

定期航路船舶によるADCP観測 (序報)

吉川 泰司*¹ 吉岡 典哉*¹ 青山 繁*²
今坂 尚志*² 花輪 公雄*³

伊豆・小笠原海嶺上における黒潮を含む海洋の流れの場を計測するため、東京と小笠原を結ぶ定期航路フェリーに超音波多層式流向流速プロファイラー (ADCP) を搭載した。同船舶は高速であるためADCP観測が難しいものとされるが、良質な観測データの取得に成功している。ここでは、この定期航路船舶を使ったADCP観測の概要、観測システムと各種設定、観測データ例について報告する。

キーワード：ADCP, 黒潮

ADCP observation system in a regular-line ferry

Yasushi YOSHIKAWA*⁴ Noriya YOSHIOKA*⁴
Shigeru AOYAMA*⁵ Masashi IMASAKA*⁵
Kimio HANAWA*⁶

In order to monitor flow fields of the Kuroshio and its recirculation, an acoustic doppler current profiler (ADCP) was mounted on a ferry that shuttles between Tokyo and the Ogasawara Islands. We succeeded in obtaining good data with the ADCP, although the speed of the ferry was too fast. In this paper, we will show the ADCP system that we used and the preliminary results of ADCP monitoring.

Key Words : ADCP, Kuroshio

* 1 海洋科学技術センター
* 2 古野電気株式会社
* 3 東北大学大学院理学研究科
* 4 JAMSTEC
* 5 Furuno Electric Co.
* 6 Tohoku University

1 はじめに

海洋観測船による海洋精密観測や人工衛星による広域観測の他に、海洋観測手段として、民間船舶を用いた海洋モニタリング観測がある。大洋を横断する様々な航路において行われてきた海洋モニタリング観測（主として海上気象要素や海面水温の観測）結果は、気象庁・海上保安庁等に通報され、海洋の状況の把握や予測に役立てられてきた。この二十年の間に、民間船舶を利用した海洋内部の観測、特に投棄式水深水温計（XBT）を用いた表層海洋の水温構造モニタリングは特に活発に行われてきた。熱帯赤道域では観測網が敷かれる程度になり、それらの観測データは海洋研究に大いに利用されている。

日本近海においても、東北大学・海洋物理学研究グループによって、東京と小笠原を結ぶ定期航路船「おがさわら丸」（小笠原海運株式会社）を用いた海洋観測実験「Tokyo-Ogasawara Line Experiment: TOLEX」が行われてきた。TOLEXはXBTによる水温構造のモニタリング（1988年～）、超音波式ドップラー流向流速計（ADCP）を用いた流れの場のモニタリング（1990年～）等から構成されている。黒潮と黒潮反流からなる黒潮再循環系の研究にとって、この東京－小笠原ラインは有用な観測ラインと位置付けられている。

旧「おがさわら丸」は1997年1月に同航路の航行を終わり、同年3月から代替船として新「おがさわら丸」が就航することになった。「おがさわら丸」はフェリーであるため、その航行速度は一般の海洋観測船（10～16ノット）と比較して非常に高速なものであり、既存のADCP装置の想定速度から大きく逸脱する。東北大学海洋物理学研究グループは旧船（約20ノット）にADCPを設置する際、機器の取り付け方を工夫することにより、データ取得可能な速度を引き延ばすことに成功した。しかし、新船（約22.5ノット）の場合、前記の手法には限界があるため、このたび新たに機器自体を高速船対応のものを搭載した。さらにTOLEX-ADCP実験を通して蓄積されてきた知見を活用し、ADCP観測システムを構築した。

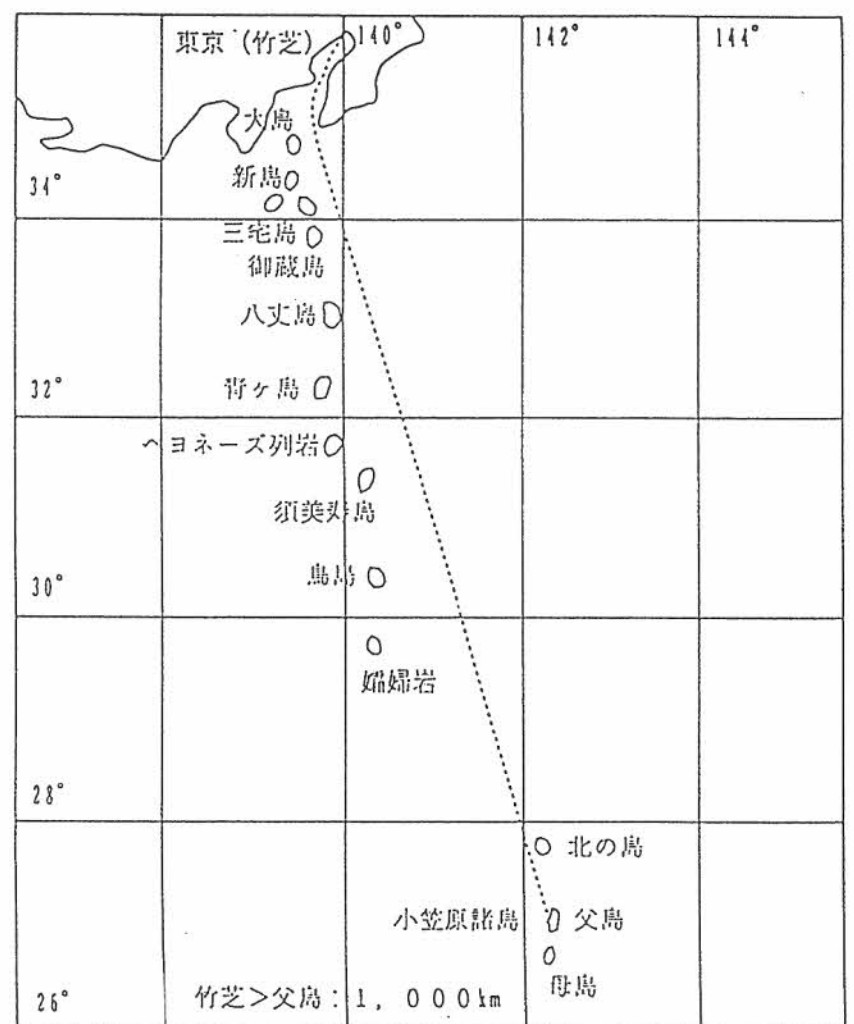
以下、ADCP観測及びその観測システムについて記述した後、取得できたADCPデータの一例を示す。

2 ADCP観測の概要

「おがさわら丸」（総トン数6,679トン、全長131m、航海速力22.5ノット）（図1）は東京・東京港と父島・二見港を25.5時間で結び、年間約58往復の航海を行っている。航路（図2）に沿った代表的な海洋構造として、



図1 おがさわら丸（小笠原海運株式会社パンフレットより）



(大島から約100kmは水深400mと浅くなるが他は500m以上)

図2 海流データ収集海域図

黒潮・黒潮反流・亜熱帯前線などがある。ADCP観測は全ての航海中に自動的に行うため、順調にいけば年間約116断面、即ち約3日毎に航路上での流れ場のデータの取得が期待できる。

「おがさわら丸」の航路は、四国海盆と太平洋を分ける伊豆海嶺付近に位置する。従って、現在日本南岸で行われている黒潮モニタリング、例えば、九州南方トカラ海峡や四国足摺岬沖ASUKAラインから見れば、最下流の黒潮の状態をモニターすることになる。一方、日本東

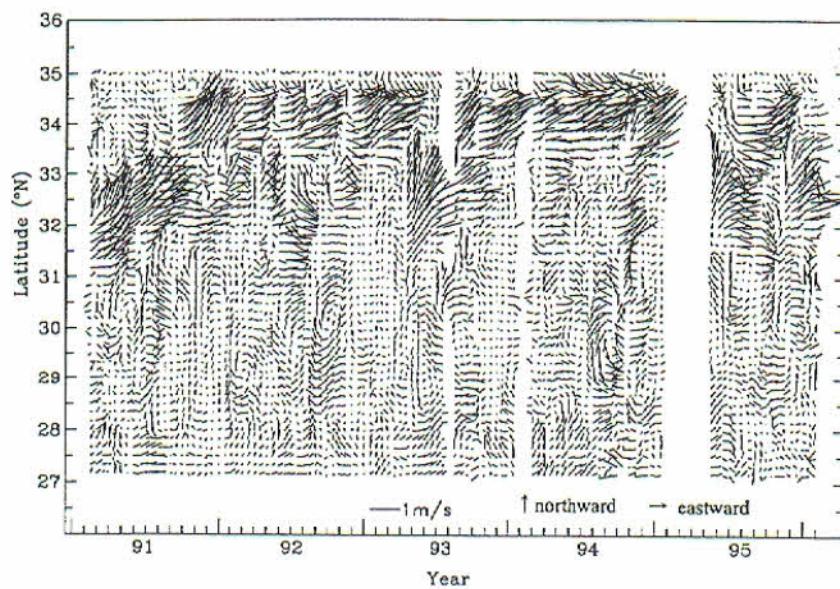


図3 旧おがさわら丸で取得された流れ場の時系列 (50m深)
(Hanawa et al., 1996より)

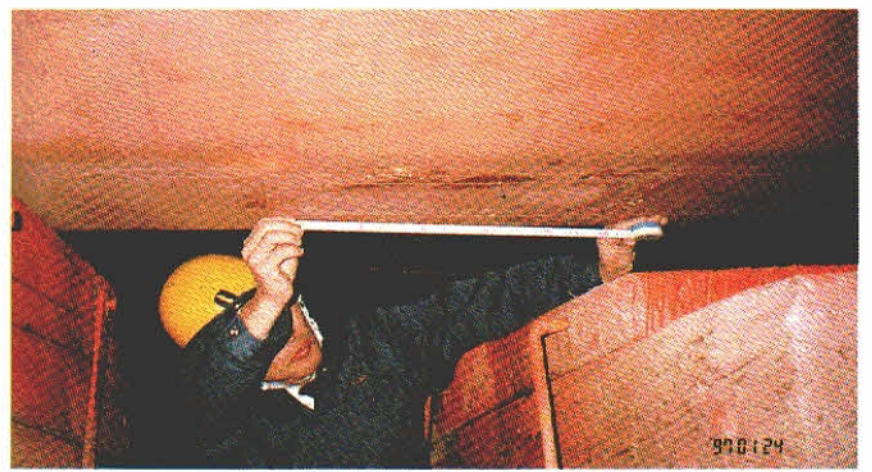
岸の太平洋から見れば、このラインは黒潮続流としての最上流の状態をモニターすることになる。

図3に旧「おがさわら丸」で取得された流れ場の時間変化 (Hanawa et al., 1996) を示す。北緯34度から北緯33度にかけて存在する北東向きの強い流れが黒潮である。黒潮の様に流れの場所が時々刻々変化する海流をモニターするためには、係留観測の様なオイラー的観測では強流帯を捉える上で限界がある。一方、船舶による断面観測は必ず強流帯を横断するため、非常に有効な手段となる。黒潮の南方の黒潮反流域において、図3に示されるように高気圧性及び低気圧性の渦の通過を表す流れの場の時間変化が見られる。この海域では一般に西向きの弱い流れが卓越すると考えられている。また父島付近には亜熱帯前線の北片が位置し、海面付近に弱い東向流が存在する。

3 ADCP観測装置

今回搭載したADCP観測装置は、ADCP本体として船底の送受波部、船上制御部、設定記録部の三要素、補助機器として船体移動速度を計測するGPS、船体の方向を計測するジャイロコンパス等から構成される。

ADCP送受波部は、3ビーム方式 (古野電気株式会社) で、送信周波数は約130kHzで、約1秒毎に音波の送受信を行う。測定可能な最大速度は30ノットである。ADCP送受波部の設計・設置にあたり、小笠原海運株式会社の御厚意により、最善の搭載方法を得ることができた。送受波部は船底の最前部に設置されている。ここは、船体に巻き込まれる泡が左右に分かれる場所にあたり、



(a) 船底に設置された状態



(b) 船底から取り外した状態

図4 船底のADCP送受波部

ADCP観測にとって格好の位置となっている。送受波部 (図4) は送受波面とそれを覆う外部タンクから構成される。送受波面は船底に対して凸凹の無い形に加工され、キャビテーションによる泡の発生を極力抑える設計となっている。外部タンクを搭載する上で船本体の構造に凹凸を作って頂き、船の凹部にはめ込む形で外部タンクを搭載した。それにより、船本体とADCP送受波部が独立に強度を保つことができる。

船上の制御部は、船底の送受波部へ直接指示を出して観測を行い、信号処理を行った後、船上の設定・記録部へ信号を送る役割を果たす。制御部は、送受波部との距離をできるだけ短く保つ必要があるため、船底の送受波部のほぼ真上の一室に設置されている。

設定・記録部 (図5) は船橋にラックに組み込んで設置されている。ラックには、各種信号を統合・処理するための精密機器制御用パソコンと記録のためのMO装置、モニターのほか、GPS信号処理装置が組み込まれている。

GPSは古野電気株式会社製のGPS-500Hで、水平二次



図5 船橋のADCP設定・記録部

元の処理を行うものである。GPSアンテナは障害物が無い船橋の屋上のマストに設置され、受信状況は良好である。

ジャイロコンパス信号は、「おがさわら丸」のマスタージャイロ（トキメック社TG-6000）の信号を分岐して使用させて頂いている。ジャイロコンパス信号からは緯度誤差と速度誤差を補正した信号であり、ラック内の制御用パソコンに送られ統合処理を行っている。

4 ADCP観測の各種設定

ADCP（130kHz）は300m深までの流れの場の計測を想定している。船速分解能は0.1ノット（約5 cm/s）である。深度方向のサンプリング層の設定は、等層厚に128層まで自由に設定可能である。現在は、10mの層厚で、40層の設定を行っている。水平（時間）方向には、二段階に設定・処理を行うように設計されている。一段階目として任意の計測時間で集計を行い、一次データを作成する。次に二段階目として、任意の数の一次データをまとめて再計算を行い、二次データを作成し記録する。現在は、一段階目として約1秒とし、二段階目を300秒毎としている。従って、ADCP観測の水平分解能は、

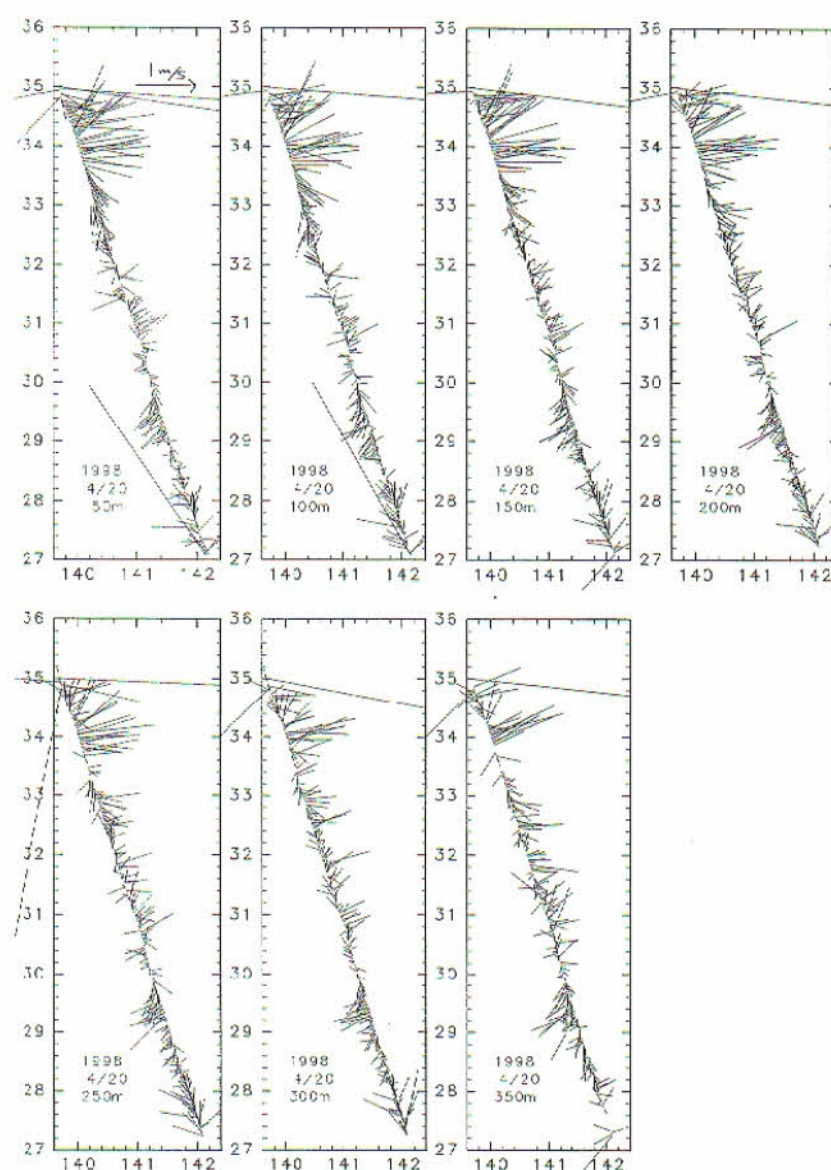


図6 1998年4月29日から30日の航海で取得できた流れの場（上段左から右へ50m深、100m深、150m深、200m深、下段左から右へ250m深、300m深、350m深）。縦軸は緯度、横軸は経度を示す。流れは航路を起点、流速を大きさとするベクトル表示

300秒の間に船が移動する距離である約3.5kmとなっている。GPS及びジャイロコンパスの信号は一段階目となる約1秒毎に集計され、一次データの作成に利用される。

集計されたADCPデータは、MOに記録される。記録されるファイルは1時間毎に作成され、年月日（1998年4月20日の場合、19980420）で名付けられ、時刻（16時の場合、016）を拡張子に使用され区別される。各ファイルには、ADCPで観測された船体に相対的な流れ（水平二方向と鉛直一方向）、GPSによる船体位置と船体速度、ジャイロコンパスによる船首方向のデータが記録される。またADCPの信号強度データも併せて記録される。また、海底の見かけ上の移動速度も記録される。

なお、東京港に「おがさわら丸」が停泊する機会には、約2週間毎にMO媒体が交換されるとともに、ADCP機器の動作チェックが行われている。

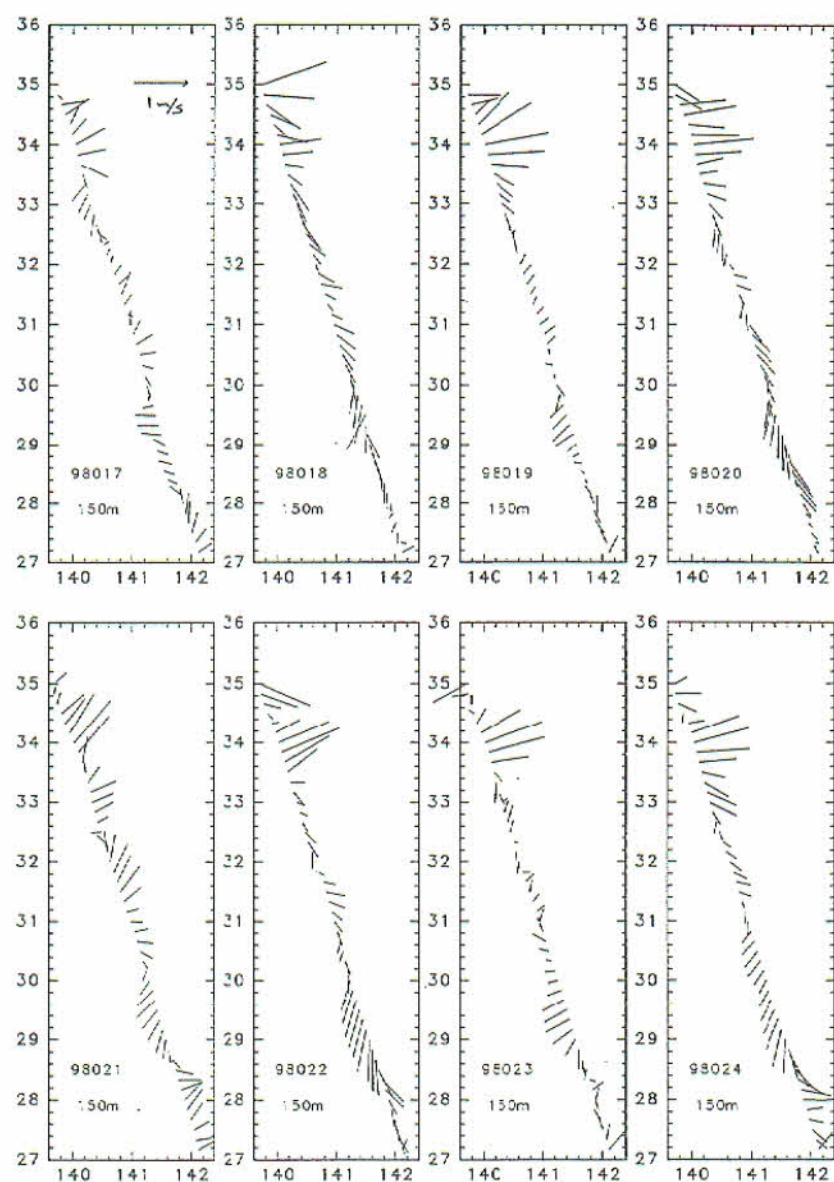


図7 1998年4月15日から5月6日の期間の150m深の流れの場（上段左から右へ4月15日、18日、20日、24日、下段左から右へ4月26日、30日、5月2日、6日）。表示方法は図6と同じ。北緯34度付近に北東向きの黒潮が観察できる

5 観測データ

1997年3月以降、観測は行われている。1997年は予備実験期間と位置づけ、各種設定を行い、現在の設定に至った。この期間、表層150m以浅の観測データはノイズレベルが高く、質が良くなかった。その理由として、送信時の残響音が送受波部に反響することが考えられた。そこで、1998年1月「おがさわら丸」がドックに入った際、残響音の吸収材を送受波部に装填した。その結果、表層50m以深のデータの質が良くなった。ノイズレベルが低下することにより、50m深から350m深までは安定してデータを取得することが可能になった。

1997年2月から9月に取得した、150m深の流れの場のデータに、ADCP送受波器の不整合角度（速度誤差を0とした）を求めた。その結果、不整合角度は反時計方向に1.3度と計算された。

以下、安定してデータを取得できた1998年2月以降のデータ例を示す。

まず、1998年4月29日から30日にかけて得られた航路に沿った流れ場を図6に示す。データは鉛直方向に50m幅の単純平均操作を行っている。また水平方向にも、時間にして20分（約14km）の単純平均操作を行っている。観測データの空間分布から明らかな様に、代表的な海洋構造である黒潮が北緯33度以北に明確に捉えられている。また黒潮の流れ自体は50m深で1.6m/s程度であり、

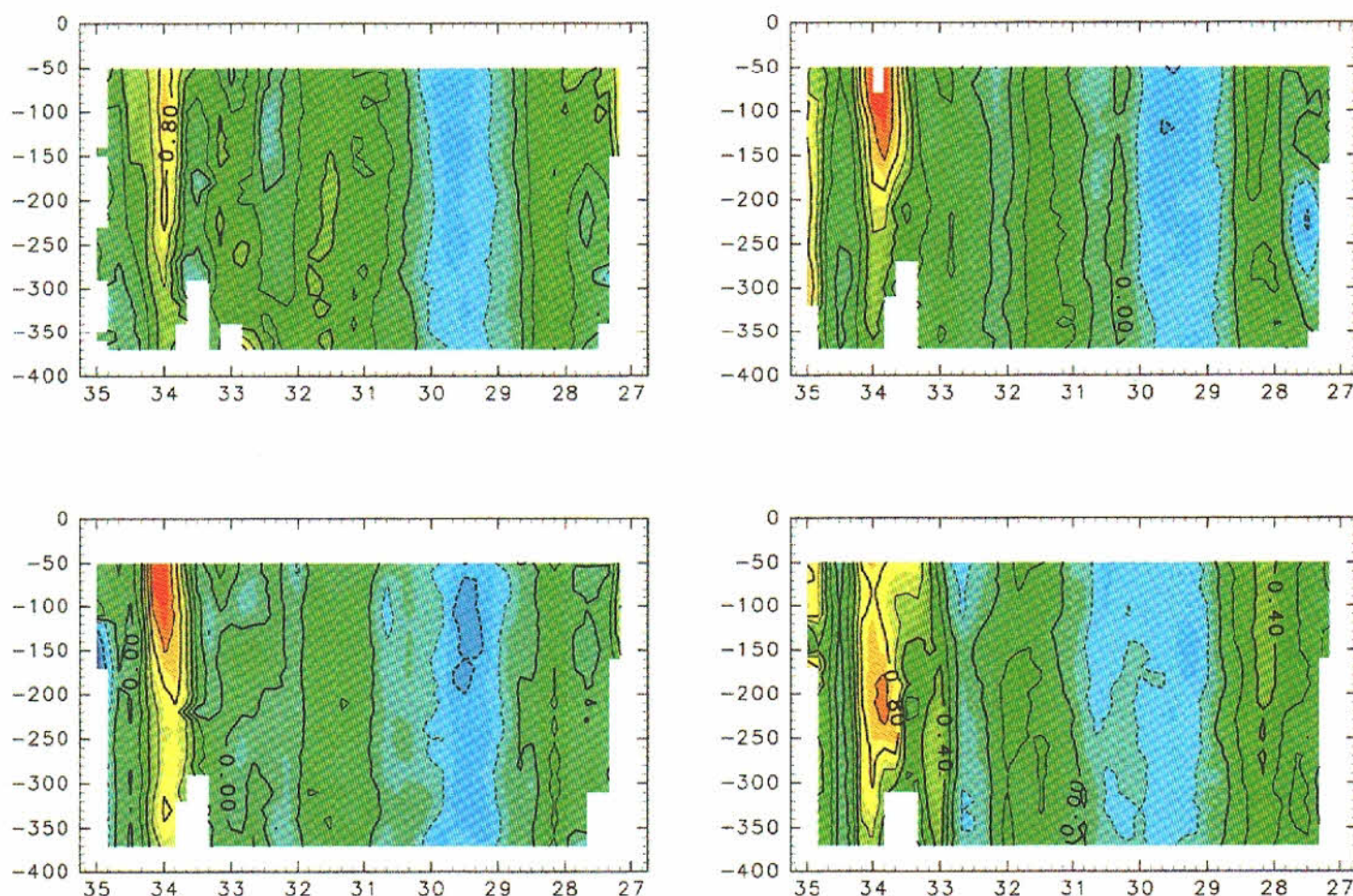


図8 1998年4月15日から4月24日までの流れの断面図

深くなるにつれて弱くなり、350m深で1.0m/s程度になっている。一方、北緯29度周辺には西向きの流れが存在し、鉛直シアは黒潮と比べて弱い構造が見られる。

図6で数多くの髭状のノイズが見られる。これらは主に、1) GPSデータから船体速度を計算する際に現れる誤差と、2) 変針点でのジャイロコンパス追従性に関する誤差のいずれかであるものと考えられる。以下、1) GPSに関する誤差を緩和するため、緯度方向に格子(1/6度:約20km幅)をとり、それぞれにデータを平滑化(幅20マイル:約40kmの幅の単純平均)した結果を示す。図7は1998年4月15日から5月6日の期間に得られた150m深の流れの場である。平滑化したため、黒潮の構造は滑らかになり過ぎたが、海域を代表する構造として、北緯34度付近に明確に現れている。黒潮の南側は一般に流れは弱く、時間と共に流れの大きさと方向が連続的に変化している。これらは、中規模渦が航路を横切って通過していることを表していることと考えられる。図8に1998年4月15日から4月24日までの流れの断面図を示す。図から黒潮の鉛直方向のシア構造、黒潮反流域のシアの少ない構造が分かる。

以上の様に、「おがさわら丸」のADCP観測データは、データ解析に耐えられる質の高いものであろうことが予想される。特に、1) 350mから400mの深度まで観測データが取得できること、2) 多少の荒天時にも順調にデータを取得できること、さらに、簡単な処理方法にも関わらず、3) スナップショットデータでも代表的な海洋構造を反映し、前後のデータとの連続性があること、がデータの質の高さを物語っている。

6 おわりに

「おがさわら丸」によるADCP観測は順調に行われている。高精度な観測を目指すために、GPSの高頻度観測と船体傾斜の観測を併せて実施している。今後、GPSデータに適切な数値フィルターを介して船体移動速度を高精度に計算し、ADCPデータの再解析を行う予定である。また傾斜計データから長周期(一航海以上の時間スケール)の変動に着目し、ADCPデータの特性と比較を行う

予定である。

ADCP観測結果は、伊豆海嶺で実施した海洋音響トモグラフィ実験の検証データとなるとともに、今後黒潮続流で行う集中観測実験の流入口での貴重な観測データとして活用される。また、気象庁、海上保安庁水路部、東京都水産試験場など準リアルタイムで流れ場のデータを必要とする機関に対しても、準備が整い次第、データを提供する予定である。現在、東北大学が行っているTOLEXにも寄与し、その一翼を担うデータとなること、また、それら観測データと併せて、有効活用されることが期待される。

さらに、30ノットまでの高速船舶に対応するADCPを今回制作したので、今後、フェリーを始め、様々な船舶に大いに利用されることが期待される。

謝 辞

本ADCP観測は小笠原海運株式会社のご理解と全面的なご協力のお陰で実現することができました。ADCP観測の環境を整える上でも、搭載・配線・ジャイロコンパス信号分岐・GPSアンテナ設置など、数多くのご便宜をはかって頂き、ADCP観測にとって最良の環境を築き上げることができました。安積聖夫氏をはじめ、小笠原海運株式会社の皆さま、「おがさわら丸」乗船職員の皆さまに深く感謝申し上げます。日本海洋学会の平啓介会長(東京大学海洋研究所所長)をはじめとする皆さまにも、ご助力を頂きました。ここに御礼申し上げます。なお本研究の一部は海洋科学技術センター・プロジェクト研究「亜熱帯循環系における観測研究」のもとで行われたものです。

参考文献

- 1) Hanawa, K., Y. Yoshikawa, T. Taneda (1996): TOLEX-ADCP monitoring, *Geophys. Res. Letters*, **23**, 2429-2432

(原稿受理: 1999年2月15日)