

湖における多重拡散対流過程に関する実験

岡山大学環境理工学部 正 員 名合 宏之
 岡山大学環境理工学部 正 員 大久保 賢治
 岡山大学大学院 学生員 ○長井 重威

1. はじめに 湖の成層は湖水密度が塩分、水温、濁度（シルト濃度）などで規定されるため、一般に多重成層の多重拡散対流系となる。気象条件によっては、汽水湖で熱塩系、淡水湖でも温濁系の二重拡散対流が発生し、物質鉛直輸送を引き起こすことがある。本研究では、これまであまり注目されることのなかったこれらの現象について実験的に検討を加える。

2. 二重拡散対流に関する実験

2.1 実験の概要 実験水槽は 21cm x 25cm で、水深は 112cm（容積 58.8 l）にとった。図 1 に二重拡散対流の領域区分と本実験の条件範囲を既往の実験値^{1)~3)}とともに示す。水面冷却に対応する拡散領域($\Delta T > 0, \Delta S > 0$)の実験では流体を夜間に自然放熱させた。計測系に 2cm 間隔 32 層の水温計を用いて、水面下 1~59cm で夕方から翌朝まで 1 分間隔で測定した。底面から各サーミスタの上面まで積分した熱量の時間変化率から浮力束を求めると大半の実験で $B_T = 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}^3$ 程度の冷却条件になった。

2.2 逆転跳躍層を伴う水温分布 A シリーズ

は水槽に水道水を満たしてカオリン 60g を分散（完全混合状態で $1,000 \text{ mg/l}$ ）、約 1 時間沈降させてから、放熱を開始した。図 2 では、1~2 段の定温層とその間に水温の逆転跳躍層（温度差 $\Delta T = 0.25^\circ\text{C}$ 、厚さ $d = 4.3 \text{ cm}$ ）が形成され、水面近くの定温層は時間とともに厚みが増加した。その低下速度は $7.4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ で、カオリンのみかけの沈降速度から Stokes 式 $w_s = sgD^2/18\nu$ で逆算し等価粒径 $D = 2.9 \mu\text{m}$ を得た。ただし、 $s = 1.65$ は鉱物粒子の水中比重、 ν は動粘性係数である。フィンガー実験では上層濃度の時間減少率から沈降速度で逆算し $D = 7 \mu\text{m}$ を得ている⁴⁾が、フィンガーでは沈降と移流がいずれも下向きであるのに対し、拡散領域では沈降と移流が逆向きに作用するため同じカオリンでもみかけ上、沈降速度が異なる。温濁系では逆転層が移動するが、水面下 29~41cm では実験開始後 $t = 500 \sim 960$ 分に逆転層の通過に伴って特徴的な水温振動（図 3）がみられた。振動周期は約 6 分で各点 50 分ほど持続した。深度による変形がなく移動逆転層の密度勾配も変化しないと考えられ、温度勾配は 5.8°C/m で Shirtcliffe の結果 (2°C/m) の 3 倍ほど大きい。逆転層では熱浮力フラックスも段階的に変化し、逆転層の深度範囲では、 $t = 8 \sim 13$ 時間の冷却浮力フラックスは $0.3 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}^3$ 程度であった。次に B シリーズは淡水下に 16% で同体積の塩水を注入して塩淡水 2 層系を形成した初期条件として、これが連続成層へと遷移する状況を 1 週間にわたり追跡した。オフセットをかけた水温鉛直分布を図 4 に示す。夜間に形成される水温の逆転跳躍層は初期塩淡水界面付近に固定していたが、塩水と淡水の交換が進行すると上層内にも弱い逆転跳躍層が認められるようになった。逆転層が形成されても A シリーズの実験と比べて濃度差がかなり大きく、界面はわずかに移動するにとどまった。風や日射を再現しない実験棟での結果であるが、実際の湖の水温逆転層でも気象条件によって日毎に違いがあるところが

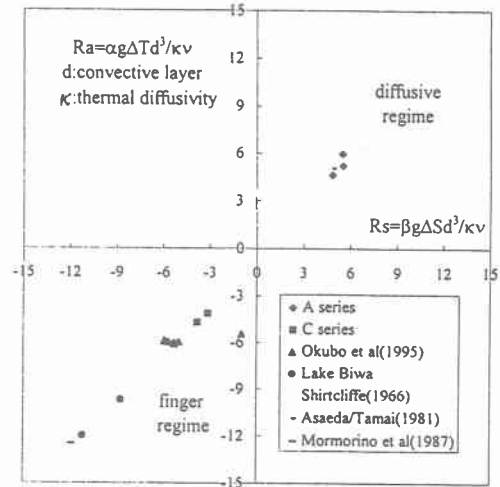


図 1 二重拡散対流の領域区分と実験条件

類似している。

2.3 安定跳躍層を伴う水温分布 Cシリーズは安定勾配をもついわゆるフィンガー領域($\Delta T < 0, \Delta S < 0$)の水温跳躍層に注目した。水温・濃度とも安定成層状態にある水柱を水面から冷却し温度ステップを形成する過程をみた。このシリーズでは重量濃度 320mg/l の塩水および濁水(カオリン) 6.3l を下層水よりも 5~6°C 高温に調節し、これを上層において二層系を作り、まずフィンガー実験を行った。RUNC2 の場合、8 分後にフィンガーが出現し、目視では 20 分後に 8cm、48 分後に 15cm 下方に移動し、これよりみかけの沈降速度は 4.4×10^{-5} m/s、逆算粒径は $D=7\mu\text{m}$ となつて、経験的に得た粒径とも一致した。実験開始後 10 数時間が経過すると図 5 に示すような多段の安定跳躍層がみられた。

Depth(cm)

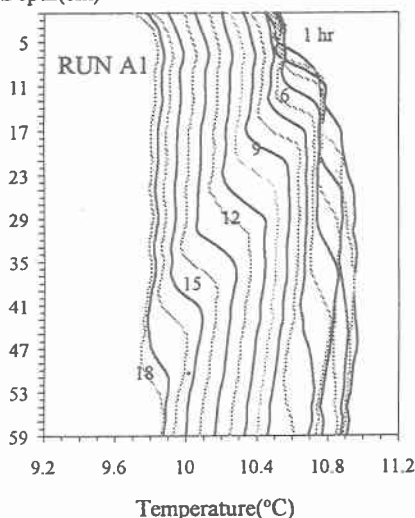


図 2 逆転跳躍層を伴う水温分布の階段構造

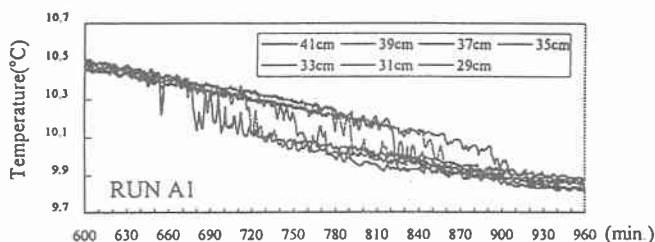


図 3 逆転跳躍層の通過時にみられる水温振動

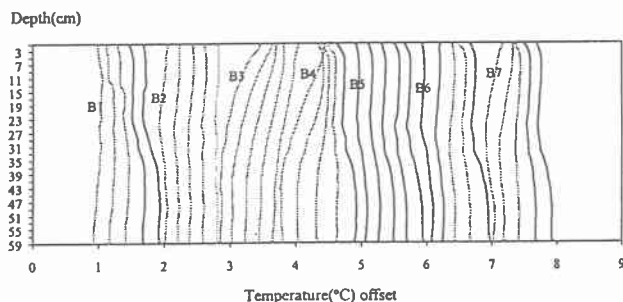


図 4 熱塩成層場の水温鉛直分布の変遷

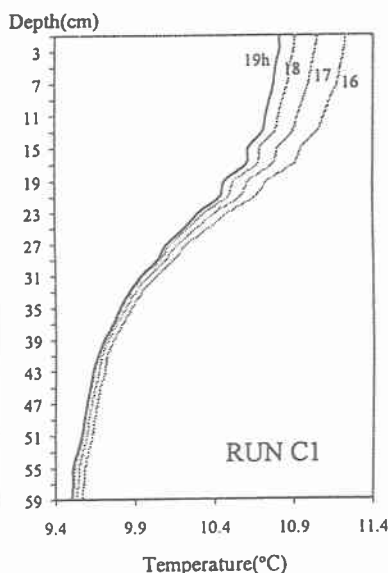


図 5 安定跳躍層を伴う水温鉛直分布

3. まとめ 二重拡散対流は湖流や内部静振のように水平流を伴うことのない、シルトの沈降速度と同程度の微弱運動であるが、貧酸素水塊の形成に代表される強成層過程を考えていく上で静穏な条件で現れるこの対流を無視できないと考えられる。これまでは水温測定に集中したが、二重拡散対流過程として塩分濃度や濁度の同時測定も行つて現象の解明を行つて行きたいと考えている。

参考文献 : 大久保・村本・森川(1995): 京大防災研年報.; 浅枝・玉井(1981); Shirtcliffe(1966)