

## ヤマトシジミの硫化水素耐性

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者	中村, 幹雄 品川, 明 戸田, 顕史
巻/号	45巻1号
掲載ページ	p. 17-24
発行年月	1997年3月

## ヤマトシジミの硫化水素耐性

中村幹雄<sup>1)</sup>・品川 明<sup>2)</sup>・戸田顕史<sup>3)</sup>・中尾 繁<sup>4)</sup>

(<sup>1)</sup>鳥根県水産試験場三刀屋内水分面分場, <sup>2)</sup>学習院女子短期大学,

<sup>3)</sup>鳥根県衛生環境公社, <sup>4)</sup>北海道大学水産学部)

Sulfide Tolerance of the Brackish Water Bivalve,  
*Corbicula japonica* Prime

Mikio NAKAMURA \*<sup>1</sup>, Akira SHINAGAWA \*<sup>2</sup>,  
Kenji TODA \*<sup>3</sup>, and Shigeru NAKAO \*<sup>4</sup>

### Abstract

Sulfide tolerance in the bivalve *Corbicula japonica* was determined based on laboratory experiments using individuals collected from Lake Shinji, an estuarine lagoon in Japan. The median tolerance time (LT<sub>50</sub>) of individuals immersed in a 50 mg/l sulfide solution at 18 °C was 23 days, while the LT<sub>50</sub> in 1.0 mg/l sulfide solution at 28 °C was 21 days. At any given water temperature, the tolerance time decreased as sulfide concentration increased. The sulfide tolerance seemed similar between juvenile and adult *C. japonica*. *C. japonica* has a much higher sulfide tolerance than other macrobenthos that was reported at sulfide tolerance, which may reflect the adaptation of *C. japonica* to brackish environments where salinity stratification commonly causes anoxia and sulfide formation at the bottom.

ヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime は、日本沿岸の河口域や汽水湖に棲息する二枚貝で、我が国における重要な水産資源の一つである。汽水湖は、その成因、地理的特性から水温、塩分、溶存酸素などの環境要因が、隣接する淡水域、海水域と比べると変化が大きい<sup>1)</sup>。また、富栄養化した汽水湖では夏季の高水温時、湖底に堆積した有機物の分解による底層水の貧酸素化

が起こり<sup>2)</sup>、それに伴って生物に対して毒性の強い硫化水素の発生がみられる<sup>3-4)</sup>。底土に埋在して生息するヤマトシジミは底層水の塩分、貧酸素と共に硫化水素の影響を強く受けることになる。ヤマトシジミの水温<sup>5)</sup>、塩分<sup>6-15)</sup>に対する耐性についてはすでにいくつかの報告がある。硫化水素耐性については、汽水湖、内湾のマクロベントスについての報告はあるが<sup>16-25)</sup>、

受領日：1996(H 8)年7月1日

索引語：ヤマトシジミ／塩分耐性／温度／汽水湖

連絡先：〒690-24 鳥根県飯石郡三刀屋町古城1132-8 鳥根県水産試験場三刀屋内水分面分場 中村幹雄

Address : M. NAKAMURA, Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, 1132-8 Kojou, Mitoya, Shimane, 690-24, Japan

\*<sup>1</sup> Shimane Prefecture Fisheries Experimental Station, 1132-8 Kojou, Mitoya, Shimane 690-24, Japan.

\*<sup>2</sup> Gakushuin Women's Junior College, 3-20-1 Toyama, Shinjuku, Tokyo 162, Japan.

\*<sup>3</sup> Shimane Prefecture Environmental Clinical Service Incorporation, 1-4-6 Koshibara, Matue, Shimane 690 Japan.

\*<sup>4</sup> Faculty of Fisheries, Hokkaido University, 3-1-1 Minato, Hakodate 041, Japan.

本種の硫化水素耐性に関する報告は知られていない。そこで本研究では宍道湖産のヤマトシジミを用いて、室内飼育実験を行い、本種の硫化水素耐性を明らかにした。

### 材料および方法

**供試材料** 実験に用いたヤマトシジミは宍道湖南東岸の玉湯沖においてスミス・マッキンタイヤ型採泥器を用いて底質とともに採集した。採集したヤマトシジミは、実験に供するまで採集地点と同じ水温、塩分で飼育馴致した。飼育後すぐに底質中に潜掘し、ガラス棒による水管の刺激に対して直ちに閉殻する、反応の良い貝を選別して実験に供した。

**試水の測定法** 試水の水質測定は以下の方法で行った。水温は棒状温度計、塩分はセントラル科学 DIGITAL SALT UC-77、DO 濃度は YSI 社 DO メーターモデル 57、pH は堀場コンパクト pH メーター ツイン B-112、アンモニアは BRAN+LUEBBE オートアナライザー II 型をそれぞれ用いて測定した。また、硫化水素の測定は試水を 5 ml ガス発生管に採取し、18 N 硫酸を 2 ml 添加し、発生した硫化水素を (株) ガステック：ヘドロテック-S 検知管 No.201L および No.201H を用いて測定した。

**実験方法** 直径 8.0 cm、高さ 16.5 cm の密封可能なアクリル製の円管形の実験容器に、700 ml の塩分約

5 psu の濾過海水 (20  $\mu$ m メッシュを使用) を入れ、N<sub>2</sub> ガスを吹き込んで無酸素状態にした。それから、無酸素濾過海水に硫化水素ナトリウム (Na<sub>2</sub>·9H<sub>2</sub>O) を溶かした硫化水素原液 (1,000 mg/l) を、実験 1、実験 2、実験 3 それぞれの硫化水素の設定目標濃度となるように、それぞれの実験容器に添加した。以上のように調整した実験容器と無添加の対照区を含む各実験容器に、選別したヤマトシジミを 20 個体ずつ入れ、ヤマトシジミの生死を毎日 9 時と 16 時に肉眼で観察した。生死の判定は、水管と足を出して刺激を与えても反応しないもの、および開殻してしまったものを死貝とした。腐敗による水質悪化を防止するため、死亡個体は、死亡したそのつど除去した。

水温、塩分、DO 濃度、pH は毎日測定した。アンモニア態窒素は実験開始時と実験終了時に測定した。硫化水素は、玉井<sup>16)</sup>、柿野<sup>17)</sup>によれば、実験中の時間経過とともに減少が著しいと報告されているので、1 日 2 回測定し、硫化水素濃度を一定に保つため、硫化水素原液 (1,000 mg/l) を添加し、設定濃度に再調整した。水温の調節は、それぞれ各設定水温の恒温水槽にそれぞれの実験容器を収容することで行った。

**実験 1** 大きき別、水温別硫化水素耐性 ヤマトシジミの成長に伴う硫化水素耐性の変化を明らかにするために、大きき別に稚貝と成貝の両者に分けて、硫化水素の存在下で、飼育実験を行い、その生残個体数の

**Table 1.** Experimental conditions and the test concentrations of hydrogen sulfide

		Target concentration of H <sub>2</sub> S (mg/l)							
		0	3	5	7	10	20	30	50
18°C									
H <sub>2</sub> S (mg/l)		0.00	1.6±1.46	2.7±2.40	4.0±3.27	6.0±4.56	14.7±6.33	25.6±6.72	44.8±6.75
pH	initial	8.03	8.67	9.80	9.29	9.46	9.85	10.15	10.34
	final	8.24	8.26	7.94	8.57	9.31	10.04	10.34	10.44
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	initial	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	final	0.04	1.31	0.88	0.28	0.15	0.09	0.39	0.83
28°C									
H <sub>2</sub> S (mg/l)		0.00	1.6±1.46	2.7±2.40	4.3±3.21	6.0±4.43	15.0±6.21	23.0±8.15	40.8±10.91
pH	final	8.09	8.43	8.73	8.88	9.06	9.56	9.93	10.06
	terminal	7.31	7.21	7.28	7.28	7.68	9.21	9.48	9.56
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	initial	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	final	0.23	0.3	2.57	0.91	0.06	0.93	0.11	3.41

\* H<sub>2</sub>S indicates mean  $\pm$  SD.

\* Dissolved oxygen concentration was maintained under 0.05 mg/l for the experiments.

\* Salinity (5 PSU) and temperatures (18 °C and 28 °C) were stable for the experiments, respectively.

変化を調べた。本研究では、着低後数カ月の殻長 3 mm 前後のヤマトシジミを稚貝、生殖可能サイズ以上の殻長15 mm 以上のヤマトシジミを成貝とした。殻長は稚貝で2.1-3.6 mm (平均±標準偏差: 3.10±0.40 mm, 以下同様)、成貝で14.1-19.6 mm (16.3±1.30 mm) で、これらのヤマトシジミを用いて、1994年12月5日-19日(14日間)に硫化水素耐性の飼育実験を行った。試験区は水温18℃, 28℃の2つの温度条件でそれぞれ硫化水素濃度が、5 mg/l, 10 mg/l, および濃度 0 mg/l の対照区の計3つの濃度段階の試験区を設定した。

**実験2 水温別、濃度別硫化水素耐性 ヤマトシジミ**の水温の高低による硫化水素耐性の違いを明らかにするために、水温18℃と28℃の条件において硫化水素の濃度別に40日間の飼育実験を行った。硫化水素耐性の実験は、殻長17.9-25.1 mm (21.1±1.53 mm) のヤマトシジミを用いて、水温28℃は1995年11月22日-12月6日(40日間)に、水温18℃は11月28日-1996年1月6日(40日間)に行った。試験区は水温18℃と28℃のそれぞれにおいて、硫化水素濃度0(対照区)、3, 5, 7, 10, 20, 30, 50 mg/l の8段階の濃度を設定した。

**実験3 硫化水素の致死濃度** 硫化水素の毒性がヤマトシジミの生存にとって、影響を与える最小濃度を明らかにするため、硫化水素の低濃度を中心に、ヤマトシジミの硫化水素に対する耐性試験を行った。実験は、殻長18.4-24.1 mm (20.7±1.19 mm) のヤマトシジミを用いて、1995年12月20日-1996年1月29日(40日間)に行った。水温28℃において、硫化水素濃度が0, 0.5, 1.0, 3.0 mg/l の4段階濃度の試験区を設定した。

**Table 2.** Tolerance of adult and juvenile *Corbicula japonica* to hydrogen sulfide.

Experiment 1					
Temperature (°C)	Mean H <sub>2</sub> S (mg/l)	tolerance time (days)			
		juvenile		adult	
		LT <sub>50</sub>	LT <sub>100</sub>	LT <sub>50</sub>	LT <sub>100</sub>
18	0	>14	>14	>14	>14
	5	>14	>14	>14	>14
	10	>14	>14	>14	>14
28	0	>14	>14	>14	>14
	5	10	9	10	14
	10	8	7	9	9

Dissolved oxygen concentration and salinity were maintained under 0.5 mg/l and 5.0 PSU, respectively for the experiment.

結 果

硫化水素耐性飼育実験中の水温、塩分は設定した18℃と28℃および5 PSU にほぼ一定に保たれていた。実験2における、硫化水素、pH、アンモニア態窒素の水質測定結果を Table 1 に示した。pH は硫化水素濃度が高くなるほど高くなる傾向が見られた。アンモニア態窒素は、ヤマトシジミがへい死すると急激に増加した。特に供試貝が全数死亡した28℃, 50 mg/l の実験区では、実験終了時のアンモニア態窒素が3.41 mg/l になった。

**実験1 実験期間中の供試貝の生残率の変化**を Fig. 1 に示した。そして、50%供試貝が死亡した時を半数死亡時間 (LT<sub>50</sub>)、全部の供試貝が死亡した時を全数死亡時間 (LT<sub>100</sub>) とし、これらの値を、Fig. 1 から求め Table 2 に示した。水温18℃の耐性実験では、硫化水素濃度10 mg/l で、14日間に稚貝は全く死亡せず、成貝が2個体死亡したのみで、成貝、稚貝ともにLT<sub>50</sub>には達しなかった。しかし、28℃では10 mg/l で、稚貝と成貝のLT<sub>50</sub>はそれぞれ8日目と7日目であり、LT<sub>100</sub>は稚貝、成貝ともに9日目であった。本実験の結果では、稚貝と成貝の耐性に大きな違いはないが、温度の違いによる耐性の差は大きかった。

**Table 3.** Tolerance time for *Corbicula japonica* to hydrogen sulfide resulted from Experiment 2 and 3

Temperature (°C)	Mean H <sub>2</sub> S (mg/l)	Lethal time (days)	
		LT <sub>50</sub>	LT <sub>100</sub>
18	0	>40	>40
	3	>40	>40
	5	>40	>40
	7	>40	>40
	10	37	40
	20	25	29
	30	23	28
	50	23	27
	28	0	>40
0.5* <sup>1</sup>		>30* <sup>1</sup>	>30* <sup>1</sup>
1.0* <sup>1</sup>		21* <sup>1</sup>	27* <sup>1</sup>
3		11	13
5		8	12
7		8	11
10		7	10
20		7	9
30		7	8
50	5	6	

Dissolved oxygen concentration and salinity were maintained under 0.5 mg/l and 5.0 PSU respectively for the experiment.

\*<sup>1</sup>Data are indicated from Experiment 3.

Table 4. Median tolerance time for aquatic animals to hydrogen sulfide

Test animal	LT <sub>50</sub> (day)	H <sub>2</sub> S (mg/l)	Temp. (°C)	DO (mg/l)	Author
<i>Mulinia lateralis</i>	6	6.9	20.0	<0.5	SHUMWAY <i>et al.</i> <sup>21)</sup>
<i>Cirriiformia sp.</i>	5	6.3	12.0	<0.5	BESTWICK <i>et al.</i> <sup>22)</sup>
<i>Nereis diversicolor</i>	24	6.2	—	1.0	VISMANN <sup>23)</sup>
<i>Neanthes virens</i>	8	5.7	—	1.0	VISMANN <sup>23)</sup>
<i>Halicryptus spinulosus</i>	>10	6.3	9.5	0.5	OESCHGER & VETTER <sup>25)</sup>
<i>Theora fragilis</i>	1.7	5.0	15.1	1.0	玉井 <sup>16)</sup>
<i>Macrobrachium nipponense</i>	<4	1.6	19.9	6.4	姜ら <sup>19)</sup>
<i>Corbicula japonica</i>	>50	7.0	18.0	0.5	Present study
<i>Corbicula japonica</i>	37	10.0	18.0	0.5	Present study

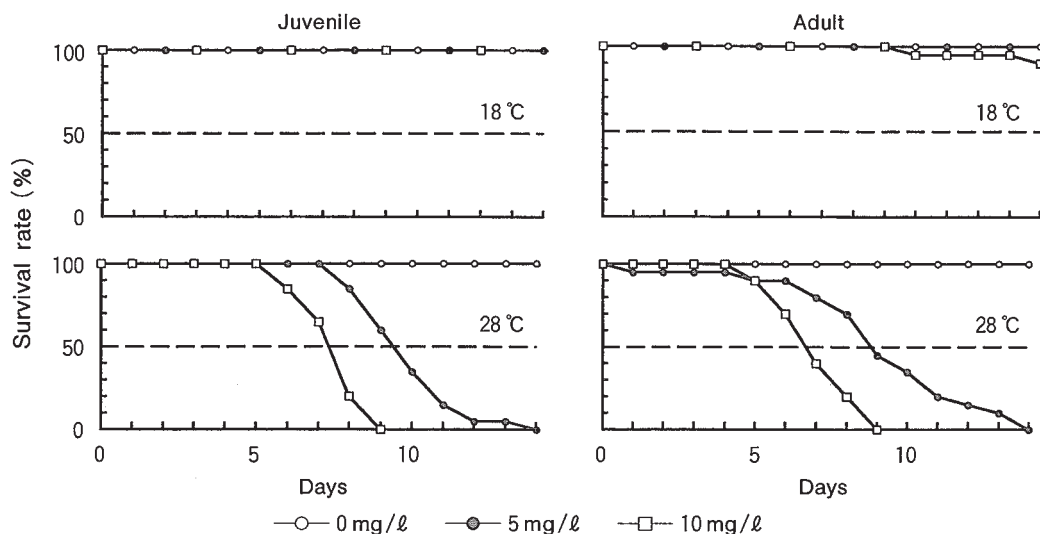


Fig. 1. Number of surviving juvenile and adult *Corbicula japonica* exposed to different concentration of hydrogen sulfide at 18°C and 28°C for 14 days.

実験2 実験期間中のヤマトシジミの生残率の変化を Fig. 2 に、Fig. 2 から求めた LT<sub>50</sub> と LT<sub>100</sub> を Table 3 に示した。水温 18°C、28°C とともに硫化水素濃度が高い区ほど生存期間が短くなった。また、実験1の14日間の実験では水温 18°C、硫化水素濃度 10 mg/l で死亡貝が見られず、LT<sub>50</sub>、LT<sub>100</sub> に達しなかったが、実験2の40日間の実験では同じ 10 mg/l の LT<sub>50</sub> は 36 日目、LT<sub>100</sub> は 40 日目であった。18°C では 3 mg/l 以下であれば、40 日間の生存に影響はなかった。40 日後の 5 mg/l で 1 個体、7 mg/l で 3 個体が死亡した。10 mg/l で、LT<sub>50</sub> と LT<sub>100</sub> はそれぞれ 37 日目と 40 日目、20 mg/l で 24 日目と 29 日目、30 mg/l で 23 日目と 28 日目、そして 50 mg/l で 23 日目と 28 日目であった。28°C では、18°C の時に比べ、すべての設定濃度 (3、5、

7、10、20、30、50 mg/l) で生存期間が短くなり、3 mg/l でさえ、LT<sub>50</sub> は 11 日目、LT<sub>100</sub> は 13 日目であった。10 mg/l 以上になると 10 日目までに全数のヤマトシジミが死亡した。これらの結果から、高温における硫化水素の影響が非常に大きいことがいえる。

実験3 実験期間中のヤマトシジミの生残率の変化を Fig. 3 に、Fig. 3 から求めた LT<sub>50</sub> と LT<sub>100</sub> を Table 4 に示した。0.5 mg/l では、実験期間の 40 日間で対照である無添加区 (0 mg/l) と同様 1 個体の死亡もなかった。1.0 mg/l では 8 日目に最初の死亡が見られ、LT<sub>50</sub> は 21 日目、LT<sub>100</sub> は 27 日目であった。したがって、1 ヶ月以上の長期間では、水温 28°C において、ヤマトシジミの硫化水素に対する耐性濃度は、0.5~1.0 mg/l の間にあると考えられる。

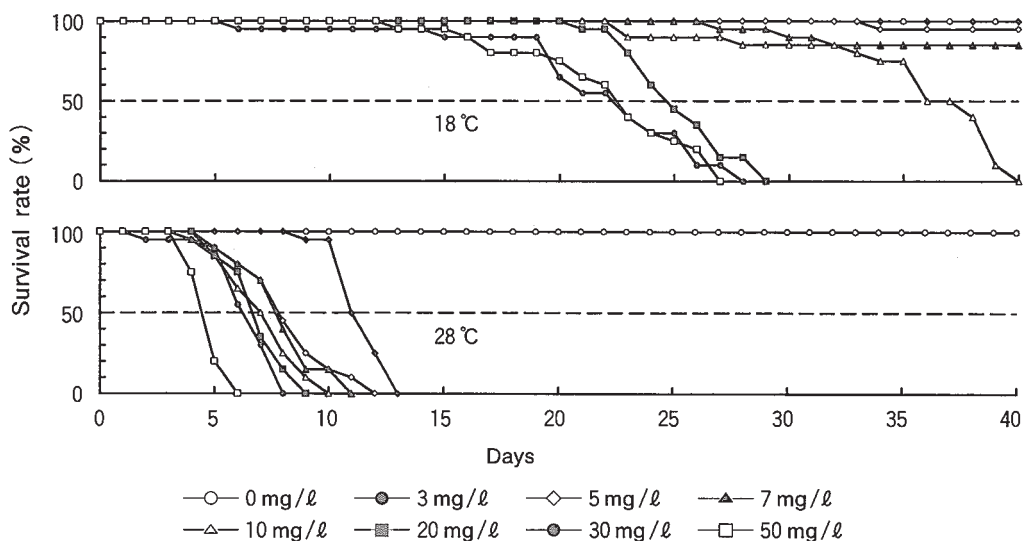


Fig. 2. Number of surviving *C. japonica* exposed to different hydrogen sulfide concentration at 18°C and 28°C for 50 days.

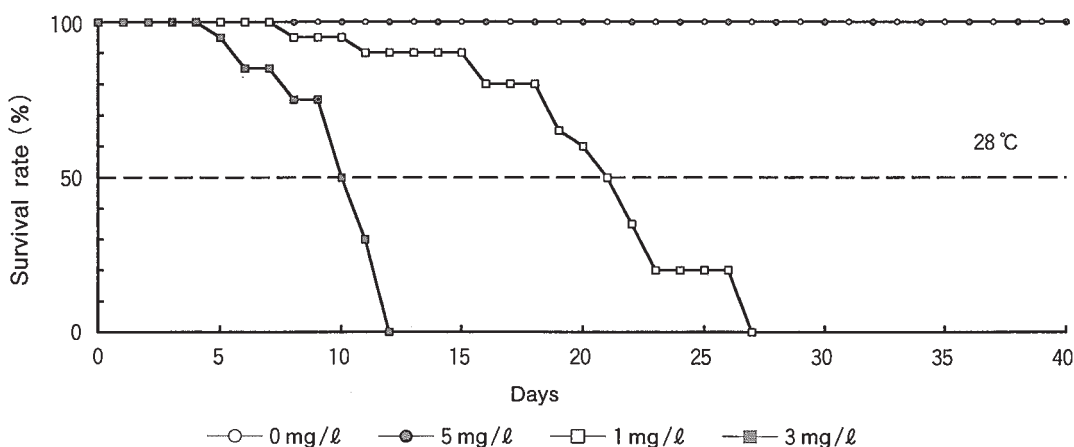


Fig. 3. Number of surviving *C. japonica* exposed to low hydrogen sulfide concentration at 18°C and 28°C for 30 days.

### 考 察

これまでヤマトシジミの環境耐性については塩分<sup>6-15)</sup>、水温<sup>5)</sup>、DO濃度<sup>26)</sup>について報告されている。この3つの環境要因はヤマトシジミの生存のために欠くことのできないもので、これらに対するヤマトシジミの生存範囲や好適範囲が検討されてきた。しかし、硫化水素はヤマトシジミの生息にとって有毒である。生物に対する硫化水素の毒性は、好気呼吸において硫化水素が酸素分子の代わりにチトクロムCオキシダー

ゼのヘム部分に結合し、呼吸機能を抑制することによって発現するとされている<sup>27-30)</sup>。硫化水素の毒性に対する体内の適応として、二枚貝では好気呼吸から嫌気呼吸へ変換すると推察されている<sup>31)</sup>。生体内の生理現象(呼吸)は水温の影響を強く受け、そのため硫化水素の毒性の強度も水温により異なるものと考えられる。したがって、本研究では水温について考慮しながらヤマトシジミの3, 5, 7, 10, 20, 30, 50 mg/lの8段階濃度の硫化水素の毒性に対する耐性を室内飼育実験により確かめた。その結果、硫化水素耐性は水温

によって大きな影響を受けることが明らかになった。

これまで異なる水温における硫化水素耐性実験は、わずかに玉井<sup>16)</sup>がシズクガイについて15.1℃と24.2℃で行い、高温の方が硫化水素耐性が弱いことを報告している。中村ら<sup>15)</sup>はヤマトシジミの塩分耐性が同じように高水温のとき弱くなることを報告している。また、貧酸素耐性は硫化水素耐性と非常に良く似た水温の影響を受けることが分かっている<sup>32)</sup>。Bryant<sup>33)</sup>は重金属(クロム, ニッケル, 亜鉛)の河口域底生無脊椎動物3種に与える毒性も水温が高くなると増加することを報告している。

水生生物に対する硫化水素の毒性は、種によって異なる。ヤマトシジミの硫化水素耐性の特性を知るため本研究結果とすでに報告されている、硫化水素の発生しやすい環境に生息し、比較的耐性の強いと思われる他のマクロベントスの硫化水素耐性とを比較した(Table 4)。これらの実験では、概ねDO濃度0.5 mg/l, 水温10~20℃の条件下で硫化水素濃度200 μM (6.6 mg/l) 前後における各種のLT<sub>50</sub>を調べている。種により耐性に相違はあるもののLT<sub>50</sub>は大体3日~24日の範囲内である。一方、ヤマトシジミは水温18℃, 硫化水素濃度231 μM (7 mg/l) では40日以上であった。また、330 μM (10 mg/l) ではLT<sub>50</sub>が37日であった。硫化水素耐性はDO濃度, 水温などの条件によって異なるので、その耐性を比較するときは、注意が肝要であるが、以上の結果から明らかにヤマトシジミはこれまで報告されたどの種より硫化水素に対する耐性が強い。この耐性の強さが、夏期に貧酸素化に伴って硫化水素が発生する富栄養化した汽水湖の湖底にヤマトシジミが優占的に生存できる理由の一つと思われる。

水中の硫酸イオンはそのほとんどが海水由来のものである。この様に湖底の硫化水素は、有機物が豊富にあること、硫酸イオンがあること、高水温であること、そして貧酸素であることなどの条件がそろったときに発生する。これまで宍道湖の湖底水の硫化水素の詳細な報告は見当たらないが、底泥の硫化物については中村ら<sup>34)</sup>の報告がある。それによると2.92 mg/乾泥 g より多いところでヤマトシジミの生息は確認されていない。1 m<sup>2</sup>あたり1,000個体以上生息しているのは、0~0.09 mg/乾泥 g のところである。また、このときの調査では底質硫化物は底質のシルト・粘土の含有量、強熱減量、および底質直上水のCOD, DO濃度, 塩分との相関もかなり強いことが報告されている<sup>35)</sup>。硫化物の少ないところは、水深3 m以浅の砂礫質で底

質中の有機物が少なく、底質直上水のDO濃度の多い場所である。このような場所にヤマトシジミが多く分布し、良好なヤマトシジミ漁場が形成されている。宍道湖のヤマトシジミ資源の維持のためには、夏期、宍道湖の湖底に0.5 mg/l以上の硫化水素が発生しないように努めることが重要と考えられる。

## 要 約

宍道湖のヤマトシジミを用いて、3つの室内飼育実験よりヤマトシジミの硫化水素の毒性に対する耐性を調べた。

- 1) 成貝と稚貝では硫化水素耐性に大きな違いは見られなかった。
- 2) 硫化水素に対する耐性時間は水温条件が同じであればその濃度が高いほど短くなる。
- 3) 低水温(18℃)では、40日間では硫化水素濃度が7 mg/l以下ではLT<sub>50</sub>, LT<sub>100</sub>は算出されないが、高水温(28℃)では、3 mg/l以上の濃度では、LT<sub>100</sub>は14日以内である。このように、硫化水素耐性の強さは水温の影響を強く受け、高水温時に耐性が弱くなる。
- 4) ヤマトシジミは、水温28℃において、長期間では硫化水素濃度1 mg/l以上では影響があるが、0.5 mg/l以下では影響を受けなかった。
- 5) ヤマトシジミの硫化水素耐性は、これまで報告された他の生物種と比較して強い。

## 謝 辞

本実験のとりまとめに協力いただいた島根大学理学部大学院生原田茂樹氏、島根県水産試験場三刀屋内水面分場研究員各位に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 國井秀伸・高安克己・橋谷 博・中村幹雄・中尾繁 (1993): 汽水湖生態系の特性と日本における研究の現状. 日生態会誌, 43, 195-209.
- 2) S. L. Santos (1980): Response of soft bottom benthos to annual catastrophic disturbance in South Florida estuary. *Mar. Biol. Prog. Ser.*, 3, 347-355.
- 3) B. B. Jørgensen (1980): Seasonal oxygen depletion in the bottom water of Danish fjord and its effect on the benthic community. *Oikos*, 34, 68-76.
- 4) M. Stachowitsch (1984): Mass mortality in the Gulf of Trieste: the course of community destruction. *Mar. Ecol.*, 5, 243-264.

- 5) 中村幹雄・品川 明・中尾 繁 (1996): ヤマトシジミの温度耐性. 水産増殖, 44(2), 267-271.
- 6) 朝比奈英三 (1941): 北海道に於ける蛸の生態学的研究. 日水誌, 10(3), 146-152.
- 7) 田中彌太郎 (1984): ヤマトシジミの塩分耐性について. 養殖研報, 6, 29-32.
- 8) 石田 修・今関修典・石井重之 (1972): 印旛沼におけるヤマトシジミの放流調査. 千葉内面報, 5, 97-105.
- 9) 石田 修・石井俊雄 (1971): ヤマトシジミの塩分に対する抵抗性. 水産増殖, 19(4), 167-182.
- 10) 高橋哲夫・川崎梧朗 (1973): ヤマトシジミの塩分に対する抵抗性について-I. 千葉内面報, 5, 50-53.
- 11) 高橋哲夫・川崎梧朗 (1973): ヤマトシジミの塩分に対する抵抗性について-II. 千葉内面報, 5, 54-56.
- 12) 佐藤直紀・内田 晃 (1978): ヤマトシジミの環境変化(塩分量)に伴う影響について-III. 千葉内面報, 2, 27-30.
- 13) 佐藤直紀・内田 晃 (1978): ヤマトシジミの環境変化(塩分量)に伴う影響について-IV. 千葉内面報, 2, 31-33.
- 14) 田中彌太郎 (1984): ヤマトシジミの稚仔期の形態および生理的特性について. 養殖研報, 6, 23-27.
- 15) 中村幹雄・安木 茂・高橋文子・品川 明・中尾 繁 (1996): ヤマトシジミの塩分耐性. 水産増殖, 44(1), 31-35.
- 16) 玉井恭一 (1994): シズクガイの硫化水素耐性. 日本ベントス会誌, 46, 41-48.
- 17) 柿野 純 (1982): 青潮によるアサリへい死原因について, 貧酸素水および硫化物の影響. 千葉水試研報, 40, 1-5.
- 18) 萩田健二 (1985): 貧酸素水塊と硫化水素のアサリへのい死に与える影響. 水産増殖, 33(2), 67-71.
- 19) 姜 桂賛, 松田 治, 今村憲史 (1995): 児島湖における貧酸素と硫化水素の発生がテナガエビの生存に及ぼす影響. 日水誌, 61(3), 821-826.
- 20) 姜 桂賛, 松田 治, 今村憲史 (1995): 貧酸素水塊に対するテナガエビの逃避行動. 日水誌, 61(6), 827-831.
- 21) Shumway, S. E., T. M. Scott and J. M. Shick (1983): The effects of anoxia and metabolic rate in the coot clam, *Mulinia lateralis* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 71, 135-146.
- 22) Bestwick, B. W., I. J. Robbins and L. M. Warren (1989): Metabolic adaptations of the intertidal polychaete *Cirriiformia tentaculata* to life in an oxygen-sink environment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 125, 193-202.
- 23) Vismann, B. (1990): Sulfide detoxification and tolerance in *Nereis (Hediste) diversicolor* and *Nereis (Neanthes) virens* (Annelida: Polychaeta). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59, 229-238.
- 24) Bagarinao, T. and R. D. Vetter (1989): Sulfide tolerance and detoxification in shallow water marine fishes. *Mar. Biol.*, 103, 291-302.
- 25) Oeschger, R. and R. D. Vetter (1992): Sulfide detoxification and tolerance in *Halicryptus spinulosus* (Priapulida): a multiple strategy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 86, 167-179.
- 26) 中村幹雄・品川 明・戸田顕史 (1997): ヤマトシジミの貧酸素耐性. 水産増殖, 45(1), 9-15.
- 27) Fonselius, S. H. (1983): Determination of hydrogen sulphide. In *Methods of seawater analysis*, 2nd ed., by K. Grasshoff, M. Ehrhardt and K. Keming, Verlag. Chemie, Weinheim, 73-110.
- 28) Evans, C. L. (1967): The toxicity of hydrogen sulphide and other sulphides. *Q. J. Exp. Physiol.*, 52, 231-248.
- 29) Smith, L., H. Kruszyna and R. P. Smith (1977): The effect of methemoglobin on the inhibition of cytochrome c oxidase by cyanide, sulfide or azide. *Biochem. Pharmacol.*, 26, 2247-2250.
- 30) Torrains, E. L. and H. P. Clemens (1982): Physiological and biological effects of acute exposure of fish to hydrogen sulfide. *Comp. Biochem. Physiol.*, 71C, 183-190.
- 31) Llanso, R. L. (1991): Tolerance of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide by the polychaete *Streblospio benedicti* (Webster). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 153, 165-178.
- 32) 中村幹雄・品川 明・中尾 繁 (1996): ヤマトシジミの温度耐性. 水産増殖, 44(3), 267-271.
- 33) Bryant, V., D. S. McLusky, K. Roddie and D. M. Newbery (1984): Effect of temperature and salinity on the toxicity of chromium to three estuarine invertebrates (*Corophium volutator*, *Macoma balthica*, *Nereis diversicolor*). *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 20, 137-149.



- 34) 中村幹雄・山本考二・小川絹代・須藤正志・後藤悦朗・大島展志 (1984): 宍道湖の底生動物と底質1982年夏期相. 鳥根県水試事報 (57年度) 186-204.
- 35) Yamamuro, M., M. Nakamura, and M. Nishimura

(1990): A method for detecting and identifying the lethal environmental factor on a dominant macrobenthos and its application to Lake Shinji, Japan. *Mar. Biol.*, 107, 479-483.