

対馬西水道における底層冷水の特性

大村 浩一・川建 和雄
(筑前海研究所) (九州大学応用力学研究所)

Hydrographic Features of the Bottom Cold Water in the West Tsushima Channel

Kouichi OMURA, Kazuo KAWATATE
(Chikuzenkai Laboratory)
(Research Institute for Applied Mechanics Kyushu University)

対馬海峡は東シナ海と日本海とを結ぶ平均幅200 kmの海峡で、九州北岸と対馬とに挟まれた対馬東水道、韓国と対馬とに挟まれた対馬西水道とからなる。東シナ海で派生した対馬暖流はこの両水道をとおって日本海へと流れるが、海峡内での水塊構造は東西両水道で大きく異なっている。即ち、東水道では周年にわたって暖流系水で覆われているが、西水道では夏季から秋季にかけて日本海起源の冷水が底層に分布し、表層から中層を流れる対馬暖流と2層構造をなしている。

この底層冷水(以下「冷水」と言う)は、日本海下層冷水の南出現象¹⁾あるいは日本海底層水の拡張²⁾と言われるものである。このような冷水は日本海の陸棚域には広く認められる現象であるが³⁾、島根沖冷水のように冷水の消長と対馬暖流域内に生息する浮魚類の漁場とが密接に関連している場合もある⁴⁾。対馬西水道底層にみられる冷水と漁場形成との関係については今後の検討課題として、ここではまず冷水の特性を明らかにすることを目的とした。

対馬西水道底層の冷水の特性については、水塊構造や水塊分布から論じられることが多く、これまでに冷水は季節的な消長を行うこと、冷水は日

本海から東シナ海へ流出することはないこと²⁾等が明らかにされている。一方、流動に関するものは極めて少ない。実際、漁場が形成されている西水道で長期の測流を行うことは極めて困難であるため、過去に行われた測流も観測期間が数日間と短く流況の変動を捉えるまでには至っていない。

この冷水の流動を解明するため、著者らは長期間の測流を試み、1991年夏季に西水道の対馬北西側に位置する舟状海盆上で2カ月余にわたる測流を実施することできた。

この報告では、冷水の特性を今回観測した測流結果だけではなく冷水の分布特性からも併せて検討した。分布特性では、まず対馬海峡断面での海洋構造の平均的な特徴を解析した後に、冷水の分布構造の特徴について具体的に検討した。また、流動特性では測流結果から平均的な流況を明らかにし、さらに考察を試みた。

資料および方法

1. 冷水の分布特性調査

この調査では、対馬海峡断面での海洋構造と冷水の分布、さらには冷水の季節変化について検討した。

対馬海峡断面での海洋構造の解析に際しては、まず東西両水道の観測定線を設定した。観測定線は図1に示すように東水道側では比田勝(対馬)～白鳥(北九州市)、西水道側では釜山～対馬である。これらの観測定線は九州北岸と韓国南東岸とをほぼ直線で結んでいるため、海峡断面の水塊分布の変化を捉えるには都合がよい。資料は東水道側では当研究所の海洋観測資料を、西水道側では韓国水産振興院の海洋観測資料(両水道とも'71～'91年の資料)を用いたが、一定の条件を設けて資料の整理を行った。つまり、東水道では原則として毎月月上旬に観測が行われているのに対して西水道では月上旬に必ずしも行われていない。水温上昇期や下降期では、観測日が月の月上旬か下旬かで水温に数℃の違いが出てくるため、観測

資料を全て用いると観測日の違いによる影響が水温平均値や標準偏差に含まれることになる。そこで、月の前半に観測された資料だけを解析に用いた。また、東水道における観測は原則として毎月1回行われているが、西水道側では2カ月に1回偶数月にしか行われていない。このため対馬海峡断面での水温平均値と標準偏差の月別変化は2カ月毎に偶数月となっている。

冷水の季節変化の解析には、当研究所の海洋観測資料を用いた。当研究所では'60～'70年代前半にかけて西水道で海洋観測を実施していた。この観測資料のなから欠測がなく1カ月毎に観測が行われている'68～'74年の資料を用いて、西水道舟状海盆上での水温イソプレットを作成した。

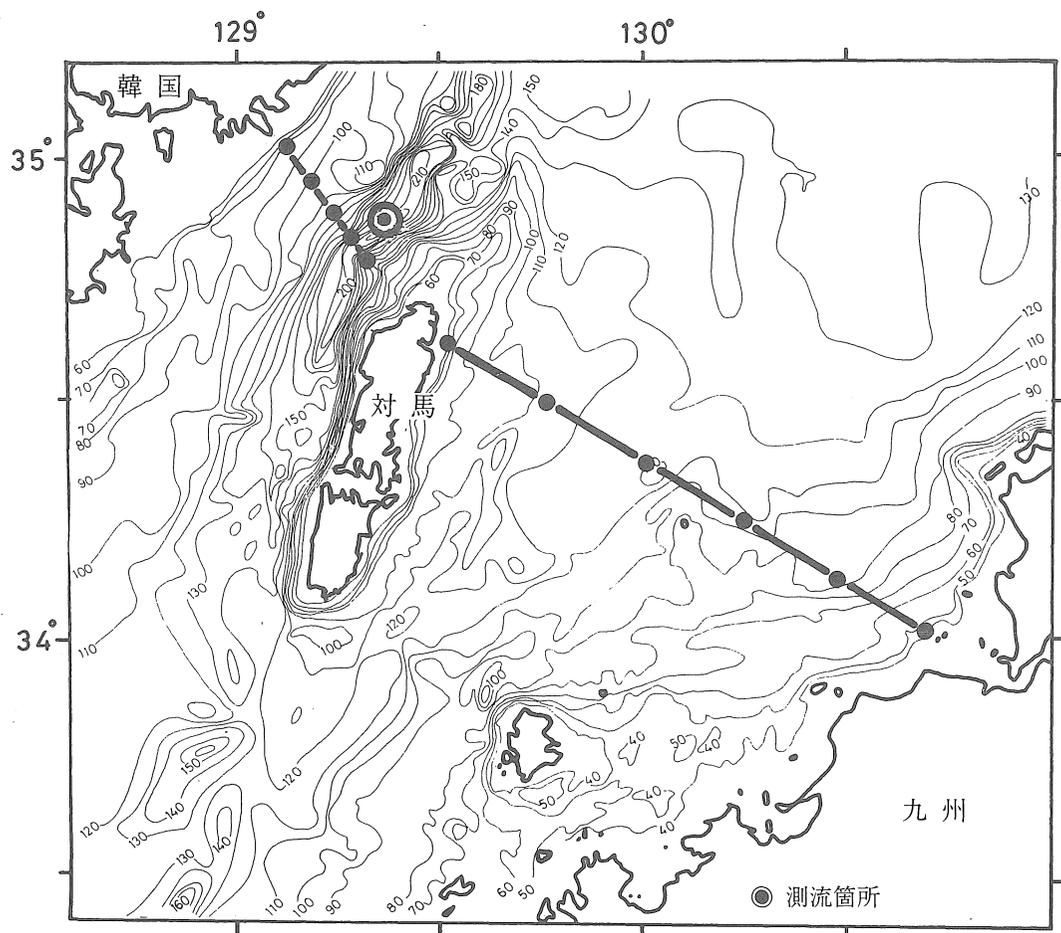


図1 地形図及び観測位置図

2. 流動調査

測流箇所は図1の◎印で示すように冷水の流動が最も捉えられると思われる舟状海盆（34° 52′ 10″， N129° 22′ 50″ E）を選んだ。この舟状海盆は対馬上島の西側を対馬に沿って北北東に伸びており、最深部の水深は220 mにも達する。この海盆の最深部の北西側斜面にアック電子製

の電磁流速計を設置した。流速計の設置水深は海底上30 mで、測流間隔は30分、測流期間は'91年7月11日～10月2日までの84日間である。

結果および考察

1. 対馬海峡での海洋構造と冷水の分布

対馬海峡断面での平均水温の月別分布を図2に

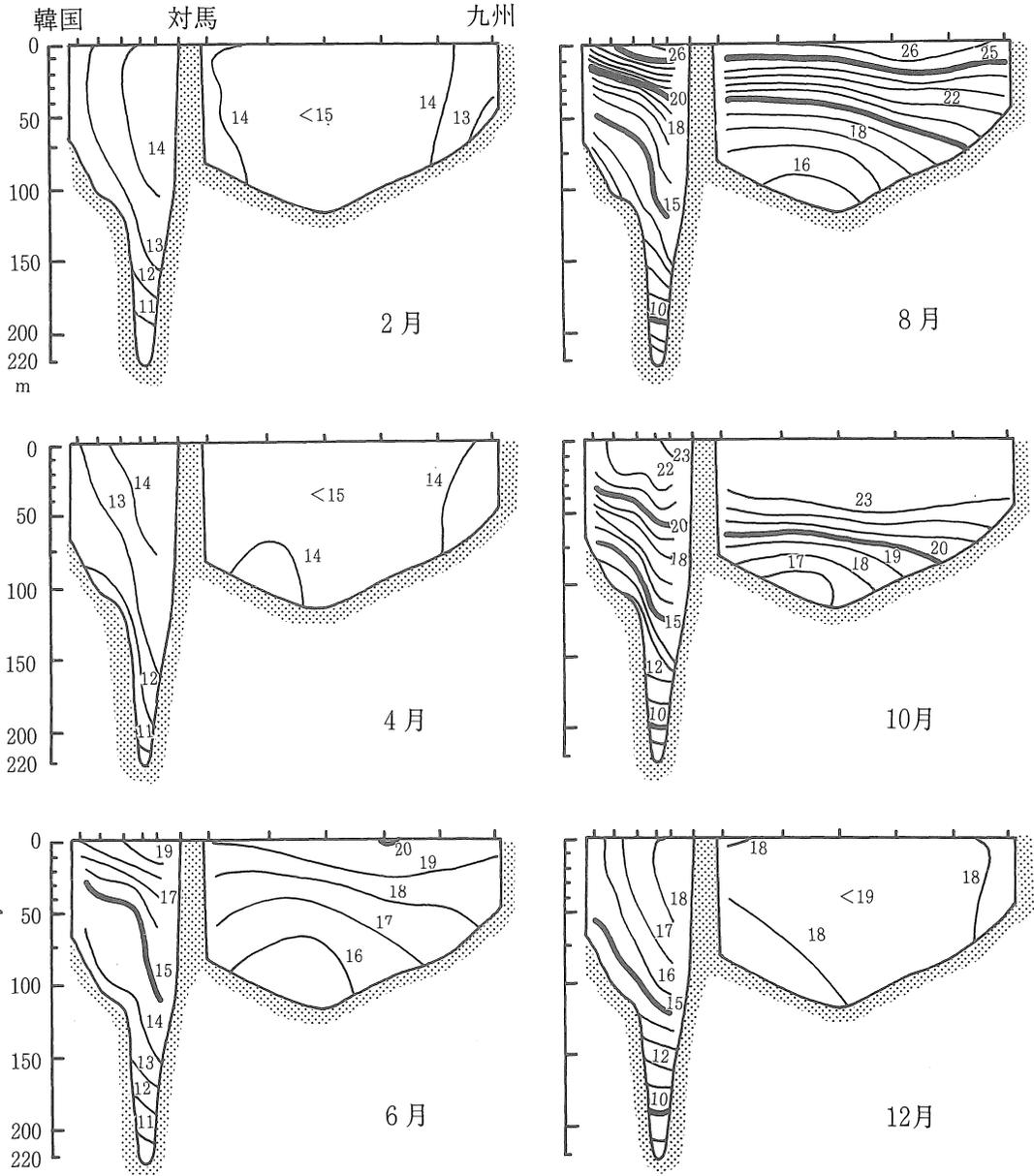


図2 対馬海峡における平均水温の月別鉛直分布

示す。この図を周年をとおしてみると水温は西水道よりも東水道で高くなる傾向にある。しかし、月別にみると海峡内での水温は東西両水道とも著しい季節変化を示し、また両水道間での海洋構造は大きく異なっている。

冬季2月と春季4月の水温は表層から底層まで均質となっている。この時期の特徴として韓国側

沿岸域と九州側沿岸域に相対的な低水温域が認められる。韓国側の低水温域は等温線の傾きから判断できるように構造的に深い。また、西水道の底層、特に舟状海盆上の150 m以深には韓国沿岸水よりさらに低温の水域が認められる。

6月になると、水温上昇に伴って季節的水温躍層が形成され始め8月に最も顕著となる。夏季に

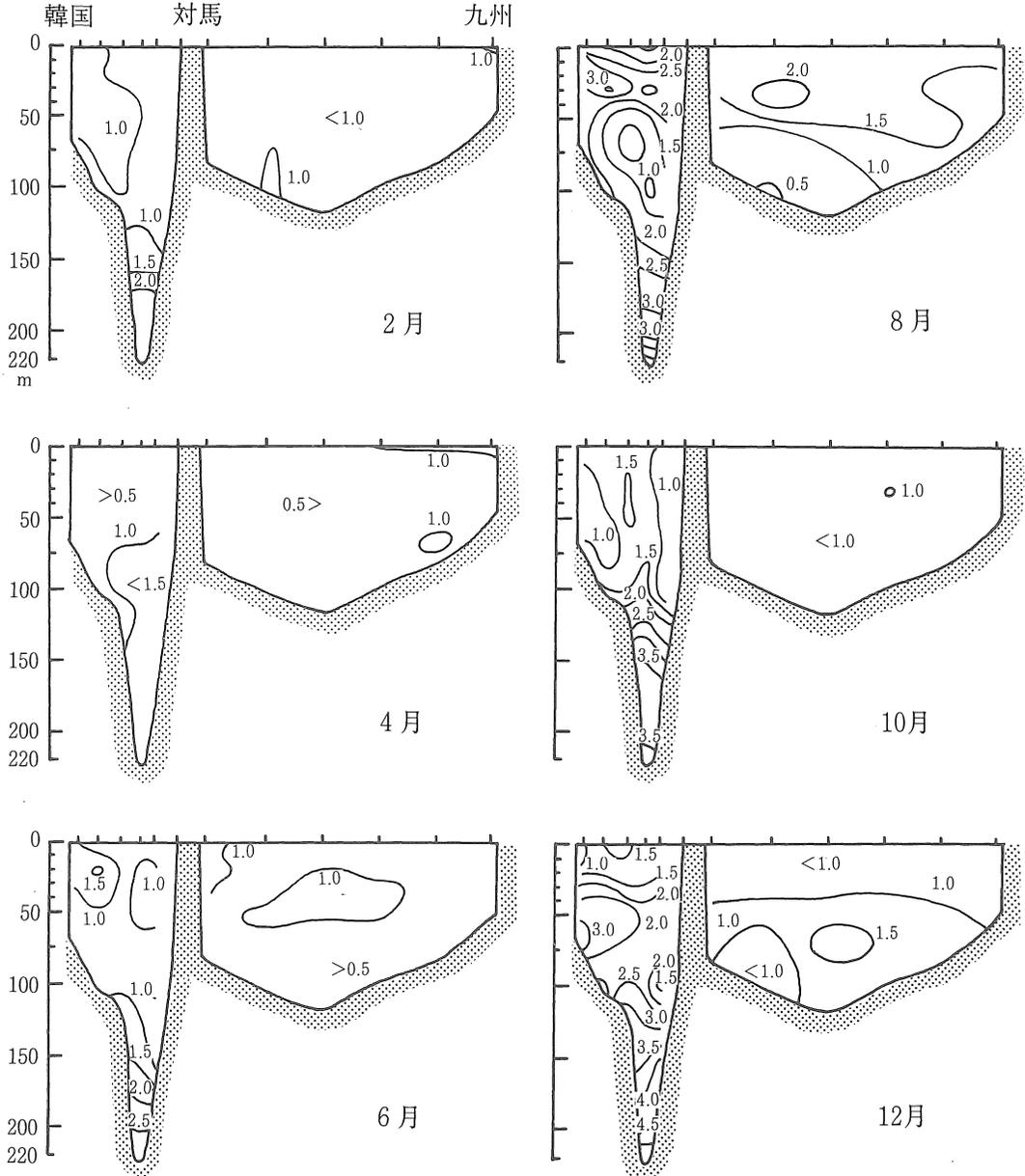


図3 対馬海峡における水温標準偏差の月別鉛直分布

みられる等温線は西水道から東水道に向かって右下がりに傾斜し、西水道で浅く東水道で深い分布構造となっている。西水道の舟状海盆では季節的躍層以外の第2躍層が著しくなっている。

水温下降期の10月になると、表層等温層の厚さは深度を増し始める。表層等温層の厚さは30～40m深に達するが、東水道ではその厚さが全域ではほぼ同じなのに対して、西水道では対馬側で深く韓国側で浅くなっている。

12月になると水温はさらに低下し鉛直混合が活発となる。東水道の水温は上層から下層まで均質となり、九州側沿岸域では再び相対的な低水温域が形成される。西水道では韓国沿岸水の水温低下が著しいために等温線の傾きは解消されず、その傾きは大きい。西水道の舟状海盆域には夏季以降の第2躍層が依然存在している。

対馬海峡ではこのような水温の季節変化を示すが、海峡内での特徴的な現象として次のことがあげられる。(1)韓国寄りの沿岸域に周年を通して相対的な低水温域が存在する。(2)西水道の舟状海盆上には海峡内で最も低温な水塊が存在する。(3)東水道では九州側沿岸域に低水温域が12月から4月まで形成される。

これらの特性のなかで、東水道にみられない現象として西水道舟状海盆上での低水温域があげられる。この低水温域は前述した日本海下層から派生している冷水と言われている^{1), 2)}。冷水は舟状海盆上に分布し、韓国側沿岸域の底層には分布

しない。冷水の水温は夏季から秋季にかけて低く、冬季から春季にかけて高くなる傾向を示すが、Lim et al.⁵⁾による冷水の指標値(10℃以下)に基づく、平均的な分布特性として冷水は8月から12月まで分布し2月から6月までは分布しない季節変化をする。

水温標準偏差の月別分布を図3に示す。西水道舟状海盆上での標準偏差は、他の水域に比べて相対的に高い値を示している。4月の標準偏差は1.0～1.5℃と低く他の水域と大きな違いは見られないが、4月を基準に前後に遡るほど標準偏差は高くなり、2月、12月には2.0～2.5℃、6月、8月、10月には3.5～4.5℃にもなる。4月の標準偏差が低いのは、この時期の海洋構造が安定していることを示している。一方、6～2月の標準偏差が大きくなるのは、季節的には冷水が出現する月とそうでない月とがあること、経年的には水温の年変動が大きいこと、さらに構造的には冷水の厚みが変動することによるものと考えられる。

2. 底層冷水の周年変化

対馬西水道での月別の水温インプレットを図4に示す。特に冷水の変動に注目するため、10℃以下の水温帯には斜線を施している。

この図をみると冷水は明瞭な周年変化を示していることがわかる。冷水は水温躍層が形成される時期に出現し、鉛直混合が活発で表層から底層まで均質となる冬季に消滅する傾向が強い。冷水の流入は東シナ海からの表層低塩分水の西水道への

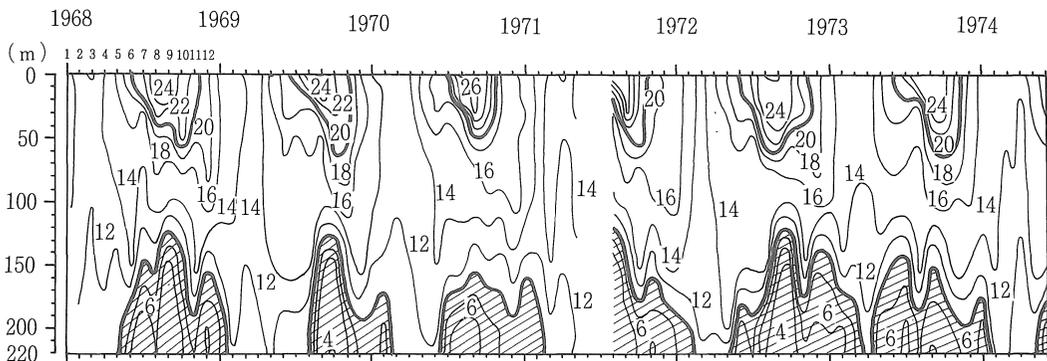


図4 対馬西水道舟状海盆状での水温のインプレット

流入が引き金となることが指摘されている⁶⁾。しかし、冷水の西水道への流入時期は4月に1回、5月に3回、6月に1回、8月に1回となっており、この時期が対馬暖流表層水の低塩分化する時期とは必ずしも一致しないようである。

冷水の流入が一端始まると西水道内が再び順圧的な状態となるまで、冷水の分布は長期にわたって続く。その分布期間は'68年度には8カ月、'69年度には6カ月、'70年度には8カ月、'72年度には10カ月、'73年度には9カ月でいずれの年も半年以上も続き、この期間中に冷水の流入が途切れることは一度もなかった。実際、'91年の測流結果でも、測流期間中の80日間に水温が10℃を超えるような水温上昇は認められなかった。

冷水の水温は毎年分布が認められる8～11月を例にしてみると8月は3～9℃台、9月は3～5℃台、10月は2～7℃台、11月は5～8℃台で、前述したように水温の変動幅は大きい。

図4の'68～'74年の観測資料は転倒式採水器を用いて観測されたため、中層から底層までの観測深度は50m間隔で粗い。このため冷水が分布しているかどうかは確かめられても、どの水深で水温傾斜が急激に起こっているか、つまり対馬暖流と冷水との境界を提示するには正確さに欠けている。

'92年7、8、10、11月に舟状海盆上のほぼ同じ位置でSTD観測を行ったが、その水温鉛直分布を図5に示す。この図をみると、対馬暖流と冷水との境界に形成される水温躍層は120～160mに存在していることがわかる。しかし、水温躍層が形成される深度、水温躍層での水温傾斜の度合いは月によって異なっている。水温躍層の深度は7、8月の夏季に深く、10、11月の秋季に浅くなる傾向を示している。水温躍層付近の水温傾斜の度合いは7月には0.2℃/mの割合で低下し、8、10月には0.3℃/m台、11月には0.4℃/m台となっており、水温傾斜の度合いは秋季に向かうほど強くなっている。また冷水は海底から60～70mまでを占めており、かなり厚みのある水塊であると言える。

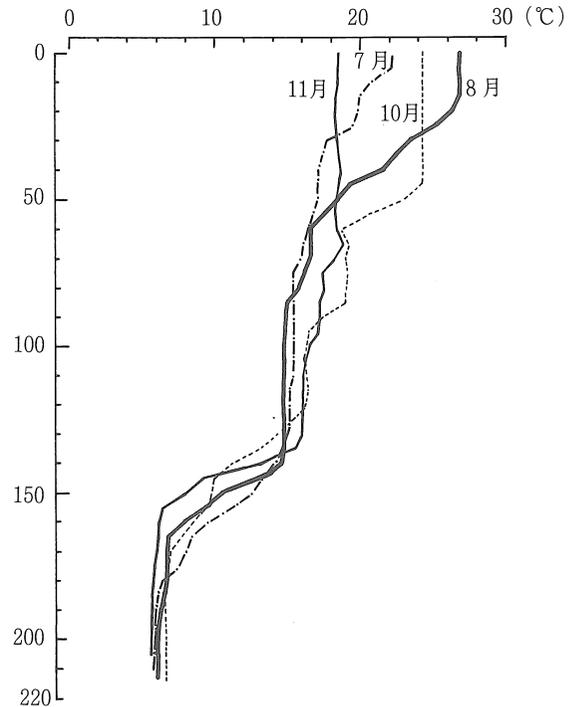


図5 対馬西水道舟状海盆状での水温鉛直分布

3. 西水道底層冷水の流動

実測流の北流成分、東流成分ならびに水温の時系列を図6に示す。観測期間中の水温は2.2～6.1℃の範囲で変動しており、冷水の指標値である10℃以下であったことから、この測流データは冷水の流動を捉えていると思われる。実測流の時系列をみる限り北流成分、東流成分とも半日、一日、15日程度の周期で変動しており潮流成分の影響が大きいことが伺える。そこで花輪⁷⁾が設計した24時間タイド・キラー・フィルターを用いて実測流から潮流成分を除去したデータを冷水の流速値として解析した。

潮流成分を除去した後の冷水の北流成分、東流成分ならびに水温の時系列を図7に示す。北流成分の時系列をみると冷水の流れは南向きに卓越しているが、常に南下傾向を示しているわけではなく間欠的に北上傾向を示していることが認められる。ただし、北向きの流れが卓越している期間は短く、2日以上にわたって北上傾向を示しているのは8月3～7日、8月19～21日、9月14～

対馬西水道における底層冷水の特性

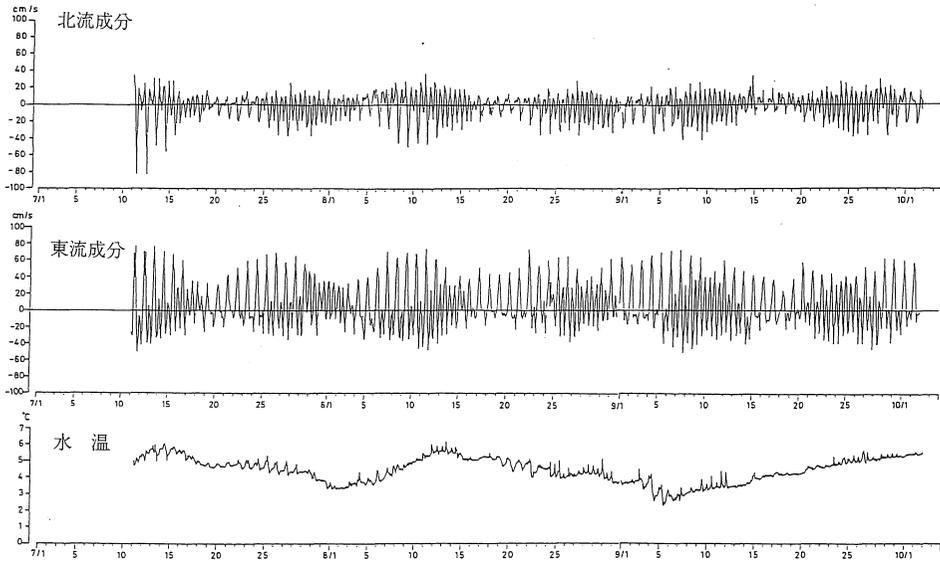


図6 実測流の北流成分，東流成分ならびに水温の時系列

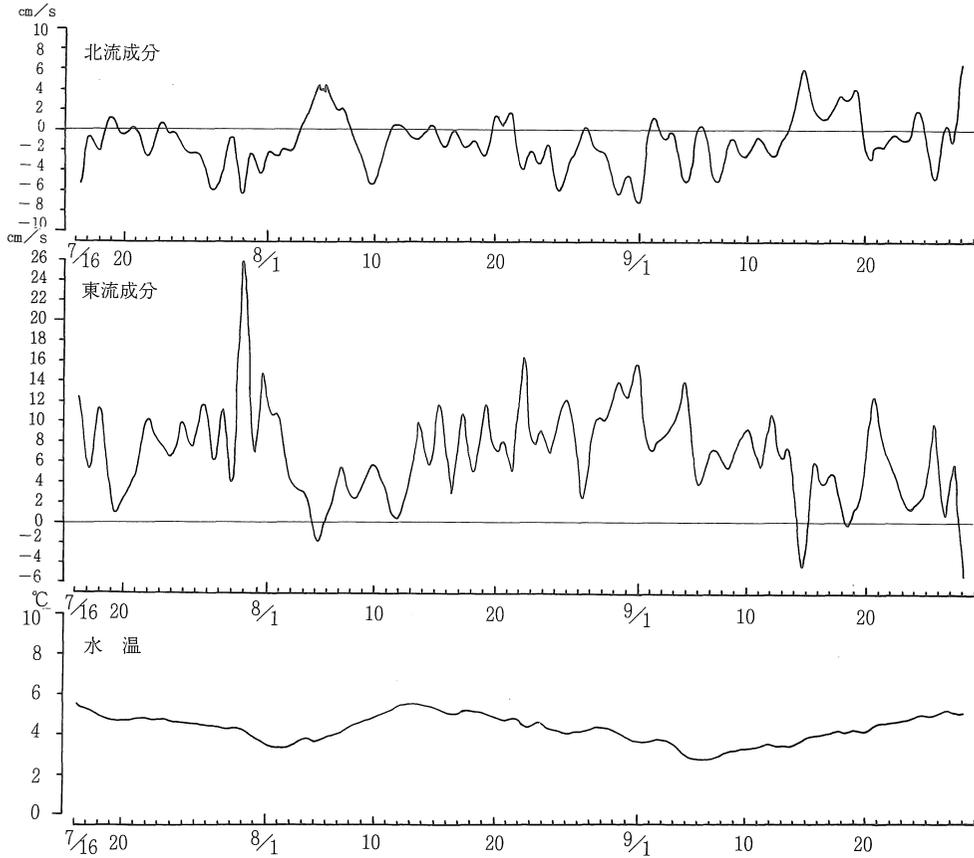


図7 底層冷水の北流成分，東流成分ならびに水温の時系列

20日だけである。一方、東流成分では東向きの流れが卓越しており、西向きの流れは観測期間中にわずか3回しかみられず、その期間も短い。今回、流れの周期性は検討していないが、北流成分、東流成分とも一週間以下の時間スケールで変動していることは何うことができる。

図7に示した冷水の北流成分、東流成分の時系列データを日平均値にし、図8に示すように北流成分をY軸、東流成分をX軸にしたXY座標におとした。流向の頻度は東から東南東方向の頻度が最も多く、これに東から東北東方向の頻度を加えると全体の70%以上になる。ただし、冷水の流向はランダムになっているわけではなく、北西-南東方向に規則的に並んでいる。北流成分と東流成分との相関係数は $R = -0.75$ (1%の有意水準) である。

日平均流速の平均値と標準偏差は流れの方向の南東流成分とその垂直方向の北東流成分とに分けると以下ようになる。

南東-北西流成分 (南東向きが正の値)

平均 5.72 cm/s 標準偏差 4.02 cm/s

北東-南西流成分 (北東向きが正の値)

平均 4.08 cm/s 標準偏差 1.80 cm/s

冷水とその上層を流れる対馬暖流とが密接な関

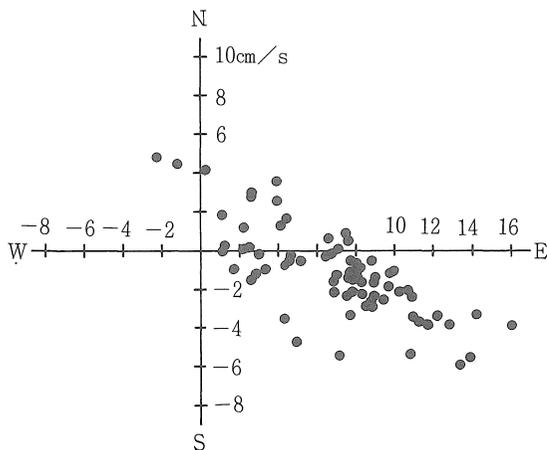


図8 底層冷水を日平均値にした場合のスキヤタリング

係にあることは明かであるが、この2つの流れの間にどのようなメカニズムが働いて冷水の消長が起きているのかは、まだ明かではなく今後の課題である。ただ、三井田⁹⁾による西水道での測流結果を参考にすると、冷水の流速は夏季の西水道表層流速の1割程度となり、冷水の流速は対馬暖流よりもかなり遅い。

冷水は韓国の蔚山付近では沿岸湧昇に伴って韓国沿岸域にも分布するが、冷水が南下するにつれて韓国沿岸を離れ、西水道内では対馬と韓国の間を南西方向に張り出すことが指摘されている⁹⁾。このため西水道内での冷水の流向は対馬や舟状海盆に沿った方向、つまり南西方向になると思われた。しかし、測流結果による冷水の流向は北西-南東方向になっている。この方向を図1に示した地形図と比較すると、冷水の流向は等深線に沿った方向ではなく等深線に直交する方向になっている。つまり、冷水が南下するときは韓国側から対馬に向かって流入し、北上するときは逆に韓国沿岸に向かって流出する結果となっている。

今回の測流結果はオイラー型のある1点での観測であるから他の地点で測流を行った場合には、違った結果になることが推定される。冷水が海底地形の影響を受けた流れである場合、あるいは冷水分布の南限では、冷水が舌状に張り出していることから冷水の舌状先端部で同一方向流として存在しているのか、あるいは逆流を伴っているのかで流向は大きく違ってくると思われる。

対馬西水道底層に認められる冷水は季節的な変化を示すが、冷水の消長に伴って漁場形成機構がどのように変動するのか、あるいは冷水の変動が対馬暖流を回遊する浮魚類の分布・移動にどのように影響するのかは漁業の重要な課題である。本報は冷水特性の一部を検討したにすぎないが、これを機会にして冷水の変動様式、さらには漁場形成との関係を解明していきたい。

要 約

対馬西水道の舟状海盆上に分布する底層冷水の特性を水塊分布と流動から解析した。

- 1) 対馬西水道内での冷水の平均的な分布特性として冷水は8月から12月まで分布し、2月から6月までは分布しない。
 - 2) 冷水の進入が始まると、海峡内が再び順圧的な状態となるまで長期にわたり続く。その期間は半年以上にも及ぶ。
 - 3) 冷水の水温は毎年分布が認められる8、9、10、11月を例にすると8月には3～9℃台、9月には3～5℃台、10月には2～7℃台、11月には5～8℃台で水温の変動幅は大きい。
 - 4) 冷水と対馬暖流との間に形成される水温躍層の深度、水温躍層での水温傾斜の度合いは季節によって異なる。
 - 5) 冷水は海底から60～70mまでを占めており、かなり厚みのある水塊である。
 - 6) 冷水の流動は南向きの流れが卓越しているが、間欠的に北上傾向も示す。また、流向には規則性があり北東-南西方向である。
 - 7) 冷水の日平均流速の平均値は
南東流成分 5.72 cm/s
北東流成分 4.08 cm/sである。
- 文 献
- 1) 西田敬三：朝鮮近海の測流結果について(1932～'26年海洋調査報告), 朝鮮総督府水試報告, 2, (1927).
 - 2) Chang, S. and M. Uda : Oceanic front in the western part of the Japan Sea, Summary Rept. Annual Meet, Oceanogr Soc Japan, Apr. 5 - 9 (1968).
 - 3) 森脇晋平・小川嘉彦：“低部冷水”の海況学的特性, 東北区水産研究所研究報告, (50), pp.25 - 41 (1988).
 - 4) 小川嘉彦・森脇晋平：“低部冷水”の変動機構, 東北区水産研究所研究報告, (48), pp. 97 - 114 (1986).
 - 5) Du Byung Lim・Sun-duck Chang : ON THE COLD WATER MASS IN THE KOREA STRAIT, The Journal of the Oceanological Society of Korea, (4), pp. 71 - 82 (1969).
 - 6) 磯田豊：対馬暖流に対する対馬列島の地形効果, 沿岸海洋研究ノート, (27), pp. 76 - 84 (1989).
 - 7) 花輪公雄・三寺史夫：海洋観測資料における日平均値の作成について一日平均潮位を扱う際の留意点-, 沿岸海洋研究ノート, (23), pp. 79 - 87, (1985).
 - 8) 三井田恒博：定置測流からみた流れ, 水産海洋研究会報, (28), pp. 33 - 58 (1976).