

## 研究課題名：閉鎖性水域における水環境への気候変動の影響と栄養塩類管理

課題代表者：国立環境研究所地域環境保全領域 東 博紀  
共同研究者：国立環境研究所地域環境保全領域 中田聡史・赤星 怜  
広島大学環境安全センター 西嶋 渉  
大阪大学大学院工学研究科 入江政安  
京都大学フィールド科学教育研究センター 小林志保  
いであ株式会社 竹内一浩・小久保貴幸・春山恭之

実施年度：令和5年度～令和7年度

### 1. 研究目的

我が国の閉鎖性海域は、排水基準や総量削減など長年にわたる取組みによって、水質改善が進んでいるが、ノリの色落ちや漁獲量の減少などが相次ぎ、生物生産性の低迷は依然として続いている。加えて、近年では気候変動による水温上昇等の影響も顕在化し、生態系の変調が全国各地で確認されている。そのような背景のもと、2021年に瀬戸内海環境保全特別措置法が改正され、水質の保全と生物多様性・生物生産性の確保が両立した「きれいで豊かな海」の実現に向けて、栄養塩類管理など海域の状況に応じた地域主体の新たな施策・取組みが開始されている。

従来の閉鎖性海域の水環境保全は過剰な人為的負荷の削減を目標としてきたのに対し、今後は気候変動の影響、すなわち自然変動にも対応したきめ細やかな水質管理が求められる。しかし、これまでの水環境保全は人為的影響が議論の中心であったため、自然変動の影響に関する研究が少なく、気候変動で増大する自然外力に対して対応可能な現象か、対策を要する高頻度事象かを判断する科学的知見が不足している。また、栄養塩類管理では、事前の効果・影響予測と実施後の検証が地方自治体に求められているが、これらに必要な数値モデルシミュレーションはいまだ高度な専門的知識・技術が必要とされており、地方自治体等が汎用的に利用可能なツールが整備されていないことが問題とされている。

以上を踏まえて本研究では、全国各地における複数の閉鎖性水域の水環境を対象とした気候変動の影響予測を継続実施することにより、水域間の気候変動影響の共通性や相違性などを明らかにするとともに、予測結果に見られる水環境問題、具体的には冬期の栄養塩濃度の低下と夏期の貧酸素水塊に対して、その発生をもたらす気象や外洋などの自然外力を特定・類型化し、これらの生起確率・条件付き確率や高頻度パターンの変化を明らかにする。それと並行して、気候変動や栄養塩類管理の影響予測シミュレーションを自治体職員

が実施することを可能とするための Graphical User Interface (GUI) を開発することを目的とする。

### 2. 研究計画

気候変動の影響予測については、先行課題で実施した瀬戸内海、伊勢湾、東京湾の予測フレームを有明海・八代海、七尾湾、琵琶湖、霞ヶ浦などに展開する。すなわち、それぞれの水域およびその集水域を対象として、陸域淡水・汚濁負荷流出一海域（湖沼）流動・水質・底質モデルを構築し、現在気候と将来気候のそれぞれ20年間のシミュレーションを実施する。気候変動影響の解析については、入力データ（気候シナリオ）と出力データ（影響予測結果）を対象にクラスター解析や出現頻度解析などの統計解析を行い、自然外力の気象場・外洋場から、集水域一水域の水・物質循環を経て、貧栄養化・貧酸素化の発生に至るまでの連関構造を解析し、各プロセスの生起確率・条件付き確率や高頻度パターン等について気候間の変化を解析する。

GUI開発については、実際に下水処理場の季節調整運転による栄養塩類管理の現場試験を行う広湾（広島県呉市）等を対象事例とし、先行開発した瀬戸内海モデルからのネスティングシミュレーションを想定して、計算ドメインや栄養塩供給のユーザ設定のもと、海上気象条件や側方境界条件などの切り出し、出力結果の可視化などを自動化するソフトを開発する。

### 3. 進捗状況

近年、線状降水帯による記録的な豪雨災害が頻発化し、その影響と今後の予測が求められている有明海・八代海等を対象として、気候変動の影響予測を実施するための陸域一海域モデルの開発と検証を行った。

有明海・八代海等の集水域を対象として水平解像度約1km（3次メッシュ）の分布型流出モデルを構築するとともに、2009～2020年の河川流量の再現シミュレーションを実施し、9一級河川における日流量・時間流量の観測値と計算値の比較を通じてモデルの再現性

を検討した。日流量については、計算値は観測値よりも変動波形が大きく、出水時のピーク流量をやや過大評価する傾向が見られるものの、概ね良好な再現性を示した。しかし、白川と嘉瀬川において再現性が低いことが課題として残され、前者は阿蘇カルデラの特徴的な水文地形、後者は北山ダム・嘉瀬川ダムが原因であると考えられた。豪雨出水時の時間流量については、平均値のバイアスや Nash-Sutcliffe 係数を見る限りではまずまずの再現性を有していると判断されたが、出水時のピーク流量を過大評価する傾向が見られ、斜面・河道の粗度係数や土壌の透水係数など流下速度や雨水貯留を支配するパラメータの再検討が必要である。

有明海・八代海等の水平解像度約 1 km (3 次メッシュ) の 3 次元流動モデルを構築した。外洋の対馬暖流を含む計算領域を設定して 2009~2020 年の再現シミュレーションを実施し、観測値の潮位 (気象庁) や水温・塩分 (地方自治体の浅海定線調査等) と計算値の比較を通じてモデルの再現性を検討した。潮位の計算値は、観測値に見られる地点間の傾向、すなわち外洋及び有明海湾口では潮位差が小さく、有明海の湾奥に向かうにつれて潮位差が大きく増幅する傾向をうまく再現した。水温に関しては、表層・底層ともに、いずれの海域も相関係数は 0.97 以上、バイアスは高々 1 °C 程度であり、再現性は良好であることが確認された。一方、塩分の再現性については課題が多く、極浅海域における鉛直解像度 (層数) の不足、陸域モデルの出水時の予測誤差、大きい潮位変動に伴う数値拡散などが原因としてあげられた。

外洋、有明海、八代海の海水交換を明らかにするため、再現シミュレーションの結果を用いて海水フローの解析を行った。有明海湾口における正味の通過流は、年間を通じて外洋 (橘湾) から有明海への流入となり、その流量は冬に強まり、夏に弱まる季節変動が見られた (図 1・2)。流速の鉛直分布を確認したところ、表層は西流、底層は東流が卓越しており、陸域から有明海への淡水流入によって表層の西流が強まることから、上記の海水フローの季節変動は陸域からの淡水流入の季節性が原因であると考えられた。八代海は八代海湾口と黒之瀬戸の 2 つで外洋と接続しているが、どちらも外洋への流出となった。流量は黒之瀬戸が卓越しており、有明海から流入した外洋水の多くは、八代海を通過した後、ここから流出しているものと考えられた。有明海から八代海への海水フローは、本渡瀬戸、柳ノ瀬戸、三角ノ瀬戸の 3 経路があるが、柳ノ瀬戸の流量が最も多いことが示された。以上の結果は、現時

点ではまだ塩分の再現性が不十分であるため、不確実性が含まれていると言わざるを得ないが、観測値に基づく検証や、海水フローの年々変動を引き起こす要因の解析が今後の課題である。

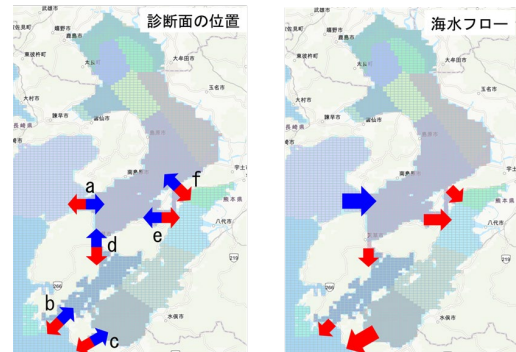


図 1. 海水交換の診断面の位置 (左) と集計結果に見られた海水フロー (右)。

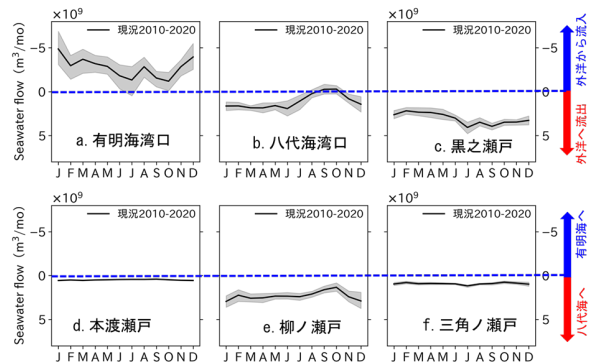


図 2. 2010~2020 年の各診断面における海水フローの月別平均値 (変動幅: 月平均値の最大-最小)。

#### 4. 今後の計画

有明海・八代海等については、陸域の発生負荷量データの整備が完了し、水質の予測計算と再現性の検討を進めているところであり、集中豪雨や外洋 (対馬暖流、暖水渦) が海水交換や物質フラックスに及ぼす影響を今後進めていく予定である。また、七尾湾や霞ヶ浦等、他の閉鎖性水域のモデル化を進め、気候変動の影響予測を行う。GUI については、概略設計が完了し、情報セキュリティも含めて詳細仕様を詰めているところであり、瀬戸内海-湾灘-特定海域の 3 段ネスティングシミュレーションを想定した開発を進めていく。

#### 5. 計算機資源の利用状況 (2023 年 4 月 1 日 ~ 2023 年 10 月 31 日)

VE 時間積 v\_debug: 768.3 hours, v\_normal: 348,629.1 hours, 計: 349,397.4 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 4.7%)