

ADCP データからみた黒潮の流速構造†

道田 豊*

Velocity Profile of the Kuroshio Measured with Shipborne ADCP †

Yutaka MICHIDA*

Abstract

Velocity structure of the Kuroshio in East China Sea and south off Japan is investigated by analysing ADCP data for the period from 1985 to 1990.

By analysing the ADCP data obtained along two meridional regular observation lines, it is shown that the horizontal structure of the Kuroshio south off Japan has big difference by the location of the Kuroshio axis; in the cases when it flows closer to the coast and when it does far south from the coast. In the former cases, horizontal structure of the eastward velocity decreases rapidly with its distance from the Kuroshio axis onshoreward, and slowly offshoreward, that shows an asymmetric profile. In the latter, on the other hand, it shows rather symmetric.

By calculating gridded mean velocities, vertical profile of the Kuroshio current is proposed that the vertical shear down to 200m is almost linear in the region south off Japan, and the speed at 200m there is approximately half of the surface current.

1 はじめに

黒潮の流速構造については、地衡流計算、GEK 観測等により、水平構造、鉛直構造について論じた研究が多数行われた。最近では、ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) の普及によって、これを用いた黒潮の直接測流が盛んに実施され、黒潮の詳細な流速構造が示されるようになった。

例えば最近の研究では、南ら (1991) が表面付近から深度700mまで深さ方向に16mの分解能で水平流速が測定できる ADCP を用いて黒潮流域の横断観測を実施した。その結果、本州南岸から沖に向かって、黒潮流域に入ると急速にその流速を増し、15~20マイルの間に1ノットの流速から最大流速 (3ノッ

ト以上) に達し、一方最大流速域 (流軸) から沖に向かっての流速の減少は、内側域での増加率に比べると緩やかで、1ノット程度の流速になるまでに60~80マイルを要する、という結果を得た。彼らはまた、同時に実施されたCTD観測データを用いて地衡流計算を行い、ADCPによる水平流速の鉛直構造と地衡流の構造がきわめてよく一致していることを示した。

石井らの報告(1986b)は、ADCPデータを用いて、地衡流計算の最大の弱点である無流面の仮定を排除しようとした先駆的な研究と評価できる。彼らは、ADCPによる表面から200mまで5層の流速が、いずれも地衡流速とほぼ良い相関にあること、詳細に見ると表面付近 (表面, 50m) よりも亜表層 (100m,

† Accepted 10th February 1995

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

150m)がよりよい相関を示すことを示し、ADCPの流速に準拠した地衡流計算によって、本州南方での黒潮流量を見積った。

これらの研究はいずれも、ADCPによる直接測流の結果、本州南方の黒潮は大局的に見て地衡流バランスが成立しているという結論を導いた。

一方、Kaneko *et al.* (1992)は、曳航式のADCPを用いて本州南方の黒潮の横断観測を行い、黒潮の最強流帯における最大流速は、表面よりも下の層(100m~200m)にあり、その最大流速付近の流れは地衡流バランスを欠いていると結論づけた。しかし、Kaneko *et al.*の示したADCPによる流速の鉛直構造と1000m基準の地衡流計算の結果を見比べると、両者は全体的には驚くほどよく一致しているように見える。彼らの発見した黒潮流軸付近の下層の最大流速は、その周辺で地衡流とズレているというが、これはCTDの測点間の非常に狭い領域に存在したものであり、地衡流との比較自体に無理があるのではないかとも思われる。また、石井ら(1991)による、投下式の流速プロファイラー(XCP)を用いた黒潮流速の鉛直構造の観測結果においても、一部地衡流の構造と大きく異なる結果が得られており、彼らはその原因を不明としているが、これも地衡流の空間分解能の限界に起因するものである可能性が高い。東ら(1989)は、東経137度線に沿ったADCP観測の結果から、黒潮強流帯の流速は、深度とともに小さくなると述べており、Kaneko *et al.*の言う亜表層の流速極大は見いだされていない。

本研究では、これらの研究結果を検証するため、これまでに蓄積された多数のADCPデータを用いて、本州南方の黒潮の流速構造の例をいくつか示すとともに、平均的な構造について述べる。

2 データ及び研究方法

解析に使用したデータは、水路部の測量船「拓洋」と「昭洋」のADCPデータ(古野電気製)であり、1985年から1990年までの本州南方における航海時のデータを集めた。観測層は、「拓洋」は、10m、50m、

100m及び200mにほぼ固定されており、「昭洋」は10mから200mの間で、さまざまとなっている。しかし、いずれの船についても1組の観測値として同時に測定されるのは4層の流速である。1991年以降、水路部はADCPの船上処理部におけるフィルタリングに小野(1989)の開発した方法を採用したが、新旧方式による精度の違い等について検討の余地が残されているため、今回の解析には1990年以前のデータを使用することとした。このデータから、停船や変針に伴う不良データ、ロランC等測位の乱れによる不良データを除去して、以下の解析に供するデータセットとした。また、ジャイロ等測位装置とADCPとの不整合に起因する、主として船の進行方向に直角な方向に現れる誤差については、多くの文献が指摘するところであるが(例えばJoyce(1989), Polard and Read(1989), 石井ほか(1986a)など)、補正のための往復観測が実施されている場合には石井(1993)の提示した方法による補正を施し、そうした観測が実施されていない場合で測得流速に明かな誤差が見られるケースについては、以後の解析の対象外とした。こうして準備されたADCPデータの観測点分布をFig. 1に示す。

Fig. 1のADCP観測データから、本州南方の黒潮を南北に横切る2本の定期観測線のデータを抽出し、黒潮の流速構造を調べた。観測線の位置は、四国沖の東経133度40分線(一部は133度30分)に沿った北緯28度から33度の範囲と、御前崎沖の東経138度線に沿った北緯29度から34度の範囲である。先に述べた期間に、四国沖について12回、御前崎沖についても12回の横断観測のデータがあり、これらについて黒潮の流速構造を記述する。

本州南方の平均的な流速構造を調べるため、Fig. 1のADCP観測データを用いて、緯度経度1度メッシュのベクトル平均流速を計算した。この計算は表面流(10m)に加えて、観測頻度の高い50m、100m、200mの各層についても同様に行った。

また、流れの平均的な鉛直構造を知るため、表面流の流向に相対的な各層の平均流を緯度経度2.5度

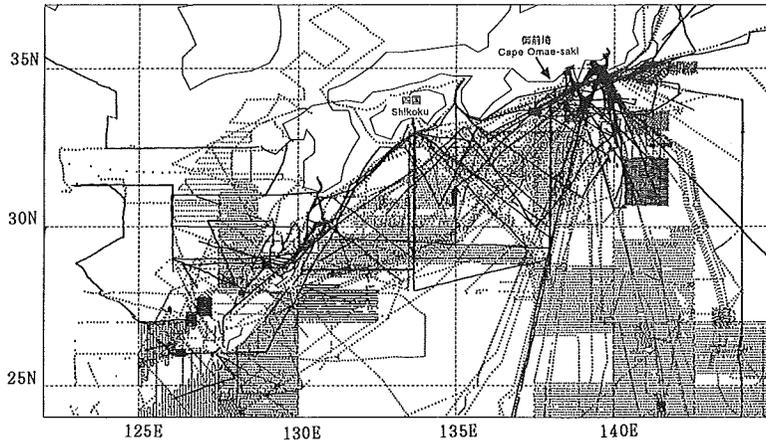


Fig. 1 Location of ADCP observations in the Kuroshio region south off Japan obtained onboard survey vessels Takuyo and Shoyo from 1985 to 1990. Approximately one fourth points of observations are plotted.

メッシュで計算した。すなわち、流れの時間変化や平均するメッシュ内での流れの場所による違い（空間変化）が大きい場合、単純なベクトル平均流速は全体に小さな値となり、表面の流れに相対的な鉛直分布を適切に表現できないが、この操作により、個々の観測場面での流れの構造を反映した平均的な鉛直プロファイルが得られると期待される。

3 結果

(1) 定線における黒潮の流速構造—四国沖及び御前崎沖—

Fig. 2 に、四国沖の定線における表面流速の東西成分を示す。Fig. 2 a) に「昭洋」による 7 回の観測を、同 b) に「拓洋」による 5 回の観測をそれぞれ重ねて描いてある。各観測時期等は Table 1 のとおりである。空間スケールの大きな分布、小さな分布が入り交じっており、また ADCP の状態が必ずしも良くないデータも少なからず含まれており、四国沖の黒潮の表面海流の水平構造について一目瞭然とはいかない。しかし、a), b) 図においてそれぞれ一例を除けば、東向き最大流速は概ね $32^{\circ}30' \sim 32^{\circ}40'N$ に見られる。これから外れる 2 例は、東向き最大流速が $31^{\circ}00' \sim 31^{\circ}20'N$ に現れ、東向き成分の最大値が 2 ノット前後と他に比べて小さくなっている。水路部

Table 1 ADCP observations across the Kuroshio off Shikoku.

No	Vessel	Date	Principal Observation layers(m)
1	Shoyo	1986. 6. 4- 6. 6	10 30 50
2	Shoyo	1986.10.22-10.24	10 30 50
3	Shoyo	1987. 5.14- 5.16	10 30 50
4	Shoyo	1987.10.31-11. 1	10 100 150
5	Shoyo	1988. 3. 9- 3.10	10 30 55
6	Shoyo	1988. 5.23- 5.24	10 30 55
7	Shoyo	1988.10. 6-10.28	10 30 55
8	Takuyo	1985. 3.11- 3.13	10
9	Takuyo	1986. 3.11- 3.13	10
10	Takuyo	1986.10.14-10.15	10 50 100 200
11	Takuyo	1987. 3. 9- 3.11	10 50 100 200
12	Takuyo	1990. 3. 8- 3. 9	10 50 100 200

Table 2 ADCP observations across the Kuroshio off Omae-saki.

No	Vessel	Date	Principal Observation layers(m)
1	Shoyo	1986. 5.31- 6. 2	10 30 50
2	Shoyo	1986. 8.23- 8.24	10 30 50
3	Shoyo	1986.11.12-11.13	10 100 200
4	Shoyo	1987. 5.12- 5.13	10 30 50
5	Shoyo	1987.11. 2-11. 4	10 100 150
6	Shoyo	1988. 3. 5- 3. 7	10 30 55
7	Shoyo	1988. 5.19- 5.21	10 30 55
8	Shoyo	1988.10.29-10.31	10 30 55
9	Takuyo	1985. 3.15- 3.17	10
10	Takuyo	1986. 3.14- 3.16	10
11	Takuyo	1987. 3.12- 3.14	10 50 100 200
12	Takuyo	1990. 3.10- 3.12	10 50 100 200

発行の海洋速報 (1986) によれば、これら 2 例の観測時は、日向灘から四国沖にかけて小蛇行が存在した時期にあたっている。

Fig. 3 に、岸寄りに流軸がある場合と沖合いにある場合の流速構造の例を示す。岸寄りの $32^{\circ}40'N$ 付近に流軸がある場合、東向き流速 1 ノット以下の状態から沖に向かって 10 マイル余で最大流速 4 ノットに達し、流軸より沖側では東向き流速 1 ノットに戻るまでに 40~50 マイルを要している。これは、南ら (1991) の示した流速構造と同様である。一方、沖合いの $31^{\circ}20'N$ 付近に流軸がある例では、黒潮を横断しての東向き流速の空間変化が前の例に比べて緩やかであり、流軸を挟んで対称に近い分布となっている。

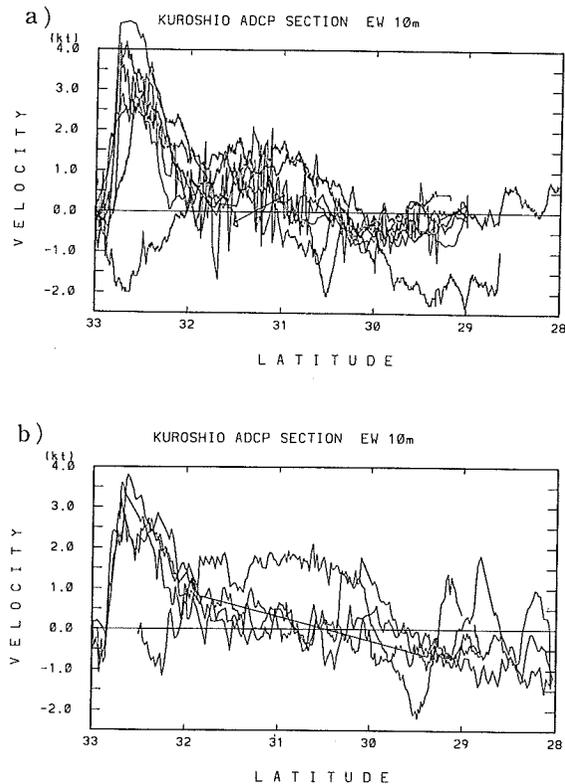


Fig. 2 Velocity profiles of the east-west components of the surface (10m) currents across the Kuroshio along the observation line off Shikoku. a) Seven profiles observed onboard S/V Shoyo. b) Five profiles onboard S/V Takuyo.

いる。

四国沖の例と同様に、御前埼沖定線における表面流速の東西成分を Fig. 5 に示す。Fig. 5 a) が昭洋による 8 回の観測を、同 b) に拓洋による 4 回の観測結果をそれぞれ重ねて描いてある。各観測時期等は Table 2 のとおりである。一見して東向き最大流速を示す位置が一定せず、遠州灘において黒潮流軸が南北に大きく振れることを反映して、 $33^{\circ}30' \sim 31^{\circ}00'N$ の間の様々な場所に見られる。東向き流速の最大値は概ね 2.5~3.0 ノットの範囲にある。

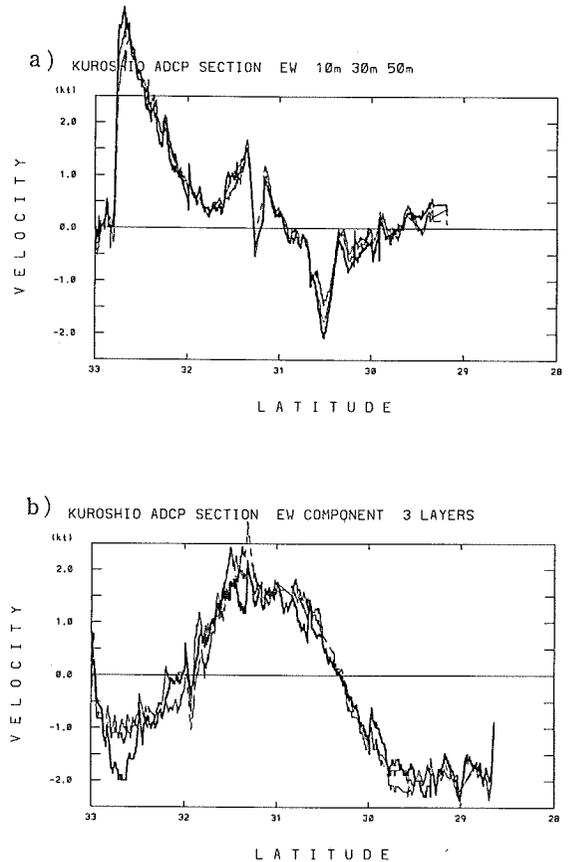


Fig. 3 Typical velocity profiles of the east-west components of the Kuroshio for the surface (thick solid lines), 30 m (thin solid lines) and 50 m (dashed lines). a) For a case when the Kuroshio axis was located close to the coast (for No.1 observation in Table. 1). b) For a case when the axis was located offshore (for No. 2 in Table. 1).

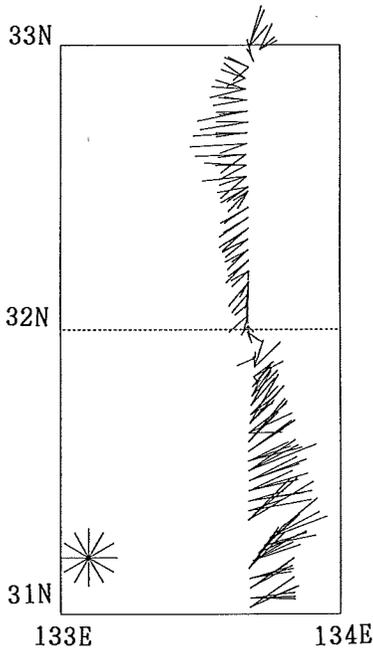


Fig. 4 Velocity vectors for Fig. 3 b). The velocity scale is drawn in the bottom left corner, where the length of each shaft from the center indicates 1 knot.

Fig. 3には、表面流速に加えて下層の流速も併せて描いてある。流速測定の設定深度が30m及び50mと比較的表면에近い層であり、表層混合層の中であると考えられることから、これらの層の流速に大きな差異は見られない。ただ、Fig. 3 b)では、北緯31度以北の海域において、表面流速が下層に比べて相対的に西向き成分を持つ部分が見られ、流速ベクトル図(Fig. 4)においても、黒潮流軸の北側では30m、50mの流れに比べて表層の西向きの流れが強くと、流軸付近では表層ほど東向き流速が小さいという傾向を見ることができる。

(2) メッシュ平均した本州南方の黒潮の流速—水平構造—

Fig. 1に示した ADCP データから、緯度経度1度メッシュでベクトル平均流速を求めた結果を Fig. 6に示す。Fig. 1でわかるように、データセットは本州南方の広い範囲をほぼカバーしているが、図中の

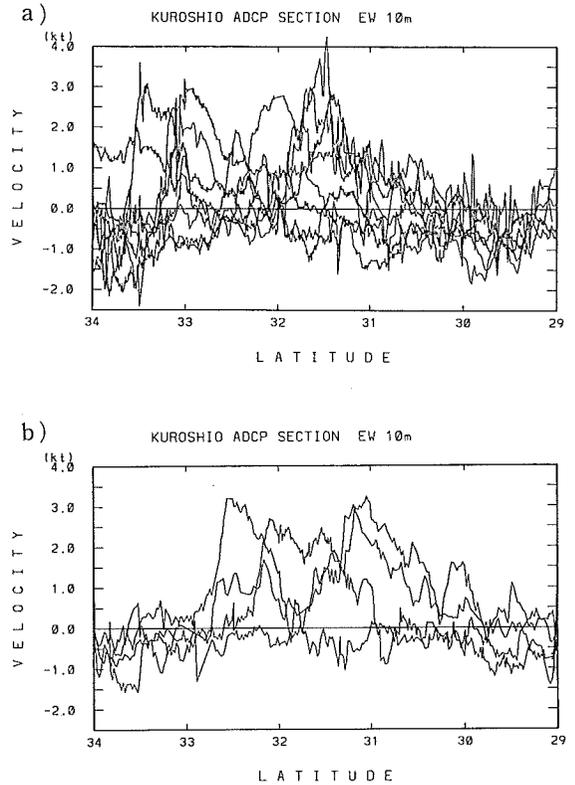


Fig. 5 As in Fig. 2 except that the observation line is off Omae-saki. a) Eight profiles observed onboard S/V Shoyo. b) Four profiles onboard S/V Takuyo.

くつか見られる矩形あるいは三角形の測点分布は海底地形測量の航海によって得られたものであり、海域毎に観測年、季節が異なっていることに注意する必要がある。つまり、この種のデータを一括してメッシュ平均した結果は、異なる年の異なる季節の観測結果を貼り合わせたものになり、真の平均場とは異なる可能性が高い。ただ、東シナ海から本州南方にかけての黒潮流域については、毎年さまざまな季節に観測が実施されており、この海域については得られた平均ベクトルは信頼しうると期待される。

流速値自身はベクトル平均のため全体に小さくなっているが、流れのパターンは従来の統計値(日本近海海流統計図(1991))と同様の様相を呈している。東シナ海から本州南方を流れる黒潮は明瞭に表

現され、四国沖の暖水塊による時計廻りの循環も弱いながらも観察される。黒潮よりも沖の海域については、流れ自体が比較的弱い上に、先に述べたように異なる時期の観測データによる「パッチワーク」となっているため、流線としてつながるような流れは明確でない。

(2) メッシュ平均した本州南方の黒潮の流速—鉛直構造—

Fig. 6 の下層の流れをみると、200mまで黒潮及び四国沖暖水塊の構造が観察される。全般に、表面から下層に向かうにつれて流速値が小さくなる傾向があり、流向はメッシュによってまちまちであるが、黒潮域では下層ほど岸向き成分が大きくなる場合が多い。これは、観測時の吹送流等が平均値に反映したものと推定されるが、今回の報告では吹送流の評価を行っておらず、詳細は不明である。

流れの平均的な鉛直構造を調べるため、表面流の方向を合わせた上で下層の流速のメッシュ平均をとった。ここでは緯度経度2.5度のメッシュで平均化操作を行った。便宜的に表面流の方向がすべて北向き(0°)になるように、下層の流速ベクトルを個々の観測点毎に鉛直軸のまわりに回転させて、回転後の流速をベクトル平均した。例えば、Fig. 7 は四国沖の黒潮の北の端を含むメッシュ(32.5°-35.0°N, 132.5°-135.0°E)の例であるが、上に述べたような操作を行って、50, 100, 200mの各層の流速分布を描いたものである。一つ一つの点が、表面流向に相対的な各層の流速ベクトルの値を示している。この値について各層毎に平均を取ることになる。Fig. 7 の中に大きめの黒点で示した値が平均値で、十字線は表面流の方向に対して前後、左右成分の標準偏差の大きさを示している。

こうして計算されたメッシュ毎の鉛直構造を図示したものが Fig. 8 である。この図では、表面流(10m層)が東向きになるように揃えて描いてある。各メッシュの、表面流向に相対的な50, 100, 200m層の流速が表面流の大きさの平均値と共に示してある。この図から、黒潮流域では200m層まで概ね表面

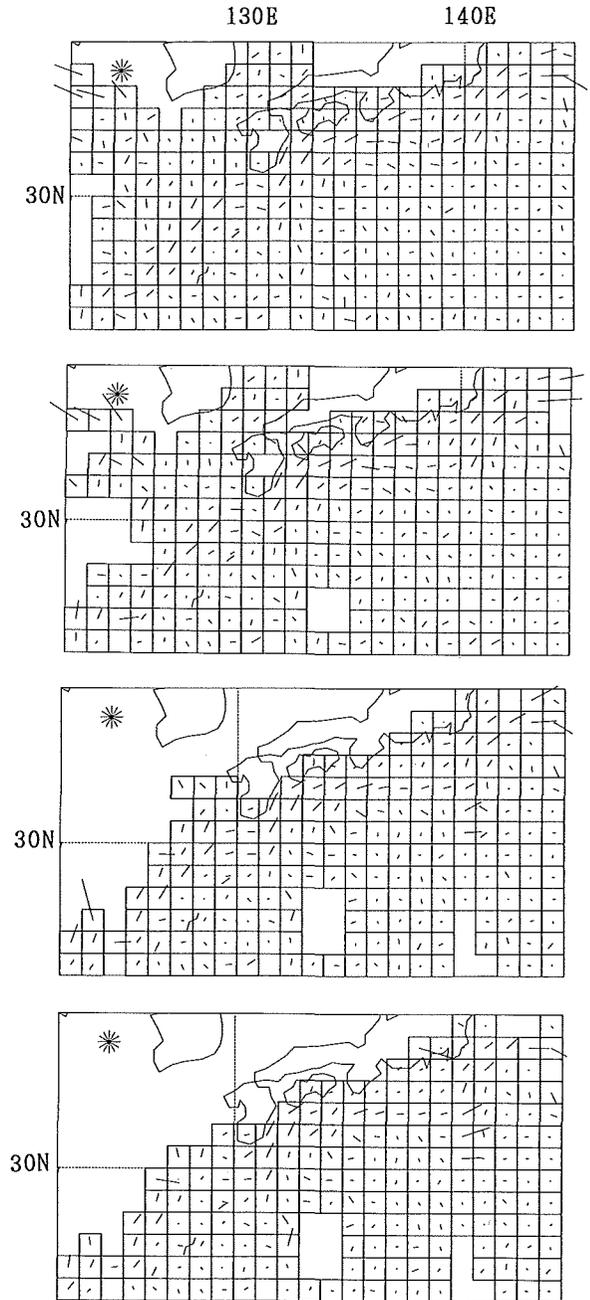


Fig. 6 Averaged velocity field for 1 x 1 degree grids, for the surface (10m), 50m, 100m and 200m later (from the top to the bottom). The velocity scale is drawn in the top left corner of each panel, where the length of each shaft from the center indicates 1 knot.

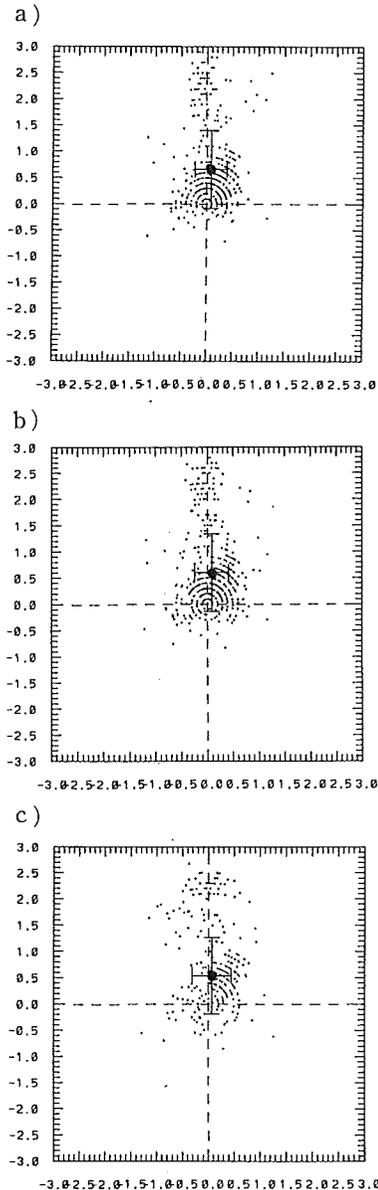


Fig. 7 Distribution of the velocities in the subsurface layers relative to the current directions in the surface layer for the 2.5 x 2.5 degrees grid which covers the Kuroshio edge off Shikoku (32.5-35.0°N, 132.5-135.0°E), for a) 50m b) 100m and c) 200m layer. Mean values (large solid circles) and standard deviations for the same and perpendicular direction of the surface current (thin cross lines) are shown with their units in knots.

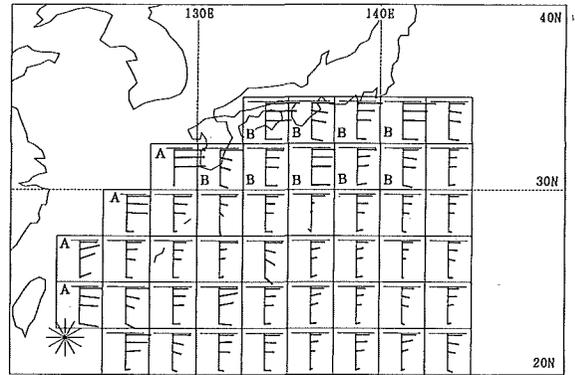


Fig. 8 Averaged velocity field relative to the current directions in the surface layer for 2.5 x 2.5 degrees grids. Mean values for the surface (10m), 50m, 100m and 200m are calculated with the method same as for Fig. 7 and the length of each bar is proportional to the mean value as indicated with the scale at the bottom left corner.

と同じ方向に流れているといえる。一方、黒潮の南方海域では下層の流向が表面流の方向とは異なる例が目だつようになる。

4 考察

(1) 黒潮流速の水平構造

前項(1)で、黒潮流軸の位置によって、流速の水平分布が異なることを示唆した。本州南方の2本の観測線について、黒潮が岸よりを流れているケースと沖合いを流れているケースに分けて流速分布を調べてみる。Fig. 9は、四国沖の観測線について、a) 流軸が岸より(32°30'N以北)にある場合 b) 沖合い(32°30'N以南)にある場合の東西流速成分の分布である。流速プロファイルの形状を見やすくするため、各図において流軸の位置を合わせ、その位置に相対的な緯度を横軸にとってあり、さらに流速値は東向き最大流速が3ノットになるように規格化してある。3ノットという値は、平均的な流速最大値を用いて規格化することによって、現実の流速分布を想起しやすいように配慮したものである。

四国沖の線については、小蛇行に伴って流軸が沖

合いに移動していた観測例が2例しかないので、安易に結論付けることはできないが、流軸が岸よりにあるときは非対称の構造が顕著であるのに対して、沖合いにある場合は対称に近くなっているといえる。

御前埼沖の線についても同様の操作を行ってみた。その結果が Fig.10 である。こちら、流軸位置を区分する緯度として $32^{\circ}30'N$ を採った。その結果、岸よりに区分されるものが4例、沖合いは7例と

なった。但し、残りの1例は明確な流速の最大値が見られないため、この図からは除外した。Fig.10の2枚の図を比較してみると、四国沖の線と同様に、黒潮流軸が岸よりの場合は非対称、沖合いにある場合は対称的である傾向が見られる。

Fig.11に、四国沖の観測線で流軸が岸よりにある場合、御前埼沖の観測線で流軸が岸よりにある場合及び沖合いにある場合のそれぞれについて、Fig.9及びFig.10に示した流速の平均値と標準偏差を示した。流軸が岸よりにある場合 (Fig.11 a), b) は流速分布の非対称性が目だつが、沖合いにある場合 (Fig.11 c)) は比較的対称的な流速分布となっていることがわかる。流速最大の位置から、岸側、沖側

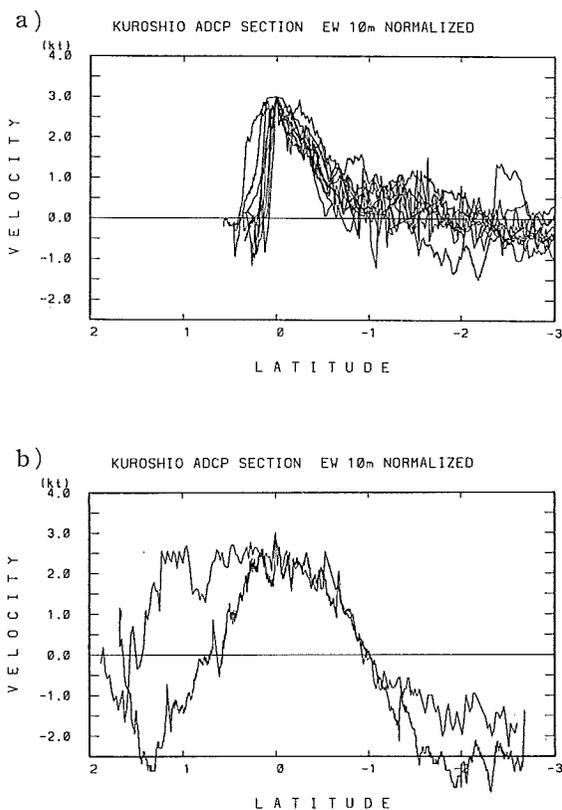


Fig.9 Normalized velocity profiles of the east-west components of the surface (10m) currents across the Kuroshio along the observation line off Shikoku. Velocity values are normalized by the value and the position of the maximum velocity for each observation case. a) Cases when the Kuroshio axis is located close to the coast, north of $32^{\circ}30'N$ and b) when it is located offshore, south of $32^{\circ}30'N$.

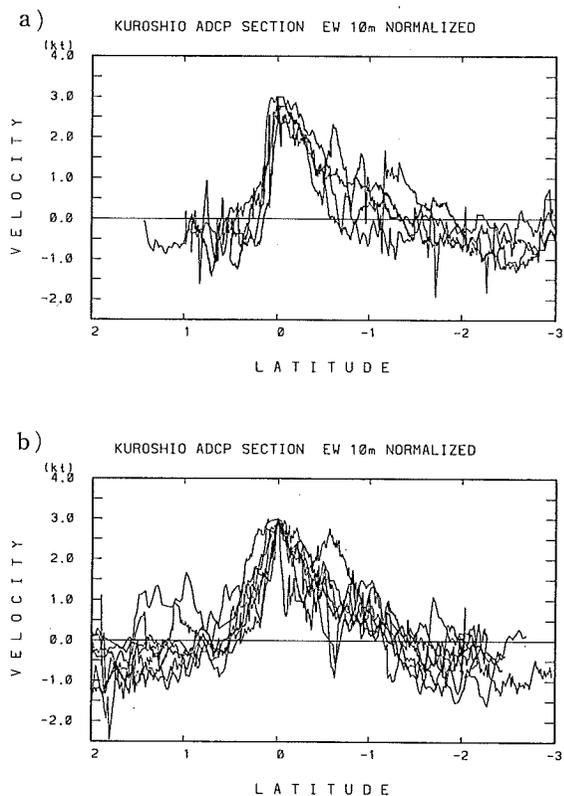


Fig.10 As in Fig.9 except that the observation line is off Omae-saki. a) Cases when the Kuroshio axis is located close to the coast, north of $32^{\circ}30'N$ and b) when it is located offshore, south of $32^{\circ}30'N$.

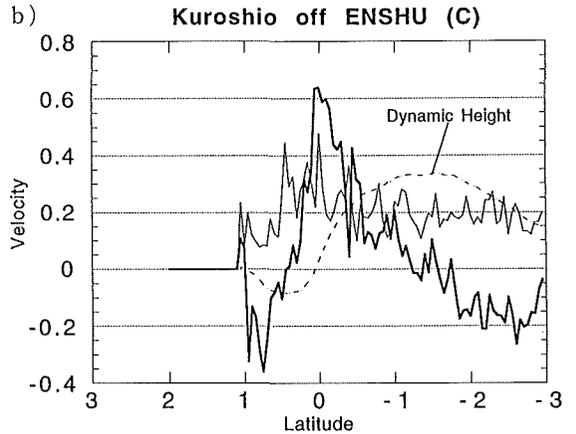
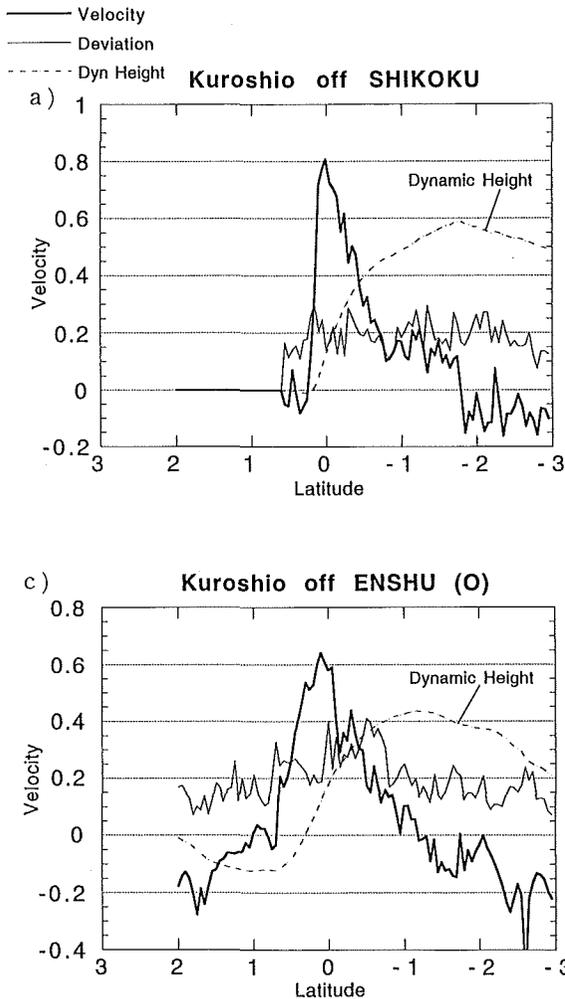


Fig.11 Averaged profile of the normalized velocity of the Kuroshio (thick solid line), its standard deviation (thin solid line) and the profile of dynamic height calculated by integration of the averaged velocity (dashed line), for a) when the Kuroshio axis is located close to the coast off Shikoku (for Fig. 9 a)), b) when the Kuroshio axis is located close to the coast off Omae-saki (for Fig.10 a)) and when the Kuroshio axis is located offshore off Omae-saki (for Fig.10b)). The velocity scale is selected as that the maximum value of the normalized velocity for each case in Fig. 9 and 10 is to be 1.

それぞれの方向に、流速が最大値の半分になる位置及び逆流となる位置を求めると、Table 3 のようになる。すなわち、黒潮が接岸しているケースでは、流軸を挟んだ流速の低下に関して沖側には岸側の3~7倍の距離を要すのに対して、離岸しているケースでは、岸側、沖側ほぼ同程度の距離となっている。このことは、黒潮が直進路（接岸）の時は岸側の水平流速傾度が沖側のそれよりも大きく、蛇行（離岸）路の時は両者が同じ程度であることを示しており、黒潮の接岸時と離岸時では、ローカルな渦度のバランスの様子が異なっていることを示唆するものである。

黒潮が離岸している場合は流軸をはさんだ流速分

Table 3 The locations of half velocity and counter current of the Kuroshio.

Location of the Kuroshio	Half Velocity		Counter current	
	Coastward	Offshoreward	Coastward	Offshoreward
	(degree)		(degree)	
off Shikokoku (Coastal)	0.142	0.431	0.240	1.796
off Omae-saki (Coastal)	0.118	0.498	0.450	1.236
off Omae-saki (offshore)	0.485	0.453	1.009	1.188

布の対称性が見られることから、ガウス分布の適用が妥当であるかもしれないが、接岸している場合には上述のとおり流速分布の非対称性が顕著である。こうした黒潮接岸時の流速の水平構造の非対称性を

表現できる分布としてワイブル分布の適用を試みた。ワイブル分布は、機器の寿命分布がこれによく従うことが知られており、広く用いられているが、ここで黒潮流速がワイブル分布となる物理的な根拠はない。ある位置に関数値のピークがあり、それより遠方ではほぼ指数関数的に減少するという形状を持つ関数でかつピーク値を挟んだ非対称性を表現しうる関数という観点から、黒潮流速の水平分布に適用を試みるものである。流速値と流軸位置を規格化したデータ (Fig. 9 a) について、ワイブル分布

$$f(x; \alpha, \beta, \gamma) = R \cdot (\gamma/\beta) (x - \alpha)^{\gamma-1} \cdot \exp(-(x - \alpha) \gamma/\beta)$$

x : 適当な位置を原点として沖側に向かう規格化した距離

α, β, γ : ワイブル分布の形を決めるパラメーター

R : ピークの値を合わせるために導入した係数

に従うとして、各パラメーターの値を適当に選択してフィッティングを行った結果が Fig.12である。ガウス分布では表現できない流速分布の非対称性がよく表されていることがわかる。

Joyce *et al.* (1986) は、ADCPによる湾流の横断観測結果から、湾流の流速水平分布は第一次近似においてガウス分布でよく表されると結論づけた。最近、人工衛星搭載のマイクロ波高度計データを利用した研究が盛んに行われるようになってきており、Kelly *et al.* (1990) や Qiu (1992) は、この Joyce *et al.*の結果を元に、湾流域や黒潮続流域の力学的海面高度をマイクロ波高度計データから推定するため、湾流や黒潮続流の流速がガウス分布に従うと仮定した解析を行っている。しかし、本研究の結果は、黒潮が岸の近くを流れている場合には、流速分布は流軸に対称なガウス分布ではなく非対称な構造となっていることを示している。すなわち、Kelly *et al.*や Qiuの手法を日本南岸の黒潮に適用する場合には、彼らの用いた流速分布の仮定は必ずしも適切でない可能性がある。Fig.11には、得られた平均的な流速分布から期待される海面高度のプロファイルを併せて示した。今後、力学計算で得られる海面高度

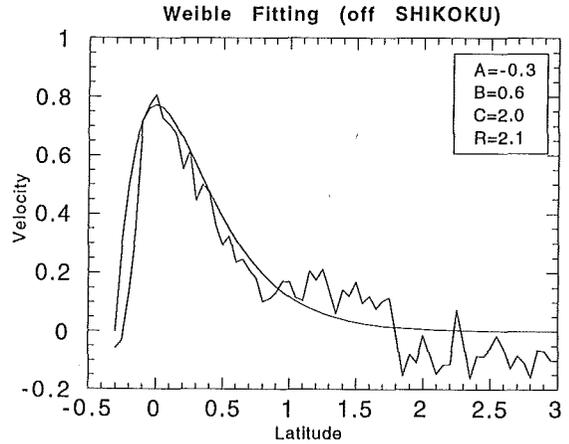


Fig.12 Application of Weibull distribution to the averaged velocity profile of the Kuroshio off Shikoku.

や、マイクロ波高度計による海面高度等との比較を進める必要があると思われる。

(2) 黒潮流速の鉛直構造

50mから200m深における表面流の方向に相対的な流れは、黒潮海域においては平均的な姿としてはほぼ表面流と同じ方向に向いている。Fig. 8の中で、東シナ海の黒潮を含む4つのメッシュ (Aという符号を付した) の流れは、200m深を除いて、表面から100mまではほぼ同じ程度の流速値となっている。一方、本州南方の黒潮を含む9つのメッシュ (Bという符号を付した) の流れは、表面から下層にいくにつれて流速が徐々に減少する傾向が見られる。Fig. 8においてBとマークしたメッシュの流速構造を取り出して Fig.13に示した。各メッシュの表面 (10m) のスカラー平均流速を1として、下層の相対流速をプロットしてある。メッシュによって相対流速の値はばらついているが、いずれも下層にいくにつれて流速が減少している。各層の値の平均を計算してみると、50, 100, 200mでそれぞれ、0.743, 0.663, 0.514となり、200m層では、表面のスカラー平均流速の半分程度の流速となっている。各メッシュによって観測データの数に大きな差があることから、データ数を考慮した加重平均を計算したところ、それぞれ、

0.726, 0.642, 0.507と、単純平均の場合と大差ない結果となった。東ら(1989)は、東経137度線に沿って黒潮を横切る ADCP 観測結果から、黒潮強流帯において、深度50m及び101m層の流速は、深度20mの流速に対してそれぞれ85%、80%という結果を得ている。これは Fig.13の中で、流速の鉛直方向への減少の割合が比較的小さなメッシュの値に近いものとなっている。

メッシュ平均した流速の鉛直構造は上のおりであるが、黒潮を横断する個々の観測例について、流速の鉛直構造を再度検討してみる。前項(1)において、黒潮流軸付近で表面よりも下層の流速の方が大きい観測例を示した(Fig. 3 b))。これは、Kaneko *et al.*の指摘した、黒潮最強流帯の亜表層に観測される流速極大であるかもしれない。そこで、今回定期観測線として解析したものの24例のうち、表面流しか観測されていない4例を除いた20例について、このような下層の極大が見られるかどうか調べてみた。その

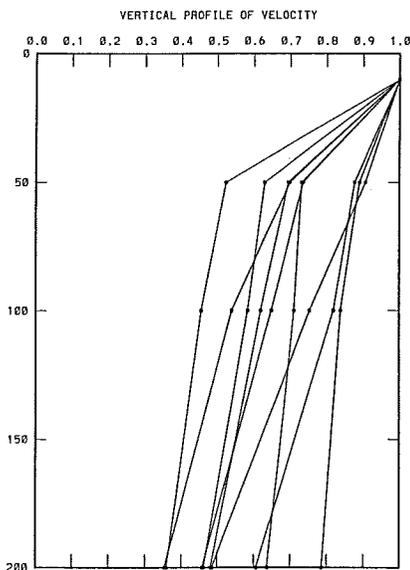


Fig.13 Averaged vertical profiles of the normalized velocities relative to the surface current direction for the grids marked as 'B' in Fig. 8. The relative velocities at subsurface layers are normalized values as that the velocity at 10 m be 1.0.

結果、4例において、黒潮強流帯で表面よりも下層に速い流れが観測されていた。残りの16例にはこうした極大は見られなかった。これは、水路部の使用している ADCP は同時に4層の流速しか観測できないタイプであり、下層の極大部の有無について確かな議論ができるほど十分な鉛直分解能を有していないことに起因するものかもしれない。しかし一方で、多くの場合50m層または100m層(あるいは両層)は観測層に設定されていることから、問題の極大が常に存在するものであれば、もう少し多くの航海で観測されているように思われる。つまり、黒潮最強流帯下部の流速極大は常に存在するものではないという可能性も否定できない。東ら(1989)による黒潮を横断する ADCP を用いた流速測定においても、亜表層の流速極大は観測されていない。この流速極大が黒潮自身に内在する構造でないとするれば、その原因としては吹送流や内部波が考えられる。

5 まとめ

この研究では、資料として ADCP による流速測定値を用いて黒潮の流速構造を論じた。ADCP による直接測流データが蓄積されてきたため、海流の実測値から黒潮及び周辺海域の流れの平均的な姿を浮き彫りにすることに主眼をおいて解析を行った。黒潮海域については ADCP データが大量に取得されており、様々な海洋条件、気象条件での観測が含まれていると考えられ、吹送流等の短い時間スケールで変化するような成分は、平均することによってその影響が小さくなり、信頼しうる平均像が抽出できると期待した。

その結果、水平分布については、黒潮が接岸している場合と離岸している場合でプロファイルが異なることを示した。すなわち、離岸時には、Joyce *et al.*が湾流について得たように流軸を中心に比較対称的な分布となっているのに対して、本州南岸に接岸している場合には、流軸から岸側に急に沖側には緩やかに流速が減少するという非対称な分布となっていることを明かにした。

鉛直分布については、黒潮流域の水平流速は平均的には表面から下層に向かうにつれて減少すること、Kaneko *et al.*の指摘した亜表層の流速極大は必ずしも常に存在するものではないことを示した。本研究の結果の妥当性を検討するため、さらに多数の観測事例を集めた解析を進めていく必要があるとともに、今回の結果と地衡流プロファイルとの比較や、表層流速の構造に大きな影響を及ぼす吹送流等の非地衡流成分についての検討が必要であり、今後の課題である。

参 考 文 献

- [1] 東 政能・益満 侃・平 啓介：音波ドップラー流速プロファイル並びに赤外放射温度計による本州南方の黒潮の航走観測，海と空第65巻，151-158 (1989)。
- [2] 石井春雄・西田英男・小杉 瑛・上野義三・道田 豊：ドップラーログを利用した流速測定，水路部研究報告，21，135-150 (1986-a)。
- [3] 石井春雄・道田 豊・西田英男：ドップラーログ測流データから得た黒潮流量，黒潮の開発利用調査研究報告書，9，167-180 (1986-b)。
- [4] 石井春雄・伊藤敦史・寄高博行：投下式海流計(XCP)による黒潮鉛直流速プロファイルの測定，平成元年度黒潮の開発利用調査研究報告書，47-56 (1991)。
- [5] 石井春雄：新しい流速測定法に基づく黒潮・亜熱帯循環系の流動場の研究，東北大学理学部博士論文，(1993)。
- [6] Joyce, T. M., C. Wunsch and S. D. Pierce : Synoptic Gulf Stream Velocity Profiles through Simultaneous Inversion of Hydrographic and Acoustic Doppler Data, *J. Geophys. Res.*, 91, 7573-7585 (1986)。
- [7] Joyce, T. M. : On In Situ "Calibration" of Shipboard ADCPs, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 6, 169-172 (1989)。
- [8] 海上保安庁水路部：海洋速報，(1986)。
- [9] Kaneko, A., S. Mizuno, W. Koterayama and R. L. Gordon : Cross-stream velocity structures and their downstream variation of the Kuroshio around Japan, *Deep Sea Res.*, 39, 1583-1594 (1992)。
- [10] Kelly, K. A. and S. T. Gille : Gulf Stream surface transport and statistics at 69°W from the GEOSAT altimeter, *J. Geophys. Res.*, 95, 3149-3161 (1990)。
- [11] 南 秀人・日当智明・西山勝暢：表層海流計による黒潮の流れの構造，平成元年度黒潮の開発利用調査研究報告書，57-72 (1991)。
- [12] 日本海洋データセンター：日本近海海流統計図—季節別—，(1991)。
- [13] 小野房吉：微小定数積算追尾方式による海潮流の測定，海洋調査技術，1-2，78-81，(1989)。
- [14] Pollard, R. and J. Read : A Method for Calibrating Shipmounted Acoustic Doppler Profilers and the Limitation of Gyro Compasses, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 6, 859-865 (1989)。
- [15] Qiu, B. : Recirculation and seasonal change of the Kuroshio from altimetry observations, *J. Geophys. Res.*, 97, 17801-17811 (1992)。