東北海区近海における黒潮続流流軸を指標する 100m 深水温について*

村上眞裕美[†]

On the 100 meter depth temperature indicative of the Kuroshio Extension axis in Tohoku area

Mayumi Murakami[‡]

Abstract

In order to know the position of the Kuroshio Extension axis from temperature maps at a depth of 100 meters, 100 meter depth temperature indicative of the axis is derived. An analysis is carried out for the period during 1979 through 1991 and for the longitude between 141°E and 146°E. The estimation is based on the temperature of the Kuroshio Extension axis which is 14.0°C at 200 meter depth proposed by Kawai(1969). First, values of temperature at 100 meter depth were estimated at several positions where temperature at 200 meter depth was 14.0°C. Next, the temperature indicative of the Kuroshio Extension axis was calculated by a statistical method. The indicative temperature at 100 meter depth varies with respect to month from 16°C in March to 19°C in November, whereas it is independent of year and longitude. The indicative temperature at 100 meter depth obtained by the present study was found to represent the Kuroshio Extension axis determined from 200 meter depth temperature being equal to 14.0°C within 15 nautical miles in 98% cases.

1. はじめに

黒潮続流の流路は絶えず変動しており、東北海区全体の海況変動の要因の一つとなっている。そのため黒潮続流の位置を知ることはこの海域の海況を論ずる際にまずしなければならないことである。ここで黒潮続流の流軸を「流れを横切るとき表面流速が最強となる点を流れに沿って連ねた線」と定義すれば、それは流れの観測資料がある場合、最強流速の得られた地点を流れに沿って連ねることにより決めることができる。しかしながら実際には流れの観測が不十分なためにこれは不可能で、便宜的にある深度の等水温線で代表させることが多い。この

水温が流軸の指標水温である。

Kawai(1969)は黒潮流軸を指標する200m深、400m深の水温値を統計的に求めた。それによれば146°E以西の黒潮流軸を指標する水温は200m深で14.0°C、400m深で9.0°Cである。現在では彼が提案した200m深指標水温が一般的に用いられている。

一方、東北海区では200m深水温図よりも100m深水温図の方がよく使用される(例えば東北海区海洋調査技術連絡会, 1961～1991)。その理由は、東北海区では黒潮・親潮・暖水塊等鉛直構造の厚さの異なる現象が混在しており、それらを同時に表現するには100m深水温図が最適であるためである。特に親潮域では水温躍層が浅く200m深水温では構造が把握できない。また100m深水温図に比べて200m深水温図があまり普及していないことも事実で、東北海区の200m深水温図としては、ごく最近まで海上保安庁水路部発行の「海洋速報」に掲載

* 1993年3月23日受領; 1993年7月7日受理

[†] 東北区水産研究所; 〒985 宮城県塩釜市新浜町3-27-5

[‡] Tohoku National Fisheries Research Institute, 3-27-5 Shinhamacho, Shiogamashi, Miyagi, 985 Japan

される半月平均のものだけしかなかった。このような事情を背景に、漁海況研究においては通常 100m 深水温図が使われている。1 例を挙げると、平井 (1991) は三陸近海のマサバ漁場形成位置を 100m 深水温図と重ね合わせるにより、水塊配置と漁場位置との関係を検討した。このように東北海区の海況の記述には主として 100m 深水温図が使用されていることから、黒潮統流を指標する 100m 深水温がわかれば、100m 深水温資料から黒潮統流の流軸位置を決めることができ、大変有用である。

このような立場から、本研究では黒潮統流流軸を指標する 100m 深水温を統計的手法を用いて求めた。なお対象海域は東北海区近海 (146°E 以西) とし、観測資料が少ない沖合については取り扱わない。

2. 資料

東北区水産研究所では 1965 年以降東北海区の毎月の月平均 100m 深水温分布図を「東北海区漁場海況概報」として作図・公表している。解析にはこの 100m 深水温図と、1979 年 5 月以降は同時に継続して作図している 200m 深水温図を用いた。対象とした期間は 1979 年 5 月～1991 年 10 月の 12 年 5 カ月間である。

3. 方法

Kawai(1969)によれば東北海区の 142～146°E において黒潮流軸の 200m 深指標水温は 14.0°C である。この値は一般的に広く用いられており、この値から求めた流軸位置と流速から求めたそれとの食い違いも報告されていない。そこで以下のような方法で 100m 深指標水温を求めた。

まず毎月の 200m 深水温 (以下では T200 と略記) 図から、141～146°E で経度 1°毎に 6 点で T200 = 14.0°C の緯度 (LAT200) を読み取る。読み取りの精度は 0.1°である。流軸が蛇行して 1 本の経線と複数の点で交わる場合は、読み取れる全点のデータを採用した。例えば 1991 年 5 月には 142°E 上の 2 点で読み取り、合計 7 点でのデータが得られている。1°毎の経度線から多少ずれた位置に流れを横切る観測線があった場合は、極力 1 本の観測線上のデータが使えるよう経度方向に 0.5°以内で読み取り位置をずらして、その観測線上での緯度を読み取った。

LAT200 の読み取りの 1 例として 1989 年 5 月の場合を Fig. 1(a) に示した。この例では 141, 142, 143, 144, 145, 146°E での LAT200 はそれぞれ 35.0, 35.7, 35.8, 36.0, 35.5, 34.5°N となる。

次に、100m 深水温図から読み取った緯度 (LAT200) での 100m 深水温 (以下では T100 と略記) を読み取る。読み取りの精度は 0.5°C である。読み取られた T100 の値を TK100 と書くことにする。Fig. 1(b) に TK100 の読み取り例を示した。1989 年 5 月の TK100 は 141, 142, 143, 144, 145, 146°E でそれぞれ 19.0, 17.5, 17.5, 19.0, 17.5, 15.5°C となる。読み取り誤差が大きくなるのを避けるため、水温水平勾配が特に大きい場合には、(1) 付近の観測点で T100 と T200 が同時に得られているデータを選び出し、(2) T200=14.0°C に近い水温帯での T100 と T200 の差, δT , を計算し、(3) $14.0 + \delta T$ を T200=14.0°C に対応する T100 の値とみなして、TK100 とした。

このようにして読み取られた TK100 が年、月、経度に依存するか否かを検討し、100m 深指標水温を算出する。

4. 結果

4.1. TK100 の特性と指標水温の決定

3. の方法で読み取った TK100 の度数分布を Fig. 2 に、その要約統計量を Table 1 上段に示した。データ数は全部で 510 個で、最高が 22.0°C、最低が 15.0°C、平均値が 17.86°C で、標準偏差は 1.47°C である。これらのデータが得られた頻度を経度別に見ると (Fig. 3 上)、全体的に沖合の観測が少ないことから、143°E 以西が約 70%, 144～146°E が約 30% になっている。また月別には、5, 6, 10 月にデータ数が多く、12, 1, 3 月に少ない (Fig. 3 下)。

TK100 が年 (YEAR), 月 (MONTH) および経度 (LONGI) に依存するか否かを調べるために、それぞれについて TK100 の平均値を計算した (Fig. 4)。TK100 の年毎の平均値、経度毎の平均値は変動幅がそれぞれ 0.8°C, 0.6°C と小さく、変動自体も不規則である。一方 TK100 の月毎の累年平均値は 3 月に最小、11 月に最大となる規則的な変動をしており、変動幅も 3.1°C と大きい。このことは指標水温が年や経度には依存しないが月には依存していることを示している。そこで月別に指標水温を求めることにした。

TK100 の月別の平均値、標準偏差、分布範囲を年平均

Fig. 1. (a) An example of the latitudes, LAT200, where 200 meter depth temperature is equal to 14.0°C. LAT200 are read from temperature maps at the depth of 200 meters. (b) An example of TK100, which are the 100 meter depth temperatures at the latitudes, LAT200. TK100 are read from temperature maps at a depth of 100 meters.

Fig. 2. Frequency of the 100 meter depth temperature, TK100, indicative of the Kuroshio Extension axis.

値, 標準偏差, 分布範囲と共に Fig. 5 に示した. 平均値は3月が最低で 16.38°C, 11月が最高で 19.49°C となった. 標準偏差は 0.75°C (4月) ~ 1.27°C (10月) の範囲にある. 各月の平均値と, この平均値を四捨五入して 1°C の精度で算出した指標水温を Table 2 に示した. 指標水

温は 2, 3月が 16°C, 4, 5月が 17°C, 6 ~ 8月が 18°C, 9 ~ 11月が 19°C, 12月が 18°C, 1月が 17°C となった.

Table 1. Statistics of TK100 (°C) and DX (nautical mile), where TK100 is the 100 meter depth temperature at the Kuroshio Extension axis and DX is the distance between the isothermal line of 14.0°C at 200 meter depth and that of the 100 meter depth temperature indicative of the Kuroshio Extension axis.

	Data number	Mean value	Standard deviation	Minimum value	Maximum value
TK100	5 1 0	1 7 . 8 6	1 . 4 7 0	1 5 . 0 0	2 2 . 0 0
DX	5 1 0	4 . 2 7 8	4 . 5 0 9	0 . 0 0 0	2 5 . 0 0

Fig. 3. Frequency of the longitude, LONGI (upper), and of the month, MONTH (lower).

4.2. 誤差の検討

求まった指標水温が実用に際してどの程度の誤差を持つかをチェックする必要がある。T200 = 14.0°C の位置と Table 2 下段に示した指標等水温線との距離を、100m 深水温図上で 141 ~ 146°E について経度 1°毎に、等水温

線に直交する方向で読み取る (Fig. 6)。この距離 DX (海里) の度数分布 (Fig. 7) と要約統計量 (Table 1 下段) を調べたところ、DX の最大は 25 海里、平均 4.3 海里、標準偏差は 4.5 海里で、DX が 10 海里以内にデータの約 93%、15 海里以内には約 98% が収まることが示された。

Table 2. Interannual mean value of TK100 and the 100 meter depth temperature indicative of the Kuroshio Extension axis in each month ($^{\circ}\text{C}$).

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean value of TK100	16.89	16.49	16.38	16.64	17.24	17.62	18.02	18.42	18.90	19.31	19.49	18.17
Indicative isotherm at 100 meter depth	17	16	16	17	17	18	18	18	19	19	19	18

Fig. 4. The averaged value of TK100. (●) annual average, (△) longitudinal average, and (○) monthly average over analyzed period.

Fig. 5. The interannual mean values of TK100 in each month and the annual mean of them with standard deviations and ranges.

5. 考察

川合 (1955) は東北海区の黒潮前線の 100m 深指標水温として, 1~3 月が 13.1°C , 8 月が 15.1°C , 11 月が 16.8°C

Fig. 6. Schematic diagram of the reading method of DX, which is the distance between the isothermal line of $T200 = 14.0^{\circ}\text{C}$ and that of the 100 meter depth temperature indicative of the Kuroshio Extension axis. DXs are read from temperature maps at a depth of 100 meters.

であるとした。これらの値は本研究で得られた値に比べて約 3°C 低めである。彼の方法は 600m 以浅の 11 層の深度で水温前線の北縁と南縁の水温の平均をとり、その値を各深度での指標水温とするというものである。黒潮続流の前線面は傾いており深くなるにつれて南寄りになる。実際の流軸は 400m 深付近における水温前線の上方にあるので、それより浅い 100m, 200m 深では水温前線は流軸より北側にずれる。彼の求めた 100m 深指標水温値が今回の結果より低い値となったのはそのためであると考えられる。それは同時に示された 200m 深指標水温も $11.8 \sim 12.2^{\circ}\text{C}$ と、Kawai (1969) の 14.0°C より約 2°C 低いのに対して、400m 深では $9.2 \sim 10.0^{\circ}\text{C}$ で Kawai (1969) の 9.0°C とほぼ一致していることからわかる。

Kurasawa *et al.* (1983) は本州南方海域の海洋気象観測点 (29°N , 135°E) の資料から海洋上層の熱収支を見積った。上層 200m の含熱量の平均的な季節変化は 2~3 月に極小, 9~10 月に極大を示し、その変動幅は水温に換

算すれば 3°C になる。これらの結果を本研究で求めた黒潮続流流軸の 100m 深指標水温の季節変化 (Fig. 5) と比較すると、両者の間で極小、極大の現れる月及び変動幅がほぼ一致している。このことは黒潮続流の 100m 深水温の季節変動が東北海区の局所的な変動ではなく、基本的には本州南方海域の上層水温と同期した広域的な季節変動を反映したものであることを示唆している。

Kawai (1969) は 200m 深で指標水温と等しい水温が存在した位置と、流速から決まる実際の流軸位置との距離を調べ、誤差の検討を行った。その距離の標準偏差は、黒潮続流の $143.5 \sim 145.5^{\circ}\text{E}$ では 10 海里となった。これは正規分布を仮定すれば 10, 15, 20 海里内にそれぞれデータの 68, 87, 96% が収まることに相当する。本研究で提案された 100m 深指標水温は 200m 深指標水温から判定される黒潮続流の流軸位置を基準としているが、標準偏差から判断すればその誤差は 200m 深指標水温自身が持つ誤差の約半分であり、十分実用に耐えるものである。

今回の解析では流速データと 100m 深水温とを直接比較する方法を採らなかった。その理由として、200m 深指標水温 ($T_{200}=14.0^{\circ}\text{C}$) が広く使用され信頼性の高いものであると判断されることの他に、流速データを扱うとデータ数が減少し経度や月への依存性を検討できなくなることがある。Kawai (1969) は周年 1 つの指標水温値を 31 個のデータから求めた。それと同程度に信頼できる月別の指標水温を求めるためには単純に考えて $31 \times 12 = 372$ 個の流速データが必要である。これだけの流速データを収集するのはそれほど容易なことではない。本研究では $T_{200} = 14.0^{\circ}\text{C}$ を前提としたことにより 12 年 5 カ月分で 510 個のデータを取り扱うことができた。黒潮続流から切離された直後の暖水塊や、黒潮続流から暖水塊に向かってのびる暖水ストリーマでは、時として黒潮続流と同じ 100m 深水温値が観測されることがある。この点に注意して、本研究で提案した黒潮続流流軸を指標する 100m 深水温を正しく使用すれば、100m 深水温図だけから東北海区の海況を正確に把握することができる。水野 (1984) は「東北海区漁場海況概報」の 100m 深水温図に基づいて東北海区の海況変動の総合的な解析を行った。彼は 100m 深水温図からこの海域の海況変動に関して様々な特徴を明らかにしたが、川合 (1955) の 100m 深指標水温を用いたために、黒潮続流の流軸位置を実際よりも北に偏って決定してしまった。たとえば、彼は流軸

の近海における北限の平均緯度が $37 \sim 37.5^{\circ}\text{N}$ にあったが、これは清水 (1989) が計算した 1963 ~ 1987 年の平均値 (36.3°N) よりも北寄りである。試みに本研究で求めた 100m 深指標水温を用いて水野の Fig. 5 から流軸位置を読み取ってみると、近海の北限緯度は $36.0 \sim 36.5^{\circ}\text{N}$ と約 1° 南にずれて、清水の結果とほぼ一致した。

村上・安田 (1993) は黒潮続流流軸の近海における北限緯度の変動特性を調べるために、1954 ~ 1992 年について毎月の北限緯度のデータセットを作成した。彼らは流軸位置の決定に際して、流速、200m 深水温だけでは資料不足で流軸が判定できない場合には 100m 深指標水温を用いることで、ほとんど欠損値の無いデータセットを作成することに成功した。彼らのデータセットでは全データの 23% が 100m 深指標水温に基づいて読み取られている。

このように黒潮続流流軸を指標する 100m 深水温の有用性は、100m 深水温図 1 枚で海況を把握できるという点にとどまらず、流速と 200m 深水温だけでは捉えきれなかった流軸位置データの時空間的空白部分を補うことができるという点に明瞭に現れている。このことは従来よりも時間的には短い間隔で、空間的には広い範囲で流軸位置を把握できることを意味しており、今後の黒潮続流の研究に対して少なからず寄与するものと考えられる。

6. 結論

黒潮続流の流軸位置を 100m 深水温図から決定できるように、東北海区近海 (146°E 以西) における黒潮続流の流軸を指標する 100m 深水温を求めた。100m 深指標水温は 3 月に最低 (16°C)、11 月に最高 (19°C) となる季節変化をしていること、対象とした期間 (1979 ~ 1991 年) では経年的な変化がみられないこと、 $141 \sim 146^{\circ}\text{E}$ では経度方向に特徴的な変化がみられないことが明らかになった。本研究で求めた 100m 深指標水温から決めた流軸位置は、200m 深指標水温 ($T_{200} = 14.0^{\circ}\text{C}$) から判定される流軸位置と、98% の場合々々 15 海里的の誤差で一致することが明らかになった。

謝 辞

本研究に着手するきっかけを与えて下さると同時に、多くの有益な論議と助言を頂いた東北区水産研究所海洋環境部の友定彰博士、稲掛伝三博士、安田一郎博士に心

Fig. 7. Frequency of the deference, DX.

から感謝します.

References

- 平井光行 (1991): 三陸近海におけるマサバまき網漁場の水産海洋学的研究. 東北区水産研究所研究報告, **53**, 59-147.
- 川合英夫 (1955): 東北海区における極前線帯とその変動について (第 1 報). 東北区水産研究所研究報告, **4**, 1-46.
- Kawai, H. (1969): Statistical estimation of isotherms indicative of the Kuroshio axis. Deep-Sea Res., Suppl. to **16**, 109-115.
- Kurasawa, Y., K. Hanawa, Y. Toba (1983): Heat balance of the surface layer of the sea at Ocean Weather Station T. J. Oceanogr. Soc. Japan, **39**, 192-202.
- 水野恵介 (1984): 東北海区の海況変動について. 東北区水産研究所研究報告, **46**, 61-80.
- 村上眞裕美・安田一郎 (1993): 東北海区近海における黒潮統流流軸の北限緯度の変動特性. 準備中.
- 清水利厚 (1989): 房総近海の黒潮について. 千葉県水産試験場研究報告, **47**, 1-6.
- 東北区水産研究所 (1979-1991): 東北海区漁場海況概報. 東北区水産研究所, 塩釜.
- 東北海区海洋調査技術連絡会 (1961-1991): 東北海区総合海況. 東北海区海洋調査技術連絡会議事録, **11-41**.