

様式3

愛媛大学沿岸環境科学研究センター
共同利用・共同研究拠点「化学汚染・沿岸環境研究拠点」
共同研究報告書

平成 29年 2月 28日

化学汚染・沿岸環境研究拠点 拠点長 殿

申請者（研究代表者） 堤 英輔
所属機関 九州大学 応用力学研究所
職 学術研究員
氏名 堤 英輔

下記の共同研究について、別紙の通り報告します。

1 研究課題 豊後水道における潮汐混合の観測

2 研究組織

氏名	所属	職	分担研究課題
代表者	堤 英輔	学術研究員	観測の実施, データ解析 研究の取りまとめ
分担者	松野 健	教授	海洋観測・データ解析へ助言
	郭 新宇	教授	海洋観測のアレンジ・助言
拠点対応教員	郭 新宇	教授	

3 研究内容 (別紙)

愛媛大学化学汚染・沿岸環境研究拠点 共同研究内容

研究課題名：豊後水道における潮汐混合の観測

代表者 九州大学応用力学研究所 堤 英輔

共同研究者 九州大学応用力学研究所 松野 健

共同研究者 愛媛大学沿岸環境科学研究センター 郭 新宇

研究目的

黒潮系外洋水は海水交換を通じて豊後水道の海洋環境に大きな影響を与えている [Takeoka 2002]. このような外洋水の侵入過程は、豊後水道における潮汐混合に強く依存することが知られており [Takeoka 1993; Nagai and Hibiya 2013], 豊後水道の混合過程を明らかにすることは、豊後水道のみならず瀬戸内海の海洋環境を考える上で非常に重要な課題と位置づけられる. 近年の研究では、地形性渦が豊後水道の鉛直混合過程と黒潮系暖水の北上現象である急潮の発生に深く寄与していることが明らかにされている. 一方で、内部潮汐による鉛直混合も急潮の発生に関連することが示唆されている [Kawamura et al. 2006]. 内部潮汐は、愛媛大学沿岸環境科学研究センター環境動態解析分野が豊後水道沿岸において過去 10 年以上継続して実施している水温観測から、成層期において普遍的に生じ、半日周期成分が卓越することが知られているが、内部潮汐がどの程度鉛直混合に寄与しているかは、ほとんど分かっていない.

このような背景の下で、本研究の目的は豊後水道において乱流の直接観測を実施し、豊後水道における内部潮汐による乱流混合を評価することにある.

研究内容

本研究では、愛媛大学沿岸環境科学研究センター研究船「いさな」による豊後水道における乱流微細構造の観測を行い、そのデータ解析を行った. 観測は 2016 年 8 月 20 日に、図 1 に示す Stn.02 から Stn.16 までの 8 点にて実施した. 当初は約 2.5 km

間隔で計 16 点の豊後水道を縦断する観測点を設けていたが、観測時に四国南方に位置した台風 10 号の影響による海況の悪化が予想されたため、測点数を減らしての観測となった。

各観測点において、乱流微細構造プロファイラ TurboMAP-5 (JFE Advantech 社)を用いて乱流シア $\partial u' / \partial z$, および水温 T ・塩分 S の鉛直分布を計測するとともに、「いさな」搭載の音響ドップラー流速計 ADCP によって水平流速の鉛直分布を計測した。計 8 点における観測を、9:50 から 12:30 の約 2 時間半で終了した。

研究成果

海洋観測時には、愛媛大学沿岸環境科学研究センター環境動態解析分野が図 1 に示す測点 SB1 において海底に係留した ADCP によって流速が連続的に計測されていた [CMES 森本教授提供]。図 2 にその観測結果から順圧および傾圧潮流の北向き成分の時系列を宇和島験潮所における潮位観測結果[気象庁ホームページより引用]と共に示す。ここで潮流は 1 時間で平均した流速から三寺・花輪[1985]のタイドキラーフィルタ通過した成分を除いたものとして定義し、順圧潮流は鉛直平均した潮流、傾圧潮流は傾圧成分を除いた潮流として定義した。順圧潮流は半日周期成分が卓越しており、最大の振幅を持つ M_2 分潮について、東西成分(振幅 0.10 ms^{-1}) に比べて南北成分(振幅 0.41 ms^{-1}) が優勢であった。

図 2 より、潮流は順圧成分・傾圧成分ともに潮汐の大潮・小潮に対応していることが認められる。すなわち乱流観測時である 8 月 20 日は大潮期にあり順圧潮流の振幅が極大となるとともに、傾圧潮流の振幅も極大となっている。この時期において、傾圧潮流は表層と中層(海底上約 40 m)で半日周期の振幅が大きく、傾圧第 2 モード様の鉛直構造を持っている。この半日周期傾圧潮流の潮流楕円はほぼ真円形で時計回りに時間とともに回転しており、表層で 0.20 ms^{-1} , 中層で 0.15 ms^{-1} の振幅を持っていた。またその位相は、表層から底層へと遅れていることが認められる。したがって、8 月 20 日前後の半日周期の傾圧潮流は、底層から表層へエネルギーが伝播する半日周期の内部潮汐波に起因すると考えられる。乱流観測は、以上のような半日周期内部潮汐が生じていた時期に実施されていた。

観測時には底層に 20 度以下の比較的冷たい水が火振島南西の測点 04 付近まで及んでおり、底入り潮が発達した状態であった(図 3a)。断面北方(測点 02-06)の底層に

$O(10^{-6}) \text{ Wkg}^{-1}$ 程度の強い乱流運動エネルギーの散逸が観測されているが、これはその地点における強い順圧的な流れによる海底摩擦に起因するものであると考えられる (図 3b-d). 一方で、断面南部の測点 12-16 においては海面下 40-60 m 付近の中層に極大を持つ流速構造が明瞭に認められる (図 3c, d). この構造は係留 ADCP で捉えられた半日周期内部潮汐の流速構造とよく一致するため、測点 12-16 付近では内部潮汐による流れが主体であったと考えられる. このような内部潮汐流は、海面下 20-40 m において強い鉛直シアを持ち(図 3e), それに伴い複数の層でリチャードソン数が $1/4$ を下回り、不安定が生じる条件にあった. 測点 12-16 の海面下 40 m 付近においては、鉛直渦拡散係数とその上部よりも 1-2 オーダー程度大きいことから(図 3f), 内部潮汐に伴った不安定により鉛直混合が促進されている可能性が示唆される.

成果発表

なし

今後の問題点

本研究によって、豊後水道における内部潮汐に伴う乱流混合が初めて観測された. しかし、図 2c から分かるように、内部潮汐の鉛直構造の特徴は数日程度の時間スケールで大きく変化しているため、本観測で捉えられた内部潮汐による乱流混合の特徴が、豊後水道における代表的な例であるとは必ずしも言えない. 急潮や底入り潮、大潮・小潮等の複合的な作用によって、潮汐と背景の成層場が大きく変動し、内部潮汐の発生・伝播過程も変動していると考えられるべきであろう. 今後の課題として、さまざまなケースにおける乱流観測を実施し知見を蓄積するとともに、内部潮汐の発生・伝播の特性が、どのような背景の場の条件に関連するのかを明らかにすることが挙げられる. これに加えて、内部潮汐による混合が、豊後水道への黒潮系外洋水の波及過程に及ぼす影響を、順圧潮汐や地形性渦による影響と合わせて評価する必要がある.

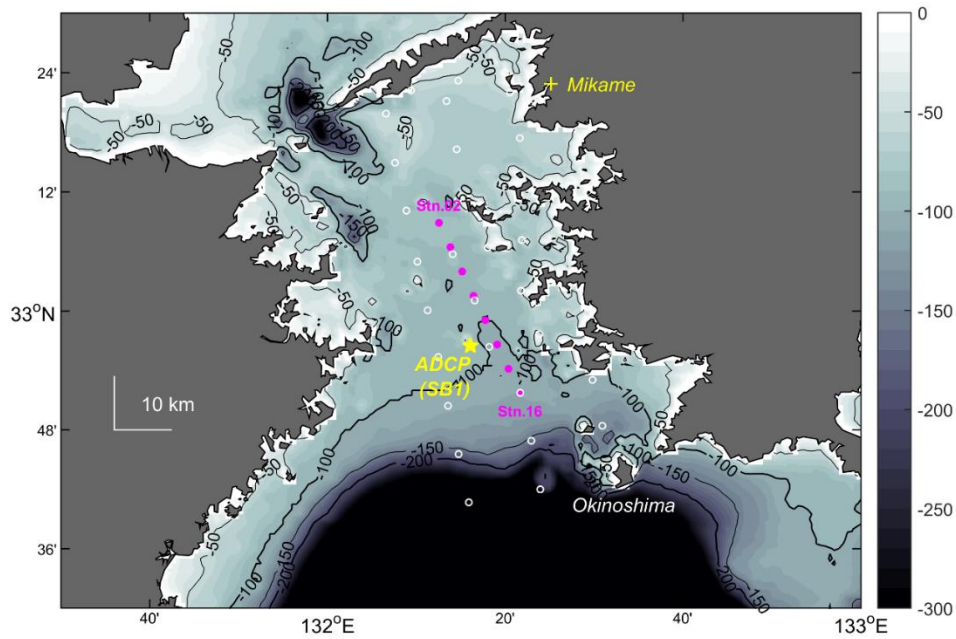


図 1 豊後水道における乱流観測点 (マゼンタ:北から測点 02, 04, 06, 08, 10, 12, 14, 16).

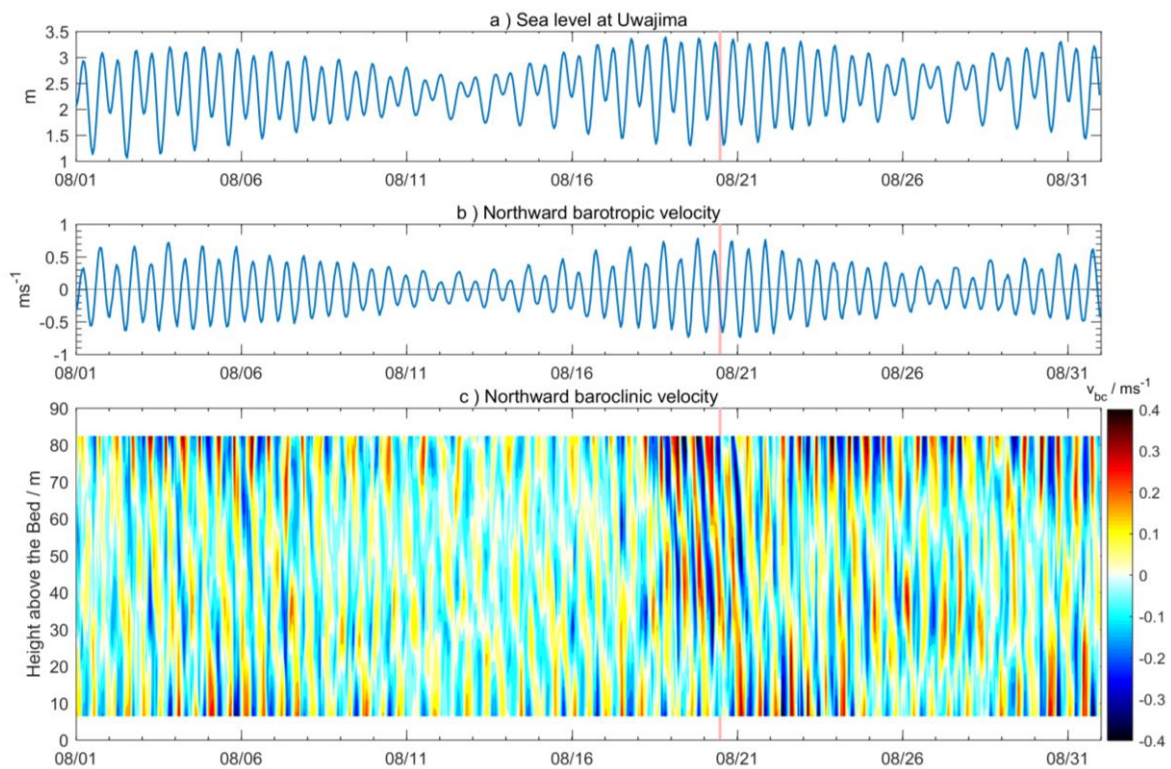


図 2 (a) 宇和島における 2016 年 8 月の潮位観測結果 [気象庁ホームページより引用]. (b, c) 測点 SB1 における海底設置 ADCP 観測データ [CMES 森本教授提供] から得られた順圧および傾圧潮流それぞれの北向き成分. 各図中の赤いシェードは乱流観測時刻(8/20 10:30-12:30)を示す.

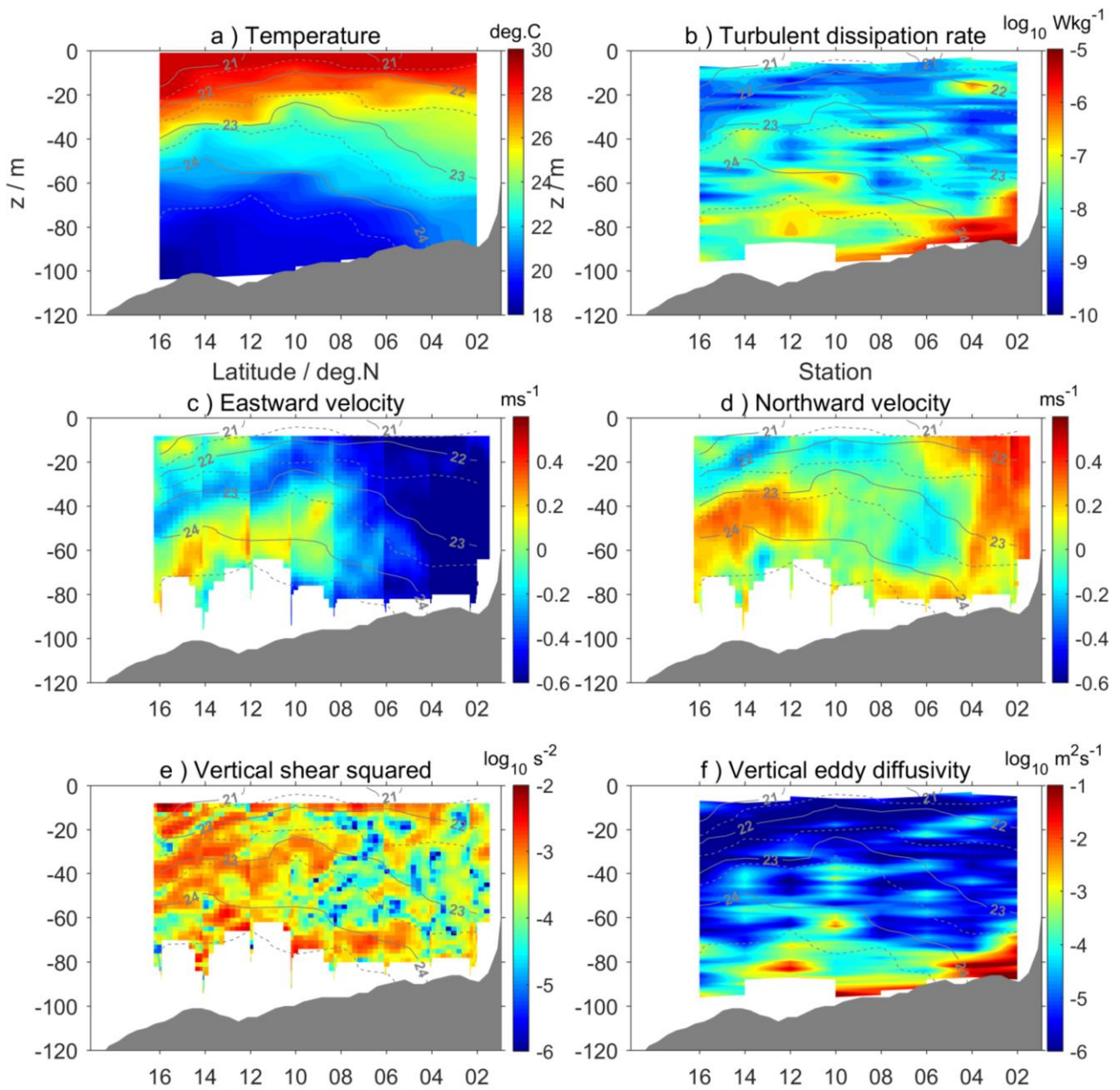


図3 微細構造プロファイラ TurboMAP-5 といさな搭載 300kHz ADCP による断面観測結果 (a) 乱流の強度を示す乱流運動エネルギー散逸率, (b) 水温, (c) 東向き流速, (d) 北向き流速, (e) 流速の鉛直シアの2乗, (f) 鉛直渦拡散係数. 灰色のシェードは JTOPO-30 にもとづいた断面に沿う海底地形を示す. 各図中のコンターは海水密度 (シグマティ)を示す.