

海岸域における生物浄化機能と環境

——干潟をめぐって——

栗 原 康

1. はじめに

干潟は潮汐作用によって冠水と露出のサイクルをくり返す砂泥質の地帯をいう。このような干潟はしばしば河口部に形成されるもので、干潟をとりかこむ潟（ラグーン）は汽水域を形成する。干潟は港湾、臨海工業基地の対象になりやすく、埋め立てや建造物の設置など人間活動の影響を受けやすい。又、このような場所は特有の生物が豊富に生息しており、このことは干潟が渡り鳥や水鳥の採餌場として、釣り、潮干狩りなどのレジャーの場として、水産資源の増養殖の場として、人間生活と深いかかわり合いをもっていることから分かる。

このように干潟は環境機能の他に生産機能、治水機能を有し、とくに環境機能は環境浄化空間、生物生息空間、レクリエーション空間、景観構成空間を形成し、それは図-1のような垂直構造をもつものと考えられる。この図から明らかなように、干潟は満潮線と干潮線との間に位置を有するがゆえに、上にのべた機能の全てを持っていると考えることができる。干潟が環境、生産、治水、アメニティーにかかわる諸問題を内包しているのは、このような場の特性に由来するものである。ここに干潟研究の重要性が存在する。

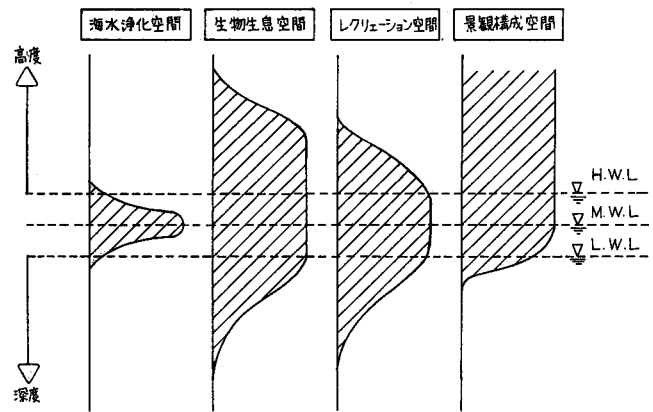


図-1 干潟の機能空間の分布構造

2. 渡り鳥と干潟

干潟はすでにのべたように、水鳥の楽園であって、とくにシギ、チドリのような渡り鳥の採餌休息の場である。蒲生干潟（図-2）も日本における有数のシギ、チドリの渡来地として知られている。干潟が何故渡り鳥の楽園になるかという、それは干潟が海に接して

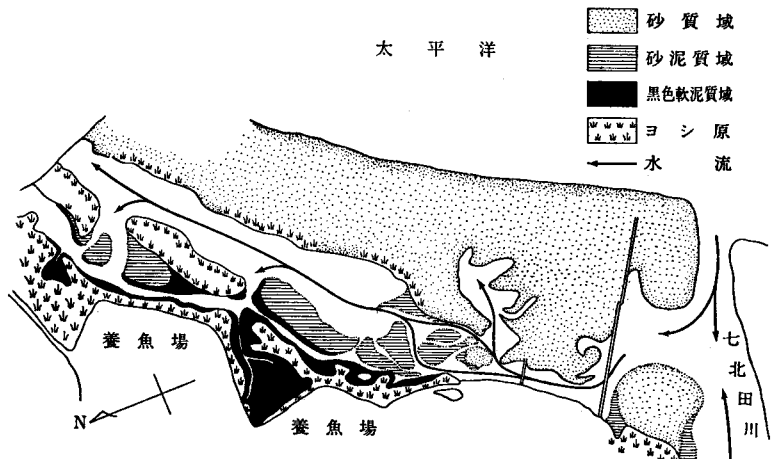


図-2 蒲生干潟の概況

いる広大な空間であることのはかに、干潟特有の底生動物がシギ、チドリの餌となっていることと、干潟自身の地形がシギ、チドリの採餌休息の場に適しているからである。

図-3は1970年から73年に至るシギ、チドリの年次および季節消長を示したものであるが、これらの鳥類が干潟のどの部位に集まるかを、鳥の種ごとに示したのが図-4で、図-5は図-4を合計したものである。

一方、底生動物の分布をしらべてみると、図-6に示すように貝類型、多毛類型、双翅目幼虫型、甲かく類-多毛類型、貝類-多毛類型の5つの群集の型を識別でき、干潟に特徴的な分布帯をつくっている。

いま、この図を図-5とつき合わせてみると、鳥がつきやすい場所は多毛類を優占種とする場であることがわかる。実際に我々の観察によれば、ゴカイが採餌されているシーンをしばしば認めることができた。

図-7の模式図は、干潟におけるシギ、チドリの分布形式である。各種類は、足の長さとおはしの長さに応じて少しずつ採餌の場所を棲みわけている

ことがわかる。すなわち、シロチドリのような口ばしと足の短いものは、露出度のはげしい干潟の中央部に、ツルシギのように足と口

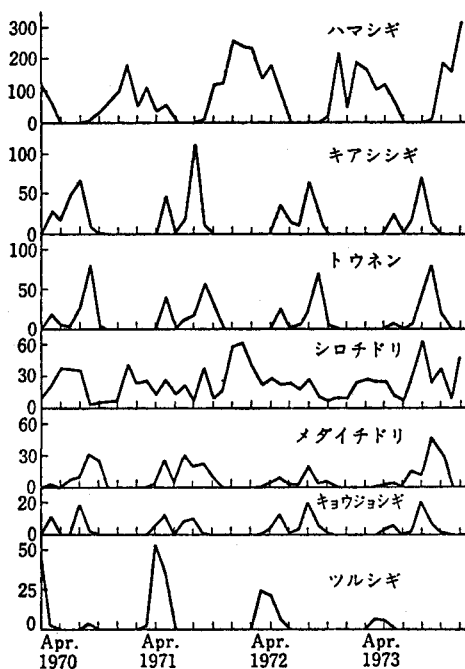


図-3 主なシギ、チドリ類の年次および季節的消長

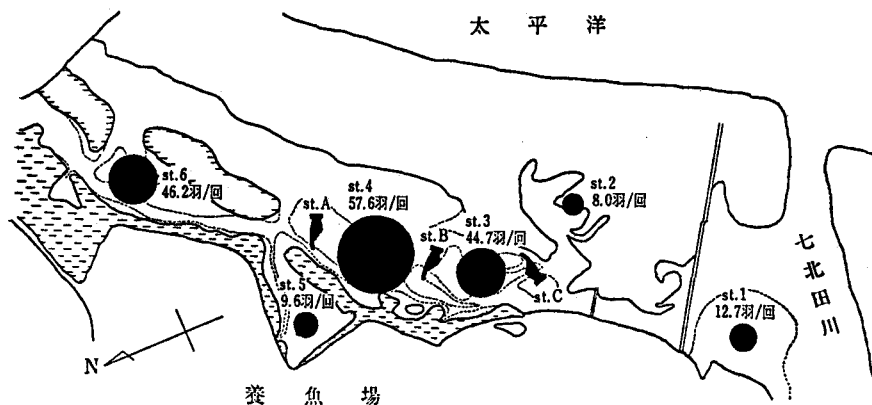


図-5 蒲生干潟における鳥類の飛来状況

ばしの長いものは冠水度の強い干潟の周縁に良くみとめることができる。このことは、鳥の形態と生息場所との対応を示すものとして興味深い。

干潟を鳥の飛来地という点からながめるならば、彼らの餌である底生動物はいかなる干潟土壌と水環境によってささえられているのか、また鳥が休息採餌するのに好適な干潟は底生生物や土壌や水環境とどのような関係をもっているかという点が重要な問題となる。

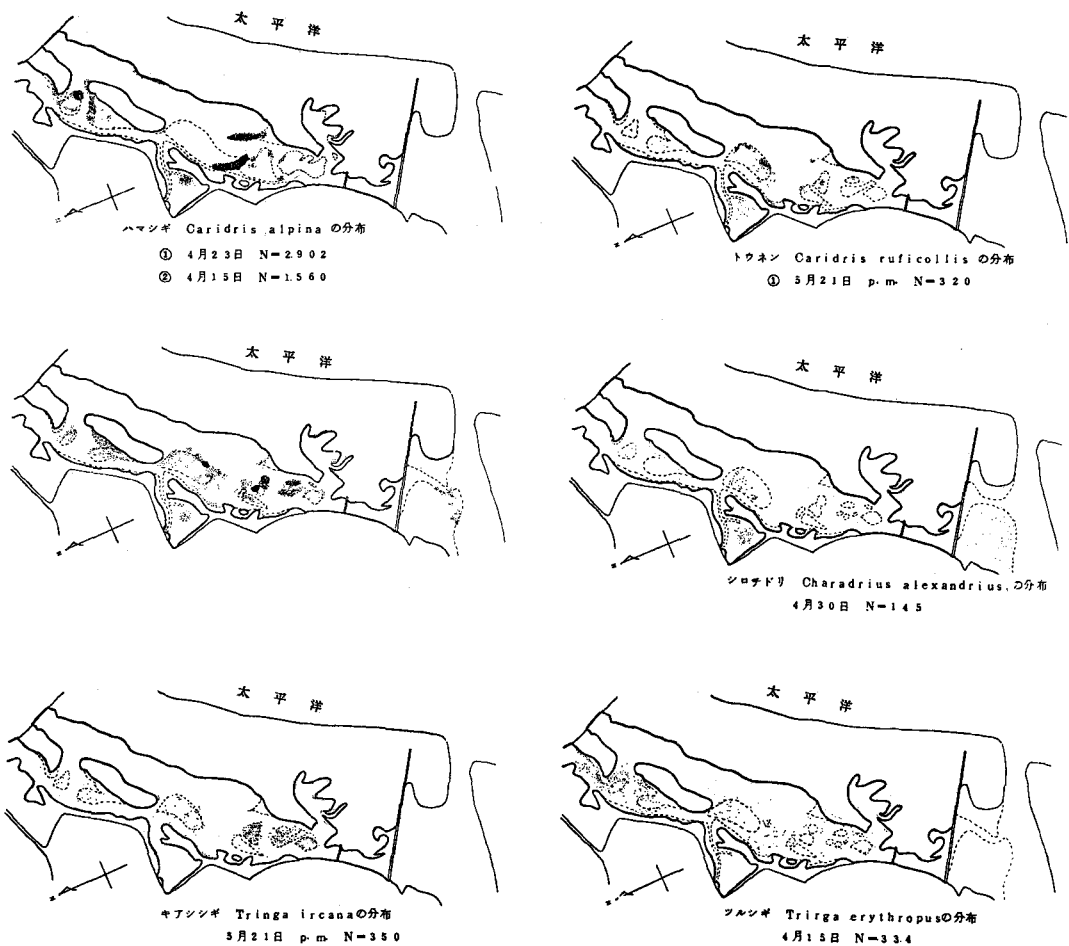


図-4 蒲生干潟におけるシギ、チドリ類の分布

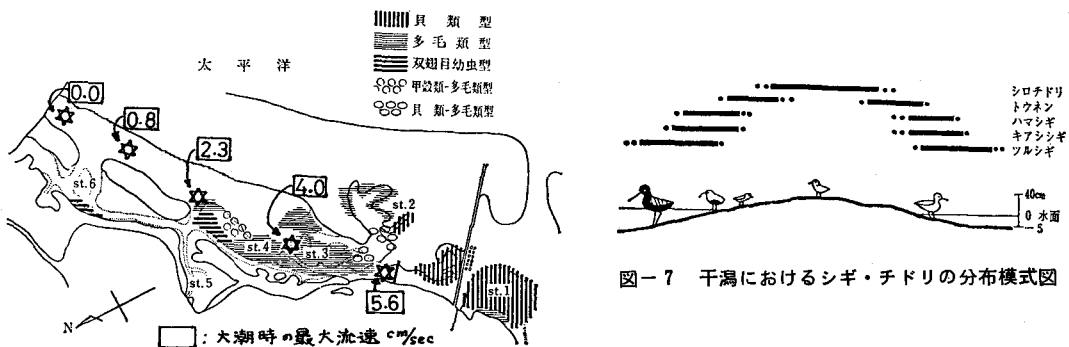


図-7 干潟におけるシギ・チドリの分布模式図

図-6 底生動物の分布型

3. 干潟の底生動物

以上から、望ましい干潟の条件は、シギ、チドリのような渡り鳥が採餌できるような地形の干潟であることと、干潟に彼らの餌としての底生動物が豊富に生息できることの2点に要約して考えることができる。

この場合、底生動物が豊富に生育するためには、その餌である有機物が堆積しやすく、かつ微小そう類が生育しやすいことが必要であり、しかも、酸素が十分に供給されなければならない。干潟地形が、干満によって露出と水没をくり返すことは、堆積物が表層に堆積しやすく、藻類が繁殖しやすく、酸素が、供給されやすいという点において、底生動物の生育条件を満たしているといえる。この関係を図-8のようにあらわすことができる。

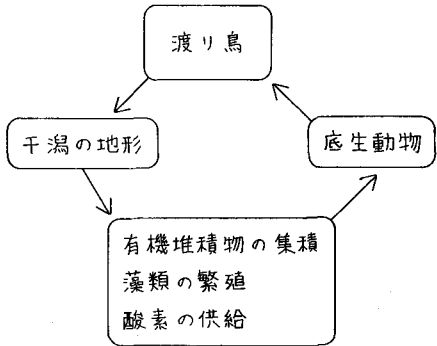


図-8 干潟生態系の要素関連

干潟底生動物としては、貝類、多毛類、双翅目の幼虫、甲殻類がそれぞれ優占的に生息していることは既に述べたが、これらの底生動物のうちで、ゴカイが、鳥によってしばしば食べられていることから、鳥のつきやすい干潟は、ゴカイの優占する干潟であるということも既に述べた。

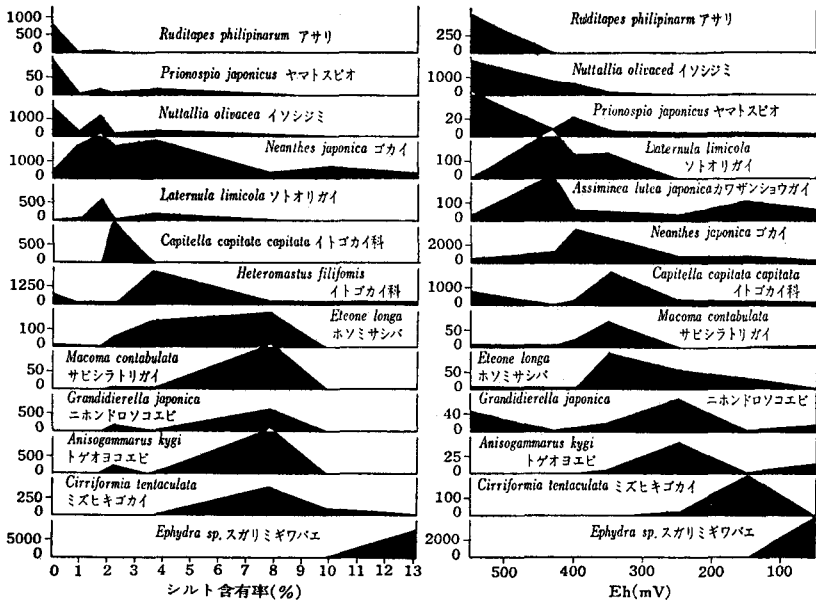


図-9 環境勾配と底生動物の分布(左:粒度組成, 右: Eh)

したがって、ここでいう望ましい干潟とはゴカイが生育しやすい干潟ということになる。

それでは、ゴカイが生育する干潟条件とは何であろうか。次にこの問題について考えてみよう。図-9は、干潟底土のシルト・クレイ含有率及びEhと底生動物の分布を示したものであるが、問題とするゴカイの生息環境は幅広いシルト・クレイ含有率およびEhを持っている。図-10は、底土の全C、Eh、シルト・クレイ含有率それぞれの間における相関関係を示したものであるが、いずれも高い相関を示している。したがって、ゴカイはかなり多量の有機物を含む干潟にまで生育できる。つまり、この生物は有機物汚染に対する耐性の高い種といえる。図-11は、潮位と底生動物の分布を示したものであるが、ゴカイは、やや深い水深にまで生息しうることを示しており、このことも、ゴカイがかなり幅広い耐性を有する種であることを示すものである。

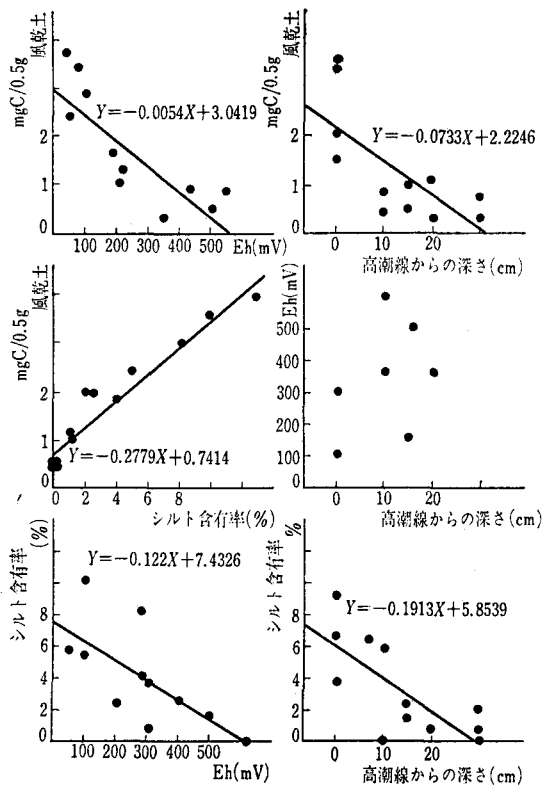


図-10 粒度組成, Eh, 深さ, 全C間の相関関係

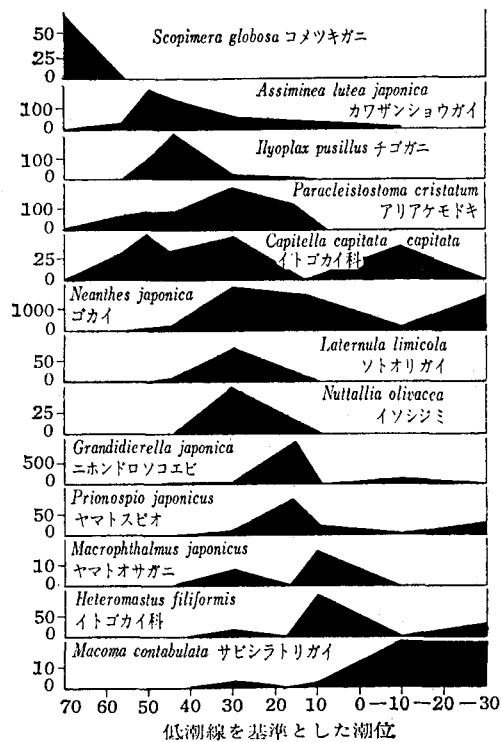
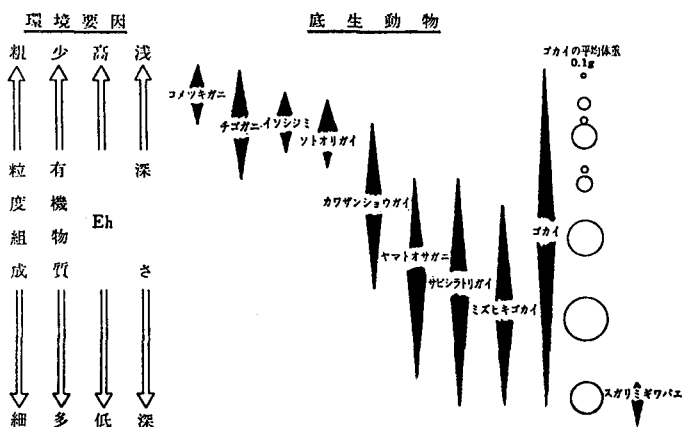


図-11 潮位と底生動物の分布

以上, 図-9, 10, 11
をまとめたのが図-12で,
干潟底生動物はコメツキガ
ニからスガリミギワバエへ
の系列が環境因子の勾配と
みごとに対応していること
がわかる。この場合, 注目
すべきことは, ゴカイが環
境勾配のかなりの幅にわた
って生息しており, その平
均体重をみると, 有機物が
高く, 粒度が細かく, Ehが
低い方がやや好適な環境と
みなされることである。



(スガリミギワバエは粒度組成・有機物量・Ehとの関係のみ)

図-12 環境勾配と底生動物の分布の模式図

4. ゴカイの制限因子について

ゴカイの制限因子が底土特性に由来するのか水環境に由来するのかを決定するために, 図-13に示す
多孔円筒に黒色軟泥土(全C 33.4 mg/g, Eh -140 mV)と砂丘砂(全C 0.3 mg/g)を1:10対0;

Ⅱ：7対3；Ⅲ：3対7；Ⅳ：0対10の割合に混合した4種類の砂土を充填し、流速の異なる3地点、すなわちA（平均流速1.5-1.0 cm/sec）、B（4-6 cm/sec）、C（6-12 cm/sec）にそれぞれ半年間設置し、その中でてくるゴカイの現存量を図-14に示した。

いずれのカラムもゴカイが優占して出現した。図から分るように流速のおそいA地点に設置したものは底土組成如何を問わず、ゴカイの現存量は極めて少なく、流速の早いB、C地点にはゴカイが多発した。この場合、用いた円筒の底板には穴があいており、干潮時には円筒内の水塊はその穴を通して、透水流出する。そこで、透水速度とゴカイの現存量との関係をしらべてみると、ゴカイの数は透水速度1 cm/sec以下では極端に減少し、この透水速度ではEhは60 mV以下まで低下する（図-15）。また、透水速度1.5 cm/secにゴカイ個体数のピークがみとめられ、それ以上速くなるとかえって減少する。しかし、Ehは透水速度が1.5 cm/secでは300 mVに飽和する。

以上の事実よりゴカイの生息環境が土性よりも水環境に大きく支配されていると考えられるが、このことは水環境によって土性自身が大きく変えられ、その結果としてゴカイが生長したのと考えられる。またここで興味あることは、透水速度に最適値が存在することという事実であった。

更に、光の入射をできるだけ断じた円筒と光の入射する透明の円筒に同一底土を入れて実験した結果によると、藻類の繁茂がEhの上昇を通じて、かつそれ自身が餌となってゴカイを多発させることがみとめられた。以上の事実から、透水による酸素供給、藻類の影響による溶存酸素の増大がゴカイの生育にとって必要であるが、この場合透水がよすぎると藻類の繁殖が抑えられ、有機堆積物が流去するためゴカイの生息環境としては不適となる。したがって、適正な有機物汚染と水の流動がゴカイにとって望ましい条件と考えられる。

蒲生干潟域の流速は図-6に示される。この図によれば、流速が極めて遅い干潟奥部ではゴカイを欠き、流速が2.3-4.0 cm/secでゴカイが多数みとめられ、5.6 cm/secで減少する。干潟奥部の底土には多量の有機物が含まれているから、ゴカイにとっての望ましい環境は図-16に示す模式図として表わすことができる。すなわち、望ましき干潟は流量の制御によって成立することを示す。

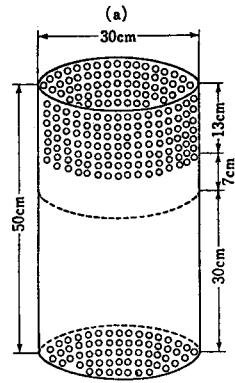
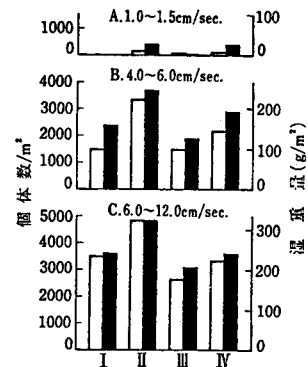
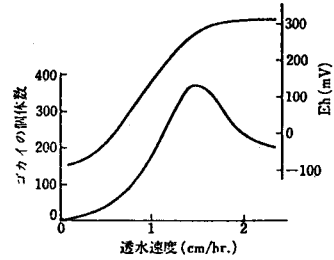


図-13 現場実験に用いた多孔円筒カラム



I～Ⅳ、A、B、Cは本文参照

図-14 底土組成と流速とゴカイの現存量



(上のカーブはEhを、下のカーブはゴカイの個体数を表わす)

図-15 透水速度とEh・ゴカイの個体数との関係

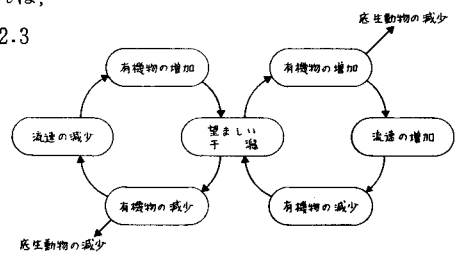


図-16

5. 干潟における塩分の動きについて

5-1 塩分の潮時変化

次に蒲生干潟における塩分の概況についてふれる。図-17は上げ潮時における水塊の移動の方向と塩素量の観測地点を示したものである。すなわち、七北田川の河川水と海水は導流堤のヒューム管を通じて潟内に浸入し、st.1から順にst.7に向けて

進行し、下げ潮時には逆の方向に退行して七北田川から海へ流出する。

蒲生潟の塩分の潮時変化についてしらべるために、st.1からst.7において、3時間おきに採水し塩分量をしらべた。下げ潮時では、すでに述べたように、st.7からst.1に向かって水の動きがあるが、塩分はst.1からst.7まではほぼ一様である（図-18）。しかし、上げ潮時には、st.1からst.7に向って水の動きがあり、st.1, 2, 4, 5ではほぼ同じ塩分を示すが、st.3ではやや低い値を示し、st.6, 7ではきわだって低い。このことはst.3やst.6, 7では上げ潮時における海水との交換が悪いことを示している。すなわち、潮位と水塊の動きは図-19のように模式的に示すことができる。

このように、同一潟内で海水交換の良し悪しができるのであるが、これは図-20に示す水深分布から説明することができる。即ち、st.6, 7では水深が深く、st.3ではやや深くなっており、かつこれが潮の流れのボトムに位置している。こ

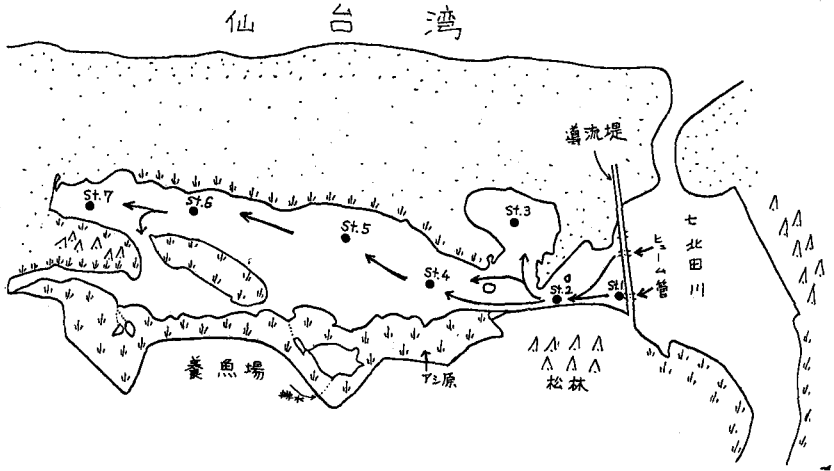


図-17 蒲生潟の概観と塩素量の観測地点(st.1~st.7)

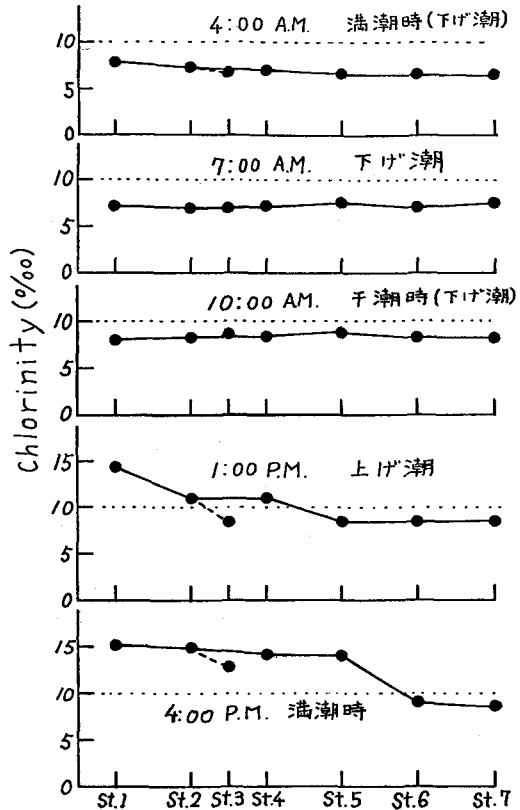


図-18 蒲生潟の塩素量の潮時変化

のような地形が、海水交換の Heterogeneity をつくり出している。

5-2 塩分の経日変化

次に塩分の経日変化について検討してみる。図-21は潟奥部における塩分の経日変化と河川流量の関係を示したものである。図より明らかなように、降雨にともなう河川流量の増大によって、塩分の急激な減少がみとめられる。この場合注目すべきことは、塩分がもとに復帰するまでにかなりの日数を要することで、明らかに海水交換が悪いことを示す。すなわち、海水の侵入から隔離されている。

以上から蒲生潟は水交換の悪いCと交換のやや悪いAと極めて交換の良いBの三地区に分けることができる(図-22)。このような海水交換にともなう底質の分布を示したものが図-23で、C地区ではシルト・クレイ含有率が30%と多く、B地区ではシルト・クレイ含有率が0から10%になっている。そしてこの場所こそ、ゴカイの生息場所であり、鳥の探餌休息はここを主たる舞台として行なわれていた。

一方C地区は底生動物を欠損することは前に述べたが、それではどのような生物によって特徴づけられているかという点、図-24にみられるように、プランクトンとくにケイ藻(Nitzschia)が優占的に

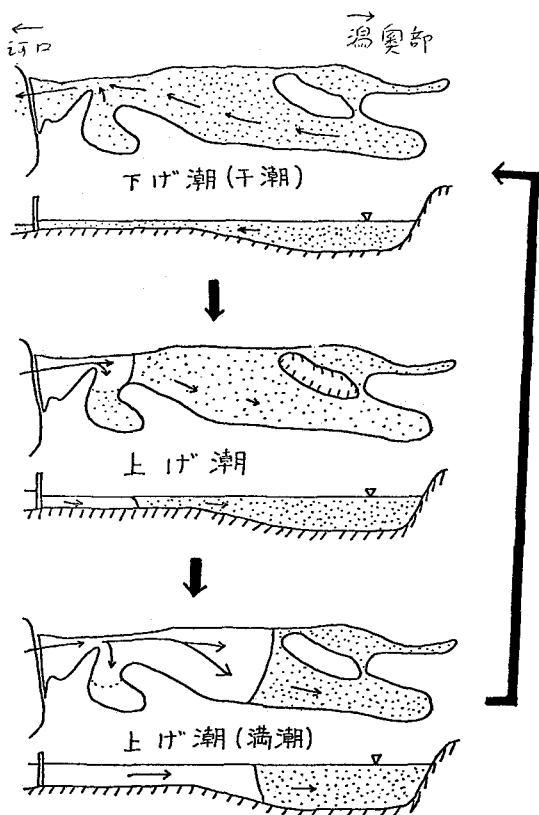


図-19 蒲生潟の潮位と水塊の動きの上面図(上)と側面図(下)

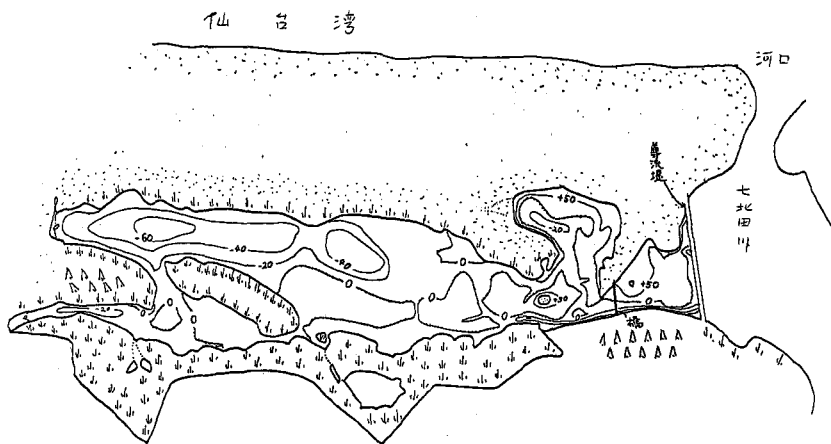


図-20 蒲生潟の水深分布 (cm)

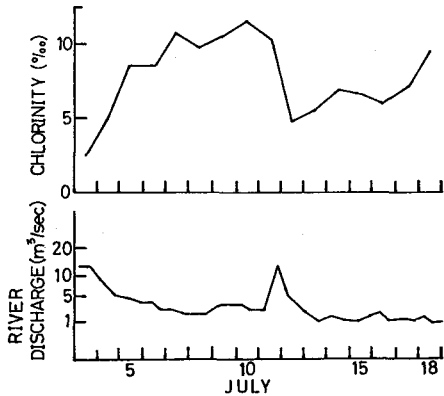


図-21 潟奥部の塩素量の経日変化と河川流量

出現する。このようにプランクトンによって特徴づけられていることは、この場所の海水交換が悪いことを裏づけている。何故ならば、海水交換がよいと、水体の塩分変動がはげしくなって、プランクトンは流去し、定着しにくくなる。かくして、海水交換の良いB地区は底生動物によって、交換の悪いC地区はプランクトンによって特徴づけられる。

6. 干潟制御の問題点

以上から、もし干潟を改善しようとするならば、C地区の底質は有機物過多によって、底生動物を駆逐する方向に動くから、底質の有機物を流去するように、干潟を変革制御することが望ましいと考えられる。つぎにこのような干潟制御にともなう問題点を考えてみることにしよう。

6-1 河口部の塩分変動

この問題を考える時に、七北田川とくに河口部における塩分濃度の変動について考察しなければならない。図-25は干潮時および満潮時における河口近くの塩分分布を示したものであるが、下げ潮時には、表層の塩分が低く明らかに河川水の影響が顕著で底部へ向う

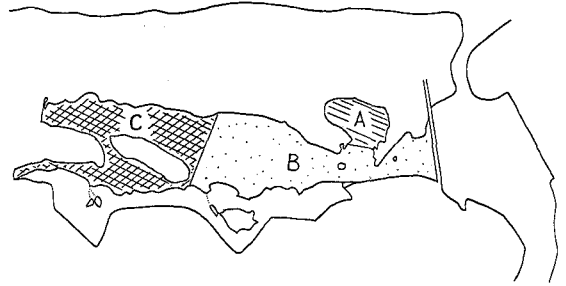


図-22 塩分交換と地形による蒲生潟の分割

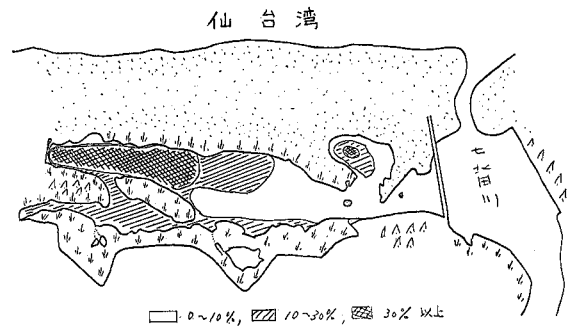


図-23 底質のシルト・クレイ含有率

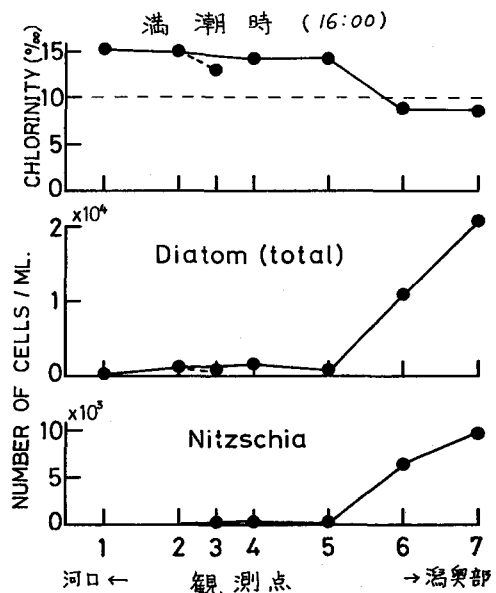


図-24 蒲生潟におけるプランクトンの分布

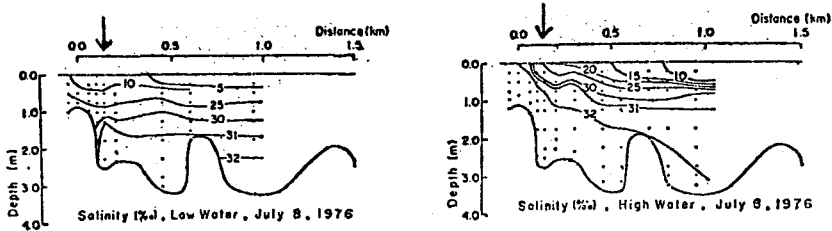
につれて徐々に塩水化し、いわゆる成層構造をもっている。上げ潮時には、河口近くでは表層まで海水におきかわっており、

たとえば干潟への分岐点の部位では表層でも25‰という高い塩分濃度を示した。

次に、分岐点より350 m 上流の定点の塩分および流速の経時変化を図-26にしめた。この図における塩分の垂直構造から、

先に述べた塩分構造を明瞭によりみとることができる。すなわち、下げ潮時には表層より下層に向かって成層がみとめられるが、上げ潮時には時間の経過とともに表層まで塩分濃度が高くなる。この場合における流速を図でみると、上げ潮時には、流速は全層にわたって海から陸の方向へ流れており、下げ潮に逆流する。すなわち、このことは河川水の流下が上げ潮時には完全に阻止されており、表層まで海水におきかわった水が干潟に入ってくることを示す。

図-27は蒲生潟、河口部、海の潮位変化を示しているが、海と河口、干潟にそれぞれ時間おくれがあるのが認められる。河口部では海より約3時間おくらせて上げ潮が始まり、約28‰の塩分海水が遡上する。干潟では更に3時間おくらせて上げ潮が始まり、流入水の塩分は遡上海水の塩分と等しく、海水がそのまま河口部を通



矢印は干潟への分岐点

図-25 干潮時 (Low Water) および満潮時 (High Water) の河口近くの塩分分布

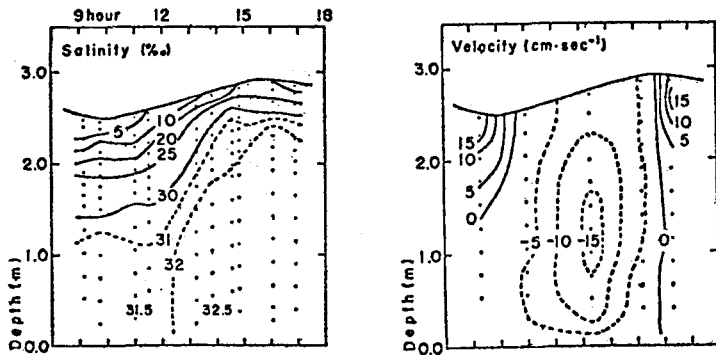


図-26 河口より0.35 km 上流の定点での、塩分と流速の経時変化。流速は海の方へ流れる時が+で、上流への流れは-で表わした。

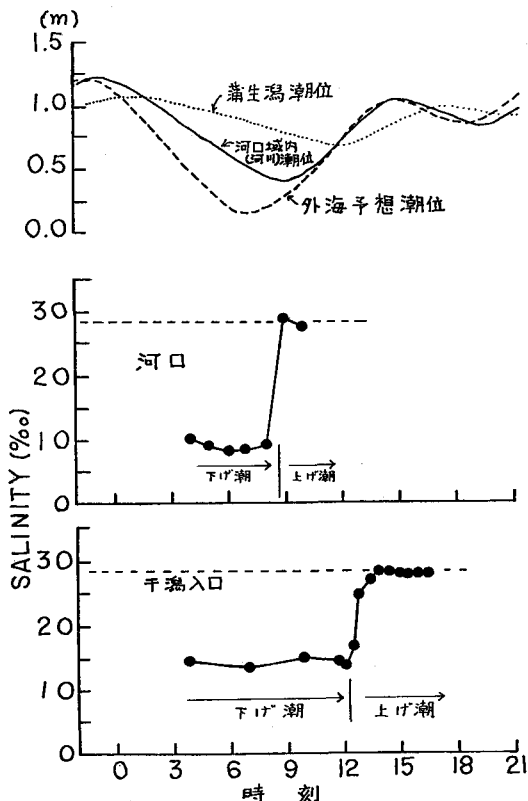


図-27 蒲生潟、河川、海の潮位変化と河口、潟口(ヒューム管)における水塊の塩分濃度

じて干潟へ浸入することを示している。

それでは遼上海水の塩分は何によって決まるかというと、河川流量によって大きく支配され、図-28に示すように、流量と遼上海水の塩分濃度との間には極めてシャープな相関がみとめられる。すなわち、河川流量が少ない時には遼上海水の塩分濃度が高くなり、河川流量が多い時には遼上海水の塩分は少なくなる。図-29は七北田川の河川流量を頻度分布で示したものであるが、2~3 ton/sec の日が年間のお大半を占めている。すると図-29より遼上海水は、多くの場合30‰とい

6-2 干潟の変革(ケース1)

さて、干潟奥部にあるヘドロを流去させるために、まず考えられることは、図-30のように干潟奥部と海をチャンネルによって連結することであろう。この場合には、奥部の海水交換はいちぢるしく増大して、滞留していた水塊は海へ押しやられて浄化される。しかし、この場合は干潟へは外から海水が浸入するので、干潟の塩分は現在よりも極めて高くなる

6-3 干潟の変革(ケース2)

つぎにチャンネルからの海水の流入を防いで、干潟からの流出のみを行なわせるために図-31に示すような弁をつけた場合を想定してみよう。この場合でも七北田川の河川流量が少ないこととあいまって、塩分の高い水(塩分量として30‰)

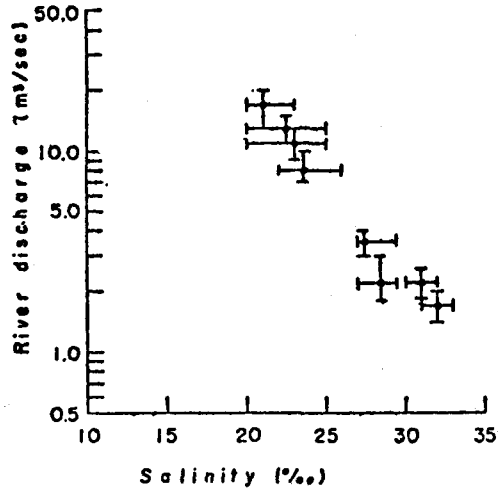


図-28 遼上海水の塩分濃度と河川流量との関係

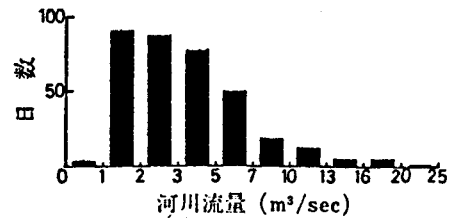


図-29 年間流量頻度分布

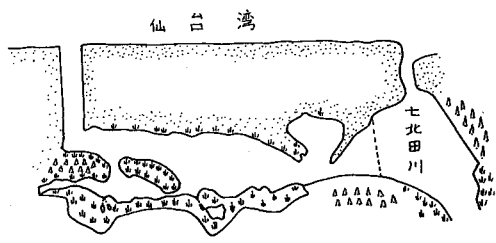


図-30 干潟の制御方式1

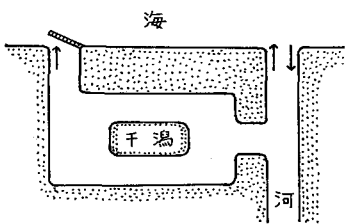
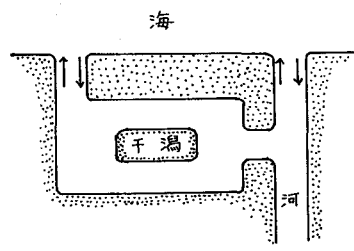


図-31 干潟の制御方式2



に入れかわることが予想される。

ところで、この場合干潟奥部の海水交換の悪いことは、雨水によって薄められた水塊が満潮時に浸入する海水と交換しにくいことを意味するから、この場所はいわゆる淡水化された水塊の貯蔵庫の役割をしていることになる。そして下げ潮時に塩分の低い水が河口部へ流出するので、干潟全域の塩分を低い状態に維持するのに大きな役割を演ずるという見方がなりたつ。

したがって、チャンネルをつけて干潟奥部の交換を良くすることは、干潟の塩分を低くたもつのに大きな役割をはたしていた干潟奥部の淡水貯蔵庫的役割を壊滅させることになり、干潟の塩分は大幅に高くなって、生態系は重要な影響を受けることが予想される。

このことに関連して、塩分濃度がゴカイに対してどのような影響を与えるかについては、いくつかの実験がなされている。2次処理水をCOD20 ppm になるように混入した海水の塩分濃度と生存率の関係をしめすと、明らかに低塩分と高塩分で高い死亡率がみられた（図-32）。表-2は塩分濃度と

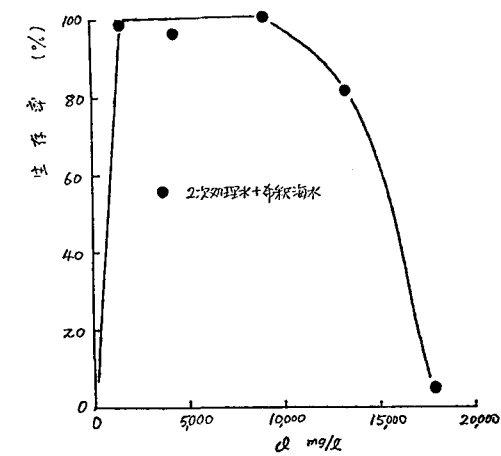


図-32 生存に及ぼす塩分濃度及び2次処理水の影響

摂食量との関係を示したものであるが、摂食量は明らかに塩素量が14‰をこえると低下することが分かっている。このことは望ましい干潟を図-16のはかに図-33に示されるような模式図によって示すことができる。

6-3 干潟の変革(ケース3)

つぎに、塩分を制御するために七北田川の河口部に遡上海水の流入はゆるすが流出はゆるさない弁をつけ、干潟奥部には流出はさせるが流入は阻止する逆の弁をつける場合を想定してみよう（図-34）。この場合には、河川の塩分濃度を弁の開閉操作によって望ましいものにたもつことができ、かつ、干潟の奥部を掃流することができるので、塩分の適正維持とヘドロ除去の方策と考えられるが、この場合の問題点は干潟内部の底土の有機質が極めて少なくなることであろう。このことは図-16に示し

表-2 海水濃度と汚泥摂食量との関係

塩素量 (‰)	汚泥摂食量 (mg/gゴカイ/日)
0.5	36.9
1.0	40.4
5.0	38.9
10.0	32.3
14.0	28.4
17.0	29.5

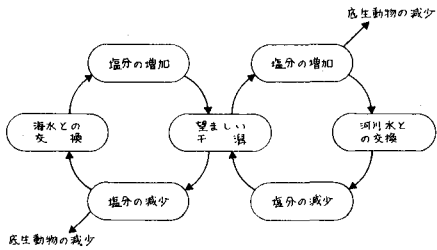


図-33

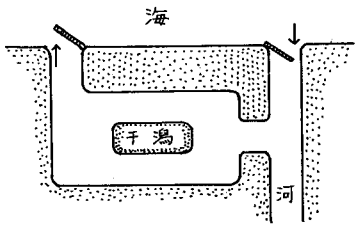


図-34 干潟の制御方式3

た“望ましい干潟”の姿とははなれてくる。したがって、上に掲げた干潟の塩分交換の制御方式は、いずれも鳥の渡来地としての干潟を現状よりも悪化させることが予想される。ここに生態系制御の問題点と困難性が存在する。現時点においては、干潟奥部を現状のまま維持させることのはかに流入水の汚染を防ぐという極めて消極的な方策に頼らざるを得ないであろう。そうでなければ、蒲生干潟の主要機能を包含した人工干潟を別途に建設せざるを得ないかもしれない。