

水温急上昇で捉えた駿河湾の急潮

稲葉栄生*1・勝間田高明*2

The *Kyūcho* in Suruga Bay Detected from the Steep Temperature Rise

Hideo INABA and Takaaki KATSUMATA

Abstract

In middle November 1993 and early January 1994, steep temperature rises about 4.5°C for a few days were observed in the eastern part of the mouth of Suruga Bay and the western part of the bay head. The temperature rises in the eastern part of the bay mouth were influenced by the intrusion of the Kuroshio warm water. The intruded warm water into the bay moved cyclonically along the bay coast. Therefore, the two steep temperature rises can be called the *Kyūcho*. The intrusion of the Kuroshio warm water into the bay can be caused by the northward shift of the Kuroshio path off the bay. The moving speeds of the warm water estimated from the time lag of steep temperature rises and the distance between two mooring stations in middle November 1993 and early January 1994 were 39 cm sec⁻¹ and 38 cm sec⁻¹, respectively. The estimated speeds were about half that in early March 1992 (Inaba *et al.*, 2003). The temperature variations induced by the *Kyūcho* has little effect on the sea level variation in the bay.

1. はじめに

「急潮」とは、沿岸海域に設置した定置網を流失または破損する様な突然発生する強流を意味する。急潮はしばしば水温の急上昇を伴う事、さらに水温の測定は流れの測定に較べて容易である事から、急潮現象を水温急上昇で捉えた報告も多い(例えば、松山・岩田, 1977; 秋山, 1991)。

急潮は相模湾が有名である。同湾の急潮は多くの場合黒潮の接岸に伴う黒潮系暖水の流入の影響であり、流入した暖水は同湾沿岸を反時計回りに伝播する事が知られている(例えば、木村, 1942; 宇田, 1953; Matsuyama *et al.*, 1999)。また、急潮は内部ケルヴィン衝撃波(Yamagata, 1980)ないし沿岸密度流(Kubokawa and Hanawa, 1984)として説明されている。相模湾の他に豊後水道東岸南部に位置する宿毛湾の急潮が知られ、同湾の急潮は黒潮前線から派生した暖水舌の四国南西岸への周期的な衝突が原因と考えられている(秋山, 1991; Akiyama and Saitoh, 1993)。

駿河湾は本州南岸にある開放性の湾であり(Fig. 1)、同湾沖には黒潮が東流している事から、黒潮系外洋水が湾口東部から流入する事が知られている。稲葉ほか(2003)は湾口東部と湾奥西部における水温係留観測中の1992年3月上旬に

数日間に数°Cに及ぶ水温急上昇を観測し、それは黒潮系暖水の流入の影響である事、さらに流入した暖水は同湾岸を反時計回りに約80cm sec⁻¹で巡る事から、この水温急上昇を駿河湾の急潮と呼んだ。また、稲葉(1982)およびInaba(1984)は同湾口東部における測得流と同湾沖の黒潮流軸位置を較べ、黒潮が同湾口東部の石廊崎沖約75kmにある銭洲付近まで接岸すると、湾口東部海域から黒潮系外洋水が流入する事を示した。しかし、両報告は水温変動を取り扱っておらず、また外洋水の流入を急潮とは呼んでいない。なお、前述の木村(1942)の報告には相模湾での急潮の他に駿河湾奥東部の内浦湾での急潮の報告がある。しかし、この急潮の発生原因は黒潮系外洋水の流入ではなく、夏季の強い成層に伴って発生する内部潮汐による事が後に判明している(Matsuyama and Teramoto, 1985)。

駿河湾の湾口東部および湾奥西部において水温の係留観測中の1993年11月中旬と1994年1月上旬に、約3日間に約4.5°Cの水温急上昇が観測された。また、湾口東部の水温急上昇は黒潮系暖水の湾口東部海域からの流入によるものであり、さらに湾奥西部のそれは流入した暖水が湾岸に沿って反時計回りに移動した為である事が判明した。その詳細を以下に示す。

2003年9月11日受理

*1 東海大学海洋学部海洋科学科

*2 東海大学大学院海洋学研究科海洋科学専攻

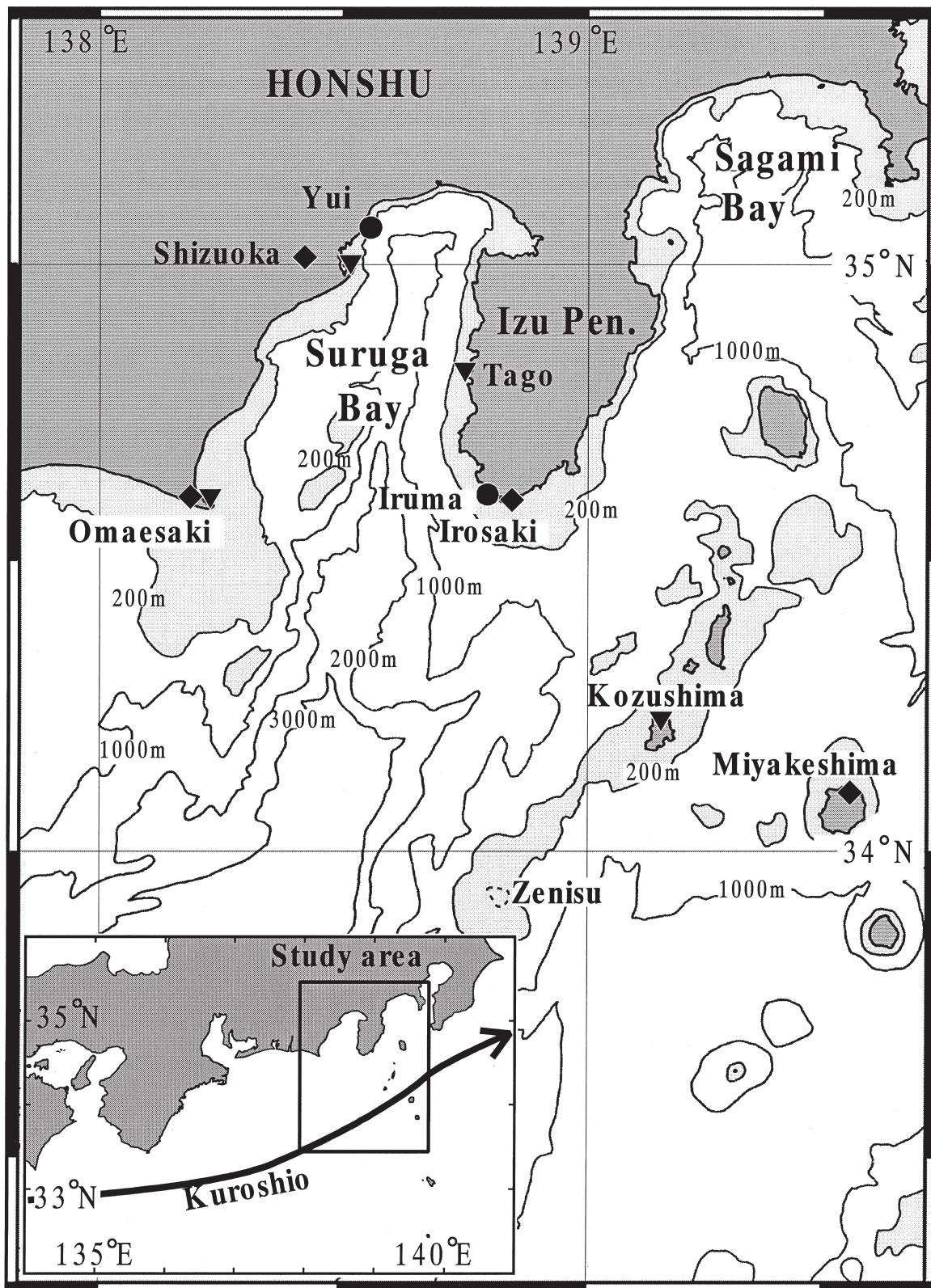


Figure 1. Bottom topography in and around Suruga Bay and locations of observation stations.

- : Temperature observations with a moored thermometer.
- ▼ : Sea level observations.
- ◆ : Air pressure observations.

2. データ

2.1 水温データ

水温の係留観測地点は駿河湾口東部および湾奥西部の2地点である (Fig. 1)。湾口東部の観測地点は入間 (いるま) 地区の沖合約1000m, 水深約20mの海域で, 観測層は水面下1mである。観測に用いた測定器は三洋測器の自記水温計 (MTM) で, サンプルング間隔は10分である。係留系は表面ブイの1点係留で, 係留索の途中に MTM を取り付けられた。

湾奥西部の観測地点は由比 (ゆい) 町の沖合約1000m (Fig. 1) にある定置網である。観測は水平方向に張られた定置網の表面ロープから MTM を水面下2m に吊り下げて実施した。サンプルング間隔は10分である。

2.2 各種データ

NOAA 赤外画像は東北大学大型計算機センターと同大学大学院理学研究科付属大気海洋変動観測センターが共同して Web 上で公開している日本画像データベース (Japan Image Database: JAIDAS) からダウンロードして用いた。

黒潮流路を知るために用いた本州南方海域200m層の水温水平分布は毎月2回発行の海洋速報 (海上保安庁, 1993・1994) から引用した。駿河湾内の田子の水位は国土地理院, 清水と御前崎の水位は気象庁, さらに神津島の水位は海上保安庁から毎時のデータをフロッピーディスクで提供を受けた。また, 水位の気圧補正では田子は石廊崎測候所, 清水は静岡地方気象台, 御前崎は御前崎測候所および神津島は三宅島測候所の海面気圧を用いた。これらは気象庁から磁気テープで提供を受けた。なお, 本報告では日平均水位を用いたが, これは毎時記録からタイドキラーフィルター24tk (花輪・三寺, 1985) を用いて算出した。

3. 結果

3.1 水温変動

駿河湾口東部入間沿岸における1m層の水温 (以下, 湾口水温) および湾奥西部由比沿岸における2m水温 (以下, 湾奥水温) を25時間移動平均した毎時値を Fig. 2a に示す。両水温は全期間を通して変動が激しいが, 中でも1993年11月中旬と1994年1月上旬の2回, 短期間に4°C以上の顕著な急上昇を示した。また, これら2例に次ぐ水温急上昇は1993年12月上旬に見られ, 両水温とも短期間に約2.5°Cの急上昇を示した。

まず始めに1993年11月中旬の顕著な水温急上昇に注目する。湾口水温は同年同月の12日2時頃から急上昇を開始し, 13日6時頃にはピークに到達し, 1日余りの短期間に約4.5°Cの急上昇を示した。湾奥水温は湾口水温に約1日半遅れて13日13時頃から急上昇を開始し, 15日19時にピークに到達し, 2日余りの短期間に約4.3°Cの急上昇を示した。また, 両水温のピーク到達時の時間差は61時間である。

次いで1994年1月上旬の顕著な水温急上昇に注目する。湾口水温は同年同月の5日11時頃から急上昇を開始し, 10日22時頃にピークに到達し, 約5日半に約4.6°Cの急上昇を示した。湾奥水温は湾口水温に4日弱遅れて9日4時頃から急上昇を開始し, 13日12時頃にピークに到達し, 約4日半に約4.5°Cの急上昇を示した。また, 両水温のピーク到達時の時間差は62時間である。なお, この時期に相模湾でも駿河湾と同程度の水温急上昇が発生し, それは黒潮系暖水の流入による急潮である事が報告されている (Matsuyama *et al.* 1999)。

さらに前2例に次ぐ1993年12月上旬の水温急上昇に注目する。前2例と同様, まず湾口水温が短期間に急上昇を示しこれに遅れて湾奥水温が急上昇を示したが, 両水温の上昇量は約2.5°Cで前2例に較べてかなり小さい。また, 両水温のピーク到達時の時間差は114時間で, これは前2例に較べると約2倍長い。

3.2 暖水の流入過程

駿河湾の湾口水温および湾奥水温の両水温に急上昇が見られた時の NOAA 赤外画像を Fig. 3 に示す。この図から, 黒潮系暖水の同湾への流入, さらに流入した暖水が湾奥西部海域へ移動する様子を知る事が出来る。

まず始めに1993年11月中旬の顕著な水温急上昇時に注目する。両水温の急上昇開始前に相当する同年同月の10日7時51分の画像を見ると (Fig. 3, a-1), 暖水域は同湾沖約42 km 以南にあり同湾に接近しているが, 暖水の同湾への流入は認められない。湾口水温がピーク到達時で湾奥水温は急上昇開始時に相当する14日8時5分の画像を見ると (Fig. 3, a-2), 沖合の暖水域は同湾により接近を示し, 湾口東部海域から暖水が流入している事が分かる。しかし, 流入した暖水が湾奥海域まで及んでいるか否かは雲の影響のため不明である。さらに両水温のピーク到達後に相当する15日7時43分の画像を見ると (Fig. 3, a-3), 湾口東部から流入した暖水は2つに分岐し, 1つは伊豆半島沿いに湾奥海域まで達し, 残りの暖水は湾口海域を反時計回りに湾口西部海域に達している事が分かる。

次いで1994年1月上旬の顕著な水温急上昇時に注目する。両水温の急上昇開始前に相当する同年同月の4日8時6分の画像を見ると (Fig. 3, b-1), 暖水域は同湾沖約34 km 以南にあり同湾に接近しているが, 暖水の同湾への流入は認められない。湾口水温が急上昇中で湾奥水温は急上昇開始前に相当する7日7時1分の画像を見ると (Fig. 3, b-2), 沖合の暖水域はより接近して湾口東部海域に達し, その一部は伊豆半島沿いに湾奥海域まで達している事が分かる。湾口水温はピーク到達後で湾奥水温は急上昇中に相当する9日7時58分の画像を見ると (Fig. 3, b-3), 伊豆半島沿いに北上した暖水は反時計回りに湾奥西部海域まで達し, 残りの暖水は湾口海域全体に拡がっている事が分かる。

さらに前2例に次ぐ1993年12月上旬の水温急上昇に注目する。両水温の急上昇開始前に相当する1993年12月4日7時34分の画像を見ると (Fig. 3, c-1), 暖水域は同湾口東部の石

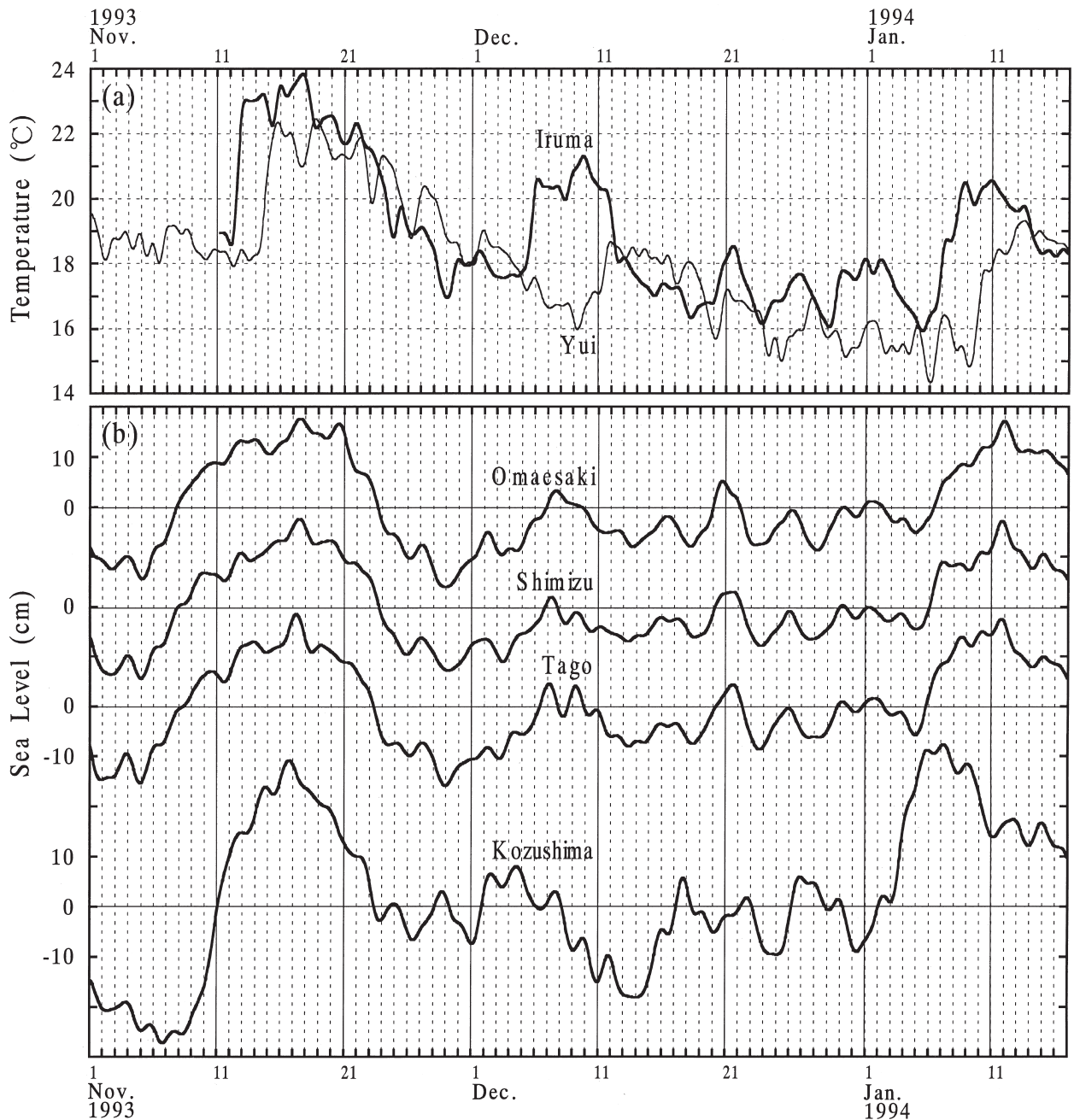


Figure 2. Time series of the temperature at the bay head and at the bay mouth (a), sea level at Omaezaki, Shimizu, Tago and Kozushima (b).

廊崎沖約15 km以南にあり同湾に接近しているが、暖水の同湾への流入は認められない。湾口水温はピーク到達時で湾奥水温は急上昇開始前に相当する9日7時26分の画像を見ると (Fig. 3, c-2), 暖水は湾口海域にあり, そこから同湾の東岸と西岸に沿いに湾中央海域まで達している事がわかる。湾口水温は下降時で湾奥水温はピーク到達時に相当する13日7時40分の画像を見ると (Fig. 3, c-3), 暖水は湾口西部海域にあり, そこから湾中央海域さらに湾奥海域まで達している。従って, 湾奥水温の急上昇は暖水が湾岸沿いに反時計回りに達したのではなく, 湾口西部海域から時計回りに湾岸沿いに湾奥西部海域まで達した為と考えられる。

この様に, 1993年11月中旬と1994年1月上旬の2例の顕著な水温急上昇において, 湾口水温の急上昇は黒潮系暖水の湾

口東部海域からの流入の影響であり, さらに湾奥水温の急上昇は流入した暖水が湾岸沿いに反時計回りに湾奥海域まで達した為である事から, これら2例の水温急上昇は「急潮」と見なす事が出来る。

4. 考 察

4.1 急潮の移動速度

駿河湾口東部入間から湾奥西部由比に至る急潮の移動速度は両水温のピーク到達時の時間差と距離から求める事が出来る。前述の様に (3.1節) 両水温のピーク到達時の時間差は1993年11月中旬の急潮では61時間で, 1994年1月上旬の急潮では62時間であった。また, 1992年3月上旬に発生した急潮

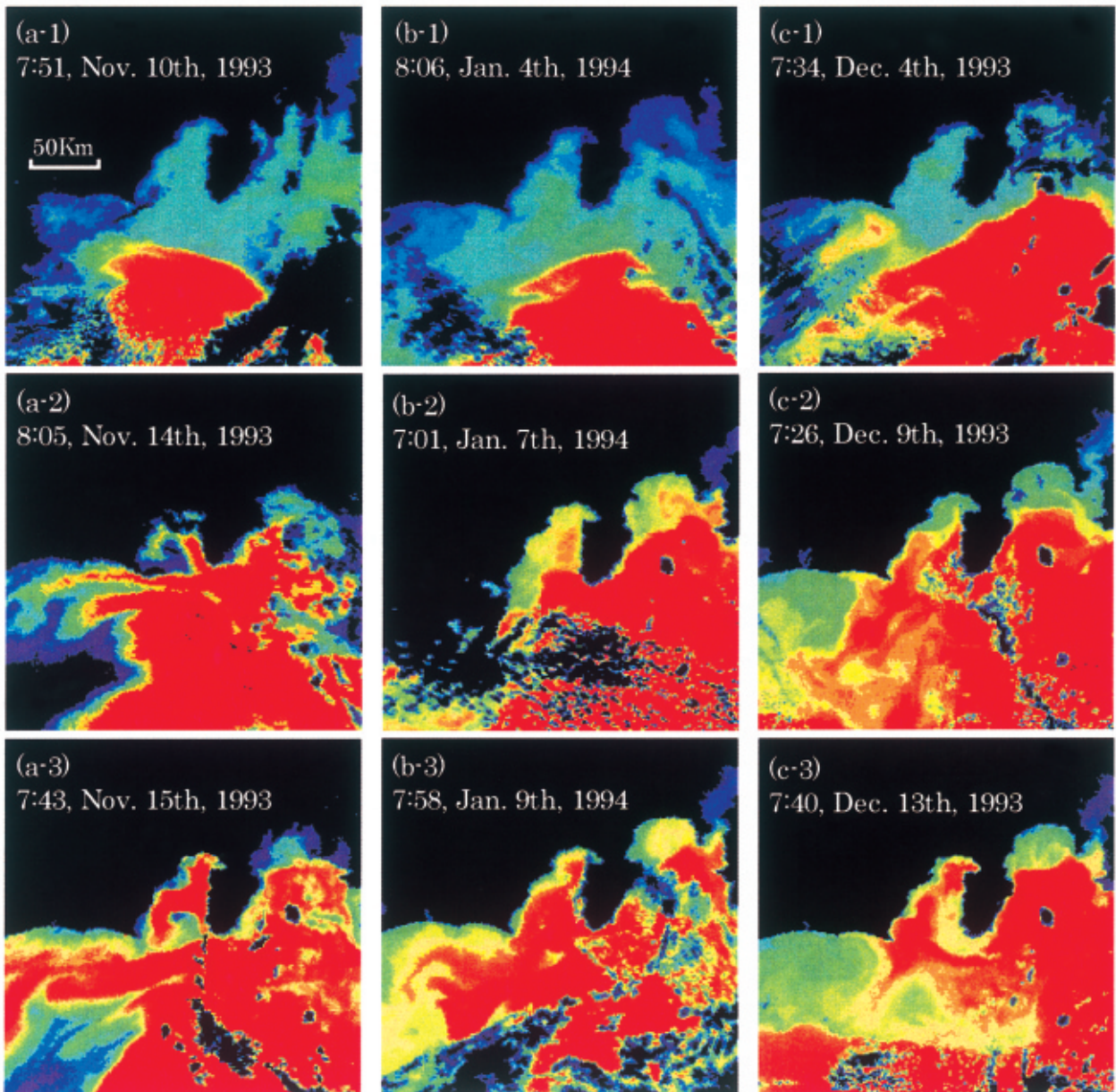


Figure 3. NOAA IR Images when the Kyucho was occurred. The time is JST (Japan Standard Time). The red and blue areas show warm and cold water, respectively, and the black area shows land and cloud.

と同様、今回の2例の急潮も流入した暖水が200mの等深線に沿って湾岸を反時計回りに移動すると仮定すると、移動距離は約85 kmである(稲葉ほか, 2003)。従って、今回の2例の急潮の移動速度は 39cm sec^{-1} と 38cm sec^{-1} が求まる。これらの値は1992年3月に同湾で発生した急潮の移動速度 79cm sec^{-1} に較べて約半分の小さい値である。また、1994年1月上旬の急潮の移動速度 38cm sec^{-1} は、同時期に相模湾で発生した急潮の移動速度 $60\sim 70\text{cm sec}^{-1}$ (Matsuyama *et al.*, 1999)に較べて約半分程度の小さい値である。

この様に、今回の2例の急潮の移動速度は過去の急潮に較べて可成り小さい値であった。急潮の移動速度を沿岸密度流(Kubokawa and Hanawa, 1984)の先端部の移動速度として見積もる為には密度構造が必要である。しかし、2例の急潮発生時の水温・塩分観測は行われていない。

4.2 黒潮系暖水の流入原因

本州南方海域の200m層水温の水平分布をFig. 4に示す。同図から、今回の2例の急潮をもたらした黒潮系暖水の流入の原因を知る事が出来る。

まず始めに1993年11月中旬の急潮に注目する。急潮発生前の水温水平分布を見ると(Fig. 4-a)、黒潮流軸の指標となる 15°C の等温線(Kawai, 1969)は同湾の遙か南沖約200 kmにあった。急潮発生後の水温分布を見ると(Fig. 4-b)、黒潮流軸は同湾の南沖約58kmまで急接近を示し、さらに同湾沖で小さな蛇行が発生しているのが分かる。

次いで1994年1月上旬の急潮に注目する。急潮発生前の水温分布を見ると(Fig. 4-c)、黒潮流軸は同湾の南沖約83 kmにあった。急潮発生後の水温分布を見ると(Fig. 4-d)、黒潮は遠州灘沖で蛇行し、同灘沖を東流した後に駿河湾沖で大きく左変して同湾方向に向かい、黒潮分枝流の同湾へ流入が示唆される。

従って、これら2例の急潮をもたらした黒潮系暖水の流入原因は黒潮の接近であり、これには同湾沖での黒潮の小さな蛇行の発生および黒潮の遠州灘沖での蛇行に伴う同湾沖での北上流の影響が考えられる。

4.3 水位変動

駿河湾内の田子、清水、御前崎および同湾沖の神津島の気圧補正済みの水位を Fig. 2-b に示す。神津島水位は1993年11月中旬および1994年1月上旬の2例の急潮発生の前に急上昇を示し、前者では10日間に約50cm、後者では7日間に約40cmの上昇を示した。黒潮の内側と外側の水位差は80~100cmであり(例えば, Kawabe, 1985), 今回の神津島水位の上昇は黒潮の水位差の半分程度である。従って、同水位の上昇は黒潮流軸が同島に位置するまで同湾へ接岸した事を示し、今回の急潮をもたらした黒潮系暖水の流入の原因を黒潮の接近とした前節(4.2節)の結論を裏付けている。

湾内各地の水位変動は全期間を通して変動が激しいが、いずれの水位も類似した変動を示し、急潮発生時の湾口と湾奥の水温急上昇に見られた様な位相差は認められない。また、同水位は1993年11月中旬の急潮の発生前の約10日間に20~30cmの緩やかな上昇が見られるが、水温に見られた様な急上昇は認められない。従って、急潮に伴う水温変動の効果は湾

内各地の水位変動にはほとんど現れなかったと言える。なお、1992年3月上旬に同湾で発生した急潮でも、水温変動の効果は湾内各地の水位変動にはほとんど現れなかった(稲葉ほか, 2003)。

5. 結 論

1993年11月中旬と1994年1月上旬、駿河湾口東部沿岸海域の水面下1m層で短期間に約4.5°Cの水温急上昇が観測された。また、これに少し遅れて同湾奥西部沿岸の水面下2mでも短期間に約4.3°Cの水温急上昇が観測された。

これら2例の水温急上昇時のNOAA衛星画像から、1993年11月中旬と1994年1月上旬の2例の湾口水温の急上昇は黒潮系暖水の湾口東部海域からの流入によるものであり、さらに湾奥水温の急上昇は流入した暖水が湾岸沿いに反時計回りに湾奥まで達した為である事から、これら2例の水温急上昇は「急潮」と見なす事が出来る。

湾口水温と湾奥水温のピーク到達時の時間差と距離から計算した2例の急潮の移動速度として39cm sec⁻¹と38cm sec⁻¹が求まる。これは1993年3月上旬に駿河湾で発生した急潮の移動速度が79cm sec⁻¹であったのに比べて約半分の小さい値である。また、1994年1月上旬の急潮の移動速度38

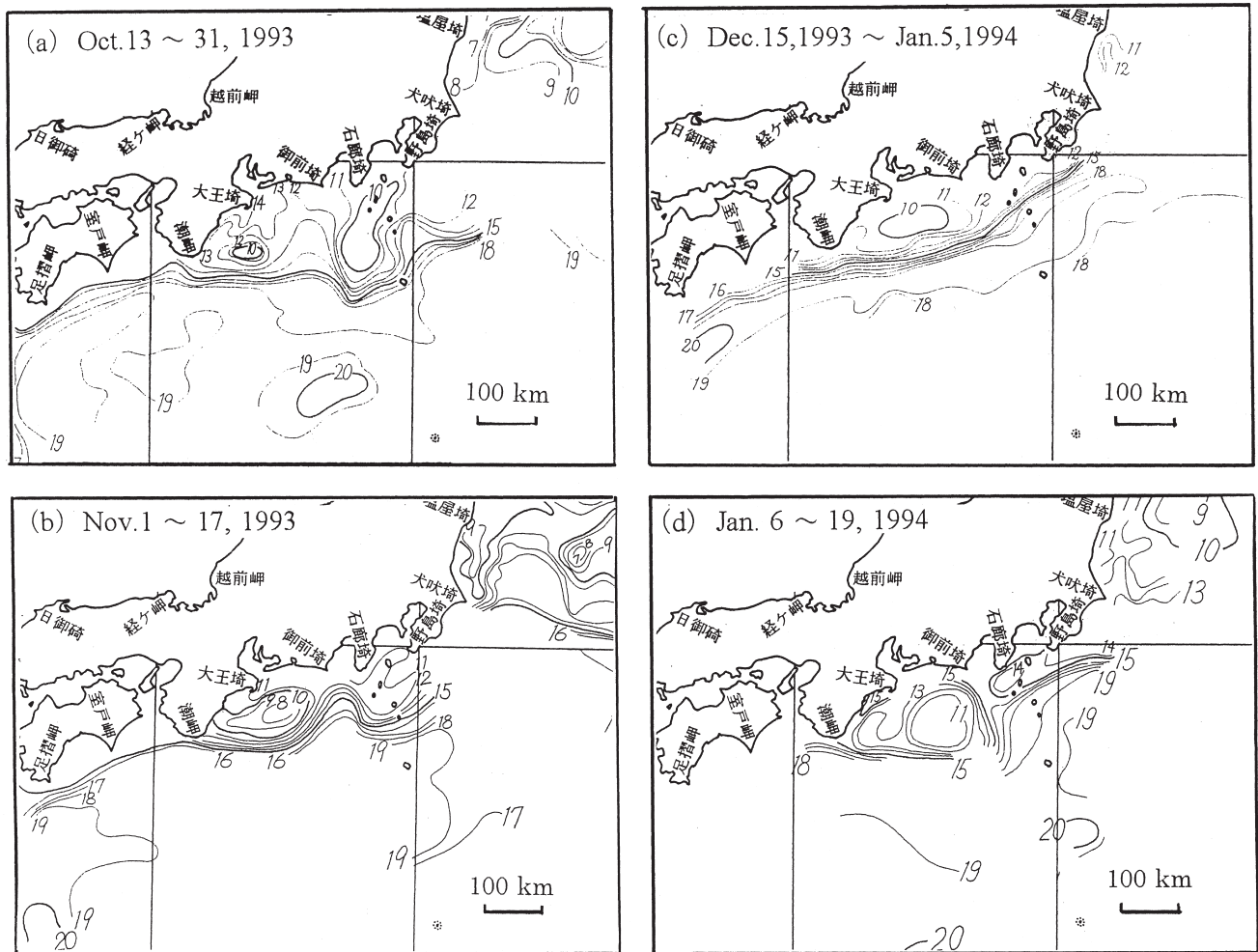


Figure 4. Temperature distribution at 200 m depth south of Japan when the Kyucho was occurred.

cm sec⁻¹ は、同時期に相模湾で発生した急潮の移動速度60～70cm sec⁻¹ (Matsuyama *et al.*, 1999) に較べて約半分程度の小さい値である。

本州南方海域の200層の水温水平分布から、これら2例の急潮をもたらした黒潮系暖水の流入原因はいずれも黒潮の接近であると推測されるが、これには同湾沖での黒潮の小さな蛇行の発生および遠州灘沖での黒潮の蛇行に伴う同湾沖での北上流が関係しているものと思われる。

神津島水位は2例の急潮発生前に約40～50cmの急上昇を示し、これは黒潮が同湾に接近した事を示すものである。また、湾内各地の水位変動には水温変動に見られた様な急上昇および位相差は認められず、急潮に伴う水温急上昇の効果は水位変動にはほとんど現れなかった。

謝 辞

水温計の設置回収作業に積極的に協力頂きました由比町の西倉沢漁業生産組合の望月眞孝組合長と同組合の方々、および係留系の設置を許可頂きました南伊豆町漁業協同組合入間支所の方々に感謝致します。NOAA衛星画像を提供頂いた東北大学大型計算機センターと東北大学大学院理学研究科付属大気海洋変動観測研究センター、さらに水位データを提供頂いた国土地理院、気象庁および海上保安庁、気圧データを提供頂いた気象庁に感謝致します。

引用文献

- 秋山秀樹 (1991)：宿毛湾の急潮。沿岸海洋研究ノート, **29**, 90-96.
- Akiyama, H. and S. Saitoh (1993): The Kyucho in Sukumo Bay induced by Kuroshio warm filament intrusion. *J. Oceanogr.*, **49**, 667-682.
- 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—日平均潮位を扱う際の留意点。沿岸海洋研究ノ

- ート, **23**, 79-87.
- 稲葉栄生 (1982)：駿河湾海況と黒潮流軸位置との関係。沿岸海洋研究ノート, **19**, 94-102.
- 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.
- 海上保安庁水路部 (1993・1994)：海洋速報。平成5年第21・22号および平成6年第1・2号。
- Kawabe, M. (1985): Sea level variations at the Izu Islands and typical stable paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 307-326.
- Kawai, H. (1969): Statistical estimation of isotherms indicative of the Kuroshio axis. *Deep Sea Res., Suppl.* **16**, 81-96.
- 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.
- Kubokawa, A. and K. Hanawa (1984): A theory of semigeostrophic gravity waves and its application to the intrusion of a density current along a coast. Part 2. Intrusion of a density current along a coast in a rotating fluid. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 260-270.
- 松山優治・岩田静夫 (1977)：相模湾の急潮について—(1) 1975年に起こった急潮。水産海洋研究会報, **30**, 4-15.
- Matsuyama, M. and T. Teramoto (1985): Observations of internal tides in Uchiura Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 39-48.
- Matsuyama, M., H. Ishidoya, S. Iwata, Y. Kitade and H. Nagamatsu (1999): Kyucho induced by intrusion of Kuroshio water in Sagami Bay. *Continental Shelf Research*, **19**, 1561-1575.
- 宇田道隆 (1953)：相模湾の急潮とその予知について (第1報)。日本海洋学会誌, **19**, 15-22.
- Yamagata, T. (1980): A theory of propagation of an oceanic warm front with application to Sagami Bay. *Tellus*, **32**, 73-76.

要 旨

1993年11月中旬と1994年1月上旬、駿河湾の湾口東部と湾奥西部で、3日間に約4.5°Cの水温急上昇が観測された。湾口東部の水温急上昇の原因は黒潮系暖水の流入の影響であった。湾奥西部の水温急上昇は流入した暖水が湾岸沿いに反時計回りに巡った為であった。従って、両地点での水温急上昇は急潮と呼ぶ事が出来る。急潮をもたらした黒潮系外洋水の流入原因は同湾沖での黒潮流路の北上と考えられる。両地点における水温急上昇の時間差と距離から求めた2度の急潮の移動速度は1993年11月中旬は39cm sec⁻¹で1994年1月上旬は38cm sec⁻¹であった。これらは1992年3月上旬に発生した急潮 (稲葉ほか, 2003) の約半分に過ぎない。また、急潮に伴う水温変化は同湾の水位変動にはほとんど影響を与えない。