

中間取りまとめ(第2章)案 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
について

1. 小委員会資料番号・タイトル等

- ・小委員会資料番号：第5回水産資源再生方策作業小委員会 資料7
- ・タイトル：有用二枚貝に関する調査の情報収集等
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について
- ・発表者：環境省
- ・実施年度：2017～2019 年度

2. テーマ

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

3. 背景・目的

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 年代から 90 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 1 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おこなった。

また、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。

4. 対象海域

1) ボックスモデル解析

佐賀県・福岡県が原則として毎月 1 回実施している浅海定線調査データを用いて、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。

2) タイラギ生残率解析

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) のデータを解析した。

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は図 1 に、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 2 に示すとおりである。

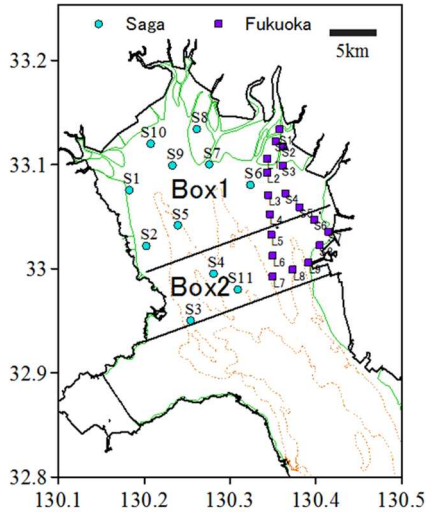


図 1 ボックスモデルに用いた浅海定線調査の測点位置とボックス区分

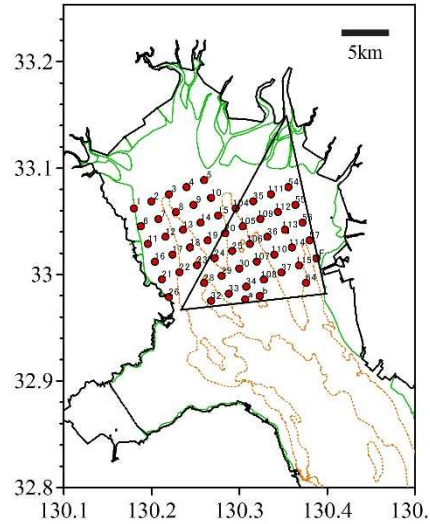


図 2 佐賀県有明水産振興センターによるタイラギ資源量調査の測点位置

3) 餌料環境としての COD の評価調査

浅海定線調査でモニタリングされている COD がタイラギの餌料環境を評価するために使える性質のものであるかどうか、佐賀県による浅海定線調査の内赤丸で示した 8 点で採水をおこない、水質分析をおこなった。佐賀県浅海定線調査測点配置と採水位置は図 3 に示すとおりである。

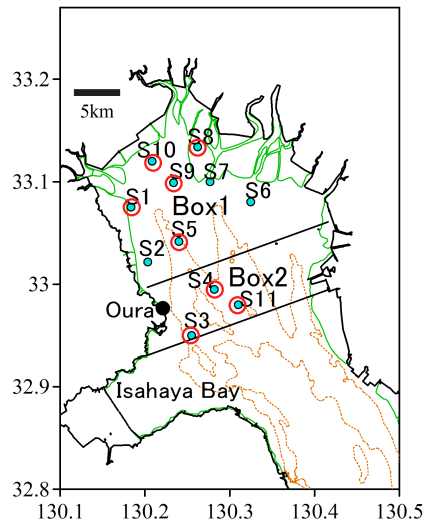


図 3 佐賀県浅海定線調査測点配置と採水位置

赤丸が採水点

5. 内容・方法・結果

1) 内容・方法

(a) (a)ボックスモデル解析

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 年度から 2014 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 1981~2010 年のデータセットに 2014 年までのデータを追加したものをを用いた。

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おこなった。Box1 の中の塩分量は、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 の中の 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、主に[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 4 に示すとおりである。

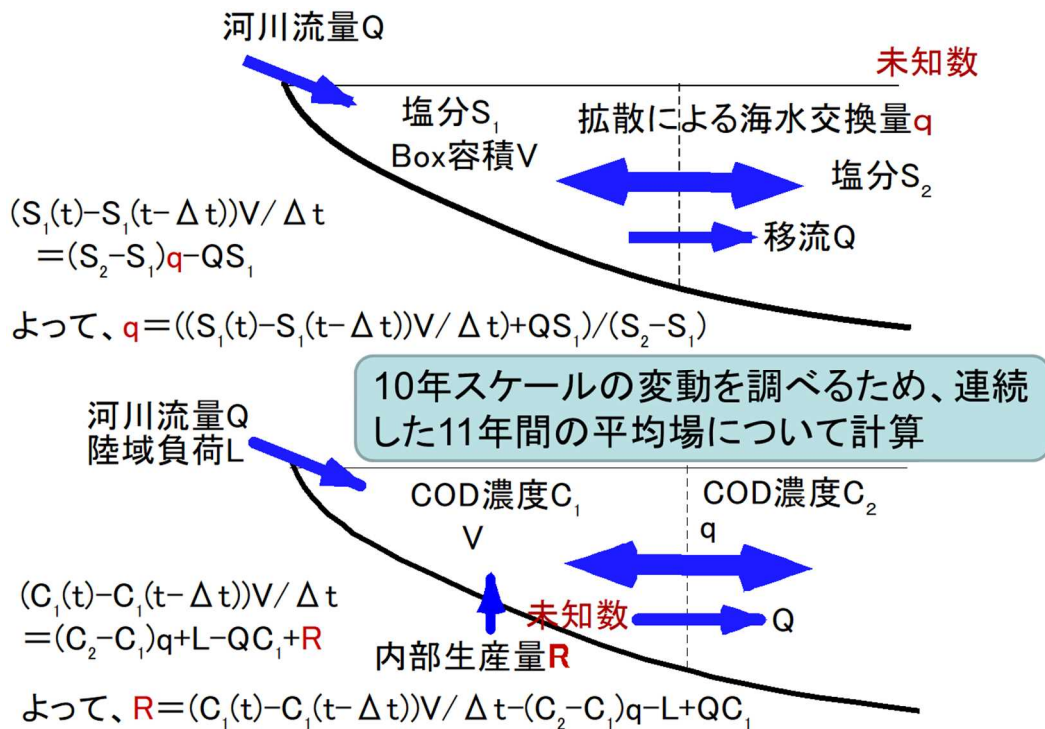


図 4 Box モデル解析の模式図

(b) 夏季（7・8月）の COD 増加要因の解析

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。

(c) 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おこなった。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。

(d) 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 について解析をおこなってきた。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 年 2 月から 2019 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 点で層別採水をおこない、POC (粒状有機炭素)、DOC (溶存有機炭素)、クロロフィル *a* の分析をおこない、COD の値と比較した。

(e) タイラギ生残率解析

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おこなわれている。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 年以降のデータしか無いため、1996 年から 2016 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多く、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。

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

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。

2) 結果

(a) 夏季（7・8月）の Box 1 における COD の収支の経年変化

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

1980～1990 年代について、COD 初期値（6 月の COD 濃度）は 1986～1988 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。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。

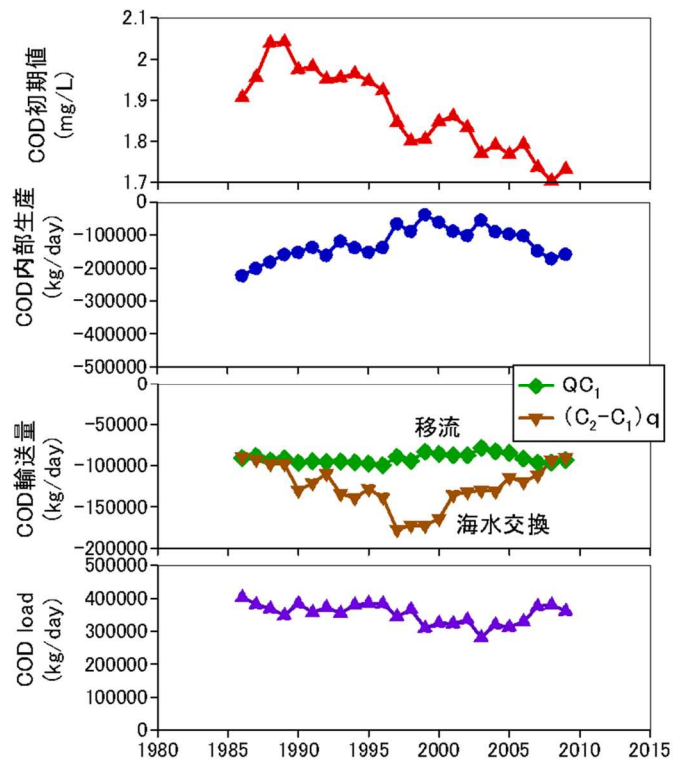


図 5 COD の初期値、内部生産量、移流および海水交換による輸送量、陸域負荷量の経年変化

(b) 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 に示す。夏季の COD の値は 1986 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 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。

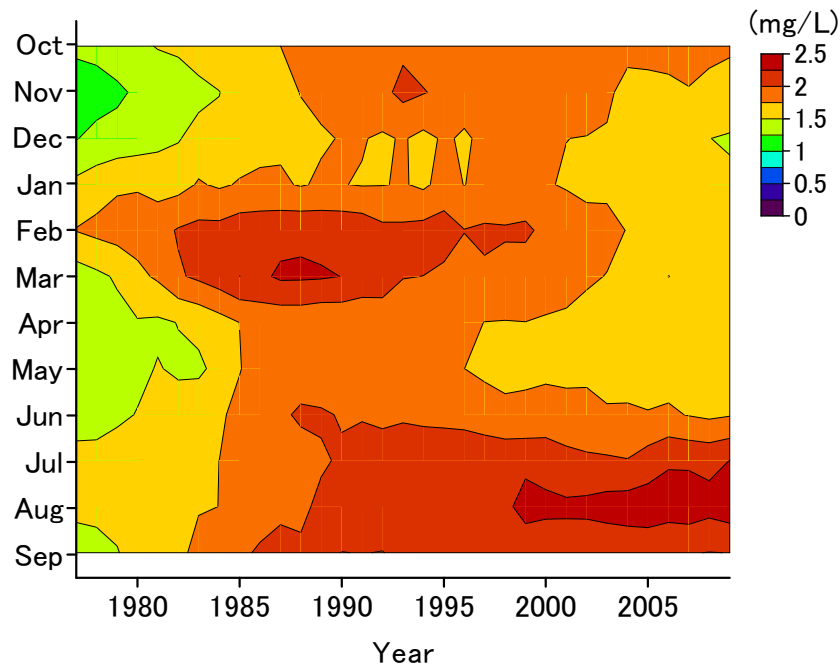


図 6 Box1 の平均 COD 季節変化の経年変化

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 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 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 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 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。

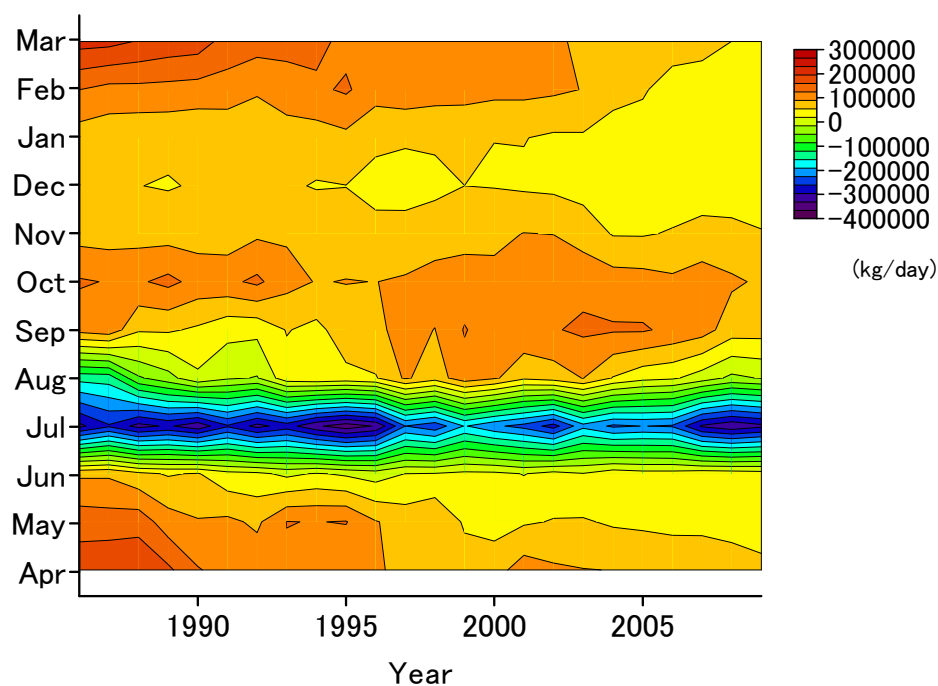


図 7 Box1 の COD 内部生産量季節変化の経年変化

(c) 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 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。

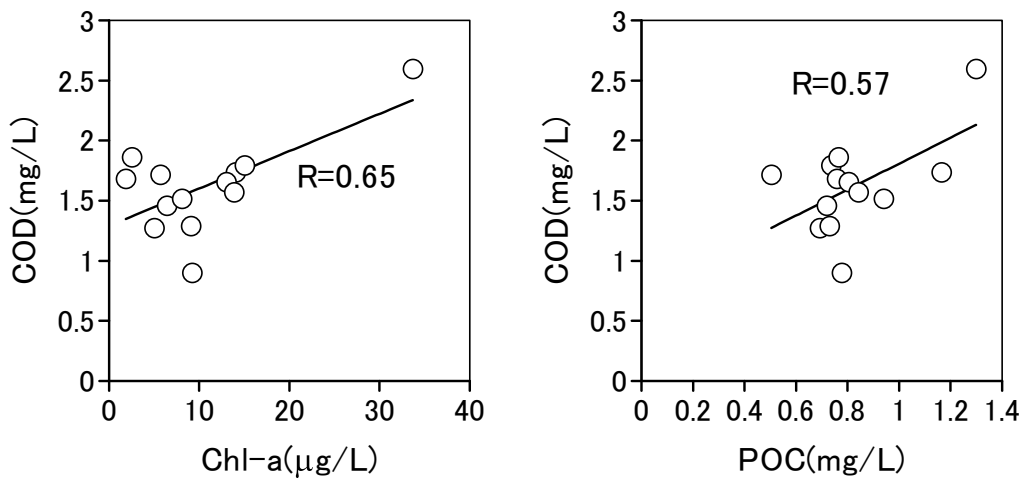


図 8 図 Box1 の平均 COD とクロロフィル *a*、POC の関係

(d) 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 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。

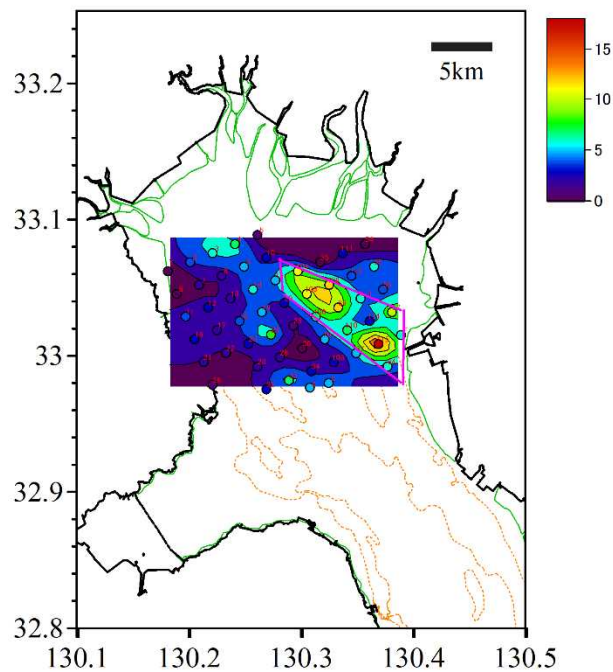


図 9 タイラギ稚貝確認回数の空間分布

高頻度着底海域におけるタイラギ生残率の変化を図 10 に示す。1996 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おこなった。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。

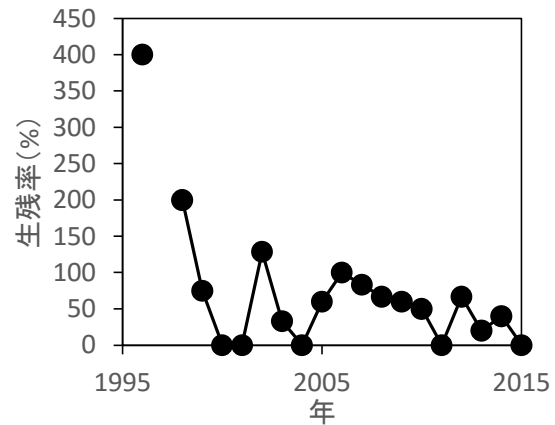


図 10 高頻度着底海域におけるタイラギ生残率の変化

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 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 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斃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斃死しやすくなる可能性が考えられる。

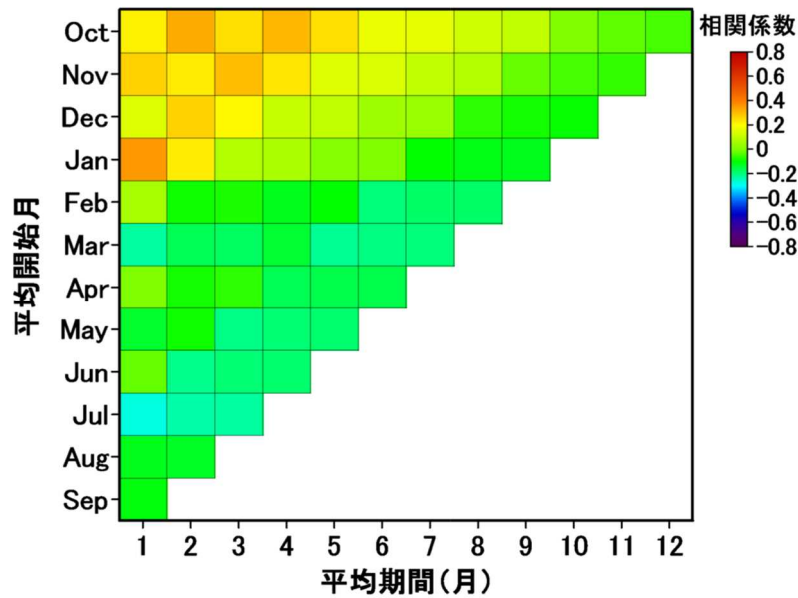


図 11 高頻度着底海域におけるタイラギの生残率と COD の関係

6. 成果、新たな知見等

有明海奥部において、

- ・ 夏季の COD は年々増加する一方、秋～春季の COD は 1990 年代以降減少傾向。
- ・ 夏季の COD 増加は内部生産の増加より生じ、基礎生産の増加、または植物プランクトンの補食量（二枚貝類）減少、あるいはそれらの複合が要因と推察された。
- ・ 秋～春季の COD 減少は内部生産の減少により生じ、基礎生産の減少が示唆された。
- ・ COD とクロロフィル a・POC の間には弱いながらも有意な正の相関があり、COD を餌料環境の指標と仮定し、タイラギ生残率との関係を解析した。その結果、1998 年以降のタイラギ生残率は、秋～冬季の COD と正の相関があり、餌料環境の悪化がタイラギ生残率減少の要因の 1 つである可能性が示唆されたものと考えられる。

7. その他(課題、今後の方針・計画等)

7.1 課題

夏季の有明海奥部では 1970 年代から 1990 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 収支の解析をおこなうにあたっては、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。

7.2 今後の方針・計画

夏季の COD 内部生産増加、秋冬季～春季の COD 内部生産減少については、3次元生態系数値シミュレーションとデータ解析を組み合わせることでその要因の検討を進める。

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を評価するためには、まずは詳細な現地観測によって現状の実態を把握する必要がある。それを元にして、何らかのパラメータを元にして過去における感潮域からの負荷量を推定できれば、それを元にしてより精度の高い収支計算を実施する。

表層で生産された植物プランクトンは底層に沈降し、海底付近で堆積・再懸濁を繰り返しながらベントスの餌料として利用される。このような過程の詳細な実態を現地観測によって把握する。

利用できる過去データが限られること等から、過去のタイラギ資源変動の要因解明には限界があるかもしれない。一方で、タイラギ資源は現在非常に低いレベルで低迷しており、実効性ある再生方策の提案が必要とされている。これまでの過去の要因解析の結果から、夏季の有機物生産の増加による貧酸素の進行と、秋冬季の有機物生産の減少による餌料環境の劣化がタイラギ資源の減少の要因となっている可能性が示唆された。そこで、秋冬季の有機物生産を回復させる一方で夏季の有機物生産については減少させるような方策を検討する（例えばカキ礁の再生などが候補として挙げられる）。さらに、その方策の有効性を3次元生態系シミュレーションモデルを用いて検討する。