

## 非保存物質分布から得られる拡散係数

市川 洋\*・茶 圓 正 明\*

### The Diffusion Coefficient Evaluated from the Distribution of Nonconservative Material

Hiroshi ICHIKAWA\* and Masaaki CHAEN\*

#### Abstract

The horizontal eddy diffusion coefficient (DC) is estimated from the distribution of nonconservative material (NM) near a fish-cultivated ground taking into account the material discharge, reduction, descending speed of material, and advection by horizontal and vertical water motion. The differential equation about DC is formulated and solved under the following conditions.

- 1) Consider in the vertically two dimensional plane of which length is  $L$  and the depth  $H$ .
- 2) The distribution of NM is in steady state and uniform in the longshore direction.
- 3) The reduction rate  $\gamma$  and the descending speed  $W$  are uniformly constant.
- 4) The production  $q$  has a constant value only in a limited region below the fish cages. The value of  $q$  corresponds only to the total NM discharge,  $T$ , into the sea by fish cultivation.
- 5) At  $z = H$ , the material dispersion due to vertical diffusion is much smaller than those due to descending and vertical advection.
- 6) The concentration of NM vertically averaged from  $z=0$  to  $H$ ,  $\bar{c}$ , can be represented by
- 7) The ratio  $\beta$  of  $[C]_H$  to  $\bar{c}$  is constant, where  $[C]_H$  is the NM concentration at  $z = H$ .
- 8) The  $x$  and  $z$  components of mean current velocity,  $\bar{u}$  and  $[w]_H$  can be represented by as follows, respectively.

$$\bar{u}(x) = \bar{u}_0 x / L, \quad [w]_H = -\bar{u}_0 H / L.$$

The solution is applied to Ushine area, inner part of Kagoshima Bay. The distribution of COD concentration observed in summer of 1977 is used in the estimation of DC. By adopting the parameters to be as follows,

$$H = 20 \text{ m}, \quad L = 3 \text{ km}, \quad \alpha = 3 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1},$$

$$C_0 = 5.8 \times 10^{-7} \text{ g/cm}^3, \quad \beta = 0.8, \quad T = 3 \text{ ton/day},$$

$$\gamma = 0.01 \text{ day}^{-1}, \quad W = 0.3 \text{ m/day}, \quad \text{and} \quad \bar{u}_0 = 0.5 \text{ cm/sec},$$

the value of DC at  $x = L$  is calculated to be  $1.61 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{sec}$ , of which order of magnitude agrees with that evaluated from the data obtained by the direct measurement of current

\* 鹿児島大学水産学部海洋環境物理学講座 (Laboratry of Physical Oceanography, Faculty of Fisheries, Kagoshima University. Shimoarata 4-50-20, Kagoshima, 890 Japan)

velocity for a month in summer of 1979 on 10 m layer of Ushine area. It is found that the total discharge or production, descending speed of material, reduction rate and water motion have the same order of magnitudes of contributions to the evaluated diffusion coefficient.

有機汚染物質の海水中の分布は、移流、拡散、沈降速度・分解速度等の物質特性および汚染源からの流入量によって規定されている。したがって、負荷量の増大に伴う水質の悪化を予測するためには、海水流動場の平均像、拡散係数、および物質の特性量が定量化されていなければならない。しかし、海水流動場の実測には多大な労力と経費を要し、拡散係数や物質の特性量を定量化する場合にもまた多くの難しい問題がある。他方、物質分布の測定は比較的容易である。このことから、塩分等の保存物質分布から拡散係数や海水流動場を求める試みがいくつか行なわれている<sup>1)</sup>。しかし、非保存物質(例えば有機汚染物質)の分布から拡散係数を求める試みはなされていない。

鹿児島湾の最奥部である牛根海域では1960年よりハマチの養殖が行なわれており、残餌や廃泄物として有機物質が海域に連続的に負荷されている。当海域の10m層の潮流は大潮期の強流時には25cm/secに達することがあるものの、それ以外の期間では非常に弱く、平均流速は南西向き、0.7cm/secであった<sup>2)</sup>。また、水温・塩分の湾奥部縦断面内の分布は湾奥部牛根海域が湧昇域であることを示している。このことから、当海域の有機物質分布は水平移流ではなく、潮汐混合を主とする渦動拡散と湧昇流による鉛直移流に支配されていると考えられる。夏季1ヶ月間の連続測流結果から、潮流の影響を含んだみかけの拡散係数は当海域では $4.8 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{sec}$ であることを我々は既に報告している<sup>2)</sup>。

ここでは鹿児島湾奥部牛根海域を例にとり、有機汚染物質の分解率・沈降速度・負荷率および湧昇流速を考慮に入れて、非保存物質(COD)分布から拡散係数を試みに求めたので、その結果について報告する。

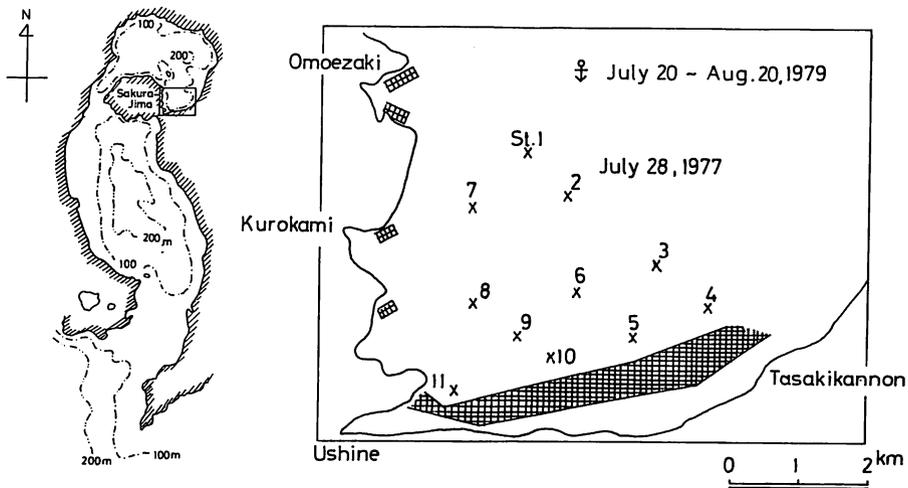


Fig. 1. Map of Ushine area in Kagoshima bay. Crosses indicate the locations of oceanographic observations, the anchor mark that of direct current measurement, and cross striped area the region in which fish cages existed.

観測結果の概要

本論に進む前に、鹿児島湾牛根海域の海況と COD 分布の概要をここで述べる。

解析に用いた資料は Fig. 1 に×印で示す11測点での各層観測資料で、鹿児島大学水産学部練習船南星丸によって1977年7月28日に得られたものである<sup>3)</sup>。図中のイカリ印の点では1979年7月20日から8月20日までの1ヶ月間、10m層で連続測流を行なった。図中の斜線域は当時、ハマチ養殖のイケスが配置されていた所である。

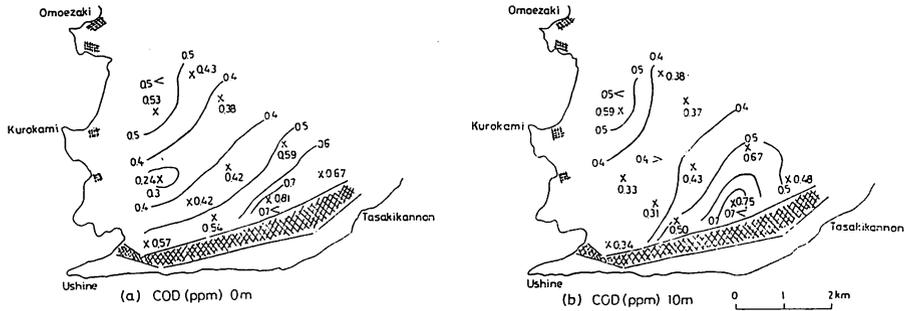


Fig. 2. Horizontal distributions of COD concentration on the sea surface level (a) and the level of 10 m (b).

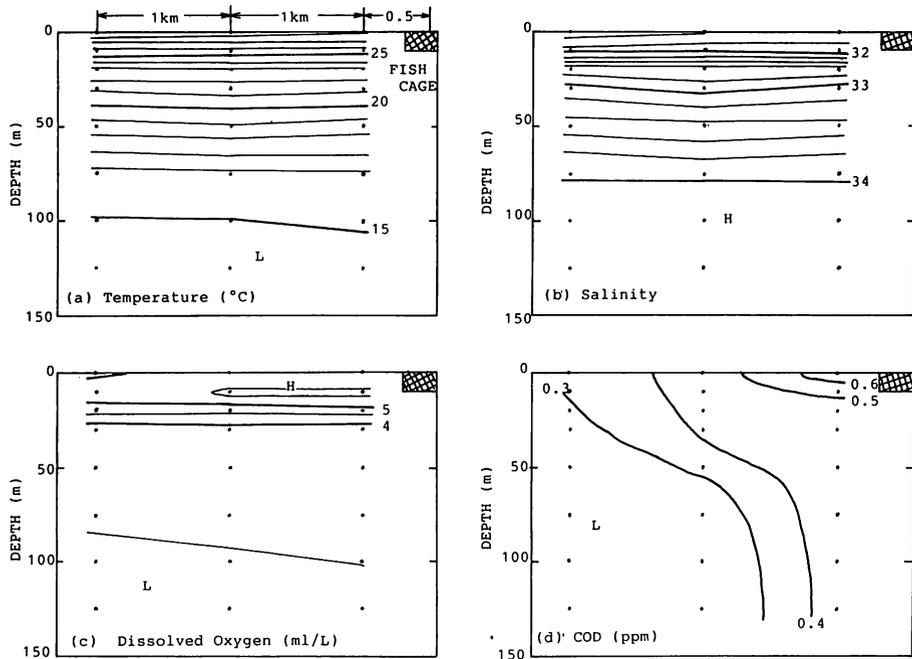


Fig. 3. Vertical distributions of water temperature (a), salinity (b), dissolved oxygen (c), and COD concentration (d) averaged over longshore direction.

表層 0 m 層と 10 m 層における COD の水平分布を Fig. 2 (a) と (b) に各々示す。イケス近くの岸沿いで COD は高い値となっており、岸より離れた地点では低い。このことは、有機物質がイケスから沖向きに徐々に拡がっており、平均的な水平海水流動による物質移動の効果は小さいことを示唆している。

Fig. 3 (a), (b), (c), (d) は各々、水温、塩分、溶存酸素、COD の鉛直断面分布である。これらの分布図はイケスに一番近い第 1 列目 (Stn. 4, 5, 10, 11), 第 2 列目 (Stn. 3, 6, 9) および第 3 列目 (Stn. 2, 8) の各測線別に平均した値から作成したものである。水温の鉛直勾配は 30 m 以浅で大きくなっているのに対し、塩分と溶存酸素量は 10~30 m に躍層を形成している。Fig. 3. (b), (c) より当海域の夏季の海洋構造は 10~30 m 深を境にして表層と下層に分離できると思われる。

水温・塩分・溶存酸素の等値線はいずれもほぼ水平である。他方、COD はイケス付近の表層が最大であり、全層で岸 (イケス) から離れるにつれて徐々に減少している。保存量である塩分の分布と非保存量である COD の分布とが全く様相を異にしていることは、COD がイケスから負荷されていることと対応している。また、表層における水温・塩分・溶存酸素の等値線が沖側でわずかに岸側より深くなっていることは、表層下には沖へ向う流れと、これに対応した湧昇が存在することを示唆している。

## モデル

Fig. 3 (d) に示された COD の分布機構を考えるために、Fig. 4 で示すようなモデル領域での非保存物質の拡がり方についてここで検討する。

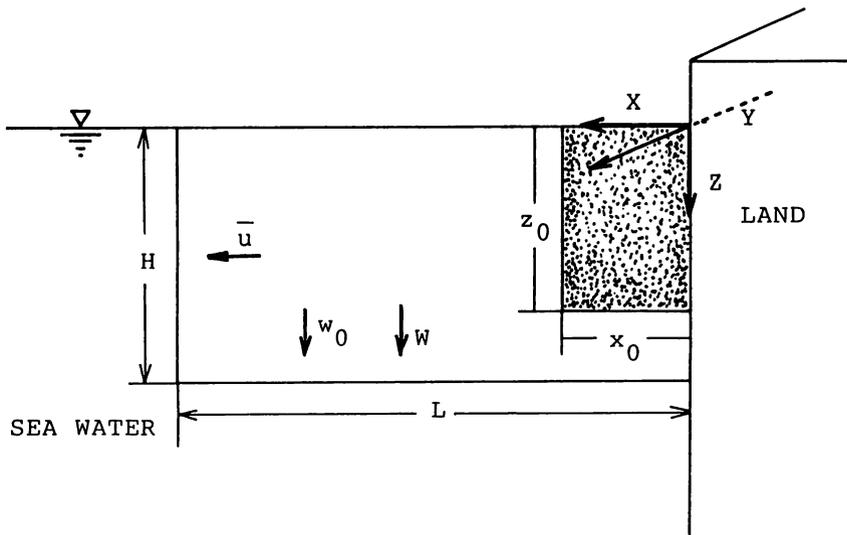


Fig. 4. Definition of axes and area adopted in the model.

一般に濃度  $C$  で表わされる非保存物質量の保存式を海面から深さ  $H$  まで鉛直積分したものは次式で表わされる。

$$\begin{aligned} H \frac{\partial}{\partial t} \bar{c} + H \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u} \cdot \bar{c}) + H \frac{\partial}{\partial y} (\bar{v} \cdot \bar{c}) + \left[ (w+W)C \right]_0^H \\ = H \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} \right) + H \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial}{\partial y} \bar{c} \right) + \left[ D_z \frac{\partial}{\partial z} C \right]_0^H + \int_0^H \gamma C dz + \int_0^H Q dz \end{aligned} \quad (1)$$

ここで  $x$  はイクスからの水平距離,  $y$  は岸に沿う方向の座標,  $z$  は深さである (Fig. 4 参照)。また  $t$  は時刻,  $w$  は流速の下向き成分である。  $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$  と  $\bar{c}$  は各々流速の  $x$  成分  $u$ ,  $y$  成分  $v$ , 物質濃度  $C$  の鉛直平均値であり, 例えば  $\bar{c}$  は次のように定義される,

$$\bar{c} = H^{-1} \int_0^H C dz \quad (2)$$

$D_z$  は鉛直拡散係数,  $D_x$  と  $D_y$  は  $u$ ,  $v$ ,  $c$  の鉛直平均値からのずれの効果を含んだ渦動拡散係数の  $x$ ,  $y$  成分,  $\gamma$  は分解係数,  $Q$  は生成率,  $W$  は物質の沈降速度である。なお  $H$  としては, 夏季牛根海域の海洋構造 (Fig. 2(a)と(b)) の特性から 20m, 海域の大きさから  $L$  は 3 km 程度とする。

ここで以下の仮定を導入する。

仮定 1 : 現象は定常状態にある。

仮定 2 : 現象は  $y$  方向に一様である。

仮定 3 : 沈降速度  $W$  と分解係数  $\gamma$  は一定である。

仮定 4 : 生成率  $Q$  はイクス付近でのみ一定値  $q$  であり, 他の領域では 0 であると仮定し,  $Q$  を次式で表わす。

$$Q = qY(x_0 - x) \cdot Y(z_0 - z) \quad (3)$$

ここで関数  $Y(a)$  は  $a > 0$  で 1,  $a < 0$  で 0 となる階段関数である。

仮定 1 は海洋構造と餌の投入量が季節によって異なることからして, 正しいとは言えない。しかし, 夏季の数ヶ月間では差程の変化はないと仮定した。仮定 2 は Fig. 3 のような COD 分布 ( $y$  平均) を考えている場合には良いが, 岸沿いの流れが大きい場合には適用できない。また, 物質の沈降速度  $W$  や分解率  $\gamma$  は必ずしも一定ではないことが指摘されている<sup>4), 5)</sup>。仮定 4 は養殖イクスに餌が投入されることによるのみ有機物質が海中に生成されると仮定したことに対応している。しかし, 海水中では有機物質の凝縮・溶出により生成率  $Q$  は必ずしも零でないといわれている<sup>5)</sup>。仮定 1, 2, 3, 4 は現実の各過程を厳密に表わしているわけではない。ここでは非保存物質の分散機構における各素過程を単純化し, 物質分布から拡散係数を求める場合に各素過程が算出値にどの程度寄与するのかを評価するために, 上記仮定を導入する。

仮定 1, 2, 3, 4 より(1)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} H \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} + H \bar{c} \frac{\partial}{\partial x} \bar{u} + \left[ (w+W)C \right]_0^H \\ = H \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} \right) + \left[ D_z \frac{\partial}{\partial z} C \right]_0^H + \gamma H \bar{c} + qz_0 \cdot Y(x_0 - x) \end{aligned} \quad (4)$$

なお、 $\bar{u}$  と  $w$  の間には質量保存式より

$$H \frac{\partial}{\partial x} \bar{u} = - \left[ w \right]_0^H \quad (5)$$

の関係がある。海面 ( $z=0$ ) での物質の流入がないことより、(4)式は

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} \right) &= \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} - \gamma \bar{c} - q z_0 H^{-1} Y(x_0 - x) \\ &+ H^{-1} \left[ w(C - \bar{c}) + WC - D_z \frac{\partial}{\partial z} C \right]_H \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

ここで次の仮定を導入する。

仮定5:  $z=H$  (約20m深) における下方への物質移動は主として、移流 ( $w$ ) と沈降 ( $W$ ) によって生じ、鉛直拡散 ( $D_z$ ) の寄与は小さい。

この仮定は Fig. 3 (b)と(c)で10~30m深に躍層があることから採用した。

仮定5より、水平拡散係数  $D_x$  は物質分布  $\bar{c}$ 、海水流動場 ( $u, w$ )、分解率  $\gamma$ 、沈降速度  $W$  と次の方程式で結びついていることになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} \right) = \bar{u} \frac{\partial}{\partial x} \bar{c} - \gamma \bar{c} - q z_0 H^{-1} Y(x_0 - x) + H^{-1} \left[ w(C - \bar{c}) + WC \right]_H \quad (7)$$

この式より、 $\bar{c}$ 、 $C$ 、 $\bar{u}$ 、 $w$  が  $x$  の関数で与えられれば、 $D_x$  もまた  $x$  の関数として求めることができる ( $\gamma, q, W, z_0, H$  は各々定数である)。

茶園と市川<sup>2)</sup>は牛根海域では表層0, 10, 20m層のCOD濃度が各々、イクスからの距離の増加に対し指数関数的に減少することを指摘している。しかし、その近似度は差程良くなく、かなりばらついている。瞬間点源の物質が拡散によってのみ拡がる場合の分布形は

$$\bar{c} = C_0 \exp(-\alpha^2 x^2) \quad (8)$$

となることは良く知られている<sup>6)</sup>。Fig. 3を基にしたCOD濃度の表層20m深までの平均COD濃度  $\bar{c}$  および20m層 ( $z=H$ ) でのCOD濃度  $[C]_H$  とイクスからの距離  $x$  の自乗との関係を Fig. 5に示す。図より、 $\bar{c}$  は(8)式で良く近似できることと、 $\bar{c}$  と  $[C]_H$  との比  $[C]_H / \bar{c}$  はほぼ一定値 (0.8) と近似できることがわかる。そこで、ここでは

仮定6:  $\bar{c}$  は(8)式で表わされる。

仮定7:  $z=H$  でのCOD濃度  $[C]_H$  と鉛直平均濃度  $\bar{c}$  との比

$$\beta = [C]_H / \bar{c}$$

は一定である。

とする。

流速場  $\bar{u}$  と  $w$  については観測では明確ではないが、陸岸 ( $x=0$ ) で流れがないことより仮定8:  $\bar{u}$  は  $\bar{u} = \bar{u}_0 x / L$  で表わされる。ここで  $\bar{u}_0$  は  $x=L$  における冲向き流速の鉛直平均である。

と仮定する。

このとき、 $z=H$ での鉛直下向きの流速  $[w]_H$  は(5)式より

$$[w]_H = -H\bar{u}_0/L = w_0 \quad (9)$$

と一定値になる。 $w_0 < 0$  が湧昇、 $w_0 > 0$  が沈降に対応する。

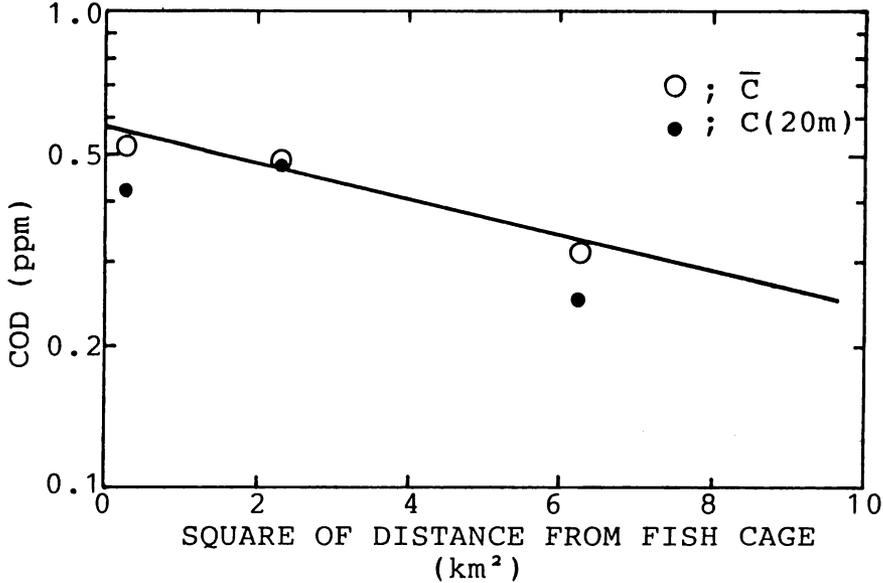


Fig. 5. Relation of COD concentration averaged over upper 20 m and that at 20 m to the square of distance from fish cage.

仮定 6, 7, 8 より,  $D_x$ に関する微分方程式は

$$\frac{\partial}{\partial x} D_x + x^{-1}(1 - 2\alpha^2 x^2) D_x = \bar{u}_0 x/L + (\gamma H + \beta W + (\beta - 1) w_0)/(2\alpha^2 H x) + qz_0/(2\alpha^2 H C_0 x) \cdot Y(x_0 - x) \cdot \exp(\alpha^2 x^2) \quad (10)$$

となる。

一般に関数  $f(x)$  についての微分方程式

$$\frac{\partial}{\partial x} f(x) + p(x)f(x) = g(x)$$

の解は

$$f(x) = A_1 \exp\left(\int -p dx\right) \cdot \left[\int g\left(\int p dx\right) dx + A_2\right]$$

となる。ここで  $A_1, A_2$  は積分定数である。よって  $D_x$  は

$$D_x = (A_1/x) \exp(\alpha^2 x^2) \left[ (\gamma H + \beta W + (\beta - 1) w_0)/(2\alpha^3 H) \cdot F_1(\alpha x) + qz_0/(2\alpha^2 H C_0) \cdot F_2(x; x_0) - \bar{u}_0/(2\alpha^3 L) \cdot F_3(\alpha x) + A_2 \right] \quad (11)$$

となる。ここで  $F_1, F_2, F_3$  は各々

$$F_1(a) = \int_0^a \exp(-\eta^2) d\eta$$

$$F_2(a; a_0) = \begin{cases} a, & 0 \leq a \leq a_0 \\ a_0, & a_0 \leq a \end{cases}$$

$$F_3(a) = \int_0^a \eta^2 \exp(-\eta^2) d\eta$$

で定義される関数である。

積分定数  $A_2$  は岸 ( $x=0$ ) において物質の拡散がないこと、即ち

$$\left[ D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right]_{x=0} = 0$$

より

$$A_2 = 0 \quad (12)$$

となる。また  $A_1$  は閉領域  $R$  ( $0 \leq x \leq L, 0 \leq z \leq H$ ) 内での全生成量は領域  $R$  内での全分解量と領域  $R$  内から外への全流出量との和に等しいことより

$$A_1 = \{ qx_0 z_0 - C_0(\gamma H + \beta W + \beta w_0) / \alpha \cdot F_1(\alpha L) - HC_0 \bar{u}_0 \cdot \exp(-\alpha^2 L^2) \} / \{ qx_0 z_0 + C_0(\gamma H + \beta W + (\beta - 1)w_0) / \alpha \cdot F_1(\alpha L) - HC_0 \bar{u}_0 / (\alpha L) \cdot F_3(\alpha L) \} \quad (13)$$

となる。

(11), (12), (13)式より非保存物質の分布が(8)式で表わされた場合には、水平拡散係数  $D_x$  は分布の水平規模  $L$ , 鉛直規模  $H$ , 分布パラメータ  $\alpha$  と  $C_0$ , 分解係数  $\gamma$ , 物質沈降速度  $W$ , 発生負荷量  $qx_0 z_0$ ,  $x=L$  における水平流速の  $x$  成分  $\bar{u}_0$ ,  $z=H$  における濃度  $[C]_H$  と表層から  $z=H$  まで鉛直平均濃度  $\bar{c}$  との比  $\beta$  および岸からの距離  $x$  との10個のパラメータによって決定することがわかる。このうち  $\gamma$ ,  $W$ ,  $\bar{u}_0$  が未知である。

$D_x$  の  $x$  に対する依存性は  $\alpha L$  が小さいところでは差程大きくない。ここで  $x=L$  における  $D_x$  を(11), (12), (13)式から求めると

$$D_x(L) = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 \quad (14)$$

$$D_1 = qx_0 z_0 / (2\alpha^2 HC_0 L) \cdot \exp(\alpha^2 L^2), \quad (15)$$

$$D_2 = -\gamma / (2\alpha^3 L) \cdot \exp(\alpha^2 L^2) \cdot F_1(\alpha L), \quad (16)$$

$$D_3 = -\beta W / (2\alpha^3 HL) \cdot \exp(\alpha^2 L^2) \cdot F_1(\alpha L), \quad (17)$$

$$D_4 = -\beta w_0 / (2\alpha^3 HL) \cdot \exp(\alpha^2 L^2) \cdot F_1(\alpha L), \quad (18)$$

$$D_5 = -\bar{u}_0 / (2\alpha^2 L) \quad (19)$$

となる。 $D_1$  は発生負荷量に対応する部分である。また、 $D_2$  は分解係数、 $D_3$  は物質沈降速度、 $D_4$  は海水の鉛直運動、 $D_5$  は海水の沖合向きの水平運動に対応する部分である。

(14)~(19)式により、非保存物質分布から拡散係数を求める場合の発生負荷量、分解係数、物

質沈降速度、海水流動の各量の拡散係数への寄与の仕方が判明したことになる。

### 牛根海域への適用

(14)~(19)式は数多くの仮定を含んでいる。ここでは、それらの吟味のために、牛根海域に得られた式を適用してみることにする。1977年夏には各層観測が主であり、1979年夏の連続測流により  $4.8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$  のみかけの拡散係数を得ている<sup>2)</sup>。1977年夏の COD 分布から拡散係数を求め、測流結果と比較する。

各層観測結果より

$$L = 3 \times 10^5 \text{ cm}$$

$$H = 2 \times 10^3 \text{ cm}$$

$$C_0 = 0.58 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$$

$$\alpha = 3.0 \times 10^{-6} / \text{cm}$$

$$\beta = 0.8$$

とする。COD 発生負荷量の通常単位は ton/day である。仮定 4 により、イケスに 1 日当り T トンの COD 負荷が投入されることは、イケスの幅を  $x_0 \text{ cm}$ 、深さを  $z_0 \text{ cm}$ 、長さを  $L_f \text{ cm}$  とすると

$$qx_0z_0 = T/L_f \times 10^6 / (60 \times 60 \times 24) \quad \text{g/cm/sec}$$

となる。  $L_f$  として 5 km をとると

$$qx_0z_0 = 0.231 \times 10^{-4} \cdot T \quad \text{g/cm/sec}$$

である。分解率  $\gamma$  と沈降速度  $W$  の通常の単位は  $\text{day}^{-1}$  と  $\text{m/day}$  であるから  $\gamma_1 \text{ day}^{-1}$  の分解率および  $W_1 \text{ m/day}$  の沈降速度は各々、

$$\gamma = 0.116 \times 10^{-4} \cdot \gamma_1 \quad / \text{sec}$$

$$W = 0.116 \times 10^{-2} \cdot W_1 \quad \text{cm/sec}$$

となる。また  $u_0$  と  $w_0$  の単位は  $\text{cm/sec}$  である。

以上より牛根海域での発生総負荷量  $T \text{ ton/day}$ 、分解率  $\gamma_1 / \text{day}$ 、沈降速度  $W_1 \text{ m/day}$ 、沖合の水平流速  $u_0 \text{ cm/sec}$ 、鉛直流速  $w_0 \text{ cm/sec}$  は各々

$$D_1 = 0.831 \times 10^3 T \quad \text{cm}^2/\text{sec}$$

$$D_2 = -0.113 \times 10^7 \gamma_1$$

$$D_3 = -0.340 \times 10^5 W_1$$

$$D_4 = -0.784 \times 10^8 u_0$$

$$D_5 = -1.858 \times 10^5 w_0$$

の大ききで水平拡散係数  $D_x(L)$  に寄与する。

鹿児島湾奥部全体の海面養殖による昭和50年度の年平均 COD 発生負荷量は4.5 ton/day である<sup>7)</sup>。ハマチの給餌は冬よりも夏期の方が格段に多い。また、牛根海域の養殖は湾奥部の2分の1近くを占めている。したがって、夏季の COD 負荷量は3 ton/day 程度と考える。分解係数は0.01~0.05/day といわれており、0.024として種々の計算が行なわれている<sup>5)</sup>。牛根海域は岸から急激に深くなり、他の海域との交流もほとんどないことから、ここでは0.01 day<sup>-1</sup>とする。沈降速度は0.05~0.5 m/day といわれている。中間値として0.3 m/day とする。 $w_0$ については、夏季には季節風として東~南風が卓越するために表層近くでは陸岸から沖合に向かう流れが生ずることが多いと予想し、観測値を参考にして0.5 cm/sec とする。このことは湧昇流速を $0.333 \times 10^{-2}$  cm/sec としたことに対応する。

上述の考察から

$$T = 3 \text{ ton/day}, \quad \gamma_1 = 0.01 \text{ day}^{-1}, \quad W_1 = 0.3 \text{ m/day},$$

$$\bar{w}_0 = 0.5 \text{ cm/sec} \quad (w_0 = -0.333 \times 10^{-2} \text{ cm/sec})$$

として、陸岸から3 kmの所での各パラメータに対応する拡散係数を求めると各々

$$D_1 = 2.49 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

$$D_2 = -1.13 \times 10^4$$

$$D_3 = -1.02 \times 10^4$$

$$D_4 = 26.08 \times 10^4$$

$$D_5 = -9.29 \times 10^4$$

となり、合計した拡散係数  $D_x$  は

$$D_x = 1.61 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$$

となる。

算出された拡散係数  $D_x$  および  $D_x$  への各パラメータの寄与はいずれも  $10^4$  のオーダーとなり、夏季1ヶ月間の10m層における連続測流結果から得たみかけの拡散係数と同じオーダーである。このことは、本論文で採用した拡散モデルと各パラメータの値がほぼ妥当であることを意味しているとともに、非保存物質分布から拡散係数を見積る場合には、負荷・分解・沈降・鉛直移流・水平移流のいずれをも無視できないことを示している。

## おわりに

本論文では鹿児島湾最奥部牛根海域の夏季の COD 分布を念頭において、非保存物質の分布と拡散、移流、分解、沈降の各過程との関係を鉛直断面内の閉領域について求めた。得られた拡散係数に関する微分方程式を解き、拡散係数、負荷率、分解率、沈降速度、鉛直流速、水平流速、および物質分布パラメータ間の関係を求めた。更に、実際に牛根海域の観測で得られた値と、不明なものについては代表的な値とを用いて拡散係数を算出した。得られた拡散係数の大きさの程度は、連続測流による結果と同じになり、本論文のモデルが妥当であることを示した。

しかし、我々のモデルによる拡散係数は各々のパラメータに同程度依存している。したがって、その値が確定していない分解率と沈降速度や、その測定が困難な鉛直流速の値の組み合わせによっては COD 分布から得られる拡散係数は負になる場合もある。COD 等非保存物質の

分布から拡散係数を正確に見積るのは現在のところ不可能であり、本論文のモデルを他海域に適用する場合には十分な注意を要する。

本モデルは多くの仮定を含んでいる。物質分布を鉛直2次元で捉えること、定常性、鉛直流の評価等重要な仮定の検証を今後の現場観測によって明らかにする必要がある。

## 要 約

負荷量・分解・沈降・移流（水平と鉛直）を考慮に入れ、養殖場付近の非保存物質の鉛直平均分布から水平渦動拡散係数を求めた。

鉛直2次元断面の長さ  $L$ 、深さ  $H$  の矩形域内で、分解率  $\gamma$  と沈降速度  $W$  は一定、負荷率は養殖イケス直下でのみ一定、 $z=H$  における濃度  $[C]_H$  と鉛直平均濃度  $\bar{c}$  との比  $\beta$  は一定、 $z=H$  における物質分散は鉛直拡散に依存しないとし、 $\bar{c}$  と平均流速の冲向き成分  $\bar{u}$  は各々、

$$\bar{c} = C_0 \exp(-\alpha^2 x^2),$$

$$\bar{u} = \bar{u}_0 x / L$$

として、拡散係数に関する微分方程式を導出した。その解を鹿児島湾奥部牛根海域の1977年夏季のCOD分布に適用した。

$$H = 20 \text{ m}, L = 3 \text{ km}, \alpha = 3 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$$

$$C_0 = 0.58 \text{ ppm}, \beta = 0.8, \gamma = 0.01 \text{ day}^{-1}$$

$$W = 0.3 \text{ m/day}, \bar{u}_0 = 0.5 \text{ cm/sec},$$

$$\text{総発生負荷量: } T = 3 \text{ ton/day}$$

とすると  $x=L$  における拡散係数は  $1.61 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$  となった。この値の大きさの程度は、1979年夏季1ヶ月の同海域における連続測流結果から得られた拡散係数の大きさと同じである。総負荷量、沈降速度、分解率、移流が拡散係数の算出値に及ぼす効果は皆、同程度であることが判明した。

## 参 考 文 献

- 1) 大西行雄 (1981): 最適化手法による東部瀬戸内海の分散係数の推定, 海と空, 56(4), 181-194.
- 2) 茶園正明・市川 洋 (1984): 鹿児島湾奥部牛根海域における夏季の海況と物質拡散, 水産海洋研究会報, 46, 1-8.
- 3) 茶園正明 (1978): 夏期の鹿児島湾奥部牛根小湾の海況 (鹿児島湾赤潮発生原因調査研究報告書), 水産庁, pp. 29-37.
- 4) 日本海洋学会 (1979): "海洋環境調査法", pp. 515-516 (恒星社厚生閣, 東京).
- 5) 中西 弘・浮田正夫 (1979): 内湾における汚濁負荷と物質収支. "水域の資浄作用と浄化" (日本水産学会編), pp. 54-69. (恒星社厚生閣, 東京).
- 6) 矢野雄幸・佐藤弘三 (1978): "拡散方程式入門". pp. 2-49. (公害研究対策センター, 東京).
- 7) 鹿児島県 (1983): 鹿児島湾海域におけるブルー計画と魚類養殖再編の方向. (昭和56~57年度組織的調査研究活動推進事業報告書), pp. 12-15.