閉鎖性湾域における成層・対流現象のモデル化

## 1.はじめに

内湾などの閉鎖性水域では,外湾との海水交換が 少ないために内湾水を停滞させる傾向にあり,夏季 における底層の貧酸素化や富栄養化などの水質悪化 が増長する.これらの問題は湾内における密度成層 の形成と強く関連しているため,湾内の密度構造を 予測することは水質管理指標を確立する上で非常に 重要である.本研究では,閉鎖性水域における熱収 支・水収支などの気象・海象特性を十分に反映しか つ単純化した鉛直一次元モデルにより,湾内に生じ る成層現象のモデル化を試みた.

#### 2. 対象領域

本研究では,岩手県三陸沿岸に位置する大船渡湾 (北緯 39°02 ,東経 141°44 )を対象とした.図-1 に大船渡湾の形状を示す.湾奥部には二級河川盛川 が流れ込んでおり,水表面積は7.89km<sup>2</sup>,全長は6km である.平均水深約20mと規模に比して水深が大き い.また,湾口防波堤の存在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の悪化が懸念されている.

また,大船渡湾では,1997年から1999年まで国土 技術政策総合研究所により,図-1の各観測地点にお いて水質の長期観測が行われた.



図-1 大船渡湾の形状と観測地点

東北大学大学院	学生会員	高橋	研也
東北大学大学院	フェロー	沢本	正樹
東北大学大学院	正会員	風間	聡

### 3.海面熱収支

対象領域における大気・海面間の正味の海面熱フ ラックスを,バルク法により算定する.

$$Q_{T} = Q_{S} - (Q_{L} + Q_{H} + Q_{E})$$
(1)

ここで、 $Q_s$ :短波放射量( $Wm^{-2}$ )、 $Q_L$ :長波放射量( $Wm^{-2}$ )、 Q<sub>H</sub>:顕熱フラックス( $Wm^{-2}$ )、 $Q_E$ :潜熱フラックス ( $Wm^{-2}$ )、 $Q_T$ :海面熱フラックス( $Wm^{-2}$ )である、図-2 に海面熱フラックスの日積算値の時系列変化(下向 き正)を示す、4月から9月までは受熱期、10月から 3月までは放熱期となっており、年間で見ると熱放出 成分として働いている、この熱フラックスにより海 面が加熱・冷却され、成層期と循環期を年周期的に 繰り返していると考えられる、なお、気象データと して大船渡観測点における日別値を、海面温度には 図-1中のSt.Aにおける観測値から日平均値を与えた、



図-2 海面熱フラックスの日積算値の時系列変化

#### 4.鉛直一次元モデル

# (1) 基礎方程式

大船渡湾においては,湾内水質が湾軸方向に一様 であることが現地観測から分かっているので,単純 化した鉛直一次元モデルが適用可能であると考えた. 熱に関する基礎方程式は,日射が水中を減衰しなが ら透過することを考慮し,以下のように表せる.

キーワード 大船渡湾,貧酸素水塊,密度成層,海水交換,バルク法,鉛直一次元モデル 連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06 水環境システム学研究室 TEL022-217-7459

$$V\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{-\frac{\partial AQ_z}{\partial z}}{c_P \rho} + \frac{\partial}{\partial z} \left(AK_z \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \alpha Q(T_o - T) \quad (2)$$

$$Q_{Z} = (1 - \beta)Q_{S} \exp(-\kappa z)$$
(3)

$$K_{Z}\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{Q_{T}}{c_{P}\rho H_{W}} , \quad (0 \le z \le H_{W}): Re \quad (4)$$

$$K_z \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$
,  $(z = h)$  :  $\mathbf{R}\mathbf{R}$  (5)

ここで,z:鉛直方向座標(下向きを正),t:時間(s), T:水温(K),c<sub>P</sub>:比熱(jkg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), :密度(kgm<sup>-3</sup>),V: 容積(m<sup>3</sup>),A:水面積(m<sup>2</sup>),K<sub>Z</sub>:鉛直拡散係数(m<sup>-1</sup>),

:吸収率(0.4), :消散係数(m<sup>-1</sup>), :海水交換 率(0.2),Q:海水交流量(m<sup>3</sup>day<sup>-1</sup>),h:全水深(30m), H<sub>w</sub>:表層厚(m)である.

(2) 計算条件

鉛直拡散係数 K<sub>Z</sub> は,水塊の安定度を表す Richardson 数 R<sub>i</sub>の関数として次のように表される.

$$\frac{K_Z}{K_{Z0}} = f(R_i) = \left(1 + \alpha R_i^{\gamma}\right)^{-\beta}$$
(6)

ここで K<sub>Z0</sub>:中立状態での鉛直拡散係数(1.0×10<sup>-3</sup>m<sup>-1</sup>) である.Richardson 数を算定する際には,風応力に よる表面吹送流速が水中において指数関数的に減衰 するとして水平流速成分を求めた.また,逆転成層 が計算された場合には,瞬時に対流混合が発生し, 次式により定義される水深 z(m)まで T<sub>ave</sub>(K)の等温混 合層が形成されるとして計算した.

$$\int_{0}^{\infty} T dz = z T_{ave} \tag{7}$$

なお,湾外水が湾内に流入するときには同一密度層 を探して進入するとした.外海との境界条件として は図-1 中の St.C における日平均値を用い,水深 30m, グリッド間隔 1m で計 30 層に分割し,日単位で計算 した.水温の初期条件は,観測値より全層一定で7 とした.これらの関係から,各層の密度を算定した. (3) **計算結果** 

図-3,図-4に1998年4月6日~1999年11月29日 までの603日間のSt.Aにおける水温の観測値と計算 結果を示す.水温躍層の位置や対流混合が卓越する 時期など,比較的よく一致している.また,表層と 底層の水温差が小さく,成層の安定度も小さい.よ って,湾外水の流入の影響が大きいと考えられる.

# 5.まとめ

・単純化した鉛直一次元モデルを用いることにより, 内湾域の成層現象を再現することができた.

・大船渡湾においては,外海水が湾内水環境に及ぼ す影響が大きいことが分かった.

・今後は,塩分・DOなどの他の水質項目においても モデル化を試みる予定である.

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり国土交通省仙台技術調査 事務所の援助を得た.波浪データは釜石港湾工事事 務所,流量データは大船渡地方振興局鷹生ダム建設 事務所から提供を受けた.また,科研費A(代表沢本 正樹)の援助を受けた.ここに記して謝意を表す.

#### 参考文献

・国土技術政策総合研究所 港湾環境情報 WWW 公開データ:<u>http://www.ysk.nilim.go.jp/</u>

・福士大介: NOAA/AVHRR を用いた有明海周辺にお ける湾内熱環境の解析 東北大学大学院工学研究科 修士論文 2000 年

・近藤純正:水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支- 朝倉書店 1994 年

・新井正・西沢利栄:水温論 水文学講座 10 共立 出版 1974 年



図-3 St.A における日平均水温の観測値()

