

大阪大学大学院 学生員 山辺 建二

大阪大学工学部 正員 室田 明

大阪大学工学部 正員 道興 康治

1. はじめに

濁質を含む河川水が温度成層化した貯水池に流入した場合その密度の大小によって図-1に示すような二通りの濁水成層が形成される。受熱期においては一般に河川水は池内水より高温であるため(a)のように流入水が表層に貯留される(Case-A)。逆に、放熱期においては(b)の如く低温・高濃度水がこれと同密度でより低温の中層部あるいは底層部に流入する(Case-B)。このような二重成層が水面冷却を受ける場合に発生する物質・熱の対流状況を把握するため本研究では貯水池湖盆形状を単純化した一定底勾配を有する実験水槽を用い、濁質濃度を塩分濃度におきかえた熱塩成層場の放熱実験を行なった。

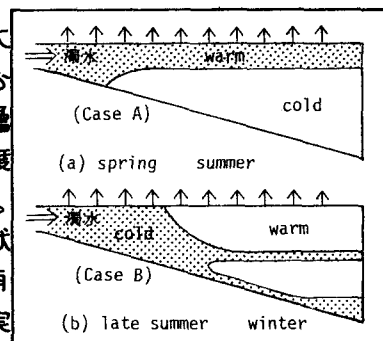


図-1. 貯水池で想定される濁水成層

2. 実験方法

実験水槽とその諸元を図-2に示す。左右の体積が相等しくなるような位置に隔壁板を設けその両側に所定温度・濃度の淡水を入れる。隔壁板を抜き取ると淡水二成層が速やかに作製される。Case-Aの場合は上層が高温淡水、下層が低温淡水、Case-Bの場合は上層が高温淡水、下層が中温淡水となるように設定する。いずれの場合も水表面での放熱によって熱対流が発生する。温度・塩分濃度の鉛直分布は、図-2中に破線で示す五断面において随時測定する。

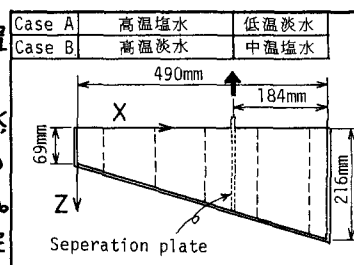


図-2. 実験水槽と諸元

3. 実験結果と考察

3-1 Case-A(上層が高濃度の場合)

図-3にCase-Aの等水温線・等濃度線の時間変化の一例を示す。初期においては、温度・濃度ともにほぼ水平に保たれた二層系を呈する(図-3(a))。水面での冷却によって上層密度が増加すると同時に密度境界面においてソルトフィンガーと呼ばれる細かなプリューム群が上下方向に進行し鉛直混合が促進される。浅水域側から次第にフィンガーフロントが底面に到達し始め数mm厚さの下層流として底面に沿って流下する。その後隣接したフィンガーどおしが浅水域の方から徐々に融合し始めフィンガー構造は消失していく。上下層の濃度差が減少するにしたがい混合は緩慢となる。最終的には、温度は安定成層化したまま、塩分濃度は浅水域で高濃度の状態を保ったままで残存する。下層流によって運ばれた高濃度水は最深部に貯留されている(図-3(c))。その後は分子拡散過程によってのみ現象がゆるやかに進む。

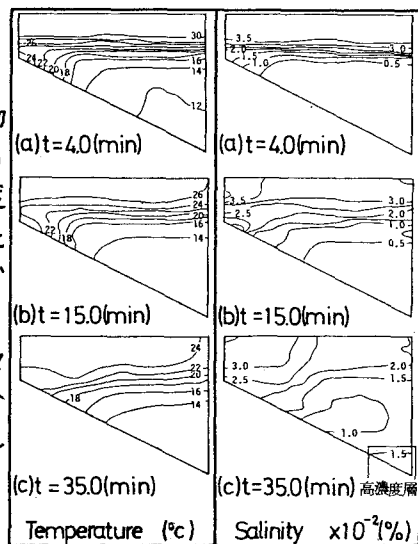


図-3. 等水温・等濃度線 (Case A)

図-4 はビデオ解析により得られた種々の水平位置におけるフィンガーフロントの走時曲線である。各々はほぼ一定速度で下落しており有効重力の他粘性抵抗が作用して沈降を抑制していることを示唆している。また、浅水域ほど速度が小さい。これは、貯留効果によって浅水域が高密度となっており、フィンガーに働く有効重力が深水域より小さいためであると考えられる。

3.2 Case-B(下層が高濃度の場合)

図-5に等水温線・等濃度線の時間変化を示す。Case-Aとは逆にある時間に到るまでは界面での濃度勾配が増大し明瞭な密度境界面が形成される(図-5(a),(b))。実験条件によっては中間層が二～三層形成される多段階構造が観察される場合がある。界面はしだいに低下し上層内の対流の作用によって上に凸の界面形状を呈するようになる。時間とともに冷却度が弱まり対流強度が減少するにもかかわらず、界面を定度がそれ以上減少するため連行現象はしだいに激しくなる(図-5(c),写真-1)。最終的には、図-5(d)に示すように界面がほぼ水平な状態で底層水が残される。実験条件によって混合量の違いはあるがいずれのケースもほぼ同様の時間的変遷をたどる。

次に、対流による輸送形態に関する考察を行なう。連行された下層水塊の動き、染料雲の動向から上層内には図-5(c)中に模式的に示すような一対の循環が存在していることがうかがえる。そこで、図-6に示すように水層をメッシュ分割し各微小要素に対する体積・温度・濃度の保存則から平均流速を算出する。図-7に水平流速分布の一例を示す。物理量の時間的・空間的変化が微妙であり誤差をともなうため、算出された流速は必ずしも連続条件を満足しているとは言えないが上述のような循環の存在がほぼあらわされていると考えられる。

4. おわりに

本研究成果は、以上のごとく定性的な範囲をでないが二次元熱塩対流の概要に関するいくつかの知見を得ることができた。

今後、輸送量の定量的評価を試みる必要がある。

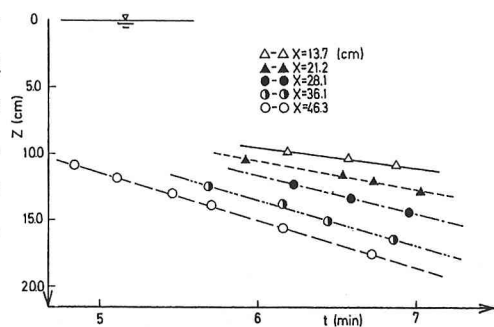


図-4. フィンガー・フロントの走時曲線

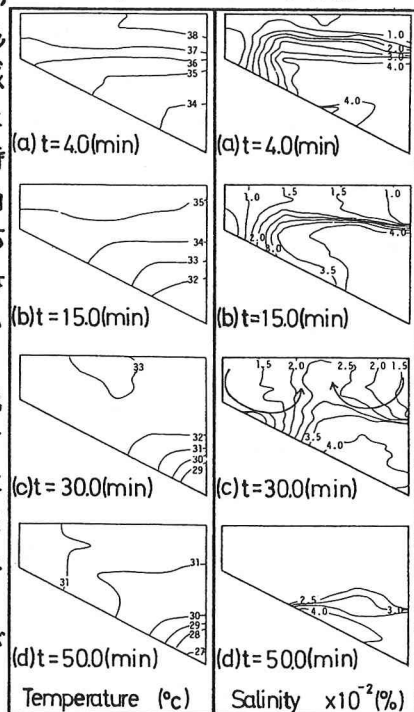


図-5. 等水温・等濃度線 (Case B)

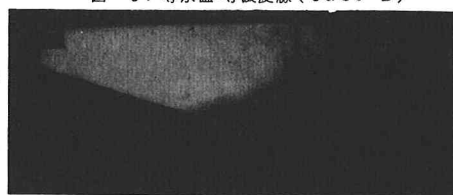


写真1. Case Bの混合の様子

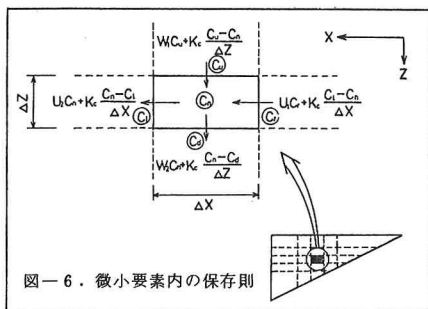


図-6. 微小要素内の保存則

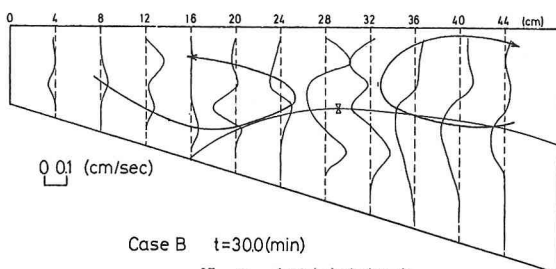


図-7. 水平方向流速分布