

シンポジウム「水産海洋」

黒潮周辺の生物生産機構

共催 水産海洋研究会  
日本海洋学会

日時: 1987年4月5日(日) 09:30~17:00  
場所: 東京水産大学  
コンピーナー: 杉浦健三(東海区水産研究所)  
杉本隆成(東京大学海洋研究所)  
佐藤祐二(東海区水産研究所)  
挨拶: 平野敏行(水産海洋研究会長)  
趣旨説明: 杉浦健三(東海区水産研究所)

話題及び話題提供者

- |                              |    |                  |
|------------------------------|----|------------------|
|                              | 座長 | 坂本市太郎(三重大学水産学部)  |
| 1. 大気・海洋相互作用と海洋上部混合層の物理過程    |    |                  |
| (1) 大気・海洋相互作用と衛星計測           | 川村 | 宏(東北大学理学部)       |
| (2) 黒潮周辺海域の海洋上部混合層           | 花輪 | 公雄(東北大学理学部)      |
| 2. 黒潮周辺海域における窒素の動態           | 和田 | 栄太郎(三菱化成生命科学研究所) |
| 3. 黒潮周辺海域の湧昇とストリーマー          | 杉本 | 隆成(東京大学海洋研究所)    |
|                              | 座長 | 村野正昭(東京水産大学)     |
| 4. 東シナ海における魚卵・稚子の現存量及び生産量の評価 | 浅見 | 忠彦(㈱海洋環境コンサルタント) |
| 5. 薩南〜房総近海における低次生産の経年変動とその機構 | 鈴木 | 秀彌(水産工学研究所)      |
|                              | 座長 | 佐々木克之(東海区水産研究所)  |
| 6. 黒潮統流域の生物生産力               | 小達 | 和子(東北水産研究所)      |
| 7. 日本周辺海域における生物生産力の評価        | 西澤 | 敏(東北大学農学部)       |
| 8. 総合討論                      | 座長 | 杉浦健三(東海区水産研究所)   |
|                              |    | 木立孝(東海区水産研究所)    |
|                              |    | 杉本隆成(東京大学海洋研究所)  |
| 討論 (1) 西沢氏の問題に対するコメント        | 松川 | 康夫(東海区水産研究所)     |
| (2) 松川氏のコメントに関連して            | 西澤 | 敏(東北大学農学部)       |

## 趣 旨 説 明

世界的に 200 海里経済水域は定着し、我が国 200 海里周辺海域における生物生産量がどの程度なのか、そのうちの程度を漁獲すれば資源維持が図れるのだろうか等が問われ、資源管理の時代にきている。

海域における生物生産機構に関しての一貫(海洋物理、化学、生物を通した)した詳細な基礎的問題についての調査研究は、あまり行われていない。現在水産研究所においては、黒潮海域を中心に生物生産機構についての研究に取り組んでいる。ここで実施した9年間の結果をもとにしてこのシンポジウムを組み立て、関係のある方々からご批判を頂き、今後の生物生産に関する研究を発展させるべき試みで計画した。

問題提起には、海洋物理では、川村宏・花輪公雄(東

北大理)、杉本隆成(東大海洋研)、海洋化学は和田栄太郎(三菱生命研)、海洋生物は、浅見忠彦(髙海洋環境コンサルタント)、鈴木秀彌(東海区水研)、小達和子(東北水研)、西澤敏(東北大農)の各氏にお願いした。また、基礎生産量の算出には、動物プランクトン量を用いて計算できる西澤(1981)の式を用い、目下模索している低次生産量算出についての問題を提起した。

なお、総合討論では西澤氏の話における海域の生産力についての考え方をめぐって、議論が集中した。この問題についての松川氏のコメントとそれに対する西澤氏の意見を参考までに付記した。

コンビーナー 杉浦健三・杉本隆成・佐藤祐二

## 1. 大気・海洋相互作用と海洋上部混合層の物理過程

## (1) 大気・海洋相互作用と衛星計測

川 村 宏 (東北大学理学部)

## 1. はじめに

一言に大気・海洋相互作用 (air-sea interaction) といっても、その実際の海洋における現れ方は多種多様である。目視可能な典型的なその現れとして、風波がある。これは air-sea interaction の最小のスケールと言っていいであろう。長い時間スケールで眺めると、それは海水の質の変化や運動を海洋にもたらす。本報告では、我々の最近の研究のうちいくつかを、環境の変化(海洋上層の生物生産に関わると思われる)を引き起こす要因としての air-sea interaction に焦点をしばって、紹介する。

海洋学の進展にとって、最近、有効かつ重要な手法となりつつあるものに、衛星計測がある。その原理は海面の情報を遠隔探査することであるから、風波やそれと直接関連した海面物理現象がよく観察できる。そのような視点に立って、海洋上層の物理過程を考察してみる。

## 2. 海面過程の実態と衛星計測

風の作用で発達する風波は、波動としての性質を持つほかに、運動エネルギーや熱などの諸物理量の海面で起こる大気との活発な交換を伴っている。風波の発達に伴

って海面では気泡が生成されるが、それらは乱流運動によって更に海中へと運ばれる。図1は、その気泡の取り込みの様子を、ソナーを使う方法で可視化したものである

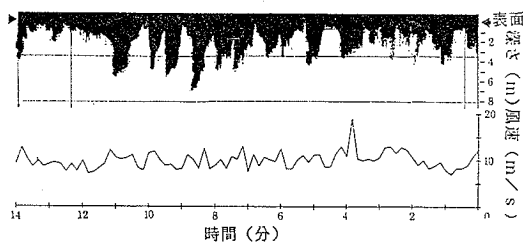


図1 海中から上向きに超音波を放射すると、もし途中の海中に気泡があれば、それは超音波に共振して、下方に超音波を返してくる。その原理を利用して海面で取り込まれた気泡がどのように海中に分布しているかを知ることができる(上図、黒い部分が気泡を含んだ海水)。それと同時に、この図は、気泡の分布を仲立ちとして上層起源の乱流運動の及ぶ範囲を可視化したものにもなっている。下の図は同時刻の風速。観測は、スコットランドの Oban 沖で行われた。(THORPE, 1982)

る。気泡は海面での風波の崩れによって生成されたものであり、その下方への侵入は風波と関連した乱流運動によるものである。この運動は、気泡のみならず海面付近に存在する流体粒子やそれに含まれる物質をも、極めて短時間で数mから数十m深まで輸送すると考えられる。海洋に対する ventilation の具体的な現れと書いていいであろう。

このような実質の運動を詳細に追求するような観測は広域で行うことが難しく、従来は、風波・上層海洋研究分野で閉じてしまうような話題であった。しかし、最近の衛星計測の技術の進展は、このような観点を持ちつつ、しかも広域を頻繁に観測する事を可能にしつつある。このことは、近い将来に、変化しつつある海洋上層部の状態を随時 monitor できるようになるという可能性を示唆している。風の作用下で起こる大気・海洋境界付近の主要な物理過程（風から水面への運動量輸送、風波の発

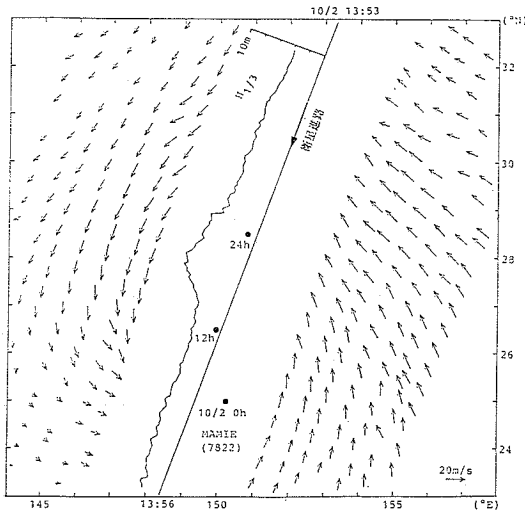


図2 1978年10月2日、SEASATにより観測された太平洋上の台風直下の海上風と有義波高。衛星は、図の中央部を北から南へと通過した。有義波高はALTにより衛星直下で得られるので、進路に沿ってその値を図示した。風速ベクトルは、SASSの与える4個の解から天気図等圧線を参考にして一つを決めた。SASSの風速ベクトルの主要な観測域は、衛星軌道の両側に、約500kmの幅でとられる。

台風の10日0時、12時、24時の位置を黒丸で示してある。この風速と波高のデータが得られた14時ごろの台風中心の位置から判断して、台風を中心付近の北側に高波高域が形成されているのがわかる。この原因は、その領域が台風の北東部の高風速域の少し下流に位置することによるものと考えられる。

達、図1のような水中乱流運動の生成等)を結び付ける相似則(例えば TOBA, 1978 など)や観測データが存在する。そこで、衛星計測によって風と風波の場、或は温度場が与えられることにより、そこで何が起こっているかをある程度推察できる。

人工衛星搭載のマイクロ波能動型センサーは、海面にマイクロ波を放射し、反射波を受けて風速や波の状態を測定する。図2は、SEASAT がとらえた台風直下の海上風速と有義波高の例である。風速ベクトルはマイクロ波散乱計(SASS)により、有義波高はマイクロ波高度計(ALT)によって得られたものである。

### 3. 大気・海洋相互作用と海洋上層の物理過程

衛星計測で観測される air-sea interaction の結果を物理過程の一要素として取り入れて考察する事により、Synoptic scale の海水の混合の過程を明らかにできる場合がある。これから紹介する例では、前章のように海面過程を直接扱うわけではないけれども、観測データに現れた表面水温の変化という事象を全体の海洋上層物理過程のなかに正しく位置づけるうえで、海面過程の知識を用いている。図3は、1981年から82年にかけて東北海区に現れた海洋変動現象を、NOAA AVHRR 資料を用いてとらえたものである。12月末に黒潮フロントの一部が急激に北方に張り出した後(左図)、その位置に留まって冬季の活発な air-sea interaction によって熱を奪われ、冷えて行く(右図)。82年2~3月の海洋観測資料によると、その水温変化のために、この水塊は周囲の親潮水とほぼ等しい密度になっていることが解った。その後の海洋観測資料は、この水塊がその底部から等密度面に沿って親潮水と混合して行く過程を示していた。右図に見ら

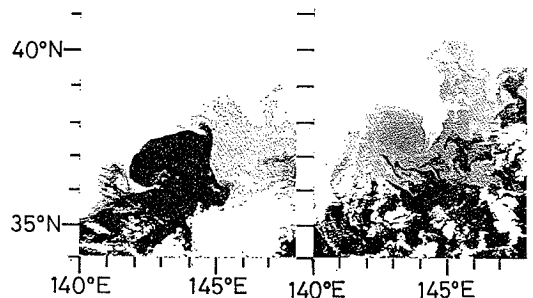


図3 東北海区の熱赤外画像。左: 1981年12月27日、右: 1982年4月5日。12月末に生じた黒潮フロントの北方への張り出し(SSTは約20°C)は、2月末にはすでに約12°Cに冷えていた。しかし、親潮水よりはまだまだかなり水温が高く、2次前線を形成している。(KAWAMURA *et al.*, 1986)

れる水塊は、上層50mほどは冷やされた黒潮水としての特性を持つが、その下層約300mはその混合の結果として $\sim 6^{\circ}\text{C}$ , 33.8‰の特異な性質を有している。

#### 4. 最後に

衛星計測という観点から大気・海洋相互作用の実例をいくつか紹介した。衛星計測という新しい手法を既存の海洋物理学体系に取り入れていくためには、数多くのケーススタディが必要となろう。ここで示した研究は、そのようなケーススタディに含まれるものであると考えている。

SEASAT のデータを快く提供して下さいました寺本俊彦博士に深謝する。

#### 文 献

- KAWAMURA, K., K. MIZUNO and Y. TOBA (1986) Formation process of a warm-core ring in the Kuroshio-Oyashio frontal zone—December 1981–October 1982. *Deep-Sea Res.*, **33**, 1617–1640.
- THORPE, S. A. (1982) On the clouds of bubbles formed by breaking wind-waves in deep water. and their role in air-sea gas transfer. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A304**, 155–210.
- TOBA, Y. (1978) Stochastic form of the growth of wind waves in a single parameter representation with physical implications. *J. Phys. Oceanogr.*, **8**, 494–507.

## (2) 黒潮周辺海域の海洋上部混合層

花 輪 公 雄 (東北大学理学部)

### 1. はじめに

黒潮周辺海域、特に伊豆海嶺東側の統流域は、北太平洋亜熱帯循環系の中で最も厚い混合層が、冬季の鉛直対流混合により形成される、物理学的に興味深い海域である。本稿では、シンポジウムの対象海域であるこの黒潮周辺の上部混合層の、水温や厚さの季節変化・経年変動の実態の一部を紹介する。

はじめに、日本近海における混合層厚さに対する気候値について述べる(第2節)。次に、伊豆海嶺上の長期にわたる資料から、黒潮領域の混合層の水温と厚さの季節変化・経年変動について報告し(第3節)、最後に、亜熱帯モード水を作る黒潮統流域の冬季の厚い混合層の存在について触れる(第4節)。

なお、第3節、第4節に述べる詳細については、それぞれ HANAWA and HOSHINO (1988) 及び HANAWA (1987) を参照されたい。

### 2. 混合層厚さの気候値

一般に海洋混合層とは、現在混合が進行しているかいないかにかかわらず、混合の結果として水温・塩分など海水の属性量が一樣な、大気や固体境界に接している層を指す。一樣化の程度が問題であるが、海洋上部混合層によく用いられる定義は、海面水温(以下、SST)より $1^{\circ}\text{C}$ 低い温度の層を混合層下部とするものである。通常、混合層下部の水温勾配は大きく、別の値を採用してもそう大きな違いはない。

日本近海の混合層厚さの分布・季節変化の概略は、北太平洋に対し緯度経度 $2 \times 5$ 度の海域毎の月平均値を求めた BATHEN (1972) の図から、見ることができる。日本の南方海域の値を図1に示す。混合層が最も発達する2・3月で130m、成層の発達する夏季で30m程度である。図の等温線は OWS-T (南方定点,  $29^{\circ}\text{N}$ ,  $135^{\circ}\text{E}$ ) におけるもので、KAWAI (1972) から引用した。この海域の混合層水温や厚さは年々の変動が大きく、例えばそれらは気象庁 137°E 線資料などからも推察できる(大塚, 1986)。

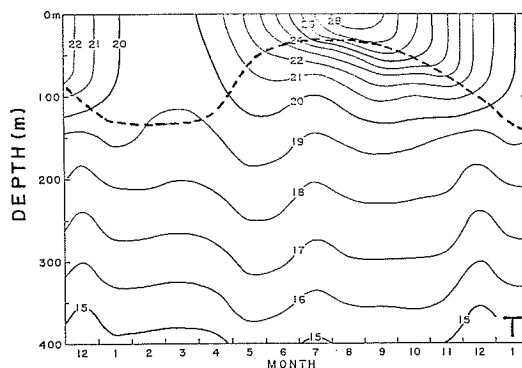


図1 BATHEN (1972) による日本南方海域の混合層厚さの季節変化(点線)。等温線はOWS-T, ( $29^{\circ}\text{N}135^{\circ}\text{E}$ ) のもの (KAWAI, 1972)

ここで、BATHEN の求めた混合層厚さの値は、単純地理学的座標を用いた平均値であることに注目された。

### 3. 伊豆海嶺上の黒潮領域混合層

東京都水産試験場大島分場は、1964年より伊豆海嶺上で10の観測点からなる沖合定線（J線）観測を行っている。特に2・4月はほとんど毎年観測されている。これらの資料から求めた混合層水温と厚さの季節変化を、図2に示す。黒潮は流軸の位置を大きく変えるため、200m深15°C等温線を指標として決めた流軸を基準とした座標系を用いて整理している。2・3・4月の水温は、それぞれ18.7、18.3、19.5°C程度、厚さは、240、280、180mである。このような整理をすると、厚さはより実態に近くなり、BATHEN の2倍以上になることに注意された。

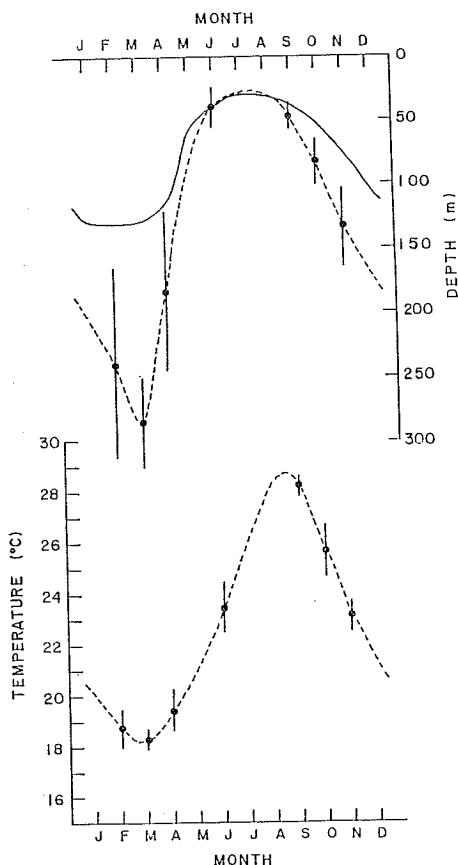


図2 伊豆海嶺上の黒潮領域の混合層水温と厚さの季節変化。縦の棒は標準偏差の2倍。図1に示した Bathen の厚さの値（実線）も比較のために入れた。

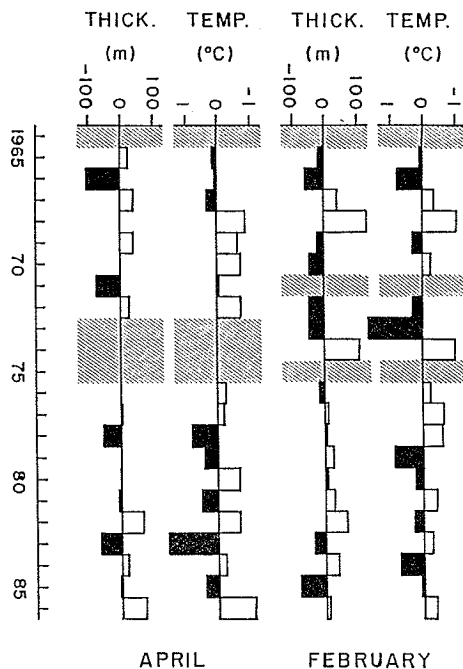


図3 伊豆海嶺上の黒潮領域混合層の2・4月の水温と厚さのアノマリの経年変動。斜線の年は有効な資料が無かった年。水温アノマリの軸を逆に取っていることに注意。

図3に2・4月の混合層水温と厚さのアノマリの時系列を示す。この標準偏差はそれぞれ0.7°C、70m程度であり、年々変動の大きさがうかがえる。各年の水温と厚さのアノマリには、低温（高温）－厚い（薄い）混合層という緩やかな相関がある。平均的には双方の月とも、水温の1°Cの低下が40mの厚さの増加に対応している。特に、1968、1974、1981、1986年に冷たく厚い混合層、1966、1973、1983年には逆に暖かく薄い混合層であったことがわかる。

さて、この冬季の混合層水温は「亜熱帯モード水」（以下、STMW）の指標水温16~19°Cの高い方にあたる（MASUZAWA, 1969; MASUZAWA, 1972; SUGA *et al.*, 1988）。SST 16~19°C水温帯の水平分布と合わせると、伊豆海嶺はSTMW形成域の西端部に位置していると考えられる（HANAWA, 1987）。

### 4. 黒潮続流域の亜熱帯モード水の混合層

STMWは、伊豆海嶺付近から日付変更線までの黒潮続流域で、冬季の対流混合で形成される。黒潮再循環系（黒潮反流）により、季節の進行にともない日本南方海域の亜表層に移動する（移流される）ことから、南方海

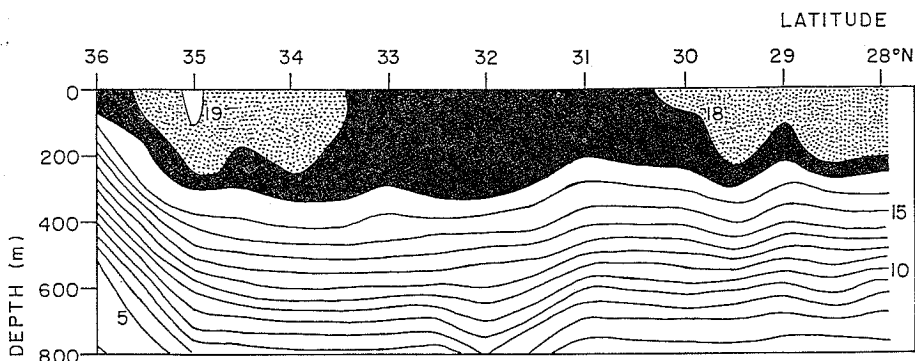


図4 142° 30' E線に沿う水温断面。1982年2月の俊鷹丸による観測。18~19°Cと17~18°C水温層をそれぞれ点描、黒く塗りつぶした。

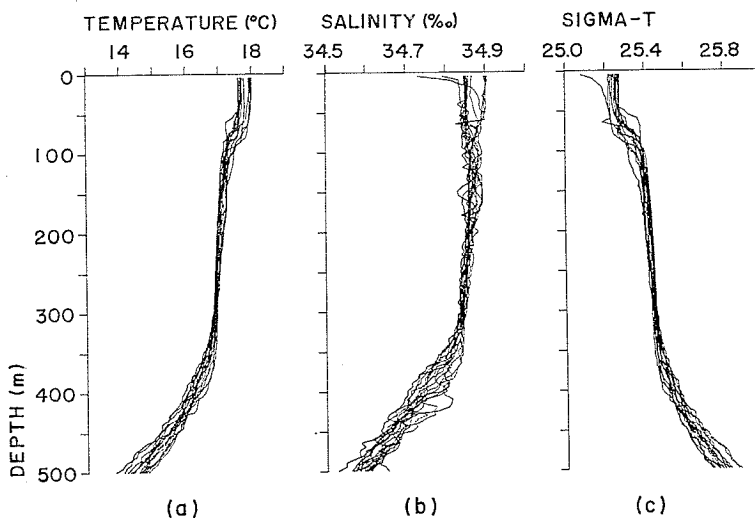


図5 31°N, 146°E近傍における水温・塩分・密度の鉛直プロファイル。1981年4月白鳳丸 KH-81-2による観測。

域の SST 形成などに影響を与えると考えられている (SUGA *et al.*, 1988; WATANABE and HANAWA, 1988)。

以下、厚い混合層の幾つかの例を挙げる。図4に、俊鷹丸による1982年2月の142° 30' E線に沿う水温断面を示す。18~19°C, 17~18°C水温層を、それぞれ点描及び黒く塗りつぶした。黒潮は36°N付近を東に流れ、表層部には warm advective core が存在している。33° 30'N から 30° 30'N の間に 17°C 台の混合層が300 m深以上に発達しているのが見られる。次に、1981年4月に白鳳丸で得た 31°N, 146°E 近傍の水温・塩分・密度の鉛直プロファイルを図5に示す。既に表層70mまで、より高温の新しい混合層が存在しているが、この鉛

直分布から冬季には 350m 深まで STMW 混合層が形成されていたことがわかる。

黒潮統流域の STMW の厚い混合層は、図6に示した海洋環境図から書き直した、冬季の表層各水深における水温水平分布からもうかがえる。100m深まで 16~19°C 水温帯が同じ形をしており、黒潮統流に沿い、大きな“煙突”ができていていることがわかる。この図も単純地理学的座標系を用いた平均の図であり、黒潮統流の位置に着目した資料整理をすれば、より厚い混合層の存在を示すことができよう。

#### 5. おわりに

本稿では黒潮周辺域の混合層水温や厚さの季節変化や

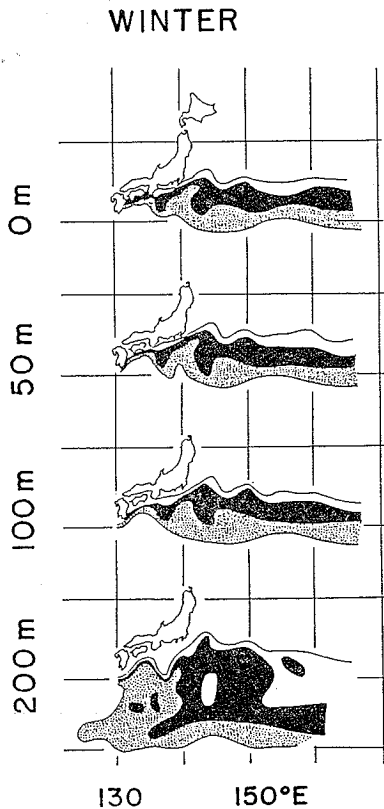


図6 海洋環境図から書き直した冬季の水温水平分布。16~19°C台のみを示し、18~19°Cと17~18°C水温帯をそれぞれ点描、黒く塗りつぶした。

経年変動について、主に筆者らの最近の研究から報告した。特に第3節に述べた黒潮領域の混合層水温と厚さの

経年変動、すなわち物理環境の変化が、この海域の動物植物プランクトンなどの生物生産過程に、どのように影響しているのかは大変興味深いことである。

#### 文 献

- BATHEN, K. H. (1972) On the seasonal changes in the depth of the mixed layer in the North Pacific. *J. Geophys. Res.*, **77**, 7138-7150.
- HANAWA, K. (1987) Interannual Variations of the winter-time outcrop area of Subtropical Mode Water in the western North Pacific ocean. *Atmosphere-ocean*, **25**, 358-374.
- HANAWA, K. and I. HOSHINO (1988) Temperature structure and mixed layer of the Kuroshio over the Izu Ridge. Submitted.
- KAWAI, H. (1972) Hydrography of the Kuroshio Extension. In *Kuroshio-Its physical aspects*, ed. by H. STOMMEL and K. YOSHIDA, Univ. Tokyo Press, 235-352.
- MASUZAWA, J. (1969) Subtropical Mode Water. *Deep-Sea Res.*, **16**, 468-472.
- MASUZAWA, J. (1972) Water characteristics of the North Pacific central region. In *Kuroshio-Its physical aspects*, ed. H. STOMMEL and K. YOSHIDA, Univ. Tokyo Press, 95-127.
- 大塚一志 (1986) 冬季雲量と表層混合. 科研費報告書, 総研(A)「本州南方海域の海洋混合層に関する総合的研究」(研究代表者, 鳥羽良明), 43-53.
- SUGA, T., K. HANAWA and Y. TODA (1988) The Subtropical Mode Water in the 137°E section. Submitted.
- WATANABE, T. and K. HANAWA (1988) Relationship between SST in the western North Pacific and Monsoon and Southern Oscillation indices (manuscript).

## 2. 黒潮周辺海域における窒素の動態

和田 英太郎 (三菱化成生命科学研究所)

### 1. はじめに

本論では貧栄養域有光層(相対照度1%以上)における無機態窒素の動態並びに黒潮隣接海域において新生産に寄与する窒素供給系の多様性に視点をあてる。有光層における栄養塩の分布は、i) 系内への供給速度, ii) 植物プランクトンによる取り込み(消費ないしは有機化),

iii) 分解による系内での再生産, iv) 生成粒子の下層への沈降, によって決定される。栄養塩の供給速度が全系の物質代謝を律するようになると, 系内では植物プランクトンと再生産された栄養塩の間の物質のやりとりのみが活発となり, 最終的にはi)の供給速度とiv)の沈降速度が等しくなる定常状態に近づいてゆくであろう。ここ

では先ずこの釣合いの例について言及する。

大陸東岸を北上する黒潮は巨大なエネルギーを輸送し、その周辺域の水の運動を複雑にする。有光層への栄養塩の供給は時空間的に変動する局地的な移流、湧昇によって多様化したダイナミックな場としてとらえられる。特に局地性湧昇はスポット的に生成消滅し、全体として、周辺海域有光層への栄養塩の供給速度を高め、一次生産力をあげていることが想像されよう。これまでの知見をまとめて、その全体像の一端を概括し、最後に、水の運動、栄養塩の動態、一次生産、高次生産を包括して論ずるために有望と考えられる窒素に関するパラメーターについてもふれることにした。

2. 定常下の窒素の動態

食栄養海域では、有光層内の成層構造が発達し、窒素供給系は下層からの渦動拡散による硝酸塩の供給が主経路となっている。この海域では透明度が高く、有光層内には十分の光エネルギーが供給されている。このため、植物プランクトンによる取り込みが供給速度に卓越し、有光層内に供給された硝酸塩の全てはすみやかに植物プランクトンによって同化されつくしてしまう系とみなすことができよう。鉛直方向の拡散のみを考えてよい場合は、供給と消費は次の近似式で関係づけられる。

$$F_{NO_3^-} = K_z c_{(NO_3^-)} \left[ \frac{d(NO_3^-)}{dZ} \right] = \int_0^Z \rho_{NO_3^-} dZ$$

ここでFは下層から有光層へのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>のフラックス、K<sub>z</sub>は鉛直渦動拡散係数、ρ<sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>は<sup>15</sup>Nトレーサー法によって得られる水中での取り込み速度である。ちなみに筆者が四国沖暖水渦の中心付近、75m層（相対照度2%）で得たF<sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>は7.5 μg at. N/m<sup>2</sup>/hrであり、K<sub>z</sub>として1.7cm<sup>2</sup>scc<sup>-1</sup>に相当する（和田，1984）。この供給速度は約9 kg N/ha/年に相当し、我国の水田への施肥料、100 kg N/ha/年に比べ、高々1割程度であるが、無視できる程小さな値でもない。水田と外洋の顕著な差は生成した有機物が後者では下層に沈降し系外に除かれることにある。

藻類と栄養塩の関係は、取り込みの濃度依存性を知ることによって記述できる。一般に取り込み活性（ρ，μg at. N/l/hr）は、基質濃度（s）に関して飽和曲線を与え、次の式で近似される。

$$\rho = \frac{\rho_{max} \cdot S}{K_s + S}$$

ここでK<sub>s</sub>は活性が最大値（ρ<sub>max</sub>）の半分になるときの

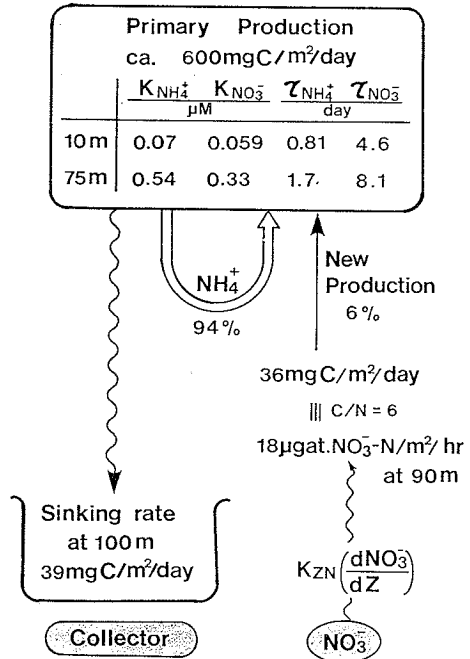


図1 四国沖暖水渦中心部における窒素・炭素のバランス。一次生産は HAMA et al. (1983) による。また粒子の沈降速度は鮎貝天志氏の私信による。10m および 75m層における K<sub>s</sub> と τ 値は<sup>15</sup>N トレーサ実験によって求めた。

栄養塩濃度である。K<sub>s</sub>の値が低い程、水中の植物プランクトンは低濃度の基質を効率よく取り込むことを意味する。また、植物プランクトンの取り込み活性を基準とした基質の回転速度（τ）は

$$\tau = \frac{S}{\rho} = \frac{K_s + S}{\rho_{max}}$$

で与えられる。KANDA (1986) によれば、貧栄養表層域では平均的な植物プランクトン、懸濁粒子、アンモニウムの量は0.03 μM, 0.4 μM, 0.05 μM であり、各々のτは1日, 13日, 1.7日である。また K<sub>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></sub> は0.05-0.41 μM の範囲にあり、Chl. a の高い水（0.2 μg/l 以上）で K<sub>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></sub> が高くなる。四国沖暖水渦の中心で得られた一連の結果を図1にまとめた。有光層下部（75m層）では下層からのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の供給があり、亜表層クロロフィル極大の層に対応するため、K<sub>s</sub>とτとも高い値を与える。10m層では植物プランクトンは低濃度の無機態窒素を取り込むため、低いK<sub>s</sub>を与え、そのτは小さく、特に再生産で生成したアンモニウムを激しく回転させながら利用していることが分かる。有光層水柱（0-90m）あたりの



アンモニウムと硝酸の取り込み活性の比率は94%対6%となっており、この事実からも激しいアンモニアの回転が示唆される(図1)。ここで、有光層に供給された硝酸塩(18 $\mu\text{g at}\cdot\text{N}/\text{m}^2/\text{hr}$ )に相当する一次生産量(36 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ )を100m層に設置した粒子捕集器に集まった量(39 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ )と比較すると両者はほぼ釣り合っていることが見出された。すなわち、この暖水渦の中心では、新生産( $\text{NO}_3^-$ を利用した一次生産)と下層への粒子の沈降がほぼ等しく、有光層生体の物質動態が定常状態に近づいていることが結論された。この地点の高次生物は全体の6%に相当するわずかな新生産に依存して、その生活を維持することになる。

### 3. 窒素供給経路の多様性

それでは、黒潮域全体の生物活動が上記のような下層からの硝酸塩の供給量に制約された生物生産に細々と依存しているものであろうか。否、むしろ黒潮の蛇行、生物の多様な代謝能にささえられる窒素供給系は極めて多様化した活発なものとなっており、ダイナミックな状況下にあると云えよう。黒潮周辺海域におけるこれまでの断片的な知見をまとめてみると、窒素供給路としては以下の事象があげられる。

#### I. 海水の運動に伴うフロントの形成と湧昇

- 1) 黒潮の蛇行と周辺水の相互作用
- 2) 黒潮の蛇行と沿岸水の相互作用
- 3) 暖水渦、暖水塊、冷水塊、ストリーマーの形成によるフロントの発生
- 4) 海底地形と海水の運動の相互作用
- 5) 海底地形と風による局地性湧昇

#### II. 生物活動による窒素の供給( $\text{N}_2$ 固定)

- 1) 外洋：浮遊性藍藻 *Trichodesmium*
- 2) さんご礁：底棲の藍藻、共生窒素固定菌

局地性湧昇は上記の因子が複雑にからみあっているため、その原因を解明することは困難であるが、一般的にはフロントが形成されると不安定な水の構造に起因する上下混合が活発となる。通常、湧昇域は表層水の温度低下、 $\text{NO}_3^-$ の存在、あるいはそれを利用した藻類の増殖(*Chl. a*の増加)によってモニターできる。伊豆周辺海域の場合、表層に輸送された硝酸塩は2~3日ですみやかに消費され、*Chl. a*が増加する(石坂・高橋, 1984)。図2には黒潮周辺域で湧昇が報告されている場所を明示し、関連する論文をまとめてみた。黒潮周辺域では色々な場所で局地性湧昇が起っており、これによって有光層へ栄養塩が持ち込まれていることが、強く示唆されている。

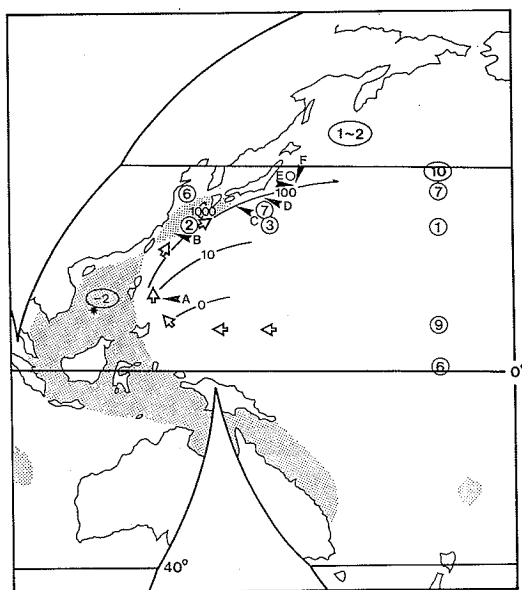


図2 黒潮周辺海域における窒素供給系の多様性を示す模式図。白ぬきの矢印は黒潮を示す。点描は藍藻 *Trichodesmium* の出現海域を示し、実線上の数値はその藻系統数/lをあらわす。A: 黒潮が作るフロント B: *Trichodesmium* の赤潮 C: 四国沖暖水渦 (SUGIMOTO *et al.*, 1986; 和田, 1984) D: 伊豆周辺の局地性湧昇 (TAKAHASHI *et al.*, 1980, 1981, 1984) E, F: 暖水塊, 冷水塊, ストリーマー (海洋科学19巻第5号参照) ○印の中の数値は各海域のネットプランクトン (xx 13) の  $\delta^{15}\text{N}$  値を示す。

低緯度海域の特定の場所では、窒素固定能を有する藍藻が新生産に重要な役割をはたしていることが知られている。ここで新生産とは系外から流入した窒素による一次生産をさす。外洋における代表例は *Trichodesmium* であり、紅海、サルガッソ海、カリブ海、南シナ海、東シナ海、アラビア海などに赤潮を形成することが知られている。図2には我国の南方海域で *Trichodesmium* 出現域を点描してある。何故 *Trichodesmium* が特定の海域に赤潮を形成するのか、この間に対する一般的な解答はいまだなされていない。しかし、上記の海域が比較的島に近く、例えばカリブ海の場合には、中底層水が湧昇して流入し、湧昇水中の硝酸塩が消費された後、余剰のリン酸塩や他の微量成分の存在が  $\text{N}_2$  固定系と共役してこの藍藻の増殖を可能にすると考えられている (CARPER and PRICE, 1977)。 *Trichodesmium* は、通常の窒素固定藍藻が共通もっている異形細胞 (heterocyst) を欠いている。このため、酸素に対するニトロゲナーゼの

防御の面からも窒素固定活性は機械的刺激に弱く、海が静かなときに活性は高くなるという報告がなされている (CARPENTER & PRICE, 1976)。

*Trichodesmium* による  $N_2$  固定量は東シナ海で  $8.1 \times 10^{10} g N/年$  と推定されている (SAINO, 1977)。これを面積当りに換算すると、約  $2kg N/ha/年$  となる。これは先の四国沖暖水渦中心部の下層からの硝酸供給量の2割程度に相当し、この海域では無視できない寄与となっている。

#### 4. 新しい手法について

黒潮域は周知の如く、生物種が多様化しており、複雑な食物網を形成している。上に述べた多岐に渡る新生産はこの食物網にどのような関連を持っているのであろうか。今後は水の運動、栄養塩の動態、一次生産、高次生産を包括した総合的な視点からの研究の展開が望まれよう。この新しい視点を取りあえず進めるためには、物理・化学的な場の理解から、魚類の生活史に目を向ける Bottom up 方式と、魚自体が持っている情報量を扱み取り、物理・化学的な場の特徴を浮彫りにする Top down 方式の二つが重要となる。筆者は窒素に関連したこの点での有望なパラメーターとして、亜硝酸塩と窒素同位体組成 ( $\delta^{15}N$ ) の二つをあげたい。亜硝酸塩は主に有光層の下部で生産され、水の運動によって下層に拡散してゆく。従って海水の物理場が不安定で上下混合の激

しい水柱では有光層下部の亜硝酸塩量は周辺海域よりも高くなる。従って、比較的分解の簡単な亜硝酸塩の鉛直分布を知ることによって、定性的に海水の上下混合の程度を知る目安を得ることが出来る。この手法は特に物理的な観測の難しい亜表層の水の動きを知る上で、有効な補助的知見を与えるであろう。この点に関する詳細は海洋科学16巻8号に述べてあるので割愛する。

水素、炭素、窒素、酸素など生物体を構成する主要元素にはいくつかの安定同位体が存在している。植物プランクトンの場合、その同位体組成は生育する海域、利用する窒素化合物の化学形 ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $N_2$ ) によって異なる。植物プランクトンの具体的な  $\delta^{15}N$  値を図2に示してあるが硝酸塩の同化が主経路となる親潮域では2~3‰、黒潮域では6~10‰、*Trichodesmium* は-2~0‰である(和田, 1986)。他方、藻類の炭素同位体比は結果として水温との相関が見出され、一般に生育の速いほど  $^{13}C$  の含量は高くなる。外洋の植物プランクトンの中で、*Trichodesmium* は最も低い  $^{15}N$  含量と最も高い  $^{13}C$  含量を示す。貧栄養域の中でも、湧昇域内と外とでは生育する植物プランクトンの  $^{15}N$  および  $^{13}C$  含量は異なることが見出されている。

動物の  $^{15}N$ ,  $^{13}C$  含量は餌生物の同位体組成を反映する。 $^{13}C$  の含量は食物連鎖に沿って大きく変らないが、

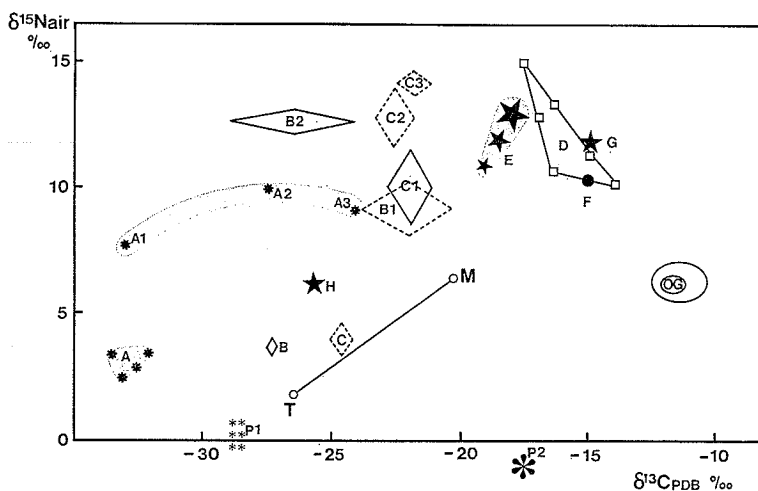


図3 各種水塊生態系における一次生産者、堆積物、魚類の  $\delta^{15}N$ - $\delta^{13}C$  マップ。  
 T: 陸上植物; M: 貧栄養域の植物プランクトン; OG: 藻場の植物 (C4植物); A: ブラジル, リオドーセ湖沼の堆積物; A1: 泥食魚, A2: 動物プランクトンと昆虫捕食魚, A3: 底棲動物捕食魚; B: 木崎湖堆積物, B1: フナ, B2: ワカサギ; C: 諏訪湖堆積物, C1: フナ, C2: ハゼ, C3: ワカサギ; D: 大槌湾河口域藻場の魚; E: シロザケ; F: カジキマグロ; G: 相模湾のトビウオ; H: 南極海のミンククジラ; P1: 南極海の珪藻; P2: 東支那海の藍藻 *Trichodesmium*。

$^{15}\text{N}$  含量は餌に比べ、捕食者の側に 3~5% 程度高くなり、 $^{15}\text{N}$  が濃縮される。従って、魚類の  $^{13}\text{C}$  含量はその体を構成する炭素の起源に関する情報を提供し、 $^{15}\text{N}$  含量は食物網の中での栄養段階に関する知見を与える。高次の動物ほど  $^{15}\text{N}$  含量が高くなるわけである。事実、我々が南極海で得た結果では (WADA *et al.*, 1987), 珪藻の栄養段階 (TL) を 1 とすると、各種動物の TL と  $\delta^{15}\text{N}$  の間には

$$\delta^{15}\text{N} = 3.3(\text{TL}) + \delta^{15}\text{N}(\text{珪藻})$$

の関係が成立する。ここで TL は従来の生態学的な知見に基づいて決定された数値である。現在のところ、この手法を黒潮域の食物網に応用した研究は行われていない。しかし、上に述べた総合的視野からの解析を行う上で、極めて有望な化学的手法といえる。図 3 には筆者がこれまで得た種々の水域における魚類、藻類及び堆積物を  $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{13}\text{C}$  マップ上にまとめてある。各種魚類はその食性に対応した位置を占め、その位置から Top down 方式で起源植物プランクトンを探ることが可能となる。この安定同位体自然存在比の手法は別の言葉で言えば、“自然界が行なっている壮大なトレーサー実験を解析する手法”とも云えよう。

#### 文 献

- CARPENTER, E. J. and C. C. PRICE (1975) Marine *Oscillatoria* (*Trichodesmium*): Explanation for aerobic nitrogen fixation without heterocysts. *Science*, **191**, 1278-1280.
- CARPENTER, E. J. and C. C. PRICE (1977) Nitrogen fixation, distribution and production of *Oscillatoria* (*Trichodesmium*) spp. in the western Sargasso and Caribbean Seas. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, 60-72.
- HAMA, T., T. MIYAZAKI, Y. OGAWA, T. IWAKUMA, M. TAKAHASHI, A. OTSUKI and S. ICHIMURA (1983) Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable  $^{13}\text{C}$  isotopes. *Mar. Ecol.*, **73**, 31-36.
- 石坂丞二・高橋正征 (1984) 黒潮分枝流のフロント域におけるクロロフィルの生産と集積. 沿岸海洋研究ノート, **21**, 148-155.
- KANDA, J. (1986) Uptake and assimilation of ammonium by phytoplankton and their implication in the nitrogen cycling in the oligotrophic open ocean. Doctoral dissertation Department of Botany, University of Tokyo.
- SAINO, T. (1977) Biological nitrogen fixation in the ocean with emphasis on the nitrogen fixing blue-green algae, *Trichodesmium* and its significance in the nitrogen cycling in the low latitude sea areas. Doctoral dissertation, University of Tokyo.
- SUGIMOTO, T., T. ISHIMARU and M. KOBAYASHI (1986) Circulation and water exchange in the anticyclonic gyre off Shikoku. *Deep-Sea Res.*, **33**, 1641-1652.
- TAKAHASHI, M., I. KOIKE, T. ISHIMARU, T. SAITO, K. FURUYA, Y. FUJITA, A. HATTORI and S. ICHIMURA (1980) Upwelling plumes in Sagami Bay and adjacent water around the Izu Islands, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **36**, 209-216.
- TAKAHASHI, M., Y. YASUOKA, M. WATANABE, T. MIYAZAKI and S. ICHIMURA (1981) Local upwelling associated with vortex motion off Oshima Island, Japan. *Coastal Upwelling, Coastal and estuarine Sciences*, **1**, 119-124.
- TAKAHASHI, M. and J. KISHI (1984) Phytoplankton growth response to wind induced regional upwelling occurring around the Izu Islands of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **40**, 221-229.
- 和田英太郎 (1984) 暖水塊における硝酸、亜硝酸の分布構造と動態. *海洋科学*, **16**, 451-456.
- 和田英太郎 (1986) 生物関連分野における同位体効果—生物界における安定同位体分布の変動. *Radioisotopes*, **35**, 136-146.
- WADA, E., M. TERAZAKI, Y. KABAYA and T. NEMOTO (1987)  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  abundances in the Antarctic Ocean with emphasis on the biogeochemical structure of the food web. *Deep-Sea Res.*, **34**, 829-841.

### 3. 黒潮周辺域の湧昇とストリーマー

杉本隆成 (東京大学海洋研究所)

#### 1. はじめに

黒潮周辺域における物質輸送や生物生産に関係する重要な流動として、湧昇や、前線波動、ストリーマーが注

目を集めている。これは、前線波動やストリーマーなどが人工衛星による熱赤外画像で可視化されるようになったことによる所も大きい。夏季の湧昇流は季節躍層を通

しての鉛直混合とともに、中・深層の栄養塩に富んだ水を有光層に運び揚げる機能を持っており、一方、黒潮周辺域のストリーマーは黒潮系水と隣接域の水との水平的な海水交換・物質交換を担っている重要な素過程と云えよう。本文では、両者に関する種々の観測例をあげ、今後の研究課題について述べてみたい。

2. 黒潮周辺域における湧昇現象

1) 黒潮に伴う傾圧的な横断面構造 黒潮などの表層海流は、横断面内の渦度バランスから見れば温度風平衡している。すなわち、 $g \partial \rho / \partial x = f \partial v / \partial z$  が成り立っており、密度の水平勾配  $\partial \rho / \partial x$  は流速の鉛直勾配  $\partial v / \partial z$  に比例する。後の図に出てくるが、黒潮のように流速が上層で大きく深層で小さい場合、等密度面は下流に向かって左上がりに傾き、等密度面の最も傾斜した所の上層が強流帯となる。いま、 $g = 10^3 \text{cm/s}^2$ 、 $f = 0.7 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 、黒潮の幅を 50km、上層と下層の平均的な流速差を 100 cm/s、黒潮の両側の密度差を 0.001 とすると、沿岸側の永年躍層の深さが沖合側に比べて 350m 程度浅くなる形で力学的に釣り合うことになる。黒潮の流れに伴う密度場のこのような背斜構造の位置は、黒潮流軸の中・長期の離接岸と一体となって移動し、次に述べるように、海域によっては黒潮の沿岸域の水温、更には漁場形成や資源量に大きな影響を及ぼしている。

2) 黒潮流軸の中長期の離接岸に伴う沿岸域の水温変動 日本の南岸に沿って流れる黒潮は熊野灘・遠州灘沖で、数年～10数年の周期で大蛇行を繰り返している。このため、黒潮沿岸（内側）域の流況は、図 1a, b に見られるように大きく変化する（小林ほか, 1984, '86）。大蛇行時には熊野灘・遠州灘に左旋環流が形成され、環流の中心部では栄養塩に富んだ中層の冷水が持ち上げられ

た構造となる。黒潮流路は遠州灘東部ないし伊豆海嶺上で著しく接岸しているため、より短周期の小蛇行または黒潮前線波動の山が接近してきた場合、黒潮主流の一部が沿岸側に飛び出し、冷水塊周辺部の左旋環流に乗って回る。このため遠州灘・熊野灘の沿岸域では、黒潮大蛇行時の水温が非大蛇行時の水温に比べて高くなる（藤本・友定, 1980）。

なお、非大蛇行期の中でも伊豆海嶺付近で八丈島以南まで離岸する C 型流路の場合や、大蛇行期でも蛇行の谷が東偏する場合には、黒潮流軸は潮岬付近で接岸する傾向がある。この時、紀伊半島の西側、東側を北上する暖水の流入が頻繁に発生することが知られている（竹内, 1987; 木村・杉本, 1987）。

また、阪本（1987）は紀伊水道・熊野灘南部の中長期の海候的変動及び水産資源の変動に対して、黒潮前線のすぐ沿岸側のできる湧昇中層水帯（inner cold belt）の変動の影響が極めて重要であることを指摘している。図 2 は 200m 層 16°C 線で見えた黒潮流軸の潮岬からの離岸距離と、潮岬沖 5 マイル地点の水温 15°C 面の深度の関係を示したものである。この図によれば、潮岬付近での湧昇は黒潮流軸が潮岬沖 30～40 マイルにあるときに顕著であり、黒潮流軸が 20 マイルより近づいたときは沿岸域も黒潮系水に覆われ低温化が起きない。また、1982 年以降の冷水化によって、紀伊水道周辺域におけるスズキやタチウオ等の資源量が激減したことが示されている。

以上に述べたことは湧昇して準定常状態になった地衡流の基本的な場の構造である。内側域の湧昇構造が摩擦や拡散による減衰（下層運動）に対抗して維持されるためには、間欠的にしろ冷水塊周辺域での暖水流入による循環流の加速と中央部での湧昇が必要であると考えられ

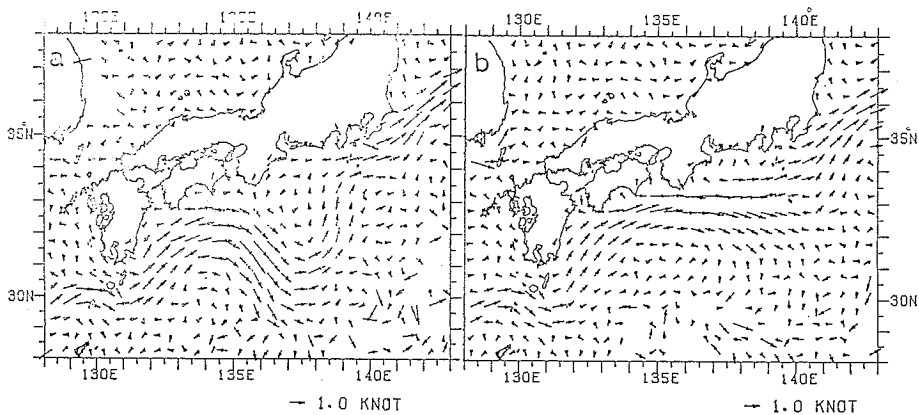


図 1 GEK による表面流速 (a) 黒潮流路の大蛇行時, (b) 非大蛇行時

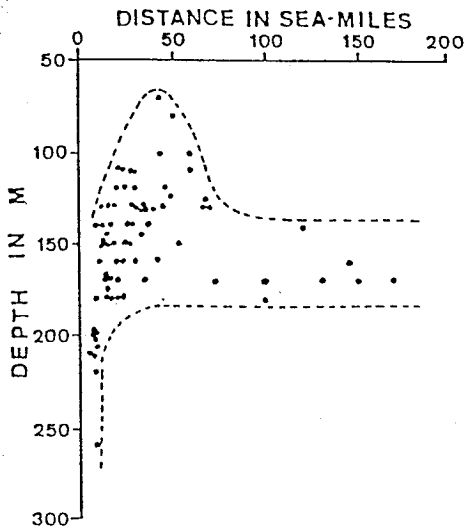


図2 黒潮流軸 (200m層 16°C) の離岸距離と内側域 (潮岬の南5マイル地点) における15°C面深度の関係 (阪本, 1987 による)

る。SEKINE *et al.* (1985) は遠州灘沖の冷水塊中の水温塩分分布の変動に基づく動態の解析を行い、冷水塊の強化・減衰に季節変動のあることを示している。

3) 黒潮前線域の波動に伴う湧昇現象 黒潮やメキシコ湾流のような亜熱帯循環の西端境界流の沿岸側の前線域では、内部摩擦に伴うエクマン流より、平均的には横方向の水平収束流が生じていると考えられている(川合, 1955; 杉本, 1977)。最近、メキシコ湾流で、前線波動の一部が直径数10kmスケールの低気圧性渦へと発達する際に生じる10m/日程度の強い湧昇が観測されている。図3はPIETRAFESA *et al.* (1985) によるメキシコ湾流前線域の低気圧性渦の3次元的な構造の模式図である。LEE and ATKINSON (1983) らの観測によれば、こうした渦による陸棚への栄養塩の輸送量は河川からの供給量の数倍もあることが報告されている。

黒潮の前線域・沿岸域ではこのような栄養塩の収支についての研究はまだ行われていない。しかし、東シナ海の黒潮の前線でのCTDや係留系等を用いた観測 (SUGIMOTO *et al.*, 1988) によれば東シナ海においても、図3に見られたような低気圧性の渦が存在し、栄養塩の豊富な下層水を上層及び陸棚に運んでいるものと推測される。

4) 四国沖暖水渦の上層の湧昇構造 黒潮の沖合には西端境界流に伴う沖合側の反流として西向きの流れがあり、この反流域を含む黒潮の南側には、深さ数10mの季節躍層と数100mの永年躍層の間に挟まれた水温18.4~

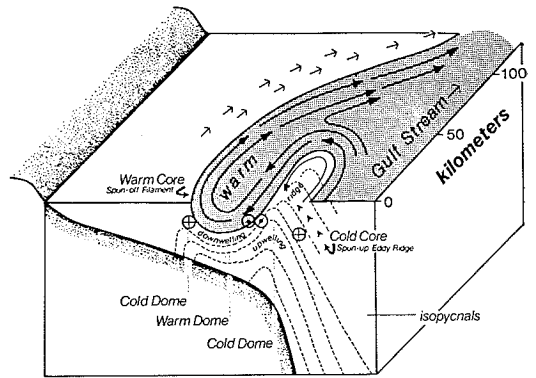


図3 西端境界流の前線域における低気圧性渦の立体的構造 (PIETRAFESA *et al.* (1985) による)

18.8°C, 塩分34.8~34.9程度のほぼ様な水塊が見られる。黒潮が熊野灘・遠州灘沖に大きく蛇行する流路をとるときには黒潮は四国沖で高気圧性の蛇行流路をとり、その沖合側に高気圧性の暖水渦が形成される。この渦の中の動態はまだよく調査されていないが、蛇行流路の東西振動や、黒潮からの暖水の流入等に伴う短期的な変動が存在していることが推測される。暖水渦の中央部における直径100kmスケールの円柱状のボックスの上層の熱収支の計算から、SUGIMOTO *et al.* (1986) は水平渦動拡散係数として $5 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ を想定し、間欠的に2~4m/day程度かそれ以上の速さの湧昇があることを示唆している。

5) 風による沿岸湧昇 夏季に南よりの風が吹くと、熊野灘や東北の沿岸等では、エクマン吹送流により表層の沿岸水が沖合に運ばれるため、冷たくて栄養塩に富んだ下層の水が補流となって湧昇する (KISHI, 1977; 大谷・出口, 1981; 竹内, 1987 など)。しかし、北米や南米の西岸に見られる沿岸湧昇に比べると、日本のものは短期的であり規模が小さい。TAKAHASHI and KISHI (1984) は観測から、風による湧昇に伴う栄養塩の有光層への補給量を見積り、植物プランクトンの増殖の様子について報告している。カリフォルニア沿岸の湧昇域ではマイワシ・カタクチワシの初期生残・資源加入機構研究の一環とし組織的な調査がなされてきている (FLAMENT *et al.*, 1985; BARELE and FAY, 1986; LASKER, 1988)。黒潮沿岸域でも、特に環境面で場全体の時間的変化を抱えるような定量的な調査が今後の大きな課題のひとつであるといえよう。

6) 後流渦に伴う湧昇 海流が海山や海嶺を越えて流れる場合、背後に反時計回り、時計回りの渦が生じる。

発生に伴って中心部では比較的強い湧昇流が生じ、人工衛星による熱赤外面像中に海面が低温になっているのが見られる(AIKOH and TAKAHASHI, 1982)。友定(1987)はSTDによる海洋観測等から、伊豆大島の背後では、水深が急に深くなるために水柱が鉛直に伸ばされ水平収束し低気圧性の渦が生じることを示唆している。しかし、上層に季節躍層が形成されているような場合には、渦流の発達につれて上層で発散し中心部で湧昇するような2層構造になることも想像される。石丸や才野らの最近の観測によれば、八丈島の背後の渦中の水温や栄養塩・クロロフィル等はドーム状の分布をしていることから、湧昇または鉛直混合による上方への輸送の存在を推定している。

伊豆海嶺の浅瀬はサバなど多獲性浮魚類の重要産卵場になっており、将来さらに詳しい調査を行うことが必要と考えられる。

### 3. 黒潮周辺域におけるストリーマー

1) 黒潮沿岸域のストリーマー 前述した黒潮前線波動の谷の部分には低気圧性の渦ができ、蛇行の山の部分の水はその渦の沿岸側(北側)を左旋する形で伸びた後、さらに沿岸側(北側)に伸びて行くことが多い。三重県水産技術センター発行の人工衛星APT画像に基づいて描

いた黒灘前線及び熊野灘・遠州灘に伸びる暖水のストリーマーの外縁を図4に示す。このような暖水の沿岸域への流入が、力学的にそれ自体として生じ得るのか、それを引き込む流れに乗って運ばれているのかまだよく分かっていない。

こうした流入暖水の前線付近にはマイワシやカツオの好漁場がしばしば形成される(鄭・杉本, 1988; 西村, 1987)。ストリーマーはまた、より上流で黒潮に取込まれた黒潮前線付近の稚仔魚や黒潮系水を沿岸域に補給する重要な素過程と考えられ、今後力学的メカニズムと物質輸送及び漁場形成機能について、組織的な調査が必要と考えられる。

2) 黒潮起源の孤立暖水塊とストリーマー 黒潮統流には定在ロスビー波としての流路の蛇行が見られ、本州付近に最も近い山は東経144°付近にできる。これが金華山付近にまで張り出すと切離して孤立した暖水塊となる。この暖水塊は黒潮主流に再吸収されることもあるが、変動しながらもゆっくりと三陸沖に進み、1年前後の寿命を保つことが多い。この暖水塊が三陸沖に停滞している間に、再び北に張り出した黒潮系水から新たな暖水の補給が行われ、これが帯状のストリーマーとなって暖水塊の周辺部を右旋する。川合・斉藤(1987)や為石・岡田(1987)らは、そのようなストリーマーの時間変化の一例を示している。また、稲掛(1987)は親潮系水のストリーマーの鉛直構造の詳細な観測を行った。なお、暖水塊に関する討論の中で、古橋はプランクトンの分布の時間的変化から、切離後に黒潮系水の補給が行われている可能性を、小谷は冷水種プランクトンの暖水塊内への流入が、周辺部から恐らく親潮系水のストリーマーに乗って行われることを示唆している(杉本, 1985)。

3) 黒潮の沖合域のストリーマー 黒潮流軸のすぐ外側には最高水温帯があるが、その沖側には反流が見られる。水平的に見ると、黒潮流軸の蛇行や沿岸側の前線波動に対応して、沖合側に流出する流れも見られた。

前述した小林ほか(1984, '86)による黒潮の大蛇行時と非大蛇行時に平均されたGEKによる表面流速(図1)を見ると、大蛇行時には遠州灘沖の蛇行の谷の部分から沖合に流出しやすく、非大蛇行時には伊豆海嶺付近で流出し南下する流れが見られる。

また、短時間に広域がカバーされる人工衛星の熱赤外面像にも、ときどき黒潮流軸から沖合側に流出する流れが見られる。これらは、風よりも黒潮の小蛇行や振幅の大きな前線波動と関係が深いものと考えられる。図5は1981年4月23日の熱赤外面像による表面水温分布パター

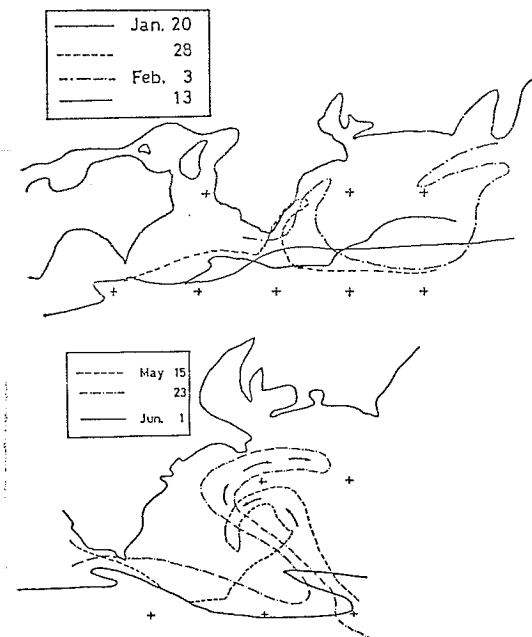


図4 熊野灘沖の黒潮から内側(沿岸)域に流入する暖水 1986年1月20日~2月13日と5月15日~6月1日

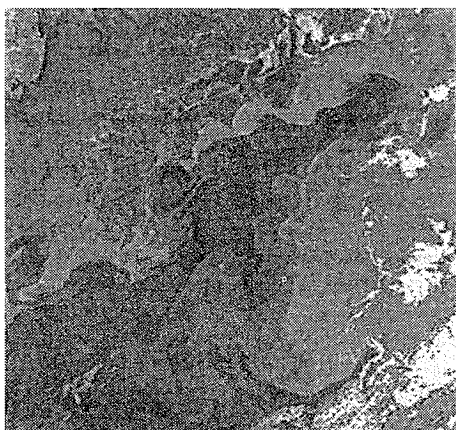


図5 本州南方黒潮周辺域の熱赤外面像  
1981年4月23日(田中ほか, 1982による)

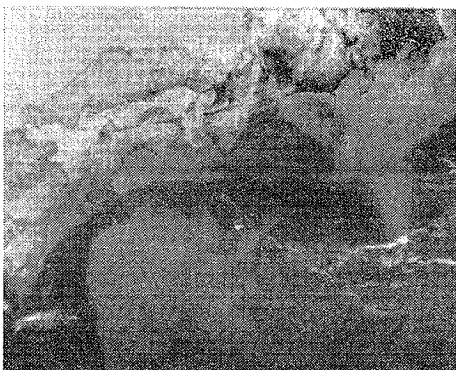


図6 本州南方黒潮周辺域の熱赤外面像  
1984年5月10日(気象協会による)

ンを示す。図には、奄美大島、四国沖、御前崎付近などで、沿岸側と沖合側に流出する擾乱が見られる。また、図6は1984年5月10日の熱赤外面像である。本州の南方では、熊野灘に流入し暖水塊を形成している流れと、沖合側に流出している流れが見られる。平松ほか(1987)は、日本近海のCZCS画像を提出しているが、その中の1981年4月14日の本州南方のCZCS画像を見ると、蛇行した黒潮の沖合に幅10km、長さ100kmオーダーの縞ないし巴状の構造が見られる。また、親潮水域の他、三陸沖暖水塊の周辺部や伊豆海嶺付近は比較的高いクロロフィル濃度が高い。このようなストリーマーや縞状構造が黒潮の沖合域の湧昇や物質収支にどのような影響を有しているのかまだ良く分かっていないが、黒潮の沖合域に産卵されたり、輸送された稚仔魚の生残環境を考える上で、究明しなければならない重要課題であると考えられる。

#### 4. 今後の課題

以上、種々の湧昇流による中深層水の上層への補給、及び、黒潮から流出する各種のストリーマーとその物質輸送に果たす役割について例を挙げて述べてきた。近い将来、前線波動と風による流れのそれぞれが単独で卓越している場合、及び、両者がともに重要な場合、半島や海嶺などの地形が関係する場合などについて、冬春季の多獲性浮魚類の産卵場から成育場にかけての輸送場等を想定しながら、一次生産や資源生物の生産に関わる物質の輸送環境をより定量的に解明するための組織的な調査研究を目指したいと考えている。

#### 文 献

- AIKOH, T. and M. TAKAHASHI (1982) Detection of vortex motion by satellite (AVHRR/NOAA-6) and regional upwelling off Izu-Oshima Island. *J. Remote Sensing Soc., Japan*, **2**, 3-10.
- BARALE, V. and R. W. FAY (1986) Variability of the ocean surface color field in central California near-coastal waters as observed in a seasonal analysis of CZCS imagery. *J. Mar. Res.*, **44**, 291-316.
- FLAMENT, P., L. ARMI and L. WASHBURU (1985) The evolving structure of an upwelling filament. *J. G. R.*, **90** (C6), 11765-11778.
- 藤本 実・友定 彰 (1980) 黒潮大蛇行期非大蛇行期から見た本州南方沿岸域の平均水温分布について。東海水研報, **103**, 17-30.
- 平松一彦・福島 甫・杉森康宏 (1987) Gordon-Clark アルゴリズムによる日本近海 CZCS データの処理と問題点。空と海, **9**, 1-7.
- 稲掛伝三 (1987) 暖水塊の低温水帯について。海洋科学, **19**, 291-298.
- 川合英夫 (1955) 東北海区における極前線帯とその変動について (第2報)。東北水研報, **5**, 1-42.
- 川合英夫・斉藤誠一 (1987) ウォーム・ストリーマーについて。海洋科学, **19**, 434-440.
- 木村伸吾・杉本隆成 (1987) 熊野灘の短期漁況変動一定置網漁況に影響を及ぼす沿岸の海況変動一。海洋科学, **19**, 429-433.
- KISHI, M. J. (1977) Upwelling along the east coast of the Izu Peninsula (II). *Umi to Sora*, **52**, 59-66.
- 小林雅人・杉本隆成・平野敏行 (1984) GEK 観測資料に基づく黒潮流路タイプ別の熊野灘・遠州灘の海況一I 非大蛇行期。水産海洋研究会報, **46**, 18-26.
- 小林雅人・杉本隆成・平野敏行 (1986) 熊野灘・遠州灘の海洋構造と変動。水産海洋研究会報, **49**, 33-37.
- LASKER, R. (1988) Studies on the Northern Anchovy; Biology, recruitment and fishery oceanography.

- In, Studies on Fisheries Oceanography, ed. Japan Soc. Fish. Oceanogr., Kouseisha kouseikaku, 24-41.
- LEE, T. N. and L. P. ATKINSON (1983) Low-frequency current and atmospheric forcing along the southeast U. S. continental shelf. *J. G. R.*, 88 (C8), 4541-4567.
- 西村昭史 (1987) 熱赤外面像から見た熊野灘の海況変動. *海洋科学*, 19, 285-392.
- 大谷清隆・出口良二 (1981) 渡島半島東岸の沿岸湧昇—1. *北大水産彙報*, 32(1), 77-96.
- PIETRAFESA, L. J., G. S. JANOWITZ and P. A. WITTMAN (1985) Physical oceanography of the southeastern U. S. continental shelf. eds. L. P. ATOKINSON *et al.*, A. G. U., Washington D. C., 23-32.
- 阪本俊雄 (1987) 熊野灘・紀伊水道周辺域の中長期の漁海況変動. *海洋科学*, 19, 447-455.
- SEKINE, Y., H. ISHII and Y. TOBA (1985) Spin-up and spin-down processes of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 207-212.
- 杉本隆成 (1977) 黒潮陸岸境界域の海洋物理構造. *海洋科学*, 9, 188-194.
- 杉本隆成 (1985) 続・暖水塊の物理・化学・生物過程. *海洋科学*, 17, 390-392.
- SUGIMOTO, T., T. ISHIMARU and M. KOBAYASHI (1986) Circulation and water exchange in the anticyclonic gyre off Shikoku. *Deep-Sea Res.*, 33, 1641-1652.
- SUGIMOTO, T., K. MIYAJI and S. KIMURA (1988) Meander and current variability of the Kuroshio front in the East China Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, (in press).
- TAKAHASHI, M. and M. J. KISHI (1984) Plankton growth response to wind induced regional upwelling occurring around the Izu Islands off Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 40, 221-229.
- 竹内淳一 (1987) 熊野灘南部海域における暖水舌と沿岸湧昇. *海洋科学*, 19, 447-455.
- 為石日出生・岡田喜裕 (1987) 衛星画像における釧路沖暖水塊について. *空と海*, 9, 47-64.
- 田中総太郎・杉村俊郎・西村 司・二宮 泰・島山祐二 (1982) NOAA-6/AVHRR データによる黒潮流動ベクトル図の作成と海洋渦および短周期蛇行に関する考察. *日本リモートセンシング学会誌*, 2, 11-30.
- 鄭 利栄・杉本隆成 (1988) 潮境付近のマイワシ漁場と漁獲量の短期変動. *水産海洋研究会報*, (投稿中).
- 友定 彰 (1987) マサバ卵・稚子の輸送機構. *水産海洋環境論* (杉本他編), 恒星社厚生閣, 169-181.

#### 4. 東シナ海における魚卵・稚子の現存量及び生産量の評価

浅見 忠彦 (髙海洋環境コンサルタント)

##### 1. 目的

本研究は科学技術庁の黒潮開発利用調査で実施しているもので、水産庁研究所では「黒潮の生物生産の基礎機構の把握」を、西海水研は黒潮上流域にあたる東シナ海とその周辺域を担当し、筆者はそのうち「魚卵・稚子の現存量と生産量の把握」を分担した。魚卵・稚子の調査研究目的には魚類資源の再生産補給機構の研究等種々あるが、ここでは海洋の生物生産の基礎機構の中で浮遊性の魚卵・稚子がどのような位置を占め、どのような役割を果しているかをみることを目的とした。本報告にあたり西海水研の海洋部、調査船陽光丸の方々及び水産大学の耕洋丸の方々の御協力に感謝します。

##### 2. 調査方法と経過

調査海域は図1に示すように東シナ海全域及び大陸斜面の黒潮流域に及び、調査船陽光丸及び練習船耕洋丸で1977~1985年の9年間に延べ14次405点で稚魚ネット調査を実施した。季節別にみると春148, 夏133, 秋11, 冬

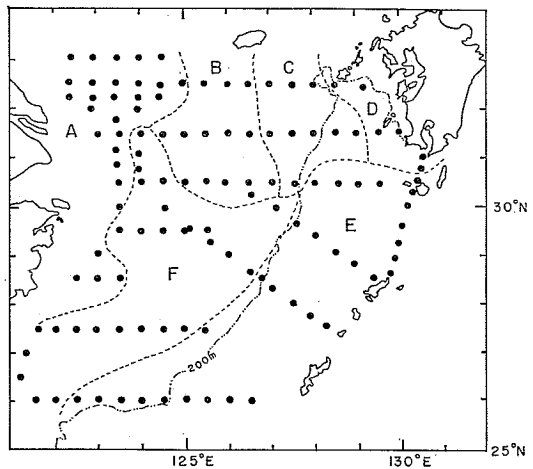


図1 調査点と海域区分図 (1977~1985)

- |            |           |
|------------|-----------|
| A: 大陸系沿岸水域 | D: 九州沿岸水域 |
| B: 中間水域    | E: 黒潮域    |
| C: 対馬暖流域   | F: 黒潮分派域  |



表1 調査次別、魚卵・稚仔採集状況

1000m<sup>3</sup> 当り分布数の計, ( )は点平均

調査次	調査年月	調査 点数	魚卵総数		魚類稚仔数				いか類稚仔	
					全長20mm未満		20mm以上			
1	1977. 7	29	58,015	(2,001)	4,294	(170)	187	(6.4)	74	(2.5)
2	1978. 2	6	17,847	(2,975)	975	(163)	16	(2.7)	26	(4.3)
3	1978. 7	45	62,722	(1,394)	30,939	(688)	148	(3.3)	557	(12.4)
4	1979. 1	48	5,554	(116)	3,397	(71)	86	(1.8)	31	(0.6)
5	1979. 7	45	66,990	(1,489)	10,384	(231)	196	(4.4)	1,766	(39.2)
6	1980. 1	28	905	(32)	307	(11)	100	(3.6)	140	(5.0)
7	1980. 7	14	735	(53)	12,681	(906)	21	(1.5)	285	(20.4)
8	1981. 1	31	672	(22)	538	(17)	66	(2.1)	250	(11.9)
9	1981. 5	35	947,919	(27,083)	110,091	(3,145)	68	(1.9)	762	(21.8)
10	1982. 5	29	18,295	(631)	13,900	(479)	200	(6.9)	1,135	(39.1)
11	1983. 5	8	136,518	(17,065)	48,579	(6,072)	16	(2.0)	358	(45.0)
12	1983.11	11	672	(61)	1,534	(139)	78	(7.0)	265	(24.0)
13	1984. 4	38	140,103	(3,687)	46,024	(1,211)	167	(4.0)	311	(8.0)
14	1985.5-6	38	139,504	(3,671)	121,032	(3,185)	227	(6.0)	1,999	(53.0)
計・(平均)		405	1,596,451	(3,942)	405,305	(1,001)	1,496	(3.7)	7,959	(19.7)

113点、使用ネットは口径1.3m、側長6.04m、目合NGG 54 (315 $\mu$ m)の稚魚ネットで、基本的には水深50mからの斜びき採集で、濾水計により推定した1回の濾水量の平均は324~965m<sup>3</sup>である。各調査次毎の魚卵及び稚仔の採集状況を1,000m<sup>3</sup>当りの分布密度で示すと表1のようになり、平均の最大は魚卵で27,083粒、全長20mm未満の稚魚で6,072尾となる。

調査点は図1に示す通りで、東シナ海の水塊分布の基本は近藤(1955a)に示された分布に従い、更に西海水研の海洋環境担当者と協議して類型化し、(A)大陸系沿岸水域、(B)中間水域、(C)対馬暖流域、(D)九州沿岸水域、(E)黒潮水域、(F)黒潮分派域(台湾北東水域)と区分した。なお(B)海域は黄海中央冷水の先端部にあたる。

稚魚ネット調査で得られた試料は魚卵・魚類稚仔・いか類稚仔を選別し、卵はマイワシ、ウルメイワシ、カタクチイワシ、無足類、キユウリエソ、その他の卵及び全卵数を計数し、稚仔はしらす型(マイワシ、ウルメイワシ、カタクチイワシ、その他のしらす型稚仔)、しらす以外の稚仔及び全稚仔数を計数し、更に稚仔のそれぞれについて全長5mm未満、5~10mm、10~15mm、……と5mm毎にまとめて計数及び湿重量測定を行った。ま

た300 $\mu$ mメッシュの動物プランクトン(ここではネットプランクトンと呼ぶこととする)の湿重量測定も行った。

### 3. 調査結果と考察

1) 1984年4月の調査例 各調査次のネットプランクトン、魚卵・稚仔の分布については、毎年度の科学技術庁の黒潮の開発利用の調査研究成果報告書に報告されている(浅見, 1983)。調査結果の一例として1984年4月の分布の特徴を挙げると、a) ネットプランクトンの現存量は調査点間、海域間の変動が比較的小さいこと、b) これに対して魚卵は調査点間、海域間の変動が著しく大きく、特にA、D海域に多く、B海域は全く分布しない。Aはカタクチイワシ卵、Dはマイワシ卵が主である。c) 魚類稚仔は魚卵に較べて海域間の変動がやや小さくなり、輸送等により分布が平準化しているものとみられる。以上の特徴はほぼどの調査次においても共通している。

2) 基準線(31° 30' N)の特徴 どの調査次でも実施した基準線31° 30' N線における季節別、定点(海域)別の魚卵・稚仔の現存量の特徴をみると、冬期はA、B海域には卵・稚仔全く分布せず、C、D海域のみに分布する。春期はA海域にカタクチイワシ卵の分布が濃密

表2 海域別・期別にみたネットプラントクトン・魚卵・魚類稚仔・いか類稚仔の現存量 1977~1985年の14次の平均

海 域	調 査 点 数		魚 卵 現 存 量		魚 類 稚 仔 現 存 量		魚 卵 現 存 量		魚 類 稚 仔 現 存 量		魚 類 稚 仔 現 存 量									
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬								
海 域	ネッ ト		mg/m <sup>3</sup>		mg/1,000m <sup>3</sup>		mg/1,000m <sup>3</sup>		mg/1,000m <sup>3</sup>		mg/1,000m <sup>3</sup>									
A 大陸系沿岸水域	57	28	5	37	183	100	91	32	7,864	701	0	35	1,355	1,213	70	37	106	14	6	176
B 中間水域	29	33	3	19	184	112	68	44	19	46	17	12	508	375	327	64	116	26	341	90
C 対馬暖流域	26	20	3	17	175	89	144	54	875	265	110	47	931	414	488	6	344	46	291	43
D 九州沿岸水域	14	8	0	8	143	87	—	25	6,427	619	—	69	1,259	2,749	—	68	303	216	—	0
E 黒潮	11	44	0	32	107	81	—	79	65	1,054	—	437	1,075	660	—	164	163	123	—	63
F 黒潮分派域	11	0	0	0	262	—	—	—	1,324	—	—	—	1,300	—	—	—	115	—	—	—
全海域平均	148	133	11	113	176	94	101	47	2,762	537	42	120	1,071	1,082	295	79	191	85	213	74
年平均 (合計)	(405)				105	865				632	141									

表3 ネットプラントクトン・魚卵・魚類稚仔・いか類稚仔の現在量及び生産量の概数推定値 (1977~1985年の14回の調査の平均)

事 項	300μメッシュネット現存量 (湿重量)		魚卵現存量 (湿重量)		魚類稚仔現存量 (湿重量)		いか類稚仔現存量 (水柱当り)		300μメッシュネット現存量 (水柱当り)		魚卵現存量 (水柱当り)		魚類稚仔現存量 (水柱当り)		いか類稚仔現存量 (水柱当り)	
	mg/1,000m <sup>3</sup>	mg/1,000m <sup>3</sup>	mg/1,000m <sup>3</sup>	mg/1,000m <sup>3</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>	mg/m <sup>2</sup>
A 大陸系沿岸水域	102	2,150	24	319	76	75.3	23.4	2.7	3,570 (35m)	14,280 (×4)	9,036 (×120)	281 (×12)	287 (×12)	32 (×12)	217	145
B 中間水域	102	24	324	474	143	1.8	23.9	10.7	7,650 (75m)	30,600 (×4)	3,888 (×120)	216 (×12)	569 (×12)	128 (×12)	217	145
C 対馬暖流域	116	324	324	474	181	32.4	47.4	18.1	11,600 (100m)	46,400 (×4)	3,888 (×120)	216 (×12)	569 (×12)	128 (×12)	217	145
D 九州沿岸水域	85	2,372	1,359	633	173	237.2	135.9	17.3	8,500 (100m)	34,000 (×4)	32,784 (×120)	1,631 (×12)	208 (×12)	217	145	
E 黒潮	89	519	633	691	116	51.9	63.3	11.6	8,900 (100m)	35,600 (×4)	6,228 (×120)	760 (×12)	139 (×12)	145	145	
全海域平均	99	1,077	691	691	138	79.7	58.8	12.1	8,080 (100m)	32,320 (×4)	9,564 (×120)	706 (×12)	145 (×12)	145	145	

となり、C、D海域は稚仔が一般的に多くなる。夏期は春期に類似している。秋期は全般に卵に較べて稚仔の現存量の多いのが特徴である。

3) しらす型魚類稚仔 魚類稚仔について全長 20mm 未満のもの現存量とその中のしらす型(マイワシ、カタチイワシ等)のもの割合を海域別、季節別に検討した。主な特徴は、a) 全現存量及びしらす型のもの割合ともに海域間、季節間の変動が大きいこと、b) 春・夏期は稚仔量が多く、秋・冬期少ないこと、またしらす型の割合も少ない。c) A及びD海域は全現存量及びしらす型の割合が多い、d) しらす型の割合は全体で48%程度であること等である。

4) 魚類稚仔の成長に伴う生残り 魚類稚仔について、全長 5 mm 毎の尾数及び現存量(湿重量)の変化を季節毎に検討し、年平均と比較した。これは海中における稚仔の見掛けの生残りを示すものであるが、春期は尾数及び現存量は多いが成長に伴う生残りが悪い。秋・冬期は尾数及び現存量は少ないが生残りがよく、夏はその中間という結果を得ている。この理由として春期は稚仔全体の現存量が多く、餌不足や幼魚等の多いことによる被捕食等による減耗が大きく、秋・冬期はその逆ということが考えられる。

5) プランクトン・魚卵・稚仔の現存量 1977~1985年の14次の調査全資料について、ネットプランクトン、魚卵・稚仔の現存量(湿重量)の海域別、期別の平均を表2に示した。その特徴は、a) ネットプランクトンは前にも記したように海域間、季節間の差が比較的少なく、魚卵は分布しないB海域にも他海域と同じように分布する。b) 魚卵は海域間、季節間の差が極めて大きい。春期のA及びD海域は魚卵の現存量が特に多く、黄海中央冷水域の先端部にあたるB海域は極めて少ない。c) 稚仔は海域間、季節間の差が魚卵に較べて小さく、春・夏期のA、D、F海域の現存量が多い。また魚卵から魚類稚仔への見掛けの生残りは、春期は小さく、秋・冬期は大となっている。

このようにして得られた全資料の平均をとると東シナ海のネットプランクトン、魚卵・稚仔の現存量の年平均の概数推定値が得られると仮定して、これを海域別及び東シナ海全域の平均として示したのが表3(左の部分)である。ネットプランクトンは海域間の変動が小さく、全海域平均で 1,000m<sup>3</sup> 当り 99g、魚卵は海域間の変動が大きく、A及びD海域の現存量が多く、B海域は少ない。全海域の平均は 1,000 m<sup>3</sup> 当り 1,077 mg で現存量のネットプランクトンと魚卵の比は 92:1 である。全長

20mm 未満の稚仔は現存量が魚卵に比してやや平均化し、その中でD海域が多く、全海域の平均は 1,000m<sup>3</sup> 当り 691mg である。これらの諸点は前項でも指摘した通りである。

6) 東シナ海の魚卵・稚仔の生産量の推定 黒潮の開発利用の調査研究成果報告書で浅見(1983)は、科学技術庁資源調査会の「海洋生物の生産力把握に関する調査」(1980)で動物プランクトンの生産量推定に用いた方式を魚卵・稚仔の年間平均現存量から年間の生産量を推定する方法に応用した。その内容は近藤(1985b)にも紹介されているが、最近古賀(1987)は大阪湾の動物プランクトンに生産量の簡易評価として平均寿命(年間世代数)法の報告をしている。魚卵・稚仔への応用の場合は、1977~1985年9か年14次の全調査の平均がこの海域の年間の現存量の平均をほぼ代表できるものと考え、ネットプランクトン、魚卵、魚類稚仔、イカ類稚仔の現存量を表3(右の部分)に示した。これから海域別に 1 m<sup>3</sup> の水柱当りの現存量を推定し、更に年間の生産量を推定した。年間の生産量の推定は、得られた魚卵・稚仔の平均現存量に、その現存量を構成する魚卵・稚仔の1年間の平均世代数を乗じてそれを以て魚卵及び稚仔の年間の生産量の概数推定値とみなそうとするものである。ここで魚卵については産卵後孵化までの平均経過日数、稚仔については稚魚ネットによってほぼ確実に捕捉採集される間の平均経過日数を以て年間日数(365日)を除いた数が平均世代数にあたる。「海洋生物の生産力に関する調査」報告(科学技術庁資源調査所、1980)ではネットプランクトンで 1.5~5(平均4)の世代数を推定しているのをこれを用い、魚卵では東シナ海の場合産卵後孵化までの平均経過日数を3日として世代数は120、稚仔については孵化後全長 15~20mm級までの経過日数を平均30日として世代数12とした。

この場合魚卵の生産量とはすなわち産卵量のことであり、採集される浮遊卵を産出する魚類全般の年間産卵量を示すこととなる。また稚仔の生産量とは全長 20mm までに成長する間の成長量(減耗分は除く)を示している。

このような考え方で9か年14次の黒潮開発利用調査で得られた一連の稚魚ネット調査結果から東シナ海に分布するネットプランクトン、魚卵、魚類稚仔、いか類稚仔の平均現存量とその年間生産量の粗い推定を試みたのが表3である。これで明らかのようにネットプランクトンの年間生産量は全海区平均で 32,320mg/m<sup>2</sup>/年、C海域で最も多く 46,400mg/m<sup>2</sup>/年、A海域は少なく 14,280 mg/m<sup>2</sup>/年で海域間の変動幅は小さく 3:1 である。魚卵

の場合全海域平均で 9,564mg/m<sup>2</sup>/年、D海域で最も多く 32,784mg/m<sup>2</sup>/年、B海域は最も少なく 216mg/m<sup>2</sup>/年でその変動幅は 152:1 にも達する。魚類稚仔については全海域平均で 706mg/m<sup>2</sup>/年、最も多い D海域で 1,631mg/m<sup>2</sup>/年、少ない A海域で 281mg/m<sup>2</sup>/年でその変動幅は魚卵に較べて極めて小さく 6:1 である。またいか類稚仔は全海域平均 145mg/m<sup>2</sup>/年で魚類稚仔の 1/5、海域による変動幅は小さく 7:1 程度である。ネットプランクトンの生産量に対する魚卵・稚仔の生産量の割合は全海域平均でネットプランクトン：魚卵：魚類稚仔：いか類稚仔は大凡 1,000：296：22：4.5 と推定され、魚卵の場合現存量ではさほどではないが生産量の大きいことが注目される。

4. むすび

魚卵・稚仔は稚魚ネットに採集される段階で生活史が完了するものではなく、東シナ海では魚卵で平均3日、稚仔で20~30日の稚魚ネットにほぼ確実に採集される期間を経て幼魚から未成魚、成魚へと成長する。この間主として動物プランクトンとその幼生を、一部植物プランクトンやデトリタスを摂食し、更に魚食性になるものもある。そして20mm未満の期間は魚類稚仔とイカ類稚仔を含めるとネットプランクトンのほぼ2.65%にあたる生産があり、これがプランクトン等の餌に対して摂食圧を加えることとなる。同時に魚卵・稚仔はプランクトンと同様魚類の餌料としての役割も荷っている。日本周辺海域のうち東シナ海は魚類の主な発生域にもあたっており、魚類の餌としての卵・稚仔の役割の高いことも注目しなければならない。

魚類の発生初期の生残り（いいかえれば減耗状況）を左右する主な要因には、餌、食害、輸送等があるが、この海域では前記の資源調査会の報告（1980）や今回のプランクトン、魚卵・稚仔の生産状況を見る限り、マクロ的には動物プランクトンの不足はまずないとみられるが海域的・時期的に魚卵・稚仔の生産量が集中するときどのようなか検討する必要がある。また魚卵・稚仔に対して魚類等の各成長段階での摂食圧がどのようにかかるかによって魚卵・稚仔の現存量・生産量にどう影響するか、魚類一特に初期発生段階の生残り（減耗）に与える影響も大きいと考えられる。これらについてはこの海域の魚類資源の現存量や生物生産の実態を把握することによって検討がすすむこととなる。

なお資源調査会の報告（1980）と小笹（1983）の資料にもとづいて概算した東シナ海の微小、小型、ネットプランクトンの現存量と生産量の推定値と、本報告による

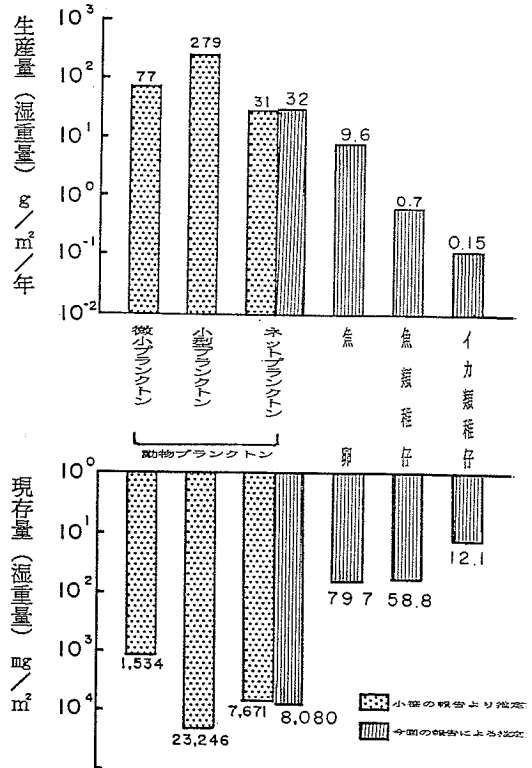


図2 東シナ海のプランクトン・魚卵・稚仔の生産量と現在量

ネットプランクトン、魚卵・稚仔の現存量・生産量の推定値を図2に示した。これによって東シナ海の微小、小型、ネットの各動物プランクトン及び魚卵・稚仔の現存量と生産量の概要が判断できる。

文 献

浅見忠彦 (1983) 東シナ海における魚卵・稚仔の現存量及び生産量の把握. 科学技術庁, 黒潮の開発利用の調査研究報告書, 6, 257-272.  
 科学技術庁資源調査所 (1980) 海洋生物の生産力把握に関する調査. 科学技術庁資源調査会編, 289pp.  
 近藤正人 (1985 a) 東シナ海・黄海漁場の海況に関する研究—I. 50m深及び底層における平均水温・塩分の分布. 西水研研報, 62, 19-66.  
 近藤正人 (1985 b) 黒潮の生物生産基礎機構の把握. 海洋科学, 17(3), 142-148.  
 古賀文洋 (1987) 大阪湾における動物プランクトンの出現特性, 現存量及び生産量. 西水研研報, 64, 47-66.  
 小笹悦二 (1983) 餌料プランクトンの分布とその変化. 科学技術庁, 黒潮の開発利用の調査研究報告書, 6, 245-256.

## 5. 薩南～房総近海における低次生産の経年変動とその機構

鈴木 秀 彌 (水産工学研究所)

## 1. はじめに

黒潮の開発利用に関する調査研究のプロジェクト(科学技術庁)が実施されて10ヶ年を経た。その成果のまとめ(科学技術庁・日本海洋データセンター, 1987)の一つとして、黒潮流域とその隣接海域それぞれにおける低次生産の定量評価が西沢の簡易法(科学技術庁資源調査所, 1980)によって統一的に行われた。ここでは、それらの結果のうち薩南から房総近海にいたる沿岸の黒潮流域について総括するとともに低次生産の経年的な変動、特に近年の動物プランクトン群集の分布組成にみられる著しい変化との関連について考える。

## 2. マクロプランクトン現存量の変動

1) 平均湿重量の経年変化 先づ、漁海況予報事業を主軸とする定形調査のネットワーク(鈴木, 1983)によって永年の資料が得られている潮岬以東の海域、概略 $100 \times 10^3 \text{ km}^2$ におけるマクロプランクトン湿重量の経年変化を図1に示す。

巨視的にみると、1963年の全国的な異常冷水現象以降、年平均プランクトン量の高水準は1964年に1回落込みが見られたものの約10年間持続した。その後1972年から逡減したものの、再び1976年から増大し、1979年をピークとしてその後は再び減少傾向が続いている。

このようなマクロプランクトン量の2回にわたる高水準期ではそれぞれの年における変動の幅は大きく、地点間の採集量にばらつきの大いことが示されている。この海域における環境変動の要因として最も大きいと考えられる黒潮流路のパターンとプランクトン量との対応を経年的にみると、黒潮の非蛇行期(N型)から蛇行期(A型)に替わる前後を通じての移行期にプランクトン量は減少し、蛇行期(A型)の後半から非蛇行期(B→C→D→N)に移行してしばらくの間の時期に増大する傾向がある。

潮岬以西の例として、1961年7月から1972年2月にいたる12年間の海洋気象台並びに気象庁によるマクロプランクトンの採集結果(黒田, 1985)によると、1963年並びに1966～67年に年平均プランクトン量の著しい増大が見られている。異常冷水現象あるいは黒潮流路が比較的不安定な時期にプランクトンの平均現存量が共通して増大することは薩南から房総近海にいたる黒潮流路に沿った沿岸域における低次生産機構の特性の一端を示唆していると考えられる。

2) 黒潮流路の変動とプランクトン群集 これまで、関東近海域におけるプランクトン現存量の時系列変動は主として、春季、沿岸並びに沖合の黒潮流路に沿って濃

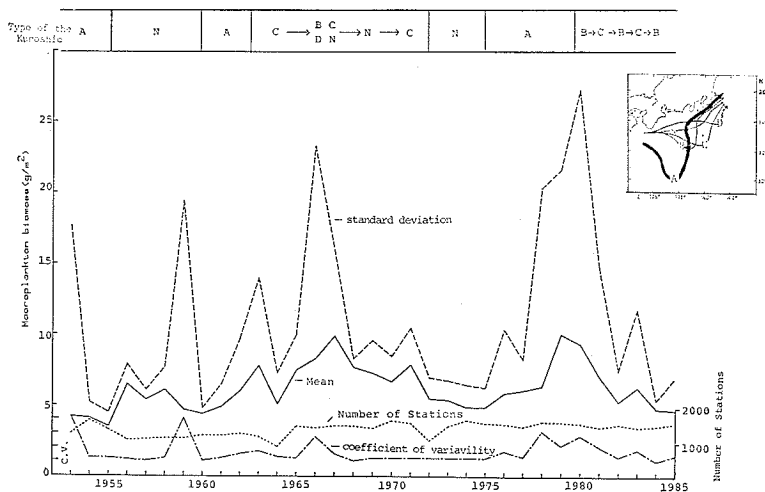


図1 熊野灘～鹿島灘における、マクロプランクトン現存量(湿重量)の経年変化

密に出現する暖海性種と、常磐、鹿島灘海域からの冷水性種の分布の南下拡大などの分布性状によって特徴づけられるとされてきた（鈴木，1977）。

黒潮流路の変動とマクロプランクトンの現存量の水平分布との関係について、木立・伊東(1979)はプランクトンの稀薄分布域は接沿岸域、冷水域の中心付近並びに黒潮強流域沖合に形成され、濃密分布域は冷水域の縁、親潮の影響域に形成されるとし、黒潮が非蛇行流路の時より蛇行する場合の方がプランクトンはパッチ状分布を形成することが多いとしている。また、黒潮流路の変化にともなう分枝流でも、これが沿岸域に接近することで雑

食性、動物食性のプランクトンが多く供給され、そこでの生物生産に大きな影響を与えるとしている。更に相模湾、駿河湾における特定の指標種の出現から沿岸湧昇の存在を認めて、それが黒潮の流路とは直接関係なく、季節風の卓越によるものであることを示した。

このように黒潮流路の変動あるいは海域の地形的条件など、時空間のスケールによって低次生産の構造は多様である。

近年、関東近海を中心に注目されている沿岸性小型コペポーダの沖合広域分布の傾向（中田，1980；有馬・武藤，1980；木立，1981，1984；鈴木，1985）は、1976年

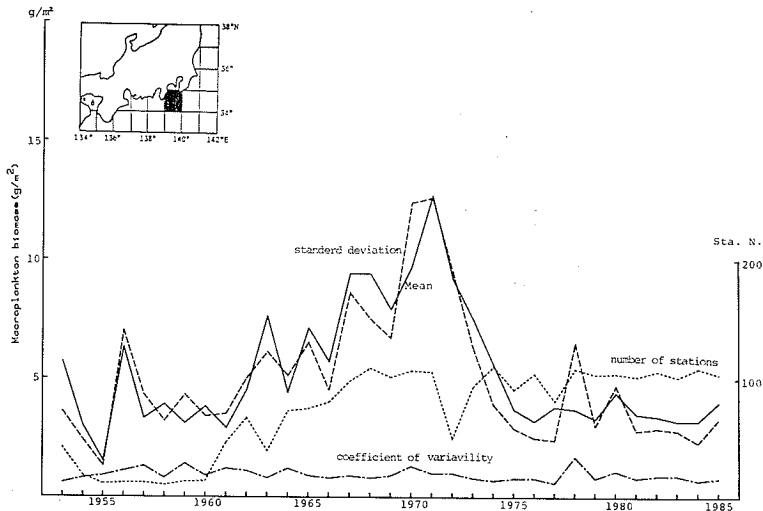


図2 伊豆諸島近海におけるマクロプランクトン現存量（湿重量）の経年変化

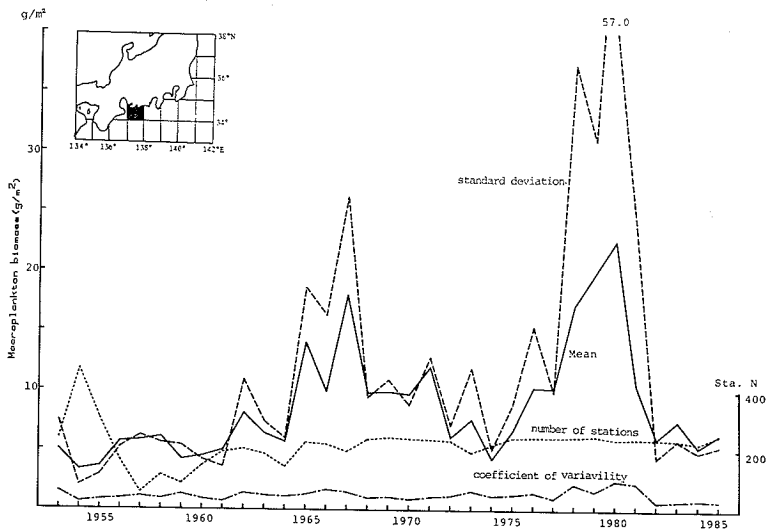


図3 遠州灘におけるマクロプランクトン現存量（湿重量）の経年変化

表1 熊野灘～鹿島灘近海における動物プランクトンの平均年間生産量

	ネット プラン クトン (湿重量)	ネット プラン クトン	小 型 プラン クトン	微 小 プラン クトン	ネット プラン クトン A	小 型 プラン クトン B	微 小 プラン クトン C	動 物 プランクトン A + B + C
	g/m <sup>2</sup>		mgC/m <sup>2</sup>		mgC/m <sup>2</sup> /yr			mgC/m <sup>2</sup> /yr
最 大 値 (1967年)	9.79	587	1,762	147	2,350	21,146	7,343	30,839
最 小 値 (1955年)	3.49	209	628	52	838	7,538	2,618	10,994
平均値(1953～1985年)	6.30	378	1,134	94	1,512	13,608	4,725	19,845

以降の伊豆諸島海域にみられるプランクトン現存量の低水準化と時期を一にしている。特に、伊豆近海から房総沿岸域にかけて春季に現存量の減少が特徴的である。しかし、隣接する遠州灘、熊野灘海域では記録的な高水準が1978～1980年にみられるなど著しい量的な偏りを示した。両海域共にその種組成 *Acartia* を主体とする他、*Paracalanus*, *Corycaeus*, *Oncaea* など沿岸性小型コペポダが卓越した(図2, 3)。また、1984年4月中旬から下旬にかけて、内湾性の珪藻類 *Thalassiosira* が伊豆諸島海域の表層を広く覆い、黒潮域で透明度が7mという異常な現象が観察された。これらの一連の事例などからプランクトン群集の種組成、分布相は大きく変化していることが推察されている(鈴木・中田, 1984)。

### 3. 動物プランクトン生産量の評価(まとめにかえて)

1953年から1985年の33年間にわたるマクロプランクトンの年平均湿重量のうち、これまでの最大値は1967年の9.79g/m<sup>2</sup>、最小値は1955年の3.49g/m<sup>2</sup>、平均値としては6.30g/m<sup>2</sup>が得られている。

これらの現存量の値と回転効率(年間平均世代数)から簡易に算出する、いわゆる西沢の解析方法にもとづいて年平均生産量を算出した(表1)。得られた結果には多くの仮定が含まれているため試算の域を出ないが、報告された黒潮中流海域18gC/m<sup>2</sup>(南西海区水研資料による概算)黒潮統流域26gC/m<sup>2</sup>、混合水域30gC/m<sup>2</sup>、親潮水域27gC/m<sup>2</sup>(東北水研)などの平均年間生産値と比較して熊野灘～鹿島灘近海における最大31g/m<sup>2</sup>、最小11g/m<sup>2</sup>、平均20g/m<sup>2</sup>の値は上、下流域のほぼ中間的レベルにあるといえる。

薩南から房総近海にいたる本海域の地形的特質として比較的大きな湾と水道が数多くあり、河川からの陸水の流入も豊富である。また海岸線並びに陸棚の形状は多様である。その南岸に沿って流れる黒潮は上流のトカラ海峡の浅い陸棚を通して下流の伊豆海嶺を抜けるまでの間、蛇行並びに離接岸を繰り返す湧昇による冷水域が出

現するなどの他、房総近海では常磐、鹿島灘を経て南下する親潮系水の差込みによる黒潮縁辺域での著しい潮境が形成される。

したがって、この海域の低次生産を考える場合、海域全体を俯瞰する視野のなかでは水系あるいは水塊は相互に関与しあうとともに、そこでの境界域では独自の生物生産構造を持つことが考えられるが、それらの動的な関係についての合理的な把握については、これまで調査海域の区分の面からも困難であった。定型的調査としては平均的海域の特性をほぼ代表するものとして、主として灘別のスケールでプランクトン現存量の評価が行われてきた。今後の問題点として、プランクトン採集そのものの精度の向上もさることながら、例えば衛星を利用したりリモートセンシングによってプランクトン採集調査の空間的スケールを効果的に設定したり、あるいは、音響を利用してプランクトンバイオマスをリアルタイムに計測するなどネット採集にとらわれない手法を積極的に取り入れた、海域の生物生産の変化の実況を長期的に把握する合理的なモニタリングシステムの開発と実用化が望まれる。

更に、本海域で現在最も大きな関心事であるマイワシの再生産にかかわる生き残りの評価を初期餌量環境の良否判定の面から行うためにも、数量的に主要なプランクトン群集の動態、特に近年、黒潮本流の縁辺にまで卓越分布する沿岸性小型コペポダの生産過程の解明に踏み込まざるを得ない。更に、陸水の流入、沿岸水と黒潮あるいは親潮分枝、冷水塊など異質の水系によって織りだされる個別の生産系の形成、消滅の過程の解明は本海域の低次生産の特性を浮き彫りにする基本的課題といえる。

### 文 献

- 有馬多恵子・武藤光盛(1980) 伊豆諸島海域のマクロプランクトン量について。関東・東海ブロック水産海洋連絡会報, 5, 21-31.  
科学技術庁資源調査所(1980) 海洋生物の生産力に関

- する調査(資料第81号資源調査会編), 289pp.  
 科学技術庁研究開発局・日本海洋データセンター  
 (1987) 黒潮開発利用調査研究第1期成果報告書  
 (昭和52~60年度). 209pp.  
 木立 孝・伊東 宏(1979) 春期における黒潮及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. 東海区水産研究所研究報告, 97, 1-119.  
 木立 孝(1981) 1980年4月, 外房海域のマクロプランクトンの短期変動について(予報). 黒潮の開発利用の調査研究成果報告書, 4, 354-370.  
 木立 孝(1984) 1983年3月, 潮岬沖におけるマクロプランクトンの微細分布について. 東海ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, 4, 94-106.  
 黒田一紀(1985) 本州南方海域におけるマクロプランクトン量の経年変動と黒潮流路. 関東・東海ブロッ

- ク水産海洋連絡会報, 7-8, 92-100.  
 中田尚宏(1980) プランクトン全般について. 関東・東海ブロック水産海洋連絡会報, 5, 15-20.  
 鈴木秀彌(1977) 東海区海域における海洋特性と生物生産にかかわる研究上の問題点, マクロプランクトンとマサバの関係を例として. 漁業資源研究会議報, 20, 103-121.  
 鈴木秀彌(1983) プランクトン調査手法の現状と問題点. 水産海洋研究会報, 44, 89-92.  
 鈴木秀彌・中田 憲(1984) 1984年4月, 関東近海でみられた硅藻類の広域, 濃密分布について. 水産海洋研究会報, 46, 138-139.  
 鈴木秀彌(1985) 関東近海におけるマクロプランクトン量分布の長期変動からみた近年の低水準化現象について. 東海ブロック卵・稚仔, プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, 5, 132-136.

## 6. 黒潮統流域の生物生産力

小 達 和 子 (東北区水産研究所)

### まえがき

黒潮統流域及びそれに隣接する東北海区は, 我が国の沿岸・沖合漁業にとって重要な海域であり, 近年, 資源の増大したマイワシを始め, サンマ・マサバ等回遊性小型浮魚類の生活域である。この水域は, とりわけ生物生産が高く, 1984年の農林水産統計によると, 我が国の総漁獲量1,150万1千トンのうち前述の3魚種によって38%にあたる440万トンが道東を含む東北海区で漁獲されている。

これら3魚種の胃内容物をみると, 魚種または発育段階によって差はあるが, 動物プランクトンが主要な餌となっている(小達, 1977)。

海洋の生態系の中で低次から高次に至る生物生産過程で, 動物プランクトンの存在は, 直接或いは間接に漁業資源を支える生物生産の基盤を担っているものと考えられる。

東北水研では, 主としてサンマ資源研究の一環として餌料環境との関係を追求するため, 永年に亘って動物プランクトンをほぼ一定した方法で採集し解析を行ってきた。プランクトン量の評価に当たっては, 先ず海域を黒潮水域・混合水域・親潮水域に区分し, 単位面積(1m<sup>2</sup>)当たりの現存量を餌料環境の豊度の指標として評価し, また, 動物プランクトン現存量の季節変化や経年変動について検討してきた。これらの現存量は餌料としての動

物プランクトンの生産量を試算する基礎となり, ひいてはこの海域のもつ環境収容力の推定, 資源変動にかかわる餌生物の役割を解明するため重要と考えている。

この海域において, 特に親潮水域では春~夏季の動物プランクトンの現存量は極めて高くなる。しかし, 日本近海における動物プランクトンの年間生産量は, 現存量の多い三陸沖合よりも, 現存量の少ない九州西海区の方が総量として高いと言われている(IKEDA and MOTODA, 1978)。本報告では東北海区における動物プランクトン現存量から生産量を求め, 現存量と生産量の関連を検討した。

一方, 夏から秋にかけ黒潮統流域から以北の混合水域~親潮水域で索餌し成長するサンマ・マイワシ・マサバ等のプランクトン食性魚類は, この水域に4ヶ月以上も滞泳しており, これらの魚類が摂餌によって消費したプランクトン量も大きなものと考えられる。

### 資料と方法

中・大型動物プランクトン(0.3~10mm)の採集は, 丸特ネット(口径45cm, 側長100cm, 網目GG54)を, 150m層から表面まで鉛直曳網を行い, 試料はホルマリン固定後湿重量を計測し, 単位面積(1m<sup>2</sup>)当たりの湿重量を現存量とした。算定された現存量から全動物プランクトンの生産量を推定した。現存量及び生産量推定に用いた資料は1951~1982年の32年間について集計したも



のである。生産量の試算に当たっては、科学技術庁・資源調査所発行（1980）の「海洋生物の生産力把握に関する調査」で西沢らが提唱した方式に従って計算した。

結果

1) 動物プランクトン湿重量の季節変化 区分された水域毎に1951~1960, 1961~1970, 1971~1980年の10年間を統計単位に月平均現存量を算定した。そのうち1971~1980年の結果について図1に示した。動物プランクトン湿重量の季節変化は、春~初夏（4~6月）にかけて飛躍的に増加している。増加率は親潮水域が高い。7月には現存量は減少し始め、冬期（10~2月）は最低になると同時に水域間の差も小さくなる。春季と冬期の差は黒潮水域で冬期の2倍、混合水域で3倍、親潮水域で8倍に達している。東北海区のプランクトン湿重量の季節変化はそれ以前の資料（1951~1960, 1961~1970）でも同様であり、毎年このようなサイクルを繰り返していると思われる。図1に示した1971~1980年の結果を、年間を通して平均的に見ると、黒潮水域では  $7\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ 、混合水域で  $9\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$ 、親潮水域では  $20\text{g}/\text{m}^2/\text{年}$  である。黒潮水域と混合水域ではそれ程大きな開きはないが、親潮水域との差は1.5~3倍となっている。春~夏季の親潮水域では冬季の8倍も増加しているが、年間を平均して見ると現存量の差は2~3倍程度である。

いずれにしてもサンマはプランクトンの増大する時期に対応して北上回遊し、約4ヵ月間は親潮水域に滞泳し活発な索餌行動を行っている。

2) 現存量の経年変動 1951~1982年の32年間の平均現存量の経年変動を図2に示した。黒潮水域では年によって大きな差はなく、 $1\text{m}^2$  当たり約4~8gの間を変動し

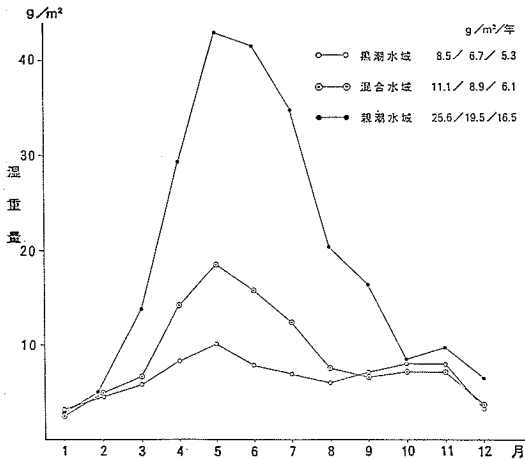


図1 水域別・月別平均現存量の変化 (1971~1980) 右上の数字は年平均の最高/平均/最低を表す

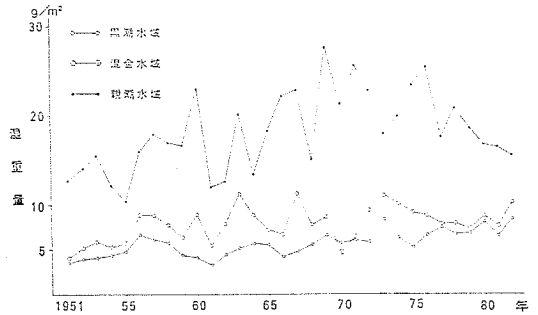


図2 水域別・動物プランクトン現存量の経年変動 (1951~1982)

ている。混合水域も黒潮水域とほぼ同様で、4~10gの間を変動している。一方親潮水域では10~28gの間を上下している。しかし、1970年代後半から1980年にかけて親潮水域ではやや減少傾向が見られる。平均現存量は経年的には、それぞれの水域で変動しつつも、親潮水域に高く黒潮水域で低いといった北高南低の傾向を維持しつつ変動している。

3) 生産量の経年変動 生産量を求める方法は前述した西沢の理論式に基づいて計算した(表1)。すなわち、各水域毎に求められた単位面積 ( $1\text{m}^2$ ) 当たりの年平均現存量を基にして湿重量の15%を乾重量とし、乾重量の40%を有機炭素量とした(表1#3)。次に丸特ネットで採集された動物プランクトン量をベースに、採集されない小型プランクトン・微小プランクトンをそれぞれの転換率を乗じて算定した(表1#1・#2)。更に、動物プランクトンのライフスパン(世代日数)を乗じて生産量を求めた(表1#4・#5・#6)。このようにして年平均現存量から各水域毎に生産量を推定した。1977~1982年間の黒潮水域について計算結果を表2に示した。この計算式の特徴

表1 現存量及び生産量の推定法 (科学技術庁資源調査所, 1980)

黒潮水域・混合水域=同比、( )内は親潮水域比	
#1	小型プランクトン/ネットプランクトン 現存量比 = $4.5 - 1 = 3.5$ ( $2.0 - 1 = 1$ )
#2	微小プランクトン/ネットプランクトン 現存量比 = 0.25 (0.25)
#3	有機炭素量は乾重量の40%, 乾重量は湿重量の15% (40%, 15%)
#4	ネットプランクトンの世代数は 4 (1.5)
#5	小型プランクトンの世代数は12 (12)
#6	微小プランクトンの世代数は50 (50)

表2 黒潮水域における動物プランクトンの現存量と生産量 (混合水域・親潮水域)

年	動物プランクトン現存量 <Zooplankton biomass>					動物プランクトン生産量 <Zooplankton production>						
	<Net>			<Small>	<Micro>	<Net>	<Small>	<Micro>				
	ネットプラ ンクトン	小型プラ ンクトン	微小プラ ンクトン	小	計	左 湿	同 重量	ネットプラ ンクトン	小型プラ ンクトン	微小プラ ンクトン	小	計
	mgC/m <sup>2</sup>			g/m <sup>2</sup>		mgC/m <sup>2</sup> /年						
# 1	# 2	# 3	# 3	# 3	# 4	# 5	# 6	(混合水域・親潮水域)				
1977	452	1,582	113.0	2,147	35.8	1,808	18,984	5,650	26,442	(27,495)	(27,533)	
1978	407	1,426	101.8	1,935	32.2	1,628	17,112	5,090	23,830	(27,913)	(32,500)	
1979	412	1,441	103.0	1,956	32.6	1,648	17,292	5,150	24,090	(32,593)	(28,795)	
1980	486	1,701	121.5	2,309	38.5	1,944	20,412	6,075	28,431	(30,420)	(25,792)	
1981	387	1,355	96.8	1,839	30.7	1,548	16,260	4,840	22,648	(26,626)	(25,717)	
1982	499	1,747	125.0	2,371	39.5	1,996	20,964	6,250	29,210	(35,802)	(24,313)	

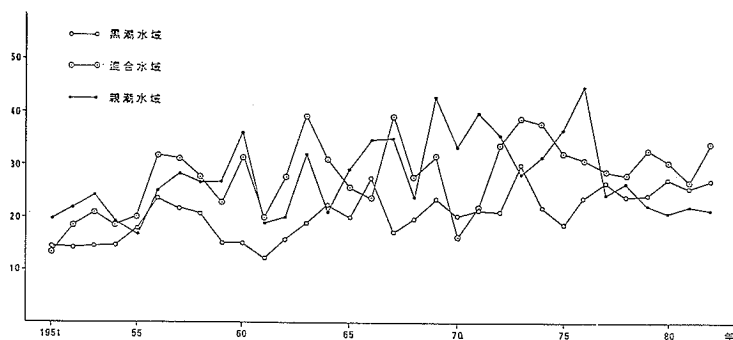


図3 水域別・動物プランクトン生産量 (gC/m<sup>2</sup>) の経年変動 (1951-1982)

は、水域内の全プランクトン量を求めることを目的としている。すなわち、丸特ネットが対称としている 0.3~10mm の中・大型動物プランクトンを支えていたと考えられる 0.3 mm 以下の小型・微小プランクトン量を実測値のないまま算定することである。同方法で混合水域・親潮水域について計算を行いその結果を表2( )内に示した。

この表から6年間(1977~1982)について動物プランクトン生産量を平均的にみると、最大が混合水域の 30 gC/m<sup>2</sup>/年、次いで親潮水域の 27gC/m<sup>2</sup>/年、最低が黒潮水域の 26gC/m<sup>2</sup>/年である。年生産量は、動物プランクトンの寿命とその回転数や小型・微小プランクトンの存在によって影響される。東北海区では水域によって差はあるにしても、全域をみると 22~35gC/m<sup>2</sup>/年の間を変動している。同方法で1956年以降の生産量を求めた(図3)。この結果から、生産量は混合水域→親潮水域→黒

潮水域の順で少なく、親潮水域の生産量は図2で示された現存量程の高い値を示さない。現存量の比較では常に親潮水域に高く、逆の現象は見られなかった。このことは親潮水域の主要動物プランクトンが、ライフスパンの長い大型プランクトンで占められていることによる。

4) 総現存量とサンマが消費したプランクトン量 このようにして試算した結果から動物プランクトン生産量を推定するには、魚類生産との対応を明らかにする事が重要である。すなわち、この水域において魚類生産に費やされた餌料プランクトン量も同一に評価し、全動物プランクトンの総量を把握することによって海洋のもつ生産力を評価する必要があると考える。すなわち、この水域において、サンマ・マイワシ・マサバ等の魚類が摂餌によって消費した動物プランクトン量を試算する必要がある。

東北海区における総プランクトン量を推定するため、

表3 親潮水域・混合水域・黒潮水域における5-7月の動物プランクトンの湿重量及び面積、現存量, 1964-1976,

years	item	Oyashio Area			Transition Area			Kuroshio Area			Total biomass
		density	area	biomass	density	area	biomass	density	area	biomass	
1964		g/m <sup>3</sup>	km <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> tons	g/m <sup>3</sup>	km <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> tons	g/m <sup>3</sup>	km <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> tons	10 <sup>3</sup> tons
1964		23.3	51,987	1,211	10.4	133,560	1,389	7.3	37,940	277	2,877
1965		36.2	65,427	2,368	9.9	148,867	1,474	(4.8)	10,827	52	3,894
1966		33.5	46,293	1,551	9.1	160,160	1,457	2.3	16,940	39	3,047
1967		35.0	31,453	1,101	16.4	160,253	2,628	26.0	33,413	869	4,598
1968		32.3	59,360	1,917	14.0	132,813	1,859	11.2	32,947	369	4,145
1969		75.7	48,907	3,702	16.1	141,027	2,271	24.6	35,187	866	6,839
1970		33.3	51,053	1,700	14.0	138,600	1,940	4.9	35,467	174	3,814
1971		65.8	48,160	3,169	10.0	130,853	1,309	6.0	46,107	277	4,755
1972		35.4	32,200	1,140	13.5	138,880	1,875	7.2	54,040	389	3,404
1973		36.8	63,093	2,322	20.1	120,260	2,417	12.3	43,260	532	5,271
1974		39.4	47,227	1,861	20.3	141,680	2,876	10.9	39,200	427	5,164
1975		49.2	39,387	1,938	17.3	163,520	2,829	8.6	33,320	287	5,054
1976		49.9	47,880	2,389	13.5	136,640	1,845	11.6	41,020	476	4,710

サンマ・マイワシ・マサバが漁獲される水域(図4)において、これら魚類の索餌期(5~7月)について、それぞれの水域の単位面積当たり平均湿重量に、各水域の面積を乗じて総現存量を算定した(表3)。

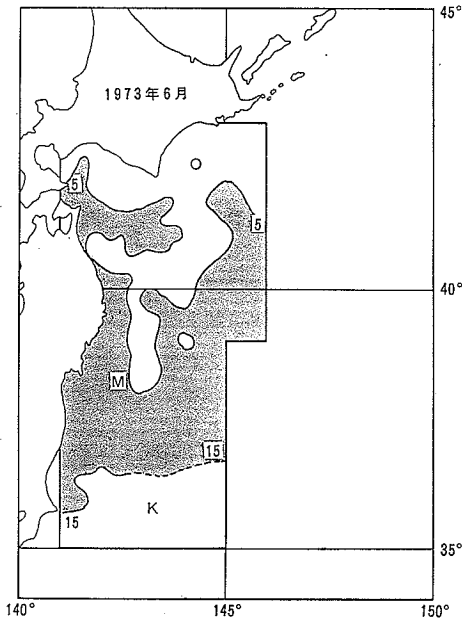


図4 東北海区の水域区分(1973年8月)  
K: 黒潮水域 M: 混合水域 O: 親潮水域

このようにして求めた1964~1976年の13年間の総現存量は、最低は1964年の288万トン、最高は1969年の684万トンであった。

一方、魚類の動物プランクトン消費量を求めるため、サンマをモデルに試算を行った。サンマについて得られている情報を基にした水域(図4)内で、夏~秋(6~9月)に索餌したものと仮定し、その間のサンマの増重量を求め、餌料転換効率10%として摂餌量を求め、次に体長階級毎の漁獲尾数を乗じ総量を算定した。計算は1979~1985年について行った(表4)。この結果、サンマの動物プランクトン消費量は、最低1981年の110万トン、最高は1979年の214万トンと推定された(小達, 1987)。サンマ以外に近年豊漁が続いているマイワシやマサバ等

表4 サンマの年次別推定プランクトン消費量

年	漁獲量(トン)	漁獲尾数(千尾)	プランクトン消費量(トン)
1979	271,662	3,074,363.9	2,144,316.9
1980	192,449	2,089,862.2	1,498,560.7
1981	159,304	1,877,923.5	1,103,391.2
1982	192,883	1,959,325.8	1,383,383.1
1983	232,560	2,017,082.3	1,640,086.3
1984	223,769	1,933,502.0	1,453,134.4
1985	259,247	2,593,652.7	1,717,499.2

のプランクトン消費量も加えると数千万トンに達するものと推定される。

### むすび

動物プランクトン現存量から試算した生産量は、特に親潮水域に高いとは言えない。黒潮統流域に隣接する東北海区は、漁業生産が極めて高く、索餌のために北上回遊してきた魚類の生産を支える餌料プランクトン量は莫大な量と推定される。これらのことから黒潮統流域の生物生産力の算定精度を高いものにするには、動物プランクトン調査によって得られた現存量のみならず、魚類が消費した餌生物量、また、プランクトン種自体の再生産に関する生物学的知見等を加えて、生産量を数量的に評価する手法の開発が必要であると考えられる。

### 文 献

- IKEDA, T. and S. MOTODA (1978) Estimated zooplankton production and their ammonia excretion in the Kuroshio and adjacent seas. *Fish. Bull. U. S.*, **76**, 357-367.
- 科学技術庁資源調査所 (1980) 海洋生物の生産力に関する調査. 科学技術庁資源調査会編, 289pp.
- 小谷佑一・小達和子 (1986) 東北海区におけるサンマ餌料としての動物プランクトンの分布. 水産海洋研究会報, **50**(4), 325-329.
- 農林水産省統計情報部 (1984) 漁業養殖生産統計年報, 288pp.
- 小達和子 (1977) サンマの食性について. 東北水研報告, **38**, 75-88.
- 小達和子・小谷佑一 (1984) 黒潮水域と隣接する混合水域並びに親潮水域の動物プランクトン量の変動. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書(その7), 371-376.
- 小達和子・小谷佑一 (1985) 黒潮水域と隣接する混合水域並びに親潮水域の動物プランクトン量の変動. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書(その8), 341-344.
- 小達和子 (1985) 北上期・索餌期の餌料プランクトン分布について. 第34回サンマ研究討論会報告, 127-129.
- 小達和子・小谷佑一 (1986) 黒潮水域と隣接する混合水域並びに親潮水域の動物プランクトン量の変動. 黒潮の開発利用調査研究成果報告書(その9), 442-445.
- 小達和子 (1986) 東北沖合における動物プランクトン分布量の機械集計. 東北水研報告, **48**, 31-47.
- 小達和子・小谷佑一 (1986) 黒潮水域と隣接する混合水域並びに親潮水域の動物プランクトン生産量の変動. 黒潮の開発利用調査研究第1期成果報告書(昭和52~60年度), 115-124.
- 小達和子・小谷佑一 (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**(4), 329-333.
- 小達和子 (1987) サンマが摂餌した動物プランクトン消費量について. 第36回サンマ研究討論会報告, 176-185.

## 7. 日本周辺海域における生物生産力の評価

西 澤 敏 (東北大学農学部)

### 序 言

海域の基礎生産力をその海域の全生産力として把握しようとするのは甚だ困難な試みである。 $^{14}\text{C}$ 法などの常法による基礎生産の測定値がその海域の中で十分な数だけ得られる場合は殆どないのが普通であるばかりではない。いわゆる常法による測定値がどの程度の信頼性を持つものかがいまだに問題とされている状況にあるからである。日本列島周辺において周年にわたる $^{14}\text{C}$ 法による基礎生産の実測値が整っているのは、筆者の知る限りでは僅か数点に過ぎない。 $^{14}\text{C}$ 法と酸素法との相互比較は1950年代に激しい論争を巻き起したものであるが、決着をみることなく今日に及んでいるし、培養瓶中に必ず混在する微小動物プランクトンの培養中の摂食活動が測定結果に与える偏りについても、問題の指摘がしばし

ばなされるだけで解決法が提示されているわけではない。近年いよいよ明らかになってきたクロロフィル分布の不均一性あるいはパッチネスの遍在は、伝統的な一点主義測定の海域代表性を甚だ疑わしいものになっている。

植食性動物プランクトンの生産を推定する常法はいまだに確立していない。専門家はこれらの生物群の現存量について詳しく記述することに忙しく、その生産量について語ることは殆どないようである。動物プランクトンの採集が専らネットによる海水濾過によって行われていることは、採集の定量性について多くの難点を残していることも周知のことである。ルーチン採集が150m深からの垂直曳網によって行われるという我が国の習慣も、これらの生物の鉛直分布についての十分な知識に基づいたものとは言い難いであろう。何よりも大部分の動

物プランクトンについて、現場ライフサイクルの知識が不足していて、これらの生物の成長速度を見積るのに十分な精度を期待することができないのが現状である。

以下に述べるところは、植物及び動物プランクトンの年生産量を推定する試みについてであるが、何れもその周年の現存量を基礎とする簡便法を採用してある。各種海域の相互比較を眼目とする限り、最も多量に入手できる情報は、植物でも動物でも、今のところはその現存量に限られているからである。現存量から生産量を推定するという方法は、生産量を実測するのに比較すれば間接的な性質のものであることは言うまでもないが、後述するように幾つかの利点がないわけではない。現存量というものは、どのような生物群においても、採集された時点までの成長量と死亡量との差を表現しているもので、よく言われるように“生き残り”量である。ところで生産は常にその生き残った生物たちによって行われる。死亡したものはもう生産を行わないし、死亡するまでは（或いは喰われるまでは）現存量の一部を構成していた筈である。すなわち、生産というものは、現存量を構成している生物達によって独占的に荷われているのである。したがって現存量を基礎とする限り、我々はその生物群の生産を問題とするのに、被摂食量を考慮する必要がない。被摂食量は摂食した生物群に転化してゆく量であり、摂食者の現存量を増大させることを通じて摂食者の生産に関係しているだけである。

残る問題は、このような現存量を生産量に転換することであるが、その転換の係数が成長速度であることは明白である。

結局、以下に述べる生産力推定法は、現存量と成長速度の情報を操作したものである。両者の情報は今のところは上述のような著しい制限の下にあるものであるから、以下に述べる推定法も同じ制限のもとにあるものであることは言うまでもない。

#### 方法

推定法の原理は極めて簡単であるが一応数式を用いて表記すると、ある生物群のある海域における現存量を  $S$  とする。 $S$  は時間とともに変動するものであるが、同一の時刻にはその海域内では場所的に変化しないものとする。すなわち  $S$  はその海域内の場所的平均値とみなすのである。 $S$  は既に述べたように、その時までのその生物群の成長と減耗の差を表している。微分的には、

$$dS = \mu S dt - m S dt \dots\dots\dots (1)$$

と書くことができ、ここに  $\mu$  は成長率を表し  $m$  は減耗率を表す。したがって

$$\frac{dS}{dt} = (\mu - m) S \dots\dots\dots (2)$$

$t$  時間経過すれば

$$S_t - S_0 = \int_0^t \mu S dt - \int_0^t m S dt \dots\dots\dots (3)$$

となる。右辺の第一項が生産量であることは言うまでもない。上式は又

$$\int_0^t \mu S dt = (S_t - S_0) + \int_0^t m S dt \dots\dots\dots (4)$$

と書くことで、 $t$  時間内の生産量はその時間内の現存量の増大分に、同じ時間内の減耗分を加えたものであるという至極当り前の公理を表現したものととなる。注意すべきことは、ここで言う生産量は、いわゆる“ポテンシャル生産量”ではないということである。成長と減耗とが同時に起っている条件の下で、実際にその海域内で起っていると考えられる生産である。ここで問題としているのはその実際の生産量である。したがって、その生物群の現存量が年々定期的な季節変動を繰返している場合には、 $t$  を1年ととると  $S_t = S_0$  となるであろうから、実際の年生産量は年間の減耗量にイコールとなるであろう。季節変化の定常性は第一近似としては多くの海域について許容されうるものであるから、実際の生産量の推定には  $\mu S$  を積分するか  $m S$  を積分するかの選択が残されるだけとなる。ここで述べる推定法では前者すなわち  $\mu S$  の積分を採る。それは利用できる情報の量と精度とが、 $\mu$  すなわち特定生物群の成長率について、 $m$  すなわち減耗率についてよりも遙かに大きいのが実情であるからである。減耗の主要部分は被摂食による死亡であるが、これは生物群間の相互関係に係わる現象で、研究調査の進展はあるとしても今日未だに情報量は甚だしく不足している。 $m$  の代りに  $\mu$  を選択することによって、我々は海洋低次生産層の内及び外において機能している驚くべき食物網 (Food Web) の迷路の中に立迷うことから解放される。

さて生産量の推定に  $\mu S$  の積分を選ぶとして、次に我々は生産量の季節変動の微細像をうることを断念する。すなわち現存量  $S$  の年平均  $\bar{S}$  のみを対象とする。但し  $\bar{S}$  としてはできる限り、その海域内の全状況を反映する偏りのない値を入手できることを要求する。そのような値がえられるならば

$$\int_0^{1\text{year}} \mu S dt = \bar{\mu} \bar{S} \times 1\text{year} \sim \bar{S} \cdot \bar{\mu} \times 1\text{year} \dots\dots (5)$$

であるから、問題は  $\mu$  の年間積分値をどう取扱うかに移すことができる。ここで  $\mu \times 1$  年はその生物の年間における世代交替数を表すものに外ならない。何故ならば

$\mu$  は平均現存量  $\bar{S}$  のどれだけの部分が単位時間に平均的に生産されるかを示す係数であり、これを年間に引き延ばすことによって、平均現存量が年間何回繰返すかが示されるからである。

ここで重要なことは、

$$\bar{S} \times \text{年間世代交替数} \dots \dots \dots (6)$$

という方式で年生産量を計算する場合に、その年間世代交替数は、実際に生起する世代交替数である必要がないことである。必要なのは一世代時間（寿命, lifespan）の知識であって、もし継続的に世代交替が行われるならば、年間に何回繰返しうるかということだけが問題である。例えば盛夏8月の中旬に突然出現して、10日間水柱に現存して一世代の生活を終え、忽ちして姿を消してしまう生物群が枝角類の中には存在する。年間のその他の時季には全く出現しないとしても、この場合に採用すべき世代交替数は36である。この場合にも、我々は年間の平均現存量  $\bar{S}$  を使うのであるから、その生物群は年間常に存在するものと仮定しているのであって、世代数を実際より過大に見積ることは、現存量を年間で平均して過小に見積ることによって補償されている。もう一つ重要なことは、その生物群が幾つかのコホートから成っていて、次々と時間差をもって発生し成長し、各コホート毎に世代交替を繰返したとしても、我々は各コホート毎の世代交替数を数え上げてこれらを合算する必要はないことである。コホートの数の多いことは、平均現存量の嵩上げの中に反映している筈のものだからである。

結局我々が最終的に到達する年間生産量推定式は、単純に

$$\bar{S} / G \dots \dots \dots (7)$$

と表すことができ、ここに  $G$  は年単位で表したその生物群の個体の平均寿命である。

植物プランクトンの生産を扱う場合には、原理的には同一であるが、 $S$ （現存量）はクロロフィル量で測定されるのが普通であるので、 $\mu$  は単位クロロフィル当り単位時間当りの炭素生産量ととることによって、生産量を炭素量として計算することができる。

以上の単純方式は、既述のように季節的な現存量変動が定常的に年々繰返されている生物群毎に適用されうるものであり、それぞれの生物群について偏りの少ない年平均  $\bar{S}$  と  $\mu$  とが得られることを前提としている。しかし正確には  $\bar{S}\mu t$  が必要であるところを  $\bar{S}\mu t$  で代置してある(5)式参照)ところに、この簡便法の基本的な制限があることは言うておかなければならないであろう。この代置は  $\mu$  が年間を通じて一定であることを仮定したこと

相当する。もし  $\mu$  が年間で季節的に変動するものとするれば、仮に  $\mu$  の年間平均値  $\bar{\mu}$  が資料的には入手可能であるとしても、 $\bar{S}\mu$  は  $\bar{S} \cdot \bar{\mu}$  に必ずしも等しくはないことは自明であるから、これによって生ずる推定の誤差はしばしば致命的な大きさに達するであろう。実際には成長率  $\mu$  が季節的に変動することは周知のことである。更に付言すれば、 $S$  と  $\mu$  とはそれぞれに独立の変数ではないという事態がある。両者は干渉している。多くの場合、 $\mu$  の大きい時に  $S$  の増大がおこる（例えば植物の大増殖）。尤も  $S$  の小さいことが  $\mu$  の増大を招くこともある（例えば密度効果）。干渉しない場合もあるであろう。 $S$  の詳しい資料はルーチンの現場観測から取り、 $\mu$  の値は全く独立にデザインされた現場あるいは実験室の実験から取るというのが実情であるから、この相互干渉の実態は上述の簡便法の中には反映されないであろう。この簡便法はそのような生産の内部的微細構造に立入る力を持ったものではないことは重大な欠陥であることは勿論であるが、それが又簡便法の簡便法たる所以であって、手早く且つ労少なくして生産量の一次的推定値を与えることに主眼のあるものである。重複することを厭わずにこの簡便法の基づいている思想の概要を述べれば次のようになるであろう。1) 先づある生物群は平均現存量  $\bar{S}$  としてある海域に年間に常在すると考える。2) その現存量は一定の寿命を持つ個体から成っていて次々と間断なく世代の交替を繰返している。3) (補足1として) 世代が交替しても現存量  $\bar{S}$  が不変であるのはコホートの数が十分にあって相互に補填し合っているからで、各コホート毎の年間世代交替数は一定である。4) (補足2として) 存在するコホートの数と、各コホートに加えられる被摂食減耗とは平均現存量  $\bar{S}$  の高さにすべて既に包含され計量済みである。5) (補足3として) 生産を遂行する主体は、生き残っている生物の量すなわち現存量である。摂食あるいは死亡したものはその生物群の生産に寄与することはできない。摂食されるまではその生物群の現存量の一部を構成して生産の主体であったのだから、それは平均現存量の中に包含されている。

結果

筆者は上述の計算法を使って、日本周辺における主要海域毎に、植物プランクトンと動物プランクトンの年生産量を計算したことがある。それは科学技術庁資源調査所の依頼によったもので同所の資料第81号「海洋生物の生産力把握に関する調査」(昭和55年11月の第2章「日本近海の低次生産力の海域別分布」p. 43-98)に詳述してある。その計算結果を本文の末尾に付表として掲げる。

付表 日本近海における低次生産力の海域別分布

事 項 海 域	動物プランクトン現存量 (Zooplankton biomass) mgC m <sup>-2</sup>		植物プランクトン 現存量 (Phytoplankton biomass) mg Chl m <sup>-2</sup>		動物プランクトン生産量 (Zooplankton production) mgC m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>		植物プランクトン生産量 (Phytoplankton production) mgC m <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup>	
	ネットプラ ンクトン (net)	微小プラ ンクトン (micro)	ネットプラ ンクトン (net)	微小プラ ンクトン (micro)	(a) ネットプラ ンクトン (net)	(b) 小型プラ ンクトン (small)	(c) 微小プラ ンクトン (micro)	(d) 小計
北海道海域								
噴火湾	586	1,758 (3)	15.4	2,344 (4)	21,096(12)	5,860(50)	44,968 (8)	0.652
道南水域	589	1,767 (3)	14.8	2,356 (4)	21,204(12)	5,890(50)	43,216 (8)	0.681
三陸沖海域								
親潮域(1955)	366	366 (1)	108	549(1.5)	4,392(12)	1,830(50)	394,200 (10)	0.017
" (1970)	1,869	1,869 (1)	108	2,804(1.5)	22,428(12)	9,345(50)	394,200 (10)	0.088
混合域(1955)	332	996 (3)	—	1,328 (4)	11,952(12)	3,320(50)	— (7)	—
" (1970)	519	1,557 (3)	—	2,076 (4)	18,684(12)	5,190(50)	— (7)	—
黒潮域(1955)	259	777 (3)	—	1,036 (4)	9,324(12)	2,590(50)	— (5)	—
" (1970)	531	1,593 (3)	—	2,124 (4)	19,116(12)	5,310(50)	— (5)	—
日本海海域	625	1,875 (3)	25.4	2,500 (4)	22,500(12)	6,250(50)	64,897 (7)	0.482
東海区海域								
黒潮域	419	1,257 (3)	23.7	1,676 (4)	15,084(12)	4,190(50)	43,253 (5)	0.484
駿河湾	738	2,214 (3)	49.3	2,952 (4)	26,568(12)	7,380(50)	126,047 (7)	0.293
瀬戸内海								
燧灘	188	564 (3)	37.1	1,410(7.5)	6,768(12)	2,350(50)	81,249 (6)	0.130
東シナ海								
大陸系沿岸水域	339	1,018 (3)	22.4	1,356 (4)	12,216(12)	4,240(50)	81,760 (10)	0.218
中間水域	395	1,184 (3)	26.5	1,580 (4)	14,208(12)	4,940(50)	77,380 (8)	0.268
対馬暖流域	445	1,336 (3)	22.6	1,780 (4)	16,032(12)	5,615(50)	49,494 (6)	0.473
九州沿岸水域	1,134	3,402 (3)	30.4	4,536 (4)	40,824(12)	14,175(50)	77,672 (7)	0.766
黒潮域	650	1,950 (3)	21.8	2,600 (4)	23,400(12)	8,125(50)	39,785 (5)	0.858

\* 小型プランクトン現存量/ネットプランクトン現存量

\*\* 微小プランクトン現存量/ネットプランクトン現存量

\*\*\* 各海域毎それぞれの生物群の年間平均世代数

\*\*\*\* 単位クロロフィル当り植物プランクトン日生産量 (mgC/mg Chl)

この計算の基礎となったプランクトン現存量の既往資料は、全国の水産研究の各種機関、気象庁海洋気象部などから提供を受けたもので、これらの資料は貴重なものであるので、同所内部資料第9号「日本近海における動物、植物プランクトンの現存量に関する調査」(昭和55年3月)にすべて集録してある。詳しくは上記2資料を参照していただきたい。既に紙数も尽きたので、ここではこれらの計算結果について多くを述べることはできない。生物群として植物プランクトンの外に動物はネットプランクトン、小型プランクトン及び微小プランクトンに分けその各々について海域毎の年平均現存量と年間世代交替数(植物の場合にはクロロフィル当りの炭素生産量)を既往資料から求め、両者を積算してある。係数の選定については多くの専門家の意見を徴することに努めたが、筆者の独断によるところも少くない。このよう

な単純計算でも、資料不足による制限は厳しいもので、計算者の独断を容れざるをえない余地が極めて大きいことを筆者は痛感した。

ここでは計算の結果についてよりは、計算の理論的根拠について述べることを中心とした。考えるまでもなく、上に述べたようなことは甚だエレメンタルな理屈で、特別に肩肘張って揚言するに値することとも思われない。しかし、余り平凡なことであるためか、我が国はもとより諸外国でもこの手法を活用した例を見聞しない。海域の生産力を全体として把握することは、近年いよいよ緊急の必要を痛感されている問題であるので、簡便ではない正功法的手法による推算値が提出されるのを待っている余裕がないというのが実状であろう。そういう状況下ではここに述べた手法もいささかの役に立つかもしれない。

## 8. 総 合 討 論

### (1) 西澤氏の話題に対するコメント

松 川 康 夫 (東海区水産研究所)

或る海域の有光層内の動物プランクトン現存量(質量)を  $B$ 、生産を  $P$ 、死亡(主に食害)と有光層からの逸散を  $F$  とすれば、

$$dB/dt = P - F \dots\dots\dots(1)$$

つまり生産は現存量の増加に食害を加えたものであり、従って回遊魚の索餌場となるような亜寒帯海域は原理的に言って亜熱帯海域よりも生産が高くならなければならない。報告者が提案した計算法による海域の生産力はこの点で逆となっており、いささか奇妙である。

この理由は二つ考えられる。一つは、報告者が提案している計算法

$$P = B/\tau \dots\dots\dots(2)$$

における平均寿命  $\tau$  の評価である。この場合は動物プランクトンの生理的寿命ではなくて滞留時間(つまり現場の寿命)でなければならない。亜寒帯海域のように魚類の食害によって大部分が短期間のうちに死亡してしまう場合には、 $\tau$  は一年ではなくて、かなり短いだらう。報告者が採用した  $\tau$  の値はこの意味でどうなのか、吟味

が必要ではないか。

もう一つは、 $P$  の意味合いについてである。(1)或は(2)における  $P$  はいわゆる total production であり、これは湧昇などによって有光層の外部から供給される栄養が支える new production (これは最終的にはデトリタスの沈降や回遊魚の逸散によって有光層から失われる分に等しい)と、有光層内を食物連鎖を通じて回転している栄養が支える regenerative production からなっている。海域の豊かさとは回遊魚の生産や底魚の生産(つまりデトリタスの沈降)の高さそのものであるから、それは new production で表されるべきではないか。亜寒帯海域、赤道域、中緯度湧昇域、沿岸域はいずれも new production が大きく、従って豊かなのである。報告者のように total production で豊かさを表すと、亜熱帯海域のように new production が小さくとも生物群集の生理的寿命が短く回転が速い場合には total production が大きくなり、亜寒帯海域よりも数字のうえて豊かになるといった奇妙さも生じ得る。



## (2) 松川氏のコメントに関連して

西澤 敏 (東北大学農学部)

松川氏のコメントには、動物プランクトン、植物プランクトン、栄養塩などに関する概念が混同されていて、意味が不明である。強いて松川氏の言わんとするところを付度すれば（同氏の  $B$  は動物ではなくて植物の現存量を言っておられるのであろうが）植物の生産サイクルが new production cycle と regenerative production cycle とから成り、両者の和が total production である。この total production が海域の豊かさのよいインデックスである、と主張しておられるようである。これは誰も反対しない命題で、私の計算法もその total production を計算しているものに外ならない。両者の cycle の production rate の和が松川氏の  $P$  なので

ある。こういう意味での total production を測定あるいは計算することが生産力研究の目ざしているところで、既に一世紀の歴史をもっている。すなわち松川氏は一世紀来世界中で実行されていることを新しく主張しておられるだけである。

松川氏コメントの中段は、滞留時間と寿命とに関係している。再び概念の混同が目立って意味は不鮮明であるが、本文の中で私が詳しく述べたところと大差あるものではない。

松川氏のコメントは、読みようによっては別様にも解しうるものであるが、それらのことを考慮して本文を草しておいたつもりであるのでご再読を願いたい。