

コケガラスの酸素飽和状態における酸素摂取

山元憲一^{1†}・半田岳志¹・茅野直登²

Oxygen Uptake under normoxic condition in the Asian brown mussel *Modiolus metcalfei* (Bivalvia : Mytilidae)

Ken-ichi Yamamoto^{1†}, Takeshi Handa¹ and Naoto Kayano²

Abstract : In the Asian brown mussel, *Modiolus metcalfei*, the oxygen uptake was examined under normoxic condition at 15.2°C. The ventilation volume per body weight (TW), wet weight of soft part (WW) and dry weight of molluscos part (DW) were 2.13l/min/kg TW, 5.23l/min/kg WW and 37.7l/min/kg DW, respectively. Oxygen utilization was 2.5%. Amount of oxygen uptake were 0.215ml/min/kg TW, 0.530ml/min/kg WW and 3.76ml/min/kg DW.

Key words : Asian brown mussel, Oxygen uptake, Oxygen utilization, Ventilation

緒言

イガイ科の貝類の酸素摂取については、ムラサキイガイ *Mytilus edulis*^{1,2)}, *M. californianus*³⁾, ミドリイガイ *Perna viridis*¹⁾ チレニアイガイ *M. galloprovincialis*⁵⁾ やムラサキインコガイ *Septifer virgatus*⁶⁾ など調べられている。これらは、いずれも潮干帯や潮下帯の岩礁や水中に懸垂した木材などに足糸で固着して生息する種類である⁷⁾。しかし、同じイガイ科に属するコケガラス *Modiolus metcalfei* は泥底に生息している⁷⁾。泥底は岩礁域と比較して海水の交換や流れが非常に遅いことは明らかである。このような所に生息域するコケガラスの酸素摂取については調べられていない。

そこで、コケガラスを用いて、酸素飽和の状態において、連続測定・記録する方法で換水量を測定し、同時に外套腔内への入水とそれからの出水を採水して酸素分圧を測定して酸素利用率を求め、これらの値を用いて酸素摂取量を計算する方法で換水量、酸素利用率および酸素摂取量を調べた。

材料と方法

実験には、熊本県荒尾地先の有明海中央部で採集したコケガラス12個体を用いた。貝は、入手後水産大学の屋内に設置したFRP水槽（長さ170cm、幅78cm、深さ40cm）に浮かべた籠（長さ170cm、幅78cm、深さ40cm）に入れて1週間以上水温14.5～15.5°C、塩分濃度34で予備飼育した。同水槽への生海水の注入量は20l/minとし、餌は山元ら⁸⁾と同様にして培養した植物プランクトンを0.4l/min連続投与した。実験は、Fig. 1に示した装置を用いて、酸素飽和の状態におけるコケガラスの換水量、酸素利用率と酸素摂取量を水温15.2±0.4°Cで調べた。測定終了後、コケガラスを良く振って外套腔内の海水を除去し、殻の表面を乾かして体重 (TW) を計測し、殻を除去して肉質部の湿重量 (WW) を計測した後、肉質部を105°Cで48時間乾燥させて肉質部の乾燥重量 (DW) を計測した。

換水量

測定は、山元ら^{4,6)}に準じて、電磁血流計のプロープ(内

2007年6月11日受付。Received June 11, 2007.

1 水産大学校生物生産学科 (Department of Applied Aquabiology, National Fisheries University)

2 水産大学校水産学研究所 (Graduate School of Fisheries Science National Fisheries University)

† 別刷り請求先 (corresponding author) : yamagenk@fish-u.ac.jp

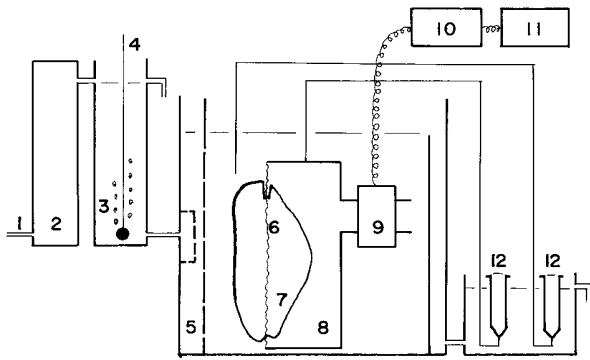


Fig. 1. Schematic diagram of experimental system. 1: supply of seawater, 2: filter of chemical fiber, 3: column for controlling the water level, 4: aeration, 5: respiration chamber, 6: rubber film, 7: Asian brown mussel, *Modiolus metcalfei*, 8: chamber for catching the sea water ventilated by the mussel, 9: probe of electromagnetic flow-meter, 10: electromagnetic flow-meter, 11: recorder (MacLab system), 12: syringe (1 ml).

径1 cm, 1 l/min測定用, Model FF-100T, 日本光電) をコケガラスからの出水を受ける箱(以降, 換水量測定用の箱と表す)に取り付け, 電磁血流計(MFV-3200, 日本光電)を介して記録計(MacLab/8, ADI)を用いて毎秒4回の読み込み速度で連続記録して行った。連続記録は, 殻に手術を施したコケガラスを呼吸室に設置した後から酸素利用率の測定が終了するまで行った。手術は, 貝の入手後直ちに金切り鋸で殻の外殻皺襞の部分に深さ約5 mmの切り込みを入れた。呼吸室には, 長さ22cm, 幅20cm, 高さ35cmのものを用い, 呼吸室への流入水量は2 l/minとした。換水量測定用の箱は, 幅3.5cm, 長さ8.0cmの楕円形で高さ5.0cmのものを透明なアクリルの筒で作成した。同箱に設置したゴムの薄膜は, 中央を長さ約3.5cm, 貝の外殻皺襞の部分に当たる部位を幅約0.4cm, その反対側を幅約1.0cmに切り抜き, 輪ゴムで固定した。

換水量(V_g)は, 連続記録をもとに, 酸素利用率を計算するために行った採水の前10分間の平均値を求め, 体重当たりの値(l/min/kg TW), 肉質部の湿重量当たりの値(l/min/kg WW)と肉質部の乾燥重量当たりの値(l/min/kg DW)で表した。

酸素利用率

酸素利用率($U, \%$)は, コケガラスの入水口付近の酸素分圧(P_{i, O_2}, mmHg)と換水量測定用の箱内の酸素分圧(P_{e, O_2}, mmHg)を測定し,

$$U = 100 \cdot (P_{i, O_2} - P_{e, O_2}) / P_{i, O_2}$$

から計算した。それらの酸素分圧は, 前もって設置してお

いた注射筒(1 ml用)を取り替えて採水し, 酸素計(OM 200, Cameron Instrument Company)で測定した。採水は, コケガラスを呼吸室に設置して14時間経過した後から20~40分毎に10~20回連続して行った。なお, 注射筒は, コケガラスの入水口付近と換水量測定用の箱内に設置したポリエチレン細管(外径1.3mm, ヒビキNo. 4)に接続し, 注射筒内の海水は1 ml/minで流し捨てにした(Fig. 1)。

酸素摂取量

酸素摂取量(\dot{V}_{O_2})は, 前もって呼吸室から採水してWinkler法で測定した溶存酸素量($C_{O_2}, \text{ml/l}$)と同時に前記の酸素計で測定した酸素分圧(P_{O_2}, mmHg)を用いて, 換水量($V_g, \text{l/min/ind}$)と酸素利用率の計算に利用した酸素分圧(P_{i, O_2} および P_{e, O_2})を用いて,

$$\dot{V}_{O_2} = V_g \cdot (P_{i, O_2} - P_{e, O_2}) \cdot C_{O_2} / P_{O_2}$$

から計算し, 体重当たりの値(ml/min/kg TW), 肉質部の湿重量当たりの値(ml/min/kg WW)と肉質部の乾燥重量当たりの値(ml/min/kg DW)で表した。

結果と考察

酸素摂取量は, 一般に流水式測定法ではFickの原理を利用して, 呼吸室への流入水量および呼吸室の入口と出口の溶存酸素量の差から計算で求めている⁹⁻¹⁰⁾。本研究では, 貝の酸素摂取は外套腔内で行われることから, 殻を呼吸室と同等の容器と仮定し, 呼吸室に流入する水量を外套腔内を通過する水量(換水量), および呼吸室の入口と出口の溶存酸素量を外套腔の入口と出口の溶存酸素量として酸素摂取量を計算した。ここで, 貝の外套腔内の換水は, 入水口から出水口へ一方へ流れている。これらのことから, 本研究での酸素摂取量の計算方法は, 前記のように一般に計算されている方法と全く矛盾しないと考える。

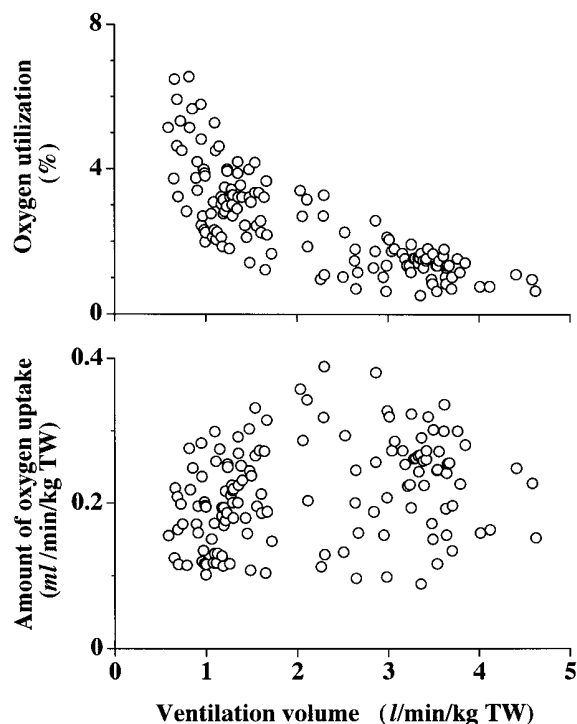
各測定結果はTable 1に示した。他のイガイ科の種類と比較すると, コケガラスの換水量(5.23 l/min/kg WWおよび37.7 l/min/kg DW)は, ムラサキイガイ(17-30 l/min/kg DW)^{1, 2)}, *M. californicanus* (27-45 l/min/kg DW)³⁾, チレニアイガイ(3-11 l/min/kg WW)⁵⁾やムラサキイガイ(27 l/min/kg DW)⁶⁾とほぼ同じ値を示し, ミドリイガイ(95 l/min/kg DW)⁴⁾よりも小さい値を示した。コケガラスの酸素利用率(2.5%)は, ムラサキイガイ(4.5-12.0%)¹⁾, *M. californicanus* (4.4-10.4%)³⁾, チレニアイガイ(2.2-6.5%)⁵⁾, ムラサキイガイ(3.0%)⁶⁾やミドリイガイ(3.0%)⁴⁾よりも少し小さい傾向を示した。コ

Table 1. Ventilation volume, oxygen utilization and amount of oxygen uptake under normoxic condition in the Asian brown mussel, *Modiolus metcalfei*

Body size (N=12)	
Shell length (mm)	51.2 ± 2.5
Shell height (mm)	24.1 ± 0.9
Shell width (mm)	24.1 ± 0.9
Body weight (g, TW)	6.19 ± 1.45
Wet weight of soft part (g, WW)	2.56 ± 0.80
Dry weight of soft part (g, DW)	0.359 ± 0.098
Water temperature (°C)	15.2 ± 0.4
Oxygen pressure in the water (mmHg)	155.2 ± 0.2
Ventilation volume (N=141)	
per individual (l/min/ind)	0.0134 ± 0.0085
per the body weight (l/min/kg TW)	2.13 ± 1.12
per the wet weight (l/min/kg WW)	5.23 ± 2.69
per the dry weight (l/min/kg DW)	37.7 ± 20.8
Oxygen utilization (% (N=141))	2.5 ± 1.4
Amount of oxygen uptake (N=141)	
per individual (ml/min/ind)	0.0014 ± 0.0007
per the body weight (ml/min/kg TW)	0.215 ± 0.068
per the wet weight (ml/min/kg WW)	0.530 ± 0.158
per the dry weight (ml/min/kg DW)	3.76 ± 1.25

ケガラスの酸素摂取量 (0.530ml/min/kg WWおよび3.76ml/min/kg DW) は、ムラサキイガイ (4.0-10.0ml/min/kg DW)^{1,2)}, *M. californicanus* (9.0-10.2ml/min/kg DW)³⁾, チレニアイガイ (1.0-1.4ml/min/kg WW)⁵⁾, ムラサキインコガイ (4.3ml/min/kg DW)⁶⁾ やミドリイガイ (14.8ml/min/kg DW)⁴⁾ よりも小さい値を示した。これらのことから、コケガラスは、他のイガイ科の仲間と同程度の換水量を示すが、イガイ科の中では代謝量が比較的小さい種類であると考えられる。このように代謝量を小さくして海水から摂取する酸素量を小さくすることで、他のイガイ類が棲みづらいような貧酸素水塊に遭遇しやすいと考えられる海水の交換の悪い泥場に生息が可能になっていると考えられる。

体重当たりの換水量と酸素利用率および体重当たりの酸素摂取量の関係をFig. 2に示した。酸素利用率は、換水量が大きいかほど小さい傾向を示した。しかし、酸素摂取量は、換水量が増加してもほぼ同じ値を示していたことから、換水量が増加すると酸素利用率は減少するが、代謝量はほぼ一定に維持されていることが明らかである。このように代

**Fig. 2.** Relation of the oxygen utilization and the amount of oxygen uptake to the ventilation volume in the Asian brown mussel. TW: body weight.

謝量の変化を伴わずに換水量を変化させていたのは、コケガラスは、二枚貝で言われているよう¹²⁻²⁰⁾ に鰓の繊毛運動で起こした水流を外套膜の開閉や外套膜を開く角度などを変化させるだけで、エネルギーを必要とする調節を行うことなく換水量を変化させていると考えられる。

文 献

- 1) Widdows J: Effect of temperature and food on the heart beat, ventilation rate and oxygen uptake of *Mytilus edulis*. *Mar Biol*, **20**, 269-276 (1973)
- 2) Widdows J, Bayne B L: Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J Mar Biol Ass U K*, **51**, 827-843 (1971)
- 3) Bayne B L, Bayne C J: The physiological ecology of *Mytilus edulis* Conrad. 1. Metabolism and energy balance. *Oecologia*, **20**, 211-228 (1976)
- 4) 山元憲一, 半田岳志, 中村真敏, 田村晃一, 韓青溪: ミドリイガイの呼吸に及ぼす低酸素の影響. *水産増殖*, **46**, 523-527 (1998)
- 5) 山元憲一, 半田岳志: チレニアイガイ *Mytilus gallopro-*

- vincialis*の呼吸の季節変化と呼吸に及ぼす低酸素の影響. 水産増殖, 49, 305-309 (2001)
- 6) 山元憲一, 半田岳志: ムラサキインコガイの呼吸に及ぼす低酸素の影響. 水大校研報, 50, 137-140 (2002)
- 7) 黒住耐二: イガイ目. 奥谷喬司(編), 日本近海産貝類図鑑. 東海大学出版会 (2000)
- 8) 山元憲一, 半田岳志, 中村真敏, 橋川和正, 北靖史, 滝本真一, 西川智: アコヤガイの呼吸に及ぼすオゾン処理海水の影響. 水産増殖, 47, 241-248 (1999)
- 9) 川本信之: 魚類生理学, 増補改訂版. 石崎書店 (1962)
- 10) 板沢靖男: 呼吸. 川本信之(編), 魚類生理学. 恒星社厚生閣 (1970)
- 11) 板沢靖男: 呼吸. 田村保(編), 魚類生理学概論. 恒星社厚生閣 (1989)
- 12) Jørgensen C B: On gill function in the mussel *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, 13, 187-232 (1975)
- 13) Jørgensen C B: A hydromechanical principle for particle retention in *Mytilus edulis* and other ciliary suspension feeder. *Mar Biol*, 61, 277-282 (1981)
- 14) Jørgensen C B: Fluid mechanics on the mussel gill: The lateral cilia. *Mar Biol*, 70, 275-281 (1982)
- 15) Jørgensen C B, Famme P, Kristensen H S, Larsen P S, Mohlenberg P S, Riisgard H U: The bivalve pump. *Mar Ecol Prog Ser*, 34, 69-77 (1986)
- 16) Silvester N R: Hydrodynamics of flow in *Mytilus* gills. *J Exp Mar Biol Ecol*, 120, 171-182 (1988)
- 17) 山元憲一: アコヤガイの呼吸に及ぼす水温の影響. 水産増殖, 48, 47-52 (2000)
- 18) Jørgensen C B: Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *J Cons Int Explor Mer*, 26, 94-116 (1960)
- 19) Jørgensen C B, Larsen P S, Mohlenberg F, Riisgard H U: The bivalve pump: properties and modering. *Mar Ecol Prog Ser*, 45, 205-216 (1988).
- 20) Hopkins A E: Experiments on the feeding behavior of the Oyster *Ostrea gigas*. *J Exp Biol*, 64, 469-494 (1933)