

【2-1604】温暖化に対して脆弱な日本海の循環システム変化がもたらす海洋環境への影響の検出 (2016~2018 116,038 千円)

研究代表者 荒巻 能史 (国立研究開発法人国立環境研究所)

1. 研究実施体制

- (1) 海水循環および炭素循環の変動の検出 (国立研究開発法人国立環境研究所)
- (2) 深層水の構造変化とそれともなう深層流の変化 (九州大学)
- (3) 海洋生物生産量の変動の検出 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

2. 研究開発目的

本研究では、以下に記す3つのサブテーマが有機的に連携しながら、日本海を対象として海水循環の変化や酸素減少傾向の監視を継続するとともに、海水循環システムの変化ともなう最近数十年における海洋環境の変化、すなわち生物生産や炭素循環の変化、さらには海洋酸性化の進行度などの検出を目指す。

サブテーマ(1): 海水試料中の化学トレーサーの分析と過去の観測データを数値モデルに組み込み、海水循環の変動を検出する。また、表層 pCO_2 や CO_2 化学種濃度の断面観測を実施し、ニューラルネットワーク法を適用することで日本海全域の pCO_2 分布を推定する。ここで得たアルゴリズムを歴史的資料にも適用することで時間変動を把握し、炭素循環の変化、酸性化の進行度を検出する。さらに、日本海流動・物質循環シミュレーションモデルを構築し、再現計算・感度解析を通じて温暖化の影響を定量的に評価するとともに、将来予測を行う。

サブテーマ(2): 既往観測資料及び新たに得られる海水特性と流れのデータを用いて、数十年スケールでの日本海深層の構造的な変化を明らかにし、他のサブテーマの結果との相互解析により、各種化学物質の分布を海洋物理学的視点から検証する。

サブテーマ(3): 海水試料中の溶存酸素濃度の分析と過去の観測データを組み合わせて解析し、全水柱における溶存酸素存在量の経年変化を見積もる。また、基礎生産量の現場観測に基づき、衛星データによる日本海の基礎生産量推定アルゴリズムを開発する。さらに、これを衛星データ取得可能な最近の約20年に適用して生物生産量変動の検出を目指す。

本課題で得られる成果は、我が国に最も身近な縁辺海の近未来の環境変動予測だけでなく、温暖化に対するグローバルな海洋応答予測に資するものとなる。また、日本海は世界有数の水産資源の宝庫である。日本海の気候変動ともなう環境変動の検出とその将来予測は、我が国の水産業の持続性の確保及び振興を図る上で喫緊に求められる課題である。

3. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

日本海全域にわたる CO₂ 関連化学種の観測は 1990 年代の国際プロジェクトの一環として実施された 2 例しかなく日本海における炭素循環の解明には至らない状況であったが、本研究によっておよそ 20 年ぶりに CO₂ 関連化学種の情報が得られたことに大きな意義がある。その結果、最近 20 年あまりで深海 (2,000m 深) における人為起源 CO₂ が急増したことが明らかになった。我々は、その要因が日本海の熱塩循環の弱化による深海での有機物分解の促進であるとの仮説を提案した。もしこの仮説が成立するならば、温暖化の進行によって海洋内部の CO₂ が増大すること、すなわち深海において酸性化が進行することを意味し、従来の海洋炭素循環の将来予測研究に新たな知見を与えることとなる。

大学練習船等による表層 p CO₂ 観測では 3 年間で計 5 回の観測を実施することができ、過去 20 年間で 20 例しかなかった日本海の p CO₂ 観測データについて充実を図ることができた。これら観測データの充実と解析手法の高度化により、最近 20 年間にわたる日本海表層の p CO₂ 水平分布推定法を確立し、日本海全域における p CO₂ 分布の季節変化や経年変化を世界ではじめて再現することに成功した。

本研究で実施した日本海の 3 次元シミュレーションは、流動と物質循環の双方を力学ベースで解析するものとしては、水平・鉛直分解能の高さおよび解析期間の長さの点において他に例を見ないものである。現時点では大和海盆深海における溶存酸素量の再現性について課題を残しているが、この長期高解像度シミュレーションによって熱塩循環の変化と溶存酸素量の長期減少傾向の関係性が示されたことは極めて意義が高く、日本海の物質循環機構や気候変動影響の解明を加速させる有用な成果と言える。

日本海盆東部で 1994~1995 年と 2016~2017 年に得られた約 2,000m 深の平均流を比較したところ、流向はどちらの期間もほぼ同じ北向きであったのに対し、流速はおよそ 2/3 に減少していた。この差異については、様々な検証の結果、温暖化の進行にともなう変化であるものと結論づけられた。本成果は、温暖化による深層流の弱化、すなわち熱塩循環の弱化を世界ではじめて直接観測より捉えたものである。

既存モデルの改良によって、衛星データを用いた日本海に最適化された基礎生産量推定法を確立した。これにより、観測データが限定的であった日本海表層における海洋生態系の把握を飛躍的に進展させることが可能となった。また、本推定法を海洋生態系の将来予測シミュレーションモデル等とカップリングすることで、基礎生産量の将来予測にも応用できる可能性を秘めている。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

日本海深海における人為起源 CO₂ 濃度が最近 20 年あまりで急増していることを明らかにし、この増加分が深海での有機物分解の影響による可能性が高いとする仮説を提案した。従来の炭素循環の概念では海洋は表層における大気中の人為起源 CO₂ の吸収域としての役割に焦点が当てられてきたところだが、本仮説は温暖化の進行による熱塩循環の変化という、海洋構造そのものの変化が深海の CO₂ 増加を促進させる可能性を見いだした最初の知見となる。今後、更なるデータの精査や解析が必要ではあるが、本成果は海洋炭素循環の将来予測の精緻化を実施していく上で極めて重要な情報を提供したものであり、現在執筆中の本成果を含む研究論文が大きなサイテーションを得る可能性は高い。また、温暖化の進行によって日本海の炭素循環がすでに変化していること、これにともなって酸化性の進行が極めて速いことを明示したことは、私たちにとって最も身近な日本海における温暖化影響の深刻さを実証したこととなる。これは行政による温暖化対策の重要性に関する啓発活動へ貢献するものと考えている。

IPCC 第 5 次評価報告書では「現時点で全球熱塩循環の弱化を示す兆候は認められない」としながらも、「今後数十年のうちに熱塩循環が弱まることが高い確率で予測される」と述べている。本研究で明らかとなった日本海の海洋構造の変化や深層流の弱化は、これから起こる世界の海洋の「異変」の前兆である可能性があり、今後の IPCC 報告書へのインプットを通じて重要な貢献を行うことが十分に可能だと考えている。

衛星データを用いた日本海に最適化された基礎生産量推定法を確立し、過去 20 年にわたる日本海の基礎生産量の時間変動をより高い精度で推定することを可能にした。また、3 次元流動・物質循環高解像度モデルを構築し、日本海の流動場、水温、および溶存酸素濃度の復元にも成功した。これらモデル・シミュレーションを活用した日本海の海洋生態系の経時変化と漁獲量等の分布の変遷を統合して解析を進めれば、すでに明らかになっている日本海における魚種交代や魚種サイズ変化との関係性を見いだすことにつながり、将来的な漁業資源管理や日本海沿岸の社会経済に対する適応策の提案などに貢献できるものと考えている。

4. 委員の指摘及び提言概要

本研究では、船舶観測と海洋モデルを用いた研究によって、日本海の pCO₂、流れ、溶存酸素濃度などの観測と過去のデータを用いて炭素収支の急速な変化を検知する等、今まで未知であった現象を明らかにした科学的意義は大きい。国民へのアウトリーチも積極的に実施されている。一方で、論文出版による発信活動が弱い。IPCC へのインプット等のためにも、本研究の成果を査読付き論文で公表することが望まれる。

5. 評点

総合評点：A