

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

大谷修司¹・辻井要介²・江原 亮²・草田和美¹・板倉俊一¹
山口啓子²・品川 明³・秦 明德¹・中村幹雄⁴

Feeding, egestion and digestion of *Corbicula japonica* collected from an artificial shallow pond near the brackish Lake Jinzai

Shuji Ohtani¹, Yosuke Tsujii², Ryo Ehara², Kazumi Sohta¹, Shunichi Itakura¹,
Keiko Yamaguchi², Akira Shinagawa³, Akinori Hada¹, Mikio Nakamura⁴

Abstract: We studied feeding, egestion and digestion of *Corbicula japonica* in the laboratory. Clams were collected from an artificial shallow pond (20–60 cm deep) near the brackish Lake Jinzai in 2001. Pond water was supplied continuously from Lake Jinzai using a pump. Feces and pseudo-feces of the clams were observed by microscope.

Clam pseudo-feces were irregular, wooly, and brown in color when clam fed phytoplankton. These were mainly composed of living micro-algae, detritus, cf. amoebocytes and protozoa. When clams were placed in filtrated water, they mainly egested inorganic particles and detritus. Clam fecal pellets were clearly divided into two types, namely, “undigested feces” and “digested feces”. “Undigested feces” consisted of many living cells of benthic and planktonic micro-algae (diatoms, chlorophytes, dinoflagellates, cyanobacteria) and detritus. These were rod or ribbon shaped, opaque, dark brown in color. “Digested feces” consisted of many brown particles (ca. 0.5–3 μm), mucilage, bacteria, and a small number of micro-algae and protozoa. These were ribbon or intestine shaped, translucent or opaque, brown or dark brown in color.

From small particle sizes and almost absence of micro-algae in digested feces, and from presence of many living cells of micro-algae in undigested feces, *C. japonica* seems to feed and digest detritus, small living planktonic and benthic micro-algae which could pass through mouth to midgut gland of the clams. Foods ingested from mouth which could not pass to midgut gland egested as undigested feces.

Key words: *Corbicula japonica*, micro-algae, feeding, egestion, digested feces, undigested feces.

1. はじめに

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) は主に日本沿岸の河口域や塩分が比較的低い汽水域に多く生息する内在性二枚貝であり, 本種は宍道湖や神西湖など汽

水湖で重要な水産資源の一つとなっている(中村他, 1998; 中村・松本, 1995). ヤマトシジミが高密度に生息している場所は, 宍道湖では, 水深 3~4 m 以浅の沿岸部の砂あるいは砂泥質の湖棚の部分であり(中村, 1998), 神西湖では水深 1 m 程度の岸から数

¹ 島根大学教育学部 Faculty of Education, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

² 島根大学生物資源科学部 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Matsue, 690-8504, Japan

³ 学習院女子大学 Environmental Education Center, Gakushuin Women's College, Tokyo, 162-8650, Japan

⁴ 日本シジミ研究所 Japan Corbicula Research Institute, Tamayu-cho, 699-0204, Japan

十 m の範囲とされている (中村・松本, 1995)。

ヤマトシジミなど二枚貝は一般に懸濁物食性と言われており, このような二枚貝は水中の懸濁物を入水管から取り入れ, 鰓によって濾過し, 濾過した懸濁物のうち経口に不向きな大型の粒子や余剰な粒子は擬糞として排出し, 口に運んだ懸濁物を主に中腸腺で細胞内消化し糞として排出するとされている (Morton, B, 1983; 奥谷, 1999)。ヤマトシジミは, 湖水中の懸濁物を餌として取り込みそれらを同化し, 同時に擬糞や糞を排出し湖底に有機物を供給, 堆積させている。ヤマトシジミは漁獲や高次消費者に捕食されることから, 汽水湖の物質循環や食物連鎖を通じた水質浄化に大きく寄与していると考えられている。(山室, 1992; 山口・相崎, 2003; 山口他, 2004)。

ヤマトシジミの食性に関しては山路(1965)が木曾川等河口域においてホルマリン固定した消化管を解剖した結果, 内容物はデトリタス, 微小生物, 微細な砂泥からなり, 生物の中では底生性の羽状珪藻が最も多いことを報告している。山室(1994)は宍道湖のヤマトシジミは窒素換算で取り込んだ餌の 4 割程度を排泄し, その糞には未消化の微細藻類が含まれていることを報告している。*Corbicula* 属に関する研究では, 林・遠藤(1956)が瀬田川のセタシジミ (*Corbicula sandai*) のホルマリン固定した消化管内から, 珪藻, 緑藻を認め, 飼育下のセタシジミの糞塊中には珪藻 *Navicula*, *Pinnularia*, *Synedra* が滑走運動をしたことを報告した。林・大谷(1967)はセタシジミの消化管内の動植物は 29–36% であり, 腐植質が 62–70% におよぶことから, 貝の食物として腐植質は重要な存在であろうと述べている。Hakenkamp and Palmer (1999) はアメリカ合衆国の小川に生息するタイワンシジミ (*Corbicula fluminea*) は懸濁物食の場合のみより, 足を用いた pedal feeding を併せた方がその成長が良いことを実験によって示している。

これらのことから一般にシジミ類は, 浮遊物を取り込み, 微細藻類や腐植質を主な食物としている傾向が認められるが, ヤマトシジミに関しては, 消化管に取り込まれた食物の排出, 消化過程に関しては知見が少ない。本報告では, 神西湖人工池におけるヤマトシジミの摂餌とその排出, 消化過程に関して特に微細藻類に焦点をあて調査を行ったのでその結果を報告する。

2. 採集地点の概要

神西湖は島根県東部に位置する, 面積 1.35 km² の

湖であり, 流入河川からの淡水に差海川からの海水がまざった汽水湖である。ヤマトシジミの採集は, その湖畔に造成された人工池で行った。人工池については相崎ほか(2004)に詳述されており, その大きさは, 縦 10 m, 横 5 m であり, 池内の水は神西湖畔から湖水をポンプによりくみ上げ, 連続的に供給され (5 t/m²/day), 湖水の滞留時間は 2 時間に設定されている。人工池の底面には堆積物の排出を目的として傾斜をつけてあり, 水深は浅いところで約 20 cm, 深いところで 60 cm である。実験に用いたヤマトシジミは水深 30–40 cm から採集した。

3. 材料および方法

ヤマトシジミの食性を, 消化管の解剖を行わず, 排出物から調査するために, 擬糞および糞を現地の濾過表層水を与え絶食状態で排出させた。また, この絶食条件における排出物の種類や形状を懸濁体が表層水にある場合と比較するために, 対照実験として浮遊珪藻が優占する現地の表層水, または培養珪藻をヤマトシジミに与えた。

神西湖の人工池より採集したヤマトシジミ及び表層水は保冷し, 実験室に持ち帰った。排出物実験用の表層水は保冷せず, そのまま持ち帰った。表層水中の微細藻類の同定, 及びその相対出現頻度を求めるために, 未固定の表層水 200 ml を 0.45 μm メンブレンフィルター (Millipore 製) で濾過し, 2 ml の 100 倍濃縮試料を作製した。ヤマトシジミの排出物を採集するために, プラスチック製容器 (200 ml, 径 7.5 cm, 高さ 6.5 cm) を用いた。なお, 容器の外側を黒のビニールテープで覆った。容器にはヤマトシジミ 1 個体を入れ, 容器の 7 分目程度まで水が満たされるように試水を (約 150 ml) 加えた。温度の制御はせず, 排出実験は室温で行った。容器を設置した場所は廊下のテーブルの上で蛍光灯の光があたっており, 照度は約 100–150 lux であった。ヤマトシジミの排出物を時間経過を記録しながらパスツールピペットを用いて採集した。ヤマトシジミは実験開始数時間は, 頻繁に排出物を出したためそのつど採集し, 排出量と排出頻度が減少してからは原則 1 時間に 1 回採集した。数時間回収ができなかった場合は, 容器内にたまった排出物をまとめて採集し, 排出がほとんどなくなった場合に実験を終了した。排出物は採集後, できる限り数時間以内に顕微鏡で観察したが, 1 日~3 日後に観察した場合もあった。その場合の糞の形態は数時間以内に観察したものと形態や内

部の構造に差異は認められなかった。8月29日の未消化糞のみ、一部40時間放置したため糞の構造が変化していた。

表層水濃縮試料及び排出物の観察は、光学顕微鏡(OLYMPUS, BX 60)で行い、顕微鏡写真は顕微鏡デジタルカメラ(OLYMPUS, DP 10)で撮影した。

以下に、1)濾過した表層水、2)浮遊珪藻が優占する表層水、3)珪藻を培養した溶液を用いた場合の実験方法を示す。

1) 濾過した表層水(絶食条件)

現地で採集した表層水を孔径 $0.45\mu\text{m}$ のメンブレンフィルター(Millipore製)で濾過し、浮遊物を取り除き、濾過水をプラスチック製容器に静かに加え静置した。なお、実験には2001年6月27日、8月29日と12月20日に採集した試料を用いた。6月、8月は採集当日の夕方から実験を開始し、12月は翌日午前中に実験を開始した。6月は2個体で実験を行ったが、そのうちの1個体(No. 1)の糞の排出経過のみを結果に示した。残りの1個体(No. 2)の観察結果は、No. 1個体と基本的に同じであり、この個体の結果は、排出物の分類、その記載と図版に用いた。

2) 浮遊珪藻が優占する表層水

2001年12月20日に人工池の表層水を持ち帰り、実験は12月21日に行った。現地の水温は 8.5°C (午前10時40分)、電気伝導度 9.5mS/cm であった。表層水中のプランクトンは浮遊性珪藻の*Skeletonema costatum*がほぼ単一であり、優占種となっていた。細胞密度をトーマの血球計算盤で計測したところ、3回の平均値は 4.1×10^8 細胞/lであった。デトリタスも比較的多く含まれていた。表層水は10時15分に入れ、その後は、13時20分、16時20分と翌日の16時20分にすべて入れ替えた。

3) 珪藻培養溶液

2001年12月21日、1)の実験と平行して実施した。餌とした珪藻*Thalassiosira pseudonana*は2001年5月に宍道湖より分離したものであり、f/2培地を4psuに調整し、11フラスコにて 20°C で20日間培養を行なった。本種は単細胞で、殻径が $3\text{--}5.5\mu\text{m}$ 、帯面の長さは $4\text{--}7\mu\text{m}$ あり栄養細胞は茶筒形である。褐色の円盤状の葉緑体を2~4枚有す。細胞密度をトーマの血球計算盤で計測したところ、3回の平均値は 1.06×10^9 細胞/lであった。超音波洗浄器で細胞を分散させたのち、プラスチック容器内に静かに加え、

静置した。開始日の16時30分と翌日の16時20分に珪藻培養液をすべて入れ替えた。

採集したヤマトシジミの排出物は固定処理を行うことなく、生の状態で以下の観察を行った。まず、排出物をプレパラートにのせ、カバーガラスをかけたまま低倍率で排出物の大きさ、色、形状を観察した。その後、カバーガラスをかけ光学顕微鏡で排出物の内容物を調べるとともに、微細藻類の種の同定、相対出現頻度と消化の程度を観察した。微細藻類の消化程度は、細胞の形態、葉緑体の形態、運動性の有無等から判断した。本報告では生物の遺骸の他、微小な無機物を含めたものに対してデトリタスの用語を用いた。微細藻類やデトリタスの現存量については相対出現頻度で、非常に多い(cc)、多い(c)、普通(+)、少ない(r)、非常に少ない(rr)の5段階に区分した。

4. 結 果

1) 濾過表層水を加えた実験

1)–1. 6月27日~6月28日実施実験(表1)

実験に用いたヤマトシジミの殻長は 18.7mm 、殻高 17.0mm 、殻幅 12.1mm 、重量 2.7g であった。水温は記録していない。実験開始後7分以内に、輪郭が不明瞭で、角張るデトリタスを多く含む不定形の排出物を排出した。実験開始直後に排出され、内容物が消化されていないこと、消化管内を通過した糞には見られない大きさの無機物粒子とともに排出されたことから、擬糞と判断した。この擬糞中の底生性珪藻*Tryblionella*属や*Navicula*属の種の相対出現頻度は(r)であり、前者は滑走運動能を有していた。擬糞周囲の無機物粒子の大きさは $300\mu\text{m}\times 350\mu\text{m}$ 、 $350\mu\text{m}\times 500\mu\text{m}$ であった。

次いで糞が排泄されたが、糞中の微細藻類の細胞は未消化のものが多く含まれていた。このように未消化の微細藻類を多く含む糞を今後「未消化糞」と呼称する。未消化糞は、実験初日は実験開始直後から実験終了時19時20分までの約2時間半の間、頻繁に排出された。外形は回収した時間によって異なっており、17時07分~18時45分の外形はこん棒状で不透明、黒褐色で、幅 $490\text{--}600\mu\text{m}$ 、長さ $1.3\text{--}1.5\text{mm}$ であった。19時05分と19時20分に回収された未消化糞は、それ以前のものに比べ細長くひも状で、先端が細くなり、幅 $100\text{--}290\mu\text{m}$ 、長さは約 2mm であった。底生性珪藻の*Melosira*属(図2-D)、*Tryblionella*

表 1. 濾過表層水を用いたヤマトシジミの排出物の時間経過 (2001 年 6 月).

Table 1. Progress of excrements of *Corbicula japonica* in filtrated surface water (June 2001).

Time and date	Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	Others
17:00, 27 Jun.	—	—	—	—
17:07	○	○	—	—
17:20	—	○	—	—
17:34	—	○	—	—
18:05	—	○	—	—
18:20	—	○	—	—
18:45	—	○	—	—
19:05	—	○	—	—
19:20	—	○	—	—
11:30, 28 Jun.	—	○	○	—

○: present, —: absent.

表 2. 濾過表層水を用いたヤマトシジミの排出物の時間経過 (2001 年 8 月).

Table 2. Progress of excrements of *Corbicula japonica* in filtrated surface water (August 2001).

Time and date	Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	Others
17:30, 29 Aug.	—	—	—	—
17:45	○	—	—	○
18:00	○	—	—	—
19:00	—	—	—	○
20:05	○	—	—	—
21:10	—	○	—	—
23:00	—	○	—	—
10:00, 30 Aug.	—	○	○	—
12:00	—	○	○	—
13:00	—	—	○	—
15:00	—	—	○	—

○: present, —: absent.

属 (図 2-C), *Nitzschia* 属の一種は相対出現頻度が (r), 未同定の羽状珪藻の一種が (r~c) であった. 多くの珪藻は擬糞中と同様に滑走運動能を有していた. 浮遊性珪藻の *Cyclotella* 属は (rr~r) であった. 緑藻では, 浮遊性の *Scenedesmus* 属の一種 (図 2-E), 球形の単細胞種がともに (rr) であり, 細胞は消化されていなかった. 藍藻は浮遊性の微小な単細胞から 2 細胞の種 (細胞径約 1 μ m) が (c), 浮遊性の *Microcystis* 属の一種 (図 2-F) が (r), であり, 後者はコロニーの周囲には明瞭な粘質があり, 細胞は消化されていなかった. また, 浮遊性珪藻や底生性珪藻の遺骸 (図 3-A, B) や花粉 (図 3-C), 輪虫の遺骸 (図 3-D), 菌類の孢子などが観察された.

翌日は内容物がほとんど消化され, 生きた微細藻類をほとんど含まない糞を排泄した. この糞を今後「消化糞」と呼称する. その長さは 4 mm, 外形はひも状, 先端は細く褐色であった. カバーガラスをかけ軽く圧すと細かい断片に分散し, 内部は多数の褐色の径約 0.5–3 μ m の粒子と細菌, 及び径約 1–15 μ m の油滴からなっていた. 径 6–8 μ m の小球と, 珪藻, 角のあるデトリタスが稀に観察された.

濾過前の表層水には優占種はなく, 生きた細胞では, 浮遊性珪藻 *Cyclotella* 属の数種が相対出現頻度は (r), 底生性珪藻 *Nitzschia* 属の一種が (rr), 微小な単細胞の藍藻数種が (r) であった. 遺骸としては, 珪藻の *Melosira* 属, *Navicula* 属, *Cymbella* 属, *Surirella* 属が稀に (rr~r) 観察されたに過ぎず, デトリタスは (c) であった.

1)–2. 8 月 29 日~8 月 30 日実施実験 (表 2)

実験に用いたヤマトシジミの殻長は 26.1 mm, 殻高 23.4 mm, 殻幅 16.1 mm, 重量 5.8 g, 実験開始時の水温は 23.5 $^{\circ}$ C, 終了時は 25.0 $^{\circ}$ C であった. 実験開始後 15 分以内に無機物粒子, 有孔虫の遺骸, 鞭毛を有

す原生動物を含む擬糞と判断されるものが排出された. 無機物粒子の大きさは, 250–540 μ m \times 430–700 μ m であり, 有孔虫の大きさは 430 μ m \times 490 μ m であった. 17 時 45 分の一部と 19 時 00 分の排出物は, 細菌と数 μ m の球形細胞などが含まれていたが, 擬糞, 消化糞, 未消化糞のいずれにも区分できなかった.

未消化糞は, 21 時 10 分に初めて排泄された. この未消化糞と 23 時 00 分の未消化糞は, 観察するまで, 回収後約 40 時間室温で放置したため, 外形が少し変化していた. この未消化糞を被っていた薄い膜は分解し始め, その周囲に底生性珪藻の *Tryblionella* 属の種, 未同定の羽状珪藻の種が多数滑走運動をしているのが観察された. これらはしばらく放置したため, 未消化糞中のもものが時間の経過とともに外部へ出てきたものと考えられる.

消化糞は翌日排泄され, 幅 100–140 μ m, 長さ約 3 mm, 半透明で内部がまだら状であった. カバーガラスをかけ軽く圧すと細かい断片に分散し, 内部は微小な顆粒 (径 0.5–1 μ m) と細菌からなり, 角のあるデトリタスや生きた微細藻類は観察されなかった. 13 時 00 分に排泄された糞はピペットで採集すると形が崩れたが, 微小な茶色の顆粒が大部分を占めることから消化糞と判断した. この中には鞭毛を有する原生動物が多数観察された (図 5-A, B). この原生動物の細胞の径は 7–12 μ m であり, 長さ約 20 μ m の鞭毛が数十本生じていた. 15 時 00 分の消化糞は幅 370 μ m, 長さ 2 mm 不透明黒褐色で, 13 時 00 分と同様の原生動物が観察された.

濾過前の表層水には優占種はなく, プランクトンは極めて少なかった. *Cyclotella* 属の遺骸, ミドリムシ類等が稀に観察されたに過ぎず, デトリタスも少なく (r) であった. 現地の水温は 28.7 $^{\circ}$ C (午前 10 時 40 分), 電気伝導度は 19.20 mS/cm であった.

表3. 濾過表層水を用いたヤマトシジミの排出物の時間経過 (2001年12月).

Table 3. Progress of excrements of *Corbicula japonica* in filtrated surface water (December 2001).

Time and date	Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	Others
10:15, 21 Dec.	—	—	—	—
10:50	○	—	—	—
12:00	○	○	—	—
13:15	—	—	—	—
14:22	—	—	—	—
15:25	—	○	○	—
16:30	—	—	—	—
17:20	—	—	—	—
18:38	—	—	—	—
16:20, 22 Dec.	—	—	○	—
21:20	—	—	○	—
10:20, 23 Dec.	—	—	○	—
12:20	—	—	○	—

○: present, —: absent.

1)–3. 12月21日～23日実施実験(表3)

実験に用いたヤマトシジミの殻長は27.0 mm, 殻高24.6 mm, 殻幅17.0 mm, 重量6.9 g, 実験開始時の水温は15.2℃, 終了時は14.9℃であった. 実験開始後35分以内に無機物粒子やデトリタスを含む擬糞が排出された. 無機物粒子の大きさは, 200 μm × 300 μmであった.

未消化糞は12時00分と15時25分に排泄された. 生きている *Skeletonema costatum* を相対頻度で(+～c)含み, 本種と *Navicula* 属の死骸を含んでいた. なお, デトリタスは角張っていた.

翌日から実験終了日にかけては擬糞や未消化糞は排出されず, 消化糞のみを排泄した. 消化糞の形態は黒褐色, 不透明で幅約200 μmで長さ6 mmのものがあつた. カバーガラスをかけ軽く圧すと細かい断片に分散し, 内部は微小な褐色の粒子(径0.5–3 μm), 油滴(径2–40 μm)からなり, 細菌を含んでいた. この中には未消化糞で優占した *S. costatum* や底生性の羽状珪藻の遺骸は観察されなかつた.

濾過前の表層水の優占種は *S. costatum* であり, 相対出現頻度は(cc)であつた. その他には微細藻類は認められなかつた.

2) 珪藻 *S. costatum* が優占する表層水を用いた実験, 12月21日～25日(表4)

実験に用いたヤマトシジミの殻長は28.5 mm, 殻高24.6 mm, 殻幅15.9 mm, 重量7.0 g, 実験開始時の水温は10℃, 終了時は13.5℃であつた. ヤマトシジミは実験開始25分後から不定形綿毛状の排出物を入水管付近から排出した. 入水管付近から排出されたこと, 実験開始後すぐに排出されたこと, 加えた表層水の *S. costatum* がその主要な構成要素であり, 細胞が原形を留めていることから, これを擬糞

と判断した. 擬糞は表層水中に *S. costatum* の細胞が十分にある場合は, 30分～1時間間隔で回収したほとんどすべての場合に排出された. 擬糞には, *S. costatum* の糸状体とアメーバ状細胞と鞭毛を有す原生動物が混在していた(図1-A～D). アメーバ状細胞は無色で偽足をもち, 大きさは15–20 μmあり(図1-C), *S. costatum* を補食していた(図1-E). 鞭毛を有す原生動物は無色, 球形で径は12–13 μmあり, 約20 μm長の鞭毛を数十本有し活発に運動していた(図1-F). 8月の消化糞に見られた原生動物と形態は類似していた.

実験初日に排出された糞はすべて未消化糞であつた. 未消化糞の形状は, こん棒状からひも状で, 色は褐色, 不透明であつた. 幅は400–550 μm, 長さ2.0–2.4 mmあり, 末端が細くなる場合もあつた. 内部にはデトリタスが多く(c～cc), *S. costatum* の他, 底生性珪藻 *Tryblionella* 属, 浮遊性渦鞭毛藻 *Heterocapsa* 属や緑藻 *Chlamydomonas* 属の一種が観察された. これらはいずれも未消化であり, 運動性を有し, 葉緑体は細胞内に広がっていた. 擬糞にみられたようなアメーバ状細胞や原生動物は観察されなかつた. 給餌して5時間後の未消化の糞には多くの *S. costatum* が含まれていた. これ以前の未消化の糞には *S. costatum* は少なかつたので, この未消化の糞は実験開始後に取り込まれ消化管を通過し排泄されたものと推察された.

消化糞は, 翌日の16時20分の回収時に初めて排泄されていた. その後は実験が終了するまで数時間おきに消化糞を排泄した. 消化糞はひも状で周囲が波打ち, 半透明または不透明の褐色, 幅40–200 μmであり, 太い部分は幅500 μmあつた. 消化糞内部は大部分が褐色の微粒子(0.5–3 μm)からなり, 小さい油滴を数個含む小球(径約6 μm)が普通に, 内部が不明瞭な小球(径約10 μm)が稀に観察された. 稀に角のあるデトリタスもあり, 18 μm × 25 μmの大きさのものまで観察された. 同一プレパラート中に, 珪藻 *S. costatum* の生きた細胞と分解された細胞, および生きた緑藻を含む部分があり, 消化糞と未消化糞が混在しているような状態であつたがこのような糞は稀であつた. 別の消化糞では, こん棒状(幅300 μm, 長さ670 μm)～小腸状(幅400 μm, 長さ6 mm)のものもあつた. デトリタスと細菌が多く, 褐色の径約0.5–3 μm程度の微粒子からなっていた.

3) 珪藻培養液を加えた実験, 12月21日～25日(表5)

実験に用いたヤマトシジミの殻長は23.6 mm, 殻

表4. 珪藻 *Skeletonema costatum* が優占する表層水を用いたヤマトシジミの排出物の時間経過.

Table 4. Progress of excrements of *Corbicula japonica* in surface water dominated by *Skeletonema costatum*.

Time and date		Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	Others
10:15, 21 Dec.	Feeding	—	—	—	—
10:40		○	—	—	—
10:15		—	○	—	—
11:10		—	○	—	—
11:20		○	—	—	—
11:45		○	—	—	—
12:00		—	—	—	—
13:17		○	○	—	—
13:20	Feeding	—	—	—	—
14:27		○	—	—	—
15:20		○	○*	—	—
16:15		○	○*	—	—
16:30	Feeding	—	—	—	—
17:20		○	○*	—	—
18:20		○	—	—	—
16:20, 22 Dec.	Feeding	○	—	○	○
17:20		○	—	—	—
18:20		○	—	—	—
19:20		○	—	—	—
21:20		○	—	○	—
22:20		○	—	—	—
23:20		○	—	—	—
00:20, 23 Dec.		○	—	—	—
10:20		—	—	—	○
15:20, 24 Dec.		—	○*	○	—
16:20		—	—	○	—
17:20		—	—	○	○
12:20, 25 Dec.		—	—	○	—

○: present, —: absent. * Feces containing many cells of *S. costatum*.

高 22.0 mm, 殻幅 14.7 mm, 重量 5.1 g, 実験開始時の水温は 23.8℃, 3 時間後は 16.6℃, 実験終了時は 13.3℃であった。初日の餌が豊富にある状況では, すべての回収時に擬糞と判断されるものが排出された。擬糞は不定形, 綿毛状であり透明観があった。擬糞にはアメーバ状細胞が混在し, *T. pseudonana* の細胞を数個取り込んでいるのが観察された。擬糞では *T. pseudonana* が相対頻度(cc)であり, *Navicula* 属の種類, *S. costatum* は(r)であった。実験開始約 6 時間後(16 時 15 分), 黒褐色半透明の塊を排出し, 内部には黒褐色の径 18 μm 球状体と粘質が混ざっていた。この排出物は実験中, 唯一観察されたものであるが未消化の珪藻等は未確認であり, 未消化糞には該当しなかった。

未消化糞は実験開始約 8 時間後に排泄した。未消化糞の形状はひも状, 褐色不透明, 幅 400 μm, 長さ 1.6 mm であり, 底生性珪藻を含んでいた。実験 2 日目の未消化糞の内容物は現地の珪藻が含まれていたが, 実験 3 日目の 10 時 20 分(実験開始 48 時間後)には, 餌として与えた *T. pseudonana* を主とする未消化糞が排泄された。

消化糞は実験開始の翌日の 16 時 20 分の回収時に初めて確認され, その後は実験が終了するまで数時間おきに排泄した。消化された糞は半透明または不透明の黒褐色であり, ひも状または小腸状で幅 150–200 μm, 長さ 6–9 mm であり先端が細くなっていた。デトリタスと細菌が多く, 褐色の径約 0.5–3 μm の微粒子からなっていた。

4) ヤマトシジミの排出物の分類とその概要

濾過表層水を用いた 1) 絶食条件と, 懸濁体(餌)として 2) 植物プランクトンを含む表層水, 3) 珪藻の培養液を与えた場合を比較すると, 擬糞は, 2) と 3) の懸濁体を与えた場合に著しく増加したが, 消化管を通り排泄された糞については, 外形や内部の構造に明瞭な差異は認められなかった。未消化糞と消化糞がモザイク状に混ざった糞はごく稀にしか認められず, 互いに異なった糞塊として排泄された。これらは, 「擬糞」, 「未消化糞」, 「消化糞」に区分することができたのでその特徴を以下に記し, 概要を表 6 に示した。

表 5. 珪藻 *Thalassiosira pseudonana* の培養液を用いたヤマトシジミの排出物の時間経過.

Table 5. Progress of excrements of *Corbicula japonica* in culture medium of *Thalassiosira pseudonana*.

Time and date		Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	Others
10:30, 21 Dec.	Feeding	—	—	—	—
12:00		○	—	—	—
13:22		○	—	—	—
14:22		○	—	—	—
15:20		○	—	—	—
16:15		○	—	—	○
16:30	Feeding	—	—	—	—
17:20		○	—	—	—
18:20		○	○	—	—
16:20, 22 Dec.	Feeding	○	○	○	—
17:20		—	—	—	—
18:20		—	—	—	—
19:25		○	—	—	—
21:20		○	—	○	—
22:20		○	—	—	—
23:20		○	—	○	—
00:20, 23 Dec.		○	—	—	—
10:20		○	○*	○	—
11:20		—	—	—	—
15:20, 24 Dec.		—	—	○	—
12:20, 25 Dec.		—	○*	○	—

○: present, —: absent. *Feces containing many cells of *T. pseudonana*.

「擬糞」

擬糞は不定形で大きさ数 mm であった。餌として表層水の *S. costatum*, 培養珪藻の *T. pseudonana* を与えたときは、擬糞は頻りに排出された。その形状は綿毛状、褐色で透明観があり、輪郭は不明瞭であった。擬糞内の微細藻類は原形を留めていた (図 1-A, B)。アメーバ状細胞 (図 1-C, D) や鞭毛を有す原生動物 (図 1-F) が藻類コロニーに混在しており、アメーバ状細胞は、時々植物プランクトンを取り込んでいた (図 1-E)。濾過した湖水を与えた場合は、無機物粒子 (径が約 500 μm) やデトリタス、珪藻の遺骸などを含んでおり、生きた微細藻類は稀にしか排出されなかった。

「未消化糞」

未消化糞の形態は、こん棒状からひも状であり、太さは 400–600 (稀に 290) μm, 長さは 750–2400 μm であった (図 2-A)。時々先端が細くなり、消化糞と類似した形態をした (図 2-B)。未消化糞はカバーガラスをかけて軽く押しつぶすと均一に広がった。未消化糞には、角のあるデトリタスが多く含まれていた。未消化糞中の無機物粒子は径が約 50 μm と擬糞に比較し小さかった。生物としては、底生性の珪藻類が多く、未消化の *Melosira* 属、滑走運動能を保持する *Tryblionella* 属、*Navicula* 属の種が観察された (図 2-C, D)。表層水に浮遊性微細藻類が少なかった

6月, 8月は、浮遊性珪藻 *S. costatum* や *Cyclotella* 属の種は相対的に量が少なかったが、表層水に *S. costatum* が優占した12月は本種が未消化糞中に多く存在した。渦鞭毛藻の *Heterocapsa* 属の一種や緑藻 *Chlamydomonas* 属の一種が稀に出現し、両者ともに運動性を保持していた。緑藻 *Scenedesmus* 属の数種や未同定種が数種稀に出現したが、いずれも消化されていなかった (図 2-E)。藍藻は概して少ないが、径が約 1 μm の単細胞から 2 細胞の種が相対出現頻度 (c) となる場合があった。 *Microcystis* 属の一種が稀に観察されたが、粘液質に包まれ消化されていなかった (図 2-F)。珪藻類や緑藻の遺骸や松の花粉、輪虫の遺骸、菌類の胞子なども稀に観察された (図 3-A~D)。

「消化糞」

消化糞はひも状、または小腸状で (稀にこん棒状), 先端が細くなることが多く、稀に周囲が波打っていた (図 4-A, E)。半透明または不透明で褐色から黒褐色、大きさは、幅 100–300 (稀に 500) μm, 長さ 1.5–9 (稀に 0.6) mm であった。消化糞はカバーガラスをかけて軽く押しつぶすと細かい断片に分かれた。消化糞の内部は褐色の径が約 0.5–3 μm 微細粒子がつまり (図 4-B, C), 粘液や球形から不定形の油滴を含んでいた (図 4-F)。まれに微細粒子が内部にある小球 (径 7–10 μm) が観察された。浮遊性や底生性

表 6. 神西湖人工池におけるヤマトシジミの排出物の特徴.

Table 6. Characteristics of excrements of *Corbicula japonica* at an artificial shallow pond near the Lake Jinzai.

Characteristics	Pseudo-feces	Undigested feces	Digested feces	
Shape	irregular, wooly	rod or ribbon shaped	ribbon or intestine shaped, attenuate to apices	
Outline	not clear	clear	clear	
External form	Color	brown	brown or dark brown, translucent or opaque	
	Size	a few mm	length 0.8–2.4mm width (290)400–550 μm	length 0.7–9mm width 100–300(500) μm
Living cells	abundant	common	very rare	
Taxa of micro-algae	diatoms, dinoflagellates, chlorophytes, cyanobacteria	diatoms, dinoflagellates, chlorophytes, cyanobacteria	diatoms	
Detritus	common, with edge	abundant, with edge	rare	
Small brown particles	absent	absent	abundant	
Contents	Inorganic particles	length 390–1200 μm , width 230–820 μm	length 50 μm , width 40 μm	almost absent
	Oil droplets	absent	absent	common
	Bacteria	rare	rare	abundant
	cf. Amoebocyte	common	absent	absent
	Protozoon	common	occasional	common
Change of contents by press of the cover glass	not clear	expand uniformly	disperse to small fractions	

Parenthesis showing rare size.

の微細藻類の細胞, 角のあるデトリタスは少なく, 微細藻類の細胞があった場合もそれらは未消化であった(図 4-D). 運動性のある細菌類が多く消化糞で観察されたが運動性のない場合もあった. 鞭毛を有す原生動物が時々見られた(図 5, A, B). 一般に消化糞は, 未消化糞に比べ細長い傾向にあるが, 未消化糞も排泄時期によって消化糞と似た形状を示すことから, カバーガラスで押しつぶし, 内容物を確認し区別することが確実であった.

5. 考 察

5.1 絶食条件と懸濁体を与えた条件での排出物の比較

結果に示したように, ヤマトシジミの絶食条件での 3 回の排出実験と, 表層水の植物プランクトンまたは培養した珪藻を与えた場合の排出実験を比較すると, 偽糞の量を除き, 絶食条件で排泄された消化糞と未消化糞の外形や内部構造は懸濁体を与えた条件と基本的に同じであった. このことから, ヤマトシジミを数日間, 絶食条件で消化管内の未消化糞, 消化糞を排泄させても, 糞の形態と内部構造には大きな影響は与えないと考えられた. また, 未消化糞

中には現地でヤマトシジミが取り込んだ浮遊性および底生性の微細藻類やデトリタスあるいはその他の懸濁体を, ほとんど損傷を受けずに含んでいることから, 絶食条件でヤマトシジミに糞を排泄させ, 生の状態で顕微鏡観察する方法は, ヤマトシジミの現地における食性を解剖することなく調査する有効な方法と考えられた. ホルマリン固定を行うと細胞壁が薄い鞭毛藻類や原生動物の細胞や, 葉緑体が破壊されてしまうことから, 排泄された糞を生の状態で顕微鏡観察することが必要であった.

5.2 ヤマトシジミ消化管内の内容物の特徴

本研究では, ヤマトシジミの消化糞中には微細藻類の遺骸などは稀であり, どのようなものが中腸腺で細胞内消化されるかは不明であった. 一方, 未消化糞中には底生性または浮遊性の微細藻類やその他微小動物, デトリタスが湖水中と同様の形態を残しており, 未消化糞の内容物から, ヤマトシジミの消化管内内容物の特徴を把握することが可能であった.

微細藻類としては, 珪藻, 渦鞭毛藻, 緑藻, 藍藻が検出され, 珪藻は浮遊性及び底生性の種の両方が認められ, 相対出現頻度は(c~r)であった. 珪藻類以外の相対出現頻度は(r~rr)であり, 人工池では微

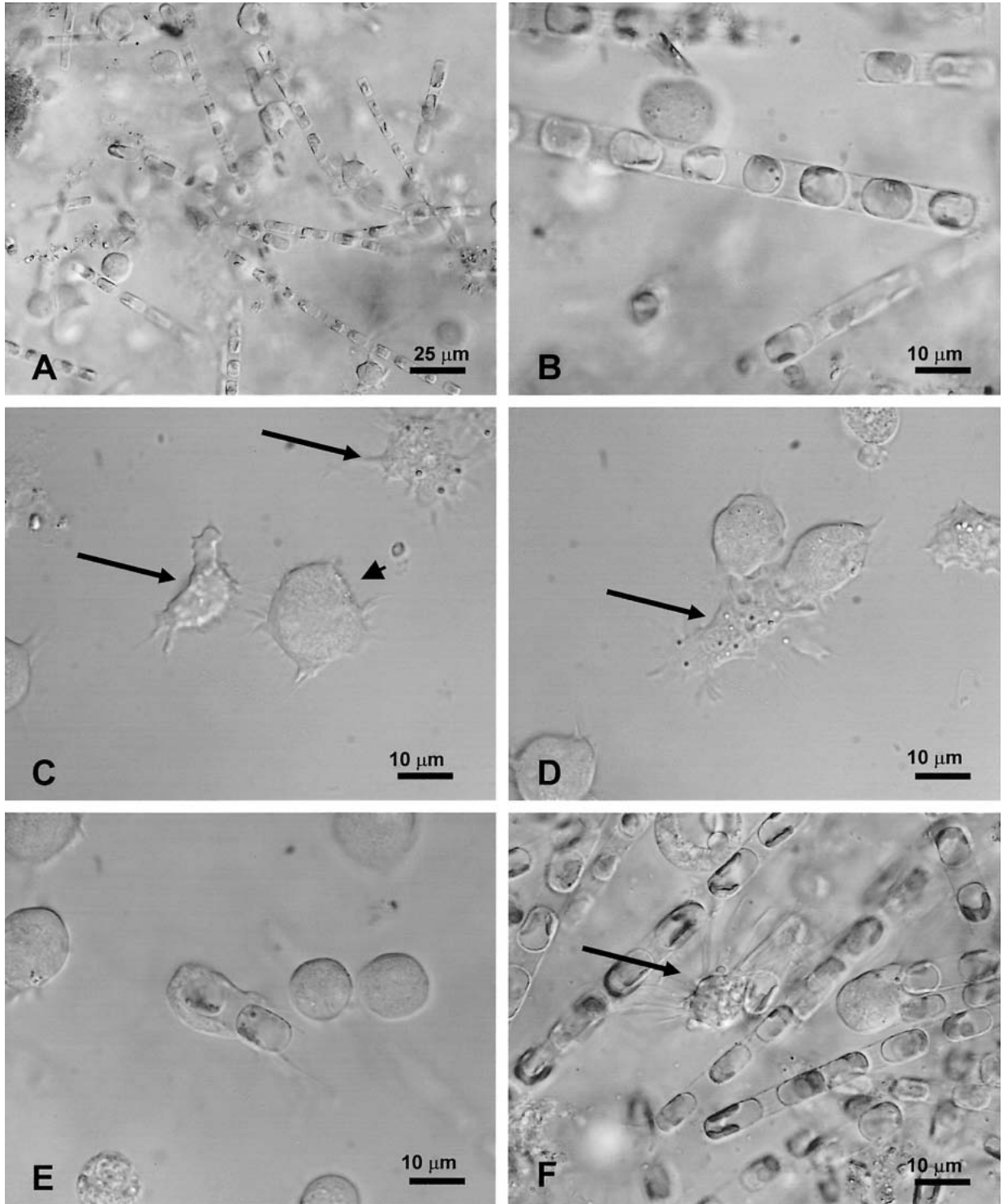


図 1. ヤマトシジミの擬糞. *Skeletonema costatum* が優占する表層水を与えた場合. A, 不定形コロニーの一部. *S. costatum* とアメーバ状細胞からなる. B, 原形を留めた *S. costatum* の糸状体. C, アメーバ状細胞. 矢印の細胞は細胞内粒子が明瞭. 中央右は細胞内が均一に見える (矢じり). D, 中央に3つの細胞があり, 1つの細胞は放射状にのびた仮足と細胞内顆粒が明瞭 (矢印). E, *S. costatum* の2細胞を補食中のアメーバ状細胞 (食作用). F, 数十本の鞭毛を有す原生動物 (矢印).

Fig. 1. Pseudo-feces of *Corbicula japonica* in surface water dominated by *Skeletonema costatum* on 21 December. A, A part of irregular shaped pseudo-feces composed of *S. costatum* and amoeba like cells (cf. amoebocytes). B, Undigested cells of *S. costatum*. C, Amoeba like cells. Arrow showing cells with granules and pseudopodia. Arrow head showing a cell without granules. D, Arrow showing a cell with granules and developed pseudopodia. E, An amoeba like cell ingesting two cells of *S. costatum* (phagocytosis). F, A cell of protozoan with tens of flagella (Arrow).

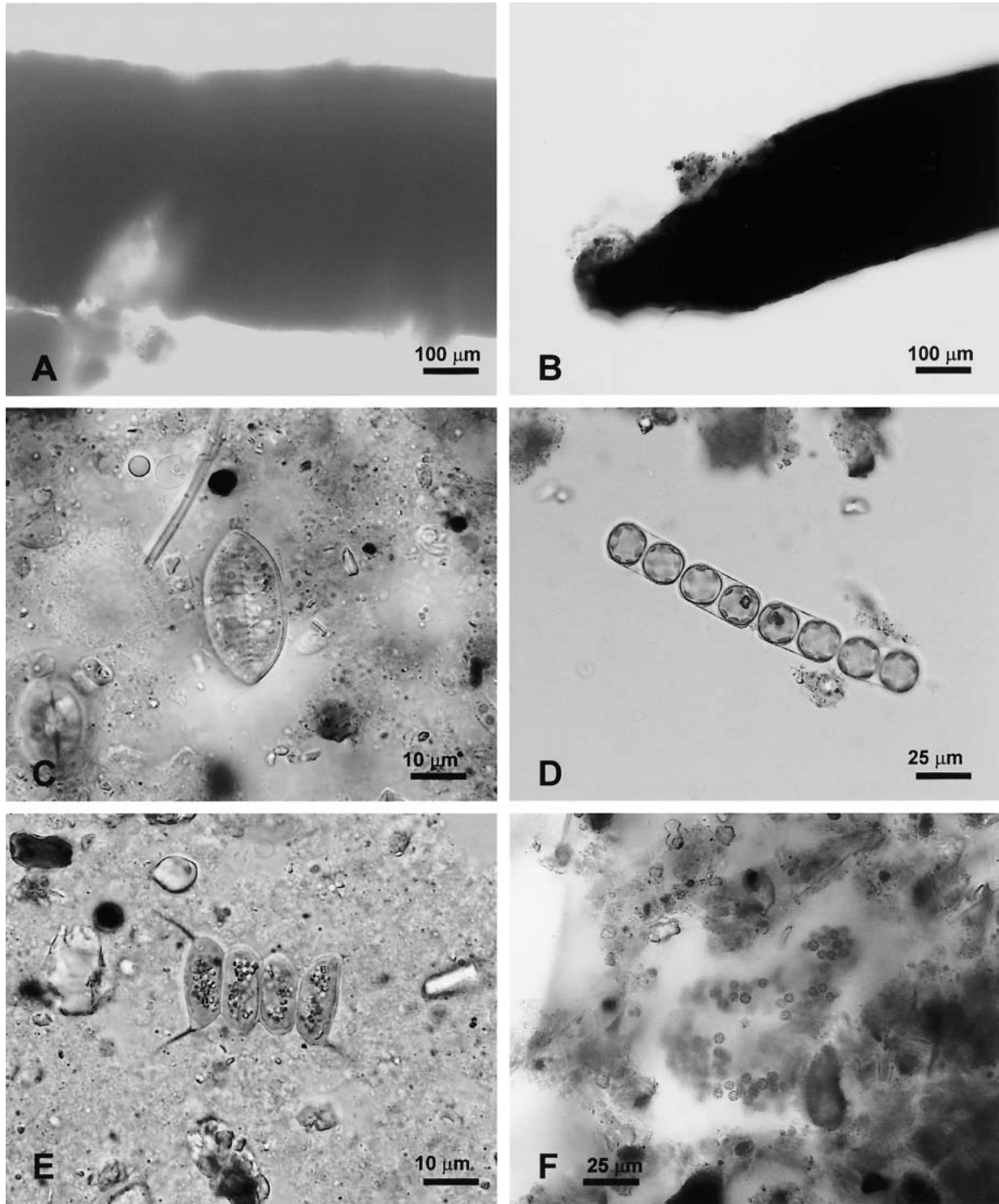


図2. ヤマトシジミの未消化糞，濾過表層水を与えた場合，6月27日，No 1 個体. A, こん棒状の未消化糞の中央. B, 細くなったヒモ状の未消化糞の先端. C, 底生性珪藻 *Tryblionella* 属の一種とデトリタス. D, 底生性珪藻 *Melosira* 属の一種. E, 浮遊性緑藻 *Scenedesmus* 属の一種とデトリタス. F, 粘質に被われた浮遊性藍藻 *Microcystis* 属の一種.

Fig. 2. Undigested feces of *C. japonica* in filtrated surface water on 27 June. A, Middle part of rod shaped undigested feces. B, An attenuated apex of undigested feces. C, A benthic diatom, *Tryblionella* sp. and detritus. D, A epibenthic diatom, *Melosira* sp.. E, A planktonic alga, *Scenedesmus* sp. and detritus. F, A planktonic cyanobacterium, *Microcystis* sp. with mucilage.

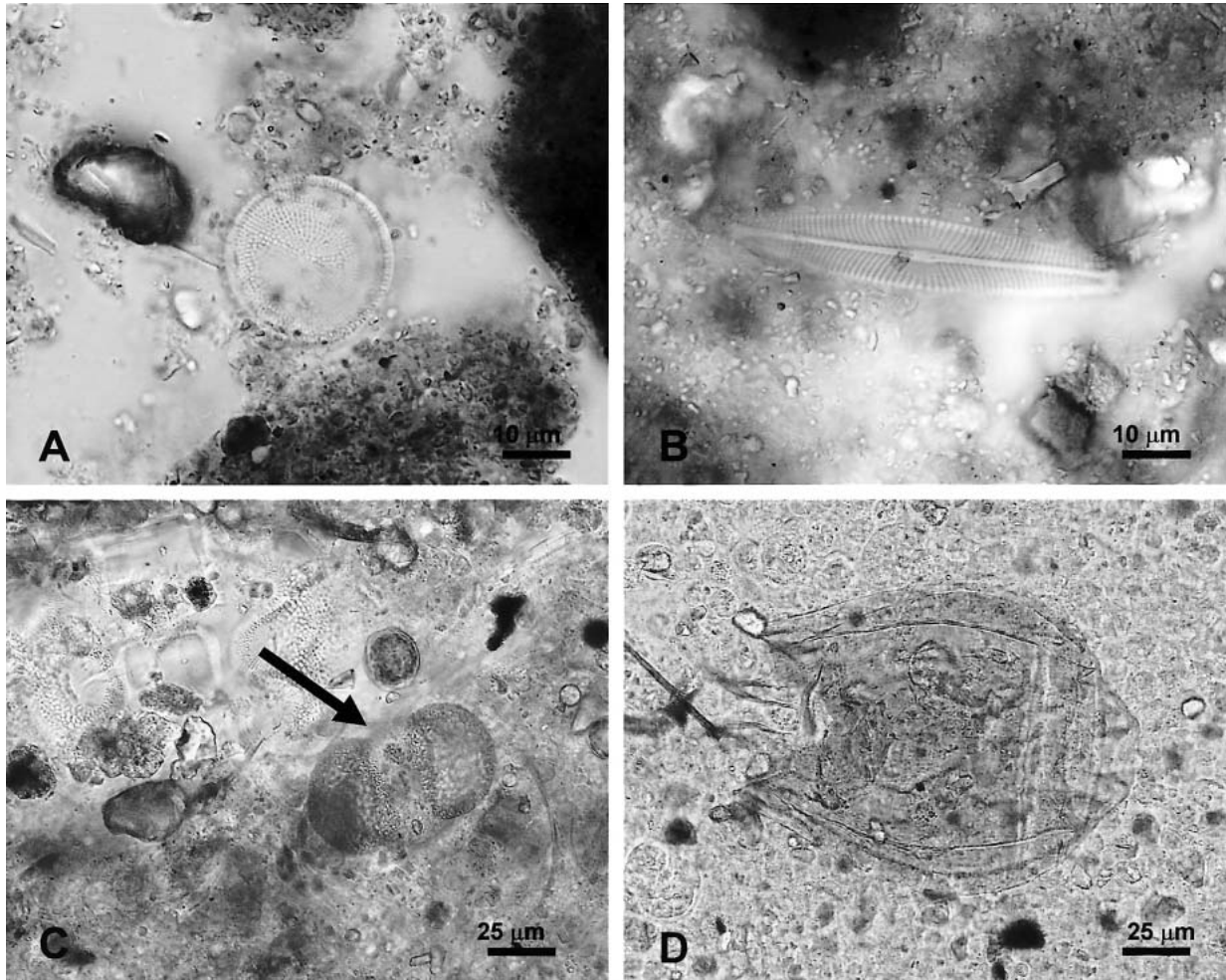


図3. ヤマトシジミの未消化糞中のデトリタスに埋まる生物の遺骸等，濾過表層水を与えた場合，6月27日，No 1 個体. A, 浮遊性の中心目の珪藻の遺骸. B, 底生性の *Navicula* 属の一種の遺骸. C, 松の花粉(矢印). D, 輪虫.
Fig. 3. Dead cells and other components embedded in detritus of undigested feces of *C. japonica* in filtrated surface water on 24 June (Individual No. 1). A, A dead cell of a planktonic centric diatom. B, A dead cell of benthic diatom, *Navicula* sp. C, Pollen of *Pinus* sp. D, An individual of rotifer.

細藻類の中では珪藻が未消化糞の中では主たる構成要素であった。未消化糞中に6月，8月に底生珪藻類が普通に観察されたことは，人工池は水深が20～60 cmと浅く，光が底まで十分届くため，底生性の珪藻類がヤマトシジミの周囲に繁殖していたこと，12月に浮遊珪藻 *S. costatum* が未消化糞中で優占したのは，表層水中の優占種が浮遊珪藻 *S. costatum* であり，ヤマトシジミが積極的に本種を取り入れた結果と考えられる。本研究のように，珪藻が消化管内容物の中で優占することを，山路(1965)が，木曾川等河口域のヤマトシジミで，林・遠藤(1956)が瀬田川のセタシジミで報告している。

本研究の未消化糞では，デトリタスが最も多く含まれ，その他，花粉，菌類の胞子，輪虫などが含まれていたが，山路(1965)もヤマトシジミの消化管に

は，デトリタス，微小な砂泥が微小生物ともに含まれていることを，林・大谷(1967)はセタシジミの消化管中の動植物は29～36%であり，腐植質が62～70%におよぶことを報告している。微細藻類以外では，セタシジミから輪虫と淡水海綿(林・遠藤，1956)，ニホンマメシジミ(*Pisidium nipponense*)から原生動物と輪虫(長谷川，1993)が報告されている。

草田(2003)は宍道湖産ヤマトシジミの排泄物と底質堆積物を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，粘土鉱物と一致していることから，懸濁物食性および堆積物食性の二枚貝であると報告している。浅い人工池のヤマトシジミは，底生性の珪藻類を多く消化管内に取り込んでいたことから，草田(2003)と同様に池の底表面の生物の遺骸を含めてデトリタ

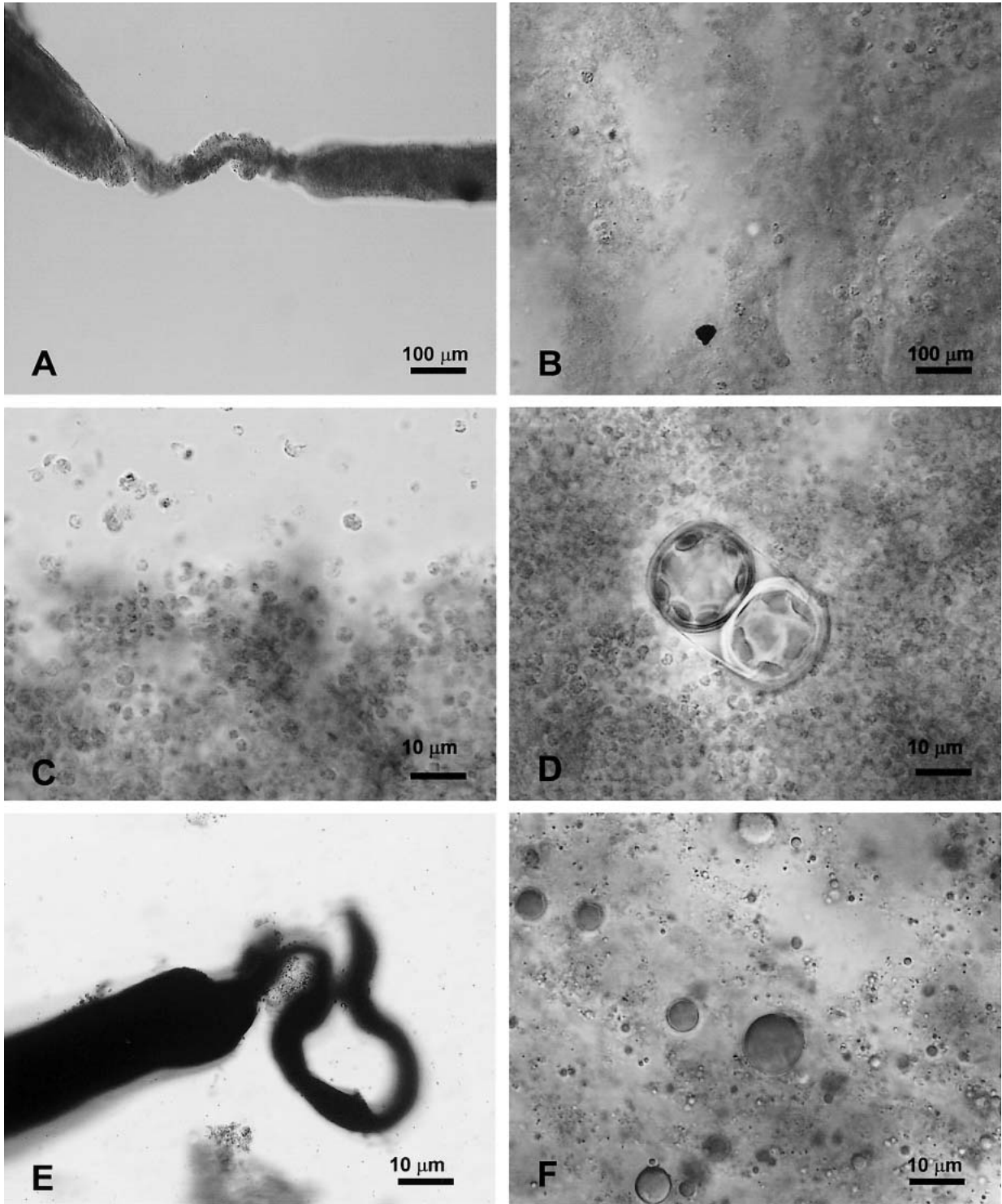


図4. ヤマトシジミの消化糞。A~D, 濾過表層水を与えた場合, 6月28日, No2個体。A, ヒモ状の消化糞の細い部分。B, 糞の大部分を占める褐色の微小粒子と粘質。C, 未消化糞縁辺部の微小粒子。D, 消化糞内部で消化されずに残った *Melosira* sp. の2細胞。E, F, 培養した珪藻を与えた場合, 12月22日。E, ヒモ状の消化糞の先端。F, 油滴状の粒を多数含む消化糞。

Fig. 4. Digested feces of *C. japonica*. A–D, Digested feces in filtrated surface water on 28 June (Individual No. 2). A, A part of ribbon shaped digested feces. B, Digested feces consisted of fine brown granules and mucilage. C, Fine granules at the margin of the feces. D, Two cells of living cells of *Melosira* sp. in digested feces. E, A part of digested feces attenuated to apex on 22 December. F, Fine granules and oil droplets in digested feces.

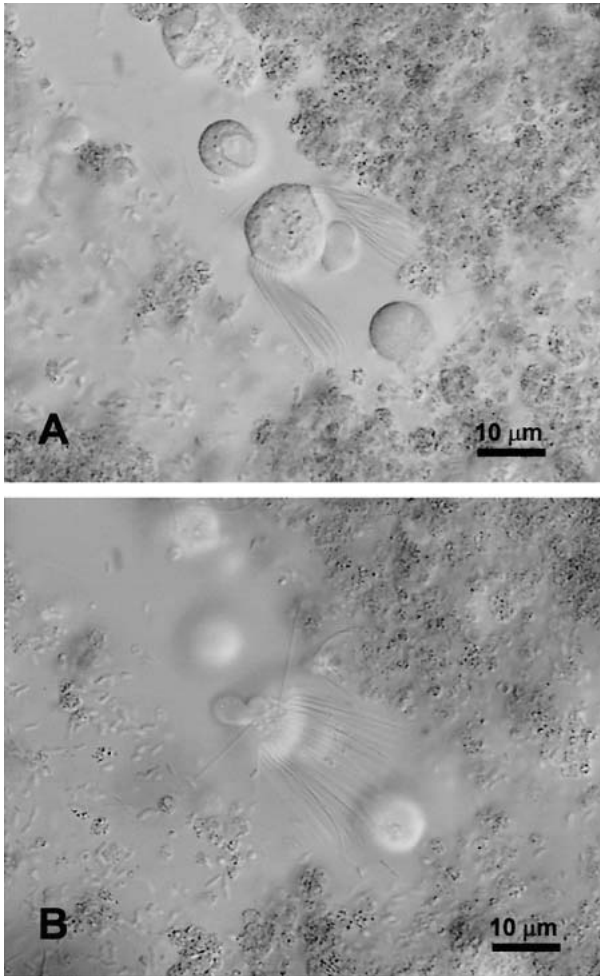


図5. 消化糞中に見られた鞭毛を有す原生動物, 8月30日.

Fig. 5. A cell of protozoan with many flagella in digested feces on 30 August.

スを取り込んでいることが推察された。

以上のことから、神西湖人工池のヤマトシジミは、デトリタスを主としそれに加えて、浮遊性及び底生性微細藻類、花粉、菌類の孢子や輪虫など口を通過できるサイズの粒子を消化管に取り込んでいることが明らかとなった。

ヤマトシジミの擬糞にはたびたびアメーバ状の細胞が観察された(図 1-C, D)。一部の細胞は珪藻類を食作用によって取り込んでいた(図 1-E)。二枚貝の血液は無色透明であり、原生細胞(amoebocyte)を含むことが知られている(Morton, 1983; 奥谷 1999)。Narain (1973)は、二枚貝には原生細胞が広く認められ、原生細胞は仮足をもち、アメーバ状の運動をし、食作用を行うことを報告している。Takatsuki (1934)はヨーロッパガキ(*Ostrea edulis*)の原生細胞の詳細な図を示し、それを鰓の表面や消化管から報告して

いる。今回、ヤマトシジミの擬糞に含まれていたアメーバ状の細胞の形態は、Narain (1973)や Takatsuki (1934)の報告と類似していることから、ヤマトシジミのアメーバ状細胞は原生細胞である可能性がある。また、数十本の鞭毛を有す原生動物が、擬糞や消化糞中に含まれていた(図 1-F, 図 5-A, B)。この原生動物は池の表層水や未消化糞中にも観察されなかったことから、この原生動物はヤマトシジミの体内に生息している可能性がある。

5.3 ヤマトシジミの未消化糞と消化糞

ヤマトシジミを含めて一般に濾過食の二枚貝では、入水管から入った懸濁体粒子は、鰓と唇弁によって選択され、次いで口から入った懸濁体粒子は胃を通じて中腸腺に運ばれ、食細胞(digestive cell)によって細胞内消化されることが多くの二枚貝で報告されている(Morton, J.E., 1956; Morton, B, 1983)。中腸腺に運ばれ細胞内消化された糞と、中腸腺を通過せずそのまま腸へ送られた糞が消化管に存在することはこれまでの知見から明らかであるが、これらが消化管内で混在するのか、あるいは別々の糞塊として存在するのかについては、我々の調べた範囲では少なくともヤマトシジミではこれまでに知られていない。

本研究では、直接中腸腺を観察していないので、最初に本研究で定義をした消化糞が中腸腺で消化されたものかどうかについて以下に考察する。草田(2003)は市販されている *Chlorella vulgaris* (チクゴ株)の錠剤を超音波洗浄器にかけ懸濁液を作製し、宍道湖産ヤマトシジミの消化の過程を調べた。本種は単細胞緑藻で細胞の大きさは3-5 μm であり、チクゴ株は通常の *C. vulgaris* に比べ細胞壁が約10分の1と薄く消化吸収率が高いことが特徴とされている。草田(2003)は中腸腺の食細胞に *C. vulgaris* が取り込まれたかどうかは明らかにしていないが、摂餌5時間後、本種の細胞が中腸腺内で形状が変化し、褐色または透明白色に変色したことを報告した。さらに、12時間後には中腸腺全体は白黄色に変わり、本研究で認めた消化糞と同様に微小な径0.5-1 μm の粒子からなる糞が排泄されたことを報告している。また、Morton (1956)が小型の二枚貝、*Lasaea rubra*の中腸腺消化物は褐色の小球(small sphere)からなり、これらが胃へ押し出され、分解されていることを報告した。Barnes (1987)は二枚貝の総説で excretory spheres が食細胞から排泄されることを記載している。本研究の未消化糞は長いもので9 mm

あり、薄い粘液で包まれた糞塊であった。内部には稀に excretory spheres と類似した形態の小球(径6–10 μm)が含まれ、また、それが分解されたと考えられる微粒子(径約0.5–3 μm)は消化糞の大部分をなすものであった。草田(2003)のヤマトシジミの中腸腺直接観察の結果と、Morton(1956)、Barnes(1987)の他の二枚貝の中腸腺の観察結果との比較から、本研究で定義をしたヤマトシジミの消化糞は中腸腺で細胞内消化されものと考えられる。

一方、未消化糞は、長くても2mm程度の長さであり、薄い粘膜に包まれた糞塊であった。内部には、デトリタスと珪藻の遺骸も含まれているが、生きた微細藻類を多数含んでいること、中腸腺の食細胞由来と考えられる褐色の微粒子を全く含んでいないことから、中腸腺に送られることなくそのまま消化管を通過したものと考えられる。

結果に示したように、5回の実験でいずれも、未消化糞が最初に排泄され、その後しばらくして消化糞が排泄された。未消化糞排泄後、消化糞が排泄されるまで少なくとも3時間を要していた。また、両者が混ざった糞は稀であり、ほとんどの場合、未消化糞が消化糞のいずれかに分類することができた。これらのことから、ヤマトシジミは一定の期間、中腸腺へ取り込み可能な食物を選別しながら送りこみ、中腸腺に取り込むことのできない大きさの食物や余分な食物を薄い粘膜で包まれた未消化糞として排泄し、一方、中腸腺に取り込んだ食物は、細胞内消化後、一定の時期に、薄い粘液に包まれた糞としてまとめて排泄することが考えられた。

ヤマトシジミの摂餌に関してリズムが無いとすると、すでに人工池で中腸腺に取り込まれ消化された糞が、実験の最初に排泄される可能性があるが、実際は、最初に未消化糞が排出された。今回のヤマトシジミの採集は午前10時から午後2時の日中に行われていたことから、摂餌リズムが存在すると仮定すると同じ排泄パターンが観察されたことが考えやすい。摂餌、消化に関するリズムに関しては潮の干満のあるところに生育する *Cardium edule* (Morton, B, 1970) や *Lasaea rubra* (Morton, J, E., 1956) などの二枚貝で知られている。Morton, J, E. (1956) によると *L. rubra* の場合、餌は潮に被われる数時間に取り込み、その後、消化が進み、中腸腺での消化の最後の過程で中腸腺上皮が同調的に排泄されることを報告している。本研究の結果は人工池において生育しているヤマトシジミにも摂餌や消化排泄にリズムがある可能性を示している。

結論として、人工池のヤマトシジミは、未消化糞と消化糞を、お互いに別々の糞塊として、タイミングをずらして排泄していることが言える。

5.4 ヤマトシジミの利用できる食物の種類と大きさ

擬糞や未消化糞に含まれていた内容物の大きさから、ヤマトシジミが利用することのできる餌について考察する。

擬糞には、一辺が300 μm を超える無機物粒子や有孔虫の破片が含まれていたが、この大きさの無機物粒子は消化管内には認められなかった。消化管内の最大のもは長さ約150 μm のワムシであった。未消化糞で普通に観察された底生性珪藻の殻長の最大値は、*Tryblionella* 属58 μm 、*Navicula* 属58 μm 、優占した未同定の羽状珪藻18 μm であった。本研究に用いた殻長が18.7–28.5mmのヤマトシジミの場合、150 μm を超える大きさの粒子は口に取り込まれず、通常は100 μm 以下の生物を含めた粒子取り込まれると考えられる。

未消化糞には、生きた珪藻、渦鞭毛藻、緑藻、藍藻などが比較的多く観察され、8月、10月、12月ともに、大部分の微細藻類は消化を受けずに消化管を通り抜けていた。草田(2003)は宍道湖産ヤマトシジミを解剖し、殻長2.1–2.3cmの場合、中腸腺導管は最も細いところで15 μm あり、中腸腺内腔の内容物の大きさが最大で8 μm であったことを報告している。本研究で用いたヤマトシジミの殻長は18.7–28.5mmであり、草田(2003)の用いた個体よりやや大きいものが含まれているが、ほぼ同様の大きさの食物を中腸腺にとり込むと仮定すると、底生性の羽状珪藻殻長10 μm 以上の種類がほとんどであったことから(図2-C, D)、細胞が破壊されない場合、物理的に中腸腺に取り込まれることができずそのまま腸へ送られ、生きたまま未消化糞中に多く観察されたことが推察された。ごく稀に、角のあるデトリタスや珪藻が消化糞中に観察されたが(図4-D)、珪藻は消化されていないことから偶然に取り込まれ、そのまま排泄されたと考えられる。本研究に用いた培養した珪藻 *T. pseudonana* の大きさは殻径3–5.5 μm 、細胞の長さは4–7 μm あり、中腸腺に取り込まれる可能性は否定できないが、消化糞中には本種の遺骸が確認できておらず、本種の分解した細胞や分泌物が中腸腺に運ばれ消化されたことが推察される。Morton, J, E. (1956) は、二枚貝 *Lasaea rubra* に dogfish の赤血球や植物プランクトンを与えた実験で、赤血球は中腸腺内腔で、植物プランクトンは胃で細胞外消化され

ることを報告している。本研究では、未消化糞中に浮遊性および底生性珪藻類の遺骸がたびたび確認された(図 3-A, B)。この珪藻が取り込まれる前から遺骸であったのか、胃等によって細胞外消化されたものかは消化管を直接顕微鏡観察しておらず、不明である。珪藻の消化に関しては、今後ヤマトシジミの中腸腺内腔を含めその他の器官における消化過程について詳細な研究が必要である。

本研究と同様に、藻類が消化管で未消化であった報告としては、宍道湖産ヤマトシジミの糞に微細藻類が未消化で含まれていたこと(山室, 1994)、セタシジミの飼育下で排泄された糞塊中で珪藻 *Navicula*, *Pinnularia*, *Synedra* が滑走運動をしたこと(林・遠藤, 1956)、ニホンマメシジミでは *Pinnularia* 属, *Neidium* 属の細胞内容物が認められたこと(長谷川, 1993)、ドブシジミ(*Sphaerium transversum*)の肛門直前に、多くの珪藻、緑藻と藍藻が未消化の状態を観察されたこと(Gale and Lowe, 1971)、イケチョウガイで緑藻、藍藻が消化管内で緑色から黄緑色を保っていたこと(林・園田, 1964)などの報告がある。山室(1994)のヤマトシジミの未消化の微細藻類の存在は、本研究の未消化糞を観察したことが考えられ、ヤマトシジミ以外の二枚貝で細胞内容物がある細胞や運動性がある細胞が観察されたのは、本研究と同様、未消化糞が存在する可能性を指摘できる。一方、山路(1965)は、木曾川等河口域においてヤマトシジミのホルマリン固定標本を用いて消化管を直接解剖し、珪藻類は後腸付近では原形質が全く認められず、消化されて外殻のみになると報告した。また、林・園田(1964)はイケチョウガイの消化管内では珪藻の遺骸が多く含まれていることを報告した。これらの結果は本研究と異なり、珪藻が消化管内で消化された可能性を示している。山路(1965)と本研究では、採集場所、採集時期、観察方法も異なっており、直接的な比較は困難であるが、木曾川等河口域は干満があり、その作用によってヤマトシジミの摂餌する懸濁体やその消化過程に差異が生じた可能性がある。

デトリタスに関しては、林・遠藤(1956)は、セタシジミは消化管中の腐植質、粘土が全体の約60%を占め、淡水海綿の骨針が5%、残りの35%が生物と報告している。林・園田(1964)がイケチョウガイの場合、腐植質が消化管内容物の60-70%を占めていることからこれらは貝の食物として重要であると報告し、さらに生息場所周辺の生物やその遺骸、泥土、腐植質等が入水管より吸い込まれ、任意にとらえら

れたと推測している。彼らは消化管内の腐植質は細胞内で消化されたものか、摂取するときすでに分解物となっていたのか判断できないと述べている。

本研究では、消化糞の中には藻類の細胞の破片等はほとんど観察されず、微細藻類が混入していた場合も未消化であり、微細藻類の生細胞は消化されにくいと考えられた。未消化糞中には、デトリタスが最も多く、また中腸腺にそのまま取り込むことができない大きさの珪藻が比較的多く存在していたことから、中腸腺導管の内径より小さいデトリタスや微細藻類は、中腸腺での消化に利用しやすいと考えられる。このことを結論づけるためには、ヤマトシジミの胃などの細胞外消化について詳細な研究が必要である。また、タイワンシジミで足を用いた pedal feeding について報告されており(Hakenkamp and Palmer, 1999)、懸濁物食の場合のみより、pedal feeding を併せた方がその成長が良いことを実験によって示している。ヤマトシジミの食性を明らかにするためには、今後 pedal feeding に関する研究も必要であろう。

5.5 ヤマトシジミと物質循環

土屋(1980)は、二枚貝の排出する擬糞と糞が、ベントスなどの餌として重要なことを指摘している。Yamamuro and Koike (1993)は宍道湖産のヤマトシジミは取り込んだ懸濁体窒素の44%が糞として排出されることを懸濁体粒子と糞の窒素含量から計算し報告している。また、山室(1994)は糞には形の残った微細藻類が含まれていることを認め、これらの糞をゴカイに与えたところ、食したことを報告している。本研究で、ヤマトシジミの糞中には消化糞以外に、生きた珪藻、渦鞭毛藻、緑藻、藍藻などが含む未消化糞が存在することが明になったことから、底生生物にとっては、ヤマトシジミの糞は消化管を通らない擬糞と同様に栄養化の高い餌であることが推察された。ヤマトシジミの汽水湖での物質循環における役割を考える上で、ヤマトシジミの消化糞と未消化糞の割合を定量的に把握することが今後必要であると考えられる。

謝 辞

この研究で試料を採取した神西湖人工湿地は、農林水産省の特別プロジェクト研究「森林・海洋等におけるCO₂収支の評価の高度化」の一部として行われた「二枚貝の物質循環を通じたCO₂固定量の評価

に関する研究」のために建設された人工池である。この人工湿地の全体的な研究は、島根大学生物資源科学部生態環境工学講座によって行われており、本研究の遂行にご協力頂いた代表者・相崎守弘教授をはじめ、関係する多くの皆様に深い感謝の意を表す。また、ヤマトシジミの摂餌、排出、消化に関する研究方法を検討するにあたり、宍道湖にてヤマトシジミの採集に協力して下さった島根県内水面試験場の職員の皆様にお礼申し上げる。最後に本研究との比較のため宍道湖のヤマトシジミの排出物試料を提供し、シジミの排出過程に関して貴重なご意見を下さった島根県環境保健公社の戸田顕史氏に感謝の意を表す。

引用文献

- 相崎守弘・藤岡克己・山口啓子・藤田直樹(2004)人工湿地の概要と流入水質特性。人工湿地を用いたヤマトシジミの成長解析と炭素収支に関する研究，島根大学生物資源科学部生態環境工学講座，pp. 27-41.
- Barnes, R. D.(1987) Class Bivalvia. In *Invertebrate Zoology*, 5th edition. Saunders College Publishing, Philadelphia, pp. 402-471.
- Gale, W. F. and Lowe, R. X.(1971) Phytoplankton ingestion by the fingernail clam, *Sphaerium transversum* (Say), in Pool 19, Mississippi River. *Ecol.*, 52: 507-513.
- Hakenkamp, C. C. and Palmer, M. A.(1999) Introduced bivalves in freshwater ecosystems: the impact of *Corbicula* on organic matter dynamics in a sandy stream. *Oecologia*, 119: 445-451.
- 長谷川康雄(1993)ニホンマメシジミからえられた珪藻遺骸群集—新潟県南西部に位置する西頸城山塊大毛無山ミズゴケ湿地の珪藻群(2)—, *Diatom*, 8: 71-75.
- 林一正・遠藤光治郎(1956)セタシジミの食物。滋大紀要, 5: 33-39.
- 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.
- 林一正・園田斉(1964)イケチョウガイの消化管内容物について。滋大紀要, 14: 35-42.
- Morton, B. (1983) Feeding and digestion in bivalvia. The mollusca, Vol. 5, Physiology, Part 2, Academic press, Inc. pp. 65-147.
- Morton, J. E.(1956) The tidal rhythm and action of the digestive system of the lamellibranch *Lasaea rubra*. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 35: 563-586.
- 中村幹雄・松本洋典(1995)神西湖の漁業。神西湖の自然，小さな汽水湖・大きな恵み。神西湖の自然編集委員会編，たたら書房，米子 pp. 147-166.
- 中村幹雄・山本孝二・小川綿代(1998)宍道湖におけるヤマトシジミの分布と底質環境。第1回全国シジミ・シンポジウム，98 報告書，pp.1-8.
- Narain, A. S.(1973) The amoebocytes of lamellibranch molluscs, with special reference to the circulating amoebocytes. *Malacol. Rev.* 6: 1-12.
- 奥谷喬司(1999)軟体動物 第7綱 二枚貝。動物系統分類学5(上)軟体動物I，内田亨，山田真弓監修，中山書店，pp. 241-325.
- Takatsuki, S.(1934) On the nature and functions of the amoebocytes of *Ostrea edulis*. *Quart. J. microsc. Sci.* 76: 379-431.
- 土屋誠(1980)基質—水界面における底生動物による Biodeposition と栄養循環。ベントス研連誌 19/20: 1-19.
- 草田和美(2003)宍道湖の自然を生かした環境学習教材の開発。ヤマトシジミをめぐる物質循環。島根大学大学院教育学研究科修士論文。
- 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.
- 山口啓子・藤岡克己・相崎守弘(2004)ヤマトシジミを通じた炭素収支。人工湿地を用いたヤマトシジミの成長解析と炭素収支に関する研究，島根大学生物資源科学部生態環境工学講座，pp. 109-121.
- 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.
- 山室真澄(1992)懸濁食性二枚貝と植物プランクトンを通じた窒素循環に関する従来の研究の問題点(総説)。日本ベントス学会誌，42: 29-38.
- Yamamuro, M. and Koike, I.(1993) Nitrogen metabolism of the filter-feeding bivalve *Corbicula japonica* and its significance in primary production of a brackish lake in Japan. *Limnol. Oceanogr.*, 38: 997-1007.
- 山室真澄(1994)食物連鎖を利用した水質浄化技術。化学工業，58: 217-220.