

## クロチョウガイの鰓換水に及ぼす水温上昇の影響

山元憲一<sup>1†</sup>・半田岳志<sup>1</sup>・湊 恭行<sup>1</sup>・小田原和史<sup>2</sup>・曾根謙一<sup>2</sup>

### Effects of Water Temperature Rise on Ventilation in the Black-lip Pearl Oyster *Pinctada margaritifera*

Ken-ichi Yamamoto<sup>1†</sup>, Takeshi Handa<sup>1</sup>, Yoshiyuki Minato<sup>1</sup>, Kazusi Odawara<sup>2</sup> and Ken-ichi Sone<sup>2</sup>

**Abstract** : Effects of water temperature on ventilation was examined in the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*. The water temperature rose at a rate of 3 °C per hour from 20 °C on June and of 2°C per hour from 27°C on July. Ventilation volume was increased with rising temperature from 20°C (June) and 27°C (July) to 29°C. However, the ventilation volume at 27°C on July was the same as that at 20°C on June. From the results, the temperature compensation pattern is supposed to be Precht type 2 (Complete response) and Prosser type II (Translation)

**Key words** : black-lip pearl oyster, season, temperature compensation, ventilation

Precht<sup>1)</sup>は、温度変化に対する生理的な反応速度の違いから、変温動物の温度補償の様式を5つの型に分けている。多くの軟体動物における酸素摂取量は、順応温度が上昇しても同じ値を維持する温度補償 (Precht type 2) あるいは値を少し上昇させる温度補償 (Precht type 3) を示している<sup>2-8)</sup>。Prosser<sup>9)</sup>は、温度変化に伴って変化する反応速度の曲線について、順応温度による変化の違いから4つの型に分けている。酸素摂取量と温度の関係を示す曲線は、キイロナメクジ *Limax flavus*, *Philomycus carolinianus*, ネコゼフネガイ *Crepidula fornicata* およびカワホトトギス *Dreissena polymorpha* では、順応温度の上昇に伴って高温側に平行移動する温度補償 (Prosser type II) を示している<sup>2, 3, 5-8)</sup>。

ハマグリ *Meretrix lusoria* の酸素摂取量は、順応温度によって前記の Precht type 3 あるいは温度補償を示さない Precht type 4 へと変化させ、順応温度が上昇しても変化させない温度補償 (Prosser type I) あるいは前記の Prosser type II へと反応速度の曲線を変化させている<sup>10)</sup>。アサリ *Ruditapes philippinarum* では、酸素摂取量は順応温度に

よって前記の Precht type 4 および Prosser type I を示している<sup>11)</sup>。クロチョウガイ *Pinctada margaritifera* では、水温 15~35°C における酸素摂取量の変化から、高水温適応限界の水温は 35°C であるとされている<sup>12)</sup>。

一方、換水量については、ネコゼフネガイは、前記の Precht type 4 を示すと報告されており<sup>6)</sup>、アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* でも、換水量と水温の関係について調べられている<sup>13)</sup>。しかし、酸素摂取量の温度補償に比べて、換水量の温度補償については研究例が少ない。

本研究では、季節に伴って変化した水温から温度を上昇させて、クロチョウガイの換水量の変化を調べ、順応温度と温度補償について検討した。

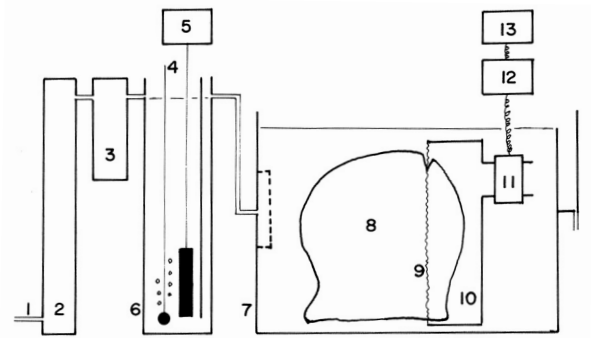
#### 材料および方法

実験には、高知県で潜水によって採集した殻長 96.4±8.6 mm (平均値±標準偏差、以下同様に表す)、殻高 107.6±14.4 mm、殻幅 31.0±5.0 mm、体重 167.9±52.2 g、軟体部の湿重量 59.9±23.7 g のクロチョウガイ 30 個体を用いた。

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

<sup>2</sup> 愛媛県農林水産研究所水産研究センター (Fisheries Research Center, Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ehime 798-0104, Japan)

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



**Fig.1.** Experimental system. 1, supply of sea water; 2, filter of chemical fiber; 3, filter (0.5  $\mu\text{m}$ , Model III, Organo); 4, aeration; 5, thermostat and heater; 6, water bath for controlling the water temperature; 7, respiration chamber; 8, the black-lip pearl oyster *Pinctada margaritifera*; 9, gum film; 10, chamber for catching the ventilation water; 11, probe of electromagnetic flowmeter (FF-100T, Nihonkoden); 12, electromagnetic flow-meter (MFV-3200, Nihonkoden); 13, recorder (MacLab/8, ADI).

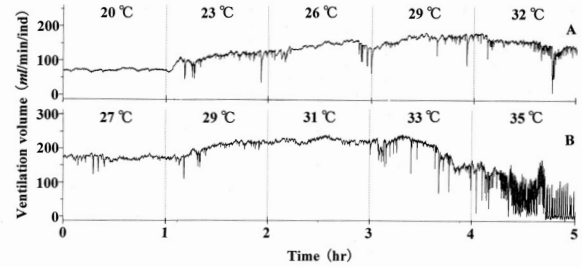
クロチョウガイは、入手後、殻の付着物を除去し、殻に手術を施して、屋内に設置したFRP水槽(170 x 78 x 40 cm)に浮かべた籠(46 x 32 x 16 cm)に収容した<sup>14)</sup>。予備飼育は、実験で設定した各水温および塩分35 psuで1週間以上、生海水を注入(50 l/min)し、餌を連続投与して行った<sup>15)</sup>。手術はクロチョウガイの外套皺襞部の殻に深さ約10 mmのV型の切り込みを入れた<sup>14)</sup>。

実験は、Fig. 1 に示した装置を用いて、6月には20.0  $\pm$  0.2  $^{\circ}\text{C}$ から水温を1時間毎に3  $^{\circ}\text{C}$ ずつ、および7月には27.0  $\pm$  0.1  $^{\circ}\text{C}$ から水温を1時間毎に2  $^{\circ}\text{C}$ ずつ上昇させて換水量の変化を調べた。なお、水温の上昇は、3日間絶食させたクロチョウガイを呼吸室(19 x 19 x 19 cm)に設置し、濾過海水(1 l/min)を流した状態で14時間以上経過した後に開始した。濾過海水は、化繊綿を詰めた筒、次いで0.5  $\mu\text{m}$ のフィルター(Model III, ORGANO)の順に自然海水を通過させて作成した。

測定の終了後、殻腔内の海水を排出させ、約1時間室内で殻の表面を乾燥させて体重(TW, kg)を計測し、殻を除去して、軟体部の湿重量(WW)を計測した。

### 換水量

換水量は、電磁血流計のプロープ(内径1.0 cm, 1.0 l/



**Fig.2.** Ventilation volume ( $V_g$ ) in the black-lip pearl oyster recorded with rising the water temperature. Numeral in upper figure, water temperature; A, rise from 20.0  $\pm$  0.1  $^{\circ}\text{C}$  at the rate of 3  $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ ; B, rise from 27.0  $\pm$  0.1  $^{\circ}\text{C}$  at the rate of 2  $^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ .

min測定用, Model FF-100T, 日本光電)を換水量測定用の箱に取り付け、電磁血流計(MFV-3200, 日本光電)で測定し、これを記録計(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>14)</sup>。換水量測定用の箱には、楕円形(12 x 5 cm)で高さ3.5 cmのものを用い、中央を切り抜いて窓(約55 x 8 mm)を開けたゴムの薄膜を設置した。

換水量( $V_g$ )は、連続記録(Fig. 2)をもとに、次の段階に水温を上昇させる直前の5分間を平均し、体重当たりの値(l/min/kgTW)および軟体部の湿重量当たりの値(l/min/kgWW)で表した。

### 統計処理

それぞれの水温間の値は、Unpaired  $t$ -testを用いて検定した( $P < 0.05$ )。

### 結果

換水量は、6月の水温(20  $^{\circ}\text{C}$ )では0.76  $\pm$  0.30 l/min/kgTW (2.41  $\pm$  1.04 l/min/kgWW)を示し、水温の上昇に伴って増加して29  $^{\circ}\text{C}$ で1.59  $\pm$  0.74 l/min/kgTW (5.01  $\pm$  2.32 l/min/kgWW)と最大となり、更に上昇させると減少した(Fig. 3)。7月の水温(27  $^{\circ}\text{C}$ )では0.97  $\pm$  0.19 l/min/kgTW (2.89  $\pm$  0.89 l/min/kgWW)を示し、水温の上昇に伴って増加して29  $^{\circ}\text{C}$ で1.41  $\pm$  0.40 l/min/kgTW (4.22  $\pm$  1.39 l/min/kgWW)と最大を示し、31  $^{\circ}\text{C}$ に上昇させてもこの値を維持し、更に上昇させると減少した(Fig. 3)。この時、7月の27  $^{\circ}\text{C}$ での値と6月の20  $^{\circ}\text{C}$ での値に有意な差は認められなかった( $t = 1.8944$ ,  $P > 0.05$ )。また、7月の27  $^{\circ}\text{C}$ からの水温上昇に伴

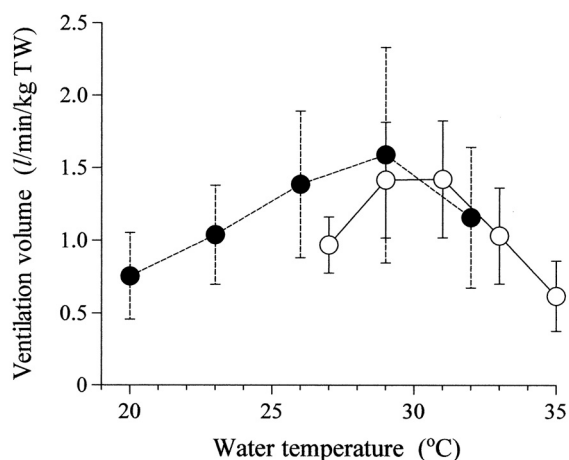


Fig.3. Changes in the ventilation volume in the black-lip pearl oyster with rising the water temperature. Circles, mean; vertical lines, standard deviation; closed circles and broken lines, rise from  $20.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$  at the rate of  $3^\circ\text{C}/\text{hr}$  on June; open circles and solid lines, rise from  $27.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$  at the rate of  $2^\circ\text{C}/\text{hr}$  on July.

う換水量の増加曲線は、6月の $20^\circ\text{C}$ からの同曲線を平行移動させた所に位置していた (Fig. 3)。

## 考 察

ネコゼフネガイの換水量は、順応水温の上昇に伴って増加し、温度補償を示さない (Precht type 4) と報告されている<sup>9)</sup>。アコヤガイの換水量も、順応水温から水温を上昇させて測定した結果では、ネコゼフネガイと同様に Precht type 4 を示している<sup>12)</sup>。本研究の結果から、クロチョウガイでは、7月の $27^\circ\text{C}$ での値と6月の $20^\circ\text{C}$ での値に有意な差は認められなかった。このような変化は、順応温度が低下しても同じ値を維持する温度補償 (Precht type 2)<sup>1)</sup>に相当している。これらのことから、クロチョウガイは、ネコゼフネガイやアコヤガイと異なり、順応温度が変化しても同じ値に換水量を調節することが明らかである。

アコヤガイの水温上昇に伴う換水量の増加曲線は、順応水温が変化しても同じ曲線の延長上を変化する Prosser type I<sup>9)</sup>を示している<sup>14)</sup>。一方、クロチョウガイの7月の $27^\circ\text{C}$ での水温上昇に伴う換水量の増加曲線は、6月の $20^\circ\text{C}$ からの同曲線を平行移動させた所に位置していた。このような変化は、Prosser<sup>9)</sup>に従って順応の型を見ると、Prosser type IIに相当している。これらのことから、クロチョウガイは、Prosser type から見てもアコヤガイとは異なる温度

補償を示して換水量を調節していることが明らかである。

アコヤガイでは、換水量は $20^\circ\text{C}$ から水温を上昇させると $5^\circ\text{C}$ 高い $25^\circ\text{C}$ まで、 $27^\circ\text{C}$ から上昇させた場合も同様に $5^\circ\text{C}$ 高い $32^\circ\text{C}$ まで増加し、更に水温が上昇すると減少している<sup>13)</sup>。しかし、クロチョウガイでは、 $20^\circ\text{C}$ から水温を上昇させると $7^\circ\text{C}$ 高い $29^\circ\text{C}$ で、 $27^\circ\text{C}$ からでも同じ $29^\circ\text{C}$ で最大を示した。これらのことから、クロチョウガイは、順応水温から $5^\circ\text{C}$ 上昇するまで換水量を増加させたアコヤガイと異なって、少なくとも $20\sim 27^\circ\text{C}$ の範囲においては順応水温に関係なく、換水量を水温の上昇に伴って $29^\circ\text{C}$ まで増加させることが明らかとなった。

杉山・友利<sup>12)</sup>は、クロチョウガイの酸素摂取量は順応させた水温が高くなるとこれに伴って増加して $33^\circ\text{C}$ で最大を示し、 $35^\circ\text{C}$ になると減少して斃死する個体が出現したことから、 $35^\circ\text{C}$ 付近に高水温適応限界があるとしている。しかし、本研究の結果では、換水量は $20^\circ\text{C}$ および $27^\circ\text{C}$ から水温を上昇させるといずれの水温においても同様に $29^\circ\text{C}$ で最大を示した。しかも、換水量は $27^\circ\text{C}$ から水温を上昇させた場合では $31^\circ\text{C}$ に上昇しても $29^\circ\text{C}$ での値を維持していた。換水量の変化から判断すると、クロチョウガイが捕食および呼吸を行う上での高水温の限界は $29^\circ\text{C}$ と推測される。

二枚貝は、鰓の繊毛運動で水を外套腔内に取り入れて鰓弁を通過させる際には、水中の $0.5\mu\text{m}$ 以上の懸濁物の全てを鰓糸の触毛で捕捉し、 $0.5\mu\text{m}$ 以下のものも鰓糸の表皮から分泌した粘液に絡めて捕捉している<sup>16)</sup>。クロチョウガイの換水量は、7月の $27^\circ\text{C}$ と6月の $20^\circ\text{C}$ の間で有意な差が認められなかった。アコヤガイでは、順応水温 $27^\circ\text{C}$ における換水量は順応水温 $20^\circ\text{C}$ から水温を上昇させた場合の増加曲線の延長上の値を示している<sup>13)</sup>。これらのことから、クロチョウガイは、アコヤガイとは異り、生息している水温が $27^\circ\text{C}$ から $20^\circ\text{C}$ に低下しても換水量を同等に維持して、餌 (懸濁物) の捕食量を同等に維持していると考えられる。

しかし、換水量は6月の $20^\circ\text{C}$ および7月の $27^\circ\text{C}$ から水温を上昇させるといずれ $29^\circ\text{C}$ で最大を示した。このことから、クロチョウガイは、少なくとも $20^\circ\text{C}$ から $27^\circ\text{C}$ の水温の範囲では、短時間に水温が上昇してもそれに伴って $29^\circ\text{C}$ まで換水量を増加させて、餌 (懸濁物) の捕食量を増加させていると推測される。

## 要 約

クロチョウガイの換水量に及ぼす水温上昇の影響を、6

月に20°Cから1時間毎に3°C, 7月に27°Cから1時間毎に2°C上昇させて調べた。換水量は, 水温上昇に伴って増加して6月および7月のいずれも29°Cで最大を示したが, 7月の27°Cと6月の20°Cでの値に有意な差が認められなかった。結果から, クロチヨウガイは換水量を20~27°Cでは温度補償の型 Precht type 2 および Prosser type II を示して変化させることが明らかとなった。

## 謝 辞

本研究は, 文部科学省「持続可能な”えひめ発”日本型養殖モデル創出」, 研究開発事業, 温暖化対応型真珠養殖技術の研究開発(海洋環境の変化を地域の強みとして活かした市場価値の高い南洋真珠貝[クロチヨウガイ, マバガイ]の養殖技術の確立)によって実施したものである。

## 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 D C, 50-78(1958)
- 2) Segal E : Acclimation in molluscs. *Am Zoo*, **1**, 235-244(1961)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) Alexander Jr JE, McMahon RF : Respiratory response to temperature and hypoxia in the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Comp Biochem Physiol*, **137A**, 425-434(2004)
- 9) Prosser C L : The nature of physiological adaptation. In: Prosser CL (ed) *Physiological Adaptation*. American Physiological Society, Washington D C, 167-180(1958)
- 10) 山元憲一・半田岳志・河邊 博 : ハマグリの酸素摂取と鰓纖毛運動に及ぼす水温上昇の関係. *水大校研報*, **60**, 35-39(2011)
- 11) 山元憲一・半田岳志・河邊 博 : アサリの酸素摂取と鰓纖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) 杉山昭博・友利昭之助 : クロチヨウガイの酸素摂取量. *水産増殖*, **36**, 121-125(1988)
- 13) 山元憲一 : アコヤガイ呼吸に及ぼす水温の影響. *水産増殖*, **48**, 47-52(2000)
- 14) 山元憲一・半田岳志・荒木 晶・湊 恭行・小田原和史・曾根謙一 : クロチヨウガイの鰓換水に及ぼすトリクロホルホンの影響. *水大校研報*, **61**, 9-12(2012)
- 15) 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**, 241-248(1999)
- 16) Winter JF : A review on the knowledge of suspension-feeder in lamellibranchate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, **13**, 1-33(1978)