

立命館大学理工学部 学生員 ○岩森 一貴
 立命館大学大学院 学生員 吉留 花江
 立命館大学 正会員 酒匂 一成
 立命館大学理工学部 正会員 深川 良一

1. はじめに

降雨に対する斜面災害の防災対策として、従来は降雨量に基づいた避難勧告の基準設置に重点が置かれていた。しかし、避難勧告の解除には明確な基準がない。そこで、降雨後の地盤内の水分変動（地盤の水収支）に注目し、蒸発量の変動を把握することも重要である。蒸発量は降雨量と同様、飽和・不飽和浸透解析やタンクモデルの境界条件として用いることで、地盤内の水収支がより具体的になるため、水分変動に伴う斜面の安定性と併せて避難勧告の解除基準の設定も詳しく検討できると考えられる。蒸発量の推定方法として、気温や湿度などの気象観測データから蒸発量が得られるバルク法¹⁾を採用し、蒸発量の推定を行った。ただし、バルク法は事前に交換速度と蒸発効率を求めておく必要がある。そこで本論文では、里見ら²⁾が提案した方法を基に交換速度の算定方法について検証する。

2. バルク法の概要

バルク法による蒸発量の推定式を式(1)に示す。

$$E = \rho g_a \beta [q_{SAT}(T_s) - q_a] \tag{1}$$

ここで、 E ：蒸発量 [kg/m²s]、 ρ ：空気密度 [kg/m³]、 g_a ：交換速度 [m/s]、 β ：蒸発効率 [-]、 $q_{SAT}(T_s)$ ：地表面温度 T_s に対する飽和比湿 [kg/kg]、 q_a ：ある高度での気温 T_a に対する大気の比湿 [kg/kg]。

空気密度や比湿は観測データ（気温 T_a [°C]、地表面温度 T_s [°C]、相対湿度 H_u [%]、気圧 p [hPa]）から直接求めることができるが、交換速度 g_a と蒸発効率 β は観測データから直接算定することができないため、事前に求める必要がある。そこで、図-1 に示したフローチャートを用いて交換速度と蒸発効率を算定する。図-1 中の推定値 E は、水の蒸発量推定式から推定される水の蒸発量のことであり、この推定値を用いて交換速度が算定される。今回は、水の蒸発量推定式から得られた推定値の妥当性を室内実験で検証する。

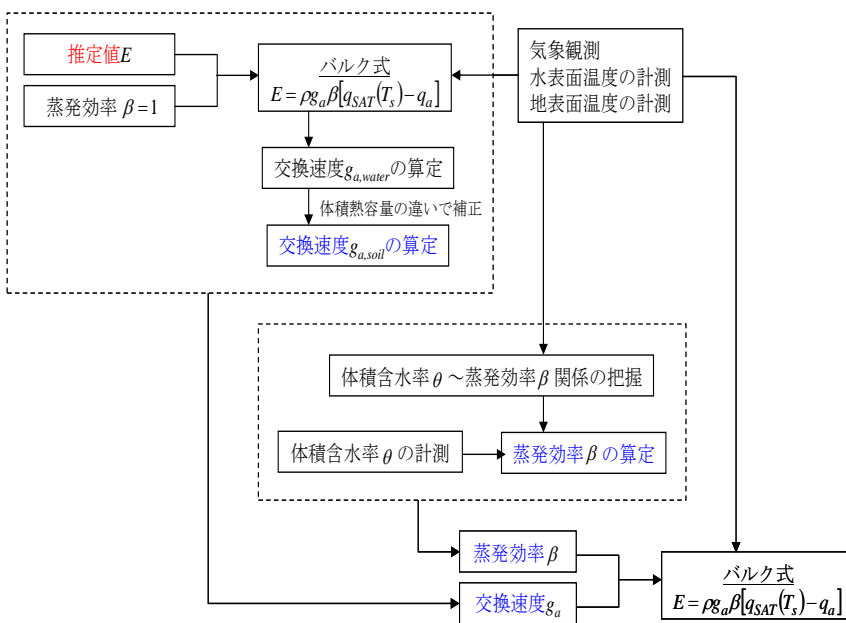


図-1 交換速度 g_a と蒸発効率 β を求めるためのフロー図

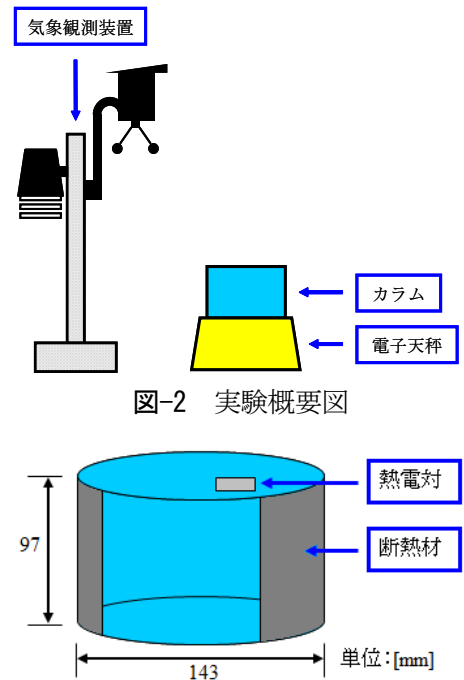


図-2 実験概要図

図-3 カラム拡大図

3. 水の蒸発量推定式

水の蒸発量推定式³⁾を式(2)に示す。

$$w_R = 1.93R^{1.75}K \left(A \cdot \frac{g}{\nu D} \right)^{1/4} (e_{SAT} - e) \quad (2)$$

ここで、 w_R ：蒸発速度 [g/s]、 R ：蒸発面の半径 [cm]、 K ：拡散係数 [g/(cm²・s)]、 A ：密度定数 [-]、 g ：重力加速度 [cm/s²]、 ν ：空気の動粘性係数 [cm²/s]、 D ：水蒸気の拡散係数 [cm²/s]、 e_{SAT} ：境界面の水蒸気圧 [hPa]、 e ：空気の水蒸気圧 [hPa]。

この式(2)の妥当性評価を行うため、式(2)から得られる水の蒸発量の推定値と、同条件下にカラムを設置して得られる実際の蒸発量の比較を行う。

4. 実験概要

実験概要図を図-2 に示す。今回は、地表面からのみの熱伝導とするため、図-3 のようにカラムの側面に断熱材を巻き、熱電対で水表面温度を計測する。電子天秤による計測から実際の蒸発量を求め、同時に、気象観測装置と熱電対から得られるデータから式(2)を用いて水の蒸発量を推定する。計測間隔は 10 分とし、実験時間は 24 時間とした。

5. 実験結果

図-4 はカラムに 2cm 程度まで水を入れ、電子天秤の計測より得られる実蒸発量と、式(2)より得られる理論蒸発量を比較したグラフである。図-4 からわかるように理論蒸発量の方が大きな値となっている。何度か実験を行っても同様の結果が得られたため、カラム上端からの距離が蒸発量に影響を与えているのではないかと考え、カラムに水を満杯まで入れた場合と、2cm 程度まで入れた場合を比較した結果を図-5 に示す。図-5 からわかるように、実蒸発量は水満杯の場合の方が多く、カラム上端からの距離が大きくなるに伴い、蒸発量が少なくなっていることがわかる。図-6 は水をカラム上端まで満たした満杯状態にし、理論蒸発量と比較したグラフである。図-7 は図-6 の蒸発量を累積したものであり、高い精度で水の蒸発量の推定ができていくことがわかる。

6. まとめ

本論文では、地盤からの蒸発量を推定する際にバルク法を適用し、交換速度の算定において用いる水の蒸発量推定式の妥当性を検証した。その結果、カラム上端からの距離によって水の蒸発量が変わることがわかり、カラム上端まで水を満たした満杯状態において、

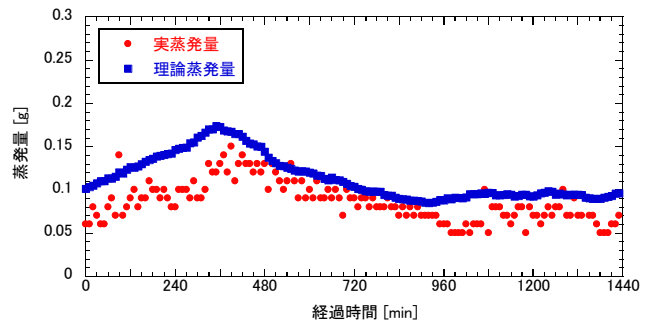


図-4 実蒸発量(水 2cm)と理論蒸発量の比較

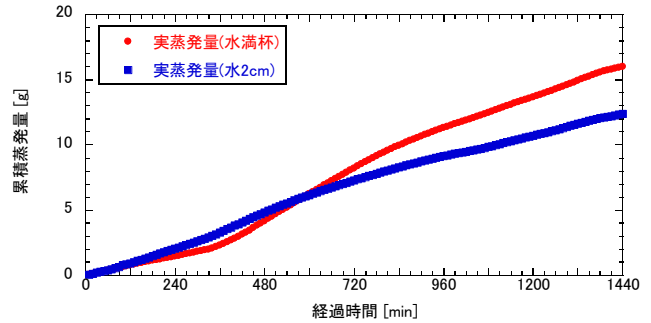


図-5 水満杯と水 2cm における実蒸発量の比較

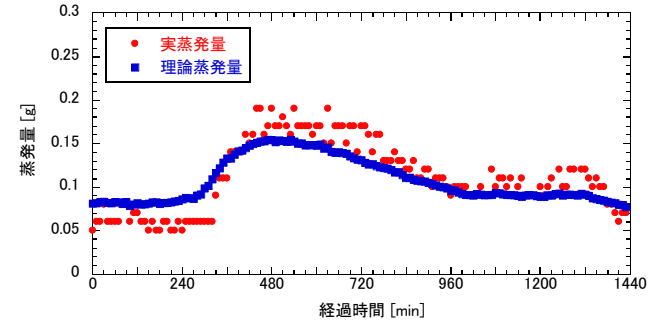


図-6 実蒸発量(水満杯)と理論蒸発量の比較

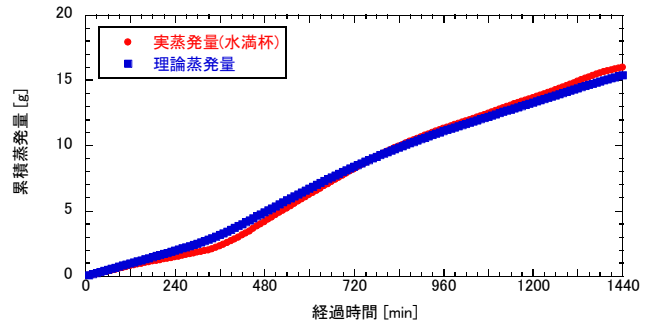


図-7 実蒸発(水満杯)と理論蒸発量の比較

水の蒸発量推定式から蒸発量の推定ができた。また、この結果を用いて交換速度の算定ができるといえる。

＜参考文献＞

- 1) 近藤純正：水環境の気象学， pp.108-109， 1994。
- 2) 里見知昭，酒匂一成，吉留花江，深川良一：最表層土の水分変動を考慮したバルク法による蒸発量推定手法の改良，応用力学論文集，Vol.13， pp.525-534， 2010。
- 3) 上田政文：湿度と蒸発， pp.89-98， 2000。