

# 内湾における恒流と水質に影響を及ぼす諸因子について

森 川 雅 行\*・村 上 和 男\*\*

## 1. ま え が き

内湾における水質悪化が社会問題となって久しい。この問題に対処するために、水質や流況調査が実施されており、内湾での水質の特性や物質の移動機構が明らかにされつつある。内湾での流れは潮流が支配的であることが多い。しかし、物質の移動の面から考えれば、周期的な流れよりも、非周期性の流れつまり恒流が大きな意味を持つものと考えられる。

恒流については多くの研究者により数値計算や模型実験、現地観測などにより調べられている<sup>1),2),3)</sup>。しかし、観測の難しさのため、内湾での長期の現地観測に基づいて恒流の検討を実施した例はないようである。本論文では、大阪湾泉南沖の約4年間の流れのデータを用いて、恒流の変動特性を調べ、多変量解析法を用いて恒流に影響を及ぼす因子について検討した。また、流れと同期間に総合的な水質調査が約2週間に1回の割合で実施されており、水質に影響を及ぼす諸因子についても検討した。

その結果、恒流や水質の変動は風と淡水流入の影響を強く受けていること、恒流に関しては長期になるほど淡水流入の影響が強くなり、短期になると風の影響が大きくなることわかった。

## 2. 恒流の変動に影響を及ぼす因子

### 2.1 解析データ

解析に用いたデータは運輸省第三港湾建設局が大阪湾泉南沖約5kmの地点に設置した海象観測塔で得られたものである。その位置を図-1に示す。潮流は表層(-3m)、中層(-9m)、底層(-16m)で、塔に設置された超音波流速計により毎正時測られている。本論文では、1978年1月から1981年11月までのデータを用いた。

潮流データの解析は、筆者らにより既に、報告されている。泉南沖では各層において主要4分潮、特に $M_2$ 潮が卓越している。その大きさは中層において最大で約

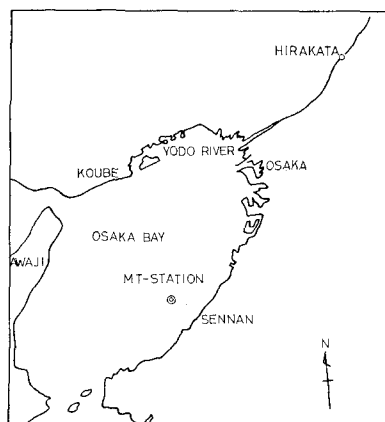


図-1 海象観測塔 (MT 局) の位置

13 cm/s (長軸) であり、4年間を通じて  $M_2$  潮の変動は少ない。年間のデータから求めた恒流は各層ではほぼ南西流である。その大きさは、底層で2~4 cm/s、中層で3~7 cm/s、表層で3~8 cm/s である<sup>4)</sup>。

### 2.2 恒流の変動

恒流は時間に無関係な一定方向の流れとして定義される。実際のデータ解析においては、解析期間の流速のベクトル平均値として求められる。観測期間が異なれば、恒流は変化するものと考えられる。

年間の恒流の絶対値と枚方での淀川の流量の関係を

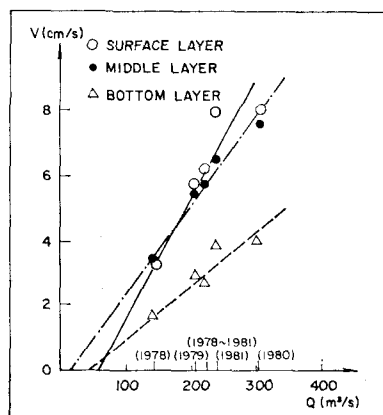


図-2 恒流の絶対値と淀川の平均流量 (年間)<sup>4)</sup>

\* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水汚染水理研究室

\*\* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水汚染水理研究室  
長

図-2に示す。この図から、両者には強い正の相関があることがわかる。淀川水系の流量は大阪湾への河川流入量の約8割を占めており、年間スケールでの恒流の変動の要因として、淡水流入が大きな役割を果たしていることがわかる。観測塔での海上風の年平均は海岸線に平行な東北成分は  $0.24 \sim 0.30 \text{ m/s}$ 、直角な南西成分は  $0.93 \sim 1.53 \text{ m/s}$  である。

恒流は河川水などによる密度流以外に、吹送流や潮汐残査流などが重なり合って形成されている。そこで、本論文では、年間以外にさらに90日間(季節)、30日間、15日間にデータを区切り、恒流を求めてその変動の要因について検討した。

90日間のデータより求めた恒流を図-3に示す。上段は海上風のベクトル平均、下段は淀川の平均流量である。この図より、風は各年度でよく似た季節変動をしていること、淀川の流量が多い季節は恒流が強くなることがわかる。

さらに、恒流の絶対値と平均流量との関係を中層について図-4に示す。図中の直線は年間データの結果から最小二乗法により求めたものである。この図から、恒流の大きさが回帰式で計算されるものより大きい期間は秋、冬が多く、小さい期間は春、夏が多いことがわか

る。この傾向は、表層や底層においても同様である。

これは、季節において卓越している風が恒流に影響しているためと考えられる。平均風からの偏差ベクトルが年間データから求めた恒流と順方向になる時は恒流は強められ、逆方向になる時は弱められている。

30, 15日間のデータから求めた恒流もばらつきは大きくなるものの、同様な傾向を示す。

### 3.3 主成分分析による風と淡水流入の影響の検討

恒流の変動に風と淡水流入が大きく影響することがわかったので、主成分分析によりその関係を調べた。

主成分分析とは、 $p$  個の特性値の持つ情報を互いに独立な  $m$  個 ( $m < p$ ) の総合特性値  $z_1, z_2, \dots, z_m$  (第1, 第2, ..., 第  $m$  主成分) に要約する手法である。

海上風と各層の恒流を、海岸に平行な成分(北東を正)と直角な成分(北西を正)とに分解し、それぞれを  $W_X, W_Y, U_S, V_S, U_M, V_M, U_B, V_B$  とする。また、淀川の平均流量を  $D$  とする。これらの9種類の変数を用いて主成分分析を実施した。測定単位が異なるので、各変数は平均0, 分散1に標準化した。

得られた主成分の分散(1.0以上)と寄与率および各特性値との相関を示す因子負荷量を表-1に示す。

年間では2個、他の場合は3個の主成分が得られ、累積寄与率は年間で90.0%、90日間のデータでは81.5%、30日間で76.8%、15日間では71.0%となっている。期間が短くなるほど累積寄与率が小さいのは、各変数の変動が大きく相互の関係が複雑になるためである。

各データ長さで、第1主成分は  $U_S, U_M, U_B, V_B, W_X$  と高い相関を示している。この主成分は海岸に平行な恒流成分の変動を表すものである。この成分に対する風の相関は恒流と同符号で、期間によりあまり変わらない。一方、流量は恒流とは異符号(流量が増せば、南西流が増加する)で、年間の場合  $-0.98$  と非常に強いが、期間が短くなるほど、相関は低くなっている。

年間データの第2主成分は、 $V_S, V_M$  と高い相関を示している。90, 30, 15日間の場合、第2主成分は  $W_Y, D$  と負の相関、 $V_S$  と正の相関を示し、第3主成分は  $V_M$  と強い相関を示している。これらの第2, 第3主成分は表層、中層での海岸と直角方向の恒流の変動を示している。特に、表層の場合、この主成分は淡水の流入および風の直角成分に対して強い負の相関を示す。

### 2.4 25時間移動平均による恒流の変動

より短いスケールでの恒流の変動を考えるために、恒流として25時間移動平均値を考える。従来、潮流観測は1昼夜のものが多く、25時間の平均流速をもって恒流と定義することも多い。

月別に、各層の恒流の相関を求め、その変動を検討した。海岸に平行な成分は、全期間で各層間について0.5

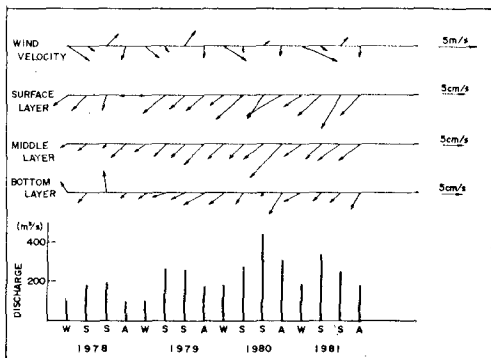


図-3 90日間データによる恒流

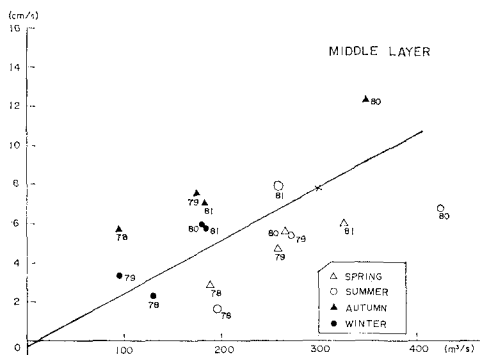


図-4 恒流の絶対値と淀川の平均流量(90日間)

表-1 主成分の分散、寄与率と因子負荷量

|       | 主成分 | 分 散  | 寄与率  | 因 子 負 荷 量 |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-----|------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |     |      |      | $W_X$     | $W_Y$ | $U_S$ | $V_S$ | $U_M$ | $V_M$ | $U_B$ | $V_B$ | $D$   |
| 年 間   | 1   | 6.10 | 67.8 | 0.85      | 0.50  | 0.95  | -0.54 | 0.99  | -0.41 | 0.97  | 0.95  | -0.98 |
|       | 2   | 2.00 | 22.2 | 0.50      | -0.43 | -0.26 | -0.78 | -0.79 | 0.89  | -0.09 | 0.25  | 0.09  |
| 90 日間 | 1   | 3.62 | 40.2 | -0.62     | 0.17  | -0.66 | 0.50  | -0.89 | -0.22 | -0.83 | -0.91 | 0.42  |
|       | 2   | 2.22 | 24.7 | -0.41     | -0.75 | 0.52  | 0.73  | 0.12  | -0.06 | -0.32 | 0.01  | -0.75 |
|       | 3   | 1.49 | 16.6 | 0.43      | -0.54 | -0.34 | -0.02 | -0.15 | 0.86  | -0.33 | 0.13  | 0.11  |
| 30 日間 | 1   | 3.67 | 40.8 | -0.55     | 0.16  | -0.65 | 0.37  | -0.79 | -0.01 | -0.86 | -0.86 | 0.26  |
|       | 2   | 2.15 | 23.8 | 0.31      | -0.74 | 0.48  | 0.73  | 0.14  | 0.19  | -0.28 | -0.07 | -0.75 |
|       | 3   | 1.12 | 12.5 | 0.57      | -0.42 | -0.28 | -0.11 | -0.21 | 0.84  | -0.22 | 0.17  | 0.13  |
| 15 日間 | 1   | 3.05 | 33.9 | -0.62     | 0.19  | -0.64 | 0.43  | -0.79 | -0.16 | -0.82 | -0.83 | 0.13  |
|       | 2   | 1.98 | 22.0 | -0.18     | -0.74 | 0.44  | 0.65  | 0.11  | 0.35  | -0.31 | -0.02 | -0.74 |
|       | 3   | 1.36 | 15.1 | -0.52     | 0.39  | 0.34  | 0.17  | 0.26  | -0.73 | 0.27  | -0.11 | -0.32 |

以上の高い相関を示すが、表層と底層の相関は冬から春にかけて低くなる。岸に直角な成分の相関はあまり高くなく、ばらつきが大きい。その中で、中層と底層の恒流の相関は比較的高く、表層と底層とはしばしば負の相関を示す。

対象期間が短くなるにつれて、恒流に対する淡水流入の影響が小さくなることがわかったので、風と恒流との関係を調べた。風には 24 時間の移動平均を行った。

1980 年の各月での恒流と風との相互相関の最大値を海上風と淀川の流量とともに、図-5 に示す。この図から、海岸と平行な成分については、風と表層の恒流は比較的高い相関を示し、中層、底層になるほど低下していることがわかる。直角成分については北西の風が卓越する冬には、風と表層の恒流は正、また風と中層、底層の恒流とは強い負の相関を示す。南西風が多い夏の場合には、風と表層の相関は負で、風と中層、底層との相関は正になっている。風向によって恒流への影響が異なることがわかる。これについては、泉南沖だけでなく大阪湾全体で考える必要がある。

次に、恒流を目的変数、風を説明変数として

$$u_i(t) = a_0 + a_1 \cdot w_x(t - \tau_x) + a_2 \cdot w_y(t - \tau_y) \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots$

の形で重回帰分析を実施した。 $w_x, w_y$  (m/s),  $u_1, u_2$  (cm/s) は風および恒流の岸と平行、直角成分、 $\tau_x, \tau_y$  は時間遅れである。1980 年 4 月のデータを用いて得られた定数  $a_0, a_1, a_2$  と重相関係数  $R$  の値を表-2 に、恒流の比較図を図-6 に示す。表層ほど恒流の変動を再現しており、風の影響が強いことがわかる。岸と平行な恒流成分の変動のうち、表層では 70%、中層で 50%、底層で 14% が風の変動により説明される。

### 3. 水質の変動に影響を及ぼす因子の検討

#### 3.1 解析データ

水質は表面、表層、中層、底層の 4 層で取得されたも

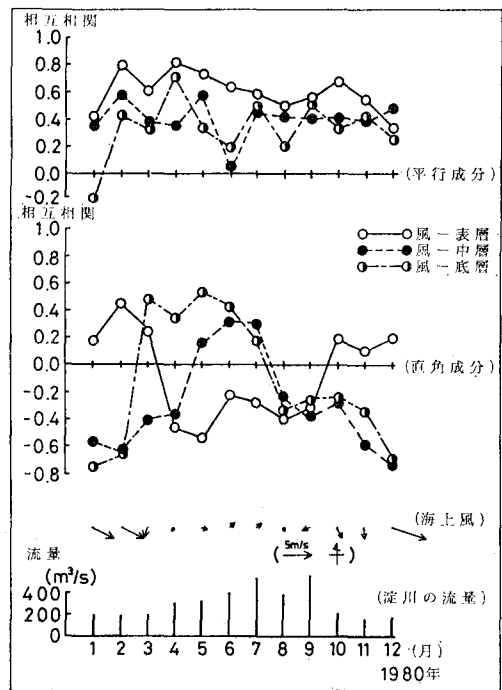


図-5 風と恒流との相関

のである。解析は水温、密度、塩分、pH、COD、DO、SS、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、ORG-N、T-N、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、T-P、濁度の 15 項目を用いて行った。これらのデータは正規分布に近づくように対数変換もしくはルート変換を施した。

#### 3.2 水質の特性

筆者らが水質データ解析への有効性を示した多変量解析法<sup>5)</sup>を用いて検討した。主成分分析法により各層ごとに水質の総合特性値を求めた。水質の経時変動を表すもの(特性値Ⅰ)、有機態の栄養塩の挙動を表すもの(特性値Ⅱ)、無機態の栄養塩の挙動を表すものなどが得られた。中層、底層では水質の変動のなかで特性値Ⅰの占め

表-5 重回帰分析表

|    |       | $a_0$            | $a_1$            | $\tau_x$      | $a_2$            | $\tau_y$ | $R$  |
|----|-------|------------------|------------------|---------------|------------------|----------|------|
| 表層 | $u_1$ | -8.74<br>(0.68)  | 1.46<br>(0.68)   | 3<br>(0.23)   | 0.73<br>(0.23)   | 0        | 0.84 |
|    | $u_2$ | 1.08<br>(-0.62)  | -0.49<br>(-0.62) | 6<br>(-0.02)  | -0.02<br>(-0.02) | 9        | 0.63 |
| 中層 | $u_1$ | -5.54<br>(0.71)  | 0.79<br>(0.71)   | 14<br>(-0.00) | -0.01<br>(-0.00) | 21       | 0.71 |
|    | $u_2$ | -0.09<br>(-0.22) | -0.09<br>(-0.22) | 18<br>(-0.32) | -0.19<br>(-0.32) | 0        | 0.43 |
| 底層 | $u_1$ | -2.72<br>(0.41)  | 0.33<br>(0.41)   | 23<br>(-0.05) | -0.06<br>(-0.05) | 30       | 0.38 |
|    | $u_2$ | -0.71<br>(0.57)  | 0.21<br>(0.57)   | 5<br>(-0.06)  | -0.04<br>(-0.06) | 12       | 0.53 |

注: ( ) 内の値は変数を平均 0, 分散 1 に標準化した時の係数

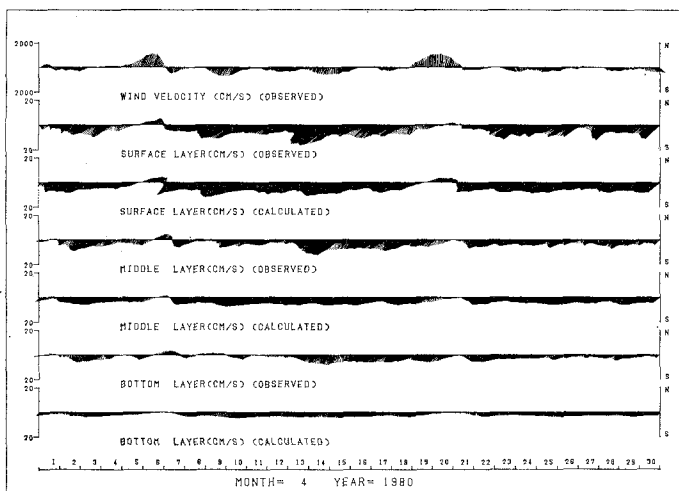


図-6 重回帰分析結果

る割合がもっとも大きく、表面、表層では淡水流入や生物活動のために、特性値Ⅱの占める割合が大きい。

総合特性値Ⅰ,Ⅱに対する個々の変数の因子負荷量を示したものが図-7である。表面から底層まで矢印で継いでいる。これは変数が二つの総合特性値にどのような重みで寄与しているかを示すものである。

Ⅰ,Ⅱだけで情報のほとんどすべてが説明される変数は、半径1の円周に近い位置にある。水温、DO、密度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$  などである。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、SS、COD、濁度などは比較的円の中心付近に集まり、Ⅰ,Ⅱ以外の総合特性値でその変動が表される。また、DO、pH、T-N、T-P は層がかわると円内で位置が大きく変動している。これは、各層においてその変数の変動の様子や他の水質項目との関連のなかで果たす役割が異なる

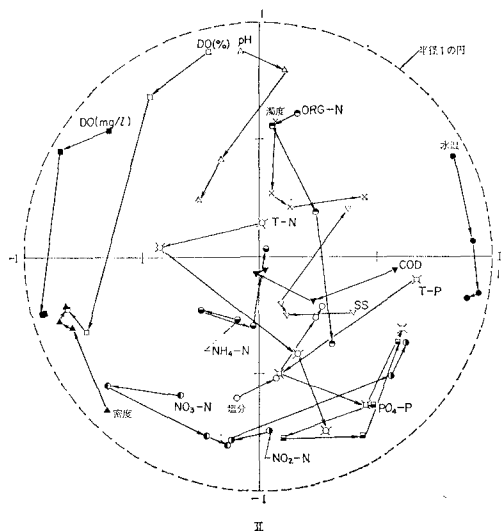


図-7 因子負荷量の分布

ためである。

### 3.3 水質の変動に影響を及ぼす因子

個々の水質項目の変動は対象とせずに、総合特性値あるいは数値群として水質の変動について考える。

毎回のデータから計算される第1,第2主成分に対するスコアの分布を底層について図-8に示す。図中の数字は観測の月を表す。この図より、スコアは季節別に各象限に散布していることがわかる。これは他層においても同様である。

このスコアの分布より、通常と異なるデータを示す観測日の検出が可能である。図-8で2重丸で示したスコアは1979年8月8日の観測から得られたものである。

8月8日はDOの値が3.5mg/lと4年間の観測の中で最低である。また、各態の栄養塩の値も他の8月の観測値よりも大きく、SSも高い。この時期の海域は成層

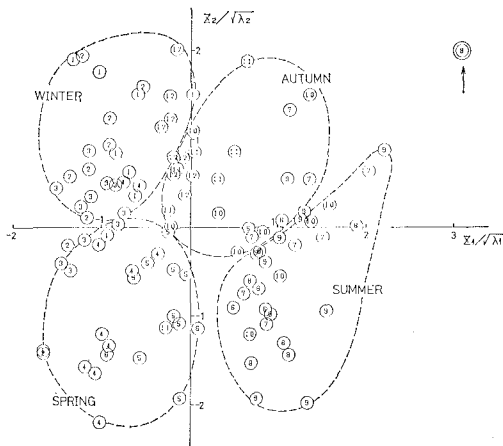


図-8 スコアの散布図

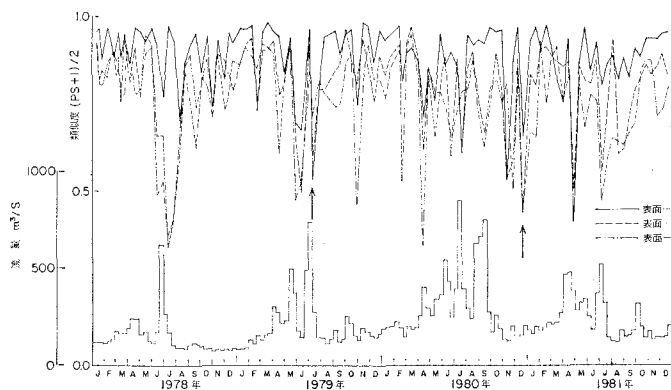


図-9 層間の水質パターンの類似度

風も約2週間前から弱い南西風であり、風による混合も弱い。こうしたことから、底層で食酸素の状態となり底泥から有機物が酸化されて溶出し、その酸化にDOが使われたと考えられる。

次に、測定層間の水質の類似度を図-9に示す。類似度はバクトル群のなす角度により定義され、1.0に近いほど層間の水質パターンは相似である。なお、図中には、淀川の10日間ごとの平均流量も示してある。

この図から、冬季には各層の水質パターンにあまり差はないが、夏季には表面・表層と中層・底層のパターンが異なることがわかる。また、秋や春に、水質のパターンが各層で著しく異なる日がある。

図中に矢印で示した1979年7月10日は各層でかなり水質パターンが異なっている。これは大量の淡水の流入に伴い赤潮が発生したためと考えられる。表面のDOは飽和度96%と4年間で最高の値を示し、透明度は1.75mと非常に低下している。このように淡水流入が水質のパターンの相違に影響していることが図-9からわかる。

もうひとつの矢印で示した1980年12月22日は表面のみが他層と水質パターンが異なっている。約10日前から、10m/s前後の西風が吹いており、この影響が考えられる。

このように水質の変動は淡水流入と風の影響を受けていることがわかる。

#### 4. あとがき

大阪湾泉南沖の流れと水質のデータ観測から以下のことがわかった。

(1) 恒流の変動は淡水流入と風により影響される。対象期間が長いほど淡水流入、短いほど風の影響を受ける。

(2) 流れの25時間移動平均値と風の24時間移動平均値は、海岸に平行な成分については高い相関を示し、直角な成分については卓越する風によって相関が変化する。

最後に貴重なデータの提供を受けた、運輸省第二港湾建設局の関係者の方々に、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 大西行雄：大阪湾の恒流に関する数値実験，第26回海岸工学講演会論文集，pp. 514～518，1979。
- 2) 石川雅紀・熊谷幹郎・西村 肇・藤原建紀・早川典生：密度成層をとり入れた大阪湾恒流の水理模型実験，第26回海岸工学講演会論文集，439～422，1980。
- 3) 藤原建紀：大阪湾の恒流（日平均流）の変動について，日本海洋学会春季大会講演要旨集，pp. 97～98，1979。
- 4) 村上和男・森川雅行・坂口達也・早川典生：大阪湾潮流観測データの解析，第29回海岸工学講演会論文集，pp. 624～628，1982。
- 5) 森川雅行・村上和男：多変量解析法の水質データ解析への適用，第30回海岸工学講演会論文集，pp. 556～560，1983。