人工湿地におけるヤマトシジミ濾過速度の季節変化

藤岡 克己* 戸田 一則* 森 俊樹*
山口 啓子* 相崎 守弘*

Seasonal Change in Filtration Rate of *Corbicula japonica* in Shallow Experimental Pond

Katsuki FUJIOKA*, Kazunori TODA*, Toshiki MORI*,
Keiko YAMAGUCHI* and Morihiko AIZAKI*

* Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

Abstract

A seasonal change in the filtration rate of *Corbicula japonica* in shallow experimental pond constructed to study the effect of *C. japonica* on bio-geochemical cycles was measured using the laboratory, outdoor tank and *in situ* methods. Different formulas for determining the correlation between filtration rate and water temperature were obtained in each case. The total volume of water filtered by *C. japonica* in the pond was estimated using these formulas. High volumes were calculated using the *in situ* method; they were about 2.5~3 times higher than those calculated using the laboratory method. The amount of suspended solid (SS) removed was estimated from these volumes of water filtered and compared with the observed amount, which was calculated from the differences of SS concentrations in inflow and outflow waters and inflow water volume. The amount estimated using the *in situ* method showed a linear relationship to the observed one ($y=1.16x + 18.6$, $R^2=0.84$). It was concluded from these results that the filtration rate of *C. japonica* could be expressed as $y=0.336e^{0.0569T}$ in relation to water temperature in the range from 10 to 30°C.

Key words: filtration rate, *Corbicula japonica*, experimental pond, seasonal change

1. はじめに

ヤマトシジミは汽水環境に生息する二枚貝で、重要な水産資源であるとともに水域の物質循環に大きく寄与している^{1~5)}。近年その生態について活発な研究が行われている⁶⁾が不明な点も多い。濾過摂食性二枚貝の濾過速度は最も基本的な情報として多くの研究がなされ、貝の大きさと濾過速度の関係は $F=aw^3$ で示されることが多くの研究で明らかにされている^{7,8)}。水温変化に対する研究も多く行われているが^{9,10)}、高い水温での研究は少ない。これは、海域に生息する貝を対象とした研究ではあまり大きな水温変化が起きないためと考えられる。しかしながら、ヤマトシジミが生息する汽水域や、干潟などに生息する貝類では夏季に高水温にさらされる機会が多く、夏季の高水温時の濾過速度を明らかにすることは重要である。 Nakamura

*et al.*¹⁾ は、ヤマトシジミの濾過速度と水温の関係を調べ、25°Cで最高値に達し、30°C以上になると低下すると報告している。磯野¹¹⁾、磯野・中村¹²⁾ は軟体部組織の酸素消費速度と水温の関係を調べ、呼吸速度と濾過速度との間に比例関係があると仮定し、アサリやほかの海産二枚貝の濾過速度の季節変化を推定している。二枚貝の呼吸速度は水温に対して指数関数的に増加することが知られており¹³⁾、高水温においても濾過速度は低下しないという報告もある¹⁴⁾。

また、濾過速度は二枚貝のエラ面積に関連しており¹⁵⁾、個体数あたりや湿重量あたりで表記するよりも軟体部乾燥重量あたりで表記するのがよいという報告がある¹⁶⁾。しかし、ヤマトシジミは夏季に夏やせ現象が起き、殻の大きさに対して軟体部乾燥重量が非常に小さくなる。湿重量は殻の大きさに比例関係があるところから、湿重量あたり

* 島根大学生物資源科学部 〒690-8504 松江市西川津町 1060

で表した濾過速度の方が現場での濾過速度を正確に表している可能性が考えられる。また、自然条件下での濾過速度と実験室内で測った濾過速度では値がかなり異なることが報告されている^{17, 18)}。

以上のように二枚貝の濾過速度に関する研究は数多く行われているが、どのような方法で測定すれば自然条件下での濾過速度を推定できるか、まだ不明な点が多い。われわれは、島根県出雲市にある小さな汽水湖、神西湖湖畔に、人工湿地を造成し、ヤマトシジミが優占する系での物質循環を調べた。その折り、濾過速度を、実験室、屋外水槽及び人工湿地内でのチャンバーを利用した現場計測と測定条件を変えて調べた。また、濾過速度を求めるヤマトシジミの単位として軟体部乾燥重量と湿重量の両方について求め、季節変化を調べた。その結果、それぞれの測定条件で濾過速度と水温の間に異なった関係式が得られた。そこで、得られた関係式を人工湿地におけるヤマトシジミの現存量と水温に対して適用したところ、関係式によって人工湿地でのヤマトシジミによる総濾過水量が大きく異なった。どの関係式が現場における濾過水量を表しているかを検証するため、推測した濾過水量からSS除去量を求め、人工湿地での水質変化から求めた実測SS除去量と比較した。

ヤマトシジミなど二枚貝の濾過速度は、物質循環や代謝活動の情報として最も基本的な情報であるところから、今回得られた結果は、今後の二枚貝を通した物質循環や季節変動の研究に重要な情報を提供するものと考えられた。

2. 方 法

濾過速度の測定は、ヤマトシジミの優占する人工湿地での物質循環に関連する実験として2002年4月から2004年6月にかけて行った。2002年4月から12月については、ガラスビンに入れたヤマトシジミによる実験室での濾過速度の測定（以下Lab法と略す）と人工湿地の隣に設置した屋外水槽を用いた濾過速度の測定（以下Tank法と略す）を行った。2003年4月から2004年6月までは人工湿地にチャンバーを沈め、人工湿地内での濾過速度を測定した（以下Chamber法と略す）。

Lab法による測定は、1リットルの広口瓶に人工湿地への流入湖水を1リットル入れ、人工湿地から採取したヤマトシジミ10個体を入れ、15分間隔で2時間、濁度を測定して濁度の変化から濾過速度を求めた。濁度は水温の高い夏季には約30分で1NTU程度まで低下し、その後の低下速度は緩やかになった。水温が低下しても2時間程度で濁度は1NTU程度まで低下した。濾過速度は濁度が対数プロットで直線的に低下している時間を対象に(1)式に示す計算式から求めた。測定は人工湿地の横に作られたプレハブ実験室で行ない、光のコントロールは行わなかった。測定は4月から12月にかけて毎月行った。Tank法による測定は、人工湿地の隣に設置した屋外水槽（直径1m、水深80cm、底質として15cmの厚さで砂を入れた）¹⁹⁾にヤマトシジミを実験開始時に346個体入れ、通常は神西湖の湖水をかけ流しヤマトシジミを飼育した。濾過速度の測定の前日に水

Fig. 1 Constructed experimental ponds and chambers for the in situ measurement of filtration rate of *C. Japonica*.

槽の壁に付いた付着物などをよく洗って取り除き、測定日には流入水の流入を停止して、水槽内の濁度の変化から濾過速度を測定した。計算方法はLab法と同様である。測定時の水深は30cmとし、容量は236リットルであった。4月から12月まで毎月1回測定を行ったが、その間ヤマトシジミの現存量は斃死や測定のための取り上げなどにより低下し、12月の測定時には74個体となった。

Chamber法による測定は、人工湿地内に厚さ約5cmの砂を入れた直径40cmのフルイを置き、実験開始時にほぼ同一サイズのシジミ150個体（湿重量600g）を入れた。通常はそのまま人工湿地内に放置した。測定時にはフルイの上に直径43cm、容量62リットル、底面積0.145m²のステンレス製容器をかぶせた。容器上部には採水用のホースを取り付けた。測定前に容器内の水をサイフォンにより人工湿地の水に入れ替え、30分間隔で容器内からサンプリングし、濁度の変化から濾過速度を求めた。実験は4月から開始したが、ヤマトシジミの成長に伴い個体数を減らし、湿重量を600gで維持した。人工湿地とチャンバーの様子をFig. 1に示す。

各実験ともヤマトシジミを入れない系を作り対照とした。濾過速度は以下の式から求めた。

$$F = V/t * (\ln(Co/Ct) - \ln(Co'/Ct')) / S \quad (1)$$

ここで、F:濾過速度 (l・h⁻¹)、V:測定容器の容量(l)、t:測定時間(h)、Co:シジミ系スタート時の濁度、Ct:シジミ系t時間後の濁度、Co':コントロール系スタート時の濁度、Ct':コントロール系t時間後の濁度、S:ヤマトシジミの現存量。ヤマトシジミの現存量は測定時の軟体部乾燥重量と殻を含めた湿重量の両方を用いて計算した。

濁度は濁度計(HACH 2100P)を用いて測定した。ヤマトシジミの湿重量や軟体部乾燥重量は実験終了後、Lab法の試料については全個体、Tank法とChamber法については20個体を採取し、実験室に持ち帰り測定した。

人工湿地における研究は2001年4月から開始し、2004年6月まで継続した。人工湿地は5m x 10mの大きさで、流入側(20cm)から流出側(60cm)に向けて傾斜をつけた。人工湿地の底にはビニールシートを敷き、その上に厚さ

Table 1 Experimental date, water conditions, biomass of *C. japonica* and measurement methods of filtration rate in each experiment.

Date	Number (ind·exper ⁻¹)	Wet wt. (g·ind ⁻¹)	Flesh dry wt. (gdw·ind ⁻¹)	DO (mgO ₂ ·l ⁻¹)	W.T. (°C)	Salinity (psu)	Method
2002/4/9	10	8.57	0.559	8.2	15.8	7.8	Labo
2002/5/8	10	8.57	0.557	8.7	16.3	6.5	Labo
2002/6/11	10	7.57	0.801	5.8	25.0	13.0	Labo
2002/7/9	10	8.77	0.613	4.2	28.1	8.0	Labo
2002/8/9	10	9.20	0.436	6.0	29.0	13.0	Labo
2002/9/6	10	8.83	0.326	6.0	29.8	19.3	Labo
2002/10/4	10	8.20	0.329	6.8	22.5	7.4	Labo
2002/11/8	10	9.80	0.459	10.8	12.5	9.7	Labo
2002/12/4	10	7.83	0.480	11.5	11.4	12.9	Labo
2002/4/13	346	4.34	0.389	10.4	15.5	5.4	Tank
2002/5/10	310	5.45	0.459	8.4	17.3	3.5	Tank
2002/6/28	301	5.85	0.418	7.3	24.8	11.0	Tank
2002/7/30	267	5.91	0.301	3.7	31.7	15.5	Tank
2002/8/23	230	5.97	0.247	5.3	24.3	12.2	Tank
2002/9/20	134	8.01	0.232	8.8	23.5	15.8	Tank
2002/10/18	84	8.11	0.282	7.0	22.0	15.8	Tank
2002/11/15	79	6.30	0.311	10.0	10.7	13.4	Tank
2002/12/16	74	6.32	0.371	9.6	9.3	3.1	Tank
2003/4/7	150	4.00	0.234	9.4	15.3	7.7	Chamber
2003/5/7	140	4.29	0.340	5.7	23.8	4.1	Chamber
2003/6/10	107	5.81	0.436	5.1	23.3	7.4	Chamber
2003/7/1	94	6.38	0.344	5.9	24.5	7.1	Chamber
2003/8/5	81	7.41	0.344	3.8	29.7	8.6	Chamber
2003/9/4	81	7.41	0.189	3.7	30.3	7.3	Chamber
2003/10/3	92	6.52	0.231	5.3	22.8	16.8	Chamber
2003/11/5	92	6.52	0.189	8.5	18.1	16.8	Chamber
2003/12/11	89	6.74	0.283	11.3	10.3	11.5	Chamber
2004/5/11	88	3.94	0.296	6.8	23.0	7.8	Chamber
2004/5/19	88	3.94	0.296	3.4	22.0	0.8	Chamber
2004/6/6	88	4.43	0.246	5.6	24.0	4.4	Chamber

Fig.2 Seasonal changes in filtration rates of *C. japonica* measured by Laboratory, Tank and Chamber methods. Filtration rate expressed relation to flesh dry weight ($l \cdot g\text{-flesh-dw}^{-1} \cdot h^{-1}$) (○), and wet weight ($l \cdot 10g\text{-wet wt}^{-1} \cdot h^{-1}$) (●).

30cm で海砂を入れた。流入水は神西湖の湖水をポンプで汲み上げ $5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ の流量でかけ流した。湖水の平均

滞留時間は約2時間であった。人工湿地は2つ造り、一方にはヤマトシジミを $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ($714 \text{ 個体} \cdot \text{m}^{-2}$) の密度になるように入れ (P1)、他方はヤマトシジミを入れないコントロール系 (P2) としてスタートした。しかしながら、コントロール系においても2002年春季以降は自然繁殖によってヤマトシジミが定着し、除去努力は行ったが増加を止めることはできなかった。そこで、ここでは2001年のデータを中心に解析した。人工湿地での水質調査は毎週行った。現地では水温、溶存酸素、pHを測定し採水は流入部と流出部で行った。試水は実験室に持ち帰りガラスフィルター (Whatman, GF/F) を用いて濾過し、SS乾燥重量を求めた。人工湿地におけるSS除去速度は流入水と流出水の濃度差に1日の流入水量 250 m^3 を乗じて求めた。ヤマトシジミの現存量調査は毎月1回、人工湿地内の水を排水し、 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ のボックス形コドラートを用い、深さ15cmまでのヤマトシジミを目合い4mmのフルイでふるって採取し、計測した。人工湿地の12ヶ所でコドラートを用い、深さ15cmまでのヤマトシジミを目合い4mmのフルイでふるって採取し、計測した。人工湿地での現存量を求めた。人工湿地からの排水の折り、底に堆積した堆積物を洗い流した。この作業により、堆積物は厚く堆積することなく、ヤマトシジミの生息環境を良好な状態で保つことができた。採水時でのヤマトシジミの現存量は各月の実測で得られたデータを元に、月間の日変化量を求め、現存量を調査した日から採水日までの日数を積算して採水日までの変化量を求め、直近の実測現存量に足し合わせて求めた。

3. 結果

濾過速度の測定日、測定に用いたヤマトシジミの個体数、湿重量、軟体部乾燥重量、溶存酸素濃度、水温および測定方法についてTable 1に示す。溶存酸素濃度は夏季に低下したが貧酸素状態にはならなかった。水温は $9.3^\circ\text{C} \sim 31.7^\circ\text{C}$ の範囲で変動した。塩分は $0.8 \sim 19.3 \text{ psu}$ の範囲で変動した。ヤマトシジミの個体あたりの湿重量は4月から8月にかけて増加し9~10月にかけて少し低下したが夏以降の変化は少なかった。これに対して個体あたりの軟体部乾燥重量は6月から7月はじめに最高値になり、7月から8月にかけて急激に低下した。10月以降は回復傾向が見られた。軟体部乾燥重量の夏季における急激な低下はいわゆる「夏やせ」によるものである。殻の大きさと湿重量には強い相関関係が見られた (山口ほか、投稿中)。当然のことながら、殻の大きさは夏やせの影響をあまり受けないことから夏季においても湿重量の減少は軟体部乾燥重量の減少に比べて小さかった。このことは、軟体部乾燥重量あたりの濾過速度と湿重量あたりの濾過速度では水温に対する関係が異なる可能性が高いことを示している。そこで、以下では軟体部乾燥重量あたりの濾過速度と湿重量あたりの濾過速度を分けて算出した。

Fig. 2 に各測定方法で算出した濾過速度の季節変化を示す。Lab法では季節変化が明確でなく、夏季の濾過速度

Fig. 3 Relationship between filtration rates measured each method and water temperature. Upper: filtration rate expressed relation to flesh dry weight, Lower: that expressed relation to wet weight.

Table 2 Correlation formulas and coefficients (R^2) obtained from the Figure 2. Y: filtration rate ($l \cdot h^{-1}$), T: water Temperature ($^{\circ}C$).

Method	Unit	Formula	R^2
Lab	g Flesh dry wt.	$Y=0.071e^{0.0736T}$	0.55
Tank	g Flesh dry wt.	$Y=0.0001e^{0.3503T}$	0.79
Chamber	g Flesh dry wt.	$Y=0.366e^{0.0569T}$	0.52
Lab	g Wet wt.	$Y=0.0056e^{0.0569T}$	0.52
Tank	g Wet wt.	$Y=0.0003e^{0.201T}$	0.82
Chamber	g Wet wt.	$Y=0.0214e^{0.0469T}$	0.72

が他の方法に比べて低い値となった。Tank 法では夏季に濾過速度が増加したが、Chamber 法ではさらに顕著な増加が見られた。この夏季の濾過速度の増加の割合は、軟体部乾重量あたりで表記した場合の方が湿重量あたりに比べて顕著であった。

Fig. 3 に各方法での測定時の水温と濾過速度の関係を示す。水温の上昇に伴う濾過速度の変化は Lab 法では明確でなく、 $12^{\circ}C \sim 30^{\circ}C$ の間で大きな変化は見られなかった。これに対して Tank 法と Chamber 法では水温の上昇に伴って増加した。Tank 法では $10^{\circ}C$ 付近ではほとんど濾過活性が見られなかったところから、水温上昇に伴う濾過速度の増加は特に顕著に現れた。Chamber 法では $10^{\circ}C$ 付近でも $0.5 \sim 1.0 \text{ } l \cdot gdw^{-1} \cdot h^{-1}$ 程度の濾過速度が観測されたところから、 $30^{\circ}C$ 付近での濾過速度は Tank 法の測定値に比べて高かったが、水温上昇に対する濾過速度の増加割合は低かった。Fig. 3 から求められる各測定方法での濾過速度と水温の関係式を Table 2 にまとめて示す。生物の呼吸速度や酵素反応は温度に対して指数関数的に増加することか

Table 3 Seasonal change in the biomass of *C. japonica* in the Pond 1 in 2001.

Date	Wet wt. ($g \cdot ind^{-1}$)	Flesh dry wt. ($g \cdot ind^{-1}$)	Number ($ind \cdot m^{-2}$)	Wet wt. ($kg \cdot pond^{-1}$)	Flesh dry wt. ($g \cdot pond^{-1}$)
10-Apr	2.82	0.095	705	99.4	3349
8-May	2.97	0.146	790	117.3	5767
7-Jun	3.86	0.233	697	134.5	8120
9-Jul	4.20	0.191	701	147.2	6695
2-Aug	4.24	0.141	575	121.9	4054
29-Aug	4.70	0.122	498	117.0	3038
26-Sep	5.07	0.153	513	130.0	3924
31-Oct	5.33	0.213	405	107.9	4313
28-Nov	5.87	0.457	403	118.3	9209
17-Dec	6.02	0.463	368	110.8	8519

Fig. 4 Seasonal change of SS concentration of inflow and outflow of waters. P1: experimental pond with *C. japonica*, P2: that without *C. japonica*.

ら、ここでは濾過速度を指数関数式 ($Y=a \cdot e^b$) で整理した。上述したごとく、Lab 法と Chamber 法では係数 b の値は小さく、Tank 法で大きくなった。また、係数 a の値は Chamber 法で大きく、Tank 法および Lab 法で小さかった。相関係数は Tank 法と湿重量あたりの Chamber 法で高かったが、他は低かった。

Table 3 に人工湿地でのヤマトシジミ現存量の季節変化を示す。2001 年 4 月に平均 $2.82 \text{ } g \cdot ind^{-1}$ の個体を $1 \text{ } m^2$ 当たり 705 個体を投入して実験を開始した。個体あたりの湿重量は 12 月まで増加し $6.02 \text{ } g \cdot ind^{-1}$ になった。しかし 7 月から 8 月にかけてはほとんど成長しなかった。個体数は 7 月から 8 月にかけて急激に減少しその後も徐々に減少した。個体あたりの軟体部乾燥重量は 6 月に最大になった後 7 月から 8 月にかけて急激に減少し、10 月以降再び増加した。これらの変化に伴い、人工湿地全体での現存量は湿重量では 7 月初めにピークになり $147 \text{ } kg$ まで増加したが、その後ヤマトシジミの斃死に伴い減少し $110 \text{ } kg$ 程度で推移した。軟体部乾燥重量は 6 月はじめに約 $8 \text{ } kg$ まで増加し、その後夏季には $3 \sim 4 \text{ } kg$ まで低下し、その後再び $8 \sim 9 \text{ } kg$ まで回復した。湿重量の変化に比べ軟体部乾燥重量は夏季に最高値の半分程度まで減少し、落ち込みが激しかった。

人工湿地での SS 濃度変化を Fig. 4 に示す。流入水は 5 月から 6 月にかけては $20 \text{ } mg \cdot l^{-1}$ を超える高い濃度が観測されたが夏季以降は濃度が低下し $10 \text{ } mg \cdot l^{-1}$ 程度で推移した。ヤマトシジミを投入した P1 からの流出水は流入水の SS 濃度の高かった 5～6 月では $10 \text{ } mg \cdot l^{-1}$ 程度を推移し、

夏季は $5\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度の値を示すことが多かった。ヤマトシジミを入れない P2 からの流出水は流入水と P1 からの流出水の中間の値をとることが多かった。

4. 考 察

ヤマトシジミの濾過速度を室内と屋外水槽および人工湿地でのチャンバーを使った現地計測という3つの異なった方法で調べ、湿重量と軟体部乾燥重量あたりの濾過速度と水温との関係を調べた。その結果、異なった6つの関係式が得られた。それぞれの関係式は測定した環境条件では正しい関係式であるが、実際の生息環境での濾過速度との関係は明確ではない。6つの関係式の内、どの関係式が最も現場での濾過速度に近い値を示しているのか評価する必要がある。

人工湿地では流入水と流出水の水質が計られており、流量もコントロールされているところから湿地内での除去量が計算できる。またヤマトシジミの現存量も正確に測定されていることから、現場データを各関係式にあてはめることにより人工湿地でのヤマトシジミによる総濾過水量を推定できる。また、濾過水量から SS 除去量が計算出来ることから、推定される除去量と実測除去量を比較することにより、どの関係式の値が実測値に近いのか評価することが可能である。

人工湿地のヤマトシジミ現存量は毎月1回、水質は毎週1回の頻度で測定した。そこで、水質測定時のヤマトシジミ現存量を計算で求め、水温とともに得られた各関係式に導入し、人工湿地でのヤマトシジミの濾過水量を計算した。結果を Fig. 5 に示す。軟体部乾燥重量を単位とした場合では Chamber 法での推定値は水温が低い時期にも $4\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$

Fig.5 Seasonal changes in filtrated water volume by *C. japonica* in P1. Filtration water volume was estimated from each correlation formula in the Table 2.

Fig.6 Comparison of seasonal change in observed SS removal amount in P1 with the estimated amounts calculated from the formulas relation to flesh dry weight in Table 2.

程度と推定され、6～7月にかけて約 $12\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ の濾過水量が計算された。Lab 法での推定濾過水量は、夏季でも $4\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 程度と低く見積もられた。Tank 法での値は、夏季には Chamber 法を越える高い濾過水量が見積もられたがその他の季節は Chamber 法よりかなり低い値となった。湿重量を単位とした場合は、Chamber 法では軟体部乾燥重量あたりと比べて6月の濾過水量は多少低下し、9月・10月は増加した。Lab 法と Tank 法では軟体部乾燥重量あたりの場合と大きな違いは見られなかった。

計算で得られた濾過水量に人工湿地流入水の SS 濃度を乗じ、ヤマトシジミによる SS 除去量を求めた。また、流入水と流出水の濃度差に1日の流入量である 250m^3 を乗じ、24時間で割ることにより P1 および P2 での単位時間あたりの実測 SS 除去量を求めた。Fig. 6 に各測定方法で求めた軟体部乾燥重量あたりの関係式から推定される SS 除去量の季節変化とヤマトシジミの生息する P1 での実測除去量とを示す。P1 での実測除去量は Chamber 法での関係式から推定された除去量とよい一致を示した。Tank 法では夏季の推定値が実測値より高い値を示し、他は実測値より低い値となった。Lab 法では実測値に比べ極めて低い値となった。

Chamber 法における軟体部乾燥重量あたりと湿重量あたりの関係式から推定される SS 除去量を P1 での実測除去量と比較して Fig. 7 に示す。湿重量あたりの場合、夏季に濾過水量が高くなると計算されることから、SS 除去量も夏季から秋季にかけて軟体部乾燥重量あたりの場合よりも多いと推定され、P1 での実測除去量よりも高い値となった。6月では逆に軟体部乾燥重量あたりの推定値の方が実測値と比較して高くなった。Fig. 8 に Chamber 法で求めた濾過速度から推定される SS 除去量と P1 での実測除去量の相関関係を示す。軟体部乾燥重量あたりでも、湿重量あたりでも P1 での実測除去量と高い相関を示した。

人工湿地でのヤマトシジミによる SS 除去量は、ヤマトシジミの優占する P1 からコントロールとして準備した P2 の除去量を差し引いた値を用いるつもりで実験を行った。そこで、Fig. 9 に軟体部乾燥重量あたりで求めた各関係式

Fig.7 Comparison of seasonal changes in observed SS removal amount in P1 with estimated amount by the Chamber method. Filtration rate was expressed relation to flesh dry weight (●) and wet weight (○).

Fig.9 Relationship between observed and estimated SS removal amount. Estimated values were calculated by each formula relation to flesh dry weight in Table 2. The observed values were subtraction value (P1-P2).

Fig.8 Relationship between observed and estimated SS Removal amounts in P1. SS removal amount estimated by the Chamber method. Upper: flesh dry weight unit, Lower: wet weight unit.

から推測される SS 除去量と P1 から P2 の実測除去量を差し引いた SS 除去量との関係を示す。P1 から P2 を差し引いた実測除去量は Chamber 法および Tank 法からの推定値

に比べると極めて低い値となった。推定値と実測値の間の相関係数 (R^2) は低く Lab 法で 0.30, Tank 法で 0.01, Chamber 法で 0.35 と相関関係は見られなかった。ヤマトシジミによる SS 除去量を比較する対照として、コントロールである P2 での除去量を差し引くべきか、差し引かない方がよいのかについて以下に検討した。人工湿地での SS 除去機能は P2 においても自然沈降によるものとするよりは生物活動によるものとするのが自然である。P1 および P2 とも自然発生で多くのベントスが定着し、特にヨコエビ、ゴカイ、イトゴカイ、カワザンショウガイが多く見られた。これらのベントスの現存量は 5 月頃から増え始め、ヤマトシジミ成員を除くこれらのベントスの 2001 年での平均現存量は P1 で $70 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, P2 で $118 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ でコントロール系の方が約 1.7 倍高かった。また P1 でのヤマトシジミの現存量 $2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ に比べると約 5% であった (山口ほか, 未発表)。ベントスの定着が少なかった実験初期の 4 月においては P2 流出水と流入水の SS 濃度には大きな違いが見られておらず、5 月中旬から P2 流出水における SS 濃度が顕著に低下してきたことも (Fig. 3 参照) このような推測を支持するものと考えられた。すなわち、人工湿地における SS 除去が主に生物活動により行われていると考えると、P1 の場合、その主たる担い手はヤマトシジミであり、P1 での SS 除去はヤマトシジミによるものとするのが妥当である。Chamber 法での SS 除去量の推定値は 2003~2004 年にかけての実験から得られた関係式に 2001 年の人工湿地でのヤマトシジミ現存量と水温を入れて計算したものであり、実測値との間に高い相関が得られたということは偶然とは考えられない。ヤマトシジミによる除去速度として P1 から P2 の値を差し引く必要はないものと判断された。以上の結果から、濾過速度の測定は現場法で行うことが最もよく、また、湿重量あたりでも軟体部乾燥重量あたりでも良いとの結論になった。軟体部乾燥重量あたりでの推定値が 6 月に高くなったのは卵巣や精巣の発達による影響がでたものと考えられ、夏季以降に湿重あたりの推定値が高くなったのは夏やせの影響と

考えられる。P1におけるSS除去量に対してペントスの影響が強く現れた原因としては平均水深が30cmと浅いことが原因していると考えられ、また、滞留時間が約2時間と短いことから水中での光合成による懸濁物の増加は無視できるものと考えた。底棲藻類による光合成生産はかなり大きく(藤岡ほか、未発表)、その生産による堆積物への影響はかなりあるものと推測されるが、毎月の定期調査時に堆積物を洗い流す操作を行っていたので、底からの生物膜の剥離などはほとんど観測されなかった。

ヤマトシジミの濾過速度と水温に関する研究は、Nakamura *et al.*¹⁾により行われており、濾過速度は25℃付近をピークにさらに高温になると低下すると報告されている。また測定値としては大きな個体で15~25℃の温度範囲で約 $71 \cdot \text{g-DFW}^{-1}$ の値が報告されている。今回得られた結果は10℃から30℃の範囲では濾過速度は低下せず、指数関数的に増加した。この結果は、夏季に水温が30℃付近まで上昇する汽水湖においては、物質循環を考える上で重要な意味を持つ。ヤマトシジミが高密度で生息していることで知られる宍道湖では、夏季の平均水温が28℃程度まで上昇する。今回実験を行った人工湿地では32℃程度まで上昇した。夏季の高水温時に濾過活性が低下しないということはこれらの水域での物質循環を考える上で非常に重要な情報である。Nakamura *et al.*¹⁾の測定は実験室において行われているところからこのような違いが生じたものと推察された。我々が以前に行った室内実験での濾過速度の測定では、底質として砂がある環境と無い環境で、ヤマトシジミ濾過速度の水温に対する応答が異なっており、砂のない系では25℃でも濾過速度が低下するという結果が得られた²⁰⁾。実験室での測定の場合、馴化するためにかなりの時間が必要であると指摘されており¹⁷⁾、その他、餌濃度の影響や排泄される $\text{NH}_4\text{-N}$ の影響などもあるところから小さな容器で行うLab法では測定環境の影響が大きく現れるものと考えられた。Nakamuraらの得た濾過速度は今回Chamber法で得られた約 $21 \cdot \text{g-DFW}^{-1}$ (温度範囲15~25℃)に比べて3倍程度大きかった。濾過速度の推定は現場での測定がより正確な値を示すものと考えられ、最近現場で直接測定している研究が多く見られる^{18, 21)}。

濾過速度の水温依存性についてはこれまで Q_{10} の値と比較している例が多い。 Q_{10} の値は $1.4^{17)}$ ~ $2.5^{12)}$ と幅広い値が報告されている。しかしそれぞれに温度範囲が示されており、25℃以上の温度範囲の例は少ない¹⁴⁾。今回Chamber法で得られた Q_{10} 値は軟体部乾燥重量をベースとした場合に1.8、湿重量をベースとした場合には1.6であった。 Q_{10} 値ではLab法でもそれぞれ2.0と1.8の値が得られており、温度依存性としては同程度の値となった。これらのことから、 Q_{10} の値としては一般の生物反応で使われている2前後の値を示すものと考えられるが、測定法により、ベースとなる濾過速度自身が大きく異なるところから、濾過速度の測定方法の選択は重要な意味を持つものと考えられた。

5. まとめ

ヤマトシジミによる物質循環を調べる目的で、ヤマトシジミの優占する人工湿地を造成し、そこに生息する個体を使って実験室、屋外水槽、人工湿地でのチャンバーを用いた現地測定の方法で濾過速度を測定した。また、ベースとするヤマトシジミの単位を湿重量および軟体部乾燥重量に分けてその違いを調べた。その結果、水温に対して6つの異なった関係式が得られた。現地における濾過速度を推定するために、それぞれの関係式に人工湿地のヤマトシジミ現存量と水温データを入れ、湿地全体でのヤマトシジミによる濾過水量を求めた。その結果、Chamber法の関係式から推定される値が他の方法よりも高い濾過水量を示すことが多かった。また、湿重量を単位とした方が軟体部乾燥重量を単位にした場合よりも8~9月にかけては高い値を示した。

人工湿地でのヤマトシジミの濾過水量からSS除去量を推定し、人工湿地の水質変化から求めたSS除去量の実測値と比較した。その結果、Chamber法の関係式から求めたSS除去量の推定値と実測値がよい一致を示した。このことから、ヤマトシジミの濾過速度は軟体部乾燥重量を単位として10℃から30℃の範囲では水温に対して以下の関係式で表示できた。

$$Y = 0.366 e^{0.05697T}$$

得られた結果から、ヤマトシジミの濾過速度は水温30℃までは水温に対して指数関数的に上昇し、夏季にも濾過速度の低下は見られなかった。この結果は、夏季のヤマトシジミを通じた物質循環を考える上で重要な知見となるものと考えられた。

謝辞

本研究に当たり、山陰建設工業株式会社、藤田直樹氏には多くの尽力をいただいた。記して感謝いたします。本研究は農林水産省「森林、海洋等におけるCO₂収支の高度化」研究の一環として行われた。

(原稿受付 2005年10月14日)

(原稿受理 2006年4月11日)

参考文献

- 1) Nakamura, M., M. Yamamuro, M. Ishikawa, and H. Nishimura (1988) Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon, *Marine Biology*, **99**, 369-374.
- 2) Yamamuro, Y. and I. Koike (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.
- 3) Yamamuro, M. and I. Koike (1994) Diel changes of nitrogen species in surface and overlying water of an estuarine lake in summer: Evidence for benthic-pelagic coupling. *Limnol. Oceanogr.*, **39**, 1716-1733.
- 4) 山室真澄 (1996) 感潮河川の底生動物, 河川感潮域(西條八東, 奥田節夫編), p151-172, 名古屋大学出版会, 名古屋.
- 5) Nakamura Y. and F. Kerciku (2000) Effects of filter-feeding bivalves on the distribution of water quality and nutrient cycling in a eutrophic coastal lagoon, *J. Marine Systems*, **26**, 209-221.
- 6) Oshima K., N. Suzuki, M. Nakamura and K. Sakuramoto (2004) Shell growth and age determination of the brackish water bivalve *Corbicula japonica* in Lake Shinji, Japan, *Fisheries Science*, **70**, 601-610.

- 7) Owen, G. (1974) Feeding and digestion in bivalvia, Adv. Comp. Physiol. Biochem., 5, 1-35.
- 8) 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研究の問題点 (総説), 日本ベントス学会誌, 42, 29-38.
- 9) Bayne B.L., C. G. Bayne, T.C. Carefoot and R. J. Thompson (1976) The physiological ecology of *Mytilus californianus* Conrad. 1. Metabolism and energy balance, Oecologia, 22, 211-228.
- 10) 沼口勝之 (1994) アコヤガイのろ水率におよぼす水温の影響, 水産増殖, 42, 1-6.
- 11) 磯野良介 (1998) 東京湾盤州干潟のアサリによる窒素摂取量の推定とその季節変動に関わる要因, 水環境学会誌, 21, 751-756.
- 12) 磯野良介, 中村義治 (2000) 二枚貝による海水濾過量の推定とそれにおよぼす温度影響の種間比較, 水環境学会誌, 23, 683-689.
- 13) 位田俊臣, 浜田篤信 (1976) 酸素欠乏に伴うヤマトシジミの代謝変動について, 水産増殖, 23, 111-114.
- 14) Kimura, K., O. Nishimura, T. Ysuchiya, S. Okutomi, K. Yamashita, Y. Inamori, and R. Sudo (1998) Filtration, respiration and assimilation in the suspension feeding bivalves, *Limnoperna fortunei kikuchi* and *Macra veneriformis*, Jpn. J. Water Treat. Biol., 34, 183-194.
- 15) Vahl, O. (1973) Pumping and oxygen consumption rates of *Mytilus edulis* L. of different size, OPHELIA, 12, 45-52.
- 16) Meyhofer, E. (1985) Comparative pumping rates in suspension-feeding bivalves, Marine Biology, 85, 137-142.
- 17) McLusky, D. (1973) The effect of temperature on the oxygen consumption and filtration rates of *Chlamys* (Aequipecten) *opercularis* (L.) (Bivalvia), OPHELIA, 10, 141-154.
- 18) 青山裕晃, 鈴木輝明 (1997) 干潟上におけるマクロベントス群集による有機懸濁物除去速度の現場測定, 水産海洋研究, 61, 265-274.
- 19) 前田伊佐武, 相崎守弘, 山口啓子, 藤田直樹 (2000) 汽水湖水を連続供給した屋外水槽でのヤマトシジミの水質浄化能に関する研究, 水環境学会誌, 23, 716-720.
- 20) 相崎守弘, 森岡美津子, 木幡邦男 (1988) 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, 用水と廃水, 40, 34-39.
- 21) Kohata, K., T. Hiwatari and T. Hagiwara (2003) Natural water-purification system observed in a shallow coastal lagoon: Matsukawa-ura, Japan. Marine Pollution Bulletin, 47, 148-154.