

# 博多湾底質からの窒素, リンの溶出に 関する基礎的研究 (第5報)

高木雅子<sup>1</sup>・村瀬茂世<sup>1</sup>  
寺田和光<sup>1</sup>・松原英隆<sup>1</sup>

## Basic research for elution of nitrogen and phosphorus from sediments of Hakata Bay (part 5)

Masako TAKAKI, Shigeyo MURASE, Kazumitsu TERADA  
and Hidetaka MATSUBARA

### 要 旨

閉鎖性海域である博多湾の富栄養化には海底に堆積した底質から溶出する窒素, リンも大きな影響を与えていると思われる。底質から溶出してくるこれらの栄養塩類の寄与率を把握するには博多湾の多くの地点において底質からの栄養塩の溶出速度を求める必要があるため, 溶出速度の簡易測定方法について検討を行ってきた。

今回は第4報までに得られた簡易溶出実験方法で, 各季節の博多湾(3地点)の底質を用いて, 採泥時の水温, 溶存酸素量(DO)条件下の窒素, リンの溶出速度を求めた。また夏に採泥した底質については簡易溶出実験方法と同時に不攪乱柱状泥を用いる方法(実際の海底により近い状態での溶出実験であるが多大な時間と費用が必要)とを行い, 両者から得られる溶出速度の比(不攪乱柱状泥/混合泥)を求めた。

**Key Words** : 博多湾 Hakata bay, 底質 sediment, 溶出 elution, 窒素 nitrogen,  
リン phosphorus

### I はじめに

平成9年度に博多湾では年間5回延べ52日間, 赤潮が発生している。<sup>1)</sup>この赤潮は富栄養化によって引き起こされるが, 閉鎖性海域である博多湾では河川等から運び込まれる栄養塩類の他に, 海底に堆積した底質から溶出する栄養塩類も大きな影響を与えていると思われる。赤潮の対策を行うにはこの栄養塩類の負荷の把握が必要となってくるため, 様々な海域で底質からの窒素, リンの溶出について研究されている<sup>2)~8)</sup>が, 溶出量の測定方法は確立されていない。これは底質からの溶出は海域の水質や潮流等の水理的影響, 底質の性状や生物相など様々な影響によって異なるため, 正確な溶出量を求める

ことが非常に困難なためである。また, 博多湾全体の溶出量を把握するには底質の状態の異なる多くの地点において溶出速度を測定する必要があると考えられる。

そこで第4報までに<sup>9)~10)</sup>まずは混合泥の静置状態における溶出速度を簡易に測定する方法について検討してきた。今回は前報までに得られた簡易溶出実験方法を用いて, 水温, 溶存酸素量(DO)の異なる各季節の条件下での溶出速度を測定した。また, 夏の条件下の溶出実験においては, 採取できる検体数が少なくなるがより現場海底に近い状態の底質が得られる不攪乱柱状採泥を行い, 混合泥との溶出速度の比較を行った。

### II 材料および方法

#### 1. 各季節の条件下での溶出実験

1. 福岡市保健環境研究所 環境科学課

### 1) 試料の採取と前処理

海水は博多湾湾口部 (図1) で採水した海水をガラスフィルター (Whatman 社製 GF/C) でろ過し、実験前に窒素、または空気曝気し、実験条件にあわせてDOを調整したものをを用いた。ろ過海水に含まれる栄養塩類の化学組成を表1に示す。

表1 ろ過海水分析結果

(単位: mg/L)

T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P
0.25	0.05	0.02	0.004	0.007	0.001

底質は博多湾西部のW-7地点、中部のC-1地点、東部のE-6地点の3地点 (図1) でエクマンバージ採泥器にて採取した表層底質 (0~20 cm) を2 mm メッシュのふるいに通した混合底質試料を用いた。採泥は1997年5月、9月、11月、1998年2月の4回行った。各底質の分析結果を表2に示す。

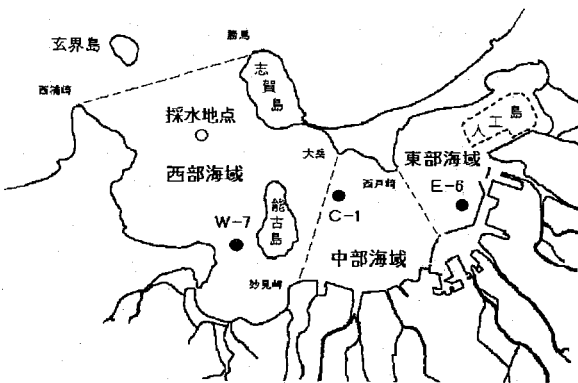


図1 博多湾試料採取地点

表2 底質試料分析結果

採泥年月	地点	乾燥減量 (%)	強熱減量 (%)	COD (mg/g)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)
97年5月	W-7	49	7.2	14	1200	720
	C-1	54	8.0	17	1400	560
	E-6	61	10	13	1900	560
97年9月	W-7	30	4.3	4.9	390	520
	C-1	40	17	12	1300	560
	E-6	56	12	17	1800	680
97年11月	W-7	32	4.9	7.4	650	590
	C-1	35	5.7	9.6	920	590
	E-6	55	10	16	1900	650
98年2月	W-7	27	4.4	7.8	670	540
	C-1	43	7.6	15	1400	560
	E-6	56	11	21	2100	590

### 2) 簡易溶出実験方法

内径 7.5cm, 高さ 26.5cm のガラス製円筒容器に混合底質試料を厚さ 15cm に敷き詰め、DOを調整したろ過海水を深さ 11.5cm (500ml) に静かに注入し、塩化ビニリデンフィルムで覆いインキュベーター中で静置した。インキュベーターの温度、酸素濃度設定条件と調整したろ過海水のDOを表3に示す。一定日数 (0, 1, 2, 3, 6日) 経過後、直上水中のDOを測定し、直上水全量をろ過 (Whatman 社製 GF/C) した。このろ液の全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、全りん、りん酸態りんを測定し、この濃度より窒素、りんの溶出量を算定した。

表3 実験条件

採泥月	インキュベーター		ろ過海水DO (mg/L)
	温度 (°C)	酸素濃度 (%)	
5月	20	20	7.0
9月	25	5	1.2
11月	20	20	7.2
2月	10	20	7.9

### 2. 不攪乱柱状泥による溶出実験

#### 1) 試料の採取と前処理

底質試料は内径 7.4cm, 高さ 40cm のアクリル製パイプ (図2) で博多湾の海底から底質を約 20cm 不攪乱柱状採取したものをを用いた。採取地点は図1の3地点で、1997年9月に潜水夫によって行い、1地点につき8本ずつ採取した。海水は各地点で採水した海水をガラスフィルター (Whatman 社製 GF/C) でろ過し、実験前に窒素で曝気し、DOを1 mg/L 以下に調整したものをを用いた。

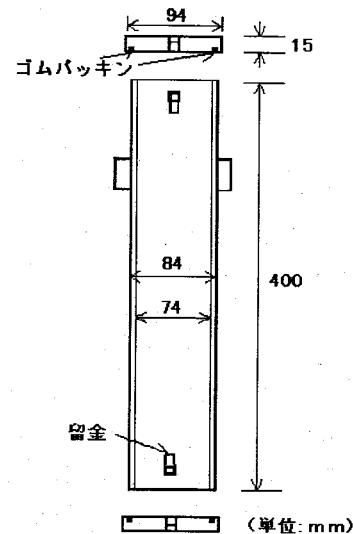
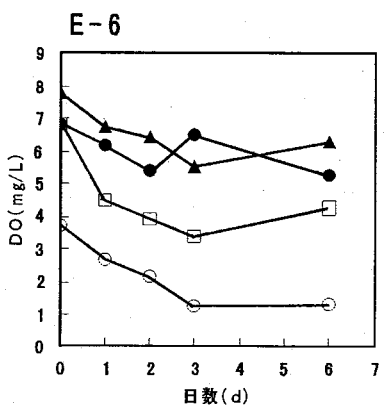
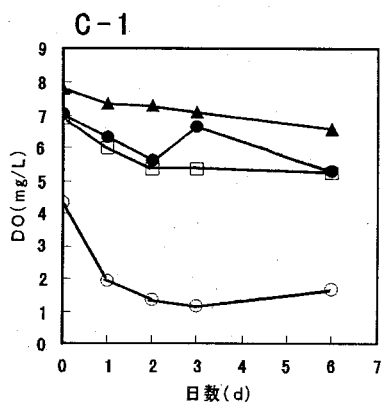
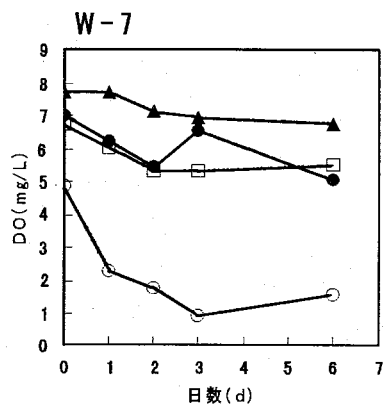
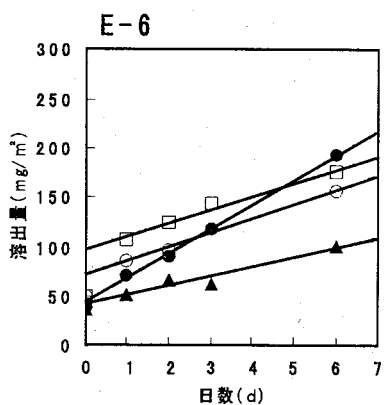
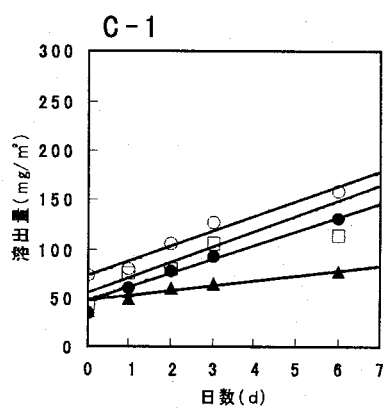
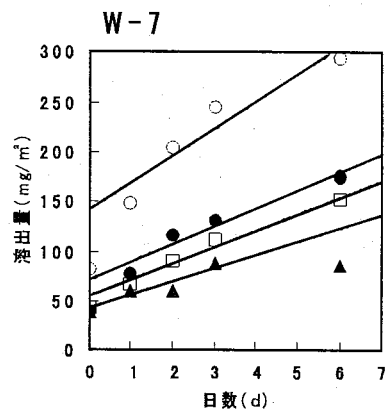


図2 不攪乱柱状泥採泥器



●: 5月 ○: 9月 □: 11月 ▲: 2月

図3 DOの経時変化



●: 5月 ○: 9月 □: 11月 ▲: 2月

図4 全窒素の溶出結果

## 2) 溶出実験方法

実験試料は採取に用いたアクリル製パイプをそのまま容器として用い、不攪乱柱状泥の直上水を静かに抜き取り、ろ過海水を静かに注入した。これを温度20°C、酸素濃度5%のインキュベーター中に静置し、一定日数(0, 1, 2, 3, 6日)経過後、直上水中のDOを測定し、直上水全量をろ過(Whatman社製GF/C)した。このろ液の全窒素、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、全りん、りん酸態りんを測定し、この濃度より窒素、りんの溶出量を算定した。

## III 結果及び考察

### 1. 各季節の条件下での溶出実験

#### 1) DOの経時変化

図3に各季節の条件下における溶出期間中のDOの経時変化をW-7, C-1, E-6の各地点ごとに示す。

実験期間中の海水のDOは2月の条件下における実験が6~8 mg/Lと一番高く、5月, 11月の条件下のDOが5~7 mg/L, 9月の条件下は1~3 mg/Lとなった。これは各月の博多湾定期採水時の底層(海底から1.5m)

のDOを参考にして、ろ過海水のDOとインキュベーター中の酸素濃度によってコントロールを行った結果である。W-7, C-1 地点においてはほぼ同じ様にDOは変化した。E-6 地点についてはどの季節の条件下においても前の2地点より低くなった。これはE-6 地点の底質によるDO消費が他の2地点の底質より活発であったためと推察される。また9月の条件下では夏場にできる貧酸素水塊を想定して、DOをかなり低く設定した。0日目は作業中にDOが高くなってしまったが、1日目以降は1~3 mg/L で安定した。

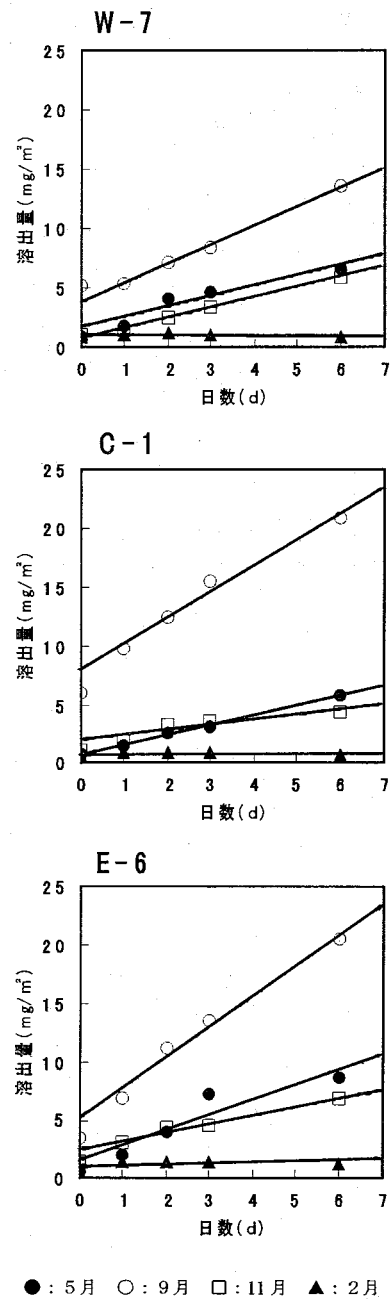
### 2) 窒素の溶出結果

各地点ごとの全窒素の溶出結果を図4に示す。図中には示していないが窒素の溶出形態は50~90%がアンモニア態窒素であり、その他はほとんどが有機態窒素であった。まずW-7 地点については1日目から6日目、9月だけは1日目から3日目の結果を回帰し、その傾きより溶出速度を求めた。この計算より溶出速度は5月、9月、11月、2月においてそれぞれ19, 28, 21, 5.4mg/m<sup>2</sup>・dとなっており、9月、11月、5月、2月の順に大きく、9月は2月の3.5倍になっている。この結果より、DOが低く水温が高い夏場ほど窒素が溶出しやすく、DOが高く水温が低い冬場は窒素の溶出は少ないということができ、細川<sup>2)</sup>、伊澤ら<sup>4)</sup>の窒素の溶出速度は温度に依存するという結果に沿った結果になった。C-1, E-6 地点についても同様に溶出速度を求めると5月、9月、11月、2月においてそれぞれC-1 地点は14, 15, 15, 5.2mg/m<sup>2</sup>・d、E-6 地点は25, 14, 14, 9.6mg/m<sup>2</sup>・dとなった。C-1 地点についてはW-7 地点と同様の傾向がみられたが、E-6 地点は5月の溶出速度が最大となり、9月、11月の溶出速度が次に大きくなった。

また地点による溶出速度の差についてみると、表2の底質分析結果より1年を通して底質中の全窒素量はE-6, C-1, W-7 地点の順に多くなっているが、溶出速度は5月、2月はE-6 地点が最大となり、9月11月はW-7 地点が最大となった。これは9月のW-7 地点のベントスの量が他の2地点と比較して非常に多かった影響もあると考えられ、このことより溶出速度は底質中の全窒素量だけでなく底質の性状や窒素の存在状態、生物相等に左右されると思われる。

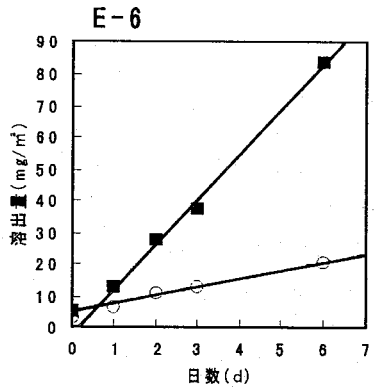
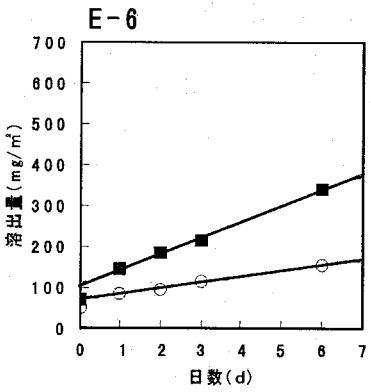
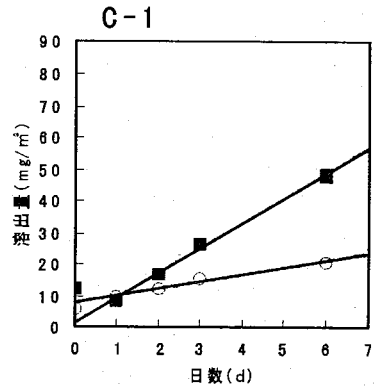
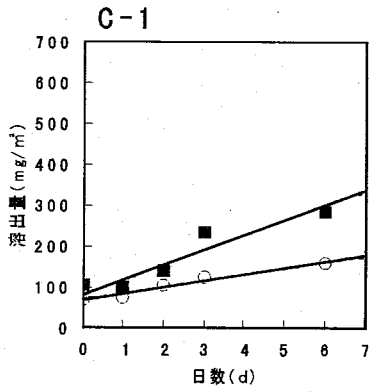
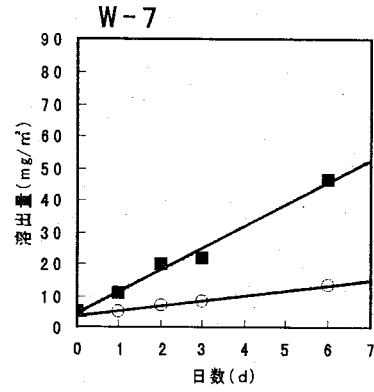
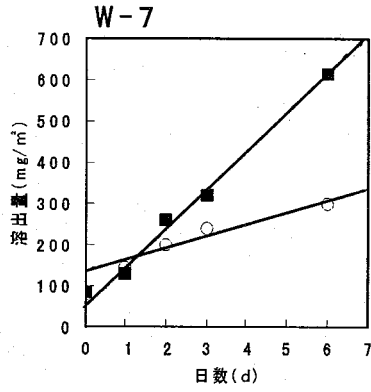
### 3) りんの溶出結果

各地点ごとの全りんの溶出結果を図5に示す。図中には示していないがりんの溶出形態はほとんどがりん酸態りんであった。W-7 地点の全りんの溶出速度はについては5月、9月、11月、2月においてそれぞれ1.4, 1.6, 0.97, 0.0mg/m<sup>2</sup>・dとなっており、9月、5月、11月、2月の順に大きくなっている。この結果より、窒素と同様にDOが低く水温が高い夏場ほどりんが溶出しやすく、DO



●: 5月 ○: 9月 □: 11月 ▲: 2月  
図5 全りんの溶出結果

が高く水温が低い冬場はりんの溶出はほとんどないということができ、細川<sup>2)</sup>、伊澤ら<sup>4)</sup>と同様の結果となった。C-1, E-6 地点についても溶出速度を求めると5月、9月、11月、2月においてそれぞれC-1 地点は0.83, 2.2, 0.94, 0.0mg/m<sup>2</sup>・d、E-6 地点は1.3, 2.6, 0.71, 0.08mg/m<sup>2</sup>・dとなった。りんについてはC-1, E-6 地点についてもW-7 地点と同様の傾向が得られた。しかし、地点間の溶出速度の差をみると5月はE-6 地点、9月はE-6 地点とC-1 地点、11月はC-1 地点とW-7 地点が大きくなっているが、表2の底質中の全りんの量やベントスの量と関連はみられなかった。



■ : 不攪乱柱状泥 ○ : 混合泥

図6 不攪乱柱状泥と混合泥の全窒素の溶出結果

■ : 不攪乱柱状泥 ○ : 混合泥

図7 不攪乱柱状泥と混合泥の全りん溶出結果

## 2. 簡易溶出実験方法と不攪乱柱状泥を用いた方法との比較

今までの各季節の条件下の溶出実験ではエクマンバーズ採泥器で採泥し、2mmメッシュのふるいを通して混合した底質を用いた簡易溶出実験で行ってきた。この混合泥から得られる窒素、りん溶出速度と実際の海底底質の溶出速度により近い値が得られると思われる不攪乱柱状泥による溶出実験との比較を行った。ただし、今回の不攪乱柱状泥を採取する方法は潜水夫による作業が必要となり、多くの柱状泥を採取するには多くの費用と時間が必要となる。

図6にW-7, C-1, E-6地点の全窒素の溶出結果を示す。実験では各日数とも2~3本の試料を作り溶出量を測定しているが、図6には各測定値の平均値をプロットしている。ここで各測定値のバラツキをみると、C-1地点の6日目のプロット(溶出量の平均値)が261mg/m<sup>2</sup>となっており、これは各測定値233mg/m<sup>2</sup>と290mg/m<sup>2</sup>の平均値で、その差57mg/m<sup>2</sup>は全窒素の溶出結果において最大であった。また、不攪乱柱状泥のバラツキは混合泥よりも大きいという傾向がみられた。この溶出実験期間中のDOは、混合泥は図3の9月の結果で示され、不攪乱柱状泥も混合泥と同程度であった。水温は採泥時の水温にあわせて25℃に設定した。またこの図

#### IV ま と め

の傾きより全窒素の溶出速度を求めたものが表4である。不攪乱柱状泥からの全窒素の溶出速度はW-7地点は  $94\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ 、C-1地点は  $37\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ 、E-6地点は  $39\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$  となった。また不攪乱柱状泥と混合泥との溶出速度の比はW-7地点が3.4、C-1地点が2.5、E-6地点が2.8、平均は2.9であり、標準誤差率(%)は15%で差はあまりないことから、博多湾の多数の地点で調査を行う場合には混合泥を用いて得られた溶出速度に2.9を乗ずればほぼ現実に近い値になるものと推察される。

表4 全窒素の溶出速度

		W-7	C-1	E-6
不攪乱柱状泥	( $\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ )	94	37	39
混合泥	( $\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ )	28	15	14
溶出速度比 (不攪乱柱状泥/混合泥)		3.4	2.5	2.8

次に全りん溶出結果を図7に示す。また全りんの溶出速度をこのグラフの傾きから求めた結果を表5に示す。この実験でも窒素同様、各日数とも2~3本の試料を作り溶出量を測定しているが、図7には各測定値の平均値をプロットしている。ここで各測定値のバラツキをみると、E-6地点の3日目のプロット(溶出量の平均値)が  $37\text{mg/m}^2$  となっており、これは各測定値  $33\text{mg/m}^2$  と  $41\text{mg/m}^2$  の平均値で、その差  $8\text{mg/m}^2$  は全りんの溶出結果において最大であった。また、全りんにおいても不攪乱柱状泥のバラツキは混合泥よりも大きいという傾向がみられた。不攪乱柱状泥からの全りんの溶出速度はW-7地点では  $6.9\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ 、C-1地点では  $7.8\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ 、E-6地点では  $14\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$  となった。不攪乱柱状泥と混合泥との溶出速度の比はW-7地点では4.3、C-1地点では3.5、E-6地点では5.4、平均は4.4で標準誤差率(%)は21%であり、博多湾の多数の地点で調査を行う場合には混合泥を用いて得られた溶出速度に4.4を乗ずれば、ほぼ現実に近い溶出速度を推定することができると思われる。

表5 全りんの溶出速度

		W-7	C-1	E-6
不攪乱柱状泥	( $\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ )	6.9	7.8	14
混合泥	( $\text{mg/m}^2\cdot\text{d}$ )	1.6	2.2	2.6
溶出速度比 (不攪乱柱状泥/混合泥)		4.3	3.5	5.4

各季節の博多湾(3地点)の底質を用いて、採泥時の水温、DO条件下の窒素、りんの溶出速度を求めた。その結果、窒素、りんとともに水温が高くDOが低い夏場が溶出速度が大きく、水温が低くDOが高い冬場は溶出速度が小さくなった。窒素については夏場の溶出速度は最大で冬場の溶出速度の3.5倍になった。また、りんについては冬場の条件下ではほとんど溶出しなかった。

また不攪乱柱状泥を用いる方法と混合泥を用いる簡易溶出実験方法との溶出速度の比(混合泥/不攪乱柱状泥)を求めた結果、全窒素は2.9、全りんは4.4(各3地点の平均値)となった。従って博多湾の多数の地点で混合泥による簡易溶出実験で溶出速度を測定し、この係数を乗ずることによってより実際の海底の溶出速度に近い値を得ることができると考えられた。ただしこの係数は低いDO条件下で求めた値であるため高いDO条件下の係数は別に求める必要があると考えられる。

#### 文 献

- 1) 水産庁九州漁業調整事務所：九州海域における赤潮発生状況，1997
- 2) 細川恭史，三好英一，堀江毅：栄養塩溶出速度の温度・DO依存性について，港湾技術資料，40，5，3~39，1981
- 3) 内田唯史，中野光之，藤田健一，中西弘，浮田正夫：内湾におけるCODの予測手法に関する研究—博多湾をモデルとして—，水質汚濁研究，6，427~437，1983
- 4) 伊澤博文，清水徹：広島湾の底泥をめぐる物質の代謝及びその動態的挙動(第2報)—海底泥からの栄養塩類に及ぼす温度の影響—，広島県環境センター研究報告，5，72~76，1983
- 5) 曾田京三，安藤晴夫：東京湾の富栄養化に関する研究(その5)底質からの栄養塩類等の溶出実験結果について，東京都環境科学研究所年報，81~83，1988
- 6) 白柳康夫，大矢正代：横浜港底質からのリン，窒素の溶出—溶存酸素濃度と温度の影響—，横浜市公害研究所報，15，57~65，1991
- 7) 香月幸一郎，山之内公子，濱田尚武，淵義明，赤木聡，豊坂元子，熊野眞佐代，平山文俊：大村湾底質からの栄養塩類溶出試験，長崎県衛生公害研究所報，34，87~97，1991
- 8) 稲垣卓次，秋永克三，里中久郎，長井喜久：内湾における水質汚濁の実態について(第4報)—英虞湾

- における底泥調査—, 三重県環境科学センター研究報告, 15, 9～19, 1995
- 9) 高木雅子, 他: 博多湾底質からの窒素, リンの溶出に関する基礎的研究 (第3報), 福岡市衛生試験所報, 21, 93～98, 1996
- 10) 高木雅子, 他: 博多湾底質からの窒素, リンの基礎的研究 (第4報), 福岡市保健環境研究所報, 22, 83～86, 1997