

# 大阪湾における酸素消費有機物 (COD) の生成・起源に関する研究： 同位体比からのアプローチ (その2)

小林志保

京都大学フィールド科学教育研究センター 助教

## 1. 研究目的

大阪湾の沿岸の港湾域・深掘り跡には強固な貧酸素水塊が発生する。この貧酸素化は、海中の有機物が呼吸分解されるときに溶存酸素 (DO) を消費することによって起きる。有機物 (POC, PON) は、酸素を消費して分解され、無機態炭素 (DIC) と無機態窒素 (DIN) になる。

海中の有機物には、陸起源のものと、海域で生産された内部生産起源のものがある。それぞれの炭素同位体比と窒素同位体比には特徴的な値があり、炭素・窒素同位体比分析により有機物を陸起源と内部生産起源に分けることができる。

本研究では、海域の「有機物」とともに、「有機物分解生成物 (DIC, DIN)」の窒素・炭素同位体比を測定し、実際に酸素を消費している有機物が陸起源であるか内部生産起源であるか明らかにする。

## 2. 研究方法

大阪湾東部および沿岸の港湾域等の、貧酸素化が問題となっている海域において調査を行う。淀川・大和川の影響を強く受ける湾奥の港湾域には、ほぼ年間を通じて貧酸素水塊が形成されており、この水塊中には有機物が分解されてできた DIC・DIN が高濃度に蓄積されている。貧酸素水塊中の DIC の同位体比を用いて酸素を消費して分解された有機物の起源を推定する方法を港湾域に適用するとともに、やや閉鎖度の低い貧酸素水塊における推定方法についても検討する。

調査は大阪湾の下記において行った。観測点図を図1に示した。

(1) 深掘り跡 (堺2区北泊地) 2013年6,7,8,9,11月および2014年2月

(2) 淀川淡水領域から大阪湾中央部に至る断面 2013年7月

各観測点において CTD を用いて水温・塩分・溶存酸素濃度 (DO) ・pH ・クロロフィル蛍光値および光量子を水深 0.1 m 間隔で測定した。(1)においては水深 5 m 間隔、(2)においては水深 2 m 間隔で採水を行なった。

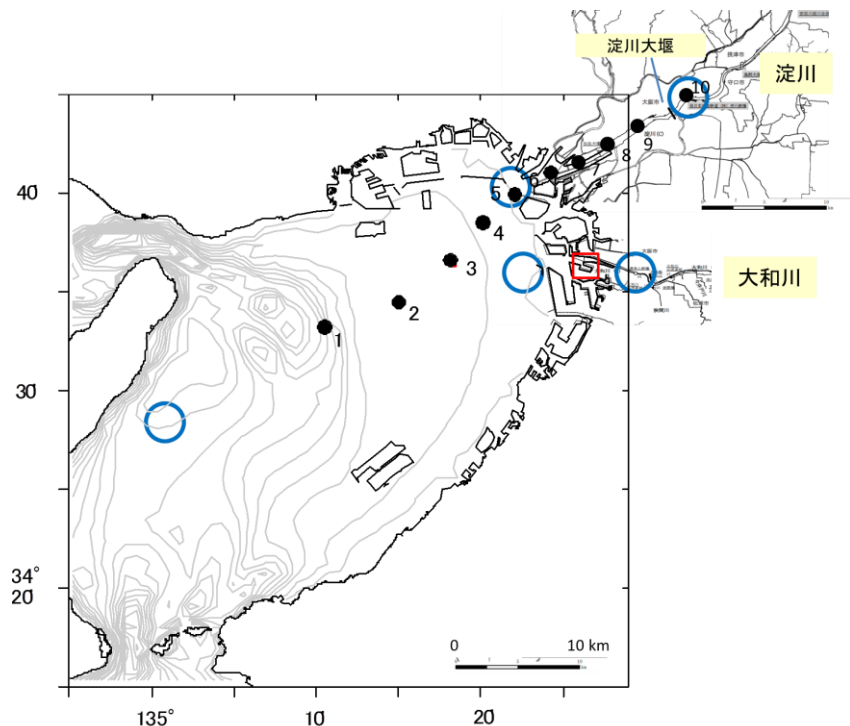


図1 大阪湾断面観測点 (黒丸) および深掘り跡 (堺2区北泊地・赤四角) および有機物分解実験のための採水地点 (青丸)

(3) 2013年7月および8月に採取した河川水（淀川・大和川）および海域（淀川河口・大和川河口・大阪湾西部）の水を用いて100日間の有機物分解実験を行なった。

採取した水はGF/Fフィルターを用いて濾過し、DIC, POC, PON, NO<sub>3</sub>の安定同位体比測定に供した。また濾液を用いて、溶存各態の炭素（DOC, DIC）・窒素（DON, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>）・リン（DOP, DIP）の濃度を測定した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 深堀り跡（堺2区北泊地）調査

堺2区北泊地中央（水深約17m）において6月から2月まで測定した塩分、DO、pH、DIC濃度の鉛直分布を図2(a)~(d)に示した。表層の塩分は河川水の影響を強く受けているが、水深14m以深の塩分は年間を通じてほとんど変化していない。6月から11月までの期間、無光層となる水深8m以深は無酸素であり、水深14m以深には有機物分解によって生じたと考えられるDICが蓄積していた。水深12m付近にはpHの第二躍層があり、それより下層のpHはDICの蓄積が進むにしたがい低下していた。

ほぼ閉鎖的な環境になっていると考えられる水深14m以深における酸素消費有機物の由来を推定した。pH第二躍層下においてはDIC濃度の上昇にともなってDICの安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C-DIC}$ ）が低下していた（図3）。図中の実線は、分解によって負荷されるDICの安定同位体比が添え字で表したような値であった場合に、予想されるDIC濃度と $\delta^{13}\text{C-DIC}$ の関係を示している。観測された値は-25%のラインよりも上方にあり、分解によって生じたDICの安定同位体比はこの範囲にあることが示された。海水中（北泊地）の $\delta^{13}\text{C-POC}$ の平均値-23%、河川水中（大和川）の $\delta^{13}\text{C-POC}$ の平均値-27%を用いると、底層付近で酸素を消費する従属栄養代謝に利用されている有機物のうち少なくとも5割以上が植物プランクトン由来の内部生産有機物

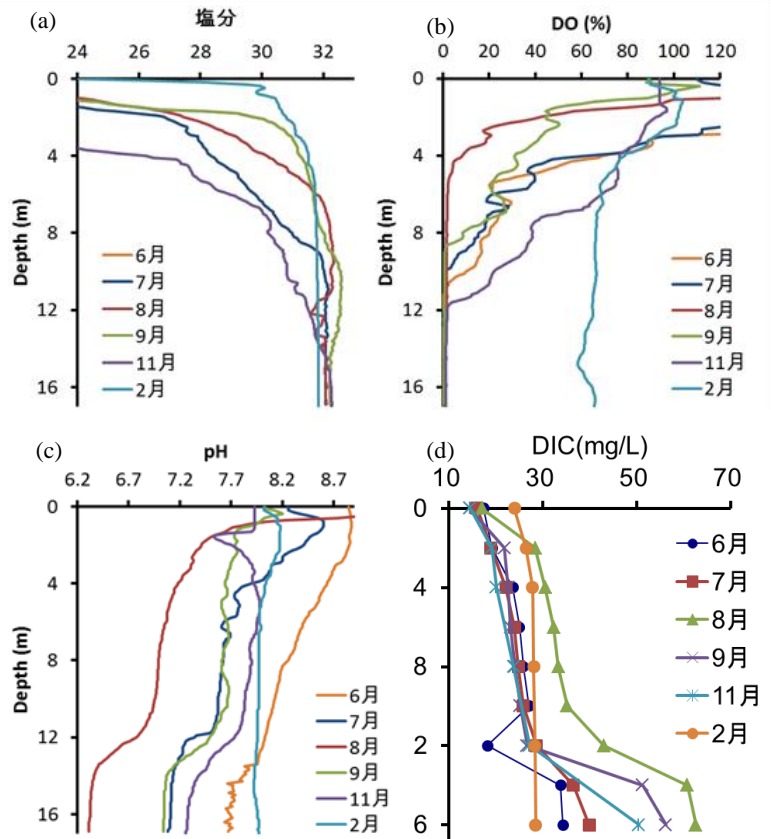


図2(a)~(d) 塩分、DO、pH、DIC濃度の鉛直分布

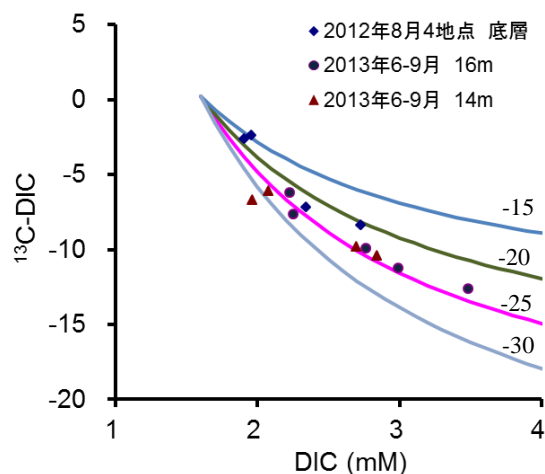


図3 DIC濃度とDIC安定同位体比の関係

と推定された。2013年の結果から見積もられた内部生産有機物の寄与割合は、2012年8月の底層の複数地点の結果を用いた見積もりと矛盾せず、DICのバックグラウンド濃度の高い海洋においても、港湾下層のような閉鎖的な環境においては、 $\delta^{13}\text{C-DIC}$ の値を用いて酸素消費有機物の起源を推定することが可能であることが示された。

(2) 大阪湾断面調査

淀川河口から大阪湾中央部に至る断面において2013年7月に観測された塩分、DO、DIC濃度 $\delta^{13}\text{C-DIC}$ および $\delta^{13}\text{C-POC}$ の分布を図4(a)~(e)に示した。河口および湾奥部の底層のあわせて2か所が貧酸素化しており、貧酸素化した部分では、DIC濃度が高くDIC安定同位体比が低かった。DICの濃度および安定同位体比( $\delta^{13}\text{C-DIC}$ )を、それぞれ塩分に対してプロットしたものを図5(a),(b)に示した。それぞれの図中の実線は、DICが河川水と海水との混合において保存的に輸送された場合の両者の関係を示している。底層のDIC濃度は保存的混合モデルの予測値より高く、予測値と実測値の差はAOUと比例関係にあったことから、両者の差の部分は有機物分解によって負荷されたDICと考えられた。また、底層の $\delta^{13}\text{C-DIC}$ は予測値よりも大幅に下方に偏移していた。この偏移と、負荷されたDICの濃度とを用い、マスバランスから有機物分解によって底層で負荷されたDICの安定同位体比を推定すると、河口では-28‰、それ以外の観測点の平均値は-18‰であった。酸素消費物質の $\delta^{13}\text{C}$ は河口では河川内の $\delta^{13}\text{C-POC}$ とほぼ等しく、河口以外の湾奥部ではその場所の表層の $\delta^{13}\text{C-POC}$ とほぼ等しかった。湾奥における酸素消費にはその場所の表層で生成した有機物の分解が強く関わっていることが示唆された。

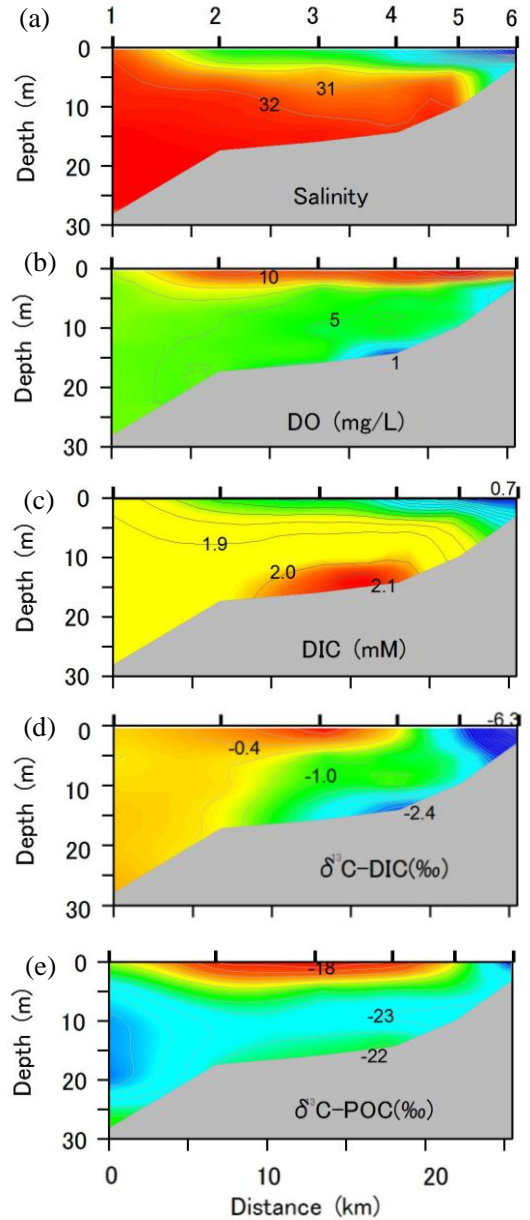


図4 塩分、DO、DIC濃度、 $\delta^{13}\text{C-DIC}$ および $\delta^{13}\text{C-POC}$ の分布

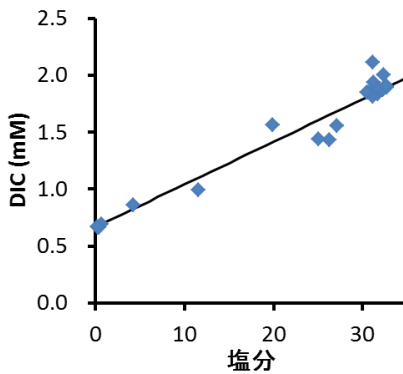


図5(a) 塩分とDIC濃度の関係

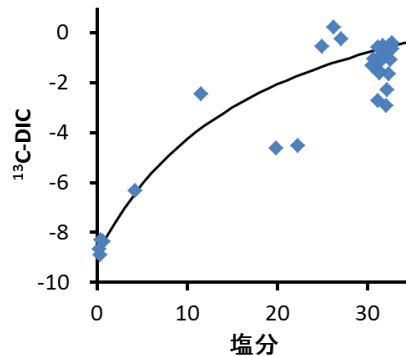


図5(b) 塩分とDICの安定同位体比の関係

### (3) 有機物分解実験

断面調査を行なった地点のうち、淀川淡水域、淀川河口および大阪湾西部の海水を用いた有機物分解実験の結果を表 1 に示した。いずれの地点においても 30 日後の POC 濃度は 0 日目に比べて大きく低下し、30 日間のあいだに POC のそれぞれ 65 %、85 %、84 % が分解された。海域の POC の 8 割以上、河川水中の POC の 6 割以上が易分解性有機物であったことが明らかになった。また POC の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ -POC) も全地点において低下したことから、 $\delta^{13}\text{C}$ -POC の値が比較的高い有機物すなわち植物プランクトン由来の有機物が、陸域由来の有機物に比べて分解されやすいことが示された。

表 1 有機物分解実験の結果

測点	日数	POC	$^{13}\text{C}$ -POC
		mg/L	‰
淀川	0	0.42	-27.06
淀川	30	0.15	-29.44
淀川河口 (St5)	0	1.92	-20.74
淀川河口 (St5)	30	0.28	-22.93
大阪湾西部	0	0.65	-20.35
大阪湾西部	30	0.10	-25.61

### [結論]

本研究では、港湾下層のような閉鎖的な環境においては、「有機物」とともに「有機物の分解生成物」を同位体比分析することによって、酸素消費有機物の起源を推定することが可能であることを示した。また、貧酸素化開始時期の大阪湾底層において酸素を消費しているのは主に内部生産有機物（植物プランクトン由来の有機物）であることが示唆された。

人為由来窒素・リンのほとんどが無機態（＝栄養塩）として河川水とともに海域に供給されるかぎり、河川水の広がりに応じて内部生産有機物（＝植物プランクトン由来）が生じ、その有機物が酸素を消費して貧酸素域が広がると考えられる。大阪湾の貧酸素化を抑制するためには、有機物が広範囲の貧酸素を起さず高次生産に結びつくための要件を明らかにすることが必要である。