

II-115

大船渡湾における湾水制御効果の評価

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○高橋 研也
 東北大学大学院工学研究科 学生会員 佐藤 博信
 東北大学大学院工学研究科 フェロー 沢本 正樹

1. はじめに

内湾などの閉鎖性水域では海水交換率が小さいために流動が停滞し、水質悪化が増長する。この問題を解決する新技術として負圧利用型海水交換装置の開発が進められている。しかしながら、未だ実証実験の段階であり、どの位の揚水量でどの程度の改善効果が出るのか、あるいは生態系への悪影響が生じるのかを検討するためには、対象領域における詳細な現地観測および水質モデルの構築が不可欠である。

そこで、本研究では負圧利用型海水交換装置が世界で初めて設置された岩手県大船渡湾を対象に現地観測を行い、湾内の水質構造を解明するとともに湾水制御効果について数値シミュレーションを行い、今後の湾内環境保全の基礎資料を作成することを目的とする。

2. 対象領域および現地観測

本研究で対象とした大船渡湾（北緯 $39^{\circ} 02'$ 、東経 $141^{\circ} 44'$ ）の形状を図-1 に示す。水表面積 7.89km^2 、全長 6km の南北に細長い閉鎖性湾であり、湾奥部には盛川など数本の小河川が流れ込んでいる。1960 年のチリ地震津波の教訓から湾口防波堤が建設され、閉鎖度指標が 1.63 から 14.04 に激増した。これにより静穏な水域が確保され養殖が盛んに行われているが、開口部を狭いものとしているため水質悪化が懸念されている。

本研究では、図-1 中の St. A、B、C において水温、塩分濃度、DO、クロロフィルの定点観測を行った（2004 年 5 月 28 日～10 月 22 日）。また、定期的に現地に赴き、上げ潮・下げ潮時における湾軸沿いの水温、塩分濃度、DO、流速などのプロファイル観測を行った。

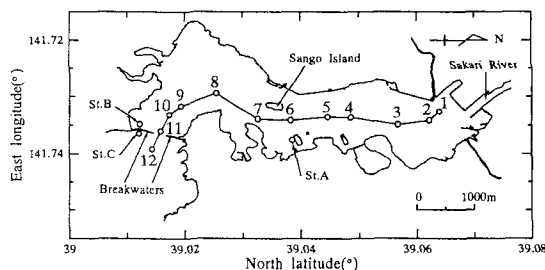


図-1 大船渡湾の形状と観測地点

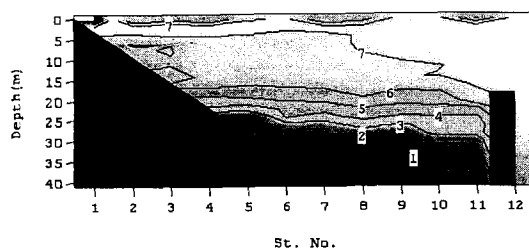


図-2 DO 分布（2004 年 9 月 28 日，満潮）（mg/l）

3. 水温成層・水質構造のモデル化

(1) 基礎方程式および計算条件

図-2 に 2004 年 9 月 28 日午後の満潮時における DO の観測結果を示す。水深 16.3m まで潜堤マウンドが存在し、密度成層が形成されて底層水塊が貧酸素化している。この図より湾内水質は湾軸方向に一樣であることが認められるため、本研究では以下のように鉛直一次元モデルを構築する。基礎方程式は次式で表される。

$$V_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{-\partial A_i Q(z)}{\rho_w c_w} + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_i K_{zi} \frac{\partial T_i}{\partial z} \right) + \alpha Q(T_{OUT} - T_i) \quad (1)$$

$$Q(z) = (1 - \beta)(1 - \text{ref}) Q_s \exp\{-\kappa(\lambda)z\} \quad (2)$$

$$V_i \frac{\partial S_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(A_i K_{zi} \frac{\partial S_i}{\partial z} \right) + \alpha Q(S_{OUT} - S_i) \quad (3)$$

$$V_i \frac{\partial C_{DOi}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(A_i K_{zi} \frac{\partial C_{DOi}}{\partial z} \right) + P + \alpha Q(C_{DOOUT} - C_{DOi}) \quad (4)$$

ここで、 z ：鉛直座標（下向き正）、 t ：時間（s）、 T ：水温（ $^{\circ}\text{C}$ ）、 S ：塩分濃度、 C_{DO} ：DO（mg/l）、 V ：容積（ m^3 ）、 A ：水面積（ m^2 ）、 K_{zi} ：鉛直渦拡散係数（ m^2/s ）、 Q ：潮汐プリズム（ m^3 ）、 β ：吸光係数（ $=0.4$ ）、 ref ：アルベド（ $=0.08$ ）、 Q_s ：全日射量（ W/m^2 ）、 κ ：消散係数（ $1/\text{m}$ ）、 ρ_w ：密度（ kg/m^3 ）、 c_w ：比熱（ $\text{J}/\text{kg}/\text{K}$ ）、 α ：海水交換率（ $0.2/\text{day}$ ）であり、添え字の OUT は湾外水を意味する。 P ：DO の生成・消費項であり、本研究では細田らによる動物プランクトンまで含んだ低次生態系モデルを用いる。また、鉛直渦拡散係数は風応力と勾配型 Richardson 数の関係から算定する。全日射量および消散係数は光子量の観測値より推定する。

表-1 計算条件

水深	35.0m	鉛直層数	35 層
空間格子間隔	$dz=1.0\text{m}$	時間格子間隔	$dt=600\text{s}$
気象データ	大船渡測候所日別値および時別値		
湾外	St. C の 25 時間移動平均値 (10m)		
水面	水面熱収支 (バルク法)		
河川	盛川日平均流量		
計算期間	2004 年 5 月 29 日～10 月 22 日		

密度は水温および塩分濃度から UNESCO (1981) の状態方程式を用いて計算し、成層が不安定な場合は水面から次式で定義される水深 z_c (m) まで瞬時に対流混合が発生し、密度一定の混合層が形成されるとする。

$$\int_0^{z_c} \rho dz = z_c \rho_{ave} \quad (5)$$

ここで、 ρ_{ave} : 混合層の密度 (kg/m^3) である。海水交換には密度貫入を考慮し、河川水は常に表層へ流出するものとする。その他の計算条件を表-1 に示す。

(2) 計算結果

図-3 に水温、図-4 に DO の St. B における観測値と計算結果を示す。水温成層が発達するとともに底層水塊が貧酸素化する傾向を良く表しており、湾内環境を評価する上で十分な精度を持つモデルであると言える。

4. 制御方法の検証

大船渡湾においては 2004 年 9 月 21 日より潜提マウンドへ負圧利用型海水交換装置が設置されている。潜提上の潮流によりベルヌーイの定理に従って揚水管上部に負圧が発生し、貧酸素化した底層水塊を吸い上げるという構造である。ここでは、上記のモデルにおいて揚水量を変化させ、底層 DO が改善するために必要となる最適交換量について検討する。潜提上に揚水された底層水塊は次の 2 通りの挙動をとると考えられる。

- (1) 上げ潮時に揚水された底層水塊は湾内中層に浸入
 - (2) 下げ潮時に揚水された底層水塊は湾外に拡散流出
- この仮定を用いて揚水量を変化させた場合の水深 32m における DO の計算結果を図-5 に示す。揚水量が $0 \sim 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合は DO が減少し続けるのみであるが、 $0.8 \sim 1 \text{ m}^3/\text{s}$ まで増やすと DO の回復時期が早くなる。 $2 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上揚水すると、底層の無機栄養塩が上層に輸送されるため、夏季の DO は保たれるが秋季に減少する。

5. 結論

- (1) 海水交換および生態系モデルを考慮することで、湾内環境を精度良く表す鉛直一次元モデルを構築した。
- (2) 底層水の最適交換量は $1 \sim 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度である。

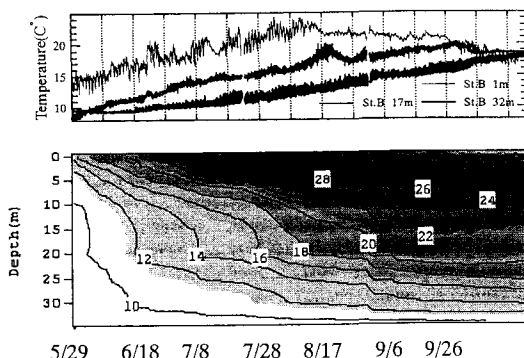


図-3 St. B における水温の観測値と計算結果 (°C)

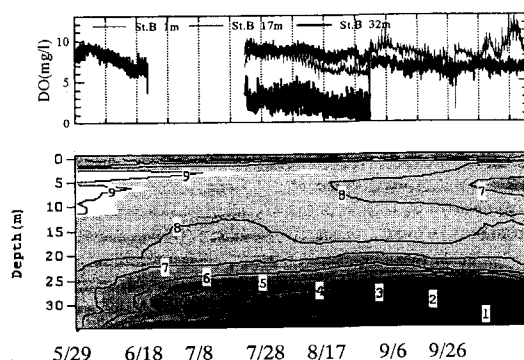


図-4 St. B における DO の観測値と計算結果 (mg/l)

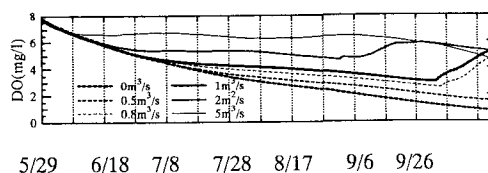


図-5 各揚水量における底層 DO の計算結果

謝辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業 (日本大学工学部): 研究課題「中山間地及び地方都市における環境共生とそれを支える情報通信技術に関する研究 (研究代表: 小野沢元久)」の一環として実施した。また、科学研究費補助金基盤 A (代表: 澤本正樹) の援助を受けた。盛川の流量は岩手県大船渡地方振興局土木部鷹生ダム建設事務所より提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- ・ 細田尚, 細見知彦: 琵琶湖北湖の水質鉛直分布の季節変化に関する簡易モデルと温暖化の影響への適用, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp.495-500, 2002.