

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

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

(S-13)

平成26年度～平成30年度

Development of coastal management method to realize the sustainable coastal sea

〈研究代表機関〉

公益財団法人国際エメックスセンター

2019年5月

目次

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. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	5
5. 本研究により得られた主な成果	12
6. 研究成果の主な発表状況	16
7. 研究者略歴	22
II. 英文Abstract	23

I. 成果の概要

課題名	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
課題代表者名	柳 哲雄（公益財団法人国際エメックスセンター 特別研究員）
研究実施期間	平成26～30年度
累計予算額	673,775千円（うち平成26年度：148,910千円、平成27年度：140,245千円、平成28年度：133,848千円、平成29年度：126,912千円、平成30年度：123,860千円） 累計予算額は、間接経費を含む
本研究のキーワード	統合沿岸域管理、里海、統合数値モデル、栄養塩濃度管理、協議会、最適養殖法、三階層管理、温暖化適応策、統合持続可能性指標、多段階管理

研究体制

- (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）
 - 【S13-1-(1)】栄養塩濃度管理法開発（広島大学）
 - 【S13-1-(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) 【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）
 - 【S13-2-(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（横浜商科大学）
 - 【S13-2-(2)】森－川－海の栄養物質輸送機構の解明（横浜商科大学）
 - 【S13-2-(3)1】森－海の物質輸送に果たす有機物の役割解明（東京工業大学）
 - 【S13-2-(3)2】森－海の物質輸送に果たす有機物の役割解明（東北大学）
- (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）
 - 【S13-3-(1)】国際的閉鎖性海域の管理法提案（(公財)環日本海環境協力センター）
 - 【S13-3-(2)1】日本海環境変動予測モデルの構築（愛媛大学）
 - 【S13-3-(2)2】日本海環境変動予測モデルの構築（九州大学）
 - 【S13-2-(3)】日本海高次生態系モデルの構築（愛媛大学）
- (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）
 - 【S13-4-(1)】生態系サービスの経済評価（立命館大学）
 - 【S13-4-(2)】沿岸海域三段階管理法提案（近畿大学）
 - 【S13-4-(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）
 - 【S13-4-(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）
- (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）
 - 【S13-5-(1)】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）
 - 【S13-5-(2)】志津川湾統合モデルの適用（復建調査設計(株)）
 - 【S13-5-(3)】瀬戸内海統合モデルの構築（(株)エコー）

研究協力機関

なし

1. はじめに（研究背景等）

人間活動の影響を直接的に受ける沿岸海域は、近年、赤潮・貧酸素水塊などの発生に伴う、水質汚濁・漁獲量減少など多くの問題に悩まされている。このような問題を解決するには、沿岸海域とその後背地である陸域の自然・人間活動を統合的にとらえ、物質循環・エコトーンのあるべき姿に対して、現状を如何に改変することが必要か、具体的な提案を行い、わが国における沿岸海域環境管理手法を提案することが必要である。

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. 研究開発の方法

陸域に近い沿岸海域における海域環境管理手法を構築するに当たって、(1)閉鎖性海域の代表としての瀬戸内海、(2)開放性内湾である志津川湾などが連なる三陸沿岸海域、(3)国際的な閉鎖性海域としての日本海の沿岸部、をモデル海域として、沿岸海域環境管理にむけた方針を確立する。さらに、(4)社会・人文科学的な考察も加えて、平成27年度からは(5)沿岸海域管理のための統合数値モデル構築を開始し、(5)沿岸海域管理に必要な、統合数値モデルを開発する。

これらの研究成果をもとに、時間・空間スケール・問題別に五つの特徴的な日本の沿岸海域を対象に、沿岸海域に隣接する陸域も含めた、里山—里地—里川—里海を結ぶ、「太くて、滑らかな物質循環実現」を目指した、具体的な沿岸海域環境管理手法を提案する（図1、図2）。

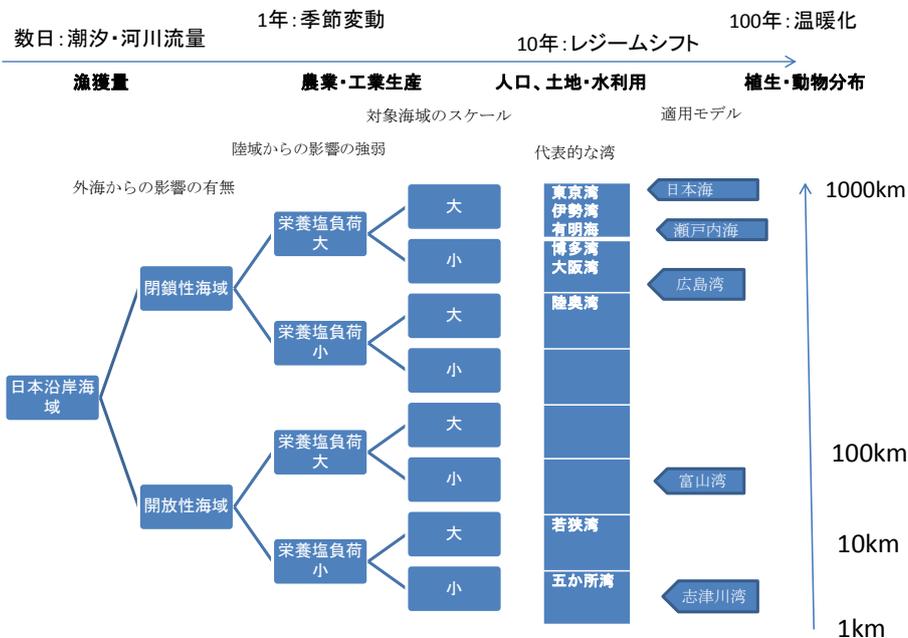


図1 研究対象海域

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

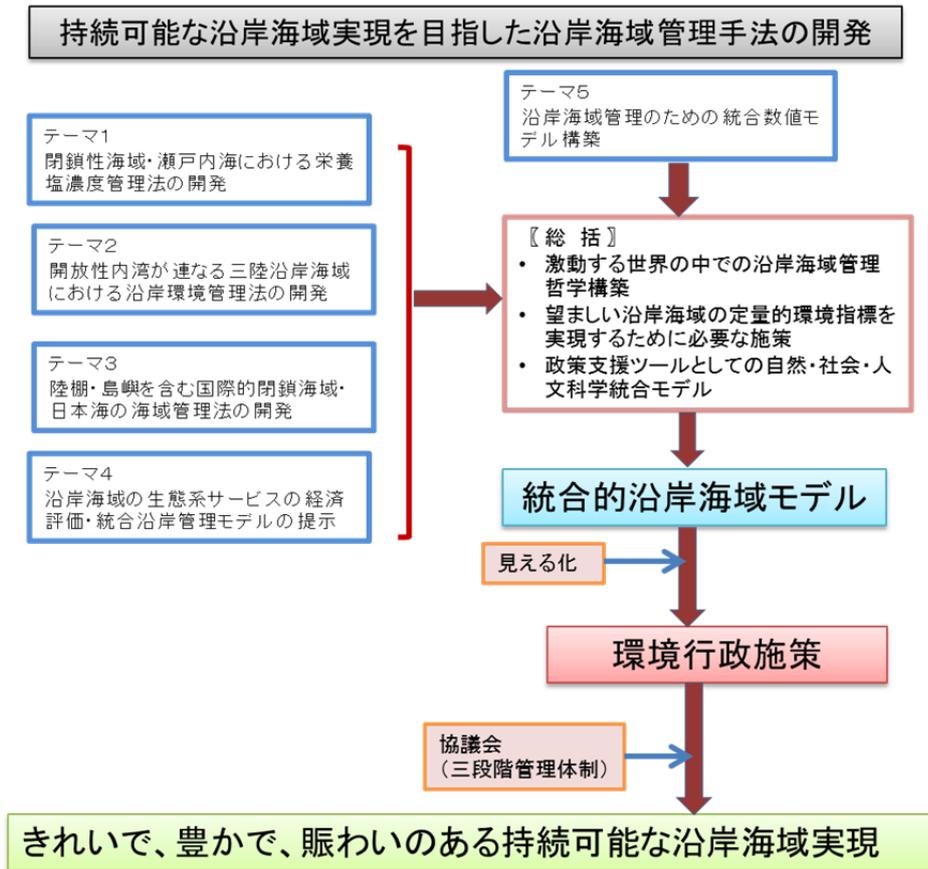


図2 研究方法

(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) 栄養塩濃度管理手法開発

- (1) -1 環境管理のための海域特性の指標開発とその適用
 - (1) -1-1 光環境の特性解明
 - (1) -1-2 植物プランクトンの増殖に対する脆弱性指標の開発と適用
 - (1) -1-3 底質の特性解明
- (1) -2 低次生態系構造の時空間分布の解明
 - (1) -2-1 基礎生産の推定手法の開発
 - (1) -2-2 二次生産速度の推定手法の開発
 - (1) -2-3 瀬戸内海全域における過去から現在までの低次生産構造の時空間分布
- (1) -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
- (1) -4 脆弱性が高い沿岸域に特化したアマモを活用した生態学的栄養塩対策
 - (1) -4-1 アマモの栄養塩吸収機能
 - (1) -4-2 アマモ場の栄養塩吸収機能が植物プランクトン増殖の抑制に果たす役割
- (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
 - (2) -1 藻場 (アマモ場)
 - (2) -2 干潟

(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 ウニ漁獲による磯焼け防止

志津川湾における磯焼け状態の野島西側で岸から沖に向けて15mのライントランセクトE2を設け、2015年7月30日から2016年4月20日までおよそ1か月ごとにウニ (キタムラ

サキウニ)を除去し、藻場の復元との関連を調査した。

2-2 志津川湾環境保全に養殖筏制限が最も有効な理由

志津川湾の志津川地区海域と戸倉地区海域という養殖筏密度の異なる2つの海域でカキ成長を比較する実験を実施し、カキの年齢と糞中の有機物量および糞の有機物を分解するために必要な酸素消費の測定をした。

(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)

2種類の日本海低次生態系モデルを開発し、地球温暖化の影響、東シナ海の環境変化の影響とそのメカニズムの解明に取り組んだ。ひとつの低次生態系モデルでは、パラメータをできる限り簡略化し、温暖化による将来変動予測を行った。予測にあたっては、IPCCで用いられた気候変動シナリオのうち、気温が最も上昇するRCP8.5と気温の上昇が最も抑えられるRCP2.6の2つのシナリオを用いた。もうひとつの低次生態系モデルでは、動植物プランクトンを細分化し、栄養塩環境が低次生態系に及ぼす影響の解明をすすめた。

日本海を代表する生物であるスルメイカ及びズワイガニの低次生態系モデルとカップリングした高次生態系モデル(粒子輸送モデル)を開発し、卵幼生の輸送と生残メカニズムの解明、温暖化に伴う環境変化の影響の解明を試みた。

富山湾低次生態系モデルを開発し、陸域からの影響や外海・対馬暖流の影響の定量化を試み、日本海沿岸域管理について検討を行った。

(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) 生態系サービスの経済評価

- イ) 沿岸海域開発プロジェクトのレビュー:日本の沿岸海域における漁業の実態を把握するため、岡山県備前市日生地区、宮城県南三陸町、石川県七尾市の漁民を対象に実態調査および環境保全意識、漁業継続意識に関する調査を行った。
- ロ) 瀬戸内海・三陸沿岸海域・日本海の沿岸海域の生態系サービスの貨幣価値の計算:広島湾の沿岸に居住する住民を対象とした「海のきれいさと豊かさ」を生態系サービスの経済価値の観点から評価した。
- ハ) Costanza法の独自推計:日本の沿岸域の経済評価研究に関するデータベースを構築し、干潟への適用を行い、Costanza et al. (1997)等の既存推計との比較を行った。
- ニ) サステナビリティ評価:里海、包括的富指標、生態系サービスを統合したサステナビリティ評価フレームワークを確立し、瀬戸内海へ試験的に適用した。動的サステナビリティ評価のフレームワークを構築し、岡山県備前市日生湾、宮城県南三陸町志津川湾、石川県七尾市七尾湾への適応を行った。

(2) 沿岸海域多段階管理法提案

地先レベルの小規模な里海づくり、それを複数連携させた里海ネットワーク、都道府県海域での管理、さらに都道府県海域を超えた広域な沿岸海域管理という複数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理論的かつ実証的な検討を行った。

(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

里海と市民を結ぶ研究理念の考察を行うため、里海と人の伝統的な関わりの危機について解明し、市民のこころを動かすための「里海物語」を作成する。対象海域における資料調査をふまえて、調査対象海域の特色をしめす魚介類を選択し、現地調査をおこなった。

(4) 対馬・五島の海洋保護区における漁業活動調整

MPAの設定と管理のプロセスとして、対象海域区の調査や管理計画を踏まえて、議論と合意形成が図られる必要がある。その後MPAの管理によって、海域の自然資源や環境が守られながら持続可能な形で資源の利用がなされる必要があり、実質的に機能する地域に見合った管理プロセス

の開発手法を開発する。

(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)

まず、沿岸海域の環境変動に影響を及ぼす、陸域・大気・底質・外洋域を沿岸海域モデルに統合させる手法を開発した。さらに、この統合を、自然科学情報ばかりではなく、特に陸域での条件に大きな影響を及ぼす、社会・人文科学情報も取り込めるよう工夫した(図3)。

そして、この設計手法に基づく、沿岸海域統合数値モデルを志津川湾・富山湾・瀬戸内海で開発した。

統合数値モデル(統合:陸域+海域、自然+社会科学)

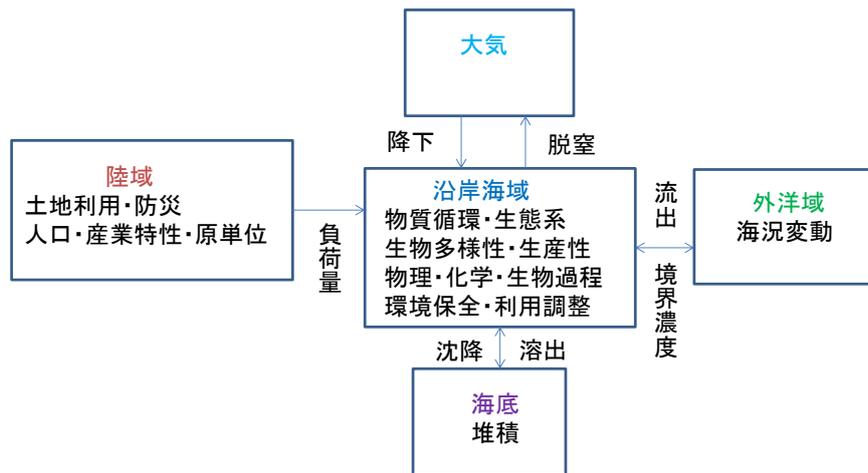


図3 沿岸海域統合数値モデル

4. 結果及び考察

“きれいで、豊かな沿岸海域”は、動物プランクトンにすべて摂食されるような植物プランクトン濃度を実現することで創生される。動物プランクトンに摂食されない過剰の植物プランクトンは赤潮・貧酸素水塊を形成し、海域生態系障害を惹起し、豊かでない沿岸海域に繋がるからである。瀬戸内海全域の場合、“きれいで、豊かな”状態は、平均chl. a濃度 $4.5 \mu\text{g/L}$ 、透明度6m、TN濃度 0.28mg/L 、TP濃度 0.027mg/L の海である。

湾・灘ごとの管理が求められている瀬戸内海の各湾・灘の目標透明度は、大阪湾・播磨灘=5m、紀伊水道=9m、備讃瀬戸=6m、燧灘・安芸灘・広島湾=4m、伊予灘=10mである。これらの透明度に対応する各湾・灘のTN・TP濃度を瀬戸内海全域と同様に明らかにし、その濃度を実現する施策を各湾・灘で行う必要がある。

しかし、多様性に富む日本の各沿岸海域では、各沿岸海域で最も適切な指標をそれぞれ考える必要がある。例えば、志津川湾の場合は、貧酸素水塊の発生しない底層の年間最低DO濃度値 4.0mg/L を“きれいな海”の指標とし、湾内の植物プランクトンの半飽和定数の2倍となるTN濃度 $=0.08\text{mg/L}$ を“豊かな海”の指標とすることを提案する。

富山湾では今後、どのような指標が“きれいで、豊かな富山湾”を表すかを検討する必要がある。

“賑わいのある、持続可能な沿岸域”は、“きれいで、豊かな沿岸海域”に対する指標に加えて、漁民の収入・沿岸域の漁業関連産業の育成度・沿岸域の交流人口、などの経済・人文的指標を加えた総合指標の時間変動(図4は志津川湾の例)を、地元協議会で議論・検討し、持続性を保持するための必要な施策を考え、実行し、結果を検討し、さらに新たな施策を考える、という順応的管理を繰り返すことで創生される。図4と同様な指標変化図を、瀬戸内海の各湾・灘、富山湾でも作成し、地元協議会に提案し、協議する必要がある。

“きれいで、豊かな沿岸海域”を決める基本指標は、低くもなく・高くもない植物プランクトン濃度(Chl. a濃度)で、それを生むための栄養塩濃度、TP・TN濃度、それを反映する透明度、底層DO濃度である。さらに、基礎生産により作り出された栄養物質がうまく高位の生物に転送される高い転送

効率で、それは藻場・干潟・底質などの生息環境の健康度・多様性によって決まる。これらの指標のうち、多様性に富む各沿岸海域で何が最も適切であるかを、各海域における科学的知見の積み重ねにより明らかにしなければならない。

さらに、きれいで豊かな海から作り出された生産物を、いかに漁民がうまく取り上げ、それを沿岸地域の人々がうまく利用し、“賑わいのある、持続可能な沿岸域”を創りあげていくかは、直接の生産者である漁民のみならず、漁業関連産業・流通・観光・行政など様々な利害関係者がすべて集まった地元協議会の議論により、どのような施策が有効かを、議論して決めていかなければならない。その基本的な枠組みは図6で詳述する。

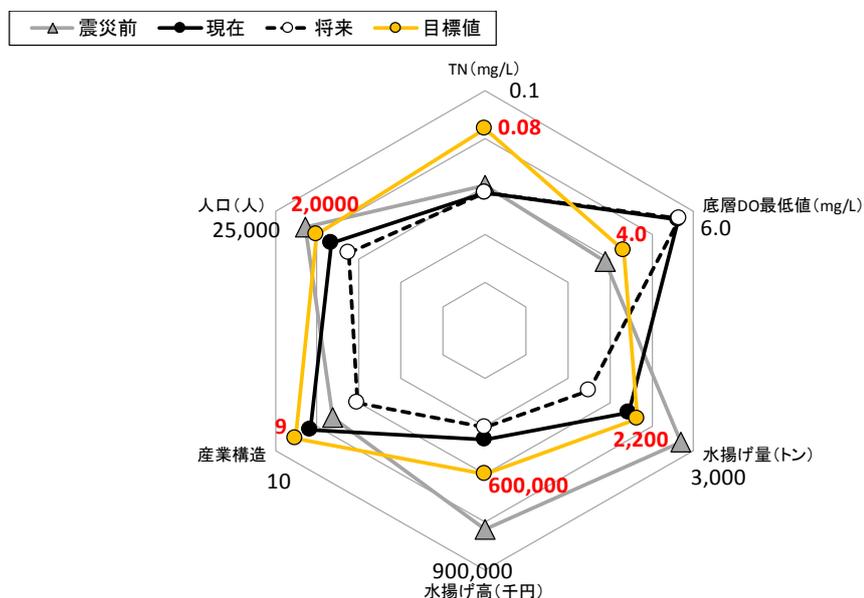


図4 志津川湾における「きれいで、豊かで、賑わいのある、持続可能な沿岸海域」の総合指標

(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) -1-1 光環境の特性解明

瀬戸内海全域について季節ごとの地域固有透明度を求め、現状の透明度との差異を計算した。結果として、大阪湾奥等の一部の海域においてはまだ透明度の改善余地は大きい、瀬戸内海の多くの海域では透明度の改善余地は2割に満たない程度であることがわかった。この結果は、今後栄養塩濃度を低下させ、植物プランクトン濃度が低下したとしてもそれによって改善する透明度はごくわずかであり、このプロセスによる藻場の生育範囲の自律的拡大には多くは期待できないことがわかった。

(1) -1-2 底質とベントスの分布特性

底質の約7割は有機物含量が大きい泥質であるクラスター1に分類された。クラスター1に分類された底質は硫化物濃度も高くベントスの生育には不適な環境であり、他のクラスターでの300~800個体/m²と比較して小さい100個体/m²のベントス密度であった。また、クラスター1に属する底質は瀬戸内海の中でも閉鎖性が高い大阪湾、広島湾、周防灘、さらに停滞性が高い燧灘、播磨灘などと沿岸域に広がっていた。

(1) -2-1 基礎生産の推定手法の開発

広島湾他で得られたデータを用いて計算した窒素およびリンの半飽和定数を求めた。栄養塩濃度が高い領域では半飽和定数は一定の値を示したが、DIN 2.0 μmol/l、DIP 0.2 μmol/lあたりから急激に減少した。半飽和定数を一定とした計算では、栄養塩濃度が欠乏してくると基礎生産がほとんどゼロになるが、実測ではそのようなことはなく、栄養塩欠乏状態においても一定の基礎生産が起きている。半飽和定数を栄養塩濃度の係数とすることでこの問題は解消した。

(1) -2-2 二次生産速度の推定手法の開発

Chl. *a*濃度とカイアシ類による二次生産速度の関係を求めた。Chl. *a*濃度 10 μ g/lあたりでカイアシ類にとっては十分な餌環境となり、それ以上では二次生産速度は大きく変化しなかった。

(1) -2-3-1 生産に関わる水質と基礎生産の時空間分布解析

季節ごとの基礎生産の経年変化を以下に示す。秋から冬は過去からの変化はほとんど観察されなかったが、春および夏は2000年ぐらいから低下傾向にある。特に夏の減少が著しい。次に2000年から基礎生産の減少が顕著であり、障害が起こりやすい季節である夏季の基礎生産を海域ごとに整理した。1981~1990年の夏季平均Chl. *a*濃度によって海域を5つに分類し、整理した。1980年代においても夏季平均Chl. *a*濃度が5 μ g/lを超える海域は瀬戸内海全体の23%に過ぎない。32%を占めるChl. *a*濃度2 μ g/l以下の海域では夏季基礎生産は1980年代より現在はむしろ増加している。2-5 μ g/lの海域では1995年~2000年にかけて最大値をとり、その後減少しているが、1980年代と比較した減少はそれほど顕著ではない。一方で5 μ g/l以上の海域では減少が顕著に起こっていることが確認できた。

(1) -2-3-2 二次生産の時空間分布解析

季節ごとの二次生産の経年変化を調べた。二次生産も秋、冬だけでなく、春も過去から増減はほとんどみえない。夏については、基礎生産同様に2000年ぐらいから低下傾向が顕著に表れている。基礎生産と比較して二次生産の減少が小さい理由として、基礎生産の減少がChl. *a*濃度が高い海域で起きたことが考えられる。先に示したように、Chl. *a*濃度 10 μ g/lあたりでカイアシ類にとっては十分な餌環境となり、それ以上では二次生産速度は大きく変化しなかったことから、これまでChl. *a*濃度が高い海域で起きた基礎生産の減少は、二次生産速度には大きな影響を及ぼさなかったと推定される。

(1) -2-3-3 瀬戸内海における主要な三次生産としての カタクチイワシ生産の時間変化

カタチイワシと東部海域におけるイカナゴについて漁獲量だけでなく、資源量が推定されている。カタチイワシの餌は植物プランクトンと動物プランクトンであり、その比率は1:3とされている。そこであとの解析のために動物プランクトンに依存した部分の生産速度を計算した。その結果、生産速度としても1990年代半ばが最も低く、その後は一定であることが示された。

(1) -2-3-4 転送効率の時間変化

基礎生産、二次生産の年間平均値と先に計算したカタチイワシの動物プランクトンに依存した生産速度を用いて転送効率を計算した。基礎生産から二次生産の転送効率は1970年代から徐々に上昇している。先にも述べた通り、1980年代高濃度のChl. *a*を示した海域で二次生産に結び付かない過剰な基礎生産が減少したことから、転送効率は上昇したと考えられる。過剰な基礎生産は底質に移行し、底質悪化を引き起こすため、この間の基礎生産の減少と転送効率の上昇は、底泥に移行する有機物量を低下させながらも浮遊系でのさらに高次の生物生産を支える生産は減少させない望ましい基礎生産の減少であったと結論付けることが可能である。一方、二次生産から三次生産の転送効率をみると三次生産の変動を主として受けていること、転送効率が0.1付近であり、高すぎる状況にはないことを鑑みると三次生産は二次生産に律速されて変動したわけではなく、太平洋群も入り込む瀬戸内海では、餌環境以外の要因におけるカタチイワシの変動に依存しているのではないかと推察される。

(1) -3-1 漁獲量及び資源量から評価した魚類の生産構造

魚類漁獲量全体の推移をプランクトン食魚とその他の魚種に分けて評価したところ、2000年までの漁獲量はプランクトン食魚で説明され、2000年以降はその他魚類の減少で説明された。漁獲量としては1980年代から一貫して減少しているが、その中身は2000年を境に異なっていることが示された。1980年代には瀬戸内海ではマイワシがプランクトン食魚の代表であったが、1990年代までにほとんど姿を消した。これは日本各地の沿岸域で観察されたレジームシフトと呼ばれる現象であり、その影響で1980年代から2000年にかけてプランクトン食魚が減少している。その後はほとんどプランクトン食魚の減少は起こっておらず、先に述べた2000年ごろから春や夏に基礎生産の減少が起こったこととの関連が薄いことを裏付ける。現在瀬戸内海の主要なプランクトン食魚であるカタチ

イワシをみると1990年代半ばから資源量としては増加している。三次生産としてみても近年減少は起こっていないことは先に示した通りである。

(1) -4-1 アマモの栄養塩吸収機能

栄養塩類の低減を通じて達成される環境保全と栄養塩類にその生産が左右される基礎生産に基礎を置く生物生産では、栄養塩類に関しては全く逆の要求をしていることになる。しかし、環境保全と生物生産では重点的に管理すべき時期と海域が異なることに注意を向ければ、両方の要求を満たす栄養塩管理は可能である。時期についていえば、高水温期には植物プランクトンの過度な増殖を抑制するため栄養塩負荷を低く保ち、低水温期には生物生産のために栄養塩負荷を高くし、海域についていえば、栄養塩が過剰になりやすい沿岸域の栄養塩濃度を低減し、栄養塩が不足しがちな沖合では栄養塩濃度を高める栄養塩管理である。ただし、沖合の栄養塩濃度を高めることは、一般には困難であるため沖合の栄養塩濃度に影響を及ぼさないように沿岸域の栄養塩濃度を低下させる方策を検討することになる。

(1) -4-2 アマモ場の栄養塩吸収機能が植物プランクトン増殖の抑制に果たす役割

広島湾北部海域には100 haのアマモ場が存在する。一方、光環境だけから計算するとアマモ場は370 haまで増加可能である。もちろん底質環境や流れ等光環境以外にアマモの生育を制限する要因があるが、ここではこの370 haにすべてアマモを生育させることができた場合にインパクトについて評価した。5月のChl. *a*濃度の分布を現状のアマモ場100 haの場合と370 haの場合を比較した。アマモ場を増やした湾奥部では2.0・g/l程度のChl. *a*濃度の低減が起こった一方で湾中央部から湾口ではChl. *a*濃度の変化は限定的であり、アマモ場の増勢が沿岸のChl. *a*濃度が高くなりやすい場所で効果的に働くことを示すことができた。

(2) -1 藻場（アマモ場）

沿岸部では降雨による塩分低下と栄養塩濃度の増加が起こる。生島湾で2015年6月に行った観測では、降水時に塩分の低下と急激なDIN濃度の増加が認められ、その際にアマモ葉鞘部のN含量が16.3 mg N/gから6日間で約2倍の35.1 mg N/gまで上昇し、一方で炭素窒素比（C/N比）は22.6から14.2まで減少する現象を捉えた。これは定常時における栄養塩吸収による植物プランクトンの増殖抑制効果だけでなく、海域の栄養塩濃度が急激に高まる降雨時にはその吸収能力を高めて栄養塩濃度の低減に寄与する機能がアマモにはあることを示している。

(2) -2 干潟

新川・春日川は本研究プロジェクトの前の流入負荷が大きかった2006年～2010年の結果と負荷が減少した本プロジェクト期間の結果を比較した。2006年～2010年の新川・春日川河口干潟では42%の窒素が除去されていたが、2017年の同干潟ではむしろ増加していたこともあり、干潟における窒素の除去については明確にはできなかった。一方で、共通する機能としていずれの場合も粒子状の有機窒素（PON）が減少し、DINが増加する現象がみられ、その程度は流入負荷に依存することがわかった。この粒子状の有機窒素を無機化し、生物に利用できる形態に変化させる機能が干潟の物質循環機能として重要であることが示された。

(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 2015年6月25日のウニ除去前には、磯焼け状態の点では、およそ20個体/m²のウニが分布し、アラメは、岸から4mまでの水深2m以浅の波当たりの強い海底のみに分布

2016年11月28日にはトランセクト上のウニ個体密度は0個体/m²となり、アラメの密度は、岸から12mの範囲で幼体と成体が増加。

2-2 養殖筏密度が志津川地区海域よりも低い戸倉地区海域のカキの成長は、むき身湿重量で、2歳で平均7gほど戸倉地区海域のカキの成長が良かった。

カキの年齢が若いほど糞中に占める有機物の割合は低く、年齢が高いほど多くなった

カキの糞中の有機物を分解するために必要な酸素量は、年齢の若いカキの糞ほど少なく、年齢が高いカキほど多くなった。

(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)

地球温暖化による日本海の環境の将来変動予測を行ったところ、RCP2.6の場合、日本海南部で1.56℃、日本海北部で1.04℃上昇する、RCP8.5の場合、南部で2.75℃、北部で3.13℃上昇するといった予測結果が得られた。日本海の海水温が上昇するメカニズムについては、気温の上昇に伴う海水温の上昇に加え、対馬暖流の強化による高温水の流入量の増加であることが解明された。これが日本海が他の海域に比べて海水温上昇速度が速い要因と推察される。さらに対馬暖流が強化されることにより、日本海極前線の北上、日本海北部の高塩化、深層水酸素濃度の低下抑制など様々な変化をもたらすことも明らかとなった。日本海沿岸域と東シナ海の関係については、東シナ海の環境変動に支配されていると言えるほど関係が強いことが明らかとなった。栄養塩に関しては日本海西部で90%、東部でも60%が東シナ海に由来するものであり、主な供給源は黒潮・太平洋の亜表層水である。

日本海はこれら短期的・長期的な変動に敏感に反応する海域であり、それに伴い低次生態系、高次生態系も応答を示す。対馬海峡からの栄養塩流入の短期変化により、日本海中部海域で基礎生産が増減し、温暖化に伴う日本海北部海域の高栄養塩化により、基礎生産量は増加する。スルメイカ、ズワイガニの卵幼生は、高水温化により生残率が高くなるほか、分布も北部海域へと拡大していく。

富山県は水資源が豊富な地域として知られているが、陸水や地下水が富山湾の基礎生産にどれほど貢献しているかその定量化を行った。その結果、栄養塩供給は、晩春以降は陸域からの負荷が主な供給源となっており、温暖化の影響を受けて変動すると思われる春から秋にかけての水循環を維持していくことが重要であることが明らかとなった。

(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) (生態系サービスの経済評価)

志津川漁協の意識調査では、志津川湾への対策の支払い意思額、志津川湾の経済的価値、持続可能性に対する意識などを実施した。沿岸海域の環境保全活動に対する支払い意思額は藻場、磯やけ、森川海の活動の3つを尋ねた。支払い金額は10年間毎年支払うものとした。これらの支払い意思額は、藻場保全で6337円、磯やけ防止対策6183円、上流域森林保全5192円で合計すると17712円となる。この支払い意思額から見るかぎり漁業者は海への期待は大きいものと考えられる。一般市民の干潟・藻場への支払い意思額は316円/月(3792円/年)であり、漁業者の約半分となっている。

広島湾の生態系サービスの経済価値:海のきれいさを代表する海水の透明度は、広島湾内でも水質が相対的に低く水のきれいさに問題を抱えている広島湾奥部のベイサイドビーチ坂という海水浴場を対象とした。海の豊かさを代表する養殖カキの量は、ベイサイドビーチ坂の位置する坂町地先と金輪島の東側海域を養殖場所とした。回答者に提示する環境質の改善前後の数値は、海洋の物質循環に関する専門家と研究者が共同で構築したモデルによるシミュレーション結果を用いた。全WTPは、広島湾北東部のきれいで豊かな海に対する総便益評価額を示し、中央値ベースでは、1ヶ月あたり3,010万円、平均値ベースでは、1ヶ月あたり3,196万円と試算された。支払期間10年間を想定すると、中央値ベースでは36億円、平均値ベースでは38億円であった。

生態系サービスの経済評価は、生態系サービスの潜在的価値を評価するため、現実的対応が不十分である。そこで、沿岸海域の生態系サービスの測定を目的として、供給サービスでは、食料(海面漁業・水産物、海面養殖・養殖)とし、その代表値として漁獲高とする。文化的サービスでは、レクリエーションとして、その代表値として観光産業収入とする。すなわち、沿岸海域の活用型生態系サービス(AESCZ: Actual Ecosystem Service of Coastal Zone)の推定式は次のとおりである。

$$AESCZ = \text{漁業生産額 (FP)} \times (\alpha + \beta) + \text{観光客入れ込み数 (TPo)} \times \text{観光客消費額 (TPC)} \times \gamma$$

AESCZ=沿岸海域の活用生態系サービス(10億円/年)、FP=漁業生産額(10億円/年)、TPo=観光客入れ込み数(万人/年)、TPC=観光客消費額(万円/人)、 α =前方連関係数、 β =後方連関係数、 γ =誘発係数
日本の沿岸海域の活用型生態系サービス(AESCZ)経済評価の対象地域は、日生湾、志津川湾、七尾湾、

広島湾、気仙沼湾、富山湾である。

沿岸域サステナビリティ評価フレームワークは、里海、生態系サービス学 (Ecosystem services、ES) 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ものである。里海により描かれた望ましい沿岸域の姿をESを用いて生態系サービス、そしてその供給源であるストックに翻訳し、IWIを算定することで、サステナビリティ評価をし、ICZMへの示唆を導出する。

里海のサステナビリティ評価における、「状態」の要素として、「環境」、「社会」、「経済」の諸側面を把握することは可能であるが、これらの要素を基本としながら里海の多様性・持続性を保障するためには、サステナビリティを実現するための能力さらにはその能力を活かす意思が必要である。サステナビリティの状態を基本に、里海のサステナビリティを可能にするための「能力」の要素として、「多様性」、「脆弱性」、「回復力」が要素としてあげられる。これらの能力が総合的に把握された場合、里海のサステナビリティを実現するためには、地域のみならず都市との連携さらには未来に向けたムーブメントが必要である。これらの「能力」を踏まえ里海のサステナビリティを実現するためには地域の「意思」が不可欠である。サステナビリティの「能力」を発揮するための「意思」の要素として、「マネジメント」、「ケイパビリティ」、「社会的合意」が要素としてあげられる。「意思」は「能力」を合理的に高め、将来に向かって人材を育成し、地域社会の意思として合意することである。日生中学校の海洋教育プログラムが生徒に与える教育効果を明らかにするために、中学生108名 (1、2、3年生それぞれ36名ずつ) に対して、2017年4月に聞き取り調査を実施した。地域の多様な関係者が関わり、海と人、人と人がつながる機会を提供し、また漁師と連携することで地域づくりに貢献する日生中学校の海洋教育は、従来の海洋リテラシー教育とは異なる「里海教育」の特筆される事例である。

(沿岸海域多段階管理法提案)

日本には沿岸海域を全体として管理する法制度はないものの、個別の管理目的を持った法制度や沿岸域総合管理に近い性格を持ったプロジェクト、それに里海と称される取組みは多数存在する。そこで、管理の仕組みが空間スケール (地先、市町村沿岸、都道府県海域、それを超える海域) と利用の複雑さ (単相、複相、多相) で異なるという仮定のもとに、これらの二軸で取組みを分類して配置した。

沿岸海域における管理の仕組みは、対象とする沿岸海域の広さによって異なっており、それをモデル化したのが多段階管理システムである。都道府県海域を対象に、里海づくり・里海ネットワーク・沿岸域インフラの提供という管理活動が、地域あげてのアプローチ・支援型アプローチ・全政府あげてのアプローチによって促進されるものである。都道府県を超える海域は沿岸域インフラ提供の共通化で対応される。このシステムは、ネットワーク・ガバナンスによって統合される。

沿岸海域における管理の仕組みは、対象とする沿岸海域の広さによって異なっており、それをモデル化したのが多段階管理システムである。都道府県海域を対象に、里海づくり・里海ネットワーク・沿岸域インフラの提供という管理活動が、地域あげてのアプローチ・支援型アプローチ・全政府あげてのアプローチによって促進されるものである。都道府県を超える海域は沿岸域インフラ提供の共通化で対応される。このシステムは、ネットワーク・ガバナンスによって統合される。

多段階管理システムの骨格とネットワーク・ガバナンスとしての統治の評価シートを作成し、日生湾、志津川湾、大村湾、大阪湾、チェサピーク湾の事例分析を行った結果、各事例の強みと弱み、それらに基づく改善点を抽出した。例えば、志津川湾は、漁村集落を単位とした養殖漁場管理は有効であるが、横の連携が不足している。ラムサール条約の湿地登録をきっかけに、官民による縦横の連携促進が期待される。

(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)

調査対象となった三海域の区分内容からもわかるように、日本の里海の自然は世界的にみても多様である。太平洋沿岸域、ユーラシア大陸との間の日本海に面した日本海沿岸域、瀬戸内海をはじめ伊勢・三河湾、東京湾などの内湾沿岸域があり、それぞれの海岸地形も多様である。海流は、南からの暖流と北からの寒流がぶつかり、プランクトンがわいて、餌も豊富である。沿岸域には海藻・海草が繁茂し、根付の磯魚、海底の底魚や水面近くの浮魚と魚種が多く、700~800種類の魚がいるという。さらに海域ご

とに季節でとれる魚が異なり、魚類生産量も高い。そうした自然環境のなかで日本人は、生きていくためにはやくから魚介類に依存する生活をしてきた。和食が登録された背景には里海とともに、アジアモンスーン気候で里山・里地の食材が多様で豊かだったからである。里山からは山菜や茸類がとれ、里地の米は無論のこと野菜類は世界的にも多様で恵まれていた。海里山の恵まれた自然の豊かさによりそいながら、大陸からの先進的な文化を受け入れ、融合させながら豊かで多様な和食文化をうみだした。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。

（対馬・五島の海洋保護区における漁業調整活動）

「海洋保護区」とは、生息場の水、底、岸が海の生物多様性の保全と持続可能な利用のために守られている区域（エリア、空間）である。そこに生息している生物が永続的に生息するために、生物の個体だけでなく、個体群も保全の対象としていく。海洋保護区は、基本的には空間管理であり、個体群管理は野性生物管理、水産資源管理の分野である。

海洋保護区の設定の国際目標としては、第10回生物多様性条約締約国会議（CBD/COP10）が2010年に愛知県名古屋で開催された際に決議された「愛知目標 Aichi Targets」の第11目標では、2020年までに全地球の海洋の10%を保護区としての管理下に置くと設定している。この決議に至るまでの10年間は、海洋保護区のガイドラインの作成など、国際的な海洋環境政策形成がなされてきた。

2015年に、国際社会の持続可能な社会の目標（SDGs）の第14目標に「海洋環境保全」がリストされたことで、一部の海洋関係者だけの問題と言わなくなった。持続可能な海洋管理には、人類のより一層の努力が求められる状況となった。対馬市での海洋保護区政策の歩みを整理した。

MPAの設定・管理では漁業者の意向は最大の影響力をもつ。沖合域の漁業調整がなされている海域でも、MPAに求められる生物資源の保全と利用のルールを適用されているとみなすことができる。また、水産資源保護においても、希少生物の保全と同様に、生態系指標種、代表種、シンボル種の存在は重要である。特に、高級魚は経済的波及効果も大きく、乱獲にも遭いやすい。また、底生魚類の場合にはトロール漁業によって海底環境が破壊されるとハビタット喪失となり個体群の維持が困難となる場合もある。対馬海域では、アカアマダイとアカムツ（ノドグロ）を対象に、すでに対馬の漁業者からの発案で水産資源保護区が設けられている。九州大学と対馬市では、漁業者の漁場認識のヒアリング調査を行い、沿岸だけでなく沖合の海域についても海底の立体地図を示し、海流・潮流、地形など環境と水産種の分布の対応を図化した。上対馬漁業協同組合の漁業者からは、いくつかの鍵になるエリアが示された。対馬北東海域の箇所がアマダイを代表種として様々な魚種が集中し、「長崎県アマダイ資源管理計画」によってすでに保護区となっている。

（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）

志津川湾で開発した統合数値モデルを用いて計算された、震災前と現在の成層期の底層D0（溶存酸素）濃度分布を図5-1に示す。このモデルは震災前と現在の、沿岸域の人口・土地利用変化など社会・文化的変化に伴う、陸域からの窒素負荷量の変化、志津川湾におけるカキ養殖量の変化、外洋の環境変動、などの影響が考量されている。

これを見ると、震災前は湾奥において、D0濃度4mg/L以下の貧酸素水塊が発生していたのに対して、現在は貧酸素水塊が発生していない。感度解析の結果、このような底層水質改善に最も効いたのは、「カキ養殖量を震災前の1/3に減少させた」ことだった。これは漁民の経験値に基づいた海洋環境への行動の正の効果が、初めて科学的に立証された例である。

海底付近の溶存酸素量の比較

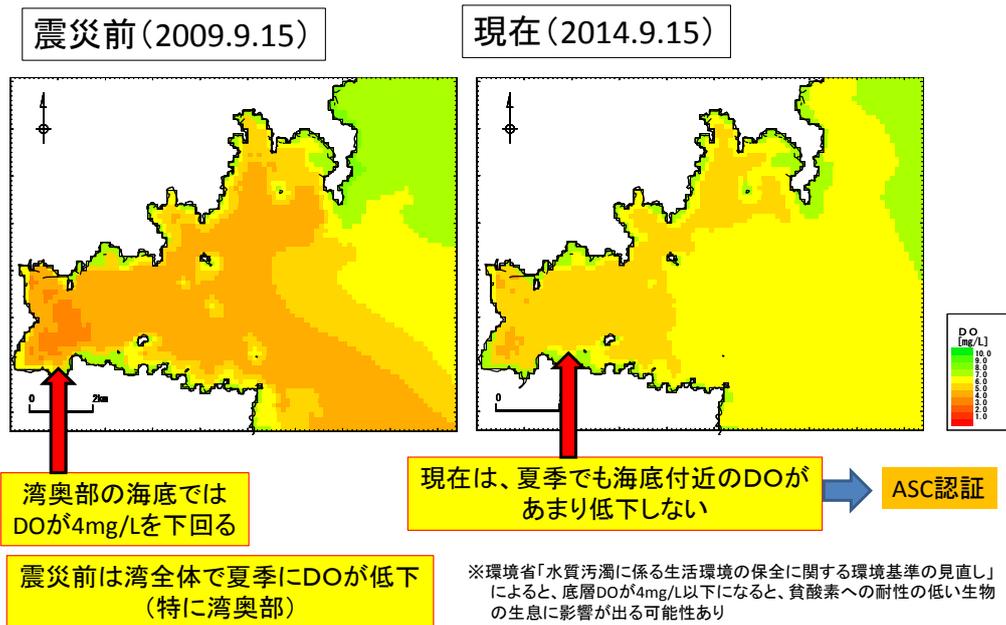


図5-1 震災前と震災後の志津川湾の底層DO濃度分布の変化

また、瀬戸内海統合モデルの入れ子モデルである広島湾モデルを用いて、現在の状況と、沿岸付近の浅瀬で日光が海底まで届く範囲でアマモ場造成を行った(現在の約4倍のアマモ場面積となる)場合の春季ブルーム時のchl. *a*濃度計算結果(図5-2)は、現在の状況では沿岸付近でchl. *a*濃度が $4.5 \mu\text{g/L}$ を越えて、赤潮が発生し、底層では貧酸素水塊が生成されるが、アマモ場造成後はすべての領域でchl. *a*濃度 $4.5 \mu\text{g/L}$ 以下となり、赤潮も貧酸素水塊も発生しないことが明らかとなった。

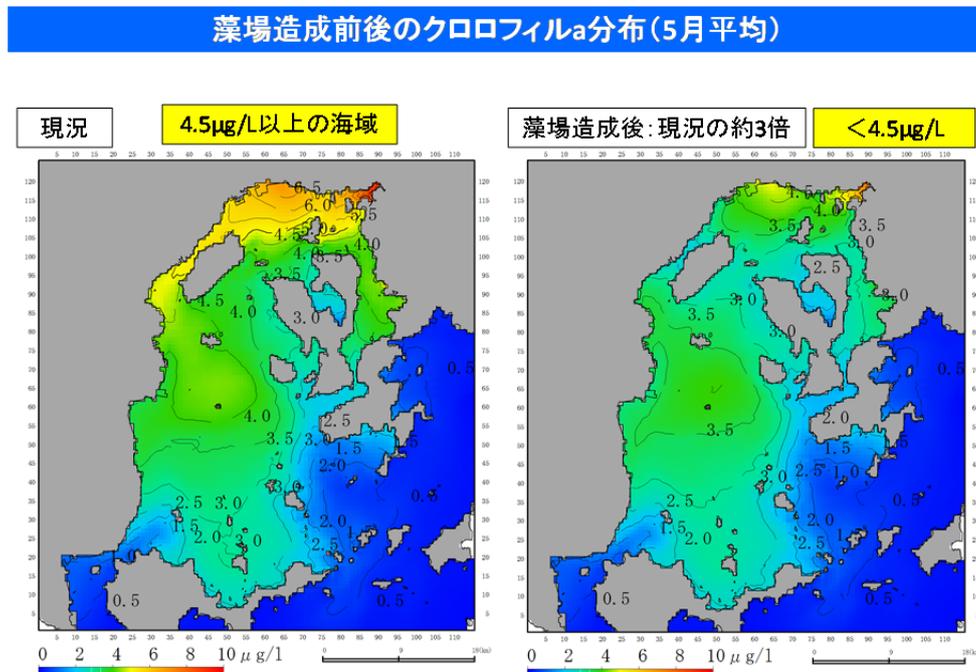


図5-2 アマモ場造成前(現況)と造成後の5月(春季ブルーム時)の表層chl. *a*濃度分布

このことは広島湾の栄養塩濃度管理方法としては、陸上からの負荷量削減(広島湾沖合の栄養塩濃度を低下させてしまう)よりは、岸近くの浅瀬におけるアマモ場造成の方策の方が優れている(春季ブルーム時に赤潮発生を防止し、夏季に枯れたアマモが流れ藻となり、沖合に運ばれ分解されることで、広島湾全域の栄養塩濃度もあるレベルに維持できる)ことを示唆している。

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、海底の貧酸素水を招く。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」は、動物プランクトンにすべて摂食される植物プランクトン濃度を実現する海で、それを可能にするための、目標透明度・必要なTN・TP濃度として、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」を表す総合指標を提案し、協議会の議論を通じて、この総合指標を達成することにより、「賑わいのある、持続可能な沿岸海域」を実現できることを、その過程・必要な行動を含め、志津川湾で初めて、具体的に示した。

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

「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。

6. 研究成果の主な発表状況

日本海洋学会・沿岸海洋シンポジウム「持続可能な沿岸海域管理法」を2017年10月13日（金）東北大学理学研究科・川井ホールで開催し、その成果を、2018年8月発行、「沿岸海洋研究」第56巻、第1号にまとめた。

2016年8月23日（火）、EMECS11において、ロシア・セントペテルスブルグ・Azumitホテルで、特別セッション「ICM and Satoumi」を開催し、S-13の途中経過を報告し、各国参加者からコメントをもらった。

さらに、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、各国参加者からコメントをもらった。

以上二つの国際Workshopの成果は国際EMECSセンターからパンフレットとして発行されている。

また、2019年1月23-25日、シンガポール・Manila Bay Sandsで開催されたUNEPの3rdMinisters & Environment Authorities of Asia Pacificのサイドイベントで机を一つ用意し、S-13の解説パンフを配布するとともに、希望者に結果の内容説明を行った。

(1) 主な誌上発表

<査読付論文>

- 1) 柳 哲雄 (2018) 瀬戸内海における海洋生態系構造の変遷. 環境技術, 47-4, 30-33.
- 2) 柳 哲雄 (2018) 持続可能な沿岸海域管理法開発プロジェクトの概要. 沿岸海洋研究, 56-1, 3-11.
- 3) 柳 哲雄 (2018) 里海創生の歴史. 鹿熊信一郎・柳 哲雄・佐藤 哲編, 「里海学のすすめ-人と海の新たな関わり-」, 勉誠出版, 48-70.
- 4) 柳 哲雄 (2018) アマモ場を再生しカキを養殖する-岡山県日生. 鹿熊信一郎・柳 哲雄・佐藤 哲編, 「里海学のすすめ-人と海の新たな関わり-」, 勉誠出版, 105-123.
- 5) サコマル・スヘンダル、柳 哲雄 (2018) 多栄養段階養殖で放置池地域・沿岸域を復興する. 鹿熊信一郎・柳 哲雄・佐藤 哲編, 「里海学のすすめ-人と海の新たな関わり-」, 勉誠出版, 124-144.
- 6) 笠毛健生・白木喜章・片山理恵・池田香澄・柳 哲雄 (2019) 大阪湾における水質・底質の長期変動. 土木学会論文集B3 (海洋開発), 75-2, 67-73
- 7) 小松輝久・佐々修司・門谷 茂・吉村千洋・藤井 学・夏池真史・西村 修・坂巻隆史・柳 哲雄 (2018) 開放性内湾を対象にした沿岸環境管理法の研究: 南三陸志津川湾の例. 沿岸海洋研究,

- 56-1, 21-29.
- 8) Yanagi, T. (2018) Restoration of eelgrass beds by the fishermen of Hinase in the Seto Inland Sea, Japan. In “Small-scale Fisheries in Japan, ed. by G. Bulian and Y. Nakano, Edizioni, Roma 53-64.
- 9) Nurdjaman, S., M. Burhanuddin, T. Yanagi, I. Radjawane, T. Suprijo (2018) Estimating flushing time in Citarum River Estuary, Indonesia by using empirical and numerical methods. *Advances in Environmental Sciences*, 10-3, 209-216.
- 1 0) Wataru Nishijima, Akira Umehara, Tetsuji Okuda, Satoshi Nakai: *Marine Pollution Bulletin*, 92, 1-2, 90-98 . (2015). Variations in macrobenthic community structures in relation to environmental variables in the Seto Inland Sea
- 1 1) Wataru Nishijima, Akira Umehara, Satoshi Sekito, Tetsuji Okuda, Satoshi Nakai: *Science of the Total Environment*, 571, 543-550. (2016). Spatial and temporal distributions of Secchi depths in the Suo Nada of the Seto Inland Sea, Japan, exposed to anthropogenic nutrient loading
- 1 2) Yuya Shigematsu, Yuichiro Ochi, Shuhei Yamaguchi, Kazumitsu Nakaguchi, Yoichi Sakai, Jun-ya Shibata, Wataru Nishijima, Takeshi Tomiyama: *Japan, Fisheries Science*, 83, 373-382. (2017). Winter longitudinal variation in the body size of larval fishes in the Seto Inland Sea
- 1 3) 新野洋平, 柴田淳也, 富山毅, 坂井陽一, 橋本博明: *日本水産学会誌*, 83, 1, 34-40. (2017). 瀬戸内海中央部燧灘周辺におけるタチウオ *Trichiurus japonicus* の食性
- 1 4) Wataru Nishijima, Akira Umehara, Satoshi Sekito, Feng Wang, Tetsuji Okuda, Satoshi Nakai: *Ecological Indicators*, 84, 583-589. (2018). Determination and distribution of region-specific background Secchi depth based on long-term monitoring data in the Seto Inland Sea, Japan
- 1 5) 一見和彦, 東菌圭吾, 山口聖, 山口一岩, 多田邦尚: *沿岸海洋研究*, 55(2), 79-86 (2018) 干潟域における一次生産と無機化過程: 高松市新川河口干潟域の調査結果から
- 1 6) 西嶋 渉: *沿岸海洋研究*, 56 (1) 、13-19 (2018) 瀬戸内海における栄養塩濃度管理法
- 1 7) Satoshi Nakai, Y Soga, Satoshi Sekito, Akira Umehara, Tetsuji Okuda, Masaki Ohno, Wataru Nishijima, Satoshi Asaoka: *Water Policy*, 20(4), 855-870. (2018). Historical changes in primary production in the Seto Inland Sea, Japan, after implementing regulations to control the pollutant loads
- 1 8) Akira Umehara, Satoshi Asaoka, Tetsuji Okuda, Naoki Fujii, Wataru Nishijima, Satoshi Nakai, Hironori Yamamoto, Sosuke Otani: *Aquaculture*, 495, 311-319. (2018). Biological productivity evaluation at lower trophic levels with intensive Pacific oyster farming of *Crassostrea gigas* in Hiroshima Bay, Japan
- 1 9) Satoshi Asaoka, Akira Umehara, Sosuke Ohtani, Naoki Fujii, Tetsuji Okuda, Satoshi Nakai, Wataru Nishijima, Koji, Takeuchi, Hiroshi Shibata, Waqar Azeem Jadoon, Shinjiro Hayakawa: *Marine Pollution Bulletin*, 133, 891-899. (2018). Spatial distribution of hydrogen sulfide and sulfur species in coastal marine sediment Hiroshima Bay, Japan
- 2 0) Jun-ya Shibata, Satoshi Tomano, Tetsuya Umino, Takeshi Tomiyama, Yoichi Sakai, Satoshi Nakai, Tetsuji Okuda, Wataru Nishijima: *Japan Agricultural Research Quarterly*, 52(4), 307-313. (2018). Isolation, characterization, and PCR multiplexing of microsatellite loci for western sand lance (*Ammodytes japonicus* Duncker and Mohr 1939)
- 2 1) Feng Wang, Akira Umehara, Wataru Nishijima, Satoshi Nakai: *Ecological Indicators*, 98, 397-408. (2019). Distribution of region-specific background Secchi depth in Tokyo Bay and Ise Bay, Japan

- 2 2) 坂井陽一・遠藤 梓・岩崎菜美・富山 毅・柴田淳也・山口修平・中口和光：広島大学総合博物館研究報告, in press, 瀬戸内海三原瀬戸におけるイカナゴの夏眠底質環境
- 2 3) Hirotsune Kuzuhara, Michio Yoneda, Tatsuo Tsuzaki, Masanori Takahashi, Naoaki Kono, Takeshi Tomiyama: Plos One, in press, Food availability before aestivation governs growth and winter reproductive potential in the capital breeding fish, *Ammodytes japonicas*
- 2 4) H. ITO, M. FUJII, Y. MASAGO, T. D. WAITE and T. OMURA “Effect of Ionic Strength on Ligand Exchange Kinetics between a Mononuclear Ferric Citrate Complex and Siderophore Desferrioxamine B” (2015)
- 2 5) M. FUJII, A. C. Y. YEUNG and T. D. WAITE: Environmental Science & Technology, 49(15), 9133-9142 (2015) “Competitive effects of calcium and magnesium ions on the photochemical transformation and associated cellular uptake of iron by the freshwater cyanobacterial phytoplankton *Microcystis aeruginosa*”
- 2 6) 櫻庭敬之、伊藤紘晃、藤井学、Lee Ying Ping、梶原晶彦、吉村千洋、渡部徹：土木学会論文集 G(環境), 71(7), III_287-III_295, (2015), 「各種森林及び農耕地から供給される有機鉄の特性比較分析」
- 2 7) M. FUJII, T.C. DANG, M.W. BLIGH and T.D. WAITE: Limnology and Oceanography, 61(6), 2151-2164 (2016) “Cellular characteristics and growth behavior of iron-limited *Microcystis aeruginosa* in nutrient-depleted and nutrient-replete chemostat systems”
- 2 8) Y.P. LEE, M. FUJII, K. TERA0, T. KIKUCHI, and C. YOSHIMURA: Water Research, 103, 160-169 (2016) “Effect of dissolved organic matter on Fe(II) oxidation in natural and engineered waters”
- 2 9) R. Tsujimoto, G. Terauchi, H. Sasaki, S. X. Sakamoto, S. Sawayama, S. Sasa, H. YAGI and T. Komatsu: International Journal of Remote Sensing, 37(24), 5843-5863 (2016). “Damage to seagrass and seaweed beds in Matsushima Bay, Japan, caused by the huge tsunami of the Great East Japan Earthquake on 11 March 2011”
- 3 0) 夏池真史, 菊地哲郎, Lee Ying Ping, 伊藤紘晃, 藤井学, 吉村千洋, 渡部徹: 水環境学会誌, 39(6), 197-210 (2016) 「自然水中における鉄の化学種と生物利用性－鉄と有機物の動態からみる森・川・海をつながり－」 (総説)
- 3 1) T. KIKUCHI, M. FUJII, K. TERA0, R. JIWEI and C. YOSHIMURA: Science of the Total Environment, 576, 36-45 (2017) “Correlations between aromaticity of dissolved organic matter and trace metal concentrations in natural and effluent waters: A case study in the Sagami River basin, Japan”
- 3 2) Y.P. LEE, M. FUJII, T. KIKUCHI, M. NATSUIKE, H. ITO, T. WATANABE, and C. YOSHIMURA: Chemosphere, 180, 221-228 (2017) “Importance of allochthonous and autochthonous dissolved organic matter in Fe(II) oxidation: A case Study in Shizugawa Bay watershed, Japan”
- 3 3) Y.P. LEE, M. FUJII, T. KIKUCHI, T. TERA0, and C. YOSHIMURA: PLOS ONE, 12(4), doi:10.1371/journal.pone.0176484 (2017) “Variation of iron redox kinetics and its relation with molecular composition of standard humic substances at circumneutral pH”
- 3 4) M. ATEIA, J. RAN, M. FUJII, and C. YOSHIMURA: International Journal of Environmental Science and Technology 14: 867, doi:10.1007/S-13762-016-1214-x (2017) “The relationship between molecular composition and fluorescence properties of humic substances”
- 3 5) 山本裕規・吉木健吾・小松輝久・佐々修司・濱名正泰・村田裕樹・柳哲雄：土木学会論文集 B2(海岸工学), 73(2), I_1339-I_1344 (2017) 「志津川湾におけるカキ養殖等の環境容量に関する数値モデル解析-震災前と現在の比較」

- 36) 小松輝久, 大瀧敬由, 佐々修司, 澤山周平, 阪本真吾, ゴンザルボ マロ サラ, 浅田みなみ, 濱名正泰, 村田裕樹, 田中潔, 辻本良: 沿岸海洋研究, 54(2), 117-127. (2017) 「三陸の沿岸漁業を支えるブルーインフラの大津波後の復興過程」
- 37) 遠藤雄大, 夏池真史, 宮本真奈美, 藤井学, 吉村千洋: 土木学会論文集 B1(水工学), 74(4), 535-540, (2018) 「北上山地水系の冬季における土地被覆の溶存鉄負荷量に対する影響およびその原単位」
- 38) 小松輝久, 佐々修司, 門谷茂, 吉村千洋, 藤井学, 夏池真史, 西村修, 坂巻隆史, 柳哲雄: 沿岸海洋研究, 56(1), 21-29, (2018) 「開放性内湾を対象とした沿岸環境管理法の研究: 南三陸志津川湾の例」
- 39) 大原光司, 湯上洋平, 川畑達矢, 藤林恵, 西村修, 坂巻隆史: 土木学会論文集 G(環境), 74(7) III_53-62 (2018) 「脂肪酸組成分析を利用した内湾一次生産の制限因子の評価」
- 40) 川畑達矢, 藤林恵, 湯上洋平, 西村修, 坂巻隆史: 土木学会論文集 G(環境), 74(7) III_63-72 (2018) 「海水中粒状有機物の化学組成と酸素消費に及ぼすカキ養殖場の影響」
- 41) M. FUJIBAYASHI, T. SAKAMAKI and O. NISHIMURA: Marine Environmental Research (in press) Effect of Sedimentary Organic Matter on Species Richness of Deposit Feeders in Enclosed Bay Ecosystems: Insight from Fatty Acid Nutritional Indicators

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) T. KOMATSU and T. YANAGI: In Marine productivity: Perturbations and resilience of socio-ecosystems, ed. by H.-J. Ceccaldi, Y. Hénocque, Y. Koike, T. Komatsu, G. Stora and M.-H. Tusseau-Vuillemin, pp. 283-290, Springer, Cham (2015)
“Sato-umi: An integrated approach for sustainable use of coastal waters, lessons from human-nature interactions during the Edo period of eighteenth-century Japan”
- 2) T. Komatsu, T. Ohtaki, S. Sakamoto, S. Sawayama, Y. Hamana, M. Shibata, K. Shibata... and S. SASA: In Marine productivity: Perturbations and resilience of socio-ecosystems, ed. by H.-J. Ceccaldi, Y. Hénocque, Y. Koike, T. Komatsu, G. Stora and M.-H. Tusseau-Vuillemin, pp. 43-53, Springer, Cham (2015) “Impact of the 2011 Tsunami on seagrass and seaweed beds in Otsuchi Bay, Sanriku Coast, Japan”
- 3) T. KOMATSU, S. SASA, M. HAMANA, S. SAKAMOTO, M. ASADA, G. TERAUCHI, R. TSUJIMOTO and T. YANAGI: In The 2011 Japan Earthquake and Tsunami: Reconstruction and Restoration, ed. by V. Santiago-Fandiño, S. Sato, N. Maki and K. Iuchi, pp. 265-278, Springer, Cham (2018)
“Temporal and spatial changes in a coastal ecotone in Shizugawa Bay, Sanriku Coast due to the impacts of the tsunami on 11 March 2011 and the following artificial impacts”
- 4) T. KOMATSU, S. SASA, H. MURATA, H. SAWAYAMA, M. HAMANA, M. ASADA, R. TSUJIMOTO, G. TERAUCHI and T. YANAGI: In Oceanography Challenges to Future Earth ed. by T. Komatsu, H.-J. Ceccaldi, J. Yoshida, P. Prouzet and Y. Henocque, pp. 95-104, Springer, Cham (2019) Trophic Cascade in Seaweed Beds in Sanriku Coast Hit by the Huge Tsunami on 11 March 2011: Sea Urchin Fishery as a Satoumi Activity Serving for Increase in Marine Productivity and Biodiversity
- 5) B. Zhang, J. Zhang and T. Yoshida (2017): Temporal variations of groundwater tables and implications for submarine groundwater discharge: a 3-decade case study in central Japan, Earth Esyt. Sci., 21, 3417-3425
- 6) 吉田尚郁・張 勁・森本昭彦・柴野良太・広瀬直毅・高山勝巳・郭 新宇・王 玉成・眞野 能・吉江直樹 (2018) : 日本海三階層管理の提案、沿岸海洋研究、56、31-38
- 7) H. Kim, K. Takayama, N. Hirose, G. Onitsuka, T. Yoshida and T. Yanagi (2018): Biological modulation in the seasonal variation of dissolved oxygen concentration in the upper Japan Sea, J. Oceanogr., <https://doi.org/10.1007/s10872-018-0497-6>

- 8) Sakurai, Ryo, Takahiro, Ota, Takuro, Uehara, & Ken'ichi, Nakagami. (2016). "Factors affecting residents' behavioral intentions for coastal conservation: Case study at Shizugawa Bay, Miyagi, Japan" *Marine Policy* 67: 1-9.
- 9) Sakurai, Ryo, Takahiro, Ota, & Takuro, Uehara. (2016) "Sense of place and attitudes towards future generations for conservation of coastal areas in the Satoumi of Japan". *Biological Conservation* 209: 332-340
- 1 0) 桜井良・太田貴大・上原拓郎・仲上健一(2016) 「岡山県日生町周辺の住民の沿岸エリアに対する意識－居住地別の分析より－」、人間と環境 42 巻 3 号、pp.18-26
- 1 1) Uehara, T., Niu, J., Chen, X., Ota, T., Nakagami, K. i. (2016) "A sustainability assessment framework for regional-scale Integrated Coastal Zone Management (ICZM) incorporating Inclusive Wealth, Satoumi, and ecosystem services science"、*Sustainability Science* 11(5), pp.1-12
- 1 2) Uehara, T., Mineo, K. (2017). "Regional sustainability assessment framework for integrated coastal zone management: Satoumi, ecosystem services approach, and inclusive wealth" *Ecological Indicators* 73, pp.716-725.
- 1 3) R.Sakurai , T.Ota , T.Uehara (2017) "Sense of place and attitudes towards future generations for conservation of coastal areas in the Satoumi of Japan" *BIOLOGICAL CONSERVATION* 209 , pp.332-340
- 1 4) R.Sakurai , T.Uehara , T.Yoshioka (2017) "Students' perceptions of a marine education program at a junior high school in Japan with a specific focus on Satoumi" *Environmental Education Research* DOI: 10.1080/13504622.2018.1436698
- 1 5) 太田貴大、上原拓郎 (2017) 「公示地価を用いたヘドニック法で価値評価可能な沿岸生態系サービスの検討：不動産鑑定士に対するアンケート調査」、『環境情報科学』46 巻 3 号、pp.84-90
- 1 6) 桜井良 (2018) 「里海を題材とした中学生への海洋プログラムの教育効果」、『環境教育』28 巻 1 号、pp.12-22
- 1 7) 日高健 (2014) 「沿岸域総合管理の管理方法に関する研究 - 二段階管理とネットワークガバナンスの有効性-」日本海洋政策学会誌、第 4 巻、61-72
- 1 8) 日高健、吉田雅彦 (2015) 「里海管理組織の構造と機能に関する研究：アンケート調査による予備的検討」沿岸域学会誌、28 巻 3 号、107-118
- 1 9) Hidaka, T. (2017) "Case study of the regional ICM system introduced voluntarily by the prefectural government in Omura Bay, Japan"、*GLOBAL CHANGE IN MARINE SYSTEMS; Integrating Natural, Social and Governing Responses*, Routledge, 135-147
- 2 0) 日高健 (2018) 「ネットワーク・ガバナンスによる沿岸域多段階管理の試案」沿岸域学会誌、31 巻 3 号、29-40
- 2 1) 坂本 峻, 清野 聡子, 會津 光博, 田井 明 (2018):五島列島福江島白良ヶ浜における土砂動態と保全の検討, 土木学会論文集 B3 (海洋開発) 74 巻, 2 号, pp. I_719-I_724.

<著書>

- 1) 鹿熊信一郎・柳 哲雄・佐藤 哲 編 (2018) 「里海学のすすめ-人と海の新たな関わり-」, 勉誠出版、東京、352頁.
- 2) Matsuda O. and T.Yanagi (2019) *Restroration of Estuaries and Bays in Japan - What' s Been Done So Far, and Future Perspectives.* In "COASTS AND ESTUARIES: THE FUTURE" ed. by E.Wolansky et al., ELSEVIER, 401-411.

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 柳 哲雄・磯辺篤彦 (2018) シンポジウム「持続可能な沿岸海域管理法」のまとめ, 沿岸

海洋研究、56-1、1.

- 2) 柳 哲雄(2018) 里海概念の提唱とその展開. 水産海洋研究, 82(2), 78-80.

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) 柳 哲雄(2018)「インドネシアの統合多栄養段階養殖」. 日本水産学会秋季大会水産環境保全委員会企画研究会, 広島大学.
- 2) 柳 哲雄(2018)「瀬戸内海の浮遊・漂着・海底ゴミの挙動」, 日本陸水学会公開講演会, 岡山大学金光ホール.
- 3) 柳 哲雄(2018)「沿岸海洋学は環境問題をどのように捉えてきたかーこれからの学会間連携等について」, 第54回水工学に関する夏季研究会, 山口大学工学部.
- 4) 柳 哲雄(2018)「“里海 Satoumi” 20年の歩み」. 「里海」生誕20周年記念シンポジウム, 備前市立日生市民会館.
- 5) 柳 哲雄(2018) 「“里海”と持続可能な海洋管理」, 公開ワークショップ「持続可能な海洋管理の実現に向けて」, 九州大学西新プラザ.
- 6) T.Yanagi(2018)” Integrated Coastal Management”, 2nd International Conference of Tropical Studies, Novotel Hotel, Balikpapan, Indonesia.
- 7) T.Yanagi(2018) “Clean, productive, prosperous and sustainable coastal sea”, 57th ECSA, Pan-Pacific Hotel, Perth, Australia.
- 8) T.Yanagi(2018) “Development of coastal management method to realize the sustainable coastal sea”, 12th International Conference on the Environmental Management of the enclosed coastal seas. Pattaya, Thailand.

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催(主催のものを再掲)

- 1) 環境省「環境研究総合推進費」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」平成26年度公開成果発表会(平成26年11月21日、三宮研修センター、参加者約80名)
- 2) 環境省「環境研究総合推進費」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」平成27年度公開成果発表会(平成27年11月5日、WTCコンファレンスセンター、参加者約110名)
- 3) 環境省「環境研究総合推進費」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」平成28年度公開成果発表会(平成28年11月30日、大手町ファーストスクエアカンファレンス、参加者約110名)
- 4) 環境省「環境研究総合推進費」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」平成29年度公開成果発表会(平成30年11月29日、AP虎ノ門新橋、参加者約80名)
- 5) 環境省「環境研究総合推進費」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」平成30年度公開成果発表会(平成30年11月29日、WTCコンファレンスセンター、参加者約110名)

(5) マスコミ等への公表・報道等

朝日新聞大阪版 2015年12月17日

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

7. 研究者略歴

研究代表者

1972年 京都大学理学部卒業

1974年 京都大学大学院理学研究科地球物理学専攻修了

同 愛媛大学工学部海洋工学科助手

以後、講師、助教授を経て

1989年 教授

1997年 九州大学応用力学研究所教授

2013年 九州大学定年退職、同名誉教授

2014年～2019年3月

(公財) 国際エメックスセンター特別研究員

研究分担者

なし

II. 英文Abstract

Development of coastal management method to realize the sustainable coastal sea

Principal Investigator: Tetsuo YANAGI

Institution: International EMECS Center
Wakihama Kaigan Str., Chuo-ku, Kobe-City, Hyogo 651-0073,
Japan

Tel: +81-78-252-0234 / Fax: +81-78-252-0404

E-mail: tyanagi@riam.kyushu-u.ac.jp

Cooperated by: Hiroshima University, Kagawa University, Yokohama Commercial University, Tokyo Institute of Technology, Tohoku University, Northwest Pacific Region Environmental Cooperation Center, Kyushu University, Ehime University, Ritsumeikan University, Kinki University, Aichi University

[Abstract]

Key Words: Integrated Coastal Management, Satoumim, Integrated numerical model, Management of nutrients concentration, Committee, Best aquaculture method, Three-steps management, Adaptation to global warming, Integrated index for sustainable development, multi-steps management

This project involved a comprehensive examination of natural variability and human activity in coastal seas and the land areas, that constitute their hinterlands, in order to determine how these areas should be changed from their present state to an appropriate status in terms of material cycling and ecotones.

Specific actions have been proposed as methods for the Integrated Coastal Management in Japan. To create methods for the Integrated Coastal Management near land areas, a policy for the environmental management of coastal seas using the following as model areas; the Seto Inland Sea as semi-enclosed coastal sea, Shizukawa Bay as open-character coastal sea and the Japan Sea where the international management is necessary. Not only natural scientists but also social and human scientists are included in this project.

The target of this project is to clarify the management method for achieving the “clean, productive, prosperous and sustainable coastal sea (Satoumi)” .