

## 夏季鹿島灘沿岸域におけるメソスケールの外洋影響に関する現地観測

八木 宏<sup>\*1</sup>・身崎 成紀<sup>\*1</sup>・灘岡 和夫<sup>\*2</sup>・中山 哲巖<sup>\*3</sup>・二平 章

Effects of Meso-scale Kuroshio Fluctuations on the Kashima Coast Current System

Hiroshi YAGI, Shigeki MISAKI, Kazuo NADAOKA,  
Tetsugen NAKAYAMA and Akira NIHIRA

## Abstract

In order to understand the effects of meso-scale Kuroshio fluctuations on the coastal current system, field experiments to measure the velocity and water quality were performed. The results show that the sudden approach of the Kuroshio current to the Kashima coast induces a strong southward current along the coastal region and the Kuroshio-Oyashio mixed water intrudes into the coastal area from the northern offshore area with the sharp temperature and salinity front. The frontal eddies of the Kuroshio current have other remarkable influence to the coast. Warm water from the frontal eddies intrudes with a thickness of 20m into a surface layer of coastal waters of this shelf sea.

**Key words** : open coast, coastal current, Kuroshio fluctuation, intrusion, frontal eddies

## 1. 目的

最近の足立ら (1995) の研究によれば、これまで内湾域や岩礁域・藻場と比べ貧栄養と考えられてきた開放性砂浜域が、実際には高い基礎生産力を有しており、それが海岸生態系を支える上で重要な役割を果たしていることが徐々に明らかにされつつある。したがって、今後、このような開放性砂浜域の機能を守り、海岸環境保全を行って行くためには、高い生産力を維持する自然海浜のメカニズムの実態解明が求められている。

このうち海岸域の生態環境を支える物質輸送・物質収支については、河川や地下水の評価と同時に、沿岸水の外洋流出過程や外洋底層からの栄養塩供給など外海からの影響を正確に把握しておくことが重要である。しかしながら、黒潮流路変動などを含む外洋影響については、現象の間欠性が強く、また、時間スケール、空間スケールともに大きいため、一般に調査・観測が困難であり詳細な検討は数少ない。

著者らは、このような点をふまえて、海岸域と外洋域とを結ぶ重要な海域でありながら、その実態把握が進んでいない中間領域を“Coastal Buffer Zone (CBZ)”と位置付け、近年現地観測を主体とした研究を進めている (例えば、八木ら、1997、1998、1999、2000、灘岡ら、1999)。

今回の研究では、海流などの外洋変動が沿岸域に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、黒潮流路変動に伴う沿岸域の流れの応答と、それに伴う水温・塩分を中心とした水環境特性の変化、そして沿岸水の外海域への流出過程を現地観測結果に基づいて明らかにすることを試みた。

## 2. 鹿島灘海域の流況特性に関する既往の研究のレビュー

はじめに、本研究で対象とした鹿島灘海域の流況特性について、既往の研究によって明らかにされている事実を整理しておく。まず本海域の平均的な流況については、久保 (1985) によって1971年から1978年までの8年間にわたるGEK測流結果からその平均的な流向及び流速レベルの特徴がまとめられている (図1)。これによると、鹿島灘沿岸域では1年間を通じて犬吠埼沖合を東～北東方向へ流去する黒潮の影響を強く受け、沖側南部海域を中心に北東～東方向の流れを示し、また沿岸域では黒潮に引き込まれる形の南向き流れ (以後、南下流と呼ぶ) が卓越することが示されている。久保は、この沿岸域に発達する南下流について、水温・塩分の空間分布との対応関係を調べ、地衡流では説明できないものであることを示している。

さらに、非定常性の強い海況変動として、本海域には黒潮分派流や暖水舌と呼ばれる現象が存在することが知られており、久保は長年の海洋観測結果等から、非定常

\* 1 東京工業大学大学院理工学研究科

\* 2 東京工業大学大学院情報理工学研究科

\* 3 水産庁水産工学研究所水産土木工学部

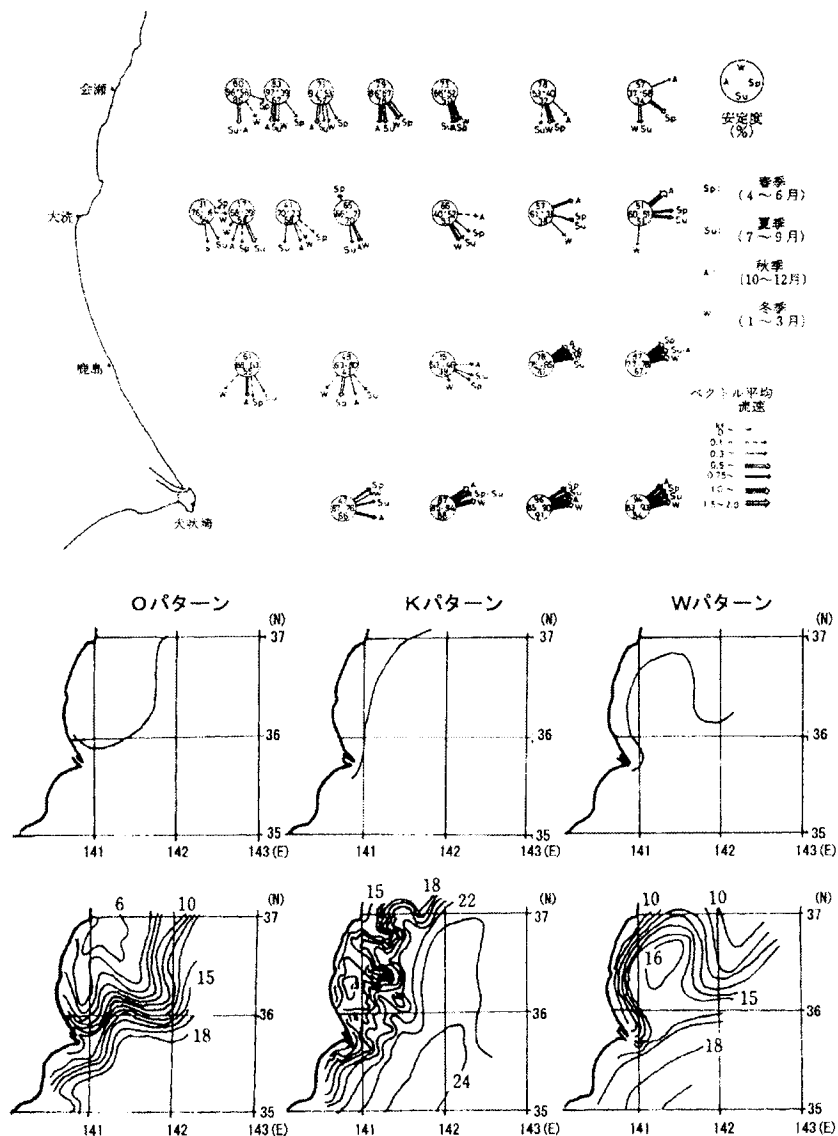


図1 既往の研究による鹿島灘の流況特性 (久保、1985)

性の強い鹿島灘海域の流況・海洋構造を3パターン(O, K, Wパターン)に分類している(図1)。ここで、Oパターンは低温水が鹿島灘海域の沿岸を覆う冷水舌型、Kパターンは沿岸域に低温水があり沖合にゆくにつれて高温となりフロントが南北に形成される黒潮分派型、Wパターンは沿岸域と沖合域に低温水があり、その中間に暖水が張り出す暖水舌型とそれぞれ定義されており、Kパターンは夏季に比較的多く発生し、O, Wパターンは冬季に発生頻度が高いと報告されている。一方、この黒潮分枝や暖水舌の構造など詳細については、黒潮前線周辺に発達する大規模渦(前線渦)という視点から、平井(1985)、Kawai & Saitoh (1986)によってリモートセンシングを中心とした検討が加えられており、サンマ、イワシ、マサバなど稚仔魚の移動に与える影響など生物過程における重要性も指摘されている。

このように、鹿島灘海域については、黒潮の影響を強く受けた平均的な流れの構造や暖水舌など非定常性の強い海洋変動についてその基本的な性質の検討が行われているものの、現地観測上の制約条件などからこれら外洋変動の沿岸域へ与える影響については未だ不明な点が多い。本研究では、外洋変動、特に短い時間スケールの黒潮変動や前線渦などこれまで詳細な検討が行われていないメソスケールの海洋変動を中心としてその詳細を検討することを試みた。

### 3. 方法

#### (1) 現地観測概要

観測対象海域は、広く外洋に面し開放性の高い鹿島灘沿岸域である。今回の観測では、時空間スケールの大きい外洋変動の沿岸域への影響を把握することを目的とし

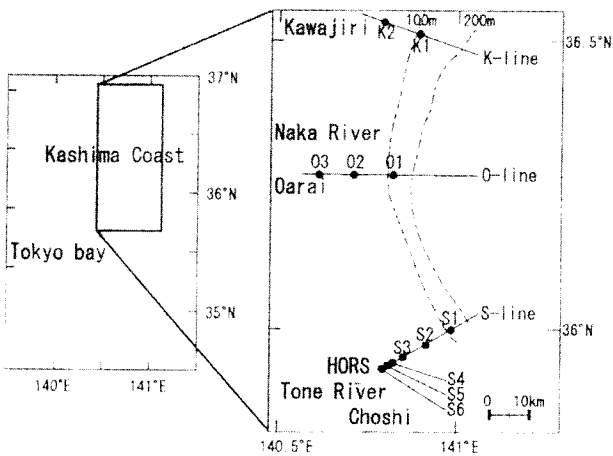


図2 観測海域と観測点位置

て、沿岸方向（ほぼ南北方向）に約100km、岸沖（ほぼ東西方向）には、浅海域から大陸棚縁辺域（水深約110m）まで約20kmの広域観測領域を設定し、その中の3つの観測線（川尻沖観測線：K-line、大洗観測線：O-line、須田浜観測線：S-line）上に合計11ヶ所の係留観測ブイを設け（図2）、1999年7月24日から8月28日の約35日間にわたって、水温・塩分・流速・波高・濁度・クロロフィルaの連続計測を行った。観測機器の概要を表1に、また観測線S-line上の各測器の設置状況の詳細を図3に示す。

(2) 気象条件

今回の観測期間中の気象条件を示すために、観測海域に近い銚子地方気象台の気温、日射量、風速、風向、那珂川と利根川の流量の時系列を図4に示す。本観測期間は、梅雨明け直後の気象状態が安定した時期にあたり、気温及び日射は比較的規則的な日周変動を示している。さらに、風系場については、夏季に勢力が強くなる太平洋高気圧の影響を受けて基本的には南風が卓越してお

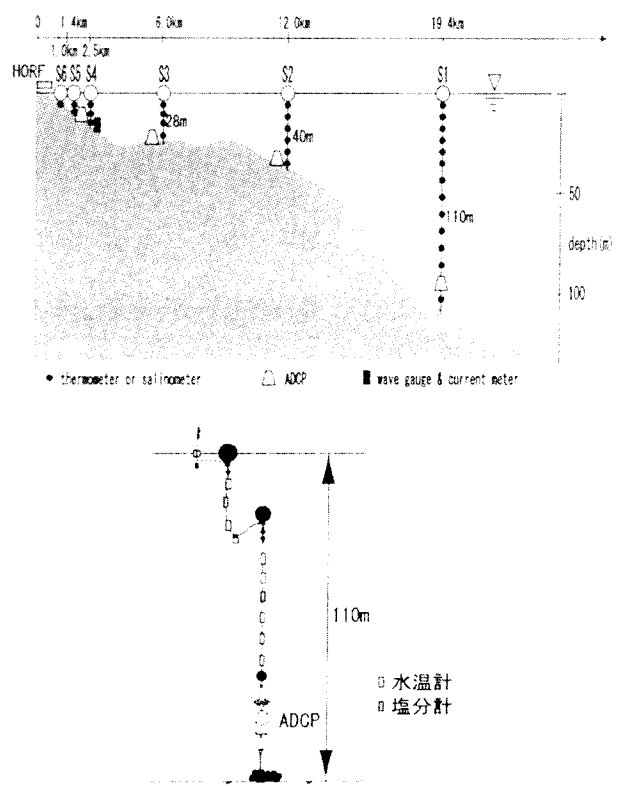


図3 S-lineの観測点と観測機器の設置状況

り、特に梅雨明け直後の7/24～8/2の期間（期間Ⅰ）で最大10m/sを越える強い南風が、また8/18～23の期間（期間Ⅱ）も5m/sを超える南風が連吹していた。

一方、河川流量については、8/12に関東域を通過した温帯低気圧の影響により、利根川で最大流量4,000m<sup>3</sup>/s、那珂川で最大流量1,000m<sup>3</sup>/sの比較的大きな出水が発生した。観測期間中には、これ以外に顕著な河川出水はなかったが、観測期間前の7/15には利根川で最大流量3,000m<sup>3</sup>/s、那珂川で最大流量3,300m<sup>3</sup>/sの大きな出水

表1 観測機器一覧

観測点	距岸(km)	水深(m)	ブイ係留				海底設置		
			水温計(m)	水温塩分計(m)	電磁流速計(m)	Chl.a	波高・波向・流速計	ADCP	濁度計
K1	15.8	110	1,3,6,9,12,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90	30	20,100				
K2	5	40	1,3,6,9,12,15,19,24,30,35,39	1,6					
O1	21.2	110	1,6,9,12,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100	6	20,100				
O2	12.2	40	1,3,6,9,12,15,19,24,30,35,39	1,6				1	
O3	3.4	20	1,3,9,12,15,19	1			1		
M1	16	40	1,3,6,9,12,15,19,24,30,35,39	1,6					
S1	19.4	110	1,3,6,9,12,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100	1,6,30					1
S2	12	40	1,3,6,9,12,15,19,24,30,39	1,6					1
S3	6	28	1,3,6,9,12,15,17,19,21,5,24,27	1,6		1			1
S4	2.5	20	1,3,6,9,12,15,19	1,6			1		1
S5	1.4	10	1,3,9	1			1		2
S6	1	7	1,3,6	1					1

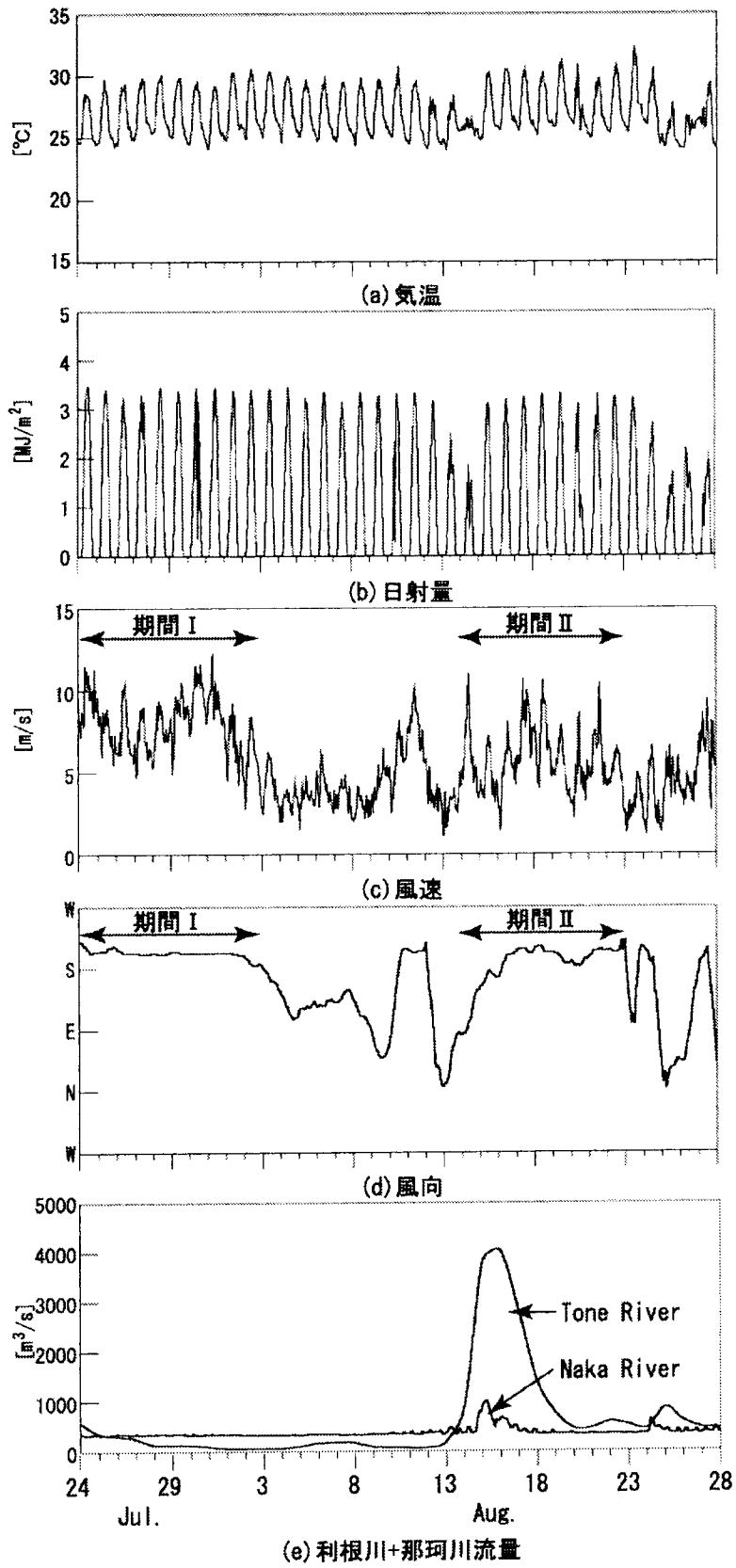


図4 観測期間中の気象条件など

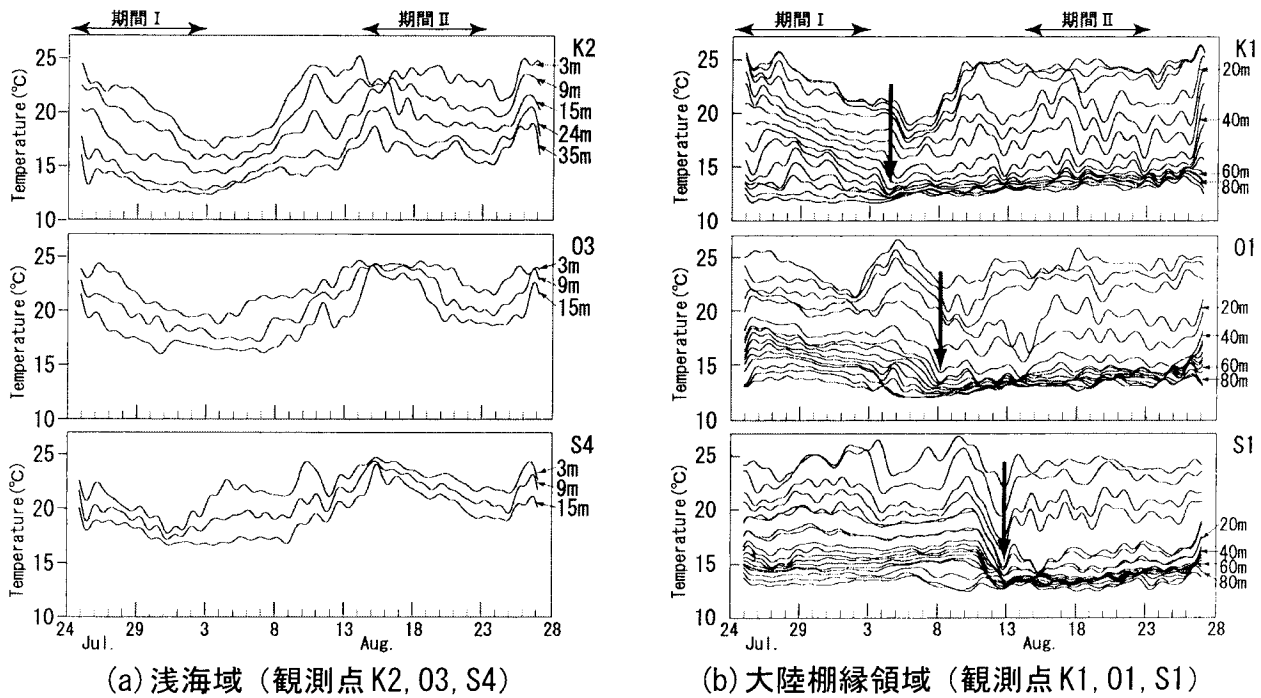


図5 水温の時系列

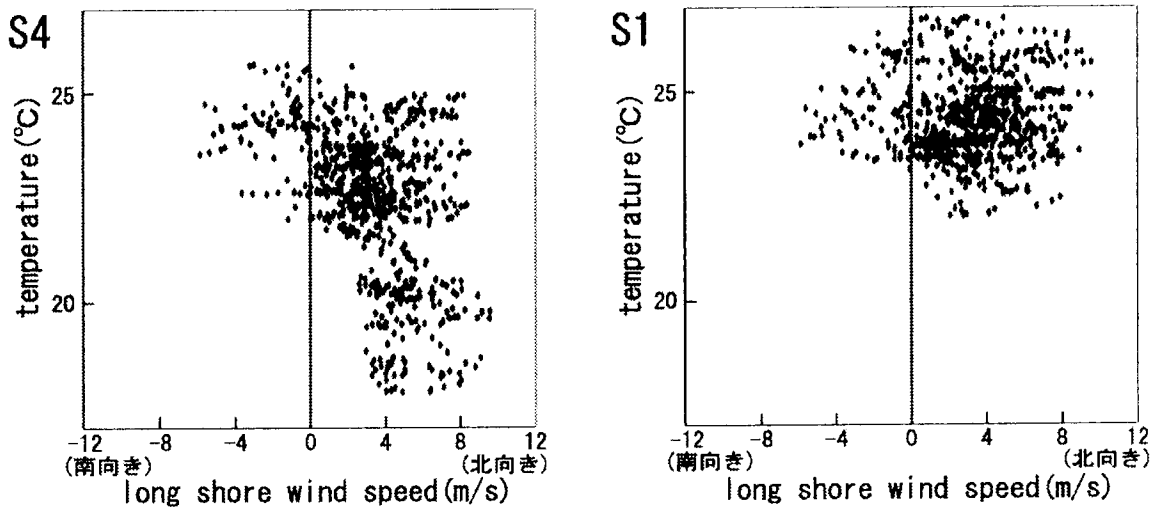


図6 沿岸風速と水温の相関図

が発生しており、観測期間初期にはこの出水の影響が残っていたことが考えられる。

#### 4. 結果と考察

(1) 水温データによる水環境変動の基本的特徴の抽出  
 ここでは、観測期間中の基本的な水環境変動の特徴を水温データに基づいて抽出することを試みる。図5は、南北方向に位置が異なる3つの観測線 (K-line, O-line, S-line) それぞれについて、(a)岸に近い観測点K2, O3, S4 (水深40m以浅)、(b)大陸棚縁辺域の観測点K1, O1, S1

(水深110m程度)の水温変動長周期成分(周期26h以上)の時系列を示したものである。まず浅海域の水温変動を見ると、いずれの観測点においても観測期間前半の7/24~8/1にかけて全水深的に大きく水温が低下し、水温レベルが一度回復した後、8/18ごろから再び水温低下している。この水温低下が発生する期間は、前述の南風が連吹する期間I、IIにそれぞれ相当していることから、海上風が水温変動に与える影響が示唆される。図6左図は、水温と沿岸風速との関係を観測点S4について調べてみたものである。両者の関係には多少ばらつきがあるも

の、大局的には正の沿岸風速が大きい時（南風時）に相対的に低水温となっている。本海域においては、その地形条件から夏季に南風によって沿岸湧昇を引き起こされ沿岸水温が低下する現象が著者らの既往の観測によって明らかにされているが（八木ら、1997、1999）、本観測における浅海域の長周期水温変動も基本的には海上風による沿岸湧昇・沈降であることを上記の結果は示しており、このことは浅海域の長周期水温変動が海上風によって強く支配されていることをあらためて示している。

一方、観測海域の沖側端にあたる大陸棚縁辺域の水温変動と海上風との相関関係についても同様に調べたが両者の間には浅海域ほど明確には見られない（図6右図）。むしろ特徴的な傾向は、図5中の矢印で示したように、中層以下の水温が観測期間中盤において急激に低下することであり、この水温低下現象の発生はK1（8/4）→O1（8/8）→S1（8/12）と北から南へ、約0.1 m/sの移動速度で伝播している。さらに、別の特徴としては、観測点O1の表層において、8/3～8/8の期間に水温が急激な上昇・下降を示していることである。この両者については、気象条件との明確な相関が見られないことから、何らかの外洋影響の現れであると考えられる。そこで、本研究では、①観測期間中盤に大陸棚縁中層以深を中心に発生した急激な水温低下現象、②大陸棚縁表層（観測点O1）において発生した急激な水温上昇・下降現象について以下にそれぞれの性質を詳しく検討した。

(2) 急激な黒潮流路変動が沿岸域に与える影響

① 急激な水温低下現象発生前後の塩分及び流速変動の特徴

前述①の急激な水温低下現象の性質をさらに詳しく把握するために塩分及び流速の変化についても検討を行った。図7は、水温低下現象発生直前の8/9及び発生直後の8/12における観測線S-Line上の岸沖断面内塩分分布を示したものである。これを見ると、沖側領域を中心に低塩分化していることがわかる。図8は、急変現象前後の水塊特性の変化を理解するために、観測点S1付近の水温及び塩分の鉛直分布をT-S図上に示したものである。これを見ると中層（30m）以下の塩分水温の変化は等密度線に沿った形で低塩・低温化している様子がわかる。このことは、水温及び塩分の急変現象は、等密度で低温・低塩分の水塊が対象海域中層以深に浸入した可能性が示唆される。

次に図9は、大陸棚縁辺の観測点K1,O1,S1における上層（水面下20m）・下層（水面下90m）の沿岸方向流速長周期成分の時系列を示したものである。観測点によって若干傾向は異なるものの、観測期間前半には表層で北向き下層で南向きであった沿岸流速が、水温急変が生じる時期付近から全層で比較的強い南向き流れに変化

している。さらに図10は、沿岸方向流れの鉛直分布が岸沖方向にどのように変化するか観測線S-Line上の観測点S1, S2, S3について、それぞれADCPによる計測結果を示したものである。これを見ると水温急変現象後の強い南向き流れは、大陸棚縁である観測点S1だけでなく、沿岸に近いS2, S3においても、継続時間、流速レベルに

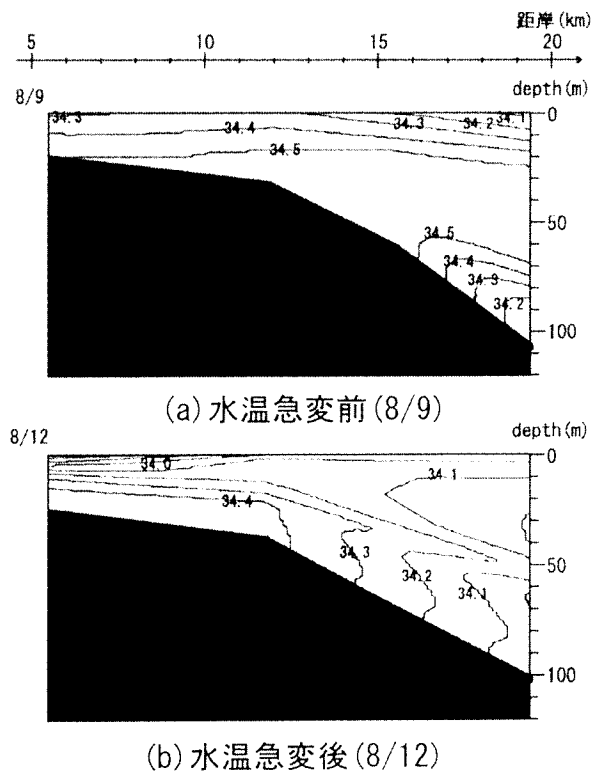


図7 円分の岸沖断面分布 (S-line)

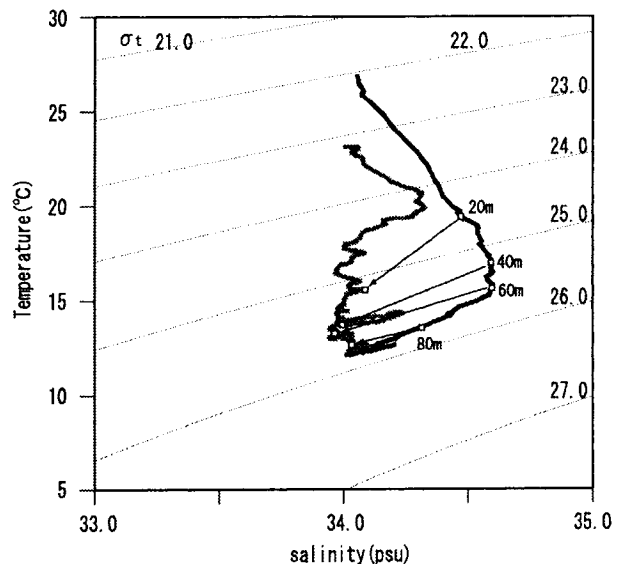


図8 水温急変時のT-S特性

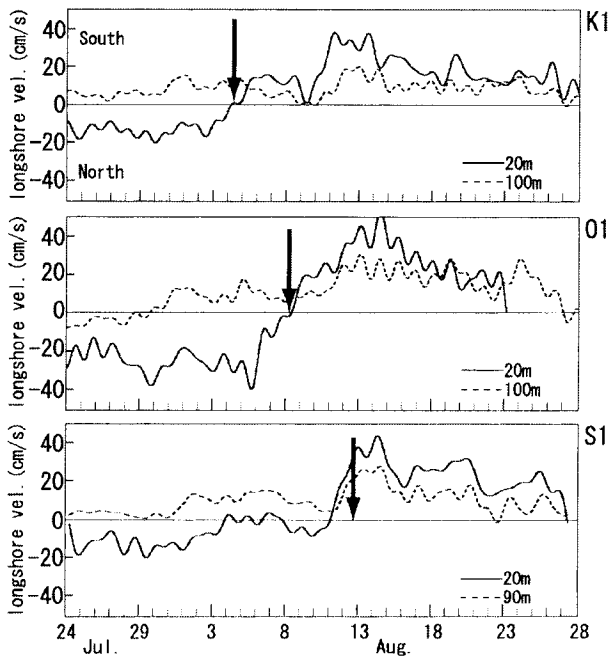


図9 流速の時系列 (K1, O1, S1)

多少差があるもののほぼ同様な傾向を示しており、この現象が浅海域も含む大陸棚海域全体に励起されたものであることがわかる。

② 広域水塊分布特性の変化

前節の検討によって、急激な水温低下現象が引き起こされた原因が、低温・低塩分の水塊が南向き流れによって沿岸域へ浸入した可能性が大陸棚海域上の観測結果か

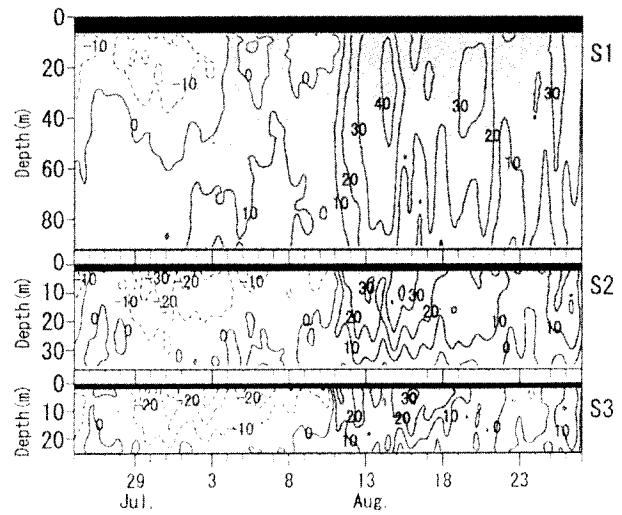


図10 流速の岸沖方向変化 (S1, S2, S3)

ら示されたが、ここではこの低温低塩分水の起源を明らかにするために、観測海域を含むより広域の水温塩分構造を調べた。図11は、茨城県水産試験場の定期観測結果から塩分及び水温の東西断面内分布(鹿島港沖の観測線)を急変現象前にあたる8月初旬(観測日8/2~5)と急変現象後の9月初旬(観測日9/2~5)について示したものである。鹿島灘海域では8月から9月にかけて、i) 沖合域では高温高塩分水が外海側から陸岸側に向けて接近している、ii) 陸岸に近い大陸棚域では沖合の傾向とは逆に低塩化していることなどがわかる。次に、水塊の空間分布とその移動状況をより直接的に示すために、各

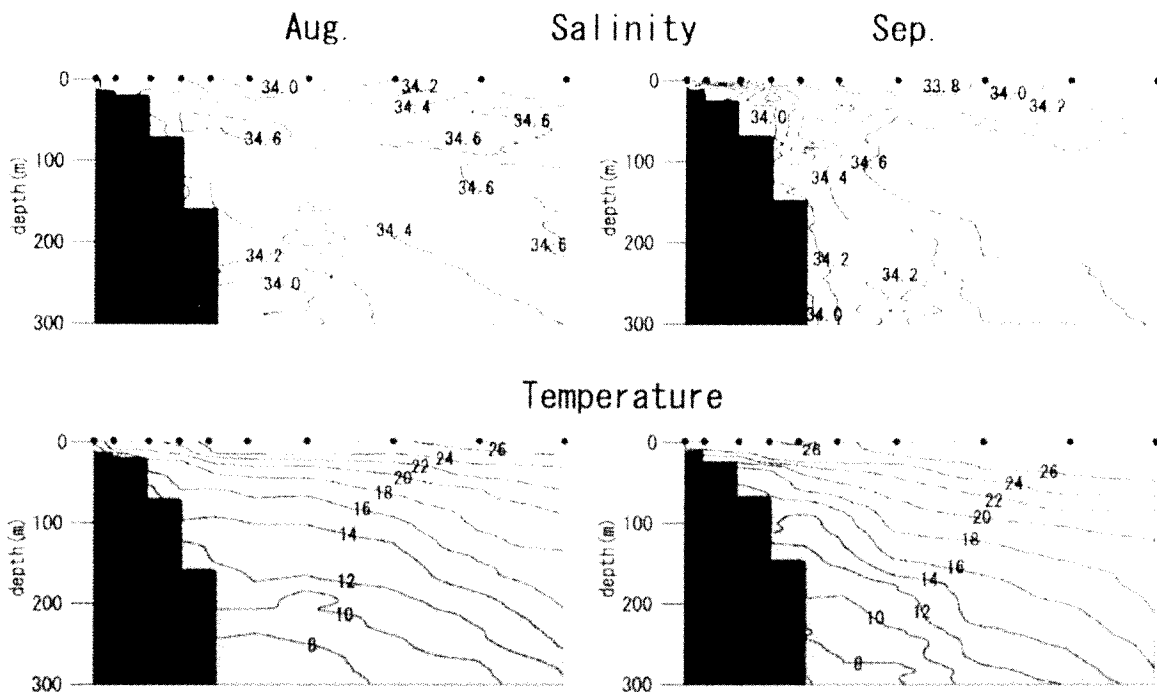


図11 水温・塩分の東西断面分布

観測点における水温塩分特性を検討した。図12(a)は、1999年8、9月の茨城県水産試験場、福島県水産試験場の定期海洋観測のすべての塩分水温データをT-S図上にプロットしたものである。これをもとに、水塊特性の分類を行うと、対象海域の水塊は、①高温高塩分の黒潮系水、②低温低塩分の親潮系水、③黒潮水の影響を強く受けているが若干低塩分の準黒潮系水、④黒潮系水と親潮系水が混合した黒潮親潮混合水の4種類に分類されることがわかった。そこで、この水塊の定義にしたがって、8、9月の水塊空間分布を示したものが図12(b)(c)である。急変現象前の8月初旬には北に位置していた黒潮親潮混合水が急変現象後には鹿島灘沿岸に分布していることがわかる。このことから急変現象を引き起こした低温低塩分水は、観測海域より北に存在していた親潮黒潮混合水が鹿島灘沿岸域へ浸入したものと推定される。

③ 外洋変動特性

図13は、観測期間中の外洋変動の特徴を把握するために、1999、1998年について(a)気象庁発表の黒潮流軸推定位置(7、8月)、(b)気象庁海洋月報による海面下200mの水温平面分布(8月)、(c)海面高度計TOPEX/POSEIDON

による海面高度アノマリーの空間分布を示したものである。これらの結果は、i) 1998年夏季は黒潮流軸が比較的安定していたものの、観測を実施した1999年には流軸が北上傾向を示しかつ不安定であること、ii) 水温構造及び海面高度アノマリーに現れる1998、1999年の違いは、1999年には房総沖に大規模な冷水塊(図中矢印A、低水温、低水位部分)とその北側に高水位領域(図中矢印B、高水温領域)が形成されていることを示している。観測を実施した1999年には、この冷水塊と高水位領域の変動によって黒潮流路が大きく変動し、高水位領域の蛇行が発達によってそれが暖水塊として切離される現象が3、5、10月に発生したことが海上保安庁水路部によって報告されている(図14)。流軸推定図などから、本観測期間は5月末に発生した暖水塊切離後の回復期にあたり、高水位領域の勢力が強まることで黒潮流路が北上傾向を強めた時期に相当する。

図13に示した海面高度アノマリーは、8月中旬の約10日間の時空間内挿値であるために短時間スケールの海面変動は捉えにくい。そこで、TOPEX/POSEIDONの軌道上の値から房総沖の高水位領域、冷水渦の非定常変動特性を調べた。図15は7/14~8/13までの海面高度アノマリーの軌道上分布を比較したものであるが、急変現象が発生する8/13にむけて高水位領域が沿岸方向に接近している様子が見られる。さらに図16は、急変現象前後のNOAA/AVHRRによる表層水温分布を比較したものであるが、これを見ると沖合の高水温領域が沿岸域に接近している様子が見られる。以上の事実は、本観測期間が、初期に北東方向に流去していた黒潮流路が高水位領域の勢力が強まることによって常磐・鹿島灘沿岸に接近していた時期であることを示している。

④ 黒潮流路変動に伴う急変現象に対する考察

これまで示した流速場の特徴、水塊の分布特性、外洋変動の傾向に加えて、沿岸水位及び水色リモートセンシング等の情報をあわせて、水温の急変現象及びそれに引き続いて発生した沿岸域における強い南下流現象について考察する。

図17は、観測期間中の鮎川、小名浜、銚子、布良、南伊豆、御前崎の沿岸水位長周期成分(25時間以上)の時系列を示したものであり、各観測点の位置は、図15に表している。水位変化には、北側に位置する鮎川、小名浜、銚子と南側の布良、南伊豆、御前崎で水位変化の傾向に大きな違いが見られる。北側観測点は観測期間前半に低水位状態で、観測点S1で水温急変現象が発生した8/10~12から沿岸水位が急激に上昇し、後半は高水位状態を維持している。これに対して南側観測点では、観測期間前半に水位が高く後半で水位が低くなる傾向を示しており、北側観測点と逆になっている。ちなみに南側観測点では、8/6付近に水位が非常に高くなっているがこのと

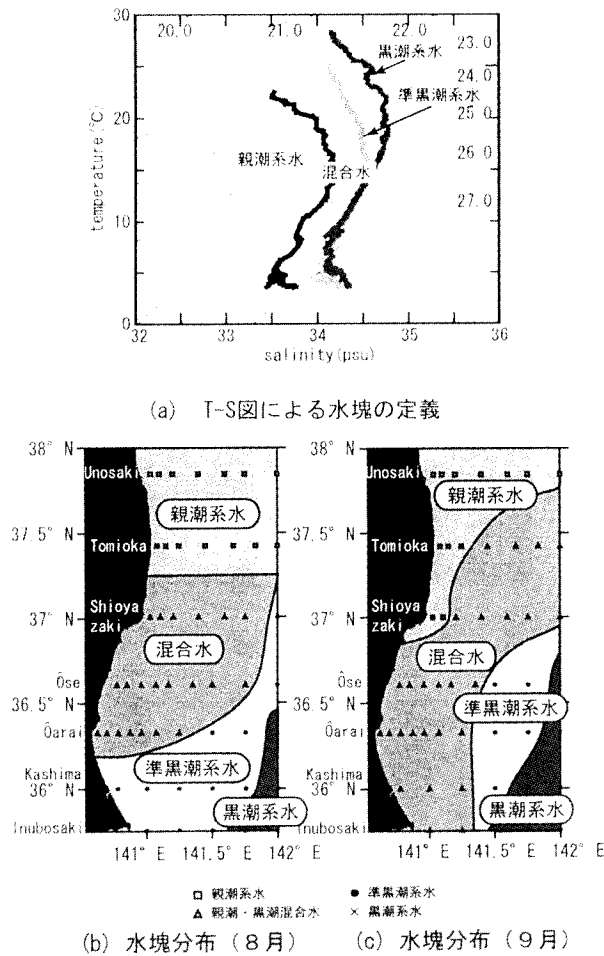
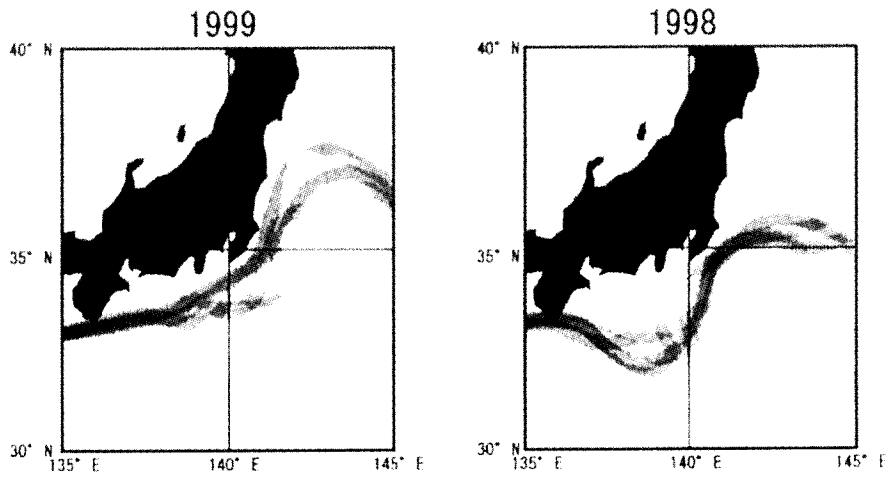
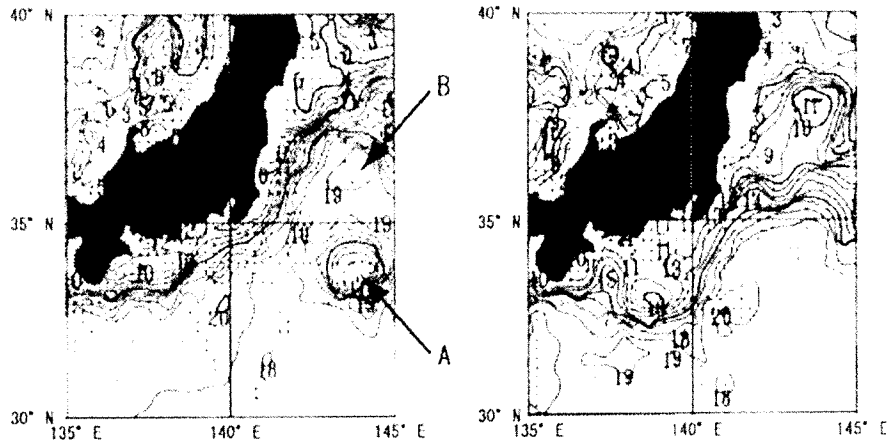


図12 広域水塊特性

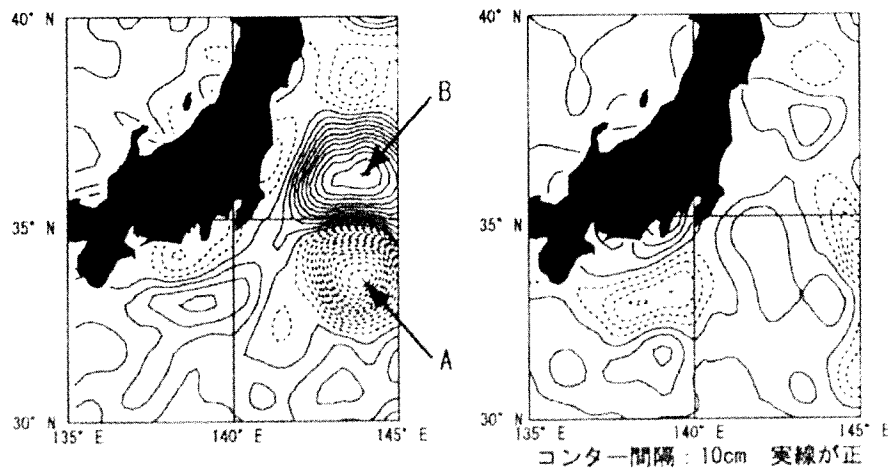




(a) 流軸推定位置 (7, 8月)



(b) 水面下200mの水溫分布 (8月)



(c) TOPEX/POSEIDONによる海面高度アノミー

図13 1999, 1998年の外洋の状態

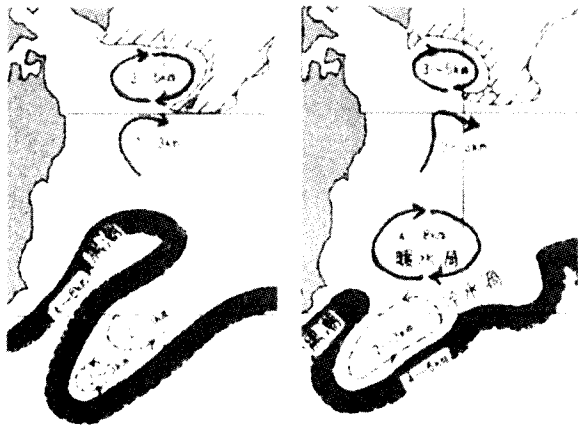


図14 房総沖の黒潮蛇行と暖水渦切離の模式図 (海上保安庁水路部)

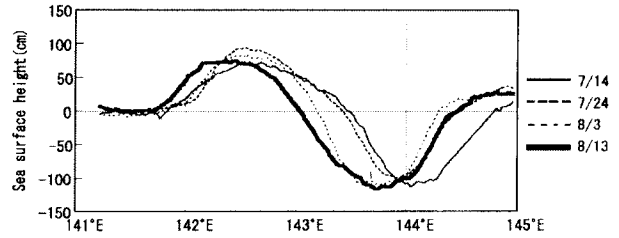
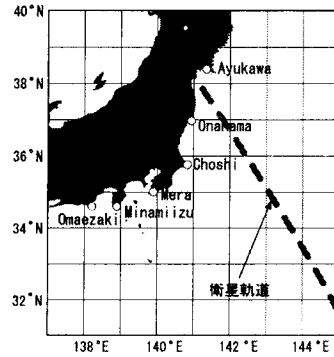


図15 TOREX/POSEIDONによる海面高度アンマリー軌道上分布

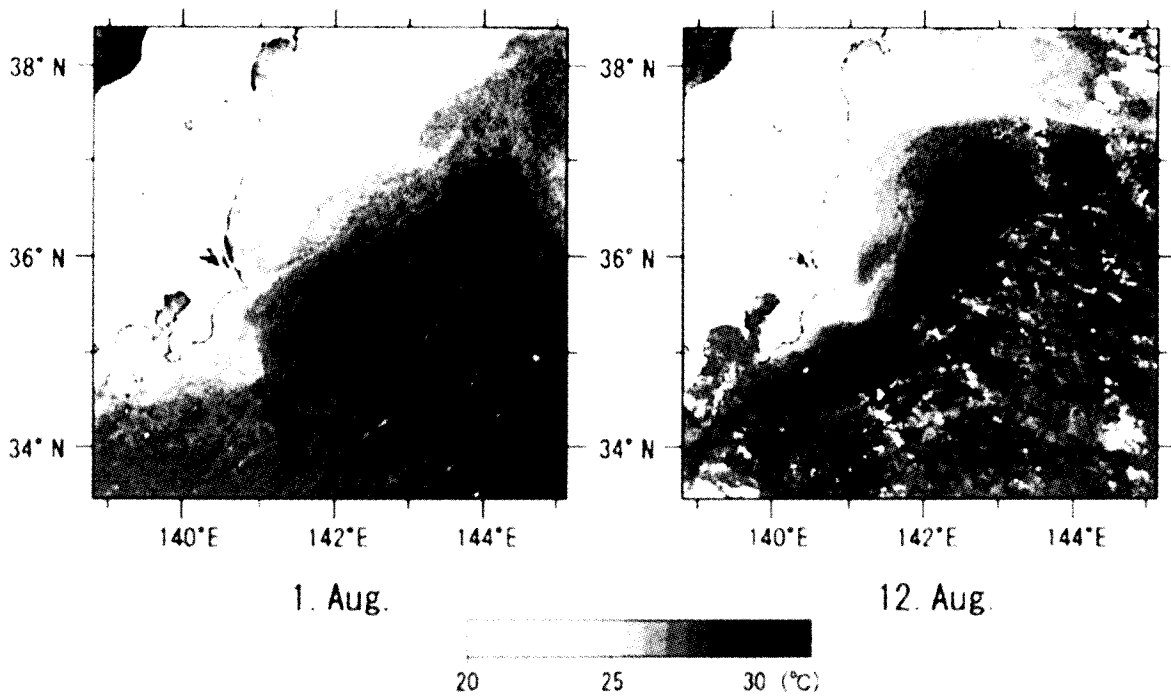


図16 急変現象前後のNOAA/AVHRRによる表層水温分布

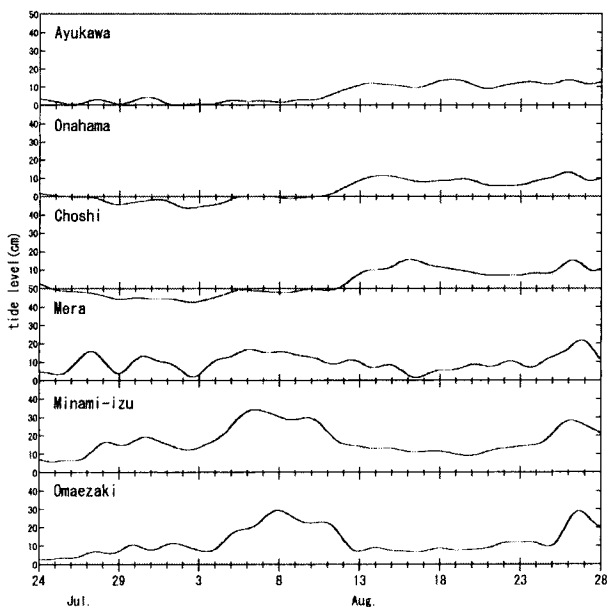


図17 沿岸水位の長周期変動成分

き相模湾周辺で急潮が発生したことが海上保安庁水路部によって報告されており、これは黒潮が相模湾・伊豆海域で陸岸に接近する傾向であったことを示している。

以上の水位変化の特徴を先に示した外洋変動と併せて、現象を模式的に示したのが図18である。すなわち、観測期間前半には黒潮は相模湾伊豆近海で陸岸に近い流路をとっており房総沖で北東方向に流去していた。そのため伊豆近海で高水位状態、銚子以北で低水位状態を示した。その後、高水位領域の勢力が強くなるにともない、常磐・鹿島灘海域において黒潮流路が北向きにそって陸岸に接近する状態に変化することで、銚子以北の水位が上昇し、一方伊豆近海では流路が沖にシフトすることで低水位化したものと考えられる。

次に、上記のような黒潮流路変動と先に示した大陸棚縁辺域の流速との関係性を調べてみると、先述のように観測期間後半には強い南向き流れが発生しているが、観測期間前半でも底層ではすべての観測点で南向き流れを示しており、表層で北向きとなっている。このことは、観測期間前半の強い南風によって、表層付近は北流傾向を示すものの、大陸棚縁下層部では、北東に流去していた黒潮に連行されるような南下流が既に発生していたことを示しており、それが黒潮流路の急激な変動（陸岸への接近）によって全層的な強い南下流に変化したものと推測される。

さらに、急変現象直後の強い南下流発生時の流況を衛星リモートセンシングデータを用いて調べた。図19は、急変現象直後の強い南下流が発生している時期にあたる8月17、18、19日のNOAA/AVHRRの海表面水温と人工衛星SeaWiFSによるクロロフィルa推定値の空間分布



図18 観測期間中の黒潮流路変動の模式図

に示したものである。先述のように、本観測期間中の8/14～15に大規模な出水があり（図4）、SeaWiFSの画像には河川出水が高クロロフィルa部分として明確に示されており、広域流況を示す良いトレーサーとなっている。これらの衛星画像から、犬吠崎沖を東に向かう高クロロフィルa領域は、その後流向を大きく北に変え、鹿島灘沖に形成されたメソスケール渦の外縁を取り巻くように高クロロフィルaの水塊が北向きに移流している様子がよくわかる。

以上の状況をまとめると、1999年夏季には、房総沖の黒潮主流域に、高水位領域・冷水塊が形成されて黒潮流軸は不安定な状況にあった。8月初旬～中旬にかけてこの高水位領域が鹿島灘沿岸に近づくことで、鹿島灘沖合海域には強い北上流が形成され、一方沿岸にはこの反流となる強い南下流が励起されることで、鹿島灘沿岸には大規模な循環流が形成された。さらにこのような流況特性によって、観測期間初期には北に位置した低温・低塩分の黒潮親潮混合水が沿岸に浸入し、その先端部を先鋭化させフロント状となって南部海域に浸入し沿岸域の水温塩分特性が急変する現象が発生したと考えられる。

### (3) 黒潮前線渦の沿岸域への影響

ここでは、本研究のもう一つの着眼点である、観測点O1表層に現れた急激な水温上下動現象について検討する。図20(a)は、観測点O1の表層水温が急激に上昇した8月4日のNOAA/AVHARRによる表層水温分布に、海底地形コンターと測点位置を重ねて表示したものである。高温の黒潮域から派生した水塊が観測点O1にまで波及している様子が明確に現れており、O1における急激な水温変動の原因はこの黒潮域から派生した水塊であることがわかる。図20(b)は、同じ8月4日の表層水温についてより広域の分布を示したものであるが、高温域と低温域

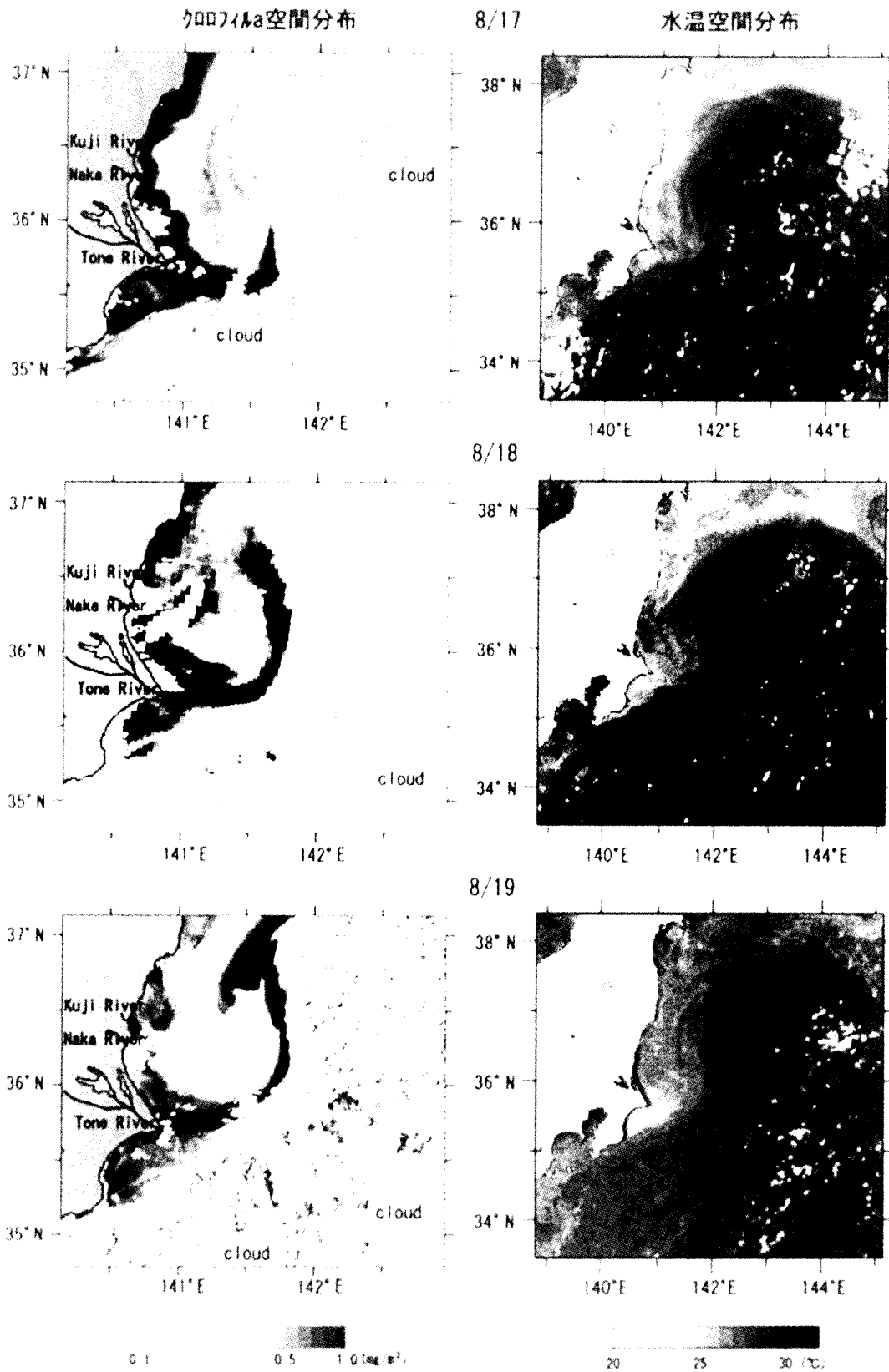
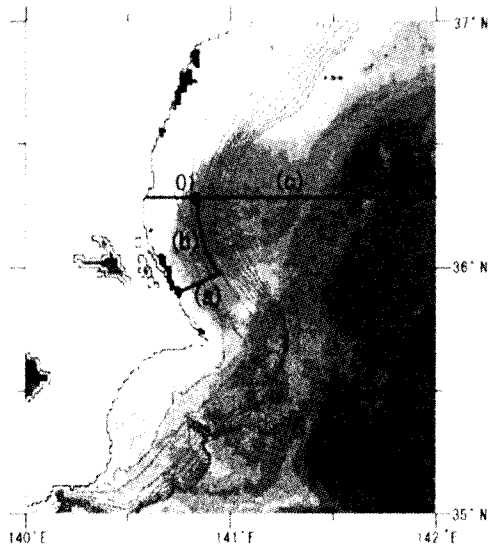
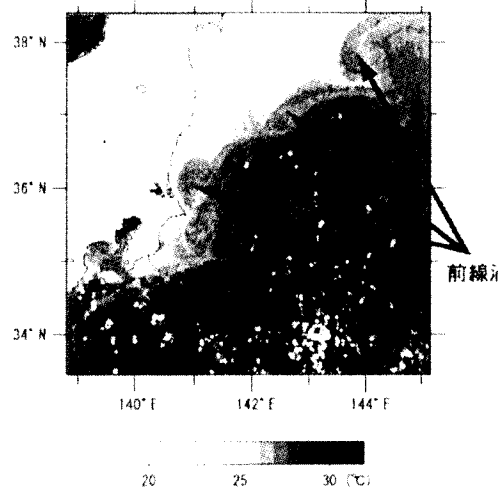


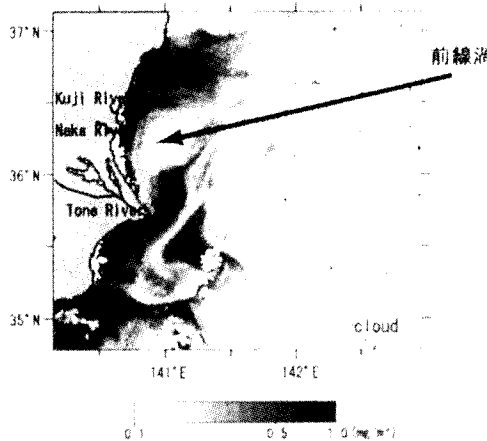
図19 急変現象直後のNOAA/AVHRRによる海表面水温及びSeeWifsによるクロロフィルaの空間分布



(a) 表層水温沿岸域拡大図(8/4)



(b) 表層水温広域分布(8/4)



(c) Sea-WiFSによるクロロフィルa量の空間分布(8/3)

図20 前線渦発生時のNOAA/AVHRR表層水温及びSeaWiFSによるクロロフィルa量の空間分布

の間に140~150kmの間隔で渦状の構造が3箇所発生している様子が明確に現れている。これは、その発生位置やスケールから黒潮前線部分に発生する前線渦であり、O1に波及したのはその中でもっとも岸側に位置していたものである。

観測点O1の水温記録や衛星画像から、O1に前線渦が波及したのは8月3~4日と考えられるが、この前日の8月2日に、茨城県水産試験場の観測船と水産庁水産工学研究所の調査船による同時調査を行ったのでその結果に基づいて沿岸に波及する前線渦の内部構造を調べた。図21がその結果であり、(a)がS-lineに沿った岸沖断面内の水温及び塩分の空間分布、(b)がS-lineとO-lineを結ぶ水深100~200m帯の沿岸断面の空間分布、(c)がO-lineに沿ってかなり沖合まで計測した東西断面の空間分布をそれぞれ示している。まず(c)を見ると、沖合海域から沿岸域に向かって厚さ20~30m程度の比較的薄い高温・低塩分水が、表層部に沿ってのびている様子がわかる。さらに、(a)(b)を見ると、この薄い表層暖水はO-lineでは観測点O1に到達していないものの、南部の海域では沿岸域に広く拡がっている様子がわかり、このような表層暖水の広がり、NOAA/AVHARRの表層水温の分布形と一致するものとなっている。さらにほぼ同時期のSeaWiFSによるクロロフィルaの空間分布を調べると(図20(c))、NOAA/AVHARRの表層水温でとらえたのと同様の前線渦がクロロフィルaの分布にも明確に現れており、前線渦の波及により①低クロロフィルaの外洋系水塊が沿岸近くに押し寄せる、②高クロロフィルaの沿岸水が前線渦に取り込まれる、といった形で外洋と沿岸の海水交換が行われている様子が見て取れ、このような中規模スケールの前線渦の存在も沿岸水の流出過程に重要な役割を果たしていることをこの結果は示している。

### 5. 要約

本研究では、黒潮流況変動に伴う鹿島灘沿岸域の大規模沿岸流れの応答や、黒潮前線渦の波及効果などに着目し、沿岸域と外洋域との相互過程(沿岸域への外洋影響や沿岸水の外洋への流出メカニズム)の実態を明らかにすることを試みた。得られた結論は以下の通りである(図22)。

- (1) 黒潮流況変動に対する鹿島灘沿岸域の応答として、房総沖の冷水塊・高水位領域のバランスによって急激に黒潮流路が北向きとなり沿岸域に接近すると、鹿島灘沖にはメソスケールの還流が形成され、海岸域を含めた沿岸域全体に強い南下流が励起される。
- (2) 上記の南下流に伴い、北側海域からは黒潮親潮混合水が帯状に、そのフロント部を先鋭化させながら沿岸域に浸入し、これによって沿岸の塩分水温構造は大きく変化する。

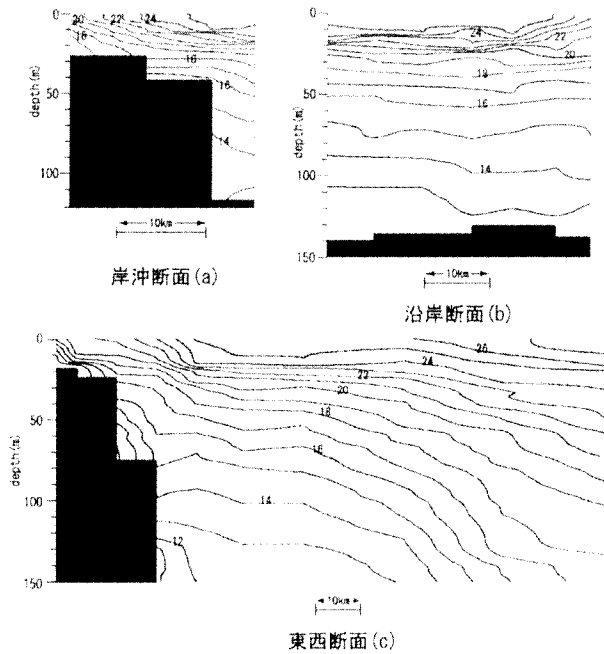


図21 前線渦の内部構造の計測結果

(3) 黒潮前線に発生する前線渦が陸岸に近い領域で形成された場合、それが20~30m程度の厚さで沿岸表層に浸入する。この前線渦は、外海水と沿岸水の交換に大きな役割を果たしている。

謝 辞

本研究の現地調査に協力して頂いた茨城県水産試験場調査船『ときわ』の乗務員の方々に謝意を表します。また、茨城県水産試験場武士和良氏、福島県水産試験場吉田哲也氏からは海洋観測データを提供していただいた。ご協力に対して心より感謝申し上げます。

文 献

足立久美子・日向野純也・木本克則 (1992) 鹿島灘砂浜海岸における一次生産Ⅰ、植物プランクトン量の変動、水産工学研究所技報 (水産土木), 13-24.  
 川合英夫編 (1991) 流れと生物と、京都大学学術出版会, 22-23.  
 久保治良 (1985) 鹿島灘Ⅱ物理、日本全国沿岸海洋誌 (日本海洋学会沿岸海洋研究部会編)、第8章、東海大学出版会、293-304。



図22 鹿島灘沿岸域のメソスケール外洋影の模式図

灘岡和夫・二瓶泰雄・小西伸英・中山哲蔵・足立久美子・藤井智史・佐藤健治・山下俊彦 (1999) 鹿島灘における広域海水流動と河川水挙動に関する現地観測、海岸工学論文集、46、486-490.  
 八木 宏・坂本太郎・灘岡和夫 (1997) 開放性沿岸域における夏季の水温変動特性、海岸工学論文集、44、416-420.  
 八木 宏・日向博文・緒方健太郎・灘岡和夫 (1998) 長期観測データに基づく鹿島灘沿岸域の大規模流動解析、海岸工学論文集、45、421-425.  
 八木 宏・日向博文・内山雄介・灘岡和夫 (1999) 熱変動特性から見た夏季鹿島灘沿岸域における海水流動特性の解明、海岸工学論文集、46、396-400.  
 八木 宏・日向博文・足立久美子・日向野純也・灘岡和夫 (2000) 鹿島灘海岸域における日スケールの水温変動と物質輸送特性、土木工学論文集, No. 642/ II -50, 87-98.  
 平井光行 (1985) 衛星画像による黒潮前線付近の frontal eddy の特徴について、東北水産研究所研報、47、69-78.  
 Kawai, H. and S. Saitoh (1986) Secondary fronts, warm tongues and warm streamers of the Kuroshio Extension system, Deep-Sea Res., 33, 1487-1507.