

## 2007年初春の五島灘–天草灘における表層水温の急上昇

森永健司<sup>1a†</sup>, 中川倫寿<sup>2</sup>, 種子田 雄<sup>3</sup>, 吉村 拓<sup>3</sup>, 田中耕治<sup>4</sup>, 高木信夫<sup>5</sup>

### Sudden Rise of Sea Surface Temperature in the Goto Nada–Amakusa Nada in Early Spring 2007

Kenji MORINAGA<sup>1a†</sup>, Norihisa NAKAGAWA<sup>2</sup>, Takeshi TANEDA<sup>3</sup>,  
Taku YOSHIMURA<sup>3</sup>, Kouji TANAKA<sup>4</sup> and Nobuo TAKAGI<sup>5</sup>

海況の短期変動が漁業に与える影響を解明するために、2000年から2007年まで九州西部沿岸域での海面水温の集中的なモニタリングを行った。モニタリングは、九州西部沿岸の4箇所での連続的な海面水温の測定、沖合を航行するフェリーに搭載した水温計による測定、漁業調査船によるCTD観測により実施した。モニタリングの結果、2007年の早春に海面水温が急上昇する現象を捉えた。人工衛星の赤外線画像から、暖水が黒潮の北端部に由来し、沖・沿岸の2つの経路でこの海域に広がったことが示された。沖の経路により供給された暖水は、五島灘と天草灘の中央部に高気圧性渦を形成し、1か月の長期にわたり持続した。沿岸の経路から供給された暖水は100m程度の厚みを持ち、五島灘の最北部にまで到達した。一方、九州西部沿岸への暖水の供給は他の季節にも生じるものの、沿岸と沖合での水温差が小さく海面水温の変動が不明瞭となることを示した。

In order to elucidate the effect of short-time variability of ocean condition on the fisheries catch, we executed intensive monitoring of sea surface temperature in the coastal water of western Kyushu Island from 2000 to 2007. The monitoring was conducted by the continuous SST recording at the four coastal stations, on-board SST measurement from a ferry boat, and CTD observation by fisheries research vessels. The SST monitoring revealed the occurrence of a sudden rise in SST in the monitored region in the early spring of 2007. With the aid of satellite infrared images, it is shown that this warm water was derived from the northern edge of the Kuroshio and propagated to this region via two routes; offshore and coastal. The warm water supplied by the offshore route formed an anti-cyclonic eddy in the central part of the Goto and Amakusa Nada, which contributed to the continuous high temperature condition in the long term over one month. The warm water with thickness of 100 m supplied from the coastal path reached far north to the north part of Goto Nada. The monitoring data suggested that the propagation of warm water to western Kyushu occurred in the other monitoring season while the rise of SST would be obscure because of small temperature differences between the coastal and offshore waters.

**Key words:** coastal water temperature, Kuroshio fluctuation, sudden rise of SST, west coast of Kyushu Island

2011年7月24日受付, 2014年4月7日受理

<sup>1</sup> 独立行政法人水産総合研究センター本部

Research Management Department, Fisheries Research Agency, 2–3–3 Minatomirai, Yokohama, Kanagawa 220–6115, Japan

<sup>a</sup> 現所属: 独立行政法人水産総合研究センター中央水産研究所

Present: National Research Institute of Fisheries Science, Fisheries Research Agency, 2–12–4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236–8648, Japan

<sup>2</sup> 独立行政法人水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所

National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, 2–17–5 Fisheries Research Agency, Maruishi, Hatsukaichi, Hiroshima 739–0452, Japan

<sup>3</sup> 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所

Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1551–8 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851–2213, Japan

<sup>4</sup> 鹿児島県熊毛支庁

Kagoshima Prefectural Kumage Bureau, 7590 Takadaue, Iwamoto, Nishinoomote, Kagoshima 891–3192, Japan

<sup>5</sup> 長崎県総合水産試験場

Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551–4 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851–2213, Japan

† kenjim@affrc.go.jp

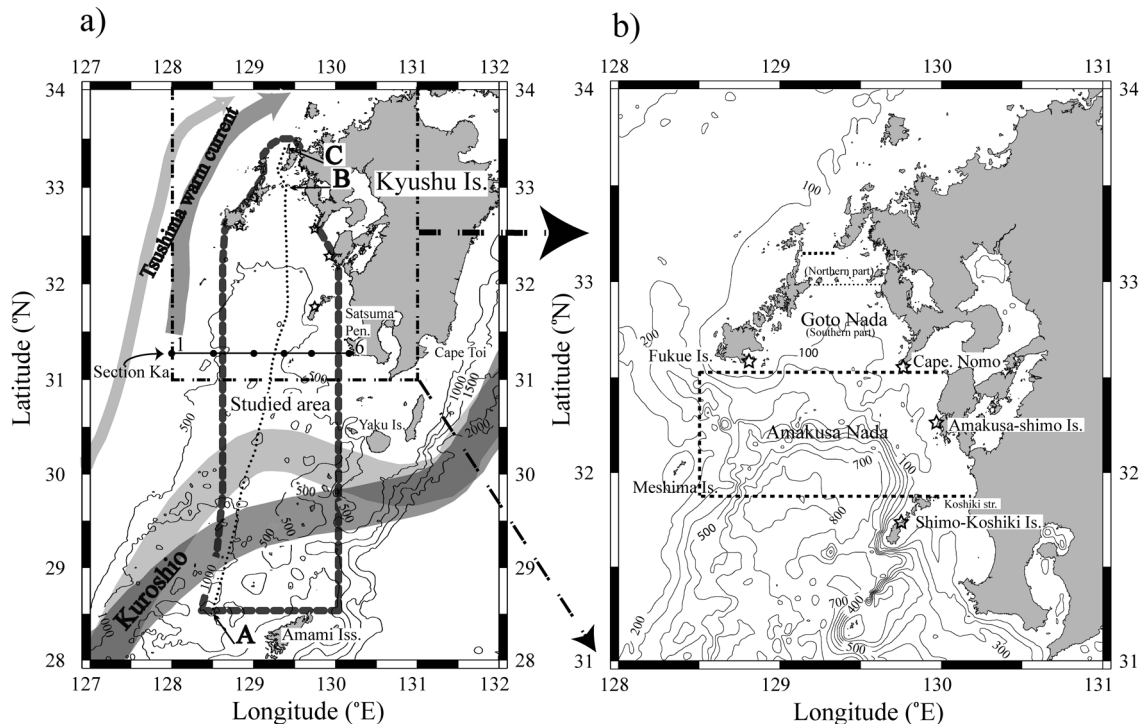
## はじめに

九州西部沿岸域の中ほどに位置する五島灘-天草灘と呼ばれる海域(中村, 1988)は, 漁業や海運業により盛んに利用される海域であり, 特に漁業に関してはアジ曾根に代表される好漁場が多くある(Fig. 1a, b). また冬-春季(12月下旬-6月上旬)にはブリの漁獲が主となる定置網漁業が盛んに行われており, 多くの水揚げがある. 漁業者は, 日頃の経験により水温変動が漁況の変化に大きく影響を与えることを実感しており, 漁模様と水温変動との関係への関心も高く, 漁業者から周辺海域の水温に関する問い合わせを受けることが多い. しかし現場で定期的に測定している場所が少なく, また漁が始まる冬季から盛期となる春季には北西の季節風が連吹して海況が著しく悪化するため, 特に沖合域での情報は乏しい. 当海域は, 黒潮が東シナ海から太平洋へと流出するトカラ海峡の西側に位置しており, 黒潮流軸位置の変動により水温が大きく変動すること, また黒潮北縁から暖水が当海域へ供給されることから, 沖合での水温変動が沿岸域に影響を与える過程について理解しておくことは大変重要である.

五島灘-天草灘での海況に関する知見として, 中村(1990)は表層での季節別の水塊分布の特徴について, 冬

季は15°Cの等温線が南から張り出し, 春季は成層が次第に発達して18-19°Cとなること等を紹介している. 一方, 水塊分布を決める流れに関しては, 赤松(1950)が五島灘での実測流と力学計算を比較して, 12-1月には時計回り, 5-10月頃までは反時計回りの循環となる傾向があることを示した. 井上(1981)は既往の知見をもとに, 対馬暖流の源流を形成する水塊の一部が女島付近から福江島の南を通って五島灘南部を東向きに流れて時計回りの循環流となり, その後, 野母崎沖から天草灘を南下して甞島近海を経て薩南沿岸に達することに加えて, この流れは中層以深では周年定常的に形成されるとした. 小田巻(1982)は夏季の観測結果をもとにした診断モデルにより, 五島灘-天草灘での流れが時計もしくは反時計回りの循環を示す現象は, 東シナ海の黒潮の強さや流れの構造によって左右されるものと推測した.

一方, 九州南西海域の黒潮前線の挙動について, 秋山・飴矢(1991)は人工衛星の熱赤外面像を用いて黒潮から派生する暖水舌の水平スケールを報告している. また Nakamura *et al.* (2003) は, 九州南西海域における黒潮の流路変動と, 流路上流の北側に形成される低気圧性渦の発達との関連を示唆している. これまでも九州南西方での黒潮の



**Figure 1.** a) A map showing the water temperature measurement sites (stars), the course of a ferry boat "Kairyu" (dotted line) and observation stations by R/V "Kuroshio" (section Ka). On the course of the ferry boat, A, C and B show the southernmost observation point, the northernmost observation point and the border between the northern and southern part of Goto-nada, respectively. Thin lines denote water depth. b) The names of the sea areas. Thin lines denote water depth.

変動や黒潮北縁の前線域に形成された渦が、当海域の海況に及ぼす影響についての研究が行われた（例えば宮地ら, 1987）。しかし当海域の海況変動の要因が多様であり、様々な時空間スケールの変動を伴うため、現在に至っても循環流の実態に迫ったとは言い難いものの、これらの研究結果は、黒潮の影響による当海域での水温変動の詳細な時間・空間パターンを解釈する上での指針となる。

そこで、五島灘-天草灘での盛漁期である冬-春季の海況変動、特に黒潮北縁から暖水が供給される過程を捉えるために、長崎県、熊本県、鹿児島県の水産試験研究機関と西海区水産研究所が協力して、五島灘-天草灘での広域水温場のモニタリングを1999年から実施した。モニタリングは、漁業調査船による観測に加えて、多少の時化でも運行を継続するフェリーボートによる表層水温の航走観測とともに沿岸4カ所の定置網における水温連続観測に基づいた。このモニタリングによって得られたデータを解析した結果、2007年初春に黒潮から北へと波及する表層水温の急上昇イベントが捉えられたので以下に報告する。

#### 資料と方法

五島灘-天草灘の沿岸域における表層水温の連続観測を実施するために、長崎県福江島南東岸の富江、長崎半島南端の野母崎、熊本県天草下島南西岸の大江、鹿児島県下甌島北西岸の鹿島に設置された定置網に1999年4月から水温計を順次取り付け、2000年1月より全点で連続測定を開始した（Fig. 1b中の星印）。各地点での測定方法等はTable 1のとおりである。なお、野母崎では測定深度が他の測定点より5m浅いが、冬-春季には表層の混合層が発達しているため、他地点の水温との比較に際しては支障がないと考えられる。また本稿において言及する平年値は以下の方法で算出した。まず全観測点での測定を開始した2000年1月から2006年12月までに各観測点において得られた水温値に対して潮汐周期以下の短周期成分を除去するために24時間50分の移動平均を施した。なお測定間隔が30分ごとの野母崎では、線形補間により10分ごとの測定値を求めて

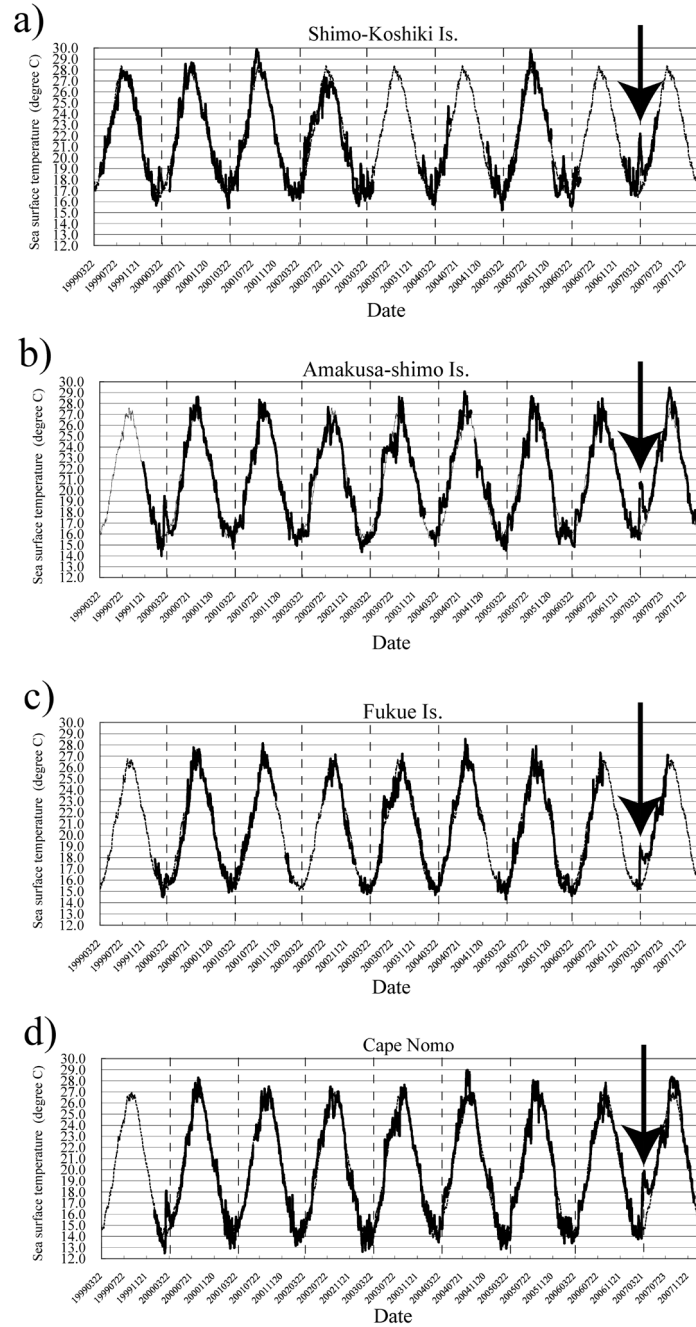
移動平均を行った。得られた移動平均値をもとに、太陽の平均黄経（以下、太陽黄経）0.1度ごとの水温値を直線補間により求め、7年間に得られた平均値を算出して太陽黄経0.1度ごとの平年値とした。なお機器の不良等により欠測が一部生じたものの、太陽黄経0.1度ごとの平年値の算出に当たり、最低でも7年間のうち5年分の値を取得できた。次に、当海域沖合を毎週4回通過するフェリー“海龍”（旧有村産業株式会社所属、6801トン）に水温測定記録装置を搭載し、2007年2月17日から連続測定を開始した。水面下約5mの船底に水温計（古野電気製、TI-20）を取り付け、GPSにより得られた位置情報とともに10秒ごとに記録した。なお本稿ではFig. 1aの点線で示した航路上で得られた測定結果を使用した。また2007年3月9-10日にFig. 1aのKa線上の6点において、CTD（Sea Bird社製、SBE19）による各層水温塩分観測を鹿児島県水産技術開発センター所属漁業調査船“くろしお”により実施した。2007年4月11-12日には、長崎県総合水産試験場所属調査船“鶴丸”によりCTD（JFEアドバンテック社製、ACL220PDK）を用いた各層水温塩分観測を五島灘で実施した。なおFig. 1bにおける海域の呼称は中村（1988）に準じている。

加えて人工衛星NOAAに搭載されたAVHRR（Advanced Very High Resolution Radiometer）からの熱赤外画像を、農林水産省農林水産研究情報センターが運営する農学情報資源システムの気象衛星画像データベースから取得した。取得した画像は解像度1.1 kmのMCSST（Multi-Channel Sea Surface Temperature）の日毎合成画像である。本稿で対象とする冬季-春季には東シナ海上に北西からの季節風による筋状の雲が発生することが多く、判読可能な画像を得るのが困難であるが、2007年2月から3月には判読可能な画像が例年に比べて多く、25%程度得られた。得られた熱赤外画像において黒潮を示す高温域と、その北側の低温な沿岸水域との間に形成される水温前線を、本稿においては黒潮北縁と称する。なお水温資料の図化に際してはWessel and Smith（1998）のGMT（The generic mapping tools）を使用した。

**Table 1.** Details of water temperature measurement station deployments.

Measurement stations	Latitude (N)	Longitude (E)	Measuring Period (min)	Depth of Sensor (m)	Equipments
Tomie, Fukue Is. Nagasaki Pref.	32°36.3'	128°48.5'	10	10	AT-32K: JFE Advantech Co., LTD.
Cape Nomo, Nagasaki Pen. Nagasaki Pref.	32°34.1'	129°44.1'	30	5	UTBI-001: Onset Computer Corp.
Ooe, Amakusa-shimo Is. Kumamoto Pref.	32°16.2'	129°58.5'	10	10	ZWT-1000-PA: Zeni Lite Buoy Co., LTD.
Shimo-Koshiki Is. Kagoshima Pref.	31°44.5'	129°45.5'	10	10	AT-32K: JFE Advantech Co., LTD.

2007年初春の五島灘－天草灘における表層水温の急上昇



**Figure 2.** Time series of sea surface temperature measured at four stations, a) Shimo-Koshiki Is., b) Amakusa-shimo Is., c) Fukue Is. and d) Cape Nomo from 1999 to 2007. Thick or thin lines show 25-h running mean and 7-yr average water temperature calculated at each 0.1°C in mean solar celestial longitude, respectively.

結果

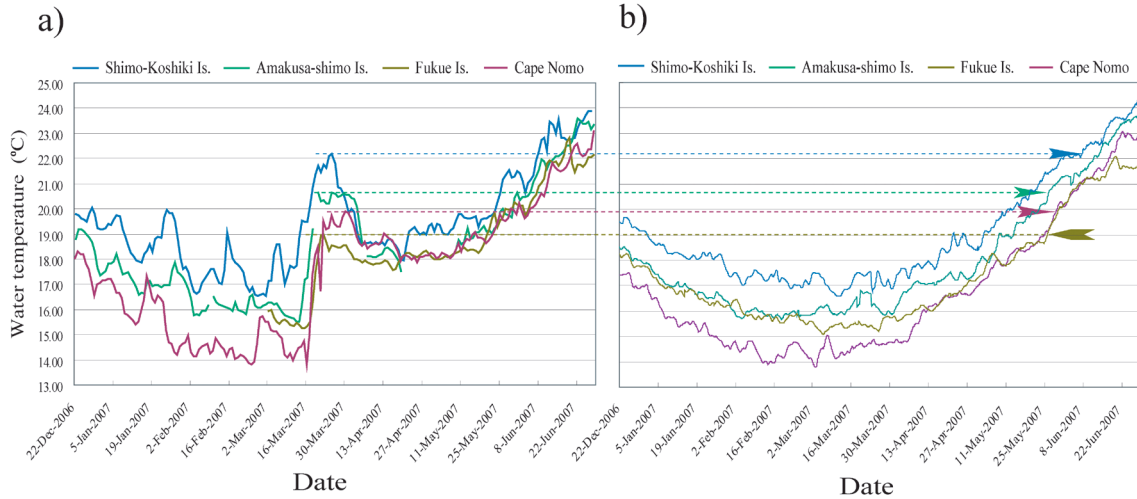
沿岸測定点での表層水温変動

24時間50分移動平均後の水温および平年値の時系列 (Fig. 2) に各年とも、表層水温が3-5月に大きく変動する傾向がみられる。特に Fig. 2中に矢印で示した2007年3月下旬には、全観測点において4°Cを超えるような表層水温の急上昇が認められた。全測定点における表層水温の上昇は

2000年3月下旬にも起こったが、1-3°Cの上昇であった。

2007年3月下旬の昇温イベントを詳細に見るために、2006年12月22日から2007年6月28日までの24時間50分移動平均後の水温および平年値の時系列をそれぞれFig. 3a, bに示した。これらによると3月上旬まで欠測した福江島を除く全測定点において、12月下旬から3月上旬にかけては最大で2°C程度の上昇と3°C程度の下降を繰り返した





**Figure 3.** a) Time series of 25-h running mean of sea surface temperature measured at four stations from 22 December 2006 to 28 June 2007. b) 7-year average sea surface temperature calculated at each 0.1°C in mean solar celestial longitude.

がら徐々に降温した。最低水温は最南に位置する下甌島では16.5°C、九州西岸の最北に位置する野母崎では13.9°C、これらの中間地点である天草下島では15.5°Cであり、北方の観測点ほど低温であった。一方、野母崎とほぼ同じ緯度ではあるが五島灘の西側に位置する福江島での最低水温は15.3°Cであり、野母崎の最低水温より高温であった。このように2007年の最低水温期である3月上旬は五島灘-天草灘では北ほど、また東側ほど低温となる水温勾配が生じていた。2000年1月以降に得られた測定結果でも年間での最低水温を3月に記録することが多く、2007年も3月上旬までは同様の変動傾向を示した。

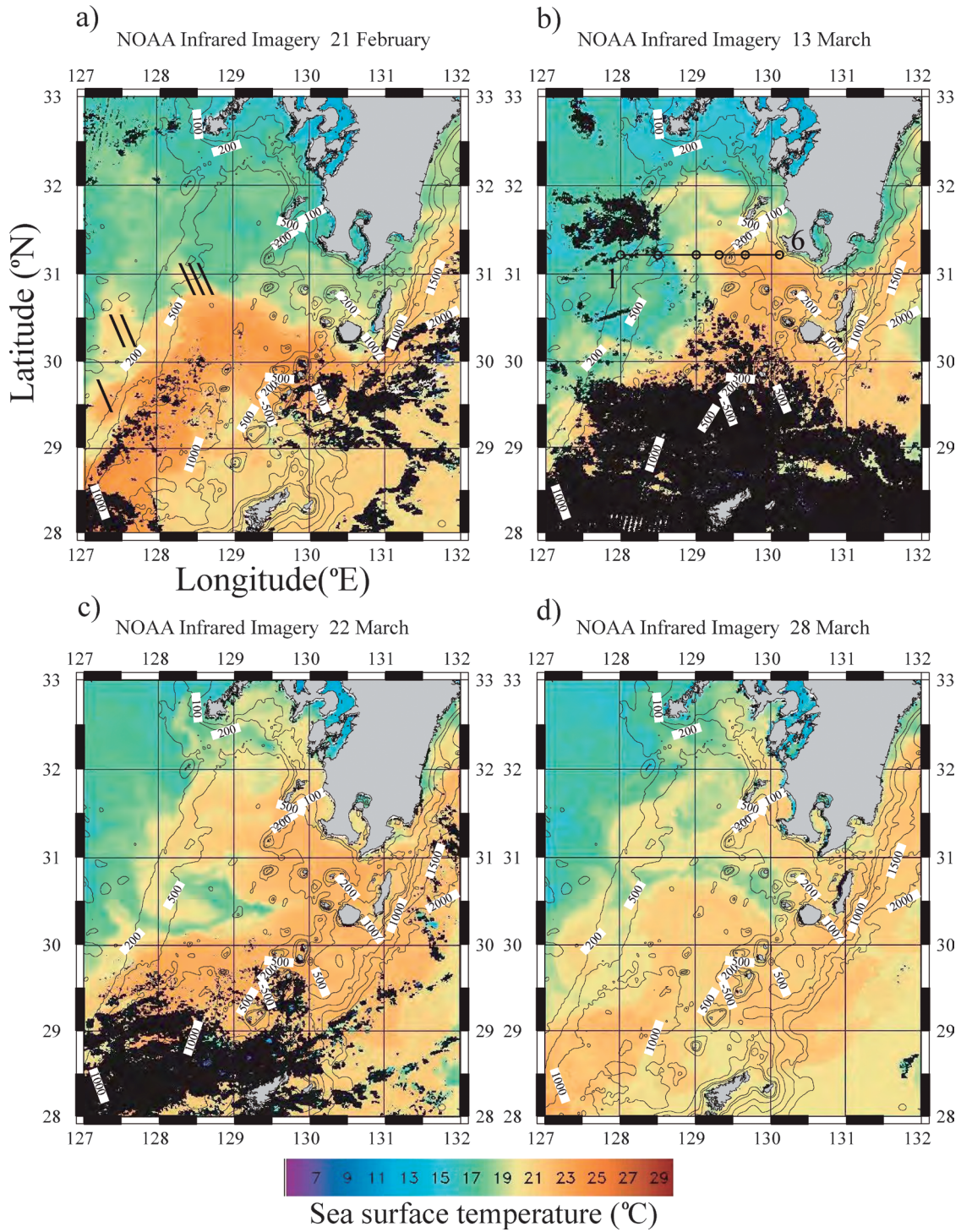
移動平均値で見ると、下甌島では3月8日(17.0°C)から上昇を始め3月25日には22.2°Cに達した。また、その北にある天草下島では、3月13日(15.5°C)に上昇を始め3月25日に20.8°Cとなった。さらに北にある野母崎では、3月16日(13.3°C)から上昇し始めて、3月31日には19.6°Cとなった。一方、福江島では3月15日(15.3°C)から上昇し、3月21日には19.0°Cに達した。すなわち野母崎では6.3°C(0.4°C・day<sup>-1</sup>)、天草下島では5.3°C(0.66°C・day<sup>-1</sup>)、下甌島では5.2°C(0.30°C・day<sup>-1</sup>)、福江島では3.7°C(0.62°C・day<sup>-1</sup>)、急激に昇温したことが分かった。また各観測点における上述の最高水温値は、各観測点での5月下旬から6月上旬の平年値と同等の水温値となり、2週間で3月中・下旬から2ヶ月も季節が急激に進んだような状態となった(Fig. 3b)。

最高水温を示した後、全観測点において19.0°C以下(福江島では18.0°C以下)まで降温した。特に下甌島では3月24日以降、急速に降温し、4月中旬に極小(18.0°C)に達した後、急速に19.0°C台へ昇温し、5月下旬まで19°C台を維持した。その他の観測点では、昇温に転じた4月中旬以

降、天草下島と野母崎では5月中旬まで、福江島では5月下旬まで18°C台の水温を維持した。以上のように、3月中旬から5月中旬にかけての2ヶ月間という長期間にわたり平年値を超える高水温の状態が続いた。

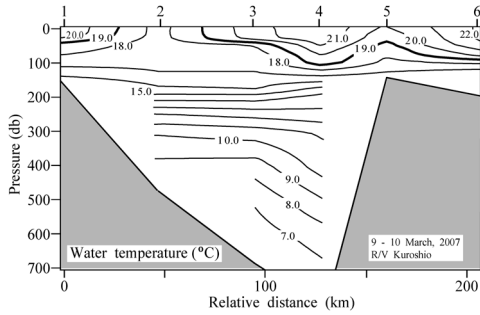
#### 沖合域での表層水温変動

前項において、九州西部沿岸で2007年3月中旬に急速に昇温し、その後2ヶ月程度高温状態が維持されたことを示した。この昇温イベントの時空間変動を知るために、昇温イベントが生じる前の2007年2月21日に得られた人工衛星熱赤外面像をFig. 4aに示す。これによると黒潮域を示す高温域(ここでは21°C以上を指標とする)は28°0'N, 127°0'Eから北北東方向の30°30'N, 128°30'Eへと繋がり、そこから東南東方向の30°0'N, 130°30'Eへと湾曲し、屋久島の南から北北東方向の九州南東部の都井岬付近へと繋がっている。また黒潮北縁(ここでは19°Cを指標とする)はFig. 4a中のI, II, IIIに示すように蛇行していた。次に3月13日の画像をFig. 4bに示す。黒潮北縁は30°0'N, 128°30'Eから31°30'N, 129°15'Eまで南北方向に延び、そこから下甌島に接近して薩摩半島と下甌島との甌海峡に達していた。また32°0'N, 129°0'Eを中心として東西方向に高温域が分布し、その南東部と下甌島との間には低温域が北東から南西方向に細長く存在している。Fig. 4b中のKa線で3月9-10日に実施したCTDによる測定結果から得られた水温鉛直分布(Fig. 5)では、Fig. 4bに見られた高温域の位置(Stn. 4, 6)における50m以浅に21°C以上の高温の水が認められる。この暖水の下層には、黒潮北縁の指標水温とした19°Cの等温線が下に凸の構造を持ち、その最深部はStn. 4では100 dbに達していた。Stn. 1の表層にも20°C以上の暖水が見られる。これは、Fig. 4bでは雲域のために不明瞭であるが、この画像が得られた3-4日前にStn. 1付近にも

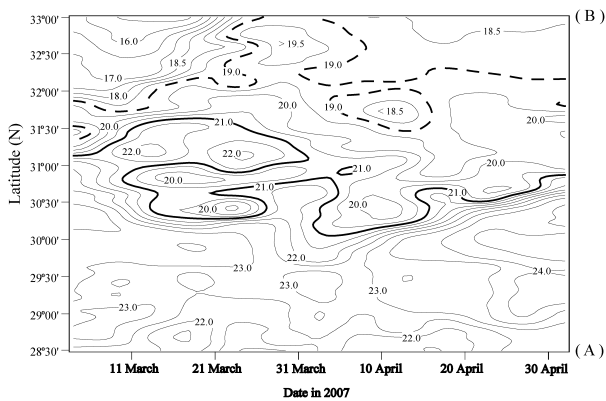


**Figure 4.** Infrared imagery obtained by NOAA satellite on a) 21 February, b) 13 March, c) 22 March and d) 28 March 2007. Roman numerals in a) denote the positions of the Kuroshio frontal waves. Open circles in b) show the observation stations by R/V “Kuroshio.” Black color shows the clouded area.





**Figure 5.** Vertical distributions of water temperature measured by R/V “Kuroshio” in section Ka (see Fig. 1a) from 9 to 10 March 2007.



**Figure 6.** Time series of water temperature distributions measured by the ferry boat “Kairyu” on the course off the west coast of Kyushu Island from 4 March to 1 May 2007. Characters on the right edge denote the positions on course (see Fig. 1a).

黒潮北縁の指標水温より水温の高い暖水が存在していたことを示している。

次に3月22日の画像 (Fig. 4c) を見ると、30°Nから31°N帯の127°30'Eから129°30'Eにかけて低温の水が巴状の分布を示しており、低気圧性渦の存在を示唆する。この低気圧性渦の北部 (31°0'N以北) では、薩摩半島から128°0'Eの大陸斜面に至るまで、黒潮からの暖水が広範囲に分布している。また32°15'N, 129°15'Eを北端とする高温域が見られ、この高温域の北側には128°30'Eから129°30'Eにかけて東西方向に細長く低温域が分布する。この低温域よりも東側 (沿岸側) に見られる高温域は、下甕島、天草下島、野母崎および福江島方向へと繋がり、天草灘から五島灘南部にかけての広域に分布している。3月28日の画像 (Fig. 4d) を見ると、高温域が九州西岸に沿って分布し、その西側の低温域は福江島から南東方向へと繋がり下甕島に接近している。この低温域の接近と同時期である3月24日に下甕島では急速に水温が低下していた。

以上のように、黒潮北縁が九州に接近してから九州西部

沿岸が高温となる一連の昇温イベントは、少なくとも3月13–28日の16日間に発生した。ここで昇温イベントの時間経過を把握するために、フェリー海龍の航路上 (Fig. 1a) で2日ごとに測定した表層水温をイソプレットで示した (Fig. 6)。Fig. 4aで黒潮の指標とした表層水温 (21°C) に着目すると、3月10日以降に21°C以上の暖水が31°0'Nを境に南北に分岐したことが分かる。これはFig. 4bに示した黒潮北縁が北方へと張り出した状態から、Fig. 4cが示すように暖水域が冷水域を取り囲んだ状態に移行したことに対応する。その後、北側の21°C以上の暖水域は4月1日まで認められることから、分岐した暖水域は少なくとも3週間にわたり31°0'N以北の九州西部沿岸域に滞留した状況が認められる。

一方で、分岐した暖水の南の黒潮は徐々に南下して、3月21日には30°15'Nに至ったが、一旦30°50'Nまで北上した。しかし4月3日には再び30°10'Nまで南下し、その後、4月15日には蛇行を示唆する北上が認められたものの緩やかに北上し、5月上旬には30°50'Nに達した。また31°0'N以北では、黒潮北縁の指標とした19°C以上の高温域が5月上旬に至るまで持続した。この結果は、下甕島の水温観測点で4月中旬–5月中旬までの1ヶ月間にわたり19°C台、その他の3カ所では18°C台の高温状態が継続した傾向と一致する。

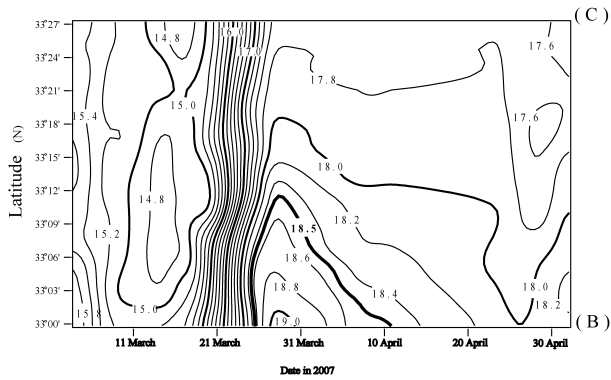
#### 五島灘での水温変動

前項では九州西部の沿岸定点において急激な水温変動が観測され、人工衛星熱赤外画像やフェリーによる観測結果により、この変動は黒潮から九州西部の沖合域に供給された暖水が原因であることが示された。次にこの暖水が供給された時期の五島灘における水温の時空間変動を調べる。

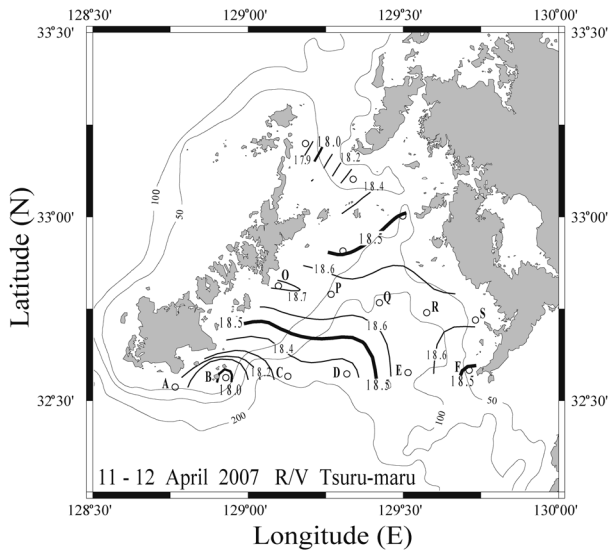
Fig. 6において3月22日から4月8日までの18日間にわたり32°30'N付近の五島灘に黒潮北縁に相当する19.0°Cを超える暖水が認められる。この暖水は天草下島、野母崎近傍に沿って福江島まで分布する暖水 (Fig. 4c, d) に相当する。

さらに3月31日を中心とした5日間、19°Cの等温線が33°0'N以北に達していることから、五島灘北部での表層水温の変動を調べるために、フェリー航路上における33°0'–33°27'Nでの表層水温をイソプレットでFig. 7に示す。これによると3月21日を中心とする14日間で急激な水温変動を示している。水温変動幅は33°6'N付近で最も大きく、4.0°C (14.7°Cから18.7°C) 昇温した。その後は4月25日にかけて徐々に降温したが17.5°Cを下回ることはなかった。また水温変動幅が最も小さい33°21'Nでも2.9°C (15.0°Cから17.9°C) の昇温が認められ、航路上の全域で1ヶ月以上にわたり高温状態が維持された。

次に五島灘での暖水域の拡がり調べるために、降温傾向となった4月11–12日に実施したCTDによる測定結果をもとに表層水温の水平分布ならびに水温鉛直分布を調べた。なおFig. 6, 7において、五島灘南部と北部の境界であ



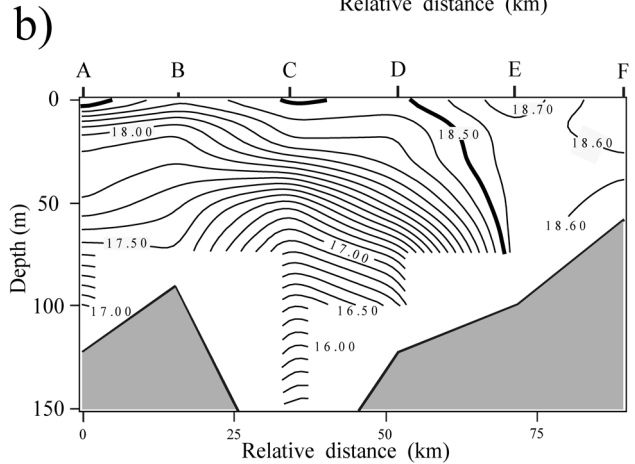
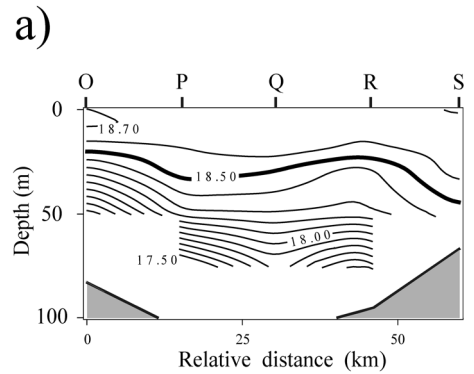
**Figure 7.** The same as in Fig. 6, except for the observation area. Characters on the right edge denote the positions on course (see Fig. 1a).



**Figure 8.** Horizontal distributions of water temperature at 10 m deep measured by R/V “Tsuru-maru” from 11 to 12 April 2007.

る 33°0'N では 4 月 11–12 日に 表 層 水 温 が 18.5°C を 示 した こと から、こ こ で は 18.5°C 以 上 の 暖 水 に 着 目 す る。ま ず、10 m 深 度 の 水 温 の 水 平 分 布 を Fig. 8 に 示 す。五 島 灘 南 部 で は 32°40'N 以 南 の 129°30'E 以 西 を 除 き、18.5°C 以 上 の 水 温 を 示 す 高 温 域 が 分 布 し て お り、福 江 島 付 近 で は よ り 低 温 と な っ て い る。

次 に Fig. 8 中 に 示 し た Stns. O–S お よ び Stns. A–F で の 水 温 鉛 直 分 布 図 を Fig. 9a, b に 示 す。水 平 分 布 と 同 様 に 18.5°C 等 温 線 に 着 目 す る と、Stns. O–S で は、最 も 東 側 の Stn. S で 50 m 深 に 達 し て い る 以 外 は、20–30 m 深 で あ る (Fig. 9a)。一 方、Stns. A–F で は 東 側 の Stns. E, F に お い て 少 なく と も 75 m 以 深 に 達 し て い る こ と が 分 か る。し か し 最 も 西 側 の Stn. A お よ び 中 央 部 の Stn. C で は 海 面 付 近 の み に 認 め ら れ た (Fig. 9b)。



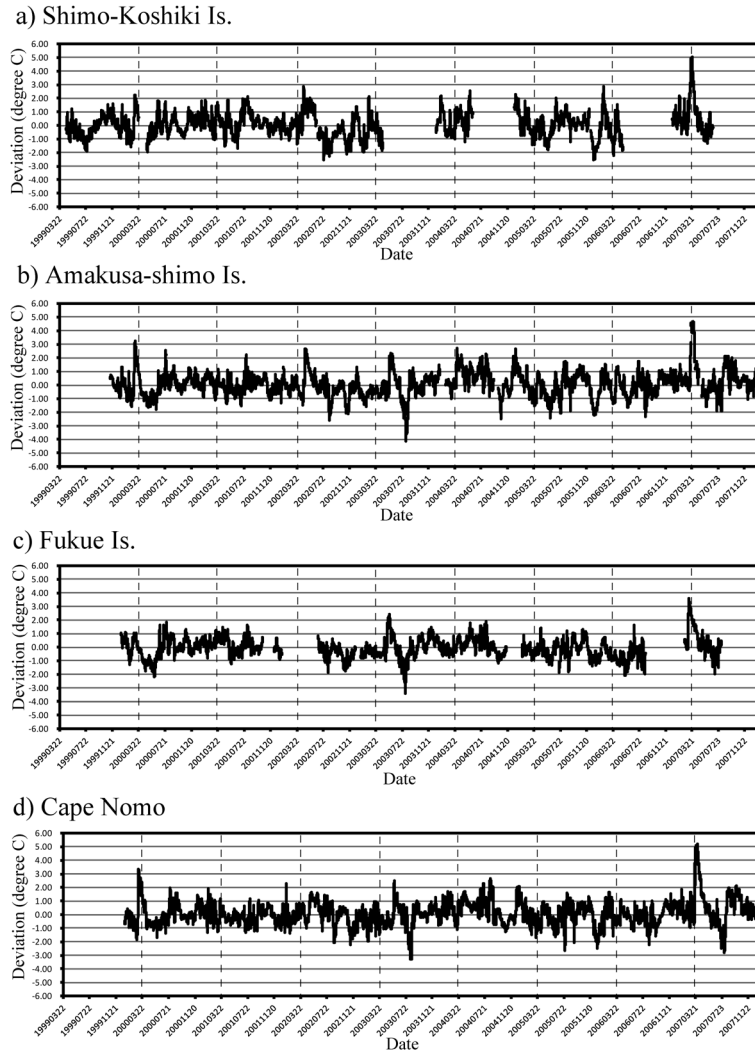
**Figure 9.** Vertical distributions of water temperature on two sections a) between Stn. A and F and b) Stn. O and S (see Fig. 7). Contour interval is 0.1°C.

**考 察**

水 温 の 定 点 観 測 結 果 を 中 心 に 暖 水 の 北 上 の 過 程 と 九 州 西 岸 域 に お け る 昇 温 イ ベ ン ト の 周 期 性 に つ い て 議 論 す る。

ま ず は、2007 年 3 月 下 旬 の 沿 岸 定 点 に お け る 急 激 な 水 温 変 化 と 人 工 衛 星 に よ る 海 面 水 温 分 布 の 時 間 変 化 を 比 較 し て 暖 水 の 北 上 に つ い て 考 察 す る。定 点 観 測 結 果 を 詳 細 に 見 る と、昇 温 は 下 甕 島 が 先 行 し、天 草 下 島 が そ れ に 続 き、野 母 崎 と 福 江 島 が 最 後 と な っ た (Fig. 3a)。人 工 衛 星 海 面 水 温 分 布 を 見 れ ば、3 月 13 日 に は 甕 海 峡 北 側 32°10'N 以 北 の 九 州 西 部 沿 岸 域 は 15°C 以 下 の 水 に 覆 わ れ て い た の に 対 し、22 日 に は 九 州 西 部 沿 岸 域 は 五 島 灘 に 至 る ま で 19°C 以 上 を 示 し て い た (Fig. 4b, c)。定 点 観 測 に よ れ ば、下 甕 島、天 草 下 島、野 母 崎 で は、そ れ ぞ れ 3 月 8 日、13 日、16 日 に 水 温 が 上 昇 し は じ め、25 日、25 日、31 日 に 極 大 と な っ て お り、沿 岸 定 点 で の 水 温 上 昇 は、海 面 水 温 分 布 に 見 ら れ る 北 方 へ の 暖 水 の 急 激 な 広 が り で 説 明 可 能 で あ る。こ れ ら の 水 温 上 昇 に つ い て 時 間 差 を 読 み 取 る と、下 甕 島 と 野 母 崎 の 間 で 8 日 間 の ず れ と な っ た。こ の 二 点 は 岸 に 沿 っ て は 約 100 km の 間 隔 が あ る の で、こ の 水 温 変 動 の 伝 搬 速 度 は 0.14 m · s<sup>-1</sup> と 見 積 も る こ と が 可 能。こ の 見 積 も り は 必 ず し も 暖 水 の 輸 送 速 度 を 示 す も の で は な い が、高 木 ら (2009)





**Figure 10.** Deviation between 25-h running mean and 7-yr average of sea surface temperature at four stations, a) Shimo-Koshiki Is., b) Amakusa-shimo Is., c) Fukue Is. and d) Cape Nomo from 1999 to 2007.

による沿岸流の流速と同程度であることは興味深い。

定点における水温の上昇に引き続く水温の低下現象に関して、その幅はすべての観測点で増加幅よりも小さかった。また増加幅は沖合にある福江島を除き、沿岸の3点ではほぼ同程度であったのに対し、減少幅は下飯島では3°C以上、福江島は2°C程度、天草下島と野母崎では1.2°C程度と北へ向かうにつれて小さくなった。この現象の原因として、海面境界過程、鉛直混合、および水平移流が考えられる。人工衛星による海面水温を見れば、3月22日から28日にかけて九州南方沖合と西方沖合では2°C程度の水温の低下が見られた (Fig. 4c, d)。水温の低下が比較的広い海域に及んでいたことを考慮すれば、昇温イベントが終了し新たな暖水の移流が断たれた後の海面冷却とそれに伴う鉛直混合による水温の低下である可能性が高い。五島灘北部にはフロントが観測され、北に向かって水温が低下してい

る (Fig. 8)。日本海での低温がうかがえたにもかかわらず、北方の観測点の方が水温の低下の幅は小さかった (Fig. 7)。このことから北方からの移流や拡散は効果的ではなかったのかも知れないが、定量的な解析が必要であり、今後の課題である。

2007年春季には黒潮起源の暖水の北上によって、九州西岸では10日間程度の時間スケールで大規模な水温の変化が見られた。このような昇温イベントの発生頻度の季節性や周期性を見てみる。水温変化から季節変化を除去するために8年間の年平均偏差図をFig. 10に作成して短周期変動に着目して解析した。偏差の変動を見れば、すべての測点で2ヶ月以下の短周期変動が卓越しており、それらの頻度や振幅に明確な季節性は見られない。複数の測点に共通する大きな変化に着目すれば、本稿で対象とした2007年3月以外にも、例えば2000年3月、2002年4月、2003年6-7月、

2005年12月-2006年1月などが挙げられる。とりわけ2003年6-7月には欠測のあった下甌島以外のすべての観測点で6°C程度の大きな変化が見られた。これらの変動は黒潮変動や気温等の気象変動などの広域的な物理過程によることがうかがえ、さらなる解析が待たれる。

一方、九州西部沿岸域では2000年以降に年平均水温が高い状況が続き、特に冬季-春季にかけて高水温となったことが原因であることが指摘されている(西海区水産研究所, 2007)。本稿で取り上げた昇温イベントと同様の、黒潮北縁からの暖水が冬季-春季に供給されたことが、原因となっている可能性もある。また2007年の水温の急上昇が沿岸定点で観測される3日前に、九州沿岸の枕崎港、長崎港や福江港での気圧補正を施した日平均潮位が、推算潮位を最高で30 cm以上も上回った(図示せず)。この潮位の上昇が、黒潮北縁から九州西部沿岸域に供給された暖水の影響を受けている可能性がある。さらなる解析が必要ではあるが、今後、表層水温や潮位の変化と人工衛星の熱赤外画像を併せてモニターすることにより、黒潮北縁の挙動の把握と本稿で示したイベントの発生予測につながるものと考えられる。

#### まとめ

九州西部沿岸域の定点水温観測結果から2007年3月下旬に15日前後で5°Cを超える急激な水温の増加が見られるとともに高水温が5月初旬まで持続し、この海域の水産資源への大きな影響が考えられた。人工衛星による海面水温分布から、この昇温は黒潮北縁から派生した暖水の北上と接岸に起因することが示唆された。さらに、CTD観測による水温構造およびフェリーによる航路上での表層水温の時間変化から、九州西部沿岸域での暖水の北上と接岸は少なくとも3月13-28日に起こり九州南端の薩摩半島沖合で100 m深程度の構造を持つこと、暖水の北縁は3月21日前後に五島灘北部に達していたことが明らかになった。3月13日の人工衛星海面水温分布から暖水の北上は甌海峡を通過して岸沿いに通過する経路と下甌島の西方沖合の129°15'Eを中心として北上する経路が想定された。フェリー航路上での表層水温の時間変化ともあわせて考えると、沖合で北上した暖水は、鉛直構造は不明ながらも、時計回りの渦を形成していたことが示唆された。沿岸域では3月13日から14日に甌海峡の北北西出口付近で岸に沿った北上流が観測され(高木ら, 2009)、岸に沿った暖水の北上を支持した。4月11-12日の五島灘における水温平面分布図(Fig. 8)および水温鉛直分布図(Fig. 9a, b)は東岸に沿った暖水の集積を示しており、暖水は岸沿いを五島灘へ向かった可能性が高い。以上をまとめるとFig. 11のような模式図ができる。

以上のように黒潮北縁で生じた暖水の分岐に伴い北方に暖水が供給され、九州沿岸海域の水温環境が一変する。本

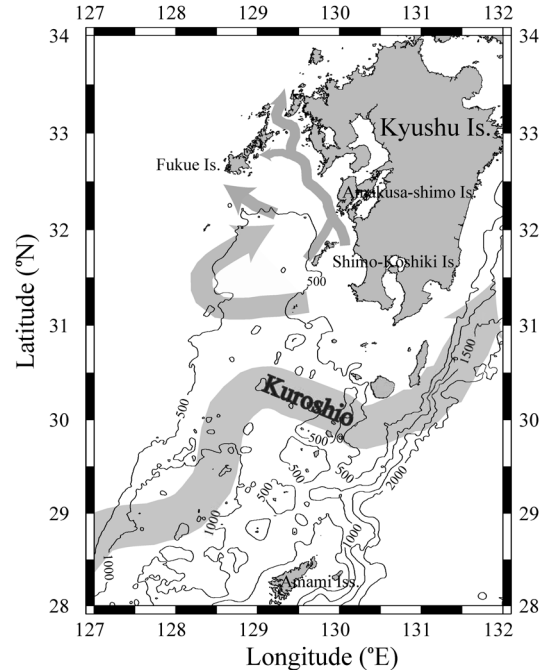


Figure 11. Schematic representations of the warm water distribution in early spring 2007.

稿において取り扱った現象は黒潮と九州西部沿岸域の水温差が最も大きい初春季に生じた事例であるため、沿岸での水温の大きな変動として表れていたが、同様の現象が他の季節にも発生していることを示唆する結果が得られた。今後は、黒潮の変動による暖水分岐の発生メカニズムや沿岸域への影響を力学的に解釈するために、流れに関する詳細な知見の蓄積や数値モデルの利用が期待される。また冬季-春季に九州西部沿岸の定置網にブリが、また6月でも九州西方沖合に産卵場を持つアジアスルメイカなどの幼稚仔が定置網にまとまって入網する現象と、本稿で取り上げたイベントとの関連について、漁況情報を収集して検討する必要がある。

#### 謝辞

フェリーによる表層水温観測に際しては、旧有村産業株式会社の全面的なご協力を賜った。また沿岸定点での表層水温観測では、五島漁業協同組合富江支所、野母崎三和漁業協同組合、長崎市役所野母崎行政センター、天草漁業協同組合天草町支所、有限会社丸昌水産ならびに長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センターの多大なるご協力を賜った。ここに記して謝辞を表します。また査読者から多くのご指導を賜ったことに感謝いたします。本研究は水産庁「我が国周辺水域資源調査等推進対策委託事業」、農林水産省農林水産技術会議委託プロジェクト研究「海洋生物資源の変動要因の解明と高精度変動予測技術の開発」ならびに(独)水産総合研究セ

ンター一般研究課題「九州西方海域の流速・密度構造とその短期変動の解明」により実施した。

#### 引用文献

- 赤松英雄 (1950) 五島灘に於ける潮流海流について. 海象と気象, **4**, 65-72.
- 秋山秀樹・鉛矢智之 (1991) トカラ海峡周辺における黒潮フロントの挙動. 海と空, **67**, 113-132.
- 井上尚文 (1981) 東シナ海および対馬暖流域における海況特性. 五島の生物—壱岐・対馬との対比—, 長崎生物学会, 29-72.
- 宮地邦明・玉井一寿・中村保昭 (1987) 東シナ海の屋久島西方海域における海水流動. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書 (その1), 科学技術庁研究開発局, 274-284.
- 中村保昭 (1988) 西海区ブロックにおける海域の呼称. 西海区水産研究所ニュース, **58**, 9-10.
- 中村保昭 (1990) 第33章 五島列島周辺海域. 「II物理, 続・日本全国沿岸海洋誌 (総説編・増補編)」東海大学出版会, 秦野, 685-709.
- Nakamura, H., H. Ichikawa and A. Nishina (2003) Kuroshio path meander between the continental slope and the Tokara Strait in the East China Sea. *J. Geophys. Res.*, **108** (C11), 3360, doi:10.1029/2002JC001450.
- 小田巻 実 (1982) 五島灘における潮流と恒流系に関して. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 112-120.
- 西海区水産研究所 (2007) 第87回対馬暖流系アジ・サバ・イワシ長期漁況海況予報会議議事録, 32 pp.
- 高木信夫・森永健司・中田英昭 (2009) 冬春季に天草灘・五島灘南部陸棚縁辺部で観測された北-北東向きの流れの構造と変動. 水産海洋研究, **73**, 172-180.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1998) New, improved version of Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. Amer. Geophys. Union*, 579.