

## ヤマトシジミへの給餌と軟体部増加に関する実験

山口啓子<sup>1</sup>・幸内綾子<sup>1</sup>・藤岡克己<sup>2</sup>

### Experimental Studies on relationship between feeding materials and increase of soft parts of *Corbicula japonica*

Keiko Yamaguchi<sup>1</sup>, Ayako Ko-uchi<sup>1</sup> and Katsuki Fujioka<sup>2</sup>

**Abstract:** Rearing experiments were carried out to study relationships between feeding materials, feeding methods and increase of soft parts of *Corbicula japonica*. Artificial soy food was very effective for the increase of soft parts. Diatom *Thalassiosira pseudonana*, one main food of the clams in Lake Shinji, increased the soft part, but the efficiency was not so high. Two feeding methods, “feeding once a day” and “feeding little by little for 12 hours a day” showed almost the same growth of soft parts under the condition of circular running water.

**Key words:** *Corbicula japonica*, Condition Index, feeding experiment, diatom, *Thalassiosira pseudonana*

#### はじめに

ヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) は、低塩分の汽水域において優占する二枚貝である。島根県にある宍道湖は代表的な低塩分の汽水湖であり、ヤマトシジミの漁獲量が全国第一位である(中村 2000a)。しかし、昭和 45-60 年代には 10,000 t を超える漁獲があったのに対し、近年は漁獲量が減少傾向にある。また、しばしば大量斃死が起こり(e.g. 相崎ほか, 2001)、さらにジェオスミンと思われるカビ臭の問題も発生している。このような中、ヤマトシジミを安定的かつ美味な状態で市場に供給するために、長期畜養の必要性が高まりつつある。しかし、本種の長期畜養に関する研究はほとんど行われていない。

ヤマトシジミはろ過摂食を行う懸濁物食者とされ、高いろ過能力を持っており、湖内の植物プランクトンを水中から除去する働きがあるとして注目さ

れている。更に本種は漁獲により系外へ除去されることで栄養塩除去の役割を果たしている。このように富栄養化しやすい汽水域において、本種は水質浄化に重要な働きをしている。これまで、ヤマトシジミが水域の窒素循環で果たす役割については盛んに研究されてきた(中村, 2000b; 中村, 2004; 山室 1992, 1997 など)。これらの研究では、ヤマトシジミの食性については、濾過による植物プランクトンの摂取を基本概念としている。消化管内を観察した林・大谷(1967)は植物プランクトンの中でも珪藻類が多く確認されたため、主に珪藻類を食物としていると報告している。しかし、大谷ほか(2004)は珪藻が未消化のまま擬糞や糞で排泄されていることを示しており、ろ過をし、口内に取り込んでいても、実際に栄養として吸収しているかどうかは確認されていない。一方、林・大谷(1967)は、シジミ類の消化管内を観察し、デトリタス(腐植質)が多く確

<sup>1</sup> 島根大学生物資源科学部 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

<sup>2</sup> 中浦食品株式会社 Nakaura Foods Corporation

認められたことを報告している。更にヤマトシジミ軟体部の炭素・窒素安定同位体比を調べた Kasai & Nakata (2005) の研究では、海洋起源の植物プランクトンよりもむしろ陸源のデトリタスを主に摂食していると報告している。また Sakamoto *et al.* (2007) では、ヤマトシジミがセルロース分解酵素を持ち、陸源の高等植物のセルロースを分解して、その栄養を利用している可能性を示した。このようなことから、ヤマトシジミは珪藻以外の餌も利用する可能性が考えられる。

そこで本研究では、ヤマトシジミの畜養による安定供給および給餌飼育実験の方法を検討するための基礎資料を提供すること、珪藻を餌資源として利用しているかを確認すること、畜養に有効な餌資源と給餌方法について検討することを目的として、餌料の種類と給餌方法を変化させた室内飼育実験を行い、肥満度によってその結果を評価した。

## 材料と方法

実験に用いたヤマトシジミは、島根県東部に位置する宍道湖西岸のヨシ原付近で2005年11月5日に採集した。採集時の水温は約15℃、塩分は5.6 psuであった。末光ほか(2001)において、秋期に軟体部が大きく増加した10-11月の水温が20℃であったことから、実験水温を20℃とし、20℃に設定した部屋に循環式水槽を設置し、約1ヶ月馴致したのち飼育実験に用いた。採取された中から標準的なサイズの個体を集め、殻長 $19.42 \pm 1.04$  mm、湿重量 $2.74 \pm 0.43$  gの個体を実験に使用した。

シジミの殻表面に番号を記して個体識別をし、実験開始前の個体湿重量(g)を電子天秤で0.001 gの精度で測定し、殻長、殻高、殻幅をノギス(Mitsutoyo製、デジマティックキャリパー)で0.01 mmの精度で測定した。また、実験開始前・実験期間の中日・実験終了時に肥満度(Condition Index)を測定した。実験開始前は初期値として40個体、中日と終了時は各実験区について30個体ずつを肥満度の測定に供した。ここでいう肥満度とは二枚貝の軟体部充足の程度を表す指標であり、末光ほか(2001)に従い、シジミの軟体部乾燥重量(g)、軟体部灰重量(g)、殻長、殻高、殻幅(mm)から求めた。軟体部乾燥重量は50℃で2日以上乾燥、軟体部灰重量は600℃で2時間燃焼させた後の重量を、それぞれ電子天秤で0.00001 gの精度で測定した。肥満度を求めた式を下記に示す。

$$\text{肥満度 (C. I.)} = \frac{\text{AFDWg} \times 1000}{(\text{殻長 mm} \times \text{殻高 mm} \times \text{殻幅 mm})}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \text{軟体部有機物量 (AFDW)} \\ = \text{軟体部乾燥重量} - \text{軟体部灰重量} \end{aligned}$$

### 実験条件

本飼育実験では、①飼料条件(餌の内容)、および②給餌方法による軟体部変化、を明らかにするために、以下の実験区を設定し、それぞれのヤマトシジミの肥満度を測定した。

#### 1) 飼料条件の比較

飼料条件として、a) 市販の人工飼料、b) 分解させたヨシの枯葉、c) 培養した珪藻の3種類とd) 無給餌を設定した。

a) 人工飼料は二枚貝用に開発された粉末飼料で、大豆を原材料とするのもの(日本農産社製、二枚貝育成用飼料M-1)を使用した。

b) ヨシ(*Phragmites australis*)の葉は宍道湖でシジミを採取した同地点から、枯葉を現地の環境水とともに採集した。ヨシを50℃で乾燥させた後、粉碎器(AS ONE社製、WB-1)で細かく粉碎した。環境水には、ヨシを分解する微生物が存在していると考え、この環境水に粉碎したヨシの葉を移し入れ、エアレーションをして約2ヶ月間おき、分解を促した。途中、ヨシの大きさを確認したところ、細かいもの(約3~5 μm)もあったが、粒が大きいサイズ(約30~50 μm)が確認できた。このため、さらにミキサー(AS ONE社製、Hamilton Beach)で水を含んだ状態で粉碎した。

c) 培養珪藻の種は宍道湖水から単離培養された株 *Thalassiosira pseudonana* (島根大学教育学部大谷研究室で所有するSc1)をもちいた。珪藻の直径は約3 μmであった。本種は宍道湖に於いてしばしば優占し、直径が10 μm以下であるため、ヤマトシジミの餌として有効と予想して用いた(大谷ほか, 2004)。培養方法は、海水を地下水で15%に調整し、孔径0.5 μmのフィルターを通したものを100 Lに、培地用粉末(ダイゴIMK培地)を溶解させた。さらにメタ珪酸ナトリウム5 gを添加し、硫酸でpHを調整したものを培地として用いた。そこに、10000 cell/ml程度になるよう植種し、約5000

表 1. 実験に使用した飼料 (人工飼料, ヨシ, 珪藻) の栄養価 (乾燥試料 1 g あたりのカロリー, 炭素含有率, 窒素含有率)

**Table 1.** Nutrition Values of tested food materials (Soy Food, Reed, Diatom) : par dry weight (g).

	Calorific Value cal/g	C %	N %
Soy Food	5430	42.2	6.08
Reed	3594	36.6	1.75
Diatom	2531	47.8	9.10

ルクス, 20℃, 攪拌条件で培養を行った. 約 4~7 日で 400~500 万 cell/ml 程度となったものを回収し実験に供した. 珪藻は培養液中 1 L 当たりの cell 数, 乾燥重量を求め, 給餌量の計算に使用した. 培養液中の珪藻の cell 数を, 容量が 0.1  $\mu$ L であるトーマ血球計算器で計数し, 1 L 当たりに換算した. 培養液を 450℃ で前処理をしておいたガラスフィルターろ紙 (Whatman 社製, GF/F) でろ過して, 珪藻の 1 L 当たりの重量を求めた.

それぞれの餌のカロリーをカロリーメーター (PARR 社製, 1425 型) で測定し, 同じカロリーになるように給餌量を計算した (表 1). 餌の炭素量・窒素量についても CHN 元素分析計 (Yanaco 社製, MT-5) で測定した.

給餌量は, カロリーが同じになるように, 乾燥重量で換算して人工飼料 1 に対して, ヨシを 1.51 倍, 珪藻を 2.15 倍, 与えることとした. 給餌量の決定に際しては, 人工湿地での長期飼育実験における軟体部増加のデータ (山口ほか, 2004) を参考に, 人工飼料を用いて予備実験 (流水条件なし, エアerpンプによるエアレーションのみ) を行った. 湿重量 2.7g 程度の個体の成長期 (4 月~6 月) における軟体部成長速度が乾燥重量で約 0.0025 gdw/day であったことから, 同化率を約 10% と仮定して, 0.025 gdw/day の餌を給餌 (殻込み湿重量の 0.92%/day) したところ, 軟体部の増加が確認された. しかし, 半分程度の餌が砂の上に堆積していたため, 過剰と判断し, 人工飼料を基準としてシジミ湿重量 (殻込み) 当たり乾燥重量で 0.5%/day の重量にあたる餌料を与えることとした. すなわち, シジミ湿重量 1 g 当たり 5.0 mg の人工飼料 = 27.15cal/day の餌量を与えた. ヨシと珪藻についても, 人工飼料と同カロリーの給餌量を求め, シジミ 1 g 当たりそれぞれ乾燥重量で 7.6 mg, 10.8 mg の飼量を与えた (表 1).



図 1. 飼育コンテナの写真

**Fig. 1.** Photography of containers for the rearing experiments

なお, この実験は, 1 日に与える量を全て 1 度と与える, 1 日 1 回給餌の方法で行った.

## 2) 給餌方法の比較

上述の予備実験の結果から, 一度に大量に餌を与えた場合, 濾過されずに堆積することがある. また, 濾過した餌の多くを擬糞として排泄してしまう, あるいは懸濁物の急激な増加に対し殻を閉じてしまうなどの影響で, 十分に栄養吸収が行えないことが考えられた. そこで, 2 通りの給餌方法を設定し, 給餌方法による摂餌効果を検討した. 1 つは, 1 日に与える餌量を 1 回で全て与える 1 回給餌区とした. これに対して, 同じ 1 日あたりの餌料を定量送液ポンプ (EYELA 社製, MP-3N) をもちいて, 1 日の半分の約 12 時間をかけて少量ずつ一定速度で与える条件を設定し, 12 時間給餌区とした. この 2 つの給仕方法を比較する試験で用いる飼料は, 予備実験で軟体部の増加が確認されていた人工飼料とした.

## 3) 飼育方法

飼育装置は 52×37.5×20.5 cm のプラスチック製コンテナとひと回り小さい 37×25×13.5 cm のコンテナを用いた (図 1). 大きなコンテナは飼育水のリザーバ (写真下), 小さなコンテナはシジミの飼育槽とし (写真上), 家庭用バスポンプで飼育水を循環させ, これを飼育の 1 系とした. 飼育槽のコンテナには砂を厚さ約 2 cm 敷き, その中でシジミを飼育した. 飼育水は市販の人工海水塩およびイオン交換水を用いて約 5 psu に調整し, 一つの系に約 20 L の飼育水を入れ, 常時ポンプで循環させた. これによって水槽中に水の流れを起し, かつ上向きの

吐水によってエアレーションの効果をもたせた。アンモニア濃度が高くなるとシジミの生育に悪影響が出る恐れがあるため、水交換を1日に1度行った。

飼育は室温 20℃に設定した部屋に上記のコンテナを5系設置し、飼育期間は2005年12月2日～2005年12月24日の22日間とした。なお、実験期間中の供試員の生残率は全て100%であった。

#### 4) 評価方法

上記1) 各餌料区間の肥満度の比較には、一元配置分散分析を用いて有意差が認められたので、Scheffeの多重比較 ( $p < 0.05$ ) を行った。上記2) 2種類の給餌方法の比較は、t検定を行った。

さらに、給餌の軟体部成長への効果を肥満度の増加速度で評価した。飼育期間中における増加分の肥

満度を飼育日数で割って1日あたりの増加速度、および30日を積算した1ヶ月あたりの増加速度とした。すなわち

$$\text{増加速度 (/day)} = (\text{飼育終了時の肥満度} - \text{飼育開始時の肥満度}) \div \text{飼育日数}$$

$$\text{増加速度 (/month)} = (\text{飼育終了時の肥満度} - \text{飼育開始時の肥満度}) \div \text{飼育日数} \times 30$$

## 結果と考察

図2に肥満度の変化を示す。異なる3種類の餌をシジミに給餌したところ、それぞれの餌料区で異なった肥満度の変化が見られた。ヤマトシジミの肥満度は、実験開始時には  $0.0085 \pm 0.0013$  であった(初期値)。22日間の飼育後、人工飼料区の肥満度が最

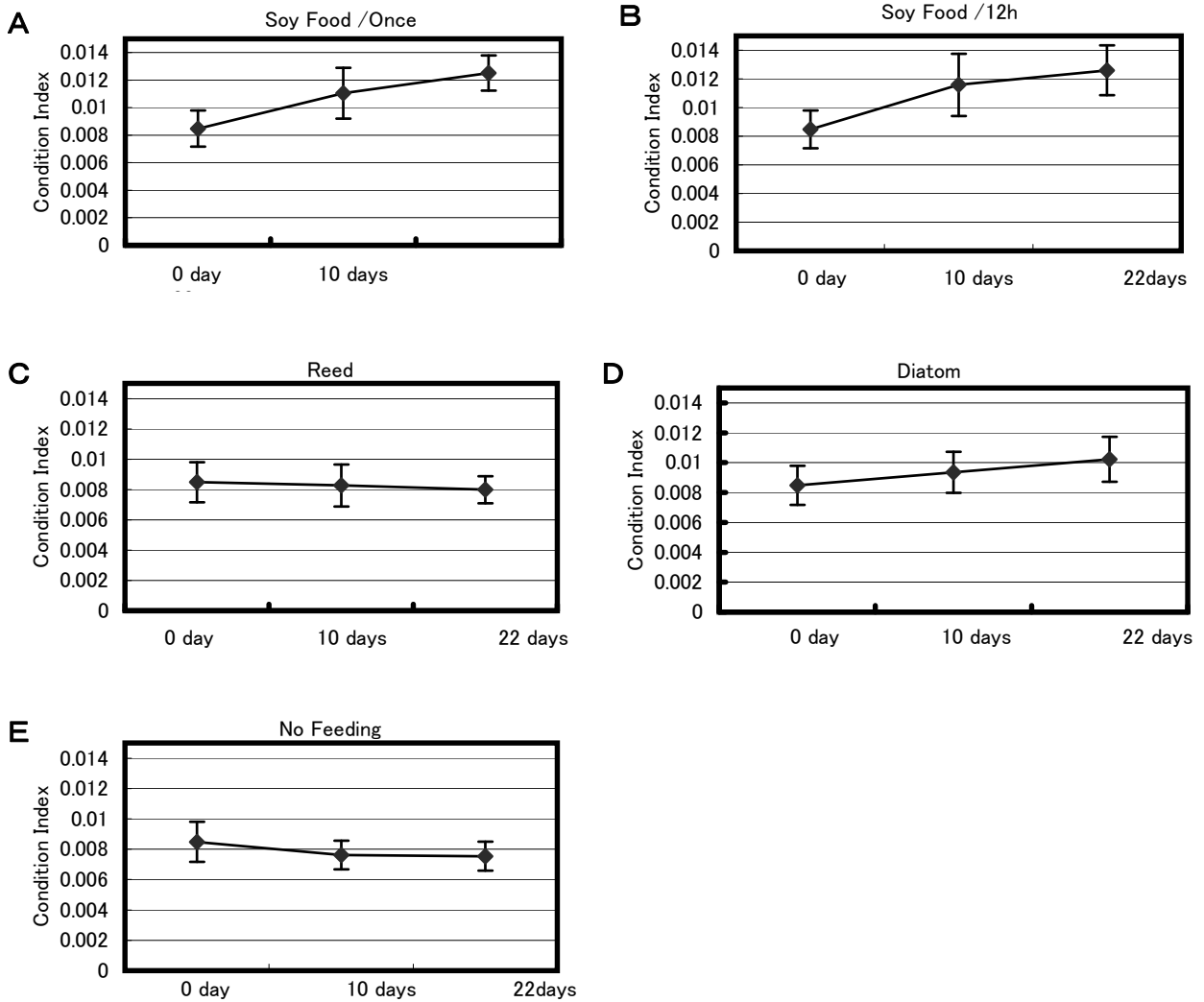


図2. 肥満度の変化 A:人工飼料1日1回, B:人工飼料1日12h, C:ヨシ, D:珪藻, E:無給餌, (バーは標準偏差)

Fig. 2. Change of Condition Index of each treatment. A: Soy food/Once a day, B:Soy food/12 hours, C: Reed, D: Diatom, E:No feeding, (bar = Standard Deviation)

表 2. 各給餌区の平均肥満度の値  
Table 2. Condition Index values of each food treatment.

Food	Soy Food	Reed	Diatom	No Feeding
C.I.	0.0125 <sup>a</sup> ±0.0013	0.0080 <sup>c</sup> ±0.0009	0.0102 <sup>b</sup> ±0.0015	0.0075 <sup>e</sup> ±0.0009

表 3. 肥満度の増加速度 (1 日および 1 ヶ月)  
Table 3. Increasing Rate of Condition Index (par day and par month)

	Increasing Rate of C.I.	
	/day	/month
Soy Food 1th	0.000183	0.0055
Soy Food 12h	0.000187	0.0056
Reed	-0.000023	-0.0007
Diatom	0.000079	0.0024
No Feeding	-0.000043	-0.0013

も高くなり、実験終了時には  $0.0125 \pm 0.0013$  となった。次に肥満度が高くなったのは珪藻区で  $0.0102 \pm 0.0015$  であった。ヨシ区と無給餌区の肥満度はそれぞれ  $0.0080 \pm 0.0009$ ,  $0.0075 \pm 0.0009$  で、肥満度がやや減少した。実験終了時の肥満度について、各餌料区間の比較を行ったところ、分散分析を用いて有意差が認められたため、多重比較 (Scheffe:  $p < 0.05$ ) を行った。その結果、ヨシ区と無給餌区の肥満度の間には差は認められなかったが、その他の 2 者間には差がみとめられた (表 2, 図 3A)。

珪藻区と無給餌区とに有意な差がみられたことから、少なくともヤマトシジミは珪藻を確実に栄養として吸収していることが分かった。しかし、人工飼料区と珪藻区では、珪藻区の肥満度が有意に小さかった。1 g あたりの炭素量含有率は珪藻がやや高いのに対し (表 1), カロリーを同じとしたので、炭素量で換算すると人工飼料の 1/4~1/5 程度の同化効率であり、非常に低いといえる。大谷ほか (2004) の結果からもわかるように、ヤマトシジミは経口摂取した珪藻の全てを消化しているわけではなく、珪藻の一部は腸内を通過しても、内部の原形質をそのまま残して糞として排泄されている。このように、珪藻のヤマトシジミの餌としての効率は高くはない。これに対して人工飼料は、珪藻のように外面を覆う殻がないこと、二枚貝用飼育に開発されたものであるため、高効率で吸収するように加工されていることなどから容易に消化できるものと考えられる。肥満度を短期間で上昇させる目的では、人工飼料が餌として有効であることがわかった。

一方、給餌を行った中で、ヨシ区では無給餌区の肥満度と有意な差が認められなかった。このことは、今回の実験においてはヤマトシジミはヨシの粉碎物をほとんど経口摂取することができていなかったことを意味する。実験中、水槽の状態を観察した際、ヨシ区においてのみ飼料として与えたヨシの破片が底質に明らかに堆積していたが、他の実験区では底質の上に目に見えて餌が残ることは無かった。ヨシは、細かく粉碎させ、2ヶ月間エアレーションをして分解を促していたが、十分に分解されていなかったと考えられる。顕微鏡で見ると、細かいものも存在するが、大きなままであるものも存在した (約  $30 \sim 50 \mu\text{m}$ )。ヨシは分解しにくく、デトリタス化するのに時間がかかると考えられる。大谷ほか (2004) にも、ヤマトシジミに有効な餌となるには、直径  $10 \mu\text{m}$  以下であることが示されている。そのため、今回の実験の結果から、ヤマトシジミが実際の環境下でヨシのデトリタスを餌として利用しているか否かを推定することはできなかった。

給餌方法の違いによる摂餌効率の相違を検討するために行った 12 時間給餌区では、実験終了時の肥満度が  $0.0126 \pm 0.0017$  であり、一日 1 回給餌区の肥満度  $0.0125 \pm 0.0013$  とほぼ同じ値となった (図 3B)。2 つの給餌方法の間で t 検定を行った結果、両者で肥満度に有意差は認められなかった。予備実験では止水状態でエアレーションのみを行っていたため、餌が堆積したが、本実験で行った循環式の流水状態では両給餌条件ともに堆積はみられなかった。すなわち、流水循環式としたことで、1 回給餌においても 12 h 給餌と同様に、与えた餌が十分に利用されたと考えられる。このことから、畜養の際、循環式流水環境を作ることができれば、1 日 1 回給餌する方法で十分であることがわかった。

表 3 に、本実験での肥満度増加速度を示す。本実験では、最も高かった人工飼料でも  $0.0056/\text{month}$  であり、珪藻ではさらに低く  $0.0024$  であった。末光ほか (2001) は、人工湿地を使ってヤマトシジミの長期野外飼育実験を行ったが、そのときの肥満度の変化 (末光ほか: 図 2) から読みとると、人工湿地では春から初夏および秋から冬にかけて急激に肥

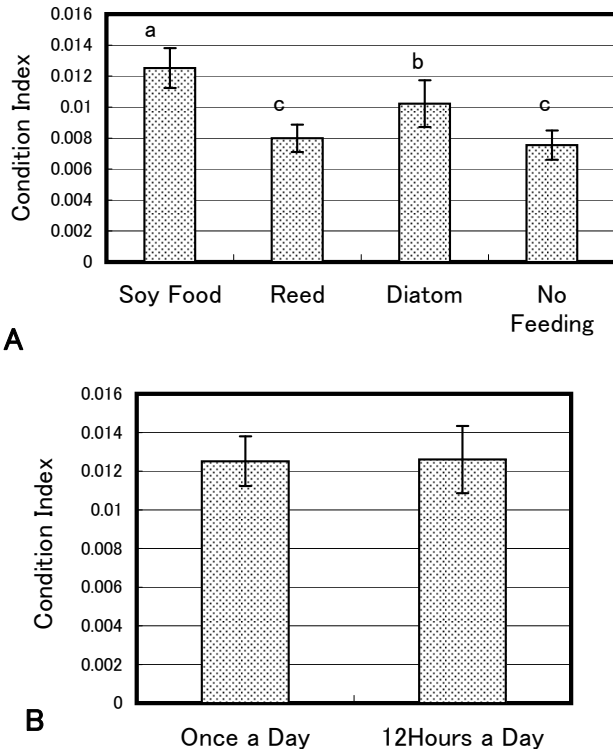


図3. 実験終了時における各実験区の肥満度平均値。  
A: 給餌条件間の比較, B: 給餌方法間の比較。

**Fig. 3.** Mean values of Condition Index of each treatment.  
A: Comparison between food materials, B: Comparison between two feeding methods.

満度が増加し、水温 20℃ 程度である 5 月および 10 月頃の肥満度増加速度は 0.008–0.01/month であった。このことから、実際の環境下では、本実験の人工飼料で 1.5 倍、珪藻だと 4 倍程度の量の餌を摂取していると推定される。カロリーでは湿重量 1 g あたり人工飼料で一日に 40 cal, 珪藻で 100 cal 以上に相当する。さらに自然状態では環境に様々な攪乱があり運動も多くなることから、実験室内の条件から得られた推定よりも、より多くの餌量を摂取していると考えられる。

## ま と め

ヤマトシジミは珪藻を栄養として利用していた。ただし、その同化効率は人工飼料と比較すると非常に低かった。長期畜養する際に、肥満度を増加させる目的には人工飼料を用いるのが効果的である。給餌方法については、水流のある状態であれば、1 日 1 回の給餌と、定量ポンプによる少量ずつの給餌との間で、摂餌効率に違いはなかった。自然状態と同様の肥満度増加を得るためには、概算では湿重量 1g あたり人工飼料で 40cal/日、珪藻で 100cal/日以

上の給餌が必要と推定された。

## 謝 辞

鳥根大学教育学部の大谷修二教授には、実験に用いる培養株を提供して頂き、珪藻の測定をご指導頂いた。中浦食品(株)には、実験の機会をご提供頂き、餌料の藻類培養でご協力いただいた。汽水域研究センターの倉田健悟准教授には、カロリー測定のための測定機器を快く使用させて頂いた。本研究を遂行するにあたり、お世話になりました方々に深い感謝の意を表します。

## 引 用 文 献

- 相崎守弘・高橋 愛・山口啓子 (2001): ヤマトシジミの大量斃死機構に関する基礎的研究 I. LAGUNA (汽水域研究). 8, 31–37.
- 相崎守弘・山口啓子・藤岡克己 (2004): 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. プロジェクト研究報告書, 高浜印刷, 松江.
- 林一正・大谷章英 (1967): 琵琶湖産セタシジミの消化管内容物について. VENUS. 26 (1): 17–18.
- Kasai A. and Nakata A. (2005): Utilization of terrestrial organic matter by the bivalve *Corbicula japonica* estimated from stable isotopic analysis. FISHERIES SCIENCE, 71: 151–158.
- 中村幹雄 (2000a): 日本のシジミ漁業. たたら書房, 米子.
- 中村幹雄 (2000b): ヤマトシジミが宍道湖の窒素循環に果たす役割. 月刊「水」. 10: 16–25.
- 中村由行 (2004): 閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環【10】富栄養化した汽水湖における栄養塩循環と水質分布に関わる懸濁物食性二枚貝の効果. 海洋と生物. 151, vol. 26 no.2. 168–176.
- 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. LAGUNA (汽水域研究). 11, 109–124.
- Sakamoto K., Touhara K., Yamashita M., Kasai A. and Toyohara H. (2007): Cellulose digestion by common Japanese freshwater clam *Corbicula japonica*. FISHERIES SCIENCE. 73: 675–683.
- 末光健治・山口啓子・相崎守弘 (2001): ヤマト

- シジミの大量斃死機構に関する基礎的研究Ⅱ. LAGUNA (汽水域研究). 8, 39-46
- 山口啓子・天野聖子・辻井要介・末光健治・藤岡克己・相崎守弘 (2004) : 人工湿地におけるヤマトシジミ個体の季節変化～軟体部および殻の成長～. In 「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」 (相崎守弘・山口啓子・藤岡克己), 59-68, 高浜印刷, 松江.
- 山室真澄 (1992) : 懸濁物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.
- 山室真澄 (1997) : 汽水域での高次生産者を通じた窒素・リンの収支. 沿岸海洋研究. 35 (1) : 69-73.