

II-235

日成層形成時の湖沼の流動モデル

東京工業大学大学院 学生員 曾我 寿孝

東京工業大学工学部 正 員 石川 忠晴

東京工業大学工学部 正 員 田中 昌宏

1. はじめに

霞ヶ浦のような浅い湖では季節成層は発達しないが、日々の日射による躍層は形成されており、流速場や水質に何らかの影響を及ぼしていると考えられる。しかし従来は観測手段の制約などのために、その実態の把握は十分行われていなかった¹⁾。筆者らは霞ヶ浦湖心において流速と水温の現地観測を行い、両者の関連について検討し、さらに日成層下での湖沼の簡単な流動モデルを作成した。それらを取りまとめて報告する。

2. 観測方法

観測地点は茨城県霞ヶ浦建設省湖心観測所、期間は昭和62年の7月下旬から8月下旬にかけてである。流速測定には電磁流速計、温度測定にはサーミスタ温度計を用い、鉛直15層前後、時間間隔を30分として各量の鉛直分布を測定した。風のデータは、観測所に設置されている風向風速計のデータを用いた。

3. 観測結果及び整理

図1は8月27日の流速、温度の分布を示している。午後2時過ぎ、東から海風フロント（風速7~8m/s）が到来しシャープな躍層が形成され、時間と共に深くなっている。また流速分布は、躍層の近くで流速勾配が大きくなる傾向にあり、流向の変化点は温度界面の下降と共に移動している。

次に連行則について、その速度スケールに上下層流速差 U_m を用いて整理した。その結果を従来の²⁾実験データと共にプロットすると、図2のようになる。これから次の関係が成立していると考えられる。

$$U_e/U_m \sim R_i^{-1} \quad R_i = \varepsilon_0 g h_1 / U_m^2$$

4. 計算モデル

観測結果より、日成層と吹送流は強く相互干渉していることがわかった。そこで連行現象と吹送流の発達を同時に考慮して、以下のような簡単な流動モデルを作成した。

計算の対象は図3に示すように半径3km、水深5.8mの円形の湖とする。これは霞ヶ浦の湖心域のスケールに対応する。湖全体を一つのボックスとして取り扱うと、基礎方程式は次のようになる。

$$\text{運動量の式: } \frac{d}{dt} (h_1 \vec{U}_1) = -g \beta h_1 + \frac{\vec{\tau}_1}{\rho_1} + \vec{U}_2 \frac{dh_1}{dt}$$

$$\frac{d}{dt} (h_2 \vec{U}_2) = -g \beta h_2 - \varepsilon g \gamma h_2 - \vec{U}_2 \frac{dh_1}{dt} - \vec{\tau}_2 |\vec{U}_2|$$

連続の式:

$$\vec{U}_1 h_1 + \vec{U}_2 h_2 = K L^2 \frac{d\beta}{dt}$$

$$\text{連行の式: } \frac{dh_1}{dt} = A \frac{|\vec{U}_1 - \vec{U}_2|}{\varepsilon g h_1}$$

$$\text{風応力の式: } \tau_s = \frac{\rho}{2} C_{1s} U_{1s}^2$$

$$C_{1s} = 0.5 (U_{1s})^{1/2} \times 10^{-3}$$

$$\vec{U}_2 h_2 = K L^2 \frac{d\gamma}{dt}$$

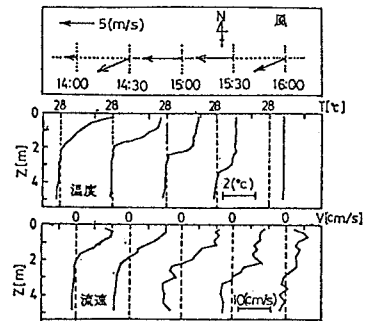


図1 流速、温度分布

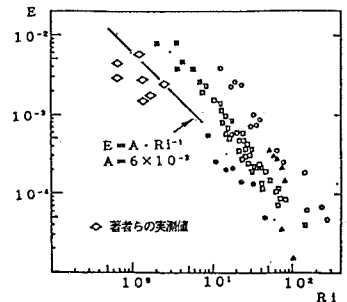
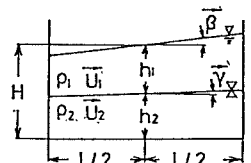
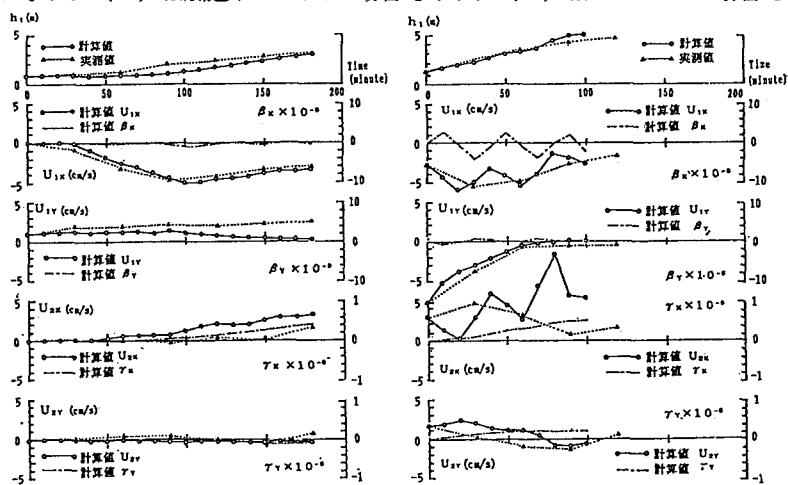
図2 U_m で整理した $E-R_i$ の関係

図3 計算モデル

ここに, h_1, h_2 ; 上下層厚, H ; 水深, $\vec{U}_1, \vec{U}_2$; 上下層平均流速ベクトル, $\vec{\tau}_s$; 水面応力, $\vec{\beta}, \vec{\gamma}$; 水面, 界面勾配, ρ_1 ; 上層密度, ε ; 相対密度差, g ; 重力加速度, f ; 底面摩擦係数, L ; 湖の直径, C_{10} ; 風応力係数, U_{10} ; 10m高さの風速 (m/s), である。

計算結果を図4に実測値と共に示す。(a)は風速が3~4m/sの場合であり, (b)は7.5~8m/sの場合で

ある。湖の形を円形とし, かなりの簡略化を行っていても関わらず風速が変化しても混合層厚や上層流速の変化はよく表現されている。両者とも下層の流速は計算値が大きめにでているが, この原因は底面の煎断力の見積り, あるいは湖の形状の簡単化などによって界面のセットアップの評価に問題があるためと考えられる。



(a) '87/8/24 : 13:00~ 風速3~4m/s

(b) '87/8/27 : 14:30~ 風速7.5~8m/s

5. 日単位の完全混合条件

図4 計算結果

日成層がその日の内に消滅せず数日間滞留すると, 下層の溶存酸素の不足が生じ, 養殖魚の弊死と言ったような問題が生じる。そこで, ここでは日成層がその日の内に底まで混合する海風の条件を求めた。ただし日成層の浮力を, $\varepsilon_0 g h_1 = 50$ (うす雲り), 100 (晴れ), 150 (快晴) (cm^2 / s^2)とし, 海風の風速と継続時間を変化させた。

図5は継続時間が4時間の場合の, 風速と混合層厚の関係である。霞ヶ浦の水深を5mとすると, 5~6m/s以上の風速であれば完全混合することがわかる。

図6は, 完全混合を生じさせる風速と継続時間を示している。これから, 日成層の消滅は浮力の大小にはあまり関係せず, 風速と継続時間で概ね決まることがわかる。

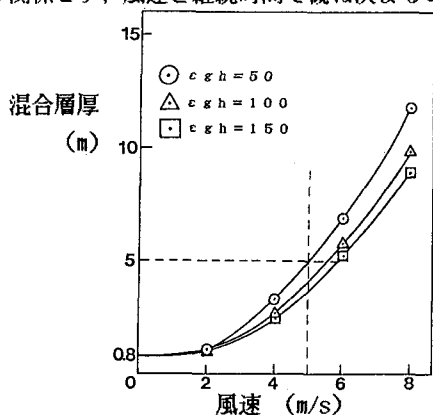


図5 風速と混合層厚の関係

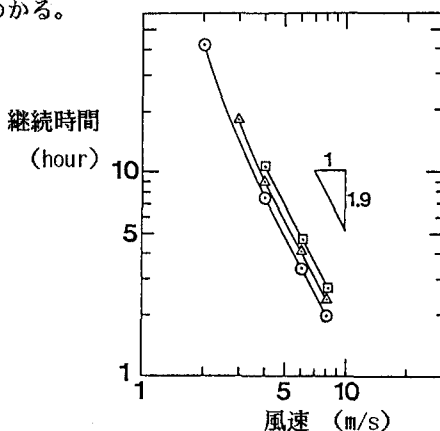


図6 風速と継続時間の関係

(参考文献) 1) 石川忠晴ら(1988): 日々の日射によって形成される弱い温度躍層と吹送流の相互干渉, 第32回水理講演会論文集 2) 浦 勝ら(1987): 二成層場の吹送流の乱れ構造と連行係数, 第34回海岸工学講演会論文集