

## ムラサキインコガイの呼吸に及ぼす低酸素の影響

山元憲一\*<sup>1</sup>・半田岳志\*<sup>1</sup>

### Effects of Hypoxia on Respiration in *Septifer virgatus* (Mollusca : Mytilidae)

Ken-ichi Yamamoto\*<sup>1</sup> and Takeshi Handa\*<sup>1</sup>

In *Septifer virgatus* (Mollusca : Mytilidae), the effects of hypoxia on the amount of oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ), ventilation volume (Vg), oxygen utilization (U) and gill cilia movement (SP) were examined at 20°C. Under hypoxic condition,  $\dot{V}O_2$  and SP maintained at the level of normoxic condition until 93mmHg and 60mmHg oxygen tension, respectively, and subsequently decreased. Vg and U increased with decreasing the oxygen tension.

ムラサキガイ *Mytilus edulis*では、水中の酸素分圧を低下させると、酸素摂取量を、酸素飽和の状態での値を維持する場合(非酸素依存型)と減少する場合(酸素依存型)がある<sup>1, 2)</sup>。*Mytilus perna*では、非酸素依存型を示し<sup>3)</sup>、*Modiolus demissus*<sup>4)</sup>、ミドリイガイ *Perna viridis*<sup>5)</sup>およびチレニアイガイ *Mytilus galloprovincialis*<sup>6)</sup>では、酸素依存型を示す。非酸素依存型では、ムラサキガイは換水量と酸素利用率を増大させ<sup>1, 2)</sup>、*M. perna*は、換水量を増大させ、酸素利用率を一定に維持している<sup>3)</sup>。酸素依存型では、*Modiolus demissus*は換水量を減少させ、酸素利用率を増大させる<sup>4)</sup>が、ミドリイガイおよびチレニアイガイは、換水量を一定に維持し、酸素利用率を増大させる<sup>5, 6)</sup>。このように、低酸素下における呼吸の特性は、同じイガイ科のものでも異なっている。

しかし、前記と同じイガイ科に属しているムラサキインコガイ *Septifer virgatus* では、呼吸に及ぼす低酸素の影響については調べられていない。そこで、著者らは、ムラサキインコガイを用いて、酸素飽和の状態から酸素分圧を低下させたときの酸素摂取量、換水量、酸素利用率および鰓の繊毛運動に及ぼす低酸素の影響を調べ、本種の呼吸の特性についてイガイ科の他の種類と比較したので報告する。

### 材料および方法

実験は、水産大学校に隣接した海岸より採集したムラサキインコガイ60個体を用いて水温20.0±0.1°Cで行った。貝の大きさは、殻高53.9±3.4mm、殻長24.3±1.7mm、殻幅21.0±1.7mm、体重15.9±2.8g、肉質部の湿重量3.79±0.72g、肉質部の乾燥重量0.78±0.17gであった。貝は、採集後直ちに殻の付着物を取り除き、手術を施して室内の飼育水槽(200ℓ)に移し、生海水を30ℓ/min注入した状態で山元ら<sup>5~7)</sup>と同様にして餌を与えて、採集時の海水と同一の水温で1週間飼育し、測定に供した。手術は、ミドリイガイやチレニアイガイの場合<sup>5, 6)</sup>と同様に、金切り鋸で殻の外套皺襞の部分に深さ約3mmとその反対側の殻に深さ約2mmの切り込みを入れた。

測定は、貝を呼吸室に設置して3時間後に酸素飽和の状態に1時間行い、次いで、アコヤガイの場合<sup>8)</sup>と同様に、呼吸室への流入水の酸素分圧を窒素ガスの曝気によって1時間毎に順次8段階に低下させて、各段階について行った。測定が終了した個体は、山元ら<sup>7~9)</sup>と同様にして、体重(TW)、肉質部の湿重量(WW)および肉質部の乾燥重量(DW)を計測した。

換水量、酸素摂取量、酸素利用率の測定

2001年12月25日受付。Received Dec. 25. 2001.

\*1 水産大学校生物生産学科 (National Fisheries University, 2-7-1 Nagata-honmachi, Shimomoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan).

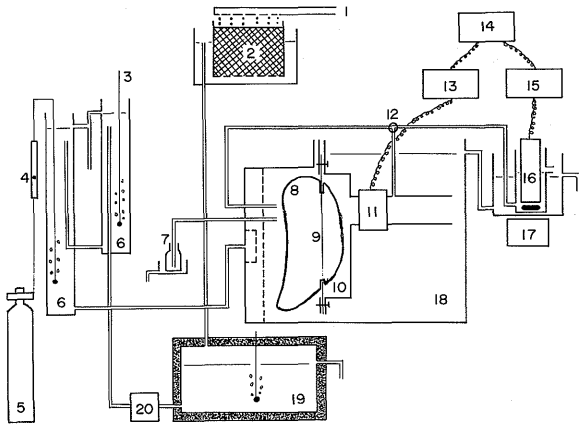


Fig.1 Diagram of the experimental system. 1: supply of sea water, 2: filter of chemical fiber, 3: aeration, 4: flowmeter, 5: N<sub>2</sub> bottle, 6: equilibration column, 7: 100 ml bottle for measuring the dissolved oxygen concentration, 8: *Septifer virgatus*, 9: thin gum film, 10: chamber for collecting the water filtrated by *S. virgatus*, 11: probe of electromagnetic flowmeter, 12: three way cock, 13: the electromagnetic flowmeter, 14: recorder (MacLab system), 15: oxygen analyzer, 16: electrode of the oxygen analyzer, 17: magnetic stirrer, 18: respiration chamber, 19: water bath for controlling the water temperature, 20: lift pump.

測定は、山元らの方法<sup>7-9)</sup>に準じて、Fig. 1に示した装置を用いて30例行った。呼吸室には、長さ25cm、幅10cm、高さ12.5cm、内容量2,600mlの箱を、貝が換水した水を受けるための箱には、長さ2.5cm、幅3.0cm、高さ8.0cm、内容量60mlのものを用いた。呼吸室への流入水量は1 l/minとした。同箱に設置したゴムの薄膜は、その中央部を長さ約4.0cm、幅約0.5cmに切り抜いて用いた。換水量の測定には、電磁血流計 (MFV-3200、日本光電) とプローブ (内径0.5cm、0.5 l/min測定用、Model FF-040T、日本光電) を用いた。貝の外套腔への流入水とそれからの流出水の酸素分圧の測定には、DOメーター (UC-100m、セントラル科学) を用いた。換水量と酸素分圧は記録計 (MacLab/8、ADI) を用いて毎秒4回の読み込み速度で連続記録した。

換水量 (V<sub>g</sub>) は、酸素分圧を次の段階へ低下させる前の10分間の平均値を求め、体重1kg当たりの値 (ml/min/kg TW)、肉質部の湿重量1kg当たりの値 (ml/min/kg WW) および肉質部の乾燥重量1kg当たりの値 (ml/min/kg DW) に換算した。外套腔への入水の酸素分圧 (P<sub>i,O<sub>2</sub></sub>, mmHg) は、各段階の酸素分圧の設定完了後からの10分間を平均して求めた。外套腔からの出水の酸素分圧 (P<sub>e,O<sub>2</sub></sub>, mmHg) は酸素分圧を次の段階へ低下させる前の10分間

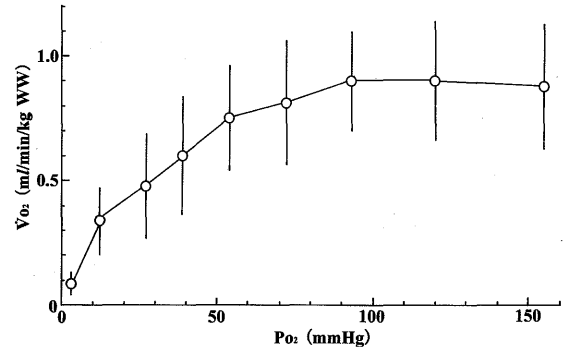


Fig.2 Change in the amount of oxygen uptake ( $\dot{V}_{O_2}$ ) with decreasing the oxygen tension ( $P_{O_2}$ ) in *S. virgatus*. Circles and vertical lines are the mean values and the standard deviations, respectively.

を平均して求めた。呼吸室への流入水の酸素分圧 (P<sub>O<sub>2</sub></sub>, mmHg) と溶存酸素量 (C<sub>O<sub>2</sub></sub>, ml/l) は、それぞれ前記と同型のDOメーターおよびWinkler法で測定した。これらの値を用いて、酸素利用率 (U, %) は  $U = 100 \cdot (P_{i,O_2} - P_{e,O_2}) / P_{i,O_2}$  から計算した。酸素摂取量 ( $\dot{V}_{O_2}$ ) は  $\dot{V}_{O_2} = (P_{i,O_2} - P_{e,O_2}) \cdot C_{O_2} / P_{O_2} \cdot V_g$  から計算し、体重1kg当たりの値 (ml/min/kg TW)、肉質部の湿重量1kg当たりの値 (ml/min/kg WW) および肉質部の乾燥重量1kg当たりの値 (ml/min/kg DW) に換算した。

#### 鰓の繊毛運動の測定

鰓の繊毛運動は、山元らの方法<sup>5, 8, 10)</sup>に準じて、鰓の表面を移動するビニールの小片 (厚さ0.3mm、直径2.0mm) の速度を測定し、30例について調べた。測定用の箱は、長さ12.0cm、幅8.3cm、高さ7.0cmのもので、取り外し可能な蓋を設けた。同箱への流入水量は 200ml/minとした。測定は、次の段階の酸素分圧への低下開始前の10分間に、同箱への注水を一時的に止め、蓋を開けて行った。

## 結果

ムラサキインコガイの酸素摂取量は、酸素飽和の状態では  $0.21 \pm 0.08$  ml/min/kg TW、 $0.87 \pm 0.24$  ml/min/kg WW、 $4.26 \pm 1.18$  ml/min/kg DWを示し、酸素分圧が  $92.9 \pm 1.7$  mmHgに低下するまではその値を維持し、さらに酸素分圧が低下すると減少した (Fig. 2)。

換水量は、酸素飽和の状態では  $1.36 \pm 0.50$  l/min/kg TW、 $5.59 \pm 1.72$  l/min/kg WW、 $27.26 \pm 7.96$  l/min/kg DWを示し、酸素分圧の低下に伴って増加して酸素分圧  $26.9 \pm 1.0$  mmHgで1.5倍の増加を示した (Fig. 3)。

酸素利用率は、酸素飽和の状態では  $3.0 \pm 0.7\%$  を示し、

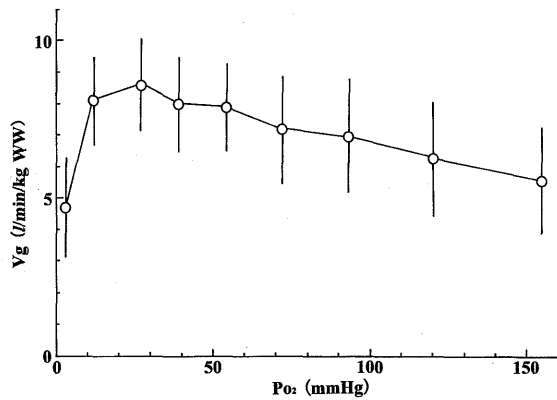


Fig. 3 Change in the ventilation volume ( $V_g$ ) in *S. virgatus* with decreasing the oxygen tension ( $P_{O_2}$ ). The symbols are the same as those in Fig. 2.

酸素分圧の低下に伴って増加して、酸素分圧 $3.0 \pm 0.6$  mmHgで $18.5 \pm 6.1\%$ を示した (Fig. 4)。

鰓の表面を移動する小片の速度は、酸素飽和の状態では $14.7 \pm 1.7$  mm/min示し、酸素分圧が $60.3 \pm 2.5$  mmHgに低下するまではその値を維持し、さらに酸素分圧が低下すると減少した (Fig. 5)。

## 考 察

酸素飽和の状態における、酸素摂取量は、ムラサキガイでは $4 \sim 10$  ml/min/kg DW<sup>11,12</sup>、*M. californianus*では $9.03 \sim 10.18$  ml/min/kg DW<sup>13</sup>、ミドリイガイでは $14.8$  ml/min/kg DW<sup>6</sup>、チレニアイガイでは $0.98 \sim 1.42$  ml/min/kg WW<sup>6</sup>と報告されている。これらの値を比較すると、ムラサキインコガいの酸素摂取量 ( $0.87$  ml/min/kg WW、 $4.26$  ml/min/kg DW) は、*M. californianus*やミドリイガイよりも小さく、ムラサキガイやチレニアイガイとほぼ同じ値を示している。このことから、ムラサキインコガいの代謝量は*M. californianus*やミドリイガイよりも小さく、ムラサキガイやチレニアイガイとほぼ同じであると考えられる。

一方、換水量は、ムラサキガイでは $10 \sim 30$  l/min/kg DW<sup>11,12</sup>、*M. californianus*では $26.67 \sim 45.17$  l/min/kg DW<sup>13</sup>、ミドリイガイでは $94.51$  l/min/kg DW<sup>6</sup>、チレニアイガイでは $3.28 \sim 10.7$  l/min/kg WW<sup>6</sup>と報告されている。酸素利用率は、ムラサキガイでは $4.54 \sim 11.97\%$ <sup>11</sup>、*M. californianus*では $4.4 \sim 10.4\%$ <sup>13</sup>、ミドリイガイでは $3.0\%$ <sup>6</sup>、チレニアイガイでは $2.2 \sim 6.5\%$ <sup>6</sup>であることが報告されている。これらの値と比較すると、ムラサキインコガいの換水量 ( $5.59$  l/min/kg WW、 $27.26$  l/min/kg

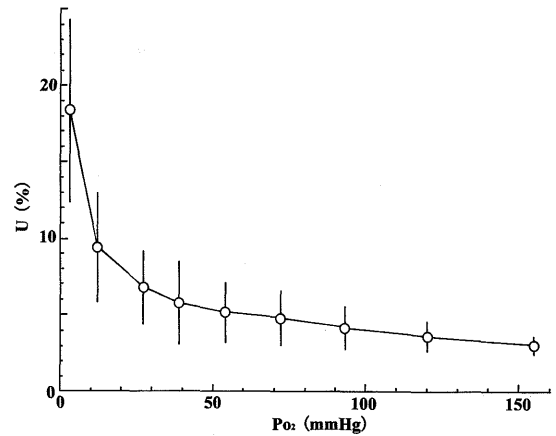


Fig. 4 Change in the oxygen utilization ( $U$ ) in *S. virgatus* with decreasing the oxygen tension ( $P_{O_2}$ ). The symbols are the same as those in Fig. 2.

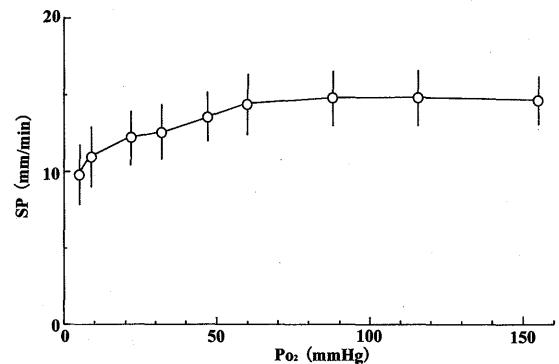


Fig. 5 Change in the moving speed of vinyl film (2.0 mm diameter, 0.3 mm thickness) on the gill surface ( $SP$ ) in *S. virgatus* with decreasing the oxygen tension ( $P_{O_2}$ ). The symbols are the same as those in Fig. 2.

DW) は、酸素摂取量の場合と同様に、*M. californianus* やミドリイガイよりも小さく、ムラサキガイやチレニアイガイとほぼ同じ値を示し、酸素利用率 (3.0%) はムラサキガイや*M. californianus*よりも小さく、ミドリイガイやチレニアイガイとほぼ同じ値を示した。これらのことから、酸素飽和の状態におけるムラサキインコガイは、チレニアイガイとほぼ同じ換水を行うとともに、ほぼ同じ効率で水中から体内へ酸素を摂取して、チレニアイガイと同様の酸素摂取量を維持していると考えられる。

低酸素下における飽食状態のムラサキガイは、非酸素依存型を示し、絶食状態では酸素依存型を示す<sup>1, 2)</sup>。*M. perna* は非酸素依存型を<sup>3)</sup>、*Modiolus demissus*<sup>4)</sup>、ミドリイガイ<sup>5)</sup> およびチレニアイガイ<sup>6)</sup> は酸素依存型を示す。飽食の状態で測定を行ったムラサキインコガイは、酸素依存型を示すことから、低酸素に対する呼吸の対応が*Modiolus demissus*、ミドリイガイおよびチレニアイガイと異なり、ムラサキガイおよび*M. perna* と類似し

ていると推測される。

一方、換水量および酸素利用率は、非酸素依存型を示したムラサキイガイでは、酸素分圧の低下に伴っていずれも増加し<sup>1), 2)</sup>、*M. perna* では換水量を増加させ、酸素利用率は一定に維持している<sup>3)</sup>。ムラサキイガイは、換水量および酸素利用率を酸素分圧の低下に伴って増加させたことから、低酸素に対する呼吸の対応が*M. perna* と異なり、ムラサキイガイと類似していると考えられる。

換水量は、ミドリイガイ<sup>5)</sup>やチレニアイガイ<sup>6)</sup>では、低酸素下においてほぼ一定した値を示したが、鰓の表面を移動する小片の速度は酸素分圧の低下に伴ってわずかに減少している。ムラサキイガイでは、換水量は増加し、鰓の表面を移動する小片の速度は酸素分圧が低下しても酸素飽和の状態での値を維持している。このように、いずれの貝も低酸素下における換水量と鰓の表面を移動する小片の速度の増減は一致していない。これらのことから、ムラサキイガイにおいてもミドリイガイやチレニアイガイと同様に、換水量は鰓の繊毛運動の活動度と一致した変化を示さないものと考えられる。一方、換水量は殻を開く角度および外套膜を開ける大きさによって変化することが知られている<sup>14~16)</sup>ことから、ムラサキイガイの換水量は、ミドリイガイやチレニアイガイと同様に、基本的には鰓を換水させるための水流を鰓の繊毛運動によって起こしているが、殻を開ける角度や外套膜を開ける大きさ、および鰓や外套腔内を流れる水流の抵抗などを変化させることによって総合的に調節していると考えられる。

以上のことから、ムラサキイガイは、酸素飽和の状態ではチレニアイガイに最も近い呼吸形態を示しているが、低酸素下ではチレニアイガイと異なって、ムラサキイガイと同様の呼吸形態を示すと考えられる。

水産大学校に隣接する海岸にムラサキイガイとチレニアイガイが生息しているが、両者を比較するとムラサキイガイの方がチレニアイガイよりも潮干帯の高いところに生息している、従って前者が後者に比べて干出時間の長い環境に生息していることになるが、そのような棲み分けを可能にしている要因の一つは、両者の呼吸特性の違いによるものであると考えられる。

## 文 献

- 1) B. L. Bayne : *Comp. Biochem. Physiol.* **40A**, 955-970 (1971).
- 2) B. L. Bayne : *Comp. Biochem. Physiol.* **40A**, 1065-1085 (1971).
- 3) B. L. Bayne : *Physiol. Zool.* **40**, 307-313 (1967).
- 4) C. E. Booth, and Mangum, C. P. : *Physiol. Zool.* **51**, 17-32 (1978).
- 5) 山元憲一・半田岳志・中村真敏・田村晃一・韓青溪 : 水産増殖, **46**, 523-527 (1998).
- 6) 山元憲一・半田岳志 : 水産増殖, **49**, 305-309 (2001).
- 7) 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 : 水産増殖, **47**, 241-248 (1999).
- 8) 山元憲一・安達智・河邊博 : 水産増殖, **47** (4), 539-544 (1999).
- 9) 山元憲一・安達智・河邊博 : 水大校研報, **44**, 189-194 (1996).
- 10) 山元憲一・安達智・田村征夫・荒水多希・河邊博 : 水大校研報, **44**, 137-142 (1996).
- 11) J. Widdows : *Mar. Biol.*, **20**, 269-276 (1973).
- 12) J. Widdows and B.L.Bayne : *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **51**, 827-843 (1971).
- 13) B. L. Bayne, C.J.Bayne, T.C.Carefoot and R.J.Thompson : *Oecologia*, **20**, 211-228 (1976).
- 14) A.E. Hopkins : *J. exp. Biol.*, **64**, 469-494 (1933).
- 15) C.B. Jørgensen : *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **26**, 94-116 (1960).
- 16) Jørgensen, C.B., P.S. Larsen, F. Møhlenberg and H.U. Riisgard : *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **45**, 205-216 (1988).