

黒潮流路変動に対する大規模沿岸流れの応答と沿岸水の 流出過程について

八 木 宏* ・ 身 崎 成 紀** ・ 灘 岡 和 夫*** ・ 中 山 哲 蔵****
二 平 章***** ・ 山 下 俊 彦***** ・ 福 本 正*****

1. はじめに

最近の足立ら (1995) の研究によれば, これまで貧栄養と考えられてきた開放性海岸域が, 高い基礎生産力を有し, 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明らかにされつつある。したがって, 今後, 環境に調和した形で海岸環境保全を行って行くためには, このような高い生産力を維持する自然海浜のメカニズムなど防災以外の視点からの海岸環境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・収支については, 陸域影響としての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などからの栄養塩供給など外海境界の影響を正確に把握しておくことが重要である。しかし, 海流の変動現象などを含む外海境界の影響については, 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, 1998; 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大規模沿岸流れの応答と, それに伴う水温・塩分を中心とした水環境特性の変化, そして沿岸水の外洋への流出メカニズムを解明することを試みた。

2. 現地観測概要

観測対象海域は, 広く外洋に面した開放性の高い鹿島灘沿岸域である。今回の観測では, 鹿島灘全体にわたる

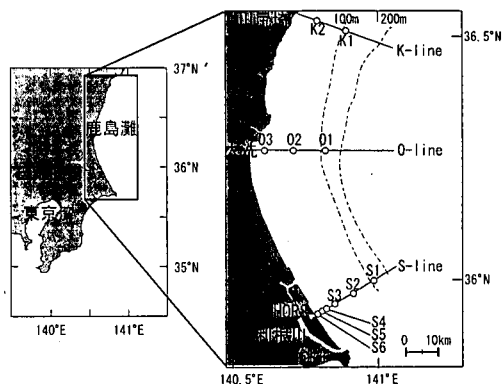


図-1 観測海域

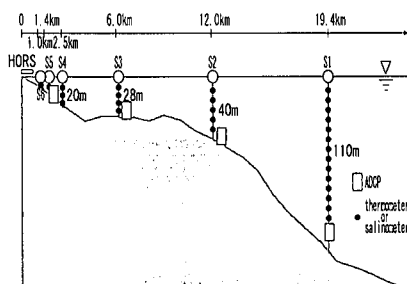


図-2 S-Line の断面地形と観測機器の設置状況

外洋変動の沿岸域への影響を把握することを目的として, 観測対象海域に 3 つの岸沖観測ライン (川尻埼沖 (K-Line), 大洗沖 (O-Line), 運輸省波崎海洋観測棧橋 (HORS) 沖 (S-Line)) を設け, この観測ライン上に合計 11ヶ所の係留観測ブイを設置して (図-1 参照), 1999 年 7 月 24 日から 8 月 28 日の約 35 日間にかけて, 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。係留観測ブイの設置位置や各測器の設置状況については, S-Line 例を図-2 に示す。

3. 観測結果とその考察

(1) 観測データの基本的な特徴

図-3 に浅海域と大陸棚縁辺域の長周期水温変動特性 (周期 26 時間以上) の比較を示す。浅海域の水温変動を見

* 正 会 員	博 (工)	東京工業大学大学院助教授	理工学研究科
** 正 会 員		東京工業大学大学院理工学研究科	
*** フェロー	工 博	東京工業大学大学院助教授	情報理工学研究科
**** 正 会 員	工 修	水産庁水産工学研究所水理研究室長	
*****	水 博	茨城県水産試験場	
*****	正 会 員	工 博	北海道大学大学院助教授 工学研究科
*****	正 会 員	博 (工)	西松建設技術研究所

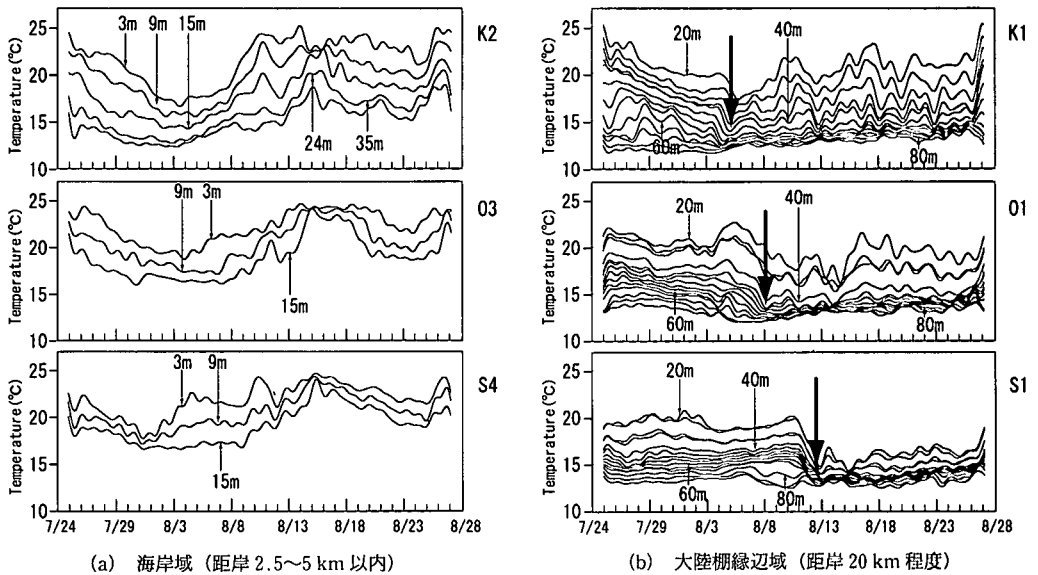


図-3 水温の長周期変動成分の時系列

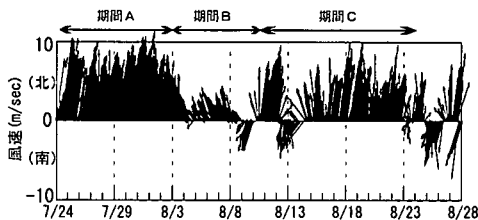


図-4 観測期間中の風速ベクトル (銚子)

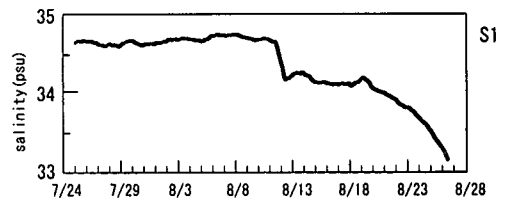


図-5 Sta. S1における塩分(水面下30m)の経時変化

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ごろにかけて水温が全水深的に大きく低下し、8/4~8/12に水温レベルが上昇した後、8/15以降に再び小規模な水温低下が発生している。図-4に銚子气象台で観測された風速ベクトルの時系列を示す。これを見ると観測期間初期の期間A(7/24~8/3)において風速10mに及ぶ強い南南西風が連吹し、期間B(8/4~8/10)で一度弱くなった後、再び期間C(8/11~8/22)でやや強い南南西風が連吹しており、これは浅海域の水温変動とよく対応している。本海域では南西風~南東風が風による沿岸湧昇を引き起こす方向であることを考えると、浅海域では海上風に対応した沿岸湧昇・沈降が活発に発生しており、これによって浅海域の水温変動が基本的に特徴づけられていることを示している。なお、南側の観測点(S4)よりも北側の観測点(K2)で湧昇による水温低下が大きいのは、風向と海岸地形の関係であると考えられ、南南西風により平行な北部沿岸域において湧昇が顕著であったと考えられる。

一方、大陸棚縁辺域の水温変動と海上風との関係は浅

海域ほど明確ではない。むしろ特徴的な傾向は、図中の矢印で示したように、観測期間中盤に急激な水温低下が全水深的に発生していることであり、水温低下が発生する時期はK1(8/5)→O1(8/8)→S1(8/12)と北から南へずれている。そこで、この水温急変現象と塩分及び流速との関係を調べてみた。図-5は、観測点S1の水面下30mの位置における塩分の経時変化を表している。これを見ると、先に示した水温の急変現象に対応するように塩分も低下していることがわかる。さらに、図-6は、大陸棚縁辺域上・下層の沿岸方向流速長周期成分の時系列を示している。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北向き下層南向きの傾向であったものが、水温急変が生じる時期付近から全層で比較強い南向きの流れに変化している。さらに図-7は、流れの鉛直分布の岸沖方向の変化を観測点が充実している観測線S-LineのS1, S2, S3で比較したものである。これを見ると観測期間中盤からの南向きの強い流れは、大陸棚縁辺域(S1)だけでなく、陸岸に近いS2, S3でも発生しており、海岸域~大陸棚縁までの陸棚海域全体に励起されたものであることがわかる。

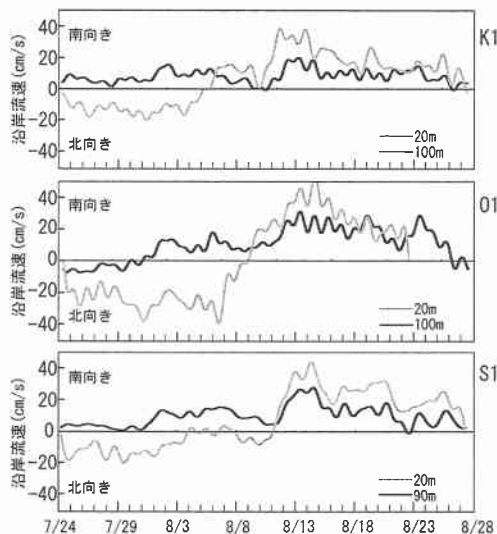
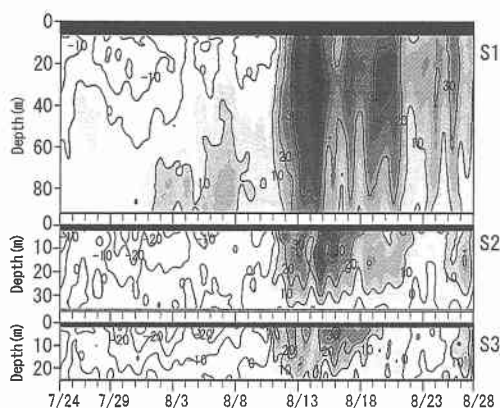


図-6 大陸棚縁辺域における沿岸方向流速長周期成分

図-7 沿岸方向流速時空間構造の岸沖方向変化
(南向き流れ部分のみハッチ)

(2) 黒潮流路変動の影響

前節の検討によって、観測期間中には大陸棚縁辺域を中心とした海上風では説明できない水温の急変現象やそれに連動した強い南向きの流れが発生していることが明らかとなったが、ここでは外洋変動とこれらの関係について検討する。図-8に、人工衛星 NOAA による表層水温分布に海上保安庁水路部が発表している黒潮流軸推定位置を重ねて表示したものを示す。これを見ると、水温の急変現象が発生する前(8/1)には、銚子沖を北東向きに流れ去っていた黒潮が、急変現象発生後(8/12)には北向きに流向を変え、暖水域が常磐・鹿島灘沿岸に接近している様子が見て取れる。一方、図-9は、観測期間中の周辺海域における水位変動の長周期成分を示したものであるが、これを見ると8/3~8/13のわずか10日間に銚

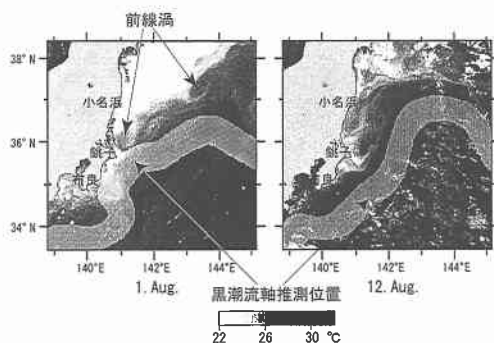


図-8 人工衛星 NOAA による表層水温分布と黒潮流軸推定位置(水路部)

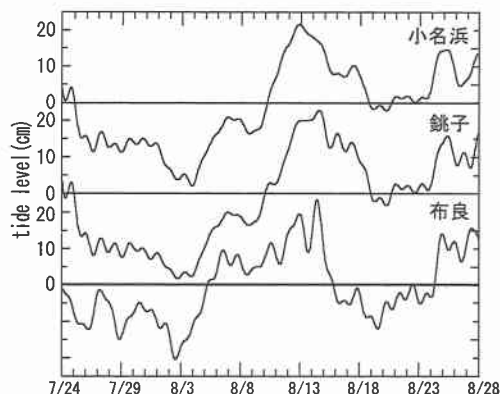
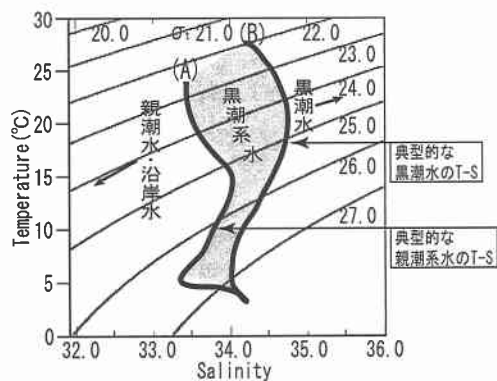


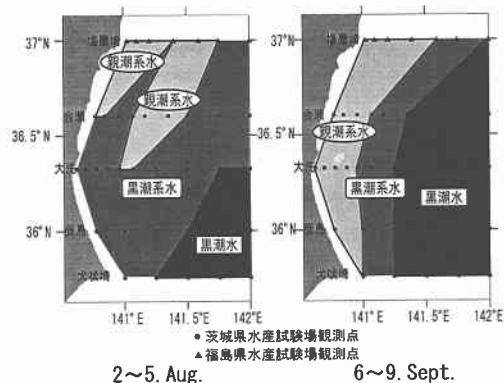
図-9 各地の長周期水位変動成分の比較

子、小名浜の水位が40 cmも上昇しており、これは黒潮流路の沿岸域への接近に伴う水位上昇であると考えられる。以上の事実は、観測期間中に発生した大陸棚縁辺域を中心とした水温の急変現象やそれとともなう強い南向きの流れ発生が、黒潮流軸の急激な鹿島灘沿岸への接近によって、沿岸域に励起された強い南下流(黒潮に連行される流れ)によるものであることを示唆している。

次に、黒潮流路変動に伴って観測海域の水塊分布特性がどのように変化したかを、茨城県水産試験場、福島県水産試験場によって毎月行われている広域CTD調査結果をもとに調べた。常磐・鹿島灘海域は、黒潮・親潮両者の影響を受けるため、ここでは典型的な黒潮水のT-S関係(図-10(a)中の(B))、親潮系水のT-S曲線(図-10(a)中の(A))を観測結果に基づいて決め、それに基づいて図に示すように黒潮水、親潮系水及びその中間領域である黒潮系水に水塊特性を領域分けした。図-10(b)がその結果を示しており、黒潮流軸変動前(8/2~5)と流軸変動後(9/6~9)の水塊分布特性を比較している。これを見ると、黒潮流軸変動後は沖合いから黒潮水が沿岸に接近するのと同時に北からは親潮系の水塊が帯状と



(a) T-Sに基づく水塊区分



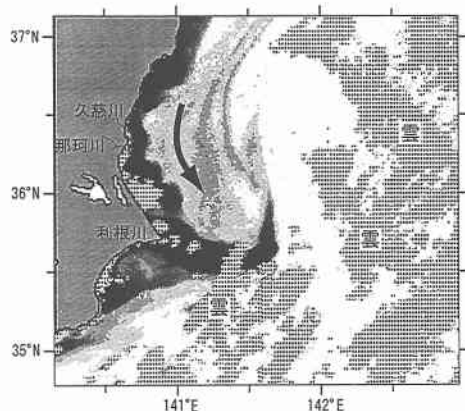
(b) 水塊分布図

図-10 8月～9月にかけての水塊分布特性の変化

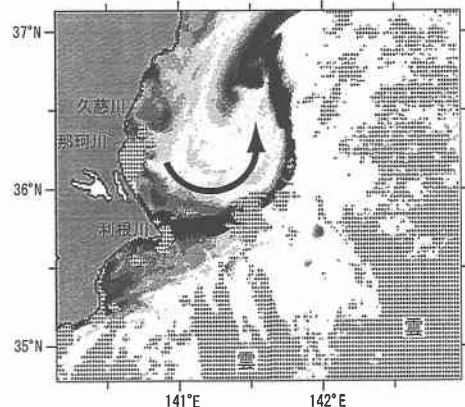
なって沿岸域に浸入しており、これは黒潮流軸の急激な接近に伴い鹿島灘沿岸域に励起された南下流に親潮水が引き込まれたものと考えられる。このことは、図-3, 5に示した大陸棚縁辺域を中心とした急激な水温低下と低塩分化現象が親潮水系の沿岸域への浸入によるものであり、水温や塩分の変化の傾向から沿岸に浸入する親潮水系はフロント状にその先端部を先鋭化させながら南下し、鹿島灘中～南部の海域の水環境特性を大きく変化させたものと考えられる。

4. 人工衛星 SeaWiFS 水色データに基づく沿岸水の流出パターン解析

前章までは、黒潮流軸変動に伴う大規模沿岸流れの応答について検討を行ったわけだが、ここでは、上記のような外洋からの影響を受けながら、沿岸水が最終的にどのような形で外洋域へ流出していくかを人工衛星 SeaWiFS の画像データに基づいて検討を行った。SeaWiFS は、水色解析に適した波長帯を詳細に計測する光学センサーを有しており、海表面のクロロフィル a 量などを計

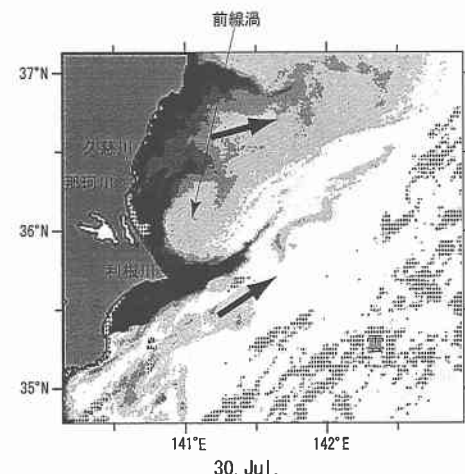


17. Aug.



19. Aug.

(a) 黒潮流軸北向き (沿岸時)



30. Jul.

(b) 黒潮流軸北向き (非沿岸時)

図-11 人工衛星 SeaWiFS によるクロロフィル a 量の空間分布

測可能である。図-11にSeaWifsによるクロロフィルa量の空間分布を示す。この期間は、黒潮流路変動にともない鹿島灘沿岸域に大規模な南下流が励起されている時期にあたり、また8/14に起こった鹿島灘沿岸への河川出水の直後にあたる。まず8/17を見ると観測海域北側にあたる那珂川や久慈川などから供給された河川流出水（高クロロフィルaの水塊）が南下流によって陸岸に沿って帯状に銚子沖まで輸送され、利根川からの河川流出水とともに、銚子沖から黒潮本流に連行されている様子がわかる。さらに8/19には、銚子沖で黒潮に取り込まれた沿岸水が、大きく拡散することなく細い筋状となって黒潮流軸方向（北方向）に伸びていく様子がわかる。このことは、黒潮に連行される形で外洋域に流出した沿岸水は、黒潮前線の収束帯に取り込まれることによって大きく拡散せずに、組織構造を維持しながら沖合海域に拡がる性質があることを示唆している。

次に、観測期間前半の南風が卓越していた期間にあたる7/31の画像を見ると、黒潮本流に近い房総沖や利根川河口周辺においては、黒潮に連行されるように沿岸水が沖合に流出しているものの、黒潮の影響が小さい川尻や大洗といった鹿島灘北～中部海域ではむしろ、海上風に対応するように北東へ流去し沖合で拡散している様子が見て取れる。さらに詳細に、クロロフィルa分布を見ると、鹿島沖に黒潮前線に連なる渦が波及しており、これが沿岸水の取り込みに影響を与えている様子が見て取れる。これは、図-9(a)の8/1の表層水温分布にも明確に現れている黒潮前線渦であり、このような中規模スケールの渦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. 結 論

本研究では、黒潮の流路変動に伴う鹿島灘沿岸域の大規模沿岸流れの応答と、それに伴う水温・塩分を中心とした水環境特性変化に着目し、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）を解明することを試みた。得られた結論は以下の通りである。

(1) 黒潮流路変動に対する鹿島灘沿岸域の応答として、黒潮流軸が北向きとなり鹿島灘沿岸域に接近すると、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、北側海域からは親潮系水が帯状に、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。

(3) 沿岸水の外洋への流出過程としては、i) 海上風によって、表層水が沿岸域から拡散しながら外洋へ流出するパターン、ii) 南下流によって鹿島灘南端まで移流された沿岸水が黒潮前線に筋状に取り込まれていくパターン、iii) 黒潮前線に形成された前線渦が沿岸に波及し、沿岸水を取り込むパターン、などがある。

謝辞：本研究において、広域かつ長期のデータ解析を行うことが可能となったのは、茨城県、福島県、千葉県水産試験場から定期広域観測データを提供して頂いたおかげである。ここに関係各位のご協力に対して謝意を表します。また、本観測を行うにあたって ADCP (300 kHz) を快くお貸し頂いた長崎大学工学部野口正人教授、中村武弘教授、多田彰秀助教授に謝意を表します。また、本研究は文部省科学研究費基盤研究(c)『開放性海岸に発達する広域沿岸境界層の空間構造計測現地実験と広域漂砂モデルの構築』（代表者：八木 宏）の補助を受けて行われたものであることをここに付記する。

参 考 文 献

- 足立久美子・日向野純也・木本克則： 鹿島灘砂丘海岸における一次生産 I. 植物プランクトン量の変動(1992), 水産工学研究所技報(水産土木), 13-24, 1994.
- 身崎成紀・八木 宏・日向博文・灘岡和夫・中山哲蔵： 夏季鹿島灘沿岸域に励起された南下流の特性について, 日本海洋学会春季大会要旨集, p. 153, 2000.
- 八木 宏・日向博文・内山雄介・灘岡和夫： 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, 第46巻, pp. 396-400, 1999.
- 八木 宏・日向博文・足立久美子・日向野純也・灘岡和夫： 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, 2000. 2.
- 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： 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, 第46巻, pp. 486-490, 1999.
- 八木 宏・日向博文・緒方健太郎・灘岡和夫： 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, 第45巻, pp. 421-425, 1998.