

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)

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。

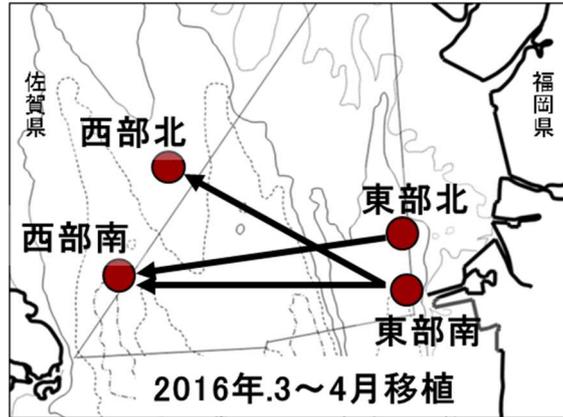


図 6.1-1 移植試験の実施海域

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」

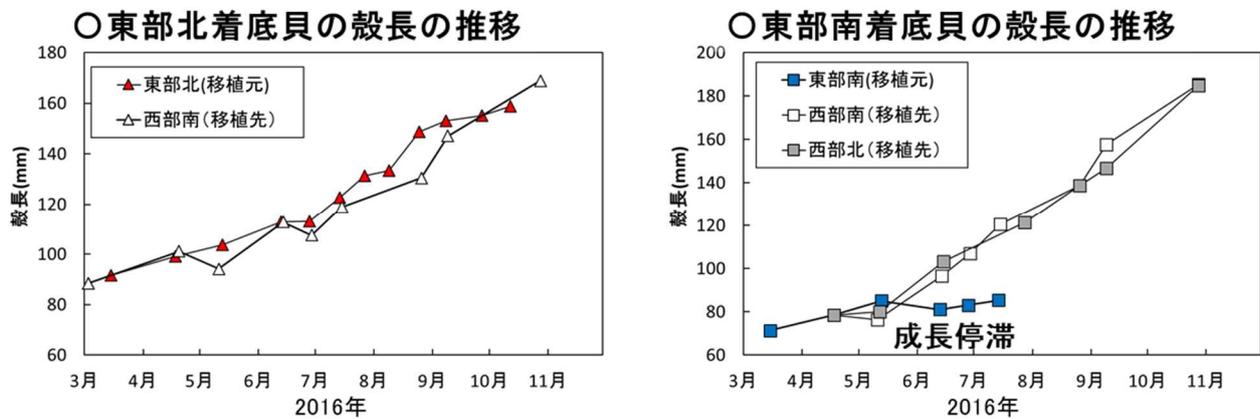


図 6.1-2 東部北の着底貝及び東部南の着底貝の殻長の推移

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。

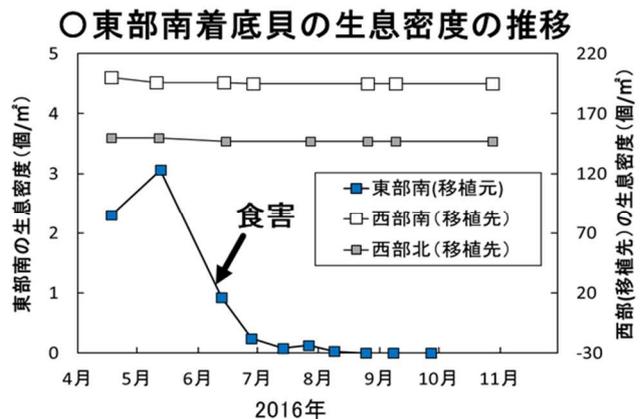
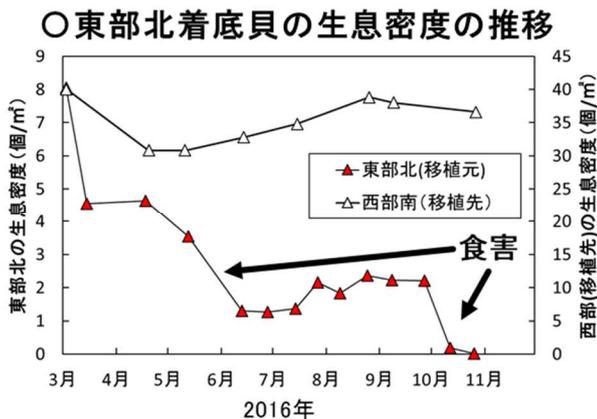


図 6.1-3 東部北の着底貝及び東部南の生息密度の推移

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成育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。

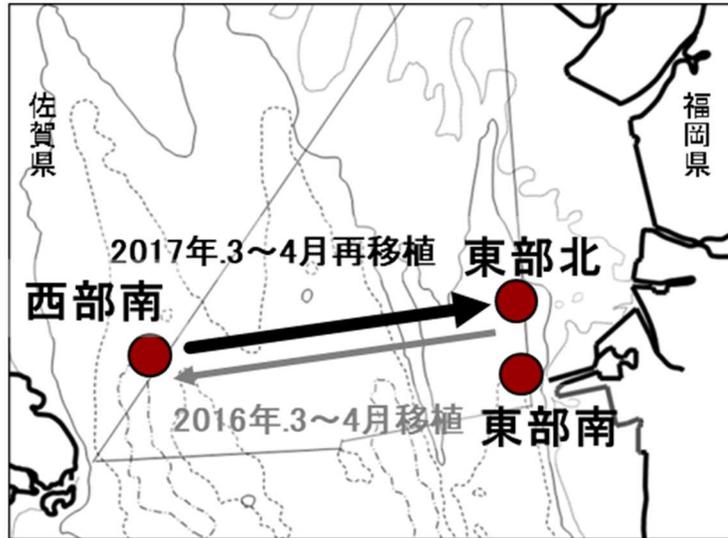


図 6.1-4 移植試験位置

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」

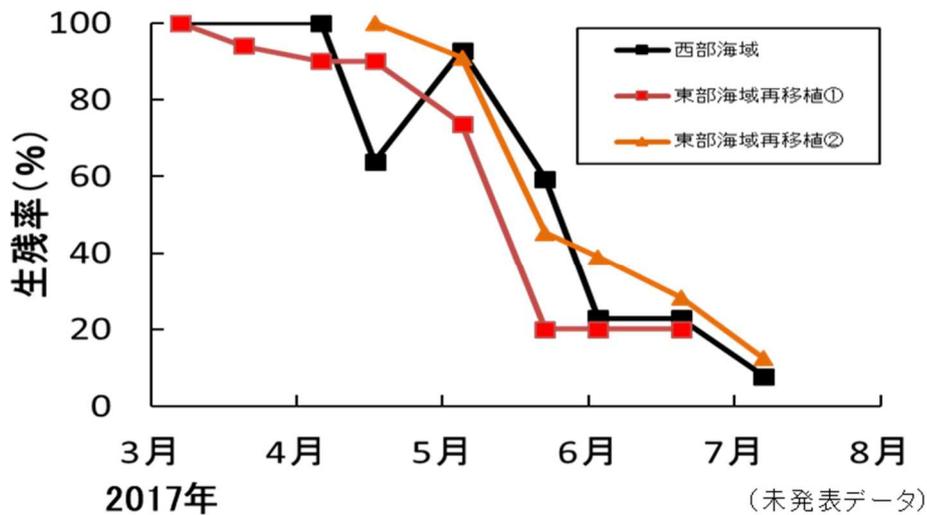


図 6.1-5 再移植タイラギの生残率の推移

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

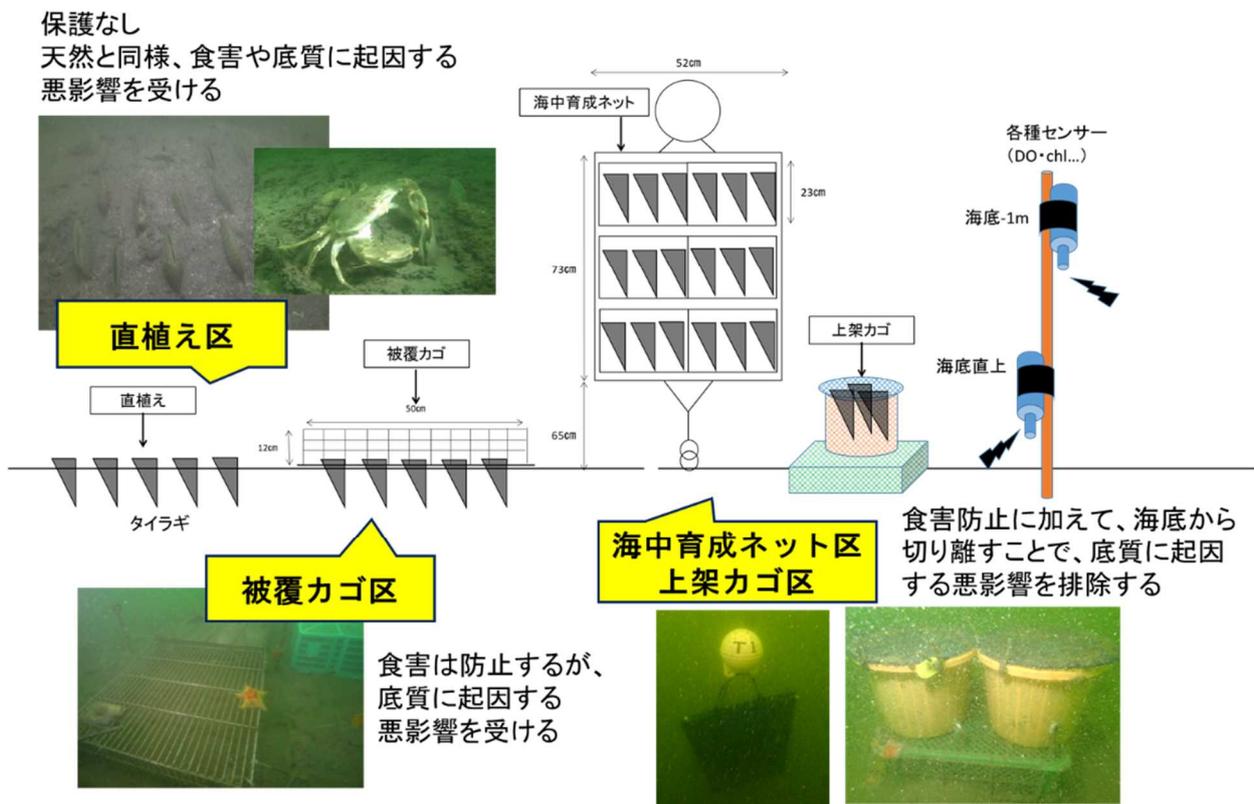


図 6.1-6 移植試験方法の概要

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。

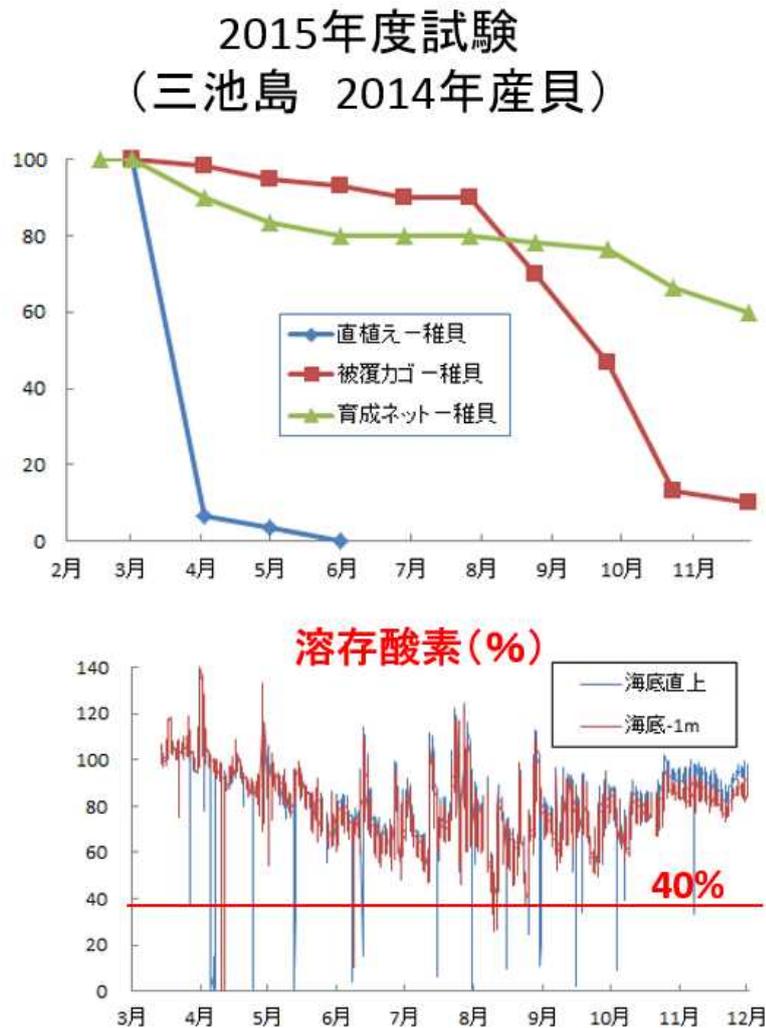


図 6.1-7 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2015(平成 27)年度, 三池島)

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。

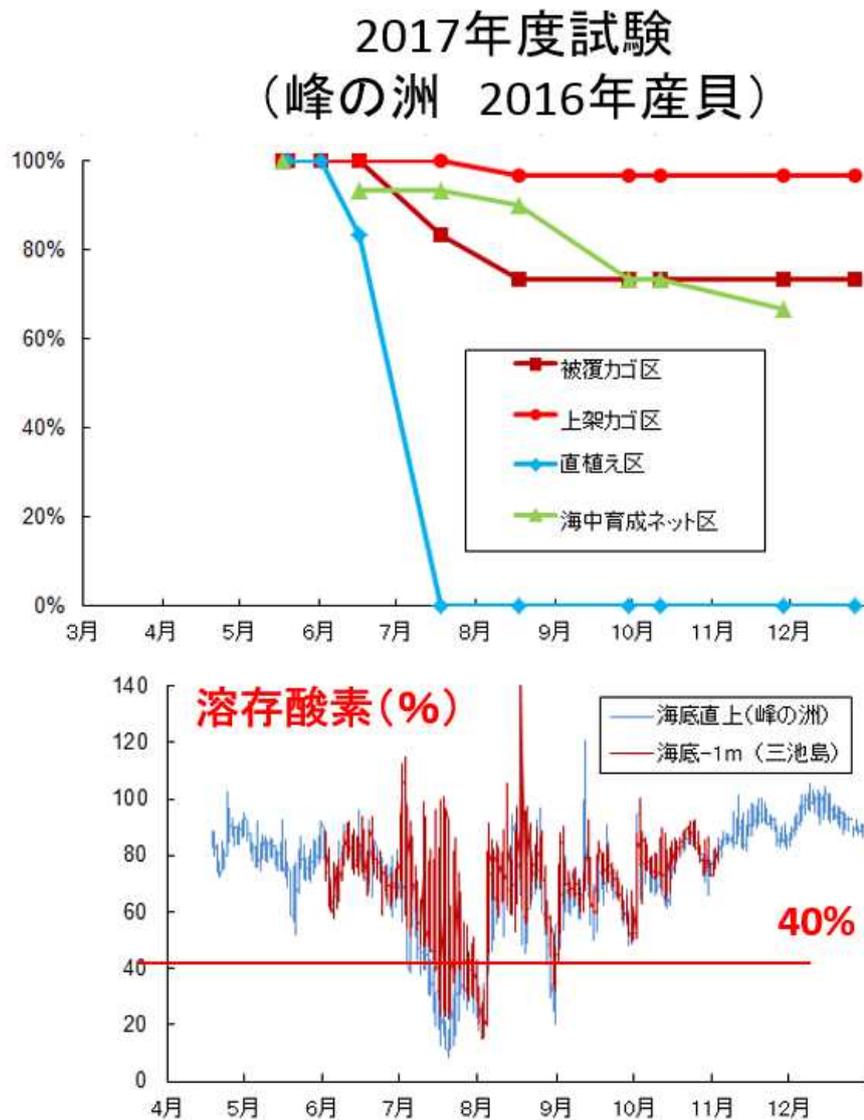


図 6.1-9 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2016(平成 28)年度, 峰の洲)

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。

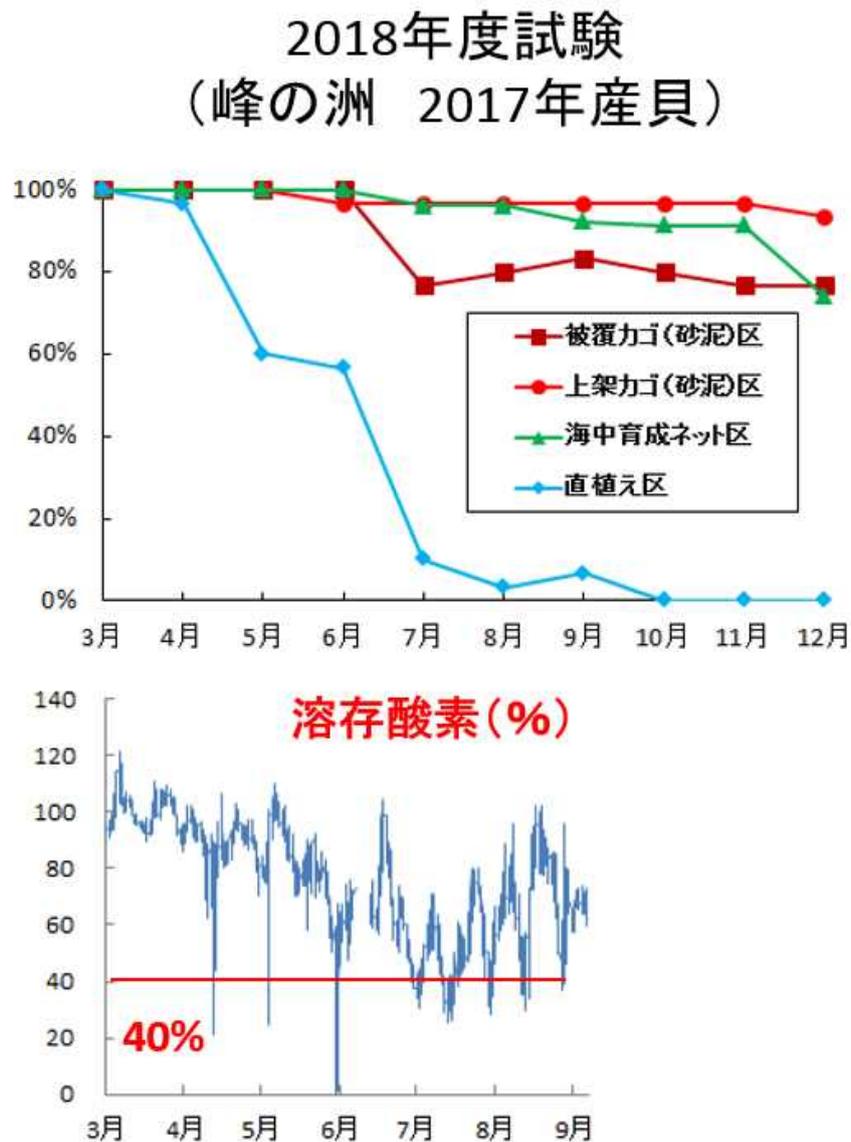


図 6.1-10 各試験区の稚貝の生残率の推移及び酸素飽和度の推移(2018(平成 30)年度 峰の洲)

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・産卵期について. 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

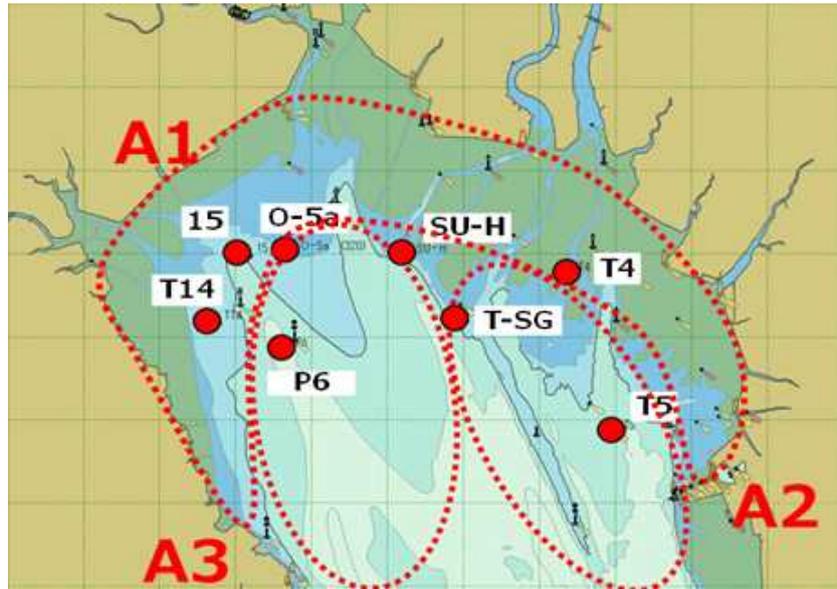
環境省では、有明海における二枚貝減少要因解明のため、これまで底質・水質等の物理環境データやタイラギの資源調査データ等を用いて様々な解析を行い、現状把握、減少要因解明等を行ってきた。ここでは、浮泥の出現調査及びその変動状況を把握するとともに、その変動要因について検討を行った結果を示す。

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(1.4g/cm³)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 ≥ 8 mm(目視)で稚貝の着底がほぼ見られないこと²⁾が示され、 ≥ 11 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

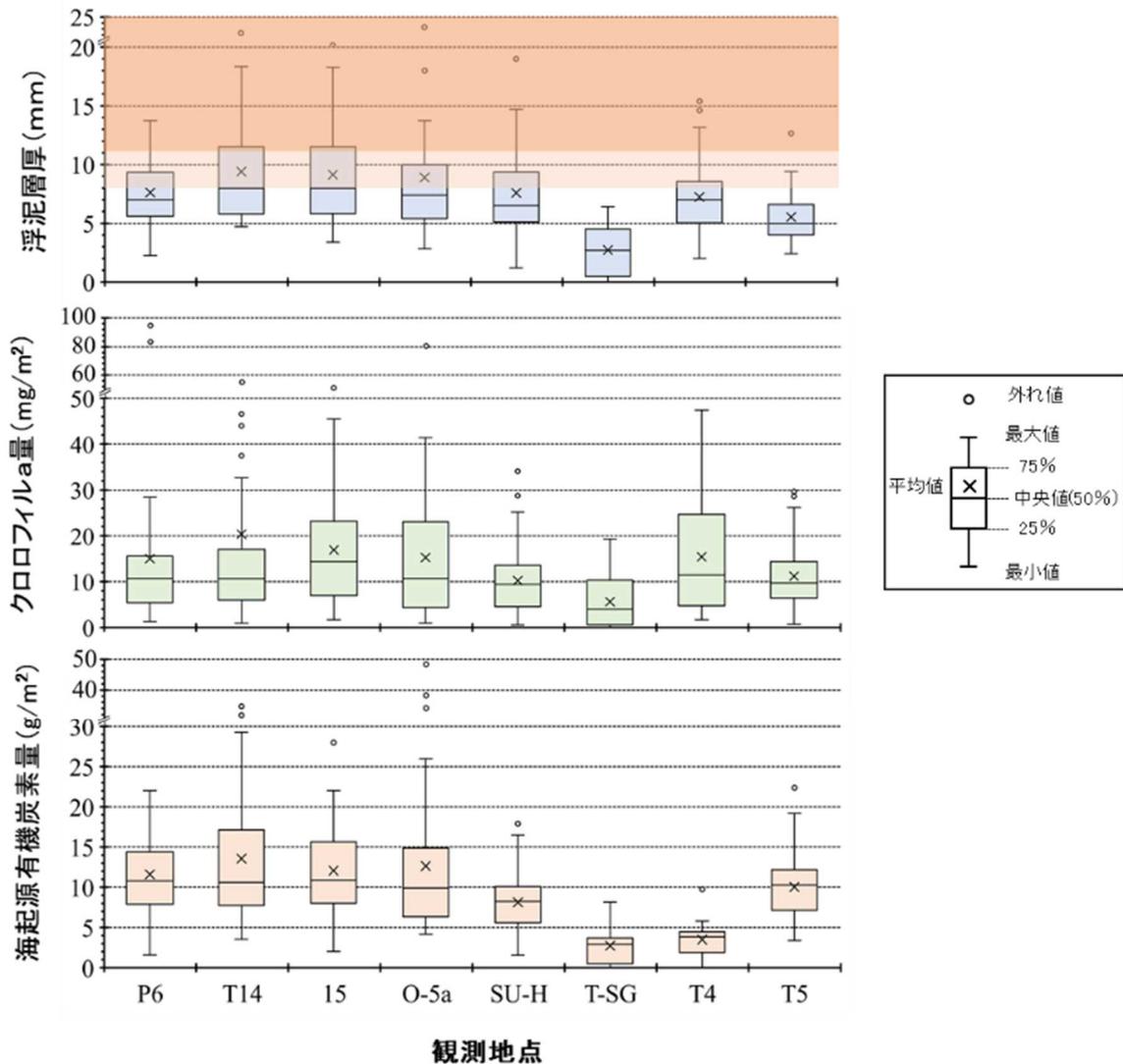
出典:環境省(2019)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第4回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(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

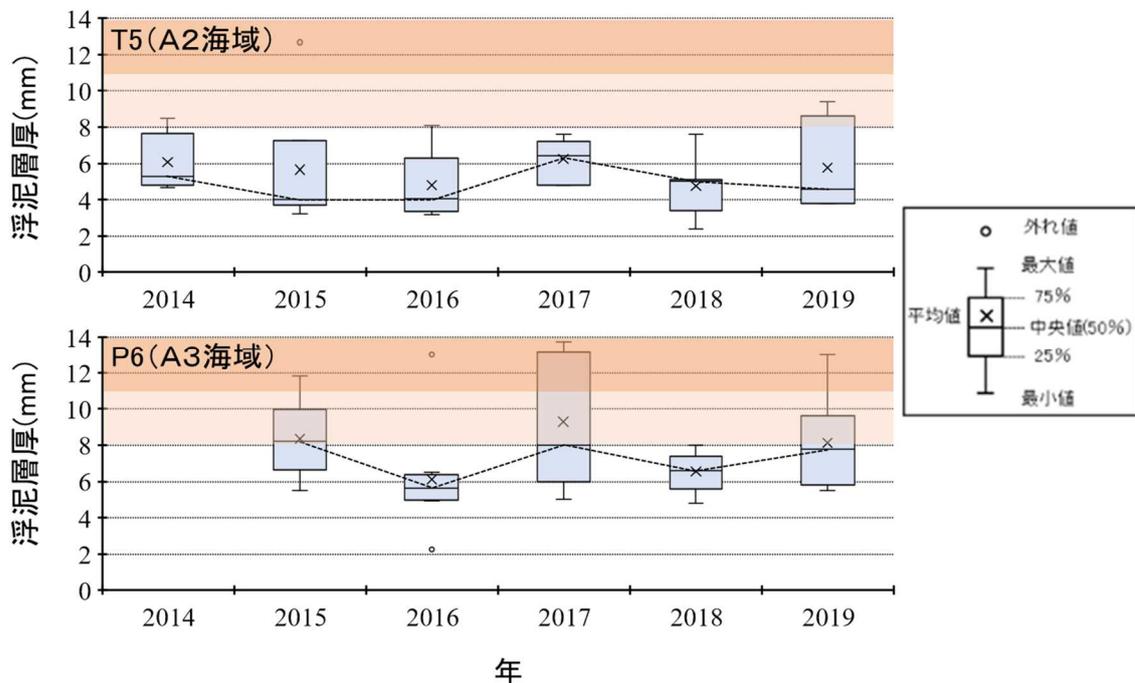
図 6.2-2 有明海奥部における 2014(平成 26)~2019(令和元)年夏期の浮泥層厚、クロロフィルa 色素量、海起源有機炭素量の地点別の変動

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, 岡村和磨, 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, RS. And Parker, PL. (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。

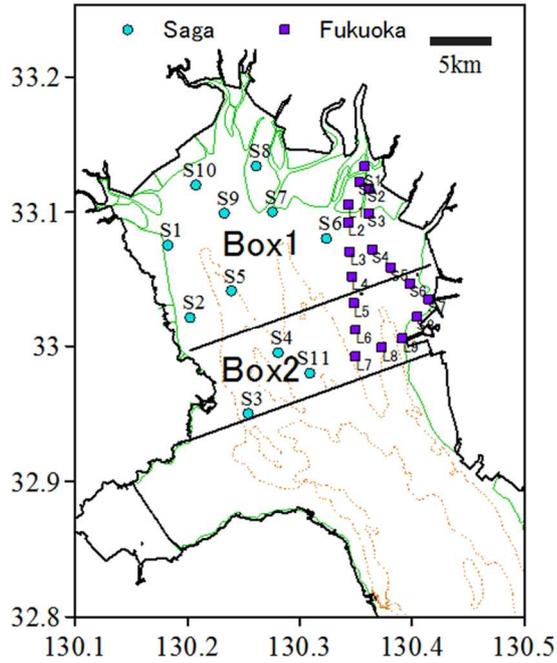


図 6.3-1 ボックスモデルに用いた浅海定線調査の測点位置とボックス区分
 出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

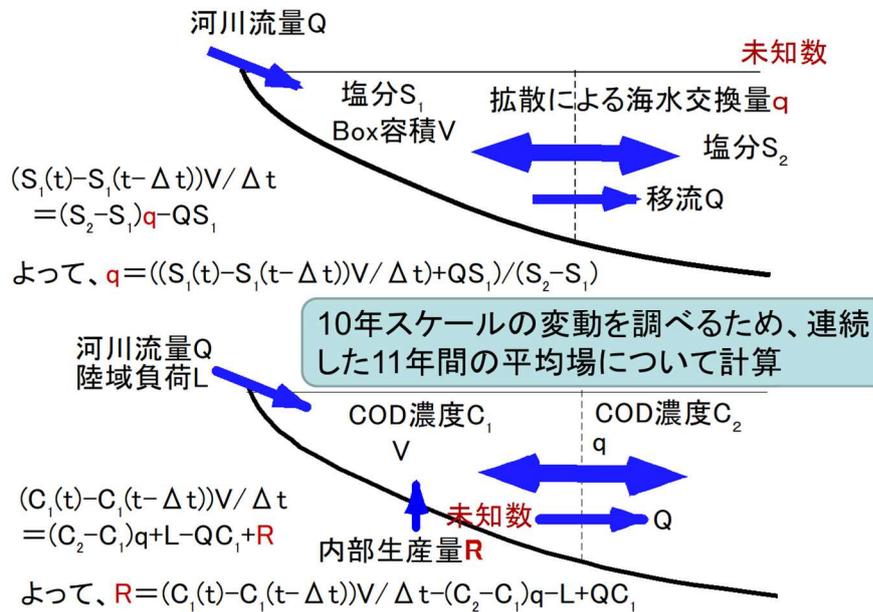


図 6.3-2 Box モデル解析の模式図
 出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

(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。

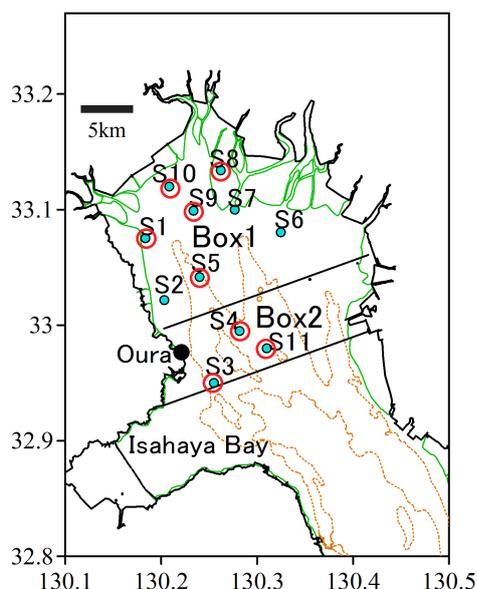


図 6.3-3 佐賀県浅海定線調査測点配置と採水位置(赤丸が採水点)

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、 $\log(\text{平均稚貝密度})$ 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。

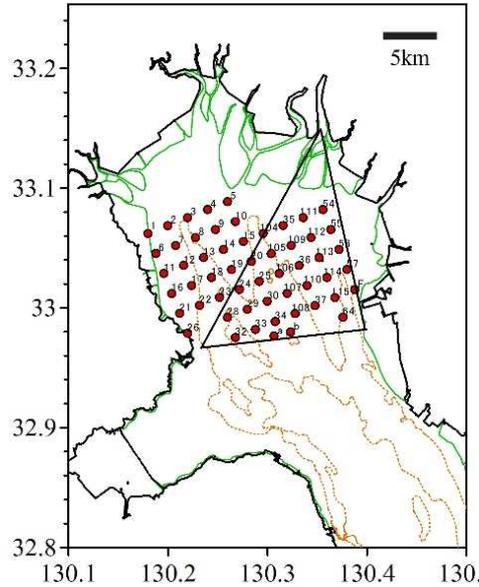


図 6.3-4 佐賀県有明水産振興センターによるタイラギ資源量調査の測点位置

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。

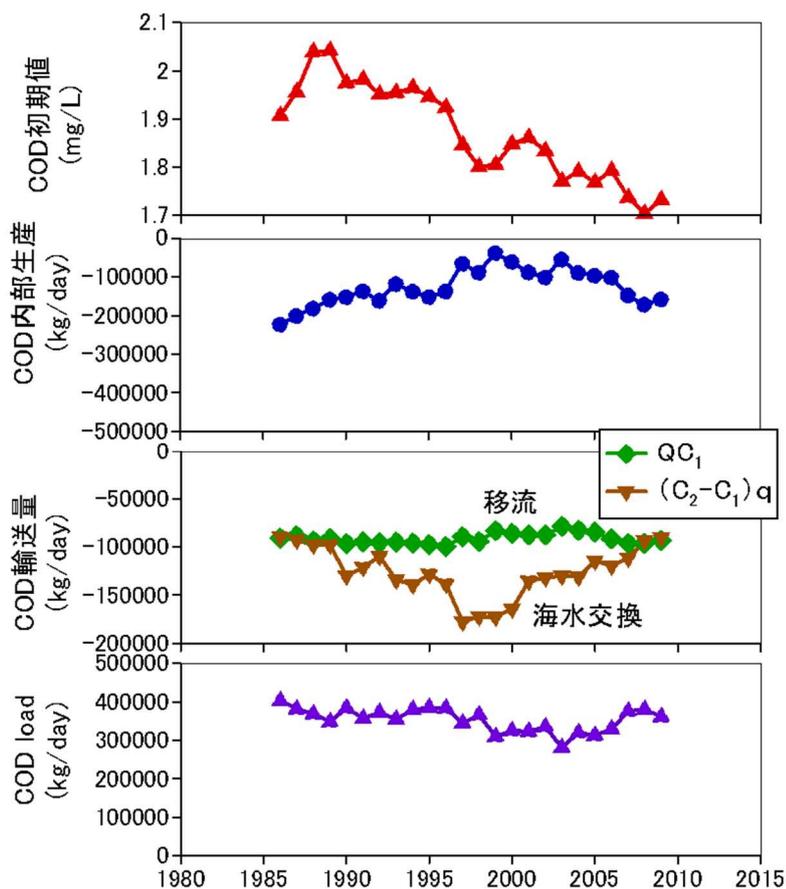


図 6.3-5 COD の初期値、内部生産量、移流及び海水交換による輸送量、陸域負荷量の経年変化

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。

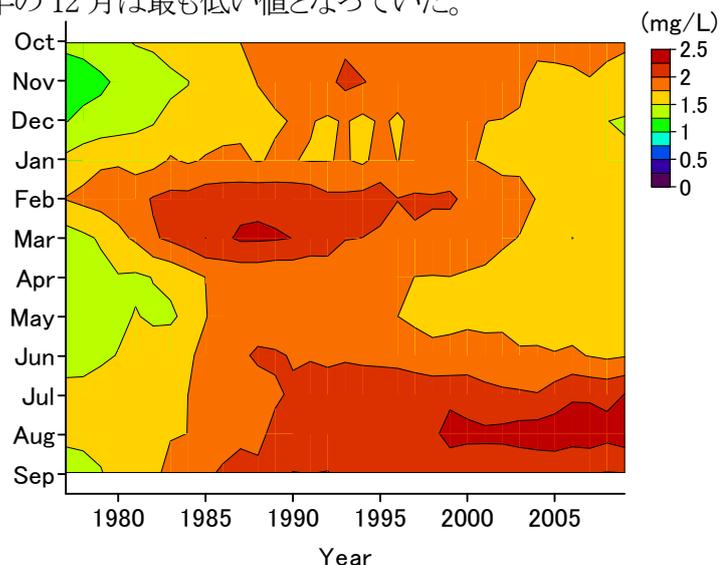


図 6.3-6 Box1 の平均 COD 季節変化の経年変化

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。

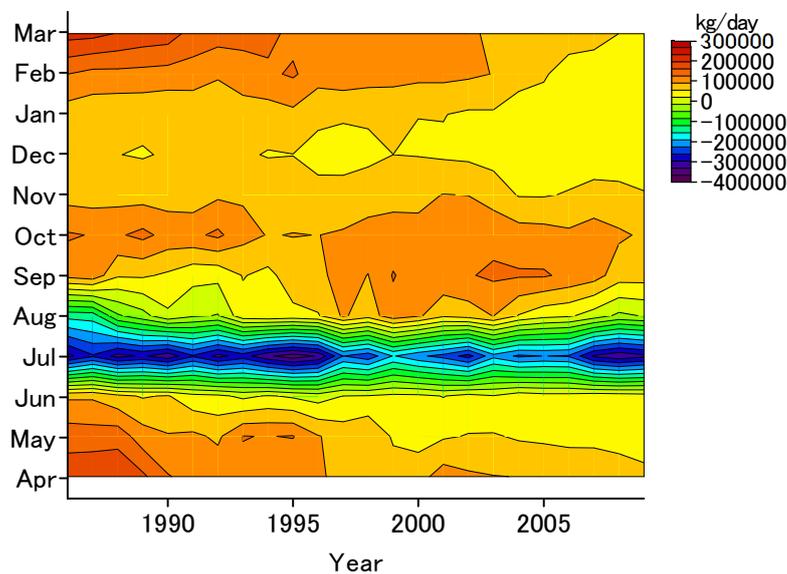


図 6.3-7 Box1 の COD 内部生産量季節変化の経年変化

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。

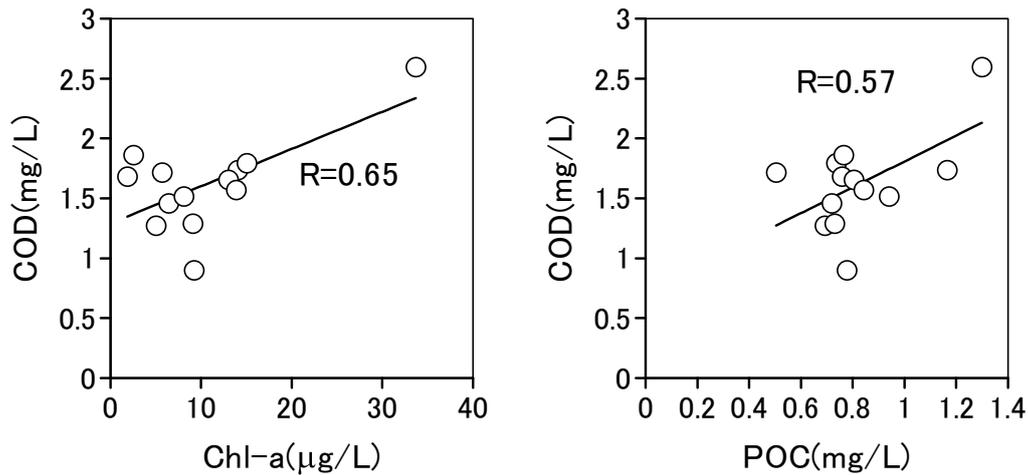


図 6.3-8 Box1 の平均 COD とクロロフィル a、POC の関係

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。

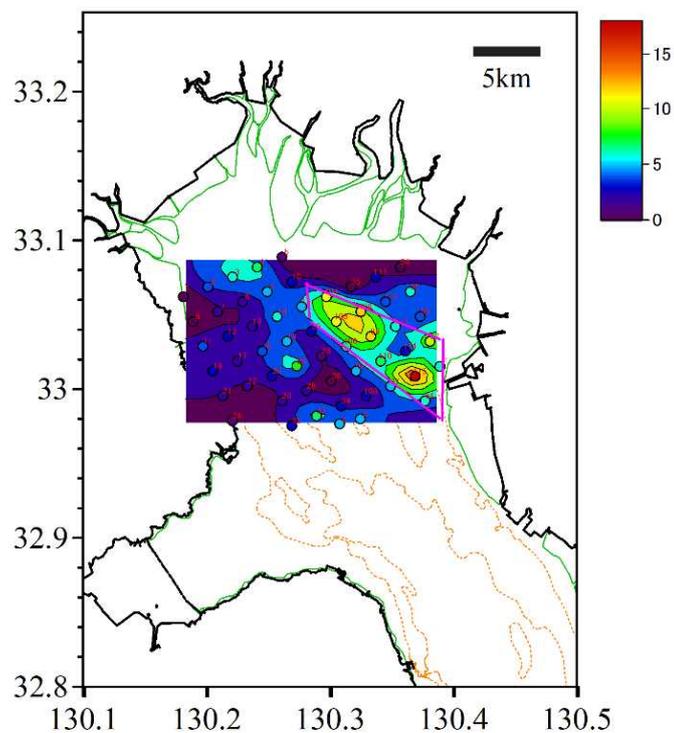


図 6.3-9 タイラギ稚貝確認回数の空間分布

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。

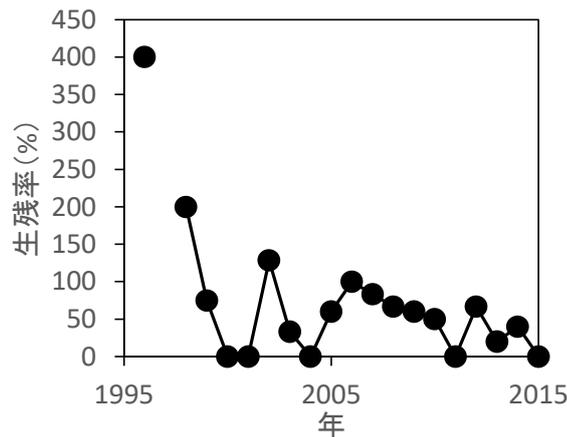


図 6.3-10 高頻度着底海域におけるタイラギ生残率の変化

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。

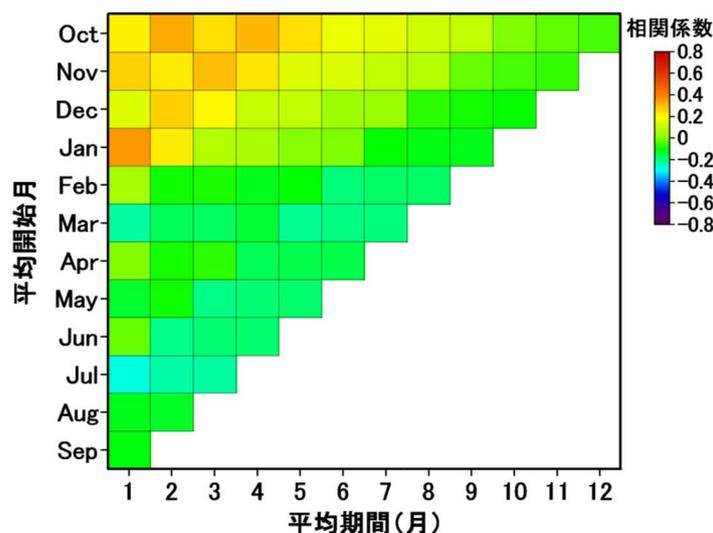


図 6.3-11 高頻度着底海域におけるタイラギの生残率と COD の関係

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—河川流量の変動ともなう変化. 水産海洋研究, Vol. 73(3), pp. 149-160.