



中央環境審議会水環境部会 資料2-2
瀬戸内海環境保全小委員会(第18回)
令和元年10月18日
航空会館 501+502号室

栄養塩等の水産資源に及ぼす影響 の調査研究状況について

水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所

阿保 勝之

平成30～令和元年度漁場改善推進事業のうち 「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」

【栄養塩影響調査共同研究機関】

水産研究・教育機構(代表機関)、香川大学、愛媛大学、
兵庫県、和歌山県、香川県、全国水産技術者協会

【背景】

栄養塩濃度が水産資源に及ぼす影響について

- ・海域の栄養塩を直接利用するノリ等の藻類養殖への影響は明らか
- ・二枚貝や魚類生産との因果関係については、科学的検証が必要

【内容】

瀬戸内海を中心に各種調査・研究を実施し、栄養塩等の水質環境が微細藻類、藻場生産、二枚貝生産および小型浮魚生産等に及ぼす影響を明らかにする。これにより栄養塩が水産資源に及ぼす影響を解明するとともに、栄養塩管理の在り方についての検討を行う。

平成30～令和元年度漁場改善推進事業のうち 「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」

【栄養塩影響調査共同研究機関】

水産研究・教育機構(代表機関)、香川大学、愛媛大学、
兵庫県、和歌山県、香川県、全国水産技術者協会

1) 栄養塩等の水質環境が沿岸海域の漁業生産に及ぼす影響の解明

ア. 栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす影響の解明 (瀬戸内水研・香川大学)

イ. 栄養塩等の水質環境が二枚貝生産に及ぼす影響の解明

① 播磨灘北西部における陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に及ぼす影響の解明 (兵庫県水産技術センター)

② 紀伊水道の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響解明 (和歌山県水産試験場)

③ 瀬戸内海の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響の評価 (瀬戸内水研)

ウ. 栄養塩等の水質環境が藻場生産に及ぼす影響解明 (瀬戸内水研)

エ. 栄養塩等の水質環境が植物プランクトン等の低次生産に及ぼす影響の解明 (瀬戸内水研)

2) 栄養塩等の水質環境が小型浮魚生産量に及ぼす影響の解明

ア. 栄養塩等の水質環境が小型浮魚の餌料環境に及ぼす影響解明 (東北水研・愛媛大学)

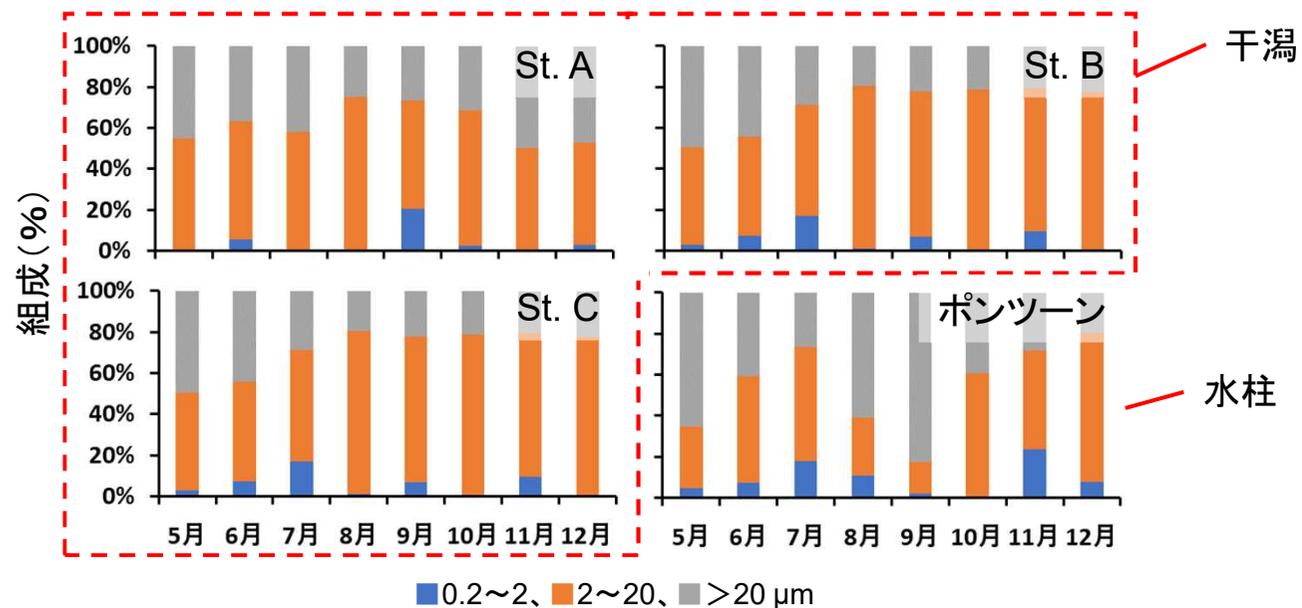
イ. 水質環境や餌料環境と小型浮魚生産量との因果関係の評価 (瀬戸内水研・香川大学)

3) 栄養塩管理方針の検討 (全国水産技術者協会)

1)ーア 栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす影響の解明

【1: 底生性微細藻類の餌としての重要性の把握】

干潟および水柱における微細藻類群集のサイズ組成



干潟と水柱の微細藻類群集のサイズ組成を比較すると、干潟の底生性微細藻類については、周年を通して2~20 μmのものが主体であることが確認された

二枚貝等の浮遊幼生が捕食できる餌のサイズは2~20 μmと想定され、干潟の底生性微細藻類はそうした幼生の餌料として重要であることが示唆された

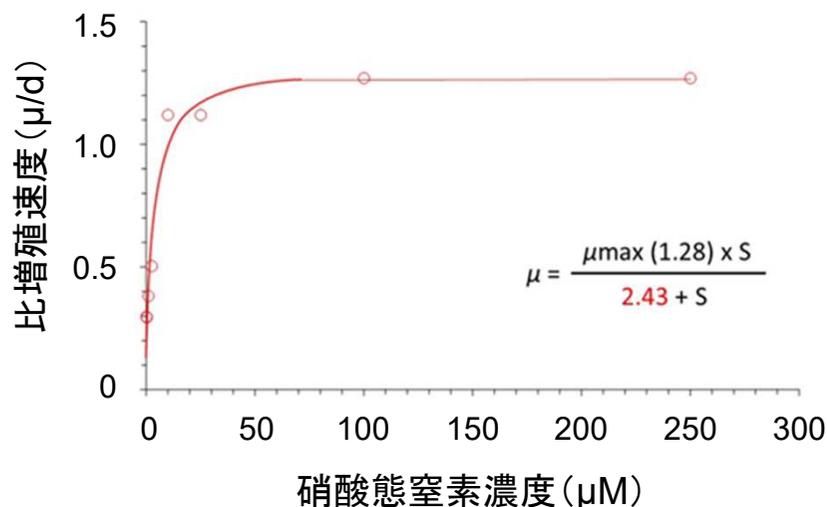
今後の課題

潮下帯の観測、20 μm未満の藻類の同定

1)ーア 栄養塩等の水質環境が二枚貝等の餌となる底生性の微細藻類に及ぼす影響の解明

【2: 窒素濃度と底生性微細藻類の増殖との関係】

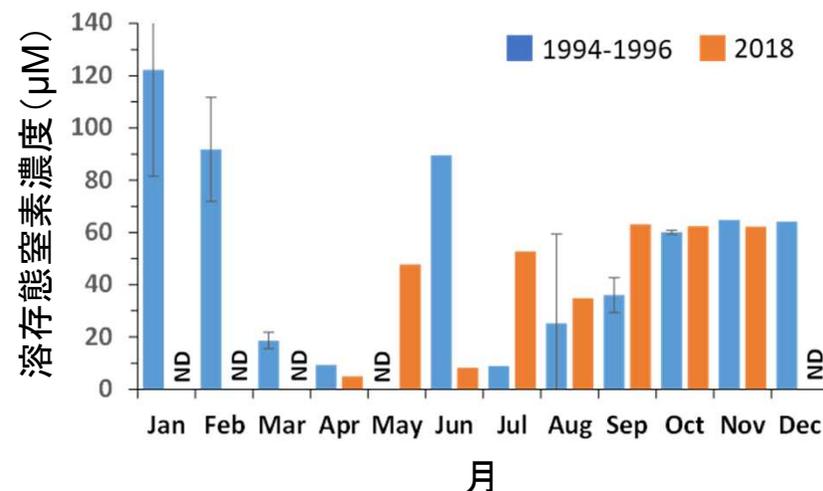
様々な窒素濃度下における底生性微細藻類*の増殖速度



2.43 μMの窒素濃度(溶存態)があれば、最大値の半分の速度で増殖可能であることが分かった

*香川県高松市の干潟で分離した*Navicula* sp.

香川県高松市の干潟縁辺部における溶存態窒素濃度



干潟縁辺部における窒素濃度は2.43 μMよりも高い傾向であった

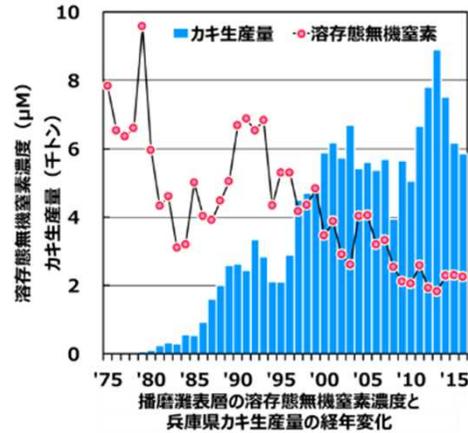
高松市の干潟における底生性微細藻類*の増殖は窒素制限下にはない可能性が示唆された

今後の課題

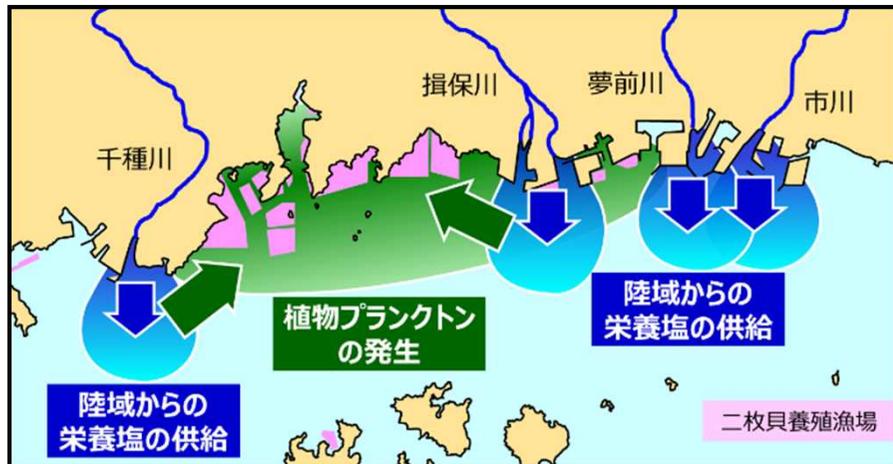
試験藻の増加、リンについての試験、環境の異なる複数の水域における観測の実施

1) -イ-① 播磨灘北西部における陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に及ぼす影響の解明

【 研究の背景・目的 】

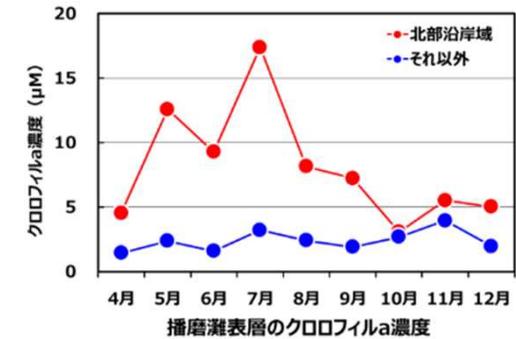


- 播磨灘では、貧栄養化が進行している。
- しかし、北西部沿岸域だけは、カキ・アサリ等の二枚貝養殖が盛んに行われ、現在まで高い生産力を維持している。



- 北西部沿岸域だけがなぜ高い生産力を維持できているのか？
- 河川水等の陸域からの栄養塩供給に焦点を当て、供給された栄養塩やそれを利用して発生する植物プランクトンの動態を解析することにより、二枚貝養殖漁場としての形成機構を明らかにする。
- 播磨灘（兵庫県海域）の水質（栄養塩）管理の検討資料として活用する。

【 H30年度調査結果 】



- 灘全域の調査において、北西部沿岸域の特性として、二枚貝の餌となる植物プランクトン（クロロフィルa）量が多いことを確認した。



溶存態無機窒素濃度の水平分布（2018年9月）



クロロフィルa濃度の水辺分布（2018年9月）

- 揖保川および千種川の河口域では高い栄養塩濃度を示し、河川水等が供給源として重要な役割を果たしていると推察された。
- 養殖漁場の周辺では餌となる植物プランクトン（クロロフィルa）が多く発生し、二枚貝養殖漁場として高い生産性を有することが明らかになった。

1) -イ-② 紀伊水道の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響解明

実海域における栄養塩環境、餌環境、二枚貝生産の関係について調査した事例は少なく、詳細が明らかになっていない。そこで本課題では、水質等環境調査とアサリの飼育試験を実施し、栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響を検討した。

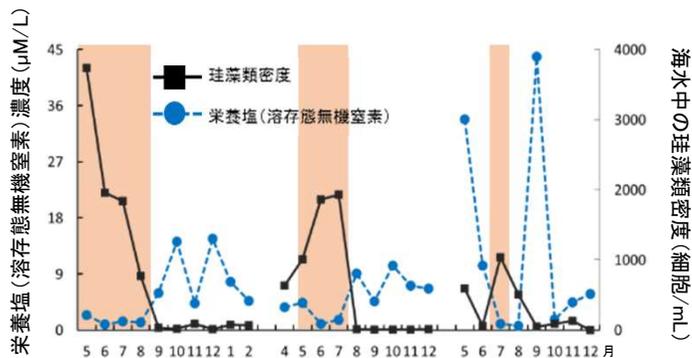
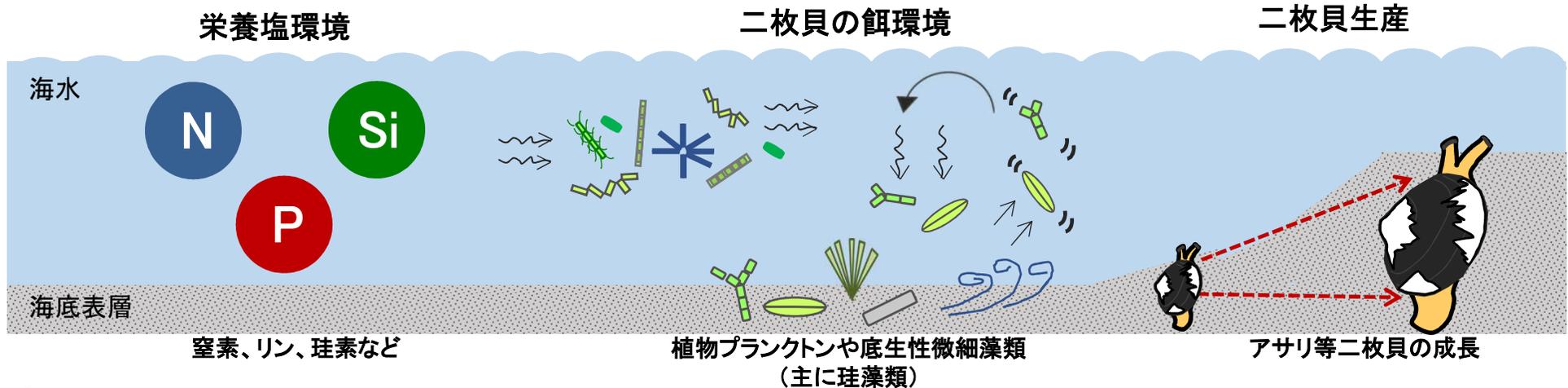


図1 海水中の栄養塩(溶存態無機窒素)濃度と珪藻類密度の変化

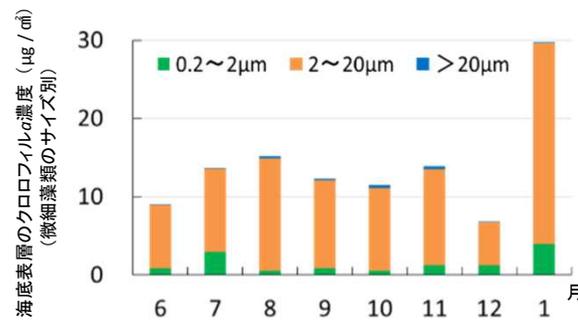


図2 アサリの保護飼育環境下における海底表層の底生性微細藻類のサイズ別クロロフィルa濃度の変化

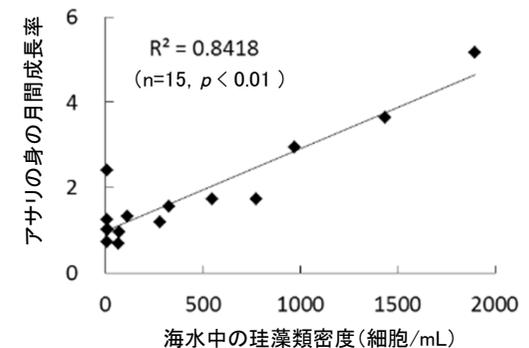


図3 アサリの成長と海水中の珪藻類密度(餌環境)との関係

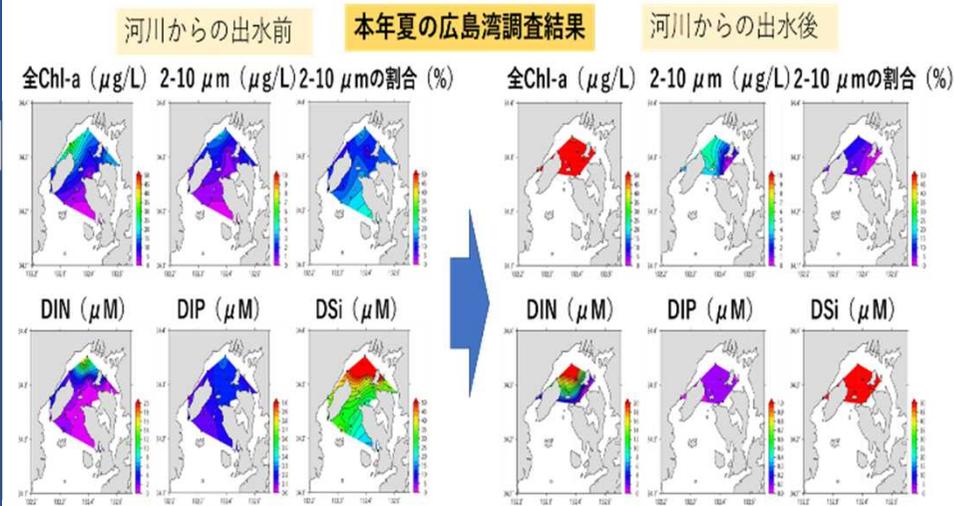
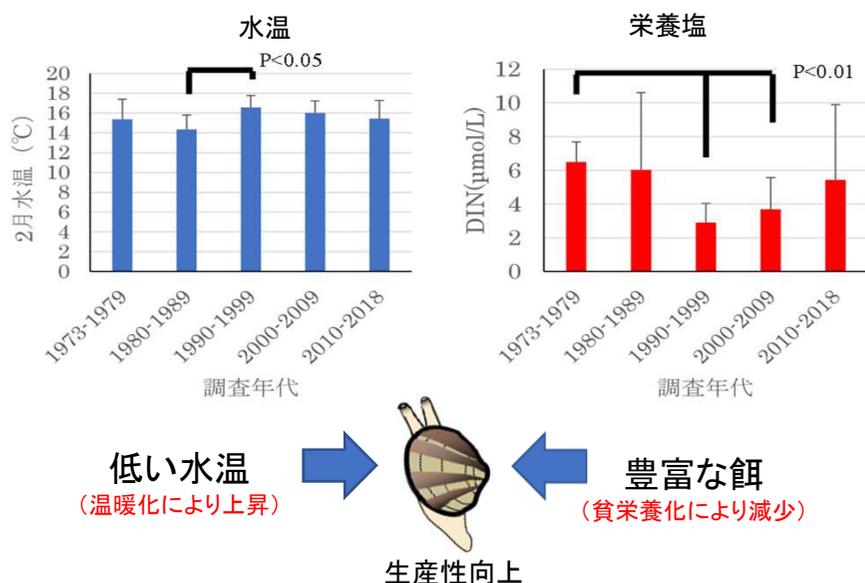
- ・ 海水中の植物プランクトンが増えると栄養塩は減少する(図1; ピンク背景の部分)
- ・ 被覆網下, 保護カゴ内の海底表層には, 二枚貝の餌となるサイズ(2~20 μm)の底生性微細藻類が多く存在することが判明(図2)
- ・ アサリ等二枚貝の成長には, 海水中を浮遊, または海底表層から海水中へ巻き上げられた珪藻類の現存量が重要(図3)

栄養塩が減少すると, 環境中の珪藻類(二枚貝の餌)は増殖を制限されるため, 二枚貝の生産性改善には栄養塩が重要

1) -イ-③ 瀬戸内海の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響の評価

目的: 瀬戸内海の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響について従来の解析方法を検証するとともに、新しい技術や解析方法を導入してより効果的な影響評価方法を開発し、現在の海洋環境を評価する。

より単純な系での検証により、アサリの生産性には水温が低めで、近傍に栄養塩供給源の存在が必要であったことが明らかとなった。



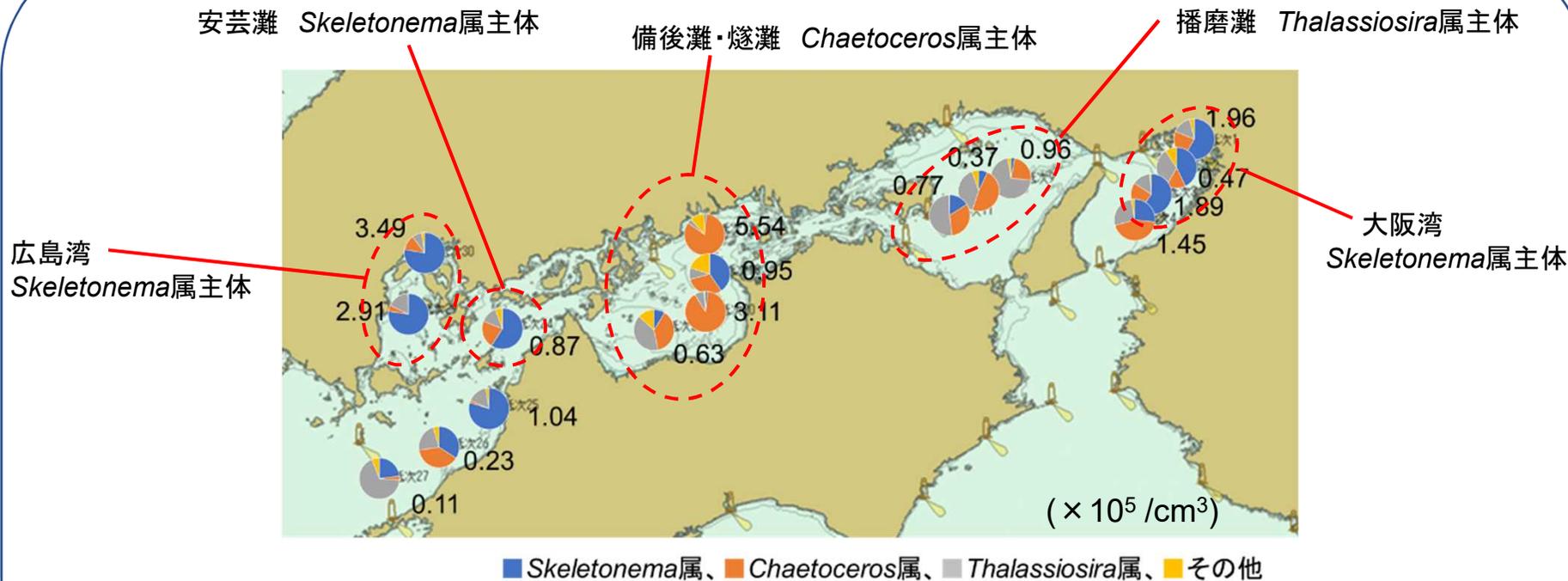
広島湾の今夏の調査結果から、河川水による栄養塩供給に呼応して植物プランクトンが増加することから、マガキ生産性向上には河川から栄養塩供給が不可欠であることが明らかとなった。

従来の栄養塩類と二枚貝生産性の関係解析ではなく、より単純な系での検証の結果、アサリの生産性には低い水温と栄養塩供給源の存在が影響することが判った。加えて、今年度の広島湾の海洋環境調査により、河川からの出水⇒海域への栄養塩添加⇒植物プランクトンの生産⇒マガキ浮遊幼生の生産性が向上⇒天然採苗が絶好調、という結果が得られた。これらの結果から、アサリやマガキなどの**二枚貝生産性向上には水温や栄養塩環境が深く関与する**ことが明らかとなった。

1) -エ 栄養塩等の水質環境が植物プランクトン等の低次生産に及ぼす影響解明

【1:珪藻のタネ(休眠期細胞)による各湾灘における優占珪藻の推察】

2018年春季(4月下旬~5月上旬)の瀬戸内海の海底泥における各種珪藻類のタネの分布状況



春季の瀬戸内海における珪藻類のタネの分布状況から、直近の冬季の各湾灘における珪藻類の優占種が推察され、また、タネの量は各海域の生産速度を反映している傾向が確認された

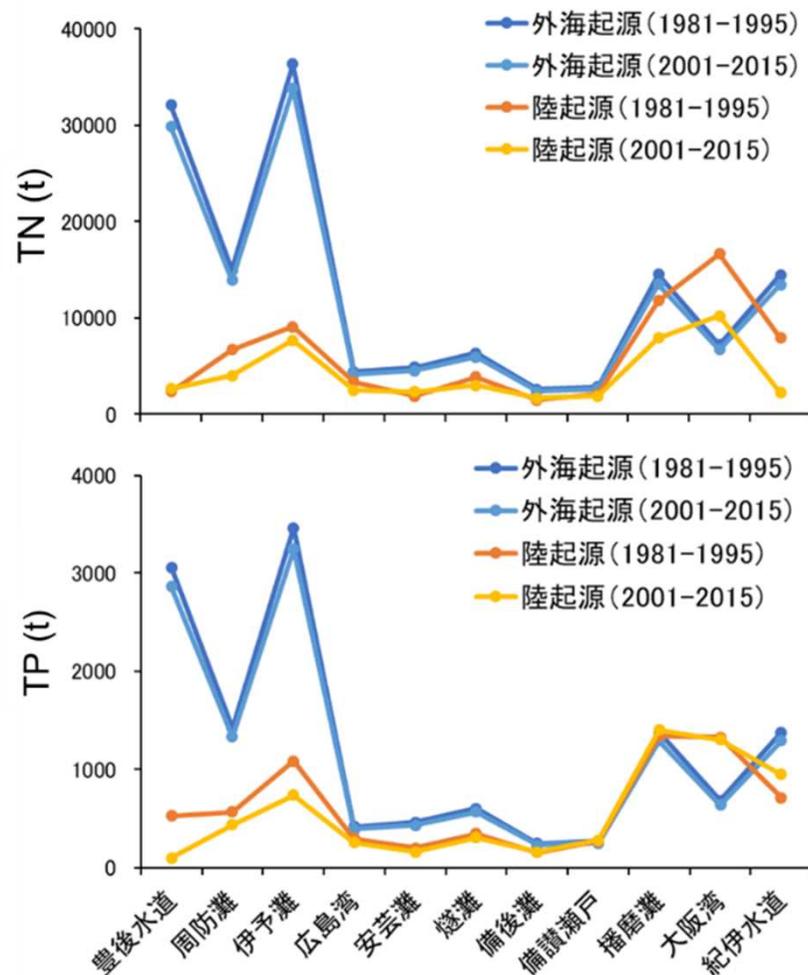
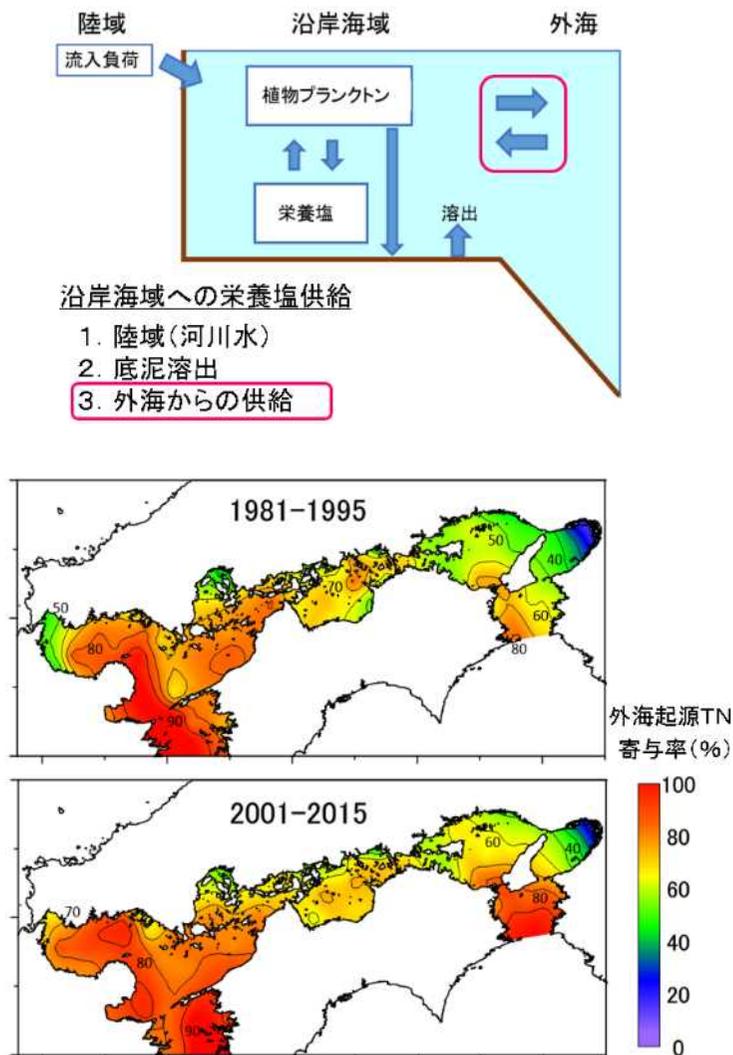
珪藻のタネの調査は、スナップショット的な水柱のプランクトン調査よりも正確に各海域における珪藻類の生産状況を把握できる可能性が示された

今後の課題

観測データの蓄積、各海域で優占する珪藻類に影響を与える環境因子の抽出

1) -エ 栄養塩等の水質環境が植物プランクトン等の低次生産に及ぼす影響解明

【2: 瀬戸内海における外海起源TN・TPの変化の解明】



外海起源TNの寄与率は全域平均で約7割であるが、海域毎に大きく異なる(大阪湾東部:2割、播磨灘北東部:4割、豊後水道:約9割)。陸起源TNの減少に伴い、外洋起源の寄与率が増加している。

陸起源TN・TPの方が外海起源TN・TPより大きく減少していた。西部海域では陸起源TPの減少が顕著であり、東部海域(紀伊水道、大阪湾、播磨灘)では陸起源TNが大きく減少していた。近年の瀬戸内海におけるTN・TPの減少は陸域負荷量の低下が原因と考えられる。

1)ーウ 栄養塩等の水質環境が藻場生産に及ぼす影響解明

瀬戸内海の貧栄養化は・・・

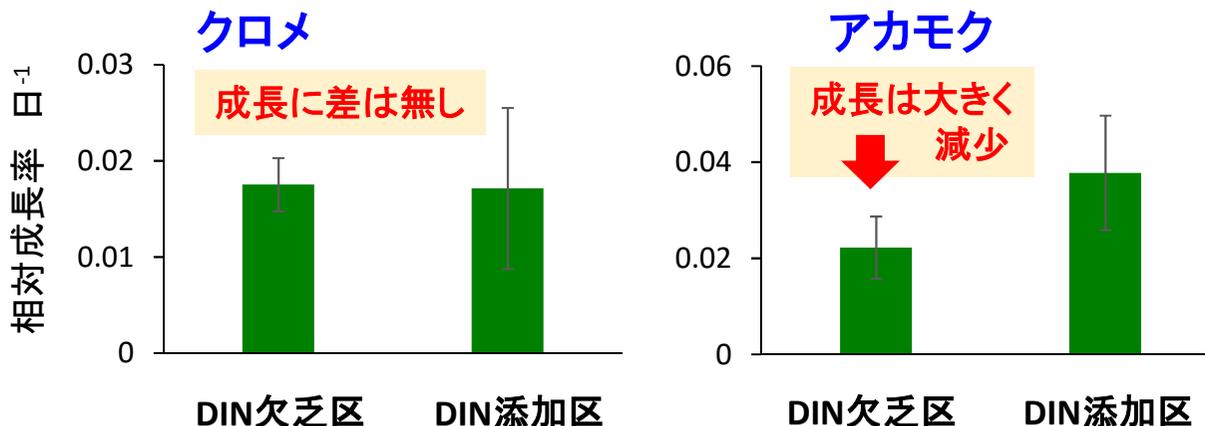
藻場の一次生産(現存量)に影響する？

瀬戸内海の岩礁性藻場の主要種であるクロメ（コンブ目藻類カジメの仲間）とアカモク（一年生ホンダワラ類）について、その成長に対する 栄養塩(DIN; 溶存態無機窒素)の欠乏・不足の影響を実験的に評価した。クロメは窒素の欠乏に耐性がある一方で、アカモクの成長は大きく影響を受けることが示唆された。近年の栄養塩濃度の減少が、現場海域の藻場の現存量に影響を及ぼしていないか、検証が必要。



クロメ

アカモク



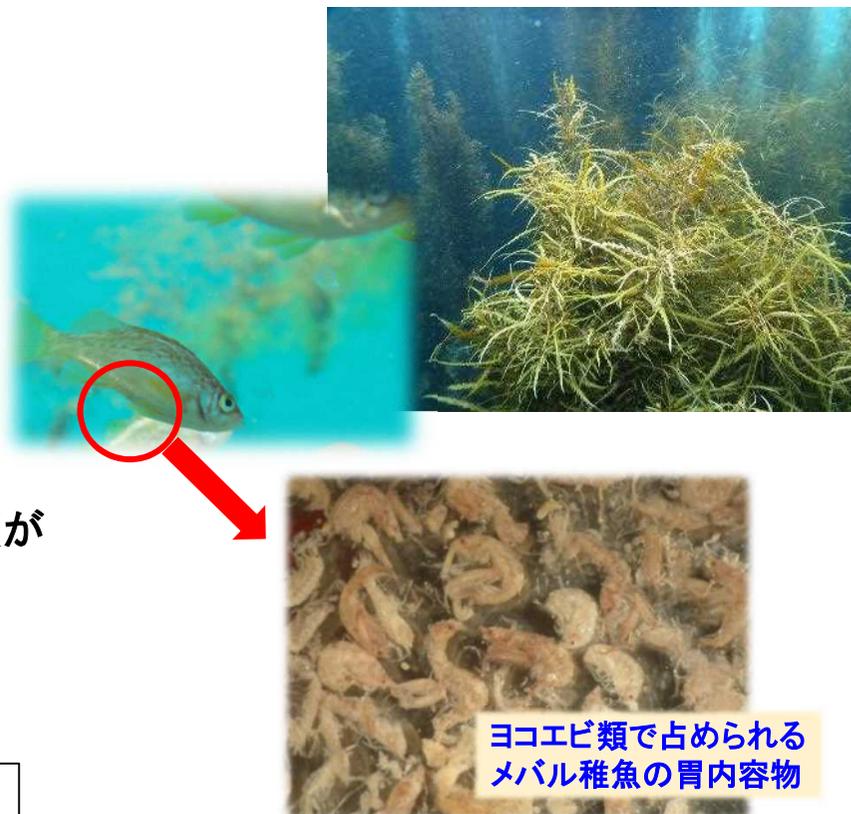
← 図 DINを添加・欠乏させておよそ1カ月育成したクロメとアカモクの成長

1)ーウ 栄養塩等の水質環境が藻場生産に及ぼす影響解明

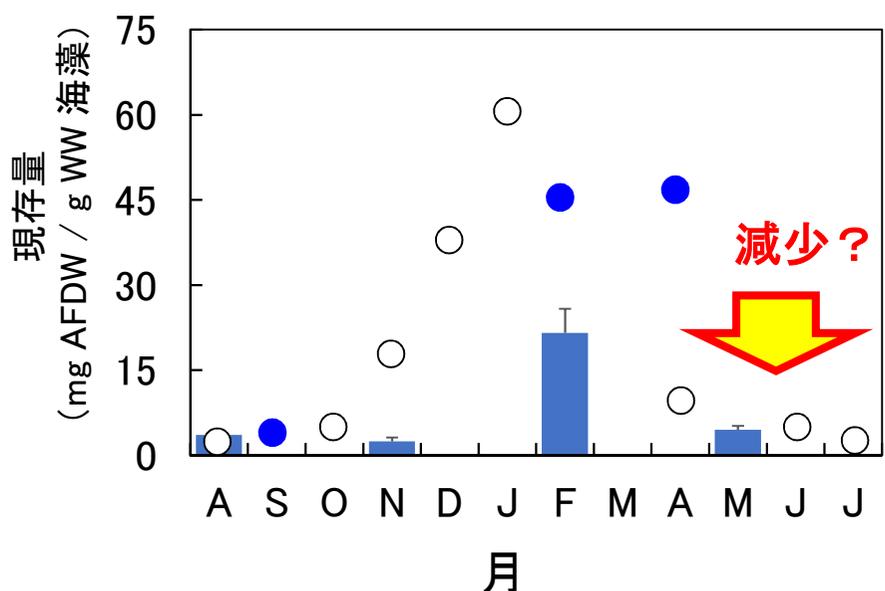
瀬戸内海の貧栄養化は...

藻場の餌料供給の役割に影響する？

藻場のホンダワラ類には多くの葉上動物が生息し、特に端脚類のヨコエビ類はメバル等重要魚種の稚魚の餌として重要。調査では過去と比較して、葉上動物の中でも特にヨコエビ類が大きく減少していることが示唆された。藻場の‘魚を育てる役割’に影響が出ていないか検証が必要。



ヨコエビ類で占められるメバル稚魚の胃内容物



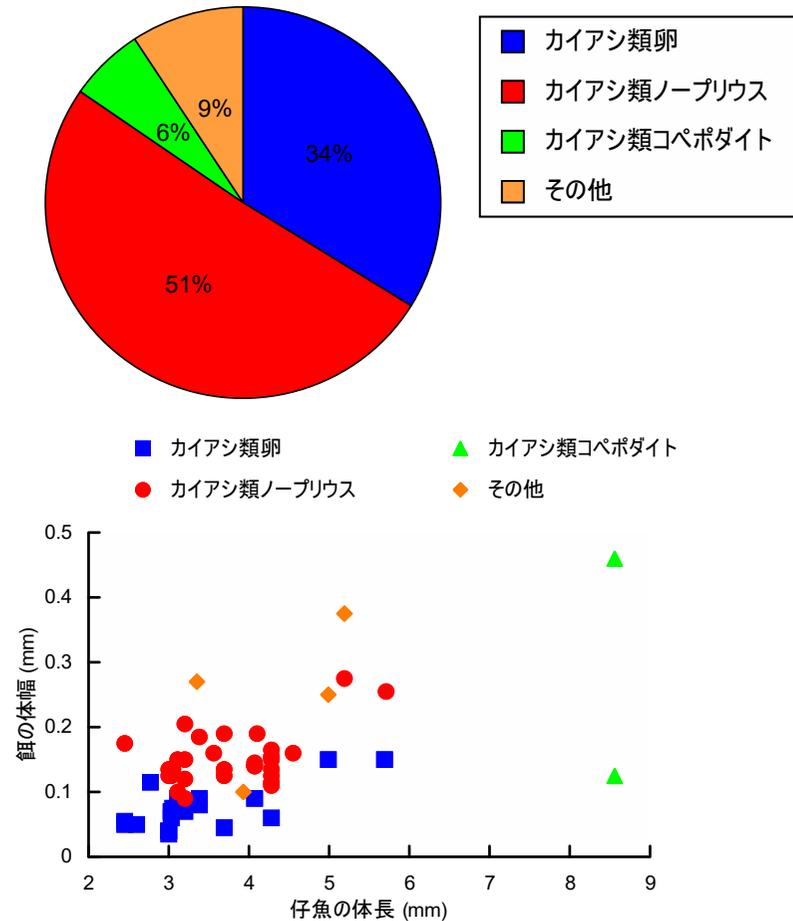
← 図 周防大島の藻場のノコギリモク上の葉上動物現存量と過去データとの比較

- 山口:周防大島(現在:2017~2018)
- 山口:周防大島(1994~1995)
- 岡山:笠岡(1956~1957)

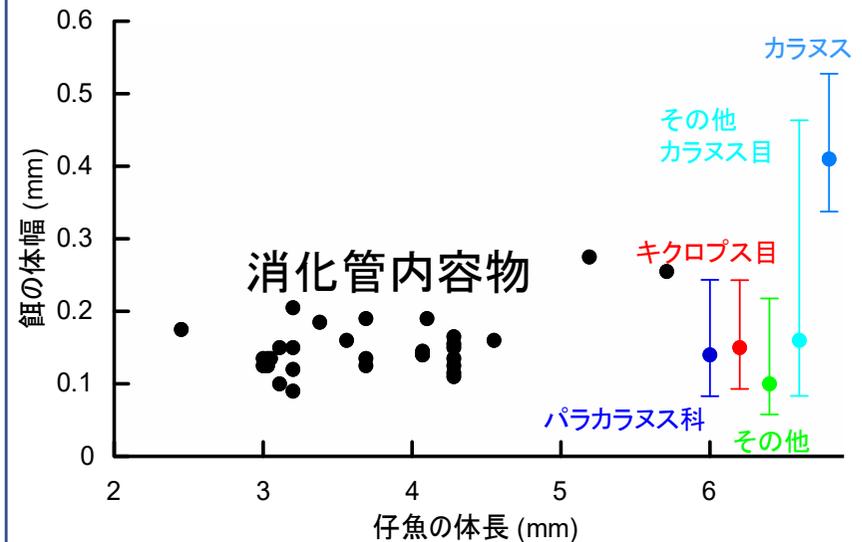
2) -ア 栄養塩等の水質環境が小型浮魚の餌料環境に及ぼす影響解明

燧灘におけるカタクチイワシ仔魚の食性と環境中の微小動物プランクトンのサイズ

カタクチイワシ仔魚の胃内容物



胃内容物と餌と環境中のノープリウスのサイズ比較



キクロプス目やパラカラス目等小型の餌を食べている。

カラス目等の大型のものは餌の対象となっていない。

餌としてキクロプス目やパラカラス目等の小型種が重要であることが明らかとなった。

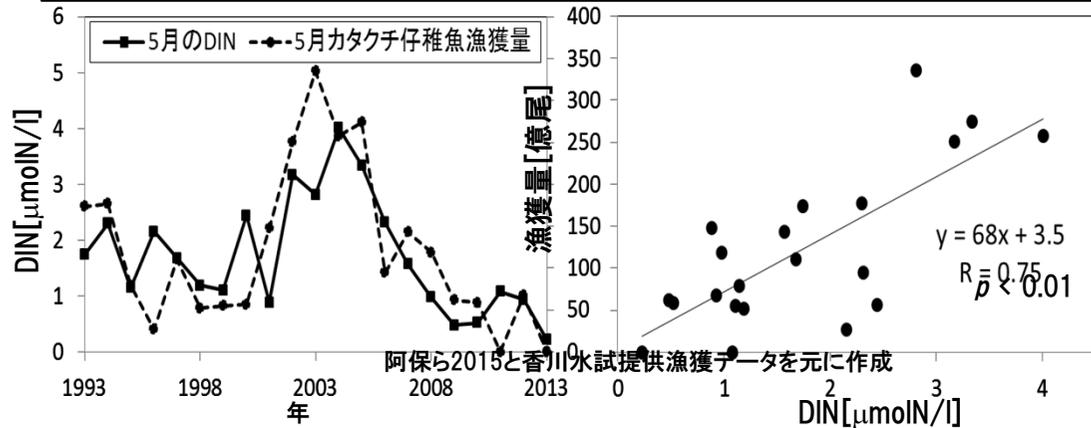
2) -ア 栄養塩等の水質環境が小型浮魚の餌料環境に及ぼす影響解明

生態系モデルによるカタクチイワシ豊漁年と不漁年の事例解析

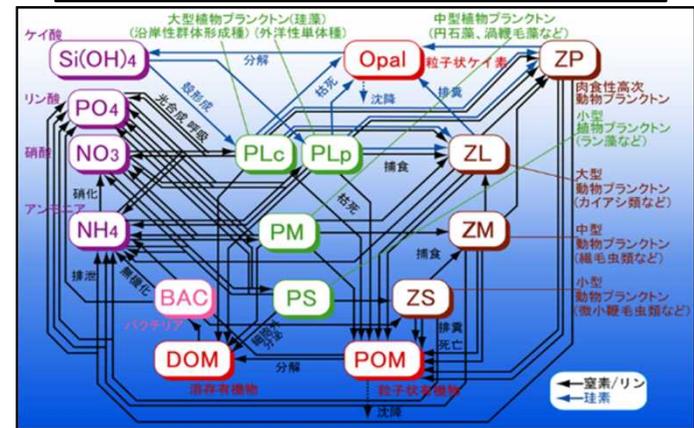
既存データを解析することにより、春季の栄養塩と仔稚魚の経年変動に有意な相関関係を発見
 ⇒ その変動機構を明らかにするために、生態系モデルを用いて豊漁年と不漁年の事例解析を実施

不漁年では、春季の栄養塩減少により春季の珪藻ブルームが縮小し、その結果、仔稚魚の餌として重要な春季のメソ動物が減少した可能性を示唆

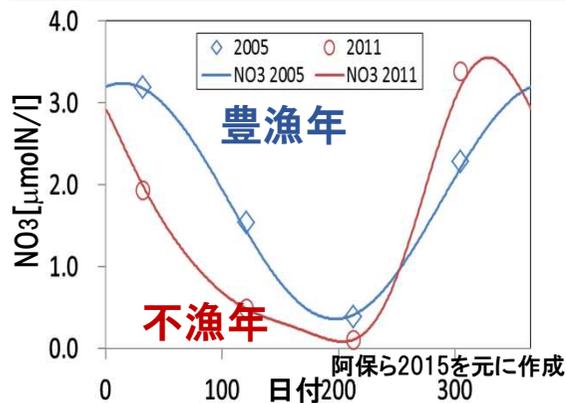
燧灘表層のDINと5月発生カタクチ仔稚魚の経年変動と両者の関係



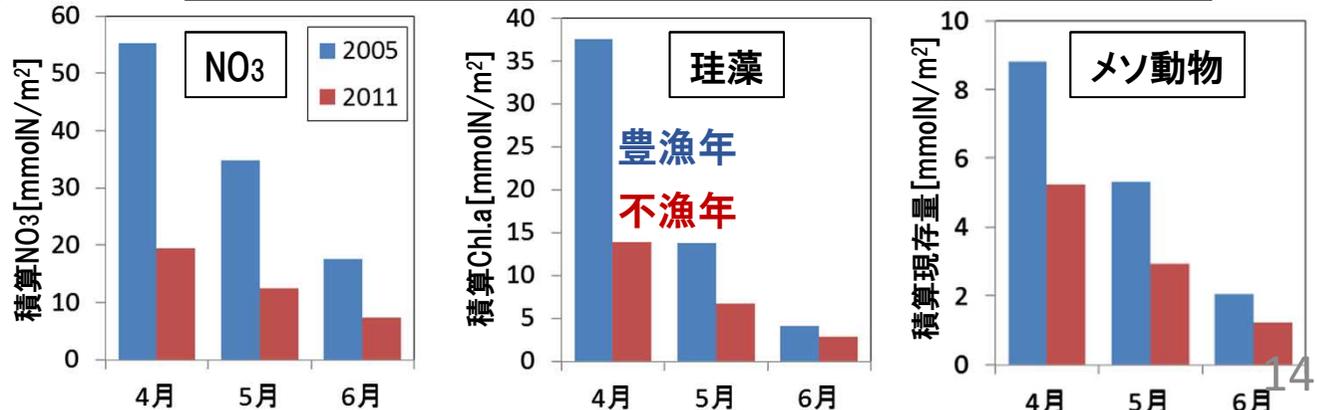
低次生態系モデルeNEMUROの概略



豊漁年と不漁年のNO₃の季節変化



モデルによる豊漁年と不漁年の春季の鉛直積算現存量の変化

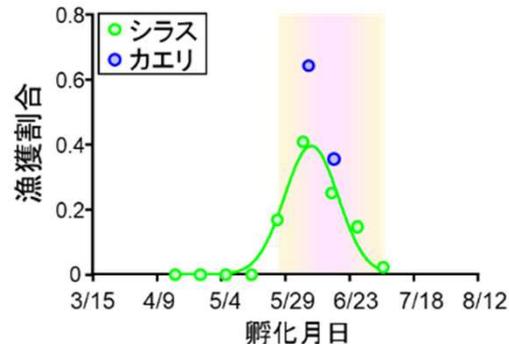
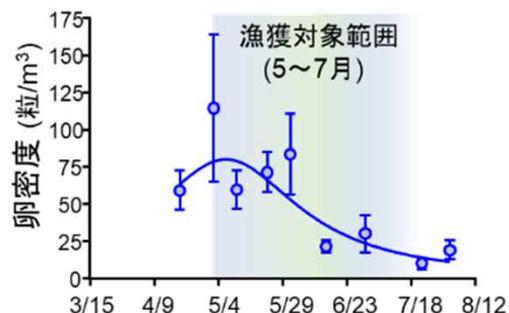


2) -イ 水質環境や餌料環境と小型浮魚生産量との因果関係の評価

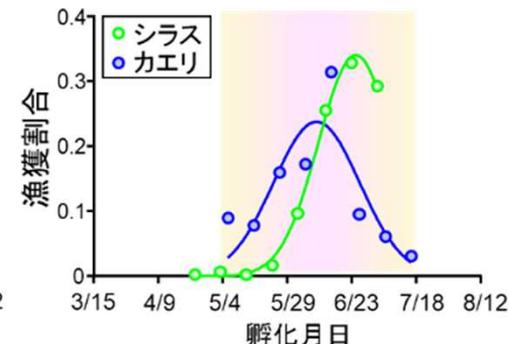
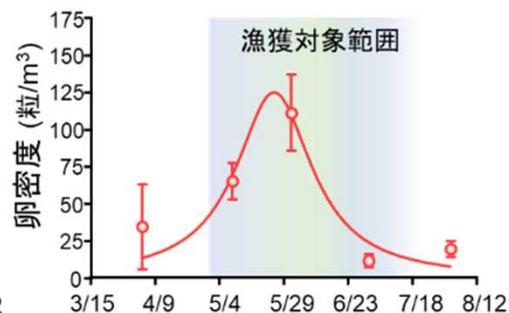
燧灘と安芸灘のカタクチイワシ卵出現時期とシラス・カエリ孵化月日別漁獲割合 (2016年)

※6~8月の漁獲データ使用

○ 燧灘



○ 安芸灘



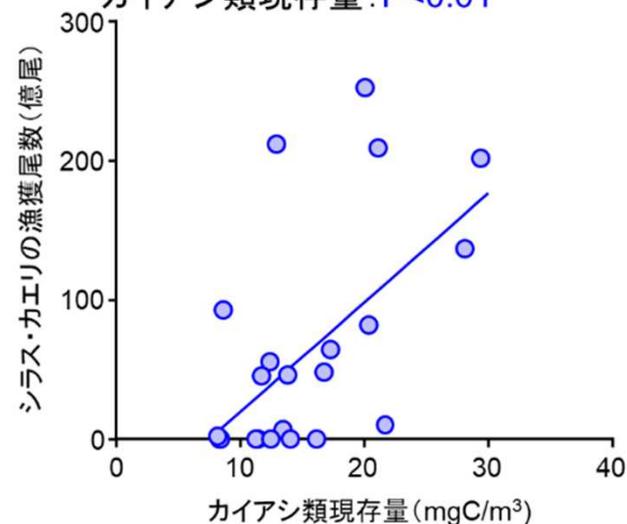
両海域において5~7月に多くの卵が出現したが、燧灘では6月発生群のみ、安芸灘では5~7月発生群がそれぞれ漁獲された。

燧灘のシラス・カエリ漁獲尾数とカイアシ類現存量の関係 (2001~2017年)

※各月前・後半のデータを使用; 一部欠損有り

○ 5月

漁獲尾数 = $-58.9 + 7.9 \times \text{カイアシ類現存量}$
 $(R^2 = 0.49; n = 23)$
 カイアシ類現存量: $P < 0.01$



○ 6月 相関なし ($P=0.72$)

5月発生群の漁獲尾数とカイアシ類現存量には有意な正の相関が認められた。

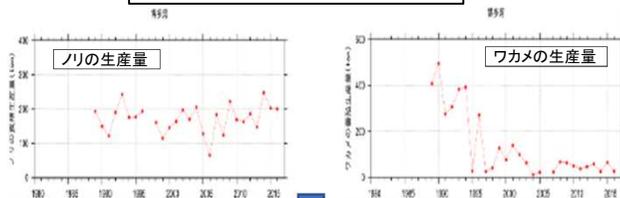
- 隣接する海域でもカタクチイワシの漁獲加入 (孵化後約1.5カ月間) までの生残が大きく異なる
- 燧灘のカタクチイワシ5月発生群の漁獲加入量には餌料環境が重要な役割を果たしている

3) 栄養塩管理の検討(博多湾をモデルとして)

きれいな海から豊かな海へ

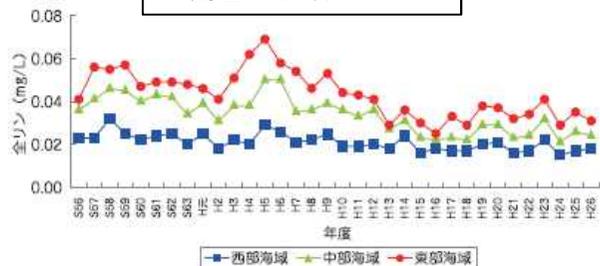
背景 (博多湾)

近年の漁獲量の減少



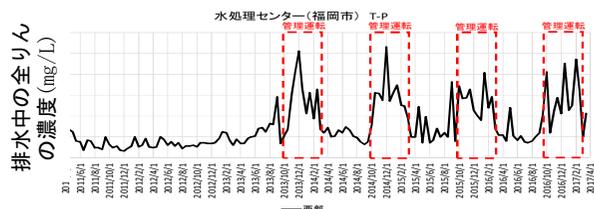
特にノリの色落ちが顕著

栄養塩不足(特にリン)



福岡市西部浄水場による
栄養塩管理運転の実施
(リンを中心)

博多湾にある処理場のうち、西部水処理センターでは、2013年から10月～2月の期間にリン排出濃度を高くする管理運転を開始。



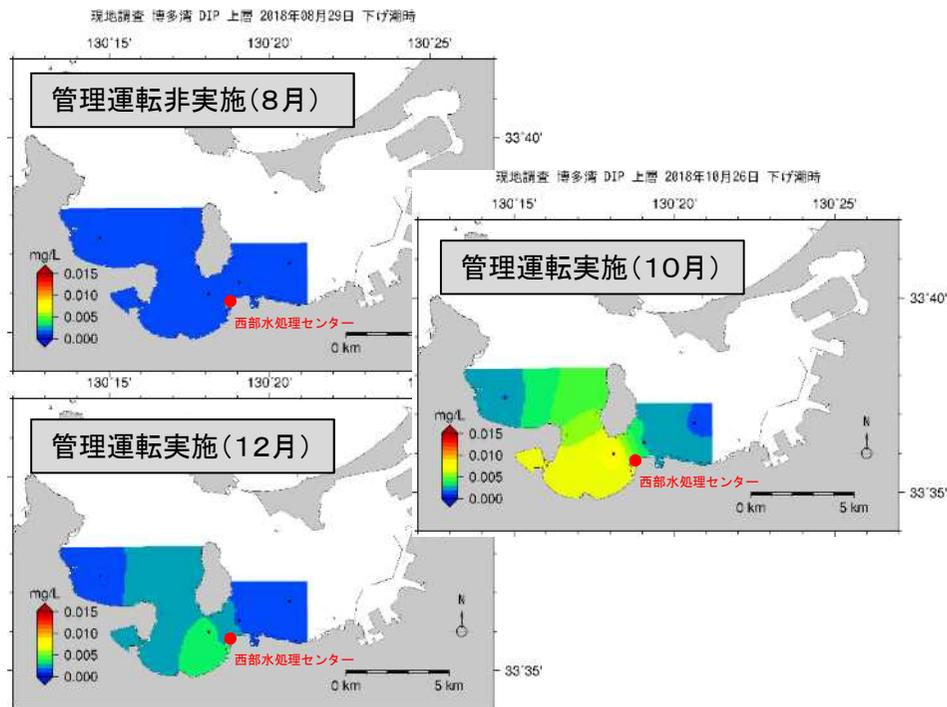
本課題

目的

「豊かな海」を実現するために必要となる、適切な栄養塩の濃度を明らかにし、そのことによって漁業生産を増大させるための方策を検討する

トピックス

管理運転を実施している期間とそうでない期間に水質調査を実施したところ、処理場の排水口から1km程の地点ではリンの濃度が高くなっているのを捉えることが出来た。(博多湾は下げ潮時の潮汐流は時計回りのため、排水口より西側(下流側)で濃度が高くなった。)



今後の方向

生態系モデルによって栄養塩と漁業生産の法則性を定量的に明らかにし、沿岸域における望ましい漁業・養殖業の在り方に向けた栄養塩管理の在り方を提案する

【まとめ】

(餌生物に関する調査研究が重要であるという観点から)

- ・ 播磨灘北西部の二枚貝養殖場では、陸域からの栄養塩供給が二枚貝養殖漁場の生産力に影響していることが示唆された。
- ・ 和歌山県では、珪藻類の増殖と栄養塩の関係及びアサリの成長と珪藻類密度との関係から、二枚貝の生産性改善には栄養塩が重要であることが示唆された。
- ・ マガキ採苗不良の頻発する広島湾では、河川からの出水により栄養塩が供給されて植物プランクトンが生産され、マガキ幼生の生産性が向上することが示された。
- ・ 生態系モデルにより、燧灘のカタクチイワシの豊漁年と不漁年の事例解析を行った結果、不漁年では、春季の栄養塩減少により春季の珪藻ブルームが縮小し、その結果、仔稚魚の餌として重要な春季のメソ動物が減少した可能性が示唆された。
- ・ 燧灘のシラス・カエリ漁獲尾数とカイアシ類現存量の関係から、燧灘のカタクチイワシ5月発生群の漁獲加入量には餌料環境が重要であることが示唆された。

【今後の課題】

- ・ 栄養塩と水産資源の関係解明には、餌生物と水産資源との関係解明が重要であり、餌生物(動物プランクトンなど)に関するデータの蓄積が必要。
- ・ 様々な種に関する栄養塩と水産資源の関係解明にはより詳細な検討が必要。

今後の必要な方策について

水産資源の持続的利用に向けた対策

- ・生産力の低下の原因については、様々な要因が考えられる。貧栄養化対策とともに、藻場干潟の保全・造成、二枚貝の増殖など生態系の回復を図る取組や、適正な資源管理が必要。
- ・貧栄養化した現状を踏まえ、施肥などの局所的な栄養塩供給、貧栄養化に対応する養殖技術の開発や品種改良など養殖生産維持のための対策が必要。
- ・様々なステークホルダーが存在し、それぞれの目指すべき理想の水質環境は異なる。湾灘協議会を有効に活用して湾灘毎にきめ細かな水質管理を実施することが必要。

必要な調査・研究について

今後、どのような分野や領域の研究が必要で、どういう順番に研究を進める必要があるのか

1. モニタリング(順応的栄養塩管理に必要)
 - ・既存調査(水質環境や赤潮生物)の継続が重要
 - ・餌生物に関する現状把握とデータの蓄積が必要
2. 海域の生産性評価
 - ・植物プランクトン
 - ・底生性の微細藻類(干潟、潮下帯)
 - ・腐食食物連鎖
 - ・2次生産(動物プランクトン)
3. 餌料生物の評価
 - ・餌料生物の質(サイズ、栄養価etc.)が重要
 - ・餌料環境の実態把握および飼育実験による評価
4. 栄養塩と水産資源の関係解明
 - ・様々な種に関して、海域毎に詳細な調査が必要