

汽水湖の生物と漁業

- ヤマトシジミを中心に -

汽水湖と汽水生物相の特徴

中村 私の話は、汽水湖と生物の話です。それでまず最初に、生物の環境という面からみた汽水湖の性格や、汽水の生物相の特徴などについて、ごく簡単に触れておきます。

《日本の汽水湖の一般的な特性》

まず日本の汽水湖の一般的な特性を箇条書き的に述べますと、

水深の浅い湖が多く、狭い水路によって外海と自由につながっている。そのため、潮汐の影響による水の出入りがあって、外海との物質交換がなされている。

河川が海に注ぐ手前があるので、集水域から有機物や栄養塩が流れ込み、肥沃である。

水深が浅いので、水中の生物にとっては太陽エネルギーを利用する上で有利となり、しかも肥沃であるから、生物の生産性が高い。

ただし湖水は停滞しやすく、自然の沈澱池の役割も果たしている。

塩分躍層が生じやすい。それに伴い、夏季の底層水は酸素不足になり、底泥からの燐酸態リン($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)の溶出が多い。

生物群集は、汽水域に固有な種に加え、海

産種も淡水産種も侵入してくるので、変化に富んだ特色ある生物相がみられる。

《変塩性汽水湖と定塩性汽水湖》

汽水湖には、塩分濃度の著しく変動しやすいタイプと、塩分濃度が比較的安定した状態で保たれているタイプとがあります。

例えば穴道湖は前者のタイプで、この湖では潮の干満や気象の影響によって、塩素イオン濃度は500～6,000ppm(0.5～6‰)の幅で容易に変化します。このように、塩分濃度が時間的な推移に伴って変動する汽水湖を、変塩性汽水湖といいます。河川が直接海に注ぐ河口域の多くもこの型の汽水域です。

変塩性の汽水湖では、塩分が最小値に近づくにつれて死滅してしまう海産種や、逆に塩分が最大値に近づくにつれて死滅してしまう淡水産種がみられ、塩分変化の激しさが生物の種数と量を制約しています。そのためこの型の湖では、栄養塩NとPの増加と、生物、とくに基礎生産者である植物プランクトンの生産量の増加とが、必ずしも平行して進むとは限りません。

それに対して、例えば中海などでは、塩分躍層が形成されているので、塩分濃度は垂直的には変化していますが、ただそれが、時間的な推移に伴って変動することがなく、安定し

た状態を保っています。このタイプの湖は、定塩性汽水湖とよばれます。

《汽水の生物相と塩素濃度》

汽水は、生物の立場からも塩分濃度によって区分されますが、この場合には、生物の耐塩性(浸透圧耐性)と対応して始めて意味もってきます。現在、世界的に使用されているものは、オランダのレデッケ(REDKE)によるもので、表3・1がそれです。

汽水湖には、さきに触れましたように、淡水域からは広塩性の淡水産種が、海からは広塩性の海産種が侵入して生活しております。もちろん汽水域だけで生活する純汽水産の生物種もいるわけで、この純汽水の生物種にも狭塩性のものと広塩性のものとがいます。

では、こうした3様の生物が、それぞれどのような塩分濃度の中で生活しているかということですが、これについては、金沢大学におられた益子帰来也先生の貴重な研究があります。先生は、日本の動物プランクトンとその生息水域の塩素量との関係を調べ、その結果をレデッケの区分に対応させております。

図3・1がそれですが、この図から、純汽水種が占有しているのは塩素濃度が1～5g/lという非常に限られた範囲の水域であることが分かります。これは、レデッケの α -mesohaline

表3・1 - 汽水の分類<REDEKE 1933>

Cl(g/l)	区分
< 0.1	fresh water(淡水)
1.0 - 0.1	oligohaline(低塩性)
10.0 - 1.0	mesohaline(中塩性)
17.0 - 10.0	polyhaline(高塩性)
> 17.0	sea water(海水)

図3・1 - 日本の汽水域における動物プランクトンの分布と塩分との関係を示す図<MASHIRO 1955>

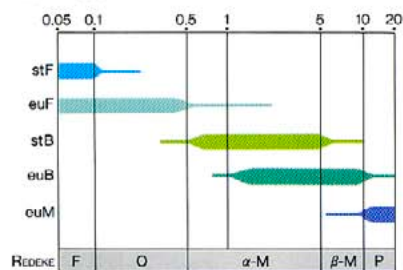


図3・2 - 塩分濃度と種類数の関係を示す模式図<J. Hedgpeth, 1957>

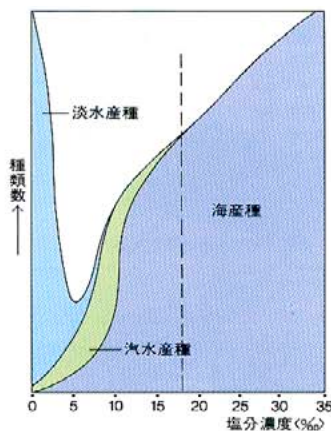
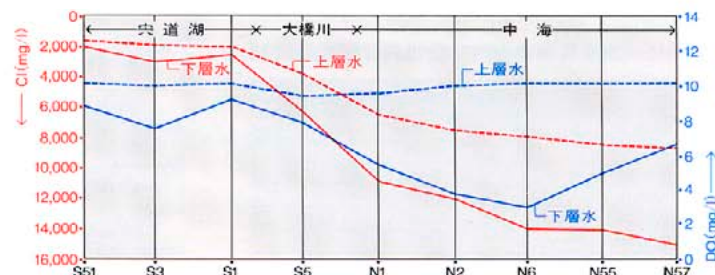


図3・3 - 穴道湖・中海・美保湾の位置図



図3・4 - 穴道湖・中海の塩素イオン濃度と溶存酸素量



(α-中塩性汽水)に相当します。

《純汽水産生物の構成種数は非常に少ない》
純汽水産生物の大きな特徴は、その種数が、淡水産や海産の種数に比べて著しく少ない点にあります。これについては、淡水や海から侵入した種が定着しようとする場合、塩分変化の上限と下限とが制限要因として相乗的に働くからといわれます。また汽水域という環境は、生物の分化が進むのに充分なほど長期にわたって安定していないからともいわれますが、いずれにしても純汽水産生物の種数が非常に少ないことに間違いはありません。

図3・2は、塩分濃度と種数の関係について多くのテキストに載っているものです。この図は、横軸に塩分濃度を取り、縦軸には種数、すなわち淡水産種・汽水産種・海産種を全部あわせた種数をとって、塩分濃度に対応して種数がどのように変わっているかをみたものです。この図から、汽水産種の種数が、淡水産種や海産種のそれに比べてぐんと少ないこと、また塩分が5‰のときに全体の種数が一番少なくなっていることが分かります。

宍道湖・中海・美保湾の魚たち

島根半島によって日本海と隔てられた宍道湖・中海は、西から斐伊川→宍道湖→大橋川→中海→境水道→美保湾と連なる水系の一部で、

この水系に流入する全淡水量の約80%は、斐伊川から供給されます。この水系が貴重なのは、純淡水→低塩性汽水湖→高塩性汽水湖→内湾というように、互いに塩分濃度の異なる水域が相連なって並んでいることです(図3・3、図3・4参照)。

この水系は水産生物の宝庫で、昭和30年頃までの中海は、豊かな魚類に恵まれて全国一の漁獲量をあげていました。だいたい魚類は、プランクトンや底生生物と違って自由に移動できます。しかも魚類には、微生物や底生生物と違って浸透圧耐性の強いもの、つまり体内の浸透圧調節機構がよく発達したものが多く、汽水域から内湾にいたるこれらの水域には、淡水産・汽水産・海産の魚が出入りし、漁業生物が豊かになるわけです。

この水域の魚類については、干拓工事の始まる前に宮地伝三郎先生が中心となって詳しく調査され、その記録が、宮地伝三郎編「中海干拓・淡水化事業に伴う魚族生態調査報告」(1960)にまとめられています。その中に、宍道湖・中海・美保湾の3つの水域では、主要な魚たちがどのように移動し、生活しているかを、当時の漁業日誌記録や聞き取り調査に基づいて川那部先生らがまとめられた図が載っています。それが図3・5で、これら3つの水

域を利用する魚たちは、大きく見ると7つのタイプに分かれます。

第1は、宍道湖だけでその一生を過ごすもので、コイ、フナ、ワタカ、オイカワなどの純淡水魚のグループです。

第2は、宍道湖で産卵し、宍道湖と中海の西部を生活の場とするもので、シラウオとワカサギがこれに属します。

第3は、中海を生活の中心的な場としていながら、部分的に宍道湖や美保湾を利用する魚たちで、サッパ、ヒイラギ、マハゼ、クルマサヨリ、ギンボ、イシカレイ、コノシロ、ダツ、ヨシエビなどがこれに属します。

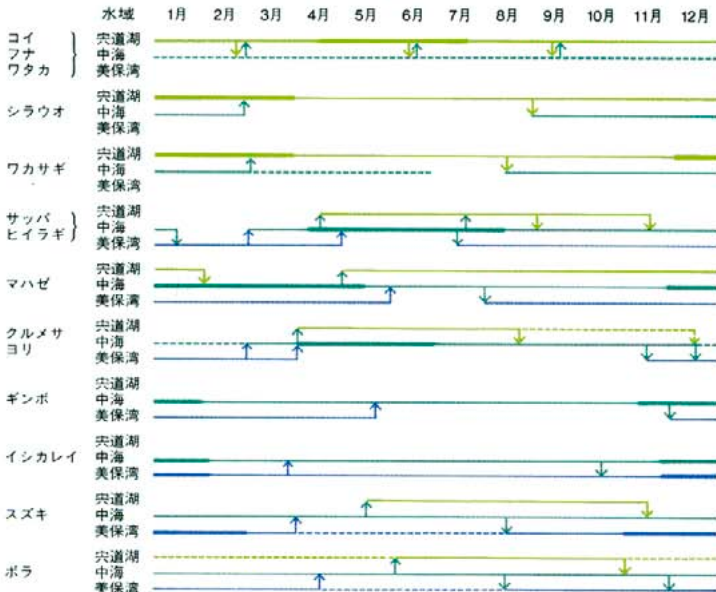
第4は、産卵だけは外海で行うが、生活史の大部分を淡水・汽水域で過ごすもので、ウナギがこれに属します。

第5は、生活史の大部分を美保湾あるいは外海で過ごすが、春から秋にかけて殆どのものが中海さらには宍道湖で生活する類で、ボラ、スズキ、シマイサキなどがこれに属します。

第6は、ふつうは生活史の全部を美保湾で過ごすが、その一部がいろいろな事情で中海に入り込んでくるもので、メバル、アイゴ、マダイ、カタクチイワシ、マイワシ、マアジ、キス、アカカマスなどがこれに属します。

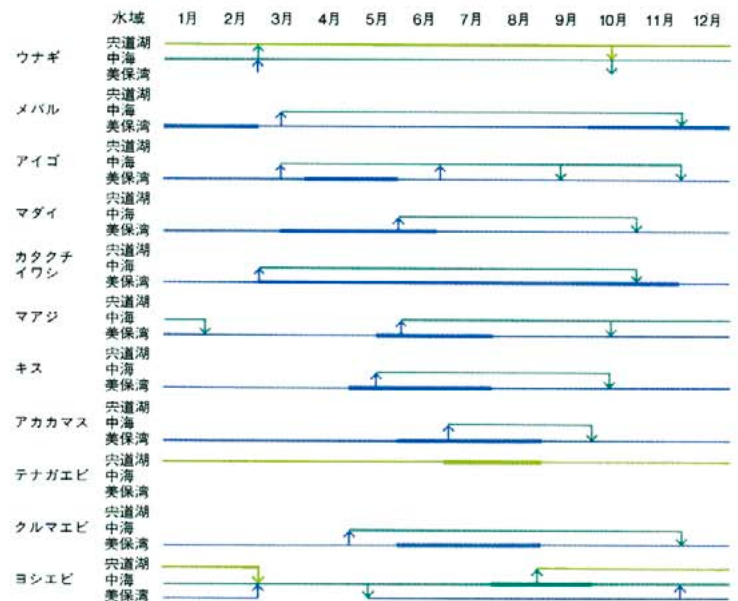
第7は、生活史の全部を美保湾より外で過

図3・5 - 宍道湖・中海・美保湾の3水域に対する主要魚種の使い分け



太線は推定産卵期、細線は存在、点線は僅かながら存在することを示す。

<宮地伝三郎編：中海干拓・淡水化事業に伴う魚族生態調査報告，1960より>



すものです。

もちろん、ここに示した魚たちはこの水域に棲むものの一部で、それぞれのタイプごとにまだ多く魚たちがいるのですが、ただこの図からも推定できるように、宍道湖では淡水産魚が、中海では海産魚が多くなります。特に中海では、様々な方法でこの汽水湖を利用する海産魚が非常に多いのです。汽水湖は生物の生産性が高いので、大型の藻類はよく繁茂して魚たちの産卵・成長に欠かせない藻場を沢山つくります。また魚たちの餌となるプランクトンや付着藻類も豊富に貯えられています。こうした条件があるために、魚たちは汽水湖に群がり集まってくるわけです。

ただ中海では、境堤防の延長工事や外江干拓地の造成などに伴って境水道の流程が延びたため、中海の水位が上昇し、また潮流の影響をうける範囲も縮小しました。そのため、湖水は停滞してヘドロが堆積するようになり、環境は非常に悪化してしまいました。最も重要な漁業資源であったサルボウも姿を消し、昭和42年には中海干拓補償金が支払われて漁業権もなくなり、魚介類の宝庫であった昔日の面影は見られません。

汽水湖の漁業とヤマトシジミ

一方、宍道湖は、現在、日本の湖沼の中では第1位の漁獲量をあげています。図3・6は、昭和63年の日本全国の湖沼の漁獲量をみたものです。ただちょっとお断りしておきますと、浜名湖、サロマ湖、能取湖などでは、導水路

をつくって海水を入れ、漁業生産をかなり上げておりましたが、これらの湖は、水産の方では、湖沼や河川などの内水面漁業ではなく、内湾などの海の部類に入っております。それで、ここである湖沼(内水面)の漁獲統計には入っておりません。

さて日本全国の湖沼の漁獲量では、図のように宍道湖が一番多くて10,637トンになっています。図3・7は、これらの湖沼の単位面積あたりの漁獲量ですが、1km²あたりの漁獲量が一番多いのは沼沼で310トン、次が宍道湖で133トン、3番目が十三湖の90トン、4番目が小川原湖の75トンとなり、上位4位まではすべて汽水湖です。

このように漁業の立場からみても、汽水湖は単位当たりの生産量が大きく、従って漁業価値が非常に高いということになります。ただその汽水湖の漁獲量の内容をよくみると、生産量の高いのはヤマトシジミなんです。

図3・6には、漁獲量の中でシジミの占める割合も示してありますので、それを見ていただければ分かるように、宍道湖ではじつに92%がシジミです。また沼沼では89%、十三湖では96%、小川原湖では62%がシジミです。

つまり日本の汽水湖では、ヤマトシジミの漁獲量が非常に多いので、全体の漁獲量が多くなっているわけです。さきに見たように、汽水湖は生物生産が高いので魚たちもたくさん集まるわけですが、じつはもう1つ、底生生物のヤマトシジミの宝庫でもあって、水産資

源としては、これが非常に重要な位置を占めているのです。それで次に、ヤマトシジミを中心に、漁獲量の移り変わりやその生態などについて、少し詳しくお話しします。

主な湖沼・河川のシジミ漁獲量の変遷

《八郎潟》

図3・8は、シジミ漁獲量の大きな主な湖沼・河川を中心に、昭和40年以降、漁獲量がどのように推移しているかを見たものです。

まず八郎潟ですが、この汽水湖は、干拓以前の面積は220.4km²もあって、汽水湖としては日本で最も大きかったのですが、昭和32年から始まった干拓事業で約3分の2が乾陸化され、残りの周縁部の水域は調整池として淡水化されました。事業の完成は昭和39年で、これ以降シジミの産地ではなくなります。

ところがこの八郎潟で、平成元年には、突然1,755トンのシジミがとれ、翌年の平成2年にはじつに10,750トンもとれているのです。実はそれまで八郎潟には、宍道湖から毎年5トンのシジミを移植放流しておりました。それが、昭和62年に台風がきたときに、八郎潟ではちょうど水門の工事をしていたわけですが、この水門は海ぎわにあるので、高波となって打ち寄せてきた海水が八郎潟に入ってしまった。それで、この年にヤマトシジミが一遍に大量発生したわけです。そして、それが大きく成長して平成元年に1,755トン漁獲され、更にその翌年の平成2年には10,750トンにも増大したのです。

秋田県の試験場の試算では、62年に大量発生したシジミは約800億個とされています。これは、宍道湖以上のシジミが一遍に大量発生したことになります。ヤマトシジミは、受精時の塩分濃度が一番重要で、それが5%前後と思われます。この条件に恵まれたとき、ヤマトシジミは驚くほど大量に発生するわけです。しかもヤマトシジミは、稚貝になってあるサイズまで達すると、淡水でも十分に成長します。それで、62年に発生したものが大きくなって、平成元年や平成2年にとれたわけです。ただ平成2年がピークで、平成3年には減少

図3・6 - 湖沼別漁獲量(昭和63年)

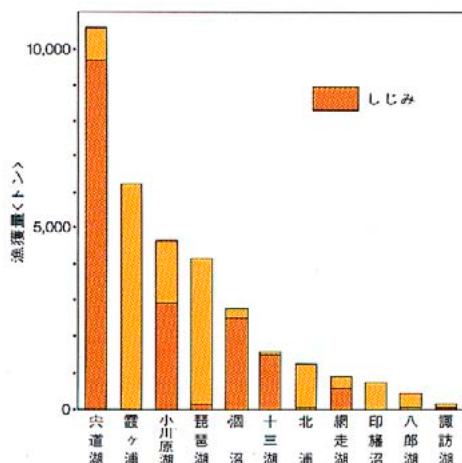
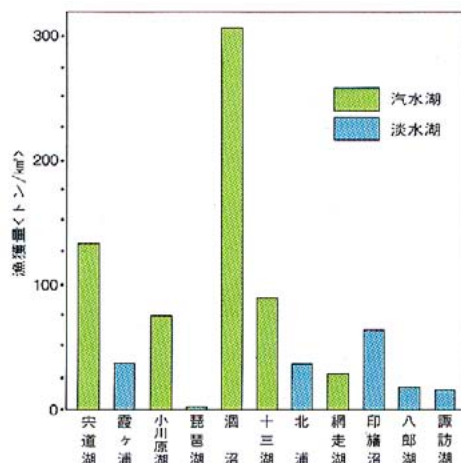


図3・7 - 単位面積当たりの漁獲量(昭和63年)



しています。八郎潟では、現在シジミは再生産されませんから、今のままでは、いずれ消滅すると思われます。

《利根川》

次に利根川ですが、この水系は河口より40km上流まで海水が遡上していたので、以前からヤマトシジミが沢山とれる水域としてよく知られていました。

利根川のシジミ漁獲量は、図に見るように昭和40年代前半は常に20,000トン以上を維持し45年には実に38,000トンもとっていて、全国の8割近くを占有していました。それで、東京を中心とする首都圏のシジミ需要も、十分にまかなわれていたわけです。

それが昭和46年になると、河口より18.5kmのところ利根川河口堰が完成し、それより上流では海水の流入がカットされて塩分が入らなくなります。また河口堰より下流では、シジミには塩分濃度が濃すぎる状態になってしまい、昭和46～47年には、水の滞流や酸欠によるシジミの大量斃死という事件が起こります。これ以降、利根川では漁獲量は激減し、この水域のシジミ資源は失われてしまいます。

《その他の湖沼》

この図には、琵琶湖のシジミも載せましたが、もちろんこれは淡水産のセタシジミで、ヤマトシジミではありません。琵琶湖でも昭和40年代以降になると、水質悪化と乱獲のためにセタシジミの漁獲量が激減しています。

以上のことで分かるように、現在では、残されたシジミの主要産地は宍道湖だけとなり、この湖のシジミは、水産資源としてたいへん重要な位置を占めるようになったわけです。その宍道湖にしても、中海・宍道湖の干拓淡水化事業によって、いつでも淡水化できる状態になっているのですが、ご存知のように昭和63年になって、淡水化事業は当分のあいだ延期することにまりました。おかげで宍道湖のシジミは生き延びたわけです。

宍道湖のシジミ漁業の変遷

《明治・大正時代頃まで》

私たちの祖先は、縄文時代からヤマトシジミ

を食べていたようで、宍道湖周辺の西川津遺跡からは、この時代のものがでてきます。弥生時代になると大量にでてきますが、遺跡にでてくる縄文・弥生時代のシジミは、現代のものに比べて非常に大きいのが特徴です。私の考えでは、おそらくこの時代には、湖の浅いところで、大きく美味そうなものを素手で採っていたのだらうと思います(笑)。江戸時代になると、宍道湖の漁業は古文書にもでてきます。当時の宍道湖の漁業は、松江藩の殺生方から免許をもらった漁民だけによって行われていたようで、採ったシジミは大釜でゆでられ、ゆで汁は肥料として農民に、貝殻はしっくい原料として灰屋に、身の部分は食料として一般に売られており、シジミは余すことなく利用されていたようです。

明治から大正時代については、資料があまりないのでよく分からないのですが、この時期も、漁法やシジミの利用の仕方は、以前とは余り変わっていないように思います。ただ宍道湖魚協の古老の話では、当時の宍道湖では、ワカサギ、シラウオ、フナ、コイ、ウナギなどが中心で、シジミは余り重要視されていなかったようです。一方、大正13年から昭和7年にかけては大橋川の浚渫工事が行われ、これにより、宍道湖への海水の流入がよくなっ

て、シジミの生息量も多くなったものと思われます。

《戦後のシジミ漁業の変遷》

戦後の昭和20年代は食糧難の時代で、みんなが米作りに追われていて、シジミ漁業者も殆どが兼業農家でした。そのため漁業に力を入れる余裕もなく、漁法も戦前と同じで、漁獲量も100～200トン程度でした。

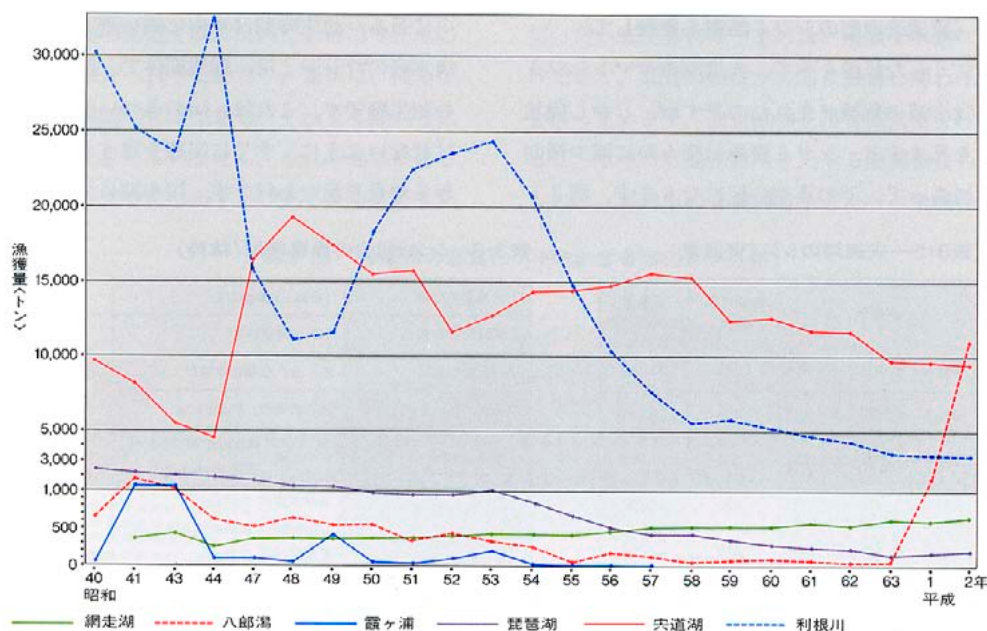
それが昭和30年代に入りますと、経済の復興につれて漁具や漁法が大きく変わってきます。まず昭和30年には、ディーゼルエンジンが導入されて、機動力がぐんと向上します。

次いで昭和38年には、保冷車ができて遠くまで迅速に運べるようになり、消費地がぐんと拡大します。一方では、従来の手掻から、機械掻といわれる「なわかけ」漁法が開発されて、採集効率が飛躍的に向上し(第1次漁法革新)、漁獲量も急上昇してきます。

そして昭和46～47年になると、さきほど見たように、利根川でのシジミの大量斃死事件が起こります。このため首都圏ではシジミ不足を解消するために、新しい供給源を求めるのですが、すでに当時、これに応えられるシジミの産地は宍道湖だけになっていました。

宍道湖では、このような需要の拡大に対応して、第2次漁法革新によって「つなひき」漁

図3・8 - 主要湖沼におけるシジミ漁獲量の変遷



法を開発し、一段と漁業効率を向上させます。こうして昭和48年には、19,234トンという空前の漁獲量に達します。宍道湖のシジミは、「とってもとっても湧いてくる」と言われたのがこの時期です。

こうして宍道湖では、シジミはとればとるだけ売れるというので、1日に1トン以上もとる漁業者もいて、今度は乱獲による資源の減少傾向が見え始めてきます。そのためシジミ組合では、自主的に漁獲量を規制し、昭和50年には1日の漁獲量を400kgに制限しました。その後昭和52年200kg、昭和59年150kg、昭和63年120kgと、だんだんに減らしていき平成元年には1日80kgまで落としています。

この間、さきにも触れましたように、中海・宍道湖の干拓淡水化の工事が進んでいて、昭和49年には、淡水化のための中浦水門が完成します。これに対して、両湖の水質悪化を心配し、環境保全を願う地域住民によって盛んな反対運動が起こります。その中で、淡水化後には、宍道湖のシジミが消滅するという事実が、広汎な人々に淡水化事業に対する疑問を抱かせることになります。またシジミ漁業者は、その生存権をかけて淡水化反対運動に取り組みます。こうして、地域住民や関係者の努力によって、昭和63年に淡水化事業の延期が決定されることになります。

《資源管理型のシジミ漁業を目指して》

こうした経緯をへて、宍道湖のヤマトシジミは全滅の危機を免れたのですが、しかし現状を見ますと、シジミ資源は明らかに減少傾向にあって、その点が心配になります。表3・

2は、私どもが調査・試算した宍道湖のシジミの資源量です。かつては、「とってもとっても湧いてくる」といわれたシジミも、表に見るように最近では減少傾向を示し、平成2年の資源量は、昭和57年に比べ約3分の2に減少しています。また、大きさが小さくなっているのが大変気になります。

現在、宍道湖ではシジミ組合が表3・3のような操業規則をつくり、自主規制しながらシジミをとっています。現在、網目の大きさは11mm以上となっていますが、これは、12mm以上にすべきだと私は考えています。

いずれにしても、いま宍道湖が必要とされ、また宍道湖が目指しているものは、シジミ資源を生かし、管理していく漁業です。そしてこうした漁業のためには、宍道湖の環境保全が必要なことは当然として、それと関連してヤマトシジミの資源生態を詳しく調査し、その資源生態にもとづいて漁業管理の方策を考えることが大切だと思います。

ヤマトシジミの生態

《汽水産のシジミと淡水産のシジミ》

日本には、汽水産のヤマトシジミのほか、淡水産のマシジミとセタシジミの3種類のシジミが生息します。これら3種類のシジミの違いは、表3・4に簡単にまとめました。

汽水産のヤマトシジミは、雌雄異体で卵を水中に産み、幼生時期は水中に漂い遊泳します。淡水産のマシジミは、雌雄同体で、幼貝を産む胎生種です。これは、川のきつい流れに運ばれないように、すぐに川底を這うことができる幼貝を産むわけです。淡水湖にすむセタ

シジミは、雌雄異体で卵を水中に産みます。セタシジミが、ヤマトシジミとマシジミとのどちらの近縁種であるかについては、従来から両説があります。私どもも、島根大学の沢先生などと一緒に、酵素遺伝子の面からそれらの類縁関係を調べ始めております。

《産卵から浮遊子貝の時期》

ヤマトシジミの産卵は7～8月が最盛期で、1個体で約100万個という非常にたくさんの卵を水中に放出します。卵は径0.3mmくらいで外皮に包まれています。受精後約2時間半で卵割を始め、17～20時間で胞胚期に達し回転運動を始めます。しばらくして幼生形となりますが、この時期から繊毛がよく発達し活発に泳ぎます。

やがて外皮を破って孵出した浮遊子貝は活発に遊泳し、殻長が約0.2mm弱になると底生生活に入ります。ヤマトシジミの場合、産卵から底生生活に入るまでの浮遊期間が約1週間と長いのが特徴です。底生生活に入ってから暫くすると、殻頂がふくらみ始めます。

ヤマトシジミの卵は、淡水中では10分たらずで膨張し、卵割できずに崩壊してしまうので淡水中では産卵できません。逆に、塩分濃度が高い海水ですと、浸透圧の関係で卵が壊れてしまいます。このようにヤマトシジミの生存には、産卵から浮遊子貝までの、この時期の塩分濃度がきわめて重要で、その最適濃度は5%といわれます。この5%というのは非常に重要な塩分濃度で、さきの図3・2に示したように5%のときに種数が一番少なくなります。種数が少ないと、その個体数はものす

表3・2 - 宍道湖のシジミ資源量

調査日	総個体数 (億個)	総重量 (トン)
1982年 7月18日～ 8月12日	329	30,940
1983年 4月25日～ 4月30日	496	23,414
1983年10月25日～10月30日	220	27,282
1987年 4月14日～ 5月 7日	1,699	14,700
1987年11月 4日～11月24日	316	20,200
1990年 7月 9日～ 7月26日	230	22,174

表3・3 - シジミ組合の操業規則(抜粋)

①漁獲量の制限	1日当り80kg以内
②操業時間の制限	1日、3時間以内
③操業日の制限	水、土、日曜は休漁日
④網目の大きさの制限	漁目の目合、11mm以上
⑤漁具の制限	シジミ 獲 幅60cm、高さ30cm 奥行き60cm以内
⑥保護区(9.8km ²)	永年保護区 0.57km ² 1年保護区 5.7km ² 夏場保護区 3.2km ² 手掻区 0.3km ²

一般操業区13.8km² 漁場面積23.6km²

表3・4 - 日本にみられる3種類のシジミ

和名	ヤマトシジミ	マシジミ	セタシジミ
学名	<i>Corbicula japonica</i> Prime	<i>Corbicula teana</i> Prime	<i>Corbicula sandai</i> Reinhardt
分布・生息	汽水域 砂泥底	淡水域(小川) 砂底	琵琶湖水系 砂底
発生	卵生(雌雄異体)	幼生(雌雄同体)	卵生(雌雄異体)
殻頂部	膨らみ少し高い	膨らみ弱い	よく膨らみ高い
殻表の輪脈	弱い	強い	強い
殻皮	光沢強い	光沢弱い	光沢強い
殻の内面	白紫	濃紫	紫
浮遊期	長い	ほとんどない	短い

ごく多くなるという法則があります。

《成長期》

底生生活に入ると、シジミはどんどん成長します。宍道湖での調査では、成長の盛んなのは4月～10月頃で、冬期の12～3月はほとんど成長しません。また小さいシジミほど、成長量・重量増が大きいことが分かりました。シジミは1年で殻長約7mm、2年で約15mm程度に成長します。現在の宍道湖でのシジミの平均的な大きさは、殻長10mm、湿重量0.8g前後ですが、このサイズのシジミは、5月から7月までのわずか2ヶ月間に2倍、10月までの5ヶ月間ではじつに3倍にも重量が増えます。つまり、単純計算でいけば、春に1万トンのシジミ資源は、その年の秋には3万トンに増えているということです。

《生殖と寿命》

ヤマトシジミの生殖は、2～3年目から始まります。寿命については、確かなことは分かりませんが、計算上では、10年以上は生きるように思います。

ヤマトシジミの生息環境

《沿岸部湖棚の浅い砂底が生息域》

図3・9は、宍道湖でのヤマトシジミの分布を1㎡あたりの個体数のレベルごとに示したものです。図に見るように、沿岸部の浅いところには、ヤマトシジミは全域にわたって生息します。これは、産卵から着底までの遊泳期が1週間と長いので、この期間に湖の全域に広がるのだと思います。

図3・10は、宍道湖の底質、砂と泥の分布状況を示したものです。この図を、いまのヤマ

トシジミの分布図と比べるとすぐに分かるように、沿岸部の砂まじりの泥の分布するところがヤマトシジミの生息域です。沿岸部でシジミが非常に少ない場所は、底質が岩盤のところか、埋立てのために深く浚渫し、その跡にヘドロのたまった特殊な場所に限られます。湖中央部の水深がやや深く、泥だけのところにはヤマトシジミは生息していません。

だいたい宍道湖の湖底地形は、ヤマトシジミの生息環境としては、非常に良い格好をしています。沿岸部の水深2～3mぐらひは湖棚で、この棚状の平坦な地形が湖岸から約1km近くの幅で沿岸部をとりまいているわけですが、この広い平坦な地形上には粒子の粗い砂やシルト質の泥が堆積しています。湖棚の先端はせまい傾斜部になっていて、そのさきには水深4～5mの湖底平原が広がっています。ここには黒色の粘土～シルト質の泥が堆積しています。このように、湖棚が非常によく発達しているのが宍道湖の地形的な特徴です。湖棚は、浅くて水の動きも良く、攪拌されて酸素もたくさんあります。

《垂直分布と生息密度》

従来から漁業者の間では、シジミは冬になって水温が下がると泥の中に潜ってしまい、春になると再び泥の表面にでてくる、といわれていました。そこで、未攪乱の採泥器をつくって、その実態を調べてみたわけですが、その結果は図3・11のとおりで、夏には、深さ2cmまでに83.9%が生息し、8cmより深いところには生息していません。それが冬になると、深さ2cmまでにはわずか12%しか生息してい

ませんで、ほとんどのシジミは2cmより深いところに生息しており、一番深いものは10cmという深さです。

ヤマトシジミなどの二枚貝は、水管を表面に出して水を出入りさせ、水を体内で濾過することで呼吸し、餌をとっているのですが、ヤマトシジミの水管は非常に短いんです。それが、水管の長さよりずっと深い場所で生息しているわけです。これは、ゴカイやシジミ自身の活動で、底土に棲管や孔道ができて底土中への水の侵入が容易になること、さらにその底土中で生物が餌をとったり呼吸したりするので、底土の深くまで酸素がよく供給されるのだと思います。

編集 さきほどの図3・9では、1㎡あたりの個体数が3,833以上というレベルがありましたが、上限はどのくらいですか。

中村 1㎡あたりの最高の個体数は6,000以上でした。なにしろ立体的にすんでいますから、ものすごい数になります。

《生息環境における底質の重要性》

結局、私たちがいろいろと調べた結果では、宍道湖のシジミの生息範囲は、表3・5のようになります。これを他の湖沼と比べてみると、宍道湖では他の湖より深いところまで生息していること、また塩分濃度が低めである点に特徴があります。

だいたい底生動物の生息には、酸素や水質だけでなく、底質の粒度が非常に重要な関わりをもっています。底生動物を摂食様式で分けると、水中の有機物粒子をたべる懸濁物食のものと、泥の中の有機物粒子をたべる堆積物

図3・9 - 宍道湖におけるヤマトシジミの分布

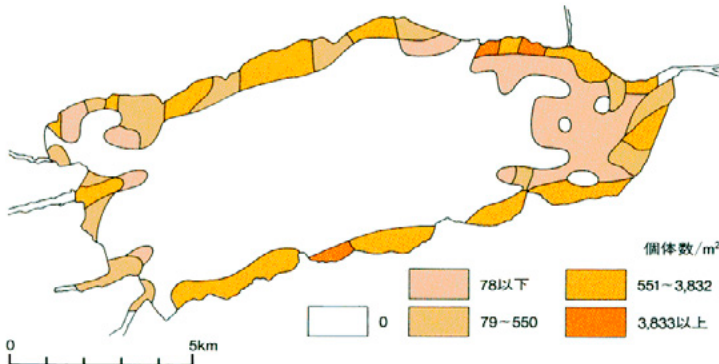
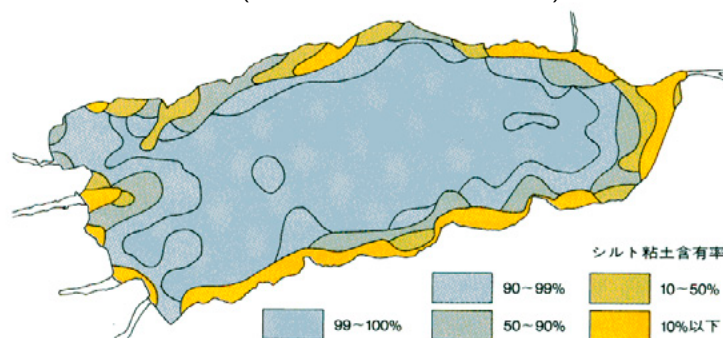


図3・10 - 宍道湖の底質(シルト粘土含有率の水平分布)



食のものとがあるわけですが、ヤマトシジミは懸濁物食で泥はたべません。懸濁物食の底生動物の多くは、泥の含有量の少ない砂底に生息し、堆積物食の底生動物の多くは、泥の含有量の多い泥底に生息しています。

これについては「砂底は水の動きが大きいので、水中の有機物粒子を食べる懸濁物食のものに適しており、泥底は水の動きが小さいので泥の中に有機物粒子がたまりやすく、それを食べる堆積物食のものに適している」といわれています。このように、ヤマトシジミの生息環境にとっては、底質の粒度組成からいうと、泥の含有量が多くなるのが脅威なんです。泥が多くなれば、水も酸素も餌も乏しくなるわけです。平たくいえば「ヘドロ」のたまるのが一番こわいのです。

ヤマトシジミと水質浄化

《宍道湖の富栄養化》

編集 宍道湖ではアオコが発生するようなことはないんですか。

中村 アオコは、かなり前から発生しています。ただ毎年というのではなく、昭和52年、56年、60年、61年というように、とびとびに発生しております。宍道湖のアオコも、ミクロキスティス、アナベラ、オシロトリアなどの浮遊性ラン藻類で、これらは富栄養型湖沼の指標生物です。ですから、宍道湖も典型的な富栄養湖になっているのです。

図3・11 - ヤマトシジミの底土中での垂直分布

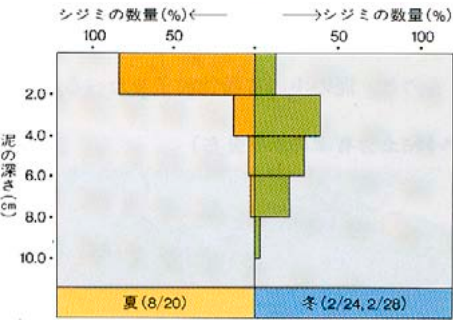


表3・5 - ヤマトシジミの生息範囲

	水深	Do (底層水)	IL	COD	シルト・粘土 含有率
生息の限界	4.0m<	50%>	14%<	50mg/l<	50%<
好適な範囲	3.5m<	80%>	5%<	5mg/l<	10%<

ただこれらの植物プランクトンは、淡水型フロラなので、塩素濃度2,000ppmぐらいを境にして変化してしまいます。それで、春から夏にかけて海水の流入が多く、塩分濃度がある程度まで高かった年にはアオコが発生しなかったわけです。ですから、アオコが発生しないからといって、栄養度が少なくなったわけでは決してないのです。最初に述べましたように、宍道湖は変塩性の汽水湖なので、栄養塩と生物生産の増加とは必ずしも平行しないので、こうした現象がおこるわけです。

表3・6は、宍道湖の全窒素(T-N)と全リン(T-P)の現況と許容限度を示したものです。許容限度というのは、汚濁負荷がどの範囲内であれば、水域の自浄作用によって正常な環境を維持できるかを示す値です。ですから赤潮(アオコ)防止対策としては、汚濁負荷をこの許容限度内に減少させることが必要なんです。ご覧のように宍道湖では、NもPもいずれも許容限度を大きく上回っており、この湖の富栄養化の進行と水質の悪化が懸念されているわけです。

《ワカサギ型水産用水基準》

表3・6に示した許容限度の値は、日本も含め世界の湖沼研究者が、自然の湖沼について調べたものの平均値ですが、ただもう1つ、魚類などの水産動物が正常に生息でき、漁業が正常に行えるための水質基準を定めた水産用水基準というのがあります。これは、水域の環境を漁場という視点から捉えているので、さきの許容限度の値とは若干違いますし、また漁業生物の種類によって、それぞれ異なった基準値が定められています。

表3・7が、その魚種別水産用水基準です。ご覧のように、ここにはアユ型、ワカサギ型、コイ・フナ型に分けられて、それぞれの型ごとに基準値が定められています。

一般に湖沼では、栄養塩が増えるに伴って漁獲量も増加しますが、それもある段階までのことで、それを超えて栄養塩が増えてくると今度は価格の安い魚種が増加し、生息種数も少なくなります。さらに栄養塩が増えてくる

と、赤潮(アオコ)が頻繁に発生するようになります。酸欠による斃死や産卵場の消失などがおこり、漁業生物の生息そのものに大きな障害が生じてくるようになります。

この水産用水基準によって、いまの宍道湖の水質を見ますと、NもPもワカサギ型の水産用水基準にきわめて近い値になっています。ワカサギは、もちろん宍道湖の重要な漁獲資源です。ですから、これ以上NやPが増えてコイ・フナ型に水質が移っていくと、漁業価値の高いワカサギが減少し、漁業価値の低いフナが増えていくわけで、宍道湖では、現況以上にNやPの増えるのをどうしても防がなければならないのです。

《漁獲によるN・Pの回収量》

このようにいま宍道湖では、湖内の栄養塩類を減少させること、少なくとも現況以上に湖内の栄養塩類を増やさないことが、きわめて重要な課題になっております。そのためには当然、栄養塩類の湖内への流入を少なくすることが最も重要になります。

そしてこれに加えてもう1つ、湖内の栄養塩類を何らかの方法で湖外へ回収することが考えられるわけですが、じつは、栄養塩類の一部は、食物連鎖をとおして魚介類の体をつくり、そこに蓄積されます。ですから、湖内で行われている漁業というのは、視点を変えれば、魚介類をつうじて栄養塩類を湖外へ回収しているわけです。

それで、宍道湖の漁獲物の各魚種に含まれているNとPとを分析してみますと、表3・8のようになります。これを、その年の漁獲量と合わせて年間のN・Pの回収量を試算してみたのが表3・9です。また、これを百分率で示したのが図3・12です。この調査は、以前に行いましたので、漁獲量は昭和56年のものを使用しております。そのためヤマトシジミの漁獲量は14,858トンと多いのですが、それにしても、ヤマトシジミによるN・Pの回収量の多さと回収率の高さが目立ちます。

表3・10は、昭和55年に湖外から宍道湖に流入した負荷量です。表3・11は、この流入負

荷量に対して、昭和56年の漁獲によるN・Pの回収量と回収率を示したものです。この表で分かるように、漁獲による回収率は、流入負荷量に対してNで9.5%、Pで14.0%となっており、それぞれ34.5日分、51.8日分にもなっています。

なお穴道湖東部浄化センターでは、昭和58年当時で年間6,000トンの下水を処理することにより、Nで43.4kg/日、Pで3.7kg/日を回収しています。ですから穴道湖の漁獲では、浄化センターのそれに比べて、実にNで8.4倍、Pで11.5倍もの量を回収しているのです。こうした点からも、穴道湖の漁業、なかでもシジミ漁業が、湖水の浄化に非常に大きな役割を演じていることが分かります。

《シジミ漁業の底質浄化作用》

なおシジミ漁業の場合には、幅60cmのレーキを使って湖底を撈拌します。この撈拌により底土の中に酸素がよく溶け込むようになり、有機物の酸化分解を助長します。またこの撈拌により、堆積した細粒泥が水中に巻き上がり、細粒泥の沈降・堆積が少なくなります。シジミ撈による底泥の撈拌がなくなると、底土には細粒泥の堆積が多くなり、底質が泥質に変わっていきます。こうなりますと、ヤマトシジミの生息には不適となり、そのあとには、汚濁に強いヒメタニシやモノアラガイなどの巻貝が優占種として登場します。これらの貝は、漁業価値が全くないため漁獲されることがなく、有用生物がいなくなって、底質も悪化する一方になってしまいます。このように底質の浄化という面でも、シジミ漁業の役割は無視できないのです。

底生動物群集でのヤマトシジミの圧倒的優占
編集 穴道湖では、ヤマトシジミ以外の大型の底生動物は、どのくらいいるのですか。

中村 穴道湖の大型底生動物を全域にわたって調べるのは容易ではありません。しかし、底泥で栄養塩の出入りに関与している大型底生動物の調査は、シジミ資源量の把握や穴道湖の物質循環を明らかにするための必要不可欠な基礎資料となるものです。それで1982年

表3・6 - 穴道湖の許容限度

	T-N	T-P	流入負荷量(P)
穴道湖の現況	0.670	0.055	306.8kg/日
許容限度	0.25～0.20	0.015～0.02	57.5

許容限度はVollenweider 1967ほかによる。

表3・8 - 穴道湖の漁獲物に含まれるN・Pの分析結果

	T-N(mg/100g)	T-P(mg/100g)	水分比(%)
ワカサギ	3,396	428.4	77.1
シラウオ	2,401	233.4	83.7
コイ	2,952	772.5	69.1
フナ	2,658	620.6	72.9
ウナギ	2,709	373.9	65.7
ハゼ	2,373	494.3	78.9
スズキ	2,492	669.6	63.4
エビ	2,614	311.2	75.5
シジミ	軟体部 1,473 貝殻部 215 計 1,688	軟体部 153.6 貝殻部 22.0 計 175.6	軟体部 81.8 貝殻部 0 計 81.8

表3・7 - 魚種別水産用水基準

	T-N	T-P
水産1種 サケ科アユ型	0.2	0.01
水産2種 カワサギ型	0.6	0.05
水産3種 コイ・フナ型	1.0	0.1

基準値は湖心における表層の年間平均の上限値。(単位:mg/l)

表3・9 - 穴道湖における漁獲によるN・Pの回収量(昭和56年)

	T-N	T-P
ワカサギ	$275 \times 34.0 = 9,350$	$275 \times 4.3 = 1,183$
シラウオ	$41 \times 24.0 = 984$	$41 \times 2.3 = 94$
コイ	$8 \times 28.5 = 228$	$8 \times 7.7 = 62$
フナ	$134 \times 26.6 = 3,564$	$134 \times 6.2 = 831$
ウナギ	$49 \times 27.1 = 1,328$	$49 \times 3.7 = 181$
ハゼ	$500 \times 23.7 = 11,850$	$500 \times 4.9 = 2,450$
その他の魚	$116 \times 28.5 = 3,306$	$116 \times 7.7 = 893$
エビ	$1,320 \times 26.1 = 34,452$	$1,320 \times 3.1 = 4,092$
シジミ	軟体部 $14,858 \times 14.7 \times \frac{19.5}{100}$ 貝殻部 $14,858 \times 2.2 \times \frac{80.5}{100}$ = 68,941	軟体部 $14,858 \times 1.54 \times \frac{19.5}{100}$ 貝殻部 $14,858 \times 0.11 \times \frac{80.5}{100}$ = 5,795
合計	134,003kg	15,545kg

図3・12 - 穴道湖の魚種別N・Pの回収率(昭和56年)

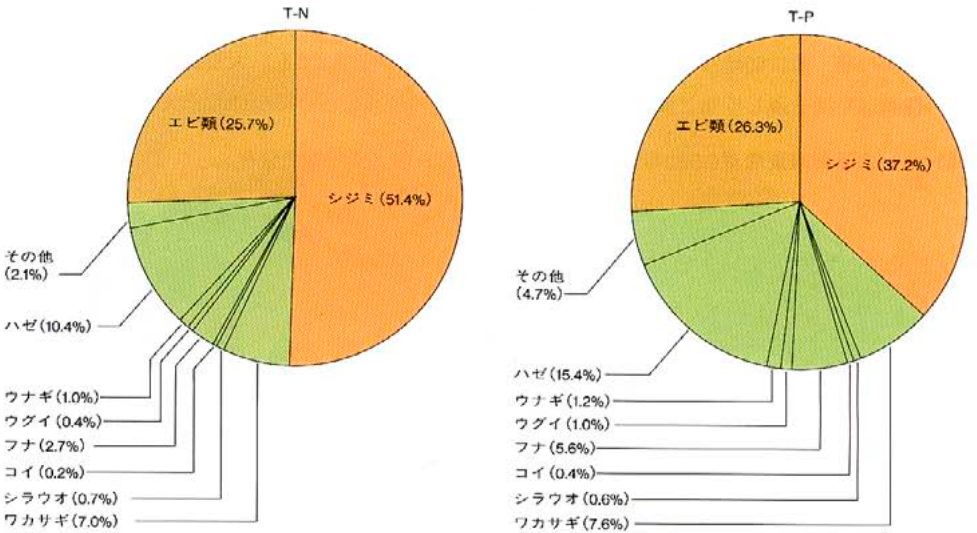


表3・10 - 発生源別の負荷量(昭和55年)

	生活系	観光系	工場・事業系	農業・畜産系	自然系	計
T-N	675 (17.4)	14 (0.4)	80 (2.1)	1,922 (49.5)	1,186 (30.6)	3,877 (100)
T-P	116 (37.5)	2 (0.7)	8 (2.6)	127 (41.1)	56 (18.1)	309 (100)

単位: kg/日 ()内は%

表3・11 - 流入負荷量に対する回収量の割合

	t/年	kg/日	g/m ² /年	漁獲回収量 流入負荷量 × 100
N 流入負荷量	1,415	3,877	17.6	
漁獲による回収量	134	367.1	1.7	9.5%
P 流入負荷量	112	309	1.39	
漁獲による回収量	15.6	42.7	0.19	14.0%

の夏に、図3・13のように、東西兩岸付近では500m間隔、湖心付近では1km間隔の248地点で採泥し、その実態を詳しく調べました。今までの話のなかで、私のあげた穴道湖のシジミの資源量や分布などのデータは、このときの調査が基になっています。

まず穴道湖の底層水の溶存酸素と塩分濃度の分布を図3・14および15に示します。穴道湖では、春・秋には、湖水がよく攪拌されて全域でD0が多くなり、また塩分濃度も低くなっているのですが、夏には5m以深では貧酸素域がかなり広がり、そこでは水も停滞するので塩分濃度も高く6,000ppm以上になっています。従って湖心部は、底生動物の生息ににくい環境になっていることが分かります。

一方、沿岸部の4m以浅の湖棚では、年間を通してD0も多く、塩分濃度も低く安定しています。底質も泥含有率が非常に少ないのでここは、底生動物の生息には好適な環境となっていることが分かります。

表3・12が、前述の248地点で調べた底生動物の調査結果です。ご覧のように、穴道湖にみられる底生動物の種類は少なく、この点は低塩性汽水湖の特徴です。多毛類と貝類については翌年の春・秋に60地点で調査しましたが、その種類は年間を通して殆ど変わっておりま

せん。この表で分かるように、穴道湖の底生動物群集で最も特徴的なのはヤマトシジミの圧倒的な優占で、 m^2 あたりの個体数は322と最も多く、それに次ぐのは多毛類ヤマトスピオの263個体です。多毛類は、ヤマトスピオやゴカイなど日本の汽水～海水域に生息するものが出現し、このうちゴカイは、ヤマトシジミが高密度に生息しているさらにその下層にも生息しています。多毛類の分布は、図3・16に示します。

貧毛類(イトミミズ)は淡水生で、その分布は図3・17のように、斐伊川の運んだ有機懸濁物が堆積する場所に多く生息します。淡水湖に比べて量が非常に少ないのが特徴です。

ユスリカは、淡水生のオオユスリカと汽水生のヤハズユスリカがみられ、それぞれの分布は図3・18のようになります。これも、淡水湖に比べて量が非常に少ないのが特徴です。甲殻類のウミナナフシは、図3・19のように沿岸の砂質域に分布しています。

以上のような穴道湖の底生動物のうち、生物量の特に大きかった5種について、その生物量(湿重量)を比べたのが図3・20です。この図にみるように、ヤマトシジミは殻を除いた軟体部だけでも、大型底生動物全体の湿重量の97%を占めて圧倒的に大きく、大型底生

動物全体を代表していることが分かります。穴道湖における窒素循環とヤマトシジミ

以上のように、穴道湖の大型底生動物群集はヤマトシジミに代表されます。ではヤマトシジミは、穴道湖の水質にどのような影響を与え、湖の物質循環にどのように関わっているか。この点を定量的に把握するために、山室真澄さんとの共同で調査・研究を行いました。シジミが濾過している底質直上での懸濁物を採水し、窒素を指標にして調べたわけです。ここでは時間もありませんので、実験方法などは省いて、要点と結果だけを述べます。

実験に用いたヤマトシジミは、穴道湖南岸の鳥ヶ崎付近の禁魚区で、岸から約30m、水深約1mの湖底から採集した259個体です。懸濁物濃度を測定する水も、この禁魚区の水深1mと3.4mの2地点で採水しました。ヤマトシジミの糞・無機態窒素の排出や濾過速度の測定には、湖心部表層で採水した塩素量約0.5‰の湖水を濾過して使いました。

《有機態窒素の1日あたりの取込み量》
鳥ヶ崎の2地点から採水した水の懸濁物濃度は図3・21のようになります。このデータからヤマトシジミは、水深2m未満の湖底では懸濁物濃度9.0mg/lの直上水を、水深2m以深の湖底では懸濁物濃度20.0mg/lの直上水を濾過

図3・13 - 穴道湖調査地点(1982年夏季)

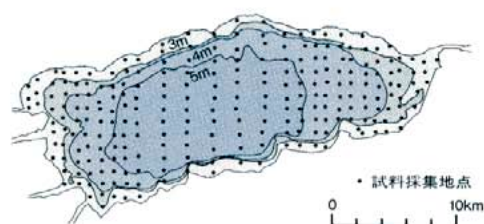


図3・14 - 底層水のD0の平面分布(%)

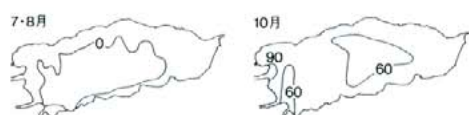


図3・15 - 底層水のClの平面分布(mg/l)

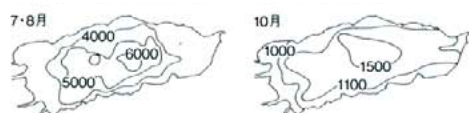


図3・16 - 多毛類の分布

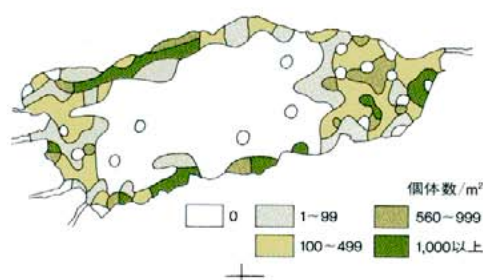


図3・17 - 貧毛類の分布

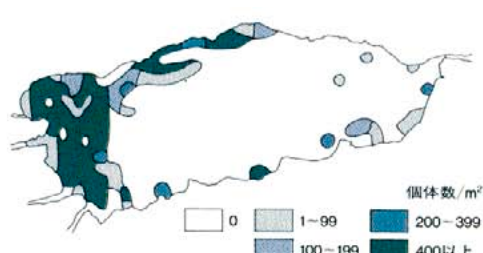


図3・18 - ユスリカの分布

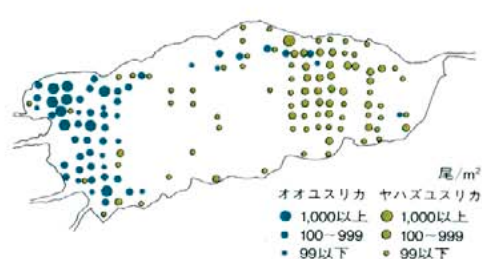
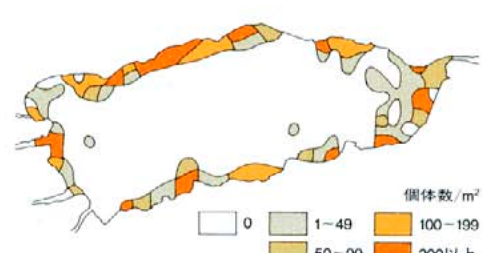


図3・19 - ウミナナフシの分布



注1 = 川上(1982)によれば、斐伊川からの全窒素負荷量Y (kg/hour)と斐伊川の流量X (104t/hour)との間に、 $Y = 6.22X + 22$ という関係があり、さらに斐伊川からの負荷量は穴道湖全体への負荷量の47%を占める。7・8月の斐伊川の平均流量は40.14m³/sなので、穴道湖への窒素の流入負荷量は1日あたり5.7トンになる。また菅井(1981)によれば、斐伊川から流入する窒素の

うち約50%が有機態窒素である。この関係が他の流入河川にもすべてあてはまるとすれば、穴道湖へ流入する有機態窒素の量は1日あたり2.85トンになる。注2 = 森本他(1977)によれば、穴道湖での夏季における純生産量は約100t/dayである。仮に海洋プランクトンの平均的なC/N比である5.7を用いると、1日あたり約17.5トンの窒素が生産されていることになる。

注3 = 川津他(1984)による穴道湖の湖底泥からの栄養塩の溶出実験では、嫌気条件では水温20℃では1日あたり42.7mg/m²、水温30℃では1日あたり14.2mg/m²のアンモニウム態窒素が溶出している。これを仮に水温27～28℃では1日あたり40mg/m²とすれば、穴道湖の湖底面積を乗じて1日あたり約3.2トンの窒素がアンモニウム態の形で湖底から溶出していることになる。

していると考えられます。懸濁物の窒素含有率は、前者が3%、後者が1%です。

ヤマトシジミを大きさに別けて3群に分け、水温と濾過速度の関係を調べた実験からは、図3・22が得られました。この図から、穴道湖の夏の平均水温27℃では、軟体部乾重量1gあたりの濾過速度は、シジミの大きさに関係なく、時間あたり5.0l/gと考えられます。

以上によって算出しますと、ヤマトシジミによる有機態窒素の取込み量は、穴道湖全域で1日あたり22トンとなります。

《有機態窒素の1日あたりの排出量》

ヤマトシジミは、水温26.5℃で1時間に軟体部乾重量1gあたり33.4mgの糞を排出し、その糞の窒素含有率は1%でした。これにより算出しますと、ヤマトシジミは糞の形で1日あたり6.3トンの有機態窒素を排出します。

《無機態窒素の1日あたりの排出量》

ヤマトシジミが濾過して排出する無機態窒素の大部分はアンモニウム態で、他は無視できるほど微量です。水温とアンモニウム態窒素排出速度との関係は、図3・24のようになりました。水温27～28℃の値でこれを算出しますと、ヤマトシジミによる無機態窒素の1日あたりの排出量は3.9トンになります。

この他、漁獲による湖外への持ち出しは、年

間約15,000トンとして算出すると1日あたりでは0.2トンの窒素の持ち出しとなります。また穴道湖全体でのヤマトシジミの現存量を湿重量で31,000トンとして算出すると、ヤマトシジミの体内に含まれている窒素の量は、133.3トンになります。

《湖の窒素循環に及ぼすヤマトシジミの役割》次に既存の研究から、穴道湖における窒素循環に関わるデータを算出してみました。

穴道湖への1日あたりの窒素の流入負荷量は1日あたりで5.7トンと考えられ、このうち穴道湖へ流入する有機態窒素の量は1日あたり2.85トンとなります(注1)。

穴道湖での窒素の純生産量は、夏季では1日あたり約17.5トンと見做されます(注2)。湖底からのアンモニウム態窒素の溶出は、1日あたり約3.2トンと見做されます(注3)。

以上をまとめたのが図3・24です。この図から、夏季の穴道湖での窒素の循環においてはヤマトシジミは、穴道湖全体の有機態窒素負荷量に対して、それを上回るほどの無機化を行っていて、循環の中心的な役割を演じていることが読み取れます。春から秋にかけてシジミ資源が3倍に増えるというのも、こうした莫大な量の有機態窒素がヤマトシジミに取り込まれているからです。また夏季の穴道湖

では、ヤマトシジミが生息している沿岸部では、有機態窒素はきわめて迅速に無機化されていますが、ヤマトシジミの生息しない湖央底層は嫌気的環境にあるので有機態窒素の無機化は遅く、2種類の循環が成立しているものと考えられます。

このように低塩性汽水湖の穴道湖では、ヤマトシジミは圧倒的な優占種として信じられぬくらい多量に生息していて、穴道湖の水質の浄化にきわめて大きな寄与をしております。生物は、もちろん環境によって大きく影響を受けているわけですが、また一方では、逆に環境に及ぼしている影響力もじつに大きいものがあるわけです。もとよりヤマトシジミはかけがえのない重要な漁業資源なので、シジミ資源を保護しシジミ漁業を発展させることが必要なことはいうまでもありません。ただそれと同時に、シジミ漁業の繁栄によって、穴道湖の水質環境もまた保全されているのです。この点は、いくら強調してもしすぎることはないように思います。

表3・12 - 穴道湖における大型底生動物のm²あたりの個体数(1982夏)

種名	個体数/m ²
二枚貝類	
<i>Corbicula japonica</i> (ヤマトシジミ).....	322
多毛類	
<i>Prionospio japonica</i> (ヤマトスピオ).....	263
<i>Notomastus</i> sp.(シダレイトゴカイの仲間).....	78
<i>Potamilla</i> sp.(ケアリの仲間).....	43
<i>Neanthes japonica</i> (ゴカイ).....	23
<i>Pseudopolydora</i> sp.	7
<i>Capitella capitata</i> (イトゴカイ).....	<1
<i>Lagis bocki</i> (ウミイサゴムシ).....	<1
貧毛類(イトミズシ).....	249
昆虫類	
<i>Chironomus plumosus</i> (オオユスリカ).....	114
<i>Chironomus</i> sp.	<1
<i>Procladius sagittalis</i> (ヤハズユスリカ).....	37
Tanypodidae spp.(モンユスリカ).....	6
甲殻類	
<i>Cyathura kikuchii</i> (キクチスナウミナナフシ).....	39

図3・20 - 穴道湖における大型底生動物5種の生物量(湿重量)

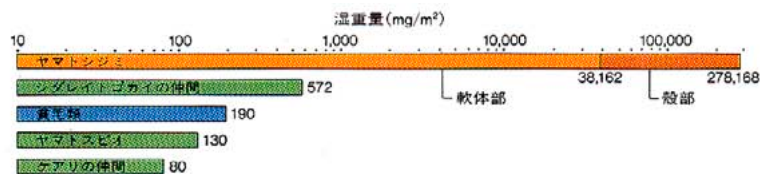


図3・21 - 鳥ヶ崎地点における懸濁物の濃度の鉛直分布

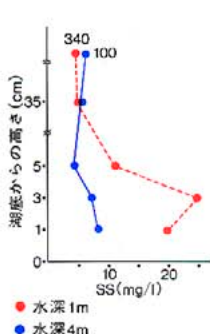


図3・22 - ヤマトシジミの軟体部1gあたりの濾過速度と水温との関係

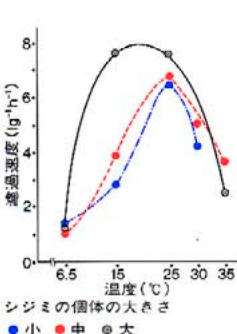


図3・23 - ヤマトシジミの軟体部1gあたりのアンモニウム態窒素の排出速度と水温との関係

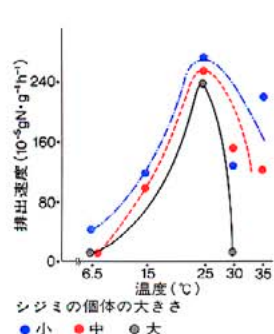


図3・24 - 穴道湖における窒素循環の試算)

