

2-4 生態系のバランスと人為的インパクト

環境保全の考え方とその問題点

高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科

深見 公雄

1. 健全な生態系とは

1-1. 海の物質循環のしくみ

海洋で有機物（えさ）を生産している生物は，主に植物プランクトンで，一次生産者と呼ばれている．植物プランクトンは，太陽の光エネルギーを使って，取りこんだ様々な無機物の栄養塩類を材料として，光合成で有機物を作り出す．この植物プランクトンの一次生産の大きさを決めているのは，海洋で不足しがちな窒素(N)やリン(P)であることが多い．これらを制限因子という．植物プランクトンの種，例えば珪藻類などは細胞がケイ酸質の殻で覆われているために，

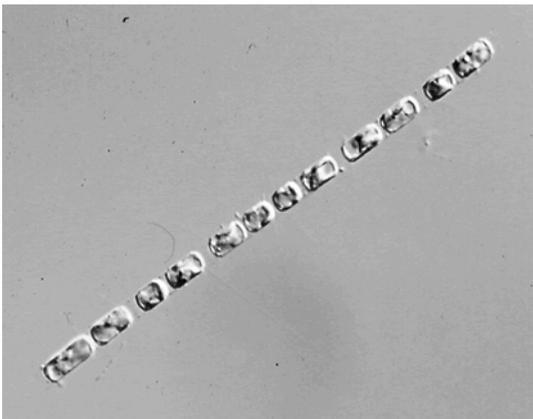


図1. 珪藻類植物プランクトン的一种，スケルトネマ=コスタータム．細胞の幅は約 10-20 μm で，いくつもの細胞が鎖状に連なることが多い．

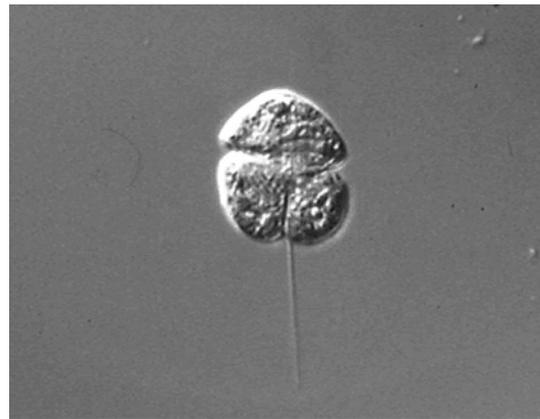


図2. 渦鞭毛藻類植物プランクトン的一种，カレニア=ミキモトイ．細胞の幅は 14-36 μm ，体調は 18-36 μm ．2本の鞭毛で遊泳する．

増殖には多くのケイ素(Si)が必要である。このため、珪藻類が優占している海では、窒素・リンとともにケイ素も一次生産の制限因子となることがある。このほか、増殖にビタミン類やその他の微量成分が必要な植物プランクトンもいる。最近、鉄が海洋の一次生産の重要な制限因子であると指摘された。

植物プランクトンには、多くの分類群にわたる多種多様な種が知られている。中でも珪藻類(図1)、渦鞭毛藻類(図2)、ラン藻類(図3)などが外洋での一次生産者として重要な植物プランクトンである。また、内湾では、珪藻や渦鞭毛藻の他に、ラフィド藻類(図4)と呼ばれるグループも優占することがある。これらの植物プランクトンは栄養塩類を吸収して増殖すると、植食性の動物プランクトンに食べられる。海洋で最も重要な植食性の動物プランクトンは、か



図3. 藍藻類植物プランクトンの一種,トリコデスミウム=ティーバウティ。細胞の幅は $10\mu\text{m}$ 以下であるが,多数の細胞が連なるトリコムと呼ばれる長さ1ないし2mmの繊維状の群体を形成する。

(日本産海洋プランクトン検索図説, 1997, より引用)

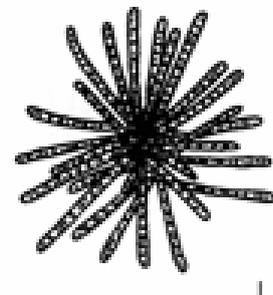


図4. ラフィド藻類植物プランクトンの一種,シャットネラ=アンティカ。細胞の長さは $50-130\mu\text{m}$,幅は $30-50\mu\text{m}$ あり,かなり大型の植物プランクトン。

1-2. 微生物食物連鎖とその無駄のなさ

植物プランクトンは光合成で生産した有機物のかなりの部分、場合によっては総生産の半分近くを、自らの細胞の外に溶存態の有機物として出している。そのほとんどは炭素・水素・酸素でできている糖分で、窒素やリンなどがたりないと、窒素やリンを含む物質が作り出せないために、光合成でつくられる糖分を捨てている。また、動物の排泄物からも様々な有機物が溶存態で排出される。こうして海水の中には、溶存態の有機物が存在する。動物も、大部分の植物プランクトンも、海水中の溶存態の有機物は利用できない。ここで登場するのが細菌である。ちなみに、動物のように、自分では有機物が合成できないので、他の生物が生産した有機物を利用して生活している生き物を従属栄養生物と呼ぶ。動物は粒状の有機物を利用し、溶存態の有機物を利用する従属栄養生物が細菌などの微生物である。海洋で生活している細菌には、先に紹介した生物遺骸や糞塊などの有機物の固まりに付着する付着細菌の他に、単独で水中に浮遊して生活している浮遊細菌が知られている。しかも、浮遊細菌の多くが溶存態の有機物を効率よく利用して増殖していることが分かってきた。つまり、海洋の浮遊細菌は他の生物が利用できない溶存態の有機物を吸収して、細菌の細胞の形で溶存態から有機物の粒子に変えているのである。粒子になった有機物は細菌以外の様々な生物が利用できる。

細菌は、従属栄養性の鞭毛虫(HNF)と呼ばれる生物(図6)によって直ちに食べられていることが明らかになっている。細菌を捕食して増えたHNFは、さらに繊

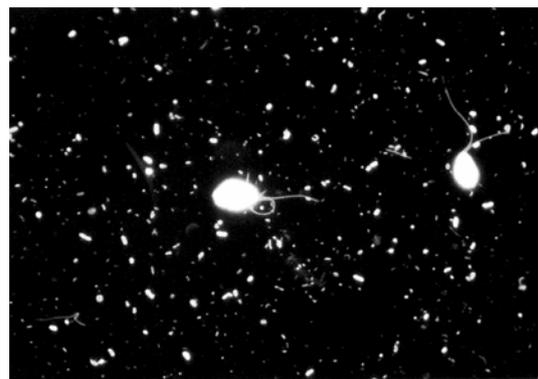


図6. 細菌を捕食する従属栄養性鞭毛虫(中央と右側の卵形のもの)。大きさは約3mm。鞭毛により水中を泳ぎまわり細菌をとらえて食べる。

毛虫や仔魚等の大型の生物に食べられ、ついには先に紹介した捕食食物連鎖につながっている。つまり、いったんは食物連鎖の系外に消失したと考えられた溶存態の有機物が、細菌・HNF・繊毛虫等の微生物の働きによって再び捕食食物連鎖に組み込まれているのである。このルートは微生物食物連鎖（もしくは微生物ループ）と呼ばれ、その重要性が指摘されたのは1980年代前半の今からほんの二十数年前である。

このように、海洋生態系の物質循環とそれを支えているエネルギーの流れは、ほとんど全くといっていいほど無駄無くできている。そして一次生産の多い少ないが結局は食物連鎖を上って魚などの生産性につながっていく。従って、豊かな海、生産性の高い海というのは、栄養塩類が多く一次生産量の多い海のことであり、図5に示した食物連鎖（エネルギーの流れ）が滞りなくスムーズに流れているのが健全な生態系である。

ところが近年、海洋での栄養塩類の濃度が増加する現象があちこちで見られるようになった。これが富栄養化である。最近では、世界各地の沿岸・内湾のほとんどで、多かれ少なかれ富栄養化がおこっている。次に、なぜ富栄養化するのか、そのどこが問題なのかを紹介する。

2. 富栄養化は本当に悪者か？！

2-1. 富栄養化とはなにか、なぜ富栄養化するのか

富栄養化というのは、何らかの原因によって水中の栄養塩類の濃度が上がることである。日本の沿岸各地では、昭和30年代後半から40年代にかけて一気に富栄養化が進んだ。なぜ海は富栄養化したのだろうか。

沿岸や内湾の海が富栄養化するのには、人口が増えて生活排水が増え、経済発展によって産業排水が増加したために、陸地から海への栄養物質の流入量が増

加したからである。日本では高度成長期に、各地で工場が建設され、多量の産業排水がほとんど処理されないで河川に排水され、汚濁した河川水が河口から沿岸海域に広がった。また都心部への人口の集中は、生活排水の流入量を増やし、大都会周辺の海は次第に富栄養化していった。電気洗濯機の普及により、洗剤は石鹼から合成洗剤にかわり、その使用量が爆発的に増えた。当時の合成洗剤にはリンが含まれていて、沿岸海域のリンの濃度が急激に増加していった。一方で、見落としがちなのは農業の施肥量の増加である。化学肥料の普及とともに、農地への窒素やリンの散布量が増えた。農作物として回収されなかった肥料はすべて土に残る。そして雨が降ると河川に流れ出し、結局これらは海の富栄養化に加担することになる。

さらなる原因としてあげられるのが、沿岸や内湾での魚の養殖の普及である。

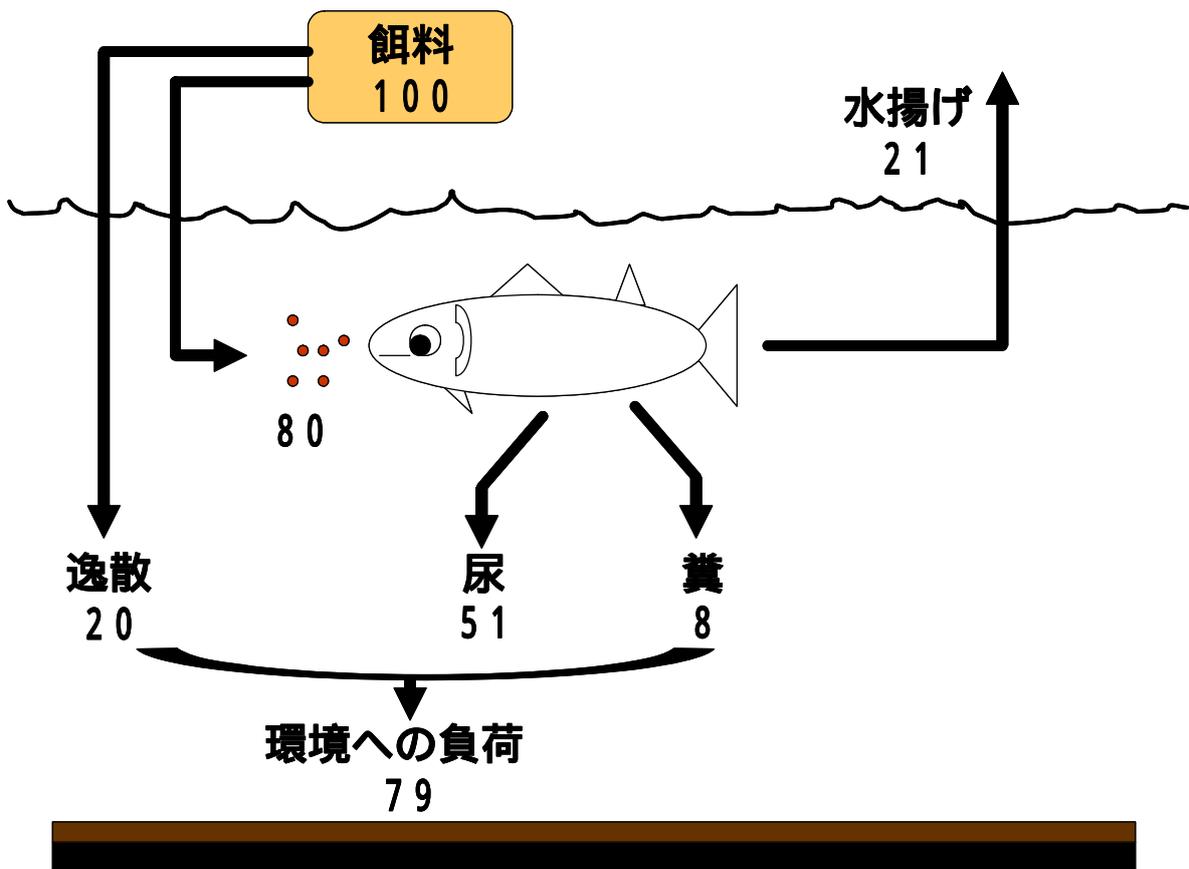


図 7. ハマチ養殖において給餌された餌の行方。漁獲として陸上に回収されるのはせいぜい2割程度であり、残りはすべて環境への負担となる。

魚の養殖では養殖魚に取りこまれて回収される餌の割合はただただか2割程度で、残りの8割は、餌の食い残しや魚の糞や尿として養殖場の水中や底に残る(図7)。魚の養殖は通常波の穏やかな入り江のような場所で行われることが多い。そのようなところは水の交換が悪く、しばしば負荷された栄養分が長い間滞留する。これもまた海の富栄養化の一因と考えられる。

生活排水では、台所から固形の有機物を流さないことが重要である。微生物食物連鎖のところでも述べたように、粒状物は有機物が濃縮されていて、それを分解・希釈するには多量の水が必要となる。このため、できるだけ粒状の有機物を排水には出さないようにすることも富栄養化の防止では重要である。

2-2. 富栄養化の問題点 赤潮を例に

海が富栄養化すると海は汚くなる。水の透明度が下がって、水の色が青色から緑色になり、ついには茶褐色になる。つまり、海が富栄養化して栄養塩類の濃度が上がると、それを使って植物プランクトンが増えるために、水中の生き物の量が増え、そのために水が濁って透明度が下がる。植物プランクトンの量がさらに増えると、本来の海の青い色が消えて、植物プランクトンの細胞の色である茶褐色に変わっていく。このように、多量の栄養塩類を使って植物プランクトンが異常に増殖するのが「赤潮」である(図8)。

赤潮が起こると、大増殖した植物プランクトンが魚のえらなどに付いて呼吸に悪影響を及ぼしたり、プランクトンが死んで分解・腐敗していくさいに、悪臭を放ったり水中の溶存酸素を多量に消費するため、酸欠状態となって、魚介類の大量斃死が起こる場合もある。また、プランクトンの死骸が海底に堆積して分解されるため、海底近くが貧酸素化して、時には無酸素となって(これを嫌気状態と呼ぶ)、有機物の分解をつかさどっている微生物の働きが低下する。



図 8. 沿岸海域に発生した赤潮。水の色が茶褐色に変色する。

(水産庁・日本水産資源保護協会，より引用)

さらに進むと有害な硫化水素が発生し，ますます底層は貧生物化し，「死の海」に近づいていく．

赤潮の原因となるプランクトンには，いろいろな種があるが，中には有害・有毒プランクトン種が赤潮を起こす．そのような赤潮が魚の養殖が行われている海で起こると，生簀の魚介類が全滅に近いほどの被害を受けたりする．また，有毒プランクトンを食べて毒化した二枚貝を食べた人間が中毒を起こし時には死に至ることもあるなど，被害は甚大である．

いずれにしても，赤潮は直接・間接に人間の生活に大きな影響を及ぼすことが多い．これらはすべて海の富栄養化が主な原因である．

2-3. 湧昇海域の生産性

豊かな海というのは海の生産性が高い，つまり一次生産量の多い海のことであり，そのためには生産性を支えるための栄養塩類が必要である．ところで，海洋では栄養塩類は表層付近では低濃度で深さとともに増えることが知られている．図 9 に，太平洋および大西洋における栄養塩類の鉛直分布を示した．水

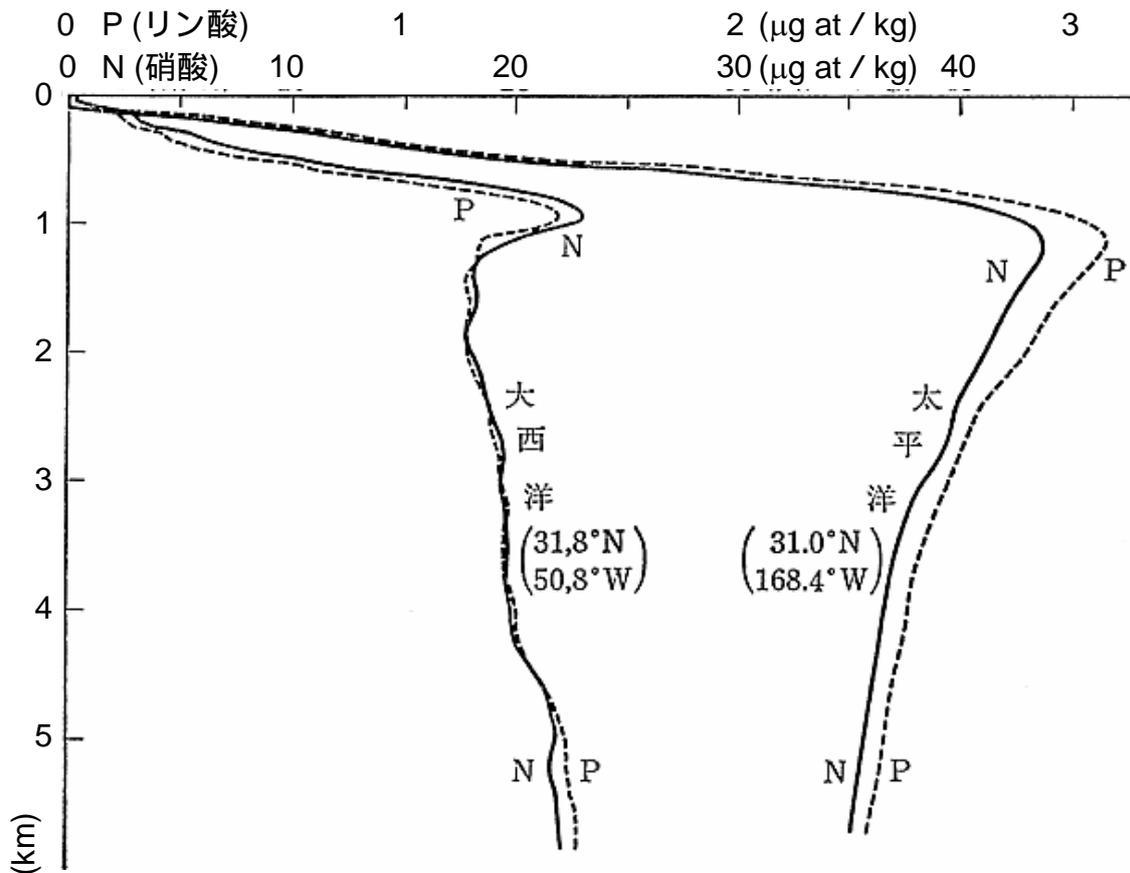


図9. 栄養塩類の垂直分布。窒素・リンともに、表層付近ではほとんど存在せず、水深1000mくらいまでは、深度の増加とともに増える。

(角皆, 1985, より引用)

深1000mくらいまでは深くなると栄養塩類の濃度が増加して行く様子が理解できる。一方、植物プランクトンが自分自身の呼吸で必要とする以上の有機物を光合成によって作りだすために十分な光が届く水深までの層(水柱)を真光層(しんこうそう)と呼び、水のきれいな外洋でも、せいぜい水深150mないし200mくらいまでである。したがって、表層では十分な光があっても栄養塩類が不足し、栄養塩類の十分ある中深層では光が不足するために、自然の海での植物プランクトンの生産はなかなか十分には行われないうことになる。

ところが世界の海には、何らかの原因で深層にある豊かな栄養塩類が光の当たる表層付近まで上昇しているところがある。これを湧昇海域(ゆうしょうかい)と呼ぶ。例えば、海底に山があると、海底付近を移動する海水がその

山に沿って上昇し、真光層まで湧昇してくる。このような海底の山のことを“堆（たい）”と呼ぶ。英語では bank と呼ばれる。このような例は、日本海の大和堆や武蔵堆、あるいは北海のドッガーバンクやカナダ沖のジョージアバンクなどが有名である。このような海は世界三大漁場とも呼ばれて生産性が高く、高い漁獲高を誇っている。また海流どうしがぶつかるようなところでも、海水が混合するため深層の豊かな栄養塩類を含んだ海水が表層付近へ湧昇してくる。黒潮と親潮のぶつかる房総沖から三陸沖にかけての海域が豊かな漁場を形成しているのもこれが原因である。さらに、大陸の西岸に沿って赤道に向かって風が吹くと、大規模な湧昇が起こる。風と地球の自転の力が働いて表層の海水が沿岸部から沖合に運ばれ、それに伴って深層から海水が海底に沿ってわき上がってくる。そのよい例が南米ペルー沖である。ここでは冷たくて栄養塩類を十分含んだ海水が絶えず湧昇しており、それを利用して増殖した珪藻類をアンチヨビー（カタクチイワシの一種）が食べて大繁殖し、それを人間が漁獲している。このためペルーは長く世界一の漁獲高を誇った。世界の海に占める湧昇海域の面積はたった1%に過ぎないが、いずれも生産性が極めて高いいい漁場を形成しているため、そこでの漁獲高は世界の約半分を占めるという試算もある。

このような湧昇を人工的に起こし、海を肥沃化する計画がある。長崎県西部のそれほど水深の深くない海の海底にブロックや構造物を設置して人工の“堆”を造り、人工的に湧昇を起こそうとしたり、相模湾では栄養塩類の豊かな深層の水を直接くみ上げて、表層付近に散布して、海の実産性を高めたりする計画が実施されている。現在、様々な分野で有効利用が行われている海洋深層水の研究も、もとはといえば、このような海洋の肥沃化が当初の主目的の一つであった。

2.4. 海の富栄養化と肥沃化の違い

東京湾や大阪湾のように沿岸や内湾では海の富栄養化が問題となっていて、海に流れ込む栄養塩類の量を減らすことが求められている一方で、長崎県や相模湾では人工的に海の富栄養化や肥沃化が目指されている。同じ富栄養化なのに、両者は一体どこが違うのだろうか。

湧昇海域では、深層からわき上がってきた豊かな栄養塩類を利用して植物プランクトンが増え、それを動物プランクトンが食べ、さらに魚等の高次の栄養段階の生物によってそれらが消費され、図 5 に示したような食物連鎖を物質（エネルギー）が次第に受け渡されていく。つまり、そこでは栄養塩類の供給によって、生態系が健全に維持されている。それに対して、富栄養化した沿岸や内湾では、栄養塩類の爆発的な増大で植物プランクトンは大増殖するが、増えた植物プランクトンが効率よく食べられない、つまり物質（エネルギー）が食物連鎖の高次生物へスムーズに移行しないで、一次生産者のところで止まってしまう。これが赤潮である。つまり、内湾の富栄養化は生態系のバランスが崩れてしまって、物質（エネルギー）が食物連鎖を高次の方へ登っていかない。ここが問題である。このため、真の悪者は生態系のバランスが崩れてしまったことで、決して富栄養化自体が悪いわけではない。

3. 生態系のバランスとそれを崩す人為的インパクト

3.1 なぜバランスが壊れるのか

湧昇海域では、深層の豊かな栄養塩類がゆっくりと長い時間をかけて少しずつ湧き上がっているため、その栄養塩類を利用して植物プランクトンが緩やかに増え、物質（エネルギー）がゆっくりと高次の栄養段階へあがっていく。それに対して、沿岸や内湾での富栄養化は、人為的な影響により短時間に多量の

栄養塩類が一気に海に負荷されたため、植物プランクトンだけが極端に増加し、生態系のバランスが崩れ、それ以上食物連鎖の高次生物へ物質（エネルギー）がスムーズに移行せず植物プランクトンの段階でとどまってしまっている。

3-2. バランスを壊す人為的インパクトとは

我が国では 昭和 30 年代後半から 40 年代にかけて環境悪化が顕著となって、各地で公害が発生し大問題となった。海でも、水質悪化が大きな問題となった。ようやく昭和 40 年代半ばから、「水質汚濁防止法」などの法律が整備されはじめ、政府をはじめ人々の目が環境保護に向けられるようになった。このため、昭和 40 年代後半から 50 年代初頭をピークに、次第に赤潮の発生件数が減少していくなど、環境は改善されていっているかに見える。

特に合成洗剤に含まれていたリンが水域の富栄養化に大きく関係していたことから、滋賀県ではいち早く洗剤からリンを除くことが条例で義務づけられた。いわゆる無リンの洗剤の登場である。その後、無リンの洗剤は全国に普及し、今ではほとんどの家庭用洗剤が無リンとなっている。このため海へ負荷されるリンが減少し、昭和 50 年代中頃以降は、海のリンの濃度も減ってきた。ところが、窒素は相変わらず増加しているため、海の窒素とリンの比（N:P 比）が次第に上がっていることが分かってきた。植物プランクトンの増殖に最も適した N:P 比は種によって違っていて、珪藻類（図 1）のようにそれほど大きな被害を及ぼすことの少ない種は比較的低い N:P 比を好むのに対し、ラフィド藻（図 4）のような有害種は高い N:P 比を好むことが分かってきた。このため、海の N:P 比が低かった時には珪藻類が優占していたのに、N:P 比の上昇とともに赤潮が有害種にとってかわってきたという指摘がある。つまり、無リンの洗剤を使うことで環境水中のリンがせつかく削減されたにもかかわらず、窒素がそのままに放

置されたため、かえって有害プランクトンの発生を促すという皮肉な結果をもたらしている可能性がある。

また、海へのケイ素は河川水からの供給が重要である。とくに山地の森林土壌からの溶出が重要で、降水が森林土壌を通過することで、豊富な栄養塩類（特にケイ素）が供給される。これらが河川を流れ下る間に、一部は河川水中の珪藻類に取りこまれ、その残りが河口に供給されている。ところが、途中でダムや堰があると、そこでせき止められて停滞した水中で浮遊性の珪藻類が増え、それが死滅後に湖底や堰底に沈降してしまい、結果的に河川水中のケイ素の量を少なくしていると指摘されている。このことは、海へのケイ素の供給量の減少を意味していて、それは沿岸・河口域での珪藻類を減少させ、代わって、珪藻以外の有害・有毒プランクトン、例えば増殖にケイ素を必要としない渦鞭毛藻やラフィド藻の増殖を結果的に促している可能性がある。

4. 環境改善・修復の考え方とその問題点

4-1. 過剰に供給された栄養塩類をどのように除くか？

陸から沿岸海域に供給された過剰な窒素やリンは、どのようにして再び回収・除去すればいいのであろうか。粒子状の物質であれば、ろ過して除くのがいちばん考えやすい。しかし、海の膨大な量の海水をろ過することは実際上不可能で、ましてや水に溶けている窒素やリンを回収することは、そのままでは極めて困難である。一方、底質の場合は、浚渫などにより汚濁したヘドロを直接に回収して除くことは可能である。しかしながら、浚渫したヘドロを処分する場所を探すことが今では困難になりつつあり、さらに底泥からの栄養塩類の溶出が避けられないなどの問題があって、なるべくこのような土木工学的でない方法を用いるべきである。

ところで高知県浦ノ内湾は県下でも有数の魚の養殖の盛んな場所であり、一時期と比較するとずいぶんきれいになったとはいえ、今なお富栄養化の著しい閉鎖性の強い内湾である。この湾では、数多くの漁師によって連日、大量のアサリが漁獲されている。にもかかわらず、毎年5月から6月頃、素人が潮干狩りに行っても、1時間も掘ればバケツにいっぱいのアサリを採ることができる。浦ノ内湾のアサリの生産性が高い証拠である。アサリは水中の植物プランクトンなどをろ過して食べて生活している。このことは、アサリが水中から植物プランクトンを効率よく除いており、それはつまり、魚の養殖により餌として湾内に供給された有機物が微生物によって分解されて栄養塩類になり、その栄養塩類を利用して増えた植物プランクトンをアサリが食べていることを意味している。つまり、食物連鎖を通して、環境へ負荷された有機物 - 栄養塩類 - 植物プランクトン - アサリという流れで転換され、最終的に再び人間によって陸上へ回収されている、実にうまいシステムと考えることができる。

また別の例を考えてみよう。高知県ではアユが重要な内水面漁業を支えていて、近年の生産量の減少は深刻な問題となっている。アユは河床の岩石の表面に付着している藻類を主な餌としている。河川には陸地から多くの栄養塩類が流れこんでいて、都会の近傍を流れる川はたいてい富栄養化が問題となっている。付着藻類が増えると、河川水中の栄養塩類が消費され、さらにそれをアユが食べて成長し、それを人間が釣り上げることは、とりもなおさず河川水からの栄養塩類の除去にほかならない。この場合も、栄養塩類 - 付着藻類 - アユという食物連鎖を通して河川の富栄養化を軽減していると考えられる。

しかしながら最近、このような、陸から供給された有機物や栄養塩類の巧みな回収・除去システムがうまくはたらかないという問題がでてきた。浦ノ内湾ではここ数年、アサリの成長が芳しくなく、また個体数も減っている。その原

因は必ずしも明らかになっていないが，原因の一つに，底層の貧酸素化と無酸素化が上げられる．また河川では，山林が荒廃して，大雨があると山の土砂がすぐに川に流れ込むため，濁水がいつまでも消えず，それによって河床の岩石表面の付着藻類うまく育たないという問題が生じている．これらはいずれも，人為的インパクトによるものである．

4-2. 微生物を用いた環境修復

環境修復は，基本的には自然の浄化力を最大限に発揮させることを考えるべきであり，人工的な行為はできるだけ少なくすることが望ましい．例えば，前述した海底の貧酸素化・無酸素化による環境悪化を防止するためには，圧縮空気をコンプレッサーで送り込み曝気することは誰もが思いつくことであろう．しかしながらこの方法は，恒常的に電力エネルギーを消費するため，これからの地球環境を考えると，必ずしも最良の方法とはいえない．そこで我々は，底層環境には栄養塩も植物プランクトンも十分に存在する点に着目し，太陽光エネルギーを光ファイバーや発光ダイオードで底層環境に導入し，植物プランクトンの光合成を促進することで，緩やかに酸素の生産・供給する方法を検討中である(図10)．すでに基礎的なデータは取り終わり，わずかな光エネルギーで光合成が促進され，底泥中の有害な硫化物が減少することが分かっている．この方法の考え方は，暗黒な底層環境に太陽光あるいはそのエネルギーを導入することで，元々天然環境に存在する植物プランクトンの活性を発揮させることであり，効果は緩やかかもしれないが，環境に対する負担は非常に少ないと考えられる．



図 10. 高知浦ノ内に設置された太陽光集光装置。タワーの上部に設置された集光器やソーラーパネルから太陽光エネルギーが光ファイバーや発光ダイオード（LED）を通して海底に導入される。

しかしながらもちろん，すでに深刻な汚濁状況におかれた環境の水質や底質を浄化するためには，自然の自浄力だけでは不十分な場合もあることも確かである．その場合，有機物分解活性の高い細菌類などの微生物の働きを利用して，水の中に含まれる有機物や海底のヘドロの分解を促進することが必要となる．水質の浄化には，付着性が強くタンパク等の高分子有機物の分解活性が高い有用細菌を吸着させた多孔質担体を収容した一種のバイオリアクターに，汚濁した海水を通過させて，有機物の分解を行うことがしばしば行われている．また同様に付着性が強く有機物分解活性の高い細菌を吸着させた微生物担体を海底に散布して，ヘドロの浄化行う底質浄化剤もしばしば用いられている．

このような浄化方法を用いる際に注意すべきことは、もともとその環境にいなかった微生物を天然環境に導入するのは慎重に行わなければならない点である。外来種の移植の問題は、ブラックバスやジャンボタニシやマングースの例を持ち出すまでもなく、現在大きな問題となっている。微生物の場合には、増殖環境さえ適応すれば爆発的に増加する可能性を秘めているため、特に慎重になるべきである。その意味からも、水質浄化のように微生物をバイオリアクターに閉じこめて、処理したいものを通過させるという考え方がより適切かもしれない。有用微生物はフラスコの中（閉鎖系）で用いている限りは極めて有用であるが、野外（解放系）へ放出された場合の環境への影響に対しては十分注意する必要がある。その意味からも、微生物による環境浄化は、出来る限り、その環境から分離された細菌株を用いるのがよい。

5. 高知の海でサンゴが増加する問題

最後に、問題提起を一つしたい。高知県の沿岸では近年サンゴが増えているといわれている。サンゴは水質環境の良好な海にしか生息しないため、サンゴが増えることは環境が改善されたことを意味しまたそれによって観光客も誘致できるとして、喜ばれている。しかしながら、それは本当に喜ぶべきことであろうか。

サンゴは本来、水温の高い熱帯・亜熱帯を中心にした海域にしか生息しない生き物である。それが、近年、高知県沿岸に増えていることは、地球温暖化の影響など、環境の変化を微妙に反映している可能性がある。我々は、環境悪化によって様々な生物種を減少あるいは絶滅の危機にさらしてきた。そしてそれらの生物をなんとか元に戻したいと努力している人々がいる。元々100存在していた生物が、環境悪化により20や30に減少したのを、元の100にまで戻すこ

とはきわめて重要であり，意義がある．しかしながら，それを 200 や 300 にまで増やすこと，あるいは元々そこには生息しなかった生物を増やしてしまうことは，また別の意味で環境破壊ではないだろうか．その意味からも，高知県の沿岸部でサンゴが増えていることは決して喜ぶべきことではないと考えられる．

本稿では，生態系が絶妙なバランスの上に成り立っていて，そこから人間はどれくらいの恩恵をこうむっているか，しかしながらそのバランスは人為的インパクトによっていとも簡単に崩れてしまうということを知ってもらうことが目的であった．黒潮圏の生態系も同じである．この黒潮圏の環境を保全し，人類と自然が未永く共生していけることを願っている．

参考文献

1) 海洋生態系全般に関するもの

石田祐三郎・杉田治男(編). 2005. 海の環境微生物学. 恒星社恒星閣, 東京. 239 頁.

鈴木 款(編). 1997. 海洋生物と炭素循環. 東京大学出版会, 東京. 193 頁.

日本海洋学会(編). 1991. 海と地球環境 海洋学の最前線 . 東京大学出版会, 東京. 409 頁.

2) 環境保全に関するもの

市川定夫. 1994. 環境学のすすめ—21 世紀を生きぬくために—上・下. 藤原書店, 東京. 388 頁.

川合真一郎・山本義和. 2004. 明日の環境と人間(第 3 版) 地球をまもる科学の知恵 . 化学同人, 京都. 270 頁.