

# 河川水質予測モデル

## A Model for Prediction of River Water Quality

○三浦 良輔、金子 正雄、殿塚 芳和、高津 充  
RYOSUKE MIURA, MASAO KANEKO, YOSIKAZU TONOZUKA, MITSURU TAKATSU

株式会社 東芝／〒105-8001 東京都港区芝浦 1-1-1  
Toshiba Corporation／1-1, Shibaura 1-Chome, Minato-Ku, Tokyo

### Abstract

A simplified dynamic model is presented for predicting water quality in a river with non steady-state discharge, with the help of the two-dimensional stream-tube model concept for a river with steady-state. The model comprises the tube-model builder and mapping display of water quality as well as the solute transport analyzer. Several simulation experiments on a virtual rectangular water channel were conducted to analyze the two-dimensional characteristics, compared the dynamic model with the steady-state one. Satisfactory results were obtained, in which present simplified model showed the expected dispersion formation of contaminated solutes, and its solute concentrations two-dimensional pattern and the complete mixing distance in dynamic equilibrium state analysis has coincided with those in existing steady-state model.

**Key words :** two-dimensional stream-tube model, simplified model, river water quality prediction

### 1. はじめに

水道などの用水源の多くは河川水に求められており、その異常水質の流入を事前に検討し、正確な予測法を準備しておく必要がある。河川に流入した異常水質の予測モデルが実用的であるためには、少なくともつぎの条件を満たす必要がある<sup>(1)</sup>。

- (1) 簡単で理解容易であること。
- (2) 動的かつ高速に異常水質の追跡ができること。
- (3) 実際の河川に容易に利用できること。

さらに異常水質の流達両岸で異なる場合にも適用できなければならない。

ここに報告する予測モデルは、Taylor<sup>(2)</sup>の分散理論に基づき四倉・セイヤー<sup>(3)(4)</sup>が提唱し、広く知られている自然

座標2次元移流拡散流管モデル<sup>(5)</sup>を適用し、これを上記の諸条件を満たすように簡略化して、河川異常水質の平面的挙動を解析するようにしたものである。

2次元の移流分散モデルは、一般的な1次元の移流拡散モデル<sup>(6)</sup>の適用が不適切である水域、すなわち河川における異常水質の流下が河川横断面方向の混合が完全混合状態に至らない水域の水質予測には適切であろう。とくに負荷点が取水の近辺で水質が両岸で異なる場合の予測には十分検討する必要がある。

また予測モデルが動的であること、すなわち刻一刻と変化する河川の流況に対応するため、モデルは水質の時間経過を予測する非定常モデルでなくてはならず、かつ同時に流管モデルをも流況に応じて動的でなければならない。さらに実用に供するには実時間でも使用できるよう高速計算

が要求されよう。

以下報告する河川水質予測モデルは、このような条件に配慮し試作した非定常モデルで、模擬河川を用い水質の2次元的挙動、両岸での取水水質の差異、および定常解析との比較し、モデルの特徴を検討した結果を報告する。

## 2. モデルの構成

図1. に検討する水質予測モデルの概略構成を示す。

(1) 流管モデル構築ツール: モデルを構築する主要コンポーネントについての概略を説明する。

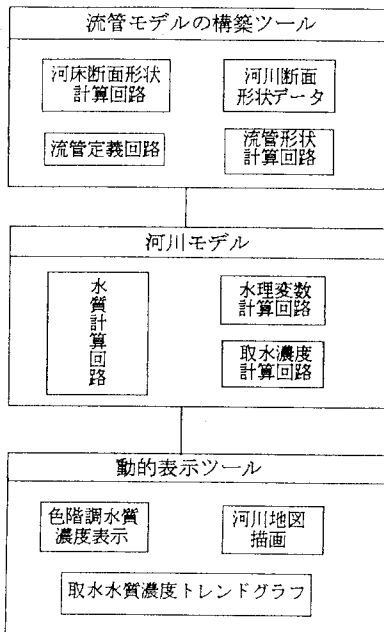


図1. 河川水質予測モデルの概略

河川断面形状データ: 河川堤基点位置からの河床高観測値。

河床断面形状計算回路: 上記河川断面形状データを水位によって流水断面である河床形状データに変換する。

流管定義回路: 河床形状データから必要な流管数と流管流量を確定する。

流管形状計算回路: 河床形状データを流管の局所水深と幅からなる流管データに変換する。

(2) 河川モデル: 自然座標の河川を横方向に複数の流管(Δq)に、また縦方向には計算要素(Δx)に任意に分割したモデルで、以下のコンポーネントからなる。

水理変数計算回路: 断面の横分散係数 $e_z$ から下式(1)により各流管の横分散定数 $D_z$ を計算する。

$$D_z = h(j)^2 \cdot u_x(j) \cdot e_z \dots\dots (1)$$

ここに  $h(j)$ 、 $u_x(j)$  は流管jの局所水深および流速である。

水質計算回路: 非定常移流分散方程式について、移流項( $u_x \partial C / \partial x$ )と横分散項( $\partial / \partial q (D_z \partial C / \partial q)$ )を独立に時間積分するアルゴリズムを適用し、計算周期(Δt)毎に横分散と縦分散を交互に実行し水質 $C(i, j)$ を計算する。とくに横分散の計算には水深の変動を配慮して解析解を物質収支補正した。ここに C: 濃度、q: 累積流量、 $u_x$ : 流速、i: 断面番号、j: 流管番号 である。

(3) 動的な水質表示: 求めた水質  $C(i, j)$  を計算周期毎に自然座標の河川部分に等高線色調表示し、取水濃度のトレンド描画する。

## 3. シミュレーション実験

図2. に示すように左岸側に水深が偏っている川幅50mの断面をもち、全長20kmの単水路河川で、20本の流管からなり、各流管を100m毎に分割した河川モデルについて、河川流量(Q)100m<sup>3</sup>/秒とし、下記の条件の実験を行った。

実験1: 河川中央(流管番号9,10,11,12)に非分解性溶質50mg/lを5分間注入した。

実験2: 左岸から中央に漸減する濃度勾配で非分解性溶質を連続注入した。

実験3: 実験2を右岸で行った。いづれも取水は岸から3本の流管で行い、その取水濃度を算出した。取水量は左岸・右岸とも1.62m<sup>3</sup>/秒である。

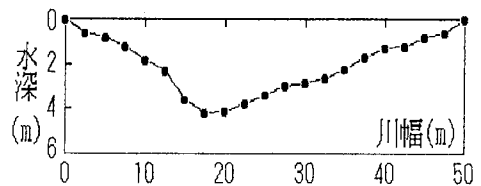


図2. モデル河川の断面

表1. 実験4. に用いた水理条件

径深(m)	(m)	2.05
水面勾配	(%)	0.2
摩擦速度	(m/s)	0.2
無次元定数	(a)	0.1
平均水深	(m)	2.04
横分散係数	( $e_z$ )	0.041

実験4. 岸から中央に漸減する濃度勾配の実験2について計算時間を500時間実行し平衡状態とし動的平衡解を収録した。一方、定常2次元流管モデルのプログラムを別途作成し定常解を得た。表1. に用いた水理条件をまとめて示した。

4. 結果

実験1: 流下に伴う縦および横方向の水質分散(フリューム)状態の時間変化を図3. に示した。図4. は10km下流での取水濃度の時間経過を左岸と右岸の違いを示した図である。

実験2, 実験3: 図5. に対岸へ分散する水質の状態の違いを左岸と右岸とを比較して示した。

実験4: 動的平衡解と定常解析解の完全混合濃度は若干こととなったが、それぞれの完全混合濃度を中心に 0.1(mg/l) 間隔で等高線表示した結果を図6. に比較して示した。

5. 考察

実験1は、瞬間的な異常水質を追跡した場合で、いわゆるフリュームが現れ、流れの速い中央部での早い流達と、岸辺での遅れ状態がよく現れている(図3.)。取水濃度の時間変化(図4.)にはよくしられたテーリングも現れている。

実験2および実験3は、上流の支流からの異常水質の流下を想定した場合の追跡で、中央部の速い流れで対岸への到達が下流に現れている(図5.)。

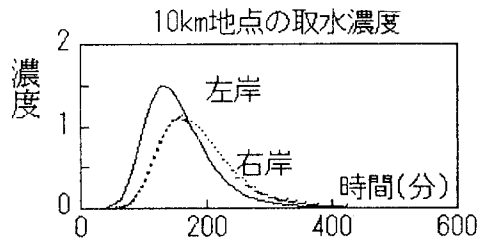


図4. 取水濃度の予測結果(実験1)

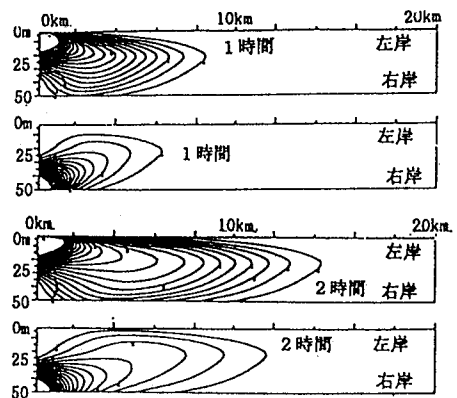


図5. 水質濃度の解析結果(実験2, 3)

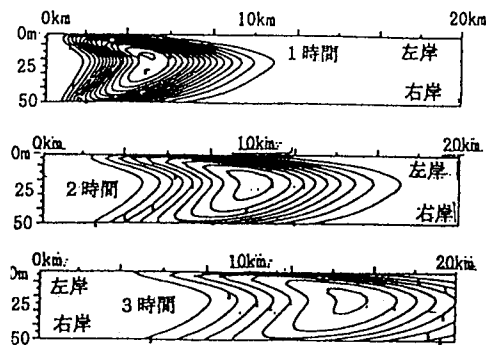


図3. 水質濃度の解析結果(実験1)

流達時間について: 実験1について取水最大濃度「ピーク」までの流達時間などを求め、表2. にまとめた。本モデルは左岸取水と右岸取水での流達時間差異を明らかに表現している。

表2. 流達時間

距離 km	先端		ピーク		尾端	
	左岸	右岸	左岸	右岸	左岸	右岸
10	73	81	145	160	286	315
20	165	177	275	295	480	510

実験4. における動的平衡解の完全混合濃度は 9.70(mg/l) と定常解の 9.29(mg/l) より若干高い。これは本モデルでは横分散計算の物質収支補正を行っているためと考えられる。また流速の低い兩岸近くでの動的平衡解の等高線の形は、定常解と比べてやや下流に伸びている。これは本モデルが横分散と縦分散を分離し簡略化した結果、これら相互の関係を消去しているためと思われる。

以上は単水路モデル河川の結果であるが、これら水質の挙動は実際の河川で広く見られ、本河川モデルが実用に耐うるものと予想できる。また定常解析モデルと比べても若干の差異はあるものの、その程度はさきわめて低いものとする事ができる。

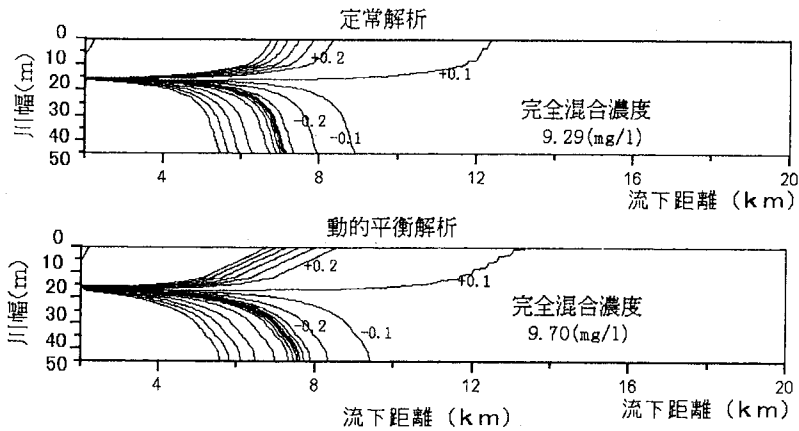


図6. 定常解析と動的平衡解析の比較(実験4)

水質の挙動に影響をおよぼすモデルパラメータは、時間と空間の分割要素である  $\Delta t$ 、 $\Delta x$ 、 $\Delta q$ 、および流速  $u_x$  と横分散定数  $D_z$  の分布のみである。実際の河川に適用する時には、これらの十分な検討が必要であることは当然である。

## 6. 結論

通常の河川で一般に見られる水質分散(フリューム)の挙動を表現でき、かつ従来の定常解析とほぼ同じ動的平衡解が得られ、簡易で高速な河川水質モデルを作成できた。今後実際の河川に適用し、上記モデルパラメータの簡易な決定方法、および流達時間の精度の向上を計って行きたい。

## 参考文献

- (1) Waldon, M. G., "Time-of-travel In the lower Mississippi River: model development, calibration, and application" Wat. Env. Res., Vol. 70, No. 6, 1132-1141, 1998.
- (2) Taylor, G. I., The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe, Proc. Royal Soc. , Ser. A. 223,446-468, 1954.
- (3) Yotsukura, N., and Sayre, W. W., "Transverse Mixing in Natural Chaneels," Water Resources Research, Vol. 12, No. 4, Aug., 1976, pp. 695-704.
- (4) 四倉、中村「河川における溶存物質の二次元輸送解析のための流管モデルについて」、土木学会論文集、第399号/II-10、1988、p85
- (5) 「数理公式集」土木学会、p. 468, 1985.
- (6) 河川水質モデル QUAL2E、ver 1.13, USEPA/ERL .
- (7) Lau, Y. L. and Krishnappan. B. G., "Modeling Transverse Mixing in Natural Streams," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 107, No. HY2, 1981.