

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上昇の影響

山元憲一^{*1}・安達 智^{*1}・田村征生^{*1}・荒水多希^{*1}・河邊 博^{*2}

Effects of Hypoxia and Water Temperature on Ciliary Movement of Gills in 5 Bivalvia, *Mytilus edulis*, *Atrina pectinata*, *Pinctata fucata martensi*, *Chlamys nobilis* and *Crassostrea gigas*

Ken-ichi Yamamoto^{*1}, Satoru Adachi^{*1}, Ikuo Tamura^{*1},
Taki Aramizu^{*1}, and Hiroshi Koube^{*2}

Effects of hypoxia and increase of water temperature on the ciliary movement of gills in 5 bivalvia, *Mytilus edulis*, *Atrina pectinata*, *Pinctata fucata martensi*, *Chlamys nobilis* and *Crassostrea gigas*, were examined by measuring the moving speed of a small piece of vinyl film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface. The activity of the ciliary movement of *A. pectinata* was higher than that of the other species which were nearly on a similar level with each other. Under a hypoxic condition of up to 5 % oxygen saturation, the activity of the 5 species was nearly maintained at the level of normoxic condition. With the increase of water temperature from 19 or 20 °C, the activity of *M. edulis*, *A. pectinata*, *P. fucata martensi*, *C. nobilis* and *C. gigas* was increased and reached the maximum level at 29.0°C, 30.6°C, 35.0°C, 32.1°C and 37.9°C, respectively.

1 緒言

二枚貝類は鰓の繊毛運動によって殻内に水を取り入れ、鰓で酸素摂取を行うと同時に鰓で微少な浮遊懸濁物をろ過して捕食していることが知られている¹⁻³⁾。そこで、環境の変化などによって鰓の繊毛運動に変化が起ると、ただちに酸素摂取および捕食に影響が出ると考えられる。富田⁴⁻⁶⁾は二枚貝の鰓弁を小片に切り出し、その匍匐す

る速度から鰓の繊毛運動の活性を測定する方法を考案している。この方法を用いて、小林・佐藤⁷⁾はアコヤガイ *Pinctata fucata martensi* の、佐藤⁸⁾はマガキ *Crassostrea gigas* の、山元⁹⁾はマガキ、クマサルボウ *Scapharca globosaurus* およびタイラギ *Atrina pectinata* の鰓の繊毛運動に及ぼす水温上昇の影響について調べている。また、山元⁹⁾はマガキおよびタイラギの鰓の繊毛運動に及ぼす低酸素の影響につ

水産大学校研究業績 第1533号, 1995年10月20日受付

Contribution from National Fisheries University, No.1533. Received Oct. 20, 1995.

*1 水産大学校増殖学科資源学講座 (Laboratory of Fisheries Resources, Department of Biology and Aquaculture, National Fisheries University).

*2 熊本県水産研究センター (Kumamoto Prefectural Fisheries Research Center).

いて調べている。しかし、この方法では鰓の繊毛は循環系から切り離された状態にあり、生体内にある場合と同様な運動を示しているか否かは不明である。そこで山元ら¹⁰⁾は、マジミ *Corbicula leana* の片方の殻を取り除いて露出させ、生体内にある状態で、鰓にアルミ箔の薄片を載せ、その移動する速度から鰓の繊毛運動を調べる方法を試みた。この方法は、二枚貝の鰓の繊毛運動を、より正常に近い状態で測定し得るものと考えられる。

本研究では、ムラサキガイ *Mytilus edulis*、タイラギ、アコヤガイ、ヒオウギガイ *Chlamys nobilis*、マガキを用いて、山元らの方法¹⁰⁾に若干の改良を加え、鰓の繊毛運動に及ぼす低酸素と水温上昇の影響を調べたので報告する。

2 材料および方法

材料には、ムラサキガイ 29 個体 (殻長 56.4 ± 7.0 mm、殻高 30.6 ± 4.7 mm、殻幅 22.3 ± 3.0 mm、体重 19.8 ± 6.4 g) (M \pm SD、以下同様に表す)、タイラギ 19 個体 (肉質部の湿重量 41.9 ± 11.0 g)、アコヤガイ 21 個体 (殻長 75.0 ± 4.4 mm、殻高 71.4 ± 5.7 mm、殻幅 24.1 ± 2.0 mm、体重 45.1 ± 5.3 g)、ヒオウギガイ 23 個体 (殻長 75.5 ± 5.1 mm、殻高 73.9 ± 10.6 mm、殻幅 28.2 ± 2.0 mm、体重 73.1 ± 12.5 g)、マガキ 37 個体 (殻長 67.7 ± 6.1 mm、殻高 45.2 ± 7.2 mm、殻幅 22.0 ± 3.8 mm、体重 39.0 ± 9.7 g) を用いた。アコヤガイおよびヒオウギガイは熊本県天草産の養殖貝、タイラギは有明海産の天然貝、ムラサキガイおよびマガキは山口県下関市吉見産の天然貝で、いずれもかごに入れて下関市吉見地先の海面下に垂下して 1 か月以上飼育し、下記の実験水温になった時に取り上げ、1 昼夜絶食させた後手術を施した。手術は、殻の会合部 (主齒) を外し、この部分よりメスを入れて閉殻筋、外套膜の順に殻より切り放し、片方の殻を除去して鰓を露出させた。

実験には、前報^{9), 10)}と同様の装置を用いた。ただし、測定用の箱にはタイラギでは長さ 230 mm \times 幅 100 mm \times 高さ 60 mm のものを、その他の貝類では長さ 120 mm \times 幅 83 mm \times 高さ 70 mm のものを用いた。測定は、手術後、露出した鰓が水平になるようにして供試個体を測定用の箱に設置し、同箱への流入水量を 200 ml/min に調節して 2 時間経過した後、開始した。

鰓の繊毛運動は、アルミ箔の薄片¹⁰⁾の代わりに直径

2 mm の円形に切り抜いた厚さ 0.3 mm のビニール薄膜を鰓のほぼ中央の鰓弁の基部に置き、その先端まで移動する時間を 5 回測定し、その平均値と移動距離から薄膜の移動速度を求め、その変化より調べた。

実験水温はタイラギの場合には 19.0 ± 0.1 °C に、その他の貝類の場合には 20.0 ± 0.1 °C に設定した。低酸素の実験は窒素ガスの曝気によって 1 時間毎に順次 7 - 9 段階に酸素飽和度を低下させて行った。水温上昇の実験は前記の実験水温から 3 °C づつ 1 時間毎に上昇させて行った。

測定用の箱への流入水の溶存酸素量は Winkler 法¹¹⁾で測定し、同時に測定した塩分濃度より、酸素飽和量の表¹²⁾から酸素飽和度を換算した。塩分濃度は、海水濃度計 (アタゴ社製、サリニティ s/Mill) で塩類の総含有量を測定し、この値を用いて前もってサリノメーターで検定しておいた換算式より計算して求めた。

3 結果

薄膜の移動速度は、酸素飽和の状態および水温上昇の条件を与える前の状態においては、ムラサキガイ、アコヤガイ、ヒオウギガイおよびマガキではほぼ同じ値を示したが、タイラギではそれらよりも著しく大きな値を示した (Fig. 1~10)。

このことから、タイラギにおける鰓の単位面積当たりの繊毛運動は、他の貝類 4 種よりも活発であることが明らかとなった。

酸素飽和度を低下させると、薄膜の移動速度はタイラギ、アコヤガイおよびヒオウギガイでは酸素飽和度が 5 % に低下するまでは酸素飽和の状態とほぼ同じ値を示し (Fig. 2, 3, 4)、ムラサキガイおよびマガキではわずかな減少を示したにとどまった (Fig. 1, 5)。これらのことから、実験に供した 5 種の鰓の繊毛運動は酸素飽和度が 5 % に低下するまではほとんど低酸素の影響を受けないことが明らかとなった。

水温を上昇させると、薄膜の移動速度は実験に供した 5 種のいずれも徐々に増加し、鰓の繊毛運動は活発になったが、ムラサキガイでは 29.0 ± 0.1 °C、タイラギでは 30.6 ± 0 °C、ヒオウギガイでは 32.1 ± 0.1 °C、アコヤガイでは 35.0 ± 0 °C、マガキでは 37.9 ± 0 °C で最大を示し、水温がそれらよりも上昇するといずれも減少した (Fig. 6~10)。

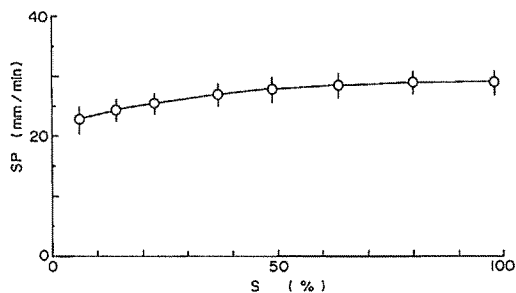


Fig. 1. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the decrease of oxygen saturation (S) in *Mytilus edulis*.

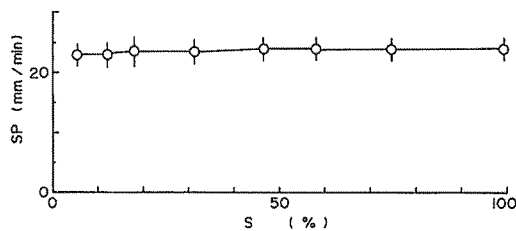


Fig. 3. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the decrease of oxygen saturation (S) in *Pinctata fucata martensi*.

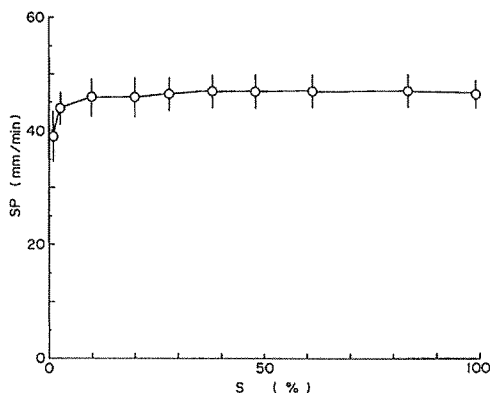


Fig. 2. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the decrease of oxygen saturation (S) in *Atrina pectinata*.

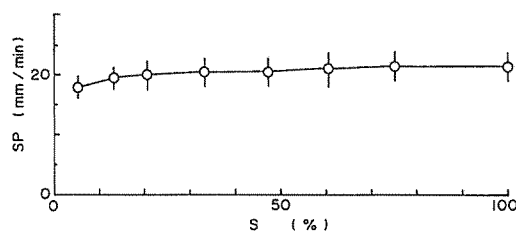


Fig. 4. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the decrease of oxygen saturation (S) in *Chlamys nobilis*.

4 考 察

鰓の薄片を用いた実験では、その匍匐する速度はタイラギおよびマガキでは酸素飽和度が40%より低下すると著しく減少することが報告されている⁹⁾。しかし、鰓が生体内にある状態で行った本実験では、鰓の纖毛運動はタイラギおよびマガキともにその値よりも著しく低い酸素飽和度(5%)まで低下してもほとんど低酸素の影響を受けなかった。水温を上昇させた場合には、鰓弁の薄片を用いた実験では、その匍匐する速度はアコヤガイでは28-30℃⁷⁾、マガキでは25-30℃⁸⁾および37℃⁹⁾、タイラギでは31℃⁹⁾で最大を示すことが報告さ

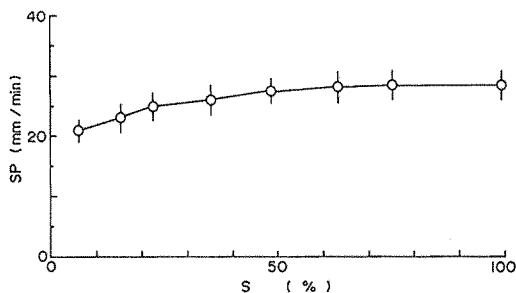


Fig. 5. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the decrease of oxygen saturation (S) in *Crassostrea gigas*.

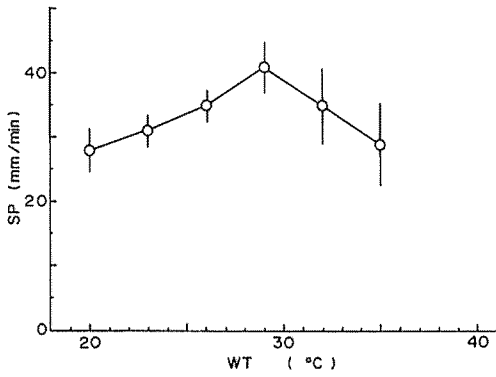


Fig. 6. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the increase of water temperature (WT) in *Mytilus edulis*.

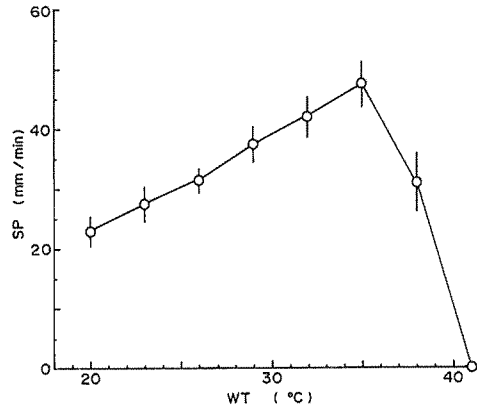


Fig. 8. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the increase of water temperature (WT) in *Pinctata fucata martensi*.

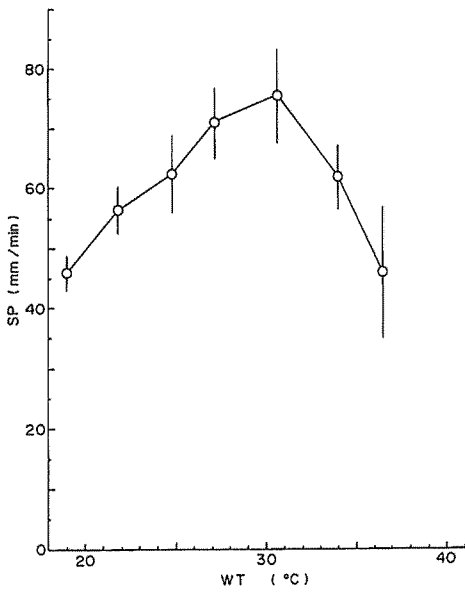


Fig. 7. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the increase of water temperature (WT) in *Atrina pectinata*.

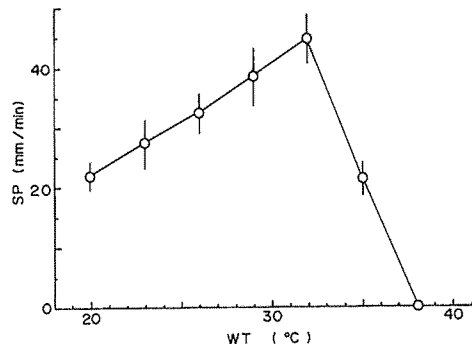


Fig. 9. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the increase of water temperature (WT) in *Chlamys nobilis*.

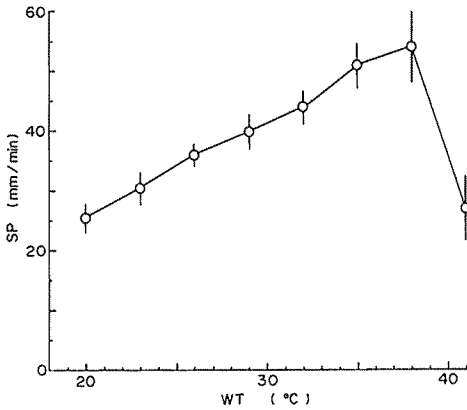


Fig.10. Change of the moving speed (SP) of thin film (diameter 2 mm, thickness 0.3 mm) on the gill surface with the increase of water temperature (WT) in *Crassostrea gigas*.

れている。しかし、本実験での結果では、アコヤガイ (35 °C)、マガキ (37.9 °C) およびタイラギ (30.6 °C) とともにそれらと同程度かそれら以上の水温で最大値を示した。これらのことから、鰓の一部を体外に取り出すと、その纖毛運動は低酸素や水温上昇などの環境変化の影響を受けやすくなると考えられる。

二枚貝類の鰓の纖毛運動は鰓でろ過する水を流すための水流を起こす役割を果たしていると考えられている¹⁻³⁾。本研究で調べた 5 種では、鰓の纖毛運動は酸素飽和度 5 % までは酸素飽和の状態と同様に活動していたことから、鰓でろ過する水量もその水準までは酸素飽和の状態での値をほぼ維持すると考えられる。また、水温が上昇すると、鰓の纖毛運動はそれに伴っていずれの種類も活発となったことから、ろ水量も同様に増加すると考えられる。

ムラサキイガイで、実際に測定された鰓でろ過する水量は、酸素分圧が 35~90 mmHg¹³⁾、10KPa¹⁴⁾あるいは 40~50mmHg¹⁵⁾ までは酸素飽和の状態での値をほぼ維持し、さらに低下すると著しく減少することが報告されている。これらの値を酸素飽和度に換算すると、それぞれ 20~60 %、約 50 %、20~30 % に相当する。しかし、本研究では、ムラサキイガイの鰓の纖毛運動は酸素飽和度が 5 % まで低下しても酸素飽和の状態での値をほぼ維持していた。また、アコヤガイでは水温の上昇に伴ってろ水量は増加し、水温 22~27 °C¹⁶⁾ あるいは

は 25~28 °C¹⁷⁾ で最大を示すことが報告されている。しかし、本研究では、アコヤガイの鰓の纖毛運動はそれらよりも高い水温 (35°C) で最も活発であった。これらのことから、二枚貝のうち水管を欠く仲間では、鰓の纖毛は酸素飽和度や水温などの変化によってその運動の活発さを変化させるが、常時纖毛ポンプとしての役割を果たして鰓でろ過する水を流すための水流を起こしている。しかし、実際の鰓でろ過する水量は、鰓の纖毛運動と合わせて、左右の貝殻および外套膜の開き具合によって鰓への入水口および鰓からの出水口の大きさを変化させたり、鰓弁間の間隔を変化させたりしても調節されている可能性があると考えられる。

5 要約

二枚貝 5 種について、片方の貝殻を取り除いて露出させた鰓にビニール薄膜の小片 (直径 2 mm、厚さ 0.3 mm) を載せ、その動く早さを測定する方法で、鰓の纖毛運動に及ぼす低酸素と水温上昇の影響を調べた。鰓の纖毛運動は、ムラサキイガイ、アコヤガイ、ヒオウギガイおよびマガキでは活発さがほぼ同じで、タイラギではそれらよりも著しく大きかった。その活発さは、酸素飽和度が低下しても 5 % までは酸素飽和での状態をほぼ維持していた。また、水温を 19~20 °C から上昇させると増大し、ムラサキイガイでは、29.0 °C、タイラギでは 30.6 °C、アコヤガイでは 35.0 °C、ヒオウギガイでは 32.1 °C、マガキでは 37.9 °C で最大値を示した。

文献

- 1) Owen, G. : Feeding, in *Physiology of mollusca* (ed. by K. M. Wilbur and C. M. Yonge), Academic Press, New York and London, pp. 1-124 (1966).
- 2) Chiretti, F.: Respiration, in *Physiology of mollusca* (ed. by K. M. Wilbur and C. M. Yonge), Academic Press, New York and London, pp.175-208 (1966).
- 3) Mill, P. J.: 無脊椎動物の呼吸 (落合威彦訳), 東興交易医書出版部, 東京, pp.23-77 (1978).
- 4) 野村七録: 纖毛運動. 生物学実験法講座 B. 動物学関係・第7巻(宮邊富次郎編), 建文館, 東京, pp.16- 33 (1939).

- 5) Tomita, G.: *Bull. Mar. Biol. St. Asamushi*, 7, 159-163 (1955).
- 6) Tomita, G.: *Sci. Rep. Tohoku univ.*, 4, the ser. (biol.), 21, 1-7 (1955).
- 7) 小林博・松井淳平 : 農水講研報, 3, 123-131 (1953).
- 8) 佐藤鉦一 : 日水誌, 4, 409-410 (1936).
- 9) 山元憲一・田中実・田中直樹・神蘭真人・秋本恒基 : 水産増殖, 41, 435-438 (1993).
- 10) 山元憲一・田中実・曾我部知徳・渡辺英悦 : 水産増殖, 42, 329-334 (1994).
- 11) 日本海洋学会 : 海洋観測指針 (中央气象台編), 田中幸和堂, 東京, pp174-180 (1955).
- 12) 日本海洋学会 : 海洋観測常用表 (海洋観測指針付録) (中央气象台編), 田中幸和堂, 東京, pp4-19, pp61 -70 (1955).
- 13) Bayne, B. L.: *Comp. Biochem. Physiol.*, 40A, 1065-1085 (1971).
- 14) Taylor, A. C. and A. R. Brand : *Proc. R. Soc. Lond. B.* 190, 443-456 (1975).
- 15) Famme, P. and L. H. Kofoed : *Comp. Biochem. Physiol.*, 66A, 161-171 (1980).
- 16) 宮内徹夫 : 水産増殖, 10, 7-13 (1962).
- 17) 沼口勝之 : 水産増殖, 42, 1-6 (1994).