

## 日本南岸の黒潮循環系での中規模渦の挙動

吉川 泰司\*<sup>1</sup> 金 命宣\*<sup>1</sup> 三寺 史夫\*<sup>1,2</sup>

海面高度計データを用いて日本南岸における黒潮流路の変動や中規模渦の西方伝搬など黒潮再循環系における中規模擾乱の検出を試みた。

1992年10月から1993年2月の期間、九州南方のトカラ海峡東方における黒潮小蛇行の発達と北上、九州南東方での捕捉、小蛇行の東進という現象が海面高度計データから検出でき、他の独立した観測データと同等の変動が見られた。また伊豆海嶺上で検出した暖水渦は西進し、5ヶ月かかって九州南方の海域に到達することが、衛星観測データにより明らかになった。

トカラ海峡東方での黒潮小蛇行の発達と北上期の前後、黒潮流量は増大傾向にあった。北上して捕捉された黒潮小蛇行が流下方向に移流される時期には黒潮流量は若干の増加が見られたほかに、伊豆海嶺上から西進してきた暖水渦が冷水渦に接近し、両者が渦対のように時計回りに回転する挙動が示された。黒潮小蛇行の東進に対して、渦と黒潮の相互作用がトリガになった可能性がある。

キーワード：黒潮，TOPEX/POSEIDON海面高度計，中規模渦

## Mesoscale Eddies and the Kuroshio Current observed by TOPEX/POSEIDON altimetric data

Yasushi YOSHIKAWA\*<sup>3</sup> Kim MYOUNG-SUN\*<sup>3</sup>  
Humio MITSUDERA\*<sup>3,4</sup>

Fluctuations in the Kuroshio path and westward propagation of a mesoscale eddy are being detected using TOPEX/POSEIDON altimetric data. From October 1992 to February 1993, there existed a Kuroshio small meander near Kyushu. We detect and describe evolution of the small meander and a cold eddy accompanied with. In November 1992, the cold eddy was extending east of Tokara Strait to south of Kyushu. As regards developing a minus anomaly field of the eddy, when the Kuroshio transport was increasing at the Tokara Strait, the cold eddy was advected downstream, and then, the eddy stayed southeast of Kyushu for about 2 months. In February 1993, another warm eddy, which was observed over the Izu Ridge in October 1992 and propagating westward, was coming close to the Kuroshio path and the cold eddy. Late in February, the cold and warm eddies were moving northeastward and

\* 1 海洋観測研究部

\* 2 地球フロンティア研究システム

\* 3 Ocean Research Department

\* 4 FRPGC

northeastward respectively, as if they were rotating clockwise as a vortex pair. At that time, the Kuroshio transport across the Tokara Strait was gradually increasing. The interaction between the Kuroshio transport and eddies is likely to be an important mechanism for triggering the eastward advection of the small meander of the Kuroshio.

**Key Words :** Kuroshio path, TOPEX/POSEIDON, Mesoscale eddy

### 1 はじめに

黒潮や黒潮続流の流域は中規模渦の形成が特に活発な海域である。それらの渦は黒潮の流れや渦同士で相互作用を起こすことが報告されている。渦の状況とその時間発展を調べるために、しばしば数値モデルが用いられる。図1には、北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環の局所数値モデル(三寺他, 1997<sup>1)</sup>)における海面高度のスナップショットを示す。図から直径が200~300kmの渦が黒潮続流の南北を中心に存在することがわかる。黒潮続流域で形成される中規模渦の中には、黒潮再循環内を西方伝搬し、日本南岸の四国海盆に浸入するものがある。

観測においても、その移動経路にあたる伊豆・小笠原海嶺上で渦の通過が報告されている(Hanawa et al., 1997<sup>2)</sup>)。図2に東京・小笠原間を結ぶ定期航路船に搭載されたADCPで得られた流速場の時系列を示す。図中、北緯34度付近に見られる黒潮の流れの外に、低気圧性や

高気圧性の渦のパターンが観測ラインを横断していくことがわかる。特に1992年10月には、直径300kmに及ぶ巨大な渦が存在していた。同時期に同定期航路船からXBTで観測された表層水温断面図(Yoshikawa et al., 1996<sup>3)</sup>)を図3に示す。ADCPによる流れの場から推測されるように、北緯30度を中心として暖水塊が存在していたことがわかる。

大規模現象や伝搬性の中規模現象などに着目する場合、海洋を広域にわたり、かつ反復して観測する必要がある。その手段として、人工衛星による観測データが期待されている。本研究ではTOPEX/POSEIDON(以下、T/P)の海面高度計データを用いて、この暖水渦の検出とその西方伝搬の追跡を試み、遠州灘及び九州東方における挙動を記述する。また、日本南岸における黒潮流路の変動の検出を試み、他の独立した観測データと比較する。

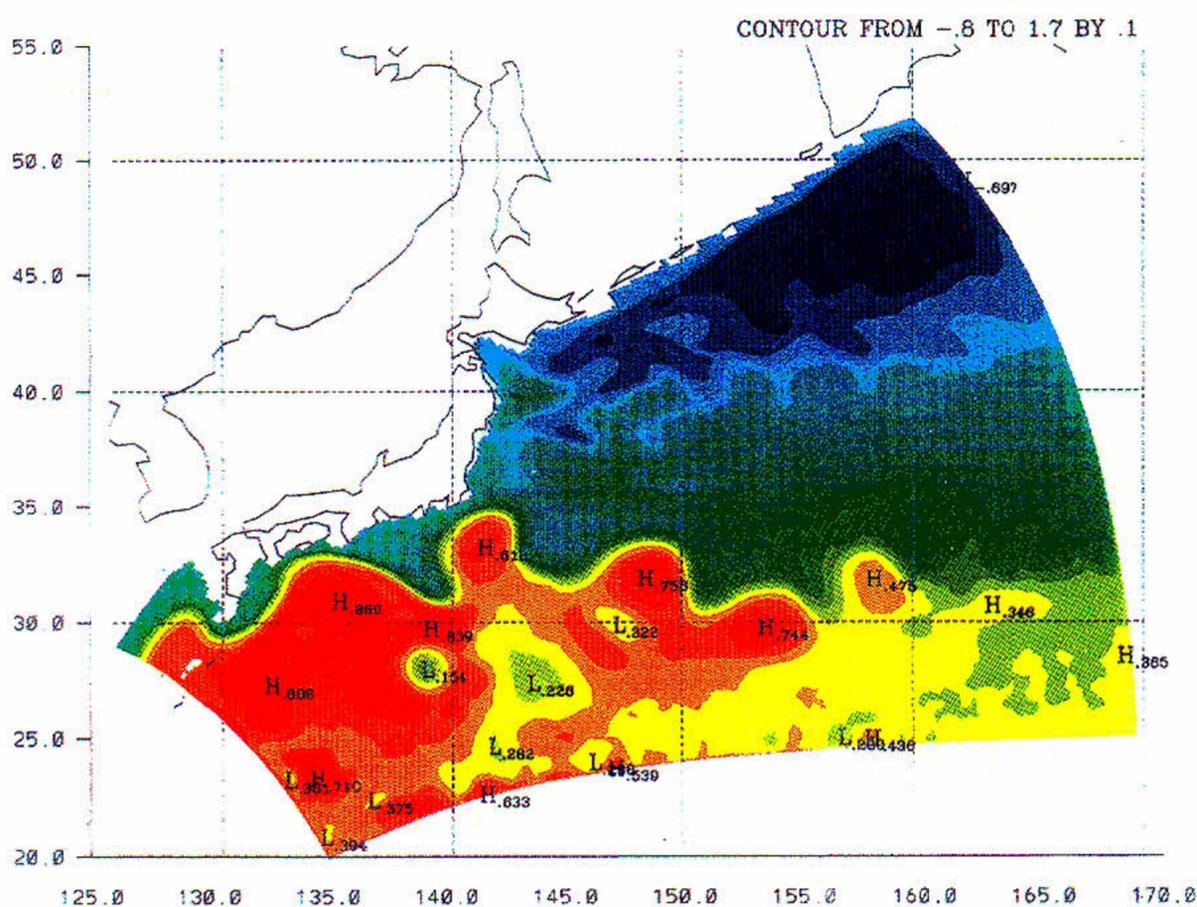


図1 黒潮・親潮システムモデルにおける海面高度の分布

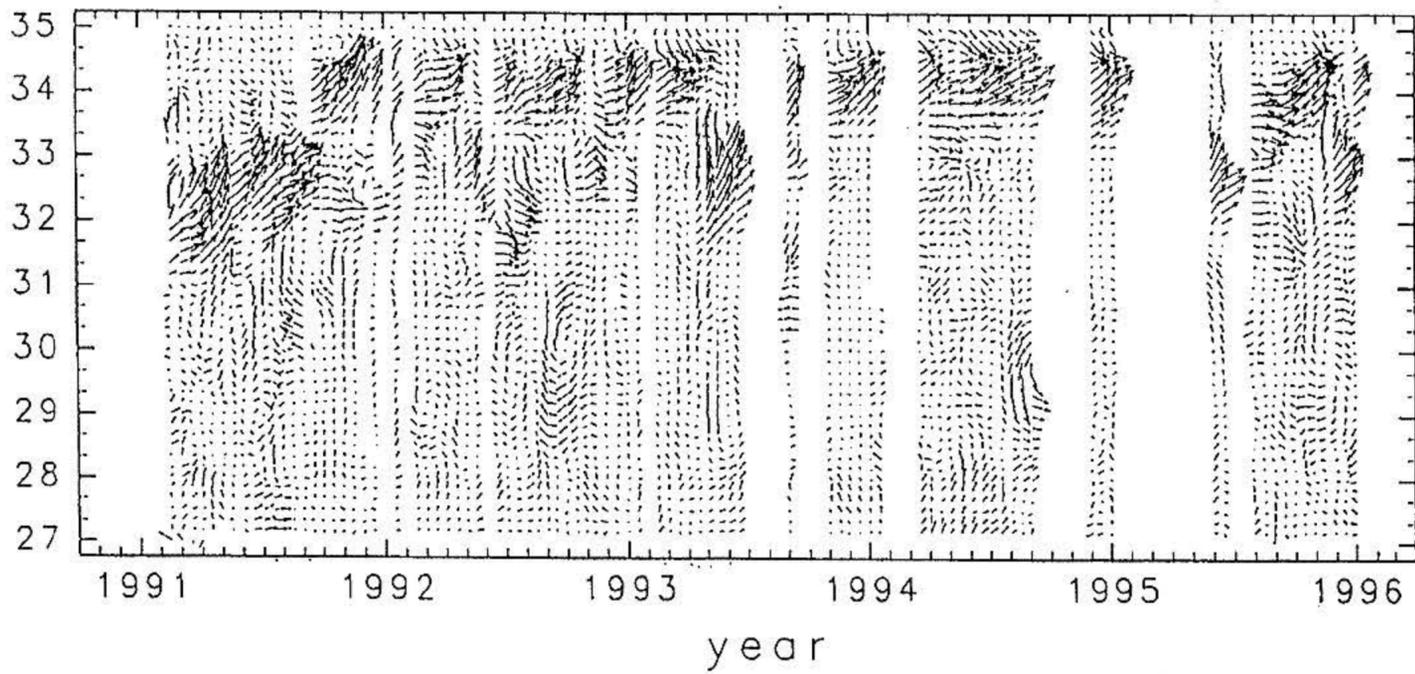


図2 伊豆・小笠原海嶺上の流れの場 (50m深) の時系列。横軸は時間で1991年2月から1996年1月。縦軸は緯度を表す。流れの場はベクトル表示され、右向きの矢印が東向き、上向きの矢印が北向きの流れを表す。北緯34度付近の強い流れが黒潮に対応する

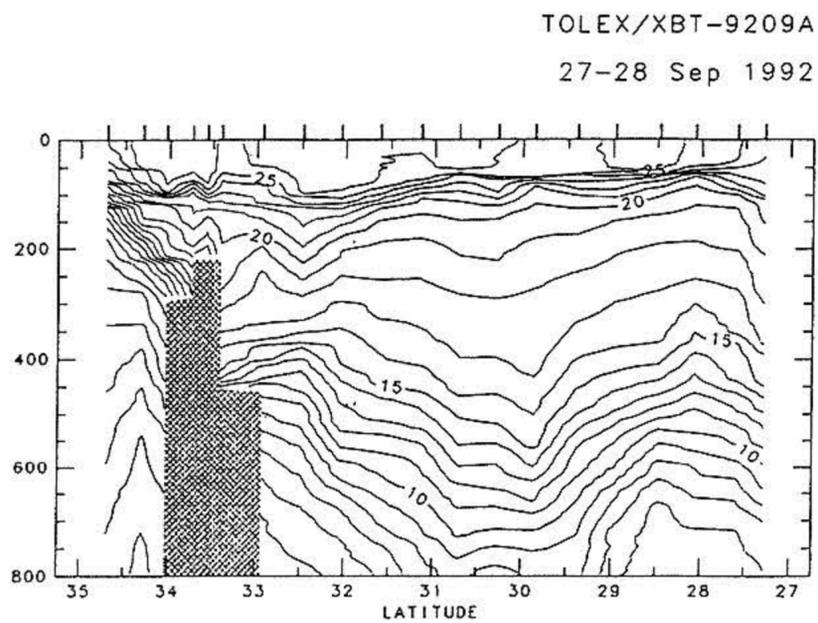


図3 伊豆・小笠原海嶺上の水温断面 (1992年9月下旬観測)。北緯30度を中心にした暖水性の渦が見られる

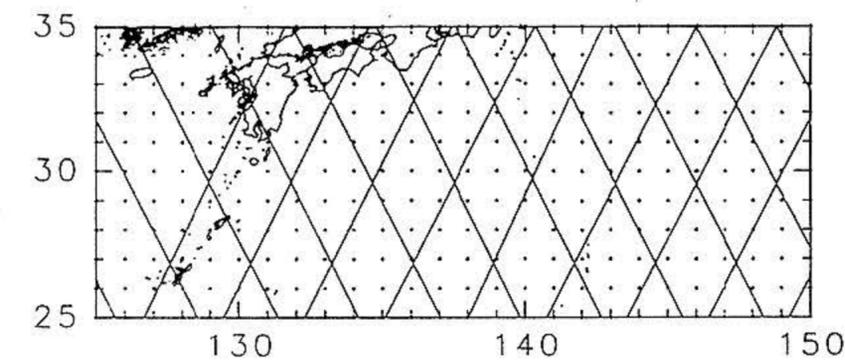


図4 TOPEX/POSEIDON軌道 (実線) と計算のため設けた格子点 (点)

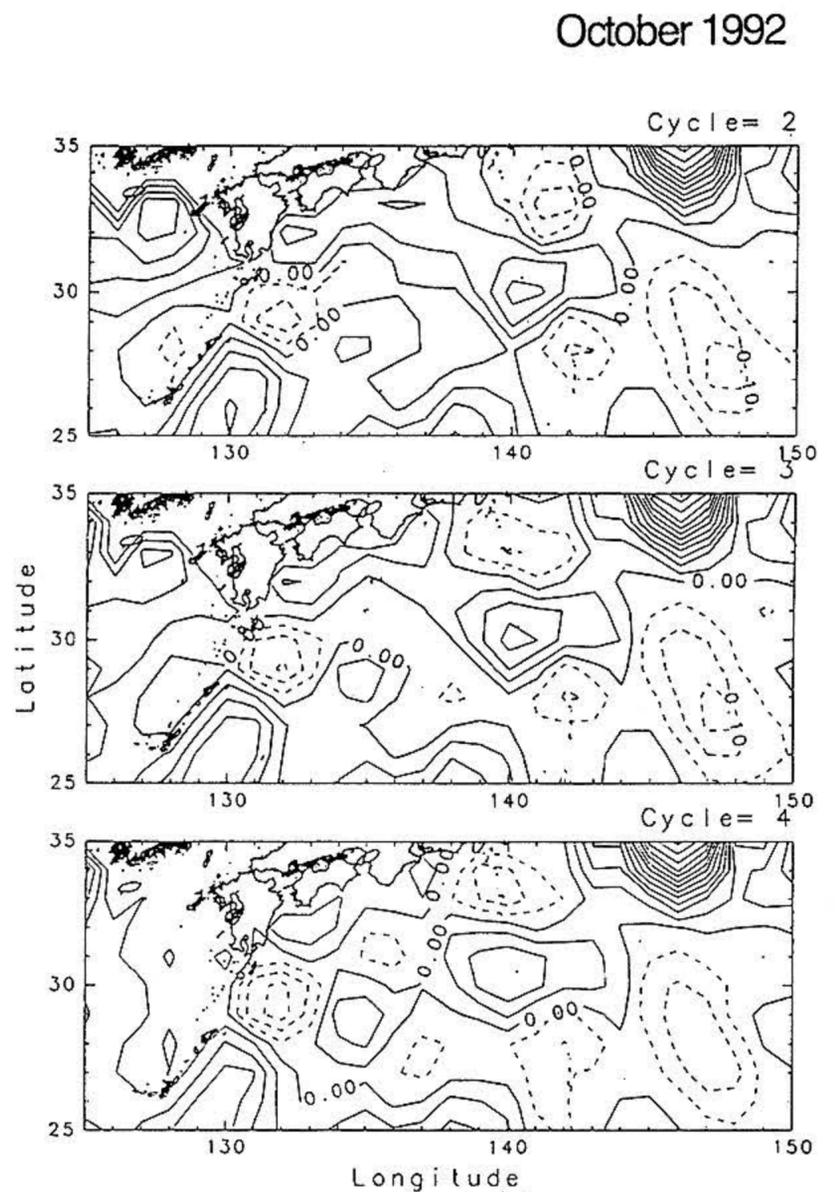


図5 海面高度アノマリ分布図。上から1992年10月中旬, 10月下旬, 11月上旬の時期を表す。実線は正のアノマリ, 破線は負のアノマリを示す。コンター間隔は10cm

## 2 データと処理方法

渦の追跡に使用したデータはTOPEX/POSEIDON海面高度計データで、AVISOにおいて各種補正を施した後、アノマリデータに加工し、配布されたものである。現時点でのAVISO配布データの期間は、1992年10月から1994年10月までの約2年間（75サイクル）である。1サイクルは約10日間の時間間隔、また隣り合う軌道との空間間隔は赤道で315km、今回の研究対象となる中緯度では平均約270kmの間隔である。

データを整理するにあたって、軌道ごとに平滑化を行った後に3次元ガウシアン型フィルターを用いて緯度・経度各1度、約10日ごとの格子上にデータを補間した。さらに海面高度の季節変化を除去して解析用データセットを作成した。T/P軌道と最終的に設けた格子点を図4に示す。具体的な手順を以下のとおりである。

まず、各軌道ごとに緯度方向0.1度ごとで格子を設け、格子から距離が110km以内で観測された高度アノマリデータに対して、e-foldingスケールを55kmとしたガウシアンフィルターを用いて平滑処理を施した。次に、北緯25度から北緯35度、東経125度から東経150度の領域に緯度

経度各1度ごと、また時間方向には各サイクルごとに格子を設けて、ガウシアンフィルターを用いてデータを整理した。フィルターのパラメータは、e-foldingスケールは空間方向に1度、時間方向に1.5サイクル（約15日）と設定し、それぞれ片側2度、3サイクルの中での観測値に対して重みを付けて処理を行った。

海面高度の変動には季節変化の影響が大きい。そこで、黒潮の流軸の変動を含まない広い領域（東経125度から東経150度、北緯25度から北緯31度）における海面高度偏差の平均値を季節変動成分とし、これを全体から除去した。

## 3 結果

### 3.1 1992年10月

図5に1992年10月の海面高度アノマリ場を示す。伊豆小笠原海嶺上（東経140度、北緯30度）には、暖水渦に対応する正のアノマリ領域が広がっている。これは前述のADCPとXBTによる観測結果と良い一致を見る。この月には暖水渦は伊豆小笠原海嶺上をゆっくりと西進していた。

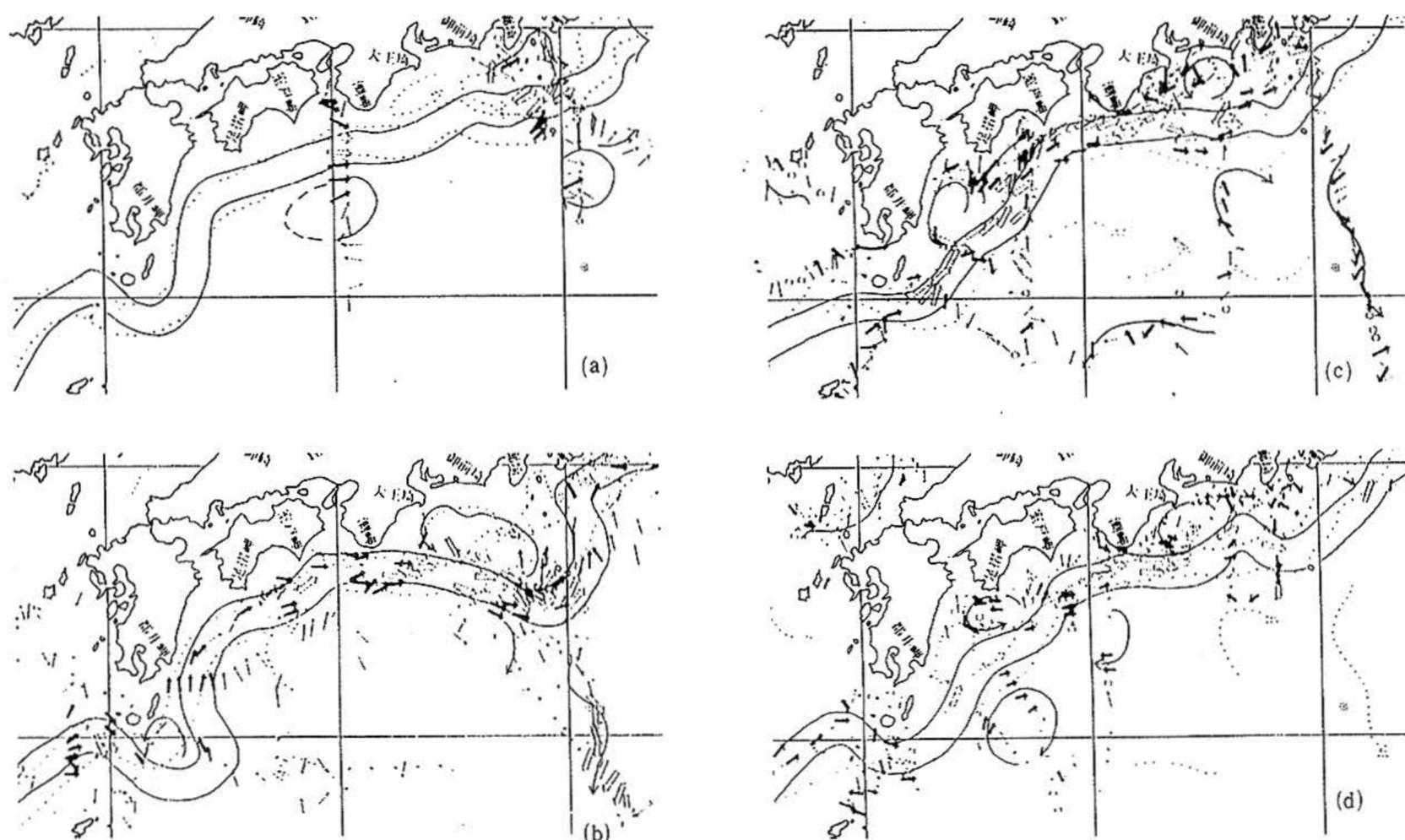


図6 海上保安庁発行の海洋速報。(a)は1992年9月下旬、(b)は1992年10月下旬、(c)は1993年1月下旬、(d)は1993年2月中旬の流れの場をそれぞれ表す

広域の観測データと比較するため、海上保安庁発行の海洋速報による日本南岸の黒潮流路変動を図6に示す。九州南方トカラ海峡では、負のアノマリの東進(図5)に対して黒潮流路の蛇行(図6(a))が対応する。また、伊豆海嶺上においても黒潮流路の蛇行・南下(図6(b))と負のアノマリが対応する。以上のように、船舶による観測データが存在場所において、それらは衛星観測データと良い一致を見る。

九州南方の負のアノマリは、この期間中、徐々に強化されていた。一方、その位置はほとんど変化していなかった。これはトカラ海峡東方における黒潮小蛇行、あるいは「種子島冷水」渦の発達を意味するものである。

### 3.2 1992年11月, 12月

図7に1992年11月と12月の海面高度アノマリ場を示す。伊豆小笠原海嶺上から西進してきた暖水渦は、この時期、遠州灘沖に存在する。海面高度アノマリを見ると、この時期、暖水渦は南北に引き延ばされ、やがて2つに分断されているように見られる。サイクル5(11月中旬)では渦の中心が東経139度、北緯31度であるのに対して、20, 30日後のサイクル7, 8では、北片の中心は東経138度30分、北緯33度、南片の中心は東経137度30分、北緯30度となっている。したがって、北片は北上傾向、南片は若干の南下傾向が見られる。

九州南方の負のアノマリの位置は、この期間中、徐々

### November, December 1992

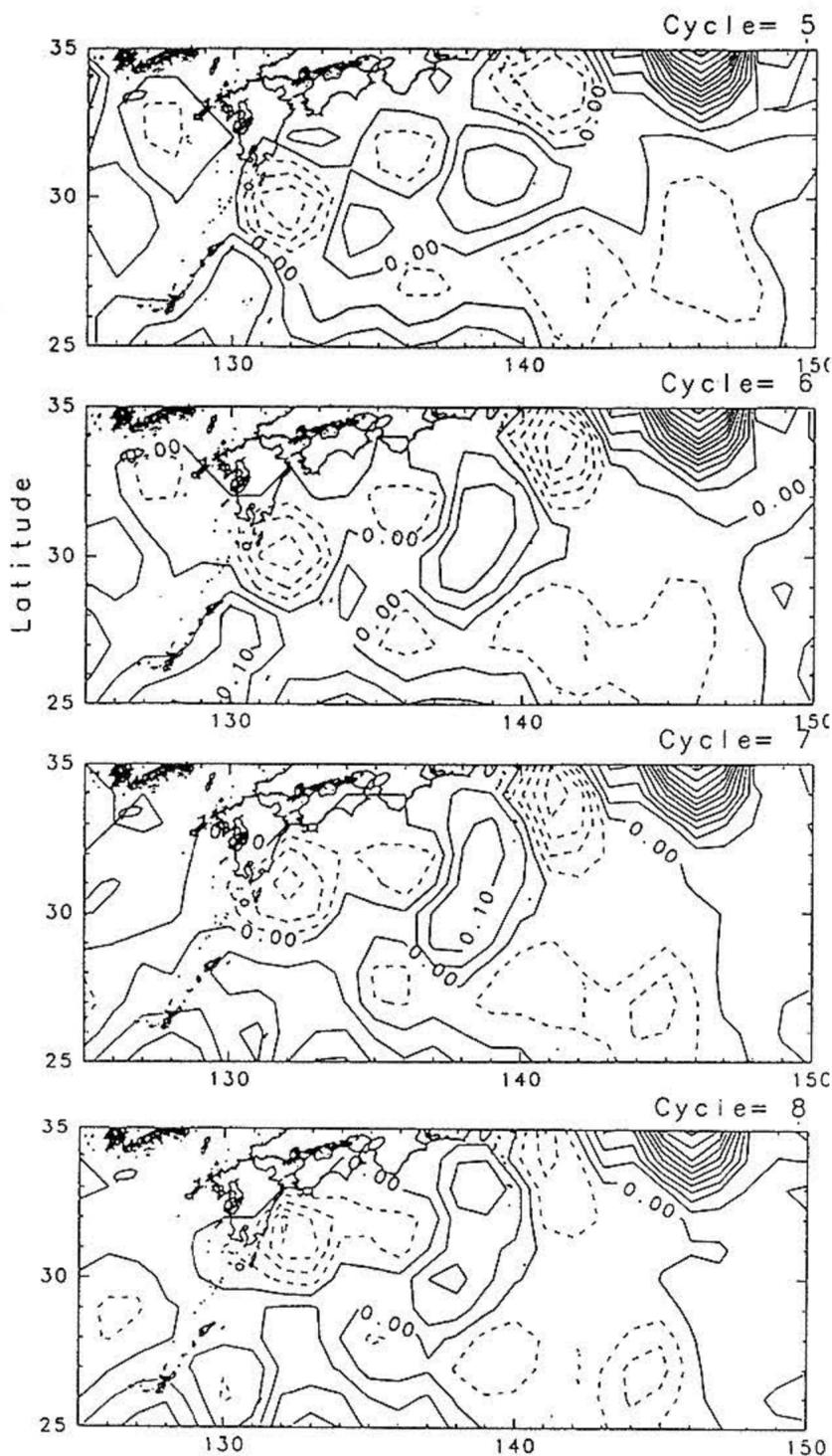


図7 海面高度アノマリ分布図。上から1992年11月中旬, 11月下旬, 12月上旬, 12月中旬を表す。表記方法は図4と同じ

### January, February 1993

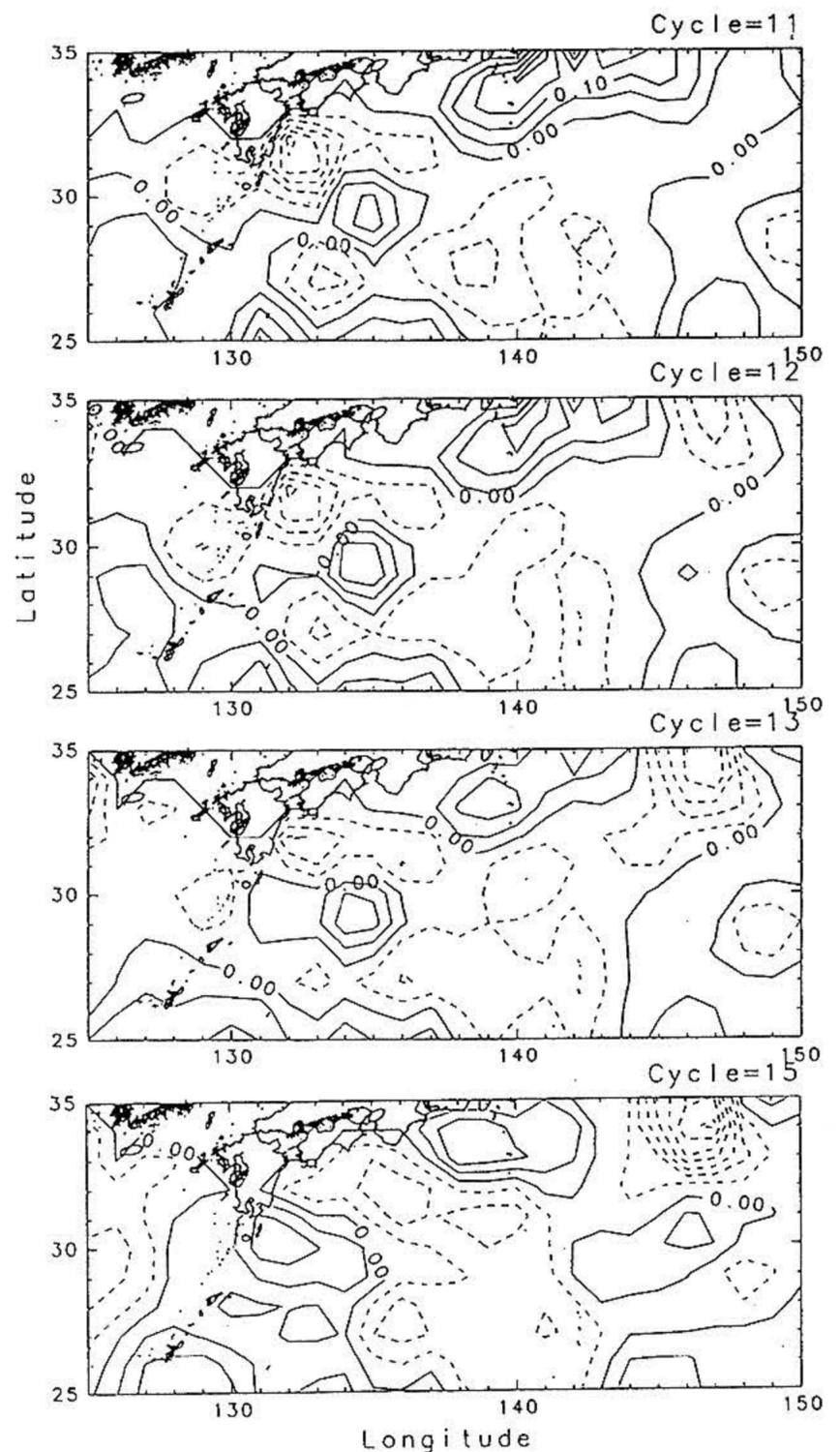


図8 海面高度アノマリ分布図。上から1993年1月中旬, 1月下旬, 2月上旬, 2月下旬を表す。表記方法は図4と同じ

に北上し、九州南東方に定在する。これはトカラ海峡東方における黒潮小蛇行、「種子島冷水」渦の東進と九州南東方での捕捉を意味するものである。またこの時、負のアノマリは高水準で落ち着いていた。

### 3.3 1993年1月、2月

図8に1993年1月と2月の海面高度アノマリ場を示す。

九州南東方沖に北上した黒潮小蛇行をあらわす負のアノマリは、1993年2月上旬までの期間、捕捉された状態にある。この時、徐々に渦の等高線は疎となり弱化した様相を示している。一方、遠州灘沖から西進してきた暖水渦（正のアノマリ）は、1993年1月には四国州南方沖に存在する。そして徐々に西進し、九州南東方に捕捉されている黒潮小蛇行に接近する。

1993年2月下旬には負のアノマリは東方へ移動し、正のアノマリはトカラ海峡東方へと北西方向に移動する。この時、両者はあたかも対になって時計回りに回転するような動き、つまり、渦対としての挙動が見られた。

同時期の海洋速報でも、1月下旬には小蛇行に対応する冷水渦は九州南東方に捕捉されている（図6(c)）が、2月中旬には四国南西沖に移動する（図6(d)）様子が報告されている。また、西方伝搬してきた暖水渦（高気圧性回転の流れの場）の存在が伺える。

### 4 考察

T/Pデータを用いて計算した黒潮再循環系の海面高度アノマリ分布と現場観測による流れの場を比較した結果、両者は良く一致していた。さらにT/Pデータから現場観測が無い海域における状況を表すことができ、広域を観測する衛星観測データの有効性が示された。また、直径200~300kmの渦の追跡にT/Pデータの有効性が併せて示された。

1992年11月から12月にかけて遠州灘沖で見られた暖水渦の分断が本当に発生したものなのか、衛星データの空間分解能や数値フィルタのために分断されたように見えたのか、ここでは判断できない。しかし、海洋速報

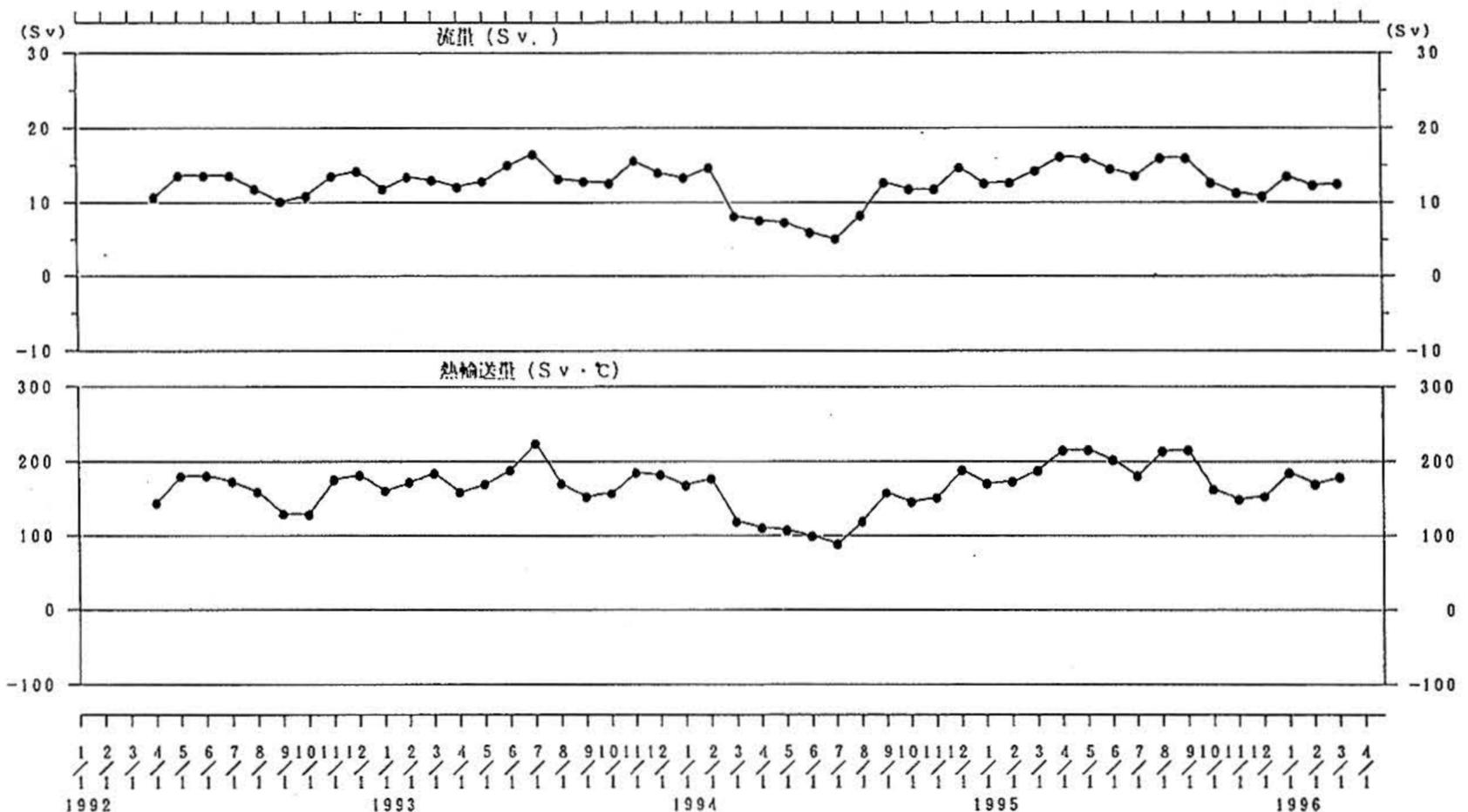


図9 トカラ海峡における黒潮流量の時系列。横軸は時間、縦軸は流量を示す。1Svは毎秒百万立方メートルの流量を表す

(図6(b))によると、10月下旬に伊豆海嶺上で蛇行した黒潮から、さらに南下流が見られる。これは黒潮の南側に高気圧渦（正のアノマリ）が存在することを示すものである可能性がある。そして、衛星軌道の分解能以下の大きさであるT/Pデータでは表現されず、数値フィルターで処理した際に平滑化され、負のアノマリ領域が広域にわたって見られ、さらに時間の経過と共に渦の進行速度・方向の違いから2つに分離された可能性がある。

九州南方での黒潮小蛇行の発達と移動に着目する。1992年11月に種子島東方に冷水渦が発達し、同年12月に冷水渦が北上し、九州南東方に捕捉される。この間、冷水渦は強化されていた。トカラ海峡を通過する黒潮流量（山本他、1998<sup>4)</sup>）は10月から12月の間に10.9Svから14.2Sv（200m～800m）へと増大傾向にあった（図9）。黒潮の流速増大と冷水渦の発達、その北上の間に何らかの関係が示唆される。1993年1月は冷水渦は捕捉された状態を保ち、同年2月には捕捉から解放され、黒潮の流下方向へ移動した。この期間、トカラ海峡での流量は若干の増加（11.8Svから13.4Sv）が見られた。一方、この期間暖水渦が黒潮に接近し、2つの渦の移動が同期していた。黒潮流量の増加は黒潮自体の季節変動によるものか、暖水渦の影響によるものか判断できない。海面高度データから表面流速を定量化し、現場観測データとの比較が重要な検討課題である。しかし、渦と黒潮の相互作用が、冷水渦の移動すなわち黒潮小蛇行の東進にとって、トリガとなった可能性がある。今後の課題として、渦と流れの相互作用を検討する必要がある。そのためには、何らかの方法で平均海面高度を正確に算出することが重要である。また海面高度偏差に表れにくい傾圧高次モードを加味した考え方が重要となるであろう。

## 5 まとめ

AVISOが加工・配布する海面高度計のアノマリデータを用いて、日本南岸における黒潮流路の変動の検出と中規模渦の西方伝搬、九州南東方の黒潮小蛇行に伴う渦の追跡など中規模擾乱の検出を試みた。

1992年10月から1993年2月の対象期間中、九州南方のトカラ海峡東方における黒潮小蛇行の発達と北上、九州南東方での捕捉、小蛇行の東進という現象が海面高度計データから検出できた。これは、海上保安庁発行の海洋速報など他の独立した観測データで見られる変動と一致するもので、本研究で使用したT/Pデータの処理手法の妥当性が示された。また、伊豆海嶺上に存在していた暖水渦は西進し、5ヶ月かかって九州南方の海域に到達

することが、衛星観測データにより明らかになった。これは、人工衛星の特徴である広域反復計測によって初めて検出が可能となるものである。しかし、遠州灘沖では中規模擾乱の分布が広がり、中規模擾乱を完全に分解できたかどうかは不明である。これはT/Pの衛星軌道間隔が疎であることが影響するものと考えられる。

トカラ海峡東方での黒潮小蛇行について、その移動・発達と黒潮流量の変動を表した。小蛇行の北上期の前後には、冷水渦が発達・強化していた。この時のトカラ海峡を通過する黒潮流量は増大傾向にあった。北上し捕捉された黒潮小蛇行が解放され、流下方向に移流される時期には、黒潮流量には若干の増加が見られた。一方、この時期には、伊豆海嶺上から西進してきた暖水渦が冷水渦に接近し、両者が渦対のように時計回りに回転する挙動を示した。黒潮小蛇行の東進開始にとって、黒潮と渦の相互作用がトリガになった可能性がある。

## 謝 辞

本研究を開始するにあたって市川香博士（九州大学）には有益な助言を頂きました。また、貴重なデータを提供して頂いたAVISO及び科学技術庁「黒潮開発利用の観測研究」におけるトカラ係留グループに感謝いたします。この研究は海洋科学技術センターにおけるプロジェクト研究「中高緯度海域における観測研究（亜熱帯）」及び特別研究「海洋観測衛星を活用した観測手法の研究」のもとで行われたものです。

## 参考文献

- 1) 三寺史夫・吉川泰司・田口文明・中村啓彦：高解像度黒潮親潮システムモデル：序報，海洋科学技術センター試験研究報告，36，147-155。（1997）
- 2) Hanawa K., Y. Yoshikawa and T. Taneda : TOLEX-ADCP monitoring, Geophysical Res. Lett., 23, 2429-2432. (1996)
- 3) Yoshikawa Y., K. Ando, H. Mitsudera, K. Muneyama and K. Hanawa : Data report: Tokyo-Ogasawara Line Experiment XBT monitoring 1988-1995, JAMSTEC Data Report, 102pp.(1996)
- 4) 山本浩文・美澄篤信・吉川泰司・吉岡典哉・石川孝一・菅野能明・木下秀樹・寄高博行・四竈信行・山城 徹・櫻井仁人・前田明夫：トカラ海峡での黒潮変動調査，海洋科学技術センター試験研究報告，37，67-111。（1998）

（原稿受理：1997年12月10日）