

水平収束／水平発散の鉛直構造の現場観測

石井, 大輔
九州大学応用力学研究所技術室

<https://hdl.handle.net/2324/1786452>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 15, pp.41-45, 2014-03. Research
Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

水平収束／水平発散の鉛直構造の現場観測

石井 大輔

要旨

有明海における夏季の鉛直密度分布から着目した特徴的な三層（表層・中層・底層）の水平収束／水平発散の鉛直構造を明らかにするために、GPS 携帯電話搭載型海洋漂流ブイおよび遠隔動態管理システムを用いた現場観測を実施した。その結果、潮流が最強となる付近を境にそれまでの時間帯では「表層：収束、中層：発散、底層：収束」、それ以降では一転して「表層：発散、中層：収束、底層：発散」といった、海域内における水平収束／水平発散の時間変動と鉛直構造が明らかになった。このことは、層間に生じる鉛直流の存在と寄与を連想させる結果であり、海洋基礎生産に重要な役割を果たしている可能性を示唆している。

キーワード

水平収束・水平発散・鉛直構造・有明海

1. はじめに

近年、海洋表層流動の収束発散場が海洋表層の基礎生産場と関わりがあるとする仮説をもとに、国内外を問わず様々な海域において研究がなされ、新しい知見が報告されている。未だ解明されていない海洋プランクトンのパッチネス（斑状性）構造の生成・維持・消滅機構に関連する先行研究として、柳・石井ほか（2008）は 1990 年代後半から赤潮発生が大規模化し、漁業被害等が深刻な社会問題となっている有明海において、衛星（MODIS）で観測された表層の高（低）Chl.a 濃度分布が海洋レーダーで計測した表層流動の収束域（発散域）とよく一致していることを明らかにしている。これらの研究結果は、生物・化学過程だけの考察にとどまらず、物理的視点から海洋基礎生産との関連性を解明しようとした貴重な研究事例である。

ここで柳・石井ほか（2008）は、表層近傍の低塩分水塊の水平収束／水平発散（海洋レーダー観測）が密度躍層内のそれ（漂流ブイ観測）と異なる構造を持つことを指摘している。漂流ブイと海洋レーダーで観測された流動場の水平収束／水平発散特性はよく一致することから（石井ほか, 2007）、この鉛直的な水平収束／水平発散の特性差異が赤潮発生機構に関連する表層水塊の水平収束／水平発散に関係している可能性がある。しかしながら、水平収束／水平発散の鉛直構造やそれらが高 Chl.a 水塊とどのように関わっているのかについては、未だ明らかにされていない。

そこで、本稿は既述の海洋学的課題に取り組む一環として、GPS ケータイ搭載型漂流ブイ遠隔動態管理システム（石井, 2008）を用いて、有明海における夏季の鉛直密度分布から着目した特徴的な三層（表層・中層・底層）の水平収束／水平発散の鉛直構造を直接観測し、その特徴を明らかにすることを試みる。

2. 観測

観測は、2006 年 7 月 26 日（月齢:0.9、大潮）の 9 時から 16 時まで、三池港から備船して有明海湾奥部（Fig.1）において実施した。当日は晴天であったが、それまでの 1 週間は降水量が 200mm を超える梅雨期であったため、湾奥に位置する一級河川の筑後川からの出水が多かった。

同日の 9 時頃に、Fig.1 に示す四角内の北緯 33 度 00 分、東経 130 度 18 分の地点と、それを基点として北・北東・東方向に各々約 2-3km ずつ離れた計 4 地点に、抵抗体ドロログの中心水深が異なる漂流ブイを 3 基ずつ投入した（計 12 基）。そして、同日 16 時頃まで約 7 時間にわたって各ブイの追跡調査を行ない、湾内下流域で全基を回収した。なお、既述した漂流ブイの諸設定や投入条件を Fig.2 に示すが、抵抗体ドロ

ログの中心水深は有明海における夏季の鉛直密度分布（柳・石井ほか, 2008）を参考に特徴的な表層（海面下 0.5m）、中層（海面下 4.0m）、底層（海面下 8.0m）に設定した。

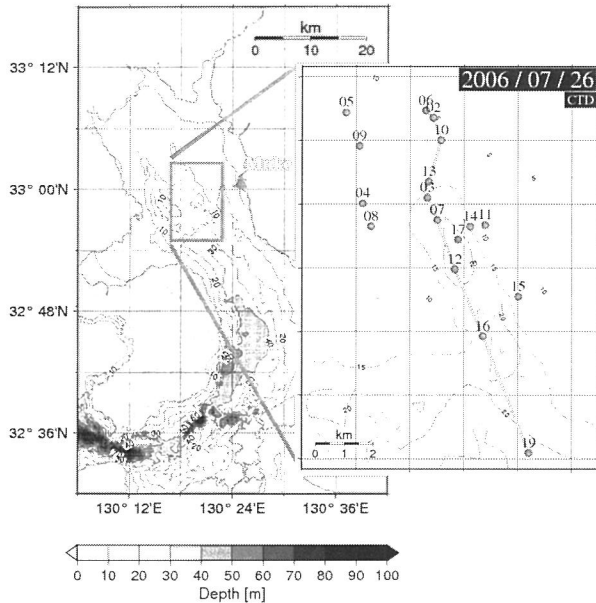


Fig.1 有明海における観測海域とCTD観測地点

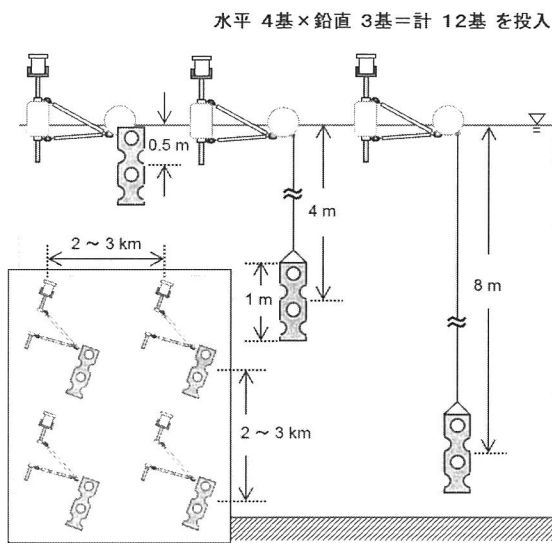


Fig.2 各層における漂流ブイの観測条件

Fig.3 に示す三池港 (Fig.1 内の▲) の潮汐変化から分かるように、本観測は満潮から干潮にかけて行われた。漂流ブイを投入して連続追跡をしている間、流下している 4 地点を順次回りながら各ブイ付近で、ALEC 電子 (現 JFE アドバンテック社) 製 COMPACT-CTD を垂下させて深度ごとの水温・塩分・密度・蛍光強度 (植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a の意) を観測し、同時に水質調査も実施した。なお、Fig.1 の 2 桁数字**は Fig.3 に示す CTD-** に対応しており、Fig.3 の CTD-** の横に併記する時刻は CTD 観測時刻のことを指す。

漂流ブイから一定間隔 ($\Delta t=5\text{min.}$) で動態管理システムサーバに送られてくる GPS 測位情報と流跡をもとに、各ブイのラグランジュ流速ならびに各ブイを頂点として形成される多角形 (四角形) の面積 (S) の時間変化から算出される層ごとの水平収束/水平発散 ($\text{DIV}=1/S \cdot \Delta S/\Delta t$) の時間変動を調べた。

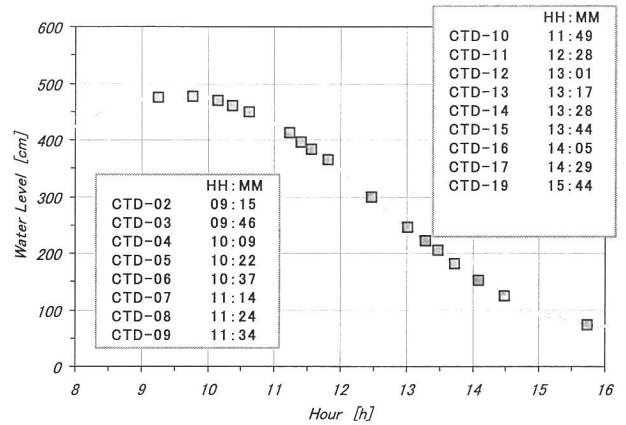


Fig.3 三池港の潮位変動と CTD 観測時刻 (2006 年 7 月 26 日)

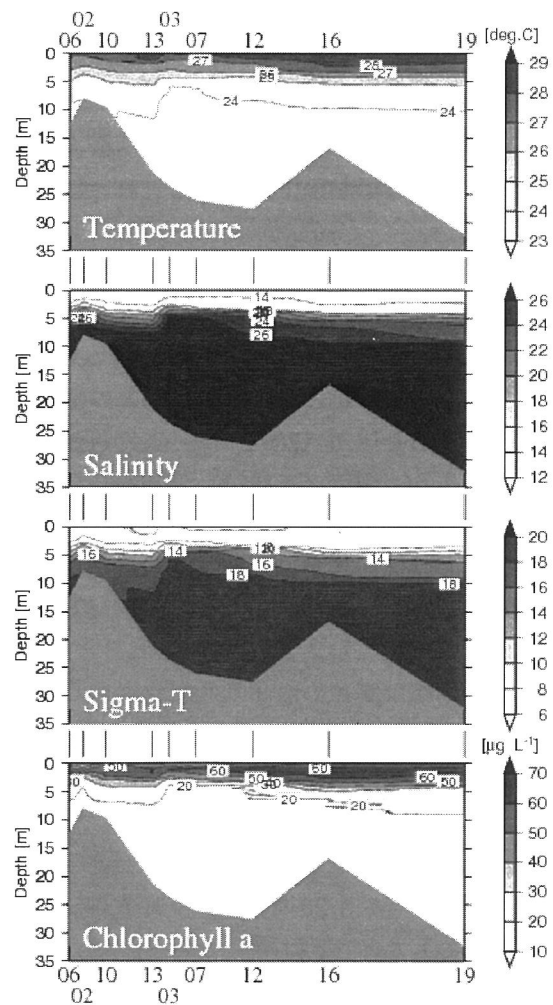


Fig.4 Fig.1 に示す中央線に沿った水温・塩分・密度・Chl.a 濃度の鉛直断面分布

3. 観測

Fig.4 に、本観測海域の中央を縦断するラインにおける水温 (T) ・塩分 (S) ・密度 (σ_t) ・クロロフィル a (Chl.a) 濃度の鉛直断面分布を示す。

同図を概観すると、前日までの降雨の影響とそれに伴い湾奥から流入する筑後川からの出水により、全域に 20 を下回る低塩分水が広がっていて、海面下 4-5m 付近に主塩分・密度躍層が形成されていることが窺える。また、躍層の上にクロロフィル a の極大層 (60-70 $\mu\text{g L}^{-1}$) が生じている。この層厚は水温コンターとよく対応していて、図中左側から右側 (ブイの流下方向) へ行くに従い、海面下 1-3m 近くまでクロロフィル a 濃度の高濃度層が広がっていることが分かる。実際、午前に観測した Sta.03 と午後観測した Sta.19 における CTD 鉛直分布を見てみると、表層 1m 付近に存在するクロロフィル a の極大ピークは両者でさほど変わらないものの、主密度躍層までのクロロフィル a 量は午後の方が格段に多いことが見て取れる (Fig.5)。このことは、同海域には前日までの降雨により筑後川から多量の栄養塩が流入し、同海域の栄養塩環境は豊富な状態にあったため、当日の日射の影響、特に午後からの日射量増加と表層水温の上昇により植物プランクトンの光合成が活発になったためと考えられる。

前述した設定条件にて観測海域内に投入した全 12 基の漂流ブイの流跡 (約 7 時間) を Fig.6 (a : 全層、b : 0.5m 層、c : 4.0m 層、d : 8.0m 層) に示す。観測開始直後は満潮時から下げ潮になり始める時間帯だったので (Fig.3)、層ごとに時間差を生じながら時計回りに転流している様子が見て取れる。

Fig.7 に各層において 1 時間平均した漂流ブイの流速ベクトル (層ごとに 4 基のブイ流速を平均) を示すが、表層・中層で最大 60-70 cm s^{-1} もの潮流 (南下流) が生じている。なお、三池港に三杯型風向風速計 (Devis 社製 Vantage Pro2) を設置し当日の風況も同時に観測したが、一時的

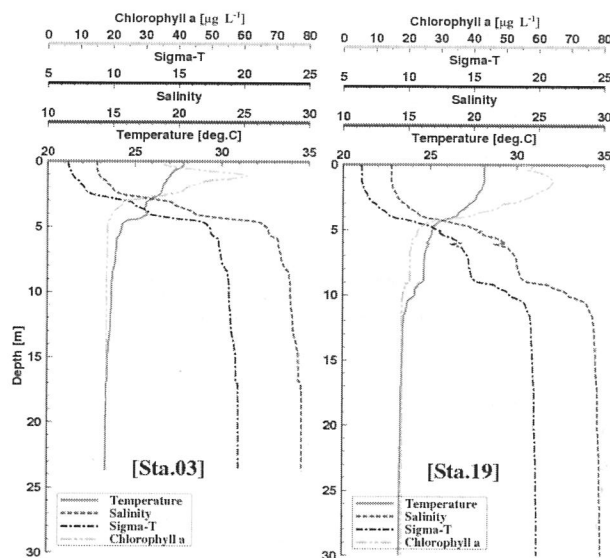


Fig.5 Sta.03 および Sta.19 における水温・塩分・密度・Chl.a 濃度の鉛直プロファイル

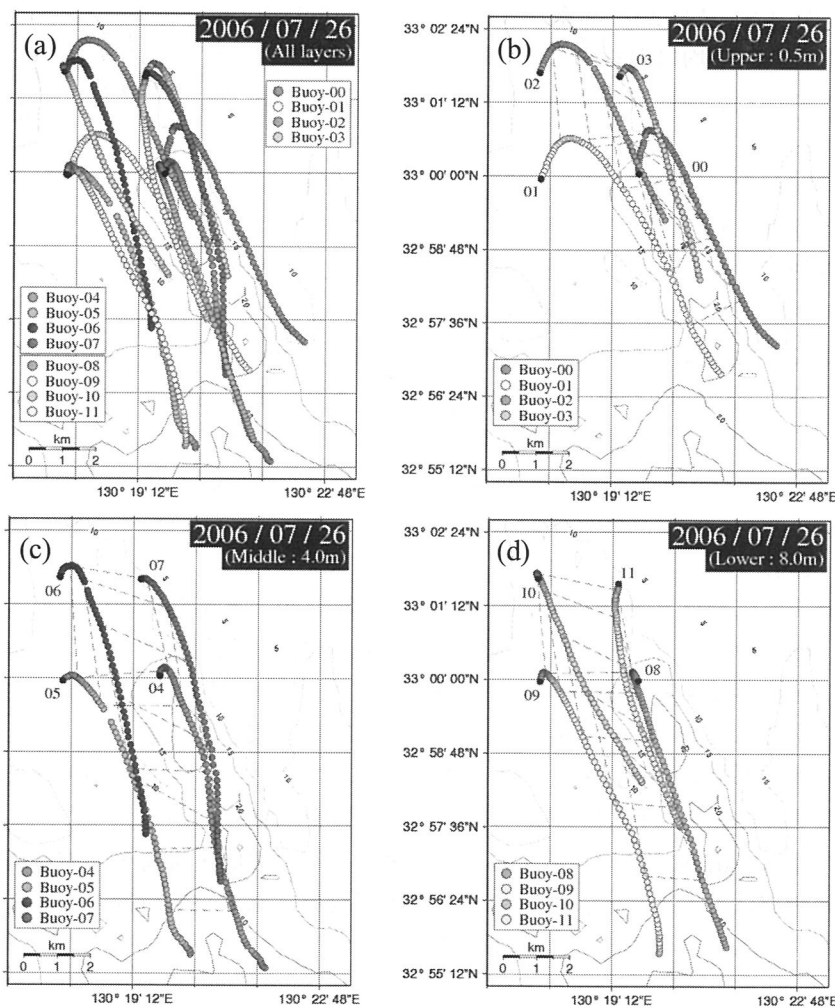


Fig.6 各層における漂流ブイの流跡。位置は 5 分ごとに描画し、1 時間ごとに 4 つのブイを頂点として形成される四角形を破線で示す。(a) 全層、(b) 0.5m 層、(c) 4.0m 層、(d) 8.0m 層

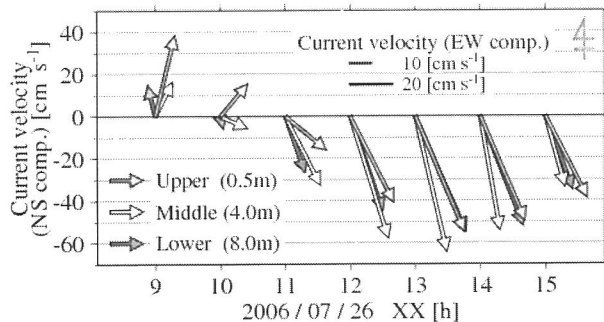


Fig.7 1時間平均した各層における漂流ブイのラグランジュ流速

に 3 m s^{-1} 前後の風が吹いたものの、全般的には静穏であったため、ドローグの設計条件からも風圧流の影響は無視できると考える。

最後に、5分ごと（GPS 測位間隔）に得られる各ブイの位置情報をもとに、各層において4基のブイを頂点として形成される四角形（S）の面積を求め、その時間変化（ $\Delta S/\Delta t$ ）を用いて5分ごとの水平収束/水平発散（ $\text{DIV}=1/S \cdot \Delta S/\Delta t$ ）を算出した。そして、その値に1時間の移動平均処理を施した各層における水平収束（マイナス）と水平発散（プラス）の時間変動を Fig.8 に示す。

同図からも分かるように、若干の差異は見られるものの、潮流が最強となる13時付近を境にそれまでの時間帯では「表層：収束、中層：発散、底層：収束」、それ以降では一転して「表層：発散、中層：収束、底層：発散」といった、海域内における水平収束/水平発散の時間変動と鉛直構造が明らかになった。これは、表層とその下層で異なる水平収束/水平発散構造を有することを指摘していた柳・石井ほか（2008）の研究結果を支持するものである。また、これは各層間に生じる鉛直流の存在と寄与を示唆する結果であり、現場観測にて本件を確認できた意義は大きいと考える。ただし、今回は符号の正負のみに着目した見解に留まっており、連続した収束・発散量の総和はゼロになることを考えれば、本件に関してはまだ検討の余地が残されており、今後の研究課題としたい。

4. おわりに

有明海における夏季の特徴的な三層の水平収束/水平発散特性を直接観測し鉛直構造を明らかにするために、GPS ケータイを搭載した漂流ブイならびに遠隔動態管理システムを用いて現場観測を実施した。その結果、潮流が最強となる13時付近を境にそれまでの時間帯では「表層：収束、中層：発散、底層：収束」、それ以降では一転して「表層：発散、中層：収束、底層：発散」といった、水平収束/水平発散の時間変動と鉛直構造が明らかになった。このことは、層間に生じる鉛直流の存在と寄与を連想させる結果であり、海洋基礎生産に重要な役割を果たしている可能性を示唆している。

今後は、海洋プランクトンのパッチネス構造の生成・維持・消滅機構の解明にあたり、生物・化学過程だけの考察にとどまらず、この鉛直的な水平収束/水平発散特性と海洋基礎生産との関連性について、物理的な視点からアプローチできればと考える。

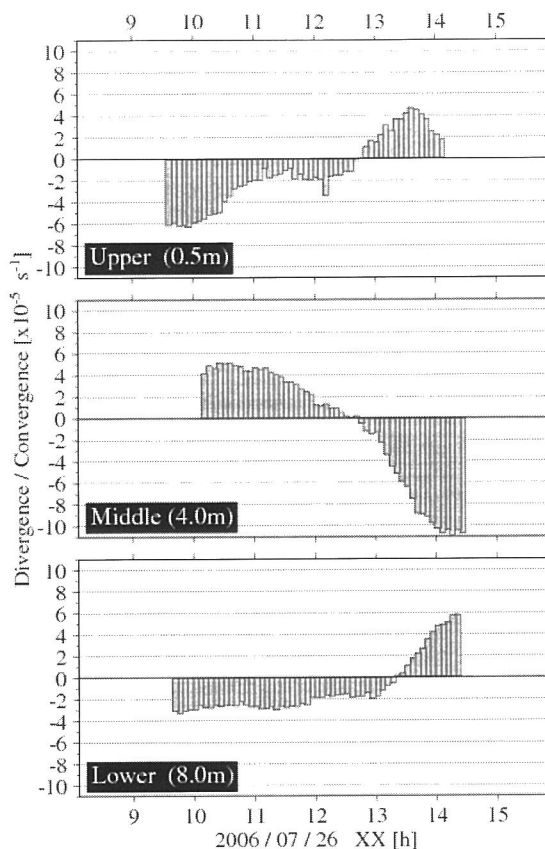


Fig.8 各層における水平収束・水平発散（1時間移動平均値）の時間変動特性

参考文献

- [1] 石井 大輔 (2008) : GPS 機能付き携帯電話を用いた漂流ブイ観測システムの開発, 九州大学応用力学研究所技術室技術レポート, 9, 119-137.
- [2] 石井 大輔, 柳 哲雄, 吉川 裕, 増田 章 (2007) : 漂流ブイと海洋レーダーを用いた対馬海峡における表層収束・発散場の評価, 海の研究, 16, 237-251.
- [3] 柳 哲雄, 石井 大輔, 屋良 由美子, 日向 博文, 石坂 丞二 (2008) : 有明海湾奥部における表層低塩分水の水平収束・発散とクロロフィル a 濃度の関係, 海の研究, 17, 39-48.