

4. 底生生物を利用した河川下流域の 環境改善に関する研究

【緒 元】

【材料および方法】

- I . フィールドにおける調査・研究
- II . 飼育条件下における二枚貝の富栄養物質利用に関する実験
 - II - 1 物理化学的条件と二枚貝の生き残りの関係
 - II - 2 摂食量の測定
 - II - 3 摂食量と成長に関する実験

【結果および考察】

- I . 名取川下流域における底生生物の生息環境と分布の特徴
 - I - 1 名取川下流域における二枚貝類の食生活
- II . 飼育条件下における二枚貝の富栄養物質利用に関する実験
 - II - 1 実験系における二枚貝の摂食量の測定
 - II - 2 実験系における二枚貝の成長速度の測定

【結 語】

東北大学農学部 大 方 昭 弘

【緒 元】

河川は人間が水や魚などの自然と直接触れ合うことのできる空間であり、自然との調和のとれた生活を営むためにはそれぞれの地域の特性を活かした河川の美化や環境保全の設計が望ましい。ところが、近年、河川の富栄養化にともなって水質汚濁や底質の悪化が進み、河川は人間の生活空間から徐々に分断され、水辺の自然を身近なものとして実感することが難しくなってきてている。

しかし、川が本来もっていた性質を見直すことによって、河川の生産力を有効に利用しながら、汚染の進んだ水域の環境を保全あるいは改善することができるような方策を見出すこともできる筈である。たとえば、二枚貝などの底生生物は水中や底泥中の富栄養物質を栄養源としているので、これらの栄養物質の利用率を高める方法を見出しができれば、その適用によって汚染された水域の環境を改善することも可能であると思われる。栄養物質を有用な二枚貝の生物生産過程に組み込むことができるならば、遊漁場を兼ねた河川公園の設計も考えられる。その実現のためには、まず、生物と環境との結びつき方を解明していくことが重要であり、どのような環境の下でどのような生物生産がなされているのか、またそれぞれの生物は、どのような栄養物質をどのくらい必要としているのか、という基本的な問題を解明していかなければならない。

本研究は環境の改善を図る方策を見出すために、水域生態系の特性に応じた場の分化の実態を調べてそれぞれの場の条件とその場に適応して生活する生物との構造的・機能的相互関係を明らかにしていくことを目的としている。

【材料および方法】

I. フィールドにおける調査・研究

宮城県名取川下流域をモデル水域として、1992年4月から1993年9月まで、底生生物の分布状態の観察・採集を行ない、これと並行して底生生物の環境条件として重要な底質の物理化学的要素について観測するとともに水質の調査を実施した。

[観測および分析項目]

1. 水質調査

水温、塩分、C O D、クロロフィルa濃度、植物プランクトン組成

2. 底質調査

泥温、酸化還元電位（E h）、粒度組成、シルト含有率、水分含有率、クロロフィルa
微小藻類の組成

3. 底生生物調査

河口域に生息する底生生物の中でも、富栄養物質を主な食物としているヤマトシジミ、イソシジミ、アサリなどの二枚貝、チゴガニ、コメツキガニ、ヤマトオサガニなどの甲殻類の行動の観察（潜砂深度、摂食行動）、分布密度、サイズ組成、消化管内容物の組成

II. 飼育条件下における二枚貝の富栄養物質利用に関する実験

河川下流域の二枚貝が必要としている食物の質と量について解析するためには、現場における観察のほかに、物理化学的環境条件が一定のコントロールされた状態のもとで検討する必要がある。

対象生物であるヤマトシジミ、イソシジミ、アサリについて、物理化学的条件に対する反応を検討した後、摂食に関する実験を実施した。

II-1 物理化学的条件と二枚貝の生き残りの関係

6 ℥円型ガラス水槽に 5 ℥の飼育水をいれ、殻長 3 ~ 5 mm のヤマトシジミ、イソシジミ、アサリの稚貝を種別に 20 個体ずつ収容し、食物として珪藻の Skeletonema costatum を与え、1 ヶ月間飼育した。物理化学的条件として、水温、塩分、底質の粒度に注目し、これらの条件を変化させて、二枚貝の行動の変化を観察ならびに飼育過程における生残率を求めた。

II-2 摂食量の測定

二枚貝の単位時間当たりの食物摂取量を測定するために、食物濃度のレベルを変化させて、各 1 時間の摂食実験を行なった。摂取量は実験開始時のクロロフィル a 濃度と終了時のクロロフィル a 濃度の差から求められるが、二枚貝は入水管に取り入れた食物を消化管にいれることなくギフンとして排出があるので、ここではギフン排出量の補正を行なうことによって真の摂食量を推定した。

II-3 摂食量と成長に関する実験

摂食量と成長との関係をもとめるために、Skeletonema costatum を食物として、1 日当たりの投与量を変化させてヤマトシジミ・アサリの成長実験を行なった。また個体ごとの成長をみるために、飼育水 400 ml をいれ、砂を敷き詰めた 500 ml ビーカーに、殻長 5 mm 前後の個体を 1 個体ずつ収容した。水温は 20°C に保ち、塩分をヤマトシジミの場合は 1 / 6 海水濃度 (Sal. 5.5‰) に、アサリの場合には Sal. 33‰ の海水に定め、同一条件下における実験個体数は 5 個体とした。

自然水域における富栄養物質の利用を考える場合には、単一培養種の給餌実験だけでは不十分であると考えられる。現場で採取した水を用いて、照度 5,000 lux、水温 20°C の条件のもとに置くと、Synedra ulna、Melosira varians をはじめ、多くの微小生物群の増殖がみられるようになるので、これら出現種の組成の変化の観察を行ないながら、この条件下で増殖した生物群を食物としてヤマトシジミの成長実験を行なった。

【結果および考察】

I. 名取川下流域における底生生物の生息環境と分布の特徴

図 1 には、モデル水域として調査を実施した名取川下流域を示している。

河口域ではヤマトシジミ、アサリ漁業が営まれており、本研究において定期的に調査を行なった St. A は河口から約 1.5 km 上流のヤマトシジミ漁場の中に位置し、川の流心から下流に向かって右岸側に偏った水域である。

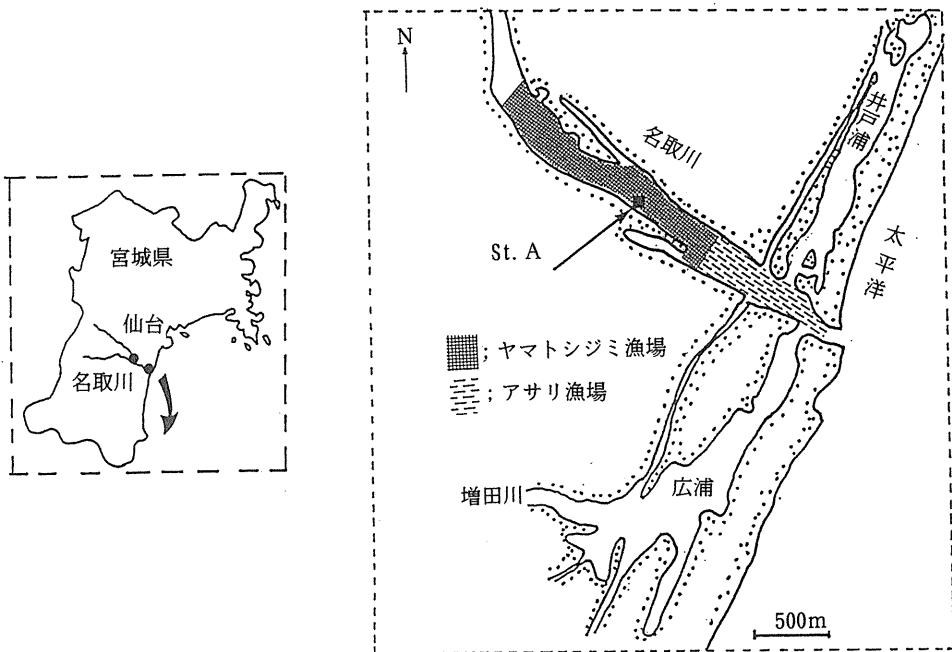


図1 宮城県名取川下流域の位置と漁業の実態

図2～4は名取川下流域 St. Aにおける、水温、COD、クロロフィルa濃度の季節変化を示したものである。水温は2月に最も低い3.9°Cを示し、8月に最高に達し、25°Cまで上昇する。水中の富栄養物質の量的指標であるCODは春季から夏季にかけて高くなり、冬季には低い傾向を示し、平均4 ppmであった。クロロフィルa濃度は水中の植物質の指標となるが、これはCODとはほぼ同様の季節変化を示す。CODの平均値は4.54ppm、クロロフィルa濃度の平均値は $4.71 \mu\text{g/l}$ であることより、名取川河口域の水質は概ね中栄養状態のレベルであるといえる。

図5は名取川下流域 St. Aにおいて底生生物の観察を行なった場所を示している。

また図6はヤマトシジミ、イソシジミのサイズ組成を示したものであるが、St. A-1、A-5では殻長15mm以下の稚貝および成貝の生息がみられるが、St. A-13、A-20においては稚貝の分布は見られず、成貝のみが生息していることを示している。一方、表1にはそれぞれのSt.の底質の特性を示したが、これをヤマトシジミ、イソシジミの殻長組成図と比較すると、稚貝も成貝も生息している場所は砂の粒径が大きく、シルト含有率が低いのに対して、成貝のみの分布域では砂の粒径が小さく、シルト含有率が高いことがわかる。これはヤマトシジミ、イソシジミとともに発育段階が進むにつれて生活場所の範囲を拡大していくことを示している。

図7は名取川下流域において観察される底生生物、とくに珪藻類を食物としている二枚貝とカニ類の分布を示している。イソシジミ、ヤマトシジミ、チゴガニ、コメツキガニ、ヤマトオサガニが卓越してみられるが、それぞれの高密度域が完全に重なることはなく、数m～数十mの隔たりを保ちながら、生活域をえらんでいることが明らかである。

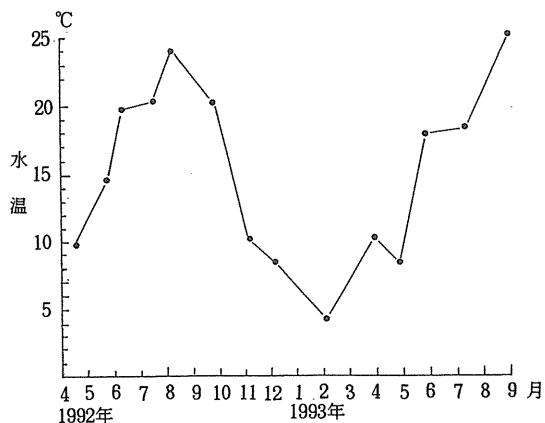


図2 名取川下流域 St. Aにおける表面水温の変化

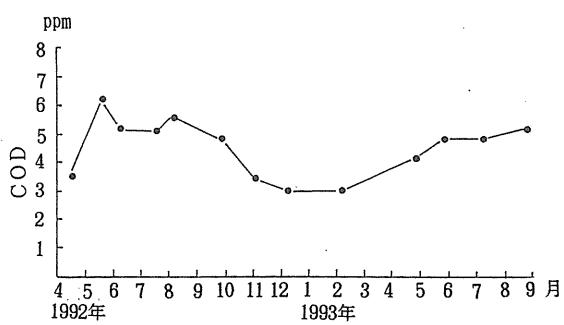


図3 名取川下流域 St. Aにおける表面水のCODの変化

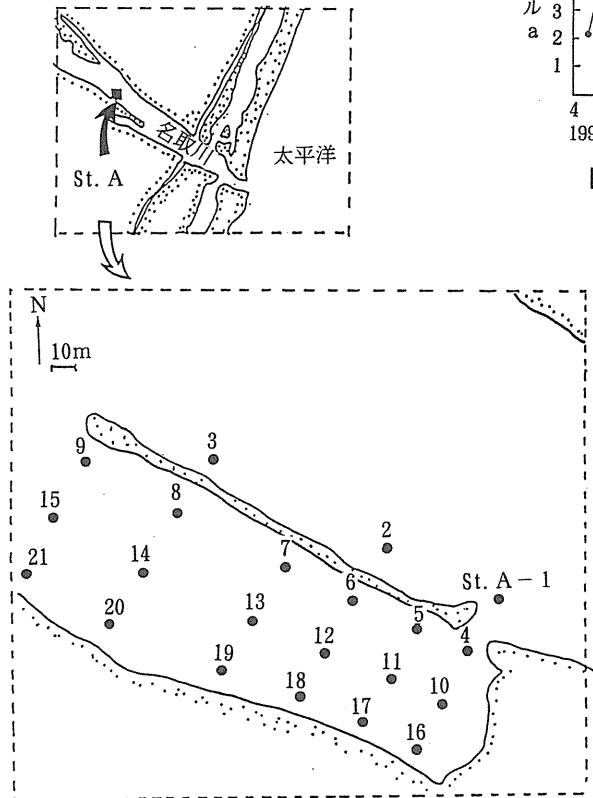


図5 名取川下流域 St. Aにおける調査定点

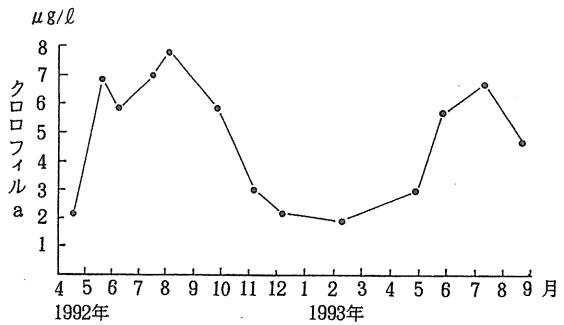


図4 名取川下流域 St. Aにおける表面水のクロロフィルa濃度の変化

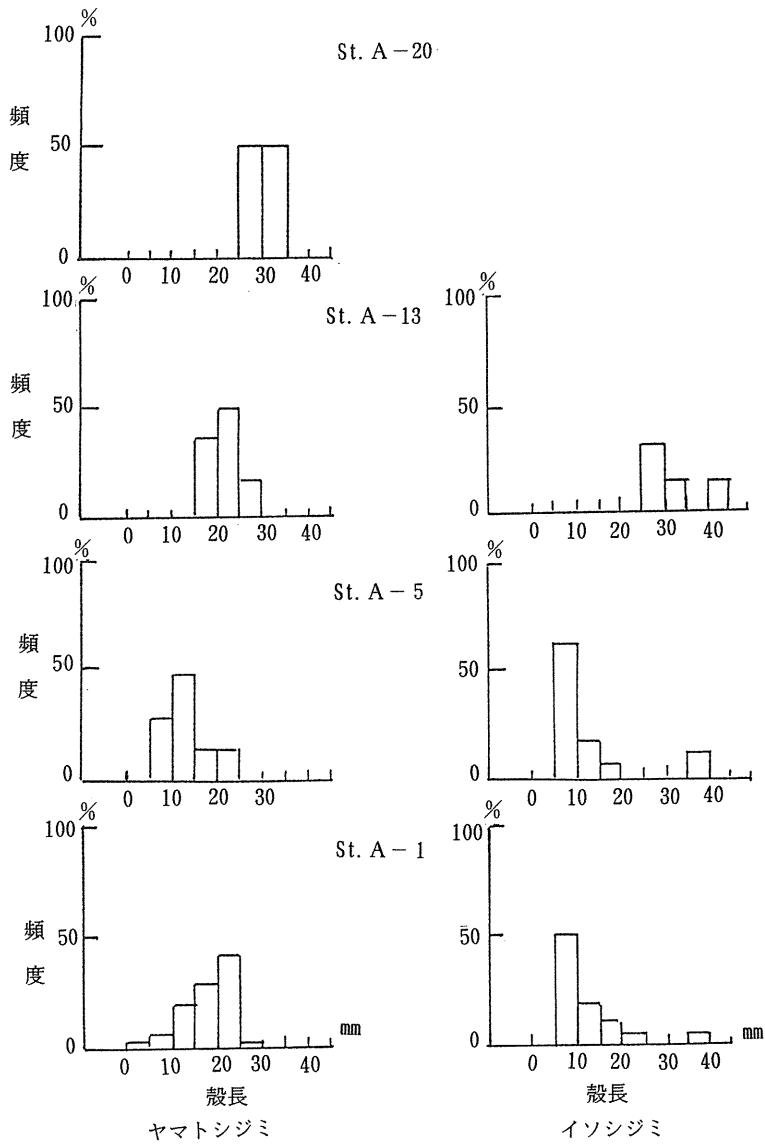


図6 名取川下流域 St. Aにおけるヤマトシジミ・イソシジミの殻長組成 (1993年5月23日)

表1 名取川下流域 St. A各定点における底質の特性

項目	St.	St. A-1	St. A-5	St. A-13	St. A-20
中央粒径値 (ϕ)		0.6	1.0	1.5	2.0
シルト含有率 (%)		1.1	1.3	5.2	23.7
水分含有率 (%)		26.8	23.4	34.4	36.1
クロロフィルa ($\mu\text{g/g}$)		1.32	2.93	8.8	9.2
大潮干潮時の干出時間(hrs)		0	4~5	5~6	5.5~6

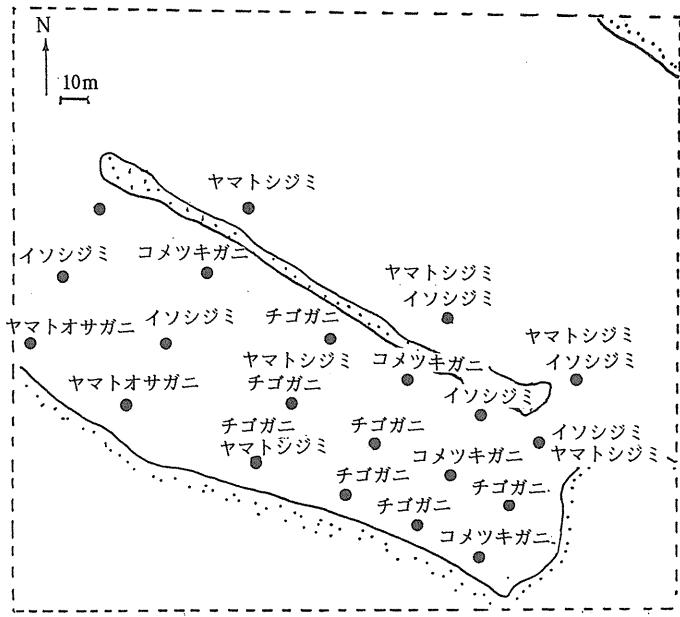


図7 名取川下流域 St. Aにおける二枚貝・甲殻類の分布（1993年5月）

このような生活場所の分化が、周囲の環境とどのようにむすびついているのかという点を検討してみる。図8～図11は底土の分析結果、中央粒径値 (ϕ)、シルト含有率、水分含有率、乾重量 1 g 当たりのクロロフィル a 量を示している。チゴガニの高密度分布域の底質は、砂の粒径が小さく、中央粒径値 (ϕ) の値が 1.5 前後、シルト含有率は 8～10%、水分含有率が 30～35%、クロロフィル a は 8～9 $\mu\text{g/g}$ である。一方、ヤマトオサガニの高密度分布域の底質は砂の粒径がチゴガニの場合よりも小さく、中央粒径値 (ϕ) の値が 2 前後、シルト含有率は 20～50% であって、水分含有率も高く、

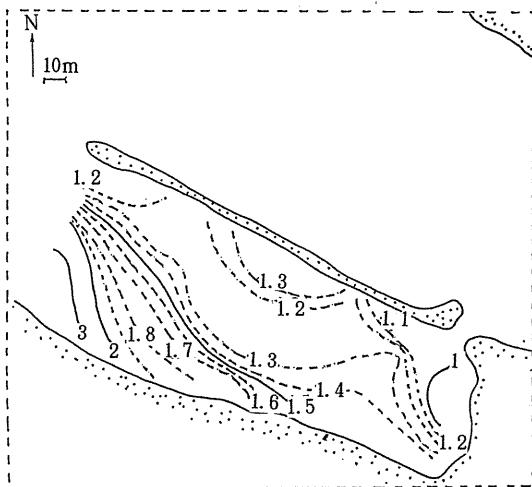


図8 名取川下流域 St. Aにおける底土(表面)の粒度(中央粒径 ϕ)分布（1993年8月20日）

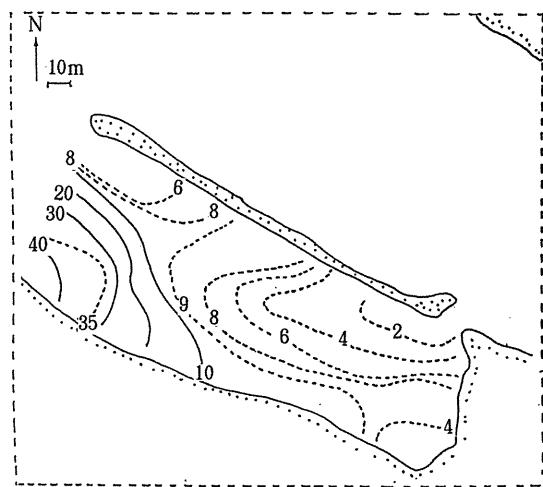


図9 名取川下流域 St. Aにおける底土(表面)のシルト含有率(%)（1993年8月20日）

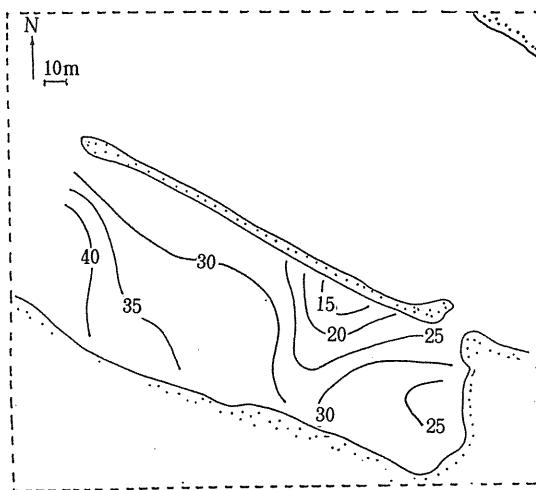


図10 名取川下流域 St. Aにおける底土(表面)の水分含有率(%) (1993年8月20日)

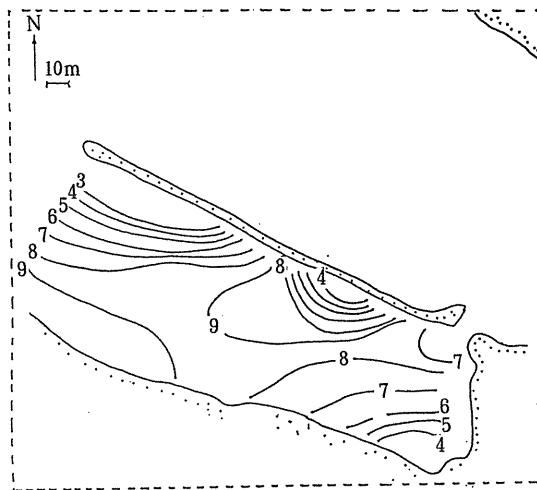


図11 名取川下流域 St. Aにおける底土(表面)のクロロフィルa ($\mu\text{g/g}$) (1993年8月20日)

35~40%である。クロロフィルaは9 $\mu\text{g/g}$ でチゴガニの分布域よりもやや高い値を示している。

このようにみてくると、図12に示すように底生生物は種別・発育段階別に微妙になる底質環境の特性の違いを微妙に選択しながら生活しているように見える。

次に水中の富栄養物質を多量に摂食している二枚貝類の食生活の特徴をみていく。

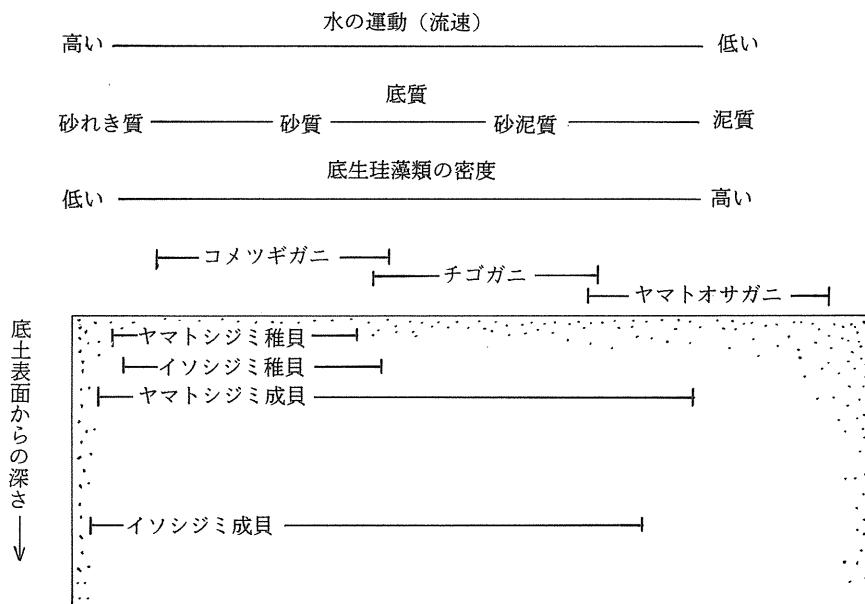


図12 名取川下流域の環境と底生生物の生活領域

I-1 名取川下流域における二枚貝類の食生活

図13は下流域において観察された二枚貝、ヤマトシジミ、イソシジミ、アサリの潜砂状態ならびに摂食行動を模式的に描いたものである。ヤマトシジミ、アサリの場合にはほぼ殻長の深さに潜った状態で、水管を砂上に伸ばし、底土直上水を吸い込むことによって食物を摂取している。

イソシジミの成貝の場合には貝長の2～3倍の深さに潜り、水管を底上表面まで伸ばして摂食しているが、水管が砂上に出ている状態は殆どみられない。またイソシジミの出水管の周囲には、砂粒が盛上っているのが観察されるので、イソシジミが生息している場所は容易に特定できる。また、入水管から吸い込まれていく水の流れと排出されている水流も観察することができる。

これらの二枚貝が水中または底土表面の浮泥の中の珪藻類をおもに摂食していることを次に示す。

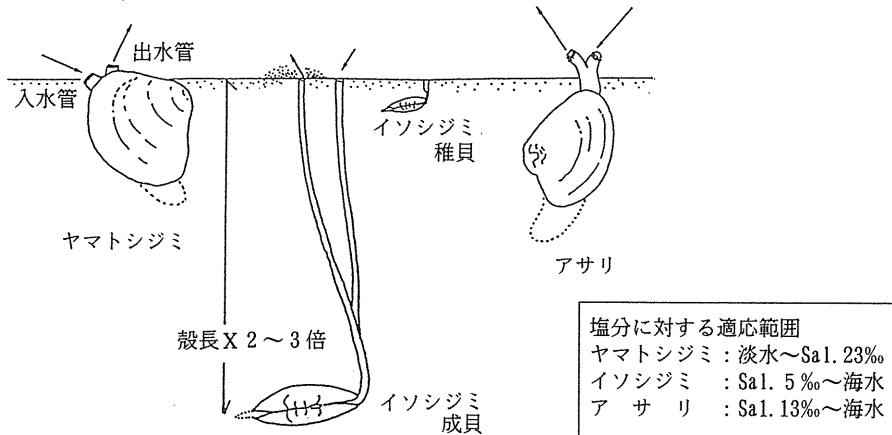


図13 名取川下流域において観察された二枚貝の摂食行動・潜砂状態の模式図

表2 名取川河口域 St. Aにおいて採集された
ヤマトシジミ・イソシジミの消化管内容物組成 (1993年5月23日)

殻長	ヤマトシジミ	イソシジミ
5～10mm 稚貝	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Coccconeis</u> spp. <u>Navicula</u> spp. <u>Nitzschia</u> palea	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Coccconeis</u> spp. <u>Navicula</u> spp.
20～25mm 成貝	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Coccconeis</u> spp. <u>Diploneis</u> splendica <u>Melosira</u> varians <u>Navicula</u> spp.	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Coccconeis</u> spp. <u>Diploneis</u> splendica <u>Melosira</u> varians <u>Navicula</u> spp.
30～40mm 成貝	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Diploneis</u> splendica <u>Melosira</u> varians <u>Navicula</u> spp. <u>Nitzschia</u> closterium <u>Gyrosigma</u> spp. <u>Fragilaria</u> crotonensis * <u>Keratella</u> quadrata	デトライタス <u>Cymbella</u> spp. <u>Diploneis</u> splendica <u>Melosira</u> varians <u>Navicula</u> spp. <u>Nitzschia</u> palea <u>Gyrosigma</u> spp.

註* : コシクトカメノコウワムシ

II. 飼育条件下における二枚貝の富栄養物質利用に関する実験

II-1 実験系における二枚貝の摂食量の測定

図14は食物の初期濃度に対するヤマトシジミの摂食量の関係を示したものである。殻長10mmの稚貝の場合、初期食物濃度・ $30 \mu\text{g/l}$ 以上の濃度になると、1個体・1時間あたりの摂食量はほぼ一定の値・約 $3 \mu\text{g}$ を示すが、殻長30mmの個体では、 $100 \mu\text{g/l}$ の高濃度まで摂食量は増加傾向がみられ、 $40 \mu\text{g}$ ・クロロフィルaを取り入れることが分かった。現場におけるクロロフィルa濃度は、表層水では $5 \mu\text{g/l}$ 前後であるが、ヤマトシジミの水管が伸びている環境水、つまり底土直上水では概ね $30 \mu\text{g/l}$ 程度である。

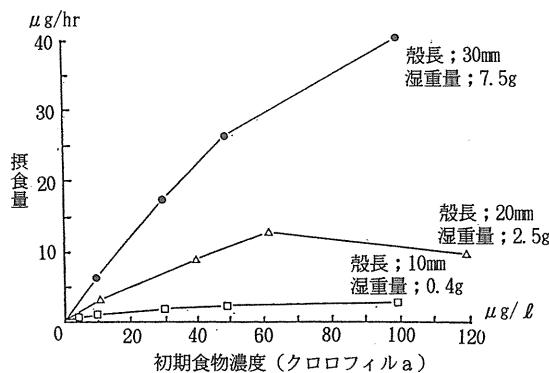


図14 初期食物濃度に対するヤマトシジミの

1時間当たり摂食量

(食物; Skeletonema costatum,
水温; 20°C、塩分; 5.5‰)

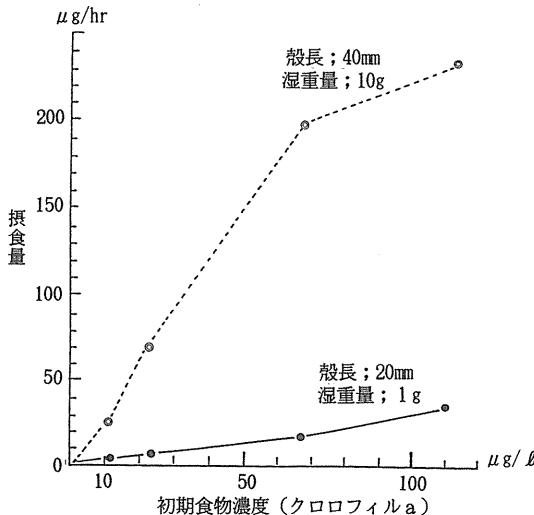


図15 初期食物濃度に対するイソシジミの
1時間当たり摂食量

(食物; Skeletonema costatum,
水温; 20°C、塩分; 5.5‰)

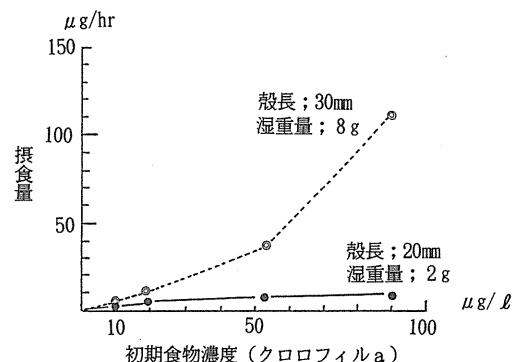


図16 初期食物濃度に対するアサリの
1時間当たり摂食量

(食物; Skeletonema costatum,
水温; 20°C、塩分; 33‰)

$\mu\text{g}/\ell$ であることを考慮に入れて、ヤマトシジミの湿重量1 g当たりの摂食量を計算すると、次のような結果が得られた。殻長10mm（湿重量 0.4 g）では $3.8 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ 、殻長20mm（湿重量2.5g）の中型個体では $2.2 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ 、殻長30mm（湿重量 7.5 g）の大型個体では $1.9 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ であり、単位重量当たりに換算した場合には稚貝のほうが摂食率が高いことになる。

図15はイソシジミの場合について示しているが、1個体が1時間当たりに摂食する量はヤマトシジミに比較して多いことがわかる。現場の濃度（底土直上水のクロロフィルa）で摂食率を計算すると、殻長40mm（湿重量10 g）の大型個体では $9 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ 、殻長20mm（湿重量 1 g）の中型個体では $10 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ となり、イソシジミの摂食率はヤマトシジミより数倍高いことが分かる。

図16はアサリの場合の摂食量を示している。殻長30mmの大型個体では食物濃度が高濃度になるほど摂食量の増加がみられるが、殻長20mmの小型個体では増加傾向はみられない。現場の濃度（底土直上水のクロロフィルa）で摂食率を計算すると、殻長30mm（湿重量 8 g）では $2.3 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ 、殻長20mm（湿重量 2 g）では $2.0 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{hr}$ であり、アサリの単位重量当たりの摂食率はイソシジミより低く、ヤマトシジミとほぼ同程度であることを示している。次に河川下流域の二枚貝類の生産力を検討していくためには、成長速度と食物量との関係が明らかにされる必要がある。

II - 2 実験系における二枚貝の成長速度の測定

図17と図18はヤマトシジミとアサリそれぞれ1日当たりの食物投与量と成長速度の関係を示したものである。ヤマトシジミの場合には食物量 $30 \mu\text{g}$ （クロロフィルa）において成長速度は最大に達し、約 $100 \mu\text{m}/\text{day}$ を示している。

アサリの場合には $60 \mu\text{g}$ （クロロフィルa）において成長速度の最大値を示し、約 $200 \mu\text{m}/\text{day}$ に達している。

これらの実験は Skeletonema costatumを单一培養したものを食物として与えているので、かならずしも現場の摂食状態を反映しているとはいえないでの、次に現場から採取した水に栄養塩を添加して藻類を培養し、増殖してきた珪藻類を食物としてヤマトシジミの成長実験を実施した。

図19は名取川河口域 St. Aにおいて採取した水を 20°C 、 $5,000\text{lux}$ で培養した場合のクロロフィルa濃度の変化を示している。河川水の NH_4^+ -Nの濃度が 0.4ppm 、 PO_4^{3-} -Pの濃度が 0.09ppm であって、これをコントロールとして N・P添加区を2通り設けて藻類を増殖させた。N・P添加区1は NH_4^+ -Nの濃度が 1ppm 、 PO_4^{3-} -Pの濃度が 0.1ppm 、N・P添加区2は NH_4^+ -Nの濃度が 5ppm 、 PO_4^{3-} -Pの濃度が 0.5ppm である。ヤマトシジミの食物として用いたのはN・P添加区2において1週間後に増殖した藻類である。

培養開始時のクロロフィルa濃度は $2.6 \mu\text{g}/\ell$ であったが、コントロール区では1週間後に $95.8 \mu\text{g}/\ell$ 、2週間後に $115 \mu\text{g}/\ell$ に達し、その後減少して、22日目には $18 \mu\text{g}/\ell$ となった。培養期間中の優占種は殆ど変化がなく、Synedra ulna、Melosira varians、Nitzschia spp.などの珪藻類である。

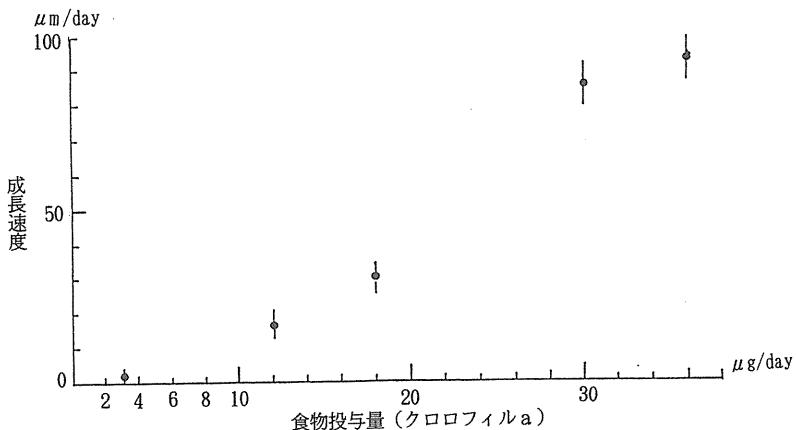


図17 食物投与量とヤマトシジミの成長速度の関係
(食物 ; *Skeletonema costatum*、水温 ; 20°C、塩分 ; 5.5%)

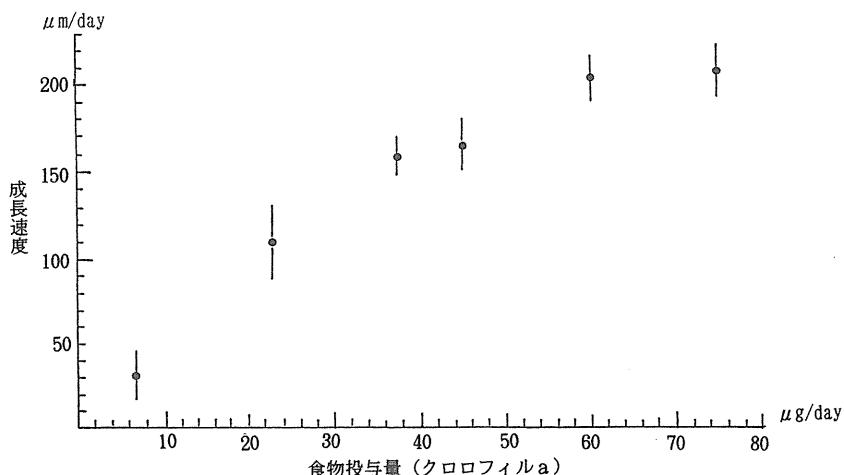


図18 食物投与量とアサリの成長速度の関係
(食物 ; *Skeletonema costatum*、水温 ; 20°C、塩分 ; 33%)

N・P添加区では1週間後にクロロフィルaの急増がみられ、添加区1で $53.8 \mu\text{g}/\ell$ 、添加区2では $445.4 \mu\text{g}/\ell$ に達する。このときの優占種は両区ともに*Synedra ulna*、*Melosira varians*、*Nitzschia spp.*であり、コントロール区と同じ珪藻類である。添加区1では1週間を経過した後でもクロロフィルa濃度はほぼ一定に保たれており、優占種の組成には大きな変化がみられ、20日以降においては*Scenedesmus acuminatus*などの緑藻類やセン毛虫が優占するようになり珪藻類は殆どみられなくなる。

添加区2では優占種の変化は2週間後にみられるようになり、*Scenedesmus acuminatus* セン毛虫の大増殖がおこり、22日後までこれらの種類が優占している。

この培養実験は6回実施したが、いずれも同じような結果が得られたので、名取川河口域の河川水は温度ならびに照度がコントロールされた閉鎖系におかれた場合には藻類の大増殖がおこることを示している。ここで採水地点である名取川河口域 St. Aにおける通常のクロロフィルa濃度が概ね $5 \mu\text{g}/\ell$ という低水準で推移しているという点については次のように考えられる。すなわち自然水域に

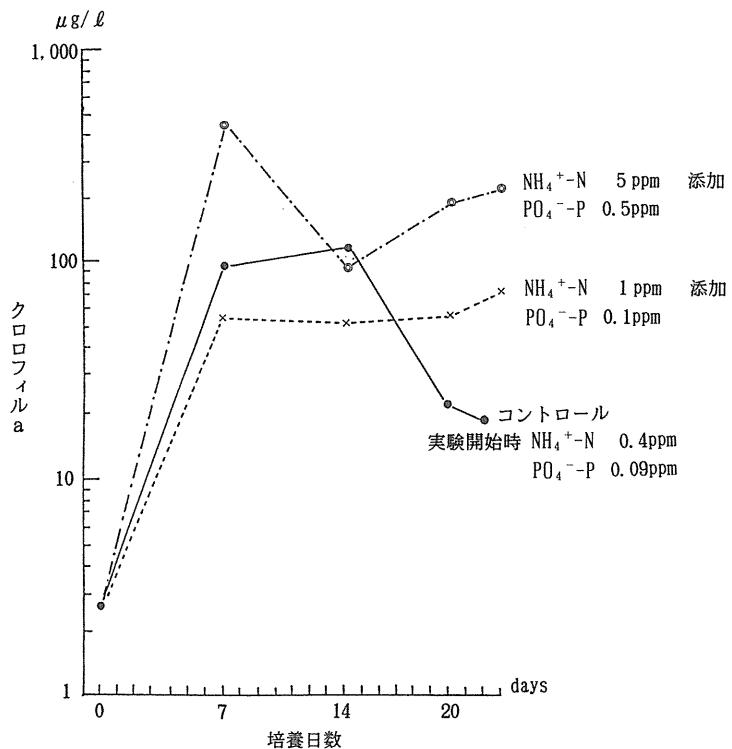


図19 窒素・磷添加による河川水のクロロフィルa濃度の変化
(水温: 20°C、照度: 5,000 lux)

においては植物プランクトンを大増殖させ得るような生産力をもっているにもかかわらず、被食や流動によって藻類の現存量が低水準に抑制されているような条件が絶えず作用しているためかもしれない。

次にこのような特殊な条件下において増殖してくる藻類の二枚貝の食物としての有用性の是非を検討してみる。

図20は上述のN・P添加区2において1週間後に増殖した珪藻類を食物としてヤマトシジミの成長実験を行なった結果を示している。個体別の成長をみると、個体aの成長が最もよく、成長速度は $87.2 \mu\text{m/day}$ を示している。また個体eの成長速度は $56.4 \mu\text{m/day}$ で5個体の中では最も低い。5個体の成長速度を平均すると $75.7 \mu\text{m/day}$ であり、

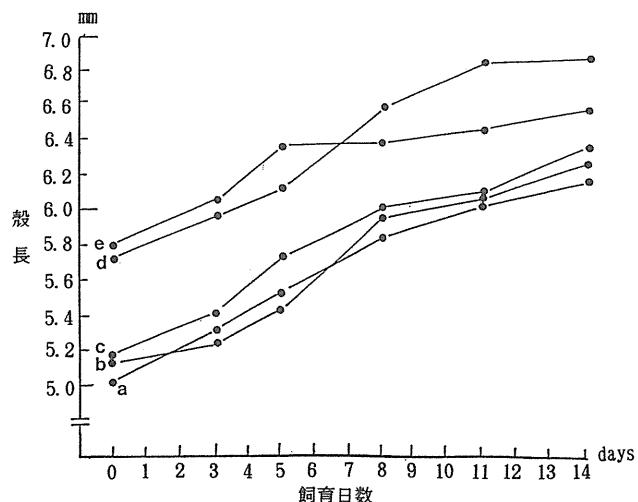


図20 河川培養水を用いて飼育したヤマトシジミの成長
(水温: 20°C、塩分: 5.5‰)

Skeletonema costatumを食物として与えた場合の成長速度にはほぼ等しい。この結果は自然水中に大増殖する藻類が二枚貝の食物として有用であることを示している。

【結 語】

水域の富栄養物化問題を解決するために、富栄養物質を食物としている二枚貝の生態、とくに二枚貝の栄養要求に着目して、二枚貝の生産力の向上と水域の環境保全が両立する条件を明かにすることを目的として研究を行なった結果、次のような結論が得られた。

- (1) ヤマトシジミ、イソシジミなどの河川下流域に生息する二枚貝は、富栄養物質である水中の懸濁物質を重要な食物としていること、また自然水域よりもかなり高濃度レベルの食物濃度においても摂食活動を続けていることが示された。
- (2) ヤマトシジミの十分な成長が得られるための食物量はヤマトシジミ 1 g・1日当たり $75 \mu\text{g}$ (クロロフィル a) である。
- (3) 河川水に栄養塩類を添加することによって増殖している珪藻類を食物として与えた場合のヤマトシジミの成長速度は、平均 $75.7 \mu\text{m/day}$ であった。
- (4) モデル水域とした名取川下流域には、二枚貝のほかにも富栄養物質を摂食する重要な底生生物、チゴガニやヤマトオサガニなどが高密度に生息していることが明らかになり、それぞれの種の生活領域には微妙な条件の隔たりがあることが分かった。それは環境、とくに底質環境の特性と密接に結びついて生活しているということを示すものである。

また、ヤマトシジミ、イソシジミは成長するにしたがって、生活領域を拡大していくことがわかった。これは、同一種においてもそれぞれの発育段階によって要求する物理化学的な環境条件や食物条件が変化していくことを示している。

以上のように、それぞれの生物は水域のもっている特性、すなわち、場の分化を巧みに利用し、種特異的に生活場の選択している。水域の環境保全と水産生物の生産力の向上を両立させるためには、ひとつの種の生産向上のみを考えていくのではなく、それぞれの生物が組み込まれている生産系全体の組織の中における地位と役割を明かにしておくことが極めて重要であることを示している。

今回の研究において、水域の特性を捉える手法を検討しながら実践したことにより、それぞれの水域の特性に相応しい底生生物が見出されており、このような生態系へのアプローチの方法が水域の環境保全に利用される可能性を示すことができたと考えている。現在の名取川下流域においては、付着珪藻の基礎生産とこれらを消費する底生生物の生産速度のバランスが維持されていることが明らかにされたので、この条件をモニターしていくことによって、河川下流域における自然生態系の社会的・分化的あるいは産業的な利用をするための場の分化に応じた人為的介入のための設計が可能であると考えられる。