

## 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）

美山透<sup>1</sup>・宮澤泰正<sup>1</sup>・堤英輔<sup>2</sup>・吉江直樹<sup>3</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 鹿児島大学水産学部

3 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 7 月に御五神島周辺での観測を実施した。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。一方で、黒潮大蛇行の影響を受けた特異的な流路ため、観測時には豊後水道から黒潮が遠く、急潮と呼べるような強い黒潮の進入は見られなかった。

そこで 2023 年度も昨年度と同様な観測を実施することで、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。両年と比較によって令和 2022 年度の観測の価値を倍加することができる。

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。

## 研究方法

2022 年度と同じく、2023 年も 7 月 26 日から 30 日にかけて、愛媛大学調査船「いさな」を用いて、豊後水道東岸中央部の御五神島において現場観測を実施した(図 1a)。観測時期は潮汐混合の小さい小潮から潮汐混合の大きい大潮に至る時期である。御五神島周辺だけでなく、7 月 27 日には北方の海峡部でも観測を行った(図 1b)。2022 年度の観測において、下げ潮(南向きの流れ)時に五神島周辺で乱流混合が大きくなっていることが見られたことから、その上流部の海峡大きな乱流の源があると推定された。したがって、その地点を 2023 年度の観測では観測点に加えた。

計画では大潮期を含む 8 月 5 日まで観測する予定だったが、台風が近づいて観測が困難になることが予想されたことから、7 月 31 日以降の観測は中止となった。

現場観測だけではなく、数値モデルを用いたシミュレーションとの比較を行うことにより、観測海域以外の周辺海域との関連性について検討した。

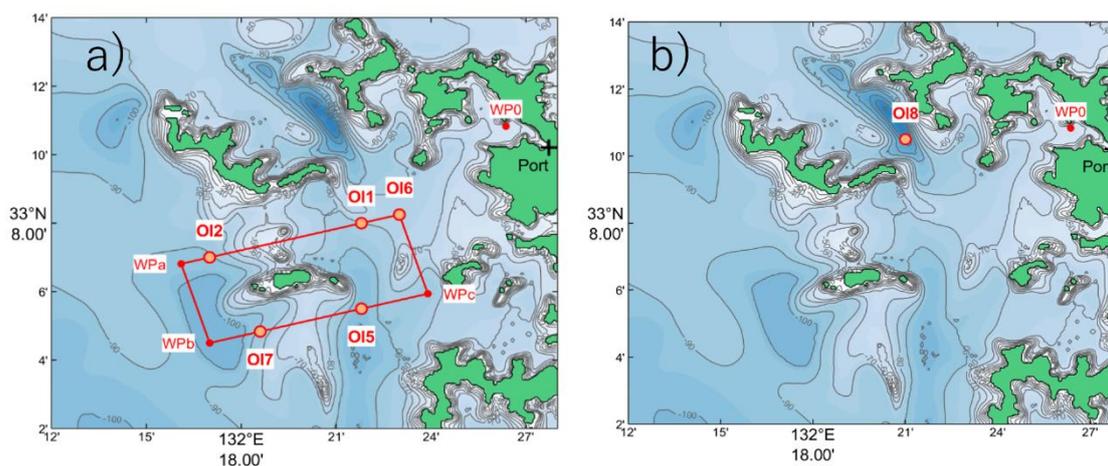


図 1: (a) 7/26, 28~30 における調査点 OI1, OI2, OI5, OI6, OI7. 測点 OI6 から始めて反時計回りに測点を移動。測点間移動船速 10 knot. 各測点で 2 キャストの乱流観測。午前の観測後、測点 OI1 において栄養塩・プランクトン採水、マルチセンサーキャスト、プランクトンネットを実施。(b) 7/27 における調査点 OI8. 6 キャストの乱流観測と 1 キャストのマルチセンサーキ

キャストを実施。

## 研究成果

図は海洋研究開発機構の 1/500 度水平分解能で見た観測期間の OI1 観測地点における時間深さダイアグラムである。これはモデルの結果であるが、概ね観測でも同じような経過が見られたので図の見やすいモデルの結果で示す。すなわち温度を見ると(a)、期間の後半になるにつれて南からの暖水波及がみられ、表層の水温が上昇した。塩分で見るとこれは低塩分の水であった。これは暖水波及した水が大分県沿岸の水を巻き込んで入ってきたことを示唆する。潮汐による流速は小潮の弱い状態からやや強くなってきているが、大潮期よりも前に観測が終わっているために、2022 年の大潮観測値ほどではなかった。南からの暖水波及のために北向きの流れがより優勢になっている(c)。鉛直拡散係数は流れの鉛直シアの大きいところで大きく、観測期間後半に向かってやや大きくなった(d)。

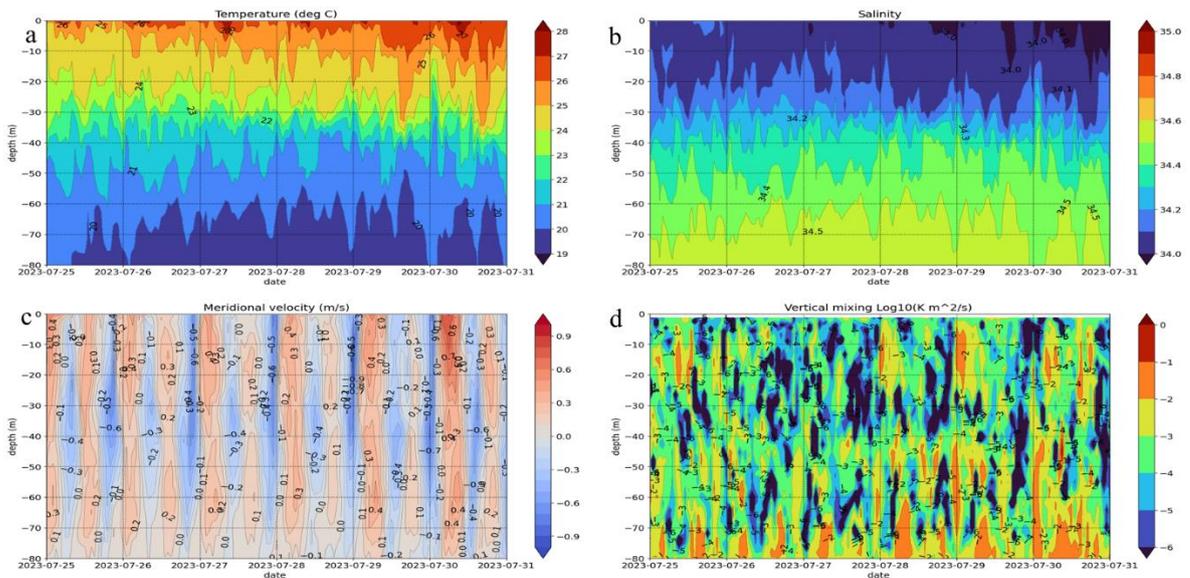


図 2: 海洋モデルで計算した温度(a, °C)、塩分(b, PSU)、南北流速(c, m/s)、鉛直拡散係数(d,  $\log(\text{m}^2/\text{s})$ )の時間(横軸)深さ(縦軸)ダイアグラム。

図 3 は 2022 年度の観測と 2023 年度の観測時の状況の違いをモデルの海面水温と流速で比較したものである。2022 年度は黒潮が豊後水道から遠く、暖水波及が発生しなかった。その状況下で御五神島周辺では潮汐混合が大きいために周りと比べても低い水温となっていた。一方、2023 年には暖水波及が発生している。暖水は大分県側の沿岸を通過して西から入っており、これは観測でも暖水波及とともに低塩分の水が入ってきたことと整合的

である。このような状況の違いは人工衛星「ひまわり」の海水面温度観測でも確かめられた(図略)。

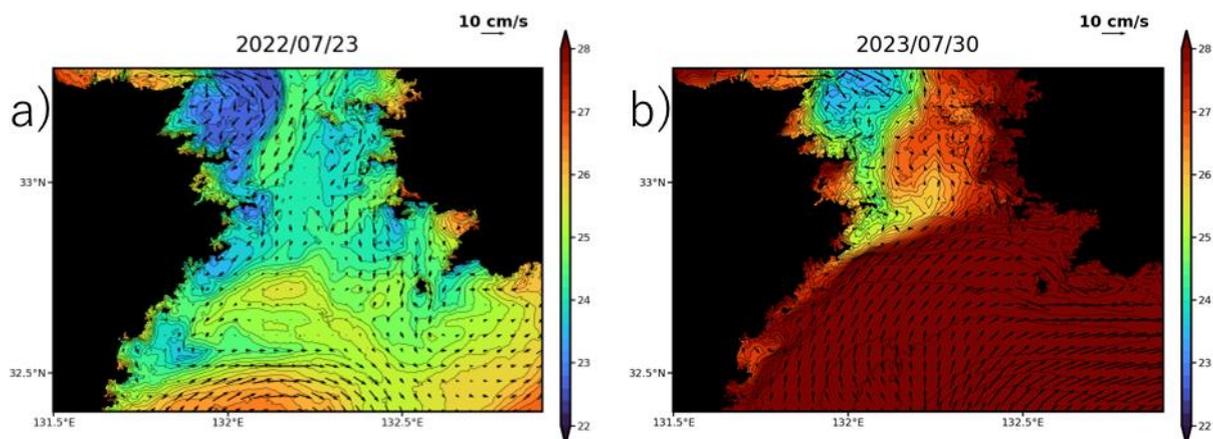


図 3: 海洋モデルでの海面で温度(カラーコンター, °C)と流速(ベクトル, m/s)。(a) 2022 年 7 月 23 日。(b) 2023 年 7 月 30 日。

御五神島周辺での乱流観測の結果をまとめると、地形性ウエーク中のシア不安定による著しい乱流エネルギー散逸が特徴的であった。背景の成層強度と鉛直シア強度に対する依存性を調べると勾配リチャードソン数に依存する Gregg(1989)型もしくは Mellor-Yamada スキームの安定度関数型 (Galperin et al. 1988) を示した。現在までの乱流観測から見積もられる鉛直拡散係数とモデルで計算された拡散係数を比較すると、少なくとも定性的には同様な結果をしめしている。これは海洋モデルが Mellor-Yamada 型の鉛直拡散スキームを採用していることと整合的である。

2023 年度は 2022 年度よりも強い暖水波及が御五神島周辺にあったものの、それほど強いイベントではなかった。これには現在発生中の黒潮大蛇行が関係していると考えられる。2017 年から始まった黒潮大蛇行の特徴は、2019 年前後から典型的な黒潮大蛇行(それ以前や 2004~2005 年の大蛇行を基準にした場合)と異なり、冷水渦が西寄りの流路を取っていることである。典型的な黒潮大蛇行時は、黒潮の流路が足摺岬に接近し、紀伊半島で離れるため、豊後水道から流入して紀伊水道を抜ける瀬戸内海の通過流量が増加すると考えられる(駒井等 2008, Hayashida et al. 2023)。しかし、2019 年頃からの黒潮大蛇行では、冷水渦が西寄りになった影響で、足摺岬からの離岸が増え、それまでと瀬戸内海への影響が異なると考えられる。このような流路は、他の大蛇行期では 1975-1980 年の期間にのみ観察された特異な状況である(美山等 2023)。黒潮大蛇行の流路変化の影響を調査するため

に、海洋研究開発機構の JCOPE2M 再解析データを用いた。JCOPE2M 再解析には、1993 年から現在までの日本周辺の水平分解能 1/12 度の日平均データがある。これを月平均にして豊後水道への流入の時系列を分析した結果、2019 年頃から、それ以前には見られなかった豊後水道への流入の減少が明らかになった(図 4)。観測に基づくデータによれば、2019 年以降、黒潮はそれ以前に比べて足摺岬で離岸することが増えており、流入の変化と黒潮の流路の変化は密接に関連している。この流入の減少は、瀬戸内海の生態系に影響を与える可能性がある。例えば、2020 年には豊後水道での赤潮の発生が観測史上最も遅く、秋まで発生しなかったのは、黒潮が豊後水道から離れて流入が弱まり、水温が上昇しなかったためである可能性が指摘されている。

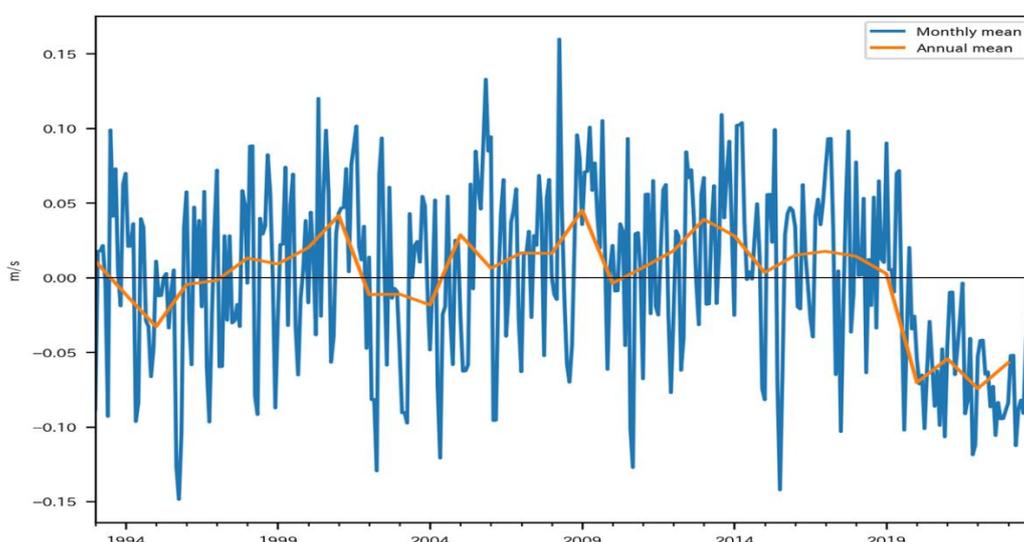


図 4: JCOPE2M 再解析における黒潮から豊後水道へ向かう月平均流速アノマリ(m/s)の 1993 年~2023 年時系列(青線)。オレンジ線は年平均。

## 今後の課題

2022 年と 2023 年とは異なる黒潮状況で、異なる暖水波及の状態を見ることができた。しかし、2023 年度は大潮期の状態を観測することができなかったため、暖水波及時の大潮の効果を観測するという課題が残っている。様々な黒潮の状況での観測を行うことが急潮の理解につながるため、2024 年度も同様の観測を計画している。それをモデルと比較しながら、モデルの改善にもつなげたい。

成果については、今後も論文発表を行いつつ、論文化する予定である。