

(26) 博多湾における富栄養化に関する研究 (その I) - 水質・底質の季節変動特性について -

EUTROPHICATION IN HAKATA BAY(PART I) - SEASONAL VARIATIONS OF WATER AND SEDIMENT QUALITY -

藤田健一\*・李寅鉄\*・中嶋雅孝\*・隈本正顕\*・楠田哲也\*\*  
Kenichi FUJITA \*, In-cheol LEE \*, Masataka NAKASHIMA \*,  
Masaaki KUMAMOTO \*, and Tetsuya KUSUDA \*\*

ABSTRACT; Water and sediment qualities relevant to modeling of water quality, such as various kinds of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur and chlorophyll were surveyed from April, 1996 through March, 1997 in Hakata Bay and their seasonal variations were discussed. Major results obtained in this study are as follows:

- (1) Dissolved organic matter on March and June and particulate organic matter on September were high in concentration;
- (2) The dominant species of phytoplankton changed remarkably from *Dinophyte* in summer to *Diatom* in winter. Copepoda, zooplankton, was dominant through the year;
- (3) The ratios of C/N and C/P in the oxidized sediment layers were low in summer and high in winter throughout the bay. Nutrient concentrations in pore water were relatively high at the inner area of the bay ; and
- (4) Releasing rates of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{PO}_4\text{-P}$  from sediments at the inner area of the bay under anaerobic condition were high, which were 73 and 14  $\text{mg/m}^2\text{/day}$ , respectively.

KEY WORDS : eutrophication, water quality management, plankton, sediment quality, Hakata Bay

## 1. はじめに

大都市圏を背後に抱える内湾は、埋立や港湾整備など沿岸開発のニーズが高い一方で、人間活動により負荷された汚濁物質が蓄積しやすいため、その特有の浄化機能や水産業の場としての役割が低下している。内湾における富栄養化の進行による赤潮や貧酸素水塊の多発、それに伴う水辺景観や生態系への影響などの環境悪化は、今や世界に共通する社会的な問題となっている。

近年、豊かな自然環境を保全し、生物の生息環境を含めた水質保全対策が、沿岸域環境管理の大きな要素であるとの認識が高まっており、沿岸域の有効利用と保全との持続的調和を図るための努力が求められている。アメリカをはじめカナダやフランスなどで盛んなミチゲーション技術開発研究はその一環であり、湿地・干潟、藻場の回復、再生におけるこれらの成果には著しいものがある<sup>1)</sup>。博多湾においても、湾奥部で、人間が自然と触れ親しむことができる水辺空間の利用を図るために、生物の生息環境に配慮した環境保全対策に力が注がれている<sup>2)</sup>。

一方、これまでの内湾の水質管理においては、環境基準を達成するために COD 負荷に対する規制を行ってきたにも関わらず、多くの海域が環境基準に適合するに至っていないのが実状である。これは植物プランクトンの増殖に起因する COD が、海域における COD 値のかなりの部分を占めていること、すなわち内部生産による COD の寄与が大きく、負荷に対する規制の効果が現れないためである。この植物プランクトン

\* (財)九州環境管理協会(Kyushu Environmental Evaluation Association)

\*\*九州大学工学部建設都市工学科(Department of Civil Engineering, Kyushu University)

の増殖に大きな役割を果たすのは、日射量、水温、栄養塩などであるが、前二者は制御性の低い環境因子であり、窒素・リンなどの栄養塩は、負荷を削減すればそれによって植物プランクトンの増殖を抑えることができる制御性の高い因子である。栄養塩の削減により、内部生産 COD の寄与を小さくし、環境基準を達成できる可能性も生れると考えられるが、その物質挙動については不明な点も多い。博多湾においても、湾奥部や湾中央部で COD が高く、富栄養化内湾が持つ問題に直面している。したがって、博多湾の快適環境を形成するためには、植物プランクトンによる内部生産はもとより、干潟の浄化機能および底質から

の栄養塩溶出などを含む内湾の富栄養化に関する状況を総合的に把握し、その水質および生物生息環境の管理モデルを構築し対応策を詳細に検討する必要がある。

本研究では、博多湾の富栄養化特性や、水質および生態系への影響を評価できるモデルを開発するための現状把握および重要な知見を得るための基礎的研究として、水質および底質について現場調査を行い、その結果を用いて博多湾における水質・底質の季節変動特性について検討する。

## 2. 調査海域の概要

### 2. 1 対象海域の概況

博多湾は古くから渡り鳥の越冬地や稚仔魚の生育場として知られており、北側を海の中道、西側を糸島半島に囲まれた、東西 20 km、南北に約 10 km、総面積が約 134 km<sup>2</sup> の細長い形状の内湾である。湾の水深は、湾奥部が 5 m 以下、湾中央部が 5 ~ 10 m、湾口部は 10 ~ 20 m であるが、湾の中央よりやや西側に湾口をふさぐように能古島が存在するため、アイランドシティ（人工島）や和白干潟の位置する湾奥部は COD 濃度が 3.5mg/l を超え、常に陸域からの負荷の影響を強く受ける富栄養化海域となっている<sup>3)</sup>。また、湾奥部のアイランドシティ背後の浅海域（平均水深約 2m）は和白干潟とともに底生生物や稚仔魚の生息場となっており、冬季にはこれらを餌とするために多くの野鳥たちがここを訪れている（Fig.1）。博多湾の中部域から湾奥部の沿岸には下水処理場（Fig.1 の矢印）が位置している。これらからの排水が、湾に流入する全負荷に占める割合は、COD が約 1/2、T-P が約 2/3 であり、主要な汚濁負荷源となっている<sup>4)</sup>。

### 2. 2 海域調査の概要

1996 年 4 月から 1997 年 3 月にかけて、Fig.1 に示す 3 定点（St.W-3、St.C-1、St.E-2）において、水質および植物プランクトンによる光合成速度と底質からのフラックスなどについて調査した。

水質調査では、有機物と、窒素、リン等の水質とプランクトンを月 1 回の頻度で調べ、その季節変動を明らかにした。植物プランクトンの光合成について、年 4 回調査し、一次生産速度や酸素消費速度を測定した。また、底質の調査では、各季節 1 回の頻度で年 4 回、現場から底泥を採取し、底質・間隙水質の分析、溶出・脱窒速度試験、酸素消費速度試験を行った。海域調査項目および調査内容をまとめて Table 1 に示す。

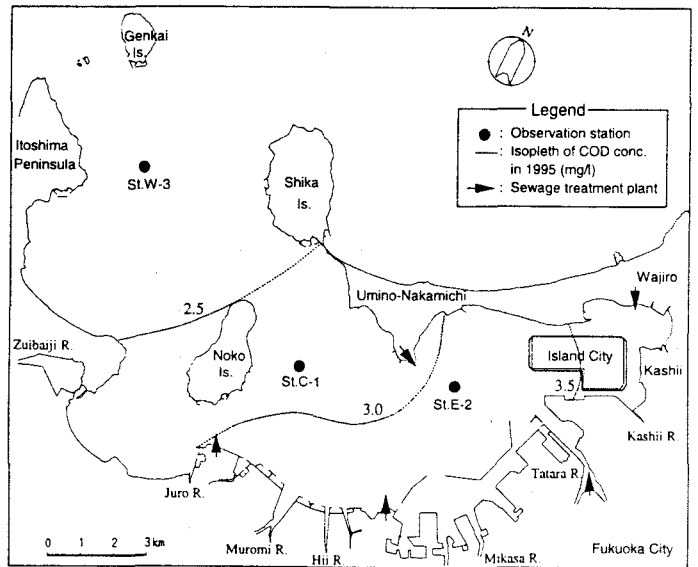


Fig.1. Observation and measurement stations of water and sediment quality in Hakata Bay.

3. 試料および方法

3. 1 水質の季節変動

(1) 水質の濃度分布

Table1 に示した水質調査の手順は以下のとおりである。船上からバンドーン型採水器を用いて分析試料を採取した後、実験室に持ち帰り分析した。また、現地では水質モニターを投入し、St.W-3、St.C-1 は 1m 間隔、St.E-2 は 0.5m 間隔で水温、DO、光量子量を測定した。調査頻度は毎月 1 回（年 12 回）である。

(2) プランクトンの現存量

植物プランクトンの現存量調査の

手順は、以下のとおりである。鉛直方向に上層(0.5m)、中層(2.5m)、下層(B+1m)の 3 層に分け、船上からバンドーン型採水器で海水を採取して、ただちに中性ホルマリン（最終濃度 5%）で固定し実験室へ持ち帰った。そして、光学顕微鏡下で種を同定し、細胞数の計数、細胞サイズを測定した。また、動物プランクトンの調査においては、動物プランクトンを上層(0.5 ～ 1.5m)、中層(1.5m ～ (1.5m と B+1m の中間点))、下層(1.5m と B+1m の中間点～ B+1m) の 3 層に分けて北原式定量ネットを用いて鉛直曳きで採取した後、植物プランクトンと同様に処理・分析した。

3. 2 プランクトンの光合成

植物プランクトンの一次生産速度および平均酸素消費速度を明暗ビン法による疑似現場法にて測定した<sup>5)</sup>。試験水は、Fig.1 の 3 定点において、表層（0.5m）、1/2 透明度深、透明度深、2 倍透明度深、海底上 1m の 5 層から採水したものである。試験水を層別に DO ビン 3 本に分取し、このうち 2 本を明条件と暗条件におき 24 時間試験室屋上（20℃恒温槽内）で培養した。残り 1 本は初期濃度分析用とした。各層の光条件（光量子量）は光量調整ネットを用い、明条件では各層が表層の 100%、32%、10%、1%となるように調節して現地の深さ方向の光の減衰を再現した。また、暗条件は、黒いビニール袋で光を遮断して再現した。この際、測定期間中の光量子量をセンサー（LI-192A/B、LI-193SA/B）を用いて測定した。

3. 3 底質の季節変動

底質フラックスの調査においては、Fig.1 に示す地点においてコアサンプラー（コア径 100mm）で採取した底泥を、底質分析、間隙水質分析、溶出・脱窒速度試験、酸素消費速度試験の試料とした。分析試料は、コア試料の直上水を底泥表面を攪乱しないように静かにサイホンにて取り除いて、底泥表面の浮泥層（fluff 層）、酸化層 2 層、還元層 2 層の 5 層に区分したものであり、底質調査法（JIS）<sup>6)</sup> に基づいて分析した。その分析項目は Table1 に示すとおりである。なお、底泥の酸化還元電位（ORP）は ORP 計により、間隙水の DO 濃度は YSI 社製生物用酸素モニター 5300 を用いて、コア試料より直接測定した。

溶出速度試験においては、NH<sub>4</sub>-N ガスの散逸を防ぐためにアンモニアトラップ（ホウ酸）溶液を取り付けた装置にて、好気・嫌気条件下で 0 日、1 日、3 日、5 日目の直上水中の N、P 濃度を形態別に測定した結果から算出した。また、脱窒速度は、テプラーポンプ式定量法による実験装置内に設置したコア試料から溶出する N<sub>2</sub> ガスを TCD ガスクロマトグラフへ導入し、0 日、1 日、3 日目に測定した結果より求めた。

4. 調査および試料分析結果

4. 1 水質の季節変動

Table 1. Measured and observed items of water and sediment quality at the observation stations.

| Term                               | Sampling depth(m)                          | Item                                                        |                                                                                                                                                                                       | Analytical method            |
|------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                                    |                                            | Site-observed                                               | Measurement or analysis                                                                                                                                                               |                              |
| Water quality                      | upper(0.5)<br>middle(2.5)<br>lower(B+1m)   | pH, Salinity, DO,<br>light quantum<br>DOC, POC, PON, Phaeo. | NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, PO <sub>4</sub> -P<br>DON, DOP, POP, Chl-a, SS, SiO <sub>2</sub><br>Phytoplankton, Zooplankton                            | JIS                          |
| Primary production and consumption | 0.5<br>1/2Tr.<br>Tr.<br>2Tr.<br>B+1m       | (Sampling of sea water)                                     | Primary production rates of plankton<br>Oxygen consumption rates of plankton                                                                                                          | Qusi-in situ<br>Qusi-in situ |
|                                    | Fluff layer<br>Oxidized and Reduced layers |                                                             | ORP, Total Sulfide(TS), Total Fe, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , ON, OP, Temp., Chl-a, Phaeo., Thickness of Oxidized and Reduced layer                                         | JIS                          |
|                                    |                                            | (Pore water)                                                | NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, PO <sub>4</sub> -P<br>SiO <sub>2</sub> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , S <sup>2-</sup> , DOC, DON, DOP<br>DO, Temp., pH | JIS                          |

\* Tr.: Degree of Transparency

# (1) 水質の濃度分布

各月の水質調査結果を、各項目別、層別に平均したものを Table 2 に示す。全体に湾奥部 (St.E-2) で Chl-a および懸濁態有機物質濃度が高く、湾口部 (St.W-3) に向けて低くなっている。Fig.2 に夏季と冬季の水温と DO の鉛直分布を示す。水温分布は夏季に成層化していることを示しているが、冬季には St.W-3 で鉛直混合が強く、中部域 (St.C-1) から湾奥にかけては、中層で弱混合形となっている。DO は、各地点とも夏季の水温上昇に伴って低下しており、St.E-2 や St.C-1 の下層の DO 濃度は 3.5mg/l 以下になっている。冬季の DO 濃度は 8.5 ~ 10.3 mg/l の範囲で夏季に比べて鉛直の濃度差がほとんどみられなかった。

次に、海域の水質特性を総合的にみるため、水質測定結果から見掛けの懸濁態有機物量 (POM = POC+PON+POP, 正) と溶存態有機物量 (DOM = DOC+DON+DOP, 負)、ならびに、式(1)で求めた植物プランクトン中のクロロフィル a (Chl-a) とその分解物であるフェオフィチン(Phaeo)の合計量に占める Phaeo の割合 ( $\delta p$ ) を Fig.3 に示す。

$$\delta p = \frac{Phaeo}{Chl-a + Phaeo} \quad (1)$$

この結果によると、3 月と 6 月には DOM が高く、9 月には POM が高くなっている。 $\delta p$  も有機物の形態変化に伴い変動する傾向がみられる。これは、熊谷ら<sup>7</sup>の博多湾の Chl-a と POC の相関についての報告と一致している。地点別にみると、St.E-2 では、POM, DOM の増減や  $\delta p$  の変動が著しい 6 月には DOM が高く、底層で  $\delta p$  が約 70% を占めている。これは、植物プランクトンなどが底生生物などに採餌されて栄養塩が増加するとともに、植物プランクトンの Chl-a が Phaeo に分解されたものと考えられる。しかし、St.W-3 では年間を通して、他の地点と同様に DOM が高いにもかかわらず、POM はそれ程高くなく、それに伴う  $\delta p$  の変動もあまりみられない。

Fig.4 に植物プランクトンの増殖状況を調べるため、栄養塩である総溶存態無機窒素 (TIN =  $NH_4-N + NO_3-N + NO_2-N$ )、 $PO_4-P$  と Chl-a を月別、各地点別に示した。Chl-a の濃度は St.E-2 と St.C-1 で高く、春季から夏季にかけて増加し、秋季に減少した後、冬季の 1 月に再び増加する傾向を示している。St.W-3 は年

Table 2. Results of water quality measurement and analysis.

| Items         | Unit          | St.W-3 |        |       | St.C-1 |        |       | St.E-2 |        |       |
|---------------|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
|               |               | upper  | middle | lower | upper  | middle | lower | upper  | middle | lower |
| pH            | —             | 8.3    | 8.3    | 8.2   | 8.4    | 8.3    | 8.2   | 8.3    | 8.3    | 8.3   |
| Salinity      | —             | 32.7   | 32.9   | 33.0  | 31.8   | 31.9   | 32.3  | 31.2   | 31.6   | 32.4  |
| DO            | mg/l          | 8.02   | 7.66   | 7.34  | 8.63   | 8.28   | 6.17  | 9.07   | 8.79   | 6.42  |
| light quantum | $\mu E/m^2/s$ | 687.7  | 382.7  | 23.4  | 855.1  | 335.0  | 18.8  | 773.9  | 222.3  | 113.3 |
| DOC           | mg/l          | 1.3    | 1.3    | 1.2   | 1.4    | 1.3    | 1.3   | 1.5    | 1.5    | 1.4   |
| POC           | mg/l          | 0.2    | 0.2    | 0.1   | 0.3    | 0.4    | 0.3   | 0.7    | 0.6    | 0.5   |
| TOC           | mg/l          | 1.4    | 1.4    | 1.3   | 1.7    | 1.7    | 1.6   | 2.1    | 2.0    | 1.8   |
| $NO_3-N$      | mg/l          | 0.011  | 0.012  | 0.014 | 0.040  | 0.039  | 0.029 | 0.089  | 0.086  | 0.086 |
| $NO_2-N$      | mg/l          | 0.005  | 0.004  | 0.004 | 0.010  | 0.010  | 0.008 | 0.019  | 0.018  | 0.022 |
| $NH_4-N$      | mg/l          | 0.025  | 0.022  | 0.023 | 0.077  | 0.070  | 0.066 | 0.126  | 0.125  | 0.155 |
| IN            | mg/l          | 0.041  | 0.038  | 0.041 | 0.127  | 0.119  | 0.103 | 0.234  | 0.229  | 0.263 |
| DON           | mg/l          | 0.105  | 0.116  | 0.104 | 0.110  | 0.120  | 0.084 | 0.131  | 0.128  | 0.116 |
| PON           | mg/l          | 0.029  | 0.030  | 0.022 | 0.076  | 0.083  | 0.054 | 0.133  | 0.120  | 0.078 |
| $PO_4-P$      | mg/l          | 0.003  | 0.003  | 0.003 | 0.007  | 0.007  | 0.009 | 0.012  | 0.012  | 0.016 |
| DOP           | mg/l          | 0.008  | 0.007  | 0.007 | 0.010  | 0.009  | 0.017 | 0.012  | 0.012  | 0.011 |
| POP           | mg/l          | 0.005  | 0.004  | 0.005 | 0.015  | 0.016  | 0.010 | 0.025  | 0.021  | 0.020 |
| Chl-a         | $\mu g/l$     | 2.8    | 2.4    | 2.8   | 6.9    | 6.8    | 3.4   | 11.5   | 10.0   | 6.4   |
| Phaeo         | $\mu g/l$     | 1.9    | 1.2    | 1.4   | 3.9    | 4.1    | 2.5   | 7.3    | 7.3    | 6.9   |
| SS            | mg/l          | 4.0    | 3.0    | 3.0   | 5.0    | 5.0    | 5.0   | 6.0    | 6.0    | 8.0   |
| $SiO_2$       | mg/l          | 0.32   | 0.33   | 0.39  | 0.62   | 0.60   | 0.67  | 0.93   | 0.90   | 1.13  |

\* The values denote annually averaged water quality by the 12 times measurement.

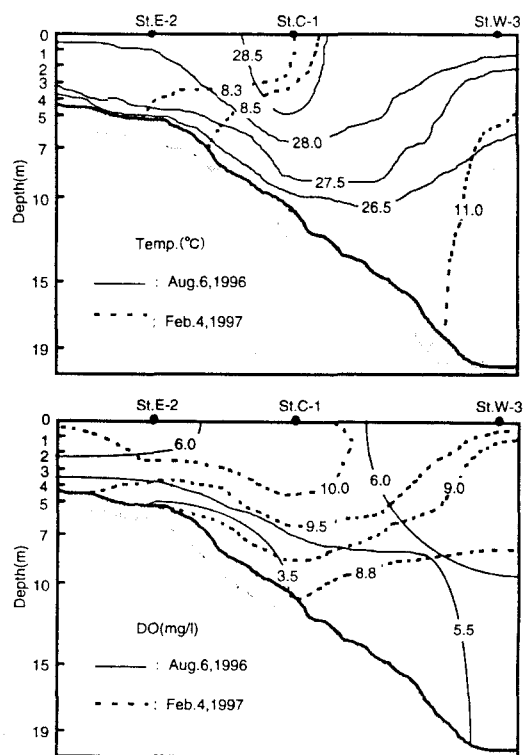


Fig.2. Vertical profiles of temperature and DO in summer and winter seasons in Hakata Bay.

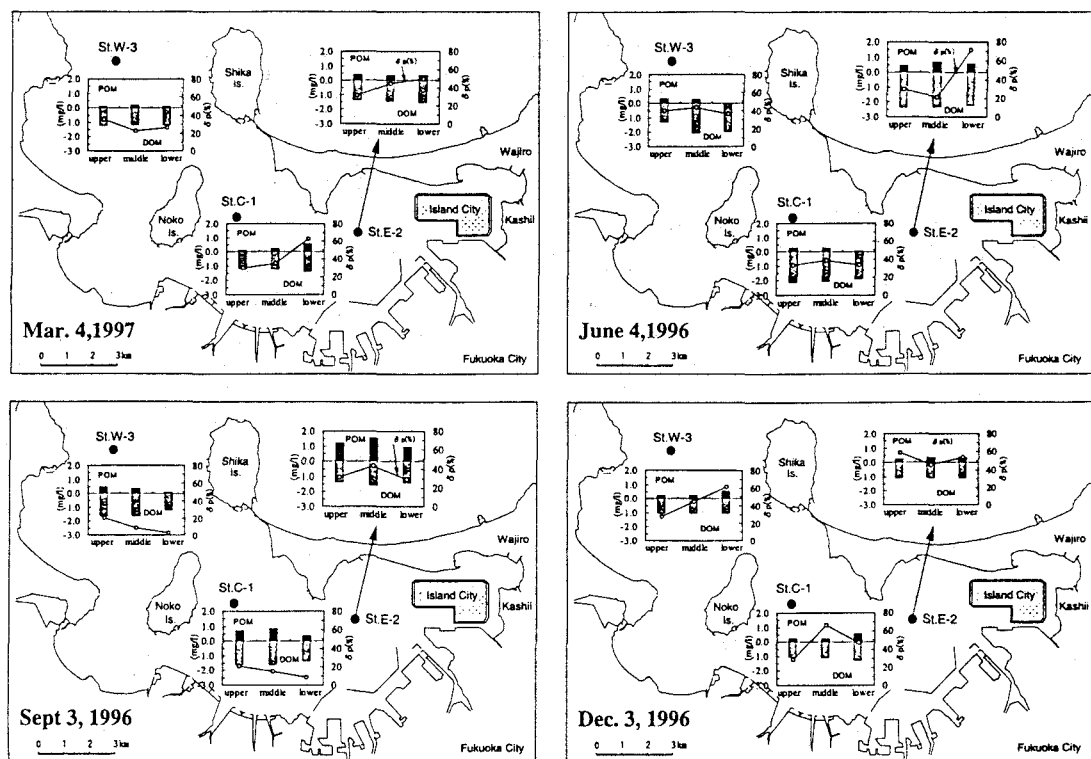


Fig.3. Seasonal variations of POM, DOM and  $\delta p$  at each layer in the observation stations.

間を通して比較的低濃度であるが、9月には溶出に起因する St.C-1 の濃度増加の影響を受けている。また、TIN、 $PO_4\text{-P}$  濃度の変化は3地点ともに Chl-a 濃度にはほぼ逆相関となっており、10月～12月にかけて高くなっている。特に、12月頃は N/P 比が約 20 近くまで高くなっているが、これは、水温が低くなることに伴う硝化・脱窒作用の低下により、陸域からの窒素の流入負荷量が増加したためと考えられる。

## (2) プランクトンの現存量

プランクトンの現存量の調査結果によると、植物プランクトンは珪藻類と渦鞭毛藻類が多く、層別には 40～5,000 cells/ml の範囲内にあった。また、動物プランクトンは甲殻類 (Copepoda) が優占しており、原生動物の幼生類 (Net-zoo plankton) を含めて、0.002～2 Ind./ml の

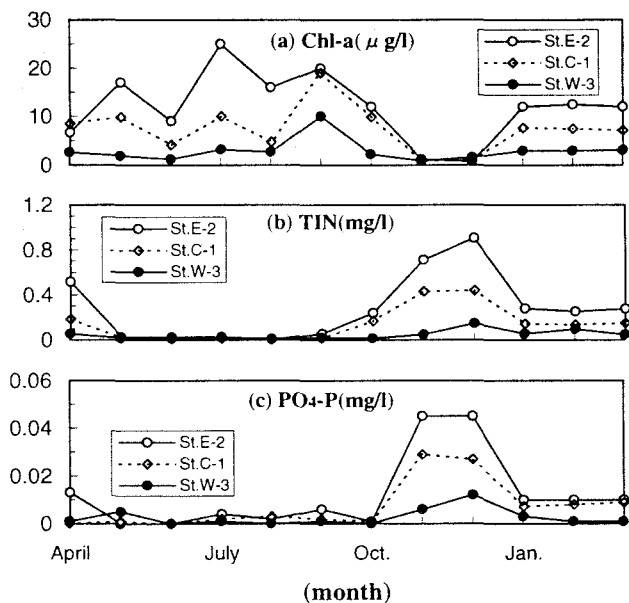


Fig.4. Monthly changes of Chl-a, total inorganic nitrogen (TIN) and  $PO_4\text{-P}$  at the upper layer in Hakata Bay.

範囲で変化した。

Fig.5 にはプランクトンの季節調査結果から、各調査地点における夏季と冬季の植物プランクトンの優占種と細胞数および動物プランクトンの個体数の鉛直分布を示している。Fig.5(A)によると、植物プランクトンは全地点で夏季には渦鞭毛藻類が、冬季には珪藻類が多く、著しい季節変動がみられた。細胞数を層別にみると、上層と中層で多く、特に、夏季の St.C-1 では渦鞭毛藻類が 200 cells/ml を超えている。一方、動物プランクトンの鉛直分布をみると、両季節ともに Copepoda が優占しており、湾奥部 (St.E-2) で多い傾向にあった。

#### 4. 2 プランクトンの光合成

各調査地点の透明度を考慮し、それぞれの一次生産速度および平均酸素消費速度を求めた結果を Table 3 に示す。各地点別の透明度は St.W-3 で 2.5 ~ 10.5m, St.C-1 で 1.6 ~ 3.4m, St.E-2 で 1 ~ 2 m 程度であり、植物プランクトンが多い 9 月に最も低かった。なお、一次生産速度は、概ね植物プランクトンの細胞数 (Fig.5) と正相関の関係にある。また、地点別の一次生産速度は、水深

が深い St.W-3 で比較的大きくなっているが、最大は水深の浅い St.E-2 の秋季 (9 月) で、 $12 \text{ g-O}_2/\text{m}^2/\text{day}$  程度を示した。一方、プランクトンの呼吸に伴う酸素消費は、プランクトン量に比例する傾向がみられており、全地点ともに 9 月が高く、Chl-a 濃度が低い 11 月に低くなる傾向がみられた。

#### 4. 3 底質の季節変動

##### (1) 底泥中の有機物分解の状況

Table 4 に年間を通して比較的好気状態にある底泥 (1.5cm 深) とそこでの間隙水水質の季節別調査結果を示す。なお、St.W-3 では 6 月と 11 月に調査を行っていない。St.W-3 は、C/N, C/P 比が高く、Chl-a, Phaeo.濃度は低い傾向があり、他の 2 地点とは異なった様相を呈している。St.C-1 は酸化層の各項目の濃度が年間を通じてほとんど一定であるが、間隙水中の  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , DOC は 6, 9 月に高い傾向がある。

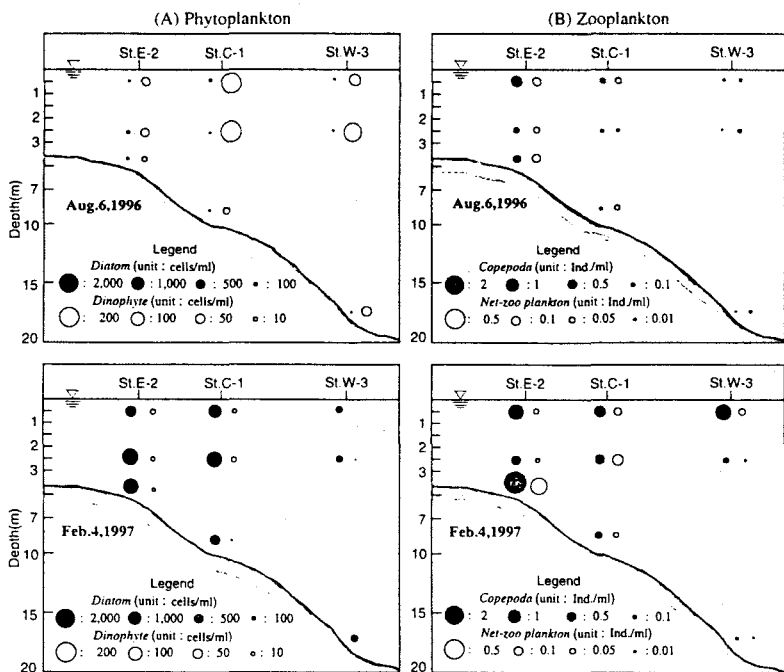


Fig.5. Vertical distribution of plankton's biomass in summer and winter seasons at each station.

Table 3. Measured rates of oxygen consumption and primary production in Hakata Bay.

| St.    | Date    | Depth (m) | Tr. (m) | Primary prod. ( $\text{g-O}_2/\text{m}^2/\text{day}$ ) | Oxy. consumption ( $\text{g-O}_2/\text{m}^2/\text{day}$ ) | Phytopl. (cells/ml) | Zoopl. (Ind./ml) |
|--------|---------|-----------|---------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|------------------|
| St.W-3 | 4 June  | 22.0      | 10.5    | 4.36                                                   | 4.59                                                      | 172                 | 1.22             |
|        | 3 Sept. | 20.0      | 2.5     | 8.25                                                   | 10.00                                                     | 19,258              | 7.24             |
|        | 20 Nov. | 19.9      | 9.0     | 4.40                                                   | 0.93                                                      | 215                 | 1.57             |
|        | 4 Feb.  | 19.2      | 5.2     | 8.10                                                   | 5.53                                                      | 3,386               | 3.70             |
| St.C-1 | 4 June  | 10.5      | 3.4     | 3.71                                                   | 4.18                                                      | 1,116               | 19.64            |
|        | 3 Sept. | 11.1      | 1.6     | 5.78                                                   | 7.50                                                      | 48,215              | 12.46            |
|        | 20 Nov. | 10.2      | 2.1     | 1.53                                                   | 0.24                                                      | 202                 | 6.01             |
|        | 4 Feb.  | 9.9       | 2.4     | 9.17                                                   | 4.96                                                      | 8,059               | 18.64            |
| St.E-2 | 4 June  | 5.5       | 2.1     | 4.54                                                   | 2.87                                                      | 1,056               | 10.46            |
|        | 3 Sept. | 5.9       | 1.4     | 11.55                                                  | 6.59                                                      | 63,709              | 11.06            |
|        | 20 Nov. | 5         | 1.1     | 0.76                                                   | 0.27                                                      | 446                 | 6.81             |
|        | 4 Feb.  | 4.6       | 1.8     | 5.50                                                   | 2.05                                                      | 9,017               | 12.20            |

\* Tr.: Degree of Transparency

St.E-2 は、T-P を除いて季節的な変動がみられる。中でも 6 月の間隙水は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DOC が他の季節に比べて高く、 $\text{SO}_4^{2-}$  が低くなっている。このことは、嫌気分解が活発に進行していることを示している。これに関連して、各季節、各地点における全硫化物濃度 (TS) の最大値とそれが現れた深さ、並びにその深さにおける酸化還元電位を Fig.6 に示す。地点別にみると、TS 濃度は St.E-2 で、0.4 ~ 0.9 mg/g の範囲で最も高いが、St.C-1、St.W-3 では濃度の変化はみられず、最大値が出現する深さの変化が目立っている。St.E-2 では、TS 濃度の最大値が出現する深さは 6 月の 3cm から 9、11 月の 1.5cm 付近まで変化し、その後徐々に回復する傾向を示していることから、St.E-2 における底泥の酸化層は概ね 1.5cm の変動幅で消長していると考えられる。一方 ORP は、St.W-3 で比較的高いが、これは底質が主に砂泥質であるためであり、シルトや粘土成分が多く含まれている St.C-1 と St.E-2 では低く、強い還元状態がみられる。St.E-2 における ORP は、6 月から 1 月にかけて TS 濃度の最大値が減少する傾向と対応して増加する傾向を示している。1 月に 500mV という高い ORP がみられたのは、冬季の巻き上げによるものと考えられる。また、いずれの地点でも夏季に ORP が低下しており、嫌気分解の傾向がうかがえる。

(2) 底泥に係わる反応・輸送速度

Table5 に、地点別、季節別の底泥による酸素消費速度、および脱窒速度、底泥からの栄養塩の溶出速度を示す。底泥の酸素消費速度は、湾奥の St.E-2 でいずれの時期も高い傾向を示した。 $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{PO}_4\text{-P}$  の溶出速度比は、嫌気条件下で約 7:1、好気条件下で約 18:1 であり、湾奥部の St.E-2 で相対的に大きく、溶出速度は St.W-3 では小さくなっている。嫌気条件下での溶出速度を季節別にみると、9 月 (夏季) に、 $\text{NH}_4\text{-N}$  が 48.4 ~ 115.3、 $\text{PO}_4\text{-P}$  が 8 ~ 23mg/m<sup>2</sup>/day であり、3 地点の平均では 1 日当たりそれぞれ 73、14mg/m<sup>2</sup>/day であった。また、年間を通じての各地点での脱窒速度は、110 ~ 220 mg-N/m<sup>2</sup>/day にあり、地点間の差はあまりみられなかった。

Table 4. Quality of sediments and pore water in oxidized layer (1.5cm depth)

| St.    | Sampling Date | Oxidized layer   |     |     |                    |                     | Pore water                     |                                |                            |             |
|--------|---------------|------------------|-----|-----|--------------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------|
|        |               | T-P<br>mg/kg-wet | C/N | C/P | Chl-a<br>mg/kg-dry | Phaeo.<br>mg/kg-dry | $\text{NH}_4\text{-N}$<br>mg/l | $\text{PO}_4\text{-P}$<br>mg/l | $\text{SO}_4^{2-}$<br>mg/l | DOC<br>mg/l |
| St.W-3 | 6 Sept.       | 235              | 85  | 102 | 3                  | 4                   | 18.8                           | 0.398                          | 2540                       | 21.3        |
|        | 14 Feb.       | 198              | 111 | 124 | 3                  | 5                   | 0.53                           | 0.203                          | 2640                       | 4.5         |
| St.C-1 | 24 June       | 277              | 13  | 35  | 18                 | 30                  | 14.2                           | 0.775                          | 2490                       | 45.7        |
|        | 4 Sept.       | 236              | 11  | 36  | 20                 | 32                  | 9.92                           | 0.432                          | 2520                       | 21.3        |
|        | 22 Nov.       | 253              | 14  | 36  | 17                 | 27                  | 1.98                           | 0.077                          | 3020                       | 2.3         |
|        | 17 Feb.       | 279              | 12  | 33  | 18                 | 29                  | 0.07                           | 0.121                          | 2560                       | 4.5         |
| St.E-2 | 26 June       | 179              | 13  | 35  | 18                 | 30                  | 126                            | 15.7                           | 557                        | 358         |
|        | 5 Sept.       | 200              | 15  | 58  | 47                 | 71                  | 31.6                           | 3.86                           | 1860                       | 15.8        |
|        | 8 Nov.        | 193              | 28  | 92  | 32                 | 53                  | 4.18                           | 0.176                          | 3970                       | 2.4         |
|        | 31 Jan.       | 243              | 25  | 65  | 28                 | 44                  | 0.85                           | 0.054                          | 2400                       | 1.8         |

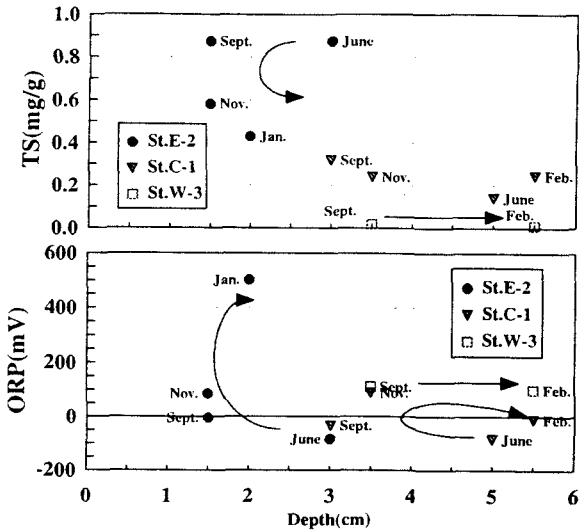


Fig.6 Seasonal progressive diagram of Total Sulfide(TS) and ORP, in sediments

Table 5. Rates of DO uptake, releasing of  $\text{NH}_4\text{-N}$  and  $\text{PO}_4\text{-P}$ , and denitrification by sediments.

| St.    | Sampling Date | DO uptake | Releasing rate     |       |                    |      | Denitrification rate |
|--------|---------------|-----------|--------------------|-------|--------------------|------|----------------------|
|        |               |           | NH <sub>4</sub> -N |       | PO <sub>4</sub> -P |      |                      |
|        |               |           | A                  | U     | A                  | U    |                      |
| St.W-3 | 6 Sept.       | 440       | 11.0               | 48.4  | -0.9               | 8.1  | —                    |
|        | 14 Feb.       | 410       | 3.0                | 51.5  | 0.8                | 2.7  | 110                  |
| St.C-1 | 24 June       | 460       | 15.2               | 60.6  | 1.3                | 11.2 | 110                  |
|        | 4 Sept.       | 550       | 12.4               | 55.6  | 0.3                | 10.5 | —                    |
|        | 22 Nov.       | 310       | 11.3               | 33.3  | 0.4                | 4.8  | 140                  |
|        | 17 Feb.       | 660       | 26.4               | 9.5   | 1.1                | 4.8  | 140                  |
| St.E-2 | 26 June       | 420       | 20.8               | 47.1  | 1.7                | 7.0  | —                    |
|        | 5 Sept.       | 750       | 37.6               | 115.3 | 1.9                | 23.1 | —                    |
|        | 8 Nov.        | 650       | 114.5              | 118.4 | 2.9                | 4.2  | 120                  |
|        | 31 Jan.       | 700       | 28.2               | 33.5  | 3.9                | 5.2  | 220                  |

\* A : Aerobic condition, U : Anaerobic condition

#### 4. 4 結果の考察

博多湾の水質特性として特徴的なことは、夏季と冬季に植物プランクトンの増殖が活発なことであり、この傾向は、現存量調査結果と疑似現場法による生産速度調査結果でも同様の傾向を示している。優占種は、夏季には渦鞭毛藻類、冬季には珪藻類であり、生物生息環境を評価できる水質予測モデルの開発にあたっては、異なる特性を持った2種類の植物プランクトンを考えなければならないことが示唆された。

一方、底質の特性についてみると、溶出速度を始めとして、酸素消費の影響は極めて大きい。直接的な生物への影響のみならず、底質や水質を多様に变化させるという意味においてDOは不可欠な要素である。また、St.W-3とSt.C-1は底質が異なっているにもかかわらず輸送系は類似しており、St.C-1とSt.E-2は、底質は類似しているもののSt.E-2の夏季には嫌気性分解が生じ、輸送系には明らかな相異がみられる。モデル化にあたってはこれらに対して十分な配慮が必要となる。

#### 5. おわりに

博多湾の海域調査において、水質および植物プランクトンによる光合成と底質のフラックスなどについて、1996年4月から1997年3月にかけて調査を行い、博多湾における水質・底質の季節変動特性について検討した。以下に得られた検討結果を要約する。

- (1) 博多湾での有機物濃度は、Chl-a濃度の増減に伴って変化しており、DOMは3月～6月に、POMは9月に濃度が高くなった。
- (2) 植物プランクトンの優占種は、夏季には渦鞭毛藻類、冬季には珪藻類と推移し、季節に応じて変動した。また、動物プランクトンは全体に甲殻類(Copepoda)が卓越した。
- (3) プランクトンの光合成は、プランクトンの現存量に比例しており、全地点ともに9月に高く、11月に低くなった後、2月に再び増加した。
- (4) 底泥の酸化層でのC/NやC/P比は冬季に高く、夏季に低い傾向にあり、間隙水中の栄養塩濃度は湾奥部(St.E-2)で著しく高かった。また、底泥の酸化層は年間を通じて概ね1.5cmの幅で消長する傾向を示した。
- (5) 底泥の酸素消費速度は湾奥部で高く、溶出速度も嫌気条件下でNH<sub>4</sub>-NがPO<sub>4</sub>-Pの約7倍を示し、3地点の平均では1日当たりそれぞれ73, 14mg/m<sup>2</sup>/dayであった。

今後、現場調査結果に基づき、博多湾の内部生産機構について検討する予定である。

#### 謝 辞

本調査研究を遂行するにあたり、様々の御協力ならびに御高配を賜りました福岡市港湾局の各位に深甚の謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) Desjardin D.J. *et al.*: Mitigation and enhancement of marine habitat through development projects in Vancouver harbour, British Columbia, *Proc. of ECOSYSTEMS Conference*, pp. 43-49, 1995.
- 2) 福岡市港湾局: アイランドシティ事業計画(基盤施設整備計画), pp.147, 1993.
- 3) 福岡市環境局: 福岡市水質測定結果報告, pp.159-170, 1995.
- 4) 福岡市下水道局: 水質試験年報, 第20集, 1995.
- 5) 内田唯史, 浮田正夫, 関根雅彦, 中西 弘: 富栄養化海域の水質の非線形性とそのモデリングに関する研究, 土木学会論文集, No.503/II-29, pp.187-195, 1994.
- 6) 日本海洋学会: 海洋観測指針(底質調査方法), 1988.
- 7) 熊谷博史, 楠田哲也: 博多湾内の粒状態及び溶存態有機物の挙動, 第31回水環境学会年次講演集, p.297, 1997.