

黒潮・親潮前線間域における 北太平洋中層水起源水の分布と循環*

清水 勇吾†

要 旨

東北沖合に広がる黒潮・親潮前線間域とその周辺において、海洋調査船による CTD (温度・塩分・圧力計) と ADCP (音響ドップラー流速計) を用いた詳細な海洋観測を行ない、北太平洋中層水の形成に寄与する親潮水、黒潮水の分布と循環を解明した。また、等密度追従型の中層フロートによって親潮水と黒潮水を追跡し、新しい北太平洋中層水の形成過程と形成時間を明らかにした。

キーワード：親潮，北太平洋中層水，ADCP 観測，フロート

1. はじめに

太平洋の日本周辺域には、北から寒流の親潮が南下、南からは暖流の黒潮が北上している。両海流は東北の沖合で最も近づき、場所によっては接することもあるが、全般的には親潮前線と黒潮前線が離れる二重の前線構造が広く見られ、北太平洋の大きな特徴を表している。この二つの前線に挟まれた海域 (黒潮・親潮前線間域; Kuroshio-Oyashio interfrontal zone) とその周辺では、親潮と黒潮から波及する冷水と暖水が複雑に入り混じるために混合水域とも呼ばれ、サンマ・カツオなどの回遊性魚類が多く来遊するほか、近海底層ではマダラ・スケトウダラなども多く分布し、重要な漁場にもなっている。

一方、北太平洋中層水 (North Pacific Intermediate Water; NPIW) は、北太平洋の亜熱帯循環中層に広く見られる塩分極小層に特徴付けられる水塊である。亜熱帯循環を巡り高塩化した NPIW は、混合水域におい

て低塩の親潮水の供給を受けて再び低塩化されるために (Talley, 1993), NPIW の形成と循環を考える上でも混合水域は重要である。NPIW の形成過程を通じて大量の亜寒帯水が亜熱帯循環内に輸送されることから、NPIW は北太平洋における亜寒帯循環と亜熱帯循環との間の熱・物質交換にも大きな役割を果たしていると考えられ、人類起源の温室効果気体増加に伴って予測される気候変動および環境変動の観点からも注目を集めてきた。日本では、文部科学省科学技術振興調整費で 1997 年から 5 年間行われた「北太平洋亜寒帯循環と気候変動に関する国際共同研究 (SubArctic Gyre Experiment; 通称 SAGE)」などの研究プロジェクトによって、観測とモデルの両面における研究で NPIW に対する理解が深まっている (Yasuda, 2004)。

筆者が現在まで在職している独立行政法人 水産総合研究センター 東北区水産研究所 (以後、東北水研と略す) は、調査船“若鷹丸” (692 t, 旧船“わかたか丸”は 174 t) を有し、混合水域を中心とした東北沿岸～沖合域の海洋環境、生物生産、水産資源などに関する調査・研究を行なっている。筆者が東北水研の研究職員として採用され、東北沖の海洋研究を始めたときに興味を

* 2005 年 9 月 8 日 受領; 2005 年 9 月 16 日 受理
著作権: 日本海洋学会, 2006

† 〒 985-0001 宮城県塩釜市新浜町 3-27-5
(独) 水産総合研究センター 東北区水産研究所
e-mail address: yugo@affrc.go.jp

持ったのが、親潮第1分枝あるいは親潮第一貫入、親潮沿岸分枝などと呼ばれる、東北沿岸に沿って分布する親潮系冷水の内部構造と循環、変動機構であった。その先端緯度には季節変動が見られ(小川ら, 1987), 先端緯度の年平均値は、亜寒帯域の風の場とも対応していることも明らかになっている(Hanawa, 1995)。親潮第1分枝は、東北沖の海洋環境や水産業に大きな影響をおよぼす一方で、その内部構造と循環は解明されていなかったため、調査船を利用できる利点を生かし、これを研究したいと筆者は単純に思ったからである。そして、1994年5月に東北水研調査船“わかたか丸”によって、これを集中的に観測する幸運な機会を得ることができた。その後、SAGEなどの研究プロジェクトへの参加を通じて、北太平洋中層水に関する研究へと展開していった。

本稿では、これまでの筆者の研生活を簡単に振り返りながら、黒潮・親潮前線間域における北太平洋中層水起源地の分布と循環に関する研究を紹介する。

2. 東北近海における親潮水の分布と循環

上に述べたように、筆者らは親潮第1分枝域における親潮水の構造と循環を明らかにするため、1994年5月に東北水研旧調査船“わかたか丸”で、北海道～東北近海域においてCTD(温度・塩分・圧力センサー)・船底取付式 ADCP(音響式ドップラー流速計)を中心とする海洋観測を行なった(Fig. 1)。

なお、旧船“わかたか丸”は現在の“若鷹丸”に比べてずっと小さく、乗船調査員は最大4名で、水と燃料の補給のため適度に寄港せねばならないような制約の多い調査船であったが、初めて乗った海洋調査船ということもあり、筆者にとっては思い出深い船となった。

さて、水塊間の混合が活発な混合水域周辺において親潮水の分布を調べるためには、すでに混合が行われた水に含まれる親潮水成分を計算する必要がある。Shimizu *et al.*(2001)では、親潮水と黒潮水が混合水域で等密度面混合したと仮定し、26.4から27.2 σ_θ までの密度層で両者の混合比を計算している。観測域における黒潮—親潮混合比の分布を鉛直方向にみると、親潮水の割合の高い水は、表層～亜表層よりも中層に多く見ら

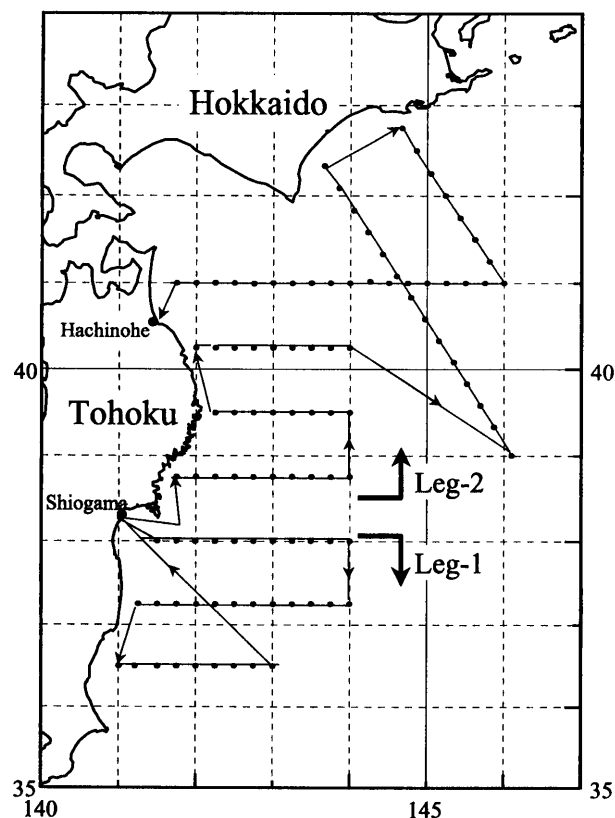


Fig. 1. Ship tracks (thin line) and CTD stations (solid circles) during the cruises of the R/V Wakataka-Maru in May 1994.

れた(密度層では26.6 σ_θ より重い密度層、水深ではおよそ100 m以深に相当)。Fig. 2に、26.8～27.0 σ_θ 密度層において80%以上の親潮水の割合を持つ水の分布とADCPで得られた流速ベクトル分布を重ねて示す。この図から、親潮水が渦状に分布し(以降、これを親潮渦と呼ぶ)、Aの親潮渦は時計回り循環、Bの親潮渦は反時計回り循環をしている様子が分かる。

ここで、親潮渦AとBの循環が異なるので、構造の違いを詳しく調べることにした。Fig. 3に親潮渦A及びBの水温断面図を示す。時計回り循環をする親潮渦Aの中心部には、2°C以下の低水温域が250 m～700 m深にわたって厚く分布するのに対し、親潮渦Bの中心部にはこのような水温構造は見られず、水深400 m～600 m深には水温が3°C以上となる水温極大層が見られ、水温構造は両者で大きく異なることが明らかである。オホーツク海内部には、オホーツク海モード水と

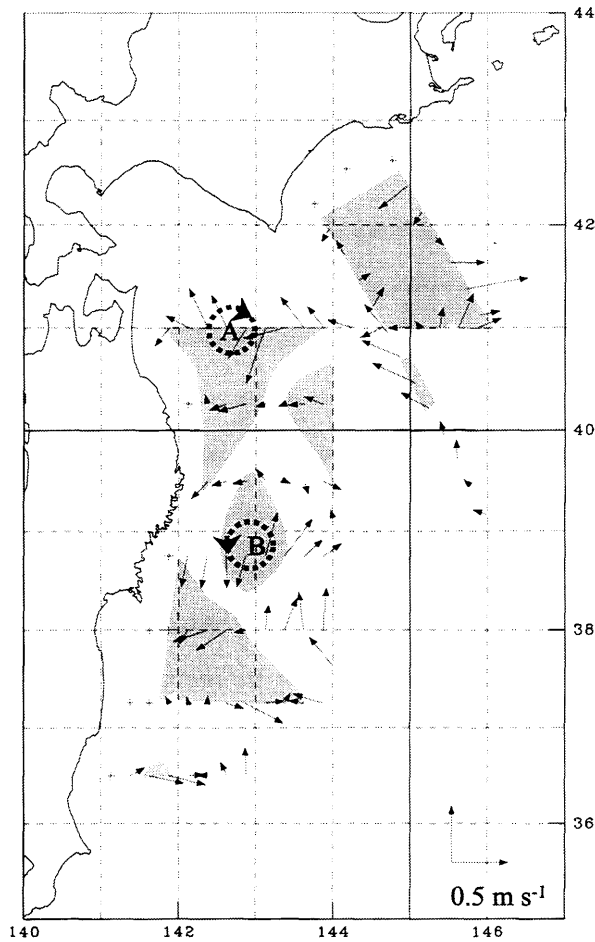


Fig. 2. ADCP velocity vectors in an isopycnal layer 26.7-27.9 σ_θ . The shaded areas are high Oyashio component areas (Oyashio component > 80%). The anti-cyclonic and cyclonic Oyashio eddies are denoted by A and B, respectively.

呼ばれる低温・低塩で鉛直的に厚みのある水が存在するために (Yasuda, 1997), A の親潮渦がオホーツク海モード水の影響を強く受けたものと推測しながら, より詳しく特性を解析した。渦 A と渦 B の中心部での温度, 塩分, 渦位の値を密度に対してプロットし, オホーツク海モード水と太平洋西部亜寒帯水のものと比較すると (Fig. 4), 温度, 塩分, 渦位のいずれにおいても渦 A はオホーツク海モード水に近く, 渦 B は太平洋西部亜寒帯水に近い特性を持っていることが判明した。ADCP データからの相対渦度の見積りを加えると, 渦位における渦 A と B の違いはより鮮明になることか

ら, 渦 A がオホーツク海モード水, 渦 B が西部亜寒帯水に強く影響を受けたものと結論された。そして, 地衡流および ADCP の流速分布を考え, 東北近海の中層で親潮水は模式的に Fig. 5 に示すような分布と循環をしているものと推測した。

なお, この研究部分の詳細は Shimizu *et al.* (2001) に述べられているので, 詳しくはこの論文を参照されたい。

3. 北太平洋中層水形成に寄与する親潮水・黒潮水の ADCP 基準地衡流量

前述のように, 新しい NPIW は混合水域で低塩の親潮水と高塩の黒潮水が混合することによって形成される。したがって, 親潮前線を横切って東北近海を南下する親潮水は新しい NPIW の形成に寄与すると考えられ, 前節で示した研究や SAGE などのプロジェクト参加を通じて, 筆者は NPIW に関して興味を持つようになった。前節で示した観測を行なった当時は, NPIW 形成に関する量的な知見がまだ乏しかったために, 船底取付式 ADCP (音響式ドップラー流速計) を用いて, NPIW 形成に寄与する親潮水・黒潮水の絶対流量を求めることにした。

しかし, この研究は思いのほか大変なものとなった。船底取付式 ADCP は, 航走する船から音波を用いて海洋内部の流速を広範囲に測定できる利点がある一方で, 得られた流速値には, GPS などの航法装置で測定される船速誤差のほか, ADCP 振動子の方位決定誤差から生じる系統誤差が含まれるので (Joyce, 1989), 信頼度の高い流量値を得るには, 系統誤差補正と誤差評価をしっかりと行なう必要があった。現在と違い 1990 年代は, ADCP による海流測定に関する技術や知見も途上段階であり, しかも誤差の要因と大きさは使用する機器類にも依存するため (清水・安田, 1995; Shimizu *et al.*, 2003), この見積りと補正を行なうための試行錯誤の作業が多かった。

かなりの時間と労力を要したものの, 前節で示した 1994 年 5 月の親潮第 1 分枝域の観測と, Yasuda *et al.* (1996) や Okuda *et al.* (2001) で報告されている 1992 年 5 月の黒潮続流域の観測における ADCP デー

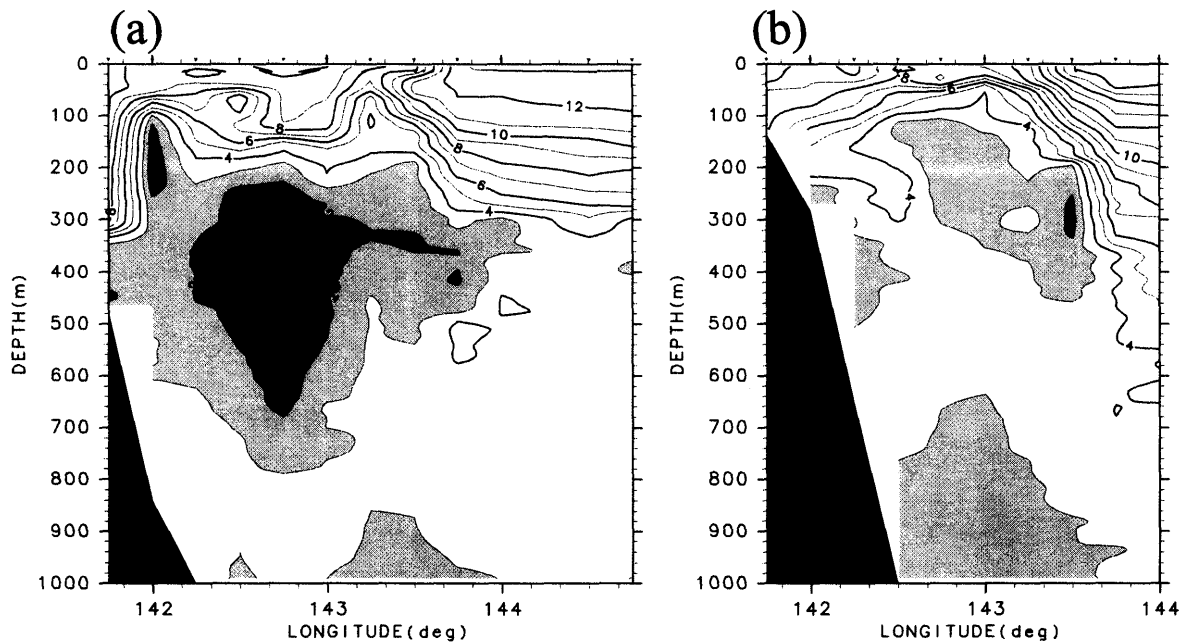


Fig. 3. Vertical cross section of temperature T [$^{\circ}\text{C}$] for Oyashio eddies (a) A and (b) B. The areas with $T < 2^{\circ}\text{C}$ and $2 \leq T < 3^{\circ}\text{C}$ are toned by dark and bright gray, respectively.

タの精度向上と誤差評価を行ない、NPIW 形成に寄与する親潮水・黒潮水の絶対流量を求めるための資料を整えることができた。絶対流量計算のために、地衡流量をCTD観測最下層基準からADCP基準に直し、前節で紹介した親潮・黒潮等密度面混合比をかけて、親潮水黒潮水の流量フラックスを得た(密度層 $0.1\sigma_{\theta}$ 間隔で $26.6\sim 27.2\sigma_{\theta}$ の範囲で計算)。

Fig. 5のADCP基準流量分布模式図のように、密度層 $26.6\sim 27.2\sigma_{\theta}$ の範囲において、道東近海で親潮水が $5\sim 6\text{ Sv}$ ($1\text{ Sv} \equiv 10^6\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$)の流量をもって南下する一方、房総沖では黒潮に沿って流量 $7\sim 8\text{ Sv}$ の黒潮水が北上してくる。また親潮水は、暖水塊の沿岸側で約 2 Sv 、沖合側で約 4 Sv の流量に分かれて南下、黒潮続流に合流し、等密度面混合によって合計約 13 Sv の新しいNPIWを形成すると見積もられた。また、 $26.6\sim 27.2\sigma_{\theta}$ の密度層における地衡流量の値を比較すると、ADCP基準のものの方が 1000 dbar を無流面にとって計算した地衡流量よりも 1.5 倍以上大きく、無流面を仮定して行っていた従来に見積り結果が過小評価になっている可能性が高いことも指摘した。

NPIWの総体積を単位時間当たりの形成量で割る

ことによりNPIWの更新時間を見積もることができる。NPIWの分布域を北太平洋亜熱帯循環域の $20^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$, $130^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{W}$, また $26.6\sim 27.2\sigma_{\theta}$ の厚さを 400 m とすると総体積は $6.8 \times 10^{15}\text{ m}^3$ となる。これを 13 Sv で割るとNPIWの更新時間は約 20 年と見積もられる。両起源水の流量は時間変動するために、得られた値の代表性の問題は残るものの、この見積り結果が、人為起源のクロロフルオロカーボン(CFC)をトレーサーとしてオホーツク海からNPIWへのベンチレーション時間を見積もった結果(Warner *et al.*, 1996)と一致したのは興味深い。

なお、この研究部分の詳細はShimizu (2001)あるいはShimizu *et al.* (2003)に述べられているので、詳しくはこれらを参考にされたい。

4. 等密度面追従型フロートで得られた北太平洋中層水形成時間と形成域の循環

近年の著しいコンピューター技術の発達により、優れた制御機能を持つ新しい海洋観測機器が次々と登場している。等密度面追従型フロートもその代表的なも

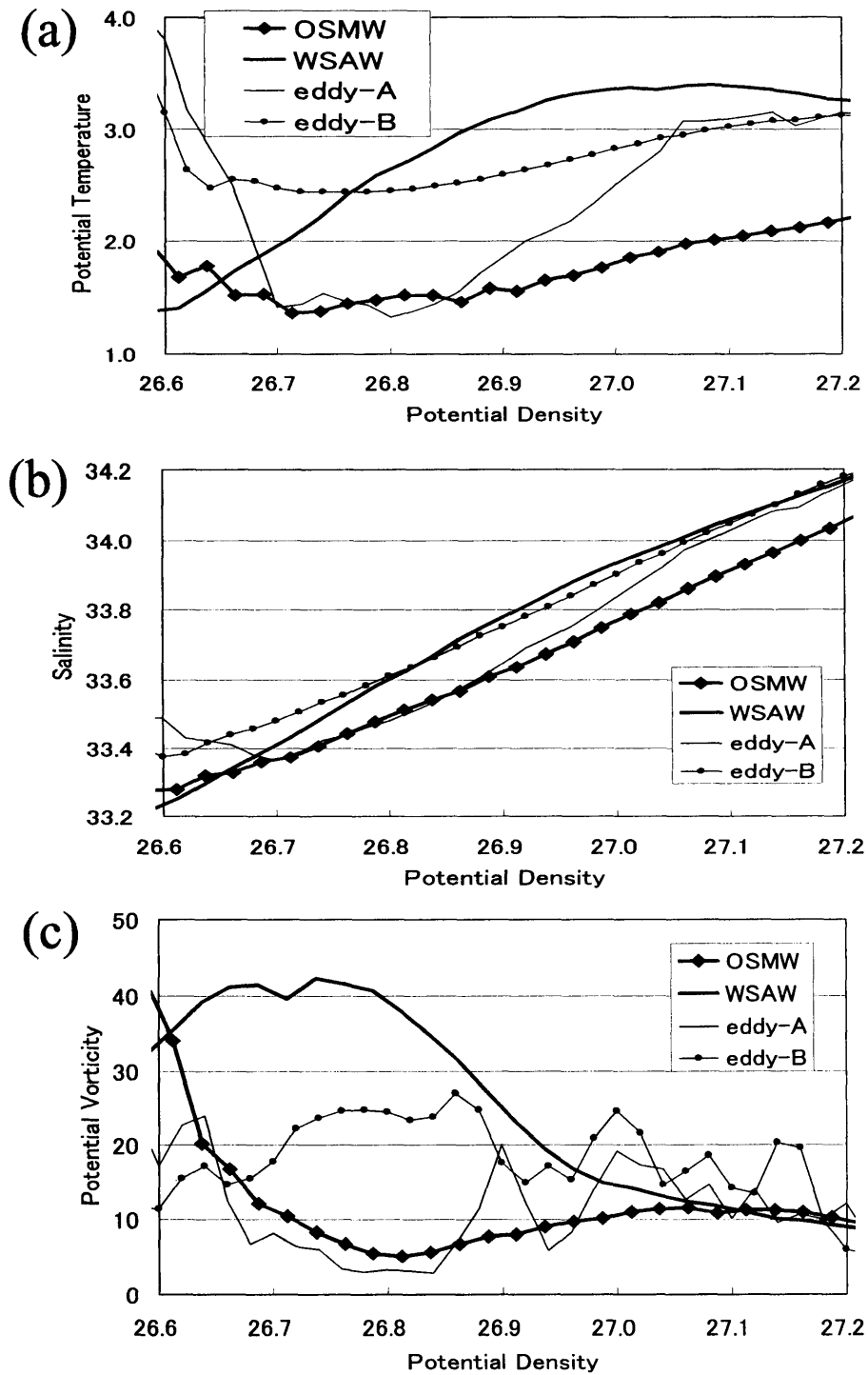


Fig. 4. Profiles of (a) potential temperature $[\text{°C}]$, (b) salinity, and (c) potential vorticity $[\times 10^{-11} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}]$ for potential density $[\sigma_\theta]$. The curves are from the Oyashio eddies A, B (thin lines), the Okhotsk Sea Mode Water (OSMW) and western subarctic water (WSAW) (thick lines).

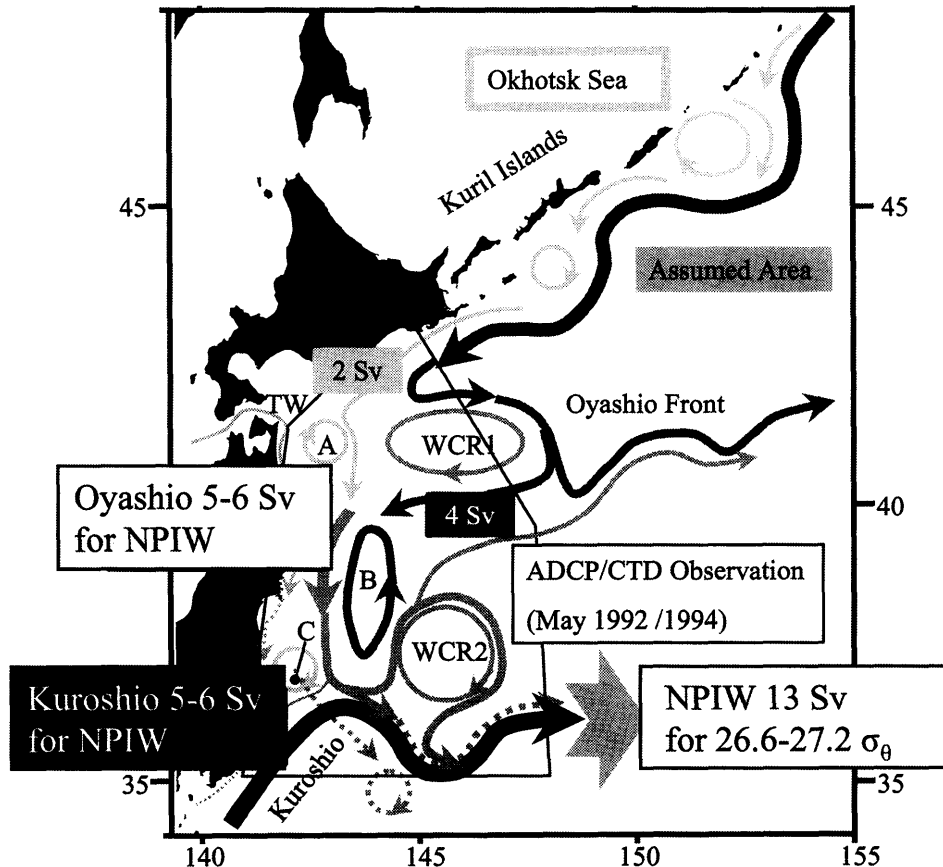


Fig. 5. Schematic illustration of the intermediate layer circulation around the Oyashio-Kuroshio interfrontal zone. This figure summarizes the results of Shimizu *et al.* (2001) and (2003).

のの一つであろう。この測器は、搭載した CTD で水温・塩分・圧力を逐次測定して密度を計算し、浮袋を調節しながら設定した等密度面に滞留する。また、一定の周期で鉛直方向に CTD 観測 (プロファイリング) を行なった後に浮上して、観測結果を人工衛星経由で地上に送信することもできる高機能の海洋観測機器である。等圧面追従型のフロートもあり、これらは ARGO 計画でも多く投入されている (水野, 2000)。

SAGE プロジェクトにおいて、気象庁気象研究所などの関係機関との連携のもとに、NPIW の形成過程を明らかにするために、 $26.7 \sigma_\theta$ を追従密度とする中層フロート 2 台を投入する機会を得た。しかし実際には、2 台 (気象研究所の投入分を含めても合計 6 台) という限られた数のフロートで、NPIW の形成過程を調査するにはどう工夫したらよいか大いに悩んだ。熟考の末に、等密度面を漂流し、かつ、プロファイリングも可能な

本フロートの利点を生かして、NPIW の起源水である親潮水・黒潮水にフロートを投入して、それ以後の起源水の流れ方と変質過程を探ることにした。

$26.7 \sigma_\theta$ を追従密度とする等密度追従型フロート 2 台を親潮域に、4 台を黒潮続流に沿って投入した (Fig. 6)。これらを追跡すると、親潮域に投入した 2 台は南下して黒潮続流に達し、その後は黒潮続流域に投入した 4 台と同様に日本のはるか東方に流されていくことが明らかになった (Fig. 7)。そして、これらの軌跡は 150°E 以東で Fig. 7 の図中に示したような三つの経路に分かれていることが判明し、これらの経路は南から黒潮続流、黒潮二次前線、亜寒帯前線に該当すると考えられた。さらに、各フロートのプロファイリング結果から T-S ダイアグラムを描くと、 $26.7 \sigma_\theta$ 付近に塩分極小層を持つ新しい NPIW のプロファイルに近づいていくことがわかった (Shimizu *et al.*, 2004 の Fig. 6)。また、

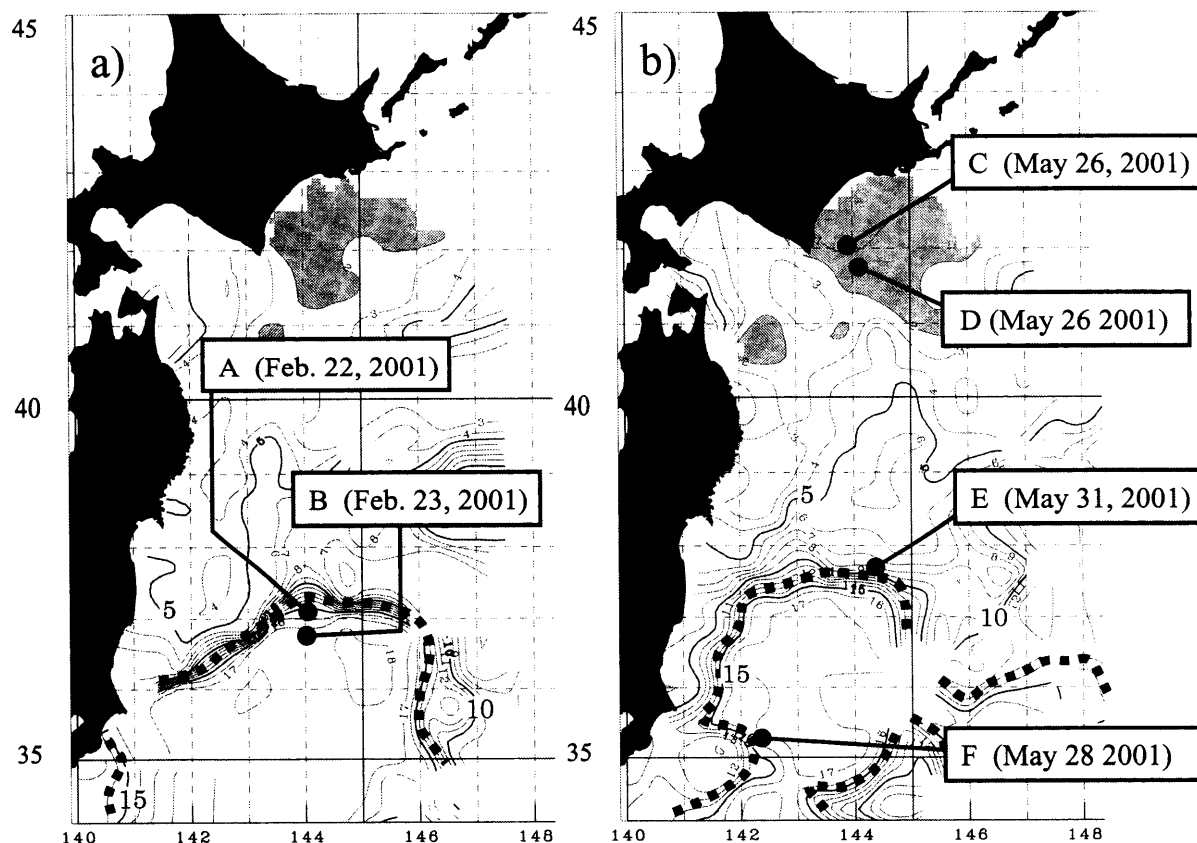


Fig. 6. Deploying points and dates of the floats A – E with isotherms at 200 m depth in (a) February 2001, and (b) May 2001. The Kuroshio Extension axis (14°C at 200 m depth) is denoted by a dashed thick line in each figure (Shimizu *et al.*, 2004).

Table 1. Converging times in the Kuroshio-Oyashio isopycnal mixing ratio and potential vorticity (Shimizu *et al.*, 2004).

Floats	Paths	Estimated new NPIW formation time (d)	
		From mixing ratio	From potential vorticity
A	Southern path	364	427
B	Northern path	not detected	not detected
C	Northern path	393	not detected
D	Southern path	400	not detected
E	Middle path	497	462
F	Northern path	336	350

$26.7 \sigma_{\theta}$ の親潮・黒潮等密度面混合比の値は各経路でそれぞれ親潮：黒潮 = 3 : 7, 4 : 6, 5 : 5 に収束し (Fig. 8a), 渦位は全経路でほぼ同じ値 (およそ $15 \times$

$10^{-11} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) に収束することも判明した (Fig. 8b)。親潮水・黒潮水合流後の親潮・黒潮等密度面混合比と渦位の収束時間から、新しい NPIW の形成時間は約 1

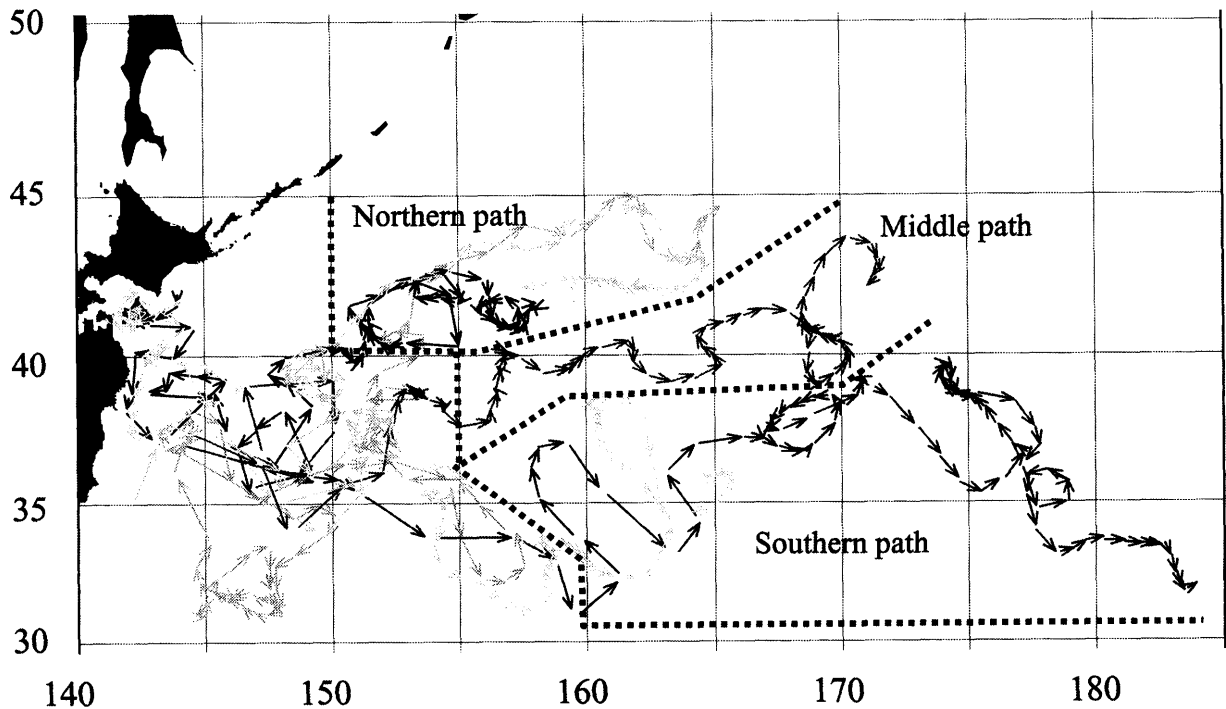


Fig. 7. Trajectories of the floats A-F from their deployments to December 2002. The southern, middle and northern paths are considered as the Kuroshio extension, the Kuroshio bifurcation front and subarctic front, respectively (modified from Fig. 4 in Shimizu *et al.*, 2004).

年～1.5年と見積もられた (Table 1)。

これらの結果から、親潮の南下流量の年変動などに対して、新しいNPIWの形成量または特性は約1年～1.5年後に敏感に応答する一方で、NPIWの更新時間は20年であるため、NPIWの総体積、平均塩分などは親潮変動に対して数十年の時間スケールで応答すると推測される。

また、親潮水と黒潮水の等密度面混合によって1年 ($\approx 3 \times 10^7$ s) で新しいNPIWが形成されると仮定すると、水平方向 (あるいは等密度面方向) の渦拡散係数を与えることで両者の混合の水平スケールを見積もることができる。一般的によく用いられる水平 (等密度面) 渦拡散係数 $10^2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \sim 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ を用いて混合の水平スケールを見積もると、50 km～200 kmとなり、NPIWの形成には主に中規模スケールでの混合が作用していると考えられる。この逆に、フロート周囲の水温・塩分の空間分布を仮定あるいは観測すると、拡散係数を見積もることもできるので、今後の研究にも応用できる。

本研究部分の詳細は Shimizu *et al.* (2004) を参考にされたい。

5. スクリプス海洋研究所滞在と今後の展望

以上、これまでの筆者の主な研究について紹介してきたが、ここで今後の展望についても述べたい。

前述のようにNPIWは北太平洋の亜寒帯—亜熱帯循環間の水・熱・物質交換において重要な役割を果たすと考えられ、温室効果気体の増加などによる気候変動へのNPIWの応答とフィードバック、さらに、これらに伴う環境・生態系の変化も注目される。したがって、NPIWの時間変動を調べることは非常に重要であろう。

これまで筆者は、調査船による詳細な海洋観測あるいはADCPや中層フロートなどの新しい観測器によって、混合水域周辺でのNPIW起源水の分布と循環、形成過程に関する研究を進めてきたが、実は、これらの時間変動に関する研究をほとんど行なってこなかったことが心残りであった。独立行政法人水産総合研究セン

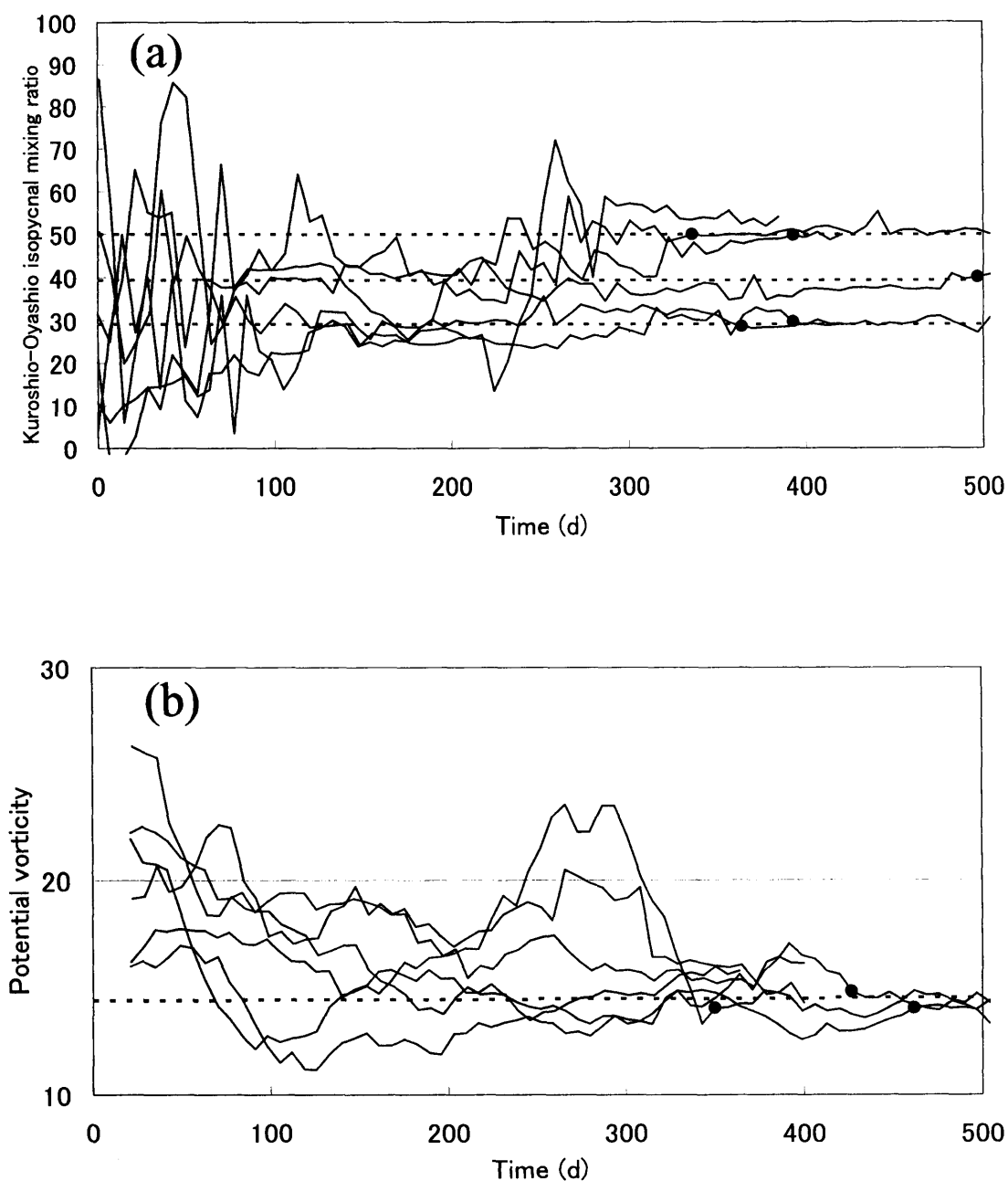


Fig. 8. Time series of (a) mixing ratio [%] and (b) 49 days running mean potential vorticity [$\times 10^{-11} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1}$] after the floats pass 144°E . Thick broken lines indicate typical values of (a) mixing ratio and (b) potential vorticity for the northern, middle and southern paths estimated by Shimizu *et al.* (2004). Solid circles denote the converging times as listed in Table 1.

ターでは、東北区水産研究所と北海道区水産研究所が中心となって、OICE (Oyashio Intensive line off Cape Erimo) と呼ばれる北海道襟裳岬から南東に延びる親潮集中観測線や A ラインと呼ばれる北海道厚岸沖から南

東に延びる観測線を繰り返し観測し、データを蓄積してきた。筆者は、これらの観測および資料解析を通じて、NPIW の起源水流量の時間変動などを明らかにしたいと考えてきた。

幸いなことに、筆者は文部科学省の在外研究員制度の一つによって、これまで多くの偉大な海洋学者を輩出してきた米国スクリプス海洋研究所(カリフォルニア大学サンディエゴ校)に2003年11月より1年間滞在する機会を得た。この滞在では、Talley (1993) ほか多数の著名な論文を発表されている Lynne Talley 教授の御指導を賜った。多忙にも関わらず Talley 教授は、筆者との議論のために頻りに時間を取ってくださり、その結果、溶存酸素データを使う新たな手法を導入して、OICEにおけるNPIW起源水の分布と流量の時空間変動に関する研究に着手できた。1年間の滞在は短く、本滞在中に論文としてまとめ上げるまでには至らなかったため、現在も Talley 教授と共同で研究を進めているところである。

さて、1年という短い期間ではあったものの、筆者にとってスクリプス海洋研究所滞在は、自分の研究だけでなく人生そのものを見つめ直す良い機会となったので、少し紹介したい。スクリプス海洋研究所のあるアメリカ合衆国カリフォルニア州サンディエゴは1年を通じて温暖で良く晴れ、大きな街の割には自然も豊かである。そのせいか、住んでいる人達も概して穏やかで人懐っこく、滞在前に抱いていた米国人に対する印象とは全く正反対のものであった。研究所の中も例外ではなく、Talley 教授を含め、職員や学生は親切で明るい方ばかりであった。ゼミ等では、お互いの研究に関して気軽に、そして、率直に議論しあう雰囲気があり、スタッフは基本的に学生に対して前向きな助言をする。また研究所全体に開放感があり、パーティやお茶の時間が多くあるほか、音楽を聴きながら仕事をしたり、仕事の合間に研究所前のビーチでサーフィンやビーチバレー、日光浴等を楽しんだりしている研究者も多かった。筆者も次第に楽しい友人に囲まれて研究と余暇を大いに楽しむことができるようになっていったのである。

この滞を経て、筆者の心には「楽しむこと」の素晴らしさが刻みこまれた。海洋学を含め、自然科学には、未知の自然現象を解き明かす楽しみがあるべきだと思うが、近年の日本の基礎研究を巡る情勢は、予算や業績評価の面でますます厳しくなっており、「産業に役に立つこと」「論文数を増やすこと」に重点が置かれ

すぎているような気がしてならない。もちろん、こうしたことは米国でも起こっていると思うが、個々の研究者の気持ちの持ち方が米国と日本では総じて違うように思えた。日本では、冷めた目をお互いに向け合ってプレッシャーを掛け合い、ストレスを増幅しあう傾向にあるのは気のせいだろうか? 毎日、嫌々研究しても決して面白い結果は出でこず、最終的には研究の質の低下につながるのではないかと、筆者は懸念する。理想論かもしれないが、こういう世知辛い時こそ、日常を楽しく過ごすように努め、研究では「海洋学」が持つ独特の面白さを追求し、それを社会に伝えるほうが良いように思える。海洋観測には多くの労力と費用がかかるため、時には予算稼ぎ的な研究をせねばならないかもしれないが、その場合でも、解析対象にはきつと面白い海洋現象が含まれていると信じ、試行錯誤の末に科学的真理にたどり着く時の感動をいつまでも求めて行きたいと思う。

6. 終わりに

このたび日本海洋学会 岡田賞受賞という大変な荣誉に与り、こうして本稿を書かせていただく機会まで得ることができた。本稿を書きながら自分の研究人生を振り返ると、自分が指導者と共同研究者に非常に恵まれていたことをあらためて認識する。ここに感謝の意を表したい。

東北区水産研究所の伊藤 進一博士には、10年もの長い年月に渡り現職場で一緒に過ごし、その間に公私共に御指導と御協力を賜り続けている。東北大学の花輪 公雄教授には、まだ海洋研究者として未熟であった筆者を国内研修生として受け入れていただき、その後、学位論文作成までの御指導、御鞭撻を賜ったほか、スクリプス海洋研究所滞在への御助言もいただいた。東京大学の安田 一郎教授には、筆者が東北水研に配属されて間もない頃に、研究や観測の仕方だけでなく社会人としての礼儀や心構えも教わり、一連の研究の動機付けとその後の御指導を賜った。また水産総合研究センターの奥田 邦明博士、平井 光行博士、植原 量行博士、加藤 修博士、渡邊 朝生博士、小松 幸生博士、友定 彰博士(現 MIRC)、稲掛 伝三博士、村上 眞裕美博

士、寛 茂穂研究員らとは有益な議論を行ない、御指導、御協力、叱咤激励も賜った。スクリプス海洋研究所の Lynne Talley 教授には、前述のように一年間の滞在中、親身になって御指導と御協力を賜った。以上の方々だけでなく、学会活動などを通じて、筆者に御指導、御助言、御協力をいただいたすべての方々に心より厚くお礼申し上げますとともに、今後ともよろしく願い申し上げます。

References

- Hanawa, K. (1995): Southward penetration of the Oyashio water system and the wintertime condition of midlatitude westerlies over the North Pacific. *Bull. Hokkaido Natl. Fisher. Res. Inst.*, **59**, 103–120.
- Joyce, T. M. (1989): On *in-situ* “calibration” of shipboard ADCPs. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **6**, 169–172.
- 水野 恵介 (2000): 高度海洋監視システム (ARGO 計画) 構想について. 日本造船学会誌, **854**, 485–490.
- 小川 嘉彦, 平井 光行, 安田 一郎 (1987): 親潮第一貫入の変動とその水産生物への影響. 東北水研研報, **49**, 1–15.
- Okuda, K., I. Yasuda, Y. Hiroe, and Y. Shimizu (2001): Structure of subsurface intrusion of the Oyashio water into the Kuroshio Extension and formation process of the North Pacific Intermediate Water. *J. Oceanogr.*, **57**, 121–140.
- Shimizu, Y. (2001): Synoptic distribution and circulation of the source waters relating to the North Pacific Intermediate Water formation in the Kuroshio-Oyashio Interfrontal Zone., Ph. D. thesis, Tohoku Univ., 78 pp.
- 清水 勇吾, 安田 一郎 (1995): わかたか丸 ADCP により得られる流速誤差の評価. 東北水研研報, **57**, 15–24.
- Shimizu, Y., I. Yasuda, and S. Ito (2001): Distribution and circulation of the coastal Oyashio intrusion. *J. Phys. Oceanogr.*, **31**, 1,561–1,578.
- Shimizu, Y., I. Yasuda, K. Okuda, K. Hanawa, and S. Ito (2003): ADCP-referenced Kuroshio and Oyashio transports for the North Pacific Intermediate Water formation. *J. Phys. Oceanogr.*, **33**, 220–233.
- Shimizu, Y., T. Iwao, I. Yasuda, S. Ito, T. Watanabe, K. Uehara, N. Shikama, and T. Nakano (2004): Formation process of North Pacific Intermediate Water revealed by profiling floats set to drift on 26.7 σ_θ isopycnal surface, *J. Oceanogr.*, **60**, 453–462.
- Talley, L. D. (1993): Distribution and formation of the North Pacific Intermediate Water. *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, 517–537.
- Warner, M. J., J. L. Bullister, D. P. Wisegarver, R. H. Gammon, and R. F. Weiss (1996): Basin-wide distributions of chlorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12 in the North Pacific: 1985–1989. *J. Geophys. Res.*, **101**, 20,525–20,542.
- Yasuda, I. (1997): The origin of the North Pacific Intermediate Water. *J. Geophys. Res.*, **102**, 893–909.
- Yasuda, I. (2004): North Pacific Intermediate Water: Progress in SAGE (SubArctic Gyre Experiment) and related projects. *J. Oceanogr.*, **60**, 385–395.
- Yasuda, I., K. Okuda, and Y. Shimizu (1996): Distribution and modification of North Pacific Intermediate Water in the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone. *J. Phys. Oceanogr.*, **26**, 448–465.

Distribution and Circulation of the Source Waters
for the North Pacific Intermediate Water Formation
around the Kuroshio-Oyashio Interfrontal Zone

Yugo Shimizu †

Abstract

The distribution and circulation of the Oyashio and Kuroshio waters in intermediate layers, which contribute to the formation of North Pacific Intermediate Water (NPIW), were revealed by CTD (conductivity temperature depth sensor) and shipboard ADCP (acoustic Doppler current profiler) observations around the Kuroshio-Oyashio interfrontal zone. The formation process and formation time of new NPIW were also revealed by profiling floats set to drift on the NPIW salinity minimum layer. These works are summarized in this review paper, which also includes reminiscences of the author's research life.

Key Words : Oyashio, NPIW, ADCP, profiling float

(Corresponding author's e-mail address : yugo@affrc.go.jp)

(Received 8 September 2005; accepted 16 September 2005)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

† Tohoku National Fisheries Research Institute, Shinhama-cho, Shiogama, Miyagi 985-0001, Japan