

東シナ海陸棚斜面域における水塊の分布と混合[†]

堀之内龍一^{*1}, 土屋主税^{*2}, 長澤亮佑^{*1}, 齋藤京太^{*1}

Water mass distribution and mixing in the East China Sea slope[†]

Ryoichi HORINOUCHI^{*1}, Chikara TSUCHIYA^{*2}, Ryosuke NAGASAWA^{*1}, and Keita SAITO^{*1}

Abstract

We conducted observations using an Expendable Conductivity Temperature Depth Profiler (XCTD) and a ship-mounted Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) of the water mass distribution and current velocity profiles in the East China Sea, which are essential for understanding the dynamics of material and energy transportation. Analysis of the observed data suggests that mixing of shelf water mass and Kuroshio water mass occurs, due to the horizontal intrusion of low salinity water mass, which is thought to be of continental origin, into Kuroshio water mass, and the bottom intrusion of the high salinity Kuroshio water mass along the continental shelf slope.

1 序論

東シナ海は日本の南西に位置し、多様な海洋物理学的特徴を有している海域である。前田(1989)や宇野木・久保田(1996)では、こうした特徴をまとめており、例えば、流れに関する特徴として、陸棚上で潮流、特に半日周期の M_2 分潮が卓越することを挙げている。一方で水塊の性質という観点では、陸棚上の海水が低塩分であること、特に春季から夏季にかけて大陸の黄河や長江を起源とする低塩分水が顕著に張り出してくるという特徴も述べている。また、流れと水塊の性質、その両方に関わる特徴として、主に陸棚斜面域において、高水温高塩分かつ西岸強化流のために極めて流速の速い黒潮が流れていることが挙げられる。他にも、陸棚域の急峻な斜面が存在すること

により流れに影響を及ぼしているとも考えられている。東シナ海では、ここで例に挙げたような要素により水塊混合や内部潮汐といった興味深い海洋物理学的現象が引き起こされることで、エネルギーや物質の輸送が盛んに行われている。そのため、漁業資源・鉱物資源の利用や気候変動機構の理解等、幅広い分野においてその重要性が認識されている海域である。

東シナ海における物質やエネルギーの輸送に関して、海洋物理学的観点も取り入れて考察した先行研究は数多くあり、Sasaki et al. (2012) では、東シナ海において黒潮に舌状の水温高偏差域がある際には、SSTが高いことによる大気温度変化と湿度変化、すなわち大気海洋間の顕熱輸送と潜熱輸送を通じた気圧の調節により、偏差域直上に

[†] Received September 12, 2022; Accepted October 25, 2022

* 1 大洋調査課 Offshore Surveys Division

* 2 企画課 Administration and Planning Division

高い降水率や強い海上風をもたらすという気象学的影響があることを示している。また水産学の分野では、例えば Zhao and Guo (2011) で、数値計算の結果から栄養塩分布を調べ、陸棚斜面に直交するフラックスを算出し、九州南西海域と台湾北東海域にその供給源が存在し、陸棚中央部では陸棚からトラフ側へ栄養塩を輸送していることを指摘している。また、山尾・他 (2010) では、環境学的観点から残留性有機汚染物質の分布を調べる前段として、CTD 観測、採水、採泥を行うことで、東シナ海におけるペルフルオロ化合物の濃度分布を明らかにし、それらが陸棚域から黒潮水への懸濁物輸送により負荷されたことを示唆している。他にも、柳 (1998) や池原 (2007) では、東シナ海における物質輸送や堆積作用についてまとめ、黒潮や M_2 分潮による潮流、冬季の北西季節風に伴う吹送流が東シナ海における懸濁物質の輸送過程及び堆積物の再堆積過程に大きく寄与していることを述べている。

このように、海洋物理学、気象学、水産学、環境学、地質学等の様々な観点から、東シナ海における物質・エネルギーの輸送は重要であると考えられており、海洋場の数値計算や現場観測を通じて研究されてきた。しかしながら、上記に挙げたような先行研究においても、東シナ海における物質・エネルギーの輸送過程が海洋物理学的手法を用いて十分に解明されているとは言い難い。本報告では、詳細な解析を見据えた初期段階の解析として、測量船「平洋」で取得した水温塩分及び流速データを解析し、物質・エネルギーの輸送過程を紐解くために不可欠な情報である水塊と流速の分布について考察する。

2 観測方法

観測は 2021 年 8 月 3 日、九州南端より南西におよそ 300 km 離れた測線に対して、海上保安庁海洋情報部所属の測量船「平洋」(4,000 トン) により行い、流速の鉛直分布及び水温塩分の鉛直分布を取得した。流速の鉛直分布取得には、船底装備の多層音波流速計 (ADCP: Acoustic Doppler

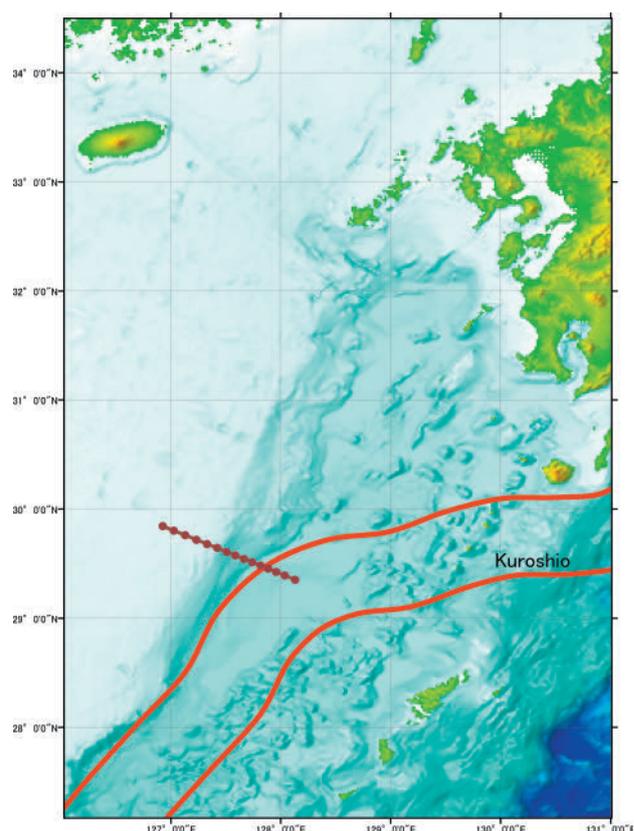


Fig. 1. Observation area. Brown solid line represents the ship track line during ADCP measurement and brown circles along the track line indicate the observation points of XCTD. Red solid line represents stream line of Kuroshio from Quick Bulletin of Ocean Conditions on 3 August 2021.

図 1. 観測海域。茶色の実線は ADCP 観測を行った測線で、測線上の茶色の点は XCTD 投下地点。赤い実線は海洋速報から得た 2021 年 8 月 3 日の黒潮の流線。

Current Profiler) Ocean Surveyor 150 kHz を使用し、観測層については第 1 層が水深約 14 m、それ以深は 3.12 m 間隔で、第 128 層まで取得した。水温及び塩分データの取得には、概ね 5 kt で測線上を航行する「平洋」から 1 時間に 1 回 (約 10 km 間隔) のペースで計 15 回、投下式電気伝導度水温水深計 (XCTD: Expendable Conductivity Temperature Depth Profiler) 鶴見精機製 XCTD-1 を投下した。Fig. 1 に、測線及び XCTD 投下地点を示す。

3 水温塩分データと混合比の算出

得られた水温塩分データの内、塩分が 32 psu

以上、水深が 400 m 以浅のものを TS ダイアグラムに示す (Fig. 2). 本報告と同様の海域で CTD 観測を実施した万田・他 (2001) では、塩分が 34.3–35.0 psu の範囲で円弧状に分布する水塊は黒潮水と述べられており、本観測で得られたデータの TS ダイアグラムを確認すると、黒潮水と思われる高塩分の円弧状分布が確認できる。他方で、黒潮と思われる分布から分岐するように、より低塩分側に伸びているデータ群も存在し、黒潮水とは別の水塊の存在が示唆される。さらに、黒潮水の円弧状データ群は TS ダイアグラム上の分布が密集しているのに対し、黒潮水より低塩分側に分布しているデータについては扇形に散開した分布で、XCTD の各プロファイルが明確に軌跡として追えるように散在しているという特徴がある。その特徴は、特に塩分にしておよそ 33.6–34.3 psu の範囲にあるデータについては顕著である。Figs. 3, 4 に等ポテンシャル密度面上のポテンシャル水温及び塩分のヒストグラムを示した。ここで、ポテンシャル密度の算出には UNESCO et al. (1981) の状態方程式及び Fofonoff and Millard (1983) の水深水圧変換式を用いた。Figs. 3, 4 から明らかなように、ポテンシャル水温及び塩分は等ポテンシャル密度面においてバイモーダルな頻度分布となっている。さらに塩分については、ポテンシャル密度が高くなりおおよ

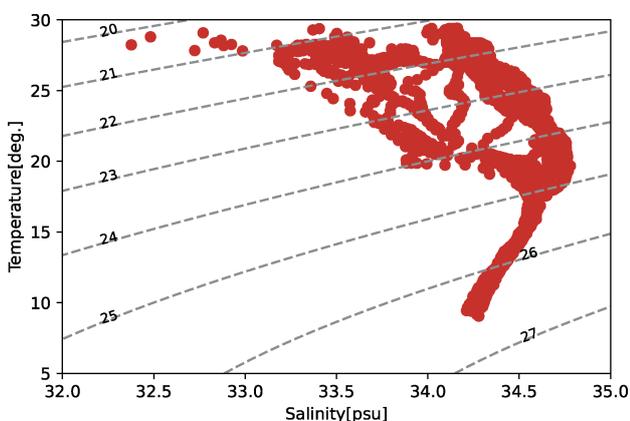


Fig. 2. Potential temperature-salinity diagram. Dashed lines represent contours of potential density.

図 2. ポテンシャル水温-塩分ダイアグラム。破線はポテンシャル密度の等値線を示す。

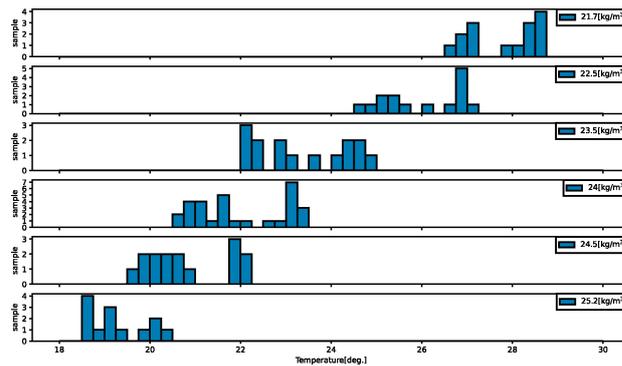


Fig. 3. Histograms of potential temperature on each isopycnal surface.

図 3. 等ポテンシャル密度面におけるポテンシャル水温の頻度分布。

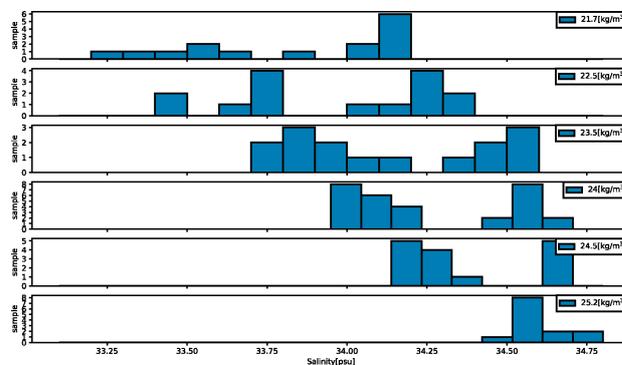


Fig. 4. Histograms of salinity on each isopycnal surface.

図 4. 等ポテンシャル密度面における塩分の頻度分布。

そ 25 kg/m³ より大きくなると、一つのモードに集約していく。これは Fig. 2 において、海面上の等ポテンシャル密度がおよそ 25 kg/m³ よりも小さい範囲に分布しているデータが、黒潮水を示す円弧状分布と、そこから分岐する低塩分側の分布から読み取れるように、2つの水塊が存在していることと無矛盾であると言える。

TS 図及び等ポテンシャル密度面上で確認されたバイモーダルな水塊分布をそれぞれ黒潮水と陸棚水と仮定し、花輪 (2017) 及び Zhang and Hanawa (1993) より、等密度面に沿った流れにより 2つの水塊が混合した割合、混合比を算出した;

$$R_{KT} = 100 \times \frac{T - T_S}{T_K - T_S}, R_{KS} = 100 \times \frac{S - S_S}{S_K - S_S}.$$

R_{KT}, R_{KS} はそれぞれポテンシャル水温及び塩分から算出した混合比を示し、T, S, T_K, S_K,

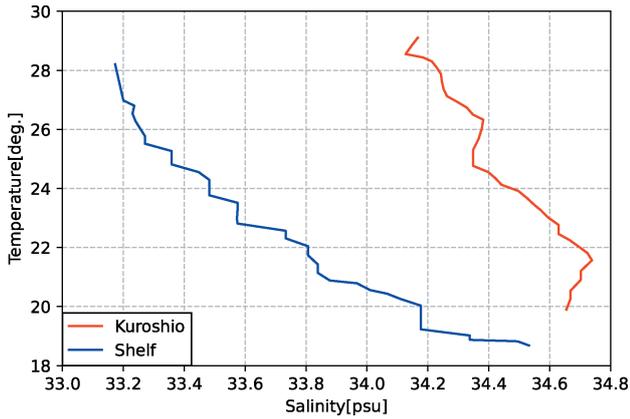


Fig. 5. Potential temperature-salinity profiles for two typical water masses determined in the present study. Red solid line indicates Kuroshio water mass and blue solid line indicates Shelf water mass.

図 5. 本報告中の典型的な 2 水塊のポテンシャル水温-塩分プロフィール. 赤い実線は黒潮水を示し, 青い実線は陸棚水を示す.

T_s , S_s はそれぞれ, 観測より得られたポテンシャル水温, 塩分, 黒潮水に典型的なポテンシャル水温及び塩分, 陸棚水に典型的なポテンシャル水温及び塩分である (観測結果から推定した黒潮水及び陸棚水の典型的なプロファイルは Fig. 5 に示す). R_{KT} , R_{KS} が 100% であれば典型的な黒潮水, 0% ならば典型的な陸棚水, 50% 程度であれば混合が生じていることを示す. また, 混合比は黒潮水が有するポテンシャル密度の下限に近い 21.5 kg/m^3 から, 陸棚水塊が有するポテンシャル密度の上限に近い 25.2 kg/m^3 までの間の等ポテンシャル密度面において 0.1 kg/m^3 の間隔で算出した. 算出した黒潮水の混合比の地理的分布を Fig. 6 に示す. Fig. 6 の左図はポテンシャル水温から算出した混合比を, 右図は塩分から算出した混合比を描いたものであるが, 2 つの図は局所的な差

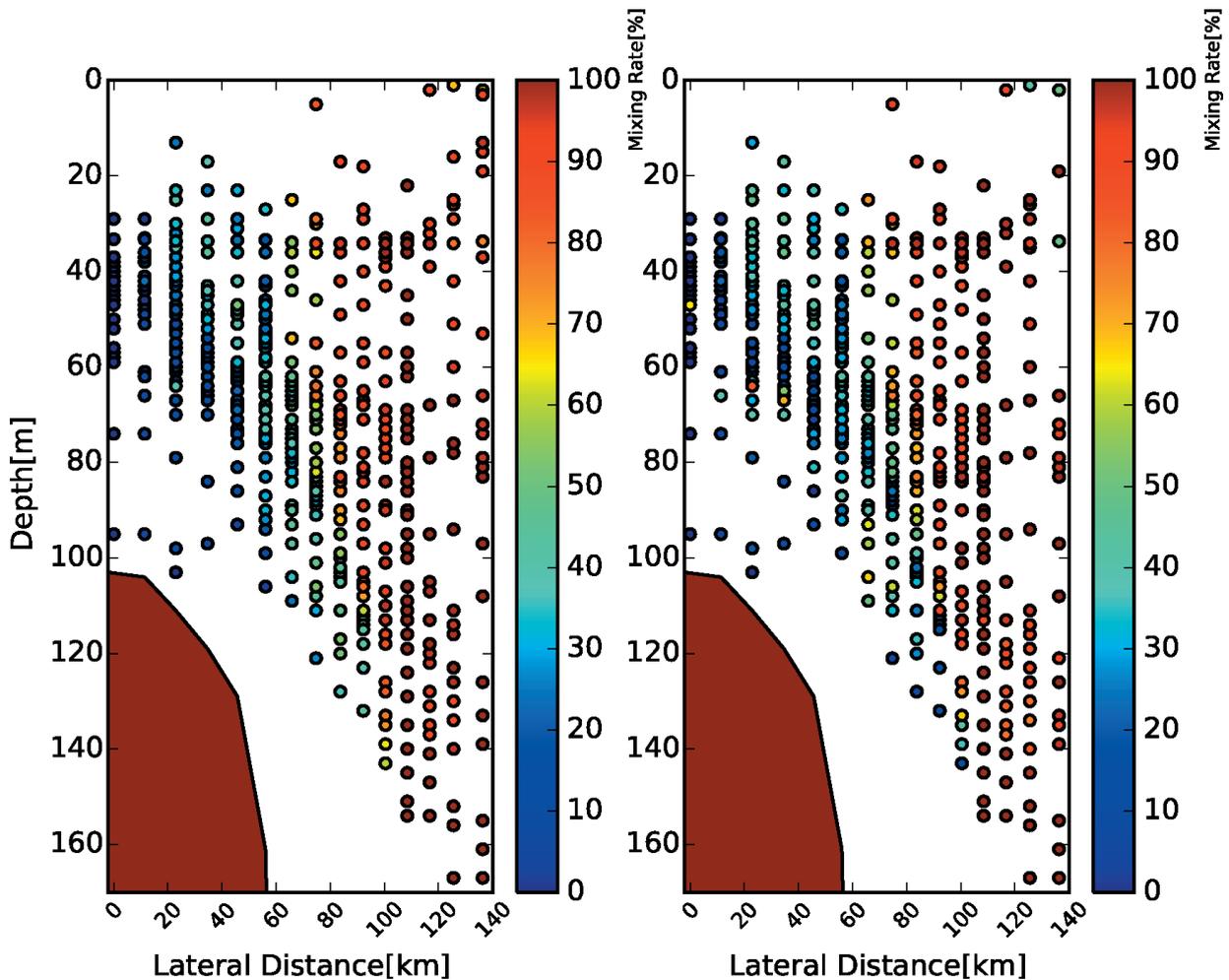


Fig. 6. Vertical Cross sections of mixing rates calculated from potential temperature (left) and salinity (right).

図 6. 鉛直断面におけるポテンシャル水温 (左) と塩分 (右) から算出された混合比.

異はあるものの、測線中央部に混合比 50% 付近の値が分布しているという特徴は一致しており、測線中央部が黒潮水塊と陸棚水塊の境界となっており、両水塊の混合が生じていることが読み取れる。

4 クラスター分析

前章では観測によって得た水温塩分データから混合比を算出し、陸棚斜面部の測線中央部において、黒潮水と陸棚水の混合が生じているという結果を得た。本章ではさらに、得られた水温塩分データに対して、クラスター分析を行い、その結果とポテンシャル水温、塩分、並びに流速の分布を比較する。

クラスター分析について、対象とするデータは前章同様、塩分が 32 psu 以上、水深が 400 m 以浅のものとし、データの非類似度はユークリッド距離で評価し、クラスタリングの手法は Ward 法を用いた。また、流速データについては、Percent Good が 85% 以下の値及び上下に隣接する層との流速差 0.5 kt 以上の値を異常値として除去し、1 時間平均を行った。さらに、Fig. 1 に示した測線に沿う南東方向を t 軸、t 軸に北東側に直交する方向を n 軸とし、それらの軸に射影した流速を求めた。

クラスター分析の結果を TS ダイアグラム上に示したのが Fig. 7、地理的分布を示したのが Fig. 8 である。Fig. 7 からわかる通り、前章で考察した黒潮水に対応するクラスターは 3, 4, 5, 6 の系列、陸棚水に当たるクラスターは 1, 2, 5 の系列であるとわかり、Fig. 8 で地理的分布を確認してもその分布は整合的である。前章で述べた通り、万田・他 (2001) では塩分が 34.3–35.0 psu の範囲で円弧状に分布するデータは黒潮水と定義しており、クラスター 3, 4, 5, 6 の系列はおおよそその塩分の範囲に円弧上に分布している。ただし、クラスター 3 は降水等、大気境界からの影響を受けた表層水と黒潮水が混合しているのか、やや低塩分である。クラスター 4, 5 はそれぞれ、黒潮水の系列では水深にして約 75–200 m、約

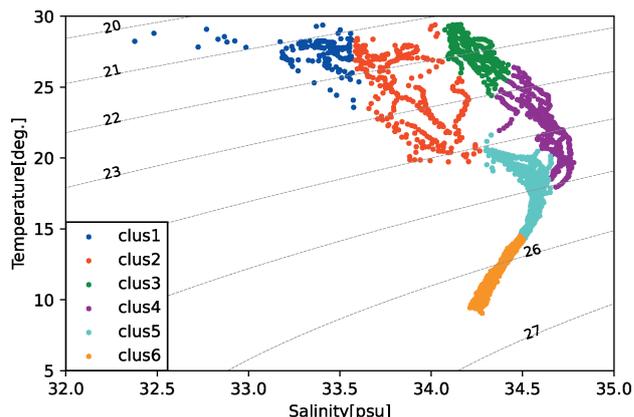


Fig. 7. Potential temperature-salinity diagram resulting from the cluster analysis. Dashed lines represent contours of potential density.

図 7. クラスター分析の結果を示したポテンシャル水温-塩分ダイアグラム。破線はポテンシャル密度の等値線を示す。

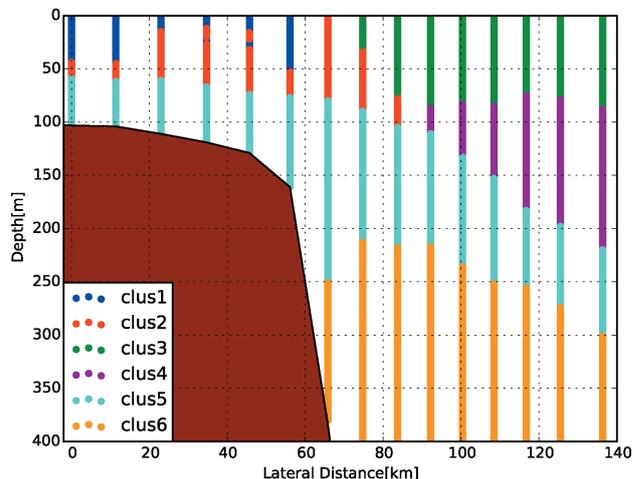


Fig. 8. Vertical cross section of the cluster analysis results.

図 8. 鉛直断面におけるクラスター分析の結果。

100–300 m に位置し、塩分の平均値はともに 34.6 psu 程度だが、ポテンシャル水温及び密度の平均値は大きく異なり、クラスター 5 の方がポテンシャル水温はより小さく、ポテンシャル密度はより大きな値となっている。クラスター 6 は黒潮水の系列では最も下層に位置し、全てのクラスターの中で最もポテンシャル密度及び塩分が高く、ポテンシャル水温が低い傾向にある。一方、陸棚水に当たると考えられるクラスターは 1, 2, 5 の系列である。クラスター 5 は前述の通り、黒潮水の中層部にも対応していたが、陸棚水の系列

の中では最もポテンシャル水温が低く、かつポテンシャル密度及び塩分が高く、陸棚水の底層にも対応している。クラスター1はポテンシャル水温が最も高く、かつポテンシャル密度及び塩分が最も低い。地理空間上も陸棚上で測線の最も西側かつ表層に位置し、夏季に顕著な大陸起源の低塩分水の性質を強く反映しているものと考えられる。クラスター2は、Fig. 8からわかる通り、地理的には陸棚側をクラスター1、黒潮側をクラスター3に挟まれ、陸棚上ではクラスター1の下層に分布しつつも、一部クラスター1と深度方向に逆転して分布し、陸棚斜面部にかけては黒潮側に張り出すような形でクラスター3の下層に位置している。またFig. 7より、クラスター2はTSダイアグラム上では他のクラスターに比べて散開して分布し、Figs. 5, 6と照らし合わせてみると、混合比50%程度の値が多く分布する箇所に存在している。このことから、クラスター2は陸棚水と黒

潮水の混合水塊であると考えられる。

Fig. 9にクラスター分析結果とポテンシャル水温及び塩分のコンターを示す。Fig. 9からわかる通り、ポテンシャル水温及び塩分のコンターと各クラスターの境界が合致する箇所が多い。例えば、Fig. 9左図より、陸棚側では、クラスター2とクラスター5の境界はポテンシャル水温21°Cの境界とおおよそ一致し、黒潮側では、クラスター3とクラスター4の境界はポテンシャル水温25°Cの境界と良く対応する。また、Fig. 9右図でも、クラスター3とクラスター4の境界は34.4 psuのコンターに、クラスター5とクラスター6の境界は34.5 psuのコンターに対応している。また、クラスター2が位置する測線中央部表層においては、塩分のコンターは明らかに鉛直に描かれ、黒潮側は高塩分、陸棚側は低塩分となっている。さらに特筆すべきは、低塩分のコンターが陸棚側から黒潮水の水深60-100 mの位置に張り

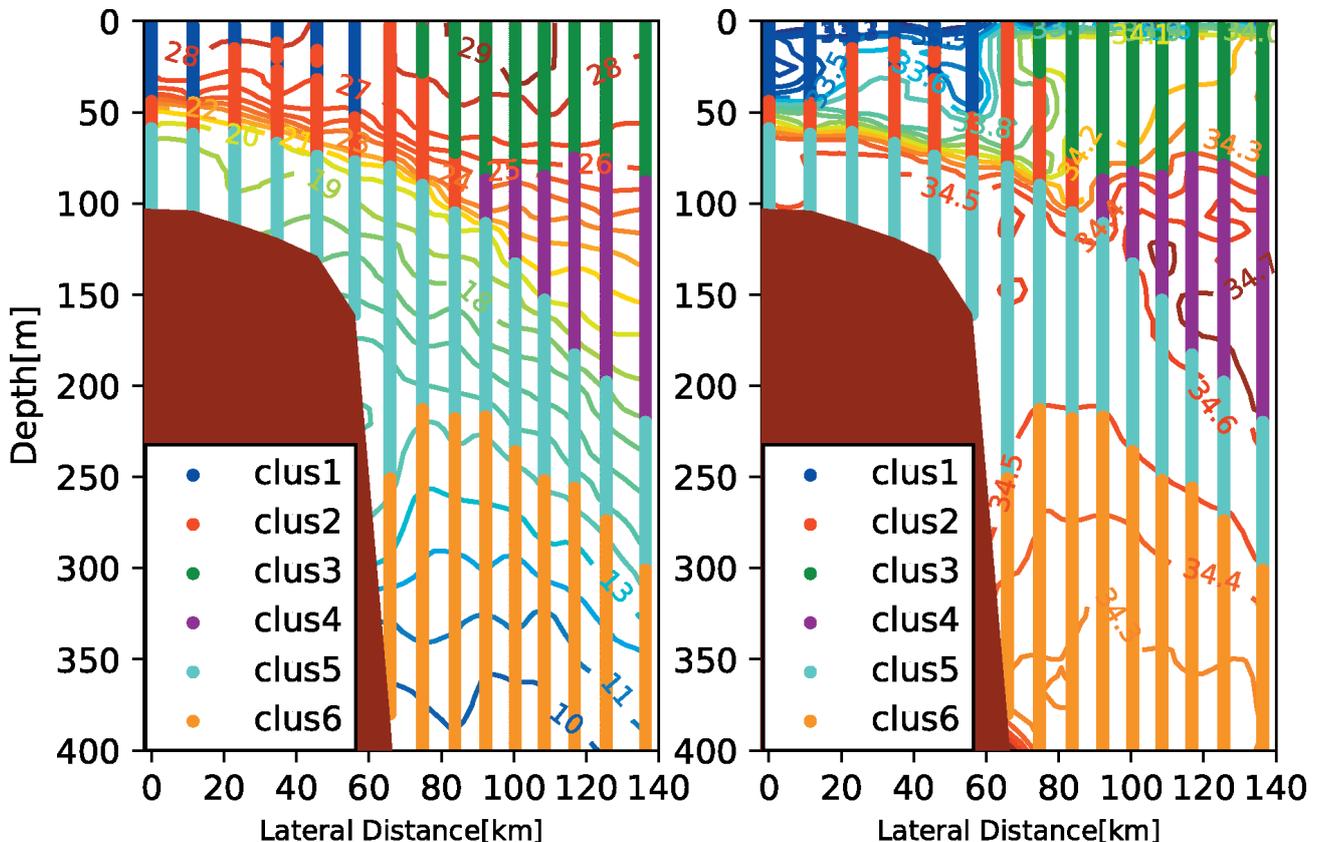


Fig. 9. Vertical Cross sections of potential temperature (left) and salinity (right) contours with the cluster analysis results.

図9. 鉛直断面におけるポテンシャル水温(左)と塩分(右)のコンターとクラスター分析の結果。

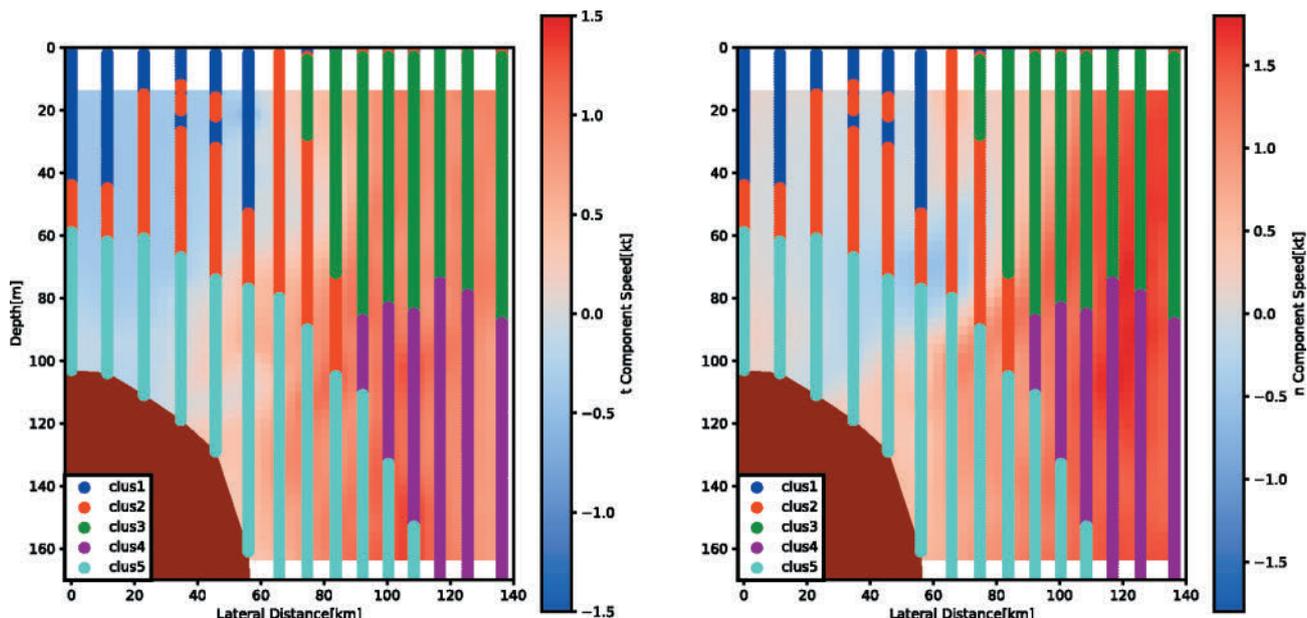


Fig. 10. Vertical cross sections of t component (left) and n component (right) speed with the cluster analysis results. T component indicates the direction along the ship track line and n component is orthogonal to t component.
 図 10. 鉛直断面における流速の t 成分 (左) と n 成分 (右) とクラスター分析の結果. t 成分は測線に沿った方向を示し, n 成分はその直角方向を示す.

出すように描かれており, これはちょうどクラスター 2 の分布と対応する. また, 34.5 psu のコンターは黒潮の中層から陸棚の底層まで伸びるように描かれており, これはちょうどクラスター 5 の分布と対応することも注目し値する.

Fig. 10 は Fig. 1 に示した測線に沿う南東方向を t 軸, t 軸に北東側に直交する方向を n 軸とし, それらの軸に射影した流速を図示したものである (カラーマップの単位は kt). n 成分の最大値は約 1.7 kt であり, クラスター 4 の水深 70–80 m に分布しており, Fig. 1 に示した, 海上保安庁ホームページより参照した海洋速報の黒潮の流線とも一致している. また, 観測期間中の測線付近においては黒潮の代表的な流向として t 成分, n 成分ともにプラスの値を持つことがわかり, t 成分, n 成分ともにプラスの値を有するのは, クラスター 3, 4 が該当する. t 成分について, 測線の中央部を境にプラスからマイナスへと変化する傾向にあるが, これは黒潮の流線を離れたことと時間経過により, 陸棚上で潮流が支配的となったからであろう. クラスター分析の結果と照らし合わせると, クラスター 1 は t 成分がマイナスであり,

潮流の影響を強く受けていることが示唆される. さらに測線の中央部では, t 成分, n 成分ともに鉛直方向に流向が大きく異なり, 傾圧性が高い. 特に, クラスター 2 が位置する水深 100 m までは複雑な流速の鉛直分布を示している. 本報告では取得した流速データに対して, 潮流分離を行っていないため, この傾圧性が, 異なる性質の水塊が接することによる混合なのか, 潮流の鉛直分布が異なることによるのかは判別がつかない. また, クラスター 2 の内, Fig. 9 で確認した水深 60–80 m における低塩分水の黒潮水への水平貫入域では, t 成分はプラス, n 成分はマイナスの値となっており, 陸棚水域から黒潮水域への張り出しが示唆される. クラスター 5 に関しては, ポテンシャル水温及び塩分の観点からは Fig. 9 で示す通り, 明確な構造が見られないにも関わらず, 陸棚水塊における流速分布がバロクリニックな構造を有していることは一考に値する. この陸棚斜面部の海底近くに見られる t 成分マイナスの流れは, おそらく潮流によるものと考えられ, 黒潮水中層から陸棚水底層への陸棚斜面の駆け上がりを示唆するものである.

5 考察

本章では、前章で確認したクラスター分析結果の内、傾圧性が高い流速分布であった測線中央部、クラスター2とクラスター5の陸棚斜面部に注目して今後の観測や解析に向けた考察を行う。

まず、クラスター2で確認された陸棚域から黒潮域への低塩分水の貫入に着目する。このような低塩分水の水平貫入は、例えば万田・他(2000)や松野・他(2001)でも観測されている。松野・他(2001)では観測された水温及び塩分のデータから黒潮表層及び中層への低塩分水貫入を見出し、さらに表層への貫入機構として二重拡散対流の可能性を挙げている。本報告におけるXCTD投下頻度は1時間に1回程度、平均して約10 km間隔であったが、低塩分水の貫入機構を考察するためにより詳細な水塊混合の様子を調べるには、今後は更に高密度のCTD観測を行うことが望ましいと考えられる。また、マルチビーム音響測深器(MBES: Multi Beam Echo Sounder)を用いたColbo et al.(2014)やマルチチャンネル反射法地震探査装置(MCS: Multi-Channel Seismic Reflection System)を用いた野口(2011)等で紹介されているような海洋音響学的観測手法により、通常の海洋物理学的観測手法では得られないような高解像度かつ広範囲に亘る鉛直2次元の反射強度断面を得ることも、水塊構造の把握に有効である可能性がある。

次に、クラスター5の陸棚斜面部において確認された黒潮起源高塩分水の陸棚への駆け上がりに着目する。前田(1989)では、本報告同様、高塩分水が陸棚斜面の肩の付近から陸棚奥へ伸びる分布が晩春から早秋にかけて見られることが述べられており、その起源が黒潮による高塩分水で、斜面に沿って這い上がるように陸棚の奥へ広がったためであり、這い上がりの機構にはエクマンポンピングや潮流等の可能性があるとされている。前章でも述べた通り、Fig. 9において測線西部で t 成分がマイナスになるのは、おそらく潮流によるものと考えられるものの、本報告では調和分解は行わなかったため、陸棚底付近の高塩分水の這い

上がりが潮流によるものとは明確に判断することはできない。調和解析には通常、検出したい分潮の周期の差に応じてある程度、長期間、同一点における観測が必要である(Parker, 2007)ため、本観測のように約14時間という極短期間の移動観測には、通常の調和解析の手法を用いることができない。短期間の移動観測による流速データに適用可能な手法としては例えばCandela et al.(1992)がある。この手法は、振幅の調和定数を位置座標の多項式と仮定して推定するというもので、数日といった比較的短期間の移動観測であっても、観測期間を通した全てのデータを潮流分離のための最小二乗法に用いることができる。しかしながらこの手法にも適用の限界があり、吉・佐藤(1996)にも示されている通り、観測期間が1日未満で非常に短い、あるいは同一点で得られた流速データが少ないと、解析結果の精度が悪くなり、通常あり得ないほど大きな流速として潮流成分を算出してしまう。ここでは掲載しないが、本報告で取得した流速データにこの手法を適用したところ、吉・佐藤(1996)同様、その結果は非常に大きな流速となり潮流分離することができなかった。今回の観測では測線を南東から北西に1度しか航行せず、最小二乗法に輸入するための同一点で取得した流速データが全くないことと、観測期間が14時間程度しかなかったことが原因であると考えられる。取得する流速データに潮流分離を行い、流速分布とクラスター分析の結果をさらに詳しく比較するためには、例えば万田・他(2000)のように同一測線を往復するなど、より長期間かつ重複した観測点を多く有するADCP観測が必要であるだろう。陸棚斜面域において潮流が卓越する場合、内部潮汐と呼ばれる内部重力波が発生する可能性がある(前田・山城, 1985; 岡村・他, 1997)。内部潮汐は外部潮汐よりも波長が短いため、物質輸送に対する寄与が大きく(佐藤, 1988)、内部潮汐の底層におけるストークス輸送が高塩分水の這い上がりに寄与している可能性がある(前田, 1989)。そのため、水温、塩分を連続観測し、その周期性を確認するといった

内部潮汐を検知するための観測を行うことも、這い上がりの機構を考察する上で有用だろう。

また、本報告の観測は夏季に行われたが、東シナ海の水塊及び流速の分布は季節変動が大きい(前田, 1989)。従って、物質及びエネルギー輸送の動態を明らかにするためには夏季以外にも水温塩分及び流速等の観測を行い、具体的に解析を行う必要があるだろう。

6 結論

東シナ海陸棚斜面部において、測量船「平洋」による ADCP 及び XCTD を用いて測線上の移動観測を行った。等ポテンシャル密度面におけるポテンシャル水温及び塩分の頻度分布から、性質の異なる水塊が分布していることを見出し、それらを黒潮水と陸棚水として混合比を算出したところ、測線中央の陸棚斜面部において 50% 程度の値となり、黒潮水と陸棚水の混合が生じていることがわかった。さらに、観測によって得られたポテンシャル水温及び塩分データに対してクラスター分析を行い、各クラスターとポテンシャル水温、塩分並びに流速分布を比較したところ、陸棚斜面部の水深 60–80 m における陸棚から黒潮水への低塩分水の張り出しと、黒潮から陸棚底層への高塩分水の駆け上がりを確認され、これらにより黒潮水と陸棚水の混合が生じていることが示唆された。

謝 辞

本報告のための観測に際し、測量船「平洋」の乗組員の皆様には、観測中の安全面に配慮した運航や適切なデータ取得等、多大なご協力を頂いた。深く感謝の意を表す。

文 献

Candela, J., R. C. Beardsley, and R. Limeburner (1992) Separation of tidal and subtidal currents in the Ship-mounted Acoustic Current Profiler observations, *J. Geophys. Res.*, 97, [C1], 769–788.

Colbo, K., T. Ross, C. Brown, and T. Weber (2014) A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 145, 41–56.

Fofonoff, N. P. and C. R. Millard Jr. (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, 44, 1–53.

花輪公雄 (2017) 海洋の物理学, 現代地球科学入門シリーズ 4 巻, 210pp., 共立出版, 東京.

池原 研 (2007) 東シナ海の堆積作用と古環境変遷, *地質ニュース*, 634, 21–28.

海上保安庁, 海洋速報, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html>.

前田明夫 (1989) 東シナ海の海水の運動に関する研究のレビュー, *水産海洋研究*, 53, [3], 319–330.

前田明夫・山城 徹 (1985) 東シナ海大陸棚斜面の M_2 分潮への影響, 沿岸海洋シンポジウム「いま, 沿岸の潮汐・潮流のなにが問題か?」, 沿岸海洋研究ノート, 23, [1], 1–5.

松野 健・柳尾茂文・清水 学・秋重祐章, 吉村浩, 高木保昌 (2001), 東シナ海陸棚縁辺部の黒潮に貫入する低塩分水, 九州大学大学院総合理工学報告, 23, [3], 311–317.

万田敦昌・磯辺篤彦・松野 健・柳 哲雄・韓仁盛・神尾光一郎 (2001) 東シナ海における黒潮前線周辺の水塊分布および流動構造の時間変動, 九州大学総合理工学研究科報告, 21, [4], 343–348.

万田敦昌・磯辺篤彦・松野 健・柳 哲雄・韓仁盛・神尾光一郎・西田英明・久野俊行・森井康宏・山脇信博・吉村 浩・兼原壽生・青島 隆 (2000) 東シナ海黒潮前線における ADCP 連続観測結果とそれに適用した潮流分離手法について, 九州大学総合理工学研究科報告, 21, [4], 343–348.

野口尚史 (2011) 海洋中の層状微細構造の実態と形成・発達機構, *ながれ*, 30, 165–168.

要 旨

東シナ海における物質・エネルギー輸送の動態を明らかにするために重要である水塊分布及び流速構造について、投下式電気伝導度水温水深計 (XCTD) と船底装備の多層音波流速計 (ADCP) を用いて観測を行った。解析の結果、大陸起源と考えられる低塩分水の黒潮水への水平貫入及び高塩分な黒潮水の陸棚斜面に沿った駆け上がりによって、陸棚水と黒潮水の混合が生じていることが示唆された。

- 岡村和磨, 井関和夫, 清本容子, 星加 章, 谷本照巳 (1997) 春季の東シナ海陸棚縁辺部における広域濁度分布, 海の研究, 6, [6], 361-369.
- Parker, B. B. (2007) Tidal Analysis and Prediction, NOS CO-OPS 3, National Ocean Service, Silver Spring Md.
- Sasaki, N. Y., S. Minobe, T. Asai, and M. Inatsu (2012) Influence of the Kuroshio in the East China Sea on the early summer (Baiu) rain, J. Clim., 25, [19], 6628-6645.
- 佐藤 敏 (1988) 男女群島付近の内部潮汐, 水路部研究報告, 24, 45-58.
- UNESCO, ICES, SCOR, and IAPSO (1981) Background papers and supporting data on the international equation of state of seawater 1980, UNESCO Technical Papers in Marine Science, 38, 1-192.
- 宇野木早苗・久保田雅久 (1996) 海洋の波と流れの科学, 東海大学出版部, 神奈川.
- 柳 哲雄 (1998) 東シナ海の流動・物質輸送・物質収支・生態モデル, 沿岸海洋研究, 36, [1], 59-68.
- 山尾 理・清水潤子・郭 新宇・田中周平・クナチワチナガン・藤井滋穂 (2010) 東シナ海におけるペルフルオロ化合物 (PFCs) 分布及び起源推定, 海洋情報部研究報告, 46, 13-24.
- 吉 宜好・佐藤 敏 (1996) ADCP データの潮流解析について, 水路部技報, 14, 27-35.
- Zhang, R. C. and K. Hanawa (1993) Features of the water-mass front in the Northwestern North Pacific, J. Geophys. Res., 98, [C1], 967-975.
- Zhao, L. and X. Guo (2011) Influence of cross-shelf water transport on nutrients and phytoplankton in the East China Sea: a model study, Ocean Sci., 7, [1], 27-43.