

【S-13】持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発

(2014～2018 673,775千円)

研究代表者 柳 哲雄 (公益財団法人国際エメックスセンター)

1. 研究実施体制

- (1) 閉鎖性海域・瀬戸内海における栄養塩濃度管理法の開発 (広島大学)
- (2) 開放性内湾が連なる三陸沿岸海域における沿岸環境管理法の開発 (横浜商科大学)
- (3) 陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域 日本海の海域管理法の開発
(公財)環日本海環境協力センター)
- (4) 沿岸海域の生態系サービスの経済評価・統合沿岸管理モデルの提示 (立命館大学)
- (5) 沿岸海域管理のための統合数値モデル構築 ((公財)国際エメックスセンター)

2. 研究開発目的

「きれいで、豊かで、賑わいのある、持続可能な沿岸海域 (=里海)」を創生するために必要な沿岸海域管理手法を開発し、どのような手順で、この管理方法を現場海域に適用すれば良いかを提案する。

3. 本研究により得られた主な成果

「きれいで、豊かで、賑わいのある、持続可能な沿岸海域」を実現するために、南三陸町志津川湾で、我々S-13 研究者・漁民・南三陸町役場関係者・地元 NPO、が一緒になって、協議会を形成し沿岸海域管理方策に関して、繰り返し議論を行い、志津川湾における最適養殖法を考案し、持続可能な志津川湾創生のための協働設計を行った。

(1) 【S-13-1】閉鎖性海域・瀬戸内海における栄養塩濃度管理法の開発 (広島大学)

- 1 これまで実測に頼っていた基礎生産、二次生産の推定をクロロフィル-a 濃度、透明度、水温、栄養塩濃度等一般的に行われている水質モニタリングデータから推定する手法を開発したことは、水質モニタリングデータの蓄積がある海域では過去に遡って生物生産を推定できることになり、今後の海域における生物生産の研究の発展に大きく貢献する。
- 2 透明度は、1900 年以前から測定されている海域における基本的な生物環境の指標であるが、あくまで現状の光環境を表しているに過ぎない。富栄養化の進展やその改善によってもたらされる植物プランクトン濃度の変化によって変わる透明度を地域固有透明度という植物プランクトン以外の因子によって決定される透明度を決定する手法を開発したことによって、今後の透明度の変化を植物プランクトンを変数として予測できることになり、数値シミュレーションの活用などを通じて、海洋学の発展に大きく貢献する。
- 3 イカナゴの底質選好についてはこれまで粒径分布で表現されていたが、本研究ではせん断強度で表される潜りやすさがイカナゴの底質選好を決定しているという新しい科学的知見が得られた。
- 4 イカナゴが潜砂することで低温度かつ安定した温度環境で夏季を乗り切ることができることが示され、イカナゴが高水温期を砂中で夏眠する意義の一端を初めて明らかにした。
- 5 瀬戸内海のイカナゴは遺伝的集団としては単一の集団に属し、瀬戸内海の東西の海域間である程度の個体が入り出し維持されていることが示された。
- 6 アマモの物質循環機能として栄養塩吸収に関してはこれまでも知見があったが、降雨等による一時的な栄養塩濃度の上昇に対して、草体内の栄養塩濃度を高めて吸収する現象は報告されておらず、栄養塩濃度が低い海域に生息するアマモの生存戦略の一端を発見できた。

(2) 【S-13-2】 開放性内湾が連なる三陸沿岸海域における沿岸環境管理法の開発 (横浜商科大学)

- 2-1 ウニを除去することで藻場が回復することを実証。
- 2-2 震災前の養殖筏密度が高い場合には、カキは出荷サイズに成長させるためには2-3年必要であったが、震災後養殖筏密度を低くした震災後では、カキは1年程度で出荷サイズに達し、その成長は、カキ養殖筏密度が低いほど成長が速い。高い年齢のカキを2-3年と長期間養殖する場合には、カキの糞中の有機物の占める割合は高くなり、海底に沈降した糞(疑糞を含む)の分解には、より多くの酸素が消費され、海底の貧酸素かを招く。低密度の養殖筏で、カキを速く成長させ、1-1.5年で出荷できるようにすると、湾内におけるカキ筏直下付近の底質環境を健全に維持が可能。

(3) 【S-13-3】 陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域 日本海の海域管理法の開発 ((公財)環日本海環境協力センター)

- 3-1 日本海三階層管理の提案
地球規模、地域規模の環境変化に適応した、日本海沿岸域順応的管理の実施
- 3-2 東シナ海-日本海国際共同監視網の構築の提案
地球温暖化、東シナ海からの影響を監視するための国際共同監視網の早期構築
- 3-3 生物多様性保全策の提案
環境変動に対応した動的海洋保護区の活用による保護の効率化
日本海の生態系保全の観点からの東シナ海共同管理の実行
- 3-4 富山湾陸海統合管理の提案
地下水を加えた新たな森里川海の提案

(4) 【S-13-4】 沿岸海域の生態系サービスの経済評価・統合沿岸管理モデルの提示 (立命館大学)

- 1 瀬戸内海(広島湾・日生湾)・三陸沿岸海域(気仙沼湾・志津川湾)・日本海(富山湾・七尾湾)における漁業組合の実態調査、生態系サービスの経済評価を行い、漁民、漁業の持続可能性を示す「後継者に対する意識」において継続意識が日生湾 25.7%、志津川湾 47.3%、七尾湾 29.1%であり、全国平均値(16.5%)。出典:2013年水産センサス)よりも高く、これまで独自の諸活動が持続可能性をたかめることが実証できた。
- 2 瀬戸内海の生態系サービスの長期的変化を測定し、1998年では594兆円だった自然環境の価値が、2015年時点では、2,334兆円(中央値ベース)となり、長期的変化の増加の原因を解明した。
- 3 里海、生態系サービス学そして資本(自然、人工、人的)の社会的現在価値の変化を計算する包括的富指標の三つのアプローチを統合した沿岸海域のサステナビリティ評価手法を構築し、瀬戸内海の50年前と現在のIWIの変化は、4.7兆円/年から3.2兆円/年へと32%減少と推計された。
- 4 生態系サービス(AESCZ)の経済評価手法を開発し、日生湾(181億円/年)・志津川湾(296億円/年)・七尾湾(381億円/年)・広島湾(755億円/年)・気仙沼湾(419億円/年)・富山湾(1,227億円/年)の推計を行った。
- 5 動的サステナビリティ評価法を開発し、従来のサステナビリティ評価では対象地域の「状態」を把握することのみであったが、サステナビリティを実現するための「能力」を測定し、その能力に基づいて、サステナビリティ計画を実施するための決断としての「意思」を反映する現実的な方法である。
- 6 備前市立日生中学校の生徒を対象にした聞き取り調査で、海洋環境教育が深度化した高学年

になるほど、海への愛着度や、環境保全への意識が高まることを確認した。

- 7 沿岸海域の管理に対して、都道府県海域を範囲として、地先で形成される里海づくり、市町村沿岸での里海ネットワーク、環境保全・国土保全・利用調整に係る沿岸域インフラの提供、それを超える海域では都道府県連携による管理という多段階管理システムとネットワーク・ガバナンスによる統治原則を提案した。
- 8 対象地域の魚食に関するフィールド調査および、『日本の食生活全集』を検索し、日本の魚食の全国的な多様性や広がりに関するデータベースを構築した。日本の漁民人口は2万人を割り、総人口の0.2%以下となっている。里海を維持する主役は、沿岸海域で直接生産活動を行う漁民だが、0.2%以下の人口の漁民のみで日本の沿岸海域保全は不可能で、99.8%以上を占める非漁民の理解・協力が不可欠である。漁民と非漁民を結ぶ手法として、S-13では「里海物語」を構築することを目指し、特に魚食（中でも魚醬・ナレズシなど）という伝統文化を通じて、漁民と非漁民が交流を増し、非漁民の里海創生・保全への協力を促す手法を提案した。
- 9 科学的調査にもとづく海洋保護区の設定と漁業調整のため「協働海洋学」を形成し、対馬と五島における海洋保護区設定の合意形成システムを構築した。
- 10 地域の海洋環境問題の解決のため、漁業者や沿岸住民と「協働海洋学的調査」を行い、地域計画作成を行った。対馬では、研究者と漁業者や市民をつなぐ海を語る会を継続的に開催し、スルメイカの回遊や磯焼けについて漁業者や市民との対話を行ってきた。この2つの海洋環境問題は深刻化し、社会問題になりつつある。また基礎調査として対馬魚類図鑑が公表となった。五島市では住民参加型の地域知の集約とジオパーク計画づくりが進み、申請が決定した。

(5) 【S-13-5】沿岸海域管理のための統合数値モデル構築（(公財)国際エメックスセンター）

志津川湾の研究成果は、2016年3月30日、志津川湾産の養殖ガキに日本初のASC認証が与えられることに大きく貢献した。すなわち、漁民の経験知と我々科学者の科学知が結びつくことで大きな社会的成果が得られた。

また、広島湾の計算結果は「きれいで、豊かな沿岸海域」を創生するために、海草場面積の増大が多大な貢献をすることを、初めて定量的に明らかにしたもので、今後の沿岸海域環境行政に大きな貢献をするものである。

(1) 科学的意義

「きれいで、豊かな沿岸海域」を初めて定量的に定義した。

「賑わいのある、持続可能な沿岸海域」を表す指標を提案し、どのような過程を経て、持続可能な沿岸海域が実現できるかを初めて示した。統合数値モデルが沿岸海域環境保全に有効なことを志津川湾・広島湾・富山湾への応用例で具体的に示した。

(2) 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

「きれいで、豊かな沿岸海域」を表す指標が定量的に明らかになったことで、今後の環境政策への取り込みが容易になった。「賑わいのある、持続可能な沿岸海域」の実現方策が明らかになったことで、環境施策立案のヒントが得られた。

協議会を中心とした沿岸海域管理法が提案されたことで、今後の沿岸海域環境施策の基本的な筋道が見えるようになった。

統合数値モデルの有用性が明らかになったので、今後の各海域への行政的適用が期待される。

<行政が既に活用した成果>

環境省水・大気環境局内の勉強において本研究プロジェクトの内容を基に知見の提供を行った。各担当者各々が参画する環境省の検討会における解析にあたり、本研究プロジェクトで得られた

知見について提供を行った。

具体的には本プロジェクトで新たにデータを取得し得られたクロロフィル_aや動物プランクトンの低次生態系に関する知見について、環境省の瀬戸内海環境情報基本調査及び豊かな海の確保に向けた方策検討業務での水産資源と栄養塩類との関係に係る検討等に活用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

2018年11月5日(月)、EMECS12において、タイ・パタヤのJomstien Palm Beachホテルで特別セッション「Satoumi and ICM」を開催し、S-13の最終成果取りまとめ方針を紹介した際、インドネシア・ブラジル・タイの参加者から、S-13の成果を現地に取り入れたいというコメントがあった。

また2018年1月8日、韓国の沿岸海域コンサルタントGeo Science社から4名が国際EMECSセンターを訪問し、S-13の結果に関する詳しいヒアリングを行った。

4. 委員の指摘及び提言概要

きれいさと豊かさを有する沿岸海域(里海)実現のための研究として、瀬戸内海、三陸沿岸海域、日本海を主対象としてデータ解析、数値モデルおよび指標の構築が行われ、自然科学的な方法論によるテーマではほぼ期待通りの成果をあげたと評価できるが、人文科学的方法論によるテーマの成果との間に距離がある。また、報告内容が各テーマの成果要約にとどまっており、それらを総合化した、より具体的な管理手法・政策の提言がのぞまれる。今後、他の海域への水平展開のためには、海域の類型や利用目的ごとのモデルおよび指標の設定などの課題がある。

5. 評点

総合評点：A

【S-13-1】閉鎖性海域・瀬戸内海における栄養塩濃度管理法の開発 (2014～2018 161,452 千円)
研究代表者 西嶋 渉 (広島大学)

1. 研究実施体制

- (1) 栄養塩濃度管理手法開発 (広島大学)
- (2) 干潟・藻場の栄養物質循環・生物再生産に果たす機能の解明 (香川大学)

2. 研究開発目的

S-13 は、持続可能な沿岸海域実現を目指した沿岸海域管理手法の開発を目指して、「きれいで、豊かで、賑わいのある、持続可能な、沿岸海域 (里海)」を実現することを目的としている。その中でテーマ 1 は、比較的広域な閉鎖性沿岸海域のモデル海域である瀬戸内海において、栄養塩管理と生物生息環境の保全・再生を通じて赤潮等の障害を起こさない健全な物質循環と高い生物生産性の実現を目指した持続性の高い沿岸管理手法を開発することを目的とした。

そのため本テーマ 1 では、サブテーマ 1 として、1) 多様性の高い広域な閉鎖性海域の管理の基本となる海域特性の指標開発、2) 生物生産性の基本となる基礎生産、二次生産といった低次生態系構造の解明と栄養塩の関係を評価、3) プランクトン食魚を中心とした高次生態系構造の解明、4) 自然要因によっても植物プランクトンの増殖による障害が起こりやすい沿岸域に特化した対策について検討した。サブテーマ 2 では、サブテーマ 1 の 4) で取り組む沿岸域に特化した対策として重要な位置を占める沿岸域に発達する干潟・藻場の栄養物質循環・生物再生産に果たす機能の解明に取り組んだ。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

1. これまで実測に頼っていた基礎生産、二次生産の推定をクロロフィル-a 濃度、透明度、水温、栄養塩濃度等一般的に行われている水質モニタリングデータから推定する手法を開発したことは、水質モニタリングデータの蓄積がある海域では過去に遡って生物生産を推定できることになり、今後の海域における生物生産の研究の発展に大きく貢献する。
2. 透明度は 1900 年以前から測定されている海域における基本的な生物環境の指標であるが、あくまで現状の光環境を表しているに過ぎない。富栄養化の進展やその改善によってもたらされる植物プランクトン濃度の変化によって変わる透明度の基礎として地域固有透明度という植物プランクトン以外の因子によって決定される透明度を決定する手法を開発したことによって、今後の透明度の変化を植物プランクトンを変数として予測できることになり、数値シミュレーションの活用などを通じて、海洋学の発展に大きく貢献する。
3. イカナゴの底質選好についてはこれまで粒径分布で表現されていたが、本研究ではせん断強度で表される潜りやすさがイカナゴの底質選好を決定しているという新しい科学的知見が得られた。
4. イカナゴが潜砂することで低温度かつ安定した温度環境で夏季を乗り切ることができることが示され、イカナゴが高水温期を砂中で夏眠する意義の一端を初めて明らかにした。
5. 瀬戸内海のイカナゴは遺伝的集団としては単一の集団に属し、瀬戸内海の東西の海域間である程度の個体が入り出し維持されていることが示された。
6. アマモの物質循環機能として栄養塩吸収に関してはこれまでも知見があったが、降雨等による一時的な栄養塩濃度の上昇に対して、草体内の栄養塩濃度を高めて吸収する現象は報告されておらず、栄養塩濃度が低い海域に生息するアマモの生存戦略の一端を発見できた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省の瀬戸内海環境情報基本調査及び豊かな海の確保に向けた方策検討業務有識者検討会における湾・灘ごとの水質の変化状況の検討において、本研究成果である沿岸と沖合を塩分によって分類、評価する手法が取り入れられ、総量削減の効果等の水質変化の評価、解析に貢献した（平成 29 年度報告書 4-1）。同時に本検討委員会の解析結果は、環境審議会水環境部会瀬戸内海小委員会における検討でも用いられ、当該小委員会における水環境の変化状況の解析に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

1. 本研究で開発したクロロフィル-a 濃度、透明度、水温、栄養塩濃度等の水質モニタリングデータから基礎生産、二次生産を推定する計算式は、海域の生物生産を知る手段としての活用が見込まれる。特に、改正瀬戸内海特別措置法では豊かな瀬戸内海を目指すことが謳われており、豊かさを表す生物生産性の主要指標となる。
2. 上記計算式を用いて推定した過去からの基礎生産、二次生産の変化と瀬戸内海での分布、三次生産の変化は、今後の総量削減計画の策定において、過去の総量削減効果の検証のために活用されることが見込まれる。
3. 本研究で開発した地域固有透明度という概念は、それぞれの地域で植物プランクトンが存在しないと仮定した場合の透明度であり、栄養塩管理によってそれぞれの海域で達成できる限界の透明度が存在することを示したものである。地域固有透明度は、環境省が設定を求めている沿岸透明度において、実現可能な目標透明度を設定するための活用が見込まれる。
4. 塩分や脆弱性指標によって沿岸域と沖合域を分ける手法は、栄養塩管理における重点的に監視、対策する海域の設定などに活用されることが見込まれる。
5. アマモ場を活用した沿岸海域に特化した対策手法は、植物プランクトンの増殖が起こりやすい沿岸域における栄養塩対策に活用することが見込まれる。

4. 委員の指摘及び提言概要

地域固有透明度の概念に基づいて既存の水質モニタリングデータから海洋生産力を推定する手法を構築することにより、閉鎖性海域の指標開発に大きな成果が得られており、行政面での活用が見込まれる。また、食物連鎖の時系列変化、降雨との関連や高次生態系動態の解明など、科学的な知見も多く得られている。一方、栄養塩濃度管理法に関してはブロック毎の検討の必要があり、またプロジェクト開始時に比べて総量規制関連の行政措置がよりダイナミックなものに変わってきていることから、実用的な管理手法の確立に向けて今一步の展開が期待される。

5. 評点

総合評点：A

【S-13-2】開放性内湾が連なる三陸沿岸海域における沿岸環境管理法の開発

(2014～2018 143,037千円)

研究代表者 小松 輝久 (横浜商科大学)

1. 研究実施体制

- (1) 遷移する沿岸環境監視とそれを応用した沿岸海域管理法開発 (学校法人横浜商科大学)
- (2) 森-川-海の栄養物質輸送機構の解明 (学校法人横浜商科大学)
- (3) 1 森-海の物質輸送に果たす有機物の役割解明 (国立大学法人東京工業大学)
- (3) 2 森-海の物質輸送に果たす有機物の役割解明 (国立大学法人東北大学)

2. 研究開発目的

大津波の甚大な影響を受けた開放性内湾からなる三陸の沿岸生態系と養殖などの人間活動の変遷をモニタリングし、津波で再生した塩性湿地や被害を受けた藻場などのエコトーン、海域利用の状況を明らかにする。また、森川海をつなぐ物質循環を調べ、開放性内湾における、環境収容力に見合い、良好な環境を維持でき、収益を確保できる、カキなどの最適養殖法の提案、塩性湿地などのエコトーンの機能の評価、「森が海の恋人」であることの定量的な証明を行う。また、津波防潮堤が沿岸海域の環境に及ぼす影響を分析し、自然生態系と共存可能な沿岸域のあり方を総括班 (S-13-5) と共同で提案する。以上をもとに、三陸沿岸の開放性内湾においてどのような人手を加えることが豊かな沿岸海域を復活させることに有効かを明らかにする。

3. 本研究により得られた主な成果

- (1) 科学的意義
- ①津波後のエコトーン、養殖筏配置のダイナミックな変化を衛星リモートセンシングで初めて明らかにした。
- ②雲に影響されない合成開口レーダ画像を用い、世界で初めて養殖施設をタイプ別に分類した。
- ③ウニ漁業が、栄養カスケードを通じて藻場を維持する里海活動であることを明らかにした。
- ④宮城県漁協志津川湾運営員会、南三陸町、宮城県、WWF、S-13 メンバーとで「志津川湾の将来の海洋環境を考える協議会」をつくり、豊かな養殖漁業と持続的で健全な海洋環境を築く議論を深め、環境改善策を実践した。
- ⑤森林・海域の国際エコラベル、藻場のラムサール条約湿地登録が、山、エコトーン、海のつながりを配慮する里海手法となることを示した。
- ⑥開放性内湾の栄養塩循環の全体像を調べ、湾内では窒素律速で外洋からの窒素供給が支配的であることを明らかにした。
- ⑦適度なカキ養殖では、カキと施設が微細藻類の付着基質となり、微細藻類が増殖し脱着した微細藻類をカキがすぐに摂餌・排泄して微細藻類に栄養塩を提供するという共生関係にあり、物質循環を速く長くするという一種の里海手法であることを明らかにした。
- ⑧養殖カキの現存量が時に DIN 現存量を上回り、養殖ホヤの糞の物質循環に及ぼす影響が大きいことを明らかにした。
- ⑨志津川湾における溶存鉄循環の全体像を調べ、河川からの溶存鉄が河口域に限られ、湾内では外洋からの溶存鉄の供給が支配的で、夏季には湾中央部から湾口側上層で溶存鉄が藻類増殖に不足することを明らかにした。
- ⑩溶存有機物と溶存鉄の関係を調べ、陸域からの溶存鉄輸送にはフルボ酸様 DOM が、海域での藻類の溶存鉄取り込みには微生物由来タンパク質様 DOM が正に相関することを明らかにした。
- ⑪河川を通じた溶存鉄の海域への供給について、土地利用ごとの原単位を推定し、広葉樹と針葉樹で溶存鉄輸送に対して差が見られないこと、耕作地と都市域が森林よりも数百倍あることを

明らかにした。

- ⑫志津川湾における粒状有機物動態を調べ、湾内における内部生産が最も大きく、河川を通じた陸域からの粒状有機物の貢献が非常に小さいことを明らかにした。
- ⑬カキ養殖筏を削減し、速い成長での若齢出荷が、海洋環境にもよいという科学的根拠を提出した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ①海洋政策本部参与会議の総合的な沿岸域の環境管理の在り方P Tにおいて本研究成果で得られた、「人が関わって、より良い海をつかって豊かな恵みを得るという志津川湾における『里海』づくりの例」を提示し、内閣府第3期海洋基本計画に反映された。
- ②宮城県南三陸町が推進していた志津川湾の藻場のラムサール条約湿地への新規登録にあたり、本研究成果で得られた藻場の分布データが利用された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ①「森は海の恋人運動」は広葉樹林の植林を介して海域への溶存鉄供給を増加させるということ根拠としているが、森林の多面的機能が重要であることを示した成果。
- ②今回推定した土地利用形態ごとの溶存鉄原単位を用いて、他の湾での陸域からの溶存鉄供給量の推定に利用可能にした成果。
- ③カキ養殖筏台数密度を減らし、速い成長でのカキの若齢出荷が、経営だけでなく、海洋環境にもよいという科学的根拠を提出した成果。
- ④ウニ漁業が藻場を維持するための重要な里海活動である根拠を提示した成果。
- ⑤協議会を構築し、モデルを用いて、将来の養殖漁業について漁業者、自治体、WWF など NPO と議論することで、持続的な漁業と健全な海洋環境が実現できることを示した成果。
- ⑥FSC-Ramsar-ASC という国際認証を用いる里海型沿岸域管理の提案を行った成果。

4. 委員の指摘及び提言概要

養殖いかだの定量管理やウニ漁業による藻場維持など、栽培型漁業の改変による沿岸環境管理の提案により、期待通りの成果をあげている。また、開放性内湾の窒素や鉄は主に外洋から流入し、河川や森林の寄与は小さいことを明らかにしたことも評価できる。なお、これらの管理手法の総称である「里海手法」については、より明確な定義・整理が望まれる。また、本研究の大部分が志津川湾のみを対象としているが、今後、開放型内湾全般やそれらが連成した三陸沿岸海域というシステムについての行政施策をどう改変すべきかについての提言が望まれる。

5. 評点

総合評点：A

【S-13-3】陸棚・島嶼を含む国際的閉鎖海域・日本海の海域管理法の開発

(2014～2018 125,844千円)

研究代表者 吉田 尚郁 (公益財団法人環日本海環境協力センター)

1. 研究実施体制

- (1) 国際的閉鎖性海域の管理法提案 (公益財団法人環日本海環境協力センター)
- (2) -1 日本海環境変動予測モデルの構築 (愛媛大学)
- (2) -2 日本海環境変動予測モデルの構築 (九州大学)
- (3) 日本海高次生態系モデルの構築 (愛媛大学)

2. 研究開発目的

本研究テーマの目的は、日本海が直面する大きな変化に対し、我が国の沿岸海域の環境を保全するために如何に適応していくかといった方針・手法を示す日本海沿岸域管理法を提案することである。適応策を検討するためには、影響の対象や範囲を定量化し、その重大性や緊急性、確実性を把握する必要がある。そこで、現象の理解やその定量化に適した数値モデルを活用する。

本目的達成のため、4つのサブテーマがそれぞれの役割を担い、相互に連携して研究を進める。

サブテーマ (1) は、本テーマの総括班として、日本海沿岸海域管理手法を開発する。日本海沿岸海域管理手法の提案に向けた作業方針を他のサブテーマに示すとともに、各サブテーマの生態系モデルに関する各種データ及び変動シナリオなどを提供する。サブテーマから得られた成果に基づき、日本海への影響を評価し、適応策としての日本海沿岸海域管理手法を提案する。また、富山湾を対象海域として、日本海沿岸域における具体的な沿岸海域管理手法を検討する。

サブテーマ (2) -1 は、東シナ海からの栄養塩供給に着目し、東シナ海と日本海の栄養塩循環及び日本海低次生態系への影響を解明することを目的とした日本海環境変動予測モデルを開発する。三峡ダムや南水北調など中国で行われる大規模公共事業に伴う東シナ海の環境変化や日本海への影響についても評価する。

サブテーマ (2) -2 は、地球温暖化に伴う日本海の将来変動予測を行うための日本海環境変動予測モデルを開発する。地球温暖化が日本海的环境や低次生態系に及ぼす影響とそのメカニズムの解明を進める。得られた温暖化影響予測結果は他のサブテーマと共有し、日本海の高次生態系への影響解明に役立てる。

サブテーマ (3) は、日本海の生態系を代表する生物であるスルメイカ及びズワイガニを対象とする日本海高次生態系モデルを開発する。本モデルにより、両種の初期生活史における地球温暖化の影響を把握し、持続的利用のための効果的・効率的な保全策を検討する。富山湾沿岸海域管理手法開発のための富山湾低次生態系モデルを開発する。

生態系モデルの各種パラメータは、各サブテーマの目的や対象とする事象に合わせてカスタマイズされるが、基礎となる物理モデルは九州大学応用力学研究所が開発した3次元海洋循環モデル (DREAMS: Data assimilation Research of the East Asian Marine System Medium resolution model) を採用し、サブテーマ間の情報・データの共有や比較が可能となっている。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

【地球温暖化の影響】

地球温暖化に伴い、日本海的环境が将来どのように変化するのか、海水温、物理環境、栄養塩環境、低次生態系について将来変動を初めて予測した。その結果、日本海海水温は今後も上昇し、RCP8.5のシナリオでは、2100年に日本海南部で平均2.75℃、北部で平均3.13℃上昇する。局所的には8℃以上も上昇する海域も見られ、日本海が温暖化に対して非常に脆弱な海域である

ことが明らかとなった。日本海が他の海域に比べ特に海水温上昇が速い要因の一つとして、対馬暖流が係っていることも明らかとなった。

また、これまでの研究では、温暖化に伴い日本海の深層における溶存酸素の低下、貧酸素化が進行すると報告されているが、対馬暖流による高塩分水の流入の増加が、鉛直混合を維持し、深層の酸素濃度の低下を抑制するといった新たな知見も得られた。

【日本海と東シナ海の関係】

日本海沿岸と東シナ海の間を初めて定量的に示した。日本海沿岸の海水や栄養塩（日本海沿岸西部海域で90%、日本海東部沿岸で60～80%）が東シナ海に由来することを明らかにした。

東シナ海からの栄養塩の主な供給源は、黒潮・太平洋亜表層に由来するものであり、中国河川からの栄養塩は東シナ海底層を介して、日本海に供給されていることを明らかにした。

【日本海の海洋生物の保全】

スルメイカ・ズワイガニの卵幼生の輸送経路、生残環境が、地球温暖化の影響を受け大きく変化し、将来その分布海域が北上することを明らかにした。

スルメイカの産卵場は地球温暖化による海水温の上昇に伴い、九州西方沖に集中することを予測した。

【富山湾物質循環】

富山湾の外洋から影響を受ける領域と陸域から影響を受ける領域の変化を定量的に示すとともに、春から秋にかけての栄養塩供給が河川及び海底湧水に依存していることを示した。地球温暖化の影響で、陸から海の水循環に変化が生じており、その影響が将来的に沿岸域の生産にも影響を及ぼす可能性を示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

富山県地下水指針（平成30年3月改定）において、気候変動に伴う地下水環境への影響に関する調査・研究の推進が盛り込まれた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

【日本海三階層管理・日本海共同監視網の構築】

日本海は世界でも地球温暖化の影響を最も強く受けている海域であるが、気候変動シナリオによっては影響がさらに加速することが明らかとなった。日本海は海洋資源の供給元、国際海運航路の利用など、我が国にとって極めて重要な海域であり、本海域の保全はわが国の国益に直結する問題である。しかしながら本海域の保全には関係国との連携が必要であり、本研究成果を基に、関係国との連携、更には国際共同監視網の構築が進められることが期待される。

【東シナ海共同管理・静的・動的海洋保護区】

日本海の生物は、地球温暖化の影響を受け、分布や産卵場所、輸送・回遊経路など生活史に大きな変化が起きる可能性がある。我が国の従来の水産資源保護を前提とした対応では対処できない場合も起こりうる。生物多様性条約愛知目標や、SDGでは海洋生物の保全、持続的利用が掲げられている。本プロジェクトで提案した東シナ海共同管理や動的海洋保護区は、我が国の目標達成に向けた取組みのみならず、世界的にも取り組みが遅れている共同管理の先進的な事例となりうるものである。

【地下水を加えた森里川海】

地下水や海底湧水が沿岸環境に係っている海域は富山湾だけでなく、東北鳥海山麓沿岸、駿河湾、瀬戸内海など日本各地に存在する。多くの海域で沿岸の生産性への寄与が報告されており、表層の水循環だけではなく、地下水を含めた陸-海の水循環を保全することで、より豊かな沿岸環境の創造につながると考えられる。環境省が推進する「つなげよう、支えよう森里川海」プロジェクトに地下水・海底湧水が今後加えられ、多くの地域で総合的な水循環管理が実施されることが期待される。

4. 委員の指摘及び提言概要

広域・中規模・局所の三階層の領域（マルチスケール）を定義して、中国大陸・東シナ海からの流入負荷影響、地球温暖化の日本海鉛直循環への影響、富山湾の河川並びに海底湧水による栄養塩流入の影響などを明らかにし、そこにスルメイカやズワイガニの生息動態モデル結果を組み込んだ「日本海沿岸域管理」の手法を構築することで、目標通りの成果をあげている。特に対馬暖流の取り扱いが要（かなめ）として効果的である。なお、科学的に興味深い知見が多く得られているが、エビデンスが十分でない部分もあり、今後、それらの検証や取り扱う過程の補強が望まれる。

5. 評点

総合評点：A

【S-13-4】沿岸海域の生態系サービスの経済評価・統合沿岸管理モデルの提示

(2014～2018 88,983千円)

研究代表者 仲上 健一 (立命館大学)

1. 研究実施体制

- (1) 生態系サービスの経済評価 (立命館大学)
- (2) 沿岸海域多段階管理法提案 (近畿大学)
- (3) 人文科学的考察に基づく市民と沿岸海域を結ぶ物語の発見・構築・継承 (愛知大学)
- (4) 対馬・五島の海洋保護区における漁業活動調整(九州大学)

2. 研究開発目的

本研究は、統合的沿岸海域管理の方式を開発するため、「里海」を指標として設定し、沿岸海域の生態系サービスの経済評価、サステナビリティ評価を行い、沿岸海域管理に基礎となる指標を提供することを目的とする。沿岸海域管理の対象地域として、宮城県漁業協同組合志津川支所、岡山県備前市日生町漁業協同組合および石川県七尾市の漁業協同組合を選定し、漁業経営実態および「里海」作りについての地域実践について調査分析を行うことにより今日の漁業の抱える課題を明らかにする。これらの実態調査を基本としながら、瀬戸内海および志津川湾、日生地区、七尾湾の生態系サービスの経済価値について測定する。これらの評価結果を基礎に、生態系サービスの社会的受容を目指す活用型生態系サービスの評価方法を開発する。生態系サービスの経済評価手法をベースにサステナビリティ評価手法及び動的サステナビリティ評価手法を開発し、同対象地域についてサステナビリティ評価を実施し、「きれいで、豊かで、賑わいのある里海」の実現に向けた政策提言、並びに必要となるデータを提供する。

沿岸海域における地先レベルの小規模な里海づくり、それをネットワークした里海ネットワーク、都道府県単位での沿岸海域管理、さらに隣接する都道府県の連携による灘単位での広域な沿岸海域管理という複数の段階で構成される沿岸海域の多段階管理システムについて提案することを目的とする。そのため、日生、家島坊勢、志津川湾のような個別の里海のほか、大村湾のような都道府県海域の取り組み、大阪湾、広島湾、チェサピーク湾のような都道府県の管轄を超えた海域・灘における里海・沿岸域管理の実態調査を行い、管理システムの骨格とネットワーク・ガバナンスによる運営理念について明らかにする。

日本における今日の沿岸海域で経済活動を行う漁民は0.2%以下であり、後継者不足が深刻な現状を踏まえ、人文(生活)科学による里海創生の物語を発見・構築と、実践活動による継承により、持続可能な沿岸海域管理のあり方を考究し、里海の景観・漁業・魚職などを総合的に評価し、里海創生につながる「里海物語」の完成を目指す。

対馬・五島の海の地域知を収集し、沿岸海域の管理方法について環境科学的手法による科学化を行う。MPAでの保護対象種や海洋・気象の現象を検討し、漂流ブイによる観測による、対馬暖流や季節風との関係を解明する。市民の海の利活用にも焦点を置き、多様な主体による自由討議の場を継続的に設け、MPA設定のツールボックス化を図る。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

①生態系サービスの経済評価：

瀬戸内海の生態系サービスの経済的価値の長期的変化を測定し、1998年では594兆円だった自然環境の価値が、2015年時点では、2,334兆円(中央値ベース)となり、長期的変化の増加の原因を解明した。活用型生態系サービス(AESCZ)の経済評価手法を開発し、対象地区の生態系サ

ービスの経済価値の現実の経済活動に整合する推計を行った。里海、生態系サービス学そして資本（自然、人工、人的）の社会的現在価値の変化を計算する包括的富指標の三つのアプローチを統合した沿岸海域のサステナビリティ評価手法を構築した。備前市立日生中学校の生徒を対象にした聞き取り調査で、海洋環境教育が深度化した高学年になるほど、海への愛着度や、環境保全への意識が高まることを確認した。

②沿岸海域多段階管理法提案：

沿岸海域の管理に対して、都道府県海域を範囲として、地先で形成される里海づくり、市町村沿岸での里海ネットワーク、環境保全・国土保全・利用調整に係る沿岸域インフラの提供、それを超える海域では都道府県連携による管理という多段階管理システムとネットワーク・ガバナンスによる統治原則を提案した。

③人文科学的考察に基づく市民と沿岸海域を結ぶ物語の発見・構築・継承：

漁民と非漁民を結ぶ手法として、S-13では「里海物語」を構築することを目指し、『日本の食生活全集』を検索や魚食（中でも魚醬・ナレズシなど）という伝統文化を通じて、漁民と非漁民が交流を増し、非漁民の里海創生・保全への協力を促す手法を提案した。

④対馬・五島の海洋保護区における漁業活動調整：

科学的調査にもとづく海洋保護区の設定と漁業調整のため「協働海洋学」を形成し、対馬と五島における海洋保護区設定の合意形成システムを構築した。

(2) 環境政策への貢献

①生態系サービスの経済評価：

持続可能な沿岸海域の管理手法の確立のためには、日本の沿岸海域における実態把握に基づく、生態系サービスの経済評価を基本とした将来シナリオの策定による課題の発見が重要である。沿岸海域の生態系サービスの実用型経済的評価の適用を通じて、沿岸海域における漁業および観光業が地域経済に果たす位置づけとともに、将来の発展性について推測できる。沿岸域サステナビリティ評価フレームワークの適用により、望ましい里海の実現、そして統合的沿岸域管理のための情報としての指標を提供できる。

②沿岸海域多段階管理法提案：

沿岸域管理のダイナミクスで示したように、沿岸海域管理は特定の主体による一元的管理ではなく、海域の広さに応じて多様な関係者が参加する多元的管理が適しており、その方法として多段階管理システムを提案する。

③人文科学的考察に基づく市民と沿岸海域を結ぶ物語の発見・構築・継承：

沿岸海域の管理を国民的ムーブメントとするためには、人文科学的考察に基づく市民と沿岸海域を結ぶ里海物語の発見・構築・継承が必要である。

④対馬・五島の海洋保護区における漁業活動調整：

対馬の海洋保護区の設置に関する基準の策定においても、地域知の調査研究、計画策定は住民参加型の知の収集となり、研究成果の実装を早めることが出来る。対馬・五島地域の海洋保護区（MPA）の設定により生物多様性の保全と持続可能な利用が可能となることから、「対馬暖流流域海洋保護区ネットワーク」の推進が必要である。とくに、東シナ海・日本海も視野にいれた海流系に対応した海洋保護区ネットワークを海洋政策に導入するのが望ましい。

<行政が既に活用した成果>

地域の海洋環境問題の解決のため、漁業者や沿岸住民と「協働海洋学的調査」による地域計画作成を行った。基礎調査として対馬魚類図鑑を公表した。五島市では住民参加型の地域知の集約とジオパーク計画づくりが進み、申請が決定した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ①持続可能な沿岸海域の管理手法の確立のためには、日本の沿岸海域における実態把握に基づく、生態系サービスの経済評価を基本とした将来シナリオの策定による課題の発見が重要である。
- ②日生湾における里海保全活動の実践と洋環境教育の継続による効果が示すように、沿岸海域における人材育成強化のための施策が必要である。
- ③多段階管理システムを適用のための国による基本的な方針の決定に合わせ、関係する市町村と都道府県で沿岸域総合管理基本条例を定め、多段階管理のフレームワークと関係者の役割を明示し、PDCAを回すように義務付けすることによって、それぞれの役割に則った沿岸海域管理のために施策を講じることが容易になる。
- ④地域の歴史的・文化的伝統の発掘とともに、伝統食を通じた「里海再生」の実践を踏まえ、「里海物語」の普及が必要である。
- ⑤対馬・五島地域の海洋保護区（MPA）の設定により生物多様性の保全と持続可能な利用が可能となることから、「対馬暖流流域海洋保護区ネットワーク」の推進が必要である。対馬の海洋保護区（MPA）の設置に関する基準の策定においても、地域知の調査研究、計画策定は住民参加型の知の収集となり、研究成果の実装を早めることが出来ることから、他地域においても活用が望まれる。

4. 委員の指摘及び提言概要

本テーマでは、活用型生態系サービスの経済評価手法を開発するとともに、人文科学的アプローチから、里海環境教育、里海ネットワーク構築、魚食文化を通じた漁民と非漁民の交流から海洋保護区の設定などの多様な成果が得られている。ただし、テーマ全体としての一貫性や具体的な根拠に基づいた論理展開が見えず、このため統合的沿岸海域管理につなげる点で難がある。また、他のテーマとの連携の努力は見られるものの、それらのアウトプットを本テーマ取り込むこと（文理融合）については、十分達成できていない。

5. 評点

総合評点：B

【S-13-5】沿岸海域管理のための統合数値モデル構築（2014～2018 154,448千円）

研究代表者 柳 哲雄（公益財団国際エメックスセンター）

1. 研究実施体制

（1）沿岸海域管理のための統合数値モデル構築（公益財団国際エメックスセンター）

2. 研究開発目的

「きれいで、豊かで、賑わいのある、持続可能な沿岸海域（＝里海）」を創生するための沿岸海域管理手法に必要な沿岸海域統合数値モデルを開発する。

3. 本研究により得られた主な成果

志津川湾統合数値モデルの研究成果は、2016年3月30日、志津川湾産の養殖ガキに日本初のASC認証が与えられることに大きく貢献した。すなわち、漁民の経験知と我々科学者の科学知が結びつき、それを統合数値モデルを用いて定量的に示すことで、大きな社会的成果が得られた。また、広島湾統合数値モデルの計算結果は「きれいで、豊かな沿岸海域」を創生するために、海草場面積の増大が多大な貢献をすることを、統合数値モデルを用いて、初めて定量的に明らかにしたもので、今後の沿岸海域環境行政に大きな貢献をするものである。

(1) 科学的意義

これまで個別に扱われた沿岸海域の環境変動に関する数値モデルに、空間的・学問的統合を目指した新たな統合数値モデルを開発し、志津川湾・広島湾に適用することで、最適養殖管理法・沿岸海域栄養塩濃度管理法に関する新しい定量的評価法を提案することが可能になった。

これらの計算結果は、既に論文として公表されていて、今後、日本・世界の環境問題に悩む多くの沿岸海域に適用され、さらなる科学的進歩が期待される。また、今回開発した統合数値モデルは、変動の大きい外洋の境界条件を JCOPE2 という日本が独自に開発し、運営維持している数値モデルシステムを利用しているが、このような open—system の有効性が確認された最初の計算例で、国外でも同様なシステム開発が進むことが期待される。

(2) 環境政策への貢献

上述の科学的意義と関連して、どのような環境施策を行えば、実際の環境改善が可能か、また、同じ統合数値モデルを用いた、その施策の費用/便益効果計算も踏まえて、それらの結果を、現地住民を含めた協議会に提案することにより、現実的な環境施策の提案・実行・効果検証・新たな施策提案を行う、という順応的管理を実行することが可能となった。

今回の S-13 プロジェクトでは、志津川湾において、漁民・南三陸町行政担当者・宮城県水産試験場・NPO 関係者・我々 S-13 担当科学者が参加する協議会を立ち上げ、年 2－3 回程度の会合を開いて、漁民・地元関係者からの要望を聞くとともに、それらを踏まえて開発した統合数値モデルの計算結果を協議会で提示し、そのような計算結果が得られた理由を詳しく解説することで、さらなる議論を進め、志津川湾における持続可能な最適養殖形態を明らかにした。そして、その実行が日本で初めての ASC (Aquaculture Stewardship Council) 認証という社会的成果につながった。

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

今回開発した統合数値モデルは日本のみならず、世界の沿岸海域の環境施策立案のためのツールとして使え、その成果をもとに、最も効果的な環境施策を立案することに役立つことが期待される。

そのために、2019年1月23-25日、シンガポール・Manila Bay Sands で開催された UNEP の 3rd Ministers & Environment Authorities of Asia Pacific のサイドイベントで、机を一つ用意し、S-13 の英文解説パンフを配布するとともに、希望者に研究成果の内容説明を行った。

実際に統合数値モデルを運用することは専門家以外には難しい。そこで、今回のように民間のコンサルタントに委託することになるが、委託にあたっては、現地住民・関係研究者・行政担当者が参加した協議会（S-13-2 の志津川湾協議会のような会）をつくって、現地海域における、問題点・何をどこまで明らかにするか・着地点、などの委託項目を明瞭にして、委託しなければならない。

委託の際の仕様書では今回の S-13-5 の科学的成果をもとに、統合数値モデルの有用性・協議会の議論をもとにした領域融合研究（trans-disciplinary study）の有用性、を強調する必要がある。

4. 委員の指摘及び提言概要

豊かで持続可能な沿岸海域実現を実現するためのツールとして、の統合数値モデルが開発され、普遍化に向けた成果が得られたと評価できる。特に志津川湾については、協議会との連携により水産業の持続的発展の方向性を科学的に示した点で、行政施策への貢献も大きい。一方、これらのモデル結果と観測値の比較検証が定性的な表現にとどまっている点や、「統合」というキーワードから期待される陸域の社会科学的要因のモデル組み込みが不十分なことや、モデル構築において民間コンサルタントへの委託が前提となっているがコスト解析などの実際的な情報が示されていないことなど、目標達成が十分といえない点がみられる。

5. 評点

総合評点：A