

蒸散流センサーによる流速測定の改善について

517312 小笠原 駿太 (土壌圏循環学教育研究分野)

1. はじめに

植物根の吸水に伴う蒸散は、根圏土壌中の水分消費量を知る上で大切な要素である。根の吸水・蒸散を測定する方法の一つに、ヒーターで茎を加熱し、移流による温度差測定と熱収支式(式①)から蒸散流速を求める蒸散流センサーがある(茎熱収支法、図1)。

$$Q = Q_v + Q_r + Q_f \quad \text{①}$$

ここで、 Q はヒーターで与える熱量 (W)、 Q_v は上下方向の熱伝導 (W)、 Q_r はヒーターから外向きの放熱 (W)、 Q_f は移流による熱量 (W) である。蒸散流速 F (g/s) は次式で表される。

$$F = \frac{\frac{V_Q^2}{R} - \lambda A \frac{(V_{BH} - V_{AH})/0.040}{\Delta x} - K_{sh} V_{CH}}{C_w \frac{(V_{AH} + V_{BH})/0.040}{2}} \quad \text{②}$$

ここで、 R はヒーターの抵抗 (Ω)、 V_Q はヒーターに与える電圧 (V)、 λ は茎の熱伝導率 (W/m \cdot K)、 A は茎の断面積 (m^2)、 K_{sh} はセンサーの固有係数 (W/mV)、 C_w は水の比熱 (J/g \cdot K) である。 V_{AH} 、 V_{BH} 、 V_{CH} は、それぞれヒーター下部と上部の温度差 (H_A - A 間、点 H_B - B 間)、及びヒーター内側と外側の温度差 (H_C - C 間) について、熱電対で測定した熱起電力であり、 Δx は点 A と点 B の距離 (m) である。 K_{sh} は放熱 Q_r ($= K_{sh} \cdot V_{CH}$) を決める係数であり、一般的には蒸散流速のない ($F=0$) 条件下での測定と②式により求める。蒸散流速を正しく推定するためには、測定電圧 V_{AH} 、 V_{BH} 、 V_{CH} とセンサー係数 K_{sh} を正しく評価する必要がある。

中森 (2019) は、流速が大きい際に加熱後 30 分時の電圧を用いると、蒸散流センサーは流速を過大評価することを報告している。そこで本研究では、蒸散流速を正確に推定することを目的に、まずガラス管の定流速実験を行い、流速計算に適した測定電圧の検討を行った。またダイズのポット栽培実験の測定データについて、

センサー係数 K_{sh} の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 ガラス管を用いた定流速実験

実験は 25 $^{\circ}$ C の実験室内で行った。外径 10 mm、内径 7 mm のガラス管に粒径 0.2 mm のガラスビーズを詰め、蒸散流センサー (SGB9-WS、メイワフォーシス) を設置した。センサーのヒーターは 30 分間隔で加熱と停止を繰り返し、熱起電力 V_{AH} 、 V_{BH} 、 V_{CH} を測定した。ポンプを用いて一定流速 (0 ~ 2.1 g/min) で水を流し、センサーによる流速推定値と、電子天秤で測定した重量変化による流速を比較した。

2.2 ダイズのポット栽培実験

ダイズのポット栽培実験を、生物資源学部のガラス室内で行い、茎に蒸散流センサーを設置し流速を測定した(中森、2019)。この時、ポットの土壌表面をマルチで覆い蒸発を防ぐことで、電子天秤で測定するポットの重量変化を蒸散流速とした。またガラス室の日射量と温度湿度を別途測定した。

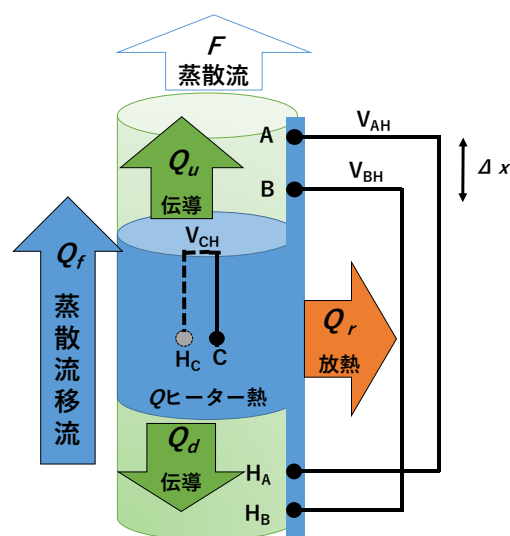


図1 茎熱収支法の原理

3. 結果

3.1 測定電圧の検討

図2に、ガラス管を用いた実験における加熱開始時からの電圧 V_{AH} 、 V_{BH} 、 V_{CH} の変化を示す。ガラス管の流速が小さい時、 V_{CH} は上昇して安定した (図2a)。一方、流速が大きい時、 V_{CH} は上昇しピークを示した後、低下して安定した (図2b)。 V_{CH} について安定時の電圧値 (図2黒丸) を使って、流速を推定した場合、流速が大きくなるとセンサーの流速推定値は重量変化による流速を過大評価した (図3)。この時、 V_{AH} 、 V_{BH} には加熱後30分時の測定値を用いた。過大評価の要因として、放熱 Q_r の過小評価が考えられる。そこで、 V_{CH} にピーク値 (図2赤丸) を用いたところ、重量変化とほぼ一致し、推定精度が改善した。

3.2 センサー係数 K_{sh} の検討

図4に、ポット栽培実験の9/25~9/26の蒸散流速を示す。 V_{CH} のピーク値を用いることで、安定時の V_{CH} を用いた場合より蒸散流速の推定に改善が見られたが、依然として日中に過大評価を示した。

この過大評価の要因をセンサー係数 K_{sh} から考察する。ポット実験において、 K_{sh} は夜間に流速が十分に小さい ($F = 0$) として求め、 0.82 W/mV であった。一方、重量変化による蒸散流速を再現する様に K_{sh} を②式から逆算したところ、 K_{sh} は日変化を示し、日中は 1.2 W/mV 前後と増大した。ところで植物の茎の太さは逆算した K_{sh} と同様に日変化し、夜間に比べ日中に細くなるのが知られている。日中の茎の断面積 A の減少に伴い、茎とセンサーの間に隙間が生じる事が、蒸散流速の過大評価の要因として考えられる。そこで、隙間がわずかにできる様にガラス管にセンサーを緩く巻き、流速がない状態で K_{sh} を求めた。その結果、隙間があることで放熱 Q_r に関わる測定電圧 V_{CH} が小さくなり、 K_{sh} の値は隙間がない場合 (1.05 W/mV) に比べ 1.19 W/mV と大きくなった。日中にできるセンサーと茎の隙間が、蒸散流速の過大評価に対する要

因の一つであると言える。

ここで、 K_{sh} と日射量の日変化に相関があると仮定し、日射量から K_{sh} を推定する方法を考えた。9/25の蒸散流速を再現するように最適化した K_{sh} を日射の関数として表し、9/26の K_{sh} を日射に基づき推定して、蒸散流速を計算した (図4 K_{sh} 推定値実線)。推定した K_{sh} を用いることで、蒸散流センサーの精度が改善した。

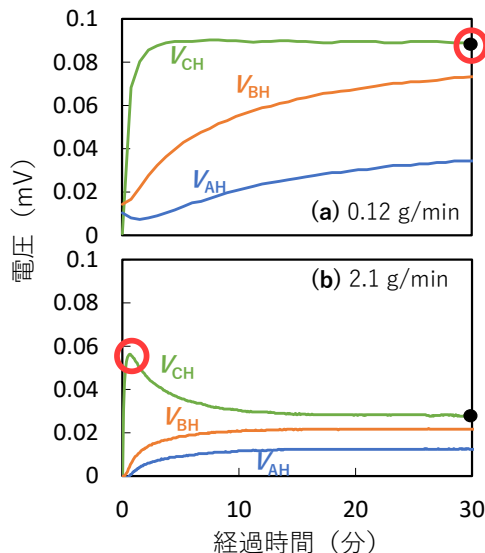


図2 加熱開始時からの時間変化

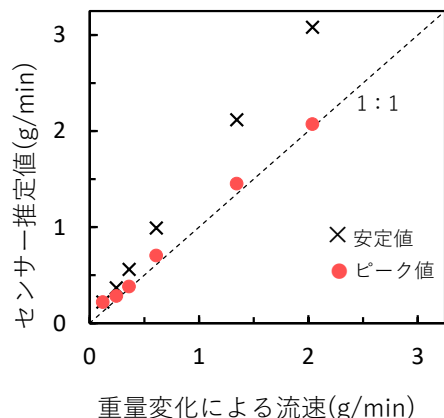


図3 定流速実験における流速推定値

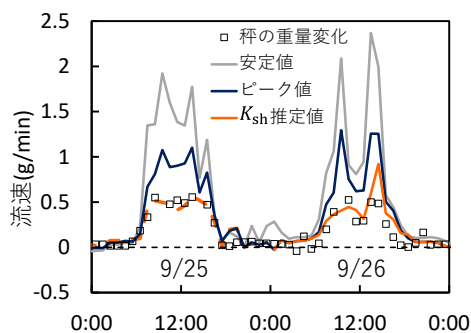


図4 ポット栽培実験における流速推定値