

## 広島湾の貧酸素と硫化水素がガザミ幼生の 初期発達段階に及ぼす影響

姜 柱賛・松田 治・山本 民次

広島大学生物生産学部, 東広島市724

1993年10月25日 受付

**要旨** 貧酸素と硫化水素がガザミ幼生に及ぼす影響を実験的に明らかにし、広島湾底層の観測結果から現場海域において海中の溶存酸素と硫化水素がガザミ幼生に及ぼす複合影響を評価した。ガザミ幼生は48時間の硫化水素の暴露により、ゾエア期では  $\geq 5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ 、メガロバ期では  $\geq 9.5 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ 、稚ガニ期では  $\geq 19.7 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で生存率の有意な減少を示した。また、72時間の貧酸素条件によりゾエア期では  $\leq 3.4 \text{mgO}_2\ell^{-1}$ 、メガロバ期では  $\leq 2.6 \text{mgO}_2\ell^{-1}$ 、稚ガニ期では  $\leq 1.5 \text{mgO}_2\ell^{-1}$  で有意な生存率の減少が認められた。貧酸素と硫化水素の複合的条件下では、ゾエア期には  $\leq 3.4 \text{mgO}_2\ell^{-1} + \geq 5 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  の生存率は  $\leq 3.4 \text{mgO}_2\ell^{-1}$  の場合よりもさらに低下した。また、メガロバ期には  $\leq 3.4 \text{mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  および  $2.6 \text{mgO}_2\ell^{-1} + \geq 5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で、稚ガニ期には  $2.6 \text{mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で、それぞれ貧酸素単独条件の場合よりも有意な生存率の減少を示した。広島湾奥部と江田内湾内の夏季の底層水中には、飽和度50%の低酸素水塊が認められ、 $10 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上の硫化水素濃度が検出された。以上の結果から、広島湾奥部と江田内湾内で、少なくともメガロバ期以前のガザミ幼生は鉛直移動により、底生期の稚ガニでは底生生活により底層水中の貧酸素と硫化水素に暴露されと考えられ、幼生期の自然減少が憂慮される。

キーワード：ガザミ幼生，広島湾，溶存酸素，硫化水素

### 結 言

閉鎖性の強い富栄養化した内湾や浅海の底層では、人間活動に伴って排出されたあるいはその海域で生産された有機物の酸素消費に起因した貧酸素水塊がしばしば夏の成層期に出現する。また、底質中の有機物分解に伴う酸素消費は、海底環境を酸化状態から還元状態へと移行させ、硫酸塩の還元により水生動物に毒性のある硫化水素を発生させる。貧酸素条件下における水生動物の生存率は夏季の高水温時に最も低下し (GOLDHABER and KAPLAN, 1975)、貧酸素化に伴う底泥からの硫化水素の発生は、水生動物の生存にさらに悪影響を与える。

いくつかの研究では、貧酸素と硫化水素の複合的な条件下で、水生動物の生存率が貧酸素あるいは硫化水素の単独条件下よりも減少することが報告されている (THEEDE *et al.*, 1969; SHUMWAY *et al.*, 1983)。しかし、これまでの研究は、底生性無脊椎動物の成体に関するものであり、浮遊期の幼生については、ほとんど研究がなされていない。日本においてガザミ属のカニとしては5亜属18種が知られており (酒井, 1976)、特に、ガザミ *Portunus trituberculatus* は漁獲対象生物として経済的に重要な種である。ガザミ幼生はメガロバ末期を除いてプランクトン性で、昼間は中底層に沈下し、夜間上層に浮上するという日周鉛直移動を繰り返していることが知られている。従って、ガザミの浮遊幼生は昼間の底層水への移動により底層水の貧酸素と硫化水素の影響を、特に夏季の高水温時には強く受けることが予想される。さらに、稚ガニ1令時には中シルトから細砂の底質への潜伏習性があるため、底質あるいは底層水中の生活は貧酸素と硫化水素の影響

を受けやすい。

広島湾、特に湾奥部は瀬戸内海の中でも都市、産業排水などにより富栄養化が進行しており、夏季に底層水の貧酸素化が報告されている(橋本, 1991)。そこで、本研究ではカザミ幼生の発達段階別に貧酸素あるいは貧酸素と硫化水素の複合的影響を実験的に明らかにするとともに、広島湾の底層水と底質の測定を行い、広島湾の湾に生息するあるいは放流されたカザミ幼生が受ける影響について検討した。

## 室内実験

**実験動物** 本実験に用いたカザミの幼生は、1992年6月に広島県栽培漁業協会てふ化させたものを実験室へ運搬し、温度 $20\sim 22.5^{\circ}\text{C}$ 、塩分 $32\pm 0.5\text{‰}$ 、DO濃度 $6.9\sim 7.2\text{ mg}\ell^{-1}$ で馴致したものである。カザミ幼生は、普通4回の脱皮でメガロパに変態するが、飼育条件によっては第4令ゾエアが見られることもある(八塚, 1957, 1962)。ゾエア期はふ化後48時間以内のものを、メガロパ期は実験室内での飼育中に変態したものを使用した。稚ガニ期の実験には広島県栽培漁業協会て成育させた放流直前の稚ガニを実験室で2日間馴致させたのち使用した。

**実験装置および方法** 実験は半循環式試験装置により行った(Fig. 1)。この装置ではまず、カザミ幼生を収容する前に広島湾の濾過海水(塩分 $32\pm 0.5\text{‰}$ )中のDO濃度を窒素ガスにより、硫化水素濃度を硫化ナトリウム( $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ )溶液の濃度と供給量により調節した。実験水は貯水槽から $100\text{ ml}\text{min}^{-1}$ の流量でDO濃度の調節装置へ流入し、次に硫化水素濃度の調節装置に流入する。DO濃度と硫化水素濃度の調節された実験水は、カザミ幼生の行動が観察できる透明なアクリル製の実験水槽へ流入する。この際、ゾエア期幼生は $1000\text{ ml}$ の円筒形水槽に収容し、メガロパ期と稚ガニ期幼生は共食い防止のため、 $1500\text{ ml}$ 四角水槽の中をアクリル板で仕切り、区画内に一匹ずつ収容して実験を行った。実験水槽からの排水は貯流水槽に流入したのち、半分の実験水はオーバーフローを通じて流出し、残り半分の実験水はポンプにより循環する。

実験中の水質分析は、実験水槽の流入水と流出水について24時間毎に行い、平均値として取り扱った。測定項目は水温(水銀棒状温度計)、pH(pH meter D-11, 藤原製作所製)、塩分(YSI Model 133)、DO濃度(低濃度溶存酸素計 DO-30A, TOA Electronics Ltd.)および硫化水素濃度(メチレンブルー法; FONSELIUS, 1983)である。

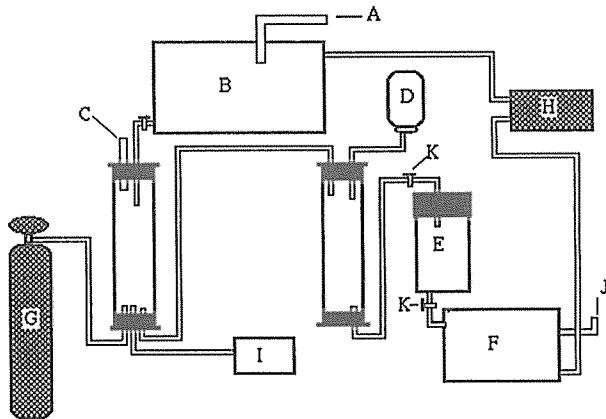


Fig. 1. Schematic drawing of experimental apparatus. A, test water inflow; B, reservoir 1; C, air vent; D, hydrogen sulfide solution; E, test chamber; F, reservoir 2; G,  $\text{N}_2$  gas cylinder; H, centrifugal pump; I, air pump; J, water outflow tube; K, water sampling valve.

**硫化水素の毒性実験** 硫化水素の毒性実験は正常な海水(DO濃度, $7.3\text{ mg}\ell^{-1}$ )を用いて行った。硫化水素濃度は $5.2\pm 0.5$ ,  $9.5\pm 1.1$ ,  $19.7\pm 0.7$ ,  $31.2\pm 2.5\text{ }\mu\text{g}\ell^{-1}$ の4水準を設定した。水中の硫化水素は $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ の3形態として存在し、その比はpHに依存する(GOLDHABER and KAPLAN, 1975; POWELL *et al.*, 1979)。ここでは $\text{HS}^-$ と $\text{S}^{2-}$ を総称して硫化水素と定義してこれを測定し、測定結果はSの重量濃度として $\mu\text{g}\ell^{-1}$ で表現した。ただし、本文中で硫化水素であることを明記するために $\mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ の表示を使用している場合にも、硫化水素の濃度はSの重量濃度として表現されている。DO濃度はエアポンプにより $6.7\sim 7.1\text{ mg}\ell^{-1}$ に

調節した。毒性実験には硫化水素濃度水準毎にゾエア期, メガロパ期, 稚ガニ期の幼生をそれぞれ30, 20, 20 個体ずつ使用した。光周期と水温は自然の状態で実施し, 給餌はしなかった。48時間後に死亡した個体を計数し, 結果は2回の反復実験の平均生存率とした。

**貧酸素と硫化水素の影響実験** ガザミ幼生に対する貧酸素あるいは貧酸素と硫化水素の複合的な影響については, 実験区別にゾエア期幼生30個体, メガロパ期幼生20個体, 稚ガニ期幼生20個体を用い, 72時間(3日)行った。貧酸素による影響については, DO 濃度を約 3.5, 2.5, 1.3 mg $\ell^{-1}$  の3水準とし, 貧酸素と硫化水素の複合的影響については, DO 濃度2水準(約 3.5, 2.5 mg $\ell^{-1}$ ) と硫化水素濃度2水準(約 5  $\mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ , 10  $\mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ ) の組合せにより, 計4実験区を設定した。対照区は窒素ガスと硫化ナトリウムを供給しない同じ海水を使用し, エアーポンプにより DO 濃度を飽和状態に維持した。餌料はゾエア期では *Nannochloropsis* sp. (通称海産クロレラ), メガロパ期と稚ガニ期ではアルテミア幼生と冷凍オキアミを給餌した。結果は2回の反復実験結果の平均値を生存率曲線で示し, 対照区と実験区あるいは貧酸素単独による影響と貧酸素と硫化水素の複合的影響との生存率の差を分散分析 (ANOVA) により検定した。

### 現場調査方法

**調査海域および時期** 調査は1992年5月19~13日(春季), 7月4~8日(夏季), 10月13~17日(秋季)及び1993年1月19~23日(冬季)に広島大学練習船豊潮丸により行った。観測定点は湾奥部から沖合海域にかけての5点, 広島湾内の小湾である江田内湾内に4点の計9点である (Fig. 2)。

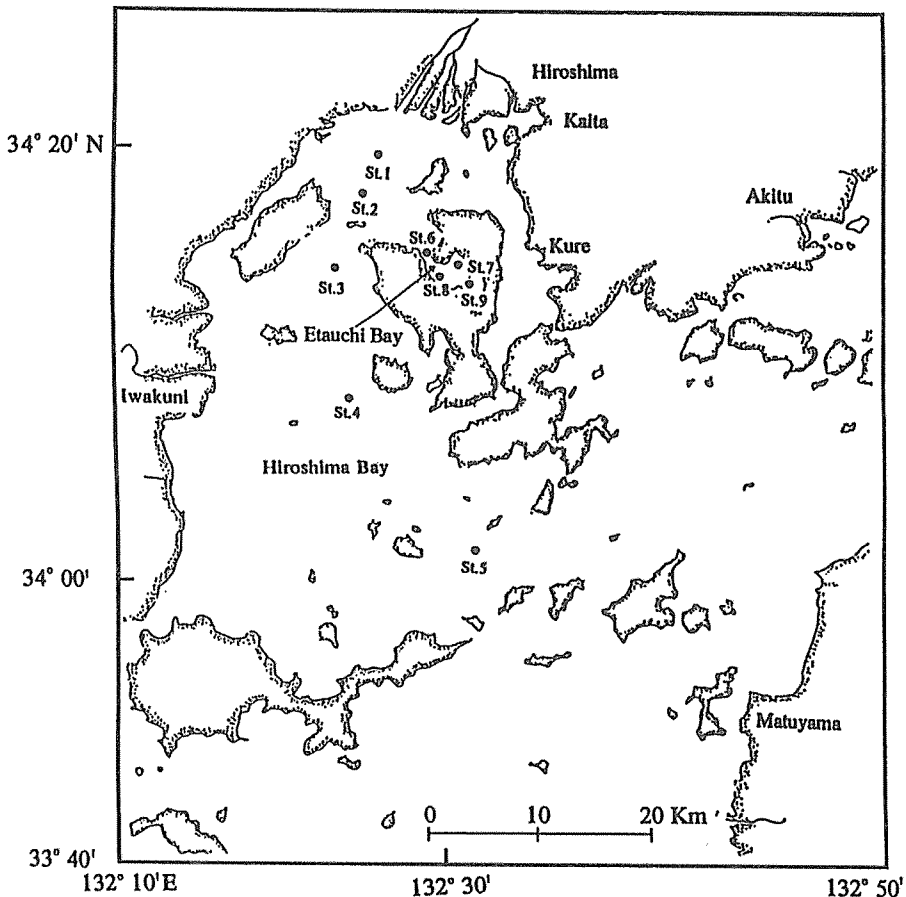


Fig. 2. Location of sampling stations in Hiroshima Bay.

**水質分析** 水温と塩分の測定は CTD (SBE-9/11, Sea-Bird Electronics inc.) により行った。クロロフィル a (Chl.a) の定量は LORENZEN and JEFFREY (1980) の方法により行った。DO 濃度と硫化水素濃度の測定には、バンドン採水器で採水した海底上約 0.5 m の試水を用いた。DO はウィンクラー法により定量し、現場の水温、塩分により決まる溶存酸素飽和度 (DO%) を WEISS (1970) の式により求め、硫化水素濃度の分析はメチレンブルー法により実施した。

**底質分析** 採泥は内径 51 mm の柱状採泥器 (K-K 式, 橋本科学製) を用いて行った。採泥後、底泥表面から 0~2 cm までを切り取り、泥温 (水銀棒状温度計), pH (pH-33 型, 藤原製作所製), 酸化還元電位 (ORP, RM-1 型, 東亜電波社製), 硫化物 (検知管方式) を直ちに船上で測定した。化学的酸素要求量 (COD) と強熱減量 (IL) の測定は、試泥を冷蔵して持ち帰ったのを実験室で行い、測定は水質汚濁調査指針 (1980) に基づいて行った。

### 実験結果

**硫化水素の毒性** ガザミの発達段階別に硫化水素の毒性実験結果を Fig. 3 に示した。48時間後の生存率が対照区ではゾエア期82.5%, メガロパ期95%, 稚ガニ期100%であったのに対し、実験区のゾエア期の生存率は  $5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で55%,  $9.5 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で27.5%と低く、 $19.7 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上の濃度では全個体が死亡した。メガロパ期と稚ガニ期の生存率は、いずれも  $19.7 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上で50%以下を示したが、稚ガニ期よりメガロパ期が低い生存率を示した。以上のことをまとめると、硫化水素の毒性はメガロパ期と稚ガニ期に比べてゾエア期の幼生に対して非常に強く、ゾエア期、メガロパ期、稚ガニ期のそれぞれの発達段階に対して  $19.7, 9.5, 5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  でそれらの生存率に対して有意な影響を与えることが明らかになった。

**貧酸素と硫化水素の影響** 実験中の DO, 硫化水素濃度および水質の測定結果を Table 1 に示した。貧酸素単独の影響に関する実験あるいは貧酸素と硫化水素の複合的な影響に関する実験期間中の DO 濃度は設定目標より  $0.14\sim 0.24 \text{ mg}\ell^{-1}$  高かったが、その変動幅は小さく、安定した貧酸

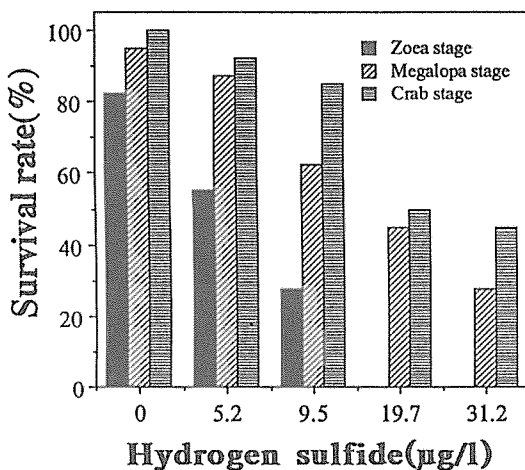


Fig. 3. Survival rate (%) of *P. trituberculatus* exposed to different concentrations of hydrogen sulfide after 48 hours.

Table 1. Water quality in each experimental chamber during hypoxia and hypoxia + H<sub>2</sub>S experiments. Temperature, 20.5–22.3°C; Salinity, 32±0.5‰. Data are presented as mean±SD (n=6).

|                                       | Test chambers |            |           |            |           |
|---------------------------------------|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
|                                       | 1             | 2          | 3         | 4          | 5         |
| <b>Hypoxia</b>                        |               |            |           |            |           |
| DO (mgℓ <sup>-1</sup> )               | 1.51±0.09     | 2.64±0.22  | 3.44±0.17 | 7.32±0.26  |           |
| pH                                    | 8.31±0.25     | 8.42±0.31  | 8.52±0.15 | 8.05±0.09  |           |
| <b>Hypoxia + H<sub>2</sub>S</b>       |               |            |           |            |           |
| DO (mgℓ <sup>-1</sup> )               | 2.60±0.12     | 2.64±0.15  | 3.43±0.12 | 3.14±0.18  | 7.30±0.13 |
| H <sub>2</sub> S (µgℓ <sup>-1</sup> ) | 5.21±0.11     | 10.07±0.18 | 5.23±0.24 | 10.12±0.13 | 0.00      |
| pH                                    | 8.35±0.24     | 8.42±0.31  | 8.21±0.27 | 8.38±0.21  | 8.09±0.06 |

素濃度条件が保持された。硫化水素濃度も実験中の変動幅は小さく ( $0.07\sim 0.23\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ )、設定目標濃度がほぼ維持された。ゾエア期幼生は  $1.5\ \text{mgO}_2\ell^{-1}$  で2日以内に全個体の死亡が起こり (Fig. 4a),  $3.4\ \text{mgO}_2\ell^{-1}$  以下で有意な生存率の減少が認められた (ANOVA,  $P<0.05$ )。メガロパ期と稚ガニ期は、ゾエア期幼生より貧酸素に対する耐性が強く、メガロパ期は  $2.6\ \text{mgO}_2\ell^{-1}$  以下 (Fig. 4b), 稚ガニ期は  $1.5\ \text{mgO}_2\ell^{-1}$  で有意な生存率の減少を示した (ANOVA,  $P<0.05$ , Fig. 4c)。

ゾエア期幼生の生存率は  $3.4\ \text{mgO}_2\ell^{-1}$  以下で  $5.2\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上の硫化水素の添加によりさらに低下した (ANOVA,  $P<0.05$ , Fig. 5a)。また,  $2.6\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+10.1\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  の複合的な条件下では2日以内にその全個体が死亡した。メガロパ期幼生は  $3.4\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+10.1\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ ,  $2.6\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+\geq 5.2\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で生存率が減少し (Fig. 5b), 稚ガニ期幼生は  $2.6\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+10.1\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で対照区に対し有意な生存率の減少を示したが (ANOVA,  $P<0.05$ )、そのほかの実験区では対照区との間に生存率の有意な差異が観測されなかった (Fig. 5c)。また、目視的観察からはゾエア期幼生では  $3.4\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+10.1\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で遊泳活動の低下、メガロパ期と稚ガニ幼生では  $2.6\ \text{mgO}_2\ell^{-1}+10.1\ \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  で実験容器の底部に停止するなどの活動水準の低下が認められた。以上のように貧酸素単独の条件に比べ、貧酸素と硫化水素の複合的条件下ではガザミのすべてのステージにおいて生存率を減少させる傾向が認められた。

### 現場調査結果

**水質変動** 広島湾の9定点の底層水における水質 (鉛直安定度, 透明度, Chl.a, DO, H<sub>2</sub>S) の観測結果を Fig. 6 に示した。鉛直安定度は溶存酸素の底層への供給を左右する要因として重要であるので、水温と塩分から  $\sigma_t$  を算出し、単位水深当りの密度変化 ( $\Delta\sigma_t/D$ ) をその指標とした。この鉛直安定度は湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内 (Stn.7, 8) で高く、沖合いへ向けて低くなる傾向を示し、春季にやや高く、夏季に最高値となり、秋季と冬季には低くなる季節変動傾向を示した。透明度は湾奥部の定点1, 2で季節変動が大きく、春季に減少し、夏季にはほぼ4 m 以下であったが、秋季に増加し、冬季は6 m 以上であった。また、冬季は大部分の水域で5 m 以上となっていた。Chl.a 濃度を測定した結果、春季には定点1, 2を除いて各定点で  $4\ \mu\text{g}\ell^{-1}$  以下であっ

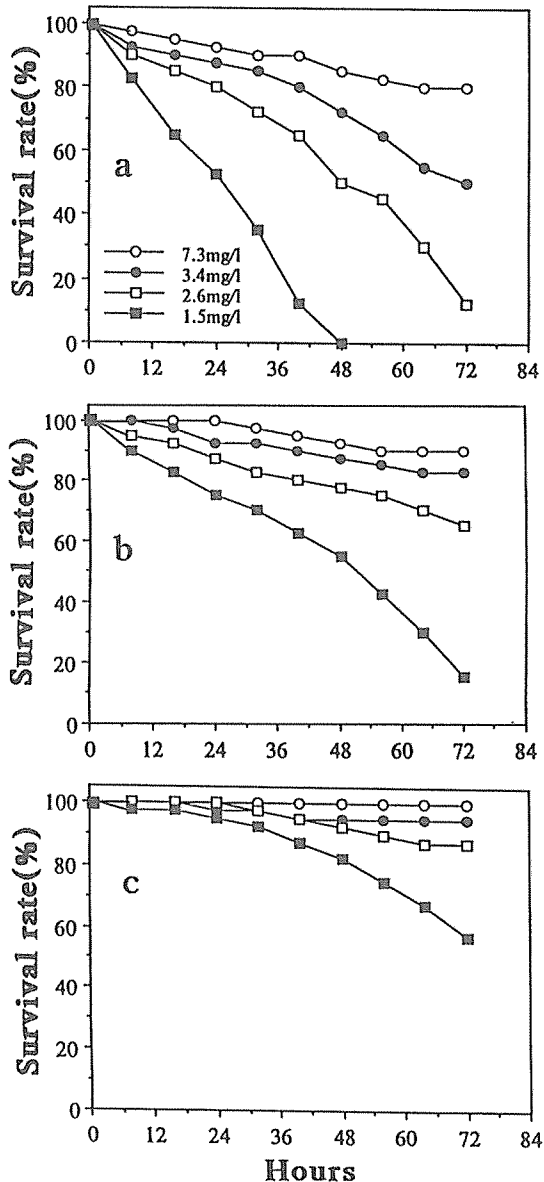


Fig. 4. Survival rate (%) of *P. trituberculatus* exposed to different concentrations of dissolved oxygen during 72 hours. (a) zoea stage, (b) megalopa stage, (c) crab stage.

たが、夏季に入ると湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内 (Stn.6, 8, 9) で  $5 \mu\text{g}\ell^{-1}$  以上となり、この状態は秋季まで続き、冬季には全水域で  $3 \mu\text{g}\ell^{-1}$  以下となった。DO 飽和度は春季から夏季にかけて低くなり、夏季には定点 2, 6, 9 で飽和度 50% (約  $3.2 \text{ mg}\ell^{-1}$ ) 程度の貧酸素水塊が観測された。しかし、秋季になると DO 飽和度は回復し、冬季には全地域で飽和状態となっていた。硫化水素濃度は春季には全水域で  $5 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以下であったが、夏季の定点 1, 2, 9 の底層水中で  $10 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上の高い濃度が測定された。秋季には  $4 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以下まで低下し、冬季には大部分の水域で  $1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以下であった。

**底質の変動** 底質の pH, IL, ORP, COD 及び硫化物の測定結果を Fig. 7 に示した。IL は湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内の全水域でやや高く、沖合部では減少した。また、夏季の江田内湾で高かった。ORP の水平、季節変化は複雑であるが、夏季の湾奥部と江田内湾で  $-50 \text{ mV}$  以下であったが、冬季にはプラスに転じる定点も多かった。COD は夏季の湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内 (Stn.8, 9) で高い傾向が見られた。底質中の硫化物量は定点 3, 9 で高く ( $0.2 \text{ mgSg dry}^{-1}$  を越える場合もある)、沖合の定点 5 で低く、季節的には大きな変化は見られなかった。以上の結果から、広島湾の底質の性状には、湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内 (Stn.9) で夏季から秋季にかけて還元状態の進行が見られ、底層水の貧酸素化が進行する海域と植物プランクトンが多い海域が一致し、これらの海域では概して底質中の全硫化物量も多いといえる。

## 考 察

貧酸素に対する水生動物の抵抗性は種および発達段階によって異なると考えられる。たとえば、クルマエビは貧酸素条件 ( $2.0 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ) 下で生存率が減少するが、brown shrimp と white shrimp は  $2.0 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$  以上では影響を受けない (Broon, 1971)。また、STICKLE *et al.*, (1989) は、貧酸素下で貝類と甲殻類の生存率が減少することを指摘し、THEEDE *et al.*, (1969) は、水生動物の貧酸素に対する耐性は、一般にその生息場の酸素条件と関連しており、多毛類、貝類に比べ甲殻類の耐性が低いことを示唆した。しかし、これらの結果はいずれも底生期の成体に関するものであり、幼生期についてはほとんど研究がなされていない。本実験で DO 濃度

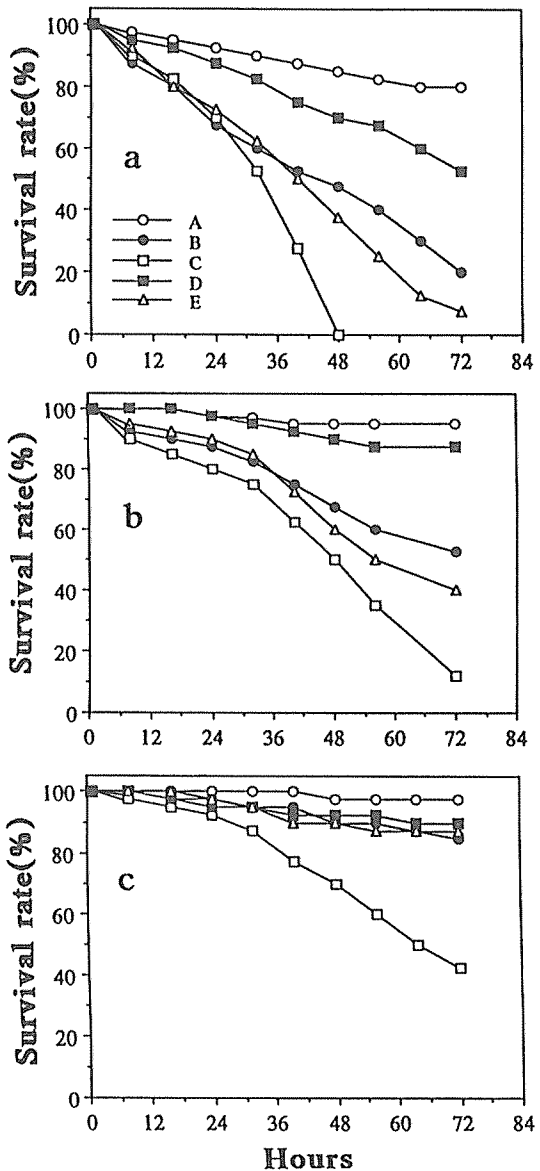


Fig. 5. Survival rate (%) of *P. trituberculatus* exposed to different concentrations of DO ( $\text{mg}\ell^{-1}$ ) and  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\mu\text{g}\ell^{-1}$ ) during 72 hours. (a) zoea stage, (b) megalopa stage, (c) crab stage. A, control; B,  $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ ; C,  $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ ; D,  $3.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ ; E,  $3.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$ .

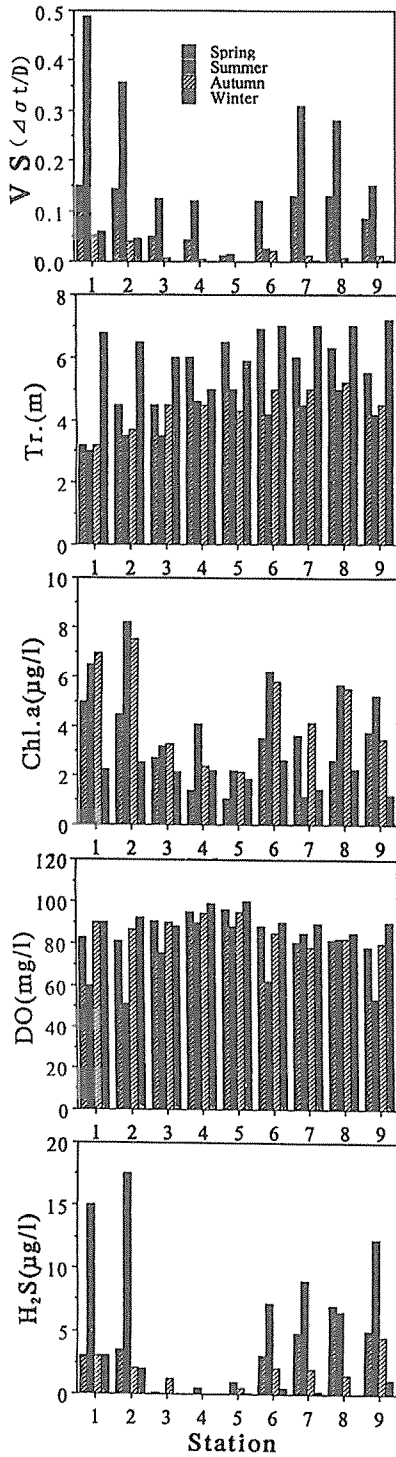


Fig. 6. Water quality in bottom water (0.5 m above the bottom) of Hiroshima Bay. VS, vertical stability; Tr, transparency; Chl.a, chlorophyll a; DO, dissolved oxygen.

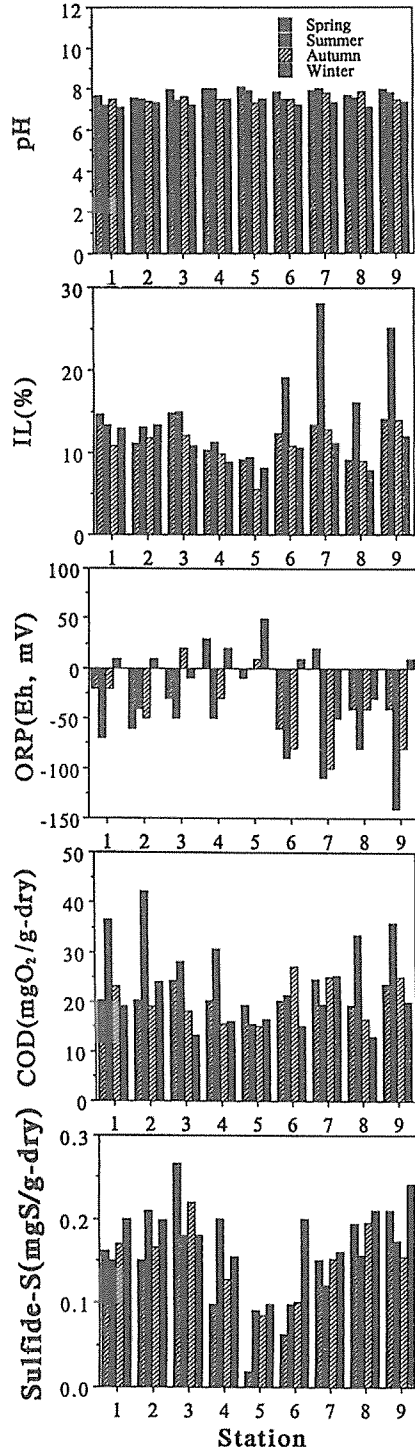


Fig. 7. Sediment quality (0-2cm) in Hiroshima Bay. IL, ignition loss; ORP, oxidation reduction potential; COD, chemical oxygen demand.

の低下によりガザミの各発達段階で生存率は低下した(ゾエア期,  $3.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ; メガロパ期,  $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ; 稚ガニ期,  $1.5 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ )。また, ゾエア期幼生の遊泳が不活発となり ( $3.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ), メガロパ期と稚ガニ期幼生の活動水準も低下すること ( $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ) が観察された。これらの結果は, ゾエア期幼生の貧酸素耐性はかなり低く, ガザミ幼生に対する貧酸素の影響は, ガザミ幼生の発達段階によって異なっていることを示している。

水域の硫化水素は, ほとんどの場合が無酸素あるいは貧酸素化に伴って発生するため, 水生動物の貧酸素と硫化水素の複合的な影響に関しても, いくつかの研究がなされており (THEEDE *et al.*, 1969, THEEDE, 1973; SHUMWAY *et al.*, 1983), これらの結果は貧酸素下での硫化水素の発生は, 水生動物の生存率をさらに低下させることを指摘している。ガザミ幼生は飽和度100%の DO レベルではゾエア期  $5.2 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上, メガロパ期  $9.5 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上, 稚ガニ期  $19.7 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上で生存率を低下させ,  $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  の複合条件下では貧酸素単独条件下よりも生存率を一層低下させた。さらに, 貧酸素単独では影響がなかった DO 濃度 ( $2.6 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ) でも  $10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  の硫化水素の添加により稚ガニの生存率が低下することが明らかになった。

本調査により広島湾の溶存酸素は春, 秋, 冬季では飽和に近かったが, 夏季の湾奥部の定点1, 2と江田内湾内の定点9では, 飽和度50% ( $3.2 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$ ) 程度の弱い貧酸素状態が確認された。また, 硫化水素濃度は, 湾奥部 (Stn.1, 2) と江田内湾内 (Stn.9, 10) で  $10 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  以上であった (Fig. 6)。さらに, DO と硫化水素の複合的な影響でメガロパ幼生の生存率を減少させた  $3.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1} + 10.1 \mu\text{gH}_2\text{S}\ell^{-1}$  の組合せ濃度も広島湾奥部や江田内湾奥部で観測された (Fig. 6)。以前の調査によると, 呉周辺海域では夏季に DO 濃度  $1.4 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$  程度, 湾奥部では  $2.5 \text{ mgO}_2\ell^{-1}$  以下の貧酸素水塊が報告されている (橋本, 1991)。これらのことから広島湾奥部や江田内湾では DO 濃度だけでもゾエア期幼生の生存率を減少させるのに充分低いものであることが理解され, 実験から明かなように, 天然水中に生息するガザミ, 特にメガロパ期以前の幼生の生存率の低下は著しいものと想像される。ゾエア期, メガロパ期の幼生は一般に日周的な鉛直移動を繰り返していることが知られており, 昼間は中, 底層に沈降し, 夜間上層に浮上するため, 底層へ沈降した際, 底層水の悪環境に直面すると考えられる。また, ガザミの初期稚ガニは, 水中の固形物に付着するほかに海底の堆積物中に潜入する。潜伏習性は第1令稚ガニから発達しはじめ, 第3令稚ガニでほぼ完成する (山崎, 1974)。広島湾の底質では時に  $0.2 \text{ mgS gdry}^{-1}$  以上の硫化物を含む地点もあり, このため底層生活をする稚ガニは当然最も強い悪影響を受けることが予想される。さらに, 底質中の硫化物が潮汐による底層水の混合等により水中へ拡散される場合, 広島湾奥部, 江田内湾内, 呉周辺など貧酸素化しやすい海域に生息しているガザミ幼生に対する影響は甚大であると思われる, 幼生の量的減少がガザミ資源量の減少につながっているものと思われる。

## 引用文献

- BROON, J.G., 1971, Shrimp culture. *proc. 1st Ann. Meet. World Maricult. Soc.*, 1: 63-68.
- FONSELIUS, S. H., 1983, Determination of hydrogen sulfide. In "Methods of seawater analysis" ed., by K. Grasshoff, M. Ehrhardt and K. Kremling, 2nd ed., Verlag Chemie, Weinheim, pp. 73-80.
- GOLDHABER, M. B. and KAPLAN, I. R., 1975, Apparent dissociation constants of hydrogen sulphide or chloride solutions. *Mar. Chem.*, 3: 83-104.
- 橋本俊将, 1991, 漁況海況予報等定線観測調査資料. 広島水産試験場報告, pp.87-88.
- LORENZEN, C. J. and JEFFREY, S. W., 1980, Determination of chlorophyll in seawater. SCOR-UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci., pp.4-20.
- 日本水産資源保護協会, 1980, 水質汚濁調査指針. 恒星社厚生閣, 東京, pp.242-262.
- POWELL, E. N., CRENSHAW, M. A. and RIEGER, R. M., 1979, Adaptations to sulfide in the meiofauna of the sulfide system. I.  $^{35}\text{S}$ -Sulfide accumulation and the presence of a sulfide detoxification system. *J.*



*Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 37 : 57-76.

酒井 恒, 1976, 日本産蟹類. 講談社, 東京, 461 pp.

SHUMWAY, S. E., WHIMSK, T. M. and SHICK, J. M., 1983, The effects of anoxia and hydrogen sulphide on survival, activity and metabolic rate in the coot clam *Mulinia lateralis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 71 : 135-146.

STICKLE, W. B., KEPPER, M. A., Liu, L. L., GNAIGERAND, E., and WANG, S. Y., 1989, Metabolic adaptations of several species of crustaceans and molluscs to hypoxia: Tolerance and microcalorimetric studies. *Biol. Bull.*, 177 : 303-312.

THEEDE, H., 1973, Comparative studies on the influence of oxygen deficiency and hydrogen sulphide on marine bottom invertebrates. *Neth. J. Sea Res.*, 7 : 244-252.

THEEDE, H., PONAT, A., HIRROKI, K., and SCHLIEPER, C., 1969, Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulfide. *Mar. Biol.*, 2 : 325-337.

WEISS, R. F., 1970, The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea. Res.*, 17 : 721-735.

山崎哲男, 1974, ガザミの *Megalopa* および稚ガニ初期の趨光性, 付着性および潜砂能力について. 栽培技術, 2 : 19-25.

八塚 剛, 1957, カニ *Brachyura* のゾエア幼生について. 水産学集成, 東大出版会, pp. 571-590.

八塚 剛, 1962, カニ類とくにタイワンカザミ *Neptunus pelagicus* LINNAEUS の幼生の人工飼育に関する研究. 高知大学佐臨海実験所研報, 1 : 1-88.

**Effects of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide on early developmental stages of blue crab, *Portunus trituberculatus* in Hiroshima Bay, Japan**

Ju-Chan KANG, Osamu MATSUDA, Tamiji YAMAMOTO

*Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University,  
Higashi-Hiroshima 724, Japan*

Acute toxicity of hydrogen sulfide to larval stage of blue crab, *Portunus trituberculatus* was measured using a continuous flow system. Survival rates of crab larvae to oxygen deficient water ( $\text{DO} \leq 3.4 \text{ mg l}^{-1}$ ) and oxygen deficient water ( $3.4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  and  $2.6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ ) with two different levels of hydrogen sulfide ( $10 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$  and  $5 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$ ) were also determined. Survival rate of crab larvae exposed to hydrogen sulfide for 48 hours decreased at  $\text{H}_2\text{S} \geq 5.2 \mu\text{g l}^{-1}$ ,  $\text{H}_2\text{S} \geq 9.5 \mu\text{g l}^{-1}$ ,  $\text{H}_2\text{S} \geq 19.7 \mu\text{g l}^{-1}$  levels to zoea, megalopa and crab stage, respectively. Larval survival of zoea, megalopa and crab stage under low oxygen was significantly affected by  $\text{DO} \leq 3.4 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $\text{DO} \leq 2.6 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $1.5 \text{ mg l}^{-1}$  levels, respectively. The combined effects of low dissolved oxygen and hydrogen sulfide to the blue crab were stronger than each single effect. Namely, survival rate lowered under the combined exposure to  $\leq 3.4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} + \geq 5 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$ ,  $\leq 3.4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} + 10.1 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$ ,  $\leq 2.6 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1} + 10.1 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$  levels to zoea, megalopa and crab stage larvae, respectively. The results of the field survey in Hiroshima Bay, Japan revealed that a part of the Bay was hypoxia ( $< 3.2 \text{ mg l}^{-1}$ ) in summer with high levels of hydrogen sulfide ( $\geq 10 \mu\text{g H}_2\text{S l}^{-1}$ ) near the bottom. From these results, it could be concluded that the low levels of dissolved oxygen and high hydrogen sulfide in the bottom water would affect the natural mortality of crab larvae in Hiroshima Bay.

**Key words:** crab larvae, Hiroshima Bay, hydrogen sulfide, low dissolved oxygen