

(別紙)

研究課題名

潮汐フロント域における乱流混合過程の研究

共同研究者名

吉江直樹（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）、郭新宇（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）、森本昭彦（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

研究目的 沿岸や大陸棚の海洋では、潮汐混合と浮力加入のバランスにより混合域と成層域が存在し、その境界には潮汐フロントと呼ばれる水温前線が形成される。潮汐フロント域は物質の収束域であるとともに生物生産の高い海域であることが知られている。潮汐フロントの形成についてはこれまで数多くの研究がなされ、形成域予測の理論が確立されている。しかし実際の潮汐フロントについては、潮時によってその強度・位置が変動することが観測されており、理論での想定よりも実態が複雑であることが明らかになりつつある。申請者らはこのような潮汐フロントの動態を明らかにするために、2022年度のLaMer共同利用研究によって、豊後水道の潮汐フロントの詳細な調査を行った。その結果として、潮汐フロントは下げ潮（南下流）時に南に移動するとともに強度（水温の水平勾配）が強化され、上げ潮（北上流）時にはその逆となることが明らかになった。特に下げ潮時には、潮汐フロントの周辺で強い下降流が生じるとともに、著しい乱流混合が発生するという特徴的な現象が見られた。このような強い流動と乱流拡散は栄養塩等の物質輸送に影響し得るため、潮汐フロント域の高い生物生産の要因である可能性がある。そこで本研究では、2022年度の研究により明らかとなった潮汐フロント域の流動・乱流拡散場の実態とその変動特性を踏まえ、これらの物理過程が栄養塩等物質の輸送に及ぼす影響評価を目的とする

研究方法 愛媛大学沿岸環境科学研究センター調査実習船「いさな」を利用し、豊後水道において乱流微細構造と流速の現場観測を実施した。潮汐

フロントを横断する断面(測点 A03-A12)をとり、乱流微細構造プロファイラ(JFE アドバンテック社製 TurboMAP-5)と音響ドップラー流速計(ADCP)を用いた乱流と流動の調査、及び多項目水質計(JFE アドバンテック社製 RINKO Profiler)を用いた CTD 観測を行った。これに加えて、硝酸塩濃度の計測を水中紫外線硝酸塩アナライザ(Sea-bird Scientific 社製 Deep SUNA-V2)によって実施した。ただし、本報告時点で採水サンプルによる硝酸塩濃度による較正が未完了である)。ADCP は TRDI 社 600-kHz WH Sentinel ADCP(計測層厚 0.5 m)を使用し、停泊観測時に舷側より吊り下げて表層 50m の流れを高精度に計測した。調査は 2023 年 5 月の 9 日から 11 日までの小潮期及び 16 日から 18 日までの大潮期に実施した。本報告では、5 月 10 日と 16 日の午前に A10 点において実施した定点観測の結果を主に述べる。

研究成果 5 月 10 日小潮期の観測は上げ潮時、5 月 16 日大潮期の観測は下げ潮時に実施され、定点観測時に A10 側点はそれぞれ潮汐フロントの周辺に位置した(図 1)。5 月 10 日の海面水温フロントの強度は $0.3^{\circ}\text{C km}^{-1}$ 、5 月 16 日の海面水温フロントの強度は $0.4^{\circ}\text{C km}^{-1}$ であり、いずれも 2022 年度に観測されたものより弱かった。

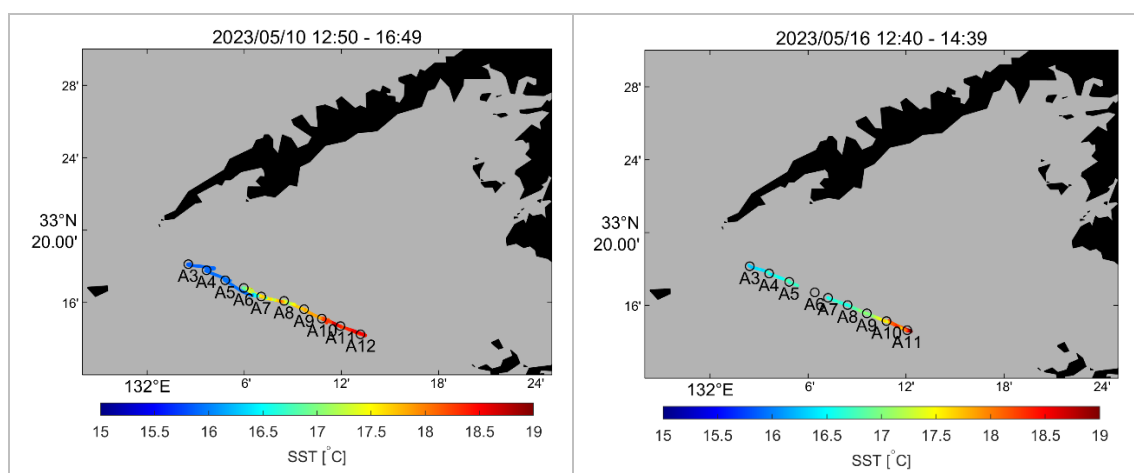


図 1 いさなで観測された海面水温と観測点 (左) 2023 年 5 月 10 日, (右) 5 月 16 日. A6 測点付近で海面水温が欠測となっている.

5月10日における定点観測結果を図2に示す。観測開始時にはA10測点は相対的に低水温・低塩分傾向であったが、上げ潮に伴い高塩分・高水温傾向となった(図2a-d)。これは豊予海峡の水塊が低塩分・低水温傾向であったためであり、5月6日から7日にかけて九州、中国、四国地方で生じた顕著な降水の影響を受けたものと考えられ、本観測時の豊後水道のフロント域の構造は、通常の混合域からフロント域、成層域における水温・塩分構造とは異なっていた。A10測点が高塩分・高水温になった10:30以降は、水柱及び硝酸塩濃度 C_{NO_3} は鉛直的に混合しており、物理的に意味のある乱流硝酸塩フラックスの見積もりは得られなかった(図2e-h)。

5月16日における定点観測結果を図3に示す。この観測時も豊予海峡部の混合した水塊は南部の成層域に比べて低塩分傾向であった(図は省略)。東西流速(図3a)に見られるように、流れは表層・低層と中層とで向きが異なる特異な鉛直構造を持っていた(図3a-d)。水柱は小潮期に比べて成層しており、栄養塩濃度の鉛直勾配が顕著であった(図3f)。乱流による硝酸塩の鉛直フラックス F_{NO_3} を乱流観測で得られる鉛直渦拡散係数 K_z を用いて $F_{NO_3} = -K_z \partial C_{NO_3} / \partial z$ と見積もったところ、 F_{NO_3} は亜表層において11時以降に強化され、 $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ のオーダーであった(図3h)。この強化は、乱流拡散が同時期に亜表層で強化されたことに起因し、顕著な下降流域で生じていたため対流不安定によって生じていると考えられた。またこの下降流に伴って下向きの硝酸塩の移流が生じており、そのフラックスは $0(-1 \text{ mg m}^{-2} \text{ day}^{-1})$ と、上向きの乱流拡散フラックスに比べて100倍から1000倍の大きさがあった(図は省略)。本観測期間において硝酸塩濃度は時間とともに減少しており(図3f)、亜表層で強化される乱流混合で下層から上向きに硝酸塩が輸送されるものの、それを上回る下向きの移流フラックスが生じている結果が得られた。

今後の課題 本研究によって、潮汐フロント周辺域の硝酸塩輸送の実態の一端が明らかにされた。しかし観測期間が限定的である点、特殊な海洋構造であった点を考慮すると、より確固とした結論を得るためには、今後も同様の観測を継続しより多くのデータを解析する必要がある。

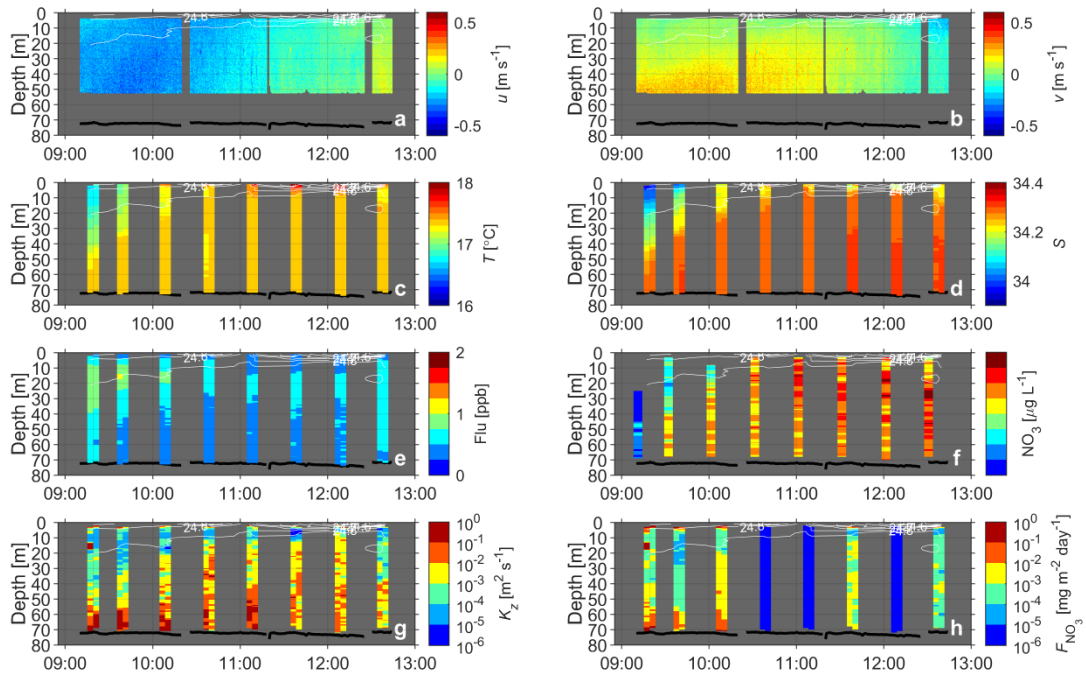


図2 2023年5月10日(小潮期)の上げ潮時(流れは北西方向)にA10点において実施した流速・栄養塩・乱流観測結果。(a)東西方向流速,(b)南北方向流速,(c)水温,(d)塩分,(e)クロロフィル蛍光,(f)硝酸塩濃度(未較正值),(g)鉛直拡散係数,(h)鉛直乱流硝酸塩フラックス。等値線は海水の密度(シグマティ)を示す。

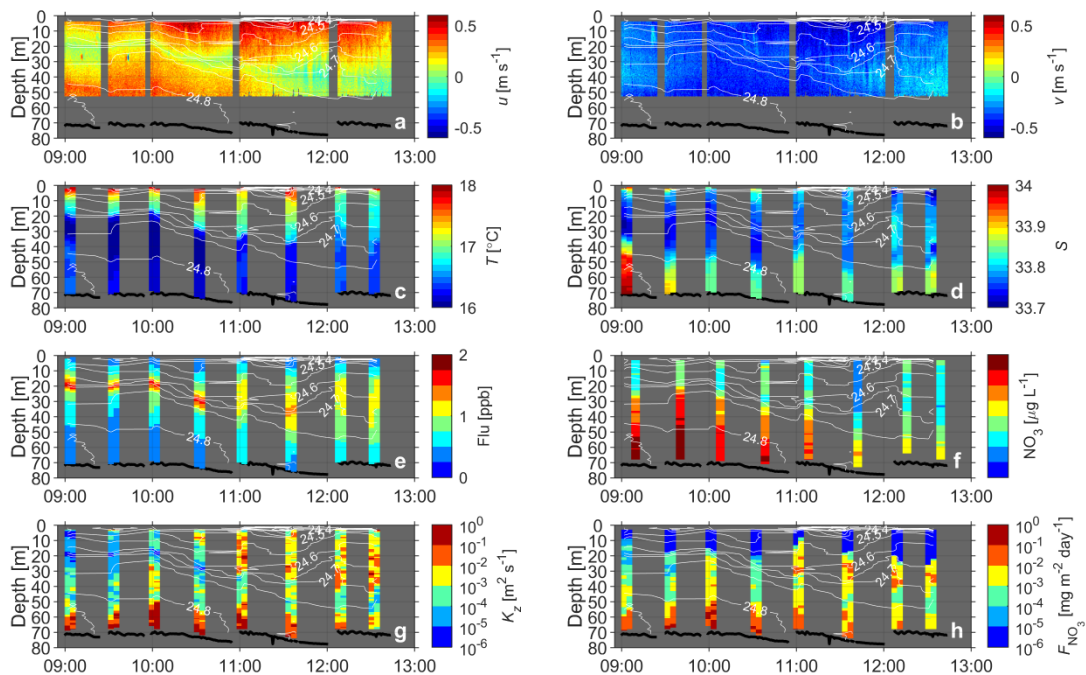


図3 図2と同じ。ただし2023年5月16日(大潮期)の下げ潮時のもの。