

河口部における水質予測について

山口大学 工学部 正員 ○ 浦 勝
山口大学 工学部 学生員 徳田 総夫

1 はじめに

各種産業の発達と人口の都市集中は都市河川を汚染し、各種の水質障害をもたらしている。これらの問題に関して各分野において多くの研究がなされているが、ここではくに日本海側の河川のように河口部において海水が河床部に侵入し、河川水との間に明瞭な境界面を形成する、いわゆる弱混合型河川について水質分布の計算を試みた。このような型の河川の水質資料が乏しく、十分な検討を行うことが得られず、このような問題を考える際の問題点を検討してみた。

2 基礎式

流水中の着目する物質の濃度 C は一般に次式により表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(-D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(-D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(-D_z \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial x}(uC) + \frac{\partial}{\partial y}(vC) + \frac{\partial}{\partial z}(wC) = S \quad \dots (1)$$

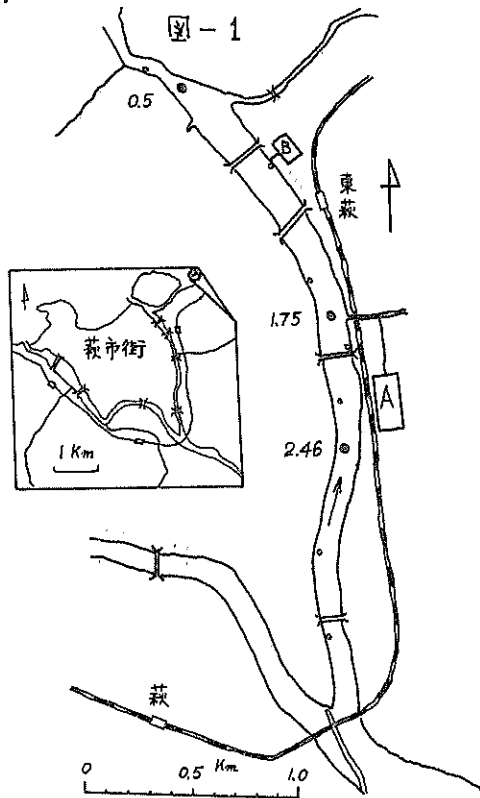
ただし C : 物質濃度, x, y, z : それぞれ河川上流, 横断, 水深方向距離, u, v, w : 流速の x, y, z 方向成分, D_x, D_y, D_z : 拡散係数の x, y, z 方向成分, S : 物質の sink または source で、例えば有機物質で一次反応を仮定できれば $S = -kC$ とする。

式(1)はいくつかの仮定と、与えられた境界条件のもとに種々の解が出されているが¹⁾、ここではこれを弱混合型河川である萩市の松本川に適用してみる。

感潮河川は外海潮汐の多次回の作用と河川固有流の組合せの結果として物質濃度分布が規定されると考えられる。したがって物質分布の非定常問題を考えることはかなり難しい問題であり、水質問題として上・下限となる満・干潮両停留時を擬似定常状態として考えることにする。さらに $u \gg v, w$, $\frac{\partial}{\partial y}C = 0$ 。また着目する流水部を淡水部とすれば、境界面より上部では $\frac{\partial}{\partial z}C = 0$ と考え、右のかわり右辺に source として境界面を通る物質の移動を考へる。また物質を COD で測定したとき一次反応を仮定して sink として減衰を入れる。したがって基礎式は次式のより簡単な一次元形になる。

$$\frac{\partial}{\partial x}(-D \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial x}(-uC) = -kC + K(C_b - C) \quad \dots (2)$$

境界面
K: 移動係数, C_b : 下層物質濃度



3. 松本川の河川性状 および 拡散係数

松本川は図-1に示すようにかなり矯正であるが河口がさわりて狭い。河床形は図-3に見られるように凹凸が激しく、平均的に見て河口より0~1kmでは河床勾配 $3/1,000$ 、1~2.6kmで $3/0,000$ 、2.6~3.4kmで $2/1,000$ とみられる。河道における塩分の鉛直濃度分布測定により、濃度の急変する明瞭な内部境界面を有することが知られた。この境界面高さを用いて淡水部の流積を求めたものの一例が図-2である。これより0.5~2.5kmの区間においては流積はほぼ一定とみることができよう。したがって式(2)において $\partial u/\partial x = 0$ とみることができる。

つぎに拡散係数について

で考える。式(2)において、着目する物質を保存物質である塩分とし、境界面を通る塩分の輸送を後に述べる理由で無視すれば右辺=0となり、

$$\frac{\partial}{\partial x}(D \frac{\partial C}{\partial x}) + U \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

積分して、

$$\ln C + K_1 = -U \int \frac{dx}{D} \quad (4)$$

K_1 : 積分定数。いま、
 $D = D_0 = \text{const.}$ と仮定し、
 $x = l_0$ で $C = C_0$ (外海塩分濃度) とするとすれば、

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\left(\frac{U}{D_0}\right)(x+l_0) \quad (5)$$

逆に拡散係数は

$$D_0 = -\frac{U(x+l_0)}{\ln(C/C_0)} \quad (6)$$

となる。

式(6)を用いて、実測された淡水部塩分濃度を

用いて算出した拡散係数の一部を図-5に示した。これより拡散係数は概々存在する区間では河口より潮位差に関係して減少してゆくようである。潮汐作用が非常に小さい時はほとんど一定と考えることもできるであろう。潮汐作用が大きき時は河口より距離に反比例的に減少し、上流側の河川固有の拡散係数に漸近するものであろう。(したがって Ippen²⁾が仮定したような形を採用して

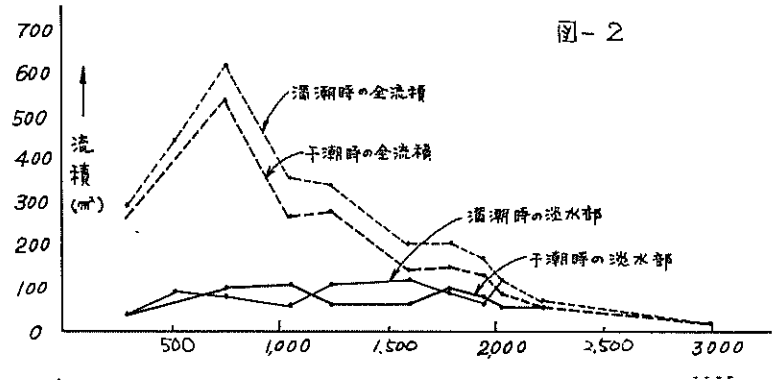
$$D = D_0 l_0 / (x + l_0) \quad (7)$$

式(7)を式(4)に代入して積分を行えば、次式が得られる。

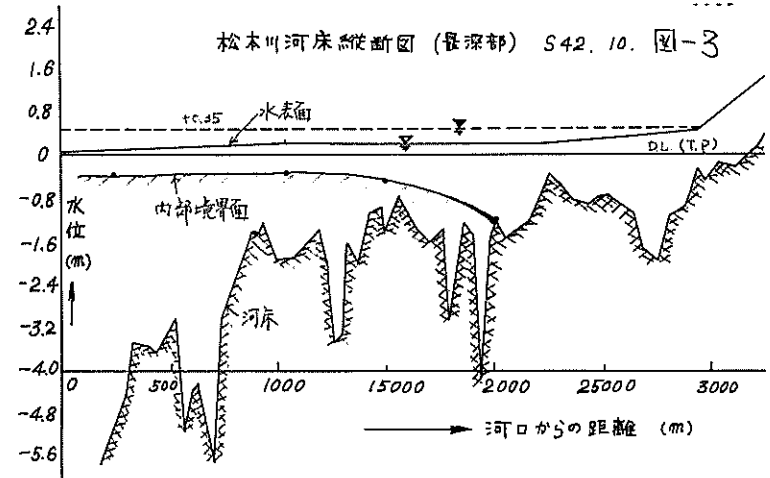
$$\ln \frac{C}{C_0} = -\frac{U}{2D_0 l_0} (x+l_0)^2 \quad (8)$$

ただし D_0 は $x=0$ における拡散係数。

図-2



松本川河床縦断面図 (最深部) S42. 10. 図-3



式(5)~(8) 中の l_0 は河川水が外海に完全に希釈されるまでの河口からの距離を表しており、これは河川固有流量に比例していることが想像される。

ところで式(6)を用いて塩分分布より拡散係数を逆算して中くと、塩分存在する区間より上流の点では、塩分分布が次第に減少し河川固有の濃度に近づくにつれて、 D が無限に大きくなる。この区間では潮汐作用による拡散はもはやなく河川固有流による D の評価が必要と思われる。

このように弱混合型河川における拡散係数については未だ検討されるべき多くの問題が残されている。

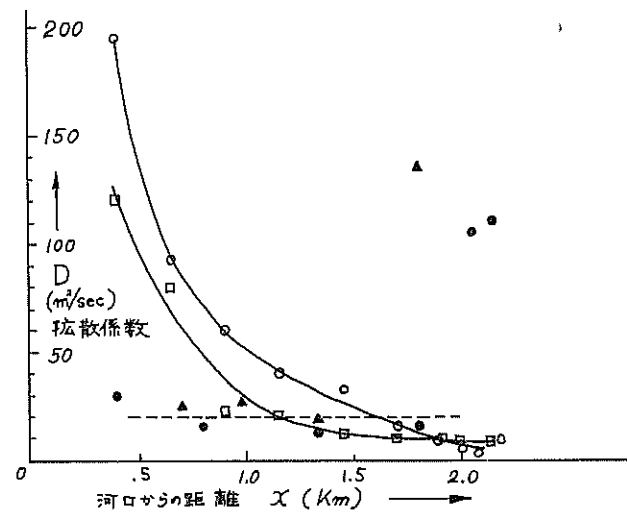
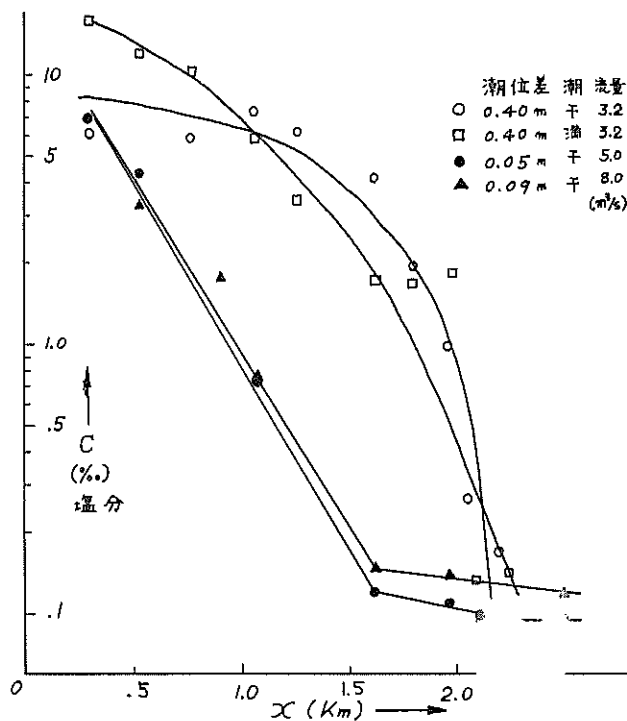
4. 境界面輸送係数

前述のように、内部境界面におけるまき上げを無視して、上層淡水部の塩分濃度を考えれば、式(2)における内部境界面の輸送係数について検討してみる。楕円上層塩分分布は内部流の破壊によるまき上げが主体的に作用していると考え松本川においては $K/U = (1.0 \sim 2.0) \times 10^{-4}$ と与えられた。また石狩川では 10^{-5} 、Keulegan は 2.12×10^{-4} という値を得ている。

ここでは式(2)の K に物理的解釈を以て、量的評価を試みよう。可能な場合運動量と物質移動に關する Prandtl の相似に類推をとり、

$$K = \frac{\tau_i}{\rho} \frac{1}{U + U_i (Sc - 1)} \quad \dots \dots (11)$$

ここに Sc : シュミット数, U : 淡水部相対速度, U_i : 境界面速度, τ_i : 内部境界面剪断力, ρ : 淡水密度。ここで $\tau_i = \tau_i / 2 \rho U^2$ とし Keulegan の実験値 $\tau_i = 35.0 / Re$, ($Re = U_0 H / \nu$ で河口部 Reynolds 数)を用い、さらに $Sc = 475$ ($NaCl \rightarrow H_2O$ at $20^\circ C$) と用いて計算すると、 $K/U = 10^{-7}$ の order となる。式(11)の妥当性、ならびに計算における多くの仮定に対する



検討が十分なされなければ、この評価は無意味となる。ここでは3.における拡散係数の算出を行
 う際の一つの目安として、この U/L の値から一応境界面の輸送を無視することにした。

5. COD 分布

いま、河川の流水部のCOD分布に着目して、式(2)を用い、 x' として河川流下方向距離を用い
 れば、定常状態のCOD分布を表す式は次のようになる。

$$\frac{d}{dx'} \left(D \frac{dL}{dx'} \right) - \frac{d}{dx'} (UL) - K_d L = -K(L_b - L) \quad \dots \dots \dots (9)$$

ただし、 L : COD濃度、 K_d : COD反応係数、 L_b : 底層COD濃度。

ここで D , U , K_d は一定と仮定し、 K を小さいとして無視し、さらに $x' = 0$ で $L = L_0$ とすれば、

$$L = L_0 \exp \left[\frac{(U/2D)(1 \pm m)}{m} \right] \quad \left. \begin{array}{l} m = \sqrt{1 + 4K_d D/U} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

が得られる。符号は $x' > 0$ とし、 $x' < 0$ とし。

COD排水源を国-1のA(河口から距離 $x = 1750m$ に排水)およびB($x = 700$)の2箇
 所のみとして、水質(COD)測定点 $x = 520, 1750, 2460m$ の3点より任意地点のCOD値
 は国-6のようにして、各排水源に対して式(10)で表される解の線型結合として表されるものと
 する。このようにして未知排水源地点Bの濃度を求めた。

資料 $U = 0.0451 m/sec$, $D = 23.0 m^2/sec$, $L_{2460} = 1.22 mg/l$, $L_A = 1.63 mg/l$,
 $L_{520} = 1.53 mg/l$ より $K_d = 0.30 /day$ とし $L_B = 0.05 mg/l$ である。

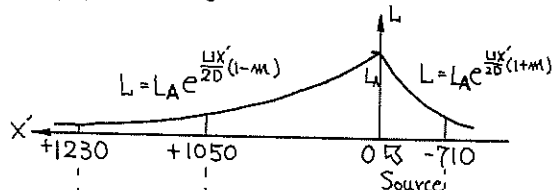
ここでは資料不足より、解法の検証が得られなかった。また L としてCODを用いること、
 および K_d の値に對しては推定の域
 を脱してはなし。

以上ほとんど十分の解析を行
 えたが、しかし、今後検討を怠りてゆ
 くつもりである。諸賢の御批判を載
 ければ幸甚である。

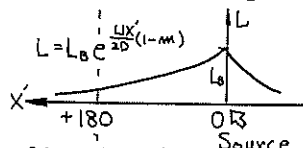
参考文献

- 1) 水質汚濁機構: 衛生工学ハ
 プ7, P870~ 技報堂.
- 2) M. O'Connor: Estuarine distribution
 of nonconservative substances, ASCE
 SA1, Feb. 1965, 73.
- 3) Jppen et al: One dimensional
 analysis of salinity intrusion in estuaries
 Tech. Bul. Cop. Eng. U.S. No. 5 June 1961.

(1) A点からの放流



(2) B点からの放流



(3) = (1) + (2)

