

線形成層場における吹送密度流に関する実験

京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 森 川 浩
 京 都 大 学 工 学 研 究 科 フ ェ ロ ー 村 本 嘉 雄
 京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 濱 口 一 郎
 京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 細 見 知 彦

1. はじめに 湖沼の流動を引き起こす外的要因は数多いが、最も直接的に影響を及ぼすのは風応力であろう。特に成層湖においては、風応力は水温の空間分布を決定する上で大きな役割を担っている。そのため、成層流体の表面にせん断力を作用させる実験的研究が従来数多く行われ、流動や乱れの特性が明らかになると共に連行則が提案されてきた。長水路を用いた一方向せん断力の実験は循環流（逆流）の有無により大別されるが、循環流を有する実験は安定な2層場を対象にしたものが多い。しかし、実際の湖沼において水温の鉛直分布を計測してみると2層場として扱えるのは秋期から冬期にかけての成層崩壊期のみであり、春期から夏期の成層形成期は躍層厚が極めて大きく、線形成層場あるいは3層場として扱った方が良い場合がある。そこで本研究では初期成層状態を線形とし、循環流を含む吹送密度流に関する実験を行い、明らかになったところを述べる。

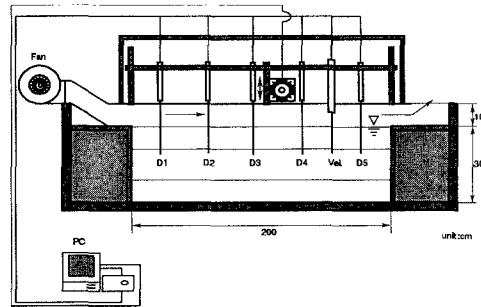


図-1 実験装置

2. 実験概要 本研究で用いた風洞水路は図-1 に示すように透明アクリル製水槽のうちの一部を貯水槽（長さ 200cm、高さ 30cm、幅 10cm）としたものである。計測機器としては塩分濃度計測のための電気伝導度計と流速計を使用した。鉛直1次元的な密度変化のみならず空間的な密度変動を捉えるために伝導度計は水槽上流端 10cm の位置から 45cm 間隔で5本（D1～D5）用いた。流速計は貯水槽上流端より 140cm の位置に設置した。これらの計測器はステッピングモーターにより、水深 0cm～29cm の区間を鉛直に上下する。計測時間を考慮して、1cm 毎にこのステッピングモーターを移動させ、その水深における伝導度計と流速計の値を取り込んだ。なお、1 プロファイルの計測時間は 30 秒以内である。実験条件を表-1 に示すが、 N は初期の浮力振動数、 U_{max} は簡易風速計で得られた風洞内部における最大風速である。水表面の摩擦速度 u_* は D1 と D5 の圧力差から算定した。

表-1 実験条件

	N^2 (s^{-2})	U_{max} (m/s)	u_* (cm/s)
WL-1	0.65	5.5	0.45
WL-2	1.27	7.8	0.63
WL-4	0.96	4.0	0.37
WL-5	0.49	7.8	0.63
WL-6	1.27	5.5	0.45

3. 実験結果とその考察 まず、WL-6 における水平流速の鉛直分布を 20 分間隔にして図-2 に示す。混合層（上層）内で循環流が発生しており、混合層が増大するにつれて流速分布が変化していくのがわかる。また、2層場における吹送密度流と同様に下層の流れは微速である。次に水槽内の空間的な流況を検討するために、ポリエチレン粒子を用いた可視化を行った。実験条件は WL-6 に等しい。図をみると下層内に粒子が蓄積しており、混合層と下層との界面が明瞭にわかる。上層においては大きな流速からもわかるように流れは非常に乱れている。また、この傾斜した界面を遡上する流れによって下層流体が断続的に連行されており、下層内に微速な渦が確認できる。この連行は

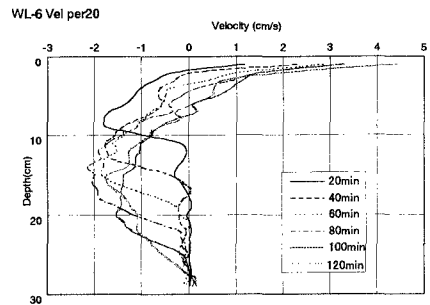


図-2 流速分布の変化 (WL-6)

Keywords: 線形成層, 吹送密度流, 鉛直混合, 成層形成期

〒606-8501 京都市左京区吉田本町, TEL 075-753-5074, FAX 075-761-0646

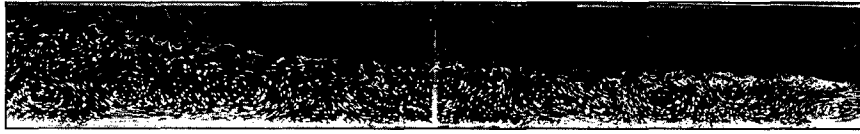


図-3 粒子法による水槽内の流況の可視化

混合層における乱れに起因しており、連行された流体は循環流により混合層へ輸送される

次に密度の空間分布とその時間変化について考察する。図-4はWL-4における密度コンター図である。3分後には混合層が形成されつつあるが、水平方向に大きな密度差がある。その後、混合層厚が増大し、密度界面が低下する。循環流を含む2層場の実験では風上側に形成される楔形の遷移層が特徴的であるが、線形の場合でも風上側に形成されている。この楔形の遷移層は鉛直混合に大きく寄与し、混合流体の蓄積と放出という役割がある。この楔内の

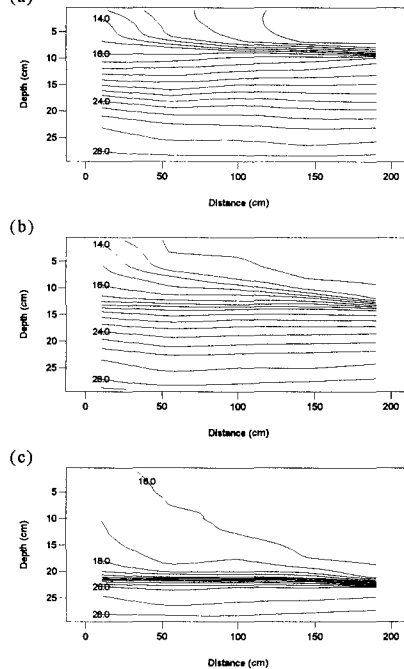


図-4 WL-4における空間密度分布 (単位 g/l)
(a):3分, (b):45分, (c):100分

密度変動を検討するため、伝導度計 D1 と D5 における鉛直密度分布の時間変化を図-5 に示す。風下の D5 では上層が均一であるのに対し、楔内の D1 では鉛直方向に線形の密度勾配が存在し、その勾配は時間経過とともに緩くなっている。

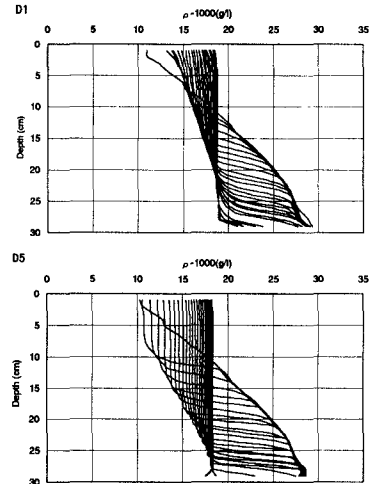


図-5 鉛直密度分布の時間変化 (WL-4, 10分間隔)

以上のように循環流を含む吹送密度流の場合、水平方向に密度差が生じ、界面が傾斜するため流速分布も一様ではない。そのため、鉛直混合量(連行量)も場所的に変化すると考えられる。しかし、混合量の場所的变化を計測することは技術的に困難である。ここでは密度偏差によるポテンシャルエネルギーの時間変化を水路全体で平均して図-6 に示す。風応力はポテンシャルエネルギーを増加させる方向しか働かないが、図をみると時間にほぼ比例して増加しており、密度差がなくなると一定値をとる。また、その増加の勾配は初期密度差と摩擦速度に依存するようである。従来の研究は実験水路全体を1次元的に取り扱うため、連行速度は摩擦速度に基づくリチャードソン数の関数として表現できるが、水平方向の混合量の差違も検討する必要があると考えられる。

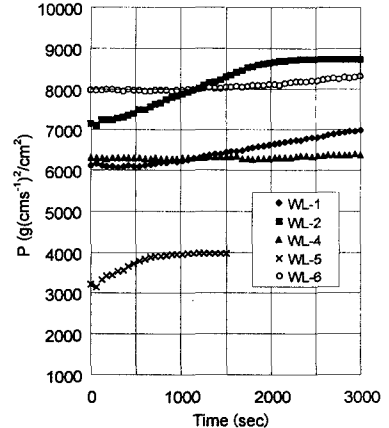


図-6 密度偏差によるポテンシャルエネルギーの時間変化 (単位面積あたり)

風応力はポテンシャルエネルギーを増加させる方向しか働かないが、図をみると時間にほぼ比例して増加しており、密度差がなくなると一定値をとる。また、その増加の勾配は初期密度差と摩擦速度に依存するようである。従来の研究は実験水路全体を1次元的に取り扱うため、連行速度は摩擦速度に基づくリチャードソン数の関数として表現できるが、水平方向の混合量の差違も検討する必要があると考えられる。

おわりに 成層形成期の湖沼における風成密度流の流動機構と密度分布の変動特性を検討するため、線形場において実験を行った。一方向の流れによる連行速度は初期成層状態によっても変化するため¹⁾、今後2層場との比較を行うと同時に、水平方向の混合量の分布と楔形の遷移層の特性を検討したいと考えている。

参考文献: 1)Kantha, O. M., et al: On turbulent entrainment at a stable density interface, *J Fluid Mech.*, Vol.79, pp. 753-768, 1977