

内湾における拡散係数の評価について

九州大学 学生員○相良 誠 九州大学 正 員 小松 利光
佐賀大学 正 員 大串 浩一郎 九州工業大学 正 員 朝位 孝二

1. はじめに 内湾における物質の拡散係数の評価は、過去さまざまな試みが行われているが、内湾は複雑な地形と潮流をもつために一次元的な取り扱いにおいても場所毎の拡散係数を評価することが必要である。そこで、小松ら¹⁾は、瀬戸内海において場所毎の代表流速・代表長さから拡散係数を評価し一次元拡散方程式を数値計算法で解くことを試みている。本論文で我々は、有明海における拡散係数を同様の方法を用いて評価してみた。

2. 基礎式 保存性物質の濃度(単位質量の海水に含まれる物質の質量)を $C(x, t)$ 、断面積を $A(x)$ 、拡散係数を $K(x)$ とする。 K には断面平均流速 $U(x)$ による移流以外の混合拡散に関する全ての要因が含まれている。内海の長さを L 、湾奥 $X=1$ を通って単位時間に流入する海水の量を Q_0 、単位長さ当たり単位時間に供給される淡水の量を $q(x)$ 、放出現物質の質量を $m(x)$ とすると一次元の連続の式と拡散方程式は次のようになる。

$$U(x) = \frac{1}{A(x)} \left\{ Q_0 + \int_0^x q(\xi) d\xi \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AK \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{qC}{A} + \frac{m}{\rho A} \quad (2)$$

ここで境界条件は、 $C_{x=1}=C(1)$ 、 $C_{x=L}=C(L)$ である。本論文での計算方法としては、Split Operator Approachを採用し式(2)の左辺の移流項の計算はKomatsuらによって開発された高精度の6-point scheme²⁾を、右辺の拡散項の計算は2次精度の中央差分を用いた。

3. 有明海への適用

(1) 計算条件 有明海は、湾口から湾奥まで96km、平均幅18km、水面面積1700km²、平均水深約20mであるが、日本最大といわれる潮差の激しい海域であり、湾奥部において広大な干潟が発生する。このため、図-1に示すように今回の計算においては、この干潟の影響の少ない諫早湾以南に計算軸を設定している。流向は、恒流を考えているので湾奥から湾口への向きで一定とする。また、保存性物質としてここでは塩素量を用いるので式(2)において $m=0$ とし、 Q_0 は $12.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{hr}$ 、拡散係数の評価に用いる代表流速として M_2 潮最大流速 (V_m)、代表長さとして海面幅 (b) を用いる。各計算点での諸量は、表-1に示すが、断面積 (A)、海面幅 (b) は海図から読み取り、淡水供給量 (q) と Q_0 は、一級河川については流量年表³⁾より求め、二級河川以下については一級河川の比流量から推定した比流量に流域面積を掛けて評価した。また、 M_2 潮最大流速、塩素量については、それぞれ海上保安庁⁴⁾、気象庁⁵⁾の資料より直線内挿して計算点での値を求めた。

計算点は、図-1に示す様に等間隔にとり15点であり、計算格子間隔は $\Delta x = 5000\text{m}$ 、 $\Delta t = 1.0\text{min}$ とする。境界条件としては、計算領域の両端 ($x=1$ と 15) に於て塩素量 $C_1=0.01708$ 、 $C_{15}=0.01871$ とし、

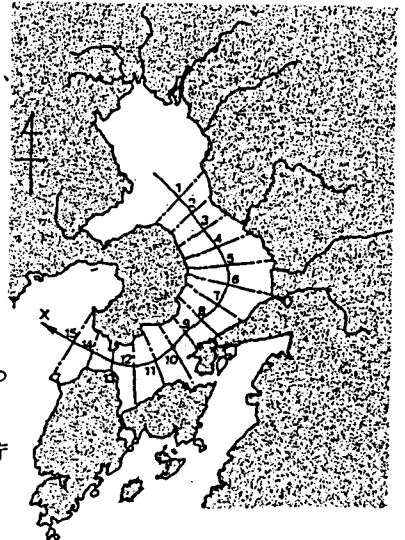


図-1 有明海と計算座標

計算解は解が定常となるまで繰り返し計算して求める。

(2) 計算結果 式(1)、(2)を数値計算法で解いて求めた結果と実測値を図-2に示す。ここで、数値解に用いた拡散係数Kは次の様に表す。

$$K = \beta V_m b$$

ここで、 V_m は M_2 潮最大流速、 b は海面幅、また、 β は比例定数で解が実測値に最もよく一致するようにtrial法で決定した。以前同様の方法で瀬戸内海においても $\beta=0.13$ を決定しているが、今回の場合 $\beta=0.04$ となり瀬戸内海における β の0.3倍程度の値となっている。この原因は、湾内に存在する島が拡散に寄与するものと考えられ、瀬戸内海とは異なり有明海には島がほとんどないため拡散係数自体瀬戸内海より小さく、それが比例定数を小さくしていると思われる。

次に、場所毎の拡散係数を図-3に示す。拡散係数は、湾内部では $0.4 \sim 0.5 (\times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec})$ の範囲にあり、湾口部の早崎瀬戸付近では大きくなり最大 $1.0 (\times 10^7 \text{cm}^2/\text{sec})$ となるが海峡部に於て極小値をとっている。これは、この地点は M_2 潮最大流速はmaximumの地点であるが、それ以上に海面幅 b が近傍の点に較べ極端に小さくなっているからであろう。

4. むすび 今回の拡散係数の評価は、 M_2 潮最大流速と海面幅の積に比例するものとして取り扱ったが、さらにtidal excursionを用いた評価を行い、また、湾奥部における計算手法を見出し有明海における一次元拡散係数を精度良く評価したい。最後に、本研究に協力いただいた九州大学4年生の矢野真一郎君に感謝の意を表する。

5. 参考文献

- 1) 小松利光・相良誠・朝位孝二・大串浩一郎：瀬戸内海における物質の拡散係数の評価，海岸工学論文集第36巻(1989)
- 2) Komatsu, T., F.M. Holly, N. Nakashiki and K. Ohgushi: Numerical calculation of pollutant transport in one and two dimensions, J. Hydroscience and Hydraulic Eng., Vol. 3, No. 2, pp. 15~30.
- 3) 建設省河川局編(1984~86): 第37回~第39回流量年表、日本河川協会
- 4) 海上保安庁水路部：有明海、八代海海象調査報告書、昭和49年
- 5) 気象庁：有明海・八代海の海象調査報告書、昭和49年

表-1 断面の諸量

断面座標	断面積 A (10^3m^2)	海面幅 B (m)	水深 H (m)	M2潮 最大流速 q (cm^2/sec)	拡散係数 C1 (0/00)
1	257.43	15.7	16.5	71.7	17.08
2	234.95	11.5	17.5	84.4	17.11
3	294.95	13.2	131.1	84.4	17.15
4	326.75	14.1	123.4	75.9	17.24
5	438.06	20.0	113.0	63.3	17.39
6	501.38	16.7	281.3	71.7	17.48
7	520.40	15.3	174.5	80.1	17.61
8	417.45	13.0	13.8	101.2	17.73
9	345.30	9.7	20.2	113.9	17.87
10	371.70	15.1	28.6	126.6	18.01
11	319.90	14.0	24.7	143.4	18.15
12	384.05	15.3	26.6	164.5	18.29
13	157.90	4.6	29.4	295.3	18.43
14	342.10	10.6	22.9	189.8	18.57
15	552.35	18.0	25.5	105.5	18.71

*単位 $10^6 \text{m}^2/\text{km}^2/\text{year}$

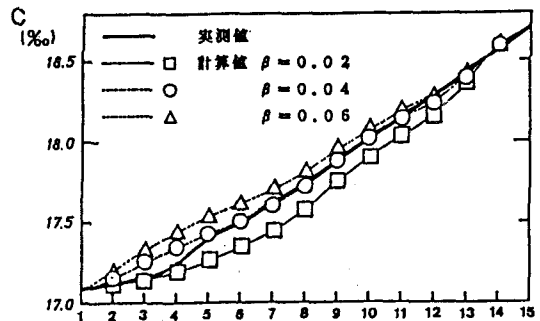


図-2 実測値と計算値の比較

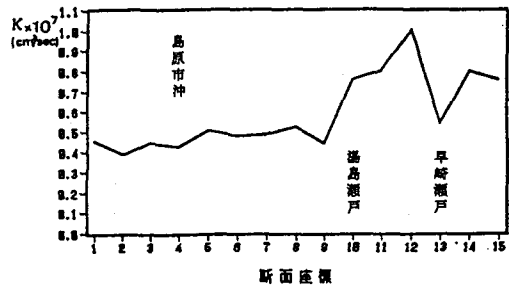


図-3 場所毎の拡散係数