

II - 380

水深が変化する水域に生じる二次元サーマルサイフォン流動の解析

神戸大学大学院 学生員 安田 篤司
 神戸大学工学部 正会員 道奥 康治
 大阪市 正会員 藤川 佳宏

1. はじめに

水表面における熱の授受が一樣であっても、河床勾配を有する貯水池などの水域では、水深の不均一性、すなわち熱容量の非一様性によって高温域と低温域が形成される。このような水平方向の浮力勾配は「サーマルサイフォン」と呼ばれる熱成循環流を発生する。この流れは微弱であり、現地観測で確認することは困難であるが、栄養塩や藻類の輸送・集積に対しても何らかの貢献をしている可能性がある。本報では、一定の河床勾配を有する二次元貯水池を想定して、水面熱収支と地形効果の相互作用により生ずるサーマルサイフォンの流動特性を数値解析的に明らかにする。

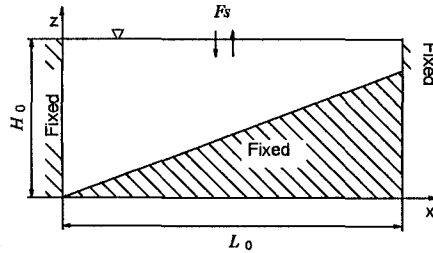


図-1 対象とする貯水池系

2. 対象とする場と解析手法

図-1のような二次元水域を対象とする。流動系を規準化するために次の代表量を用いる。長さスケール： H_0 （貯水池最大水深）、熱フラックスの速度スケール： $U_0 = \{\alpha g F_s H_0\}^{1/3}$ （ここで、 α ：体積膨張率、 g ：重力加速度、 F_s ：水面熱フラックス〔一定〕）、熱フラックスの温度スケール： $T_0 = F_s / U_0$ 。これらを用いて諸量は次のように規準化される。〔時間〕： $\tilde{t} = t / (H_0 / U_0)$ 、〔座標〕： $\tilde{x}_i = x_i / H_0$ 、〔流速〕： $(\tilde{U}_i, \tilde{u}_i) = (U_i, u_i) / U_0$ （ U_i, u_i は各々平均流速および変動流速）、〔温度〕： $(\tilde{T}, \tilde{\theta}) = (T, \theta) / T_0$ （ T, θ は各々平均温度および変動温度）。「 $\sim$ 」を付した諸量は無次元量である。無次元支配パラメーターは、

(1) レイノルズ数： $Re = U_0 H_0 / \nu$ 、(2) ペクレ数： $Pe = Pr Re = U_0 H_0 / \kappa_T$ （ここで、 Pr ：プラントル数、 κ_T ：熱拡散係数）、(3) 水域形状比： L_0 / H_0 である。同一流体に対しては、 Pe と Re は同義であるので、本研究では Pe のみをパラメーターと考え、 $L_0 / H_0 = 10$ の場合に対して検討する。解析には標準型 $k-\varepsilon$ モデルを用いる。固定境界は、断熱で non-slip、水表面は rigid-lid とし一様な熱フラックス $F_s = -\kappa_T (\partial T / \partial z)$ を与える。

3. 水表面が加熱される場合の流動

図-2 に水表面が加熱される場合の相対温度と流速の分布の経時変化を示す。ここでの相対温度とは各時間毎の断面平均温度からの偏差である。水表面が加熱されることにより、上層の密度が小さくなり安定成層化する。従って、この場合乱れは生じず、流れは層流である。循環流の速度は後述する冷却時の場合に比較して非常に小

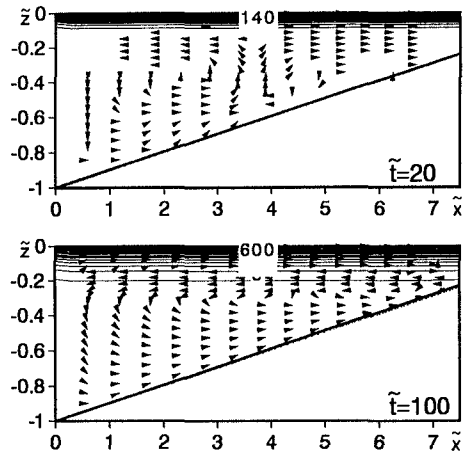


図-2 加熱時の相対温度・流速分布図

($Pe = 1.0 \times 10^4$)

キーワード：貯水池水理、熱成循環流、サーマルサイフォン、栄養塩の集積、水面熱収支

連絡先（〒657 神戸市灘区六甲台町 1-1, 神戸大学工学部建設学科, TEL(078)803-1044, FAX(078)803-1050)

さい。しかし、流速が小さいながらも、浅水部では、温度が上昇して水塊が相対的に軽くなることにより、左回りの循環流が形成される。 Pe の違いによる現象の違いはそれほど見られなかった。

4. 水表面が冷却される場合の流動

図-3 に $Pe = 1.0 \times 10^4$ の水表面が冷却される場合の相対温度と流速の分布の経時変化を示す。これは最大水深30cm程度の水利模型実験を想定している。冷却によって表層が密度的に不安定となって、水表面から多数の小さな循環セルが下方へと広がる。その後、相対的に低温の浅水部から重い水塊が底部に沿って傾斜ブルーム状に流下し、水域全体にわたる循環流を形成する。なお乱流エネルギーは不安定層の崩壊後の循環セルが生成しているところやブルームの先端部などで強くあらわれていた。図-4 に $Pe = 1.0 \times 10^6$ の相対温度と流速分布の経時変化を示す。これは最大水深10m程度の実貯水池スケールにおける現象を想定している。この場合も最終的に水域全体にわたる循環流を形成する。しかしながら、 $Pe = 1.0 \times 10^4$ の場合でみられた初期に生ずる層流的な対流セルや底面に沿った傾斜ブルーム状の流下現象は明確にはみられない、これは Pe が大きいために早い段階で水域全体の乱流拡散が生じて、不安定密度勾配が速やかに解消されたためと考えられる。

5. むすび

今後、粒子追跡シミュレーションなどを行い、栄養塩・藻類の輸送・集積機構との関連性を検討する必要がある。また、現地観測や水利実験を行い、実現象に即した解析を行わなければならない。

参考文献

- 1) Imberger, J.: Hydrodynamics of Lakes, Center for water research, The university of Western Australia, pp401-421
- 2) 道奥康治：湖沼・貯水池における熱・物質輸送，水工学シリーズ 94-A-7，1994,7

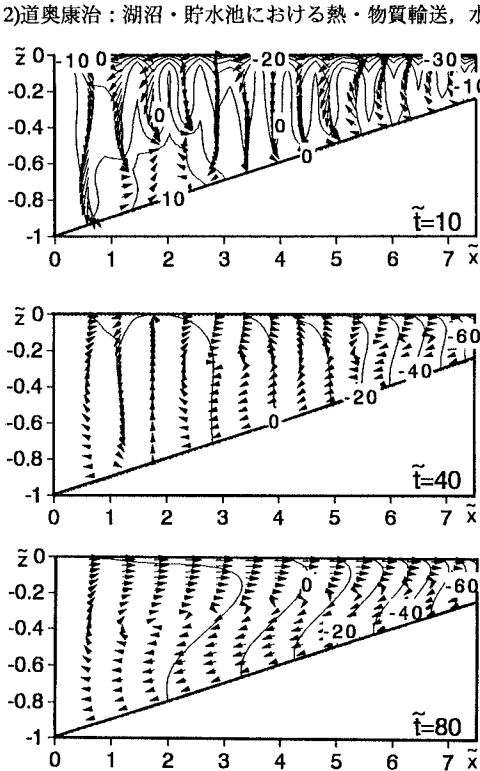


図-3 冷却時の相対温度・流速分布図
($Pe = 1.0 \times 10^4$)

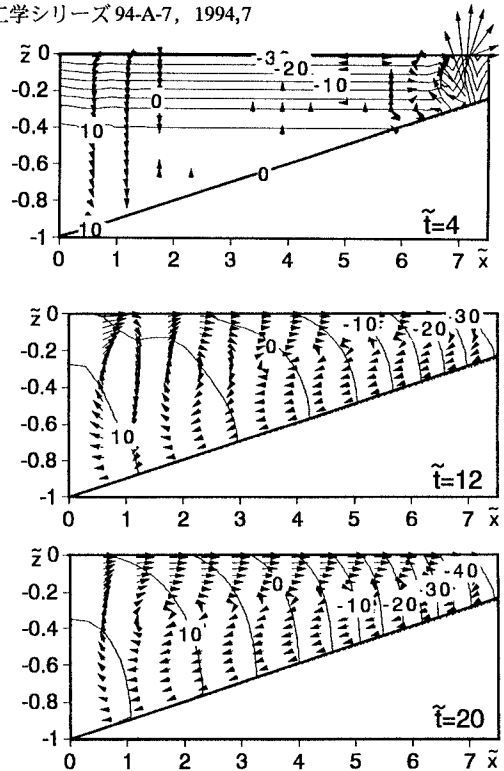


図-4 相対温度・流速ベクトル分布図
($Pe = 1.0 \times 10^6$)