

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）
 ー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、底質ー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 、 $Fe(OH)_3$ 、 FeS 、 FeS_2 の各フラックス、有機物堆積速度(易・難分解性の

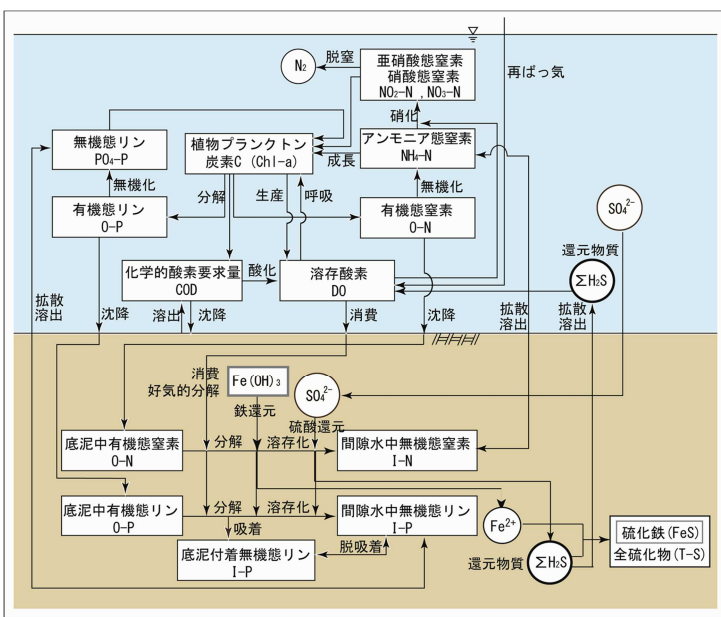


図-1 水底質モデルの概要 (入江ら,2010)

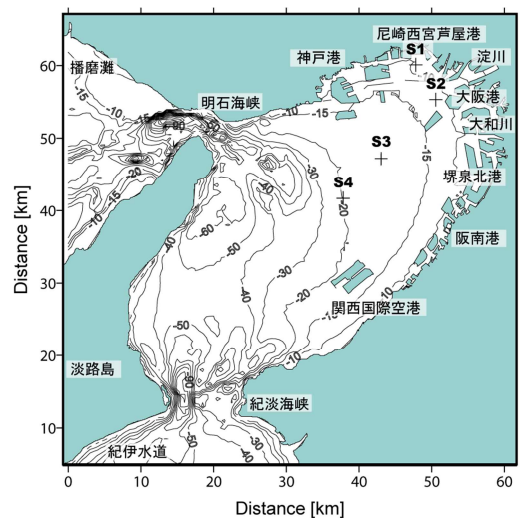
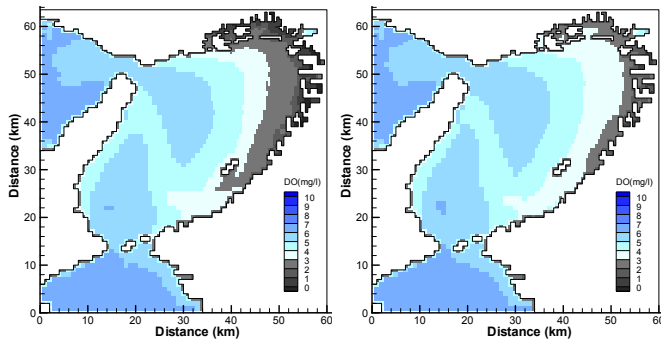


図-2 底質調査地点図



(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)

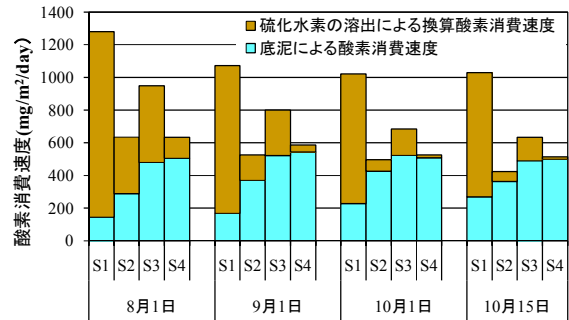


図-4 各地点における底泥による酸素消費速度および溶出した $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ による溶出した $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ による換算酸素消費速度
 (入江ら,2010)

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0.5m, 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。

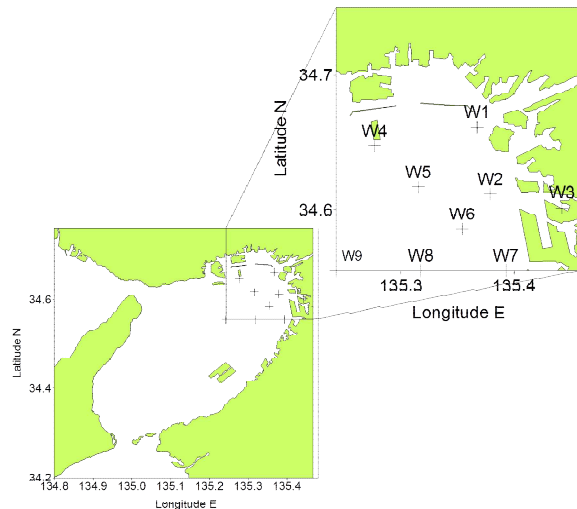


図-5 観測地点図

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 の雨が合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。