

## 2. 沿岸粒状物の移動様式からみた水質環境把握の問題点

坂本 亘 (京都大学農学部)

## 3. 沿岸海洋生態系と海洋開発の影響

大方 昭 弘 (茨城県水産試験場)

海洋開発という言葉には地球上に広大なひろがりをもつ海洋と海洋底に秘められた資源とエネルギーがそして科学技術が人間の生活に無限の豊かさと幸福を保証してくれるような響きがある。

海洋底に埋蔵される鉱物・水塊流動のエネルギー利用、未利用生物の資源化などのほか海洋空間の利用等々、その目ざすところは広範にわたる。このような意味での海洋開発のほかに陸と接する沿岸域の海洋空間を利用しようとする形態がある。港湾・空港の新設・拡大、コンビナートの進出に伴う沿岸水域の埋め立て、原子力発電所火力発電所の設置と冷却用海水の利用など。これらは厳密な意味での海洋開発とはいえないが、海を利用しているという点では広義の海洋開発に含めることができよう。このような、従来の陸上産業部門の海洋への進出の中で、一方では水産資源の維持培養、海域の生産力増大などをめざす人工魚礁設置などに代表される水産的諸施策も沿岸水域を中心に進められつつあるが、これも海洋開発の範疇に入るかも知れない。

こうした諸開発の中で海洋生態系に対する直接的影響が問題にされているのは主として沿岸海域においてである。沿岸域を利用しようとする企業目的の是非はともかく、これらがその目的遂行過程で沿岸漁業や生態系に何らかの影響を与えることは確かであり、場合によっては不可逆的な破壊作用を及ぼすことがある。海洋の中でも沿岸水域は漁業生産活動の最も集中する重要な場であり、漁業生産物は基本的には沿岸浅海域という生産力の豊かな生物生産系に依存している。沿岸の海洋生態系は極めて複雑な構造と機能を有しているが故に、その海洋における位置づけや役割を無視して破壊的に開発が進められるとすれば、取し返しのつかない憂慮すべき事態の発生する場合のあることはよく知られている。

沿岸において大規模なプロジェクトが進められる時は、通常事前にその影響評価のための調査がなされてい

る。開発の計画内容とその環境に及ぼす影響の有無や程度などに関する環境影響評価報告書を提示することによって、地域住民の意見を求め、同意を得た上でその計画を実施するということが建前になっているからである。しかし、開発の生態系への介入の仕方の多様さとともに改変される生態系自体が極めて複雑であるために、いかに調査し、いかに影響評価をするかという基本的なところで未解決の課題を抱えているのが現状かと考える。

### 1. 沿岸海洋に対する人為的介入の態様と生態系の構造

沿岸海洋の利用・開発の目的とするものは多様である。だが、全般に共通して我々の眼に写る現象としては、1) 埋め立てによる岩礁域や砂浜海岸などの海洋空間の消滅。2) 海岸線及び沿岸海底地形の変化、3) 廃棄物による沿岸水と底質の汚染、などが挙げられる。このような変化を一次的な変様とすれば、更に生態系という物質循環系における生物の生活とその生活環境に生ずる変化は二次的なあるいは更に高次の変様とみることができる。生態系の中ではいわゆる沿岸海洋空間を構成する海岸・海底の地形と地質、および沿岸水という非生物的構成要素とそこに生息する生物群集とが有機的に結合して、生物の生産・消費・分解・再生産という物質の循環とエネルギー転送の系が構成されている。

埋め立てによって砂浜域や岩礁域が消滅すれば、そこを生活場としている各種の資源生物幼稚のみならずその餌生物に不可欠な生産の場も失われる。これは単に沿岸漁場面積の縮小を意味するだけではなく、沿岸生態系の中の生産・消費・分解という生物生存のための基本的諸過程をも変えることにつながる。

従来、沿岸域が開発によって変様を受ける場合に主として注目されてきたのは漁業上の有用資源生物である。その海域ではどれ位の漁業生産があげられてきたか、海域面積の縮小による漁獲の減少はどの程度か、あるいは

海中構築物によって漁業生産はどの程度増加が見込まれるかなどといった推測がなされる。ところで、ある漁場における漁獲量の増減を論ずる場合には漁獲の可能性に関連する資源の本質や海洋環境の特性など基本的問題がからんでくることは周知の事実であり、市場水揚量や漁場別漁獲量統計などの変動傾向のみから人為的介入の影響を評価するわけにはいかない。対象資源の漁場への来遊機構、水塊配置と回遊経路、漁場での滞留時間、個体群の生物生産過程(成長過程)、再生産と補給などを要素として含む母集団の資源構造と漁獲の強さなどとの相互作用によって漁獲量が決まるわけである。換言すれば、漁獲に至るまでの生物学的過程とそれを支えている生態系の構造・場の生産力などが資源の存在量とどのように結び付いているかという問題である。海の生態系に何らかの人為的介入があった場合の変化には量的なものと質的なものがある。漁獲量に反映される資源量や来遊量を決めるものは何かとか、汚染物質が資源生物に対してどのような過程の中で生理生態的作用を及ぼしたり体内に蓄積されたりするのかという問題はすべて、その資源が存在する生態系の構造と機能に関する特性を解明する手続きを経なければ科学的な解答を与えることが出来ない性質のものである。生態系の特性は砂浜海岸であるか、河口近傍水域であるか、あるいは岩礁域であるかなど、沿岸域の地形地質河川水の流出分布状況によっても、また黒潮や親潮の分布状態によっても非常に異なる。水産生物資源の量を取扱う場合には鉅物資源のような非生物の場合とは全く異なる考え方をする必要があり、単純化された物理学的運動論や機械論によって律しようとしたり予測しようとする行き方は正しい方法とはいえない。

生態系を構成するものは非生物的なものと生物的なものとに大別することができる。沿岸生態系の中の主役は単細胞の微生物から魚類などの脊椎動物に至る無数の生物集団である。これらは、その中に種々の無機・有機の溶存物質や懸濁物質を保有する水塊と種々の沈着物を含む海底域の非生物的物质群によって構成されるいわゆる非生物的環境条件に生理生態的に適応して生活し、更に種内関係と種間関係という生物間の相互作用を展開しながら物質循環機能にない手となっている。これらの生物には種に特有の生活のし方がある。特定水域の生態系の姿を捉えようとする場合には、その場の生物の生活を知ることから始めなければならない。生活を知るということは単に種の生活史を調べることにとどまらず、生活史の各段階と時間的な生活のサイクルの中で非生物的生活媒体に対する適応性やその生物をとりまく他の生物

との生活上の諸関係を知ることである。

いろいろな生物採集法・観察手段によって得られた種毎の調査を通して、その場所々々に生息していた生物の種類と大略の種組成や種別発育段階組成および現存量などの知見を得る。また同時に調べられた非生物的環境要素との相関性についての知見も得られる。観測・採集点を幾つか設定してそれぞれの調査結果を整理すれば、その水域内の非生物的要素と各種生物の分布の実態を明らかにすることができる。観測回数を多くすれば、分布状態や構成種の時間的な移りかわりの姿を知ることもできる。以上のような知見は生態系を知る上でまず我々が得ておかなければならないデータには相違ない。だが、このようなデータだけでは今求めようとしている生態系の構造と機能を知ることができないことも確かである。

生物の時空間的分布は生態系の構造の一側面とみることができるとは、それは生活する生物体によって営まれている物質循環とエネルギーの流れ方を示す構造ではない。少なくとも系の中の諸生物が織り成す食物連鎖構造(食物網)を明らかにするための作業を伴わない限り、時空間的分布のみから生態系の構造を見出すことはほとんど不可能といってもよい。しかし、食物連鎖構造それ自体は生物の生産と消費という栄養方法の類似した生物相互の直接的関係を示すいわば質的關係を示すに過ぎない。また生態系の中の軸を成す構造とはいっても、食物連鎖構造は生態系の構造のすべてを示すものでは決してない。食物獲得という栄養方法以外の独立栄養と従属栄養によって生活する生物をも含めた栄養構造が異なる非生物的条件に対する反応過程の中で組み立てられているかということまでを含まなければ全体構造とはいえない。こうした質的關係を量的な関係の解析にまで進めていくためには生物本来の物質代謝機能に関する詳細な研究も必要であることはいうまでもない。

沿岸生態系は海底から海面に至るまでのいわば薄い空間内に種特有の生活領域と生活時間をもつ多くの動植物集団の構成する生物群集によって特徴づけられる。生物群集は複数の種個体群の単なる集まりではなく、それぞれの種の栄養機能に応じた栄養物質摂取の方法によって直接間接に結び付いた有機的構造体である。その構造は時間の経過とともに変化するものであり、生活場所の非生物的環境条件によっても変化する。種の生活史の展開に伴って生活場所も食物も変るものであるから、種と生物群集の構造とを固定的に結び付けて一般化してしまうわけにはいかない。発育段階や生活周期が異なれば生活場の生態系の構造も機能も異なる。種の全生活史にわた

って生態系の構造を明らかにするというには並々ならぬ作業が伴うことは必至といえる。

だからといって種の生活特性を無視し、発育段階をも無視して古くから用いられている基礎生産者・植食性動物・肉食性動物あるいは plankton feeder・fish eater などという食性に関する一般的区分によって生態系の構造を画いてみても、便宜的には止むを得ないとしても、さほど意味はない。このような型の生態系モデルを作り物質とエネルギーの流れの効率や生産力の評価を目的とするコンピュータシミュレーションも一つの流行となっているが、現在何よりも先ず必要なのは生態系の実体を知ることであって、シミュレーションによって得られた数値を用いて系を理解しようとしたり将来を予測しようとしたりする段階ではない。我々に最も身近な人間社会の経済学においてすら、すでにこうしたモデルによるシミュレーションが如何に非現実的な機械論に過ぎないかということが明らかにされている。まして人間自身がこの眼で確認していることの極めて少ない海の中の生態系の自然経済についてシミュレートすることがいかに不毛なものであるかを悟らなければならないはずである。機械文明の急速な進歩によって得られた技術が一見余りにも華々しいために、これらの技術をうまく使えば海洋の生物界をも完全にコントロールする方法が見つかるかも知れないというような幻想が我々の頭の中には生まれやすいもののである。

## 2. 影響を評価するとはどういうことか

実験室内に生物を持ち込んである程度の条件設定をすることによって物理化学的条件の変化に伴う生物の生理生態的反応を人為的に作り出せることを我々は知っている。それでは天然の海の生態系の中の生物に対して及ぼすであろう人為的介入の影響をどのような調査をすれば知ることができるであろうか。室内実験においても、使用する生物に関与する生理生態およびその行動特性がかなり分かっているなければ、外部からの刺激に対する反応について科学的評価などは下せない。実験的手法において扱われる生物は個体またはせいぜい飼育可能な程度の実験個体群の段階にある。

ところがいったん場を海の中に移してみると様相はたちまち変わってしまう。調べようとする水域の広大さとともにこれを満たす水塊は一時も休むことなく運動し、そこに生息している生物の種構成も数量も刻々と変化し続けている。自然界に起っている現象には質的な変化と量的な変化とが常に随伴している。また実験的方法におけるように対象生物を特定個体の集団としてこれを確定

し、時間的連続性をもってこれを追跡することが特別な場合を除くと野外においては極めて困難である。生物の場合、種の同定さえ確かなものであれば、その生活や運動に関しては種の集団としての個体群の質的特性を統計的代表値によって表現することは可能である。それも母集団からの無作為な標本であるという前提を了解した上でのことである。海洋生物において、ある標本が母集団を代表する性質を有すると判定できるためには母集団の質的連続性を確認できる程度の標本採集に基づく生物学的計測が必要である。時空間的に限定された条件の下で得られるわずかな標本による場合には特に確かな保証の得られぬことが多い。

量の問題即ち個体数や重量を測定しようという段階では、生物の質（種と発育段階）を確定していることが前提となる。種個体群量は発生・食物摂取・成長・成熟・産卵・被食その他の環境の作用に基づく自然死亡および漁獲死亡、移出入などの複合過程において常に変動し続けている。

系に対する人為的外力によって起こるかも知れないある特定種個体群の個体数あるいは重量の変化を予測するためには、その種の数量変動に関与する要素としてどんなものがあるのかを明らかにし、各要素の生物学的作用機序について把握する必要がある。生態系の中の種個体群はその種のみで独立した生活を営むことは不可能であり、その数を維持するための機能はその種の生存に適した非生物的環境と他の生物集団との有機的結合関係によってのみ発揮される。従って、種個体群の数量に対する外力の影響を評価する場合に、こうした有機的諸関係から眼をそらしていたのではいかに多くのデータを集めても価値ある結論を抽出することなど到底できないのではないかと思われる。

先に述べたように、沿岸の生態系の構造と機能について我々の知っているのはまだ極めてわずかなことに過ぎないかも知れぬ。だが、そのことは海洋における沿岸生態系の重要性を主張し得ないというような性質のものではない。すでに過去の多くの研究は沿岸浅海域が海洋の生物生産を支える不可欠の場であり、砂浜海岸・岩礁域・河口域などいずれの形状を呈する沿岸域も人力をもってしては到底創造することのできない構造と機能を持っていることを明らかにしてきている。ただ、この精妙な構造と機能の生態学的諸関係をミクロな段階まで掘り下げた数量的に把え、更に生態系としてのダイミックな変動を予測し得る段階までは到達していないということである。そういう意味で我々は無知である。しかしながら、

人知の及ばぬ程の精妙さと微妙さをもつと共に生態系は現代の機械力をもってすれば容易にこれを破壊することができる程ひ弱なものであることも過去の多くの公害の例が如実に物語っている。

沿岸域における開発の現況を見れば明らかなように、工学的あるいは土木工事的手法が優先し、沿岸海洋を陸地化するために海水の運動をいかに制御し、いかに構築物を保存するかという点のみ関心が向けられている。開発によって消滅したり破壊される生態系の真の価値について議論される機会は極めて乏しい。開発によって得られるものと失われるものとを同じ経済的レベルで比較し、これを評価しようとする事自体が誤りである。現在一般に行われている開発の影響評価法には生態系の構造と機能に対するどのような影響を明らかにしようとしているのか、その基本的な考え方が不明確である。一見無価値にみえる沿岸生態系の破壊的改変による真の価値の喪失をも評価する姿勢こそが必要であろう。

#### 質疑応答

杉本隆成(東大海洋研): 食物連鎖の循環量は数の変化を反映しているとすれば、数の変化と生物相の変化の関係から相の変化だけあるいは数の分布だけを調べれば十分だという事ですか。

大方: 食物連鎖の中には自然死亡もあれば、喰われて消費されるもの、喰って成長するものもある。再生産の方は数に関係し、生産の方は数ではなく重量になる。結局、数が増えるのは再生産、減るのは自然死亡あるいは被捕食によるということになる。

また、開放系と閉鎖系でとらえ方が違って来る。すなわち、開放系の場合は、水塊の動きなどに伴って、その場の数が変わるので、生物相だけでは数の変動やその意味をとらえにくい。

さらに、数と量を含めて Eltonian pyramid を作ると、逆三角形になることがある。これは、本来の群集の姿ではない。従って、食物量が非常に少なく出て、高次の生産量が大きく出てしまうという場合もある。

伊東祐方(東海区水研): 大方さんの方法で、具体的に評価している例を示して欲しい。

大方: 物質循環という面から見ると、有害物質の蓄積過程というのは、そういう構造をとらえていかなければならない問題が、かなり含まれている。この様な食物連鎖を前提においたやり方は、国内においては放射性物質、水銀その他の重金属類の蓄積過程について、外国ではタンカーの座礁による油の流出事故などに用いられている。

ただし、量的な変動についての評価、判断材料としての群集構造的なとらえ方がなされている例はあまり多くない。

杉本: 食物連鎖でとらえるというのは、具体的にはどういう事か。

大方: 魚は発育の過程のそれぞれの時期に、それぞれの生活場所である特定の種類の食物を喰って生きている。また、喰われる生物の方でも、各々の発育過程の中で各々の餌を選択して喰っている。それをつないでいくと、全体としてある空間の中で、生物と生物がどのような関係を保ちながら、お互いに自分達の生産をしているかという構造的なものが認識できる。

松川康夫(東海区水研): 生物の影響評価をする場合、餌生物の変化だけでなく、たとえば赤潮によって酸素が無くなり、そこに生きているものの絶対的な条件が無くなるというハード環境変化により生態系が変化するなど、かなりいろいろな面があるのではないか。

大方: 食物連鎖を誇張しているのは、動物の生存にとって、食物は不可欠の物であるという事にある。食物連鎖の構造の中に、外部から力が加わった場合に、その構造がどう変わるかというその変わり方を通して影響を評価するいき方があると考えている。

坂本 亘(京大農): ヒラメの場合、卵からふ化して次の生存過程へいく摂餌の段階の所で、かなり生存が減少するというのは、feeding success の問題において、どのようになるのか。

大方: ふ化してから接岸するまでの過程はつかまえていない。

坂本: どの程度の見積りがあると、どの程度残って再生産に加わっていくのか。

大方: ヒラメではないが、産卵期や産卵場の類似するズキの場合、湖沼での試算では、沼に入って来た稚魚の数は3,000万尾から5,000万尾、それが全て生き残り、沼で成長した後海へ出るとしたら、入って来た量と沿岸で漁獲された量とは桁違いになる。天然死亡率が高いためか、漁場外への移出量が多いためなのか、理由は明らかにされていない。

さらに、親潮の南下など、自然界の中のいろいろな変動が、再生産、魚の移動、加入にどうきいているかの評価もできていない。

坂本: もう少し大きなスケールの未知数があるのか、そうではなく、食物連鎖だけを追いかけていけば良いのか。

大方: 食物連鎖だけを追いかけていけば良いというも

のではないと思う。もっと大きなスケールのものを考えねばならないと思う。現段階では考えが及ばないので、教えていただきたい。

辻田：食物連鎖の中で、喰い残りの部分が相当あるのではないか。つまり、プランクトンが水質との関係で一部は死に、残ったものが高次の魚に利用されるという循環を考える必要がある。さらに、成長の段階によって食性が変わるので、プランクトンの組成、特に、成長の段階ごとにその魚に必要なプランクトンがあるのかどうかを調べることが重要だ。また、プランクトンとの遭遇が悪ければ再生産にどう関与していくかを調べることが必

要だ。

群集の構造を調べることから impact を導き出すということをやらねばならないと思う。茨城県では、どの位の範囲を調べていかねばならないと考えているか。

大方：最初は、可能な限りの範囲を調査し、その結果、どこにどの発育段階の魚が分布しているか、それらを海底の地形あるいは沿岸の地形、地質等と照合しながら区分している。河川水の流入による栄養条件の違い、地質、水深などから、沿岸沿いに7つの区分をし、さらに大きくは2つ位の水域に分けられると考えている。

#### 4. 環境調査を進めるに当たっての問題点

丹羽正一（東海大学海洋学部）

経済の高度成長に伴い、各地で自然環境が破壊され、環境の維持保全に強い関心が持たれ、これに伴い環境影響評価が行われるようになってきた。発電所立地に当たっても、環境影響報告書を作成するよう、関係監督官庁の強力な行政指導が払われ、まがりなりにも環境影響評価が行われるようになった。

環境影響評価とは、開発計画に伴う活動行為が、自然環境にどのような影響を起すかということ予測することである。このためにはまず、その場の環境を把握することが第一条件となってくる。環境把握に当たっては、環境を生態系として相互関連を持つ一連の地域をその構成要素と構造並びに機能の面から理解して行くことが前提となってくる。

この目的を達成するために、建設予定地の生態系を構成している要素と構造並びに機能を把握するよう調査が進められている。現在行われている調査をみると、はたしてこの目的を達成しているか、はなはだ多くの疑問がある。

そこで、どこに問題があるかを取り上げてみた。なお、今回は時間の関係があるので、従来から見解が発表されている試料の採集方法、解析方法等は除外し、調査設計迄の段階にしぼって、検討を進めることにした。

##### 1. 調査項目

調査の対象海域は、多種多様の無機的環境と生物要素から構成されているので、その現況を把握するには、構成要素を観測方法や生物の採集方法を基準にして類型化

し、調査項目とする方法が一般的となっている。発表されている調査マニュアルで設けられている調査項目を見ると、まず環境を構成している要素を非生物的要素と生物要素に大別している。

次に非生物的要素は、気象・海象・地形の三つの項目に分け、海象は更に、水温・流況・水質・底質の小項目に分けている。一方生物要素は、生活型によって区分し、プランクトン・ベントス・ネクトンの三つの項目に分けている。あるマニュアルでは機能による区分がとられ、生産者・消費者・分解者の三つの項目に分けている。さらにこれらを細分し、プランクトンは、植物プランクトン・動物プランクトン・卵稚仔の3項目に、ネクトンは、魚等遊泳動物の1項目にあげられるなど、マニュアルによって違いがある。例えば、資源エネルギー庁の「温排水調査指針」では、潮間帯生物・海藻等・底生生物の3つの項目に分けている。

なお水産庁や野村総合研究所で編集したマニュアルを除くと、漁業資源または漁業という調査項目が取り上げられていない。環境影響評価は漁業行為という生産活動からの評価に大きな比重を占めているはずであるのに、この項目を取り上げていないのは片手落ちといわざるを得ない。

参考迄に米国の EPA が発表している調査マニュアルでは、調査項目として、植物プランクトン・動物および一時的プランクトン・生息場所形成種・貝類・大型無脊椎動物・魚類・その他脊椎野生生物の6項目に分けてお