

## 研究課題名

豊後水道急潮の海洋予測モデルにあわせた機動的船舶観測

## 共同研究者名（所属を含む）

林田博士<sup>1</sup>・宮澤泰正<sup>1</sup>・美山透<sup>1</sup>・吉江直樹<sup>2</sup>

1 海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門アプリケーションラボ

2 愛媛大学・先端研究・学術推進機構 先端研究高度支援室

## 研究目的

黒潮の変動は漁の変調など豊後水道環境の変化をもたらすことから、その予測は社会的関心が高い。黒潮大蛇行に代表される黒潮の数十日から数ヶ月の時間スケールの変化は予測できるようになっている。しかし、数日の時間スケールの突発的な豊後水道へ進入（急潮）については、黒潮流路の変化を反映して流れの不安定から擾乱が成長することはわかっているが、擾乱の種がいつ、どのように始まり、どう成長するかを捉えるのは難しく、急潮を予測することは難しい。また 2017 年度から始まった黒潮大蛇行は、四国付近で黒潮の特異な流路をもたらしており、それが豊後水道の急潮に与える影響も理解する必要がある。一方、観測という点では、観測点が限られている上に、突発的に発生するために急潮を狙った観測を計画することが難しい。

本研究では人工衛星データを取り入れた海洋研究開発機構の海洋予測モデルであらかじめ豊後水道の急潮予測を行い、急潮の発生に合わせた機動的な現場観測を実施する。これにより効率良く観測を実施する。

豊後水道北部への黒潮進入過程で御五神島周辺での混合過程が重要であるというモデル解析結果が出たことから、2022 年度及び 2023 年度の 7 月に御五神島周辺での観測を実施した(図 1)。観測結果から、大潮小潮による潮汐周期による乱流の変化や、それによる成層構造の変化を観測することが出来た。また、モデルと観測の比較から、モデルと観測の相互比較により、海水の混合過程の理解を前進させることが出来るとの手応えを得た。また、2022 年度は黒潮が遠く(図 2b)、2023 年度は、黒潮がより近い(図 2c)という、黒潮の異なる状態での観測を行うことができた。ただし、2023 年は台風で観測が途中で中止になったし、黒潮の豊後水道へ進入もあまり強くはなかった。

そこで 2024 年度も昨年度と同様な観測を実施することで、さらに黒潮の状態の異なる環

境のもとでの豊後水道への黒潮の進入過程を観測することが期待できる。前年までの観測と比較によって、いままでの観測の価値を高めることができる。

これらの観測データをデータ同化で予測モデルにフィードバックする。作成したデータで急潮の種が生まれ沿岸の循環に影響を与えるまでのプロセスの理解を深める。

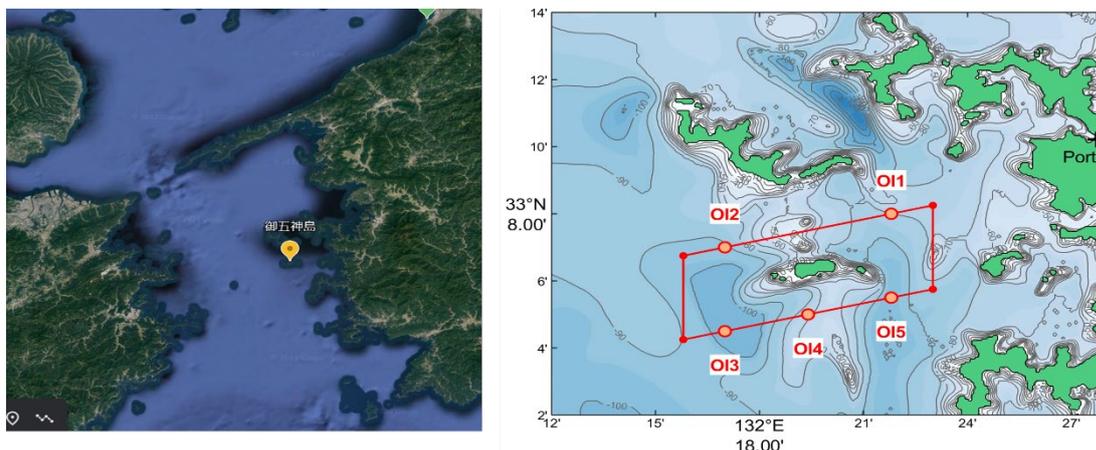


図 1: 観測位置。

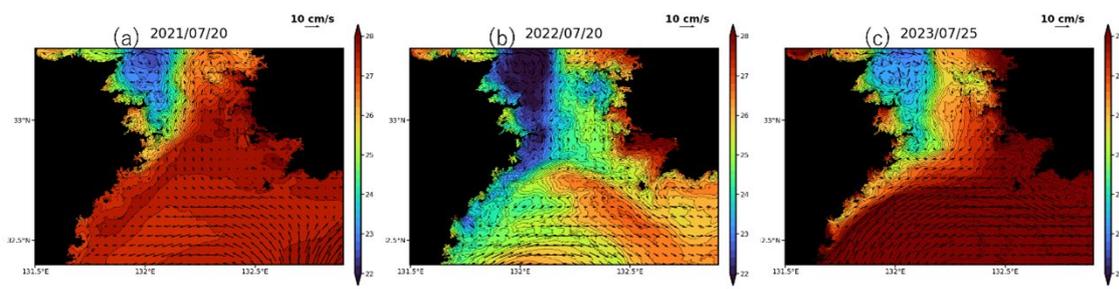


図 2: 海洋研究開発機構の海洋予測モデル JCOPE による 2021 年(a)、2022 年(b)、2023 年(c)の 7 月同時期の海面水温(色)と流速(ベクトル)の推定値。

## 研究方法

2024 年 8 月 1 日から 8 日にかけて、愛媛大学沿岸環境科学研究センター調査実習船「いさな」を用い、豊後水道の宇和島沖海域において調査を実施した。観測期間中の 8 月 4 日が大潮であり、2022 年、2023 年の調査では捉えられなかった大潮期の海況や成層構造、鉛直混合を捉えることを主目的とした。本年度の調査点は、2023 年と同様の御五神島周辺の OI1~OI7 測点に加え、過去の調査で顕著な鉛直混合の発生域だと推察された日振島と戸島間の海峡部に測線(測点 OI8\_01~OI8\_14)を設定した(図 3)。調査は 8 月 1、3、6、8 日には OI1~OI7 測線で行い、2、4、7 日に OI8 測線で実施した(OI8 測線については 2 日午前を除いて偶数番号点のみ実施)。なお OI1 と OI8\_14 は同一測点である。調査は潮時の異なる午前と午後に実施した。全測点で乱流微細構造プロファイラ TurboMAP-5 を用い

て水温、塩分、クロロフィル蛍光、濁度とともに乱流による流れのシアを計測した。OI1~OI7 測線観測日には昼頃に OI1 測点で多項目水質計 RINKO-Profiler によって水温、塩分、クロロフィル、濁度、溶存酸素を計測し、紫外線式硝酸塩センサーSUNA-V2 によって硝酸塩濃度を計測するとともに、採水を行い栄養塩とクロロフィルの分析に供した。OI8 測線観測日には、午後に TurboMAP 観測に合わせて RINKO/SUNA による計測を行った。TurboMAP で計測された乱流シアから乱流の強度を示す乱流運動エネルギー散逸率を計算し、Osborn (1980) の式によって鉛直拡散係数  $K_z$  を見積もり鉛直混合強度の指標とした。

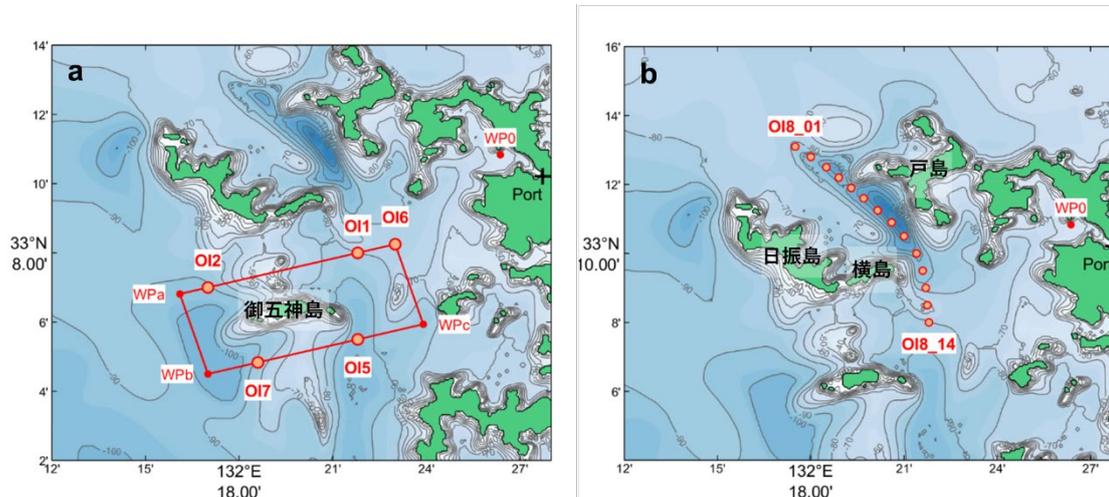


図 3: 2024 年 8 月の観測点 OI1, OI2, OI5, OI6, OI7, および OI8\_01~14. (a) 御五神島周りを半時計周りに OI6 から OI5 まで観測する断面. (b) 日振島と戸島間の海峡を縦断する観測点 (北から OI8\_01~OI8\_14)。

## 研究成果

図 4 に本調査で得られた OI1/OI8\_14 測点における 8 月 1 日から 8 日までの物理・生化学的な水質の変化を示す。水温に注目すると、8 月 4 日頃から表層の水温が  $22^{\circ}\text{C}$  を越えて高温化するとともに、 $20^{\circ}\text{C}$  を超える表層の暖水の厚みが 40 m 以上に増加していた。このことは暖水の流入を示しており、実際に宇和海海水温情報 (You see U-Sea: <https://akashio.jp/kaisuion/>) やひまわり海面水温 (JAXA ひまわりモニタ: [https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index\\_j.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index_j.html)) から、豊後水道南部の暖水が観測海域の宇和島沖まで波及していたことが確かめられた。

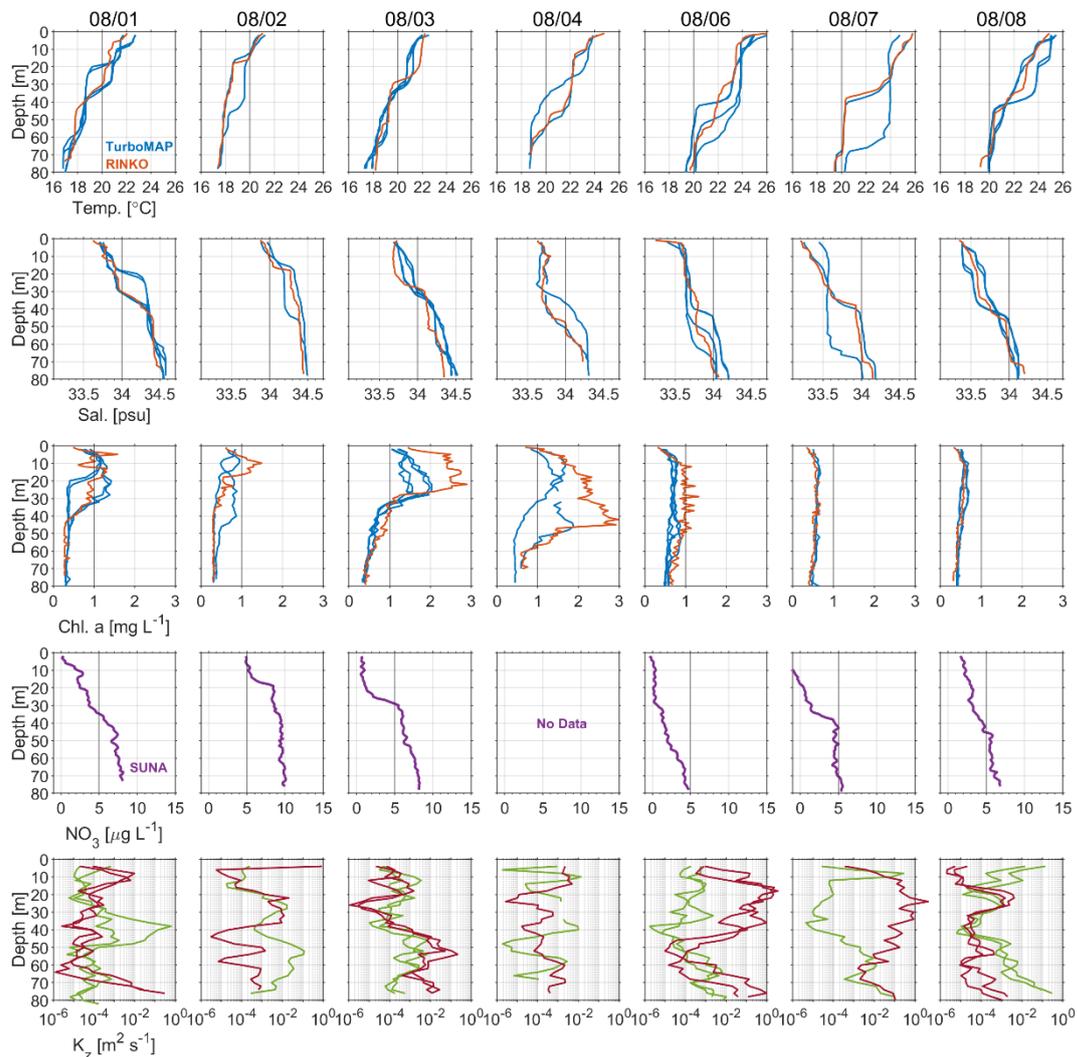


図 4: OII/OI8 14 測点で実施した水温、塩分、蛍光クロロフィル、硝酸塩濃度 (未較正)、鉛直渦拡散係数  $K_z$  の計測結果。図の列は日付を示し、段については上から水温、塩分、クロロフィル、硝酸塩濃度、鉛直渦拡散係数を示す。水温、塩分、蛍光クロロフィル図の青線と赤線はそれぞれ TurboMAP と RINKO profiler による計測結果を表す。鉛直渦拡散係数図の緑線と黒線はそれぞれ午前と午後の結果を表す。海洋研究開発機構の海洋予測モデル JCOPE による 2021 年(a)、2022 年(b)、2023 年(c)の 7 月同時期の海面水温(色)と流速(ベクトル)の推定値。

この暖水の流入に伴い、8/6 以降のクロロフィル蛍光値は概ね  $1 \text{ mg L}^{-1}$  未満に低下し、硝酸塩濃度も表層 40 m 以浅で低下する傾向が見られた。このことは、貧栄養で植物プランクトンが少ない黒潮系の暖水が流入するという過去の知見と一致している。しかし、塩分についても暖水の流入と共に表層～中層で  $33.5\sim 33.6 \text{ psu}$  程度にまで低下しており、この塩分の減少については高塩分である黒潮系水塊の移流では説明できない。この理由として、黒潮系の水塊は九州東岸の河川水由来の沿岸水との混合で変質しつつ宇和島沖へ輸送され

た可能性が推察された。

鉛直混合について、OI1 観測点が全観測点の中で最も顕著な混合が起こる海域であった。特に下げ潮時に鉛直拡散係数が強化される傾向にあり、8月6日や7日の午後の下げ潮時には最大で  $1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  に達していた(図2)。OI1 測点では下げ潮時に強い上向き鉛直流( $\sim 0.1 \text{ m s}^{-1}$ )が観測されており、これは下げ潮に伴い横島の島影となる測点 OI1 付近に形成される後流渦によって生じたと推察される。

図5は海洋研究開発機構の水平分解能  $1/500^\circ$ モデルによる海面水温と海流の再現である。上で考察したように、黒潮は九州東岸に沿って北上している。これが観測で見られた水塊の性質に影響していると考えられる。観測開始時には黒潮の豊後水道への進入は弱かったが、観測後半の水温が上がった時期には黒潮が豊後水道東部沿いに観測海域まで進入していることがわかる。

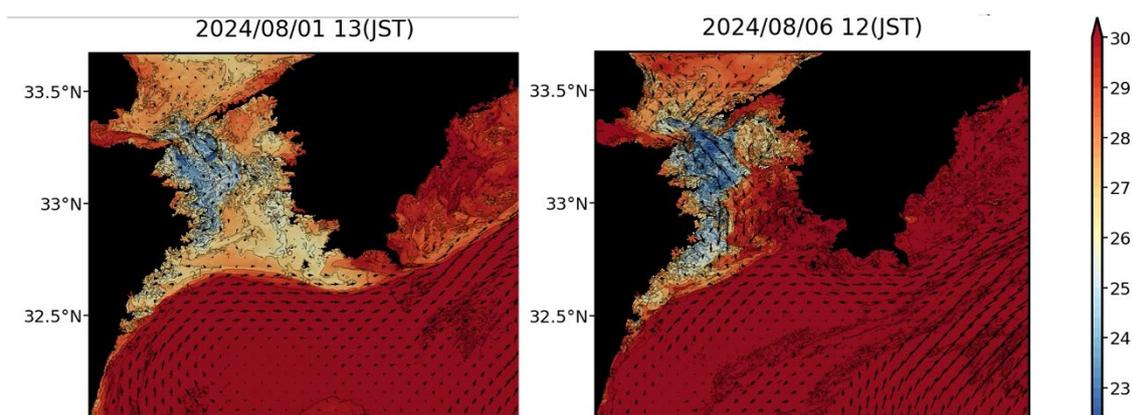


図5: 海洋研究開発機構のモデルによる8月1日と8月6日の海面水温と流速。

### 今後の課題

2022-2023年に実施した観測と合わせ、2024年度の観測で宇和島沖の夏季の小潮から大潮までの乱流強度の変動を捉えることができた。この観測された鉛直混合を数値モデル内で再現する乱流パラメタリゼーションを構築することが今後の課題である。

海洋研究開発機構では、これまでの観測結果を取り入れて、海洋予測モデルの開発を進めている(Miyazawa et al. 2024, 他)。予測結果は JAXA ひまわりモニタ海中天気予報 ([https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/ocean\\_model/index\\_j.html](https://www.eorc.jaxa.jp/ptree/ocean_model/index_j.html))や高知県高知マリンイノベーション ([https://kmi-nabras.pref.kochi.lg.jp/jamstec\\_link.html](https://kmi-nabras.pref.kochi.lg.jp/jamstec_link.html))を通して公表している。今年度得られた観測の結果もフィードバックし、より良い海洋予測ができるように取り組んでいきたい。