

第20回 北洋研究シンポジウム

——北洋水産研究施設25周年記念——

国際的視野からみた日本の水産海洋学の前最線と
将来への展望

共 産 北海道大学水産学部
水 産 海 洋 学 会

日 時: 1988年11月1日(火) 13:00~17:00
11月2日(水) 9:30~15:00
会 場: 北海道大学水産学部特別講義室(函館市港町 3-1-1)
コンピーナー: 梶原 昌 弘(北海道大学水産学部)
杉本 隆 成(東京大学海洋研究所)
揆 拶: 佐藤 修(北海道大学水産学部長)
平野 敏 行(水産海洋学会長)

話題及び話題提供者

1. 溯河性魚類の国際的資源管理と問題点
高木 健 治(北海道区水産研究所)
 2. 北太平洋生態系のフレームについて
辻 田 時 美(元北海道大学)
 3. 国際関係における水産資源問題
「生態系モデルをめぐる日米間の底魚資源問題を例として」
田 中 昌 一(東京水産大学)
 4. 東南アジアの漁業問題の現状と将来への指針
「沿岸零細漁業問題への接近」
山 尾 政 博(広島大学総合科学部)
 5. 生物海洋学における実際の諸問題
高 橋 正 征(東京大学理学部)
 6. 世界の好漁場における物質循環の特徴
半 田 暢 彦(名古屋大学水圏科学研究所)
 7. 水産海洋物理学の将来への展望
杉 本 隆 成(東京大学海洋研究所)
- 総 合 討 論 司 会 大 谷 清 隆(北海道大学水産学部)

趣 旨 説 明

近年沿岸漁業国は、200海里水域内の生物資源の管理と漁獲規制をますます強めているが、同時に母川回帰性生物資源についてもその帰属を主張し、公海上の規制を強めている。これは自国の主権を拡大し、天然資源としての生物資源を独占しようとするものであることはいうまでもない。しかしこれらの生物資源の保管理は、単に沿岸漁業国、母川国の問題に留まらず、地球的な規模での生物環境に関連するものである。従って、その生産性や資源量は、汎地球的な観点から考えていく必要がある。

さて、北海道大学水産学部附属北洋水産研究施設は昭和38年に設立され、昭和63年で創立25周年を迎えるに至った。この間、水産海洋学会（水産海洋研究会）と共催して北洋研究シンポジウムを行ない、研究の進展と啓蒙に当たって来たが、今回で第20回目を数えるに至った。こ

の北洋水産研究施設創立25周年、北洋研究シンポジウム第20回目の節目に当り、記念事業として我が国の第一線で御活躍の方々に御参加を戴き、表題のシンポジウムを開催することにした。

シンポジウムの前半は、国際的な視点から我が国が抱えている問題、ないしは直面している問題や漁業の実態について論議して戴き、後半には生物学、化学、物理学の立場から、水産海洋学の現状を述べ、将来に向けて如何に発展させていくか、その展望を述べて頂くことにした。

このシンポジウムは、その対象を単に北海道大学水産学部の教職員や学生に限らず、試験研究機関の研究者、一般大衆にも広げることにした。

コンピナー

1. 溯河性魚類の国際的資源管理と問題点

高木 健治（北海道区水産研究所）

淡水域と海洋域の両方を棲み場所とし、産卵するために河川へ溯上する溯河性魚類のなかでも、海洋沖合域を広く回遊し、国際的な資源管理の対象となるのはさけ科魚種である。溯河性さけ科魚種は、淡水域において生まれて海へ降り、海洋域において成長・成熟をとげると再び母川へ回帰して産卵する習性を持つ。

魚種により強さの程度が若干異なるものの共通して強い母川回帰性を有するのが溯河性さけ科魚種の特性であり、母川の産卵環境保全などに投資した場合、それによって生ずる利益を回収する機会が回帰魚の漁獲であるといえる。

淡水域ではビーバーダム、自然倒木、崖崩れ等によって塞止められた水流をきりひらくという原始的な仕事から、水力発電用ダムに魚道を構築するという大規模工事にいたるまで各種の投資がさけ・ます再生産のために行われている。自然産卵環境保全、資源管理、漁業規制、調査研究のほかに施肥、人工産卵水路、孵化事業などの積極的な資源培養が行われている。云うまでもなく見返りを見込んだ投資である。

国連海洋法第66条において溯河性資源について母川国

が第一義的利益と責任を有することを定め、またその漁業は排他的経済水域内においてのみ行われるべきものとしている由縁も、この魚種の特性からきている。ただし、同法では、その規定適用が経済的混乱をもたらす場合はこの限りではなく、また、排他的経済水域外における漁業に関し関係国はその漁業の条件について協議し、更に再生産措置に参加し特にそのための経費を負担している場合には、母川国はこれらの国に対し漁獲について特別な考慮を払うことを定めている。

さけ・ます類は、産卵時に通常雌雄各1尾が対をつくり、産卵に適した自分達の場所を確保し、他者の侵入を排除し、河川床に巣を掘って卵を生みつける。発達した産卵習性を有し、抱卵数も少なく、産卵親魚量と発生資源量との間の数量的関係が有意である。

産卵に適した場所の全体の面積及び一对の親魚が占める産卵巣の面積に基づいて、あるいはまた過去の親魚量と回帰量の記録に基づいて適正溯上量が求まる。

さけ・ます類の資源管理施策の主軸は、目標溯上量の確保に置かれるのが一般的である。すべての条件が満足された時、目標溯上量は適正溯上量と一致する。来遊回

帰量から目標溯上量を差引くと許容漁獲量が得られる。これを漁期前に定める場合は、来遊回帰量の予測値が与えられていなければならない。ブリストル湾ベニザケの場合を典型的な例として紹介する。

ブリストル湾はアラスカ半島の付け根に位置し、世界第一のベニザケ生産地域として知られる。1977~1981年の5年間平均を見ると北米全域ベニザケ漁獲尾数の52%がブリストル湾地域においてあげられた。またこの地域のさけ・ます漁獲物の85%がベニザケによって占められる。このように商業価値の高い魚種が限られた小さい地域において大量にまとまって漁獲されることから、ブリストル湾ベニザケの事例には北米さけ・ます資源評価及び管理手法の原型がみられる。

大別すると5つの産卵河川系があり、漁場はそれぞれの河口域周辺に設けられ、相互に地理的に離れた5つの漁区に別れている。ベニザケの沿岸来遊は、6月下旬に始まり、7月上旬に盛期を迎える。7月5日前後を頂点とする短い期間に大量に来遊するので、缶詰工場・冷凍工場の操業計画や資材・製品の輸送計画を立てるに当り、正確な来遊時期情報を事前に入手することが重要になり、それによって経済効率が左右される。

資源管理・漁業規制のやり方は、目標溯上量の達成状況を見極めながら、河川系毎に緊急規制命令によって漁獲率を調整する。つまり盛漁期には固定した日数や時間数に従って漁獲操業を行うのではなく、毎日放送される時間単位の操業期間の開閉によって漁区毎に規制が行われる。1つの漁区で12時間に160万尾の魚が漁獲されることがあるほど魚の密集度が高くかつ魚の移動が早いので、規制措置は高度に柔軟かつ敏感でなければならない。

資源管理プログラムの基礎情報を時間的順序に従って列挙すると、まず漁期前年に発表される来遊量予測値があり、漁期年に入るとシュマーギン・ウニマク地域における先取り漁獲量が最も早い情報となり、次いで漁場に至る直前のポートモラー試験漁獲、漁場内漁船分布状況、漁獲努力量、商業漁獲量、漁獲物魚体調査があり、漁場を通過した魚は河川へ溯上する。溯上親魚の計数塔または計数柵の設置箇所及び操業期間は、ブリストル湾地域ベニザケを十分カバーしており、正確な溯上量全数が把握できる。しかし、計数塔のある場所は湖の入口に近い河川上流域なので、商業漁場を通過した魚が計数塔へ到着するまでかなりの時間がかかるという難点がある。目標溯上量の達成状況によって漁期を開閉する方式にとってこの時間差は致命的である。短期間に大量の魚

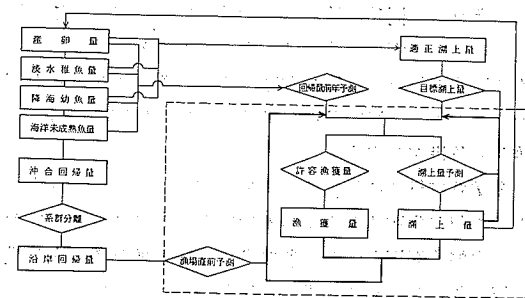


図 1 ブリストル湾ベニザケ資源管理システム流れ図
出典: MUNDY & MATHISEN (1981)

が移動するので、漁場通過直後の溯上量をなるべく早く知る必要がある。そのため河川内試験漁獲、親魚ソーナー計数及び飛行機観測が行われる。

図1は、ブリストル湾ベニザケ資源管理システム流れ図を示す。まず漁期前年において回帰量予測が行われる。これは生活史の各段階における数量、すなわち産卵親魚量、湖中稚魚量、降海稚魚量、海洋未成熟魚量、若齢回帰量、高齢回帰量等の間における数量関係に基づき回帰量予測値が求められる。他方、各水系別の資料に基づいて適正溯上量、更には目標溯上量が設定され、許容漁獲量が与えられる。この流れ図にみられる最大の特徴は、図中において点線で囲った部分である。これはポートモラー沖の試験漁獲調査を入口として、商業漁獲量及び溯上親魚量の達成状態に対応して緊急規制命令を発生するサブ・システムに相当する。太い実線はフィードバックが働いていることを示す。

ブリストル湾産卵河川を目指して回帰するベニザケ魚群は、まずポートモラー沖調査において最初の系統的データ、すなわち来遊時期、魚群密度、年齢組成、性比、体長、体重、成熟度等がとられる。漁期前予測値が実際にはどうかということがここで初めて確かめられる。それから4~9日後、長年平均値では約6日後に魚群は漁場に入り、ここで2番目の系統的データがとられる。漁場を通り抜けた魚は河川へ溯上し、河川内において最後の系統的データがとられる。

前述のように出来る限り速やかに溯上量を把握するため複数の調査が並行して行われる。河口域は濁水のため水中の魚は全く見えず、溯上量推定のため流網試験漁獲が行われる。中流域ではソーナー計数機も働いているが、主力は飛行機観測である。定められた観測域中の親魚数を定期的に上空から計数する。これらの値は、最終的に得られる計数塔の観測値と照合され、精度がチェ

ックされると同時に観測方法の改善に役立てられる。湖の入口に近い河川上流域は、水が澄んでおり、大部分の魚は流速の早い主軸域を避け、流れの遅い川岸近くを溯上するので、兩岸に設けた計数塔の昼夜観測によって正確な全数推定が出来る。

来遊豊度推定は毎日行われる。ポートモーター調査によって得た来遊豊度推定値の精度を、プリストル湾において実際に観測された来遊豊度によって確かめ、もし推定値に欠陥があれば、推定手続きを改正し、望ましい精度水準が得られるまで推定値を更新する。この手続きを可能にしている理由の1つは、遺伝的要因も働いてさけ・ますの時間的来遊パターンが固定していることにある。プリストル湾ベニザケの日別来遊量の累積値は、ロジスティック曲線に良く近似する。来遊ピークが何時になるか、またポートモーターから漁場までの魚群移動期間が何日になるかが、年によって変動する。その点を考慮してポートモーター時点における来遊豊度推定精度を高め、漁場へ入っていく魚群の漁獲規制に役立てる。このサブ・システムの強みは、実際の来遊豊度を直接観測する段階を含んでいることにある。

プリストル湾以外の地域では一般に魚種構成が複雑であり、漁業種類が多様化し、更に混合した系統群を漁獲対象とせざるをえないが、北米さけ・ます資源管理施策の基底には、ここで見たような原型が存在している。プリストル湾ベニザケの場合は条件がかなり単純ではあるが、それでも実態上問題がない訳ではない。例えば、1978年以降の溯上量は目標水準を越えていた場合が多く、その事による再生産率に対する影響評価が求められる(高木, 1985)。また、河口域周辺だけを漁場としていても、他の系統群に対する先取り混獲があり、その点を管理上考慮しなくてはならない。

淡水域は溯河性さけ・ます類の再生産の場として不可欠であるが、他方、そこにおける自然死亡率は高い。河川環境要因の中でも水量は死亡率に大きく影響する。渇水期に水位がさがりすぎて河床が干上がったたり、それに寒気が加わって凍上したり、あるいは砂泥がたまって卵や浮上稚仔が死亡する。逆に増水期に洪水が起こり、岩石や流木が産卵巣を一緒に押し流す。捕食者や競合者の存在も大きい。溯河親魚を熊が喰うことは良く知られているが、産卵魚が過剰の場合は後続群によって産卵巣が掘り返され、通常の場合にも卵や稚魚を捕食する魚類・鳥類は多い。稚魚時代には同じ餌料をめぐる競合者の存在は飢餓死亡要因として働く。天然産卵の場合は卵から稚魚までの期間に90%以上が自然死亡し、生残率は

数%である。沿岸滞泳期における自然死亡率も一般に高い。

淡水域に比べて海洋域は、物理環境が安定し、餌料も豊富であり、捕食者による被食死亡も小さい。溯河性さけ・ますにとって海洋は成長・成熟の場として極めて重要である。海洋生活期間における魚体増量は大きい。シロザケを例にとると、稚魚はわずか0.5g程度の大きさで降海し、回帰する時は3kg以上の大きさになる。海洋時代に6,000倍以上の増重をする。淡水起源のさけ・ます類は、海洋へ適応することによって大きなバイオマスの魚類へ進化したと考えられる。同じ溯河性さけ・ます類の中でも海洋依存度の高い魚種ほど、抱卵数が少なくても資源量が大きく、分布範囲も広いことが認められる。さけ・ます類は生まれは川の魚であっても、育ちは海の魚である。

海洋生活期におけるさけ・ます類の自然死亡係数は0.01のオーダーであり、他方、体重の増加係数は0.1のオーダーであって、自然死亡率は低く増重率は高い。従ってさけ・ます類のバイオマスは、沖合域を回遊している時より沿岸に回帰する時の方が大きい。ソ連やアメリカなどがさけ・ます沖取りを非難する理由として、流網脱落死亡、系統群別管理、未成熟魚漁獲などと共に資源の合理的利用を挙げているのはこの点を指す。しかし漁業生産物の食品としての価値は、バイオマスの大きさだけでは測れない。日本のアキザケの場合に見られるように、沿岸回帰時のブナケ魚は北洋産のギンケ魚に比べて脂肪含有量が少なく味がおちるとされ、それが魚価にも端的に表われている。

産卵間近かになるほどギンケ度合いが低下するので、フレーザー河さけ・ます漁業でも良質の魚を求めて河口域から離れた外海側における曳縄漁業による漁獲物の人気が高まっている。アラスカ西部でも河口から産卵場までの距離の短いカスコクウィム水系の魚より、その距離の長いユーコン水系の魚の方がギンケ度合いが高いので魚価が良い。またソ連科学者もギンケのさけ・ますを求めて沿岸域を離れ沖合域における試験漁獲調査を考慮している。日本起源さけ・ます類についてブナケ魚の付加価値及び有効利用の問題が考慮されているが、それは別問題として、国民の嗜好に合う美味しい魚を沖合域において漁獲する場合には、目標とする魚種・系統群のみを取分けることは出来ないので、混獲される他の魚種・系統群の問題を資源管理に際して考慮せねばならない。

さけ・ます系統群識別手法には、鱗相分析、アイソザイム分析、寄生虫学的分析、標識放流分析などがある。

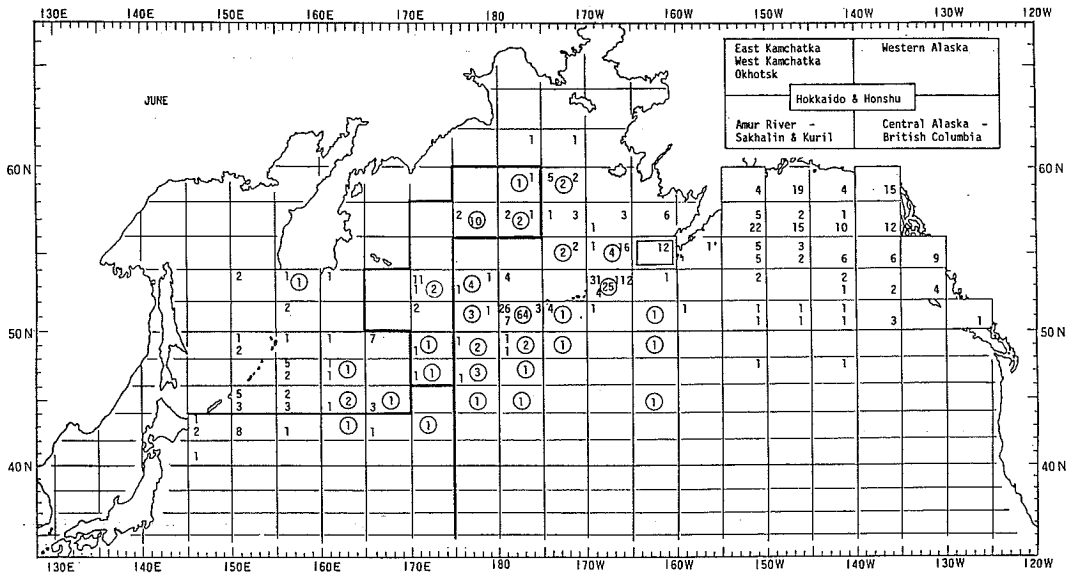


図 2 6月に北太平洋の各2度5度区域において標識放流されたシロザケの沿岸地域別再捕尾数, 1956~1984年。中央円内の値は北海道・本州再捕尾数

一例として図2に、1956~1984年の6月に標識放流されたシロザケから得られた沿岸再捕尾数を地域毎に大別して示した。再捕された沿岸地域はその魚が属する系統群の発生源地域を示すと仮定して図2を見ると、系統群別の主要分布域は巨視的に見ればそれぞれ異なること、他方、どの系統群も単独で分布することなく常に他の系統群の分布と重なり合い、相互に混じり合っていることがわかる。

日本は日ソ漁業協力協定の下にソ連に漁業協力費を払い、ソ連さけ・ますを北洋において漁獲している。その際に混獲される北米系さけ・ますについて、日米加漁業条約の下に共同調査が実施されている。複数の魚種・系統群が時空間的に重なり合うためさけ・ます漁業には対象魚以外の魚種・系統群の混獲・先取り問題が常に付きまとう。しかしこれは日本の北洋さけ・ます漁業だけに限らない。例えば北米沿岸ではアメリカとカナダの間で国際的さけ・ます交渉が続けられている。ブリティッシュ・コロンビア州南部河川とワシントン州北部河川に起源を持つさけ・ますを、アメリカとカナダの漁業者は相互に先取りし合っている。同じ状況はブリティッシュ・コロンビア州北部起源魚と南東部アラスカ起源魚についても起こっている。またアラスカ州沿岸域に開口するいくつかの河川は、源をブリティッシュ・コロンビア州に発し国

境を横切って流れる。ユーコン河はその代表例である。そこで河口域及び下流・中流域における商業漁業・自家消費漁業を営むアメリカ側が、上流域に発生するカナダ起源魚を先取りする立場にある。カナダ起源魚を混獲せずにアメリカ漁業者がアラスカ・ユーコン河さけ・ます漁業を行うことは技術的に不可能である。

溯河性さけ・ます類は、その生涯の大部分を海洋において過ごす。1952年に日米加漁業条約が発効し北太平洋さけ・ます漁業が本格化するまでは、沖合生活期はいわばブラック・ボックスの中にあった。北洋さけ・ます漁業及び国際共同調査の規模拡大は、溯河性さけ・ますの海洋生活期に関する研究の飛躍的發展をもたらした。

日本起源さけ・ますの資源管理に際しても、系統群別の回遊経路推定及び来遊量予測の精度向上が求められ、そのためにも海洋生活期における調査研究が重要である。

各母川国は、自国の溯河性魚類の資源培養に努力を傾注しており、その結果として異なった国を起源とする魚群同士が沖合において遭遇・競合し、北太平洋における生産力配分に新しい問題を提起するかもしれない。

文 献

MUNDY, P. R. and O. A. MATHISEN (1981) Abundance estimation in a feedback control system

applied to the management of a commercial salmon fishery. In: Haley, K. B. ed. Applied operation research in fishing: 81-98.

高木健治 (1985) アラスカ州プリズトル湾地域におけ

るベニザケ資源の評価と管理. 海外における資源評価及び管理手段に関するレビュー No. 1, 日本水産資源保護協会, 379-435.

2. 北太平洋生態系のフレームについて

辻田 時 美 (北海道大学名誉教授)

北太平洋を生態学上 as a whole として, ひとつの生態系を想定し, この内部で生産される漁業資源生物の生産過程を生態系の構造と機能に結びつけて探ることを試みた。

この報告はその第1報である。

1. 生態系の頂上位生物群 apex population と COSM の類型

海洋環境即ち複雑でしかも高度に変動性のある自然界のなかで水媒体 water milieu を取上げて, この中の pelagic zone に媒体の大きさ medium scale をとることとする。そしてこの水媒体の中でも特に pelagic zone で進行している栄養系の生産過程を取上げると, その系には階層構造 hierarchy structure の頂上位生物群の生活史戦略に組込まれている生物分布の時空間変動 distributional time-space dynamics から特徴的な環境媒体を設定して, その頂上位生物群が中心となる生物群

集と環境の complex (community structure+prey-predator system+medium+organic detritus)をCOSMと仮定し, このような COSM の北太平洋における存在の認識を提唱し, 幾つかの COSM をその環境媒体の大きさに応じて類別することを試みた。

2. 生態系の中に組込まれた資源生物群の時空間分布
COSM の中には微小生物 (光合成生物, バクテリア等) から栄養系の頂上位生物群までの間に生物学的な特徴である prey-predator system が機能し, この過程には捕食における餌生物の大きさの選択 size hierarchy も作用して複雑な食物網が存在する。

このような海の生物圏に在る種々の系の中で, 下層に位置する微小生物群は非保存成分の時空間分布理論を応用して変動を理論的な処理で理解されることは既に知られているが, 栄養系の上位階層に位置して自律的 intrinsic に運動する生物群の中にあつて大きく時空間

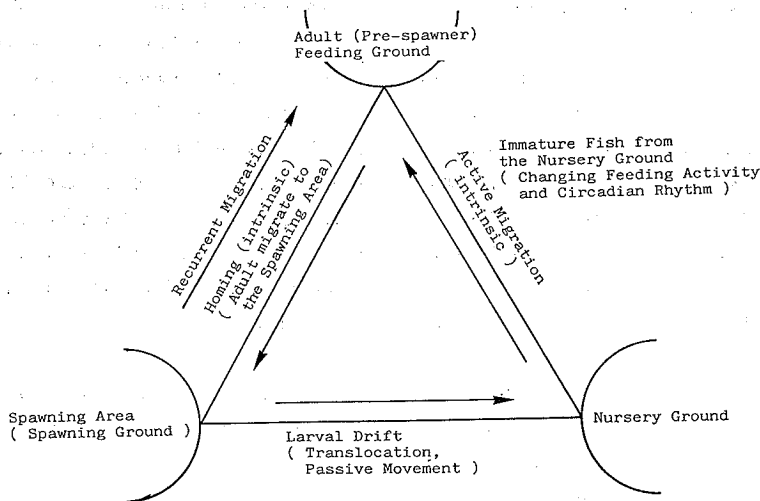


Fig. 1. Triangular migratory circuit diagram of fish drawn according to Harden Jones theory (1977), representing brief life history. (TSUJITA, 1988)

分布をする生物の場合には、産卵場、幼生期栄養水域、成体索餌海域というように、広大な海洋で規則的な時空間分布をする。

このような時空間分布をする魚の場合には、MEEK (1917) に始まり HARDEN JONES (1968) によって概ね公式化された分布様式となっている三角回遊モデル triangle migratory circuit model が、重要魚類の回遊の説明に導入されている (図1参照)。

このような生物の時空間分布の動的要因と環境とを合わせた頂上位生物群 (魚類等) の生活史戦略では、海洋 COSM においては SHELDON, *et al.* (1972) が組立てて、生物生産力と生体の大きさとの関係について論じられたように、また HAURY, *et al.* (1977) や STEELE (1977, 1981) 等が論じているように、海洋 COSM の中のすべての生物について生物体の大きさあるいは biomass 生産時間別に栄養系構成部位 trophic component に配列して、これらの構成体間に食物連鎖作用 prey-predator interaction を取入れると、海の生態系の中では時空間相互作用 space-time interaction が関与していることが知られる。

即ち栄養系構成部位を、食物連鎖形成機能を取入れて植物 plankton、草食性動物 plankton 及び魚類と言うように3つの主要な栄養系要素を配置して、これらの時空間スケールの関係 (例えば patch の大きさ、魚の場合にはその寿命 life span のスケールに相当する年周期回遊サイクル annual migratory cycle) を X (時間) Y (空間) の座標軸に取ってみると、それぞれ一つの対角線上に位置を決めることができることが判った。

即ち、植物 plankton によって生産 (基礎生産) された biomass は対角線上にある決った prey-predator interaction によって上部に向かって移行してゆくことができる。

このように、生態系の中の栄養系要素を階層とする構造 hierarchy structure が prey-predator interaction によって形成されていることから、北太平洋の生態系の中にも頂上位生物群を中心とする幾つかの COSM が存在し、それぞれに生態系構造 ecosystem structure を設定することができる。

例えば、クロマグロ bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) サンマ Pacific saury (*Cololabis saira*) のように、南北に長い空間と長い時間 (頂上位生物群の生命の長さ、寿命) のなかに生活史戦略が成り立っている頂上位生物群の環境媒体の大きさには、図2に示すように mega-cosm, macro-cosm など、南北に長い COSM の中に生態系の

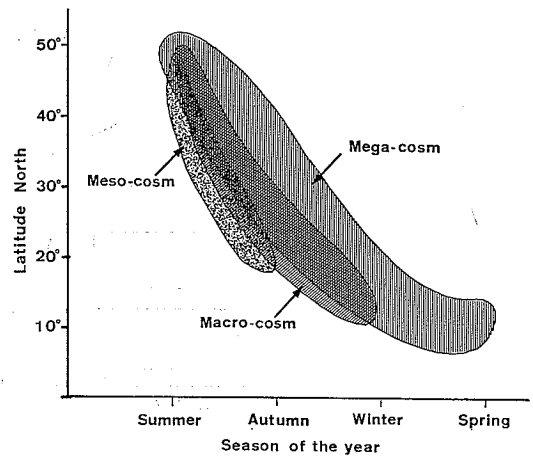


Fig. 2. Diagrammatic representation of the distributional space-time state of imaginary cosms constructed based on food webs and trophic structure of the pelagic community in geographical areas of the North Pacific. Scale pattern shows the medium scale.

存在を認めることが出来る。

このような生態系の中の頂上位生物群は、夏期には亜寒帯海洋域 subarctic Pacific region に北上して行って非平衡生産海洋 unbalanced productive system において索餌し、秋から冬には南下して越冬するが、なかには更に低緯度の定常性生産海洋 steady-state productive system に生活の場を移して越冬する。

そして、この間には北太平洋の東西に帯状に広がる餌生物分布帯 plankton biotic province (MCGOWAN, 1971; MILLER, 1972) を利用しつつ、これらの生物的境界を乗り越える (passing over)。

また、生態系の medium scale が macro から meso へと scale pattern が小さくなる程、頂上位生物群は北太平洋の東及び西の大陸沿岸海域に生活史戦略の場を設定して (ニシン、マイワシ等)、東ではアメリカ大陸沿岸、西側ではアジア大陸の沿岸水域の影響を受けている海洋に COSM が形成されている。

これらの COSM を模式的に表わすと図2に示したようになる。

一方、定常性生産海洋には別な型の生活史戦略を展開するマグロの一種例えばメバチ (big-eye tuna: *Thunnus obesus*) やカツオの類 (*Katsuwonus pelamis*) などは熱帯海洋を東西に移動するが (gyral migration)、産卵海域、幼生期栄養水域、成体索餌海域などの時空間

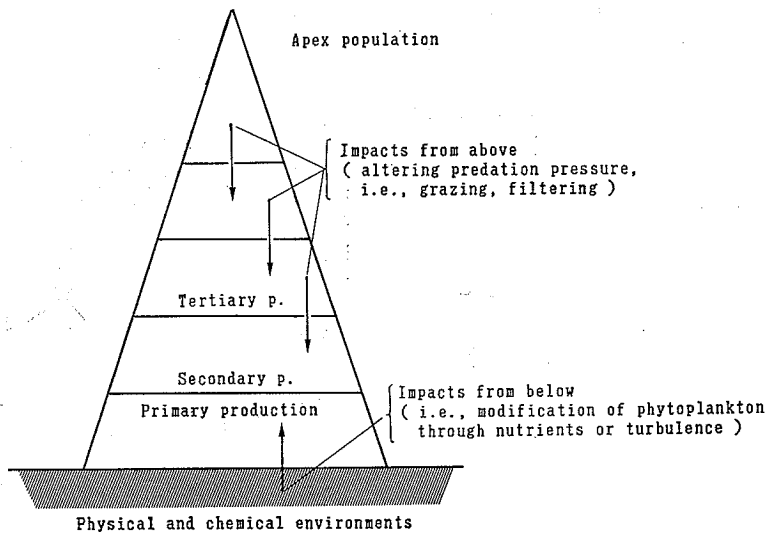


Fig. 3. Showing an example of internal dynamics of the ecosystem caused by biological and physical-chemical environments.

分布は生活史のなかで一定している (Williams, 1972)。

3. 生態系内部変動と漁業生物への影響

栄養系の階層構造生成過程 hierarchy process において、特に第2次生産階層に対しては grazing や filter-feeding など上位階層生物からの捕食圧 predation pressure による impact が加わる。

一方、下位階層の生物からと栄養塩類の変化や乱流、拡散などの物理的、化学的環境の変動によって植物 plankton 群集に変化が起る。

このようにして起る基礎生産力の変動が impact として下位栄養階層から第2次生産層 (herbivorous zoopl.) の動物 plankton 群集に対して影響を与え、その結果栄養系の構造に大きな変動を起す。

即ち、図3に描いたように、生態系内部の変動過程は頂上位栄養階層に向けて影響が及んでゆくが、その時期と場所は頂上位生物群の時空間分布における幼生期栄養水域 (図1参照) において、幼生の分布と栄養系内の上下方向の impact が大きくなる時期、即ち無機環境変化が基礎生産力に負的作用を与える一方では、栄養系の上位階層生物群の捕食圧が下層に向けて影響を及ぼす時期が同時発現 synchronize した時であって、これは栄養系における頂上位階層 apex trophic level (資源生物) の生活史の一つの段階 larval stage と栄養系の構造の変動、特に餌生物が受ける impact によるが、同時にそれ

は資源生物の幼稚仔期生産率を大きく変える各 COSM 中の生態系内現象とみる事ができる。

このような現象は非平衡生産系海洋に起る生態系内部変動の特徴であって、特に pelagic zone における資源短期変動の原因をなしている。実際にはこの要因は低気圧の通過、強烈な気象前線の通過など、生物の patch 解消につながる大気-海洋間に起る water millieu の擾乱が生物の patch 状分布を一時的に破壊するなどの物理作用を起して、これが第1次的要因となる。資源の変動特に短命資源 (life span の短いサンマ Pacific saury, カタクチイワシ anchovy, イカ squids 等) の変動要因を探るためには、このような海上気象の変動によって起る pelagic zone の力学的変動を通して加わる生態系内部の変化過程を明らかにする必要がある。

4. 北太平洋の生態系にみられるエネルギー流動

海洋の生態系を認識するには言うまでもなく Lindeman 型 (1942) の栄養系が中心となるが、大きな海洋空間の生態系構造を認識するためには、ひとつの方法として前述したような Sheldon *et al.* (1972) が展開したように、prey-predator interaction の一連の機能によって最下層生物 (植物 plankton 等) の biomass が対角線上で栄養系構成部位を段階 trophic level として上方に向けて流動してゆくことを表わしている。

また、ほぼ同様の思想と方法で生物の patch 状分布過

程を解明する目的で、patch の大きさ (space-scale) とその生物の生命の長さとの関係を論じた STEELE (1977, 1981) や PLATT and DENMAN (1980) の patch-length (space-scale) とその生物の生命 (分布時間) (time-scale) との関係を求め、植物 plankton 等の微小生物から大形生物群 (魚など高度回遊性の長命生物) に至る栄養系の主要素構成部位はひとつの対角線上に下層から順次上部階層に及んで配列されることを論ずるなど、time-space interaction がこれらの方法でも明らかにされている。

このように、海洋生態系においては、栄養系に prey-predator interaction によって階層構造が形成され、そしてこの系には time-space interaction が働いている。

即ち、先に述べたように光合成 (基礎生産) によって出来た biomass (エネルギー) は prey-predator interaction によって栄養系の中を頂上位階層 (資源生物) に向かって流れる。この状態の保持には COSM の中で time-space interaction によって生態系の秩序が保たれる必要がある。

このような生態系の秩序が条件となる海洋の生物生産過程には、biomass (またはエネルギー) の移動において栄養系の主要構成部分 main trophic component の経路を (diagonal) 熱力学の第2法則に従って流動せず、この回路には直結せずに迂回する経路が出来ている。しかも、これは主として基礎生産による biomass から派生する有機物であって、エネルギー流動においては一つの compartment とみられ、エネルギー貯蔵 energy reservoir の機能をもっている。

このような有機物は生物起源 biogenic の無定形 amorphous (structureless) の懸濁物である。従って、SHELDON *et al.* (1972) の粒状体変換方式によって得られる粒体の大きさ particle size と生物の biomass 生成速度又は生命の長さ (時間) との間に表はされるほぼ直線的な関係にも取入れられず、また STEELE (1977, 1981) や PLATT and DENMAN (1980) の space-time interaction の解明にも組込まれなかった。

基礎生産による biomass が第2次生産層の動物 plankton に捕食されない残りの産物は過剰な有機物 (エネルギー) となって栄養系から一旦離脱して海中に懸濁しながら分解して化学成分に戻る部分が在る。その他のものは懸濁過程で動物 plankton に取込まれて、栄養系の階層構造の中に加入する。

このような有機懸濁物は、多量のエネルギーを保有しながら実際には粒状体として計測不可能であるから、

SHELDON *et al.* (1972) が論じた生物体の粒状体変換による寿命と粒体の大きさ (生物体の大きさ) と関係を表わす対角線上階層配列には組込むことが不可能である。

また、生物起源でありながら形状規定困難な amorphous detritus は生物学的変化率 (R) を算定することの出来ない有機物である。

従って、その時空間分布変動を求めて栄養系の中に位置づける必要があるにもかかわらず、このような生物学的変化率を求めることが困難であることから、非保存成分の理論的取扱いも出来ない有機物が多量存在することは海の生態系の大きな特徴であり、その発生と分布は北太平洋では非平衡生産海域に多く、また定常生産海洋 (低緯度海域) では湧昇海域に多く見られる。特に熱帯海洋では更に湧昇域とこの海域生態系の生産力に依存する頂上位生物群の生活史戦略を明らかにして COSM を考える必要がある。

むすび (将来の研究への提言)

栄養系の頂上位生物群 (資源生物群) が生態系の生産力に左右されて変動する特性をもっているという認識が深まるにつれて、資源生物が最も大きく影響を受ける環境媒体の大きさ medium scale を考へ、北太平洋の生態系の中に頂上位生物群を生産する部分生態系の存在を前提に媒体の大きさを取上げて COSM の scale の意味を述べた。

このためにまず必要なことは、頂上位生物群が生活史戦略を展開する COSM の中の環境と分布回遊を徹底究明することである。

次に、栄養系の中で最も環境の変化を下層から受ける impact、また上位階層 upper trophic component から加えられる捕食など predation pressure が impact として加わってくる食植性動物 plankton の生活史、生理生態、分布過程の研究と、第3には生物起源の有機懸濁物の栄養系における位置づけと分布の研究によって栄養系の機能を検討して、生態系の生産力を見直す必要がある。

参考文献

- CONOVER, R. J. (1978) Feeding interactions in the pelagic zone. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **173**, 66-76.
- DENMAN, K. L. and T. M. POWELL (1984) Effects of physical processes on planktonic ecosystems in the coastal ocean. *In*, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, ed. by Margaret Barnes, Aberdeen University Press, **22**, 125-168.

- HARDEN JONES, F. R. (1968) Fish Migration. Arnold, London, 325 pp.
- HAURY, L. R., J. A. MCGOWAN and P. H. WIEBE (1977) Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. *In* Spatial Pattern in Plankton Communities, ed. by Steele, J. H., Plenum Press, New York and London, 277-327.
- MCGOWAN, J. A. (1971) Oceanic biogeography of the Pacific. *In*, The Micropaleontology of the Ocean, ed. by Funnell, B. M. and Riedel, W. R., Cambridge University Press, 3-74.
- MCGOWAN, J. A. (1974) The nature of oceanic ecosystems. *In*, The Biology of the Oceanic Pacific, ed. by Miller, C. B., Oregon State University Press, 9-28.
- MULLIN, M. M. (1980) Interactions between marine zooplankton and suspended particles - a brief review. *In*, Particulates in Water, ed. by Kavanaugh, M. C. and Leckie, J. O., Advances in Chemistry Series. American Chemical Society, Washington D. C., 233-241.
- MULLIN, M. M. (1982) How can enclosing seawater liberate biological oceanographers? *In*, Marine Mesocosms: Biological and Chemical Research in Experimental Ecosystems, ed. by Grice, G. D. and Reeve, M. R., 399-410.
- O'CONNOR, J. S. and D. A. FLEMER (1987) Monitoring, research and management: Integration for decisionmaking in coastal marine environments. *In*, New Approaches to Monitoring Aquatic Ecosystems, ed. by Boyle, T. P., ASTM Special Technical Publication 940, Philadelphia, PA, 208 pp.
- PÉRÈS, J. M. (1982) Major pelagic assemblages. *Marine Ecology*, 5, Pt. 1, 187-311.
- PLATT, T. and K. L. DENMAN (1980) Patchiness in phytoplankton distribution. *In*, The Physiological Ecology of Phytoplankton, ed. by Morris, I. Blackwell, London, Oxford, 413-431.
- SHELDON, R. W., A. PRAKASH and W. H. SUTCLIFFE, Jr. (1972) The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 327-340.
- STEELE, J. H. (1977) Some comments on plankton patchiness. *In*, Spatial Pattern in Plankton Communities, ed. by Steele, J. H., Plenum Press, New York, London, 1-20.
- STEELE, J. H. (1981) Some varieties of biological oceanography. *In*, Evolution of Physical Oceanography, ed. by Warren, B. A. and Wunsch, C., MIT Press, 376-383.
- WAGNER, F. H. (1969) Ecosystem concepts in fish and game management. *In*, The Ecosystem Concept in Natural Resource Management, ed. by Van Dyne, G. M., Academic Press, New York and London, 259-307.
- 辻田時美・小城春雄 (1977) 北太平洋の生態系 1. 構造と機能の特徴について (要旨). 水産海洋研究会報, 31, 87-89.

3. 国際関係における水産資源問題

「生態系モデルをめぐる日米間の底魚資源問題を例として」

田 中 昌 一 (東京水産大学)

1. はじめに

戦後の漁業をめぐる日米関係は、海域の漁業の権利をめぐるの争いであった。日米加条約は1953年に発効したが、日本は北米系のさけ・ます、オヒョウ、ニシンの漁獲を自発的に抑止することとされた。しかし一般の底魚は対象でなかったため、1960年頃から日本の底魚漁業が大挙して北米沿岸に出漁し、膨大な量のスケトウダラ資源を開発した。さけ・ます漁については日本側が後退を重ねたが、底魚については、200海里時代に入ってから、漁獲量割当てをめぐる日米交渉が続けられた。そのなかで米国は突然生態系モデルを持ち出し、日本側をあわてさせた。この生態系論は、外国の漁業を米国の

200海里水域から排除するための方便とも言えるが、世界の成り行きを見てみると、そこに必然性があったようにも思われる。戦後の世界の資源や海の管理をめぐる動きのなかで、生態系概念が取り入れられてきた経過を振り返るとともに、米国および日本側から提案された生態系モデルを紹介する。

2. 戦後の世界の動向

第一次 (1958) 及び第二次 (1960) 国連海洋法会議によって、海洋法4条約が調印され、海の秩序に関する永年の懸案が一応の決着を見た。4条約とは、領海、公海、漁業資源保存、大陸棚の各条約である。日本は後2者を漁業に差し障りがあるとして批准しなかったが、これら

の条約によって、沿岸国の立場が著しく強化された。日本は12海里水域内における漁業に関する日米漁業協定(1967年発効)、大陸棚資源がらみの日米かに協定(1964年発効)を結ぶことを余儀なくされた。

ヨーロッパに目を向けて、北西大西洋漁業国際委員会(ICNAF)の動きを見ると、努力量の著しい増加に対する網目規制方式の行きづまりと規制方式の複雑化が目につく。米国提案による沿岸国優先を内容とした国別漁獲量割当は1972年から実行された。また努力量制限の代替としての二重クォータ制が1974年から実施されたが、その理由付けのなかで、魚種別ではない群集全体を含めた集合体(バイオマス)概念が導入された。

1972年にストックホルムで国連環境会議が開かれ、捕鯨のモラトリアムが決議された。これは米国の謀略と言われているが、海産哺乳動物の海洋生態系のなかでの重要性に注目し、漁業と環境問題の関わりをあからさまに取り上げたという点で、注目すべき事柄である。

1973年に第三次海洋法会議が始まると、200海里制への動きは一挙に早まった。1977年には、日本を含めた主要国が200海里制に踏み切った。米国は、頻発した短期間で資源を捕り尽くしてしまいうわゆるパルス漁業や、有効な管理をタイムリーに実行できない国際管理を批判し、沿岸国の管轄権を要求すると共に、MSYに代るOY概念を導入した。OYでは、社会的条件と共に、生態系への配慮も要求されている。

3. 米国による生態系モデルの導入

米国は200海里水域内の資源を管理するために地域漁業管理委員会を設置し、管理計画の立案と実行に当らせた。東ベーリング海を担当する北太平洋地域漁業管理委員会は、1979年に漁業管理計画(FMP)を定め、1982年から実行に移した。FMPはその後しばしば改訂されたが、生態系の管理概念は、1980年に提案され、1984年から実施に移された(佐々木, 1985)。

米国が生態系概念を持ち出した理由は、建前は哺乳動物保護と環境保護であるが、同時に漁獲割当引き下げの効果を期待していたことも否定できない。1985年の漁種別許容漁獲量(TAC)を積み上げると215万tとなったが、生態系モデルから計算されたOYは140~200万tであった。結局TACは上限をとって200万tと決定された(佐々木, 1985)。

Low(1984)は東部ベーリング海のスケトウダラ、コガネガレイ、マダラ等の底魚10種について、魚種別にMSY及び1981~82年現在の平衡漁獲量(EY)を推定している。10種の合計を見ると、MSYが210~230

万t、EYは194万tである。これに対して1977~1980年の漁獲量は130~150万tで、EYよりかなり低い。これは、漁獲割当量が魚種ごとに与えられており、1種でも割当量に達すると全漁獲が停止され、取り残しがでたことによると考えられる。この問題を解決するために、底魚集合体管理の立場から、底魚群集の中での種間関係を考慮しつつ種別の漁獲割当量を弾力的に運用することが計画されている。このようにすると、底魚集合体の潜在的生産力を充分に利用し、またバランスのとれた生態系の管理が可能となると期待される(Low, 1984)。Northwest and Alaska Fisheries Centerでは生態系モデルの研究が続けられてきたが(LAEVASTU and LARKINS, 1981)、米国政府が生態系概念の導入に踏み切った裏には、これらの研究の成果がある。

4. PROBUB モデル

LAEVASTU and LARKINS(1981)はPROBUBと呼ばれるモデルを開発した。このモデルについては、水産庁の行なった北洋海域生態系モデル開発事業(1985~1987)のなかで詳細に検討された(水産庁, 1986, 1988)。これらの報告書によってPROBUBモデルの概要を紹介しよう。

PROBUBの特徴は、生物量をベースにしていること、及び計算を最高位捕食者から出発して低位捕食者へと進める方式をとっていることである。また年齢の要素は魚類に対しても考慮していない。素過程としては、成長、被捕食、捕食以外の死亡、産卵と加入、移動、漁獲が考慮されている。それぞれの過程について密度効果および飢餓の効果が考慮されている。海区分けとしては、東部ベーリング海・アリュエシアン水域を9海区に分けているが、海区間の移動は考えていない。コンパートメントとしては19种群+最高位捕食者、動・植物プランクトンが含まれている。時間の単位は月である。

以下にPROBUBモデルの一部を示す。その全部を紹介してもあまり意味がないと考える。

基本動態モデルを次のように置く。

$$B_i(t_1) = B_i(t_{-1}) \{ 2 - \exp(-g_i(t)) \} \\ \times \exp \{ -(M_i(t) + F_i(t)) \} - C_i(t_{-1}) \quad (1)$$

ここで、

i : 種, t : 時刻(月), B : 生物量

g : 生物量の成長速度(成長係数)

M : 老化・産卵ストレス・病気による死亡速度(自然死亡係数)

F : 漁獲死亡速度 (漁獲死亡係数), C : 被捕食量である。成長を表す $\{2 - \exp(-g_{i(t)})\}$ は馴染みのない形をしているが、よく使われる $\exp(g)$ が加速度的成長を与えるのに対して、この式は頭打ちの成長を与える点で異なっている。 $g_{i(t)}$ は次の式で与えられる (i は省略)。

$$g_{i(t)} = g'_0 \cdot \exp(1/T_0 - 1/T_{i(t)}) \cdot (1 - S_{i(t-1)}) / \{[(BA_{(n-1)})/\bar{B}]^{1/4} + (BA_{(n-1)})/\bar{B}\}^{1/2} / 2 \quad (2)$$

ここで

n : 時刻 (年), T : 水温, T_0 : 最適 (順化) 水温
 g'_0 : 水温 T_0 における成長速度, S : 飢餓率
 BA : 計算年 n 年の平均生物量 ($BA_{(n)} = \sum_{j=1}^{12} B_{(j)} / 12$)
 \bar{B} : 基準の生物量 (= 平衡年とした年の平均生物量)
 である。この式の分子は一応理解できる。しかし分母の式はほとんど理解できない。確かに BA が平均生物量 \bar{B} から外れるほどこれを \bar{B} にもどそうとする力が働くが、なぜこの式が合理的かはわからないし、生物学的意味付けもない。

捕食、被捕食は生態系モデルのなかで最も重要な部分である。PROBUB は捕食量及び餌組成の変化を餌の量に関連づけてモデル化している。しかし、実際に用いられている数式は計算結果が安定するように技巧をこらしたもので、生物学的に納得できるものではない。

PROBUB は、平衡生物量を得る過程と予測計算のための過程とに分けられている。最高位捕食者の量をデータに基づいて与え、他の生物群の平衡生物量を試行錯誤的に求め、次の予測計算の過程で初期値として利用する。しかし理論的にいって、彼等の方法では平衡生物量は求まらないし、たとえ求まったとしても、それが現在の生物量の推定値になっているわけではない。

1979年4月シアトルに欧米の科学者が集まって開かれた Workshop on Ecosystem Models for Fisheries Assessment and Management (NWAFC PROCESSED REPORT 79-13, July 1979) において、PROBUB モデルが検討されたが、このモデルは論理的にも数学的にもあまり厳密ではなく、定義もおおしく、再考の要があるとされた。前記生態系モデル開発事業でも、このモデルは研究の段階にあり、参考になる部分はあるが、診断、予測への実用化は将来の問題、としている (水産庁, 1986)。

5. 北洋海域生態系実用化モデル

PROBUB モデルが多くの疑問を含んでいることが明

らかになったため、前記開発事業では我々独自の実用化モデルを開発することとした。我々は、細密なモデルは実用化しにくく、簡略化しすぎたモデルは自然を再現できないという矛盾に対応するため、以下のような基本方針を立てた。即ち、明らかになっている点はすべて考慮する、不明な部分は観測値を入力する等の方法で対処する、将来の発展に対応できるモデルとする、である。この方針にしたがって、重要種の捕食関係を中心に据えたモデルを考えた。資源変動要因としては、再生産、成長、漁獲、死亡 (被捕食及びその他) を考慮した。非生物環境要因の影響もできるだけ考慮した。

モデルの概要は以下のとおりである (水産庁, 1988)。海区としては東ベーリング・アリューシャン水域全体を1区とする。魚種はスケトウダラ、マダラ、コガネガレイの3種を取り上げ、スケトウダラは陸棚群と海盆群に分ける。これら3種で全漁獲量の9割を占める。各コンポーネントは生物量で表現し、個体数は扱わない。上記3魚種については年齢・発育段階によりカテゴリーに分ける。その他の魚種、動物プランクトン、ベントス、海鳥、海獣は生物量を入力する。

3魚種の1才以上の生物量の動態モデルを以下のよう

$$B_{ij(t+1)} = B_{ij(t)} + \{(1 - a_{ij})b_{ij}R_{ij(t)} - m_{ij(t)}\} B_{ij(t)} - M_{pij(t)} - Y_{ij(t)} - M_{ij}B_{ij(t)} - \pi_{ri(t)} \pi_{ij}B_{ij(t)} \quad (3)$$

記号は以下のとおりである。

- i : 種, j : 年齢, t : 時刻 (日), B : 現存量
 - R : 捕食速度, a : 捕食量に比例する代謝の定数
 - b : 同化率, m : 絶食時の代謝速度 (水温の関数)
 - M_p : 被捕食量, Y : 漁獲量, M : 自然死亡速度
 - π : 体外へ放出される生殖生産物の対現存量比
 - π_r : 時間に関係する産卵比率
- さらに次の諸関係を仮定する。

$$R_{ij(t)} = R_{maxij(t)} \{A_{ij(t)} / (A_{ij(t)} + q_{ij})\} \quad (4)$$

$$A_{ij(t)} = \sum_k \sum_l S_{ij \leftarrow kl} (B_{kl(t)} - B_{okl}) \quad (5)$$

$$m_{ij(t)} = m_{0ij} \cdot \exp(m^*_{ij} T_{i(t)}) \quad (6)$$

$$M_{pij(t)} = \sum_k \sum_l \{S_{kl \leftarrow ij} (B_{ij(t)} - B_{0ij}) / A_{kl(t)} \times R_{kl(t)} B_{kl(t)}\} \quad (7)$$

ここで

A : 餌として利用可能生物量, q : 半飽和定数
 S : 餌選択係数, T : 水温
 B_0 : 餌として認識されなくなる現存量
 m_{0ij}, m^*_{ij} : 水温と m に関わる定数
 である。 q_{ij} は $A_{ij(t)}$ の $B_{ij(t)}$ を重みとした平均に等しいとした。 $S_{ij \leftarrow kl}$ は餌生物量と胃内容物組成から求めた。 M_{ij} は最近の年齢組成から求めた減少率と被捕食死亡の差として推定した。その他の値は、データからインプットした。

3 魚種の卵, 非摂食期稚仔, 1 歳未満摂食期幼稚仔については, 上記のモデルをそれぞれの特色に応じて修正した。

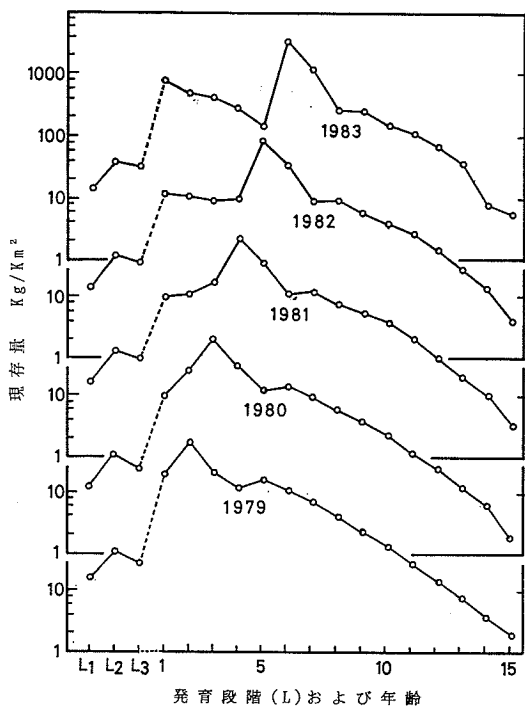


図 1 スケトウダラ陸棚群現存量の各年 7 月 1 日における計算値 (水産庁 1988)

このモデルを用いて, 日米共同調査が実施された 1979 年のデータを初期値として, 同年 7 月 1 日から 1983 年同日までの 3 魚種の現存量を計算し, 実際に観測された結果と比較した。スケトウダラ陸棚群についての計算結果を図 1 に示す。図によると 1977 年級が卓越し, その後の年級は低くおさえられている。このことは観測された現象と一般的には符合する。しかし 1982 年に観測された優勢年級は 1978 年級であったので, 1 年のずれがある。これは 1979 年のデータのなかで 2 歳魚に較べて 1 歳魚がよく代表されていなかったためであると考えられる。またこの計算で, スケトウダラ資源量が圧倒的に大きいため, この資源に対する影響はスケトウダラ自身によるものが圧倒的で, 他の 2 魚種は決定的な影響を及ぼしていないということも示された。

新たに開発されたモデルによる計算は, まだ試行的に行なわれただけで, 感度テストや予測計算などはほとんど行なわれていない。したがって, このモデルがどの程度実用的で信頼できるものであるかは明らかでない。いずれにしても, 今後多くのテストを繰り返し, モデルや入力パラメータを改善し, 実用化へ持って行く努力が必要である。

文 献

LAEVASTU, T. and H. LARKINS (1981) Marine fisheries ecosystem. Its quantitative evaluation and management. Fishing News Books, Ltd., Farnham, England, 162 pp.
 LOW, L. L. (1984) Estimation of potential yield of eastern Bering Sea/Aleutian region groundfish resources. Bull. Int. North Pac. Fish. Comm., 42, 53-64.
 佐々木 喬 (1985) 東部ベーリング海における底魚の評価と管理. 海外における資源評価及び管理手段に関するレビュー, 水産資源保護協会, 東京, 27-115.
 水産庁 (1986) 北洋海域生態系モデル開発事業報告書, 昭和60年度, 263 pp.
 水産庁 (1988) 北洋海域生態系モデル開発事業報告書, 昭和62年度, 282 pp.

4. 東南アジアの漁業問題の現状と将来への指針

一沿岸零細漁業問題への接近一

山尾 政博 (広島大学総合科学部)

第二次大戦以降、東南アジア漁業は飛躍的な発展を遂げ、世界でも有数の漁業地域を形成するにいたった。東南アジアの漁業発展の直接的契機となったのは、トロールを始めとする近代的漁具・漁法の導入である。タイを例によると、1950年代まで漁獲量は約15万tでしかなかったが、トロール等の導入によって1970年代後半には200万tの漁獲量水準を実現するまでに成長した。だが近代的漁業が著しく発展した一方で、発展から取り残された沿岸零細漁業をめぐる社会・経済的諸問題は次第に深刻な様相を呈しつつある。向上展開の可能性を閉ざされた大量の零細漁民が、伝統的・自給的色彩の濃い沿岸漁業に滞留したままとなっている。東南アジアの漁業発展は、多数の資本主義的な経営体を生み出すと同時に、生産構造の二極化を壮大なスケールとテンポで進めていったのである。

沿岸零細漁業をめぐる諸問題は、およそ次ぎの三つの局面から把握することができる。第一には、資源分配をめぐる漁民間の不均衡さの拡大である。少数の大規模漁業者が、海面漁獲量の大部分を独占し、大多数の小規模漁業者 (small-scale fisheries) は僅かな漁獲量を獲得しているにすぎない。タイでは、90%の漁民が、平均すると総漁獲量の僅か10%強を得ているだけである。経営体間の生産力格差や不均衡な発展は、近代的漁業の初発段階における、先駆的に近代的漁法を導入しえた層とそうでない層との間に生じた、生産手段投資をめぐるタイム・ラグによって引きこされたものと考えられる。

第二の局面は、地域間の不均衡発展である。階層間格差が形成される過程は、同時に、近代的漁業を主導する先進的地域と後進的地域との間の生産力格差の形成過程でもあった。1960年代における沿岸を中心とする漁場開発は、全国一律に進んだわけではなく、多くの国では著しい地域的な偏りをともなっていた。タイでは、まずタイ湾中央部から漁場開発が始まり、その後次第にマレー半島に沿って南下し、ついでアンダマン海側に移っていった。問題は、漁場開発のこうした地域的タイム・ラグが、各地域のその後の漁業の展開方向に大きな影響を及ぼしたことである。つまり、市場条件等に恵まれた先進

的地域では、その後も企業的な漁業経営者を絶えず輩出し続けたが、後発地域ではその可能性は極めて限られていた。タイの場合は、開発が遅れた南部に今日でも沿岸零細漁業者が集中している。すなわち、近代的漁業による漁場開発の僅かな時間的な差異が、その後地域間の発展の単なる段階差として解消されることなく、各地域の漁業の類型差として構造化されてしまったのである。大量の沿岸零細漁業者の滞留という事実は、階層間格差と地域間格差の形成を不可避なものとした漁業の展開構造そのものに起因するものと考えられる。

第三の局面は、いわゆる市場問題である。もともと東南アジア漁業の急速な発展は、強力な輸出圧力や国内市場の急速な需要拡大によるところが大きかった。だが、伝統的かつ自給的漁業を商業的漁業への編制替にあたって、主体としての漁民の資本蓄積があまりにも脆弱であったために、華僑系を中心とした前期的商人が、生産及び流通の組織化を主導的に行なう場合が多かった。こうした商人層は、日常的な運転資金や必要資材の供給、前貸し関係を媒介に商業的漁業を組織し、彼等の集荷基盤を拡大させていった。勿論、資本主義的漁業の発展、漁業者の経済的向上によって商人資本の機能も変化していったが、沿岸零細漁業や中小漁船漁業、及び後発開発地域では、前貸し関係を基礎とした排他性の強い市場流通諸関係が今なお支配的である。特に沿岸零細漁業では、水産物集荷業者が総合的な経済機能をもって漁民に対峙することが多く、漁民は非競争的な市場環境のなかで、不利な水産物取り引きを強いられることが多い。沿岸零細漁業は、市場条件の有利な変化を享受する度合いがきわめて低く、零細漁民の資本蓄積の可能性がますます狭められている。

東南アジアの沿岸零細漁業をめぐる諸問題は、資源分配の不均衡さ、結果としての階層間の所得の不均衡さを壮大なスケールでもたらした、戦後の漁業展開構造そのものの問題であると言える。特に、漁業管理システムや水産行政の組織体制が確立される以前に近代的漁法が導入されたために、採取産業としての漁獲漁業の論理が漁民間の競争関係に直接的に反映し、経営体・地域間格差

が著しく拡大されることになった。また、先進の経営体による資源掠奪的な漁業は、沿岸零細漁業の分野における資源獲得競争を激化させ、深刻な資源問題を引起こすにいたった。更に、水産物需要の急激な拡大は、多分に前期的な性格をもった商人資本の漁業生産への介入と搾取の度合いを大きくし、沿岸零細漁業者をして一層掠奪

的な漁業へと駆り立てていった。

今日の東南アジア漁業は、70年代の石油危機下で200海里体制下の構造調整に引続く、第二の調整期にはいつていると考えられる。上記に述べたような、漁業発展をめぐる構造的な諸問題が改めて検討される時期にきていると言えるであろう。

5. 生物海洋学における実際の諸問題

高橋正征 (東京大学理学部)

1. はじめに

海洋生態系は周知のように多様な生物種で構成されており、例えば各々の生物の大きさは長さにして小は $0.3\mu\text{m}$ 程度から、大は30mに至るまでその範囲は実に8桁に及んでいる。容積は長さの3乗倍になるために大きさの相違はさらに著しく拡大する。一般に生物の生活史は小形ほど短い傾向にあり、海洋生物でも短いもので数10分から、長いもので10年以上にもわたり、その変化幅は5桁に及ぶ。このように海洋生態系の構造と機能は多様な生物個体によって維持されている。

生態系の機能は外からの太陽エネルギーで維持されており、生態系内に存在する各種の物質はエネルギーの担体や生物体の構成に利用されている。生態系では一次生産が外からの唯一のエネルギー受容過程であり、その意味で決定的に重要である。生態系内のすべての生物が、一次生産者によって受取られ有機物として貯えられたエネルギーと物質に依存して生活している。地球上の一次生産速度については紀元前300数十年前にアリストテレスが既に関心をもっていたといわれるが、科学的根拠をもとに推定された最初はLIEBIG (1840) (LIETH, 1975参照)である。ただし、当時は陸上に最大の関心があり、海洋の生産速度が着目されたのは1919年頃からで、実測値にもとずいたものはRILEY (1944) (LIETH, 1975参照)以降である。海洋での真の生産速度に関しては一時かなり明らかになってきたかの感もたれたが、最近になって過去の推定法に根本的な疑問が投げかけられ再び混沌さが増した感がある。

一次生産から始まって生態系内で次々と有機物が利用されていく過程では、生物間のエネルギーと物質の受渡しや効率が問題である。それには生物の特性や有機物の物理・化学的特性とともに、生産活動の時間的・空間的

なタイミングも重要になる。これらには進化的長時間が関係し、利用する側はより効率的な利用を、利用される側はそれを避けるための工夫が働いており、しばしば共進化の発達を見ることができるといえる。今回は低次生物生産を中心として下記のような問題を考えてみたい。

2. 海域の一次生産速度の正確把握の問題

STEEMANN NIELSEN (1954) の ^{14}C 法の開発以来、貧栄養の外洋域での生産速度の実測が可能となり、世界の海域の一次生産速度の分布をまとめたのがKOBLENZ-MISHKE *et al.* (1970)などに代表される仕事である。1970年代には概略ながら、世界の海洋の一次生産速度は把握されたと考えられた。これは更にRYTHER (1969)の仕事のように、海洋生態系の生産活動に対する美しい概念の基礎となり、複雑な海洋生態系の構造と機能の把握に大きな貢献をした。最近になって海洋での真の一次生産速度が再び関心をよんでいる。それは化石燃料の燃焼によって地球上に毎年約 $5\sim 6\times 10^{15}\text{gCyr}^{-1}$ の CO_2 が放出され、その内の半分は大気中で確認されたが、残り半分の行方がわからず海洋中に溶けこんだ可能性があり、この海洋に溶けたと思われる CO_2 のその後の行方に一次生産関与が考えられるからである(MOORE and BOLIN, 1986/87)。海洋での一次生産は光律速のない層では、 CO_2 以外の栄養塩類や水温の律速が著しく、特に前者の影響が大きいと考えられる。したがって海水中の CO_2 量が増加しても、それだけでは一次生産の増大にはつながらない。人間活動による海域への直接・間接の施肥の影響を同時に考えていく必要がある。単に沿岸海域だけでなく、大気や雨を通しての外洋への施肥も見逃せない。1970年代の推定によれば海洋の一次生産速度は、 $30\sim 40\times 10^{15}\text{gCyr}^{-1}$ とされ、その約50%が全海洋の92%を占める外洋での生産である。

一方で、従来の一次生産速度の過少評価の可能性が指摘されてきており、特に外洋域でその傾向が強いといわれる。原因としてあげられているものに、例えば測定に用いたガラス容器から溶出する微量金属による阻害効果、測定中の瓶内での植物プランクトン群集の組成変化、細胞からの光合成生産物の漏洩、測定に用いられる ^{14}C などトレーサーの挙動による問題などである。また1日さらには1年間の生産速度を推定していく段階でもいくつかの未解決な問題がある。この種の問題は検討し始めると際限のない面があり、ある時点でそれまでの問題を整理し最も適切と考えられる方法を利用していくことが大切であろう。また現在使用されている手法の問題点の解決だけでなく、全く別のアプローチからの測定値の評価も重要である。例えばトレーサーとしてCばかりでなく、OやNなども利用したり、あるいは律速栄養塩類の供給量から推定する方法も考えられる。とにかく海洋の一次生産速度の真の値にどの程度肉薄しているかの感触を得る必要性が緊急にある。

世界的には環境問題からの一次生産速度の正確把握の必要性が提案されているが、水産分野としても資源量を考える上で基本的に重要である。

3. 海域の一次生産速度の時間的・空間的変動

1970年代にまとめられた世界の海洋の一次生産速度は、広大な水域で、しかも季節変動などもごく一般的なパターンを想定して単位面積当りの一日の平均値として求められたものである。生態系の諸現象を考えるには余りにも時空間規模が巨大で、現象の突っ込んだ解析には耐えない。一次生産者の生活の時空間スケールは一般に短く、世代時間は一年以内、多くは数日以内である。当然のことながら生活空間も小さく、せいぜい数十km以内といえる。

したがってこうした一次生産者の生活の時空間規模を考慮した調査研究の必要がある。従来広く利用されてきた船舶観測のやり方にも工夫の余地が多くある。更に、船舶以外の観測手段の利用が考えられる。例えば気球、飛行機、飛行船、人工衛星、浮遊ブイ、係留系などである。

海洋での一次生産速度の水平分布を把握するためには、生物自身の移動や水塊の動きなどがあるために、目的とする範囲内をできるだけ短時間で観測しなければならない。一辺が数km以上の水域内の分布状態を知るには船舶の情報収集力は限界で、空からのように別の探査法に頼るのが現実的である。現在考えられている方法は、高度800~900kmの上空から人工衛星によって水中

のクロロフィル濃度を測定するもので、1km程度の空間分解能で、飛行コースに沿って数百~数千kmの幅で帯状に観測することができる。人工衛星で測定するのは海面から天空へ向けての特定波長(例えば440, 490, 515, 560, 620, 660, 770nmで半値幅20~30nm)の可視光線の放射輝度である。太陽光を光源として、水中での水や溶存・懸濁物質の影響による光のエネルギー分布の変化を測定していることになる。クロロフィルの吸収帯と非吸収帯から、大気の影響を受けにくい波長域を選んで使うことにより、透明度水深程度までのクロロフィル量の推定が可能になってきた(GORDON and MOREL, 1983)。人工衛星で測定する放射輝度には大気分子や大気中のエアロゾルによる散乱太陽光が入ってき、それが80~95%の大きな量にのぼるため、その正確な補正がクロロフィル濃度推定に大きく影響する。また、水中の溶存および懸濁物質による光の吸収・散乱も大きく、特に沿岸近くでは問題である。現在、実用化に向けて急速な技術開発が進んでいる。クロロフィル濃度推定に使われている各種係数は、主としてアルゴリズム開発が行われた北米マイアミ沖で得られたもので、日本近海では大気中のエアロゾル濃度が高く、海水中でも溶存有機物の影響が大きく出る傾向にあり、日本周辺向けの係数の決定の必要性がいられている(福島, 私信)。

人工衛星からの可視域リモートセンシングは、ほぼ瞬間的に数千km範囲の広大な海域のクロロフィルの水平分布情報を与えてくれ、現在のところ他にかなう方法はない。しかし、人工衛星可視域リモートセンシングにも先に述べた技術的な問題点以外にいくつかの弱点がある。第一は、1000km近い高空からの観測のために、大気、特に雲の存在で全く無力になることである。観測は正午をはさんだ数時間内が最適で、その時間帯が快晴状態となる確率は高緯度地域では極めて希で、中・低緯度でもかなり低い。非常に大まかな推定として、毎日衛星が飛来したとすると、使える情報の得られる天候は地球平均で10~20日に一度程度といわれる(OCEAN COLOR SCIENCE WORKING GROUP, 1982)。第二は、人工衛星で得られる情報は透明度水深付近までで、それ以深に発達する亜表層クロロフィル極大などの検出には今のところ無力な点である。また、透明度付近までといっても、表層にちかい層のクロロフィルほど強いシグナルになる。顕著な亜表層クロロフィル極大がなければ有光層内と表層のクロロフィル量には強い正の対応関係が経験的に知られている。また、亜表層クロロフィル極大層の現場での一次生産速度は、表層に比べるとクロロフィル

量の比のように巨大ではなく (KISHINO *et al.*, 1986), 一次生産速度では亜表層クロロフィル極大は大きな問題にならない可能性が高い。

何点かでの対象水域のクロロフィルと一次生産速度の実測値をもとにして両者の関係を経験的に求め、それを用いて人工衛星情報より推定されたクロロフィル濃度から海域の一次生産速度を推定することが検討されている (BRICAUD *et al.*, 1987)。

クロロフィル測定を目標とした最初の人工衛星搭載センサーは CZCS (Coastal Zone Color Scanner) で、これは1978年11月に打上げられた NIMBUS-7 に搭載され、1986年夏頃まで働いて、その後機能が完全停止した。CZCS は人工衛星からのクロロフィル測定の可能性を実証した輝かしい功績を残している。日本周辺海域の情報も多く、現在も世界中で精力的に CZCS のとった情報は研究利用されている。CZCS の機能停止以後クロロフィル測定可能な人工衛星センサーはないが、1991年7月に打上げ予定の LANDSAT-6 と、1994年10月予定の LANDSAT-7 に Sea-WIFS (Sea Wide Field Sensor) が予定され、1995年頃日本で打上げ予定の ADEOS (地球観測プラットフォーム技術衛星) には OCTS (Ocean Color and Temperature Scanner) の搭載されることが決定しており、クロロフィル濃度の空間分布情報の大量入手時代が目前に迫っている。

人工衛星および船舶のいずれでも、数時間〜一日間隔で数週間以上の長期にわたった時系列情報の入手は不可能で、別の工夫がなされている。原理的には測流などで利用される係留ブイシステムに、クロロフィル測定用の蛍光光度計をつけて一定期間自動計測させるものである。最初は市販の蛍光光度計にデータ収録装置を組み込んで水中放置する方式がとられたが (FUKUCHI *et al.*, 1988), その後は係留系用の特別機種が設計された (WHITLEDGE and WIRICK, 1986)。クロロフィル測定では0~100m 程度のごく浅い層の濃度分布を知る必要があり、日本近海での係留系の設置にあたっては、船舶航行や漁業活動などの解決が大変である。また、まだ未開発であるが一日一回程度で自動的に上下して計測するような蛍光光度計の実用化が望まれる。いづれにしても、人工衛星でおさええた水平分布と、係留系でとらえられた時系列情報を組み合わせることにより、広範囲内でのクロロフィルの時空間変動の把握が可能となる。それはまた、同時に一次生産速度の把握もつながらる。

船舶観測を加えることにより、人工衛星と係留系観測情報は更に生きてくる。正確な測器を使った測定や、試

料を得ることは船舶観測の最大の強みである。そのため航走連続観測システム (TAKAHASHI *et al.*, 1980), バットフィッシュのような曳行体、あるいは近年ヨーロッパで盛んに利用されている水中ポンプシステムを吊下、曳行したりする方法も上手に利用すると効果がある (BOUCHER *et al.*, 1987)。

4. 一次生産の時間変動と捕食者による利用

温帯の夏期や、熱帯・亜熱帯のような成層水域では栄養塩類の回帰が律速になって、一次生産速度が捕食利用者の要求を十二分にまかなうことができない。そのため、一次生産者の生物量は少なく維持されている。しかし、そうした環境下でも一次生産者の活性は一般に高く、生産する傍らから利用されていることが推察される。一方、栄養塩類の供給が一時的にせよ過剰になると、一次生産者が活発に生産を進め、捕食者の利用が追付かず一次生産者が一方的に増加することになる。春や秋の増殖、あるいは湧昇水塊中でおこる増殖がその例である。一次生産者の増殖パターンによって捕食動物の現存量の影響されることが知られている (PARSONS and LALLI, 1988)。同一資源量 (例えば栄養塩類) でも一次生産速度が律速されてゆっくり増加すると捕食者の増産へとつながっていくことがメソコスムを使った実験で明らかになった。

5. 一次生産物の質のもつ意味

一次生産者には様々な局面で質の相違がある。例えばプランクトン植物の生物体の大きさは0.5~5000 μm で、10,000倍の開きがある。形もある範囲の形態に限定されているとはいえ、針、円盤など多様で、かなりの運動力をもったものから、全く動けないものまでいる。生産物の化学組成の面でも多様な変化幅をもっている。これまで、一次生産者の種や大きさの多様性は着目されたが、その他の多様性とその意味については未検討である。

6. Microbial food web

この問題はそもそも水界生態系でのバクテリアの役割を検討していた人達が思いつき、強力に訴えた考えで (AZAM *et al.*, 1983), コロンブスの卵的ではあるが、生態系の物質循環の取扱いに大きな影響を与えた点は評価される。ただ、植食動物の餌としての価値に着目する余り、“一次生産者”としての役割を藻類と競争しているかのように考える傾向があって注意が必要だと思う。一次生産者は植食動物の餌のために一次生産者なのではなく、あくまでも有機物質の酸化エネルギーではない光エネルギーなどを使って、無機物から有機物を生合成する生物だからである。microbial food web で植食動物の

餌となる大部分のバクテリアは生産活動に有機物の酸化エネルギーを利用しており、二次生産である。

7. おわりに

一次生産の時空間分布の把握に大部分を費やしたが、それは人工衛星による宇宙からの大規模なクロロフィルの測定が目前に展開しようとしていてチャンスなことと、水産資源の確保と維持を考える時に最も重要な低次生産上の問題と考えられたからである。回遊性浮游生物とって餌のパッチが“いつ”“どこに”出現するかは極めて重要であるし、底魚にとっても“いつ”どの程度の餌が降ってくるかは決定的な問題である。

文 献

- AZAM, F., T. FENCHEL, J. G. FIELD, J. S. GRAY, L. A. MEYER-REIL and F. THINGSTAD (1983) The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **10**, 257-263.
- BOUCHER, J., F. IBANEZ and L. PRIEUR (1987) Daily and seasonal variations in the spatial distribution of zooplankton populations in relation to the physical structure in the Ligurian Sea front. *J. Mar. Res.* **45**, 133-173.
- BRICAUD, A., A. MOREL and J. M. ANDRE (1987) Spatial/temporal variability of algal biomass and potential productivity in the Mauritanian upwelling zone, as estimated from CZCS data. *Adv. Space Res.* **7**, 53-62.
- FUKUCHI, M., H. HATTORI, H. SASAKI and T. HOSHIAI (1988) A plankton bloom and associated processes observed with a long-term moored system in Antarctic waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **45**, 279-288.
- GORDON, H. R. and A. Y. MOREL (1983) Remote assesment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies* 4, Springer Verlag, 114 pp.
- KISHINO, M., N. OKAMI, M. TAKAHASHI and S. ICHIMURA (1986) Light utilization efficiency and quantum yield of phytoplankton in a thermally stratified sea. *Limnol. Oceanogr.* **31**, 557-566.
- KOBLENZ-MISHKE, O. J., V. V. VOLKOVINSKY and J. G. KABANOVA (1970) Plankton primary production of the world ocean. *In Scientific Exploration of the South Pacific. Standard Book No. 309-01755-6.* Nat. Acad. Sci. Wash. pp. 183-193.
- LIETH, H. (1975) Historical survey of primary productivity research. pp 7-16. *In Primary productivity of the biosphere* (H. Lieth and R. H. Whittaker, eds.) Springer Verlag, New York.
- MOORE III, B. and B. BOLIN (1986/1987) The oceans, carbon dioxide, and global climate change. *Oceanus*, **29**(4), 9-15.
- OCEAN COLOR SCIENCE WORKING GROUP (1982) The marine resources experiment program (MA-REX). Report of the ocean color science working group. Goddard Space Flight Center: Greenbelt, Maryland, 126 pp.
- PARSONS, T. R. and C. M. LALLI (1988) Comparative oceanographic ecology of the plankton Communities of the subarctic Atlantic and Pacific oceans. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **26**, 317-359.
- RYTHER, J. H. (1969) Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, **166**, 72-76.
- STEEMANN NIELSEN, E. (1954) On the organic production in the ocean. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, **19**, 309-328.
- TAKAHASHI, M., I. KOIKE, T. ISHIMARU, T. SAINO, 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.
- WHITLEDGE, T. E. and C. D. WIRICK (1986) Development of a moored *in situ* fluorometer for phytoplankton studies. *In*, Bowman, T., M. Yentsch and W. T. Petersen (eds.) *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, **17**. Tidal mixing and plankton dynamics. Springer Verlag, Berlin, 449-462.

6. 世界の好漁場における物質循環の特徴

半田 暢彦 (名古屋大学水圏科学研究所)

1. はじめに

世界の海洋における漁業生産高は年間およそ8,000万tと云われており、人類のタンパク質資源として重要な役

割をはたしている。我が国においても年間約1,000万t以上の漁獲量を海洋から得ており、海洋の恩恵を十分に受けている国の一つと云える。

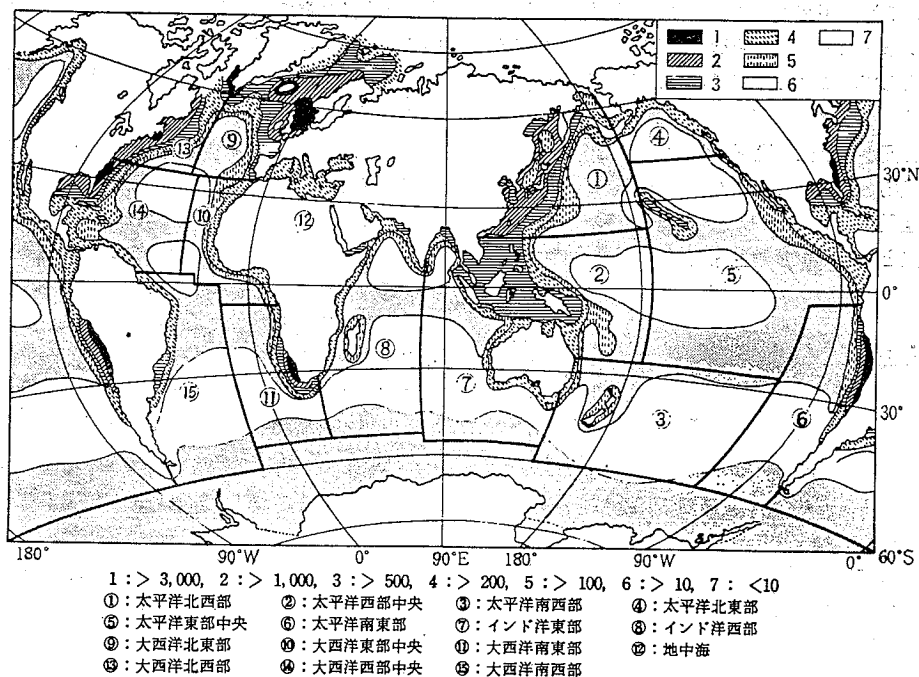


図1 1966-67年度漁獲統計にもとづく魚類生産力分布 (kg/km²)

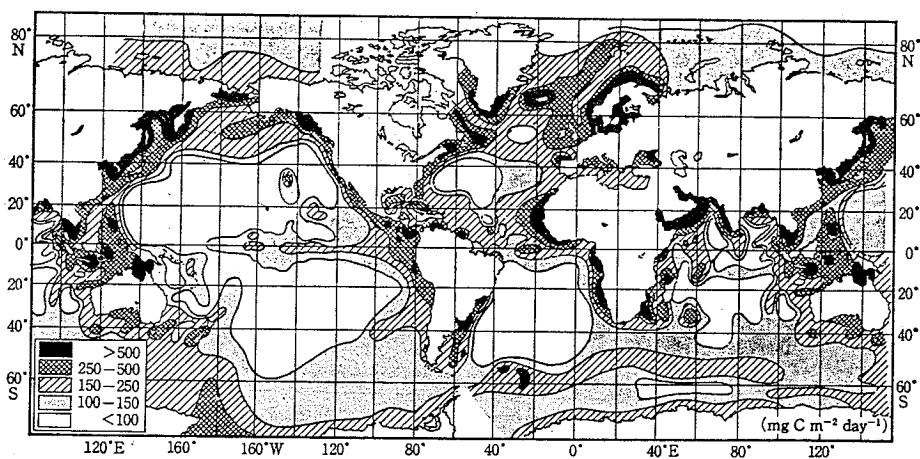


図2 世界の海洋における基礎生産 (mgC·m⁻²·day⁻¹)

全海洋における魚類生産力に関する分布を図1に示す。一般に、浅海域、高緯度海域及び湧昇域において高い魚類生産力を示すと云う特徴が認められる。特に、東シナ海から東南アジア諸国を含む大陸棚～浅海域、三陸沖の北西部北太平洋、北部北大西洋及びペルーからアフ

リカ大陸南部西海岸沖の湧昇域などが世界でも屈指の好漁場域として挙げられる。これらの海域では、何れも高いクロロフィル濃度を示し(図2)、好漁場としての主要な条件の一つとして植物プランクトン現存量の高いことが挙げられる。

ここでは、1) 栄養塩現存量並びに懸濁態有機炭素及び窒素濃度からみた好漁域の特徴、及び2) 有機物の鉛直輸送を視座として、これらの海域における物質循環系について述べる。

2. 化学物質からみた好漁域の特徴

世界の好漁場と云われる海域をみると、何れも共通して1) 栄養塩現存量が大きく、2) その供給系が存在し、その結果として3) 基礎生産量が高く、4) 懸濁態

有機炭素及び窒素の現存量も大きいと云う特徴をもっている。

太平洋の中央を、アリウシャン列島沖から南極大陸沖まで縦断する鉛直断面における化学成分の分布を図3に示す。南北半球の高緯度海域では、表層近くまで硝酸態窒素が高濃度で存在することが認められ、この傾向は赤道付近の海域においても存在することが示されている。これに対して、両半球の中緯度海域の表層水では著しい硝酸態窒素濃度の低下が認められる。特に注目すべきことは、硝酸態窒素の鉛直分布パターンから推察して、高緯度海域及び赤道海域においては硝酸態窒素の下層から上層(表層)への移動のあることが示唆される。同様の傾向はリン酸態リン、ケイ酸塩ケイ素においても認められ、高緯度及び赤道海域表層水における肥沃度が中・低緯度海域表層水におけるそれに比して高いことが認められる。

一方、太平洋のこの海域における σ_t の鉛直分布に関しては、南北半球の高緯度海域において σ_t の鉛直勾配がほとんど認められない。したがって、風の応力による海水の上下混合が容易に惹起されることが示唆される。この事は下層から上層(有光層)へ栄養塩を輸送する点で重要である。高緯度海域ほど明確ではないが、赤道海域においても10°N付近を中心に σ_t の下層から上層への突出が認められ、下層から上層への海水の湧昇のあることを示している。したがって、この海域でも海水の湧昇により栄養塩を下層から有光層へ輸送されていることを示唆している。

このような下層水の上昇は表層水の肥沃度を高め、植物プランクトンの増殖をうながす。その結果、表層水におけるクロロフィルa濃度を高める。170°W、50°N~70°Sの海域においても、栄養塩の現存量が高く、またその供給系も存在すると思われる高緯度及び赤道海域において、高いクロロフィルa濃度が認められる。また、懸濁態有機炭素及び窒素の分布も同様な傾向を示すことが報告されている(HANDA *et al.*, 1972)。

さて、沿岸域では大陸からの栄養塩及び必須微量元素により海水の肥沃度が高い。特に、大陸棚~浅海域では、これに加えて海底から回帰する栄養塩の影響も受けて高い生物生産力を示している。

世界の湧昇域は赤道湧昇域を例外とすれば沿岸域に発達している場合が多い。これは深層水の上昇と陸から外洋に向って発達する吹送流との協同作業によると考えるのが適当と思われるが、栄養塩の定常的な供給等をもつため、高い基礎生産量を示すとともに漁場としても大変

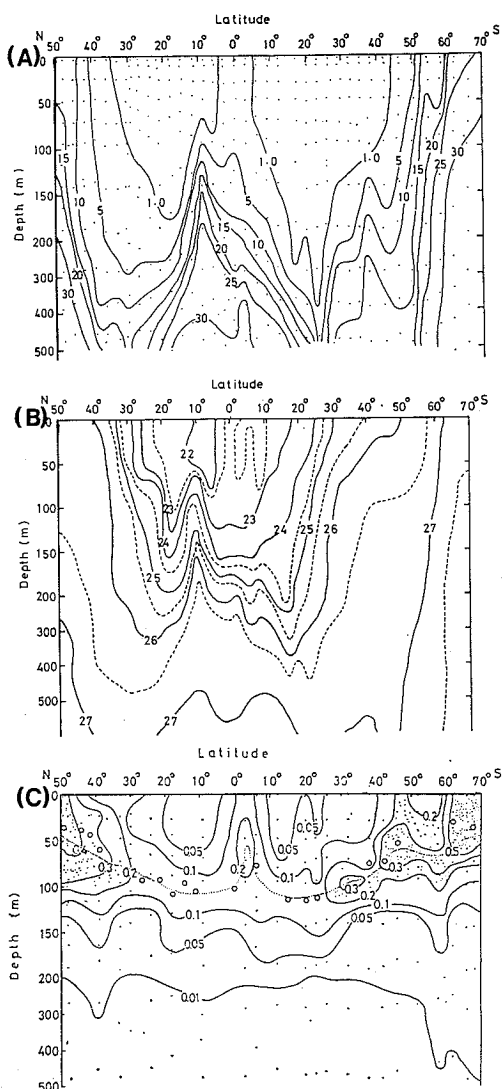


図3 太平洋, 50°N-70°S; 170°W 海域における硝酸態窒素 (A), σ_t (B) 及びクロロフィルa (C) の分布。硝酸態窒素: $\mu\text{g at. l}^{-1}$, クロロフィルa; $\mu\text{g l}^{-1}$

有用である。しかし、因果関係は必ずしも明確ではないが、少なくとも地球をとりまく大気循環の変動により吹送流や表面海流の方向や大きさが変化し、これによって湧昇流の強さが減少することがある。このためこの海域の基礎生産量の著しい減少が観測されている。このような現象の解明は、単に漁場開発と云う点からだけでなく、地球環境の変動と云う点からも詳細な検討が必要であろう (山形, 1988)。

3. 有機物の鉛直輸送と物質循環

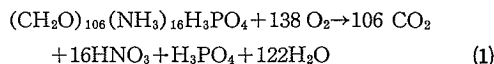
海洋の生物生産に関与する元素、すなわち炭素、窒素、リン、ケイ素などの生物制限元素 (親生物元素) の動態について考えてみよう。海洋の表層水において、これらの元素はそれぞれ炭酸物質炭素 ($\Sigma\text{CO}_2\text{-C}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、リン酸態リン ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 及びケイ酸態ケイ素 ($\text{SiO}_2\text{-Si}$) として溶存するが、太陽光の存在で植物プランクトンに取り込まれて、有機化される。植物プランクトン粒子の沈降に伴ない、形成された有機物の中・深層水を通して海洋底に移行する。しかもこの間に、大部分の有機物は海洋水中の溶存酸素を消費しながら生物学的分解を受けて、再び材料物質である $\Sigma\text{CO}_2\text{-C}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 及び $\text{SiO}_2\text{-Si}$ に再生され

る。これらの元素は中・深層水の上昇に伴って、再び海洋表層にもどり植物プランクトンの光合成による有機物生産を支えることになる。

さて、このような栄養塩の再生現象が海洋水のどの層でおこっているのかを検討してみよう。

図 4 は北部北太平洋の 176°W 、 48°N において、1978 年 7~8 月に実施したセジメントトラップ実験の結果である。実験期間中を通して得られる 1.1km 深における有機炭素フラックスは $7.27\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ であったが、5.25km 深におけるこの値は $2.38\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ に減少していることを認めた。したがって、1.1 及び 5.25km 深における有機炭素フラックスの差 ($4.89\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) は粒子が沈降していく間に受けた有機物の分解量を示すものと考えられる。

深層水における有機物の分解過程は次式 (REDFIELD *et al.*, 1963) に従う。



したがって、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ としてはそれぞれ

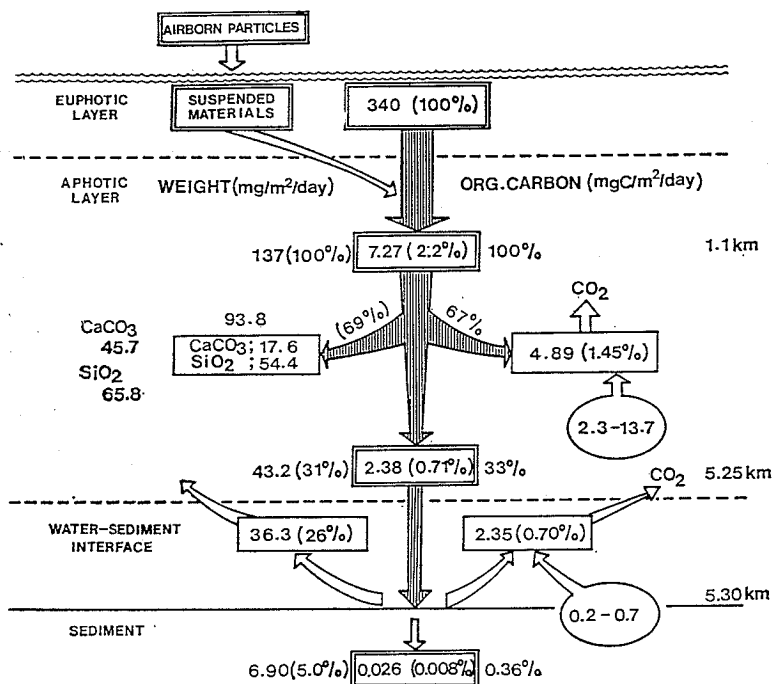


図 4 北部北太平洋, 48°N , 176°W 海域における物質循環系の概略

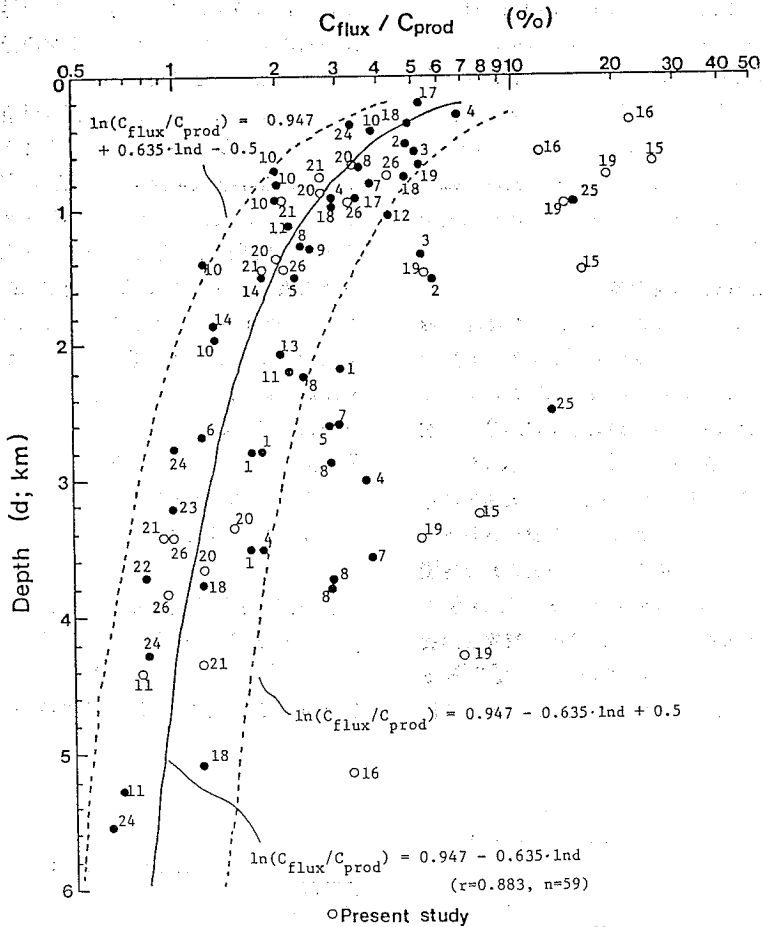


図5 世界の海洋における有機炭素フラックス (Cflux) の基礎生産量 (Cprod) の割合

0.861mgN・m⁻²・day⁻¹ (0.062mmol・m⁻²・day⁻¹) 及び 0.119mg P・m⁻²・day⁻¹ (0.0038mmol・m⁻²・day⁻¹) の再生があることを示している。

さて、1.1km 深以浅における有機物の分解について考えてみよう。本セジメントラップ実験開始時に測定された、この観測点表層水における基礎生産量は 340mg C・m⁻²・day⁻¹ であった。したがって、1.1km 深における有機炭素フラックスは基礎生産量の 2.2% に相当するのみである。すなわち、有光層直下から 1.1km 深までの層 (約 1km) において、基礎生産過程で形成される有機物の大部分が分解されてしまうことを示唆している点で重要である。すなわち、炭素、窒素、リン及びケイ素などの生物制限元素の大部分が深層水を経由するよりはもっと迅速に有光層と中層水の間を循環していること

を示している。

粒子の沈降にともなう有機物の分解は全ての海域を通して、ほぼ一次反応で進行している。その反応定数は海域を通してほぼ同じである。したがって、各海域の基礎生産量 (Cprod) に対する有機炭素フラックス (Cflux) の割合はほぼ同じ値を示す (図5)。特に、1km 深における Cflux/Cprod は 2~5% の範囲であり、基礎生産量で形成される有機物の 95% 以上が 1km 深以浅で分解されることは全ての海域を通して共通していることを示唆している。

4. 今後の課題

有光層直下から 1km 深に至る層は溶存酸素の鉛直分布からみても有機物の分解が激しく惹起されている層として注目されてきた。しかし、水平方向の移流が複雑な

ため深層水のように一次元拡散移流モデルを適用して溶存酸素の鉛直分布を解析し、溶存酸素消費速度から分解される有機物量を見積ることは大変困難である。このため、1 km 深以浅においては複数の層にわたって有機炭素フラックスを詳細に計測することにより、有機物の分解速度を算定し、栄養塩の再生速度を算出することが必要である。このような実験・研究を通してはじめて、海洋における生物制限元素を中心とした物質循環系の大要を把握出来るものと思われる。

現在までのところ、北部北太平洋の一観測点(44°09'N, 154°02'E)における溶存酸素の鉛直分布をボックスモデルを適用して解析し、有光層直下から 320m 深、320~855m 深、855~4,774m 深における有機物分解量は水柱(Water Column)全体での有機物分解量のそれぞれ69、15及び16%であることを認めている(半田・松永, 1976)。この点から、海洋水での有機物分解速度(栄養塩再生速度)の見積りには有光層直下の数百mに、特に留意することが望まれる。

また、魚類生産力分布(図1)と基礎生産力分布(図2)との間には部分的に不一致の海域の存在が認められ

る。特に、太平洋では赤道海域において認められる。すなわち、赤道に沿って東方から舌状にのびた基礎生産力の高い海域の存在が認められるが、魚類生産力は必ずしもこれと一致した分布を示さない。この理由の解明は今後の研究課題として重要である。

文 献

- 半田暢彦・松永捷司(1976) 西太平洋における有機物の分解量の見積り. *Res. Organic Geochemistry*, **1**, 7-8.
- HANDA, N., K. YANAGI and K. MATSUNAGA(1972) Distribution of detrital materials in the western Pacific Ocean and their biochemical nature. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29**, 53-71.
- REDFIELD, A. C., B. H. KETCHUM and F. A. RICHARDS(1963) The influence of organisms on the composition of sea-water. *In*, The Sea, ed. N. M. Hill, Interscience Publishers, 26-77.
- 山形俊夫(1988) 熱帯域の海洋・大気循環系の変動. 昭和62年度文部省科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書, 1-247 pp.

7. 水産海洋物理学の将来への展望

杉本隆成(東大海洋研究所)

1. はじめに 一水産海洋物理学とは一

水産海洋学は水産学と海洋学の間位置し、海洋物理・化学と海洋生態学を基礎にして水産資源とその変動機構を究明し、資源の有効利用や保全に貢献するための基礎研究をする学問であると言える。その体系については、平野(1975)や杉本ほか(1987)、大谷(1988)などを参照されたい。今日の主な研究課題としては次の3つが挙げられる。

- (A) 資源量の経年変動に関わる魚卵稚仔の輸送・生残機構の研究
- (B) 漁況予報のための中規模の海洋構造とその変動過程の研究
- (C) 沿岸域の海況変動と物質輸送・海水交換過程の研究

漁場形成や漁況予報の研究は、戦前から、宇田道隆や木村喜之助らによって始められ、戦後も川合英夫などの多くの水産海洋物理学研究者によって進められ、海洋物

理的アプローチが先導的な役割を果たしてきた。これは水産庁の水産研究所や各県水産試験場等の中で漁海況予報事業として展開されてきているものである。

水産資源の長期変動の問題に関しては、海洋環境変動の影響が比較的強いと考えられる多獲性魚類の初期減耗に関連させた魚卵稚仔の輸送分散過程の研究が、1960年代半ば頃から平野敏行らにより展開されてきた。これは中井甚二郎らに始まるマイワシの産卵調査や当時の国際的な動きと連動したものであったと思われる。SARP(Sardine and Anchovy Recruitment Project)などの国際的な動きに見られるように、米国や北欧における浮魚及び底魚資源の加入機構研究は現在も活発である(川口ほか, 1988)。

また、沿岸・内湾については、1960年代半ば頃からの臨海工業地帯の開発に伴う沿岸域の汚染に対する漁場環境保全のために、海水の流動や、物質の拡散、海水交換過程に対する研究や、予測手法の開発研究が展開されて

きた。更に最近では沿岸域での増養殖事業が活発であり、沿岸海域を対象とした生態系研究の中での物理的環境やモデリングの面からの研究が一層強く要求されていると云えよう。

講演では、自分が東北大理学部地球物理学科海洋物理講座から東大海洋研究所資源環境部門に移ってからの約8年間に行ってきた水産海洋物理学的研究の中から、いくつかの例を紹介した。それらは、(1)津軽暖流の季節変動・短期変動及び経年変動の機構、(2)三陸沖の暖水塊の海水交換とストリーマー、(3)黒潮流路の離接岸に伴う熊野灘・遠州灘の漁況短期変動の観測、(4)マイワシ等の魚卵稚仔の輸送に関わる黒潮周辺域の流動・拡散場、(5)河口域・干潟における懸濁物質の輸送・収支と堆積・巻上げである。それらの研究の実例を、問題の設定と研究手法に重きを置いて紹介した。

しかし、ここでは紙面の関係で、水産海洋学の諸問題に対して、海洋物理学の面からの研究の貢献を効果的にするためにはどのようなセンスが必要か、また、漁況予報や資源変動予測や、沿岸環境保全のために環境条件や生態系の特性を活用した技術の開発などの比較的規模の大きな研究課題に対して、水産海洋学の研究は今どのような段階にあるかについて、感じているところを述べた。

2. 海洋物理学から生態系水理学へ

さきに、水産海洋物理学の課題を3つ挙げたが、これに対する最近の取り組み方は、1970年代とはだいぶ違ってきている。あるいは、意識的に革新するべき段階に来ていると思われる。

漁況予報・漁場環境の研究においては、これまで漁獲データに基づく魚群密度(CPUE)の分布と漁場の表面水温の水平分布との対応性に関する研究が主流であった。しかし、そのような時代は、人工衛星からの熱赤外面像を用いた微細な海洋構造との対応性に関する部分を残して終わりを告げつつある。これにかわり、漁船情報に加えて、沿岸・陸棚域や沖合の海洋前線域における海洋構造の時間的変動に対応した魚群行動の実態を、科学魚探や水平スキャンニングソナーを用いて追尾し、また人工衛星・航空機からのリモートセンシングや魚に各種の標識をつけて追跡する時代になった。さらには、前線域での魚群の生態について、生理的・生化学的な面からの調査も行われるようになってきている(岩田ほか, 1987)。このような中であって、海洋構造とその変動に関する物理学的調査・研究は、魚群の行動や魚の生理を調べる調査研究と連繫して進めることが重要になっていると考えられる。

沿岸域の環境研究の面では、1965年頃から最近までの公害問題の時代に、汚染物質の拡散や内湾の海水交換とこれに関わる流動と混合の物理学的研究が展開された。この中で、日本各地の沿岸海域の潮流や河口密度流、熱塩循環流、吹送流及び海浜流系の構造と変動の実態及び力学的機構、物質輸送機能についての知識が蓄積された(国司・宇野木, 1987)。更には、貧酸素水塊や赤潮のような学際的な問題についても、観測やモデリングの面からの研究が蓄積された(武岡ほか, 1984; 岡市ほか, 1985)。また、最近では内湾における魚介類やコブ類の養殖事業が盛んであり、内湾の水理や生態系の年周サイクルや種間関係などの特性を考慮した養殖数量等の決定、更には土木的環境改善技術の適用、すなわち、広い意味でのエコテクノロジーの開発が一層重要な時代となっている(栗原, 1988)。沿岸海洋物理学の研究においても、このように沿岸生態系に関わる水理環境という面から位置づけした問題設定が重要になっていると言えよう。

次に、魚卵稚仔の輸送生残環境に関する研究の基礎は、上層海洋における粒子の移流と拡散及びこれを支配する流動環境の研究である。海洋における乱流と拡散に関する研究は、1950年代から60年代に活発に行われた(大久保, 1970, 1975; 国司, 1976など参照)。しかし、これらの解析的、野外実験的研究は比較的単純な条件下で行われたものであるため、平均的な流動も乱れも非一様であり時間的に変動する場合への応用は困難である。

魚卵稚仔の輸送・分散過程を念頭にいた海洋構造の調査(友定, 1985)や、レーダーブイによる野外実験は藤本・平野(1972)や俵ら(1987)によって進められたが、追跡できた時間スケールは2~3日程度に限られている。また、海流ビンや漂流ハガキを使った分散実験は藤本・平野(1972)や中田・平野(1978)らによって行われたが、黒潮沿岸域での回収率が数%と悪く、得られたデータの解釈は困難である。一方、既往のGEK資料を使った粒子の分散の数値シミュレーションは小林(1987)によって試みられている。しかし、産卵場の産卵特性や卵稚仔の比重・鉛直移動、漂流に伴う餌条件の変化など、生物学的要素を考慮した扱いは今後に残されている(中田・杉本, 1987)。

3. 研究と教育の将来のあり方

(1) 研究のあり方

水産海洋物理学に関する研究で、前述のA~Cの様な課題を目的にしてはいても、従来は生物や化学面の調査と並べただけで、流速や水温・塩分などの分布構造を調

べたり、定点での時間的変化を把握するだけにとどまった調査が多かった。しかし、今後は生態系における輸送問題を中心にして物理過程の機能・役割を定量的に評価する調査が多くなると考えられる。そのため、海洋構造や流速変動に関しても、各要因を力学的モデルや生態系モデルの中で吟味するパラメーター検証型の調査や野外実験が盛んになると思われる。また、海況や資源量の長期変動の問題については、地球規模での広域的な視点からと産卵場など局所的に重要な場所・時期といった微細な視点の両面から、集中観測と長期のモニタリング調査等を組織的に展開することが重要になるであろう。

(2) 水産海洋物理学の教育について

水産海洋環境学の講義を考えた場合、内容は、問題・対象に関する研究成果を講じる部分と、研究の手法に関する部分からなるであろう。研究対象の面からははじめにあげた(A)~(C)のような研究課題が中核になり、方法論の面からは、地球流体力学と物質輸送論、海洋生物生態学と生物生産論、及び、システム解析と統計解析法の3つが柱となるであろう。

ところで、水産海洋物理学を研究する人のための研究室としては、現在理学部の海洋物理学講座と、農学部または水産学部の(水産)海洋学講座の2つがある(杉本ほか, 1987; 田中ほか, 1988)。各時空間スケールの海洋構造に対応した物質輸送に対する知識と、海洋物理学を主にする人の場合には、海洋物理学・地球流体力学に基礎を置いた海洋構造とその変動に対する基本的知識、観測または室内実験・数値実験等による解析・データ処理・問題解決能力が要求される。こうした人が(A)~(C)の水産海洋学の研究課題に取り組む場合、生物の生活年周期の各ステージに対応した生物と環境の関わりに関する生態学的知識の勉強が必要である。

一方、水産学科で生物学や生態学を主にした人が、その後、資源変動や水産海洋環境の研究に取り組む場合には、海洋物理学の基礎をある程度学ぶことは勿論であるが、物質の分布・輸送と、その観測及び解析の手法に関する知識を持つことが重要である。また、生物生産に関連した物質の収支をはじめ、系全体としての物質の挙動を見るためのシステム解析や多変量解析の手法を持つことも有効である。更にはまた、室内実験や数値実験などを通して、実験生態学的なセンスを訓練することも重要と思われる。

文 献

- 藤本 実・平野敏行(1972) 卵稚子輸送拡散機構としての黒潮の研究-I. 海流瓶の漂着から見た黒潮の輸送機能. 東海区水研報告, 71, 51-68.
- 平野敏行編(1975) 海洋生物資源環境. 海洋学講座15, 東京大学出版会, pp. 214.
- 岩田宗彦・山野自健・田川正明・平野哲也・井田 斉(1987) 降海期のサケマス幼稚魚の走光性におよぼす甲状腺ホルモンの影響. 大槌臨海研究センター報告, 13, 19-28.
- 川口弘一・森慶一郎・山下 洋(1988) 日本におけるSARP (Sardine Anchovy Recruitment Program) 水深の展望—SARP シンポジウムの総括から—, 水産海洋研究会報, 52, 260-264.
- 小林雅人(1987) 卵稚子の輸送と分散に関する数値実験. 杉本隆成編, 水産海洋環境論, 恒星社厚生閣, 183-194.
- 国司秀明(1976) 海洋における物質の分散. 寺本俊彦編, 海洋物理Ⅱ, 東京大学出版会, 39-61.
- 国司秀明・宇野木早苗(1977) 内湾の海況. 堀部純男編, 海洋環境科学1, 東京大学出版会, 49-91.
- 栗原 康編(1988) 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー. 東海大学出版会, pp. 335.
- 中田英昭・平野敏行(1978) 漂流ハガキによる東部瀬戸内海・表層水の流動調査(要旨). 水産海洋研究会報, 32, 44-48.
- 中田英昭・杉本隆成(1987) 資源変動に関わる輸送環境の研究. 杉本隆成他編, 水産海洋環境論, 恒星社厚生閣, 136-147.
- 岡市友利編(1985) 内海域における赤潮発生環境のモデリングに関する研究. 文部省科研費環境科学研究報告書B264-R14-1, pp. 190.
- 大久保 明(1970) 海洋乱流拡散. 海洋科学基礎講座1, 海洋物理Ⅰ, 東海大学出版会, 265-381.
- 大久保 明(1975) 生態学と拡散. 築地書館, pp. 217.
- 大谷清隆(1988) 水産海洋研究と漁業—大学の立場から—. 水産海洋研究会報, 52, 340-345.
- 杉本隆成・中田英昭・川崎康寛(1987) 展望—水産海洋環境研究試論. 杉本隆成他編, 水産海洋環境論, 恒星社厚生閣, 311-321.
- 武岡英隆他(1984) 燧灘の海洋構造と貧酸素水塊の生成機構に関する研究. 環境科学研究報告集 B-210 R01-3, pp. 185.
- 田中昌一他(1988) 水産科学分野における研究・教育の推進に関する研究. 文部省科研費(総研A)研究成果報告書, 22-39.
- 俵 悟・中田英昭・平野敏行(1987) 西部瀬戸内海の海水交換・プイ追跡結果からみた速吹瀬戸周辺海域の海水流動. 水産海洋研究会報, 51(2), 134-143.
- 友定 彰(1985) マサバ卵・稚子輸送場としての海洋構造の研究. 東海区水研報告, 117, 47-119.