

## ムラサキイガイの換水に及ぼす塩分低下の影響

山元憲一<sup>†</sup>, 荒木 晶, 半田岳志Effect of Low Salinity on Ventilation in the Mediterranean Blue Mussel  
*Mytilus galloprovincialis*Ken-ichi Yamamoto<sup>†</sup>, Akira Araki and Takeshi Handa

**Abstract** : Effects of low salinity on ventilation volume and ciliary movement were examined in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis* at 13, 20, 25 and 28°C. The ventilation volume was measured by using a direct measurement method. The ciliary movement was shown indirectly by the transportation velocity of a piece of vinyl film (2.0 mm diameter, 0.3 mm thickness) put on the gill surface. At each temperature, the ventilation volumes in 30 psu were the same as those in 34 psu, and were shown zero l/min/kg WW at 18.6 psu when the salinity decreased. The transportation velocities in 20 psu at 13 and 20°C, and in 25 psu at 25 and 28°C were the same as those in 34 psu, and the velocities were zero mm/min in 2 psu at 13, 20 and 25°C, and in 9 psu at 28°C when the salinity decreased.

**Key words** : Mediterranean blue mussel, ciliary movement, salinity, ventilation, water temperature

## 緒 言

*Mytilus edulis*では、塩分が低下すると入水口を閉じ、さらに低下すると殻を閉じる<sup>1)</sup>。また、*Scrobicularia plana*では、出水口を閉じ、さらに塩分が低下すると出水口と入水口を殻腔内に引き込む<sup>2)</sup>。このように、二枚貝の多くは、塩分が低下すると軟体部が環境水と接触するのを防ぐために殻を閉じることが知られている<sup>1-6)</sup>。しかし、これらの研究では、塩分の低下に伴う換水運動の変化については明らかにされていない。

著者らはこれまでに、換水量を連続記録する方法で、リシケタイラギ *Atriana (Servatiana) lischkeana*、マガキ *Crassostrea gigas*、クロチヨウガイ *Pinctada margaritifera* およびアコヤガイ *Pinctada fucata martensii* を用いて、塩分の低下に伴う換水運動の変化を報告した<sup>7-9)</sup>。また、リシケタイラギとマガキでは、換水運動は鰓の繊毛

運動が停止する濃度よりも高い塩分で停止することを明らかにした<sup>8,9)</sup>。本研究では、ムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis* を用いて塩分低下に伴う換水量および鰓の繊毛運動の変化を調べた。

## 材料および方法

実験には、水産大学校に隣接する内湾で採取した殻長  $35.4 \pm 2.5$  mm (平均値 $\pm$ 標準偏差, 以下同様に表す), 殻高  $63.8 \pm 4.3$  mm, 殻幅  $23.9 \pm 1.6$  mm, 体重  $26.5 \pm 2.9$  g, 軟体部の湿重量  $7.11 \pm 2.01$  g のムラサキイガイ 120 個体を用いた。実験は、夏期から冬期にかけての水温  $28.0 \pm 0.1$ °C (8月),  $25.0 \pm 0.1$ °C (9月),  $21.0 \pm 0.1$ °C (10月) および  $13.0 \pm 0.1$ °C (12月) で、塩分低下に伴う換水量および鰓の繊毛運動の変化を調べた。ムラサキイガイは採取後、殻の付着物を除去して、外套皺襞の部位の殻に約 3 mm の切

り込みを入れ、殻頂付近にビニールホースを幅約3mmに切り取って作製したストッパーを貼り付けた<sup>11)</sup>。これを、屋内に設置したFRP水槽(170x78x40cm)に浮かべた籠(46x32x16cm)に収容した<sup>7-9)</sup>。予備飼育は、実験で設定した各水温および塩分34psuで1週間以上、生海水を注入(50l/min)して行った。餌として屋外の水槽(5ton)で培養した植物プランクトン(優占種は*Pyramimonas* sp.)を、前記の注入水中に連続投与(0.4l/min)した<sup>10)</sup>。

測定終了後、殻の表面を乾燥させて、体重を計測し、殻を除去して軟体部の湿重量を計測した。

### 換水量

換水量は、換水量測定用の箱(貝の外套腔からの出水を受ける箱)に取り付けた電磁血流計のプロープ(内径1.0cm, 1.0l/min測定用, Model FF-100T, 日本光電)を通過する水量を電磁血流計(MFV-3200, 日本光電)で測定した。塩分の測定は、塩分計(UC-78, セントラル科学)を用いた。これらの値は記録計(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<sup>7-9)</sup>。連続記録は、換水量測定用の箱を取り付けたムラサキガイを呼吸室に設置した直後から換水量が0l/min/kgを示すまで行った。塩分の低下は、連続記録開始から4時間経過した後、実験装置への海水の注水(1l/min)を止め、空気で2昼夜曝気した水道水を定量ポンプ(PST-550, イワキ)で連続注入して行った。換水量測定用の箱には、透明アクリル製の幅4cm, 長さ8cmで高さ3cmのものを用いた<sup>11)</sup>。同箱に設置したゴムの薄膜には、手術用の手袋を利用し、長さ5.0~6.0cm, 貝の外套皺襞の部位に当たる部分を幅1.1~1.4cmに切り抜いて窓を開け、輪ゴムで固定した<sup>11)</sup>。

換水量(Vg)は、連続記録をもとに、塩分低下開始前(34psu)の10分間、塩分30psu およびこれより5psu低下する毎にその前後10分間の平均値を求め、体重当たりの値(l/min/kg TW)および軟体部の湿重量当たりの値(l/min/kg WW)に換算して表した。

### 鰓の繊毛運動

鰓の繊毛運動は、換水量の測定と同様の装置を用いて、ムラサキガイの鰓弁の表面に載せた小片(直径2.0mm, 厚さ0.3mmのビニールの薄膜)の移動する速度(mm/min, 以降、小片の移動速度と示す)を計測して調べた<sup>12)</sup>。測定は、殻の一方を除去して鰓を露出させ、測定用の箱に鰓弁の表面が水平になるように設置して、14時間経過した後開始した。小片の移動速度は、次の段階への塩分低下開始前の15分間に5回測定し、その平均値で表した。塩分の低下は、測定用の箱への海水の注入(3l/min)を止め、2昼夜空気で曝気した水道水を手で汲み入れて1時間毎

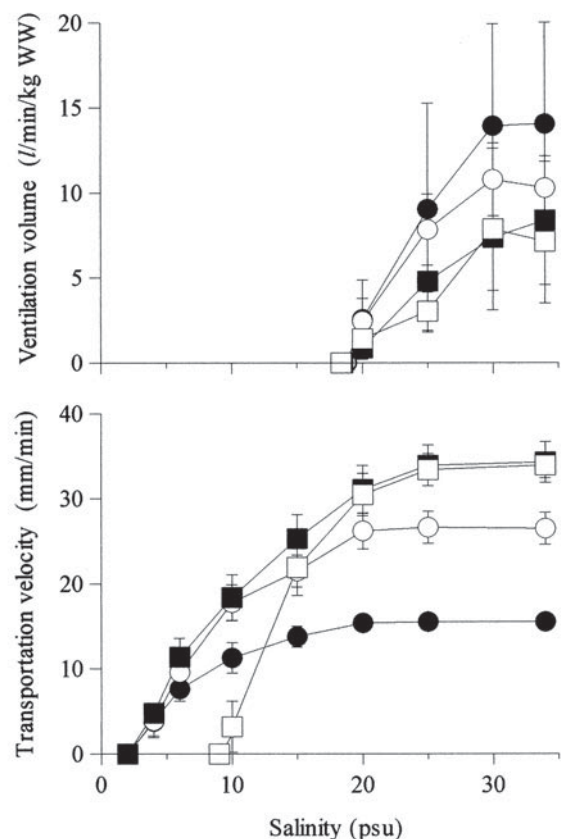
にまず13~28℃の各水温で34psuから25, 20, 15次いで10psuへと順次低下させた<sup>7-9)</sup>。更に、水温13~25℃では10psu以降に6, 4, 2psuへと順次、28℃では10psuに次いで9psuへと低下させた。

### 統計処理

得られた値は、Unpaired *t*-testを用いて検定した( $P < 0.01$ )。

## 結果

塩分34psuにおける換水量は、13℃では $14.03 \pm 5.98$  l/min/kg WW( $4.13 \pm 1.58$  l/min/kg TW), 21℃では $10.28 \pm 1.55$  l/min/kg WW( $3.90 \pm 0.39$  l/min/kg TW), 25℃では $8.38 \pm 3.78$  l/min/kg WW( $4.19 \pm 1.43$  l/min/kg TW), 28℃では $7.13 \pm 3.63$  l/min/kg WW( $2.86 \pm 1.02$  l/min/kg TW)であった。



**Fig.1.** Changes in the ventilation volume and the transportation velocity of vinyl film (2.0mm diameter, 0.3mm thickness) on the gill surface with decreasing salinity in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis*. In spite of the differences at their experimental temperature, the ventilation ceased at the same salinity ( $18.6 \pm 2.3$  psu). The transportation ceased in  $2.0 \pm 0.3$  psu at 13-25 °C and in  $9.0 \pm 0.1$  psu at 28 °C. Circles and vertical lines represent means and standard deviations, respectively. Open squares,  $28.0 \pm 0.1$  °C; closed squares,  $25.0 \pm 0.1$  °C; open circles,  $21.0 \pm 0.1$  °C; closed circles,  $13.0 \pm 0.1$  °C.

min/kg TW)と水温が高いほど有意に小さい値を示した(Fig.1)。また、換水量は各水温において、塩分を30psuに低下させるまでは34psuでの値を維持した。しかし、更に塩分を低下させると、換水量は減少していずれの水温においても $18.6 \pm 2.3$ psuで0 l/min/kg WWとなった(Fig.1)。

塩分34psuにおける小片の移動速度は、13℃では $15.5 \pm 0.9$ mm/min, 21℃では $26.5 \pm 1.9$ mm/min, 25℃では $34.3 \pm 2.4$ mm/min, 28℃では $33.9 \pm 1.5$ mm/minを示した(Fig.1)。このように、13~25℃では水温が高いほど有意に大きな値を示したが、25℃と28℃ではほぼ同じ値を示し、有意な差が認められなかった。塩分を低下させると、13℃および21℃では20psuまで、25℃および28℃では25psuまでは、各水温における34psuでの値を維持した(Fig.1)。更に塩分を低下させると、小片の移動速度は減少し、13℃, 21℃および25℃では $2.0 \pm 0.3$ psuで、28℃では $9.0 \pm 0.1$ psuで0 mm/minを示した(Fig.1)。

## 考 察

マガキ、リシケタイラギやクロチョウガイでは、塩分を低下させると換水量が減少する<sup>7-9)</sup>。しかし、ムラサキイガイではアコヤガイ<sup>9)</sup>と同様に、塩分を低下させても30psuまでは34psuと同じ値を維持し、更に塩分を低下させると換水量は減少した。リシケタイラギは水温22℃では22psuで換水を停止させる<sup>7)</sup>。マガキは水温12℃および20℃では19psuで、アコヤガイは水温20℃および28℃では22psuで、クロチョウガイは水温20℃および26℃では26psuで換水を停止させる<sup>7-9)</sup>。一方、ムラサキイガイは水温13~28℃では前記の種類よりも低い塩分(18.6psu)で換水を停止させた。これらのことから、ムラサキイガイは、マガキ、リシケタイラギ、アコヤガイやクロチョウガイよりも塩分低下に対する耐性が強いと推測される。また、ムラサキイガイは塩分が低下するとマガキ、クロチョウガイやアコヤガイと同様に、水温が異なっても同じ塩分から換水量を減少させ、同じ塩分で換水運動を停止させることが明らかとなった。

リシケタイラギは、塩分10psuで小片の移動速度が0 mm/minを示す<sup>7)</sup>。マガキは水温12℃および20℃では8 psuで0 mm/minとなる<sup>8)</sup>。本研究の結果、ムラサキイガイは、13℃, 21℃および25℃では2psuで0 mm/minを示した。これのことから、ムラサキイガイは、25℃以下においてはマガキやリシケタイラギよりも鰓の繊毛運動の塩分低下に対する耐性が強いと推測される。また、ムラサキイガイは25℃以下においてはマガキと同様に、水温が異なっても塩分が低下すると、同じ塩分で鰓の繊毛運動を

停止させることが明らかとなった。しかし、ムラサキイガイにおける小片の移動速度は、28℃では13~25℃の場合(2psu)よりも高い9psuで0 mm/minを示した。このことから、ムラサキイガイの鰓の繊毛運動は水温が28℃へ上昇すると、水温の影響を受けて、鰓の繊毛運動が停止する塩分が高くなると考えられる。

ムラサキイガイは水温13~28℃では塩分を低下させても30psuまでは34psuと同じ換水量を維持し、更に塩分が低下すると換水量が減少して18.6psuで換水を停止させた。小片の移動速度は、塩分を低下させても換水量の場合よりも低い塩分(13℃および21℃で20psu, 25℃および28℃で25psu)まで34psuと同じ値を維持し、更に塩分が低下すると減少して、換水量の場合よりも低い塩分(13℃, 21℃および25℃で2psu, 28℃で9psu)で0 mm/minを示した。これらのことから、ムラサキイガイは塩分が低下するとリシケタイラギ<sup>7)</sup>やマガキ<sup>8)</sup>と同様に、鰓の繊毛運動に影響が開始するよりも高い塩分から換水量を減少させることが明らかとなった。このような塩分低下に伴う換水量の減少は、生存の上で最も重要な呼吸機能と捕食機能に直接関係する繊毛を保護すると同時に、軟体部を保護するための防御機能の一つとして作用していると推測される。

マガキ、リシケタイラギやアコヤガイでは、換水量および小片の移動速度は水温が高いほど大きい<sup>8, 14-17)</sup>。一方、ムラサキイガイでは、代謝量は水温よりも生殖腺の成熟周期に大きく影響を受けて冬期に大きく夏期に減少し、これに伴って換水量も冬期に大きく夏期に減少するが、鰓の繊毛の活動度は水温の影響を受けて冬期に小さく夏期に増大することが知られている<sup>13)</sup>。本研究の結果もこの現象と良く一致して、塩分を低下させる前の状態では、換水量は夏期(28℃)から冬期(13℃)へ水温が低下するのに伴って増加し、小片の移動速度は反対に減少した。しかし、ムラサキイガイはマガキ、リシケタイラギやアコヤガイと同様に、塩分が低下すると水温が異なっても同じ塩分から換水量を低下させ、同じ塩分で換水運動を停止させた。これらのことから、ムラサキイガイは、マガキ、リシケタイラギやアコヤガイと同様に、塩分の低下にともなう換水量の減少を優先させ、水温に関係なく換水運動を調節する機能を有していると考えられる。

## 要 約

ムラサキイガイを用いて塩分の低下に伴う換水量および鰓の繊毛運動の変化を水温13, 21, 25および28℃で調べた。換水量は各水温と同様に、塩分が30psuに低下するまでは34psuでの値を維持し、更に低下すると減少し

て $18.6 \pm 2.3$  psuで0l/min/kg WWを示した。小片の移動速度は、塩分が13℃および21℃では20psuに、25℃および28℃では25psuに低下するまでは34psuでの値を維持し、更に低下すると減少して、13, 21および25℃では $2.0 \pm 0.3$ psuで、28℃では $9.0 \pm 0.1$ psuで0mm/minを示した。

## 文 献

- 1) Davenport J: The isolation response of mussels (*Mytilus edulis* L.) exposed to falling sea-water concentrations. *J Mar Biol Assoc U K*, **59**, 123-132 (1979)
- 2) Akberali HB: Behaviour of *Scrobicularia plana* (Da Costa) in water of various salinities. *J exp mar Biol Ecol*, **33**, 237-249 (1978)
- 3) Wilson BR: Survival and reproduction of the mussel *Xenostrobus securis* (Lam.) (Mollusca: Bivalvia: Mytilidae) in a Western Australian estuary. Part I. Salinity tolerance. *J nat Hist*, **2**, 307-328 (1968)
- 4) Pierce SK: Volume regulation and valve movement by marine mussels. *Comp Biochem Physiol*, **39A**, 103-117 (1971)
- 5) Gilles R: Osmoregulation in three molluscs: *Acanthochitona discrepans* (Brown), *Glycymeris glycymeris* (L.) and *Mytilus edulis* (L.). *Biol Bull*, **142**, 25-35 (1972)
- 6) Davenport J: The opening responses of mussels (*Mytilus edulis*) exposed to rising sea-water concentrations. *J Mar Biol Assoc U K*, **61**, 667-678 (1981)
- 7) 山元憲一, 半田岳志: タイラギの換水に及ぼす低塩分の影響. *水産増殖*, **59**, 535-540 (2011)
- 8) 山元憲一, 半田岳志: マガキの換水運動に及ぼす低塩分の影響. *水産増殖*, **59**, 5-8 (2011)
- 9) 山元憲一, 半田岳志, 湊 恭行, 小田原和史, 曾根謙一: クロチョウガイとアコヤガイの換水量に及ぼす塩分低下の影響. *水産増殖*, **60**, 277-280 (2012)
- 10) 山元憲一, 半田岳志, 中村真敏, 橘川和正, 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**, 435-438 (1999)
- 11) 山元憲一, 半田岳志: ムラサキインコガイの餌投与に伴う換水運動の変化. *水大校研報*, **59**, 227-231 (2011)
- 12) 山元憲一, 安達 智, 田村征夫, 荒木多希, 河邊 博: ムラサキイガイ, タイラギ, アコヤガイ, ヒオウギガイ, マガキの鰓の繊毛運動に及ぼす低酸素と水温の影響. *水大校研報*, **44**, 137-142 (1996)
- 13) 山元憲一, 半田岳志: チレニアイガイ *Mytilus galloprovincialis* 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)
- 14) 山元憲一, 半田岳志: マガキの換水に及ぼす低酸素の影響. *水産増殖*, **59**, 1-4 (2011)
- 15) 山元憲一, 半田岳志, 茅野直登: タイラギの低酸に伴う換水運動の変化. *水産増殖*, **56**, 487-491 (2008)
- 16) 山元憲一, 半田岳志: アコヤガイの呼吸に及ぼす低酸素の影響. *水産増殖*, **47**, 539-544 (1999)
- 17) 山元憲一, 半田岳志: 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)