

埼玉大学工学部 正 員 浅枝 隆
 東京大学工学部 正 員 五井 信行
 中部電力 服部 邦男

1. はじめに

貯水池濁水化現象に関連した二重拡散現象についての解明において、前報⁽¹⁾で初期の密度分布が線型であっても時間の経過とともに密度の不連続面を有する階段状の構造が形成されることを述べた。今回は、そうした不連続な境界面の発生、消滅の過程について、実験的・解析的な検討を行った。

2. 連続成層から形成された階段状構造の場合

多層構造が発達したのち、混合層間の塩分(濁質)による密度差 $\beta\Delta S$ と、温度による密度差 $\alpha\Delta T$ との関係をプロットしたものが、図 I, II である。図中で黒い印のものは、次の測定の際には存在しなかったものを示している。この図から、 $R = \beta\Delta S / \alpha\Delta T$ は、熱塩熱湯にかかわらずほぼ $1 \leq R < 2$ の間に分布していることがわかる。

3. 不連続境界面を持つ場合の時間的变化

初期密度分布がほぼ不連続な場合に下方から加熱すると、下層水温はすぐに上昇し始めるが、層間の境界層のために、上層へはほとんど熱が伝わらない。そのために初期には上下層間の温度差は増大する。その後 $R \sim 2$ に達すると、境界層の密度分布は変化し始め、下層に生じた対流に侵食され薄くなっていく。また、この時に境界層内部に階段状構造が生じるものもみられた。その後は、境界層厚さはほとんどなくなり、境界面は上下に激しく変動するようになる。また、上下層内には層規模の対流が存在し、そのせん断応力により、対流の激しい層へ、

もう一方の層の流体が細く引き伸ばされて連行されていっている。しかも、こうした現象は、変動した界面の頂部で顕著に起こっており、界面変動が混合にかなり寄与していることがわかる。また、このような連行が存在しているために、平均的な境界面の位置もしだいに変化していっている。つぎに、温度による密度差と塩分(濁質)による密度差の時間的な変化を図 III に示す。境界層の厚さが大きい初期の間は、温度、塩分(濁質)ともに上層に伝わりにくいため温度差のみが増加していっているが、 R が 2 より少し小さいあたりで、今度は温度による密度差、

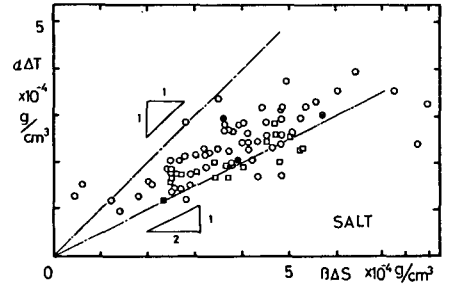


図 I

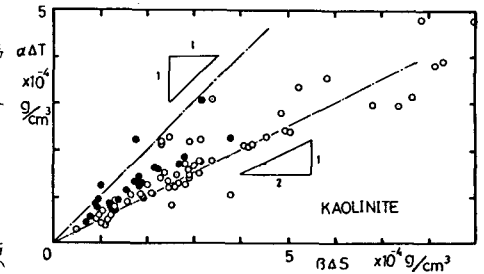


図 II

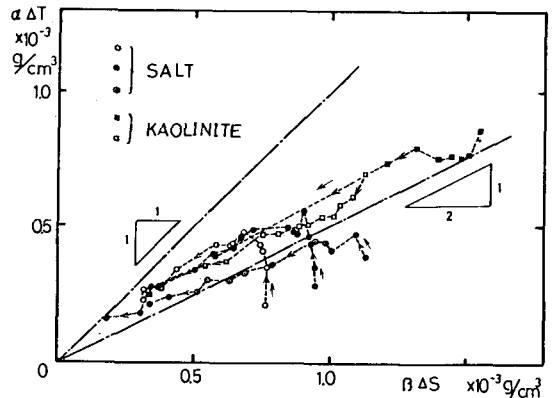


図 III

塩分(濁質)による密度差ともに減少していっている。この場合、特徴的なこととして、 $R \sim 1.7$ 程度で減少し始めたものについては、そのままほぼ同じ R の値を持続し、絶対的な密度差が十分小さくなって初めて、 $R=1$ となり、上層と下層が一体化していっている。このことは、上述した初期密度分布が連続的なものについて、階段構造

が形成された時の、塩分(濁質)、温度による混合層間の密度差をプロットした図Ⅰ,Ⅱの特徴とほぼ一致している。

4. 層間の塩分(濁質)、温度フラックス

上下層間の塩分(濁質)および熱フラックスの比 $\beta F_{S1}/\alpha F_{T1}$ を R に対して示したものが図Ⅳである。この図からわかる通り、 $R=2$ 付近では、熱・塩二重拡散系と熱・濁二重拡散系の間で明らかな差異がみられ、塩分フラックスと熱フラックスの比の方が、濁質フラックスと熱フラックスの比よりも大きな値となっている。しかし、 $R<2$ の状態では、双方に有意な差はみられない。また、塩分についてのものは、Turner (1965)⁽⁴⁾, Crapper (1975)⁽²⁾ の実験結果とほぼ同一の結果となっている。図中の実線は、Linden (1974)⁽³⁾ が半理論的に導いた関係式であるが、これについてほぼ実験値と一致している。つぎに、今回の実験は、底板からの熱の供給が伝導によっているために、底板から流体中に流入する熱フラックス F_{T0} と、下層から上層へ流入する熱フラックス F_{T1} の間に関係があることが予想される。その関係を示したものが図Ⅴである。 $1.5<R<2$ 程度では、ほぼ

$$\alpha F_{T1}/\alpha F_{T0} \sim R^{-1} \quad (1)$$

の関係があることがわかる。

5. 上下層の安定性

前項の結果を考慮して、上述した R -一定で密度差が減少する現象を考察してみる。 $R<2$ では、境界層はほぼ消滅し、上層および下層内では対流のためにほぼ一様となっている。また、層厚 h はあまり変化しないために、密度差の時間的な変化に関して、

$$\frac{d}{dt} \beta \Delta S = -2 \frac{\beta F_{S1}}{h}, \quad \frac{d}{dt} \alpha \Delta T = \frac{\alpha F_{T0}}{h} - 2 \frac{\alpha F_{T1}}{h} \quad (2)$$

の関係がなりたつ。 R の時間的な変化に関しては、

$$\frac{d}{dt} R = \frac{d}{dt} \frac{\beta \Delta S}{\alpha \Delta T} = \frac{1}{h \Delta T} \left\{ -2 \beta F_{S1} - \frac{\beta \Delta S}{\alpha \Delta T} (\alpha F_{T0} - 2 \alpha F_{T1}) \right\} \quad (3)$$

とするために、 R が時間的に ① 変化しない、② 増大する、③ 減少する場合に、④ 式を代入して、

$$\textcircled{1} \quad \frac{\beta F_{S1}}{\alpha F_{T1}} = R - \frac{R^2}{2} \quad \textcircled{2} \quad \frac{\beta F_{S1}}{\alpha F_{T1}} < R - \frac{R^2}{2} \quad \textcircled{3} \quad \frac{\beta F_{S1}}{\alpha F_{T1}} > R - \frac{R^2}{2} \quad (4)$$

とあらわせる。④ の関係式により、現象は $R \rightarrow 2$ より R の小さくなる方向に、フラックス比を表す曲線に沿って進み、 $R=1/2 R^2$ との初めの交点に達すると、それが安定な点となっていることがわかる。この値は図より、ほぼ 1.6~1.7 程度で、図Ⅲの結果と一致している。つぎに、上下層の密度差については、⑤ 式を代入して、

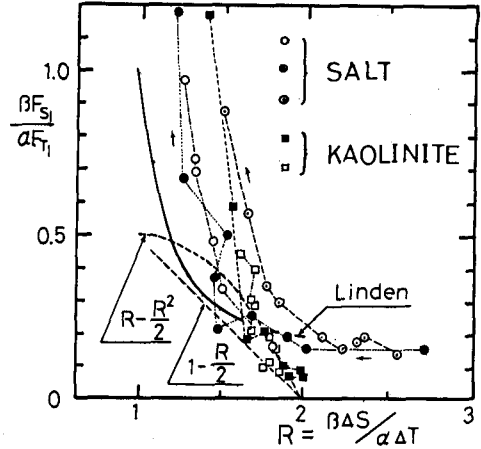
$$\frac{d}{dt} (\beta \Delta S - \alpha \Delta T) = \frac{1}{h} \left\{ -2 \beta F_{S1} - \alpha F_{T0} + 2 \alpha F_{T1} \right\} = \frac{2 \alpha F_{T1}}{h} \left\{ -\frac{\beta F_{S1}}{\alpha F_{T1}} + \left(1 - \frac{R}{2}\right) \right\} \quad (5)$$

の関係が存在し、図Ⅳより ⑤ 式 < 0 となる。これらのことより、図Ⅲ中で初め $\alpha \Delta T$ が 1 だいに増大し、 $R \sim 1.7$ 程度で今度は R の値を保ちながら、原点に向かっていく現象が説明できる。

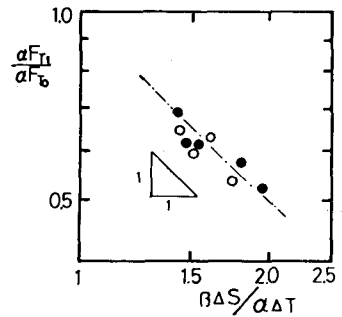
6. 結論：不連続境界面をもつ場合の二重拡散現象について実験・検討を行ない、時間的な変化特性について、 $R = \beta \Delta S / \alpha \Delta T$ をパラメーターとし、実験結果を説明し得る理論的な解を得た。

参考文献 (1) 玉井・浅枝・高橋 第24回水講 (1980) (2) Crapper, P.F. Deep-Sea Res. Vol 22 (1975)

(3) Linden, P.F. Deep-Sea Res. Vol 21 (1974) (4) Turner, J.S. Int. J. Heat Mass Transfer Vol 8 (1965)



図Ⅳ



図Ⅴ