

日本南岸の黒潮大蛇行の消滅の兆候について*

関 根 義 彦**

On the Signs of Decay of the Large Meander of the Kuroshio South of Japan

Yoshihiko SEKINE**

Abstract

The cold water mass of the Kuroshio is a cyclonic eddy accompanied by the large meander path south of Japan. It is commonly observed that decay of the large meander path and the cold water mass is necessarily carried out in an eastern side of the Izu Ridge. So, to see the condition on the eastward shift is important for the decay of the large meander path and the cold water mass. It has been detected that the cold water mass shows spin-up and spin-down in a western side of the Izu Ridge. During the spin-up period, decrease in temperature of the cold water mass is detected and meander path of the Kuroshio flow is much amplified. On the basis of these observational evidence, possible signs of the decay of the large meander path and the cold water mass are considered in the present study. It is resulted that the decay of the cold water mass is possibly predicted by no occurrence of the cooling down to the deep layer of the cold water mass and by southward pass of the Kuroshio axis over the Izu Ridge. These two phenomena suggest the weak topographic effect of the Izu Ridge, which blocks the eastward shift of the cold water mass. It is also pointed out that the intensity of the topographic effect is evaluated by length of the northward flow of the Kuroshio along the western slope of the Izu Ridge. Once the cold water mass shifts to the eastern side of the Izu Ridge, larger spin-down of the cold water mass is carried out by the bottom effect and it decays in a short time.

1. はじめに

日本南岸の黒潮流路には主に大蛇行流路と非大蛇行流路(直進流路)の二つがあり、多くの面から観測・研究がなされてきた。吉田(1961)は黒潮流路を日本南岸の形からA, B, C型というタイプに分類し、更に二谷(1969)は非大蛇行流路をN, B, C, D型という4種のタイプに分類した(Fig. 1(a))。最近、KAWABE(1985)は紀伊半島南岸と伊豆海嶺上の島の潮位の解析から、Fig. 1(b)に示す三つの代表的な流路に分類が可能であることを指摘した。

Fig. 1の吉田(1961)による分類のA型、及びKAWABE(1985)の大蛇行型(3)で示された黒潮大蛇行期には、

大蛇行の陸側に大冷水塊が形成される。1950年以降、6回の大冷水塊の発生・消滅が観測された。黒潮の大蛇行の存在期間をTable 1に示した。大半はその発生から消滅まで2年以上の寿命を示すが、1951年と1969年の大冷水塊はいわゆる準大蛇行といわれる短期間の大蛇行に伴うもので、比較的短時間で消滅している。

黒潮大蛇行に伴う大冷水塊の存在により陸から黒潮系水までの距離が場所により大きく変化するため、漁業は大きな影響を受ける。また、広い海域で低水温域がみられるため気象現象にも何らかの影響が考えられる。本論では、黒潮大蛇行と大冷水塊の消滅を予知することを最終的な目的として、大冷水塊の時間変動をその消滅の兆候に注目し従来のデータ解析を総合することにより考察する。

2. 大冷水塊の消滅過程

Fig. 2に示したのは、石井ほか(1984)による1955年

* 1989年7月26日受理

** 三重大学生物資源学部 海洋環境学講座

Institute of Oceanography, Faculty of Bioresources,
Mie University, 1515, Kamihamachou, Tsu, Mie
514, Japan

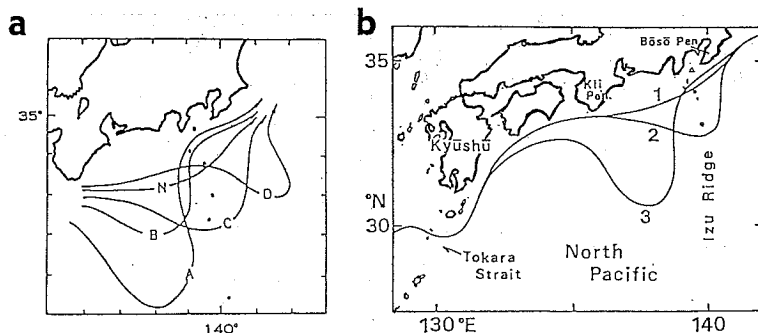


Fig. 1. (a) Five typical paths of the Kuroshio classified by YOSHIDA (1961) and NITANI (1969), (b) three representative paths of the Kuroshio classified by KAWABE (1985).

Table 1. Lifetime of the cold water mass of the Kuroshio

Case no.	Periods of presense of the cold water mass	Lifetime (in years)
I	Aug. 1951-Apr. 1952 ^a	0.8
II	Sept. 1953-Dec. 1955 ^a	2.3
III	Jul. 1959-Dec. 1962 ^{a,b}	3.5
IV	May 1969-May 1970 ^b	1.0
V	Aug. 1975-Aug. 1980 ^b	5.0
VI	Nov. 1981-Aug. 1984 ^b	2.9

^a After Okada and Nishimoto (1978)

^b Based on data form Hydrographic Department of the Maritime Safety Agency of Japan

から 1984 年までの Fig. 1(a) の流路のパターン分類を更に細分した黒潮の変動である。二谷 (1969) 及び石井ほか (1984) により、長期間継続する大蛇行 (A型) 以降の流路は B型, C型, D型, を経て N型になる傾向が示された。なお、この図では A型より N型に戻る過程の B, C, D 型に '(ダッシュ)' を付けて区別してある (Fig. 1 (a) に示されていない W型, S型などを含めた議論の詳細は石井ほか (1984) 参照)。以下ではこの事実に基づき、主に大冷水塊の時間変動に注目して考察する。黒潮大蛇行に伴う大冷水塊の形成は共通して九州南東沖に発生した黒潮小蛇行の発生より始まる。この小蛇行の岸側には種子島冷水と呼ばれる一種の低気圧渦が形成され、これが東進して紀伊半島沖で急に黒潮の蛇行の振幅の増幅とともにスケールが大きくなり大冷水塊となる (例えば, SHOJI, 1972)。

このようにして形成された大冷水塊は Table 1 に示した期間を経た後、消滅する。Fig. 3 に 1980 年, 84年の大冷水塊の消滅前の水深 100 m の水温分布を示す。二例に共通して消滅する前に大冷水塊の中心が伊豆海嶺の西

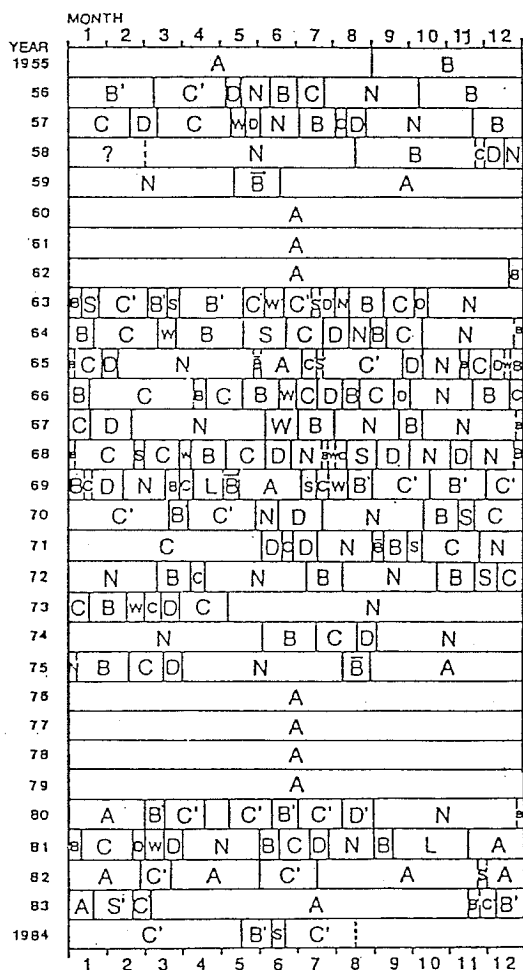


Fig. 2. Variation in the path pattern of the Kuroshio (after, ISHII *et al.*, 1984). Letters show the typical flow patterns displayed in Fig. 1(a), (for details in the notations, see ISHII *et al.*, 1984).

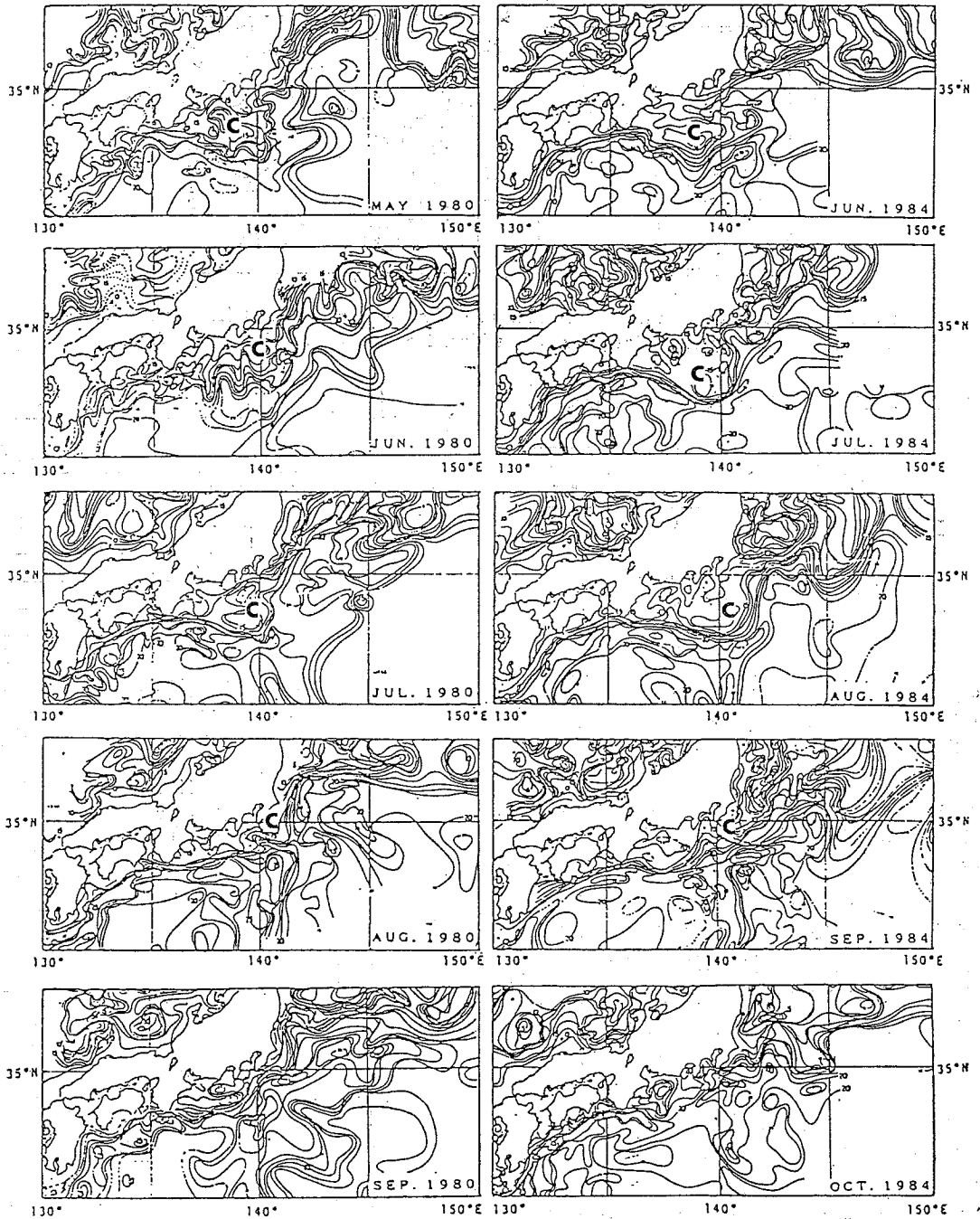


Fig. 3. Variation in monthly mean temperature at a depth of 100m prior to the decay of the large cold water mass of the Kuroshio (after, Ten-Day Marine Report published by Japan Meteorological Agency). Center of the cold water mass in each panel is shown by the letter C.

側から東に移行している。伊豆海嶺の東側では比較的短時間で大冷水塊が消滅することが水温分布よりわかる。

以上により、大冷水塊の消滅の問題を考える場合に重要になるのは、(i) 何故伊豆海嶺の東側のみ大冷水塊が消滅するか、(ii) どのような海洋条件の時に大冷水塊が伊豆海嶺の東側に移行するか、という点である。

(i) については、SEKINE (1989) の数値モデル実験による研究で一つの仮説が提出されている。一般に北半球では低気圧渦は、惑星 β 効果で西に、非線形効果で北に、地形性 β 効果で斜面の浅い方向を右にみて移動する(例えば、MCWILLIAM and FRIERL, 1979 など)。また、一般流がある場合には一般流の流下方向に流される。このうち、どの効果が卓越するかは渦の流速・密度構造などによる。Fig. 4 は、伊豆海嶺の東側と西側にある大冷水塊を模した低気圧渦の移動方向を示したものである。数値モデルでは、一般流は海嶺の西側でも東側でもほぼ共通と仮定して、それ以外の要素が海嶺の西と東でどのように黒潮大冷水塊の移動に差異を生じるか、を議論した。その結果、パラメータで多少の変化があるものの、大冷水塊は海嶺の西側では西への移動、海嶺の東側では西南方向への移動が認められた。海嶺の西側では大冷水塊の移動が等深線にほぼ沿う形なので (Fig. 4)、大冷水塊は海底摩擦による減衰効果が小さいのに対し、東側では大冷水塊が海嶺の浅い方向に移動するため大きな減衰効果が生じることが示唆された。したがって、大冷水塊の消滅を考える場合に、(ii) で述べた大冷水塊が伊豆海嶺の西側から東側に移行する条件がより重要になること

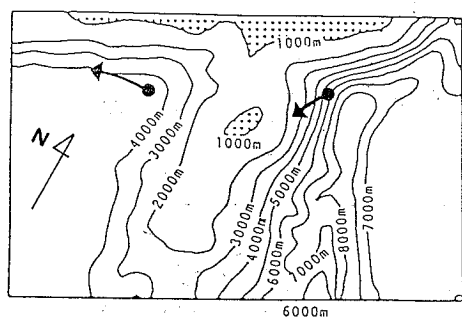


Fig. 4. Directions of movement of two same cyclonic eddies given in a eastern and western side of the Izu Ridge pointed out by the numerical model of SEKINE (1989a). Two closed marks and arrows show initial positions of the cyclonic eddies and direction of eddy movement, respectively. Isopleths of the depth are also shown and the regions shallower than 1000m are stippled.

が示唆される。

3. 大冷水塊の伊豆海嶺東側への移行

ここではまず伊豆海嶺西側にある大冷水塊の変動に注目し、それと伊豆海嶺の東側への移行の開始との関連を調べる。Fig. 5 に 1975 年に形成された大冷水塊の中心部の水温の時間変動を示した。ある一定水深の水温は上昇・下降を繰り返す。この大冷水塊は1980年の5月頃伊豆海嶺を越えてその東側に移行し8月に消滅している。消滅前年の1979年の夏の水温下降は、1,500 m 深では見ら

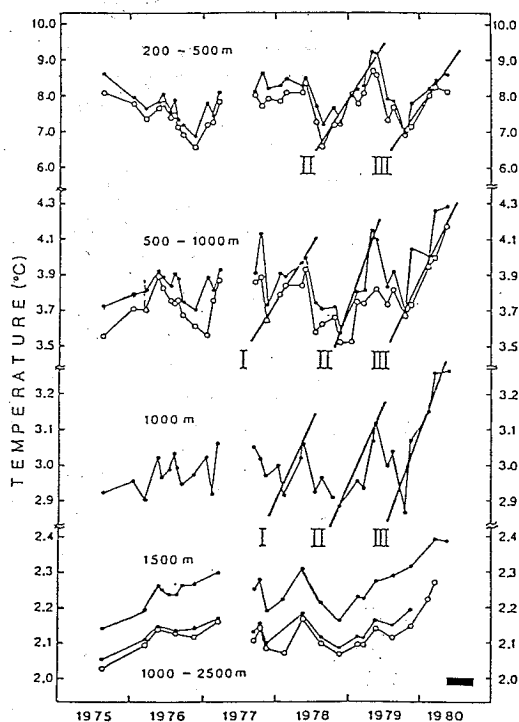


Fig. 5. Time variation in temperature at some depth intervals in the cold water mass of the Kuroshio (after, SEKINE *et al.*, 1985). Solid circles and open circles show the mean temperature for the lowest three sampling in the depth interval and the lowest sampling point respectively. For the depth intervals 200-500m, 500-1000m and 1000-2500m, the temperature is estimated using a mean value integrated over the depth interval. I, II and III show the rate of increase in temperature in a continuous warming period. The band at the bottom shows the periods when the cold water mass exists in the eastern side of the Izu Ridge.

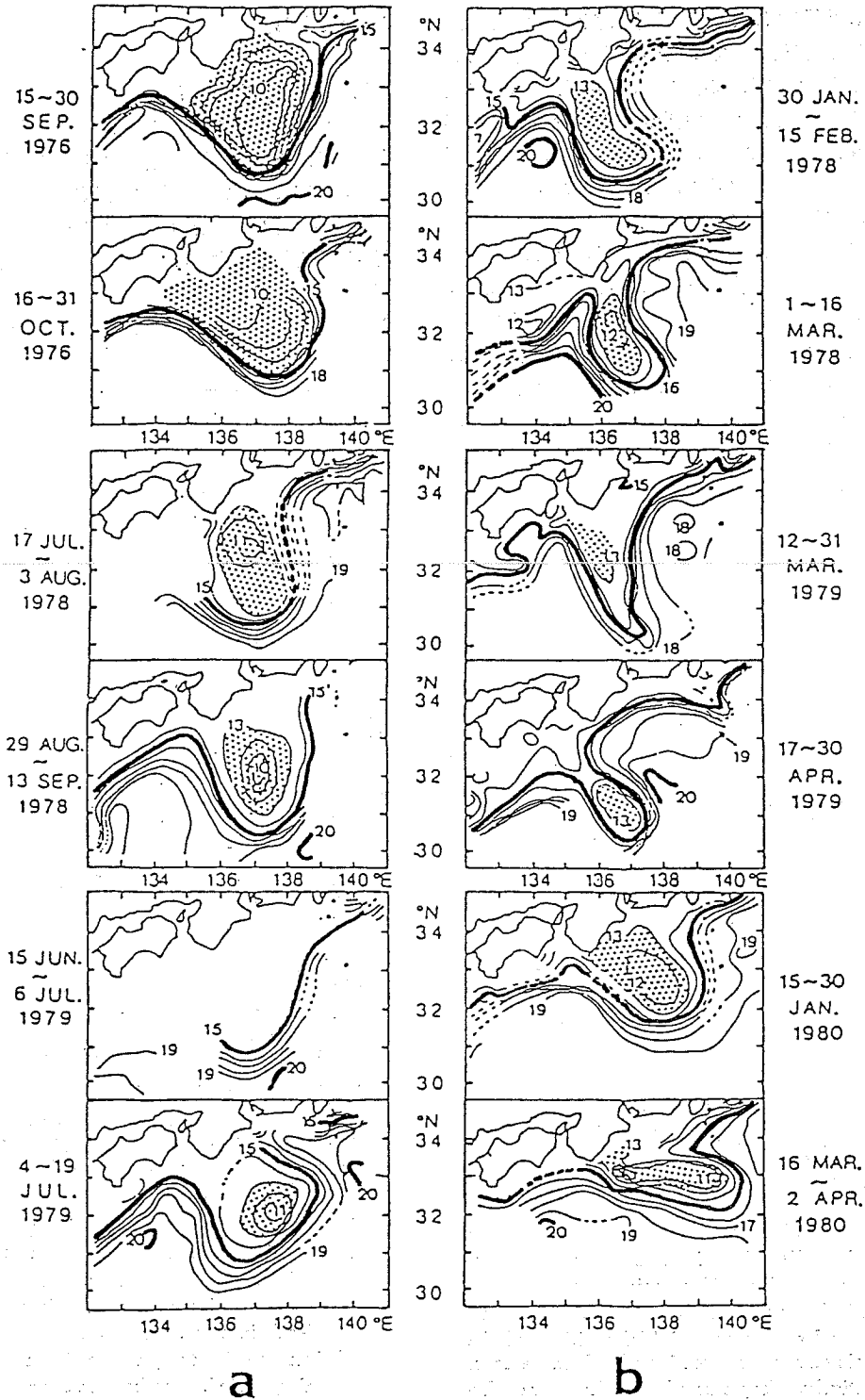


Fig. 6. Temperature fields at 200m during the spin-up period (a) and spin-down period (b) proposed by SEKINE *et al.* (1985). The regions colder than 13°C are stippled.

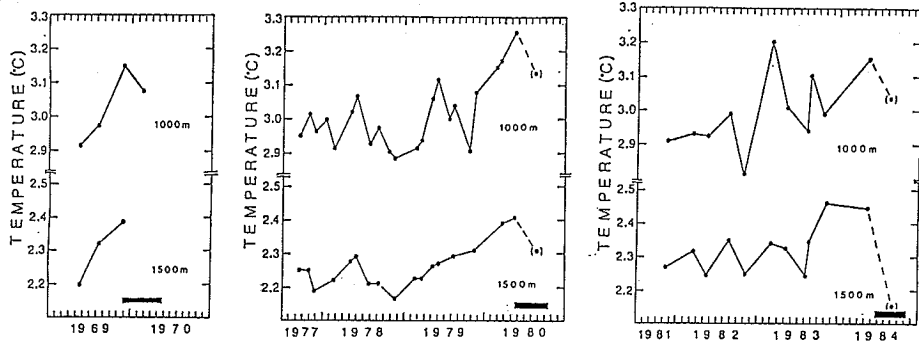


Fig. 7. Time variation of temperature at depth of 1000m and 1500m in the cold water mass of the Kuroshio (after, ISHII and SEKINE, 1986). The temperature estimation is the same as in Fig. 5. The bands in the bottom in each panel show the periods when the cold water mass exists in the eastern side of the Izu Ridge.

れず、大冷水塊の深層構造が徐々に弱まっていることが示唆される。また、Fig. 5 の一つの水温上昇がそのまま続くとして仮定すると、大冷水塊は2年程度で消滅することになり（詳細の議論は SEKINE *et al.*, 1985）、同じ低気圧渦である Gulf Stream ring の減衰とほぼ同程度になる。また、Fig. 5 より、伊豆海嶺の東側への移行は、大冷水塊の水温の上昇が続いた時に、（逆に言えば、水温下降現象の発生が無い時に）生じることが指摘できる。

Fig. 6 に示したのは Fig. 5 の水温下降期と上昇期で分けてみた大冷水塊の200 m 深の水温分布である。水温下降期 (a) には 13°C 以下の低水温域の面積が比較的大きく、上昇期 (b) には低水温域の面積が比較的小さい。そのため、水温下降期には 15°C の等温線で近似される黒潮流路が大きく蛇行しているのに対し、上昇期では黒潮流路の蛇行は比較的局所的でその波長が短い。結果的に、水温の下降は大冷水塊の強化過程 (spin-up process) であることが示唆される。

Fig. 7 に示したのは1969年、'75年、'81年に発生した大蛇行に伴う大冷水塊下層の中心部の水温変化である。1969年発生の大冷水塊は比較的短時間で消滅したが、この大冷水塊には水温の下降期が存在しなかったことがわかる。また、1981年発生の大冷水塊には Fig. 5 の場合と同様に水温の上昇期と下降期が交互に存在し、大冷水塊の変動特性は過去の大冷水塊でほぼ共通している。

Fig. 7 では大冷水塊が伊豆海嶺の東側に移行した期間を黒帯で示している。地球流体力学的な考察より、大冷水塊のような渦が伊豆海嶺の急な海底斜面を越えるには下層の流れが小さいことが必要である（例えば、

PEDLOSKY, 1979 など）。このことは海洋の下層のように密度変化が小さい順圧な回転流体では、流れはほぼ等深線に沿う傾向が強く、海嶺の等深線を横切る形でそれを越えて移行することが不可能である点に関連する。したがって、上層に黒潮の強流帯があることを考慮すると、上層の圧力傾度が下層で打ち消される現象、いわゆる地衡流アイソスターが成立しなければならない。また、それより下層では低水温構造（圧力傾度）は顕著であってはならない。Fig. 7 より、1,500m 深の大冷水塊の中心水温が約 2.4°C 以上になると大冷水塊は伊豆海嶺を越えてその東側へ移動する傾向がみられる。したがって、海底地形効果を小さくする冷水塊下層の圧力傾度の一つの目安が冷水塊中心の1,500 m 深で 2.4°C 以上であることが示唆される。反対に、この温度以下であると大冷水塊の低水温による圧力傾度があり、それにバランスする地衡流の存在のため海嶺を越えることが不可能になっていることが推量される。

もう一つ海嶺の海底地形の大小を見るパラメータは大冷水塊に伴う伊豆海嶺西側の斜面に沿う北上流の存在の有無である。Fig. 6(a) に示した大冷水塊の強化期には、伊豆海嶺の西側に沿う強い北上流の存在が水温勾配より示唆される。この北上流は伊豆海嶺の西側斜面の海底地形効果で黒潮の流れがブロックされて直接これを越えることができず、その結果として伊豆海嶺の西側斜面に沿って流れが形成されている可能性が高い。反対に、海嶺の西側にブロックされた北上流が無い場合は海底地形効果が相対的に小さく、大冷水塊はそのまま海嶺を越えて東側に移行することが可能である。事実、水温下降期にある Fig. 6(a) では北上流があり黒潮は陸岸に近い

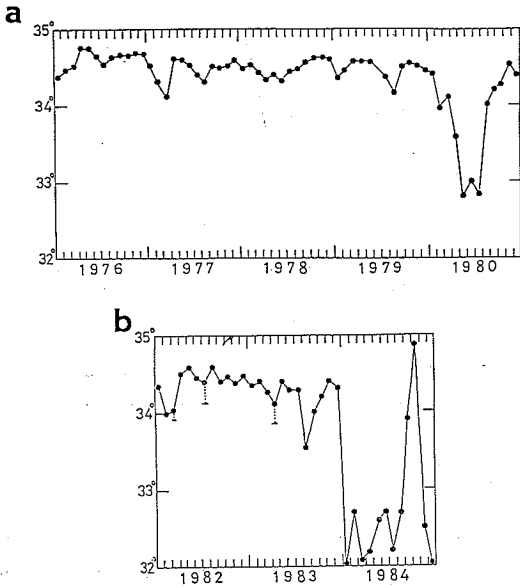


Fig. 8. Time variation in the location of the Kuroshio axis over the Izu Ridge. The axis is defined as the position of isothermal line of 17-18°C at a depth of 100m over the Izu Ridge. Short horizontal lines with dot line above show the latitude of southern axis over the ridge, when the retroflection of the current axis are detected. Data source is the Ten-Day Marine Report published by Japan Meteorological Agency.

大島の近くで伊豆海嶺を越えているのに対し、大冷水塊が伊豆海嶺の東側に移動している期間 (Fig. 3) では海嶺西側の北上流が無い。

Fig. 8 に 1975 年と 1981 年に始まる大蛇行期の伊豆海嶺上の流軸の位置の変動を示した。ここでは密度躍層の勾配に注目して 100m 深の 17~18°C の等温線を指標とした。Fig. 8 より、大冷水塊形成後しばらくは 34°N 以北で海嶺を越えるが、消滅の約半年前にのみ急に南下する。この南下期には流軸が 33°N 以南となり、八丈島の南を迂回して越えている (Fig. 3 の水温分布参照)。前に述べた伊豆海嶺西側斜面に沿う北上流の有無や強弱を考える場合、北上流が顕著なら伊豆海嶺上の流軸は比較的北側に位置し、それが無い場合南側に位置することになる。Fig. 8 の結果は大冷水塊の海嶺東側への移行期にのみ北上流が無くなり、伊豆海嶺の地形効果が弱まっていることを示している。以上のことから大冷水塊の伊豆海嶺の東側への移行は海嶺の地形効果の減少と関連

することがほぼ結論づけられ、またその発生の子知は伊豆海嶺西側の斜面に沿う北上流が無いこと及び海嶺上の流軸の位置の南下である程度可能であることが示唆される。

4. まとめと議論

黒潮大蛇行及び大冷水塊の消長を予知することを最終的な目標として、観測データ解析を基礎に大冷水塊の時間変動を考察した。黒潮大蛇行及び大冷水塊の消滅は伊豆海嶺の西側から東側へ移行した後、短時間に行われる。したがって、これらの消滅を考察する場合には大蛇行及び大冷水塊が伊豆海嶺の西側から東側への移行の開始が重要となる。これらについて、本論の考察をまとめると以下のようなになる。

(1) 大蛇行・大冷水塊の伊豆海嶺の東側への移行は、初冬から春にかけて水深 100m 水温 17~18°C の等温線で示される海嶺上の黒潮流軸が南下し、八丈島以南を迂回する場合に発生する。反対に、流軸が伊豆海嶺上の比較的北側(三宅島以北)にあるときは東側への移行は生じない。

(2) 伊豆海嶺の西側にある大冷水塊には冷水渦の強化(低水温化)の現象と減衰(高温化)の現象が交互に生じる。冷水塊の強化の期間には下層まで水温が下がり、冷水構造が明確になる。そのため下層に冷水塊に伴う流れがあり、海嶺の地形によるブロッキング効果が大きくなり、大冷水塊の伊豆海嶺東側への移行は生じにくい。反対に大冷水塊の強化の過程が深層まで十分に行われず、中心部の 1,500 m 深での水温が 2.4°C 以上になると東側への移行が生じる傾向がみられる。

(3) 伊豆海嶺の大冷水塊の東進をブロックする作用の大小は、海嶺西側の斜面に沿う黒潮の北上流の有無と関連する。顕著な北上流の存在は、伊豆海嶺の地形効果が大きく大冷水塊の東進が阻止されていることを意味する。反対に、大冷水塊が海嶺の東側に移行する時のみ海嶺上で黒潮流軸が南下する(西側斜面に沿う北上流が無い)という事実は、この期間に海嶺の地形効果が小さく東側への移行が容易であることを意味している。

以上の結果より、黒潮大蛇行・大冷水塊の伊豆海嶺の東側への移行は (a) 主に晩春から秋にかけて生じる大冷水塊の強化(低温化)過程が弱いこと、(b) 伊豆海嶺西側の斜面に沿う北上流が無いこと、(c) 八丈島以南へ黒潮流軸が南下すること、によりほぼ予知が可能であることがわかる。しかし、(a)-(c) の現象が大気のような変動による海洋の応答によるものなのか、といった基本

的な問題が不明確であり、今後の課題である。黒潮大蛇行・大冷水塊に対する直接測流などの観測の蓄積でこれらの過程を明確にする必要がある。

5. 謝 辞

本論文を書くにあたりいろいろと貴重なコメントをいただいた海上保安庁水路部の石井春雄、道田 豊両氏に深く感謝します。また、長年にわたる海洋観測データを提供していただいた気象庁、海上保安庁に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 石井春雄・道田 豊・小杉 瑛 (1984) 黒潮流路の統計解析—流路パターン特性の解明—。黒潮の開発利用の調査研究成果報告書, 科学技術庁研究調整局, 海洋科学技術センター, 7, 73-90.
- ISHII, H. and Y. SEKINE (1986) The short period cold water mass accompanied by large meander of the Kuroshio south of Japan. *La mer*, 24, 169-176.
- KAWABE, M. (1985) Sea level variations around the Izu Islands and typical path of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 307-326.
- MCWILLIAM, J. C. and G. R. FLIERL (1979) On the evolution of isolated nonlinear vortices. *J. Phys. Oceanogr.*, 9, 1155-1182.
- 二谷頼男 (1969) 最近数年の黒潮の変動について。水産海洋研究会報, 14, 13-18.
- 岡田正美・西本和義 (1978) 1925年以前の黒潮大蛇行と日本南岸の潮位。海と空, 54, 91-97.
- PEDLOSKY, J. (1979) "Geophysical fluid dynamics". Springer Verlag, New York, 624 pp.
- SEKINE, Y., H. ISHII and Y. TOBA (1985) Spin-up and spin-down processes of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 207-212.
- SEKINE, Y. (1989) Topographic effect of the oceanic ridge on the spin-down of the cyclonic eddy. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 45, 117-130.
- SHOJI, D. (1972) The variation of the Kuroshio south of Japan. In: *Kuroshio its physical Aspects*, ed. by H. STOMMEL and K. YOSHIDA. Univ. Tokyo Press: 217-234.
- 吉田昭三 (1961) 遠州灘沖冷水塊と黒潮の変動について (その 1)。水路要報, 67, 54-57.