

ムラサキイガイ、ミドリイガイとムラサキインコガイの 鰓繊毛運動の温度補償

山元憲一[†]・半田岳志

Temperature Compensation of Ciliary Movement at Gill in the Mediterranean Blue Mussel *Mytilus galloprovincialis*, the Green Mussel *Perna viridis* and the Purplish Bifurcate Mussel *Septifer virgatus*

Ken-ichi Yamamoto[†] and Takeshi Handa

Abstract : Temperature compensation of the ciliary movement at gill was examined by elevating the water temperature at a rate of 1°C/1 hr from 12°C (January), 20°C (May) and 28°C (August) in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis*, the Green mussel *Perna viridis* and the Purplish bifurcate mussel *Septifer virgatus*. The compensation in the Mediterranean blue mussel showed Precht type 5 and Prosser type IV between 12°C and 20°C. Between 20°C and 28°C, the compensations in the Mediterranean blue mussel and the Green mussel showed Precht type 3 and Prosser type II. The compensation in the Purplish bifurcate mussel showed Precht type 4 and Prosser type I.

Key words : Mediterranean blue mussel, Green mussel, Purplish bifurcate mussel, Ciliary movement, Gill, Temperature compensation

変温動物は環境の温度変化に対して順応して生息している。Precht¹⁾は、温度変化に対して変化させる生理的な反応速度の違いから変温動物の順応を5つの温度補償の型に分けている。Prosser²⁾は、温度変化と反応速度の曲線が順応温度によって変化する温度補償の型を4つに分けている。このような温度補償に関する研究の多くは代謝量についてなされている³⁻⁹⁾。代謝量以外では、盤足目カリバガサガイ科のネコゼフネガイ *Crepidula fornicata* で濾過水量について、有肺亜綱の *Helix lucorum* および *H. aspersa* で心拍について、マルスダレガイ目マルスダレガイ科のアサリ *Ruditapes philippinarum* およびハマグリ *Meretrix lusoria* で鰓の繊毛運動について、温度補償に関する研究がなされている^{6,10-12)}。

本研究では、イガイ目イガイ科のムラサキイガイ *Mytilus galloprovincialis*、ミドリイガイ *Perna viridis* およびムラサキインコガイ *Septifer virgatus* を用いて、鰓の繊毛運動の温度補償について調べた。

材料および方法

実験には、水産大学校に隣接する海岸で採集した殻長 69.0±4.0mm (平均値±標準偏差, 以降同様に表す), 殻高 36.2±1.2mm, 殻幅 31.5±8.6mm, 体重 32.5±4.6g のムラサキイガイ 45 個体および殻長 52.9±4.5mm, 殻高 26.5±3.2mm, 殻幅 22.2±1.8mm, 体重 16.9±2.6g のムラサキインコガイ 45 個体, 沖縄の養殖場より購入した殻長 69.3±3.4mm, 殻高 33.4±1.7mm, 殻幅 20.4±1.7mm, 体重 27.1±2.8g のミドリイガイ 30 個体を用いた。貝は、いずれも 1 月, 5~6 月および 8 月に入手し, 室内の水槽 (2 t) で海水を 3 l/min 注入した状態で畜養した。測定は, 1 月に 12.0±0.1°C, 5 月に 20.0±0.2°C および 8 月に 28.0±0.1°C から 1 時間毎に 1°C ずつ上昇させて, 鰓の繊毛運動について行った。以降, それぞれを 12°C 群, 20°C 群および 28°C 群と表す。

鰓の繊毛運動は, 山元ら^{13,14)} に準じて, 鰓弁の表面に

載せた小片（直径2.0mm, 厚さ0.3mmのビニールの円形薄膜）の移動する速度（mm/min, 以降, 小片の移動速度と表す）を計測して調べた。測定は, 殻の一方を除去して鰓を露出させ, 測定用の箱（10x10x5 cm）に鰓弁の表面を水平に設置して14時間経過した後, 開始した。なお, 測定は各水温について15例ずつ行った。小片の移動速度は, 各水温への上昇開始前の15分間に, 測定用の箱への海水の注入（1 l/min）を停止して5回測定し, その平均値で表した。

二つの水温間における小片の移動速度の平均値は, Unpaired *t*-testを用いて検定した ($P < 0.05$)。

結 果

ムラサキイガイの小片の移動速度（mm/min）は, 水温を上昇させる前には, 12℃群で 10.7 ± 1.8 , 20℃群で 25.3 ± 2.7 , 28℃群で 29.9 ± 1.3 を示し, いずれも水温の上昇に伴って増大して, 12℃群では27℃で最大（ 26.3 ± 3.5 ）を, 20℃群では30℃で最大（ 41.1 ± 5.1 ）を, 28℃群では32℃で最大（ 43.1 ± 2.2 ）を示した（Fig. 1A）。この時, 20℃群の20℃での値は12℃群の20℃（ 18.4 ± 2.7 ）よりも有意に大きい値を示し, 28℃群の28℃での値は20℃群の28℃（ 38.0 ± 5.2 ）よりも有意に小さい値を示した ($P < 0.05$)。このように, 水温の上昇に伴う小片の移動速度の増大曲線（以降, 増大曲線と表す）は, 20℃群では12℃群よりも値の大きい方（以降, 上方と表す）に, 28℃群では20℃群よりも値の小さい方（以降, 下方と表す）に平行移動してずれていた（Fig. 1A）。

ミドリイガイの小片の移動速度（mm/min）は, 水温を上昇させる前には, 22℃群で 24.9 ± 2.0 , 28℃群で 30.6 ± 2.7 を示し, いずれも水温の上昇に伴って増大して, 22℃群では35℃で最大（ 59.4 ± 4.4 ）を, 28℃群では36℃で最大（ 49.1 ± 3.6 ）を示した（Fig. 1B）。この時, 28℃群の28℃での値は20℃群の20℃よりも有意に大きな値を示したが, 28℃群の28℃での値は22℃群の28℃（ 43.1 ± 3.1 ）よりも有意に小さい値を示した ($P < 0.05$)。このように, 増大曲線は28℃群では20℃群よりも下方に平行移動してずれていた（Fig. 1B）。

ムラサキイガイの小片の移動速度（mm/min）は, 水温を上昇させる前には, 12℃群で 6.9 ± 1.1 , 20℃群で 14.5 ± 1.1 , 28℃群で 23.2 ± 1.1 を示し, いずれも水温の上昇に伴って増大して, 12℃群では11℃高い23℃で最大（ 17.2

± 1.7 ）を, 20℃群では9℃高い29℃で最大（ 25.7 ± 2.7 ）を, 28℃群では7℃高い35℃で最大（ 36.7 ± 2.2 ）を示した（Fig. 1C）。この時, 20℃群の20℃での値は12℃群の20℃（ 14.3 ± 2.2 ）と, 28℃群の28℃での値は20℃群の28℃（ 24.2 ± 2.2 ）と有意な差を示さず, 各水温群での増大曲線は同一の曲線上を変化した（Fig. 1C）。

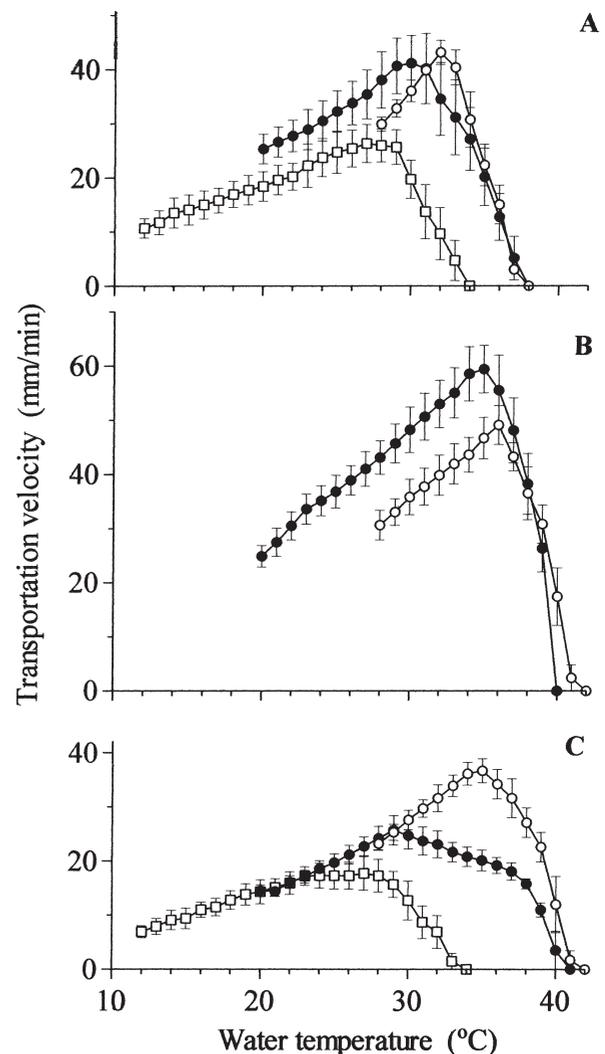


Fig. 1. Change in the transportation velocity of vinyl film (2.0mm diameter, 0.3mm thickness) on the gill surface with elevating the water temperature in the Mediterranean blue mussel *Mytilus galloprovincialis* (A), the Green mussel *Perna viridis* (B) and the Purplish bifurcate mussel *Septifer virgatus* (C). Circles, mean; vertical lines, standard deviation; open squares, from $12.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (at January); closed circles, from $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (at May); open circles, from $28.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (at August).

考 察

ムラサキイガイでの小片の移動速度は、20℃群の20℃での値は12℃群の20℃での値よりも有意に大きい値を示した。この温度補償の型は、順応水温が上昇すると生理的な反応速度を増大させるPrecht type 5 (Inverse compensation)¹⁾に相当する。一方、28℃群の28℃での値は20℃群の28℃での値よりも有意に小さい値を示した。この型は順応水温が上昇すると生理的な反応速度を減少させるPrecht type 3 (Partial compensation)¹⁾に相当する。また、増大曲線は、20℃群では12℃群よりも上方にずれている。この温度補償は、生理的な反応速度の増大曲線の傾きが高い順応水温ほど大きくなり、高温域では順応水温が高いほど生理的な反応速度も大きくなるProsser type IV (Translation with rotation)²⁾に最も近い型に相当している。一方、増大曲線は、28℃群では20℃群よりも値の小さい方にずれている。この型は水温上昇に伴う生理的な反応速度の増大曲線が、高い順応水温ほど小さい方へ平行移動するProsser type II (Translation)²⁾に相当する。これらのことから、ムラサキイガイの鰓の繊毛は、12℃に順応した個体と20℃および28℃に順応した個体では水温上昇に対応する生理機能が異なると考えられる。

ミドリイガイは、順応温度28℃と20℃では前記のムラサキイガイと同様に、Precht type 3¹⁾およびProsser type II²⁾を示している。このような鰓の繊毛運動の温度補償は、ハマグリでも報告されている¹²⁾。

一方、ムラサキインコガイは、20℃群の20℃での値は12℃群の20℃と、28℃群の28℃での値は20℃群の28℃と同じ値を示した。この温度補償の型は、温度補償作用を示さないPrecht type 4 (None response compensation)¹⁾に相当する。12℃群、20℃群および28℃群の増大曲線は、同じ曲線上を変化した。この温度補償の型は、順応温度の違いに伴う補償作用を示さず、順応温度が異なっても同じ反応速度の曲線を示すProsser type I (No compensation)²⁾に相当する。また、12℃群では11℃高い23℃で、20℃群では9℃高い29℃で、28℃群では7℃高い35℃で最大を示した。これらのことから、ムラサキインコガイでの小片の移動速度は順応水温が12℃から28℃群で最大を示す35℃までの水温範囲内であれば短時間に水温が少なくとも7℃上昇しても、順応水温に関係なく、同一の水温では同じ値を示すと言える。このような鰓の繊毛運動の温度補償 (Precht type 4 および Prosser type I) は、アコヤガイやアサリで

も報告されている^{11,15)}。

二枚貝類の捕食は、鰓の繊毛運動によって水流を起こし、懸濁物を鰓で濾過して捕捉し、繊毛運動によって唇弁、次いで口へと運搬して行っている¹⁵⁻¹⁸⁾。鰓を通過させる水量 (換水量) は、鰓の繊毛運動の活動度と正の相関関係にある¹⁹⁾。以上のことから、20℃群と28℃群の間でPrecht type 3 および Prosser type II を示したムラサキイガイおよびミドリイガイは、順応水温が28℃から20℃に低下しても鰓の繊毛の活動度を低下させることなく、換水量を同等に維持して捕食量を維持すると推測される。しかし、ムラサキイガイは、順応水温が12℃に低下すると、鰓の繊毛の活動度が低下して換水量が減少し、捕食量も減少すると推測される。一方、ムラサキインコガイは、ムラサキイガイおよびミドリイガイと異なって、12℃から35℃までの水温範囲内であれば順応水温に関係なく、また短時間に水温が変化しても、遭遇した水温での鰓の繊毛の活動度を反映した換水を行って捕食を行うと推測される。

要 約

ムラサキイガイ、ミドリイガイおよびムラサキインコガイの鰓の繊毛運動の温度補償を順応水温10℃ (1月)、20℃ (5月) および28℃ (8月) から水温を1時間毎に1℃上昇させて調べた。ムラサキイガイは、10℃と20℃ではPrecht type 5 および Prosser type IV を示した。20℃と28℃では、ムラサキイガイはミドリイガイと同様にPrecht type 3 および Prosser type II を示した。しかし、ムラサキインコガイは各温度間でPrecht type 4 および Prosser type I を示した。

文 献

- 1) Precht H: Concepts of temperature adaptation of unchanging reaction systems of cold-blooded animals. In: Prosser CL (ed) *Physiological Adaptation*. American Physiological Society, Washington DC, 50-78 (1958)
- 2) Prosser CL: The nature of physiological adaptation. In: Prosser CL (ed) *Physiological Adaptation*. American Physiological Society, Washington DC, 167-180 (1958)
- 3) Segal E: Acclimation in molluscs. *Am Zoo*, 1, 235-244

- (1961)
- 4) Rising TL, Armitage KB: Acclimation to temperature by the terrestrial gastropods *Limax maximus* and *Philomycus carolinianus*, oxygen consumption and temperature preference. *Comp Biochem Physiol*, **30**, 1091-1114 (1969)
 - 5) Widdows J, Bayne BL: Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J mar biol Ass U K*, **51**, 827-843 (1971)
 - 6) Newell RC, Kofoed LH: Adjustments of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to the thermal acclimation. *Mar Biol*, **44**, 275-286 (1977)
 - 7) Anderson G: Metabolic rate, temperature acclimation and resistance to high temperature of the soft-shell clam, *Mya arenaria*, as affect by shore level. *Comp Biochem Physiol*, **61A**, 433-438 (1978)
 - 8) Wood DH: Temperature adaptation in the freshwater snail, *Helisoma trivolis* (Say), in an artificially heated reservoir in the northeastern United States. *J Thermal Biol*, **3**, 187-194 (1978)
 - 9) Alexander Jr J E, McMahon RF: Respiratory response to temperature and hypoxia in the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Comp Biochem Physiol*, **137A**, 425-434 (2004)
 - 10) Bailey E R, Lazaridou-Dimitriadou M: Inverse temperature acclimation of heart rate in hibernating land snails. *J Comp Physiol*, **160**, 677-681 (1991)
 - 11) 山元憲一, 半田岳志, 河邊 博: アサリの酸素摂取と鰓繊毛運動に及ぼす季節に伴う水温変化の影響. 水産増殖, **60**, 47-51 (2012)
 - 12) 山元憲一, 半田岳志, 河邊 博: ハマガリの酸素摂取と鰓繊毛運動に及ぼす季節に伴う水温上昇の影響. 水大校研報, **60**, 35-39 (2012)
 - 13) 山元憲一, 田中 実, 曾我部知徳, 渡辺英悦: マシジミの鰓の繊毛運動と酸素消費に及ぼす塩分, 低酸素と水温の影響. 水産増殖, **42**, 329-334 (1994)
 - 14) 山元憲一, 安達 智, 田村征夫, 荒水多希, 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)
 - 15) 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)
 - 16) Jørgensen CB: On gill function in the mussel *Mytilus edulis* L. *Ophelia*, **13**, 187-232 (1975)
 - 17) Jørgensen CB, Famme P, Kristensen HS, Larsen PS, Mohlenberg PS, Riisgard HU: The bivalve pump. *Mar Ecol Prog Ser*, **34**, 69-77 (1986)
 - 18) Silvester NR: Hydrodynamics of flow in *Mytilus* gills. *J exp Biol*, **120**, 171-182 (1988)
 - 19) Winter JE: A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, **13**, 1-33 (1978)