

## 大阪湾奥部における河川水の拡散係数を 推定する一つの試み

城 久・林 凱夫・三好礼治

Estimation of the Diffusion Coefficient of Fresh Water in  
the inner Osaka Bay

Hisashi JOH・Yoshio HAYASHI・Reiji MIYOSHI

淀川水系の河川水は各種の工場廃水、都市廃水と混合して大阪湾奥部に流入し、潮流の緩慢さと相まって湾奥海域を汚濁する原因となっているが、それが海域で分散する状況についてはその要因が複雑なこともあってあまり検討されていないようである。

大阪府と兵庫県では41年から43年まで共同して大阪湾奥部海域の汚濁について総合的な調査を行ったが、この資料をもとにして淀川水系の河川水が湾奥海域で分散している態様から拡散係数を求める検討を行った。なお数式の導入、計算等本文をまとめるにあたって、全般的に京都大学防災研究所福尾義昭助教授に懇切丁寧な指導をいただいたので、厚く感謝の意を表します。

### 1. 湾奥海域における表層水塩素量の分布

河川水が湾奥海域で分散する状況を表層水の塩素量でみると図1のとおりとなり調査時の気象、海象によってかなり様相を異にしている。

41年の3回の調査結果では7、8月に須磨一神戸沖に外海性の高かん水塊の張り出しがみられ、低かん水塊は大阪港関門沖に分布している。10月は大阪沿岸岸和田一堺沖に高かん水塊があるが、全般的にかん度が高く濃度傾斜も緩やかで大阪港周辺部でも15~16‰となっている。

42年8月の結果は尼崎地先の点(7.4‰)を中心に15‰まで等塩線がほぼ同心円状に拡散している。16‰の線は神戸沖にかけて少し歪んでいるが、大阪府沿岸に高かん水塊の張り出しがあり、湾奥の沿岸水が神戸沖に押し出されているように見受けられる。

43年7月の結果は調査時が梅雨期であったため全般的にかなり低かんであった。また通常では流量の少ない武庫川、大和川等の増水の影響も加わったと考えられ、等塩線はかなり複雑な様相を呈している。

このように大阪湾では和田岬一岸和田を結ぶ線より奥部で河川水の影響が強く、43年7月のように和田岬沖で外海性の水塊と接して潮目をつくっていることが多い。この水塊は神戸沖に強く現われるときと、岸和田一堺沖に強く現われる場合があるようで、分散域の外縁で内湾水

の動きをかなり支配しているものと考えられる。これらの調査は河川水の分散状況を調べるために特に行ったものでなく、2隻の調査船が西宮と須磨沖から同時に出発し図1-(6)の線上を航行しながら採水したもので、その間5時間の時間的なずれがあり必ずしも分散状態を正確にとらえているということとはできないが、巨視的にはその分散の態様を知ることができるものと考えられる。

## 2. 拡散係数の推定の考え方

拡散係数の推定は新田氏が想定した考え方をもとにしたもので、淡水が海域に拡がる場合潮流、波浪等の影響がないとすれば等塩面は河口を中心に、水平的にみれば河口からの距離  $x$  を半径とする半円形状を保ちながら、相似形的に拡がっていきと考え、鉛直方向の緯流や拡散は相似の係数  $k$  で消化するという方法をとった。たとえば等塩面が4分球面を保つときには  $k = \pi x^2/x^2 = \pi$ 、円筒面であれば  $k = \pi hx/x^2 = \pi h/x = \pi i$  ( $h$  は水深、 $i$  は海底勾配) であるなど、 $k$  は一般にその海域に応じた固有の値をとるものとする。

河口の塩素量  $C_0$  (‰)、河川流量を  $V$  (m<sup>3</sup>/hr) とし、淡水が  $C_0$  を中心に半円状に拡がり、中心から  $x$  (m) の距離にある等濃度面の面積を  $kx^2$  (m<sup>2</sup>)、その濃度を  $C$  (‰)、拡散係数を  $\mu$  (m<sup>2</sup>/hr)、流速 (拡散速度) を  $U$  (m/hr) とすると定常状態では

$$\text{流量の連続条件から} \quad kx^2U = V \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{塩素量の連続条件から} \quad kx^2C U - \mu kx^2 \frac{dC}{dx} = C_0 V \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$(1) \text{を}(2) \text{に代入して} \quad CV - \mu kx^2 \frac{dC}{dx} = C_0 V$$

$$\frac{dC}{C - C_0} = \frac{V}{\mu k} \cdot \frac{dx}{x^2}$$

$$\log_e (C - C_0) = -\frac{V}{\mu k} \cdot \frac{1}{x} + P \quad \dots(3) \quad P \text{は積分定数}$$

定数  $P$  は塩素量  $C$  が一定と考えられる等塩面までの距離  $l$ 、およびその塩素量  $C_1$  から定められる。

$$\log_e (C_1 - C_0) = -\frac{V}{\mu k} \cdot \frac{1}{l} + P \quad \dots\dots\dots(4)$$

(3)-(4)

$$\log_e \frac{C - C_0}{C_1 - C_0} = \frac{V}{\mu k} \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{x} \right)$$

$$\frac{C - C_0}{C_1 - C_0} = e^{\frac{V}{\mu k} \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{x} \right)}$$

$$\log_{10} \frac{C - C_0}{C_1 - C_0} = \frac{V}{\mu k} \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{x} \right) \log_{10} e = 0.4343 \frac{V}{\mu k} \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{x} \right)$$

両辺に  $-1$  を掛け対数の真数が正となるようにして更に対数をとる。

$$\log_{10} \left[ \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0} \right] = \log_{10} \left[ 0.4343 \frac{V}{\mu k} \right] + \log_{10} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{l} \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

(5)式の  $\log_{10} \left[ \log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0} \right]$  を  $Y$  軸に、 $\log_{10} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{l} \right)$  を  $X$  軸にとりその値をグラフに記入すると一次式  $y = ax + b$  の回帰直線がえられる。このときの  $Y$  軸の切片  $b$  が  $\log_{10} \left[ 0.4343 \frac{V}{\mu k} \right]$  で、これからその海域固有の拡散係数  $\mu k = \frac{0.4343 V}{10^b}$  として算出される。

## 3. 拡散係数 ( $\mu k$ ) の算出

実際の計算にあたっては5回の調査結果のうちから比較的風や波が弱く、河川流量も通常に近いと考えられ、しかも等塩線が河口を中心にして同心円状に分布している42年8月の結果を使用した。河川の流量は神崎川、淀川、毛馬閘門を通じて市内の4河川に分れる淀川水系の一つのものとして近畿地方建設局の資料から推定したもので (調査日と前日の平均値)、大和川、武庫川等の淀川水系以外の河川は夏の渇水期には干出することが多くその影響は少ないものと

考えられるので考慮しないことにした。従ってこれら淀川水系の河川は湾奥岸沿い約5kmにわたる地点から流入し、河口を一点に定めることができないので便宜上最低かん値を示した尼崎地先の点 ( $C_0=7.43\%$ ) を原点とした。また  $l$  は調査海域の一番外にあたる第6観測線までの距離、 $C_1$  は第6線の塩素量の平均値とした。

即ち  $C_0=7.43\%$ ,  $C_1=16.57\%$ ,  $l=15,000$  mから表1により

$\log_{10} [\log_{10} \frac{C_1-C_0}{C-C_0}]$ ,  $\log_{10} (\frac{1}{x}-\frac{1}{l})$  を求める。これをグラフに記入すれば図2のようにな

り最小自乗法でその回帰直線を求めると  $Y=0.9383X+2.7741$  となる。

$$V=520,000 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ から } \mu k = \frac{0.4343 \times 5.2 \times 10^5}{10^{2.7741}} = 380 \text{ (m}^2/\text{hr)}$$

求めた  $\mu k$  を原式  $\frac{C-C_0}{C_1-C_0} = e^{\frac{V}{\mu k} (\frac{1}{x}-\frac{1}{l})}$  に代入して観測値と計算値の値および等塩線を比較す

ると、右表あるいは図3のようになり観測値の12~14%で約1.5%の差が生じた。

この差の原因については採水の時間的なずれ、調査地点および原点 ( $C_0$ ) とした点のとり方のほか、淀川水系の河川が数本に分れて流入しておりその正確な流入量が把握できなかったこと等にも起因しているものと考えられる。

観測値と計算値の比較

| 距離 (x)  | 観測値<br>(p線) | 計算値    |
|---------|-------------|--------|
| 1,200 m | 11.00%      | 10.64% |
| 2,600   | 12.00       | 13.34  |
| 3,800   | 13.00       | 14.42  |
| 6,200   | 14.00       | 15.47  |
| 7,100   | 15.00       | 15.69  |
| 10,500  | 16.00       | 16.22  |

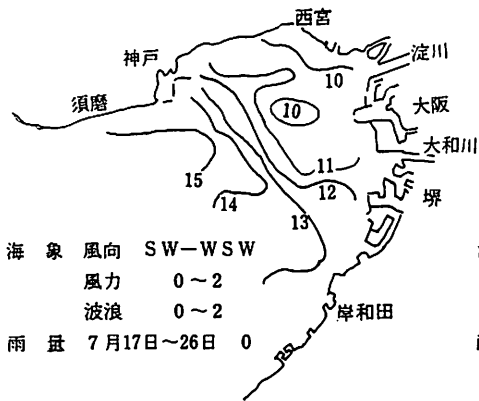
#### 4. 要 点

- 1) 大阪湾環境水質調査で調査した湾奥部海域の塩分濃度分布図から湾奥部に流入する淀川水系の河川が海域で分散する場合の拡散係数を推定した。
- 2) 拡散係数  $\mu k$  は  $3.8 \times 10^2 \text{ (m}^2/\text{hr)} = 1.05 \times 10^3 \text{ (cm}^2/\text{sec)}$  となったが、この値を原式に代入した計算値による塩素量は観測値12~14%の間で約1.5%高くなった。
- 3) 計算に使用した観測結果には前述のごとき難点もあり厳密には分散状況を調査することを目的としてより精密な調査を行い、河川流量も再度厳密に検討する必要がある。しかしここで算出した  $\mu k$  はおおまかな値として大阪湾奥部の河川水の分散状況について一つの目安になるものと考えられる。

#### 文 献

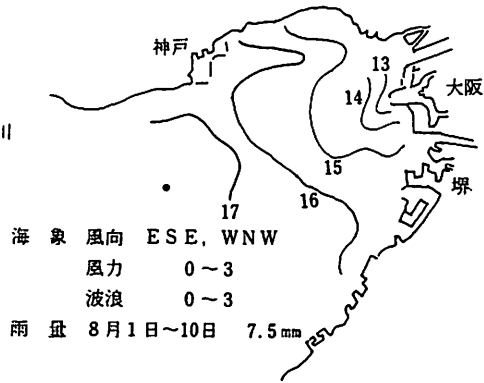
- 1) 大阪府・兵庫県：大阪湾環境水質調査報告書 42年3月
- 2) 同上：同上 43年3月
- 3) 同上：同上 未刊
- 4) 新田 忠雄：廃水分散の計算方法に就て 内水研報，第3号，28年3月

1) 41年7月26日



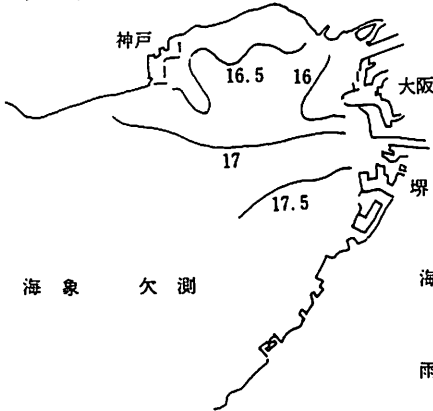
海象 風向 SW-WSW  
 風力 0~2  
 波浪 0~2  
 雨量 7月17日~26日 0

2) 41年8月10日



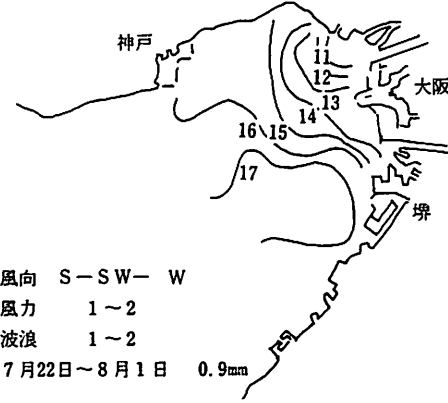
海象 風向 ESE, WNW  
 風力 0~3  
 波浪 0~3  
 雨量 8月1日~10日 7.5mm

3) 41年10月7日



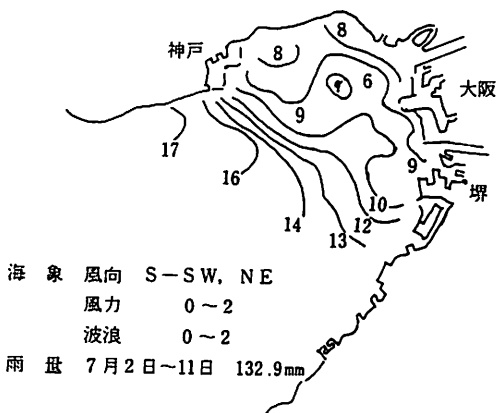
海象 欠測

4) 42年8月1日



海象 風向 S-SW-W  
 風力 1~2  
 波浪 1~2  
 雨量 7月22日~8月1日 0.9mm

5) 43年7月11日



海象 風向 S-SW, NE  
 風力 0~2  
 波浪 0~2  
 雨量 7月2日~11日 132.9mm

6) 採水点と航行順路

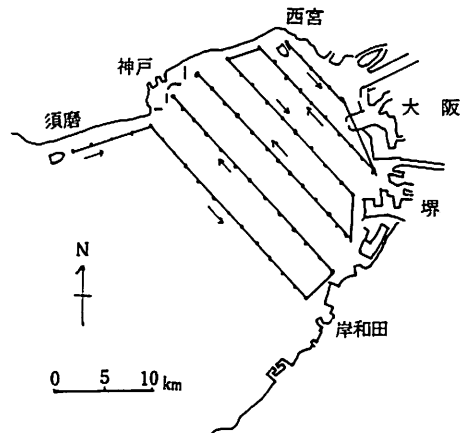


図1 大阪湾奥部海域における表層水の等塩線 (‰)

表1  $\log_{10}(\log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0})$ ,  $\log_{10}(\frac{1}{x} - \frac{1}{l})$  の計算

$C_1 = 16.57$ ,  $C_0 = 7.43$ ,  $l = 15,000 \text{ m}$  ( $\frac{1}{l} = 0.67 \times 10^{-4}$ ) とする。

| $x$ 点の位置 | $x$    | $\frac{1}{x}$          | $\frac{1}{x} - \frac{1}{l}$ | $C$   | $\frac{C_1 - C_0}{C - C_0}$ | $\log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0}$ | $\log_{10}(\log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0})$ | $\log_{10}(\frac{1}{x} - \frac{1}{l})$          |
|----------|--------|------------------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------------------|--|---|
| $P_1$    | 2,600  | $3.85 \times 10^{-4}$  | $3.18 \times 10^{-4}$       | 12.00 | 2.000                       | 0.3010                                | $\begin{matrix} 1.4786 \\ -0.5214 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.5024 \\ -3.4976 \end{matrix}$ |
| ◇        | 3,800  | $2.63 \times 10^{-4}$  | $1.96 \times 10^{-4}$       | 13.00 | 1.641                       | 0.2151                                | $\begin{matrix} 1.3326 \\ -0.6674 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.2923 \\ -3.7077 \end{matrix}$ |
| ◇        | 6,200  | $1.61 \times 10^{-4}$  | $0.94 \times 10^{-4}$       | 14.00 | 1.391                       | 0.1433                                | $\begin{matrix} 1.1562 \\ -0.8438 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.9731 \\ -4.0269 \end{matrix}$ |
| ◇        | 7,100  | $1.41 \times 10^{-4}$  | $0.74 \times 10^{-4}$       | 15.00 | 1.207                       | 0.0816                                | $\begin{matrix} 2.9117 \\ -1.0883 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.8692 \\ -4.1308 \end{matrix}$ |
| ◇        | 10,500 | $0.952 \times 10^{-4}$ | $0.285 \times 10^{-4}$      | 16.00 | 1.067                       | 0.0282                                | $\begin{matrix} 2.4502 \\ -1.5498 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.4548 \\ -4.5452 \end{matrix}$ |
| $P_2$    | 2,600  | $3.85 \times 10^{-4}$  | $3.18 \times 10^{-4}$       | 12.00 | 2.000                       | 0.3010                                | $\begin{matrix} 1.4786 \\ -0.5214 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.5024 \\ -3.4976 \end{matrix}$ |
| ◇        | 4,000  | $2.50 \times 10^{-4}$  | $1.83 \times 10^{-4}$       | 13.00 | 1.641                       | 0.2151                                | $\begin{matrix} 1.3326 \\ -0.6674 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.2625 \\ -3.7375 \end{matrix}$ |
| ◇        | 6,400  | $1.56 \times 10^{-4}$  | $0.89 \times 10^{-4}$       | 14.00 | 1.391                       | 0.1433                                | $\begin{matrix} 1.1562 \\ -0.8438 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.9494 \\ -4.0506 \end{matrix}$ |
| ◇        | 7,600  | $1.32 \times 10^{-4}$  | $0.65 \times 10^{-4}$       | 15.00 | 1.207                       | 0.0816                                | $\begin{matrix} 2.9117 \\ -1.0883 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.8129 \\ -4.1871 \end{matrix}$ |
| $P_3$    | 2,000  | $5.00 \times 10^{-4}$  | $4.33 \times 10^{-4}$       | 12.00 | 2.000                       | 0.3010                                | $\begin{matrix} 1.4786 \\ -0.5214 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.6365 \\ -3.3635 \end{matrix}$ |
| ◇        | 3,400  | $2.94 \times 10^{-4}$  | $2.27 \times 10^{-4}$       | 13.00 | 1.641                       | 0.2151                                | $\begin{matrix} 1.3326 \\ -0.6674 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.3560 \\ -3.6440 \end{matrix}$ |
| ◇        | 5,800  | $1.72 \times 10^{-4}$  | $1.05 \times 10^{-4}$       | 14.00 | 1.391                       | 0.1433                                | $\begin{matrix} 1.1562 \\ -0.8438 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 4.0212 \\ -3.9788 \end{matrix}$ |
| ◇        | 7,000  | $1.43 \times 10^{-4}$  | $0.76 \times 10^{-4}$       | 15.00 | 1.207                       | 0.0816                                | $\begin{matrix} 2.9117 \\ -1.0883 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.8808 \\ -4.1192 \end{matrix}$ |
| ◇        | 7,600  | $1.32 \times 10^{-4}$  | $0.65 \times 10^{-4}$       | 16.00 | 1.067                       | 0.0282                                | $\begin{matrix} 2.4502 \\ -1.5498 \end{matrix}$  | $\begin{matrix} 5.8129 \\ -4.1871 \end{matrix}$ |

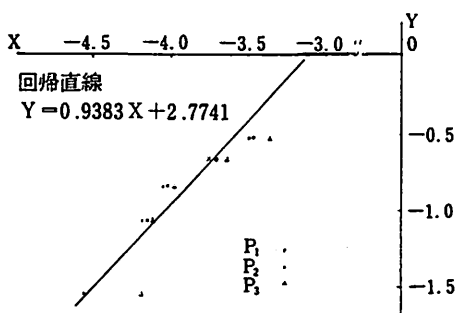


図2  $X = \log_{10}(\frac{1}{x} - \frac{1}{l})$ ,  $Y = \log_{10}[\log_{10} \frac{C_1 - C_0}{C - C_0}]$  からの回帰直線

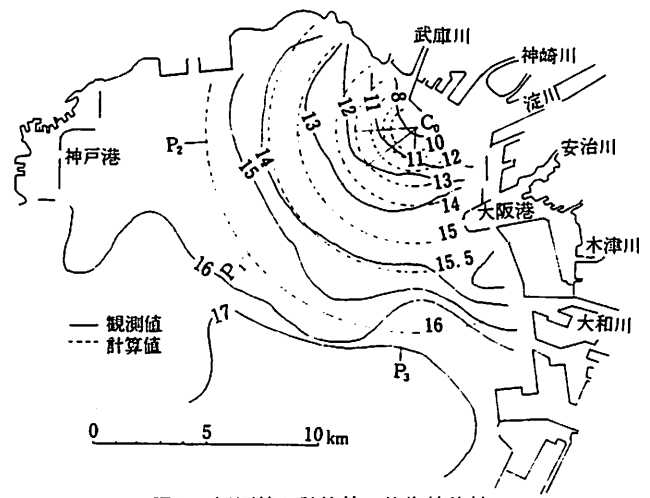


図3 観測値と計算値の等塩線比較