

## 新海水導入による大村湾の汚染改善のシミュレーション

植 木 弘 信\* ・ 宇 都 幸 一\*\*

野 中 稀 平\*\*\* ・ 栗 須 正 登\*\*

Numerical Simulation for the Improvement of Pollution  
in Ōmura Bay by the New Sea Water Introduced

by

Hironobu UEKI

(Graduate Student, Kyushu University)

Kouichi UTO

(Department of Mechanical Engineering)

Marehei NONAKA

(Sasebo Technical College)

Masato KURISU

(Department of Mechanical Engineering)

In this paper, the diffusion of pollution is simulated in Ōmura Bay, by the electric computer for the case that the new sea water is introduced in Ōmura Bay. The results of tidal simulation is reported in the other paper.

Here, three different analitical methods are used, the one-block simulation, the simple simulation and the strict simulation. For the cases of simple and strict simulation, finate difference method (up-wind differnce), is adopted to solve the partial differential equations. The results are as follows,

## (1) One-Block Simulation

Assuming that the matter of pollution in Ōmura Bay is diffused as same as in the one-block pool. This method is very simple, but its makes a merit of reducing the calculating time of the computer. The reduction time is defined, as that is the quatity of pollution reduct half of the start. The reduction time by this method is shorter than other method and the reduction ratio is twice as much as result of strict method, but when a rough estimate is needed, this method is usefull for the diffusion simulation in Ōmura Bay.

---

昭和53年11月18日受理

\* 九州大学大学院

\*\* 機械工学科

\*\*\* 佐世保高専

## (2) Simple Simulation

It is analyzed assuming that the tide and tidal current are not changed by the new water introduced. This method is useful to the reduction of calculation time and makes a connect with one-block simulation and strict simulation.

## (3) Strict Simulation

In this method, the diffusion analysis is strictly made using the result of strict tide and tidal current change by new sea water introduced. If the flow rate of new introducing water is one hundred million tons per a tidal cycle, the reduction time is 80 cycle (40 days). In a case, the point of introduced is Tokitu, it was clarified that new water is effective the improvement of pollution at Tumizu Bay on the south part in Ōmura Bay.

## 1. 緒言

本誌別報(新海水導入による大村湾潮汐シミュレーション:以下別報とよぶ)で潮汐の変動について報告したが、本報は、外海域より新海水を導入することによって現状とはかなり変化した潮汐(別報)に基づき、大村湾の汚染拡散がどのように変化するかについて数値シミュレーションを行ったものであり、同湾の水質汚濁改善をめざす環境アセスメントの一環に加えるものである。このような試みは他にも例の少ないもので、新導入水の上乗せシミュレーションに先だって、2つの準備計算を行った。その1つは、大村湾を1ブロックと考え、これに、新海水を導入したときの、汚染の物質収支(質量保存)を合せた概略計算であり、他は、導入水により大村湾が影響を受けるわけであるが、この影響を潮汐と拡散の2つに分けて、まづ、潮汐の影響を無視(現状の潮汐のままに)しておき、これに拡散だけを上乗せした簡略数値シミュレーションである。

上述のような2つの予備計算の後で、拡散モデルによる、大村湾の汚染改善についての厳密シミュレーションを行ったのでその結果について述べる。

## 2. 原理式および拡散モデル

## 2.1 拡散方程式

汚染物質の拡散現象は拡散方程式で表わされる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + W \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$x, y, z$  : 直角座標

$t$  : 時間

$C$  : 汚染濃度

$K_x, K_y, K_z$  : それぞれ  $x, y, z$  方向の拡散係数

$U, V, W$  : それぞれ  $x, y, z$  方向の流速

(1)式において、拡散係数が  $x, y, z$  方向について一定で相等しい、 $K_x = K_y = K_z = K$  とし、 $z$  方向の拡散を無視し、二次元として考える。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = K \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

(2)式を拡散モデルの基礎式とする。

## 2.2 差分化

差分メッシュのとり方は別報の通りである。

(2)式において左辺第2項以下の微分の差分については、UP-WIND法による差分を行う。

$U > 0$  のとき、

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{C_x = 1/2\Delta S' (2 \cdot C_{i,j} - C_{i-1,j} - C_{i,j-1})}{U < 0 \text{ のとき、}}$$

$$C_x = 1/2\Delta S' (C_{i+1,j} + C_{i,j+1} - 2 \cdot C_{i,j})$$

$V > 0$  のとき、

$$\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{C_y = 1/2\Delta S' (2 \cdot C_{i,j} - C_{i+1,j} - C_{i,j+1})}{V < 0 \text{ のとき、}}$$

$$C_y = 1/2\Delta S' (C_{i-1,j} + C_{i,j+1} - 2 \cdot C_{i,j})$$

右辺については中央差分を行う。

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{C_{xx} = \frac{1}{\Delta S'^2} (C_{i+1,j} - 2 \cdot C_{i,j} + C_{i-1,j})}{\Delta S'^2}$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} = \frac{C_{yy} = \frac{1}{\Delta S'^2} (C_{i,j+1} - 2 \cdot C_{i,j} + C_{i,j-1})}{\Delta S'^2}$$

## 3. 概略計算

NS方程式、拡散方程式を解く精密な数値計算に先だって、大村湾全体を1つのブロックとし、ここに新海水を導入した場合の単極な計算を行った。ある時刻  $t$  における湾内の平均濃度  $C$  は、次の式で求められる。

$$C = C_0 + \left( 1 - e^{-\frac{Q}{V}t} \right) \cdot \frac{M}{Q} + (C_1 - C_0) e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (3)$$

ここに,

$C_0$ : 導入海水の濃度

$C_1$ : 湾内の海水の最初の濃度

$V$ : 湾内の平均水量

$M$ : 湾内で発生する汚染物の量

$Q$ : 導入水量

(3)式について

$C_0 = 0$  (導入水の濃度は $0_{PPM}$ とす。)

$C_1 = 2$  (湾内が全域にわたって $2_{PPM}$ と仮定した。)

$M = 0$  (湾内での汚染の発生はないものとみなす。)

$V = 4.836 \times 10^9 (m^3)$  (大村湾の海水量は約48億トン)

また, 導入海水量は, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1億 ton の5つの場合について考慮した。これは現在西海橋のところの湾口で1潮汐当たり約1.27億tonの海水が出入りしており大潮の時には約2億tonの海水の出入りがあるためである。この計算による平均濃度の変化の様子を図1(a)に示す。

新海水を導入して汚染改善を考えることは, 汚染の減衰現象として捉えられる。(3)式は, 減衰曲線の式である。図1(b)は, 図1(a)の場合より少ない導入水量に対する1ブロック計算による汚染の減衰曲線である。同図において導入水量が75.6万 t/cycle のときは, COD濃度が一定値2ppmのままであり汚染が改善されない。実測結果によれば河川からの汚染物質の総流入量が平均的に1512 kg/cycle であり, これが75.6万トン/cycleの導入水量と共に流入すれば, 丁度 2ppmの汚染水が大村湾に流入することになり同湾のCOD濃度は変化しない。実測の河川流入量は, 16.4万トン/cycleであるからその状態では, 大村湾の汚染が進行するが, 59.2万トン/cycle以上の導入水量があれば徐々にではあるが, 汚染が改善される可能性があることを意味する。

#### 4. 汚染改善の略簡シミュレーション

予備計算の第二段階で, 次の仮定の上に立ったシミュレーションを行っている。すなわち,

- (1) 導入海水による潮流への影響を無視し, 現状の流水と拡散モデルによって汚染改善が行われる。
- (2) 導入海水は全く汚染されていない。(COD濃度 = 0) 簡略拡散数値シミュレーションの結果のうち, 導入海水量が1億トンの場合を図2~図4に, 5000万トンの場合を図5~図7に1000万トンの場合を図8~図10に, それぞれ導入後20, 100, 200 cycle 目の汚染改善の進行状況を図示している。

これらの計算では, 時津(図中左下方☆印地点)において新海水が導入されると同時に, 西海橋(図中上方中央部○地点)がある湾口からも汚染されていない

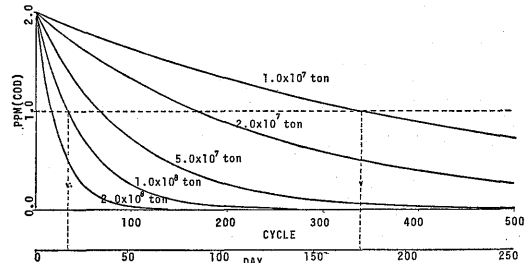


Fig. 1(a) The Reduction Curve

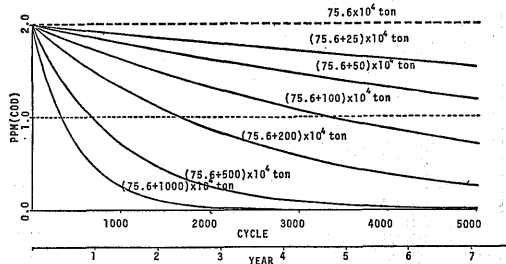


Fig. 1(b) The Reduction Curve

海水が流入し, 両方から汚染が改善されることを示している。また大村湾は初期状態において全域のCOD濃度が2 ppmであり, 各図では0 ppmと2 ppmの間を0.2ppmきざみで分類し, 数字の0から8まで9段階で表示している。これらの図から, 導入水量 $Q = 1$ 億トンの時は200cycle目に大村湾全域が最初の半分, すなわち1 ppm以下になるが,  $Q = 5000$ 万トン, 1000万トンのときは200 cycleでも津湾(図下方中央地点)において初期濃度の2分の一に達していない。導入水量が多いほど汚染改善の進行速度が速いことは図より明らかである。図11は西海橋からだけ汚染改善が進行する場合, 時津からだけ汚染改善が進行する場合およびその双方からの場合についての汚染の減衰曲線である。同図は, 西海橋, 時津の双方から汚染が改善されるとCOD濃度の半減期が約100 cycleでいずれか片方の場合より倍以上早いことを示している。

#### 5. 汚染改善の数値シミュレーション

新海水を多量に導入した場合には, 大村湾内の潮流が変化するため, これを現在の大村湾の潮流へ上乗せした潮流モデルを作り(前報), これと拡散モデルを連動させたシミュレーションを実施した。図12~17はそ

の計算結果を示したものである。そのうち図12~14は、時津からの1億トンの新海水導入による汚染改善とともに、西海橋からも汚染改善が行われる場合で、200 cycle 後には殆んど全海域が0.4 ppm 以下であり、津水湾だけが0.4~0.6ppmである。図15~17は、汚染改

善が時津からの新海水導入によってのみ行われるとした場合である。大村湾は、佐世保湾を介して外海と連絡しており、実質的には西海橋からの汚染改善は小さいからこの場合の計算結果が最も妥当な予測結果と考えられる。なおこれらの図において、佐世保湾に相等

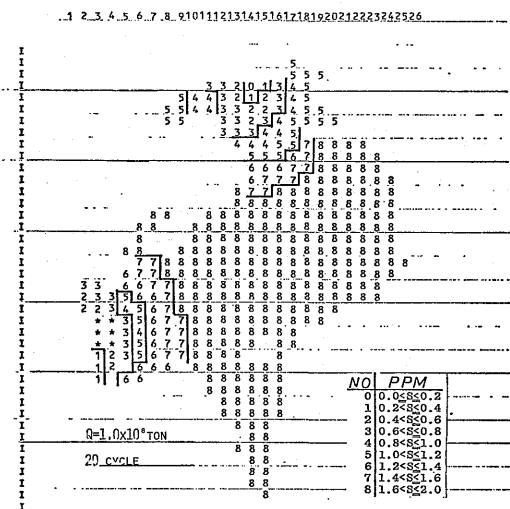


Fig. 2 COD MAP

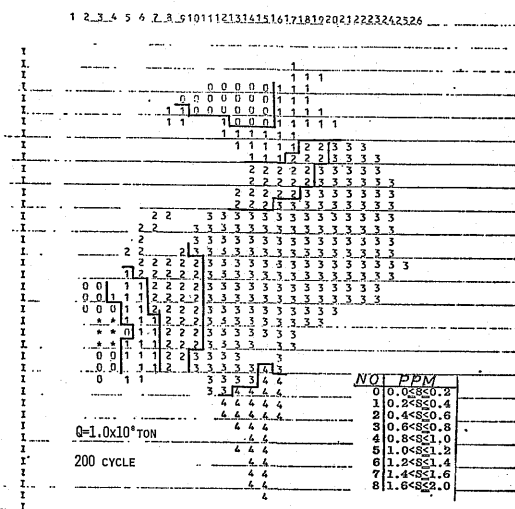


Fig. 4 COD MAP

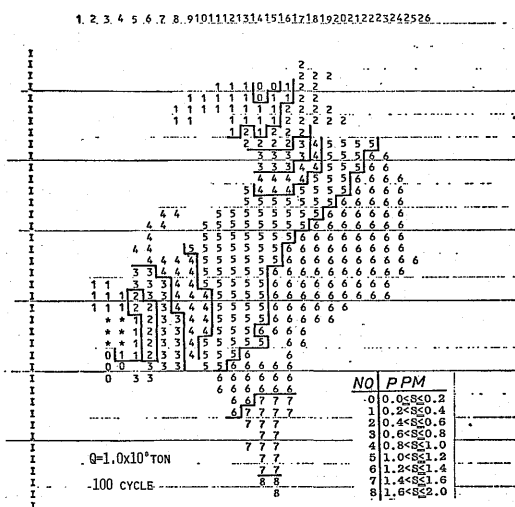


Fig. 3 COD MAP

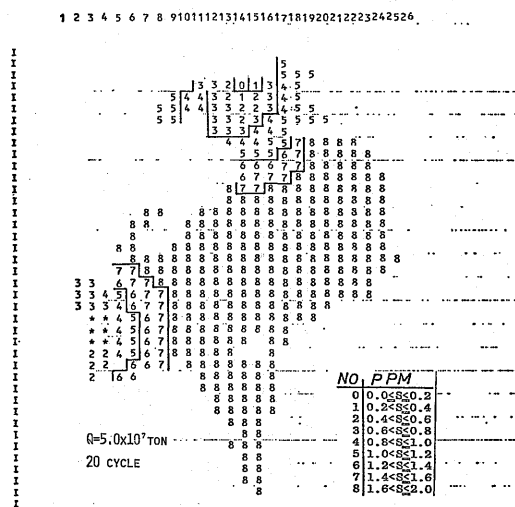


Fig. 5 COD MAP

する等価海域ではすべて0としてしているがこれは濃度を表わしているのではない。図14と図17を比較してわかるように200 cycle 後では、両者の結果はほぼ同じ汚染改善状況を示している。すなわち、厳密な計算結果によれば、大村湾の汚染改善は主として時津からの

新海水1億トンの導入によって達成されており、西海橋から影響は小さいといえる。図18は、これまでに述べてきた1ブロック計算法、簡略シミュレーション、厳密数値シミュレーションにおける汚染減衰曲線を示すものである。

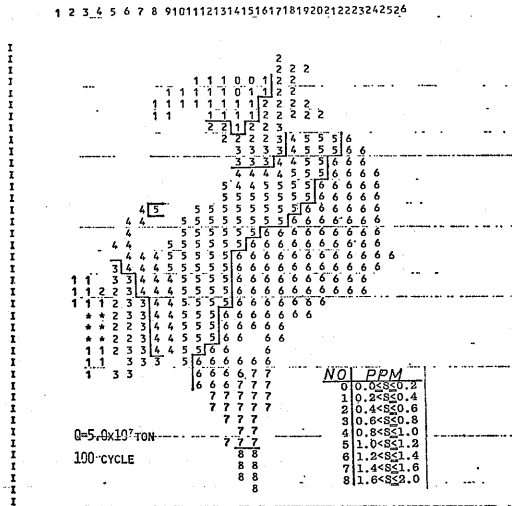


Fig. 6 COD MAP

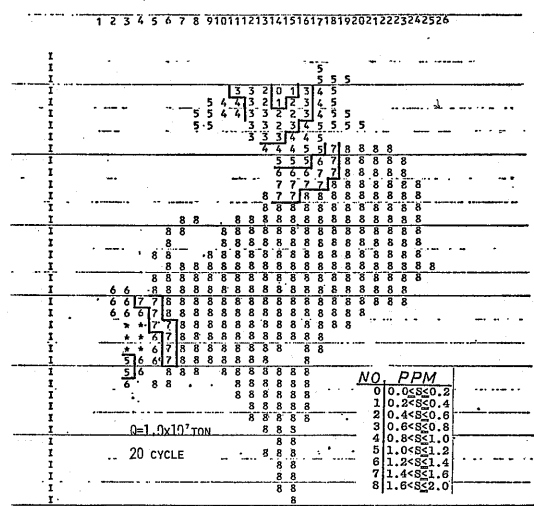


Fig. 8 COD MAP

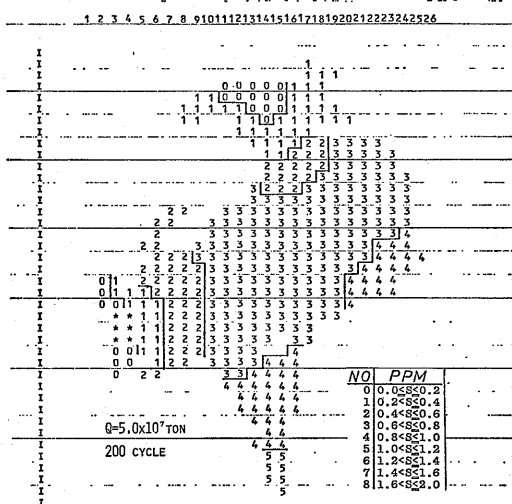


Fig. 7 COD MAP

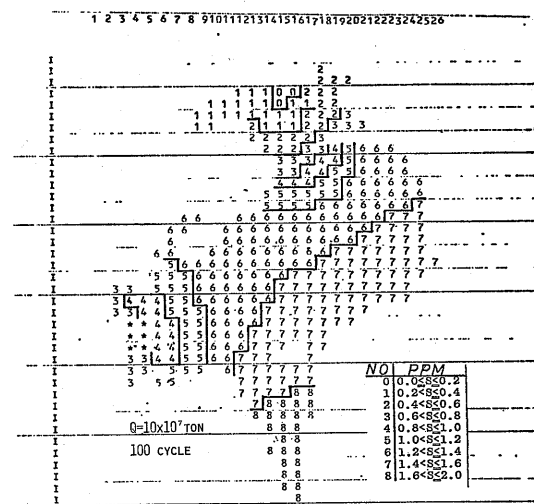


Fig. 9 COD MAP

## 6. 結 言

大村湾の汚染改善のため、外海（三重）から湾内（時津）に新海水を導入すると想定して、汚染改善の拡散数値シミュレーションを実施したがその結果次の

ことが判明した。

まず予測計算方法として、1ブロック計算、簡略シミュレーション、厳密数値シミュレーションの3方法をとりあげそれぞれの結果を比較検討すると

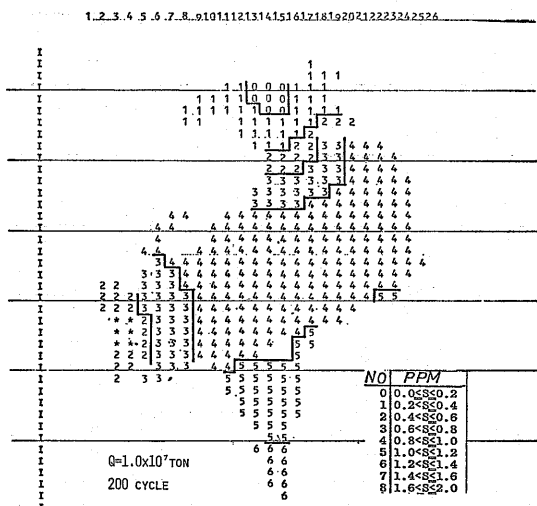


Fig. 10 COD MAP

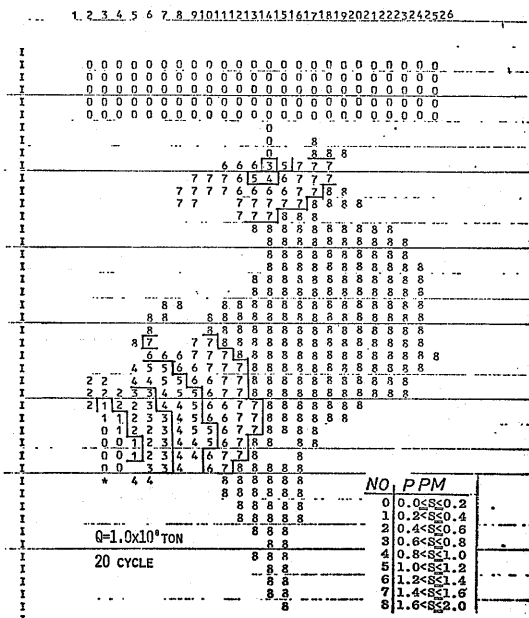


Fig. 12 COD MAP

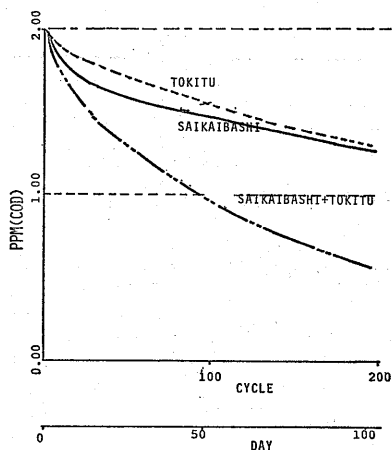


Fig. 11 The Reduction Curve

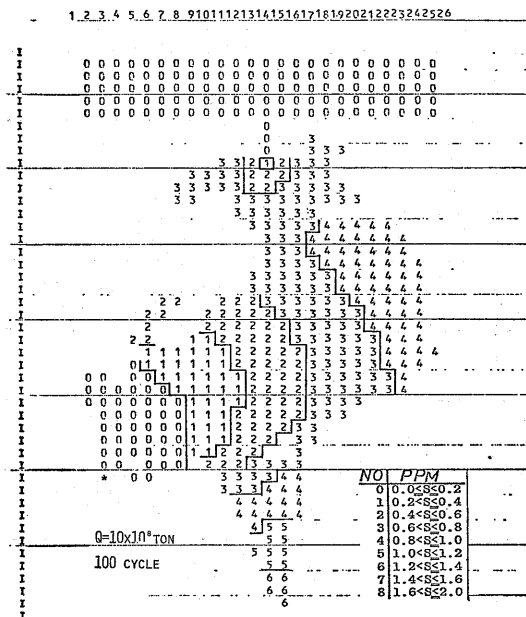


Fig. 13 COD MAP

(1) 単純な1ブロック計算は、汚染改善効果(濃度減衰)を多少過大評価する傾向があり、厳密シミュレーションに比べ約2倍の濃度減衰率を示すことを考慮すれば、大略的な予測計算法として有効である。

(2) 汚染改善の進行状況定性的把握のためには、簡略シミュレーションが比較的簡単に実施できて有効であるが、定量的な濃度の予測値を正確に把握することは不可能である。

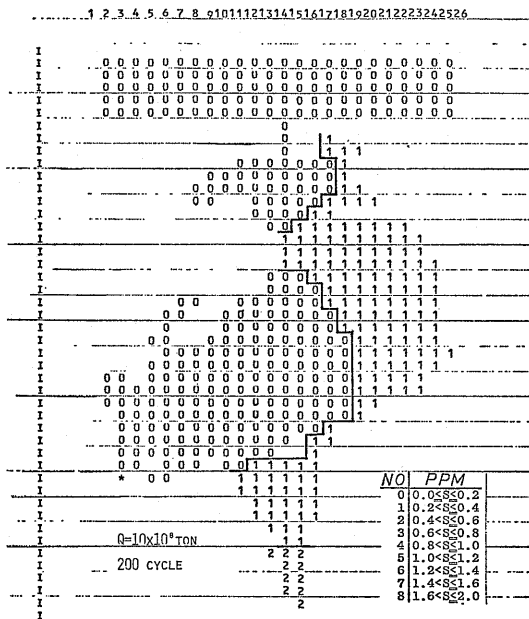


Fig. 14 COD MAP

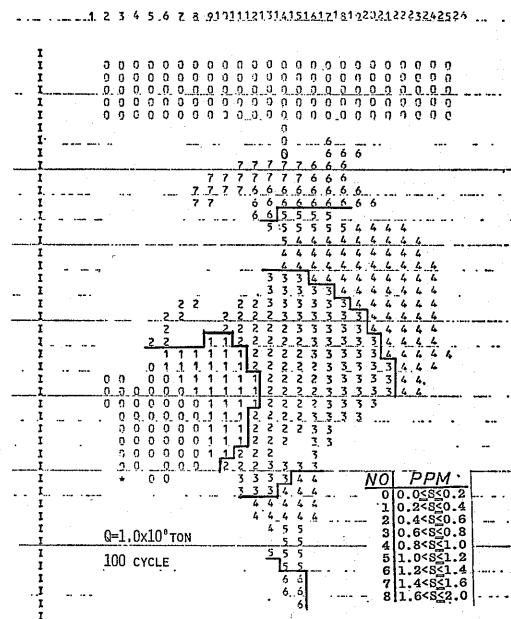


Fig. 16 COD MAP

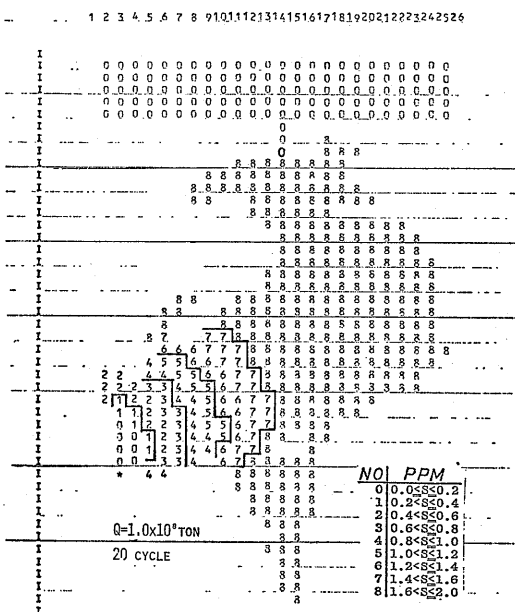


Fig. 15 COD MAP

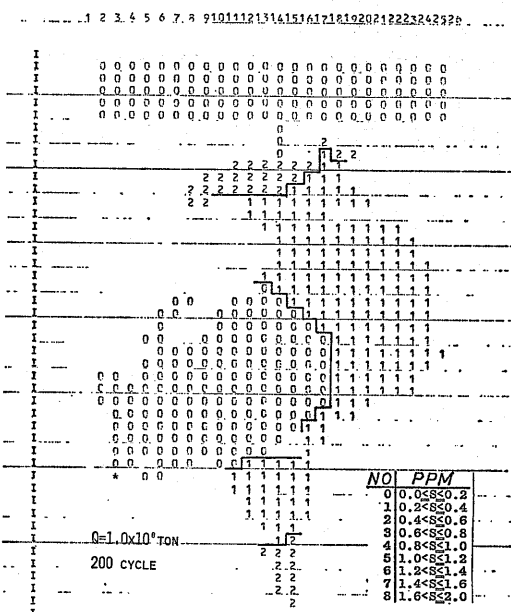


Fig. 17 COD MAP

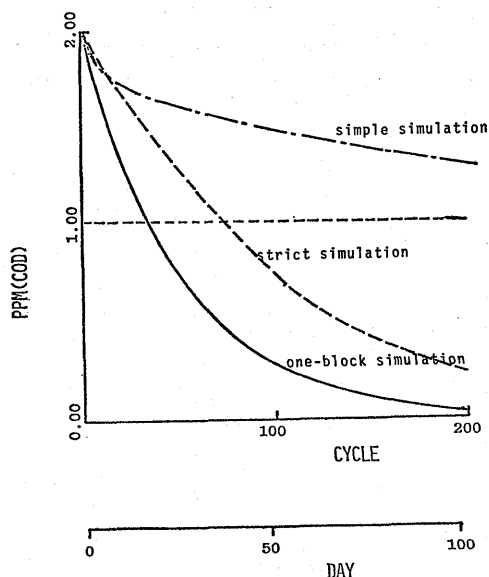


Fig. 18 The Reduction Curve

(3) 厳密数値シミュレーションは、ほぼ完全な汚染改善の予測計算を行なえるが、これには大型の計算機でもかなり長時間のJOBタイムを費す。

次に、計算結果について述べると、

(1) 1ブロック計算によれば、新海水導入量が、1潮当り約76万トンの時は、大村湾の汚染状況は平衡状態を保つから、導入水量がこの値より多ければ大村湾の汚染改善が進行する。

(2) 新海水導入量が1潮当り1000万トン以上の場合について検討した結果、導入水量の増加にほぼ比例して、汚染改善の進行速度が速くなる。

(3) 時津において新海水を導入することは、外海との

地理的条件が有利であるのみならず、大村湾全域の汚染改善に極めて有効な位置であり、湾奥の津水湾に対しても汚染改善効果は十分に働く。

(4) 時津において新海水を1潮当り1億トン導入した場合、厳密シミュレーションの結果汚染濃度の半減期は、約80 cycleであることが判明した。

(5) 簡略シミュレーション、厳密数値シミュレーションの結果を比較していえることは、新海水導入による湾内の潮流の変化に基づく汚染改善効果はかなり大きいことである。これは、時津から西海橋方面へ大村湾を縦貫する流れが生じるためと考えられる。

(6) 新海水導入によって、大村湾内の平均潮位は約15cm上昇するが、満潮時と干潮時の最大潮位差は、導入しないときにほぼ等しい。

#### 参考文献

- 1) 長崎県環境部 公共用水域水質測定結果 昭45～52年
- 2) 長崎大学水産学部 大村湾水質汚濁対策報告書 昭51.3
- 3) 日本下水道公団 大村湾水質汚濁解析調査 昭51.3
- 4) 長崎大学工学部 大村湾水質汚濁対策報告書 昭51.3
- 5) 富樫・中村・宇都・田中 大村湾の潮汐水理模型実験 昭51.5 第23回海岸工学講演論文
- 6) 栗須・野中・宇都 大村湾の潮汐シミュレーション(1) 昭50.11 佐世保高専研報
- 7) 栗須・野中・宇都 大村湾の潮汐シミュレーション(2) 昭52.11 佐世保高専研報
- 8) 栗須・中村・田中 大村湾の流動および拡散 昭52.7 長崎大学研報