

# 塩分を含む閉鎖性水域の降雨によって形成される塩分成層に関する実験的研究 Experimental Study on Salinity Stratification Formed by Rainfall in Closed Saline Water body

○尾崎 彰則\*, グエン ヴァン ティン\*\*, ミンハズ アハメッド\*\*  
OZAKI Akinori, NGUYEN Van Thinh, MINHAZ Ahmed

## 1. はじめに

流れの停滞性が強い閉鎖性水域では、水質成層が形成されやすい環境下であり、その成層の強固化、複雑化に伴い水質汚濁が進行する。汽水域や塩分調整を行っている水産養殖池等の塩分を含む閉鎖性水域では、淡水閉鎖性水域で観察される水温成層に加え塩分成層が形成されることから、より複雑かつ難解な成層状態にあり、水域内水質の維持・管理がより難しくなると考えられる。塩分を含む閉鎖性水域では、水域に生じる降雨が塩分成層を形成する主要因であり、水域の塩分濃度および降雨強度の違いにより、形成される塩分成層の規模、安定度等が異なると考えられる。

本研究では、特に水産養殖池等の塩分調整を行っている比較的小規模な閉鎖性水域を対象として、自作の雨滴発生装置を用いた水理実験を行い、降雨によって形成される塩分成層について検討した。

## 2. 実験概要

実験は、長さ 0.6 m、幅 0.3 m、深さ 0.4 m の実験水槽と、水槽上部に設置した雨滴発生装置を用い、実験水槽内塩水の初期塩分濃度 (1.23~3.06%) と雨滴発生装置による降雨量 (52.8~120.0 mm/hr) を実験条件として変化させ、降雨前後の水槽中央部における塩分濃度鉛直分布について検討した (Fig. 1 参照)。実験水槽内の初期水位はそれぞれの実験において 0.2 m とし、降雨開始後の実験水槽水位が約 20 mm 程度上昇するまで降雨を継続した。なお、雨滴発生装置は、アクリル製水槽の底面に直径 3 mm で穿孔し、これに 10  $\mu$ m のピペットチップを逆向きに挿入することにより雨滴孔とした。この雨滴孔数を可変 (34 孔, 26 孔, 18 孔) することにより降雨量を調整した。なお、この雨滴発生装置による雨滴については、楕円を仮定して推定した長径が 2.6 mm、落下速度が約 2.8 m/s であり、自然現象で観察される同程度径の雨滴に比べ半分程度の速度<sup>(1)</sup>であった。

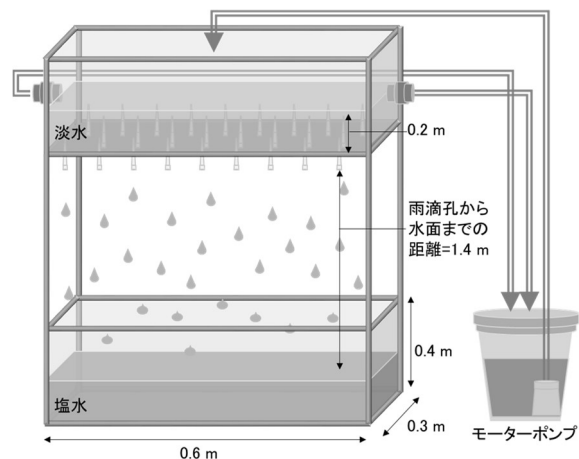


Fig.1 実験装置  
Schematic diagram of experimental apparatus

この雨滴発生装置による雨滴については、楕円を仮定して推定した長径が 2.6 mm、落下速度が約 2.8 m/s であり、自然現象で観察される同程度径の雨滴に比べ半分程度の速度<sup>(1)</sup>であった。

## 3. 実験結果

### (1) 降雨前後の塩分濃度鉛直分布

Fig. 2 に降雨発生前と降雨停止 10 分後の塩分濃度鉛直分布の一例を示す。Fig. 2 より、降雨停止 10 分後の塩分濃度鉛直分布は、初期濃度とほぼ同じ値を持つ塩分濃度安定層、濃度勾配の値が高い塩分濃度遷移層、初期濃度の 75~85% 程度の一定塩分濃度を持つ混合層の 3 層に分かれていることがわかる。

### (2) 降雨後の塩分成層状態

Fig. 2 の塩分濃度の鉛直分布を詳細に検討するために、ブルント・バイサラ振動数 $N^2$ を算出し、各層の特性について検討した。Fig. 3 にブルント・バイサラ振動数の一例を示す。ブルント・バイサラ振動数は密度成層の安定度を示すパラメータで以下の式で与えられる。

\*九州大学熱帯農学研究センター Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University, \*\*九州大学大学院地球社会統合科学府 Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University  
キーワード：雨滴発生装置、密度成層、ブルント・バイサラ振動数

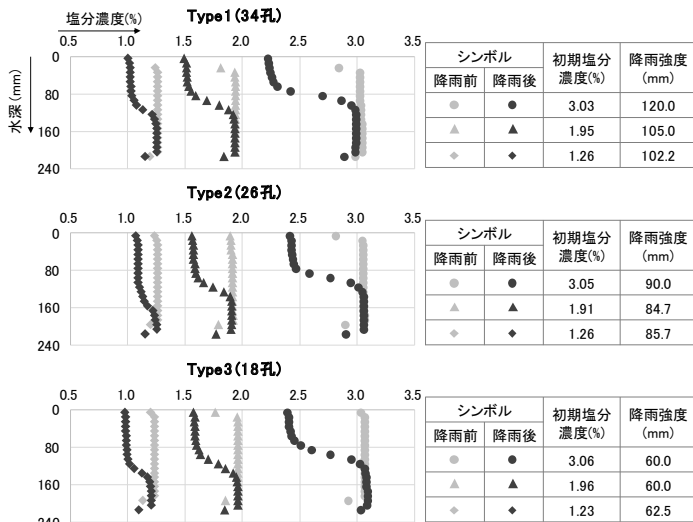


Fig.2 降雨前と降雨停止 10 分後の塩分濃度鉛直分布  
Variation of salinity concentration fluctuation  
10 minutes after stopping the rain

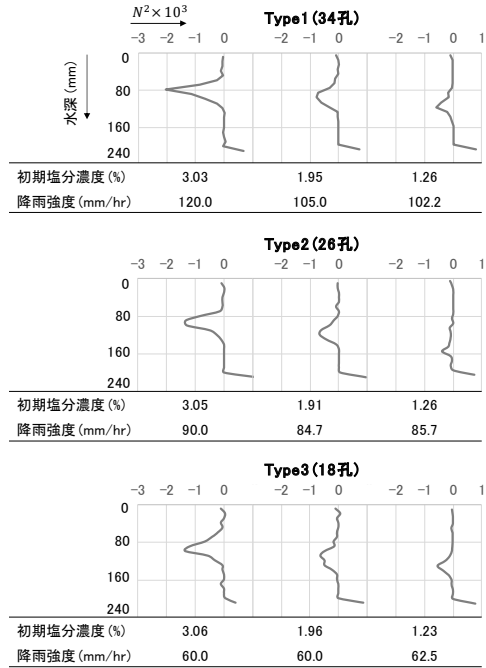


Fig.3 降雨停止 10 分後の  
ブルント・バイサラ振動数  
Brunt-Vaisala frequency  $N^2$  10 minutes  
after stopping the rain

$$N^2 = -\frac{g}{\rho_i} \frac{d\rho(z)}{dz} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_i$ は降雨前の鉛直方向密度の平均値 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $z$ は水深(m)、 $d\rho(z)$ は水深 $z$ における密度 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $g$ は重力加速度( $9.8 \text{ m/s}^2$ )である。

Fig. 3 より、ブルント・バイサラ振動数の鉛直分布からも、塩分濃度の鉛直分布が、塩分濃度安定層、塩分濃度遷移層、混合層の 3 層に分かれていることが確認できる。また、塩分濃度遷移層で出現するピーク値に相当する水深は、鉛直方向密度分布の変曲点を示している。この変曲点の水深は、それぞれの降雨条件において初期塩分濃度の低下に伴い、変曲点の位置が深くなっており、降雨の影響が深層まで到達していることがわかる。

Fig. 4 は、ブルント・バイサラ振動数の鉛直分布に基づいて、塩分濃度安定層、塩分濃度遷移層、混合層の 3 層の割合(左軸、カラーマップ)と、初期塩分濃度に対する各層の平均濃度の割合 ( $C_{LA}/C_i$ , 右軸、反転色ドット)を示したものである。ここで  $C_{LA}$ は各層の平均濃度、 $C_i$ は初期塩分濃度である。なお、図中の色による違いは、図中上部から塩分濃度安定層、塩分濃度遷移層、混合層に対応している。Fig. 4 より、初期塩分濃度の低下に伴い、混合層が厚く塩分濃度安定層が薄くなる傾向がわかる。また、塩分濃度遷移層の厚さについては、実験条件に依存することなく、全水深に対して 2~3 割程度の厚さを持っていることがわかる。一方  $C_{LA}/C_i$ 値については、混合層のみ初期塩分濃度の低下に伴い値が減少する傾向がわかるが、塩分濃度安定層および混合層については実験条件に依存することなく、それぞれ同程度の割合で塩分濃度を保持していることがわかる。

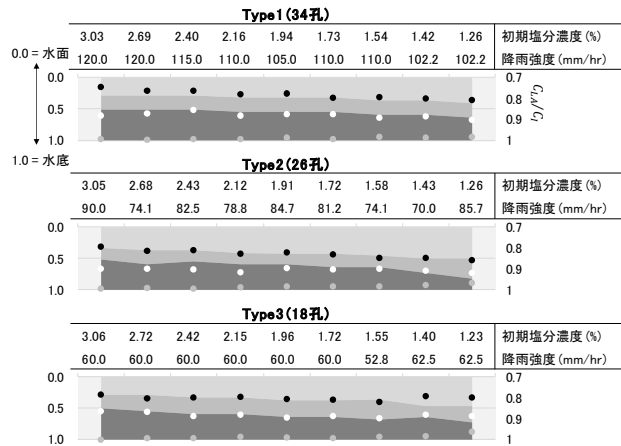


Fig.4 各層の水深に対する割合と層平均濃度  
Depth ratio and averaged salinity in each layer

#### 4. まとめ

本研究により、塩分を含む閉鎖性水域に生じる降雨によって形成される塩分層の特性が、降雨後の塩分濃度の鉛直分布およびこれを用いて算定されるブルント・バイサラ振動数を用いることにより検討できることが分かった。

参考文献：(1) Gunn, R. and Kinzer, K. D.: The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant Air, Journal of Meteorology, Vol. 6, pp. 243-248, 1949, 他