

— 論 文 —

## 根室海峡における春季および秋季の水質変化過程\*

小熊 幸子<sup>†‡</sup>・川崎 康寛<sup>‡</sup>・東屋 知範<sup>‡</sup>

### 要 旨

根室海峡は、オホーツク海—太平洋間の海水交換の場の一つと考えられているが、海峡内における水質変化について全体像が把握された例は非常に少ない。本研究では、歴史的データおよび最近の観測データを用いて、春季・秋季の水温・塩分の水平平均場および鉛直分布などを示し、根室海峡西岸域における水質分布の季節変化の要因について議論した。野付半島を境界として、海峡北部はオホーツク海沿岸域を流れる宗谷暖流水の季節変動を反映した水質分布を示す一方で、河川水の混合やオホーツク海中層水の湧昇が表層の水質分布に変化をもたらすことが分かった。その一方で海峡南部は、春季は根室湾内の水と沖合との間で根室湾口に顕著な塩分フロントが形成され、秋季は北部より宗谷暖流水の影響が小さく低塩分となることが明らかになった。また、酸素の安定同位体存在比  $\delta^{18}\text{O}$  と塩分の関係式を用いて、春季の海面付近の水質変化に対する河川水の寄与についても調べた。その結果、海面付近の表層に海峡北部で0.50-0.95%、野付半島沖および海峡南部で1.47-3.25%混入していることが分かった。オホーツク海と太平洋を結ぶと考えられてきた根室海峡において、少なくとも海峡西岸域では、北部と南部、そして表層・亜表層とで水質が複雑に変化し、河川水によっても変質を受けていることが示唆された。

キーワード：根室海峡，水質変化，宗谷暖流水，河川水， $\delta^{18}\text{O}$

### 1. はじめに

根室海峡は北海道東岸と国後島に挟まれた海峡である。Fig. 1に示すように、本研究における根室海峡は、知床岬から納沙布岬、瑛瑠瑠水道までの海域とする。海底地形は野付半島を挟んで南北で対照的である。北側は、知床半島東側の最深部では2,000 m以深に達するすり鉢状の構造で、国後島の南端付近から急激に海底が南に向かって上昇し、野付半島沖の最も浅い地点で5 m前後になる。それより南は、根室湾にかけて平均

水深20-30 mと浅く平坦で、海峡の南端は瑛瑠瑠水道を通じて北海道南東沿岸域に接している。

海洋学的には、根室海峡は千島列島に連なる他の海峡と共に、オホーツク海—北太平洋間の海水交換の場と考えられている。特に、春季はオホーツク海からの流氷融解水が低温・低塩分の沿岸親潮水を、秋季は宗谷暖流表層水が通過することによって高温・高塩分水をもたらすなど、北海道南東沿岸域の水塊形成とその季節変化に関与することが示唆されている(杉浦, 1956; 大谷, 1971, 1989; 小笠原, 1990; Kono, 1997; 大西ら, 1999; 磯田ら, 2003)。これらの指摘はいずれも根室海峡周辺海域の水塊分析や潮位差の議論に基づいているが、海峡内の南北を通した直接観測の報告は稀少である。例えば、1980年10月に知床岬から納沙布岬まで

\* 2007年1月5日受領；2007年5月9日受理

著作権：日本海洋学会，2007

† 日本学術振興会特別研究員

主著者 e-mail address : soguma@affrc.go.jp

‡ 独立行政法人 水産総合研究センター 北海道区水産研究所  
〒085-0802 北海道釧路市桂恋 116

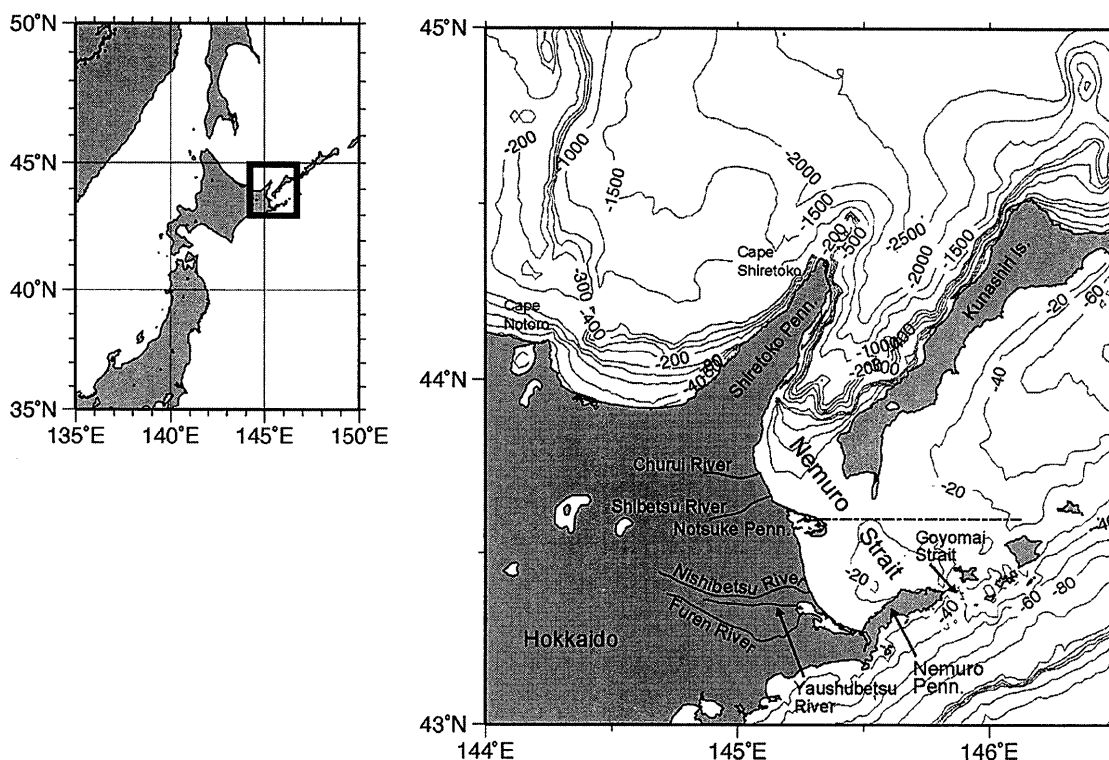


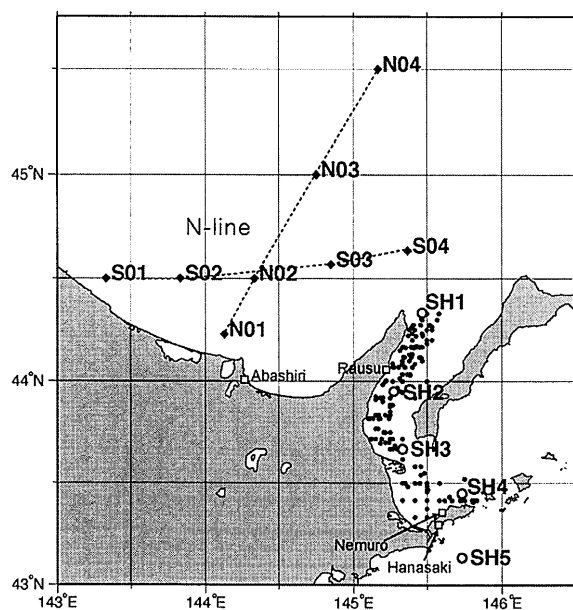
Fig. 1. Topography in the west southern Okhotsk Sea and the Nemuro Strait. Broken line in right map shows a boundary of northern and southern Nemuro Strait used in this study.

の北海道東沿岸域で行われた観測により、野付半島の北側はオホーツク海からの宗谷暖流水が占める一方で、南側は宗谷暖流水の代わりに北側の沿岸水が流入するとして、水質や流況が南北で異なることが報告されている(藤井・阿部, 1981a, 1981b, 1982)が、以降詳細な議論はなされていない。また、沿岸親潮水(大谷, 1989)の淡水源について、大西ら(1999)は東樺太海流水が12月以降に北海道南東沿岸域に流出し、そこに流氷融解水が加わることが主要因となっていると指摘しているが、その流出経路や、流出する間の水質変化過程は明らかにしていない。しかしながら、海峡の大部分が流氷に閉ざされるため、流氷融解水の関与が指摘される冬季に直接的な海洋観測を試みることは技術的に困難である。また、ロシアとの国境問題により、国後島側の東半分も含めた海峡全域にわたる議論は難しい。そこで本研究では、根室海峡西岸域を解析の主対象として、国内外の研究機関により観測された既存公開デー

タを用いて、比較的データ数の多い春季と秋季について平均的な水質分布を示す。続いて、過去の研究に基づき、流況が変化するとされる野付半島沖を境界として南北に海域を分け、水温・塩分の鉛直分布や季節毎のT-Sダイアグラムを用いて、各海域の水塊の特徴を示す。水温・塩分分布に加えて、知床半島沖や根室湾口付近で観測された安定同位体分布を元に、河川水が根室湾など沿岸域の水質変化に及ぼす影響について見積もる。これらの解析結果を踏まえて、根室海峡西岸域の春季および秋季の水質変化過程について、周辺海域の水塊分布との関係も含めて考察する。

## 2. データ

根室海峡内の歴史的データとして、米国海洋データセンター(National Oceanographic Data Center, NODC)のWorld Ocean Database 2005(Boyer *et al.*, 2006, 以下WOD05)のうち、水温・塩分の両方が揃った測点



**Fig. 2.** Station map used in this study. Bullets are stations which data from WOD05, diamonds are stations of N-line (N01–N04, S01–S04), a monitoring observation line of the Hokkaido National Fisheries Research Institute in the Okhotsk Sea. Open circles are additional stations of N-line in the Nemuro Strait (SH1–SH5).

のデータのみ用いた。根室海峡内には1934年から1989年までの観測データがあるが、大半は1970年代以降に観測されたものである。測点の位置は、Fig. 2に示す通り、殆どが根室海峡西岸域に偏って分布している。月別観測頻度を測点数で比較すると、Table 1に示すように5月が最も多く、10月、6月、8月と続くが、12月から3月までの冬季観測データは無い。本研究の春季および秋季は、この月別観測頻度に基づいて、それぞれ5–6月および9–10月とする。

沿岸域の影響を評価するため、独立行政法人水産総合研究センター北海道区水産研究所(以下、北水研)のオホーツク海モニタリング定線N-lineおよび根室海峡の5定点SH1–SH5における海水サンプルデータを合わせて用いた。N-line観測は北水研漁業調査船探海丸により2000年4月から年4–5回行われているが、根室海峡の5定点は2004年10月から追加された。定点位置をWOD05の測点と同じくFig. 2に示す。海水サン

**Table 1.** Monthly count of observation stations included in WOD05.

January	0
February	0
March	0
April	6
May	128
June	46
July	7
August	36
September	15
October	56
November	2
December	0

プルは、N-lineではCTD–RMS各層採水、根室海峡ではバケツ表面採水により採取した。本研究で解析に用いた観測項目は、水温、塩分、および海水の酸素安定同位体存在比 $\delta^{18}\text{O}$ である。 $\delta^{18}\text{O}$ は、国際標準資料Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW)の酸素同位体比からの、測定試料の酸素同位体比の千分偏差で定義される。水の $\delta^{18}\text{O}$ は、海水の形成域でプラインの追跡に用いられる他、沿岸域では河川水など陸起源の淡水のトレーサとなる(Yamamoto *et al.*, 2001 他)。本研究で新たに測定した海水の $\delta^{18}\text{O}$ は、V-SMOWで値付けされた二つの作業用標準海水とともに、 $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O}$ 平衡器ユニットと連結した質量分析計(Finnigan MATT社製delta-S)で測定した。作業用標準海水間の $\delta^{18}\text{O}$ 値の差の標準偏差は0.021‰( $n=119$ )、同一の採水器から採取した海水サンプル間の $\delta^{18}\text{O}$ 値の差は0.026‰( $n=21$ )である。

なお、データ解析時に海峡北部・海峡南部と称するときは、野付半島付近の北緯43度36分を境界とした。

### 3. 結果

#### 3.1. 表層水平平均場

根室海峡内を北緯 43.3 度から北緯 44.3 度まで、東経 145.1 度から東経 145.9 度までの間を緯度経度方向に 0.1 度メッシュで区切り、2 点以上データの存在したメッシュについて標準層ごとに水温・塩分の平均値を算出し、春季 (5-6 月) および秋季 (9-10 月) の水平平均場を示したのが Fig. 3 および Fig. 4 である。海峡全体を俯瞰するため、海面付近の 0 m, 10 m, 20 m の 3 層のみ示す。

春季の 0 m 層 (Fig. 3a) では、根室湾内の 31.5 未満の低塩分水と沖合の 32.0 以上の水塊との間に強い塩分フロントが形成されている。野付半島の北側の標津川および忠類川河口域にも 31.7 未満の低塩分水が分布している。Fig. 3a では根室湾内の平均塩分の水平分布が一樣であるように見えるが、経年変動は大きい。例えば、根室湾内にある北緯 43.3-43.4 度、東経 145.4-145.5 度のグリッド内の 0 m 深平均塩分は 31.49 であるが、1985 年 5 月に 31.04, 1987 年 5 月には 32.16 という値が得られており、同じ 5 月の観測で大きな差がみられる。10 m 層 (Fig. 3b) では、根室湾内は依然 31.5 未満の低塩分水が卓越し、沖合の 32.0 以上の高塩分水とフロントを形成しているが、海峡北部は沿岸域より沖合に 32.0 未満の低塩分水が分布している。また、20 m 層 (Fig. 3c) では、海峡北部の知床半島沖で 32.3 前後の比較的低塩分の水が、沿岸域と国後島沖の 32.5 以上の高塩分水に挟まれるようにして、知床半島に平行な方向に分布している。水温は、海峡南部では根室湾内からその沖合まで 3 層とも水平方向に一樣であるが、海峡北部では知床岬沿岸を中心に低温水が 3 層に亘って分布し、10 m 層で標津川・忠類川河口域により低温の水が見られる他は、沖合域を中心に水平方向にほぼ一樣である。

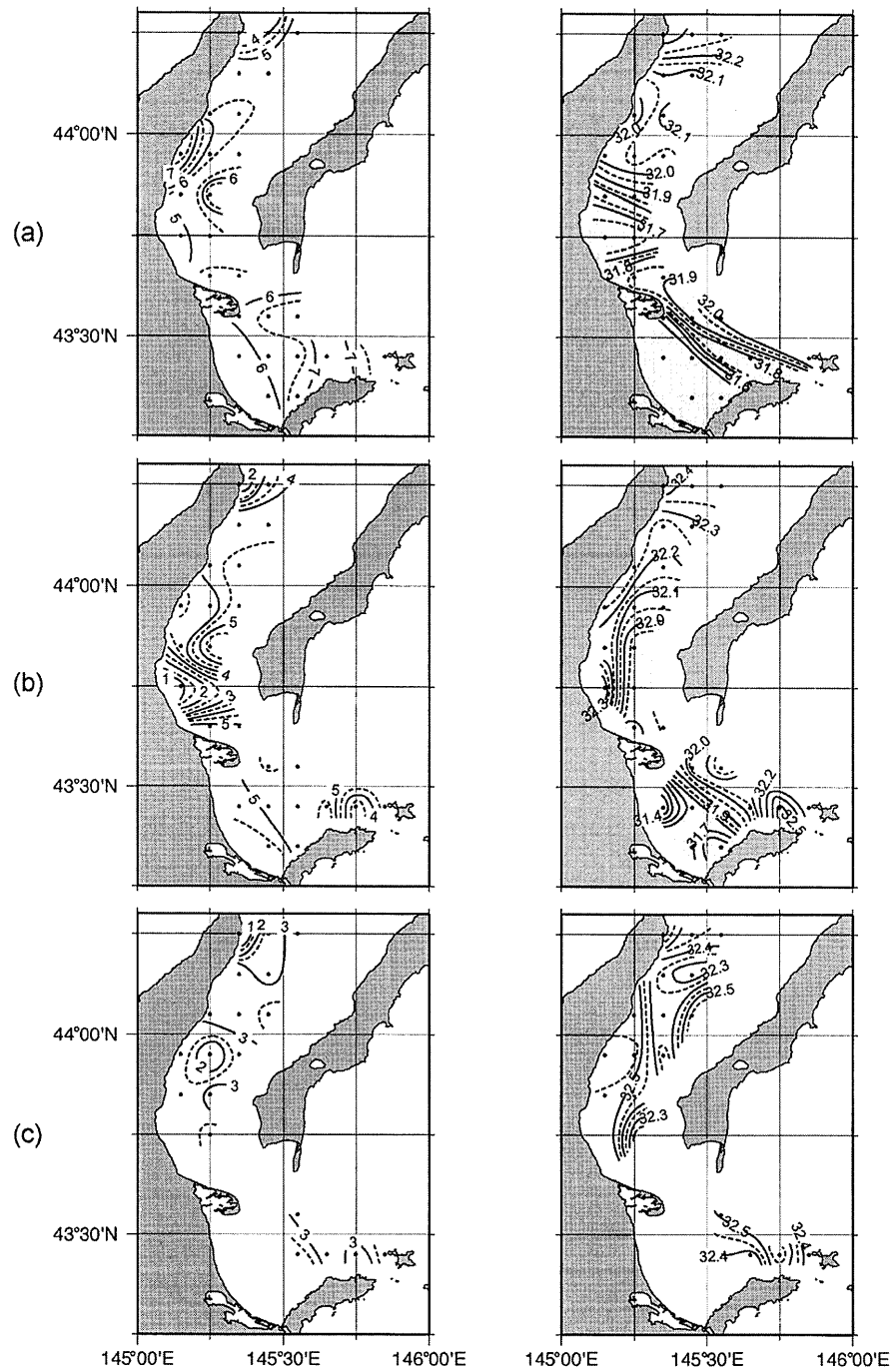
秋季は観測そのものが春季に比べて少なく、知床半島以外の沿岸域では殆ど平均値の計算ができなかったため、沖合のみ平均場を示す。3 層 (Fig. 4a-c) とも、春季に比べて海峡西岸域沖合は全体的に水温・塩分ともに高く、知床半島沖を中心に 15°C 以上、33.6 以上の高温・高塩分水が見られる。オホーツク海沿岸域から羅

臼沖まで知床半島に沿うような分布から、知床岬沖を中心とする沿岸境界流 (花輪, 1984) の構造を持つと考えられる。海峡南部では、水温は海峡北部からほぼ連続したような分布になっているが、塩分は野付半島を境に 33.6 から 33.3 前後まで急激に低下する。20 m 層 (Fig. 4c) になると、知床半島沿岸域で 33.65 以上であるのに対し、根室湾口付近で 33.0 以下と、野付半島の南北で 0.6 以上の塩分差が生じている。このように海峡北部と南部の間で塩分が急激に変化することは、藤井・阿部 (1981a) によっても示されている。

#### 3.2. 海峡内の水温・塩分分布

Fig. 5 および Fig. 6 は春季および秋季の水質鉛直分布、Fig. 7 および Fig. 8 は春季および秋季の海域別 T-S ダイアグラムである。T-S ダイアグラム上において、30 m 以浅の表層は×印、それより深い水は黒点でプロットした。また、最近のデータとして、Fig. 7 には北水研の 2006 年 4 月および 5 月、Fig. 8 には 2005 年 8 月および 10 月の根室海峡 5 定点 (SH1-SH5) の観測結果をそれぞれ示した。

Fig. 5 の海峡北部の水温鉛直分布では、表層の 0°C 以下の冷水は海面近くになく、多くは 10 m 深から 250 m 深の間に見られる。30 m 以浅の表層で、流水の影響が無いと考えられる 5 月以降も 0°C 以下に達し、Fig. 7 が示すように 26.2σ<sub>t</sub> 以上の重い水が見られるのも特徴的である。Fig. 7 で、海峡北部の 30 m より深い層で 26.5σ<sub>t</sub> を中心に水温 0°C 以下、塩分 33.0 前後の水温極小が見られるが、これはオホーツク海中層水 (Kitani, 1973; Takizawa, 1982) に相当する。個々の測点で、冷水直上には比較的水温が高く低塩分の水が分布することから、30 m 以浅の冷水は流水融解水などによる海面からの冷却ではなく、下層のオホーツク海中層水から供給されることが示唆される。塩分について見ると、31.0 以下の低塩分水は、主に海峡北部の標津川・忠類川河口域付近の 0 m 層で観測されており、Fig. 3a の北部塩分平均場における低塩分域に対する河川水の影響を示唆している。32.8 以上の比較的高塩分の水は 6 月終わり近くに観測されており、春季と言うより宗谷暖流水が現れ始める夏季の水塊特性を示している。一方、海



**Fig. 3.** Isobathic distributions of monthly mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ , left) and salinity (right) at (a) 0 m, (b) 10 m, and (c) 20 m in spring (May–June) calculated from WOD05 standard depth data. Meshed areas indicate low salinity water less than 32.0.

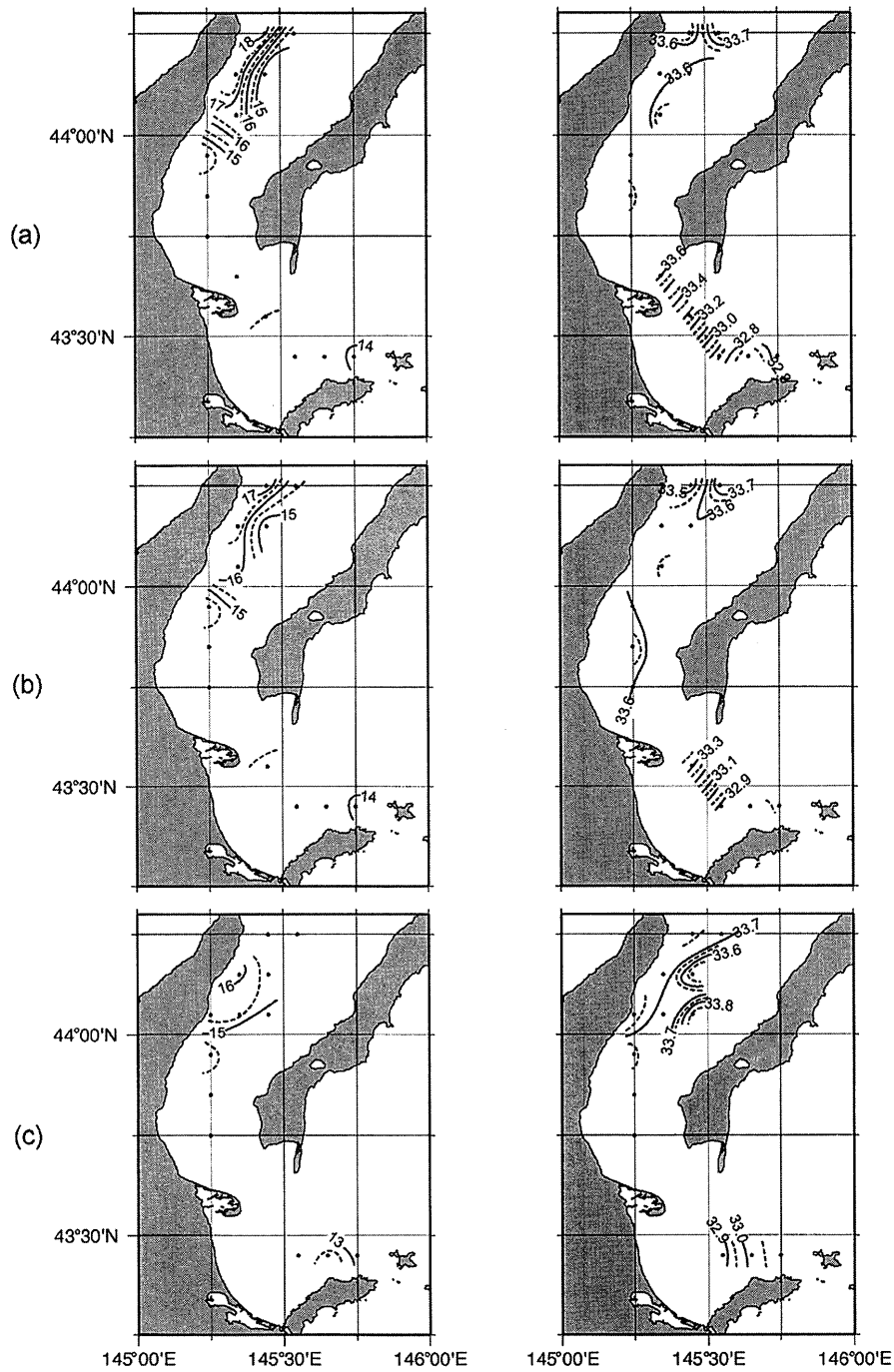


Fig. 4. As Figure 3, except for in autumn (September–October).

峡南部では $1^{\circ}\text{C}$ 以下の水が無く、塩分は31.0から32.8の間に分布している。水深が20–30 mと浅いため、北部のような水温極小層はなく、下層からの冷水の供給

もないと考えられる。

Fig. 6とFig. 8が示す秋季は、春季と明らかに様相が異なる。海峡北部では、水温は表層で $20^{\circ}\text{C}$ 近くまで

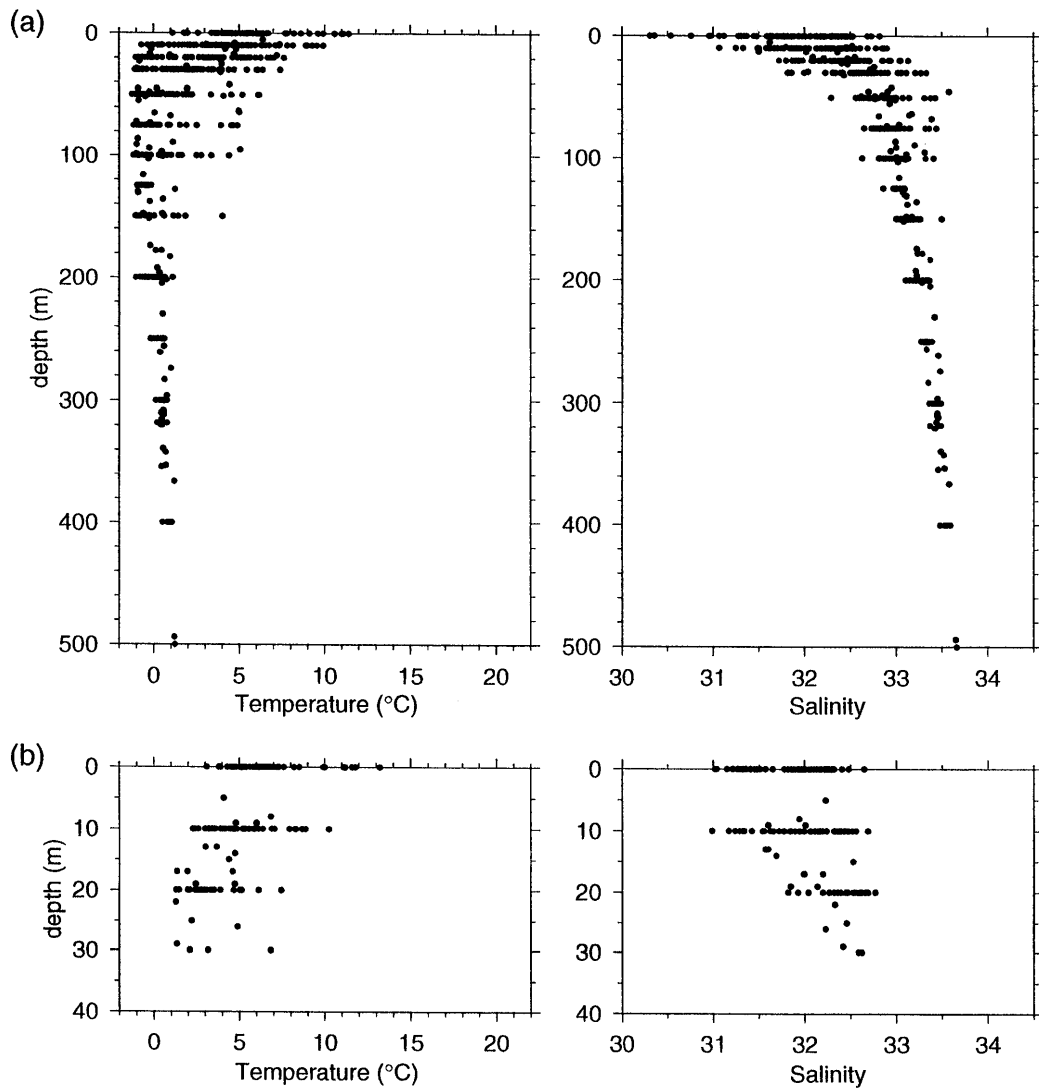


Fig. 5. Vertical profiles of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ , left) and salinity (right) with depth in (a) the northern part and (b) the southern part of the Nemuro Strait in spring.

上昇し、塩分は海面から下層に亘って 33.0 以上となっている。150 m 以浅の多くの水が Takizawa (1982) の宗谷暖流水の水温・塩分範囲 ( $7\text{--}20^{\circ}\text{C}$ , 33.6–34.3) に当てはまることから、Fig. 4 の平均場と共に高温・高塩分の宗谷暖流水の流入を明確に示している。Fig. 8 で  $26.8\sigma_t$  を中心に水温極小が現れているが、春季よりも水温極小の水温・塩分値が高い。これは Fig. 6 が示すように、春季に 250 m 以浅で  $0^{\circ}\text{C}$  以下の水温極小を形成していた低温水が高温水に入替ったため、水温極小そのものが 250 m より下層に下がったことに起因する

と考えられる。海峡南部では、海面から底層まで水温は  $13\text{--}15^{\circ}\text{C}$  付近に集中しており、Fig. 8 でもほぼ横一直線に分布している。また塩分は 32.2 から 33.8 の間で、海峡北部より低塩分寄りに偏っている。Takizawa (1982) の宗谷暖流水の塩分下限値 33.6 を越えたのは 1 測点だけである。この測点は、北部海域との境界に最も近い野付半島沖にあり、宗谷暖流水の影響を受けやすい位置であったと考えられる。

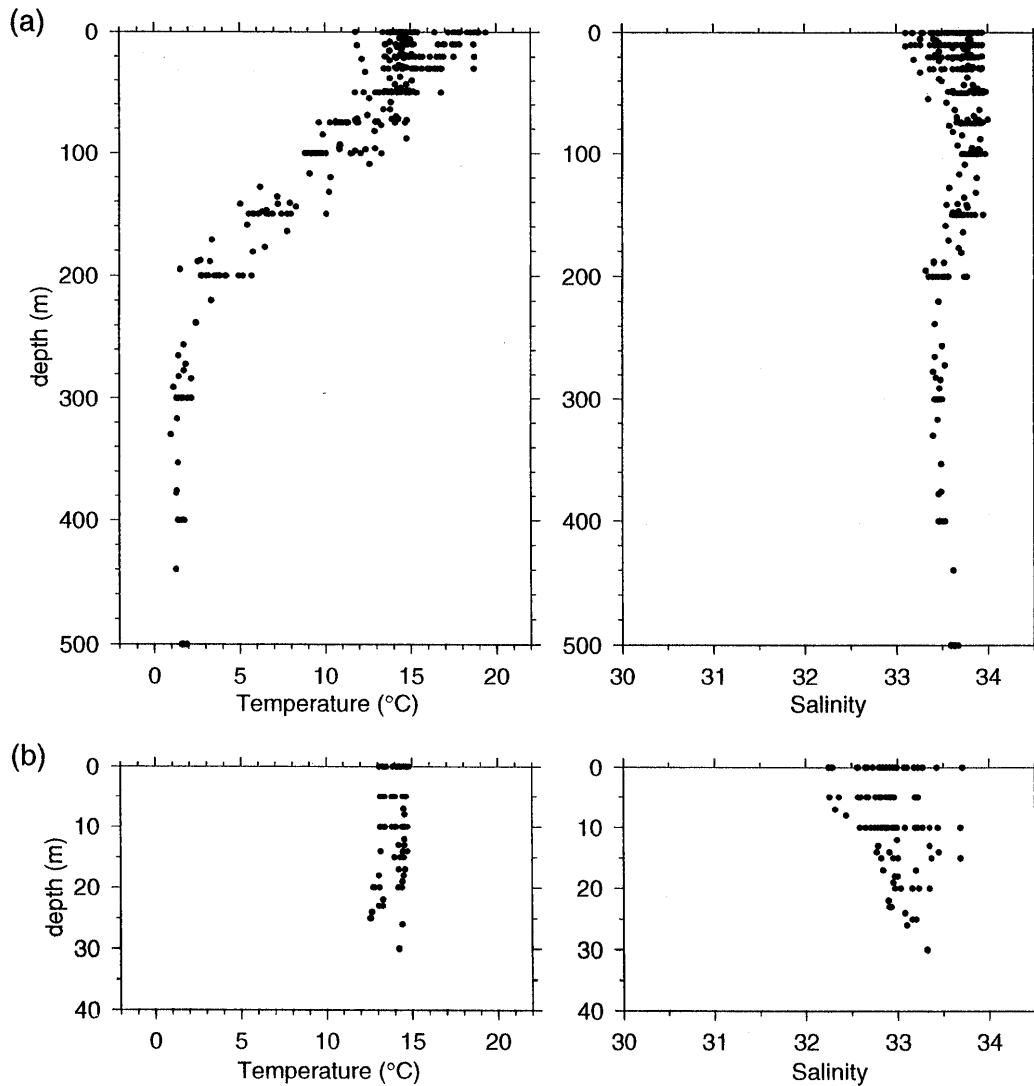


Fig. 6. As Figure 5, except for in autumn.

### 3.3. オホーツク海南部および根室海峡内の酸素同位体比

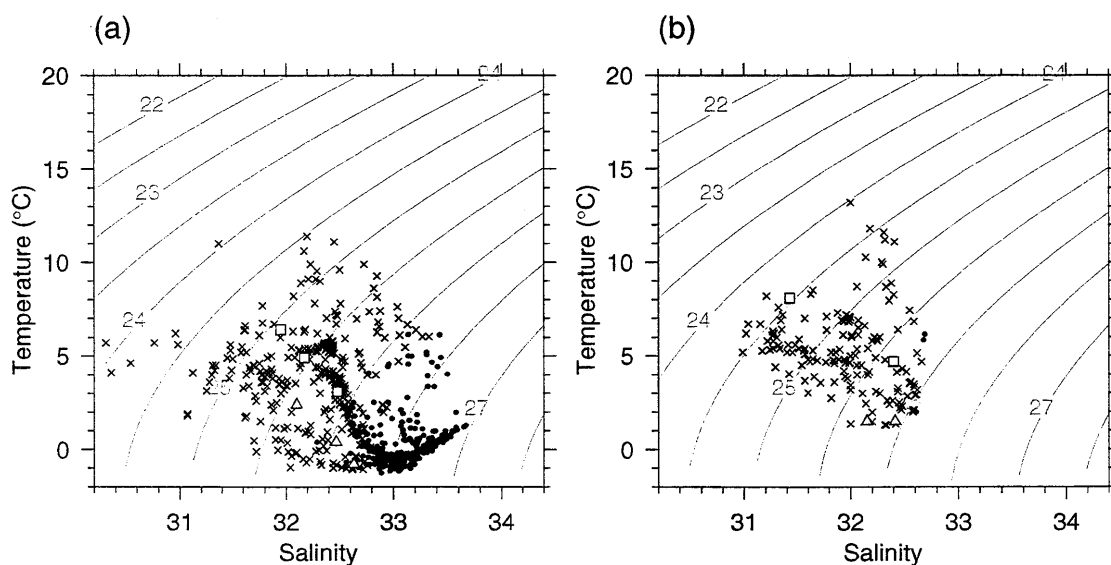
根室海峡と近接するオホーツク海南部の  $\delta^{18}\text{O}$  分布から、根室海峡内で淡水が混入する前の海水の塩分と  $\delta^{18}\text{O}$  値の関係式を求める。Fig. 9a に、2004 年 10 月から 2005 年 7 月までの N-line、および 2006 年 4 月、5 月の SH1-SH5 の塩分- $\delta^{18}\text{O}$  プロットを示す。ただし N-line の 8 測点のうち、宗谷暖流域の N01 および S01 は除いた。図中に、Yamamoto *et al.* (2001) が、北太平洋西部亜寒帯循環からオホーツク海にかけての塩分

S と  $\delta^{18}\text{O}$  について求めた線形関係式

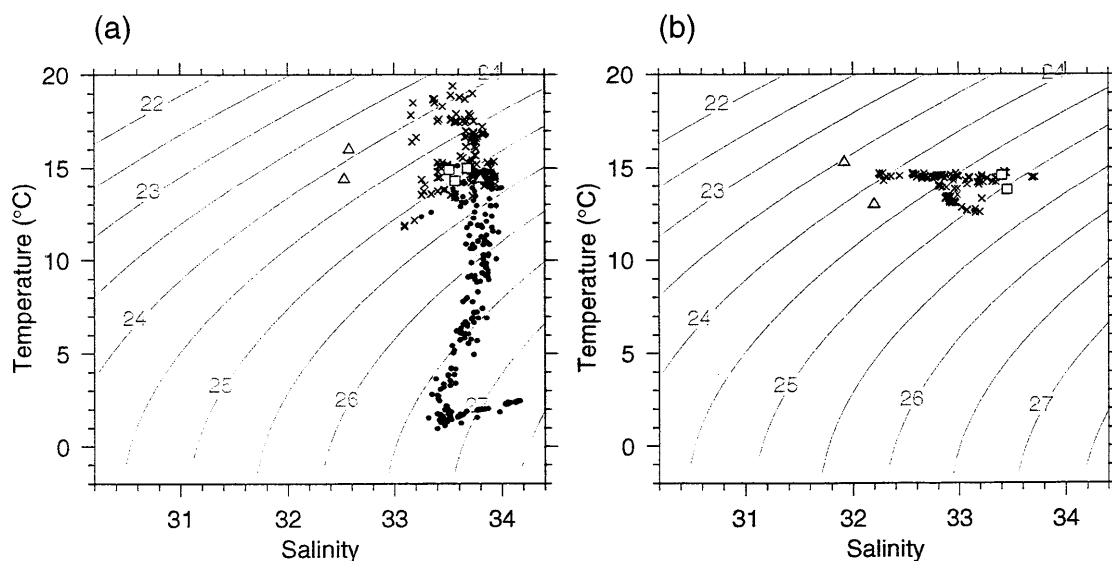
$$\delta^{18}\text{O} = 0.3915 \times S - 13.561 \quad (R^2 = 0.99) \quad (1)$$

も同時に示す。ここで特徴的なのは、黒点で記した N-line の沖合域の  $\delta^{18}\text{O}$  値が、(1) 式の示す線よりも下、つまりに  $\delta^{18}\text{O}$  値について負に偏っている点である。また Fig. 9b に示すように、北緯 46 度から北緯 53.5 度まで、東経 142.5 度から東経 145 度までの東樺太沿岸域の  $\delta^{18}\text{O}$  値 (Yamamoto *et al.*, 2002; Schmidt *et al.*, 1999) も、(1) 式の直線より負に偏っている。冬季に東樺太海流水がオホーツク海沿岸域の表層に分布することは既に指摘されている (Itoh and Oshima, 2000) が、





**Fig. 7.** T-S diagram of temperature and salinity data of (a) the northern part and (b) the southern part of the Nemuro Strait. Historical data of WOD05 obtained in spring (crosses :  $\leq 30$  m, bullets:  $> 30$  m) and surface bucket sampling data obtained in April 2006 (triangles) and May 2006 (squares) are shown. Contour interval of potential density is  $0.5 \sigma_t$ .

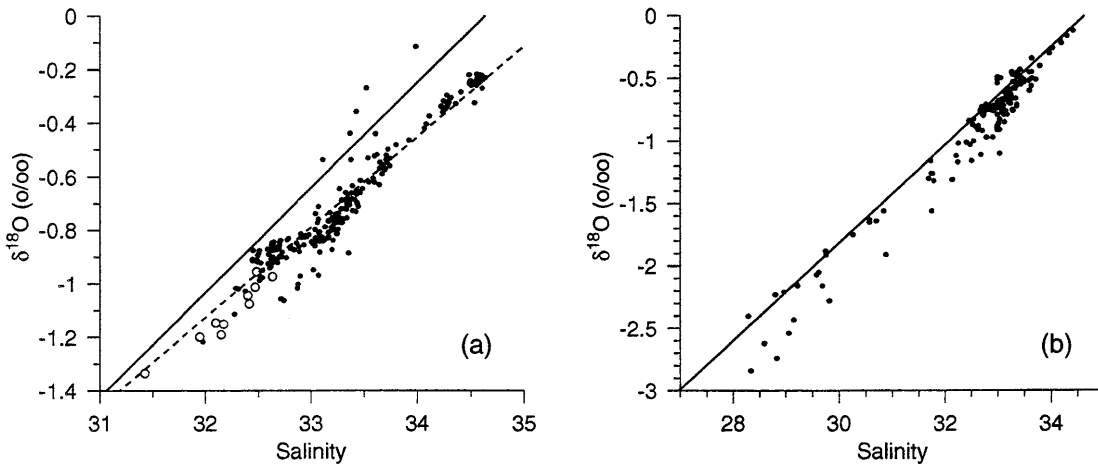


**Fig. 8.** As Figure 7, except for historical data obtained in autumn, and surface bucket sampling data obtained in August 2005 (triangles), and October 2005 (squares).

亜表層には春季も東樺太海流水の一部が残ると考えられる。

東樺太海流域からオホーツク海南部の N-line 海域に到達した後、表層水の  $\delta^{18}\text{O}$  値は河川水や降水の混入に

よって変化すると思われる。そこで、改めて N-line 海域に対して (1) 式に相当する関係式を求め、淡水の混合比を調べる。宗谷暖流域の測点 N01 および S01 を除く沖合の水について、(1) 式と同様に塩分と  $\delta^{18}\text{O}$  の線



**Fig. 9.** Salinity -  $\delta^{18}\text{O}$  plot for data obtained (a) at the N-line from October 2004 to May 2006 (bullets) and in the Nemuro Strait in April and May 2006 (open circles), and (b) in the coastal region of eastern Sakhalin from  $142.5^\circ\text{E}$  to  $145^\circ\text{E}$  and from  $46^\circ\text{N}$  to  $53.5^\circ\text{N}$  (Yamamoto *et al.*, 2002; Schmidt *et al.*, 1999) in July–August 1998 and August–September 1999. Solid lines in (a) and (b) refer to the WSAG line of Yamamoto *et al.* (2001). Broken line in (a) shows linear relationship between salinity and  $\delta^{18}\text{O}$  estimated by least squares method.

**Table 2.** Values of  $\delta^{18}\text{O}_{obs}$ ,  $S_{obs}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{online}$  ( $= 0.3370 * S_{obs} - 11.910$ ),  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  ( $= \delta^{18}\text{O}_{obs} - \delta^{18}\text{O}_{online}$ ), and  $r$  ( $= 100 * (S_i - S_{SH1}) / (0 - S_{SH1})$ ) of river water at Sts. SH1–SH5.  $r$  is not estimated for SH5 because of its geological position.

		$\delta^{18}\text{O}_{obs}(\text{‰})$	$S_{obs}$	$\delta^{18}\text{O}_{online}(\text{‰})$	$\Delta\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$r$ (%)
Apr. 2006	SH1	-0.973	32.631	-0.913	-0.06	
	SH2	-1.012	32.467	-0.968	-0.04	0.50
	SH3	-1.146	32.099	-1.092	-0.05	1.63
	SH4	-1.190	32.151	-1.075	-0.12	1.47
	SH5	-1.075	32.413	-0.987	-0.09	–
May 2006	SH1	-0.955	32.481	-0.964	0.01	
	SH2	-1.151	32.173	-1.067	-0.08	0.95
	SH3	-1.198	31.948	-1.143	-0.05	1.64
	SH4	-1.334	31.426	-1.319	-0.01	3.25
	SH5	-1.043	32.398	-0.992	-0.05	–

形関係式を最小二乗法で求めた結果、

$$\delta^{18}\text{O} = (0.3370 \pm 0.01) \times S - (11.910 \pm 0.35) \quad (2)$$

$$(R^2 = 0.81)$$

となった。Fig. 9a に破線で示す。北海道東部の河川水

の  $\delta^{18}\text{O}$  値、 $-10.6 - -11.6 \text{‰}$  (Mizota and Kusakabe, 1994) と比較すると、(2) 式の  $\delta^{18}\text{O}$  切片と  $0.3 - 1.3 \text{‰}$  の差がある。根室海峡内の塩分値付近 (31–33) の水塊混合で、この切片差は  $0.01\text{--}0.04 \text{‰}$  程度となって反映されるが、これは  $\delta^{18}\text{O}$  値の測定精度の幅と同程度である。

よって、根室海峡内で北海道東部の河川水が混入して塩分が希釈した場合、 $\delta^{18}\text{O}$  値はほぼ (2) 式に従うと考えられる。SH1-SH5 で観測された塩分値を  $S_{obs}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  値を  $\delta^{18}\text{O}_{obs}$  とし (2) 式に代入して得た値  $\delta^{18}\text{O}_{online}$ 、 $\delta^{18}\text{O}_{obs}$  と  $\delta^{18}\text{O}_{online}$  との差  $\Delta\delta^{18}\text{O}$  を、Table 2 にまとめる。 $\Delta\delta^{18}\text{O}$  が測定精度の幅の 2 倍以上になった測点は 2006 年 4 月の SH4 のみで、他はそれ以下の幅であった。また 2006 年 5 月の SH1 以外は、(2) 式により見積もられる  $\delta^{18}\text{O}_{online}$  値より負にシフトしていた。この負のシフトは、河川水に  $\delta^{18}\text{O}$  値のより低い雨や雪といった天水が混入したためと考えられる。

## 4. 考察

### 4.1. 春季の低塩分水形成と河川水

塩分平均場の Fig. 3a および 3b に見られるように、海峡南部で根室湾内の 31.7 以下の低塩分水とその沖合の水との間で塩分フロントが形成されている。また、海峡北部でも 0 m 層で標津川・忠類川河口域付近に低塩分水が見られる。これらの低塩分水の形成要因として、3.3 節の (2) 式や Fig. 9 で示したような  $\delta^{18}\text{O}$  値と塩分値の線形関係により、北海道東部の河川水の混入が示唆された。そこで、根室海峡の定点 SH1-SH5 における塩分データを用いて、海峡内の水質変化に対する河川水の混合比を見積もる。

河川水が混合する前の海水として、地理的に最もオホーツク海に近い SH1 の水を仮定する。また、単純に陸域から塩分ゼロの水が付加されるものとし、それ以外の淡水の混入を無視する。SH1 の塩分値を  $S_{SH1}$ 、海峡内の測点 SH2-SH4 (SH5 は海峡外なので除く) の塩分値を  $S_i$  とし、混合比  $r$  を

$$r = ((S_i - S_{SH1}) / (0 - S_{SH1})) \times 100 (\%) \quad (3)$$

として求めた。Table 2 の右端の値を比較すると、海峡北部は  $r = 0.50-0.95\%$  であるのに対し、野付半島沖から海峡南部にかけて  $r = 1.47-3.25\%$  であった。また、海峡北部と南部の双方で 4 月よりも 5 月に混合比が高かった。歴史的データの 0 m 層の塩分平均場 (Fig. 3a) から、根室湾口の塩分フロントで湾口沖の高塩分側を 32.0、根室湾内の低塩分側を 31.5 とすると、約 1.6% の

河川水の混合が見込まれることから、海峡南部の 0 m 層の混合比は妥当な評価と考えられる。海峡北部の標津川・忠類川河口域の河川水混合比についても同様に、知床半島側の塩分を 32.1、河口域の塩分を 31.65 とすると約 1.4% の混合が見込まれるが、SH2 の  $r$  値はそれを下回っている。SH2 の位置が河口域から離れていることが直接的な要因と考えられるが、これは同時に、標津川・忠類川による希釈が局所的であることを示唆している。

ここで、海峡南部の根室湾に関して、河川水が SH4 の混合比 ( $r = 1.47-3.25\%$ ) に達する実際的水深を見積もる。根室湾は面積がおおよそ  $1.25 \times 10^9 \text{ m}^2$  で、主な淡水源のうち西別川、風蓮川、ヤウシュベツ川の 6 月の平均流量はそれぞれ  $10.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、 $8.4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 、 $2.7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  である (北海道開発局, 1980)。3 河川から常に一定の流量で 1 か月間流れたと仮定して、湾内全域に河川水が体積比 1.47-3.25% の割合で行き渡る水深を見積もった結果、海面から水深約 1.4-3.1 m となった。つまり、根室湾口から根室海峡まで河川水が影響を及ぼすのは、10 m 深以浅のごく表層と考えられる。

### 4.2. 秋季の野付半島沖の塩分フロント

秋季の塩分平均場において、0 m 層 (Fig. 4a) では根室湾口沖に塩分の南北方向の急激な低下が見られ、10 m 層 (Fig. 4b) および 20 m 層 (Fig. 4c) では海峡の北部と南部で塩分 0.7 以上の差が生じている。

海峡北部に流入する宗谷暖流水と、野付半島以南の低塩分水との間に形成される塩分フロントは、藤井・阿部 (1981a, 1982) により報告されている。1980 年 10 月の観測では、野付半島沖の表層で強い塩分フロントが形成され、フロントの南側の根室湾内は 33.0 未満の低塩分水が占めていた (藤井・阿部, 1981a)。このときの水温および塩分の水平分布も根室海峡西岸域に限られていたが、海峡北部と南部では塩分の明らかに異なる水塊が分布していたことが示唆される。

しかし、2005 年の観測結果では、宗谷暖流水の影響が海峡南部にも表れている。2005 年 8 月の N-line 観測によると、オホーツク海沿岸域の海面付近にはすでに塩分 33.9 以上の宗谷暖流水が分布していた。同時期

の根室海峡の5定点(SH1-SH5)では、Fig. 8のT-Sダイアグラムの△印が示すように、33.6以上の高塩分水が得られたのは知床岬沖のSH1の1点のみで、SH2からSH5では32.6以下の比較的低塩分の水が観測された。この低塩分水は海峡南部の水質に近いことから、宗谷暖流水が流入する直前の根室海峡は、南北で水質差が小さいと考えられる。その後2005年10月の観測では、5定点全てで33.4以上の水が観測されている。SH2からSH5では、先述の8月の塩分値から約0.8上昇しており、宗谷暖流水の影響を強く受けたと考えられる。この夏季(8月)から秋季(10月)にかけての海峡南部の塩分上昇は、1979年8月から10月にかけて根室湾内でも現れていた(藤井・阿部, 1981b)。

2005年10月のように宗谷暖流水が海峡南部にまで及ぶ例はあるが、Fig. 4やFig. 8が示すように、海峡南部で過去に観測された多くの水が塩分33.0以下であり、海峡北部とは異なる水塊が分布することが示唆される。宗谷暖流水の影響を強く受けた海峡北部の水塊とは別に、親潮水など比較的低塩分の水塊が国後島南方沖から流入すると考えられる。

#### 4.3. 根室海峡西岸域の水塊伝搬と水質変化

海峡北部に隣接する知床半島西側のオホーツク海沿岸域では、4月から10月は高温・高塩分の宗谷暖流水および宗谷暖流前駆水が流入し、11月以降は宗谷暖流の衰退に伴い低温・低塩分の東樺太海流水が南下する(渡辺, 1964; 松山ら, 1999; Itoh and Oshima, 2000)。そのオホーツク海沿岸域の水塊の入替りは、3.2節で示したように、知床半島東側の海峡北部の水温・塩分鉛直分布やT-Sダイアグラムに明確に反映されている。しかし、海峡北部から流入した水塊に対して様々な水質変化が起こっていることも同時に示唆されている。

海峡北部の標津川・忠類川河口域付近は、春季の0 m層平均場(Fig. 3a)で顕著な低塩分域となっているが、直下の10 m層平均場(Fig. 3b)に1°C以下、32.3以上の低温で比較的高塩分水が見られ、知床岬沖から続く深い海底地形が急激に浅くなる海域でもある。オホーツク海沿岸域で、海面付近にオホーツク海中層水に相当する低温水が現れた例がある(Takizawa, 1982)が、

この海域でも海底地形に沿ってオホーツク海中層水の湧昇が起きている可能性がある。

また、4.2節で秋季に海峡北部と南部で、国後島側から流入する水塊の供給源自体異なることが示唆されたように、根室湾口沖合の水塊が海峡北部から連続しているか不明である。根室湾を中心に分布する低塩分水と塩分フロントを形成する沖合の水は、太平洋側で親潮水が卓越して分布する時期でもあることから、根室湾口沖の水塊は国後島南方沖を南西方向に流入した親潮水である可能性がある。

これまで、冬季の流氷分布などから、海峡北部から南部に水塊が連続して分布すると考えられてきた(杉浦, 1956他)。しかし、磯田ら(2003)はオホーツク海側の宗谷暖流域と太平洋側の沿岸親潮域との間で潮位差(文献中では水位差)にギャップ、つまりオホーツク海から太平洋に向かって上り坂になるような差があることを示し、このギャップは宗谷暖流と沿岸親潮が連続した沿岸境界流であることを否定している、と述べている。海峡内を支配する流れの場や水塊の移動経路がオホーツク海沿岸域と太平洋沿岸域の間で連続しない可能性については、藤井・阿部(1981a)も指摘している。しかし、T. P. 基準で求めた潮位差は観測基準面の標高とその測量年代に依存するため、オホーツク海側と太平洋側の潮位差だけで上流・下流の関係について議論するのは難しい。また、根室海峡西岸域の平均場(Figs. 3, 4)やT-Sダイアグラム(Figs. 7, 8)だけでも、根室海峡内の水塊分布の不連続性について断言することはできない。

このように、流れの場に関しては依然不明瞭なままであるが、河川水や親潮水、海底地形の影響により、海峡内を水塊が素通りするような海洋環境ではないことは、水温・塩分平均場やT-Sダイアグラムの水質分布から明らかである。

本研究で用いたデータはすべて海峡の西側にあり、東側も含めた、いわゆる根室海峡全体において結論が示されたわけではない。また、海峡内の流れの駆動力として、磯田ら(2003)は潮位差に替わり水塊の物理的な連続性を挙げているが、直接的な流速観測が困難である事情もあり、不明な部分が多い。また、ここには示さないが、 $\delta^{18}\text{O}$ と共に観測している海水の全炭酸の $\delta^{13}\text{C}$

について、生物活動に起因する同位体分別効果を差し引いた  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  値 (Itou *et al.*, 2003) を比較すると、根室湾口の SH4 よりも花咲沖の SH5 で  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  値が宗谷暖流水に近い値を示した。つまり、海峡南部で直接宗谷暖流水を捉えることは殆ど無くとも、瑤瑤瑠水道より東側の海峡を通過して太平洋側に流出する可能性があることを示唆している。観測海域の制限で国後島側からの追跡は困難であるが、宗谷暖流水の秋季の移流経路をより詳細に調べる必要がある。今後、根室海峡における観測を継続する上で、国後島周辺も視野に入れた広域航海を計画することが重要である。

### 謝 辞

根室海峡およびオホーツク海沿岸域の観測に携わった独立行政法人 水産総合研究センター 北海道区水産研究所 漁業調査船 探海丸、その他全ての観測船・調査船の乗務員および研究者の皆様に、この場をお借りして深く感謝申し上げます。また酸素同位体の測定に関して、北海道大学大学院の吉川 久幸教授、渡辺 豊准教授、高村 友海さんをはじめ、物質環境・環境変遷学コースの皆様には大変お世話になりました。

なお本研究の一部は、独立行政法人 日本学術振興会の支援を受けて行われました。

### References

- Boyer, T. P., J. I. Antonov, H. E. Garcia, D. R. Johnson, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, M. T. Pitcher, O. K. Baranova, and I. V. Smolyar (2006) World Ocean Database 2005. S. Levitus, Ed., NOAA Atlas NES-60, U. S. Government Printing Office, Washington, D.C., 190 pp., DVDs.
- 藤井 浄, 阿部 深雪 (1981a) : 秋季の根室湾とその周辺海域の水系特性. 昭和 55 年度根室湾海域総合開発事業調査報告書 (北水研担当), 17-23.
- 藤井 浄, 阿部 深雪 (1981b) : 根室湾内の海洋構造の特徴. 漁場海況概報, 37-46.
- 藤井 浄, 阿部 深雪 (1982) : 根室湾および周辺海域の海洋構造の特徴とその季節変化. 昭和 56 年度根室湾海域総合開発事業調査報告書 (北水研担当), 27-38.
- 花輪 公雄 (1984) : 沿岸境界流. 沿岸海洋研究ノート, **22**, 67-82.
- 北海道開発局 (1980) : 根室湾海域総合開発事業調査報告書 (要約編).
- 磯田 豊, 黒田 寛, 明正 達也, 本田 聡 (2003) : 沿岸親潮の海洋構造とその季節変化. 沿岸海洋研究, **41**, 5-12.
- Itoh, M. and K. I. Ohshima (2000) : Seasonal variations of water masses and sea level in the southwestern part of the Okhotsk Sea. *J. Oceanogr.*, **56**, 643-654.
- Itou, M., T. Ono, and S. Noriki (2003) : Provenance of intermediate waters in the western North Pacific deduced from thermodynamic impact on  $\delta^{13}\text{C}$  of DIC. *J. Geophys. Res.*, **108**, 3,347, doi:10.1029/2002JC001746.
- Kitani, K. (1973) : An oceanographic study of the Okhotsk Sea — Particularly in regard to cold waters. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, **9**, 45-76.
- Kono, T. (1997) : Modification of the Oyashio Water in the Hokkaido and Tohoku areas. *Deep-Sea Res. I*, **44**, 669-688.
- 松山 優治, 青田 昌秋, 小笠原 勇, 松山 佐和 (1999) : 宗谷暖流の季節変動. 海の研究, **8**, 333-338.
- Mizota, C. and M. Kusakabe (1994) : Spatial distribution of  $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$  values of surface and shallow groundwaters from Japan, south Korea and east China. *Geochem. J.*, **28**, 387-410.
- 大西 ゆみ子, 大島 慶一郎, 伊東 素代 (1999) : 沿岸親潮の特性と季節変動. 1999 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, p 6.
- 大谷 清隆 (1971) : 噴火湾の海況変動の研究 II. 噴火湾に流入・滞留する水の特性. 北大水産集報, **22**, 58-66.
- 大谷 清隆 (1989) : 親潮水形成に関わるオホーツク海の役割. 海と空, **65**, 63-83.
- 小笠原 惇六 (1990) : 北海道東部・南部沿岸海域 II 物理. 続日本全国沿岸海洋誌, 473-483.
- Schmidt, G. A., G. R. Bigg and E. J. Rohling (1999) : Global Seawater Oxygen-18 Database. <http://data.giss.nasa.gov/o18data/>
- 杉浦 次郎 (1956) : 北海道近海における親汐について. 日本海洋学会誌, **12**, 117-120.
- Takizawa, T. (1982) : Characteristics of the Soya Warm Current in the Okhotsk Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**, 281-292.
- Yamamoto, M., N. Tanaka, and S. Tsunogai (2001) : Okhotsk Sea intermediate water formation deduced from oxygen isotope systematics. *J. Geophys. Res.*, **106**, 31,075-31,084.
- Yamamoto, M., S. Watanabe, S. Tsunogai, and M. Wakatsuchi (2002) : Effects of sea ice formation and diapycnal mixing on the Okhotsk Sea intermediate water clarified with oxygen isotopes. *Deep-Sea Res. I*, **49**, 1,165-1,174.
- 渡辺 貫太郎 (1964) : 北海道周辺の海況および気象の特色. 沿岸海洋研究ノート, **3**, 23-30.

## Water Mass Variation Process in the Nemuro Strait during Spring and Autumn

Sachiko Oguma <sup>†‡</sup>, Yasuhiro Kawasaki <sup>‡</sup>, and Tomonori Azumaya <sup>‡</sup>

### Abstract

Seasonal changes of the water mass variation process from the Okhotsk Sea to the North Pacific via the Nemuro Strait is discussed using historical data and the latest observation data. Temperature and salinity distribution in spring and autumn suggest regional differences between the northern and southern parts of the western Nemuro Strait. Across the Notsuke Peninsula, in the northern part, the character of the water mass basically follows the seasonal changes of the Soya Warm Current in the coastal region of the Okhotsk Sea. However, it is also altered by mixing with river water and by upwelling of the Okhotsk Intermediate Water. On the other hand, in the southern part, a salinity front appears along the open mouth of the Nemuro Bay in spring and then relatively fresh water is observed in autumn, while the Soya Warm Current water flows to the northern part. Stable oxygen isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ) distribution suggests that river water added to the Nemuro Strait becomes an important source of fresh water and its mixing ratio reaches 0.50–0.95% in the northern part and 1.47–3.25% in the southern part. It is suggested that the character of the water mass in the Nemuro Strait has less continuity between the northern and southern parts.

**Key words:** Nemuro Strait, water mass variation process, Soya Warm Current, river water,  $\delta^{18}\text{O}$

(Corresponding author's e-mail address: [soguma@affrc.go.jp](mailto:soguma@affrc.go.jp))

(Received 5 January 2007; accepted 9 May 2007)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2007)

---

<sup>†</sup> Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

<sup>‡</sup> Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency,  
116 Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan