

# 砂丘における水の再分布過程に関する研究 ZFP の挙動を中心として

Redistribution of water in a sanddune Focusing on ZFP behavior

○坂井勝  
Sakai Masaru

マグディ・カリル  
Magdi Khalil

宮崎毅  
Miyazaki Tsuyoshi

## 1. はじめに

降雨・灌漑後、土壌中では水の再分布が生じる。再分布過程における水分消費は大きく二つに分けられる。一つは降下浸透による地下水涵養で、下向きの水分移動であり、過剰になると、地下水位上昇や waterlogging といった問題を引き起こす原因となる。もう一つは蒸発散による大気への放出で、上向きの水分移動であり、塩類集積などの問題を引き起こす原因となる。この二つの水分移動方向の境界がゼロフラックス面 (Zero Flux Plane: ZFP) である。特に、蒸発量が多いために塩類集積が問題となっている乾燥地では、ZFP の深さを把握し、上向きの水分移動を予測することは非常に重要であると考えられる。

ZFP を境として水分移動方向が逆転することから、ZFP は主に現場の蒸発量の推定に利用されている (ZFP 法)。しかし、ZFP の挙動に注目した例は少なく、また、ZFP 法による蒸発量の推定の正確さについて言及した例も少ない。ここで本研究では、ZFP の挙動を中心として、砂丘における水の再分布過程を明らかにすることを目的とした。特に、初期水分量、蒸発強度が ZFP の挙動に与える影響に注目した。また、カラム実験において、ZFP 法を適用し、蒸発量を推定した。

## 2. 実験

試料には鳥取大学乾燥地研究センターにおいて採取した鳥取砂丘砂を用い、実験は 20 °C の恒温条件下で行なった。内径 7.5 cm、高さ 4 cm のアクリルリングを 15 個組み合わせ、高さ 60cm のカラムを作成した。所定の初期体積含水率 (0.109, 0.062 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) に調整した試料を乾燥密度 1.55 Mg/m<sup>3</sup> で充填後、全水頭を測定するためのテンシオメータを各位置に挿入した。試料上部には扇風機を設置し、風のある条件 (蒸発強度大)、風のない条件 (蒸発強度小) の 2 種類の蒸発強度を設定した。初期含水比、蒸発強度を変えた計 4 種類の条件下で実験を行なった。カラム下端は大気に開放とし、試料上部から脱イオン水 22 g (5mm) を散水した時を実験開始時刻とした。蒸発速度をカラム総重量の変化から求めた。Fig. 1 に実験装置図を示す。

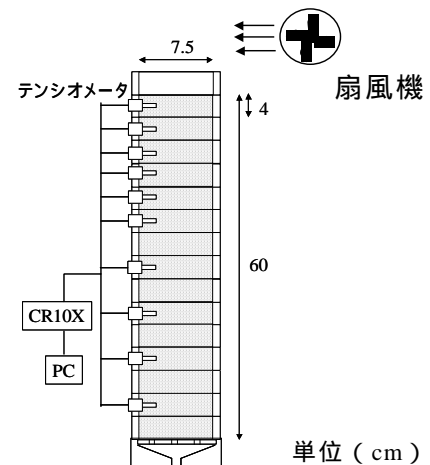


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment

### 3. 結果と考察

#### 3.1 ZFPの挙動

Fig. 2 に風のない条件で行なった二つの実験の全水頭分布を示す。全水頭分布を、その形から得られた以下の実験式によって近似し、その導関数が 0 となる深さ  $z$  を ZFP とした。

$$\phi = \ln(az + b) \times \exp(-cz + d) + e$$

ここで、 $\phi$  は全水頭、 $z$  は深さ、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  はパラメータを示す。両実験

とも、ZFP は時間と共に降下した。風のある条件で行なった残りの二つの実験についても同様の傾向が見られた。

ZFP 深さの経時変化を Fig. 3 に示す。実験開始後 5 日目までは、同じ初期水分量で比較した時、風がある条件では降下速度が大きく、風がない条件では小さくなった。また、同じ蒸発強度で比較した時、初期体積含水率 0.109 では降下速度が大きく、0.062 では小さくなった。以上のことから、散水直後では、ZFP の降下速度は初期水分量が高いほど、また蒸発強度が大きいほど速くなること が分かった。実験開始後 5 日目以降は、すべての実験について、降下速度に差は見られなかった。

#### 3.2 蒸発量推定の評価

水分特性曲線を使い、全水頭分布から体積含水率分布を求め、ZFP 法によって蒸発量を推定し、実蒸発量と比較した。比較結果を Fig. 4 に示す。実験カラム解体後の水分特性曲線を用いた場合 (no hysteresis)、ZFP 法は蒸発量を過小評価した。別途ヒステリシス曲線を求めて適用した場合 (hysteresis)、蒸発量が多い領域では、実蒸発量との対応が良好となった。これは、ヒステリシスの重要性を示している。蒸発量が少ない領域においては、ヒステリシスの影響を受けなかった。

これは、ZFP によって移動方向を評価することのできない、水蒸気による水分移動の可能性を示している。蒸発量が小さい時、液状水移動に対する水蒸気移動の割合が増加するため、ヒステリシスの影響を受けず、過小評価したままであったと考えられる。

#### 参考文献

Stammers, W. N., Igwe, O. C. and Whiteley, H. R. (1973) : Canadian Agricultural Engineering, 15 : 2-5, Cooper, J. D., Gardner, C. M. K. and Mackenzie, N. (1990) : Journal of Soil Science, 41 : 613-630, Kirsch, S. W. (1993) : Soil Science, 156 : 396-404, 金森秀行(1995) : 農業土木学会論文集, 175 : 95-108, Khalil, M., Sakai, M., Mizoguchi, M., and Miyazaki, T. (2003) : 土壌の物理性, 95 : 75-90

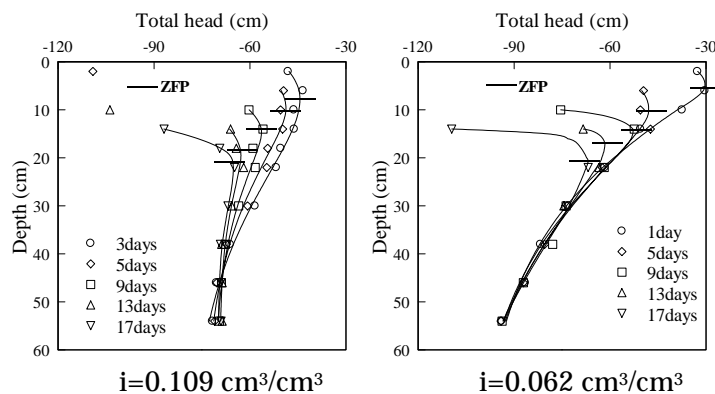


Fig.2 Total head profile

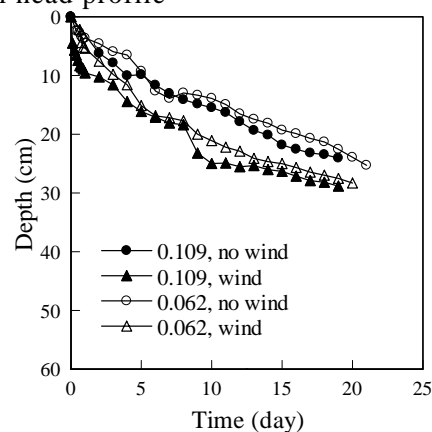


Fig. 3 Movement of ZFP

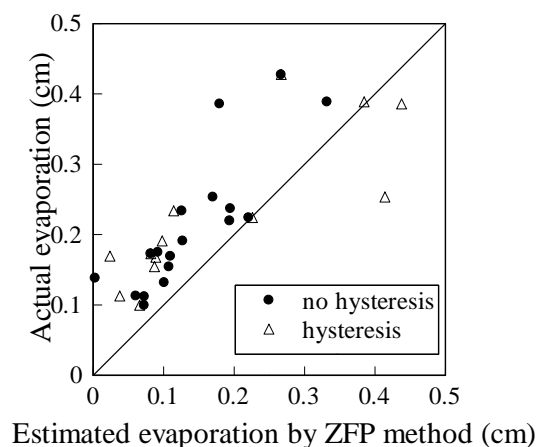


Fig. 4 Comparison of evaporation