

— 論文 —

黒潮小蛇行の東進に伴い 相模湾および東京湾湾口に発生した急潮*

石戸谷 博範[†]・北出 裕二郎[‡]・松山 優治[‡]
岩田 静夫^{**}・石井 光廣^{††}・井桁庸介[‡]

要 旨

黒潮系暖水の進入による急潮の発生過程とその引き金となる現象を究明するために、1998年5月下旬～6月上旬に東京湾湾口・相模湾沿岸に漁業被害をもたらした急潮について、水温・流速・潮位記録および海面水温分布を解析した。1998年5月下旬の急潮は、黒潮系暖水が伊豆諸島および伊豆海嶺の浅瀬に沿って北上し、大島西水道から相模湾へと波及した際に発生したものであり、それに伴う潮位上昇は湾内を反時計回りに伝播した。神津島と三宅島の潮位変動と NOAA の赤外面像から、この暖水の北上は東進する黒潮小蛇行が伊豆諸島南西の浅瀬(銭州)に引っかかるようにして引き起こされたものと推測された。さらに、1993年から1999年までの潮位記録を調べた結果、漁業被害をもたらすほど大規模な黒潮系暖水の進入による急潮は、神津島と三宅島での潮位上昇に加え、南伊豆と伊東の潮位差が急激に大きくなる時に発生していることが判明した。

キーワード：急潮，黒潮系暖水，黒潮流路，相模湾，東京湾口

1. はじめに

相模湾沿岸 (Fig. 1) では、水温変化を伴う非常に強い流れが突然発生し、沿岸漁業に甚大な被害をもたらすことがある。この現象は突発的で予測しがたいことから、漁業者の間で古くから急潮と呼ばれ恐れられていた。急潮についての先駆的研究は、木村 (1941) や宇

田 (1952) によりなされている。木村 (1941) は漁業者からの聞き取り調査や資料解析から現象を整理し、宇田 (1952) は急潮の要因について黒潮系水の突然の流入に低気圧の通過や大潮などが関係していると推察した。

近年、計測機器の発達に伴い係留観測や潮位・気象記録の解析がなされ、急潮の主要因は大きく分けて、台風や低気圧の通過と黒潮系暖水の進入であることが明らかになってきた (例えば、松山ら, 1992)。このうち、台風や低気圧による急潮は、相模湾東部や房総半島東側沿岸で発生した沿岸捕捉波の伝播に伴い生じることが明らかとなっている (北出ら, 1996; Matsuyama et al., 1997; 井桁ら, 2003)。一方、黒潮系暖水の進入による急潮は、暖水の進入に伴う内部ケルビン衝撃波 (Yamagata, 1980) あるいは沿岸密度流 (Kubokawa and

* 2005年5月26日受領；2005年12月14日受理
著作権：日本海洋学会，2006

[†] 神奈川県水産技術センター 相模湾試験場
〒250-0021 神奈川県小田原市早川 1-2-1

[‡] 東京海洋大学 海洋科学部，〒108-8477 東京都港区港南 4-5-7
主著者 e-mail address : ykitade@s.kaiyodai.ac.jp

** 漁業情報サービスセンター
〒104-0055 東京都中央区豊海町 4-5 豊海振興ビル 6F

^{††} 千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所
〒293-0042 千葉県富津市小久保 3091

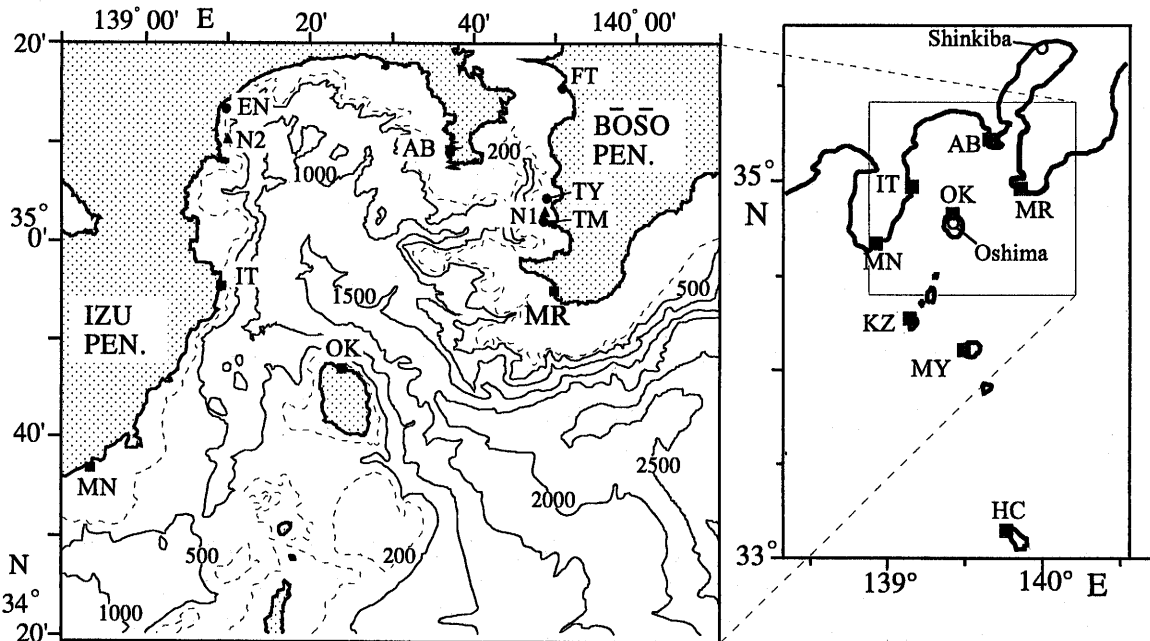


Fig. 1. Locations of observation stations and fishing set-nets damaged by the Kyucho. Numerals on the bottom contour line are in meters. Solid circle: mooring station, solid triangle: fishing set-net, solid square: tidal station, open circle: wind observation station.

Hanawa, 1984) であると推察されている。Matsuyama *et al.* (1999) は、1994年1月上旬に発生した黒潮系暖水の進入による急潮について解析し、進入した暖水が沿岸密度流的な挙動を示すこと、急潮の発生した期間が黒潮流路の接岸から離岸への遷移過程であったことを指摘している。一方、相模湾の隣に位置する駿河湾にも急潮が発生することを明らかにした稲葉ら (2003) は、石廊崎沖の黒潮の小さな蛇行と関係して急潮が発生した可能性を指摘している。しかし、これらの研究は、半月あるいは月ごとに得られる水温分布から急潮発生時の黒潮の状況を示したものであり、黒潮の流路変動あるいは小さな蛇行と急潮の発生がどのように連動しているのかは明らかにされていない。

最近、HFレーダを用いて相模湾表層の流れを調べた日向ら (2003) や Hinata *et al.* (2005) は、湾内表層の循環流および大島水道からの黒潮系水の流入の変動が周辺海域を吹く8日~11日周期の風と良く対応していることを示している。しかし、周期的な風に対する湾内水の応答としては、Kitade *et al.* (1998) や Kitade and Matsuyama (2000) が指摘したように沿岸捕捉波の影響が大きいと、黒潮自体におよぼす風の影響と

沿岸捕捉波の効果を区別することは容易ではない。また、日向ら (2003) や Hinata *et al.* (2005) が解析した期間には、いずれも急潮および漁業被害は発生していないため、いわゆる黒潮系暖水の進入による急潮と風の効果とどのように関係しているのかについても不明である。

以上のように、相模湾および東京湾湾口で発生する急潮のうち、黒潮系暖水の進入による急潮については、発生条件および風との関連、黒潮の変動と相模湾への暖水の波及過程との関係などが未解明のままである。そこで、相模湾および東京湾湾口で長期にわたり蓄積されてきた水温・流速観測記録を解析し、黒潮の変動と急潮の関心に注目して研究した。本研究では、まず1998年5月下旬に東京湾湾口東部と相模湾奥西部に漁業被害をもたらした急潮を例とし、黒潮系暖水の進入による急潮が発生した過程について、水温や流速の時空間変動、さらには潮位記録や風、衛星画像などの記録から総合的に調べた。次に、潮位と係留による長期記録に見られる急潮の信号の特性を調べ、黒潮による急潮の予報に役立つ変動について検討した。

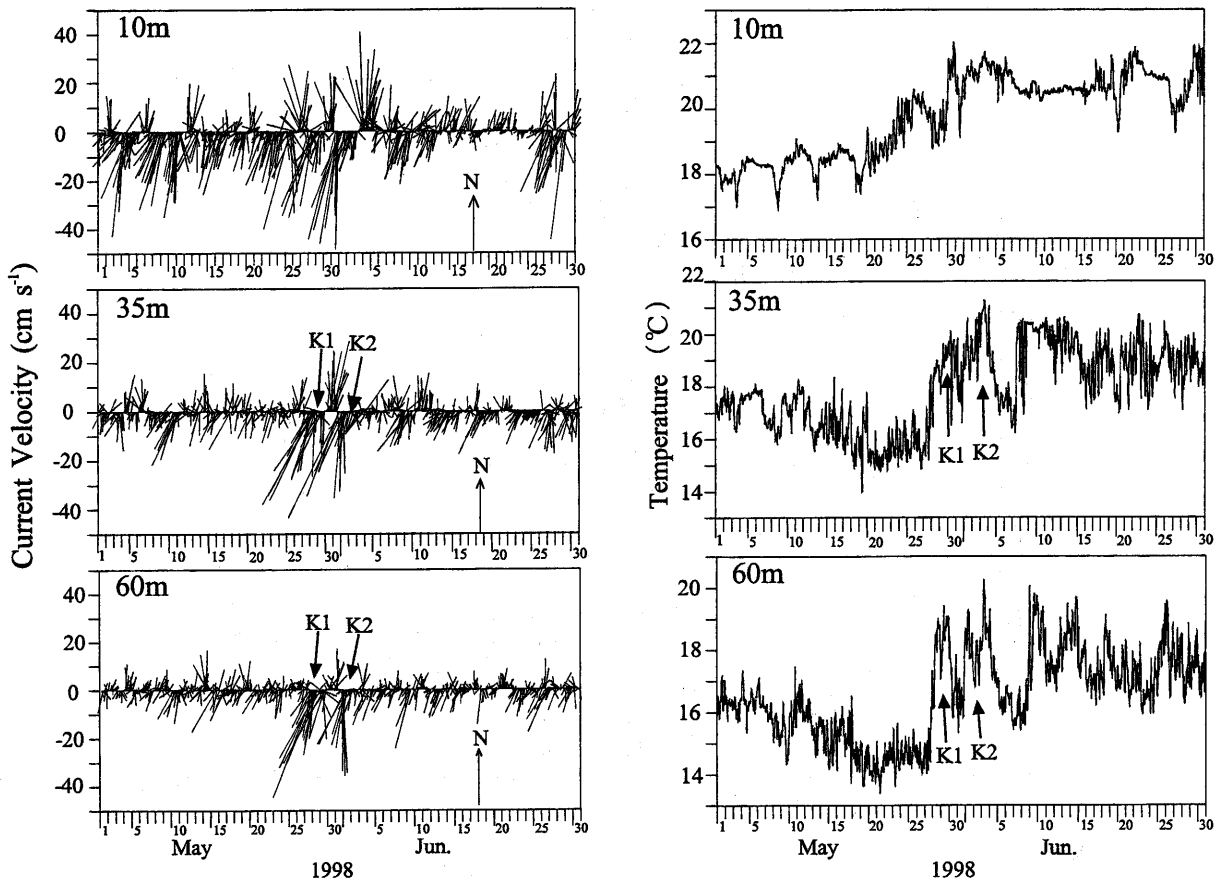


Fig. 2. Time variations of 1 h running averaged current and temperature at EN.

2. 観測および解析記録

神奈川県水産技術センター 相模湾試験場では、相模湾西部の江之浦沖約 1 km の地点 (Fig. 1 の EN: 水深 70 m) で係留観測を継続して実施している。1994 年～1997 年前半までは 10 m 深の 1 層であったが、1997 年後半から 1998 年の前半までは 10 m, 35 m, 60 m 深の 3 層に電磁流速計 (アレック電子社製: ACM8M) を設置して 10 分間隔で流向・流速と水温を測定している。一方、千葉県水産総合研究センターでは、メモリー式水温計を用いて富浦の約 1 マイル沖 (Fig. 1 の TM) 15 m 深の水温、さらに千葉県東京湾栽培漁業センター沖 (Fig. 1 の FT) 約 5 m 深からの取水海水の水温を 1 時間ごとに測定している。また、富山町漁業協同組合では 1 日 1 回定置網設置点 (Fig. 1 の TY) で現場水温観測を実施している。本研究では、これらの流速・水温の観測記録に加え、NOAA の赤外面像記録、相模

灘沿岸の布良 (MR), 油壺 (AB), 伊東 (IT), 南伊豆 (MN), 並びに伊豆諸島の岡田 (OK), 神津島 (KZ), 三宅島 (MY), 八丈島 (HC) の潮位記録を解析に使用した。本研究で解析した全ての潮位記録には、各検潮所に最も近い気象観測所における気圧を用いて気圧補正を行ない、さらにタイドキラーフィルター (花輪・三寺, 1985) を施して潮汐成分を除去した。

3. 1998 年 5 月下旬の急潮

3.1. 急潮発生時の流速・水温変動の特徴

1998 年 5 月下旬に急潮が発生し、5 月 28 日に東京湾湾口東部の富浦 (Fig. 1 の N1) で、6 月 1 日には相模湾西部の岩 (Fig. 1 の N2) で定置網破損の被害をもたらした。Fig. 2 に相模湾奥西部江之浦 (EN) の 10 m, 35 m, 60 m 深で測定していた流速記録を示す。10 m 深では、5 月上旬から振幅 20 cm s^{-1} 程度の周期的な流

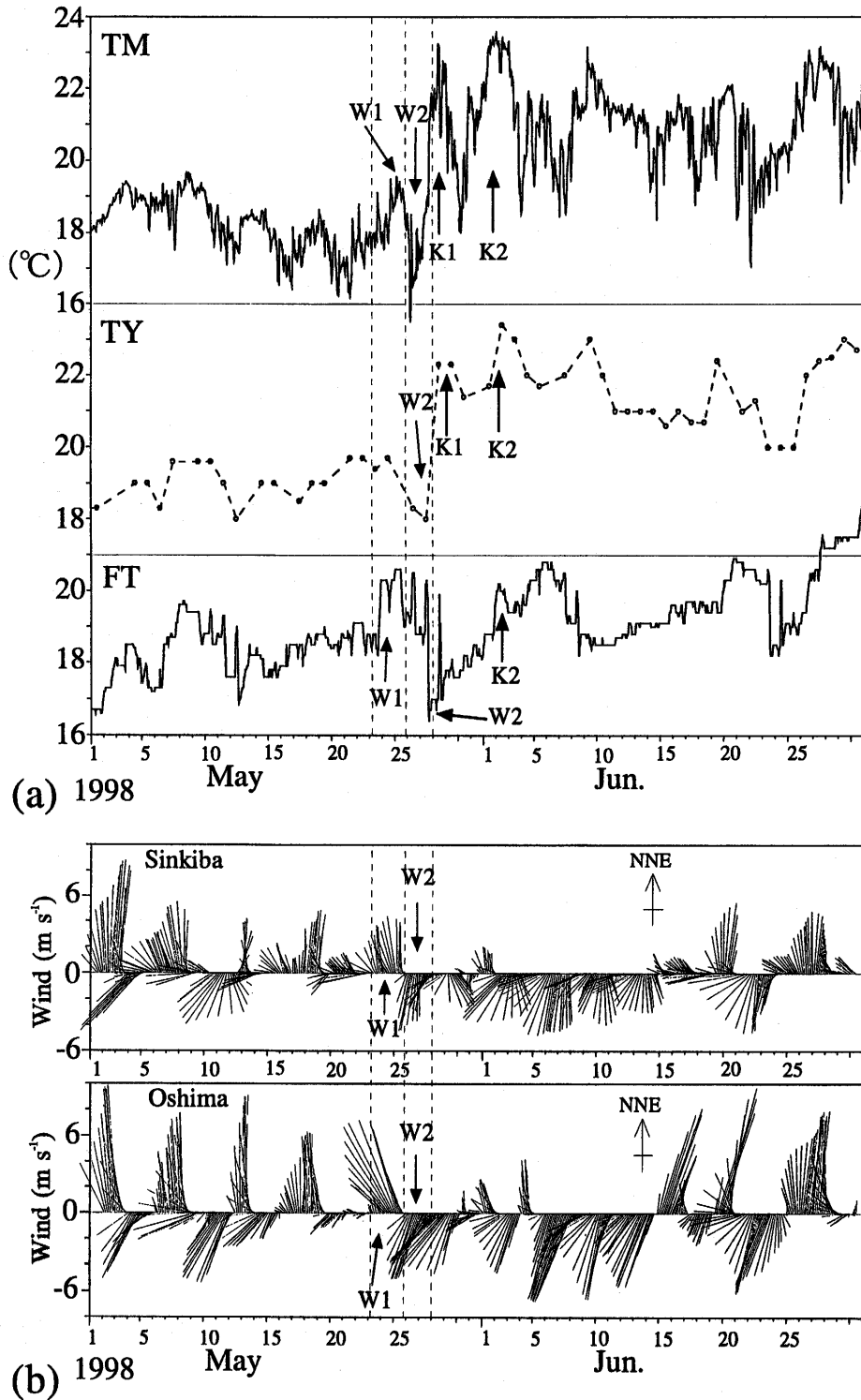


Fig. 3. (a) Time variations of temperature at TM, TY and FU. (b) Stick diagrams of 24 h running averaged wind at Sinkiba, at the head of Tokyo Bay, and at Oshima.

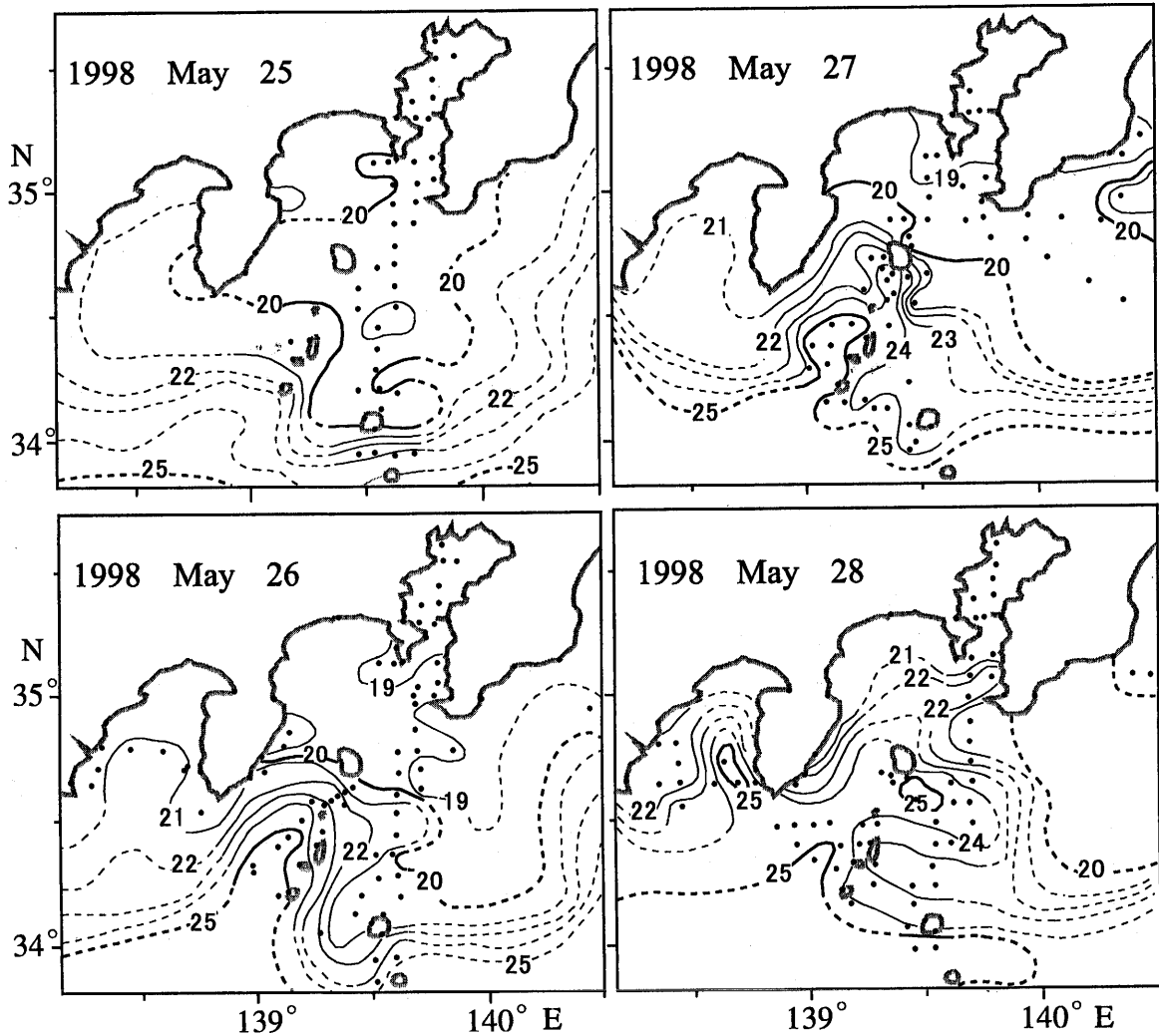


Fig. 4. Distributions of surface temperature in and around of Sagami Bay. Contour interval of temperature is 1°C. Dashed lines indicate the temperature contour from AVHRR images. (From Quickly Report of Fisheries Oceanography created by the fisheries institutes in Tokyo, Chiba, Kanagawa and Shizuoka).

速変動が見られるが、35 m、60 m 深ではそれほど顕著ではない。10 m 深で顕著な周期的変動は、その特性から、相模湾沿岸でしばしば観測される風により発生した沿岸捕捉波によるものであると考えられる (Kitade *et al.*, 1998; Kitade and Matsuyama, 2000)。5 月下旬に、全層で最大 50 cm s^{-1} に達する強い南南西流が突然発生し、漁業被害を引き起こした。この流速の変化を細かく調べると、5 月 28 日頃 (K1) と 6 月 1 日頃 (K2) の二度にわたって流れが強化されており、前者が東京湾湾口東部の N1、後者が相模湾奥西部の N2 の定置網に被害をもたらしたと推察される。このとき 10 m

深の水温上昇は緩やかであるが、35 m、60 m 深の水温は流れに対応して急激に上昇し、1 日に $3\sim 4^\circ\text{C}$ の上昇が認められ、この急潮に伴う水温度・流速変動は少なくとも 60 m 深まで達していたことがわかる。

一方、東京湾湾口東部の 3 地点で観測された水温度記録を Fig. 3(a) に、東京湾奥の新木場と大島で観測された風の記録を Fig. 3(b) に示す。富浦 (TM) と富山 (TY) ではほぼ同様な水温度変化を示し、数日周期の変動に加えて 5 月 27 日から 28 日に急激な水温度上昇が認められる。富浦での水温度上昇は江之浦の 35 m 深のものよりも半日ほど早く上昇し始めており、この急激な水温度上

昇 K1 に伴い定置網に被害がもたらされた。一方、富津 (FT) では同じ 5 月 27 日に水温が最も低くなっており、一見すると全く逆位相の変動を示す。しかし、各点の変動を詳しく調べると、水温が低下する現象は富津 (FT) だけでなく、富浦 (TM) や富山 (TY) でも W2 で示す期間に存在していた。さらに、富浦 (TM) と富津 (FT) では、W2 の前の W1 で示す期間に明確な水温上昇が認められる。この W1, W2 の水温変動は、それぞれ Fig. 3(b) の W1, W2 で示した南風と北風の期間とよく一致する。したがって、W1, W2 の水温変動は、それぞれ局所的な風によって生じた沈降と湧昇に関連したものである。つまり、風に伴う水温変動に加えて、黒潮系暖水の波及があったことが分かる。また、湾奥で浅い富津 (FT) では第一回目の暖水の波及 K1 は顕著ではないが、2 回目の水温上昇 K2 は富浦 (TM) や富山 (TY) とほぼ同時期に発生している。このことは、K1 と K2 では波及する暖水の厚みや背景の成層構造が若干異なっていたことを示すだろう。以下の議論では、東京湾湾口東部および相模湾西部で漁業被害をもたらした黒潮系暖水の波及に関連した現象に注目した。

次に、一都三県漁海況速報より、5 月 24 日～28 日の海面水温の等温線をトレースしたものを Fig. 4 に示す。漁海況速報の水温分布は沿岸および伊豆諸島の定点で毎日午前 9 時から 10 時の間に測定された水温、並びに、漁船、調査船、フェリー等による表層水温記録を用い、衛星による海面水温分布を参照しつつ描かれている。点線の等値線は、主として衛星で得た海面水温を用いているか、或いは、距離の離れた測点間の内挿補間により描かれたことを示す。この分布は、様々な測器・手法により得た水温を合成しているため、幾分誤差が含まれていることに注意する必要があるが、外洋から相模湾への暖水波及が明瞭に認められることから、この図を用いてその波及過程を示す。房総半島西部 (Fig. 3 の TM, TY) で観測された急潮発生時の水温 22°C の挙動に注目すると、 22°C 等値線は 5 月 25 日には神津島および三宅島の近くを通過していたが、26 日には伊豆諸島に沿って北に張り出し、27 日になると大島まで達していた。N1 で漁業被害の発生した 5 月 28 日には、 22°C の等温線が房総半島西部まで達している。この漁海況速報の水温分布には、Fig. 3 で示したメモ

リ一式水温計の記録は使われていないが、Fig. 3 の水温時間変化と Fig. 4 の水温水平分布の挙動は非常に良く対応していた。

以上のことから、5 月下旬に発生した急潮は黒潮から分岐した暖水が神津島の西側から大島西水道を通り相模湾へ進入したものであると推定できる。相模湾奥西部の N2 での漁業被害は 6 月 1 日に起こったが、被害が起こるか否かは海況だけでなく、漁具の状態にも因る。実際に、岩の 4 km 北の江之浦 (EN) では、東京湾湾口東部で被害のあった 5 月 28 日頃にも強い流れが観測されていることから、両地点における漁業被害は同じ急潮に伴う一連の現象の中で引き起こされたと考えるのが妥当である。

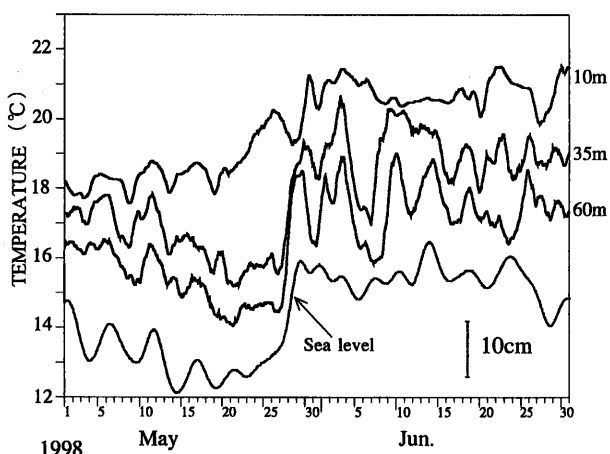


Fig. 5. Time variations of temperature and sea level. The temperature data were filtered by 25 h running average. Effect of atmospheric pressure and tidal fluctuation were removed from the sea level data.

3.2. 潮位変動

黒潮系暖水の波及に伴う大規模な水温変化は、潮位に現れることが期待できる。そこで、江之浦の水温と伊東の潮位の関係を調べた (Fig. 5)。5 月下旬の 35 m 深と 60 m 深の水温上昇に対応して、潮位が急激に上昇していた。約 4°C の水温上昇の間に、潮位が約 15 cm 上昇していたのである。10 m 深の水温は急潮が発生する 7 日程前から緩やかに上昇し、35 m 深や 60 m 深の

水温とは若干異なる変動を示した。水温変動と潮位変動には非常に良い関係が認められることから、潮位変動によって水温変動を代表させることができるだろう。つまり、沿岸潮位の変動に見られる数日周期の変動は、風によって生じた沿岸捕捉波 (Kitade and Matsuyama, 2000) と考えられ、5月下旬から6月上旬に見られる潮位レベルの上昇は黒潮系暖水の進入と関連して生じたものである。以下では相模灘沿岸および伊豆諸島での潮位の変化から、急潮の時空間的特徴について調べた。

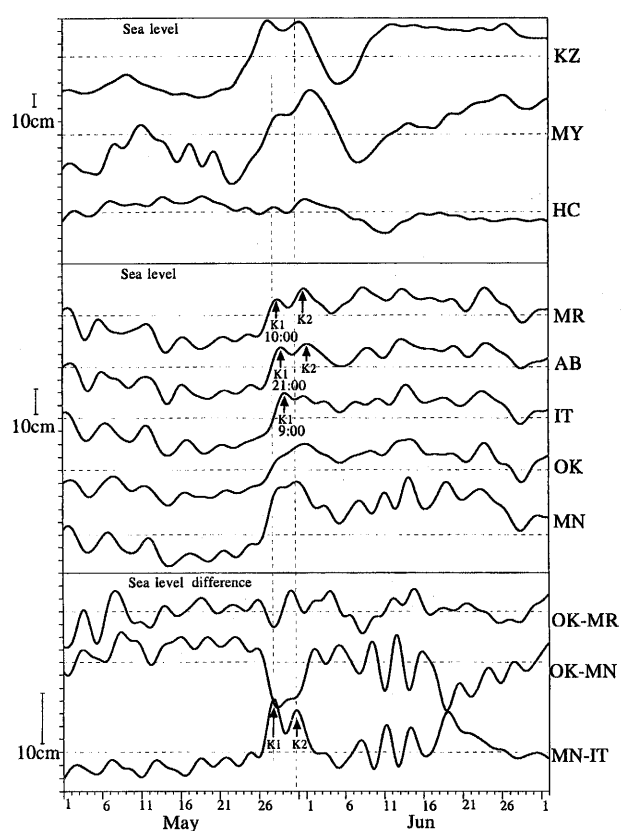


Fig. 6. Time variations of sea level in and around Sagami Bay. Time variations of the sea level difference are indicated at the bottom panel.

Fig. 6に5月1日~7月1日における伊豆諸島および相模灘沿岸の潮位の時間変化を示す。図中の横点線は各点の潮位の平均値である。この期間の八丈島 (HC) の平均潮位は、1993年~1999年の平均値より約30 cm高く黒潮が接岸流路を取っていることを示し、また目立った潮位変化がないことから、流路自体の大きな変動はなかったことが分かる。急潮の発生した数日前 (5月23

日ごろ) から神津島 (KZ) の潮位が上昇しはじめ、続いて三宅島 (MY) の潮位が上昇した。三宅島 (MY) での潮位上昇とほぼ同時に南伊豆 (MN) と布良 (MR) での潮位が急激に上昇し、その後、潮位変動は、油壺 (AB)、伊東 (IT) の順で相模湾内を反時計回りに伝播した。潮位上昇 K1 については、布良 (MR) と油壺 (AB)、油壺 (AB) と伊東 (IT) の時間差が、それぞれ11時間と12時間である。これらの時間差が直接現象の伝播を意味するものであるかは不明であるが、仮に布良 (MR) と油壺 (AB) の距離を36 kmとして伝播速度を見積もると、 0.9 m s^{-1} となる。一方、油壺 (AB) と伊東 (IT) の距離を500 mの等深線に沿って測ると、約70 kmで伝播速度は 1.6 m s^{-1} となり、沿岸捕捉波のものに匹敵する (井桁ら, 2003)。また、潮位上昇 K2 については、布良 (MR) と油壺 (AB) では認められたが、伊東 (IT) では明確ではなかった。

次に、大島と布良の潮位差が、大島東水道での数日周期の流速変動の良い指標となることが示されている (Kitade *et al.*, 1998) ことから、この黒潮系暖水波及による急潮に伴う流れの指標となり得るかについて調べた。Fig. 6の下段に、大島の岡田 (OK) での潮位から南伊豆 (MN) や布良 (MR) での潮位を引いた潮位差の時間変化を示す。OK-MNの潮位差は5月26日から6月1日にかけて大きな負の値を示すが、負の潮位差は地衡流平衡を考えると大島西水道から流出する流れを示すことになり、Fig. 4の表面水温分布の日変化に見られた暖水波及過程と矛盾する。海面水温の分布が大島西水道から相模湾への暖水波及を示すにもかかわらず、岡田 (OK) に比べ南伊豆 (MN) の潮位が相対的に上昇している理由は、それぞれの測点の位置に依存している可能性がある。つまり、伊豆半島南端の南伊豆 (MN) には黒潮から分岐した流れが直接当たるのに対し、岡田 (OK) は大島の北側に位置し流れが直接当たらない下流側で、むしろ流れが剥離する側に近い。したがって、黒潮から分岐した流れが沿岸部に直接当たる非線形性の強い本現象の場合には、大島と沿岸の潮位差を用いて大島西水道からの流入出を議論するのは難しい。また、OK-MRの潮位差にも急潮に伴う流れと関連した顕著な変動は見つけ難い。そこで、黒潮からの流れが直接当たり動圧のかかる南伊豆 (MN) での

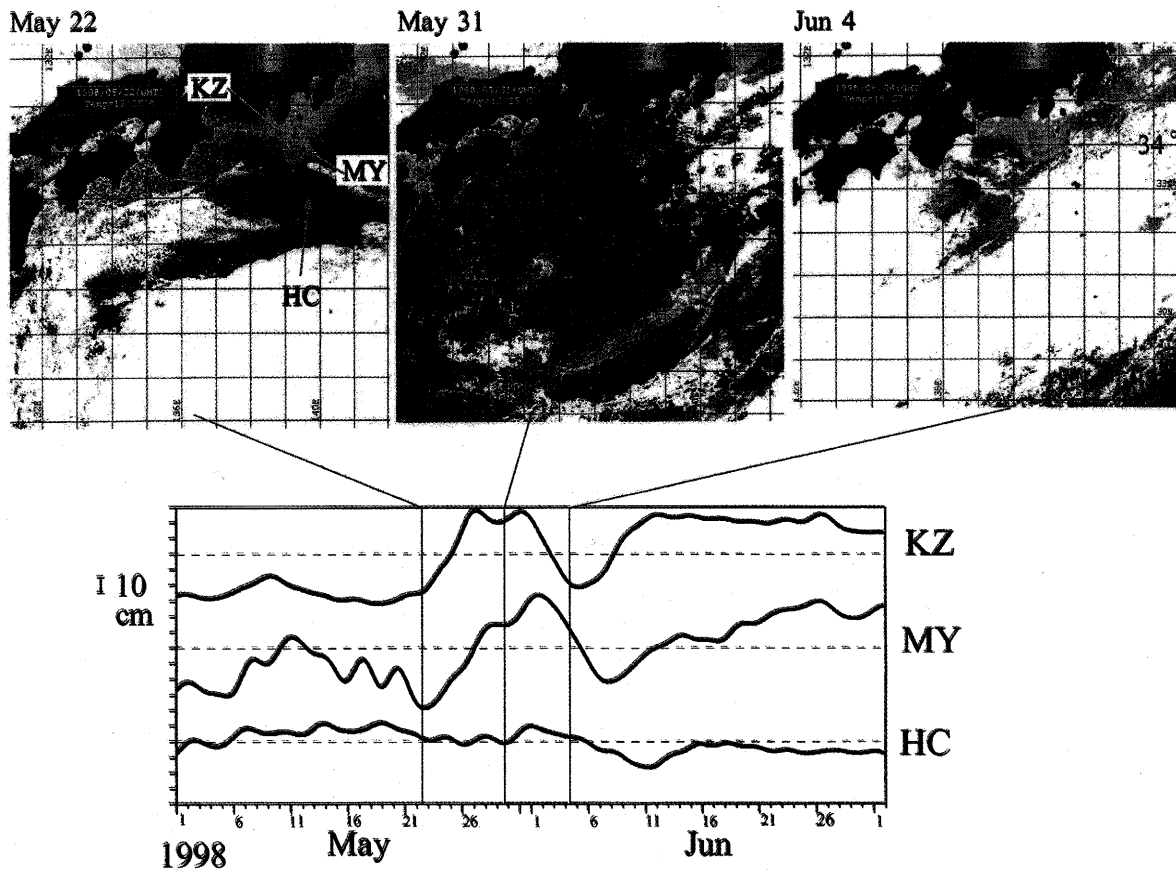


Fig. 7. AVHRR sea surface temperature composite images in one day for south of Honshu in Japan at May 22, May 31 and June 4 in 1998. Note that color bar on June 4 was changed with other days to clarify the temperature gradation in the study area. Lower panel shows time variations of sea level at KZ, MY and HC.

潮位から湾内の伊東 (IT) での潮位を引いた潮位差の時間変化は、5月26日に急激に上昇し、29日に一旦下降したが、30日に再び急上昇を示しており、湾奥西部江之浦 (EN) で観測された流れ (Fig. 2) と対応した変動が認められる。この潮位差 (MN-IT) は、南伊豆の潮位が上昇し始めたときに大きくなり、潮位上昇が相模湾内を伝播し伊東に達すると解消されていたと考えられる。以上のように、潮位および潮位差の変動には、黒潮による急潮に関する重要な情報が現れていることが分かる。

3.3. 黒潮流軸変動と潮位の関係

急潮を引き起こした黒潮の変動について、NOAAの赤外面像により調べた (Fig. 7)。5月22日には房総半

島から遠州灘にかけて黒潮流軸を示す暖水が伊豆諸島の南側にうねるように分布していた。5月31日には伊豆諸島沿岸に暖水が波及しており、雲の影響でNOAAの赤外面像は少し見づらいが、相模湾や駿河湾内の海面温度も上昇していた。6月4日になると、暖水は伊豆諸島の東へと抜け、神津島周辺の水温は低くなっているが、三宅島周辺には若干暖水が残っていた。これらの海面水温の分布を伊豆諸島の潮位記録と比較すると、5月22日には神津島 (KZ) と三宅島 (MY) の潮位はともに低く、5月31日には両島でともに高くなっており、6月4日には神津島 (KZ) の潮位は下がりきっているが、三宅島 (MY) の潮位が下降途中にあるというように、非常に良い対応が認められた。

ここで注目されるのは、神津島 (KZ) と三宅島 (MY) での潮位変動の時間差で、神津島 (KZ) の方が三宅島

(MY) より 2 日ほど早く変動していた点である。衛星画像から水温変化と関連付けて考えると、この潮位変化が黒潮の小蛇行の東進によることは明らかである。神津島 (KZ) と三宅島 (MY) の潮位変動の時間差 (約 2 日) と東西距離 (約 35 km) から小蛇行の東進速度を見積もると、約 0.2 m s^{-1} と算出できる。

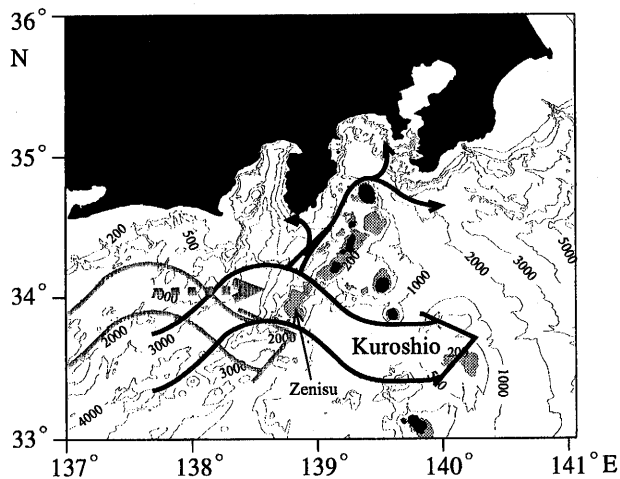


Fig. 8. Schematic view of the Kyucho induced by the intrusion of the Kuroshio warm water into Sagami Bay. Dashed arrow shows the eastward propagation of the small meander of the Kuroshio. Areas shallower than 200 m around Izu-islands are shaded. Numerals on the bottom contour lines are in m.

4. 考察

4.1. 急潮の発生過程について

1998 年 5 月下旬に発生した急潮について係留記録、表面水温分布および潮位記録を調べた結果、黒潮系暖水が大島西水道から相模湾へと波及し、湾内を反時計回りに伝わっていた。この湾内への暖水の波及過程は、Matsuyama *et al.* (1999) により報告されている黒潮による急潮と基本的には同じである。本研究では、さらに衛星画像から、この急潮を引き起こした要因が黒潮小蛇行の東進によることを示した。この小蛇行の東進がどのように暖水を相模湾へと導いたのかを模式的に示すと、Fig. 8 のようになる。Inaba (1984) は、駿

河湾において黒潮が伊豆海嶺の南西にある銭州以北まで接岸すると湾内の循環流が反時計回りになることを指摘しており、伊豆海嶺に沿った北上流が生じる事を示唆している。同様に、Iwata and Matsuyama (1989) は、黒潮接岸時に相模湾では反時計回りの強い循環流ができることを示している。Inaba (1984) や Iwata and Matsuyama (1989) の研究は、湾内循環流と黒潮の離接岸の関係を調べたものであったが、本研究で調べた急潮発生の場合、その黒潮の接岸が小蛇行の東進と関連したものであることが分かった。いずれの暖水波及においても、銭州の地形効果が重要な役割を果たしていると考えられ、東進する黒潮小蛇行が伊豆海嶺の南西に位置する銭州の浅瀬域に達したとき、浅瀬を越えられない暖水が伊豆諸島や海嶺の西側に沿うように北上し、相模湾へと波及すると考えられる。一方、小蛇行の東進を示す神津島や三宅島の潮位上昇には風との明確な対応が認められないことから、1998 年 5 月下旬の黒潮系暖水の波及による急潮は Hinata *et al.* (2005) で示されたような風に対する応答との直接的な関係は考えにくい。したがって、黒潮による急潮の発生には、小蛇行の東進と伊豆海嶺とのカップリングが重要であると考えられ、その過程については今後モデル等により解明する必要があるだろう。

4.2. 黒潮系暖水波及による急潮の指標について

Fig. 5 に示した潮位記録から、東京湾湾口・相模湾で急潮による被害が発生する直前に神津島 (KZ) の潮位が上昇していたことが判明した。その後、神津島 (KZ) での潮位は 6 月 3 日頃一度下がり、10 日頃再度上昇したが、二度目の上昇時には相模湾奥西部で強い流れは観測されていない (Fig. 2)。5 月 27 日と 6 月 10 日の潮位上昇の違いは、Fig. 6 下段に示したように、相模湾湾口西部の南伊豆 (MN) と相模湾西部の伊東 (IT) の潮位差に現れている。神津島での最初の潮位上昇時には、この潮位差は大きい、2 回目の時には小さい。これは最初の上昇時に波及した暖水により湾内の水温と潮位が上昇し、その後下がらなかったためと考えられる。この潮位差が流れを直接駆動しているかは不明であるが、海面変位は密度成層場の積算値として現れる

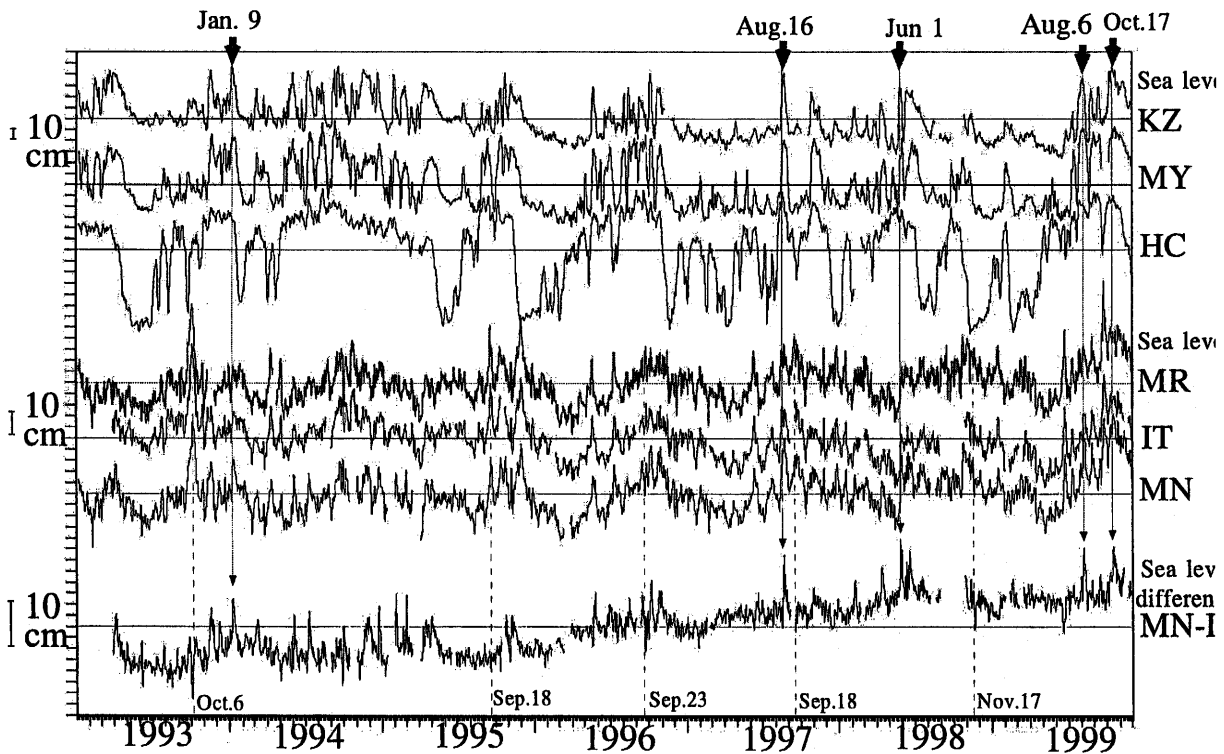


Fig. 9. Time variations of sea level and sea level difference from 1993 to 1999. Arrows indicate the Kyucho induced by the Kuroshio warm water. Dashed lines indicate the Kyucho caused by the Typhoon.

ことから、MN-ITの潮位差は湾の内外での成層の違いを示すという観点において、重要な意味を持ち、急潮予報の良い指標になる可能性がある。

一方、MN-ITの潮位差は6月19日にも大きくなるが、この時とK1, K2のピークとの違いとしては、KZの潮位は10日以降高い状態を保ち、あまり変動していなかったことが挙げられる。つまり、黒潮は接岸しているが、小蛇行の東進は無かったことを意味する。また、急潮の発生した5月下旬の場合には、江之浦の35 m深と60 m深の水温や伊東の潮位が5月上旬から下旬にかけて徐々に低下していることも、6月19日のピークとは異なる特徴である。この急潮発生前に生じた水温・潮位の低下の要因として、①神津島や三宅島の潮位が5月中旬以降低下していることから、小蛇行の東進と関係している可能性と、②風のレジームが5月25日や6月15日ごろ変わっていることから、Hinata *et al.* (2005) が指摘する風の場のレジームシフトと関連している可能性とが考えられる。後者の風の場と関連した現象として、沿岸潮位の季節変化と季節風の関係

を説明した Natih *et al.* (2002) の研究があるが、詳細については今後さらに探求する余地がある。本研究では、急潮発生前の水温・潮位の低下現象の重要性について不明ではあるが、急潮の予兆として神津島と三宅島の潮位が上昇し、かつMN-ITの潮位差が大きくなることが見出された。そこで、これまで観測された急潮と各潮位および潮位差との関係を調べた。

Fig. 9に、1993年から1999年の神津島(KZ)、三宅島(MY)、八丈島(HC)の潮位と南伊豆と伊東の潮位差(MN-IT)の時間変化を示す。潮位差(MN-IT)が徐々に大きくなるトレンドが見られた。これは1980年から1997年に実施された地殻変動調査において解明されたこと、すなわち、伊豆半島東部が局所的に年間約2.1 cmの割合で隆起していたこと(石井, 1998)と関連したものであり、海水の流動や水温構造に起因するものではないと考えられる。図中の矢印は、石戸谷(2001)の資料解析に基づいて示唆された黒潮系暖水の流入による急潮により漁業被害が起こった日を示している。ここで、参考までに台風と関係して発生した急

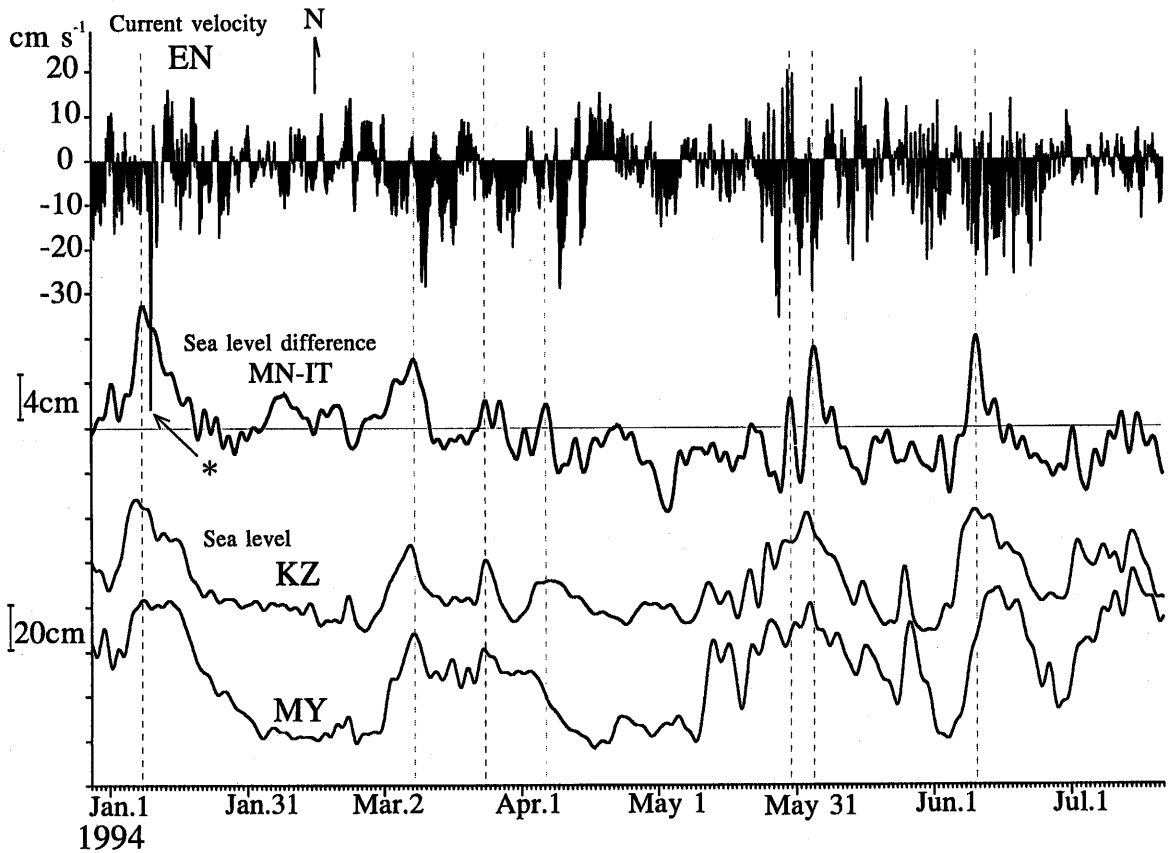


Fig. 10. Time variations of the northward component of current, sea level difference and sea level. *: The Kyucho induced by Kuroshio water destroyed the fishing set net at the western side of the bay head (Matsuyama *et al.*, 1999).

潮で漁業被害の生じた日を図中に点線で示す。漁業被害の生じるほど大規模な黒潮による急潮が発生した時には、必ずMN-ITにピークが認められるが、台風による急潮では顕著なピークは存在しない。いずれの黒潮による急潮の時にも、八丈島(HC)の潮位が高く、黒潮が接岸流路であった。また、黒潮による急潮が発生した時には、先行して神津島(KZ)と三宅島(MY)での潮位も上昇していたが、例えば1994年5月から1995年4月のように、神津島(KZ)と三宅島(MY)で何度か急激な潮位上昇があっても、漁業被害が起きていない場合も少なくない。MN-ITで見た場合、1997年以降では顕著なピークが現れている時に大規模な急潮が発生していたが、1994年5月から1995年4月では神津島(KZ)や三宅島(MY)での潮位上昇ほど頻繁ではないが明確なピークが幾つか存在していた。漁業被害が生じるか否かは流れだけの問題ではなく、漁具の状

態にもよるため、潮位差と流れを比較する必要がある。

そこで、江之浦(EN)で流速記録が連続して得られている1994年1月から7月の流れと潮位差(MN-IT)、神津島(KZ)と三宅島(MY)での潮位の時間変化をFig. 10に示す。時間的なズレを見やすくするため、流速の南北成分だけをスティックダイアグラムで示している。大規模な被害が発生した1994年1月の急潮(Matsuyama *et al.*, 1999)の時にも、三宅島(MY)や神津島(KZ)での潮位上昇に続き南伊豆(MN)と伊東(IT)の潮位差が急激に上昇していたことが分かる。1994年1月の黒潮による急潮の時も神津島の潮位上昇が三宅島よりも先行しており、黒潮小蛇行の東進を示していた。流速と潮位差ともに風によって生じた数日周期の変動が加わっていると考えられるために、完全に対応させるのは難しい。しかし、他の期間においても南向流が強くなる少し前に、神津島(KZ)での潮位が上昇し、

なおかつ潮位差 (MN-IT) が鋭く上昇している傾向が伺える。以上のことから、神津島と三宅島での潮位上昇が黒潮小蛇行の東進と接岸を示す指標であり、潮位差 (MN-IT) が湾内と外洋との成層場の違いを示す指標、すなわち湾内へ流れ込むかどうかの指標となり得ることを示すだろう。

本研究の結果、神津島と三宅島の潮位に加え、南伊豆と伊東の潮位差が相模灘沿岸での強い流れや急潮を引き起こす指標となり得る可能性を示した。そして、潮位差が湾内でのどのような力学と関係して急潮を引き起こすのか、急潮前に見られた水温・潮位の低下が急潮と関係するのかなどの今後の課題が残された。

謝辞

係留観測を実施するに当たり、協力して下さった神奈川県水産技術センター 相模湾試験場の皆様、千葉県水産総合研究センターの皆様、富山町沖の定置網漁場での水温記録を提供して下さった富山町漁業協同組合の皆様、解析に用いた潮位記録は JODC および国土地理院より提供を受けました。また、NOAA の赤外面像は三重県科学技術振興センターのホームページで公開されているものを使用しました。関係者の皆様に心から感謝いたします。

References

- 花輪 公雄, 三寺 史夫 (1985): 海洋資料における日平均値の作成について 沿岸海洋研究ノート, **23**, 79-87.
- 日向 博文, 高野 仁, 柳 哲雄, 石丸 隆, 粕谷 智之, 川村 宏 (2003): 大島西水道からの黒潮系暖水流入時における相模湾表層循環流の短周期変動特性. 海の研究, **12**, 167-184.
- Hinata, H., T. Yanagi, T. Takao, and H. Kawamura (2005): Wind-induced Kuroshio warm water intrusion into Sagami Bay. *J. Geophys. Res.*, **110**, C03023.
- 井桁 庸介, 北出 裕二郎, 松山 優治 (2003): 台風 8818 号の通過に伴い発生した相模湾の急潮に関する数値実験. 海の研究, **12**, 603-617.
- Inaba, H. (1984): Current variation in the sea near the mouth of Suruga Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 193-198.
- 稲葉 栄生, 安田 訓啓, 川畑 広紀, 勝間田 高明 (2003): 1992 年 3 月上旬に発生した駿河湾の急潮. 海の研究, **12**, 59-67.
- 石戸谷 博範 (2001): 相模湾における急潮と定置網の防災に関する研究. 神奈川水産総研論文集, **1**, 1-108.
- 石井 紘 (1998): 伊豆半島の上下変動について (1980-1997). 地震予知連会報, **60**, 306-310.
- Iwata, S. and M. Matsuyama (1989): Surface circulation in Sagami Bay: the response to variations of the Kuroshio axis. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **45**, 310-320.
- 木村 喜之助 (1942): 沿岸の大急潮について. 中央気象台彙報, **19**, 1-85.
- Kawabe, M. (1985): Sea level variations at the Izu Islands and typical stable paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 307-320.
- Kitade, Y., M. Matsuyama, S. Iwata, and I. Watabe (1998): SDP and LP fluctuations observed along the coast of Sagami Bay. *J. Oceanogr.*, **54**, 297-312.
- 北出 裕二郎, 松山 優治, 岩田 静夫, 石戸谷 博範, 清水 頭太郎, 渡部 勲 (1996): 台風の通過に伴う相模湾の水温・流速変動. 沿岸海洋研究, **33**, 191-202.
- Kitade, Y. and M. Matsuyama (2000): Coastal-trapped waves with several-day period caused by wind along the southeast coast of Honshu, Japan. *J. Oceanogr.*, **56**, 727-744.
- Kubokawa, A. and K. Hanawa (1984): A theory of semi-geostrophic gravity waves and its application to the intrusion of a density current along a coast. Part 1. Semi-geostrophic gravity waves. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 247-259.
- 松山 優治, 岩田 静夫, 前田 明夫, 鈴木 亨 (1992): 相模湾の急潮. 沿岸海洋研究ノート, **30**, 4-15.
- Matsuyama, M., S. Iwata, and H. Nagamatsu (1997): Kyucho in Sagami Bay induced by Typhoon 8818. *J. Oceanogr.*, **53**, 199-205.
- Matsuyama, M., H. Ishidoya, S. Iwata, Y. Kitade, and H. Nagamatsu (1999): Kyucho induced by intrusion of Kuroshio water in Sagami Bay, Japan. *Cont. Shelf Res.*, **19**, 1,561-1,575.
- Natih, N. M. N., M. Matsuyama, Y. Kitade, and J. Yoshida (2002): Seasonal variations of sea level along the Japanese coast. *La mer*, **40**, 123-135.
- 宇田 道隆 (1952): 相模湾の急潮とその予知について. 日本海洋学会誌, **19**, 15-22.
- Yamagata, T. (1980): A theory for a propagation of oceanic warm front with application to Sagami Bay. *Tellus*, **32**, 73-76.

The Kyucho Current in Sagami Bay and at the Mouth of Tokyo Bay Induced by the Eastward Propagation of Small Meanders of the Kuroshio

Hironori Ishidoya †, Yujiro Kitade ‡, Masaji Matsuyama ‡,
Shizuo Iwata **, Mitsuhiro Ishii ††, and Yosuke Igeta ‡

Abstract

Temperature, current and sea level data obtained in and around Sagami Bay and the mouth of Tokyo Bay were analyzed to clarify the generation processes and trigger phenomena of the Kyucho (stormy current) related with the Kuroshio. The Kyucho occurred at the end of May in 1998 and was caused by warm water intrusion originating from the Kuroshio into Sagami Bay through Oshima West Channel. The warm water was considered to separate at Zenith, a shallow region at the west of Izu Ridge. From there it moved eastward propagated by a small meander of the Kuroshio, and it then progressed northward along the west side of Zenith, Izu Ridge and Islands. From the analysis of the sea level data from 1993 to 1999, most of the Kyucho related with the Kuroshio occurred after a sea level rise at Kozu and Miyake Islands. Furthermore sea level differences between Minami-izu and Ito were found to show significant peaks before the occurrence of the Kyucho.

Key words: Kyucho, Kuroshio warm water, Small Meander of the Kuroshio, Sagami Bay, mouth of Tokyo Bay

(Corresponding author's e-mail address: ykitade@s.kaiyodai.ac.jp)

(Received 26 May 2005; accepted 14 December 2005)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

† Sagami Bay Experimental Station, Kanagawa Prefectural Fisheries Technology Center, 2-1, Hayakawa 1-chome, Odawara, Kanagawa 250-0021, Japan

‡ Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5, Konan 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-8477, Japan

** Japan Fisheries Information Service Center, 4-5, Toyomi-cho, Cyuou-ku, Tokyo 104-0055, Japan

†† Tokyo Bay Fisheries Research Laboratory, Chiba Prefectural Fisheries Research Center, 3091, Kokubo, Futsu, Chiba 293-0042, Japan