

汽水域をもつ水系の環境教材の開発Ⅰ

—ヤマトシジミの摂餌・消化・排泄活動に関する基礎的研究—

秦 明德*・大谷修司*・草田和美**・品川 明***

Akinori HADA*, Shuji OHTANI*, Kazumi SOHTA**, Akira SHINAGAWA***

Development of the Environmental Studies Materials for the Water System containing brackish Area I

— A study of the bivalve *Corbicula japonica* focusing on the cycle of matter —

ABSTRACT

Hii River basin located in the eastern part of Shimane Prefecture is characterized by the river running through granitic rock areas, the basin having the brackish lakes (Lake Shinji and Lake Nakaumi) and the deep relations with the human being life from ancient times.

Using Hii River basin, the present authors has researched the ideal way of environmental education from the view point of earthsystem and from the nurture of environmental literacy that is suitable for the global ages.

The results of this study are as follows.

We researched on the matter of cycle over *Corbicula japonica* that is the dominant species of the benthos in Lake Shinji. And we observed the feeding, digestion and egestion of *Corbicula japonica*, and classified the excretory matters. These are composed of pseudo-feces, digested feces and undigested feces. And, *Corbicula japonica* is not only suspension feeder but also detritus feeder.

【Keywords : environmental studies materials, the feeding, digestion and egestion of *Corbicula Japonica*, brackish area.】

はじめに

島根県東部に位置する宍道湖は、船通山を水源とする斐伊川の下流域に位置する。そこでは、淡水と海水の混合する汽水という独特な水環境が形成されており、貴重な生態系が形成されている。しかしこれまでのところ、このような貴重で魅力的な宍道湖を素材として取り上げた教育実践はほとんど行われていない。そこで、本研究では地域の身近な自然である宍道湖に、底生生物として優位に生息するヤマトシジミを取り上げ、教材開発のための基礎的研究を進めた。

ヤマトシジミ *Corbicula japonica* は、マルスタレガイ目シジミ科シジミ属の汽水性二枚貝であり、全国の河川の河口等に分布するが、塩分に敏感であり実際の生息域は広くない。しかし、宍道湖では湖岸のほぼ全域に生息しており、昔から人々の生活と密接に関ってきた。宍道湖の底生生物の特徴は、水質などの変化が激しい環境からうけるストレスが高いためか生息する生物の種類数が少なく、少数の種が大きな生物量を示す傾向があることである。宍道湖のマクロベントス群集については、ヤマトシジミの生物量（湿重量）が殻を除いても圧倒的に大きく、ヤマトシジミは軟体部だけでも大型底生動物全体の湿重量の97%を占め（山室1990）¹⁾ 優占していること

が特徴である。内水面漁業においても最も重要な漁業資源となっており、漁獲高は宍道湖の総漁獲量の8～9割を占め、全国一の漁獲量である。

シジミに関する研究は、今日に至るまで多岐にわたる研究がなされてきている。そのなかにあつて、シジミをめぐる摂餌・消化・排泄に関する研究について概観すると以下のものである。ヤマトシジミは、入水管を通しての懸濁物食性二枚貝であるとする見方は山室（1990）¹⁾、中村（1997）²⁾、相崎他（1998）³⁾を始め多くの研究者により示されている。一方、山路（1968）⁴⁾はヤマトシジミの消化管内を観察し、その内容物がデトリタス、微細な砂泥、微小生物からなること、林・大谷（1967）⁵⁾はセタシジミの消化管内容物に腐食質が62～70%含まれることを報告しており、摂餌活動を懸濁物食性だけで説明することのできない側面があることを示唆している。

シジミの排泄物については、一般に糞と擬糞の存在が認められている。しかし、糞と擬糞の定義づけとなると見解が分かれる。山口・相崎（2003）⁶⁾は、擬糞は入水管から排泄されるとするが、渡辺ら（1999）⁷⁾は、出水管からの排泄物としている。

また、摂餌活動によりシジミ殻内に取り込まれた物質が、どのような過程を経て、殻外へと排出されるのかに

* 島根大学教育学部自然環境教教育座

** 島根大学大学院教育学研究科理科専攻専攻

*** 学習院女子大環境教育センター

については、ほとんど明らかにされていない状態にあり、解剖図も作成されていない状況にある。

このようにヤマトシジミをめぐる摂餌、消化、排泄活動については、解決すべき多くの課題が残されている。そこで筆者らは、宍道湖に生息するヤマトシジミの摂餌、消化及び排泄活動に焦点を当て研究を進めてきた。その結果、いくつかの知見を得ることができたのでここに報告する。

なお、この研究と同時平行して行われた神西湖人工池におけるヤマトシジミの摂餌、排出と消化過程については、筆者ら4人が共同研究者となっている大谷他(2003)⁸⁾が報告しているので参照されたい。

I ヤマトシジミの消化器官の観察

ヤマトシジミの消化器官の観察を行うため解剖を行った。ヤマトシジミは軟体動物門、斧足綱、マルスダレガイ目に属する二枚貝の仲間であり、これまでのところ同じ斧足類であるハマグリ、アサリの解剖についてはよく行われている。近年ではハマグリについては、広島大学生物学会編「日本動物解剖図説」(1971)⁹⁾、アサリにおいては日本動物学会編「動物解剖図」(1990)¹⁰⁾により、生物教材としての視点から、解剖方法も加えた詳細な解剖図が作成されている。しかしこれまでのところ、ヤマトシジミの解剖はほとんど行われておらず、著者の知る限りでこれまでヤマトシジミの解剖図は作成されていない。そこでヤマトシジミの解剖後、消化管を中心とした解剖図の作成を行った。

1. 材料と方法

松江市内を流れる京橋川において、手掻きにより採集したヤマトシジミを試料とした。ここで採集したヤマトシジミは、殻長が約3～4cmであり、宍道湖のシジミ漁により採取されるヤマトシジミよりも1.5倍程度の大きさを有していた。採取した試料はすぐに実験室に持ち帰り、実体顕微鏡下で解剖を行った。

2. 解剖の手順

ヤマトシジミの解剖を以下の方法で行い、消化器官を中心に口から水管までの経路を把握した。

① 開殻

片手にヤマトシジミの前縁を向こう側に後縁(靱帯のある側)を手前に向け、腹縁(貝の開く側)を上にした状態で持つ。先をまるめたメスを腹縁の中央付近から、左殻側に存在する外套膜と殻の間に差し込む。左殻の内側に沿ってメスで削るようにして、左殻の前閉殻筋を殻からはずすと、少し殻が開く。次に殻の前後を持ち変え、後縁を向こう側に前縁を手前にして、上述と同様の方法で後閉殻筋をはずす。こうすると、左殻から完全に軟体部が離れる。さらに、靱帯を切って左殻を取り去り、シャーレに置き実体顕微鏡の下で軟体部の解剖を行っ

た。

② 左外套膜の除去

左外套膜を除去した実体顕微鏡写真及び解剖図を図1、図2に示す。



図1 左殻をとり、左外套膜を取り去ったヤマトシジミの実体顕微鏡写真

左殻を取り去ったあとに観察される軟体部の前面を覆っている薄い膜は外套膜である。この膜は右殻にも存在し、左外套膜とは背部で融合している。膜の中央部は薄く半透明をしており、腹縁側の前閉殻筋から後閉殻筋までにおいては、やや厚い筋肉部になっている。この筋肉部は外套筋とよばれ、その腹縁は触手のようなヒダとなって終わっている。腹縁部で離れていた左右の外套膜は、殻の後部で融合し二つの水管を作っている。そのため、外套膜の除去には、内肉を傷つけぬようピンセットで復縁部から外套膜を持ち、はさみで入水管及び水管の基部を切っていく。その後、殻頂側の後閉殻筋から前閉殻筋にかけて外套膜の融合している部分を切り離していく。

二枚の鰓、斧の形をした腹側に伸びている筋肉質の足、頭部の前閉殻筋後部に存在する2枚の唇弁、出水管・入水管がみられる。ここでは、鰓と唇弁を除去し、出水管・入水管を切開する。

③ 鰓の除去

鰓はほぼ楕円形で、左右の殻にはそれぞれ内側と外側の2枚、両殻で計4枚の鰓が存在する。ここでは、左殻の2枚の鰓を取り除く。まず上部の鰓をピンセットで挟み、鰓の基部をハサミで切っていく。下部の鰓も同様に切り取る。鰓は非常に薄く破れやすいため、強く持たないように気をつける。

④ 唇弁の除去

前閉殻筋の後部に三角形をした2枚の唇弁がある。この唇弁は左右の殻にそれぞれ2枚ずつ存在する。鰓と同じく条線がみられ、唇弁の基部は口を開いている。唇弁を1枚ずつピンセットで挟み、その基部をハサミで切り唇弁を除去する。この唇弁も鰓と同様、非常に薄く破れやすいため注意して扱う。

⑤ 出水管・入水管の切開

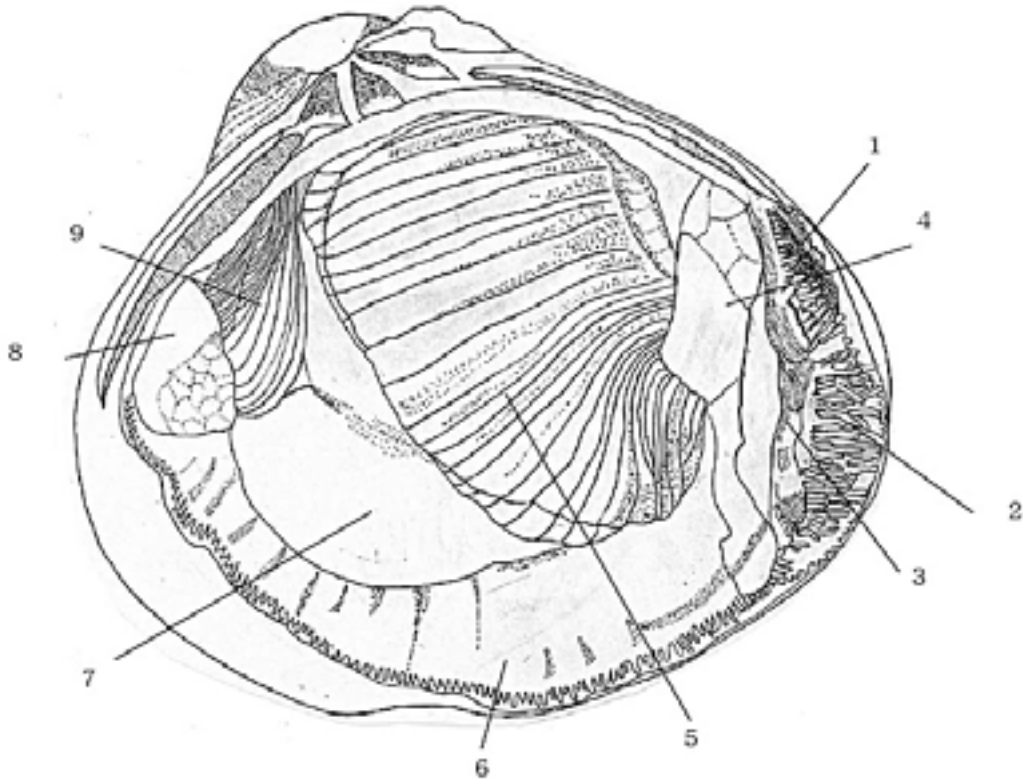


図2 ヤマトシジミの左外套膜を除去したもの。1：出水管触手 tentacles of exhalant siphon 2：入水管触手 tentacles of inhalant siphon 3：入水管 inhalant siphon 4：前閉殻筋 anterior adductor muscle 5：鰓 gill 6：外套膜 mantle 7：あし foot 8：後閉殻筋 posterior adductor muscle 9：唇弁 labial palp

腹側の管が入水管，背側が出水管である。入水管のほうがやや大きくなっている。まず出水管の先端からハサミを入れ，縦に切開する。出水管も同様に行う。

出水管を切開すると，後閉殻筋の背側から出水管内へと腸管が存在している。腸の末端部分が肛門である。この腸管をたどっていくと，心囊に達する。心囊から肛門まで通っている管を直腸である。

⑥ 内臓囊壁の除去

殻頂付近のケーベル氏器官が存在した部分から，内臓囊壁のすぐ内側に沿ってハサミを入れる。ハサミで，足と内臓濃の消化器官との境界部まで，ゆっくりと細胞壁に沿って切っていく。内臓囊内に位置する中腸腺や消化管などは傷つきやすいため，ゆっくり慎重に行う。ハサミで切りこみを入れた部分から，ピンセットを使って内臓囊壁を少しずつ剥ぎ取る。必要に応じてハサミを使用して内臓囊壁の除去を行う。

内臓囊壁を除去した実体顕微鏡写真を図3に，またその解剖図を図4に示す。

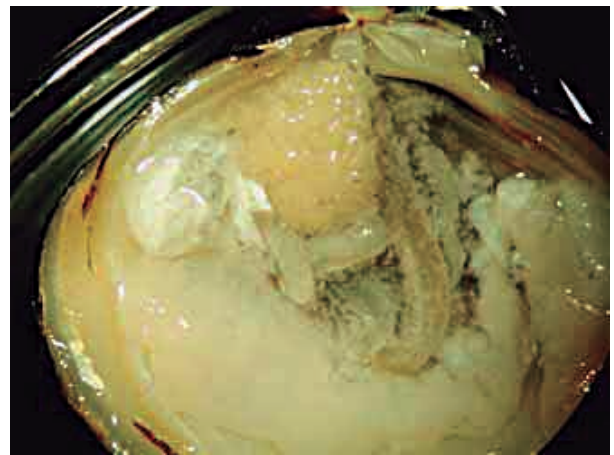


図3 左殻をとり、左外套膜及び内臓壁を取り去ったヤマトシジミの実体顕微鏡写真

内臓囊壁を除去すると，中腸腺と生殖腺が現れる。中腸腺の後背部には，胃の一部がみえる。

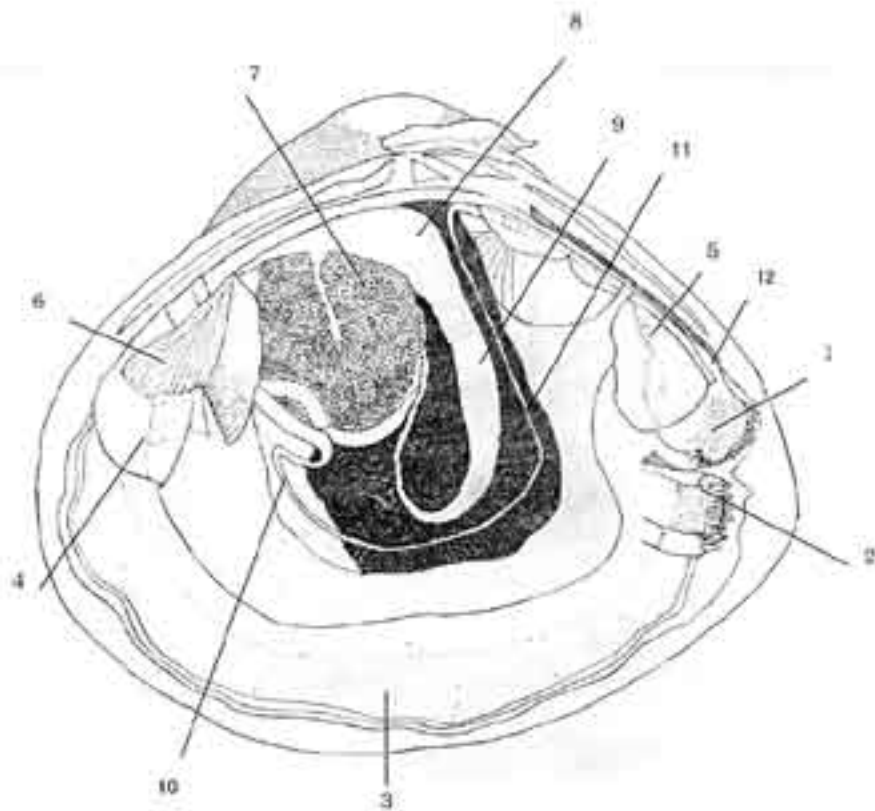


図4 ヤマトシジミの左外套膜及び内臓囊壁を除去したもの。1：出水管 exhalent siphon 2：入水管 inhalant siphon 3：外套膜 mantle 4：前閉殻筋 anterior adductor muscle 5：後閉殻筋 posterior adductor muscle 6：唇弁 labial palp 7：中腸腺 mid-gut gland 8：胃 stomach 9：晶桿体囊 crystalline style sac 10：腸 intestine 11：生殖腺 gonad 12：肛門 anus

⑦ 口から、晶桿体囊に至る消化器官の特定

ヤマトシジミの中腸腺の実体顕微鏡写真を図5に、房状になっている導管末端部に続く中腸腺導管の生物顕微鏡写真を図6に示す。

消化器官の一つであるヤマトシジミの中腸腺の本来の色は淡白色をしている。しかし採取後すぐに解剖した時の中腸腺は、ヤマトシジミの摂餌物の影響で褐色や黒緑色などをしている。この色は生息場所や季節によって変化する。ヤマトシジミの中腸腺は、葡萄の房のように小さな一つ一つの小胞状のもの集まっている。この中腸腺の小胞を丁寧に少しずつピンセットで取り去っていく。中腸腺は胃を覆うように存在しているため、ハサミで取り除くと胃や晶桿体囊を傷つけてしまう恐れがあり、ピンセットで丁寧に取り除いたほうがよい。ピンセットで取り除いていくと細い管がいくつも見つかるので、これを残しながら管のつながり具合を見る。この細い管は中腸腺末端部につながる導管である。図より、中腸腺導管の径は殻長約2.1～2.3 cmのヤマトシジミの場合、最も細いところで約15 μ mであった。中腸腺を取り除くと非常に短く細い食道と胃が現れる。

次に、生殖腺を中腸腺と同様にピンセットで取り去っていくと、晶桿体囊とそれに続く腸管が現れてくる。晶桿体囊中には、ゼラチン状で棒状の晶桿体が存在する。

⑧ 晶桿体囊以降から、心囊までの腸管の特定

晶桿体囊のすぐ後部にあたり、内臓囊の後端部の内臓囊壁をピンセットで丁寧に剥ぎ取っていくと、細い腸管が現れる。これをたどって内臓囊壁をピンセットで取りながら心囊へつながる腸管を取り出す。晶桿体囊へと続く腸管も同様の方法で取り出していくのだが、足の部分から徐々に背部に向かって腸管が曲がり始める。その後腸管は徐々に太くなり、中腸腺付近では前方や後方へと何度も屈曲する。その後、腹部へ向かって進みU字型に曲がって胃心囊にいたる。

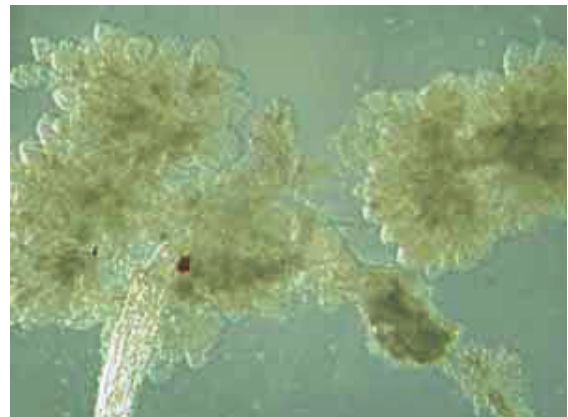


図5 中腸腺の実体顕微鏡写真

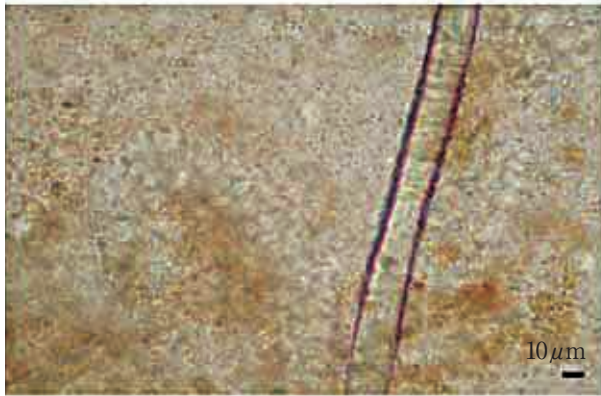


図6 中腸腺導管の生物顕微鏡写真

3. 結果及び考察

解剖の結果、口から取り入れた物質は、口、胃、腸管、肛門、出水管を通して殻外へ排泄されていることを確認した。また、胃を覆うように中腸腺が存在していることも確認した。二枚貝の中腸腺は細い導管により胃とつながっており、細胞内消化を行う消化器官であるということが Morton (1983)¹¹⁾をはじめ多くの研究者らにより報告されている。これまでヤマトシジミの中腸腺が他の二枚貝と同様に消化腺であることは確認されていない。本研究では、ヤマトシジミに関しても摂餌物が中腸腺で消化されると考えられる知見を得ることができた。このことについては、後述する。

また、1年を通して解剖をおこなってきた結果、9月下旬～2月下旬までがヤマトシジミの解剖に適しているということが明らかになった。これは、宍道湖におけるヤマトシジミの産卵期が3月下旬～11月上旬、産卵盛期は6月中旬～9月下旬であり(川島・後藤 1988)¹²⁾この期間はヤマトシジミの生殖巣が発達するためである。したがって、生殖巣が内臓部をおおう上記の期間は消化器官などの観察が困難になる。逆に生殖巣を観察することを目的とする場合は、6月中旬～9月下旬の間が適しており雌雄の判別を容易に行うことができる。

II ヤマトシジミの排泄物の分類

入水管、出水管、外套筋の隙間からの排泄物について時間を追って採取し、各排泄物の形態や含有物の特徴に基づき、排出物の分類を行った。

1. 材料及び方法

松江市古曾志町沖で採取したヤマトシジミ(殻長1.5～2cm)を材料とし、以下の方法によった。

- ① 試料採集後すぐにヤマトシジミの内臓部の活性を落とすため、約0℃に保ったクーラーボックス内に入れ実験室に持ち帰る。
- ② 塩分3%、水温は20℃～25℃に設定したピーカーの中に試料を入れた後、入水管及び外套筋縁辺部の隙間・出水管をよく観察する。

- ③ 排泄物を出したら、パスツールピペットで排泄物を吸い取りプレパラートにのせ、排泄時間の順に実体顕微鏡及び生物顕微鏡下で観察を行う。

2. 結果及び考察

この観察は3検体について全て同じ方法で行った。その結果を総合し以下に示す。

① 実体顕微鏡による観察

入水管及び外套筋の隙間からの排泄物は、入水後ヤマトシジミが開殻した直後から排泄を始めた。この排泄物は不定形で汚泥色を呈し、透明の粘液で包まれていた(図7)。



図7 入水管からの排泄物の実体顕微鏡写真

一方、ヤマトシジミを水槽内に入水後5時間目までの出水管からの排泄物は、大部分は棒状で汚緑色を呈し、透明の粘液性の膜で包まれていた(図8)。



図8 入水後5時間目までの出水管からの排泄物の実体顕微鏡写真

ヤマトシジミを水槽内に入水後5時間目以降の出水管からの大部分の排泄物は、細長糸状で灰褐色を呈し、透明で粘液性の薄い膜で包まれていた(図9)。



図9 入水後5時間目以降の出水管からの排泄物の実体顕微鏡写真

② 生物顕微鏡による観察

入水管からの排泄物は、腐植泥、珪藻を主とする植物プランクトン及び珪藻の遺骸、鉍物片に大きく分類でき、動物プランクトンや高等植物の破片がわずかに存在する(図10)。顕微鏡視野を占める割合は、腐植泥が大部分であり、植物プランクトンと珪藻の死骸及び鉍物片の存在する割合はほぼ同じであった。



図10 入水管からの排泄物中の生物顕微鏡写真

入水後約5時間目までの出水管からの排泄物は、腐植泥、珪藻類を主とする植物プランクトンと珪藻の遺骸、鉍物片に大きく分類でき、動物プランクトンや高等植物の破片がわずかに存在する(図11)。顕微鏡視野を占める割合は、腐植泥が大部分でありその隙間に植物プランクトンとその遺骸がほぼ同じ割合で存在し、鉍物片はやや少なくなる。

約5時間目以降の出水管からの排泄物は、球形や楕円形をした細粒粒子(約0.5~1 μm)が存在する。茶褐色又は黄緑色を呈する(図12)。生物顕微鏡下では、細粒のため、分類できなかった。

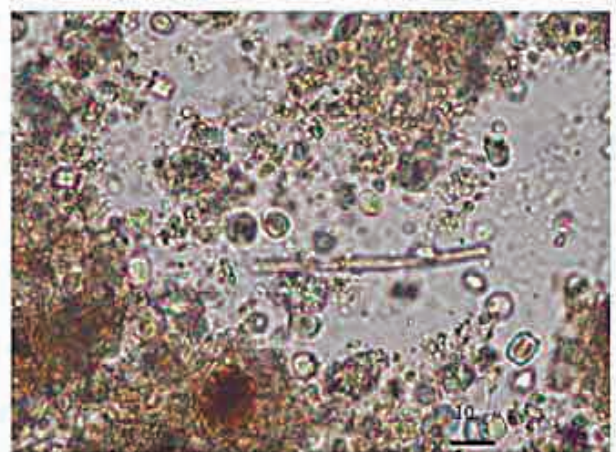


図11 入水後5時間目までの出水管からの排泄物中の生物顕微鏡写真

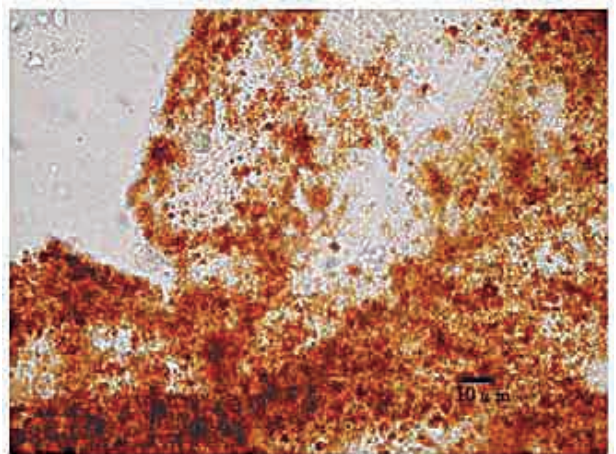


図12 入水後5時間目以降の出水管からの排泄物中の生物顕微鏡写真

以上の観察結果からヤマトシジミの排泄物は、排泄場所、形態的特徴、排泄物中に存在する内容物の違いから以下の3種類に分類した。

(a) 出水管からの排泄物

① 細長糸状、灰褐色を呈し透明で薄い粘膜で包まれている。生物顕微鏡下では、球形や楕円形の細粒粒子(約0.5~1 μm)が存在し、分類が困難な物質。(表1の消化糞に該当)

② 棒状、汚緑色。透明で粘性の薄い膜で包まれる。生物顕微鏡下では腐植泥が大部分であり、その隙間に珪藻類を主とする植物プランクトンと珪藻の遺骸がほぼ同じ割合で存在し鉍物片の割合はやや少なくなる。動物プランクトンや高等植物の破片もわずかに存在する。(表1の未消化糞に該当)

(b) 入水管及び外套筋縁辺部の隙間からの排泄物

① 不定形、汚緑色。透明の粘液で包まれる。生物顕微鏡下では腐植泥が大部分であり、珪藻を主とする植物プランクトン及び珪藻の遺骸、鉍物片の存在する割合はほぼ同じである。(表1の擬糞に該当)

Ⅲ 摂餌物の消化および排泄過程

出水管からの排泄物は、時間経過に伴い内容物に違いがあることが明らかになった。そこでこの違いの原因となる消化作用に注目し、消化器官に取り込まれた物質が殻外へ排泄されるまでの過程を明らかにすることを試みた。

1. 材料及び方法

・ヤマトシジミ：松江市古曾志町沖で採集したヤマトシジミ（殻長 1.5～2 cm）を実験室に持ち帰り、実験水槽内に餌を与えないで 1 週間おき飢餓状態にする。1 週間後、ヤマトシジミの中腸腺及び消化器管内の観察を行い、内容物がないことを確認する。

・クロレラ：*Chlorella vulgaris* のブルガリス種後株を純粋培養したもので、100%の乾燥品を打錠したものを使用。この錠剤を純水 100ml の中に 1 錠入れ、超音波洗浄器を用いてクロレラ粒子を分散させた。

排泄物の観察結果に基づき、観察時間を 1) 出水管から最初の排泄物を出した直後、2) 1) から約 5 時間後、3) 1) から約 12 時間後に設定した。設定時間ごとにヤマトシジミの解剖を行い、内臓部分の観察を行っていくため、同条件の試料を 6 検体用意し（うち 2 検体は予備）、全て同時に実験を開始した。

- ① 純水を入れた 200ml ビーカー（水温 25℃）に飢餓状態のヤマトシジミを入れる。
- ② 溶解したクロレラを、スポイトを用いて①のヤマトシジミに与える。
- ③ 入水管及び外套筋縁辺部の隙間からの排泄物を観察する。
- ④ 出水管から最初の排泄物を出した時点で、解剖を行い、消化器官（特に中腸腺）及び排泄物の実体顕微鏡及び生物顕微鏡観察を行う。解剖を行った以外のヤマトシジミは、これ以上摂餌活動を行わせないようにするため再び純水の入ったビーカー内に入れる。
- ⑤ 5 時間後、12 時間後ごとに解剖を行い消化器官及び排泄物の観察を行う。

2. 結果

- ① クロレラ供与前の消化管
クロレラを与える前のヤマトシジミの中腸腺は白黄色を呈していた。消化管内容物はほとんど観察されなかった。
- ② 入水管及び外套筋縁辺部の隙間から排泄物を出した直後 入水管からの排泄物中には原形をとどめたクロレラが存在していた。またこの時、解剖も行ったがこの段階では摂餌されたクロレラが胃の付近までしか達しておらず胃後の消化管内容物は存在しなかった。胃は緑色を帯び膨らんでいた。
- ③ 出水管から最初の排泄物を出した直後消化器官全体に内容物が存在した。消化管内容物及び排泄物は濃緑色で、与える前は白黄色であった中腸腺が、黄緑

色に変化していた。さらに生物顕微鏡で観察すると、消化管内容物、排泄物、中腸腺管内には原形をとどめたクロレラが存在することを確認した。

④ クロレラ供与後 5 時間経過

食道、胃の中には何も存在しなかった。中腸腺は薄緑色を帯び、腸管内容物は存在し褐色を呈す。生物顕微鏡観察により中腸腺管内には細胞壁を失い変形、褐色または透明白色のクロレラが存在し、腸管内容物及び排泄物は原型のクロレラと褐色で変形したクロレラが混在することを観察した。

⑤ クロレラ供与後約 12 時間後

消化管内容物はほとんど存在しなかった。中腸腺全体は白黄色に変わり、排泄物は茶褐色に変化していた。生物顕微鏡により中腸腺管内にはわずかに黄緑色のクロレラが存在し、排泄物褐色の細粒物質（約 0.5～1 μm）からなることを観察した。

3. 考察

入水管及び外套筋縁辺部の隙間からの粘液に包まれた排泄物内に含まれるクロレラは、摂餌前のもので変化はなかった。この排泄物は、試餌が殻内に多く取り込まれたため、口に過剰に物質が送られ口に取り込むことのできない試餌が排泄されたと考えられる。したがって消化管に入ることなく排泄されてしまい、消化作用を受けなかったため原型をとどめたクロレラが存在したと考えられる。

出水管から最初の排泄物を排泄した時、中腸腺及び排泄物中に存在したクロレラは与えたものと形状等に変化はみられなかった。しかし約 5 時間後には中腸腺内に緑色のクロレラだけではなく、褐色に変色し形状が変化したクロレラが存在した。その時の排泄物も同様に褐色のクロレラと緑色のクロレラが混在しているのが観察された。12 時間後には中腸腺は薄黄緑色をしているものの、生物顕微鏡でさらに詳しく観察した中腸腺導管部分にはほぼ何も存在せず、その時の排泄物は褐色の粒状物で構成されていた。この観察結果から、出水管から排泄した最初の排泄物は与えたクロレラとほとんど変化が見られなかったため、消化作用を受けず胃から直接腸管内へ送られ、排泄されたのではないかと考えられる。出水管から最初の排泄物を出した時点で新たな摂餌ができないようにヤマトシジミを再び純水内に入れている。したがって、約 5 時間後に存在した中腸腺内のクロレラは、最初の排泄物を出した時の中腸腺内で観察されたものが変化したものであると推測でき、Morton (1983) に指摘されるように中腸腺内において消化作用が行われていることが明らかとなった。

表1 ヤマトシジミの排泄物の分類

	排泄器官	排泄物の特徴	
		松江市古曽志町沖で採取	クロレラを供餌
擬糞	入水管 外套筋 縁辺部 の隙間	不定形, 汚緑色。透明の粘液で包まれる。 生物顕微鏡下では腐植泥が大部分であり, 珪藻を主とする植物プランクトン及び珪藻の遺骸, 鉍物片の存在する割合はほぼ同じである。動物プランクトンや高等植物の破片もわずかに存在する。	不定形。濃緑色。透明の粘液で包まれる。 生物顕微鏡下では原形をとどめたクロレラが存在。
未消化糞	出水管	棒状, 汚緑色。透明で粘性のある薄い膜で包まれる。 生物顕微鏡下では腐植泥が大部分であり, その隙間に珪藻類を主とする植物プランクトンと珪藻の遺骸がほぼ同じ割合で存在し鉍物片の割合はやや少なくなる。動物プランクトンや高等植物の破片もわずかに存在する。	棒状, 濃緑色。透明で粘性のある薄い膜で包まれる。生物顕微鏡下では原形をとどめたクロレラが大部分を占める。
消化糞	出水管	細長糸状, 灰褐色。透明で粘性のある薄い膜で包まれる。 生物顕微鏡下では球形や楕円形をした細粒粒子(約 0.5~1 μ m)が存在。茶褐色又は黄緑色等を呈するが分類は不可能。	細長糸状, 灰褐色。透明で粘性のある薄い膜で包まれる。 生物顕微鏡下では球形や楕円形をした細粒粒子(約 0.5~1 μ m)が大部分を占める。褐色を呈す。

本研究により異なる3種類の排泄物が存在することが観察され, 擬糞, 未消化糞, 消化糞と定義づけた(表1)。この結果は本研究と同時並行して行われた神西湖人工池におけるヤマトシジミの排泄物の分類結果と一致している(大谷他2004)⁸⁾。また, ヤマトシジミ(殻長約2cm)の中腸腺導管の径及び中腸腺内に取り込まれている内容物の径の観察結果から推論すると, 最大でも8 μ m程度の物質は中腸腺内に機械的に取り込まれていることが推定され, 消化管内に取り込まれた物質の消化過程は, 中腸腺において明瞭に観察できることが明らかになった。Morton(1983)による晶桿体における消化の可能性も示唆されるが本研究では明らかにできなかった。しかし, 摂餌後最初の排泄物中に消化物が存在しないことから,

中腸腺による消化が大きいと考えられる。

VI ヤマトシジミの摂餌方法

ヤマトシジミの食性については, 懸濁物食性とする報告が多い。しかし, 本研究におけるヤマトシジミの糞や消化管内容物の観察から, 底質堆積物起源と推定できる物質が相当量含有されている事実が明らかとなった。そこで, ヤマトシジミを懸濁物食性, 底質堆積物(デトリタス)食性の両面から検討することを目的とし, ヤマトシジミの排泄物, ヤマトシジミの殻内に取り込まれる可能性のある底質堆積物(デトリタス), 宍道湖水に含まれる懸濁物の分析を行った。

1. 材料

- ・ ヤマトシジミ: 手搔きにより30個体を採取。採取したヤマトシジミの殻長は約1.5~2cm。試料採集後すぐに活性を落とすため, 約0℃に保ったクーラーボックス内に入れ実験室に持ち帰る。
- ・ 宍道湖水: 底質表層付近の湖水を懸濁物量測定, 生物顕微鏡観察, 熱重量分析をおこなうため, 各試料1Lずつポリ瓶に採水し実験室に持ち帰る。
- ・ ヤマトシジミが生息する部分の底質堆積物: ヤマトシジミが生息する表層の堆積物をクワで慎重に持ち帰る。
なお, 資料採取は, 斐伊川河口右岸, 水深1.2m地点で行った。

2. 方法

採取試料について, 生物顕微鏡観察, 熱重量分析, X線回折を行った。

① 生物顕微鏡観察について

(a) ヤマトシジミの排泄物

実験室に持ち帰ったヤマトシジミを, 20~25℃に設定した純水の入った実験水槽に10個体静かに入れる。その後, 出水管から排泄される糞をガラスピペットで, 前述した排泄物の分類をもとに未消化糞, 消化糞に分けて採取する。それをプレパラートにとり, 生物顕微鏡下で観察を行う。

(b) 宍道湖水中の懸濁物質

実験室に持ち帰った宍道湖水1Lを, メンブレンフィルター(直径47mm, 孔径0.45 μ m, セルロース混合エステル)を使用し, アスピレーターを使って吸引しながら濾過を行う。そして, メンブレンフィルター上に残ったものを少量の湖水で濃縮し, プレパラートにのせ生物顕微鏡下で観察を行う。

(c) 底質堆積物

実験室に持ち帰った底質堆積物をスポイトで採取しプレパラートにのせ顕微鏡で観察する。

② 熱重量分析について

各試料中に含まれる有機物量及び無機物量を測定するため, 熱重量分析を行った。また, 比較試料とし単種培養された珪藻(*Cyclotella* sp.)についても行った。珪藻

の殻は主成分が珪酸であり、強熱後も殻が残るため、試料中に多く観察された珪藻とその死骸が無機物量にどのくらい影響するのかを推測するために行った。

熱重量分析を行うために使用した熱分析装置は、島津熱分析ワークステーション・TA-50WSを使用。加熱速度 10.0 (°C/min)，ホールド温度 700°C に設定。白金セルを使用し、窒素ガスを試料及び炉内の装置の過熱による酸化防止のため 30cc/min の流速により流通を行った。

③ X線回折について

各試料中に存在する無機物を明らかにするため、X線回折を行った。また、比較試料とし熱重量測定においても用いた珪藻 (Cyclotella sp.) についても X線回折を行った。

X線回折装置は X線ディフラクトメーター島津 XD 3 A, CuK α 線を使用し解説条件は、電圧 30V, 電流 30mA, T.C = 0.1, C.P.S = 1 k, MEAN SPEED=0.5 mm/min に設定した。また、類似した底面間隔を持つ鉱物の同定を行うため必要に応じて加熱処理、塩酸処理、エチレングリコール処理、ホルムアミド処理を行った。

3. 結果

① 生物顕微鏡観察

(a) ヤマトシジミの排泄物

生物顕微鏡下では腐植泥が大部分であり、その隙間に珪藻類を主とする植物プランクトンと珪藻の遺骸がほぼ同じ割合で存在し鉱物片の割合はやや少なくなった。動物プランクトンや高等植物の破片もわずかに存在した。消化糞は茶褐色を呈し、細粒物質が存在した。細粒物質の同定は不可能であった。

(b) 宍道湖水

生物顕微鏡観察において珪藻を主とする植物プランクトンと腐植質に大きく分類でき、珪藻の遺骸、鉱物片、動物プランクトンと高等植物の破片などがわずかに存在した。

(c) 底質堆積物

生物顕微鏡観察において腐植泥が大部分を占め、その隙間に珪藻の遺骸が存在した。植物プランクトンと鉱物片の占める割合は少なかった。動物プランクトンと高等植物の破片などもわずかに存在した。

② 熱重量分析

熱重量分析の結果を表 2 に示す。

直上水の有機物含有率は 85% と高い値を示した。それに比べて底質堆積物、未消化糞、消化糞とも無機物の含有率は 75% 以上と高い値を示した。したがって、有機物と無機物の含有率から見ると、消化糞、未消化糞の成分は底質堆積物に近似しており、水中懸濁物の組成とは大きく異なっているといえる。また、比較試料として用いた珪藻の熱重量分析結果はケイソウの殻を形成している珪酸成分が、資料の有機物含有率にいくらかの影響を与えていることを示している。

表 2 熱重量分析測定結果

	直上水	底質堆積物	珪藻 <i>Cyclotella</i> sp.	未消化糞	消化糞
乾燥重量 ¹ (mg)	1.36	17.17	7.64	11.61	3.54
有機物重量 ² (mg)	1.16	2.25	2.62	1.66	0.92
無機物重量 ³ (mg)	0.20	14.92	5.02	9.95	2.62
有機物含有率 (%)	85.2	13.1	34.2	14.2	25.9

注 (下記の数字を表に挿入する必要あり)

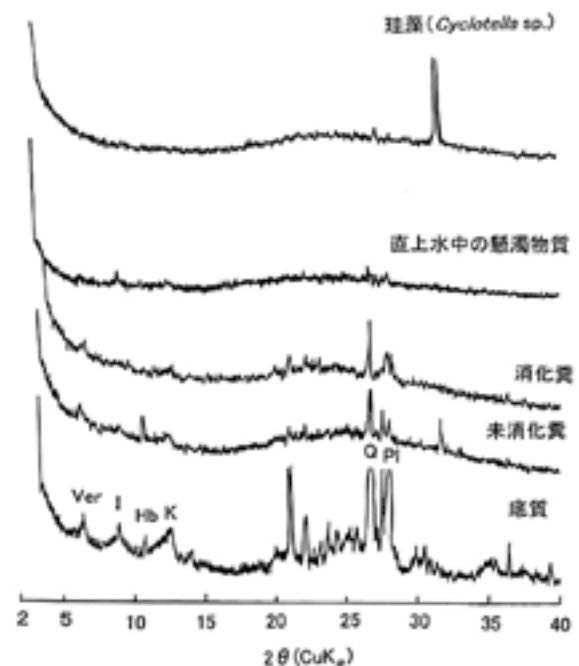
¹ 加熱温度が 100 °C に達した時の重量

² 1 の試料を 700 °C に燃焼させて残ったものの重さと、乾燥重量との差

³ 1 の試料を燃焼させて残った重さ

② X線回折

底質堆積物、未消化糞、消化糞、直上水中の懸濁物の各試料を粉末 X線回折に供した。併せて、各資料に含有するかのせいのある珪藻の殻に含まれる珪酸の評価を行うため、珪藻 (*Cyclotella* sp.) についても X線回折に供した。各試料の粉末 X線回折の結果を図 13 に示す。この結果に加え、必要に応じ、加熱処理、塩酸処理、エチレングリコール処理、ホルムアミド処理を施し、各試料に含有する鉱物種の同定を試みた。その結果、各試料に含まれる鉱物種は以下の通りとなった。



Q: quartz Pi: plagioclase K: kaolinite
Ver: vermiculite Ill: illite Hb: hornblende

図 13 各試料の X線回折の結果

(a) 排泄物

・未消化糞

斜長石 > 石英 > カリ長石 > 粘土鉱物 (イライト, パーミキュライト, スメクタイト) > ホルンブレンド > ケイソウ起源珪酸

・消化糞

石英 > 斜長石, カリ長石 > 粘土鉱物 (カオリン, パーミキュライト, スメクタイト, アロフェン) > ホルンブレンド

(b) 直上水中の懸濁物質

石英, 斜長石, 粘土鉱物 (カオリン, イライト)

いずれも極めて微小ピークであり, 無機物結晶の存在は極めて少量である。

(c) 底質堆積物

石英 > 斜長石 > カリ長石 > 粘土鉱物 (パーミキュライト, スメクタイト, イライト, カオリン) > ケイソウ起源珪酸 > ホルンブレンド,

(d) 珪藻 (Cyclotella sp.)

2.8 Å に強いピークが, 3.2 Å には, 弱いピークが出現した。

各試料の X 線回折結果に基づき, 各試料内に含まれる鉱物種とその量比について検討する。直上水中の懸濁物質には, 地殻起源の鉱物種はほとんど含まれていない状態であり, 極少量の混入があるのみである。それに比し, 底質堆積物には, 石英, 斜長石, カリ長石に加え, 低結晶度の粘土鉱物類が含有されている。未消化糞, 消化糞にも, 量比においては同一ではないが, 底質堆積物に含有されている鉱物種が同様に存在することが明らかとなった。また, 未消化糞試料から検出されたケイソウ起源の珪酸鉱物は, ヤマトシジミの直上水懸濁物濃縮によるものか, 底質堆積物からもたらされたものであるかは, さらに検討する必要がある。

5. 考察

直上水中の懸濁物質の無機物量は熱重量分析及び, 生物顕微鏡観察からわずかしかが存在しないことが観察され, X 線回折において顕著なピークが存在しなかった。比較試料として測定した珪藻に関する熱重量分析の結果から, 強熱後も約 3 割は残留することが分かった。したがって主に植物プランクトン (珪藻を主とする) が存在する直上水中には, 地殻起源の無機物がほとんど存在しないといえる。排泄物及び底質堆積物の X 線回折の結果, 排泄物中に存在した鉱物, 粘土鉱物の種類は, 底質堆積物中に存在する鉱物, 粘土好物の種類と一致しており, 未消化糞, 消化糞中に存在した石英, 長石, 粘土鉱物 (パーミキュライト, カオリナイト, イライトなど) は底質堆積物に由来すると考えられる。

しかし, 底質中に生きた植物プランクトンが存在する割合が極めて少ない (生物顕微鏡視野による) ことから推測すると, ヤマトシジミは底質堆積物を殻内に取り込むと同時に, 直上水中の浮遊懸濁物質も殻の中に取り込

み摂餌していると考えられる。

これらの結果から, ヤマトシジミは懸濁物食性及び堆積物 (デトリタス) 食性二枚貝であると結論づけた。

V まとめ

本研究では, 宍道湖に生息するヤマトシジミの摂餌, 消化及び排泄活動に焦点を当ててきた。その成果及び課題は以下の通りである。

- ① 入水管に加え, 外套筋縁辺部にも入水管と同様の働きをする部位が存在する。
- ② ヤマトシジミ解剖を行い, 新しく解剖図を作成した。
- ③ 排泄物を色や形, 内容物の生物顕微鏡観察により, 消化糞・未消化糞・擬糞の 3 種類に分類した。
- ④ 自然状態での摂餌物および人工摂餌物としてのクロレラを用い, 中腸腺を中心として消化管における消化過程を追跡し, その働きを明らかにした。
- ⑤ ヤマトシジミの摂餌物及び生息環境としての底質堆積物及び懸濁物質の比較分析から, ヤマトシジミは懸濁物食性および底質堆積物食性二枚貝として新たに位置づけられることを提案した。
- ⑥ 晶桿体における消化の可能性も示唆される (Morton 1983) が本研究では明らかにできなかった。

引用文献

- 1) 山室真澄 (1990): 宍道湖・中海における水質特性. 国際生態学シンポジウム島根 '90 汽水域その豊かな生態系を求めて 報告集 121-128.
- 2) 中村幹雄 (1997): 宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula Japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究 (博士論文).
- 3) 相崎守弘・森岡美津子・木幡邦夫 (1998): ヤマトシジミを利用した汽水域の水質浄化に関する基礎的研究. 用水と排水, 40 (2), 142-147.
- 4) 山路勇 (1968): ヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime の食性. 木曾川河口資源調査報告, 5, 925-958.
- 5) 林一正・大谷章栄 (1967): 琵琶湖産セタシジミの消化管内容物について. Venus, 26, 17-28.
- 6) 山口啓子・相崎守弘 (2003): 底生生物の浄化作用 - ヤマトシジミを中心として -. エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化 - 持続的な水環境の保全と再生 -. 鳥谷幸宏・細見正明・中村圭吾編, ソフトサイエンス社, 東京, pp.31-43.
- 7) 渡辺忠重, 西脇三郎, 奥谷喬司 (1999): 軟体動物学概説 (下巻). サイエンス社. 220 - 221.
- 8) 大谷修司, 辻井要介, 江原亮, 草田和美, 板倉俊一, 山口啓子, 品川明, 秦明德, 中村幹雄 (2004): 神西湖人工池におけるヤマトシジミの摂餌, 排出と消化過程. Lagna 11, 109-124.

- 9) 広島大学生物学会編 (1971) : 日本動物解剖図説. 森北出版.
- 10) 日本動物学会編 (1990) : 動物解剖図. 丸善. 96-98.
- 11) Morton, B. S. (1983) : Coral-associated bivalves of the Indo - pacific. In : Russel - Hunter. W.D.ed. The mollusca. Vol. 6. Ecology. 139-224.
- 12) 川島隆寿・後藤悦郎 (1988) : 宍道湖における D 型幼生の出現時期について. 島根水試事報. 昭和 62 年度. 200-210.

