

旭川河口部における混合現象の数値シミュレーション

岡山大学工学部 正員 名合 宏久
 広島県庁 正員 馬久地 延幸

筆者らは、これまで旭川河口部を対象として、流動特性および塩分・SSなどの保存物質の分布に関する現地調査を行なっており、数々の知見を得ている。本研究は、これらの観測結果をもとに、従来より提案されている密度流の数値シミュレーションモデル¹⁾の適用性について検討し、あわせて旭川感潮部の流況予測をおこなったものである。

1. 数値シミュレーションモデル

本研究で取扱う数値シミュレーションモデルは、以下の基礎式系により構成される。

$$\text{連続式} : \frac{\partial}{\partial t}(uB) + \frac{\partial}{\partial z}(wB) = 0 \quad (1)$$

$$\text{運動量方程式} : \frac{\partial}{\partial t}(uB) + \frac{\partial}{\partial x}(uuB) + \frac{\partial}{\partial z}(uwB) - \frac{\partial}{\partial x}(BN_x \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial z}(BN_z \frac{\partial u}{\partial z}) + \frac{g\eta^2}{H^3} u|u| \frac{dl}{dz} + \frac{B}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\text{塩分保存式} : \frac{\partial}{\partial t}(SB) + \frac{\partial}{\partial x}(SuB) + \frac{\partial}{\partial z}(SwB) - \frac{\partial}{\partial x}(BK_x \frac{\partial S}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial z}(BK_z \frac{\partial S}{\partial z}) = 0 \quad (3)$$

ここに u, w は x, z 方向の流速, S は塩分濃度, H は水深, p は圧力, B は河川幅である。なお N_x および K_x はリチャードソン数の関数として次式のように表現されるものとする。

$$N_x = K^2 z^2 (1 - \frac{z}{H})^2 \left| \frac{du}{dz} \right| \times \text{EXP}\{-1.5 \times R_i\} \quad (4)$$

$$K_x = K^2 z^2 (1 - \frac{z}{H})^2 \left| \frac{du}{dz} \right| \times \text{EXP}\{-3.0 \times R_i\} \quad K \text{ は定数} \quad (5)$$

$$\text{ここに } R_i \text{ は } R_i = (-g \frac{\rho}{\rho_0}) / \rho \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad (6)$$

である。

2. 差分式

差分は、時間・空間のそれぞれに関しての中央差分で構成された leap frog法を用いる。この差分法は、安定で散逸のないスキームである。しかし、3段階の時間ステップを用いるため、数値的分散が生じるという欠点を持つ。ここでは、分散を抑えるために、拡散項と抵抗の項に、1時間ステップの遅れをつけている。このようにすると、式(1)から(3)は、以下のように差分表示される。

$$\text{連続式} : \delta_x(uB)^n + \delta_z(wB)^n = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{運動量方程式} : & \delta_t(uB)^n + \delta_x(uu^*B)^n + \delta_z(uw^*B)^n - \delta_x(BN_x \delta_x(u))^n - \delta_z(BN_z \delta_z(u))^n \\ & + \frac{g\eta^2}{H^3} u|u| \delta_z(L)^{n-1} + Bg\beta \delta_x(\sum_{j=1}^N S_j \Delta z_j) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\text{塩分保存式} : \delta_t(SB)^n + \delta_x(Su^*B)^n + \delta_z(Sw^*B)^n - \delta_x(BK_x \delta_x(S))^n - \delta_z(BK_z \delta_z(S))^n = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに} \quad \overline{F(x, z, t)}^x &= \frac{1}{2} \{ F(x + \frac{\Delta x}{2}, z, t) + F(x - \frac{\Delta x}{2}, z, t) \} \\ \delta_x[F(x, z, t)] &= \frac{1}{\Delta x} \{ F(x + \frac{\Delta x}{2}, z, t) - F(x - \frac{\Delta x}{2}, z, t) \} \\ \delta_x[F(x, z, t)]^x &= \frac{1}{2\Delta x} \{ F(x + \Delta x, z, t) - F(x - \Delta x, z, t) \} \end{aligned}$$

である。

3. モデルの適用性

モデルの検証に用いた旭川河口部の観測点は図1に示されている。観測項目は、水位、塩分濃度、および流速(京橋、大橋、河口)である。計算対象領域は、新ぜきより河口までの約7.8kmであり、 ΔX を200m, ΔZ を1m, および ΔT を5秒とした。上下流端の境界条件に、観測水位、塩分濃度を与え数値実験を繰り返し基礎式に含まれる諸係数を決定した。その結果得た流況と与える諸係数の値として、粗度係数は0.04、水平方向拡散係数は10



図-1 旭川河口部

び、および鉛直方向拡散係数に含まれる定数 K は 0.3 となった。この場合の流量を図2に示す。また各地点における流速と塩分濃度の鉛直分布を図3～6に示す。計算は満潮時よりはじめているが、図3は計算を始めて3時間後の下げ潮時の分布であり、以後3時間ごとに干潮、上げ潮、満潮と続く。計算値は横断方向の断面平均値であり、観測値はみおすじのものであるから、分布形を重視すると、いずれの場合もうまく表現できている。潮流の卓越した河口と浜中の流況、大橋や浜野のほとんど静止した塩水の上をすへるように流れる河川水の流況、また河川流入量に強く影響を受ける京橋の流況などが、うまく表現できている。

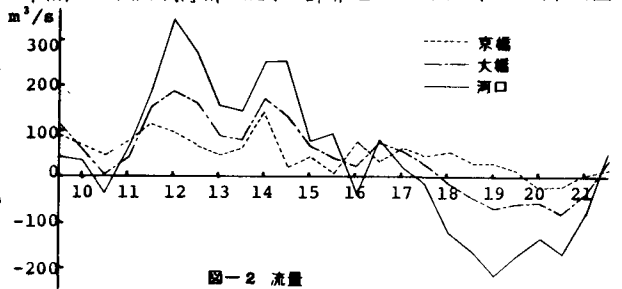


図-2 流量

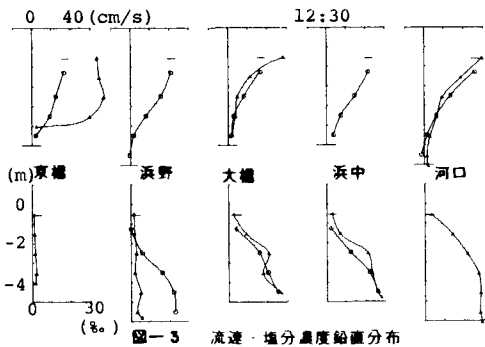


図-3 流速・塩分濃度鉛直分布

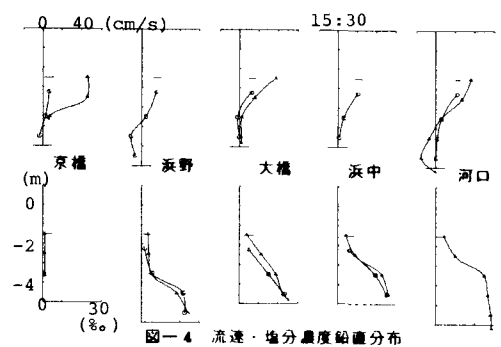


図-4 流速・塩分濃度鉛直分布

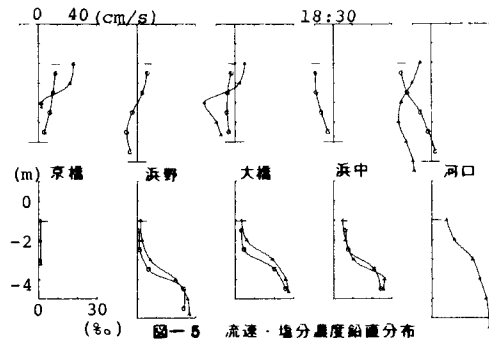


図-5 流速・塩分濃度鉛直分布

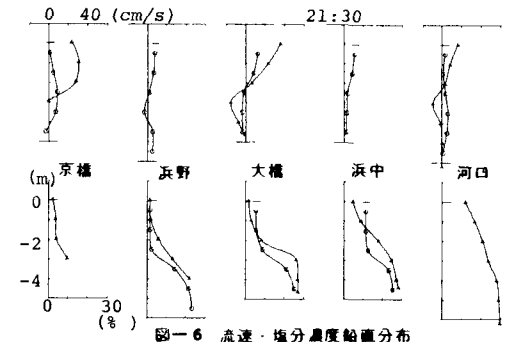


図-6 流速・塩分濃度鉛直分布

4. 河川流量による感潮部の流況変化

いままでに加川河口部において、4度観測を行なっている。それぞれの新堰からの平均流入量は $0, 15, 20$ および今回の 40 である。今回の観測以外は 新堰まで塩水が侵入している。そこで河川流入量と流況変化の特性を得るため数値モデルを用い実験を行なった。流入量は、 50 及び 100 の2種類とした。図7は、干潮時の等濃度曲線図である。 50 では 新堰まで塩水が侵入し、 100 では 6 km付近まで後退している。また今回の観測において11時から13時まで起った、塩水くさびの後退の間の流量は、計算によると平均 70 である。これらより、流入量が 50 以下なら、新堰まで塩水が侵入することがわかった。

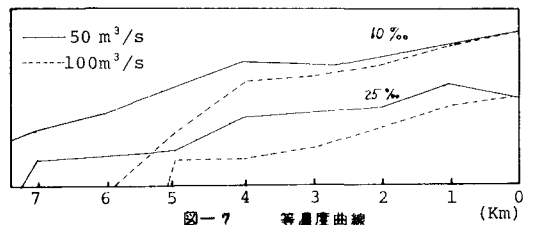


図-7 等濃度曲線

参考文献 1) Alan Fred Blumberg, 1975: A neumerical investigation into dynamics of estuarine circulation. Chesapeake Bay Inst. Technical Report 91, The Johns Hopkins University.