

# 生態系を考慮した二次元水質予測システムの開発（その1）

——水質予測モデルの構築と某水路の浄化対策の効果予測——

石 垣 衛 辻 博 和

## Development of a 2-D System for Water Quality Prediction which Takes into Account the Ecological System (Part 1)

——Construction of the Numerical Model and Results from its Implementation in a Channel——

Mamoru Ishigaki Hirokazu Tsuji

### Abstract

In recent years the preservation of water quality has drawn a lot of attention, with the focus being on globally improving the water environment. In this regard, the ability to predict and assess the efficiency of water preservation measures and technologies has become very important. This paper describes, in detail, the structure of a numerical model designed to predict changes in water quality due to fluctuations in phytoplankton content. The model is able to analyze the water quality index of as many as nine substances and simulate their circulation pattern. This model was also applied to predict water quality changes within open-channel flow.

### 概 要

近年、各種水域において快適な親水空間の創造を目指し様々な水質浄化・保全対策が施されている。水域に対する浄化・保全対策の適用に当たっては、その効果・効率を事前に予測することは重要であり、予測を行うことで適用技術の正否を判断することが可能となる。本論では、植物プランクトンを中心とした9種の物質を水質評価指標に定め、各物質間を植物プランクトンの増殖を中心とした物質循環経路で関連づけることで水質予測モデルの構築を行った。また、構築したモデルを某水路に適用することで、水路における水質汚濁予測、さらに水質浄化対策の効果予測を行った。

## 1. はじめに

沿岸海域・河川・湖沼域では、ここ数年、各種開発構想に伴い、水際における親水空間の創造が求められている。安らぎと潤いにあふれた快適な親水空間の創造には、良好な水環境の創造が不可欠であり、水域が汚濁しているときには浄化対策を、汚濁していないときには保全対策を施すことが必要である。水域に対する各種の浄化・保全対策を施すに当たっては、その効果・効率を事前に予測することは重要であり、予測を行うことで適用技術の正否を判断することが可能となる。

本論では、水域における汚濁機構を植物プランクトンを中心とした物質循環としてとらえ、様々な影響因子を考慮することで物質循環系の数値モデルを構築した。さらに、構築したモデルを某水路の水質予測に適用することで、水路における水質汚濁機構を把握するとともに、

各種環境改善技術適用時の効果・効率の予測を行った。予測時における数値解析手法は有限要素法を用い、予測対象水域を二次元的に評価することで、水域形状に由来する流れ場の特性や、それに伴う水域汚濁特性および水質浄化効果を求めた。

## 2. 水質予測モデル

各水域において水質予測を行うには、水域内部で起こる現象特性を数値モデル化し、代数方程式や微分方程式によって表現することで数値的に求めることが可能である。以下に、予測モデルの構築とその定式化について述べる。

### 2.1 予測モデル構成

本水質予測モデルは、植物プランクトンの活動による物質の生産および分解過程を考慮した生態系予測モデルである。モデル構成に当たっては、堀江ら<sup>1)</sup>が用いたり

ン、窒素、COD を中心とした物質循環モデルに、懸濁成分の代表として植物プランクトンを組み込み、図-1 に示すモデル構成とした。

2.1.1 水質予測指標 解析対象となる評価指標は以下の9項目の濃度である。

(溶存無機態)

- ① 無機態リン (PO<sub>4</sub>-P)
- ② 無機態窒素 (TIN)

(植物プランクトン態)

- ③ クロロフィル (Chl.a)
- ④ プランクトン態リン (p-P)
- ⑤ プランクトン態窒素 (p-N)
- ⑥ プランクトン態 COD (p-COD)

(溶存有機態)

- ⑦ 溶存有機態リン (o-P)
- ⑧ 溶存有機態窒素 (o-N)
- ⑨ 溶存性 COD (COD)

2.1.2 物質循環経路 2.1.1で述べた評価指標を求めするため、各々の項目における生産・分解過程の定義を行い、項目相互間を定義に従った物質循環経路によって関連づける。本予測モデルに用いた物質循環経路は、図-1 に示す以下の8経路である。

- ① 植物プランクトンの光合成
- ② 植物プランクトンの枯死
- ③ 植物プランクトンの呼吸
- ④ 植物プランクトンの細胞外分泌
- ⑤ 植物プランクトンの沈降
- ⑥ 溶存無機態の溶出
- ⑦ 溶存有機態の溶出
- ⑧ 溶存有機態の分解

上に記した①~⑧の物質循環経路を、モデルの定式化において各々以下に示すパラメータとして表現する。

- ①比増殖速度      ②枯死速度
- ③呼吸速度        ④細胞外分泌速度
- ⑤沈降速度        ⑥,⑦溶出速度
- ⑧分解速度

## 2.2 基礎方程式

水質を支配する物質の挙動特性は、水域における移流・拡散現象にて表現可能である。本予測モデルの定式化には、物質がその濃度勾配により拡散する現象と、水域の運動によって運ばれる移流現象の二現象に加え、領域内にて物質が増減する生産反応現象を組み込んだ『移流・拡散方程式』を用いた。

定式化に用いた座標系は、x軸を東向きに、y軸を北向きに、z軸を鉛直上向きに正とした。また、解析領域内では流速u、vを水深方向に積分し、線流速を水深で割った平均流速を用いて、以下の様に表示した。

$$U = \int_{-H}^0 u(x,y,z,t) dz, \quad V = \int_{-H}^0 v(x,y,z,t) dz$$

ここに、U：x方向平均流速、V：y方向平均流速、H：水深を示す。以上より、評価指標に対して以下に示す基

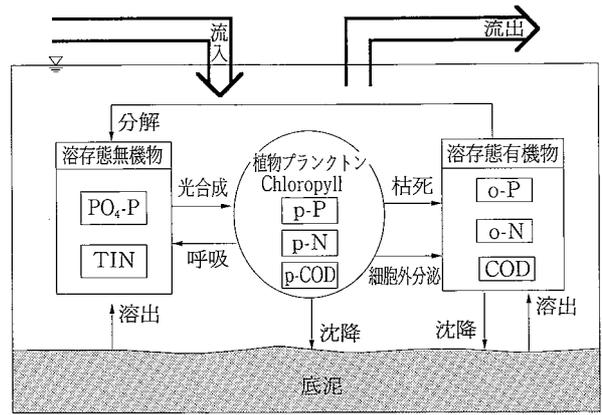


図-1 水質予測モデル構成と物質循環経路

礎方程式の定式化を行った。

(溶存無機態)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_1}{\partial t} + U \frac{\partial C_1}{\partial x} + V \frac{\partial C_1}{\partial y} - \kappa \left( \frac{\partial^2 C_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_1}{\partial y^2} \right) \\ &= -\mu_{\max} \frac{PO_4 \cdot TIN}{(PO_4 + K_P)(TIN + K_N)} \\ & \quad f(I)f(T)Chl.a \alpha H \\ & \quad + \beta Chl.a \alpha H + R_1 + v_{IP} C_1 H \quad \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

(植物プランクトン態)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_P}{\partial t} + U \frac{\partial C_P}{\partial x} + V \frac{\partial C_P}{\partial y} - \kappa \left( \frac{\partial^2 C_P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_P}{\partial y^2} \right) \\ &= \mu_{\max} \frac{PO_4 \cdot TIN}{(PO_4 + K_P)(TIN + K_N)} f(I)f(T)(1 - \gamma) \\ & \quad C_P H + \beta Chl.a \alpha H - mp C_P \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

(溶存有機態リン)

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C_0}{\partial t} + U \frac{\partial C_0}{\partial x} + V \frac{\partial C_0}{\partial y} - \kappa \left( \frac{\partial^2 C_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_0}{\partial y^2} \right) \\ &= mp Chl.a \alpha H + R_0 - v_0 C_0 H \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

ここに、

- κ：拡散係数      Chl.a：クロロフィル濃度
- C<sub>1</sub>：溶存無機態濃度      C<sub>p</sub>：植物プランクトン濃度
- C<sub>0</sub>：溶存有機態濃度      μ<sub>max</sub>：最大比増殖速度

$$f(I) = \frac{I}{I_{opt}} \exp\left(1 - \frac{I}{I_{opt}}\right) : \text{比増殖速度照度依存項}$$

$$f(T) = \frac{T}{T_{opt}} \exp\left(1 - \frac{T}{T_{opt}}\right) : \text{比増殖速度温度依存項}$$

- I：照度      I<sub>opt</sub>：最適照度
- T：水温      T<sub>opt</sub>：最適水温
- α：(リン、窒素、COD)/クロロフィル比
- β：呼吸速度      γ：細胞外分泌速度
- mp：枯死速度      K<sub>p</sub>：リン半飽和定数
- K<sub>N</sub>：窒素半飽和定数      R<sub>1</sub>：無機態溶出速度
- R<sub>p</sub>：有機態溶出速度      R<sub>0</sub>：COD溶出速度
- v<sub>0</sub>：有機態分解速度

## 2.3 有限要素法による離散化

2.2で示した(1)~(3)の基礎方程式において、各濃度をCで、右辺の生産反応項をSで表すと(4)に示す基礎方程式が得られる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} - \kappa \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) - S = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

基本境界上で  $\delta C = 0$  となるような任意の重み関数  $\delta C$  を(4)の両辺にかけて、領域  $\Omega$  で積分する。

$$\int_{\Omega} \delta C \frac{\partial C}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \delta C \left( U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} \right) d\Omega - \int_{\Omega} \kappa \delta C \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) d\Omega = \int_{\Omega} \delta C d\Omega \quad \dots\dots\dots(5)$$

左辺の第3項に Gauss-Green の定理を適用して部分積分を行うと、

$$\int_{\Omega} \delta C \frac{\partial C}{\partial t} d\Omega + \int_{\Omega} \delta C \left( U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} \right) d\Omega + \int_{\Omega} \left( \kappa \frac{\partial \delta C}{\partial x} \frac{\partial C}{\partial x} + \kappa \frac{\partial \delta C}{\partial y} \frac{\partial C}{\partial y} \right) d\Omega = \int_{\Omega} S \delta C d\Omega - \int_{\Gamma_B} \delta C d\Gamma \quad \dots\dots\dots(6)$$

を得る。ここで、次の境界条件を考慮する。

基本境界： $C = C_B$  ( $\Gamma_C$ 上)

自然境界： $-k \frac{\partial C}{\partial n} = q_B$  ( $\Gamma_q$ 上)  $\dots\dots\dots(7)$

領域  $\Omega$  を三角形の有限要素に分割し、未知濃度  $C$  と重み関数  $\delta C$  を各々の有限要素内で次のように近似する。

$$C = \sum_{\alpha} \phi_{\alpha} C_{\alpha}, \quad \delta C = \sum_{\alpha} \phi_{\alpha} \delta C_{\alpha} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここに、 $\phi_{\alpha}$  ( $\alpha = 1, 2, 3$ ) は三角形有限要素  $e$  における1次の補間関数である。

(8)を(6)に代入して、 $\delta C$  が任意であることから次の要素方程式が得られる。

$$\sum_{\beta} M_{\alpha\beta}^e \frac{dC_{\beta}}{dt} + \sum_{\beta, \gamma} X_{\alpha\beta\gamma}^e U_{\beta} C_{\gamma} + \sum_{\beta, \gamma} Y_{\alpha\beta\gamma}^e V_{\beta} C_{\gamma} + \kappa \sum_{\beta} D_{\alpha\beta}^e C_{\beta} + \kappa \sum_{\beta} G_{\alpha\beta}^e C_{\beta} = S_{\alpha}, \quad (\alpha = 1, 2, 3) \quad \dots\dots\dots(9)$$

ただし、

$$M_{\alpha\beta} = \frac{\Delta t}{12} (1 + \delta_{\alpha\beta}), X_{\alpha\beta\gamma}^e = \frac{b_{\gamma}}{24} (1 + \delta_{\alpha\beta}), Y_{\alpha\beta\gamma}^e = \frac{c_{\gamma}}{24} (1 + \delta_{\alpha\beta}), D_{\alpha\beta}^e = \frac{b_{\alpha} b_{\beta}}{4 \Delta t^e}, G_{\alpha\beta}^e = \frac{c_{\alpha} c_{\beta}}{4 \Delta t^e}, S_{\alpha} = \frac{\Delta t}{3} S^e - \int_{\Gamma_q} q_B \phi_{\alpha} d\Gamma, \quad \dots\dots\dots(10)$$

2.4 計算スキーム

時間微分を含む項は”逐次時間積分法”を用いて離散化する。時間ステップを  $t_{n+1} = t_n + \Delta t$  ( $n = 0, 1, 2, 3$ ) として、 $n$  と  $n+1$  の間に  $n+1/2$  のステップを設ける。式(10)は  $n$  ステップ目において、

1 段階目：

$$\sum_{\beta} \bar{M}_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^{n+1/2} = \sum_{\beta} \tilde{M}_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^n - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \sum_{\beta, \gamma} (X_{\alpha\beta\gamma}^e U_{\beta}^n + Y_{\alpha\beta\gamma}^e V_{\beta}^n) C_{\gamma}^n + \kappa \sum_{\beta} D_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^n + \kappa \sum_{\beta} G_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^n - S_{\alpha}^n \right\} \quad \dots\dots\dots(11)$$

2 段階目：

$$\sum_{\beta} \bar{M}_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^{n+1} = \sum_{\beta} \tilde{M}_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \sum_{\beta, \gamma} (X_{\alpha\beta\gamma}^e U_{\beta}^{n+1/2} + Y_{\alpha\beta\gamma}^e V_{\beta}^{n+1/2}) C_{\gamma}^n + \kappa \sum_{\beta} D_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^{n+1/2} + \kappa \sum_{\beta} G_{\alpha\beta}^e C_{\beta}^n - S_{\alpha}^n \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

となる。ここに、は質量集中行列を表し、

$$\tilde{M}_{\alpha\beta}^e = \varepsilon \bar{M}_{\alpha\beta}^e + (1 - \varepsilon) M_{\alpha\beta}^e \quad (0 \leq \varepsilon \leq 1) \quad \dots\dots\dots(13)$$

3. 物質循環諸係数の設定

3.1 AGP 試験概要

2.1で定めた物質循環経路において、植物プランクトンの光合成による比増殖速度の特性値を設定するため、水質予測を行う現地の海水を利用した AGP 試験を行った。

試験用原水は、某海域奥部の表層 1 m 層にて採水した海水を用いた。供試藻は、採水海域である三河湾において、夏季に優占種となる珪藻類の *Skeletonema Costatum* とし、対数増殖期にある *Skeletonema Costatum* を 1 l の三角フラスコ内の試水に初期濃度 1,000 細胞/ml となるように接種を行い培養した。培養条件は、表-1 に示す 9 ケースとし、標準条件をそれぞれ、

照度： 4,000 lux 水温： 20 °C  
窒素濃度： 0.6 mg/l リン濃度： 0.06 mg/l

とした。また、培養期間は接種日を 0 日目として、毎日細胞数を計測し、最大増殖量に達するまでとした。

3.2 AGP 試験結果

AGP 試験による細胞数の変化量をそれぞれ照度依存、水温依存、栄養塩濃度依存の 3 つに分類し、図-2 から図-4 に示した。比増殖速度は細胞数、クロロフィル濃度、COD 濃度、SS 濃度の変化量から求めることができるが、本論では各ケースごとの細胞数の変化量から各培養日ごとの比増殖速度を以下の式より求め、その最大値を比増殖速度 ( $\mu$ ) とした。結果を表-2 に示す。

$$\mu = \frac{\ln C - \ln C_0}{t}, \quad \therefore \ln C = \mu t + \ln C_0$$

3.2.1 照度依存項 比増殖速度の照度依存項を(14)式に示す。

$$f(I) = (I/I_{opt}) \exp(1 - I/I_{opt}) \quad \dots\dots\dots(14)$$

本試験において、図-2 に示すように各ケースとも 5 日目に最大増殖量に達し、ケース 1 がやや高い増殖量の傾向にあるものの、差はほとんど見られなかったことから、珪藻類の最適照度である、5,000 lux ~ 15,000 lux のなかで比較的照度依存度の少ない 8,000 lux を最適照度 ( $I_{opt}$ ) として採用する。

3.2.2 水温依存項 比増殖速度の水温依存項を、(15)式に示す。

$$f(T) = (T/T_{opt}) \exp(1 - T/T_{opt}) \quad \dots\dots\dots(15)$$

水温依存項における最適水温 ( $T_{opt}$ ) を(15)式と前掲の表-2 に示した比増殖速度の関係より求めた。最適水温を求めるのに用いた比増殖速度は、照度・リン濃度・窒素

表-1 培養条件

ケース	照度 (lux)	水温 (°C)	窒素濃度 (mg/l)	リン濃度 (mg/l)
1	4,000	20	0.6	0.06
2	8,000	20	0.6	0.06
3	1,000	20	0.6	0.06
4	4,000	30	0.6	0.06
5	4,000	10	0.6	0.06
6	4,000	20	2.4	0.06
7	4,000	20	1.2	0.06
8	4,000	20	0.3	0.06
9	4,000	20	0.6	0.12

表-2 ケース別比増殖速度

ケース	比増殖速度	ケース	比増殖速度
1	2.012	6	1.790
2	1.803	7	1.857
3	1.683	8	1.961
4	1.971	9	2.221
5	1.285	-	-

表-3 比増殖速度と依存項との関係

ケース	$\mu$	栄養塩	f(I)	f(T)	$\mu_{max}$
6	1.790	0.946	0.824	0.998	2.298
7	1.857	0.940	0.824	0.998	2.398
8	1.961	0.906	0.824	0.998	2.629
9	2.221	0.951	0.824	0.998	2.836

濃度を標準条件に固定したケース1, ケース4, ケース5の値を採用した。上記ケースの比増殖速度は前掲の表-2から以下の数値を得ている。

- ケース1 (20°C) : 2.0127
- ケース4 (30°C) : 1.9716
- ケース5 (10°C) : 1.2854

以上の結果に対し関数 f(T) を近似させることで、最適水温 (T<sub>opt</sub>) 20.7°Cを得た。

3.2.3 栄養塩依存項と最大比増殖速度 比増殖速度の栄養塩依存項を(16)式に、比増殖速度と各依存項との関係式を(17)式に示す。

$$f(P,N) = (PO_4P / (K_p + PO_4P)) \cdot (TIN / (K_N + TIN)) \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\mu = \mu_{max} \cdot f(P,N) \cdot f(I) \cdot f(T) \quad \dots\dots\dots(17)$$

(16)式におけるリン、窒素の半飽和定数は既存の文献値より、K<sub>p</sub>=0.0003 (mg/l), K<sub>N</sub>=0.015 (mg/l) と定めた。

ここで、(16)、(17)式を用いて最大比増殖速度 ( $\mu_{max}$ ) を求めるとき、前掲の表-2に示したケース1~9比増殖速度を用いると、照度依存項、水温依存項を含んだ値であるため、数値のばらつきが大きいと考えられる。したがって、照度・水温を標準条件に設定した、ケース6~9の比増殖速度を用いて(17)式により  $\mu_{max}$  を求めた。その結果を表-3に示す。なお、関数 f(I), f(T) における I<sub>opt</sub>, T<sub>opt</sub> は前述の(1), (2)にて得た値を用いた。

上記で求めた各ケースの  $\mu_{max}$  は約2.3~2.8の値の幅にあり、その平均値は2.5であった。ここでは  $\mu_{max}$  を定めるにあたり平均値を用いることとし、 $\mu_{max}=2.5$ とした。

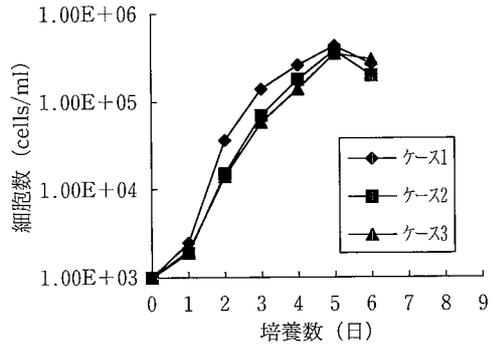


図-2 照度依存別細胞数変化

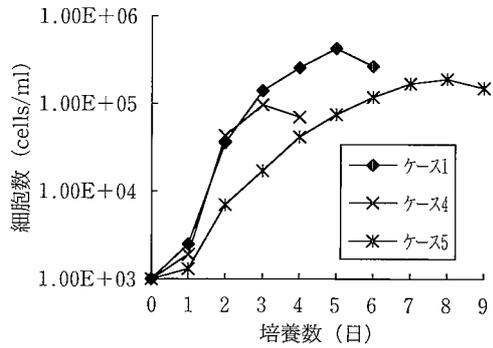


図-3 水温依存別細胞数変化

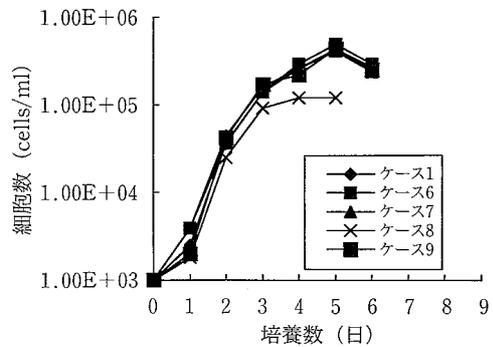


図-4 栄養塩濃度依存別細胞数変化

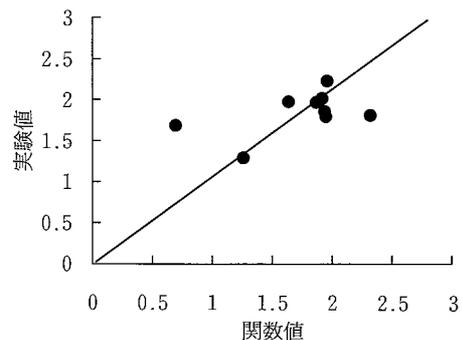


図-5 比増殖速度実験値と関数値の比較

この値を(17)式へ代入し、得られた各ケースごとの比増殖速度の関数値と、前掲の表-2で得られた実験値を図-5にて比較したところ、ほぼ一致することが確認した。

#### 4. 某水路における水質浄化対策効果の検討

##### 4.1 解析モデル

3章までに述べた水質予測モデルおよび、物質循環特性を用いて、某水路における水質予測を行った。水路は全長約3,500m、水深2m、水域面積20万m<sup>2</sup>で、図-6に示す形状を有している。水路内の水は外部水域から補給されており、a-b, c-dから流入し、10日間の滞留後、e-fより自然流出する。解析モデルは前掲の図-6に示した節点数466、要素数636の有限要素を分割した。

##### 4.2 解析条件

**4.2.1 ケース1 (水路の水質挙動予測)** a-b, c-dの流入水の水質は常に一定とし、水域内における濃度分布の定常状態を求めることで、水域特性に由来する水質汚濁の現況を予測した。このとき流入水量は滞留時間を10日に定め40,000 t/dayとした。解析条件を表-4に示す。なお、水中における照度消散は、水深が2mであることから無視する。

**4.2.2 ケース2 (水路の水質浄化対策効果予測)** ケース1に対し、水質浄化対策として水路内に循環ろ過を施したときの植物プランクトン濃度分布を求めた。循環ろ過は、図-6に示すg-hを取水口とし、I-j, k-lの2箇所に戻り口を設けた。ろ過水量は前掲の表-4に併記したように流入水量の1/2 (20,000 t/day) とし、ろ過時における植物プランクトン除去率は50%とした。

##### 4.3 解析結果

図-7、図-8にケース1における流速分布および定常状態に達したクロロフィル濃度分布を示す。また、図-9、図-10にケース2における流速分布および循環ろ過開始後10日目のクロロフィル濃度分布を示す。

図-8より、某水路における水質汚濁特性は、c-d~e-f間の上側水路部がa-b~e-f間の下側水路部に比べややクロロフィル濃度が相対的に高い傾向にある。これは、図-7に示すように、上側水路長が下側水路長に対し長いこと上側水路における流速が相対的に遅く、したがって滞留時間が長くなるのが要因と考えられる。また、水路全体における水質汚濁特性は、0.026 mg/lで流入したクロロフィルが、流出時には約2倍の0.0517 mg/lに増殖することが結果として得られたことより、水路に放出された水は内部生産の影響により下流側における水質の悪化が予測され何等かの水質浄化対策の適用が必要と考えられる。

水路内部において流入水量の約1/2の水量に対し循環ろ過を施したとき、図-10より0.026 mg/lで流入したクロロフィルは水路末端にて約0.0157 mg/lとなる結果が得られた。

この結果より、循環ろ過により水路内部における主汚濁源の植物プランクトンを除去することは、水域内にお

表-4 解析条件

項目		ケース1	ケース2
最大比増殖速度		2.5 1/day	2.5 1/day
枯死速度		0.096 1/day	0.096 1/day
分	o-P	0.075 1/day	0.075 1/day
	o-N	0.08 1/day	0.08 1/day
	COD	0.06 1/day	0.06 1/day
	照度	40,000 lux	40,000 lux
解	水温	30 °C	30 °C
	領域内初期値		
領域内初期値	PO4-P	0.08 mg/l	0.08 mg/l
	TIN	0.24 mg/l	0.24 mg/l
	Chl.a	0.026 mg/l	0.026 mg/l
	p-P	0.01 mg/l	0.01 mg/l
	p-N	0.15 mg/l	0.15 mg/l
	p-COD	2.98 mg/l	2.98 mg/l
	o-P	0.02 mg/l	0.02 mg/l
	o-N	0.18 mg/l	0.18 mg/l
水量	COD	3.43 mg/l	3.43 mg/l
	a-b	20,000 t/day	20,000 t/day
	c-d	20,000 t/day	20,000 t/day
	g-h	-	-10,000 t/day
	i-j	-	5,000 t/day
流入水質	k-l	-	5,000 t/day
	a-b	0.026 mg/l(chl.a)	0.026 mg/l(chl.a)
	c-d	0.026 mg/l(chl.a)	0.026 mg/l(chl.a)
	i-j	-	除去率 50%
	k-l	-	除去率 50%

いて有効な水質浄化対策の1つであることが確認された。

#### 5. 今後の展望

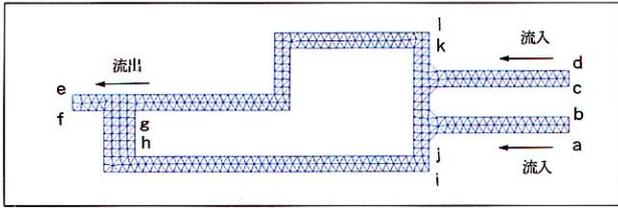
水域の主懸濁成分を植物プランクトンとしてとらえたとき、植物プランクトンの増殖・分解過程を中心とした物質循環過程を数値モデル化した本予測モデルは、水域の清澄の度合を予測するのに有効であることを、4章までに述べた。特に、数値解析手法に有限要素法を用いたことは、複雑な水域形状に対して、精度よく流れ場を求めることを可能とし、求めた流れ場の情報を計算に直接利用することで、流れ場に由来する水質汚濁特性、水質浄化効果を容易に求めることに有効的な手法であると推察される。その詳細については次報以降に述べる予定である。

今後は、水質挙動に影響を及ぼす比増殖速度等の物質循環パラメータを、現地試験、室内試験からより適切な数値を求めることで、現地の水質挙動を数値的に再現し、その結果を踏まえた上で様々な水質浄化対策の立案、およびその効果の予測を行い、システムの有効的活用を目指したい。

#### 6. まとめ

前述までの植物プランクトンを中心とした水質予測モデルの構築、有限要素法による離散化、水域における汚濁特性確認および浄化効果予測を行う中で、以下の2つの成果を得た。

① 水域中の水質評価指標物質を物質循環経路で結ぶことで、定式化を行い、数値モデルを構築した。



節点数：466 要素数：636

図-6 解析モデル図

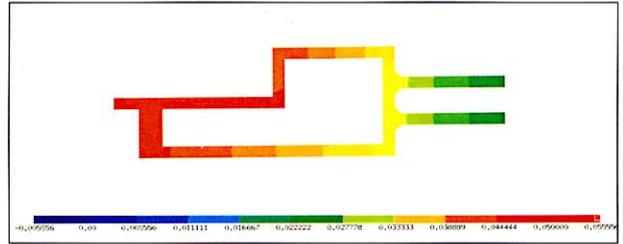


図-8 ケース1におけるChl.a濃度分布

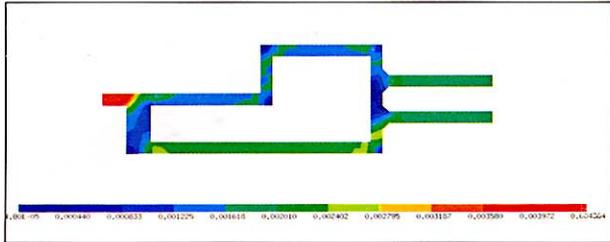


図-7 ケース1における流速分布

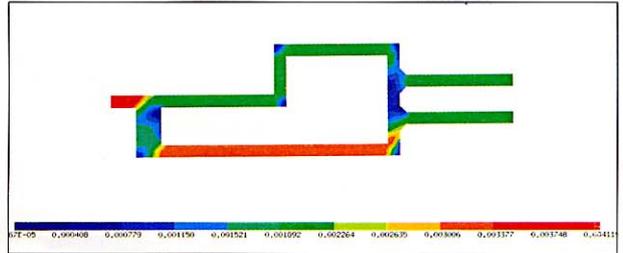


図-9 ケース2における流速分布

② 有限要素法を用いることで得られた水域内における詳細な流れ場の情報を用いて水域の汚濁特性の確認、浄化技術適用時における効果予測を可能とした。

参考文献

- 1) 堀江 毅：海域の物質循環過程のモデル化と浄化対策効果の予測手法について，運輸省港湾技術研究所報告，Vol. 26, No. 4, (1987)
- 2) 大西和榮，石垣 衛，小林錦子：浅水環境への計算力学の応用(3)，月刊『水』，No.10, p 63～70, (1995)

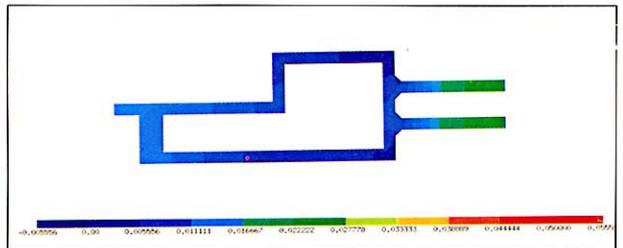


図-10 ケース2におけるChl.a濃度分布