内湾における拡散係数の評価について

九州大学　大学院　学生員○相良　誠
九州大学　工学部　正　員　小松　利光
九州大学　大学院　学生員　矢野　真一郎

1．緒言 内湾における拡散の数値計算は、現在その多くの場合、拡散係数の場所的な変化が考慮されていない。そこで、我々は一次元拡散方程式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することを試みている[1)]。代表流速としてM_2潮最大流速、代表長さとして海面幅とtidal excursionの２種類を用いる。本報告では、これまでに評価を行った５つの海域（瀬戸内海、有明海、博多湾、鹿児島湾、別府湾）について考察を行なう。

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(x)には断面平均流速U(x)による移流以外の混合拡散に関与する全ての要因が含まれている。また、内湾の長さをL、湾奥X=0を通って単位時間に流入する海水の量をQ_0、単位長さ当り単位時間に供給される淡水の量をq(x)、放出物質の質量をm(x)とすると一次元の連続の式と拡散方程式は次の様になる。

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

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

定常でm(x)=0の場合

$$UAC - AK\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

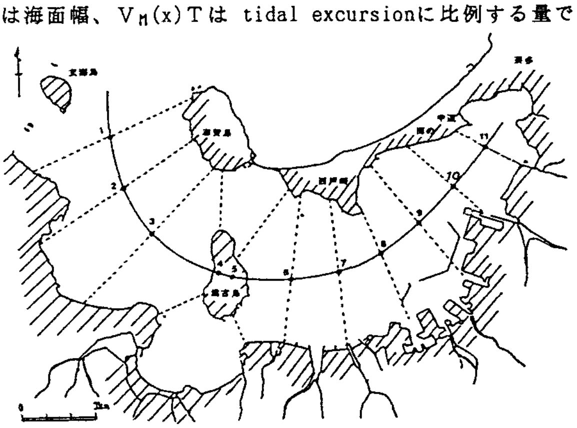
ここで、境界条件は（２）式については$C_{x=0}=C(0)$，$C_{x=L}=C(L)$また（３）式に対しては$C_{x=L}=C(L)$である。（２）式での計算方法としては、Split Operator Approachを採用し左辺の移流項の計算はKomatsuらによって開発された高精度の6-point scheme[2)]を、右辺の拡散項の計算は二次精度の中央差分を用いた。（３）式の計算方法としては、差分式に二次精度風下差分を用い順次風下側から値を求めていく方法とした。

次に、数値計算に用いる拡散係数を次の様に表す。

$$K_a(x) = \alpha V_M(x)^2 T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4) \qquad K_b(x) = \beta V_M(x) B(x) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

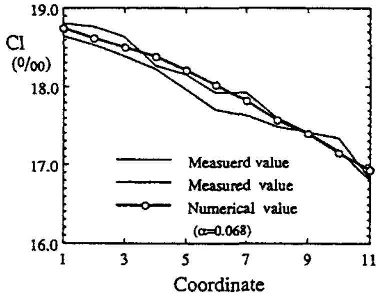
ここで、$V_M(x)$は場所毎のM_2潮最大流速、B(x)は海面幅、$V_M(x)T$はtidal excursionに比例する量でTはM_2潮周期(12.42hr)、α、βは比例定数で解が実測値に最も良く一致するようにtrial法で決定した。また、ここで用いる海面幅Bの評価方法としては図－１に示すように、計算座標内に島がある場合は幅の広い方を採用する。

3．計算結果 ５つの海域に於て、（１），（２）式もしくは（１）、（３）式を用い、拡散係数として（４）式を用いた場合と（５）式を用いた場合の結果を示す。博多湾における計算座標を図－１に、（４）式を用いた場合の塩素濃度の計算結果を図－２に、（５）式を用いた場合を図－３に示す。博多湾の場合、図－２、図－３共に良い一

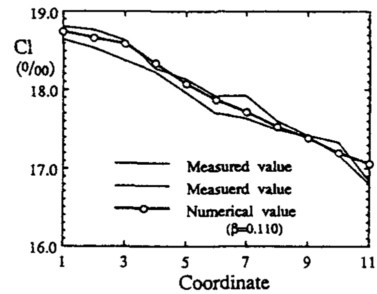


図－１　博多湾と計算座標

致を示している。更に、他の4つの湾について、最適解の値を平均潮汐流程$\overline{VmT}$と平均海面幅$\overline{B}$と共に表－1に示す。ここで、有明海については最適なαが得られなかった。全般的に（4）式と（5）式とでは、（5）式を用いる方が良い計算結果が得られたが、$\overline{VmT}$と$\overline{B}$の比λが小さい場合は（4）式の方がより良い計算結果を与えることが分かった。つまり、λ≦1の場合α、λ＞1の場合βを用いる方が良い。α、βは地形の複雑さの影響を受けると思われるので、5つの海域についてαとβの値と海域の形状との関連を検討した。表－2に示す様に、5つの海域の計算範囲内の海岸線の長さＬｃ、内湾の長さＬに着目し、地形の複雑さを表すパラメータΨとして次式を定義した。



図－２　計算結果（(４)式）



図－３　計算結果（(５)式）

表－１　計算結果とλ

	平均潮汐流程 $\overline{VmT}$	平均海面幅 $\overline{B}$	$\lambda=\frac{\overline{VmT}}{\overline{B}}$
瀬戸内海 (21点)	16.3 km (α=0.28)	30.8 km (β=0.16)	0.53
博多湾 (11点)	6.7 km (α=0.068)	5.1 km (β=0.11)	1.32
鹿児島湾 (9点)	6.7 km (α=0.040)	11.8 km (β=0 06)	0.57
有明海 (13点)	55.6 km	13.8 km (β=0.044)	4.03
別府湾 (11点)	6.8 km (α=0.035)	14.0 km (β=0.030)	0.49

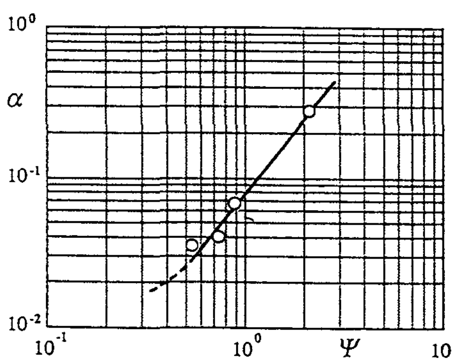
$$\Psi = \frac{Lc}{(2L+\overline{B})\ \text{or}\ (2L)} - 1 \qquad \cdots\cdots\cdots (6)$$

ここで、（６）式右辺の分母は湾が片端開口の場合（２Ｌ＋$\overline{B}$），両端開口の場合（２Ｌ）とする。αとβの値をΨに対してプロットしたのが図－４(a),(b)である。図－４からΨの値が分かればα又はβの値が一義的に決定される。

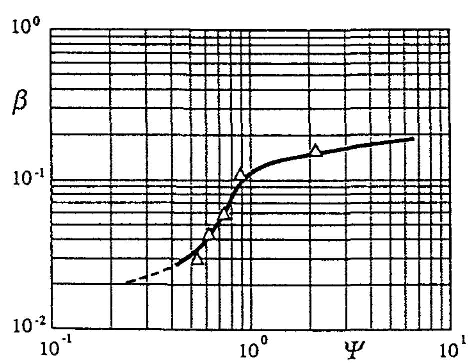
表-2　海岸線の長さと複雑さ

	海岸線の長さ Lc (km)	内湾の長さ L (km)	複雑さのパラメータΨ
瀬戸内海 (21点)	2514	400.0 (dx=20.0km)	2.14
博多湾 (11点)	92.4	22.0 (dx=2.0km)	0.88
鹿児島湾 (9点)	254.1	67.5 (dx=7.5km)	0.73
有明海 (13点)	194.3	60.0 (dx=5.0km)	0.62
別府湾 (11点)	106.4	27.5 (dx=2.5km)	0.54

４．結論　内湾における一次元拡散係数は湾のM_2潮最大流速と海面幅で表され、地形の複雑さのパラメータΨを導入することにより比例定数α、βが決定された。



図－４(a)　αの値の決定



図－４(b)　βの値の決定

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.