

# 大阪湾東部海域における酸素と二酸化炭素の分布および

## それらがサルエビの生存に与える影響に関する研究

環境水域工学分野 安井 裕

### Abstract

近年、大気 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇が注目されているが、海洋の CO<sub>2</sub> 濃度は海域による差が大きく、あまりよく分かっていない。また、海洋の CO<sub>2</sub> は高濃度になると生物に悪影響を及ぼす。そこで深刻な貧酸素問題を抱える大阪湾において、貧酸素とともに CO<sub>2</sub> が生物に与える影響を、現地調査および室内実験により検討した。現地調査の結果、大阪湾における DO と CO<sub>2</sub> の分布は生物活動の影響を強く受けており、また、貧酸素化の進んだ地点では嫌氣的分解のためか、特に高い CO<sub>2</sub> 濃度を有していた。室内実験から、大阪湾において、貧酸素はサルエビ成体の棲息に影響を与えるが、CO<sub>2</sub> が生物に与える短期間での影響は確認されなかった。しかし、大阪湾において CO<sub>2</sub> がサルエビに悪影響を及ぼさないとまではいいきれず、今後調査および実験を継続していく必要があると思われる。

### 1 研究背景

近年、大気中の二酸化炭素（以下 CO<sub>2</sub>）濃度は1年間に約 2ppm のペースで上昇し続けており、それに伴う環境の変動、あるいは環境破壊が危惧されている。この大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の増加を少しでも軽減しようと、CO<sub>2</sub> を海洋へ隔離させる手法等が検討されている。

一方、海水中の CO<sub>2</sub> 濃度であるが、こちらについても大気中 CO<sub>2</sub> 濃度と同様に増加傾向にあり、近藤ら(2004)は、太平洋東部赤道域における海洋表層の CO<sub>2</sub> 濃度増加速度が 1.64ppm/year であると推算している。大気中 CO<sub>2</sub> 濃度はたいていどの地域においても 400ppm 前後と比較的均一であるが、海水中 CO<sub>2</sub> 濃度はそれに比べて海域差が激しく、瀬戸内海表層では約 230-670ppm(Ohtaki et al.,1993)、ドイツ湾表層で約 200-550ppm(Brasse et al.,2002)と幅広い値が観測されている。また、大気 CO<sub>2</sub> 濃度に比べて観測例が少なく、海水中の CO<sub>2</sub> 濃度がどのようなものであるのかまだ十分には分かっていない。

この海水中の CO<sub>2</sub> であるが、高濃度になると生物へ悪影響を及ぼすということが、近年の研究において分かってきている。海洋生物が CO<sub>2</sub> によってうける主な影響は、炭酸塩生成能力の低下や呼吸機能および成長の阻害などがあり、場合によっては死に至らしめられることもある。Kurihara et al.(2008)は、CO<sub>2</sub> 濃度 1000ppm の環境下においてイソスジエビ(*Palaemon pacificus*)を 30 週間飼育し、顕著な生存率の低下を確認している。また、白山(2001)はマガキガイ(*Strombus luhuanus*) およびバフンウニ(*Hemicentrotus puicherrimus*)、ナガウニ(*Echinometra mathaei*)を、

CO<sub>2</sub> 濃度 600ppm で 16 週間飼育し、それぞれについて成長率の低下を報告している。

これらのことから、実海域では CO<sub>2</sub> 濃度が高くなることによって、生物になんらかの悪影響を与えるのではないかという可能性が考えられる。

CO<sub>2</sub> が生物に与える影響を調べるにあたり、海洋生物がより多く棲息する海域に注目すべきであると考えられるが、大阪湾は 2006 年の漁獲量は約 25000 トンと水産資源が豊富であり、研究対象として適当であると思われる。しかし、大阪湾は水産資源が豊富であると同時に、富栄養化の進んだ海域であることで知られている。富栄養化は赤潮の発生要因となり、それに伴って大量の植物プランクトンの死骸が海底に堆積する。この死骸が細菌によって分解される時に酸素が消費されるが、その量が多いために海水中の酸素は不足状態になる。生物活性の高まる夏季になると、大阪湾では毎年、神戸港沖から関西国際空港付近の海域にかけて貧酸素状態となる(藤原ら, 2004)。特に、大阪湾の湾奥部においては無酸素化した水塊が湧昇して発生する、青潮に関しても毎年のように確認されている(藤原, 2010)。海水中の酸素が不足する夏季においては、そのために毎年数多くの魚介類はへい死していると考えられる(有山ら, 1997)。

このように、大阪湾では貧酸素によって生物が被害を受けているが、それに加えて、CO<sub>2</sub> についても生物に影響を及ぼしている可能性がある。そこで、大阪湾において O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> の分布がどのようなものであるかを調べ、これらが漁業生物にどのような影響を与えているのか検討することを、本研究の目的とする。

## 2 海水中の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> について

海水中の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> を変化させる要因についてまとめたものを図-2 に示す。大気と海表面の間では、O<sub>2</sub> あるいは CO<sub>2</sub> が濃度の高い方から低い方へ溶け込む、もしくは放出されるといった現象が存在している。この現象は、それぞれの気体の濃度差および風速によって決定される。また、海水中の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> は、生物活動によっても変化する。光合成では CO<sub>2</sub> を消費して O<sub>2</sub> を生成し、呼吸によっては O<sub>2</sub> を消費して CO<sub>2</sub> を生成する。細菌類が生物の死骸などの有機物を分解する方法として、好氣的分解と嫌氣的分解が存在する。好氣的分解とは O<sub>2</sub> 分子を使用して有機物を分解することで、結果として O<sub>2</sub> を消費し、CO<sub>2</sub> を生成する。嫌氣的分解とは、酸素が少ない嫌氣的な環境において、O<sub>2</sub> 分子を使用せず、硝酸や硫酸塩など他の酸化物を用いて有機物を分解することである。この場合、CO<sub>2</sub> は生成されるが、O<sub>2</sub> は消費されず、代わりに用いた酸化物の還元物質が生成される。還元物質による化学的反応とは、嫌氣的分解などによって発生した還元物質が O<sub>2</sub> 分子により酸化されることで、結果として O<sub>2</sub> を消費する形となる。炭酸塩の形成および溶解は、サンゴなどによる石灰の形成もしくはその溶解を意味し、CO<sub>2</sub> は影響を受けるが、O<sub>2</sub> は変化しない。

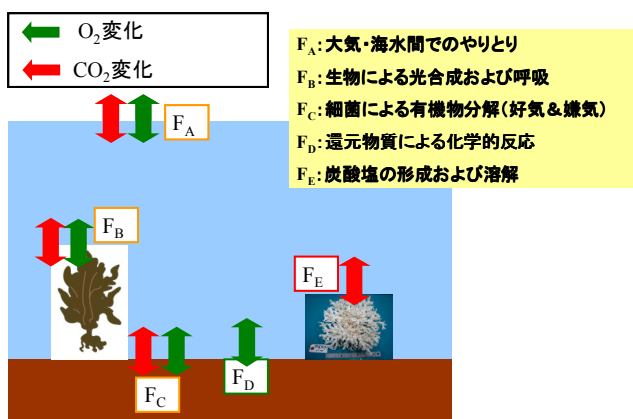


図-1 海水中の O<sub>2</sub> および CO<sub>2</sub> を変化させる要因

## 3 現地調査

### 3.1 調査概要

現地調査は 2009 年 7 月から 10 月および 2010 年 6 月から 9 月に毎月 1 回、計 8 回行った。調査地点は図-1 に示す 13 定点で、各点において採水器 (LIGO 社製, 5023-A 型) を用いて海底から 50cm 上の水を採取し、その際に水質観測機器 (アレック電子社製, ASTD-650 型) を用いて水温、塩分およびクロロフィル a 濃度の鉛直分布を計測した。なお、2009 年 9 月以降の調査では、St.18 および St.13 において海底から表層まで 4 層に分けて鉛直採水を行った。調査日および調査項目についてまとめたものを表-1 に示す。

全炭酸濃度は CO<sub>2</sub> などの炭酸物質の総量を、全アルカリ度は陽イオンと陰イオンの差を表すものであり、どちらも海水中において CO<sub>2</sub> と深く関わりがある。

全炭酸濃度は海水に強酸を加えて炭酸物質を追い出し、その追い出された CO<sub>2</sub> ガスの量を非散乱型赤外線ガス分析計 (Licor 社製, LI-820 型) で計測することにより求めた。全アルカリ度は所定の pH 値になるまで弱酸を滴定し、それまでに要した弱酸の量を計測することで求めた。観測した水温、塩分、pH、全炭酸濃度から海水中の CO<sub>2</sub> 濃度を算出した (Dickson & Goyet, 1994)。

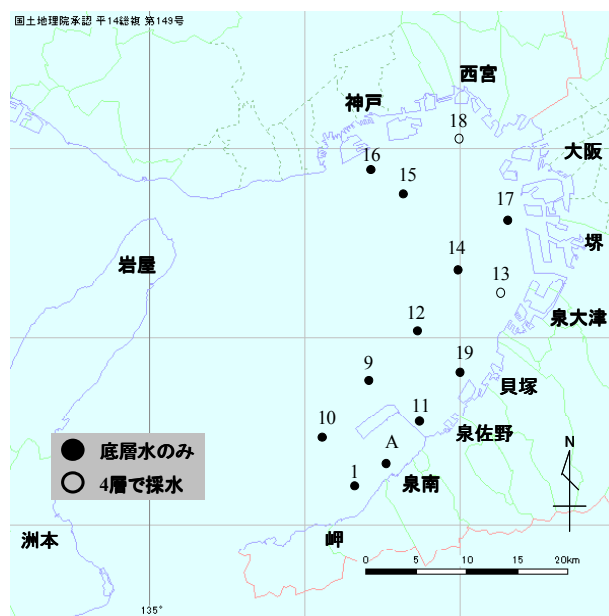


図-2 東部沿岸海域調査地点

表-1 東部沿岸海域調査日および調査項目

調査日		調査項目
2009年	7月21日 8月17日	水温, 塩分, DO, pH 全炭酸濃度
	9月14日 10月19日	
2010年	6月21日 7月21日	水温, 塩分, DO, pH 全炭酸濃度, 全アルカリ度
	8月23日 9月21日	

### 3.2 調査結果および考察

2010 年 8 月における底層水の DO および CO<sub>2</sub> の水平分布を図-3 に示す。底層の DO 濃度は、貝塚沖において最大値となる 5.73mg/l (酸素飽和濃度約 85%) を示し、堺沖から泉大津沖にかけての海域で最小値となる 0.40mg/l (酸素飽和濃度約 5%) を示していた。柳(2004)に倣い、DO 濃度 3.6mg/l 以下を貧酸素水塊、0.36mg/l 以下を無酸素水塊と呼ぶと、大阪港から泉大津沖までの海域で貧酸素水塊が発生しており、場所によっては無酸素水塊といえるほど DO 濃度の低下した海水が存在していたといえる。CO<sub>2</sub> 濃度は、堺から泉大津沖にかけて最大値となる 1.05mg/l を示し、貝塚沖

では最小値となる  $0.27\text{mg/l}$  を示していた。底層 DO と  $\text{CO}_2$  の水平分布を比べると、両者の等値線の形がよく似ていることが分かる。  $\text{CO}_2$  が高い地点では DO 濃度は低く、逆に、  $\text{CO}_2$  が低い地点では DO 濃度は高くなっており、両者には相関係数  $R=-0.95$  という高い負の相関が見られた。

DO と  $\text{CO}_2$  に高い負の相関があるということは、それだけ生物活動による影響が強いと考えられる。夏季の大阪湾海底付近では、透明度が低いために光が届かず、また、DO 濃度が低下しており、存在する生物量も少ないと思われる。よって、底層水中の DO と  $\text{CO}_2$  は、生物活動の中でも、特に有機物分解による影響を強く受けていると予想される。湾奥部は大阪湾の中でも特に栄養塩濃度が高く、基礎生産が活発であるが、その分、下層へ沈降する生物の死骸も多く、有機物分解が活発に行われている。さらに、流れが停滞しやすいために、生成・消費の影響がその場の海水に影響を与えやすい状態にある。このため、湾奥部底層では、DO 濃度が低く、  $\text{CO}_2$  濃度が高くなったものと思われる。

全 8 回の調査における底層 DO と  $\text{CO}_2$  の相関を表したものを図-4 に示す。これを見ると、秋季 (9, 10 月) の 3 回の調査結果は比較的似たような直線を描いていることが分かる。しかし、夏季 (6~8 月) の結果を見ると、DO が低くなるとばらつきが大きくなり、特に  $\text{CO}_2$  濃度が高くなること分かる。この原因として、生物による有機物の嫌氣的分解が考えられる。

入江ら(2010)は、大阪湾東部の貧酸素化の影響を受ける地点で不攪乱柱状泥を採取し、その堆積物間隙水中の硫化物イオン濃度調べている。その結果、硫化物イオン濃度が堆積物表層から下層へ向かうにつれて減少していることから、硫酸還元による嫌氣的分解が行われていることを指摘している。このように、夏季の大阪湾海底においては、実際に嫌氣的分解が行われていると思われる。

Guy et al.(1994)は、ニューカレドニアにおいて堆積物を未攪乱のまま採取し、それを用いて溶出実験を行っている。その際、堆積物にホルマリンを添加することで生物による影響を取り除き、還元物質による影響のみを観察する実験を同時に行っている。そして、得られた還元物質による影響を、堆積物全体による酸素消費速度から差し引くことにより、有機物分解などの生物活動のみによる  $\text{O}_2$  消費速度と  $\text{CO}_2$  生成速度を求めている。その結果、好氣的分解において予想される  $\text{O}_2$  消費と  $\text{CO}_2$  生成の割合に比べ、実験値は  $\text{CO}_2$  生成量が大きくなったことを確認している。これについて、  $\text{CO}_2$  は好氣的および嫌氣的分解の全ての過程において最終生産物となるため、嫌氣的分解が行われることに

よって  $\text{CO}_2$  生成量が  $\text{O}_2$  消費量を上回ったのではないかと指摘している。

もし嫌氣的分解によって発生した還元物質が全てすみやかに酸化されているのであれば、DO と  $\text{CO}_2$  の直線的な関係はくずれないと予想される。しかし発生した還元物質が酸化されるよりも、嫌氣的分解によって還元物質が堆積物中に蓄積される方が速い場合、この直線的な関係はくずれると考えられる。つまり、還元物質が堆積物中に蓄積されつつある状態では、嫌氣的分解によって  $\text{CO}_2$  が生成されるが、DO は消費されず、代わりに還元物質が一時的に酸化されるのを待つ形で堆積物中に蓄積される。この現象は、Guy et al.(1994)が溶出実験において観察した  $\text{CO}_2$  生成量の増加を引き起こした原因であり、嫌氣的な海底堆積物を有する大阪湾においても十分起こりうると思われる。

以上のことをまとめると、貧酸素化した地点の海底堆積物中においては、嫌氣的分解が行われ、  $\text{CO}_2$  が生成される一方、DO は消費されず、代わりに還元物質が堆積物中に蓄積される。この影響により、DO の低い地点では、DO の高い地点において現される DO と  $\text{CO}_2$  の線形な関係をはずれ、より高い  $\text{CO}_2$  濃度を有していたものと推察される。

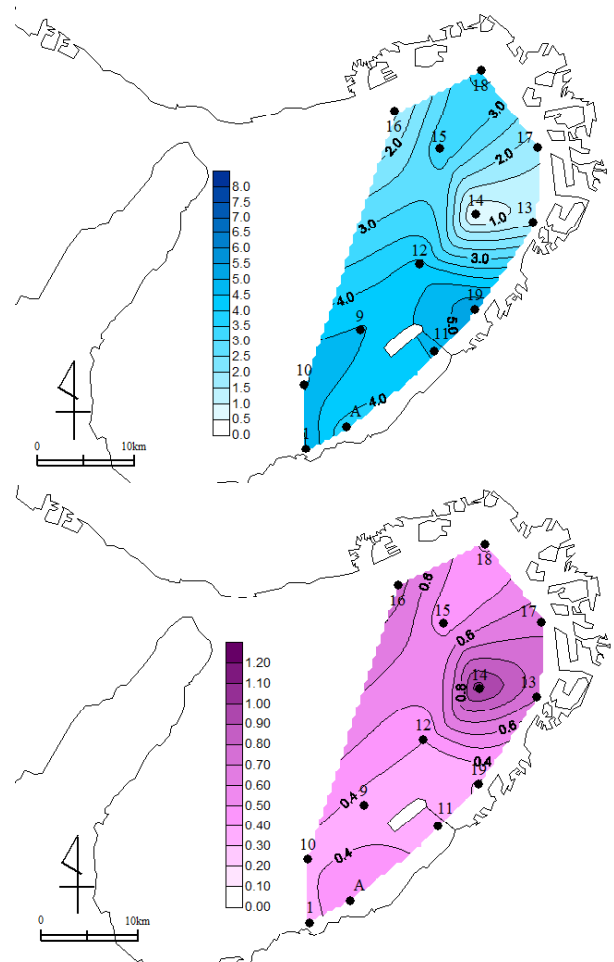


図-3 2010年8月における底層 DO と  $\text{CO}_2$  の水平分布

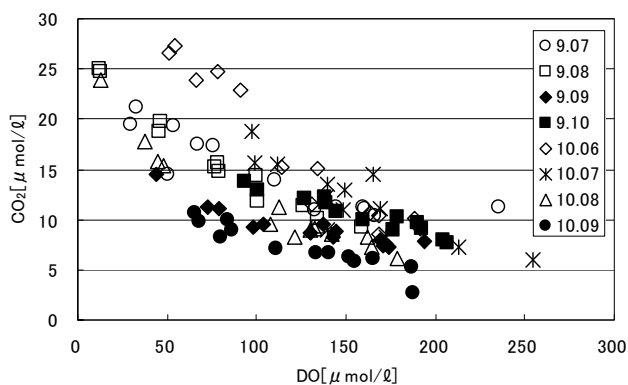


図-4 DOとCO<sub>2</sub>の相関

を各1尾ずつ収容した. 実験開始前に DO 飽和度 100%, CO<sub>2</sub> 濃度 450ppm の海水で 4 時間の馴致を行い, その後, 実験開始から 24 時間後までのサルエビの動態を観察することで, 貧酸素および高 CO<sub>2</sub> による影響を調べた.

表-2 室内実験の概要および条件

試供生物	サルエビ
実験期間	24時間
設定水温	25±0°C
設定DO濃度	10,15,20,25% (=約0.7,1.0,1.3,1.7mg/L)
設定CO <sub>2</sub> 濃度	450,1300ppm (=約0.6,1.6mg/L)

## 4 室内実験

### 4.1 実験概要

実験は大阪府環境農林水産総合研究所水産技術センターにおいて, 2010年7月中旬から8月中旬にかけて行った. まず DO のみを変化させて生物の貧酸素耐性を明らかにした. その後, 貧酸素状態の海水に CO<sub>2</sub> を追加し, 貧酸素のみの時と生存率に差があるかを調べることにより, 二酸化炭素の生物への影響を検討した. 室内実験の概要および条件を表-2 に示す. 試供生物は, 大阪湾に棲息する底生生物であるサルエビ (*Trachysalambria curvirostris*) で, 実験時間は 24 時間, 水温は夏季を想定して 25±0°C に保った. DO 飽和度は 10, 15, 20, 25% の 4 段階, CO<sub>2</sub> 濃度は 450, 1300ppm の 2 段階で計 8 パターンについて行った. なお, CO<sub>2</sub> 濃度 450ppm とは CO<sub>2</sub> を調節せずに実験を行った時の試供海水の CO<sub>2</sub> 濃度である.

実験装置の模式図を図-5 に示す. 海水中の CO<sub>2</sub> を直接連続測定し, 濃度を調節することは困難であるため, CO<sub>2</sub> と非常に高い負の相関を持つ pH を制御することにより, 海水の CO<sub>2</sub> を間接的に調節した. 実験装置は流水式で, 1000タンクに砂濾過海水を加えながら, 所定の DO および CO<sub>2</sub> 濃度を持つ貧酸素海水を作成し, 実験区の呼吸室へ海水を供給した. 貧酸素海水を作成する 1000タンク内には, DO 計 (東亜電波工業社製, DO-25A 型) および pH 計 (東亜 DKK 社製, HM-30R 型) を設置し, 実験期間中は連続して測定した. DO 計および pH 計は, 多機能記録計 (東亜電波工業社製, INR-9021 型) に出だし, そこからさらに電磁弁へ信号を送ることにより, 窒素ガスおよび CO<sub>2</sub> ガスポンベのタンクへの注入を調節している. 窒素ガスおよび CO<sub>2</sub> ガスは, それぞれ DO 濃度および pH を低下させるためのものである. このようにして所定の DO 濃度および pH を持つ海水を作成し, 実験区の呼吸室へ海水を流した. 呼吸室は容量 10 の広口ビンを実験区 5 区, 対照区 1 区の計 6 区用意し, 各呼吸室にサルエビ成体

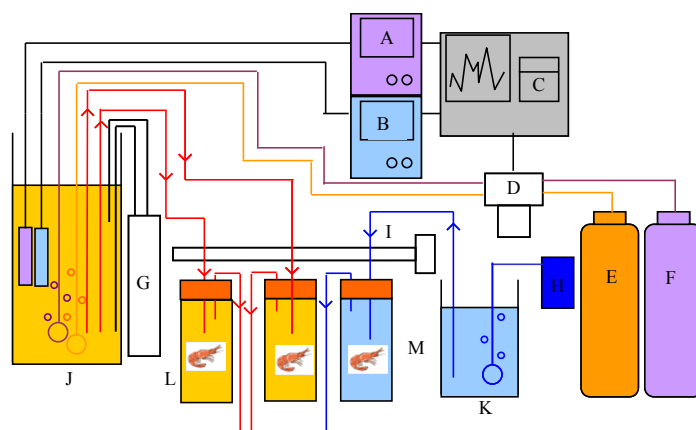


図-5 実験システム模式図

表-3 各実験における水質および試供生物

海水			サルエビ			
CO <sub>2</sub> [ppm]	CO <sub>2</sub> [mg/l]	DO [%]	DO [mg/l]	体長 [cm]	体重 [g]	死亡率 [%]
450	0.6	10	0.7	7.68-8.54	3.2-6.2	100
		15	1.0	7.02-7.93	4.4-6.5	80
		20	1.3	5.78-6.44	1.7-2.7	0
		25	1.7	6.25-7.57	2.9-4.5	0
1300	1.6	10	0.7	8.61-9.23	6.4-7.9	100
		15	1.0	6.72-7.54	3.8-5.2	60
		20	1.3	6.44-7.56	2.7-4.4	20
		25	1.7	7.03-9.04	3.4-8.1	20

## 4.2 実験結果および考察

計 8 回の 24 時間暴露実験終了時における死亡率、およびそれぞれの実験期間中の水質と供試生物の詳細を表-3 に示す。まず、CO<sub>2</sub> は調節せずに DO のみを低下させた実験では、DO 濃度が 20 および 25% の時は全個体 24 時間生存したが、15% になると 24 時間後の死亡率が 80%、10% では死亡率が 100% となった。これらの結果によって得られた 24 時間後半数致死 DO 濃度は、15.9%(1.09mg/l) であった。

次に、DO の低下に高 CO<sub>2</sub> 環境を追加した実験では、DO 濃度が 20 および 25% の時は死亡率が 20% であったが、15% になると 24 時間後の死亡率が 60%、10% では死亡率が 100% に上昇した。これらの結果によって得られた高 CO<sub>2</sub>(1300ppm) 時における 24 時間後半数致死 DO 濃度は、16.5%(1.13mg/l) であった。

貧酸素に高 CO<sub>2</sub> を追加した場合とそうでない場合を比較する。24 時間後半数致死 DO 濃度を比較すると、CO<sub>2</sub> を制御しなかった実験の値は 15.9%(1.09mg/l)、高 CO<sub>2</sub> を追加した実験では 16.5%(1.13mg/l) と、ほとんど違いが見られなかった。

浜野ら(2005)は、シャコ(*Oratosquilla oratoria*)を海水の入った密閉容器に入れ、海水の DO 濃度の経時変化とともに、シャコの動態を調べている。それによると、DO 濃度が 11.0%(0.86mg/l) 以下になると仮死状態の個体が現れ、また、実験中のシャコの動態から無活動余地酸素量を 37.8%(3.00mg/l) と算出している。無活動余地酸素量とは、これ以下の酸素量になると何らかの影響を受けるといふものである。Kodama et al.(2006)は、東京湾における貧酸素とシャコ稚仔の出現状況から、シャコ稚仔が棲息し続けることが可能な DO 濃度は 3.97mg/l としている。このように、実験において死亡が確認された DO 濃度と、実海域において健康に生物が棲息し続けることのできる DO 濃度では大きな差がある。これらのことから推察すると、サルエビについても、健康に棲息し続けるためには、DO 濃度 3 あるいは 4mg/l 以上の良好な酸素環境が必要と考えられる。

今回実験で得られたサルエビ成体の 24 時間半数致死 DO 濃度は約 16%(1.1mg/l) であり、2010 年 8 月の底層水 DO の水平分布を見ると、堺泉北港沖において、この値を下回っていた。また、湾奥部を中心に広い範囲で DO 3mg/l を下回っており、これらの海域ではサルエビの棲息に対し、影響を与えている可能性は高いと思われる。

本実験において、CO<sub>2</sub> 濃度 1300ppm ではサルエビの貧酸素耐性に与える影響は確認できなかったが、それよりも低い CO<sub>2</sub> 濃度によって海洋生物の棲息に影響を与えたとの報告がある。Kurihara et al.(2008)は、

CO<sub>2</sub> 濃度 1000ppm におけるイソスジエビ(*Palaemon pacificus*)の生存率の低下を、白山(2001)は、CO<sub>2</sub> 濃度 600ppm におけるマガキガイ(*Strombus luhuanus*)およびバフンウニ(*Hemicentrotus puicherrimus*)、ナガウニ(*Echinometra mathaei*)の成長率の低下を確認している。しかし、これらの実験はいずれも、本実験よりも暴露時間が長期に渡っている。Victoria et al.(2008)によると、生物は高 CO<sub>2</sub> 環境になると代謝を低下させ、環境が良くなるまで耐えるという方法をとる。この代謝を低下させるという方法は、一時的な高 CO<sub>2</sub> 環境には有効であるが、慢性的な高 CO<sub>2</sub> には有効でないとしている。このことを考慮すると、今回実験を行った CO<sub>2</sub> 濃度であったとしても、長期間に渡れば、サルエビの棲息に影響を及ぼす可能性が存在する。

## 5 まとめ

大阪湾東部沿岸海域において、DO および CO<sub>2</sub> に関する現地調査を行った。その結果、大阪湾における DO と CO<sub>2</sub> 濃度には高い負の相関が見られ、生物活動による影響の高さが伺えた。また、貧酸素化が進んだ海域においては、生物による嫌氣的分解のためか、特に高濃度の CO<sub>2</sub> が存在していた。

サルエビ成体について貧酸素耐性実験および貧酸素・高二酸化炭素暴露実験をおこなった。その結果、サルエビの 24 時間半数致死 DO 濃度は約 16%(1.10mg/l) であることが分かった。また、約 1.6mg/l(1300ppm) の CO<sub>2</sub> 濃度が、24 時間のうちにサルエビの貧酸素耐性に与える影響は確認されなかった。調査および実験結果を比較したところ、大阪湾において、貧酸素はサルエビの棲息に影響を及ぼすと思われるが、CO<sub>2</sub> が及ぼす短期間での影響は確認されなかった。

## 参考文献

- 有山啓之、矢持進、佐野雅基(1997)：大阪湾奥部における大型底生動物の動態について II。主要種の個体数・分布・体長組成の季節変化、沿岸海洋研究、第 35 巻、第 1 号、p.83-91。
- 入江政安、西田修三、寺中恭介、辻陽平、平澤充成、藤原敏晴、中筋みゆき(2010)：硫化水素の発生・溶出に着目した水底質モデルによる貧酸素水塊の動態解析、土木学会論文集 B、Vol.66、No.1、p.1066-1070。
- 近藤文義、塚本修、渡邊修一(2004)：太平洋東部赤道海域における二酸化炭素分圧の増加速度、OKAYAMA University Earth Science Reports、Vol.11、No.1、p.15-22。
- 白山義久(2001)：ベントスに対する CO<sub>2</sub> の影響、月刊海洋 Vol.33、No.11、p.791-796。
- 浜野龍夫、山元憲一(2005)：漁場におけるシャコの分

- 布や資源量に影響する2つの要因, 走流性と貧酸素耐性, に関する研究, *Journal of National Fisheries University*, pp.117-129.
- 藤原建紀, 岸本綾夫, 中嶋昌紀(2004): 大阪湾の貧酸素水塊の短期的および長期的変動, *海岸工学論文集*, 第51巻, pp.931-935.
- 藤原隆一(2010): 観測結果から見た大阪湾で発生した青潮の特性, *土木学会論文集 B2*, Vol.66, No.1, p.1016-1020.
- 柳哲雄(2004): 貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響, *海の研究*, 13(5), p.451-460.
- Brasse, S., M. Nellen, R. Seifert, and W. Michaelis (2002): The carbon dioxide system in the Elbe estuary, *Biogeochemistry*, Vol.59, p.25-40.
- Dickson, A.G. & Goyet, C. (1994): Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water, version 2, DOE, ORNL/CDIAC74.
- Guy, B., J. Clavier, and C. Garrigue (1994): Oxygen and carbon dioxide fluxes at the water-sediment interface of a tropical lagoon, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.107, p.185-193.
- Kodama, K., T. Horiguchi, G. Kume, S. Nagayama, T. Shimizu, H. Shiraishi, M. Morita, M. Shimizu (2006): Effects of hypoxia on early life history of the stomatopod *Oratosquilla oratoria* in a coastal sea, *Marine Ecology Progress Series*, Vol.324, pp.197-206.
- Kurihara, H., M. Matsui, H. Furukawa, M. Hayashi, and A. Ishimatsu (2008): Long-term effects of predicted future seawater CO<sub>2</sub> conditions on the survival and growth of marine shrimp *Palaemon pacificus*, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 367(1), pp.41-46.
- Ohtaki, E., Eiji Yamashita, Fukuchi Fujiwara (1993): Carbon Dioxide in Surface Seawaters of the Seto Inland Sea, Japan, *Journal of Oceanography* Vol.49, pp.295-303.
- Victoria J. Fabry, Brad A. Seibel, Richard A. Feely, and James C. Orr (2006): Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes, *Journal of marine science*. 65, pp.414-432.
-

## 討議等

### ◆ 討議 [ 貫上先生 ]

海水中の CO<sub>2</sub> 濃度とは？分子状の CO<sub>2</sub> は存在していないのではないかな？

回答：海水中の CO<sub>2</sub> 濃度とは、分子状の CO<sub>2</sub> のことである。分子状の CO<sub>2</sub> は海水中に微小であるが存在している。

### ◆ 討議 [ 水谷先生 ]

室内実験において CO<sub>2</sub> 濃度をどのように設定したのか？ガス状の CO<sub>2</sub> で評価する理由は？

回答：室内実験において CO<sub>2</sub> 濃度と相関の高い pH を調節することにより、CO<sub>2</sub> 濃度を設定した。ガス状の CO<sub>2</sub> は、高濃度になると生物に影響を与えることが分かっているため、評価した。

### ◆ 討議 [ 鍋島先生 ]

地球温暖化との関係は？大阪湾における CO<sub>2</sub> の経年変化はどのようになっているのか？

回答：大阪湾における CO<sub>2</sub> は、大気 CO<sub>2</sub> の上昇に比べて生物による影響が大きいため、地球温暖化との関係は薄いと思われる。大阪湾での CO<sub>2</sub> の経年変動は調査例が少なく、現状では分からない。

### ◆ 討議 [ 水谷先生 ]

コンター図の補間の方法は？

回答：調査点と点の間を線形で補間した。

### ◆ 討議 [ 矢持先生 ]

DO2.5mg/l で嫌氣的なのか？嫌氣的分解によって本当に相関図に影響を与えているのか？

回答：DO2.5mg/l の海水中において、嫌氣的分解が行われているとは考えていない。貧酸素化した海域の堆積物中において無酸素状態となり、そこで行われる嫌氣的分解による影響が、底層水に反映されたと考えている。

### ◆ 討議 [ 貫上先生 ]

大阪湾で大気と海水間でのやりとりはどのようになっているのか？

回答：大阪湾表層では、植物プランクトンの光合成により、海水中の CO<sub>2</sub> 濃度は非常に低い値となっている。そのため、大気から海水へ CO<sub>2</sub> が溶け込んでいると考えられる。