

# 黒潮の離接岸変動が沿岸の動植物プランクトン生物量に及ぼす影響

兪 俊宅<sup>1</sup>, 中田英昭<sup>†2</sup>

## Effect of Onshore-Offshore Shifts of the Kuroshio Axis on the Plankton Biomass off the Pacific Coast of Japan

Joon-Tack YOO<sup>1</sup> and Hideaki NAKATA<sup>†2</sup>

This paper examined relationship between onshore-offshore shifts of the Kuroshio axis and interannual changes in the plankton biomass in Tosa Bay and off Boso Peninsula, which are both well-known as a shirasu fishing ground off the Japanese Pacific coast. It was revealed that plankton biomass during the spring shirasu fishing period in the above two regions was mainly regulated by the frequency of offshore water intrusion responding to onshore-offshore shifts of the Kuroshio axis. This implies that frequent intrusion of the Kuroshio water could seriously reduce the food organisms for shirasu in the fishing ground. In addition, particularly in Tosa Bay, interannual change in river water discharge probably related to nutrient input from land could be another important physical factor affecting the plankton biomass. On the other hand, in the offshore region off Boso Peninsula, meteorological conditions such as wind and solar radiation could be often more critical to the plankton production.

**Key words:** Kuroshio, chlorophyll-*a* concentration, macroplankton biomass, Tosa Bay, off Boso Peninsula

### はじめに

プランクトンは魚類の稚仔期の餌料として、その成長や再生産と密接なかわりを持っている(木立, 1983)。小達・小谷(1987)は、小型浮魚類の索餌海域にあたる東北海道における漁獲量が動物プランクトン量の時系列変動とよい相関関係を示すことを指摘している。またSmith and Epply(1982)によると、南カリフォルニア湾におけるカタクチワシの生物量はその仔魚期の基礎生産に大きく依存している。これらの報告は、プランクトン生物量が漁場の生産力を推定する上で重要な要素であり、各海域においてその変動要因を明らかにすることが漁業生産力を正しく評価する上で不可欠なものであることを示している。

日本周辺海域におけるプランクトン生物量の変動に影響を及ぼす物理環境に関する研究は、内湾と沖合域(200m以深)でそれぞれ進められてきた。内湾域では、河川からの淡水の流入や潮汐などの物理環境の変動が大きく(清

沢・古谷, 1996)、多様な要因が生物量の変動に関与している。例えば、長田・奈倉(1993)と今井ほか(2000)は河川から内湾への栄養塩の供給の重要性を、小泉・河野(1994)と川端・佐竹(1992)は急潮の影響を、古橋(1980)は潮汐による栄養塩の水平分布の変動の影響を報告している。また、Furuya *et al.*(1993)は、大槌湾において間欠的に起こる春季のブルーミングの消滅に、西風あるいは親潮系水の接岸による湾内外の海水交換が大きな影響を及ぼしていることを指摘している。

一方、沖合域では、ブルーミング発生に日射の増加に伴い混合層深度が臨界深度よりも浅くなる必要があるというSverdrup(1953)の臨界深度理論(石坂, 1996)に関連する研究例が多い(例えばEnomoto, 1959; Ishizaka *et al.*, 1997)。また、黒潮域、黒潮と親潮の移行域、親潮域におけるプランクトン生物量の変動実態や変動要因が調べられている(Aruga and Monsi, 1962; 市村, 1965; 川原田, 1975; 小谷・小達, 1992; 小達, 1994; 黒田, 1997)。

しかしながら、内湾と沖合域の間に位置する沿岸域、特にマイワシやカタクチワシなどの小型浮魚類の主な産卵場ならびに成育場である黒潮沿岸域においては、遠州灘西部海域におけるNakata *et al.*(2000)と兪・中田(2001)を除けばこれまで研究例がほとんどない。これら既往の研究では、透明度や動物プランクトン量が黒潮の流路型の変化や、

2002年3月11日受付, 2002年7月3日受理

<sup>1</sup> 東京大学海洋研究所

Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano-ku, Tokyo 164-8639

<sup>2</sup> 長崎大学水産学部

Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521

<sup>†</sup> nakata@net.nagasaki-u.ac.jp

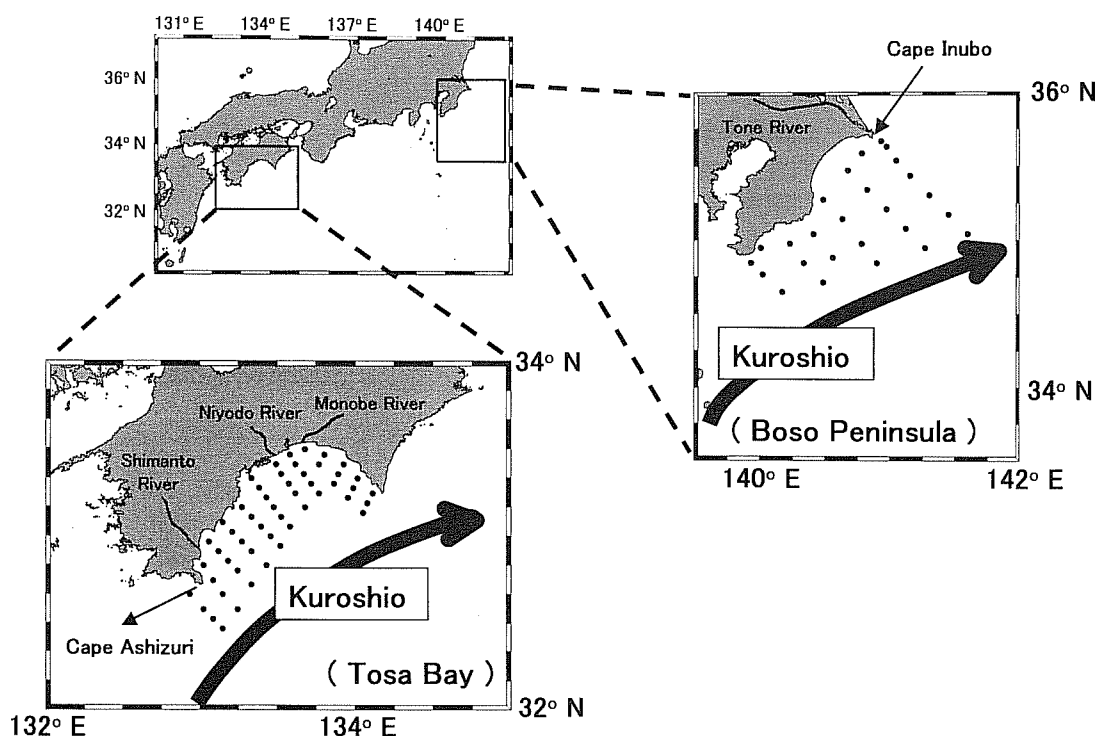


Figure 1. Maps of Tosa Bay and the region off Boso Peninsula with stations (●) for monthly observation by the Kochi and Chiba Prefectural Fisheries Research Institutes.

それに伴う黒潮系水の流入による沿岸水の交換速度の変化の影響を大きく受けていることが指摘されている。

本研究では、黒潮沿岸域におけるイワシ類シラス漁場として新たに土佐湾と外房海域（房総沖海域）をとりあげ、シラスや他の稚仔魚に重要な春季のプランクトン生物量の経年変動と黒潮の離接岸変動との関連を明らかにし、遠州灘西部の事例と比較した。

#### 資料と方法

土佐湾と外房海域におけるシラス春漁期（3～5月）のプランクトン生物量の変動とその変動要因について解析を行った。土佐湾では、プランクトン生物量に関するデータが得られないため、透明度から換算したクロロフィル $a$ 濃度を植物プランクトン生物量の指標として解析に用いた。中田(1997)によれば、1984年を除く1981～1989年2～3月の遠州灘～伊豆諸島～外房海域における透明度 $T$  (m) と表面クロロフィル $a$ 濃度 $CHL$  ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )の間には、次のような関係が成り立つ。

$$CHL = 103T^{-1.93}$$

そこで、土佐湾についてもこの換算式が適用できるものとして、表面クロロフィル $a$ 濃度を推定した。なお、船越(1990)によると、遠州灘西部海域と三河湾における透明度(1980, 1981年の7～11月)とイワシ類仔魚の初期餌料と

して重要であるカイアシ類ノープリウス幼生(関口, 1983)の採集数の間には有意な負の相関がある。また、Nakata *et al.* (2000)も、遠州灘西部海域における3月の透明度と動物プランクトン湿重量の間に有意な負の相関があることを報告しており、透明度は動物プランクトン量の指標としても有効と考えられる。土佐湾の透明度を含む海況資料としては、高知県水産試験場の漁海況予報事業結果報告書(1980～1998年)の水温、塩分、透明度のデータを用いた。ただし、3月は欠測が多いため主に4～5月のデータ(観測点をFig. 1に示す)を用いた。

一方、外房海域においてはプランクトン生物量として、動物プランクトン湿重量を用いることとし、千葉県水産試験場の漁海況予報事業結果報告書の外房海域(観測点をFig. 1に示す)における水温と塩分(1980～1996年)並びに動物プランクトン湿重量(1980～1987年)の資料を参照した。そして、1988年以降の動物プランクトン湿重量については、千葉県水産試験場からデータの提供を受けた。採集に使用されたプランクトンネットは1987年12月まで丸特Bネット(口径45 cm, 濾水部側長80 cm, 網目幅0.33 mm)、1988年1月から改良型NORPACネット(口径45 cm, 濾水部側長193 cm, 網目幅0.335 mm)で、いずれの場合も水深150 m(ワイヤー長)から表面まで鉛直曳網が行われている。なお、外房海域の観測点は1995年4月から17点に少なくなり、観測の範囲も南方に拡大されたた

め1995年4月以降は変更後の観測点のうち変更前と同じ範囲内の観測点のデータを解析に用いた。

一方、プランクトン生物量の変動要因に関しては、黒潮系水の沿岸域への流入の指標として黒潮離岸距離、陸水からの栄養分の供給量の指標として河川流量、気象条件として日射量と風速を説明変数として、変数減少法による重回帰分析による検討を行った(変数を除外する基準値Fには、兪・中田(2001)と同様にF=2を用いた)。黒潮流軸の離岸距離については、海上保安庁水路部発行の海洋速報(1980~1998年)を用い、足摺岬からは南、犬吠埼からは南西方向の離岸距離を求めた。また、河川流量に関しては、日本河川協会発行の流量年表(1980~1998年)を用い、土佐湾では物部川、仁淀川、四万十川の流量(4~5月)、外房海域では利根川の流量(2~4月)をそれぞれ解析に用いた。さらに日射量と風速(1980~1997年)については、気象庁月報の月別日射量(MJ m<sup>-2</sup>)と風速(m s<sup>-1</sup>)のデータ(土佐湾では高知の4~5月、外房海域では銚子の3~5月)を用いた。

### 結果

土佐湾におけるプランクトン生物量の経年変動とその要因  
土佐湾における4~5月の水深10mの水温平均値と、同じ期間の足摺岬からの黒潮離岸距離の平均値との間に有意な正の相関が認められた(Fig. 2上)。これは、黒潮が足摺岬から離岸する傾向が強いほど黒潮系水が土佐湾に流入しやすくなり、水温が高くなることを示すものと考えられる。一方、水深10mの平均塩分(4~5月)と物部川、仁淀川、四万十川の流量の総計値(4~5月の平均)の間には有意な負の相関があり(Fig. 2下)、河川水の流入量が多いほど塩分は低くなる。このことは、土佐湾の海況が黒潮系水の流入に加えて、河川水の影響を受けて変動していることを示している。

透明度から推定した1980~1997年の表面クロロフィルa濃度は1982年から1988年まで徐々に増加し、1990年に極大に達した後大きく変動しながら減少傾向を示している(Fig. 3)。このような表面クロロフィルa濃度の変動要因を調べるため、4つの物理環境要因を説明変数として変数減少法による重回帰分析を行った。その結果、日射量以外の足摺岬からの黒潮離岸距離、河川流量、風速の3つの要因が残り、この3つの要因を用いて推定した表面クロロフィルa濃度とその実際値との重回帰係数はR=0.62(P<0.05)であった(Fig. 3)。また各変数の標準偏回帰係数のうち、足摺岬からの黒潮離岸距離(-0.43)と河川流量(+0.42)がほぼ同程度でいずれも数値が大きいことから、足摺岬への黒潮の接岸傾向が強いほど、また河川水の流入量が多いほど土佐湾におけるクロロフィルa濃度は増加することが分かった。

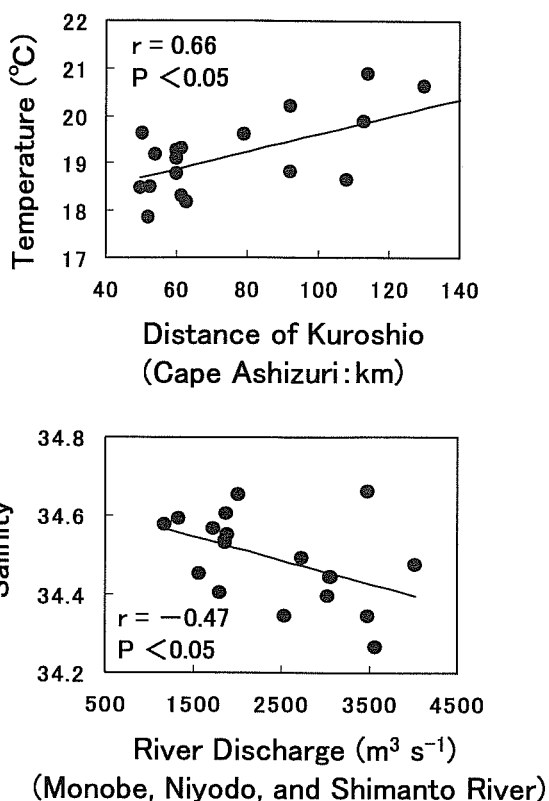


Figure 2. Upper: Correlation between the distance of the Kuroshio from Cape Ashizuri and mean temperature at a depth of 10 m (for April–May). Lower: Correlation between the river discharge from Monobe, Niyodo, and Shimanto Rivers and mean salinity at a depth of 10 m (for April–May). Data from 1980 to 1998.

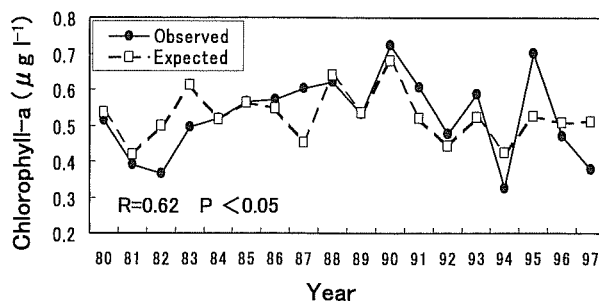


Figure 3. Surface chlorophyll-a concentration (solid line) estimated from transparency in comparison with that expected (dashed line) from a multiple regression model. The multiple regression equation is: surface chlorophyll-a concentration (mean for April–May) =  $-1.6E-03X_1 + 5.6E-05X_2 + 0.3X_3 - 0.05$ , where  $X_1$ ,  $X_2$ , and  $X_3$  are the distance (km) of the Kuroshio axis from Cape Ashizuri, river discharge (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>), and wind speed (m s<sup>-1</sup>), respectively.

外房海域におけるプランクトン生物量の経年変動とその要因

土佐湾と同様に、海況のパラメータとして水深10mの水温と塩分（いずれも3~5月）を用いて、その変動要因を調べた結果、外房海域の水温と犬吠埼からの黒潮離岸距離（3~5月）の間に有意な負の相関があることが分かった（Fig. 4上）。このことは、黒潮が犬吠埼に接岸する傾向が強いほど、黒潮系水の影響を大きく受けることを示している。一方、塩分と対数変換した利根川の流量（2~4月）との間に有意な負の相関が認められ、利根川からの河川水の流入量が多いほどこの海域の塩分は低くなることが分かった（Fig. 4下）。

一方、外房海域の動物プランクトン湿重量は、1988年まで減少傾向にあったが、1989年から増加し始め1996年には最も高い値（100 g 1000 m<sup>-3</sup>）を示した（Fig. 5）。そこで、動物プランクトン湿重量の変動要因を調べるため、変数減少法による重回帰分析を行った結果、物理環境に関する4つの説明変数のうち、河川流量と日射量を除く犬吠埼からの黒潮離岸距離と風速の2つの要因が残り、これらを用いた重回帰式で推定した動物プランクトン湿重量とその実測値との重回帰係数はR=0.60 (P<0.05) になった（Fig. 5）。また、犬吠埼からの黒潮離岸距離の標準偏回帰係数（+0.51）がプラスであることから、黒潮が犬吠埼から離岸する傾向が強いほど、動物プランクトン湿重量は増加するものと考えられる。

ここで、Fig. 5に示した推定値と実測値の関係を詳細に見ると、1990年代の両者の増加傾向はよく一致しているのに対して、1980年代には両者の間にむしろ逆相関の傾向も認められ、必ずしも対応がよくない。この原因の一つとして、プランクトン生物量の変動に対する黒潮の離接岸変動の影響の大きさが調査海域内の場所によって異なり、1990年代と1980年代ではそれぞれ異なった場所の変動傾向を反映していたことが考えられる。

そこで次に、外房海域における海況の空間変動の特性をEOF解析（柳，1993）を用いて調べ、海域別に動物プランクトン湿重量との関係を検討した。EOF解析には基礎データとして外房海域の沿岸定線観測地点（Fig. 1）の3~5月における水深10mの水温（1980~1994年）を用いた。その結果、第1モードと第2モード（それぞれの寄与率は61.7%と8.8%）が得られ、第1モードはほぼ0.18~0.22で全海域一様に変動しているのに対して、第2モードは外房海域の沿岸部（-0.1>）と沖合部（0.1<）で逆位相の変動を示した（Fig. 6）。さらに、この第1モードと第2モードがどのような物理環境の変動を表しているのかを調べるため、変数減少法による重回帰分析を行った。その結果、第1モードは、犬吠埼からの黒潮離岸距離と風速を説明変数とした重回帰式により推定できることが分かった（R=0.87, P<0.05）（Fig. 7上）。犬吠埼からの黒潮離岸距離の標準偏回帰係数

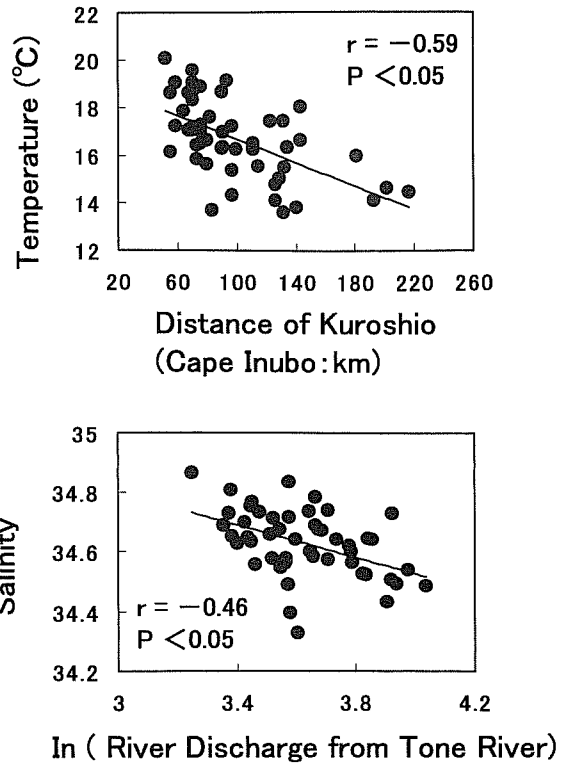


Figure 4. Upper: Correlation between the distance of the Kuroshio from Cape Inubo and mean temperature at a depth of 10 m (for March–May). Lower: Correlation between the river discharge from Tone River (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) and mean salinity at a depth of 10 m (for March–May). Data from 1980 to 1996.

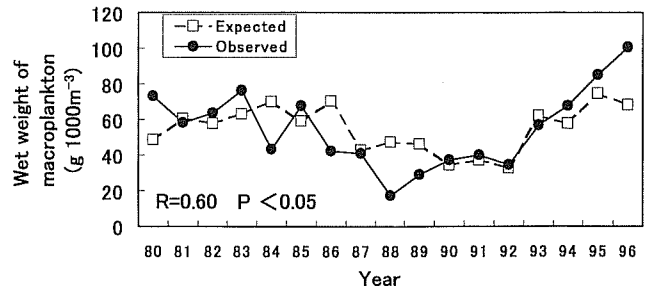
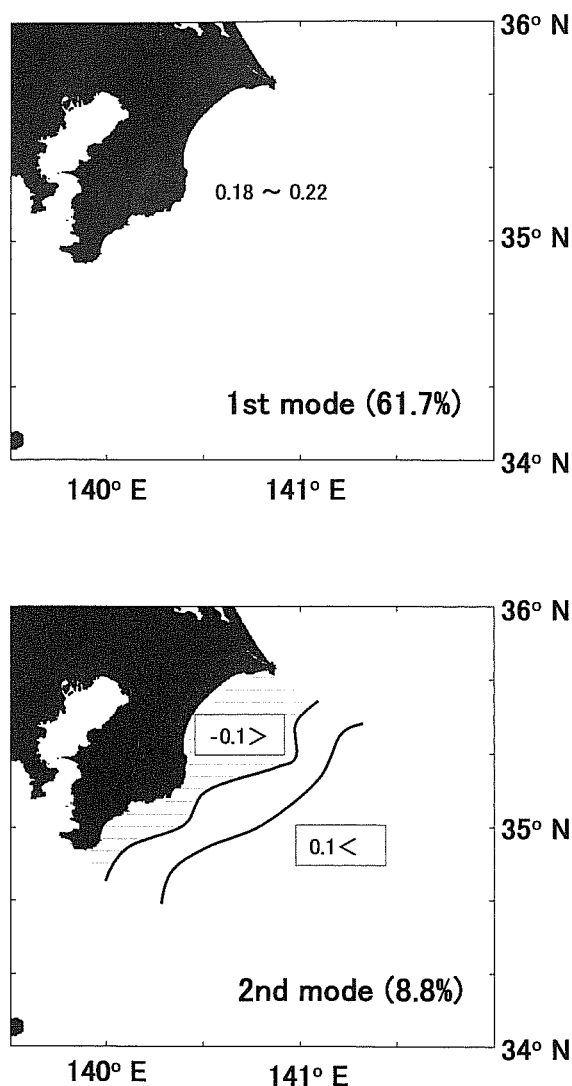


Figure 5. Observed wet weight of zooplankton (solid line) in comparison with that expected (dashed line) from a multiple regression model. The multiple regression equation is: wet weight of zooplankton (mean for March–May) = 0.37X<sub>1</sub> - 14.73X<sub>2</sub> + 96.77, where X<sub>1</sub> and X<sub>2</sub> are the distance (km) of the Kuroshio axis from Cape Inubo and wind speed (m s<sup>-1</sup>), respectively.

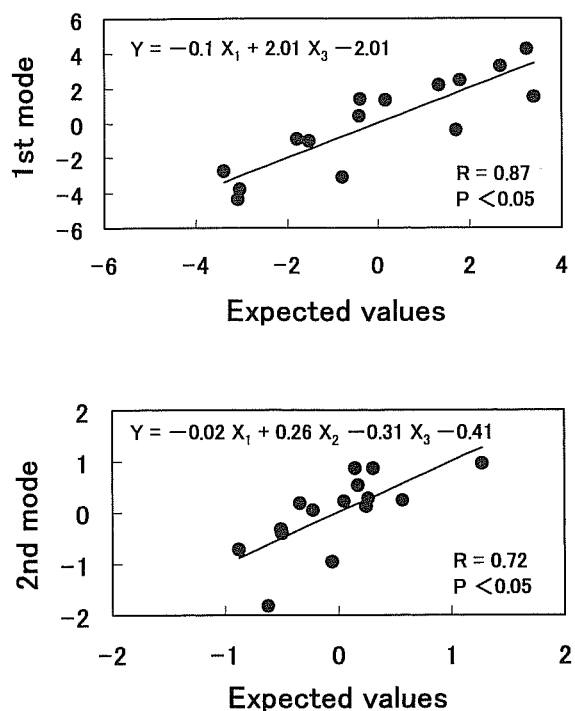
の値（-0.77）が負で大きいことから、黒潮が犬吠埼に接岸する傾向が強いほど第1モードは高くなる。このことから、第1モードは黒潮の離接岸に伴う海域全体の水温変動を示すものと判断された。一方、第2モードは、犬吠埼からの



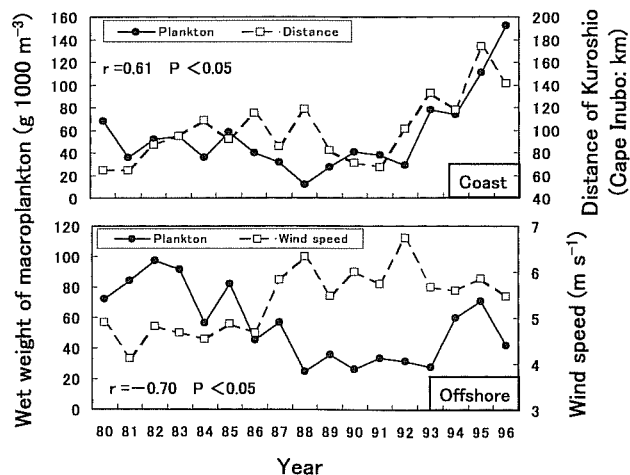
**Figure 6.** Result of the EOF analysis. Percentage indicates the contribution ratio of each mode to the total variance. This region is divided into two sub-regions based on the second mode (Coast  $<-0.1$ , Offshore  $>0.1$ ).

黒潮離岸距離, 日射量, 風速を説明変数とした重回帰式により推定された ( $R=0.72$ ,  $P<0.05$ ) (Fig. 7下). 重回帰式に含まれる日射量と風速の標準偏回帰係数の符号がそれぞれ正と負であることから, おそらく黒潮離岸距離に加えて成層の発達の程度が第2モードに寄与しているものと判断された.

そこでさらに, 海況の空間的な違いが見られた第2モードに基づいて外房海域を沿岸と沖合の2つに区分し (Fig. 6下), それぞれの海域における動物プランクトン湿重量の経年変動を図示した (Fig. 8). 沿岸の場合, 1980年代には湿重量は約  $40 \text{ g } 1000 \text{ m}^{-3}$  前後の低水準で推移したが, 1988年以降, 増加に転じ, とりわけ1992年以降急速に増加する傾向が認められた. 一方, 沖合の場合, 1988年まで減



**Figure 7.** Upper: Relationship between the 1st mode from the EOF analysis and its expected value from a multiple regression model. Lower: Relationship between the 2nd mode from the EOF analysis and its expected value from a multiple regression model.  $X_1$ ,  $X_2$ , and  $X_3$  are distance (km) of the Kuroshio from Cape Inubo, solar radiation ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), and wind speed ( $\text{m s}^{-1}$ ), respectively.



**Figure 8.** Upper: Annual changes in wet weight of zooplankton and distance of the Kuroshio from Cape Inubo in the coastal region off Boso Peninsula. Lower: Annual changes in wet weight of zooplankton and wind speed in the offshore region off Boso Peninsula. The coastal and offshore regions off Boso Peninsula were shown in the bottom of Fig. 6.

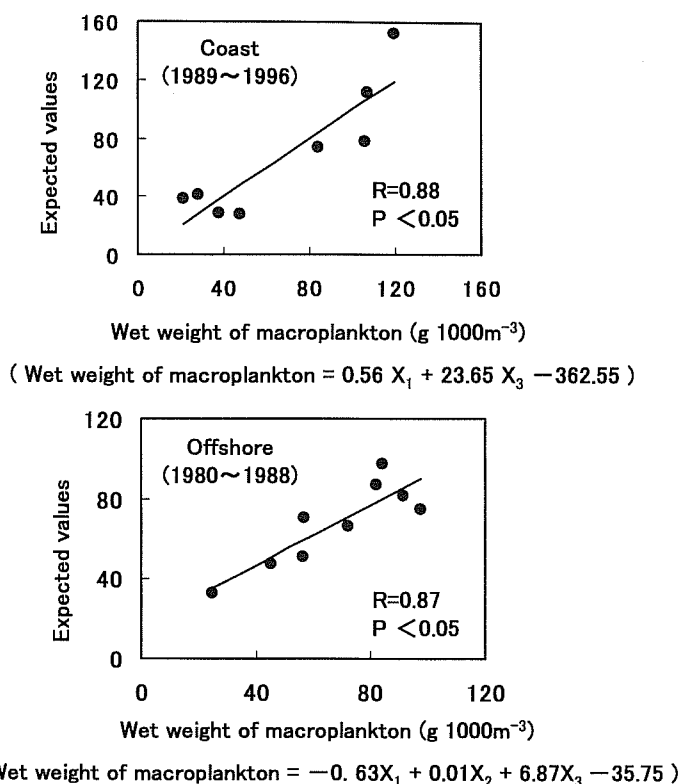


Figure 9. Upper: Correlation between observed wet weight of zooplankton (mean for March–May) and that expected from a multiple regression model in the coastal region off Boso Peninsula. Lower: Correlation between observed wet weight of zooplankton (mean for March–May) and that expected from a multiple regression model in the offshore region off Boso Peninsula.  $X_1$ ,  $X_2$ , and  $X_3$  for these multiple regression equations are distance (km) of Kuroshio from Cape Inubo, river water discharge ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), and solar radiation ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), respectively.

少する傾向が見られ、その後1993年までほぼ一定であったが、1994年以降わずかに増加した。このため1990年代の増加は沿岸域ほど明瞭ではない。また、動物プランクトン湿重量の変動要因を重回帰分析を用いて調べた結果、外房海域沿岸においては、犬吠埼からの黒潮離岸距離だけが有意な変数として残り、黒潮離岸距離と動物プランクトン湿重量の間に有意な正の相関 ( $r=0.61$ ,  $P<0.05$ ) が認められた (Fig. 8上)。すなわち、黒潮が犬吠埼沖で離岸する傾向が強いほど、沿岸域の動物プランクトン湿重量は増加することが分かった。一方、外房海域沖合においては、変数として風速だけが残り、風速と動物プランクトン湿重量の間に高い負の相関 ( $r=-0.70$ ,  $P<0.05$ ) が認められた (Fig. 8下)。なお、両海域の動物プランクトン湿重量の変動傾向が変化した1988年を境に前後の2つの期間に分けてみると、1989年以降の外房海域沿岸における動物プランクトン湿重量の増加には、犬吠埼からの黒潮離岸距離の増加と日射量の増加が関与しており (Fig. 9上)、1988年以前の沖合における動物プランクトン湿重量の減少には、黒潮離岸距離の増加と河川流量の減少および日射量の減少が関与していることが分かった (Fig. 9下)。

### 考察

木立・伊東 (1979) は1971, 1972, 1977年のそれぞれ3月の遠州灘及び外房海域におけるマクロプランクトンの組成と水平分布を調べ、マクロプランクトンの分布パターンに影響を与える重要な要因の一つとして黒潮の離接岸変動を挙げている。しがしながら、生物量の変動やその要因についての検討は行われていない。また、中田 (1997) も、1980年代の2~3月の遠州灘、伊豆及び外房海域における植物プランクトン現存量が、黒潮流路型や風・日射量などの気象条件に影響されて大きく変動することを報告しているが、解析の対象とした観測点数は少なく1990年代については状況が把握されていない。

遠州灘西部海域の場合、Nakata *et al.* (2000) は黒潮流路が蛇行型 (A型) をとるときに、直進型 (N型) のときより透明度が上昇し動物プランクトン量が減少することを指摘している。兪・中田 (2001) はさらに、黒潮離岸距離と遠州灘周辺の沿岸潮位との関係から遠州灘への黒潮系水の流入状況の年々の変動を推定し、動物プランクトン量の経年変動との関係を検討した。その結果、黒潮が潮岬で離岸し三宅島に接岸する傾向が強いほど遠州灘東方からの黒潮

系水の流入が強まり, これに伴って遠州灘沿岸のプランクトン生物量が減少することが示唆されている。

本研究では, 遠州灘と同じく黒潮沿岸域に位置し, 黒潮流路の離接岸変動の影響を大きく受けている可能性のある土佐湾と外房海域を新たにとりあげ, 1980年代から1990年代にかけてのプランクトン生物量の変動要因を調べた。その結果, 土佐湾では黒潮が足摺岬から離岸するほど, 黒潮系水が湾内に流入しやすくなるため水温が上昇し, 透明度から推定したプランクトン量は減少することが分かった。一方, 外房海域では, 犬吠埼に黒潮が接岸するほど, 水温が上昇し動物プランクトン量は減少する。すなわち, 土佐湾と外房海域のいずれについても, 遠州灘西部海域と同様に黒潮の離接岸変動に伴う黒潮系水の流入の強さがプランクトン生物量を変化させる重要な要因になっていることが明らかとなった。おそらく遠州灘西部海域で具体的に示されたように, 土佐湾と外房海域でも黒潮系水の流入にともない沿岸水の滞留時間が短くなり, それがプランクトン生物量を減少させているものと考えられる。また, 遠州灘西部海域では, プランクトン量の増減が春季のシラス漁況と密接に関連することが示唆されており (兪・中田, 2001), 土佐湾や外房海域でもこの点に関する検討を行う必要がある。

外房海域ではさらに, 黒潮の離接岸変動の影響が場所によって異なることを考慮し, 水温データのEOF解析で得られた第2モードにもとづいて沿岸と沖合の2つの区分を設けた (Fig. 6)。この海域区分は, 瀬戸口 (1990) の水温・塩分分布にもとづく区分ともほぼ一致している。そこでこの第2モードの区分にしたがい外房海域の沿岸と沖合におけるプランクトン量の変動要因をそれぞれ調べた結果, 沿岸では, 犬吠埼からの黒潮離岸距離の変動が基本的に関与しており, プランクトン量が急激に増加した1990年代 (1989~1996年) には, さらに日射量の増加の影響がそれに加わったものと推定された。一方, 沖合では1980年代から1990年代の全期間に風速のような気象条件の変動が最も大きく関与しており, 1980年代 (1980~1988年) の湿重量の減少には, それに加えて河川流量の減少と犬吠埼からの黒潮離岸距離の増加が寄与している。このことから, 外房海域の沖合における春季のプランクトンの生産には, 基本的に日射量の増加と風速の減少に伴う密度成層の発達や栄養塩の供給などが大きな影響を及ぼしており, 年代によってはそれに黒潮系水の流入の影響が加わるものと考えられる。

なお, 土佐湾では河川水流入量の増加とともに塩分 (10m深) が低下し, それが黒潮離岸距離とほぼ同程度に植物プランクトン生物量の変動に関与していることが示唆された。しかしながら, 外房海域の場合には, 土佐湾と同様に河川水流入量の増加による塩分低下の傾向は認められたものの, 1980年代の沖合のデータ以外では, 河川流量

とプランクトン生物量との関係は明確ではなかった。

今後さらに, プランクトン生産に対する黒潮系水の流入に伴う移流の効果や, 河川からの栄養塩の供給量及び気象条件の違いが生産に及ぼす影響を, 数値実験などで定量的に検討していく必要がある。また, 本研究ではイワシ類シラスの主漁期となる春季のプランクトン生物量の経年的な変動に注目したが, 広田ほか (2002) は土佐湾における夏季の植物プランクトンの一時的な増加が, 黒潮の接岸と関連した下層水の湧昇によるものであることを報告している。このような季節的・短期的なプランクトン生物量の変動に対する黒潮の離接岸の影響についても今後の検討が必要であろう。

## 謝 辞

本研究に対し, 多くの有益な助言を賜った東京大学海洋研究所教授杉本隆成博士, 助教授木村伸吾博士ならびに長崎大学水産学部岡崎雄二博士に深く感謝申し上げます。また, 元千葉県水産試験場平本紀久雄博士には, 貴重なデータの解析を行う機会を与えて頂き, 厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- Aruga, Y. and M. Monsi (1962) Primary production in the northwestern part of the Pacific off Honshu, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **18**, 37-47.
- Enomoto, Y. (1959) Studies on plankton off the west coast of Kyushu. II. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **25**, 172-182.
- 船越茂雄 (1990) 遠州灘, 伊勢・三河湾およびその周辺海域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究。愛知水試研究業績B集。
- 古橋賢造 (1980) 舞鶴湾のプランクトン。月刊海洋科学, **131**, 717-729.
- Furuya, K., K. Takahasi and H. Iizumi (1993) Wind-dependent formation of phytoplankton spring bloom in Otsuchi Bay, a Ria in Sanriku, Japan. *J. Oceanogr.*, **49**, 459-475.
- 広田祐一・市川忠史・森本晴之・坂本久雄 (2002) 土佐湾における夏季の植物プランクトンの一時的増加。黒潮の資源海洋研究, **3**, 35-46.
- 市村俊英 (1965) 黒潮の基礎生産。日本プランクトン研究連絡会報, **12**, 1-7.
- 今井 直・谷村 篤・太原英生・河村章人 (2000) 河川水の流入が的矢湾の植物プランクトン現存量に及ぼす影響。水産海洋研究, **64**, 215-223.
- 石坂丞二 (1996) 植物プランクトンの時空間変動: 40年以上たった臨界深度理論。月刊海洋, **10**, 170-174.
- Ishizaka, J., I. Asanuma, N. Ebuchi, H. Fukushima, H. Kawamura, K. Kawasaki, M. Kishino, M. Kubota, H. Masuko, S. Matsumura, S. Saitoh, Y. Senga, M. Shimanuki, N. Tomii and M. Utashima (1997) Time series of physical and optical parameters off Shimane, Japan, during fall of 1993: first observation by moored optical buoy system for ADEOS data verification. *J. Oceanogr.*, **53**, 245-258.
- 川端善一郎・佐竹宗徳 (1992) 急潮による湾内の物理構造・栄養塩・植物プランクトンの変化。沿岸海洋研究ノート, **30**, 27-36.
- 川原田 裕 (1975) 植物プランクトン生態。海洋プランクトン, 元田 茂編, 東海大学出版会, 東京, 1-47.

- 木立 孝 (1983) プランクトンと漁業資源量の変動. 日本プランクトン学会報, **30**, 95.
- 木立 孝・伊東 宏 (1979) 春期における黒潮およびその内側域のマクロプランクトン群集構造とその分布について. 東海水研報, **97**, 1-63.
- 清沢弘志・古谷 研 (1996) 海洋植物プランクトン群集—沖合い, 沿岸, 内湾など—. 月刊海洋, **10**, 175-187.
- 小泉善嗣・河野芳巳 (1994) 夏季の下波湾の珪藻プランクトン増殖機構に対する急潮の影響. 沿岸海洋研究ノート, **32**, 81-89.
- 小谷祐一・小達和子 (1992) 東北海域における動物プランクトン生物量の変動. 水産海洋研究, **56**, 182-185.
- 黒田一紀 (1997) 北西太平洋における動物プランクトンの長期変動. 水産海洋研究, **61**, 44-50.
- 長田 宏・奈倉 昇 (1993) 富山湾における河川水の流入とクロロフィル $a$ 濃度の季節変動. 日本研報, **43**, 55-68.
- Nakata, H., S. Funakoshi and M. Nakamura (2000) Alternating dominance of postlarval sardine and anchovy caught by coastal fishery in relation to the Kuroshio meander in the Enshu-nada Sea. Fish. Oceanogr., **9**, 1-11.
- 中田 薫 (1997) 黒潮周辺海域におけるマイワシの初期餌料環境に関する研究. 中央水研報, **9**, 19-129.
- 小達和子 (1994) 東北海域における動物プランクトンの動態と長期変動に関する研究. 東北水研報, **56**, 115-173.
- 小達和子・小谷祐一 (1987) 魚類生産と餌料プランクトンの関係. 水産海洋研究会報, **51**, 329-333.
- 関口秀夫 (1983) 生物生産機構における生物と環境との関係—イワシ類仔魚の生残りをめぐって—. 水産海洋研究, **42**, 49-50.
- 瀬戸口明弘 (1990) 第30章外房総沿岸海域 II物理. 続・日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 東京, 539-547.
- Smith, P.E. and R.W. Epply (1982) Primary production and the anchovy population in the Southern California Bight: Comparison of time series1. Limnol. Oceanogr., **27**, 1-17.
- Sverdurp, H. U. (1953) On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. J. Cons. Explor. Mer., **18**, 287-295.
- 柳 哲雄 (1993) 海洋観測データの処理法. 恒星社厚生閣, 東京, 78-84.
- 齋 俊宅・中田英昭 (2001) 黒潮の離接岸変動が遠州灘の春季のシラス漁況に及ぼす影響. 水産海洋研究, **65**, 51-58.