

— 論文 —

アルゴ事前実験で観測された黒潮続流南方海域の
低気圧性渦について *岩坂 直人[†]・青島 桃子[‡]・須賀 利雄^{**}・小林 大洋^{††}・岡 英太郎^{††}

要 旨

2000年3月に日本のアルゴ計画の事前実験として2本のプロファイリングフロートを黒潮続流南方海域に投入した。これらのフロートは $1,500 \times 10^4$ Paの水深から海面までの水温塩分プロファイル観測を2週間と4週間の間隔で行う。これらの観測値および海面高度計データから、2本のフロートを2000年3月から7月まで捕らえていた低気圧性渦の構造を調べた。その結果、この渦は黒潮続流南方海域に見られる中規模渦の典型的な構造を持つことが分かった。

キーワード：プロファイリングフロート、アルゴ計画、中規模渦

1. はじめに

地球観測フロンティア研究システムと海洋科学技術センター海洋観測研究部は、日本政府のいわゆるミレニアムプロジェクトの一環として「高度海洋監視システム (Argo 計画) の構築」で国際アルゴ計画に参加している。国際アルゴ計画は、全海洋の中上層を平均分解能約 300 km, 10 日で準実時間監視を可能にする観測網をプロファイリングフロートで構築しようとする画期的な計画である。この観測網が完成すれば、大気観測における現業の高層気象観測網に匹敵する観測網が実現することになり、海洋研究は無論のこと、気象

の長期予報や気候変動の研究と予測にとっても非常に大きな躍進をもたらすことが期待されている (例えば The Argo Science Team, 2000; Iwasaka *et al.*, 2003)。

日本のアルゴ計画を本格的に開始するに先立ち、事前実験として2000年3月に2本のプロファイリングフロートを黒潮続流南方海域に投入した (Iwasaka *et al.*, 2003)。この事前実験の目的は、塩分センサーを備えたプロファイリングフロートの取り扱い技術習得と観測機器特性の把握である。事前実験を実施したのは、その時点までに日本ではこの種のフロートを実海域で用いた経験がほとんど無かったためである。黒潮続流南方海域を投入海域として選んだのは、強い流れが無く比較的長期間フロートが投入地点付近に留まることが期待されたこと、また北太平洋亜熱帯モード水形成域の南方に当たり、海洋物理学的に興味深いこの水塊の挙動を把握するのに適した海域 (例えば Hanawa and Suga, 1996; 須賀, 1997; Hanawa and Talley, 2001) であると考えられたからである。

この論文ではプロファイリングフロートという新しい観測手段の有効性を紹介するために、この事前実験

* 2002年9月4日受領; 2003年1月8日受理
著作権: 日本海洋学会, 2003

[†] 地球観測フロンティア研究システム
東京商船大学 〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6
e-mail: iwasaka@ipc.tosho-u.ac.jp

[‡] 東京商船大学, 現在: 財団法人日本エネルギー経済研究所
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1

^{**} 地球観測フロンティア研究システム
東北大学大学院理学研究科
〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉

^{††} 地球観測フロンティア研究システム
〒237-0061 横須賀市夏島町 2-15

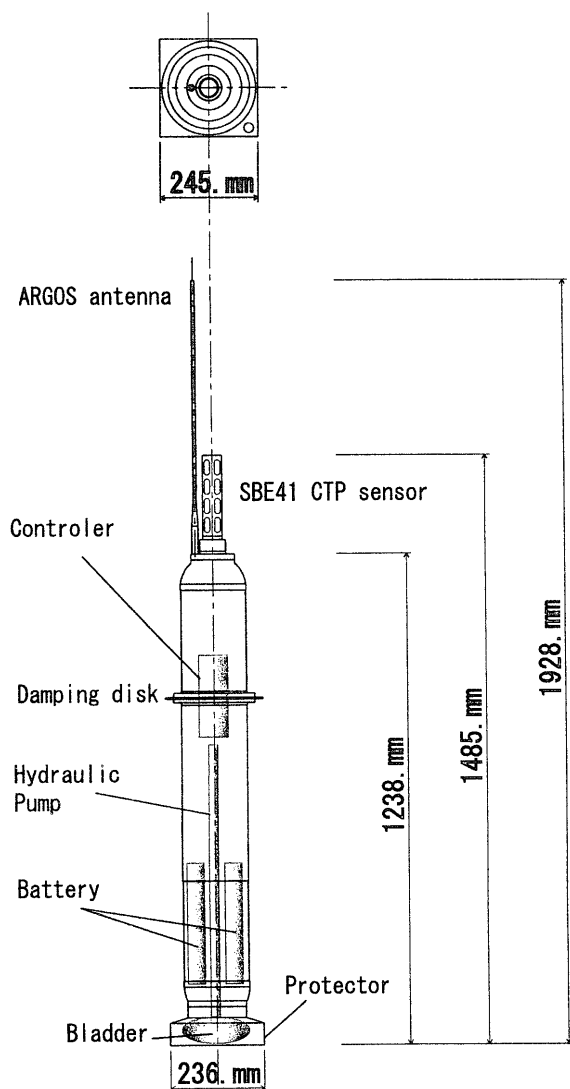


Fig. 1. Sketch of the Apex-type profiling float. A CTP sensor and an ARGOS antenna are equipped on top of the float and a bladder on the bottom. Oil is pumped in or out of the bladder to control the buoyancy of the float.

で観測された黒潮統流南方海域の水温塩分鉛直プロファイルを示し、さらにこのデータに基づいて、フロートが捕らえられていたと考えられる低気圧性渦の構造を推定した結果を示す。

2. プロファイリングフロートについて

プロファイリングフロートとは、筒状の耐圧性容器の底部に体積を変化させる浮力調整囊を備え、先端部

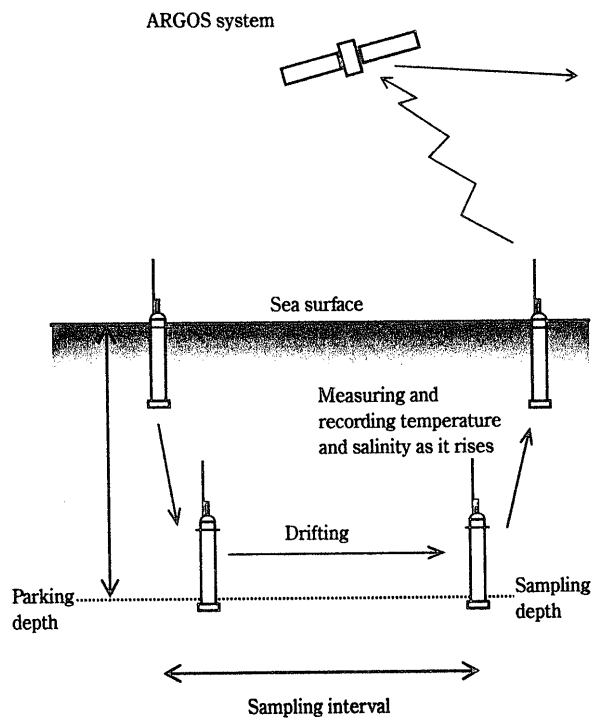


Fig. 2. An observation cycle of the profiling float.

に電気伝導度、水温、圧力のセンサーと通信用のアンテナを取り付け、内部にはそれらの制御回路と浮力調整ポンプや電池を納めているものである (Fig. 1)。フロートは底部の浮力調整囊にポンプでオイルを出し入れして体積を変えて浮上または沈降する。フロートは浮上中にあらかじめ設定された深度で電気伝導度、水温、圧力を計測し、海面に達すると人工衛星経由で陸上にデータを送信する。データ通信には ARGOS システムが利用されているため、海面には約 12 時間滞在する。送信が終わると再び沈降し次の観測サイクルにはいる。フロートは滞在深度まで沈降し、その深度で次の浮上予定時刻まで漂流する。滞在深度はアルゴ計画では通常 $2,000 \times 10^4$ Pa となっているが、それより浅い深度で滞在させる場合もある。その場合は、浮上前に $2,000 \times 10^4$ Pa まで沈み、それから浮上を開始して $2,000 \times 10^4$ Pa から水面までの水温塩分プロファイルを観測する。観測時間間隔はアルゴ計画では 10 日となっている (The Argo Science Team, 2000)。観測サイクルの模式図を Fig. 2 に示す。観測可能な期間は主に電池の容量に依存する。通常は少なくとも 100 回程度の観測が可能な容量を持っている。

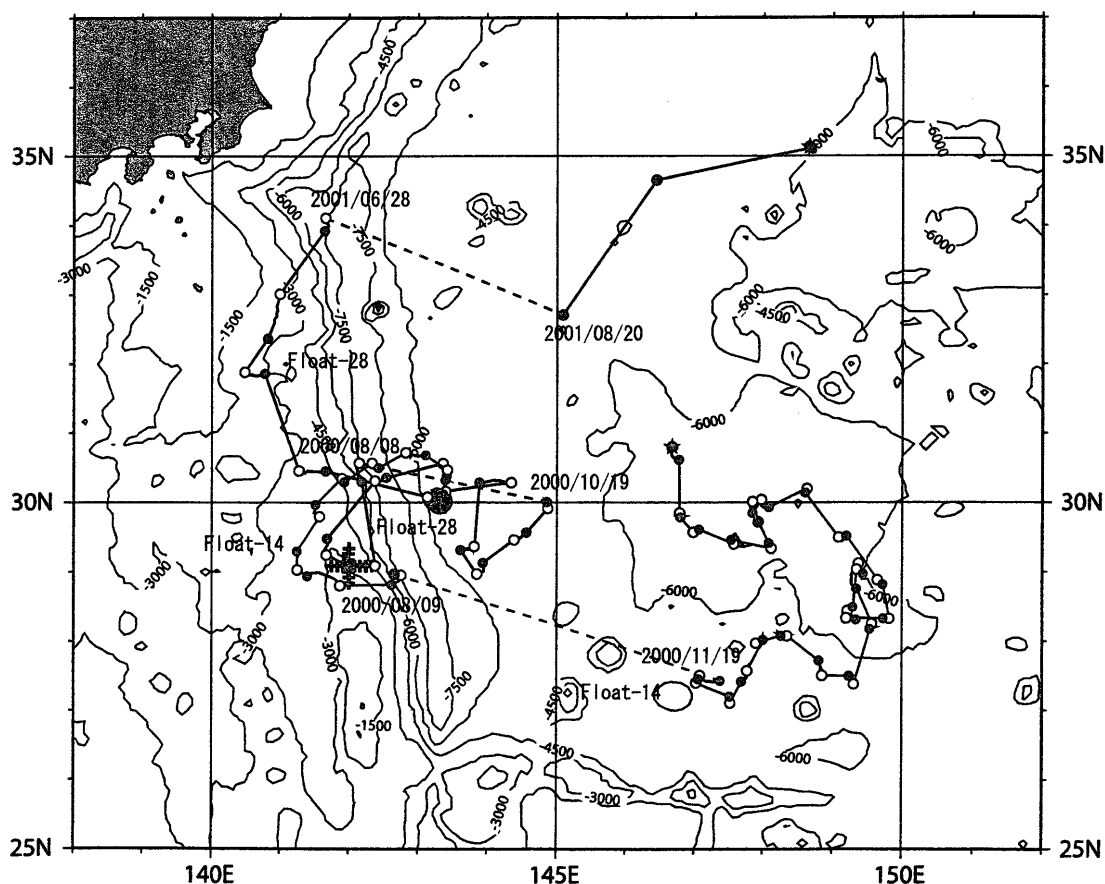


Fig. 3. Trajectories of the two floats from their deployment through the end of October 2001. A large solid circle indicates the deployment position. Small open circles show the sinking positions and solid circles indicate surfacing positions. Broken lines indicate the periods when the floats failed in surfacing due to high SST during summer. Crosses indicate the CTD observation stations performed by the S/V Tenyo.

この事前実験では、2本のプロファイリングフロートを使った。これらはいずれも Webb Research 社製の Apex 型フロートで、Sea Bird Electric 社製の 41 型電気伝導度水温水圧センサーを備えている。滞在深度は $1,500 \times 10^4$ Pa でアルゴ計画の滞在深度より浅いが、これはこの当時の Apex 型フロートの最大到達深度であった。観測層は水深 10×10^4 Pa まで 5×10^4 Pa 間隔、 $20\text{--}800 \times 10^4$ Pa は 20×10^4 Pa 間隔、 $825\text{--}1,000 \times 10^4$ Pa は 25×10^4 Pa 間隔、 $1,050\text{--}1,300 \times 10^4$ Pa は 50×10^4 Pa 間隔で、さらに $1,400 \times 10^4$ Pa、 $1,500 \times 10^4$ Pa を観測する。電池は 100 回以上の観測が可能な容量を持つように設計されている。観測間隔は、1本のフロートは 2 週間、もう 1 本は 4 週間に設定した。これらの期間はアルゴ計画の仕様にとらわれず任意に設定したものであるが、2 週間という期間は黒潮主流南方海域にお

ける中規模渦の時間スケールが 80 日程度であるとの研究結果 (Ebuchi and Hanawa, 2000) を参考に、中規模渦を分解できる時間スケールとして設定した。4 週間という期間は、長期間の観測中にどのような問題がこの種のフロートに発生するかを調べるために設定した。なぜなら、もしこのフロートが問題なく最後まで観測を続けるとすると、4 週間の観測間隔ならば 7 年以上観測することになるからである。以下、2 週間ごとの観測を行うフロートを Float-14 (WMO ID 29033)、4 週間ごとの観測を行うフロートを Float-28 (WMO ID 29032) と呼ぶ。

2 本のフロートは 2000 年 3 月 21 日に海洋科学技術センターの研究船みらいによって北緯 30 度 01.0 分、東経 143 度 18.4 分に投入された。Fig. 3 に 2001 年 10 月までの軌跡を示す。投入時に CTD 観測も実施したその

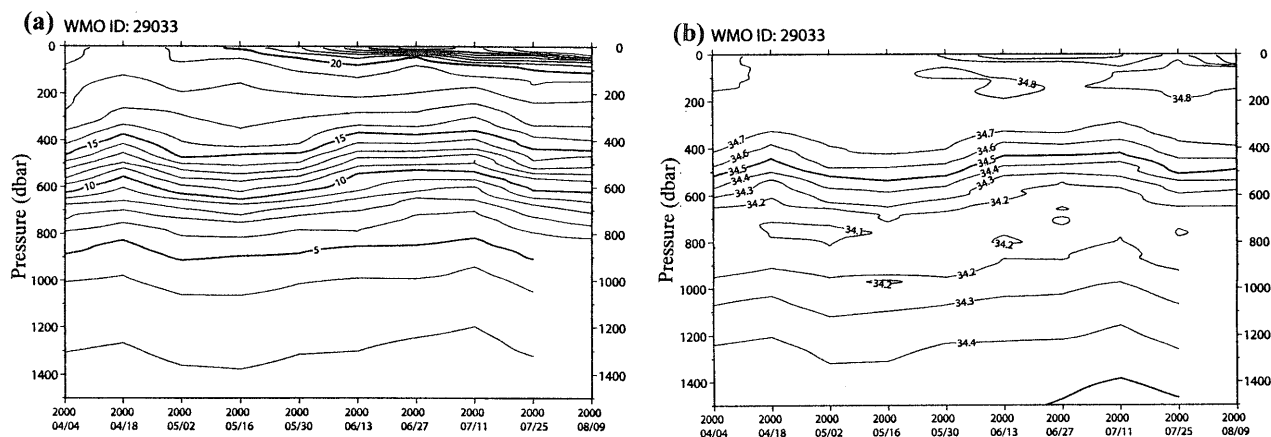


Fig. 4. (a) Time-depth cross section of the temperature for Flot-14 observation. (b) Same as Fig. 4a, except for salinity.

後2本のフロートは反時計回りに移動しつつ順調に観測を続けたが、8月上旬を最後に観測データの送信が途絶えた。そして、Float-28は10月下旬に、Float-14は12月になって再びデータを送信し観測に復帰した。この観測の中断は、漂流海域の海面水温が高くなり、フロートの浮力では海面に達することが出来なかったためと考えられる。観測復帰後、両フロートともほぼ順調に観測を続けたが、塩分観測値に若干のバイアスが乗るようになった。その原因は、浮上できない期間中、フロートは能力一杯の浮力を維持して海面直下のごく表層を漂流し続け、そのため生物付着などによって塩分センサーに狂いが生じたためと推定されている。浮力が不足していた点については、その後改良された。これらのフロートを含むアルゴ計画のフロートの最新の観測位置と観測データは、次のアルゴホームページ上で公開されている。

http://w3.jamstec.go.jp/J-ARGO/index_j.html

塩分センサーの精度については、研究船みらいのCTD観測と海上保安庁調査船天洋によって行われたCTD観測値に基づいて調べた。研究船みらいによるCTD観測はフロート投入時に行われたもの、調査船天洋の観測は、7月11日にFloat-28が浮上した地点周辺で7月14日、15日の2日間行われたものである。その結果、フロート投入後最初の観測ではFloat-14の塩分計測値とみらいのCTD観測値の平均差 -0.3×10^{-3} 、二乗平

均偏差は 1.7×10^{-3} 、Float-28ではそれぞれ 3.1×10^{-3} と 2.3×10^{-3} であった。また、天洋の観測値との比較では、Float-14の平均差が 5.0×10^{-3} で、二乗平均偏差が 7.7×10^{-3} 、Float-28は、 0.3×10^{-3} と 0.4×10^{-3} であった。従って、これらのセンサーがアルゴ計画で要求されている塩分観測精度0.01(The Argo Science Team, 2000)を十分満たしており、補正なしで塩分観測値を用いることが可能であると言える。塩分センサー精度評価の詳細はIwasaka *et al.* (2003)に報告されている。

しかし、前述のように、欠測期間後、塩分値に若干のバイアスが認められるようになった(Iwasaka *et al.*, 2003)。従ってこの論文の後半では、2000年4月から7月までの観測について紹介する。

3. フロート観測値に基づく低気圧性渦の構造

3.1. フロート観測値

2000年4月から8月上旬までは、Fig. 3に示したようにフロートは投入後反時計回りの弧状の軌跡を描きながら観測中断直前まで移動した。この間、2本のフロートはほぼ同じ軌跡を描くが、Flot-14の方がやや外側をFloat-28が内側を移動した。ARGOSによって得られたフロートの浮上後の最初の位置、および沈降開

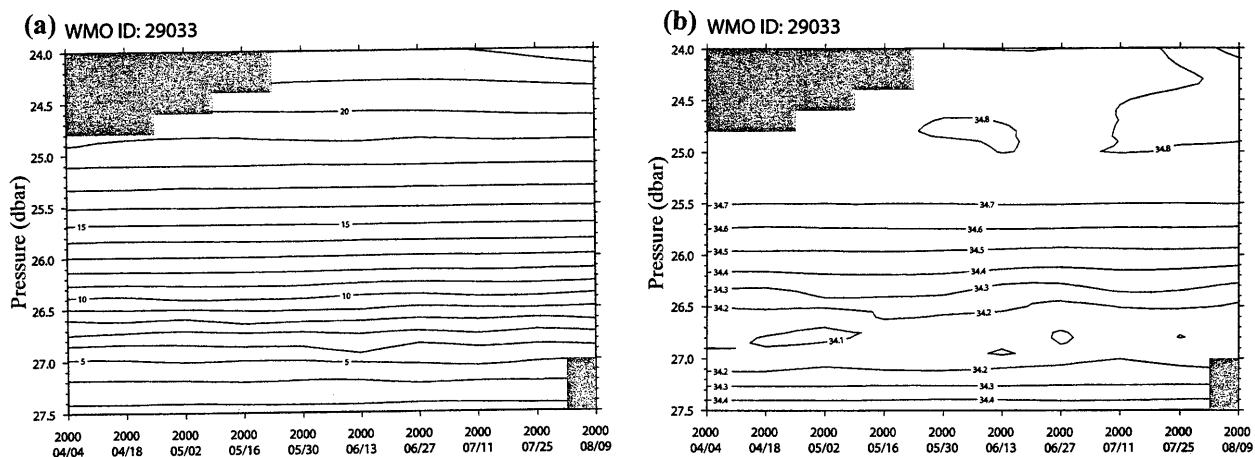


Fig. 5. (a) Time-potential density cross section of the temperature for Flot-14 observation. (b) Same as Fig. 5a, except for salinity.

始直前の位置から平均移動速度を見積もると、海面上では Float-14 が 0.30 m s^{-1} , Flot-28 が 0.42 m s^{-1} であった。また、滞在深度 $1,500 \times 10^4 \text{ Pa}$ での平均移動速度は、それぞれ 0.03 m s^{-1} および 0.05 m s^{-1} であった。海面での漂流速度推定誤差は、ARGOS システムの位置決定精度に依存するが、もっとも精度が悪い場合位置決定誤差が 1 km 程度となるので、12 時間の海面滞在時間での平均漂流速度に対する誤差は最大で約 0.05 m s^{-1} 程度となる。市川ら (2001) によれば、流速の鉛直シアや浮上後最初の位置決定まで、および沈降直前の位置決定から沈降位置までの移動などの要素を考慮すると、滞在深度での移動速度推定値には 10–25% の推定誤差が含まれていると考えられる。

この期間のフロートによる観測値を時間深度断面、時間 σ_θ 断面および TS 図で示す。Fig. 4 は Float-14 で観測された水温及び塩分の時間深度断面である。Float-28 で得られた観測値の時間深度断面図も Fig. 4 とほとんど変わらないのでここでは示さない。季節温度躍層が 5 月には約 100 m の水深に形成されはじめ、時間進行と共に水温鉛直勾配が大きくなっていく。北太平洋亜熱帯モード水 ($16\text{--}19^\circ\text{C}$) は春には上層 300 m に認められるがその後フロートがモード水形成領域から南に離れて行くに従い薄くなっていく。水温及び塩分値の等値線は深度時間断面内で波動状に上下し、5 月には深く 6 月から 7 月上旬には浅くなっている。しかし、時

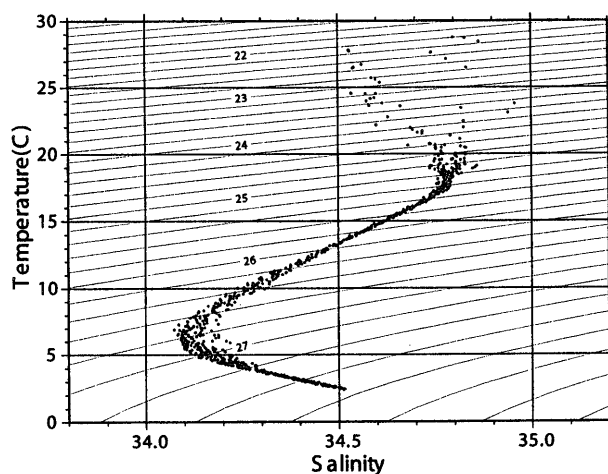


Fig. 6. T-S diagrams of all observations obtained by the two float from April through early August 2000.

間 σ_θ 断面 (Fig. 5) で見てみると、上層および塩分極小層を除いて、ほぼ等ポテンシャル線に平行に等値線が伸びていて、層全体として等値線が上下するような時間変化はしていない。従って時間深度断面に見られるような等値線の波動状の変化は、異なる水塊構造の領域をフロートが横断したことで得られたと言うよりは、主に力学的変動によるものと考えられる。このことは 2000 年 4 月から 7 月の 2 本のフロートのすべての観測値を使って描いた TS 図 (Fig. 6) から支持さ

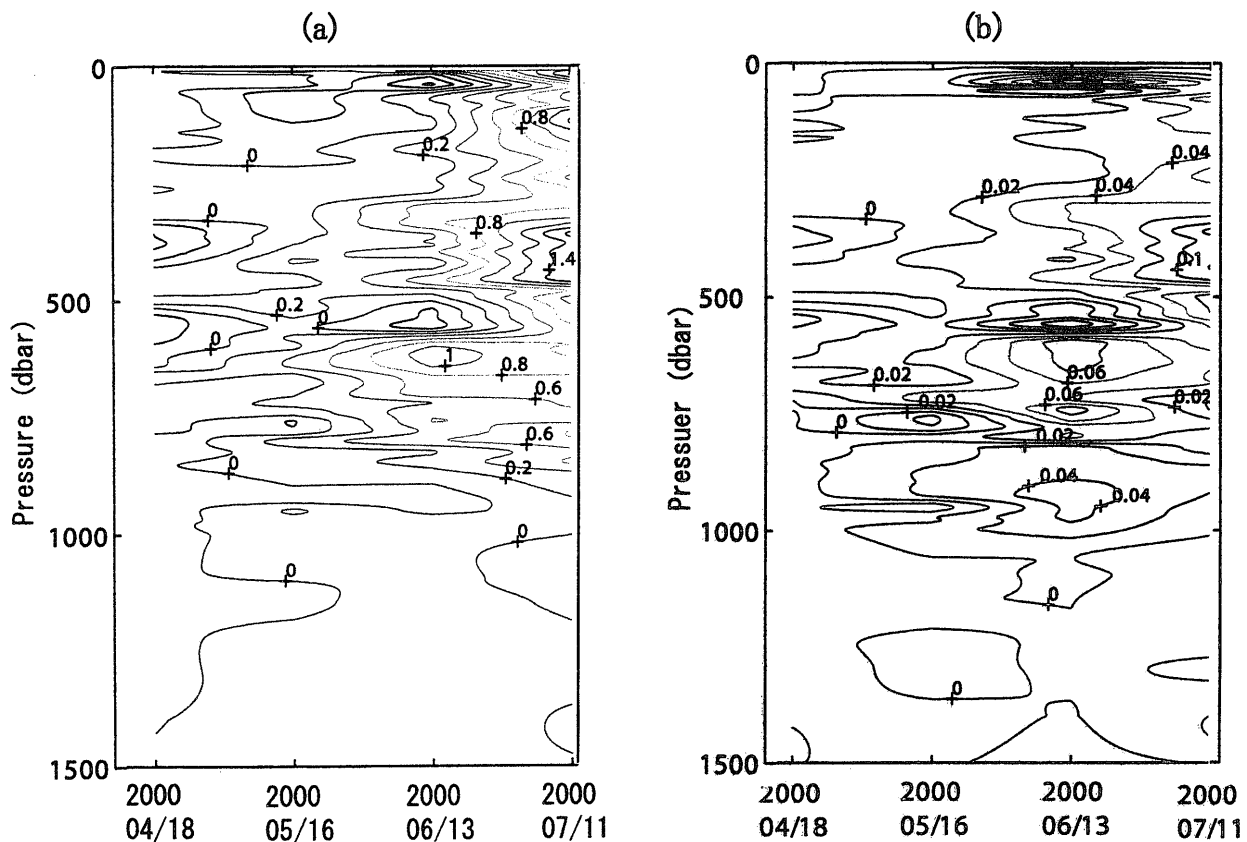


Fig. 7. (a) Time-depth cross section of the temperature difference between Float-14 and Float-28 observations. Positive values indicate temperature observed by Float-14 (outer float) is higher than that by Float-28 (inner float). (b) Same as Fig. 7a except for salinity.

れる。これはこの海域に典型的な TS 曲線であり、水温 $17\text{--}18^\circ\text{C}$ から $8\text{--}9^\circ\text{C}$ までの直線状の部分は、いわゆる、西部北太平洋中央水、その高温側の端付近の水は亜熱帯モード水にそれぞれ対応する。図から分かるように、この期間、塩分極小層と表層を除き各点はほぼ同じ曲線上に観測値が分布しており、期間中ほとんど同じ水塊をフロートが観測していた。

3.2. 低気圧性渦の構造

2000年8月上旬以前のフロートの軌跡は、Fig. 3に示すような反時計回りの弧状であった。また、2本のフロートの観測値を比べた結果 (Fig. 7) から分かるように、 800×10^4 Pa 以浅では同じ水深で外側の弧にあった Float-14 の値が Float-28 のものに比べて水温は $0.2\text{--}1.4\text{K}$ 高く、塩分は $0.02\text{--}0.10$ 高かった。それ以深では

水温は Float-14 での観測値がやや低く最大 0.2K 程度の差であった。 1000×10^4 Pa より深い層では塩分値の違いははっきりしない。

これらの観測結果や前節で示した時間深度断面内の等値線の上下は、フロートがこの海域で見られる低気圧性の渦 (例えば Ebuchi and Hanawa, 2000) に捕らえられていたと仮定すると説明が可能である。すなわち、渦の中心に向かって等温面、等塩分面が浅くなるような構造の渦に捕らえられていたとすると、渦の中心により近い側のフロートでの観測値は外側のものに比べて水温は低めに、塩分は塩分極小層より上では低めに、極小層より下では高めにすることが期待できる。また、時間深度断面内で等値線が上がっている時期はフロートが渦の中心に近づいたときであり、下がっているときは遠ざかっているときであると考えられる。そこで、同時期の当該海域の渦活動の状況を調べ、2本

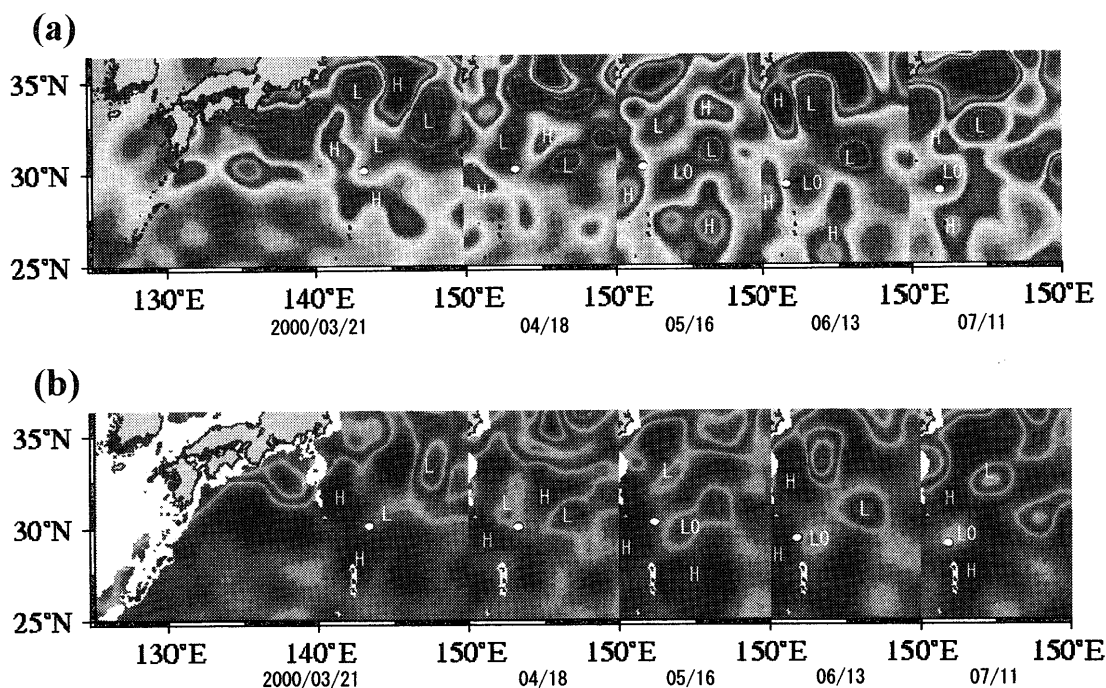


Fig. 8. (a) Surface height deviation maps of MODAS SSH for every four weeks from March 21 through July 11, 2000. White dots indicate the positions of the profiling floats. Labels “L” and “H” show cyclonic and anticyclonic eddies. The cyclonic eddy denoted by “L0” is the object of the composite analysis. Original maps were downloaded from the WWW homepage of The Real Time Ocean Environment, Naval Research Laboratory Stennis Space Center, U.S.A. (<http://www7320.nrlssc.navy.mil/modas/>). (b) Same as Fig. 8a, except for sterici height anomaly relative to 1,000 m.

のフロートが低気圧性渦に捕らえられたことを確認し、さらにフロート観測データに基づいてその渦の鉛直断面構造の再現を試みる。

海洋内部のデータとしてはフロートの観測値のほか、調査船天洋のCTD観測データを用いる。また、フロート観測期間中のこの海域の渦活動を調べるために、アメリカ海軍研究所 Stennis Space Center で TOPEX/Poseidon など人工衛星搭載海面高度計データやその他の観測から海洋モデルを用いて推定した海面高度場偏差およびステリックシーレベルの図を同センターのホームページ (<http://www7320.nrlssc.navy.mil/modas/>) 上に公開されているものを取り出して使用した。使用した図は2000年3月から8月までの毎日のものである。Fig. 8に2000年3月21日から7月11日まで4週間ごとにならべた海面高度偏差図とステリックシーレベルの図を示す。

まず2000年3月から7月にかけてのフロート投入海域周辺の状況を見ると、フロートは弱い低気圧性渦の南西部に投入されたことが分かる。その後4月中旬から下旬にかけてフロートは低気圧性渦の南東部に位置している。4月上旬には別の低気圧性渦 (Fig. 8でL0と記した渦、以降渦L0と呼ぶ) が北緯30.5度東経147.5度付近に現れ西進しつつ成長し、5月中旬にはフロートの南東側に達した。フロートの西側には高気圧性渦があり、フロートは南西方向へ移動した。6月中旬には渦L0の中心の西方にフロートが移動し、7月上旬には渦L0の中心に近づいた。その後この渦L0は西に中心を移動しつつ伊豆小笠原海嶺東部付近で衰退した。

これらの図から、2本のフロートとも4月上旬に出現した渦L0に5月中旬頃から捕らえられ、5月の時点ではフロートは渦L0の北西の縁に位置していたが、その後渦L0の周りを回りつつ中心に近づいていき7月上旬に最も中心に近づいたことが分かる。このことは

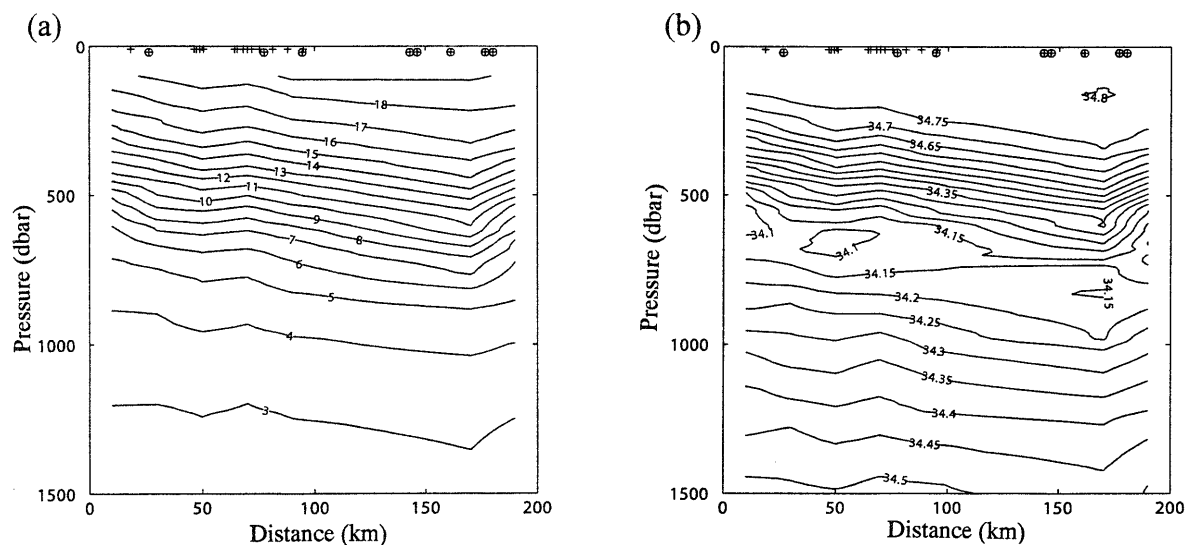


Fig. 9. (a) Composite temperature structure of the cyclonic eddy along the radius. Contour interval is 1K. Symbols shown in the figure indicate the observation locations of the float (cross with circle) and S/V Tenyo (cross). (b) Same as Fig. 9a, except for salinity. Contour interval is 0.05.

Fig. 4 に示した時間深度断面内での温度・塩分の等値線の上下の変化が、5月に深く6月から7月上旬にかけて浅くなるという特徴と良く対応している。

この低気圧性渦 L0 の鉛直断面構造をフロートおよび天洋の観測値に基づいて推定するために、(1) 渦 L0 は中心対称構造を持ち、(2) 5月から7月にかけて渦 L0 の構造は変化しないという仮定をして、合成図解析を行う。無論これらの仮定は現実の渦 L0 の実態を正しく反映したものではないが、少ない観測データで渦の構造を再現しようとするこの試みにおいては、第一近似として受け入れられるものと考えている。

解析では、渦 L0 の中心位置を Fig. 8 に示した Stennis Space Center の同化モデルによる海面高度偏差分布図とステリック シーレベル図を用いて求めた。そして、渦中心位置から各観測点までの距離順に観測データを並べ替えた。観測値は、渦中心からの距離 20 km ごとに区間に分けて、各区間で水温、塩分をそれぞれ水深 1×10^4 Pa ごとに平均した。フロート観測値は、Akima 法 (Akima, 1970) によって水深 1×10^4 Pa ごとに内挿値を求めて用いた。天洋の CTD 観測値は水深 1×10^4 Pa ごとの値が与えられているのでそのまま使用した。そうして求めた各区間平均の水温、塩分プロファイルに対して幅 10×10^4 Pa のメディアン フィルターをか

けてスパイク状のノイズを取り除いた。

こうして求めた各区間の水温および塩分のプロファイルに基づいて描いたこの渦 L0 の水温および塩分の鉛直断面構造を Fig. 9 に示す。これらの図から分かるように、渦 L0 の構造は観測層全層にわたるもので、水深 $1,500 \times 10^4$ Pa から海面まで等温線、等塩分線とも中心から外側に向かって深い方へ緩やかに傾いている。渦の半径はおよそ 160 km である。海面から 100×10^4 Pa 深までの表層を除くと、平均の水温水平傾度は水深 400×10^4 Pa までは $1.0\text{--}2.7 \times 10^{-5} \text{ K m}^{-1}$ で外側に向かって高くなる。それより深いところでは温度傾度は小さくなり、水深 $1,000 \times 10^4$ Pa では $0.26 \times 10^{-5} \text{ K m}^{-1}$ となる。塩分は、 700×10^4 Pa 以浅では外側に向かって塩分が高くなる。最大水平塩分傾度は水深 450×10^4 Pa で $2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ である。水深 $1,000 \times 10^4$ Pa 以深の塩分極小層より下では外側に向かって塩分が低下し、 $1,000 \times 10^4$ Pa で $-7.5 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ であるが、水深と共に絶対値は小さくなり最深層では $-2.0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$ となる。これらの水平温度傾度、塩分傾度を Fig. 7 に示した 2 本のフロートの観測値の差と比較する。5月は両フロートの距離が 20 km 以下と近かったので、6月と7月における 2 本のフロートの観測値に基づきおよその水平温度傾度、塩分傾度を求めてみる。この時期の 2 本のフ

ロートの距離はおよそ 60 km だったので、 500×10^4 Pa 以浅では水温の水平傾度はおよそ $1-2 \times 10^{-5} \text{ K m}^{-1}$ 、塩分の水平傾度は $0.7 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1} - 1.7 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ であり、 $1,000 \times 10^4$ Pa 以深では水平温度傾度は $3 \times 10^{-6} \text{ K m}^{-1}$ と小さく、塩分の水平傾度はほとんど 0 に近い。これらの水平温度傾度、塩分傾度は、求められた渦の平均的な水平温度傾度、塩分傾度と比較的良好一致していると言える。

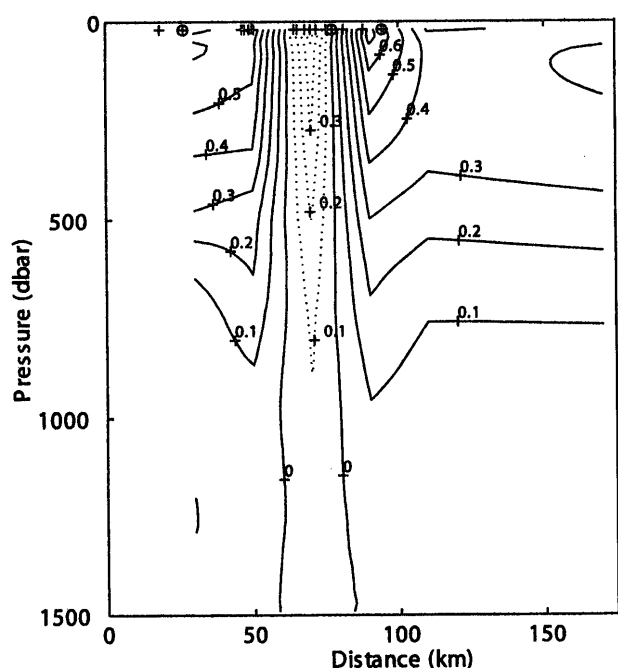


Fig. 10. Geostrophic velocity distribution computed from the composite temperature and salinity structures shown in Fig. 9. Contour interval is 0.1 m s^{-1} . Solid lines indicate positive values, that is the geostrophic flow from this side toward the back.

これらの水温塩分推定値から $1,500 \times 10^4$ Pa 等圧面準拠の地衡流速を推算した。その結果を Fig. 10 に示す。全体としては鉛直断面内で低気圧性の流れとなっているものの、中心から 60-80 km のところで全く逆向きの流れとなっている。ここは水温塩分とも水平勾配が他の部分とは逆になっているため、それを反映した流れとなった。中心から 100 km 以内の上層 200×10^4 Pa 内では地衡流速は 0.5 m s^{-1} を越えている。これは前述

の海面でのフロートの平均移動速度 ($0.30 \text{ m s}^{-1} - 0.42 \text{ m s}^{-1}$) より 2 倍近く大きい。滞在深度 $1,500 \times 10^4$ Pa でのフロートの移動速度はおよそ 0.05 m s^{-1} と見積もられており、この深度での流速は無視できないので、準拠面での流速を加味すれば表層での地衡流速はさらに大きくなる。

Ebuchi and Hanawa(2000) で示された平均的中規模渦の構造は、東京小笠原間の XBT と ADCP の観測データに基づくものであるが、ここで求めた低気圧性渦 L0 の大きさや水温塩分構造は、彼らの示した低気圧性渦と同じような構造であることが分かる。しかし表面の地衡流速は彼らの求めた表面流速の 2 倍近い値であった。

再現された渦 L0 は、中規模渦の様子を定性的には良く再現しているものの、中心から 60-80 km 付近で水温塩分水平傾度が周囲と逆転していること、Ebuchi and Hanawa (2000) で示された渦の流速値と本研究で再現された低気圧性渦の地衡流速値が大きく異なることなど、定量的には問題もある。これらの問題は主に観測データ数が少なかったこと、合成図解析を行うに当たって立てた二つの仮定、すなわち渦の定常性と中心対称性が必ずしも現実を十分適切に反映していなかったこと、渦の中心位置推定誤差が大きかったことが要因であると考えられる。

なお、渦 L0 の合成図解析を行うにあたり、上記の同化モデルによる海面高度分布図を用いた解析のほか、独自に TOPEX/Poseidon(T/P) 海面高度計データをアメリカ海洋大気庁 (NOAA) の National Environment Satellite, Data and Information のホームページ (<http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/>) から取得して処理したデータに基づく解析も行った (図は示さない)。その結果、やはり 5 月にはフロートは低気圧性渦の北西側に位置したものが 6 月には渦の西側、7 月にはほぼ渦の中心近くまで移動したと認められた。渦の中心位置とフロートの相対位置関係は定性的には前述の結果と同じであったが、渦中心とフロートの距離が時期によっては 50 km から 70 km も前述の結果と異なることがあった。T/P データだけで合成図解析をした場合の渦の構造は、全体としては前述の結果と大きな違いはなかったものの、半径がやや小さく (約 140 km) だった。

但し、前述の結果で見られた中心から 60 km 付近での温度・水温の水平傾度の逆転、それに伴う地衡流速の反転は生じず、中心から外側に向かって単調に変化する構造が得られた。

4. まとめと議論

この研究では、2000 年 3 月に日本のアルゴ計画の事前実験として投入された 2 本のプロファイリングフロートの観測データを示した。また同年 4 月から 7 月までこれらのフロートを捕らえていたと考えられる低気圧性渦の鉛直断面構造をプロファイリングフロートの観測値と海面高度データなどから推定した。

再現した構造は多少非現実的な部分や過去の研究で示されているものと定量的に合わないところもあるが、わずかに 2 本のプロファイリングフロートのデータを使っただけの解析としては、全体として低気圧性渦の構造の特徴をよく再現できたと言える。2 本のプロファイリングフロートの観測値だけからでもこのように海洋中の低気圧性渦の構造を調べることが可能であることから分かるように、塩分センサー付のプロファイリングフロートは外洋の海洋物理学的観測における有力な観測手段である。

国際アルゴ計画で空間分解能 300 km, 時間分解能 10 日の海洋監視網ができあがると、革命的な海洋観測手段を我々は手に入れることになる。アルゴ計画が完成すると、外洋観測の主体がプロファイリングフロートになると予想されるが、それによって他の観測手段が不用になることはない。WOCE 期間中に実施されたような高精度観測にはやはり専用の研究船の観測が必要である。

現状のプロファイリングフロートの短所としていくつかの点が挙げられる。例えば、フロートの投入後は位置制御できないため、海域によって風や流れで発散や収束をおこすことが予想される(岡, 2001; 楊ら, 2002)。また強流域や沿岸などの水深の浅い海域はフロート観測に向かない。さらに、現状では、通信手段もプロファイリングフロート観測の問題点である。外洋で利用可能で、通信料が安く、運営・経営が安定している通信システムは現状では ARGOS 以外にはないが、通信速

度が遅く一方向通信であると言う短所がある。そのためフロートはデータを確実に送るために長時間(12 時間)海面を漂わなければならないセンサー劣化対策上の問題となっている。また、双方向通信が可能ならば観測モードを柔軟に変更可能となるが、現状ではそれが出来ない。

しかし、プロファイリングフロートには自動観測で外洋の中上層の水温塩分プロファイルを観測できるという、これらの欠点を補ってあまりある長所があるので、今後は、プロファイリングフロートによる観測を有効に取り入れ、船舶観測などの他の観測手段と合わせて効率よく、より多角的な海洋観測を行うように観測を設計していくことが求められる。

謝 辞

アルゴ事前実験でのフロート投入に当たっては研究船みらいの船長はじめ乗組員の方々、マリンワークジャパンおよびグローバルオーシャンデベロップメントの方々にお世話になりました。また、海上保安庁調査船天洋の観測データの提供を受けるに当たり水路部(現海洋情報部)の方々にお世話になりました。感謝いたします。

また、データ解析と作図に当たりまして地球観測フロンティア研究システム市川 泰子氏、海洋科学技術センター海洋観測研究部伊澤 堅志氏、高槻 靖氏(現気象庁)、安藤 健太郎氏にお世話になりました。感謝いたします。

本研究で使用した海面高度図は、アメリカ海軍研究所 Stennis Space Center の The Real Time Ocean Environment ホームページ (<http://www7320.nrlssc.navy.mil/modas/>) 上に公開されているものを取り出して使用した。また、TOPEX/Poseidon(T/P) 海面高度計データをアメリカ海洋大気庁(NOAA)の National Environment Satellite, Data and Information のホームページ (<http://ibis.grdl.noaa.gov/SAT/>) から取得して使用した。

References

- Akima, H. (1970): A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *J. Assoc. Comput. Mach.*, **17**, 589-602.
- Ebuchi, N. and K. Hanawa (2000): Mesoscale eddies observed by TOLEX-ADCP and TOPEX/POSEIDON altimeter in the Kuroshio recirculation region south of Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 43-57.
- Hanawa, K. and T. Suga (1996): A review on the Subtropical Mode Water of the North Pacific (NPSTMW), pp. 613-627. In *Biochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific*, edited by H. Sakai and Y. Nozaki, Terra Sci. Pub. Co. Tokyo.
- Hanawa, K. and L. Talley (2001): Mode Waters. pp. 373-386. In *Ocean Circulation and Climate*. edited by G. Siedler, J. Church and J. Gould, Academic Press, New York.
- 市川 泰子, 高槻 靖, 水野 恵介, 四竈 信行, 竹内 謙介 (2001): アルゴ フロートの滞在深度における流速とその誤差の見積もり. 海洋科学技術センター試験研究報告, **44**, 81-89.
- Iwasaka, N., T. Suga, K. Takeuchi, K. Mizuno, Y. Takatsuki, K. Ando, T. Kobayashi, E. Oka, Y. Ichikawa, M. Miyazaki, H. Matsuura, K. Izawa, C.-S. Yang, N. Shikama, and M. Aoshima (2003): Pre Japan-Argo: Experimental observation of upper and middle layers south of the Kuroshio extension region using profiling floats. *J. Oceanogr.*, **59**, 119-127.
- 岡 英太郎 (2001): Argo フロートの投入シミュレーション, 海洋科学技術センター試験研究報告, **44**, 9-16.
- 須賀 利雄 (1997): 北太平洋亜熱帯モード水の挙動に関する解析的研究. 海の研究, **6**, 371-382.
- The Argo Science Team (2000): Report of the Argo Science Team 2nd Meeting (AST-2) March 7-9, 2000, Southampton Oceanography Centre, Southampton, U.K.
- 楊 燦守, 石田 明生, 岩坂 直人 (2002): アルゴ フロートのターミネーション後の陸上漂着率に関する考察. 海洋科学技術センター試験研究報告, **45**, 107-122.

A Case Study of a Mesoscale Cyclonic Eddy Observed South of the Kuroshio Extension during Pre Japan-Argo

Naoto Iwasaka*, Momoko Aoshima†, Toshio Suga‡, Taiyo Kobayashi§, and Eitarou Oka§

Abstract

We deployed two profiling floats south of the Kuroshio Extension in March 2000 as a preliminary study of the Japan Argo project. Temperature and salinity profiles from the depth of $1,500 \times 10^4$ Pa to the surface are reported every two and four weeks, respectively. On the bases of the float observations, together with altimeter data, we investigated the water masses in the region and analyzed the vertical structure of the cyclonic eddy, that advected the two floats from May through July 2000. The analysis showed that the eddy had typical characteristics of the mesoscale eddies commonly seen south of the Kuroshio Extension.

Key words: profiling float, Argo project, mesoscale eddy

(Corresponding author's e-mail address: iwasaka@ipc.tosho-u.ac.jp)

(Received September 4, 2002; accepted January 8, 2003)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2003)

* Frontier Observational Research System for Global Change
Tokyo University of Mercantile Marine, 2-1-6 Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135-8533, Japan

† Tokyo University of Mercantile Marine
present address: The Institute of Energy Economics, Japan, 1-13-1 Kachidoki, Chuo-ku, Tokyo 104-0054, Japan

‡ Frontier Observational Research System for Global Change
Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

§ Frontier Observational Research System for Global Change, 2-15 Natsushima-Cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan