

蒸発により発現する密度流の可視化とメカニズムの解明

Mechanism and visualization of density flow caused by evaporation

○木原 康孝

Yasutaka KIHARA

1. はじめに

世界の乾燥地や半乾燥地では塩類集積が問題となっている。塩類集積が発生すると、土壌表層の溶液密度は下層よりも大きくなり、密度が不安定な状態となるが、従来の研究では密度差による水分移動は少なく、考慮する必要はないと考えられてきた。しかし、近年の研究で密度差により溶液が移動することが明らかになってきた。本研究では2次元タイプの実験装置を作成し、密度流の可視化を行い、密度流の流れのメカニズムを解明することを目的とした。

II. 実験方法

アクリル水槽に充填した上層試料を塩溶液で飽和、下層試料をイオン交換水で飽和し、密度が不安定な成層を作成し開始する実験（以下、静止実験）、実験開始時には試料全体を同じ塩溶液で飽和し、蒸発により密度不安定性を生じさせる実験（蒸発実験）の2種類を行った。そして、可視化のために上層の溶液をブリリアントブルーで着色した。試料としては着色した溶液の観察が容易なガラスビーズ(粒径 0.117~0.250mm)を用いた。

静止実験は、横 14cm、高さ 6cm、幅 1.0cm のアクリル水槽を用い、充填した試料の上層 3cm を着色した NaCl 溶液、下層 3cm をイオン交換水で飽和し、実験を行った。上層の塩溶液の濃度を変えて、その影響について検討した。

蒸発実験は横 28cm、高さ 14cm、幅 1.0cm のアクリル水槽を用いた。充填した試料を NaCl 0.10mol/L 溶液で飽和し、上層 6cm の溶液をブリリアントブルーで着色した。水位が試料表面で一定になるように、アクリル水槽の下層から同濃度の塩溶液が供給される装置とした。なお、蒸発実験は温度 40℃、湿度 20% の恒温恒湿室で行い、蒸発速度は一定で 12mm/day 程度であった。

III. 結果と考察

まず、静止実験について検討する。Fig.1 に上層の NaCl 溶液の密度が 1050g/L (約 0.85mol/L) の結果の例を示す。実験開始時には着色した上層と下層の境界は水平である。これが 20 分後には、

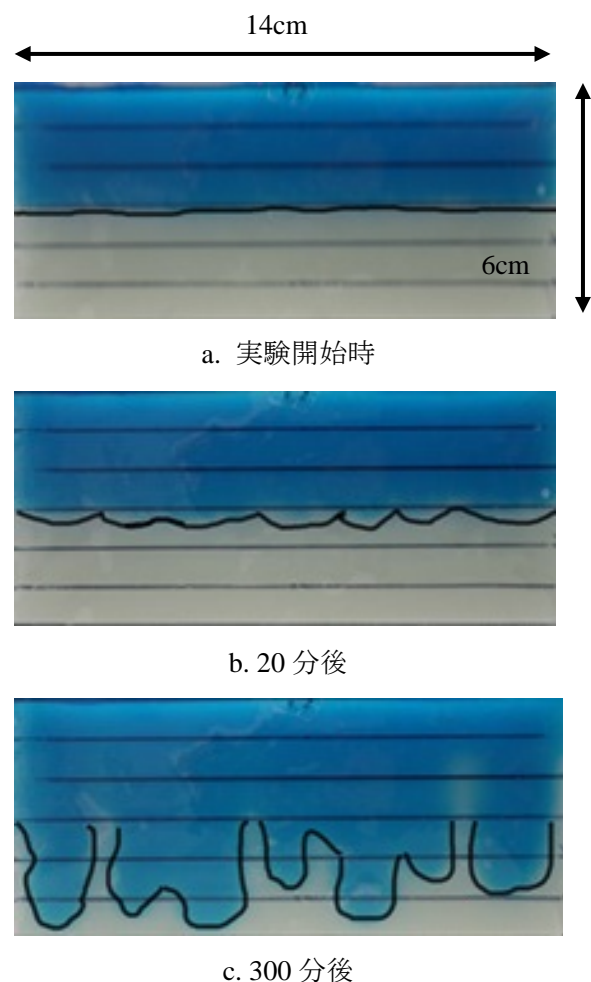


Fig.1 静止実験の結果の一例

一定の幅の波形が形成され、下層へ徐々に移動し始め、ほとんど幅を変えず、フィンガー流となり、300分後には、鉛直下方向に真っ直ぐ落ちていくことがわかった。上層の溶液密度を変化させて行った実験の結果より、溶液密度が大きいほど落ちるのが速くなっていた。これは、密度の大きい溶液は落ちようとする力が大きいため、速く移動したと考えられる。また、上層の密度が小さいほどフィンガーの数が少なくなり、幅が広がっていた。これは、上層の密度が小さいほど、下層へ入り込もうとする力が小さく、力を集め束になって落ちていくためと考えられる。また、密度流が起きる限界は 1002g/L であり、それ以下の密度差では密度流は発生しなかった。

次に、蒸発実験について検討する。実験開始時、試料全体を同じ溶液で飽和しており、密度差はなく、密度は $1005.8\text{g/L}(\text{NaCl } 0.10\text{mol/L})$ で均一な状態である。開始 8 時間後、蒸発により青色と無色の境界線が全体的に $1\sim 2\text{cm}$ 上昇した。これは、均一に蒸発が起こり、水分も均一に上昇していることを表している。開始 15 時間後、表層の数カ所で、幅 $3\sim 4\text{cm}$ 、長さ $2\sim 3\text{cm}$ の青色の濃淡が発生した。これは、表層の青色が濃くなっている位置へ、蒸発により色が濃くなった溶液が集中しているためであると考えられる。開始 35 時間後、フィンガー流となって下方向へまっすぐ降下した。発生した密度流の平均幅は 5.79cm 、平均速度は 0.19cm/h であった。ただ、これらのフィンガー流は静止実験のようにすべてが降下するのではなく、①底面まで降下する流れ、②途中で移動が止まり、静止する流れ、③移動が止まり、逆に上層へ移動する流れなどがあつた。また、実験終了後、表層から深さ約 5mm を 9 つの区間に分けてサンプリングし、電気伝導度を測定した。密度流が発生している区間のモル濃度が $0.2\sim 0.3\text{mol/L}$ と高く、 NaCl 濃度が高くなると密度流が発生することが確認できた。これらの結果より、蒸発時には全体で均一な水分上昇が発生しているのではなく、溶液密度の違いで多様な流れが発生し、非常に複雑で不均一な流れの状態になっていることが明らかになった。

IV. おわりに

今回の実験により、蒸発により発現する密度流の可視化に成功した。また、密度流の発生の仕方や密度流の移動パターンなど、基礎的なメカニズムを解明できた。今後は、 NaCl の濃度を変える、下層を着色するなど、さらに条件を変えて蒸発実験を行う予定である。

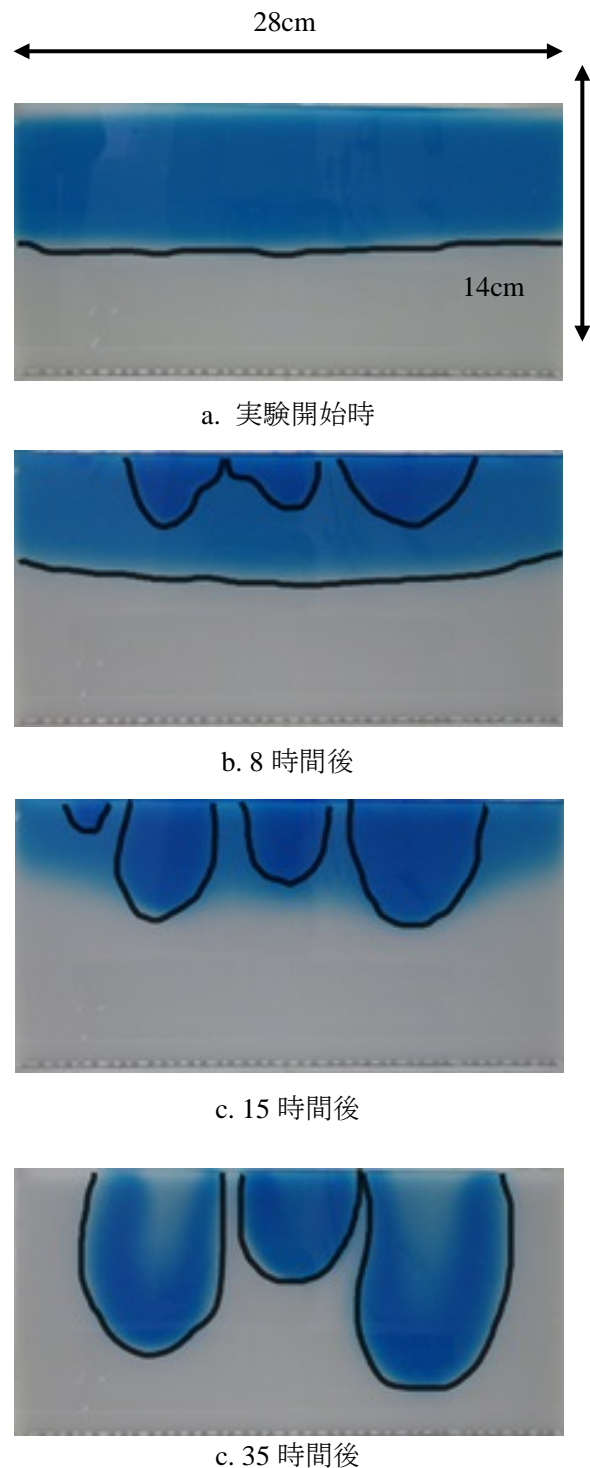


Fig.2 蒸発実験の結果の一例