

2022 年度

瀬戸内海の環境保全・創造に係る
研究委託事業

瀬戸内海の栄養塩濃度低下がもたらす
低次生態系の変化に関する研究

瀬戸内海環境保全知事・市長会議

1 研究背景及び目的

2000 年代以降、瀬戸内海では栄養塩濃度の減少によって海域の貧栄養化が進行し、それに伴う漁業生産の減少が懸念されるようになった。このような状況を背景に、1973 年に Chattonella 赤潮による甚大な漁業被害の発生を契機として、「きれいな瀬戸内海」を取り戻すことを目的に制定された瀬戸内海環境保全特別措置法（制定時は瀬戸内海環境保全臨時措置法）が、2015 年 10 月に改正された。この法改正により、今後の施策の方向性が「きれいな海」の実現から「きれいで豊かな海」の実現へと大きく方向転換されたと言える。

また、瀬戸内海海洋環境保全基本計画には「沿岸域の環境の保全、再生及び創出」および「水産資源の持続的な利用の確保」という新たに 2 つの基本理念が加えられ、湾・灘ごとや季節ごとの課題に対応し、多面的価値・機能が最大限に発揮された「豊かな瀬戸内海」を目指すことが明記された。

瀬戸内海の海域環境、栄養塩の動態は、海域によりその濃度・減少傾向が大きく異なっている。加えて、植物プランクトンの総量を示すクロロフィル a 濃度も栄養塩の変動に同調して必ずしも減少していないことが最新の研究結果から報告されている。これは、栄養塩濃度が減少しても植物プランクトンの総量は大きく変化せず、一方で植物プランクトンの優占種や種組成が変化することによって、植物プランクトンを餌とするより高次の生物群の餌環境に影響を及ぼし、その影響が海洋生態系全体に波及する可能性を含んでいる。

このことから、栄養塩環境の変化が魚類等高次生物に及ぼす影響を明らかにするためには、植物プランクトンをクロロフィル a による総量だけで評価するのではなく、植物プランクトンの優占種や種組成の変化等、より詳細な解析が必要である。本研究課題では、栄養塩濃度の変動が最終的に高次生物にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、まず低次生態系において栄養塩と植物プランクトンの関連性を明らかにする。

2 公募研究課題の設定

瀬戸内海の栄養塩濃度は、沿岸部と沖合部で異なり経年変化の傾向も違うこと等が判明するとともに、栄養塩濃度と海洋の基礎生産量の指標とされる植物プランクトンの総量（クロロフィル a 濃度）との間にも単純な応答関係は認められず、栄養塩濃度の減少がそのままクロロフィル a 濃度と連動しているわけではないことが報告されている。

このことは、瀬戸内海の栄養塩濃度の低下に伴い低次生態系にも何らかの変化が生じ、それが魚類等を含む高次生態系に影響している可能性を示唆するものである。このことから、栄養塩の変動と高次生態系の応答を明らかにするためには、まず低次生態系の栄養塩と植物プランクトンの関連性について詳細に理解する必要がある。

本研究課題では、瀬戸内海において栄養塩濃度の低下が低次生態系にどのような変化をもたらすのか明らかにし、栄養塩と植物プランクトンに関わる知見をとりまとめる。

3 公募研究の趣旨、目的、概要

本研究では、瀬戸内海における海洋環境の変動と植物プランクトンの応答について、時空間変化等の解析を行い、環境変化に敏感な植物プランクトンの鍵種を抽出する。また、得られた知見に基づき、瀬戸内海における植物プランクトンの変化を低次生態系モデルで再現する。

これにより、将来、栄養塩濃度の低下が高次生物に及ぼす影響を明らかにするため、高次生態系を含む統合モデルの構築を目指す際に不可欠な低次生態系モデルの再現性や推定精度の向上を図る。そのために、今年度は以下の内容が行われた。

- (1) 環境要因と植物プランクトンに関するデータベース構築のため、環境省広域水質調査の水温、溶存態無機窒素（DIN）、クロロフィル a（Chl. a）、透明度、pH、溶存酸素（DO）、全窒素（TN）、全リン（TP）、溶存態無機リン（DIP）の 1981～2019 年までのデータを整理し、時空間変動解析を行う。
- (2) 瀬戸内海に面した関係府県に対して、植物・動物プランクトン観測データの有無、本研究課題での利用の可否についてアンケート調査を実施する。
- (3) 独自の海洋観測による植物プランクトンデータ収集として、2022 年夏季に豊後水道において植物プランクトンのサイズ組成を調査する。
- (4) 既往文献から、環境変化に敏感な鍵種の抽出と環境応答特性を調査する。
- (5) 低次生態系モデル eNEMURO を用いた解析を行うため、本モデルへの鍵種の導入等の検討と高次生態系モデル Ecopath with Ecosim の改変を行う。

4 研究結果

環境要素の時空間変動解析の結果として、1981 年から 2019 年にかけて、瀬戸内海のほぼ全域で水温が上昇し、DIN、TN、TP 濃度は低下していたこと、および、ほぼ全域で透明度が上昇し、貧酸素水塊の指標である底層の DO が増加していたことが示され、本解析結果からも瀬戸内海が「きれいな海」へと変化していることが確認された。

一方、植物プランクトンの現存量を示す Chl. a の変化は、海域によって異なり、Chl. a の長期トレンドは、栄養塩濃度の低下に伴い必ずしも低下しておらず、季節別に解析した結果では、春季に全域で Chl. a の減少が確認されたものの、夏季～冬季にかけて増加トレンドを示す海域が拡大していくことが判明した。特に、冬季の増加には、水温の上昇、栄養塩濃度の低下といった近年の海洋環境の変化によく適応し、養殖海苔の色落ち原因藻として問題視されている珪藻 *Eucampai zodiacus* のような種が増加していることが考えられた。このような種が冬季に大量発生するようになったことで、冬季に栄養塩が消費され、春季の低栄養塩環境下で珪藻の春季ブルームが縮小している可能性が示唆された。

関係府県に実施したアンケート調査の結果、プランクトン観測データのうち植物プランクトンのデータを有し、それが利用可能な府県は、大阪府（一部のみ利用可）、兵庫県（データ利用は要相談）、広島県、香川県、大分県、福岡県（有害種のみ）であった。

また、動物プランクトンのデータを有し利用可能なのは、兵庫県（データ利用は要相談）のみであった。

アンケート調査から、全ての関係府県が植物・動物プランクトンに関するデータを有していないことが判明し、解析が可能な海域も限定されることが明らかとなった。また、2022 年夏季に豊後水道の潮汐フロント周辺海域において、植物サイズ組成解析の用サンプルを取得し、3 月中に分析予定である。

瀬戸内海的环境変化に対して敏感に反応し鍵種と候補となる生物を抽出するため、最新の水産資源変動に関する論文の文献調査を実施した。Yoneda et al. (2022) は、近年の燧灘におけるカタクチイワシ仔稚魚（しらす・かえり）の不漁要因として、水温の上昇や栄養塩濃度の低下によって、春～初夏にカタクチイワシ親魚の主な餌生物である冷水性カイアシ類（*Calanus sinicus*、*Corycaeus affinis* 等）が大きく減少した結果、産卵親魚の餌環境が悪化し、カタクチイワシの卵質が低下したため、ふ化して間もない仔稚魚の初期生残率も低下したことを指摘している。このことから、燧灘ではこの冷水性カイアシ類が、動物プランクトンの鍵種となる可能性が考えられた。

栄養塩の低下等、環境変化が高次生物に及ぼす影響を明らかにするため、低次生態系モデル eNEMURO と食物網（高次生態系）モデル Ecopath with Ecosim (EwE) を組み合わせた統合モデルの構築を検討した。ここでは特に、低次生態系を扱うモデル eNEMURO において、植物・動物プランクトンをそれぞれ 4 種類とし、低次生態系の季節変化を再現するための生理パラメータを調整することで栄養塩、植物プランクトン、および動物プランクトンの季節変化の再現精度向上を図った。EwE は、23 種類の生物とそれらの生物パラメータを元に構築し、eNEMURO の計算結果を直接導入できるように、植物・動物プランクトンを 8 種類に増やす改良を行った。これらの作業により、鍵種を含めた環境変化に対する生態系応答を解析可能な統合モデルを展開する準備が整いつつある。

5 次年度の課題

関係府県へのアンケート調査の結果を受けて、植物・動物プランクトンのデータを有する研究機関から当該データの収集を行い、植物・動物プランクトンの種レベルでの各種解析を実施する。

また、その解析結果から植物プランクトンについて近年の海洋環境に適応し、勢力を拡大している種、または大きく減少した種等を鍵種として抽出する。

さらに、その解析結果を本研究課題で低次生態系モデルとして活用する eNEMURO に反映させることで、数理モデルによる解析の再現性、予測シミュレーション精度の向上等を検討する。

2023 年度

瀬戸内海の環境保全・創造に係る
研究委託事業

瀬戸内海の栄養塩濃度低下がもたらす
低次生態系の変化に関する研究

瀬戸内海環境保全知事・市長会議

1 研究背景及び目的

2000 年代以降、瀬戸内海では栄養塩濃度の減少によって海域の貧栄養化が進行し、それに伴う漁業生産の減少が懸念されるようになった。このような状況を背景に、1973 年に Chattonella 赤潮による甚大な漁業被害の発生を契機として、「きれいな瀬戸内海」を取り戻すことを目的に制定された瀬戸内海環境保全特別措置法（制定時は瀬戸内海環境保全臨時措置法）が、2015 年 10 月に改正された。

この法改正により、今後の施策の方向性が「きれいな海」の実現から「きれいで豊かな海」の実現へと大きく方向転換されたと言える。また、瀬戸内海海洋環境保全基本計画には「沿岸域の環境の保全、再生及び創出」および「水産資源の持続的な利用の確保」という新たに 2 つの基本理念が加えられ、湾・灘ごとや季節ごとの課題に対応し、多面的価値・機能が最大限に発揮された「豊かな瀬戸内海」を目指すことが明記された。

瀬戸内海の海域環境、栄養塩の動態は、海域によりその濃度・減少傾向が大きく異なっている。加えて、植物プランクトンの総量を示すクロロフィル a 濃度も栄養塩の変動に同調して必ずしも減少していないことが最新の研究結果から報告されている。

これは、栄養塩濃度が減少しても植物プランクトンの総量は大きく変化せず、一方で植物プランクトンの優占種や種組成が変化することによって、植物プランクトンを餌とするより高次の生物群の餌環境に影響を及ぼし、その影響が海洋生態系全体に波及する可能性を含んでいる。

このことから、栄養塩環境の変化が魚類等高次生物に及ぼす影響を明らかにするためには、植物プランクトンをクロロフィル a による総量だけで評価するのではなく、植物プランクトンの優占種や種組成の変化等、より詳細な解析が必要である。本研究課題では、栄養塩濃度の変動が最終的に高次生物にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、まず低次生態系において栄養塩と植物プランクトンの関連性を明らかにする。

2 公募研究課題の設定

瀬戸内海の栄養塩濃度は、沿岸部と沖合部で異なり経年変化の傾向も違うこと等が判明するとともに、栄養塩濃度と海洋の基礎生産量の指標とされる植物プランクトンの総量（クロロフィル a 濃度）との間にも単純な応答関係は認められず、栄養塩濃度の減少がそのままクロロフィル a 濃度と連動しているわけではないことが報告されている。このことは、瀬戸内海の栄養塩濃度の低下に伴い低次生態系にも何らかの変化が生じ、それが魚類等を含む高次生態系に影響している可能性を示唆するものである。このことから、栄養塩の変動と高次生態系の応答を明らかにするためには、まず低次生態系の栄養塩と植物プランクトンの関連性について詳細に理解する必要がある。本研究課題では、瀬戸内海において栄養塩濃度の低下が低次生態系にどのような変化をもたらすのか明らかにし、栄養塩と植物プランクトンに関わる知見をとりまとめる。

3 公募研究の趣旨、目的、概要

本研究では、瀬戸内海における海洋環境の変動と植物プランクトンの応答について、時空間変化等の解析を行い、環境変化に敏感な植物プランクトンの鍵種を抽出する。

また、得られた知見に基づき、瀬戸内海における植物プランクトンの変化を低次生態系モデルで再現する。これにより、将来、栄養塩濃度の低下が高次生物に及ぼす影響を明らかにするため、高次生態系を含む統合モデルの構築を目指す際に不可欠な低次生態系モデルの再現性や推定精度の向上を図る。そのために、今年度は環境要因と植物プランクトンに関するデータベースを構築するため、昨年度に引き続き環境省広域水質調査データを整理した。

また、2023 年春季および夏季に豊後水道において植物プランクトンのサイズ組成の観測を実施し、現場観測による植物プランクトンデータを収集した。昨年度、瀬戸内海におけるプランクトン長期観測データの有無、利用可能性をアンケート調査した結果、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが播磨灘において実施している定期的な海洋観測調査が、植物・動物プランクトン共に観測データが揃っており、本研究で利用可能であることが判明した。今年度はそのデータセットを用いて、環境変化に敏感な鍵種の抽出や海洋環境の変動に対する主要な植物プランクトン種の応答を解析するため、1973 年 4 月～2008 年 12 月まで 36 か年のデータセットについて、既に論文等で公表されている既報の植物プランクトン研究についてレビューし、低次生態系モデルの精度向上に必要な知見を蓄積した。

4 研究結果

環境要因と植物プランクトンに関するデータベースを構築するため、昨年度に引き続き環境省広域水質調査データを整理した。また、2023 年春季および夏季に豊後水道において植物プランクトンのサイズ組成の観測を実施し、現場観測による植物プランクトンデータを収集した。昨年度、瀬戸内海におけるプランクトン長期観測データの有無、利用可能性をアンケート調査した結果、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが播磨灘において実施している定期的な海洋観測調査が、植物・動物プランクトン共に観測データが揃っており、本研究で利用可能であることが判明した。

今年度はそのデータセットを用いて、環境変化に敏感な鍵種の抽出や海洋環境の変動に対する主要な植物プランクトン種の応答を解析するため、1973 年 4 月～2008 年 12 月まで 36 か年のデータセットについて、既に論文等で公表されている既報の植物プランクトン研究についてレビューし、低次生態系モデルの精度向上に必要な知見を蓄積した。

播磨灘では、海洋環境の長期的な変動として、水温に有意な上昇と栄養塩濃度（特に溶存態無機窒素（DIN）濃度）に有意な低下が見られた。そのような海洋環境の長期的変動の中で、植物プランクトン群集の細胞密度は 1970 年代に高く、1980 年代前半に大きく減少し、1980 年代後半以降はほぼ横ばいで推移していた。植物プランクトンの種構成は、調査期間を通して大部分が珪藻であったが、1970 年代～1980 年代前半は、有害赤

潮藻であるラフィド藻が全体の 20 % 近くを占める年も見られた。また、珪藻の種組成も 1980 年代前半に劇的な変化が見られ、1970 年代～1980 年代前半に構成種の大部分を占めていた *Skeletonema* の割合が小さくなり、1980 年代半ば以降は *Chaetoceros* をはじめとする他の珪藻の占める割合が増大した。

栄養塩レベルによって海域を貧栄養、富栄養、過栄養、腐水域の 4 つに分類した場合、*Skeletonema* は栄養塩濃度の非常に高い海域で高密度に出現する種であることが知られており、過栄養海域の指標種とされている。1970 年代～1980 年代前半の播磨灘は、植物プランクトン種組成からも著しく富栄養化した海域環境であったことが伺えた。また、播磨灘、大阪湾、洞海湾の植物プランクトン群集の種組成と海洋環境を比較した結果、この 3 海域における植物プランクトン群集は 10 年スケールのタイムラグで海洋環境、特に栄養塩レベルに応答して同様の変遷を辿っていることを確認した。

Chattonella は、瀬戸内海においてこれまで最も漁業被害を引き起こしてきた瀬戸内海を代表的する有害赤潮藻である。本種は、1972 年に播磨灘において大規模な赤潮を形成し、養殖ハマチが大量に斃死したことが大きな社会問題となり、翌年に瀬戸内海環境保全臨時措置法が制定されるきっかけとなったことでも知られている。月 1 回の頻度という赤潮のモニタリング調査としては調査頻度が粗いものの、本調査結果からも 1970～1980 年代、8 月に本種がしばしば播磨灘全域を着色域とする大規模な赤潮を形成していたことが確認された。

しかしながら、1990 年代以降、播磨灘の 8 月の調査では *Chattonella* の出現はほとんど見られなくなった。夏季の播磨灘では、溶存無機態窒素（DIN）濃度が減少傾向にあり、近年の海洋環境下では、*Chattonella* が以前のように大規模な赤潮を形成できなくなったと考えられた。

一方で、1990 年代後半以降、*Chattonella* は出現密度や発生規模は小さいものの、北部沿岸域において 7 月に出現する頻度が高くなっていた。*Chattonella* は、一年の大部分をシストと呼ばれる休眠期細胞を形成して海底の泥の中で過ごし、底層水温が 20℃ 近くに上昇するとシストが活発に発芽して、海水中に栄養細胞が出現することが知られている。播磨灘では海水温の上昇により、底層水温が 20℃ に達する時期が早まっており、*Chattonella* シストの発芽時期も数週間～1 か月近く早まっていると考えられている。

その結果、*Chattonella* 栄養細胞の出現時期が梅雨の期間と重なるようになり、主要河川が集中する播磨灘北部沿岸では、限定的な海域ではあるものの、栄養塩濃度が一時的に上昇し、珪藻のブルームが衰退した河口域において、*Chattonella* が小規模に増殖できるチャンスが増大していることが考えられた。

播磨灘では海苔養殖の生産量がピークに達した 1990 年代半ば以降、冬季に *Eucampia zodiacus* が大量発生して海域の栄養塩を大量に消費するようになり、養殖海苔に深刻な色落ち被害が頻発するようになった。本種は、本海洋観測調査が始まった 1970 年代から毎年、播磨灘において出現が確認されてきた。一方で、他の優占種の出現細胞密度が経年的に減少する種が多い傾向にあるのに対し、本種は 1990 年代半ば以降、出現細胞密度

が増大するようになり、季節的には海苔養殖が盛んな1～4月にかけて優占するようになった。このような *E. zodiacus* の出現動向にも、冬季水温の上昇や DIN 濃度の低下など海域環境の変動が密接に関係していることが確認された。室内培養実験から明らかになった本種の増殖生理学的特性から、播磨灘における海洋環境の長期変動は、*E. zodiacus* にとって他種との競合において有利に作用していることが考えられた。

5 次年度の予定

兵庫県水産技術センターが有する海洋観測調査結果のうち、解析が終わっていない直近 15 か年データセットについてとりまとめ、特に貧栄養化が指摘されるようになった 2010 年代以降の海洋環境と植物プランクトンの関係を評価する。

その解析結果を低次生態系モデルに反映させることによって、高次生態系までを含む低次－高次生態系統合モデルの低次生態系部分の再現性、予測シミュレーション等の精度向上を検討する。

2024 年度

瀬戸内海の環境保全・創造に係る
研究委託事業

瀬戸内海の栄養塩濃度低下がもたらす
低次生態系の変化に関する研究

瀬戸内海環境保全知事・市長会議

1 研究背景及び目的

2000 年代以降、瀬戸内海では栄養塩濃度の減少によって海域の貧栄養化が進行し、それに伴う漁業生産の減少が懸念されるようになった。このような状況を背景に、1973 年に Chattonella 赤潮による甚大な漁業被害の発生を契機として、「きれいな瀬戸内海」を取り戻すことを目的に制定された瀬戸内海環境保全特別措置法（制定時は瀬戸内海環境保全臨時措置法）が、2015 年 10 月に改正された。

この法改正により、今後の施策の方向性が「きれいな海」の実現から「きれいで豊かな海」の実現へと大きく方向転換されたと言える。また、瀬戸内海海洋環境保全基本計画には「沿岸域の環境の保全、再生及び創出」および「水産資源の持続的な利用の確保」という新たに 2 つの基本理念が加えられ、湾・灘ごとや季節ごとの課題に対応し、多面的価値・機能が最大限に発揮された「豊かな瀬戸内海」を目指すことが明記された。

瀬戸内海の海域環境、栄養塩の動態は、海域によりその濃度・減少傾向が大きく異なっている。加えて、植物プランクトンの総量を示すクロロフィル a 濃度も栄養塩の変動に同調して必ずしも減少していないことが最新の研究結果から報告されている。

これは、栄養塩濃度が減少しても植物プランクトンの総量は大きく変化せず、一方で植物プランクトンの優占種や種組成が変化することによって、植物プランクトンを餌とするより高次の生物群の餌環境に影響を及ぼし、その影響が海洋生態系全体に波及する可能性を含んでいる。

このことから、栄養塩環境の変化が魚類等高次生物に及ぼす影響を明らかにするためには、植物プランクトンをクロロフィル a による総量だけで評価するのではなく、植物プランクトンの優占種や種組成の変化等、より詳細な解析が必要である。本研究課題では、栄養塩濃度の変動が最終的に高次生物にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするため、まず低次生態系において栄養塩と植物プランクトンの関連性を明らかにする。

2 公募研究課題の設定

瀬戸内海の栄養塩濃度は、沿岸部と沖合部で異なり経年変化の傾向も違うこと等が判明するとともに、栄養塩濃度と海洋の基礎生産量の指標とされる植物プランクトンの総量（クロロフィル a 濃度）との間にも単純な応答関係は認められず、栄養塩濃度の減少がそのままクロロフィル a 濃度と連動しているわけではないことが報告されている。このことは、瀬戸内海の栄養塩濃度の低下に伴い低次生態系にも何らかの変化が生じ、それが魚類等を含む高次生態系に影響している可能性を示唆するものである。このことから、栄養塩の変動と高次生態系の応答を明らかにするためには、まず低次生態系の栄養塩と植物プランクトンの関連性について詳細に理解する必要がある。本研究課題では、瀬戸内海において栄養塩濃度の低下が低次生態系にどのような変化をもたらすのか明らかにし、栄養塩と植物プランクトンに関わる知見をとりまとめる。

3 公募研究の趣旨、目的、概要

本研究では、瀬戸内海において海洋環境の変動に対する植物プランクトンの応答について、時空間変化等を解析する。

また、得られた知見に基づき、瀬戸内海における海洋環境の変動に対する植物プランクトンの応答を低次生態系モデルで再現する。これにより、将来、栄養塩濃度の低下が高次生物に及ぼす影響を明らかにするために必要な高次生態系を含む統合モデルの構築に向けて、低次生態系モデルの再現性や推定精度の向上を図る。そのために、最終年度である今年度は以下の検討を行った。

(1) 播磨灘の環境変化と植物プランクトンの応答解析

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが播磨灘に設けた 19 定点において、1973 年 4 月から 2022 年 12 月にかけて毎月 1 回の頻度で実施している長期観測データを用いた。

観測項目のうち、水温、塩分、透明度、溶存酸素、栄養塩濃度、クロロフィル a 濃度（2000 年以降）、植物プランクトンの細胞密度等を解析に供した。主成分分析を用いた植物プランクトンの変動特性の解析から、播磨灘を灘中央、沿岸、極沿岸①・②の 4 つの海域に分け、植物プランクトンの変動を時系列および空間スケールの両面から検討した。

(2) 低次生態系モデルによる解析

低次生態系モデルは、北太平洋海洋科学機構（PICES）の標準低次生態系モデル NEMURO を拡張した eNEMURO を用いた。

本モデルでは、植物プランクトンや動物プランクトン群集を複数の機能群に分類し、栄養塩の供給量や水温の変化に対する成長・摂食・死亡プロセスを計算し、栄養塩が十分にある環境から貧栄養化が進行した環境下における植物プランクトンのサイズ組成の変化等をより高精度に再現することを試みた。モデルを駆動するための外力は、2000～2013 年までの播磨灘における領域平均値（水温、日射量、底層の栄養塩濃度）を境界条件として与えた。

標準実験として、プランクトンの生理パラメータを調整し、低次生態系の季節変動を再現できるようにした後、4 つの経年変動シナリオ（Case 1：系外からの栄養塩供給の減少、Case 2：系内の栄養塩の直接的減少、Case 3：水温上昇、Case 4：系外からの栄養塩供給減少・水温上昇）を設定し、環境変化に対する生態系の応答として、特に温暖化と貧栄養化が進行した環境下での低次生態系の応答を評価した。

(3) プロトタイプ統合生態系モデルによる解析

高次生態系を取り扱う食物網モデルとして、世界的に広く利用されている Ecopath

with Ecosim (EwE) を用い、(2)で上述した eNEMURO (植物プランクトン 4 機能群 + 動物プランクトン 4 機能群) を EwE で直接利用できるように拡張した。魚類の生理パラメータ値は、2013 年の瀬戸内海東部海域における漁獲統計データを基に推定し、魚類等を含む計 29 の生物機能群を取り扱うプロトタイプ統合生態系モデルとした。

本統合モデルを用いて、2 つの経年変動シナリオ (実験 1 : 各プランクトンが 20 年で半減する長期餌料減少シナリオ、実験 2 : 温暖化と貧栄養化が同時進行する 14 年間のプランクトン経年変動 (上述 2) の Case 4 を与えたシナリオ) を設定し、栄養塩濃度の低下等、海洋環境の変化が海洋生態系を介して最終的に魚類を含む高次生態系に及ぼす影響を試算した。

4 研究結果

瀬戸内海において海洋環境の変動に対する植物プランクトンの応答について、時空間変化等が解析された。さらに、瀬戸内海における海洋環境の変動に対する植物プランクトンの応答を低次生態系モデルで再現するために、播磨灘の環境変化と植物プランクトンの応答解析、低次生態系モデルによる解析、およびプロトタイプ統合生態系モデルによる解析が行われた。

播磨灘における長期観測データの解析により、水温は有意な上昇しているが塩分は有意な経年変化は認められず、透明度は上昇傾向にあり、溶存態無機窒素 (DIN) 濃度は有意に減少していることが示された。また、植物プランクトンの細胞密度は、1970 年代から 1990 年代にかけて DIN 濃度の減少と概ね同期的に変動したが、2000 年代以降は栄養塩とは異なる変動を示した。

近年の貧栄養化した環境下では、植物プランクトンの同属内でも細胞サイズの小さい種が優占しており、植物プランクトンの細胞密度と漁獲量との間にも明瞭な関係性は認められないが、低次生物生産過程において転送効率が低下しているためではないかと考えられた。

低次生態系モデルの eNEMURO を用いたシミュレーションの結果により、観測された低次生態系の季節変動が適切に再現されていることが確認された。また、4 つの経年変化シナリオごとのシミュレーション結果は、クロロフィル a 濃度では捉えきれない植物プランクトン群集の種組成、およびサイズ組成の変化とそれを捕食するカイアシ類等動物プランクトンの応答を詳細に把握することが、海域の貧栄養化が海洋生態系を介して水産上重要な高次生物に及ぼす影響を評価する上で必要であることが示唆された。本統合モデルは高次生態系の変動傾向を再現する上で有用であることが示唆された。

しかし、現状のプロトタイプの統合生態系モデルでは、モデル解析による推定値が過小評価される魚種が多い等不確実性も残っており、今後のさらなる精度向上が必要であることが示された。低次生態系モデルの eNEMURO については、低次生物生産過程を表現するために、植物・動物プランクトンをそれぞれ 4 つの機能群とすることによって、

モデルの再現精度、予測精度の向上が図られた。

高次生態系を取り扱う食物網モデルである EwE の低次生態系の生物生産過程に、eNEMURO を直接利用できるよう拡張した統合生態系モデルのプロトタイプが構築された。栄養塩濃度等、海洋環境の変化が海洋生態系を介して高次生物に及ぼす影響を試算した結果からは、貧栄養化と温暖化の進行によって、植物・動物プランクトンでは珪藻とカイアシ類が減少し、魚類の多くも減少することが確認され、海域の貧栄養化が水産資源に影響を及ぼす可能性が示された。

5 今後の課題

栄養塩濃度の低下等、海洋環境の変化が海洋生態系を介して最終的に水産上重要な高次生物に及ぼす影響を評価するため、低次生態系モデル（eNEMURO）を基に本事業で構築したプロトタイプの統合生態系モデルの再現性、予測精度の向上を図る必要がある。

そのためには、植物・動物プランクトンに関するデータの拡充が必要不可欠であり、既存の定期的な海洋観測の継続実施に加え、新技術（顕微鏡画像解析装置や DNA 分析等）を導入した新しいモニタリングシステムによる海洋観測の省力化、高度化の検討が重要である。