

海・陸 境界面の生態学的諸問題*

栗 原

康**

1. コンクリート文明

一般的にいて、生物にとって最も重要な生息場所は、気、水、土の界面である。自然環境は、一見均質にみえてもミクロにみれば、水、土、気が様々なスケールで様々な配列構造をもち、これらの界面が複雑にからみ合っている。そして生物は、生活史の全部あるいはその一部を、必ずといってよいほど界面構造に依存し、他の生物と相互に作用を及ぼし合いながら“生”をいとなんでいるのである。

自然環境がもつ界面構造は、見方によっては、複雑で、変化に富む多孔質性の構造体にもたとえられるかもしれない。そして、このような場にしばしばみとめられる環境因子の勾配、不連続性、変化性、周期性、柔軟性などは、物理的な意味において最も計量化、定式化しにくいものとされている。生物というものは、実はこのような環境を彼等の生息場所として選んでいるものが圧倒的に多いのである。

潮間帯はこのような場所の代表的なものの一つである。海岸の砂浜、ラグーンや感潮河川の岸辺、干潟、岩礁地帯、塩性湿地、マングローブ地帯はまさにこれに当るのであるが、このような場所は、概して生物の生産力が高く、E. P. ODUM¹⁾は地球上で最も生産力の高い場所として海口域をあげている。この陸、海、空界面のもつ環境の成立と特性や生物適応に関する研究は、生態学とくに環境生物学の最も重要な課題の一つと考えることができる。

20世紀後半以降の人間の文明は、極端ないい方をすれば、生物の“生”を支える自然の界面構造を、鉄とコンクリートでぬりかためてきた歴史と

いってもよい。とりわけ海と陸の境界面は、その構造が脆弱であることから、コンクリート文明の主要なターゲットとなってきた。しかし、このようなソフトな構造こそ、もし人間が介入しなければ、大局的には場の安定化を導いているという側面を見逃してはならない。そして、このような構造こそ生物の微妙な生を保障しているのである。

自然のもつソフトにして多様な生物環境を、ハードにして均質な場に変えていくという行為を際限なく押しすすめることが、日本国土の未来像にどのような事態をもたらすかを大いに考えてみる必要がある。なぜなら我々は界面構造によって支えられた生命と、その生命を育む海洋環境をぬきにしては実りある生活を全うすることはできないからである。“ぬり固め”文明が他のシステムに及ぼす影響について、幅広い知識と科学的な予見性を十分にふまえた知恵のある文明が、これ程強く望まれる時はないように思われる。

2. 望ましい自然

都市化のすすんだ現代社会に生きている我々にとって、望ましい自然環境とはどんな環境かを考えてみると、それはたぶん昔ながらの自然であろう。我々は子供の時に肌で触れた自然を記憶し、我々の親や祖先が肌に触れたであろう自然を、文化として伝承されている。

清浄な海と白砂を前景とし緑を背景とした白砂青松や岩礁にうちくだけの波のしぶき、潮干狩り海水浴といった幼児体験と結びついたおだやかな海面、大空に舞う水鳥の群といった光景は、誰の目にも望ましい自然として写るであろう。しかしここでの主題は、現在とうとうとして人間の介入にさらされている自然に関するもので、昔の自然を懐古することではない。

* 1986年2月6日受理

** 東北大学理学部

人間が自然に手をつけようとする場合、生物学者の最大の関心は生物の運命に向けられる。生物はその場所から姿を消すかどうか。別の生物に入れ替るかどうか。それはどんな種類の生物か。あるいはかえって生物が増えてきはしないか。

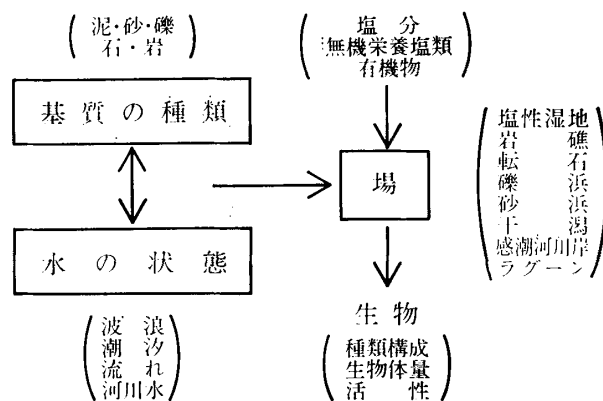
ここで、人間介入下の自然において、我々にとって望ましい自然とはどのような状態であるかを考えてみよう。私は、それはより大型の生物がふえてくれるような状況だと思う。バクテリアや微少藻類ばかりが増えるのでは汚濁や富栄養化の世界になるだけで意味はない。大型動物がいるということは小型動物がいることであり、小型動物がいることはその餌である更に小型の生物や藻類やバクテリアがいることである。かくして大型生物は生物群の多様性の指標であり、生物群集の生態効率が高いことのしるしである。生態効率が高いことは、太陽のエネルギーを起点とした化学エネルギーの転移が容易であって、かつそれが栄養段階の高い生物群集にまで効率よく転換することを意味するから、種の多様性のみならず、生物の呼吸エネルギーの散逸も大きい。つまりある場所における物質が高い効率でつぎつぎと生物に変わるわけであるから、もしその物質が過剰な栄養塩類や有機物であれば、いうまでもなく浄化したことになる。

この場合、もし生物が魚や貝や海藻であれば人間の食物となるし、渡り鳥であれば彼等の食物である底生動物を再び有機物に戻すことなく系外に運び去る。鳥の群は、それ自身我々に美しい風景を与えてくれるだけではなく、まだ解明されていない鳥のもつ効用というものも考えておく必要がある。このように見てくると、我々が自然の界面をぬり固めた時に、生物の生産機能と、それによる浄化機能やアメニティはどのような影響をうけるかは極めて気になる所である。

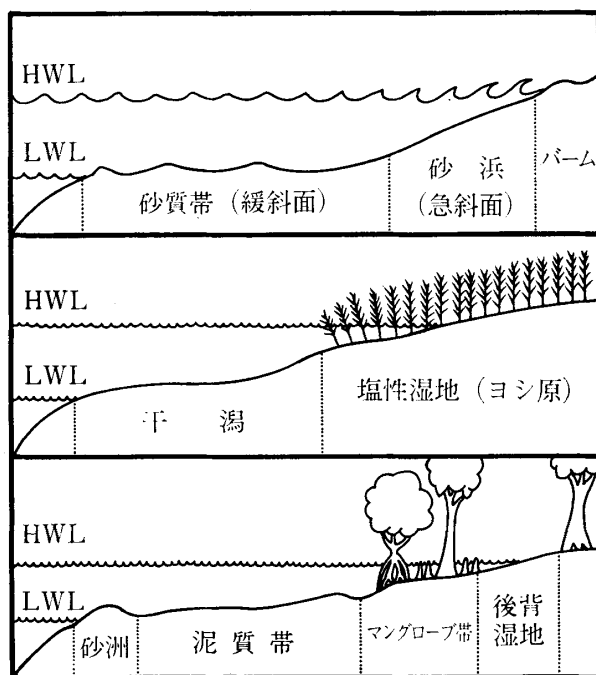
3. 陸と海の境界

陸と海の境界は様々な生態系を形成するが、これらは大きく次の8つに類型して考えることができる。すなわち岩礁、転石、礫浜、砂浜、干潟、

感潮河川岸、塩性湿地、ラグーンである。このような生態系の特性は、一義的には、基質の状態つまり、泥、砂、礫、石、岩と、水の状態、つまり、波浪、潮汐、潮流、海水、河川水などの組み合わせによって決定される。そしてこのような場所がどのような地形をもち、どのような質と量の物質を受け入れるかによって、それぞれの場に特有の生物群集が出現するのである(第1図)。そしてこれらの場に生息する生物が、それぞれの場の特性に適応した機能と形態をもっていることが、後でふれるように極めて重要な意味をもってくる。



第1図 河口・沿岸域における生態系の成立要因



第2図 3つの潮間帯の带状構造を示す (REISE, 1985 より改変)

ここでは第1図にみられるスキムの中から、波浪と塩分と潮汐に付随して形成される Ecoton (生態的推移帯) を3つに分類して第2図に示した。波浪のある場所では、大気にさらされている時間の長いバームと、いわゆる波打際と称する急な傾斜をもったビーチと砂質の平坦な砂質帯の三つに類型化することができる。おだやかな水界では、汽水域で高潮位の場所には塩性湿地（日本では多くはヨシ群集になっている）が発達し、これより低潮位では砂泥質の平坦な干潟がつづく。東南アジアや沖縄などの熱帯では、河口域の汽水域にマングローブ地帯が発達する。

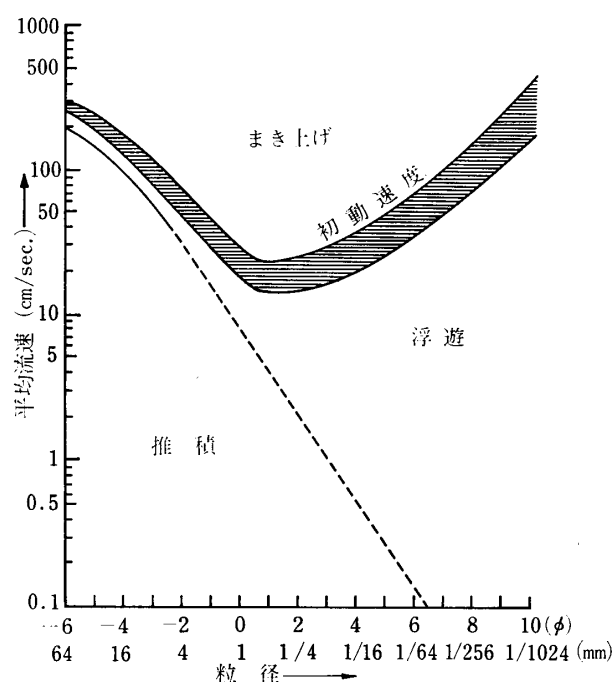
ここでは砂浜、干潟、塩性湿地、岩礁の環境特性と生物特性を環境機能の観点から評価し、人間介入のあり方について考えてみたい。

4. 干潟の環境機能

4-1. 環境特性と生物適応

ラグーンや感潮河川の岸边には、水没と干出のリズムをくりかえす平坦な砂泥質の干潟が発達することはすでに述べた。干潟の環境特性のうちもっとも重要な点は、海と陸由来の物質が干潟に供給されることである。とくに感潮河川やラグーンに発達する干潟には、陸上由来の固形物が堆積する。上げ潮時に供給された砂泥粒子は、潮の流れが減速した時に沈降堆積する。これを巻きあげて運搬するためには堆積した時より速い流速が加えられることが必要とされるが、一般に流速は上げ潮時と下げ潮時はほぼ等しいか、あるいは下げ潮時の方がゆるやかなことが多い(第3図)。このようにして干潟には微細な粒子や有機物の細片が多く堆積するようになり、かくして干潟は微細な粒子を捕捉するという機能をもつことになる。

干潟は干出すことによって空気にさらされるために酸素の供給も多い。つまり干潟は主として陸由来の物体の集積の場であり、それが栄養物質である場合には、干出による酸素供給と相まって絶好の微生物の生息場所となり、固形の易分解性有機物はたちまちバクテリアの攻撃をうける。干潟にすむ多くの底生動物は、バクテリアによって分



第3図 堆積物が動き始める速度³⁾
(HJULSTRÖM, 1939)

解された動物の遺骸や植物枯死体、糞を摂食しており、干潟ではデトリタス食物連鎖が優占する。

底生動物には渡り鳥（シギ・チドリ類）や稚魚の餌になるものが多く、干潟のゆるやかなスロープは渡り鳥の絶好の足場となる。また、干潟およびその周辺が浅いために大型魚類は存在しない。このことは、魚卵や稚魚が大型の魚類の捕食からまぬかれることになり、特定の魚の産卵の場あるいは稚魚の育成の場となる。かくして干潟は微生物、底生動物の絶好の生息場所となり、魚類の保育場、鳥類の餌場としての機能をもつ。

一方底生動物は、干潮時の干出に対する適応として、また鳥類による捕食回避の戦略として、巣穴をつくってその中にすむものが多い。砂泥質の底質は粒子が細いために水はけが悪く、干出時でも土中には十分な間隙水が保持される。しかも重要なことはシルト、粘土に富むために満潮時でも巣穴はくづれにくい。干潟は、すでに述べた微粒子の選択的堆積と、干出時における土中水分の保持、底土の可塑性による巣穴形成および干出による酸素供給によって、底生動物の絶好の生息地と

なる。底生動物は多くの場合、一つの巣穴に一個体しか生活していないがために、個体間の干渉が少く、また餌も豊富であるために種内競争が回避されるようである。

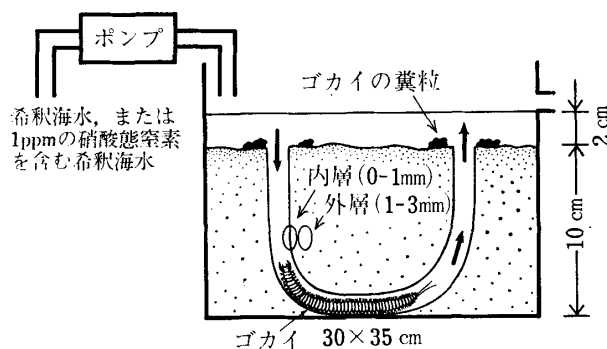
干潟は陸と海よりインプットされた質の低いデトリタスを底生動物に転換することによって、大型生物、すなわち魚を海へ、鳥を陸へアウトプットしている場として認識することができる。しかし干潟は波浪から守られたおだやかな水界で、陸地に近いかあるいは接続した場所に発達するために、埋立や養殖を主とする人間介入の危機を絶えずうけている（第4図）。そしてこのような人間の介入の具体的なあらわれがコンクリートによる塗り固めであり、テトラポッドの設置であることは、日本列島から主要な干潟が喪失してしまった現実からもわかる。

4-2. 干潟の浄化作用

干潟が有機物を堆積し、微細な粒度組成をもち、酸素の供給をうけやすいという特性は、しばしば酸化的な表面より数mm以下の土壌をひどく還元的にさせる。従って有機物の微生物分解は嫌氣的過程に強く依存していることが多い。感潮河川の岸辺にあられる干潟とその後背地であるヨシ原の泥をコア・サンプラーで採集し、深さ別に嫌氣的分解にともなう CO_2 、 CH_4 、 H_2S 、アセチレン阻害による N_2O の生成速度を測定すると、すべての活性において干潟でいちじるしく高い値が観察され、特に低潮線に近い干潟では N_2O 生成速

度が高い。つまり干潟は陸上由来の有機物を集積して CO_2 や CH_4 に変換する能力や硫酸還元能力が高い場所である。この場合興味のあることは、低潮線に近い水辺に接近した干潟で N_2O 生成能力が高いことで、このことは脱窒素活性が活発であることを示唆する。一方底生動物をみると、この場所でゴカイ類の個体密度がいちじるしく高い。

ゴカイと脱窒との間に重要な関係が存在することは、つぎの実験によっても支持される⁴⁾⁵⁾。ポットに干潟泥をつめ、ゴカイを入れて人工海水をかけ流すと、ゴカイは巣穴をつくるようになる（第5図）。今、巣穴表層部の硝酸態窒素を測定すると、極めて高い値を示すが、このことはゴカイの蠕動運動によって酸素に富んだ海水を巣穴に引き込むために、表層部が酸化的になっていることを示す（第1表）。しかし巣穴の表層部から少し離れた泥中や巣穴以外の泥中はいちじるしく還元的になっていて、巣穴表層部の硝酸が土壌内部に拡散することによって容易に還元されて脱窒されることになる。このように酸化部位と還元部位が隣接する場が形成され、それが脱窒活性を高めるわけであ

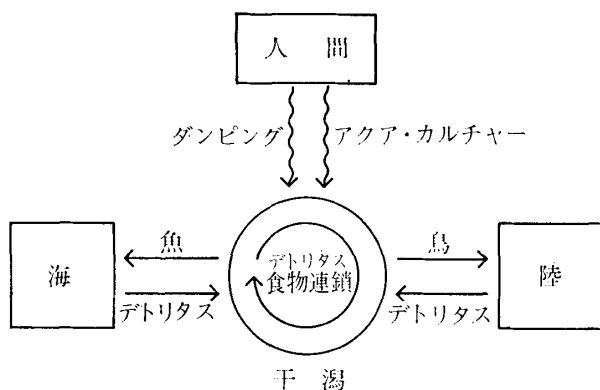


第5図 実験水槽とゴカイの巣穴の横断図を示す

第1表 希釈海水をかけ流した場合の底泥中の酸化態窒素濃度

	巣穴の壁面		巣穴以外の部分*
	内層 (0~1 mm)	外層 (1~3 mm)	
酸化態窒素濃度 ((ng-at. N/g 乾重))	46.3	7.6	2.3

* 深さ3から8 cmの間の底泥についての平均値。



第4図 干潟の機能

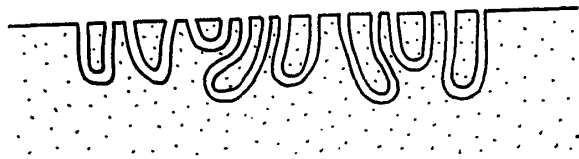
海・陸境界面の生態学的諸問題

る。ゴカイが巣穴をつくることによって硝化部位としての干潟表層部がいちぢるしく拡大され、干潟全体としての脱窒活性はいちぢるしく増大することになる（第6図）。

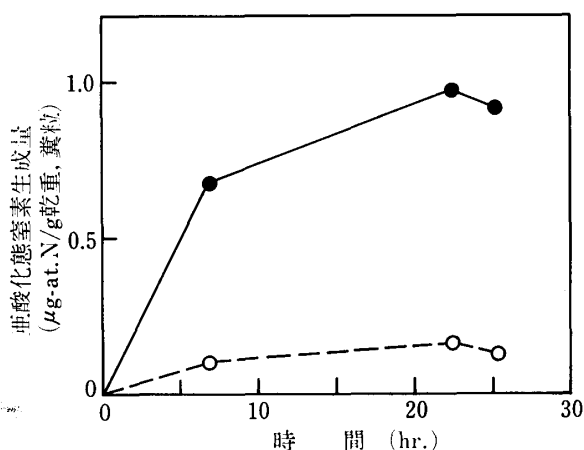
ゴカイが脱窒を高めるもう一つの例として、つぎのような研究がある⁴⁾。ゴカイは底土表層に堆積したデトリタスを食べて糞塊を表層に排出するが（第5図）、糞塊を集めてガラスビンの中に入れて密閉し、 N_2O を測定すると、第7図のように高い生成量を示すが、糞塊を破砕すると生成量は低下する。これは糞塊の表面の酸化的部位で生成した硝酸が糞塊内部の嫌氣的な部位で脱窒されることを示すものである。

4-3 ゴカイの汚泥除去能力

ゴカイはバクテリアで分解をうけた動物、植物の遺骸や糞、つまりデトリタスを食物としていることはすでに述べたが、その主食は遺骸や糞塊を基質にして増殖したバクテリアであることが分っ

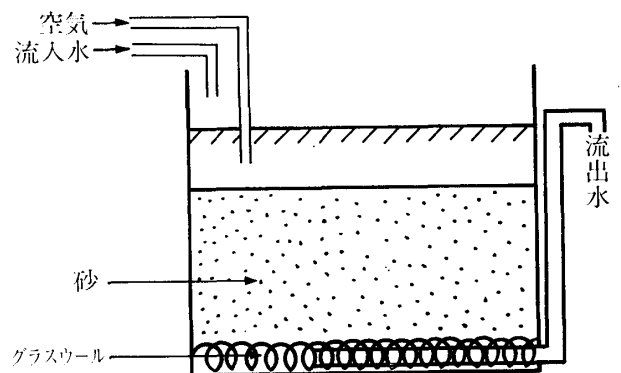


第6図 ゴカイの巣穴による干潟表層部の拡大



第7図 好気条件下におけるゴカイの糞粒による脱窒⁴⁾ (SAYAMA & KURIHARA, 1983より改変) ゴカイの糞粒をそのままの構造に保った場合(—)と、激しく振盪することによってその構造を破壊した場合(---)。

ている⁶⁾。それではバクテリアや原生動物のかたまりである下水汚泥はゴカイの餌にならないだろうかというわけで、第8図のような飼育槽に空気を吸き込んで海水をかけ流して汚泥を実際に与えてみると、体重によってこととなるが、非常に高い摂取量を示し、約半分量が糞となって排出された⁷⁾⁸⁾。この汚泥摂食実験の結果をまとめたものが第2表である。三段階の体重のものについて、それぞれ摂食量・糞量・同化量を示しているが、同化量の値は呼吸量を差し引いていないので実際にはもう少し低い値になる。しかし、ここでは下水汚泥の除去能力についての目安として概数を示すにとどめた。第2表によるとゴカイ1個体当たり1日の平均同化量は21.7 mgとなり、ゴカイの干潟における生息密度を我々の数多くの調査結果に基づいて2,500/m²すると、1日の汚泥同化量すなわち処理量は54 g/m²となる。一方下水処理場より生成される汚泥については、その処理方式によってちがうが、仙台市の下水処理場を参考にすれば1日1人当たり24 gであるので、1m²の干潟に生息するゴカイは2.3人分の汚泥を処理する潜在能力をもっていると考えることができる。



第8図 ゴカイの飼育装置

第2表 ゴカイの汚泥摂食量、糞量、同化量 (mg/個体/日)

湿重	200	800	1,200
摂食量	14.3	54.7	70.7
糞量	5.7	29.3	39.5
同化量	8.6	25.4	31.2

5. 生態系の環境浄化能力

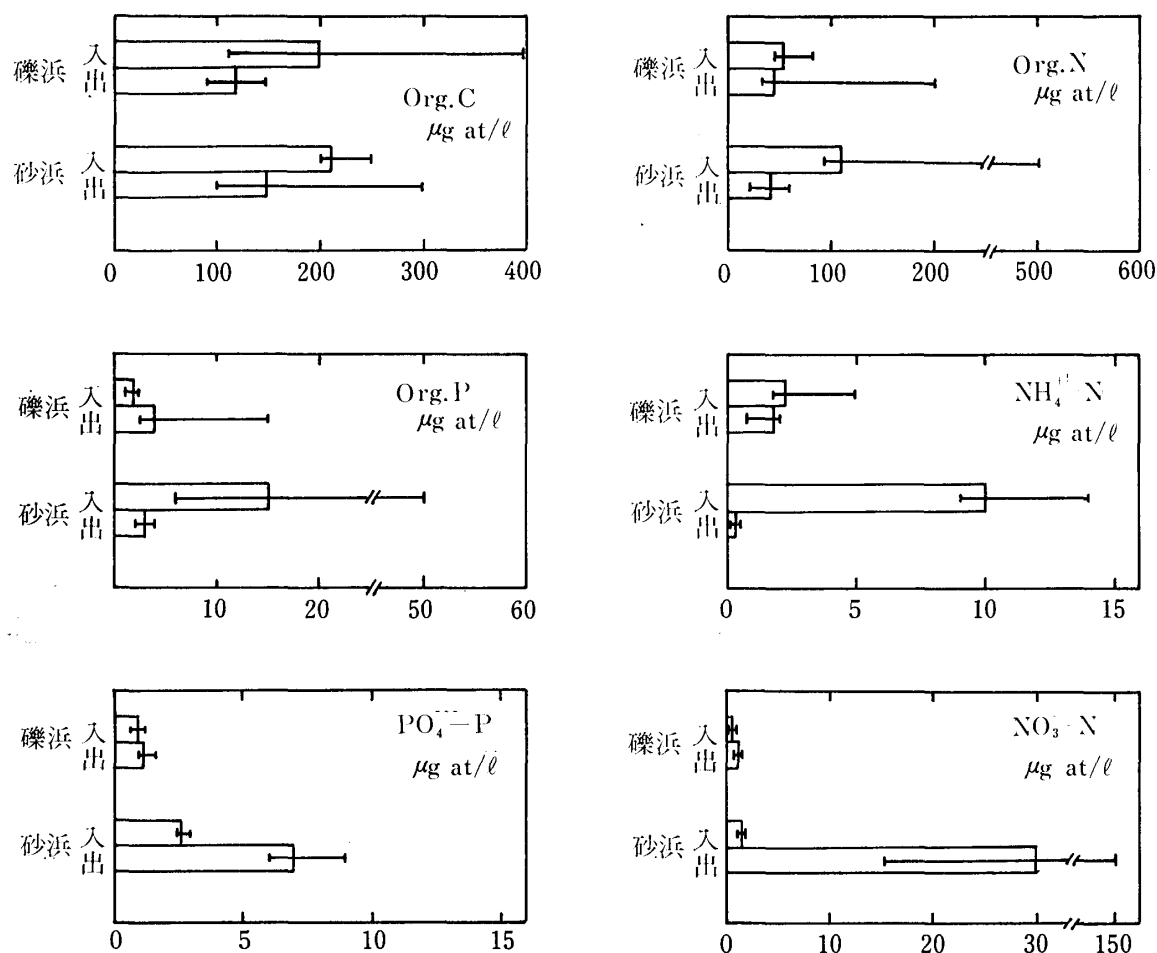
5-1. 砂 浜

砂浜が波浪にさらされながら、潮汐によって干出と水没をくりかえしていることが、海水浄化に重要な役割を演じているという事実についてふれておきたい⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。上げ潮時に海水が砂中間隙に滲透し、下げ潮時に砂中の海水が排出されるというリズムは海水の浄化に本質的なものである。波浪と干出によって砂の中に酸素が供給されるために、海水中の栄養塩類や有機物は砂の中の微生物によって間断なく好气的に変形と分解をうけるからである。

第9図は、下げ潮時に砂の中から排出された海水の窒素と磷と炭素を、上げ潮時に砂浜に打ち寄せる海水のそれと比較したものであるが、排出される海水中の有機態窒素は明らかに低下し、特に

アンモニア態窒素は極めて低い値を示すのに対し、硝酸態窒素はいちぢるしく増加している。このことは有機態窒素が砂中のバクテリアによって無機化され、かつ砂中バクテリアは高い硝化作用をもつことを示している。有機炭素についても、排出海水で低下していることは、バクテリアによる無機化を示す。磷については有機態磷が低下し、磷酸態磷のいちぢるしい増加がみとめられることは、バクテリアによる磷の無機化を示すものである。

窒素・磷・炭素を無機化することは、砂浜の浄化に大いにあづかっていることを示すものであるが、一方礫浜では、窒素と磷の無機化の効率が砂浜にくらべて低いということは注目し値する(第9図)。これは礫の容積が砂のそれに比べて大きいために、単位容積当りのバクテリア付着面積が



第9図 砂浜の呼吸による物質変化を示す (大平ら, 1979 より改変)

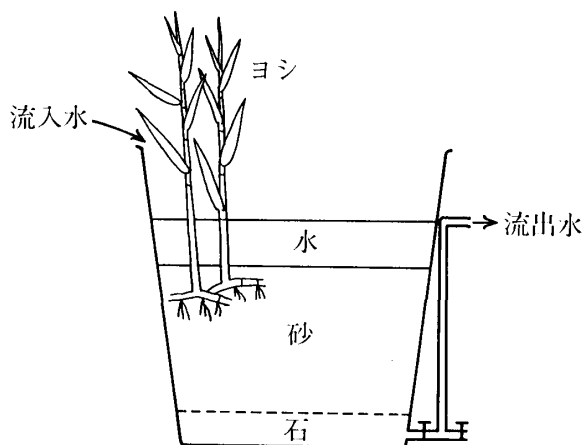
海・陸境界面の生態学的諸問題

減少し、バクテリアの生活空間が減少することと礫の表面構造に由来するものと思われるが、このような砂と礫の浄化力の差異はつぎの点において重要である。

現在“人工なぎさ”という名の下に海底よりポンプアップした砂でなぎさを造成しているが、その粒径はたえず波浪に洗われている自然砂浜のそれよりはかなり大きい。つまり人工なぎさは砂浜というよりは礫浜に近い。このことは、海・陸境界に対する人間介入のあり方に重要な示唆を与えている。すなわち、もし浄化の場として人工なぎさを造成しようとするならば、基質の粒径と地形の勾配について十分な配慮をすることが必要である。

5-2. ヨシ原

塩性湿地は、多くの場合ラグーンや感潮河川の岸辺や干潟の後背地に発達する。日本では塩性湿地植物がヨシである場合が多い。ヨシ原は干潟よりやや高い場所に繁茂するので、干潟程潮の影響をうけないが、大潮の満潮時には冠水し、密生した植物体は丁度フィルターの働きをして、上げ潮とともに打ち寄せられた固形物を捕捉する。ヨシ原の中にプラスチック製の物体がよく見られるの



第10図 ヨシを生育させた実験装置

第3表 ヨシ植物体におけるP.N.の蓄積量

乾燥重量	4680 (g/m ² /4 カ月)
N 含有量	106 g
P 含有量	10 g

はこのためである。しかしヨシ原の主な浄化能力は、土中の間隙水中に含まれる無機栄養塩類を吸収して植物体内に蓄積する過程に依存する。

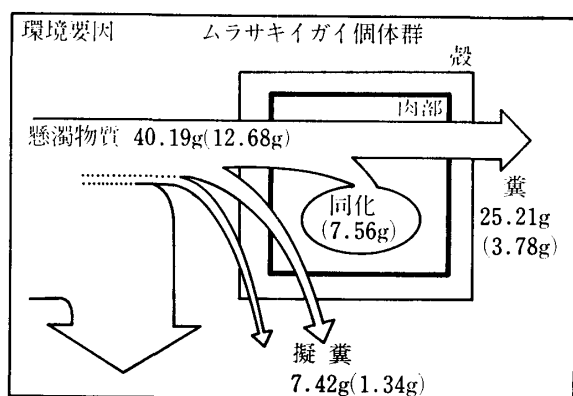
それではヨシはどれ位の栄養塩類を吸収することができるだろうか。直径 50 cm、高さ 80 cm の大きさのポットに清浄な砂を 45 cm の深さにつめてヨシを移植し、一定量の磷と窒素をふくんだ液を、滞留時間が 2 週間になるように連続的にかけ流し(第10図)、ポットの底部から採集した水中と砂中、ヨシの葉、茎、根の磷と窒素をそれぞれ測定する。かけ流す液の磷と窒素をいろいろの濃度にかえて、植物体中の磷と窒素の蓄積量を測定すれば、ヨシによる磷と窒素の除去能力を知ることができる¹²⁾。

第3表はヨシの生育期間を 4 ケ月とした場合の m² 当りの窒素、磷の植物体内の蓄積量を示したものである。仙台市下水処理場から排出される二次処理水中には 10 ppm の窒素と 3 ppm の磷が含まれているが、今 1 人 1 日に 250 l の廃液を排出するとすると、4 ケ月間では窒素で 300 g、磷で 90 g を排出することになり、この値はちょうど窒素で 2.8 m² 磷で 9 m² に繁茂するヨシ体の蓄積量に相当することになる。このようにみるならば、ヨシは相当量の磷と窒素をとり込むことになり、広大なヨシ群落の環境浄化能力は決して無視できないことになる。

5-3. ムラサキイガイ

岩礁の潮間帯にはムラサキイガイが付着しているが、波と共に打ち寄せられたプランクトンやバクテリアやその他の固形有機物粒子を摂食し、糞として排泄するほかに、固形粒子の一部を鰓の粘液で固めて大きな粒子に変える働きをする。こうしてできた塊は擬糞と呼ばれている。このようにムラサキイガイは外界の懸濁有機物を比重の大きな糞と擬糞に変えて底土に堆積させる。

それでは自然界においてムラサキイガイが排出する糞塊や擬糞の量を推定するにはどうするかというと、容器の中に様々の大きさのムラサキイガイを入れ、現場の海水をかけ流して懸濁有機物を摂食させ、有機懸濁物量、糞量、擬糞量、ムラサ



第11図 ムラサキガイの有機物収支¹³⁾
(TSUCHIYA, 1980 より改変)
岩礁海岸に付着しているムラサキガイの
個体群/m²・1日あたりの値で示してある。
()内は有機物量

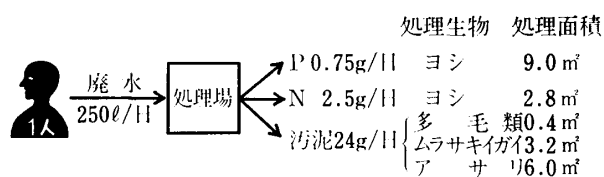
第4表 ムラサキガイの有機物摂食量、糞量、
同化量 (mg/個体/日)

湿	重	2200
摂食量		1.27
糞 + 擬糞量		0.51
同化量		0.76

キガイの大きさの間の関係を求めておく。一方既知の濃度の固形有機物、たとえば懸濁状態のクロレラをガラス容器に用意してその中に様々の大きさのムラサキガイを入れて、摂食量と糞量から同化量を求める。更に現場における海水中的懸濁有機物濃度の季節的变化と大きさ別のムラサキガイの現存量および冠水時間を測定し、実験室で得られた値を外挿して第11図に示すような物質収支を得ることができる¹³⁾。青森県浅虫の岩礁地帯を例にとれば、平均的な大きさのムラサキガイ(2.2g)の平均個体密度は 10,000/m² であるので、1個体の平均同化量を 0.76 mg/日 とすると、1日の同化量は 7.6 g/m² となり(第4表)、この値は 0.32 人分の下水泥生成量に匹敵する。

5-4. アサリ

干潟に生育するアサリについては、一定濃度のカオリン粘土の懸濁水中にアサリを入れた時の濃度減少曲線より汙過速度を求めると、汙過水量は約1 l/hrとなる(秋山章男, 私信)。現場海水中的の懸



第12図 生物による下水処理水(汚泥を含む)
の浄化能力

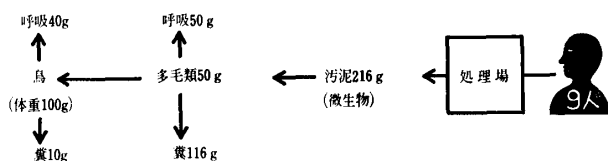
濁物濃度が 10 mg/l, アサリの密度 200 個体/m², 冠水時間12時間/日, 懸濁物の有機物含量を 25% とし, 更に同化量をムラサキガイに準じて計算すると, 1日に 4 g/m² となり, これは汚泥にすると 0.17 人分に当る。

以上述べたように干潟, 塩性湿地, 岩礁のような海・陸境界のもつ環境浄化機能を, 最も代表的な生物による生活廃水中の燐, 窒素, 汚泥の処理能力という観点から評価するならば, 第12図のように要約されるであろう。もちろんこの値は呼吸というものを考慮していない点と, 実験室的な研究から割り出している点, また現場では生物は生活能力をふるに発揮することはない点, 更に野外では温度や水条件等様々な環境変動にさらされている点を考えるならば, 実際の処理能力はこれらの値よりは大幅に低下することはいうまでもない。しかし第12図の値をかなり割り引いたとしても, 海・陸境界のもつ環境浄化能力は極めて高いことが容易に納得できるであろう。実際にすでに知られているように, 干潟に堆積される有機無機汚染物質の量は莫大な量にのぼっているにもかかわらず, 干潟が機能をつづけているのは, これらの場所における生物の処理能力がいかに大きいを示している。

6. 渡り鳥の浄化能力

干潟の環境浄化能力を評価する場合, ゴカイのような底生動物を餌とする渡り鳥の存在を強調しておく必要がある。渡り鳥は, ごく一般的には1日に体重の40%を呼吸として捨て, 体重の10%を糞として排泄することが知られている¹⁴⁾¹⁵⁾。したがって体重100gの鳥が体重を維持するためには, 呼吸と糞で捨てた50gに相当するゴカイをたべな

海・陸境界面の生態学的諸問題



第13図 シギ類の下水汚泥の処理能力

なければならない。一方ゴカイが50g生産されるためには、生産量とほぼ同等の有機物を呼吸として捨てると仮定するならば、100gの有機物を同化することになり、第2表より116gの糞をすることになる。したがって多毛類が50gの体重を生産するためには糞量116gと同化量100gを加えた値、つまり216gの食物を要求することになる。ゴカイの食物を汚泥に求めるならば、216gの汚泥は9人の人間が1日に下水処理より排出された量と同等になるという勘定が成り立つ(第13図)。

ここで問題になるのは、糞や鳥やゴカイの体は有機物のかたまりであるから、もし浄化を系より消滅した有機物の量で測るならば、鳥の呼吸量40gと多毛類の呼吸量50gの和、90gこそ真の処理量というべきであろう。したがって鳥100gは3.8人分の排出量に当る90gの汚泥を処理したことになる。しかし現実には、シギのような渡り鳥は平均して300gの体重をもち、蒲生干潟を例にとれば、平均して1,000羽以上が飛来してくる。とするとシギ類の群によって処理される汚泥量は27kgで、これは実は10,000人分に当るのである。

この計算もまた個体としての物質収支のデータを基礎にしたものであり、現場では日により年により飛来数は異なるし、6月から9月にかけてはシベリアやアラスカにとんでいってしまう。しかし、ここに示した値は鳥のもつ環境浄化機能が極めて高いものであることを示すのに充分であろう。

7. 人間介入の問題点

7-1. 岩礁の場合

海・陸境界は、生物の生産力と環境の浄化力において卓越していることは、今までに述べてきた

第5表 岩礁と防波堤における底泥の生物と環境

	岩 礁	防 波 堤
底質の平均粒度組成	0.25~0.5 mm	0.063~0.125 mm
底質の Eh	+200~+300 mV	-10~+50 mV
底質の有機物懸濁物質	7~9%	15%
ムラサキイガイの生物量	総数 1573/10 cm幅 総重量 3.56 kg/10 cm幅	総数 747/10 cm幅 総重量 0.65 kg/10 cm幅
主要ベントス	クシノハクモヒトデ <i>Lumbrineris longifolia</i> (多毛類) ヨコエビ類	<i>Capitella capitata</i>
	294.1 g/m	138.4 g/m

ことから明らかであるが、すでに述べたように、このような場所は様々な人間の欲望の対象となり、人間の介入を最も受け易い生態系の一つである。

つぎに人工構造物が生態系のもつ環境機能を大きく変革している例として、青森県陸奥湾における岩礁と防波堤における調査結果を示してみよう。第5表は同じ湾内で比較的接近して位置している自然の岩礁と防波堤における環境と生物について、ほぼ同時期に測定した結果である¹⁶⁾。まづ目につくことは、ムラサキイガイの現存量に大きなちがいがみとめられる。すなわち岩礁では防波堤にくらべて総数において約2倍、総重量において約5倍にまで増加している。その他の底生生物においても岩礁の現存量は防波堤のその2倍以上に達し、かつ種類数も多い。この場合注目すべきは汚染指標として知られている *Capitella capitata* が防波堤の泥中で優占種となっていることである。

環境においても防波堤は岩礁にくらべていちじるしく悪化していることは、底泥のシルト、粘土質の割合が高くなっていること、酸化還元電位が低下していること、有機物量が高いこと水界の懸濁物量が多いことから分かる。これは波浪のちがいによることは充分に考えられるが、岩礁のもつ複雑多様な形状と表面の微細構造のちがいにも由来するものと思われる。つまり岩礁の形状によ

る乱流によって、例えばムラサキガイの糞、擬糞のような堆積物が巻き上げられ、ムラサキガイによって再利用されるということも考えられるであろう。また岩礁表面の凹凸のある構造は、あるいはムラサキガイやその他の付着生物にとって好適な環境条件になっているかもしれない。岩石が底面にはり出し、かつ転石地帯になっていることが海藻の繁茂を支え、海藻食者や肉食動物の生存環境になっていることも考えられる。

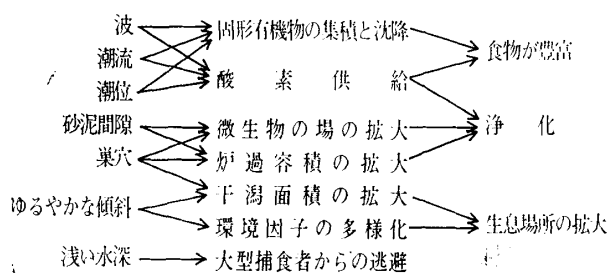
この事例は防波堤を設計する場合、波をしづめるという目的の外に、生物生産と環境浄化をも意図しようとするならば、生物群集の生存条件の解析がその材質や形状を決める一つの指針になりうることを示す。

7-2. 環境サイドからみた干潟

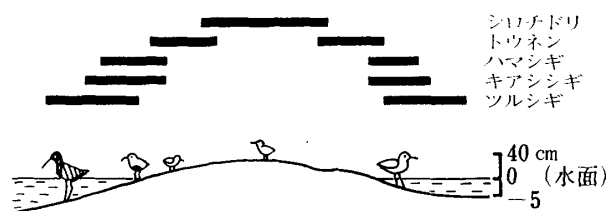
陸と海の接点を、主として生態学の立場から眺めると、この場所の環境機能を支える要因は甚だ精妙にして複雑にからみ合っていることが分る。このことは干潟において極めて明瞭にあらわれている(第14図)。

干潟が砂泥質のなだらかなスロープをもち、おだやかな水界に発達し、河川水を受け入れながら潮流と潮汐にさらされていることは、海だけでなく陸上由来の固形有機物の集積と沈降をもたらし、不断に酸素が供給され、生物特にデトリタス食者の絶妙の生息場所となる。

ゆるやかなスロープは、それだけ干潟の面積を拡大させることになり生物の生息場所をひろげることになる。またスロープは環境勾配をつくり出して環境を多様化させ生物種類の増加をもたらす。また水鳥にとっては干出部位の形状は絶好の足場となる(第15図)。



第14図 海・陸境界の環境機能を支える要因



第15図 干潟におけるシギ、チドリの分布模式図¹⁷⁾

砂質からできていることは、砂中間隙という微生物にとっての生活の場を提供することになる。このことはまた潮汐リズムによる海水の浸入と流去という汙過容積の拡大をみちびく。

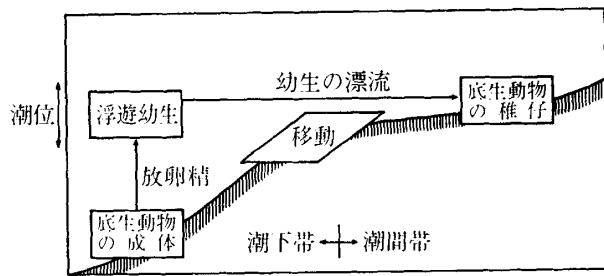
かくして干潟は酸素と有機物の供給量が多く、このために微生物の量と活性が増大し、かつ汉過容積も大きいために、すぐれた浄化能力を発揮することになる。微生物量が多くなればデトリタス食者である底生動物の量も増加する。しかも泥質であるために可塑性に富み、このことは底生動物の巣穴形成を容易にさせる。巣穴が多数形成されると、干潟の表面積だけでなく汉過容積は拡大する。更に干潟が浅い水深であることは、稚魚や小型の底生動物にとって大型捕食者からの逃避場所ともなる。

7-3. 生物サイドから見た干潟

干潟を生物サイドからみると、生物はこのような干潟環境に適応している。一般に干潟の生物は第16図にみるように、彼等の一生を干潟という場で完結させてはいない。産卵期には海底や海中に移動して産卵し、幼生はプランクトンとして海中を浮遊し、仔虫に変態し、干潟に定着するという生活史をもつものが多い。

二・三の具体例を示す。アシハラガニはその名が示すようにヨシ原に巣穴をつくって生息するが、成体は夏になるとヨシ原から隣接するラグーンに分散し、秋に再びヨシ原に戻って巣穴を掘って越冬する(関本・栗原未発表)。一方プランクトン性の幼生であるゾエアは海洋に移動し、晩夏にメガローパとなってラグーンに戻りヨシ原の岸部に定着して稚ガニになる。このようなアシハラガニの生活史を考えるならば、もしヨシ原に護岸工事を施すことによって河川やラグーンと遮断する

海・陸境界面の生態学的諸問題



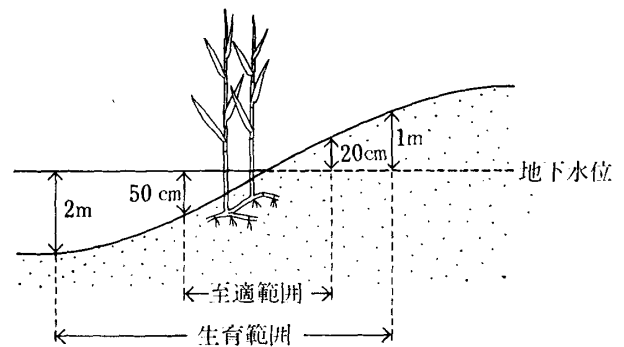
第16図 河口・沿岸域におけるある種のカニ、エビ、魚の生活様式²⁾ (REISE, 1985 より改変)

と、稚ガニはヨシ原に定着できなくなり、成体もまた晩夏にヨシ原に帰ることはできなくなって、彼等を死に追いやることは十分に考えられる。またヨシは、第17図に示すように一定の地下水位と水深を要求するために、もしヨシ原を存続させようとするならば、護岸壁の建設に当っては土壌水系の保存に対して適切な考慮をはらわなければならない。

ケフサイソガニは石などの間隙に生息するカニで、大きな個体は大きな間隙に、小さな個体は小さな間隙に、それぞれサイズに合わせて間隙を選ぶ。メガローパは海水の上層部を移動して表層に近い石のくぼみを選んで定着し、脱皮して稚ガニとなる¹⁹⁾。従ってコンクリート壁護岸は彼等の生息空間や定着場所をうばうことになり、絶滅に導くだろう。

ゴカイは産卵期には海やラグーンに移動して放卵受精し、トロコフォラの時期には海にただよって分散し、メタトロコフォラの時に干潟底泥に定着するとされているが、外界から隔離した砂泥質の場でも一生を完結できることが分ってきた⁸⁾。したがって護岸工事や防波堤で海から隔離された砂浜でも、もし海水の通過を許すように通水孔をつくり、かつ都市下水のような有機物を供給するならば、ゴカイは充分一生を完結でき、かつ世代をくり返すことが可能である。また適切に設計された通水孔によって地下水位を確保するならば、ヨシ原も繁茂するであろう。このような場所はゴカイの生息域となるから、ゴカイを捕食するシギ・チドリ類も渡来することが期待される。

かくして陸と海の接点に対しては、生物群集と



第17図 ヨシの生活条件¹⁸⁾ (HASLAM, 1970 より作図)

環境の織りなす精妙なからくりを知ることによって、より合理的な人間介入のあり方を考えることができる。“土と水の論理”は“生物の論理”よりは単純でかつ設計、計画が可能である。しかし、もし“土と水”を生命の論理の中でとらえようとするならば、その設計や計画の内容は、時には既往のそれとは全く異ったものになることが予想される。

海・陸境界は、非定常かつソフトで複雑多様であるために、最も解明しにくい環境の一つとされている。そしてそのような環境なるがために、この場所が生命の宝庫となり、人間にとって有用な様々な環境機能を内包しているのである。しかも皮肉なことには、この場所程人間の欲望が集中し、人間によって変革され易い場所も少い。人間の知恵のある対応のために、今後やらなければならない研究を、多くの志のある人達で考え発展させることを願って筆をおく。

参 考 文 献

- 1) ODUM, E.P. (1971): Fundamentals of Ecology, 3rd ed. 357, W.B. Saunders, Philadelphia.
- 2) REISE, K. (1985): Tidal Flat Ecology. Springer-Verlag, Berlin.
- 3) HJULSTRÖM, F. (1939): Transportation of detritus by Moving water. Recent Marine Sediment (ed TRASK), 5-31.
- 4) SAYAMA, M. and Y. KURIHARA (1983): Relationship between Burrowing Activity of the Polychaetous Annelid *Neanthes japonica* (IZUKA) and Nitrification-Denitrification Processes in the Sediments. J. Exp. Mar. Mar. Biol. Ecol., 72, 233-241.

栗 原

康

- 5) 左山幹雄・栗原 康 (1984): 河口域の有機物分解の特性について. 微生物の生態 12. (微生物生態研究会編), 111-130. 学会出版センター.
- 6) TSUCHIYA, M. and Y. KURIHARA (1979): The Feeding Habits and Food Sources of the Deposit-Feeding Polychaete, *Neanthes japonica* (IZUKA). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **36**, 79-89.
- 7) INAMORI, Y. and Y. KURIHARA (1979): Analysis of the Environmental Factors affecting the Life of the Brackish Polychaete, *Neanthes japonica* (IZUKA). I. The Effects of the Environmental Factors on Survival and Growth. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi, Tohoku Univ., **16**, 87-100.
- 8) KURIHARA, Y. (1983): Study of Domestic Sewage Waste Treatment by the Polychaetes, *Neanthes japonica* and *Perinereis nuntia* var. *vallata*, on an Artificial Tidal Flat. Int. Revue ges. Hydrobiol., **68**, 649-670.
- 9) 坂本市太郎 (1975): 養浜工計画基礎調査報告書 (I) 運輸省第五港湾建設局.
- 10) 坂本市太郎 (1976): 養浜工計画基礎調査報告書 (II) 運輸省第五港湾建設局.
- 11) 大平智教, 平田勇夫, 坂本市太郎 (1979): 構成素材の差による海浜呼吸機能の立地特性. 1979 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 142-143.
- 12) WATHUGALA, A.G., T. SUZUKI, and Y. KURIHARA (1985): Studies on the Removal of phosphorus from the Waste Water using Sand Filtration Pot Systems with *Phragmites australis*, *Zizania latifolia* and *Typha latifolia*. Proceedings of the International Conference on Management Strategies for Phosphorus in the Environment, Lisbon. (Ed. by J. N. LESTER and P. W. W. KIRK), 332-335. Selper Ltd., London.
- 13) TSUCHIYA, M. (1980): Biodeposit Production by the Mussel *Mytilus edulis* L. on Rocky Shores. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **47**, 203-222.
- 14) PIENKOWSKI, M.W., P.N. FERNS, N.C. DAVIDSON, and D.H. WORRALL (1984): Balancing the Budget: Measuring the Energy Intak and Requirements of Shore birds in the Field. Coastal Waders and Wildfowl in Winter. 29-56. Cambridge University Press., London.
- 15) GOSS-CUSTARD, J.D. (1979): The Energetics of Foraging by Redshank, *Tringa totanus*. Shorebirds in Marine Environments. (Ed. by F.A. PITELKA), 247-258. Pub. Cooper Drn. Soc., Kansas.
- 16) TSUCHIYA, M. (1979): Quantitative Survey of Intertidal Organisms on Rocky Shores in Mutsu Bay, with Special Reference to the Influence

of Wave Action. Bull. Mar. Biol. St. Asamushi, Tohoku Univ., **16**, 69-86.

- 17) 花輪伸一, 武石全慈, 加藤文子, 竹丸勝朗, 小山均, 小笠原コウ (1973): 蒲生干潟におけるシギ・チドリ類の分布状態. 蔵王山・蒲生干潟の環境破壊による生物群集の動態に関する研究 II. (吉岡邦二編), 153-161.
- 18) HASLAM, S.M. (1970): The Performance of *Phragmites communis* Trin. in Relation to water-supply. Ann. Bot. **34**, 867-877.
- 19) 岡本一利, 栗原 康 (1986): ケフサイソガニの間隙選好性について. 日本生態学会第 33 回大会講演要旨集.

質 疑 応 答

問: デトライトスを中心とした沿岸域の重要性を説明していただけたけれど, 沿岸としてはデトライトスの堆積する場所よりは浄化機能の大きいと思われる砂浜域が多い方が重要であり, その重要性の指摘を進めるのにはどうすればよいでしょうか. (京大農, 坂本 亘)

答: 砂浜の呼吸による P, N, C の無機化および干潟における高い微生物活性, 底生動物による粒状有機物の捕食と水鳥への転換さらには巣穴形成による N の酸化と還元を増大などを指摘することができる.

問: 自然の岩礁海岸と人工的な岩壁海岸が, 海水中の溶存性および粒状性物質の差をもたらす要因として, 乱流のおき方の違いを挙げられたが, 海底面の海水に対する接触表面積の多寡も考えなければならないのではないのでしょうか.

(京大農, 川合英夫)

答: そのとうりである.

問: 堤防海岸と岩礁海岸の生態系の違いが碎波に起因しているならテトラポッド海岸の生態系はどうなっているのか. (愛媛大工, 柳 哲雄)

答: テトラポッド海岸は岩礁海岸をシミュレートできれば差はないが, この場合にはテトラポッドの形状や配列および材質が問題となるであろう.