

第5章 再生への取組

有明海・八代海等総合調査評価委員会は、国や関係県が行う総合的な調査の結果に基づいて、再生に係る評価を行うとともに、主務大臣及び関係県知事に意見を述べることとされている。

本章では、有明海・八代海等における環境の保全・再生及び水産資源の回復等の観点から「再生目標」を示すとともに、それを達成するための「再生方策」を示す。

1 再生目標・再生方策の設定と本章の構成

本章では、有明海・八代海等に共通する再生目標（共通目標）を設定し、前章までの有明海・八代海等に共通する問題点及びその原因・要因の評価を踏まえ、各海域に共通する再生方策（共通方策）を示す。

加えて、海域環境及び水産資源の状況は海域によって異なることから、個別海域毎に目指すべき追加的な再生目標（追加目標）を定め、問題点及びその原因・要因の評価を踏まえ、追加的な再生方策（追加方策）を示す（図1）。

再生方策は、問題点及びその原因・要因に対する保全や回復等に向けた方策に加えて、問題点及びその原因・要因の解決・改善に直接的に繋がる調査等を示す。

また、環境の保全・再生及び水産資源の回復等に向けた順応的な方法に基づいた再生方策の実施に当たっては、モニタリングを継続し、基礎的なデータの蓄積を図るとともに、必要に応じて、新たなデータの取得、調査・研究の実施による海域環境及び生態系の変化並びにその原因・要因等に係る知見の蓄積を図ることが不可欠であることから、今後の課題として、モニタリングの継続的な実施等によるデータの蓄積及び調査・研究開発に係る必要な事項を示す。

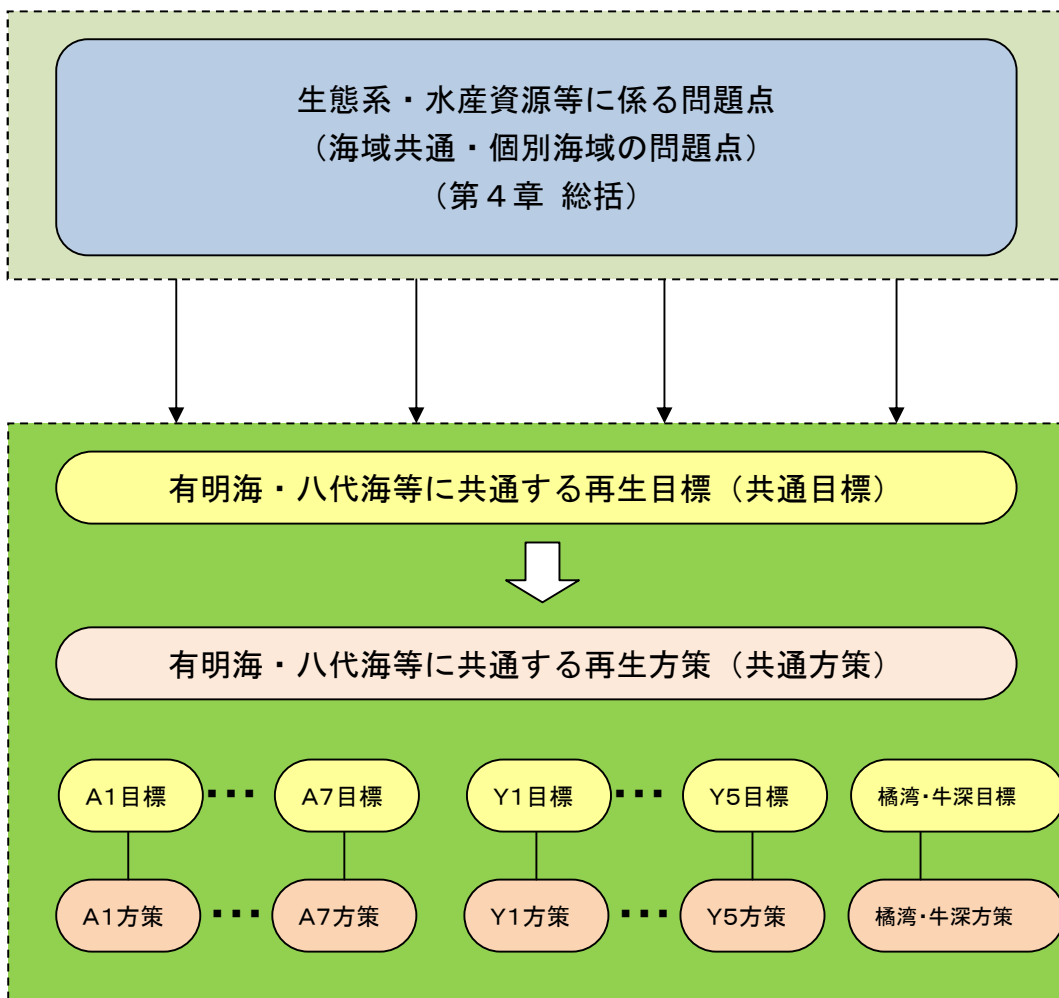


図 5.1 本章の構成イメージ

2 再生に向けた方策（再生方策）等の考え方

有明海・八代海等は、他の海域では見られない特異な生態系を有しており、これらの海域における環境の保全・再生に当たっては、この点に特に留意して、科学的知見に基づき対策を実施する必要がある。

しかしながら、関連する科学的知見（例えば有明海・八代海等における希少種の生態に関する情報等）を全て得ることは難しく、また、環境の変化の要因となる自然現象は常に不確実性を有していることに加えて、有明海・八代海等は、大きな潮位差、速い潮流及び広大な干潟域を有し、陸域と海域の境界が絶えず変動する非定常的な海域であることから、事象の正確な把握を困難なものとしている。

このため、環境の保全・再生に当たっては、必要な調査・研究を適切に行い、得られた情報や科学的知見を再生目標の達成状況等の確認のためにフィードバックさせるとともに、予測外の事態が起こり得ることを予め環境施策のシステムに組み込み、常にモニタリングを行いながら、その結果に基づいて対応を変化させる順応的な方法により、諸施策を進めていく必要がある。

また、有明海・八代海等の海域環境及び生態系は、長期間にわたって変化しており、特に近年は気候変動による影響が指摘されているため、これらの点にも留意する必要がある。加えて、海域毎に環境特性や生物の生息状況が異なっており、問題点及びその原因・要因も海域毎に異なる部分が多いことから、各海域の実情に応じた対策を検討する必要がある。

これらの海域における環境の保全・再生及び生態系の回復等を図るためには、海域全体及び個別海域、また具体的な対策を講ずる際にはより現場に即したミクロなエリアにおける自然環境や生態系のメカニズムを理解した上で、干潟・藻場の造成、底質改善等の工学的な対策や二枚貝の浄化能力等の生態系機能等を活用した環境改善手法について、持続的な漁業生産の観点を取り入れながら、長期的な視点も含めて検討する必要がある。加えて、二枚貝・魚類等の水産資源の回復に当たっては、食物連鎖等の生物間相互作用に留意するとともに、水産資源の回復・安定した再生産に向けた適正な漁獲に努める。

3 再生目標と再生方策

前章までの評価を踏まえ、有明海・八代海等の再生目標、問題点及びその原因・要因並びにこれに対応する再生方策を以下に示す。

1. 有明海・八代海等に共通する再生目標（共通目標）と再生方策（共通方策）

（1）有明海・八代海等に共通する再生目標（共通目標）

希少な生態系を有する環境の保全・再生及び豊かな水産資源の回復を図り、「豊かな海」を取り戻すため、以下の再生目標（共通目標）を設定する。当面の目標とする時期は概ね10年後とする。

○希少な生態系、生物多様性及び水質浄化機能の保全・回復

有明海・八代海等は、他の海域では見られない特異な生態系を有しており、広大な干潟や浅海域は、各海域を特徴付ける生物種をはじめとする希少な生態系、生物多様性の基盤となるとともに、水質浄化機能を有している。このような生態系、生物多様性及び水質浄化機能を、後世に引き継ぐべき自然環境として保全・回復を図る。

○二枚貝等の生息環境の保全・回復と持続的な水産資源の確保

有明海・八代海等を水産資源の宝庫として後世に引き継ぐためには、海域環境の特性を踏まえた上で、特に、底生生物の生息環境を保全・再生し、二枚貝等の生産性の回復をはじめとする底生生態系の再生を図り、ノリ養殖、二枚貝及び魚類等（養殖を含む）の多種多様な水産資源等の持続的・安定的な確保を図る。

これらの目標は、独立しているものではなく、希少な生態系、生物多様性の保全・再生、水産資源等の回復及び持続的かつ安定的な確保は、共に達成されるべきものである。

（2）有明海・八代海等に共通する問題点及びその原因・要因の概要

有明海・八代海は、九州西部の天草灘から入り込んだ内湾であり、閉鎖性が高いこと、大きな潮位差と広大な干潟を有すること、海水は濁りを有していること等の特徴がある。

底質については、海域全体として単調な変化傾向（泥化、有機物・硫化物の増加等）は見られなかったが、場所により一定期間泥化傾向を示す地点も見られた。河川からの土砂流入の減少は、海域での底質の細粒化の要因となる可能性があり、筑後川では過去の砂利採取等による河床の砂の現存量の減少、河床の緩勾配化が、海域への土砂流入量の減少要因として指摘されている。

沿岸域の環境については、干潟・藻場の減少、年平均潮位差の減少及び平均潮位

の上昇が見られる。湾奥部の干潟域等には、ムツゴロウ、ヤマノカミ、センベイヤワモチ等の希少な生物が数多く存在し、これらの中には絶滅危惧種も見られる。

ベントスについては、近年の限られた調査データからは、問題点の明確な特定には至らなかったが、海域によっては種組成や個体数の変化が確認された。

有用二枚貝については、漁獲量が減少しており、その要因は漁獲種や海域毎に様々であるが、海域全体に共通する要因の一つとしてナルトビエイによる食害がある。また、浮遊幼生についても低位で推移している状況である。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

ノリ養殖については、病害、色落ち、水温上昇や栄養塩の早期の枯渇による漁期の短縮等によって、安定生産の阻害や生産枚数の減少が見られる。色落ちの要因は、珪藻類の赤潮形成による栄養塩の減少が考えられる。なお、ノリ酸処理剤の使用や施肥が適正に行われれば、底泥中の有機物や硫化物の増加の主たる要因となる可能性は低いと思われるが、負荷された有機酸や栄養塩の挙動については知見に乏しい。

魚類については、有明海では漁獲量が減少しており、その要因として、藻場の減少等をはじめとする生息環境（底層環境や仔稚魚の輸送経路、仔稚魚の成育場）の変化と生息場（特に仔稚魚の成育場）の縮小等が考えられる。魚類養殖については、*Chattonella* 属赤潮の発生により、八代海では安定生産が阻害されている。また、赤潮が八代海から牛深海域へ、あるいは有明海から橘湾へ移流して、養殖魚に被害をもたらした事例もある。八代海においては、魚類養殖による負荷量が陸域からの負荷量とともに多い特徴がある。

(3) 有明海・八代海等に共通する再生方策（共通方策）

再生目標（共通目標）を達成するため、有明海・八代海等の全体又は多くの海域に共通して実施することが適当と考えられる再生方策（共通方策）を以下に示す。

ア) 底質の改善

底質の変化は、水質や生物の生息環境（二枚貝の漁場等を含む）等に影響を及ぼすことから、以下の対策を進める。

- ・河川からの土砂流入量の把握、適切な土砂管理（砂利採取の制限等）を行う。
- ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

覆砂等の対策の実施に当たっては、水域によっては効果の継続性が乏しい場合があること、海砂採取が海域環境に影響を及ぼすおそれがあることに留意する必要がある。

- ・ダム堆砂の還元等を検討する。

イ) 沿岸域の環境の保全・再生

良好な水環境や生物生息環境等の確保を図るため、沿岸域の環境の保全・再生について、以下の対策を進める。

- ・生物の生息・再生産の場となる干潟・藻場の分布状況等の把握及び保全・再生を進める。
- ・漂流・漂着・海底ごみ対策を推進する。

なお、海域の潮流流速の変化や干潟・藻場の喪失等を招くおそれのある事業を計画・実施する場合には、予防的な観点から適切な配慮が必要である。

ウ) ベントスに係る方策

ベントス群集の種組成や個体数が大きく変動している場合、生物豊かな水環境や持続可能性が損なわれている可能性がある。そのため、各海域のベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）について、今後も継続的にモニタリングを行い、問題が生じた際にはその原因を評価した上で、必要に応じて適切な対策を講ずる。

エ) 二枚貝に係る方策

タイラギやアサリ等の二枚貝について、海域毎に主な減少原因・要因を把握したうえで、海域毎の状況に応じ、1) 浮遊幼生の量を増やす、2) 着底稚貝の量を増やす、3) 着底後の生残率を高める、の各ステージについて適切な対策を講ずることが重要である。

二枚貝の保全・回復を図るため、以下の対策を進める。

- ・種苗生産等の増養殖技術を確立する。
- ・種苗放流を推進する（海域固有の生態系保全が確保できることを前提とする）。
- ・タイラギの浮遊幼生の量を増やすため、浮遊幼生の移動ルート及び稚貝の着底場所の詳細な把握、母貝生息適地の具体的な選定、母貝生息適地の保全・再生、母貝生息適地への稚貝放流により、広域的な母貝集団ネットワークの形成を図る。
- ・アサリの浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。
- ・着底後の生残率を高めるため、ナルトビエイ等の食害生物の駆除・食害防止策を適切に実施し、被害の軽減を図る。この際、希少種が混獲されないよう十分留意する。
- ・タイラギやアサリについて、近年、浮遊幼生や着底稚貝の量が非常に低位で推移してきたが、アサリは、2015年よりの着底量が好調であり、タイラギも局所的に着底している状況である。着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、このような状況の中で確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。

オ) ノリ養殖に係る方策

ノリの色落ち被害を可能な限り回避・抑制するため、珪藻赤潮発生をより精度

良く予察することに加え、発生機構をより明確化していくことが重要である。

また、持続可能性の高いノリ養殖のため、以下の対策を進める。

- ・漁業者の協力を得た適切な漁場利用（減柵を含む）により漁場環境を改善し、高品質・高付加価値のノリ生産を推進する。
- ・酸処理剤と施肥の適正使用のため、有機酸量や海域への栄養塩負荷量を継続的に確認するとともに、有機酸や栄養塩の挙動について調査・研究を行う。また、環境負荷の軽減に配慮したノリ養殖技術を確立する。
- ・水温上昇等に対応したノリ養殖技術を開発する（高水温耐性品種、広水温耐性品種、耐病性品種、低栄養塩耐性品種の開発等）。

カ) 魚類等に係る方策

漁獲量の減少に係る原因・要因として、生息環境の変化、生息場の縮小、魚類の種組成の変化及び有害赤潮の発生等が指摘されていることから、魚類等の生息環境を保全・再生し、魚類資源の回復等を図るため、魚類の生活史を考慮しつつ、以下の対策を進める。

- ・資源量の変化について、より精度の高い評価ができるよう、新規加入量や漁獲努力量等の把握も含め、動向をモニタリングする。
- ・仔稚魚等の生息場等の確保のため、干潟・藻場の分布状況等の把握及び保全・再生を進める。
- ・仔稚魚等の生残率を高めるため、効果を見極めつつ、貧酸素水塊の軽減に係る以下のような対策を進める。
 - ▶ 汚濁負荷量の削減を図る。
 - ▶ 有用二枚貝の生息量を回復させるための生息環境を保全・再生する（例えば、カキ礁再生のための実証事業を行う）。
 - ▶ 装置の設置等による成層化の緩和等のための流況改善を検討する。
 - ▶ 夏期における貧酸素水塊の発生状況モニタリングを継続的に実施する。
 - ▶ 2016年3月に水質環境基準（生活環境項目）に追加された底層溶存酸素量の適切な類型指定を進める。
- ・稚魚等の量を増やすため、種苗放流を推進する（海域固有の生態系保全が確保できることを前提とする）。

2. 個別海域毎の追加的な再生目標（追加目標）と再生方策（追加方策）

上述の有明海・八代海等に共通する再生目標（共通目標）、問題点及びその原因・要因並びにこれに対応する再生方策（共通方策）に加え、個別海域毎の追加的な再生目標（追加目標）、目標達成に向けた追加的な再生方策（追加方策）を以下に示す（ノリ養殖に係る方策等、海域共通の再生方策（共通方策）に記載した対策については、以下の個別海域毎には原則記載していない）。

(1) 有明海の個別海域に係る追加的な再生目標（追加目標）と再生方策（追加方策）

(A 1 海域)

本海域は有明海の湾奥部に位置し、大小多数の河川が流入しており、広大な干潟が存在する。西部沖合域では底質の有機物が多く、夏期に貧酸素水塊が頻発している。

サルボウは夏期に大量へい死が見られ、その要因として底層の著しい貧酸素化とそれに伴う硫化水素の増加の影響である可能性が高いと推測される。

アサリは漁獲量が低迷しており、その要因の一つとして、エイ類による食害がある。また、アサリの浮遊幼生や着底稚貝の量が低位で推移していると類推される。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- サルボウが夏期の貧酸素水塊によるへい死を引き起こさないようにする。
- アサリの資源回復を図る。

なお、アサリの資源回復にあたっては、ノリの安定的な養殖生産との共生を図る。

<追加方策>

- 夏期の貧酸素水塊を軽減させるため、効果を見極めつつ、以下のような対策を進める。
 - ・汚濁負荷量の削減を図る。
 - ・有用二枚貝の生息量を回復させるための生息環境を保全・再生する（例えば、カキ礁再生のための実証事業を行う）。
 - ・装置の設置等による成層化の緩和等のための流況改善を検討する。
 - ・夏期における貧酸素水塊の発生状況モニタリングを継続的に実施する。
 - ・2016年3月に水質環境基準（生活環境項目）に追加された底層溶存酸素量の適切な類型指定を進める。
- 貧酸素水塊に対応した有用二枚貝の稚貝の保護・育成を進める（貧酸素水塊の悪化に繋がらないことを前提とする）。
- アサリ資源の回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。
 - ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
 - ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

（※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）

（※アサリの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(A 2 海域)

本海域は有明海湾奥部の東部沖合に位置し、底質は泥質から砂質まで変化に富む。ベントスについては、1989年、2000年及び直近の約10年間のデータから、種組成の変化、群集構造の年変動が大きいこと等の特徴が見られる。

タイラギについては、資源量が減少しており、その要因の一つとして、エイ類による食害がある。また、1999年以降、立ち枯れへい死と呼ばれる大量へい死が問題となり、各種調査研究がなされたが、原因の特定には至っていない。さらに、浮遊幼生や着底稚貝の量が低下している。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）を保全・再生する。
- タイラギの資源回復を図る。

<追加方策>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）の変化・変動要因の解析調査を行う。また、今後も継続的にモニタリングを行い、問題が生じた際にはその原因を適切に評価した上で、必要に応じて対策を講ずる。
- タイラギの資源回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・浮遊幼生の量を増やすため、浮遊幼生の移動ルート及び稚貝の着底場所の詳細な把握、母貝生息適地の具体的な選定、母貝生息適地の保全・再生、母貝生息適地への稚貝放流により、広域的な母貝集団ネットワークの形成を図る。
 - ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
 - ・着底後の生残率を高めるため、立ち枯れへい死の要因解明を進める。
 - ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

（※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）

（※タイラギの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(A 3 海域)

本海域は有明海湾奥部の西部沖合に位置し、全般的に軟泥質である。夏期にしばしば広範囲で貧酸素状態となっており、底層溶存酸素量の年間最低値は長期的に低下している。

ベントスについては、1989年、2000年及び直近の約10年間のデータから、種組成の変化、群集構造の年変動が大きいこと等の特徴が見出された。

タイラギについては、資源量が減少しており、その要因として本海域では貧酸素

水塊が推定されるほか、エイ類による食害もある。また、タイラギの浮遊幼生や着底稚貝の量が低下している。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

サルボウは夏期に大量へい死が見られ、その要因として底層の著しい貧酸素化とそれに伴う硫化水素の増加の影響である可能性が高いと推測される。

<追加目標>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）を保全・再生する。
- タイラギの資源回復を図る。
- サルボウが夏期の貧酸素水塊によるへい死を引き起こさないようにする。

<追加方策>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）の変化・減少要因の解析調査を行う。また、今後も継続的にモニタリングを行い、問題が生じた際にはその原因を適切に評価した上で、必要に応じて対策を講ずる。
- タイラギの資源回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・浮遊幼生の量を増やすため、浮遊幼生の移動ルート及び稚貝の着底場所の詳細な把握、母貝生息適地の具体的な選定、母貝生息適地の保全・再生、母貝生息適地への稚貝放流により、広域的な母貝集団ネットワークの形成を図る。
 - ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
 - ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

（※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）
- タイラギの着底稚貝の量や着底後の生残率を高めるとともに、サルボウの安定的な生息を確保するため、効果を見極めつつ、貧酸素水塊の軽減に係る以下のような対策を進める。
 - ・汚濁負荷量の削減を図る。
 - ・有用二枚貝の生息量を回復させるための生息環境を保全・再生する（例えば、カキ礁再生のための実証事業を行う）。
 - ・装置の設置等による成層化の緩和等のための流況改善を検討する。
 - ・夏期における貧酸素水塊の発生状況モニタリングを継続的に実施する。
 - ・2016年3月に水質環境基準（生活環境項目）に追加された底層溶存酸素量の適切な類型指定を進める。
- 貧酸素水塊に対応した有用二枚貝の稚貝の保護・育成を進める（貧酸素水塊の悪化に繋がらないことを前提とする）。

（※タイラギの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(A4 海域)

本海域は有明海中央の東側に位置し、干潟前面の浅海域が広がり、熊本港地先では泥質、沖合では砂泥質である。

ベントスについては、1993年以降のデータから、群集構造の年変動が大きいこと等の特徴が見出された。

タイラギについては、漁獲量が急減し、現在は全く漁獲がない状況である。また、隣接するA2海域の立ち枯れへい死同様の現象が確認されている。資源量減少の要因の一つとして、エイ類による食害がある。

アサリについては、漁獲量が低迷しており、その要因の一つとして、エイ類による食害がある。また、タイラギやアサリの浮遊幼生や着底稚貝の量が低下している。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）を保全・再生する。
- タイラギ及びアサリの資源回復を図る。

なお、タイラギ、アサリの資源回復にあたっては、ノリの安定的な養殖生産との共生を確保する。

<追加方策>

- ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）の変化・変動要因の解析調査を行う。また、今後も継続的にモニタリングを行い、問題が生じた際にはその原因を適切に評価した上で、必要に応じて対策を講ずる。
- タイラギ及びアサリの資源回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・タイラギ及びアサリの浮遊幼生の量を増やすため、浮遊幼生の移動ルート及び稚貝の着底場所の詳細な把握、母貝生息適地の具体的な選定、母貝生息適地の保全・再生、母貝生息適地への稚貝放流により、広域的な母貝集団ネットワークの形成を図る。
 - ・アサリの浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。
 - ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
 - ・タイラギの着底後の生残率を高めるため、立ち枯れへい死の要因解明を進める。
 - ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

（※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）

（※タイラギ、アサリの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(A 5 海域)

本海域は有明海の中央に位置し、水深が深く、潮流が速いことから、貧酸素水塊の発生は指摘されていない。底質は砂泥質である。

有用二枚貝については、漁業がなく、資源量の変動は不明である。

<追加目標>

- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(A 6 海域)

本海域は有明海中央の西側に位置する支湾であり、底質は有機物や栄養塩、硫化物を多く含む泥質で、夏期に2.0mg/Lを下回る貧酸素水塊が発生している。

アサリの漁獲量は低迷しており、その要因の一つとして、エイ類による食害がある。また、浮遊幼生や着底稚貝の量が低位で推移していると類推される。このような状況の中、資源量の把握等資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- アサリの資源回復を図る。

<追加方策>

- アサリの資源回復を図るため、以下の対策を進める。

- ・浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。
- ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
- ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

（※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）

- 魚類の観点から、貧酸素水塊の軽減を図る（具体的な対策は1.（3）カ）魚類に係る対策を参照）。

（※アサリの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(A 7 海域)

本海域は有明海中央部から南部の湾口部にかけての海域で、水深が深く、潮流流

速が速い。底質は砂質及び礫質で、有機物、栄養塩が少ない。有用二枚貝については、資源量の変動は不明である。

<追加目標>

- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(2) 八代海の個別海域に係る追加的な再生目標（追加目標）と再生方策（追加方策）

(Y1 海域)

本海域は八代海奥部に位置し、河川からの影響を大きく受けている。底質はシルトから極細粒砂が分布する。

アサリの漁獲量が低迷しており、その要因の一つとして、ナルトビエイによる食害がある。また、浮遊幼生の量が低位で推移していると類推される。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- アサリの資源回復を図る。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- アサリの資源回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。
 - ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
 - ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。
- （※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.（3）ア）底質の改善を参照）
- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

（※アサリの食害対策等は、1.（3）エ）二枚貝に係る方策を参照）

(Y2 海域)

本海域は球磨川河口部に位置し、球磨川の影響を大きく受けており、底質はシルトから極細粒砂が分布する。

アサリの漁獲量が低迷しており、その要因の一つとして、ナルトビエイによる食害がある。また、浮遊幼生の量が低位で推移していると類推される。このような状況の中、資源の持続的な利用に向けた知見が得られていないとの課題がある。

<追加目標>

- アサリの資源回復を図る。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- アサリの資源回復を図るため、以下の対策を進める。
 - ・浮遊幼生の量を増やすため、母貝生息適地（なぎさ線等）の保全・再生を図る。

- ・着底稚貝の量を増やし、着底後の生残率を高めるため、確実に資源回復に繋げるための資源管理方法を早急に確立し、実施に移す。
- ・覆砂、海底耕耘、浚渫等を実施する。

(※覆砂等の対策にあたっての留意事項は1.(3)ア)底質の改善を参照)

○水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(※アサリの食害対策等は、1.(3)エ)二枚貝に係る方策を参照)

(Y3 海域)

本海域は八代海中央に位置し、球磨川の流入水と外洋水の影響を受けており、底質はシルトから細粒砂が分布する。

魚類養殖については、*Chattonella* 属赤潮の発生により安定生産が阻害されている。

有用二枚貝については、漁獲がなく、資源量に関する情報がないことから評価は困難である。また、ベントスについて問題の有無は確認されなかった。

<追加目標>

- 持続的な魚介類養殖を確保する。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 持続的な魚介類養殖の確保のため、以下の対策を進める。
 - ・赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察の推進等により、赤潮被害の回避を図る。
 - ・情報網の整備、防除技術に関する研究の推進等により、赤潮被害の軽減を図る。
 - ・環境収容力及び歩留まり率を考慮した生産の検討、ブランド化の推進（質への転換）、給餌等に伴う発生負荷の抑制等により、水環境や生態系等との共生を図る。
- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(Y4 海域)

本海域は八代海湾口部の東側に位置し、東シナ海との海水交換は比較的少なく、底質は砂泥質である。

魚類養殖については、*Chattonella* 属赤潮の発生により安定生産が阻害されている。

有用二枚貝については、漁獲がなく、資源量に関する情報がないことから評価は困難である。また、ベントスについて問題の有無は確認されなかった。

<追加目標>

- 持続的な魚介類養殖を確保する。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 持続的な魚介類養殖の確保のため、以下の対策を進める。
 - ・赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察の推進等により、赤潮被害の回避を図る。
 - ・情報網の整備、防除技術に関する研究の推進等により、赤潮被害の軽減を図る。
 - ・環境収容力及び歩留まり率を考慮した生産の検討、ブランド化の推進（質への転換）、給餌等に伴う発生負荷の抑制等により、水環境や生態系等との共生を図る。
- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(Y5 海域)

本海域は八代海灣口部の西側に位置し、東シナ海との海水交換が行われている。枝湾の奥部では小規模な溶存酸素低下が認められる。また、暖流の影響で、八代海灣奥部より冬季の水温が高い。底質は砂泥質である。

魚類養殖については、*Chattonella* 属赤潮の発生により安定生産が阻害されている。

有用二枚貝については、漁獲がなく、資源量に関する情報がないことから評価は困難である。また、ベントスについて問題の有無は確認されなかった。

<追加目標>

- 持続的な魚介類養殖を確保する。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 持続的な魚介類養殖の確保のため、以下の対策を進める。
 - ・赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察の推進等により、赤潮被害の回避を図る。
 - ・情報網の整備、防除技術に関する研究の推進等により、赤潮被害の軽減を図る。
 - ・環境収容力及び歩留まり率を考慮した生産の検討、ブランド化の推進（質への転換）、給餌等に伴う発生負荷の抑制等により、水環境や生態系等との共生を図る。
- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

(3) 橘湾・牛深海域に係る追加的な再生目標（追加目標）と再生方策（追加方策）

橘湾は長崎半島、島原半島及び天草諸島の下島に囲まれた、やや外洋性の強い小

湾である。また、熊本県天草市牛深町周辺の海域は、下島の南端に位置し、東シナ海に面している。両海域では、魚類養殖が行われており、赤潮が八代海から牛深海域へ、あるいは有明海から橘湾へ移流して、養殖魚に被害をもたらした事例がある。

<追加目標>

- 持続的な魚介類養殖を確保する。
- 生物多様性・生物生産性及び持続可能性が高い豊かな海域を保全する。

<追加方策>

- 持続的な魚介類養殖の確保のため、以下の対策を進める。
 - ・赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察の推進等により、赤潮被害の回避を図る。
 - ・情報網の整備、防除技術に関する研究の推進等により、赤潮被害の軽減を図る。
 - ・環境収容力及び歩留まり率を考慮した生産の検討、ブランド化の推進（質への転換）、給餌等に伴う発生負荷の抑制等により、水環境や生態系等との共生を図る。
- 水環境や生物のモニタリングを実施し、継続的に評価する。

3. 取組の実施に当たっての留意点

(1) 関係者による連携の強化

再生に向けた取組の実施に当たっては、国や地方公共団体等の関係行政機関のみならず、有識者やNPO、漁業者、企業等の多様な主体が有機的に連携し、総合的かつ順応的に取り組んでいくことが重要である。

(2) 情報発信及び普及・啓発の充実

総合的な環境の保全・再生及び水産資源の回復等を推進するためには、幅広い関係者が海に親しみをもち、有明海・八代海等の水環境に関する状況を把握できるようにすることが重要である。このため、水環境に関する情報発信及び普及・啓発を充実させる必要がある。

4. 継続的な評価

有明海・八代海等総合調査評価委員会においては、生物や水環境のモニタリング結果の確認を含め、本章で掲げた再生目標の達成状況や再生方策の実施状況等を定期的に確認し、これも踏まえて有明海・八代海等の再生に係る評価を適切に実施することとする。

具体的な再生方策の実施に当たっては、個別の対策事業を所管する者において、対策の効果とこれに要する費用を可能な限り定量的に比較・検討した上で、効率的に事業を実施し、事業実施後に適切にレビューすることが重要である。

4 今後の調査・研究開発の課題

有明海・八代海等における諸問題について、その原因・要因を評価するためには、対象となる諸問題に適した時間的・空間的スケールのデータの蓄積が必要である。このため、国や地方公共団体等の関係機関、研究機関及び漁業団体等の関係者は継続的な観測データや水環境、水産資源等に係る科学的知見の蓄積・共有を図るとともに、環境改善手法の開発等を進める必要がある。

また、特に八代海、橘湾及び牛深海域においては、水質項目をはじめ、データの蓄積が不十分であり、当該海域で課題となっている赤潮の増殖と栄養塩の関係や有明海・八代海等への長期的な変化に対する外洋の影響等を明らかにすることが求められることから、各種調査の充実・強化が必要である。

そのため、前節（再生方策）に記載した調査等に加え、有明海・八代海等の再生に向けて中長期的に取り組むべき事項を記載する（前節に記載した調査等についても記載している）。

(1) データの蓄積

有明海・八代海等の長期的な変化を把握するため特に以下の項目について、関係機関及び関係者によるデータの蓄積の推進が必要である。なお、モニタリング項目

の設定に当たっては、既存のモニタリング項目だけでなく、新たな調査項目の追加等が必要なことに留意が必要である。

(データ蓄積の項目)

- ・水質、底質等の現状と長期的な変化
- ・ベントスの群集組成（種類数、種組成、個体数）の変化
- ・タイラギの有明海中部、南部における分布状況
- ・二枚貝、魚類等の漁獲量及び資源量
- ・魚類等の好適な再生産や生息場の分布状況
- ・湾奥干潟域等における母貝の現存量
- ・二枚貝の餌資源となる植物プランクトン等の基礎生産量の変化等の把握

(2) 研究開発

海域全体・個別海域の問題点及びその原因・要因の解決・解明を進めるため、特に以下の項目について、研究開発を進める必要がある。

①物質の動態に関する研究

- ・筑後川等の河川からの流入物質の移流拡散・堆積
- ・海域における土砂動態の解明

②水質汚濁、赤潮、貧酸素水塊等に関する研究開発

- ・ノリ酸処理剤等の挙動の解明と環境への影響把握
- ・赤潮の発生と増殖に係る各種要因の関係の解明
- ・窒素、燐、硫化水素等の底質からの溶出状況と赤潮、貧酸素水塊の発生等への影響評価
- ・貧酸素水塊の発生・消滅機構の把握と軽減方策の研究開発
- ・気候変動による水温上昇や黒潮の接近（外洋水の流入）等の影響評価
- ・覆砂、海底耕耘、浚渫等の底質改善技術

③生物・生態系に関する研究開発

- ・生物生息環境と物理環境との関連性に関する評価手法の検討・整理
- ・干潟、藻場及び浅場の造成技術の開発
- ・湾奥部の泥質干潟における生態系の機能（水質浄化機能等）
- ・長期的な流況の変化が生態系等に及ぼす影響

④水産資源に関する研究開発

- ・タイラギ等の二枚貝の着底機構、着底後の減耗要因及び再生産機構の解明
- ・アサリ等の二枚貝の母貝適地及び浮遊幼生の移動ルート把握

- ・アサリの成長阻害要因分析及び関連調査の実施
- ・魚類等の再生産機構及び減少要因の把握
- ・新たな増養殖技術の開発

(参考)

ケーススタディ

本章において、有明海・八代海等の再生目標、再生方策を記載した。

いくつかの再生方策について、その妥当性や効果を検証するため、モデル計算等を用いた検討を行う。

なお、本報告におけるケーススタディは上述の目的のために行うものであり、再生方策の設定のためにケーススタディが必須という主旨ではないことに留意する必要がある。

(1) 各ケーススタディの背景と結果概要

1) 貧酸素水塊の改善方策検討のための試算

ア) 貧酸素水塊の要因解析

海域ごとに問題点及びその原因・要因について考察した結果、A3海域におけるタイラギでは貧酸素水塊が、A1海域及びA3海域におけるサルボウについては貧酸素化に伴って生じる底質中の硫化水素の増加等が減少の要因となっていると推定された。

しかしながら、これまでの検討では、貧酸素水塊を小さくし、その影響を少なくするためには、どのような方策が考えられるかについて、その知見が十分ではない。

そこで、貧酸素水塊の改善のための再生方策の方向性を検証するため、数値シミュレーションモデルを用いて貧酸素水塊形成の要因解析を行った。

(試算結果)

貧酸素水塊の変化比率について、水温最大・最小ケース、二枚貝最大ケース、流入負荷最大・最小ケースで計算を行った。水温の違いは酸素消費速度の大きさに関係する。二枚貝の増加は、植物プランクトンを捕食することによって海域内部での有機物生産量を減少させる。有機物生産量が減少すると、それが分解されることで生じる酸素消費量が減少する。流入負荷については有機物と窒素・リンの流入が含まれる。有機物流入量の変化は、それが分解されることで生じる酸素消費量の変化に関係する。窒素・リン流入量の変化は、それを栄養源として増殖する植物プランクトンの生産量を変化させ、海域内部での有機物生産量を変化させる。

計算の結果は海域や年次の違いで若干傾向が異なるが、貧酸素水塊が

縮小する場合のケース（水温最小・二枚貝最大・流入負荷最小）で全域の変化比率が 0.3~0.7 程度となる試算結果となった（0.3 は容積が 30% になることを表す）。

以上のことから、A1・A3 海域ともに、水温、二枚貝、流入負荷のそれぞれが貧酸素水塊の規模の増減に寄与することが試算結果として示された。

ただし、この計算では二枚貝の最大ケースを考えるにあたって、貧酸素・硫化水素発生による二枚貝の死亡は考慮していないことには注意が必要である。

イ) 二枚貝による改善効果の試算

上述ア) の要因解析により、二枚貝の生息量を増やすことも貧酸素水塊の規模を小さくし、その影響を少なくすることに寄与する旨の試算結果が得られた。

そこで、二枚貝の生息量を増やす方策の 1 例として、1970 年頃はより広いエリアに分布しており、生物多様性の保全機能も期待される「カキ礁」を採り上げ、その効果について数値シミュレーションモデル等により試算を行った。

(試算結果)

現況とカキ礁を増やした場合を比べると、カキ礁を増やした場合の方が底層溶存酸素濃度は高くなった。

カキ礁を復活させることは、有明海奥部、諫早湾において貧酸素化を一定程度緩和する効果を有していることを示している。貧酸素水塊が縮小することによってカキ以外の二枚貝類の生息量が回復すれば、さらなる赤潮抑制・貧酸素緩和効果をもたらされる可能性がある。長期的にはこのような正のフィードバック効果を引き起こすことが望まれる。

2) 二枚貝の浮遊幼生の供給ネットワークの試算

4 章において、特に 2012 年以降、湾奥全域でタイラギ資源の減少傾向が顕在化しており、浮遊幼生発生量の低下による再生産機構の低下状況が示された。

主漁場である A2 海域及び A3 海域における減少に寄与している状況として、浮遊幼生の供給量が A2 海域では 2008 年に瞬間的に高密度の出現があったが低位で推移しており、A3 海域では 2012 年以降、それ以前

に比べて相当低位で推移していることがあげられた。

タイラギ再生のため、この対策の一つとして、母貝の生息地を確保し、浮遊幼生の供給量を増やすことが重要であると考えられる。

タイラギの幼生は相当期間浮遊するため、どのようなエリアを浮遊するかについて定量的に試算できれば、有明海を全体としてとらえ、母貝生息地（浮遊幼生供給地）について広い地域を具体的候補の選択肢とすることが可能となる。

このため、浮遊幼生の輸送過程の試算を行うことにより、浮遊幼生の湾奥部への到達状況の推測や保護すべき母貝適地の可能性を検討した。

(試算結果)

タイラギの主漁場である有明海奥部に対しては、有明海奥部だけではなく有明海の広い範囲から浮遊幼生の供給がなされている可能性があることが示唆された。有明海奥部におけるタイラギ資源回復のためには、湾奥部だけではなく、有明海を個別海域・県域を越えて全体で捉え、様々な海域における母貝集団の保全・育成をしていくことが重要であると考えられた。なお、今回のシミュレーションでは、浮遊幼生の鉛直分布、放出時期の推定・母貝密度の考慮などの課題がある。

3) 八代海での赤潮被害防止対策の取組

八代海においてはブリ類、タイ類などの魚類養殖が行われているが、2009年、2010年に魚類に対する毒性が強いシャットネラ属赤潮の発生により大きな被害が発生するなど、現在、国内でも本種の赤潮発生が多い海域となっている。

赤潮被害を確実に軽減する方策として期待されるものに、赤潮発生に関する情報の早期把握（予察）があげられる。確度の高い予察が可能となれば、漁業者による早期の対策が可能となり赤潮被害の軽減が期待される。

このため、現状における赤潮発生に関する最新の予察技術についてとりあげた。

(先進事例)

折田ら（2013）は、6月末時点で6月中旬の日照時間、北東風の平均風速、入梅日の3項目に強い相関が認められ、これらを用いた重回帰式により、精度高く赤潮発生を予測できることを示した。これによると、5月から6月上旬頃、北東風が卓越し日照時間が長いと、海底が攪乱されてシャットネラのシストが発芽しやすくなり、光合成が活発となり急激に増殖。この状態で、6月下旬まで降雨がないと珪藻類の出現が低調となり、その後の降雨による栄養塩がシャットネラに利用され赤潮が発生するもの。

また、Onitsuka et al.（2015）は、赤潮の発生時期と八代市の2月から4月の平均気温と九州南部の入梅日から赤潮発生年・非発生年を区分することが可能であることを示した。これによると、冬期の平均気温が高いと、海域の水温も例年よりも高く推移し、シャットネラの初期出現が例年よりも早くなる。この状態でシャットネラが高い細胞密度に達し、なおかつ例年よりも入梅日が遅れると、より効率的に陸域から負荷された栄養塩がシャットネラに利用され、赤潮が発生するもの。

上記いずれも、6月の時点でシャットネラがある程度高密度になった状況で降雨があると、陸域から負荷された栄養塩がシャットネラに利用されて赤潮が発生するという予察を示した。Onitsuka et al.（2015）の例では、冬期の平均気温が予測因子の一つとしてあげられており、長期予測が可能と考えられる。

(参考) 各ケーススタディの内容

1) 貧酸素水塊の改善方策検討のための試算

ア) 貧酸素水塊の要因解析

① 試算の目的

本解析では、数値シミュレーションの手法を利用して、貧酸素水塊に影響する可能性のある間接的要因の条件を変え、その影響の強さを把握することで、貧酸素水塊の改善のための方策を検討することを目的とする。

② 試算内容

a) モデルの概要

要因解析に使用した数値シミュレーションモデルは、有明海の強い潮流や波浪による底泥の巻き上げが表現でき、かつ底質・底生生物の影響を含めた栄養塩や有機物等の物質収支が検討可能なモデルとした。

モデルは図 2 に示すとおりいくつかのサブモデルで構成されておりサブモデル間で計算結果の引き継ぎが行われるものである。モデルで採用した鉛直座標系は一般化された σ 座標モデル(20層)であり、水深によらず海面付近の水塊の挙動を精度良く表現することが可能である。水平方向の計算格子サイズは場所によって可変(500~2700m)であり、有明海の湾奥部を500mで表現した。

モデルの計算格子を図 3、考慮した物質循環を図 4 に示す。

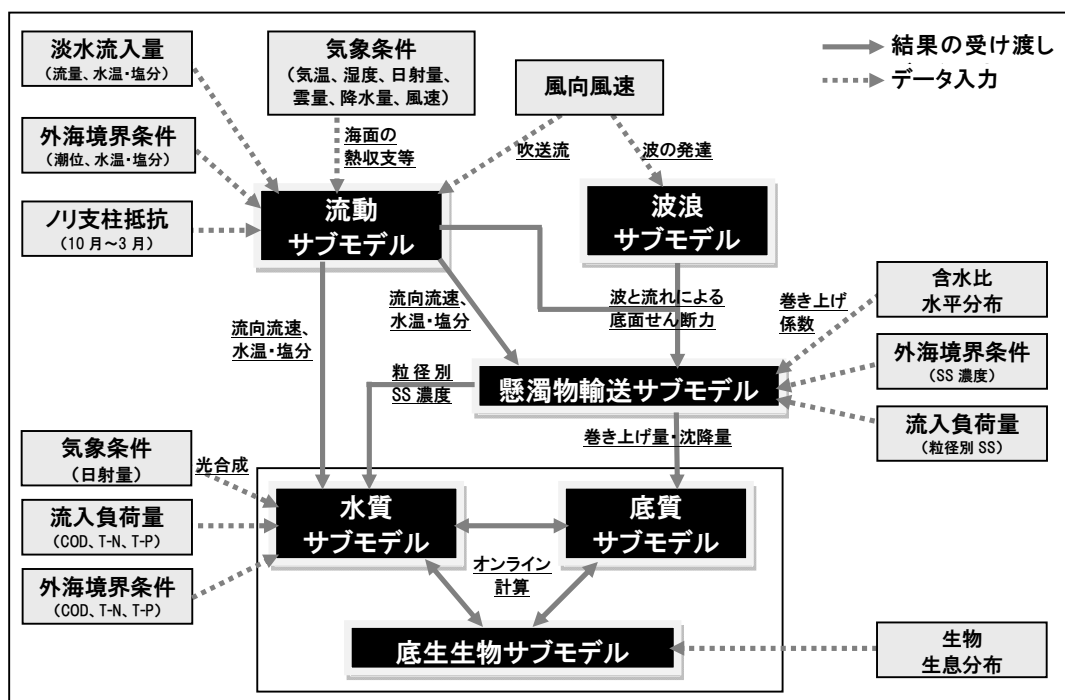


図 2 数値シミュレーションモデル構成

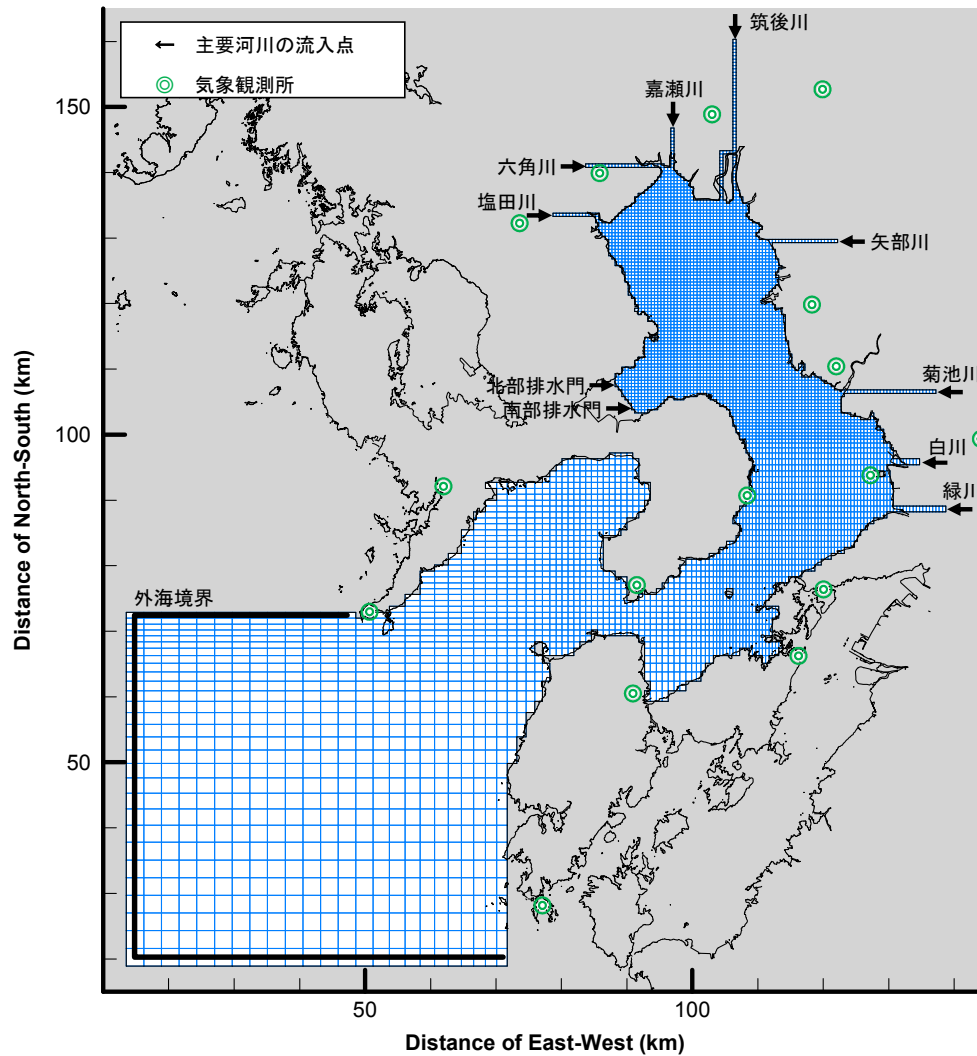


図3 計算格子

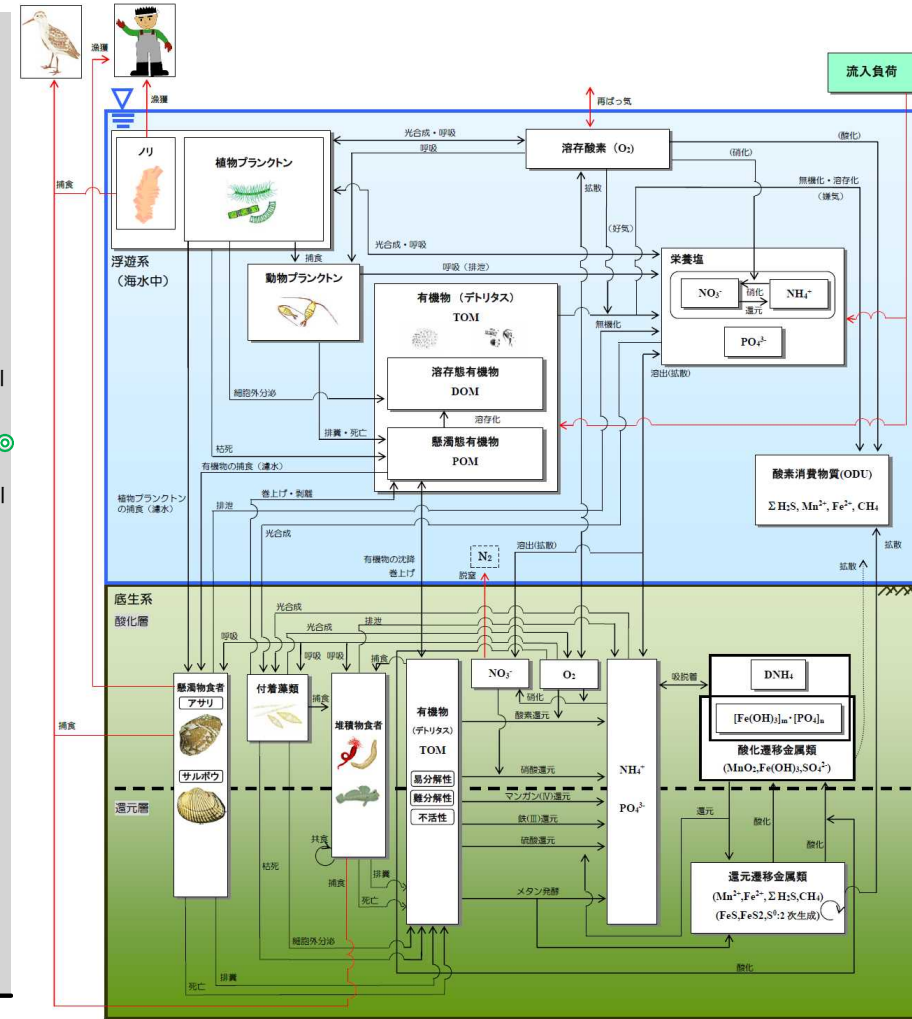
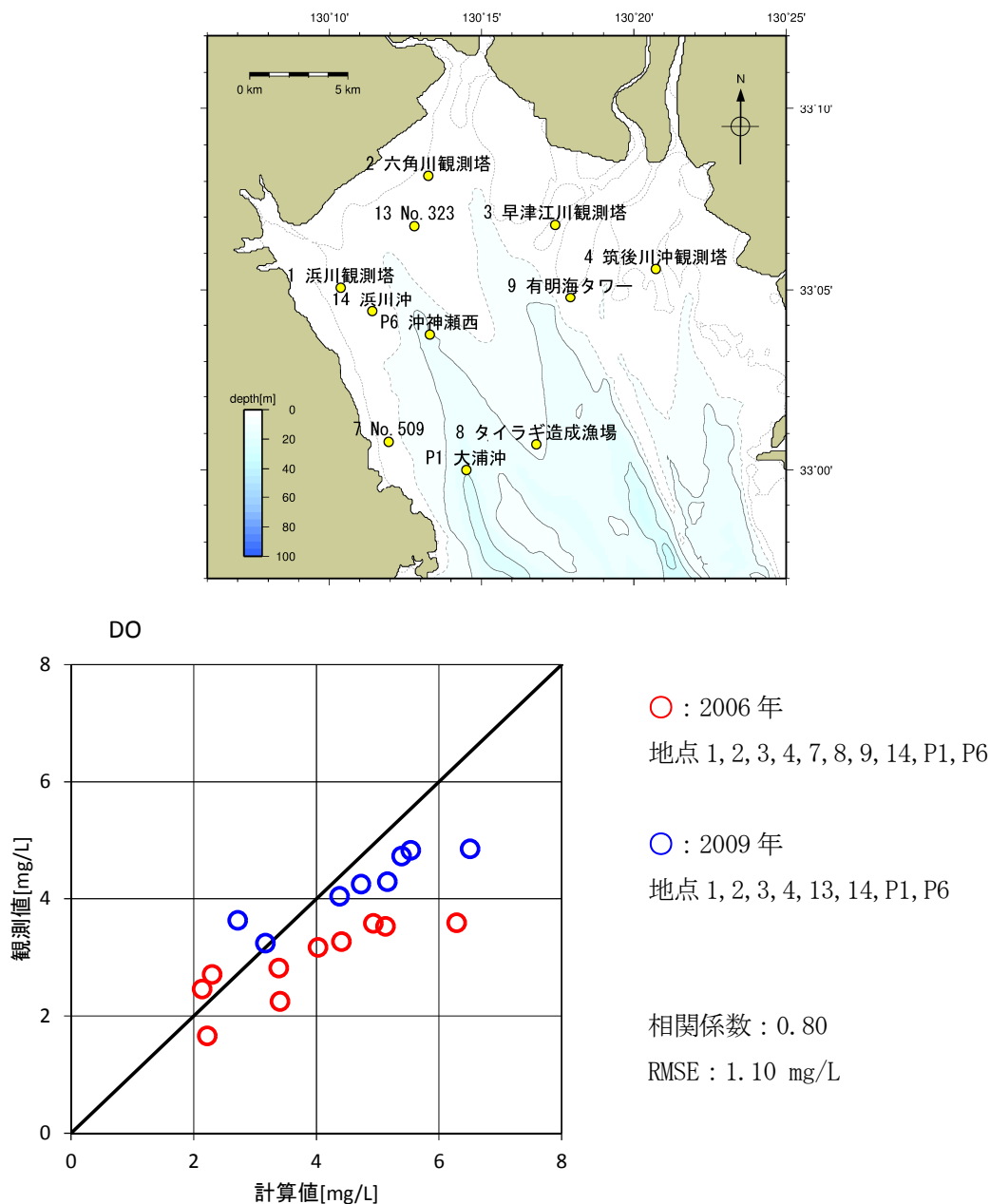


図4 水質・底質・底生生物サブモデルで考慮する物質循環

b) DO の再現性

2006年と2009年に実施された現地観測結果でモデルの再現性を確認した。
図5にDOの現地観測地点と各年の8月の1か月平均値の比較を示す。



※2006年は10地点、2009年は8地点の8月の1か月平均値の比較

図5 DOの現地観測地点と底層DOの再現性の確認

出典（観測値）：赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書（水産庁）及び有明海貧酸素水塊発生機構実証調査報告書（環境省）

c) 計算ケースの設定

4章3. 問題点と原因・要因との関連の連関図で示されているように、貧酸素水塊の大小に直接的に寄与すると考えられる環境要因は、「赤潮の発生件数の増大・大規模化」、「成層化」及び「底質中の有機物の増加」が挙げられている。これらの直接的要因に対しても様々な要因が可能性として挙げられており、それらが複雑に絡み合うことで現象の理解を困難にしていると考えられる。

今回検討した計算ケースは表1に示すとおり4ケースである。他にも多々挙げられるが、後述するモデルの限界に配慮し今回はその他の要因の検討については今後の課題とした。従って、解析結果の解釈についてはモデルの限界を考慮する必要がある。

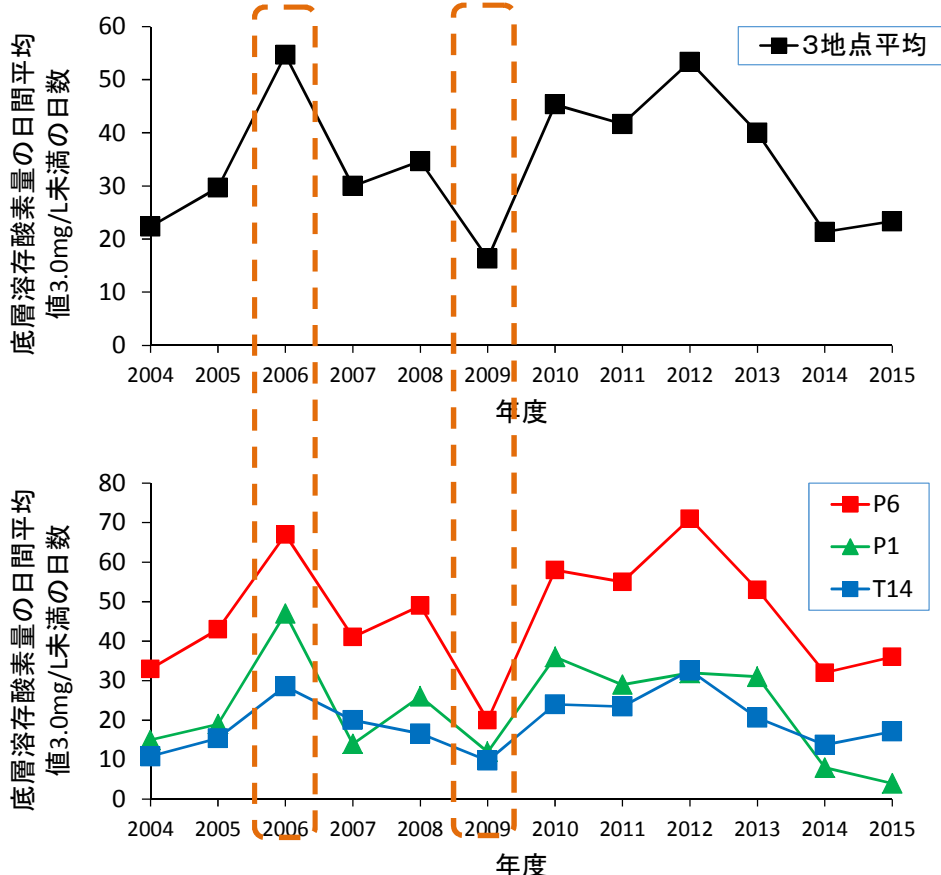
表1 要因解析の計算ケース

No.	ケースの内容	解析内容
1	長期的な水温の上昇	水温の違いによる貧酸素水塊の容積
2	藻場の減少	1970年代と現在の藻場面積（水質浄化能力）の違いによる貧酸素水塊の容積
3	栄養塩の流入 有機物の流入	過去から現在の流入負荷量の違いによる貧酸素水塊の容積
4	二枚貝の減少	過去と現在の二枚貝生息（水質浄化能力）の違いによる貧酸素水塊の容積

d) 計算条件の設定

計算期間は、貧酸素水塊が発生しやすい夏季の3ヶ月間（6～8月）を対象とし、最終の1ヶ月間（8月）を解析期間とした。計算年次は、計算入力データの収集可能期間（～2013年）の内、貧酸素水塊の累積日数が観測3地点の平均値が最大であった2006年と、最小であった2009年を対象とした（図6）。

※ここでは溶存酸素濃度 3.0mg/L 未満を貧酸素水塊として定義している



注1) 測定地点は、3章 6.貧酸素水塊の図 3.6.1 に示すとおりである。
注2) 各年度、各地点の底層溶存酸素量の日間平均値が 3.0mg/L 未満となった日数を記載している。なお、観測期間は6~9月を中心に行われており、詳細な観測日数は各年度、各地点により異なる。

図6 有明海湾奥部における貧酸素水塊の発生状況(累積日数)

各計算ケースの条件設定の考え方として、1970年~2014年までの期間で取りうる値(夏季最大値・夏季最小値)を設定することを基本とした。各計算ケースの設定値は次のとおりである。

(i) 長期的な水温の上昇の計算条件

長期的な水温の上昇の条件設定は、流動サブモデルにおける外海境界水温条件、気温条件及び河川水温条件で行った。外海境界水温条件と気温条件の設定値を表2に示す。

なお、ベースケースの外海境界水温は図3に示した外海境界位置において月1回程度の浅海定線調査結果を用いて水温の鉛直分布の時間変動を与えている。また、ベースケースの河川水温は月1回程度の頻度で取得されている河川水温データ(国土交通省水文水質データベース)と最寄りの気象台の気温データとの相関式を作成し、1時間間隔の気温データから1時間間隔の水温データを推定した。

表 2(1) 外海境界水温の設定値

計算ケース	2006 年	2009 年
(1) 水温最大ケース (1994 年想定)	ベースケース+0.7℃	ベースケース+1.3℃
(2) 水温最小ケース (1993 年想定)	ベースケース-1.7℃	ベースケース-1.1℃

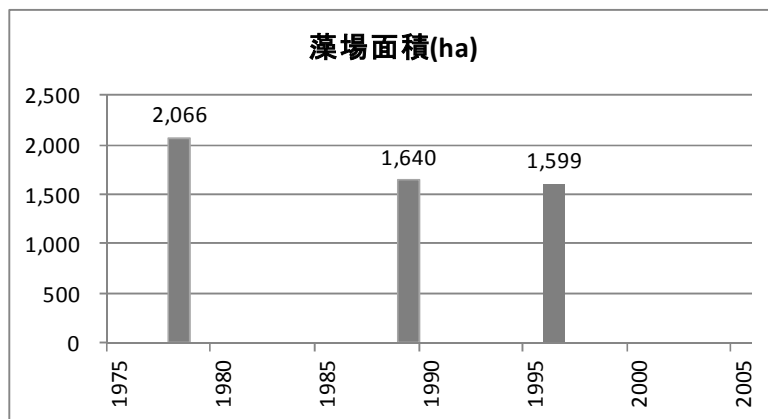
表 2(2) 気温の設定値

計算ケース	2006 年	2009 年
(1) 水温最大ケース (1994 年想定)	ベースケース+0.9℃	ベースケース+1.1℃
(2) 水温最小ケース (1993 年想定)	ベースケース-2.3℃	ベースケース-2.0℃

(ii) 藻場の減少の計算条件

環境省による「自然環境保全基礎調査」の調査結果を基に設定した。自然環境保全基礎調査の第 2 回調査 (1978 年) から第 4 回調査 (1996~1997 年) にかけて藻場面積は約 20%減少している (図 7)。

現状の藻場分布の設定は第 4 回調査の分布を与えることとし、過去 (第 2 回調査) の藻場分布が明らかでないことから、今回の解析では水平分布は現状の藻場分布と同様とし、過去の藻場現存量相当 (1.29 倍) の炭素・窒素・リンの取り上げ量を条件として与えることで過去の状況を表現した。



出典：自然環境保全基礎調査

図 7 現存藻場の面積の推移

(iii) 栄養塩の流入・有機物の流入の計算条件

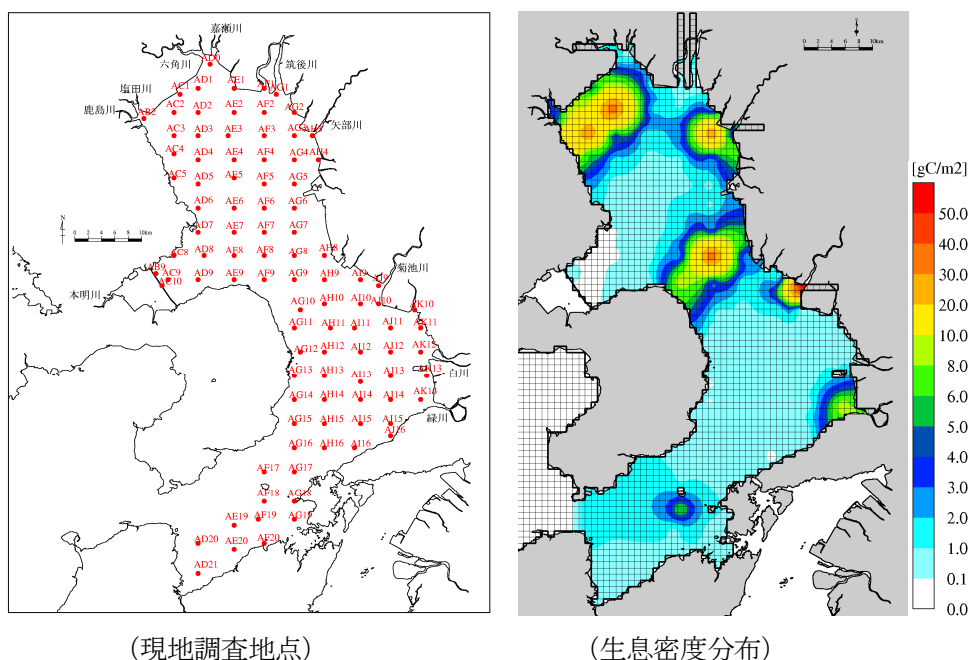
第 3 章で示した流入負荷量の推移を基に設定した。2006 年、2009 年のベース計算条件を基本とした流入負荷量の最大・最小の設定倍率を表 3 に示す。

表3 流入負荷量条件

項目	最大年	最小年	ベース計算条件を基本とした流入負荷量の倍率			
			2006年計算		2009年計算	
			最大ケース	最小ケース	最大ケース	最小ケース
COD	1976年	2000年	1.486	0.712	1.529	0.732
T-N	1975年	2002年	1.830	0.733	1.802	0.722
T-P	1980年	2005年	2.068	0.785	2.004	0.760

(iv) 二枚貝の減少の計算条件

数値シミュレーションモデルの基本ケースでは、2005～2006年に実施された現地調査結果(図8)を基に懸濁物食者の分布及び現存量(gC/m^2)を入力条件として設定しているが、こういった生息分布や現存量の経年的な変化は明らかではない。そこで、本検討では基本ケースの懸濁物食者の分布及び現存量を初期条件として繰り返し計算を行うことで、餌環境・溶存酸素環境・漁獲圧(アサリ・サルボウ・タイラギの最大の取り上げのあった年として1983年を想定)により律速される状況下での懸濁物食者が増える最大量を計算格子毎に見積もり、この懸濁物食者の分布を最大ケース(現存量として約2倍)として設定した。



出典:「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」中間評価資料

(<http://scfdb.tokyo.jst.go.jp/pdf/20051210/2007/200512102007rr.pdf>)

図8 生物生息状況調査地点と懸濁物食者の生息密度分布

③ 試算結果・考察

要因解析の結果は、貧酸素水塊の容積をケース間で比較することにより評価した。貧酸素水塊の容積は、溶存酸素濃度が 3.0mg/L 未満となった計算格子を貧酸素水塊となった格子として判別して、それらの格子の容積を集計した。

結果の一例として、A1・A3 海域・全海域における貧酸素水塊の容積の各ケース間の比較を図 9 に示した。この図は以下の式で定義された貧酸素水塊の変化比率として整理している。値が 1 より小さい場合に貧酸素水塊の容積が縮小、逆に 1 より大きい場合に貧酸素水塊の容積が拡大していることを表している。

$$\text{貧酸素水塊の容積の変化比率} = \frac{\text{要因解析ケースの貧酸素水塊の容積}}{\text{ベースケースの貧酸素水塊の容積}}$$

貧酸素水塊の変化比率について、水温最大・最小ケース、二枚貝最大ケース、流入負荷最大・最小ケースは、海域や年次の違いで計算を行った。水温の違いは酸素消費速度の大きさに関係する。二枚貝の増加は、植物プランクトンを捕食することによって海域内部での有機物生産量を減少させる。有機物生産量が減少すると、それが分解されることで生じる酸素消費量が減少する。流入負荷については有機物と窒素・リンの流入が含まれる。有機物流入量の変化は、それが分解されることで生じる酸素消費量の変化に関係する。窒素・リン流入量の変化は、それを栄養源として増殖する植物プランクトンの生産量を変化させ、海域内部での有機物生産量を変化させる。

計算の結果は若干傾向が異なるが、貧酸素水塊が縮小する場合のケース（水温最小・二枚貝最大・流入負荷最小）で全域の変化比率が 0.3~0.7 程度となっていた（0.3 は容積が 30% になることを表す）。

藻場最大ケースの場合では海域区分を問わずほとんど 1 であり、ベースケースからの変化は小さい傾向がみられた。これは、藻場がもともと貧酸素水塊のほとんど発生しない有明海湾口部に分布しているため、変化の振幅が小さい結果となったと考えられる。

以上のことから、A1・A3 海域ともに、水温、二枚貝、流入負荷のそれぞれが貧酸素水塊の規模の増減に寄与することが試算結果として示された。ただし、この計算では二枚貝の最大ケースを考えるにあたって、貧酸素・硫化水素発生による二枚貝の死亡は考慮していないことには注意が必要である。

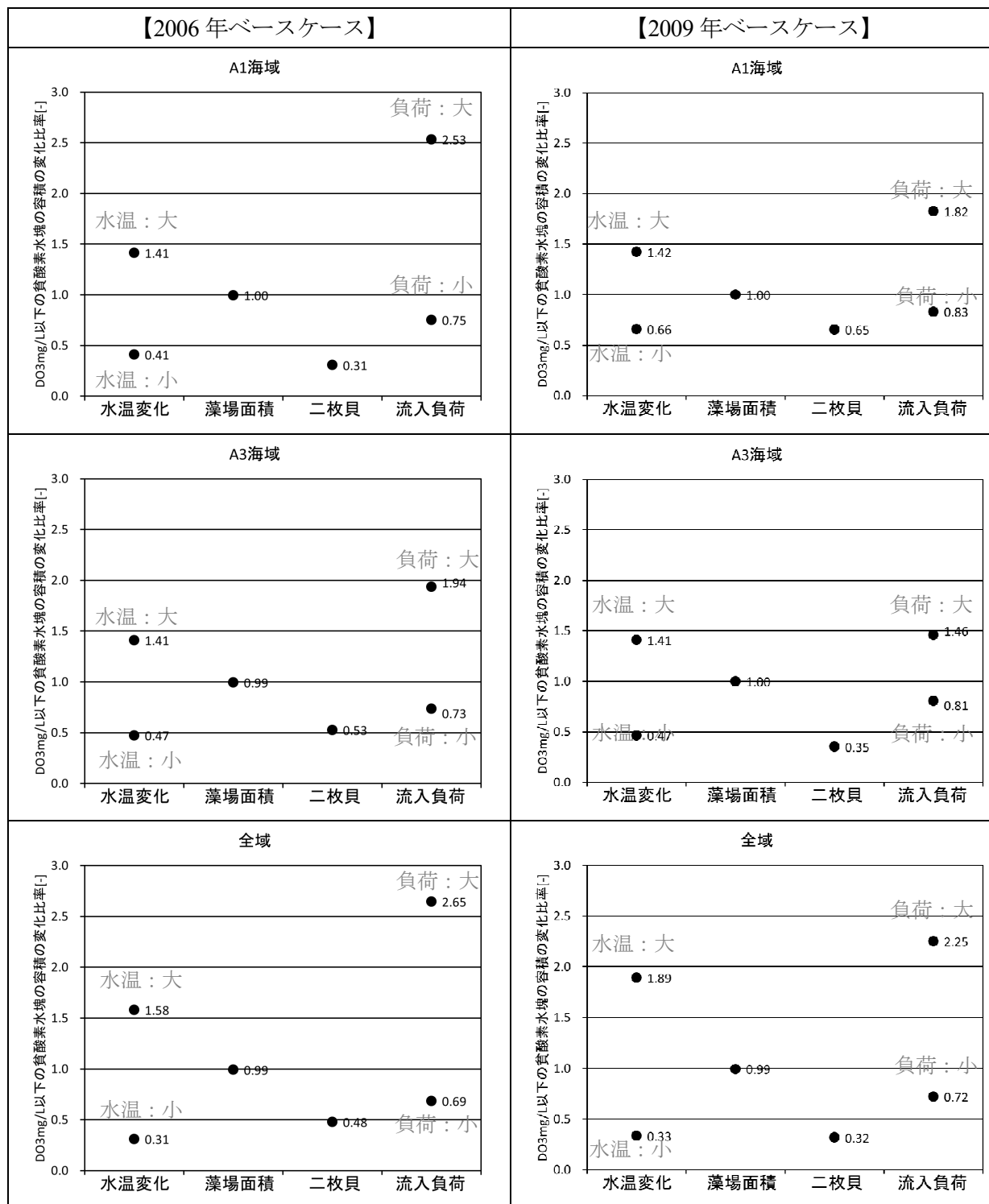
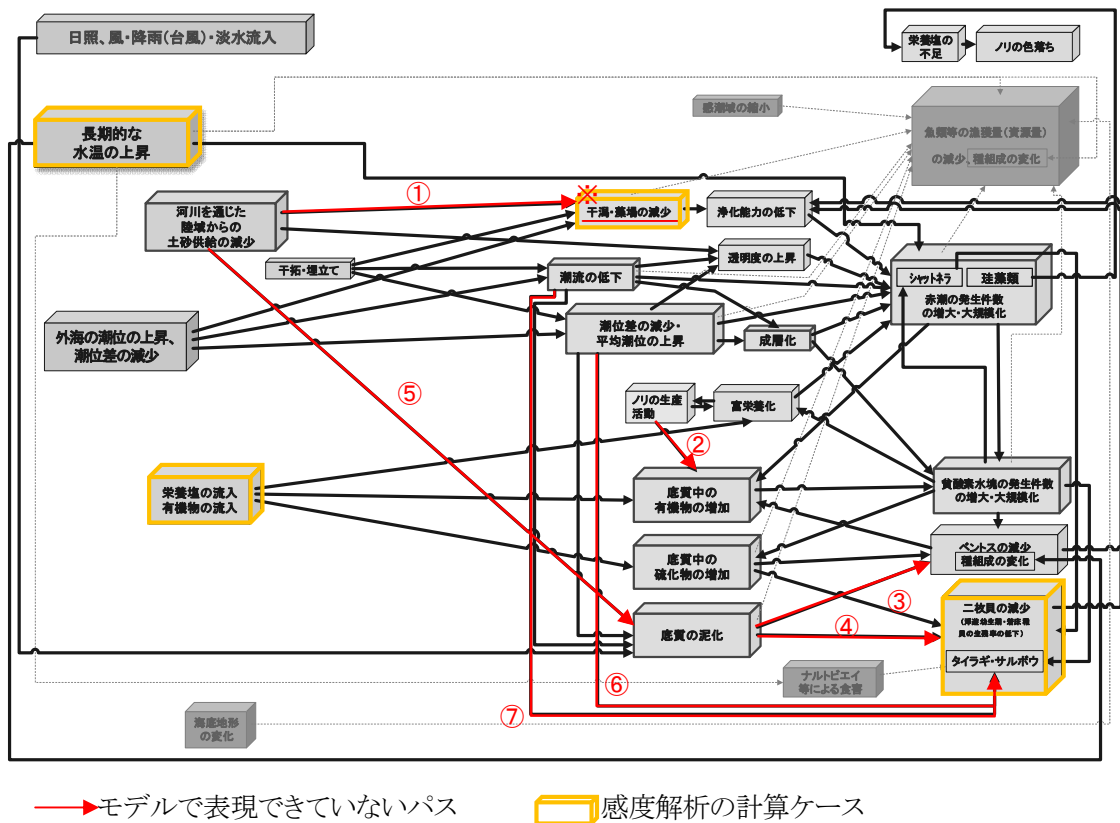


図9 貧酸素水塊の容積の各ケース間の比較

④ 課題

今回、貧酸素水塊の改善のための方策を検討するため、数値シミュレーションモデルを用いて貧酸素水塊形成の要因解析を行った。近年の数値解析技術の発展により、高い精度で貧酸素水塊の発生状況(DO濃度の時空間変動)を表現することができるようになってきている一方で、モデル計算で考慮できていない課題がある。モデル設定に係る課題を図10に示す。



①	経年的な地形変化(干潟)は考慮されていない。
②	ノリの生産活動と底質中の有機物の増減との長期的な関係は考慮されていない。
③④	ベントスや二枚貝の分布は初期値として与えられる。底質の変化にともなってベントスや二枚貝の量が増減するモデルとなっていない。
⑤	長期的な底質変化を解くモデルとなっていない(一時的な泥の堆積量・浸食量を計算)。
⑥⑦	潮位差、平均潮位や潮流の変化に伴って平均流が変化するモデルとなっているが、二枚貝の生活史(浮遊幼生)が考慮されていないため、流れの変化に伴う二枚貝の増減は考慮されていない。
※	干潟・藻場の減少の内、干潟については地形改変を伴い潮流が変化するとかんがえられるため、⑥⑦と同様の理由で厳密にはモデルで考慮することはできない。

図10 モデルで表現できていない関連図パス

(参考)

全ての要因解析ケースのクロロフィル a 濃度 (全層平均) と貧酸素水塊の容積の平均値 (全層) の関係を図 11 に示した。海域の区分を色分けで表し、各点が要因解析各ケースに対応している。各要因解析ケースにおいて、クロロフィル a 濃度と貧酸素水塊の容積には正の相関があり、両者が対応していることが確認できる。

1 日当たりの酸素消費フラックス (水柱での有機物の分解 + 生物の呼吸 + 底泥の酸素消費 + ODU による酸素消費) と貧酸素水塊の容積 (全層) との関係 (図 12) では、正の相関がみられる。2009 年は酸素消費フラックス当たりの貧酸素水塊の容積が 2006 年よりも小さい傾向がある。また、図 13 に示すように 2009 年の成層強度は 2006 年と比べて小さい。

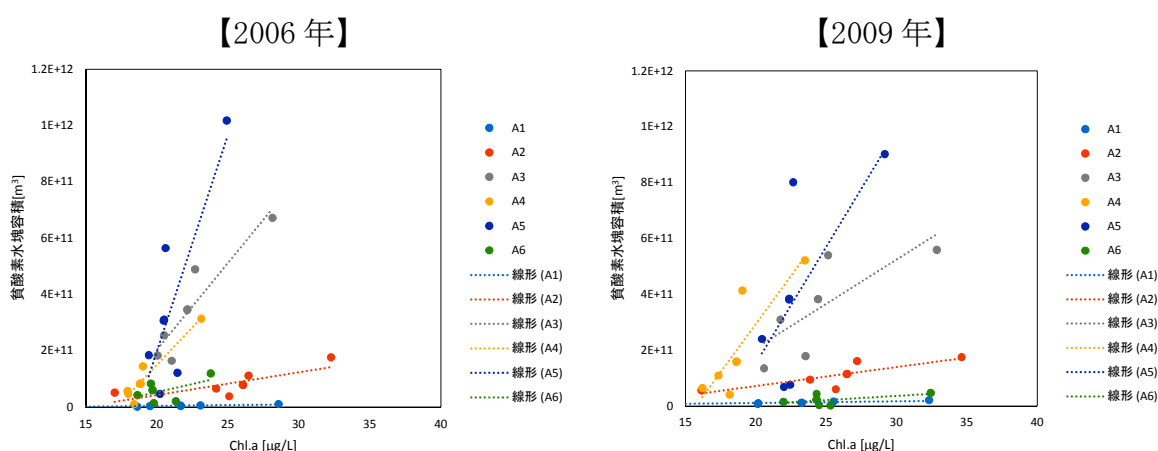


図 11 クロロフィル a 濃度の海域内平均値と貧酸素水塊の容積の関係

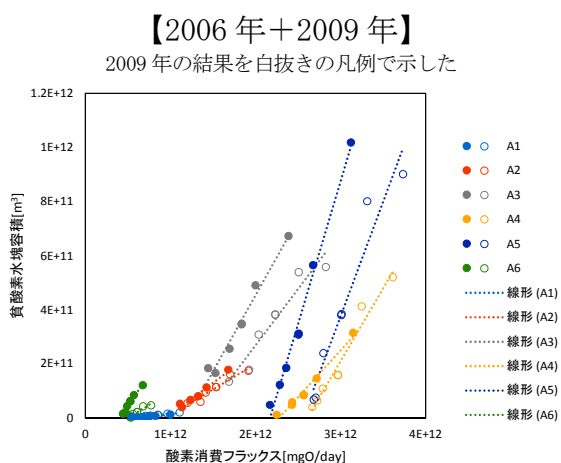


図 12 1 日当たりの酸素消費フラックスと貧酸素水塊の容積の関係

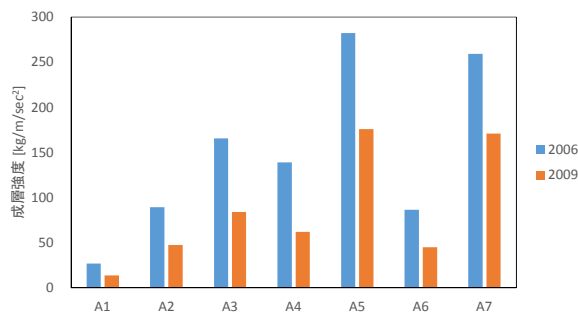


図 13 成層強度 (海域内平均値)

イ) 二枚貝による改善効果の試算

① 試算の目的

有明海奥部の干潟縁辺域にはかつて広大なカキ礁が存在した。その一部は、明治時代から行われていた地まき養殖によるカキ養殖によって形成されたものである。これらのカキ礁は1977年には546haの面積を有していたが、漁場整備などのために減少し、2006-2007年には161haになっている（水産庁，2011）。通常のカキ礁がマガキ1種からなるのに対して、有明海のカキ礁の特徴は、マガキ・シカメガキ・スミノエガキの3種のカキによって形成されることである。泥干潟の上にカキ礁が形成されると、そこに多くのベントスが住みこみ、単調な泥干潟に比べて生物多様性が高くなる。また、カキ礁はヤマノカミ・ハゼクチなどの有明海特産種を含む多くの魚類にとって、産卵場・成育場・摂餌場として利用されている。したがって、有明海奥部のカキ礁は生物多様性の保全機能を有している。さらに、カキ礁のカキによって植物プランクトンが補食されることにより、カキ礁は赤潮の抑制効果を有する。赤潮抑制によって底層に供給される有機物が減少すると、貧酸素水塊の抑制につながると考えられる。このように、カキ礁は海域の環境浄化機能も有していると考えられる。そこで、山口ら（2015）は、数値シミュレーションによって、有明海奥部におけるカキ礁の貧酸素抑制効果を評価した。

② 試算の内容

この研究では、有明海奥部における水温・塩分・底層溶存酸素濃度を精度良く再現できる3次元生態系シミュレーションモデルを構築し、このモデルを用いて、有明海奥部におけるカキ礁のカキバイオマスを現状の2倍にした場合について、底層の溶存酸素濃度の変化を推定した。計算は2007年4月1日～8月31日の期間について行った。カキ礁再生の効果を調べるために、現況（Case a）と、カキ礁を新たに増やした3ケースの合計4ケースの計算を実施した。カキ礁を増やしたケースについては、カキ礁の位置による効果の違いを検討するために、湾奥東部筑後川河口沖（Case b）、湾奥北部（Case c）、湾奥西部（Case

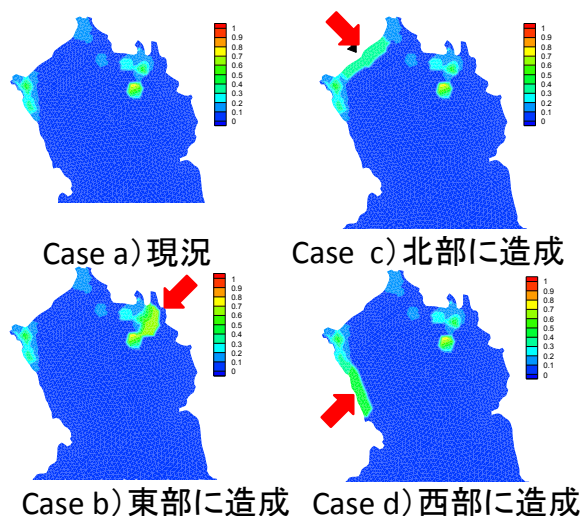


図14 Case a～dのカキ礁の被覆度分布

d) の3つのケースについて検討した (図 14)。かつては現在の約 3.4 倍の面積のカキ礁があったが、現状においてカキ礁を復活させる場合にはノリ養殖場との兼ね合いがあるため、ここではノリ養殖場を避けて新たにカキ礁を増やし、その量は合計で現状のバイオマスの2倍が現実的と設定した。計算に使用したモデルの最小メッシュサイズは 500m であるが、個々のカキ礁のサイズはこれよりはるかに小さい。そこで、モデルでカキ礁を表現するにあたっては、メッシュ毎のカキ礁被覆度にかきの密度をかけたものをカキのバイオマスとした。図 14 に各ケースのカキ礁被覆度分布を示す。カキの密度としては、むき身乾重量/殻付湿重量=0.016、乾燥重量のうち 50 % が炭素として炭素換算 226.6 gC m^{-2} 、シカメガキ：マガキ：スミノエガキの比率は 4 : 3 : 3 とした。

③ 試算の結果・考察

現況とカキ礁を増やした場合を比べると、カキ礁を増やした場合の方が表層の植物プランクトン密度は低下した。またカキ礁を増やした場合の方が底層溶存酸素濃度は高くなった。カキ礁の再生による底層溶存酸素濃度分布変化の予測の例として、東部海域にカキ礁を再生した場合 (Case b) と現況 (Case a) の違いを示す (図 15a)。現況では有明海灣奥西部を中心にした海域と諫早湾に溶存酸素濃度が 3.0mg/L 以下の水塊が広がり、 2.0mg/L 以下の水塊も見られた。一方で、カキバイオマスを2倍にした Case b の場合には、溶存酸素濃度の低い水塊は広い範囲で縮小し、諫早湾内の 2.0mg/L 以下の水塊は見られなくなった。同様に Case c (図 15b)、Case d (図 15c) の場合にも溶存酸素濃度の低い水塊は広い範囲で縮小した。

より定量的な評価をするために、A 3 および A 6 海域における貧酸素水塊の容積および底面積の変化を図 16 に示す。ここでは便宜上、溶存酸素濃度が 3.0mg/L 以下を貧酸素とした。A 3・A 6 どちらの海域においても現況 (Case a) よりもカキバイオマス2倍の場合 (Case b) の方が貧酸素水塊の容積・底面積は小さくなった。Case b の場合、計算期間中の貧酸素水塊の積算容積は、A 3 海域については 11%、A 6 海域については 10%減少した。同様に計算期間中の貧酸素水塊の積算面積は、A 3 海域については 10%、A 6 海域については 5%減少した。

再生するカキ礁の場所による効果の違いを検討した結果では、計算期間中の A 3 海域の貧酸素水塊 (3.0mg/L 以下の水塊) の積算容積は、Case b では現況よりも 11%減少した。

以上の結果は、カキ礁を復活させることは、有明海奥部、諫早湾において貧酸素化を一定程度緩和する効果を有していることを示している。貧酸素水塊が縮小することによってカキ以外の二枚貝類の生息量が回復すれば、さらなる赤潮抑制・貧酸素緩和効果がもたらされる可能性がある。長期的にはこのような正のフィードバック効果を引き起こすことが望まれる。

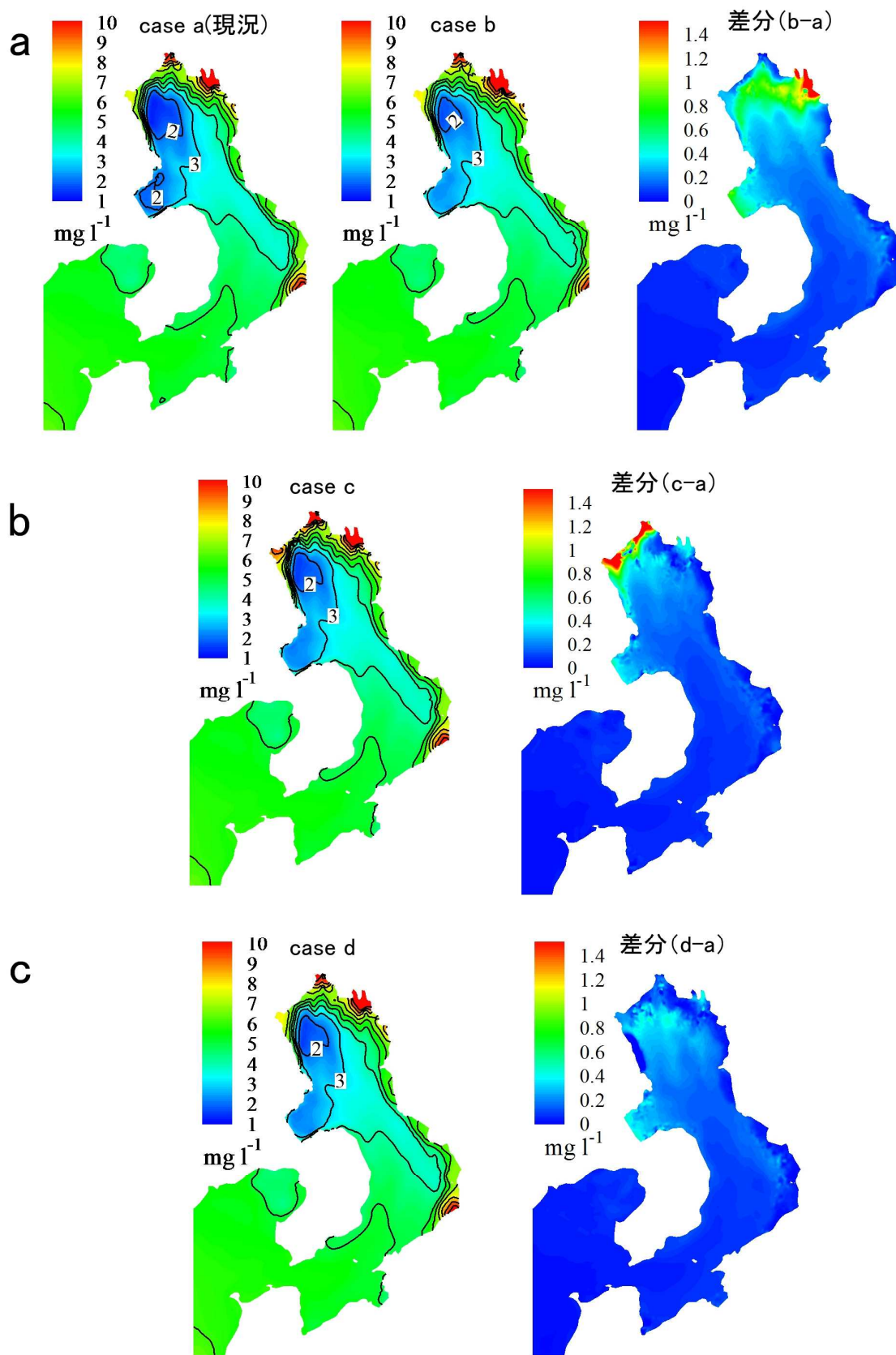


図 15 カキ礁再生による底層溶存酸素濃度分布の違い

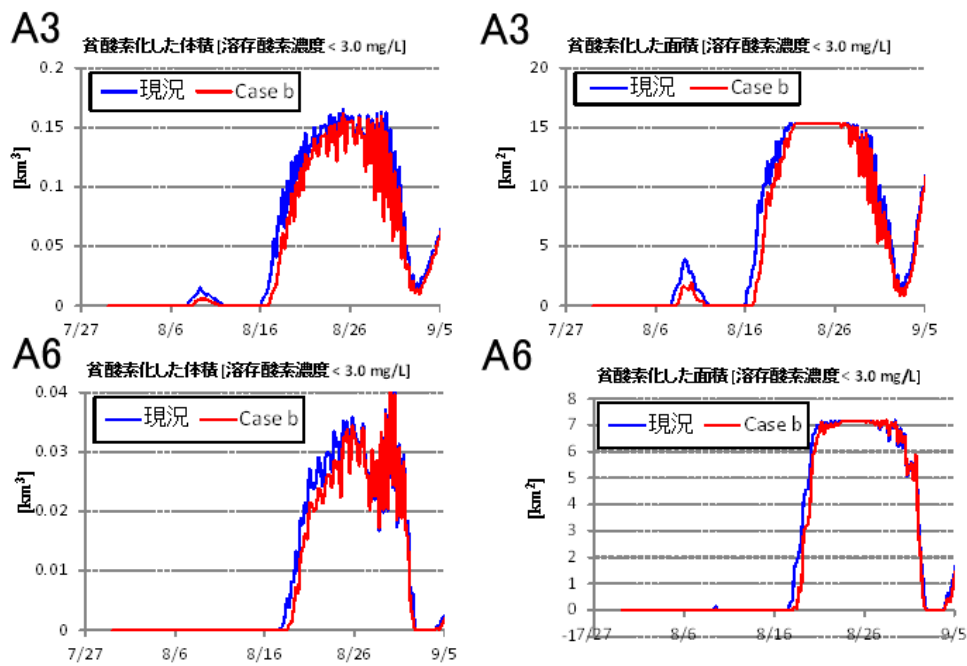


図 16 カキ礁再生による貧酸素水塊の容積・底面積の変化 (A 3およびA 6 海域に関する Case a と b の比較)

文献

水産庁 (2011) : 平成 22 年度有明海等漁業関連情報提供委託事業報告書.

山口創一・速水祐一・木元克則 (2015) : カキ礁による有明海貧酸素水塊の抑制効果. 沿岸海洋研究, 53(1), 25-38.

2) 二枚貝の浮遊幼生の供給ネットワークの試算

① 試算の目的

有明海のタイラギ漁獲量は2000年以降低位で推移しているが、その中で、2009年は久々の豊漁となった。これは2008年着底個体群が多かったことが原因である。この原因について2つの仮説が考えられる。1) 2008年はその前後の年に比べて物理的な輸送によって湾奥に浮遊幼生が供給されやすかった。2) タイラギ幼生の浮遊期は貧酸素水塊が発生しやすい夏季であるが、2008年は浮遊幼生に対する貧酸素の影響が小さかった。そこで、これらの仮説について数値実験によって検討した。

② 試算の内容

検討にあたっては、有明海奥部における水温・塩分・底層溶存酸素濃度を精度良く再現できる3次元生態系シミュレーションモデルを構築し(山口ら、2015)、そのモデル上でオイラー・ラグランジェ法による粒子追跡実験を行った。さらに、各粒子について、浮遊期間中に経験する水質パラメータを記憶させ、輸送中に経験する環境履歴の影響を評価した。粒子については、タイラギ幼生を模して、浮遊期間を3~4週間とした。なお、タイラギの浮遊幼生は鉛直移動をするという報告があるものの現時点では詳細な生態が不明であるため、本計算では鉛直移動はないものとして試算した。

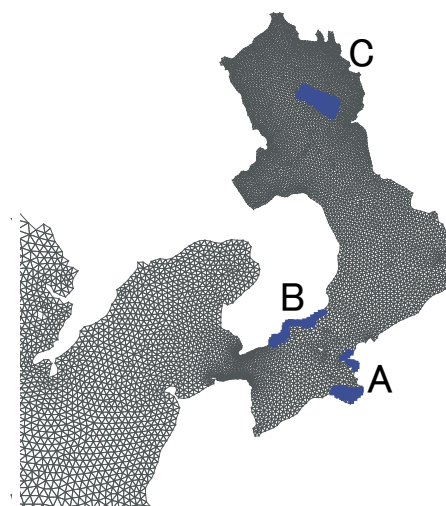


図 17 数値実験における浮遊幼生の放出海域

4章4(2)A2海域に示したように、有明海ではかつては湾奥部の広い範囲にタイラギ漁場が形成されていた。しかし、湾奥西部では、1990年代後半以降は2009年を除いてまとまった量の成育が見られなくなった。一方、湾奥東部では、2011年まで潜水器漁業によるタイラギ採捕が行われてきた。試算では、浮遊幼生の放生源として3つの海域を考えた(図17)。A・Bは、タイラギの主漁場ではないが、徒取りで採捕されている情報がある有明海南部の東岸・西岸の海域である。C海域は2000年以降のタイラギ主漁場である湾奥東部海域である。2008年は7月と9月に湾奥で浮遊幼生量のピークが見られたが、実験ではこのうち9月のピークをターゲットとして、8月10日から各海域毎時100粒子の密度で幼生を模した浮遊粒子を放出した。こうした計算を2007年から2010年までの4ヶ年について行い、各年の比較を行った。

③ 試算の結果・考察

図 18 は、A・B 海域から粒子を放出したケースについて、放出開始から 3 週間後の粒子の分布を示したものである。2007 年から 2010 年までいずれの年も、湾外に流出する粒子がある一方で、湾奥部に対しても粒子の輸送があることがわかる。図 19 は、A・B 海域から粒子を放出したケースについて、着底可能期間である放出から 3 週～4 週間における有明海奥部への到達粒子数を示したものである。湾奥の東西いずれの海域についても、2008 年が最も多かった。A・B 海域から粒子を放出した場合と、C 海域から放出した場合を比較すると、前者については湾奥西部・東部の両方の海域に安定して粒子が供給された。C 海域については、湾奥東部には A・B 海域よりも多くの粒子が輸送されたが、湾奥西部への供給は前者より少なく、特に 2008 年は少なかった (図 20)。A・B・C 海域から放出され、湾奥東部・西部に到達した粒子について、着底可能期間 (3 週～4 週間) における貧酸素曝露日数 (ここでは便宜上 3.0mg/L 以下を貧酸素とした) を調べたところ、2008 年が最も少なく、A・B 海域から放出した場合は他の年と異なって貧酸素曝露日数は 0 日であった (図 21)。これは、流動だけではなく、水質としても 2008 年が湾奥への浮遊幼生輸送・生残に適していたことを示す。こうした結果から、有明海南部海域も幼生供給を担っている可能性が考えられ、広域的な母貝団地造成も重要であることが示唆された。

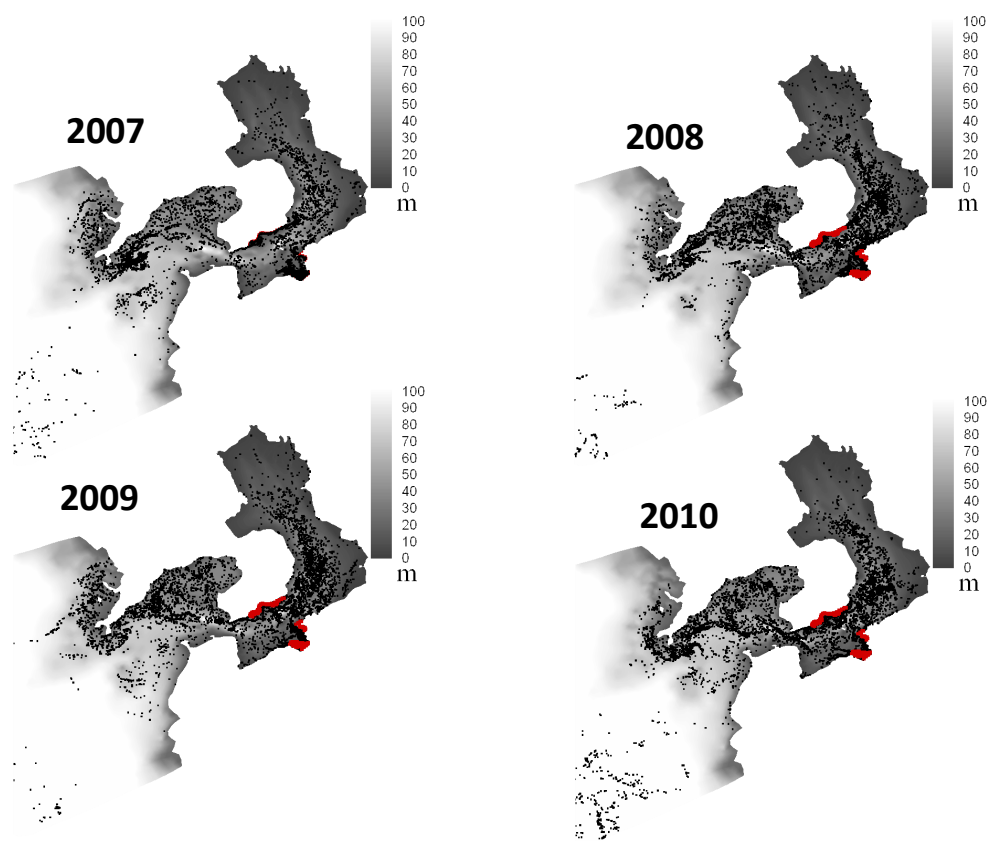


図 18 A・B 海域から放出 3 週間後の粒子の分布

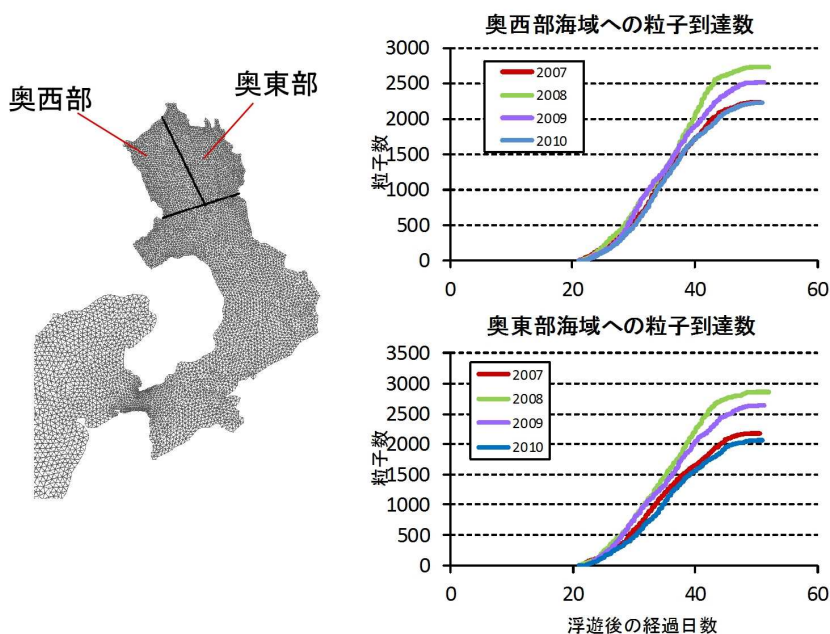


図 19 A・B海域から放出3~4週間後における湾奥海域への到達粒子数

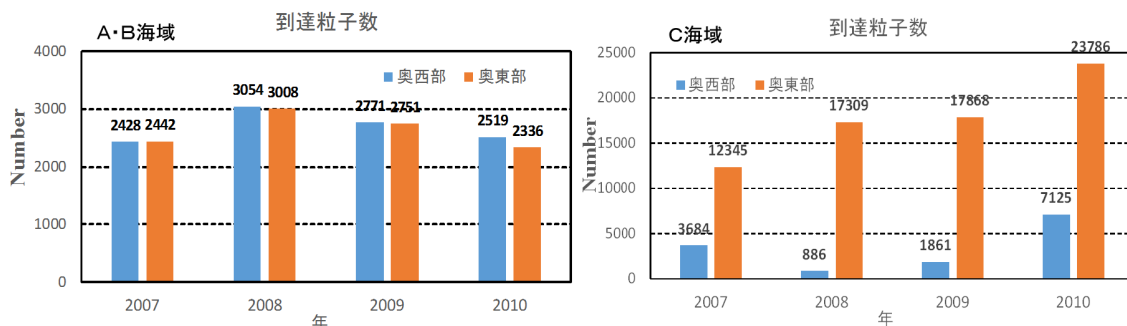


図 20 A・BおよびC海域から放出3~4週間後における湾奥海域への到達粒子数

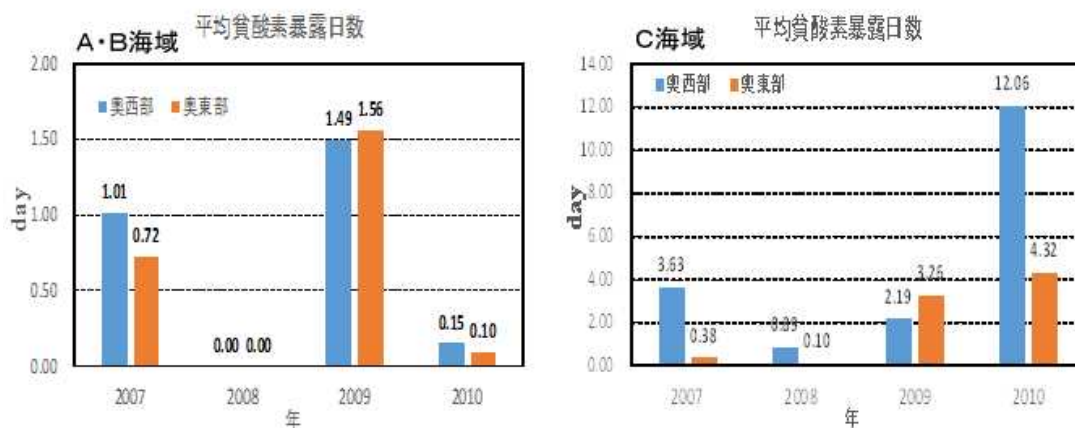


図21 A・B及びC海域から放出後に有明海奥部に到達した粒子の貧酸素 (<math>< 3.0\text{mg/L}</math>) 暴露平均日数

このような有明海南部から湾奥部への幼生輸送が生じる機構について考察する。夏季の有明海は湾奥部に多くの淡水流入があるため、湾スケールの流動構造としてエスチュアリー循環が卓越する。その結果、有明海南部と湾奥部をつなぐ海底水道における平均流は、上層で流出、下層で流入という流れとなる (図22)。湾南部底層で発生したタイラギ浮遊幼生がこのような下層の流れに乗ると、湾奥部へと輸送される。2007、2009、2010に比べて2008年は、8月中旬から9月にかけて、下層で強い流入傾向にあった。これは、この年の計算期間における河川流量が他の年よりも多かったこと、北西風が強かったことにより、エスチュアリー循環が強化された結果であると考えられた。A・B海域から奥部への粒子の輸送が2008年に最も多くなったのは、このようにエスチュアリー循環が強化されたためであると考えられた。2008年が最も多かったものの、シミュレーションの結果ではA・B海域からの粒子はいずれの年についても湾奥にも輸送されたことから、主要漁場である有明海奥部だけでなく、有明海南部海域についても恒常的に有明海奥部への浮遊幼生の供給源として機能している可能性が考えられた。湾奥東部海域については、湾奥東部自体から供給される浮遊幼生が最も重要だと考えられ、母貝集団としても本海域における資源の保全・回復の重要性を示している。

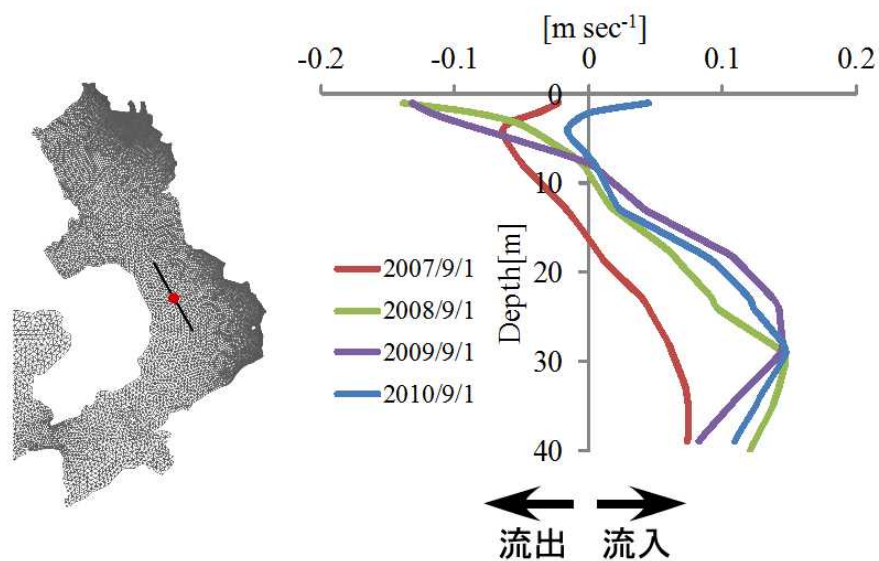


図 22 有明海中央部における湾軸方向の平均流の鉛直分布

なお、2005～2007 年に西海区水産研究所が行ったタイラギ浮遊幼生調査の結果では、比較的小型の浮遊幼生が南部（測点 M、S、A、F）で、大型の幼生が北部（0、P6、T5、B3）で見られたことから（図 23）、南部で発生した浮遊幼生が北部へ輸送された可能性があるという上記の数値実験の結果と矛盾しない結果が得られている。

以上の結果は、タイラギの主漁場である有明海奥部に対しては、有明海奥部だけではなく有明海の広い範囲から浮遊幼生の供給がなされている可能性があることを示唆している。したがって、有明海奥部におけるタイラギ資源回復のためには、湾奥部だけではなく、有明海を個別海域・県域を越えて全体で捉え、様々な海域における母貝集団の保全・育成をしていくことが重要であると考えられた。なお、今回のシミュレーションでは、浮遊幼生の鉛直分布、放出時期の推定・母貝密度の考慮などの課題がある。

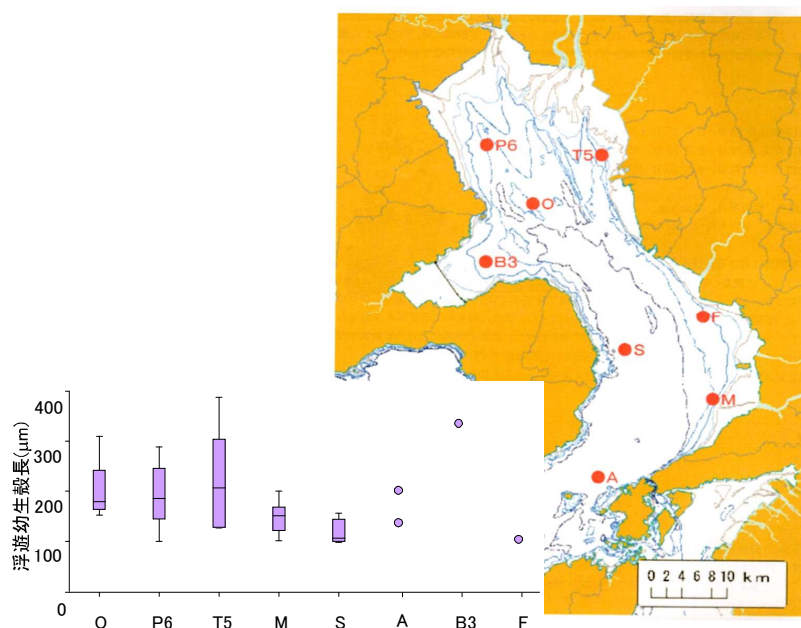


図 23 有明海におけるタイラギ浮遊幼生調査殻長組成 (2005～2007 年合計)
(西海区水産研究所調査)

文献

国立研究開発法人水産総合研究センター・国立大学法人佐賀大学・いであ株式会社 (2016) : 平成 27 年度環境省請負業務結果報告書 有明海・八代海等再生評価支援 (有明海二枚貝類の減少要因解明等調査).

山口創一・速水祐一・木元克則 (2015) : カキ礁による有明海貧酸素水塊の抑制効果.沿岸海洋研究, 53(1), 25-38.

3) 八代海での赤潮被害防止対策の取組

八代海での赤潮発生予察に関する研究段階の先進的な事例を2つ記載した。

① 事例1

折田ら(2013)は、気象や海象要因等について、赤潮発生年と非発生年の平均値の差を検定したところ、32の項目で有意差が認められ、このうち6月末時点で6月中旬の日照時間、北東風の平均風速、入梅日の3項目に強い相関が認められ、これらを用いた重回帰式により、精度高く赤潮発生を予測できることを示した(表4)。また環境項目と赤潮発生の因果関係について、図24のような関係にあることを推測している。

表4 重回帰分析による八代海における赤潮発生年の予測結果

年	赤潮発生	日照時間 6月中旬水俣	平均風速(北東) 6月八代	入梅日 5月1日起算	予測値	判定 [※]
1988	小発生	26.6	0.7	31.0	-0.6	—
1989	小発生	46.3	0.5	35.0	-0.4	—
1990	発生	67.7	1.3	29.0	0.7	A
1991	非発生	12.8	0.7	18.0	-1.5	B
1992	発生	55.2	0.9	35.0	0.3	A
1993	非発生	16.2	1.1	16.0	-1.0	B
1994	非発生	16.2	0.8	24.0	-1.1	B
1995	非発生	40.5	0.7	24.0	-0.8	B
1996	非発生	9.4	0.7	26.0	-1.2	B
1997	非発生	47.1	0.9	32.0	0.0	B
1998	非発生	35.2	0.5	27.0	-1.0	B
1999	非発生	31.1	0.7	32.0	-0.4	B
2000	非発生	44.4	0.4	25.0	-1.1	B
2001	非発生	55.9	0.8	20.0	-0.6	B
2002	小発生	47.4	1.0	40.0	0.6	—
2003	発生	19.0	1.2	39.0	0.4	A
2004	発生	70.4	1.3	28.0	0.7	A
2005	発生	52.7	1.5	41.0	1.5	A
2006	小発生	44.6	0.9	25.0	-0.3	—
2007	非発生	31.6	0.4	31.0	-1.0	B
2008	小発生	27.6	0.6	27.0	-1.0	—
2009	発生	77.1	1.1	32.0	0.7	A
2010	発生	31.9	1.1	42.0	0.7	A
2011	非発生	5.8	0.9	22.0	-1.2	B
2012	非発生	21.2	1.2	30.0	-0.1	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

(予測式) +値の場合は発生予想、-値の場合は非発生予想

$$\begin{aligned} \text{赤潮発生} = & 0.015 \times \text{日照時間 (6月中旬の水俣での日照時間(hr))} \\ & + 1.378 \times \text{平均風速 (北東) (6月の八代での平均風速(m/s))} \\ & + 0.056 \times \text{入梅日 (5月1日から九州南部梅雨入り日までの積算日数)} \\ & - 3.723 \end{aligned}$$

$$\text{補正 } R^2 = 0.734 \quad F = 18.48 \quad (p < 0.001)$$

※シャットネラが100 cells/ml以上出現した年を赤潮発生と判定した

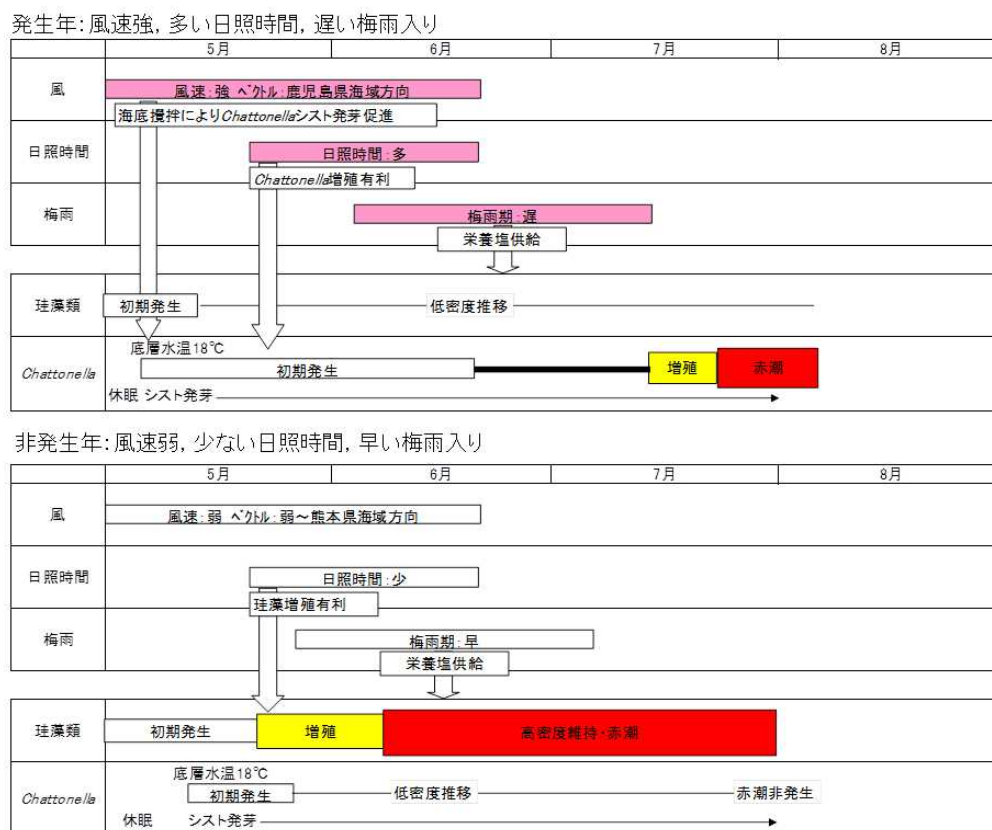


図 24 八代海において赤潮発生に関与する因子の相互作用 (折田ら 2013)

折田ら (2013) における 3 要因と赤潮発生との因果関係を要約すると以下のようになる。

- ・赤潮発生前に湾軸方向である北東風が卓越すると、海底が攪乱されてシャットネラのシストが再懸濁して発芽しやすくなる。
- ・次にシストから発芽直後のシャットネラは、5月から6月にかけて日照時間が長いと光合成が活発になって急激に増殖する。逆に競合者である珪藻類は出現が低調である。
- ・こうした状況が続くと6月中旬にはシャットネラがある程度の密度まで増殖する。
- ・シャットネラは遊泳しながら海面から海底近くの栄養塩まで利用可能であるため、入梅日が遅く海面近くの栄養塩濃度が低く推移しても、珪藻類と異なり栄養欠乏に陥り難い特性を有している。
- ・6月上旬の段階で珪藻類が卓越し、例年通りに6月上旬に梅雨入りで降雨があれば、海域に負荷された栄養塩が珪藻類へと移行し、シャットネラは台頭できない。しかし、6月下旬まで降雨による栄養塩負荷がないと、珪藻類の出現が低調でシャットネラが赤潮発生直前まで増殖しているので、海域に負荷された栄養塩がシャットネラに利用されて赤潮が発生する。

② 事例2

Onitsuka et al. (2015) は1998年から2012年までの25年間のシャットネラ赤潮発生状況と1月から6月までの気象データを解析し、八代海におけるシャットネラ赤潮の発生に関わる気象因子を抽出した。その結果、赤潮の発生時期と2月から4月の平均気温（八代市）と九州南部の入梅日との間に相関があることを示した（図25）。すなわち、八代市の冬期の平均気温と入梅日という2つの気象因子をプロットすることにより、赤潮発生年・非発生年を区分することが可能だという。

この場合の赤潮発生プロセスは以下のように推定されている。

- ・冬期の平均気温が高いと、海域の水温も例年よりも高く推移する。このことにより、シャットネラの初期出現が例年よりも早くなる。
- ・この状態でシャットネラが高い細胞密度に達し、なおかつ例年よりも入梅日が遅れると、より効率的に陸域から負荷された栄養塩がシャットネラに利用され、赤潮が発生する。

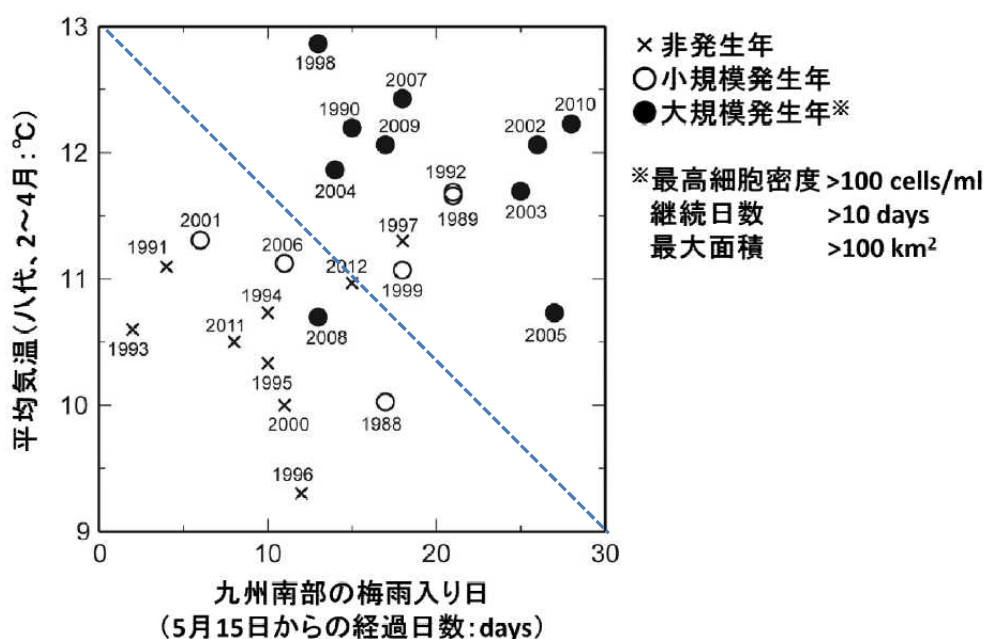


図25 シャットネラ赤潮の発生と2月から4月の気温（アメダス八代）および九州南部の梅雨入り日との関係

折田ら（2013）と Onitsuka et al.（2015）のいずれも、6月の時点でシャットネラがある程度高密度になった状況で降雨があると、陸域から負荷された栄養塩がシャットネラに利用されて赤潮が発生するという点で合致している。特に Onitsuka et al.（2015）の場合は冬期の平均気温が予測因子の一つとしてあげられており、長期予測が可能であろう。

出典：

- 事例1：折田和三・西広海・田原義雄・中村章彦(2013) 統計学的手法を用いた八代海の *Chattonella* 赤潮発生に關与する要因抽出と予察の可能性. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告, 4, 24-32
- 事例2：Onitsuka G, Aoki K, Shimizu M (2015) Meteorological conditions preceding *Chattonella* bloom events in the Yatsushiro Sea, Japan, and possible links with the East Asian monsoon. *Fisheries Science* 81, 123-130