

コロラド大学による 海面高度分布速報データの利用について

前川陽一*・内田 誠*・永田 豊**

*三重大学生物資源学部附属練習船勢水丸

**財団法人日本水路協会海洋情報研究センター

Utilization of the near-real-time altimeter data given by Colorado Center for Astrodynamics Research of University of Colorado

Yoichi MAEKAWA*, Makoto UCHIDA*, and Yutaka NAGATA**

*Training/Research Vessel Seisui-maru, Faculty of Bioresources, Mie University

**Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association

Abstract

Colorado Center for Astrodynamics Research of University of Colorado (CCAR) publishes near-real-time TOPEX/POSEIDON (T/P) and ERS-2 altimeter data through its WWW site every three days. The sea surface dynamic height (SSDH) level distribution in Japan and its neighboring waters is distorted due to the limited accuracy of the standard geoid surface, so that the Kuroshio path is hardly detectable. However, it is useful for detecting the generation, movement and disappearance of oceanic meso-scale eddies near the Kuroshio path. The techniques for utilizing the satellite altimeter data are discussed with special reference to the warm eddies found off the Enshu-nada sea, along the pacific coast of central Japan, for the period from January 2000 to March 2001.

Key words : Near-real-time altimeter data • Sea level distribution • CCAR of University of Colorado • warm eddies off Enshu-nada • small scale meander of the Kuroshio

1 はじめに

コロラド大学の工学・応用科学部(College of Engineering and Applied Science)にある宇宙力学研究コロラドセンター(CCAR: Colorado Center for Astrodynamics Research)では、TOPEX/POSEIDON (T/P) および ERS-2 のふたつの衛星による海面高度計の資料から求めた世界の海面高度分布を、準リアルタイムでウェブサ

イトを通して提供するサービスを行っている。地衡流のバランスの下で流れている海流は、海面の等高線に沿って、等高線密度に比例した速さで流れるから、正確な海面高度資料から直接に、船舶の運航に役立つ情報が得られるはずである。コロラド大学の解析は世界を対象としたものであるが、基準となるジオイド面の正確な推定は、現状ではカリブ海と湾流域を除いて行われていない。黒潮域等については基準となるジオイド面の決定精度が十

平成 13 年 6 月 29 日受理

*514-2221 三重県津市高野尾町 2072-2

**104-0061 東京都中央区銀座 7-15-4 三島ビル 5F

分ではなく、ガルフストリームと違って、黒潮流路の再現も成功していないのが現状である。しかし、黒潮周辺の暖水塊や冷水塊の消長等のような小規模短周期現象については、前後の画像との比較から、有意義な情報を得ることは可能であり、三重県科学技術振興センター水産研究部や和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場あるいは、(財)日本水路協会海洋情報研究センター(海洋情報室)等では、漁海況速報あるいは海況速報の作成の際に、この衛星高度計による高度データを参考に行っている。

衛星を用いた計測は、広域な海況のリアルタイム情報を得るための有効な手段であって、NOAA衛星等による表面水温画像は広く利用されている。しかし、衛星画像は、雲の存在時には得られないし、夏季では表面水温分布の水平コントラストが小さくなって海況を判断することが難しくなる。そこで、我々としても連続的に得られる高度計による海面高度分布の情報を、海況の判断・船舶の運航に利用するための手法について検討した。検討したのは、2000年1月から2001年3月までの資料であるが、これはこの時期本州南方海域、遠州灘沖の黒潮

流路の岸側に出現した持続性の高い異常な暖水塊が出現したりことから、コロラド大学の海面高度画像の利用方法を検討するのに適切と判断したことによる。

2 コロラド大学が提供している衛星高度計による海面高度分布画像

コロラド大学の宇宙力学研究コロラドセンター(CCAR)では、T/PおよびERS-2によるふたつの衛星高度計の資料から、海面高度分布(および、それから計算された表層海流分布)・有義波高分布等を求めて、3日毎にウェブサイトを通して公開している。しかし、海域を限ると実際の衛星の飛来・観測頻度が不規則な場合がある。例えば熊野灘・遠州灘沖に注目した場合、衛星の軌道のずれ、あるいは、観測の失敗等により情報画像の更新ができなかったことが原因で同一の画像が3回くらい連続して提供される場合がある²⁾。

ガルフストリーム水域やメキシコ湾域については、正確なジオイド面の推定がされており、そこからの海面高度が与えられている。従って、海面高度データから求められた海流分布図は、Fig. 1, Fig. 2にそれぞれ示すよ

TOPEX/ERS-2 Analysis Nov 2 2000

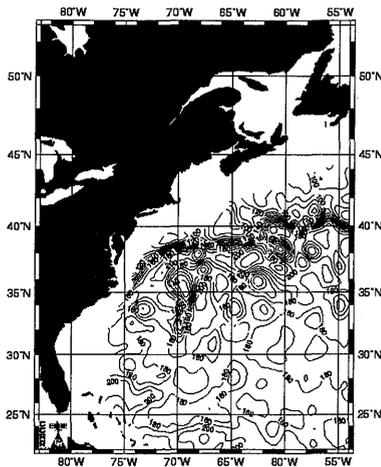


Fig. 1 Distribution of sea surface dynamic height (SSDH) of Gulf Stream area derived from the T/P and ERS-2 altimeter data on November 2, 2000. (from CCAR's WWW)

SSDH was determined as anomaly (cm) from a temporary mean geoid surface.

TOPEX/ERS-2 Analysis Nov 2 2000

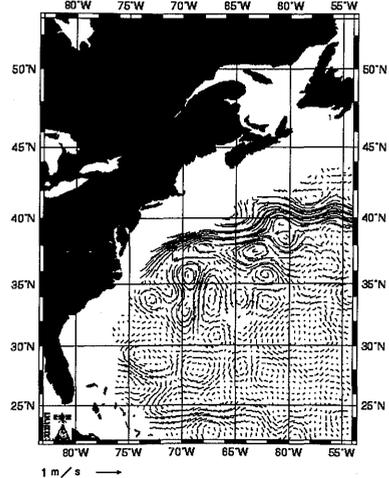


Fig. 2 Water movement patterns of Gulf Stream area estimated based on SSDH derived from the T/P and ERS-2 altimeter data on November 2, 2000. (from CCAR's WWW)

Arrow indicates velocity equivalent to 1m/sec.

うに、ガルフストリームの流路等をよく表している。しかし、これらの図の海流では海岸近くの部分は空白になっている。世界の海を対象とした海面高度・海流分布図から、ガルフストリーム水域の部分抜き出したものが Fig. 3 であるが、この場合には Fig. 1 と違い陸岸近くまで海面高度分布が示されている。しかし、基準のジオイド面の精度に限界があるためか、得られている海面高度分布は必ずしも現実的なものとは言えない。特に東流するガルフストリームの南にそれに平行する形で強い西流が現れている。ここでの流れは通常東を向いているはずである。

世界を対象とした画像には、一時「平均値からの偏差」(2000年12月時点)と表記されていたが、平均値の求め方は示されていない。最近では(2001年3月時点)、この表記自体が除かれて世界を対象として求められる粗い精度のジオイド面からの海面高度分布として示されるようになってきている。黒潮水域を含む日本近海については、この世界を対象とした解析結果を用いることになるが、Fig. 4, Fig. 5 に示すように、房総半島沖から紀伊半島東岸に向かう西向きの流れの存在が示唆されており、黒潮流路の再現にも成功しているとは言い難い。しかし、和歌山県農林水産総合技術センターでこれらの画像を動画の形で編集して見た場合には、紀州沖を通過

していく海洋渦の情報が得られており(竹内淳一, 私信)、海洋の短周期変動については有効な情報が得られる可能性が大きい。

TOPEX/ERS-2 Analysis Nov 2 2000

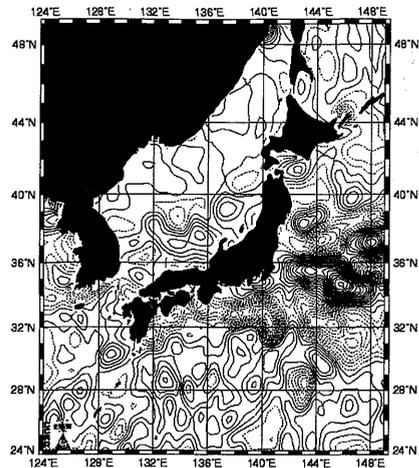


Fig. 4 Distribution of SSDH of Japanese waters on November 2, 2000.

Symbols are same as in Fig. 3

TOPEX/ERS-2 Analysis Nov 2 2000

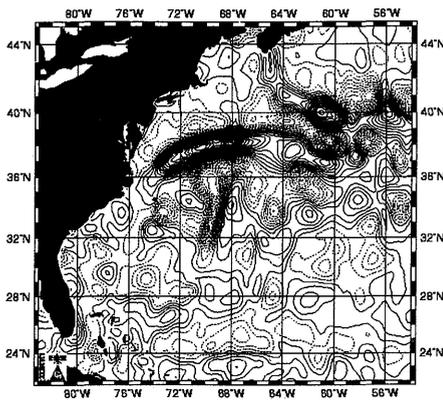


Fig. 3 Distribution of SSDH of Gulf Stream area on November 2, 2000, from the world ocean SSDH. (from CCAR's WWW)

Contour intervals with solid line are +5 cm while those with dotted line are -5 cm.

TOPEX/ERS-2 Analysis Nov 2 2000

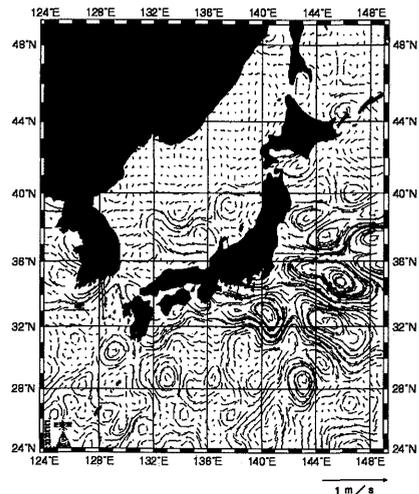


Fig. 5 Water movement patterns of Japanese waters estimated based on SSDH (Fig. 4) derived from the T/P and ERS-2 altimeter data on November 2, 2000. (from CCAR's WWW)

3 紀州沖・熊野灘沖・遠州灘沖での画像情報の特性

2000年から2001年にかけての本州南岸沖の黒潮流況は非常に変動性に富んでいて、黒潮流路の北側岸寄りに従来ほとんど観測されなかったような暖水塊がしばしば発生した。特に2000年3月初めに発生した暖水塊は9月末まで持続し、2001年1月に発生したものは2001年4月に入っても存続を続けていた¹⁾。

3-1 暖水塊が見られない時期の衛星高度分布と海況

最初に、暖水塊が発生していなかった時期に得られた衛星による海面高度分布を見てみよう。この章では、日本南岸、紀州沖・熊野灘沖・遠州灘沖を対象に拡大した分布図を用いることにする。2000年1月4日の海面高度分布をFig. 6aに示す。また、(財)日本水路協会海洋情報研究センター海洋情報室が発行した相模湾・伊豆諸島近海海況速報から、1月6日作成のものを、比較のためFig. 6bに示す。この海況速報は、基本的には海上保安庁水路部が月2回発行する海洋速報に用いられる資料を用いているが、衛星資料や、得られる限りの音波ドップラー流速計(ADCP)資料等を用いてこの海域について

詳細な検討を加えて、週1回の割合で発行しているものである。

Fig. 6aの衛星による海面高度分布には北緯33度に沿った低高度の帯が表れており、北緯33度から34度の間に強い西流の存在を示唆する形になっている。しかし、Fig. 6bの海流図に示されるように、この部分にそのような流れはない。この時の黒潮は本州南岸で大きく蛇行しており、東経139度付近では、流軸は北緯32度付近にある。2000年1月7日のNOAA衛星によって得られた表面水温分布をFig. 7aに示すが、この黒潮流路の様子は、表面水温分布にもよく現れている。しかし、Fig. 6aの海面高度分布図には、黒潮流路に対応するような構造は見られない。海面高度分布には、上記の北緯33度線を中心とする低高度の帯の北側岸沿い、および南側北緯31度以南に、東西につながる高高度の帯が見られる。若干の変動があるものの、この3本の帯は検討の対象とした期間の全ての海面高度分布に共通して現れており、基準として用いられているジオイド面に問題があることを示していると考えられる。全世界を対象として決められているジオイド面は、衛星による重力分布等の観測資料を利用しているが、その場合には短波長成分

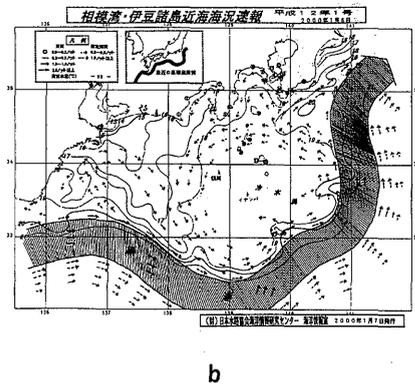
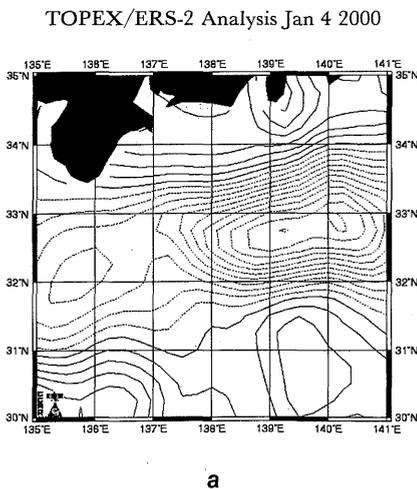


Fig. 6 a Distribution of SSDH of the waters along the southern coast of Japan on January 4, 2000. (from CCAR's WWW)

Fig. 6 b Oceanographic condition in Sagami bay and Izu islands on January 6, 2000. (from a prompt report of Japan Marine Information Research Center)

Oceanographic conditions (Sea surface temperature, sea surface water velocity, and the Kuroshio path) are shown based on information obtained for a week before October 6, 2000.

の精度に若干問題を生じ得る。ここに述べた南北に並んでいる3本の帯は、そのような誤差に伴って生じたと推定される。

暖水塊が見られない場合のもうひとつの例として、2000年10月24日の海面高度分布と、10月26日作成の相模湾・伊豆諸島近海海況速報を、それぞれ Fig. 8 a, bに示す。この場合も10月23日のNOAA衛星による表面水温分布 (Fig. 7 b) は、Fig. 8 bの海況によく対応している。この場合にも上に述べた北緯33度に沿った低高度の帯およびその南北にある高高度の帯が認められる。従って、この低高度部分と高高度部分の高低差を

平均した形で海面高度分布を考察する必要があることがわかる。しかし、Fig. 8 aで低高度部が東経140度から141度の間で南に延びた形になり、負の高度が北緯31度付近まで達しているのが認められる。この狭い低高度の南方へ張り出しは、この観測日の前後に現れた特徴的なものであり、9月末から幅広い張り出しが生じ、10月9日頃から幅が狭く、より南方に延び11月2日頃まで明確に認められる。これに対応して、海況速報にも9月末頃から黒潮の流路の南へのシフトが見られており、10月12日、19日には狭い冷水域（低高度）がこの位置で南に張り出していた。10月26日の Fig. 8 bでは、やや

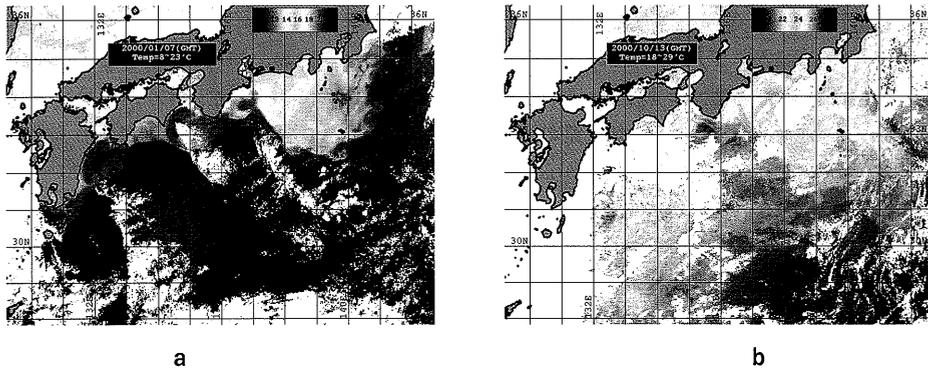


Fig. 7 Distribution of sea surface temperature by satellite NOAA.
a: on January 7, 2000, b: on January 23, 2000.

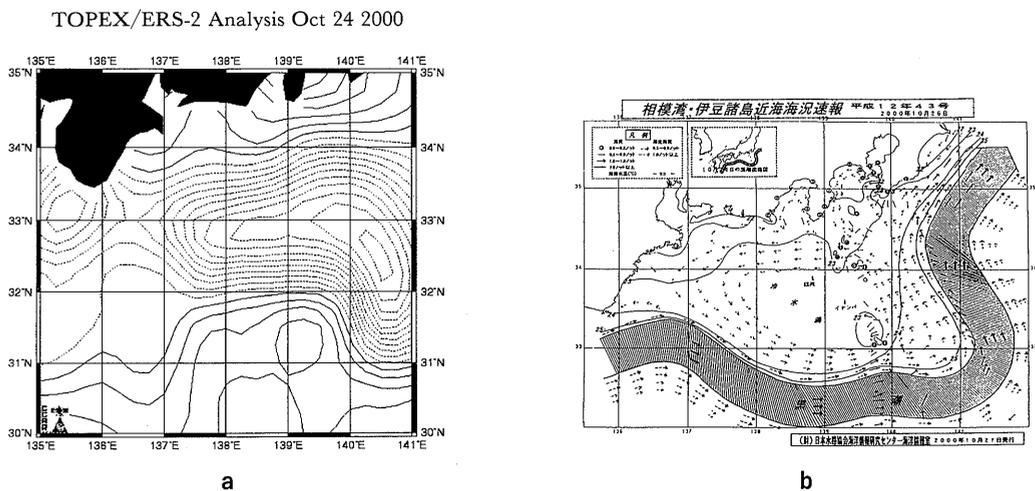


Fig. 8 Distribution of SSDH of the waters along the southern coast of Japan. (from CCAR's WWW)

不明確になっているものの、そのような傾向が認められる。全ての図は、その直前のある期間の観測値を基に作成されているが、それぞれの図でその期間が微妙に食い違っているから、若干の時間的なずれが生じるのはやむを得ない。そのことを考慮すれば、このような比較的短周期の、小規模の変動に関しては、衛星による海面高度分布は海況図によく対応しているといえることができる。

3-2 2000年3月初旬から9月中旬に現れた暖水塊

2000年3月2日から3月23日までに作成された海況速報を Fig. 9 に、ほぼそれぞれの時期に対応する海面高度分布を Fig. 10 に示す。3月初めに、伊豆半島の沖合において狭い範囲で黒潮の流路が北偏し、大きなくびれを生じた (Fig. 9 a, b) が、3月16日には遠州灘から熊野灘にかけて東西に延びる暖水帯を残した形で黒潮の流路は南東沖に去り、3月23日には黒潮流路のくびれは解消した。そして、東西に延びた暖水の帯から切り離されたと考えられる孤立した暖水塊が遠州灘沖に発生した。3月4日の海面高度分布 (Fig. 10 a) を見ると、黒潮流路の北偏に対応して3-1章で述べた北緯33度に沿って東西に延びている見かけ上の低高度の帯が、伊豆半島沖 (東経139度付近) で比較的高高度の部分で東西に分断された形になっている。海面高度では岸側から沖に延びているように見えるが、これは背景のジオイド面の歪みによる見かけ上のもので、3月2日の海況速報図のように暖水が沖から岸に向かって延びていると解釈すべきである。3月9日には黒潮流路のくびれ部分の幅が狭くなり、北端の位置も南に若干下がっている (Fig. 9 b)。3月10日の海面高度分布 (Fig. 10 b) では、この黒潮流路のくびれの弱まりに対応して、高高度部分が減少し、くびれの先端部が切離した形になっている。この時のくびれの先端部が切離暖水塊のような構造を持っていたかどうかは、実際の観測資料がないのでわからない。しかし、この海域のジオイド面が正確に求まっていれば、そのような構造を衛星海面高度分布から推定できる可能性がある。

3月16日には東西に延びる暖水帯を残した形で黒潮の流路は南東沖に去ったが、これに対応してこの日の海面高度分布 (Fig. 10 c) では、北緯33度以南は低高度部になっており、暖水帯に対応して北緯34度沿いに東西に長くつながった高高度部が現れている。3月23日

には遠州灘沖に孤立暖水塊が生じたが (Fig. 9 d)、海面高度分布 (Fig. 10 d) の高高度部も遠州灘沖に局限された形になっている。

この遠州灘沖の暖水塊は、9月中頃まで存続し、その後紀伊半島のすぐ東方で黒潮に吸い込まれる形で消滅した模様である。暖水塊の消滅直前の8月30日に、Fig. 11 a に示すような観測線に沿って XBT を用いた暖水塊の断面観測を行った。Stn. 1~3に見られる右上がりの水温勾配は、黒潮の強流帯に対応し、Stn. 7~10に見られる等水温のくぼみが暖水塊に相当している。その結果の水温断面を Fig. 11 b に示すが、この断面での200 m 深の水温は12℃程度であり、これが暖水塊の中心付近の水温を代表するものであるとすると、暖水塊の勢力はかなり弱まっていたと推定される。Fig. 12 に8月28日の海面高度分布を示すが、伊豆半島付近から延びた高水位部の端が、北緯34度線に沿って熊野灘まで延びているのが、この暖水塊に対応しているであろう。

3-3 2001年1月に発生した暖水塊

2001年1月に遠州灘沖に発生した暖水塊は、2000年3月発生の場合と同様の過程を経て形成された。2001年1月4日の海況速報 (Fig. 13 a) に見られるように、黒潮流路に現れたくびれが伊豆半島沖で接岸し、1月11日にはくびれは真西に向かう形になり、その先さらに西方熊野灘沖まで暖水舌が延びていた (Fig. 13 b)。黒潮の流路は、その後東方に去り、伊豆諸島の沿岸水位から判断して1月18日には伊豆海嶺の東側を北上していた。これに伴い、Fig. 13 c に見られるように、東方に延びた暖水舌から孤立暖水塊が遠州灘沖に発生したと考えられる。しかし、2000年3月の黒潮流路の接近は、東西幅が比較的狭い暖水の北方への侵入によって生じ、黒潮はくびれの東で再び沖に向かって流れていたのに対し、2001年1月では、黒潮は伊豆半島で岸近くに接近した後、そのまま本州南岸に沿う形で房総半島沖まで流れていた。

Fig. 13 の海況速報図のそれぞれ対応する海面高度分布を Fig. 14 a, b, c に示す。2000年3月の場合には、すでに見たように、黒潮の伊豆半島接近が狭い幅であったのに対応して、3-1章で論じた北緯32度から33度の間を東西に延びる構造的な低高度帯が、東経139度付近で途切れた形を取ったのに対し、2000年3月の場合に

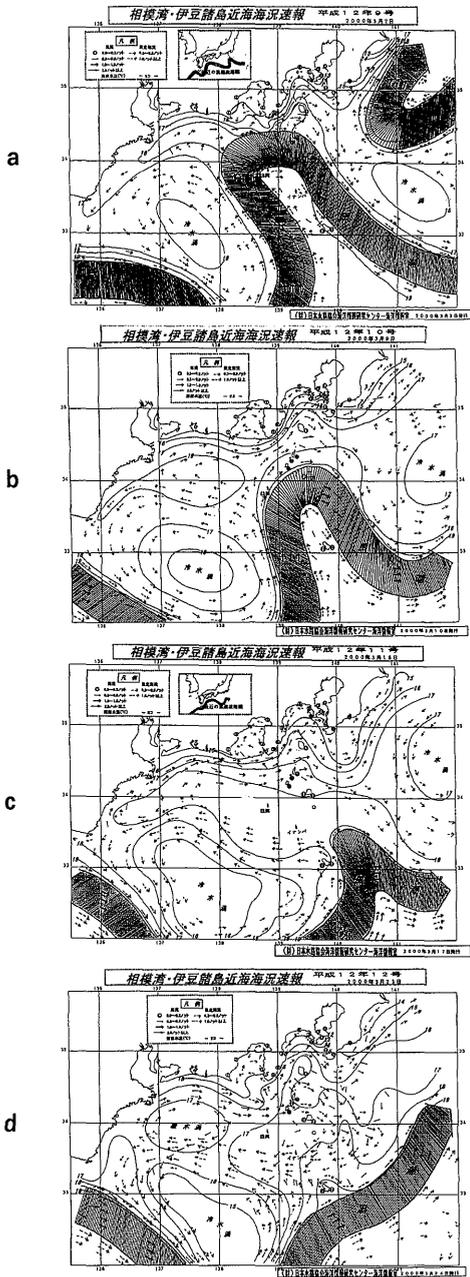


Fig. 9 Oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands when a warm eddy was observed in March 2000. in the Enshu-nada sea along the Pacific coast of central Japan (from prompt report of MIRC)

a: on March 2, 2000, b: on March 9, 2000,
c: on March 16, 2000, d: on March 23, 2000.

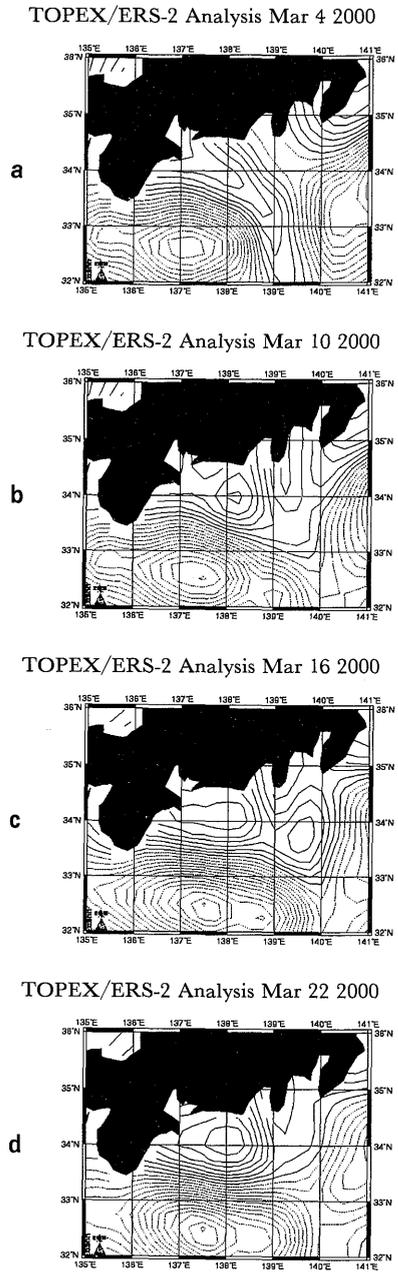


Fig. 10 Distribution of SSDH in Sagami bay and around Izu islands when a warm eddy was observed in March 2000 in the Enshu-nada sea along the Pacific coast of central Japan. (from CCAR's WWW)

a: on March 4, 2000, b: on March 10, 2000,
c: on March 16, 2000, d: on March 22, 2000.

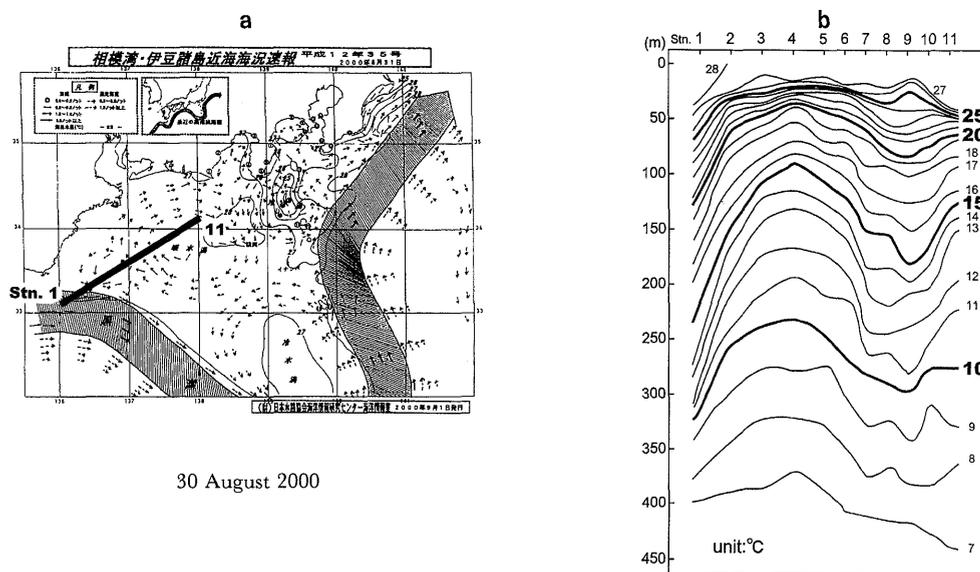


Fig. 11 Vertical profiles of water temperature of a warm eddy in Sagami bay and around Izu islands.
 a: XBT cast line of T/S Seisui-maru, oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands on August 30, 2000. from a prompt report of MIRC,
 b: Vertical profiles of water temperature of a warm eddy.

は東西に延びる構造的な低高度帯が目立ち、黒潮の北上部を示すような海面高度分布は認め難い。黒潮の北上部を挟んで、西側が低高度（低温）、東側が高高度（高温）であったはずであるが、この遷移が比較的ゆっくりとしていたため、衛星による海面高度分布に明確に現れなかったのであろう。しかし、Fig. 14の各図で、北緯34度付近の海面高度分布に注目すると、海況の変化に対応した変化が認められる。すなわち、1月4日のFig. 14aで駿河湾の沖合で非常に明確な形で高高度部が生じており、少なくともこの部分に厚い黒潮系暖水の侵入があったことが示されている。1月10日（Fig. 14b）になっても高高度部中心の高さは同じであるが、高高度部を取り巻く等水位線の間隔は特に東西方向に広がっている。西方で伊勢湾沖から熊野灘沖まで高高度部が広がっているのは、Fig. 13bの西に延びる暖水舌に対応していると考えられるし、東側への広がり、黒潮北上部の東進が始まっていることを示しているのであろう。1月18日の海況速報（Fig. 13c）で、遠州灘沖で孤立暖水塊が発生したことを推定しているが、1月19日の海面高度分布図（Fig. 14c）でもこれに対応して高高度部がふたつに分かれる傾向を示している。暖水塊に対応する西側の高

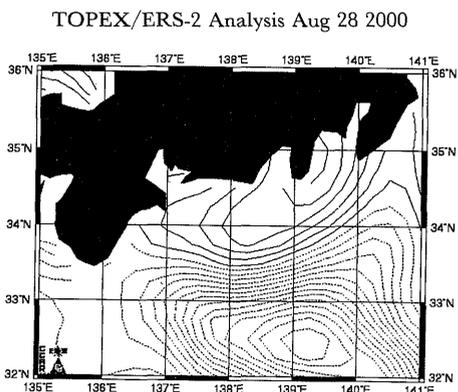


Fig. 12 Distribution of SSDH in Sagami bay and around Izu islands on August 28, 2000.
 (from CCAR's WWW)

高度部の位置がやや東寄りであるが、基準のジオイド面の精度からは、その差は議論できないように思われる。しかし、西側の等高線間隔が再び混んだ形になっているのは、暖水舌の暖水が集められて、孤立暖水塊が形成されたことを示すのであろう。東側の高高度部については、黒潮北上部の東進と関係していると考えられるが、3-1

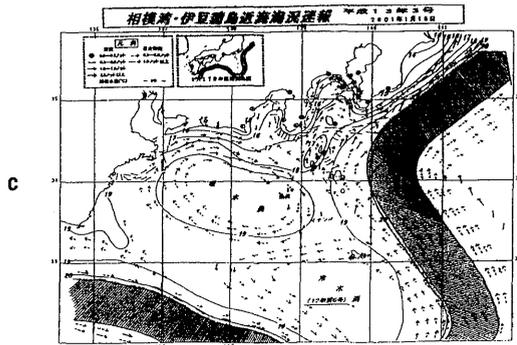
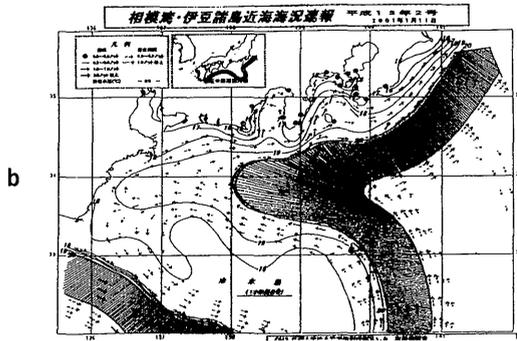
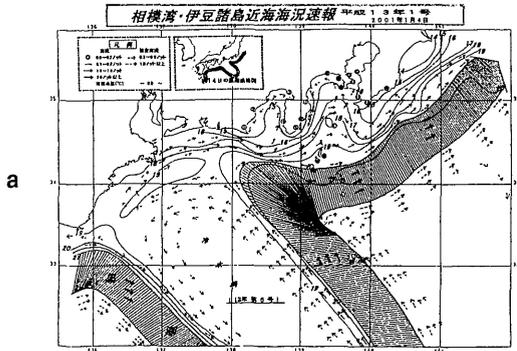
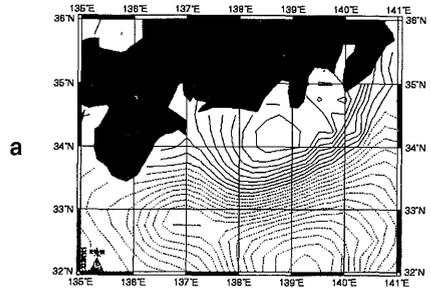


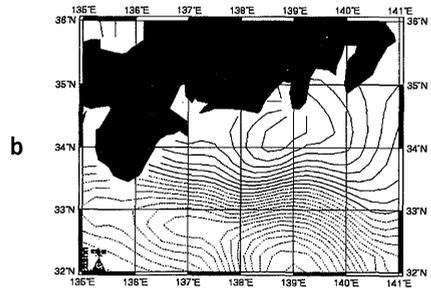
Fig. 13 Oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands, when a warm eddy was observed in January 2001 in Enshu-nada sea along the pacific coast of central Japan. (from prompt report of MIRC)

a: on January 4, 2001, b: on January 11, 2001,
c: on January 18, 2001.

TOPEX/ERS-2 Analysis Jan 4 2001



TOPEX/ERS-2 Analysis Jan 10 2001



TOPEX/ERS-2 Analysis Jan 19 2001

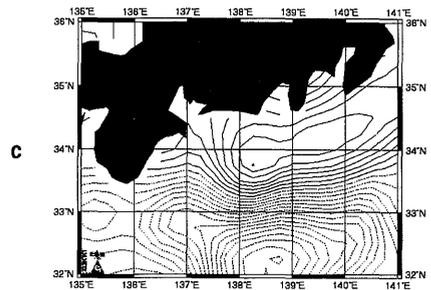


Fig. 14 Distribution of SSDH in Sagami bay and around Izu islands when a warm eddy was observed in January 2001

a: on January 4, 2001, b: on January 10, 2001,
c: on January 19, 2001. (from CCAR's WWW)

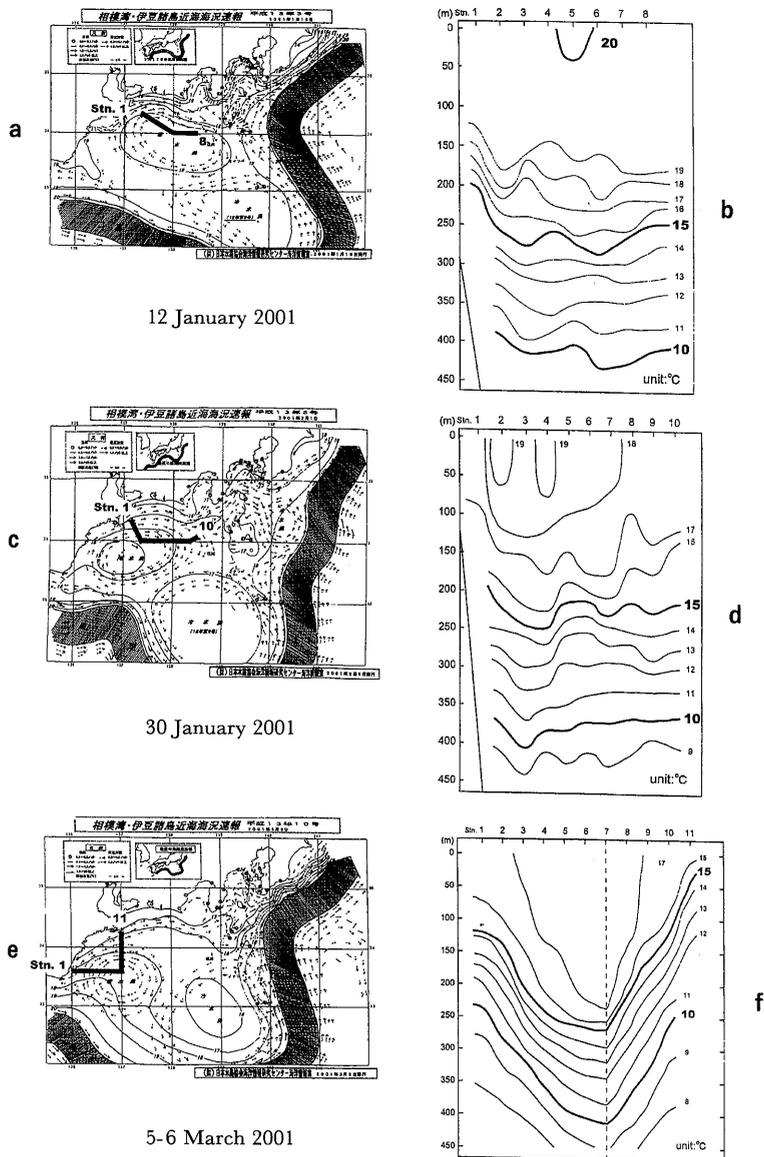


Fig. 15 Vertical profiles of water temperature of a warm water eddy in Sagami bay and around Izu islands.

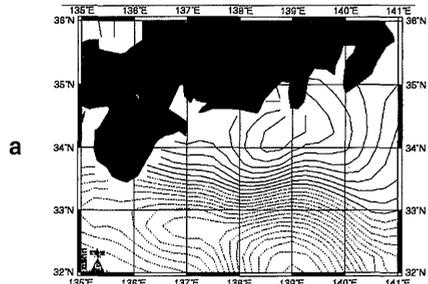
- a: XBT cast line of T/S Seisui-maru, and oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands on January 12, 2001, from prompt report of MIRC.
- b: Vertical profiles of water temperature of the warm water eddy.
- c: XBT cast line of T/S Seisui-maru, and oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands on January 30, 2001, from prompt report of MIRC.
- d: Vertical profiles of water temperature of the warm water eddy.
- e: XBT cast line of T/S Seisui-maru, and oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands on March 5-6, 2001, from prompt report of MIRC.
- f: Vertical profiles of water temperature of the warm water eddy.

章に述べた東西に延びる衛星海面高度分布に現れる構造的な高高度部（岸沿い）および低高度部（北緯 33 度沿い）の存在から、その特性の議論をするのは難しい。

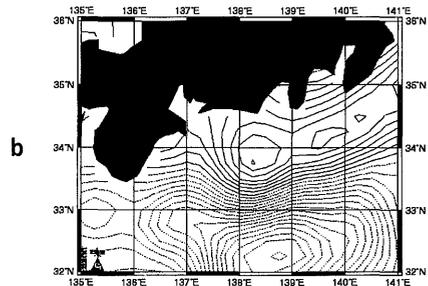
2001 年 1 月に発生した暖水塊については、1 月 12 日、1 月 30 日、3 月 5～6 日の 3 回、勢水丸による XBT 観測を実施し、暖水塊の存在を確認している。それぞれの観測結果を Fig. 15 a, b, c に示し、ほぼ対応する時期の海面高度分布を Fig. 16 a, b, c にそれぞれ示す。1 月 12 日の観測では、Stn. 1 を除き、暖水塊の中央部が観測されており、単調な断面が示されている (Fig. 15 a) が、その部分での 200m 深の水温は 18℃ 前後の値を示しているのが注目される。この海域での黒潮流軸の指標となる水温は、200m 深で 15～16℃ であるから、このことは黒潮流軸よりもさらに沖側の高温水が暖水塊に取り込まれたことを示している。1 月 30 日の観測は暖水塊の縁辺部に沿って観測線が設定されたので、200m 深の水温は 15～16℃ と比較的低くなっている、ほぼ中心点付近 (Stn. 5) まで観測できた 3 月 5～6 日での 200m 深の最高水温は 17℃ を超えている。3 月 5～6 日には、暖水塊の直径は著しく減少しているが、発生後約 2 ヶ月経過しても、中心部の水は黒潮流軸よりも沖側の特性を保持し続けていることがわかる。

Fig. 16 に示された海面高度分布を見ると、1 月 10 日 (Fig. 16 a) および 1 月 28 日 (Fig. 16 b) には暖水塊に対応する等高度線の閉じた高高度部が認められる。この両日の分布図を比較すると、高高度部の位置が若干西へ移っている。これに対応する暖水塊の西方への移動は、Fig. 15 a の海況図と Fig. 15 b の海況図の間でも認められ、このような現象も衛星海面高度分布の情報から得られることが示唆される。しかし、高高度部の位置は、海況図の暖水塊の位置よりも東方に見られる傾向がある。一年間の衛星海面高度画像を全部調べて見ると、伊豆半島のすぐ沖に高高度部が認められる頻度が非常に大きい。海洋現象としてこのような高高度が現れることは考え難く、これは基準のジオイド面の歪みに基づく可能性が高い。そうであれば、暖水塊に対応した高高度部の位置が東にずれて現れることは極めて自然である。これに対し、3 月 5 日の海面高度分布には閉じた等高度線を持つ高高度部は現れない。しかし、東経 137 度 30 分付近で等高度線の南への張り出しが見られ、おそらくこの部分が暖水塊に対応しているようである。しかし、Fig. 15 c の

TOPEX/ERS-2 Analysis Jan 10 2001



TOPEX/ERS-2 Analysis Jan 28 2001



TOPEX/ERS-2 Analysis Mar 5 2001

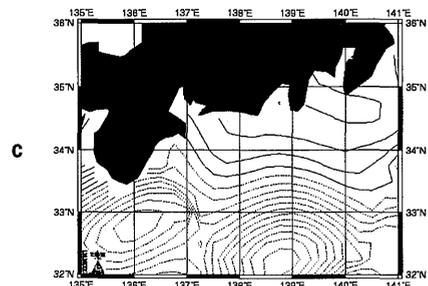


Fig. 16 Distribution of SSDH in Sagami bay and around Izu islands corresponded to XTB cast line of T/S Seisui-maru.

a: on January 10, 2001, b: on January 28, 2001, c: on March 5-6, 2001.

水温断面図を見ると暖水塊の直径は小さくなっているものの深い構造を維持しており、かなりの水位上昇が起きていると思える。今まで見てきた、種々の例でも、熊野灘付近の暖水塊の存在が、海面高度分布には明確に認められない傾向がある。一年間の海面高度分布を概観してみると、この部分に低高度部がしばしば現れるが、これも基準ジオイド面の歪みに原因している可能性がある。しかし、伊豆半島沖に見られる高高度部ほど頻度が高くないようで、次章に述べる2000年1月発生した暖水塊ではこの部分に高高度部が現れており、さらに検討を加える必要がある。

2000年3月と2001年1月に発生した暖水塊はいずれも、伊豆半島沖から西方に向かって生じた黒潮のくびれ・暖水舌の侵入から生じた。南は、1984年の4月に同様の経過で発生した暖水塊を報告している³⁾。この暖水塊は1~2ヶ月の寿命を持っていたようであるが、衛星資料やADCP資料が十分でなく詳しい経緯はわからない。しかし、当時の限られた資料によっても明確に示されていることから考えて、伊豆半島沖から西方への黒潮のくびれから生じる遠州灘沖暖水塊は、規模が大きく、強度(暖水の及ぶ深さなど)も強いものになる傾向があるのではなかろうか。

3-4 2000年1~2月および2000年12月の暖水塊

2000年には3月に発生し、数ヶ月持続した暖水塊の他に、2月と12月にそれぞれ暖水塊の発生が観測されている。2000年2月の場合、Fig. 17に示すように1月20日頃に黒潮流路に東経138度付近でくびれが生じ(Fig. 17 a)、1月27日には黒潮流路のくびれの先端が北緯34度近くまで達し、そこから北西方向に暖水舌が伊勢湾口付近まで延びていた(Fig. 17 b)。2月3日には黒潮流路のくびれは小さくなり、黒潮は北緯33度付近まで戻った(Fig. 17 c)。しかし、暖水舌はそのまま取り残された形となり、2月9日の海況図はこの暖水舌から暖水塊が形成されたことを示している(Fig. 17 d)。この暖水塊は2月17日には熊野灘に移動し、その後黒潮流に飲み込まれたのか消滅した。

Fig. 17のそれぞれの海況図に対応する海面高度分布をFig. 18に示す。1月19日の海面高度分布(Fig. 18 a)で、黒潮流路の北方へくびれに対応した海面高度の高まりが御前崎沖に見られるが、さらにくびれが発達した1

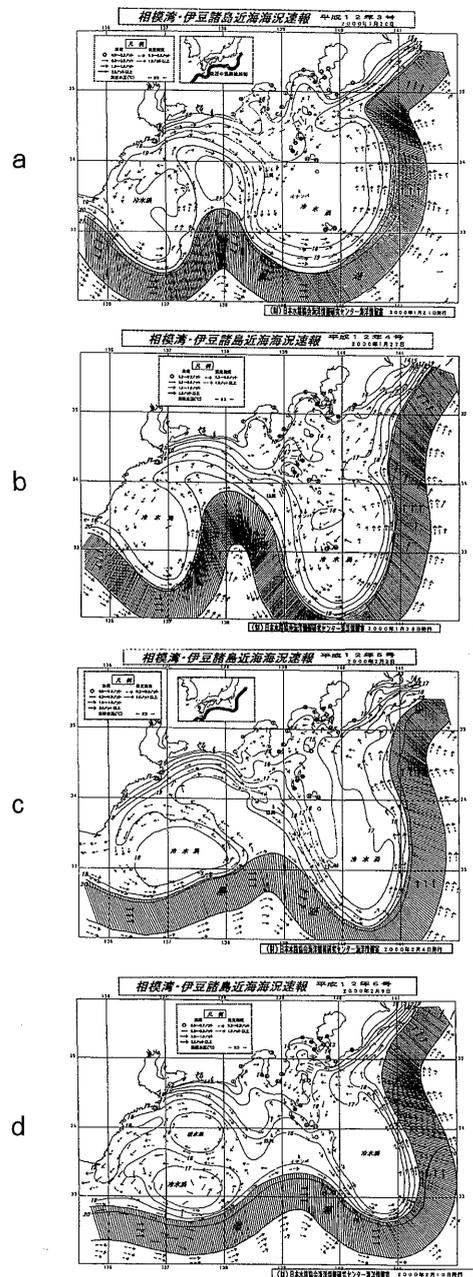


Fig. 17 Oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands when a warm eddy was observed in February 2000 in the Enshu-nada sea along the Pacific coast of central Japan. (from prompt report of MIRC)

a: on January 20, 2000, b: on January 27, 2000, c: on February 3, 2000, d: on February 9, 2000.

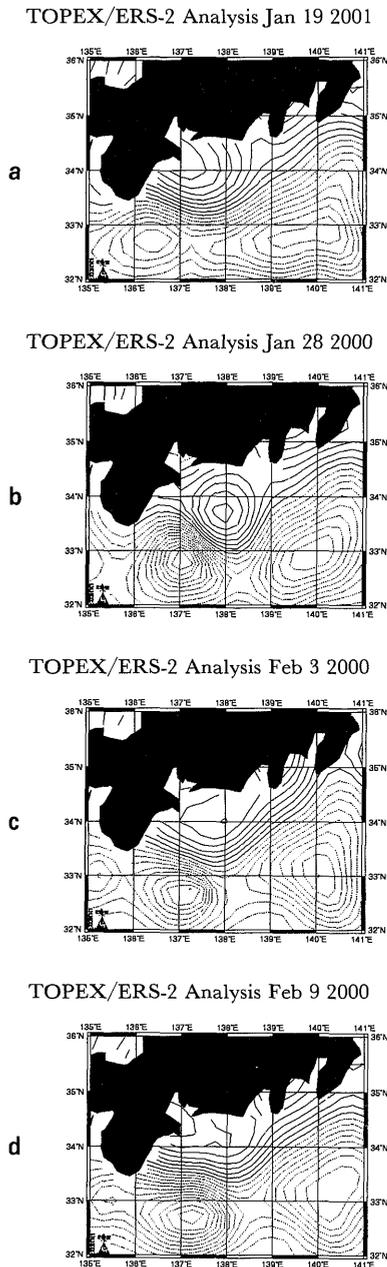


Fig. 18 Distribution of SSDH in Sagami bay and around Izu islands in February 2000 in the Enshu-nada sea along the pacific coast of central Japan.

a: on January 20, 2000, b: on January 27, 2000, c: on February 3, 2000, d: on February 9, 2000.

月27日の海面高度分布 (Fig. 18 b) では、より明確な高高度部が、北緯 33 度 45 分、東経 138 度を中心に認められる。この高高度部の影響は Fig. 18 a の場合よりもさらに南方に延びていて、北緯 32 度から 33 度付近に見られる構造的な低高度部を東経 137 度 30 分あたりで、東西に分離した形を生み出している。基準ジオイド面に現れる構造的な低高度の帯を考慮すれば、この形状は、流路のくびれに伴う黒潮流の北方への侵入によく対応しているといえる。黒潮流路が南へ戻った2月3日の分布 (Fig. 18 c) では、この高高度部はより拡散した形となっているが、取り残された暖水舌の存在を示している。遠州灘沖に孤立暖水塊が生じた2月9日の分布 (Fig. 18 d) では、高水位部が西に移動し、高まりの中心は伊勢湾湾口になっている。西方への移動そのものは、海況変化に対応しているが、Fig. 18 の図全部で、伊勢湾口から大玉崎付近に高高度が現れる傾向がある。前章で述べたこの付近で低水位がよく見られるとしたことと矛盾するが、このことについてはさらに検討を加える必要がある。

2000年12月に生じた暖水塊は、紀伊半島潮岬すぐ東のところで生じた黒潮流路の小さなくびれから生じたものである。この暖水塊は12月7日頃発生し、12月末には消滅した短命の暖水塊であるが、比較的明確に暖水塊が認められた12月14日について、海況図と海面高度分布図を Fig. 19 に示す。この場合には海面高度分布には、暖水塊の存在を示すような兆候はほとんど認められない。Sekine and Okubo⁹⁾ は、同様に潮岬東方で発生した小暖水塊について報告しているが、その場合の暖水塊の構造は浅く 40m 程度であった。2000年12月に発生した小暖水塊も同様に浅い構造をしていたとすると、海面高度分布にその存在が現れないのは当然であろう。

4 おわりに

この論文では、コロラド大学 CCAR のホームページに公開されている2000年1月から2001年3月までの衛星の高度計による観測に基づく海面高度分布を、本州南方沖の海況、特にこの期間にしばしば出現した遠州灘沖の暖水塊と対比することによって、その利用方法を検討した。ガルフストリーム水域やメキシコ湾域を除くと、基準となるジオイド面の精度が限られており、黒潮流路に対応するような現実的な海面高度分布は与えられてい

TOPEX/ERS-2 Analysis Dec 14 2000

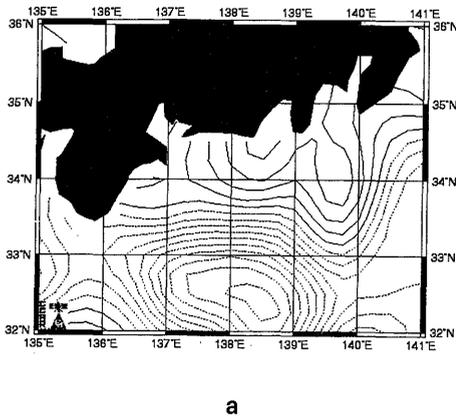


Fig. 19 a Distribution of SSDH in Sagami bay and Izu islands when a warm water eddy was observed in December 14, 2000. (from CCAR's WWW)

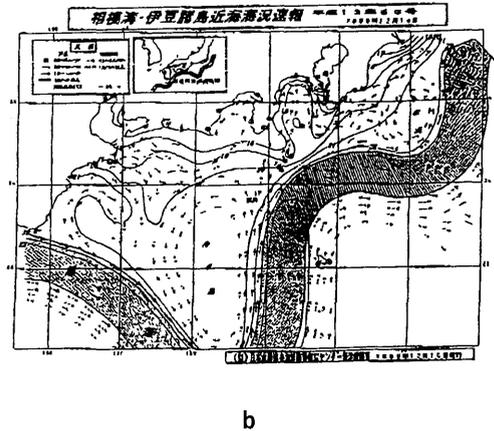


Fig. 19 b Oceanographic condition in Sagami bay and around Izu islands on December 14, 2000. (from prompt report of MIRC)

ない。基準のジオイド面の歪みから現れる構造的な海面高度パターンとしては、

- (1) 北緯 33 度線付近を中心に東西に連なる海面高度の低い帯
- (2) 北緯 31 度線の南に東西に連なる海面高度の高い帯
- (3) 日本の南沿に沿って東西に連なる海面高度の高い帯、特に伊豆半島先端付近に現れる海面高度の高い領域等が上げられる。特に (1), (2) の間に生じる海面高度勾配は、紀伊半島東岸に向かう強い西向きの流れを示唆する形となり、黒潮流路の再現を難しくしている。しかし、このような基準面の歪みを考慮した上で衛星による海面高度分布を見るならば、海況の変動、特に暖水塊の消長・移動のような現象の情報は十分読み取ることができる。特に、解析期間中に出現した遠州灘・熊野灘に出現した暖水塊は、この海域の海流特性を大きく変化させる。この海域は伊勢湾に面した松阪港を基地とする三重大学の練習船勢水丸が、実習海域あるいは調査海域に向かう際に必ず通過する海域であり、暖水塊の出現・消長・移動の知識は、運航の効率化のために重要である。この論文で明らかにされたように、衛星高度計の観測から得られた速報値が利用できる海面高度分布の特性と利用法を今後活用していきたいと考えている。

上述のような基準ジオイド面の歪みにもかかわらず、現在与えられている海面高度分布が海況の変動現象に有効に活用できるということは、逆に言うと海洋構造の知識から、この歪みを補正することが十分可能であることを示している。例えば、ある時期に対象海域を十分な密度・精度で観測し、海面高度の分布を力学計算で求めれば、それとその時の衛星による海面高度分布と比較することにより、基準となるジオイド面の補正值が求まることになる。そのような補正值の分布が求まれば、現在与えられている速報値を補正して、十分実用的な海面高度分布を求めるアルゴリズムを作ることは、決して難しいものではない。このような作業を米国の研究者に期待することは非現実的であろうから、われわれが今後努力していく必要があると考えている次第である。

謝 辞

この研究を遂行するにあたり有益な助言を頂き、また種々の励ましと協力を頂いた和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場の竹内淳一氏、三重県科学技術振興センター水産研究部の藤田弘一氏と久野正博氏に対して、心からの感謝の意を表させていただきます。また、諸種の指導・協力を頂いた三重大学生物資源学部の小池隆教授、

森川由隆助教授，練習船勢水丸の石倉勇船長をはじめとする乗組員および，(財)日本水路協会海洋情報研究センターの吉田昭三氏に感謝いたします。

和文要約

コロラド大学の宇宙力学研究所では，TOPEX/POSEIDON (T/P) や ERS-2 衛星の高度計の資料から求めた世界の海面高度分布を，準リアルタイムでウェブサイトを通して提供するサービスを行っている。日本近海については，基準として用いられているジオイド面の精度が十分でなく，そのままでは，得られた海面高度分布から黒潮流路を特定することは困難である。しかし，大洋中の渦や黒潮流路の小規模の蛇行や短周期変動に関する情報をこの海面高度分布から引き出すことは十分可能である。本研究では，2000年1月から2001年3月までに遠州灘沖にしばしば出現した暖水塊を例にとり，衛星高度計資料の活用手法について論じた。

引用文献

- 1) 前川陽一，内田誠，百瀬修，石倉勇．遠州灘沖暖水塊の断面観測．平成13年度第1回日本水産学会中部支部大会講演要旨集，25-26 (2001)．
- 2) ICHIKAWA K. Variation of the Kuroshio in the Tokara Strait Induced by Meso-Scale Eddies. *Journal of Oceanography*, **57**: 55-68 (2001)．
- 3) 南秀人．東海道沖暖水塊の構造．海と空，**64**: 199-216 (1989)．
- 4) SEKINE, Y., and T. OKUBO. Warm water structure that approaches to Kii Peninsula, separated from the straight zonal Kuroshio path. *La mer*, **38**: 87-93 (2000)．