

大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する 研究助成事業（平成22年度実施）成果発表会

プログラム

◆あいさつ・フェニックスセンターの紹介

13:00～13:20

矢野 久志（大阪湾広域臨海環境整備センター常務理事）
樋口 進（大阪湾広域臨海環境整備センター環境課長）

◆個別発表

13:20～16:30

1. 大阪湾圏域における次ステップの環境再生に向けた
栄養塩循環・バランスの適正化
石垣 衛（広島工業大学都市デザイン工学科）
2. 新たに造成される浅場の機能評価モデルの開発に向けた
底質劣化に関する研究（その2）
—大阪湾奥部における鉄イオンの挙動把握
入江 政安（大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻）
3. 大阪湾圏の浅海域成育場が魚類生産に果たす役割の
定量評価：広域調査による空間変動解析（その2）
小路 淳（広島大学大学院生物圏科学研究科）
4. 大阪湾の植物プランクトンの季節・経年変動とその要因
（その2）
多田 邦尚（香川大学農学部応用生物科学科）
5. 大阪湾圏域におけるノリの色落ち原因珪藻に対する
人工合成培地の開発と有機酸の影響
内藤佳奈子（県立広島大学生命環境学部）

----- 休 憩 15:00～15:10 -----

6. 大阪湾における陸起源有機物の供給と堆積状況に関する研究

長尾 誠也（金沢大学環日本海域環境研究センター）

7. 大阪湾・播磨灘における二酸化炭素の挙動と収支に関する研究

藤井 智康（奈良教育大学教育学部）

8. 須磨海岸における砂浜生態系の修復を目標とした順応的管理手法の提案

一須磨海岸における砂浜生態系の現状把握と課題抽出

松沢 慶将（神戸市須磨海浜水族園）

9. 大阪湾御前浜の生物生息環境に海底地下水湧出が及ぼす影響（その3）

安元 純（琉球大学農学部地域農業工学科）

◆質疑

16:30～16:40

◆講評

16:40～16:55

柳 哲雄（選考委員会委員長）

◆閉会あいさつ

16:55～17:00

松田 治（瀬戸内海研究会議会長）

大阪湾圏域における次ステップの環境再生に向けた 栄養塩循環・バランスの適正化

石垣衛¹⁾，山中亮一²⁾，中谷明康³⁾

1)広島工業大学・准教授，2)徳島大学大学院・講師，3)兵庫県漁業協同組合連合会

1. はじめに

大都市を抱える大阪湾圏域では，水質総量規制等の施策により水質は一定のレベルまで改善されたものの，埋立等にて閉鎖性度を高めた港湾域では流入負荷の滞留が解消されず慢性的な過栄養化の状態にある。一方，淡路島沖や播磨灘ではノリの色落ち等が生じており，漁業関係者から栄養塩の不足による水産資源の枯渇が叫ばれている。この様な背景には図1に示すように，栄養塩の量的な問題以外に，湾圏域における栄養循環・バランスの偏りという問題が内在している。

本研究では，大阪湾圏域における適正な栄養塩循環・バランスを再生するため，まず，湾圏域の栄養塩の偏りの実態把握と問題点を整理した。次に，図1の中に示す『陸からの負荷量の減少・偏り』に着目し，栄養塩循環・バランスの適正化に向けた下水放流水の放流手法について検討した。ここでは，改善方策として下水放流水の沖合放流の適用効果について，数値モデルを用いてその効果の予測評価を実施した。これらの結果より，今後の大阪湾再生事業において，栄養塩循環・バランスの適正化を念頭においた計画が必要となることを示した。

2. 研究内容と方法

大阪湾圏域における栄養塩循環・バランスの適正化に向けて，以下に示す2つの項目について研究を実施した。

2.1 大阪湾圏域における栄養塩の偏りの実態把握

(1)大阪湾圏域の水質情報データベースの構築

大阪湾で大規模埋立が行われた直後の1975年から2009年を対象とした地形変化，栄養塩分布状況について，既存調査資料を用いてGISデータベースを構築した。ここで，GISデータベース構築に使用した既存資料として，国土地理院発行の測量成果謄本および数値地図（1/25,000），大阪府・兵庫県が実施する浅海定線調査データ，公共用水域水域水質データ，兵庫県漁連ノリ研究所水質調査データ等の複数の資料を用いた。

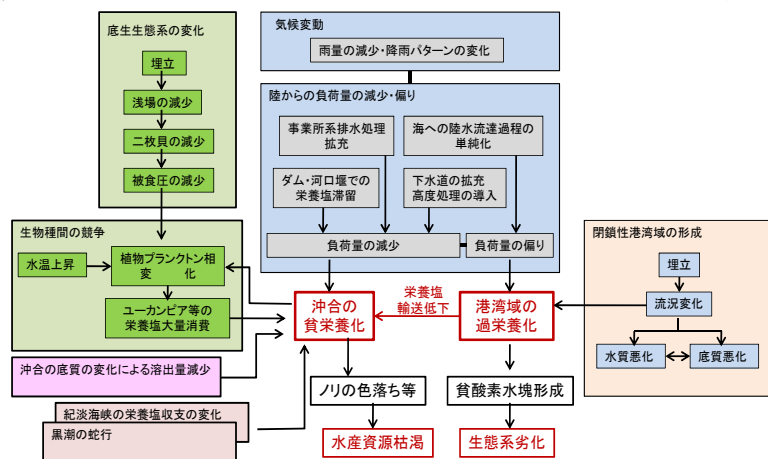


図1 大阪湾圏域の栄養塩バランス悪化の要因

(2)大阪湾圏域の栄養塩分布の経時間変化の把握と評価

構築した GIS データベースを用いて、埋立地形と栄養塩分布の経時変化図を GIS マップにて作成した。ここでは、1972 年～2009 年の各年のデータを 5 年毎に平均した値を用いて、当該年における平均的な栄養塩分布マップを表した。このマップを用いて、大阪湾で実施された大規模埋立の前後における、閉鎖性度を高めた港湾域と沖合域の栄養塩分布の実態を把握した。

2.2 栄養塩循環・バランスの適正化に向けた方策の適用効果の評価

栄養塩循環・バランスを支配する要因の 1 つとして、埋立による流況変化と下水処理場からの排出負荷の偏りが考えられる。ここでは、大阪湾圏域における埋立と下水処理場からの排出負荷との関係を数値解析により明らかにし、下水処理場からの放流を沖合放流とすることによる栄養塩分布の変化について評価した。

(1)数値解析モデルの概要

大阪湾圏域に対して、数値解析対象範囲を図 2 に示すように西端を播磨灘、南端を紀伊水道とした。地形情報は前述の GIS データベースより取得し、水深情報は海図から取得した。また、水深は尼崎港の平均海面水位を基準とした。地形に対して空間解像度を高めた不等間隔直交格子を設定し、計算格子間隔は 100m～1200m までの間で変化させ、尼崎港周辺域の計算格子間隔は約 180m とした。鉛直方向には 20 層設定しており、層厚は水面から 2m×1 層、1m×10 層、2m×4 層、3m×1 層、5m×1 層、7m×1 層、10m×1 層、15m×1 層とした。

(2)解析ケース

解析ケースとして表 3 に示す 3 つのケースを設定した。ここでは、Case1 は 2009 年を現況とし再現することを目的に設定した。また、Case2 は 1972 年～1975 年の地形を用いて 2009 年の流入負荷を与えることで、大規模な防波堤設置や埋立による下水放流水が捕捉される効果を評価した。Case3 は 2009 年の現況に対し、下水放流水を西宮防波堤南側海底より沖合放流することで、閉鎖性海域における栄養塩捕捉の緩和効果について検証した。

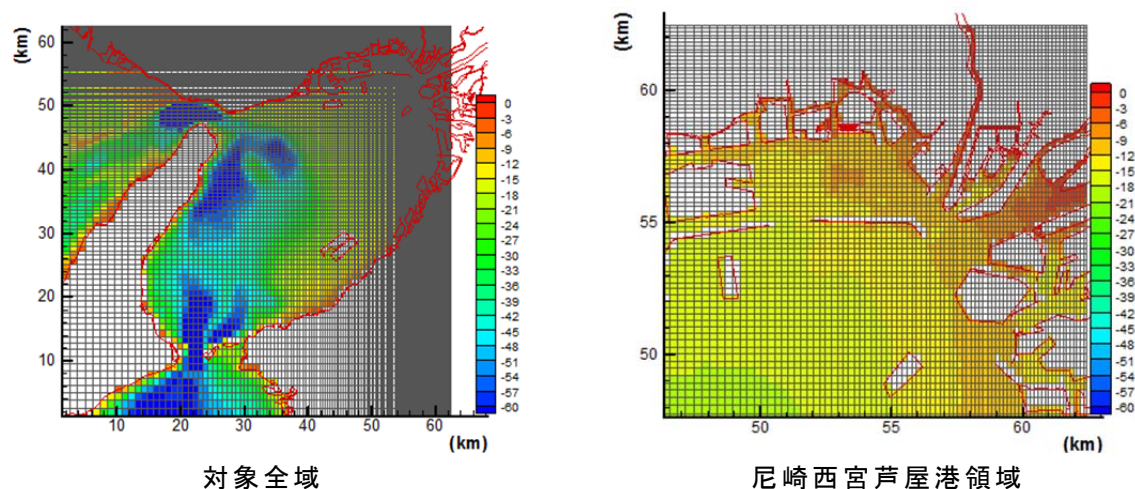


図 2 数値モデル概要

表 3 解析ケース

ケース名	地形	対象月	流入負荷量	浄水場放流位置
Case1	2009 年	2 月	2009 年	2009 年現在の位置
Case2	1975 年	2 月	2009 年	2009 年現在の位置
Case3	2009 年	2 月	2009 年	西宮防波堤南側海底

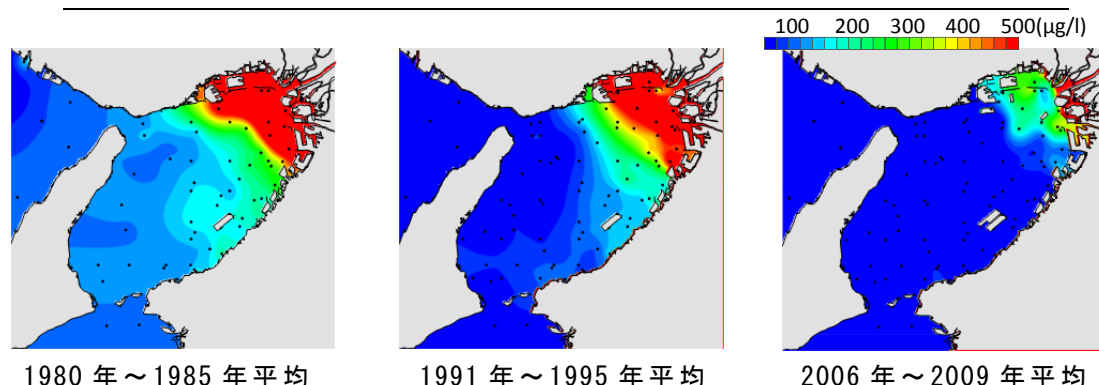


図 3 大阪湾圏域の年代別栄養塩分布（溶存無機態窒素：表層）の変遷

3. 主な結果と考察

3.1 大阪湾圏域の栄養塩分布の変遷

図 3 に GIS データベースにて作成した大阪湾圏域の表層栄養塩分布（溶存無機態窒素）の変遷図を示す。図は 1980 年～1985 年，1991 年～1995 年，2006 年～2009 年の各 5 年間を平均した冬季（2 月）の分布状況を示したものである。ここで冬季データは，一次生産が栄養塩濃度分布に及ぼす影響が小さく，当該域の流入負荷の拡散分布をある程度正確に把握できる値として採用した。

中辻ら¹⁾の報告によれば大阪湾の栄養塩濃度変化は，1980 年～1985 年に最大値を示すものの，その後，総量規制等の政策によりその値は減少に転じている。図からも，1985 年以降で栄養塩濃度は減少傾向にあり，その値は湾奥の西宮防波堤内で約 0.9mg/l（1985 年）から 0.23mg/l（2009 年）へ減少した値を示し，淡路島沖で約 0.15mg/l から 0.045mg/l へ減少した値を示した。この結果は，総量規制により大阪湾全体で水質は改善される傾向にあるものの，都市臨海部には栄養塩が偏って存在し，依然として栄養塩濃度が高い状態であること，一方でノリ漁場など栄養塩を必要とする場所の栄養塩が枯渇していることを示し，大阪湾内の栄養塩循環・バランスが崩れていることを示すものである。

都市臨海部に栄養塩が偏って存在する理由として，防波堤や埋立地にて形成される閉鎖性海域が陸域からの流入負荷を捕捉し留めていることが考えられる。特に，多くの下水処理場が位置する尼崎西宮芦屋港では，淀川や武庫川等の河川流入負荷に加え，下水放流水も大きな負荷として捕捉されていると考えられる。

3.2 埋立が下水道放流水の拡散におよぼす影響と沖合放流の効果

図 4，図 5 に大阪湾奥の潮汐残差流と塩分分布，表層栄養塩分布（T-N）の数値

解析結果を示す。Case2 では淀川河川水が河口から南下する流れを形成し、阻害されることなく湾域に拡散する結果を得た。一方で Case1 では淀川河川水は舞州に阻まれることで、一部西流になり西宮防波堤内の海域に進入する成分が生じている。また、武庫川河川水や尼崎西宮芦屋港に位置する下水処理場からの放流水も西宮防波堤の北側に捕捉される傾向にある。このことが西宮防波堤内の栄養塩が Case2 に比較して増加する傾向を招いていると考えられ、埋立や防波堤の設置が河川水や下水放流水を港内に留め、水質悪化の要因となることが示唆される。

Case1, Case3 の比較では、下水放流水を西宮防波堤沖側から沖合放流することで、尼崎港内および、鳴尾浜～甲子園浜海域の栄養塩が減少する結果を得た。この結果は、下水放流水の沖合放流を施すことで、港内への流入負荷を緩和でき、栄養塩濃度を減少させることとなり、水質改善が期待できることを示すものである。

4. 結論

GIS を用いた大阪湾水質データベースの構築により、大規模な埋立により閉鎖性海域が形成されることで、陸域からの流入負荷が当該域に補足されることを明らかにした。また、水質総量規制等の施策により、海域全体では栄養塩濃度の低下が確認され水質は改善傾向にあるものの、都市臨海部では過栄養化、沖合のノリ漁場では貧栄養化の状況であり、栄養塩が偏って存在することが明らかになった。今後の大阪湾の再生計画では、栄養塩の偏りを解消する様々な方策の検討が必要であり、例えば下水放流水の沖合放流等は有効な手法の 1 つであることを示した。

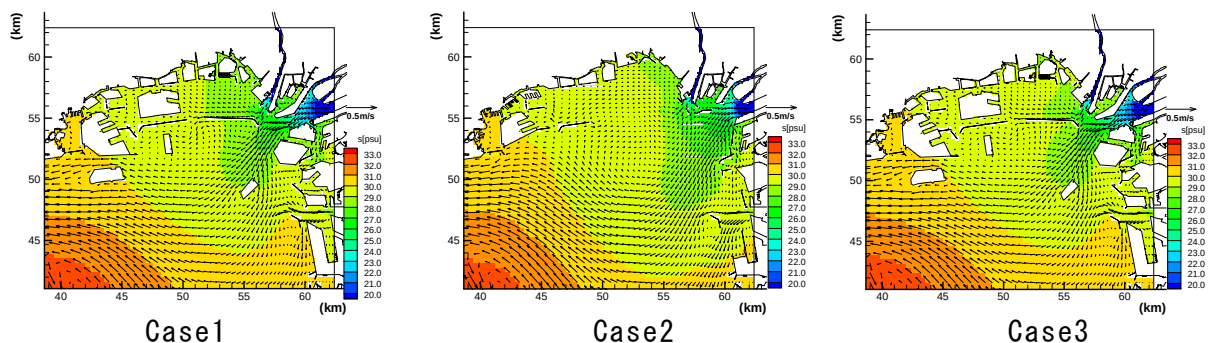


図 4 尼崎西宮芦屋港における塩分の拡散状況の変化

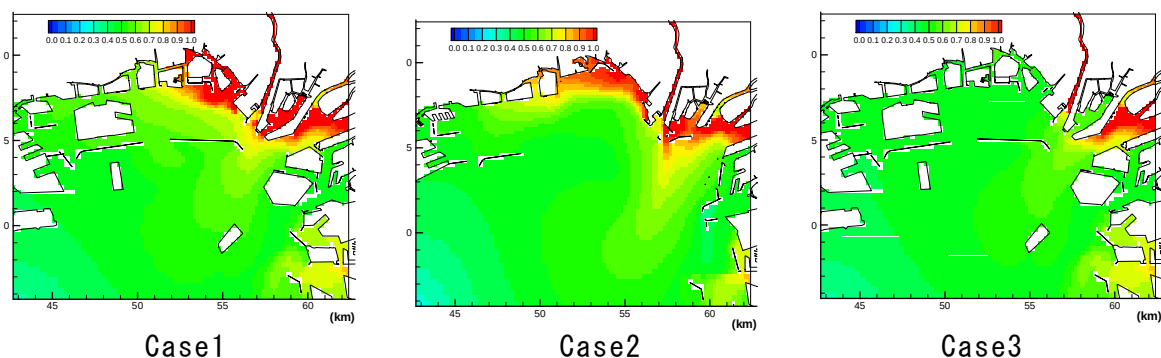


図 5 尼崎西宮芦屋港における T-N の拡散状況の変化

新たに造成される浅場の機能評価モデルの開発に向けた底質劣化に関する研究（その2） —大阪湾奥部における鉄イオンの挙動把握

入江 政安
大阪大学大学院工学研究科 講師

1. 本研究の背景と目的

本研究の最終目標は、環境再生を目的として、特に水質の面では不利な立地のもとで新たに造成される浅場について、流動・水質・底質モデルに一部生態系モデルを組み合わせた機能評価モデルを構築し、適地を選定するための方法・評価法を検討することである。昨年度助成研究においては、近年に養浜された甲子園浜において、底質調査を行い、底質の周年的な特徴と経年的な劣化傾向をある程度推定したが、その寄与割合の解明と定量化については不十分のままであった。また、底質モデルにより現地観測結果を再現し、解析したことで、新たな調査項目、つまり金属イオン、なかでも鉄イオンに関する検討が必要になった。本年度（その2）の目的は、大阪湾奥部で現地調査を行い、全鉄および溶存鉄の分布を調査するとともに、採泥および室内実験を行い、底質－海水間の鉄イオンの動態・供給量の把握を目的とする。

2. 有機物の酸化・無機化過程を考慮した底質モデルの拡張

初年度で構築した生物地球化学的底質モデルを用いて、3次元流動水質モデルとの統合を行った。（図-1）計算は2009年の9月～10月に実施した水質調査および10月1日の底質調査の結果の再現を目的とした。計算開始を7月1日とし、境界条件には主要6分潮の予測潮位を与え、気象条件は神戸空港で観測されたアメダスデータを用いた。河川からの出水については、淀川については枚方の水位データを基に流量を与え、他の河川は夏季の平均的な流量を与えた。底質については、まず各地点の底質を再現するために、1800日の計算を実施した。この際、 MnO_2 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 FeS 、 FeS_2 の各フラックス、有機物堆積速度(易・難分解性の

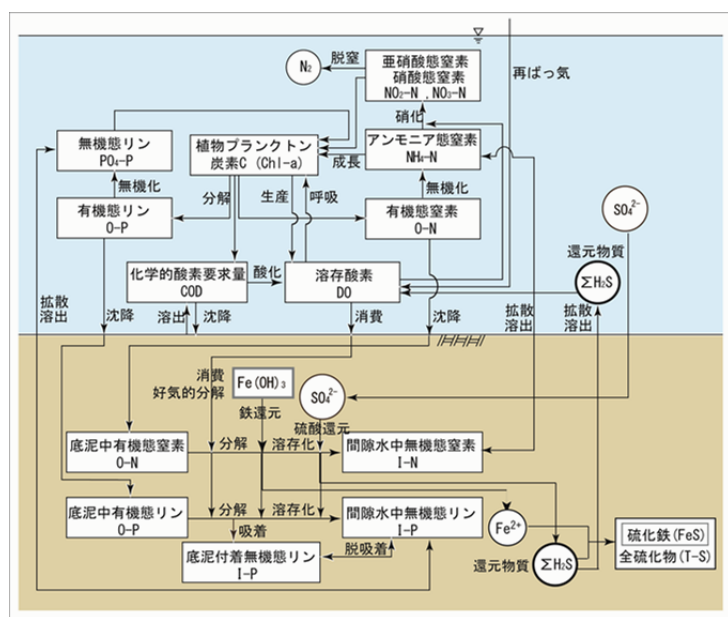


図-1 水底質モデルの概要（入江ら,2010）

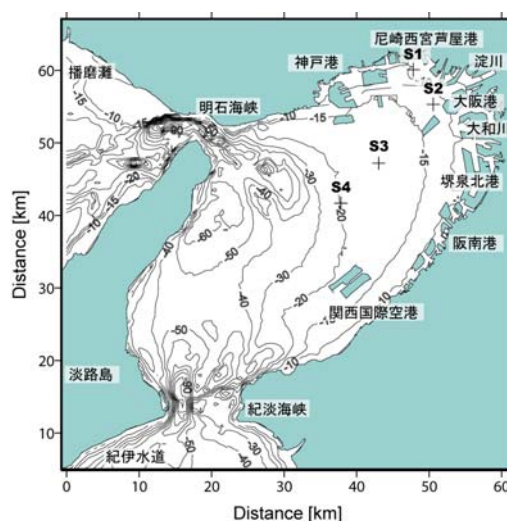
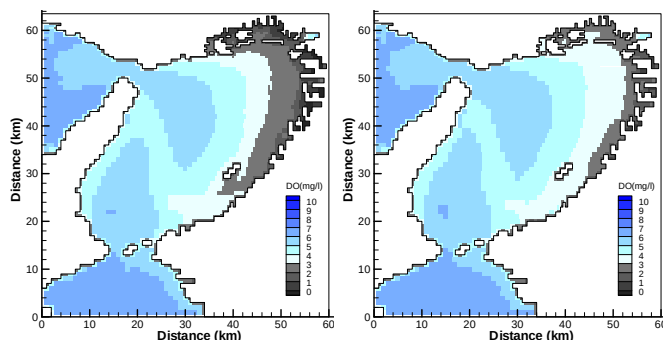


図-2 底質調査地点図



(a)硫化水素溶出あり (b) 硫化水素溶出なし
図-3 硫化物の溶出が貧酸素化に及ぼす影響
(入江ら,2010)

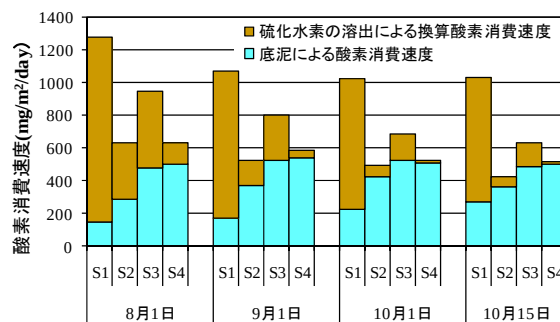


図-4 各地点における底泥による酸素消費速度および溶出した $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ による溶出した $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ による換算酸素消費速度
(入江ら,2010)

合計), 易分解性有機物比を変化させ, 特に有機物堆積速度については年間変動を与えて, キャリブレーションを実施した. この結果得られた 7 月 1 日の分布を各地点の底質初期条件とした. 各メッシュの底質は, 流況および貧酸素化, 底層水の水質に応じて, 実際にサンプリングした 4 地点 (図-2) のうちの最も近いであろう底質初期値を与えた.

硫化物の溶出が貧酸素水塊形成に及ぼす影響を明らかにするために, 底質からの $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ 溶出量をゼロとした場合との貧酸素水塊の規模の比較を行った. 気象データ等から勘案して 2009 年に最も貧酸素水塊が発達したであろう 8 月 7 日の底層 DO の水平分布を図-3 に示す. 硫化物の溶出を考慮した通常の場合, 貧酸素水塊は湾東部に大きく広がる一方, 溶出をゼロにした場合, 貧酸素化は港湾内およびその周辺に留まることが分かる.

計算期間中の底泥による酸素消費速度および, 水中への $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ 溶出速度を, 酸化するのに必要な当量を用いて換算した $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ の溶出による換算酸素消費速度を図-4 に示す. 合計の酸素消費速度が最も大きいのは地点 S1 で, $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ 溶出による酸素消費速度が最も大きいのも地点 S1 である. 次に大きい地点は S3 である. 両地点では夏季の貧酸素状態下では底泥による酸素消費速度が低下し, $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ の溶出による酸素消費速度が大きくなることが分かる. 両地点とも秋季に向かって酸素消費速度が低下しているが, 地点 S1 に限り, 台風 0918 号通過後の好天の続いた 10 月 15 日には酸素消費が微増し, 港湾内が再び貧酸素化する原因となっていることが示唆される. 地点 S4 はほとんど貧酸素化の影響を受けないため, $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ の溶出そのものが少ない. また, 地点 S2 は河川からの鉄イオンの供給により底泥内で生成された $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ が底泥内で FeS として固定されており, $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ の溶出が少なくなっている. 結果として, 底泥による直接の酸素消費速度は相応に大きいのに対し, 合計の酸素消費速度は小さくなっている.

3. 大阪湾における鉄イオン分布

大阪湾奥部における全鉄, 溶存鉄の分布と水質各項目との関連を把握することを目的として, 現地での水質調査と採水調査を行った. 調査日は 2010 年 11 月 22 日である. 観測地点を図-5 に示す. 観測地点は W1 から W9 までの 9 地点である. 観測方法は水質調査, 採水調査ともに観測船による巡回測定である. 現地での水質調査は多項目水質計(アレック社製 STD)(以下クロロテック)と DO 計(HYDROLAB 社製クオンタ)を用いて測定を行った. また各地点の海面下 0.5 m, 海底上 0.5m の 2 水深でバンドン式採水器により採水を行い, 持ち帰り栄養塩分析を行った. 分析項目は T-N, T-P, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ である. 同時に, 船上にて, HCl によって

pH2 以下に固定し，全鉄の分析用として保存し，また，33kPa の吸引ポンプをおよびガラスフィルターをろ過瓶，0.45 μ m $\times$ ϕ 47mm メンブレンフィルターを用いて，ろ過し，同じく HCl によって pH2 以下に固定し溶存鉄分析用とした．鉄分析には Cogent Environmental 製 PDV6000plus を用いて，ストリッピングボルタンメトリー法により分析を行った．また，併せて同日に，淀川ならびに大和川でも採水し，同様に分析を行った．採水地点はそれぞれ，淀川では豊里大橋(KP:13.7km)，大和川では遠里小野橋(KP:4.2km)である．なお，当日は流域で日降水量 10～15mm の出水となっており，国土交通省のテレメータから判断して，採水したサンプルは出水初期の採水と考えられる．

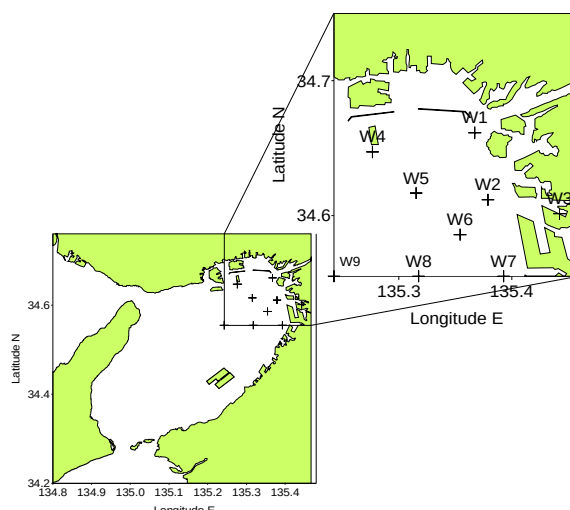


図-5 観測地点図

各地点における窒素，リンの各態と全鉄，溶存鉄の分布を表-1 に示す．沿岸域においては，植物プランクトンの増殖に必要な溶存態鉄はほとんど分布しないことが知られている（例えば，藤井ら，2006）．大阪湾においても同様の傾向を示しており，ほぼ定量下限値に近い値で 1-4 μ g/l 程度となっている．内部生産に用いられる表層だけではなく，底層においても，溶存鉄が少ない．これは I-P と同様の結果であり，すでに時期的に鉛直混合が進んでいた結果と考えられる．

河川から供給される溶存鉄濃度は，降水量 10-15mm の雨があった出水時にも関わらず，湾内水と比して，高くなく，淀川で 9 μ g/l，大和川で 5 μ g/l であった．

一方で，全鉄の分布は地点間で大きなばらつきが認められる．淀川河口に近い地点 W1 や大和川河口の地点 W3 では表層において 30-38 μ g/l，底層において 140-250 μ g/l と，大きな値を

表-1 湾奥域での鉄分布と栄養塩濃度との比較

層	地点	NH4-N (mg/l)	NO2-N (mg/l)	NO3-N (mg/l)	PO4-P (mg/l)	SiO2-Si (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	T-Fe (μ g/l)	D-Fe (μ g/l)
表層	W1	0.053	0.024	0.304	0.029	0.625	0.451	0.037	29.82	1.82
	W2	0.076	0.023	0.277	0.023	0.646	0.524	0.040	—	2.35
	W3	0.095	0.038	0.350	0.030	0.872	0.626	0.052	60.51	2.75
	W4	0.042	0.021	0.255	0.028	0.529	0.434	0.040	28.10	2.06
	W5	0.050	0.020	0.264	0.026	0.577	0.390	0.035	12.27	2.26
	W6	0.024	0.014	0.132	0.016	0.361	0.270	0.027	7.25	2.07
	W7	0.105	0.017	0.100	0.018	0.486	0.327	0.028	38.44	2.29
	W8	0.020	0.013	0.120	0.015	0.368	0.282	0.024	9.74	1.13
	W9	0.035	0.009	0.064	0.026	0.212	0.307	0.039	4.59	3.71
底層	W1	0.069	0.012	0.065	0.024	0.421	0.257	0.028	139.50	1.76
	W2	0.060	0.010	0.052	0.022	0.360	0.255	0.037	50.03	2.34
	W3	0.149	0.011	0.058	0.043	0.419	0.300	0.049	249.60	3.01
	W4	0.085	0.013	0.097	0.026	0.534	0.262	0.031	24.27	2.80
	W5	0.041	0.010	0.059	0.020	0.301	0.164	0.024	23.17	2.12
	W6	0.044	0.010	0.064	0.021	0.315	0.203	0.026	27.14	2.41
	W7	0.056	0.011	0.056	0.021	0.465	0.193	0.026	38.07	2.42
	W8	0.041	0.009	0.044	0.019	0.219	0.146	0.023	34.28	1.87
	W9	0.028	0.008	0.040	0.018	0.283	0.159	0.027	12.31	1.58
大和川		0.322	0.109	3.651	0.324	7.516	4.392	0.372	143.2	4.9
淀川		0.048	0.015	1.233	0.049	2.458	1.368	0.065	112.2	9.1

表-2 溶出フラックス結果

実験条件	水温	現地水温	20℃	20℃
	DO	あり	あり	なし
溶出 フラックス	DNH ₄ -N (mg/m ² /day)	28	115	122
	DPO ₄ -P (mg/m ² /day)	4.2	7.6	10.2
	T-Fe (mg/m ² /day) ※ ¹	-0.29	-2.00	-0.21
	D-Fe (mg/m ² /day)	-0.25	-0.53	0.18
	※ ¹ 参考値			

示しており、陸域由来の土砂の影響が認められる。底質は、地点 W1 のほうが地点 W3 より良いことがこれまでの調査でわかっており、底質との関連性も認められる。一方、地点 W6, W8, W9 の沖側の地点では 10μg/l 以下の低い値を示している。

4. 鉄イオンの溶出速度

底質調査は大阪湾奥部の尼崎西宮芦屋港の、さらに港最奥部に位置する甲子園浜で実施した。甲子園浜の前面海域は、底層の貧酸素化、および青潮の発生要因である硫化水素の生成・蓄積が生じやすい水域である。調査は 2011 年 3 月 3 日に実施した。調査地点は昨年度と同じであるが、このうち、水深 3m のみを対象とし、室内実験により、水温と酸素の影響を明らかにしようとした。同時に底質調査を実施しているが、ここでは省略する。底泥からの栄養塩および鉄の溶出速度を求めるため、採取した不攪乱柱状泥（泥深 25cm, 直上水 25cm）を用いて室内実験を行った。なお、現場で採取した直上水をそのまま用いて実験を行っている。実験期間は 48 時間とし、期間内に計 5 回、実験装置内の直上水を採水して分析を行った。溶出速度は、コントロールとなる直上水のみのコアを用意し、コントロール内での変化との差を用いて、算出した。溶出試験においては「現地水温（10℃）・好気条件」「20℃・好気条件」「20℃・嫌気条件」の 3 つの実験条件の下、実験を実施した。

アンモニア態窒素およびリン酸態リン、溶存態鉄の溶出速度を表-2 に示す。正の値は底泥中から海水中へと溶出していることを、負の値は海水中から底泥中へ拡散、あるいは着底していることを示している。アンモニア態窒素、リン酸態リンの溶出速度は現地水温 10℃より 20℃の方が大きくなり、有酸素下より無酸素下の方が大きくなることが分かった。特に酸素の有無による差はリン酸態リンにおいて顕著であることが示されており、既往の知見と一致している。これらの数値は昨年度の研究で実施した夏季の結果 (NH₄-N が 243mg/m²/day, PO₄-P が 50 mg/m²/day) に比べて小さいものの、大阪湾奥部の港外の夏季の実測結果（韓ら, 2005）に比べて大きな結果となっており、冬季においても、沿岸部の浅海域における、底質から海水中への無機態栄養塩の回帰が盛んであることが分かる。

一方、溶存鉄は好気状態では、底泥に吸収されるのに対し、嫌気状態では底泥から溶出されているように見受けられる。ただし、値については、今後引き続き追加実験を実施し、検証が必要であると考えられる。

5. まとめ

- 大阪湾奥部で、観測船による巡回観測を行い、全鉄、溶存鉄の空間分布を窒素およびリン各態の分布と合わせて把握した。全鉄は河口域の底層多く滞留しており、陸域起源物質の湾奥域での動態解明を助ける可能性があることが示唆された。
- また、内部生産に必要な溶存鉄は、好気条件下においては海水中から底泥に吸収されるのに対し、嫌気条件下では底泥から溶出する結果となった。

大阪湾圏の浅海域成育場が魚類生産に果たす役割の定量評価： 広域調査による空間変動解析（その2）

小路 淳

広島大学 大学院生物圏科学研究科 瀬戸内圏フィールド科学教育研究センター・准教授

背景と目的

人類は古くから海の恵み（生態系サービス）に支えられてきた。生態系に備わった機能のうち人類が享受できる価値の部分を示す「生態系サービス」は、各生態系の重要性を定量的に評価するために必須の尺度である。地球上の生態系ごとの経済価値を算出した研究によると、熱帯雨林（0.2 万ドル/ha/年）をはじめとする陸域や淡水域（湖・川：0.8 万ドル/ha/年）に比べて浅海域（藻場・干潟・河口域など）の生態系サービスははるかに高く、全生態系でトップクラス（約2 万ドル/ha/年）である（図1）。しかしながら、その推定値には生産の主要構成要素である魚類生産がほとんど含まれていない。これは、1 次生産や動物プランクトン・ベントス類に比べ、移動能力が高い魚類の生産過程の定量評価がこれまで困難であったことに起因する（図2）。

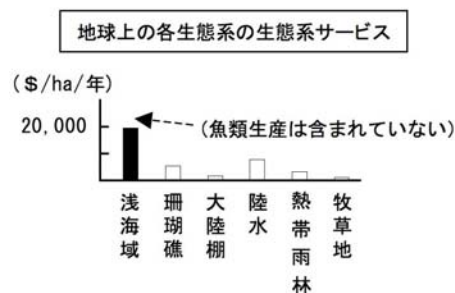


図1. 地球上の各生態系における生態系サービスの経済的価値の比較（Costanzaら 1997: Natureより）。藻場、干潟などの浅海域の値は最高である。

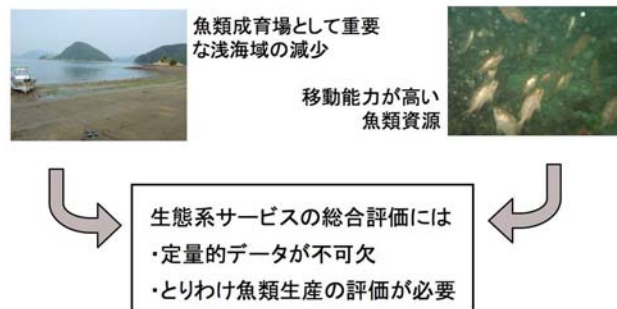


図2. 海の「ゆりかご」と考えられている浅海域の研究をとりまく現状（魚類の生産過程の定量評価が世界的にも求められている）

本研究では、魚類の「ゆりかご＝産卵・成育の場」として重要と認識されながらその根拠となる科学的・定量的データが乏しい浅海域の成育場機能の定量評価を目的とする。大阪湾の水産資源にとって重要な成育場と考えられる浅海域における環境・生物調査により、大阪湾とその周辺の浅海域成育場における魚類生産過程の解明と広域比較を実施する。本研究は H21 年度に続く 2 年目の助成にあたる。1 年目には大阪湾を 3 つのエリア（阪神圏、淡路圏、泉州圏）に区分し、浅海域における魚類群集構造の比較を行った。2 年目には、より広域的視点から、大阪湾と近隣の湾・灘（燧灘、広島湾）の比較を行う。

研究方法

大阪湾およびその比較対象として燧灘、広島湾の合計 3 海域における調査を実施した（図

3). 燧灘は瀬戸内海の最も奥に位置する海域の一つで、自然海岸が比較的多く残存する点では大阪湾と異なるものの、灘東南部において夏期に貧酸素水塊が形成される点において共通している。広島湾は大都市（広島市）を通過して湾奥部に流れる一級河川（太田川）が存在し、湾奥部にはほとんど自然海岸が存在しない点において大阪湾の特性と共通している。調査を実施した定点は、燧灘においては東から順に曾保、有明、豊浜、二名、寒川、土居、垣生、禎瑞、河原津、唐子浜の10ヶ所、広島湾においては同様に狩留家、小屋浦、水尻、鯛尾、坂、向洋、宇品、観音、楽々園、地御前、前空、上灘の12ヶ所である。大阪湾においては、16ヶ所の定点を調査対象とし、データとりまとめの際にはH21年度の調査にならって大阪湾を阪神（5定点）、淡路（4定点）、泉州（7定点）の3エリアに区分した。

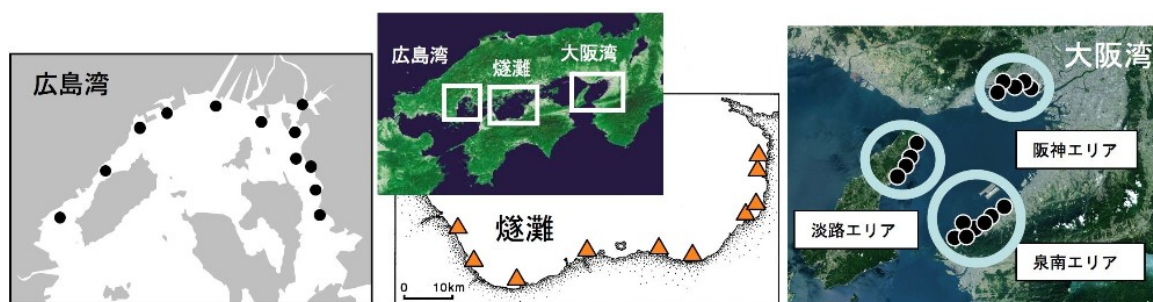


図3. 本年度（助成2年目：H22年度）の調査水域。大阪湾、燧灘、広島湾の3海域で魚類群集の比較を行った。大阪湾では、助成1年目（H21年度）にならってデータを3海域に区分してとりまとめた。

各定点において物理環境項目の測定と、魚類相および餌料環境調査を7月に実施した。物理環境の測定項目としては、水温、塩分、濁度、溶存酸素濃度を対象とした。各定点において海水を採取し、多項目水質計（水質モニタリングシステム W-23XD, HORIBA 製）により各物理環境項目を測定した。魚類の採集には小型曳き網（幅 2.3m, 高さ 1m, 目合い 2mm）を用い、海岸線と平行に約 50m の距離を2人の調査者により曳網した。得られた採集物を10%海水ホルマリンで固定して実験室へ持ち帰り、選別したのち魚類の種同定、体長・体重測定を行った。各定点において採集された魚類の個体数と重量を魚種ごとに集計し、曳網距離 50m（面積 100m²）あたりの数量に換算してエリア間および海域間での比較を行った。餌料生物環境の調査にはプランクトンネット（口径 0.3m, 目合い 0.1mm）を用いて主に浮遊性無脊椎動物プランクトンを採集した。採集物を5%海水ホルマリンで固定して実験室へ持ち帰り、分類群ごとの個体数を計数した。網口に取り付けた濾水計により各定点における分布密度（1m³あたり個体数）を算出した。

結果と考察

1) 物理環境 大阪湾、燧灘、広島湾の各定点における平均水温（±標準偏差）はそれぞれ

れ $25.4 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$, $27.7 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $27.2 \pm 2.2^{\circ}\text{C}$ で、燧灘で最も高く、大阪湾で最も低かった。平均塩分は大阪湾、燧灘、広島湾でそれぞれ 28.1 ± 7.3 , 28.8 ± 6.8 , 21.8 ± 10.3 で広島湾で最も低く、大阪湾で最も高かった。

2) 魚類の出現 16 箇所の定点において採集を実施した結果、合計 1209 固体の魚類が採集された。3 海域間で比較した場合、魚類の種数は広島湾、燧灘、大阪湾においてそれぞれ 2.9 ± 2.1 種, 2.6 ± 2.2 種, 1.4 ± 1.6 種で、広島湾において最も多く、大阪湾において最も少なかった (図 4)。魚類の分布密度 (100m^2 あたり個体数) も同じ順で多く、広島湾、燧灘、大阪湾でそれぞれ 41.7 ± 49.8 尾, 33.1 ± 40.4 尾, 25.3 ± 65.5 尾であった。

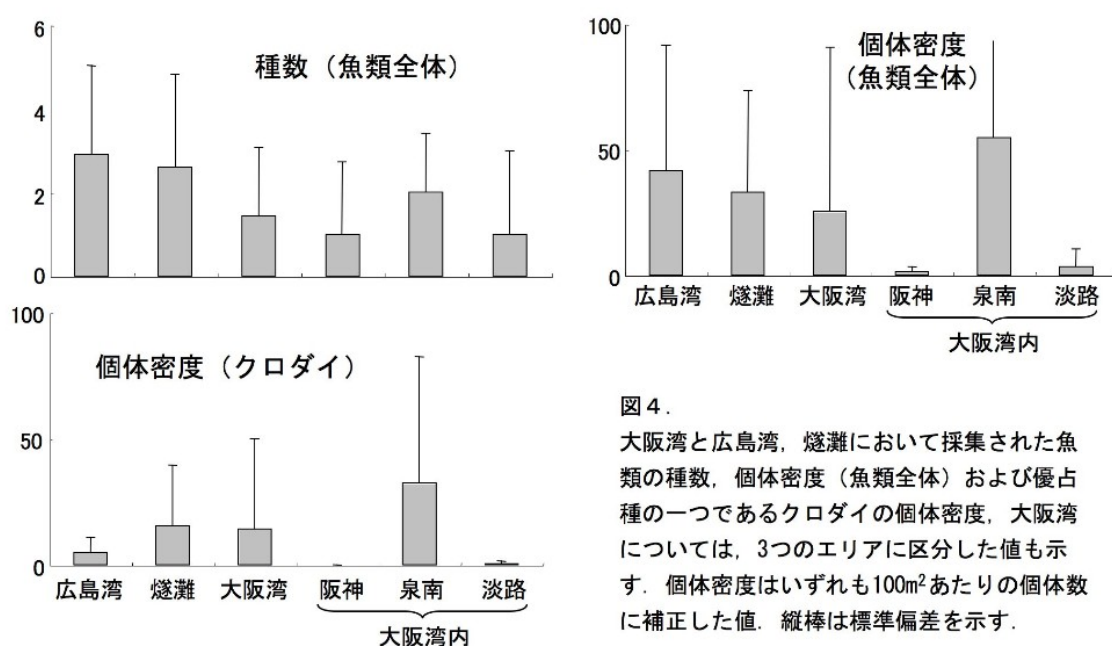


図 4.
大阪湾と広島湾、燧灘において採集された魚類の種数、個体密度 (魚類全体) および優占種の一つであるクロダイの個体密度、大阪湾については、3つのエリアに区分した値も示す。個体密度はいずれも 100m^2 あたりの個体数に補正した値。縦棒は標準偏差を示す。

平成 21 年度の調査により大阪湾における優占種であることが明らかになっているクロダイについては、広島湾、燧灘、大阪湾でそれぞれ 4.8 ± 6.1 尾, 15.7 ± 23.8 尾, 14.3 ± 35.8 尾であり、燧灘で最も高密度で、広島湾で最も低密度であった。

大阪湾における上記データを 3つのエリア (阪神、泉南、淡路) に区分して比較した場合、大阪湾のなかでは泉南エリアにおける魚類全体の平均種数が最高であったが、この値は広島湾、燧灘よりも低かった。魚類全体の個体密度については、大阪湾のなかで最高値を示した泉南エリアの値が、広島湾、燧灘よりも高かった。クロダイの個体密度が最高であった泉南エリアの値は、広島湾、燧灘よりも高かった。

以上の結果から、他海域と比べた大阪湾における夏期の魚類群集の特性をまとめる。大阪湾における 3つのエリア間での魚類種数および個体密度の変動が大きく、これらのエリアのなかで泉南が最高値を示した。大阪湾全体での平均値は種数、個体密度ともに燧灘よりも低い値であったが、泉南エリアのみの値で比較した場合は、3つの海域における最高値となっ

た。海域レベルでの比較を行った場合は、種数、個体密度がともに大阪湾においては高いとは言えないが、泉南エリアのように、魚類の個体密度が高い水域が大阪湾のなかに局所的に存在することうかがえた。

結論

- 1) 夏期に実施したサンプリングにより 27 種群に属する合計 1,209 個体の魚類が採集された。大阪湾ではこれらのうち 12 種が採集され、その中には、クロダイ、コショウダイ、コチ類、シロギス、ハゼ類、ボラ類など、水産資源として重要な魚種が含まれた。
- 2) 大阪湾における優占種は、個体数が多かったものから順に、クロダイ、クサフグ、クロサギ、ウキゴリ属 spp.、シロギスであった。
- 3) 大阪湾と瀬戸内海の他海域（釜灘、広島湾）との間で比較した場合、大阪湾における魚類の種数、分布密度の平均値は低かったが、定点ごとにみた場合の分布密度が非常に高い定点が、大阪湾の泉南エリアに存在した。
- 4) 大阪湾の泉南エリアは、同じ湾内の阪神・淡路エリアに比べて魚類、とくにクロダイの分布密度が高かった。
- 5) 大阪湾の泉南エリアにおいてクロダイの分布密度が特に高かった定点は人工的に造成された砂浜海岸である。したがって、大阪湾においては人工砂浜海岸が少なくともクロダイにとって幼稚魚期を過ごす生息場の一つとして機能している可能性が高い。将来において、大阪湾の水産資源の持続的利用・有効活用を達成するにあたって、天然成育場に加えて人工的に造成された成育場の機能評価は、不可欠な視点となるかも知れない。
- 6) したがって、今後は、大阪湾内に存在する様々な浅海域生態系（藻場、干潟、河口、砂浜海岸、人工砂浜など）が水産資源（魚類）の成育場として果たす機能を評価・比較する「異生態系間比較」の視点や、あるいは複数の生態系をセットにして扱う「複合生態系」の視点から調査研究、保全活動に取り組むことが重要であると提案したい。

大阪湾の植物プランクトンの季節・経年変動とその要因 (その2)

多田 邦 尚

香川大学農学部・教授

香川大学瀬戸内圏研究センター

【はじめに】

瀬戸内海のなかでも富栄養化した大阪湾では、大阪湾以外の海域との違いも含めて、その環境特性を明らかにした上で、今後の水質改善、あるいは水産資源の回復や流域圏の総合管理等の再生方策が必要とされている。本研究では、まず本湾で毎月調査を実施し、その生物生産環境の把握を試みた（昨年度本研究：1年目）。さらに、今年度は2年目として、引き続き大阪湾の調査を実施するとともに、その環境調査結果を踏まえ、室内実験も実施し、植物プランクトン種の組成の変化の原因を探った。本研究は、大阪湾の今後の健全な生態系の維持と持続的な生物生産、および水産資源の回復のため、さらには、その再生・創造に寄与するための基礎データを得ることを目標としている。

尚、本研究は多田を研究代表者とし、下記のグループで実施した共同研究である。

研究者名：代表者 多田 邦尚（香川大学・農学部・瀬戸内圏研究センター）

山本 圭吾（大阪府水産技術センター）

西川 哲也（兵庫県水産技術センター）

山田真知子（福岡女子大学・人間科学部）

樽谷 賢治（水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所）

一見 和彦（香川大学・瀬戸内圏研究センター）

山口 一岩（香川大学・農学部）

【研究方法】

1. 大阪湾の植物プランクトン種組成と水質変化

昨年度に引き続き、大阪湾において、2009年5月から2011年2月の間に大阪府水産技術センターが毎月実施している浅海定線調査の際に、表層水をバケツで採取した。測定項目については、通常の観測項目（一般項目）に加えて、クロロフィルa、栄養塩濃度等を測定し、植物プランクトンの現存量と種組成、さらにその環境変化について、一年間を通してモニターした。図1に、調査定点を示した。今年度は、図1に示すように、大阪湾を西部海域（W）、北東海域（NE）および南東海域（SE）の三つの海域に分け、比較検討した。また、観測と並行して、過去のデータセット（大阪湾公共用水域プランクトン調査および浅海定線調査）の解析を行い、本湾の低次生物生産環境の長期的な経年変動について検討した。

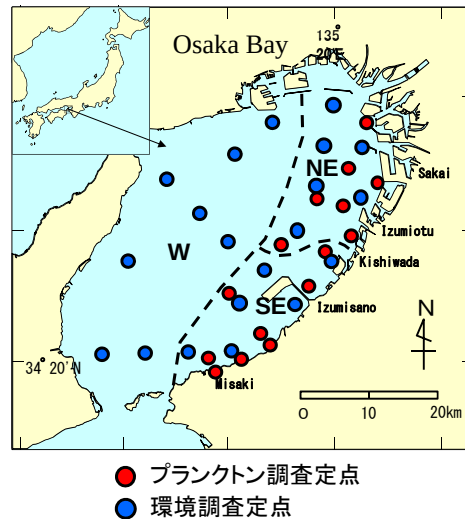


図 1. 試料採取点と調査項目

2. 大阪湾における *Skeletonema* 属の種組成

大阪湾において優占種とされている珪藻類の *Skeletonema* 属は、その種が未だ同定されていない。そこで、昨年度に引き続き、泥から復活する *Skeletonema* 属細胞について海底泥からの復活実験を行った。試料は、2010 年 5 月に湾奥の Stn. 15 において採取した堆積物を、85 日間冷暗保存した後、実験に供した。

3. *Skeletonema* 属の優占率低下と *Chaetoceros* 属の増加の原因試験

本湾の植物プランクトン群集の主要分類群である珪藻類のなかで、最も優占率の高い *Skeletonema* 属とその競合関係にあると考えられる *Chaetoceros* 属について、海水中の栄養塩濃度、水温、光量子量の変化が両属の増殖に及ぼす影響について室内実験を実施し検討した。培養試験に用いた植物プランクトン株は、大阪湾の中央部の定点 3 の海底堆積物から復活させた 1 種の *Skeletonema* 属と 3 種の *Chaetoceros* 属、即ち *Skeletonema* sp. (SK)、*Chaetoceros* sp.1、sp.2、sp.3 である。

(1) 栄養塩の影響

相対的に減少率の大きい無機態窒素（DIN）濃度の低下によって優占種が *Skeletonema* 属から *Chaetoceros* 属に遷移した可能性を検討した。具体的には、各種について NO_3 濃度に対する増殖速度の半飽和定数（ K_s ）を測定した。

(2) N : P 比の減少の影響

大阪湾では溶存態窒素が相対的に大きく減少し、N : P 比の減少も認められている。そこで、培地の N : P 比を変化させて、その最大増殖量（蛍光値）を求めた。

(3) 水温の影響

海水温に対する各種の増殖応答を検証した。水温 10、15、20、25℃にて培養し（ $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、14 : 10 LD）、毎日クロロフィル蛍光値を測定することで各温

度における増殖速度を算出した。

(4)光の影響

各種の光強度に対する増殖応答を検証した。すなわち、光量子量を 46、79、120、158、237 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の 5 段階に設定し、各光強度下における増殖速度を前述と同様の培養方法で測定した。

【結果及び考察】

1.大阪湾における栄養塩と植物プランクトンの季節・経年変動

大阪湾を東部と西部、あるいは西部北側、西部南側に分画してみると、西部よりも東部が、また西部南側よりも北側が、より富栄養化している特徴が明らかとなった。また、経年的には大阪湾ではその水質改善に伴って、栄養塩濃度の低下、N/P 比の低下が起こっていた。

現場海水中の植物プランクトン量への水質改善の影響は、単純なバイオマスの減少というよりは、最高細胞密度の低下という形で現れるようである。また、その水質変化にともなって、近年、現場の植物プランクトン群集の主要分類群である珪藻類の種組成が変化してきた。即ち、*Skeletonema* 属の優占度合いが減少し、*Chaetoceros* 属が優占種になる頻度が増加している。この傾向は、播磨灘や北九州市の洞海湾でも認められている。

2.大阪湾の *Skeletonema* 属の種組成

湾内の東部東側の Stn. 15 にて、2010 年 5 月に採取した海底泥からの復活実験を行った。その結果、*Skeletonema marinoi-dohnii complex* と *S. japonicum* の復活が確認された。昨年度の海底泥からの復活実験の結果と合わせて、計 3 種の *Skeletonema* 属の復活が認められたことになる。一方、本湾で水中から分離された *Skeletonema* 属は計 5 種であった。尚、海底泥から復活してきた 3 種は何れも水中から分離された 5 種の中に含まれていた。海水中からは *Skeletonema marinoi-dohnii complex* が周年にわたって分離された。また、*S. costatum s. s.* は夏季に、*S. japonicum* は冬季に 2~3 ヶ月間にわたって分離されており、これらの 2 種は分離水温に近い培養温度で海底泥から復活した。

前述した *Skeletonema* 属から *Chaetoceros* 属に優占種が変化してゆく現象は単純な種交代ではない可能性が高い。即ち、この優占度合いが減少した *Skeletonema* 属について詳しく見てみると、大阪湾には 5 種が生息しており、それら 5 種のうち、おそらく過去（少なくとも 1980 年代）から現在までを通して主要種であるのは広範囲の水温に適応した種である *S. marinoi-dohnii complex* と考えられる。

3. *Skeletonema* 属の優占率が低下し、*Chaetoceros* 属が増加した原因

Skeletonema sp.、*Chaetoceros* sp. 1、sp. 2、sp. 3 の Ks は、それぞれ 0.31、0.32、0.28、0.25 μM であり、*Skeletonema* 属と *Chaetoceros* 属に大きな差は認められ

なかった。また、N:P 比を変化させて増殖させた *Skeletonema* sp.、*Chaetoceros* 属共に、N:P 比に影響を受けず増殖した。これらの事から、栄養塩濃度や N/P 比の減少が、*Skeletonema* 属の優占率低下に対する直接の原因であるとは考えられない。

さらに、水温 10、15、20、25℃にて培養させた実験では、高水温の 25℃では全種がほぼ同様の増殖速度を示したが、15℃で *Skeletonema* sp. が 3 種の *Chaetoceros* 属よりもわずかに高く、10℃では *Skeletonema* sp. の増殖速度が 1.6 倍以上高かった（図 2 左）。指数関数的に増加する植物プランクトンの増殖過程を考慮すると、この増殖速度の差は、数日間で両種に非常に大きな細胞密度の差を生じさせることを意味する。したがって、とりわけ低温期における *Skeletonema* 属の優占率の減少は、栄養塩濃度が低下することによって増殖期間が短縮され、その結果として *Chaetoceros* 属との細胞密度差が小さくなったためと考えられた。

最後に、水柱への光透過度も大きくなっていると予想される。そこで、光量子量を 46、79、120、158、237 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の 5 段階に設定し、各光強度下における増殖速度を前述と同様の培養方法で測定した。その結果、光量子量が高い試験区（158 および 237 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）では各種の増殖速度に大きな差は認められなかったが、79 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で *Skeletonema* sp. が他種をわずかに上回り、46 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では温度応答と同様に *Skeletonema* sp. の増殖速度が 1.3 倍以上高かった（図 2 右）。この結果は、*Skeletonema* sp. が光の透過量が少ない環境下でも *Chaetoceros* 属より優位に増殖できることを示しており、言い換えれば、水質向上に付随する水柱光量の増加によって *Skeletonema* 属の増殖に対する優位さが減少してきた可能性を示している。

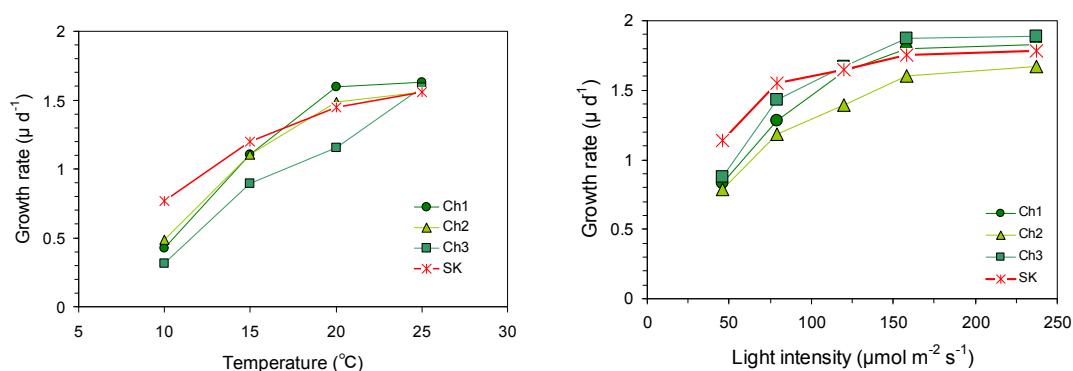


図 2. *Skeletonema* sp. および *Chaetoceros* 属の温度（左）および光強度（右）に対する増殖速度

以上の結果より、近年の栄養塩減少、透明度上昇による水柱内の光透過量の増加により、その条件に適応できない *Skeletonema* 属の種は淘汰されて、その優占度は低下し、それに代わって *Chaetoceros* 属の優占率が上昇してゆく可能性が考えられた。

内藤佳奈子

県立広島大学生命環境学部助教

[研究目的] 瀬戸内海東部海域は、我が国有数のノリ生産海域であり、その生産量は全国の約 35 %を占めている。しかし近年、ノリ養殖漁期に栄養塩を競合し、奪い取る珪藻類が大量発生し、海域の栄養塩類を大量消費することから、養殖ノリに「色落ち」が発生し、生産量の減少や品質の低下による単価の下落が大きな問題となっている。さらに近年では、*Eucampia zodiacus* 等の特定の有害珪藻類の台頭や瀬戸内海における栄養塩濃度の減少等、他の内湾ノリ漁業では見られない新たな海況、生物学的な海洋環境の変化がノリ不作の原因と推察されるに至っている。本研究では、平成 22 年度の播磨灘における主要有害珪藻類、栄養塩類の動態把握、ノリの色落ち原因藻として最も問題視されている *Eucampia zodiacus* の生理・生態学的特性の解明を目的とし、本種の無菌株に対する人工合成培地の開発、および沿岸域に溶存する有機酸の利用・摂取特性の定量的及び定性的把握を行った。

[研究方法] ノリの色落ち原因珪藻類を中心に、平成 22 年度の播磨灘における赤潮プランクトンの出現状況、栄養塩濃度などの生物、化学的環境について調査すると共に、大阪湾圏域より *Eucampia zodiacus* を単離・無菌化し、本種の無菌株に対して完全に組成と濃度を決定できる化学合成培地の開発に取り組んだ。また、海水中に過剰に存在しているフリーリガンドである有機酸のノリの色落ち原因珪藻類の増殖への影響を培養実験にて検討した。

a) 大阪湾圏域の赤潮プランクトンの分布調査

対象圏域に設けた調査定点（図 1）において、H22 年 6 月～H23 年 3 月にかけて、各月上旬に表層水中における有害赤潮プランクトンの出現状況の調査、および海水中の栄養塩濃度の分析を行い、平成 22 年度の播磨灘における主要有害藻類、栄養塩類の動態を把握した。

b) *Eucampia zodiacus* に対する人工合成培地の開発

平成 22 年 3 月に播磨灘 H30（明石市南二見地先）より単離した *E. zodiacus* を無菌化し、本種の無菌株に対して、維持培養が可能であり良好な増殖が得られる基本培地（天然海水）を選定した。次に、選定した培地組成を基に、人工海水をベースとした IHN 培地（Imai et al. 2004）と改変 ESAW 培地（Berges et al. 2001）、MP1 培地（長井・眞鍋 1993）との組成比較から、微量元素および栄養塩の濃度比に注目して、増殖を良好とする組成に改変し、これまで困難であった本種無菌株に対する人工合成培地の開発に取り組んだ。これにより、現場調査の結果を反映させた低濃度域における栄養素について、組成を把握した上での培養実験における増殖特性の解明を実現させることができる。

c) ノリの色落ち原因珪藻の増殖への有機酸の影響

播磨灘より単離・無菌化した *E. zodiacus* について、一定の光量と温度条件下における 7 種の有機酸（酢酸、クエン酸、乳酸、リンゴ酸、EDTA、フミン酸、フルボ酸）などを添加した培地での培養実験を行い、有機酸の本種の増殖への影響を検討した。また、平成 22 年 11 月、平

成 23 年 1 月の播磨灘海水を用いて、有機酸による種組成変化について検討した。

[結果と考察]

a) 大阪湾圏域の赤潮プランクトンの分布調査

植物プランクトンの細胞密度は、平成 22 年度 6 月～3 月にかけて H7(灘央)では 1,000 cells/mL を下回る低密度傾向、H30(灘奥)においては 6 月に 10,000 cells/mL を上回る高密度傾向で推移した(図 2)。

両定点において 6～9 月では *Skeletonema* 属や *Chaetoceros* 属珪藻が大部分を占め、10 月、11 月には *Coscinodiscus wailesii* が高密度に発生した(図 3)。H7 では 11～1 月に *Thalassiosira* 属、2 月に *Eucampia zodiacus* が増加傾向を示したが、低密度であった(図 3)。H30 では 10 月に *Thalassiosira* 属、1～3 月に *Eucampia zodiacus* が増加傾向を示したが低密度であり、1 月には *Skeletonema* や *Chaetoceros* 属珪藻が優占し、2～3 月は *Chaetoceros* 属が増加傾向であった(図 3)。H22 年度における播磨灘での *Eucampia zodiacus* の発生は低密度であった。

DIN 濃度は、H7 において 6～9 月、2～3 月に 1μM を、11 月と 1 月に 3μM を下回り、H30 においては 6～9 月、11～2 月に 1.1μM 以下と低い状態が続いた(兵庫県水産技術センター資料)。

平成 22 年度における播磨灘での DIN 濃度は低位で推移した。

b) *Eucampia zodiacus* に対する人工合成培地の開発

本種の無菌株に対して、培養容器、空気量、栄養塩濃度、N/P 比、および Fe 源に注目し、良好な増殖が得られる基本培地を検討した結果、低濃度の栄養塩(通常培地の 1/10 量の N, P 源)を含む改変 SWM3 培地において良好な増殖を得ることができた。また、維持培養も可能であることから、これを基本培地として選定した。

次に、改変 SWM3 培地を基に人工海水ベースとした改変 IHN 培地(1/10 N, P)について、微量元素類など(Ni, Sr, HCO₃, F, Br, V)に注目して多種の種組成の組み合わせを検討した結果、Ni と炭酸源を添加することによって良好な増殖を得ることができた。他の多くの赤潮形成種は IHN 培地で増殖を示していることから、微量元素 Ni が *E. zodiacus* の重要な増殖因子となっていることが示唆された。

この改変 IHN 培地を用いて、平成 22 年 6 月に大阪湾(兵庫県芦屋市沖)、平成 23 年 2 月に播磨灘 H30 より新たに単離・無菌化した *E. zodiacus* についても同様に良好な増殖を得ることができており、*E. zodiacus* 無菌株に対する人工合成培地の開発に成功したといえる。本種の増殖速度と栄養塩濃度の解析は、近年、意欲的に進められている(西川・堀 2004; Nishikawa et al. 2009)。今回の人工合成培地の開発は、低濃度域の検討も実現可能となり、本種の生理学的特性の解明への更なる飛躍になると期待できる。

c) ノリの色落ち原因珪藻の増殖への有機酸の影響

有機キレーターとして検討した有機酸 7 種(酢酸, クエン酸, 乳酸, リンゴ酸, EDTA, フミン酸, フルボ酸)の存在下において、供試藻の増殖を確認することができた。一方、3 価の鉄との高い錯生成能を持つ微生物シデロホアであるフェリオギザミン B を添加した培地では、増殖は認められなかった。これらの結果から、沿岸海域に溶存しうる有機酸は、Fe スペシエーションに影響を与え、*E. zodiacus* の増殖を左右しうることを示唆された。

また、播磨灘海水への栄養塩、鉄キレート、有機酸添加による影響実験によって、平成 22 年

11月の播磨灘では、DIN 不足となっていることを確かめることができ、添加する有機酸の種類によって、優占する珪藻種に変化があることが分かった。

[結論] ノリの色落ち原因種として重要視されている *Eucampia zodiacus* の無菌株における人工培地での培養は極めて困難であり、これまで本種に対する栄養塩などの取り込み、物理的要因である光量、温度についての報告例は数少なく、海域に過剰に存在しており微量栄養素の有用性を左右する有機酸のノリの色落ち原因珪藻の増殖への影響に関する報告はなかった。今回開発した完全合成培地を用いることによって、組成と濃度を把握した上で、海域を想定した低濃度の栄養物質における増殖のパラメーターを求めることができ、得られたパラメーターから他の鞭毛藻類や珪藻類、ノリの場合の値との比較が可能となる。将来的には、ノリ色落ち原因珪藻類の出現予測のための生態系モデルに必要なパラメーターとして活用することも可能になると期待される。

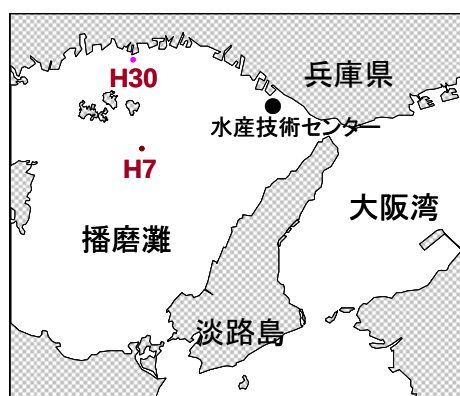


図1 調査定点位置図

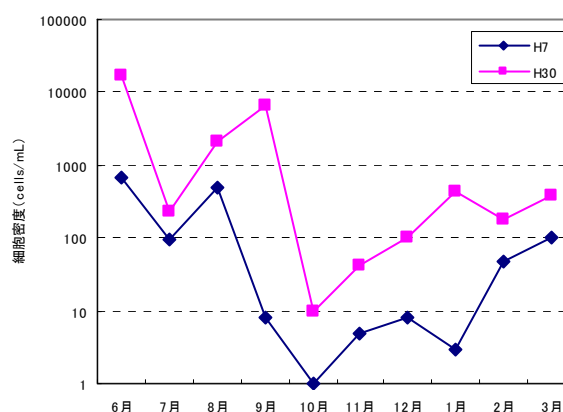


図2 植物プランクトンの細胞密度変化

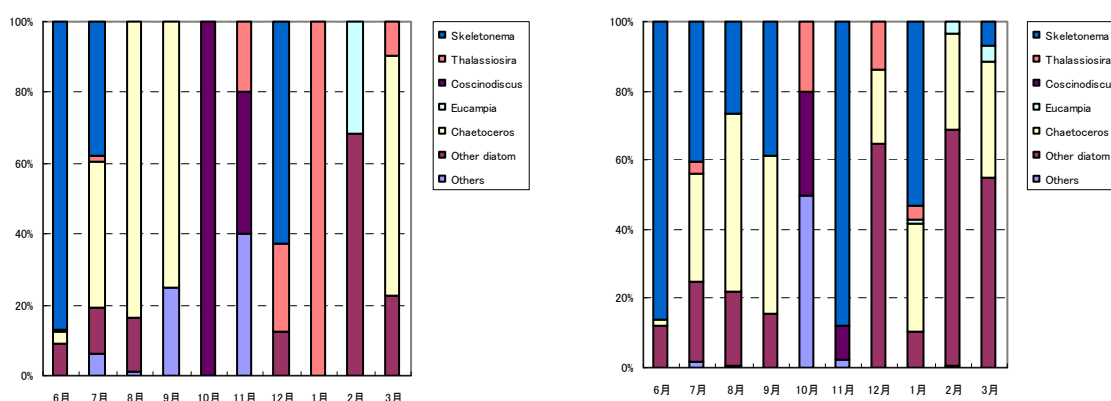


図3 植物プランクトンの組成変化 (左: H7, 右: H30)

長尾誠也

金沢大学環日本海域環境研究センター教授

1. はじめに

大阪湾における生物生産性を維持するためには、海洋環境の理解とともに流域環境からの陸起源物質の特徴とその供給量、供給機構を把握し、沿岸生態系との関係を理解する必要がある。近年、集中豪雨の頻度と回数の増加、あるいは土地利用形態の変化により、陸域から沿岸域への陸起源物質の特徴や供給量の変化が予想される。特に沿岸生態系を考えた場合、陸起源有機物の特徴、供給量、供給機構の変動を評価しなければならない。

本研究では、そのさきがけとなる研究として、粒子態有機物の炭素同位体比 ($\Delta^{14}\text{C}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$) とリグニンフェノールに着目し、陸域の起源として淀川河川水懸濁粒子の特徴を把握するとともに、大阪湾表層堆積物の有機物の炭素同位体比とリグニンフェノールを測定し、その水平分布から陸起源有機物の堆積状況を明らかにし、沿岸生態系との関係を評価する。

2. 研究方法

大阪湾表層堆積物は、瀬戸内海区水産研究所所属しらふじ丸「第2回瀬戸内海低次生物生産調査」航海（2010年7月21日～7月28日）において、KK式採泥器により深さ9～12 cmの柱状試料を大阪湾の定点5測点で採取した（図1）。採取した堆積物は、船上で深さ10 cmまでは1 cm間隔、10 cm以深では2 cm間隔でカットした。河川水中の懸濁粒子は、淀川上流（宇治川）の御幸橋において、2005年の5月と2010年の11月に河川の流心で採取した河川水120～160Lから、連続遠心器により分離した。堆積物と懸濁粒子は凍結乾燥後にメノウ乳鉢で粉碎し、粉末化した。

堆積物と河川水懸濁粒子は、0.1M塩酸で炭酸塩を除去、ミリQ水で洗浄後に凍結乾燥し、再度メノウ乳鉢で粉末化した。有機物のC-14/C-12の測定は、日本原子力研究開発機構青森研究開発センターむつ事務所の加速器質量分析計を使用した（Aramaki et al., 2000）。測定した値は $\Delta^{14}\text{C} = (((\text{pMC}/100) - 1) \times 1000)$ として表した。また、C-13/C-12の測定は、質量分析計により行い、 $\delta^{13}\text{C}$ 値として表した。堆積物と懸濁粒子の有機炭素含量、全窒素含量は元素分析計により測定した。リグニンフェノール含有量と組成は、粉末試料10 mgをパイロヒールに分取し、内部標準（n-C₁₉脂肪酸）液とTMAHメタノール溶液を加えて乾燥させた後に、熱分解装置にて加熱後にGC質量分析計により測定

した（山本，2000）。堆積物の堆積速度を見積もるために、低バックグラウンド Ge 検出器により、Pb-210、Cs-137 放射能濃度を測定した。

3. 結果と考察

3.1 表層堆積物の特徴

2005 年 5 月に採取した淀川河川水懸濁粒子と大阪湾表層堆積物 0～2 cm の測定結果の平均値を表 1 に示した。有機炭素含有量と C/N モル比は、河口域に近い測点 1 で最も高く、河口から距離が離れるに従って減少する傾向を示した。堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、測点 1 が -24.1‰、それ以外の測点では -21.6～-21.1‰ と、明らかに構成される有機物の起源の違いが示唆される。測点 1 の $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と同様に、測点 2～6 の平均値は $-113 \pm 20\%$ に比べて低い値であった。測点 2 から測点 6 までの C/N モル比、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、 $\Delta^{14}\text{C}$ 値は、十勝川沖の大陸棚堆積物で報告されている値（Nagao et al., 2005）とほぼ一致することから、海洋起源の有機物が大部分を占めていると考えられる。大阪湾表層堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は測点 1 で最も低く、測点 3 で極大を示す分布であった。また、陸上の高等植物のバイオマーカーとして利用されているリグニンフェノール含有量が、測点 1 で高い値を示した。以上の結果より、河口域付近の測点 1 では、淀川からの陸起源有機物の堆積が卓越していると考えられる。

3.2 堆積物の鉛直分布と堆積環境の変動

図 2 には、全有機炭素含有量、C/N モル比、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、および、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の鉛直分布をプロットした。全有機炭素含有量は、鉛直的にも河口域付近の測点から沖合に離れるに従って減少する傾向を示した。また、測点 1 と測点 2～6 では、全有機炭素含有量以外の鉛直分布の特徴に大きな違いが認められる。測点 1 の C/N モル比は 8.9～11.9、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は -25.8～-23.8‰ であり、採取された堆積物の深さ間で、陸起源有機物の寄与が卓越していることを示している。

図 3 には、測点 1 で採取した堆積物の有機物に関連したパラメーターの測定結果を示した。堆積物の深さ 0～2 cm の C/N モル比と $\Delta^{14}\text{C}$ 値は 2 cm 以深の値に比べて極端に低く、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値は若干高い値を示した。一方、深さ 7～10 cm の堆積物では、上下層に比べて C/N モル比と $\Delta^{14}\text{C}$ 値は高く、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値は若干低い値を示した。これらの結果は、明らかに有機物の特徴が異なる河川懸濁粒子が供給されて堆積したことを示している。図 2 を見ると、測点 1 に比べて変動幅は小さいが、測点 2～6 の堆積物の C/N モル比、 $\delta^{13}\text{C}$ 値、および、 $\delta^{15}\text{N}$ 値には、それぞれの測点で極大値、あるいは極小値が観測されている。例えば、C/N モル比の極大値は、測点 2 で 3～4 cm、測点 3 では 12～14 cm、測点 4 で 4～5 cm、測点 6 では 6～7 cm であった。堆積速度を見積もり、時間軸を導入する必要があるが、陸域からの粒子の供給量、あるいは、海洋の生物生産量の変動、海流の変化等により、大阪湾全域にわたり、粒子の堆積環境が変動した可能性が考えられる。

4. 結論

淀川河川から供給される陸起源有機物は、大部分は河口域に堆積し、その堆積は深さ 0~14 cm 間で変動していた。このような堆積環境の変化は、大阪湾の他の測点でも観測された。以上の結果から、大阪湾の有機物の堆積には、河川流域からの陸起源有機物の供給源と供給量の変動、あるいは、海洋での生物生産量、海流等の変動が関与し、現在でも堆積環境は変動している可能性が示唆された。

謝辞

本研究で分析した大阪湾堆積物は、独立行政法人水産総合研究センター・瀬戸内海区水産研究所の樽谷賢治氏により採取された。リグニンの分析では、北海道大学工学部の福嶋正巳先生に GC 質量分析計を、元素分析と同位体比分析では石川県立大の米林甲陽先生に質量分析計をお借りした。また、有機物の放射性炭素測定は、日本原子力研究開発機構の施設共用制度を通して、青森研究開発センターむつ事務所の加速器質量分析計により実施した。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- Aramaki, T., et al. (2000) The AMS facility at the Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). *Nucl. Instr. and Meth. B*, **172**, 18-23.
- Nagao, S., et al. (2005) Combined use of $\Delta^{14}\text{C}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values to trace transportation and deposition processes of terrestrial particulate organic matter in coastal marine environments. *Chem. Geol.*, **218**, 63-72.
- 山本修一 (2000) TMAH 法による高分解環境変動のための基礎的検討. 創価大学教育学部論集. **49**, 61-78.

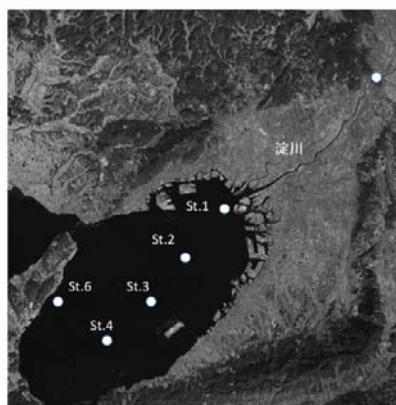


図 1 試料採取地点

表 1 淀川河川水懸濁粒子と大阪湾底泥堆積物の特徴

	Site	Water depth (m)	TOC (%)	C/N molar ratio	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\Delta^{14}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Lignin (mg/OCg)
River SS	Yodo River		6.1	8.7	-25.8	-144	n.m.	n.m.
Marine sediment	St.1	10	2.9	10.5	-24.1	-313	6.4	0.67
	St.2	18.2	2.41	8.9	-21.1	-113	7.4	0.058
	St.3	20.8	2.03	8.1	-21.3	-104	8.2	0.13
	St.4	24	1.67	8.2	-21.4	-98	7.6	0.012
	St.6	51.3	1.21	7.6	-21.6	-139	7.2	0.048

n.m.=未測定。リグニンは0～1 cmのデータ。

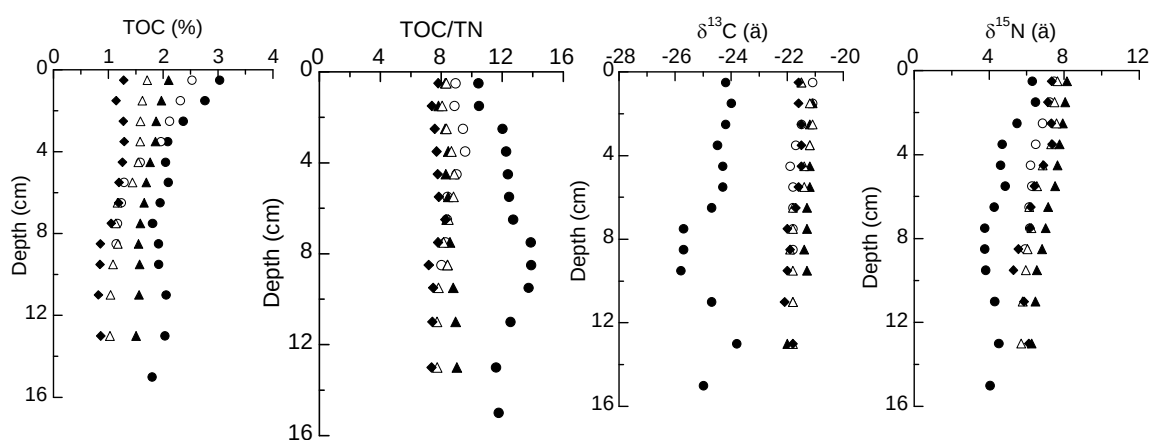


図 2 大阪湾底泥堆積物の特徴 St.1 ●, St.2 ○, St.3 ▲, St.4 △, St.6 ◆.

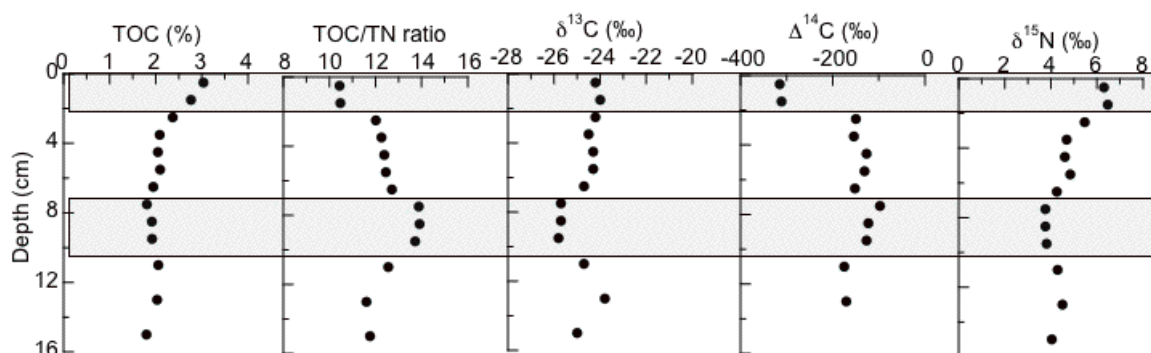


図 3 測点 1 における有機炭素含有量、C/N 比、および、炭素・窒素同位体比

大阪湾・播磨灘における二酸化炭素の挙動と収支に関する研究

○藤井智康^{*1}，駒井幸雄^{*2}，藤原建紀^{*3}

奈良教育大学・准教授^{*1}，大阪工業大学・教授^{*2}，京都大学大学院・教授^{*3}

1. はじめに

港内と沖合では有機物分解・酸素消費・二酸化炭素生成過程が異なることが明らかになってきた．また底層の酸素消費と二酸化炭素生成は連動しており，貧酸素・無酸素水塊中には二酸化炭素が高濃度で蓄積されて，海水の pH が低下し酸性化を起こしていることもわかってきた．そして，風による吹送にともない躍層面が昇降を繰り返し，底層に形成された貧酸素・無酸素水塊が動き，ときには水面まで湧昇することも観測された．これらのことから，貧酸素化が問題となる沿岸海域の二酸化炭素 (CO_2) の吸収・放出は短期的に変動していることが推察される．本研究では，光合成・有機物分解速度が大きく，短期的変動が大きい沿岸海域において， CO_2 系の測定手法の開発と，大阪湾・播磨灘において海面の CO_2 分圧 (pCO_2) の連続測定を行い，貧酸素水塊の発生・消滅に連動して変動する pCO_2 の挙動を調べた．

2. 研究方法

2.1 連続観測

図-1 に示すように，混合域に位置する St. 1 (垂水港) では，2010 年 9 月 22 日～29 日の間，海面下 0.5 m に多項目水質計と水温・塩分計を設置し，10 分間隔で水温，塩分，DO，pH の連続観測を行った．強閉鎖性海域に位置する St. 2 (新西宮ヨットハーバー：以下 YH と称す) では，2010 年 10 月 7 日～28 日および 12 月 1 日～16 日の間，St. 1 と同様な連続観測を行った．また，上記の連続観測期間中には，1 週間間隔で設置機器の掃除および点検を行うと同時に，St. 1～3 において水温，塩分，DO，pH の鉛直分布を水深 0.5 m 間隔で測定した．

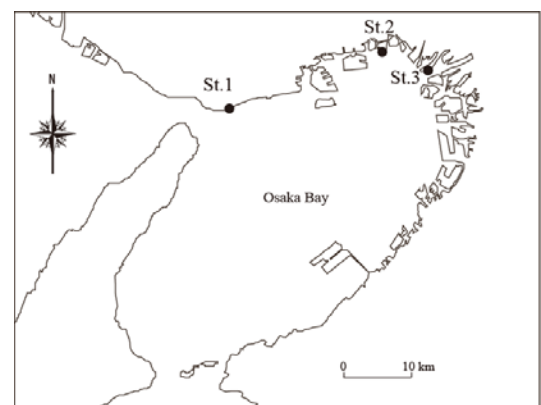


図-1 調査地点図． St. 1: 垂水港，
St. 2: 新西宮 YH, St. 3: 尼崎港

2.2 定点・定期調査

しらふじ丸 ((独) 水産技術総合センター瀬戸内海水産研究所) に乗船し，2010 年 7 月 23 日～28 日，11 月 1 日～5 日，および 2011 年 1 月 20 日～25 日の計 3 回実施した．調査地点は，図-2 に示す瀬戸内海の大阪湾から伊予灘にかけての海域と広島湾の計 30 地点である．表層はポリバケツで，底層 (海底上 1 m) はバンドーン採

水器により採水し、CTD による水温、塩分、DO、Chl の鉛直分布の測定をした。試料は同日中に GF/C（孔径約 $1.2\ \mu\text{m}$ ）を使って吸引ろ過し、ろ過海水の pH を船内で測定した。ろ過海水の全アルカリ度は、7 月については同日中に船内で、11 月と 1 月は冷蔵保存して持ち帰り実験室で測定した。また、生海水を持ち帰りサリノメータで測定した。

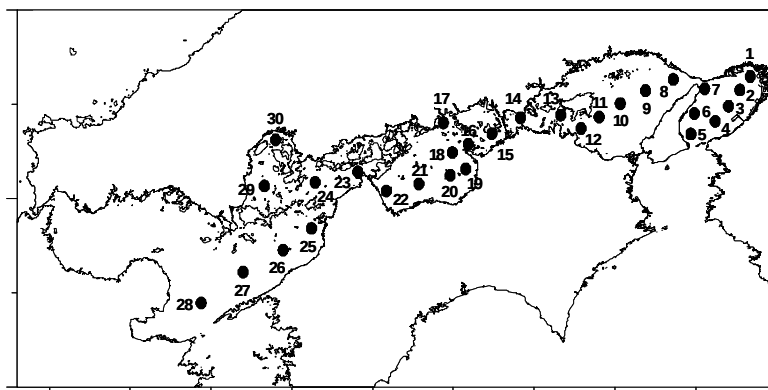


図-2 調査地点図.

2.3 二酸化炭素の解析

海水中の炭酸系の各濃度を求めるためには、 pCO_2 、DIC、pH、全アルカリ度の 4 項目のうち、任意の 2 項目を測定すれば他の 2 項目は計算で求めることができる。本研究では全アルカリ度と pH から求める方法を用いた。CDIAC が提供する CO_2SYS (Lewis and Wallace, 1998) を用いて計算した。全アルカリ度については、田口ら (2009) による全アルカリ度と塩分との関係式（大阪湾用）を用いて算出した。

3. 結果と考察

3.1 DO・pH・ pCO_2 の短期変動

図-3 に示すように、混合域の St. 1 の DO の変動は、飽和溶存酸素濃度以下の $5 \sim 6\ \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の間で変動し、日中に高く、夜間に低くなる日周期変動がみられた。pH の変動は $8.0 \sim 8.1$ であり、表面海水の pCO_2 はほぼ大気平衡状態であった。また、図-4 に示す強閉鎖性海域の St. 2 の DO の変動は、日周期変動が顕著にみられた。夜間の DO の低下にともない、pH が低下し、 pCO_2 は上昇していた。DO が過飽和となっている 10 月 20 日頃までは、pH は $8.4 \sim 8.8$ の変動であり、 pCO_2 は $100\ \mu\text{atm}$ 程度と低く、 CO_2 の吸収となっていた。一方で、海面付近で $3.0\ \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下の貧酸素水が確認された 10 月 24 日以降は、pH が 8.0 以下に低下し、 pCO_2 も徐々に $380\ \mu\text{atm}$ 以上に上昇し、10 月 28 日には $700\ \mu\text{atm}$ に達していた。日射量の日周期変動にともなう光合成強度の変動により、DO および pCO_2 は日周期変動をしていた。 ΔpCO_2 の日周期変動幅／平均値は、DO の日周期変動幅 (ΔDO) のその 1/4 と小さい。

図-5 に溶存無機態炭素 (DIC) と DO の時系列変化を示す。pH、全アルカリ度より計算で求めた DIC は DO と高い相関 ($R^2 = 0.97$) を持って変動していた。昼間に DO 増加・DIC 減少、夜間に DO 減少・DIC 増加の日周変化が 12 月上旬に明瞭に見られる。このように、一次生産量の大きな沿岸海域では、DIC と DO が逆位相で連動して変動している。

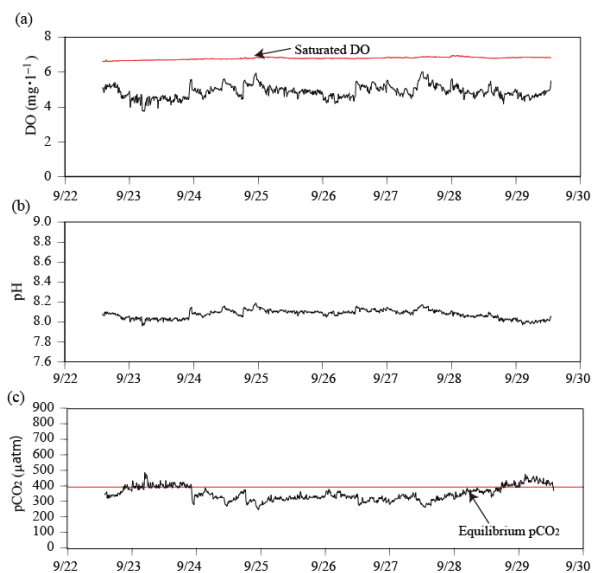


図-3 St. 1 (垂水港) の海面下 0.5 m における DO, pH, pCO₂ の変動
(2010 年 9 月 22 日～29 日)

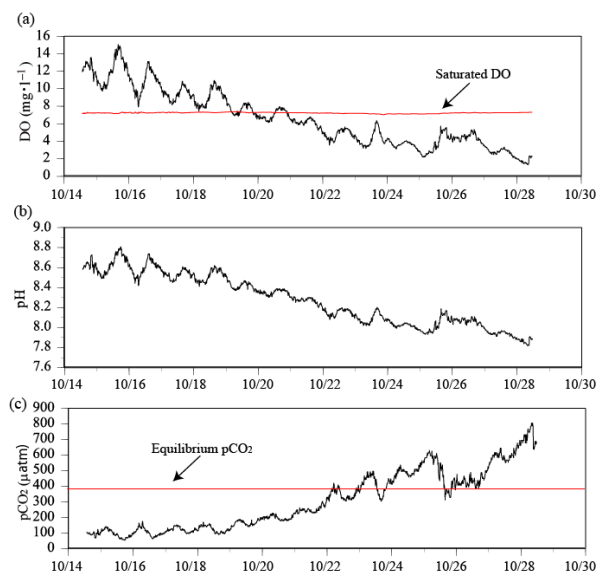


図-4 St. 2(YH)の海面下 0.5 m における DO, pH, pCO₂ の変動
(2010 年 10 月 14 日～28 日)

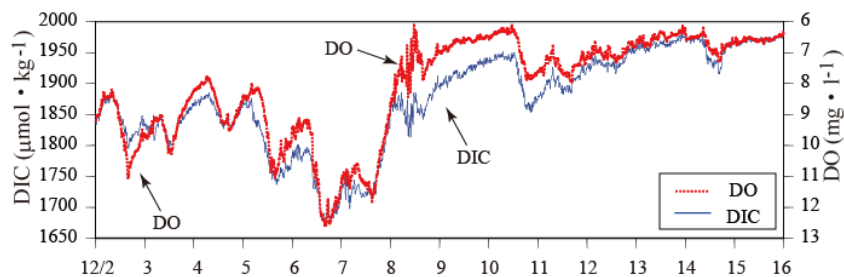


図-5 St. 2(YH)における DIC と DO の変動
(2010 年 12 月 2 日～16 日)

3.2 DO と pH および, pCO₂ との関係

図-6 に示すように, St.2 では, DO の低下とともに pH が低下し, pCO₂ が上昇していた. また, pCO₂ の上昇にとともに, pH が低下していた. つまり, 貧酸素水塊中では有機物の呼吸分解によって水中の酸素が消費され, 生成された CO₂ が蓄積し, 海水が低 pH になっていた. St. 2 の場合, 大気平衡分圧の 380 μatm 以下となる条件は, DO は 5 mg · l⁻¹ 以上で, pH は 8.1 以上であった.

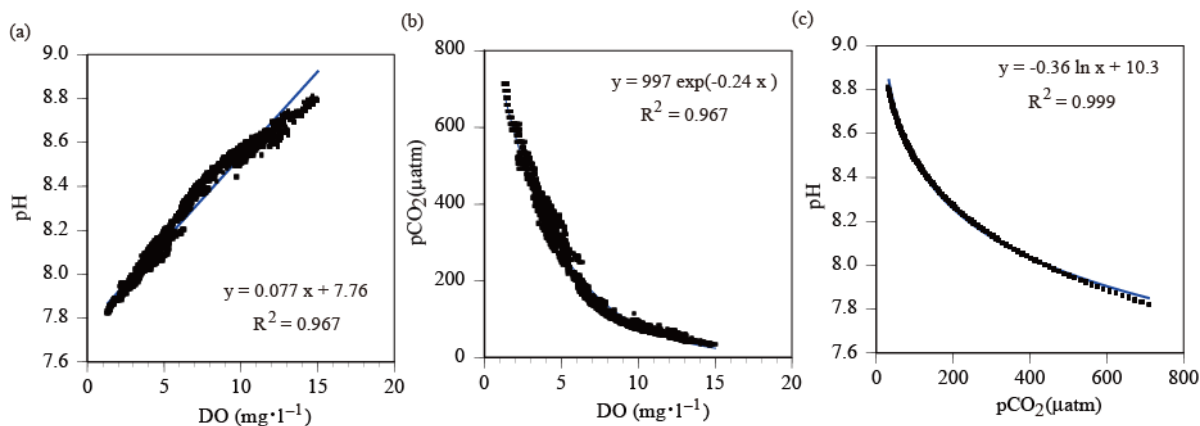


図-6 St. 2(YH)における(a)DO と pH, (b)DO と pCO₂ および(c) pCO₂ と pH

3.3 瀬戸内海の pH とアルカリ度の空間分布

図-7 に示すように、夏季（7 月）の瀬戸内海では、灘部（播磨灘，燧灘）の表層と底層の pH の値を比較すると底層で低い。灘部では、夏季では成層形成によって大阪湾と同様に底層に CO_2 が蓄えられ、pH の低下が見られたと推察される。一方、海峡部（備讃瀬戸）では、他の測点と比較して pH は表層で低下し、底層で上昇し、表層と底層の差はみられなかった。したがって、播磨灘及び燧灘の底層で蓄えられた CO_2 が海峡部の備讃瀬戸で放出していることが伺える。また、大阪湾最奥部の St. 1 と広島湾の St. 30 の pH は表層で高く底層で低い。表層は植物プランクトンによる光合成によって CO_2 が消費され、底層は有機物分解に伴う CO_2 生成・蓄積によるものと推察される。表層の全アルカリ度も他の海域に比べて低い。これは流入する淀川および太田川の影響を反映したものである。

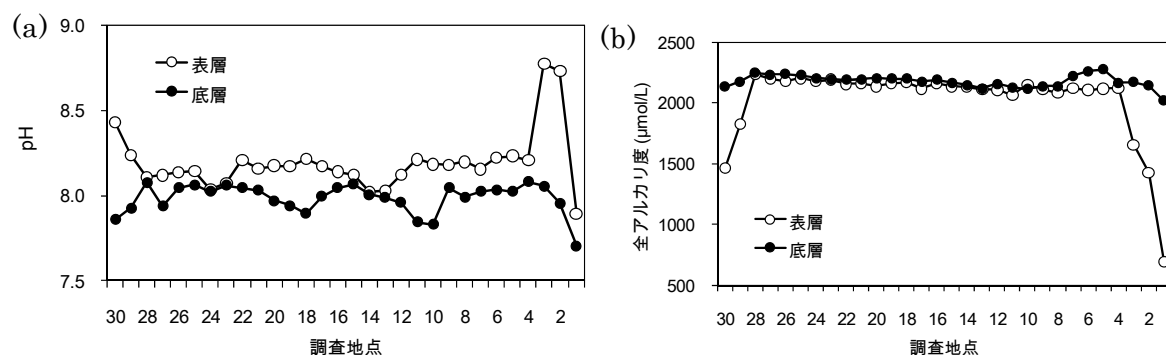


図-7 瀬戸内海縦断調査における表層と底層における(a)pH , (b)全アルカリ度(2010 年 7 月)。

4. 結論

大阪湾沿岸部では、成層期の底層では有機物の呼吸分解で水中の O_2 が消費され、貧酸素水塊が形成されると同時に、 CO_2 が蓄積されていた。秋季から冬季の成層消滅期には、底層の高 CO_2 水が表面まで達し、大気への CO_2 放出が起きていた。沿岸海域では pCO_2 の時間変動および鉛直的な変化も大きい。このため沿岸海域では、炭酸系の時間的・空間的な連続測定が欠かせない。海水中の炭酸系の各濃度を求めるためには、 pCO_2 , DIC, pH, 全アルカリ度の 4 項目のうち、任意の 2 項目を測定すれば他の 2 項目は計算で求めることができる。本研究では全アルカリ度と pH から求める方法を用いた。炭酸系 4 項目のうち、係留系による連続測定や CTD による鉛直測定ができるのは、pH と塩分（これから全アルカリ度が算定できる）だけであり、沿岸海域での炭酸系の測定では pH と全アルカリ度の組合せが適していると考えられる。pH はイオン電極による測定であり、JIS-K-0101 に基づく(pH_{NBS} スケール)。 pH_{NBS} と pH_{total} の違いを補正するため、観測時の海水をエアレーションし、 pCO_2 の大気平衡状態 ($\Delta\text{pCO}_2 = 0$) を作り、この状態の pH を測ることによって pH スケールの違いによる補正值を求めている。

現在の pCO_2 や DIC の高精度直接測定に比べ、pH 電極による pH 測定は精度が劣るものの、変動幅の大きな沿岸海域では、かなりの相対精度で炭酸系の各項目の値を求めることができる。

須磨海岸における砂浜生態系の修復を目標とした順応的管理手法の提案

(その1：須磨海岸における砂浜生態系の現況把握と課題抽出)

松沢慶将

神戸市立須磨海浜水族園 研究企画課長

【目的】 大阪湾沿いで最も大きな砂浜の一つである須磨海岸について，その多様な利用形態を確保しつつ，健全な生態系を回復させ，応分の生物生産機能を向上させるための手法を提案するべく，特にアサリなどの二枚貝に焦点を当てながら，砂浜生態系の現況を把握し課題を抽出することを目的とした．

【方法】 須磨海岸の現況を把握するために，海水浴等の利用が落ち着く 9 月以降に現地調査および試料の同定・分析を行なった．調査項目別の時期，回数，地点数を表 1 に，調査場所を図 1 に示す．砂浜地形調査では，陸上部は GPS (Trimble5700 型) を，水中部はダイビング用水深計を用いた．底質は柱状採泥後，表層側 0.05m 層を試料とし，公定法により粒度組成，全硫化物 (TS)，及び強

表 1 調査項目別の時期・回数・地点数

調査項目	調査項目の詳細	調査時期	回数	地点数
砂浜地形調査	砂浜地形調査	9月2月	2回	4測線
底質調査	粒度組成、TS、IL	9月2月	2回	4測線各2地点
水質調査	水温、塩分、DO	9月、11月2月	3回	4測線各2地点
生物調査	潜水観察	9月、11月2月	3回	4測線
	底生動物	9月、11月2月	3回	4測線各2地点
	二枚貝の浮遊幼生	10月	3回	3地点
	アサリの着底稚貝	11月	1回	4測線各2地点

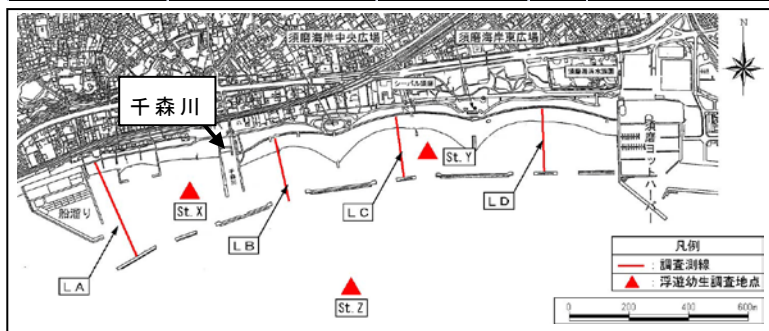


図 1 調査位置図

熱減量 (IL) を分析した．水質調査は水質計を用い，船上から垂下測定した．

生物調査のうち，潜水観察調査では砂質の性状や底生動物の生育状況を把握と記録を目的とし，ベルトトランセクト法により行った．底生動物調査では 0.09 m² の底泥 0.2m 層厚分を潜水採取し，1mm 目のふるいに残った残渣を中性ホルマリンで固定したのち，底生動物を選別・同定・計数・湿重量測定を行った．二枚貝の浮遊幼生調査では，アサリ幼生の発生時期にあわせ，1000L のポンプ採水後，NXX13 (100 μ m 目) と NXX25 (63 μ m 目) で分画ろ過した試料を静沈し，遠心管等に移し冷凍保存した．次に浮遊幼生を対象にモノクローナル抗体により同定・計数を行った．着底稚貝調査では柱状採泥後，0.1 mm 目の篩でふるい，残った試料から選別・同定・計数・殻長測定を行った．

【結果と考察】 砂浜地形調査の結果、標高 0m 以下は季節的に変化し、その変動幅は東端の LD で最大となった。また、標高 -2m を基準面 (DL) としてここからの深さを水深とすると、全体的に汀線から水深約 2m までは緩斜面が存在し、つづいて水深 5m 付近まで漸深し、離岸堤がある場合はその内側で最深となっていた。卓越粒径は、緩斜面では 1mm を超えて粗く、かつ季節的な変動幅が大きい。水深 2m 以深では粒径が小さくなり、離岸堤が沖に存在する場合は 4m 以深で 0.1mm より小さくなった。地点間で比較すると、西端の LA では汀線から水深 4m まで 0.1mm 台で、安定した細砂もしくは砂泥地であったのに対して、ほかの測線では貝殻や粗砂が主体となり粒径の変動幅が大きく、緩斜面の粒径は東端の LD で最大となっていた。

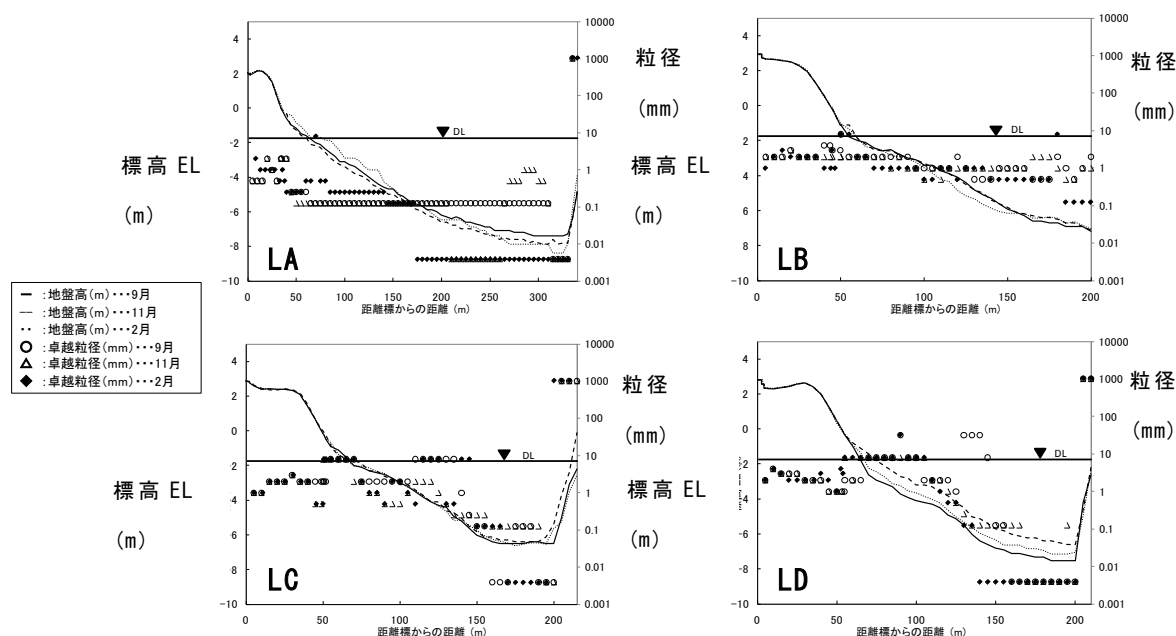


図 2 砂浜の断面形状と卓越粒径の季節変化

水質調査の結果、調査時間帯の水温は 6.8~30.5℃、塩分は 29~33、DO は 5~13mg/L の範囲であった。公共用水域水質測定結果速報値（神戸市 2011）でも同様の範囲内で、当該エリアでは塩分化や貧酸素化は確認されなかった。

底質調査の結果、強熱減量は 4%未満とアサリの好む範囲であり、全硫化物は 0.12mg/gD 未満で生物の生息に望ましい範囲であった。既往知見からも、当該エリア沖合の底質は水生生物の生育に適した範囲内であった。ただし、潜水観察時に後述するホトトギスガイのマット状の群体（表層 0~3cm 層厚未満）より下層では、泥質が黒く還元環境に変化している状況が観察された。

生物調査のうち、潜水観察によると、海底表面の生息種以外に埋在性のトゲモミジガイ、オカメブンブク、ギボシムシの仲間が多く、海底攪乱の一端が観察された。この機能は穴を掘るハゼ科も貢献していた。また、砂浜の浅場のいわゆる「ゆりかご機能」を示す例として、ガザミ属やクルマエビ、魚類のマダイ、マコ

ガレイ、ネズッポの仲間などが確認された。

8 地点で採取した底生動物は、3 期合計が 171 種群で、種群数では環形動物門多毛綱が優占し、個体数と湿重量では多くの地点で軟体動物門が優占した。底生動物による底質の指標性を見ると、ホトトギスガイ、ヒメシラトリガイ、シズクガイなど強内湾性が多種確認されたが、ホトトギスガイ以外の生息密度は低かった。弱内湾性の指標種も少数確認され、須磨海岸の底生動物群集は、ごく浅場の砂泥域に普通にみられる種が多く出現し、比較的健全な生息場と考えられた。しかし、ホトトギスガイがマット状の群体下では、多様性が低下する等の影響がみられた。

本研究で注目したアサリが確認された場所は、最も西側の測線 LA だけであった。しかも、その密度は 9 月に最大（約 80 個体/m²）を示した後、著しく低下した。アサリの減少要因は一般的に以下の 4 つに整理されている。すなわち、1) 埋め立て等を原因とした生息地の減少や環境の悪化、2) 漁業生物としての不十分な資源管理、3) 再生産機構の崩壊、4) 新たな病虫害の発生・顕在化 である。本結果をこれらの区分に対応させつつ、須磨海岸におけるアサリの減少要因と砂浜生態系の改善にむけて取り組むべき事項について考察した。

●**食害種の影響** 須磨海岸で確認されたアサリの捕食者のうち、最も影響が大きい種は、ツメタガイ、トゲモミジガイ、マヒトデと考えられた。ツメタガイの平均密度は 0.001 個体/m²で、同種が漁場で多産した場合の >1 個体/m²に比べて非常に小さい。しかし、新しいアサリの殻のうちツメタガイを含むタマガイ科特有の食痕が約 50%を占めたことから、生息密度以上にツメタガイによる食害の大きさが推察された。

●**競合種の影響** ホトトギスガイは埋在性のアサリに対し、砂浜表面をマット状の群体で覆う表在性の二枚貝である。須磨海岸では、夏から秋に緩斜面を中心に広がり、冬まで群体がみられた。この群体の下層は還元的な環境の場合が多く、特に夏と秋の調査時は黒く変色していた。そこには古い貝殻に混じって比較的新しいアサリの死殻が見られた。

●**再生産機構の崩壊** 二枚貝浮遊幼生の出現状況から、産卵場所を類推した。アサリは出現量が少なく明瞭でないが、比較的個体数が多い 10 月 23 日をみると、上げ潮時に離岸堤内で多く、下げ潮時には差異がないことと、殻長は十分に小さく離岸堤の内外で差異がないことから、須磨海岸近傍で産卵したものと考えられた。次に、着底稚貝の出現状況をみると、アサリはホトトギスガイのマット状の群体が存在する岸側を中心に確認された。しかし、その密度は非常に小さいため、浮遊幼生が着底時にホトトギスガイ（成貝）によって捕食されている可能性が考えられた。さらに底生動物調査によるアサリの殻長組成をみると、アサリの生貝がみられなかった東側では小さい貝殻もなく、最近アサリが着底～成長していないことが明らかとなった。

砂浜生態系の再生に向けて現時点で明らかになった課題

- 1) 物理的な環境の不明部分を明らかにすること
 - ・ 離岸堤内の流況，波浪，漂砂の実態とマット形成～維持機構との関連性
- 2) アサリの減少要因が未解明なこと
 - ・ アサリ幼生の離岸堤内以外の供給エリア，特に須磨海岸付近の幼生供給実態
 - ・ 稚貝の着底時における底泥の選択性と，その後の成長や生残率の違い
 - ・ ホトトギスガイとの競合実態（マットによるアサリ稚貝の着底阻害，マット内に着底した稚貝の成長阻害，マット下におけるアサリ成貝のへい死実態）
 - ・ ツメタガイ，マヒトデ，ナルトビエイによるアサリなど二枚貝の捕食圧
- 3) アサリの食害・競合種の駆除に関すること
 - ・ 須磨海岸でのマット形成過程（産卵～着底時期，マットの形成時期など）
 - ・ マヒトデやナルトビエイなどに食害を受けているか否か
 - ・ 耕耘による駆除効果と効果的な方法（時期，まがの爪の長さや間隔など）
 - ・ ツメタガイやマヒトデの効率的な駆除とナルトビエイのよる食害の回避方法
- 4) 潮干狩りなど市民が憩う場の造成検討
 - ・ 造成場所の選定と造成手法の検討

【結論】 須磨海岸は比較的海水の入替わりが良好で，水底質からみて強い汚濁は認められない．しかし，形状から波浪が生じにくい水域のため，底泥の粒度に場所による大きな違いがみられ，元来アサリの生息しやすい場所が限られる水域になっている．さらに，表在性のホトトギスガイがマット状の群体を形成し，浅場における底泥の動きを抑制している上，間隙水の海水交換も阻害し，底泥環境の還元化など底生動物全体の生息に負の影響を及ぼしていた．

二枚貝類を例にとると，ホトトギスガイと競合するだけでなく，それで生息量自体が減少したうえに，ツメタガイやナルトビエイに，マヒトデ，エビ・カニ類，魚類などをあわせて大きな捕食圧が加わり，須磨海岸での生息量が減少したというシナリオが想定された．これは堆積物中に比較的新しい貝殻が多いという点から裏付けられた．現在は二枚貝類が少なく，特にアサリは海岸西側の比較的粒径の細かい砂地にのみ生息している．浮遊幼生はほかの水域からの供給が少なく，稚貝の着底量も少ないため，再生産機構は脆弱な状態になっているといえる．

この砂浜生態系の機能低下の状態を健全にするには，浅場を多様な底生動物の生息場に戻す必要がある．具体的には海底の底泥自体が動くとともに，バイオターベーションが積極的に行われ，アサリに対する異常に高い捕食圧を排除することが必要と考えられた．それを実現するためには，先に挙げた課題を検討するとともに，海岸に関わる海岸管理者，漁業関係者，地域住民などと協力して対策に取り組む体制づくりとその議論を始める必要がある．すでに官民でアサリ漁場復元の取り組みを始めている須磨海岸では，その体制構築は十分可能である．

(発表題名) 大阪湾御前浜の生物生息環境に海底地下水湧出が及ぼす影響

(氏 名) 安元 純

(所属・役職) 琉球大学農学部・助教

1. はじめに

最近の研究成果により、海域への地下水経路による栄養塩類等の供給が、河川経路の供給と並び、沿岸海域や閉鎖性水域における栄養塩類の循環や一次生産者に重要な役割を果たしているとの認識が一般的になっている。大阪湾沿岸域においても海底地下水湧出 (SGD: Submarine Groundwater Discharge) に伴う栄養塩類等が生物生息環境に及ぼす影響は未解明であり、十分な実態解明が急務である。昨年度までの研究により、大阪湾御前浜における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響を、現地調査と数値解析を合わせ検証し、加えて、得られた結果を大阪湾全域にスケールアップ可能な広域地下水流動モデルを構築し、大阪湾全域における海底地下水湧出量を算出した。

本年度は、昨年度構築した広域地下水流動モデルを高精度化するとともに、近年注目を集めているトレーサー手法の一つである天然放射性同位体であるラドン ^{222}Rn やラジウム ^{226}Ra を用いた広域的な SGD の推定手法 (例えば, Cable (1996)) を用いて大阪湾への SGD の推定結果 (梅澤 (2010)) を、広域地下水流動モデルの検証に用いた。この方法は海岸線沿いの海水中の ^{222}Rn 濃度を測ることで平均的な SGD を見積もることができ、加えて、実際にどの沿岸域で SGD が多いかという実態を直接観測できるため、海域の生物生息環境に及ぼす影響に関しても評価しやすくなるという大きな利点がある。この二つの代表的な SGD の推定手法である ^{222}Rn を用いた地下水流出量の推定法と、広域地下水流動モデルによる SGD の推定値との比較はこれまで行われておらず研究的な意義も大きく、より信頼性の高い大阪湾への地下水流出量の推定値が得られることが期待される。以上の成果を用いて、御前浜沿岸や大阪湾全域における海底地下水湧出が生物生息環境に及ぼす影響について考察する。

2. 研究概要

2.1 現地観測 (放射性同位体ラドン ^{222}Rn を指標とした海底地下水湧出調査)

大阪湾集水域の複数地点において、河川水と地下水の採水を行い、海底地下水湧出 (SGD) の指標として有効な ^{222}Rn 濃度の測定を行った。一方で、兵庫県神戸市深江から、大阪府岬町に至る海岸線に沿って、海水中に含まれる ^{222}Rn 濃度を ^{222}Rn 測定システム (RAD7: Durrige Co Inc.) によって計測・算出し、同時測定した水温・塩分と比較を行った。特徴的な ^{222}Rn 濃度が観測された2地点 (神戸市深江、岬市淡輪) では、1-2 潮汐間の定点連続観測を行い、潮汐変動に伴う地下水流出特性について調べた。

2.2 数値解析

数値解析には、アメリカ地質調査所 (USGS: U. S. Geological Survey) で開発された MODFLOW (MODular three-dimensional finite-difference ground-water FLOW model) を利用した。MODFLOW は、地下水の流動解析において、世界中で最も普及し、事実上標準化しているコードで、パッケージと呼ばれるさまざまなモジュールを組み合わせることができる構造になっている。

解析条件は、大阪平野の3次元水理地質構造を、1グリッド約250m毎に整理し、帯水層を11層に区分した。また、数値解析に必要な各帯水層の透水係数と比貯留係数を地下水涵養委員会（2001）を参考に設定した。解析期間は、大阪平野の地下水開発が進む前の1976年から2005年までとした。また、揚水量データは大阪府の各市町村により収集されたデータを利用した。

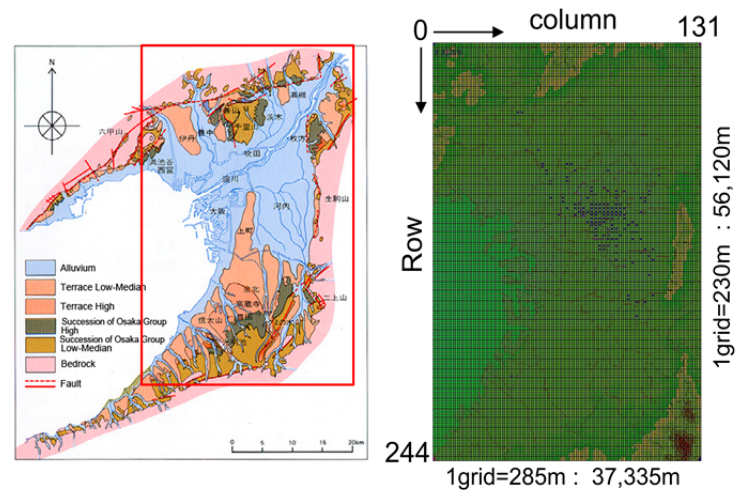


図1 解析対象範囲と解析グリッド

表1 大阪平野の地質構造と透水係数の関係

3. 結果及び考察

3.1 広域地下水流動モデルによる海底地下水湧出域の推定

図2に広域地下水流動モデルより算出した第2帯水層から第1帯水層への鉛直流 Q_z m/dayの分布を示す。大阪湾北部（淀川から芦屋の範囲）沿岸域においては、御前浜を含む西宮から芦屋の沿岸にかけて、

Q_z は -0.007 m/day ~ -0.001 m/dayと比較的高い値が分布している。これら沿岸域では、海水の静水圧に比べ地下水ポテンシャルが高くなっており、海底から地下水が湧出している可能性が考えられる。次に、西宮から淀川河口部をはさんで大和川に至るまでの沖積層沿岸域においては、 Q_z の値はほぼ0 m/dayに等しく、海底からの地下水の湧出はほとんどないものと考えられる。大和川から泉佐野にかけての大沢湾中南部の沿岸域においては、 Q_z の値が -0.005 m/day ~ -0.0007 m/dayの範囲に分布しており、泉佐野沿岸域で約 -0.005 m/dayと最大値を示した。大阪湾全域をみると、SGDの湧出速度は約0.001 $\sim$ 0.003 m/dayの範囲に多く分布しており、日本の平均的な地下水涵養量に比較的近い値となった。なお、本モデルでは解析対象範囲外であるが、大阪湾北部の芦屋より西部の沿岸域や、大阪湾南部の泉佐野から淡輪にかけての沿岸域においても海底から地下水が湧出している可能性が考えられる。今後、解析対象領域を広げることで検証していきたい。

3.2 沿岸水中の ^{222}Rn 濃度測定による海底地下水湧出域の推定

大阪湾集水域における地下水中の ^{222}Rn 濃度は、500 $\sim$ 3000 dpm/L（dpm: disintegration per minutes）であり（梅澤，2010），河川水中濃度の2.2 $\sim$ 226 dpm/Lと比較しても、100倍のオーダーで有意に高い値を持っているため、大阪湾沿岸域において、塩分と共に ^{222}Rn がSGDの指標として有効であることが梅澤（2010）により確認されている。

Stratigraphical division		Layer	Hydraulic Conductivity(cm/s)		Specific storage Ss (1/cm)	Thickness	Group
			Kx, Ky	Kz			
Alluvium	Upper	No.1:	1.E-06	1.E-06	1.E-04	30-50m	G1
	Clay (Ma13)	No.2:	2.E-07	2.E-07	1.E-03		
	Bottom	No.3:	1.E-06	1.E-06	1.E-04		G2
Upper Diluvium	Tenman	No.4:	5.E-04	5.E-05	4.E-05	30-100m	
	Clay (Ma12)	No.5	2.E-07	2.E-07	5.E-04	50-100m	G3
	gravel	No.6	6.E-04	6.E-05	4.E-05		
Succession of Osaka Group	Clay (Ma9)	No.7	1.E-07	1.E-07	5.E-04	50-100m	G4
	Ma8-Ma6	No.8	3.E-04	3.E-05	3.E-05		
	Ma5-Ma3	No.9	2.E-04	2.E-05	3.E-05		
	Ma2-Ma-1	No.10	2.E-04	2.E-05	2.E-05		
		No.11	5.E-04	5.E-05	2.E-06	500-1000m	
Bedrock							

それによると、RAD7 AQUA を用いたラドン ^{222}Rn 曳航測定を用いて海底地下水湧出 (SGD) を沿岸海水中の ^{222}Rn 濃度は (図 3 参照), 湾奥の淀川河口域付近 (人工護岸・埋立地) で $0.5\sim 2.5$ dpm/L の低い値が観測された一方で, 南部の岸和田から阪南地域では, 最大で 4.0 dpm/L の値が観測され, 海底地下水湧出の寄与を示唆している. 塩分と ^{222}Rn 濃度を対比させてみると, 淀川や大和川などの一級河川が流入するエリアでは, 塩分が一気に低下するものの Rn 濃度の上昇はあまり見られず, 一方で, 六甲山地近くの神戸地区や, 大阪南部の岸和田, 泉南周辺エリアではあ, 塩分の低下があまり見られないにも関わらず, Rn 濃度が上昇する様子が見て取れており, Rn 濃度の高い水塊の流入が示唆された.

3.3 現地観測 (^{222}Rn 濃度の測定) と数値解析 (広域地下水流動モデル) との比較

上述したように, 広域地下水流動モデルより推定される海底地下水湧出 (SGD) は, 大阪湾北部芦屋から西宮にかけての沿岸部と, 大阪湾南部の大和川から泉佐野にかけての沿岸域一体で起こっていると推定される. 一方, 沿岸水中の ^{222}Rn 濃度の分布も同様の傾向を示している. 両者の相違点は, 数値解析では SGD が大和川以南にかけて湧出していると推測されるのに対して, 沿岸水中の ^{222}Rn 濃度は, 大和川から泉佐野にかけての埋立地や人工護岸で覆われた沿岸域では小さな値を示しており, SGD も少ないと推定される. この原因としては, 埋立地や人工護岸等の沿岸構造物が海底から地下水が湧出するのを抑制している可能性が考えられる. 一方で, 岸和田沿岸では, 護岸で覆われた場所でも高い ^{222}Rn 濃度が確認されている. その理由としては, 岸和田から泉佐野にかけては粘土層を含まない大阪層群 (広域モデル上の第 11 層) が海底面に慮出しており, 他の沿岸域に比べ地下水が海底から湧出しやすい地質構造になっており, 地下水が護岸構造物を回避して湧出している可能性が考えられるが, 今後, さらに検証を深めたい.

3.4 大阪湾への海底地下水湧出 (SGD) 量の推定

広域地下水流動モデルより算出した第 2 帯水層から第 1 帯水層への鉛直流 Q_z m/day のうち,

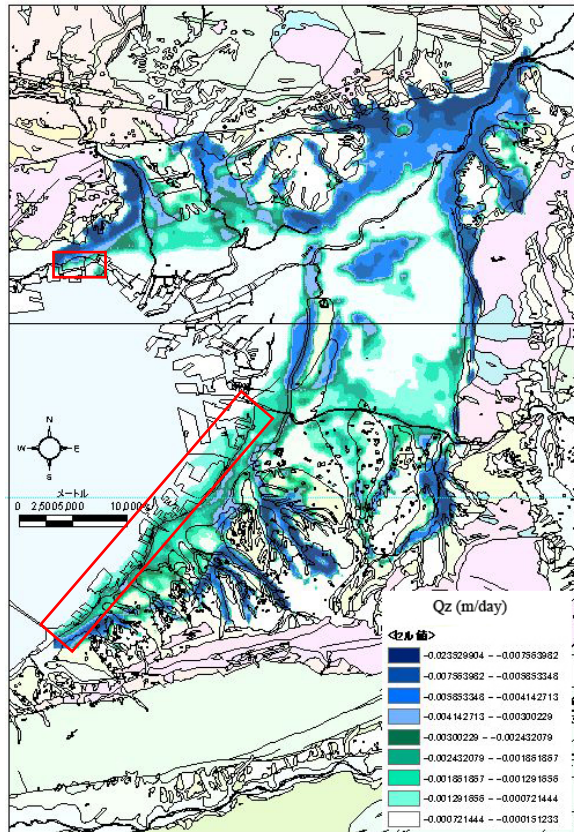


図 2 大阪湾における海底地下水湧出 (第 2 帯水層から第 1 帯水層への鉛直流 Q_z m/day) 分布

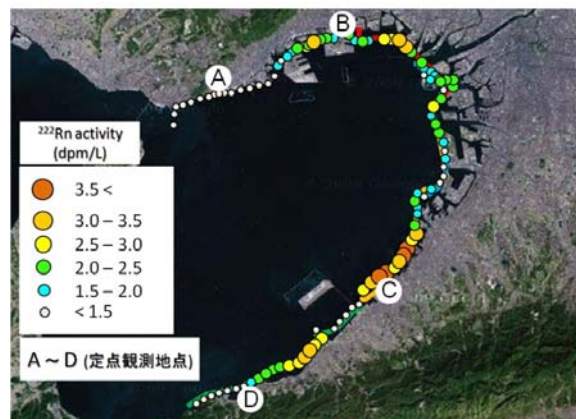


図 3 沿岸水中の ^{222}Rn 濃度

大阪湾全域の海底面からの地下水湧出量を合計した結果、解析期間 29 年（1976~2005 年）で、平均 $0.165 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ と推定された。

一方で、 ^{222}Rn 濃度の観測値を基に推定した全海底地下水湧出は、沿岸部での地下水湧出帯の幅を 100~200m であると仮定すると（採水のための航路が沿岸から 50m~300m 程度離れていたことを考慮すると、実測値の ^{222}Rn 値を説明する湧出帯として適切である）、 $0.08 \sim 0.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ の流入量が地下水を通じてのものであると見積もられている（梅澤, 2010）。この量は、広域地下水流動モデルと ^{222}Rn 濃度を用いて推定した地下水湧出量と比較的よく対応しており、数値解析結果の妥当性を示すものとなった。

広域地下水流動モデルより推定された海底地下水湧出量と、淀川牧方流量観測所の 25 年間（1980 年~2005 年）の平均河川流量 $267.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($23.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$) と比較すると 0.7% に相当し、大和川の平均流量 $41.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($3.62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$) と比較すると約 4.6% に相当し、大阪湾全域における海底地下水湧出のフラックスとしての寄与は、河川水フラックスの 1% にも満たない結果となった。

4. おわりに

本研究では、大阪湾御前浜の生物生息環境に海底地下水湧出（SGD）が及ぼす影響を検証する目的で、本年度は御前浜における解析結果を大阪湾全域にスケールアップする目的で構築した 3 次元広域地下水流動モデルを高精度化すると共に、その結果を検証する目的で、海底地下水湧出の指標として有効な ^{222}Rn の大阪湾沿岸水中の濃度を計測し、数値解析と現地観測とを併せ、大阪湾への全地下水流出量と海底地下水湧出の分布域を推定した。数値解析の結果、大阪湾への全地下水流出量は、解析期間 29 年（1976 年~2005 年）で、平均 $0.165 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ と推定された。また、SGD の湧出速度は約 $0.001 \sim 0.003 \text{ m/day}$ の範囲に多く分布しており、日本の平均的な地下水涵養量に比較的近い値となった。一方、沿岸水中の ^{222}Rn 濃度の計測により推定された海底地下水湧出量は $0.08 \sim 0.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ と推定されており、両者の値は比較的近く、SGD の湧出域にも整合性がみられ、数値解析結果の妥当性を示す結果となった。大阪湾全域でみると陸域からの地下水流出量は、河川流量に比べて 1% 未満と比較的小さな値となった。大阪湾北部と南部の沿岸域では、地下水ポテンシャルが海水の静水圧よりも高く、御前浜で確認されたように、海底から地下水が湧出していると考えられ、地下水が海域への経路となっていることは間違いと考えられる。

今後は、他の研究者によって実施されている地下水中の栄養塩濃度を集約するとともに、病原性微生物や有機化学物質、金属等の有毒な化学物質の濃度を計測することで、大阪湾の生物生息環境に海底地下水湧出が及ぼす影響についてさらに考察し、大阪湾圏における地下水管理の在り方について検討していきたい。

参考文献

梅澤有（2010）：放射性同位体元素を用いた地下水湧出量・栄養塩負荷量の定量と大阪湾内の滞留時間の評価、平成 21 年度大阪湾圏における海域環境の再生・創造に係る研究の助成事業成果発表会要旨集。

J. E. Cable, W. C. Burnett, J. P. Chanton, G. L. Weathly (1996): Estimating discharge into the northeastern Gulf of Mexico using radon-222, Earth and Planetary Science Letters, 144, 591-604. W.C.