

資 料 編 目 次

＜資料編 ケーススタディ＞

関係省庁・関係県による事業等の実施状況等について	ケース- 1
1. 底質の改善、河川からの土砂流入量の把握	ケース- 3
1.1 底質環境調査	ケース- 3
1.2 有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査	ケース- 5
2. 藻場・干潟の分布状況等の把握、漂流・漂着・海底ごみ対策	ケース- 21
2.1 海洋環境整備事業（漂流ごみ回収）	ケース- 21
3. 水質（貧酸素水塊の軽減対策、赤潮対策）	ケース- 24
3.1 海洋環境整備事業（水塊構造調査）	ケース- 24
3.2 八代海における赤潮発生状況と発生予察	ケース- 30
3.3 八代海での赤潮被害軽減対策の取組	ケース- 36
4. ベントス群集・底質の継続的なモニタリング	ケース- 39
4.1 海洋環境整備事業（底質・底生生物調査）	ケース- 39
5. ベントス群集の変化・変動要因の解析	ケース- 41
5.1 ベントスの変動要因解析	ケース- 41
6. タイラギの立ち枯れへい死の原因解明	ケース- 57
6.1 タイラギ移植試験による立ち枯れへい死の原因究明（移植試験）	ケース- 57
6.2 タイラギの浮泥による影響	ケース- 68
6.3 有明海奥部における COD による餌料環境とその長期変動の推定	ケース- 73
7. タイラギ母貝団地の造成と移植、種苗生産等の増養殖技術と種苗放流・移植	ケース- 83
7.1 タイラギの種苗生産・母貝団地の取組	ケース- 83
8. アサリ浮遊幼生の出現状況	ケース- 87
8.1 アサリ浮遊幼生ネットワークの推定	ケース- 87
9. アサリの資源再生、母貝生息適地の保全・再生	ケース- 95
9.1 福岡県海域における移植放流によるアサリ資源再生の取組	ケース- 95
9.2 長崎県海域におけるアサリ資源の回復の取組（アサリの母貝場造成）	ケース-103
9.3 アサリの実証実験場所の環境や生息状況の調査結果	ケース-108
10. その他二枚貝類	ケース-115
10.1 アゲマキ資源再生の取組	ケース-115
10.2 ウミタケ	ケース-119
11. エイ類等の食害生物の駆除・食害防止策	ケース-121
11.1 ナルトビエイ来遊量調査	ケース-121
11.2 ナルトビエイ以外の小型捕食者による食害	ケース-125
12. 環境負荷の軽減に配慮したノリ色落ち軽減技術の開発	ケース-130
12.1 二枚貝類養殖等を併用したノリ色落ち軽減技術の開発	ケース-130
13. 水温上昇等に対応したノリ養殖技術の開発	ケース-135
13.1 ノリ高水温耐性品種の開発	ケース-135

有明海・八代海等総合調査評価委員会
中間取りまとめ 資料編
関係省庁・関係県による事業等の実施状況等について

有明海・八代海等の再生に向けては、関係省庁・関係県による事業等をさらに進めるとともに、他の事業等との効果的な連携を強化しつつ、得られた科学的知見等を共有していくことが重要である。ここではケーススタディとして、平成 28 年度委員会報告以降に評価委員会に報告された関係省庁・関係県による事業等の実施状況等を整理した。

記載にあたっては、平成 28 年度委員会報告において課題とされた事項を踏まえ、中間取りまとめの第 3 章の記載順にならい整理した。なお、各ケーススタディは、事業を報告した省庁等により取りまとめられたものである。

－ ケーススタディの構成 －

1. 底質の改善、河川からの土砂流入量の把握
 - 1.1 底質環境調査（第 5 回海域小委）
 - 1.2 有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査（第 5 回海域小委）
2. 藻場・干潟の分布状況等の把握、漂流・漂着・海底ごみ対策
 - 2.1 海洋環境整備事業（漂流ごみ回収）（第 5 回海域小委）
3. 水質（貧酸素水塊の軽減対策、赤潮対策）
 - 3.1 海洋環境整備事業（水塊構造調査）（第 5 回海域小委）
 - 3.2 八代海における赤潮発生状況と発生予察（第 5 回水産小委）
 - 3.3 八代海での赤潮被害軽減対策の取組（第 5 回水産小委）
4. ベントス群集・底質の継続的なモニタリング
 - 4.1 海洋環境整備事業（底質・底生生物調査）（第 5 回海域小委）
5. ベントス群集の変化・変動要因の解析
 - 5.1 ベントスの変動要因解析（第 5 回海域小委）
6. タイラギの立ち枯れへい死の原因解明
 - 6.1 タイラギ移植試験による立ち枯れへい死の原因究明（移植試験）（第 4 回水産小委）
 - 6.2 タイラギの浮泥による影響（第 4 回水産小委）
 - 6.3 有明海奥部における COD による餌料環境とその長期変動の推定（第 5 回水産小委）
7. タイラギ母貝団地の造成と移植、種苗生産等の増養殖技術と種苗放流・移植
 - 7.1 タイラギの種苗生産・母貝団地の取組（第 4 回水産小委）

8. アサリ浮遊幼生の出現状況

8.1 アサリ浮遊幼生ネットワークの推定（第4回水産小委）

9. アサリの資源再生、母貝生息適地の保全・再生

9.1 福岡県海域における移植放流によるアサリ資源再生の取組（第4回水産小委）

9.2 長崎県海域におけるアサリ資源の回復の取組(アサリの母貝場造成)（第4回水産小委）

9.3 アサリの実証実験場所の環境や生息状況の調査結果（第4回水産小委）（第7回水産小委）

10. その他二枚貝類

10.1 アゲマキ資源再生の取組（第4回水産小委）

10.2 ウミタケ（第4回水産小委）

11. エイ類等の食害生物の駆除・食害防止策

11.1 ナルトビエイ来遊量調査（第6回水産小委）

11.2 ナルトビエイ以外の小型捕食者による食害（第4回水産小委）

12. 環境負荷の軽減に配慮したノリ色落ち軽減技術の開発

12.1 二枚貝類養殖等を併用したノリ色落ち軽減技術の開発（第5回水産小委）

13. 水温上昇等に対応したノリ養殖技術の開発

13.1 ノリ高水温耐性品種の開発（第7回水産小委）

<小委員会の開催日>

第4回水産小委・海域小委：令和元年11月29日

第5回水産小委・海域小委：令和2年7月29日

第6回水産小委・海域小委：令和2年12月8日

第7回水産小委・海域小委：令和3年2月22日

1. 底質の改善、河川からの土砂流入量の把握

1.1 底質環境調査

農林水産省では、底質改善対策の検討に資することを目的とし、2014(平成 26)年度から 2018(平成 30)年度に、下記の調査を実施した。

1.1.1 底質環境調査

(1) 調査内容・方法

2004(平成 16 年)度から 2007(平成 19)年度に、九州農政局が行った底質撈拌調査及び県が実施した既往底質調査の結果をもとに、含泥率などの底質特性によるクラスター分析を行い、2008(平成 20)年度に底質改善対策の検討に資する底質特性別海域区分図を作成した。2009(平成 21)年度以降は、クラスター分析による底質区分の主な支配要因である含泥率に応じて、底質撈拌調査結果を区分図に反映した。

(2) 底質特性別海域区分図の作成

底質特性別海域区分図の作成方法は以下に示すとおりであり、2019(令和元)年の図は本編第 2 章 2.5.1 に記載した。

- ・試料はグラブ式採泥器(採泥面積 0.15m×0.15m、重量 10kg)により海底表層から採取
- ・クラスター分析では、81 調査地点における 8 項目の底質特性(中央粒径、含泥率、含水率、全硫化物、強熱減量、COD、全窒素、全リン)を用いて分析し、以下の 4 つに区分
- ・2004(平成 16)年度から 2018(平成 30)年度までに 366 地点(クラスター分析に用いた 81 地点を含む。)を調査し、区分図に反映

<区分>

- A(砂):有機物量が少なく嫌気化していない(砂分が 80～90%程度)
- B(泥混じり砂):有機物量はAよりも多いが、富栄養化が問題になるレベルにはない(砂分が 60～70%程度)
- C(砂混じり泥):有機物量がさらに増加して富栄養化が進んでいる(泥分が 70～80%程度)
- D(泥):富栄養化と嫌気化により底質環境が悪化している(泥分が 80～90%程度)

出典:滝川 清ほか(2013)「有明海の底質環境と底生生物の分布特性―貝類漁場の改善に向けて―」海洋と生物

1.1.2 底質攪拌による底質改善効果調査

(1) 調査内容・方法

底質攪拌は、幅 1.5m 程度に 20 本程度の爪を設置した「貝桁(かいけた)」と呼ばれる器具を漁船で曳航して実施している。貝桁と貝桁による攪拌作業の状況を図 1.1-1 に示す。



貝桁 (かいけた)



攪拌作業状況

図 1.1-1 貝桁と貝桁による攪拌作業の状況

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 調査結果

底質攪拌により、攪拌前と攪拌3ヶ月後の強熱減量、硫化物含有量の調査結果は図 1.1-2 に示すとおりである。いずれの項目ともに、一定の改善効果が確認された。特に、強熱減量に関しては、底質攪拌3ヶ月後において泥質の約9割の地点で改善効果が見られた。

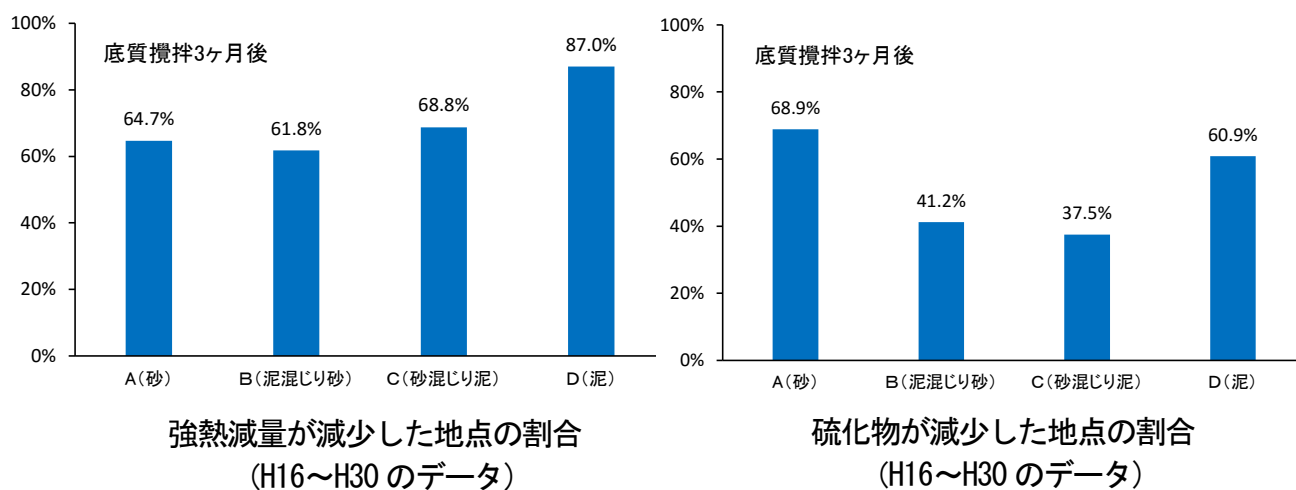


図 1.1-2 底質攪拌により強熱減量及び硫化物の値が減少した地点の割合

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1.2 有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査

林野庁では、2012(平成 24)年度より、科学的知見の蓄積のため、河川を介した森林と海域との関係について、森林土壌(粒子)の挙動や水質への影響などに関する既往の調査・研究事例、論文等の収集・整理を開始した。さらに、2015(平成 27)年度からは「有明海等の閉鎖性海域と森林に関する調査」を開始し、これまで菊池川流域を対象に、公表されている実測データや現地調査によるデータ収集を行った上で、流出モデルを用いた水量、浮遊土砂量及び栄養塩量(窒素、リン)の解析により、森林が海域に与えるポジティブな影響について解析・評価を行ってきた。

ここでいうポジティブな影響として、日本学術会議の答申(2001(平成 13)年)で示された森林の有する公益的機能のうち水源涵養機能及び土砂災害防止機能・土壌保全機能と有明海・八代海との関係に着目し、これらの機能の発揮に係るいわゆる森林の流出平準化機能とストック機能について、次の観点で検討を行った。

- ・森林の流出平準化機能:森林による流出量の平準化が河川流出の定常化に寄与し、土砂を含む栄養塩類の安定的な供給につながっているか
- ・森林のストック機能:栄養塩類、有機物がどのように貯留され、「いつ」「どのように」、下流に供給されるか

なお、本調査は、上記のように森林から河川への恒常的な流出について検討を行うものであり、豪雨時における山地崩壊等による土砂流出の影響等は考慮していない。

1.2.1 対象流域

森林が海域に及ぼす影響を評価する今回のような調査は初めての試みであり、流域の面積や森林の規模及び既存データの状況等から、効果的、効率的に実施できる流域として、有明海及び八代海へ流入する1級河川(全9河川)のうち、菊池川流域を選定した。菊池川の位置は図1.2-1に示すとおりである。



図 1.2-1 菊池川流域の位置

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1.2.2 調査内容・方法

(1) アプローチ手法の検討

森林が流域を経て海域に及ぼす影響は、多面的、間接的な要素が多く絡んでおり、また、下流域における土地利用等他の要素が海域に与える影響も大きい。したがって、森林内の小流域での観測結果を積み重ねることによって明確になるという性格のものではなく、流域全体の流出を捉える中で森林の位置づけを評価することが有益であると判断した。そのため、ここでは全流域を対象として、既往のデータや物理法則等に基づく「流出モデル」等の数理モデルを用いて、マクロ的・演繹的に森林の影響を見積もるアプローチが有効と考えられた。

(2) 対象物質の検討

「森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査(平成16年3月)^{※1}」にて論点整理された内容を参考に対象物質の検討を行い、海域生産に主に寄与していると考えられる 水量(流量)、土砂量、栄養塩(リン、窒素)量を選定した。

※1:水産庁漁港漁場整備部・林野庁森林整備部・国土交通省河川局

(3) SWAT モデルによる解析手法

解析に用いる流出モデルとしては、流域スケールでの評価や森林への適用に適し、対象物質、表流水及び地下水を含めた水文プロセスの評価が可能であること等を踏まえ、GIS との親和性の高い SWAT (Soil and Water Assessment Tool)モデルを選定した。SWAT モデルは、アメリカ農務省農業研究局及びテキサスA&M 大学が開発したオープンソースの準分布型流出モデルであり、流域内の水収支(降水量、蒸発散量、河川流出量など)、土砂・物質の移動等を推定可能なモデルである。

調査開始時において、SWAT モデルを日本の森林に適用した前例は乏しかったことから、パラメータの調整等をゼロから行った。解析手法は図 1.2-2 に示すとおりである。

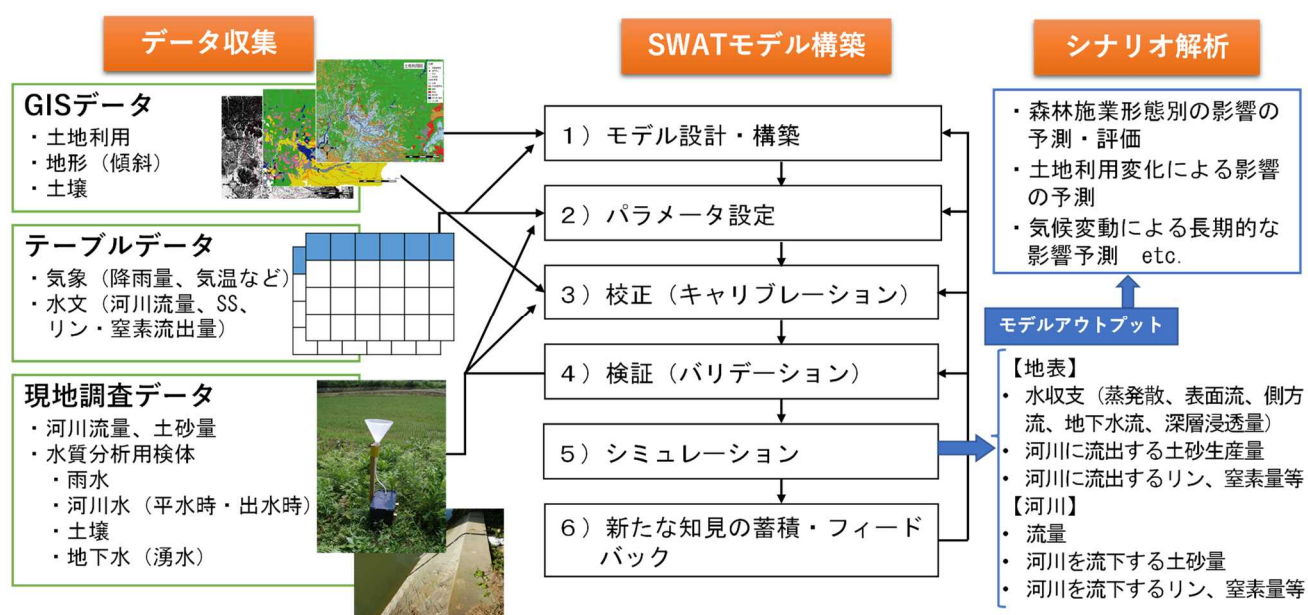


図 1.2-2 SWAT モデルによる解析手法

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(4) モデル構築に必要な現地調査(2016(平成 28)年度～2019(令和元)年度)

2016(平成 28)年度から 2019(令和元)年度までに実施したモデル構築に必要な現地調査は表 1.2-1 に示すとおりである。雨水、河川、土壌、地下水等の調査を行い、窒素、リン、SS、濁度を測定した。

表 1.2-1 モデル構築に必要な現地調査(2016(平成 28)年度～2019(令和元)年度)

流域	項目		調査手法	計測・分析項目
菊池川流域	雨水	水質分析	簡易式雨水採取装置	・ 窒素(有機態窒素、硝酸態窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素) ・ リン(有機態リン、無機態リン) ・ SS ・ 濁度
	河川	水質分析	平時	
			出水時	
	土壌	土壌分析	ライナー付き土壌採取・分析	
	地下水(湧水)	地下水分析	採取・分析	
森林小流域	雨水	雨量	雨量計設置	
		水質分析	採水・分析	
	河川	水位	自動水位計設置	
		流量	流速計等による観測	
		水質分析	平時	
			出水時	
			常時	
			自動記録式濁計	

注) 1.雨水、土壌、地下水の調査は、菊池川流域内における雨量観測地点(国土交通省所管)及び湧水箇所で行った。

2.河川水の採水は、菊池川水系下流において潮汐の影響のない水位観測所(菰田や城水位観測所付近)、並びに上流部の小流域等にて実施した。

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(5) モデルの構築

菊池川について流出モデルを構築し、水、土砂及び栄養塩(窒素、リン)の流出量について推定を行った。各物質の推定値の精度の検証には、RSR、NSE、PBIAS^{注)}という指標(以下、「精度評価指標」という。)を用いた。

なお、本モデルにおいては土地や植生等の特性に応じて区切った Hydrological Response Unit(以下「HRU」という。)ごとの水、土砂、栄養塩の発生量とそのうちの流出量を累計した河川への流出量を算出しているが、ここでは、河川への流出量を中心に報告するものである。このうち土砂については、浮遊土砂を取り扱うものである。

注)

RSR(RMSE-observations Standard deviation Ratio)

観測値と予測値の RMSE(二乗平均平方根誤差)を観測値の標準偏差で割ったもの。平時時と出水時のようなばらつきの大きい観測データを考慮した指標。

NSE(Nash-Sutcliffe 効率係数)

流量のばらつきの大きさを考慮して流出モデルの精度を評価する指標。

PBIAS

評価したデータの偏りを 100 分率で示したもの。PBIAS が 0 であれば偏りがなく、正であればモデルが過小評価、負であれば過大評価であることを示す。

ア) 水流出量

流域全体の水流出量の実測値と推定値の推移は図 1.2-3 に示すとおりである。

いずれの精度評価指標についても概ね「Good」から「Very Good」の評価が得られたことから、菊池川流域における降水量に応じた水の流出特性を捉えることができたと考えられる。

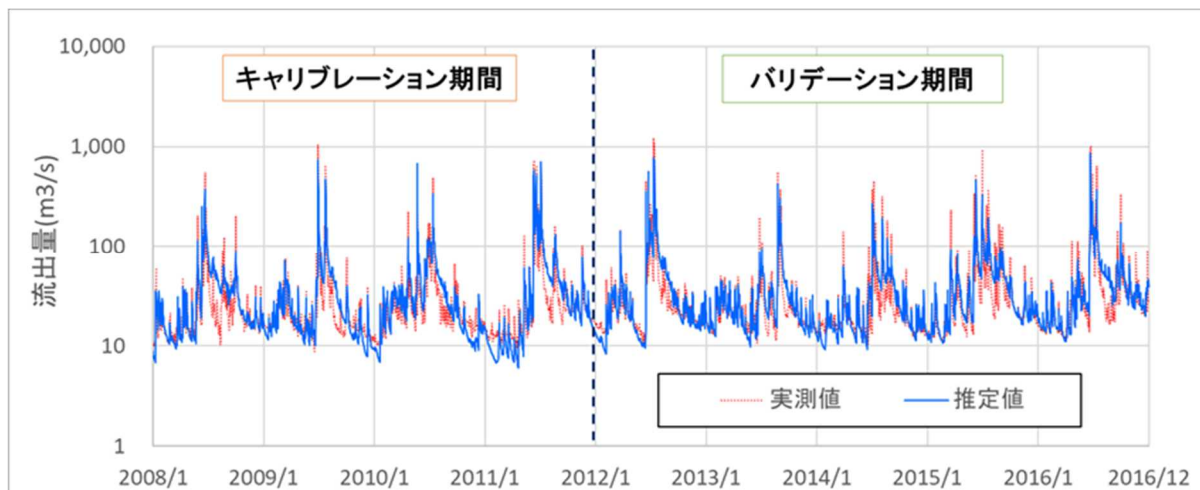


図 1.2-3 水流出量の実測値と推定値の推移

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

イ) 土砂流出量・栄養塩流出量

流域全体への土砂流出量(浮遊土砂相当^{注)})、リン流出量、窒素流出量の実測値と推定値の推移は図 1.2-4 に示すとおりである。

浮遊土砂量とリンの推定結果は、各精度評価指標について概ね「Good」から「Very Good」と高い精度が確認できた。一方で、窒素は過少推定の傾向で、精度評価指標が概ね「Unsatisfactory」となり、精度の高い推定結果が得られたとは言えない。

ただし、後述の「森林のストック機能」にみられるように、森林に限定してみると窒素収支には妥当な値が得られていることから、実測地点上流部の森林以外の土地利用からの窒素流出量がモデルにおいて過少に計算されている可能性があることに留意する必要がある。

これらを踏まえ、菊池川流域の森林域については、降水量に応じた土砂・栄養塩の流出特性を概ね捉えることができたと考えられる。

注) 浮遊土砂相当: SWAT モデルでは、土砂についての基本的な流出メカニズムとして表面浸食を想定し、山地崩壊等の動的な土砂移動現象を想定していない。また、今回のモデルの土砂に関するキャリブレーションに用いた既存・実測データが浮遊土砂量(SS)であるため、本報告における推定に係る土砂は浮遊土砂相当として扱うこととした。

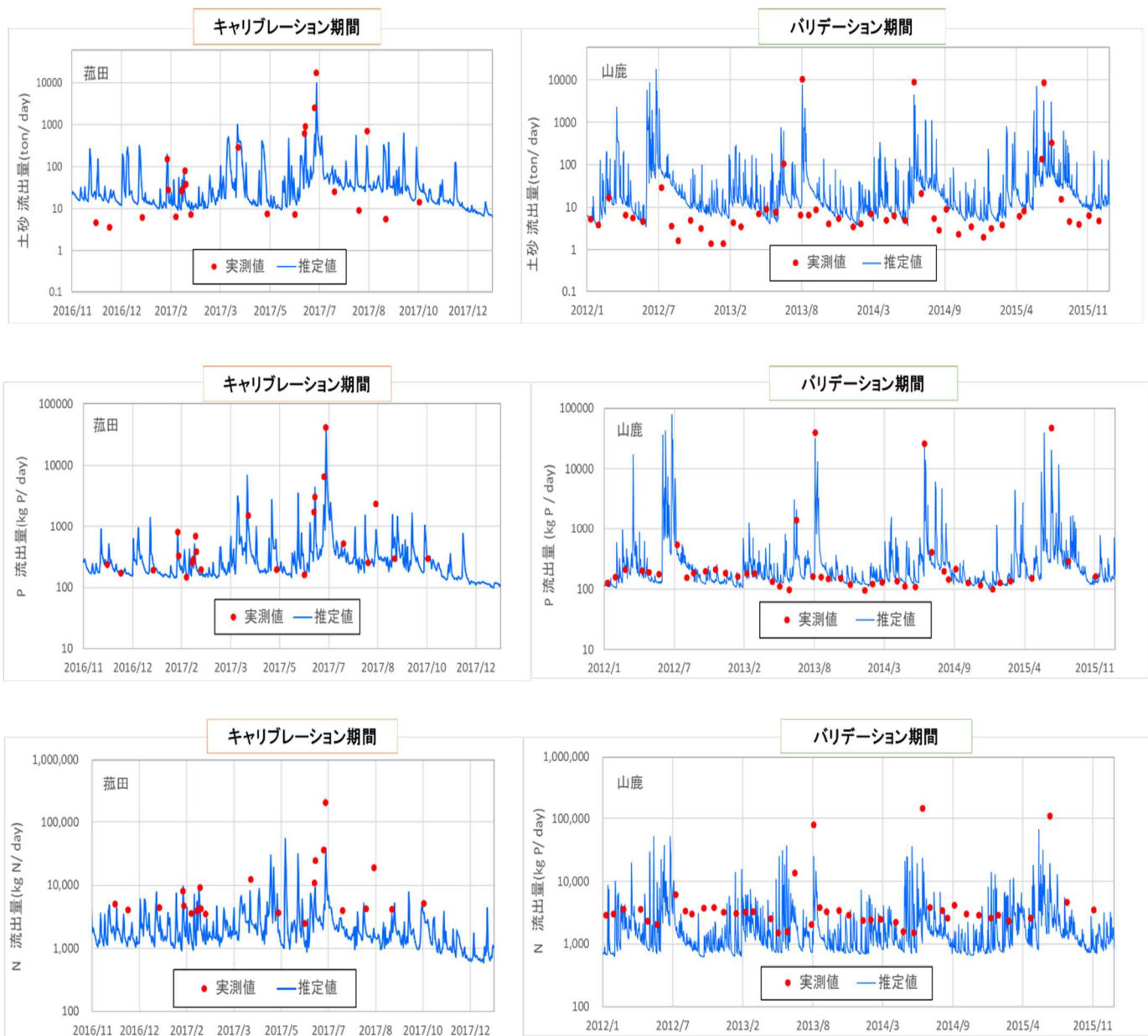


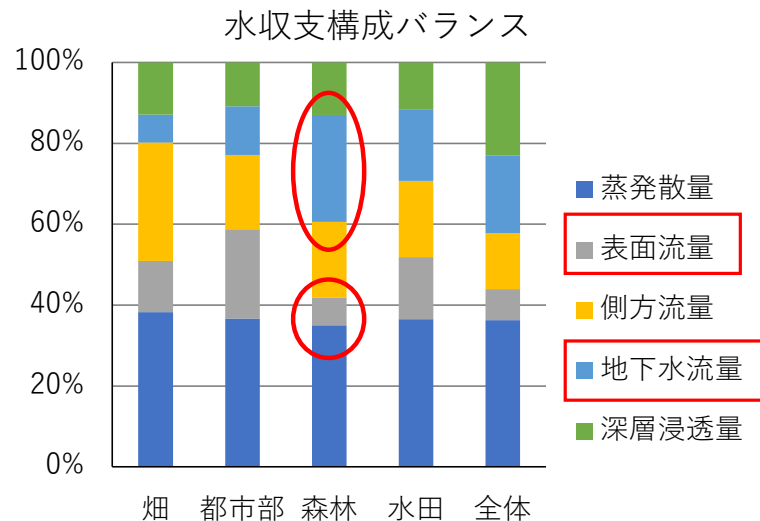
図 1.2-4 土砂流出量(浮遊土砂相当)、リン流出量、窒素流出量の実測値と推定値の推移

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1.2.3 解析結果

(1) 水収支について

2008(平成 20)年から 2016(平成 28)年までのシミュレーションによる土地利用別の水収支の算定結果は図 1.2-5 に示すとおりである。これによると、他の土地利用と比べると森林の表面流は少なく、また、地下水流量が多いことから、森林の水源涵養機能を一定程度示す結果であると考えられる。



注) 特徴的な結果を示す箇所を赤丸で表示。以降の図も同様。

図 1.2-5 土地利用別水収支の算定結果

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 森林の水源涵養機能について

降水量に応じた水の流出量について、図 1.2-6 で表面流・側方流・地下水流に分けてプロットした(データ量が多いため、便宜上、2008(平成 20)年のシミュレーション結果のみを使用)。

例えば森林以外の土地利用として畑(平地)における降水量と表面流・側方流・地下水流の関係を図 1.2-7 において見てみると、雨が強まると表面流が側方流を上回り、森林に比べて表面流の最大値が大きくなっているが、森林では、雨が強まっても表面流は側方流を上回っておらず、森林域の特性として確認できたと考えられる。

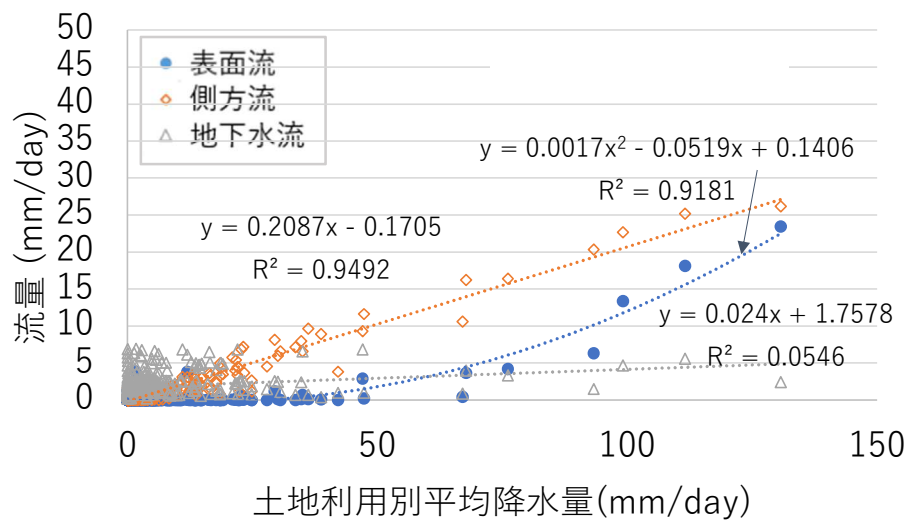


図 1.2-6 森林における降水量と表面流・側方流・地下水流の関係

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

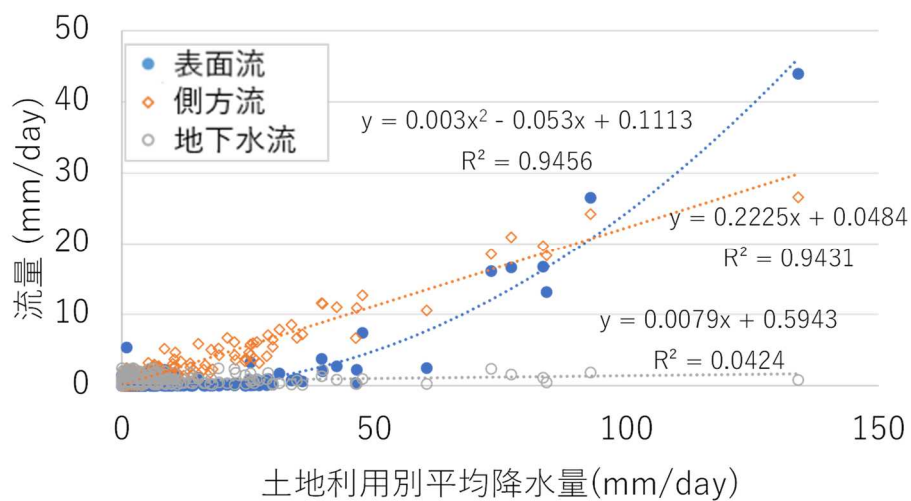


図 1.2-7 畑(平地)における降水量と表面流・側方流・地下水流の関係

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(3) 森林の水の流出平準化機能等について

出水時及び渇水時の土地利用別平均降水量と流量との関係は図 1.2-8 に示すとおりである(データ量が多いため、便宜上、2008(平成 20)年のシミュレーション結果のみを使用)。

他の土地利用に比べ森林は出水時の流量が少なく、渇水時の流量が多いことが示されたことから、出水時には流出を抑制し、渇水時には流量を安定化させる流出平準化機能が示唆された。

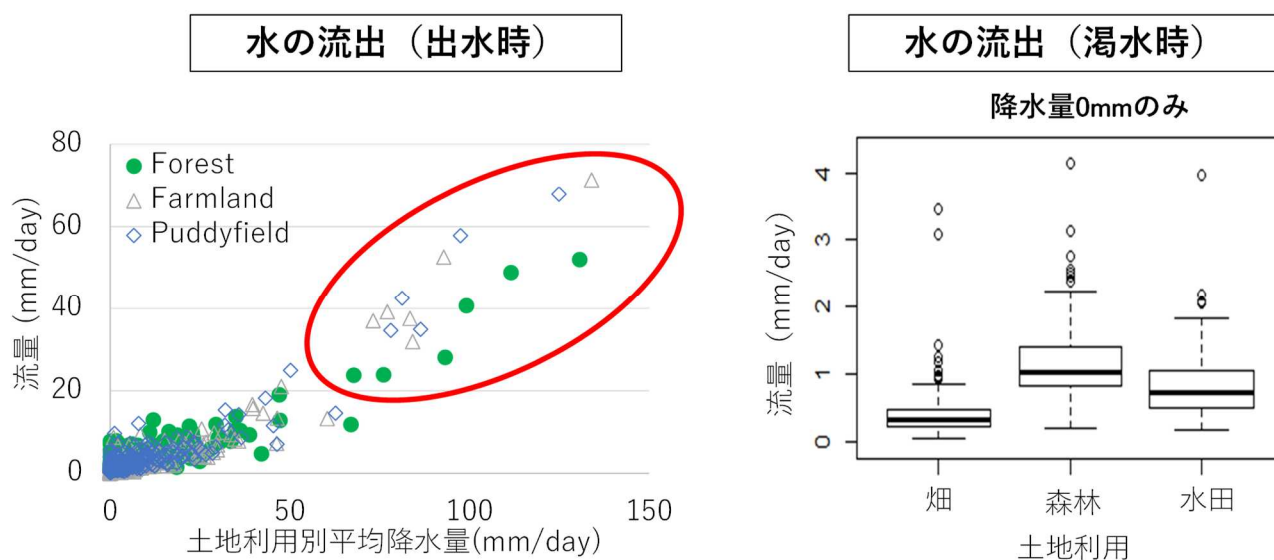


図 1.2-8 出水時及び渇水時の土地利用別平均降水量と流量

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(4) 森林の物質の流出平準化機能等について

出水時の土地利用別平均降水量と土砂量(浮遊土砂相当)、リン、窒素の各流出量との関係は図 1.2-9 に示すとおりである(データ量が多いため、便宜上、2008(平成 20)年のシミュレーション結果のみを使用)。

これによると、森林における土砂(浮遊土砂相当)・栄養塩(リン、窒素)の流出量は水の流出と同様に、他の土地利用に比べ出水時には相対的に少ない結果となっており、流出平準化機能(流量安定化機能)が示唆されたと考えられる。なお、平水時の土砂(浮遊土砂相当)、リンの流出量は、土地利用別に有意な差は認められなかった。

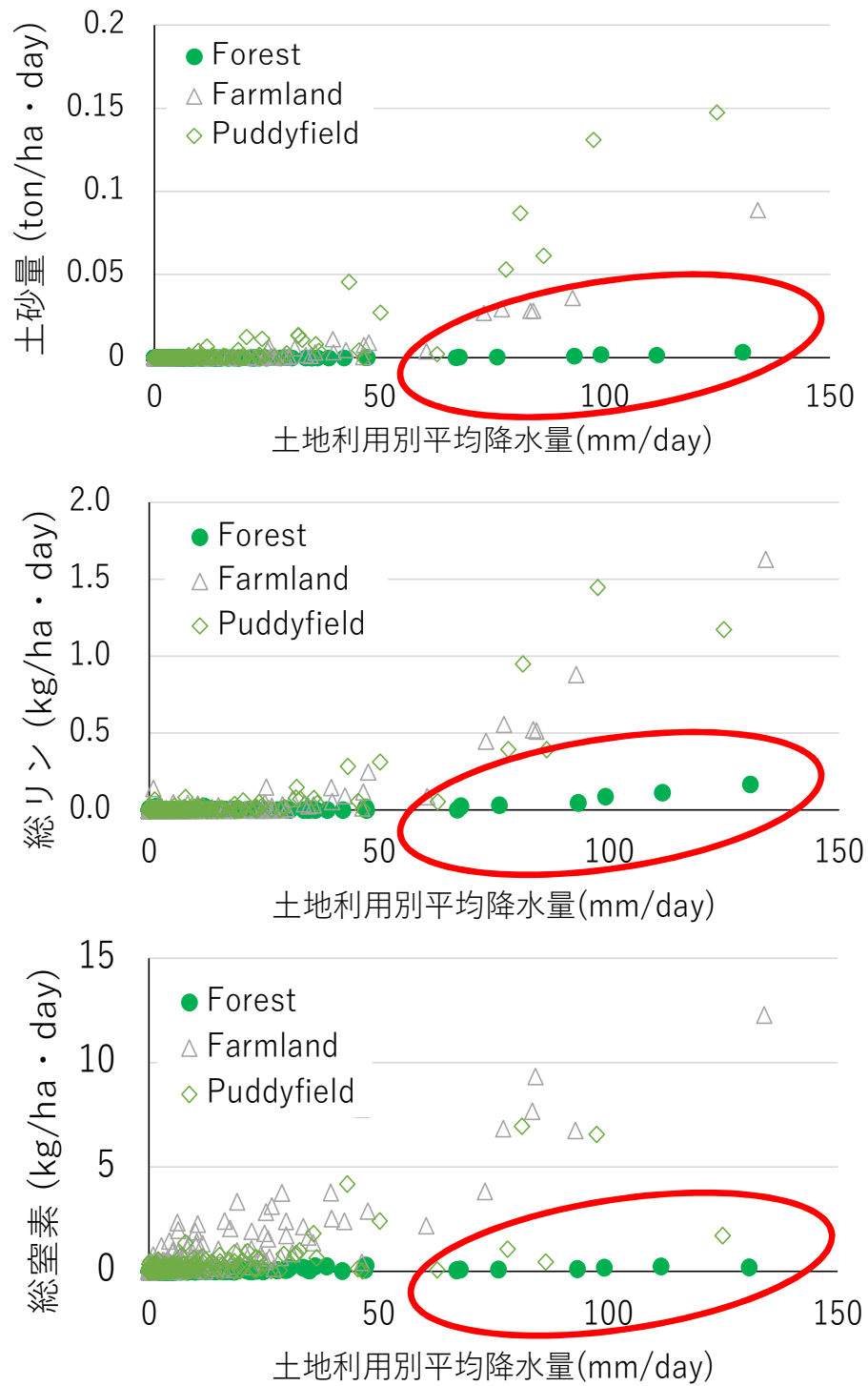


図 1.2-9 出水時の土地利用別平均降水量と土砂量(浮遊土砂相当)、リン、窒素の流出量

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(5) 流域全体の土地利用別流出量

菊池川全体の土地利用別の年間の流出量は図 1.2-10 に示すとおりである。

森林からの土砂、リン、窒素の流出量は他の土地利用に比べていずれも少ない結果であった。

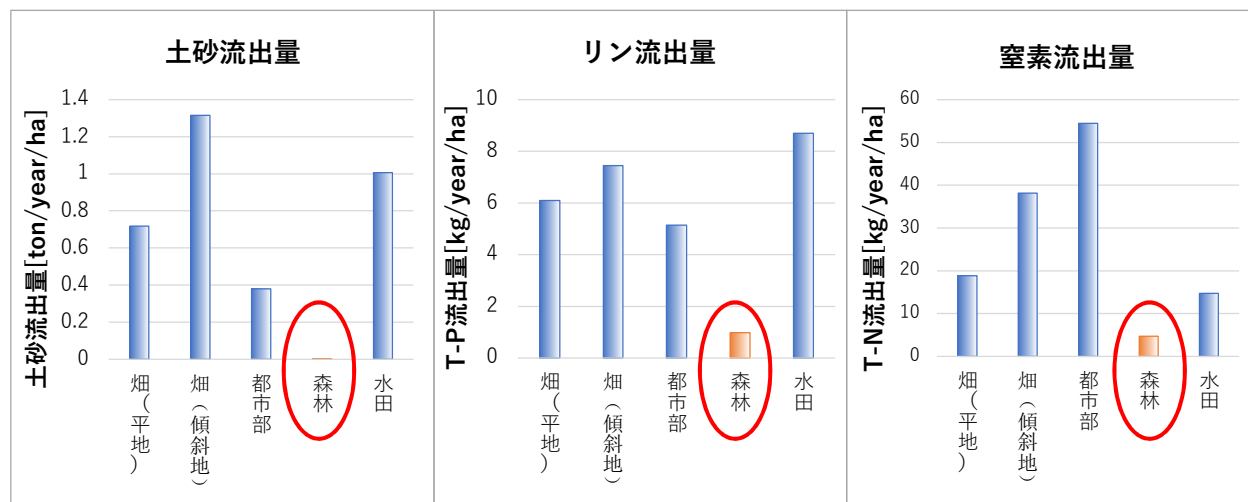


図 1.2-10 菊池川全体の土地利用別の年間の流出量

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(6) 森林の流出平準化機能等について

平成 29 年 7 月九州北部豪雨が発生した 2017(平成 29)年の流量データ(SWAT モデルによる推定値)を用い、菊池川全体(森林域を含む)における年流出量全体に占める豪雨時(1 イベント)とそれ以外の日の流出量の割合を算出した。豪雨時とそれ以外の水流出量、土砂(浮遊土砂相当)流出量、リン流出量、窒素流出量の割合は図 1.2-11 に示すとおりである。

前項の結果から、森林の存在が豪雨時における極端な流出を一定程度抑制していると捉えることはできるものの、年流出量全体に対する九州北部豪雨時の流出量の割合は、水流出量や窒素で 3~4%であるのに対し、土砂、リンは 30%程度と高い傾向にあり、流域全体でみると土砂とリンは豪雨時に多く海域に流出すると言える。

なお、冒頭に記しているように本シミュレーションにおける森林からの土砂流出量は、河川の浮遊土砂量から降雨による表面浸食を捉えたものであり、山地崩壊による土砂流出は考慮されていないが、山地崩壊からは一般に多量の土砂が流出することから、本流出モデルにおいて山地崩壊からの流出を考慮するよう調整を図ることについて検討の余地があると考えられる。

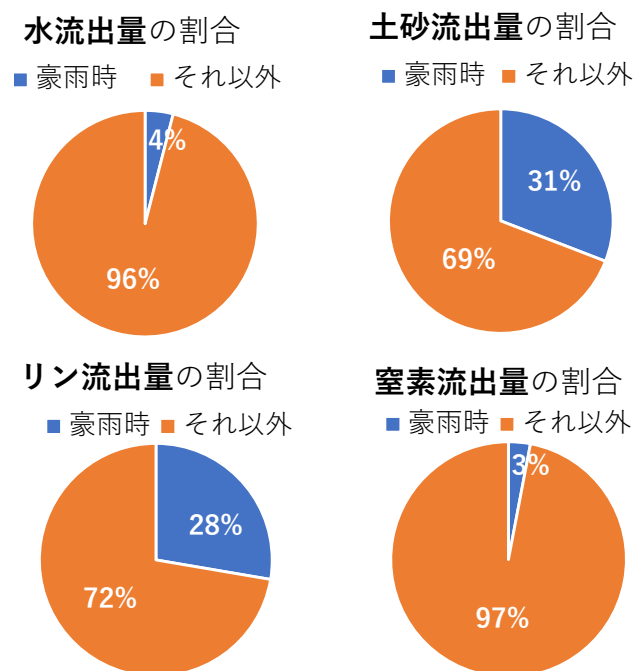


図 1.2-11 豪雨時とそれ以外の全流域からの水、土砂(浮遊土砂相当)、リン、窒素の流出量における割合

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(7) 森林のストック機能について

森林のストック機能は、森林にインプットされる様々な物質が一時貯留され、急速な流出を制御し時間をかけて下流に流れることにより海域に安定的に栄養塩や有機物を供給するとされる機能である。

森林への主な栄養塩のインプットとしては、窒素収支に着目し、雨水に含まれる窒素をインプット、河川に流出する窒素及び脱窒量をアウトプットとして、森林の窒素ストック機能の評価を行った。

算定結果は図 1.2-12 に示すとおりである。インプット量とアウトプット量を差し引きした窒素ストック量は、森林では、+1.2kg/year/ha(貯留)、流域全体では-4.4kg/year/ha(流出)となり、森林は、雨水から供給される窒素を貯留していることが示された。

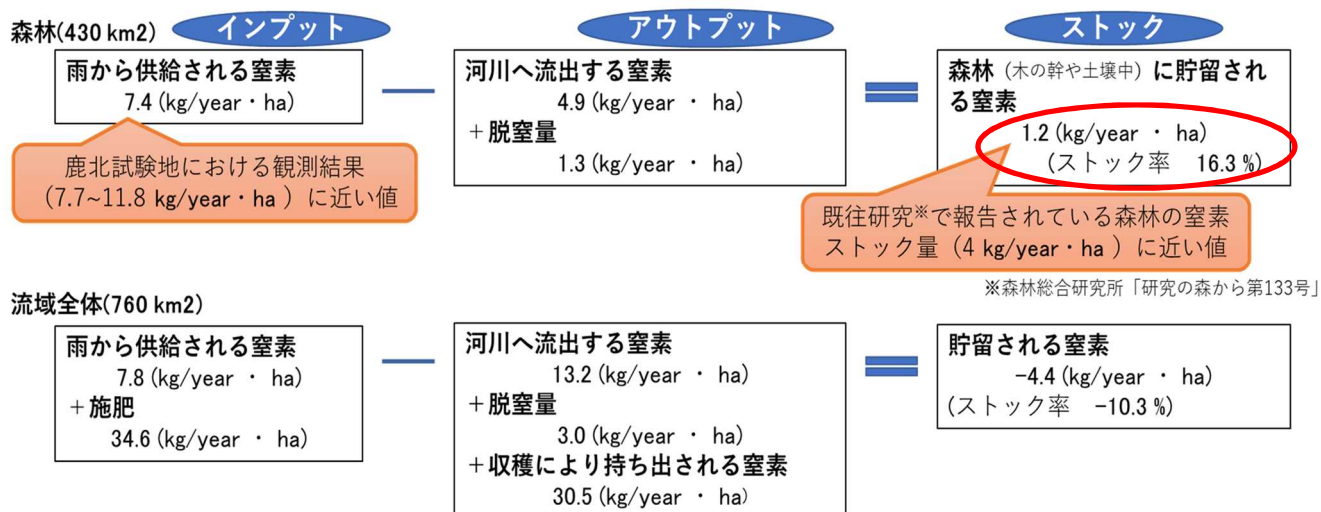


図 1.2-12 窒素のインプットに対するストック機能の算定結果

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(8) 過去の森林の構成と最近の森林の構成比較

森林の機能について、森林そのものの成長や過去と最近の森林の構成の違いがどのように影響するかについて評価を行った。例えば森林面積の増減に伴う変化を捉えるよう2時点のデータを作成・比較した(樹種と林齢により森林タイプを細分化)。

1976(昭和51)年と2016(平成28)年の土地利用割合比較は図1.2-13に示すとおりである。森林面積に大きな変化はないものの、31年生以上の針葉樹の割合が増加し、30年生以下の針葉樹の割合が減少しており、当該地域の森林の多くが成熟期に達している。

1970(昭和45)年代と2010(平成12)年代の各土地利用や森林の構成等を反映したモデルによる流出量推定結果は表1.2-2、そのうち、土砂流出量の推定結果は図1.2-14に示すとおりである。森林の違いによる比較を容易にするため、両モデルに同じ気象条件(2016(平成28)年～2017(平成29)年)を設定したものである。

これによると、森林の成長に伴い、年間の土砂及びリンの流出量は減少傾向にあった。一方で窒素は、森林の変化にあまり影響しない傾向がみられ、1970(昭和45)年代モデルのポイントソースの設定について見直しが必要と考えられる。

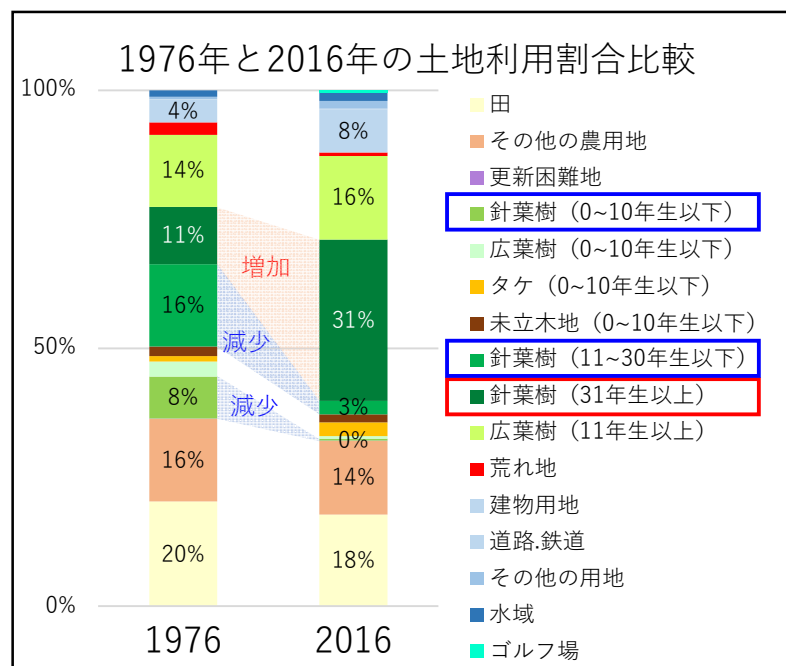


図 1.2-13 1976(昭和 51)年と 2016(平成 28)年の土地利用割合比較

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

表 1.2-2 各土地利用や森林の構成等を反映したモデルによる流出量推定結果

土地利用	面積 [km ²]		流量 [mm/year]		土砂流出量 [ton/year/ha]		リン流出量 [kg/year/ha]		窒素流出量 [kg/year/ha]	
	1970	2010	1970	2010	1970	2010	1970	2010	1970	2010
畑 (平地)	114.0	95.1	932	930	0.69	0.72	5.85	6.10	17.9	18.8
畑 (傾斜地)	20.3	19.3	1326	1291	1.43	1.32	7.84	7.44	38.5	38.1
森林	420.4	422.0	1192	1217	0.007	0.002	1.07	0.98	4.7	4.7
水田	137.0	145.1	1077	1069	1.09	1.01	8.58	8.69	14.2	14.7
全体 (平均)	760.0	759.6	1112	1145	0.40	0.35	3.76	3.66	11.6	14.0

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

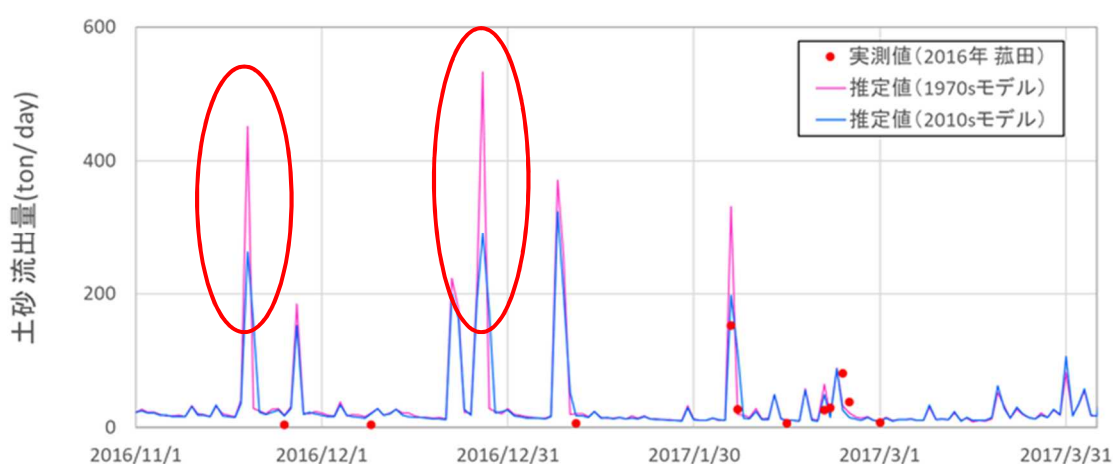


図 1.2-14 各土地利用や森林の構成等を反映したモデルによる土砂流出量(浮遊土砂相当)推定結果

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1.2.4 成果、新たな知見等

解析の結果、現時点のモデルの精度において、以下の事項が明らかとなった。

一般に森林が有すると言われる水源涵養機能について、他の土地利用と比較して、平水時に地下水流量が多く、出水時は表面流を抑える傾向にあることを値として捉えることができ、菊池川流域の森林においても同機能を有していることが示された。

また、森林が、渇水時に水を安定的に供給し出水時に抑える流出平準化機能についても確認された。土砂・栄養塩については、出水時には同様に流出を抑えていたが、渇水時については他の土地利用と同程度であり森林について流量安定化機能が特に有意であるという結果は示されなかった。

森林のストック機能については、窒素循環に関するパラメータにはやや改良の余地を残すものの、雨水から供給される窒素が森林によって貯留されることが一定程度示された。

森林の経年変化における樹木の成長の影響については、年間の土砂流出量は抑制し、リン流出量も減少傾向であったが、窒素流出にはあまり影響しない傾向がみられた。

流出モデルにより、森林の機能（水源涵養、流出平準化、ストック機能）を可視化し、森林が海域に果たすポジティブな役割を一定程度評価。



本解析から得られたデータに基づき、シナリオ解析を行い、森林の変化によって森林の機能がどのように変わるか検証。



流出モデルにより、森林と海域の関係について、水、浮遊土砂、栄養塩（窒素・リン）の予測・評価を行うことが可能となった。

図 1.2-15 本調査で得られた成果等

出典：環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会
第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

1.2.5 課題及び今後の方針・計画等

(1) 課題

ア) モデル精度の向上

モデルに関しては、栄養塩について、なお一層の合理的な推計に向けてモデル精度を高めるとともに、流出量のみならず、各物質の発生量についても評価を行う余地がある。

具体的には、一般にリンの流出量は水田よりも畑からの方が大きいとされているが、本調査での推定結果では逆転している点、また水田からのリン流出量は窒素流出量の2～5割程度と言われているが、本調査での推定結果ではリン流出量が窒素流出量の5割を超えている点について、見直しを行う必要がある。

イ) 知見の不足

有明海・八代海等に注ぐ他の河川流域の流出特性を把握しておらず、当該海域周辺の森林全体として、当該海域に及ぼしている影響や、水、土砂並びにリン・窒素以外の物質に係る森林から当該海域への流出についての知見が不足している。

(2) 今後の方針・計画

今後、有明海・八代海へ流入する全ての一級河川について、これまで構築してきた「菊池川モデル」をベースとした同様の解析を行う予定である。

また、本事業の調査により、降雨や土地利用の状態に応じた、森林から流出する水、浮遊土砂、リン、窒素の動態については一定の知見が得られた一方、豊かな漁場海域環境を創出していくためには、「森・川・海のつながり」を意識した長期的な視点や連携方策が重要^{注)}とされており、海域側で必要とされる情報を踏まえ、本モデルの精緻化や、森林域からの流出について把握すべき物質に係る対応について検討を行う予定である。

上述の畑と水田におけるリン流出量の大小が既往の知見と異なることについては、畑(平地)の水流出量が他の土地利用に比べて小さく算出されていることが原因の1つとして考えられた。そこで、まず畑(平地)の水流出量を中心に水に関するパラメータの調整を試みたところ、水流出量の変化に応じてリン・窒素流出量の増減が見られた。このため、今後の更なる分析・精緻化に当たっては、調整するパラメータの妥当性を検証しつつ、水流出量の見直しを行うことにより、土地利用別のリン・窒素流出量の関係性についても検討を行う方針である。

注)「森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書(平成16年3月)」

2. 藻場・干潟の分布状況等の把握、漂流・漂着・海底ごみ対策

2.1 海洋環境整備事業(漂流ごみ回収)

国土交通省では、海域環境の保全と船舶航行の安全確保を図るため、2004(平成 16)年度から有明海・八代海・橘湾等を管轄区域(図 2.1-1)として、海洋環境整備船「海輝」・「海煌」を配備し、海上の漂流ごみの回収を実施している。



図 2.1-1 管轄区域

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

2.1.1 漂流ごみの回収状況

漂流ごみの回収は、海洋環境整備船(海輝・海煌)が装備する「スキッパー」及び「多関節クレーン」を用いて実施している。また、大量の漂流ごみが発生した時は、支援台船や漁協等と連携した回収作業も実施している。海輝・海煌による漂流ごみ回収作業の状況は図 2.1-2 に示すとおりである。

なお、ごみの回収量については、本編第2章 2.7.2 に記載した。

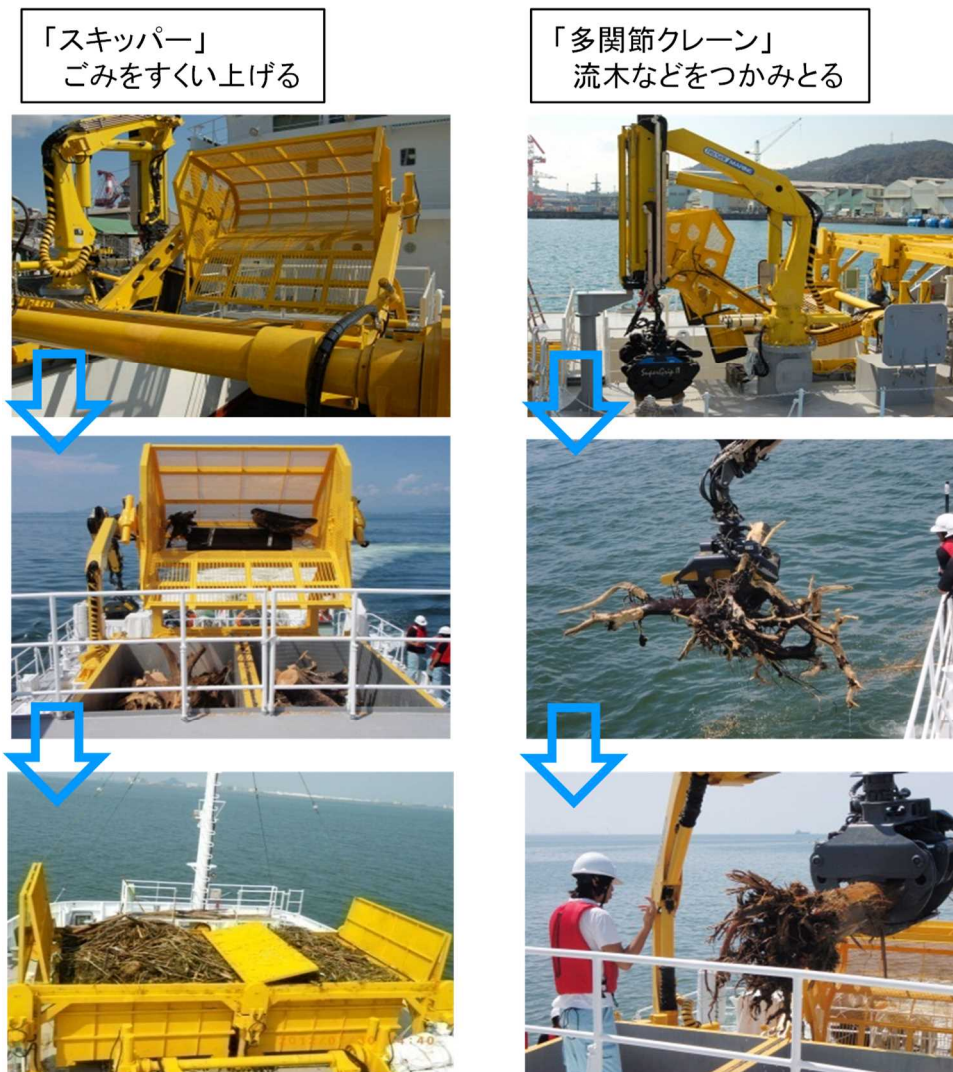


図 2.1-2 海輝・海煌による漂流ごみ回収作業の状況

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

また、「令和2年7月豪雨」による有明海・八代海への漂流物流入を受けて、2020(令和2)年7月4日より、漂流物の回収を実施した。漂流物の回収位置を図2.1-3に、回収作業の状況は図2.1-4に示すとおりである。

なお、漂流物の回収量については、本編第2章2.7.2に記載した。



図 2.1-3 令和 2 年 7 月豪雨における漂流物の回収位置

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」



海煌による流木回収



支援台船による漂流ごみ回収



漁業者との連携回収



漂流ごみの陸揚げ

図 2.1-4 令和 2 年 7 月豪雨における漂流物回収作業の状況

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

3. 水質(貧酸素水塊の軽減対策、赤潮対策)

3.1 海洋環境整備事業(水塊構造調査)

国土交通省では、2004(平成16)年度から海洋環境整備船「海輝」・「海煌」を配備し、有明海・八代海の水塊構造調査を実施している。

3.1.1 調査の内容・方法

海洋環境整備船(海輝・海煌)は、様々な機器を装備しており、これらの機器を使って有明海・八代海において水塊構造調査を実施している。水塊構造調査の内容は表 3.1-1 に、調査位置は図 3.1-1 に示すとおりである。

表 3.1-1 海洋環境整備船(海輝・海煌)による水塊構造調査

調査名	各調査の目的	調査内容	時期
水塊構造調査	・水温・塩分等の水質の鉛直断面特性から水塊構造の季節変化、経年変化を把握する。 ・貧酸素水塊や赤潮の発生と水塊構造の関係性を把握する。	<機器計測> 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <採水分析> 濁度、SS、クロロフィルa、植物・動物プランクトン	原則として月2回 (大潮期・小潮期) ※2004(平成16)年度～

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

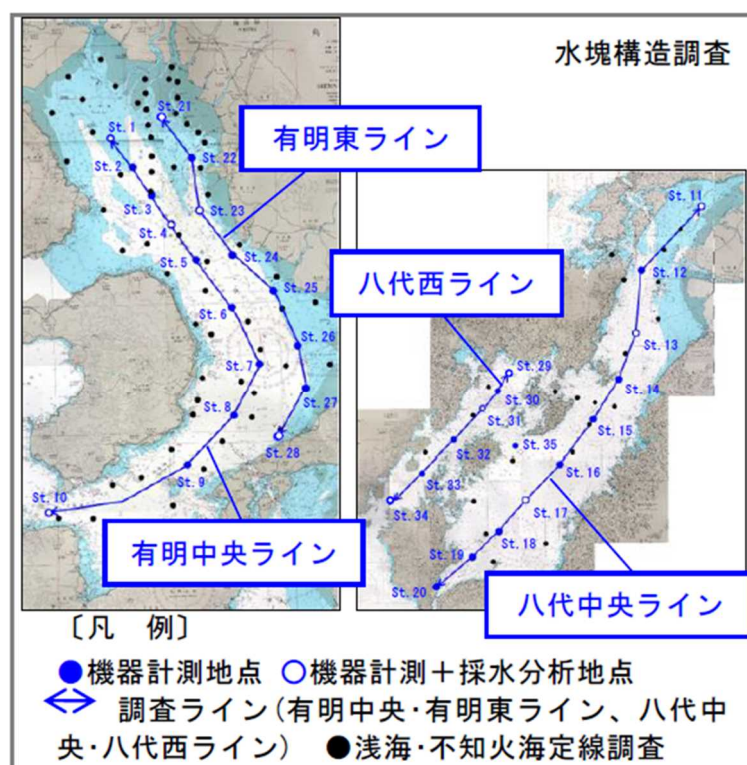


図 3.1-1 調査位置

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

3.1.2 調査結果

(1) 水温・塩分

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海の水温・塩分の分布は図 3.1-2 に示すとおりである。有明海、八代海ともに湾奥から湾央の広い範囲で上層が高水温、低塩分となる成層構造が確認された。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

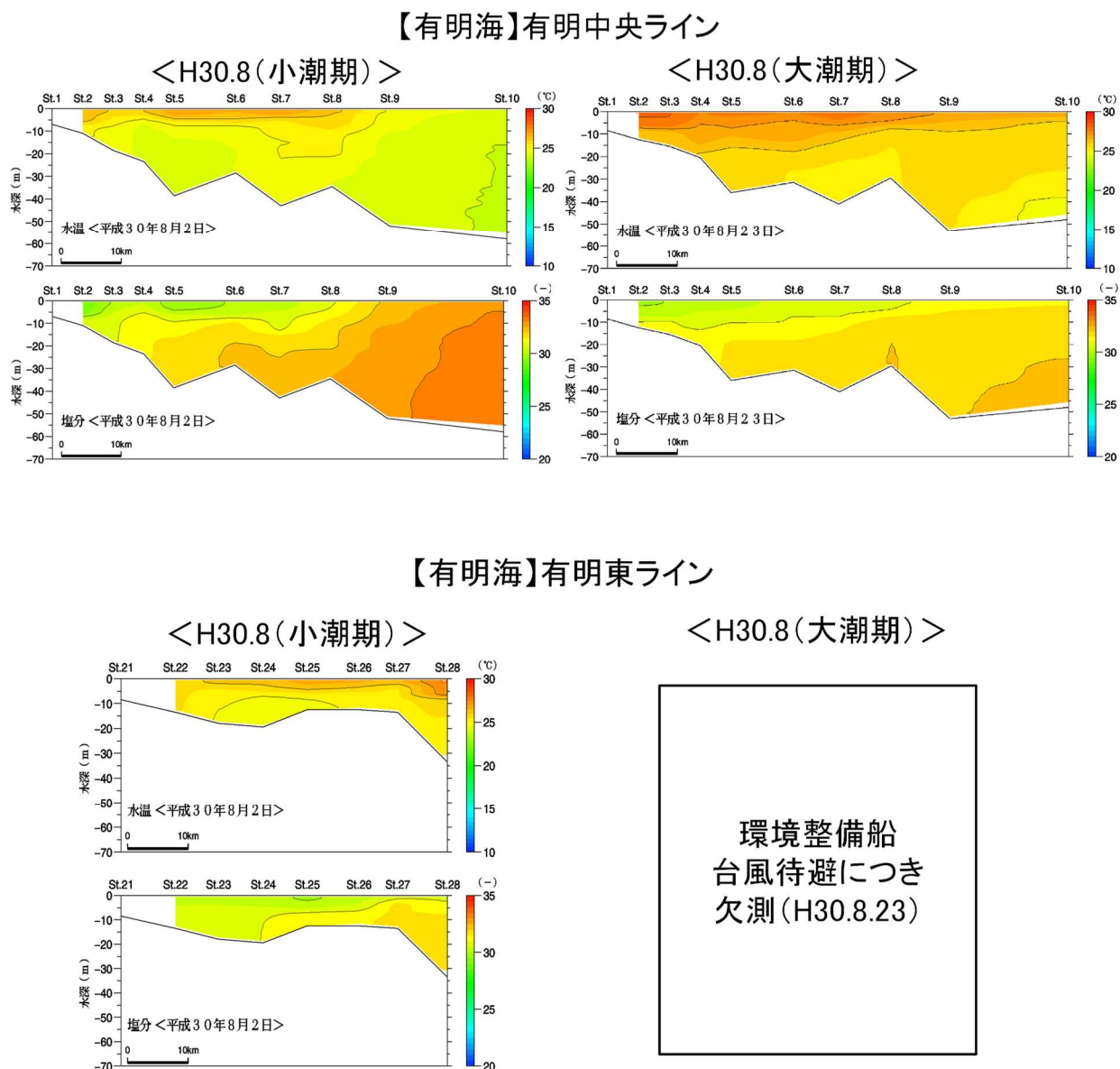
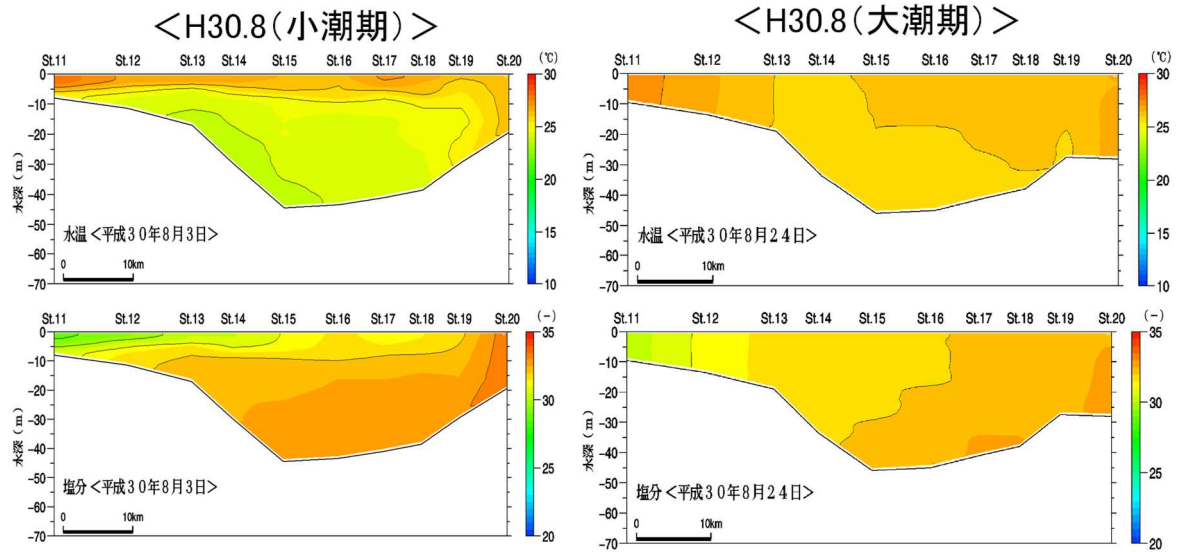


図 3.1-2(1) 水塊構造調査結果(2018(平成 30)年 8 月)【水温・塩分】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

【八代海】八代中央ライン



【八代海】八代西ライン

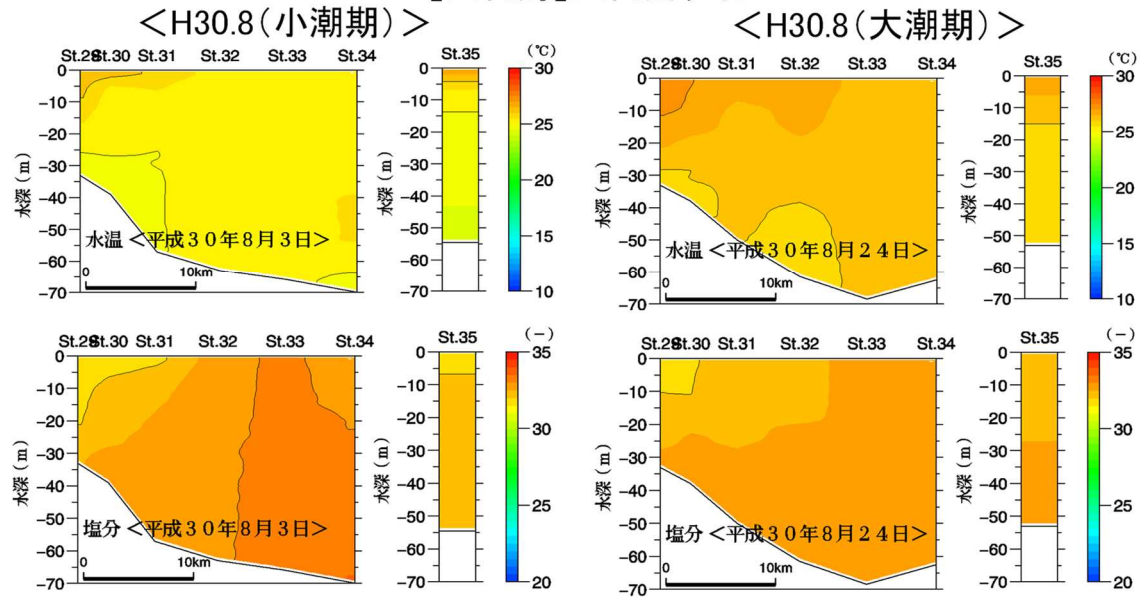


図 3.1-2(2) 水塊構造調査結果(2018(平成30)年8月)【水温・塩分】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(2) クロロフィル a

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海のクロロフィル a の分布は図 3.1-3 に示すとおりである。有明海のクロロフィル a は、特に小潮期の湾央(St.7)表層において高い値が確認された。また、八代海では小潮期において、湾奥でやや高い値が認められた。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

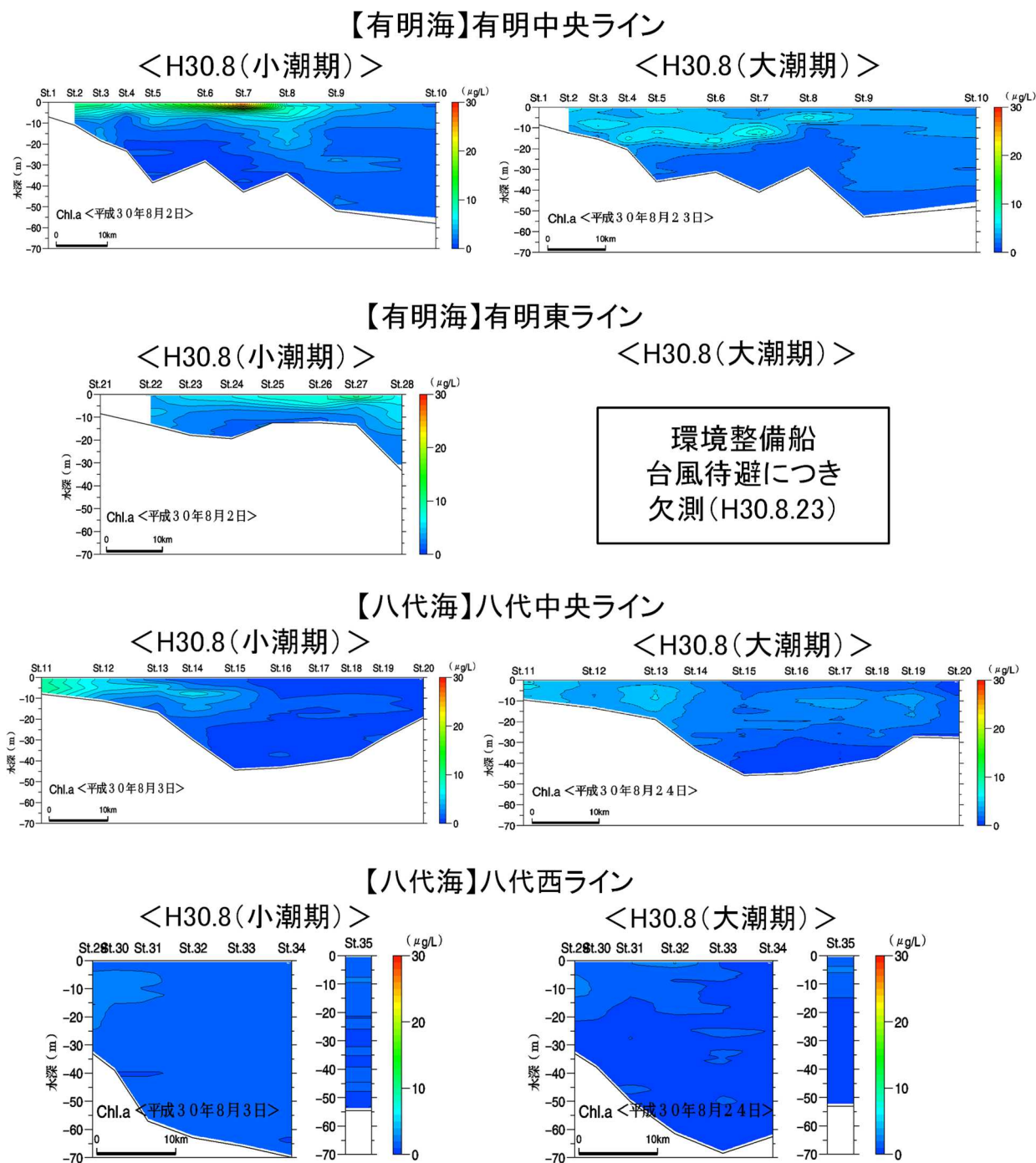


図 3.1-3 水塊構造調査結果(2018(平成 30)年 8 月)【クロロフィル a】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(3) 溶存酸素量(DO)

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海の溶存酸素量(DO)の分布は図 3.1-4 に示すとおりである。有明海、八代海ともに河川流量の増加により成層度が高くなり、下層の溶存酸素量(DO)の低下が認められた。なお、有明海では大潮期において湾奥(St.2)の下層で 3mg/L を下回る貧酸素の状態が認められた。八代海では湾奥～湾央部(St.11～13)にかけての下層を中心に 4.0mg/L 前後の低い値がみられたが、3mg/L を下回るような低酸素状態は確認されなかった。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

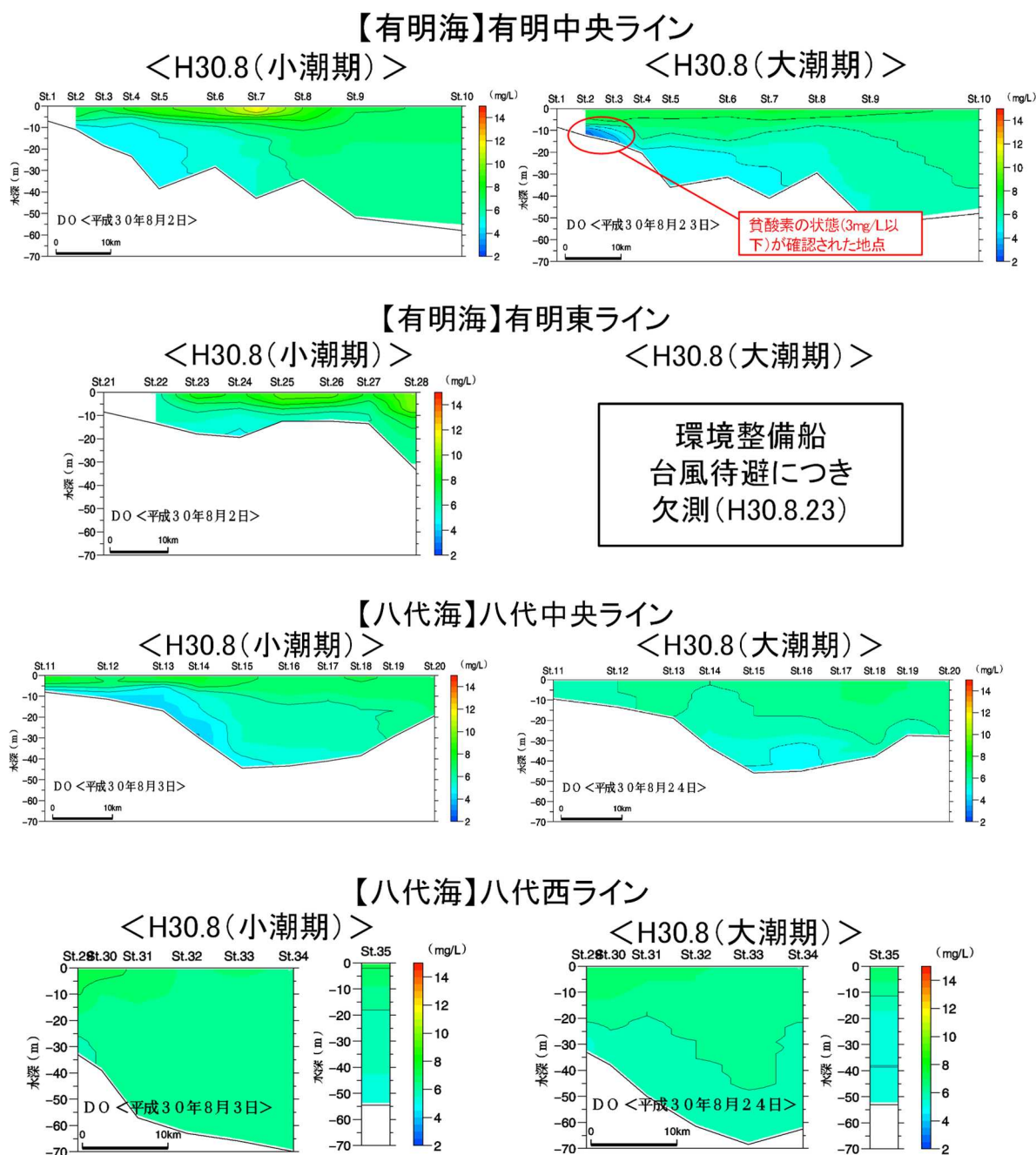


図 3.1-4 水塊構造調査結果(2018(平成 30)年 8 月)【溶存酸素量(DO)】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(4) 植物・動物プランクトン

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海の植物プランクトン、動物プランクトンの分布状況は図 3.1-5 に示すとおりである。

植物プランクトンは、有明海、八代海ともに、おおよそ湾奥部で細胞密度が高い傾向がみられた。分類群別には珪藻類が優占した。

動物プランクトンは、有明海では、個体数は概ね湾奥部で多く、湾口部で少ない傾向であり、八代海では、個体数の分布に傾向はみられなかった。

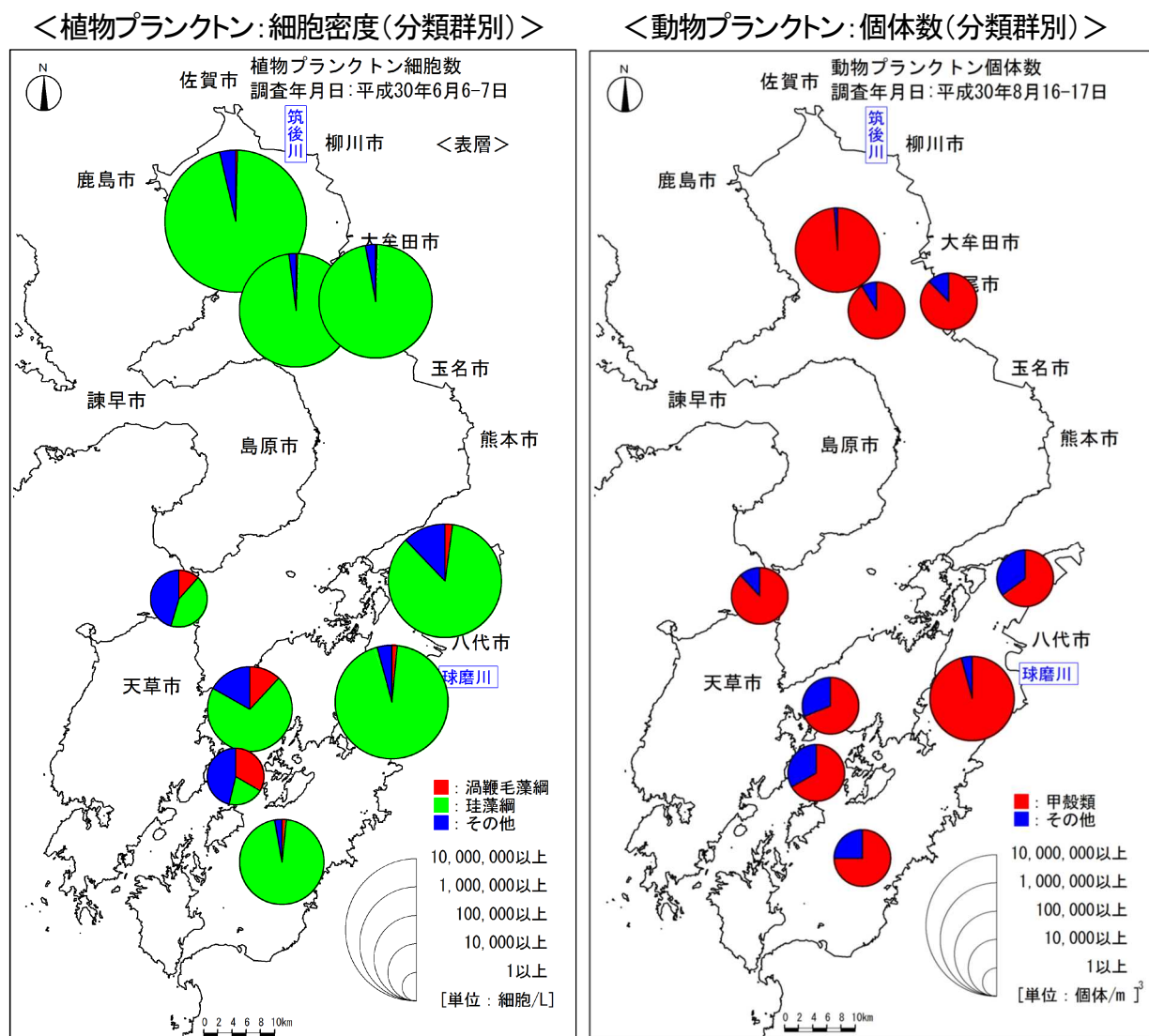


図 3.1-5 植物・動物プランクトンの分布状況(2018(平成 30)年 8 月)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

3.2 八代海における赤潮発生状況と発生予察

水産庁では、水産研究・教育機構、熊本県、鹿児島県とともに、八代海における赤潮対策として、赤潮プランクトンの観測データ及び気象、水質等の環境データの蓄積と解析を行い、赤潮発生状況の把握、経年的な出現特性から赤潮発生予察等を行ってきた。2016(平成28)年度から、八代海において *Chattonella* 属による赤潮の発生や漁業被害が報告されていることから、同種の出現・分布特性に基づいた解析を行った。

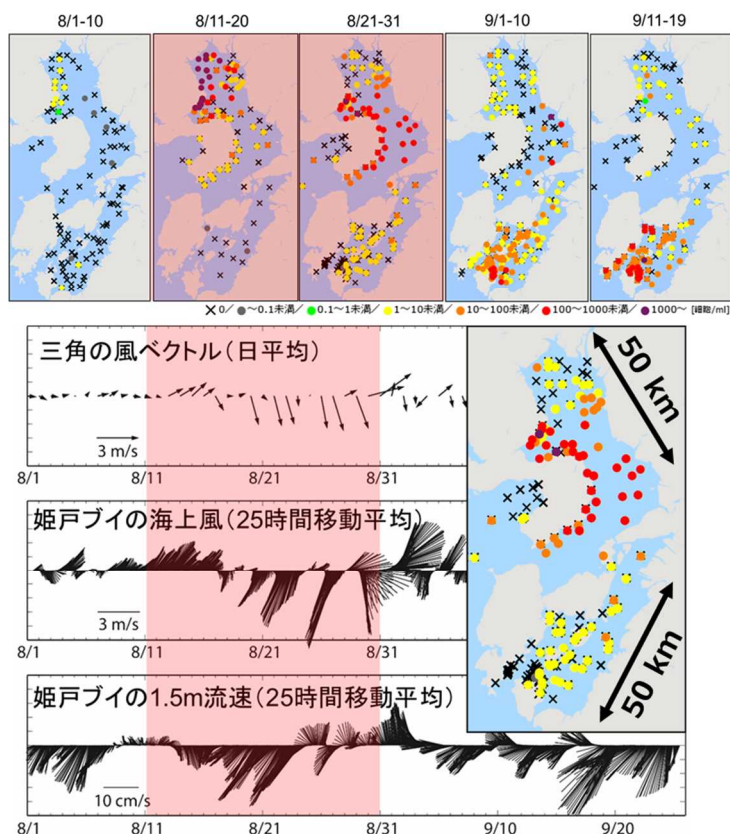
3.2.1 調査の内容、方法及び結果

赤潮発生状況(海域・年間・季節等)と環境要因(水温・塩分等)のデータを整理し、赤潮形成の予察技術の向上に向けた分析・検討を行った。なお、八代海における赤潮による魚類養殖被害の発生状況については、本編第2章2.8.4に記載した。

八代海北部海域において、*Chattonella* 属赤潮が室内実験等から推測される増殖速度を越えて細胞密度が増加する状況が2007(平成19)年(熊本県観測結果)、2015(平成27)年、2016(平成28)年、2018(平成30)年に観察されたが^{1)、2)}、同時期に、有明海においても *Chattonella* 属赤潮が発生しており、有明海から八代海に *Chattonella* 属の個体群が移入し、それがシードポピュレーションとなって八代海で増殖し、赤潮化した可能性が示唆されている。

その例として、2016(平成28)年の有明海及び八代海における *Chattonella* 属の分布密度の経時変化を解析した結果を図3.2-1に示す。8月上旬に有明海北部に低密度で確認された *Chattonella* 属は、8月中旬には有明海北部で増加し、北寄りの風と表層流が観測された8月下旬には有明海中南部に分布が拡大した。その直後から9月初めには八代海においても低密度で広範囲に *Chattonella* 属が確認されるようになった。このことから、*Chattonella* 属の細胞が有明海から希釈されながら一部海峡部を通じて八代海へ移入する可能性が示唆された。

このように、初期個体群については八代海を起源とするものだけでなく、有明海から移入するものについても注意が必要である^{1)、2)}。一方で、有明海と八代海を繋ぐ海峡部では、大きな潮汐差により双方向に強い潮流が生じることから、八代海で発生した *Chattonella* 属の細胞が有明海へ移入する可能性についても検討する必要がある。



有明海からの移入の可能性
(北辻ら2016~2018 H27~29年度
水産庁委託事業報告書,
中島ら 2019 日本水産学会誌)

吹送流は海上風の3%程度

約3 m/sの北寄りの風
⇒10 cm/s ≈ 10 km/day

8/18 荒尾市沖 150 cells/ml
8/22 三角町沖 220 cells/ml
8/23 松島町沖 9 cells/ml
8/26 姫戸町沖 100 cells/ml
8/28 芦北町沖 25 cells/ml
8/29 八代海ほぼ全域
1~9 cells/ml

三角ノ瀬戸と柳ノ瀬戸を合
わせた1日あたりの通過流
量は、大築島以北の体積の
数%程度

図 3.2-1 2016(平成 28)年 8 月から 9 月にかけての *Chattonella* 属細胞密度分布の推移(赤潮
ネット)と三角(気象庁アメダス)の風向・風速、八代海姫戸沖自動観測ブイの風向・風
速と 1.5 m 深流向・流速

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

次に、2018(平成 30)年の八代海における栄養塩濃度の動態を図 3.2-2 に示す。*Chattonella* 属の細胞密度は北部の熊本県戸馳島沖にて 8 月 23 日ごろ最高細胞密度 1,235 cells/mL を記録したが、中南部では 100 cells/mL 未満であった。赤潮発生時の栄養塩濃度は、中南部で低濃度であったが、北部では高く推移した。このように、栄養塩濃度の分布が本種赤潮の発生に影響を及ぼすことが示唆されている。

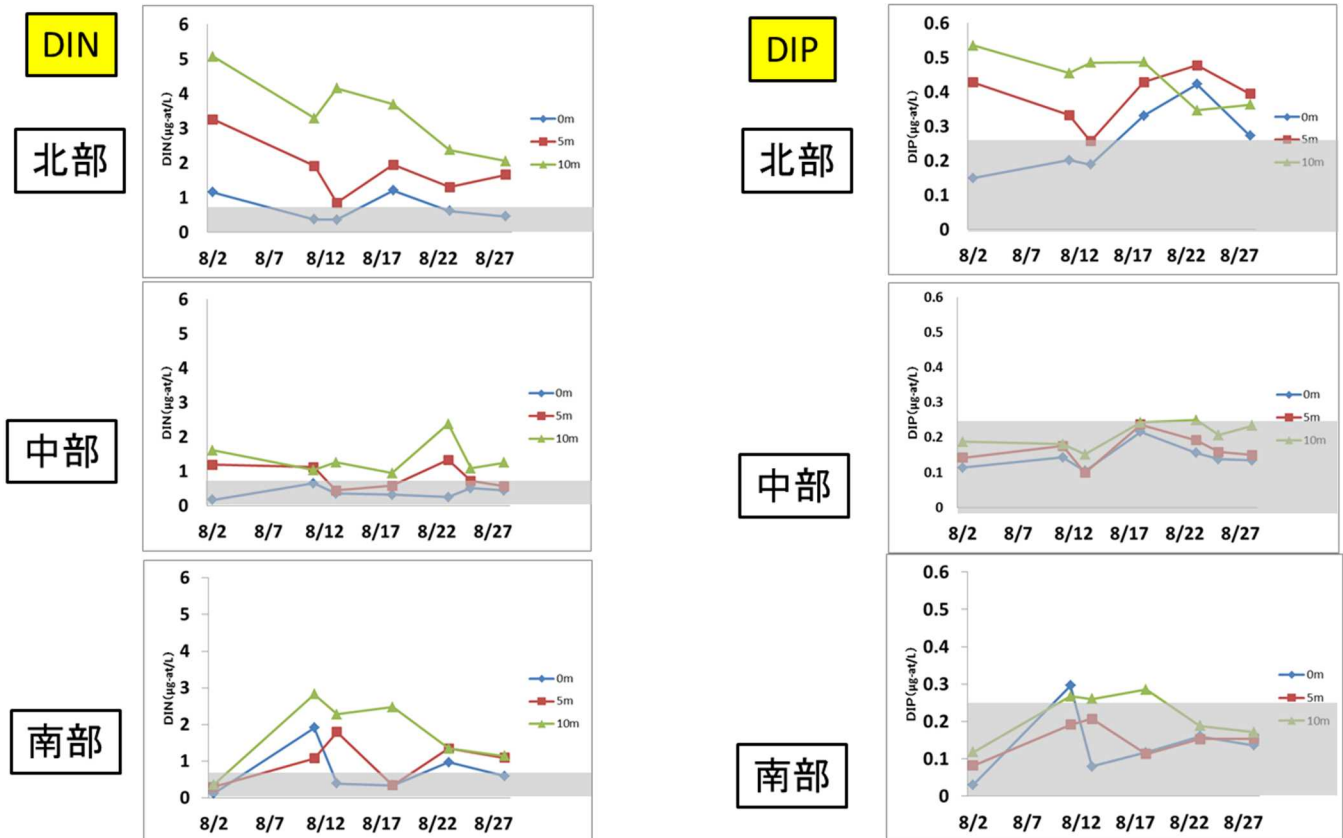


図 3.2-2 2018(平成 30)年の八代海における栄養塩濃度の経時変化(灰色域は *Chattonella* 属の増殖速度の半飽和定数³⁾以下を示す)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2010(平成 22)年に発生した *Chattonella* 属赤潮の発生模式図を図 3.2-3 に示す。梅雨明け後の7月上旬に八代海北部海域で高密度化し、球磨川の出水と北風の連吹で南部へ分布拡大していた^{5), 6)}(出水型)。これは平成 28 年度委員会報告の図 4.4.187 におけるⅢ型に相当する。漁業被害が発生した 2016(平成 28)年の赤潮の場合は、図 3.2-4 に示すように、8 月下旬の混合期に入ってから、鉛直混合による DIN 及び DIP の有光層への上昇及びその後の一時的な成層化によって赤潮が高密度化していたと推察された(鉛直混合型)。

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(出水型)

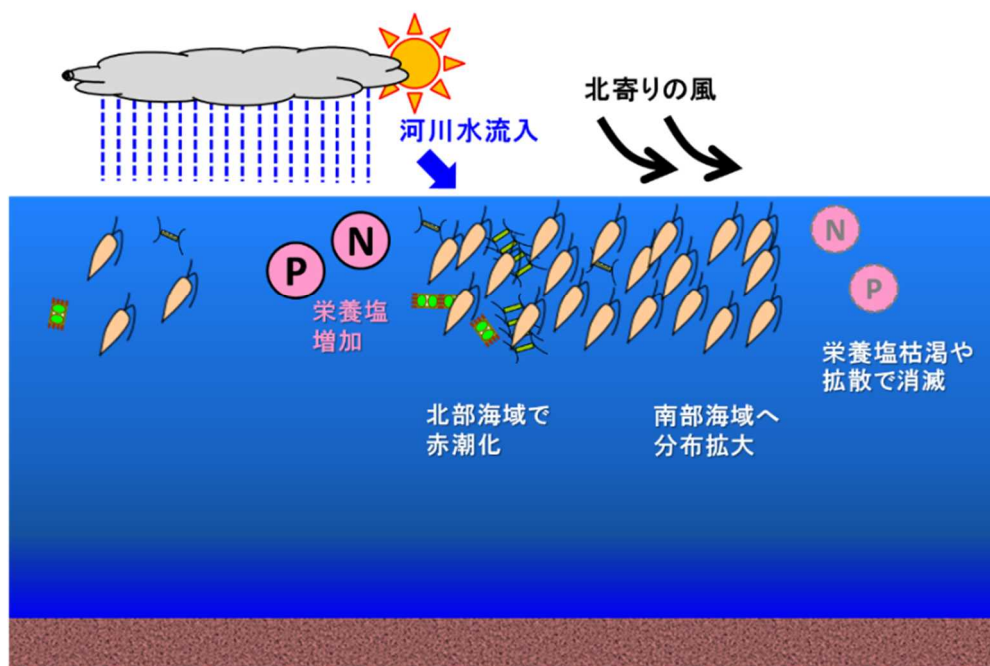


図 3.2-3 2010(平成 22)年夏期の球磨川出水に伴う *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(出水型)
出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型) ～出水を伴わないケース～

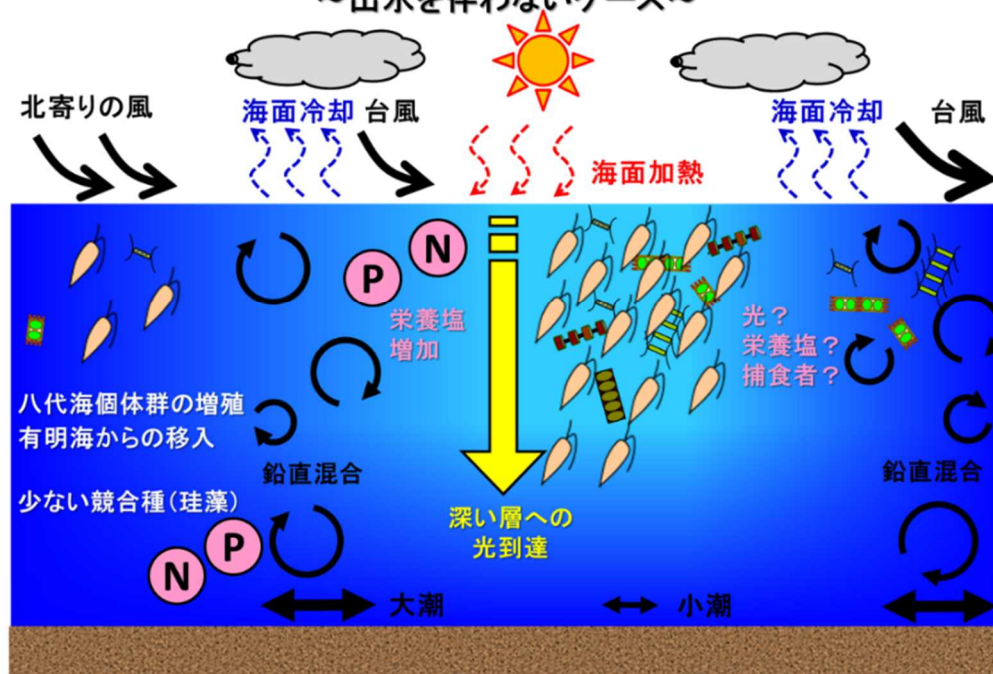
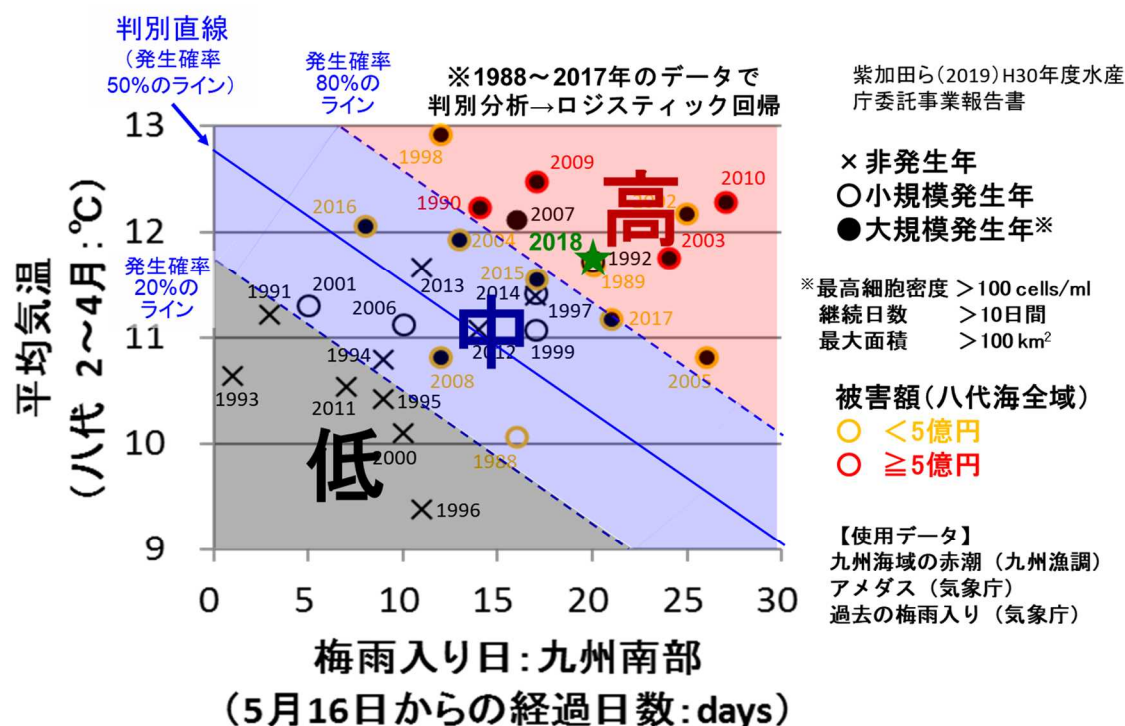


図 3.2-4 2016(平成 28)年夏期の球磨川出水を伴わない *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

八代における2～4月の気温と九州南部梅雨入り日(5月16日からの経過日数)の2変量を用いた判別分析による *Chattonella* 属赤潮の中長期予察技術を図 3.2-5 に示す⁸⁾。この手法により、*Chattonella* 属赤潮が発生する1～3ヶ月前の予察が可能であるが、2016(平成28)年や2019(令和元)年といった、球磨川の出水を伴わない赤潮発生については、発生シナリオが異なることから、引き続きデータの蓄積による精度の検証及び向上が必要である。



「高め」の年の多くが大規模発生、「低め」の年はいずれも非発生

注) 赤潮の発生・非発生について2変量による線形判別分析を行った後、判別得点のロジスティック回帰によって判別得点ごとの発生確率を算出し、発生確率80%以上を「高め」、20%以上80%未満を「中程度」、20%未満を「低め」と設定している。

図 3.2-5 1991(平成3)年～2018(平成30)年の八代海における *Chattonella* 属赤潮発生と八代における2～4月の気温・九州南部梅雨入り日の関係

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

参考文献

- 1) 北辻さほ, 紫加田知幸, 鬼塚剛, 青木一弘. 八代海における赤潮発生メカニズムの解析. 平成27～31年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書. 九州海域赤潮・貧酸素共同研究機関, 東京. 2015～2017.
- 2) 中島広樹, 村田圭助, 矢野浩一, 西 広海, 吉村直晃, 黒木善之, 川崎信司, 古川新平, 浦 啓介, 松尾 斉, 北辻さほ, 紫加田知幸, 阿部和雄, 徳永貴久, 岡村和磨, 青木一弘, 鬼塚 剛(2019): 2016年夏季に八代海で発生した *Chattonella* 赤潮: 発生環境と養殖ブリの斃死. 日本水産学会誌, 85, pp. 162-172.
- 3) Nakamura Y, Takashima J, Watanabe M (1988): Chemical environment for red tides due to *Chattonella antiqua* in the Seto Inland Sea, Japan Part 1. Growth bioassay of the seawater and dependence of growth rate on nutrient concentrations. J. Oceanogr. Soc. Jpn., 44, pp. 113-124.
- 4) 岡山県, 兵庫県, 大阪府, 和歌山県, 徳島県, 香川県, 株式会社富士総合研究所(1991): 平成2年度赤潮対策技術開発試験 東部瀬戸内海シャットネア赤潮総合解析報告書. 水産庁, 東京.
- 5) 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. Fish. Sci., 81, pp. 123-130.
- 6) 鬼塚 剛, 青木一弘, 清水 学, 松山幸彦, 木元克則, 松尾 斉, 末代勇樹, 西 広海, 田原義雄, 櫻田清成(2011): 2010年夏季に八代海で発生した *Chattonella antiqua* 赤潮の短期動態 - 南部海域における出現特性 -. 水産海洋研究, 75, pp. 143-153.

- 7) 鬼塚 剛, 北辻さほ, 紫加田知幸, 阿部和雄, 青木一弘, 吉村直晃, 黒木善之, 中島広樹, 村田圭助, 矢野浩一, 浦 啓介, 古川新平, 岡村和麿, 徳永貴久(2018):2016 年夏季に八代海で発生したシャットネラ赤潮の発生要因. 不知火海・球磨川流域圏学会誌, 12, pp. 41-44.
- 8) 紫加田知幸, 北辻さほ, 鬼塚 剛, 中野 善, 岡村和麿, 向井宏比古, 松谷久雄, 山下博和, 高杉朋孝, 宮田翔也, 森島義明, 西広海, 石田幸生, 古川新平, 浦啓介, 上野 翼, 西山佳孝(2019):有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発⑥イ. 八代海・鹿児島湾海域. 平成 30 年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書. 赤潮共同研究機関, 東京, pp. 179-224.

3.3 八代海での赤潮被害軽減対策の取組

八代海において、*Chattonella* 属赤潮や *Cochlodinium* 属など、魚毒性の高い有害種による赤潮が発生すると、養殖魚類に甚大な被害を与える可能性があることから、有害赤潮の発生は八代海における安定した魚類養殖の生産を阻害している要因のひとつであると考えられる。平成 28 年度委員会報告においては、本海域において、持続的な魚介類養殖の確保のため、赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察技術の開発の推進等により、赤潮被害の回避を図るとともに、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こととされた。

3.3.1 迅速な赤潮発生の情報共有体制の構築

現時点においては、赤潮の発生そのものを防止することは困難であり、また、赤潮の規模を人為的に縮小させる手法は限られていることから、赤潮被害の軽減のためには、赤潮モニタリングと現場海域で実施可能な被害軽減対策を組み合わせる実施することが重要である。具体的には、モニタリングによって赤潮プランクトンの出現状況を把握し、赤潮発生規模に影響する水質情報を測定するとともに、気象や海象の予報とあわせて発生・拡大・移送等の短期動態を予測する。こうした情報を関係者と迅速に共有し、餌止め、足し網、生け簀沈下、改良粘土散布等の被害軽減対策を実施することで、赤潮による被害の軽減につなげることが可能となる。八代海においては、赤潮による漁業被害を軽減するため、国、八代海沿岸 2 県及び市町村、魚類養殖に取り組む漁業者団体等が連携して、八代海における赤潮モニタリングを実施するとともに、迅速に情報提供できる体制を構築している。

(1) 赤潮情報システム(赤潮ネット)

八代海では、赤潮発生が頻発する 5 月～9 月に週 1 回の調査船による定期観測(図 3.3-1)を実施している。これらの定期調査に加えて、漁業者団体が魚類養殖漁場近傍において赤潮調査を実施している。その他、自動観測ブイや水質自動監視テレメータシステムにより 24 時間体制で水質・赤潮(クロロフィル蛍光値)を監視するとともに(図 3.3-2)、赤潮の検鏡結果等の情報は図 3.3-3 に示す赤潮ネット(水産研究・教育機構水産技術研究所が運用)を通じて迅速に共有されている。水質情報のうち、赤潮の消長に大きな影響を与える栄養塩については、定期観測後、即日分析するとともに、自動観測ブイに硝酸塩センサーを搭載し(図 3.3-4)、リアルタイム観測を実施している。

2019(令和元)年 8 月 19 日に *Chattonella* 属の有害赤潮プランクトンが 10 細胞/mL 以上観測され、熊本県により警報が発令された。これを受けて、各県の研究機関及び漁協は観測体制を強化し、姫戸沖(定点 A)の自動観測ブイ(水産研究・教育機構水産技術研究所)の硝酸塩センサーの硝酸塩濃度上昇傾向から赤潮の発生と拡大を予想し、その後の 8 月末～9 月上旬に *Chattonella* 属の細胞密度は 3,000 細胞/mL を超え大規模な赤潮が発生した。

これらの観測結果に基づき、被害軽減対策として、ブリの餌止めを行いつつ、生け簀沈下、足し網の設置を開始し、さらに、赤潮殺滅効果の認められる粘土散布を実施した。赤潮モニタリング結果を迅速に共有できたため、適切な時期に餌止め等の対策が実施され、漁業被害を軽減することができたものと推定される。

今後も、赤潮モニタリングを実施して、その結果を迅速に情報共有し、早期に被害軽減対策を講じることで、赤潮による魚類養殖被害の軽減に繋げることが重要である。そのため、自動観測機器を用いたモニタリングの効率化や情報共有体制の強化、また、より効果的な被害軽減技術の開発が必要である。



図 3.3-1 八代海における共同定期赤潮モニタリング定点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」



図 3.3-2 八代海における自動観測ブイ(△)及び水質監視テレメータシステム(○)の配置定点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」



図 3.3-3 2019(令和元)年 8 月 19 日の赤潮ネットの *Chattonella* 属の赤潮分布情報及び熊本県から発令された同赤潮の警報 FAX

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

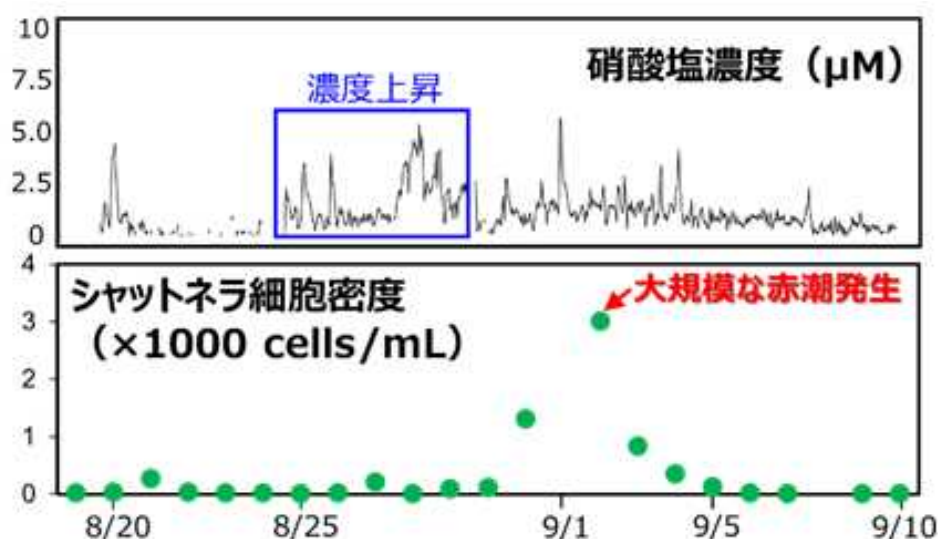


図 3.3-4 2019(令和元)年 8 月下旬～9 月上旬にかけての姫戸沖ブイにおける硝酸塩濃度(硝酸塩センサー)と *Chattonella* 属の細胞密度(検鏡)の経時変化

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

4. ベントス群集・底質の継続的なモニタリング

4.1 海洋環境整備事業(底質・底生生物調査)

国土交通省では、2004(平成16)年度から海洋環境整備船「海輝」・「海煌」を配備し、有明海・八代海の底質・底生生物等の環境調査を実施している。

4.1.1 調査の内容・方法

海洋環境整備船(海輝・海煌)による有明海・八代海の底質・底生生物調査を実施している。調査の内容は表 4.1-1 に、調査地点は図 4.1-1 に示すとおりである。

表 4.1-1 海洋環境整備船(海輝・海煌)による底質・底生生物調査

調査名	各調査の目的	調査内容	時期
底質・底生生物調査	・底質・底生生物の分布及び経年変化を把握する。 ・底質の変化と底生生物の増減との関係について把握する。	<機器計測> 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <底質分析> 粒度組成、全硫化物、含水率、湿潤密度、強熱減量、T-N、T-P、COD、クロロフィルa、OPR、TOC <底生生物> マクロベントス	年1回(春季) ※2004(平成16)年度～

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

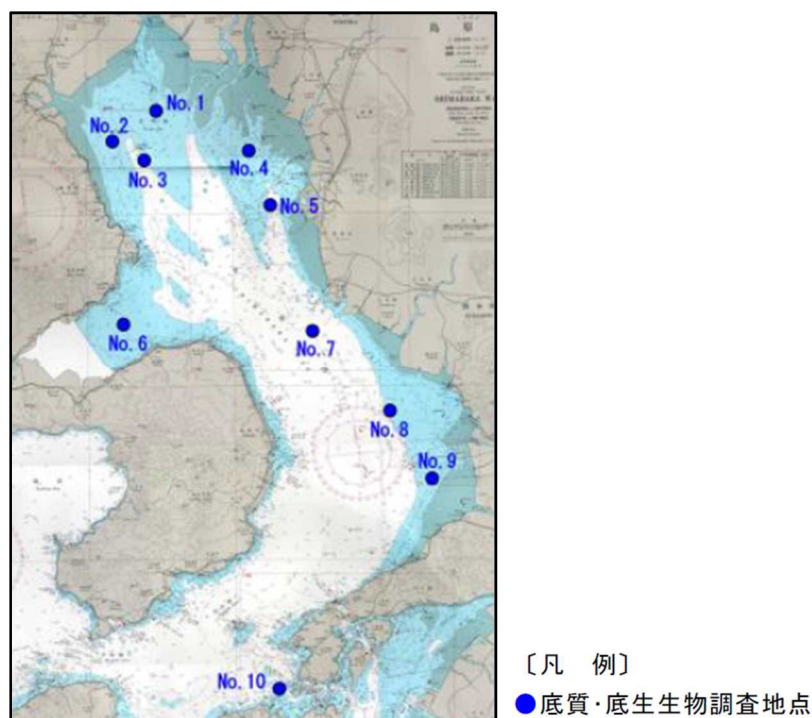


図 4.1-1 調査地点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

4.1.2 底質・底生生物調査結果

有明海の底質調査結果は図 4.1-2 に示すとおりである。

有明海では湾奥の一部の地点(No.4)において、シルト・粘土分の割合が高くなる傾向が見られた。その他の地点では概ね大きな変化は認められていない。

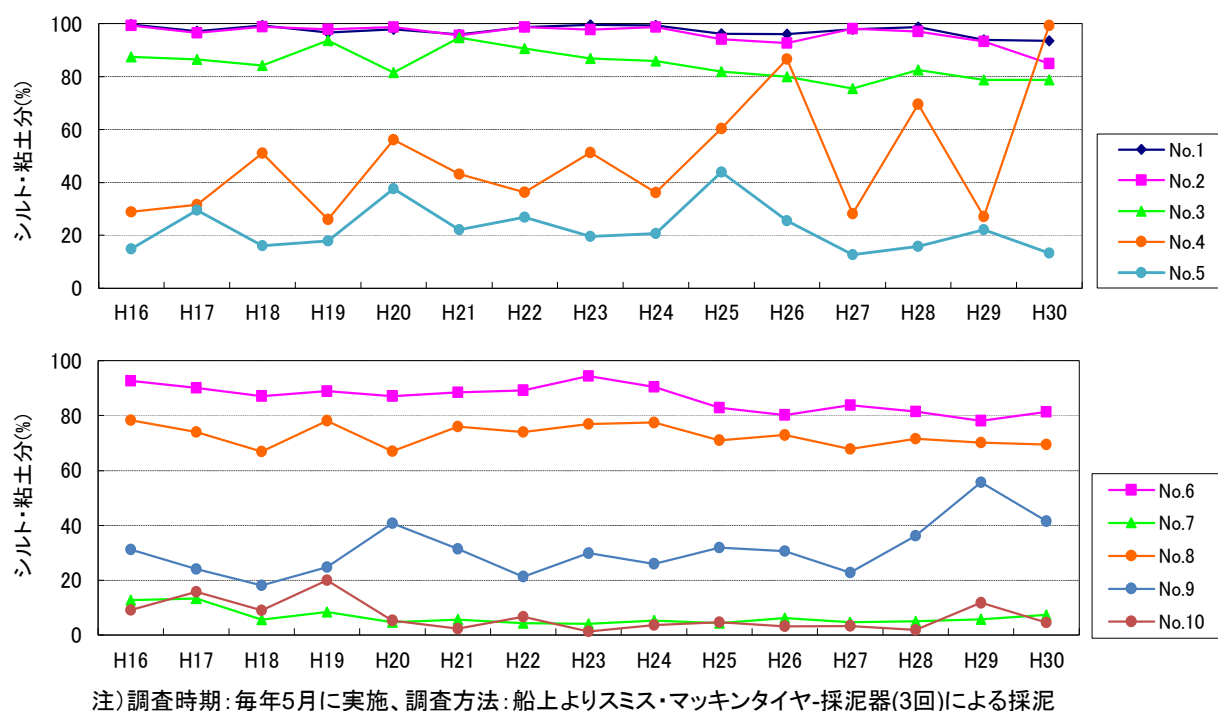


図 4.1-2 底質調査結果(有明海)

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

5. ベントス群集の変化・変動要因の解析

5.1 ベントスの変動要因解析

環境省では、有明海・八代海の海域環境について、これまで底質・水質等の物理環境データや底生生物の門別種類数、個体数データ等を用いて様々な解析を行い、現状把握、変化傾向の予測等を行ってきた。2019(令和元)年度より、海域環境をベントスの生息場所としてとらえ、各海域に生息する生物種の分布特性に基づいた解析を行い、生物種の出現パターンから各調査点の底質を中心とした海域環境の変動状況を把握するとともに、その変動要因について検討を行った。

5.1.1 調査内容・方法

検討は以下の手順に従って実施した。

①海域環境(底質)とベントスデータの整理・解析

海域全体の底質とベントスの関連性について客観的に把握するため、それぞれのデータの類似性から調査点をグループ化し、各グループの特徴について整理・解析した。

②底質環境の指標となる生物種の抽出

上記のベントスについてグループ化した調査点において、出現頻度が高く、かつ、個体数比率が高い種を生物グループの代表的な種として抽出した後、底質との関連性が強い種をその生物グループにおける底質環境の指標種として選定した。

③ベントス群集(指標種)と海域環境との関連性

上記でグループ化した底質グループ及び生物グループ、ベントス群集(種類数、個体数、多様度指数、指標種)の経年的な変動状況を比較し、ベントス群集と海域環境(底質)との関連性について検討した。

5.1.2 調査結果

(1) 海域環境(底質)及びベントスデータの整理・解析

ア) 底質データ

有明海及び八代海の底質環境を客観的に把握するため、底質データの類似性から全調査年月の調査点(以下「調査点」という。)を複数のグループに分類し、各グループの物理環境の特徴及び分布から、底質環境の面的な状況、経年的な変動状況について検討を行った。

底質グループの類型化では、2005(平成 17)年度から 2018(平成 30)年度の調査で得られた図 5.1-1 に示す地点の底質データについて、有明海(12 地点)と八代海(10 地点)を別海域として、調査点ごとに整理したデータセットについてクラスター分析(凝集型階層的クラスタリング)を行った。

クラスター分析に用いる底質項目については、底生生物の生息環境に密接に関連する項目に着目し抽出することを検討した結果、T-N、T-S、中央粒径の3項目を抽出した。これらの3項目について、底生生物の生息環境との関連性についてみると、T-Nは栄養面、T-Sは毒性面、中央粒径は底質形状面として深く関わっている項目であることから、この3項目をその

後のクラスター分析に用いた。また、沿岸部に近い地点では河川等から流入する鉱物中のりの影響を受けやすいことから、T-Pも加えた4項目をクラスター分析の変数として用いた。

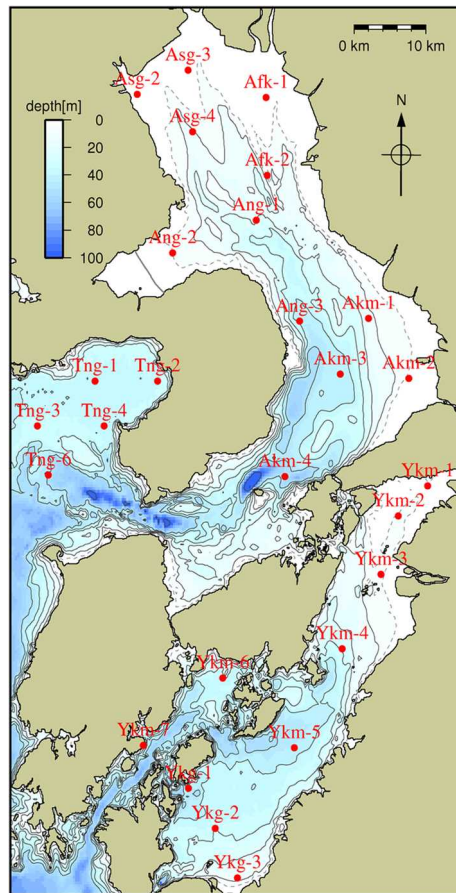


図 5.1-1 定点調査地点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

① 有明海

有明海では、クラスター分析の結果、底質データの類似性から5つの底質グループに区分した。各グループの底質の範囲を図5.1-2に、各地点の分布状況を図5.1-3に示す。

底質グループ1はMdが最も小さく、T-N、T-Pの値が大きい泥底であった。底質グループ2から4になるに従ってMdが大きくなり、T-N、T-P、T-Sが小さくなる泥底～砂泥底であった。底質グループ5は、Mdが最も大きく、T-N、T-P、T-Sの値が小さい砂底であった。

各地点の分布については、湾奥部で沿岸に近い調査点では、底質グループ1～3の範囲で推移し、湾中央部や湾中央に近い調査点や湾口部の調査点では、底質グループ4～5の範囲で推移していた。中央東部では底質グループ4～5の範囲で推移しているものの、一時的に底質グループ1や3になる場合がみられた。

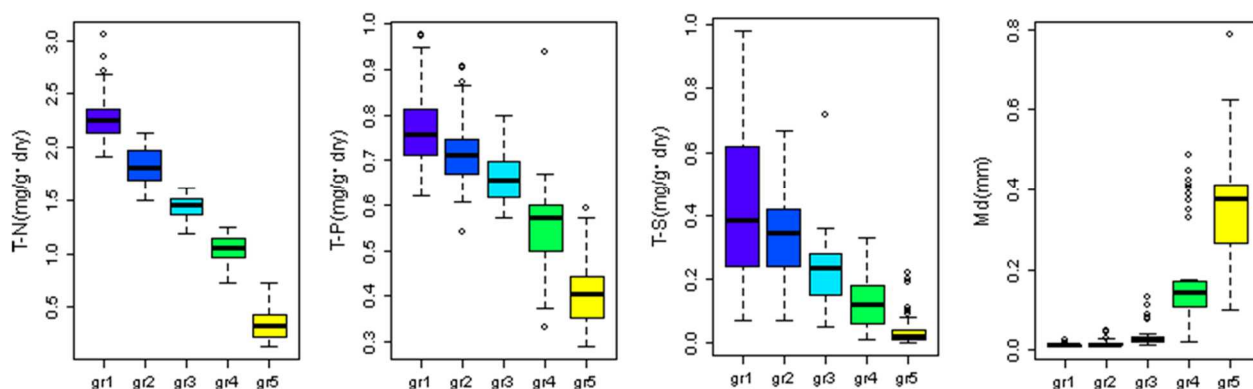


図 5.1-2 底質グループ別の底質範囲(有明海)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

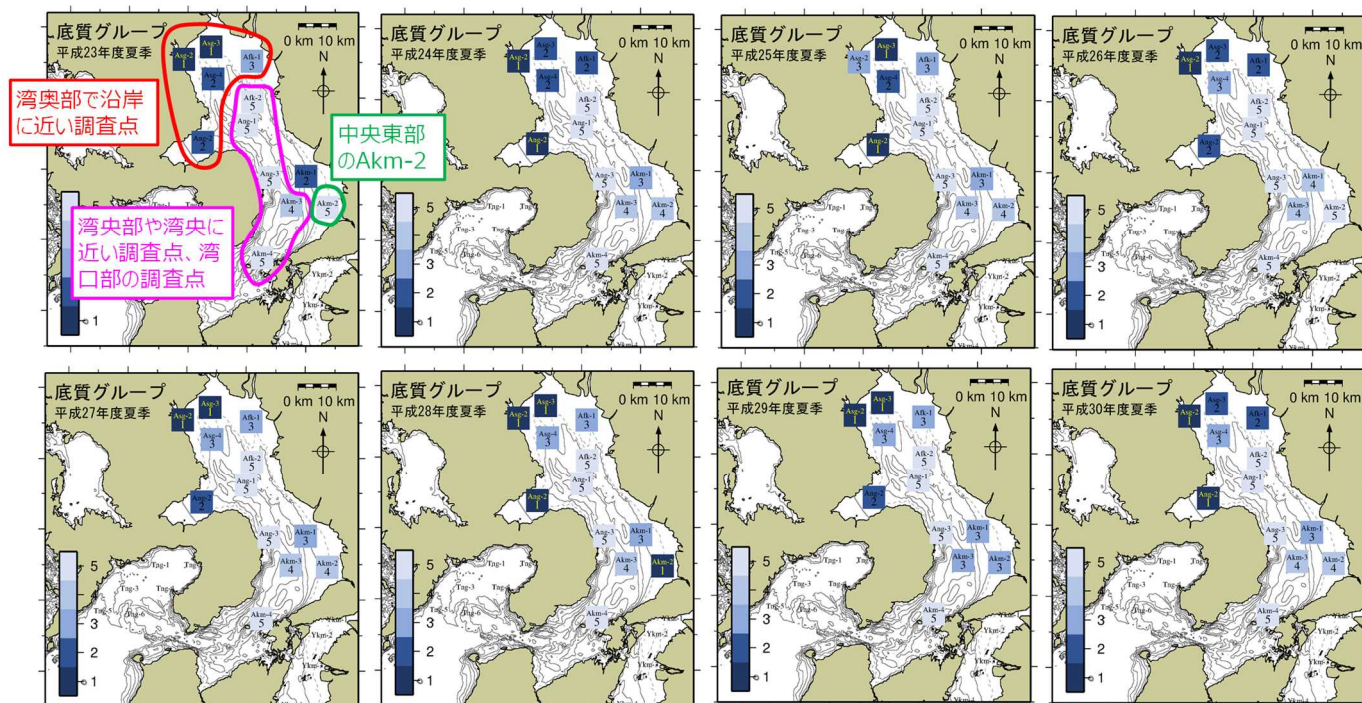


図 5.1-3 過去8年間における底質グループの分布(有明海・夏季調査)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

② 八代海

八代海では、底質データの類似性から5つの底質グループに区分した。各グループの底質の範囲を図5.1-4に、各地点の分布状況を図5.1-5に示す。

底質グループ1は、Mdが最も小さく、T-N、T-Sの値が大きい泥底であった。底質グループ2から4になるに従って、Mdが大きくなり、T-N、T-Sが小さくなる泥底であった。底質グループ5は、Mdが最も大きく、T-N、T-Sの値が小さい砂底であった。なお、T-Pは底質グループとの関連性が不明瞭であり、調査点ごと、季節ごとに大きく変化していることが考えられた。

各地点の分布については、湾奥部の調査点及び湾中央部の調査点では、底質グループ1～3の範囲で推移しているが、球磨川河口部の調査点では湾奥部に近接しているものの底質グループ4になる場合がみられた。外洋に近い湾口部の調査点では底質グループ5で推移していた。

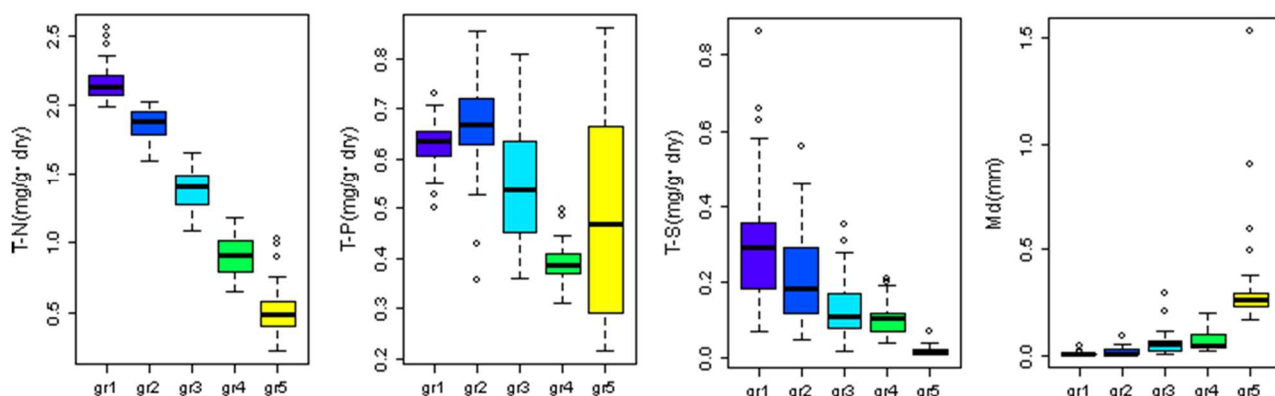


図 5.1-4 底質グループ別の底質範囲(八代海)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

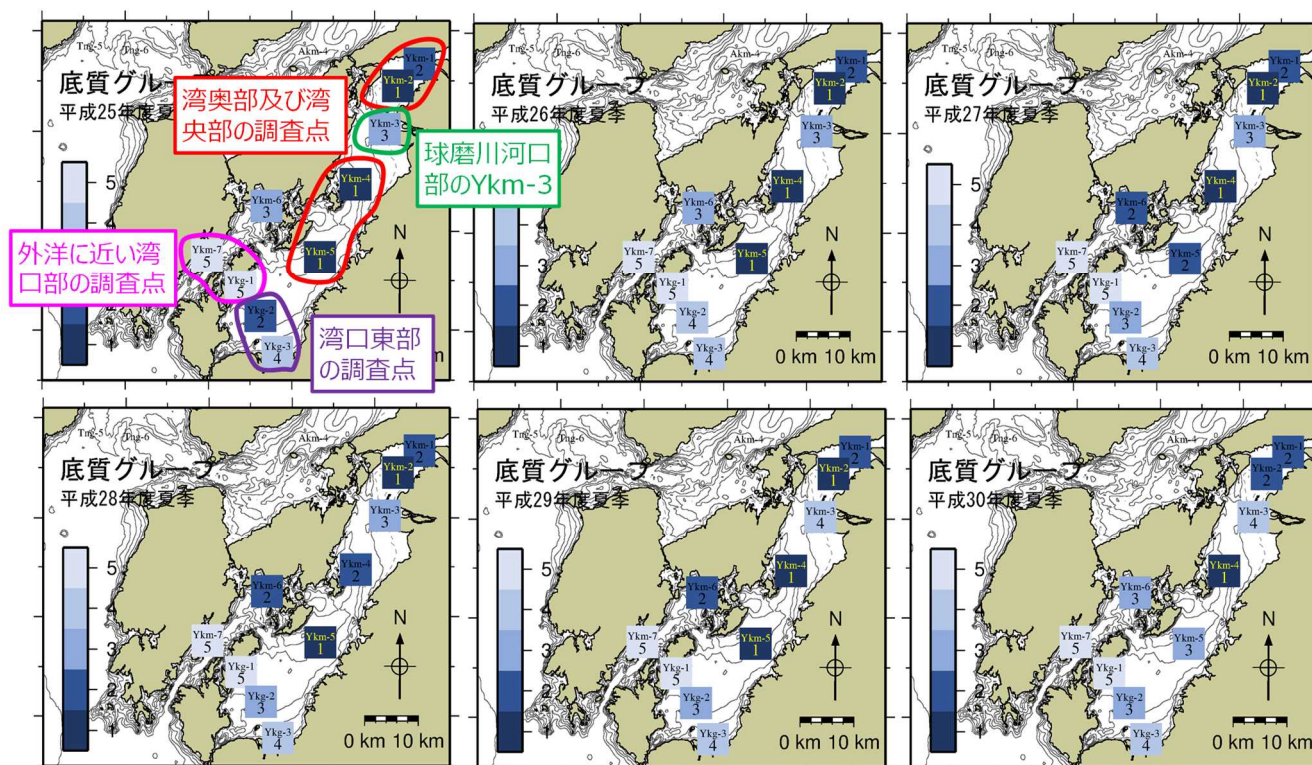


図 5.1-5 過去6年間における底質グループの分布(八代海・夏季調査)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

イ) 底生生物データ

底質データと同様に、調査点を底生生物群集の類似度によって類型化し、それぞれのグループにおける特徴を整理した。なお、クラスター分析に用いた生物データは種別個体数とした。

① 有明海

有明海でのクラスター分析の結果、生物データの類似性から 3 つの生物グループに区分した。各グループの底質範囲を図 5.1-6 に、各地点の分布状況を図 5.1-7 に示す。

各生物グループの底質範囲についてみると、生物グループ 1 から 3 になるに従って、T-N、T-P の値が小さくなり、Md が大きくなる傾向がみられた。

各地点の分布については、生物グループ 1 は湾奥部の調査点で多くみられ、沿岸域に近く河川水の影響を強く受ける泥底に生息する種が主体であった。

生物グループ 2 は湾奥西部、諫早湾、中央東部の調査点で多くみられ、河川水の影響を受ける泥底～砂泥底に生息する種が主体であった。

生物グループ 3 は湾央部や湾央に近い調査点、湾口部の調査点で多くみられ、河川水の影響が少なく、潮通しの良い環境に生息する種が主体であった。

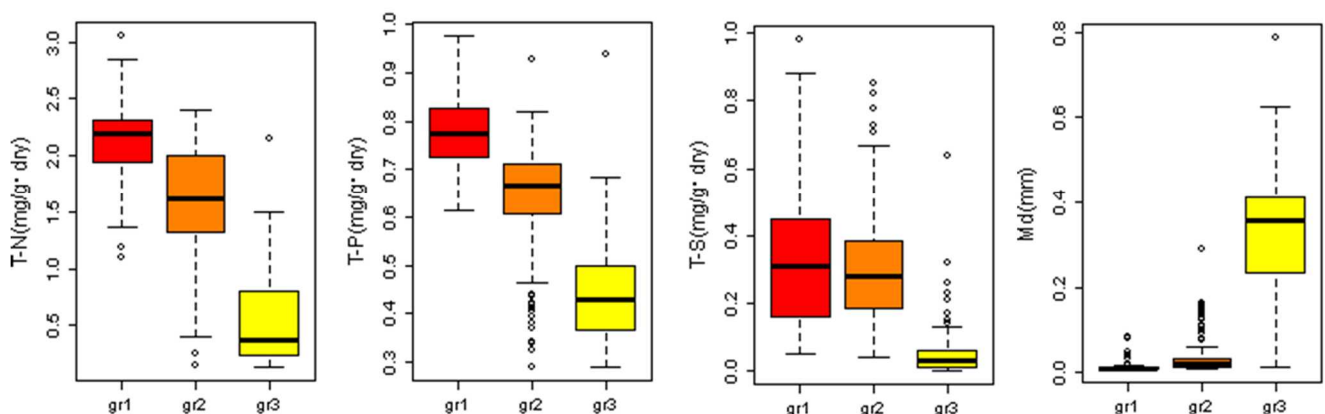


図 5.1-6 生物グループ別の底質範囲(有明海)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

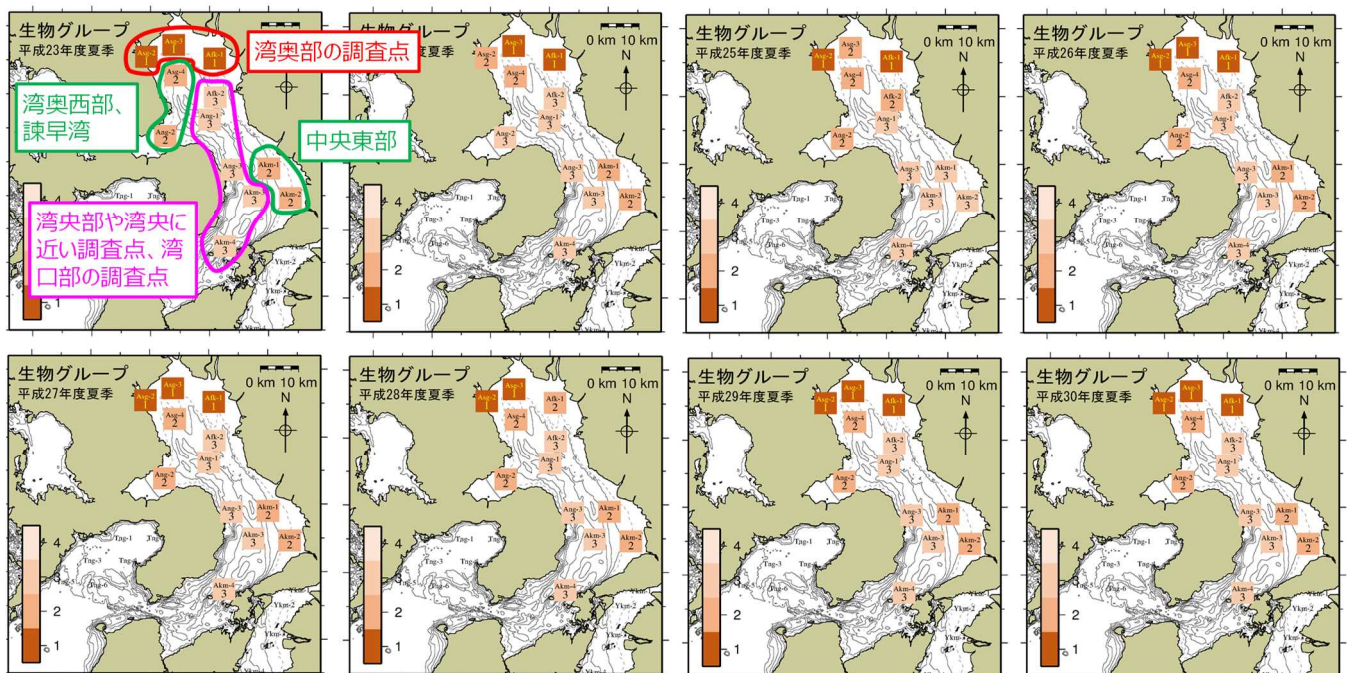


図 5.1-7 過去 8 年間ににおける生物グループの分布(有明海・夏季調査)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

② 八代海

八代海でのクラスター分析の結果、生物データの類似性から 4 つの生物グループに区分した。各グループの底質範囲を図 5.1-8 に、各地点の分布状況を図 5.1-9 に示す。

各生物グループの底質範囲についてみると、生物グループ 1 から 4 になるに従って、T-N、T-S の値が小さくなり、Md が大きくなる傾向がみられた。

地点の分布では、生物グループ 1 は湾奥部の調査点で多くみられ、沿岸部に近く、強内湾性の泥底に生息する種が主体であった。生物グループ 2 は球磨川河口部、湾央部、湾口東部の調査点で多くみられ、中～強内湾性の泥底から弱～中内湾性の砂泥底など幅広い底質に生息する種が主体であった。生物グループ 3 は湾央部、湾口部の調査点で多くみられ、水深が比較的深く、外洋からの影響を受けやすい泥底～砂泥底に生息する種が主体であった。生物グループ 4 は外洋に近い湾口部の調査点で多くみられ、外洋の影響を強く受ける砂底に生息する種が主体であった。

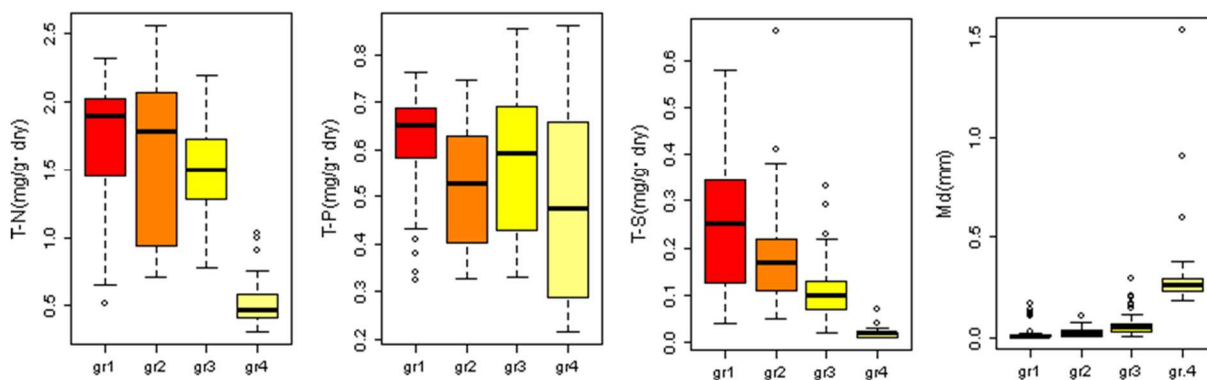


図 5.1-8 生物グループ別の底質範囲(八代海)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

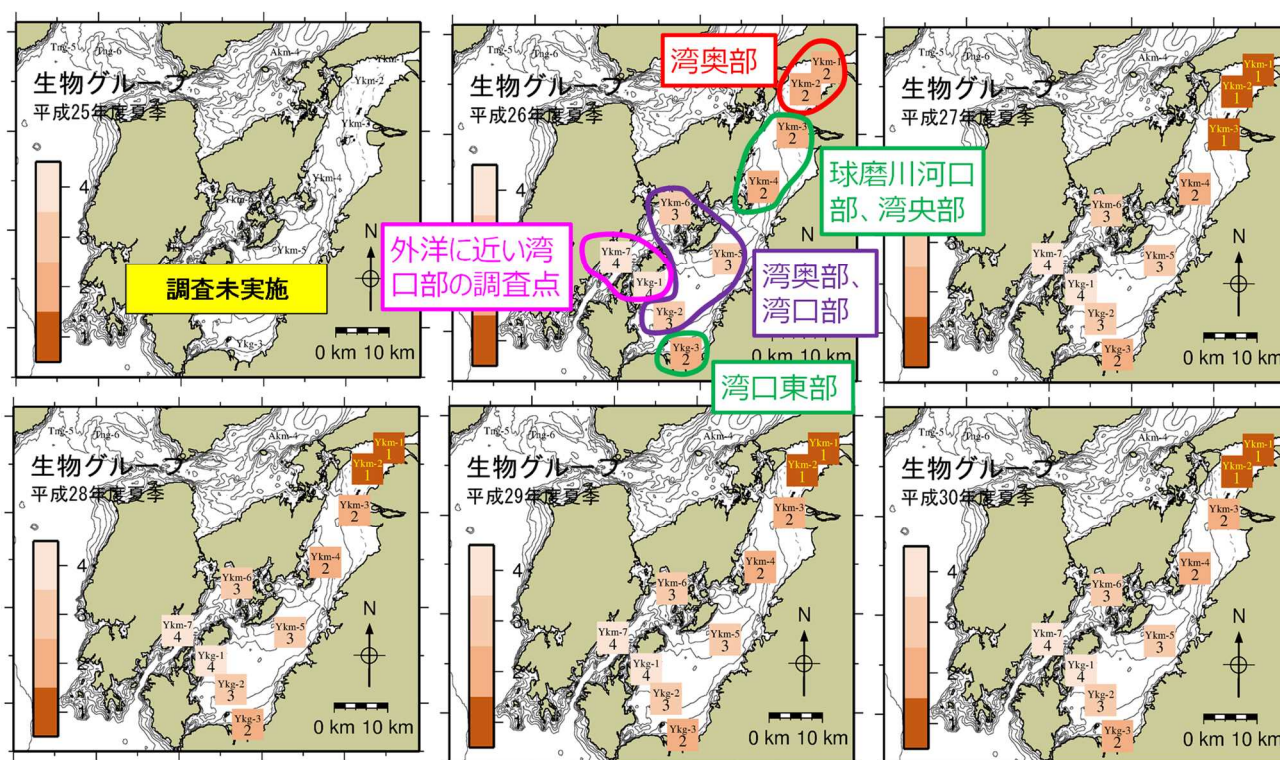


図 5.1-9 過去6年間における生物グループの分布(八代海・夏季調査)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 底質環境の指標となる生物種の抽出

底生生物の生息環境の視点による海域環境の再生方策の検討にあたり、その場所に生息する生物種の出現状況、生息環境の特徴について把握する必要がある。ここでは、着目すべき種としての位置づけから、出現頻度が高く、出現個体数の多い種を生物グループの代表的な種（指標種）と定義し、指標種の抽出を行った。抽出にあたっては、クラスター分析に用いた生物種について、各グループにおける出現頻度が 10%以上、かつ、出現個体数がグループ全体の個体数合計の 3%以上の種を指標種とした。

$$\text{出現頻度(\%)} = \text{グループ内で出現した調査点数} \div \text{各グループの全調査点数} \times 100$$

$$\text{個体数比率(\%)} = \text{グループ内の出現個体数} \div \text{グループ内全種の出現個体数} \times 100$$

ア) 有明海

上記の条件に当てはまる生物種を抽出した結果、有明海では、生物グループ 1 で 10 種、グループ 2 で 7 種、グループ 3 で 3 種が指標種として抽出された（表 5.1-1）。

生物グループ 1 では、強～中内湾性の泥底に多いシズクガイ、ヒメカノコアサリ、ヒラタヌマコダキガイ等、生物グループ 2 では強～中内湾性の泥底に多いウメノハナガイ、シズクガイ等の二枚貝類や中～弱内湾性の砂泥底に多い小型甲殻類等、生物グループ 3 では強内湾性の泥底に多いホトギスガイ、中・弱内湾性の砂泥底に多い *Corophium* 属等が抽出された。

また、上記で抽出された指標種について、その底質グループ別の出現率を表 5.1-2 に示す。トライミズゴマツボ、カワグチツボ、サルボウガイ、シズクガイ、ヒラタヌマコダキガイ、*Glycinde* 属は、泥底で多く、砂底で少なくなる傾向を示し、パラオニス科、カймシ目では、泥底で少なく、砂底で多くなる傾向を示した。

表 5.1-1 生物グループ別指標種(有明海)

No.	門	綱	目	科	学名	和名 \ 生物グループ	海域		
							有明海		
							1	2	3
1	軟体動物門	マキガイ	ニナ	ミズゴマツボ	<i>Stenothyra</i> sp.	トイミズゴマツボ	●		
2				カワゲチツボ	<i>Iravadia elegantula</i>	カワゲチツボ	●		
3		ニマイガイ	フネガイ	フネガイ	<i>Scapharca subcrenata</i>	サルボウガイ	●		
4				イガイ	<i>Musculista senhousia</i>	ホトギスカイ			●
5			ハマグリ	ツキガイ	<i>Pillucina pisidium</i>	ウメノハナガイ		●	
6				アサギガイ	<i>Theora fragilis</i>	シズカガイ	●	●	
7					<i>Veremolpa micra</i>	ヒメカノアサリ	●	●	
8			オノガイ	クチベニガイ	<i>Potamocorbula cf. laevis</i>	ヒラタマコダカイ	●		
9	環形動物門	コカイ	サンバコカイ	ガコカイ	<i>Sigambra tentaculata</i>		●		
10				ニカイチロリ	<i>Glycinde</i> sp.		●		
11			ミズヒキコカイ	パラオニス	PARAONIDAE	パラオニス科			●
12			ダルマコカイ	ダルマコカイ	<i>Sternaspis scutata</i>	ダルマコカイ		●	
13			イトコカイ	イトコカイ	<i>Heteromastus</i> sp.		●		
14	節足動物門	甲殻	カムシ		<i>Mediomastus</i> sp.		●		
15					OSTRACODA	カムシ目		●	
16				クマ	BODOTRIIDAE	ボドトリア科		●	
17			ヨコエビ	ドロクダムシ	<i>Corophium</i> sp.			●	●
出現種類数							10	7	3

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

表 5.1-2 指標種の底質グループ別の出現率(有明海)

底質グループ (有明海)		1	2	3	4	5	底質との関連性
調査点数		86	64	46	52	141	
底質項目 中央値	T-N(mg/g・dry)	2.26	1.81	1.46	1.06	0.33	
	T-P(mg/g・dry)	0.756	0.712	0.657	0.570	0.405	
	T-S(mg/g・dry)	0.39	0.35	0.24	0.12	0.02	
	中央粒径(mm)	0.0106	0.0137	0.0270	0.1423	0.3759	
底質性状		泥	泥	泥	砂泥	砂	底質との関連性
トイミズゴマツボ		29.1	9.4	4.3	0.0	0.0	
カワゲチツボ		26.7	10.9	0.0	0.0	0.0	
サルボウガイ		41.9	28.1	13.0	1.9	0.7	
ホトギスカイ		10.5	15.6	2.2	9.6	16.3	
ウメノハナガイ		22.1	45.3	47.8	57.7	24.1	
シズカガイ		91.9	85.9	71.7	32.7	16.3	
ヒメカノアサリ		69.8	70.3	21.7	13.5	22.0	
ヒラタマコダカイ		18.6	6.3	2.2	0.0	1.4	
<i>Sigambra tentaculata</i>		98.8	96.9	97.8	100.0	70.9	
<i>Glycinde</i> sp.		90.7	75.0	50.0	30.8	17.0	
パラオニス科		1.2	17.2	28.3	71.2	80.9	
ダルマコカイ		58.1	65.6	65.2	32.7	8.5	
<i>Heteromastus</i> sp.		48.8	48.4	56.5	30.8	12.1	
<i>Mediomastus</i> sp.		82.6	75.0	91.3	84.6	71.6	
カムシ目		23.3	46.9	47.8	63.5	88.7	
ボドトリア科		38.4	53.1	56.5	65.4	69.5	
<i>Corophium</i> sp.		37.2	48.4	37.0	42.3	59.6	

注) 1.赤字で示した種は、砂底で出現率が低く、泥底で出現率が高くなる傾向がみられる種を示す
2.青字で示した種は、泥底で出現率が低く、砂底で出現率が高くなる傾向がみられる種を示す

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

イ) 八代海

八代海では、生物グループ 1 で 5 種、グループ 2 で 10 種、グループ 3 で 9 種、グループ 4 で 5 種が指標種として抽出された(表 5.1-3)。

生物グループ 1 では強～中内湾性の泥底に多いホトギスガイ、シズクガイ、ダルマゴカイ、富栄養海域の指標種であるアサリ等、生物グループ 2 では強～中内湾性の泥底に多いシズクガイ、ダルマゴカイ、中～弱内湾性の砂泥底や砂底に多いケントリガイ、ヒサシソコエビ科、有機汚染域の指標種である *Paraprionospio* 属(B 型)、モロテゴカイ等、生物グループ 3 では *Sigambra tentaculata*、*Terebellides* 属等で、泥底～砂泥底に生息する環形動物門が多かった。生物グループ 4 では *Paraprionospio* 属(CI 型)、*Corophium* 属、*Photis* 属等で、砂泥底～砂底に生息する種が多かった。

また、上記で抽出された指標種について、その底質グループ別の出現率を表 5.1-4 に示す。指標種の底質グループ別出現状況についてみると、シズクガイ、*Paraprionospio* 属(B 型)では、泥底で多く、砂底で少なくなる傾向、*Paraprionospio*(CI 型)、カймシ目、*Photis* 属、*Caprella* 属では、泥底で少なく、砂底で多くなる傾向であった。

表 5.1-3 生物グループ別指標種(八代海)

No.	門	綱	目	科	学名	和名 \ 生物グループ	八代海			
							1	2	3	4
1	紐形動物門				NEMERTINEA	紐形動物門		●	●	
2	軟体動物門	ニマイガイ	イガイ	イガイ	<i>Musculista senhousia</i>	ホトギスガイ	●			
3				アサリガイ	<i>Theora fragilis</i>	シズクガイ	●			
4				ケシハマグリ	<i>Alveolus ofianus</i>	ケントリガイ		●		
5				マルスターレガイ	<i>Ruditapes philippinarum</i>	アサリ	●			
6	環形動物門	ゴカイ	サンバゴカイ	カギゴカイ	<i>Sigambra tentaculata</i>			●	●	
7				PARALACYDONIIDAE	<i>Paralacydonia paradoxa</i>				●	
8			イソメ	ギボシイソメ	<i>Lumbrineris longifolia</i>			●		
9					<i>Lumbrineris</i> sp.				●	
10			スビオ	スビオ	<i>Paraprionospio</i> sp.(CI型)					●
11					<i>Paraprionospio</i> sp.(B型)			●		
12					<i>Prionospio</i> sp.			●		
13			モロテゴカイ	モロテゴカイ	<i>Magelona japonica</i>	モロテゴカイ		●		
14					<i>Magelona</i> sp.				●	
15			ミスヒキゴカイ	ハラオニス	PARAONIDAE	ハラオニス科			●	
16			ダルマゴカイ	ダルマゴカイ	<i>Sternaspis scutata</i>	ダルマゴカイ	●			
17					<i>Mediomastus</i> sp.			●		
18					CAPITELLIDAE	イトゴカイ科			●	
19			アサリガイ	タマギシアサリガイ	<i>Terebellides</i> sp.				●	
20	星口動物門	ホシムシ	サマハダホシムシ	サマハダホシムシ	<i>Apionsoma</i> sp.	イトクサホシムシ属			●	
21	節足動物門	甲殻	カймシ		OSTRACODA	カймシ目				●
22			ヨコエビ	ドロクダムシ	<i>Corophium</i> sp.		●			●
23				イソコヨエビ	<i>Photis</i> sp.					●
24				ヒサシソコエビ	PHOXOCEPHALIDAE	ヒサシソコエビ科		●		
25				ワレカラ	<i>Caprella</i> sp.					●
出現種類数							5	10	9	5

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

表 5.1-4 指標種の底質グループ別の出現率(八代海)

底質グループ (八代海)		1	2	3	4	5	底質との関連性
調査点数		56	58	61	46	55	
底質項目 中央値	T-N(mg/g・dry)	2.15	1.86	1.39	0.91	0.51	
	T-P(mg/g・dry)	0.631	0.667	0.551	0.391	0.480	
	T-S(mg/g・dry)	0.30	0.21	0.13	0.10	0.02	
	中央粒径(mm)	0.0127	0.0205	0.0567	0.0681	0.3074	
底質形状		泥	泥	泥	泥	砂	
紐形動物門		82.1	91.4	91.8	95.7	92.7	
ホトケシガイ		12.5	17.2	9.8	19.6	5.5	
シズガイ		62.5	74.1	55.7	63.0	7.3	
ケシリガイ		23.2	29.3	23.0	34.8	14.5	
アサリ		0.0	3.4	1.6	10.9	3.6	砂泥底に多い
<i>Sigambra tentaculata</i>		85.7	91.4	91.8	95.7	80.0	全体的に生息
<i>Paralacydonia paradoxa</i>		33.9	44.8	77.0	69.6	65.5	全体的に生息
<i>Lumbrineris longifolia</i>		3.6	3.4	4.9	54.3	0.0	砂泥底に多い
<i>Lumbrineris</i> sp.		30.4	51.7	86.9	87.0	52.7	砂泥底に多い
<i>Paraprionospio</i> sp.(C型)		5.4	3.4	19.7	32.6	56.4	砂泥底～砂底に多い
<i>Paraprionospio</i> sp.(B型)		69.6	81.0	83.6	84.8	3.6	泥底～砂泥底に多い
<i>Prionospio</i> sp.		42.9	60.3	85.2	89.1	92.7	全体的に生息
モロコガイ		46.4	41.4	59.0	71.7	30.9	全体的に生息
<i>Magelona</i> sp.		21.4	44.8	83.6	82.6	47.3	砂泥底に多い
ハナオニス科		14.3	25.9	52.5	50.0	54.5	砂泥底～砂底に多い
タニマコガイ		17.9	41.4	31.1	19.6	20.0	泥底～砂泥底に多い
<i>Mediomastus</i> sp.		55.4	69.0	82.0	89.1	45.5	全体的に生息
イトコガイ科		42.9	51.7	65.6	58.7	45.5	全体的に生息
<i>Terebellides</i> sp.		19.6	25.9	39.3	34.8	32.7	全体的に生息
イトクスホシム属		25.0	31.0	55.7	52.2	21.8	全体的に生息
カハシ目		10.7	19.0	27.9	17.4	87.3	砂底に多い
<i>Corophium</i> sp.		25.0	32.8	14.8	30.4	70.9	全体的に生息
<i>Photis</i> sp.		3.6	1.7	8.2	0.0	56.4	砂底に多い
ヒサシコエビ科		41.1	39.7	62.3	23.9	76.4	全体的に生息
<i>Caprella</i> sp.		1.8	8.6	0.0	0.0	52.7	砂底に多い

注) 1.赤字で示した種は、砂底で出現率が低く、泥底で出現率が高くなる傾向がみられる種を示す

2.青字で示した種は、泥底で出現率が低く、砂底で出現率が高くなる傾向がみられる種を示す

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(3) ベントス群集(指標種)と海域環境との関連性

底質グループごとに指標種の経年的な変化について比較し、指標種からみた有明海・八代海における底質環境の変動状況について考察した。なお、各調査点の底質グループは、年によって変化するが、ここでは最も出現が多かった底質グループで代表させた。

ア) 有明海

有明海における底質グループ別の指標種(8種)の出現状況を図 5.1-10 に示す。

① 底質グループ 1

カワグチツボ、シズクガイ、サルボウガイ等が多く出現していた。同グループは湾奥で沿岸域に近い調査点に多く、陸域からの土砂供給、河川水流入等により、底質が変化しやすい環境であることから、指標種の顕著な増減は、底質の変化に伴う一時的な現象と考えられる。

ただし、サルボウガイは 2011(平成 23)年以前には数回大きく増加していたが、2012(平成 24)年以降は個体数が少なくなっていることから、この時期を境にサルボウガイの好適な生息環境条件から変化した可能性が考えられる。

② 底質グループ 2

シズクガイが 2007(平成 19)年以前に数回大きく増加し、また、カймシ目が 2009(平成 21)年及び 2012(平成 24)年に大きく増加していた。シズクガイは泥底～砂泥底に多く、砂底になると出現率が低下し、カймシ目は砂底になるほど出現率が高くなる特徴を持つことから、この調査年あるいはその前年に一時的な底質形状の変化が起きていた可能性が考えられる。

③ 底質グループ 3

カймシ目の増加が数回みられており、この調査年あるいはその前年に一時的な底質形状の変化が起きていた可能性が考えられる。

④ 底質グループ 4

2007 年以前にパラオニス科の増減がみられるが、全体的にいずれの指標種も経年的な増減がなく、底質変化の少ない状況が継続していると考えられた。

⑤ 底質グループ 5

シズクガイが 2006(平成 18)年～2008(平成 20)年に多かったのを除き、指標種の顕著な増減はみられなかったことから、経年的に底質変化の少ない状況が継続していると考えられた。

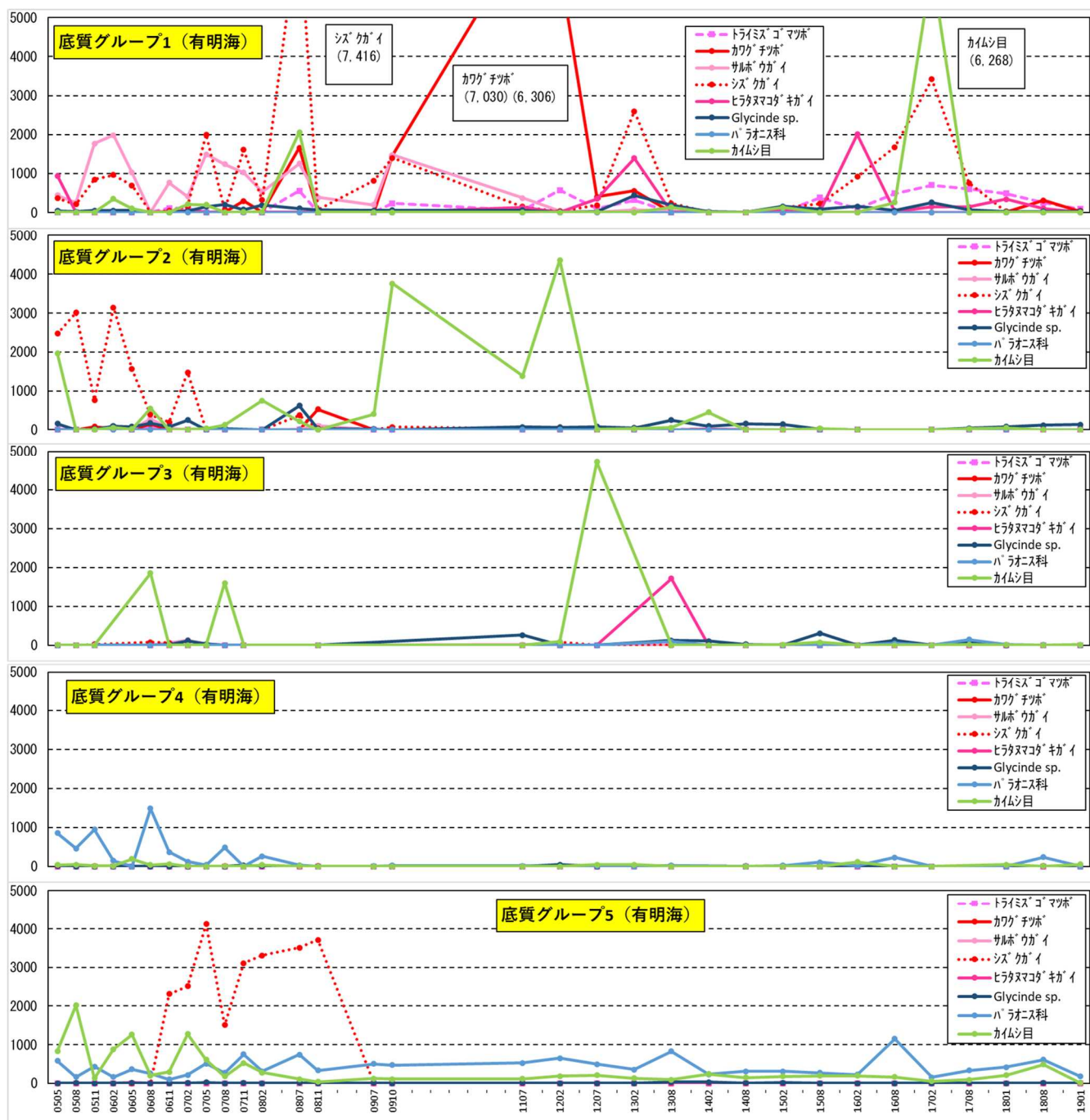


図 5.1-10 有明海における底質グループ別の指標種(8種)の出現状況

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

イ) 八代海

八代海における底質グループ別の指標種(6種)の出現状況を図 5.1-11 に示す。

① 底質グループ 1

シズクガイが 2008(平成 20)年に大きく増加した後は個体数が少ない状況で推移していたが、2016(平成 28)年及び 2017(平成 29)年にやや増加していた。

シズクガイは泥底～砂泥底に多く、砂底になると出現率が低下する特徴を有することから、調査年によって増減していることは、この調査年あるいはその前年に一時的な底質形状の変化が起きていた可能性が考えられる

② 底質グループ 2

シズクガイが 2007(平成 19)年以前に数回大きく増加していた他は、顕著に増加する種はみられなかった。シズクガイは泥底～砂泥底に多く、砂底になると出現率が低下する特徴を有することから、この調査年あるいはその前年に一時的な底質形状の変化が起きていた可能性が考えられる。

③ 底質グループ 3

顕著に増加している種はみられなかった。

④ 底質グループ 4

シズクガイが 2005(平成 17)年及び 2006(平成 18)年に大きく増加していた。シズクガイは泥底～砂泥底に多く、砂底になると出現率が低下する特徴を有することから、この調査年あるいはその前年に一時的な底質形状の変化が起きていた可能性が考えられる。

⑤ 底質グループ 5

Caprella 属、*Photis* 属、カймシ目が増加している年がみられた。これらの種は移動能力の高い小型甲殻類であり、調査年ごとに頻繁に増減を繰り返していることから、一時的な底質環境の変化が生じ、その時の底質環境に好適な種が増集して増加した可能性が考えられる。

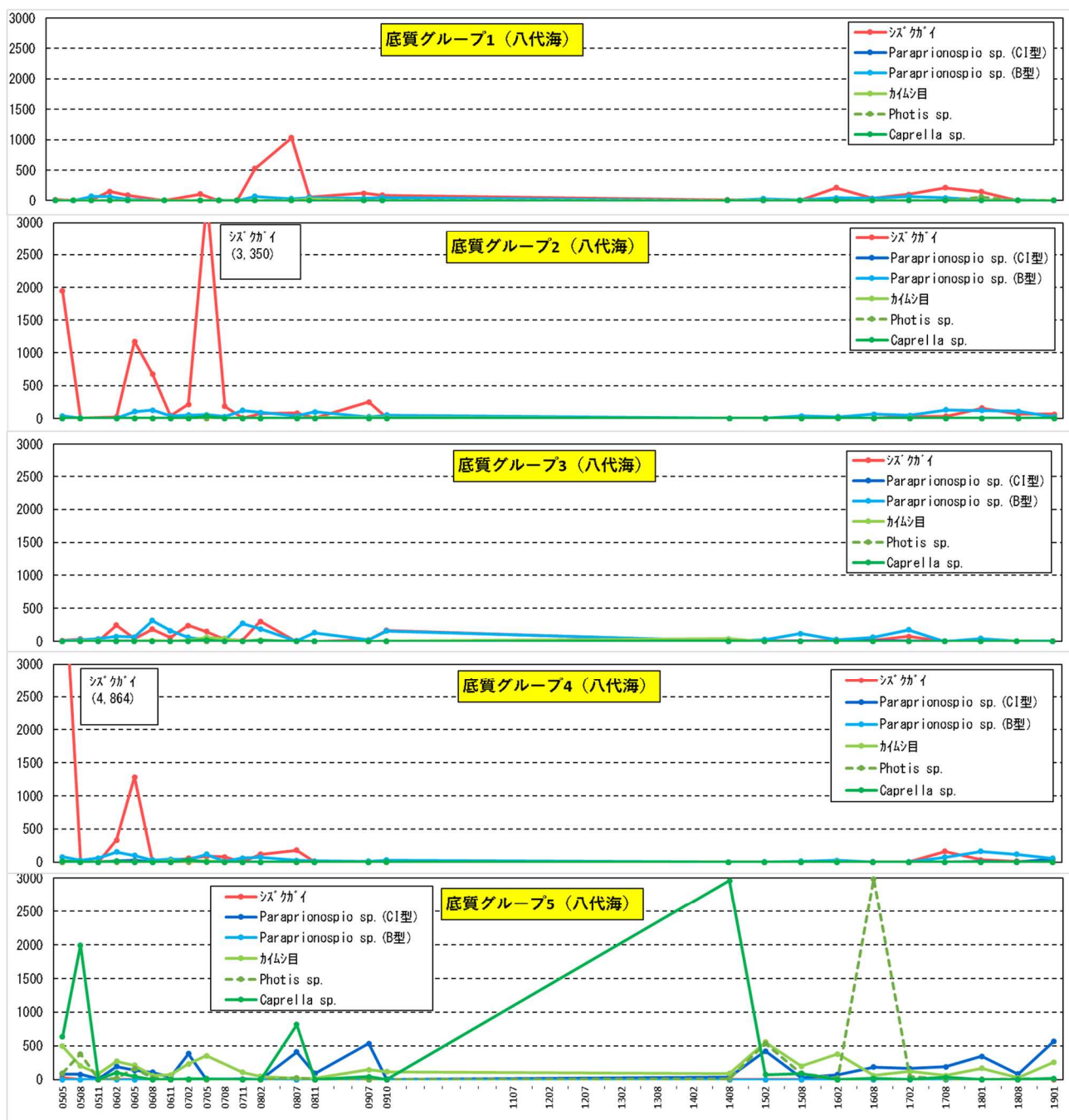


図 5.1-11 八代海における底質グループ別の指標種(6 種)の出現状況

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

5.1.3 まとめ

各調査点の底生生物の生息環境としての底質環境について、2005(平成 17)年頃～2018(平成 30)年度における経年的な変化、指標種等について評価を行った。全般的に底質グループと生物グループに大きな変動がみられず、指標種の個体数が一時的に大きく増加した場合において、底質も変化していた可能性が示唆されたものの、その後、個体数が例年並みのレベルで推移するなど一時的な現象である可能性が高く、経年的に大きな変動がみられていない調査点が多かった。

一方で、生物グループが変動した場合に、底質グループは変動していないなど、生物と底質のグループの変動に一致がみられない場合もあり、底質以外の環境要因が生物の生息環境として影響している可能性が考えられた。

今後、経年的な底質グループの変動が起こっている調査点については、指標種と底質の経年変化の比較等から変動状況について確認し、関連性が認められる場合には、変化が生じた要因を明らかにすることが必要である。

また、底質と指標種の変動状況に関連性がみられない場合には、底質以外の要因である大規模出水といったイベントや、貧酸素化、長期的な水温上昇等との関連性について検討し、影響の有無や程度等を整理・解析することが必要である。

6. タイラギの立ち枯れへい死の原因説明

6.1 タイラギ移植試験による立ち枯れへい死の原因究明(移植試験)

佐賀県では、1976(昭和 51)年以降、有明海奥部で 55 の調査定点を設定し、タイラギ資源量調査を行っているが、2012(平成 24)年以降、タイラギ稚貝の発生がほとんどみられないため、天然発生群を対象とした追跡調査例が少なくなっている。そうした中、2015(平成 27)年に A2 海域のタイラギ漁場を中心に比較的高密度の稚貝の発生がみられたため、発生履歴が立ち枯れへい死等に影響する要因を解明するため、天然稚貝(2015(平成 27)年級群)の移植試験を実施した¹⁾。

福岡県では、A2 海域を中心にタイラギ資源量調査を周年実施するとともに、近年立ち枯れへい死が問題となることから、発生天然稚貝等を用いた移植試験を行っている。2015(平成 27)～2018(平成 30)年までの 4 カ年、A2 海域において、食害と立ち枯れへい死による減耗、あるいは水質と底質の影響を定量的に区分することを目的として、複数の移植方法を組み合わせることで、食害の影響とタイラギ立ち枯れへい死との関係を区分し²⁾、これらの個体の成長・生残及び環境要因との関係について調査を行った。

6.1.1 佐賀県による移植試験の内容、方法、結果

2016(平成 28)年春期に 2015(平成 27)年級群の稚貝を図 6.1-1 に示すとおり東部海域(A2 海域)から西部海域(A3 海域)へ移植し、移植元と移植先において、タイラギの成育状況等の比較を実施することで、両海域の生息場としての評価を行い、立ち枯れへい死要因の解明を試みた。

東部北の着底貝及び東部南の着底貝の殻長の推移を図 6.1-2 に示す。西部海域に移植した東部北の個体は、移植元の東部北と同等の成長を示した。移植元の東部南の個体は、試験開始後も成長が停滞したのに対し、西部海域へ移植された個体は、移植後、成長停滞が解消され、順調に成長した。このことから、A2 海域の中でも、タイラギの成長に差異がみられること、タイラギの成長が悪いところに発生した個体群も、別の海域へ移植されると成長が再開することが分かった。

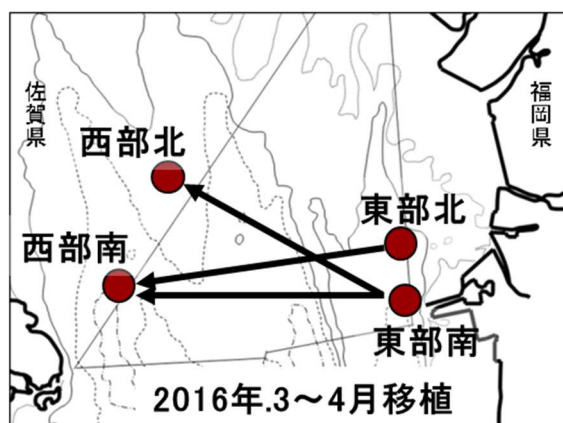


図 6.1-1 移植試験の実施海域

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

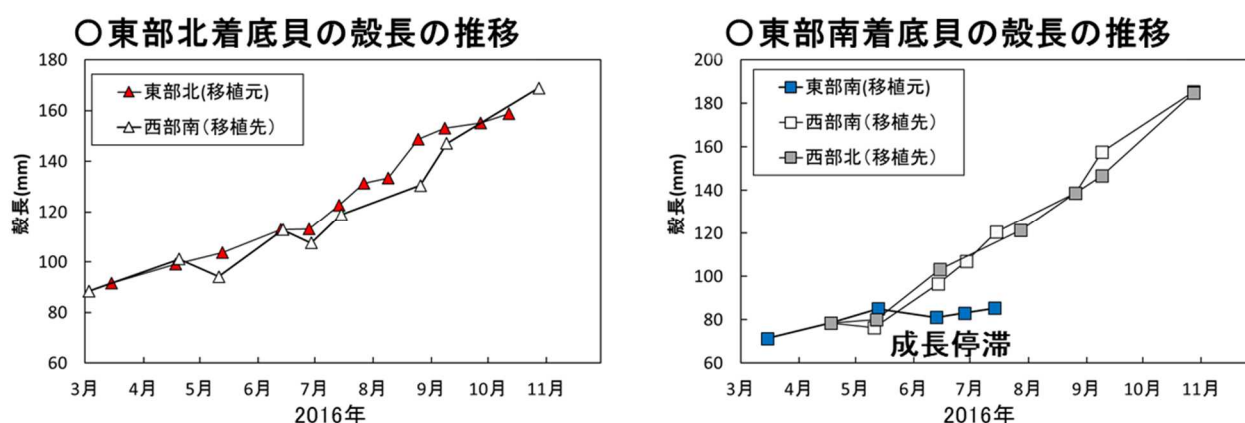


図 6.1-2 東部北の着底貝及び東部南の着底貝の殻長の推移

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

また、東部北の着底貝及び東部南の着底貝の生息密度の推移を図 6.1-3 に示す。

西部海域に移植した東部北、東部南の個体は、ネット等により食害対策を施したところ、その年の10月まで大量死は確認されなかった。移植元の東部海域の個体は、矢印で示した6月及び10月にナルトビエイによる食害(砕かれた貝殻が海底に散在)を受けたことにより、生息がほとんど確認されなくなった。食害防止を行った試験区では生息密度の変化がみられないことから、2016(平成28)年には立ち枯れへい死は確認されなかった。

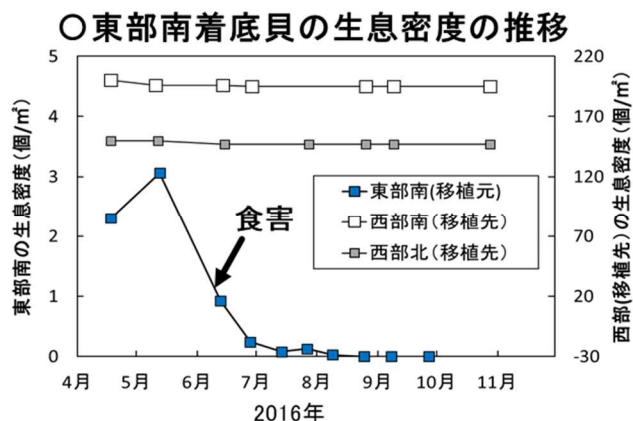
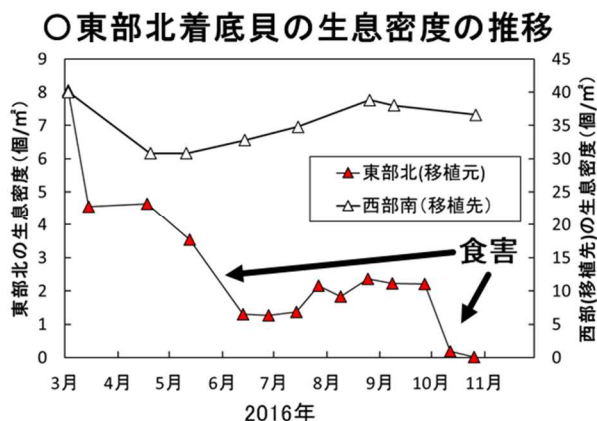


図 6.1-3 東部北の着底貝及び東部南の生息密度の推移

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

東部北に着底し西部海域へ移植していた稚貝を、1年後に再度東部海域に食害対策を施した種々の条件で移植してタイラギの育成状況等を比較することで、東部海域の生息場及び移植タイラギの生理特性の評価を行った。移植試験位置は図 6.1-4 に示した。試験区ごとの移植方法は表 6.1-1 に、生残率の推移は図 6.1-5 に示した。

両海域ともに 5～6 月にかけて、急激に稚貝の密度が低下し、7 月には生残個体はわずかとなった。この期間、移植海域における貧酸素、塩分低下、餌料の減少など、タイラギの大量死を引き起こすような特異な水質の観測結果はみられていない。なお、東部南から西部海域に移植し順調に成長していた個体も、翌年の 4 月から 7 月にかけて減耗して生残個体がわずかとなった。

以上より、東部海域の個体は、着底直後から海底環境に起因する何らかの要因によって障害を受けて成長が停滞している可能性が示唆された。また、障害を受けた個体は、移植によって生息場を変更することで一時的に成長が回復するものの、その障害によると思われる生残率の低下(立ち枯れへい死様現象)を引き起こしている可能性が示唆された。単年度の観察結果ではあるが、稚貝期の東部海域における海底環境及びその履歴が、生活史の後半においてタイラギの成長・生残に影響する可能性を示唆する結果となっている。

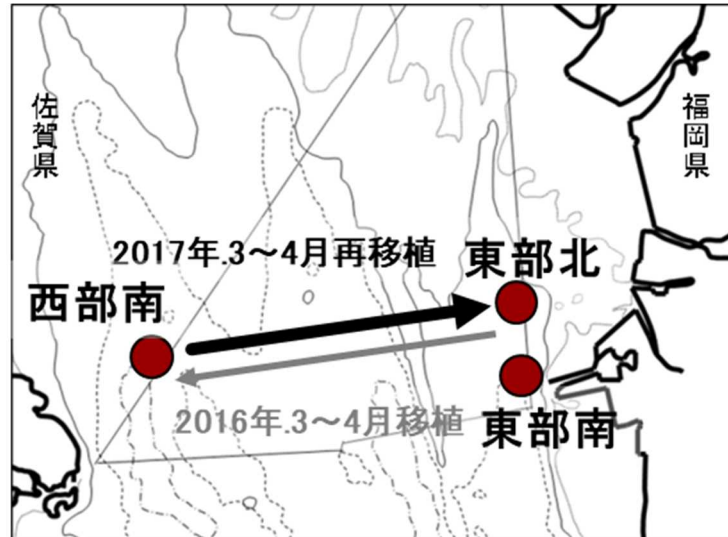


図 6.1-4 移植試験位置

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

表 6.1-1 試験区ごとの移植方法

試験区	西部	東部再移植①	東部再移植②
移植方法	地植え	地植え	垂下
※食害対策	被覆網	被覆カゴ	垂下ネット

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

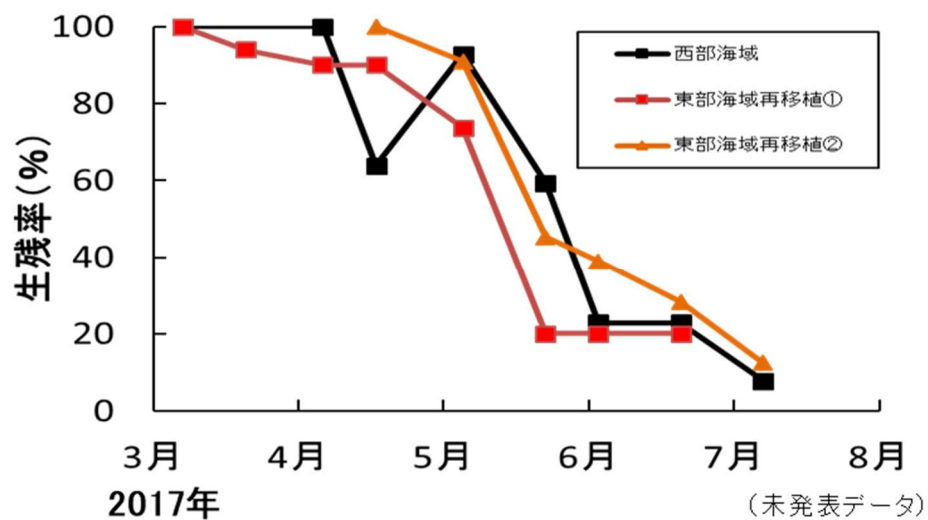


図 6.1-5 再移植タイラギの生存率の推移

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

6.1.2 福岡県による移植試験の内容、方法、結果

移植試験方法の概要を図 6.1-6 に示す。試験区は原因・要因を明確にするために、以下の3試験区を設定し、年変動をみるために、2015(平成27)～2018(平成30)年までの4カ年、2015(平成27)～2016(平成28)年は三池島の東側海域²⁾、2017(平成29)～2018(平成30)年は峰の州の周辺海域で実施されている。

- ・直植え区:カゴ等の保護がなく、天然のタイラギと同様に食害や底質に起因する影響を受ける試験区
- ・被覆カゴ区:被覆カゴで覆うことで食害は防止するが、底質に起因する影響を受ける試験区
- ・海中育成ネット区・上架カゴ区:海中育成ネットや上架カゴに収容して海底から切り離すことで、食害と底質及びその近傍に起因する影響を排除した試験区

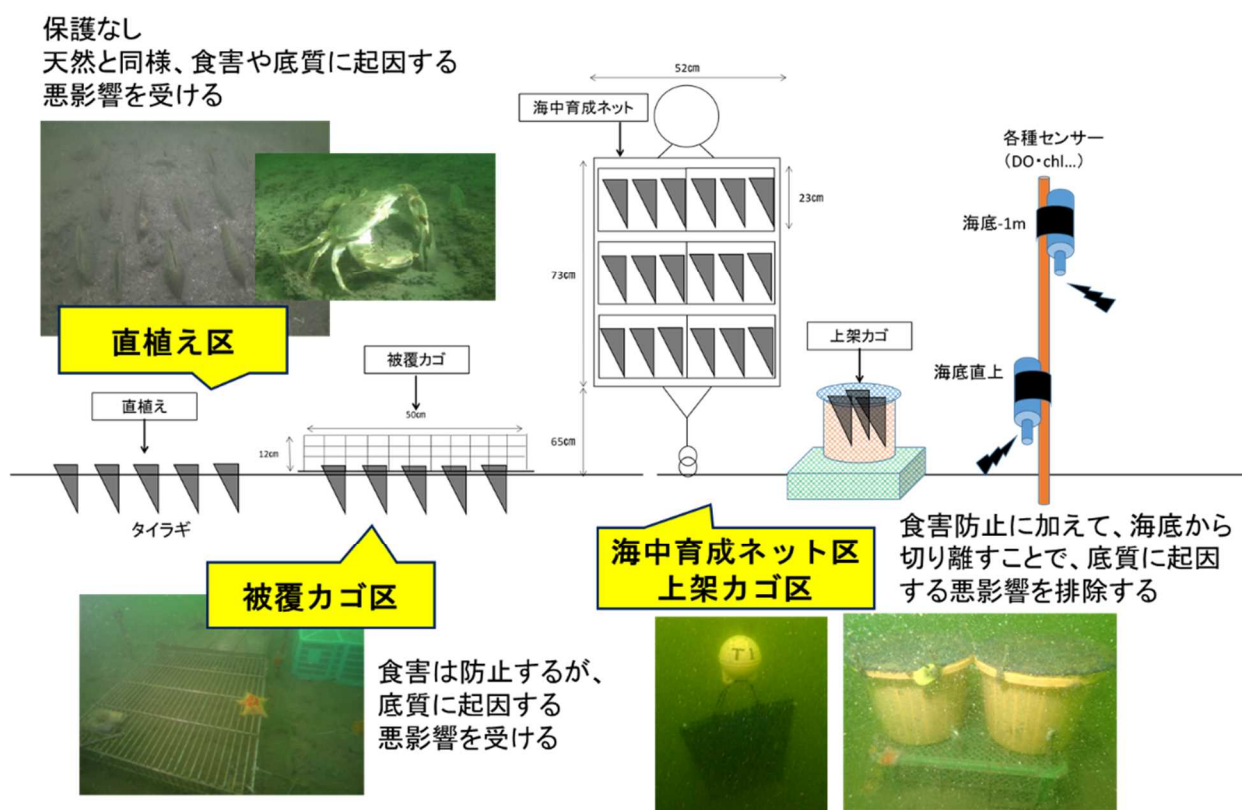


図 6.1-6 移植試験方法の概要

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

試験に用いた稚貝は各年度に発生した天然貝(0～1 歳貝)で、これを 3～5 月にかけて移植を行い、大量死が発生しやすい初夏から秋まで観察を行った。直植え区、被覆カゴ区、育成ネット区の稚貝の生残率の推移、及び海底直上と海底上 1m の酸素飽和度の推移を整理した。

2014(平成 26)年級群 0～1 歳貝の直植え区、被覆カゴ区、育成ネット区の稚貝の生残率の推移、及び海底直上と海底上 1m の酸素飽和度の推移を図 6.1-7 に示す。直植え区は春期に全滅し、被覆カゴは夏期から秋期にへい死した。この時期は海底直上では短期間の貧酸素状態が発生したが、長期間の継続はみられていない。また、海底上 1m の育成ネット区の稚貝は顕著なへい死はみられなかった。これらのことから、海底から切り離して育成することで、稚貝の生残率が向上することが示唆された。

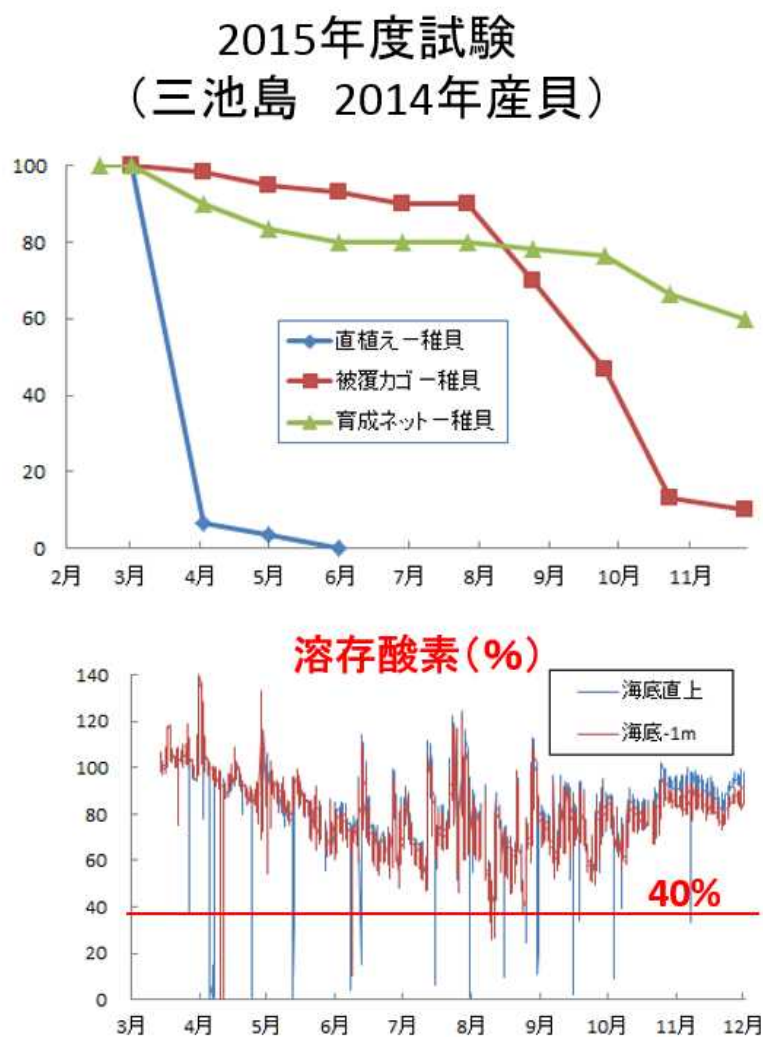


図 6.1-7 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2015(平成 27)年度, 三池島)

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2015(平成 27)年級群 0～1歳貝の直植え区、被覆カゴ区の稚貝の生残率の推移、及び海底直上と海底上 1m の酸素飽和度の推移を図 6.1-8 に示す。直植え区は春期に全滅し、被覆カゴ区は秋期にへい死が見られたが、この時期に長期にわたる貧酸素状態は確認されていない。

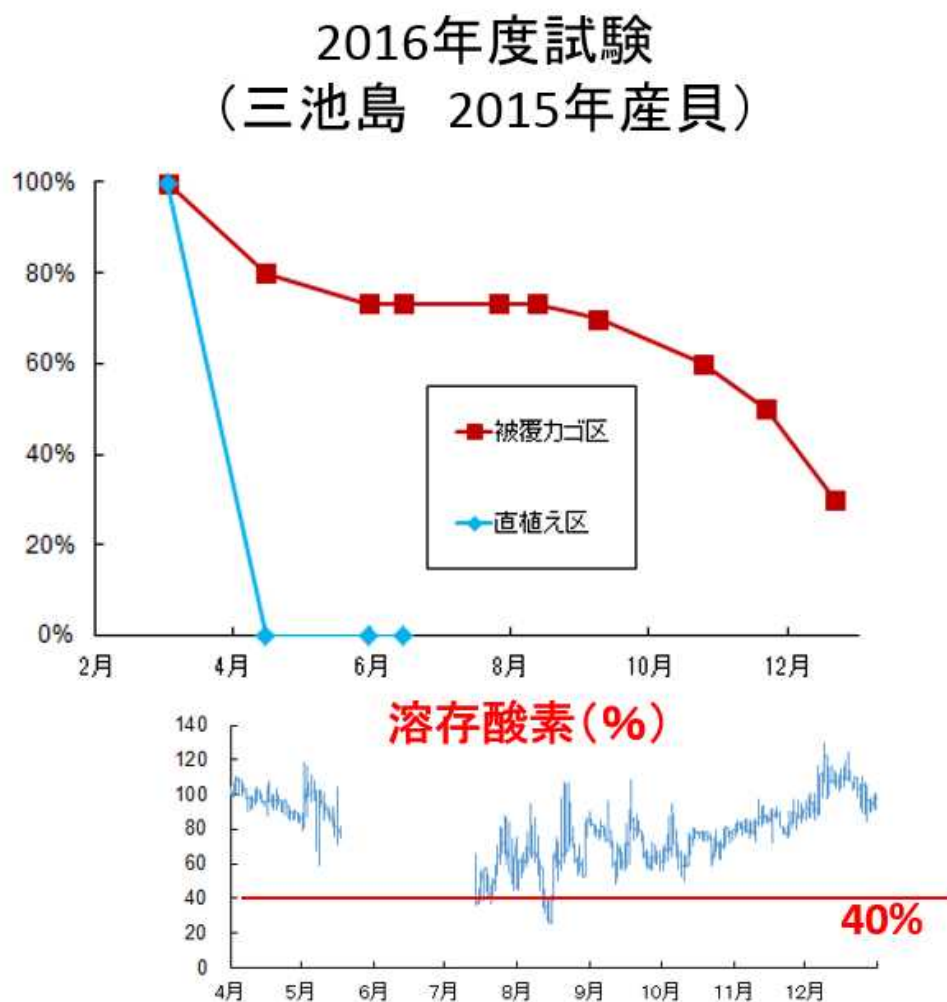


図 6.1-8 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2016(平成 28)年度, 三池島)

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2016(平成 28)年級群 0～1歳貝の直植え区、被覆カゴ区、育成ネット区、上架カゴ区の稚貝の生残率の推移、及び海底直上と海底上 1m の酸素飽和度の推移を図 6.1-9 に示す。

直植え区は夏期までに全滅した。7～8 月にかけて長期間の貧酸素状態にあったものの、被覆カゴ区は顕著なへい死はみられなかった。海底上 1m(三池島)においても貧酸素状態であったものの、育成ネット区、上架カゴ区もへい死は認められなかった。

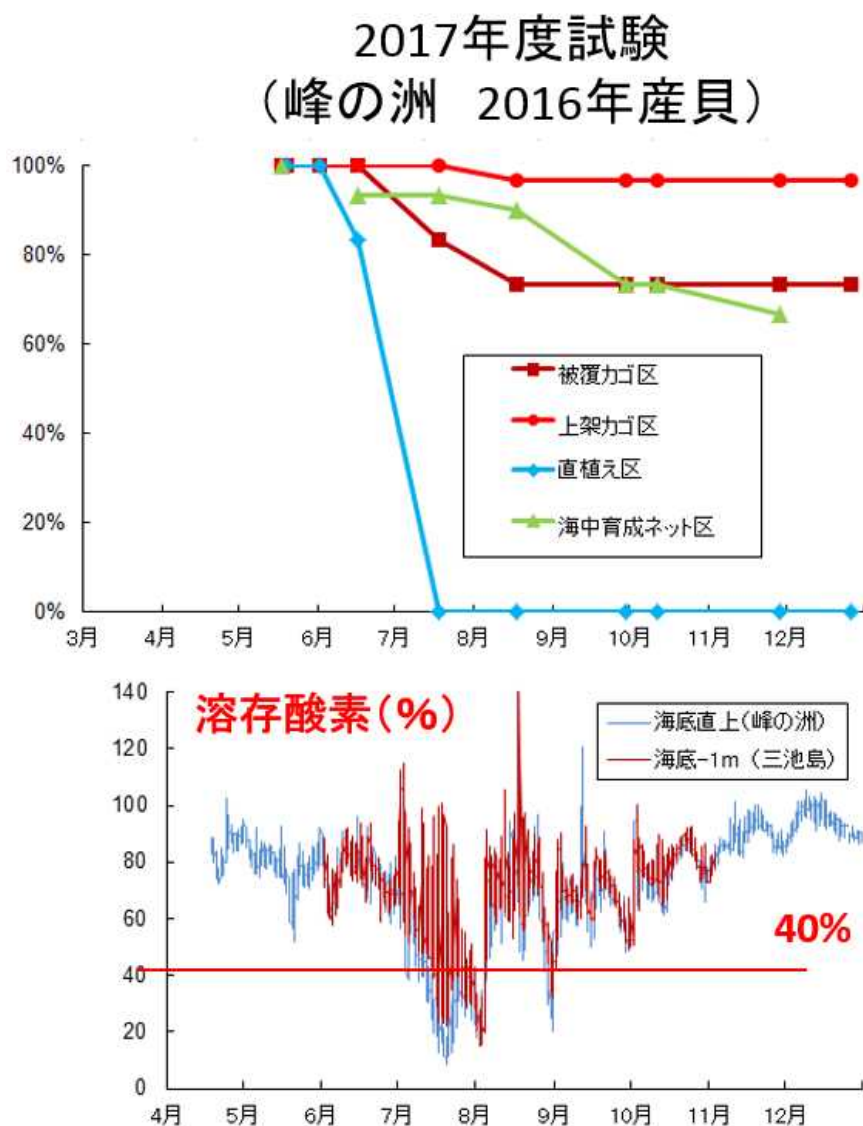


図 6.1-9 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2016(平成 28)年度, 峰の洲)

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2016(平成 28)年級群 0～1歳貝の直植え区、被覆カゴ区、育成ネット区、上架カゴ区の稚貝の生残率の推移、及び海底直上と海底上 1m の酸素飽和度の推移は図 6.1-10 に示す。直植え区は夏期までに全滅した。6～8 月にかけて長期間の貧酸素状態にあったものの、被覆カゴ区は顕著なへい死はみられなかった。また、育成ネット区、上架カゴ区においてもへい死は認められなかった。

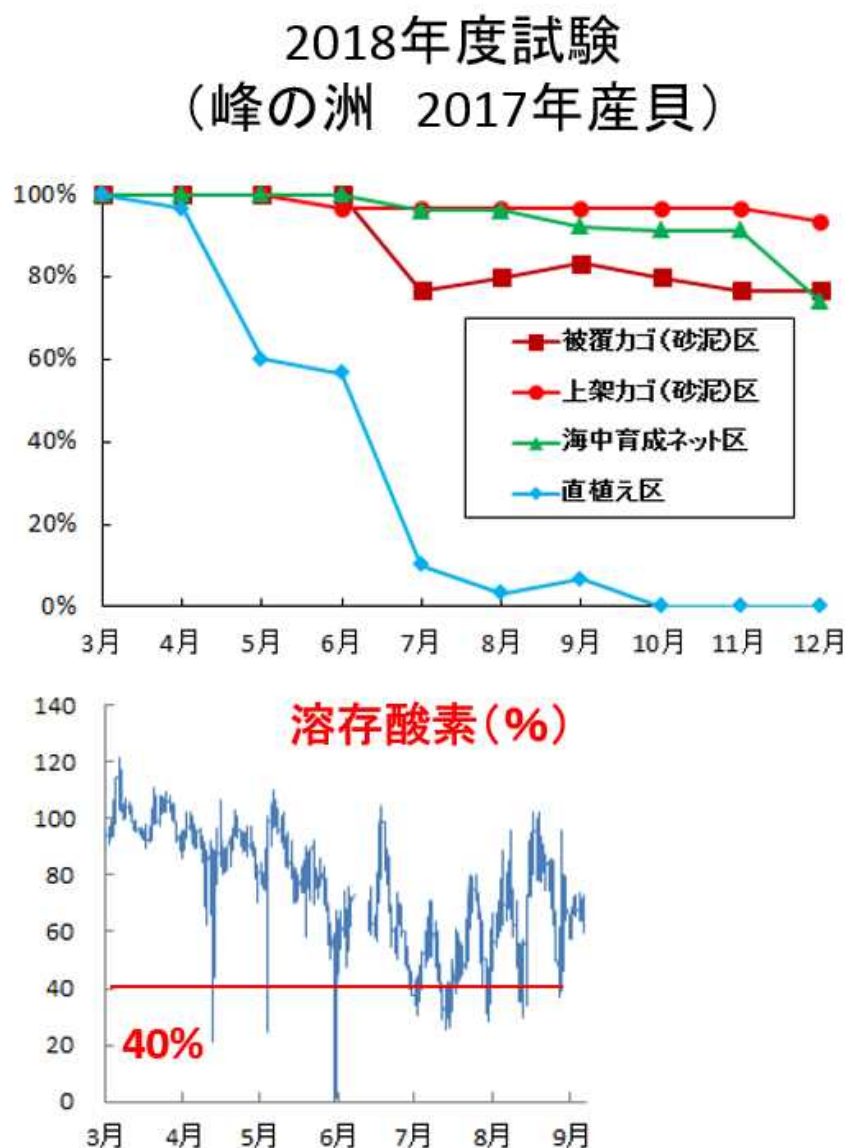


図 6.1-10 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2018(平成 30)年度, 峰の洲)

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2015(平成 27)年度から 2018(平成 30)年度までの 4 年間の試験結果を表 6.1-2 に示す。4 年間の試験の結果、直植え区はいずれの年も夏期までに食害により全滅した。被覆カゴ区においては、2015(平成 27)年度、2016(平成 28)年度に長期の貧酸素化現象は観察されなかったものの、移植タイラギのへい死が認められ、2016(平成 28)年度、2018(平成 30)年度には酸素飽和度が 40%を下回る貧酸素がみられたものの、移植したタイラギはこの期間生残していた。これは、平成 28 年度委員会報告の図 4.4.42 で示された、A2 海域におけるタイラギ大量死と溶存酸素との関係と同様に、立ち枯れへい死様現象は必ずしも貧酸素だけでは説明できないことを引き続き示しているといえる。一方、育成ネット区、上架カゴ区においては、顕著なへい死は認められなかった。

表 6.1-2 三池島東における 4 年間の移植試験結果

試験年度	試験場所	夏季の貧酸素	直植え区の へい死(春期)	被覆カゴ区の へい死(秋期)	育成ネット・ 上架カゴ区のへい死
2015 2014産貝	三池島	海底直上では短期が数回 海底-1mではほぼ無し	あり	あり	なし
2016 2015産貝	三池島	短期	あり	あり	—
2017 2016産貝	峰の洲	海底直上・-1mとも長期	あり	なし	なし
2018 2017産貝	峰の洲	短期が数回	あり	なし	なし

出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 4 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

有明海におけるタイラギ減耗要因を解明するために、過去に多くの移植試験が取り組まれている^{3), 4)}。これまでの試験では、移植タイラギの多くは原地盤に直接移植されていたため、減耗要因として食害の影響等を含んでいることが推察され、食害と立ち枯れへい死による減耗、あるいは水質と底質の影響を定量的に区分することが困難であり、海域環境とタイラギとの関係を必ずしも明確にできていない。こうした問題点を解明するため、複数の移植方法を組み合わせることで、食害の影響とタイラギ立ち枯れへい死との関係を区分し、これらの個体の成長・生残及び環境要因との関係について調査を行う方法が有効である²⁾。

これらの移植試験の結果から、資源が減少してタイラギ天然貝の発生はみられないものの、移植されたタイラギ人工貝の生残状況から、タイラギの立ち枯れへい死の原因・要因は、現在の生息場でも引き続き発生していると推察された。一方で、その発生時期や要因は異なると推察される。現地海底に直植えした場合、春期から秋期にかけて急激に減耗する原因・要因としては、図 6.1-6 の直植え区の写真にあるように、イシガニ等による直接の食害が大きいと推察された。タイラギ資源の水準が低位にある状況において、わずかに残された生息域を探索しながら捕食行動を行うナルトビエイなどの捕食者は引き続き無視できないタイラギ資源の減少要因の一つと考えられる(平成 28 年度委員会報告、及び 11.エイ類等による食害の項目を参照)。

移植したタイラギの減耗が食害防止のためネットやカゴで保護すると緩やかになるが、こうして保護されたタイラギも、2015(平成 27)年及び 2016(平成 28)年の夏期から秋期に緩やかながら大量死が発生するなど、いわゆる立ち枯れへい死様現象がみられた(表 6.1-2)。この立ち枯れへい死様現象は、海底から切り離して海底直上に移植貝を静置すると、ほとんどみられなくなる。この時期の観測結果では、水温、塩分、溶存酸素濃度に致死的な変化はみられないが、海底直上は海底-1m よりも濁度が継続的に高い傾向がみられるとのデータもある。なお、他海域における既往知見では、タイラギの資源減少要因の一つとして、海域の濁度上昇が影響することが知られているため⁵⁾、これらの影響について今後再検討が必要である。なお、被覆カゴにおけるへい死が発生した 2015(平成 27)年と 2016(平成 28)年は三池島周辺で、へい死が発生しなかった 2017(平成 29)年と 2018(平成 30)年は峰の州で行われた試験であったため、近接した海域内部でもタイラギ生残率に差異が生じている可能性(図 6.1-5 で示された発生履歴の影響)も排除できない。

参考文献

- 1) 福元 亨, 梅田智樹, 荒巻 裕, 伊藤史郎, Satuito C.G., 北村 等(2017): タイラギ立ち枯れ斃死の原因究明に関する研究, 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第 28 号, pp. 57-61.
- 2) 的場達人, 吉田幹英, 上田 拓, 長本 篤, 山田 京平(2019): 海中育成ネットで育成したリシケタイラギの成熟・産卵について. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第 29 号, pp. 17-23
- 3) 石田祐幸, 松田正彦, 上田 拓, 林 宗徳(1998): 有明海における移植タイラギの生残と成長, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第 8 号, pp. 37-42.
- 4) 吉田幹英, 伊藤輝昭, 筑紫康博(2007): タイラギの移植試験, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第 17 号, pp. 1-5.
- 5) Ellis J, Cummings V, Hewitt J, Thrush S, Norkko A (2002): Determining effects of suspended sediment on condition of a suspension feeding bivalve (*Atrina zelandica*): results of a survey, a laboratory experiment and a field transplant experiment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 267(2), pp. 147-174.

6.2 タイラギの浮泥による影響

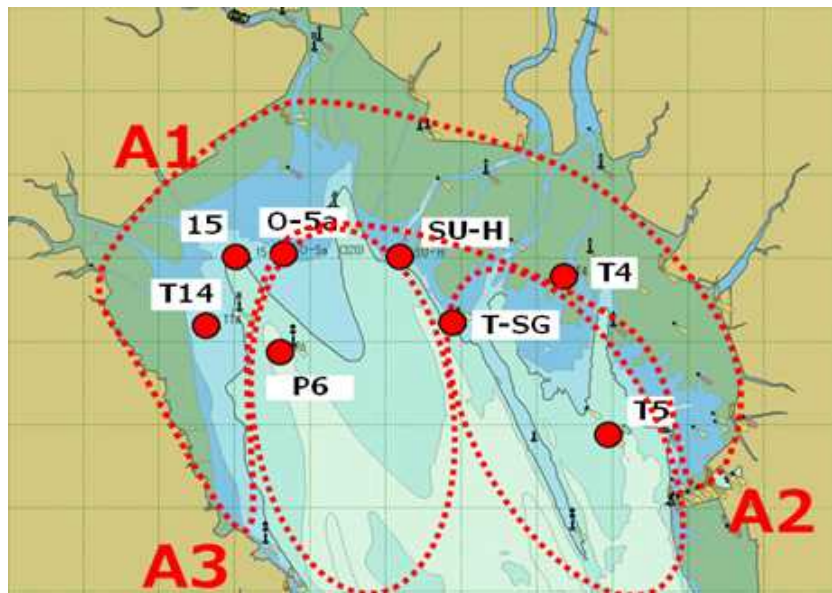
環境省では、有明海における二枚貝減少要因解明のため、これまで底質・水質等の物理環境データやタイラギの資源調査データ等を用いて様々な解析を行い、現状把握、減少要因解明等を行ってきた。ここでは、浮泥の出現調査及びその変動状況を把握するとともに、その変動要因について検討を行った結果を示す。

6.2.1 タイラギの浮泥による影響

調査は有明海奥部(図 6.2-1)において、2014(平成 26)～2019(令和元)年の夏期(6～9 月)の小潮時に毎年計 6～8 回実施した(海況等により一部欠測あり)。各定点において、潜水土によりアクリル管に不攪乱堆積物コア試料を採取し、浮泥層厚(密度法)及び酸化還元電位を測定し、分取した浮泥試料の含水率、粒度分布、クロロフィル色素含量、有機炭素・窒素含量及び安定同位体比を測定した。

浮泥層厚はアサリ、サルボウ生貝と密度($1.4\text{g}/\text{cm}^3$)がほぼ同じ塩化ビニル(PVC)の小型の円盤を用いた密度法¹⁾により測定し、二枚貝が埋没する堆積層の厚さと等しいものとした。浮泥層厚とタイラギ着底稚貝分布との間には、浮泥層厚 $\geq 8\text{mm}$ (目視)で稚貝の着底がほぼ見られないこと²⁾が示され、 $\geq 11\text{ mm}$ (密度法を用いて測定した浮泥層厚に基づく浮泥輸送モデル)で稚貝が分布しないこと³⁾が報告されていることから、浮泥層厚が 8mm もしくは 11mm をタイラギ稚貝の着底及びその後の生息環境の適・不適の基準とした。

タイラギ、アサリ、サルボウなどの二枚貝は、主に植物プランクトンを餌料として摂取していることから、浮泥中に含まれるクロロフィル色素量(クロロフィル *a*:Chl-*a*)を餌料環境の指標の 1 つと考えた。また、植物プランクトンを含む分解途中の有機物(デトリタスなど)も餌料として利用可能と考え、海起源の有機炭素量をもう 1 つの餌料環境の指標とした。海起源の有機炭素量の算出には、海起源有機炭素の安定同位体比のエンドメンバーとして有明海奥部西側の赤潮状態の植物プランクトン($\delta^{13}\text{C} = -18.5\text{‰}$)を、陸起源の有機炭素の安定同位体比のエンドメンバーとして筑後川の出水時の感潮河道域の懸濁粒子($\delta^{13}\text{C} = -24.8\text{‰}$)を用い、試料中の有機炭素量と有機炭素安定同位体比からそれぞれの起源の有機炭素量を求めた⁴⁾。



2014(平成26)年度～2019(令和元)年度(6年間):地点 T14、15、O-5a、SU-H、T5 の5点

2015(平成27)年度～2019(令和元)年度(5年間):地点 P6

2017(平成29)年度～2019(令和元)年度(3年間):地点 T4、T-SG の2点

有明海奥部における8測点で実施。各測点は平成28年度委員会報告における以下の海域区分に属する。

A1海域:地点 T14、15、O-5a、SU-H、T4

A2海域:地点 T-SG、T5

A3海域:地点 P6

なお、境界線付近の地点 O-5a、SU-H については、水深等の地理的な位置関係により A1 海域とした。

参考文献:平成26年度～令和元年度有明海・八代海等再生評価支援業務(有用二枚貝類の減少要因解明調査)報告書

図 6.2-1 有明海奥部における 2014(平成26)～2019(令和元)年夏期の浮泥調査地点図

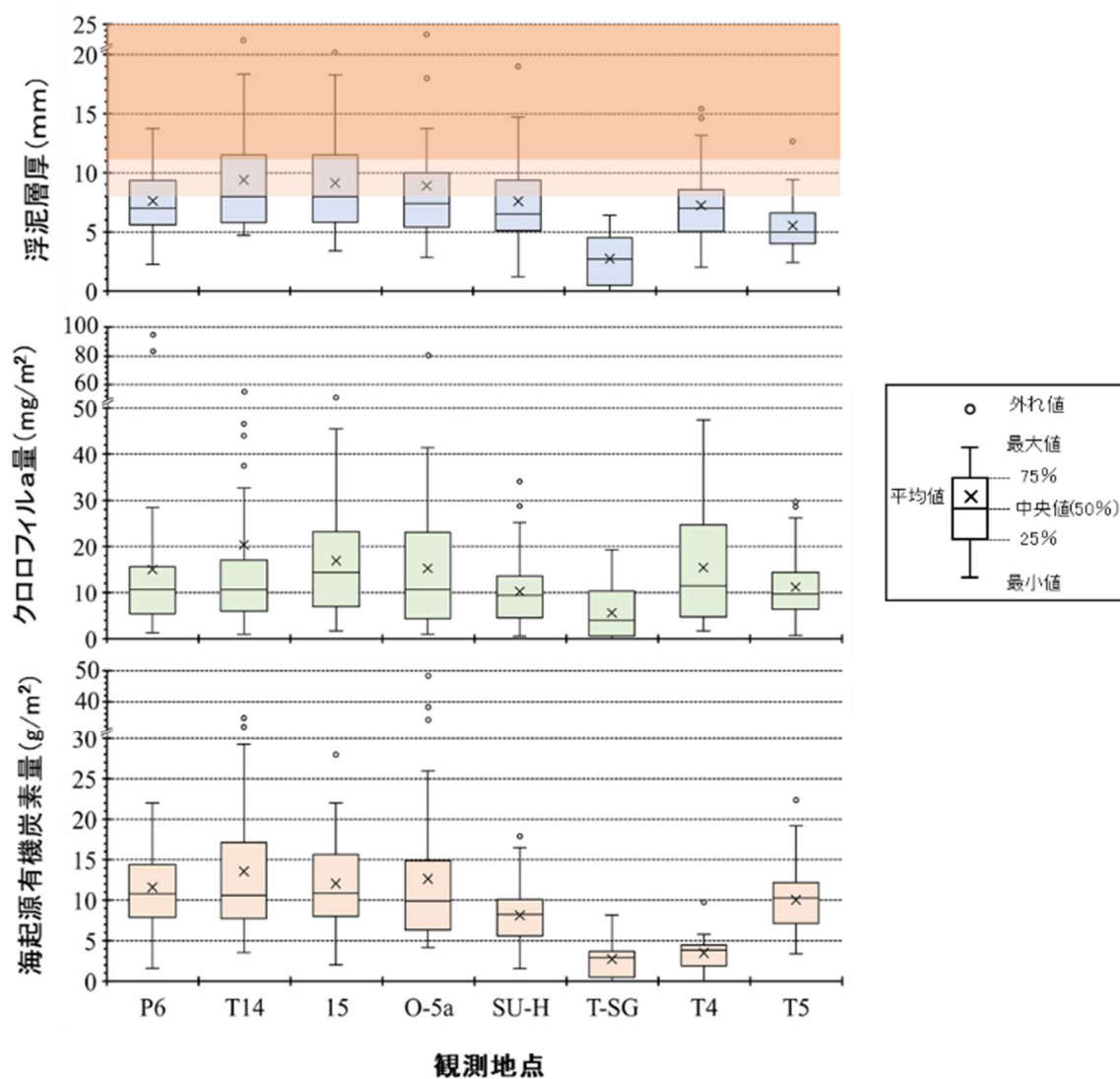
出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(1) 浮泥等の調査結果

有明海奥部において、浮泥層厚は西側(A1 及び A3 海域)及び中央海域(A1 海域)で、しばしば8mmもしくは11mmを超えている。一方、東側海域(A1 及び A2 海域)ではほとんどが8mm未満と変動幅が低く推移していた(図 6.2-2)。特にタイラギ漁場に近接した T5(A2 海域)における浮泥層厚は5mm前後と低く、地点 T-SG(A2 海域)では最も低い値を示している。浮泥層厚からみて、タイラギの着底及びその後の生息に適すると考えられる地点は、層厚が小さい T-SG、T5(A2 海域)であり、層厚が8mmを越える頻度が低い地点 T4(A1 海域)、P6(A3 海域)、SU-H(A1 海域)がこれに続くと考えられる。

一方で、浮泥の増加は着底期から稚貝期にかけてのタイラギにとって、埋没という物理的に負の要因と考えられるが、有機物との複合体を含んでいることから、タイラギも含め、沈積物食動物としての側面のある二枚貝にとっては餌料として機能することも想定される。そこで、浮泥中における餌料として有効な成分としての Chl-a の含量については、奥部西側海域(A1 海域)の地点 15、O-5a で高く、地点 T14 では中央値は低いものの、特異的に高くなることが散見され

た。東側のうち地点 T4 (A1 海域) は高い傾向にあった。浮泥層厚が最も低かった地点 T-SG (A1 海域) では、Chl-a 量が最も低い値を示した。同様に、海起源有機炭素量を測定した結果について参照すると、奥部西側海域 (A1 海域) の地点 T14、15、O-5a で高い値を示し、西側の地点 P6 (A3 海域)、中央の地点 SU-H (A1 海域)、東側の地点 T5 (A2 海域) がこれに続いた。一方、東側の地点 T-SG (A2 海域)、T4 (A1 海域) では低い値を示した。



注) 図中のうす橙色、橙色はそれぞれ浮泥層厚 8 mm 以上、11 mm 以上を示す

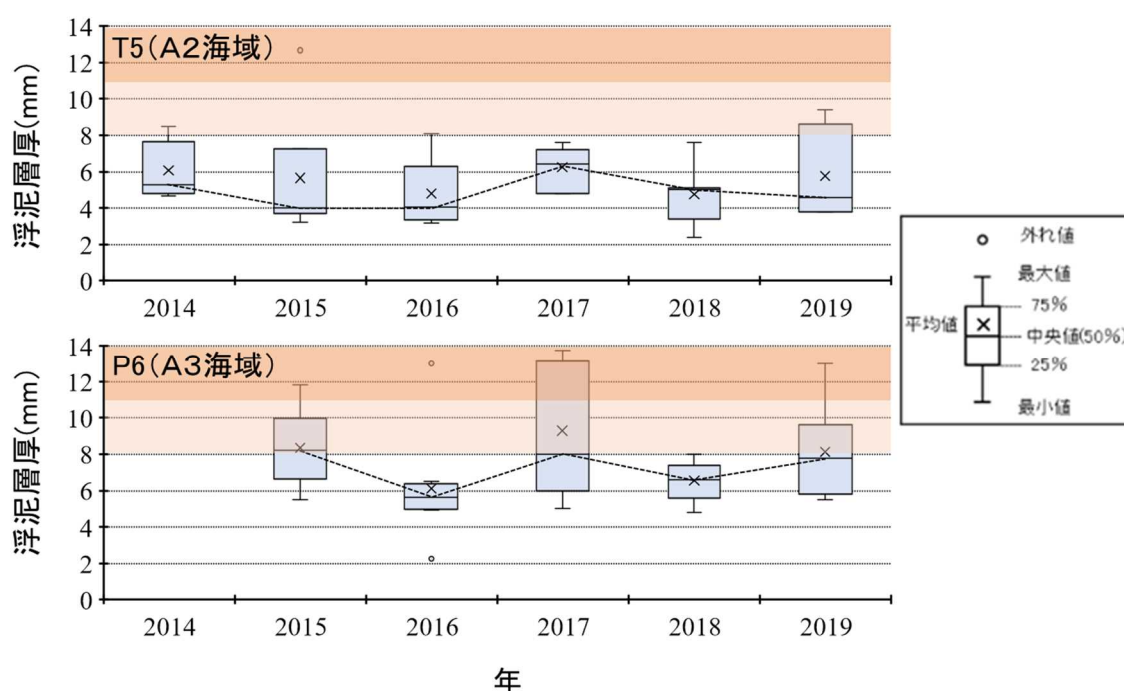
図 6.2-2 有明海奥部における 2014(平成 26)～2019(令和元)年夏期の浮泥層厚、クロロフィル a 色素量、海起源有機炭素量の地点別の変動

出典: 環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 4 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 浮泥層厚の経時変化

餌料として浮泥を評価した場合、A1 及び A3 海域が Chl-*a* もしくは海起源有機炭素量が高い傾向にあり、A2 海域は Chl-*a* 量、海起源有機炭素量ともに低い(図 6.2-2)。

浮泥層厚、二枚貝の餌として機能する有機物含量の双方の観点から検討した場合、タイラギ着底稚貝にとって、浮泥層厚が 5mm 前後で推移している奥部東側の地点 T5(A2 海域)が最適と評価され、次に浮泥層厚が 8mm を越える頻度が低く、餌料環境も比較的良好な地点 P6(A3 海域)、SU-H(A1 海域)がこれに続くと評価された。タイラギ着底稚貝の生息に適していると考えられた地点 T5 と P6 について、2014(平成 26)年以降の浮泥層厚の年変動を年別にみると、地点 T5 では 2019(令和元)年のみ 75%値が 8mm を超えているのに対して、地点 P6 では 2016(平成 28)年、2018(平成 30)年以外は、75%値が大きく 8mm を超えている(図 6.2-3)。また、今回の観測期間では、地点 P6 で台風接近による強い風浪によって干潟域から洗掘等によって運ばれた軟泥が大量に堆積する事例(2016(平成 28)年、2018(平成 30)年)がみられ、タイラギ稚貝だけでなく成貝も埋没して死亡する可能性が考えられ、実際にはタイラギが継続して生息するには厳しい環境にあることが推察される。また、地点 T4 については、筑後川の河口沖合域に位置し、出水時には大量の河川由来の土砂によって設置した測機等が埋没するなどの事象が観測されており、同地点も地点 P6 と同様に継続的な生息には厳しい環境にあると考えられる。



注) 図中のうす橙色、橙色はそれぞれ浮泥層厚 8 mm 以上、11 mm 以上を示す

図 6.2-3 有明海奥部の地点 T5(A2 海域)、P6(A3 海域)における 2014(平成 26)～2019(令和元)年夏期の浮泥層厚の経時変化

出典: 環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

6.2.2 今後の課題

本調査においては、浮泥の質の評価、特に餌料の指標として用いた Chl-*a* 及び海起源有機炭素について、実際にタイラギの成長・生残にどの程度影響するのか明らかにできなかった。従って、今後はタイラギを用いた室内実験等で影響を把握し、餌料環境を評価する際の基準を決める必要がある。また、タイラギ稚貝の分布が、具体的にどのステージ(着底時、着底後)に、浮泥の何(層厚、成分)によって制限されているかを室内実験等で把握するとともに、現在も着底稚貝が頻度高く観測される海域において、浮泥の特性と着底稚貝の成長・生残との関係を検討する必要がある。さらに、これまでの静的な浮泥(堆積)だけでなく、動的な浮泥(再懸濁粒子)がタイラギの生活史ステージ別の生残・成長等に及ぼす影響も検討する必要がある。

餌料環境の評価に関して、クロロフィル量による評価以外の検証方法が必要と判断される(懸濁粒子の質的評価)。

参考文献

- 1)水産総合研究センター, 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説明等調査), pp. 212.
- 2)古賀秀昭, 荒巻 裕(2013):佐賀県有明海におけるタイラギ漁業の歴史と漁場形成要因―特に 2009 年度漁期の豊漁要因についてのいくつかの考察―. 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 第 26 号, 13-24.
- 3)速水祐一, 永尾謙太郎, 岡村和麿, 竹内 一浩(2017):数値シミュレーションによるタイラギ着底稚貝に及ぼす浮泥厚の影響評価. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73(2), p. 11309-11314.
- 4)Fry, B., Scalan, R.S. And Parker, P.L. (1997): Stable carbon isotope evidence for two sources of organic matter in coastal sediments: seagrasses and plankton. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 41, 1875-1877.

6.3 有明海奥部における COD による餌料環境とその長期変動の推定

環境省では、有明海の有用二枚貝類の保全・回復を図ることを目的とし、二枚貝類の生息環境モニタリングや餌料環境の長期変化の把握・変動機構解明に向けた検討等を実施した。有明海奥部海域では 1970(昭和 45)年代から 1990(平成 2)年代前半にかけて貧酸素化が進み、同時期に COD は増加していた。これは有機物量増加による酸素消費量増加が貧酸素化進行の原因の一つであったことを示唆する。そこで、この時期に有明海奥部において COD が増加した原因の解明に向けた検討を行うこととした。まず、有明海奥部海域におけるタイラギの餌料環境の長期変動を把握するためにボックスモデル解析による検討を実施した。さらに、餌料環境の指標として COD を用いたタイラギの生残率との関係について検討した結果についても報告する。

6.3.1 資料と方法

(1) ボックスモデル解析

有明海奥部(A1、A2、A3 海域)において、主要流入 4 河川のあるエリアとそれよりも南の湾口側エリアの 2 つのボックス(図 6.3-1)を設け、ボックスモデルによって塩分・COD の収支を計算した。

解析には、佐賀県有明水産振興センターと福岡県水産海洋技術センター有明海研究所が基本的に毎月 1 回朔の大潮に実施している浅海定線調査データを用いた。データの期間は 1981(昭和 56)年度から 2014(平成 26)年度までである。また、河川流量・COD 負荷量データとして、手塚ら(2013)の 1981(昭和 56)～2010(平成 22)年のデータセットに 2014(平成 26)年までのデータを追加したものを用いた¹⁾。

10 年スケールの変動を調べるために、連続する 11 年間の平均場について解析を行った。Box1 中の塩分量は、河川流量・拡散による海水交換・Box2 への移流によって変化する。このうち河川流量・移流量はデータから求めることができる。そこで、Box1 内の塩分収支を計算することで Box1 と Box2 間の海水交換量 q を求めた。次に Box1 内の COD の収支を計算した。Box1 中の COD 量は、陸域負荷・Box1 と Box2 間の海水交換による輸送量・Box2 への移流による輸送量・Box1 内での内部生産によって変化する。このうち内部生産以外はデータと上記の q から求めることができる。そこで、Box1 内の COD の収支を計算することで COD の内部生産量 R を求めた。ここで内部生産量とは正味の COD の生産量のこと、[基礎生産による COD の生産量-消費量]である。Box モデル解析の模式図は図 6.3-2 に示すとおりである。

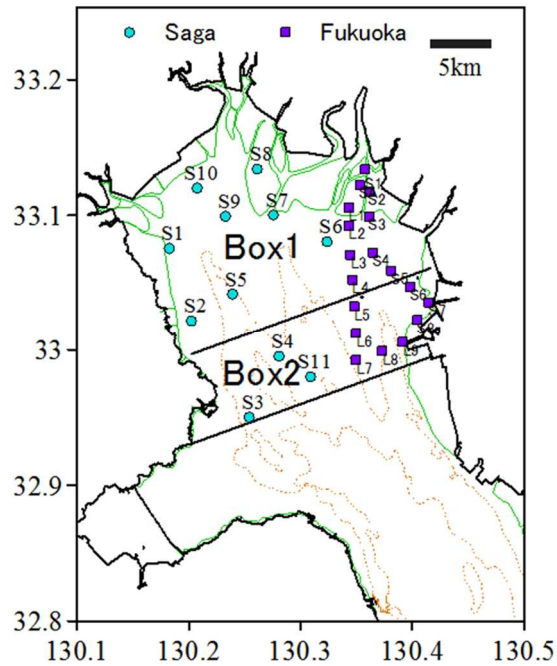


図 6.3-1 ボックスモデルに用いた浅海定線調査の測点位置とボックス区分

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

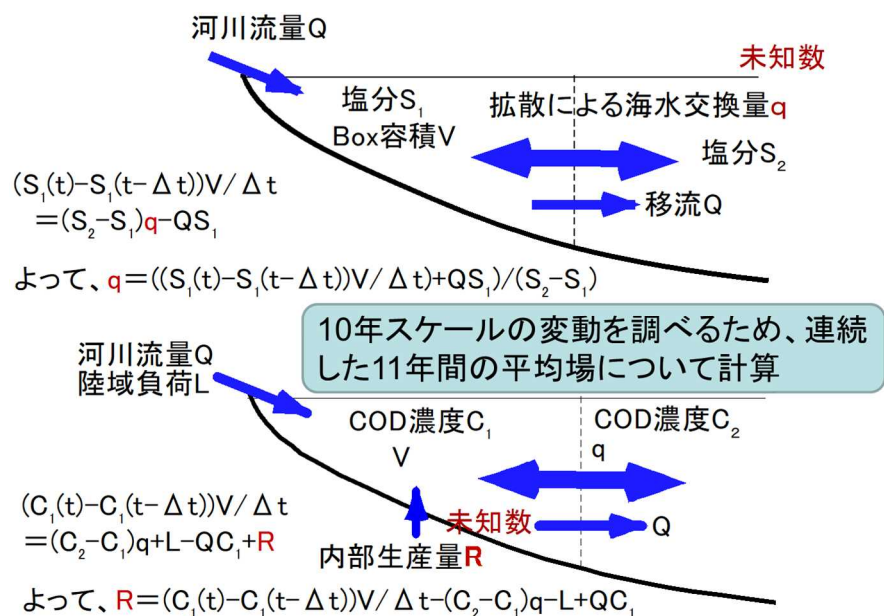


図 6.3-2 Box モデル解析の模式図

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 夏季(7・8月)の COD 増加要因の解析²⁾

夏季の Box1 における COD の増加要因として推定されるものは以下の 4 つである。

1. 初期値(6月の値)の増加
2. 内部生産量の増加
3. 海水交換・移流による流出の減少
4. 陸域からの負荷量の増加

ボックスモデルによる解析によりこれらのうちどの要因が COD 増加に寄与したのか評価した。

(3) COD 季節変化の長期変動とその要因の解析

上記と同じ浅海定線調査データを用いて、Box1 の平均 COD の季節・経年変化を調べた。さらに経年変化の原因を検討するために上記と同じくボックスモデルによる解析を行った。10 年スケールの変動を解明するために連続する 11 年の平均値について解析した。Box1 の COD の増加減少要因として推定されるものは以下の 3 つである。

1. 内部生産量の増加
2. 海水交換・移流による流出の減少
3. 陸域からの負荷量の増加

ボックスモデルによる解析によりこれらのうちどの要因が COD 増加・減少に寄与したのか評価した。

(4) 餌料環境としての COD の評価調査

二枚貝の餌料の指標としては、植物プランクトン量の指標であるクロロフィル *a* を用いることが望ましい。しかし、有明海ではクロロフィル *a* は長期のデータがないため、代わりに有機物量の指標である COD について解析を行ってきた。ただし、COD を餌料指標とすることの妥当性は十分に検証されていない。COD は二価鉄など有機物以外の被酸化物質の影響も受けるため、厳密には有機物量でもない可能性がある。そこで、2018(平成 30)年 2 月から 2019(令和元)年 2 月までの期間、毎月 1 回、佐賀県有明水産振興センターによる浅海定線調査の測点のうち 8 点で層別採水を行い、POC(粒状態有機炭素)、DOC(溶存有機炭素)、クロロフィル *a* の分析を行い COD の値と比較した。佐賀県浅海定線調査測点配置と採水位置は図 6.3-3 に示すとおりである。

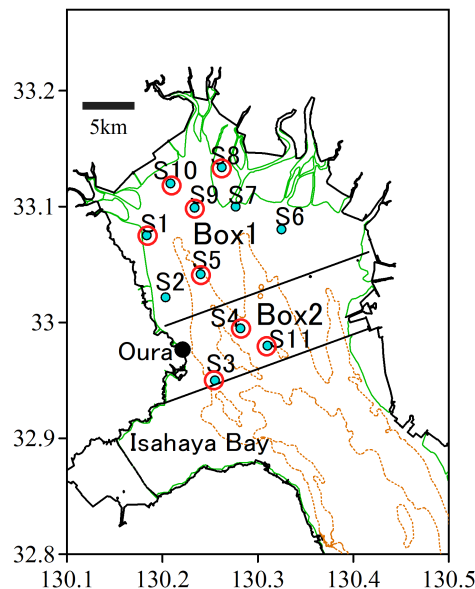


図 6.3-3 佐賀県浅海定線調査測点配置と採水位置(赤丸が採水点)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(5) 餌料環境としての COD の評価調査

長期的なタイラギの生残率の変動について検討するために、佐賀県が有明海奥部の 55 点で実施しているタイラギ稚貝・成貝調査(タイラギ資源量調査)のデータと、ボックスモデルで解析したものと同一浅海定線調査データを解析した。佐賀県有明水産振興センターによるタイラギ資源量調査の測点位置は図 6.3-4 に示すとおりである。

佐賀県有明水産振興センターが毎年基本的に 10 月に実施しているタイラギ資源量調査(55 点調査)と、佐賀県有明水産振興センターおよび福岡県水産海洋技術センター有明海研究所が毎月 1 回実施している浅海定線調査のデータを解析に用いた。タイラギ資源量調査では、各定点で 100m ロープを潮流方向に張り、ロープ沿いの幅 1m の範囲内に見られたタイラギをダイバーによって採取することで行われている。採取されたタイラギは殻長によって着底稚貝(当歳貝)と成貝(1 歳貝以上)に分けられている。本調査では、稚貝については 1996(平成 8)年以降のデータしか無いため、1996(平成 8)年から 2016(平成 28)年までのデータを解析に用いた。

このデータでは、各点におけるタイラギの個体数は変動が大きく、しかもゼロである場合が多かった。ほとんどの測点で、稚貝の着底が認められたのは 21 年間の内 9 回以下であった。0 個体の点は除いて、 $\log$ (平均稚貝密度)と稚貝発見年数の関係を調べたところ、有意な正の相関($r = 0.65$)が得られた。さらに、全期間の稚貝発見回数の分布を調べたところ、湾奥南東部から湾奥中央部にかけて高い値となっていた。以降、この海域をタイラギ高頻度着底海域と呼ぶ。稚貝の着底自体が少ない海域について、生存状況と環境との関係を検討するのは難しい。そこで本研究では、高頻度着底海域に絞って解析を実施した。高頻度着底海域に含まれる 12 定点について、下記の式で表される値をタイラギの生残率とした。

$$\text{生残率} = \frac{\text{翌年の成貝発見点数}}{\text{稚貝発見点数}} \times 100$$

こうして得られたタイラギの生残率と餌料環境の指標として COD の関係について検討した。

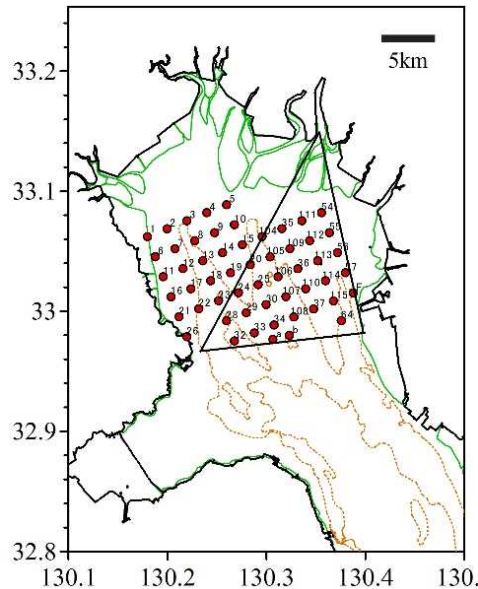


図 6.3-4 佐賀県有明水産振興センターによるタイラギ資源量調査の測点位置

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

6.3.2 調査結果

(1) 夏季(7・8月)の Box1における COD の収支の経年変化

COD の初期値、内部生産量、移流及び海水交換による輸送量、陸域負荷量の経年変化は図 6.3-5 に示すとおりである。

1980(昭和 55)～1990(平成 2)年代について、COD 初期値(6 月の COD 濃度)は 1986(昭和 61)～1988(昭和 63)年にかけて増加したが、その後は減少していた。海水交換による流出量は増加(マイナスの値は流出を示す)していた。移流による流出量は横ばいであった。陸域負荷についても横ばいであった。一方で、内部生産については増加していた。これらのことから、初期値、海水交換、移流、陸域負荷はいずれもこの時期の COD 増加の原因にはなっておらず、内部生産のみが寄与していたと考えられた。Box1 から Box2 への COD 流出量は増加傾向にあったが、内部生産がそれ以上に増加していたことがこの期間の COD 増加の原因であったと考えられた。このことから、Box1 において有機物の生産が増加した(基礎生産の増加等)、有機物の消費が減少した(二枚貝等による捕食量の減少等)のいずれか、あるいは両方が同時に起きていたと考えられた。

ただし、夏季のうち、7 月の COD 内部生産の値は大きな負の値になることが多かった。これは Box1 内での消費や Box 外への流出が多いというよりも、河川からの COD 負荷量が過小評価になっているためではないかと考えられる。7 月の出水時には河川感潮域から Box1 に大量の懸濁物とともに有機物、COD も流入すると考えられる³⁾。しかし本モデルで扱っている陸域負荷は順流域の分だけであり、河川感潮域起源の有機物負荷量を評価できていないために過小評価になっていると考えられる。ただし、経年変化における COD 内部生産の増減については本モデルで十分に解析可能であると考えられる。

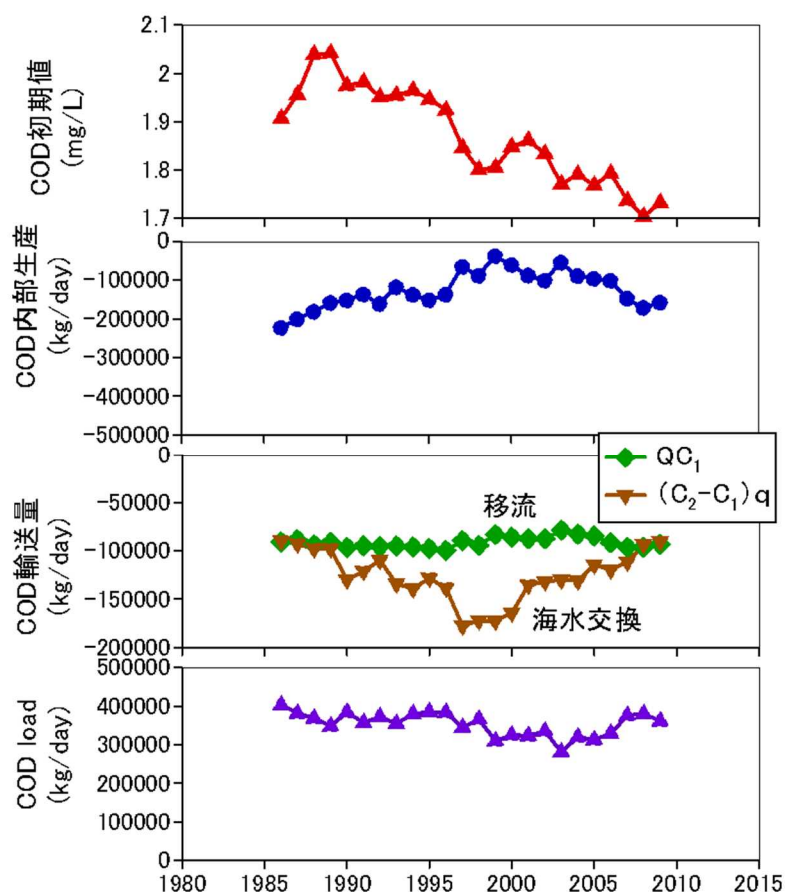


図 6.3-5 COD の初期値、内部生産量、移流及び海水交換による輸送量、陸域負荷量の経年変化

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(2) 夏季以外の季節における COD 減少要因の解析

Box1 の平均 COD 季節変化の経年変化を図 6.3-6 に示す。夏季の COD の値は 1986(昭和 61)年以降継続的に増加していた。一方で、それ以外の季節については 1990(平成 2)年代以降減少しており、近年の 12 月は最も低い値となっていた。

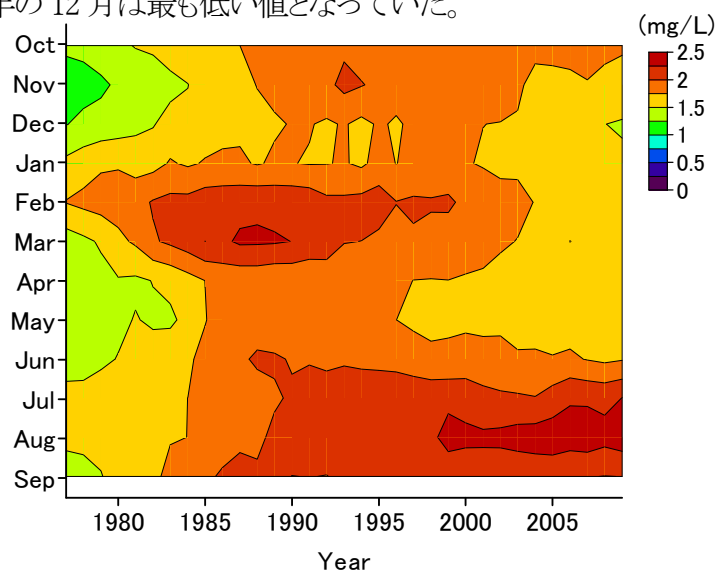


図 6.3-6 Box1 の平均 COD 季節変化の経年変化

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

このような COD の減少が生じた原因について Box モデルで検討した。その結果、COD 減少の主な要因は Box1 の内部生産の減少であった。図 6.3-7 に Box1 の COD の内部生産季節変化の経年変化を示す。秋冬季～春季(10 月～5 月)の Box1 の COD 内部生産は 1990(平成 2)年代から近年にかけて減少していた。内部生産の減少は 3 月に最も大きく、3 月の COD 内部生産量は約 20 年間で 1/4 に減少していた。COD 内部生産の減少は、基礎生産の減少、捕食量の増加のいずれか、あるいは両方によって生じる。有明海奥部における主要な有機物捕食者は二枚貝類だと考えられるが、1990(平成 2)年代から現在にかけて二枚貝の漁獲量は減少しており、二枚貝類の捕食圧が増加したとは考えにくい。したがって、この結果は有明海奥部では 1990(平成 2)年代以降に基礎生産量が減少した可能性を示唆している。

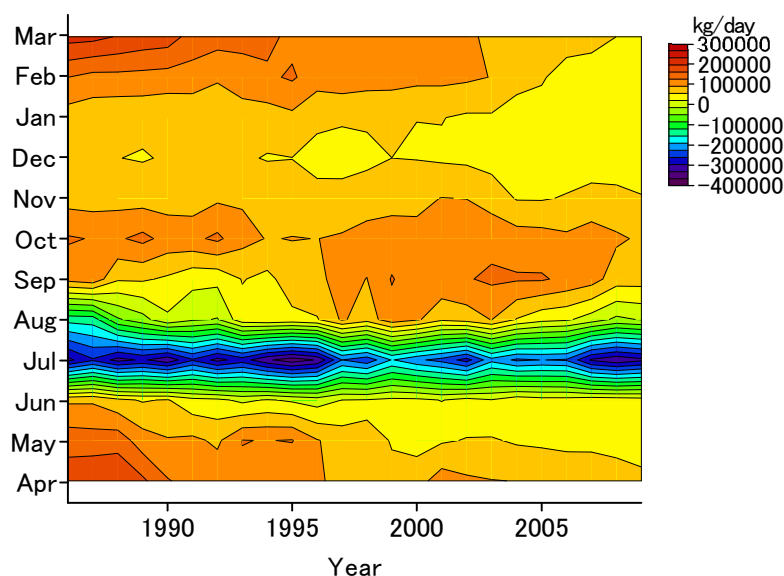


図 6.3-7 Box1 の COD 内部生産量季節変化の経年変化

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(3) 餌料環境の指標としての COD の検討

餌料環境として COD を用いることの妥当性について検討した。図 6.3-8 に Box1 の COD とクロロフィル *a*、POC の関係を示す。いずれも Box 平均値である。その結果、COD とクロロフィル *a*、COD と POC の間には弱いながらも有意な正の相関があった。このことから、有明海奥部では空間的にある程度のデータを平均した場合には COD は餌料環境の指標としてみなせると判断された。

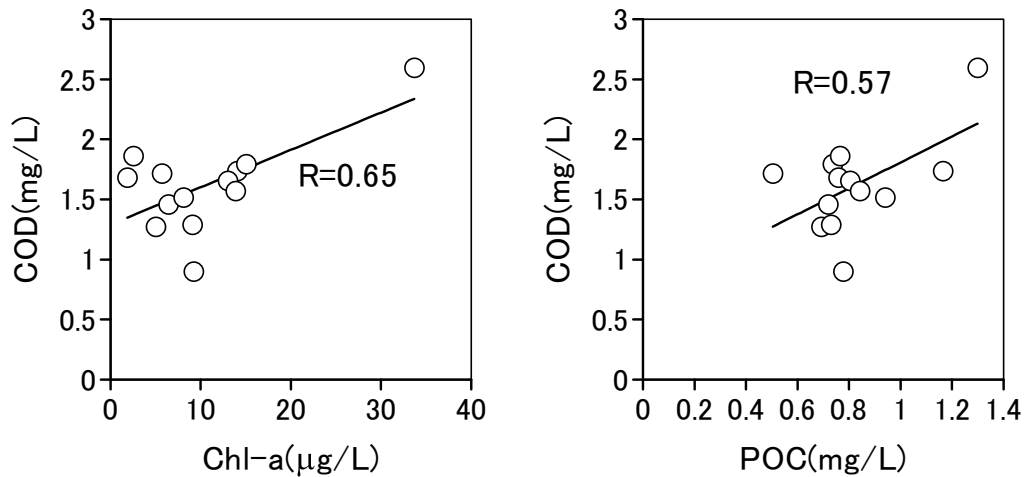


図 6.3-8 Box1 の平均 COD とクロロフィル *a*、POC の関係

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(4) 餌料環境としての COD とタイラギの生残との関係

全データ期間のうち、測点別のタイラギ稚貝確認回数の空間分布を図 6.3-9 に示す。本調査期間においてタイラギ資源は既に低迷しており、多くの測点において 21 年間のうちでタイラギ稚貝が確認されたのは 6 回以下であった。その中で、東側の紫色の枠で示す海域において比較的高い頻度で稚貝の着底が確認された。そこで、この四角で囲まれた海域をタイラギ高頻度着底海域とよぶ。以降では、高頻度着底海域における餌料環境とタイラギの生残との関係について検討した結果を示す。

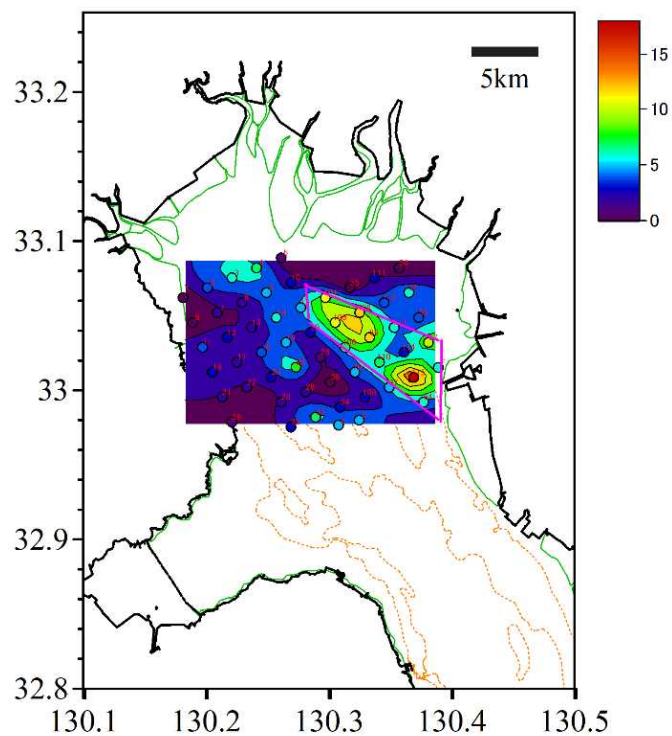


図 6.3-9 タイラギ稚貝確認回数の空間分布

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

高頻度着底海域におけるタイラギ生残率の変化を図 6.3-10 に示す。1996(平成 8)年は 400%となっているが、これは着底稚貝より成貝の発見点数が 4 倍も多く確認されたことを示している。稚貝の調査初年で精度がまだ十分でなかった可能性もあるため、この年は除いて解析を行った。年により生残率=0%(成貝数=0)の場合もあるが、全体として生残率は変動しながら減少傾向にあった。そこで、この生残率の値と餌料環境の指標である COD の経年変動について関係性を検討した。解析にあたっては、10 月以降の COD と翌年 10 月における生残率との相関を検討し、どの時期(期間)の COD が最も高い相関を持つか調べた。

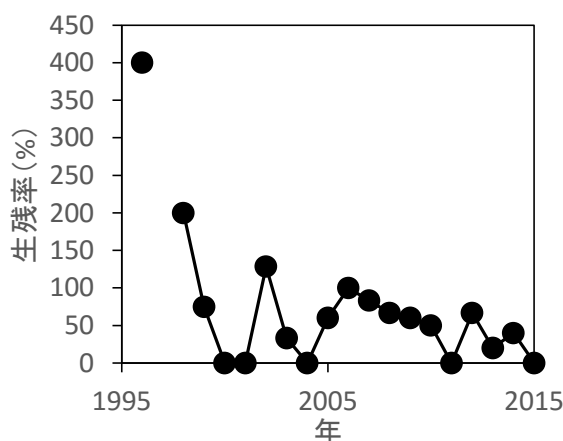


図 6.3-10 高頻度着底海域におけるタイラギ生残率の変化

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

高頻度着底海域におけるタイラギの生残率と COD の関係を図 6.3-11 に示す。縦軸は相関をとった COD データの開始月、横軸は COD データの平均幅を示す。例えば、縦軸が 11 月で横軸が 3 の場合は、11 月から始まる 3 ヶ月間の平均 COD とタイラギ生残率の相関係数を示す。この図から、10 月～1 月から始まる数ヶ月間において、COD 平均値とタイラギ生残率の間に正の相関がみられた。これは COD が高いと(餌料環境が良いと)タイラギ生残率も良くなることを示唆する。長期的な COD の変動とこの相関解析の結果を合わせて考えると、有明海奥部では 1990(平成 2)年代以降に秋季・冬季の餌料環境が悪化し、それがタイラギの生残率の減少に影響した可能性が示唆された。なお、餌料環境が悪いだけでタイラギがへい死するとの報告はないため、餌料環境が直接的にタイラギに影響したのではなく、餌料環境が良くない条件が続くことでタイラギの体力が落ち、日和見感染などによってへい死した可能性が考えられる。

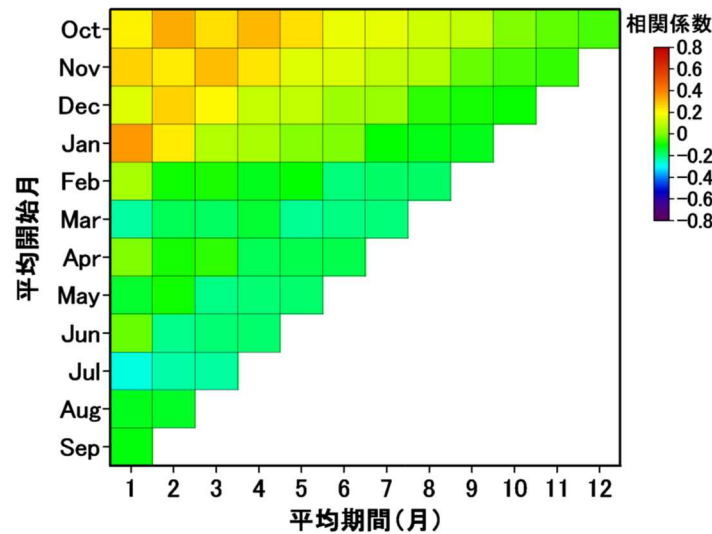


図 6.3-11 高頻度着底海域におけるタイラギの生残率と COD の関係

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

6.3.3 今後の課題

夏季の有明海奥部では 1970(昭和 45)年代から 1990(平成 2)年代前半にかけて COD が増加しており、それは内部生産の増加に起因していた。こうした COD 増加の原因についてはまだわかっておらず、今後検討する必要がある。

ボックスモデルを用いて COD 収支の解析を行うにあたっては、7月を中心にした出水時の河川感潮域からの有機物流入量の評価ができておらず、陸域負荷が過小評価となった。今後、河川感潮域と海域との間の物質輸送を評価することで、この点は改良する必要がある。

秋冬季～春季の有明海奥部では COD が減少しており、それは基礎生産の減少による可能性があることが示唆された。しかし、こうした基礎生産量減少の原因についてはまだわかっておらず、今後検討する必要がある。

今回の解析では基本的にボックス平均した値について解析を実施している。しかし、実際には植物プランクトンは表層に多く分布し、タイラギが生息する底層では低密度である。したがって、表層で生産された植物プランクトンから実際にタイラギが摂餌している物質に至るまでの輸送過程や懸濁物質の組成の変化について今後検討する必要がある。

参考文献

- 1)手塚公裕, 大串浩一郎, 緒方直人(2013):有明海における陸域負荷の長期変動の推定および赤潮発生に及ぼす流入水量の影響. 土木学会論文集 B1(水工学), 69(4), 1735-1740.
- 2)Yuichi Hayami and Naoki Fujii(2018):Decadal-scale variation in COD and DIN dynamics during the summer in the inner area of the Ariake Sea, Japan. Journal of Oceanography, Vol. 74, pp. 551-563.
- 3)鈴木啓太, 杉本 亮, 笠井亮秀, 中山耕至, 田中 克(2009):夏季の有明海筑後川の高濁度汽水域における粒状有機物の動態—河川流量の変動にともなう変化. 水産海洋研究, Vol. 73(3), pp. 149-160.