

# ヤマトシジミの復活をめざして

## —佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

### 研究概要

#### 1. 目的

佐鳴湖は2002年、2003年に全国ワースト1位にランクされた富栄養化の進んだ湖です。50年ほど前にはシジミがたくさん漁獲され、透明度も高く漁業が成り立つほど豊かでしたが、現在はシジミの生息を確認できません。シジミは水中の懸濁物を取り入れ有機物を濾過し餌とする懸濁物消費者で、汽水域の物質循環や水の浄化作用に大きな働きをしています。そこで、佐鳴湖にヤマトシジミを復活させることを目的にし、①有機物の除去作用、②佐鳴湖での生存率と成長、産卵と繁殖、③佐鳴湖の底質と水の調査を行い、シジミ復活のためにどのように環境を整備したらよいか提言することにしました。

#### 2. 手法と資材

ヤマトシジミは浜名湖に流入する都田川の河口で採取し、実験用の水槽、籠などの小道具は身近な物を利用しました。COD、クロロフィル、DO、塩分などの分析は自分たちで行いました。

#### 3. 所見と結論

(1) ヤマトシジミによるクロロフィルa(植物プランクトン)、CODの除去作用が大きいことが、室内実験、現場実験で確認できました。現場実験では殻長24mm以上、殻付重量6.8gでクロロフィルaの吸収量は、1個体、1時間あたり46 $\mu$ g/hr個で、1.0gあたりでは6.8 $\mu$ g/hr $\cdot$ gでした。潮汐により水が浸透するときに底質の砂に懸濁物が捕えられ浄化されますが、シジミが存在するとシジミによる濾過作用によりさらに浄化作用が大きくなり、物質循環で重要な役割を果たしていることがわかりました。

(2) 現在の佐鳴湖で4月から9月の調査では、新川河口やヨシ群内での生存率は約60%で中央部の水深2、0mの地点では21%でした。溶存酸素は中央部の底層でも貧酸素水になることはなく、塩分は1.5%~12%で好適環境でした。底質の粒度組成は河口は砂礫質で中央部はシルト質で、宍道湖の好適環境と比較すると底質のシルト質が生存に悪影響を与え、さらに懸濁物の沈降堆積により入水管が目づまりすることが生存できない理由と考えられます。

(3) 殻長、重量ともに有意に増加し、4月から9月の調査では新川河口では4月から9月の調査で殻長が1.2倍に、重量が1.9倍になり、ヨシ群内では殻長が1.4倍に、重量が2.5倍に成長しました。

(4) 現場実験に利用していたヤマトシジミを水槽に移したところ、放卵、受精し発生を続け、トロコフォア幼生、ベリンジャー幼生になるまで確認できました。

(5) 湖岸全周に幅20mの範囲に1,000個/m<sup>2</sup>の密度(宍道湖の生息密度)で生息すると仮定すると、1.3日間で全水量が濾過され、クロロフィルa(植物プランクトン)は7.2日で濾過される計算になり、ヤマトシジミの再生は湖水の浄化に大きな期待がもてます。

(6) ヤマトシジミ再生のためには生息を可能にする環境整備が大切であり、そのためには①湖岸に砂質の育成棚の造成、②淡水化しないこと、③新生堆積物の沈降量を減少させることが重要です。

(7) ヤマトシジミが復活するという事は、巨額を投じる科学技術による浄化ではなく、生物の生態を利用し自然の浄化作用を高めることになることを広く市民に理解できるように啓蒙活動をしていく必要があります。

## ヤマトシジミの復活をめざして —佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

### 4. 生活の質の向上に役立つ点

佐鳴湖の汚染がマスコミなどで取り上げられているため、汚いというイメージが強く多くの市民が先入観で見えており、佐鳴湖を見たことがない人も汚いといい、佐鳴湖の魚は臭くて食べられないと思いついています。実際には近年少しづつきれいになっており、多くの魚類が生息する生産性の高い湖です。研究を継続している中で、一般市民や行政、大学関係者の理解や支援が得られるようになってきています。本校の自然科学部が佐鳴湖についての情報を発信する役割を果たせるようになってつづきます。

### 5. 調査研究への支援

日本シジミ研究所の中村幹雄先生には、調査実験データから考察へのアドバイスをいただきました。昨年の日本水大賞の審査員特別賞により、その功労として部活動後援会から船外機を購入していただき野外調査が大変しやすくなりました。また、漁協や市民活動をしている人たちから励ましの言葉をいただくことが多くなり精神的に支えられています。

### はじめに

佐鳴湖は静岡県の西部に位置し、浜名湖と新川で接続し上げ潮では浜名湖から塩水が湧上する汽水湖です。図1のように大きさは南北2.3km、東西0.6km、水深は約2.0mの平坦な湖底で、流入河川は2本、排水路が1本流入し、流出河川は放水路と旧新川の2本ですが合流し浜名湖に流入しています。50年ほど前の佐鳴湖は湧き水が豊富で周囲の台地から地下水がわき出し湖底からの湧水が豊富で水の交換が早く、透明度が大きく魚類、シジミも豊富で漁師の生活が成り立つほどでした。しかし、昭和30年代後半の高度経済成長の時期に周囲

の開発が進み、茶、野菜畑、市街地が整備され、人口も増加し、農薬や肥料の散布、家庭排水の負荷が大きくなり富栄養化が急速に進みました。最も汚染が進んだ昭和40年代の後半は、アオコが発生し水しぶきが衣服に付くと緑色の斑点が残るほどでした。現在はその頃と比べると水はきれいになっていますが、2002年、2003年にはCOD評価で全国ワースト1位にランクされました。佐鳴湖は浜松市民の憩いの場であり市民の関心も高く、行政は水質改善のために下水道の整備、湖底の汚染泥の浚渫、浄化施設の設置、水生植物の植栽など行ってきましたがはっきりとした効果は現れていません。

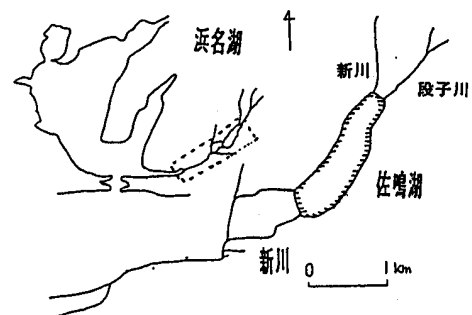


図1 調査地

浄化は化学的な方法だけではなく、生物相を豊かにし自然の自浄作用で行うのが本来のあり方です。私たちは2001年より、以前佐鳴湖に生息していたヤマトシジミを復活させ、底生生物の浄化作用で佐鳴湖をきれいにする試みに挑戦しています。二枚貝は底質中に埋蔵し水管を伸ばし水中の有機懸濁物を餌としているので、水中から有機物を除去する作用をしています。濾過量はシジミ1gあたり約0.2ℓ/hrで、宍道湖の調査では窒素を体内にストックし水質浄化に大きな役割を果たしていると報告されています。

日本に生存するシジミ属にはヤマトシジミ、セタシジミ、マシジミの3種があり、セタシジミは琵琶湖の固有種で、水質、底質の悪化により減少してい

ます。マシジミは淡水性でかつては水田、小川に多数生息していましたが現在では環境の変化によりほとんど見ることはできません。ヤマトシジミは汽水性のシジミでシジミ漁獲量の99%を占める有用な種類です。河口の開発、改変により生息環境が悪化し全国的に減少しており、中国、韓国、北朝鮮から稚貝を輸入し散布しているため日本在来の種が維持できなくなっています。ヤマトシジミの生息環境を整備し復活させることは、ヤマトシジミを保護し漁業を維持していくためにも重要なことです。

### 目的

ヤマトシジミを復活させることを大きな目的とし、ヤマトシジミによる水中からの有機物の除去作用、現在の佐鳴湖での生存率、成長量、産卵、繁殖について調査研究することにしました。また、底泥がヘドロ化しているため底質の有機汚濁を調べヤマトシジミの生存にどのような影響を与えるか考察しました。研究結果が行政や市民活動の理解を深め、ヤマトシジミの生息環境の整備を進めることに役立つことを期待しています。実験や調査に用いるヤマトシジミは浜名湖に流入する都田川の河口に生息するヤマトシジミで佐鳴湖の近くに生息しているため、搬入しても他生物への影響は問題ないと考えています。以下ヤマトシジミをシジミと表します。

### 水槽での浄化実験

実験1 シジミの殻長のちがいによるクロロフィルaとCODの除去作用

#### 方法

シジミの殻長を大きい（殻長28～32mm）、中くらい（殻長23～24mm）、小さい（殻長19～21mm）に分け、水槽を3個用意し佐鳴湖水を1.0ℓ入れ、それぞれの大きさのシジミを3個別々の水槽に入れ

エアレーションしました。実験開始から1、2、3時間後にクロロフィルaとCODを測定しました。方法と結果を図2と表1に示しました。クロロフィルaはアセトンで抽出し、CODはアルカリ性過マンガン酸カリウム法で分析しました。

$$\text{除去率 (\%)} = \frac{\text{はじめの量} - \text{後の量}}{\text{はじめの量}} \times 100$$

$$\text{吸収量 (\mu g/\ell hr個)} = \frac{\text{はじめの量} - \text{後の量}}{\text{個体数} \times \text{時間}}$$

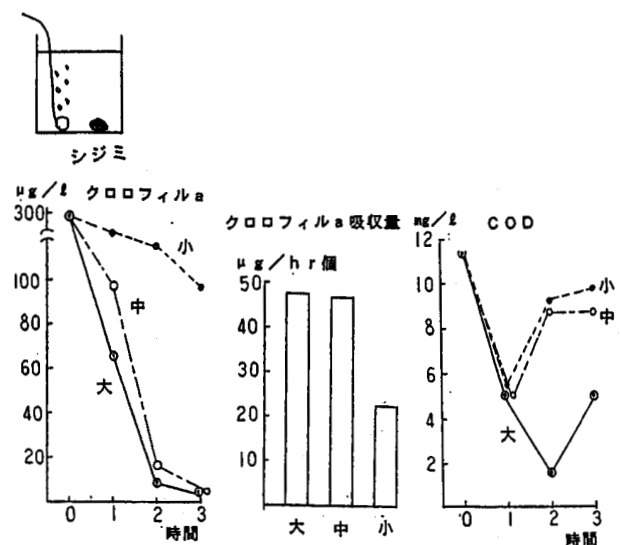


図2 実験1 殻長のちがいによる浄化作用 2001.4.2

表1 水温19℃

	大きい	中くらい	小さい
殻長(mm)	28～32	23～24	19～21
平均重量(g)	9.17	4.86	3.11
クロロフィルa吸収量(μg/hr個)	47.8	46.7	22.1
クロロフィルa除去率(2時間後%)	97.0	94.6	41.6
COD除去率(%)	87.6	55.0	51.4

#### 結果

クロロフィルa はじめ296μg/ℓだったものが2時間後大きいでは9.3μg/ℓに減少し、除去率は96.9%、吸収量は1個、1時間あたり47.8μg/ℓ hr個でした。中くらいでは2時間後16.1μg/ℓに減少し、除去率は

ヤマトシジミの復活をめざして  
—佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

94.6%、吸収量は1個、1時間あたり46.7 $\mu\text{g}/\ell$  hr個でした。小さいでは3時間後でも96.9 $\mu\text{g}/\ell$ あり、除去率は67%、吸収量は22.1 $\mu\text{g}/\ell$  hr個でした。大きいと中くらいで植物プランクトンはほとんど吸収されました。

COD はじめ11.3 $\text{mg}/\ell$ であったものが大きいでは2時間後には1.4 $\text{mg}/\ell$ に減少し除去率は87.6%で、3時間後には5.0 $\text{mg}/\ell$ に増加しました。中くらいと小さいでは1時間後に5.0 $\text{mg}/\ell$ に減少し除去率は55%で、3時間後には9.0 $\text{mg}/\ell$ になりました。減少のあと増加しているのは、シジミからの排出物に有機物が含まれているためと考えられます。

以上の結果から殻長23mm以上ではクロロフィルaを吸収除去するのに大きな効果があることがわかり、以後の実験では殻長23mm以上を用いました。

実験2 底質中にある場合のクロロフィルaとCODの除去作用

自然の状態では底質に埋在しているので、水槽に現場の底質を入れて実験しました。方法と結果を図3と表2に示しました。

方法

水槽を3個用意し、2個の水槽に新川河口の砂礫質の底質を厚さ3.0cm程度入れ、このうち一方の水槽にシジミを11個、重量61.4gを入れました。3個の水槽に佐鳴湖の水を6.0 $\ell$ 入れエアレーションしました。底質中には環形類、他の貝類などの底生生物は混入していないことを確認し、微生物を除き他の生物の影響はないようにしました。佐鳴湖の水のみを対照とし実験開始から2~3時間おきに採水し8時間後まで行いました。

結果

クロロフィルa シジミを入れた方は、はじめ

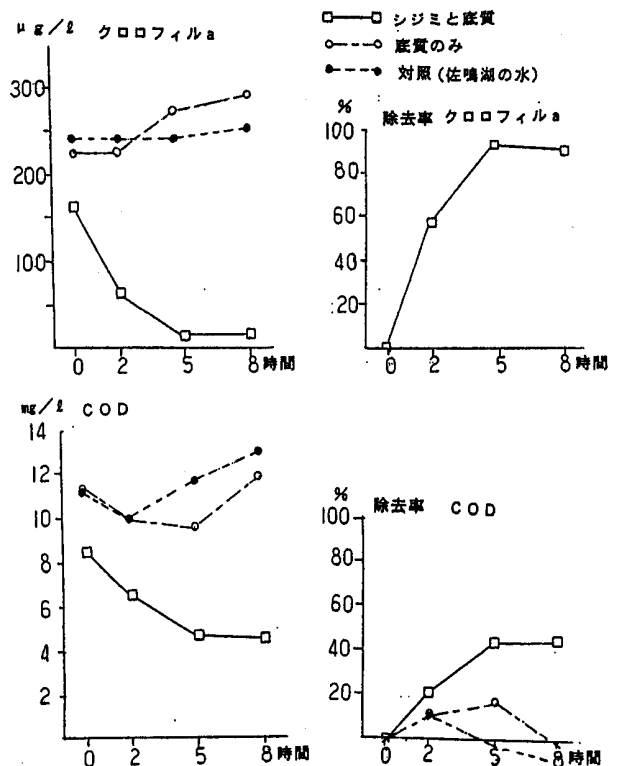
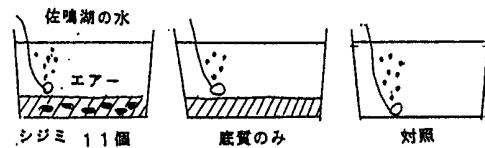


図3 実験2 底質中のシジミの浄化作用 2001.5.1

表2 実験2 底質中のシジミの浄化作用 シジミ11個  
平均重量5.88g

実験2 (2001. 5. 1) 追実験(5. 2)		
	底質とシジミ	シジミ入れ替え
クロロフィルa吸収量( $\mu\text{g}/\text{hr}$ 個)	33.4	20.7
クロロフィルa除去率(%)	92.2	85.0
COD除去率(%)	44	44

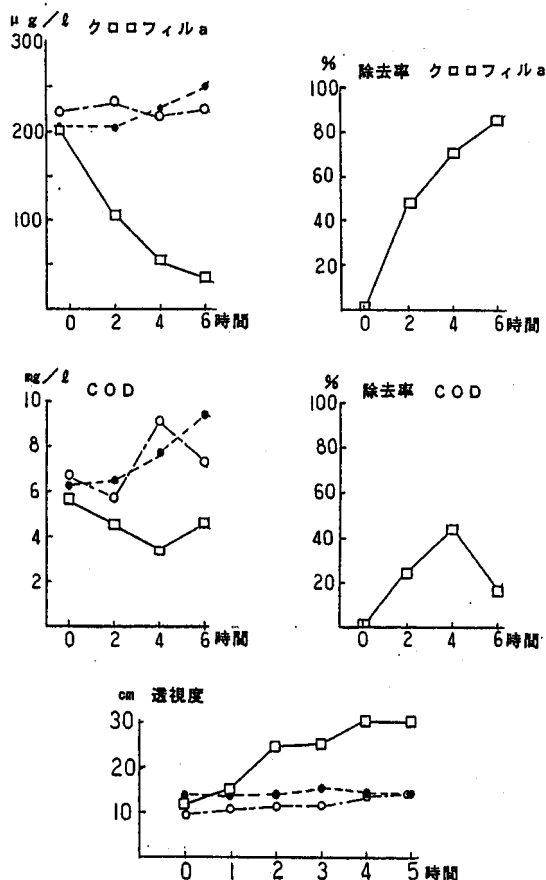
162 $\mu\text{g}/\ell$ から5時間後には12.7 $\mu\text{g}/\ell$ に大きく減少し、除去率は92.2%で、1個1時間あたり33.4 $\mu\text{g}/\ell$  hr個でした。底質のみは、はじめの223 $\mu\text{g}/\ell$ から8時間後には290 $\mu\text{g}/\ell$ になり、1.3倍の増殖を示しました。対照(佐鳴湖の水のみ)も、はじめの242 $\mu\text{g}/\ell$

から8時間後には255 $\mu\text{g}/\text{l}$ になりました。底質中にシジミがない場合は植物プランクトンの除去作用はなく、シジミの存在により除去作用が大きくなることがわかりました。

**COD** シジミを入れた方は、はじめの8.3 $\text{mg}/\text{l}$ から5時間には4.7 $\text{mg}/\text{l}$ に減少し除去率は44%でした。これに対し底質のみと対照（佐鳴湖の水のみ）は増加し除去は認められませんでした。プランクトンの増殖によりCODが高くなったと考えられます。

### 追実験

実験2で底質中にシジミがあると浄化作用があることがわかりましたが、これを確認するために、実験2の継続として実験2のシジミを底質から取り出し、底



追実験

質のみの水槽に移し、新しい佐鳴湖の水を入れ浄化作用があるか調べました。方法は実験2と同じです。

### 結果

シジミを移し替えた方のクロロフィルaは大きく減少し6時間後、85%が除去されました。一方、対照（佐鳴湖の水のみ）と底質のみではほぼ横ばいで変化はありませんでした。CODもシジミを移した方で減少し除去率は44%で、対照（佐鳴湖の水のみ）と底質のみでは増加しました。透視度はシジミを移した方でははじめの12cmから4時間後、29cmになり、対照と底質のみでは横ばいで変化はありませんでした。

このようにシジミが存在すると植物プランクトンの吸収除去作用が大きく、シジミの生息しない底質では、水の浄化作用が小さいことが確認できました。

### 実験3 現場での浄化作用の実験

佐鳴湖の現場で水槽実験のような浄化作用があるかどうか調査しました。

### 方法

新川河口の水深が浅く実験2で採取した砂礫質のところを実験場所としました。直径25cmの園芸用鉢の底をくりぬき円筒状にしたものを2個用意し、底質中に差し込み一方の鉢にシジミを10個、重量68.1gを入れ、シジミを入れない方を対照実験としました。下げ潮、上げ潮で1時間毎に採水しました。方法と結果を図4と表3に示しました。

### 結果

下げ潮での実験開始の水深は14cmで水は濁っており、2時間後には12cmに下がりシジミのある方は底まで見えるほど水はきれいになり、シジミの

ヤマトシジミの復活をめざして  
—佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

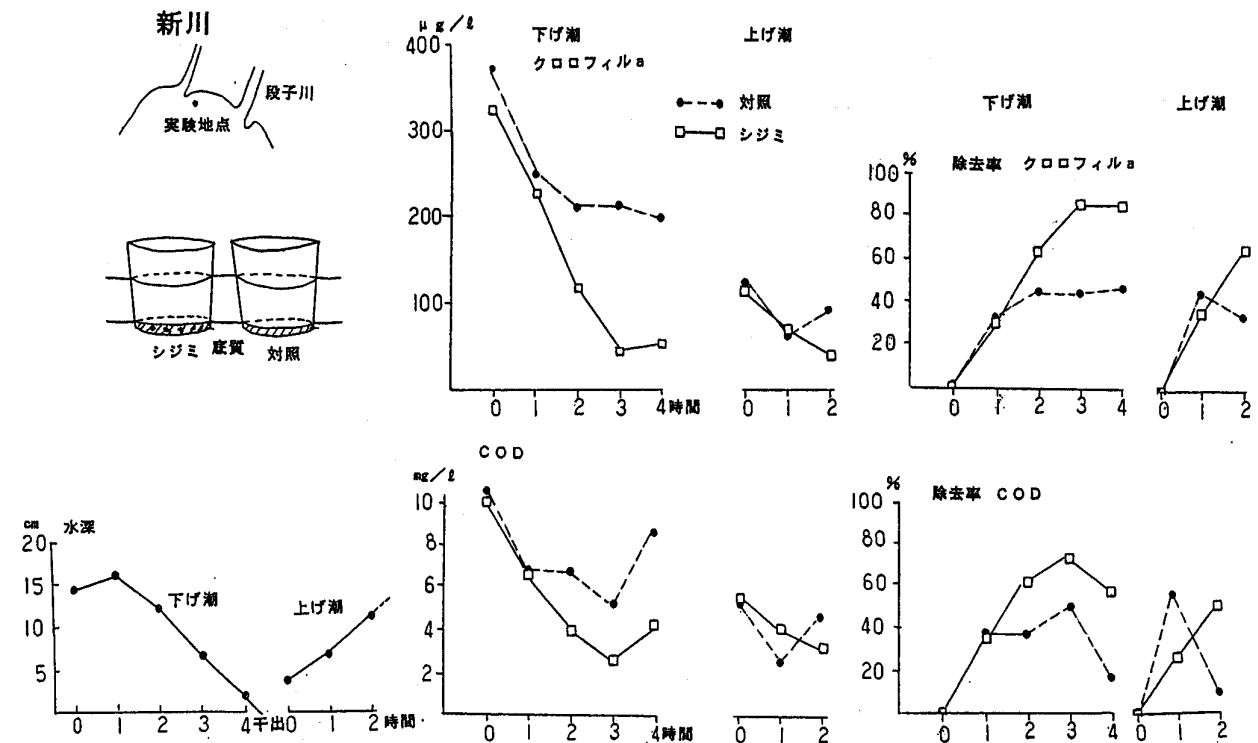


図4 実験3 佐鳴湖での浄化作用 2001.5.12

表3 実験3 佐鳴湖でのシジミの浄化作用 シジミ11個 平均重量6.81g 殻長24~30mm

	水温19.8~24℃	下げ潮(2001.5.12)		上げ潮(2001.5.13)	
		シジミ	対照	対照	対照
クロロフィルa吸収量(μg/hr個)	46.3	—	12.19	—	—
クロロフィルa除去率(%)	86	45	65	24	—
実除去率(シジミ-対照)(%)	41	—	41	—	—
COD除去率(%)	73	37	45	—	—

ない方は濁ったままで、3時間後には6.5cmに低下し、4時間後には干出し干潟になりました。クロロフィルaはシジミを入れた方ははじめの322μg/lから3時間後には46μg/lに減少し除去率は86%でした。吸収量はシジミ1個1時間あたり46.3μg/l hr個となりました。対照実験でははじめの374μg/lから2時間後には204μg/lに減少し除去率は45%でした。対照実験で減少したのは下げ潮の水位の低下で底質に浸透するため、対照での除去率を差し引くとシジミによる実除去率は41%になります。CODも同様な傾向でシジミのある方は10mg/lから

3時間後に2.7mg/lに減少し除去率は73%で、対照実験の除去率は37%で、これを差し引くとシジミの実除去率は36%になります。上げ潮での実験開始時の水深は3.0cmで2時間後には11cmと上昇し、その後風による波をうけ実験容器は浮いてしまいました。クロロフィルaはシジミを入れた方ははじめの110μg/lから2時間後には39μg/lに減少し除去率は65%で、吸収率はシジミ1個1時間あたり12.19μg/l hr個となりました。対照実験でははじめ122μg/lから1時間後に67μg/lに減少し、2時間後には93μg/lに増加し除去率は24%で、対照での除

去率を差し引くとシジミによる実除去率は41%になりました。CODの減少も同様な傾向で、シジミのある方の除去率は45%でした。

以上の結果から潮汐による水位変化に伴い、水が底質中を浸透していく時に植物プランクトン、CODが除去され、さらにシジミの存在により除去率が大きくなり水が浄化されることがわかりました。シジミの存在は水の浄化作用に大きな働きをしています。

#### 実験4 偽糞中のクルルフィルa

二枚貝は鰓で有機物を濾過し餌にならない無機懸濁物を偽糞として排出します。入水管から吸収した植物プランクトンなどの有機物が偽糞の中に排出される可能性があります。シジミが吸収したクルルフィルaを偽糞として排出しているのであれば、体に取り込んだことにはなりません。真のクロロフィルa吸収量は入水管から吸収したクロロフィルaから偽糞中のクロロフィルaを差し引いた値となります。

#### 方法

ビーカーに佐鳴湖の水を1.0ℓ入れ、シジミを1個体入れエアレーションし、はじめの水のクロロフィルaと1日後のクロロフィルaを測定し、1日後排出された偽糞をすべてピペットで回収し、その体積を測定しクロロフィルaを測定しました。用いたシジミは殻長32mm重量11.50gと殻長27mm、重量7.40gでビーカーに1個ずつ入れ実験しました。

#### 結果

殻長	重量	はじめの水	1日後の水	入水管からの吸収	偽糞中	真のクロロフィルaの吸収量(除去率)
32mm	11.50g	0.21699mg	0.02233mg	0.19465mg	0.10653mg	0.08811mg (45.260%)
27mm	7.40g	0.21198mg	0.08099mg	0.13098mg	0.07010mg	0.06088mg (46.416%)

入水管からの吸収量＝

はじめの水のクロロフィルa－1日後の水のクロロフィルaの吸収量＝

入水管からの吸収量－偽糞中のクロロフィルa

シジミによる取り込み量がどちらもおよそ45%で、55%は体外に排出される結果となりました。シジミは底質中に埋れし偽糞は水中に排出されるのではなく、底質中に排出されるので、底生生物の餌になったり微生物により分解されます。

#### シジミの生存率と成長実験

佐鳴湖の水、底質の環境でシジミが生存し成長するのか実験しました。

#### 方法

実験地点は図5のように新川河口、北西岸のヨシ群内、湖の中央部です。新川河口は実験3と同じ場所、下げ潮では河川水が流れ、上げ潮では佐鳴湖の水が壟上し覆われ、水深は潮汐により0.1m～0.4mに変化し、底質の砂礫を籠に入れ現場と同じ環境にし、シジミが流出しないように籠を網に入れました。北西岸のヨシ群の内部はで、水深は0.1m～0.4mに変化し籠を網に入れました。中央部の水深は2.0mの地点で底質はシルト質です。ヤマトシジミをそれぞれの籠に60個入れ、底に沈めて毎月1回、生存の確認と1個体ずつ殻長と殻付重量を測定しました。調査は2003年3月下旬からで現在も継続しています。

ヤマトシジミの復活をめざして  
—佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

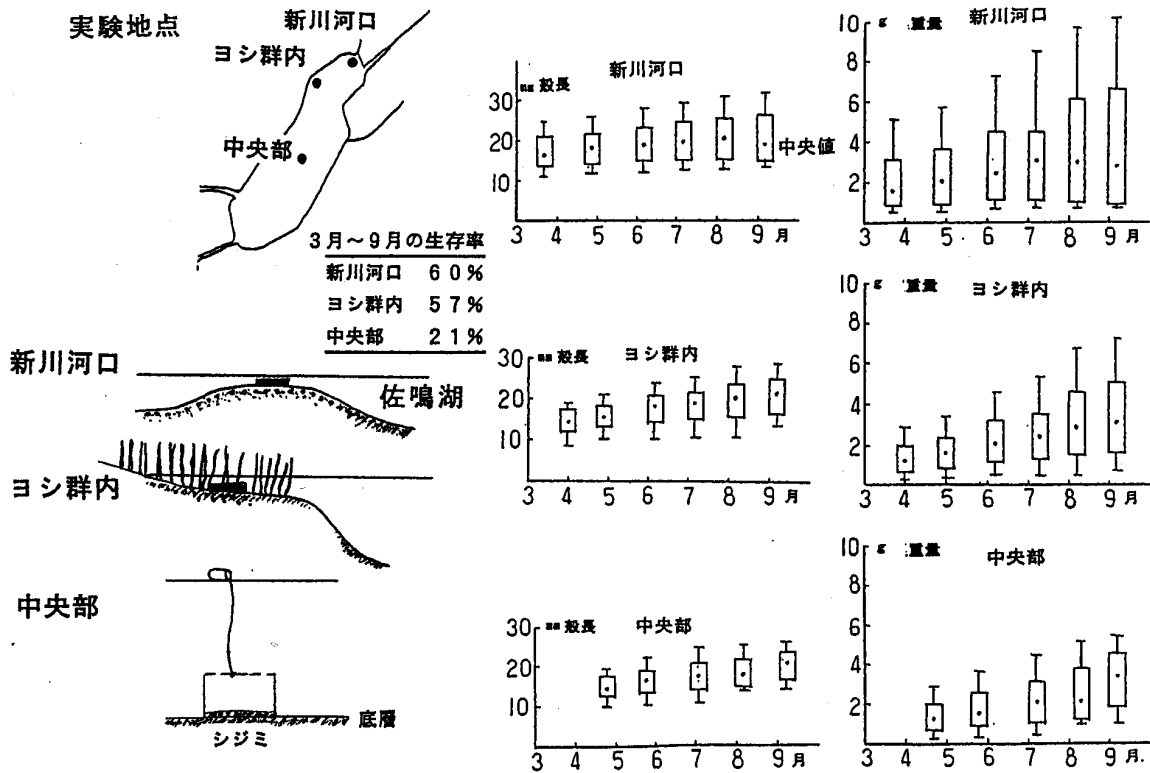


図5-1 シジミの生存率と生長量 2003年3月～9月

結果

3月下旬から9月までの生存率と毎月の殻長と質量の変化を図5と表4に示しました。

**生存率** 生存率は新川河口で60%、北西岸のヨシ群内は57%でした。中央部は21%で7月から8月にかけて死ぬ個体が16個体あり底質がシルト質では夏の生存は難しい結果となりました。籠には軟泥が堆積し軟泥にシジミが埋没する状態になっていました。

**殻長の変化** 新川河口では平均殻長は3月17日の16.73±3.37mm (sd, n=60) から9月7日の20.33±5.67mm (sd, n=36) の1.21倍に有意に成長しました (t検定、p<0.05)。北西岸のヨシ群内では3月30日の14.71±2.52mm (sd, n=60) から9月7日の20.69±4.30mm (sd, n=34) の1.41倍に成長しました (t検定、p<0.001)。中央

部では3月17日の14.82±2.43mm (sd, n=58) から9月9日の20.69±4.30mm (sd, n=12) の1.40倍に有意に成長しました (t検定、p<0.001) が、生存率が低いので生息環境としては不適です。  
**重量の変化** 新川河口では平均重量は3月17日の1.97±1.15g (sd, n=60) から9月7日の3.74±2.87g (sd, n=36) の1.90倍に有意に増加しました (t検定、p<0.05)。北西岸のヨシ群内では3月30日の1.35±0.63gから9月7日の3.34±1.74g (sd, n=34) の2.47倍に有意に増加しました (t検定、p<0.001)。中央部では3月17日の1.34±0.62g (sd, n=58) から9月9日の3.22±1.37g (sd, n=12) の2.40倍に有意に増加しました (t検定、p<0.001)。重量は最大値の変化が大きく、殻長の増大に伴い重量が大きく増加しました。このように殻長、質量ともに有意に増加し、湖岸部



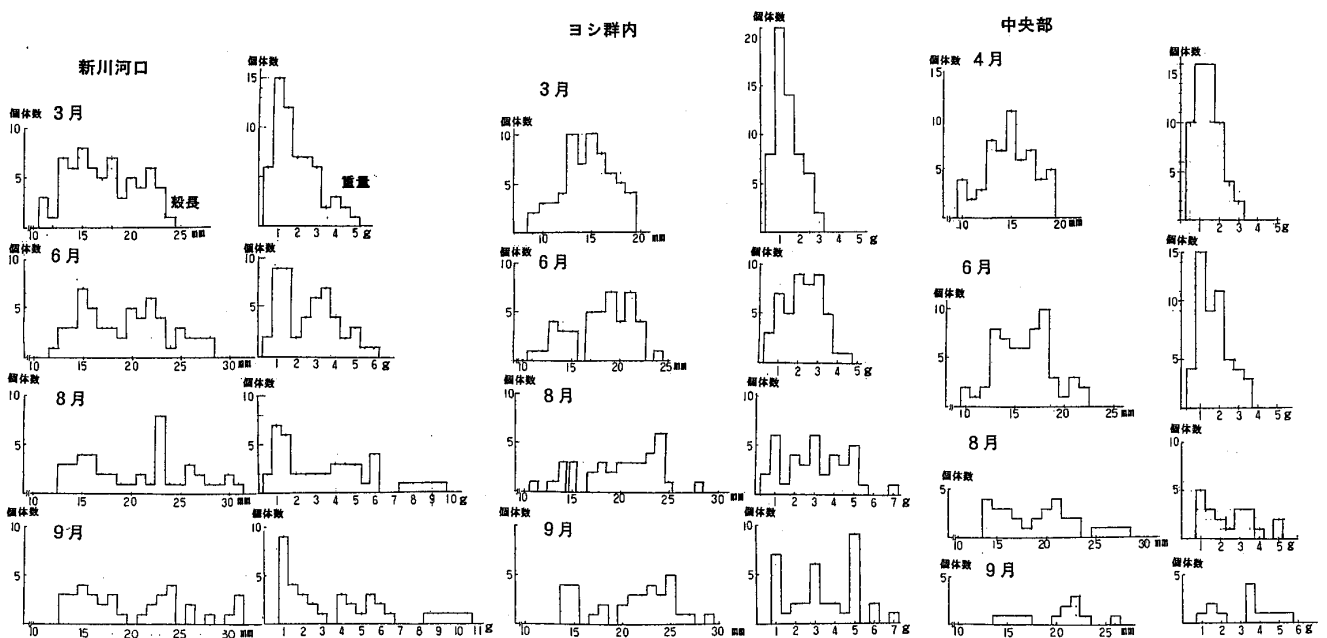


図5-2 ヤマトシジミの殻長と重量の変化

表4 ヤマトシジミの成長量 2003年4月～9月

	殻長 (mm)		t 検定	
新川河口	16.73±3.37 (sd n=60 3/17)	20.33±5.67 (sd n=36 9/7)	p<0.05	
ヨシ群内	14.71±2.52 (sd n=60 3/30)	20.69±4.30 (sd n=36 9/7)	p<0.001	
中央部	14.82±2.43 (sd n=58 4/20)	19.89±3.42 (sd n=12 9/9)	p<0.001	

	重量 (g)		t 検定	
新川河口	1.97±1.15 (sd n=60 3/17)	3.74±2.87 (sd n=36 9/7)	p<0.05	
ヨシ群内	1.35±0.63 (sd n=60 3/30)	3.34±1.74 (sd n=36 9/7)	p<0.001	
中央部	1.34±0.62 (sd n=58 4/20)	19.89±3.42 (sd n=12 9/9)	p<0.001	

ではシジミの養殖は可能であると考えられますが、中央部は生存率が低いので養殖には不適であるといえます。

#### 産卵、受精、発生

シジミの産卵時期は7月～9月なので9月7日14時頃、新川河口に沈めてある籠からシジミを10個取り出し、実験室の水槽に佐鳴湖の水を入れシジミを入れました。16時30分水槽が白濁し放卵が認められ、発生を続け翌日午後トロコフォア幼生、足

糸を出したベリンジャー幼生を確認しました (図6)。その後幼生は死んでしまいましたが、佐鳴湖で抱卵し、産卵受精することが確認できました。水槽水の塩分は3.87‰でした。

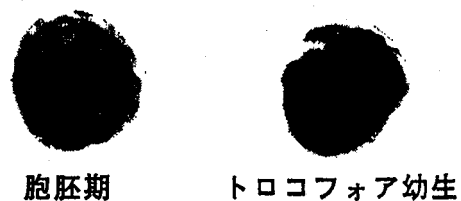


図6 ヤマトシジミの幼虫

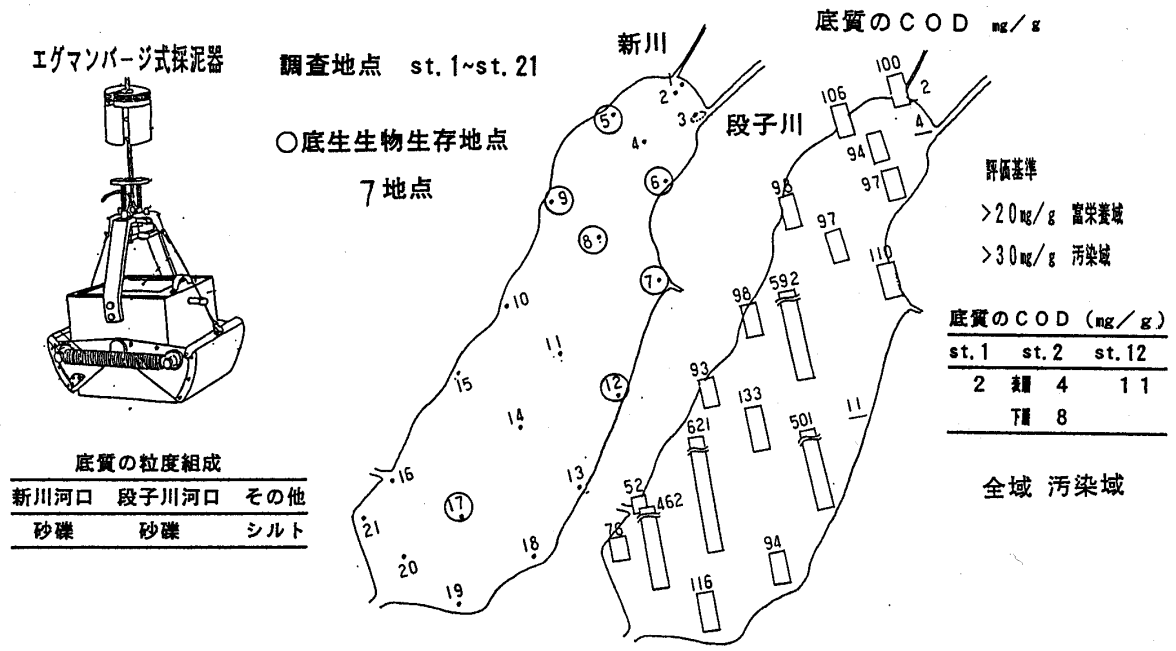
ヤマトシジミの復活をめざして  
—佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

底質と底層水の調査

シジミが死滅したのはヘドロの堆積によるといわれています。シジミの生息環境、死滅した理由を

考察するために底質と水質を調査し、方法と結果を図7と表5に示しました。



採泥地点	st. 5	st. 6	st. 7	st. 8	st. 9	st. 12	st. 17
イトミミズ(個/m <sup>2</sup> )	35	17	26	—	26	—	17
ユスリカ	—	8	—	8	—	8	—

新生堆積物	方法	沈殿	有機物	厚さcm	COD <sub>w</sub> /t	総堆積量m <sup>3</sup>	1日あたりの堆積量m <sup>3</sup>	
2003年8月13日~20日	1.0ℓ 広口ビン	↓	↓	北部	0.6	154	1.09 × 10 <sup>4</sup>	1.56 × 10 <sup>3</sup>
				中央部	1.0	126		
				南部	0.9	149		
				平均	0.9	149		

水質の月変化 2003年

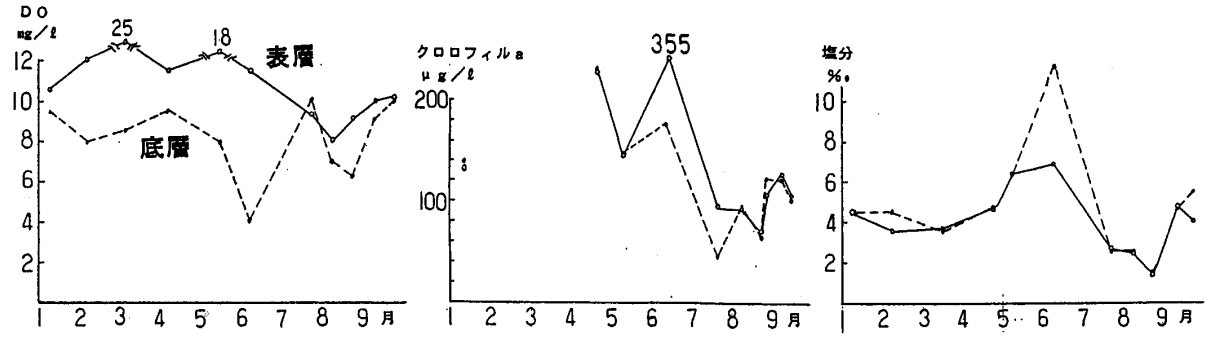


図7表5 底質のCOD 底生生物 新生堆積物 2003年7月、8月

## 調査地点と方法

- (1) 底質の調査は流入河川の河口、湖岸からおおよそ20mの地点、沖合部など全域で21地点とし、エグマンバージ式採泥器で一地点で5回採泥しました。底質の一部をビンに入れCOD、強熱減量（IL）分析用に冷蔵保存し、底生生物は0.75mmのふるいにかかけました。底質のCODは遠心分離機にかけ間隙水のCODの影響を除きアルカリ性過マンガン酸カリウム法で分析しました。2003年7月8日に実施しました。
- (2) 新生堆積物1.0ℓの広口ビンを籠に固定し湖底に沈めて沈殿物を受け、8月13日から1週間、北部、中央部、南部の3地点で実施しました。堆積量はビンの口の面積、堆積の厚さ、佐鳴湖の面積、堆積日数から計算しました。
- (3) 水質調査は毎月1回、定期調査を3地点で表層、1m、底層から採水し実施しています。今年の中央部の表層と底層の結果を示しました。

## 結果

- (1) 粒度組成は新川河口と段子川河口が砂礫質で干潟になっています。湖岸付近から沖合にかけて全域シルト質で、表層は厚さ1.0cmのうす茶色の酸化層で、その下は灰黒色の還元層になっています。CODの評価基準は30mg/gが汚染域で、新川河口の砂礫質で2mg、段子川河口で4mg、東湖岸近くで11mgであり、他の地点は52mg~621mgとたいへん大きくすべて汚染域で、底質汚濁の進んだ状態になっています。底生生物が確認できたのはわずかに北部地域の7地点で種類はイトミミズとユスリカだけで、多い地点でもst.5でイトミミズが35個体/m<sup>2</sup>でした。シジミをはじめ貝類はまったく確認できませんでした。イトミミズとユスリカは汚濁指標種であり、多くの地点が無生物地域で汚濁指

標種すら生息していませんでした。底泥が生物の生息を困難にしていると考えられます。

- (2) 新生堆積物の厚さは1週間で3地点の平均0.91cmで総堆積量は11,000m<sup>3</sup>、1日あたり1560m<sup>3</sup>、25mプールで4.7杯分にもなります。CODは平均149mg/gで有機物の多い軟泥です。
- (3) 底層水の溶存酸素は4.0mg/ℓから10.3mg/ℓの範囲でシジミの生息を困難にする貧酸素水の形成はありませんでした。塩分は1.50%から11.97%の範囲で、クロロフィルaは44μg/ℓから177μg/ℓの範囲で植物プランクトンは多い状態でした。

## 総合考察

### 1. ヤマトシジミを再生した場合の濾過水量とクロロフィルaの吸収量の試算

室内、現場実験でシジミの濾過作用により、クロロフィルaは1個体あたり46.3μg/ℓhr個、1.0gあたり6.80μg/ℓhrg（2001年5月、現場実験）吸収されることがわかりました。この値より次のようにシジミが再生したと仮定した場合の濾過に要する日数と植物プランクトンの除去作用について試算しました。

仮定① 殻付重量1.0gあたりの濾過量0.17ℓ/ghr（宍道湖での試算値）。

- ② シジミ1個を重量2.0g、殻長約20mmとする。
- ③ 佐鳴湖の全周5.5kmの湖岸、岸から幅20mに、シジミは100個/m<sup>2</sup>存在するとする。この密度は宍道湖の生存密度を参考にすると低密度である。

#### (1) 濾過水量

- ① シジミ1個あたりの濾過水量  
 $0.17\ell/\text{ghr} \times 2.0\text{g} = 0.34\ell/\text{hr}$

## ヤマトシジミの復活をめざして —佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

### ② シジミの現存量

$$5.5 \times 10^3 \text{m} \times 20 \text{m} \times 100 \text{個}/\text{m}^2 = 1.1 \times 10^7 \text{個}$$

$$2.0 \text{g} \times 1.1 \times 10^7 \text{個} = 2.2 \times 10^7 \text{g}$$

### ③ 全個体の濾過水量

$$2.2 \times 10^7 \text{g} \times 0.17 \text{ℓ}/\text{g} \cdot \text{hr} = 3.74 \times 10^6 \text{ℓ}/\text{hr}$$

### ④ 佐鳴湖の全水量の濾過に要する日数

$$\text{佐鳴湖の全水量} = 1.7 \times 10^9 \text{ℓ}$$

$$1.7 \times 10^9 \text{ℓ} \times 1/3.74 \times 10^6 \text{ℓ}/\text{hr} = 4.54 \times 10^2 \text{hr}$$

$$4.54 \times 10^2 \text{hr} = 18.9 \text{日}$$

シジミ1個が重量5.0g、殻長約25mmの場合  
18.9日  $\times$  1/2.5 = 7.5日

2.0gと5.0gのシジミが同量混在した場合の濾過日数は、平均して13.2日となる。

### ⑥ シジミが1,000個/m<sup>2</sup>の高密度(宍道湖の密度)存在すると仮定すると

$$13.2 \text{日} \times 1/10 = 1.3 \text{日} \text{となる。}$$

湖岸わずか20mの幅に2.0gと5.0gのシジミが同量ずつ混在し100個/m<sup>2</sup>の密度で、55トン再生するだけで13日で濾過されることとなります。宍道湖と同様な密度で再生すればわずか1.3日で濾過されることとなります。宍道湖での試算では3日で濾過する試算となっており、佐鳴湖は小さな湖なのでシジミが再生されれば浄化の期待がもてます。

## (2) クロロフィルaの吸収量

### ① 4月～6月の全層の平均クロロフィルa

$$218 \mu\text{g}/\text{ℓ}$$

### ② 全クロロフィルa量

$$218 \mu\text{g}/\text{ℓ} \times 1.7 \times 10^9 \text{ℓ} = 3.70 \times 10^{11} \mu\text{g}$$

### ③ シジミ1.0gあたりのクロロフィルa吸収量

現場の下げ潮での1個 (6.81g) あたりの吸収量46.3 $\mu\text{g}/\text{hr}$ 個より

$$6.80 \mu\text{g}/\text{hr} \cdot \text{g}$$

### ④ 全個体のクロロフィルa吸収量

$$2.2 \times 10^7 \text{g} \times 6.80 \mu\text{g}/\text{hr} \cdot \text{g} = 1.50 \times 10^8 \mu\text{g}/\text{hr}$$

### ⑤ 佐鳴湖の全クロロフィルaの濾過に要する日数

$$3.70 \times 10^{11} \mu\text{g} \times 1/1.50 \times 10^8 \mu\text{g}/\text{hr}$$

$$= 2.47 \times 10^3 \text{hr}$$

$$2.47 \times 10^3 \text{hr} = 103 \text{日}$$

### ⑥ シジミ1個を重量5.0g、殻長約25mmとすると

$$103 \text{日} \times 1/2.5 = 41 \text{日}$$

2.0gと5.0gのシジミが同量混在した場合は、72日となる。

### ⑦ シジミが1,000個/m<sup>2</sup>の高密度(宍道湖の密度)存在すると仮定すると

$$72 \text{日} \times 1/10 = 7.2 \text{日} \text{となる。}$$

図8に示したようにクロロフィルaとCODの相関が高く ( $r=0.86$ )、クロロフィルaが減少すればCODも低下し、透明度も高くなります。現在の透明度は0.2～0.6mの範囲で、水色は夏は緑色で冬は茶褐色です。昭和32年の透明度の記録は1.0mであり、透明度の2倍の深さまで生産層と考えられるので底まで生産層であったこととなります。当時はシジミが大量に漁獲でき、シジミの存在が水中からの有機物の取り出しの働きをしており、透明度を維持していたとも考えられます。現在の佐鳴湖の植物プランクトンの消費者は魚類以外にはいません。シジミなどの二枚貝の再生が植物プランクトンの消費者を増やすこととなります。

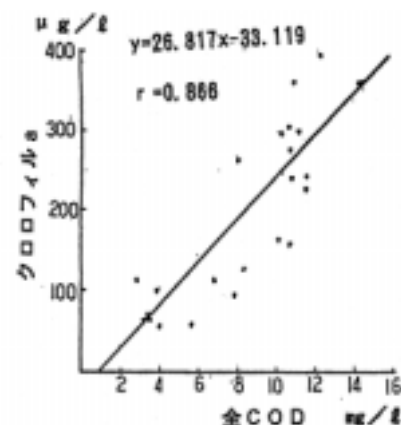


図8 クロロフィルaとCODの相関関係

## 2. なぜ中央部でシジミは生存できないのか

シジミの生存に大きな影響を与える要素には①底質の粒度組成②溶存酸素③塩分があります(中村)。新川河口、中央部の環境と宍道湖の好適な生息環境を比較すると(表6)、新川河口は宍道湖の好適環境によく似ていますが、中央部は底質がシルトでCODが大きく、シジミの生息には困難な環境と考えられます。シジミは貧酸素水に耐性が強く、1.5mg/ℓでも30日間生存できます(中村、1996)。佐鳴湖の今年の底層水の溶存酸素は4.0mg/ℓ以上あり、シジミが生存できないほど低酸素水になることはなく、酸素不足で生存率を低くしたとは考えられません。塩分の適性範囲も広く佐鳴湖は好適な塩分範囲で、受精に最も適した塩分は5%といわれ、繁殖にも適した塩分と考えられます。水槽に佐鳴湖のシルトと佐鳴湖の水を入れエアレーションをしシジミを飼育すると、シジミはシルトの中に埋没しても水管を泥の表面まで伸ばし生存を続けます。水槽実験では、シルトであっても酸素が豊富にあれば死ぬことはありませんでした。中央部でシジミの生存率が21%と低いのは豊富な植物プランクトンなどの懸濁物の沈降と関係があると考えられます。佐鳴湖の4月から9月の表層から底層の全層のクロロフィルaの平均は157μg/ℓと大きく、底層への懸濁態有機物の沈降堆積量が大きく、8月の新生堆積物は1週間で0.9cmの厚さで堆積するほどです。そのため底質に埋在するシジミの水管を詰まらせるため生存が困難になるとことが考えられます。植物プランクトンや懸濁物は餌

になりますが、多過ぎると水管を詰まらせる原因になるのではないかと考えられます。2002年に湖岸で生存実験をしたところ、夏に死滅してしまいました。水色は緑色で水深0.3mでも底がまったく見えないほどプランクトンが集積しました。また、シルト質は幼生が着底するときに足糸を固着させる砂や礫がなく幼生が埋没してしまい稚貝が育成できないのでたとえ受精卵が発生しても着底し稚貝が成長できる環境でないと判断できます。

### 提言 シジミの再生のために

シジミを復活させるためには、佐鳴湖をシジミの生息できる環境に戻すことです。そのためには①育成棚の造成②淡水化しないこと③新生堆積物の沈降堆積量を減らすことの3点が重要です。①は新川河口のような砂礫質の棚を湖岸に造成し、湖底の傾斜を緩くし急深にしないこと、貧酸素水が形成されると湖岸まで押し寄せる可能性があるからです。現在の佐鳴湖は親水湖岸の整備が進み、湖岸に大きな礫が敷きつめられ、礫の沖側は急深になっているので礫の上に砂を被覆し緩傾斜にすればシジミの育成棚として利用することが可能になります(図9)。②は好適な塩分濃度を維持するために淡水化せずに汽水域を保つことで、現在の佐鳴湖の塩分は全域で2%~11%の範囲で変動し、受精、成長の好適な環境であるといえるので、水門などで閉鎖しないことです。③は植物プランクトンの増殖を抑制することが大切です。これまでの私たちの佐鳴湖での現場実験で植物プランクトン

表6 ヤマトシジミの生息環境 2003年4月~9月

	生存率	底質	COD	DO	塩分
新川河口	60%	砂礫	2mg/g	飽和	0.55~4.4‰
中央部	21%	シルト	500mg/g	4.0~10.3mg/g	1.50~11.97‰
好適な環境(宍道湖)		砂	<10mg/g	飽和度50%以上	0~22‰

## ヤマトシジミの復活をめざして —佐鳴湖の浄化への挑戦—

静岡県立浜松湖南高等学校 自然科学部 野中 一臣 伊奈 良平 大杉 圭

現況の親水湖岸

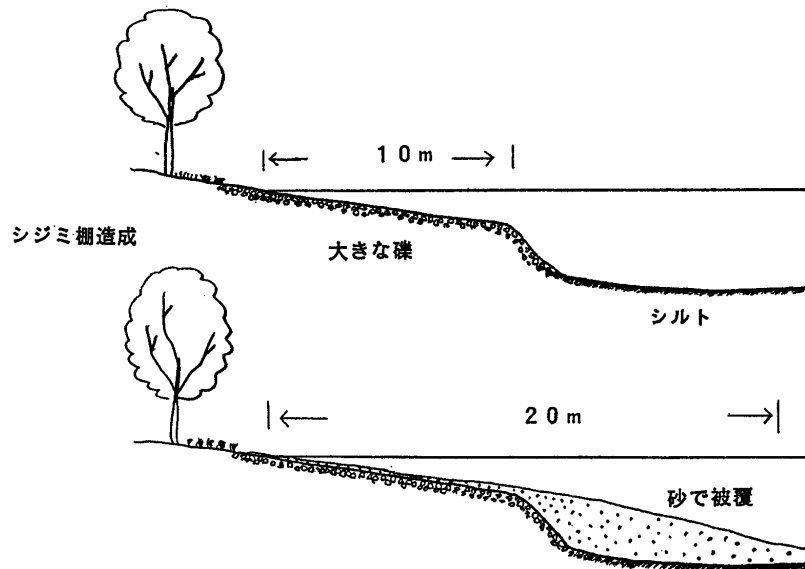


図9 シジミの育成棚の達成

の増殖は $\text{PO}_4\text{-P}$ の添加により大きく増殖することがわかっているので $\text{PO}_4\text{-P}$ の負荷を小さくすることが重要です。また、ヨシ群内の生存率も高いので、ヨシ群を育成することも方法のひとつです。水生植物群内は水温が $30^\circ\text{C}$ 以上になることもなく植物プランクトンの発生も少ないからです。

宍道湖での物質循環のシュミレーションによるとヤマトシジミがある場合とない場合を比較すると、ある場合は植物プランクトンの現存量が50%に減少し、デトリタスの沈降量は24%に減少し、植物プランクトンの沈降量は40%に減少すると試算されています(中村)。ヤマトシジミが存在することは、水中の懸濁態物質を取り込み、水中から取り除く働きをするということで、さらにシジミはコイなどの魚類、カモなどの鳥類の餌となります。佐鳴湖は魚類が豊富でコイも多く、冬はカモの飛来も多く野鳥の観察場所にもなっており、シジミを餌とする生物も多く生息しています。また、ヒトが漁獲すれば水中から窒素、リンを含む

有機物を取り除くことにつながります。シジミという媒体を通して自然の浄化作用がうまく機能し、莫大な資金を投資して化学的に浄化するよりも、大きな資金を必要とせず安全で他の生き物にも有益で、人にとっても恩恵があるといえます。シジミが生息するということが自然の浄化機能を維持することにつながり、そのためには、シジミの生存が可能な環境を整備することが最も重要なことであり、シジミの再生は湖水の浄化につながるということを広く一般にも理解できるように啓蒙活動をしていかなければなりません。

### 今後の調査課題

- (1) 底層水の溶存酸素の詳細な測定底質がヘドロ状態であると底泥直上の2~3cmの薄い層が無酸素水になり湖底を覆うこともあり、シジミは貧酸素水に耐性があるとはいえ、数日間無酸素水に暴露されると死滅することも考えられます。底泥の直上水の垂直分布を詳細に調査する必要

---

があります。

- (2) 底泥の中央粒径の測定シルト質の中のシルトの含有率によってもシジミの生存に影響を与えるのでシルトの含有率を調べ、中央粒径により粒径の分布を詳細に調べる必要があります。
- (3) シジミの直蒔き調査河口部では一定区画にシジミを個別別に標識をつけ直接蒔いて、生存率、成長量を測定し、夏には稚貝の発生を調査します。また、潮汐による水質の変化を詳細に調査し、都田川河口のシジミ生息地の水質、底質の調査をし佐鳴湖と比較検討します。
- (4) 懸濁物、植物プランクトン吸入による入水管への影響調査密度の大きい植物プランクトンや泥の粒子が沈降し、入水管に吸い込まれるとき、シジミは選択し取り込んでいるのか、また、魚類が赤潮でへい死するときのように鰓に目詰りすることがあるのか調査する必要があります。

#### 参考文献

1. 日本のシジミ漁業（その現状と問題点）
2. 新編水質汚濁調査指針（恒星社厚生閣）
3. 湖水海水の分析（講談社）
4. 海洋観測指針（日本気象協会）
5. 佐鳴湖（静岡県）
6. 赤潮生物環境指針
7. はままつの環境（浜松市）