、ダイビングスポットのポテンシャルおよび沿岸利用者について、サブテーマ3(4)などと協力して1kmメッシュで全国の現状評価を行い、得られた成果をランクによって統合した地図化を行った。さらに、市町村またはさらに大きな解像度でサービス間のシナジーとトレードオフについて検討を行ない、特に都道府県については評価した結果の空間分布を図示した。
- 4) 各種サービスを評価するにあたって利用可能な統合指標の開発として、全国の沿岸版の海洋健全度指数(OHI)を作成し、過去からの変化と近未来のトレンドを統合的に評価した結果を示す地図化を行った。また北海道版のOHIの作成について、特にサブテーマ3(2)と議論を行った。
- 5) 陸域のシナリオと連動させた環境の変化とそのサービスへの影響を検討するために、海版の定性シナリオを作成した。アンケートにより定量的に検討された陸域シナリオに対し、海域のサブシナリオは陸域のシナリオ軸と要素に対応させる形で、専門家へのヒアリングによるブレインストーミングとテーマ会合での合議を組み合わせた、デルファイ法に準じた方法で作成した。また、得られた各シナリオについてサブテーマ3(4)の政策リストと対応させ、各シナリオ下での生態系サービス向上と対応する施策の検討も行った。
- 6) シナリオについて、他のテーマ・サブテーマと協力して、一部の供給サービスと調整サービスについての将来予測とシナリオによる変化例の作成に取り組み、6-1)全国の各サービスの変化予測の統合を行った。そのうち供給サービスについては、6-2)漁港の存続性の変化による、漁港数と漁獲量の予測の実施、および6-3)カキの需要と供給についての予測について、海域定性シナリオも活用して、サブテーマ3(4)、およびテーマ1と協力して実施した。調整サービスについては、6-4)人口変化に関係した災害影響の規模の予測、およびサブテーマ3(2)で述べる陸域変化と気候変動とを関連させた藻場の分布変化による、機能と価値評価による変化の予測について協力して実施した。

4. 結果及び考察

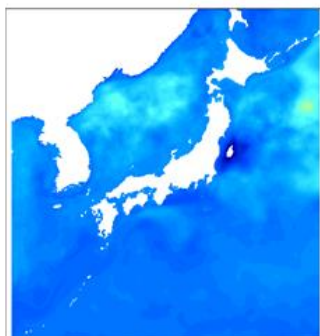
1) 生態系サービスの評価の基盤となるデータの収集のうち、物理環境のデータの作成

IPCCの気候変動予測に提出された現在および将来の海洋環境のデータから、力学的なダウンスケーリングをSI-CAT(気候変動適応技術社会実装プログラム)と連携して行った。公表されているモデルのうち日本周辺の黒潮の解像を意識したモデルであるMIROC5DSとMRI.CGCM-3DSおよび、その他のモデルであるIPSL、GFDLを対象とした。対象とする気候変動シナリオについて、大気と比較して海洋は熱容量がはるかに大きく、環境場に対する温暖化の影響が顕在化しにくいいため2050年ではシナリオ間の差がほとんど出ない。そのため、2050年については最も極端なRCP8.5のシナリオのみを主な対象とし、2100年についてはRCP2.5と8.5について検討した。解像度は10kmおよび2kmとした。また、系統的な絶対値のバイアスを補正するために、過去の気象の同化データである四次元変動海洋再解析(FORA)を用いたオフセットを行った。データはプロジェクト内で利用されサブテーマ3(3)やテーマ4などに一部が活用された。

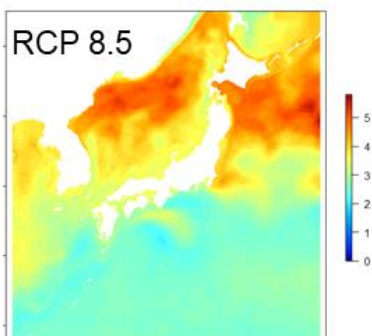
得られた気候変動のダウンスケーリング結果と現在との差を図1.1に示す。海流などによる影響のために気候変動の地域差が生じた。特に、海水温については東日本太平洋側などで変化量が大きい一方で、不確実性も大きく、その他にも気候変動の影響は100km以下の領域で異なっていた。また、海水温予測値の変化と3)にて後述する生態系サービスのランクの分布との相関を解析した結果、魚の漁獲や炭素固定の分布については $R < 0.22$ と相関は低かった。一方で魚以外の魚介類との相関は $R = 0.59$ と高かった。魚以外の魚介類については、海水準変化量との相関も高く、沿岸の貝類・海藻類などの生息適地の変化を考慮する必要性は大きいことを示した。今後、気候変動の度合いの異なる海域ごとの個別の地域に応じて、海水温や海水準など変化の程度に応じた生態系サービスの質の変化の予測し、対応する施策を検討する必要がある。特に現在受けているサービスや社会構造が同程度の地域であっても、気候変動による将来の変化には地域差が生じる可能性に着目することが必要である。

海表面温度変化

2050increase

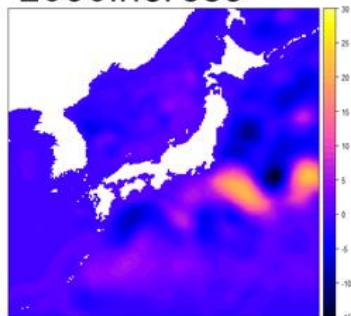


2100increase



海表面高変化

2050increase



2100increase

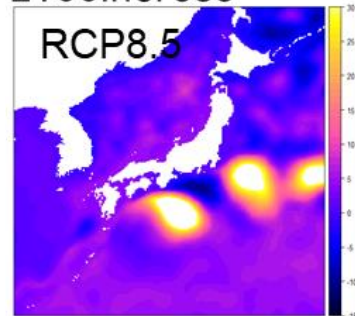


図1.1 2050年、2100年に推定される海表面温度、海面高と現在との差。東日本の太平洋側と和歌山沖までの黒潮域で特に海水温が高く上昇する傾向を示した。ただし、東日本太平洋側の海流の混合域は推定値の分散も大きい。

2) 他のサブテーマ等と協力した生態系サービスを評価する対象の検討とデータの収集

生態系サービスの評価対象を選定するために、国際誌および和文誌における沿岸および海の生態系サービスに関する論文の体系的なレビュー作業を行った。その結果、ISI Web of ScienceからCoastal Ecosystem Service* Marine Ecosystem Service* によって抽出された論文数はわずか56であり（表1.1）、そのうちの多くの論文の分布が米国、英国、フランス、ドイツ等に偏っており、特にアジア域では研究者人口に対しての論文が少なく、本課題の重要性が明らかになった。また、これまで評価の数が多い、食料供給、水質浄化、海岸防護、生活史の維持および気候調整、レクリエーションから、特に、評価されている数の多い食料供給、和文での例が少ないものの1つである気候調整、評価されている数の多いレクリエーションについて優先的に評価を行う対象とした。

表1.1 サービスごとの2016年までの論文数の分布（太字は各サービスの種類で数が多いものを示す）

	供給			調整・基盤					文化						
	論文総数	食料供給	水の蓄積と供給	生物素材や燃料	水質の浄化	大気	海岸防護	気候の調整	天候の調整	栄養の供給	生活史の維持	生物的な調整	象徴的・審美的	レクリエーション	教育・認知
国際誌	56	37	6	17	23	7	20	21	3	7	20	9	15	31	12
和文誌	17	14	4	6	15	5	11	6	3	3	7	4	15	15	8

データの収集については、供給サービスについてはサブテーマ3(4)と共同で漁獲データについて検討した他に、特にレジャーについて、ダイビングスポット、携帯電話の位置情報に基づく利用者数、潮干狩り、海水浴などを収集したほかに、藻場の被度分布の変化についてはモニタリングサイト1000データおよび自然環境保全基礎調査からのトレンドの抽出、深層学習による藻場抽出手法の検討を実施した。

その結果、藻場の変化については、都道府県別の長期の変化傾向が得られた一方で、モニタリング調査のサイトごとの変化については変化のトレンドがある地域もみられるものの、サイト内の水深の異なる調査地点ごとに変化傾向が異なり、地域を代表させて全国への変化傾向の一般化は容易ではないことが示された。そのため都道府県別の長期の変化傾向を後述するOHIのPR指標等をして利用することとした。

また、潮干狩り場や海水浴場の利用者については、長期的なトレンドは全体としては減少傾向が見られた。一方で、いくつかの地域では近年に増加が見られたほかに、東日本大震災で一旦減少した後の一時的な影響後の増加もあった。この結果はOHIのトレンド指標として利用した。

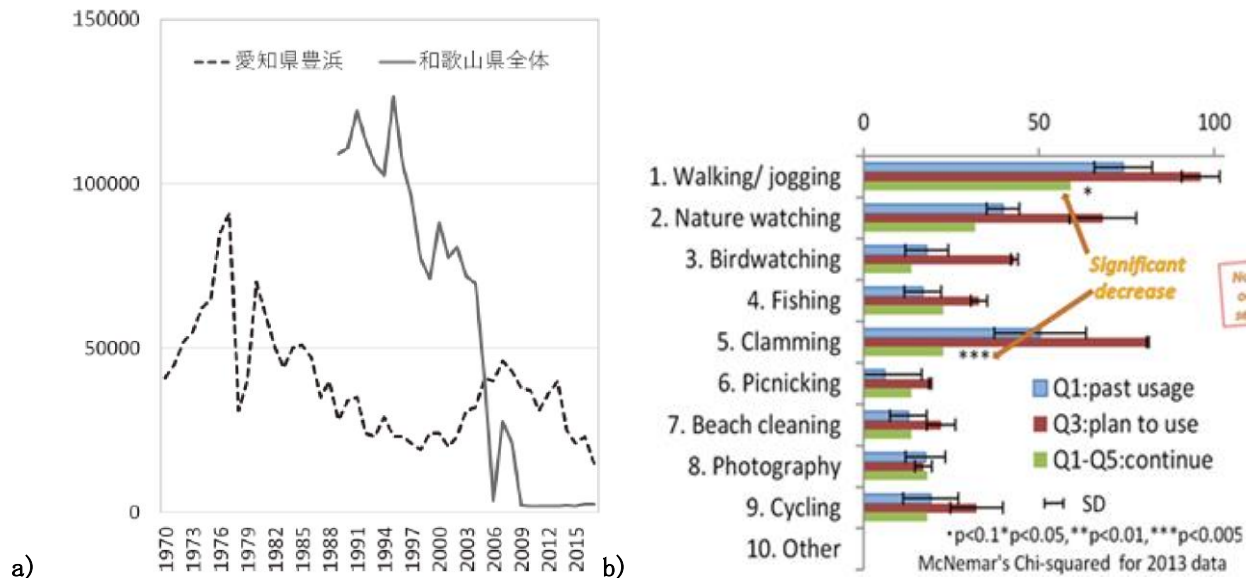


図1.2 a) 潮干狩り場の入り込みの長期トレンドについての例(堀・山北 2021)¹⁾。b) 震災前後の干潟の利用者のタイプ別変化(Yamakita et al. 2017)²⁾。

3) 供給、調整、文化の各サービスの代表的なものについての現状評価

供給サービスについてはサブテーマ3(4)と共同で漁獲データの評価対象や評価方法について検討した。対象魚種は、沿岸漁業で自然資本との関係が密接かつ、おおむね本州の広い範囲で漁獲される種であるスズキ、クロダイ、マダイ、アナゴ、イセエビ、クルマエビ、ガザミ、コウイカ(その他のイカ類)、サザエ、アワビ、ウニ、ホタテガイとし、市町村別の漁獲統計データを、2次メッシュに按分して使用した(手法の詳細や個別の生物の例はサブテーマ3(4)を参照)。これらについて、漁獲量のランクを算出し積算する形で統合した。この積算値を、沿岸の魚種の漁獲量の平均ランキング上位地域として、地図化して評価した結果、西日本の瀬戸内海から長崎にかけての範囲でランクが特に高かった。(図1.3)

調整サービスについては、藻場の炭素吸収及び固定量について、同様にサブテーマ3(4)と共同で検討し(手法の詳細や例はサブテーマ3(4)を参照)、湾や生産性の高い岩礁海岸などスポット的に高い場所が、全国に分散する一方で外洋に面した砂浜海岸で少ない傾向がみられた。

また、文化的サービスについては、潮干狩り場や海水浴場などのスポット的に高い傾向が見られた一方で、携帯電話の位置情報による冬季と比較した春季の沿岸利用の増加量による評価では、特に太平洋側や都市域で高い傾向が見られた。

これらのサービスを生かした政策の検討に資するために、同じ地域でサービスが高いあるいは低い場所に相関がみられるかどうかを比較した。その結果、全国では、魚以外の漁獲と炭素固定、魚の漁獲と利用者数、魚の漁獲と炭素固定の順に相対的に大きな相関が得られたが相関の絶対値は低かった(順に $R=0.37$ 、 0.29 、 0.19)。地域的には特に沿岸魚種の漁獲のランクの高さと炭素固定とが西日本の一部で相関して高い値をとる傾向があった(図1.4)。また、沿岸の利用者数については日本海を除く温暖な西日本で多く、西日本の太平洋・瀬戸内海・九州などで生産との相関が高かった。そのため西日本において環境の変化、例えば気候変動の影響について、変化の絶対値(水温など)以上に社会的影響が大きい懸念が指摘できた。

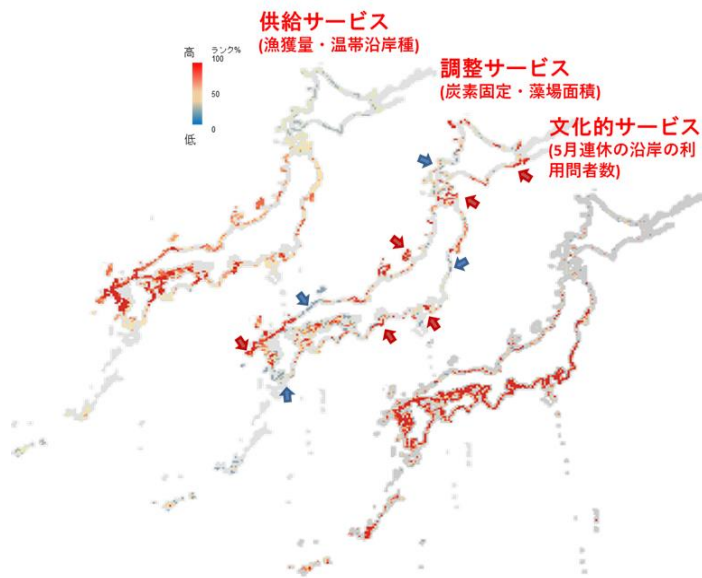


図1.3 各タイプの生態系サービスの全国の現在気候での分布
本州沿岸の自然資本と対応した魚種の漁獲量ランクの積算値。全国7地域の自然資本ごとの原単位による炭素固定量推定値、矢印はパッチ上に多いまたは少ない場所を示す（桑江他 2019³⁾より計算）、携帯電話位置情報による沿岸利用者数のGWと冬季の差のランクに基づく。

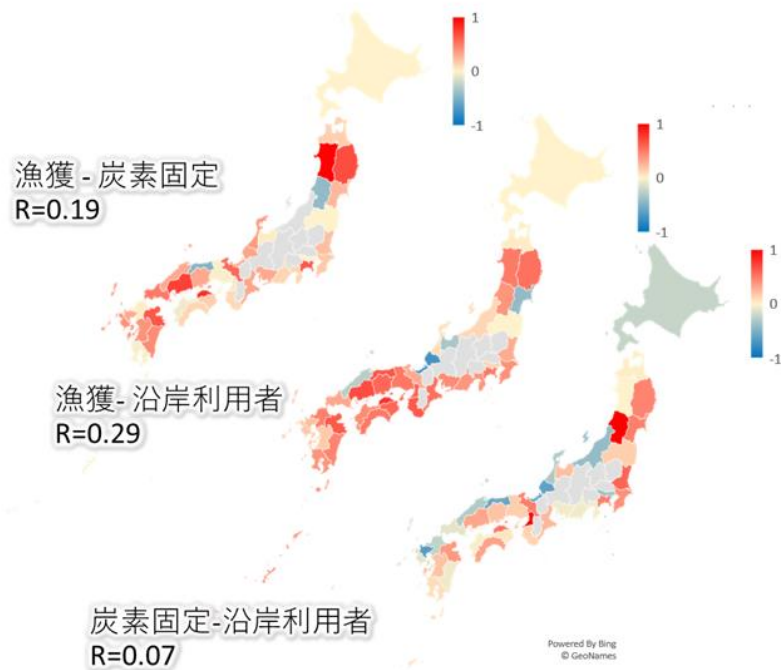


図1.4 各タイプの生態系サービスの地域間の相関関係の違い

4) 各種サービスの統合評価に利用可能な全国の沿岸版の海洋健全度指数（OHI）の作成。

海洋環境を多数の生物多様性と生態系サービスに関連した目標をもつ指数で包括的に評価する手法として、海洋健全度指標（Ocean Health Index、以下OHI; Halpern et al. 2012）についてサブテーマ3(2)とともに議論し、日本の沿岸の生態系サービス評価にアレンジした。OHIは各目標について、過去もしくは評価対象域の最大値などを目標値とした100点満点で評価する。その際に、現在の値だけではなく、過去からの変化トレンドとトレンドを変更させうる近未来要因とを統合的に評価することができる。ここでは、以下で示す11の要素について 過去10年間の全国での最大値等を理想値とする100点満点で評価している。養殖については主な無給餌養殖の漁獲量、漁獲生産については沿岸生態系と対応する主な沿岸種漁獲の生産量、またはそれらを漁船数で乗じた生産効率、マリンレジャーについては入込数に基づく潮干狩りと海水浴、場所のイメージに関しては国立・国定公園面積、炭素貯蔵に関しては海藻およびアマモで構成される藻場面積からの産出値、海岸防護についてはサンゴ礁、藻場、干潟による効果の定数、綺麗な水については水質、生

物多様性については生息地となる藻場、干潟、サンゴ礁の面積である。なおオリジナルのOHIにあった、地域的な漁獲は沿岸では特に一般的な漁獲と分けられないため個別の要素とせず、漁獲以外の海産物による加工品等は全国評価では取り扱わなかった。次に、過去から現在のトレンドについては基本的には現況評価の値の10年間の傾向を算出した。さらに近未来のトレンドを変化させる要因として、人工護岸率、日照時間、浸食面積、水質、宿泊施設数、アクセス、海岸周辺の土地利用、人口増減率(%)、高齢化率(%)などを用いた。

その結果、西日本を中心として調整サービスと主に対応する生態学的な目標（図1.5の左側、緑色部分）の評定が高い一方で、都市部周辺で特に文化的サービスと対応する社会的目標の評定高い。また供給サービスである漁獲効率は東北や北海道で高い傾向が見られた。

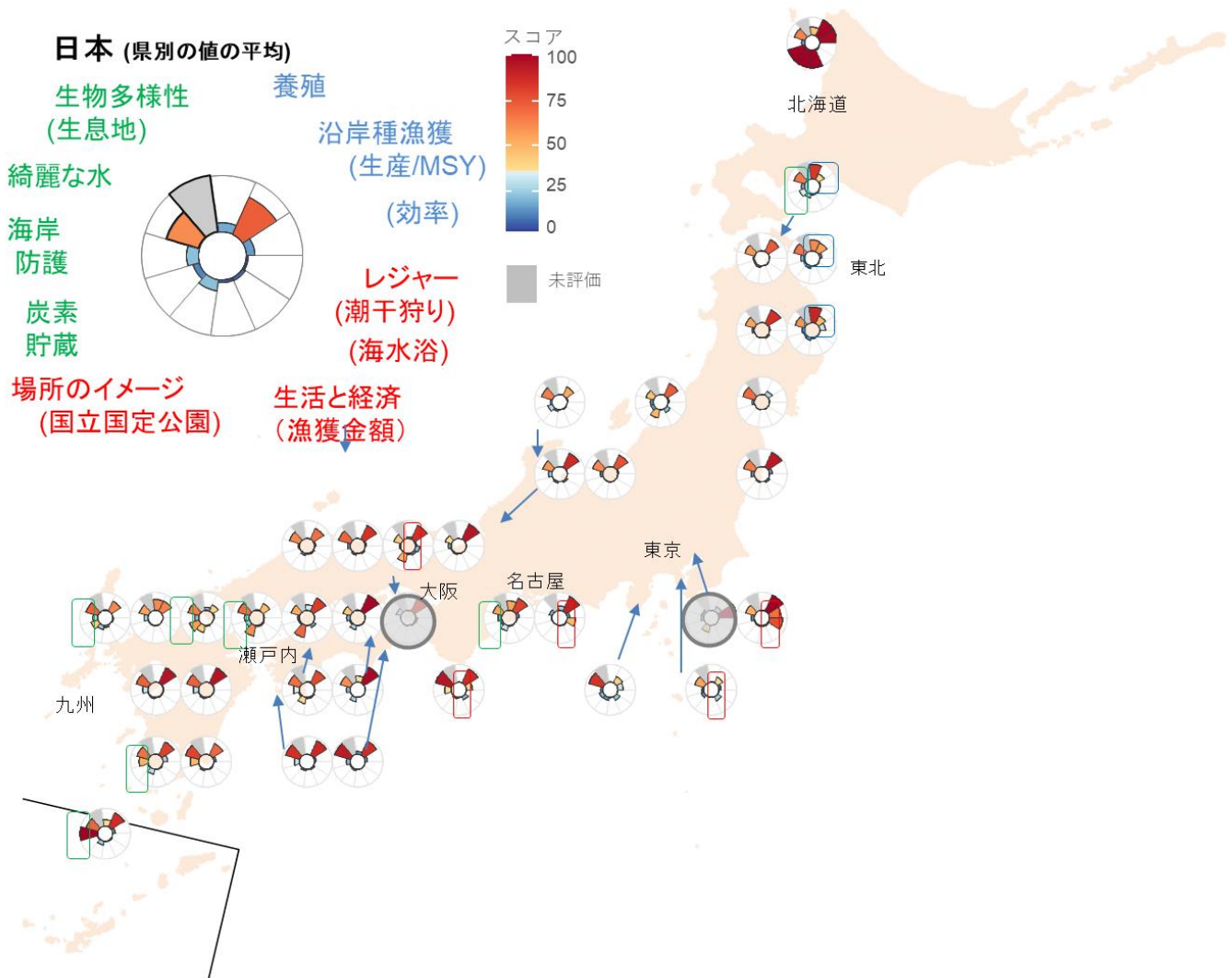


図1.5 全国の沿岸に関する海洋健全度の比較解析結果（ver0.47）。

東京、大阪については、都市部によることと島嶼を含むことによる特殊性が強いため未評価としている。なお、北海道版と全国版では同じOHIの項目であっても得られるデータに応じて異なる指標を目標値の計算に用いており、評価の点の絶対値は比較可能なものではない。また前述の全国の種ごとの漁獲のランクの平均に基づく評価と、簡易的なMSYを目標とした生産量の点数化による本評価とは、漁獲量の時系列について絶対値が経年的に同程度に多い場所について本評価でより高く反映され、2017年のみの漁獲量について多様な漁獲を相対的に高いレベルで利用してすることは前者の方がより高く評価される。

5) 陸域のシナリオと連動させた、海版の定性シナリオの作成。

シナリオについて海域で独自に推進する海洋の気候変動以外にテーマ1で主に検討されるシナリオに対して、海域におけるシナリオの検討を行った。作成されたシナリオでは、人口について、人口集積を産業に合わせた補正を行うこと、経済については魚介類の自給率の目標設定、養殖生産の拡大の有無、遠洋漁業の拡

大の有無を対応させた。そのうち、特に養殖生産の拡大の有無に関するシナリオについては、後述のカキ養殖の需要と供給に関する推定において用いた。

また、これらのシナリオ単体からの政策的な検討について、主にサブテーマ3(4)と議論を行い、ここで挙げた要素と政策との対応を検討した。その結果(表1.2)、例えば、人工資本シナリオでは、人口資本によって破壊される生態系の劣化を緩和すること。自然資本シナリオでは、海洋保護区、生態系再生、資源管理、エコツーリズムなどの要素。人口集中シナリオでは、都市域での人口が維持されるため、陸域の負荷への対策。人口分散シナリオには、IoTの推進をつうじた広域ネットワーク化・省労力化などが提案された。

表1.2 海域版のシナリオの構成要素の前提条件(各シナリオで想定される施策およびその帰結)

		自然資本・分散型社会 (ND)	自然資本・コンパクト型 社会(NC)	人工資本・分散型社会 (PD)	人工資本・コンパクト 型社会(PC)
自然資本・人工資本		国内自然資本の活用		国外自然資本・人工資本の活用	
人口	分散/集中	分散	集中	分散	集中
	人口の集中させかたの補正		下記の養殖などに合わせ人口集積(若年が養殖で多い)		下記の養殖などに合わせ人口集積(若年が養殖で多い)
経済	魚介類自給率	・現状(65%)を上回る	・現状(65%)を上回る	・政府目標(水産基本計画60%)を下回る	・政府目標(水産基本計画60%)を下回る
	養殖生産	・現状維持	・都市近郊・適地での(無給餌)養殖増加・集中化	・給餌養殖の増加 ・輸入の拡大	・給餌養殖の都市近郊での増加 ・輸入の拡大
	漁業生産	・零細・漁獲漁業中心	・貝類漁業増加	・遠洋漁業中心 ・輸入の拡大	・遠洋漁業中心 ・輸入の拡大
社会 政治	政策・インフラ	・漁業資源管理	・漁業資源管理	・全域の護岸化、港湾整備、砂流出の対策	・都市近郊の護岸化、港湾整備、砂流出の対策
科学・ 技術	エネルギー	・洋上風力、潮流発電の開発	・洋上風力、潮流発電の開発		
社会関係		・漁協を中心としたエコツーリズムなどの新規産業	・新規参入によるエコツーリズムなどの新規産業	・漁協を中心とした従来産業中心の集落(技術革新は進む)	・新規参入による従来産業中心の集落(技術革新は進む)

6) シナリオについて、将来予測とシナリオによる変化例の作成

6-1) 変化予測の統合

表1.3に示したとおり、各サブテーマ・テーマと協力して実施した、シナリオに基づく将来の生態系サービスの予測について、とりまとめを行った。その結果、主に供給サービスと調整サービスについて、主に人口集中型と分散型の社会の間での比較を実施することができた。主に人口集中型社会では現在のトレンドを反映して、漁港や海苔養殖、アマモ場の分布などで生態系サービスの低下傾向が相対的に強かった。分散型で減少の大きかったカキの需要でも都市域以外の地域的な需要の減少は小さく、全体として分散型社会のほうがやや生態系サービスの低下の傾向が弱い可能性が考えられた。

表1.3 シナリオごとの変化の傾向

	2015	BAU	シナリオから利用した要素				人口	土地利用	水質	その他	気候
			自然集中	自然分散	人工集中	人工分散					
供給											
漁港の持続性		↘	↓	↘	↓	↘	☑				
漁港生産		↘	↓	↘	↓	↘	☑				
カキ 養殖適地		→	↗	→	↘	↓	☑			☑	
(背景：カキ需要)		↘	↘	↓	↘	↓	☑				
ノリ養殖		→	↘	→	↘	→			☑		
調整											
災害の影響			↓	↓	↓	↓	☑	☑			☑
水質調整や炭素固定											
アマモ場の面積		→	↘	→	→	→	☑	☑	☑		☑
海藻バイオマス		→	→	→	↘	↘			☑		☑

6-2) 漁港変化に基づく予測

漁港の持続性について、漁港周辺の人口変化から、生産人口が1以下を閾値として漁港の存続可能性を判定した。その結果、人口集中シナリオにおいて、160漁港、分散型のおよそ3倍の漁港が存続できなかった（図1.6；なお、現状でも21漁港がこの基準では存続不可能である）。また漁港における生産量が単純に周辺人口に比例して減少するとの仮定の上では、人口分散シナリオに対して集中型ではおよそ4割まで沿岸魚種の生産が減少することが見込まれた。そのため漁港の維持に関しては、従来のトレンドのまま統廃合を考慮する施策のほかに、地域の産業基盤として人口傾向を変えるほどの影響を及ぼせるかどうかを検討することも重要である。

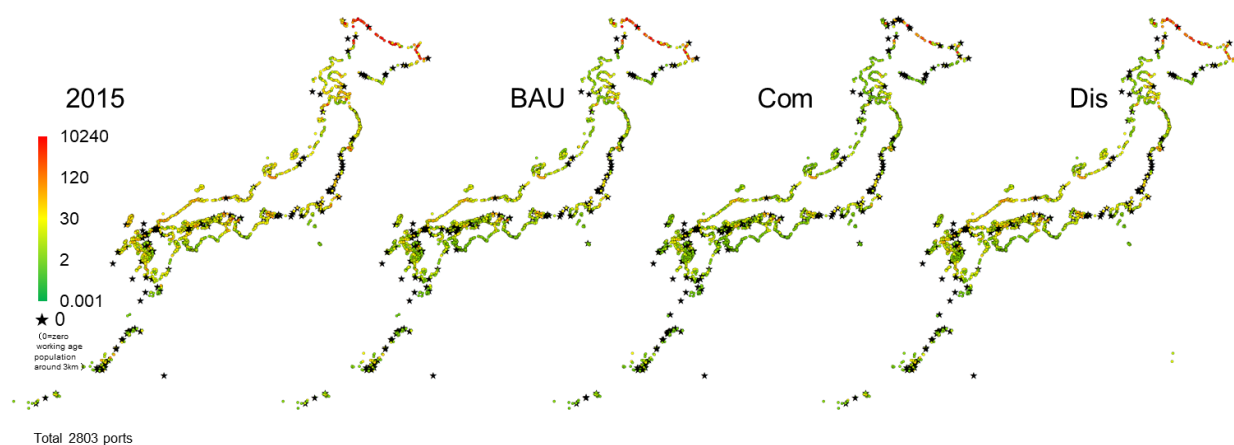


図1.6 現在および現状の延長（BAU）と集中（Com）・分散（Dis）2つの人口シナリオに基づいて減少させた漁獲量の推定値の空間分布

6-3) カキの需要と供給の予測、海域シナリオによる予測

養殖業のうち、カキ養殖のポテンシャルについて、サブテーマ3(4)とともにシナリオによって

作成した要素を対応させて潜在分布を評価した（図1.7；手法などの詳細はサブテーマ3(4)を参照）。結果、自然資本型の人口集中型では、瀬戸内海型の大規模な養殖が都市域を中心に増加するポテンシャルがあった。一方、人工資本型の社会では輸入への依存が増加し、特に分散型では都市域での養殖も増加せずに、ブランド産地以外は消失する可能性を示した。

これと対比させる形で、テーマ1で計算されたカキの需要（ただし冷凍のフライなど加工品を除く統計）についても比較した。その結果、分散型の社会では全国の合計としては需要は相対的に低下した。一方で、地方都市周辺で人口が増加することで、地域的には現在よりも需要が増加する場所が多数あることを示した。これらから、養殖業は施策によって大きく変化するポテンシャルがあり、将来の海産物のシナリオにおいて主要な政策課題であること、需要が現状では都市域に集積しており、強い人口分散を加えることで地域的な消費が大きく変化する場所が生じる可能性とこうした地域的な変異の考慮の重要性を示した。

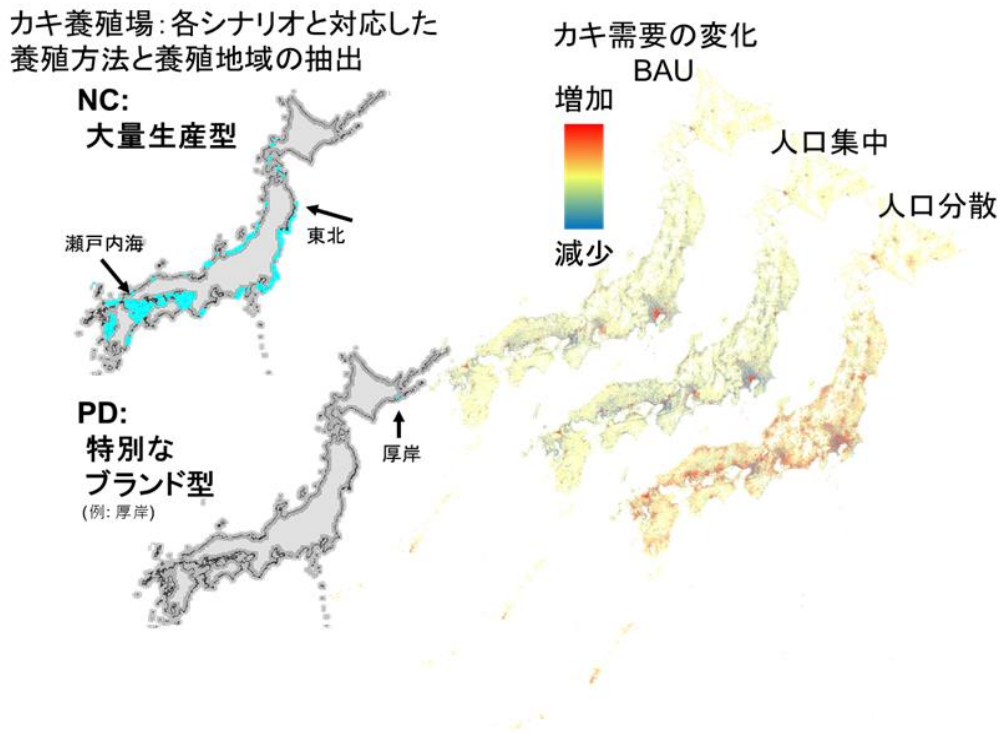
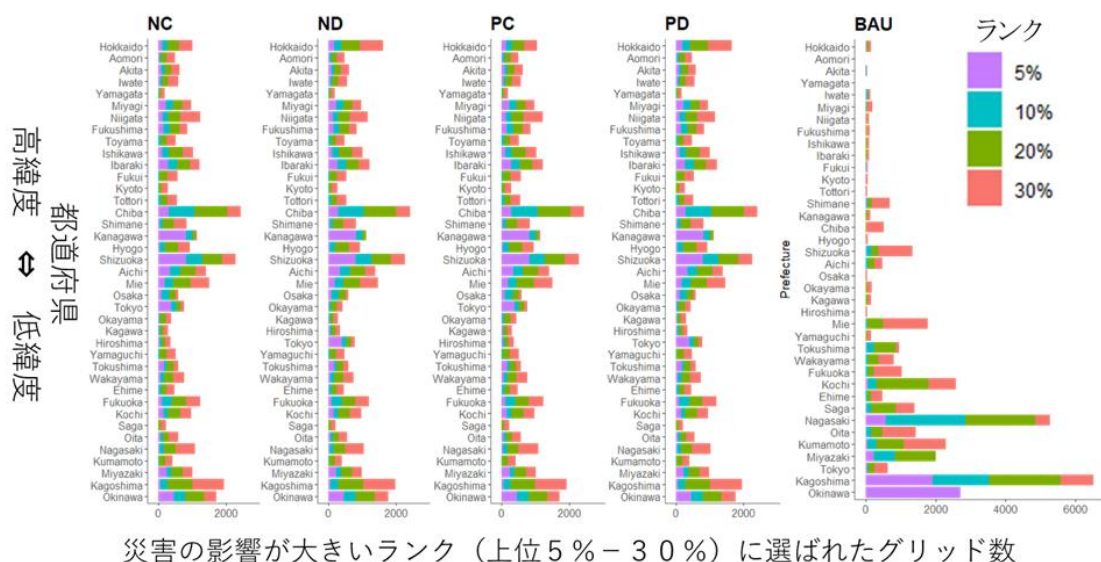


図1.7 自然資本・人口集中型の社会で想定した大量生産型のカキ養殖のポテンシャルの空間分布
 (左) 青色部分がポテンシャルのある場所を示す。詳細はサブテーマ3(4)を参照。カキ養殖需要について現状の延長 (BAU)、人口集中、分散型社会における増減の空間分布 (右) データはテーマ1にて解析。

6-4) 災害影響の予測

調整サービスのうち、災害（波浪、台風、津波）の将来の影響について社会シナリオごとに国土スケール（空間解像度1kmグリッド）で評価した（図1.8）。その結果、どの社会シナリオでも将来の災害による影響は減少することが明らかになった。これはいずれの社会シナリオでも将来の人口が減少し、災害への曝露が低減することが影響していた。そのため、人口分散シナリオでは、人口集中シナリオに比べて、曝露が低減されず、災害による影響が変化しない、あるいは増加する地域がより多くなる結果も示された。



災害の影響が大きいランク（上位5%－30%）に選ばれたグリッド数

図1.8 各シナリオにおける災害の影響が大きいランク（上位5%－30%）に選ばれたグリッド数（都道府県別）

5. 研究目標の達成状況

当初の提案どおり、全体に関するデータの整備とその作業分担や連携の調整および、全国スケールの結果の取りまとめを実施した。特に前半には、水温などの環境変数に関する基盤データセットについて、海水温や海流の高解像度な環境データを用意し、他のサブテーマにも共有した一方、他のサブテーマ等と協力して供給、調整、文化の各サービスのうち、代表的なものの評価を実施した。また、後半には作成された海版の定性シナリオの活用を含め、他のテーマ・サブテーマと協力して、社会経済シナリオによる生態系とサービスの変化例の作成に取り組んだ。その結果を4つのシナリオの象限における政策オプションによって、代表的なサービスにどのような影響が有るかという観点からとりまとめた。また、10項目の多岐にわたるサービス等について過去からのトレンドと近い将来の変化要因の大きさを評価することで、日本の沿岸海洋の健全度を示す統合指標を作成し、得られた成果の地図化を行った。これらの結果は政策決定者向けのサマリーとして日・英で展開され、環境省のJB03の検討等やAP-BON/MBON、IPBESのアセスメントへ提供されるなど、科学政策インターフェースの強化へと貢献した。

6. 引用文献

- 1) 堀 正和, 山北 剛久(2021) 海の歴史と未来 (人と生態系のダイナミクス4) 朝倉書店.
- 2) YAMAKITA, T., MATSUOKA, Y., & IWASAKI, S. (2017). Impact of the 2011 Tohoku Earthquake on the Use of Tidal Flats A Case Study in Inner Tokyo Bay. *Journal of Environmental Information Science*, 2017(1), 25-36.
- 3) 桑江朝比呂, 吉田吾郎, 堀正和, 渡辺謙太, 棚谷灯子, 岡田知也, 梅澤有, 佐々木淳 (2019). 浅海生態系における年間二酸化炭素吸収量の全国推計. *土木学会論文集 B2 (海岸工学)*, 75(1), 10-20.

Ⅱ-2 経済活動に起因するドライバーが海域の自然資本・生態系サービスに与える影響の予測評価

国立大学法人 北海道大学

北方生物圏フィールド科学センター
大学院地球環境科学研究院

仲岡 雅裕・四ツ倉 典滋
藤井 賢彦

<研究協力者>

根岸 淳二郎・三浦 一輝・須藤 健二・伊藤 美菜子・難波 瑞穂・百田 恭輔・田村 全・前原せり菜・王 雪純

【要旨】

沿岸生態系は、多種多様な生態系サービスを提供する藻場、干潟、サンゴ礁などの重要な自然資本を有しているが、経済活動の影響を受け劣化が進行している。本課題は、経済活動が我が国の沿岸域の自然資本・生態系サービスに与える影響について、特に陸域の土地利用の変化が河川を通じて沿岸生態系に及ぼすプロセスに着目して解明することを目的とする。まず、海洋健全度指数を用いて社会的・経済的・生態的な視点から沿岸海洋環境の健全度を包括的に評価した。北海道を対象とした解析では道内の地域間で、生態的な目標と経済的・社会的な目標の評価値が大きく異なることが判明し、これより、水産資源管理やエコツーリズムの振興など地域の状況に応じた海域保全・利用の提言が可能になった。次に、経済活動と密接にかかわる生態系サービスの指標になる生物（コンブ類、危険動物、鑑賞用魚類）を対象に、気候変動に伴うの将来の分布域の変化の予測を行った。その結果、対象としたすべての種で、今後分布域が大幅に北上すること、特にコンブ類では生育適地が著しく減少する可能性があることが予測された。この成果は今後の水産業や観光業へ向けた各種適応策の策定に有効である。陸域の土地利用の変化が沿岸域の自然資本・生態系サービスに与える影響については、集水域スケール、および全国スケールにて解析を行った。北海道東部の集水域を対象とした解析では、流域の土地利用の変化に伴う河川を通じた沿岸生態系への栄養塩供給量は、異なる社会シナリオ間で差があるものの、その変動を取り入れた沿岸生態系モデルによる予測では、栄養塩供給量の変化が沿岸域の主要一次生産者、二次生産者に与える影響は、水温上昇や二枚貝養殖量の変化などに比べて相対的に小さいことが判明した。一方、陸域における降雨の集中化は淡水流入による塩分環境の変化を通じて、沿岸域の自然資本や生態系サービスに大きな影響を与えることも明らかになった。全国スケールの解析でも陸域からの栄養塩流出量の変化は沿岸の自然資本であるアマモ場の面積に影響を与えるものの、その効果は比較的小さいことが予測された。森里海の自然資本・生態系サービスに対する各種ステークホルダー（SH）の認識と変動への対策についてヒアリングとアンケートを通じて解析したところ、「地域らしさ」に関する認識にはSHが関与する生態系を超えた広域な関心が見られる一方、今後進みうる人口減少や気候変動に対する対策に関する意見についてはリーダー格SHと一般住民で意識の乖離が見られた。地域の自然資本・生態系サービスを保全しかつ持続的な地域社会を構築していくためには、森里海のSHが協働して集水域全体での生態系保全や持続的な一次産業の構築にかかわる施策や意思決定を行うような仕組みづくりが重要であることが明らかになった。なお本課題は陸域生態系を担当するサブテーマ2(4)、海域データを統合するサブテーマ3(1)およびSH解析を担当するサブテーマ3(4)と緊密な協力の下に進められ、当初目標を十分に達成する成果を得ることができた。

1. 研究開発目的

海域・陸域の経済活動が沿岸域の自然資本・生態系サービスに与える影響を統合的に解明する。沿岸域の自然資本・生態系サービスの変化を地域スケールおよび全国スケールで把握すると共に、水質汚染・海域利用などの経済的ドライバーとの関連性を理解する。集水域研究サイトにて、陸域と海域の生態系変動を詳細に解析するプロセスモデルを作成し、陸海の経済活動の変化に伴う沿岸域の自然資本・生態系サービスの変化を定量的に評価する。また、流域に住む主要ステークホルダーを対象に意識調査を行い、それらの結果を踏まえて今後の生態系管理や持続性に関する指針を提言する。さらに、全国スケールで河川を通じた陸域の土地利用の変化が沿岸生態系の自然資本・生態系サービスに与える影響について予測評価する。

2. 研究目標

地域スケールおよび全国スケールでの将来シナリオの下での陸域から沿岸域への影響評価を行い、本テーマ全体の政策提言に反映させる。集水域研究サイトでは陸域動態モデルと海域生態系モデルの連結によるシナリオ毎の生態系サービス変動の予測を実施し、地方自治体、地域住民主体の保全および生態系サービスの持続的利用に向けた将来計画案の作成に資する提言を行う。

3. 研究開発内容

3-1. 海洋健全度指数を用いた我が国の沿岸域の自然資本・生態系サービス評価

沿岸生態系の自然資本は、海産物のような食料供給をはじめとするさまざまな生態系サービスを提供しているが、沿岸域における経済活動の拡大とともに、沿岸環境への負荷が大きくなり、また気候変動に伴う自然災害の頻発などの影響で、沿岸生態環境が不健全な状態に陥り、各サービスを提供する能力が著しく低下している。将来にわたり、生態系サービスを持続的に享受していくためには、沿岸域の環境を評価し、環境保全と経済成長が両立できる総合的な管理が必要だと考えられる。このような背景から、人間が海洋から享受するさまざまな生態系サービスを機能的・社会・経済学的アプローチから定めた目標により包括的に評価する海洋健全度指数 (Ocean Health Index; OHI) が考案された (Halpern et al., 2012¹⁾)。本指数では各目標に対する評価値を 100 点満点で算出することにより、各目標や各対象地の間の比較を行うことができる。ここではまず北海道について利用できるデータに基づいた指標作成を用い、過去10年間の各指標の最大値を主とする目標値を設定し、それぞれの評価を行う。続いて、サブテーマ3(1)と共同でその手法を我が国全域に展開し、沿岸域の健全度を向上させるための統合的な管理に向けた提言に結び付く数値評価を行う。

北海道沿岸域を対象とした解析においては、北海道沿岸の12振興局を対象に、OHIの10目標のうち食料供給、観光とレクリエーション、生計手段と経済、場所のイメージ、炭素貯蔵、海岸保護、水質調整、生物多様性の8目標を評価対象とした。北海道の沿岸利用にかかる文献資料、データベース資料を探索し、各目標の評価値の計算に必要な現況指数、トレンド指数、Pressure and Resilience (PR) 指数、近未来指数の値を取得し、得られた8目標の評価値を合算することにより総合評価を行った (王 2020²⁾)。なお、全国スケールでのOHIの算出方法についてはサブテーマ3(1)の報告を参照されたい。

3-2. 気候変動が経済活動の指標となる各種生態系サービスに与える影響の予測評価

本課題は当初の研究計画には含まれていないが、経済活動が沿岸生態系に与える影響を将来予測するに当たっては、海域の多様な経済活動 (漁業やレジャー活動など) と密接にかかわる生態系サービスに対して、気候変動影響との関連性を明らかにする必要がある。そこで、サブテーマ3(1)と3(3)と共同で、供給的サービスおよび文化的サービスの指標となる海洋生物の将来分布予測を行った。

供給的サービスの指標生物として、北日本沿岸に生息するコブ類12種を、文化的サービスの指標生物として日本の南西部に主に分布する魚類3種 (ソウシハギ *Aluterus scriptus*、アオブダイ *Scarus ovifrons*、トゲチウウオ *Chaetodon auriga*) を解析対象とした。ソウシハギとアオブダイは、体内に中毒性化学物質を持ち、分布域が変化すると、誤食による食中毒の発生リスクが高くなると考えられる。一方、トゲチウウオは観賞魚としても広く知られ人気があり、ダイビングや海中展望塔からの観察といった観光など文化サービスの指標となる。

コブ類の種分布推定については、RCP4.5およびRCP8.5シナリオに基づく2040年代と2090年代の分布変化について予測を行った。各対象生物について、既存の生物多様性データベースに登録されている過去から現在にわたる出現記録を抽出し、種分布推定モデル (生物の分布情報と環境情報の関連性の解析から種の分布域を推定する統計モデル) の1つであるMaxEnt (Maximum entropy modeling; Phillips et al. 2006³⁾) を用いてまず、温暖化が顕著になる前の1980年代における分布域を推定した。推定の解像度は5 kmで、説明変数としては、表層水温 (最寒月と最暖月)、有効波高、自然海岸線の長さを用いた。将来予測については、各シナリオに基づく水温変化予測値をCMIP5のMIROC4hモデルを用いて求め、1980年代の推定結果の水温と入れ替える形で、2040年代、2090年代におけるコブ各種の分布の変化を予測した (Sudo et al. 2020⁴⁾)。

指標魚類の将来予測については、RCP2.6およびRCP8.5シナリオに基づく2040年代後半～2050年代前半と2090年代の分布変化を比較予測した。各対象生物について、既存の生物多様性データベースより2000年代の出現記録を抽出し、MaxEntを用いて1 kmの解像度で分布域を推定した。説明変数は、表層水温、藻場の有無、サンゴ被度と形状、海底の傾斜角、水深を用いた。将来予測は、サブテーマ3(1)が開発に参画したSICAT02のMRI-CGCM3モデルによる水温変化予測値を利用して推定した (前原 2020⁵⁾)。

3-3. 陸域・海域の経済活動が土地利用・海域利用の変化を通じて沿岸生態系に与える影響の評価

北海道東部の別寒辺牛川流域～厚岸湖・厚岸湾にかかる集水域スケール、および全国スケールで、経済活動と気候変動に伴う陸域・海域生態系の変化が流域および沿岸生態系の自然資本や生態系機能・生態系サービスに与える影響について予測評価を行った。具体的には以下の課題に取り組んだ。

- (i) 別寒辺牛川流域における土地利用の変化が栄養塩流出を通じて沿岸生態系に与える影響の評価
- (ii) 厚岸湖における海域利用の変化が沿岸生態系サービスに与える影響の評価
- (iii) 陸域・海域の経済活動と気候変動が沿岸生態系サービスに与える複合効果の評価
- (iv) 降雨の集中化が淡水流入を通じて沿岸生態系に与える影響
- (v) 全国スケールでの陸域利用の変化が沿岸海域の生態系サービスに与える影響
- (vi) 生物指標を用いた流域河川環境の評価と森里川海のつながり

本研究項目はサブテーマ3(2)(4)と3(1)と共同で実施した。(vi)についてはサブテーマ3(2)(4)の報告書に詳述するため、本稿での説明は省略する。

PANCESシナリオを対応した別寒辺牛川流域の土地利用変化の将来シナリオを5つ設定した。これらのシナリオについて、生態系プロセスモデル (LANDIS-II; Scheller et al. 2007⁶⁾) を用いて解析を行い、2015年から2050年にかけての気候と土地利用の変化に対する河川を通じた窒素溶出量の変動をシミュレーションした。詳細についてはサブテーマ3(2)(4)を参照されたい。

上記陸域生態系プロセスモデルから予測される海域への栄養塩濃度の変化が厚岸湖・厚岸湾の生態系に与える影響を解析するために、海域生態系モデルを作成した。生態系モデルはYoon et al. (2013)⁷⁾、Abe et al. (2015)⁸⁾が開発した「厚岸湾・厚岸湖における流動・生態系動態統合モデル」を基に、上記河川から供給される栄養塩濃度の変化に加え、海域の経済活動の指標となる厚岸湖・厚岸湾の貝類養殖量の変化、さらに気候変動に伴う水温の変化を同時に解析できるものに改良を加えたものである。これを用いて、河川からの栄養塩濃度の変化(i)、貝類養殖量の変化(ii)、IPCCの気候変動シナリオRCP2.6とRCP8.5で予測される水温変化に応じた2050年段階での厚岸湖・厚岸湾の生態系変動(iii)を予測した。目的変数としては各種生態系サービスの指標となる植物プランクトン、アマモ、付着藻類、底生微細藻類の一次生産量、および二枚貝類(マガキ、アサリ)の二次生産量を用いた。

気候変動に伴う降雨量の増加および集中化が陸域から河川を通じた淡水流入の変化を通じて汽水域(厚岸湖)の塩分低下を通じて沿岸生態系に与える影響(iv)については、上記「厚岸湾・厚岸湖における流動・生態系動態統合モデル」の塩分要素にかかる部分を改良して評価を行った。厚岸湖における塩分の変化については、周辺のAMeDASの2014年から2018年の5年間のデータを用いてシミュレーションを行い、厚岸湖の主要構成要素であるアマモ、マガキの生育に負の影響が生ずる閾値となる日平均塩分が10(アマモ)、20(マガキ)を下回る範囲を算出し、降水量および降水パターンが異なる年間で比較した。

全国スケールでの解析(上記v)では、まず、陸域における将来の土地利用変化が流域から沿岸域への栄養塩流出量に及ぼす影響について、全国における一級河川水質、浄水場水質の公開データを用いて機械学習モデルにより河川水質の全国マップを作成し、テーマ1が作成した4つのPANCES土地シナリオに伴う河川水の硝酸態窒素(および亜硝酸態窒素)濃度の変化をシミュレートした。詳細についてはサブテーマ3(2)(4)の報告書を参考にされたい。現況における栄養塩流出量に対して、沿岸各流域の海岸線に位置するアマモ場と海藻場の面積を応答変数として関連性を解析した。なお説明変数には、栄養塩流出量の他に緯度、経度、水温、クロロフィルa、沿岸農地率、波当たり、潮汐の大きさ、沿岸人口も加え、陸域の変化と沿岸域の変化の相対的重要性も検討した。さらに得られた関係式をもとに、PANCESの4シナリオによる河川水の栄養塩濃度の変化に基づく2050年におけるアマモ場面積の変化を予測した。予測は気候変動影響を考慮したもの、しないものの2通りに分けて行った。

3-4. 森里海の自然資本・生態系サービスの変化とステークホルダーによる利用の関連性解析

本課題は当初の研究計画には含まれていないが、研究開発目標の1つである「地方自治体、地域住民主体の保全および生態系サービスの持続的利用に向けた将来計画案の作成に資する提言を行う」ために有効な手法であるため、サブテーマ3(4)と共同で実施した。

北海道サイト(別寒辺牛川流域から厚岸湖、厚岸湾に至る一帯)における多様な自然資本、生態系サービスとそれを利用するステークホルダー(利害関係者、以下SH)の関連性を明らかにするために、陸域(森林、農地)、里域(市街地)、海域で経済活動を行うSHを対象に、聞き取り調査およびアンケートを通じて、自然資本・生態系サービスにかかる現状認識、今後の人間社会および環境の変化に対する懸念および取りうる対策に関する意見を広く収集した。これに基づき、陸域・海域の自然資本、生態系サービスの今後の変化に関する地域版シナリオを作成した。

まず2017年に、森里海における、自然(生態系)と社会(SH)のつながり(関係性)を可視化した「SES図」(Social-Ecological Service図)の作成を行い、併せて、森・里・海で生産・生活を行っているSHの特定を行った。SES図および手法の詳細については但馬・牧野(2017)⁹⁾を参照されたい。続いて2018年には、特定できたSHの中でも、地域のことをよく知悉しているリーダー層へのヒアリングを行い、地域の代表的なSHの意識を把握した。ヒアリングの質問内容は「最近人口減少や環境変化を感じる場面は何か?」、「それらに対する望ましい対策は何か?」とした。

ヒアリング結果をもとに森里海における地域住民(リーダーに対する「一般SH」)を対象にアンケート調査票を作成し、2019年10月から翌2月にかけて厚岸町の住民を対象に実施した。質問内容は、①:あなたにとっての「地域らしさ」とは何か?、②:人口減少・環境変化を感じる場面は?、③:人口減少と環境変化に対する望ましい対策は?の3項目であった。いずれも選択肢からの複数選択回答、および自由回答を依頼した(選択肢は表2、3を参照)。調査は、森里海の回答者のバランスを確保することを目的に訪問面接調査および郵送調査を採用し、森19名、里44名、海61名の計124名から回答を得た。

ヒアリングおよびアンケートの結果を元に、別寒辺牛川流域から厚岸湖、厚岸湾を対象とした地域版シナリオを作成し、それを元に、地域の自然資本・生態系サービスを保全し、持続的に利用するための地域住民

に対する提言を行った。

4. 結果及び考察

4-1. 海洋健全度指数を用いた我が国の沿岸域の自然資本・生態系サービス評価

北海道沿岸域を対象とした解析においては、各振興局における産業構造や自然生態系の違いにより、主要な生態系サービスの構成およびその評価値が大きく異なることが判明した。例えば、道東（十勝、釧路、根室など）は海岸保護、水質調整などの調整的サービスの評点が高い一方、胆振や後志などの大都市周辺では観光とレクリエーションや場所のイメージなどが相対的に高かった。OHI総合評価値は最も高いのがオホーツクの72点、次は後志で63点、最も低いのが石狩と留萌の28点となった。オホーツクの評価値が高い要因として、食料供給の高評価値（85点）が挙げられ、これは主に漁業・養殖業の生産量が高いことによる。また、後志では沿岸域の自然公園の年間利用者数が多く、場所のイメージの高得点（98点）が高い総合評価値に寄与した。一方、石狩と留萌では漁業・養殖業の生産量が少なく、沿岸域の自然公園を訪れる人も少ないため、食料供給と場所のイメージが共に低評価であったことが低い総合評価値の主な要因である。北海道沿岸域全体としては、生態的な目標が高い一方、経済的・社会的な目標が総じて低いことが判明した。

OHIの地域別指標値の比較から、各自治体の応じた生態系管理に関する具体的な提言が可能になった。例えば、石狩と留萌では重要漁獲種の資源管理を適切に行い、資源量の回復に努力すること、また観光客の誘致を図ることが各地域の沿岸海域の健全度の向上につながると考えられる。OHIを用いた政策提言については、PANCES政策決定者向けサマリーを参考にされたい。なお、全国規模の解析結果については、サブテーマ3(1)の報告を参照されたい。

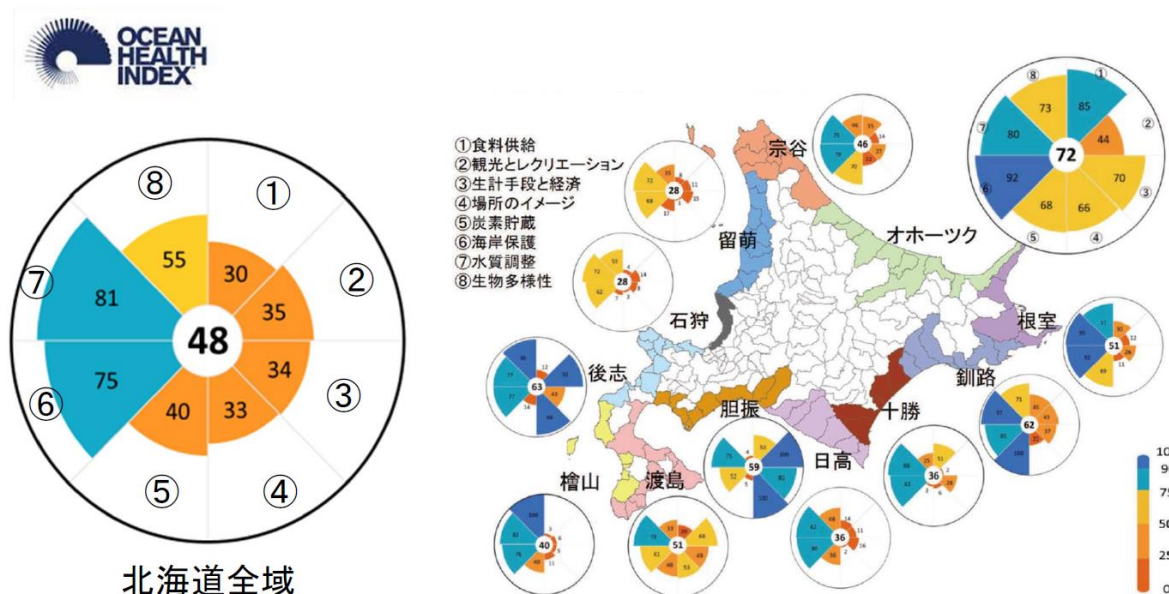


図2.1 北海道の沿岸域をもつ振興局を対象に海洋健全度指数(OHI)を用いて経済活動が自然資本・生態系サービスに与える影響の予測評価を行った結果。各円グラフの中心の値は総合評価値を、円グラフの各要素はそれぞれ①食料供給、②観光とレクリエーション、③生計手段と経済、④場所のイメージ、⑤炭素貯蔵量、⑥海岸保護、⑦水質調整、⑧生物多様性の評価値を100点満点で示す。

4-2. 気候変動が経済活動の指標となる各種生態系サービスに与える影響の予測評価

分布推定に用いたコンブ11種の1980年代における分布域は、広域に分布するマコンブ (*Saccharina japonica*) やスジメ (*Costaria costata*) は三陸沿岸から北海道にかけての太平洋沿岸域及び北海道の日本海沿岸域に広く分布する一方、ネコアシコンブ (*Arthrothamnus bifidus*) やナガコンブ (*Saccharina longissima*) などの種は分布域が北海道東部に限られていることが明らかになった。分布の説明要因としては、海水温、波浪の強さ、自然海岸の割合などの要因が影響するが、その相対的重要性は種によって異なっていた。

将来予測の結果、すべての種で、今後分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があることが予測された。特にRCP8.5シナリオでは、全種を合わせた分布域が2090年代では1980年代の0~25%になることが判明した。一方、RCP4.5シナリオでも11種中4種のコンブが日本の海域から消失する可能性があることが予測された。

本研究の結果より、地球温暖化が現在のスピードでこのまま進行すると、北日本の藻場が大きく変化し、

沿岸生態系の海洋生物多様性や生態系サービスに負の影響を与えることを示唆される。特に、水産有用種であるマコブ類の著しい現象は、コブ漁業や養殖業に与える影響が非常に大きい。今後北日本の沿岸生態系の保全及び持続的な水産業を維持するためには、地球温暖化の緩和策を一層推進するとともに、水温変化に抵抗性がある養殖品種の改良や漁業・養殖業の適地選定など、適応策に関する検討も必要であることが提言される。

一方、指標性魚類を対象に行った現在の分布推定では、対象とした3種の存在確率は、沖縄や九州、黒潮の影響を強く受ける高知や和歌山の周辺で高く、既知の分布を良く再現した結果が得られた。全変数の中で最寒月の海面水温の寄与率が最も高く、生息適地を決定する要因として水温が重要であることが分かった。将来の分布推定では、RCP2.6シナリオでは現在の分布域と大きな違いはないが、RCP8.5シナリオでは、地球温暖化に伴う水温上昇によって温帯域でも越冬が可能になり、生息域がさらに北上することが示唆された。例えばソウシハギでは、RCP8.5シナリオに基づく2090年代の分布域は、日本海が岩では鳥取県沿岸、若狭湾から能登半島、新潟県沿岸にかけて、太平洋側では千葉県東部から茨城県沿岸まで北上することが予測された(図2.3)。

以上の結果より、今後、熱帯魚の加入による観光需要の変化、南方性の危険生物の加入に対する適応策を、地域の状況に応じて講じていく必要性が具体的に示された。

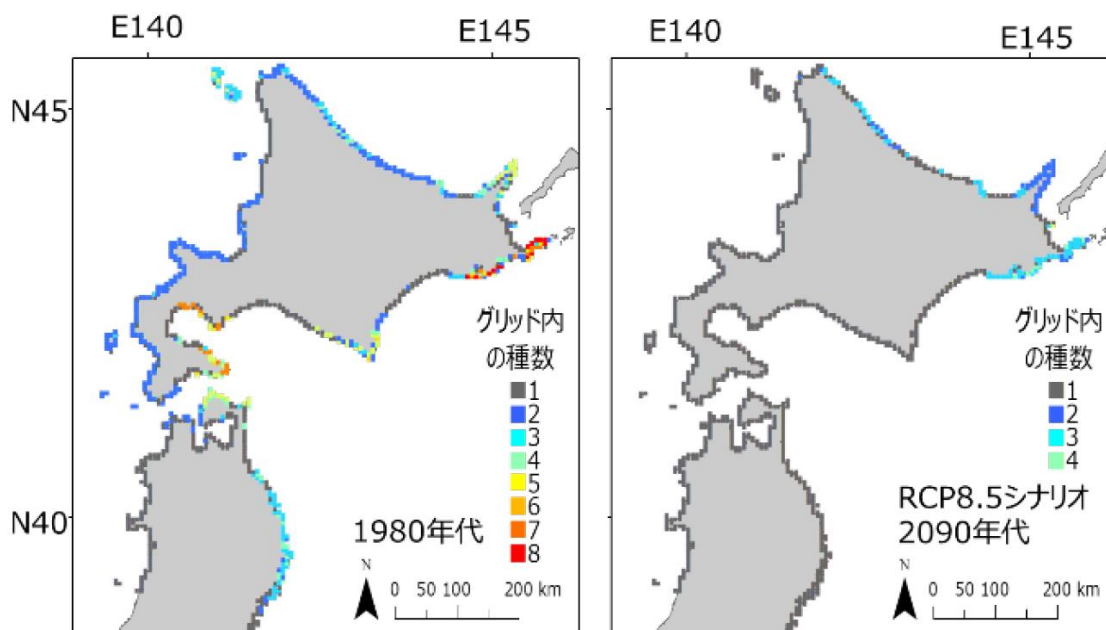


図2.2 北日本におけるコブ類11種の種多様性の推定結果。(A) 1980年代の推定結果。(B) RCP8.5シナリオにおける2090年代の予測結果。

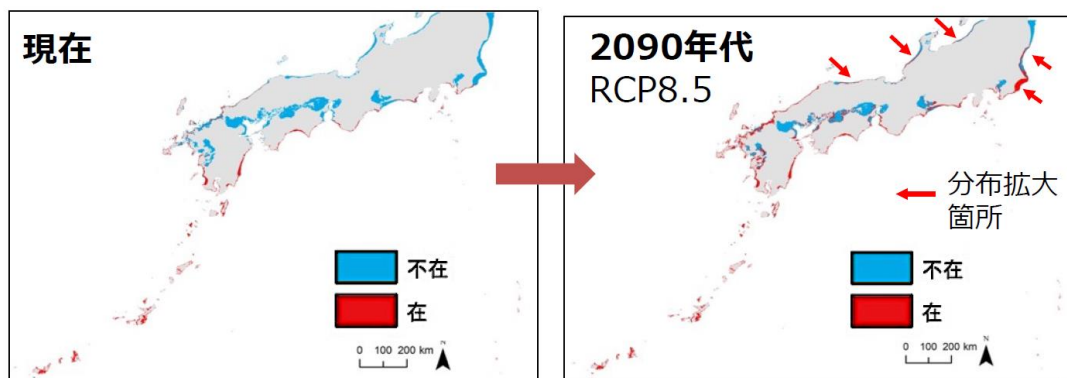


図2.3 生態系サービスに影響する魚類指標種（ソウシハギ）の海水温変化による変動予測。

4-3. 陸域・海域の経済活動が土地利用・海域利用の変化を通じて沿岸生態系に与える影響の評価

4.3.1. 別寒辺牛川流域における土地利用の変化が栄養塩流出を通じて沿岸生態系に与える影響

異なる将来シナリオに基づく別寒辺牛川流域の土地利用変化に伴い、河川水を通じて供給される栄養塩量は現状の1.5倍から2倍になることが予測された(サブテーマ2(4)の報告書を参照)。そこで、海洋生態系モデルにおいて河川からの栄養塩負荷量が2倍になった場合の厚岸湖・厚岸湾における水柱の硝酸塩の濃度、

およびChl. a濃度（植物プランクトンの生産性、および富栄養化の指標）の変化を予測した。その結果、栄養塩濃度の変化率は融雪期（4月）と多雨期（8月）が降水量が少ない冬季（12月）よりも高いことが判明した。一方、Chl. a濃度については、現況からの増加は少なく、12月の厚岸湖湾奥ではかえって減少する場合もありうるということが判明した（図2.4）。年平均値で比較すると栄養塩濃度は厚岸湖の奥部の方が高く、変化率が2倍以上になる一方、厚岸湾では現状から大きな変化が生じないことが予測された。またChl. a濃度は厚岸湖・厚岸湾のいずれの地点でも現況からの大きな変化は生じないことが予測された。

関連研究により、厚岸湖の水塊は窒素制限状態にあり（中角 2018）¹⁰、栄養塩供給量の増加は、植物プランクトンなどの一次生産者の増加に結び付くと考えられる。しかし、植物プランクトンはアマモや附着藻類など厚岸湖で生物量が多い他の一次生産者との競争に加え、養殖二枚貝類などの懸濁物食者による摂食により、栄養塩濃度の供給量の増加に応じた生物量の目立った変化は生じないと考えられる。

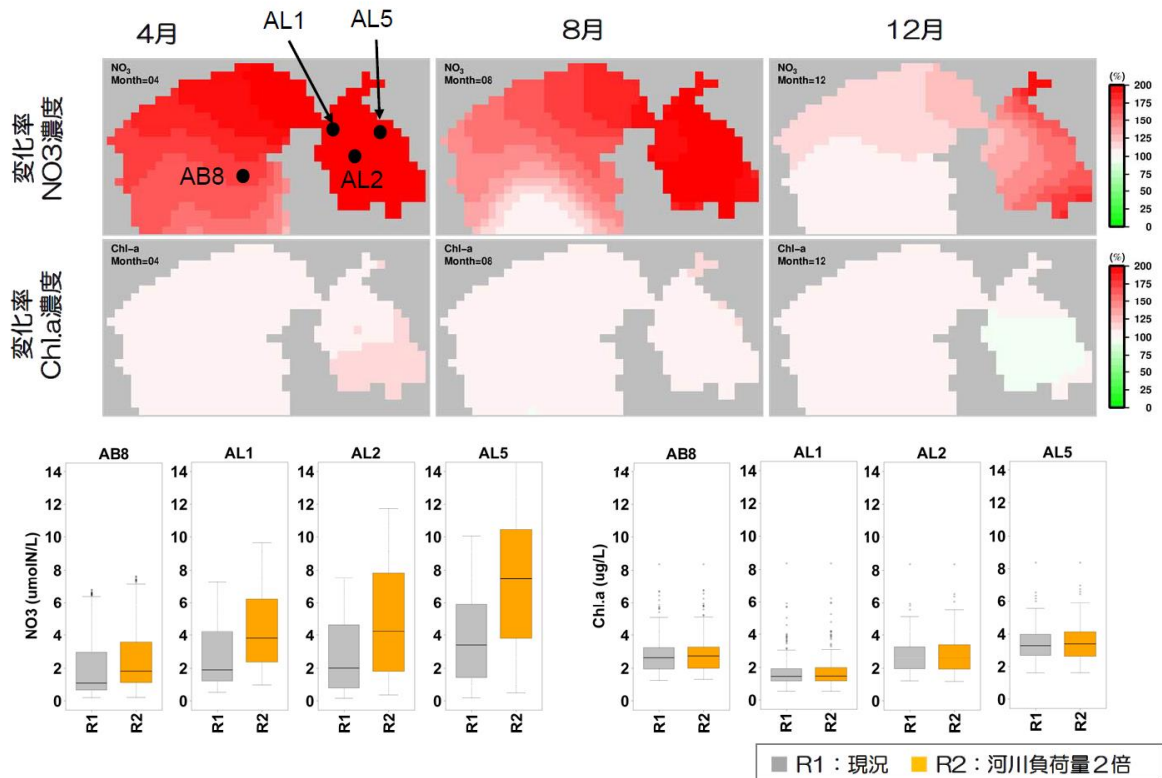


図2.4 陸域から河川を通じて流出する栄養塩負荷量の変動による厚岸湖・厚岸湾の水質と一次生産量への影響。陸域モデルによる予測結果に従って河川水中の栄養塩濃度を2倍にしたときの4地点における水柱の硝酸塩濃度、Chl. a濃度の変動予測を3季節において示す（上図）。また、代表的な4地点における季節を通じた平均値とその変動を下図に示す。

4.3.2. 厚岸湖における人口減少に伴う海域利用の変化が沿岸生態系サービスに与える影響

厚岸湖・厚岸湾において養殖されているマガキ・アサリの生物量を0にしたシナリオで沿岸生態系の変化をシミュレーションしたところ、水中の硝酸塩濃度は現況より減少する一方、Chl. a濃度は増加することが予測された（図2.5）。栄養塩濃度の減少率は4月の厚岸湖内、および8月の厚岸湖・厚岸湾で大きい一方、12月は大きな増減は見られない。Chl. a濃度の増加率はいずれの月共に厚岸湖の方が厚岸湾よりも大きかった。年平均の比較では、栄養塩濃度については養殖二枚貝類の有無で平均値とその変異に大きな差は生じないが、Chl. a濃度は養殖二枚貝類がない場合に特に厚岸湖内で2倍以上増加する一方、厚岸湾内ではそれほど増加しないことが予測された。

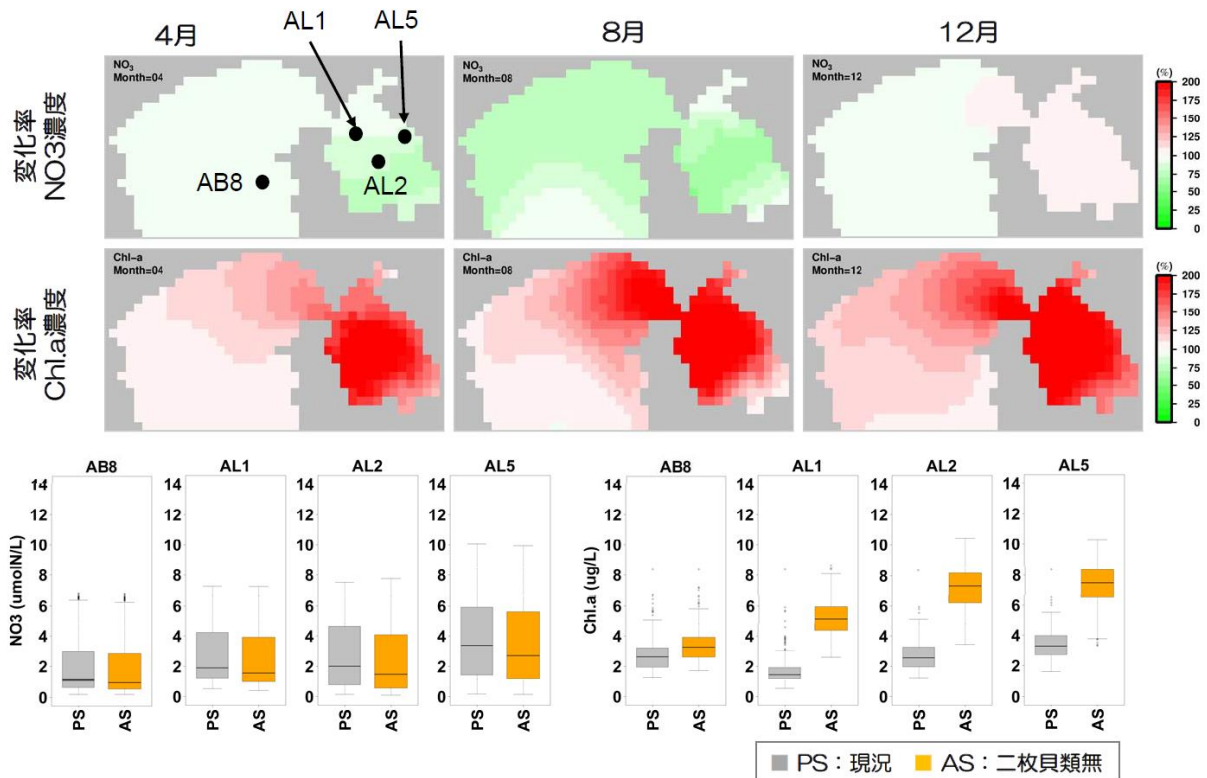


図2.5 厚岸湖・厚岸湾における二枚貝養殖の有無が水質および一次生産量へ与える影響の生態系モデルによる評価結果。現況と二枚貝養殖がない場合の水柱の硝酸塩濃度、Chl.a濃度の変動予測を3季節において示す(上図)。また、代表的な4地点における季節を通じた平均値とその変動を下図に示す。

4.3.3. 陸域・海域の経済活動と気候変動が沿岸生態系サービスに与える複合効果の評価

上記で解析した陸域の土地利用変化に伴う栄養塩負荷の効果(現況vs2倍)、および海域利用の変化に伴う養殖二枚貝類の量の変化(現況vs0.5倍)、さらに気候変動モデルから算出される今後の水温変化(現況、RCP2.6、RCP8.5)の3要因を組み合わせる沿岸生態系モデルでシミュレーションを行い、その複合効果を検討した。

その結果、厚岸湖・厚岸湾の主要一次生産者(植物プランクトン、アマモ、付着藻類、底生微細藻類)、および二次生産者(マガキ、アサリ)の生産量は、異なるシナリオの組み合わせにより大きく変化することが判明した。厚岸湖では植物プランクトンの変化が大きく、栄養塩負荷が2倍に増えると、生産量が約1.2~1.3倍に増加することが予測された(図2.6左)。また養殖二枚貝の量が半減した場合、および水温変化が大きい場合にも植物プランクトンの生産量は増加することが予測された。栄養塩負荷の効果は養殖量が半減した場合(1.3倍)は養殖量が現況の場合(1.2倍)よりやや大きかったが、水温上昇率との間に相互作用は見られなかった。一方、他の一次生産者の生産量は異なるシナリオによる変異幅は小さかった。例えば、アマモの生産量の変異は0.98倍から1.05倍の大きさであった(図2.6右)。このような一次生産者間における異なる挙動には、光や栄養塩を巡る競争など種間相互作用が関連していると考えられる。

二枚貝類の将来予測においては、マガキは栄養塩濃度の増加に伴い生産量が1.4倍程度増加する一方、アサリは変化しないことが予測された。水温上昇が二枚貝の生産量を1.1倍ほど増加させるが、栄養塩濃度と水温上昇の相互効果は見られないという予測結果となった。

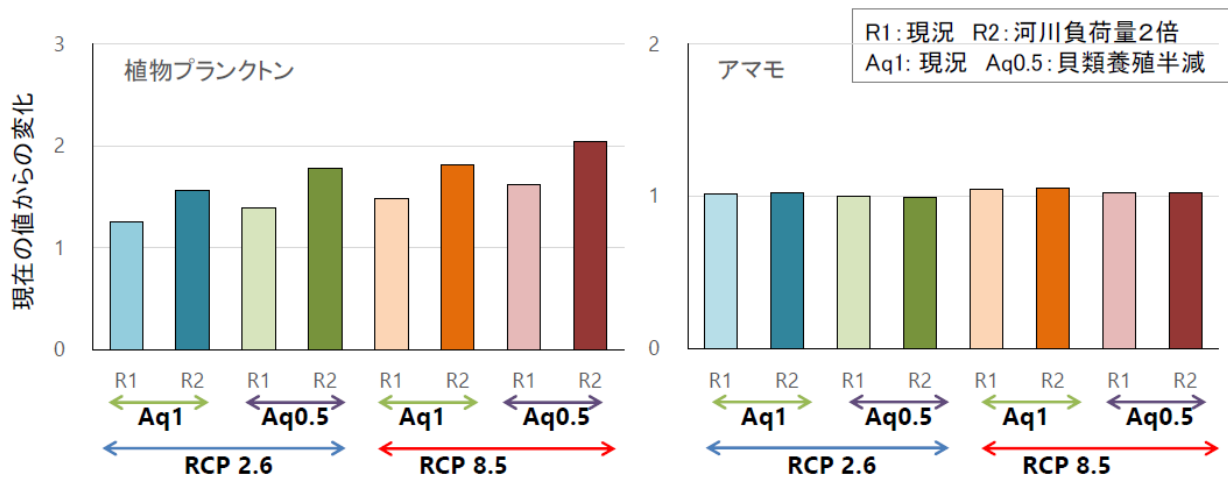


図2.6 河川を通じた陸域からの栄養塩流出量、気候変動に伴う水温上昇、および海域利用（二枚貝養殖量）の変化に関する異なるシナリオの組み合わせにより、厚岸湖における植物プランクトンおよびアマモの生産量の変化を予測した結果。R2は河川からの栄養塩が現在(R1)の2倍になるシナリオ、Aq0.5は二枚貝養殖量が現況(Aq1)の半分になるシナリオ、RCP2.6とRCP8.5は気候変動シナリオによる水温の変化を取り入れたシナリオを示す。

以上の結果より、別寒辺牛川流域における陸域の土地利用と海域利用の変化が厚岸湖・厚岸湾の自然資本および生態系サービスに与える影響は、異なるドライバーの相互作用により複雑な挙動を示すことが明らかになった。当該海域では陸域の土地利用の変化、海域利用の変化および気候変動は、沿岸生態系の対象種によって異なるパターンの影響を与えることが予測されたが、これには現在の土地利用・海域利用の形態、および河川・湿原・汽水湖・浅海域の水域のつながりの構造（地形に伴う河川水の滞留時間や沿岸海流との混合様式の変異）が関連しており、その構造が異なる他海域に本研究の成果を直接適用することには慎重な考察が必要である。しかし今後、本研究で開発した陸域モデルと海域モデルを組み合わせた統合解析法を各海域に適用することで、陸域と海域の相互作用が自然資本、生態系サービスの変化に与える影響をより広域かつ一般的に理解することができるようになると期待される。

4.3.4. 降雨の集中化が淡水流入を通じて沿岸生態系に与える影響

北海道サイトである別寒辺牛川流域では2010年代に入り以前にはあまり見られなかった極端な集中豪雨が観測されるようになり、それに伴い河川水の大量流入による厚岸湖の塩分の急激な低下を通じてアマモ場の著しい面積減少や、養殖カキやアサリなどの大量への死が観測されている（仲岡ら 2016）¹¹⁾。今後気候変動に伴い、そのような極端気象の増加が懸念されている。そこで、上記で開発したモデルを用いて、降水パターンの異なる2014年から2018年において、融雪期を除く6月から12月までの期間の塩分の変動を予測した。その結果、年により厚岸湖の塩分の空間分布が大きく変異していたことが判明した（図2.7上）。塩分の低下率および低下範囲は、最大の日最大降水量を記録した2015年で最も低くなった。この解析よりアマモの生育に影響を与えるとされる日平均塩分が10以下の範囲、およびマガキの生存に負の効果働くと考えられる塩分20の範囲を抽出して、現在のアマモの生息域およびマガキの養殖海域と比較すると、2015年のマガキにおいて養殖域の一部が生育に不適になっていたことが判明した（図2.7中下）。

本解析は気候変動影響のうちこれまで解析が困難で進んでいなかった降雨の集中化が陸域・海域相互作用を通じて塩分低下をもたらすことにより汽水域生態系の自然資本・生態系サービスに影響を与えることを示した世界でも数少ない研究成果であり、今後、気候変動モデルに基づく降水量変化の予測モデルと組み合わせることで、将来予測を行うことで、前項で検討した水温、土地利用、海域利用変化の影響との相互作用を明らかにするとともに、変動予測に基づく養殖場所の設置計画などの適応策の策定にも貢献できると期待される。

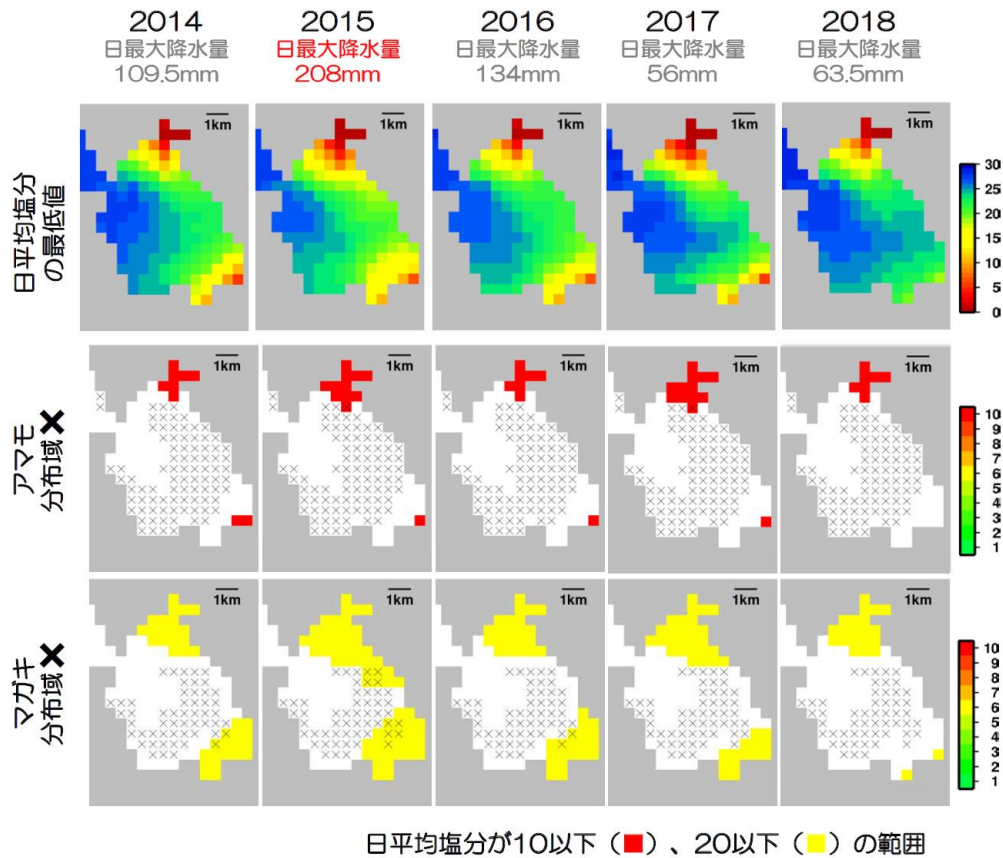


図2.7 陸域における集中的な降雨が河川を通じた淡水流入を通じて厚岸湖の塩分環境に与える影響（上段）、およびアマモ（中段）、マガキ（下段）の分布域への影響。

4.3.5. 全国スケールでの陸域利用の変化が沿岸海域の生態系サービスに与える影響

全国の一級河川における河口での栄養塩流出量、およびその他の説明変数を入れた解析の結果、アマモ場および海藻藻場の面積の変動に栄養塩流出量が関連していることが判明した。栄養塩流出量が多い地域ほどアマモ場、海藻藻場の面積が高くなる傾向が見られた（図2.8A）。しかし、その相関は弱く、モデルへの貢献度は他の説明要因（緯度、経度、水温、海岸線長など）に比べ小さかった。サブテーマ2(4)で解析した今後の4つのPANCESシナリオに伴う栄養塩流出量の変化をこの関係式に代入し、アマモ場面積の変化を予測したところ、各シナリオから予測されるアマモ場分布域は現況と大きく変わらず、気候変動の影響を考慮しない場合で、現況の98%~100%、気候変動を考慮した場合で、95~97%が残存することが予想された（図2.8B、表2.1）。

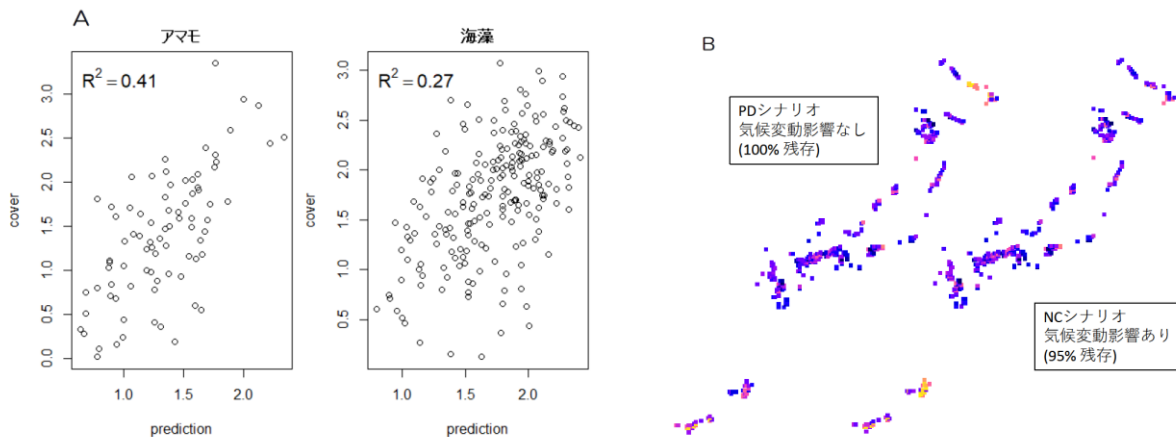


図2.8 A. 全国スケールで解析した河川の河口域における栄養塩濃度（横軸）とアマモ場、海藻藻場の面積の関係。B. PANCESシナリオにもとづく2050年におけるアマモ場の分布予測。

表2.1 PANCESの4シナリオで予想される2050年における全国のアマモ場の残存率(%)

シナリオ	BAU	NC	ND	AC	AD
気候変動なし	100	98	99	99	100
気候変動あり (RCP8.5)	97	95	96	96	97

4.4. 森里海の自然資本・生態系サービスの変化とステークホルダーによる利用の関連性解析

地域の研究者および主要SH(厚岸町職員、漁業者、厚岸漁業協同組合職員、釧路太田農業協同組合職員、北海道釧路総合振興局釧路地区水産技術普及指導所職員、北海道釧路総合振興局森林室職員、道の駅「コンキリエ厚岸」職員等)を対象に実施した聞き取り調査の結果をもとに、生態系機能、生態系サービス、ステークホルダーの関連性を可視化した「SES図」(Social-Ecological Service図)を図2.9に示す。本地域の特性として、主要SHの利用する生態系サービスが陸域、里域、海域の多岐な生態系機能・サービスから由来しており、混合して利用されていること(図9の斜め線)が挙げられる。

アンケートではまず、地域の象徴的なキーワードを選択肢に用い「地域らしさ」について回答を求めた。その結果を図10に示す。選択肢の中で統計的に有意に回答数が多かった項目は、9項目あり、海では「漁業」、「カキ」、「コンブ」、「アサリ」、「サンマ」、里では「厚岸大橋」、「道の駅」、森では「酪農」が多く回答された。これら9項目を対象として、SH別の回答数に差が認められるか χ^2 検定を行った。「漁業」、「厚岸湖」は海SHの回答数が、「厚岸大橋」は里SHの回答数が他のSHよりも多く、「道の駅」は森SHに比べて海SH・里SHの回答数が有意に多かった。「カキ」、「コンブ」、「アサリ」、「サンマ」には、SH別に回答数の違いは確認されなかった。

「人口減少・環境変化を感じる場面」に関する質問の回答を表2に示す。人口減少に対しては、7つの選択肢のうち、3、4、5の項目が、統計的に回答が有意に多かった。環境変化に対しては、6つの選択肢のうち、1、2、3、4の項目が、統計的に回答が有意に多かった。統計的に有意に回答が多かった選択肢に対して、森里海のSH別に回答数を比較したところ、人口減少に対する設問、環境変化に対する設問ともにSH別に回答数の違いは確認されなかった。唯一、4において、海SHが里SH・森SHに比べて回答数が有意に多かった。なお、リーダーと一般SHの回答は、概ね共通したものであった。

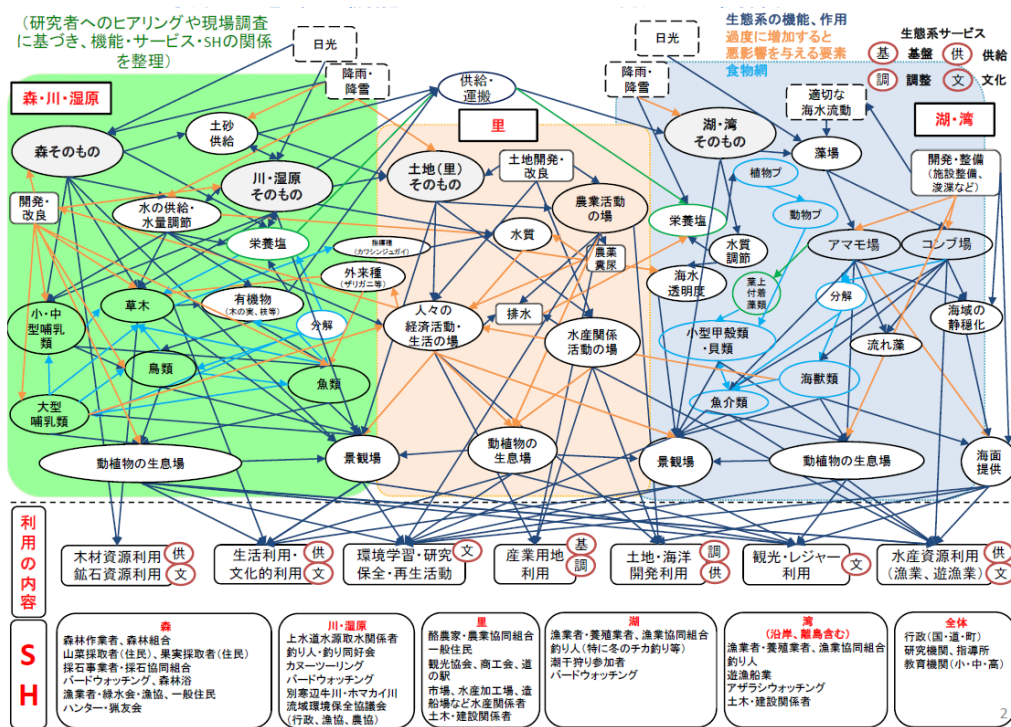


図2.9 厚岸における生態系の機能およびサービスとステークホルダーとの関係図 (SES図)

「人口減少・環境変化に対する望ましい対策」に関する質問の回答を表3に示す。人口減少対策では、7つの選択肢のうち4、6、7の項目が、環境変化対策では、6つの選択肢のうち、3、4、6の項目が、統計的に回答数が有意に多かった。人口減少対策（4、6、7）では、4、6において、海里>森の順番で回答数が多かった。7では、SH別に回答数の違いは確認されなかった。環境変化対策（3、4、6）では、3において里SH・海SHが森SHに比べて回答数が有意に多かった。4、6では、SH別に回答数の違いは確認されなかった。

なお、アンケートに先駆けて行ったヒアリングでは、多くのリーダーが、人口減少への望ましい対策として1、3、6を挙げ、環境変化への望ましい対策として1、2、5を挙げていた。アンケートで一般SHは、人口減少の6（積極的な観光客の受入）を除き、リーダーが考える対策とは異なる対策を多く回答しており、リーダーと一般SHの間では、意識に乖離があることが示された。

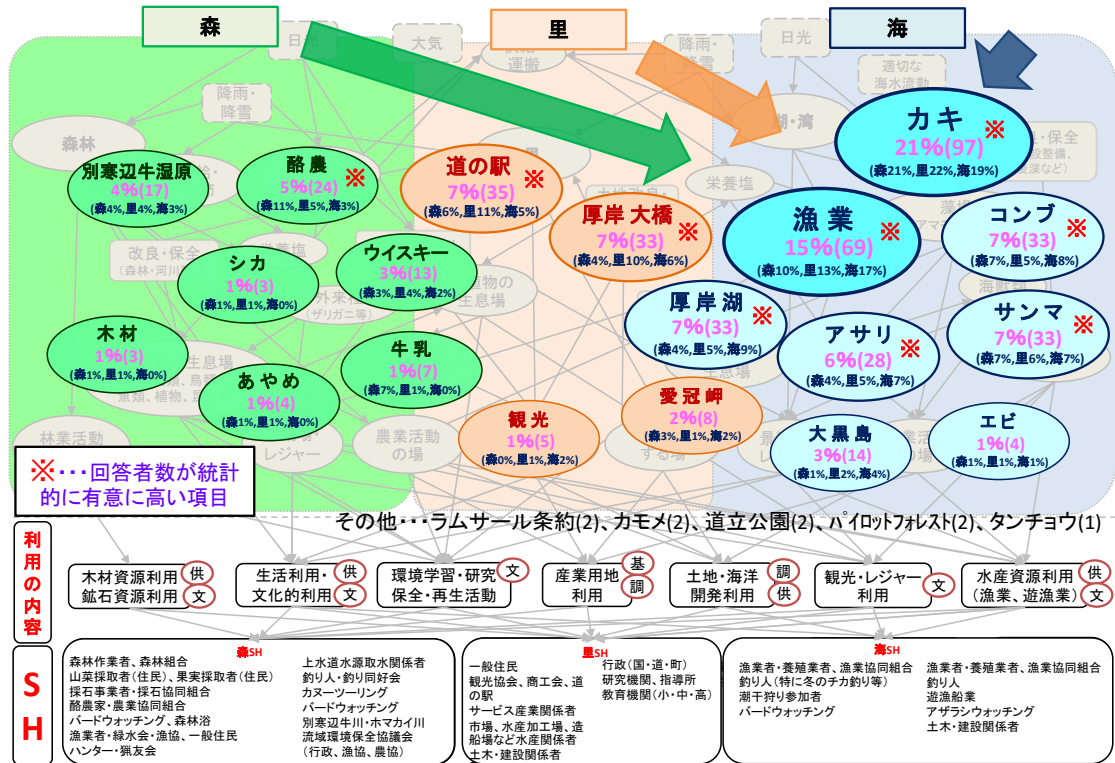


図2.10 アンケート質問①：「あなたにとっての地域らしさとは何か？」に対する回答数と割合を全体および各SH別に表す（複数選択可）。

表2.2 アンケート質問②：「人口減少・環境変化を感じる場面は？」に対する回答（複数選択可）。※は回答者数が統計的に有意に多い項目を指す。

人口減少を感じる場面は？	森SH	里SH	海SH	計	環境変化を感じる場面は？	森SH	里SH	海SH	計
1. 仕事をするうえで人手が不足	8	25	21	54	1. 自然災害が増加している※	10	21	29	60
2. 外国人技能実習生が増加	6	11	16	33	2. 長雨が長く、夏場が暑い※	10	15	24	49
3. 空き家、空き地、荒れ地が増加※	10	28	46	84	3. 降雪少なく冬に寒さを感じない※	10	14	26	50
4. 街の飲食店等が減少※	13	26	41	80	4. 海の水温が上昇、潮の流れが変化※	3	9	33	45
5. 学校が統合された※	10	28	35	73	5. 以前は見かけなかった動物や植物が増加	2	12	11	25
6. 列車・バス本数や病院医師が減少	6	16	24	46	6. 作業時期が早まっている(遅くなっている)	4	3	14	21
7. ハンター減少の影響で獣害被害が増加	5	7	11	23					

表2.3 アンケート質問③：「人口減少と環境変化に対する望ましい対策は？」に対する回答（複数選択可）。※は回答者数が有意に多い項目を指す。リーダー格SHの意見として多かったものを**太字**で示す。

人口減少に対する望ましい対策は？	森SH	里SH	海SH	計		環境変化に対する望ましい対策は？	森SH	里SH	海SH	計
1. 機械化や自動化技術で人手不足の解消	6	9	14	29		1. 野外作業のスケジュールの見直し	0	3	7	10
2. 外国人の受入を維持拡大	4	4	10	18		2. 野外作業の作業内容の見直し	1	4	8	13
3. グループ作業・共同で道具使用	5	7	12	24		3. 災害対策をしっかりと行う（インフラ整備）※	4	19	29	52
4. 仕事（雇用）の場所を増やす※	9	18	38	65		4. 空き地・荒地には植樹等を行い原形復旧※	8	11	23	42
5. 新エネなど新産業を起し活性化	2	13	16	31		5. シカやクマなど駆除をする体制の見直し	6	8	16	30
6. 積極的な観光客の受入※	5	21	15	41		6. 行政や研究機関のサポート強化※	4	15	20	39
7. 行政や研究機関のサポート強化※	6	9	22	37						

以上の結果より、当地域では、漁業・水産物（特にカキ）が、強く「地域らしさ」として認識されていることが確認された。今後も継続的に「地域らしさ」の維持を図るうえで、当地域では、漁業の維持や水産物の安定的・持続的な生産は、決定的に重要と考えられる。また、「地域らしさ」は、海だけではなく、森・里に関わるキーワードとあわせて形成されていることも特徴的であった。特に、漁業やカキ養殖、汽水湖やコンブなどの海産物や海洋環境および海洋での人間活動に対しては、海域生態系にかかるステークホルダーだけでなく、陸域生態系（森林や農地）や里（市街地）にかかるステークホルダーも、強い関心を持っていることが判明した。

図2.9で整理ができた現状の「地域らしさ」を基にして、将来的に想定される①～④の4つのシナリオを試行的に設定した（図2.11）。縦軸には、人口減少の進み具合を設定し、将来的に「人口減が緩慢に進んだ」場合（上）と、「人口減が急激に進んだ」場合（下）を設定した。また横軸には、環境変化への適応・対策の成功度合いを設定し、「森里海の全体で適切な管理がなされた」場合（右）と、「適切な管理がなされなかった（もしくは失敗した）」場合（左）を設定した。

シナリオ①（図右上）では、人口減は緩慢なため、SHの数や規模もそれほど現状とは変わらず、各SHの生活や生産の場は維持できると想定される。シナリオ②（図右下）では、「ある程度」の範囲までの人口減に対しては、十分な対策の実施により「地域らしさ」は維持が可能であると考えられるが、人口減少に対処をしないままでは、コミュニティの崩壊につながりかねないため、基準を見極めたうえで対策が検討される必要がある。一方、シナリオ③（図左上）では、温暖化等が進展することによって獣害や外来種の極端な増加が起り、森里海における生態系が大きく変化することにより、旧来の産業や仕事の場合は維持することが困難となる可能性が高い。シナリオ④（図左下）は、シナリオ③の状態がさらに進んだケースであり、森里海の「地域らしさ」は著しく損なわれ、急激な人口減とあいまって、旧来の産業や仕事の場合、およびコミュニティは維持が不可能となる可能性が高い。

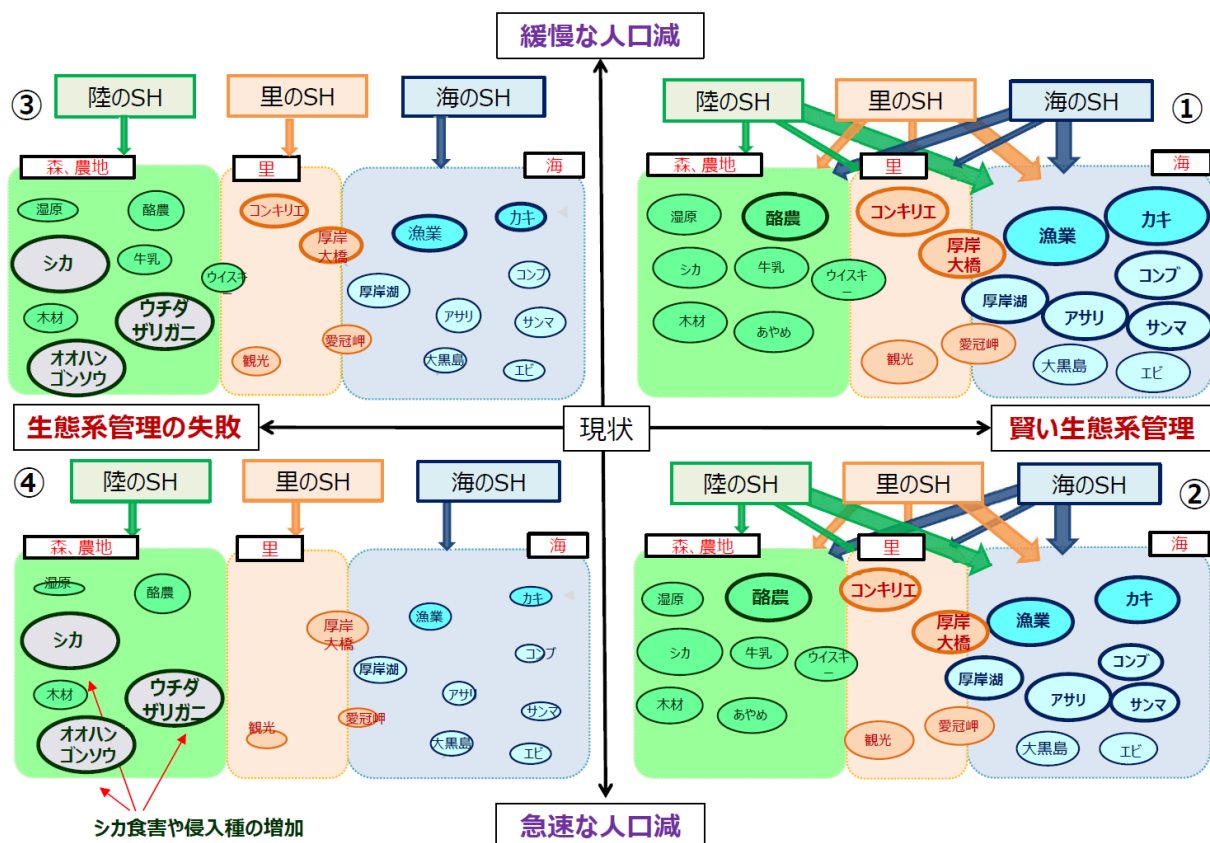


図2.11 住民アンケートを基に作成した別寒辺牛川水系（厚岸町）の生態系サービスや人間活動の将来予測。横軸は生態系保全や持続的な一次産業の管理が成功した場合（右）と失敗した場合（左）、縦軸は人口減少が緩やかな場合（上）と急激な場合（下）に、どのように変化するかを模式的に示した。

以上より、本集水域における自然生態系の保全および人間活動（特に一次産業）の持続可能性を高めるためには、森里海のSHが協働して集水域全体での生態系保全や持続的な一次産業の構築にかかわる施策や意思決定を行うような仕組みづくりが重要であることが明らかになった。今後、仕組みづくりにあたっては、「地域らしさ」を基に作成したシナリオ図（図2.11）を用いながら、行政・研究者を含めた多様なSHが一同に会して、例えばワークショップの場を設けるなどしながら進めていくことが妥当である。場を設けることによって、シナリオ図に対する参加者の多様な意見を反映しながら、図の内容自体の精査や望ましい将来像に対する議論、そして今後各SHが行うべき行動指針等を地域全体で考えることができ、また情報を共有していくことができる。またその過程で、アンケート結果で明らかとした、各SH間やリーダー・一般SH間の「意識の差」を徐々に埋めていく効果も期待ができる。このことで、今後、より賢い生態系管理や緩やかな人口減少を検討するための、森里海のSHによる意識差のより少ない状態でのスムーズで強固な連携・協働や、地域全体による円滑な意思決定につながるものと考えられる。

またこの活動の効果はPANCESシナリオの分散型社会のような人口減少が緩やかな時に特に維持されやすいと考えられる（シナリオ①）。以上の内容を提言としてPANCES政策決定者向けサマリーの地域編（北海道）に掲載した。

5. 研究目標の達成状況

研究計画に従い、地域集水域スケール、および全国スケールでの陸域の経済活動に伴う土地利用の変化が、河川を通じた物質流入の変化を通じて沿岸生態系の自然資本、生態系サービスに与える影響について、各種生態系モデルおよび統計モデルを統合的に組み合わせることで解析することにより明らかにすることができ、研究目標に対して順調に研究を行い、十分な成果を得ることができた。特に、関連するサブテーマ間の連携研究を当初予定より広く展開することにより、集水域スケール、全国スケールのいずれの研究においても、陸と海の経済活動、および気候変動に関する将来シナリオに沿った海域生態系の変動予測について、各要因の相対的重要性および相互作用を評価することができ、質の高い研究成果を得ることができた。さらに、集水域スケールの研究では、森里海の各種生態系サービスを利用するステークホルダーの分析や意識調査を加えることにより、地域社会の実情に対応した生態系管理のシナリオ設定を行うことができ、その結果より具

体的な政策に活かせる提言をまとめることができた。

6. 引用文献

- 1) Halpern, B. S., Longo, C., Hardy, D., et al., (2012) An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*, 488, 615-622.
- 2) 王雪純(2020) 海洋健全度指数を用いた北海道沿岸域の環境評価. 修士論文. 北海道大学大学院環境科学院, 64pp.
- 3) Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- 4) Sudo, K., Watanabe, K., Yotsukura, N., Nakaoka, M. (2019) Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan. *Ecological Research*, 35, 47-60.
- 5) 前原せり菜(2020) “熱帯化”が温帯沿岸域の生物分布や社会に及ぼす影響の評価. 修士論文. 北海道大学大学院環境科学院, 92pp.
- 6) Scheller, R. M., Domingo, J. B., Sturtevant, B. R., Williams, J. S., Rudy, A., Gustafson, E., Mladenoff, D. J. (2007) Design, development, and application of LANDIS-II, a spatial landscape simulation model with flexible spatial and temporal resolution. *Ecological Modeling*, 201(3-4), 409-419.
- 7) Yoon, S., Sakanishi, Y., Kishi, M. J., 2011. Estimation of particulate organic carbon flux produced from eelgrass, *Zostera marina* L., in a subarctic estuary of Hokkaido, Japan. *Current Development in Oceanography* 3, 1-32.
- 8) Abe, H., Hasegawa, N., Yoon, S., Kishi, M. J., 2015. Evaluation of Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) growth and microphytobenthos resuspension in a subarctic lagoon in Japan. *Hydrobiologia* 758, 87-98.
- 9) 但馬英知・牧野光琢 (2017) ステークホルダー分析による沿岸域利害構造の地域間比較, 沿岸域学会誌, 30(3), 17-28.
- 10) 中角直毅 (2018) 北海道東部の厚岸湖集水域における陸域から湖沼への栄養塩動態. 修士論文. 北海道大学大学院環境科学院
- 11) 仲岡雅裕・田中義幸・堀 正和・向井 宏・山北剛久・早川 淳 (2018) アマモ場生態系の概要. モニタリングサイト1000沿岸域調査(磯・干潟・アマモ場・藻場)2013-2017年度とりまとめ報告書. 環境省自然環境局生物多様性センター, pp. 136-173.

Ⅱ-3 気候変動等を考慮した将来シナリオにもとづく海域の自然資本・生態系サービスの予測評価

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、矢部 徹、久保雄広

<研究協力者>

国立研究開発法人国立環境研究所 有田康一（平成28年度）、熊谷直喜、北野裕子、阿部博哉、鈴木はるか

甲南大学 柘植隆宏

[要旨]

浅海域の地形及び生物の分布と現存量情報を全国規模で収集してデータベース化を行い公表した。これらと環境変数の比較により生物分布に関する予測モデルを構築した。その上で、RCP2.6及びRCP8.5を中心とした気候変動シナリオに対応した今世紀中頃と今世紀末における浅海域生態系の変化予測を行い、結果を他のサブテーマに提供した。予測結果と浅海域生態系の生態系サービスの経済評価結果を統合し、将来の浅海域の自然資本・生態系サービスの予測評価を行った。

1. 研究開発目的

気候変動に対する浅海域の地形・生物の変化予測と、その認識・利用状況に基づいて、自然資本・生態系サービスの予測評価を行う。地形・生物に関する全国規模のデータの整備を行い、文献調査・モニタリング等により生物の特性を明らかにする。その上で、各種自然資本・生態系サービスを評価し、各種気候変動シナリオに基づく予測評価を行う。

2. 研究目標

気候変動シナリオ（RCP2.6及びRCP8.5）に対応した今世紀中頃と今世紀末における浅海域生態系の予測を行う。予測結果と浅海域生態系の生態系サービスの経済評価結果を統合し、将来の浅海域の自然資本・生態系サービスの予測評価を行うとともに、モデル地域においてシナリオ分析を行う。

3. 研究開発内容

本サブテーマにおいては、サンゴ礁・藻場・干潟等の浅海域生態系の自然資本・生態系サービスの気候変動による変化を明らかにする。浅海域生態系の種構成や現存量の変化パターンと将来的な変化を予測するには、分布の変遷記録と気候変動との対応関係に基づいた統計モデリング手法が有効である。過去から現在にかけて、既存の学術論文や報告書を精査し以下のデータベース構築を行った。自然資本・生態系サービスの評価に関しては、現存量や分布域の変動が重要であるため、それらに着目したデータ収集を行い、観察年・地理座標とともにデータベースにまとめ、気候変動による将来予測を行った。さらに、浅海域生態系の自然資本・生態系サービスに関して携帯電話位置情報やアンケート調査に基づく評価を行い、気候変動シナリオに基づく将来予測を行った。

1) データベース整備

サンゴ礁・海藻藻場・干潟の自然資本及びその将来予測に必要な生物データに関して、下記の内容のデータベースを作成した。サンゴ・海藻については最新の分類体系を用いてシノニムを整理した。

サンゴ礁：これまでに構築した種分布データベース（Yamano et al., 2011）¹⁾を拡充するとともに、サンゴ現存量（被度）に関するデータを収集した。

藻場：国内温帯域の代表的なコンブ類・ホンダワラ類の現存量と種構成に着目し、過去から現在にかけての大型褐藻類の生息分布（Kumagai et al. 2016）²⁾および現存量に関するデータを収集した。

干潟：第4回自然環境保全基礎調査から海域生物環境調査報告書（第1巻干潟編）（平成6年）および第5回自然環境保全基礎調査から海辺調査総合報告書及び第1回海域基礎調査から重要沿岸域生物調査報告書（平成10年）を活用して各干潟に関する基礎情報の抽出と整理を行った。

2) 変化予測

気候変動が影響を与えていると考えられる最近の変化を考慮し、1)大型海藻の衰退とサンゴの分布北上、2)

サンゴ白化リスクに関して予測の高度化を行った。さらに、自然資本・生態系サービスに重要な現存量に関して、3) サンゴ及び大型海藻の分布と現存量の変化予測を行った。

2-1) 大型海藻の衰退とサンゴの分布北上

本研究は、気候変動下における藻場からサンゴ群集への移行プロセスにおける、海水温上昇と海流輸送、植食圧の役割を明らかにするために、長期出現記録に基づく群集変化の検出、およびグラフ理論を利用した分布推移の解析を行った。まず国内沿岸域景観を構成する30種の大型海藻、12種の造礁サンゴ、3種の植食魚類（植食傾向の強い暖海性の雑食魚類）の出現記録（おもに1950～2015年）を収集し分布域の変化を検出した。これらの分布域の変化速度を推定するモデルとして、海水温上昇と海流輸送による複合プロセスを組み込んだClimate velocity trajectory modelを適用した。この解析により、藻場からサンゴ群集への移行のプロセスとして、海水温上昇と海流輸送、植食圧とサンゴとの空間競争の相対的重要性を評価した。

2-2) サンゴ白化予測

「日本全国みんなで作るサンゴマップ (<http://www.sangomap.jp>)」の白化情報を活用し、温度ストレス指標の見直しにより白化リスクを評価し、その成果を社会還元することを目的とした解析を行った。サンゴマップの白化情報は「白化なし」から「全体的に白化」までを4段階のランクで識別し報告頂いている。この白化のパターンを衛星観測による水温データから計算した水温指標を用いて解析し、実際の白化レベルを反映する閾値を統計学的に求めることによって推定精度を向上させた。また、白化レベルの正答率を既存の白化リスク指標と比較した。

2-3) 浅海域生物の分布と現存量の変化予測

データ欠損の少ない主要種（コンブ類 2 種、ホンダワラ類 12 種、および全種の総湿重量）を対象とし、出現記録間の相関関係を利用して情報を補間する統計手法Generalized Joint Attribute Model (GJAM) を用いたモデリングを行なった。環境要因としては、海水温、積算水温、海洋酸性化、クロロフィル量、濁度、植食圧の影響を組み込んだ。海水温には、統計学的ダウンスケーリングにより高解像度化（約 5 km）した気候モデル Miroc-ESM の出力値を用いることで、現在（2010 年代）と将来（2050 年代）の予測を行なった。さらに将来については、温室効果ガス削減対策を行わない RCP8.5 シナリオ、および対策を行った場合の RCP2.6 シナリオのもとで、藻場の構成・現存量を予測した。サンゴに関しても同様の予測を行い、結果をサブテーマ3(4)に提供した。

2-4) 事例地域への協力

上記の気候変動に関する推定をサブテーマ3(4)の事例地域に提供するとともに、やんばる国立公園の慶佐次川流域において、マングローブ林の堆積を防止するために農地からの赤土流出防止が必要であることを示し、赤土流出計算を行い、対策を行うべき農地を特定し、その費用を算出した。

3) 浅海域の自然資本の経済評価とその変化予測

3-3-1) 砂浜

環境省の水浴場水質測定データに基づき、全国536地点の砂浜（海水浴場）を選定し、夏季と冬季の砂浜のレクリエーション価値の推定を行った。まず、夏季と冬季、各々ある1日の携帯電話から得られる位置情報ビッグデータ（ドコモ モバイル空間統計）を活用して、各砂浜における訪問者数と訪問者の居住地の情報を取得した。次に、これらの情報を環境価値評価手法の1つであるトラベルコスト法に応用し、夏季202地点、冬季72地点のレクリエーション価値を算出した。さらに、気候変動下の海面上昇等で引き起こされる砂浜消失の予測（Udo & Takeda, 2017）³⁾に基づき、レクリエーション価値の変化を予測した。

3-3-2) 浅海域生態系

全国の浅海域に関する人々の認識や選好、経験を評価するため、全33問から成るアンケート票を設計した。アンケート票は大きく分けて、個人属性に関する設問（性別、年齢、居住地など）、海で遊んだ経験を聴取する設問（潮干狩り、釣り、海水浴の経験など）、自然に対する態度、認識を聴取する設問、アンケート調査全般に対する理解度を問う設問、浅海域の経済価値を聴取する設問（選択型実験：詳細は下記に記載）に区分される。

特に本研究の主眼となる気候変動下における全国の浅海域の経済価値を評価するために、本研究では表明選好法の1つである選択型実験（コンジョイント分析）を適用した。選択型実験はシナリオおよび属性の設定、水準の設定、プロファイルの設定、選択セットの作成の手順で行なわれる。はじめに、全国の浅海域の経済価値を得るために、浅海域を6つ（サンゴ礁、サンゴと海藻の混成域、海藻藻場、コンブ場、干潟、アマモ場）に区分し、それに金銭属性（沿岸環境税）を加えた7属性を選択型実験の属性として設定した。シナリオでは2100年を想定し、前述の6属性からなる沿岸域の自然環境が温暖化等の影響で劣化する状況を回

答者に提示するとともに、対策や施策を行うことで、その劣化を防ぐことができるものとした。

各属性における水準は、関係者との議論、および気候変動シナリオ（RCP2.6, RCP 8.5等）を用いた浅海域生態系の変化予測値を参考にして設定した。推定の効率性を高めるために、本研究ではD効率性デザインを適用した。アンケート票は5パターン存在し、各アンケート票にはD効率性デザインによって生成された3つのプロファイルからなる選択セットが7つ含まれている。つまり、各回答者は設問に7回回答することになる。なお、将来像3（対策をしない）のプロファイルは固定であり、全ての選択セットに含まれるものとした。これらを反映したWEBアンケート調査を2018年3月に専門の調査会社（(株)日経リサーチ）に依頼し実施した。

4. 結果及び考察

1) 生物分布データベースの作成と公開

海藻、サンゴ、干潟の各生態系の分布、在・不在データ及び現存量（重量または被度等）データの収集状況を図3.1に示す。整備したデータに関してデータベーパーを出版し（Arita et al., 2020; Kitano et al., 2020）⁴⁾⁵⁾、データを公開した。サンゴと大型海藻はこれまでに数種の南方種の分布拡大が報告されており、今回作成したデータベースにより環境要因との対応を検討することができる。干潟に関しては、第4回自然環境保全基礎調査では、全国の干潟は1538箇所、51446ha、と計上され、それ以前の調査である第2回自然環境保全基礎調査（昭和53年）と比較して、258箇所、3857ha、が消失したこと、そのうち埋立や干拓によるものが134箇所、1611ha、浚渫等によるものが20箇所、287ha、その他不明が76箇所、1820ha、であった。最も多く消失したのは九州地区（沖縄地区を除く）で、150箇所、2317haに及んだ。干潟の底生生物については種名情報は収集できたものの生物量情報は上記の干潟の数に対して圧倒的に少ないことが予想されるため、干潟のカテゴリー分けを検討した。1533箇所の干潟は56箇所の湾灘海域、また、7海区に帰属した。海区レベルでは東シナ海区の29507haが突出しているため、東シナ海区を九州と琉球諸島に分け、また全域を砂干潟、砂泥干潟、泥干潟という底質性状も加えて再分類することで20-25のカテゴリーに分けられることが明らかになった。

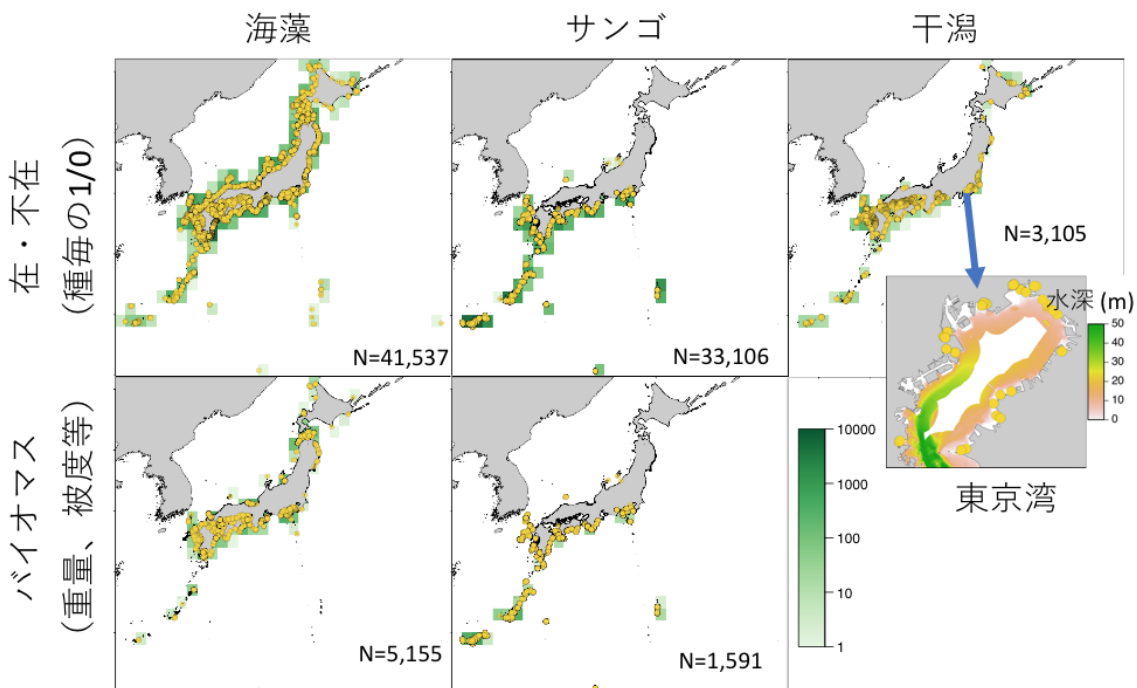


図3.1 収集した海藻、サンゴ、干潟の在・不在、現存量（バイオマス；重量または被度等）データの地理的分布。黄色のポイントは各データ、緑色のスケールは100 kmグリッド毎のデータ数を表す。東京湾の水深分布データはJAMSTEC山北氏提供

2) 変化予測

2-1) 大型海藻の衰退とサンゴの分布北上

海藻藻場からサンゴ群集への群集移行のメカニズムとして、主要な海藻グループ（コンブ類、ホンダワラ類）、サンゴ、海藻の食害魚類の分布の推移速度を解析した。分布の北限は海流の効果を組み込んだ気候変化速度によってよく説明ができ、コンブ類、ホンダワラ類、サンゴ類、食害魚類の順に速度が速い傾向にある。

った。分布南限の変化は海流との関係が弱かった（図3.2）。これらの関係を用いたベイズ推定により日本沿岸における過去（1970-2009）と近将来（2009-2035）の海藻藻場からサンゴ群集への群集移行確率を比較したところ、近将来にかけて群集移行確率は増大するという結果が得られた（Kumagai et al., 2018）⁶⁾。

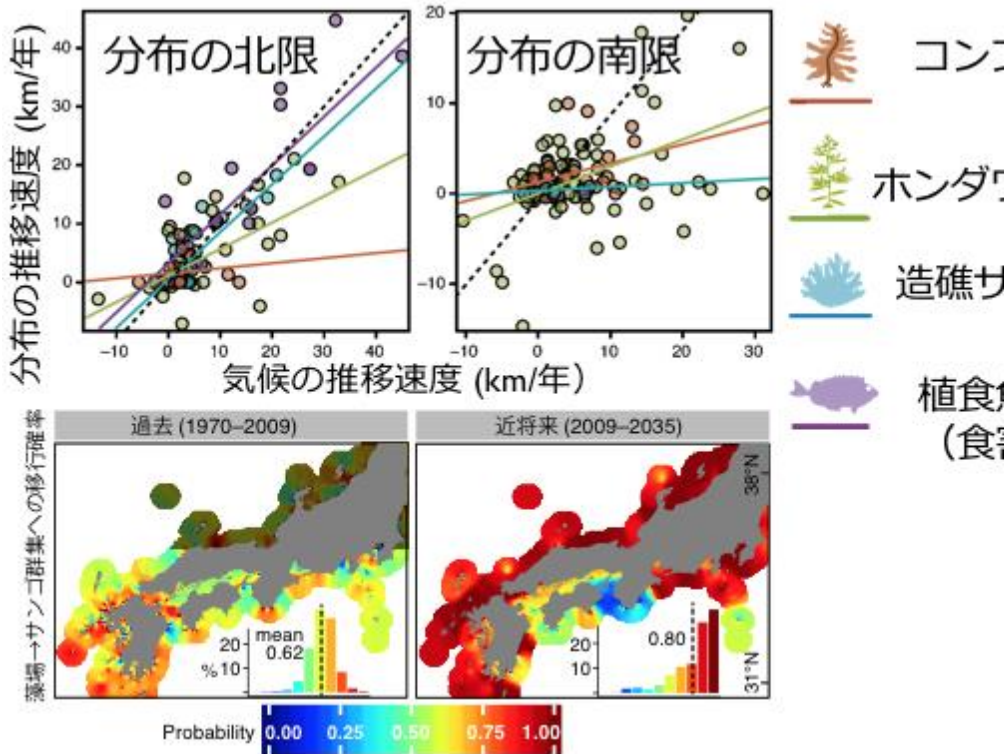


図3.2 海藻、サンゴ、海藻の食害魚類の分布の推移速度と気候の推移速度の関係（上）、それらの速度の関係に基づく藻場群集からサンゴ群集への推移確率の過去（1970-2009）と近将来（2009-2035）の推定値（下）

2-2) サンゴ白化予測

最適化した Random Forest モデルによって推定された沖縄近海の平均白化確率は 0.46~0.74 となった（図3.3）⁷⁾。値には海域による変異が見られ、沖縄本島海域では南寄り、八重山海域では北寄りの方が高い傾向にあった。これは白化頻度としては、5年のうち3~5年の白化に相当する。一方、紫外線量40%軽減シナリオの元では、平均白化率は0.34~0.63となり、最大で白化確率を0.24減少させられた計算になる。しかしこの白化率の減少により、白化の閾値を下回る海域が多くなる見込みであり、白化頻度としては最大で56%減少するという結果が得られた。

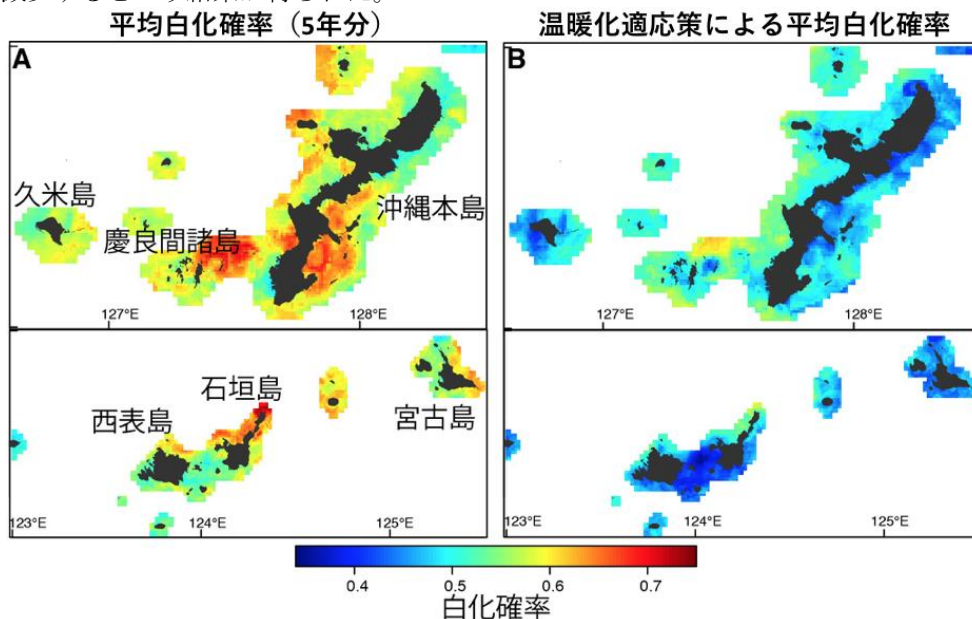


図3.3 サンゴ白化モデルによる沖縄県海域5年分（2008～2010、2013、2016）の推定平均確率（左）、および紫外線光量を40%遮断したと想定した温暖化適応策シナリオのもとでの平均白化確率

2-3) 大型海藻及びサンゴの分布と現存量の変化予測

GJAMにより推定した海藻の生息確率は、通年性の海藻の生息確率は本州全域で減少、季節性の海藻の生息確率は南北海域でやや増加する傾向があった。しかしRCP2.6と8.5の違いはわずかであった。海藻現存量については季節変動が大きいため、概ね最盛期となる季節の推定値を使用した。現況では30 m以浅の日本沿岸で2.51 Mtと見積もられたが、将来的には本州を中心として約10-16%減少する予測となった（図3.5）。海洋酸性化応答を検討した結果、海洋酸性化を考慮することでバイオマスの減少がより進行したが、海洋酸性化応答は不確実性が大きく、応答に関する知見の充実が必要である。将来の現存量はRCP2.6よりも8.5の方がやや多い予測となったが、その内訳は季節性の海藻の割合の増加によるものであり、藻場としての安定性が低下すると予想される。RCP8.5の方がわずかに現存量が多い予測となる理由は、おもに北限付近（北海道）における増大と南方の主要種交替が原因と考えられる。

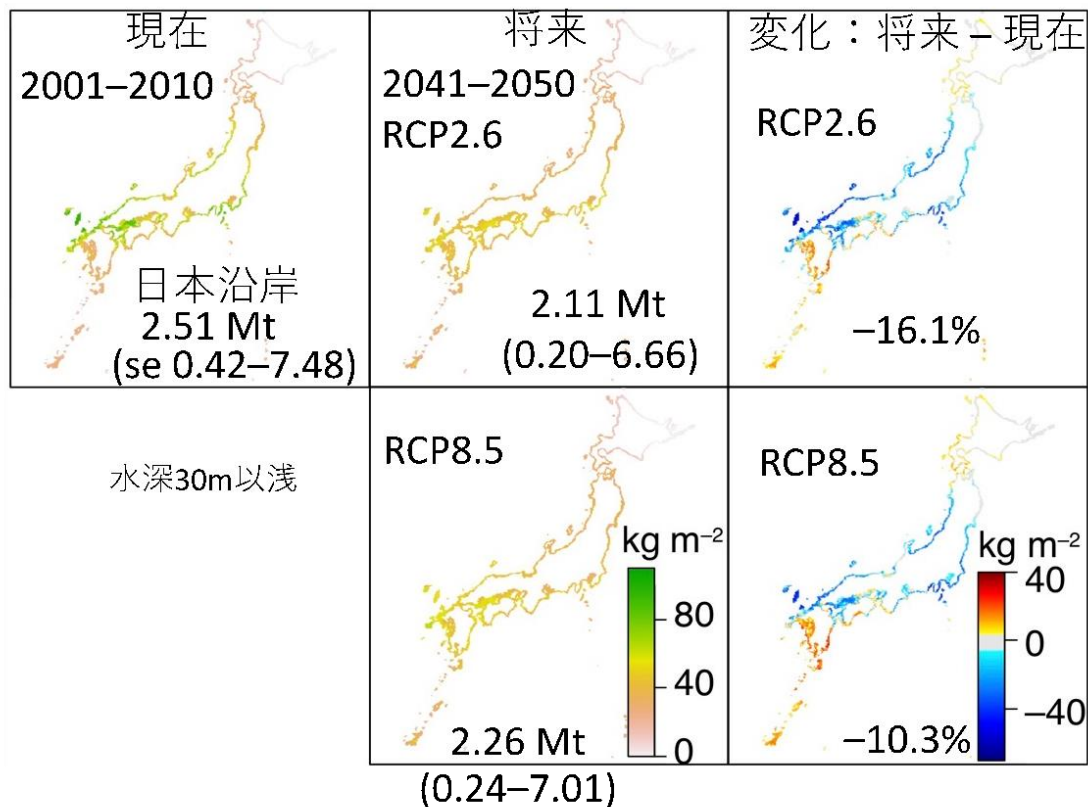


図3.5 海藻の現存量の現況（2001-2010年）と将来の変化の予測（2041-2050年：RCP2.6、RCP8.5）

サンゴに関しては、RCP8.5においては毎年白化及び斃死が起ると予測され、RCP2.6シナリオ達成の必要性が示された。この結果はサブテーマ3(4)に提供され、モデル地域（石西礁湖）におけるシナリオ分析と海洋保護区設計等の対策立案に活用された。

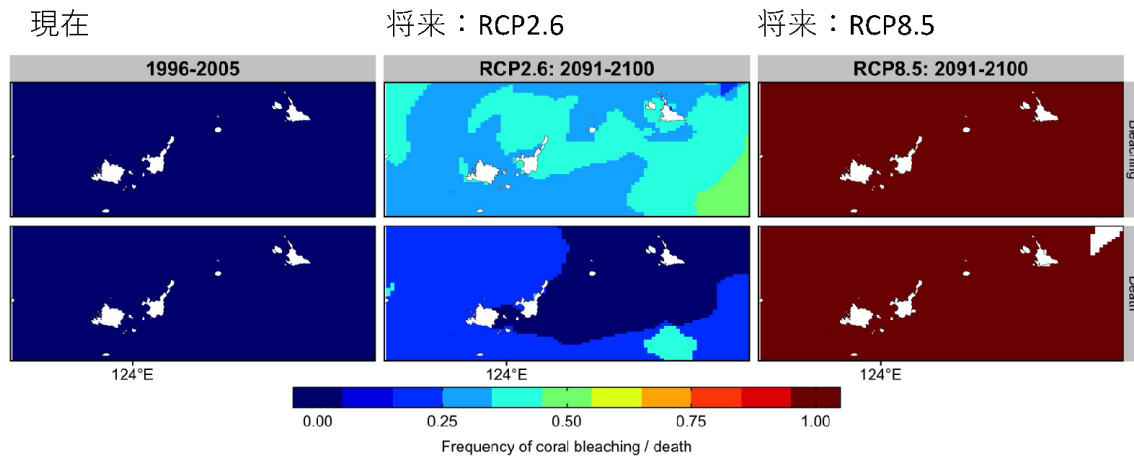


図3.6 沖縄県宮古島～八重山諸島における現在と将来の白化（上）及び斃死（下）確率の予測（2091-2100年：RCP2.6、RCP8.5）。

2-4) 事例地域における検討

沖縄の事例地域における検討について、上記のサブテーマ3(4)との検討に加えて、やんばる国立公園の慶佐次河流域において、マングローブ林の堆積を防止するために農地からの赤土流出防止の必要性について検討した。まず農地のタイプと対策ごとの赤土流出の原単位を収集し、農地のタイプを空間的な分布を土地利用図を更新して、地図上に落としした上で流出計算を行った。その結果、特に対策を行うべき農地として、サトウキビ及びパイン畑からの流出が大きいことを特定し、さらにその費用を算出した。例えば、現状の流出に対して、地域社会の保護シナリオをとり、全農地をパインにして対策無しの場合の流出は1年目で1.5倍以上～4年目で3割以下になり、農業産出額は一定規模で増加する試算を得た。一方で、マングローブ林を保護した観光開発を重視するために、対策を実施して、全農地にグリーンベルト設置する場合、流出は6割程度になるが、大規模な費用負担となる可能性が示された。これらのおり、シナリオからどのような社会を選択するか元となる2つの極端な軸の情報を示した。

3) 浅海域の自然資本の経済評価とその将来予測

3-1) 砂浜

観光客は1人訪問1回あたり平均2,823円（夏季）、1,004円（冬季）の価値を砂浜から享受していること、地域によって得られる砂浜のレクリエーション価値にばらつきがあることが示された。また、この値から砂浜ごとに集計したレクリエーション価値は4,865円から36,136,364円（夏季）、1,684円から19,842,105円（冬季）となった。レクリエーション価値の将来予測に関しては、気候変動下で残るレクリエーション価値の割合は、砂浜面積の残る割合よりも小さくなった。これは物理的な自然環境の変化にのみ焦点を当てた既存の知見では、気候変動が社会に与える影響を過小評価している可能性を示している。また、気候変動下では、現在はレクリエーション価値が高い南日本の砂浜が価値を失う傾向にある一方、北日本の砂浜は一定の価値を保つ傾向にあることが示された（図3.7）（Kubo et al. 2020）⁸⁾。

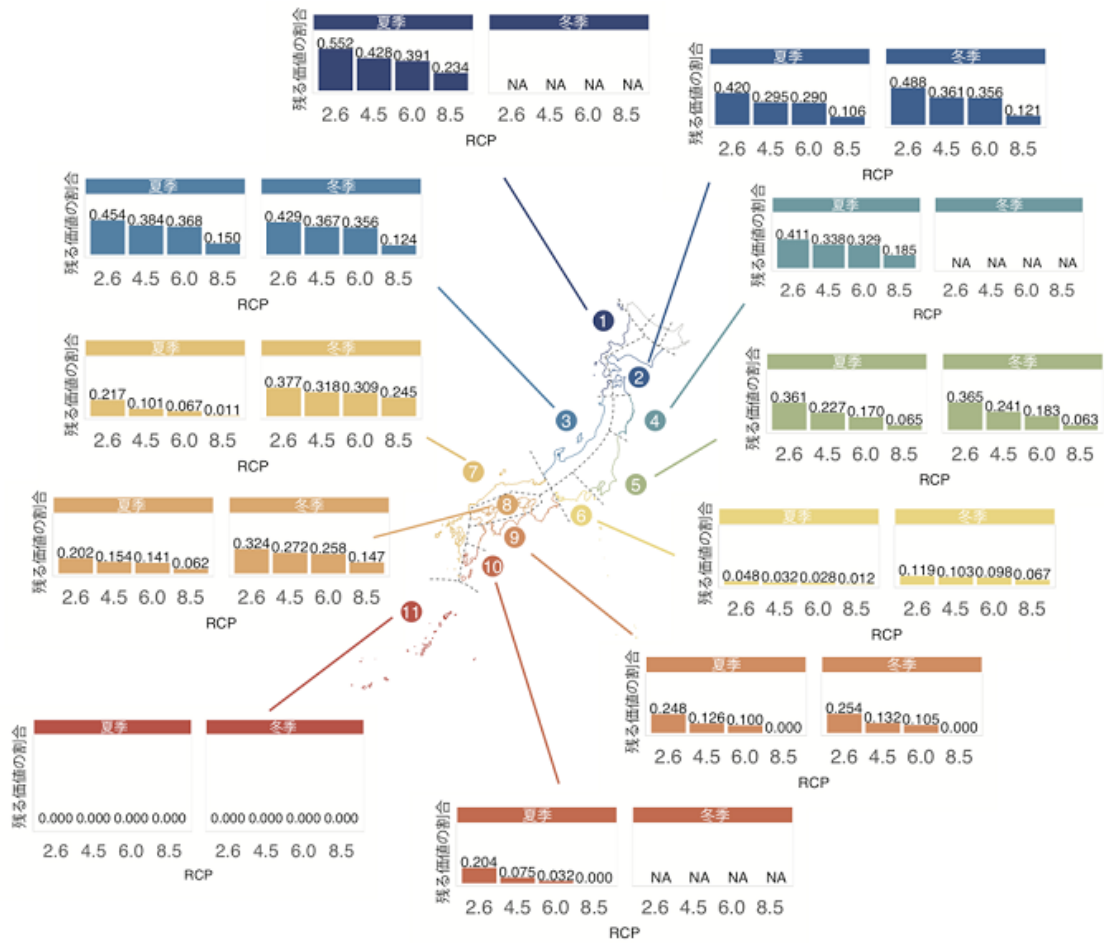


図3.7 気候変動下でも残るレクリエーション価値の割合 (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5)

3-2) 浅海域生態系

得られた回答者数は1070件であり、回答者のうち52% (553名) が男性、年齢は平均46歳であった。浅海域6区分に関して、10%を保全することに対する支払い意思額はコンブ場543円、海藻藻場140円、サンゴと海藻の混成域226円、アマモ場136円、干潟239円、サンゴ礁477円となり、南北に分布する生態系に比較的高い価値が算出された。これらの生態系は、気候変動にともなう水温上昇によってコンブ場の北上、サンゴ礁の白化による衰退が懸念されており、将来の日本の浅海域の自然資本の低下が予想され、適応策投入の必要性が示唆された。

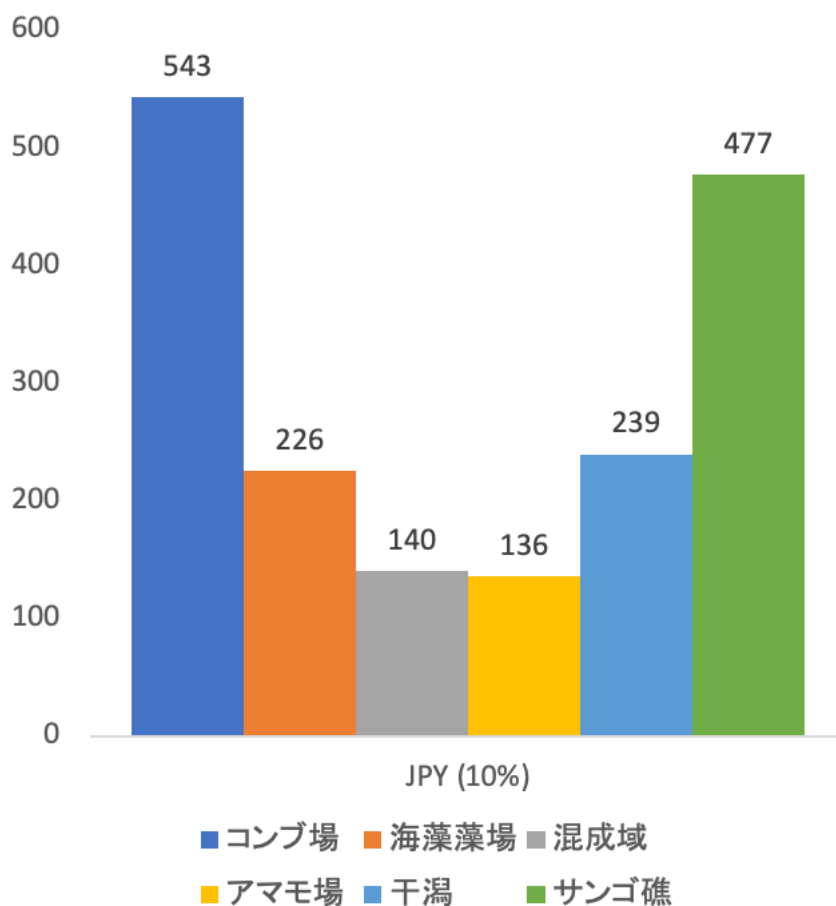


図3.8 各生態系の価値評価結果

砂浜と浅海域生態系の経済価値評価とその予測結果に基づく、日本の南の海域における対策の優先度が高いことが示された。

5. 研究目標の達成状況

全体として予定通り研究目標を達成した。過去から現在にかけての浅海域の生物分布のデータを整備し、気候変動及びその他各要因を考慮し、気候変動シナリオに基づく浅海域の生物分布の将来予測を行うことができた。地形・生物に関する全国規模のデータの整備の結果はデータ論文等として公開され今後自由に活用できるようになった。藻場とサンゴに関しては、過去からの変化の解析を行って、水温上昇にともなう植食魚の変化を介して藻場の衰退とサンゴ分布北上が起こっているという変化メカニズムを明らかにした。気候変動が藻場とサンゴ分布変化に与えるメカニズムを明らかにしたのは世界初であり、成果は米国科学アカデミー紀要に掲載され、インパクトを与えた。メカニズム解明と気候変動及びその他の要因を考慮した予測は、気候変動適応策の策定（気候変動の影響を受けにくい海域の抽出と優先的な保全、気候変動以外の要因の低減（遮光、植食魚の除去など））にも応用できる成果となった。成果の一部は、沖縄県サンゴ礁保全再生モデル地域事業において、サンゴ養殖適地の選定に向けて活用されつつある。また、これら予測結果の一部を他サブテーマに提供し、海域の将来シナリオの作成に貢献した。さらに、砂浜及び浅海域の生態系サービスの経済評価を行い、その将来予測を行って、対策を講じる地域の優先度を明らかにした。沖縄の事例地域での追加的な検討、価値評価についての検討と論文とは当初の予定以上に進行し、課題全体を予定以上に前進させることに貢献した。

本研究による気候変動によるサンゴ・藻場及びそれらの生態系サービスの変化に関する知見は、気候変動影響評価報告書に引用され、報告書作成に貢献した。

6. 引用文献

- 1) H. Yamano, K. Sugihara, K. Nomura (2011) Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, 38,

L04601.

- 2) N. H. Kumagai, H. Yamano, M. Fujii, Y. Yamanaka (2016) Habitat-forming seaweeds in Japan (fucooids and temperate kelps). *Ecological Research*, 31, 759.
- 3) K. Udo, Y. Takeda (2017) Projections of future beach loss in Japan due to sea-level rise and uncertainties in projected beach loss. *Coastal Engineering Journal*, 59, 1740006-1740001-1740006-1740016.
- 4) K. Arita, H. Suzuki, H. Yamano, T. Yabe, N.H. Kumagai (2020) Quantitative records of habitat-forming seaweeds found in Japanese temperate and subtropical zones (fucooids and kelps). *Ecological Research* 35, (6), 967-974, DOI:10.1111/1440-1703.12138.
- 5) Y. F. Kitano, C. Hongo, Y. Yara, K. Sugihara, N.H. Kumagai, H. Yamano (2020) Data on coral species occurrences in Japan since 1929. *Ecological Research* 35, (6), 975-985, DOI:10.1111/1440-1703.12136.
- 6) N. H. Kumagai, J. G. Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2018) Ocean currents and herbivory drive macroalgal-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 115, p.8990-8995.
- 7) N. H. Kumagai, H. Yamano, and Sango Map Project Committee (2018) High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management. *PeerJ*, 6: e4382.
- 8) T. Kubo, S. Uryu, H. Yamano, T. Tsuge, T. Yamakita, Y. Shirayama (2020) Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management*, 77, 104010.

Ⅱ-4 海域管理による介入オプションの検討にもとづく自然資本・生態系サービスの予測評価

国立研究開発法人水産研究・教育機構

水産技術研究所 環境応用部門 沿岸生態システム部 亜熱帯浅海域グループ 名波 敦

水産資源研究所 社会・生態系システム部 沿岸生態系暖流域グループ 堀正和

水産資源研究所 社会・生態系システム部 漁業管理グループ 杉本あおい

開発調査センター 実証化企画室 但馬英知

<研究協力者>

国立大学法人東京大学 牧野光琢

国立大学法人京都大学 法理樹里

国立大学法人鹿児島大学 寺田竜太

【要旨】

全国スケールでの自然資本と生態系サービスの分布マップを構築した。自然資本として3海域（①海草藻場・②沿岸浅海域・③無給餌養殖海域）、それぞれの自然資本に対応する生態系サービスとして3サービス（①CO₂隔離量・②漁業生産量・③カキ養殖生産量）を選んだ。PANCESシナリオの将来予測とあわせて検討した結果、CO₂吸収量と漁業生産量は減少するが、養殖生産量は増加すると推定された。

モデル海域（八重山諸島）における海の自然資本と潜在的な生態系サービスを可視化するため、サンゴ礁魚類がもつ供給サービス・文化サービス・調整サービスについて、モデル海域内の分布マップを構築した。その結果、大規模なサンゴ白化現象が生態系サービスの分布に与えた影響を定量的に評価できた。

八重山諸島における海の生態系サービスの持続的利用を目的として、生態系の構成要素、ステークホルダーおよび施策の関連を明らかにした。その結果、八重山諸島における総合的な海洋政策を考える場合には、様々なステークホルダーにおける波及効果の正・負の両側面を明らかにしながら、施策をバランスよく調整し、シナジー効果創出の企画・立案が重要と考えられた。さらに、気候変動が海の生態系サービスに与える影響を評価した結果、海水温上昇の悪影響を緩和するためには、サンゴの保護や育成、魚類の生活史に即した海洋保護区ネットワークの設置、浅場や生息場の保護と再生、サンゴの食害生物の駆除、赤土の削減が重要と考えられた。一方、海水温上昇により熱帯性海草藻場の分布域が拡大した場合、ここから派生する現象は温暖化の影響を緩和する可能性が示唆された。

八重山諸島におけるステークホルダーがもつ多様な海の価値を、参加ワークショップで抽出する「多元的価値評価」で明らかにした。その結果、①生活・②愛着とインスピレーション・③地域文化・④畏怖・⑤レクリエーションと付随する問題、の5つの価値が抽出された。このうち、「レクリエーションと付随する問題」が抽出されたことは、過剰な沿岸・海洋観光利用によって引き起こされる自然・社会環境の問題を示しており、過去の研究成果ではみえなかった正・負の両側面を捉えることができた。また、「畏怖」は、アジア・モンスーン気候帯の「人と自然の関係」において重要と考えられ、既存の評価の枠組みでは十分に着目されていない価値を抽出することができた。また、市場システムや市民行動の変容を促す多層的でセクター横断的なアプローチの重要性を指摘できた。これを踏まえ、住民参加型の多元的価値評価の結果を広く社会に広め、それを意識・行動変容の誘発要因とするため、インフォグラフィックや動画の制作も行った。

生物多様性が著しく高いサンゴ礁域では、生態系サービスを担う種が非常に多く、提供可能な機能も多種多様である。また、地域社会の望む将来シナリオに沿って、保護対象種を選定することが望ましい。そこで、地域社会の多様なニーズを考慮しつつ、サンゴ礁の生態系サービスの持続的活用を可能にする将来シナリオを複数構築した。一方で、サンゴ礁域における生態系サービスの持続的利用の達成のための海洋保護区の有効性が示唆されている。また、気候変動に伴って地域社会が望むシナリオは変化するため、シナリオ別の海洋保護区を設定する必要がある。そこで、複数の将来シナリオに応じて3つの条件（①保護する目的・②保護対象種・③保護の強度）に着目し、各シナリオを達成させる海洋保護区を設計した。気候変動の影響を加味した保護対象種の分布特性を活用して設計し、各シナリオに応じた海洋保護区の設定場所と総面積を明らかにした。設計された海洋保護区を実現するための、将来シナリオ-海洋保護区-介入オプション-ステークホルダーの関係を整理した。

1. 研究開発目的

人間社会と生態系の相互作用や、外部要因がこれらの系全体に与える影響を考察するSocial-Ecological System (SES) アプローチは、「自然と共生する世界の実現」を模索する新たな方法論としてIPBESでも採用されている。日本を含むアジア海域のSESは、主に亜寒帯～熱帯生態系において、伝統的な水産セクターの利用に加え、近年は経済成長・都市化・ステークホルダーの多様化も進んでいるという特徴を有している。

よって本サブテーマでは、アジア太平洋海域における日本の海域生態系の変化を予測し、その変化をどのように社会として評価するのか、そして、複数の将来シナリオを前提に、どのように介入オプションを選び取るのか、八重山諸島をモデル海域として検討する。

2. 研究目標

サブテーマ3(1)で提示されたPANCESシナリオに準じた、モデル地区（石西礁湖）における生態系サービス利用の地域シナリオを提案する。加えて、気候変動予測シナリオによる生態系サービスの変化予測を行い、それら地域シナリオに応じた政策オプションを提案する。

3. 研究開発内容

3.1 全国スケールでの自然資本・生態系サービスのマップ構築

平成28-29年度に指標化した自然資本と生態系サービスの全国評価（2次メッシュ）のうち、3海域[①海草藻場（面積・被度）・②浅海域（海域の一次生産量と各漁業対象魚種の生息場所面積）・③養殖海域（無給餌）（一次生産量、養殖適地面積）]を対象として、それぞれに対応する生態系サービスとして3サービス[①CO₂隔離量（調整サービス）・②漁業生産量（供給サービス）・③養殖生産量（供給サービス）]の分布マップを構築した。

①CO₂隔離量：海草の成長量に最も影響する海水温を基準に日本全国を複数の海区に分割し、海區別の海草の種構成、海草の生長量、CO₂吸収量などのデータを整理し（文献のレビュー）、単位面積当たりのCO₂隔離量を計算した。この海区ごとのCO₂隔離量とメッシュ内の海草藻場の面積を掛け合わせ、各メッシュの調整サービスとした。

②漁業生産量：沿岸浅海の供給サービスを担う魚種（スズキ、クロダイ・ヘダイ、マダイ、アナゴ類、イセエビ、クルマエビ、ガザミ類、コウイカ類、サザエ、アワビ類、ウニ類、ホタテガイ）について、稚魚期と成魚期における生息域を特定した（文献のレビュー）。次に、各魚種において稚魚期および成魚期に利用する生息域に、それぞれ1ポイントを割り当て、成長段階と自然資本との関連性をランク付けした（3段階評価：0（対象種へ関与なし）、1（稚魚期あるいは成魚期のいずれかに関与）、2（稚魚期と成魚の両方に関与））。統計から得られた各魚種の市町村別漁獲量の値を各メッシュに配分する際、各メッシュの自然資本ランクで傾斜配分し、関連する自然資本面積に割り当てた。この各メッシュに含まれる自然資本あたりの漁獲量を供給サービスとした。

③養殖生産量：カキ養殖を対象とした。統計から得た生産量の値を2次メッシュに配分し、カキ養殖生産量の全国マップを作成した。さらに、全国マップからカキ養殖産地をグループ化し、各養殖産地別の養殖手法、養殖対象種、養殖種苗の種類等を整理した。また、カキ養殖生産量に影響すると考えられる7つの環境パラメータ（クロロフィルa濃度、海水温、塩分、波高、水深、海岸線の複雑度）の全国マップも作成した。これら2つのマップを用い、カキ養殖産地別に、カキ生産量を制限する環境パラメータとその影響範囲を解析から導き出した。さらに、各カキ養殖産地と同等の環境要因とそのパラメータ範囲をもつ海域を抽出し、各産地の手法による養殖が実施可能な潜在的な海域を選定した。

最後に、上述の3つの生態系サービスについて、PANCESシナリオによる生態系サービスの変化傾向の検討を実施した（サブテーマ3(1)と協同）。

3.2 モデル海域（八重山諸島）の自然資本・潜在的生態系サービスの可視化

モデル海域の八重山諸島を対象に、平成28-29年度に自然資本として指標化したサンゴ礁魚類の「供給サービス」・「文化サービス」・「調整サービス」を定量化した。2016年および2017年に、石西礁湖と名蔵湾に約2km間隔で53地点の調査サイトを設定し、潜水目視観察で魚類の種類と個体数を記録した(Nanami 2018, 2020)^{1),2)}。加えてカメラによる動画撮影から、海底基質（造礁サンゴ類を含む）を記録した（自然資本の可視化）。

次に、各魚種を指標化した基準に従って、供給サービス（食糧）、供給サービス（アクアリウムでの観賞魚）、調整サービス（造礁サンゴ上の海藻除去：サンゴ礁の維持）、文化サービス（ファンダイビングでの水中鑑賞対象魚）に割り当てた。これらの魚類データから確立した各サービスの算定方法（Sato et al. 2020）³⁾に従って、魚類分布と各生態系サービスの定量評価値を石西礁湖内全域で3次メッシュとして可視化した。加えて、これらの値をサンゴの大規模白化が起こった前後（2016年と2017年）で対比するため、①2016年の魚類分布と各生態系サービスの評価値（サンゴ白化前の値）、②2017年の評価値（サンゴ白化後の値）、③評価値の年変化の3パターンを計算した。

八重山諸島近海では、生態系保全と生態系サービス利用のためのさまざまな行政的施策（介入オプション）が導入されている。2016年と2017年の比較においては、当該海域で実施されている現行の介入オプション（図3.1）の指定海域を用い、その指定海域内外での差を計算し、介入オプションの効果を把握した。

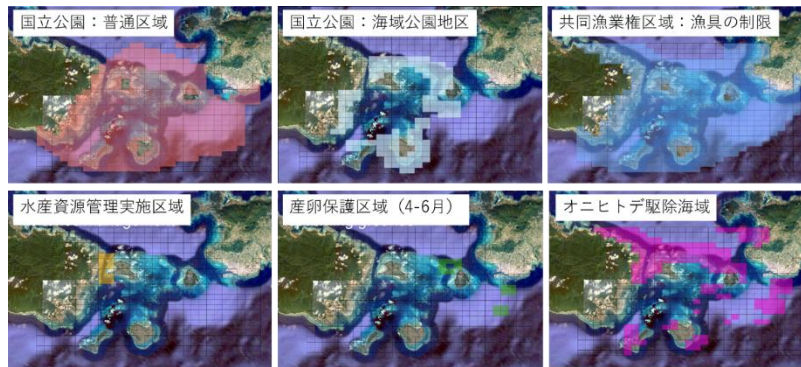


図3.1 生態系保全と生態系サービス利用のための介入オプションと実施範囲（八重山諸島）

3.3 海の生態系構成要素とステークホルダーの関連性解析

八重山諸島における海の生態系構成要素とステークホルダーの関連性を明らかにするため、ステークホルダー分析を実施した（但馬・牧野2017）⁴⁾。ステークホルダー分析は、「(1) ステークホルダーの洗い出し」と「(2) ステークホルダーを対象とするヒアリング調査の実施」という2つのプロセスに従った（Freeman1984; Reed et al. 2009など）^{5),6)}。「(1) ステークホルダーの洗い出し」は、沿岸域がもつ生態系機能とサービスの整理を行った後、生態学者・漁業者・環境保全団体・行政担当者等とのブレインストーミングにより行った。この際、各関係者と協働で、生態系の各要素間の作用や機序を、「システム思考」の手法により整理した。（Senge 2011; Sterman 2000; 湊 2010）^{7),8),9)}。「(2) ステークホルダーを対象とするヒアリング調査の実施」は、“スノーボールサンプリング”（松浦ら2000）¹⁰⁾により、様々なステークホルダーに対しヒアリング調査を実施した。さらに、上記で整理した“生態系構成要素とステークホルダーの連関図”を用いて、海の利用と保全に関わりのある現行の介入オプションとステークホルダー（担当省・県など）を整理した（Makino et al. 2020）¹¹⁾。本研究では、これをSocial-Ecological Systemマップ（SESマップ）とよぶ。

3.4 現行の介入オプションのギャップ分析と気候変動が石西礁湖に与える影響の評価

3.3で整理ができたSESマップを用いて、現行の介入オプションのギャップ分析を行い、生態系の利用と保全の調和に資する介入オプションとステークホルダーの関係を考察した。

八重山諸島のサンゴ礁の利用と保全に関わりのある介入オプションと、それに関わる担当省・県を整理した。例えば、環境省の自然公園法は、場の保全や危惧種の保護、自然の再生、生態系のモニタリング、廃棄物処理、エコツーリズムの推進などに関連する。農林水産省の水産資源保護法は、水産資源の利用や保護、漁場環境保全、農地利用の制限や保安林管理に関連する。同様の関連づけを、国土交通省、総務省、文部科学省、沖縄県についても行なった。この作業をふまえ、各ステークホルダーに関連する介入オプションを比較し、各ステークホルダーに共通あるいは非共通に関連する生態系構成要素と介入オプションを整理した（ギャップ分析）。

また、SESマップを用い、気候変動が生態系構成要素と介入オプションに与える影響を評価した。

3.5 地域住民のもつ海の価値の抽出

八重山諸島における海の価値を抽出するため、近年国際的に注目される「多元的価値評価」（地域住民自身もつ多様な自然観を参加型ワークショップで抽出する方法：Diaz et al. 2018）¹²⁾を行なった。自由記述型の質問票を用いて、ワークショップ（対象者21名）とアンケート（対象者153名）で得られたテキストデータをネットワーク分析し、海の価値を抽出した。

3.6 海の価値の研究成果の動画配信

八重山海域では、サンゴ礁生態系の劣化を解決するために、陸域起源の負荷の軽減が提唱されてきた（Hongo and Yamano 2013など）¹³⁾。しかしながら、負荷軽減の施策は多数の中央省庁と自治体にまたがるため、科学的に妥当であっても、実現されていない施策が多い。一方で、八重山を含む多くのサンゴ礁域では気候変動を含むストレスの増加が著しく、早急な対策が望まれている。こうした状況下では、シナジー効果のある施策が望まれる（Makino et al. 2020; Morrison et al. 2020）^{10),14)}。しかし政策の実施を待つだけではなく、市場システムや市民行動の変容を促す多層的でセクター横断的なアプローチも必要である（Morrison et al. 2020）¹⁴⁾。このような観点にたち、3.5の結果を広く社会に広め、それを意識・行動変容の誘発要因とするため、動画を制作し配信した。

3.7 ステークホルダーの把握と自然資本・生態系サービスとの関係

3.3で作成したSES図およびワークショップ・アンケート調査にて可視化されたステークホルダーと海の価値に対応する自然資本を把握するために、八重山諸島の地域シナリオ（PANCESシナリオの地域版）を用いてシナリオ分析を実施した。地域シナリオはPANCE社会経済シナリオの2軸に準拠するよう、観光開発重視-地域コミュニティ保護重視の軸と、人工資本重視-自然資本重視の軸から構成されるとした（4つのシナリオを設定）。この地域シナリオと海の価値（3.5の結果）の関係を検討し、その関係が気候変動からうける影響についても検討した。

3.8 地域シナリオに応じた海洋保護区の設定

3.2のとおり、生態系サービスを担う魚種の分布データを収集した(Nanami 2018, 2020)^{1),2)}。調査海域を2km×2kmのグリッドに分割し、各グリッドをPlanning unit（海洋保護区のメッシュの最小単位）とした。3.5と3.7の解析結果を元に、八重山諸島における地域シナリオと生態系サービスを関連づけた。その上で、気候変動に伴う魚種の将来の分布変化を予測し、マッピングした後、以下の解析に用いた。解析には、海洋保護区的设计ソフトウェアMARXANを使用した。「地域シナリオ-保護の対象種-保護の目標」の関係は以下の通りである。①自然資本・観光重視型社会：ダイビング・エコツーリズム対象種（スズメダイ類・ベラ類）について、生息数の20%を保護、②自然資本・地域コミュニティ重視型社会：天然の水産資源（ブダイ類・ハタ値）について、幼魚は100%、成魚は20%を保護、③人工資本・観光重視型社会：リゾートホテル・水族館の展示対象種（チョウチョウウオ類・キンチャクダイ類）について、生息数の20%を保護。なお、4つ目のシナリオ（人工資本・地域コミュニティ重視型社会）においては、人工種苗を用いた養殖を重視した社会になると考えられたため（4.7参照）、解析の対象から外した。MARXANの解析に必要なパラメータは以下に設定した：Run回数=1000；候補地の選定=Best-solutionの結果を使用；Boundary length modifier = 0；各Planning unitのコスト=1；候補地の選定条件：既存の海洋保護区（海域公園）を使用。

3.9 海洋保護区を実現するための介入オプション

3.3と3.8の結果を元に、地域シナリオに配慮した海洋保護区の設定について、介入オプションと行使するステークホルダーを整理した。3シナリオ（①自然資本・観光重視型社会、②自然資本・地域コミュニティ重視型社会、③人工資本・観光重視型社会）それぞれを個別に検討したのち、3シナリオに共通の介入オプションとステークホルダーを検討し、整理した。

4. 結果及び考察

4.1. 全国スケールでの自然資本・生態系サービスのマップ構築

マップ構築に必要なデータ（市町村別漁獲量統計など）を収集した結果、自然資本としての①海草藻場、②浅海域、およびCO₂隔離量と漁業生産量の全国マップを構築できた（図4.1）。漁業生産量の各メッシュへの配分には、稚魚期および成魚期別の傾斜配分を実施したことから、データとしては生活史段階別の自然資本の貢献度、例えば各自然資本が対象魚種の稚魚期への貢献部分を評価することも可能となった。この値は、各自然資本が有する稚魚生産性の指標とみなせるため、各自然資本の二次生産性（生態系機能）にかかわる調整サービスも、成魚による供給サービスと同時に評価できる可能性を示唆している。今回の結果から、全国海草藻場面積は約30万haであり、海草藻場のCO₂隔離量は森林のCO₂隔離量の約10%程度に相当することが示唆された。なお、海草藻場のCO₂隔離量は“貯留量”として換算されることもある（サブテーマ3(1)）。

自然資本：海草藻場・岩礁の供給サービスの一例
（アワビの自然資本当たりの漁獲量の全国マップ）



海草藻場によるCO₂隔離量のマップ（推定値）

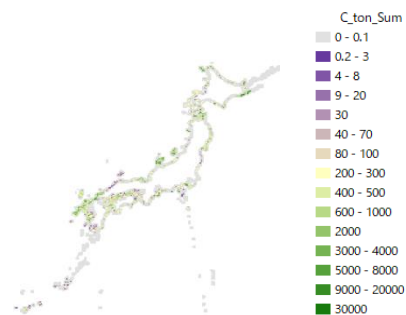


図4.1 全国スケールでの自然資本・生態系サービスのマップ

カキ養殖の解析結果では、カキ養殖産地として12 海域（北海道厚岸海域、北海道サロマ海域、北海道寿都・函館海域、東北太平洋岸海域、新潟県海域、石川県海域、京都府海域、三重・愛知県海域、島根県海

域、瀬戸内海東部海域、広島湾海域、九州北部海域)が選ばれた。養殖手法は3タイプ(ロングライン、筏、干潟棚)に分けられ、さらに2タイプの方法(直吊、カゴ養殖)に分けられた。また、種苗の入手方法は3タイプ(他海域から購入、天然採苗で地場種苗を使用、人工種苗を使用)に分類された。養殖対象種は主にマガキとイワガキの2種類で生産量の殆どを説明できた。これらの養殖手法で各産地のタイプ別にさらにまとめたところ、8タイプ(厚岸タイプ、サロマタイプ、道南タイプ、瀬戸内海・東北タイプ、三重・愛知タイプ、日本海タイプ、京都タイプ、豊後タイプ)に分類された。

カキ養殖産地別に7つの環境パラメータのパラメータ範囲を解析から求め、その産地別パラメータ範囲の条件を満たす海域を全国から抽出した。上述の8つの養殖産地タイプでまとめたところ、養殖可能海域に特徴的な差がみられた(図4.2)。例えば厚岸タイプでは同じ養殖手法で実施可能な海域は存在しない。一方で、日本海タイプは日本海だけでなく、太平洋岸にも実施可能な海域があるといえる。

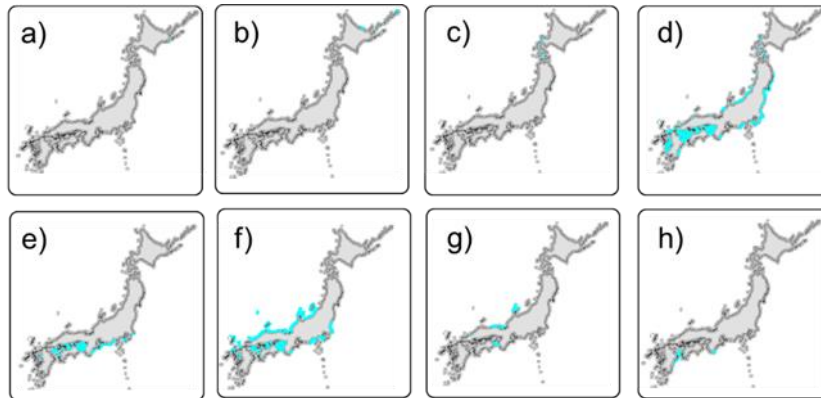


図4.2 カキ養殖産地タイプ別の潜在的な養殖可能海域(水色:各産地タイプと同じ環境パラメータ範囲をもつ海域)。各産地タイプで異なる養殖手法を用いている。a)厚岸タイプ、b)サロマタイプ、c)道南タイプ、d)瀬戸内海・東北タイプ、e)三重・愛知タイプ、f)日本海対宇、g)京都タイプ、h)豊後タイプ。

PANCESシナリオ別に、CO2隔離量、漁業生産量、カキ養殖量の生態系サービスの変化傾向を検討した結果、2つの供給サービス(漁業生産量とカキ養殖量)については、特に人口集中シナリオにおいて、郊外で営まれているほとんどの漁業生産は低下するが、都市域でも生産可能なカキ養殖業については増加の可能性があることが示された。また、海草藻場による調整サービス(CO2隔離量など)の多くが減少に転じると示唆された。

4.2. モデル海域(八重山諸島)の自然資本・潜在的生態系サービスの可視化

2016年(サンゴ白化前)と2017年(サンゴ白化後)の魚類分布と各生態系サービスの評価値、および、各値の年変化の結果を示す(図4.3)。サンゴ白化前の魚類の種数は調査海域の中央部から北西部にかけて多い傾向がみられたが、サンゴ白化後は当該海域の顕著な魚種の減少がみられた。

各生態系サービスの2016年から2017年への変化としては、供給(食糧)サービスは中央部から南部で減少している一方、東部および西部では増加している傾向が確認された。供給(観賞魚)サービスでは一部増加している海域があるものの、全体として減少傾向を示した。また、文化(ダイビング)サービスでは南西部で一部増加している局所海域が見受けられるものの、ほぼ全域で減少していた。調整(藻類除去)サービスは西部で減少傾向が確認され、その一方で中央北部および東部では増加傾向にあることが確認された。特に、白化前後の変化率が大きかった海域は、石西礁湖の全体をカバーする国立公園(普通海域)と共同漁業権区域を除けば、局所的に設定されている介入オプション海域外の区画に多いことが判明した。

さまざまな保全施策(介入オプション)について、メッシュごとの各生態系サービスの変化率を比較した(図4.4)。国立公園(普通区域)および共同漁業権区域は、海域全体の平均値とほぼ同様の変化を示している一方で、国立公園(海域公園区域)内では文化サービス以外のすべての生態系サービスの減少が大きく、水産資源管理実施区域では供給(観賞魚)サービス以外の生態系サービスが減少しており、また産卵場保護区域でも供給(観賞魚)サービスと文化サービスが減少していた。これらの生態系サービスのうち、供給(食糧)サービスは3オプション(共同漁業権区域・水産資源管理実施区域、産卵場保護区域)、供給(観賞魚)サービスは2オプション(国立公園(海域公園)・共同漁業権区域)、文化サービスは3オプション(国立公園(普通区域)・国立公園(海域公園)・共同漁業権区域)、調整サービスは2オプション(国立公園(海域公園)・共同漁業権区域)により保護できると示唆された。本結果はサンゴ白化による生態系サービスの変化を定量化した初事例である。

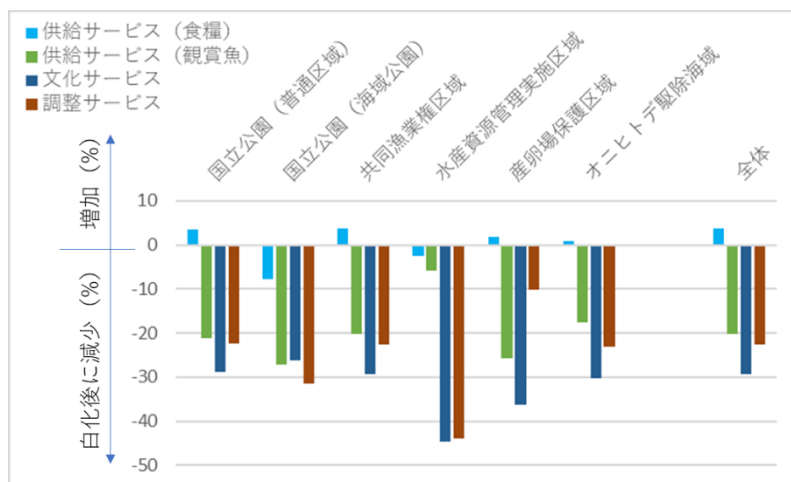
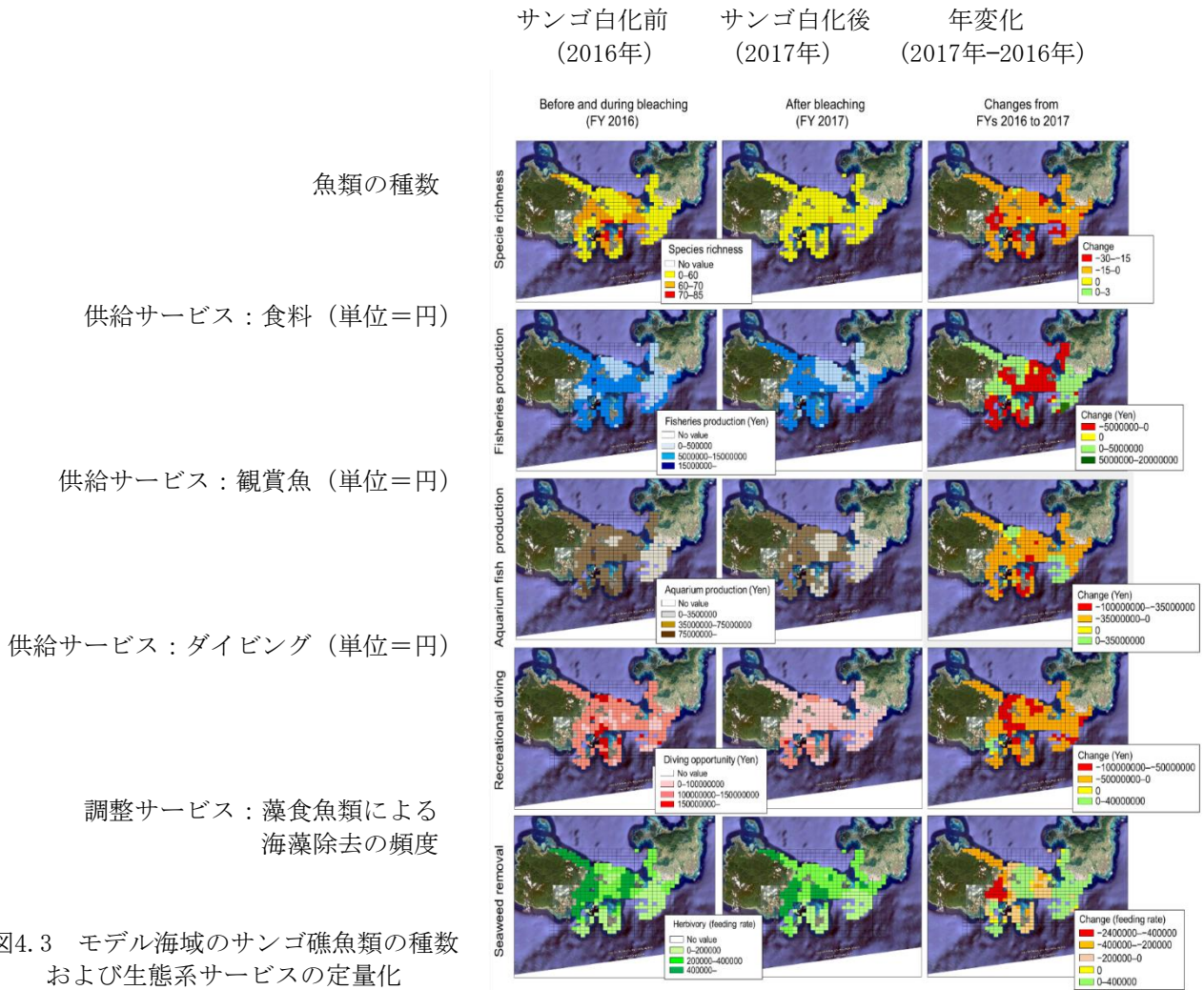


図4.4 サンゴ白化前後における介入オプション別の生態系サービスの変化率 (%)

4.3 海の生態系構成要素とステークホルダーの関連性解析

八重山諸島の海の生態系の構成要素は、多様なステークホルダーと関連していることがわかった (図4.5)。このことから、1つの生態系構成要素に関連する施策の効果は、様々なステークホルダーへ波及し、ステークホルダーのタイプ別に正と負の両側面をもつ場合があると考えられた。

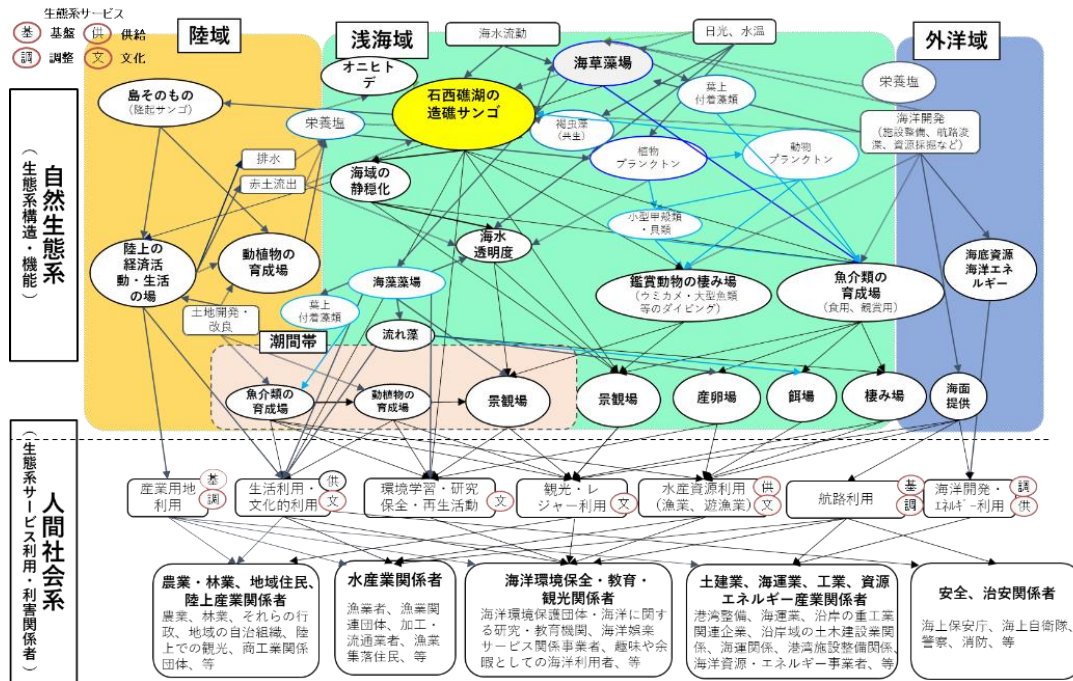


図4.5 八重山諸島における海の生態系構成要素とステークホルダーの関連性 (SESマップ)

4.4. 現行の介入オプションに対するギャップ分析と気候変動が石西礁湖に与える影響の評価

SESマップから、八重山諸島における海の生態系サービスの利用については、おおよそ全体部分がカバーされていることがわかった。このことは、生態系サービスの持続的利用に必要な施策はほぼ出そろっていることを示している。現在の施策の組み合わせが十分かつ効果的とは必ずしも結論できない。今後、八重山諸島を対象とした総合的な海洋政策を考える上で、ステークホルダーを超える正負両面の波及効果のメカニズムを科学的に理解しながら、様々な施策をバランスよく調整し、シナジー効果創出の企画・立案が重要となるだろう。(図4.6)

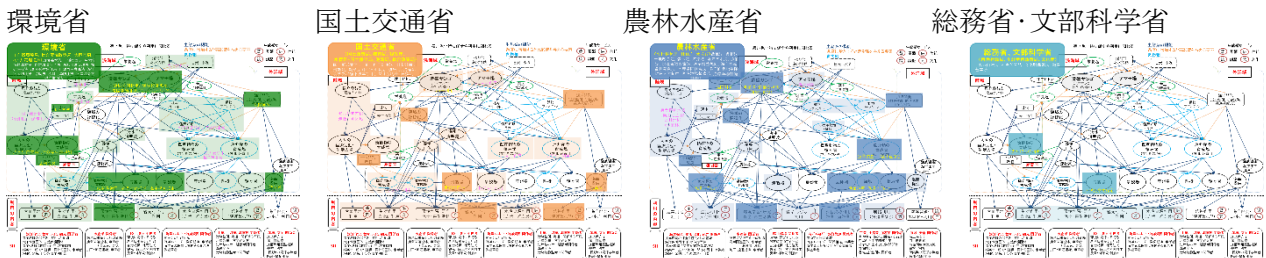


図4.6 ギャップ分析の結果 (4つの省庁の例を示す)

気候変動により、造礁サンゴが白化・死滅すると、魚類の産卵場・索餌場・生息場・景観などの機能が低下する可能性がある(図4.7)。また、海面上昇により潮間帯にも大きな悪影響が予測される。その結果、地域住民の伝統的な沿岸域の利用方法や、漁業・観光業・教育・研究等に影響が与えることが予測される。これらの影響を緩和するためには、サンゴの保護や育成、魚類の生活史に即した海洋保護区ネットワークの設置、浅場や生息場の保護と再生、サンゴの食害生物の駆除、赤土の削減が重要である。特に劣化が進んだ海域では、自然再生事業によりこれらの施策を集中的に実施することも必要になると考えられる。一方、海水温上昇により熱帯性海草藻場の分布域が拡大した場合、ここから派生する現象は気候変動の影響を緩和する可能性がある。

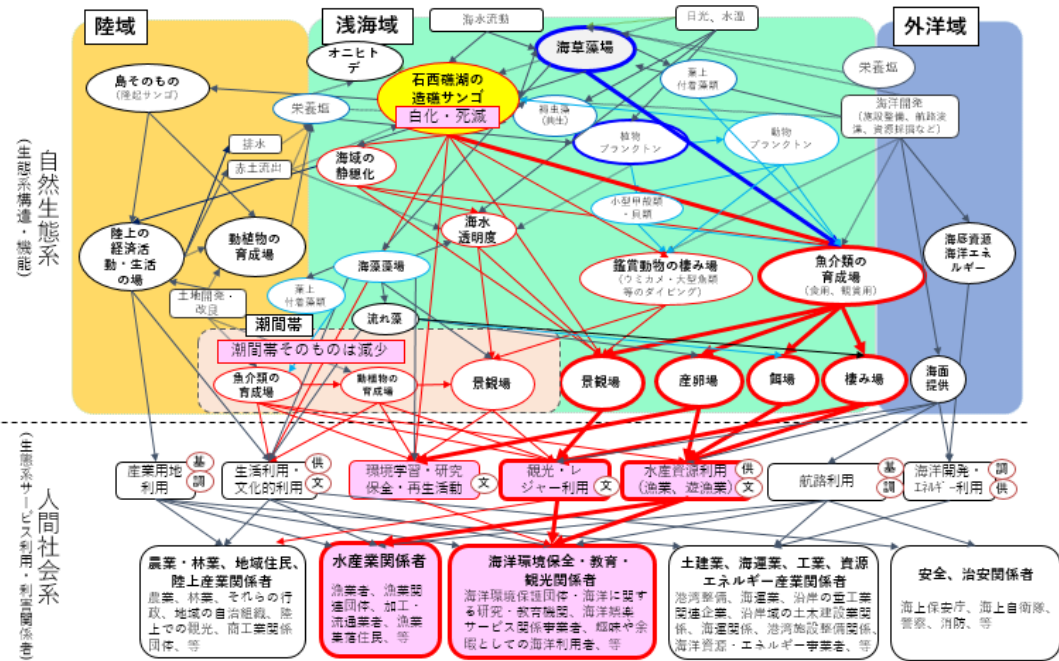


図4.7 気候変動が生態系構成要素・ステークホルダー・介入オプションに及ぼす影響 (青：正の効果 赤：負の効果)

4.5. 地域住民のもつ海の価値の抽出

地域住民が有する海の中核的価値として「生活」「愛着とインスピレーション」「地域文化」「畏怖」「レクリエーションと付随する問題」の5要素が抽出された(図4.8)。「レクリエーションと付随する問題」は、過剰な沿岸・海洋観光利用によって引き起こされる自然・社会環境の問題の存在が示されている。すなわち、レクリエーションに伴う生態系サービスの評価が、正負両面を持つことを意味し、過去の研究結果(観光産業の貨幣価値だけが過大かつポジティブに評価されていた)とは異なることがわかった。また、「畏怖」の要素はとりわけアジア・モンスーン気候帯の「人と自然関係」において重要であると考えられるが、既存の自然環境価値の評価の枠組みでは十分に着目されていないという課題も浮かび上がった(Sugimoto et al. under review)¹⁵⁾。

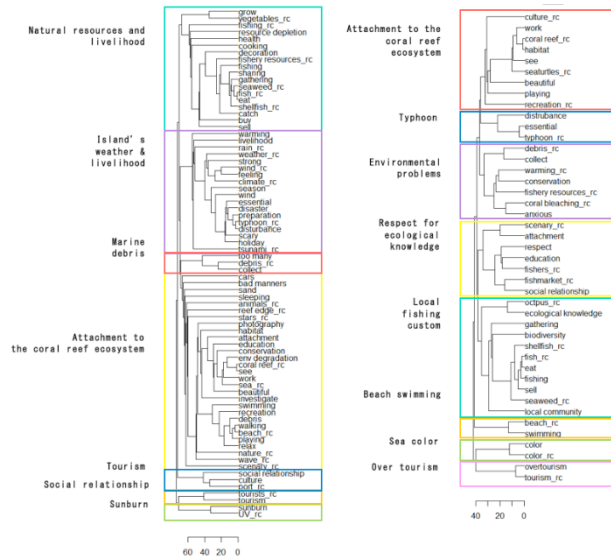


図4.8 八重山諸島における5つの海の価値(クラスター解析により抽出)

4.6. 海の価値の研究結果の動画配信

動画(図4.9)は地域内外で広く視聴され、複数分野の研究者が学際的に対話することを推進している。さらに、研究者と様々なステークホルダー(政策決定者・市民・産業・アーティストなど)の超学際的対話も推進している。これを契機としたサンゴ礁保全の大変革(Transformative change)が加速されることを期待したい。

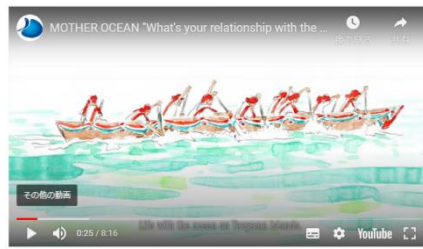


図4.9 5つの海の価値を周知するために作成した動画の一部

4.7 ステークホルダーの把握と各種自然資本・生態系サービスとの関係

上記4.5で明らかになった5つの海の価値のうち、「生活」および「地域文化」については水産資源となる魚種と水産資源を育むサンゴ、「レクリエーションと付随する問題」および「愛着とインスピレーション」についてはダイビング・観賞魚として人気のある魚種とサンゴ、「畏怖」に対しては海面養殖の対象種が関連づけられた（図4.10）。

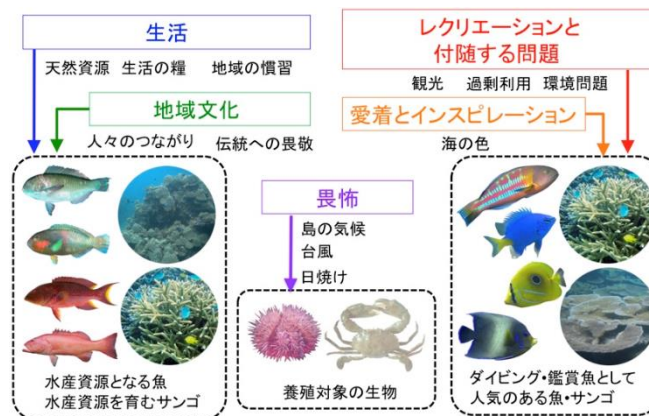


図4.10 5つの海の価値と自然資本・生態系サービスとの関係

地域シナリオとして、①人工資本・観光開発重視社会、②自然資本・観光開発重視社会、③人工資本・地域コミュニティ保護重視社会、④自然資本・地域コミュニティ保護重視社会の4つが設定された。4つの将来シナリオを実現させる主要となる産業を想定し、サンゴ礁の多種多様な生態系サービスを関連づけた（図4.11）。すなわち、①自然資本・観光重視社会ではダイビング・エコツーリズムの対象となる魚類、②自然資本・地域コミュニティ重視社会では水産資源（天然からの漁獲によるもの）となる魚類、③人工資本・観光重視社会では、リゾートホテル建設の促進や高速船の航路設定を優先しつつ、水族館での展示の対象となる魚類、④養殖対象となる海洋生物、である。このように、各シナリオに応じて保護・活用の対象となる対象生物が異なった。これは、サンゴ礁の種多様性が高く、その結果として多種多様な生物が様々な生態系サービスを担っていることに起因する。

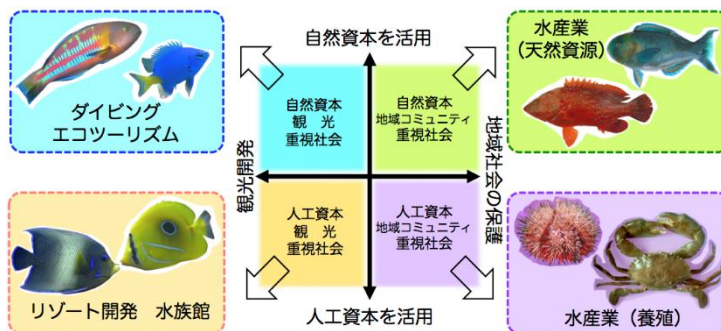


図4.11 4つの将来シナリオと各シナリオに対応する産業および対象となる海洋生物のグループ

また、気候変動に伴う海水温上昇と将来シナリオの関係を検討した。海水温上昇により白化しやすいミドリイシ属は海水温上昇により消失すると仮定できるため、ミドリイシ属に強く依存する魚種が消失すると予測した。この予測にもとづくと、海水温上昇により、4シナリオのうち、2シナリオ（人工資本・地域コミュニティ保護重視社会・自然資本・地域コミュニティ重視社会）の推進が考えられた（図4.12）。

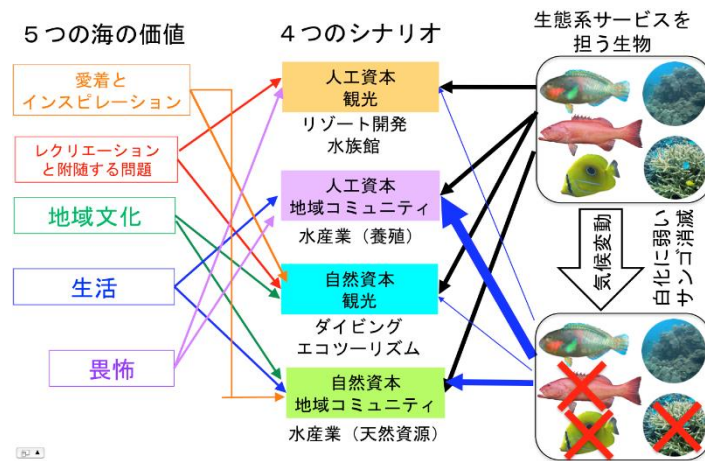


図4.12 気候変動による5つの海の価値・地域シナリオ・気候変動の関係

4.8 地域シナリオに応じた海洋保護区の設定

上記の4シナリオのうち、3シナリオ（①自然資本・観光重視型社会、②自然資本・地域コミュニティ重視型社会、③人工資本・観光重視型社会）に応じた海洋保護区を提案した：海洋保護区の候補地はシナリオによって異なり、総面積も異なった（図4.13）。

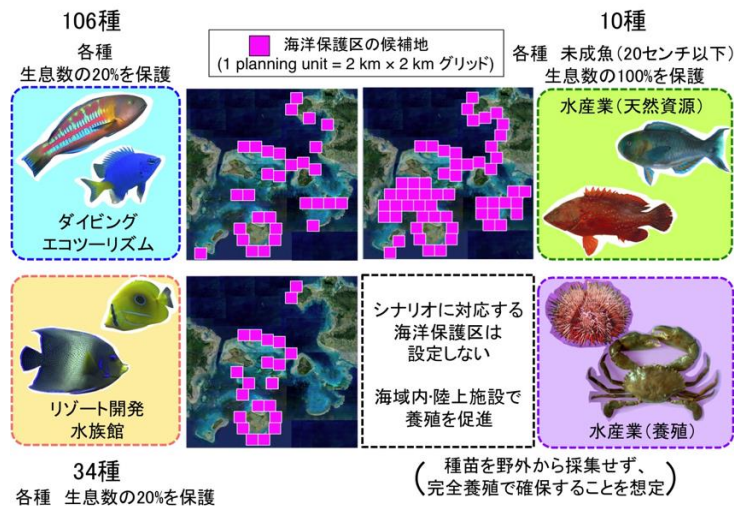


図4.13 3つの将来シナリオ（①自然資本・観光重視社会、②自然資本・地域コミュニティ重視社会、③人工資本・観光重視社会）の実現に向けた海洋保護区の設定場所

4.9 海洋保護区を実現するための介入オプション

結果を図4.14に示す。①自然資本・観光重視の海洋保護区では、海域公園地区による生物の採集禁止および海底地形の改変の制限、保護指定種の拡大、ダイビングスポットのOver-Useの制限（環境省・ダイビング業者・エコツアーリズム業者が中心になって取り組む）、②自然資本・地域コミュニティ重視の海洋保護区では、漁業調整規則による保護水面の設定（農林水産省・地方自治体の水産課が中心）、ローカルルールの適用（漁業者・漁協が中心）、遊漁船の隻数の制限（遊漁を営む業者が中心）③人工資本・観光重視の海洋保護区では、沿岸域の開発予定地と航路を除く海域での観賞用生物の保護区拡充（国土交通省・環境省・海運業者が中心）。

上記の3シナリオに関わらず、生態系そのものを支えるサンゴと魚類のために海洋保護区を設定する場合は、気候変動に強い種の選別、海域公園地区の拡充、有害生物の駆除、駆除を促進する制度、環境変動に頑健な海域での人間活動の抑制、生態系修復技術の活用、環境学習、赤土対策（環境省・文部科学省・試験研究機関・ダイビング業者・エコツアーリズム業者が中心）が挙げられる。

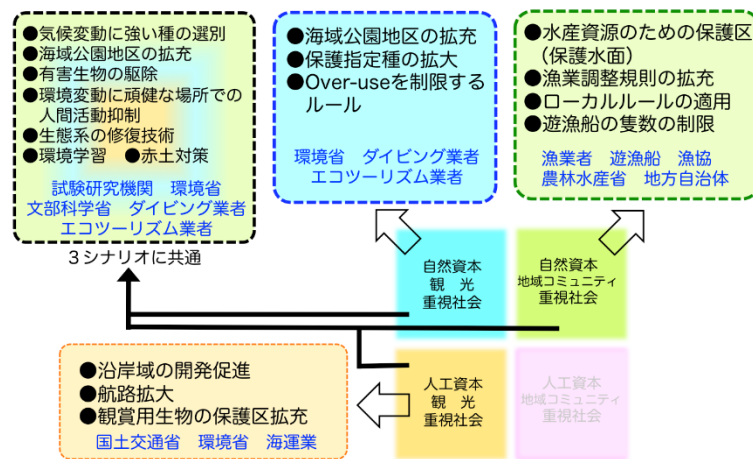


図4.14 海洋保護区を実現するための介入オプションと主体。①自然資本・観光重視社会、②自然資本・地域コミュニティ重視社会、③人工資本・観光重視社会の3シナリオについて示す。

5. 研究目標の達成状況

5カ年計画にもとづき、生態学・社会学・経済学などを駆使した学際的なアプローチで研究を遂行し、目標はほぼ達成できた。全国対応としては、海草藻場・浅海域の漁業生産・養殖に着目し、気候変動の影響を考慮した生態系サービスの分布マップと将来予測を達成でき、今後の生態系サービスの活用の政策立案に大きく貢献できるであろう。一方で、モデル地域（八重山諸島）においても、生態系サービスを担う海洋生物（魚類・造礁サンゴ類）の詳細な実測データを元に解析を行い、生態学的なデータを社会学的な解析（介入オプションの検討）へ応用できたことは特筆に値する。さらに、現地のさまざまなステークホルダーに対して、ワークショップ、ききとり調査などを通じて、詳細なデータを収集したとともに、最新の研究手法である「ステークホルダー分析」と「多次元的価値評価」で解析し、新規性の高い研究結果が得られている。また、成果を国際誌で発表しているとともに、動画の作成やマスコミへの記事掲載など、一般市民にむけた成果の発信も精力的に行なった。以上のことから、本研究の達成状況は順調であるといえる。

研究後半2か年では、生態系サービスの利用と需要のギャップを生じさせる新たな要因として、海草藻場に対するアオウミガメの食害の深刻化が生じた。最終年度の調査では、調査地点のウミシヨウブの地上部は食害ですべて消失していたことが明らかになった。ウミシヨウブとアオウミガメは両種ともに環境省レッドリストの掲載種である一方で、前者はCO₂吸収源や稚仔魚の生息場所の提供を担う自然資本、後者は観光資源を担う自然資本である。上述した気候変動シナリオにもとづくSocial-Ecological Systemの記述モデルによる将来予測の結果では、海草類は気候変動の影響を受けにくいと判断されてきたが、本年度の結果によると、気候変動の影響はむしろ深刻であると言える。この点については知見不足であり、今後の研究が望まれる。

6. 引用文献

- Nanami A (2018) Spatial distributions, feeding ecologies, and behavioral interactions of four rabbitfish species (*Siganus unimaculatus*, *S. virgatus*, *S. corallinus*, and *S. puellus*). *PeerJ* 6:e6145
- Nanami A (2020) Spatial distribution and feeding substrate of butterflyfishes (family Chaetodontidae) on an Okinawan coral reef. *PeerJ* 8:e9666
- Sato et al. (2020) Changes in the potential stocks of coral reef ecosystem services following coral bleaching in Sekisei Lagoon, southern Japan: implications for the future under global warming. *Sustainability Science* 15:863-883
- 但馬英知・牧野光琢 (2017) ステークホルダー分析による沿岸域利害構造の地域間比較-藻場生態系における水産資源供給サービスを例として- 沿岸域学会誌 30:17-28
- Freedma R (1984) Strategic Management—A stakeholder approach
- Reeed MS et al. (2009) Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management, *Journal of Environmental Management* 90:1933-1949
- Senge PM, Sterman J (1992) Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European Journal of Operational Research* 59:137-150
- Sterman JD (2000) *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Irwin

Professional Pub

- 9) 湊宣明 (2016) 実践システム・シンキング-論理思考を超える問題解決のスキル- KS理工学専門書
- 10) 松浦正浩ら (2000) SH分析手法を用いたエネルギー・環境技術の導入普及の環境要因の構造化, 社会技術研究論文集 15:12-23
- 11) Makino M et al. (2020) Mapping the policy interventions on marine social-ecological systems: case study of Sekisei Lagoon, southwest Japan. In: Saito O et al. (eds), Managing socio-ecological production landscapes and seascapes for sustainable communities in Asia. Springer Open, pp 11-29
- 12) Díaz S et al. (2018) Assessing nature's contributions to people. *Science* 359:270-272
- 13) Hongo C, Yamano H (2013) Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995-2009). *PLoS one* 8:e60952
- 14) Morrison TH et al. (2020) Advancing Coral Reef Governance into the Anthropocene. *One Earth* 2:64-74
- 15) Sugimoto et al. (under review) How bountiful is the ocean? Participatory valuation of human-nature relationships in Yaeyama Islands, Okinawa, Japan.

Ⅲ. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上発表

<査読付き論文>

【サブテーマ3(1)】

1. T. Yamakita, K. Sudo, Y. Jintsu-Uchifune, H. Yamamoto, Y. Shirayama (2017) Identification of important marine areas using ecologically or biologically significant areas (EBSAs) criteria in the east to southeast Asia region and comparison with existing registered areas for the purpose of conservation, *Marine Policy*, 81: 273-284. doi:10.1016/j.marpol.2017.03.040 (IF:3.2)
2. T. Yamakita, Y. Matsuoka, S. Iwasaki (2017) Impact of the 2011 Tohoku earthquake on the use of tidal flats: A case study in inner Tokyo bay, *Journal of Environmental Information Science*, 2017-1: 25-36. doi:10.11492/ceispapersen.2017.1_25
3. 山北剛久 (2018) 東日本大震災後の海変化を知る—地理情報システムの活用と地理情報科学 (GIScience), 情報通信技術で革新する生態学—加速するオープンデータとオープンサイエンス, 種生物学会電子版和文誌第2巻.
4. H. Igarashi, S. Saitoh, Y. Ishikawa, M. Kamachi, N. Usui, M. Sakai, Y. Imamura (2018) Identifying potential habitat distribution of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) off the eastern coast of Japan in winter. *Fisheries Oceanography*, 27-1: 16-27. (IF: 2.1)
5. T. Yamakita, F. Sodeyama, N. Whanpetch, K. Watanabe, M. Nakaoka (2019) Application of deep learning techniques for determining the spatial extent and classification of seagrass beds, Trang, Thailand. *Botanica Marina*, 62, p. 291-308, DOI: 10.1515/bot-2018-0017 (IF:2.1)
6. Y. Morioka, S. Varlamov, Y. Miyazawa (2019) Role of Kuroshio Current in fish resource variability off southwest Japan. *Sci. Rep.*, 9, 17942. (IF:3.9)
7. T. Yamakita (2019) Eelgrass Beds and Oyster Farming in a Lagoon Before and After The Great East Japan Earthquake of 2011: Potential for Applying Deep Learning at a Coastal Area. *IGARSS 2019*, 9748-9751, Doi:10.1109/IGARSS.2019.8900354
8. 森岡優志, 美山透, Sergey M. Varlamov, 宮澤泰正, 古川恵太, 遠藤愛子, 植松光夫, 宮崎信之, 山形俊男 (2017) SIMSEA の科学的基礎の確立に向けた戦略的取り組み, *日本海洋政策学会誌*, 7: 133-144.
9. T. Kubo, S. Uryu, H. Yamano, T. Tsuge, T. Yamakita, Y. Shirayama (2020) Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management*, 77, 104010. (IF:7.4)
10. T. Yamakita, K. Yamada, H. Yokooka, G. Kanaya (2020) Traits database of tidal flat macrobenthos along the Northwest Pacific coast of Japan. *Ecological Research* 35, (6), 1062 - 1072. (IF:1.5)
11. J. Kumagai, M. Wakamatsu, S. Hashimoto, O. Saito, T. Yoshida, T. Yamakita, K. Hori, T. Matsui, M. Oguro, M. Aiba, R. Shibata, T. Nakashizuka, S. Managi (2021) Natural capitals for nature's contributions to people: the case of Japan. *Sustainability Science*. (IF:5.3)

【サブテーマ3(2)】

12. K. Momota, M. Nakaoka (2016) Influence of different types of sessile epibionts on the community structure of mobile invertebrates in an eelgrass bed, *PeerJ*, 5: e2952. DOI: 10.7717/peerj.2952 (IF:2.4)
13. L. M. Nordlund, E. L. Jackson, M. Nakaoka, J. Samper-Villarreal, P. Beca-Carretero, J. C. Creed (2017) Seagrass ecosystem services - what's next?, *Marine Pollution Bulletin*, 134, p. 145-151. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.09.014 (IF:4.0)
14. T. Yamakita, K. Sudo, Y. Jintsu-Uchifune, H. Yamamoto, Y. Shirayama (2017) Identification of important marine areas using ecologically or biologically significant areas (EBSAs) criteria in the east to southeast Asia region and comparison with existing registered

- areas for the purpose of conservation, *Marine Policy*, 81: 273-284.
doi:10.1016/j.marpol.2017.03.040 (IF:3.2) (*再掲)
15. V. E. Leopardas, M. Hori, H. Mukai, Y. Tanaka, K. Yokoi, M. Aoki, N. Sato, N. Whanpetch, M. Nakaoka (2018) Broad scale variation in seagrass benthic macrofaunal assemblages along the coast of Japan, *Ecological Research*, 33: 105-117. DOI: 10.1007/s11284-017-1517-5 (IF:1.6)
 16. M. Nakaoka, K. Sudo, M. Namba, H. Shibata, F. Nakamura, S. Ishikawa, M. Makino, H. Yamano, S. S. Matsuzaki, T. Yamakita, X. Yu, X. Hou, X. Li, J. Brodie, K. Kanemoto, D. Moran, F. Verones (2018) TSUNAGARI: A new interdisciplinary and transdisciplinary study toward conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services. *Ecological Research*, 33: 35-49. DOI: 10.1007/s11284-017-1534-4 (IF:1.6)
 17. X. Fang, X. Hou, X. Li, W. Hou, M. Nakaoka, X. Yu (2018) Ecological connectivity between land and sea: a review. *Ecological Research*, 33: 51-61. DOI: 10.1007/s11284-017-1549-x (IF:1.6)
 18. C. S. Smith, M. Ito, M. Namba, M. Nakaoka (2018) Oyster aquaculture impacts *Zostera marina* epibiont community composition in Akkeshi-ko estuary, Japan. *PLOS ONE*, 13(5):e0197753. DOI: 10.1371/journal.pone.0197753 (IF:2.7)
 19. M. Namba, M. Nakaoka (2018) Spatial patterns and predictor variables vary among different types of primary producers and consumers in eelgrass *Zostera marina* beds. *PLoS ONE*, 13-8, e0201791. DOI: 10.1371/journal.pone.0201791 (IF:2.7)
 20. X. Ba, N. Kouchi, K. Watanabe, M. Nakaoka, M. Fujii (2018) Material cycling in coastal waters and the role of the Kiritappu Wetland in Hamanaka, Hokkaido: An analysis using the surf clam (*Pseudocardium sachalinense*) as an environmental indicator. *Marine Chemistry*, 205, p.81-89. Doi: 10.1016/j.marchem.2018.08.008 (IF:2.9)
 21. K. Momota, M. Nakaoka (2018) Seasonal change in spatial variability of eelgrass epifaunal community in relation to gradients of abiotic and biotic factors. *Marine Ecology*, 39, e12522. Doi: 10.1111/maec.12522 (IF:1.4)
 22. T. Yamakita, F. Sodeyama, N. Whanpetch, K. Watanabe, M. Nakaoka (2019) Application of deep learning techniques for determining the spatial extent and classification of seagrass beds, Trang, Thailand. *Botanica Marina*, 62, p. 291-308, DOI: 10.1515/bot-2018-0017 (IF:2.1) (*再掲)
 23. H. Glon, H. Yamaguchi, M. Daly, M. Nakaoka (2019) Temperature and salinity survival limits of the fluffy sea anemone, *Metridium senile* (L.), in Japan. *Hydrobiologia*, 830, p.303-315. Doi: 10.1007/s10750-018-3879-2 (IF:2.4)
 24. J.E. Duffy, L. Benedetti-Cecchi, J.A. Trinanes, F.E. Muller-Karger, R. Ambo-Rappe, C. Boström, A.H. Buschmann, J. Byrnes, R.G. Coles, J. Creed, L. Cullen-Unsworth, G. Diaz-Pulido, C.M. Duarte, G.J. Edgar, M.D. Fortes, G.J. Goni, C. Hu, X. Huang, C.L. Hurd, B. Konar, D. Krause-Jensen, K. Krumhansl, P.I. Macreadie, H. Marsh, L.J. McKenzie, M. Mieszkowska, P. Miloslavich, E. Montes, M. Nakaoka, K.M. Norderhaug, L.M. Nordlund, R.J. Orth, A. Prathep, N.F. Putman, J. Samper-Villarreal, E.A. Serrao, F. Short, I.S. Pinto, P.D. Steinberg, R. Stuart-Smith, R.K.F. Unsworth, M. van Keulen, B.I. Van Tussenbroek, M. Wang, M. Waycott, L.V. Weatherdon, T. Wernberg, S.M. Yaakub (2019) Toward a coordinated global observing system for seagrasses and marine macroalgae. *Frontiers in Marine Science* 6: 317, Doi: 10.3389/fmars.2019.00317 (IF:3.1)
 25. K. Miura, N. Ishiyama, K. Kawajiri, K. Atsumi, M. Tachibana, Y. Nagasaka, Y. Machida, G. Yiyang, J.N. Negishi, I. Koizumi, F. Nakamura (2019) Simple non-lethal identification criteria for two endangered freshwater pearl mussels, *Margaritifera laevis* and *Margaritifera togakushiensis*, in Hokkaido, northern Japan. *Ecological Research*, 34, 667-677, Doi: 10.1111/1440-1703.12038 (IF:1.6)
 26. 三浦一輝・石山信雄・川尻啓太・渥美圭佑・長坂有・折戸聖・町田善康・臼井平・Gao Yiyang・能瀬晴菜・根岸淳二郎・中村太士 (2019) 北海道における希少淡水二枚貝カワシジユガイ属 2 種 (*Margaritifera laevis*, *Margaritifera togakushiensis*) の河川区間の生育の重複. 保全生態学研究, 24, 39-48
 27. K. Sudo, K. Watanabe, N. Yotsukura, M. Nakaoka (2020) Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan. *Ecological Research*, 35-1, p47-60, DOI: 10.1111/1440-1703.12053. (IF:1.6)

28. C. Haga, M. Maeda, W. Hotta, T. Inoue, T. Matsui, T. Machimura, M. Nakaoka, J. Morimoto, H. Shibata, S. Hashimoto, O. Saito, O. (2020) Scenario analysis of renewable energy-biodiversity nexuses using a forest landscape model. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8: 155 Doi: 10.3389/fevo.2020.00155 (IF:2.4)
29. M. Namba, M. Hashimoto, M. Ito, K. Momota, C. Smith, T. Yorisue, M. Nakaoka (2020) The effect of environmental gradient on biodiversity and similarity of invertebrate communities in eelgrass (*Zostera marina*) beds. *Ecological Research* 35, 61-75, DOI: 10.1111/1440-1703.12086 (IF:1.6)
30. K. Sudo, M. Nakaoka (2020) Fine-scale distribution of tropical seagrass beds in Southeast Asia. *Ecological Research* 35: 994-1000, Doi: 10.1111/1440-1703.12137 (IF:1.6)
31. K. Sudo, T.E.A.L. Quiros, A. Prathep, C.V. Luong, H-J.Lin, J. Sidik Bujang, J.L.S. Ooi, M.D. Fortes, M.H. Zakaria, S.M. Yaakub, Y.M. Tan, X. Huang, and M. Nakaoka, (in press) Distribution, temporal change and conservation status of tropical seagrass beds in Southeast Asia: 2000-2020. *Frontiers in Marine Science* (accepted on May 31, 2021) (IF:3.3)

【サブテーマ3(3)】

32. 山野博哉 (2017) 世界と日本におけるサンゴ礁の状況, 今後の予測, そして保全に向けた取組. *日本サンゴ礁学会誌*, 19: 41-48.
33. N.H. Kumagai, H. Yamano, and Sango Map Project Committee (2018) High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management. *PeerJ*, 6: e4382. (IF: 2.38)
34. N. H. Kumagai, J. G. Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2018) Ocean currents and herbivory drive macroalgal-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 115, p.8990-8995.
35. 熊谷直喜, 山野博哉, サンゴマップ実行委員会 (2018) オープンデータを利用した地域・広域的なサンゴ白化の推定. *日本リモートセンシング学会誌*, 38, p.95-98.
36. T. Kubo, T. Tsuge, H. Abe, H. Yamano (2019) Understanding island residents' anxiety about impacts caused by climate change using Best-Worst Scaling: A case study of Amami islands, Japan. *Sustainability Science*, 14, p.131-138.
37. T. Kubo, S. Uryu, H. Yamano, T. Tsuge, T. Yamakita, Y. Shirayama (2020) Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management*, 77, 104010. (IF:7.4) (*再掲)
38. Y. F. Kitano, C. Hongo, Y. Yara, K. Sugihara, N.H. Kumagai, H. Yamano (2020) Data on coral species occurrences in Japan since 1929. *Ecological Research* 35, (6),975-985, DOI:10.1111/1440-1703.12136 (IF:1.68)
39. K. Arita, H. Suzuki, H. Yamano, T. Yabe, N.H. Kumagai (2020) Quantitative records of habitat-forming seaweeds found in Japanese temperate and subtropical zones (fucoids and kelps). *Ecological Research* 35, (6),967-974, DOI:10.1111/1440-1703.12138. (IF:1.68)

【サブテーマ3(4)】

40. 法理樹里, 但馬英知, 牧野光琢 (2017) サンゴ礁の生態系サービスに対する利害関係者の関心分析—沖縄県石西礁湖自然再生協議会を事例として, *沿岸域学会誌*, 30: 61-73.
41. M. Hori, H. Hamaoka, M. Hirota, F. Lagarde, S. Vaz, M. Hamaguchi, J. Hori, M. Makino (2018) Application of the coastal ecosystem complex concept toward integrated management for sustainable coastal fisheries under oligotrophication. *Fisheries Science*, 84: 283-292. (IF:1.17)
42. A. Nanami (2018) Spatial distributions, feeding ecologies, and behavioral interactions of four rabbitfish species (*Siganus unimaculatus*, *S. virgatus*, *S. corallinus*, and *S. puellus*). *PeerJ*, 6: e6145. (IF:2.38)
43. M. Sato, A. Nanami, C. J. Bayne, M. Makino, M. Hori (2020) Changes in the potential stocks of coral reef ecosystem services following coral bleaching in Sekisei Lagoon, southern Japan: implications for the future under global warming. *Sustainability Science*, DOI:10.1007/s11625-019-00778-6. (IF:4.83)

44. A. Nanami (2020) Spatial distribution and feeding substrate of butterflyfishes (family Chaetodontidae) on an Okinawan coral reef. PeerJ, 8, e9666 (IF:2.38)
45. A. Sugimoto, H. Sugino, J. Hori (in press) How bountiful is the ocean? Participatory valuation of human-nature relationships in Yaeyama Islands, Okinawa, Japan Sustainability Science. (IF:5.3)

<その他誌上発表(査読なし)>

【サブテーマ3(1)】

1. 山北剛久 (2016) 沿岸における景観スケールの生物多様性, 海洋と生物, 38-6: 681-686.
2. 山北剛久 (2017) アジアの海洋生物多様性評価—海の生態系サービス評価の現状, 農村計画学会誌, 36: 25-28.
3. 白山義久(2017) 海域の生物多様性と生態系サービスを“自然の人々への寄与”という概念から考える, 農村計画学会誌, 36: 9-17.
4. T. Yamakita, 2018. Cultural ecosystem services of temperate coastal areas of Japan: Uses of tidal flats, sandy beaches, and rocky/coral areas. 8th Asian Wetland Symposium 2017 Proceedings, 290-293.
5. Y. Furushima, T. Yamakita, T. Miwa, D. Lindsay, T. Fukushima, Y. Shirayama (2019) New techniques for standardization of environmental impact assessment. In Environmental Issues of Deep-Sea Mining, pp. 275-313, Springer
6. 堀正和, 山北剛久 (2021) 人と生態系のダイナミクス 4. 海の歴史と未来. 株式会社朝倉書店.

【サブテーマ3(2)】

7. 三浦一輝, 川尻啓太, 臼井平, 石山信雄, 秋山善寛, 渥美圭佑, 根岸淳二郎, 中村太士 (2018) 枝幸町内における淡水二枚貝コガタカワシンジュガイ(*Margaritifera togakushiensis*)の生息情報, 枝幸研究 9, 23-29.
8. 三浦一輝・町田善康・金岩稔・山本敦也 (印刷中) 美幌町内河川におけるカワシンジュガイ属2種(*Margaritifera laevis* および *Margaritifera togakushiensis*) の生息. 美幌博物館研究報告.

【サブテーマ3(3)】

9. 久保雄広, 庄子康(2016) 野生動物管理学からのアプローチ—政策評価・リスク認識, 自然保護と利用のアンケート調査—公園管理・野生動物・観光のための社会調査ハンドブック(愛甲哲也, 庄子康, 栗山浩一編, 築地書館), p. 204-226.
10. 山野博哉 (2017) 水生生物に及ぼす気候変動の影響, 用水と廃水, 59: 68-73.
11. 山野博哉 (2017) サンゴ礁を取巻くさまざまな環境問題, 現代化学, 6月号, p. 42-45.
12. 山野博哉 (2017) 1.5°Cと2°C: 気候変動「パリ協定」目標の意味と実現への道筋(海洋生態系への影響), 環境情報科学, 46: 25-29.
13. 山野博哉, 小熊宏之 (2017) 画像を用いたサンゴ礁リモートセンシングの最近の展開. 月刊海洋 号外, 60: 99-106.
14. 山野博哉 (2018) 学術研究に基づいた自然環境分野の気候変動適応. 国立公園, 761: 13-15.
15. 山野博哉 (2018) 俯瞰と超学際: 広がる環境問題の理解と解決のためのアプローチ. 科学, 88, p. 153-156.
16. 山野博哉 (2018) これからどうなる? 世界と日本のサンゴ礁. 自然保護, 562, p. 32-33.
17. 山野博哉 (2019) グローバル・スケールで見るサンゴ礁保全と地理学の役割. 地理, 64, p. 40-45.
18. 山野博哉, 北野裕子, 阿部博哉, 細川卓, 田中誠士, 小林裕幸, 山本智之 (2019) 高水温が引き起こした白化現象によるサンゴ礁の衰退: 沖縄県石西礁湖と八重干瀬における航空機観測. 日本リモートセンシング学会誌, 39, p. 393-398.
19. 山野博哉 (2020) サンゴ礁の防波機能. 実践版! グリーンインフラ(中村太士, 吉田丈人, 瀧健太郎, 桑江朝比呂, 西廣淳, 福岡孝則, 西田貴明編, 日経BP社).

【サブテーマ3(4)】

20. 堀正和, 桑江朝比呂 (2017) ブルーカーボン: 浅海におけるCO₂隔離・貯留とその活用, 地人書館.
21. G. Yoshida, M. Hori, H. Shimabukuro, H. Hamaoka, H. Onitsuka, N. Hasegawa, D. Muraoka, K. Yatsuya, K. Watanabe, M. Nakaoka (2019) Carbon sequestration by seagrass and macroalgae in Japan: estimates and future needs. In: T. Kuwae, H. Hori (eds.), Blue carbon in shallow coastal ecosystems, p.101-128. Springer, Singapore.
22. M. Makino, M. Hori, A. Nanami, J. Hori, H. Tajima (2020) Mapping the policy interventions on marine social-ecological systems: Case study of Sekisei Lagoon, Southwest Japan. (In:

- O. Saito, S. Hashimoto, K. Takeuchi ed.s) Managing Socio-ecological Production Landscapes and Seascapes for Sustainable Communities in Asia: Mapping and Navigating Stakeholders, Policy and Action, Springer, 11-29.
23. 堀正和, 山北剛久 (2021) 人と生態系のダイナミクス 4. 海の歴史と未来. 株式会社朝倉書店. (*再掲)
24. 牧野光琢 (2020) 日本の海洋保全政策、東京大学出版会.

(2) 口頭発表 (学会等)

【サブテーマ3(1)】

1. T. Yamakita, N. Yasuda, M. Tsujino, N. Kumagai, H. Yamano (2016) Gap between future distribution of corals and marine use / Spatial planning around Japanese archipelago, 13th international Coral Reef Symposium 2016 (Honolulu, Hawaii, Jun. 2016).
2. T. Yamakita, Y. Yara, K. Yamada, M. Matsuba (2016) How Species in different traits affected by the earthquake and Tsunami considering recovery potential used for EBSA and marine spatial planning, 5th International Ecosummit, Ecological Sustainability, Engineering Change 2016(Montpellier, France, Aug. 2016).
3. 山北剛久 (2016) 干潟・砂浜・サンゴ礁, 多様な沿岸景観ごとの文化的サービスの分布とその変動, 第17回東京湾シンポジウム～沿岸域の生態系サービスの定量化～(横浜, 2016.10).
4. 山北剛久 (2016) IPBES とそこで活用される生物多様性情報: 沿岸・海洋を中心に, GBIF ワークショップ 21世紀の生物多様性研究 (東京, 2016.12).
5. 山北剛久 (2016) EBSA 抽出の検討およびS-15において推定するサービスの検討状況, 沿岸における生態系サービスや海洋健全度に関するセミナー (横須賀, 2016.10).
6. 山北剛久 (2016) 受け手に着目した沿岸生態系サービスの変遷: 潮干狩り, 海水浴, ダイビング, 第22回野生生物と社会学会大会(東京, 2016.11).
7. 山北剛久, 松岡好美, 岩崎慎平 (2016) 2011年の地震と津波が沿岸域の利用に与えた影響とその生態系への波及効果の検討: 東京湾奥部を例に, 日本地球惑星科学連合大会 2016年大会 (千葉, 2016.5).
8. Y. Miyazawa (2017) Extension of the ocean forecasting including investigation of marine ecosystem behavior and coupling with the seasonal climate forecast, Symposium: Past, Present, Future of Predicting Ocean and Climate Variability (Tokyo, Japan, Jan.2017).
9. Y. Ishikawa, H. Igarashi, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, H. Nishikawa, S. Nishikawa, M. Kamachi (2017) Numerical forecasting system ocean environments for squid fisheries, ASL02017 Aquatic Sciences Meeting(Honolulu, Hawaii, Feb.2017).
10. 須藤健二, 内舷芳江, 山北剛久, 山本啓之, 白山義久, 仲間雅裕 (2017) 東南アジア海域における生物学的生態学的に重要な海域の推定, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3).
11. 山北剛久, 安田仁奈, 山野博哉 (2017) 自然資本分布の将来予測とマリンレジャー利用の変遷: サンゴ礁を例に, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3).
12. 松葉史紗子, 山北剛久 (2017) 海がもたらす文化的生態系サービスの利用実態と定量化の試み, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3).
13. T. Yamakita (2017) From biodiversity prediction to ecosystem service evaluation: Marine case studies in Japan, The 9th GEOSS Asia-Pacific Symposium (Tokyo, Japan, Jan.2017).
14. 山北剛久 (2018) 機械の目による底生生物とアマモ場の抽出. 第19回東京湾シンポジウムー沿岸域の環境改善に向けた新しい技術・考え方ー (横浜, 2018.10).
15. T. Yamakita (2018) Distribution of marine species over East and South East Asia from data used for EBSA extraction, Biodiversity estimation in time and space: a macroecological perspective of community assembly and diversity patterns. 11th GEOSS Asia-Pacific Symposium (Kyoto, Japan, Oct. 2018).
16. T. Yamakita (2018) Feasibility of large scale analysis and potential networking as AP-MBON. 11th GEOSS Asia-Pacific Symposium Agenda TG2: Asia Pacific Biodiversity Observation Network (AP BON) (Kyoto, Japan, Oct. 2018).
17. T. Yamakita, H. Yokooka, F. Sodeyama, Y. Fujiwara, M. Kawato, S. Tsuchida, S. Ishibashi, T. Kurokawa, D. Lindsay, M. Nakaoka, K. Watanabe, N. Wanpetch, Y. Yara, M. Matsuba, K. Fujikura (2018) Utilization of Deep Learning in mapping of the ocean floor: Extraction of

- brittle stars by image recognition, seagrass distribution using image to image translation. Japan Geoscience Union Meeting 2018 (Chiba, Japan, May.2018).
18. T. Yamakita, F. Sodeyama, K. Watanabe, N. Wanpetch, M. Nakaoka (2018) Utilization of Deep Learning on land use mapping at the coastal area. International Conference on Spatial Analysis and Modeling (Tokyo, Japan, Sep. 2018).
 19. 堀正和, 山北剛久, 田中義幸, 仲岡雅裕, 青木美鈴, 井藤大樹 (2018) 環境省モニタリングサイト 1000 による日本南限アマモ場の分布変遷の調査結果. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会 (東京, 2018.9).
 20. T. Yamakita, F. Sodeyama, N. Whanpetch, K. Watanabe, M. Nakaoka (2018) Application of the deep-learning technics for the extraction of seagrass beds: over 30 years changes of beds at Futtsu in the Tokyo Bay, Japan and Hat Chao Mai National Park, Thailand. World Seagrass Conference 2018 (Singapore, Jun. 2018).
 21. Ministry of the Environment, Government of Japan (2018) Launch of the AP-Marine BON: Past, Present and Future activities. GeoWeek 2018 (Kyoto, Japan, Oct. 2018).
 22. 仲岡雅裕, 山北剛久, 荒木仁志, 山野博哉, 白山義久 (2019) AP-MBON によりアジアの海洋生物多様性の研究を推進する. 第 66 回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3).
 23. T. Yamakita, N. Yasuda, A. Shimura, A. Nakabayashi, T. Nakamura, H. Aizawa, Y. Kitano, A. Iguchi, S. Nagai, S. Agostini, K. Teshima, H. Yamano (2019) Proposal of important marine areas for the coral reefs considering genetic EBSA criteria, northward up of their distribution, and ecosystem services. The 9th Biennial Conference of the International Biogeography Society (Malaga, Spain, Jan. 2018).
 24. 青木美鈴, 仲岡雅裕, 野田隆史, 本村泰三, 田中義幸, 阿部拓三, 太齋彰浩, 青木優和, 鈴木孝男, 早川淳, 金谷弦, 深谷肇一, 多留聖典, 飯島明子, 村田明久, 田中次郎, 白山義久, 山北剛久, 栗原健夫, 坂西芳彦, 島袋寛盛, 浜口昌巳, 堀正和, 吉田吾郎, 木村妙子, 倉島彰, 向井宏, 石田惣, 古賀庸憲, 川井浩史, 村瀬昇, 逸見泰久, 森敬介, 寺田竜太, 山本智子, 岸本和雄, 環境省生物多様性センター (2019) 環境省モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) 10 年のまとめ. 第 66 回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3). (*再掲)
 25. T. Yamakita (2019) Introduction of M-BON, AP-BON, AP-MBON & Marine biodiversity data. Ninth GOOS Regional Alliances Forum Tokyo (Tokyo, Japan, Aug. 2019) (招待講演)
 26. T. Yamakita (2019) Biodiversity observations in Asia-Oceania - Marine. AOGE0 TG2: Asia Pacific Biodiversity Observation Network (APBON) (Cambella, Australia, Nov. 2019) (招待講演)
 27. S. Tahara, K. Sudo, T. Yamakita, M. Nakaoka (2020) Application of deep learning for mapping seagrass beds: is it possible to classify seagrass species from drone images? 67th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Nagoya, Japan, -Cancel)
 28. M. Nakaoka, T. Yamakita, M. J. Costello (2020) Development of Asia-Pacific Marine Biodiversity Observation Network (AP MBON). GEO BON OPEN SCIENCE CONFERENCE & ALL HANDS MEETING 2020 (WEB. July 2020).
 29. 山北 剛久 (2020) 日本の海の生態系サービス分布、将来の評価指標検討に向けて. 第 6 回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ (WEB. 2020.12)
 30. M. Matsuba, Y. Ishikawa, T. Yamakita, Y. Shirayama (2020) Assessing coastal disaster risk combined with socio-demographic factors toward disaster risk reduction under future scenarios in Japan. JpGU - AGU Joint Meeting 2020. (WEB. July 2020)
 31. M. Nakaoka, T. Yamakita, M. J. Costello (2020) Establishing Asia-Pacific Marine Biodiversity Observation Network (AP MBON), World Conference of Marine Biodiversity 2020 (Online, Dec. 2020)
 32. T. Yamakita, M. Hori, Y. Ishikawa, Y. Tanaka, S. Nishikawa, M. Nakaoka, H. Yamano, M. Makino, A. Nanami, Y. Shirayama (2020) Spatial distribution and future of marine ecosystem services in Japan. World Conference of Marine Biodiversity 2020 (Online, Dec. 2020)
 33. 山北剛久, 堀正和, 石川洋一, 仲岡雅裕, 山野博哉, 牧野光琢, 名波敦, 白山義久 (2021) 日本の海洋・沿岸生態系の利用、将来シナリオの検討. 第 68 回日本生態学会大会 (WEB. 2021.3)

【サブテーマ3(2)】

34. M. Nakaoka (2016) Introduction to TSUNAGARI: the need to establish transdisciplinary science toward conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services in Asia, EcoBalance 2016 (Kyoto, Japan, Oct.2016).

35. 仲岡雅裕 (2016) 藻場生態系の生態系サービス評価方法について, 港湾空港技術研究所・沿岸における生態系サービスや海洋健全度に関するセミナー (横須賀, 2016.10).
36. M. Nakaoka, M. Ito, H. Ahn (2016) High pH water in eelgrass bed of Akkeshi-ko estuary, northern Japan: mitigation of ocean acidification by seagrass?, 12th International Seagrass Biology Workshop (Nant Gwrtheym, Wales, UK, Oct. 2016).
37. 仲岡雅裕 (2016) 沿岸域の自然資本・生態系サービスの評価研究に関する展望:S15 と TSUNAGARI の紹介, 第2回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ (愛媛大学, 2016.12).
38. 田村全 (2016) 北海道東部沿岸域における海洋健全度の適用, 第2回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ (愛媛大学, 2016.12).
39. 須藤健二 (2016) Species Distribution Model による海洋生物の生息地推定と将来予測の試み, 第2回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ (愛媛大学, 2016.12).
40. 須藤健二, 内舷芳江, 山北剛久, 山本啓之, 白山義久, 仲岡雅裕 (2017) 東南アジア海域における生物学的生態学的に重要な海域の推定, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3). (*再掲)
41. 仲岡雅裕, 伊藤美菜子, 安孝珍, 阿部博哉 (2017) 生物群集が改変する気候変動影響: アマモ場の海洋酸性化緩和機能に着目して, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3).
42. M. Namba, M. Hashimoto, C. Smith, Z. Tamura, T. Yorisue, K. Momota, M. Ito, M. Nakaoka (2017) Evaluation of the regional variation in ecosystem functions of eelgrass (*Zostera marina*) beds in eastern Hokkaido, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3).
43. 橋本真理菜, 伊藤美菜子, 難波瑞穂, 百田恭輔, 仲岡雅裕 (2017) 厚岸湖におけるアマモ葉上動物群集に対する養殖カキの影響, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3) ポスター発表
44. 伊藤美菜子, 難波瑞穂, 山口遥香, 仲岡雅裕 (2017) Spatial variation in functional structure of intertidal seagrass communities in Eastern Hokkaido, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3) ポスター発表
45. H. Yamaguchi, C. Schuller, M. Mark Lenz, M. Nakaoka (2017) The latitudinal variation in thermal stress tolerance in sea anemone, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017.3) ポスター発表
46. M. Ito, E. Adamczyk, M. O' Connor, M. Nakaoka (2017) Comparisons of seagrass-associated invertebrate communities in native, introduced and mixed seagrass beds at Crescent Beach, BC. Canadian Society for Ecology and Evolution Meeting (Victoria, BC, Canada, 2017.5) ポスター発表
47. 仲岡雅裕, 渡辺健太郎, 須藤健二, 四ツ倉典滋 (2017) 北日本沿岸におけるコンブ類の分布推定と将来予測を通じた重要海域の選定, 日本地球惑星科学連合2017年大会 (千葉, 2017.5) ポスター発表
48. 仲岡雅裕, 伊佐田智則, 安孝珍, 阿部博哉 (2017) 厚岸湖の生態系の構造と変動, Japan Long-term Ecological Research Open Science Meeting 公開シンポジウム「湖沼における長期生態モニタリング」 (島根, 2017.10).
49. H. Ahn, M. Ito, N. Kouchi, K. Watanabe, H. Abe, T. Isada, M. Nakaoka (2017) Spatial variation of phytoplankton and coastal environment in Hamanaka Bay and Biwase Bay, eastern Hokkaido, Japan: Evaluating effects of Kiritappu Wetland, Third Asian Marine Biology Symposium (Kumamoto, Japan, Nov.2017)
50. M. Nakaoka, K. Sudo, T. Yamakita, T. Komatsu, H. Yamano, H. Sugisaki, K. Tadokoro, K. Fujikura, H. Yamamoto, Y. Shirayama (2017) Integrative Observations and Assessments of Asian Marine Biodiversity by J-BON and related activities in Japan, Coastal and Estuarine Research Federation 2017 Biannual Conference (Providence, USA, Nov. 2017)
51. 三浦一輝 (2017) 北海道東部河川における希少淡水二枚貝カワシングガイ類の機能と将来, 第1回道東森里海連環シンポジウム (北海道, 2017.10).
52. M. Nakaoka (2017) Sato-umi in theory and in application, Sato-umi in the Anthropocene, Forum at the Aquarium of the Pacific (Long Beach, USA, Nov. 2017)
53. M. Nakaoka, M. Namba, K. Sudo, H. Ahn, J. Shoji (2017) Evaluation of multiple ecosystem services from seagrass beds in Japan: Synergetic effects or trade-offs of blue carbon services?, SCESAP2017 (Cebu, Philippines, Dec. 2017)
54. 仲岡雅裕, 須藤健二 (2018) 海洋生物多様性の現状と将来予測、保護区選定, 第65回日本生態学会大会 (札幌, 2018.3).
55. 山口遥香, 仲岡雅裕 (2018) Effect of seawater warming on the rocky intertidal surfgrass community, 65th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Sapporo, Japan, Mar. 2018).

56. M. Namba, M. Hashimoto, M. Ito, K. Momota, C. Smith, T. Yorisue, M. Nakaoka (2018) Effects of environmental gradients on the diversity and functional traits of macroinvertebrate communities associated with eelgrass (*Zostera marina*) beds in Eastern Hokkaido, Japan, 65th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Sapporo, Japan, Mar. 2018). ポスター発表
57. 橋本真理菜, 難波瑞穂, 仲岡雅裕 (2018) 厚岸湖における養殖カキに付着する動物群集, 第65回日本生態学会(札幌, 2018.3). ポスター発表
58. 三浦一輝, 石山信雄, 川尻啓太, 渥美圭佑, 立花道草, 根岸淳二郎, 中村太士 (2018) 北海道東部河川における希少淡水二枚貝カワシンジユガイ属2種の非致死的な種同定法と個体群の現状, 第65回日本生態学会(札幌, 2018.3).
59. M. Namba, M. Nakaoka (2018) Spatial variation in different types of primary producers and epifaunal community of eelgrass (*Zostera marina*) beds in eastern Hokkaido, Japan. The 4th World Conference of Marine Biodiversity (Montreal, Canada, May. 2018) ポスター発表
60. 堀正和, 山北剛久, 田中義幸, 仲岡雅裕, 青木美鈴, 井藤大樹 (2018) 環境省モニタリングサイト1000による日本南限アマモ場の分布変遷の調査結果. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会(東京, 2018.9). (*再掲)
61. 田村全, 仲岡雅裕, 藤井賢彦 (2018) 海洋健全度指数を用いた北海道東部沿岸域の環境評価. 日本地球惑星科学連合2018年大会(千葉, 2018.5).
62. T. Yamakita, H. Yokooka, F. Sodeyama, Y. Fujiwara, M. Kawato, S. Tsuchida, S. Ishibashi, T. Kurokawa, D. Lindsay, M. Nakaoka, K. Watanabe, N. Whanpetch, Y. Yara, M. Matsuba, K. Fujikura (2018) Utilization of Deep Learning in mapping of the ocean floor: Extraction of brittle stars by image recognition, seagrass distribution using image to image translation. Japan Geoscience Union Meeting 2018 (Chiba, Japan, May. 2018).
63. M. Nakaoka, K. Sudo (2018) Revising the distribution map of tropical seagrass beds in southeast Asia. World Seagrass Conference 2018 (Singapore, Jun. 2018).
64. T. Yamakita, F. Sodeyama, N. Whanpetch, K. Watanabe, M. Nakaoka (2018) Application of the deep-learning techniques for the extraction of seagrass beds: over 30 years changes of beds at Futtsu in the Tokyo Bay, Japan and Hat Chao Mai National Park, Thailand. World Seagrass Conference 2018 (Singapore, Jun. 2018). ポスター発表 (*再掲)
65. K. Sudo, M. Nakaoka (2018) Broad-scale estimation of distribution and biomass of tropical seagrass beds covering the whole coastlines of Southeast Asia. World Seagrass Conference 2018 (Singapore, Jun. 2018) ポスター発表
66. T. Yamakita, F. Sodeyama, K. Watanabe, N. Whanpetch, M. Nakaoka (2018) Utilization of Deep Learning on land use mapping at the coastal area. International Conference on Spatial Analysis and Modeling (Tokyo, Japan, Sep. 2018).
67. N. Ishiyama, K. Kawajiri, A. Terui, K. Miura, F. Nakamura (2018) Direct and indirect effects of land-river-ocean connection on reproduction success of a large biofilter, freshwater pearl mussel. Global Land Programme (GLP) Asia Conference 2018 (Taipei, Taiwan, Sep, 2018)
68. M. Nakaoka, H. Abe, M. Namba, H. Ahn, T. Inoue, H. Shibata (2018) Predicting changes in coastal ecosystem services in relation to land use change in the watershed of Akkeshi LTER, Japan. ILTER CC and ILTER-EAP Joint Conference (Taichung, Taiwan, Oct. 2018).
69. 阿部博哉, 安孝珍, 伊藤美菜子, 仲岡雅裕 (2018) 物質循環モデルを用いたアマモ場の酸性化緩和機能の検証. 第21回日本水環境学会シンポジウム(松江, 2018.9).
70. 阿部博哉, 難波瑞穂, 仲岡雅裕 (2018) 北海道東部汽水湖において豪雨による淡水流入が低次生態系に与えるリスク評価. 汽水域研究会2018年(第10回)大会(福井県若狭町, 2018.10), ポスター発表
71. M. Nakaoka, H. Yamaguchi (2018) Plant-Animal interactions in warming oceans. The 6th Taiwan-Japan Ecology Workshop (Tainan, Taiwan, Nov. 2018).
72. M. Namba, H. Abe, M. Ito, M. Nakaoka (2018) Seasonal dynamics of primary producers of eelgrass (*Zostera marina*) beds in two lagoons with contrasting environmental gradients and stability. The 6th Taiwan-Japan Ecology Workshop (Tainan, Taiwan, Nov. 2018). ポスター発表
73. M. Ito, M. Nakaoka (2018) Synthesized reviews on seasonal patterns of two intertidal seagrass species, *Zostera japonica* and *Z. noltii*. The 6th Taiwan-Japan Ecology Workshop (Tainan, Taiwan, Nov. 2018). ポスター発表

74. T. Hasegawa, M. Nakaoka (2018) Potential capacity of temperature acclimation of marine grazers from the perspective of their consumption rate. The 6th Taiwan-Japan Ecology Workshop (Tainan, Taiwan, Nov. 2018), ポスター発表
75. 伊藤美菜子 (2018) アマモとコアマモの葉上生物群集の比較. 第4回沿岸生態系の評価・予測に関するワークショップ (函館, 2018.12).
76. 難波瑞穂 (2019) 能取湖におけるアマモ場の動植物群集の季節動態について. 第40回網走市水産科学センターゼミナール (網走, 2019.2).
77. 伊藤美菜子 (2019) 能取湖に生育する2種の海草アマモとコアマモに付随する生物群集. 第40回網走市水産科学センターゼミナール (網走, 2019.2).
78. 阿部博哉, 伊藤美菜子, 仲岡雅裕, 山野博哉 (2019) 汽水域における海洋酸性化の将来予測と二枚貝類への影響評価. 第53回日本水環境学会年会 (甲府, 2019.3).
79. 仲岡雅裕, 山北剛久, 荒木仁志, 山野博哉, 白山義久 (2019) AP-MBONによりアジアの海洋生物多様性の研究を推進する. 第66回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3). (*再掲)
80. M. Ito, M.I. O' Connor, M. Nakaoka (2019) Latitudinal and temperature effects on seasonal patterns of two intertidal seagrass species, *Zostera japonica* and *Z. noltii*. 第66回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3).
81. 青木美鈴, 仲岡雅裕, 野田隆史, 本村泰三, 田中義幸, 阿部拓三, 太齋彰浩, 青木優和, 鈴木孝男, 早川淳, 金谷弦, 深谷肇一, 多留聖典, 飯島明子, 村田明久, 田中次郎, 白山義久, 山北剛久, 栗原健夫, 坂西芳彦, 島袋寛盛, 浜口昌巳, 堀正和, 吉田吾郎, 木村妙子, 倉島彰, 向井宏, 石田惣, 古賀庸憲, 川井浩史, 村瀬昇, 逸見泰久, 森敬介, 寺田竜太, 山本智子, 岸本和雄, 環境省生物多様性センター (2019) 環境省モニタリングサイト1000沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) 10年のまとめ. 第66回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3). (*再掲)
82. M. Namba, H. Abe, M. Ito, M. Nakaoka (2019) Seasonal dynamics of eelgrass (*Zostera marina*) bed communities in two lagoons in Hokkaido with contrasting environmental gradients and stability. 第66回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3). ポスター発表
83. 伊佐田智規, 阿部博哉, 葛西広海, 仲岡雅裕 (2019) 湿原河川由来の有色溶存有機物 (CDOM) が厚岸湖・厚岸湾の光環境へ与える影響. 海洋生物シンポジウム2019 (東京, 2019.3).
84. T.E.A. Quiros, M. Nakaoka, R. Ramilo, M. Soniega, H. Garay (2019) Blue carbon and ecosystem services in mangroves and seagrasses: a comparative case study approach, 9th International Congress for Conservation Biology (ICCB 2019) (Kuala Lumpur, Malaysia, Jul. 2019)
85. M. Nakaoka (2019) Biodiversity and ecosystem service of seagrass beds in East and Southeast Asia: Current status and challenges, International Conference on Climate Change and Natural Disasters in the Asia-Pacific Region (Vladivostok, Russia, Aug. 2019)
86. 仲岡雅裕 (2019) 北海道東部沿岸の海洋生物多様性: 河川を通じた陸域の影響. 令和元 (2019) 年度京都大学防災研究所シンポジウム 「雪氷圏における海岸地すべりの動態と発生機構を探る」 (北海道浜中町, 2019.8)
87. 伊藤美菜子, 難波 瑞穂, 仲岡雅裕 (2019) アマモ場ベントス群集の海草種による変異—北海道東部におけるアマモ・コアマモの比較—. 2019年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 (静岡市, 2019.9), ポスター発表
88. G. Kanaya, K. Kishimoto, Y. Henmi, M. Hamaguchi, T. Koga, T. Kimura, M. Taru, T. Suzuki, M. Nakaoka, M. Aoki M (2019) Spatio-temporal variation of macrozoobenthic biodiversity and community structure in Japanese tidalflats - data from the Monitoring sites 1000 project. 4th Asian Marine Biology Symposium (Taipei, Taiwan, Oct. 2019)
89. 王雪純, 藤井賢彦 (2019) 海洋健全度指数を用いた北海道沿岸における生態系サービスの評価. 海洋生物活性談話会 (札幌, 2019.10).
90. M. Nakaoka, H. Tamaki, D. Muraoka, D. Shimizu, N. Tanaka (2019) Resilience of seagrass beds after the catastrophic tsunami varies among sites and component species, CERF2019 (Mobile, USA, Nov. 2019).
91. 前原せり菜, 須藤健二, 仲岡雅裕, 藤井賢彦 (2019) “熱帯化”が日本沿岸の生物分布に及ぼす影響評価, 日本サンゴ礁学会第22回大会 (札幌, 2019.11). ポスター発表
92. 赤松知音, 高尾信太郎, 藤井賢彦 (2019) 気候変動が日本温帯域のサンゴ礁分布に及ぼす影響予測. 日本サンゴ礁学会第22回大会 (札幌, 2019.11)
93. 中村歩, 伊藤美菜子, 難波瑞穂, 仲岡雅裕, 田中義幸 (2019) アマモの形態から推定されるブルーカーボン貯留機能の変異. 日本生態学会東北地区会第64回大会 (盛岡, 2019.12)

94. M. Namba, M. Nakaoka (2020) The effect of salinity fluctuation on species interactions of eelgrass (*Zostera marina*) bed communities. 67th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Nagoya, Japan, -Cancel)
95. M. Ito, M. Namba, E. Adamczyk, M. I. O' Connor, M. Nakaoka (2020) Does epifauna association with seagrass differ in native and introduced seagrass? : Comparison of two *Zostera* species in Japan and Canada. 67th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Nagoya, Japan, -Cancel)
96. S. Tahara, K. Sudo, T. Yamakita, M. Nakaoka (2020) Application of deep learning for mapping seagrass beds: is it possible to classify seagrass species from drone images? 67th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Nagoya, Japan, -Cancel) ポスター発表(*再掲)
97. 伊藤大雪, 三浦一輝, 市村政樹, 岸田治, 根岸淳二郎 (2020) 絶滅危惧種コガタカワシンジュガイの宿主アメマスへの局所適応に着目した保全策の検討. 第67回日本生態学会大会(名古屋-中止)
98. M. Nakaoka, T. Yamakita, M. J. Costello (2020) Development of Asia-Pacific Marine Biodiversity Observation Network (AP MBON). GEO BON Open Science Conference & All Hands Meeting 2020 (WEB. July 2020). (*再掲)
99. 王雪純, 田村全, 仲岡雅裕, 山北剛久, 藤井賢彦 (2020) 海洋健全度指数を用いた北海道沿岸域の環境評価. 日本地球惑星科学連合2020年大会(オンライン, 2020.7)
100. 芳賀智宏, 前田真里美, 松井孝典, 町村尚, 堀田亘, 井上貴央, 森本淳子, 柴田英昭, 仲岡雅裕, 橋本禪, 齊藤修 (2020) 生物多様性保全と再生可能性エネルギーの導入は両立可能か? -別寒辺牛川流域を対象として-. 日本景観生態学会第30回大会(オンライン, 2020.9)
101. 仲岡雅裕, 柴田英昭, 井上貴央, 芳賀智宏, 松井孝典, 阿部博哉 (2020) 河川を通じた陸域と沿岸域のつながり-北海道東部別寒辺牛川水系のケース. 2020年度水産海洋シンポジウム(オンデマンド配信, 2020.11)
102. 仲岡雅裕 (2020) アマモ場の機能とその保全・再生について. グリーンインフラジャパン2020(オンライン, 2020.11)
103. M. Nakaoka, T. Yamakita, M. J. Costello (2020) Establishing Asia-Pacific Marine Biodiversity Observation Network (AP MBON), World Conference of Marine Biodiversity 2020 (Online, Dec. 2020) (*再掲)
104. T. Yamakita, M. Hori, Y. Ishikawa, Y. Tanaka, S. Nishikawa, M. Nakaoka, H. Yamano, M. Makino, A. Nanami, Y. Shirayama (2020) Spatial distribution and future of marine ecosystem services in Japan. World Conference of Marine Biodiversity 2020 (Online, Dec. 2020) (*再掲)
105. M. Nakaoka, A. Quiros, K. Sudo (2020) Current distribution of seagrass beds in Southeast Asia, World Conference of Marine Biodiversity 2020 (Online, Dec. 2020)
106. 山北剛久, 堀正和, 石川洋一, 仲岡雅裕, 山野博哉, 牧野光琢, 名波敦, 白山義久 (2021) 日本の海洋・沿岸生態系の利用、将来シナリオの検討. 第68回日本生態学会大会(WEB, 2021.3) (*再掲)
107. 難波瑞穂, 阿部博哉, 伊藤美菜子, 仲岡雅裕 (2021) 季節・環境・生物間相互作用の各要因がアマモ場無脊椎動物の時空間動態に与える影響. 第68回日本生態学会大会(WEB. 2021.3), ポスター発表
108. 関岡寛知, 宮下和士, 仲岡雅裕 (2021) 海洋ベントス群集構造の類型化の試み -北海道東部厚岸湾のヨコエビ群集を事例として-. 第68回日本生態学会大会(WEB. 2021.3), ポスター発表
109. S. Tahara, M. Ito, M. Nakaoka (2021) Spatio-temporal analysis on seagrass bed dynamics using UAVs and ground surveys. 第68回日本生態学会大会(WEB. 2021.3), ポスター発表
110. S. Nakamura, M. Nakaoka, H. Shibata (2021) The response of nitrous oxide emissions from coastal soils to saltwater intrusion and nitrogen addition. 第68回日本生態学会大会(WEB. 2021.3), ポスター発表
111. M. Nakaoka, A. Quiros, K. Sudo (2021) Recent distribution, temporal change and conservation status of tropical seagrass beds in Southeast Asia. 第68回日本生態学会大会(WEB. 2021.3), ポスター発表

【サブテーマ3(3)】

112. T. Yamakita, N. Yasuda, M. Tsujino, N. Kumagai, H. Yamano (2016) Gap between future distribution of corals and marine use / Spatial planning around Japanese archipelago, 13th international Coral Reef Symposium 2016 (Honolulu, Hawaii, Jun. 2016). (*再掲)

113. H. Yamano (2016) Marginal coral reefs and coral communities in Japan, 13th International Coral Reef Symposium (Honolulu, Hawaii, Jun. 2016).
114. 庄子康, 久保雄広 (2016) アンケート調査の設計とデザイン, 環境経済・政策学会 2016 年大会 (東京, 2016. 9).
115. 久保雄広 (2016) 海洋生態系サービスに対する市民認識の多様性, 第 17 回東京湾シンポジウム～沿岸域の生態系サービスの定量化～ (横浜, 2016. 10).
116. 矢部徹, 玉置雅紀, 有田康一, 中村方哉, 中嶋信美, 石井裕一 (2016) 侵入生物は干潟の生態系サービスにどのような影響を及ぼしたのか?, 第 17 回東京湾シンポジウム～沿岸域の生態系サービスの定量化～ (横浜, 2016. 10).
117. 矢部徹, 中村方哉, 有田康一, 玉置雅紀, 石井裕一, 芝原達也 (2016) 侵入アオサ類によるグリーンタイドが谷津干潟の生態系に及ぼす影響, ラムサールシンポジウム 2016 in 中海・宍道湖 (鳥取, 2016. 8).
118. 山北剛久, 安田仁奈, 山野博哉 (2017) 自然資本分布の将来予測とマリンレジャー利用の変遷: サンゴ礁を例に, 第 64 回日本生態学会大会 (東京, 2017. 3). (*再掲)
119. 久保雄広, 山野博哉, 柘植隆宏, 三ツ井聡美, 豆野皓太, 栗山浩一 (2017) 地域住民の認識から見る奄美群島の価値, 第 128 回日本森林学会大会 (鹿児島, 2017. 3).
120. 久保雄広, 曾我昌史, 山野博哉 (2017) 自然体験の頻度を決めるのは何か? 周辺環境, 自然への関心, 幼少期の体験を考慮に入れた実証分析, 第 64 回日本生態学会大会 (東京, 2017. 3).
121. 矢部徹, 石井裕一, 国分秀樹, 宮崎一, 中村方哉, 加藤あづさ, 有田康一 (2017) アオサ類によるグリーンタイド発生中の谷津干潟における炭素貯留量の推定, 第 51 回日本水環境学会年会 (熊本, 2017. 3).
122. 山野博哉 (2017) 環境変化とサンゴ礁: 保全地域活動への道筋, 沖縄県サンゴ礁保全再生事業成果発表シンポジウム (沖縄, 2017. 3).
123. 山野博哉 (2017) 造礁サンゴの多様性の時空間的変動の評価・予測と適応計画, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (千葉, 2017. 5).
124. 山野博哉 (2017) 生物多様性と環境経済を考慮した琉球列島の赤土流出防止対策, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会 (千葉, 2017. 5). (招待講演)
125. 山野博哉 (2017) 世界におけるサンゴ礁生態系の動向と今後の予測について, サンゴ大規模白化緊急対策会議 (沖縄科学技術大学院大学, 2017. 4).
126. 熊谷直喜, 有田 康一, 矢部 徹, 山野 博哉 (2017) 国内温帯域の大型褐藻における種構成・現存量の将来予測. 日本藻類学会 第 42 回大会, (仙台, 2018. 3)
127. 熊谷直喜, 山野博哉, サンゴマップ実行委員会 (2017) 市民調査データを用いた温暖化影響の解析: サンゴの白化リスク評価. 第 64 回日本生態学会大会 (東京, 2017. 3),
128. N. H. Kumagai, H. Yamano, C. Sango-Map-Project (2018) High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management. 4th Asia-Pacific Coral Reef Symposium (Cebu, Philippines, Jun. 2018).
129. 熊谷直喜, Jorge García Molinos, 山野博哉, 高尾信太郎, 藤井賢彦, 山中康裕 (2018) 気候変動に伴う植食者・海藻・サンゴ間の相互作用変化が群集シフトをもたらす. 個体群生態学会第 34 回大会 (企画シンポ「生物群集データと生物間相互作用網」) (東京, 2018. 10).
130. N. H. Kumagai, J. García Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2018) Dominance shift from macroalgae to corals across coastal communities: roles of climate change, ocean currents and herbivory. International-symposium in JAMSTEC: Spatiotemporal dynamics of aquatic organisms in a changing world (Yokohama).
131. 熊谷直喜 (2018) 熱帯～温帯のサンゴ・藻場群集の気候変動影響. 大気海洋研究会の共同利用研究集会: 海洋生態系シンポジウム 2018 (柏, 2018. 11).
132. 熊谷直喜, 山野博哉 (2018) 地域・年による閾値の違いを考慮したサンゴ白化の推定. 日本サンゴ礁学会第 21 回大会 (沖縄, 2018. 11).
133. 山野博哉 (2018) サンゴ礁における気候変動適応策と沿岸域総合管理. 日本沿岸域学会シンポジウム (横浜, 2018. 7).
134. 熊谷直喜 (2018) 気候変動下の生物分布変化を推定する Climate velocity trajectory モデルとその適用例. 京大大学生態学研究センター共同利用研究集会: 生物移動およびそれに伴う生態現象とその研究手法の整理 (京都, 2018. 11).
135. 仲岡雅裕, 山北剛久, 荒木仁志, 山野博哉, 白山義久 (2019) AP-MBON によりアジアの海洋生物多様性の研究を推進する. 第 66 回日本生態学会大会 (神戸, 2019. 3). (*再掲)

136. N. H. Kumagai, J. García Molinos, H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2019) Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming. 12th International Temperate Reef Symposium (Hong Kong, Jan. 2019).
137. 熊谷直喜 (2019) 温暖化に対する分布変化速度の違いが藻場・サンゴ群集シフトをもたらす. 第66回日本生態学会大会: フォーラム「地球温暖化の生態系への影響に関する広域的研究のこれから」(神戸, 2019. 3).
138. 熊谷直喜・山野博哉 (2019) 温暖化影響に対するサンゴの適応: 過去の高温ストレス経験によるサンゴ白化の緩和. 第66回日本生態学会大会 (神戸, 2019. 3).
139. T. Yamakita, N. Yasuda, A. Shimura, A. Nakabayashi, T. Nakamura, H. Aizawa, Y. Kitano, A. Iguchi, S. Nagai, S. Agostini, K. Teshima, H. Yamano (2019) Proposal of important marine areas for the coral reefs considering genetic EBSA criteria, northward up of their distribution, and ecosystem services. The 9th Biennial Conference of the International Biogeography Society (Malaga, Spain, Jan. 2018). (*再掲)
140. N. H. Kumagai (2019) Trends in ocean and coastal ecosystems and their services and its future, PICES 2019 Annual Meeting (Victoria, Canada, 2019.10) (Invited Keynote Speaker)
141. 阿部博哉, 熊谷直喜, 山野博哉 (2019) 慶良間諸島国立公園におけるサンゴの保全適地の推定と適応策の検討. 日本沿岸域学会研究討論会 2019 (大阪, 2019. 7)
142. 北野裕子, 阿部博哉, 熊谷直喜, 山野博哉 (2019) 奄美群島のサンゴ礁生態系の気候変動影響評価と適応策の検討. 喜界島サンゴ礁科学シンポジウム
143. 熊谷直喜, Garcia Molinos Jorge, 山野博哉, 高尾信太郎, 藤井賢彦, 山中康裕 (2019) Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming. Japan Geoscience Union Meeting 2019 (Chiba, Japan, May. 2019)
144. N. Kumagai, Garcia Molinos J., H. Yamano, S. Takao, M. Fujii, Y. Yamanaka (2019) Community shifts from macroalgae to corals under climate warming: Underlying processes and adaptation strategies. PICES-2019 Annual Meeting (Victoria, BC, Canada, Oct. 2019)
145. 熊谷直喜, 山野博哉, 井口亮 (2019) 衛星データを用いたサンゴ白化と栄養負荷の広域解析. 日本サンゴ礁学会第22回大会 (札幌, 2019. 11)
146. 山野博哉 (2019) 日本全国みんなで作るサンゴマップ. 日本工学アカデミー第1回将来の海洋観測手法の在り方WG (国内)
147. 山野博哉 (2019) 生態系ネットワークにおけるさまざまな課題-情報共有と連携に向けて-. 第1回環境研究機関連絡会研究交流セミナー (つくば, 2019. 12)
148. 山野博哉 (2019) 気候変動と海の生物~サンゴ礁の急激な変化~. 霞ヶ浦環境科学センター公開セミナー「変化する水環境と生態系」(土浦)
149. 阿部博哉, 山野博哉 (2020) 沖縄県久米島における物理化学環境からみたサンゴの養殖適地の評価. 第54回日本水環境学会年会 (2019年度) (盛岡-中止), 第54回日本水環境学会年会講演プログラム・広告集, 405
150. 鈴木はるか, 阿部博哉, 熊谷直喜, 山野博哉 (2020) 沖縄本島における藻場の分布と環境要因との関係. 日本藻類学会第44回大会 (鹿児島-中止), 藻類, 68(1), 43
151. 山野博哉 (2020) サンゴ礁域における気候変動対応で解決すべき課題. 沿岸環境関連学会連絡協議会 第36回ジョイントシンポジウム (東京, 2020. 1), 同予稿集, 22

【サブテーマ3(4)】

152. A. Nanami, T. Sato, Y. Kawabata, J. Okuyama (2016) Spawning aggregation of white-streaked grouper *Epinephelus onus*: Spatial distribution, annual variation and sex-specific arrival timing, 13th International Coral Reef Symposium 2016 (Honolulu, Hawaii, Jun. 2016).
153. 堀正和, 桑江朝比呂 (2017) 沿岸浅海域のブルーカーボン推定—大気から海底貯留までのプロセス評価—, 第64回日本生態学会大会 (東京, 2017. 3).
154. 堀正和 (2017) 藻場と生態系サービス, 日本応用藻類学会第16回大会 企画シンポジウム「岡村金太郎先生生誕150周年記念・新たな藻場像の構築と海藻資源の持続的な利用」(東京, 2017. 5). (招待講演)
155. M. Hori, M. Sato, M. Hamaguchi (2017) Seagrass-oyster farmers interaction detected by eelgrass DNA analysis in Hinase area of the Seto Inland Sea, Coast 2017 symposium co-organized by the Japanese-French oceanographic society: Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors, (Bordeaux, France, Nov. 2017)

156. M. Hori, F. Lagarde (2017) Dynamics of shellfish-exploited ecosystem under oligotrophication, Coast 2017 symposium co-organized by the Japanese-French oceanographic society: Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors, (Bordeaux, France, Nov. 2017)
157. M. Sato, A. Nanami, M. Hori (2017) valuations of ecosystem service and identification of conservation activities protecting those services in the Sekisei lagoon, southwest Japan. Coast 2017 symposium co-organized by the Japanese-french oceanographic society: Systemic and Biodiversity Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Climate Change, Natural and Anthropogenic Local Factors, (Bordeaux, France, Nov. 2017)
158. M. Hori, F. Lagarde, V. Derolez, M. Richard, M. Hamaguchi, J. Hori, M. Makino (2018) Coastal management using oyster-seagrass interaction for sustainable aquaculture, fisheries and environment. 110th annual meeting of National Shellfisheries Association, (Seattle, USA, Mar. 2018).
159. 堀正和, 山北剛久, 田中義幸, 仲岡雅裕, 青木美鈴, 井藤大樹 (2018) 環境省モニタリングサイト 1000 による日本南限アマモ場の分布変遷の調査結果. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会 (東京, 2018.9). (*再掲)
160. M. Makino, M. Hori, J. Hourie, A. Nanami, Y. Tojo, H. Tajima (2018) Understanding the integrated policy for harmonizing the marine ecosystem conservation and sustainable uses: a case of Sekisei Lagoon, Japan. OTO' 18 Kobe (Kobe, Japan, May. 2018).
161. 堀正和 (2018) アマモ場を含めた藻場の機能と役割. 第 35 回沿岸環境関連学会連絡協議会シンポジウム (大阪, 2018.11) (招待講演) .
162. A. Sugimoto (2018) Environment and culture in an island community: Some insights for re-building the framework of cultural ecosystem service. PICES 2018 Annual Meeting (Yokohama, Japan, Oct. 2018).
163. 名波敦 (2018) サンゴ礁に生息するアイゴ科 4 種の空間分布・摂餌生態・行動特性. 2018 年度日本魚類学会年会 (東京, 2018.10).
164. M. Sato, A. Nanami, C. J. Bayne, M. Makino, M. Hori (2019) Changes in the values of coral reef ecosystem services following coral bleaching in Sekisei Lagoon, southern Japan. 66th Annual Meeting of Ecological Society of Japan (Kobe, Japan, Mar. 2019).
165. 青木美鈴, 仲岡雅裕, 野田隆史, 本村泰三, 田中義幸, 阿部拓三, 太齋彰浩, 青木優和, 鈴木孝男, 早川淳, 金谷弦, 深谷肇一, 多留聖典, 飯島明子, 村田明久, 田中次郎, 白山義久, 山北剛久, 栗原健夫, 坂西芳彦, 島袋寛盛, 浜口昌巳, 堀正和, 吉田吾郎, 木村妙子, 倉島彰, 向井宏, 石田惣, 古賀庸憲, 川井浩史, 村瀬昇, 逸見泰久, 森敬介, 寺田竜太, 山本智子, 岸本和雄, 環境省生物多様性センター (2019) 環境省モニタリングサイト 1000 沿岸域調査 (磯・干潟・アマモ場・藻場) 10 年のまとめ. 第 66 回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3). (*再掲)
166. A. Nanami (2019) Species-specific spatial distribution of butterfly fishes (family Cheatedontidae) in an Okinawan coral reef. Society for Coastal Ecosystems Studies - Asia Pacific Biodiversity Symposium. (Bogor, Indonesia, Aug. 2019).
167. A. Sugimoto (2019) Participatory scenario building to conserve Cultural Ecosystem Services: The possibilities and challenges from a case study in Japan. PICES 2019 Annual Meeting (Victoria, BC, Canada, Oct. 2019)
168. 佐藤允昭, 名波敦, 牧野光琢, 堀正和, 2020 年日本プランクトン学会・ベントス学会合同大会 (2020) 気候変動による潜在的生態系サービスの変化予測

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【サブテーマ3(1)】

- 沿岸における生態系サービスや海洋健全度に関するセミナー(2016年10月14日, (国研)港湾空港技術研究所 IF 大会議室, 観客 60 名).
- 山北剛久 (2016) 干潟・砂浜・サンゴ礁, 多様な沿岸景観ごとの文化的サービスの分布とその変動, 第 17 回東京湾シンポジウム～沿岸域の生態系サービスの定量化～ (2017年10月東京湾シンポジウム 横浜港大さん橋国際客船ターミナル大さん橋ホール, 観客約 150 名; *口頭発表にも記載)
- 山北剛久 (2016) IPBES とそこで活用される生物多様性情報: 沿岸・海洋を中心に, GBIF ワークショップ 21 世紀の生物多様性研究 (2016年12月国立科学博物館, 観客約 100 名 *口頭発表にも記載).

4. 山北剛久 (2020) 生態学に関連した気候変動研究の数と事例. 第36回沿岸環境関連学会連絡協議会ジョイントシンポジウム (主催: 土木学会海岸工学委員会 2020年1月11日、海洋大学、観客約150名)

【サブテーマ3(2)】

5. 環境問題学習会「地球温暖化が海洋生物に与える影響」(2017年2月18日, 厚岸町立真龍小学校, 観客35名).
6. 環境講演会「道東地域の自然と生態系の将来を考える」(2017年8月10日, 厚岸町厚岸情報館, 観客50名).
7. 仲岡雅裕 (2020) 海洋沿岸域湿地(藻場)の生物多様性と生態系サービス, 北海道湿地フォーラム2020～シッチスイッチ～, 札幌市民交流プラザ、札幌市, 観客100名, 2020年10月24日
8. 藤井賢彦 (2020) 掛け!ばくらの「海の未来予想図」, 第114回サイエンス・カフェ札幌, オンライン, 2020年10月25日
9. 三浦一輝 (2020) 氾濫原依存淡水魚種の現状ほか, 応用生態工学会テキスト勉強会, 河道内氾濫原の保全と再生, 2020年12月、札幌市, 札幌教育文化会館, 2020年12月10日

【サブテーマ3(3)】

10. シンポジウム「サンゴの大規模白化の影響と私たちができること」(2017年3月5日, TKP 東京駅前会議室 カンファレンスルーム1, 観客60名).
11. 山野博哉 (2017) 世界におけるサンゴ礁生態系の動向と今後の予測について. サンゴ大規模白化緊急対策会議. 沖縄科学技術大学院大学, 2017年4月23日 (口頭発表にも記載)
12. 熊谷直喜 (2017) 温暖化にともない藻場・サンゴ礁の生物多様性はどうか. 第18回東京湾シンポジウム, 横浜港大さん橋国際客船ターミナル大さん橋ホール, 2017年10月20日、観客約150名)
13. 山野博哉 (2019) コズミックフロント☆NEXT～宇宙から診断! 地球の健康～公開収録(サンゴ礁の健康診断)(NHK, 2019年12月7日, 日本科学未来館).

【サブテーマ3(4)】

14. 堀 正和 (2017) 瀬戸内海の藻場とブルーカーボンについて. 第39回海洋教育フォーラム 優しい海洋講座、日本船舶海洋工学会主催、広島、2017年12月8日
15. 堀 正和 (2017) 豊かな海を目指した内湾管理について. 平成29年度千葉県漁業操業安全対策協議会、千葉.
16. ブルーカーボンセミナー: 浅海によるCO₂吸収・炭素貯留の科学・施策・実践(2017年7月18日(東京), 2017年8月22日(神戸)).
17. 瀬戸内海における持続可能な開発目標に向けた里水と里海の連携: 藻場・干潟と流域圏との関係. 第27回瀬戸内海研究フォーラム (広島市, 2020.9.6)
18. 杉本あおい: “母なる海”の価値を可視化する: 住民参加型海洋生態系サービス評価研究の紹介、JAMSTEC 第17回地球環境シリーズ講演会(2020.10.28)

(4) マスコミ等への公表・報道等

【サブテーマ3(1)】

特に記載するものは無し。

【サブテーマ3(2)】

1. 仲岡雅裕 (2017) 環境を生かした将来 どう描く 厚岸で講演会 研究者ら情報交換, 北海道新聞 (2017年8月11日, 釧路根室版)
2. プレスリリース (2019年10月29日, 「地球温暖化により北日本のコンブが著しく減少する可能性を予測」, <https://www.hokudai.ac.jp/news/2019/10/post-582.html>, 10月31日一部修正).
3. 電気新聞 (2019年10月30日, 「地球温暖化により北日本のコンブが著しく減少する可能性を予測」).
4. 釧路新聞 (2019年10月31日, 「コンブ分布4分の1に減 温暖化で2090年代 6種類が消失」).
5. 財経新聞 (2019年10月31日, 「温暖化で日本近海のコンブが激減するとの予測」, <https://news.livedoor.com/article/detail/17315092/>).

6. 読売新聞 (2019年11月1日, 「温暖化 コンブ激減へ 2090年代予測 11種の分布域」, 北海道総合版).
7. 北海道新聞 (2019年11月4日, 「コンブ4種 2090年代消失危機 温暖化で海水温上昇 狭まる分布」).
8. テレビ朝日スーパーJチャンネル (2019年11月5日, 「コンブ」, https://news.tv-asahi.co.jp/news_society/articles/000168451.html, 2019/12/5 リンク切れ).
9. 札幌テレビ放送どさんこワイド (2019年11月15日, 11月21日関東の同系ローカル局でも報道).
10. 北海道テレビ放送イチオシ (2019年11月18日, 「不漁の理由は…コンブ将来とれなくなる?」, https://www.htb.co.jp/news/archives_6043.html).
11. 毎日放送 News ミント (2019年11月20日, <https://www.mbs.jp/mint/news/2019/11/20/073375.shtml>).
12. 毎日新聞 (2019年11月20日, 「コンブ消失の危機 温暖化で4度上昇すると 北日本生育の11種」).
13. 毎日小学生新聞 (2019年11月20日, 「温暖化でコンブ激減の恐れ」).
14. 産経新聞 (電子版) (2019年11月23日, 「日本のコンブ、今世紀末に消失か 温暖化で食文化に機」).
15. 朝日小学生新聞 (2019年12月3日, 「コンブ 温暖化でピンチ? 海水温上昇で消滅のおそれ」).
16. HBC テレビ今日ドキッ! (2019年11月29日).
17. NHK お昼のニュース (2019年12月14日, 「温暖化進むとコンブ消失のおそれ」, 北海道内ニュース).
18. 月刊誌「グリーンパワー」 2020年2月号 (2020年2月1日発売, 「温暖化と日本の海/天然コンブが消える?」) 森林文化協会発行
19. 東奥日報社 (2020年3月18日, 「温暖化、近海コンブ消滅も」)
20. 日本経済新聞 (2020年3月19日, 「温暖化で近海コンブ消滅も 2090年代、主要な11種」)
21. 河北新報社 (2020年3月19日, 「温暖化、近海コンブ消滅も」)
22. 室蘭民報 (2020年3月19日, 「近海コンブ消滅の恐れ」)
23. 福井新聞 (2020年3月19日, 「温暖化、近海コンブ消滅も 2090年代、主要な11種 食文化や生態系に影響懸念」)
24. 山陽新聞 (2020年03月19日, 「温暖化、近海コンブ消滅も 2090年代、主要な11種 食文化や生態系に影響懸念」)
25. 沖縄タイムス (2020年3月20日, 「近海コンブ消滅恐れ」)
26. 西日本新聞 (2020年3月21日, 「近海コンブ消滅の危機」)
27. 京都新聞 (2020年3月25日夕刊, 「ぜんぶ消える?おんだん化でこまったぞ」)
28. 中部経済新聞 (2020年4月1日, 「温暖化、近海コンブ消滅も 2090年代 主要な11種 食文化や生態系に影響懸念 依存するウニなど減少も」)
29. FMヨコハマ (2021年6月1日~13日, 「E-ne! 守ろう! 私たちの綺麗な海」 アマモ場の生態系サービスの解説, <https://kanagawa-mamorou.uminohi.jp/>)
30. 北海道市町村振興協会 市町村政策情報誌「プラクティス」 (2021年9月号) 「タイトル未定」

【サブテーマ3(3)】

31. 山野博哉 (2016) サンゴの現状や白化の原因について解説, NHK 総合ニュースウォッチ9 (2016年8月25日).
32. 山野博哉 (2016) サンゴ広がる白化 98年以来の被害懸念, 朝日新聞 (2016年8月29日, 全国版夕刊).
33. 山野博哉 (2016) 沖縄「石西礁湖」海水温の上昇でサンゴ礁9割白化, 読売新聞 (2016年9月1日, 全国版).
34. 山野博哉 (2016) サンゴの現状や白化の原因について解説, NHK WORLD (国際放送) NEWS ROOM TOKYO (2016年9月8日, ニュースウォッチ9再放送).
35. 山野博哉 (2017) 熱くなる海サンゴが悲鳴ー迫る地球温暖化ー 海の森”消滅危機 グレートバリアリーフ 鮮やかな楽園廃墟に 温暖化で頻発懸念 (2017年1月1日, 共同通信).
36. 山野博哉 (2017) THE PAGE 国内最大のサンゴ礁で白化現象 「将来サンゴが消える可能性も」と専門家, (2017年1月13日, 地球温暖化とサンゴの白化現象について 解説 <https://thepage.jp/detail/20170112-00000007-worldleaf>)
37. プレスリリース (2018年8月20日, 「生態系の“熱帯化”: 温帯で海藻藻場からサンゴ群集への置き換わりが進行するメカニズムを世界で初めて解明ー気候変動、海流輸送、海藻食害による説明ー」, <http://www.nies.go.jp/whatsnew/20180820/20180820.html>).
38. 日刊工業新聞 (2018年8月23日, 「海の生態系変化 仕組み解明」).
39. 朝日新聞夕刊 (2018年8月24日, 「サンゴ北上、房総に到達 温暖化影響「食卓変わるかも」」).
40. 朝日新聞デジタル (2018年8月26日, 「南方系サンゴ、九州から関東へ 水温上昇で房総半島まで」).

41. 日経産業新聞 (2018 年 8 月 29 日, 「海水温上昇でサンゴ北上 食害起こす魚類が影響」).
42. 科学新聞 (2018 年 8 月 31 日, 「海藻からサンゴへ置換の詳細を解明」).
43. 朝日新聞 (2018 年 12 月 23 日, 「天然記念物の生きたサンゴが激減 7 割死滅、調査で判明」).
44. プレスリリース (2019 年 10 月 28 日, 「携帯電話ビッグデータからわかる自然の価値-気候変動で全国の砂浜価値が変わる!?-」, <http://www.nies.go.jp/whatsnew/20191028/20191028.html>).
45. 山野博哉 (2020) コズミックフロント☆NEXT~宇宙から診断! 地球の健康~ (サンゴ礁の健康診断) (NHK, 2020 年 1 月 9 日放映).

【サブテーマ3(4)】

46. 名波敦 (2019) サンゴの白化が魚類へ及ぼす影響について解説. NHK 総合 ニュース おはよう日本(2019 年 10 月 29 日).
47. 石垣経済新聞、Yahoo ニュース全国版(2021 年 3 月 16 日) 「地域目線の「海の価値」研究した動画公開 「海獣の子供」作者らと共同制作」

(5) 本研究費の研究成果による受賞

1. 第 65 回日本生態学会英語口頭発表賞 / 山口遥香 (2018) Effect of seawater warming on the rocky intertidal surfgrass community. 第 65 回日本生態学会大会 (札幌, 2018.3).
2. BEST PRESENTATION AWARD / A. Sugimoto (2018) Environment and culture in an island community: Some insights for re-building the framework of cultural ecosystem service. PICES 2018 Annual Meeting (Yokohama, Japan, Oct. 2018).
3. 第 66 回日本生態学会大会英語口頭発表最優秀賞 / 松葉史紗子 (2019) Marine and coastal cultural ecosystem services: Current status and future prospect in Japan. 第 66 回日本生態学会大会 (神戸, 2019.3).
4. 日本ベントス学会学生優秀発表賞 (ポスター発表) / 伊藤美菜子 (2019) アマモ場ベントス群集の海草種による変異-北海道東部におけるアマモ・コアマモの比較-, 2019 年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 (静岡, 2019.9)
5. BEST PRESENTATION AWARD of Science Board Symposium / A. Sugimoto (2019) Participatory scenario building to conserve Cultural Ecosystem Services: The possibilities and challenges from a case study in Japan. PICES 2019 Annual Meeting (Victoria, BC, Canada, Oct. 2019).

IV. 英文Abstract

Predicting and assessing the natural values of marine ecosystems from natural capital and ecosystem services

Principal Investigator: Yoshihisa SHIRAYAMA

Institution: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2-15, Natsushima-cho, Yokosuka-city, Kanagawa, JAPAN

Tel:+81-45-778-3811

E-mail: yshira@jamstec.go.jp

Cooperated by: Hokkaido University, National Institute for Environmental Studies, Japan
Fisheries Research and Education Agency

[Abstract]

Key Words: Coastal, Marine, Biodiversity, Mapping, Future Scenario, Nature's contributions to people; NCP, Ecosystem Service, Climate Change

We examined the status of marine ecosystem services, including the spatial distribution of major services, synergies and trade-offs, and integrated indicators, which consider temporal changes using ocean health index (OHI). Subsequently, the results highlighted the importance of considering regional characteristics. We constructed future socio-economic marine scenarios and future projections of ecosystem services through scenario analysis. Further, we examined the effect of variations in population, land use, water quality, and demand among scenarios on fisheries, aquaculture, food demand, disaster impact, and carbon fixation. Consequently, dispersed population exhibited a relatively low impact, thus, encouraging such a population distribution by considering regional characteristics. In addition to the above scenario, we prepared high-resolution downscaling data of the marine environment using models that considered the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) scenario and examined the relationship between distribution of future environmental changes, and present and future projections of the ecosystem services. Moreover, the effects of temperature change and ocean acidification on the distribution of kelp beds in northern Japan and seaweed beds and coral reefs in southern Japan were assessed. Additionally, the effects of sea-level change on the recreational value of sandy beaches were examined. Consequently, regional differences in the magnitude of the impacts were identified, suggesting the necessity to consider the interaction of climate changes and ecosystem services; additionally, the results indicated that the magnitude of the changes was not always proportional to the absolute value of climate change. Since the valuation of the ecosystem services was the main focus of Theme 4, willingness to pay for moderate impacts of climate change on coastal ecosystems and high impacts on kelp beds and coral reefs were investigated. Moreover, we provided data for evaluating the present and future monetary values of seagrass and seaweed beds. A predictive assessment of the ecosystem services considering terrestrial and marine impacts in the regional study sites based on different scenarios was conducted in East Hokkaido. Scenario-based assessment and consideration of intervention alternatives was conducted in Sekisei Lagoon in Okinawa as an example. Therefore, these studies provided baseline data for collaborative conservation of the marine environment through stakeholder analysis.