

(II-86) 霞ヶ浦における日成層形成時の湾水交換について

東京工業大学 学生会員 銭 新
東京工業大学 学生会員 若岡圭子
東京工業大学 正会員 石川忠晴

1. はじめに

霞ヶ浦のように透明度の小さな湖では日射による加熱が表層に集中するため、日単位の成層(日成層)が顕著に見られる。日成層形成時には吹送流が著しく変形し、強風時に全層混合している場合よりも大きな移流分散特性を示す^{1) 2)}。したがって、日成層が頻度の高い現象であるとすれば、湖水の混合や物質循環に日成層の形成が深く関わっている可能性があると考えられる。本研究では、茨城県霞ヶ浦における現地観測結果に基づき、日成層形成時の湖心部と高浜入りの間の湖水交換速度のオーダを推定した。

2. 現地観測

2-1 観測サイト及び観測方法

霞ヶ浦の平面図を図-1に示す。湖面積は171km²で我が国第2位の広さを持つが平均水深は4mしかない。高浜入りは湖の北側にある面積22.8km²、平均水深3mの入江で、幅1kmの水道で湖心部とつながっている。

日成層の形成頻度を調べるために、図-1に示す2地点にサーミスタチェーンを設置し、長期間の水温観測を行った。また、日成層形成時の湾水交換を調べるために、1995年7月24日～8月3日に霞ヶ浦大橋付近の水域で流速と水温の観測を行った。流速測定にはRD-Instrument製の超音波ドップラー流速計(発信周波数1200kHz)を用いた。また水質測定にはアレック電子製 ACL1180を用いた。観測期間はほとんど晴天で午後1時に東南の風が吹き出す典型的な夏の気象条件であった。

2-2 観測結果

図-2-1に湖心部における受熱期の成層状態を示す。この図では湖の平均水温の季節変動分を差し引いて、日成層が明瞭に見えるようにしている。濃い部分が低水温を、薄い部分が高水温を表している。連日、日中に表層が加熱されて日成層が形成され、午後から夜に鉛直混合が生じ躍層が低下している(図で斜めに見える線が躍層に対応する)。図-2-2に10月～11月の放熱期における水温変化を示す。放熱期においては、受熱期のような強い成層状態ではないが、かなりの頻度で日成層の形成されていることがわかる。

図-3は水深1mと水深4.5mの流速ベクトルの例を示す。表層は風下方向に、底層は風上方向に流れており、湖深部と高浜入りで湖水の交換が活発に行われていることがわかる



図1 霞ヶ浦の平面図

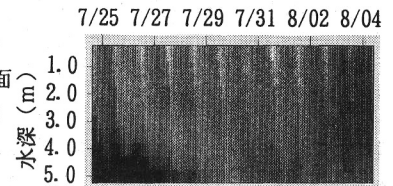


図2-1 受熱期の日成層(湖心)1995

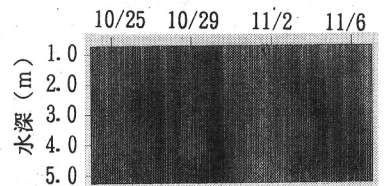


図2-2 放熱期の日成層(湖心)1995

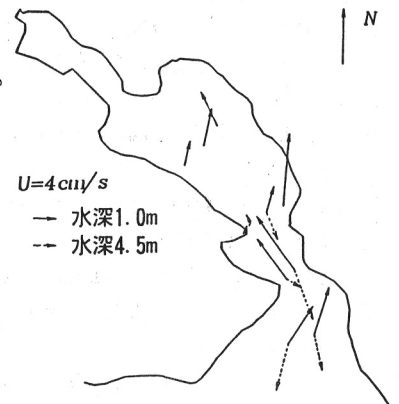


図3 日成層形成時の流速ベクトル

さて、石川ら³⁾によれば、日成層形成時の吹送流の上下の流速差は次式で表される。

$$\Delta u = A \sqrt{g h} \quad (1)$$

ここに ε は相対密度差、 h は混合層厚である。比例係数 A は「水域が無限に広く、風速が一定で全体の熱量が保存される理想状態」では、 $\sqrt{3/2}=1.22$ とされている。そこで霞ヶ浦大橋付近の観測データを使って(1)式の妥当性を調べた結果を図-4に示す。(1)式の比例関係は概ね成立しているが、 A の値は0.9となっていることがわかる。

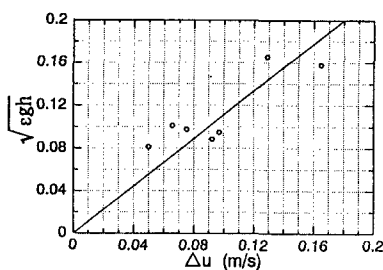


図4 吹送流速差と総浮力の関係

3. 年間の湾水交換量

年間の湾水交換量を試算するために、吹送流速と日成層の持続時間のオーダを推算する。

まず、総浮力を式(2)を用いて計算する。

$$\varepsilon g h = H_s g \frac{1}{\rho(T)} \frac{d\rho(T)}{dT} \quad (2)$$

ここに H_s は日射量、 ρ は密度、 T は水温である。東京における全天日射量日合計値の月別平均値と霞ヶ浦湖心部の水温の月別平均値を代入し、総浮力の期待値の季節変化を求めた。この結果から(1)式を使って、吹送流速のオーダの季節変化を計算する。

また、日成層の持続時間は石川ら³⁾の式を変形した(3)式で求める。

$$t = \frac{\varepsilon g h}{\Delta u} \frac{H}{U_*^2} \quad (3)$$

ここに H は霞ヶ浦大橋付近の代表水深(6m)であり、 U_* は風応力の摩擦速度で、ここでは風速5mを仮定し、 $U_* = 0.58 \text{ cm/s}$ とした。これらの結果に、霞ヶ浦大橋の断面積をかけあわせると、年間の湾水交換量を類推できる。

以上の計算結果を図-5～図-6に示す。図-6には高浜入りの湖水体積と高浜入り流域の河川流入量もプロットしてある。図からわかるように、日成層形成時の湾水交換量は $27 \times 10^7 \text{ m}^3$ で、年間河川流入量 ($31 \times 10^7 \text{ m}^3$) と同じオーダである。一方、高浜入りの湖水体積は $7 \times 10^7 \text{ m}^3$ であり、日成層による湾水交換量は高浜入りの湖水体積の約4倍となる。

4. おわりに

以上の計算は理想的条件を仮定した試算であるが、日成層形成時にかなりの湾水交換の生じている可能性が示された。今後は、実際の現象をさらに解明するために、霞ヶ浦大橋に観測ステーションを設け、湾水交換量の直接計測を行う予定でいる。

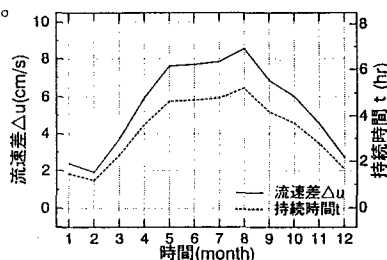


図5 吹送流速差と日成層の持続時間

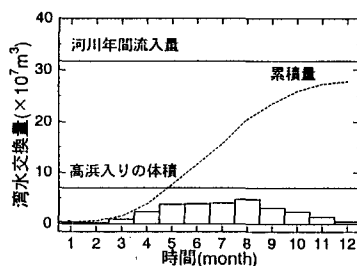


図6 湾水交換量の年間変化

参考文献

- 1) 石川忠晴・田中昌宏, 現地における吹送流の乱れ計測, 第33回水理講演会論文集, pp607-612, 1989
- 2) 田中昌宏・石川忠晴, 日成層形成時の吹送流の特性について, 土木学会論文集, No. 405, pp63-72, 1989
- 3) 石川忠晴・田中昌宏, DIM型の連行現象に関する理論的研究, 土木学会論文集, No. 417, pp99-108, 1990