

— 論文 —

隠岐～能登沿岸域の海流構造におよぼす暖水渦の影響*

山田 東也[†]・加藤 修[†]・渡邊 達郎[†]

要 旨

隠岐から能登へかけての沿岸域における夏季の海流構造を明らかにするために、2000年7月、2001年6月および2001年7月に ADCP と CTD 観測を実施した。2000年7月および2001年6月の観測では、隠岐海峡を通過した東向流、すなわち対馬暖流沿岸分枝が丹後沖まで認められた。さらに、沿岸分枝の北側には、隠岐諸島東方を南下して丹後沖に向かう流れが観測された。この流れは、沿岸分枝とは水塊特性が異なっていた。上記2つの流れは、金沢沖においては、2000年7月では北側の流れが、2001年6月では両者ともほとんど確認できなかった。これは、丹後沖でみられた沿岸分枝と北側の流れが、2000年7月ではその一部が、2001年6月ではその大半が、金沢沖で接岸していた暖水渦の縁に沿うような形で西に反転して、沖方向に流れの向きを変えたためであると考えられた。2001年7月には他の2回の観測とは異なり、隠岐海峡から鳥取沖へかけての流れは非常に弱かったが、丹後以東から能登沿岸では明確に東向流が観測された。この東向流は、その水塊特性から、沿岸分枝ではなく、沖合に分布する流れが南下・接岸したものであることが示された。2001年7月において沿岸分枝が弱まった原因の一つとして、同時期の暖水渦の隠岐諸島への接岸の影響が考えられた。今回の観測結果から、暖水渦が隠岐から能登へかけての沿岸域の海流構造に大きな影響をおよぼし、安定していると考えられていた沿岸分枝の流路が、暖水渦の影響を受けて大きく変化していたことが示された。

キーワード：対馬暖流，暖水渦，ADCP

1. はじめに

対馬海峡から能登半島にかけては陸棚が発達しており、特に隠岐諸島周辺では浅海域が北方に張り出すとともに、隠岐諸島と本州の間には海深が最大でも80mと浅い隠岐海峡が存在する。また、海岸線は全般的には滑らかであるが、隠岐海峡と能登半島の間には湾口の大きな若狭湾が存在し、海岸地形に変化が見られ

る。そのため、隠岐から能登へかけての沿岸域は、ズワイガニやカレイ類を初めとする底魚類の産卵場が形成されるだけでなく、マアジやスルメイカなど浮魚類の生育場になっており、水産上極めて重要な海域である。これらの重要資源の分布変動要因を明らかにするうえで、海流構造を把握し、その変動機構を解明することが強く求められている。

この海域における流れ場に大きな影響をおよぼしていると考えられる海洋構造としては、1) 対馬暖流沿岸分枝、2) 山陰・若狭沖冷水域および3) 暖水渦を挙げることができる。

対馬暖流沿岸分枝は、対馬東水道に起源を有し、漂

* 2005年3月1日受領；2005年12月21日受理
著作権：日本海洋学会，2006

[†] (独) 水産総合研究センター 日本海区水産研究所
日本海洋環境部
〒951-8121 新潟県新潟市水道町 1-5939-22
主著者 e-mail address : haruya@affrc.go.jp

流ブイ (石井・道田, 1996; Lie *et al.*, 1997) と ADCP による観測結果 (Katoh, 1994; Katoh *et al.*, 1996) によれば, おおよそ 100 m から 200 m 等深線に沿って山陰沿岸を東進する。これらの観測結果によれば, 対馬暖流沿岸分枝の主部は隠岐海峡を通過すると考えられている。もっとも, 隠岐海峡の敷居深度よりも深い部分については, 隠岐諸島を迂回すると考えられるが, その実態はよく分かっていない。隠岐海峡通過後の対馬暖流沿岸分枝は, 係留系 (吉ら, 1995; Matsuyama, 1990) と ADCP (Katoh *et al.*, 1996; Hase *et al.*, 1999) の観測結果から, 丹後半島までの海域ではほぼ東進することが示されている。丹後半島から能登半島西岸における対馬暖流沿岸分枝の流路は, 漂流ブイの軌跡等から海岸近くに位置していると一般的に考えられているものの, 当海域における沿岸分枝の構造および流動変動に関する知見は少なく, ADCP 等による流れの鉛直構造等を報告したものとしては, Hase *et al.* (1999) による金沢沖の観測報告があるのみである。

また, 当海域には山陰・若狭沖冷水域が出現するが, この冷水域の分布状況は流れの変動に大きな影響をおよぼし, 冷水域が丹後半沖で接岸すると, この冷水域の縁に沿って流れる対馬暖流沖合分枝と隠岐海峡を通過した沿岸分枝とが合流して, 沿岸域の流動構造が大きく変化することが報告されている (Katoh *et al.*, 1996)。さらに, 当海域は日本海において暖水渦が高頻度で出現する海域に相当しており (Isoda, 1994), 暖水渦が沖合域の海流構造に大きな影響をおよぼしていることが報告されている (松山ら, 1988)。暖水渦の分布状況によっては, 沖合域のみならず, 沿岸域の海流構造にも大きな影響がおよぶと考えられるが, その実態については全く明らかにされていない。

本報告では, 隠岐から能登へかけての沿岸域において, 2000年と2001年の夏季に実施した ADCP と CTD 観測結果に基づいて, 当海域における対馬暖流の沿岸分枝の構造および流動変動を明らかにするとともに, 暖水渦が沿岸域の流れ場におよぼす影響について検討した。なお, 本報告では, 隠岐海峡を通過する流れを対馬暖流沿岸分枝として取り扱い, その流れが下流方向にどのように変化していくのかに焦点を当てて, 議論を進めた。

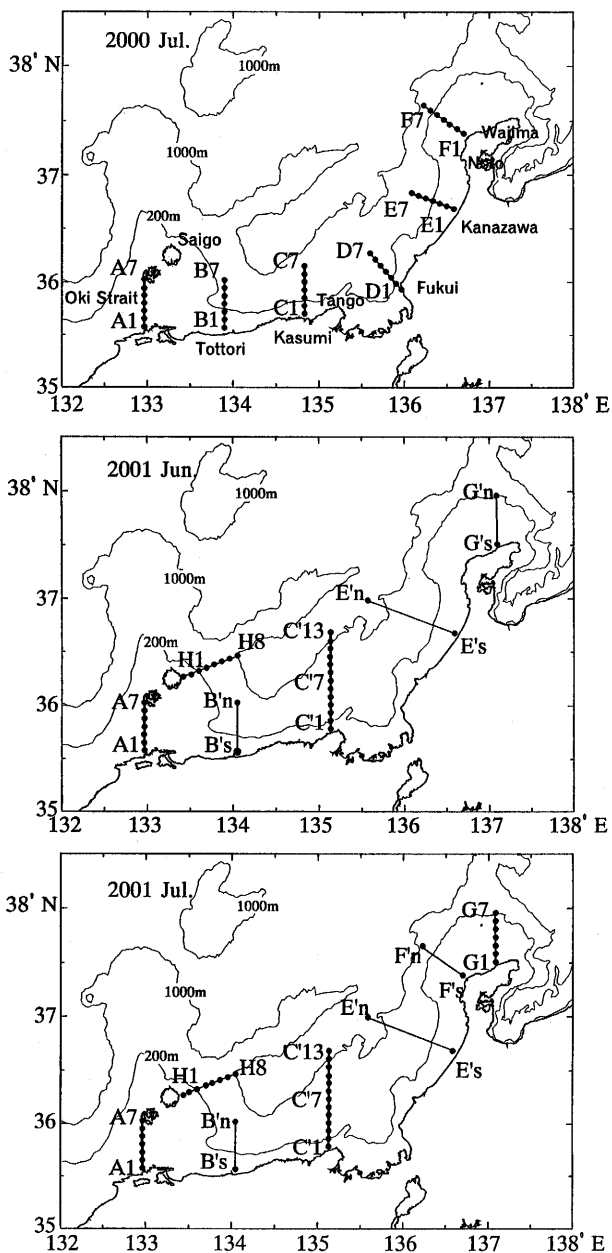


Fig. 1. Transects for CTD and ADCP observations in July 2000, June 2001 and July 2001. Dots on transects indicate the stations of CTD casts.

2. データ

2000年7月17日～22日, 2001年6月2日～11日および2001年7月24日～8月2日の合計3回, 日本海区水産研究所所属漁業調査船みずほ丸 (156 t) で, ADCP

とCTD観測を行なった。観測線は、年により若干の違いはあるものの、隠岐海峡から能登半島にかけて対馬暖流沿岸分枝の流動構造が把握できるよう、陸岸に直交する方向に設定した (Fig. 1)。

ADCP観測は、RD社製ADCP (VM-0150) を使用し、観測層間隔8 m、記録間隔1分で行なった。ADCPデータの観測深度は、第1層が16 m、第2層が24 m、以下8 m間隔である。また、観測船の動揺によるノイズを低減するために、CTD観測とは別に同一観測線を航走してADCP観測を行なった。

隠岐海峡では 20 cm s^{-1} 程度のかかなり大きな値が観測されている (南ら, 1984)。したがって、今回の調査海域における潮流変動については、隠岐海峡の観測線Aにおいては潮流の影響を取り除くため、加藤 (1988) の方法に倣って、観測線を一昼夜内で4往復して得られたADCP測流結果の平均流に基づいて議論した。隠岐海峡よりも東の海域では、一般的には概ね 10 cm s^{-1} 程度 (Hase *et al.*, 1999) であり、それほど大きくはないと考えられる。このため、隠岐海峡以外については、基本的には片道1回の航走で得られた測流データを使用して、流れの分布パターンを論じた。なお、香住沖 (区間 C1-C7, C'1-C'7) については、隠岐海峡を通過する流量との比較を正確に行うために、一昼夜内の4往復ADCP測流から得られたデータを使用した。2000年7月の金沢沖 (区間 E1~E7) の観測については、4往復ADCP観測を開始したものの時化で完遂できなかったため、片道7回の航走で得られたデータを使用した。

CTD観測は、SeaBird社製911 plusを用いて、観測点間隔4.5 NM (約8.3 km)、観測水深最大1,000 mまで行なった。また、観測前後の海況の変化を把握するために、第八管区海上保安本部発行の海洋速報を用いて2000年5月~9月および2001年5月~9月の100 m深および200 m深の水温分布を解析した。

3. 結果

3.1. 観測前後の海況の変化

第八管区海上保安本部発行の海洋速報に基づく2000年および2001年の5月~9月の各月上旬における100 mおよび200 m深の水温分布を Fig. 2, 3 に示す。

100 m 深水温分布では、対馬暖流沖合分枝の流路を概ね 10°C で示される水温フロントの位置から推定することができる (Fig. 2)。沖合分枝は2000年5月には金沢沖で接岸している様子がうかがえるが、6月には隠岐諸島西方を北上した後は沖合に位置し、7月以降も流路は大きく離岸していた。また、7月には沖合分枝よりも沿岸側の海域に冷水渦が出現し、若干位置を変化させながらも9月まで存在していた。2001年も2000年と同様、沖合分枝は離岸していた。沖合分枝よりも沿岸側には、7月~8月にかけて 11°C のコアを持つ冷水渦が香住沖に接岸していた。また、9月には冷水渦が金沢沖に接岸しており、2000年に比べて冷水渦が8月以降接岸傾向にあった。

200 m 水温分布では、暖水渦の変化を調べることができる (Fig. 3)。2000年5月と6月には、香住沖と隠岐島北東海域に暖水渦が存在していたが、7月には二つの暖水渦は結合し、さらに8月にはその範囲を広げ、9月には能登半島西沖で 10°C のコアを持つ大きな一つの暖水渦となっていた。2001年5月~7月には、金沢沖に暖水渦が広く分布していたが、 5°C 等温線を見ると暖水渦は隠岐から鳥取へかけての沿岸からは大きく離れている。しかし、8月になると 5°C 等温線が隠岐と鳥取の沿岸域に接岸し、その傾向は9月まで続いていた。このことから、2001年については、7月上旬から8月上旬の間に隠岐~鳥取沿岸で水塊構造が変化していた可能性がある。

3.2. 各観測時の上層における流れの分布

各観測時における16 m深の流れの水平分布を Fig. 4 に、各観測線における流速の鉛直断面分布を Fig. 5~Fig. 7 に示す。なお、Fig. 4 には、対馬暖流沖合分枝の流軸を推定するための100 m 深水温分布も併せて示しているが、なるべくADCP観測日に近い海況図と対応させるために、2000年および2001年の7月については8月上旬発行の海況図を使用した。

2000年7月：流れの水平分布図 (Fig. 4 上段) から、隠岐海峡から能登半島までは沿岸に東向きの流れが連続している様子が認められるが、海域ごとに強流部の分布状況がかなり異なっていた。隠岐海峡 (観測線A) では本州寄りの海域に強流部の中心 (最大流速約 35 cm

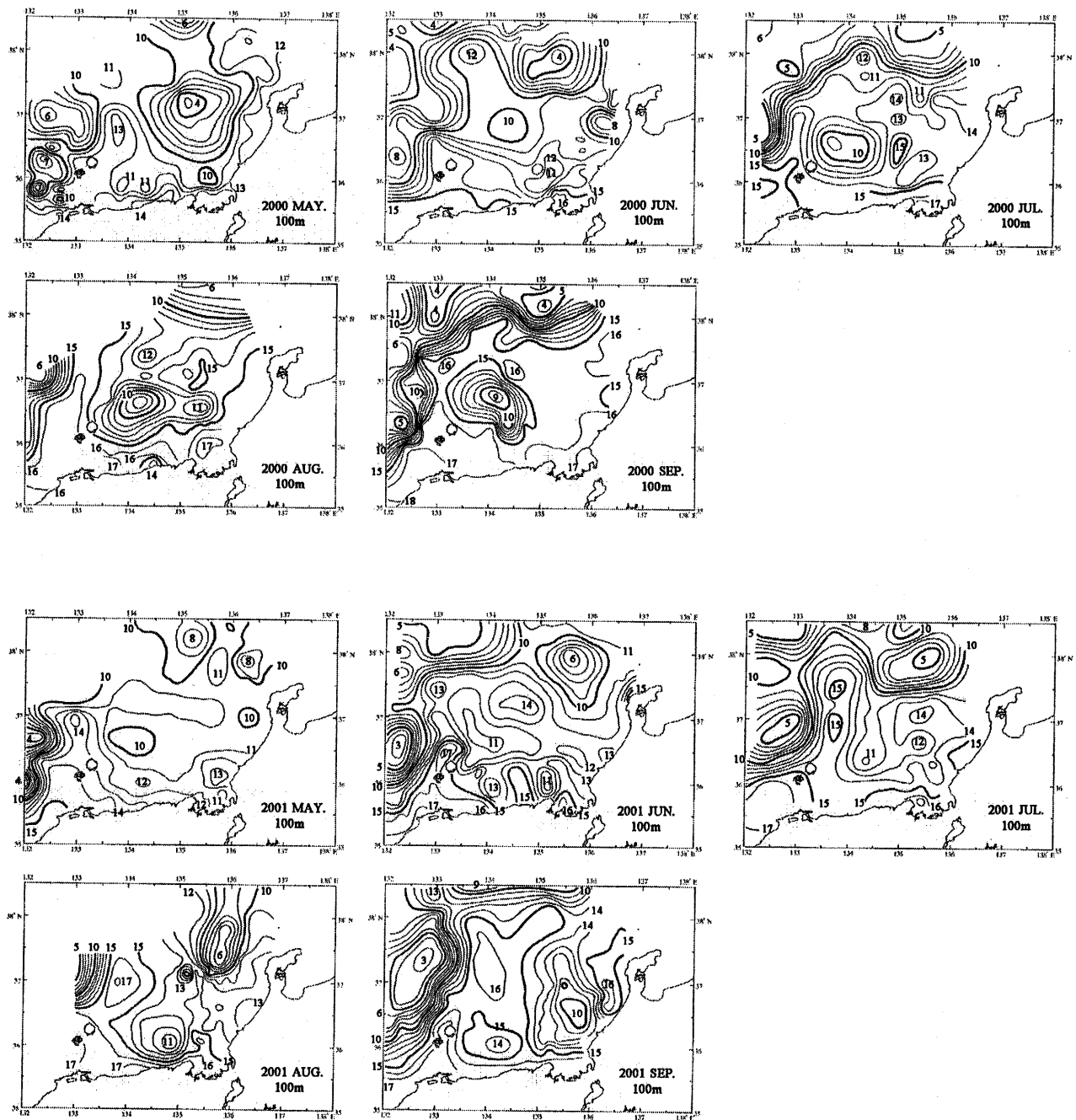


Fig. 2. Temperature distributions May~September in 2001 and 2002, adapted from the 8th Regional Coast Guard Headquarters (2001 and 2002) at 100 m depth.

s^{-1} ; Fig. 4 での流速値, 以下同様) が位置したが, 鳥取沖 (観測線 B) および香住沖 (観測線 C) では二つの強流部が存在し, 沿岸側の強流部の最大流速はそれぞれ約 45 cm s^{-1} と 35 cm s^{-1} であった。鳥取沖 (観測線 B) および香住沖 (観測線 C) における流速の鉛直断面分布

図 (Fig. 5) からも, 二つの強流部は識別でき, 香住沖 (観測線 C) では沖合側の強流部が沿岸側の強流部よりも鉛直的に深い構造を有していた。福井沖 (観測線 D) では強流部 (最大流速約 60 cm s^{-1}) が一つになるとともに, 岸近くでは反流が分布した。金沢沖 (観測線 E)

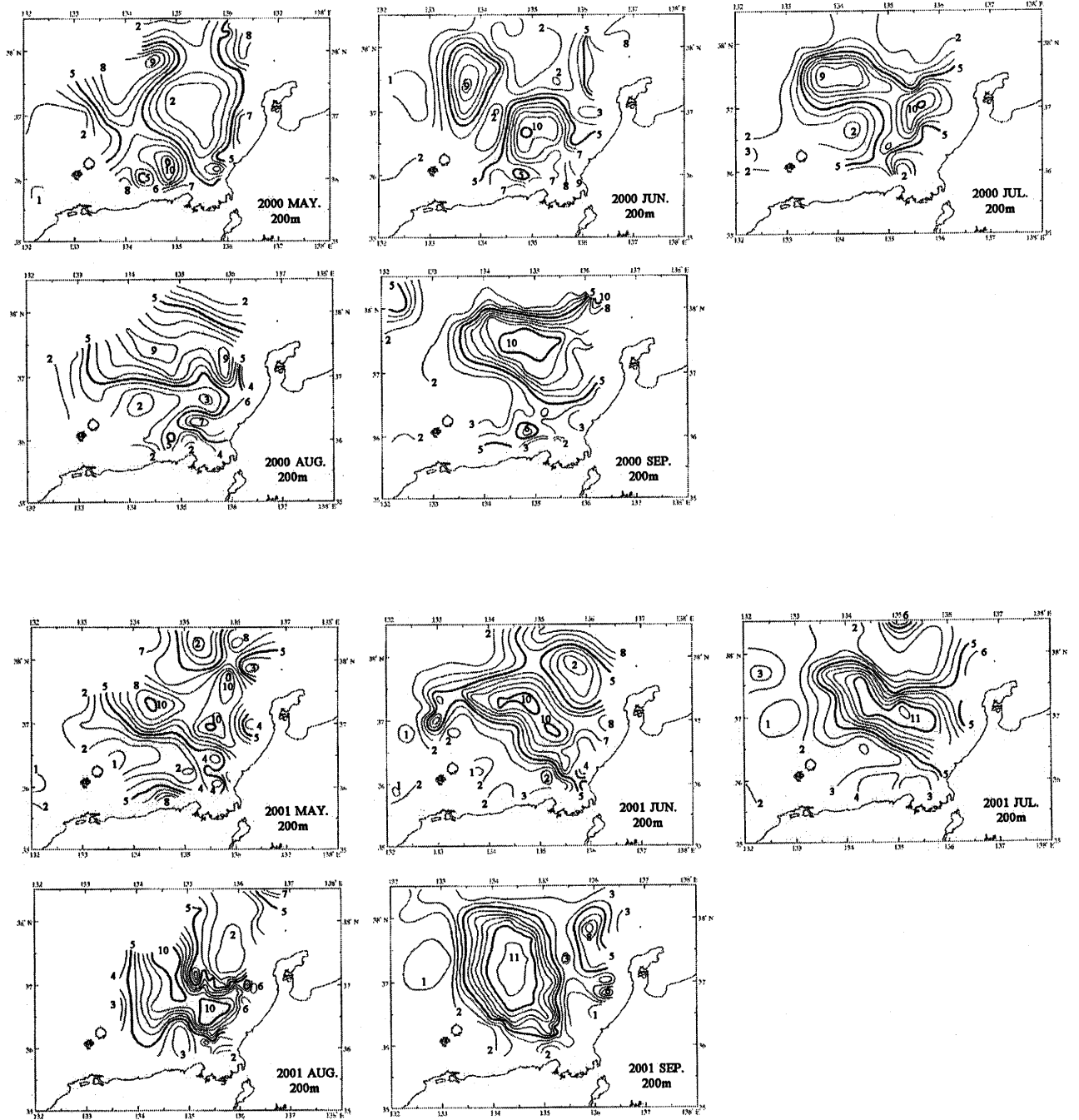


Fig. 3. The same as Fig. 2, except for at 200 m depth.

では沿岸側に東向流は存在したものの、最大流速は約 40 cm s^{-1} 程度であり、福井沖 (観測線 D) と比べて弱く、沖合側では反流が見られた。流速鉛直断面分布図 (Fig. 5) をみると、金沢沖の沖合側の区間 (おおむね E4 より沖合側) では 200 m 深まで反流が分布し、沿岸側に反流が存在していた福井沖 (観測線 D) より西の観測

線とは異なった流れの分布を示していた。輪島沖 (観測線 F) では沿岸側の東向流に加えて、沖合側から別の流れが合流しており、流速は約 65 cm s^{-1} に達していた。100 m 深水温分布から判断すると、鳥取沖 (観測線 B) および香住沖 (観測線 C) の北方に冷水渦が存在したが、沖合分枝の主流部は隠岐諸島から大きく離岸して北上

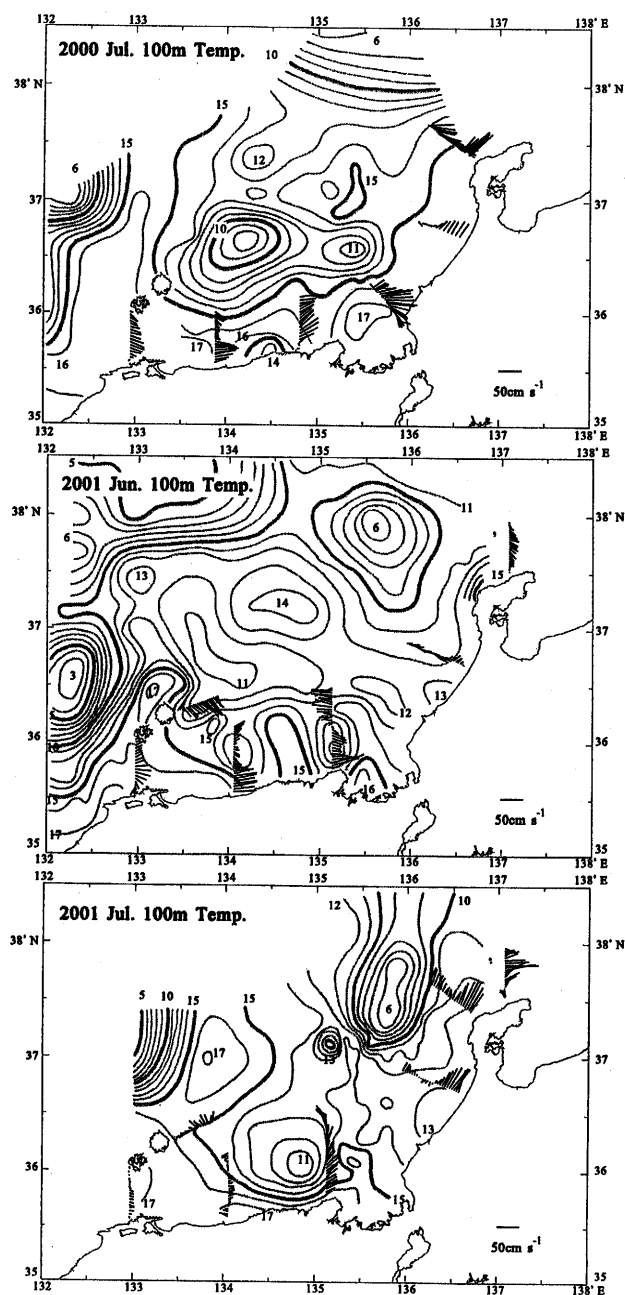


Fig. 4. Current distributions at the 16 m depth derived from ADCP observations, together with temperature ones at the 100 m depth. Temperature distributions are adapted from the 8th Regional Coast Guard Headquarters (2001 and 2002).

した後、輪島沖(観測線 F)の北端付近に南下・接近していた。

2001年6月：隠岐海峡(観測線 A)から香住沖(観測線 C')にかけての流れの分布状況は2000年6月と類似しており、鳥取沖(観測線 B')および香住沖(観測線 C')で二つの東向き強流部が認められ、沿岸側の強流部の最大流速はそれぞれ約 55 cm s^{-1} 、 60 cm s^{-1} であった(Fig. 4 中段)。また、西郷沖(観測線 H)では隠岐諸島東方を南下する流れの存在が確認できた。これに対して、香住沖(観測線 C')の北側の区間では西向流が存在するとともに、金沢沖(観測線 E)および輪島沖(観測線 G)では最大流速が約 25 cm s^{-1} 程度と流れが非常に弱くなっており、香住沖(観測線 C')まで連続していた東向流が、何らかの原因によって若狭湾北方で反転して西方に流れ去ったことが示唆される。なお、対馬暖流沖合分枝の主流部は、2000年7月に比べると隠岐諸島西方で接岸しているものの、そのまま北上して沖合に位置していた。

2001年7月：流れの水平分布は前2回の観測時とは大きく異なり、隠岐海峡(観測線 A)から鳥取沖(観測線 B')にかけて東向流が非常に弱く、その最大流速は約 15 cm s^{-1} 程度にすぎなかった(Fig. 4 下段)。また西郷沖(観測線 H)の沖合には2001年6月とは異なり、北西流が見られた。一方、香住沖以東の観測線より沿岸側の区間では、 50 cm s^{-1} を超える東向流が認められたが、沖合分枝については、隠岐諸島の北方を北上した後、能登半島西方で南下していた。

暖水渦の分布状況と上層の流れの水平分布との対応を調べるため、200 m 深の水温分布と水深 16 m 深の流れの分布をあわせたものを Fig. 8 に示す。2000年7月は、能登半島西方に中心を有する暖水渦の東端部が金沢沖で接岸し、その一部(7°C 等温線にほぼ相当)が福井沖(観測線 D)と金沢沖(観測線 E)の間に入り込むような形になっていた。2001年6月でも、暖水渦の東端部が香住沖(観測線 C')と金沢沖(観測線 E)の間で接岸しており、香住沖(観測線 C')の北側半分で見られる 16 m 深の西向流は、この暖水渦の縁に沿うような形で分布していた。2001年7月についても、暖水渦が香住沖(観測線 C')と金沢沖(観測線 E)の間で接岸していたが、暖水渦の中心部に相当する 10°C 以上のコアが2001年6月より分かれた状態になっていた。

2001年6月と7月における暖水渦の接岸状況の変化

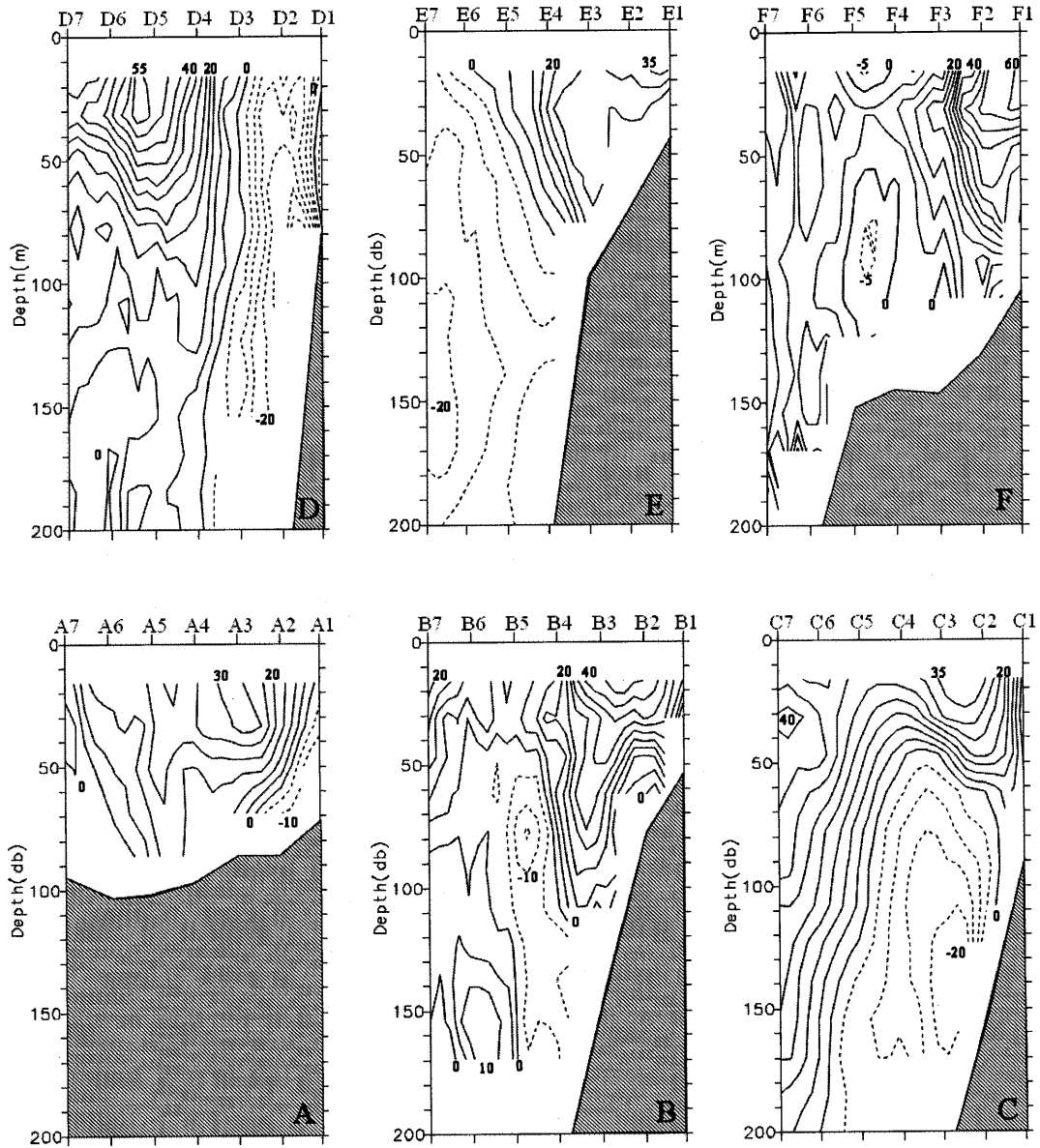


Fig. 5. Vertical sections of velocities (in cm s^{-1}) derived from ADCP, July 2000. Contour interval is 5 cm s^{-1} . Values of plus indicate eastward to northeastward velocities for transects A to G, and southeastward ones for transect H.

を調べるため、香住沖 (観測線 C') および西郷沖 (観測線 H) の水温鉛直分布を Fig. 9 に示す。両月の香住沖 (観測線 C') における水温鉛直断面分布を見ると、暖水渦の南端が 2001 年 6 月には地点 C6 付近であったのに対し、7 月には地点 C9 付近とやや北上していた。西郷沖 (観測線 H) では 2001 年 6 月には水温の等値線が右下がりであったのに対して、7 月には区間 H8~H4 付

近まで右上がりに変化しており、西郷沖 (観測線 H) の沖側に暖水渦が接岸してきていたことが分かる。2001 年 7 月の流速の鉛直断面分布図 (Fig. 7) でも、区間 H4~H6 では 200 m 深まで反流に占められており、6 月から 7 月にかけて隠岐諸島周辺で流れのパターンが変化していた。

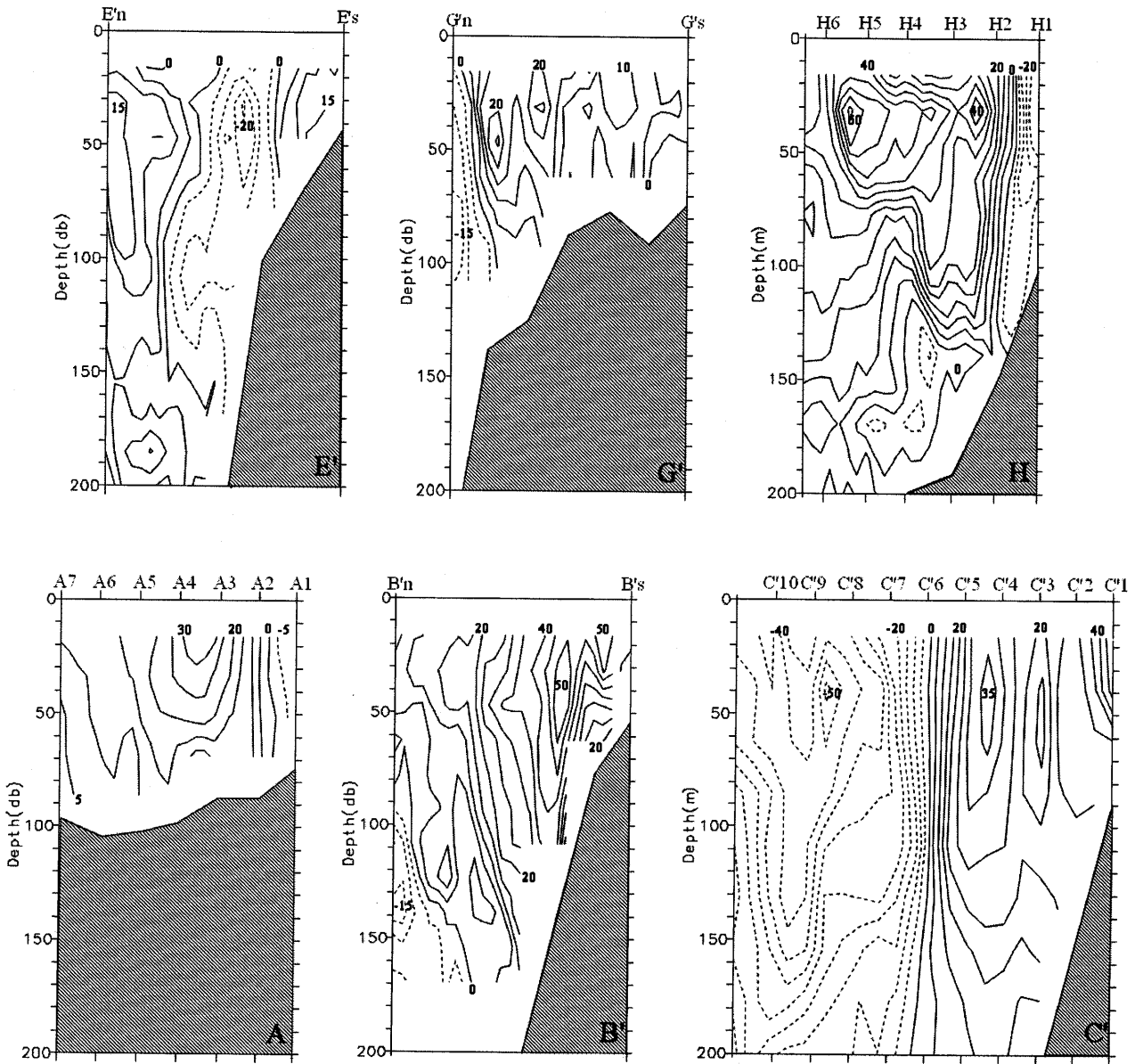


Fig. 6. The same as Fig. 5, except for June 2001

3.3. 観測線 A, C (C'), E における流量

隠岐海峡(観測線 A)を通過した流量を見積もるため、ADCP 観測で得られた 88 m 深までの流速値を積算した結果を Table 1 に示す。観測値が得られない 16 m 以浅については 16 m 深の流速を用いて積算した。また、隠岐海峡を通過した後の流量を比較するため、香住沖(観測線 C, C')と金沢沖(観測線 E)における東向きおよび北東向きの流量を、隠岐海峡の水深と同じ 88 m 深

までについて Fig. 5~Fig. 7 の流速の鉛直断面で東向きの流速が分布する範囲を積算して求めた。

隠岐海峡(観測線 A)を通過する流量は、2000 年 7 月は 0.53 Sv, 2001 年 6 月は 0.54 Sv, 2001 年 7 月は 0.18 Sv であった。2000 年 7 月と 2001 年 6 月では流量に大きな差がなく、この値は福岡(1957)や Katoh *et al.*(1996)のものと同様一致していたが、2001 年 7 月では約 1/3 にまで減少し、1 か月の間に隠岐海峡(観測線 A)を通過する流量が大きく変化していた。香住沖

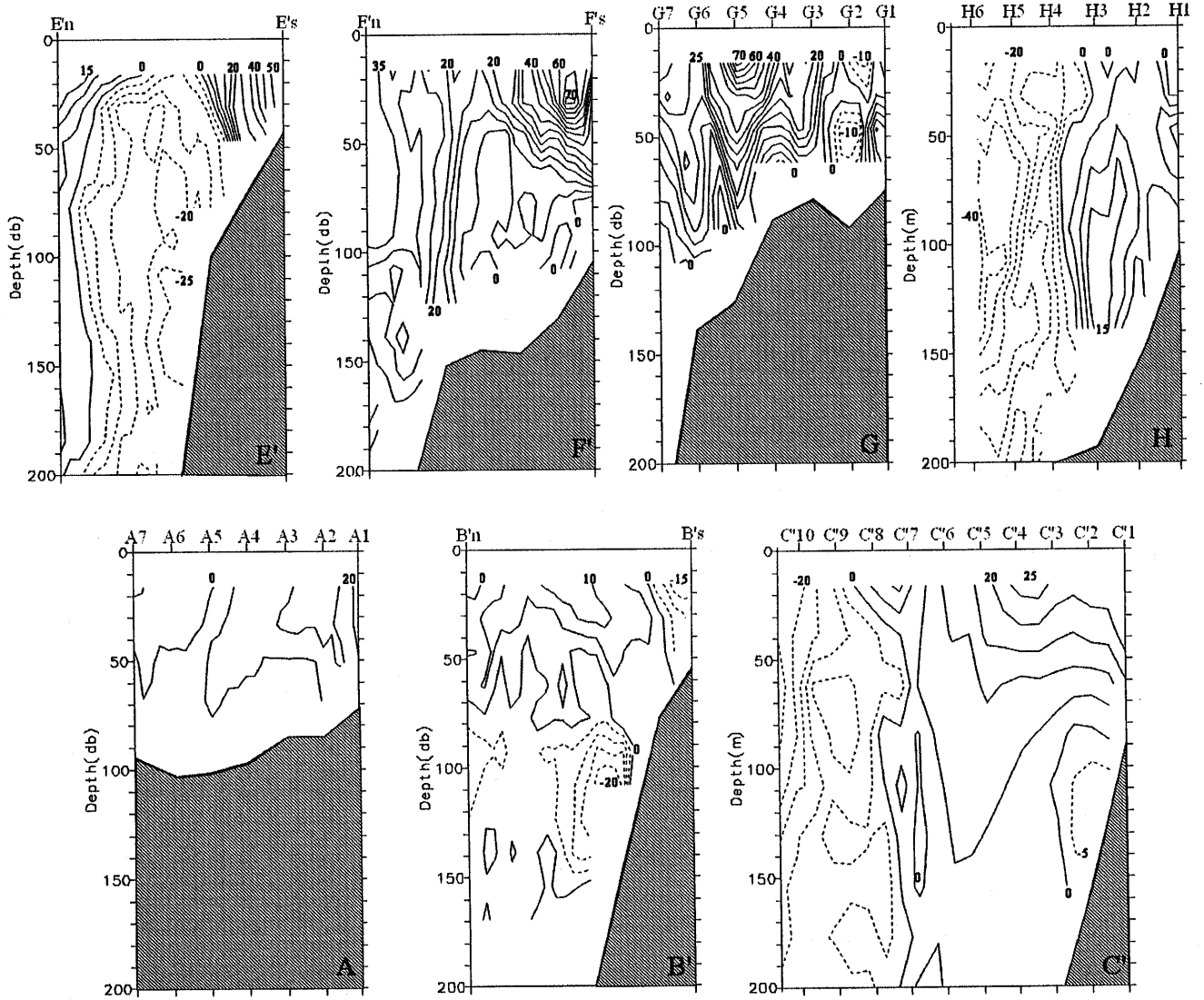


Fig. 7. The same as Fig. 5, except for July 2001

(観測線 C, C') では、その南端から離岸 27 NM (約 50 km, 香住沖観測線全区間) の範囲の流量は、それぞれ 0.83 Sv, 1.25 Sv, 0.58 Sv と隠岐海峡 (観測線 A) を通過した流量よりも多い。流れの水平分布図 (Fig. 4) で、2000 年 7 月と 2001 年 6 月について強流部が沿岸側と沖合側の 2 か所に見られたことから、沿岸側の強流部についてのみ流量を積算すると、2001 年 6 月は 0.62 Sv (C'1~C'3) となり、隠岐海峡通過流量に近い値となるが、2000 年 7 月は 0.32 Sv と隠岐海峡通過流量よりかなり小さな値になり、隠岐海峡 (観測線 A) を通過し

た流れが香住沖 (観測線 C) に達するまでにその一部が離岸していたことを示している。香住沖 (観測線 C') と金沢沖 (観測線 E) の沿岸側強流部の流量を比較すると、2000 年 7 月は香住沖 (観測線 C') と金沢沖 (観測線 E) の流量がほぼ等しいのに対して、2001 年 6 月は金沢沖 (観測線 E) で大幅に減少していた。このことは、2000 年 7 月は、香住沖 (観測線 C') でみられた沿岸側の強流部がそのまま金沢沖 (観測線 E) まで達していたのに対し、2001 年 6 月は金沢沖 (観測線 E) に達していなかったことを示している。実際、2001 年 6 月について、

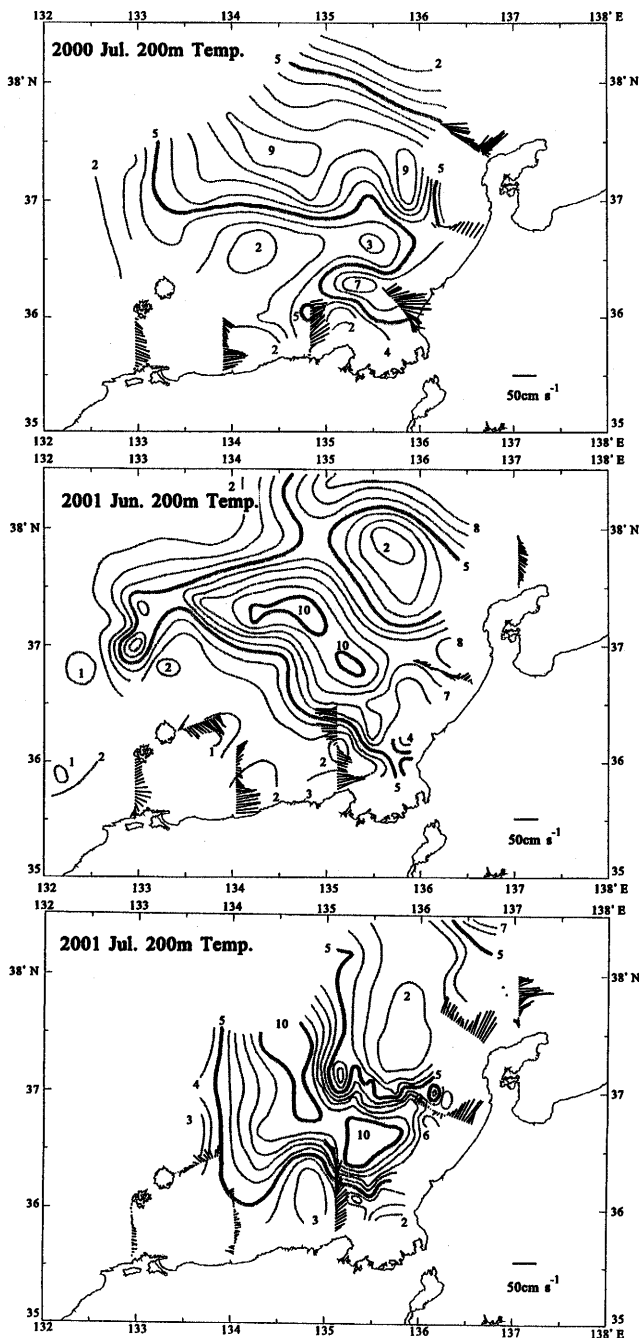


Fig. 8. The same as Fig. 4, except for the temperature distributions at 200 m depth.

Fig. 6 で西流が分布した C'7 以北の区間の流量を計算すると西向き 1.16 Sv となり、区間 C'1~C'7 の東向き流量 (1.25 Sv) にほぼ等しい。このことは、2001 年 6 月には香住沖の二つの強流部が金沢沖まで達せずに、西に反転していたことを裏付けるものである。強流部が

二つに分かれていなかった 2001 年 7 月は、香住沖 (観測線 C') の流量と金沢沖 (観測線 E) の沿岸側強流部の流量はほぼ同じ値を示している。

観測時期による流れの力学的構造の変化を調べるため、隠岐海峡 (観測線 A) および香住沖 (観測線 C, C') の沿岸側強流部の流量について、それぞれの傾圧成分および順圧成分を Table 2 に示す。ここで、「傾圧成分」とは無流面を 88 m に設定して地衡流計算して得られた流量を、「順圧成分」とは ADCP 観測から得られた流量から上記傾圧成分を差し引いた残りの流量を、それぞれ指している。

隠岐海峡 (観測線 A) の流量についてみると、2000 年 7 月および 2001 年 6 月では傾圧成分と順圧成分がほぼ同程度 (0.24 Sv~0.30 Sv) であったのに対して、2001 年 7 月は他の 2 観測時に比べて傾圧成分と順圧成分とは共に小さく、とりわけ順圧成分の値が 0.04 Sv と非常に小さかった。香住沖 (観測線 C, C') の流量については、2001 年 6 月は同時期の隠岐海峡の流量とほぼ同じく順圧成分と傾圧成分とは共に 0.24 Sv 以上であった。さらに、香住沖 (観測線 C, C') の流量は、2000 年 7 月では隠岐海峡の値と比べて傾圧成分はほぼ同じ (隠岐海峡: 0.29 Sv, 香住沖: 0.24 Sv) であったのに対して、順圧成分は非常に小さかった (隠岐海峡: 0.24 Sv, 香住沖: 0.06 Sv)。また、2001 年 7 月については傾圧成分が 0.41 Sv と大幅に増加していたなど、観測時期によって順圧成分と傾圧成分の変動状況が異なっていた。

3.4. 強流部における TS 分布からみた上層の流れの連続性

強流部付近の観測点について水塊構造の違いを明らかにするために、観測ごとの代表的な点の TS ダイアグラムを Fig. 10, 11 に示す。

2000 年 7 月における隠岐海峡 (A3), 鳥取沖 (B3, B7) および香住沖 (C2, C7) の強流部について比較した。その結果、隠岐海峡 (A3), 鳥取沖沿岸側 (B3) と香住沖沿岸側 (C2) の強流部の TS 分布がほとんど同じプロファイルを示していたのに対し、鳥取沖沖合側 (B7) が 16 °C 以上の水温帯でより低塩分のプロファイルを示していた (Fig. 10 左上)。また、香住沖沖合側 (C7) の TS 分布は、鳥取沖沖合側 (B7) と香住沖沿岸側 (C2) の中間

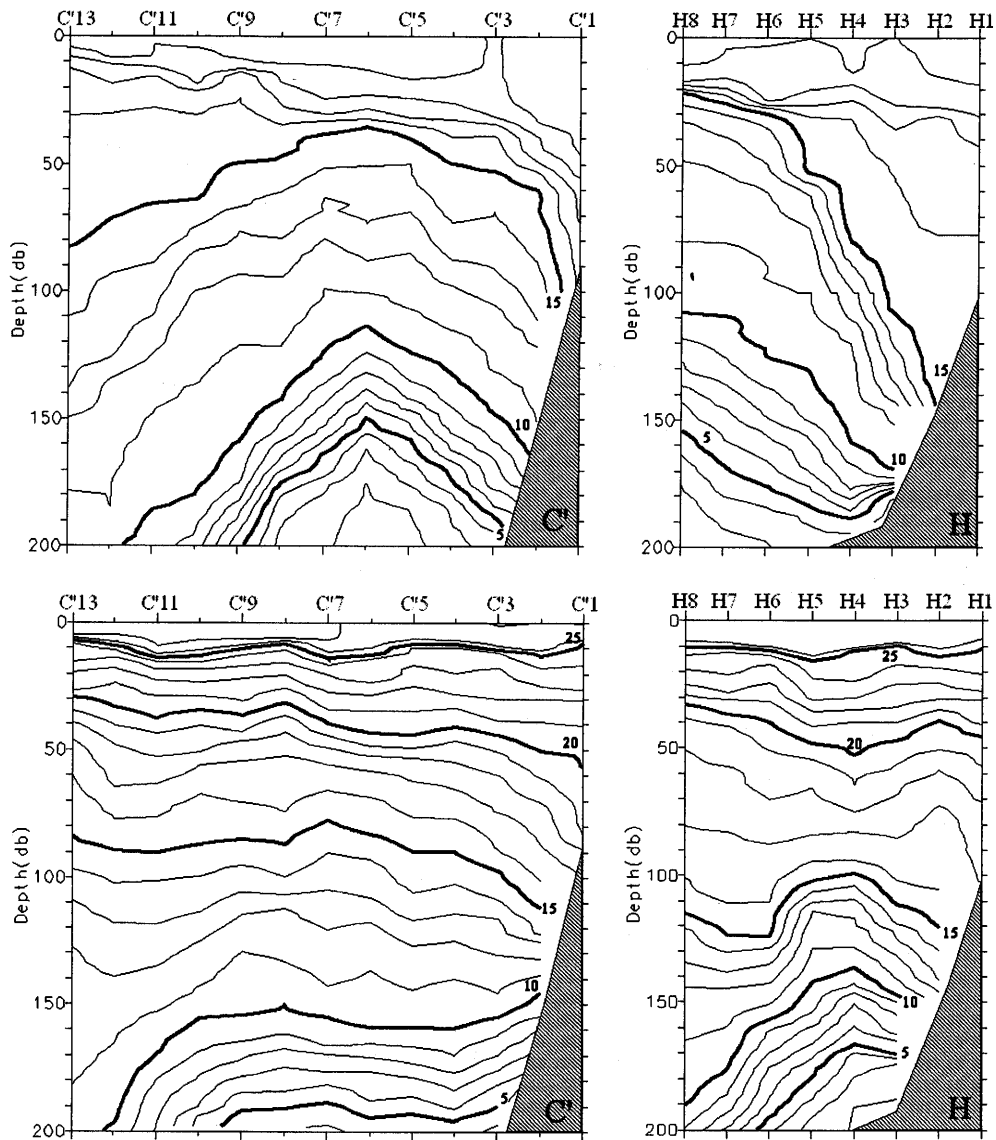


Fig. 9. Vertical sections of temperature along transects C' and H, in June 2001 (upper) and in July 2001 (lower). Contour interval is 1 °C.

的な性質を示していた。

この結果と 3.3 で指摘した香住沖の沿岸側の強流部 (区間 C1~C4) の東向きの流量が隠岐海峡 (観測線 A) を通過する流量より少なくなっていたことを併せて考察すると、隠岐海峡 (観測線 A) を通過した流れの一部は鳥取沖 (観測線 B) および香住沖 (観測線 C) で沖合側に観測された隠岐諸島東方を南下する流れと合流していたと考えることができる。この隠岐諸島東方を南下する流れは、TS 分布からみて、隠岐海峡 (観測線 A)

を通過する流れ、すなわち対馬暖流沿岸分枝の一部ではなかった。

福井沖 (観測線 D)、金沢沖 (観測線 E) では、鳥取沖 (観測線 B) や香住沖 (観測線 C) で見られたように沿岸側と沖合側の二つの強流部は存在しなかったが、金沢沖強流部 (E3) の TS 分布は香住沖沿岸側 (C2) と一致したのに対して、福井沖強流部 (D6) の TS 分布は香住沖沖合側 (C7) と一致し、福井沖 (D) と金沢沖 (E) で TS 分布のプロファイルが異なっていた (Fig. 10 右上)。

Table 1. Volume transports (in Sv; $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) through the Oki Strait, and sections along transect C and C' off Kasumi and along transect E off Kanazawa.

		2000 July	2001 June	2001 July
Oki Strait		0.53	0.54	0.18
Off Kasumi	Volume transport	0.83	1.25	0.58
	through whole section	(C1-C7)	(C'1-C'7)	(C'1-C'7)
Off Kanazawa	Volume transport	0.30	0.62	0.58
	of coastal eastward current	(C1-C4)	(C'1-C'3)	(C'1-C'7)
Off Kasumi	Volume transport	0.32	0.19	0.61
	through whole section	(E1-E7)	(E1-E7)	(E1-E7)
Off Kanazawa	Volume transport	0.32	0.17	0.59
	of coastal eastward current	(E1-E6)	(E1-E3)	(E1-E4)

Table 2. Baroclinic and barotropic components of volume transports (in Sv; $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) through the Oki Strait, and coastal sections along transect C and C' off Kasumi. The reference depth is set near the bottom in case water depth < 88 m or at 88m depth in case water depth > 88 m (the maximum water depth of the Oki Strait).

		2000 July	2001 June	2001 July
Oki Strait	Total	0.53	0.54	0.18
	Baroclinic component	0.29	0.24	0.14
	Barotropic component	0.24	0.30	0.04
Off Kasumi	Total	0.30	0.62	0.58
	Baroclinic component	0.24	0.25	0.41
	Barotropic component	0.06	0.37	0.17
	(Sections for calculations)	(C1-C4)	(C'1-C'3)	(C'1-C'7)

TS分布の違いから、香住沖沖合側 (C7) で観測された流れは福井沖 (観測線 D) に達しているものの、金沢沖 (観測線 E) には達していなかったことが分かる。3.2 で述べたように、若狭湾沖の暖水渦が福井沖 (観測線 D) と金沢沖 (観測線 E) の間を 7°C の等温線で遮っており、香住沖沖合側 (C7) から福井沖強流部 (D6) まで達した流れは、この暖水渦縁辺部に沿って沖合に向きを変えたもの推察される。この暖水渦縁辺部は能登半島北西で輪島沖観測線 (F) に接しており、ADCP 観測結果でも輪島沖沖合側 (F7) で 7°C の等値線に沿うように接岸する流れと沿岸側 (F2) の二つの強流部が観測され

ている。輪島沖 (観測線 F) では、沖合側 (F7) の TS 分布が沿岸側 (F2) よりも低塩分で福井沖 (D6) の TS 分布に近かったことから、輪島沖沖合側 (F7) の流れは福井沖 (D6) で観測された流れが暖水渦縁辺部に沿って沖合に向きを変えた後、輪島沖 (観測線 F) 付近で再び接岸したものと推察される (Fig. 10 左下)。金沢沖強流部 (E3) の TS 分布は、香住沖沖合側 (C7) および福井沖強流部 (D6) の TS 分布と異なっていたが、香住沖沿岸側 (C2) の TS 分布と一致した。また、香住沖沿岸側 (C2) の TS 分布と福井沖沿岸側 (D3) の TS 分布を比較すると、両者はほぼ一致する (Fig. 10 右下)。このことから、

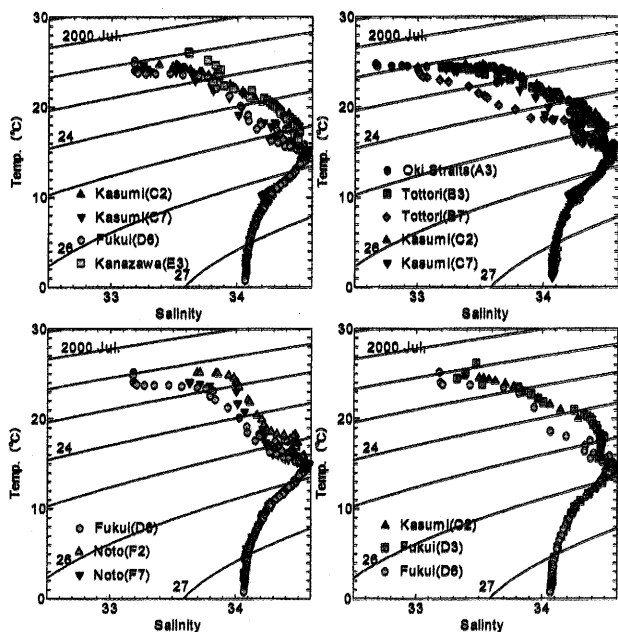


Fig. 10. TS diagrams at stations where eastward currents were clearly found, a) July 2000 and b) June and July 2001.

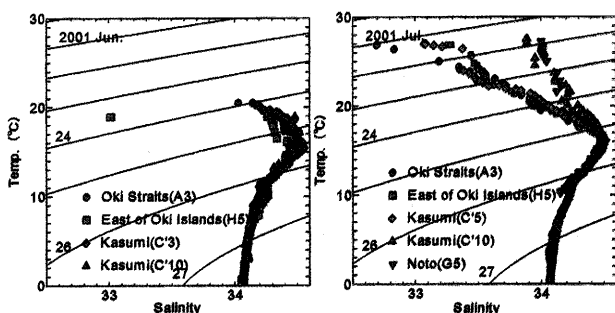


Fig. 11. TS diagrams at stations where eastward currents were clearly found, a) July 2000 and b) June and July 2001.

香住沖で沿岸側と沖合側に見られた二つの強流部は福井沖では接近して一つの流れとなっていたが、その流れはTS分布から沿岸側(D3付近)と沖合側(D6付近)の水塊に分けることができ、福井沖沖合側(D6)の流れは暖水渦縁辺部に沿って沖合に向きを変えた後、輪島沖沖合(F7)で再び接岸したのに対し、沿岸側の流れはそのまま金沢沖(E3)を通して輪島沖沿岸(F2)に達したと推察される。

2001年6月については、水温16℃以下の水温帯ではTS分布に大きな違いはないものの、水温16℃以上では塩分にばらつきが認められ、西郷沖(H5)のTS分布は他の3地点よりも低塩分を示していた(Fig. 11左)。Fig. 2, 3では、隠岐海峡(観測線A)を東向きに通過する流れと隠岐島東側を南下する流れが認められるが、それぞれのTS分布が異なっていることから、隠岐島東側を南下する流れは対馬暖流沿岸分枝ではなかったと推察される。

2001年7月では、隠岐海峡から香住沖沿岸(A3, H5, C'5)と香住沖沖合・輪島沖(C'10・G5)との間でTS分布が異なっており、香住沖沖合・輪島沖(C'10・G5)で高塩分となっていた(Fig. 11右)。隠岐海峡(A3)、西郷沖(H5)、香住沖沿岸側(C'5)のTS分布は一致し、流れは弱いものの隠岐海峡周辺に分布する水塊は香住沖沿岸(C'5)に達していたことを示している。これに対して、香住沖沖合(C'10)と輪島沖(G5)は、水温16℃以上で隠岐海峡から香住沖沿岸(A3, H5, C'5)よりも高塩分なTS分布を示しており、隠岐海峡を通過した対馬暖流沿岸分枝とは別の水塊が沖合から接岸してきたことを意味する。

3.5. 観測時における上層の流れの分布パターン

これまでの議論に基づいて明らかになった、各観測時における上層の流れの分布パターンをFig. 12に示す。

2000年7月については、鳥取沖(観測線B)および香住沖(観測線C)でみられる二つの強流部のうち、沿岸側の強流部(B3およびC2)は隠岐海峡(観測線A)を通過した流れに連続したもの、すなわち対馬暖流沿岸分枝に相当し、輪島沖沿岸(F2)まで連続していた。一方、沖合側の強流部(B7およびC7)は、金沢沖に接岸する暖水渦の縁に沿って福井沖(観測線D)で反転した後、輪島沖沖合(F2)で再び接岸した。2001年6月についても、鳥取沖(観測線B')・香住沖(観測線C')で二つの強流部が認められたが、両者とも暖水渦に行く手を遮られて反転・西向した。これら2例で認められた鳥取沖および香住沖の沖合側の強流部は、2001年6月の観測で捉えられたように西郷沖(観測線H)を南下する流れによるものと推察される。ただし、前述したように、この流れは沿岸分枝の一部ではなく、100 m深

水温分布から判断すると、鳥取・香住沖に存在する冷水域の循環流の影響が大きい。

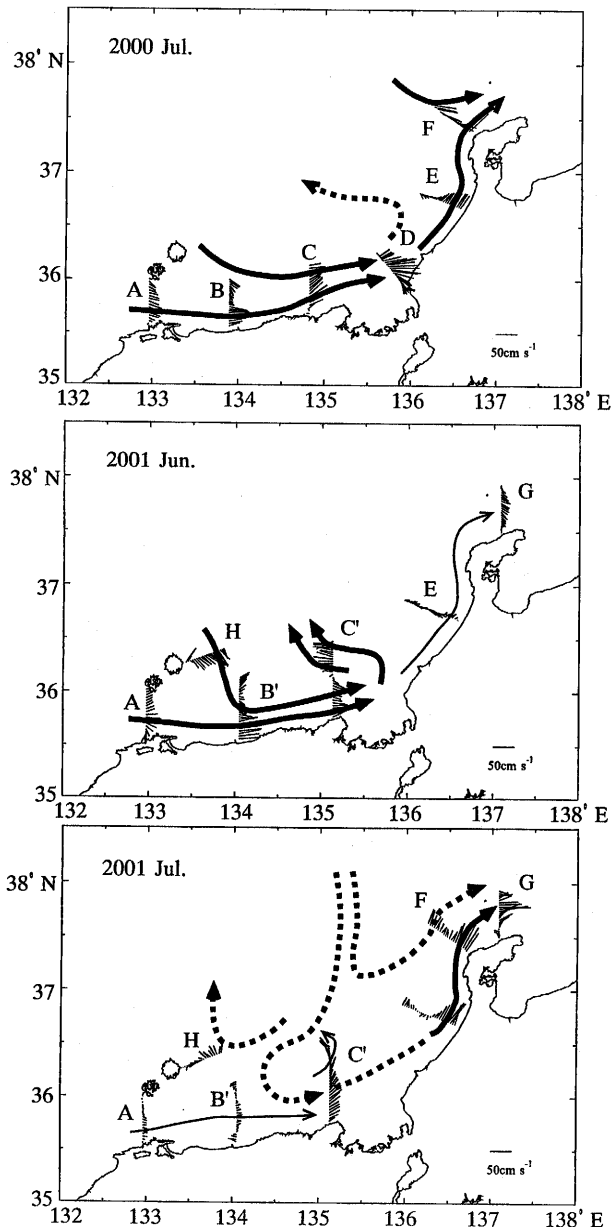


Fig. 12. Schematic current patterns in the upper layer in July 2000 (upper), June (middle) and July 2001 (lower). Broken lines indicate the path of currents speculated on the basis of temperature distributions.

2001年7月については、隠岐海峡(観測線A)、西郷

沖(観測線H)、鳥取沖(観測線B')では流れが非常に弱い、香住沖(観測線C')以東では東向きの流れがはっきりと観測されていた。ADCP観測結果から見積もられる香住沖沿岸側強流部(区間C'1~C'7)の流量は0.58 Svと隠岐海峡(観測線A)での流量0.18 Svよりも増加しているものの、西郷沖(観測線H)では北西に向かう反流が多くを占めていることや、鳥取沖(観測線B')でも西向き反流が存在して全体的に流れが弱いことから、2000年7月や2001年6月のように隠岐諸島東岸を南下してきた流れが合流して香住沖での流量が増加したとは推察されない。むしろ、TS分析結果に基づいて考察すると、沖合から接岸した流れの影響を強く受けた可能性が高い。改めて海況図(Fig. 4)で100 m深水温と流れの関係を検討すると、香住沖(観測線C')の流れはその観測線の西側に位置する冷水域の等温線に沿うように流れていたと推察される。この冷水域に連なる等温線は鳥取沖(観測線B')の東側で接岸していることから考察すると、香住沖(観測線C')の流れのかなりの部分は、この等温線に沿って沖合から接岸してきたと想定することができる(Fig. 12下段)。また、2001年7月では香住沖(観測線C')から金沢沖(観測線E)にかけて暖水渦の接岸はそれほど顕著ではないこと、また金沢沖強流部(区間E1~E4)の流量が0.59 Svと香住沖強流部(区間C'1~C'7)の流量とほぼ等しいこと、さらに輪島沖(F', G)の流れの分布状況から判断して、香住沖(観測線C')から輪島沖(観測線G)までの流れは連続したものと推察される。

4. 考察

対馬暖流沿岸分枝は、隠岐海峡通過後、丹後半島までほぼ沿岸を東進することがこれまでの観測から示されている(吉ら, 1995; Matsuyama, 1990; Katoh *et al.*, 1996; Hase *et al.*, 1999)。また、丹後半島以東における沿岸分枝に関しては知見そのものが少なく、その流路変動については十分解明されていないものの、一般的には丹後半島から能登半島西岸にかけても、海岸近くに沿岸分枝の主軸が位置すると考えられている(Hase *et al.*, 1999)。実際、石井ら(1996)の漂流ブイによる観測では、6月から7月にかけて隠岐海峡から北陸沿

岸の海岸沿いをブイが東進する様子が捉えられており、このブイの軌跡は沿岸分枝の典型的な流路を示したものと考えられている。

しかし、今回の観測結果から、金沢沖における暖水渦の接岸によって、沿岸分枝の主軸が若狭湾沖で離岸反転して金沢沿岸にはほとんど達しない事例が観測された。このことから、従来安定していると言われていた沿岸分枝が、暖水渦によってその流路を大きく変化させる場合があることが明らかとなったのである。隠岐から能登へかけての海域は、日本海でも暖水渦が高頻度で出現する海域の1つであり (Isoda, 1994), 今回の観測によって金沢沖で見られたような暖水渦の接岸は珍しいことではない。したがって、隠岐から能登へかけての海域での沿岸分枝の流路は、対馬海峡から隠岐へかけての海域でのように安定したものではなく、変動しやすいものと考えられる。

さらに、2001年7月の観測結果から、香住沖以東で沿岸分枝のようにみえる流れであっても、TS分析結果から隠岐海峡から連続したものではない場合があることが観測された。このことは、漂流ブイの観測では連続して見える流れでも、水塊特性が途中で大きく変化している場合があることを示すものである。香住沖以東でみられたこの流れは、香住沖に位置する冷水渦に沿うような形で沖合から南下・接岸したものと考えられるが、Fig. 2の2001年の7月と8月における100 m深水温分布の変化から判断すると、隠岐西方を北上した沖合分枝の一部が、隠岐東方で再び南下して香住沖で接岸したものに起源を有するようと思われる。Katoh *et al.* (1996) は、丹後沖の冷水域の接岸に伴い沖合分枝の一部が沿岸域に流入し、沿岸分枝と合流する場合があることを指摘しているが、2001年7月の流況は、この流れのパターンの1つの例 (沿岸分枝が非常に弱い場合) とも見なすこともできる。香住沖の流れの傾圧成分が、それよりも西側の海域での値に比べてかなり大きい (Table 2) という結果も、この推察と矛盾しない。

2001年7月には、隠岐海峡を通過する沿岸分枝の流量が非常に小さかったが、その原因としては、1) 風等気象変動によるもの、2) 対馬東水道など隠岐海峡よりも西側の海域の変動によるもの、3) 隠岐周辺海域における海洋構造の変化によるもの、などが考えられる。

2001年5～9月の水塊分布をみると (Fig. 3), 7月上旬から8月上旬の間に暖水渦が隠岐諸島に接岸して、その状況が9月まで続いており、同期間を境に隠岐諸島周辺の海洋構造が大きく変化していたことが分かる。実際、2001年7月における隠岐海峡の流れの傾圧成分は他の観測に比べてかなり小さくなっており (Table 2), 隠岐海峡でも何らかの海洋構造の変化が生じていたものと考えられる。ただし、同時期には順圧成分も大きく低下しているが、このことが暖水渦の接岸による海洋構造の変化に起因したものなのか、それとも上記1) および3) によるものかについては、現時点では不明である。今後、この原因について明らかにし、隠岐海峡以東の対馬暖流沿岸分枝の変動機構を明らかにしていきたい。

謝 辞

本研究に対し、有益な助言を下された東京海洋大学海洋科学部松山 優治教授、吉田 次郎教授、北出 裕二郎助教授に心よりお礼申し上げます。また、ADCP観測等で多大なご協力を頂いた日本海区水産研究所みずほ丸の中尾 律雄船長をはじめ乗組員の皆様に感謝します。本研究は農林水産技術会議フロンティア研究「海洋生物資源の変動要因の解明と高精度変動予測技術の開発」による研究の一部であることを付記します。

References

- 第八管区海上保安本部 (2000): 八管海洋速報, **4, 5, 6, 7, 8, 9**.
- 第八管区海上保安本部 (2001): 八管海洋速報, **8, 10, 12, 14, 16**.
- Fukuoka, J (1957): On the Tsushima Current. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **13**, 57–60.
- Hase, H., J. Yoon, and W. Koterayama (1999): The current structure of the Tsushima warm current along the Japanese coast. *J. Oceanogr.*, **55**, 217–235.
- 石井 春雄, 道田 豊 (1996): 漂流ブイによる対馬暖流第一分枝のトラッキング. 水路部研究報告, **32**, 37–47.
- Isoda, Y. (1994): Warm eddy movements in the eastern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **50**, 1–15.

- 加藤 修 (1988): 超音波式潮流計による残差流の測定. 西海区水産研究所研究報告, **66**, 59-67.
- Katoh, O. (1994): Structure of the Tsushima Current in the southwestern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **50**, 317-338.
- Katoh, O., K. Morinaga, K. Miyaji, and K. Tesima (1996): Branching and joining of the Tsushima Current around the Oki Islands. *J. Oceanogr.*, **52**, 747-761.
- Lee, D.-K., J.-C.Lee, S.-R.Lee, and H.-J.Lie (1997): A circulation study of the East Sea using satellite-tracked drifters, 1: Tsushima Current. *J. Korean Fish. Soc.*, **30**, 1,021-1,032.
- 松山 優治, 栗田 嘉宥, 吉田 次郎, 井上 清, 春日 功, 武田 誠一 (1988): 隠岐東方海域で観測された暖水渦. 東京水産大学研究報告, **75**, 247-255.
- Matsuyama, M. (1990): The structure of the nearshore branch of the Tsushima Current on the shelf off the San'in Coast in summer. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 156-166.
- 南 秀人, 橋本 祐一, 小西 靖, 周東 健三 (1984): 隠岐海峡の流況について. 海と空, **59**, 115-125.
- 吉 宣好, 佐藤 敏, 万代 康史, 後藤 礼介 (1995): 山陰沿岸の流れ. 水路部技法, **13**, 74-82.

Influence of a Warm Eddy upon Current Structures in the Coastal Waters off Regions Between Oki and Noto

Haruya Yamada[†], Osamu Katoh[†], and Tatsuro Watanabe[†]

Abstract

The ADCP and CTD observations were made in July 2000, June and July 2001, in order to examine current structures in coastal waters off regions between Oki and Noto during the summer. An eastward current which had passed through the Oki Strait and flowed toward coastal waters off Tango, that is, the coastal branch of the Tsushima Current, was observed in July 2000 and June 2001. Furthermore, another eastward current was found on the north side of the coastal branch off Tango; this current was connected with a southward one east of the Oki Islands. Off Kanazawa, however, the northern one of the two eastward currents did not exist in July 2000, and both were hardly found in June 2001. The reason is probably that a part or most of the eastward currents off Tango had turned anticlockwise and flowed westward along the margin of a warm eddy located off Kanazawa. In July 2001, an eastward current was clearly found along the coast from Tango to Noto, though it was very weak in the region from the Oki Strait to Tango. This eastward current seemed to originate from a current which had flowed southward in offshore waters and approached the coast of Tango. It was not from the coastal branch of the Tsushima Current. Weakness of coastal branch in July 2001 was probably due to the approach of a warm eddy to the Oki Islands. These observational results indicates that a warm eddy must influence the current structures in coastal waters off regions between Oki and Noto and that the path of the coastal branch, which is considered as stable, can be changed significantly by a warm eddy.

Key words: Tsushima current, warm eddy, ADCP

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

(Received 1 March 2005; accepted 21 December 2005)

(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2006)

[†] Japan Sea National Fisheries Research Institute, 1-5939-22 Suido-cho, Niigata, Niigata 951-8121, Japan