

II-90

志津川湾の鉛直水温構造の変化

東北大学大学院 学生員 ○渡辺健二
東北大学工学部 正 員 田中 仁
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

内湾では、夏期に水温躍層が発達する。水温躍層が発達すると、鉛直方向の混合は妨げられ、下層に於いて酸素の供給不足による貧酸素水塊の発生につながる。そのため、内湾の水質保全の上でも、水温の鉛直構造の変化を捉えることは大切なことである。

本研究では、宮城県志津川湾において、水温の鉛直構造の年間変化を数値計算により再現し、実測値と比較、考察した。対象とした志津川湾を図-1に示す。

2. 数値計算

計算には、鉛直一次元の拡散方程式を用いる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho_0 C_p} \frac{\partial q}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T ：水温、 z ：鉛直軸（下向き）、 K_z ：拡散係数、 ρ_0 ：海水の基準密度、 C_p ：海水の比熱、 q ：短波放射による熱フラックス（ $q = (1 - \beta) Q_s \exp(-\eta z)$ ）である。

拡散係数 K_z は、成層構造の発達に伴い上下層で混合が発生しにくくなることを再現したいため、リチャードソン数（ R_i ）の係数とした。

$$K_z = \kappa u_{*s}^2 S_c^{-1} \exp(-k_* z) \left(1 + \frac{10}{3} R_i \right)^{-3/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 κ ：カルマン定数、 u_{*s} ：水表面での摩擦速度、 S_c ：シュミット数、 k_* ：摩擦速度の減衰係数。

水表面での境界条件は、出入りする熱量と水温の勾配が等しくなる形で与えた。

$$K_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_s + Q_R + Q_E + Q_C}{\rho C_p} \quad \dots\dots\dots (3)$$

考えた熱量は熱量は、短波放射量（ Q_s ）・長波放射量（ Q_R ）・潜熱移動量（ Q_E ）・顕熱移動量（ Q_C ）である。それぞれの熱量は、気象月報の気象データから算出した。

計算方法は、中央差分法を用いた。鉛直方向には1m毎の層とし、時間刻みは60秒とした。計算対象は、図-1中で示す地点であり、期間は1993年の1月から12月である。

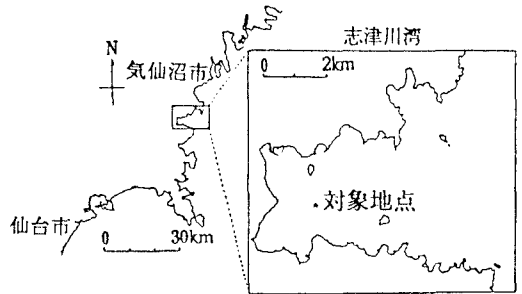


図-1 計算対象地点

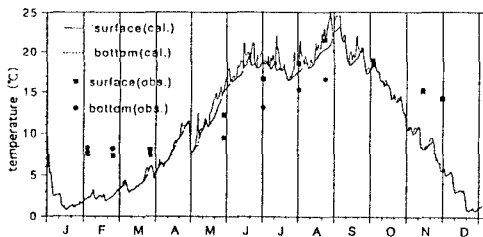


図-2 計算結果・水温の経時変化
（底での境界条件：断熱）

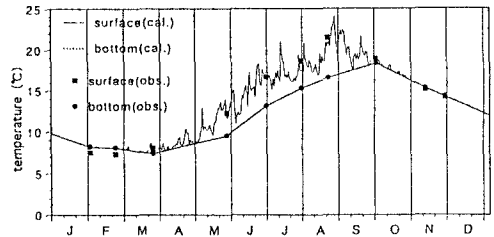


図-3 計算結果・水温の経時変化
（底で水温を与える）

3. 計算結果

はじめに、底での境界条件を断熱として計算をしてみた（図-2）。すると、冬季には実測値に比べかなり低い値になった。夏期には、底層の水温が上がりすぎてしまい、成層化している様子があまり現れなかった。これは、海水の流動による水平方向の熱の移流・拡散を考慮しないためであり、実際にはこうした動きが顕著に生じる湾での計算では不適切な境界条件である。

そこで、水平方向の熱の移流・拡散を擬似的に考慮するために、底での境界条件として実測による水温を与えて計算してみた。水温の計算結果を図-3に示す。水表面水温も実測値とほぼ同じになっている。図-4は、実測と計算結果による水温の鉛直分布の様子である。実測値と比較すると、かなり良好な結果が得られていると言える。計算に用いた K_z 中の u_{*s} は風速によるため季節的に変化する。また、表面での境界条件に影響する気温も季節的に変化する。これらの様子を図-5、6に示す。

しかし、温度の鉛直分布を詳細に見てみると、必ずしも一致していない時期がある。1月から3月一杯は図-5のように海水から大気へと熱が伝えられる。冷えた表層水は重くなり下層の海水と交換しやすい。更にこの時期は、波浪のため u_{*s} ひいては K_z も大きく、上下層がよく混合される。4月、5月は大気からの熱の流入に変わる。しかし、 u_{*s} もまだかなり大きく、下層に熱が運ばれるという計算結果になる。計算上では、この鉛直方向の熱移動のみを考えているため、全層の水温が上昇するのだが、実際には湾内から流入する流れの影響が無視できず、中層以深ではさほど上昇しない。このような原因が実測値と計算値の相違を生み出している。

4. おわりに

鉛直一次元数値計算をおこない、水温変化の再現を試みた。海底での境界条件として、実測値である水温をあてることにより良好な結果が得られた。このことより、湾内の底面境界条件は移流による影響が大きく効いていることが分かった。更に、成層構造の発達期である初夏には、海底だけではなくもっと浅い水深までにわたる層での条件を考慮しなければならないことも分かった。

謝辞

論文中に用いている水温の実測データは、志津川町海浜高度利用センターより頂いたものである。この場を借りて謝意を表す。また、本研究に対して、文部省科学研究費の補助を受けたことを付記する。

<参考文献>

中村由行・高津治：閉鎖性水域における密度成層のモデル化、海岸工学論文集第40巻、p. 981、1993

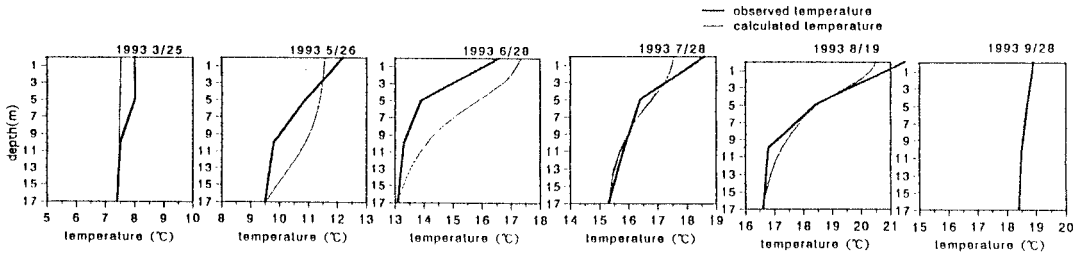


図-4 計算結果・水温の鉛直分布

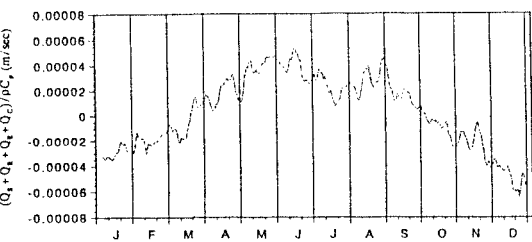


図-5 計算時の水表面から入る熱量（移動平均値）

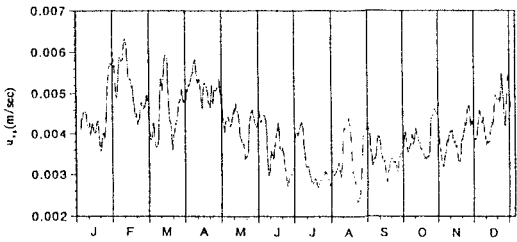


図-6 計算時の表面摩擦速度（移動平均値）