

II-22

表面層モデルによる土壌表面層厚の検討

建設省近畿地建 正 会 員 二上 章司 *
 福井大学工学部 正 会 員 福原 輝幸 **
 福井大学工学部 学生会員 高野 保英 **

1. はじめに 地表面の熱・水分収支を精度良く評価することは、水文学上の命題の1つである。中でも地表面を横切る水分のうち蒸発量は、直接的に評価し難い水分収支成分の1つである。それは蒸発が気象条件のみならず土壌水分量、換言すれば地表面でのサンプリング深さにも支配されるからである。そこで筆者らは工学的見地より、厚さ数 cm の表面層モデルを用いた表面層厚の検討^{1),2)}を行っている。

今回は従来の豊浦標準砂に加えて、福井県三国町三里浜の砂について表面層モデルによる蒸発実験を行い、そこで得られた知見を紹介する。

2. 表面層モデルの意義 表面層モデルは、下記の2項目を容易に決定するために利用しようとするものである。

- (i) 表面蒸発から内部蒸発へ移行する際の限界含水率（飽和度）
- (ii) 蒸発下の水蒸気移動係数や熱伝達係数

しかしながら蒸発量の独立変数である土壌表面含水率は、4.で述べるように地表面でのサンプリング厚さ（表面層厚）に依存する。例えば後述する Fig.3 のように、表面層厚をゼロに近づけると恒率蒸発（表面蒸発）期間（Fig.1 中の t_c ）が減率蒸発（内部蒸発）期間（Fig.1 中の t_i ）に比べて卓越するのに対し、表面層厚を大きくすると逆に t_i が t_c に比べて卓越するようになる。従って、表面を薄い層として捉えるならば、筆者らは表面層モデルは少なくとも t_c が t_i よりも長いこと、すなわち次式、

$$t_c > t_i \quad (1)$$

を満たすことが、表面層厚決定条件の1つと考える。

3. 実験概要 表面層モデルを使用した蒸発実験は、カラム内部に三国三里浜砂（平均粒径 0.45 mm、密度 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ）を間隙率 0.38、豊浦標準砂は間隙率 0.4 でそれぞれ充填し、純水により飽和状態とさせた後、恒温恒湿室で行われる。表面層厚 D を 1cm から 4cm まで 1cm 毎に大きくしながら実験を行い、 D の違いによる土壌表面温度 T_s 、土壌表面相対湿度 RH_s 、飽和度 S_r と蒸発フラックス密度 M_v の関係を明らかにする。恒温恒湿室内の環境条件、実験装置およびその詳細については参考文献 1), 2) を参照されたい。

4. 実験結果 表面層厚 $D = 2\text{cm}$ における三国三里浜砂の M_v 、 T_s および RH_s の経時変化を Fig.1 および Fig.2 に示す。実験開始当

初、 T_s は蒸発潜熱によって実験室内温度 T_a よりも低い値で推移しているが、表面蒸発期間が終了するとともに T_s は上昇し始め、 T_a に漸近していく。 RH_s は土壌表面が湿潤している表面蒸発期間では 100% であるが、同期間が終了するとともに減少し始め、実験室内相対湿度 RH_a に漸近していく。またここでは示さないが、 $D \leq 4\text{cm}$ では、

キーワード：表面層、熱・水分移動、蒸発・乾燥

* 〒639-3102 奈良県吉野郡吉野町大字河原屋 128-1 TEL 07463-2-2851

** 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

TEL 0776-23-0500 (2809) FAX 0776-27-8746

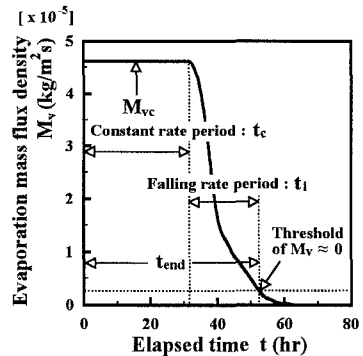


Fig.1 蒸発フラックス密度の経時変化
 (三国三里浜砂 $D=2\text{cm}$)

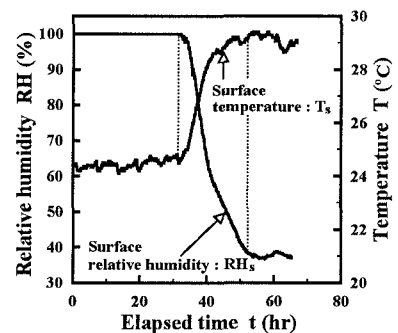


Fig.2 土壌表面温度、相対湿度の
 経時変化 (三国三里浜砂 $D=2\text{cm}$)

上述の M_v , T_s および RH_s の密接な相互作用が容認される。すなわち、この M_v , T_s および RH_s の相互作用は、地表面近傍の蒸発現象過程として捉えられ、 D には無関係に起こるものと思われる。そこで、 D を変化した場合における蒸発の経時変化を無次元量 $M_v (= M_v / M_{ve})$ と $t (= t / t_c)$ で検討する。

Fig.3 は $D = 1 \sim 4\text{cm}$ の三国三里浜砂における t と M_v の関係をそれぞれ示す。 M_v の挙動は、 $M_v \geq 0.4$ では D による違いは観られないが、 $M_v < 0.4$ になると D が厚くなるに従い、蒸発終了までの期間が長くなっている。そこで、蒸発終了を $M_v = 0.05$ とする時間 t_{end} とし、 t_{end} と D を比較すると、 $D \geq 3\text{cm}$ では $t_{end} \geq 2 (t_i > t_c)$ となり、式(1)の条件を満たしていない。

また、Fig.4 に豊浦標準砂における結果を示す。内部蒸発期間の M_v の分布形が必ずしも全ての D について一致しないが、三国三里浜砂と同様に $D \geq 3\text{cm}$ では $t_i > t_c$ となり、式(1)を満たさない。

最後に Fig.5 および Fig.6 は、三国三里浜砂および豊浦標準砂の S_r と M_v の関係を、 D をパラメータとしてそれぞれ示す。両砂とも D が厚くなるに従い、表面蒸発から内部蒸発へと移行する限界飽和度 S_{rer} の値は大きくなり、土壌表面が乾燥しても表面層内部の水分量は比較的高い状態にある。このため相対的に内部蒸発期間が長くなる。このように D の違いによって S_{rer} の値が変化するという事は、表面層厚を工学的な判断基準によって決定する必要性を示唆している。そこで、表面層厚の判断基準式、式(1) およびサンプリングによる含水率の精度の両者を考慮すれば、表面層厚 $D=2\text{cm}$ が適当であると考えられる。このとき三国三里浜砂における S_{rer} は、Fig.5 より $S_{rer} \approx 0.2$ となる。また Fig.6 より $D=2\text{cm}$ の豊浦標準砂では分布形状に違いはあるが、三国三里浜砂と同様に $S_{rer} \approx 0.2$ となることが判る。

5. おわりに 表面層モデルを用いた蒸発実験より表面層厚の検討を行い、内部蒸発期間と表面蒸発期間の大小関係およびサンプリングの精度を考慮すると、砂質土壌の表面層厚は 2cm が適当と考えられ、限界飽和度は $S_{rer} \approx 0.2$ であることが判った。

参考文献 1) 櫻井里江・福原輝幸：蒸発量推定式 ($\alpha-\beta$ 法) による砂層表面厚の検討，第51回土木学会年次講演会概要集，II - 397, pp. 794 - 795, 1996. 2) 二上章司・高野保英・福原輝幸・佐藤邦明：表面層モデルによる砂層表面と大気との間の熱・水分移動特性 - $\alpha-\beta$ 法による砂層表面層厚の検討 -，水工学論文集，第41巻，pp. 37 - 42, 1997.

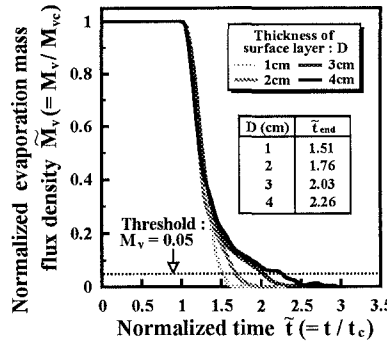


Fig.3 正規化された t と M_v の関係 (三国三里浜砂)

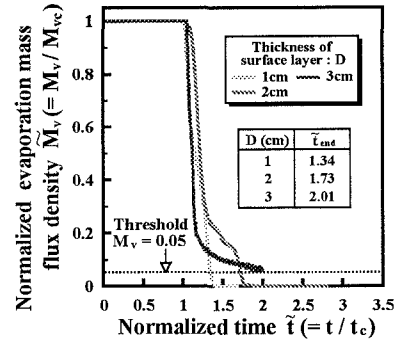


Fig.4 正規化された t と M_v の関係 (豊浦標準砂)

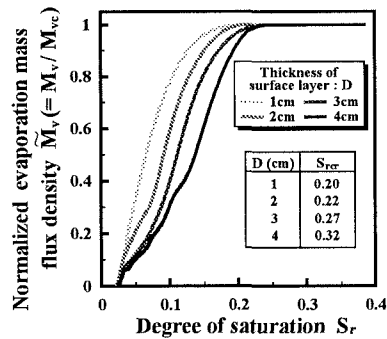


Fig.5 S_r と M_v の関係 (三国三里浜砂)

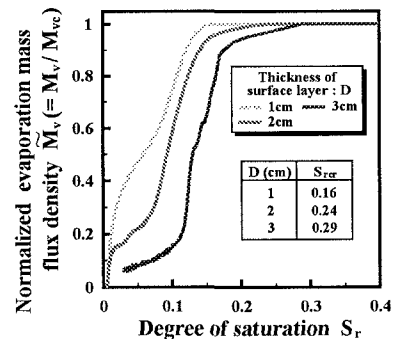


Fig.6 S_r と M_v の関係 (豊浦標準砂)