

II-34

砂層表面蒸発量の推定式（ $\alpha - \beta$ 法）に関する考察九州大学大学院 学生員 福田和代
福井大学工学部 正 員 福原輝幸

1. はじめに

水文気象モデルを用いて広い地域の水収支を正確に知るためには、蒸発量推定式の適用性やパラメータ値の設定が重要となる。土壌表層からの蒸発量推定式の代表的なモデルが2.に示される $\alpha - \beta$ 法である（近藤に従えば $\alpha' - \beta'$ 法に相当する¹⁾）。係数 β は蒸発効率と呼ばれ、蒸発面積や輸送抵抗係数の影響が含まれる。他方、係数 α は表層の相対湿度を表しており、閉鎖された空隙中の液状水と水蒸気の化学ポテンシャルの釣り合いから導かれる Kelvin の関係より与えられるのが一般的である。しかし、近藤が指摘するように¹⁾、Kelvin の関係を大気との質量交換が激しい表層土壌に対しても適用できるかどうかは疑問が残る。

そこで本研究では、砂層の表面蒸発過程における α の変化（体積含水率の減少に伴う α の変化）を小型の湿度センサーを用いて実験的に求め、これを基に β と体積含水率の関係を求めた。以下に、その結果を紹介する。

2. 表面蒸発量の推定式

地表面から蒸発が起こる場合、蒸発フラックス密度 M_v は上述した係数 α と β を含むような式(1)で与えられる。

$$M_v = \beta \gamma_m (\alpha \rho_{vs} - \rho_{va}) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha (=RH(\%) / 100)$ ：表層の相対湿度、 β ：蒸発効率、 γ_m ：蒸発バルク係数、 ρ_{vs} ：地表面の水蒸気密度、 ρ_{va} ：空気の水蒸気密度、である。

3. 実験方法

$0.1 \times 0.1 \times 0.03 \text{ m}$ のアクリル樹脂製容器に気乾状態の豊浦標準砂を充填し、砂層表面まで十分に給水する。その後、この容器を温度 25°C 、相対湿度 52% の恒温恒湿室内に設置し、蒸発乾燥実験を行う。

表層の湿度は測定できないという指摘はあるが、本実験では小型の湿度センサー（ヴァイサラ製）を砂層表面に設置して、表層の相対湿度の測定を試みた。使用した湿度センサーの形状および設置の状況を模式的に Fig. 1 に示す。この構造から、乾燥が進行して水蒸気が砂層の空隙中を移動する状態になっても、センサーが砂層の空隙を塞ぐことはなく、蒸発に伴う水蒸気の移動を妨げることはないと思われる。砂層表面の水蒸気密度を求めるために、砂層表面の温度 T は熱電対により測定される。 T および RH は5分毎に抽出される。蒸発フラックス密度 M_v は電子天秤（精度 $1/1000 \text{ g}$ ）により $0.5 \sim 1$ 時間毎に測定される。また、砂層表面の体積含水率 θ_{surf} は測色計（キャノン製）の色差 ΔE^*ab （CIE：国際照明委員会 基準）を指標として求められる。

4. 実験結果

Fig. 2 に表層の相対湿度 RH および単位面積当りの積算蒸発量 Q_v の経時変化 $RH(t)$ 、 $Q_v(t)$ を示す。恒率蒸発期間（ Q_v が線形的に増大する期間）に引き続き減率蒸発が始まる時間 $t \approx 150 \text{ hr}$ 辺りから、 RH は減少し始める。 $t \approx 200 \text{ hr}$ 以降、 Q_v の増加は僅となる。しかしながら RH は依然として徐々に減少を続け、 $t \approx 270 \text{ hr}$ で周囲環境の相対湿度に等しくなる。また、恒率蒸発期間において RH が必ずしも 100% とならない（ $RH = 97\%$ ）のは、センサーの出力が 3% 程度過小であったことに起因する。

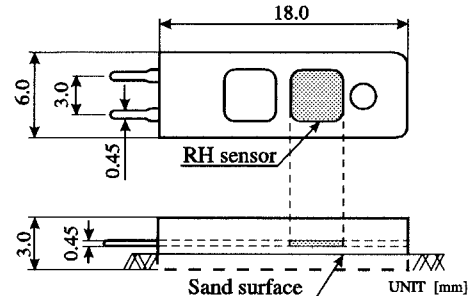


Fig. 1 湿度センサーの形状および設置状況

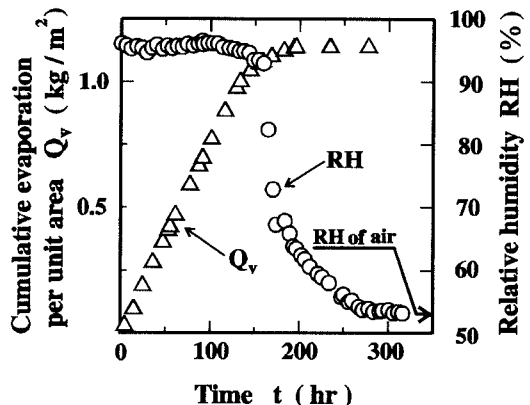


Fig. 2 相対湿度および積算蒸発量の経時変化

Fig. 3 に砂層全体の体積含水率 θ および砂層表面の体積含水率 θ_{surf} の経時変化 $\theta(t)$ 、 $\theta_{surf}(t)$ を示す。ここに、 θ は次式で定義される。

$$\theta = \varepsilon - \frac{Q_v A}{\rho V} \quad (2)$$

ここに、 ε ：空隙率（＝0.4）、 V ：砂層体積、 A ：砂層表面積、 ρ ：水の密度、である。

実験初期において θ_{surf} にばらつきが観られる。これは十分湿潤した砂層表面の水が光を散乱しやすいためと考えられる。また、その後 $t \approx 70 \text{ hr}$ までの期間において、 θ_{surf} が θ よりも小さくなる傾向にある。これより、厳密には砂層全体が必ずしも一様に乾燥しないことが知れる。しかしながら概ね $\theta(t)$ と $\theta_{surf}(t)$ の挙動および値は同じとみなせる。そこで以下では、体積含水率は砂層全体のそれ θ を用いる。

Fig. 4 は蒸発フラックス密度 M_v と体積含水率 θ の関係である。 $\theta \approx 0.08$ 以上において M_v は一定であるが、 $\theta \approx 0.08$ 以下では θ の減少と共に M_v も小さくなり、原点（ $\theta \approx 0$ 、 $M_v \approx 0$ ）に近づく。これより砂層の乾燥過程では、 $\theta \approx 0.08$ 程度の含水状態から減率蒸発が始まると思われる。

Fig. 5 に α および β と体積含水率 θ の関係を示す。ただし、 α に関しては実験初期の RH が 100% であること、および湿度センサーのキャリブレーションを考慮して、90% 以上の RH は補正される。乾燥過程では、 α は $\theta \approx 0.05$ から緩やかに減少し始め、 $\theta \approx 0.02$ から急激に減少する。

次に β を計算するが、その前に蒸発バルク係数 γ_m を求める必要がある。実験直後の条件（ $\alpha = \beta = 1$ ）と M_v より、 $\gamma_m = 2.54 \times 10^{-3} (\text{m/s})$ を得る。 β は $\theta \approx 0.08$ から減少し始めるが、 α に比べて減少の程度が大きいため、同じ θ でも β の方が α よりも小さくなる。

5. おわりに

小型湿度センサーにより砂層表面の相対湿度の測定を試みた。その結果、以下の考察を得た。

- (1) 本実験方法により、表層の相対湿度の測定は可能と思われる。
- (2) 体積含水率 $\theta \approx 0.08$ 以上では、 $\alpha = \beta = 1$ とおける。
- (3) 体積含水率 $\theta \approx 0.08$ 以下では、 α および β は θ により変化するために、 $\alpha - \beta$ 法を用いる必要がある。

最後に、本研究より砂層表層の厚さはいくらが適切かまでは判明しなかった。しかしながら、現場でのサンプリングのし易さと体積含水率の正確性を考慮して砂層表層を 3cm 程度とするならば、さらに水文気象モデルにおける表層厚を 3cm にするならば、ここに示した α および β の値は実用に供すると考える。今後さらに実験を重ねて、より精度の高い蒸発量モデル式の構築を行う予定である。

参考文献

- 1) 近藤純正：水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—、pp.194 - 207、1994

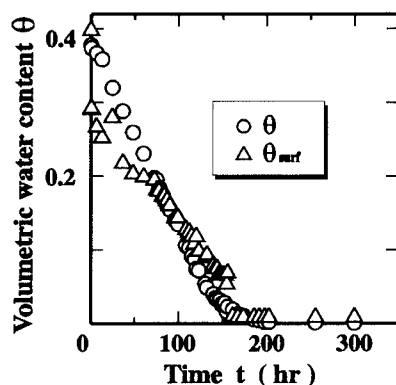


Fig. 3 体積含水率の経時変化

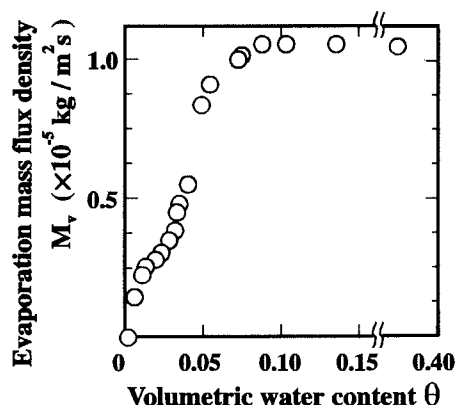


Fig. 4 蒸発フラックス密度と体積含水率の関係

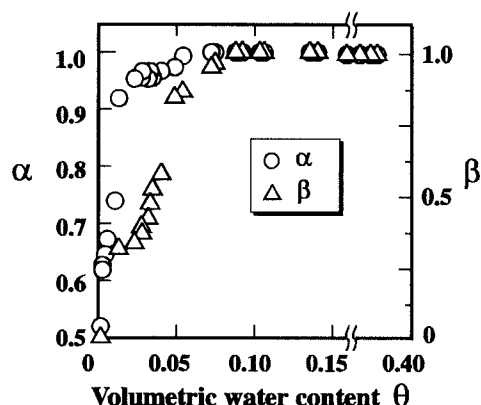


Fig. 5 α および β と体積含水率の関係