

II-398 日周期的な放射変化を受ける砂表面層と大気との間の水分移動

福井大学工学部 学生員 二上 章司
同 上 正 員 福原 輝幸

1. はじめに 地球環境問題の1つである砂漠化防止に関する研究は、農業土木、土壌学、気象学など様々な分野で行われているが、土中水の損失を支配する蒸発量の定量的評価の手法はいまだ確立されていない。その原因の1つは、研究の多くが定常あるいは単純な気象条件下における蒸発を扱っているため、成果は限られた範囲内での適用に留まることにある。

そこで筆者等は工学的見地から有限な表面層（表面層モデル）を考え、放射を日周期的に変化させることによって、より現実的な気象条件の下で砂層が湿潤状態から乾燥していく過程の温度、相対湿度および蒸発量の挙動、砂層表面と大気との間の水分移動特性について報告する。

2. 実験概要 日周期蒸発実験は、環境条件を一定（温度 20℃、相対湿度 50%）とした恒温恒湿室内で、砂層から上方 250mm の位置に赤外線ランプを設置し、ランプから砂層表面に与えられる短波放射量を日周期的に変化させることにより行われる。実際には24時間を1サイクルとして、ランプへの供給電圧を疑似正弦曲線に従って最初の8時間で0%から90%まで上昇、次の8時間で90%から0%まで下降させ、最後の8時間は出力電圧0%（すなわち放射無し）を維持する。

この電圧変化は電圧コントローラーにより自動制御され、実験は4サイクルに渡って行われる。砂層表面に与えられる短波放射量は日射計により測定される。表面層モデルには半径 50 mm、高さ 20 mm のアクリル製円筒カラムを使用し、砂層表面以外からの熱の出入りを抑制するために、発泡スチロールでカラム側面および底面を覆う。その中に豊浦標準砂を間隙率 0.4 で充填した後、蒸留水により湿潤させる。最初の2サイクルは常に砂層が湿潤状態となるよう水分供給を行い、後半の2サイクルは水分供給を行わない。砂層表面上の温度および相対湿度は5本の温湿度センサーにより、砂層表面および砂層内の温度は3本の熱電対により、砂層表面の相対湿度は1本の小型湿度センサーにより、蒸発量は重量計により、それぞれ10分毎に自動計測される。

3. 実験結果 本稿では砂層が湿潤状態の第2サイクルおよび水分供給を行わない第3サイクルについて示す。Fig. 1 に温度 T (●) および相対湿度 RH (○) の鉛直 (z) 方向分布、 $T(z)$ および $RH(z)$ の経時変化を、Fig. 2 に高さ毎の T の経時変化、 $T(t)$ をそれぞれ示す。 T と RH は日周期的な変化を示し、また、 $T(z)$ の変動は $RH(z)$ のそれに比べると小さいが、空気の安定・不安定の影響を受けて放射時の方が非放射時よりも大きい。 T の経時変化を見ると、各高さにおける温度の最大値 T_{max} は第2サイクルと第3サイクルでは少しの差異があるが、この原因については残念な

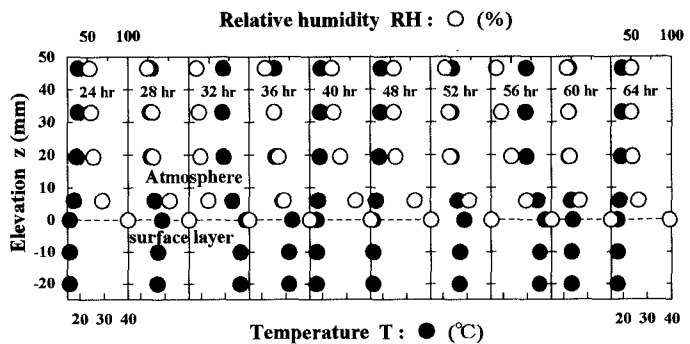


Fig. 1 $T(z)$ と $RH(z)$ の経時変化

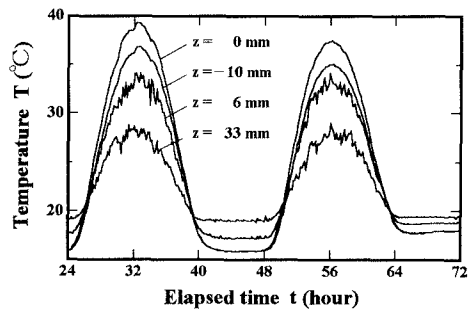


Fig. 2 T の経時変化

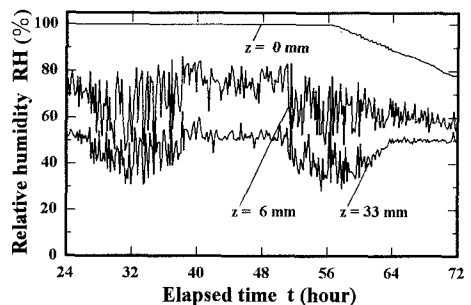


Fig. 3 RH の経時変化

がら不明である。

Fig. 3 に高さ毎の RH の経時変化、 $RH(t)$ を示す。地表 ($z = 0 \text{ mm}$) と地上 ($z = 6 \text{ mm}$) の位置の RH は表面層の乾燥に伴って約 56 hr から低下し始める。仮に、56 ~ 64 hr における $RH(t)$ は表面層が湿潤していれば 32 ~ 48 hr の $RH(t)$ のように上昇する。この減少の割合（時間勾配の絶対値）は $z = 0 \text{ mm}$ の方で相対的に大きい。しかしながら、 $z = 33 \text{ mm}$ の $RH(t)$ の分布形状は第2サイクルと第3サイクルで大きな違いはなく、概ね RH は放射時で低く、非放射時で高い。また、放射時と非放射時を比較すると、変動は前者で大きい。これは、放射時の空気の状態が不安定であることから、後述する蒸発フラックス密度 M_v も大きくなる（すなわち水蒸気移動量が増加する）ことに起因する。さらに放射強度が減少する過程に注目すると、第2サイクルの 32 ~ 40 hr の変動に比べて第3サイクルの 56 ~ 64 hr の変動は小さくなることが判る。これは表面層の乾燥に伴い M_v が小さくなり、鉛直方向の水蒸気移動量が減少するためと考えられる。

Fig. 4 に T と RH から算出した水蒸気密度 ρ_v の鉛直方向分布、 $\rho_v(z)$ の経時変化を、Fig. 5 に高さ毎の ρ_v の経時変化、 $\rho_v(t)$ をそれぞれ示す。砂層表面上の鉛直方向の水蒸気密度勾配 $d\rho_v/dz$ は常に負であり、蒸発が起こっていることが示される。砂層表面上の $d\rho_v/dz$ が最小となる時刻 ($t = 32, 56 \text{ hr}$) で M_v が最大となるのも興味深い。このように ρ_v も T と同様、日周期的な変化を示すが、その変化の割合は砂層表面で最大となり、表面から離れるにつれ小さくなる。さらに砂層から 30 mm 以上になると、 ρ_v はほとんど変化しなくなる。

次に、蒸発フラックス密度がバルク式で表現できるかどうかを検討する。バルク式は次式である。

$$M_v = \alpha_m(\rho_{vs} - \rho_{va}) \quad (1)$$

ここに、 α_m : 水蒸気伝達係数、 ρ_{vs} : 砂層表面の水蒸気密度、 ρ_{va} : 砂層表面上の空気水蒸気密度、である。

Fig. 6 に M_v と $\Delta\rho_v (= \rho_{vs} - \rho_{va})$ の経時変化を示す。実験開始から 56 時間までは両者の相関は良いが、56 時間を越えるとこの相関は崩れる。これは表面層モデルの体積が小さいため砂層表面乾燥が進行し、砂層内の水分蒸発がほぼ完了したことに起因する。含水量が小さい場合、表面層モデルにおけるバルク式による M_v の予測はさらに検討の必要性がある。

4. おわりに 放射非定常条件下での乾燥過程において温度、相対湿度および水蒸気密度の鉛直方向分布は、短波放射量の時間変化に従って日周期的に変化する。その時間的な変動は放射時に大きく非放射時に小さくなる。また表面層モデルにおける蒸発量の予測には、低含水量を除いてバルク式の適用が可能である。今後は、十分な深さを持った砂層におけるバルク式の適用を検討していく。

参考文献 1) 高野保英・福原輝幸：日周期的な放射変化過程における砂層と大気間の水蒸気移動—砂の呼吸現象—、第 50 回土木学会年次講演会概要集、II - 37, pp. 74 - 75, 1995

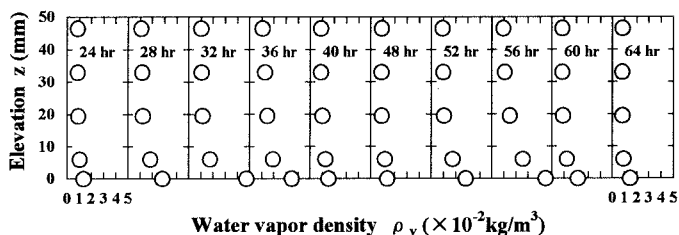


Fig. 4 $\rho_v(z)$ の経時変化

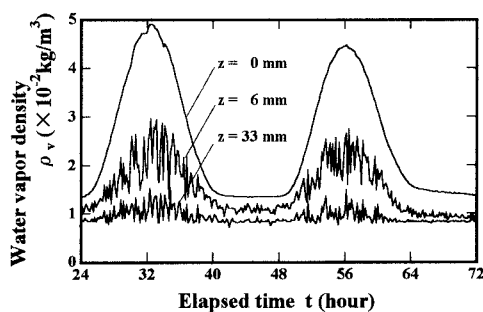


Fig. 5 ρ_v の経時変化

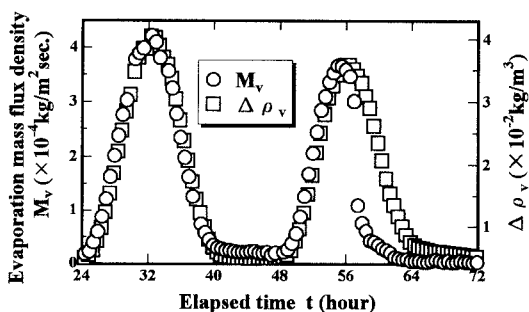


Fig. 6 M_v と $\Delta\rho_v$ の経時変化