

日本海表層域における高塩分水と低塩分水の 移動速度について

桑原 昭彦・鷺尾 圭司・鈴木 重喜

The Movements of the High Salinity Water and Low Salinity Water in the Surface Waters of the Tsushima Warm Current Region

Akihiko KUWAHARA, Keiji WASHIO* and Shigeki SUZUKI

This paper dealt with the monthly variations in the salinity distribution and the effective current velocities of the surface water.

According to the monthly variations of mean salinity in the upper 50 m layer, the surface water in the Tsushima Warm Current Region was divided into three types: (1) the high salinity water (higher than 34.2 ‰) flowing into the Japan Sea through the Tsushima Strait and traveling slowly towards the north-east from winter to summer; (2) the low salinity water (less than 34.0 ‰) flowing into the Japan Sea and traveling rapidly towards the north-east from summer to autumn; (3) the water, whose salinity was about 34.0 ‰, formed by vertical mixing of the surface low salinity water and the intermediate high salinity water during winter.

Mean current velocities calculated from the movements of the high and low salinity water in the upper layer were 0.08—0.13 knot from January to March, 0.14—0.22 knot from April to May, 0.28 knot from June to July and 0.63 knot from July to August. Current velocities calculated from the driftages of the driftcards were about 0.20 knot from March to June, 0.31 knot from April to June and 0.62 knot from July to August.

日本海における海況特性の季節的な変動については、漁海況予報に関わる問題として、主に水温分布や流況に基づいた研究成果が現在まで多く報告されている(宮田・下村, 1959; 長沼, 1964, 1968等)。一方、塩分を取扱った報告は、主にいわゆる「対馬暖流中層水」に関するものが多く(例えば赤川, 1954; Lim, 1971等)、表層の塩分の季節変動を取扱ったものとしては谷岡(1962a)等の報告があるが、まだ多くない。谷岡(1962a)は対馬暖流域の海況変動を調べる上での塩分分布の重要性を指摘しているし、また、京都府沿岸域でのクロマグロやブリの漁況は表層高塩分水の挙動と密接な関連をもつことが桑原・坂野(1980)によって指摘されている。したがって、日本海の表層塩分の季節的な変化を明らかにすることは、今後、漁況予報の精度を高めていく上で重要な研究課題である。

ここでは、対馬暖流域における表層水塊の移動速度を、冬期～夏期に出現する表層高塩分水と、夏期～冬期に出

現する表層低塩分水の分布パターンの月ごとの変化や京都府沿岸域で投入された海流ハガキの漂着結果を用いて検討した。

資料と方法

この研究では、海洋観測資料として水産庁より印刷公表されている海洋観測資料および気象庁から公表されている気象庁海洋気象観測資料を用いた。また、表層塩分の水平分布を検討するに当たっては、月別に緯度経度30分枠目ごとに海面から50m深までの平均塩分を用いた。なお、塩分の測定精度は、各種研究機関により得られた観測値を相互に比較してみると、必ずしも良くない。そこで、観測点ごとに塩分鉛直プロフィールと300m深の塩分値から判断して、疑わしい観測結果については使用しなかった。

今回は、1968～1973年の資料について整理し、精度の高い資料が多かった1973年についてのみ解析を行った。

海流ハガキは、1979年7月18日、1980年3月17日、4月21日の3回、東経135°33′線上の距岸約40海里までの

*兵庫県林崎漁業協同組合

海域に投入された。投入枚数は、1回目が400枚、2回目と3回目が300枚であった。ここで使用した海流ハガキは、ビニール袋に市販のハガキを密封し、袋の一端に錘を入れ、もう一方の端が海面すれすれに浮くように工夫されている。

結 果

1) 表層塩分の季節変化

対馬暖流域における表層水の季節的な変化を明らかにするために、月別の表層塩分分布を Figs. 1~8 に示した。1月には、観測点が日本沿岸域に片寄っているた

めに全域的な把握はできないが、表層塩分は対馬海峡付近で高く、海峡から東に向かうにつれて低下していた (Fig. 1)。すなわち、34.2‰の等値線は島根県の浜田沖、34.0‰の線は隠岐諸島付近、さらに33.8‰の線は若狭湾沖にあり、ほぼ南北に走っていた。

2月には、1月より全域で約0.2‰高塩分化し、34.2‰の等値線は浜田沖から隠岐諸島付近に、また34.0‰の線は隠岐諸島から佐渡島付近に移動していた。したがって、高塩分水は1月に比べて分布域を東方に拡大していたことになる (Fig. 2)。

4月には、対馬海峡から流入する海水の塩分は34.6‰

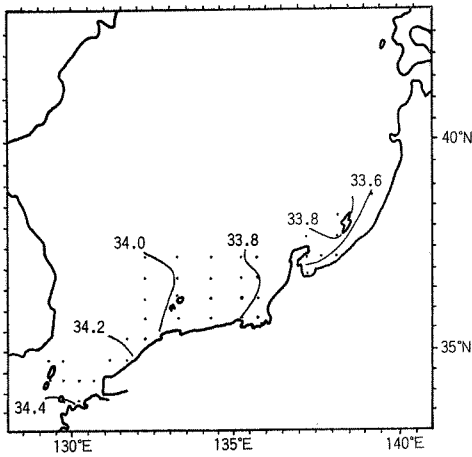


Fig. 1. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in January, 1973.

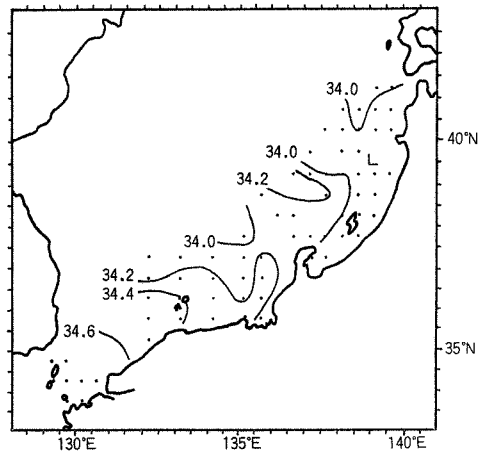


Fig. 3. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in April, 1973.

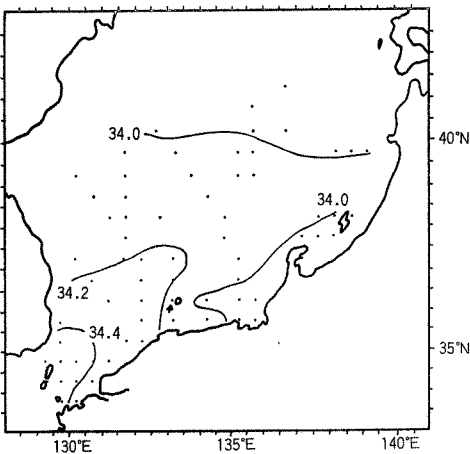


Fig. 2. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in February, 1973.

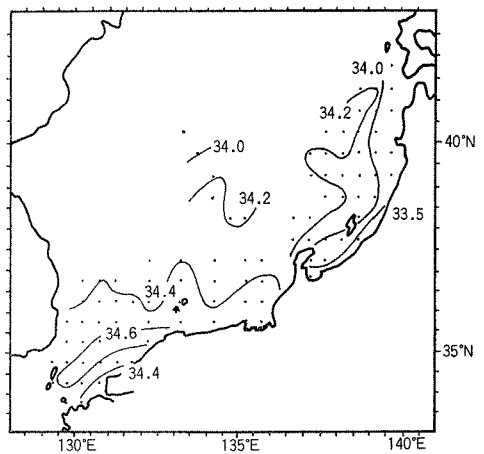


Fig. 4. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in May, 1973.

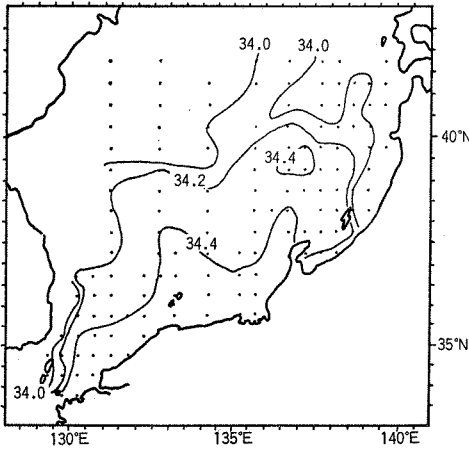


Fig. 5. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in June, 1973.

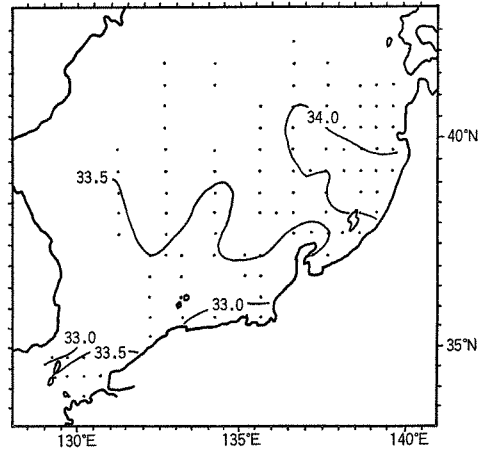


Fig. 7. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in September, 1973.

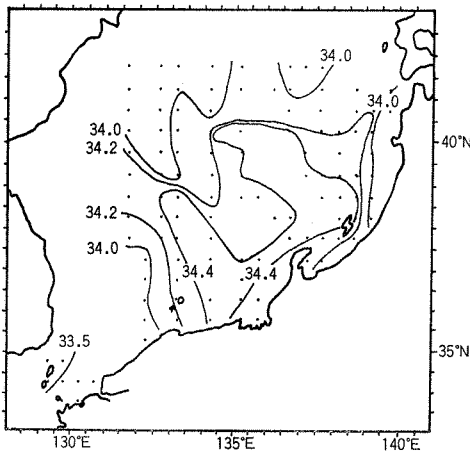


Fig. 6. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in July, 1973.

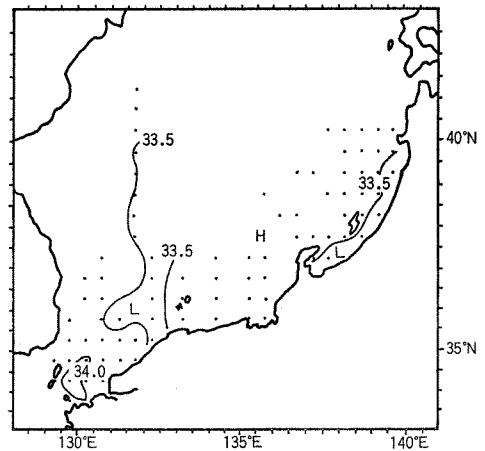


Fig. 8. Isohalines of mean salinity (‰) of the water in the upper 50 m layer in November, 1973.

以上を示し、能登半島以西の海域では2月より約0.2‰高くなっていた。また、表層塩分は、対馬海峡付近で高く東の海域ほど低い傾向が維持されていた (Fig. 3)。

5月における表層塩分の分布パターンは、隠岐諸島以西の海域では、4月のパターンと類似しているが、34.2‰以上の高塩分は4月に比べ、分布域を北東方向に広がっていた (Fig. 4)。一方、能登半島から山形県にかけての沿岸部には33.5‰以下の低塩分水がみられ、陸水の影響がうかがえる。また、対馬海峡から流入する海水の塩分は、4月より少し低下している。

6月には、34.2‰以上の高塩分水の分布域は、年間を

通じて最大となり、東は佐渡島付近、北は北緯39~40°にまで広がっていた (Fig. 5)。この高塩分水の分布の北限は水温分布からみた日本海亜寒帯前線とほぼ一致していた。また、対馬海峡では、東水道の九州寄りでは34.2‰以上の高塩分が保持されていたが、西水道には34.0‰以下の低塩分水が現われ、海峡から流入する暖流系水は低塩分期に移行していた。

7月になると、対馬海峡から33.5‰前後の塩分をもつ海水が流入し、34.0‰以下の低塩分水の分布域は、島根県出雲沖付近まで広がっていた (Fig. 6)。一方、34.2‰以上の高塩分水は日本海中部海域に孤立して分布し、そ

の分布域は6月に比べ狭くなっていた。34.0%以下の低塩分水は、7月から9月にかけて分布域を拡げ、9月には佐渡島から秋田県沖の海域を除く日本海全域で認められた (Fig. 7)。

10月以降には、対馬暖流域の表層塩分は、10月の33.2~33.8%から12月の33.8~34.0%へと海域間での差が月毎に小さくなっていた。これは、宇田 (1934) が述べているように、表層の33.5%以下の低塩分水と34.2%以上の中層高塩分水とが鉛直混合することによって起っているものと考えられる。

以上述べてきたように、対馬暖流域における表層塩分の値とその分布域は、季節によって顕著な変化をみせ、一年間を通してみた場合には、表層水は以下の3つのタイプに分類できた。第1のタイプは、12月ないし1月に対馬海峡を通過して日本海に流入し始め、6月までその分布域を徐々に日本海北東海域へ広げる34.2%以上の表層高塩分水、第2のタイプは、6月から流入し始め、8月~10月に広く暖流域をおおう34.0%以下の表層低塩分水、第3のタイプは、10月ないし11月以降の鉛直混合によって形成される33.8~34.0%の表層混合水である。

2) 塩分からみた表層水の深さの季節変化

前節では、表層水の塩分を50m深までの平均塩分で代表させて論議した。しかし、宮田 (1958) が夏季の対馬暖流域では、第1不連続面が0~25m深の間にあって暖流表層水と暖流中層水を分け、また秋~冬季には海面冷

却による鉛直混合により第1不連続面が消失すると述べているように、表層水の深さは季節的に一定ではない。そこで、月別の第1塩分躍層の平均深度を、比較的観測頻度の高い距岸30~100海里の海域で調べてみた (Table 1)。これによると、海域によって多少の差はみられるが、1月~5月にはほぼ100m深、6・7月には10~30m深と急激に浅くなり、その後徐々に深くなり12月には再び100m深に達する。

これを前節で分類した3つの表層水に対応させると、表の中の実線によって区分できる。第1の表層高塩分水は左上の区分に相当し、その深さはほぼ75~100mで一定している。一方、第2の表層低塩分水は中央の区分に相当し、出現初期には非常に浅く、以降徐々に深くなってゆく。これは、密度の低い低塩分水が対馬海峡から日本海へ流入する際に、従前に表層をおおっていた密度の高い高塩分水の上を浅く広く拡がっていくことと、その後暖流流量の増大 (Yr, 1966) と中層に位置する高塩分水との混合が進むことにより、34.0%以下の海水の層が深くなっていくために起っている現象と考えられる。また、第3の表層混合水は下端および右上の区分に相当し、100m深もしくはそれ以深まではほぼ均一な塩分を有している。

3) 表層水塊の移動速度

対馬海峡から流入した表層高塩分水および低塩分水は、流入後、日本海の中部から東北部へと分布域を拡げてゆ

Table 1 Mean depths of halocline. (m)

	Westrn channel	Eastern channel	North of Yamaguchi	North of Tottori	North of kyoto	North of Ishikawa	West of Aomori
JAN.	...	100.	...	>100.	100.
FEB.	...	100.	...	>100.	>100.
MAR.	75.	100.	100.	100.	>100.	>100.	...
APR.	...	100.	...	75.	>100.	>100.	>100.
MAY.	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
JUN.	10.	20.	100.	100.	75.	75.	100.
JUL.	...	30.	...	10.	10.	75.	10.
AUG.	30.	50.	30.	30.	20.	20.	10.
SEP.	...	50.	...	50.	30.	30.	30.
OCT.	...	50.	...	75.	30.	50.	50.
NOV.	75.	50.	75.	100.	75.	75.	...
DEC.	...	100.	...	>100.	100.	>100.	100.

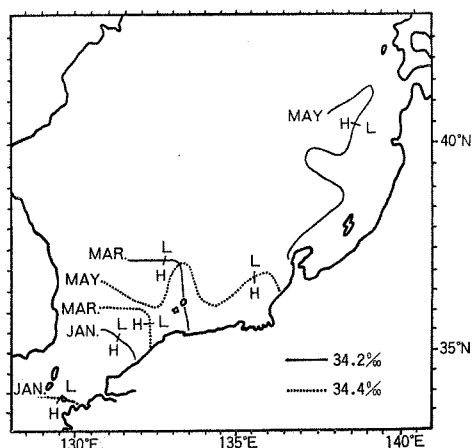


Fig. 9. Monthly 34.2‰ and 34.4‰ isohalines of mean salinity in the upper 50 m layer in 1973.

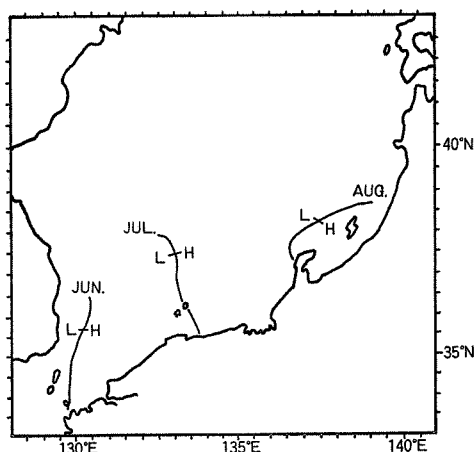


Fig. 10. Monthly 34.2‰ isohalines of mean salinity at the depth of 10m in 1973.

く。そこで、観測資料の都合で日本の海岸にそった海域に限られるが、表層高塩分水と低塩分水の分布パターンの移行状況を月毎に追跡することによって、対馬暖流域における表層水塊の移動速度を推定してみた。

1月～5月の表層高塩分水の厚さは、前述したように75～100mであるから、この表層高塩分水の移動速度を推定するために、海面から50m深までの塩分を緯度経度30分枠目毎に平均した資料を用いた。表層高塩分水の前端（フロント）を示す34.2‰ないし34.4‰の等値線は、1月から3月、および3月から5月にかけて、それぞれ東北方向に移動しており、表層水塊の移動距離は、前者で120～180海里、後者で200～320海里と見積られた（Fig. 9）。これを速度に換算すると、前者が0.08～0.13ノット、後者が0.14～0.22ノットになる。

一方、6月～8月の表層低塩分水の場合には、対馬海峡から日本海へ流入拡散する際には、深さが20m程度と浅いので、移動速度の推定に、水深10mにおける緯度経度30分枠目毎の平均を用いた。なお、表層低塩分水の前端のフロントを便宜的に34.2‰の高塩分水の後端と同じとして、移動速度を推定した。表層低塩分水のフロントの位置は、6月に対馬海峡付近、7月には隠岐諸島付近、さらに8月には34.2‰の等値線は能登半島から佐渡海峡付近にまで達している（Fig. 10）。したがって、表層低塩分水の移動距離は6月～7月に約200海里、7月～8月に約450海里となり、移動速度に換算すると、前者で約0.28ノット、後者で約0.63ノットとなる。

次に、海流ハガキの漂着状況から表層高塩分水と低塩

分水の移動速度について推定してみる。海流ビンや海流ハガキ等の漂流物から水の移塊動速度を推定する場合には、漂流の経路が不明であること、また海岸に漂着しても発見が漂着日よりおくれることが多いことなどから、過少に見積られることが多い。今回は、放流点と漂着場所とを直線で結び、その経過日数からみて、もっとも速い移動速度をもって、その時期の水塊の移動速度とした。1890年3月の結果では、26枚回収され、この中でもっとも移動速度が速かったものは、7月1日に北海道東岸の八雲町で回収されたハガキで、約0.20ノットであった。1980年4月の結果では、18枚が回収され、もっとも速い移動速度は、6月21日に北海道室蘭市で回収されたハガキから約0.31ノットと推定された。また、1979年7月の結果では、22枚回収され、その移動速度は8月9日に北海道松前半島に漂着したものから約0.62ノットと推定された。すなわち、上記の結果から3月から7月にかけての表層高塩分水の移動速度は0.2～0.3ノット程度であり、7月から8月にかけての表層低塩分水の移動速度は0.6ノット前後と見積られた。

考 察

今回解析を行った塩分の分布パターンから推定した水塊の移動速度と海流ハガキの漂着結果から見積った水塊の移動速度とは、調査を行った年度が異なるにもかかわらず、よく一致していた（Table 2）。そして、3・4月に出現する表層高塩分水の移動速度と比較して、7・8月に出現する表層低塩分水の速度は2～3倍大きくなっ

Table 2 Current velocities calculated from the movements of high and low salinity water, and the driftage of drift-cards.

	High salinity water	Low salinity water	Drift-cards
JAN.-MAR.	0.08-0.13knot		MAR.-JUN. 0.20knot
APR.-MAY	0.14-0.22knot		APR.-JUN. 0.31knot
JUL.-JUL.		0.28knot	
JUL.-AUG.		0.63knot	0.62knot

ていた。

対馬暖流域における水塊の移動速度を取り扱ったものとしては、宇田 (1931), 梶原他 (1958), 谷岡 (1962_{a, b}), 小川 (1974) 等がある。小川 (1974) は、山口県川尻沖と青森県深浦沖の2断面における塩分の年極大値の出現時期のずれから、水塊が直線的に移動したものと仮定し、水塊の移動速度を約0.17ノットと推定した。また、谷岡 (1962_{a, b}) は、日本海沿岸海域における表層塩分の年周変化の位相のずれから、能登以西の海域での暖流系水塊の移動速度を年平均で約0.3ノットと推定するとともに、100m深の塩分分布から3月～8月の高塩分水の移動速度を約0.08ノットと見積った。さらに、宇田 (1931) は、100m深の高塩分水を指標として、その移動速度を年平均0.17ノット、最大を4月の0.21ノットと推定した。

上記のごとく、表層高塩分水の移動速度は、今回の結果も含めて研究者の推定方法の違いによって、一見異なっているようにみえる。しかし、上記の移動速度の推定を行った季節ごとに整理してみると、それぞれの結果に大きな差異はみられない。例えば、今回得られた表層高塩分水の移動速度を1月～5月でまとめてみると約0.16ノットとなり、これは、小川 (1974) や宇田 (1931) の結果とよく一致するし、また、今回得られた4月の水塊の移動速度も宇田 (1931) の結果とほぼ一致している。なお、6・7月に出現する表層低塩分水を指標として水塊の移動速度を扱った報告がほとんどなかったために、今回得られた結果と他の知見とを比較することはできなかったが、高塩分水の場合と同様に、日本海における夏期の平均的な値と大差はないと思われる。すなわち、日本海レベルのスケールで水塊の移動速度をみた場合には、季節的な変化は大きい、年度ごとでの変化はそれ程大きくないことが示唆された。

最後に、対馬暖流域の表層水塊の移動速度は、前述したように、1月から8月までの平均値でみると約0.2ノット

となつているが、冬期と夏期とで比較してみると、1月～3月には約0.1ノット、7月～8月には約0.6ノットで数倍の差がみられ、その季節的な変動は決して小さくない。また1カ月以上の長期間にわたった平均値として移動速度をみた場合には、その季節変動パターンに年度ごとの大きな差異がみられなくても、短期間でみた場合には移動速度の変動パターンに年度ごとのずれ等は起っていると考えられる。このような、移動速度の季節的な変化とか短期間でみた場合の変動パターンの年度ごとの違いといったものは、アジ、サバ等の浮魚資源の接岸機構や浮遊性の魚卵や仔稚魚の分布に密接に関係している可能性がある。

要 約

対馬暖流域における表層水の季節的な変動を明らかにするために、表層塩分の分布パターンの月ごとの変化や海流ハガキの漂着結果から、表層水の移動について検討した。

対馬暖流域の表層水は、表層塩分の季節変化から3つのタイプに分けられた。第1のタイプは、12・1月に対馬海峡から流入し始め5・6月にはほぼ全域に広がる34.2%以上の高塩分水。第2のタイプは、6・7月に海峡から流入し始め、8月には全域に広がる34.0%以下の低塩分水。第3のタイプは、秋～冬期に発達する鉛直混合によって形成される33.8～34.0%の混合水である。

表層高塩分水と低塩分水のフロントの移動から見積られた表層水の移動速度は、1月～3月で0.08～0.13ノット、3月～5月で0.14～0.22ノット、6月～7月で約0.3ノット、7月～8月で約0.6ノットであった。

また、漂流ハガキの回収結果から推定された表層水の移動速度は3月～6月で約0.2ノット、4月～6月で約0.3ノット、7月～8月で約0.6ノットとなり、表層塩分分布のフロントを追跡した結果とよく一致していた。

参考文献

- 赤川正臣. 1954. 北部日本海 (津軽海峡西沖周辺海域) の夏季の海況について (第1報). 日本海洋学会誌, **10**: 189-199.
- 梶浦欣二郎・土屋瑞樹・日高孝次. 1958. 日本海の海況分析. 対馬暖流開発調査報告書 (水産庁編), 第1輯: 158-170.
- 気象庁. 1975. 気象庁海洋気象観測資料 (1973年版).
- 桑原昭彦・坂野安正. 1980. 京都府沖合海域の漁海況と高塩分水について. 水産海洋研究会報, **36**: 27-32
- LIM, D.B. 1971. On the Origin of the Tsushima Curret Water. J. Oceanogr. Soc. Korea, **6**: 85-91.
- 宮田和夫. 1958. 日本海における対馬暖流の特性の概要. 対馬暖流開発調査報告書 (水産庁編), 第1輯: 147-152.
- 宮田和夫・下村敏正. 1959. 春季における北部日本海の諸冷水域の変動について. 日水研報, **7**: 1-16.
- 長沼光亮. 1964. 日本海における1953~1962年間の平均水温とその標準偏差について. 日水研報告, **13**: 63-109.
- 長沼光亮. 1968. 日本海対馬暖流域における50m層水温の年偏差の持続性について. 日水研報告, **19**: 51-60.
- 小川嘉彦. 1974. 日本海の高塩分水と対馬暖流. 水産海洋研究会報, **24**: 25-36.
- 水産庁. 1978. 昭和48年海洋観測資料.
- 谷岡克己. 1962 a. 日本海の海況(I)-塩素量の年変化について. 海と空, **38**: 90-101.
- 谷岡克己. 1962 b. 日本海の海況(II)-日本海にみられる冷水域・暖水域及び高かん水. 海と空, **38**: 115-128.
- 宇田道隆. 1931. 日本近海各月平均海洋図 (自大正7年至昭和5年1918-1930) 並に該図より推定されたる海流に就て (第二報: 1月より6月迄). 水産試験場報告, **2**: 59-81.
- Yi, Soc-U. 1966. Seasonal and secular variations of the water volume transport across the Korea Strait. J. Oceanogr. Soc. Korea, **1**: 7-13.