

蒸散流センサーを用いた短時間加熱による流速測定方法の提案 Improved method for sap flow measurement with short-term heating

中森 勇貴* 〇坂井 勝**
Yuki Nakamori Masaru Sakai

1. はじめに 植物根の吸水に伴う蒸散は、根圏土壤中の水分消費量を知る上で大切な要素である。根の吸水・蒸散流速を測定する方法の一つに、蒸散流センサーがある。蒸散流センサーは茎にヒーターで熱を与え、移流による温度差と熱収支から蒸散流速を求める装置である(茎熱収支法)。ヒーター加熱時には、以下の熱収支式が成り立つ(図1)。

$$Q = Q_u + Q_d + Q_r + Q_f$$

ここで、 Q はヒーターで与える熱量(W)、 Q_u と Q_d 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 は移流で運ばれる熱量(W)を表している。熱収支式を変形すると、蒸散流速 F は次式で表される。

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

ここで、 R はヒーターの抵抗(Ω)、 λ は茎の熱伝導率(W/mK)、 A は茎の断面積(m^2)、 K_{sh} は蒸散流センサーの固有係数(W/mV)、 c_w は水の比熱(J/g K)、 V_Q はヒーターに与える電圧(V)、 V_{AH} 、 V_{BH} はそれぞれヒーター上下の熱起電力(mV)、 V_{CH} はヒーター内外の熱起電力(mV)、 Δx は V_{AH} と V_{BH} の測定点の距離(m)である(図1)。各熱起電力 V_{AH} 、 V_{BH} 、 V_{CH} を測定し、蒸散流速 F (g/s)を計算する。

蒸散流センサーには、以下の問題があると考えられる。ヒーターで加熱し続け、定常状態で

測定するため、茎の温度が 5°C ほど上昇し、植物の生育に影響がある可能性がある。そのため、短時間加熱での測定が必要である。また、蒸散流の日変化を追うためには、測定時間間隔を短くする必要もある。さらに、一次元流れを考えると、センサー上に断熱材を巻く必要があるが、茎を介さない熱移動が発生してしまい、測定値に影響を与える可能性がある。

そこで本研究では、ポットのダイズ栽培実験において蒸散流センサーを用い、短時間の加熱で正確な蒸散流速の日変化を捉えることができる測定方法の検討・提案を行った。

2. 実験方法 ポットを用いたダイズ栽培実験を、三重大学生物資源学部内のガラス室で行った。三重県農業研究所の畑土の 2 mm 篩通過分を $1/2000\text{ a}$ のワグネルポットに乾燥密度 1.15 g/cm^3 で充填し、ダイズ(フクユタカ)の栽培を行った。土壌面からの蒸発を防ぐために地表面にマルチを敷き、電子天秤で測定した重量

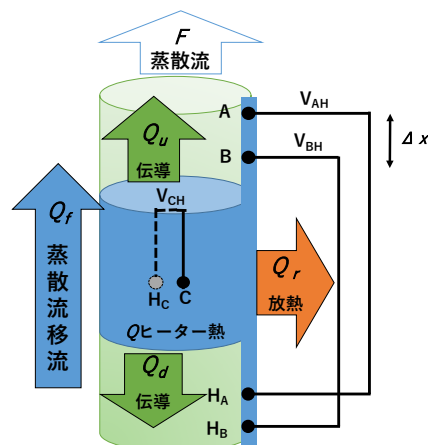


図1. 蒸散流センサーの概要
Fig.1 Schematic illustration of sap flow sensor.

*三重大学生物資源学部 Faculty of Bioresources, Mie Univ., **三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate school of Bioresources, Mie Univ., キーワード:蒸散流センサー, 茎熱収支法, 根の吸水速度

変化から蒸散流速を求めた。ポットの 9, 18 cm 深に TDT 水分計と MPS-6 土中水圧力計を設置した。茎部に $\phi 8\sim 12$ mm 用の蒸散流センサー (SGB9-WS・メイワフォーシス社) を設置し、撥水材, 断熱材, 遮光材を巻いた。別途行ったガラス管による流速測定実験の結果に基づき, 蒸散流センサーの測定は, 1 時間の内に 30 分間ヒーターで加熱する測定間隔で行った。このとき, 加熱から 20~30 分後の出力電圧の平均値から蒸散流速を計算した (従来法)。重量変化から求めた蒸散流速を真値とし, 蒸散流センサーの測定値と比較した。

3. 実験結果 測定した 9/25~9/27 の蒸散流速を図 2 に示す。従来法の蒸散流センサーの測定値は, ダイズの蒸散流速の日変化を捉えたが, 日中に過大評価した。他の測定期間においても同様の傾向が見られた。過大評価した際のヒーター加熱後の電圧変化を図 3 に示す。放熱 Q_r に関わる V_{CH} の電圧が上昇後, 下降した。これは, 断熱材でセンサー内に熱がこもることによる温度差の減少が原因だと考えられる。正しい蒸散流速の測定には, 電圧測定値を補正する必要がある。

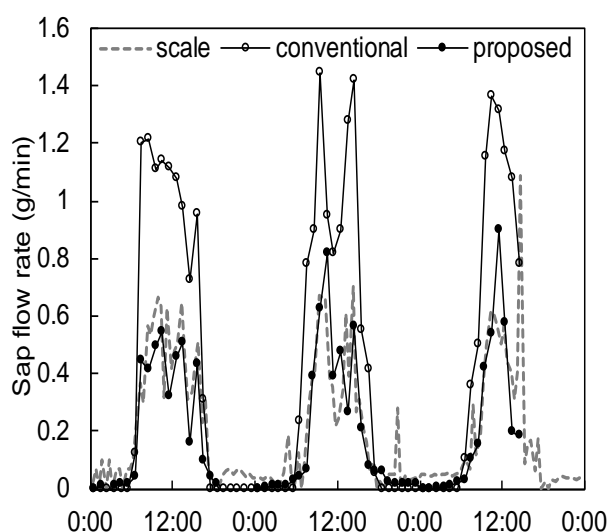


図 2. 電圧推定法による蒸散流速の推定結果
Fig.2 Estimated sap flow by the proposed method.

4. 短時間測定値を用いた出力電圧の外挿

各時間の V_{AH} , V_{BH} , V_{CH} に対し, 加熱から 0~10 分の実測値に次式を適合した。

$$V = \alpha t^\beta + \gamma$$

t は経過時間 (分), α , β , γ はフィッティングパラメータである。30 分後の推定電圧から蒸散流速を計算した。図 2 に電圧推定値から求めた蒸散流速の変化を示す (電圧推定法)。提案した方法により, ダイズの蒸散流速の日変化, 及び大きさを正しく測定することが可能となった。

土壌乾燥過程 (10/3~10/7) の蒸散流速の低下の様子を図 3 に示す。体積含水率が $0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ から $0.15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ に低下すると, 日蒸散量が 0.7 cm から 0.21 cm に低下した。その際の蒸散流速の低下についても, 電圧を補正することで正しく日変化を表した。

5. おわりに 本研究では, 植物への影響を考え, 短時間の測定から出力電圧を外挿し, 蒸散流速を推定する方法を提案した。電圧推定法により, ダイズの蒸散流速の日変化を正確に測定することができた。今回は 30 分加熱を行ったが, 提案した電圧推定法を使用することで, さらに短い 10 分加熱の出力電圧で, 蒸散流速を測定できると考えられる。

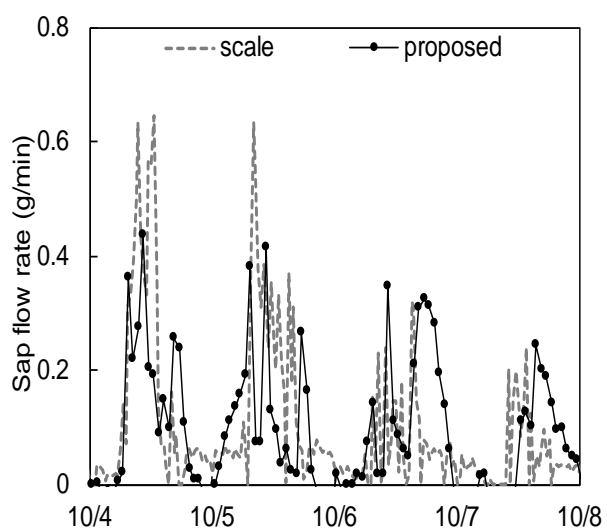


図 3. 土壌乾燥過程における蒸散流速の変化
Fig.3 Estimated sap flow during a soil drying process.