

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

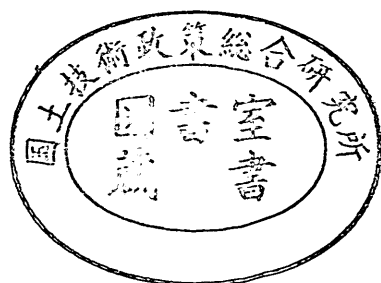
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 15

NO. 2

JUNE 1976

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第15巻 第2号 (Vol. 15, No. 2), 1976年6月 (June 1976)

目 次 (CONTENTS)

1. Theory of transient fluid waves in a vibrated storage tank
..... Tomotsuka TAKAYAMA..... 3
(振動外力を受けるタンク内発生波の非定常解について.....高山 知司)
2. 防波堤隅角部付近の波高分布に関する研究 小舟浩治・大里睦男.....55
(A study of wave height distribution along a breakwater with a corner
..... Koji KOBUNE, Mutsuo OSATO)
3. 阿賀野川河口近傍海岸の海底地形変化について (1962年~1973年)
..... 田中則男・加藤一正・柳島慎.....89
(Changes of sea-bed topography at the coast near Agano River (1963~1973)
..... Norio TANAKA, Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA)
4. 波浪中の直立円柱浮体に働く流体力とその運動
..... 合田良実・鈴木康正・笹田 正..... 167
(Movements of a floating vertical circular cylinder in waves and associated
forces..... Yoshimi GODA, Yasumasa SUZUKI, Tadashi SASADA)
5. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)
——主要汚染源の湾内汚染に与える影響——
..... 金子安雄・堀江 毅・村上和男・亀山 豊・入尾野幸雄..... 211
(Model experiment on tidal current and substance diffusion in Osaka Bay (2nd
Report)—Influence of main sources on the water contamination of the Osaka
Bay Yasuo KANEKO,
Takeshi HORIE, Kazuo MURAKAMI, Yutaka KAMEYAMA, Sachio IRIONO)
6. 潮流計算における境界等の取扱い——特にADI法による検討——
..... 堀江 毅・金子安雄・村上和男・細川恭文・亀山 豊..... 251
(Boundary treatments of tidal simulation—Investigation by alternating direction
implicit method—.....Takeshi HORIE, Yasuo KANEKO, Kazuo MURAKAMI,
Yasushi HOSOKAWA, Yutaka KAMEYAMA)
7. 強震記録の上下動成分の解析と重力式岸壁の安定に関する事例研究
..... 上部達生・野田節男・倉田栄..... 289
(Characteristics of vertical components of strong-motion accelerograms and
effects of vertical ground motion on stability of gravity type quay walls.....
.....Tatsuo UWABE, Setsuo NODA, Eiichi KURATA)

5. 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)

—主要汚染源の湾内汚染に与える影響—

金子安雄*・堀江 毅**・村上和男***・
亀山 豊***・入尾野幸雄***

要 旨

本報告は、大阪湾水理模型（水平縮尺 1/2000、鉛直縮尺 1/200）を用い、現況地形と55年埋立計画地形に対して、大阪湾の主要汚染源の拡散特性を検討するとともに、これらの汚染の同湾に対する汚染寄与率を計算したものである。

本実験の結果、現況時、55年埋立計画地形時とも、湾内北西部では淀川河口の汚染源が、南東部では大阪港の汚染源がそれぞれ同湾内の汚染に対する寄与が大きく、その他の汚染源は、投入点近傍の海域では大きいですが、投入点から離れた海域では小さかった。しかし、55年埋立計画地形時の方が現況地形よりも拡散が早いため、各汚染源の寄与の度合は両地形で若干異なった。

さらに、拡散実験における濃度分布の重ね合わせの原理は、繰返し再現性のよい実験ケースについては成立することが認められた。

* 前海洋水理部 海水汚染水理研究室長

** 海洋水理部 海水浄化研究室長

*** 海洋水理部 海水汚染海水汚染水理研究室

5. Model Experiment on Tidal Current and Substance Diffusion in Osaka Bay (2nd Report)

—Influence of main sources on the water contamination
of the Osaka Bay—

Yasuo KANEKO*

Takeshi HORIE**

Kazuo MURAKAMI***

Yutaka KAMEYAMA***

Sachio IRIONO***

Synopsis

This paper describes the experimental investigation of pollutant dispersion by use of Osaka Bay model.

This experiment aims to investigate the contribution of main sources of water contamination to the bay.

Contribution ratios of these sources are known through single-point-injection tests. The north-west part of the bay is influenced by the load from the mouth of the Yodo River, and the south-east part of the bay is influenced by one from Osaka Port, in both case of present geographical condition and of future one. Contribution ratios of other release points are small and several percents at most.

The values of the ratios are, however, increased to some degree in the future condition tests.

Linear superposition of dye concentration distribution is confirmed to be reasonable if the experimental repeatability is attained among each runs under same conditions.

*Ex-chief of the Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division.

**Chief of the Purification Hydraulics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division.

***Member of the Marine Diffusion Laboratory, Marine Hydrodynamics Division.

目 次

要 旨	211
1. まえがき	215
2. 拡散現象の線型性	215
2.1 拡散方程式からの検討	215
2.2 数値計算による検討	216
2.3 線型性の仮定に基づく拡散実験例	217
3. 実験方法	217
3.1 実験施設	217
3.2 実験方法と測定方法	219
3.3 実験ケース	220
4. 各主要汚染源からの拡散	220
4.1 現況地形での単独投入実験	223
4.2 55年埋立計画地形での単独投入実験	223
4.3 各主要汚染源からの拡散の一般的傾向	231
5. 汚染源の湾内汚染に対する寄与率	231
5.1 重ね合わせの原理の検証	231
5.2 汚染寄与率の計算	235
6. ま と め	243
7. あとがき	243
参 考 文 献	244
付録 拡散実験の繰返し再現性について	245

1. まえがき

近年の高度経済成長の結果、我が国の生活水準は著しく向上したが、一方では環境破壊や公害問題が深刻化し大きな社会問題となっている。特に大都市周辺や大工業地帯に隣接する東京湾、大阪湾、瀬戸内海などの内湾における海水汚濁は著しく、汚濁の慢性化や赤潮の頻発は沿岸漁業に大きな影響を与えている。

海域における水質汚濁の問題に対処する上で、汚染物質の拡散現象を把握することは重要である。このため、水質や底質の現地観測を行う傍、水理模型による物質拡散の実験や、大型電子計算機による数値計算が数多く実施されている。

樋口・杉本¹⁾は、フルードの相似則に基づいた潮流および染料拡散実験の手法開発に先駆的研究成果をあげ、和田・加藤・片野²⁾は、乱流構造の再現性を流れのエネルギースペクトルから論じ、さらに、Fischer・Holley³⁾は、歪模型による拡散実験の相似性について検討している。

著者らも、これまで大阪湾や東京湾を対象にして、水理模型実験^{4),5)}や数値計算⁶⁾により、内湾における汚染の拡散を取扱い、現状汚染の把握や港湾整備計画などによる汚染への影響調査などに努めてきた。

水理模型実験に限って云えば、現地の拡散という極めて複雑な現象を単純化された形で模型内に再現し、潮汐その他拡散の主因をなすと考えられる条件を同一にして、地形などの変革による影響を調べるもので、極めて有効な手段である。ところが、この種の実験においては、起潮法、計測、トレーサーなどの実験技術上の問題や、模型粗度、模型歪に伴う相似律、再現性の問題が付随する。このような問題については上述の研究者らにより明らかにされつつあり、著者らもこれを重視して別途研究を重ねているが、本研究は、拡散現象における濃度分布の線型性に着目して、湾内主汚染源の拡散特性の検討と、それら汚染源の汚染寄与率の計算を試みるものである。

汚染源の拡散特性やそれらの寄与率を知ることは、将来の湾内の汚染度の子予測、湾内の水質改善、および汚染源の排出規制等に役立てることが可能となり、極めて重要である。

このため、大阪湾の海水汚染の主汚染源と考えられる8つの投入点からの単独投入実験を、現況地形および55年埋立計画地形について実施し、個々の汚染源の拡散特性を観察するとともに、各汚染源の汚染寄与率の分布図

の作成を行う。同時に、拡散実験の濃度分布の線型性の検証および、55年埋立計画に伴う地形変化による拡散パターンの変化と汚染源の汚染寄与率への影響等を検討する。

なお、限られた実験回数による拡散実験から汚染源の寄与率を求めたり濃度分布の重ね合わせの妥当性を検証したりするためには、実験によって得られる濃度分布の繰返し性（繰返し再現性）がよいということを前提としている。ところが、通常、同一条件の下で実験を繰返しても必ずしも同一の濃度分布が得られるとは限らない。これは、拡散というランダムな現象を取扱う上での必然性でもあるが、模型を取りまく環境（気温、水温、風、その他）の変化も微妙に作用する。そこで、同一条件下の実験でどの程度類似した結果（以後これを繰返し再現性と呼ぶ）が得られるかについての検討も必要である。繰返し再現性についての検討は、実験ケースが少ないこと、および、解析法にもなお未解決部分が残されているので今後の研究課題とし、今回の場合は、本文末尾の付録にその解析法の一例を記すに留めた。

2. 拡散現象の線型性

2.1 拡散方程式からの検討^{7),8)}

古典的な拡散理論は Fick により既に 100 年も前に確立されている。流体中に浮遊している流体分子のブラウン運動による拡散は、熱伝導の方程式と同様である。すなわち、単位時間、単位面積当たりの物質の輸送量 (flux) q は、物質の濃度勾配に比例すると仮定され、つぎの式(1)で表わされる。

$$q = -D_m \frac{\partial c}{\partial n} \quad (1)$$

ここに、 q ：単位時間、単位面積当たりの拡散物質の輸送量 (flux)

$\frac{\partial c}{\partial n}$ ：通過面に垂直な濃度勾配

D_m ：分子拡散係数

である。

式(1)の関係式を用いて、二次元の流れにおける Fick 型の拡散を表わせれば、式(2)ようになる。

$$-\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D_m \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (2)$$

ここに、 c ：物質の濃度、 u, v ： x, y 方向の流速、 D_m ：分子拡散係数を表わす。

流れが乱流状態であると、乱れのランダム性による拡散（乱流拡散）を考えなければならぬ。そこで速度および濃度を、式(3)のように統計的平均値と乱れによる変

動分との和として表わす。

$$\left. \begin{aligned} u &= \bar{u} + u' \\ v &= \bar{v} + v' \\ c &= \bar{c} + c' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで $\bar{}$ は平均値を、 $'$ は変動値を示す。式(3)を式(2)に代入して、アンサンブル平均を取ると、Fickの方程式は式(4)のように書直される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} &= D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + D_m \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} \\ &+ \frac{\partial(-\overline{u'c'})}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{v'c'})}{\partial y} \end{aligned} \quad (4)$$

乱流運動における輸送 flux は、分子運動による拡散との類似性から

$$\overline{u'c'} = -K_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}, \quad \overline{v'c'} = -K_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \quad (5)$$

と書き表わすことができる。ここに、 K_x, K_y は乱流拡散係数である。これを式(4)に代入すると、Fickの拡散方程式は式(6)となる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial x} \left\{ (D_m + K_x) \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right\} \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left\{ (D_m + K_y) \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

通常、分子拡散に比べ、乱流拡散の方が大きいので、 D_m は、 K_x, K_y に対して省略される*。

乱流拡散に関する古典的な研究は、Taylor⁹⁾の one particle analysis であり、拡散係数は式(7)のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{1}{2} \frac{d\bar{Y}^2}{dt} = \bar{v}_i \cdot T & T \approx 0 \\ K &= \frac{1}{2} \frac{d\bar{Y}^2}{dt} = \bar{v}_i \cdot T_* (= \text{const}) & T \gg T_* \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ここに、 Y : 流体粒子の y 方向の移動距離、 v_i : y 方向の乱れ成分、 T_* : 渦の寿命時間を示す。

また、Richardson¹⁰⁾の two particle analysis に依れば、“相対拡散における拡散係数は、拡散のスケールの4/3乗に比例する”。すなわち、

$$K = \frac{1}{2} \frac{d\bar{Y}^2}{dt} \propto l^{4/3} \quad (8)$$

である。ここに、 l : 渦のスケールを表わす。

一方、海洋での拡散に対して大きな比重を占めていると考えられる、流れのシャワーによる移流分散係数は、Elder¹¹⁾によれば式(9)で表わされる。

$$E = 5.9 u_* h \quad (9)$$

* 式(6)の乱流拡散係数は、一般に定数ではなく (x, y, z) の関数とみなされる。

ここに、 E : 移流分散係数、 u_* : 摩擦速度、 h : 水深である。

これら式(7)~式(9)に示された拡散係数は、いずれも流れの場(乱流場)の関数であり、濃度 c には依存しない。従って、式(6)は濃度に関して線型な方程式であることがわかる。もちろん、以上の議論は式(5)からも明らかのように、乱流運動による輸送量を、その点の濃度勾配と拡散係数の積によって表わすことができるといふ仮定に基づいている。

2.2 数値計算による検討

数値計算においても、拡散現象の線型性の仮定に基づいて将来の水質の汚濁分布を予測している例がある。例えば、瞬数計画で行なった瀬戸内海の水質汚濁拡散モデル¹²⁾に依れば、“特定の水質汚染源について一定量の汚濁物質を流し続けた場合の濃度分布を前もって計算しておけば、いろいろな汚濁物質の汚濁負荷量に対して、この計算結果と、線型関係を利用して水質汚濁濃度分布を把握できる”として、線型重ね合わせの計算を行っている。

2.1で述べたように、拡散係数が流れの場によってのみ決定され、濃度に依存しないとすれば、拡散方程式は線型であり、濃度分布の線型重ね合わせは厳密に成立する。このことは次のような数値計算においても容

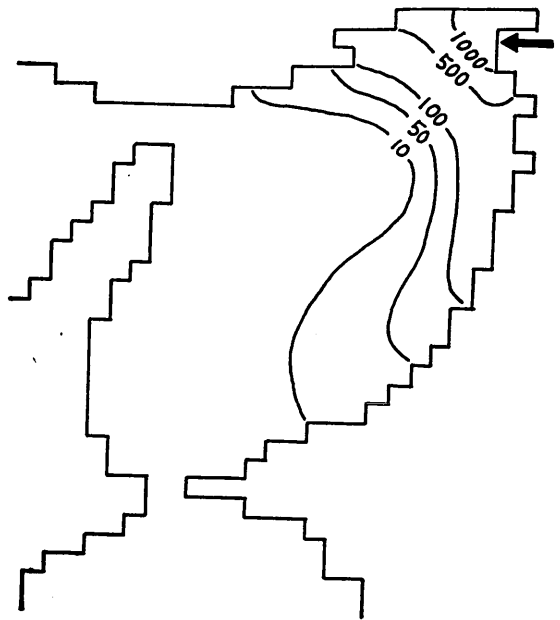


図-1 数値計算による単独投入実験 大阪港より投入(負荷量 100 ton/day 単位 ppb)

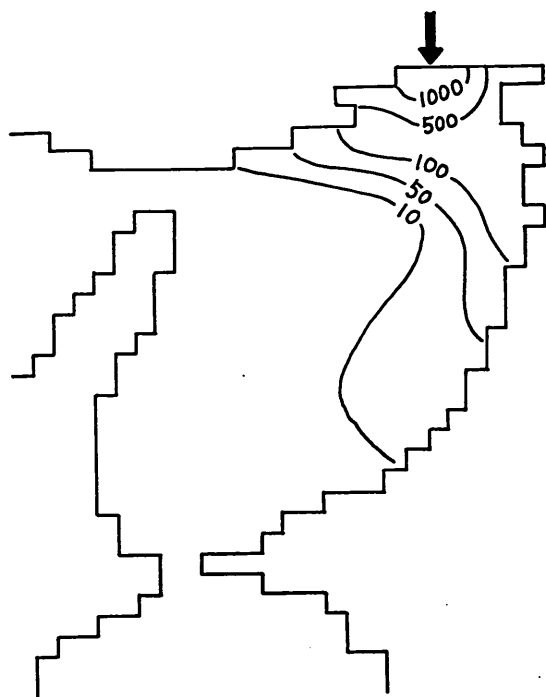


図-2 数値計算による単独投入実験 神戸東部より投入 (負荷量 100 ton/day 単位 ppb)

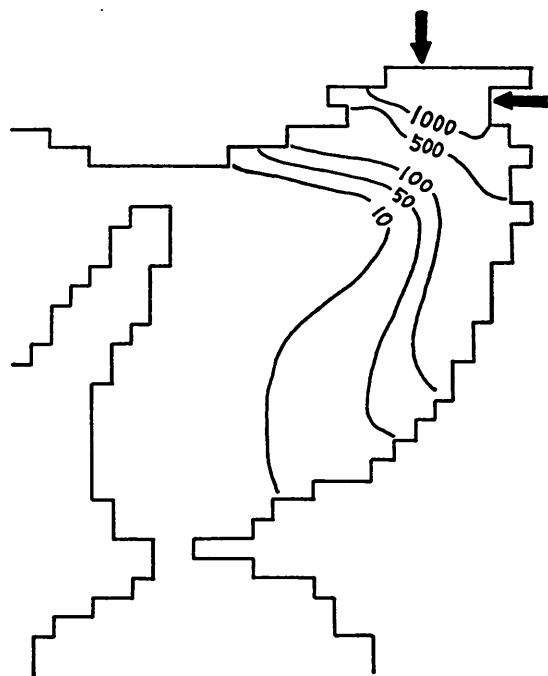


図-3 数値計算による2点投入実験 大阪港, 神戸東部より投入 (負荷量 100 ton/day 単位 ppb)

易に確かめることができる。図-1 は或る点 A から負荷量 100 ton/day を連続負荷した場合の濃度分布, 図-2 は他の点 B から同じ量を負荷した場合の濃度分布を示す。これらに対し図-3 は, 投入点 A, B の2点から同時に 100 ton/day の連続負荷を行った場合の濃度分布を示す。図-3 の濃度値は前者2ケースの濃度値を重ね合わせたものと一致していることがわかる。ただし, ここで用いた数理モデルは, 著者らの使用している ADI 法⁹⁾ によるものであり, 大阪湾を 2 km 格子に分割して, 平均大潮時の流動場における拡散計算を行ったもので, 拡散係数としては $10^6 \text{cm}^2/\text{sec}$ の一定値を採用している。

2.3 線型性の仮定に基づく拡散実験例

拡散方程式が線型な方程式であるとみなし得ることから, O'Connel と Walter¹³⁾ は, サンフランシスコ湾の水理模型で, 線型性の仮定の下に拡散実験を行っている。この方法は, 或る汚染源から M グラムの染料水溶液を, 1 潮汐間にわたって連続投入を行なったもので, その濃度分布 (図-4) を C/M (C : 染料濃度, M : 染料投入量) で表わしている。実験は 20 潮汐目まで行っており, 各採水点の濃度変化 (図-5 実線部) を求め, これに別途求められた減衰係数を乗じて, 非保存系の物質の濃度変化を求めている (図-5, 破線部)。その値を式(10)によって集積することにより, 長時間経過した時点での各採水点の濃度が計算される。

$$\left. \begin{aligned} C_s &= Q \int_0^{\infty} f(t) dt \\ Q &= dm/dt \\ f(t) &= dc/dm = \frac{C}{M} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここに C_s : 定常状態の濃度

Q : 単位時間当たりの汚濁負荷量

図-5 の斜線部の面積が C_s/Q を示している。これらの実験を, 各汚染源に対して, 個別に実験を行えば, 線型重ね合わせの法則に従って全体の濃度分布を知ることができる。

3. 実験方法

実験方法については, 著者らが従来用いてきた方法⁹⁾ と大差ないので, ここでは簡単に述べることにする。

3.1 実験施設

図-6 に大阪湾模型の概要を示す。模型は, 長さ 45 m, 巾 25 m で, コンクリートおよび表面モルタル仕上げにて作られた。紀伊水道から播磨灘にかけての領域を, 水平縮尺 (l_r) 1/2000, 鉛直縮尺 (h_r) 1/200 の歪率 10 対 1 で地形を再現している。水理模型実験において, 潮汐現

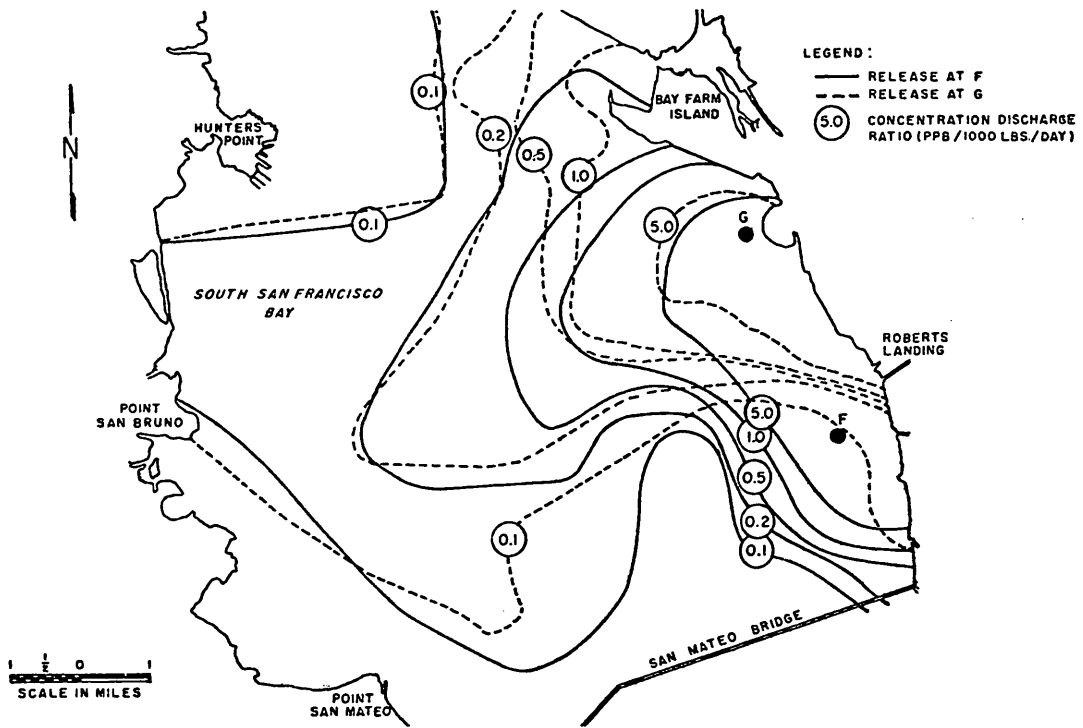


図-4 濃度分布図 South San Francisco Bay (O'Connel and Walter¹³⁾)

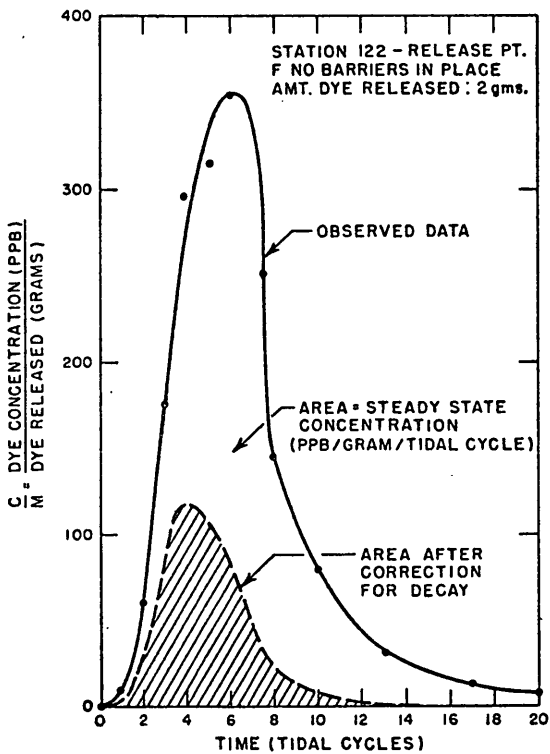


図-5 測定点での濃度変化(O'Connel and Walter¹³⁾)

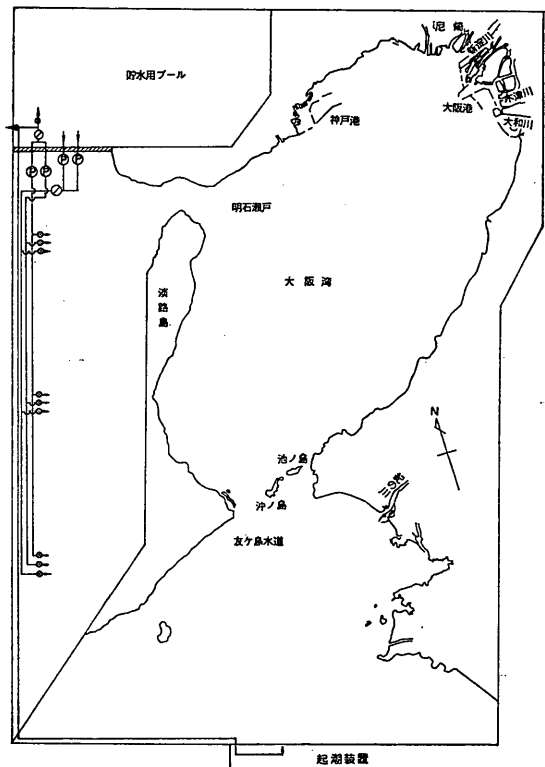


図-6 大阪湾水理模型の概要

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)

象のように重力が卓越する運動の相似則には、Froudeの相似則が適用される。Froudeの相似則に従えば、各々の縮率は $u_r = h_r^{1/2} = 1/14.1$, $t_r = l_r/h_r^{1/2} = 1/141$, $Q_r = l_r h_r^{3/2} = 1/5.6 \times 10^6$, $n_r = h_r^{3/2}/l_r^{1/2} = 1/0.763$, $K_r = l_r h_r^{1/2} = 1/2.8 \times 10^4$ (11)

で示される。ここで、 l : 水平長さ, h : 水深, t : 時間, Q : 流量, n : Manningの粗度係数, K : 拡散係数を表わす。また、suffix r は、原型における諸量に対する模型における諸量の比を表わす。この縮率を大阪湾の模型に適用すると、原型、模型の諸元は表-1のように表わされる。

表-1 原型、模型の水利諸元

	縮 尺	原 型	模 型
水 平 距 離	1/2000	40km	20m
水 深	1/200	100m	50cm
潮 差	1/200	68.4cm	0.34cm
周 期	1/141	12時間25分	5分17秒
流 速	1/14.1	1m/sec	7.1cm/sec
流 量	1/5.6×10 ⁶	10m ³ /sec	1.79cm ³ /sec
拡 散 係 数	1/2.8×10 ⁴	10 ³ cm ² /sec	3.57cm ² /sec

河川流の影響を考慮するために、湾内の主要10河川について背水到達地点まで感潮水域の河積を再現している。また、表-1で与えられている海底摩擦抵抗は、幅3cmの銅板を50cm千鳥間隔に、更に5cm立方のブロックを海底に付設して再現した。

起潮装置については、大阪湾が友ヶ島水道と明石海峡の2ヶ所からの潮汐作用を受けているので、紀伊水道側では空気圧式の起潮装置を用い、播磨灘測には給排水ポンプを設置して、潮汐現象の再現を行った(詳細は前報告を参照のこと)。

3.2 実験方法と測定方法

潮汐は、大阪湾内では半日周潮が卓越しているので、起潮機前にて和歌山の潮汐定数値¹⁴⁾(大潮時、振幅68.4cm)による正弦波を与えた。明石海峡側の潮汐は、給排水ポンプを用い、明石海峡での位相遅れを考慮に入れて、気圧式の起潮装置より1/4周期遅れた正弦曲線となるように与えた。

河川流量については、湾内の流況、特に恒流成分に影響が大きいと考えられるので、湾内主要河川について、年平均流量¹⁵⁾を与えた。表-2にそれらの河川流量の値を示す。

模型上の染料投入点は、原型のCOD(化学的酸素要

表-2 河川流量

河 川 名	Q _p (原型)	Q _m (模型)
武 庫 川	3.1m ³ /sec	0.6cc/sec
神 崎 川	9.8	1.7
新 淀 川	302.2	53.4
正 蓮 寺 川	10.0	1.8
安 治 川	85.0	5.0
尻 無 川		5.0
木 津 川		5.0
大 和 川	21.8	3.9
紀 の 川	67.1	11.9

求量)汚濁負荷量の実測値¹⁶⁾に基づいて、流入河川および沿岸工業地帯に、代表点11点を選定した。汚染物質のトレーサーとしては、蛍光染料(ローダミンB、またはフルオレッセインナトリウム)を用い、投入点11点からの連続投入を行った。表-3に原型のCOD汚濁負荷量、模型の染料投入濃度等を示す。

表-3 COD汚濁負荷量と染料投入濃度

No.	投 入 点	負 荷 量 (原型)	模型投入 濃度※
1	須磨海岸~西部埋立地区	ton/day	ppm
2	兵庫~摩耶地区	5.0	20.6
3	神戸東部埋立地区	5.6	22.8
4	芦屋~西宮地区	19.7	80.8
5	尻崎~淀川地区	22.5	92.4
6	大阪港地区	145.8	596.6
7	大和川~堺埋立地区	204.9	839.2
8	泉北1区埋立地区	22.1	90.7
9	泉北4区埋立地区	15.4	63.3
10	大津川~春木川地区	1.0	4.1
11	津田川~男里川地区	17.6	71.6
		2.7	11.1

※ 染料投入流量は全投入点で0.5cc/secに統一した。

試料採水は、10潮汐毎に湾内約70点に配置された採水点からの同時採水を行った。採水は、真空ポンプと電磁バルブを併用した吸水式の自動採水器によった。図-7に投入点、採水点の位置および、55年埋立計画案の位置を示す。

染料濃度の分析には、蛍光光度計(Turner社110型)を用いて行った。蛍光強度と蛍光染料の濃度は比例関係を示すが、蛍光強度は水温などの影響を受けやすく、極めて不安定なため、検定曲線は各実験毎に作製し、濃度測定精度の向上を図った。図-8(a)、図-8(b)に蛍光染料の検定曲線の一例を示す(蛍光分析法については、参

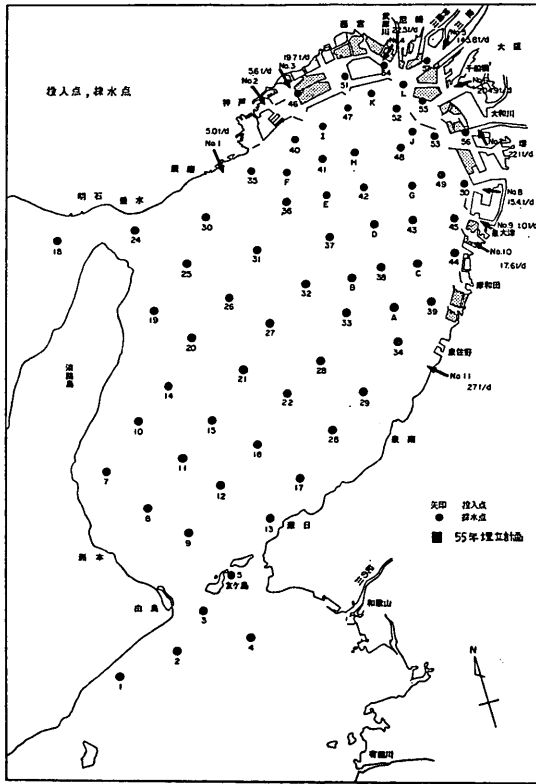


図-7 投入点、採水点の位置、および55年埋立計画地形の位置

参考文献(17)を参照のこと。

3.3 実験ケース

表-4に今回行った実験の全ケースについての一覧表を示す。地形については、現況地形(昭和46年)と55年港湾埋立計画地形の2種類について行った。実験の種類は染料の投入法から、単独投入(単一の汚染源から染料を投入)、4点投入(4ヶ所の汚染源から染料を同時投入)、

表-4 実験ケース一覧表

Case No.	地形	投入法	投入点	実験回数	染料※
1	現況地形	単独	淀川河口	2	R
2	〃	〃	大阪港	2	R
3	〃	〃	神戸東部	2	R
4	〃	〃	堺~大和川	2	R
5	〃	〃	西宮	3	F
6	〃	〃	大津川	3	F
7	〃	〃	泉北	3	F
8	〃	〃	須磨	3	F
9	55年地形	〃	淀川河口	3	F
10	〃	〃	大阪港	3	F
11	〃	〃	神戸東部	3	F
12	〃	〃	堺~大和川	3	F
13	〃	〃	西宮	3	F
14	〃	〃	大津川	3	F
15	〃	〃	泉北	3	F
16	〃	〃	須磨	3	F
17	現況地形	4点	①+②+③+④	2	R
18	55年地形	4点	⑨+⑩+⑪+⑫	3	F
19	現況地形	全点		2	R
20	55年地形	全点		3	F

※ R: Rhodamine B, F: Fluorescein Sodium

および全点投入(11ヶ所の汚染源から染料を投入)の3種に大別される。

4. 各主要汚染源からの拡散

大阪湾周辺の各汚染源から流入する污水が、湾内でどの様に拡散するのかを、単一汚染源からの単独投入(以下単独投入という)実験により検討した。表-3の汚染源は全部で11点あるが、その中で比較的負荷量の大きな8地点についての実験を、現況地形、55年埋立計画地形について行った。

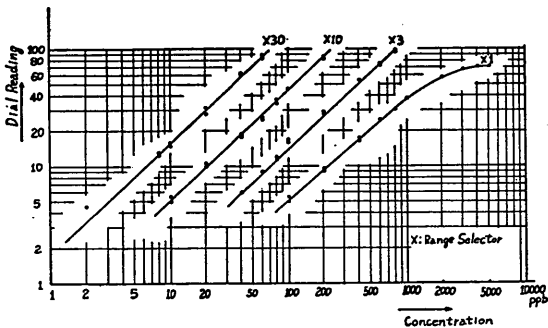


図-8 (a) 濃度—蛍光強度検定曲線(ローダミンB)

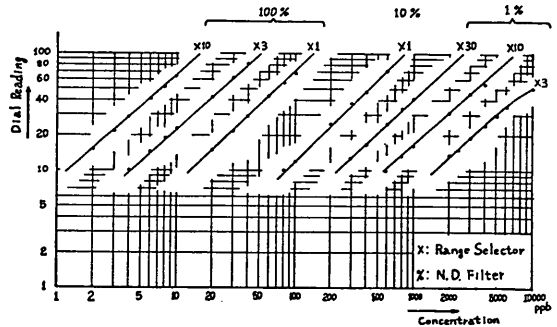


図-8 (b) 濃度—蛍光強度検定曲線(フルオレセイン・ナトリウム)

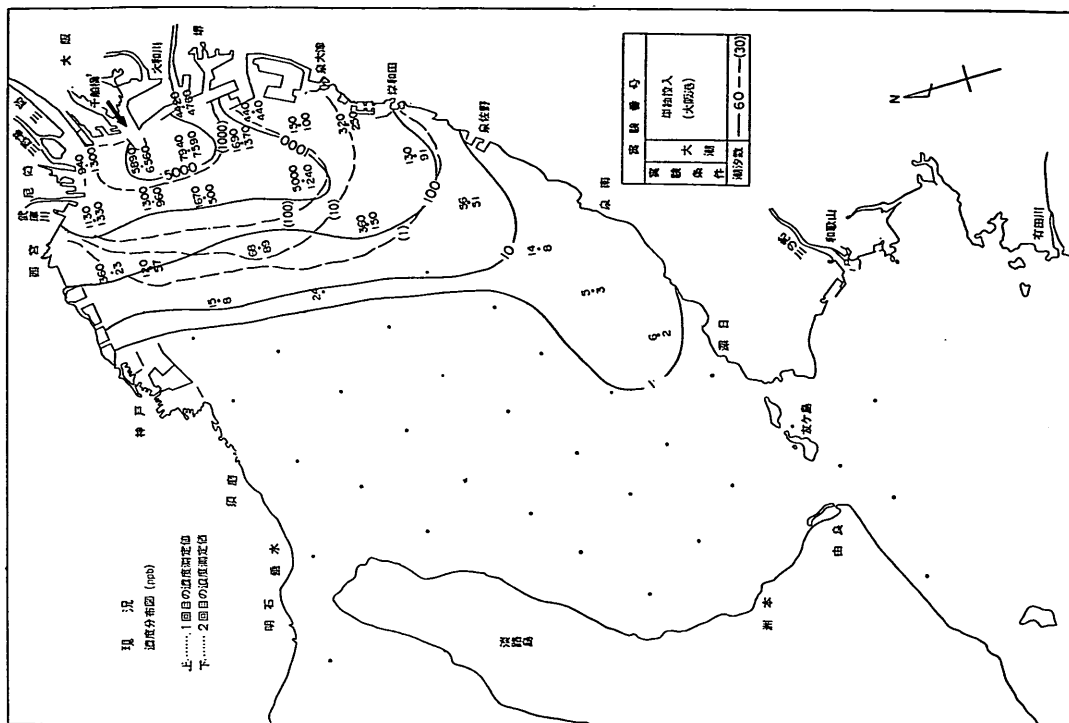


図-10 濃度分布図 単独投入実験 大阪港 現況地形 30湖砂 (破線)
60湖砂 (実線) 単位 ppb

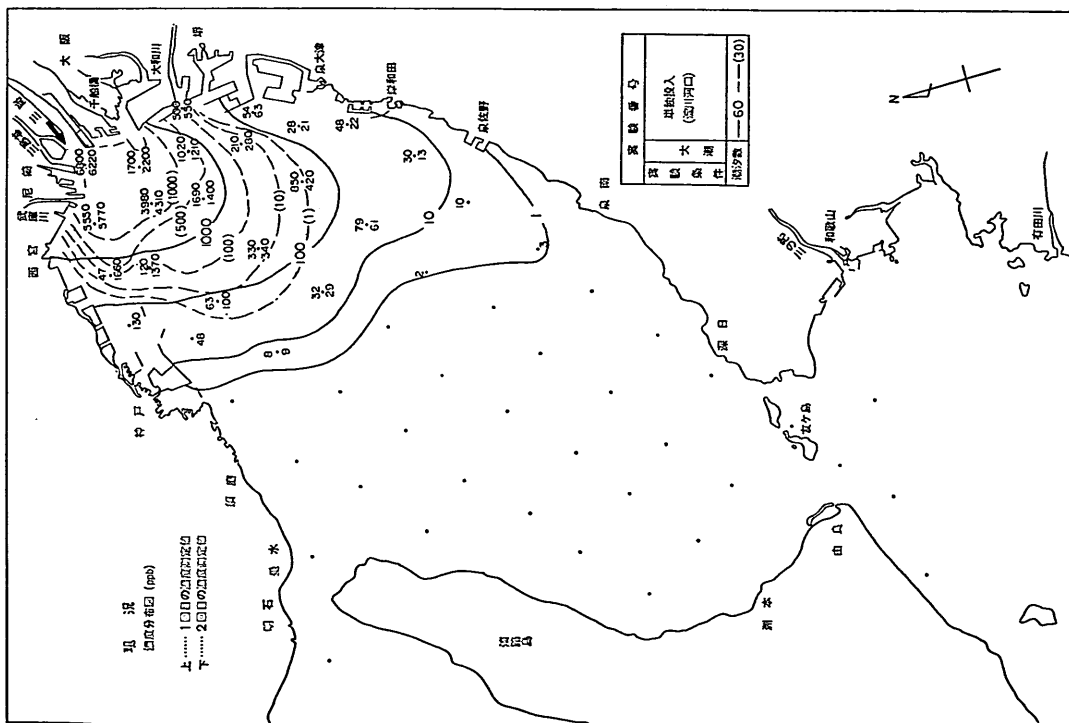


図-9 濃度分布図 単独投入実験 淀川河口 現況地形 30湖砂 (破線)
60湖砂 (実線) 単位 ppb

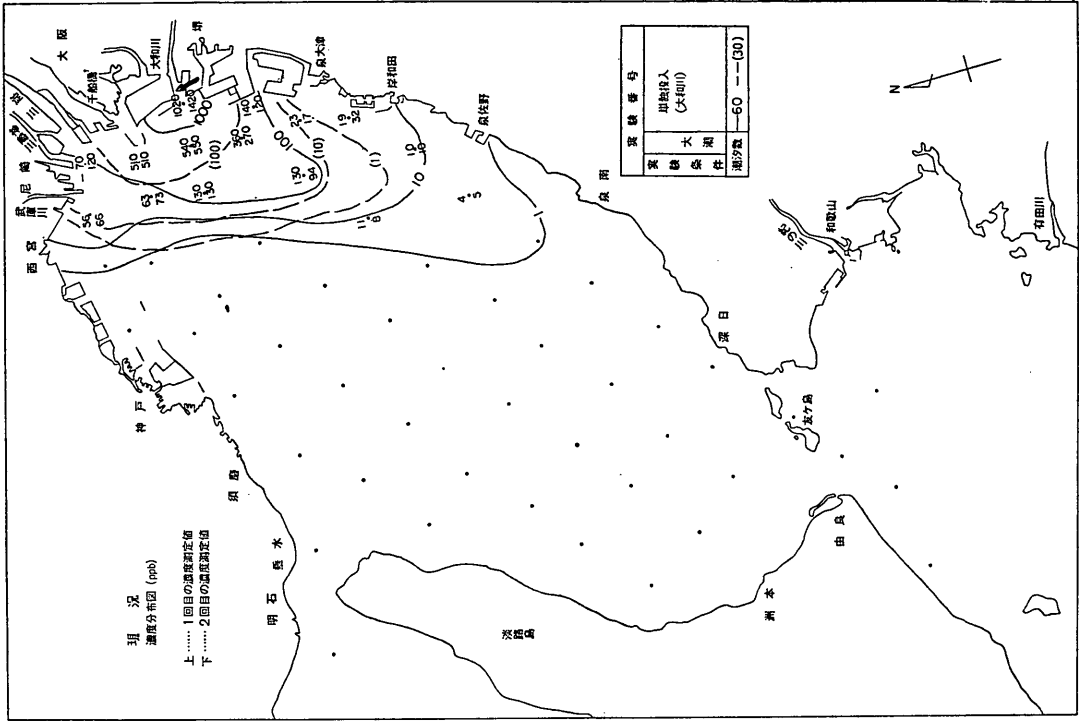


図-12 濃度分布図 単独投入実験 界~大和川 現況地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

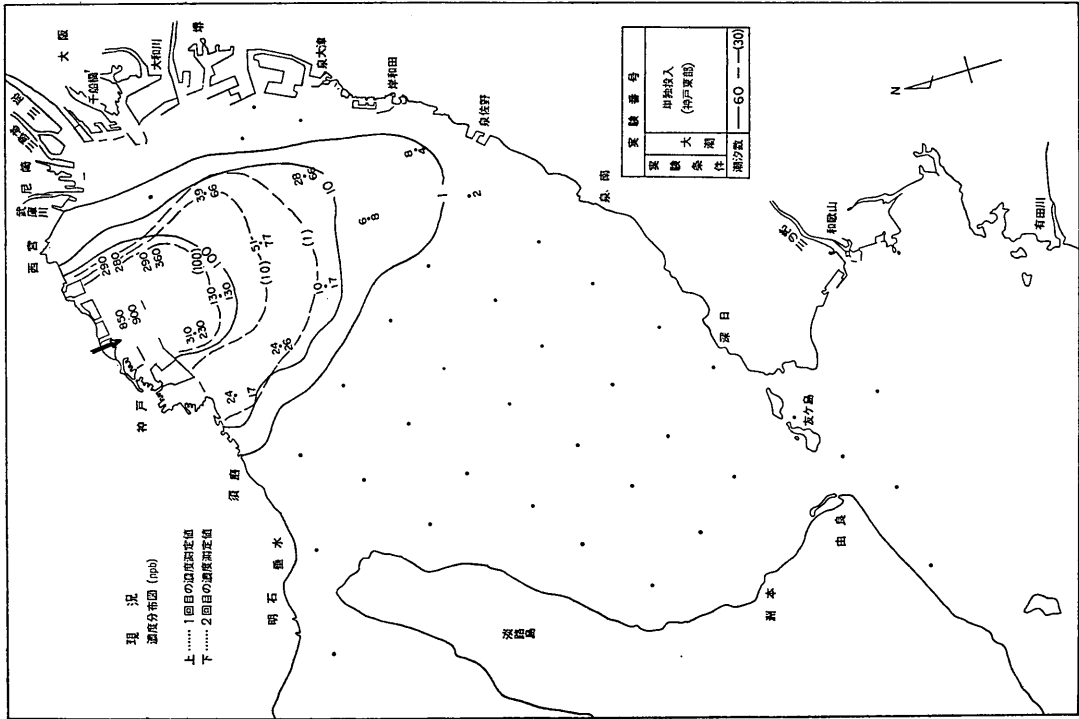


図-11 濃度分布図 単独投入実験 神戸東部 現況地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

4.1 現況地形での単独投入実験

Case 1. 現況地形 淀川河口より投入（図-9） 負荷量 145.8 ton/day

淀川河口の海域は、神崎川、新淀川の流出域であり、汚染負荷量は湾内全負荷量の31%に相当するかなり大きな海域である。図-9が、その濃度分布図であり、30潮汐時のコンターを破線で、60潮汐時のコンターを実線で示す。各測定点での数字は、60潮汐時での濃度分析結果を示し、実験の繰返し再現性の検討のために行った複数回の結果を併記して示す。図-9をみると、30潮汐時の濃度分布は投入点を中心にはほぼ半円状に拡がっており、1 ppm以上の濃度の海域が淀川河口の沖合の10 km範囲にまで到達している。60潮汐になると、染料の拡がりには神戸から泉南の海域まで拡がり、全体的に湾東部の海域を南下する傾向がみられる。これは、大阪湾の恒流が時計廻りであることから理解できる。

Case 2. 現況地形 大阪港より投入（図-10） 負荷量 204.9 ton/day

この地区からの汚染負荷量が最も大きく、湾内全汚染負荷量の約45%を占めている。30潮汐時での拡散範囲は西宮から泉大津に至る南北に長い楕円状の分布をしている。投入点前面の海域では5 ppm以上の高い濃度を示している。60潮汐では恒流の方向に従って泉南沖を南下し、泉南沖から明石海峡の方に向かう傾向がみられる。堺前面の測点で約8 ppmの高い濃度が得られた。

Case 3. 現況地形 神戸東部埋立地区より投入（図-11） 負荷量 19.7 ton/day

負荷量は前の2ケースに比べると小さい。30潮汐の段階では、投入点を中心としてほぼ半円状に拡がっており、濃度の高い所でも300 ppb位であった。60潮汐になると、幾分南の方に突き出した分布を示し、泉佐野付近まで拡がっている。濃度は、投入点前面（No. 46）で1 ppm近い値を示しているが、負荷量が小さいために概して低い。

Case 4. 現況地形 大和川～堺地区より投入（図-12） 負荷量 22.1 ton/day

大阪港のケース（Case 2）とほぼ似かよった拡散のパターンを示しており、30潮汐で西宮から泉大津に至る領域が汚染されている。投入点前面（No. 50）では1 ppm以上の濃度がみられる。60潮汐になっても西宮以西にはほとんど拡散せず、南下する傾向にあり、泉佐野から泉南沖まで拡散が進んでいる。投入点前面は1 ppm以上の値を示しているが、全般的に濃度は低い。

Case 5. 現況地形 西宮地区より投入（図-13） 負

荷量 22.5 ton/day

淀川河口の場合（Case 1）とほぼ似かよった拡散パターンを示しているが、負荷量が小さいため濃度も低い。30潮汐で、やや大阪港寄りに偏った楕円状の分布をしており、濃度は投入点付近（No. 54）で500 ppb位の値となっている。60潮汐での拡散範囲は神戸港から泉佐野沖まで拡がっている。1 ppmを越える測定点はない。

Case 6. 現況地形 大津川地区より投入（図-14） 負荷量 17.6 ton/day

染料投入点前面の海域の流況は岸に沿った南北流が卓越しているため、拡散の方向も南北方向に拡がっている。30潮汐で100 ppbを越える測点が、投入点の北側の海域に分布している。これは大阪湾内の恒流が、湾中央では時計廻りの大きな環流となっているが、泉大津・岸和田前面の海域では弱いながらも逆に北上し、堺港前面で湾中央部に向って流れ、さらに堺港前面やや沖合を南下するパターンをとっているためと思われる。60潮汐になると拡散範囲は西宮から泉佐野付近まで拡がっているが、沖合方向には、高々10 km程度しか拡がっておらず、南北に長く伸びた分布となっている。

Case 7. 現況地形 泉北1区地区より投入（図-15） 負荷量 15.4 ton/day

このケースは大津川から投入した場合（Case 6）と類似しており、潮流の卓越方向、すなわち南北に伸びた楕円状の拡がり方をしている。沿岸部は大阪港の方向に北上する拡がり分布を示している。染料の投入点が埋立地内であるために、湾央への流出は遅い。60潮汐での拡散範囲は西宮から泉佐野に至る海域であり、投入点前面（No. 50）で400 ppb、大阪港から泉大津の海域で100 ppb以上の濃度を示している。

Case 8. 現況地形 須磨地区より投入（図-16） 負荷量 5.0 ton/day

神戸の西方約4 km地点からの投入で、負荷量はかなり小さい。この海域の流況は岸に沿った東西方向の流れが支配であり、恒流のパターンも明石海峡からの強い流れに押されて東方向に向っている。拡散範囲は30潮汐で須磨から西宮の海域に拡がっており、投入点より東側に分布している。濃度はかなり薄く100 ppbを越える測定点は認められない。60潮汐になると時計廻りの恒流パターンによって拡散していくが、明石海峡の方向へは全く拡がっていないことがわかる。

4.2 55年埋立計画地形での単独投入実験

単独投入の実験を、55年港湾埋立計画地形についても同様に行った。図中（例えば 図-17）の黒塗りの部分及

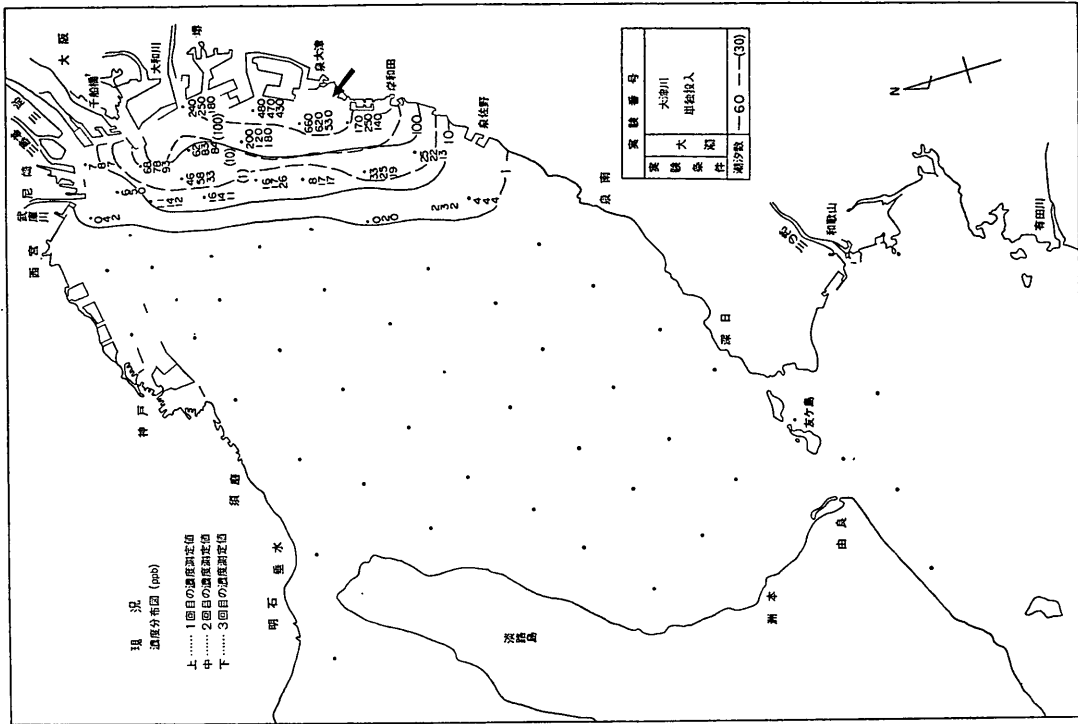


図-14 濃度分布図 单独投入実験 大津川 現況地形 30ppb (破線) 60ppb (実線) 単位 ppb

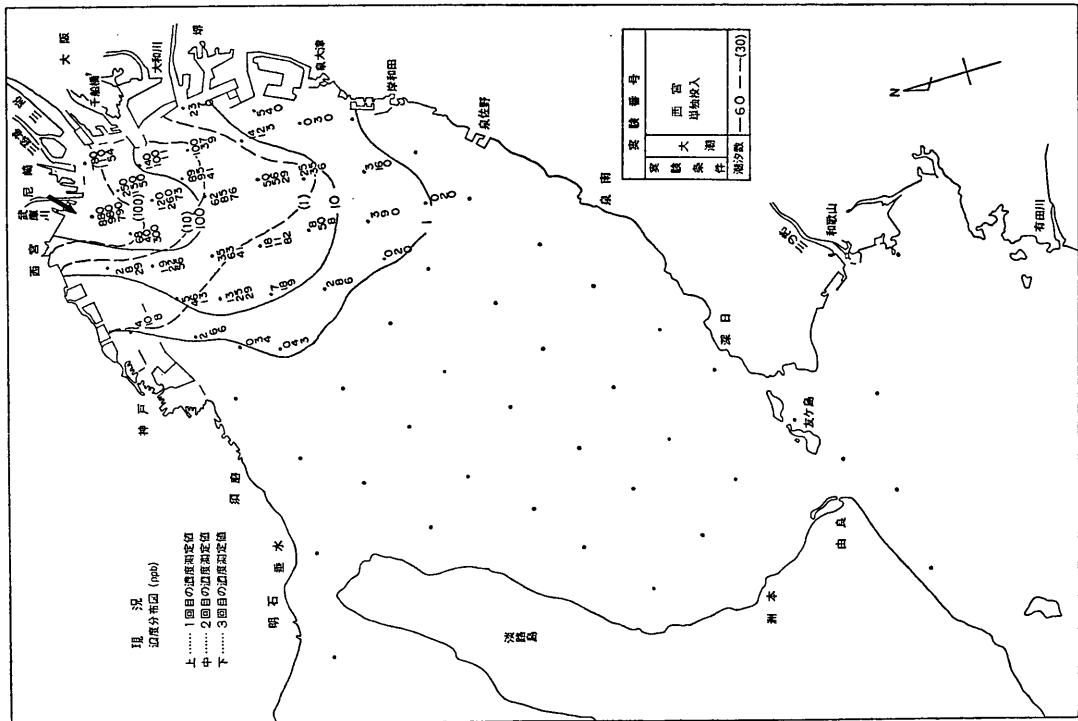


図-13 濃度分布図 单独投入実験 西宮 現況地形 30ppb (破線) 60ppb (実線) 単位 ppb

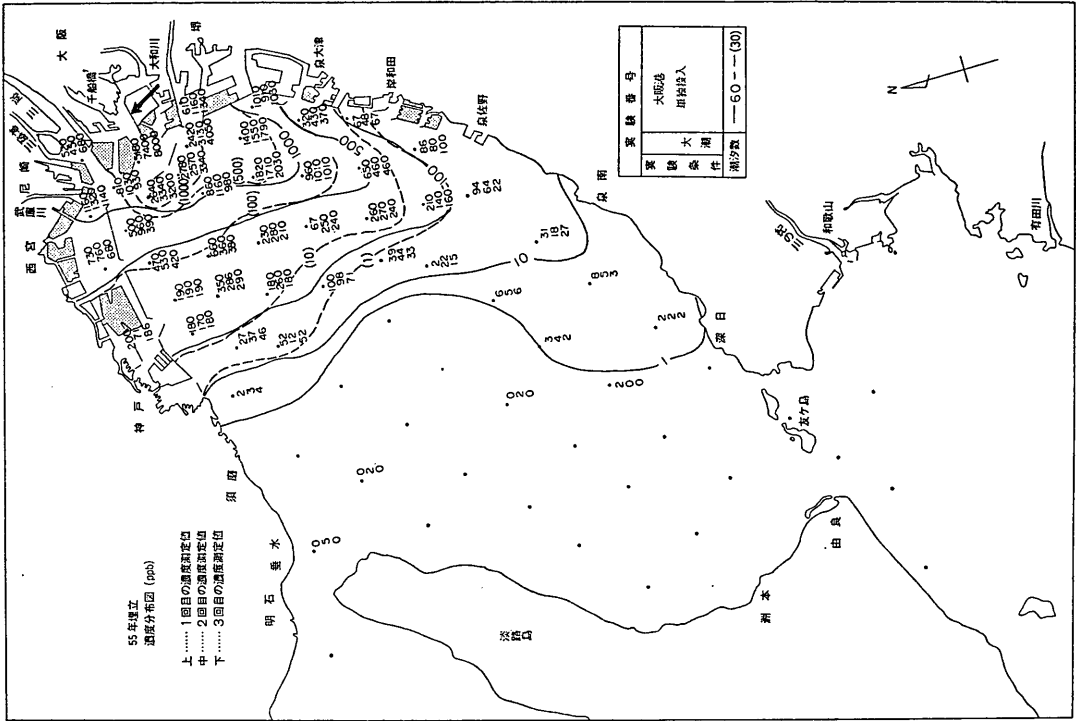


図-18 濃度分布図 単独投入実験 大阪港 55年埋立地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

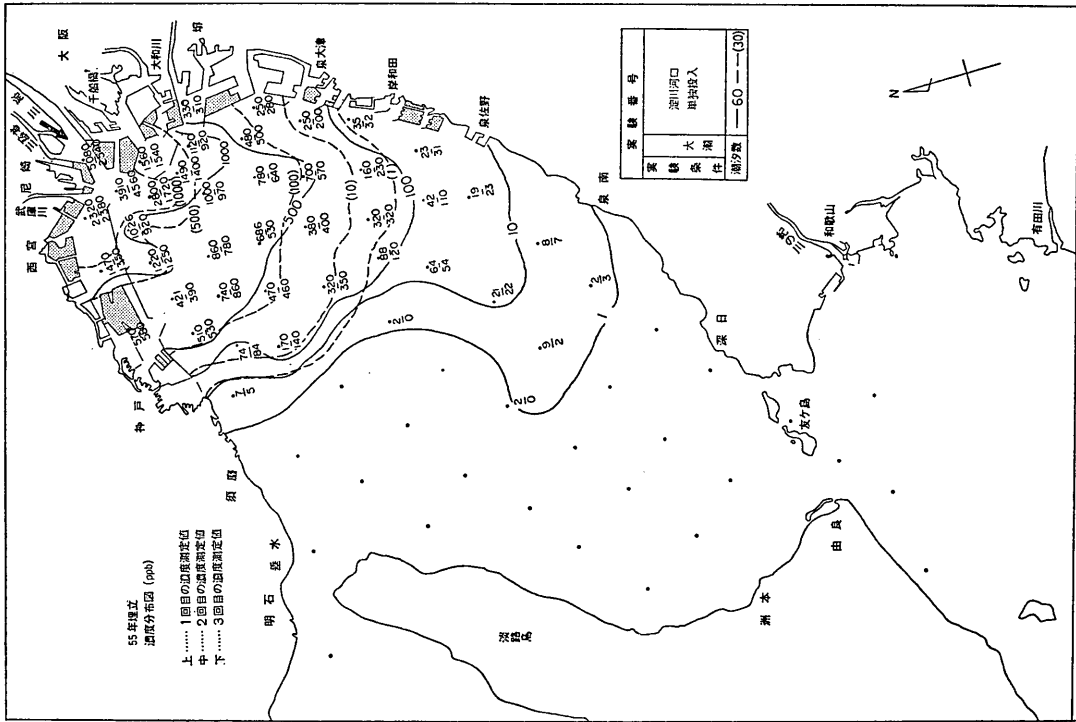


図-17 濃度分布図 単独投入実験 淀川河口 55年埋立地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

び西宮前面の防波堤の設置等が将来の地形変革箇所である。投入点は現況時と同じ8箇所からのものであり、現況時の拡散パターンと対比しながら検討してゆくことにする。

Case 9. 55年埋立地形、淀川河口より投入（図-17）
負荷量 145.8 ton/day

淀川の河川流量がかなり大きいので、染料は前面に押し出され、西宮前面に設置された防波堤により拡散の主方向が2方向に分れる。一方は防波堤の東側をそのまま南下し、他方は防波堤の内側を西側に進み、防波堤の開口部から湾内へ流出してゆく。30潮汐時のコンターが、西宮沖の海域で湾奥側に大きく後退しているのがわかる。これは、西宮前面に設置された防波堤の影響であり、現況時（図-9）にはみられない傾向である。60潮汐時の濃度分布図より、1,000 ppbのコンターでも同様の傾向をみることができ、他のコンターではみられない。60潮汐時の拡散範囲は、須磨から泉南沖にまで拡がっており、現況時のそれと比べて大きい。これは、淀川の河口部が埋立によって水路状になって湾中央側に侵入していることと、西宮前面の防波堤の開口部はかなり速い流れが存在し、これらが拡散速度を早めているものと思われる。

Case 10. 55年埋立地形 大阪港より投入（図-18）
負荷量 204.9 ton/day

淀川河口のケース（Case 9）よりも幾分南側に偏った分布をしている。大阪港から流出した染料は、大阪港前面に設置した防波堤の開口部から出るもの、南下するもの、および北上するものとの3方向に分かれる。その中では南下する成分が最も強い。30潮汐時で神戸から泉佐野の範囲にまで拡がり、現況時よりも拡散が早い。60潮汐時になると、拡散範囲は更に南下して深日付近まで拡がっている。現況時（図-10）のそれと比べると、神戸方向への拡散が大きくなっているのがわかる。これは、大阪港前面に設置した防波堤の開口部、あるいは両端での速い流れの形成、及び防波堤による拡散方向の変化等が主な原因であると考えられる。

Case 11. 55年埋立地形 神戸東部埋立地区より投入（図-19） 負荷量 19.7 ton/day

投入点前面の海域は、明石海峡からの強い東流が弱まって南に向きを変える所であり、恒流のパターンもまた時計廻りに南下する海域である。拡散パターンもほぼそれに従って拡がっている。60潮汐の拡散範囲をみると、須磨から泉南沖にわたって拡がっており、現況時のそれ（図-11）と類似しているが、このケースの方が幾分大

阪港～堺港寄りの東岸部まで拡散範囲が広がっている。これは、投入点前面に設置された防波堤により、現況時では南下するパターンをとったものが、防波堤の開口部から外に出ていくものと、防波堤に沿って東に進むものとに2分されたためと思われる。また、防波堤内の測点（No. 46）では、現況時よりも高い濃度を示している。

Case 12. 55年埋立地形 大和川～堺地区より投入（図-20） 負荷量 22.1 ton/day

投入点前面の主流が南北方向であるため、染料の拡がりも南北方向に広がっている。拡散範囲は30潮汐で西宮から泉佐野、60潮汐では神戸から泉南の海域に拡がっており、100 ppbを越える測点は投入点の南側に多く位置している。現況時の濃度分布図（図-12）と比較すると、拡散パターンは類似しているが、拡散範囲は55年埋立地形の方が大きく、神戸寄りにおいてそれが顕著である。また、現況時には大阪港沖の海域で500 ppb以上の濃度を示しているが、このケースでは、100～200 ppbの濃度となっている。これも、55年計画の大阪港前面の防波堤により局所的に速い流れの領域が形成され、拡散を促進しているためと考えられる。

Case 13. 55年埋立地形 西宮地区より投入（図-21）
負荷量 22.5 ton/day

この投入点の前面に防波堤が設置されたため、投入点が埋立と防波堤によって囲まれるため、流況、拡散のパターンが若干現況時と異なる。投入された染料は、現況時（図-13）では恒流に従って、そのまま南下するパターンであったが、このケースでは、東西に往復運動をしながら全体として西側に流れ、防波堤の開口部から湾中央に向って拡散してゆき、防波堤の外に出た後、時計廻りの恒流によって南下するというパターンがみられる。拡散範囲は現況時のそれと比べるとかなり大きく、60潮汐で和田岬から深日沖にまで及んでいる。また、100 ppb以上の領域も現況時より西側に偏っている。これらの現象は西宮前面に設置された防波堤の影響が出ているためと思われる。

Case 14. 55年埋立地形 大津川地区より投入（図-22） 負荷量 17.6 ton/day

この前面の海域は南北流が支配的であり、拡散のパターンは現況時（図-14）と同じく南北方向に広がっている。全体としては弱い北向き恒流により大阪港方面に向って拡散している。60潮汐の濃度分布図より、拡散範囲は西宮から泉佐野の範囲で、現況時のそれとほとんど変わらない。これは、投入点付近の地形の変化が小さいため、拡散パターンの局所的な変化は認められたとしても、湾

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)

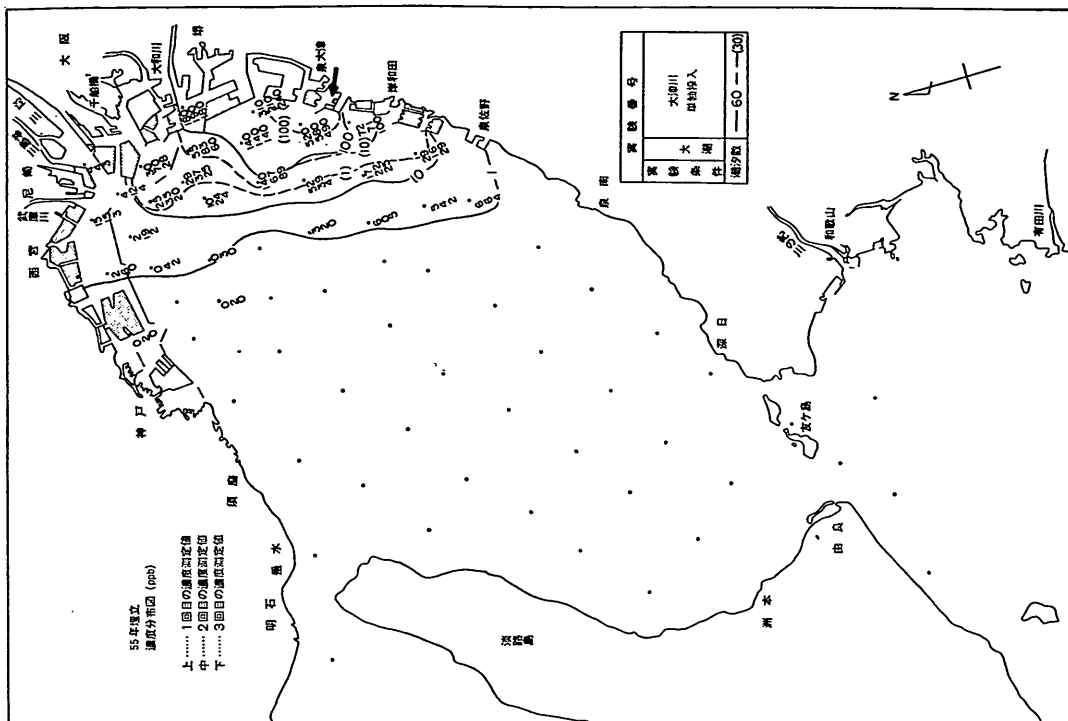


図-22 濃度分布図 単独投入実験 大田川 55年埋立地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

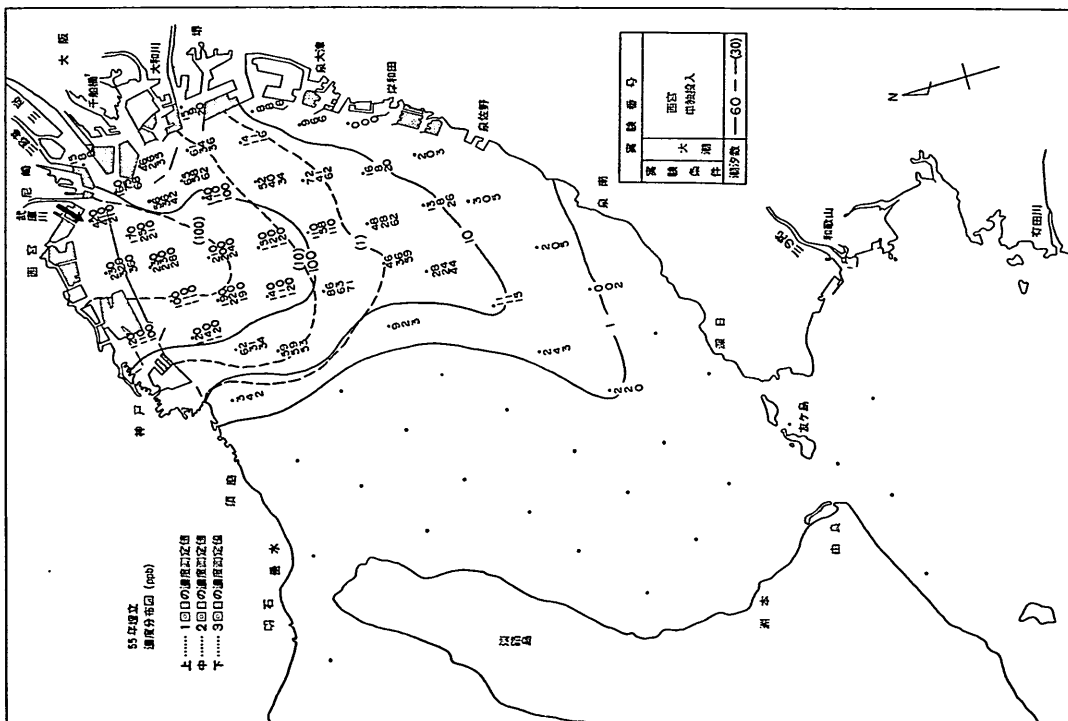


図-21 濃度分布図 単独投入実験 淀川 55年埋立地形 30潮汐 (破線) 60潮汐 (実線) 単位 ppb

全体の変化とは成り得なかったものと思われる。

Case 15. 55年埋立地形 泉北1区より投入(図-23)
負荷量 15.4 ton/day

投入点が埋立地内にあるため、染料がその中で滞留し、拡散は遅れる。投入点前面の海域は南北流が支配的であり、拡散形状も南北に伸びた楕円状のパターンを示している。60潮汐時の濃度分布図を現況時のそれ(図-15)と比較すると、投入点付近の濃度が現況時より低いことと、西側への拡散範囲が若干大きいことがあげられるが、全体的にみて、ほぼ同じ拡散パターンであると考えられる。これは、投入点付近に55年計画による地形変化がないためと思われる。

Case 16. 55年埋立地形 須磨地区より投入(図-24)
負荷量 5.0 ton/day

現況時(図-16)と同じく、明石海峡から強い東流に押されて染料は西宮方向に拡散してゆき、西宮前面から恒流によって南下するパターンがみられ、明石海峡の方向には全く拡がらない。60潮汐時では拡散範囲は投入点付近から泉佐野の海域まで拡がっている。現況時と比較しても、55年計画による地形変化が投入点からかなり離れているため、拡散パターンに顕著な変化は認められない。

4.3 各主要汚染源からの拡散の一般的傾向

4.1と4.2で、現況地形と55年埋立計画地形についての単独投入実験を、湾内主要汚染源8地点について行った。拡散パターンの全般的な傾向としては、どちらのケースについても大阪湾の恒流が大きな時計廻りの環流となっていることから、湾の東側を南下する傾向がみられる。投入点の地域別にみると、堺から泉大津にかけての湾東岸から染料を投入した場合は、潮流の卓越方向が海岸線に沿っての南北方向であり、染料の拡散も南北に伸びた楕円状に拡がったパターンを示している。また、これらの投入点付近の海域の恒流は、微弱ながら北流となっており、染料も幾分北側に向かって拡がっている。大阪湾全体を支配する時計廻りの環流は、これらの海域のやや沖側を南下している。湾奥部の大阪港、淀川河口、西宮の投入点からの拡散のパターンは類似している。この地区からの汚染負荷量は湾全体の負荷量の約80%を占め、非常に大きく、大阪湾全体の汚染を支配しているものと考えられる。拡散パターンは、時計廻りの恒流によって南下しており、拡散範囲も60潮汐時で、神戸から泉南沖にかけての海域に及び、かなり広い。神戸～須磨の区域からの投入は、明石海峡からの強い流れに押され、東側に拡がり、西宮前面でその向きを南に転じ、時計廻

りの環流にのり南下していくパターンがみられ、明石海峡の方向には拡散しない。

次に、現況地形と55年埋立地形での拡散のパターンを比較してみると、全般的に55年埋立地形の方が拡散が速い。これは、大阪港前面の防波堤および西宮前面の防波堤の開口部に強い流れが発生し、これが染料の拡散に大きな役割を果たしているものと考えられる。また、防波堤の背後に、これらの強い流れによる反流域が形成され、小さな循環流ができる。このようにして形成された渦が、染料の拡散を促進させるものと思われる。このような現象は、防波堤の開口部において顕著にみられるが、埋立地においても若干みられる。しかしながら、埋立あるいは防波堤による地形変化が小さい場合には、局所的な変化をみることはできるが、それが湾全体の拡散パターンにどのような変化をもたらすかを把握することは難しい。

5. 汚染源の湾内汚染に対する寄与率

5.1 重ね合わせの原理の検証

拡散方程式は式(6)より一般に次のように表わされる。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + Q - R \quad (12)$$

ここで、 c : 濃度、 u, v, w : x, y, z 方向の流速、 K_x, K_y, K_z : x, y, z 方向の拡散係数、 Q : 負荷量、 R : 減衰量を示す。

染料拡散実験の場合、吸着等の減衰を小さいとして無視すれば、保存系の物質拡散と考えることができる。2.で、海洋での拡散を考える場合は乱流拡散であり、 K_x, K_y, K_z の拡散係数は流れの場によって決定されるもので、濃度 c には依存しないと仮定すれば、式(12)は濃度に関して線型な方程式となり、拡散実験の重ね合わせは可能であることを述べた。しかし、実験においては、実験条件、環境に基づく種々の不確定要素があるので、まず、本染料拡散実験においても、拡散現象の重ね合わせがどの程度成立するかを調べた。まず、4.1, 4.2で取り扱った単独投入実験結果のうち、主要な汚染源4地点の4ケースの実験の各々の濃度を重ね合わせた結果と、4地点の汚染源から同時に染料を投入(以下4点投入という)した実験の濃度結果とを比較した。

単独投入実験結果の一例として、55年埋立計画地形での60潮汐時の濃度分布図は4.2に示した。図-25に、4点投入実験の60潮汐時の濃度分布図を示す。染料投入点の位置は、大阪港、淀川河口、西宮、堺～大和川地区の4

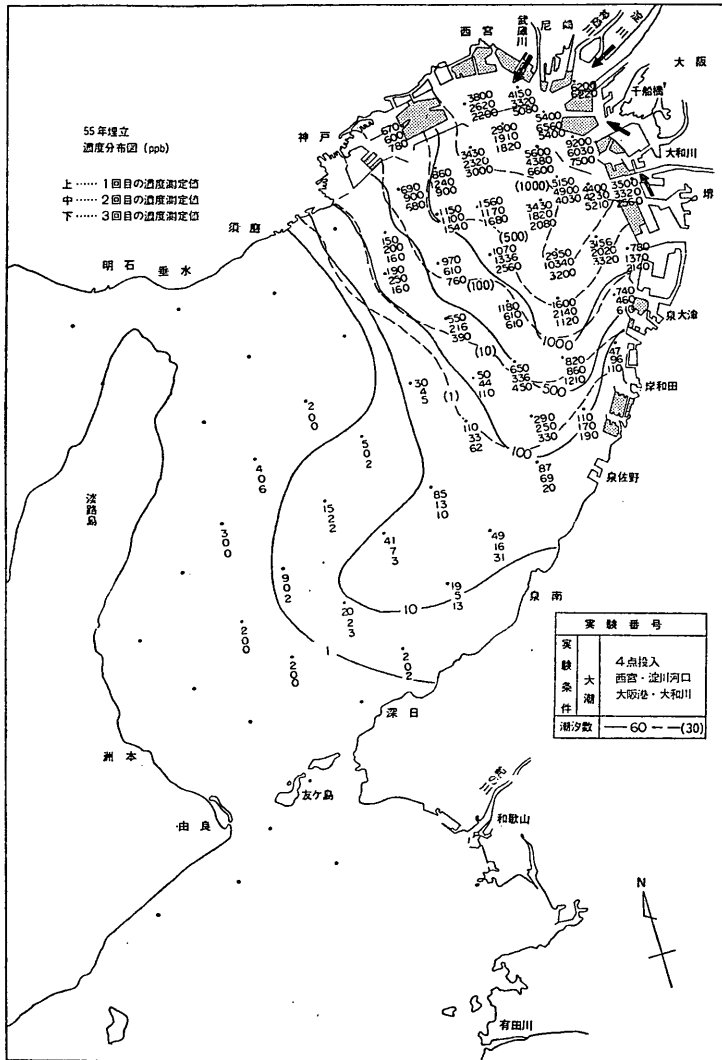


図-25 濃度分布図 4点投入実験(淀川河口, 大阪港, 堺~大和川, 西宮) 55年埋立地形 30潮汐(破線) 60潮汐(実線) 単位 ppb

地点である。各々のケースについて、各測点につき3回の測定値を濃度分布図に並記している。それぞれ繰返し再現性は良好であると思われる。このことは、後述する付録の表-11の再現係数の値からも理解できる。重ね合わせの可否を検討するような場合には、同一条件の実験が類似した結果を示すことが必要である。要するに、繰返し再現性の良いことがこの種の検討を行なう場合の前提条件である。表-5は単独投入の実験結果、その濃度を重ね合わせた結果、および、4点投入実験の結果を示している。同表の各測点での濃度は、3回の実験結果の平均値によって示されている。同表最右欄の値は、単独投入

実験の重ね合わせた結果(⑦欄)を、4点投入実験の結果(⑥欄)で割ったものを示し、重ね合わせが完全に成立すれば1.0となる性質のものである。この結果をみると、2倍位異なるものもあるが、これらは濃度の小さい領域であり、実験全体としての重要性は小さく、濃度の大きい領域では、ほぼ1に近い結果が得られている。図-26にこれらの濃度結果の相関図を示す。横軸は単独投入実験による濃度値を重ね合わせた結果(表-5, ⑦欄)、縦軸は4点投入実験の結果(同表⑥欄)を各測点毎に表わしたものである。図-26で、単位はppb、目盛は濃度値の平方根によって表わされている。図-26より、点列は45°

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

表-5 単独投入実験の重ね合わせの濃度と、4点投入実験の濃度の比較（55年埋立 単位 ppb）

測点 No.	単 独 投 入				4 点 投入 ⑥ Case 18	重ね 合せ ⑦=② +③+ ④+⑤	比 ⑧= ⑦/⑥
	② Case 9 淀川河 口	③ Case 10 大阪港	④ Case 12 堺~大 和川	⑤ Case 13 西宮			
57	3,810	550	13	10	6,210	4,380	0.71
56	320	1,040	1,500	15	3,230	2,880	0.89
55	1,550	6,860	120	36	7,570	8,570	1.13
L	4,240	920	19	101	5,790	5,280	0.91
54	2,350	1,210	25	350	4,180	3,940	0.94
53	1,020	3,200	163	40	4,630	4,470	0.96
52	2,260	3,060	73	45	5,530	5,440	0.98
K	970	620	16	210	2,210	1,820	0.82
51	1,410	720	15	300	2,870	2,440	0.85
50	265	980	270	8	1,430	1,520	1.06
49	490	1,580	400	14	2,830	2,490	0.88
J	1,450	2,900	82	62	4,690	4,490	0.96
48	990	1,000	19	117	2,440	2,130	0.87
47	1,235	470	12	230	2,940	1,950	0.66
46	580	150	2	113	680	850	1.24
45	225	370	136	7	600	740	1.23
G	710	1,850	280	42	3,090	2,880	0.93
H	820	470	5	220	1,470	1,520	1.03
I	410	183	3	107	1,000	703	0.70
44	34	61	22	0	84	117	1.39
43	640	990	171	58	1,620	1,860	1.15
42	610	240	3	130	1,650	980	0.60
41	800	310	4	200	1,260	1,310	1.04
40	520	177	3	133	750	830	1.11
C	195	530	137	15	960	880	0.91
D	390	186	8		800	680	0.85
E	470	210	2	123	780	810	1.03
F	79	37	0	42	170	158	0.93
39	27	89	28	2	157	146	0.93
38	320	260	36	46	480	660	1.38
37	335	90	1	73	380	500	1.31
36	155	39	0	57	200	250	1.25
35	6	3	0	3	0	12	—
A	91	170	41	16	270	320	1.10
B	104	39	0	47	68	190	2.79
34	21	60	25	3	58	109	1.88
33	59	13	0	32	68	104	1.53
32	1	0	0	5	13	6	0.46
29	8	25	9	2	32	44	1.38
28	22	6	0	12	36	40	1.11

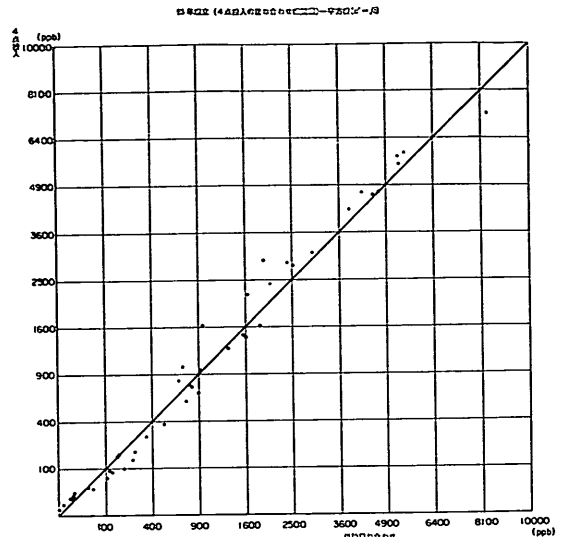


図-26 4点投入と単独投入の重ね合わせとの相関図，55年埋立地形（ $r^{(2)}=0.99$ ）

の斜線の近傍に散在していることはわかるが、比較的濃度の高い所で斜線より上に、低い所で斜線より下に散在している傾向が読みとれる。表-5、⑥欄と⑦欄について後述する繰返し再現性の判定と同様に、相関係数を付録の式(4)で求めてみると、 $r^{(2)}=0.99$ となり非常に良い相関であることがわかる。以上の事実と表-5及び図-26の結果とを合わせ考えると、本拡散実験においても、線型重ね合わせがほぼ成立つものと考えられる。

次に示すのは、同様の検討を現況地形の場合について行ったものである。4.1の図-9～図-12に単独投入実験の60潮汐目の濃度分布図を示し、図-27に4点投入実験の濃度分布図を示す。染料投入点の位置は、大阪港、淀川河口、神戸東部地区、堺～大和川地区の4地点である。現況地形については、同一条件の実験を2回づつしか行っておらず、また繰返し再現性の結果も必ずしも満足できる結果ではなかった（表-11参照）。表-6は表-5と同様の、単独投入実験と4点投入実験の濃度を2回の実験結果の平均値で示したものであり、単独投入実験の重ね合わせの結果と4点投入実験の結果の比較は第⑧欄に示している。この表より濃度の高い大阪港付近の測点では、ほぼ1に近い値が得られているが、No.51、No.47、No.40（図-7参照）のように、神戸寄りの測点では比が2以上の値を示しており、また逆に、No.39、No.34、No.33（図-7参照）のような岸和田寄りの測点では1より小さな値が得られている。これは、4点投入実験の拡散

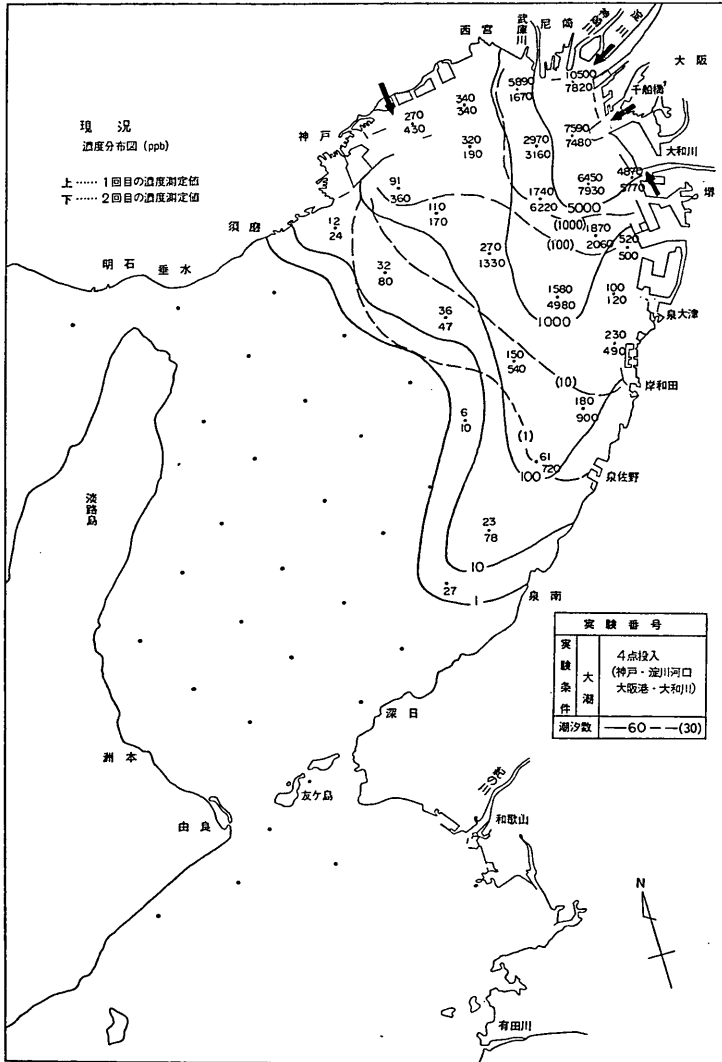


図-27 濃度分布図 4点投入実験（淀川河口，大阪港，神戸東部 堺～大和川）現況地形 30潮汐（破線）60潮汐（実線）単位 ppb

パターンが，単独投入実験のそれよりも東岸に片寄った分布をしていることを示している。表-6をみると，4点投入実験の値（同表⑥欄）よりも，或る一点からの単独投入実験の濃度の方が2倍以上の値（例えば，測点No. 47の②欄）となる測点がある。この原因は，実験の繰返し再現性に問題があったためであることがわかる。付録の表-11の再現係数の値をみても，大阪港，淀川河口のケースおよび，4点投入実験の繰返し再現性は良くなかったことがわかる。

表-6の値は，2回の実験結果がオーダーのスケールで

異っているような場合についても，単純に算術平均して値を求めたものである。拡散現象の重ね合わせの可否を検討するような場合には，各々の実験の繰返し再現性の良いことが最小限の必要条件であって，ここで得られた表-6の⑧欄の値が拡散実験での線型重ね合わせの否定を意味するものではない。現況地形に対しても，図-26と同様に，縦軸に4点投入実験の結果を，横軸に単独投入実験の重ね合わせの結果をとって両者の相関を示したものが，図-28である。図-26に比べて，45°の斜線からのバラツキの大きいのが明らかになり，重ね合わせの結

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

表-6 単独投入実験の重ね合わせの濃度と4点投入実験の濃度の比較（現況地形，単位 ppb）

測点 No.	単 独 投 入				4 点 投入 Case 17	重ね 合わせ ⑦=② +③+ ④+⑤	比 ⑧= ⑦/⑥
	② Case 1 淀川河 口	③ Case 2 大阪港	④ Case 3 神戸東 部	⑤ Case 4 堺~大 和川			
57	6,510	1,120	0	95	9,160	7,725	0.84
56	525	4,590	0	1,225	5,320	6,340	1.19
55	1,950	6,225	0	510	7,535	8,685	1.15
54	5,660	1,230	0	61	3,780	6,951	1.84
53	2,120	7,765	0	545	7,190	9,430	1.34
52	4,145	1,130	0	68	3,065	5,343	1.74
51	854	192	285	0	340	1,331	3.91
50	59	440	0	130	510	629	1.23
49	235	1,530	0	315	1,965	2,080	1.06
48	1,545	1,130	53	130	3,980	2,860	0.72
47	745	89	325	0	255	1,159	4.55
46	65	0	875	0	350	940	2.69
45	25	125	0	20	110	170	1.55
44	35	285	0	26	360	346	0.96
43	635	3,120	47	112	3,280	3,910	1.19
42	335	79	64	0	800	480	0.60
41	82	12	130	0	140	224	1.60
40	24	0	270	0	230	294	1.28
39	22	111	6	10	540	149	0.28
38	70	255	7	10	345	342	0.99
37	31	12	14	0	41	57	1.39
36	9	0	25	0	56	34	0.61
35	0	0	21	0	18	21	1.17
34	5	54	1	5	390	65	0.17
33	1	0	0	0	8	1	0.13
29	2	11	0	3	51	16	0.31
23	0	4	0	0	14	4	0.29

果が良くなかったことを示している。前と同様に式(4)で相関係数を求めると、 $r^{(2)}=0.945$ であった。

以上、2つのシリーズの重ね合わせの検討についての実験を合わせ考えると、拡散実験を行なう際には、実験の繰返し再現性を配慮して行く必要があることと示している。

5.2 汚染寄与率の計算

4. で大阪湾の主要な汚染源8地点からの単独投入実験の結果を、現況地形及び55年埋立地形について述べた。これらの結果を用いて、湾内の汚染に対する各汚染源の汚染寄与率を求める。汚染寄与率とは、大阪湾の汚染度に対し、どの汚染源がどの程度影響しているのかを

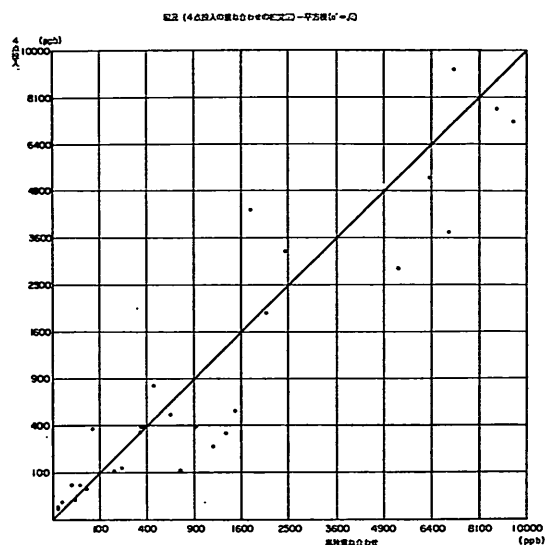


図-28 4点投入と単独投入の重ね合せとの相関図，現況地形 ($r^{(2)}=0.945$)

示すものであって、ここでは大阪湾全体の汚染度を単独投入実験8ケースの重ね合わせの結果であると便宜上みなし、各々の汚染源からの単独投入実験の濃度を、重ね合わせの濃度で除した値を汚染寄与率とした。拡散実験は60潮汐（約30日）までしか行っておらず、まだ定常状態に達しているとは思われないので、汚染源の寄与率を求めるには不十分であると考えられるが、大阪湾の汚染や排出規制を考える上において一応の目安になるものと考えここに算出した。

5.2.1 現況地形の汚染寄与率

表-7 に現況地形の30潮汐目の汚染寄与率を示し、表-8 に60潮汐目の汚染寄与率を、それぞれ単独投入実験8ケースを重ね合わせた結果に対する百分率で示したものである。これらの表から、大阪湾の汚染度の大半は淀川河口と大阪港からの汚染負荷の影響によるものであることがわかる。特に湾奥部の濃度の高い領域においてはその傾向が強く、80%以上が淀川河口、大阪港の寄与率によるものである。泉大津沖あるいは神戸沖のように、汚染負荷の大きな投入点から比較的離れた海域では、その海域の近くの投入点（大津川あるいは神戸東部）からの寄与率が大きい。しかし、これらの海域での濃度が小さいので、時間の経過につれて、負荷量の大きな淀川河口、大阪港の影響が現れてくる。表-7、表-8をもとにして、図-29、図-30を作成する。これらの図は、各汚染源の汚染寄与率を記号で示したもので、記号の大きさを3

表-7 各汚染源の汚染寄与率（現況地形，30潮汐目）

測点	淀川河口	委阪港	堺~大和川	西宮	神戸東部	大津川	泉北1区	須磨	全体の濃度
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb
57	83.7	12.7	0.8	2.7	0	0	0	0	5,820
56	5.8	61.7	27.7	0	0	2.1	2.8	0	3,970
55	23.1	73.6	2.3	0.3	0	0.1	0.4	0	7,760
54	76.0	10.4	0.6	13.0	0	0	0	0	5,800
53	7.5	87.4	4.5	0.2	0	0.1	0.3	0	6,500
52	88.6	8.9	1.3	1.0	0	0	0.2	0	2,750
51	67.0	0	0	0	28.4	0	0	4.6	580
50	0	11.6	8.9	0	0	40.8	38.7	0	620
49	6.3	67.3	14.6	0	0	5.6	6.1	0	600
48	47.1	43.5	6.1	1.1	1.9	0	0.2	0.1	850
47	31.2	3.0	0	1.5	60.6	0	0	3.7	269
46	0	0	0	0.3	88.4	0	0	11.3	311
45	0	0	0	0	0	95.2	4.8	0	483
44	0	0	0	0	0	96.2	3.8	0	104
43	0	94.7	4.7	0.3	0	0	0.3	0	300
42	60.5	26.3	0	1.3	11.8	0	0	0	76
41	6.8	0	0	0	86.4	0	0	6.8	59
40	0	0	0	0	81.1	0	0	18.9	127
35	0	0	0	0	10.9	0	0	89.1	46

階級に分類し、寄与率が50%以上の場合を大の記号，25~50%の寄与率の場合を中の記号，10~25%の寄与率の場合を小の記号で表わしたものである。これらの図から、負荷量の大きな淀川河口(白丸)，大阪港(黒丸)の影響が大きいことが顕著である。また、大阪湾北西側は淀川河口の、南東側は大阪港の寄与率がそれぞれ大きい。

つぎに、各投入点別に寄与率の分布を簡単に検討してみる。

(a) 淀川河口 (○)

淀川と友ヶ島を結ぶ線上から大阪湾北西側半分は、淀川河口の寄与率が大きく、特に湾奥部の測点では寄与率が50%を越えており、No. 57 では80%以上の値を示している。測点 No. 46~43 にみられるように、比較的投入点と離れた海域での寄与率を調べると、30潮汐ではゼロの値を示しているのに、60潮汐になると数パーセントの寄与率を示している。これは、30潮汐では、それらの測点は拡散範囲外であるのに対し、60潮汐になると拡散範囲内に入ることを示している。また、時間の経過とともに、寄与率が50%以上の大きな測点では減少、小さな測点では増加する傾向がみられる。

(b) 大阪港 (●)

大阪湾の南東側半分の海域の大半の寄与率は大阪港か

表-8 各汚染源の汚染寄与率（現況地形，60潮汐目）

測点	淀川河口	大阪港	堺~大和川	西宮	神戸東部	大津川	泉北1区	須磨	全体の濃度
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb
57	80.8	13.9	1.2	3.9	0	0.1	0.1	0	8,560
56	7.8	67.8	18.1	0.1	0	3.3	2.9	0	6,770
55	21.7	69.5	5.7	0.9	0	0.9	1.3	0	8,970
54	72.2	15.7	0.8	11.2	0	0.0	0.1	0	7,840
53	11.6	80.4	5.6	0.5	0	0.8	1.1	0	9,670
52	74.2	20.2	1.2	2.7	0	0.2	1.3	0.1	5,580
51	60.6	13.7	0	0.8	20.4	0	0	4.3	1,400
50	3.9	28.9	8.5	0.2	0	30.2	28.3	0	1,520
49	9.7	63.0	13.0	0.4	0	6.9	7.0	0	2,430
48	51.9	37.9	4.4	2.5	1.8	0.4	0.9	0.2	2,980
47	60.2	7.2	0	2.6	26.3	0	0	3.8	1,240
46	6.4	0	0	0.7	86.4	0	0	6.5	1,010
45	2.8	14.4	2.3	0.1	0	64.9	15.6	0	880
44	6.0	48.8	4.5	0.3	0	32.5	7.9	0	584
43	30.2	58.9	5.3	1.0	2.2	0.7	1.6	0.0	2,110
42	63.3	14.9	0	7.0	12.1	0	0.6	2.1	529
41	30.4	4.4	0	8.1	48.1	0	0	8.9	270
40	6.8	0	0	1.4	76.3	0	0	15.5	354
39	12.7	64.2	5.8	0	3.5	11.6	2.3	0	173
38	19.8	72.2	2.8	1.1	2.0	0.3	1.4	0.3	353
37	47.0	18.2	0	7.6	21.2	0	0	6.1	66
36	18.4	0	0	4.1	51.0	0	0	26.5	49
35	0	0	0	0	21.0	0	0	79.0	100

らのものである。特に大阪港前面の No. 55, No. 53 付近の寄与率が大きく、70~80%の値を示している。湾北西側の海域では、20%以下の寄与率を示している。

(c) 堺~大和川 (⊙)

大阪港に比して汚染負荷量が小さいので、投入点付近の測点 No. 56 でも20%前後の寄与率である。他の海域では、測点 No. 49 で10%以上の寄与率を示しているが、その他は湾東部の海域で5%前後であり、それよりも沖側及び神戸側の海域は拡散範囲外であって、この投入点からの影響はない。

(d) 西宮 (△)

この投入点も、近くに淀川河口という負荷量の大きな投入点があるために、投入点前面の測点 (No. 54) でも、10%程度の寄与率しか示していない。他の海域では10%以上の寄与率を示している測点はなく、湾内北西部の海域で、高々数%の寄与率を示しているにすぎない。

(e) 神戸東部 (▲)

この投入点は、負荷量はあまり大きくないが、湾奥部の投入点から離れているために、投入点付近の海域

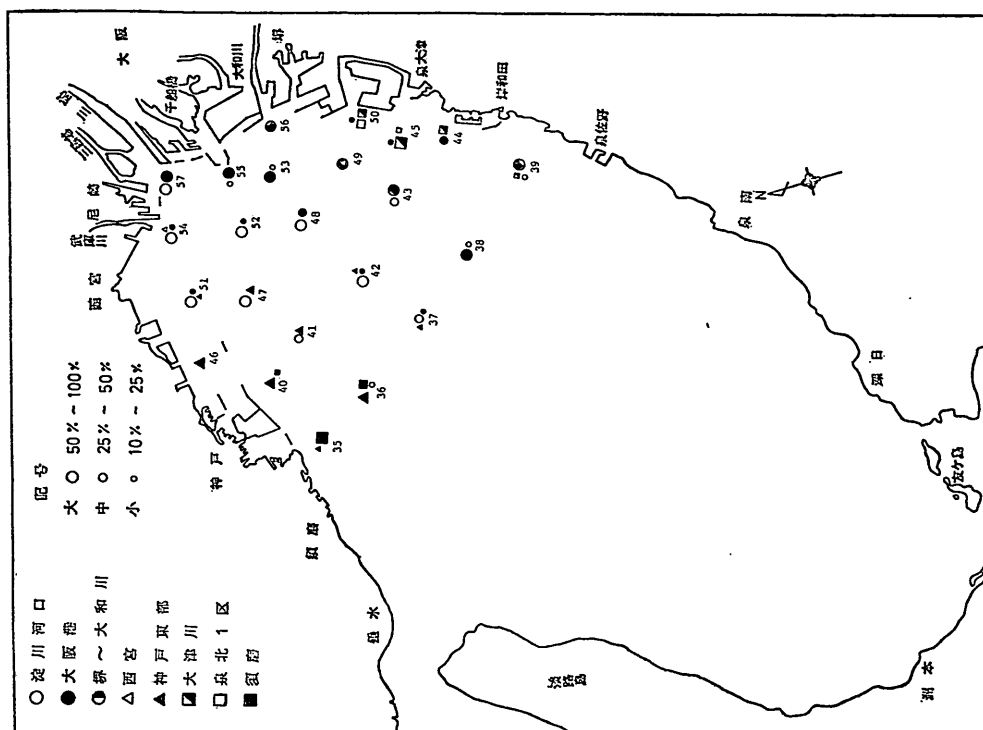


図-30 各汚染源の汚染寄与率 60%潮汐

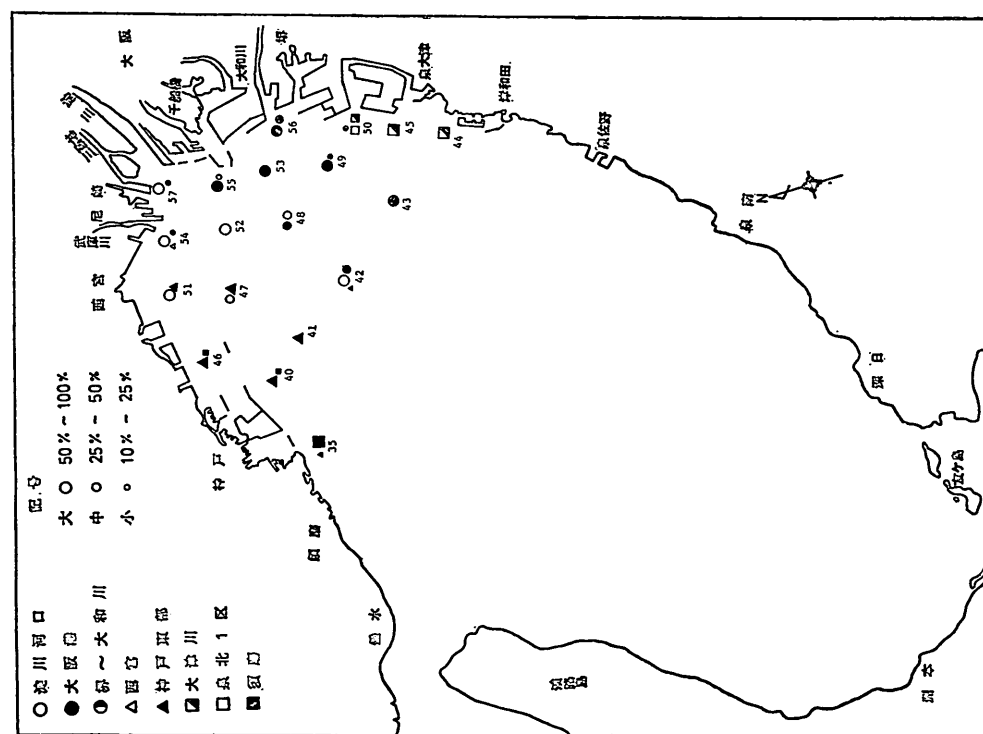


図-29 各汚染源の汚染寄与率 30%潮汐

(No. 46, No. 40)で70%以上という大きな寄与率を示している。また、この周辺海域でも20%前後の寄与率を示しているが、濃度は概して高くない。時間の経過とともに、淀川河口、大阪港からの投入の影響がでてきて、その寄与率は減少する傾向にある。湾東部海域への影響は全くない。

(f) 大津川 (■)

測点 No. 50, No. 45, No. 44 の南北方向に伸びた海域で、30%以上の寄与率を示している。この寄与率も、大阪港からの影響で若干減少する傾向を示している。湾東岸の海域を除いては、5%以上の値はみられず、寄与率は小さく、特に神戸側への影響はない。

(g) 泉北1区 (□)

大津川から投入した場合の寄与率の分布と類似しているが、寄与率の値は小さい。10%を越えた寄与率を示した測点は、No. 50とNo. 45の2点のみであった。他の海域での寄与率は数%であり、東部沿岸域での寄与率はゼロである。

(h) 須磨 (■)

投入点前面の測点 No. 35 では極端に大きな寄与率を

示しているが、濃度は小さい。この周辺海域 (No. 41, No. 37)でも10%以上の寄与率を示している。この投入点の負荷量は小さい割に、比較的寄与率が高いのは、大阪湾の恒流パターンの影響で、他の汚染源から須磨の海岸方向へはあまり拡散していないことによるものであると考えられる。

以上、現況地形について、各汚染源の寄与率を簡単にみたが、次に代表的な海域の測点と思われる5つの採水点について、各汚染源の汚染寄与率の時間的経過をグラフにプロットしてみると、図-31(a)~図-31(e)のよう

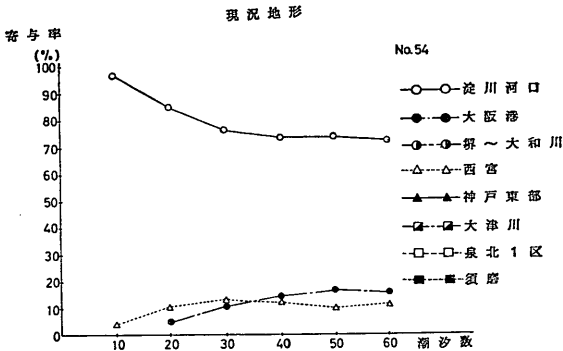


図-31(a) 寄与率の時間変化 現況地形 測点 No. 54

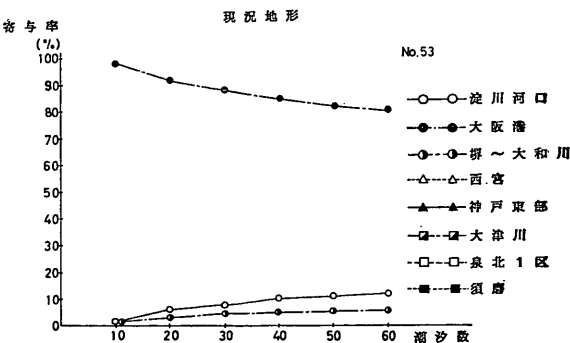


図-31(b) 寄与率の時間変化 現況地形 測点 No. 53

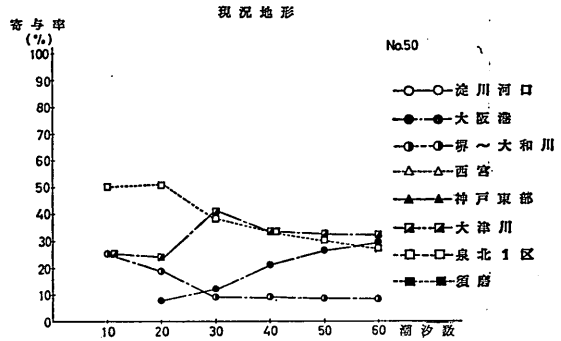


図-31(c) 寄与率の時間変化 現況地形 測点 No. 50

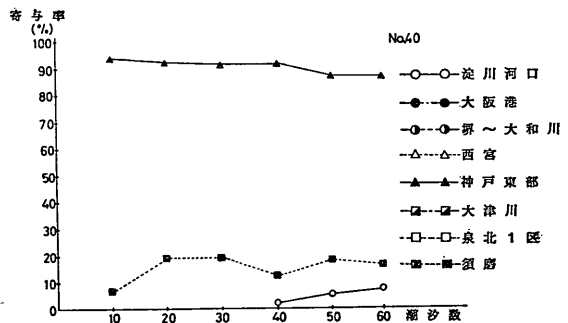


図-31(d) 寄与率の時間変化 現況地形 測点 No. 40

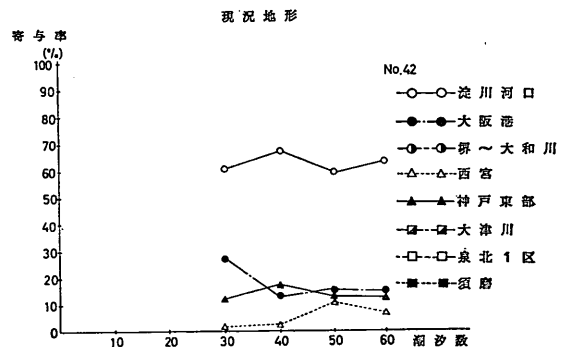


図-31(e) 寄与率の時間変化 現況地形 測点 No. 42

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)

である。湾奥北西部 (No. 54), 湾奥南東部 (No. 53), 泉北沖 (No. 50), 神戸沖 (No. 40), 湾中央 (No. 42) を代表海域として選んだ。No. 54 (図-31(a)) では、淀川河口の寄与率が最も大きい。その値は時間の経過につれて95%から72%へと減少する。西宮の寄与率は、10%を前後しており、大阪港の寄与率は5%~15%と増加しているのがわかる。また、測点No. 53 (図-31(b)) では逆に、大阪港の寄与率が97%から80%へと漸減してい

る。そして、淀川河口、堺大和川の投入点の寄与率が徐々に増加している。他の汚染源の寄与率は、高々1%位である。No. 50 (図-31(c)) では、大津川と泉北1区の寄与率がそれぞれ30%程度の値をもち、大阪港の寄与率が5%から30%と増加し、堺~大和川が25%から8%と減少

表-9 各汚染源の汚染寄与率 (55年埋立地形, 30潮汐目)

測点	淀川河口	大阪港	堺~大和川	西宮	神戸東部	大津川	泉北1区	須磨	全体の濃度
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb
57	92.4	5.7	0.1	0.1	0	0	0	0	5,090
56	6.7	33.7	52.2	0.2	0	2.8	4.3	0	1,245
55	17.2	80.8	1.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0	4,640
L	87.4	11.0	0.1	1.3	0.1	0	0	0	4,000
54	67.7	20.1	0.2	11.4	0.5	0	0	0.0	2,330
53	18.9	74.8	4.2	0.8	0.2	0.3	0.8	0	2,380
52	41.1	57.0	1.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0	3,510
K	58.6	17.9	0.6	15.6	5.7	0	0	1.5	850
51	63.6	16.0	0.1	16.4	3.2	0	0	0.6	1,480
50	7.3	56.5	16.9	0.2	0	12.4	6.7	0	510
49	13.4	58.9	20.3	0.4	0.1	2.1	4.8	0	1,250
J	31.4	64.7	1.4	1.5	0.6	0.1	0.2	0	2,670
48	36.8	49.2	0.9	10.5	2.1	0	0.1	0.3	752
47	59.5	14.4	0.1	18.9	5.9	0	0	1.2	1,060
46	16.9	2.6	0	6.7	73.1	0	0	0.7	1,200
45	0.6	4.5	5.6	0.2	0	61.7	27.4	0	490
G	23.5	54.2	16.9	1.4	0	1.2	2.9	0	1,110
H	50.4	13.7	0	21.0	13.3	0	0	1.5	710
I	38.5	7.9	0	19.6	28.9	0	0	5.1	490
44	0	0	0	0	0	90.0	10.0	0	30
43	21.3	58.7	12.5	3.1	0.2	0.6	2.9	0	455
42	52.2	7.4	0	29.8	9.6	0	0	1.0	312
41	53.4	9.8	0	16.6	18.5	0	0	1.8	730
40	39.7	7.0	0	23.9	24.8	0	0	4.5	355
C	7.5	60.0	25.0	2.5	0	2.5	2.5	0	40
D	35.5	18.4	1.3	42.1	2.6	0	0	0	76
E	47.4	5.6	0	32.1	13.2	0	0	1.7	234
F	27.1	4.2	0	45.8	14.6	0	0	8.3	48
39	—	—	—	—	—	—	—	—	2
38	14.8	51.8	11.1	22.2	0	0	0	0	27
37	22.9	2.1	0	27.9	8.3	0	0	0	48
36	26.6	3.1	0	54.7	14.1	0	0	1.6	64
35	0	0	0	3.3	3.3	0	0	93.3	30
A	—	—	—	—	—	—	—	—	2

表-10 各汚染源の汚染寄与率 (55年埋立地形, 60潮汐目)

測点	淀川河口	大阪港	堺~大和川	西宮	神戸東部	大津川	泉北1区	須磨	全体の濃度
	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb
57	89.2	10.2	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0	5,390
56	9.8	31.6	45.6	0.4	0.1	5.6	6.7	0.1	3,280
55	17.9	79.1	1.4	0.4	0.2	0.5	0.5	0.0	8,670
L	79.8	17.4	0.4	1.9	0.3	0.1	0.1	0.0	5,310
54	59.0	30.3	0.6	8.7	0.8	0.3	0.2	0.1	3,980
53	22.1	69.4	3.5	0.9	0.4	1.4	2.0	0.1	4,610
52	40.9	55.4	1.3	0.8	0.3	0.5	0.6	0.1	5,520
K	50.9	32.3	0.8	11.0	4.1	0.4	0.4	0	1,910
51	54.7	28.0	0.6	11.7	3.7	0.1	0.2	0.9	2,580
50	13.3	49.6	13.6	0.4	0.2	12.7	10.4	0	1,990
49	17.4	56.2	14.3	0.5	0.4	5.0	6.0	0.1	2,810
J	31.4	63.0	1.8	1.3	0.9	0.7	0.8	0.1	4,600
48	44.3	44.9	0.9	5.2	3.3	0.5	0.3	0.6	2,230
47	58.4	22.2	0.5	11.6	5.6	0.1	0.1	1.3	2,110
46	37.1	9.8	0.1	7.1	44.5	0.1	0	1.3	1,550
45	13.7	34.1	8.3	0.4	0.1	32.3	11.1	0	1,640
G	28.9	48.3	12.6	1.7	0.7	4.0	3.6	0.2	2,460
H	49.7	28.2	0.3	13.1	6.8	0.1	0.1	1.7	1,650
I	43.0	20.2	0.3	11.3	20.4	0	0.1	4.8	940
44	15.3	27.9	10.2	0	0	37.7	8.6	0	220
43	31.8	49.8	8.6	2.9	1.3	2.2	3.2	0.2	1,990
42	52.0	20.5	0.3	11.1	14.2	0	0	1.9	1,170
41	51.9	19.7	0.3	12.8	14.0	0	0	1.9	1,560
40	51.8	17.5	0.3	12.5	14.9	0	0	2.9	1,000
C	21.2	56.9	14.8	1.5	0.7	2.3	2.5	0.1	920
D	51.6	24.5	1.1	12.2	8.5	0.3	0.4	1.6	760
E	51.0	22.6	0.2	13.5	10.1	0	0	2.5	910
F	37.6	17.1	0	20.0	21.0	0	0	4.3	210
39	15.2	49.4	15.7	1.1	0	13.5	5.1	0	178
38	46.5	37.2	5.2	6.7	1.9	0.6	1.3	0.6	690
37	59.8	15.9	0.2	13.0	9.3	0	0	1.8	560
36	50.5	12.4	0	18.6	16.6	0	0	2.0	310
35	12.2	6.1	0	6.1	10.2	0	0	65.3	49
A	23.6	52.8	12.7	4.7	2.5	1.2	1.9	0.6	320
B	47.7	17.4	0	21.6	13.3	0	0	0	220
34	17.9	51.3	20.5	2.6	0	3.4	4.3	0	117
33	48.8	10.7	0	26.4	11.6	0	0	2.5	121

している。No. 40 (図-31(d)) では、神戸東部の寄与率が、80%前後、須磨の寄与率が18%を示し、60潮汐時でもまだ湾奥部の投入点からの拡散範囲にないため、この間の寄与率はほとんど変化しない。No. 42 (図-31(e)) では、淀川河口の寄与率が60%、大阪港、神戸東部の寄与率が15%前後の値を示している。

5.2.2 55年埋立計画地形での汚染寄与率

同様の検討を55年埋立地形についても行ってみる。表-9は30潮汐時の汚染寄与率を示し、表-10は60潮汐時の汚染寄与率を示す。現況時の汚染寄与率と比較しながら観察する。採水点の数は、現況時よりも10点増加して、湾奥部の測定間隔を密にした。まず、表-9、表-10から全体の濃度の結果を調べると、現況時と比べて湾奥部は濃度が小さく、55年埋立地形の方が拡散範囲が広いことがわかる。汚染寄与率の分布は、大阪湾北西部では淀川河口が南東部では大阪港からの寄与率が大きいという傾向は同じである。しかし、このケースの方が拡散速度が速いために、負荷量の大きな淀川河口、大阪港の影響が比較的湾中央部の領域でも現われており、高い寄与率を示している。図-29、図-30と同様に表-9と表-10の寄与率を記号で表わしたものが、図-32、図-33である。これらの図より、大阪湾の左半分が白丸(淀川河口)、右半分が黒丸(大阪港)の影響が強いことがわかる。

つぎに各汚染源別に寄与率の分布を調べてみる。

(a) 淀川河口 (○)

大阪湾北西部の汚染度の寄与率は、淀川河口のものが大きく、湾奥部では50%の値を越えている。特に、測点No. 57とLでの寄与率が大きい。現況時のそれと比べると、寄与率の分布の傾向は同じであるが、湾奥部においてその値は減少し、湾中央部で増加しているのがわかる。これは、55年埋立地形の方が、拡散速度が速いためである。但し、No. 57の寄与率は現況時よりも大きい。この原因は、埋立地の設置により、大阪港からの染料の拡散の影響が少なかったことによるものと考えられる。

(b) 大阪港 (●)

現況時と同様、湾南東部の寄与率が大きく、泉大津、岸和田沖を除いた海域で50%の値を越えている。湾北西部の海域では、西宮前面で25~50%の寄与率を示しているが、他の海域では10%~25%である。現況時と比べると、拡散範囲が広がったために、湾中部、神戸沖の海域でも10%以上の寄与率を示している。この点の投入点の寄与率も、時間の経過に従って、値の大きい測点では減少、小さい測点では増加の傾向がみられる。

(c) 堺~大和川 (●)

投入点前面の海域(No. 56)で40%以上の高い寄与率を示している。現況時には、この測点は大阪港の影響が強かったが、埋立の造成により、大阪港の影響が弱くなって、堺~大和川の寄与率が大きくなったものであり、濃度の値は半分以下に減少している。堺~泉佐野にわたっての湾東部沿岸寄りの海域は10%以上の寄与率を示しており、現況時のそれよりも大きい。

(d) 西宮 (△)

現況時と同じく、投入点前面では淀川河口の影響が大きく、寄与率は10%前後を示しているに過ぎない。しかしながら、湾北西部の湾央側で10%以上の寄与率となり、55年埋立地形での拡散の速度の早いことを示している。湾南東部の海域では、寄与率は高々2~3%である。

(e) 神戸東部 (▲)

投入点付近のNo. 46で45%の寄与率、その周辺で10%以上の寄与率を示している。現況時には、この海域は20~80%という高い寄与率であったが、このケースでは淀川河口の拡散が速いために、その影響が現われて、神戸東部の寄与率が小さくなっている。湾南東側の海域への影響はほとんどない。

(f) 大津川 (■)

測点No. 45, No. 44で30%以上の寄与率を示し、南北に伸びた分布をしており、現況時と類似している。しかしながら、その大きさは現況時に比して小さく、また時間の経過につれて、若干減少する傾向にある。他の海域では、東部沿岸域で数%の寄与率を示しているにすぎない。

(g) 泉北1区 (□)

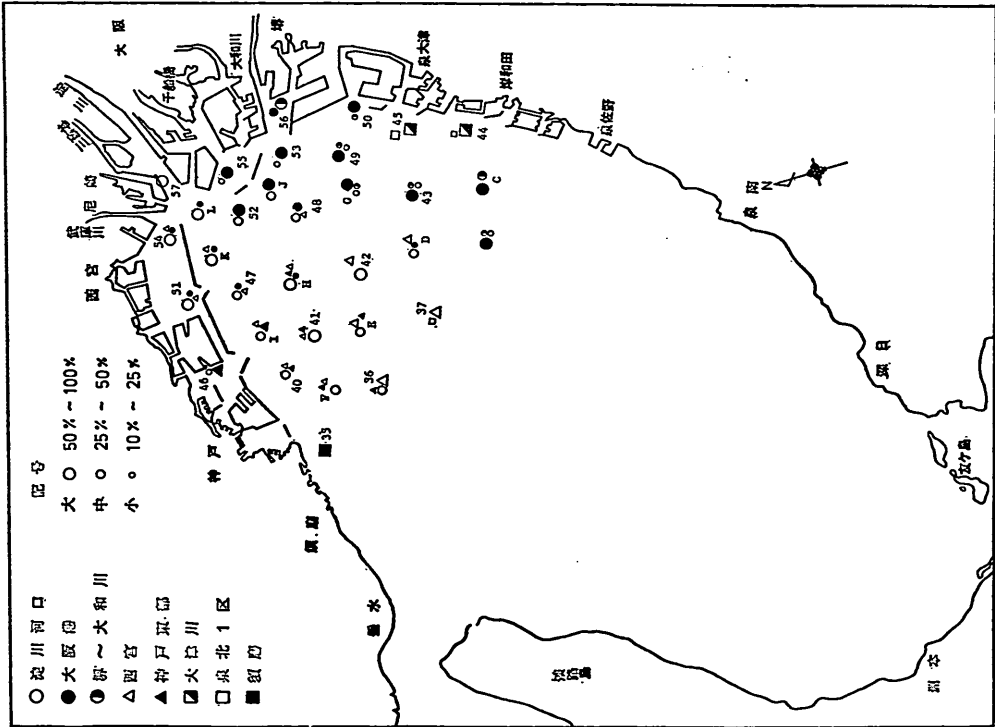
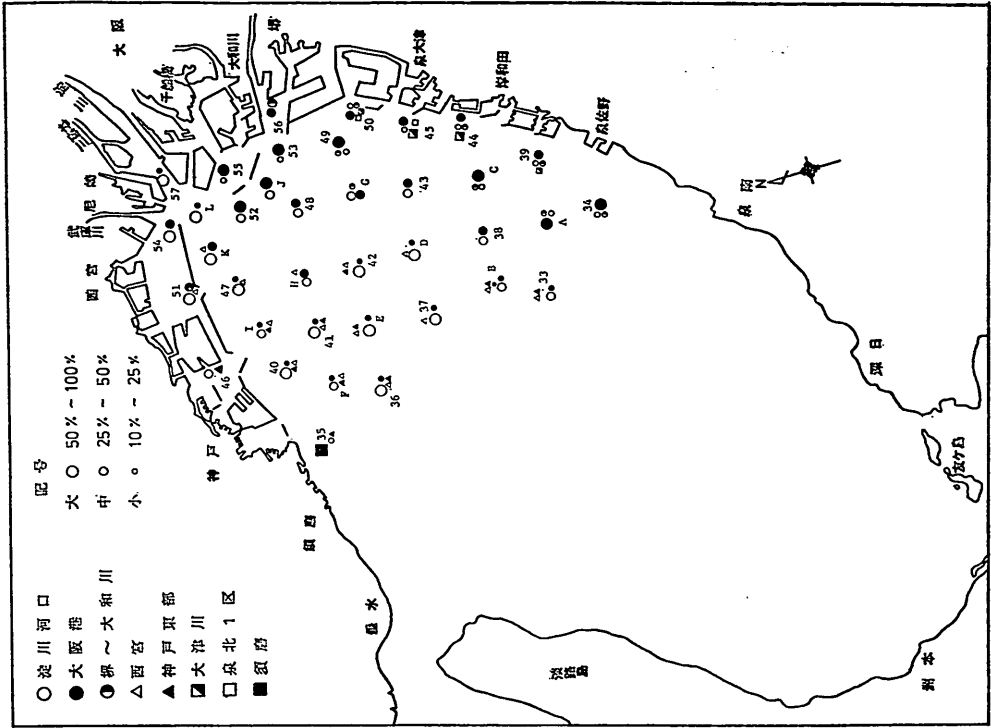
大津川のケースと同じで、No. 50, No. 45, No. 44と南北に伸びた測点で10%前後の寄与率を示している。他の海域は、東部沿岸で高々数パーセントであり、それよりも沖側及び神戸寄りの海域では、寄与率はほとんどゼロである。

(h) 須磨 (■)

投入点前面の測点No. 35で、寄与率65%の高い値を示しているが、他の海域で10%を越える測点はない。特に、60潮汐ではNo. 35以外の海域では寄与率が小さく、湾北西部で2~4%、湾央部及び南東部では1%以下の寄与率となっている。これは、現況時に5%以上の寄与率を示した測点が6点もあったことを考えると、かなり小さいことがわかる。

前と同様に、代表的な海域6地点について、各汚染源の汚染寄与率の時間変化を調べてみる。それらの結果を図-34(a)~図-34(f)に示す。湾奥北西部(測点L、図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験 (第2報)



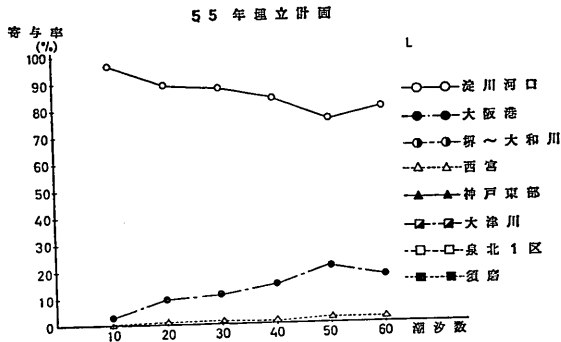


図-34(a) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点L

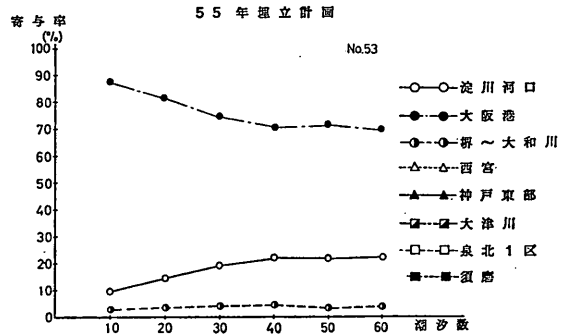


図-34(b) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点No. 53

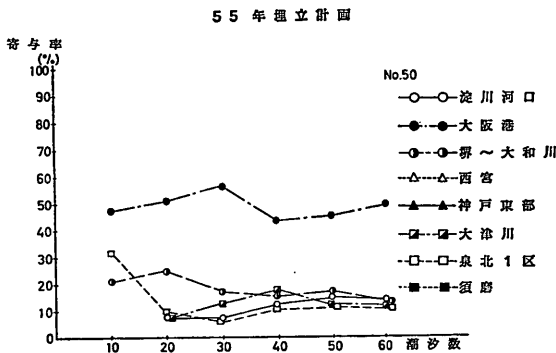


図-34(c) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点No. 50

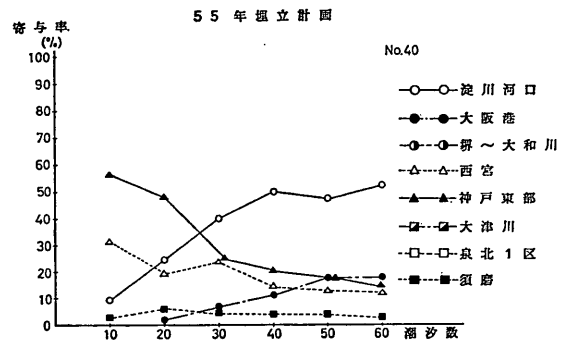


図-34(d) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点No. 40

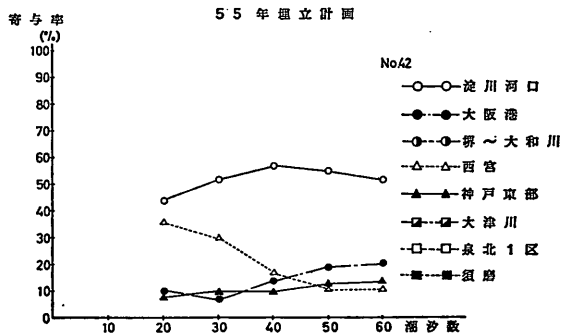


図-34(e) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点No. 42

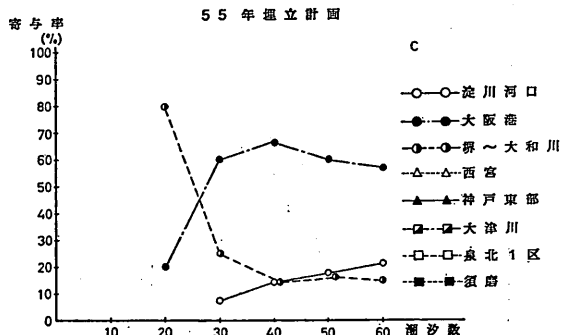


図-34(f) 寄与率の時間変化 55年埋立地形 測点No. C

図-34(a), 湾奥南東部(No. 53, 図-34(b))の海域での寄与率は現況時と大体同じパターンであり, その海域に近い負荷量の大きい投入点の寄与率が高い値を示しながら, 僅かに減少し, 他の負荷量の大きい投入点の寄与率が徐々に増加するというパターンをとっている。No. 42 (図-34(e))の寄与率も現況時とはほぼ同じである。しかしながら, 神戸沖のNo. 40(図-34(d)), 湾東部のNo. 50 (図-34(c))の寄与率は現況時のそれと大きく異っている。現況時においては, 海域の近くの投入点の寄与率

(前者は神戸東部, 後者は泉北1区と大津川)が大きな値を示しているが, 55年埋立地形の場合は, 拡散速度が現況時に比べて早いために, 湾奥部の負荷量の大きな投入点の影響が現われて, 海域近くの投入点の寄与率は, 時間の経過とともに大幅に減少する傾向にある。例えば, No. 40での神戸東部の寄与率の推移をみると, 55%から15%へと減少し, 逆に澁川河口の寄与率が10%から50%へと増加している。

5.2.3 汚染寄与率の一般的特徴

以上、大阪湾の主要な汚染源の汚染寄与率を、現況地形、55年埋立地形について述べた。これらの寄与率の一般的な傾向として、負荷量の大きな大阪港、淀川河口の寄与率は、投入点付近の海域では、初期の段階において90%以上の高い値を示しているが、時間が経過するに従って、その寄与率は徐々に減少する傾向がある。しかしながら、負荷量が大きいため、その寄与率が50%以下になることはないであろう。逆に、投入点から離れた海域では、初期の段階では、その海域はまだ拡散範囲に入っていないので、低い値の寄与率を示しているにすぎないが、時間がたつに従って拡散範囲が拡がり、その寄与率も徐々に増加するようになる。

次に、負荷量の比較的小さい投入点の寄与率の傾向をみる。投入点近くに負荷量の大きな投入点がない場合は、投入開始後10~30潮汐位までは、投入点付近の海域での寄与率はかなり大きく、50%以上の値を示している。しかしながら、湾奥部の染料の拡散が進行するにつれて、負荷量の大きな投入点の寄与率が上昇し、負荷量の小さな投入点の寄与率は10~20%前後に大きく減少する。特に、西宮の場合のように、近くに淀川河口という負荷量の大きな投入点があった場合には、10潮汐の段階から淀川河口の寄与率が大半をしめており、西宮の投入点の寄与率は、高々10%前後である。

本実験は60潮汐までで終了しているが、この間の寄与率の時間的経過をみても、まだ定常状態に達しておらず、更に変化することが予想される。しかしながら、染料拡散のような保存系物質の拡散の場合は、定常状態に達するのに、非常に長い時間の実験が必要となる。また、実際の汚染を考えた場合には、非保存系の物質について考慮しなければならず、更に難しい問題となる。従って、ここで述べた60潮汐目までの寄与率は、定常状態での汚染の寄与率を示すものではないが、定性的な傾向は把握できるものと考えられる。

6. まとめ

本研究は水理模型を用いて、大阪湾の主要な汚染源の湾内の汚染度への寄与率を求め、以下のことが明らかになった。
現況地形について

(1). 大阪湾の海水汚染に対しては、汚濁負荷量の大きな淀川河口、大阪港の寄与率が大きい。特に、大阪湾の北西側半分は淀川河口の寄与率が大きく、南東側半分は大阪港のそれが大きい。

(2). その他の投入点の寄与率は、投入点前面の海域でかなり大きな値を示すが、他の海域では、その汚染源の拡散範囲であっても、寄与率は数パーセントである。
(3). 寄与率の時間的経過をみると、その海域に近い汚染源の寄与率は、初期の段階では極端に高い値を示すが、時間が経過するに従って、その寄与率は徐々に減少する傾向にあり、特に負荷量の小さな投入点の場合には、それが顕著である。また逆に、負荷量が大きくて、その投入点の位置が対象海域と離れている場合には、その汚染源の寄与率は時間が経過するに従って、徐々に増加する傾向にある。

55年埋立計画地形について

(4). 現況時の(1)とほぼ同じく、淀川河口と大阪港の寄与率が大きい。しかしながら、西宮前面に設置した防波堤あるいは、大阪港沖に設置した防波堤等の影響により、染料の拡散が促進されるので、これら2つの投入点の寄与率の大きな範囲が、かなり湾奥部にまで拡がっている。

(5). その他の汚染源の寄与率は、現況時の(2)と同様であるが、拡散が促進されることにより、投入点前面の寄与率が若干小さな値となっており、他の海域では寄与率は増加して、10~20%程度になっているところもある。

(6). 時間の経過とともに寄与率が減少する傾向は、55年埋立地形において特に顕著である。負荷量の小さな投入点の寄与率は、60%から20%以下に減少している（図-34(d), No. 40の神戸東部）。

その他

(7) 現況地形と55年埋立地形での拡散パターンを比較してみると、後者の方が拡散が早い。これは、西宮前面、あるいは大阪港沖に設置された防波堤の開口部等に強い流れが発生し、これによる渦の形成が染料の拡散を促進するものと考えられる。

(8). 拡散実験の重ね合わせは、繰返し再現性の良いケースについては成立する。

7. あとがき

拡散実験の線型重ね合わせの可能性、あるいは地形の変化による拡散パターンへの影響等を調べる場合に、実験の繰返し再現性が良好であることが必要とされる。この点に関しては文末の付録で、同一条件の実験を2~3回行い、その濃度分布図からこの検討を試みた。実験時の拡散範囲のスケッチで、かなり類似した拡散パターンを示す場合でも、各測点の濃度はかなり大きな差異とな

る場合がある。そこで、湾内全体の濃度分布に注目し、実験の繰返し再現性を示す方法として、各々の実験の濃度値による再現係数を式(4)～式(6)で求め、これを拡散実験の繰返し再現性を示す指標とした。しかしながら、後述する式(4)～式(6)は相関係数を求める式であって、必ずしも実験の繰返し再現性を的確に示すものではない。今回の解析では、他に適当な指標を見出し得なかったことと、表-11より、ある程度繰返し再現性を表わす指標となりうるものと考えてこの相関係数を利用した。今後、この種のようにバラツキの大きい実験の繰返し再現性を示す指標について、よりの確かな表示法を考えていく必要がある。

以上述べてきたことは、染料による汚染拡散実験についてであり、吸着等の減衰を除けば、保存系物質の拡散であると考えられる。しかし、実際の汚染物質（例えばCOD）を考えると、一般に非保存系の物質であって、自浄作用による減衰とか、生物生産による増加等の問題があり、かなり複雑である。また、本研究ではふれなかった拡散実験の相似律についても、まだ明確な理論付けがなされていない。特に、模型歪の効果等が問題となる。更に、原型の流れの再現に関しても、海流とか風による恒流パターンへの影響、あるいは夏季の温度躍層の問題等、なお不明確な点も多く、今後の課題として残る。

最後にあたり、この実験は運輸省第三港湾建設局の委託により実施したもので、資料の収集等、第三港湾建設局の協力を得た。また、実験の実施にあたっては、建設技術研究所の光山、本間両氏の協力を得、図面の作製については当研究所海水浄化研究室技官三好英一君の協力を得た。さらに、本報告のとりまとめにあたっては、佐藤昭二海洋水理部長に種々の貴重な御助言、御指導を戴いた。これらの方々に深く感謝いたします。

(昭和51年3月31日受付)

参 考 文 献

- 1) 樋口明生, 杉本隆成: 潮流による拡散の水理模型実験について(Ⅲ), 京大防災研年報第12号B, 昭44年3月.
- 2) 和田明, 加藤正進, 片野尚明: 潮汐水理模型による沿岸海洋現象の再現性, 第18回水理講演会, 1974.2.
- 3) Fischer, H.B. and E.R. Holley: Analysis of the use of distorted hydraulic model for dispersion studies, Water Resources Res., 1971.
- 4) 金子安雄, 堀江毅, 村上和男, 上野信行, 久保正則: 大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験, 港研報告, Vol. 12, No. 3, 1973.

- 5) 金子安雄, 堀江毅, 村上和男, 亀山豊: 東京湾の潮流による物質拡散の水理模型実験, 港研報告, Vol. 13, No. 3, 1974.
- 6) 金子安雄, 堀江毅, 村上和男: ADI法による潮流汚染拡散の数値計算, 港研報告, Vol. 14, No. 1, 1975.
- 7) 日野幹雄: 流体力学, 理工学基礎講座16, 朝倉書店, 昭和49年3月.
- 8) 杉本昭典: 水質汚濁一現象と防止対策一, 技報堂, 昭和49年4月.
- 9) Taylor, G.I.: Diffusion by continuous movements, Proc. London Math. Soc., Ser. 2, Vol. 20, 1921.
- 10) Richardson, L.F.: Atmospheric diffusion shown on distance-neighbour graph, Proc. Roy. Soc. A, Vol. 110, 1926.
- 11) Elder, J.W. The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow, Jour. Fluid Mech. Vol. 5, 1959.
- 12) 数理計画: 瀬戸内海許容汚濁負荷量算定のための水質調査結果の解析および水質汚濁拡散モデルの開発, 昭和47年5月.
- 13) O'Connell, R. L. and C. M. Walter: Hydraulic model test of estuarial waste dispersion, Proc. ASCE Vol. 89, SA 1, 1963.
- 14) たとえば, 城松幸: 瀬戸内海の気象と海象, 海洋気象学会誌, Vol. 13, No. 1~2, 1967.
- 15) たとえば, 建設省河川局編: 流量年表, 昭和43年度版.
- 16) 環境庁水質保全局: 瀬戸内海水質汚濁総合調査, 昭和48年.
- 17) たとえば, 渡辺光夫: ケイ光分析, 広川書店, 1970.

付録. 拡散実験の繰返し再現性について

既に述べたように、拡散実験を行なう際に、同一条件の実験を数回繰返して行っても、必ずしも同じ濃度分布が得られるとは限らない。このことは、地形変化に基づく拡散現象の変化を調べようとする場合に、大きな障害となる。例えば、僅かな地形変化によって生じた拡散パターンの変化が、実験誤差の範囲に納ってしまった場合、その実験ではそれ以下の細かい変化について議論することは無意味である。そこで、水理模型による拡散実験の精度を上げるために、また、実験によって知りうる

濃度変化の限界を明らかにするために、拡散実験の繰返し再現性について検討を行った。

拡散現象はランダムな過程であって、その運動は不規則に変動し、また、実験誤差を伴うため、全く同じ結果が得られることは期待できない。しかしながら、地形変化による拡散パターンの影響を調べようとする場合には、同一条件での実験で、かなり類似したパターンが得られることが最小限必要とされる。そこで、実験時の不注意による誤差(例えば、染料の投入量、投入方法、濃度分析法、風の侵入、潮汐の入力条件、その他)をできる限り小さくして、同じ条件の実験を2~3回繰返し

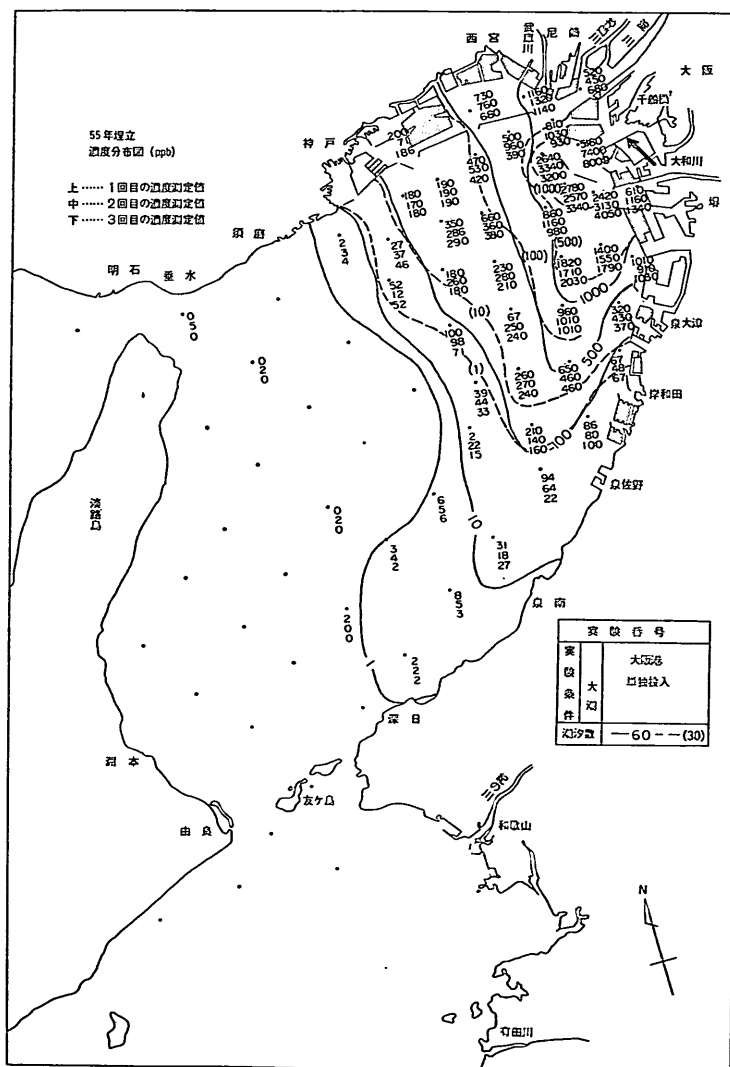


図-35 濃度分布図 単独投入実験 大阪港より投入, 55年埋立地形 60潮汐 (単位 ppb)

て行ない、どの程度類似した結果が得られるかを調べてみた。また、実験時に、類似した拡散パターンが得られていることを確認するために、採水と同時に染料の拡散パターンを目視にてスケッチを行った。このように注意深く実験を行っても、採水点での濃度結果を調べると、なおオーダーのスケールで異なる結果が得られることがある。この原因としては、目視によるスケッチは単なる染料の拡散範囲を示すものであるし、また、染料の拡散範囲と採水点の位置の微妙な関係で大きな違いとなって表われることにもよる。そこで、個々の採水点についての濃度の差を問題にするのではなく、全体的にみて、1回目と2回目の実験結果で、どの程度類似した分布を示すかを調べるため、各測定点の濃度値を変数にして1回目の濃度分布と2回目の濃度分布との相関を求め、これを再現係数とした。この再現係数をつぎの式(13)~式(15)で求め、実験の繰返し再現性を示す指標とした。

$$r^{(1)} = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(1)} - \bar{x}^{(1)}) (y_i^{(1)} - \bar{y}^{(1)})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(1)} - \bar{x}^{(1)})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_i^{(1)} - \bar{y}^{(1)})^2}} \quad (13)$$

$$r^{(2)} = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(2)} - \bar{x}^{(2)}) (y_i^{(2)} - \bar{y}^{(2)})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(2)} - \bar{x}^{(2)})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_i^{(2)} - \bar{y}^{(2)})^2}} \quad (14)$$

$$r^{(3)} = \frac{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(3)} - \bar{x}^{(3)}) (y_i^{(3)} - \bar{y}^{(3)})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i^{(3)} - \bar{x}^{(3)})^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y_i^{(3)} - \bar{y}^{(3)})^2}} \quad (15)$$

ここで、 $x_i^{(1)}$, $y_i^{(1)}$: 測点 i での1回目の濃度と2回目の濃度 (単位 ppb), $x_i^{(2)} = \sqrt{x_i^{(1)}}$, $y_i^{(2)} = \sqrt{y_i^{(1)}}$, $x_i^{(3)} = \log_{10} x_i^{(1)}$, $y_i^{(3)} = \log_{10} y_i^{(1)}$, $\bar{x}^{(1)} = \frac{1}{N} \sum x_i^{(1)}$, $\bar{y}^{(1)} = \frac{1}{N} \sum y_i^{(1)}$, ..., N : 採水点の数を示す。

$r^{(1)}$ は濃度分析値 (単位 ppb) そのままの再現係数, $r^{(2)}$ は濃度値の平方根をとった場合の再現係数, $r^{(3)}$ は濃度値の対数を取った場合の再現係数を表わす。式(13)~式(15)は相関係数を求める式であって、再現係数は便宜的に付けたものである。相関係数の本来の意味は、2変量間の密接さの程度を表わすものである。この意味からは、本実験のように総て同じ条件の下で実験した場合の、濃度の繰返し再現性を検討するには十分でない。例えば、総ての測定点において、2回目の実験濃度値が1回目の実験濃度値の1/2になった場合でも、相関係数は1.0となり、実験の繰返し再現性とは無縁なものになってしまう。一方、実験の繰返し再現性を求める場合、各測定点濃度の変動値の分散あるいは標準偏差等を求め

て、確率論的に比較する方法が考えられるが、この方法も測定点の位置、配置密度が関係し、必ずしも模型面全般の濃度パターンの繰返し再現性を的確に表示できると

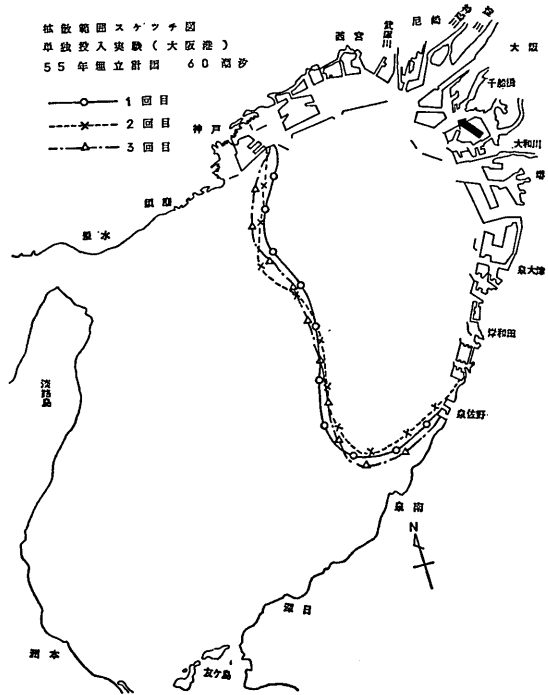


図-36 拡散範囲スケッチ図 (55年埋立地形)

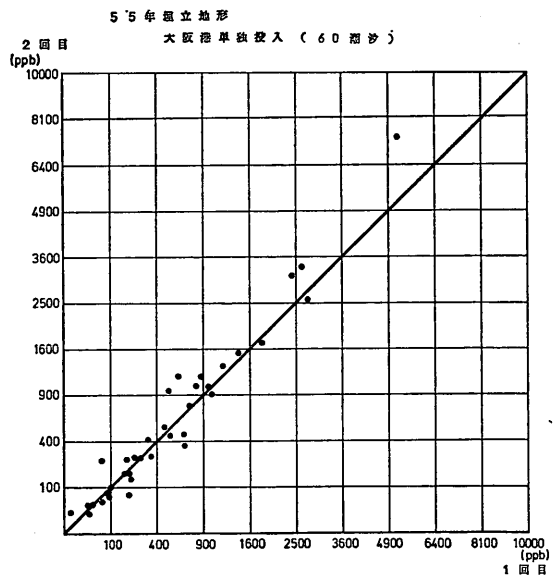


図-37 単独投入実験 (大阪港, 55年埋立) 1回目と2回目の濃度分布図の相関図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

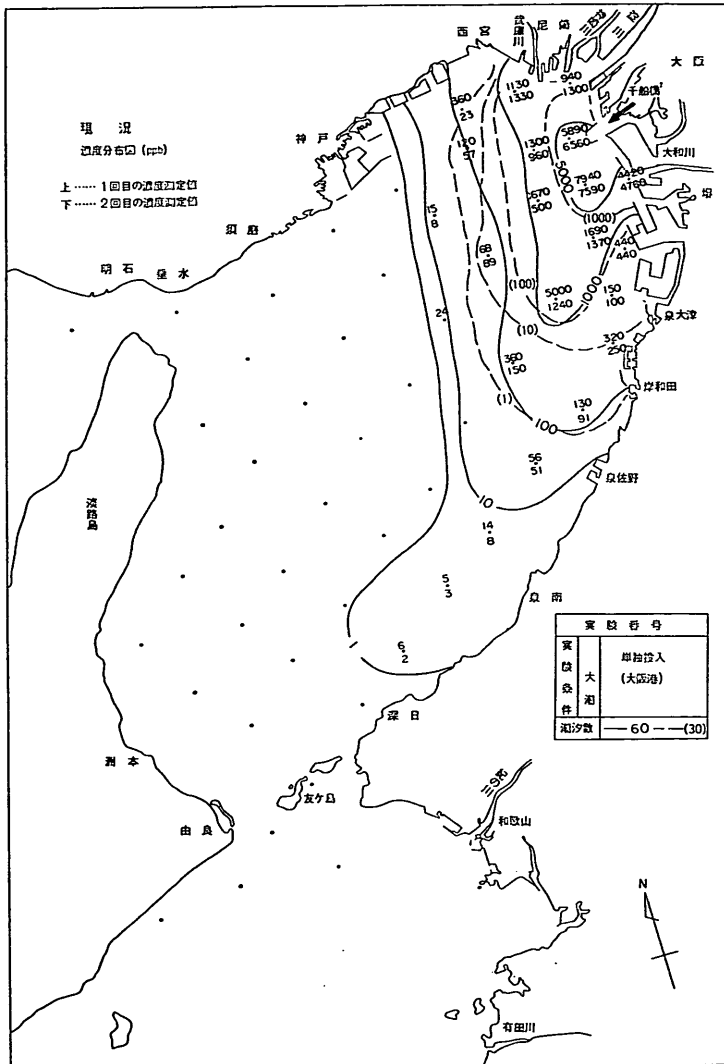


図-38 濃度分布図 単独投入実験 大阪港より投入、現況地形、60潮汐 (単位 ppb)

は限らない。また特に今回の実験のように実験回数が2～3回程度に限定されるような場合には、このような分散あるいは標準偏差等の統計量を求めることは困難である。そこで、各回の測定毎の実験濃度値を、1回目の濃度を横軸に2回目の濃度を縦軸にプロットして両者の比較を考えてみる。この比較法によれば、各回各測点の実験濃度が合致すれば、比較点は45°線上に並ぶはずである。ところが、この種の実験結果では一般にはこの線を中心にして分散する。そこで、この分散の程度を知る一方法として上記相関係数を利用し、実験の繰返し再現性を示す指標とし、以下の解析を行った。

再現係数を求める際に、変数として濃度測定値(式(13))、その平方根値(式(14))、および対数値(式(15))を採用したが、この理由は、測得値をそのまま採用した場合、高濃度の測点が1点でもあると、その影響が強く現われるし、逆に、対数値を用いると、低濃度領域の差異の効果が強く現われる結果となる。そこで、模型面全体の濃度パターンの繰返し再現性を考慮しながら、これらの影響をできるだけ押えるものとして、濃度の平方根値による相関を考え、3つの再現係数により、拡散実験の繰返し再現性を検討した。

図-35に55年埋立計画地形の大阪港から染料を投入し

た場合の60潮汐目の濃度分布図を示す。実験を3回行って、採水位置に3つの結果を並記して示す。この図をみると、3回の実験結果はほぼ近い値を示しており、実験の繰返し再現性が良いことを示している。図-36に示すのが実験時に行った目視によるスケッチの60潮汐目の場合である。実線が1回目、破線が2回目、一点鎖線が3回目の実験結果を示す。目視によって観察しうる拡散範囲は、ほぼ10ppbのコンターラインに相当する。この図からも、実験の繰返し再現性が満足できる結果であることがわかる。図-35の濃度結果から式(13)~式(15)で再現係数を求めてみると、1回目と2回目と $r^{(1)}=0.980$, $r^{(2)}=0.978$, $r^{(3)}=0.944$, 1回目と3回目と $r^{(1)}=0.983$, $r^{(2)}=0.980$, $r^{(3)}=0.954$, 2回目と3回目と $r^{(1)}=0.990$, $r^{(2)}=0.987$, $r^{(3)}=0.969$ の値が得られる。変数が濃度測定値の平方根について、各測定点における1回目の濃度を横軸に、2回目の濃度を縦軸にプロットしたものが図-37である。若干の点を除いて全般的に45°の直線の近くに散在しているものとみなすことができる。前に求めた $r^{(2)}$ は、この図における45°の直線からの散らばり程度を示す指標であると考えられる。

次に、図-38に現況地形での大阪港から染料を投入した場合の60潮汐目の濃度分布図を示す。このケースの実

験回数は2回である。図-38をみると、投入点付近ではかなり良い結果を示すが、No. 51, No. 43の測点(図-7参照)の濃度は1回目の方がかなり高い。前ケースと同様に実験時の観察スケッチ(図-39)をみると、1回目と2回目はほぼ同じパターンで拡がっていると考えられる。しかしながら、神戸側の拡散の仕方は1回目の方が若干大きい。このように、拡散範囲の僅かな違いが、採水点の位置の関係で大きく異なった濃度測定値となって現われてくる。この実験ケースについても式(13)~式(15)で実験の再現係数を求めると、 $r^{(1)}=0.927$, $r^{(2)}=0.945$, $r^{(3)}=0.948$ の値が得られる。図-37と同様に、各測定点における1回目の濃度結果を横軸に、2回目の濃度結果を縦軸にプロットしたものが図-40である。45°の直線からのバラツキが、図-37に比べて少し大きいことがわかり、このケースの実験の繰返し再現性が余りよくなかったことを示している。図-37, 図-40からもわかるように、45°の直線からの点のバラツキの程度が、実験の繰返し再現性の程度を表わしており、また式(14)の再現係数も、この点の45°線上からのバラツキの程度を表わすものであることから、拡散実験の繰返し再現性を表わす一指標として用いることは、可能であると考えられる。表-11に今回行った全実験ケースの再現係数を示す。こ

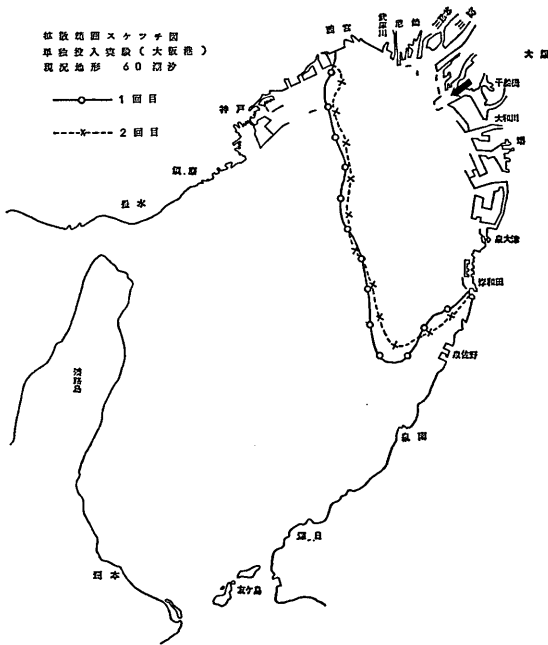


図-39 拡散範囲スケッチ図(現況地形)

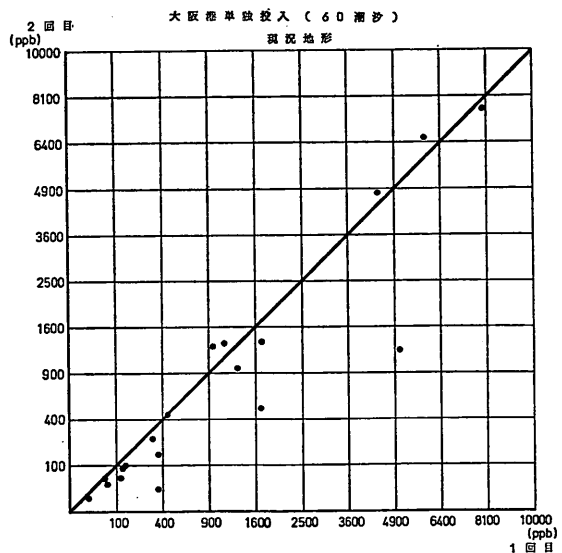


図-40 単独投入実験(大阪港, 現況) 1回目と2回目の濃度分布図の相関図

大阪湾の潮流と物質拡散に関する模型実験（第2報）

表-11 濃度分布の繰返し再現係数

Case.	地 形	投 入 点	比 較	$r^{(1)}$ (13)式	$r^{(2)}$ (14)式	$r^{(3)}$ (15)式	
1	現 況	淀 川	①~②	0.968	0.922	0.768	
2	"	大 阪 港	①~②	0.927	0.945	0.948	
3	"	神 戸 東 部	①~②	0.990	0.984	0.966	
4	"	堺~大和川	①~②	0.978	0.983	0.985	○
5	"	西 宮	①~②	0.781	0.831	0.846	
			①~③	0.697	0.666	0.590	
			②~③	0.909	0.800	0.696	
6	"	大 津 川	①~②	0.986	0.977	0.911	○
			①~③	0.994	0.974	0.828	
			②~③	0.980	0.978	0.962	
7	"	泉 北	①~②	0.846	0.842	0.877	○
			①~③	0.954	0.956	0.956	
			②~③	0.882	0.888	0.902	
8	"	須 磨	①~②	0.842	0.821	0.773	
			①~③	0.818	0.875	0.834	
			②~③	0.846	0.842	0.805	
9	55年地形	淀 川	①~②	0.993	0.990	0.986	○
			①~③	0.978	0.989	0.986	
			②~③	0.976	0.982	0.983	
10	"	大 阪 港	①~②	0.980	0.978	0.944	○
			①~③	0.983	0.980	0.954	
			②~③	0.990	0.987	0.969	
11	"	神 戸 東 部	①~②	0.969	0.951	0.935	○
			①~③	0.884	0.876	0.880	
			②~③	0.928	0.932	0.952	
12	"	堺~大和川	①~②	0.993	0.987	0.961	○
			①~③	0.959	0.948	0.938	
			②~③	0.961	0.942	0.935	
13	"	西 宮	①~②	0.953	0.964	0.969	○
			①~③	0.856	0.932	0.945	
			②~③	0.922	0.960	0.960	
14	"	大 津 川	①~②	0.966	0.956	0.863	○
			①~③	0.989	0.988	0.982	
			②~③	0.984	0.965	0.860	
15	"	泉 北	①~②	0.976	0.978	0.952	○
			①~③	0.951	0.960	0.922	
			②~③	0.975	0.958	0.873	
16	55年地形	須 磨	①~②	0.958	0.968	0.965	○
			①~③	0.939	0.931	0.886	
			②~③	0.942	0.952	0.955	
17	現 況	4 点	①~②	0.850	0.897	0.923	
18	55年地形	4 点	①~②	0.954	0.974	0.969	○
			①~③	0.928	0.962	0.965	
			②~③	0.938	0.969	0.969	
19	現 況	全 点	①~②	0.874	0.910	0.937	
20	55年地形	全 点	①~②	0.969	0.975	0.962	○
			①~③	0.944	0.961	0.951	
			②~③	0.975	0.979	0.957	

の表の最右欄に、実験時のスケッチ及び濃度分布図から判断した場合に、繰返し再現性が良好と思われるケースについて○印を付けている。表-11から $r^{(1)}$, $r^{(2)}$, $r^{(3)}$ の値をそれぞれ比較すると、○印の付いているケースは、大体において3つの値とも、0.96~0.97以上の値を示しているが、Case 14のように $r^{(3)}$ の値が低かったり、Case 18のように $r^{(1)}$ の値が低い結果を示しながら、全体的にみて繰返し再現性は良好とみなせるケースもある。また、Case 1のように、 $r^{(1)}$ はかなり高く、 $r^{(2)}$ がやや低く、 $r^{(3)}$ が極端に低いという結果が得られたケースもある。これは前にも述べたように、これらの再現係数は、変数の性格上、 $r^{(1)}$ は濃度の大きい結果に支配され、また $r^{(3)}$ は、濃度の小さい結果に左右されるため、その両者の影響を緩和した $r^{(2)}$ の値が、繰返し再現性を表わす指標としては、最適と考えられる。さらに、表-11より、 $r^{(2)}$ の値が0.96~0.97以上であれば、実験の繰返し再現性はほぼ満足できる結果であるとみなしうる。ただし、このようにして求めた再現係数は、採水点の数、位置などによって変化することが当然考えられ、絶対的な値とはなり得ないが、定性的には繰返し再現性を表わす指標に成り得るであろうと思われる。

実験条件の変化をできる限り小さくするように注意深く行った実験でも、繰返し再現性は時として、かなり悪い結果となることが表-11からも読みとれる。実験の繰返し再現性を悪くする原因の一つとして、余り明確ではないが、模型内の水の温度差による密度流的な流れの発生が考えられ、この影響が大きいのではないかと考えられる。表-4の現況地形の実験が夏から秋にかけての実験で、比較的気温、水温が高く、55年埋立地形の実験は冬から春にかけて行なわれた実験で、気温、水温が低い。後者の実験ケースの方が、前者のそれに比して一般

的に繰返し再現性が良いように思われる。表-12は、実験時に測定した水温、汚染トレーサーの温度、室温等の一例である。このように、模型内の水温の僅かな差が密度流現象を起こしているとしても、このような大規模な模型の気温、水温を制御することは、容易でない。水温の影響を調べるべく統一的な実験を行っていないので、推測の域を出ないが、拡散実験を行なうには、夏季よりも冬季の方が適しているものと考えられる。

その他、実験の繰返し再現性が悪くなる原因として、入力条件による誤差、分析器による誤差等も当然考えられるが、これらの点については、高々数パーセントの誤差範囲内におさまっているであろうし、拡散パターンを変えるほどの違いとなつては現われていないと思われる。

表-12 模型内の水温

場 所	冬 季			夏 季		
	上層	中層	下層	上層	中層	下層
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
淀川河口	6.5	6.5	6.5	26.0	25.9	25.8
泉大津	5.8	5.8	5.8			
泉南	6.0	—	6.1	26.2	26.0	25.9
友ヶ島	6.8	6.8	6.8	25.2	25.2	25.2
淡路島	6.6	6.6	6.6	25.4	25.4	25.4
明石	6.6	6.6	6.6	25.2	25.2	25.2
神戸	6.2	6.2	6.2	25.9	25.8	25.7
河川水タンク	6.8			—		
投入染料	6.2			28.4		
染料タンク	5.3			26.8		
室 温	10.1			30.4		