

(財)電力中央研究所 正会員 片野尚明

1. まえがき

湾内における海水交換現象は、潮汐流、河川などの流入に伴う恒流、吹送流や密度流による水平および鉛直循環流および外海水の変動に基づく間欠的な海水流入などの要因によって支配されている。この中で海水交換にとって重要な因子は、一般に潮汐によるフラッシング作用にある。したがって、潮汐の小さい閉塞性の強い湾においては海水交換が悪いために水質問題を生じてくる。このように閉塞性が強く、小規模の湾内の水質悪化対策の一つとして、発電所冷却水の取水あるいは放水による流動を利用することが考えられる。いま、温排水拡散範囲の軽減の面から、湾内取水、湾外放水方式を考えると、外海から湾内に向かう恒常的な流動成分が形成され、湾内水の海水交換が促進されて水質の浄化に役立つものと考ええる。

本文においては、このような水質変化を大局的な海水交換現象としてとらえ、海水交換率を導入したボックスモデルによる予測手法について述べ、それを用いて想定モデル湾域の物質濃度の変化について検討を行なったものである。

2. ボックスモデルの内容

海水交換率は検査面をはさむ両側の代表濃度の定義によって、その意味も数値も異なることが柏井¹⁾と堀江ら²⁾によって指摘されている。ここで取り扱う海水交換率はボックス間の海水交換率に限定する。しかも、湾軸に沿う平均的な濃度分布しか得られないことを前提にして、用いるモデルは宇野木ら³⁾が用いたボックス間の輸送係数と潮汐による海水交換率とを結び付けたものに従う。

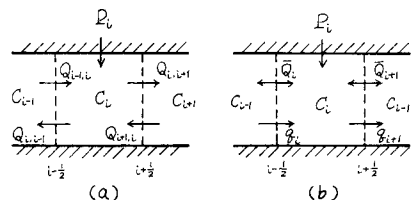


図-1 ボックスモデル

図-1 (a)に示すようにi番目のボックス内の物質収支関係は次式で書くことができる。

$$V_i dC_i/dt = [C_{i+1} Q_{i+1,i} - C_i (Q_{i,i+1} + Q_{i,i-1}) + C_{i-1} Q_{i-1,i}] + P_i \quad (1)$$

ただし、 V はボックスの容積、 C はボックスの物質濃度、 t は時間、 Q は流量の次元を有する輸送係数、 P_i はボックスの外系から出入りする物質質量である。ここで、輸送係数は $(i-1)$ から i へ向かう恒流成分と潮流の分散効果とで構成されているとすると、式(1)の輸送係数は、次式のように海水交換率と結び付けることができる(図-1 (b)参照)。

$$Q_{i+1,i} = r_{i+1} \bar{Q}_{i+1}, \quad Q_{i,i+1} = r_{i+1} \bar{Q}_{i+1} + q_{i+1}, \quad Q_{i,i-1} = r_i \bar{Q}_i, \quad Q_{i-1,i} = r_i \bar{Q}_i + q_i \quad (2)$$

ただし、 r はボックス間の海水交換率、 $\bar{Q}$ は半潮時の平均潮流量、 q は河川水などの流入量である。

3. 海水交換率の推定

式(1)および式(2)の関係を図-2に示すボックスに分割したモデル湾内に適用し、輸送係数および海水交換率を求めてみると表-1のようになる。ただし、物質濃度の分布は次式に示すように指数型の分布を仮定した。

$$\Delta C/\Delta C_0 = e^{-\alpha l} \quad (3)$$

ここに、 ΔC は距離 l における湾内濃度と湾外濃度の差、 ΔC_0 は排水濃度と湾外濃度の差、 l は湾奥を原点として湾口へ向かう距離(km)、 α は減衰係数で、表-1の case 1で $\alpha = 0.5$ 、case 2で $\alpha = 1$ とおいた。また、潮汐流量は次式に基づいて算定した。

$$\bar{Q}_i = \frac{2}{T} \sum A_i \int_0^{T/2} a \cos \frac{2\pi}{T} t dt \quad (4)$$

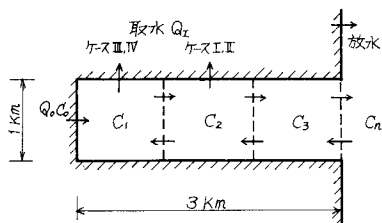


図-2 モデル湾のボックス分割図

ただし、 T は M_2 周期の周期、 a は潮汐の振幅、 A はボックスの平面積である。

さらに、潮汐のみによる輸送係数 Q_i および海水交換率 r_i は次式の定義による。

$$Q_i = \frac{(Q_{i-1} + Q_0)(C_{i-1} - C_i)}{(C_i - C_{i+1})} \quad (Q_0 \text{ は河川などの流入量}), \quad r_i = \frac{Q_i}{Q_0} \quad \text{----- (5)}$$

表-1の結果より、図-2に示したモデル湾内の海水交換率は平均的に5~14%程度の範囲にあり、湾口へ向うに従って増加している(与えられた濃度分布にもよる)。また、 $K = \alpha \bar{u} l = \frac{1}{2} \bar{u} l$ ($\bar{u}$: 平均潮流速、 l : 半潮時に水塊が移動する距離)の関係から拡散係数(分散係数) K を求めてみると、 $K = 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーとなり、モデル湾内の規模の拡散係数としてはやや小さいがほぼ妥当な値を得る。この拡散係数を用いれば式(1)は次のように書き直すことができる。

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = (K \Delta l)_{i+\frac{1}{2}} (C_{i+1} - C_i) - (K \Delta l)_{i-\frac{1}{2}} (C_i - C_{i-1}) + B_i (C_{i-1} - C_i) \quad \text{----- (6)}$$

ただし、 Δl はボックス間の平均距離を示す。

4. 取放水に伴う湾内物質濃度の変化

図-2に示したモデル湾において、潮汐振幅を $a = 25 \text{ cm}$ 、海水交換率を $r_1 = r_2 = 5\%$ 、 $r_3 = 10\%$ と仮定する。湾中間部(Box No.2) および湾奥部(Box No.1)で冷却水量 $Q_L = 25 \text{ m}^3/\text{sec}$ および $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ を取水した場合の湾内濃度の変化を求めると表-2のようになる。ただし、湾外放水は湾外および湾内の濃度に影響を与えないものとする。表-2の結果の一部を取水

表-2 冷却水取水に伴う湾内濃度の変化

case No.	取水位置	Q_L (m^3/sec)	r_1 (%)	r_2 (%)	r_3 (%)	$\frac{\Delta C_1}{\Delta C_0}$	$\frac{\Delta C_2}{\Delta C_0}$	$\frac{\Delta C_3}{\Delta C_0}$	Remark
I	No.2	25	5	5	10	0.484	0.039	0.004	$Q_0 = 1 \text{ m}^3/\text{sec}$ $a = 25 \text{ cm}$
II		50				0.474	0.020	0.001	
III	No.1	25				0.040	0.003	0.000	
IV		50				0.020	0.001	0.000	

のない場合の濃度分布と比較すると図-3のようになる。これらの結果から、取水流動によって湾内濃度が著しく低下することが認められる。特に、湾中間部より湾奥部で取水する方が、より効果が高いことを示している。しかしながら、この計算においては、取水流動によって湾内の海水交換率が変化しないこと、および放水に伴って湾外の濃度が上昇しないことを仮定しているために計算結果は過大評価になっていると思われる。

このように、取水流動の効果は湾内水の交換現象を促進させる働きを有し、特に潮汐の微弱な地点においては、このような人工的な恒流成分が湾内水質の改善に役立つものと推断される。

5. あとがき

上記のボックスモデルによる方法は大略の目安をつけるための簡便法で、現実の複雑な条件下における非保存物質を扱う場合には、現地実測による十分なデータの集積とその分析検討を経て、数値シミュレーション解析手法に結び付けてゆくべきと考える。

参考文献 1) 柏井：潮汐による海水交換について，1977年度日本海洋学会春季大会講演要旨集，1977.
2) 堀江ら：水理模型実験による海水交換率の算定，第24回海岸工学講演会論文集，1977.
3) 宇野木ら：大局的に見た内湾の海水交換，1977年度日本海洋学会秋季大会講演概要集，1977.

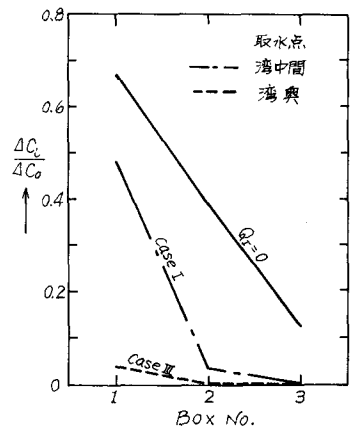


図-3 湾内濃度分布の変化