

大阪湾谷川港における溶存酸素濃度の変動と サルエビのへい死について

矢持 進*・佐野 雅基*

Changes of Dissolved Oxygen Concentration and its Effect on the Mortality of Southern Rough Shrimp at Tanigawa Fishing Port, Osaka Bay

Susumu YAMOCHI* and Masaki SANOK*

Abstract

Temperature, salinity and dissolved oxygen concentrations were measured from 1 May to 17 August, 1989 at the bottom layer of Tanigawa Fishing Port, Osaka Bay. Sediment and seawater samples were then collected from the Port on 28 August and on 28 September 1989, respectively and their oxygen consumption rates were determined. The respiration rates of Southern Rough Shrimp, in addition to the mortality rates under anoxic conditions, were examined using the shrimp preserved at Tanigawa Fishing Port.

Dissolved oxygen concentration in the bottom seawater reached its maximum at around sunset (16:00-19:00) and decreased thereafter, showing its minimum from midnight to late morning when a dense bloom of phytoplankton occurred. Oxygen-deficient seawater (less than 40%) appeared three times in June after a rainfall, accompanied by low solar radiation and constant temperature and salinity of the bottom seawater.

The average oxygen consumption rates of seawater were $6.5 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ at 20°C and $1.6 \times 10^{-2} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ at 25°C, and its rates of bottom sediment were $3.4 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ at 20°C and $3.6 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ at 25°C, respectively. The average respiration rates of Southern Rough Shrimp were $8.7 \times 10^{-2} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ at 20°C and $1.2 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ at 25°C. Shrimp mortality rate increased with a decrease in oxygen concentration of seawater and reached 50% at an oxygen concentration of 16-19% ($0.9-1.0 \text{ mlO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$).

Based on the results of the field surveys and indoor experiments, the characteristics of the change of *in situ* oxygen concentration and the effect of dissolved oxygen on the mortality of Southern Rough Shrimp were discussed.

1. はじめに

小型えび類は大阪府の小型底曳網漁業の主要漁獲物の一つで、1986年の農林統計によれば漁獲量が284 t (小型底曳網漁業による漁獲物の14.5%) 生産金額では4億6,400万円 (同23.3%) に達している。そのなかでもサルエビ (*Trachypenaeus curvirostris*) は小型えび類の漁獲量の80%以上を占めており、水産上重要な底生生物資源である (日下部ほか, 1989)。ところが、このサ

ルエビが1988年秋季に大阪湾南部の谷川港 (水深3m前後、面積約20,000m²) で蓄養中にほぼ全滅し、この時港内奥部から採取した海水の溶存酸素濃度を調べたところ、水深0.5m層と海底面から0.5m上層の飽和度がそれぞれ31-33%、26-31%と貧酸素化していた。そこで谷川港における貧酸素水の出現状況とこれが蓄養中のサルエビの生存に及ぼす影響について検討することを目的として、下層水の酸素濃度が低下する1989年夏季に谷川港の酸素濃度・水温・塩分を連続測定するとともに海底泥・海水ならびにサルエビの酸素消費速度を調べ、さらにサルエビについては窒息致死酸素濃度を明らかにするための室内実験を行った。

1991年11月11日受理

* 大阪府立水産試験場 Osaka Prefectural Fisheries Experimental Station, Tanagawa, Misaki-cho, Sennan-gun, Osaka 599-03, Japan.

2. 方 法

2.1. 現場観測

谷川港奥部の大阪府立水産試験場調査船「はやて」の停泊用栈橋（水深約3m）において海底面より0.5m上層の水溫・塩分・酸素濃度を連続測定した（Fig. 1）。使用した測器は、水溫と塩分が環境計測システム社製デジタル記憶方式塩分水溫計（DSTR）、酸素濃度は東亜電波社製溶存酸素計（DO-25A型）である。また、日射量と雨量データについては水産試験場の定置観測結果を用いた。なお、溶存酸素計やDSTRのセンサー部を長期間現場海水中に浸漬すると、生物が付着し計測値の誤差が大きくなるので、1-2週間毎にセンサー部を掃除するとともにセンサー設置水深の水溫・塩分・酸素濃度をそれぞれ棒状水溫計・サリノメータ・ウインクラ法で測定し、計測値の補正を行ったが、ここではウインクラ法による測定値と計測値との差が10%以内である6月1日から8月17日までのデータを解析に用いた。

2.2. 海底泥と海水の酸素消費速度の測定

1989年8月28日に現場観測点で潜水し、底泥を円筒状の透明アクリルパイプ（長さ30cm・直径7.4cm）6組

に採取した。底泥（厚さ8.7-12.7cm）の入ったアクリルパイプを直ちに実験室に持ち帰り、パイプ内の海水をサイフォンで除去したのち、ガラス繊維濾紙（Whatman GF/C、孔径約1 μ m）で濾過し、酸素飽和状態にした海水650-800mlを底泥上に静かに注いだ。実験は暗条件下20 $^{\circ}$ Cと25 $^{\circ}$ Cで実施し、2または3時間毎に24時間溶存酸素計を用いて酸素濃度を測定することによって酸素消費速度を求めた。なお、酸素濃度は各測定ごとに底泥を巻き上げない程度に注意深く攪はんした海水についての値である。また、両温度区とも酸素飽和濾過海水を空の透明アクリル瓶に注入し、この海水における酸素濃度の変化をコントロール値として用いた。

一方、海水の酸素消費速度の測定には、1989年9月28日に現場観測点においてサルエビの蓄養カゴ*設置水深に近い2m層から5lバンドン採水器で採取した海水を用いた。実験室において300ml容量のふらんびん6本に試水を分取し20 $^{\circ}$ Cと25 $^{\circ}$ Cの暗条件下で1または2時間ごとに11時間、溶存酸素濃度の経時変化を追跡することによって酸素消費速度を求めた。したがって、ここで述べる海水の酸素消費速度にはプランクトンの呼吸による酸

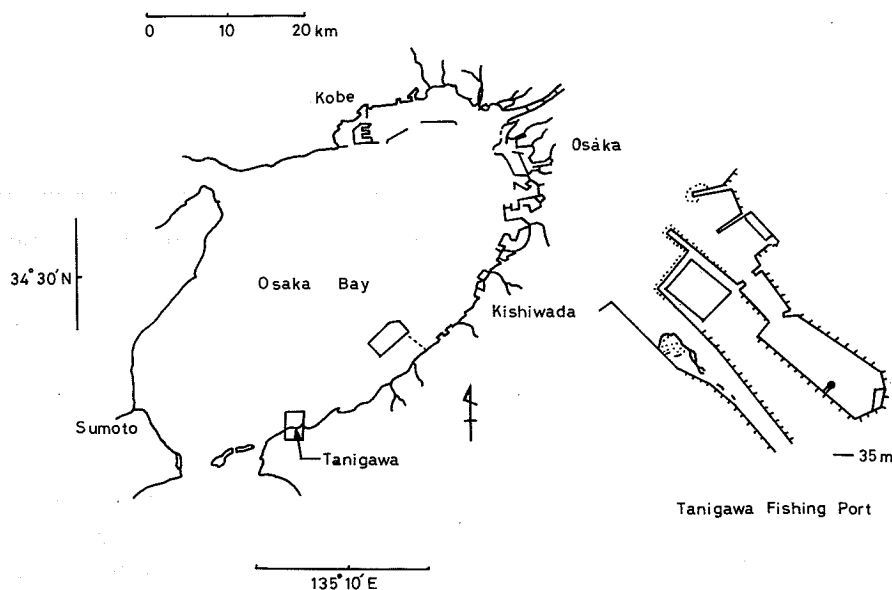


Fig. 1. Location of Tanigawa Fishing Port, Osaka Bay.
● : a station for sampling seawater and bottom sediment.

*通常容積約72 l の胴丸カゴにサルエビ1-3 kgを収容する。

素消費と有機物の分解に基づく酸素消費の両者を含んでいる。

2.3. サルエビの呼吸速度の測定

1989年9月・12月ならびに1990年11月に谷川地先にて漁獲された全長3.2-7.5cm, 体重0.25-3.40gのサルエビを実験に供した。呼吸室(300ml容量の三角フラスコまたは1l広口びん)にサルエビを1尾収容後20℃と25℃の暗条件下で実験を開始したが, 1989年9月は1時間未満, また1989年12月と1990年11月については馴致のため6時間以上, 実験と同じ条件下でそれぞれ呼吸室に酸素飽和濾過海水を流した。呼吸速度は, 実験開始直前と1または2時間経過後の海水の溶存酸素量を測定し, 次式に基づき算出した。

$$R = (DO_0 - DO_t) \cdot (V_b - V_s) / W \cdot t$$

R : 呼吸速度 ($mlO_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$),

DO_0 : エビを収容する前の呼吸室の酸素濃度 ($mlO_2 \cdot l^{-1}$),

DO_t : エビを収容して1または2時間経過後の呼吸室の酸素濃度 ($mlO_2 \cdot l^{-1}$),

V_b : 呼吸室の容積 (l),

V_s : エビの体積 (l),

W : サルエビの体重 (g),

t : 時間 (h).

なお, コントロールとしてサルエビを入れない呼吸室についても酸素濃度の変化を測定し, 供試海水中の溶存有機物の分解による値の低下の影響を補正した。また1990年11月に行った実験については埋ん基質として呼吸室に塩酸洗浄した海砂(粒径0.250-0.425mm)を5.5-6.5cmの厚さで加え(伊東・水本, 1978), サルエビの呼吸速度を測定した。

2.4. サルエビの酸素耐性

実験には1989年10月・11月・12月ならびに1990年11月に谷川地先で漁獲されたサルエビ(全長: 4.0-8.1cm, 体重: 0.30-3.15g)を数日間流水式の水槽で予備飼育したのち用いた。実験装置をFig. 2に示す。1989年の実験については, 各呼吸室にサルエビをそれぞれ2尾収容し, これにWhatman GF/Cガラス繊維濾紙で濾過し, 窒素ガスで酸素濃度を一定の範囲に低下させた海水を $4.8ml \cdot min^{-1}$ の流量で流した。また, 1990年は海砂を入れた各呼吸室にサルエビを1尾収容し, これに一定酸素濃度範囲の濾過海水を $18-123ml \cdot min^{-1}$ の流量で給水した。実験は暗条件下20℃の温度で実施し, 24時間後のへい死状況からサルエビのへい死亡率を求めた。なお,

サルエビを収容した7ないし8組の呼吸室のうち1または2組の呼吸室については酸素飽和濾過海水を流し, これをコントロールとした。

3. 結 果

3.1. 谷川港における水温・塩分・酸素濃度の変動

1989年6月の谷川港における水温・塩分・酸素濃度の

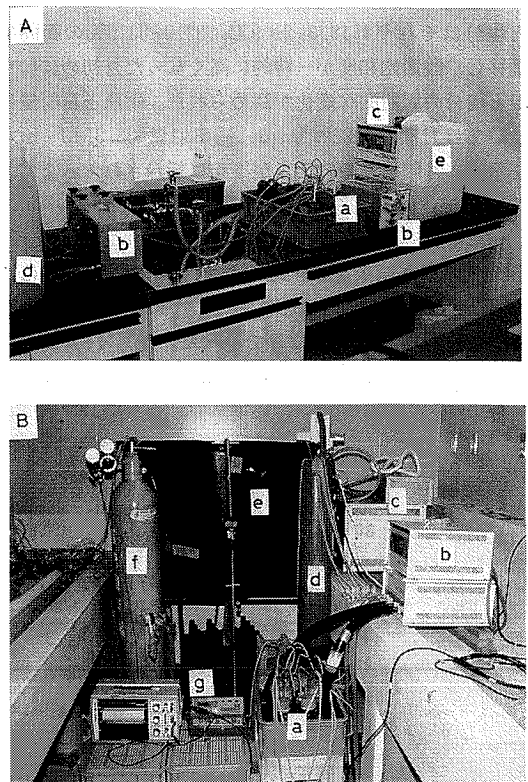


Fig. 2. The experimental system for determining the mortality rate of shrimp at different levels of dissolved oxygen.

A: experiment at a flow rate of $4.8ml \cdot min^{-1}$; a : glass chamber (300ml) for the shrimp; b : roller pump; c : thermostatic circulator; d : tank for oxygen-deficient seawater; e : tank for oxygen-saturated seawater.

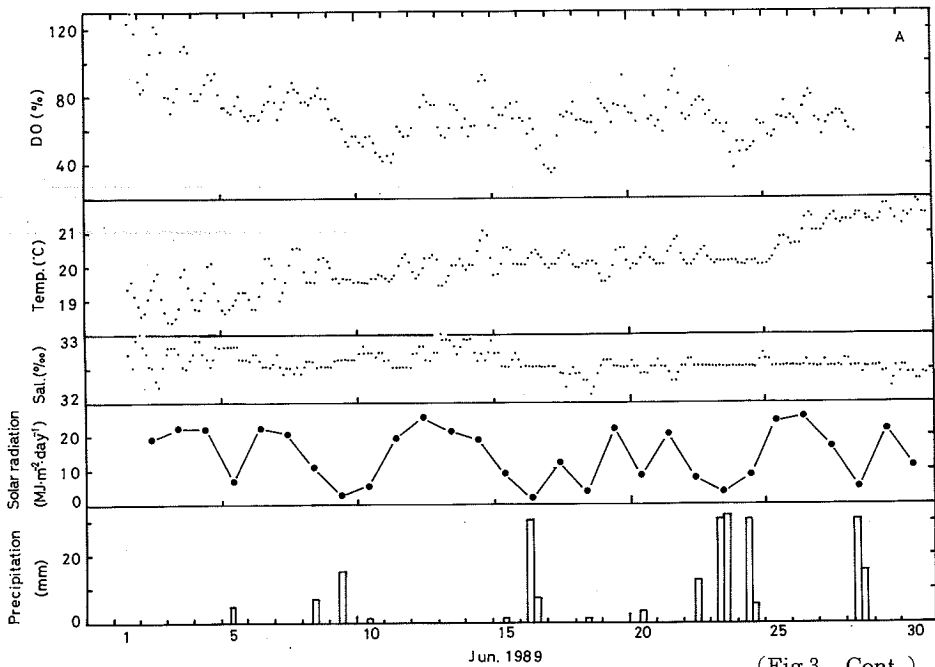
B: experiment at a flow rate of $18-132ml \cdot min^{-1}$; a : glass chamber (1 l) for the shrimp; b : thermostatic circulator; c : thermostat; d : tank for oxygen-deficient seawater; e : tank for oxygen-saturated seawater; f : N_2 gas; g : DO meter.

変動を日射量と雨量のそれとともにFig. 3 Aに示す。6月の酸素飽和度は26% (6月17日01時)*から132% (6月2日16時)の範囲を変動し、月平均値は69.1%であった。その推移を見ると6月1-3日にかけて一時的に過飽和状態となったが、以後次第に低下し、中旬から下旬は6月21日を除き100%を上回ることがなかった。期間中に飽和度が40%以下の貧酸素水は6月11日・17日・24日の3回出現し、このうち6月11日には貧酸素の影響のためか港内で蓄養中のサルエビの一部がへい死した。水温と塩分はそれぞれ18.3-21.9°C, 32.0-33.0‰の範囲で推移し、酸素飽和度が一時的に高くなった月初めには水温と塩分の周期的な変化が認められた。雨量と日射量については月間雨量222.5mm, 同日射量433.3MJ・m⁻²を示し、月間雨量の約70%が下旬に記録された。また、20MJ・m⁻²・day⁻¹を越える晴天の日は上旬・中旬・下旬にそれぞれ5回・3回・4回観測された。

7月の観測結果をFig. 3 Bに示す。酸素飽和度は27% (7月29日0時)から130% (7月6日19時)の間を変動し、月平均値は68.2%であった。7月4-8日ならびに15-21日には飽和度の日較差が大きくなり、また周

期的な値の変化が認められた。そして5-8日と17-20日には一時的に飽和度が100%以上に達した。このうち濃密な赤潮状態を呈した7月6日16時の表層水について酸素飽和度と優占植物プランクトン細胞数を測定したところ、酸素飽和度; 197%, *Pyramimonas* sp. ; 1.2×10⁵ cells・mL⁻¹, *Eutreptiella* sp. ; 7.3×10³ cells・mL⁻¹の値が得られた。一方、酸素飽和度が40%以下に低下したのは月の終わり(27-30日)で、この時は台風接近にともない港内に漁船が多数避難した時期と対応した。水温と塩分の各々の変動範囲は21.0-25.7°C, 31.9-32.7‰で、水温については7月10日すぎから19日にかけて21°Cから24°C台に上昇した。塩分は10日から12日に値が32.6‰から32.1‰に減少したのを除き、目だった変化がなく比較的安定していた。他方、7月の月間降雨量は115.5mm, また月間日射量は493.9MJ・m⁻²であり、7月の前半雨量は108mmを記録し月間雨量の94%を占めた。

8月の結果をFig. 3 Cに示す。8月1-17日の酸素飽和度は36% (8月2日20時)から87% (8月6日16時)の範囲において変化し、6月や7月に比べ値の変化が小さく、また100%を上回ることもなかった。水温と塩分



(Fig 3. Cont.)

* Fig. 3 には 0 時から 3 時間ごとの値を記したので、6月17日01時の値(26%)はプロットされていない。7月・8月についても同様。

酸素濃度の変動とサルエビのへい死

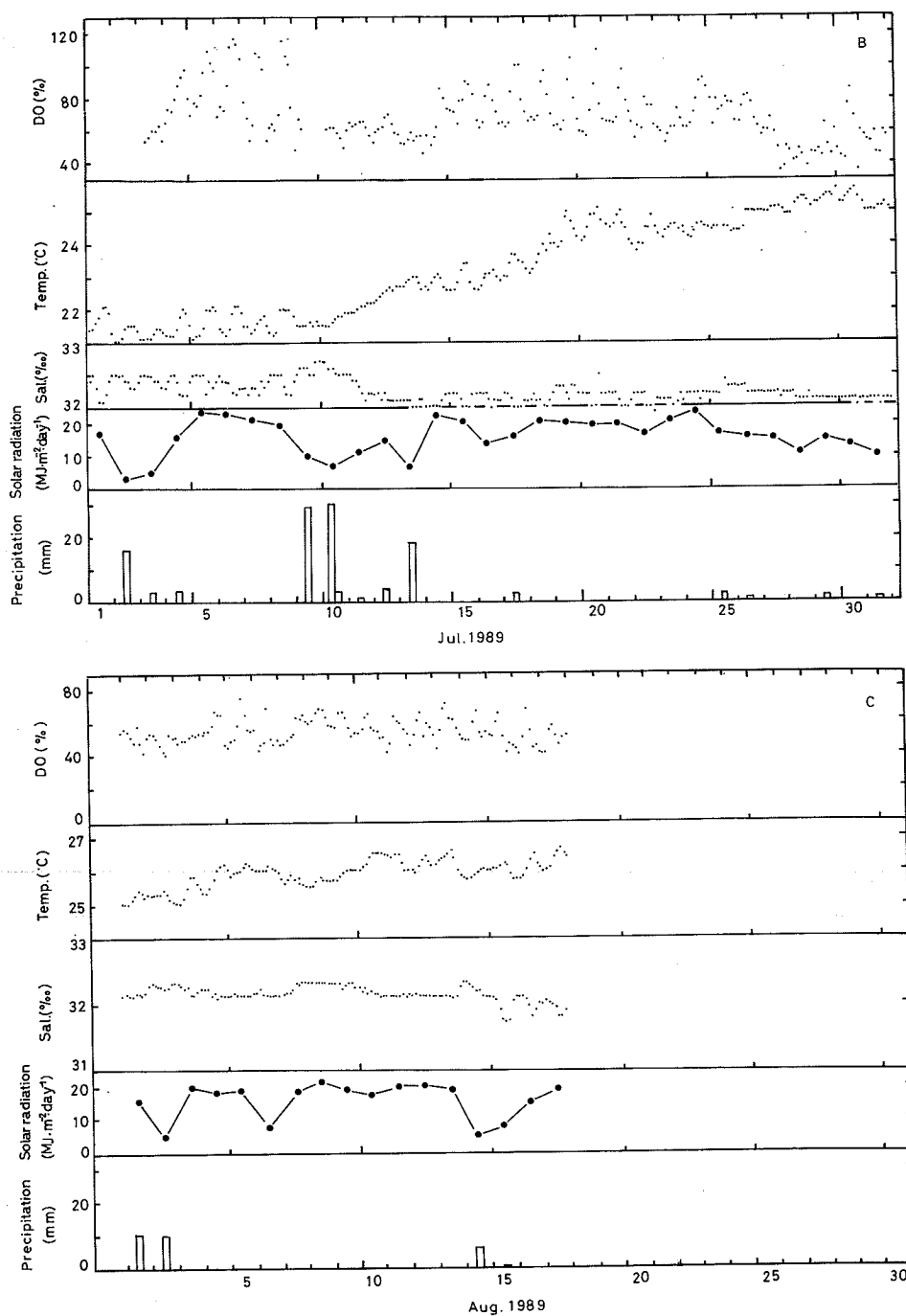


Fig. 3. Changes in temperature, salinity and dissolved oxygen concentration in the bottom seawater, and global solar radiation and precipitation at Tanigawa Fishing Port in June(A), July(B) and August(C)1989. Temperature, salinity and dissolved oxygen concentration were measured at 0.5m depth from the bottom.

についてはそれぞれ25.0-26.9°C, 31.6-32.3%の値を示し、特徴的な現象は見られなかった。なお、8月の調査期間中の降雨と日射量は28mmと268.3MJ・m⁻²であった。

3.2. 底泥と海水の酸素消費速度

20°Cならびに25°Cにおけるアクリルパイプ内海水の酸素濃度の経時的な変化をFig. 4に示す。図から酸素濃度の減少は、0-13時間目までと16-24時間目までとで勾

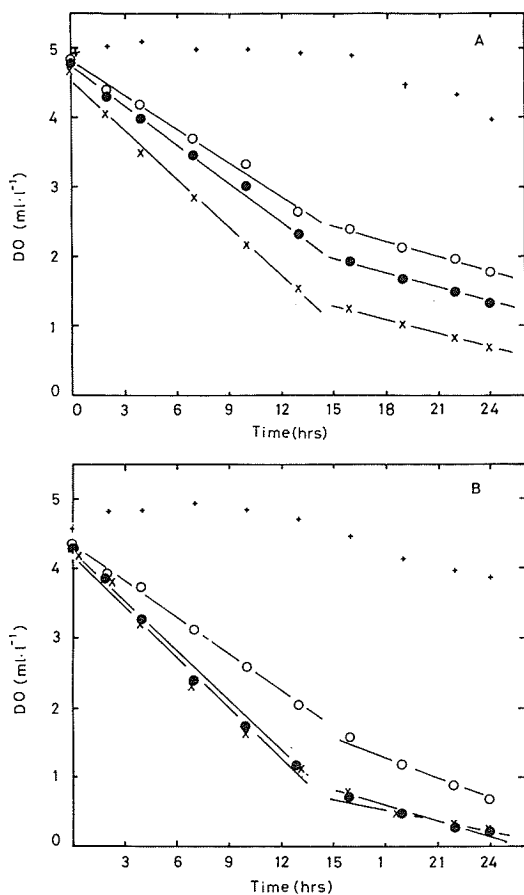


Fig. 4. Decrease of dissolved oxygen concentration in the top seawater of the bottom sediment inside the acrylic bottles at 20°C (A) and 25°C (B).
 O, ●, ×: oxygen concentration for the bottles with bottom sediment and filtered seawater; +: oxygen concentration for the bottle with filtered seawater but without bottom sediment (control).

配の異なる2つの直線に分かれることがわかる。ここでは、コントロール(濾過海水)の酸素濃度の減少が殆ど見られない測定開始から13時間目までの値を用い、回帰直線式から底泥1cm²当りの酸素消費速度を算出した。その結果、20°Cと25°Cでの消費速度は20°Cで $2.7 \times 10^{-3} - 4.0 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $3.4 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)、25°Cで $2.8 \times 10^{-3} - 4.2 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $3.6 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)となり、両温度で泥の酸素消費速度に差が見られなかった。一方谷川港の未濾過海水の酸素濃度の減少速度は、20°Cが0.019-0.025 $\text{ mlO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、25°Cでは0.039-0.063 $\text{ mlO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ であった。この値と谷川港の水深が約3mであることから、表面積1cm²・深さ300cmの水柱について酸素消費速度を求めると20°Cで $5.6 \times 10^{-3} - 7.4 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $6.5 \times 10^{-3} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)、25°Cで $1.2 \times 10^{-2} - 1.9 \times 10^{-2} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $1.6 \times 10^{-2} \text{ mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)となり、25°Cにおける水柱の平均酸素消費速度は20°Cのそれより2.5倍大きくなった。なお、実験に使用した泥サンプルの強熱減量は7.0-10.0%で、粒度組成については63 μm 以下の泥粒子を49-59%、63 μm から2.0mmの砂粒子を40-50%、2.0mm以上の礫成分を1%それぞれ含んでいた。また海水の酸素消費速度測定用試水のSS濃度は4.3ppmで、植物プランクトン細胞密度は *Skeletonema costatum*; $1.3 \times 10^3 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$, *Thalassiosira* sp₁; $144 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$, *Gymnodinium* sp.; $38 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$, *Thalassiosira* sp₂; $19 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$, *Coscinodiscus* sp.; $6 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$, *Eut-reptiella* sp.; $6 \text{ cells} \cdot 10 \text{ ml}^{-1}$ であった。

3.3. サルエビの酸素消費速度

サルエビの酸素消費速度(呼吸速度)をTable 1に示す。表から20°Cと25°Cにおけるエビ1g当りの酸素消費速度とその平均値は、実験条件への馴致が1時間未満のものでは20°Cで $5.4 \times 10^{-2} - 2.2 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $1.3 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)、25°Cで $1.5 \times 10^{-1} - 3.3 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $2.2 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)、また6時間以上馴致したものでは20°Cで $1.4 \times 10^{-2} - 1.6 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $8.7 \times 10^{-2} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)、25°Cで $5.2 \times 10^{-2} - 2.0 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (平均 $1.2 \times 10^{-1} \text{ mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)であることがわかる。この内、同一個体を用いたTable 1のNo. I cとNo. II cの値から各個体の20°Cと25°Cとの消費速度を比較すると、25°Cでは20°Cに比べ1.8-5.4倍酸素消費速度が大きくなった。

Table 1. Respiration rate of *Trachypenaeus curvirostris*.

Exp. No.	Temp. (°C)	Sal. (‰)	Body length (cm)	Body weight (g)	O ₂ uptake (mlO ₂ · g ⁻¹ · h ⁻¹)
Ia	20	32.62	3.7	0.26	2.2 × 10 ⁻¹
			3.7	0.28	5.4 × 10 ⁻²
			3.8	0.28	1.7 × 10 ⁻¹
			5.4	1.24	1.1 × 10 ⁻¹
			6.1	1.73	1.2 × 10 ⁻¹
			6.8	2.62	1.3 × 10 ⁻¹
Ib	20	32.42	5.3	0.63	1.3 × 10 ⁻¹
			5.5	0.69	1.6 × 10 ⁻¹
Ic	20	32.05	4.4	0.78	1.1 × 10 ⁻¹
			5.2	1.19	1.4 × 10 ⁻²
			5.7	1.58	1.1 × 10 ⁻¹
			6.2	2.29	4.6 × 10 ⁻²
II a	25	32.52	3.2	0.25	3.0 × 10 ⁻¹
			3.5	0.35	1.5 × 10 ⁻¹
			3.9	0.45	3.3 × 10 ⁻¹
			7.2	3.14	1.8 × 10 ⁻¹
II b	25	32.42	5.8	0.83	1.2 × 10 ⁻¹
			5.9	0.98	1.4 × 10 ⁻¹
			6.1	0.85	5.2 × 10 ⁻²
			6.8	3.17	1.2 × 10 ⁻¹
II c	25	32.25	4.4	0.78	2.0 × 10 ⁻¹
			5.2	1.19	7.9 × 10 ⁻²
			5.7	1.58	1.8 × 10 ⁻¹
			6.2	2.29	9.7 × 10 ⁻²
II c	25	32.25	6.8	3.17	1.2 × 10 ⁻¹

The shrimp was exposed for less than 1 h (Exp. I a, II a) or for more than 6 hrs (Exp. I b-c, II b-c) in a respiration chamber which was supplied with oxygen-saturated running seawater before measurement.

3.4. サルエビの酸素耐性

貧酸素水に24時間浸漬した時のサルエビのへい死状況をTable 2に示す。300ml容量の呼吸室へ貧酸素水を4.8ml · min⁻¹の流量で注入した場合、酸素飽和度が10-23%と19-33%の海水において供試個体の67%が酸欠のためへい死した。この時、飽和度10-23%区では実験開始後4時間目までに12尾中5尾、4-12時間目の間に3尾がへい死した。また、飽和度19-33%の海水では13時間目までに12尾中6尾、13-21時間目の間に2尾がへい死した。ただ、酸素飽和度を30-38%に増加させると、へい死が4時間目と4-22時間目に各1尾認められたものの、窒息へい死率は17%に低下した。一方、埋込基質として砂を添加し、1lの呼吸室に18-123ml · min⁻¹の流量で貧酸素水を給水すると、16-19%の貧酸素水中

では供試個体の50%がへい死したが、24-30%の飽和度ではサルエビのへい死が認められなかった。なお、16-19%区では実験開始後17時間目までに6尾中2尾、17時間目から終了時までさらに1尾がへい死した。

4. 考 察

4.1. 酸素濃度の変動における特徴

谷川港では下層水(海底面から50cm上層)の酸素飽和度の変動が大きく、期間中の飽和度の最高値と最低値はそれぞれ132%と26%を記録した。このうち、下層水の飽和度が100%を上回る時は表層で植物プランクトンが活発に増殖する時と対応した。そこで赤潮発生時の下層水の酸素飽和度の時間的な変動について検討するため、6月2-4日ならびに7月4-8日の酸素飽和度・水温・

Table 2. Mortality of *Trachypenaeus curvirostris* at different levels of the dissolved oxygen.

Exp.No.	Seawater		Shrimp			
	Sal. (%)	DO (%)	No. of samples	Body length (cm)	Body weight (g)	Mortality (%)
I a	30.76	96-103	4	5.7-6.0	0.76-1.13	0
	30.78-30.79	10-23	12	5.6-6.3	0.97-1.41	67
I b	32.11	95-102	4	5.5-6.5	0.80-1.21	0
	31.98-32.02	19-33	12	5.6-8.1	0.75-2.53	67
I c	32.78	95-100	4	4.0-5.9	0.30-0.83	0
	32.77-32.78	30-38	12	4.5-6.8	0.39-1.50	17
II a	32.28-32.43	97-101	1	6.0	1.89	0
	32.28-32.43	16-19	6	5.5-6.9	1.42-3.15	50
II b	32.28-32.32	99	1	5.9	1.97	0
	32.28-32.32	24-30	6	5.5-6.3	1.52-2.31	0

Exp. I a-c: Two shrimps were in a 300ml glass chamber at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ under a dark condition, which were supplied with oxygen-deficient seawater at a flow rate of $4.8\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ for 24 hrs.

Exp. II a-b: One shrimp was in a 1-l glass chamber at $20 \pm 1^\circ\text{C}$ under a dark condition, which was supplied with oxygen-deficient seawater at a flow rate of $18-123\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ for 24 hrs. Sand (0.250-0.425mm in diameter) was placed on the bottom of the chamber.

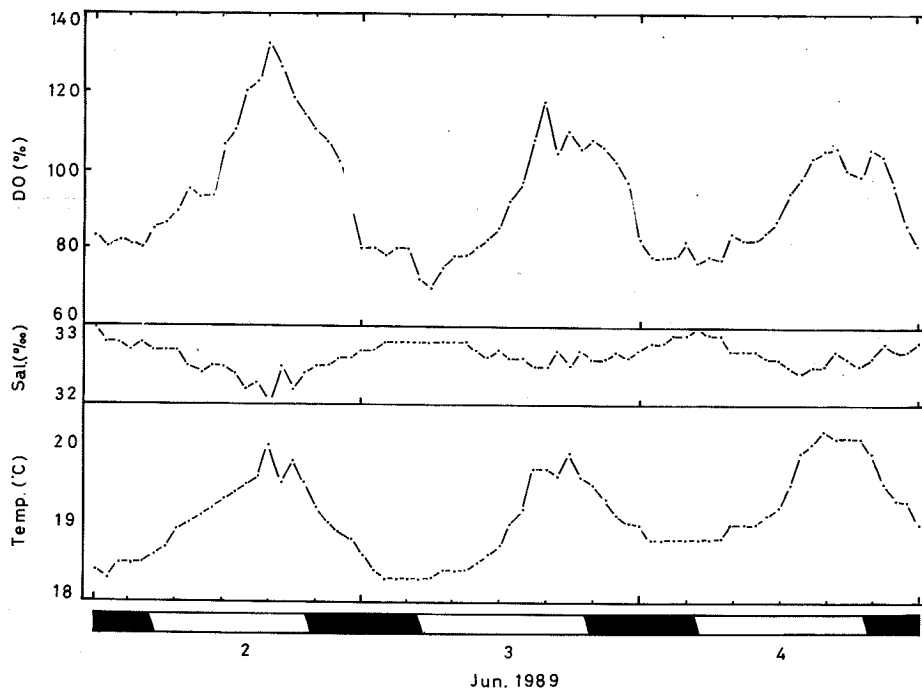


Fig. 5. Changes in temperature, salinity and dissolved oxygen concentration at an interval of 1 h in the bottom seawater of Tanigawa Fishing Port during a red tide in 2-4 June 1989.

酸素濃度の変動とサルエビのへい死

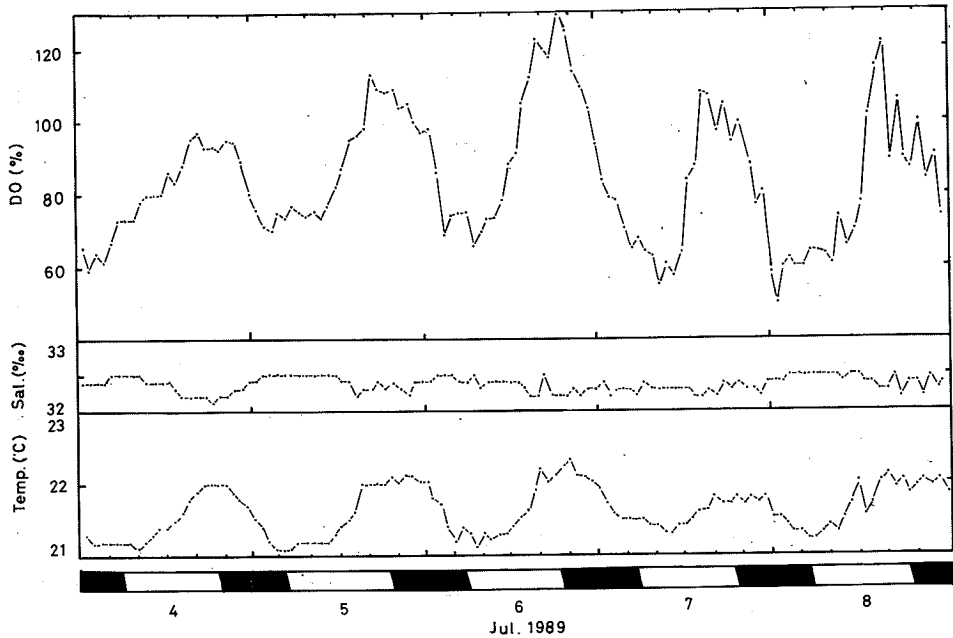


Fig. 6. The same as the legend for Fig. 5 except for 4-8 July 1989.

塩分の1時間ごとの値をそれぞれFig. 5と6に示した。両図から赤潮形成時の下層の酸素飽和度の変動は著しく、なかでも7月6日19時から7日9時の間には70%以上飽和度の低下したことがわかる。この酸素濃度の減少については赤潮プランクトンの呼吸作用や枯死・分解にともなう酸素消費が深く関与するものと考えられる。さらに飽和度は日没前後(16-19時)に高く、夜中過ぎから午前中にかけて低いという日周期的な推移を示したが、これを水温や塩分との関係において検討すると、酸素飽和度の増加時には塩分の低下と水温の上昇が、また飽和度の減少時には塩分の上昇と水温の低下がそれぞれ認められた。このように赤潮発生時の下層において、酸素飽和度と水温の間には正の対応関係が見られたのに対し、酸素飽和度と塩分とは負の対応関係が存在した。また、この飽和度と水温や塩分との対応関係は非赤潮時には認められなかった。通常夏季の大阪湾において表層水は下層水より低塩分・高水温であること、数種の赤潮鞭毛藻は日周鉛直運動を行い、その場合の下降運動は日没以前に起こることなどから(KAMYKOWSKI, 1981; YAMOUCHI and ABE, 1984), 鞭毛藻赤潮発生時の谷川港において日没前後に観測された下層水の酸素濃度の上昇は表層水との混合に基づく現象であると考えられる。す

なわち、浅くて閉鎖的な谷川港では昼間赤潮プランクトンの光合成活動により酸素過飽和状態となった表層水が、プランクトンの下降運動に伴い下層水と混合し、日没前後に下層の酸素飽和度を上昇させると推察される。

一方、観測期間中に飽和度が40%を下回ったのは6月11日・16-17日・24日・7月27-28日・30日・8月1-2日であるが、これらはいずれも港内で濃密な赤潮が形成されていない時に発現した。また、このうち7月27日・28日・30日の貧酸素化は台風の接近にともない多数の漁船が谷川港に避難したのち水門が閉鎖されたことに起因する特異な現象である。そこで主として6月の貧酸素化について考察すると、酸素濃度低下時には当日または1-2日前に降雨があり低日射量で推移したこと、ならびに水温や塩分の変化が比較的少なく水塊として安定であったことなどが特徴である(Fig. 3 A)。水塊安定時の貧酸素化現象の1例としてFig. 7に6月7-11日の酸素飽和度・水温・塩分の1時間ごとの値を記した。図から水温の変化が小さくなる9日以降に貧酸素化が進行し、水温の上昇がみられた11日後半には貧酸素化の解消したことが伺える。以上のことは、谷川港の貧酸素化には降雨や低日射などの気象要因と水塊の安定が関与することを示唆している。

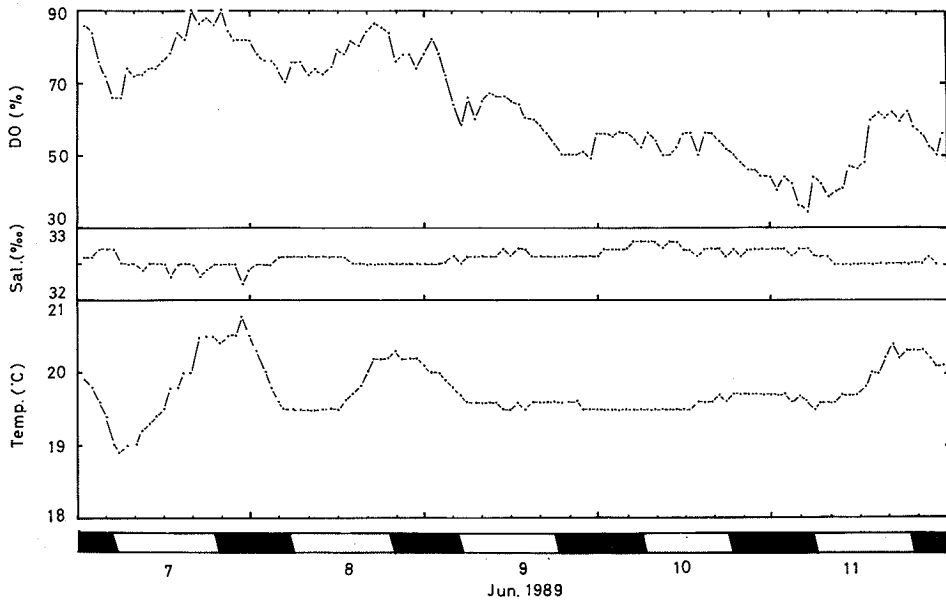


Fig. 7. Decrease of dissolved oxygen concentration at an interval of 1 h in the bottom seawater of Tanigawa Fishing Port from 7 to 11 June 1989.

4.2. 貧酸素とサルエビ

海底泥・海水・並びに6時間以上温度馴致したサルエビの酸素消費速度を整理し、Table 3に示す。20°Cにおけるそれぞれの酸素消費速度の平均値は海底泥で $3.4 \times 10^{-3} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、海水で $6.5 \times 10^{-3} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、サルエビで $8.7 \times 10^{-2} \text{mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、また25°Cでは海底泥で $3.6 \times 10^{-3} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、海水で $1.6 \times 10^{-2} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 、サルエビで $1.2 \times 10^{-1} \text{mlO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ となった。佐藤・佐々木(1978)は渥美湾から採取した比較的汚濁の進んだ底泥について23°Cにおける酸素消費速度を調べ、実験容器内の海水に流動を与えた場合は $1.50 \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ($4.37 \times 10^{-3} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)、流動のない静置状態で $0.55 \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ($1.46 \times 10^{-3} \text{mlO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)と報告している。底泥の有機物濃度や実験条件が異なるため厳密な比較は無理であるが、本実験による底泥の酸素消費速度は上記の流動を与えた場合の酸素消費速度と比較的近似した。この原因については、本実験においても酸素濃度測定ごと(2-3時間間隔)に底泥を巻き上げない程度の強さで海水を攪はんしたためかと考えられる。ところで、海底泥と海水の酸素消費実験はそれぞれ下層水の水温が25-27°Cである1989年8月28日と9月28日に実施したが、この

時は、それぞれ下層水が貧酸素化し(8月26-27日; 18-60%, 9月26-27日; 31-67%), 表層には赤潮が形成されていなかった。今、海水中の酸素濃度の低下に及ぼす海水・海底泥・サルエビの酸素消費の影響を検討するため、25°Cにおけるサルエビ1gの単位時間当りの酸素消費を底泥または海水の酸素消費に換算してみると、11月または12月に採捕したが25°Cで温度馴致したサルエビ1gの酸素消費は底泥34cm²か海水2.4lに、また現場水温が26°Cである9月上旬に採捕したサルエビでは底泥61cm²から海水4.1lにそれぞれ相当した。ただ、谷川港内の推定海底面積や海水容量(面積約20,000m²・海水容量約60,000m³)を勘案すると、海底面および海水全部の酸素消費量はそれぞれサルエビ3t以上の酸素消費量に匹敵することから、谷川港の貧酸素化には全体として、プランクトンの呼吸作用や有機物の分解による海水および海底泥の酸素消費が強く影響すると推察される。

サルエビの24時間後の窒息へい死率については、埋ん基質として砂を敷き $18-123 \text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ の流量で貧酸素水を給水した場合、16-19%の酸素飽和度で供試サルエビの半数がへい死したのに対し、24-30%では24時間後にも全個体が生存した(Table 2. Exp. IIa, IIb)。このように飽和度20%(ca. $1.1 \text{mlO}_2 \cdot \text{l}^{-1}$)を下回るとサ

Table 3. Oxygen consumption rates of seawater, bottom sediment and *Trachypenaeus curvirostris*.

Sample	Oxygen consumption rate*	
	20°C	25°C
Bottom sediment	2.7×10 ⁻³ –4.0×10 ⁻³ (3.4×10 ⁻³)	2.8×10 ⁻³ –4.2×10 ⁻³ (3.6×10 ⁻³)
Seawater**	5.6×10 ⁻³ –7.4×10 ⁻³ (6.5×10 ⁻³)	1.2×10 ⁻² –1.9×10 ⁻² (1.6×10 ⁻²)
Shrimp***	3.2×10 ⁻² –1.1×10 ⁻¹ (8.7×10 ⁻²)	5.2×10 ⁻² –2.0×10 ⁻¹ (1.2×10 ⁻¹)

Numbers in parentheses indicate the average values.

*Unit for seawater and sediment: mL O₂ · cm⁻² · h⁻¹;
unit for shrimp: mL O₂ · g⁻¹ · h⁻¹.

**Oxygen consumption rate for water column with 3 m in height and 1 cm² in area.

***Respiration rate for the shrimp which were acclimatized to the experimental conditions for more than 6 hrs (Exp. Ib-c and Exp. II b-c in Table 1).

ルエビのへい死率が急激に増加した。甲殻類を死に到らしめる酸素濃度に関しては、NIMURA and INOUE (1969)がイセエビ(体重25.5–353 g)の初期致死濃度(Incipient lethal level)を求め、その値を1.0 mL O₂ · l⁻¹と報告している。また漁場環境容量策定委員会(1989)は、甲殻類のうち酸素耐性の弱いものの致死濃度を2.5 mL O₂ · l⁻¹、同じく生理的变化を引き起こす臨界濃度を3.0 mL O₂ · l⁻¹とするのが妥当であろうと述べている。今回の酸素耐性実験によるサルエビの窒息致死濃度は上記のイセエビの初期致死濃度に近い。ところで、サルエビの蓄養が行われている現場で蓄養カゴ(胴丸カゴ;容積72 l)にフローレッシンナトリウムを添加し、その後の濃度変化を経時的に追跡することによって蓄養カゴの海水交換を調べたところ、添加後20分で蛍光物質濃度が非添加の現場海水とほぼ同じになり、速やかに海水が交換されることが分かっている(矢持, 未発表)。今、環境水の酸素濃度を1.5 mL O₂ · l⁻¹、サルエビの酸素消費速度を20°Cで8.7×10⁻² mL O₂ · g⁻¹ · h⁻¹、25°Cでは1.2×10⁻¹ mL O₂ · g⁻¹ · h⁻¹、また20分で容積72 lの蓄養カゴ内の海水が交換すると仮定すると、環境からの酸素の供給量とサルエビの呼吸による消費量が同等になるサルエビの収容量は20°Cが3.7 kg、25°Cで2.7 kgと計算される。したがって水温が19.5–20.4°Cで、酸素飽和度が30

%前後に低下した6月11日に蓄養中のサルエビの一部がへい死したが、これについては、1)サルエビの収容密度を増加させ給水量を減少させると、酸素飽和度19–33%(1.0–1.8 mL O₂ · l⁻¹)で供試個体の半数以上がへい死したこと(Table 2. Exp. Ia–c)、2)収容過多でない状況では蓄養カゴ中のサルエビの大部分は透水性のあるカゴの底面や側面に接して生息するため、その生存はカゴ周囲の環境水の酸素濃度の影響を強く受け、致死濃度は飽和度20%(ca. 1.1 mL O₂ · l⁻¹)に近いと考えられることなどから、漁業者が活力の低下したサルエビを酸素濃度の耐性限度に近いにもかかわらず収容過多な状態で蓄養したことに一因する現象と推察される。

5. 謝 辞

本稿を終えるにあたり、野外調査と室内実験において献身的なご協力を賜った日根康方および瀬崎浩一両氏に深く感謝します。

文 献

- 漁場環境容量策定委員会(1989) 漁場の適正溶存酸素濃度の検討. 漁場環境容量策定事業報告書(第1分冊), 932–1003.
伊東克彦・水本三朗(1978) 内湾底泥をめぐる物質収支の動態解明に関する研究. 昭和52年度研究成績報

- 告書, 34-38.
- 城 久 (1989) 大阪湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, **26**, 87-98.
- KAMYKOWSKI, D. (1981) Laboratory experiments on the diurnal vertical migration of marine dinoflagellates through temperature gradients. *Mar. Biol.*, **62**, 57-64.
- 日下部敬之・辻野耕實・安部恒之 (1989) 大阪湾におけるサルエビの体長組成. 第21回南西海区ブロック内海漁業研究会報告, 13-18.
- NIMURA, Y. and M. INOUE (1969) Oxygen uptake rate of the Japanese spiny lobster as related to the environmental oxygen concentration. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **35**, 852-861.
- 佐藤善徳・佐々木克之 (1978) 農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究. 昭和51年度研究成績報告書, 41-44.
- YAMOCHI, S. and T. ABE (1984) Mechanisms to initiate a *Heterosigma akashiwo* red tide in Osaka Bay II. Diel vertical migration. *Mar. Biol.*, **83**, 255-261.