

漂流ブイ観測による東シナ海表面吹送流の変動特性

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産総合研究センター 公開日: 2024-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): drifting buoy; East China Sea; Kuroshio; Ekman drift 作成者: 小松, 幸生, 川崎, 清 メールアドレス: 所属: 中央水産研究所, 水産総合研究センター
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010794

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



漂流ブイ観測による東シナ海表面吹送流の変動特性

小松幸生^{*1}, 川崎 清^{*2}

Temporal variation of surface wind-drifted current observed by drifting buoys in the East China Sea

Kosei KOMATSU^{*1} and Kiyoshi KAWASAKI^{*2}

Abstract Surface and upper layer currents were observed by drifting buoys in the East China Sea from February to March in 2001. Two buoys deployed at the same position 120 nautical miles northwestward from the Kuroshio made different trajectories each other: one without a drogue was drawn in eastward to the Kuroshio, on the other hand another one drogued at 15m depth drifted northward to the Japan Sea. In the region further from the Kuroshio where currents were comparatively weak, the buoy with no drogue drifted to the direction which gave good agreement in synoptic time scale with the surface current direction inferred from the Ekman drift. These results suggested that a small difference of the vertical distribution of eggs, larvae and plankton let their future routes change drastically due to the effect of the Ekman drift.

Key words: drifting buoy, East China Sea, Kuroshio, Ekman drift

東シナ海は中国大陸と九州および琉球列島に囲まれた広大な大陸棚を擁する太平洋の縁辺海である。陸棚に沿って黒潮が流れ、大陸からは河川水が流入し、これに海底地形と潮汐が影響して複雑な海洋構造を形成している。前線渦 (e.g., Sugimoto *et al.*, 1988) や内部波 (e.g., Han *et al.*, 2001) がしばしば発生し、これらは下層から栄養塩類を汲み上げる効果 (栄養塩ポンプ) や海水交換の効果を持つことが知られており (e.g., Lee *et al.*, 1981), 潮汐混合 (e.g., Simpson and Hunter, 1974) の影響も強い。特に陸棚上では、冬季には海面冷却による鉛直混合、夏季には河川水の流入により表層への栄養塩の供給が活発で生物生産性が高く (Fournier, 1978), 周辺はマアジやスルメイカをはじめとする重要浮魚類の主たる産卵場となっている。しかしながら、この海域の物理構造については、

黒潮が太平洋側と日本海側へと分岐する現象の力学過程など先の現象以外にも不明な点が多い。東シナ海を産卵域とする浮魚類の資源量の変動機構を明らかにし、加入量予測の精度を上げるためには、この海域の海洋物理環境、とりわけ卵や仔稚魚を移流、拡散させ、餌生物の分布に外力として直接作用する表層の流動場について、その時空間変動の実態を解明することが不可欠である。そのためには流動場を長期的かつ広範囲に、そしてより精力的に調査する必要がある、その一環として海域全体の流動場を準リアルタイムで監視 (モニタ) するシステムの開発が急がれる。

こうした中、2000年度から始まった農林水産省の現場即応研究「産卵場形成と幼稚仔魚の輸送環境の変化が加入量変動に及ぼす影響の解明 (略称、東シナ海漁業資源、FRECS)」では流動場のモニタリングシステ

2002年12月13日受理 (Received on December 3, 2002)

水産総合研究センター業績 A 第35号 (Contribution No. A 35 from the Fisheries Research Agency)

^{*1} 中央水産研究所 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4 (National Research Institute of Fisheries Science, 2-12-4, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

^{*2} 水産総合研究センター研究推進部 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4 (Research Promotion and Development Division, Fisheries Research Agency, 2-12-4, Fukuura, Kanazawa, Yokohama 236-8648, Japan)

ムを開発する課題を設け、将来的には海洋環境条件を加えた資源加入量予測モデルの開発を目指す。昨今の地球環境問題への関心の高まりもあって、海洋環境モニタリングはいろいろな海域で行われており、すでに東シナ海でも沿岸潮位計、係留系、フェリーの航走流速計、海洋短波レーダー、海底ケーブル、人工衛星から得られた海面高度データを同化させた流動モデル、等により流動のモニタリングが実施されており、多くの知見を得ている。しかし未だ不明な点も多く、特に風の作用を直接受ける海面付近の流動場の実態については碎波を伴う乱流現象が絡むだけにほとんど分かっていないのが現状である。一方、海面付近を漂う卵仔稚魚は多く、流れ藻に産卵しその中で幼魚期を過ごす浮魚類も多い（例えば、小西, 2001）。しかも重要浮魚類の産卵時期である冬季から春季にかけて、東シナ海は強い北よりの季節風にさらされる。以上の点を考慮し、われわれのグループは流動場のモニタリングシステムの開発にあたり、流速の地衡流成分を人工衛星海面高度から見積もり（潮汐成分除去の問題が残されているが）、非地衡流成分は波浪モデル（小松, 増田, 2001）と循環モデル（e.g., Mellor, 1996）を統合した数値モデルに各種観測データを同化させて推定することを試みている。そして今回、特に現場の風で駆動される流速成分としてエクマン吹送流に着目し、その実態の把握を目的として、海面漂流ブイを用いた流速観測を実施した。

本論文では、漂流ブイの軌跡から流速を見積もり、風の作用で海面下わずか10数mの流れとは異なる流れが海面に生じ、わずかな分布深度の違いで物質の輸送経路が太平洋側と日本海側へ分かれてしまう現象の実態と原因を探る。

漂流ブイデータ

観 測

漂流ブイを使用した流動観測は、2001年2月2日から2月22日に水産庁の調査船開洋丸（2,630t）による「東シナ海浮魚類産卵場特定と産卵環境調査」の中で実施した。調査海域は東シナ海の100m等深線と南西諸島

に挟まれた海域で、2つのブイを黒潮流軸から北西に60マイル離れた点A（28°44.90'N, 126°45.82'E）と120マイル離れた点B（29°14.95'N, 125°45.07'E）の2点に投入した（Fig. 1, 以下では2つのブイの内、前者をブイA0、後者をブイB0と呼ぶことにする）。使用したブイは、GPSにより測位した位置を通信衛星経由で送信する（株）ゼニライトブイ製のZTB-R1（以下オーブコムブイ）で、空中重量が約6kg、外径が34cmの球形小型のブイである。測位精度は約10mで、測位時刻と位置のデータはE-mailで受信できる。なお、これらのブイにはドロッグ（抵抗体）を付けていない。そのため、風と波の影響を直接受けて吹送流とは異なる方向へ移動する可能性がある（谷澤ら, 2001）。また、測位間隔は微細な流速変動を見るために15分に設定した。データの送信期間はバッテリー容量と送信間隔で決まり、ブイA0とブイB0の送信期間はそれぞれ2月15日21時45分～3月9日2時15分と2月15日11時45分～3月7日19時15分（UTC）であった。Fig. 1には、投入したブイと、東京大学海洋研究所が各々15mと75mにドロッグを付けて同時に投入した計4個のアルゴスブイ（測位した期間は2月15日～3月31日であるが、測位間隔は一定でなくかつブイにより異なり、受信状況の比較的良好なB15（後述）で平均2時間程度である）の軌跡とあわせて示す。Table 1には以上計6個のブイの投入時刻、投入場所、データの送信期間を示す。

処 理

ブイ移動距離は15分ごとに得られたGPSによる測位位置から地球を回転楕円体として計算し、流速は移動距離を測位時間間隔で割って算出した。ブイの15分ごとの移動距離の平均値、標準偏差、最大値、最小値をTable 2に示す。なお表中の値は、A0については正常なデータが取得できた期間として2月15日21時45分から2月27日0時00分のデータで計算し、B0についてはブイが黒潮に入る前までの期間として2月15日11時45分から3月4日0時00分のデータで計算した。A0は黒潮に近い点B0よりも総じて移動距離が長くなっている。データの測位精度からすると、15分間隔のデータをそのまま使用することはできない。観測システム固

Table 1. Summary information of the buoys used in this study

Buoy	A0	A15	A75	B0	B15	B75
System	ORBCOMM	ARGOS	ARGOS	ORBCOMM	ARGOS	ARGOS
Drogue depth	no	15m	75m	no	15m	75m
Deployed date	21:45 Feb.15	21:50 Feb.15	22:00 Feb.15	11:45 Feb.15	12:50 Feb.15	13:00 Feb.15
Deployed position	28°44.90'N, 126°45.82'E			29°14.95'N, 125°45.07'E		
Data acquisition	Feb.15～Mar.9	Feb.15～Mar.31	Feb.15～Mar.31	Feb.15～Mar.7	Feb.16～Mar.31	Feb.15～Mar.27

縁辺海の流速場の解析には流速を等深線に平行な成分と垂直な成分に分けるのが一般的であるが、本研究で着目しているのが表面流速で、直接影響を受ける風との対応付けが容易なため、以下の解析では流速を東西、南北の2成分に分けた。特に断らない限りそれぞれ東向きと北向きを正とする。また、風向は風が吹いてくる向きではなく風が海面上を吹き去る向きとし、海流と同様に東西成分と南北成分に分けた。

解析結果と考察

ブイの軌跡と背景流の関係

はじめに、現場の風の有無にかかわらず存在する黒潮をはじめとした海流を背景流として、これとブイの軌跡との関係について述べる。

2001年2月15日に東シナ海に投入したブイの軌跡をFig. 1に示す。A0, B0はドローグが付いていないブイで表面の海流に追随し、A15, B15とA75, B75はそれぞれ15mと75mにドローグを付けたアルゴスブイで深さ15mと75mの海流に追随する（A, Bの後ろの添字はそれぞれブイが追随する海流の深さを示す）。

黒潮に近い点Aで投入したブイは、ドローグの有無またはドローグの深さによらず黒潮流軸に沿って北東～東方に流された。A0は途中でデータの送信状況が悪くなり黒潮流軸まで到達した時点で正常なデータが得られなくなった。A15, A75はともに黒潮流軸に並行して移動し、屋久島と種子島の南東沖を大きく蛇行して東方へ流された。

一方、黒潮から北西方向へ120マイル離れた点Bで投入したブイは、軌跡に大きな違いが出た。B0は全体的に黒潮に沿って流され、最終的には黒潮に引き込まれた。しかし、B15は投入後の15日間はB0のやや北よりの流路をたどり、その後済州島の方へ向かってほぼ真北へ流れた。B75は3月11日まで正常にデータを送信していたが、他のブイに比べて移動距離が極端に小さい。漂流海域の水深が200m以浅であることから海底敷設物に引っかかった可能性が考えられる。

以上の結果から、ブイの軌跡と背景流との関係について以下のことがいえる。黒潮に近い点Aで投入したブイが3つとも黒潮に沿って流されたことから、黒潮付近では風の作用は深さによって違うにしても、その影響は黒潮の流速に比べれば極めて小さいということである。風の作用としてエクマン吹送流を考えると、よく知られているようにその流速は海面で風速の3～3.5%であり、深さとともに（北半球では時計回りに）向きを変えながら指数関数的に減少する（エクマン螺旋）。観測期間中のブイの流路における海上風のデータ

がないので正確な値で議論できないが、流路の東方に位置する名瀬（奄美大島）と南方に位置する久米島の風速の最大値はそれぞれ8.7m/sと8.9m/sであり、しかも両者の変動傾向は風速、風向ともにほぼ一致していたので、流路上の風速もこれらとほぼ同程度であったとすると、吹送流は海面でもせいぜい0.32m/s程度であり、最大で1.5m/s近くある黒潮の流速と比べると小さい。しかし、黒潮ほどの強い流れがなければエクマン吹送流がブイの動向に与える影響は大きいということの意味している。実際、黒潮から離れた点Bの背景流は海面でもほぼ北向きに0.5m/s以下で黒潮に比べて弱く、3つのブイの軌跡は異なっている（B75はデータが異常であるので何ともいえないが）。Pond and Pickard (1983) はエクマン境界層の厚さ δ_E と海上風速 W の関係式を提案している：

$$\delta_E \sim 4.3W/\sqrt{\sin\phi}. \quad (1)$$

ここで ϕ は緯度であり、 $W=8.9\text{m/s}$ 、 $\phi=30^\circ\text{N}$ を代入するとエクマン境界層の厚さとして $\delta_E=54\text{m}$ を得る。鉛直拡散係数の正確な値が不明なのであくまでも参照値に過ぎないが、エクマン境界層の厚さが54mのときには深さ15mの流速は海面の0.42倍、つまり半分以下になってしまう。潮流の直接的影響は鉛直方向に一樣であると考えられ、また黒潮から離れた海域で背景流が海面と15mとで大きく異なる可能性は小さいので、B0とB15の軌跡の違いは吹送流の深さによる違いに起因すると推察される。ただし、背景流が鉛直方向に一樣であるという確証はないので、現時点では定量的な議論はできない。結果として、海面のブイB0は吹送流に流され最終的に黒潮に入ってしまったが、深さ15mにドローグのあるブイB15は黒潮の方へは流されず、北方へ流れた。なお、このときの人工衛星NOAAから得られた海面水温分布図を見ると（Fig. 2）、黄海から東シナ海に向けて南東方向に舌状の冷水の張り出しが見られ、ブイB15はちょうどこの冷水の縁に沿って北向きに流れたように見える。また、漂流ブイの動向と地衡流がよく一致する事実は他の観測でも多く得られており（e.g., Yang *et al.*, 1999）、潮汐の効果は無視できないにしても表層10m以深の総観規模（時間規模にして数日、空間規模にして数100km）の流れは地衡流でほぼ説明できると推察される。しかし、表面流については風の影響で必ずしも地衡流と一致しない。

以上、ブイの軌跡から、海面では風の吹き出しの影響が大きく、例えば卵や幼魚の分布深度が10m違えば風の状態によっては輸送経路が大きく異なってしまうことが示唆された。そこで、以下では風と表面流速との関係について具体的に考察する。

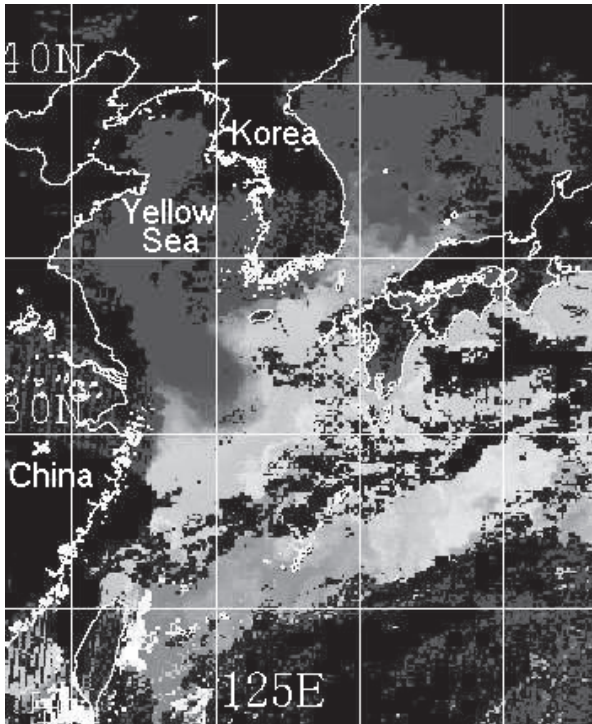


Fig. 2. The composite image of the Multi-Channel Sea Surface Temperature (MCSST) of NOAA-14 satellite in the East China Sea on February 18, 2001

数日規模の表面流速変動

表面流に追従するブイA0とB0の軌跡から算出した表面流速の東西成分と南北成分の時系列をFig. 3に示す。なお、Fig. 3の横軸はブイを投入した2月15日の0時00分(UTC)からの経過日数を示す。以後、特に断らない限り横軸はこの経過日数で示す。また、解析に用いた風のデータは久米島のアメダスデータ(気象庁提供)で1時間毎の10分平均の風速, 風向(16方位)値からなる。

まず, A0の軌跡から算出した表面流速の東西成分と南北成分をFig. 3(a)に示す。東西成分は3日目以降に正の値を示し, ブイが黒潮の東向きの流れに乗ったことが分かる。特に9日目から流速が急増し, 10日目には流速が0.7m/sに達した。Fig. 1の軌跡を見ると9日目にブイは黒潮の蛇行の峰の西側に位置し, 10日目には黒潮に引き込まれたことが分かる。しかし, 11日目に流速は急速に落ちて, 以後データが15分間隔で受信できなくなった。13日目以降ブイがほぼ停止していることから判断すると, 何らかの障害物に引っかった可能性が高い。流速の南北成分は, 3日目に一時負の値を示した後, しばらく正の値が続く, 黒潮に引き込まれたと同時に10日目には-0.7m/sほどになった。久米島における風速の時系列は9日目から10日目にかけて強い北西風(南東方向に吹く風)が吹いたことを

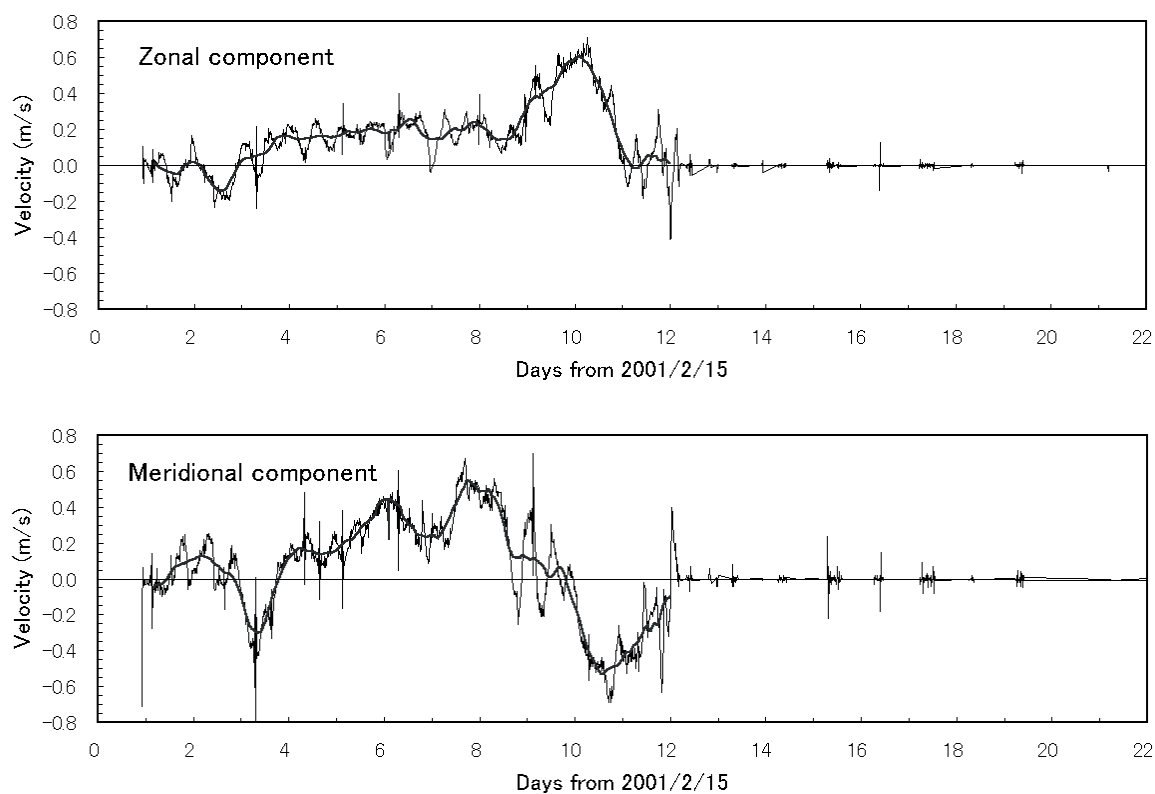
示しており(Fig. 4), ブイが示した南東方向の大きな流速はこの風の影響によると思われる。

次に流速変動の周期特性を見ると, ブイB0(Fig. 3(b))ほどではないが, 半日周期のM2潮(12.42時間)による成分が卓越している。実際, 流速のパワースペクトルは周期が12.42時間の成分が目立つ(Fig. 5(a))。この潮流成分を除去するため, Fig. 3(a)には流速値に13時間の箱型移動平均を施した値も示した。この平滑化された時系列の南北成分は, 8日目まで約2日周期の顕著な変動を示した。一方, 久米島の風速時系列(Fig. 4)を見ると, 同時期には2~3日周期で南北成分が変動しており, 流速に見られたこの周期特性はこの風の変動を反映しているものと考えられる。

続いて, B0による表面流速の変動を見る(Fig. 3(b))。まずA0に比べて潮流成分が相対的に大きいことが目に付く。これはA0に比べてB0の方が陸棚に近いことに起因する。しかし, 17日目以降は東西, 南北両成分とも潮流による半日周期の変動は目立たなくなる。ブイの軌跡を見ると(Fig. 1), 17日目以降ブイは速度を増し, 黒潮に乗って東南東へ流れており, 水深が深くなった結果, 潮汐の効果が弱まったことを示している。パワースペクトル(Fig. 5(b))では, M2潮とその倍潮, 3倍潮のピークが目立つ。A0のスペクトル(Fig. 5(a))と比較すると, B0の場合は半日周期のピークがより低周波側(長周期側)のパワーより大きくなっている。B0についてもA0と同様に潮流成分を除去するための平滑化を施した(Fig. 3(b))。その時系列を見るとA0と同様に数日規模の変動が際立つが, 風の時系列(Fig. 4)と比較すると, A0よりもB0の方が風との相関が高いようである。

次に, 数日規模の表面流の変動をエクマン吹送流の変動として捉えてみる。Fig. 6に, 13時間の移動平均を施し平滑化したA0とB0の表面流速と流向を, 同様に平滑化した久米島での風速・風向と比較して示した。まず, 流速と風速の時系列をFig. 6(a)に示す。図では, 風速の値をそのまま表示せず, 風が直接海面をこすることによって生じるとされる表面での吹送流速の概算値として風速の3%の値を表示した。全期間を通してA0, B0双方の流速とも風速から見積もった概算流速値よりも大きい。値だけでなく, 変動傾向も大きく異なる。期間前半でA0の流速がB0よりも大きいのは, 前述の通り黒潮により近いからであり, B0も黒潮内に入った17日目以降はその流速値が急増した。潮流成分を除去しているので, A0, B0の流速値と風速からの概算値との差は, 前項でも指摘したように黒潮をはじめとする背景流の存在, つまり吹送流以外の流れの存在に起因するものと推察される。しかし, 風の摩擦係数

(a)A0



(b)B0

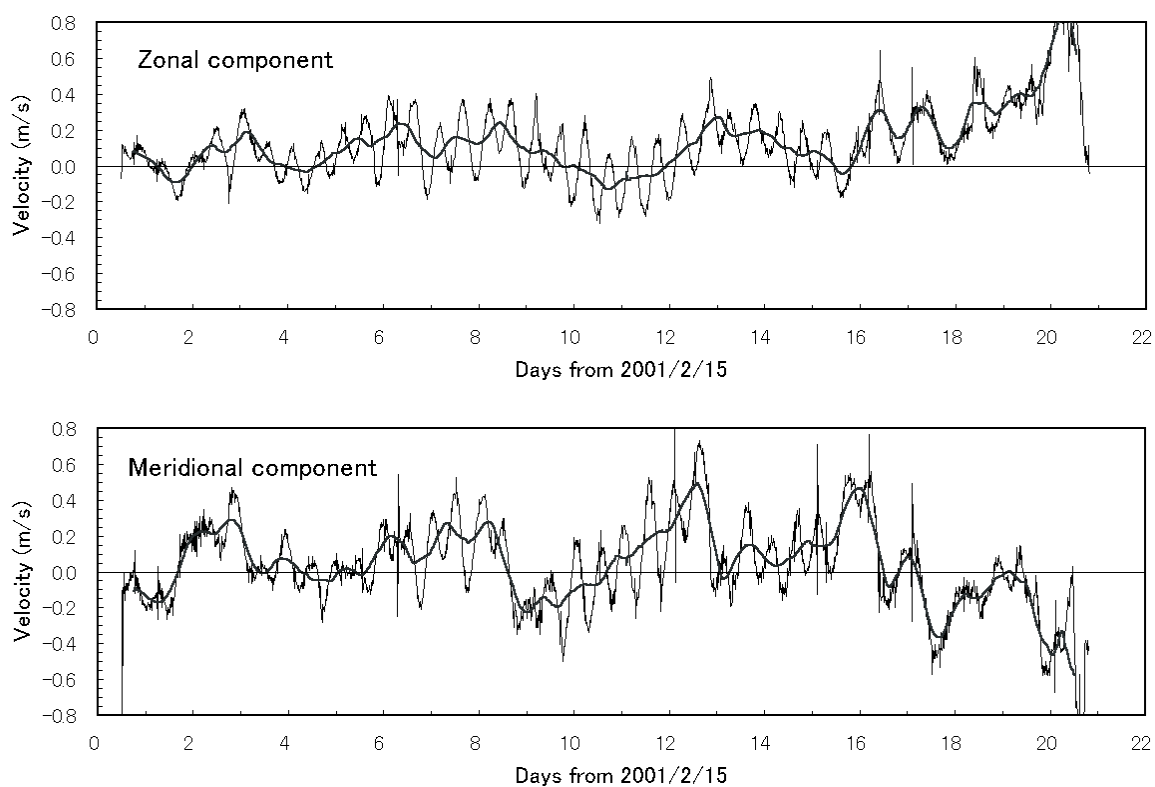


Fig. 3. Time series of zonal and meridional components of surface currents observed by the buoys. Thick lines denote smoothed values by 13 hours running mean.

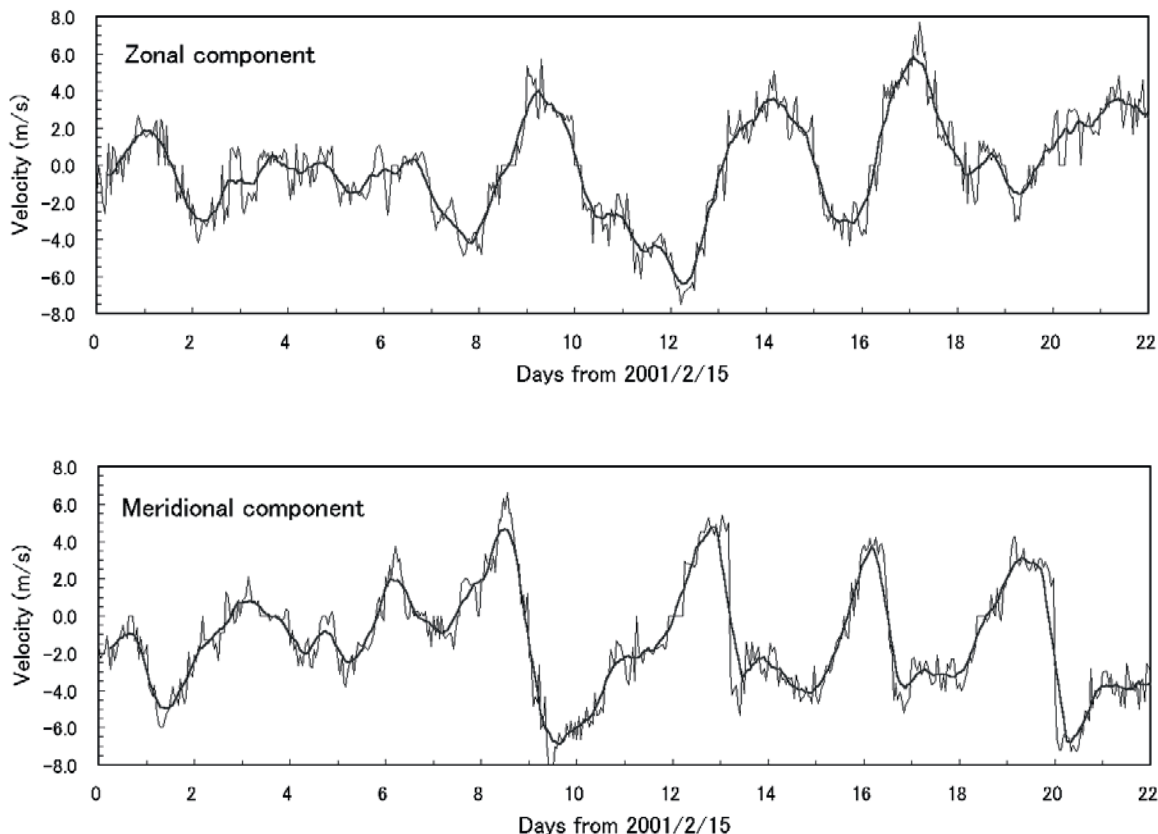


Fig. 4. Time series of zonal and meridional components of wind velocity observed in Kumejima (see Fig.1). Thick lines denote smoothed values by 13 hours running mean.

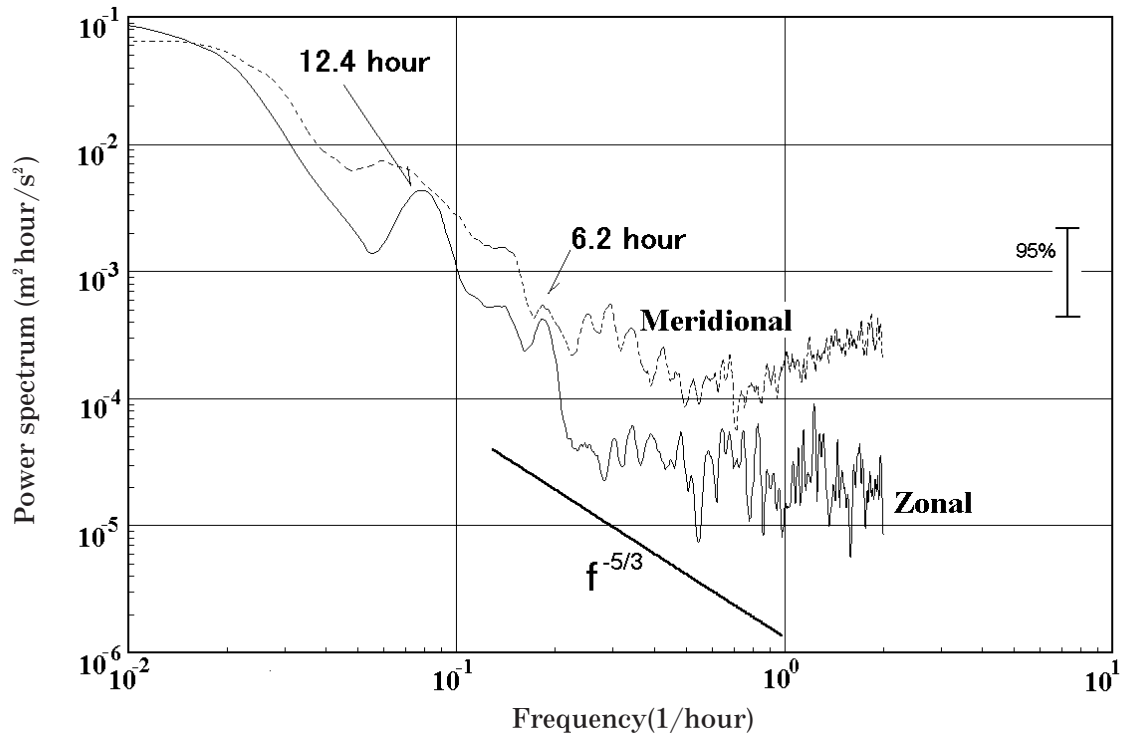
は風速が増すと増大することが経験的に知られており (e.g., Wu, 1982), 海面に発生する風波の発達具合や状態によって吹送流がどのように変動するかはいまだによく分かっていない (e.g., Kusaba and Masuda, 1988). したがって, この図から表面流と風との関係を定量的に議論するのは困難である。

Fig. 6(b) はA0, B0の流向と久米島の風向の時系列である。理論上, 海面のエクマン吹送流の向きは北半球だと風が吹き去る向きに対して右に 45° ずれるので, 図では観測された風向の値に 45° 加えた値を示した。なお, 角度を表示する場合, $0^\circ \sim 360^\circ$ あるいは $-180^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で表示するのが一般的だが, 今回のように流速ならびに風向が目まぐるしく変動する場合, 値が領域の境界をまたぐ際に不連続が生じてしまうため, 縦軸の範囲を 360° より大きく取って図のような表示にした。また, 北向きを 0° とし, 角度は時計回りに増大するものとした。B0の流向と風向 ($+45^\circ$) とがよく一致していることが分かる。黒潮に入った17日目以降は除外して, 風向が急変した5日目と7日目にずれが見られる他はB0の流向はエクマン吹送流と考えたときの向きと等しい。特に4日目には風向に追随して流向

が 90° , つまり真東になっている。Fig. 1を見ると, 4日目というのは, それ以前はほぼ同じ経路をたどっていたB0とB15が大きく向きを変えた時であり, B0が後に黒潮の方向へ向かった最初の契機がこの時点にあったと判断できる。また, Fig. 1を見ると9日目から12日目の間にブイは円を描いて一周しているが, これはFig. 6(b) が示すように風に追随した結果であり, 弱風時にしばしば観測される慣性振動に伴う円運動ではない (現場海域だと慣性周期は1日である)。一方, A0の流向はエクマン吹送流を仮定した流向とは大きく異なる。これは前述のように風向よりも黒潮の流れに追随した結果である。背景流の影響があるにもかかわらず流向がエクマン吹送流としての向きと一致したのに対して, 流速はエクマン吹送流速と一致していない。これは, 前述のようにブイ流速値はブイが風や風波で瞬間的に吹き流される影響が無視できないことと, 風速値がブイの軌跡上での値でないことに起因すると思われる。

いずれにせよ, 背景流が比較的弱い場合は, 総観規模で見ると表面流の流向がほとんど風向によって規定されることは間違いないようである。また海面下では

(a)A0



(b)B0

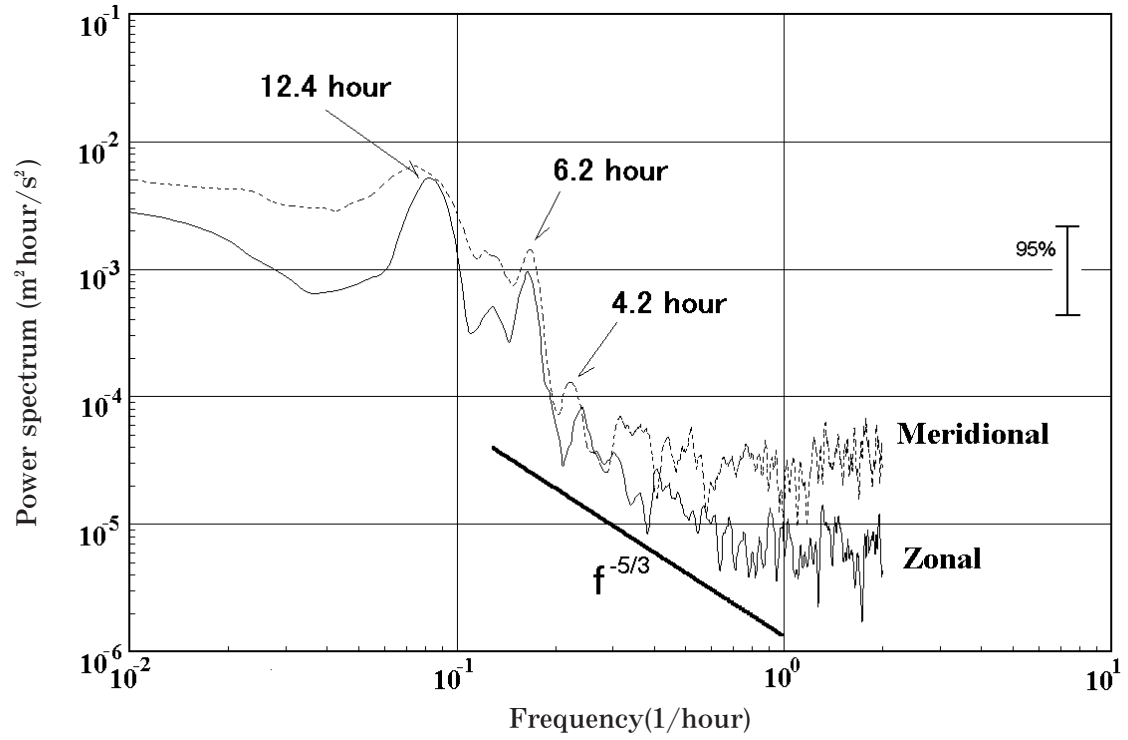
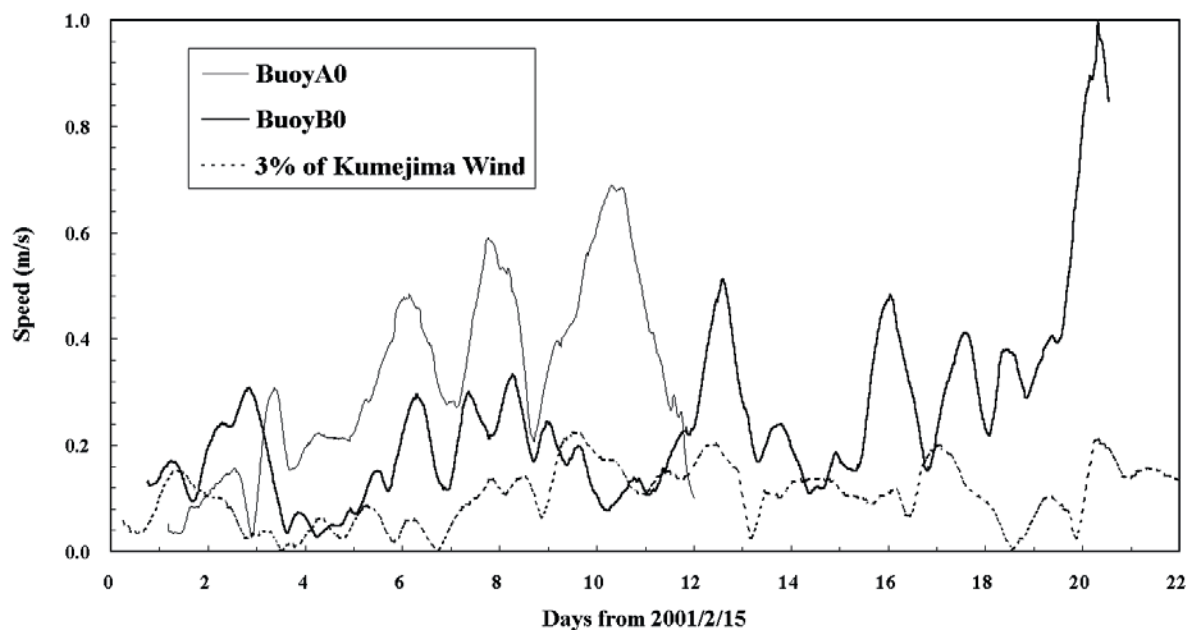


Fig. 5. Power spectra of zonal and meridional components of surface currents

(a)



(b)

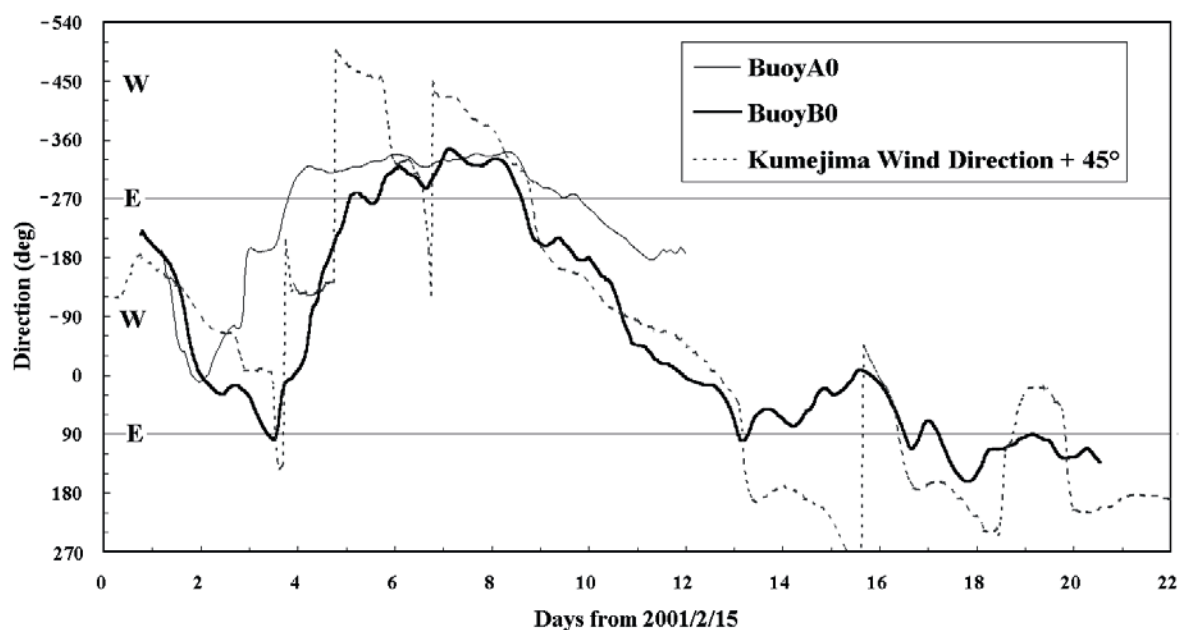


Fig. 6. (a) Time series of the magnitude of surface velocity obtained by the buoys and three percent of wind speed observed in Kumejima. (b) Time series of the direction of surface velocity and the wind direction added 45 degrees.

吹送流の流速、つまり風的作用は深さとともに指数関数的に減少していくので、B点に投入したブイのように、風の変動と卵や幼魚のわずかな分布深度の違いにより、輸送経路が大きく変わる可能性が十分にあるということが示唆された。

結 言

冬季の東シナ海で実施した漂流ブイ観測により以下の結果を得た。まず、黒潮の流軸に近い点で投入したブイはドロッグの有無にかかわらず黒潮に沿って流れ

たが、黒潮から北西方向に離れた点で投入したブイについては、ドローグ無しのブイは黒潮に取り込まれたが、ドローグ付きのブイは北上して日本海側へと向かった。ドローグの有無でブイの軌跡が大きく異なった理由は、海上風による吹送効果が水深に応じて指数関数的に減少し、海表面の流れ場とドローグの位置する水深15mの流れ場とが異なるからである。そしてブイの軌跡から算出したラグランジュ的表面流速の総観（数日）規模の変動を見ると、背景流が比較的弱い海域では、表面流の流向が久米島の風向から推定された現場の風によるエクマン吹送流の向きと一致した。このことから、風向、風速の変動により、この海域の浮遊物質の分布深度のわずかな違いが、その後の輸送経路を太平洋側もしくは日本海側へと大きく分けてしまうことが示唆された。特に卵仔稚魚の輸送を考えた場合、その水平分布の把握は黒潮をはじめとした背景流との位置関係の点でももちろん不可欠であるが、鉛直分布も輸送経路を決める重要な因子となり得ることから、生態系モニタリングを実施する際にはこれらの把握につとめる必要がある。

今回の観測では、ブイがその追従する海流の深度によって軌跡を大きく変えたという点で非常に幸運であった。水塊の水平・鉛直構造をはじめ、背景流の状況、風の状況が違えば大きく異なる結果になったであろう。現状では、具体的にどのような状況のときに、どの程度の分布深度の違いが輸送経路に影響を及ぼすかの定量的把握の問題が残る。この点は数値モデルを用いて現在解析中であり、その結果は別論文で報告する予定である。

謝 辞

漂流ブイ観測では水産庁調査船開洋丸の菊池賛洋船長をはじめとする乗組員諸氏、西海区水産研究所の小西芳信、森永健司の両博士にご協力いただいた。アルゴスブイデータは東京大学海洋研究所教授の杉本隆成博士から提供していただいた。以上の方々に心より感謝いたします。また、解析に使用した係留系流速、アメダス風速のデータはそれぞれJODC、Agropedia農学情報資源システムのURLから取得した。なお、本研究は農林水産省の現場即応研究「産卵場形成と幼稚仔魚の輸送環境の変化が加入量変動に及ぼす影響の解明（東シナ海漁業資源、FRECS）」の課題「海洋流動場モニタリングシステムの開発」で実施した研究の一部である。

文 献

Fournier R. O., 1978: Biological aspects of the Nova

- Scotian shelf break fronts, in "Oceanic fronts in coastal processes" (ed. By Bowman M. J. and Esaias W. E.), Springer-Verlag, New York, pp. 69-77.
- Japan Coast Guard, 2001: Quick bulletin of oceanic conditions, No. 5.
- 小西芳信, 2001: 流れ藻は中国からもやってくる. 西海水研ニュース, **103**, 11-15.
- 小松幸生, 増田 章, 2001: 沿岸域における風波成分波間の非線形エネルギー伝達. 水研センター研報, **1**, 7-21.
- Han I. -S., Kamio K., Matsuno T., Manda A., and Isobe A., 2001: High frequency current fluctuations and cross shelf flows around the pycnocline near the shelf break in the East China Sea. *J. Oceanogr.*, **57**, 235-249.
- Kusaba T., and Masuda A., 1988: The roughness height and drag law over the water surface based on the hypothesis of local equilibrium. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, **44**, 200-214.
- Lee T. N., Atkinson L. P., and Legeckis R., 1981: Observations on a Gulf Stream frontal eddy on the Georgia continental shelf, April 1977. *Deep-Sea Res.*, **28**, 347-378.
- Mellor G. L., 1996: Users guide for a three-dimensional primitive equation, numerical ocean model, Program in atmospheric and ocean sciences, Princeton University, Princeton, 41pp.
- Pond S. and Pickard G. L., 1983: Introductory dynamical oceanography, 2nd ed., Pergamon Press, Oxford, 285pp.
- Simpson J. H. and Hunter J. R., 1974: Fronts in the Irish Sea. *Nature*, **250**, 404-406.
- Sugimoto T., Kimura S., and Miyaji K., 1988: Meander of the Kuroshio front and current variability in the East China Sea. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, **44**, 125-135.
- 谷澤克治, 南 真紀子, 井本泰司, 2001: 波による浮体の漂流速度について. 日本造船学会論文集, **190**, 151-160.
- Wu J., 1982: Wind-stress coefficients over sea surface from breeze to hurricane. *J. Geophys. Res.*, **87**, 9704-9706.
- Yang Y., Liu C. -T., Hu J. -H., and Koga M., 1999: Taiwan Current (Kuroshio) and impinging eddies. *J. Oceanogr.*, **55**, 609-617.