

自作の蒸散流センサーを用いた流速測定について

516356 深澤 隆博 (土壌圏循環学研究室)

1. はじめに

植物は土壌中から吸水し、蒸散する。蒸散量は土壌乾燥によって低下するため、土壌水分に対する植物の応答を把握するには根の吸水量を適切に測ることが大切である。根の吸水、それにとまなう蒸散速度を測定する方法の一つに蒸散流センサーがあり、移流により生じる温度差から蒸散流速を求める。移流によって運ばれる熱 q_f は、ヒーターで与えた熱量 Q 、上下方向の伝導 q_u 、 q_d 、ヒーターから外方向へ失われる熱 q_r の熱収支から求める。 q_u 、 q_d は温度差検出基板に設置された 2 対の熱電対の熱起電力 V_{AH} 、 V_{BH} から求め、 q_r はヒーター内外の温度差による熱起電力 V_{CH} から求める (図 1)。各熱起電力から蒸散流 F を計算する。

$$F = \frac{\frac{V_Q^2}{R} - \lambda A \frac{V_{BH} - V_{AH}}{0.04 \Delta x} - K V_{CH}}{C_w \frac{(V_{AH} + V_{BH}) 0.5}{0.04}}$$

V_Q はヒーターに与える電圧 (V)、 R は抵抗 (Ω)、 λ は茎の熱伝導率 ($W/m^\circ C$)、 K はセンサー係数 (W/mV)、 C_w は水の比熱 ($4.18 J/g^\circ C$) である。

蒸散流センサーは市販されているが、植物の茎の太さに合わせたサイズのセンサーが必要であり、また多点に設置する場合にはコストがかかる。そのため蒸散流センサーを自作することを考えた。センサーを自作する上で、植物に負担を与えない適切なヒーターの熱量 Q の把握が必要である。また、径の大きなセンサーでは茎内部まで熱を伝えるために、適切な熱量 Q や、ヒーターの長さ L を決める必要がある。そこで本研究では、 $\phi 7$ mm センサーと $\phi 30$ mm センサーを自作した。ガラス管に一定流速を与えた実験で流速の測定を行い、ヒーターに与える熱量が流速測定

に与える影響を明らかにした。

2. 方法

2-1 蒸散流センサーの作製

$\phi 7$ mm センサーと $\phi 30$ mm センサーを作成した。ヒーターは 0.1 mm 絹巻マンガン線を線のよれ、重なりがないように巻いて作成した。ヒーターの内外の温度差を測定するために表と裏に 0.1 mm 銅・コンスタンタン線熱電対を設置し、熱流板とした。作成した熱電対の測温点は $\phi 7$ mm センサーで 2 か所 $\phi 30$ mm センサーでは 4 か所とした。温度差検出基板には 0.1 mm 銅・コンスタンタン線熱電対を設置した。熱電対間の距離 Δx 、ヒーターと温度差検出基板の距離 Δh は表 1 に示す。 $\phi 30$ mm センサーは、長さ L が 4.2、6.3 cm のヒーターを作成した。

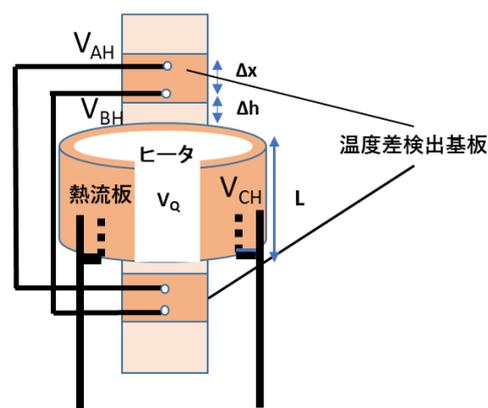


図1 蒸散流センサーの概略図

表1 蒸散流センサーの各部の寸法

	センサー-2	センサー-3	センサー-5	センサー-6
外径(mm)	7	7	30	30
L(cm)	1.0	1.0	4.2	6.3
抵抗(Ω)	211	235	75	75
Δx (mm)	2	3	7	7
Δh (mm)	3	3	5	5
K(W/mV)	0.664	0.446	1.7	1.27

2-2 ガラス管を用いた定流速実験

作製したセンサーの測定精度を確認するために室内実験を行った(図2)。ガラスビーズ($\phi 0.2\text{ mm}$)を充填した $\phi 7\text{ mm}$ と $\phi 30\text{ mm}$ のガラス管に作製したセンサーをそれぞれ設置した。定流量ポンプ($0\sim 1.26\text{ g/min}$)で水を流し、排水速度を電子天秤で測定した。安定化電源でセンサーのヒーター部分に熱を加え、出力電圧を読み取った。またセンサー内部に熱電対を設置し、上昇温度を測定した。 $\phi 7\text{ mm}$ センサーにはヒーターに電圧を $1\text{ V}\sim 4\text{ V}$ の電圧を与え、 $\phi 30\text{ mm}$ センサーには 4 V 、 5 V を与えた。

3. 結果と考察

図3に $\phi 7\text{ mm}$ センサーで測定した流速と排水速度の比較を示す。センサー2では、 0.4 g/min より小さい時は正しく測ることができ、それ以上の流速では過小評価する傾向が見られた。ヒーターの熱量を変えても、測定流速の平均値に違いは見られなかった。一方で、流速測定値の時間変化から求めた標準偏差は、 1 V 、 2 V を与えた場合は大きな値を示し、 3 V 以上で小さくなった。その際の温度上昇は 4 V ($Q=0.08\text{ W}$)では 7°C 、 3 V (0.044 W)では 3°C 、 2 V (0.02 W)では 1°C 、 1 V (0.006 W)では 0.5°C であった。上昇温度と測定値のばらつきを考慮すると、このセンサーでは 3 V の電圧をかけることが妥当であると言える。

$\phi 30\text{ mm}$ の蒸散流センサーを用いた流速測定の結果を示す(図4)。ヒーター長さ L が 4.2 cm のセンサー(センサー5)に 4 V の電圧をかけた時は流速を過小評価した。 L が 6.3 cm のセンサー(センサー6)に、 4 V を与えた場合($Q=0.2\text{ W}$)流速測定が向上し、 5 V ($Q=0.33\text{ W}$)にするとさらに向上した。 L が短く過小評価している場合は、流速を正しく測定している場合に比べ、移流による熱量 q_r が小さい値を示した。この理由はガラス管が太く、内部の水まで十分に熱が伝わらなかつ

たためだと考えられる。この結果からガラス管の外径が大きいとき、ヒーターの長さを変えることで流速評価が改善することが分かった。

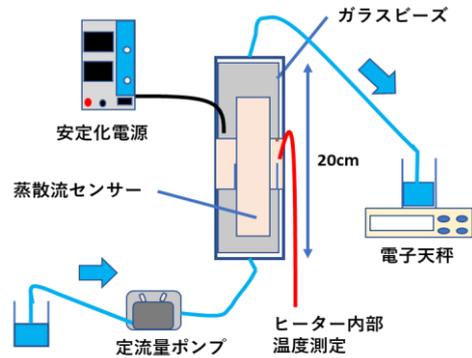


図2 室内実験装置の概略図

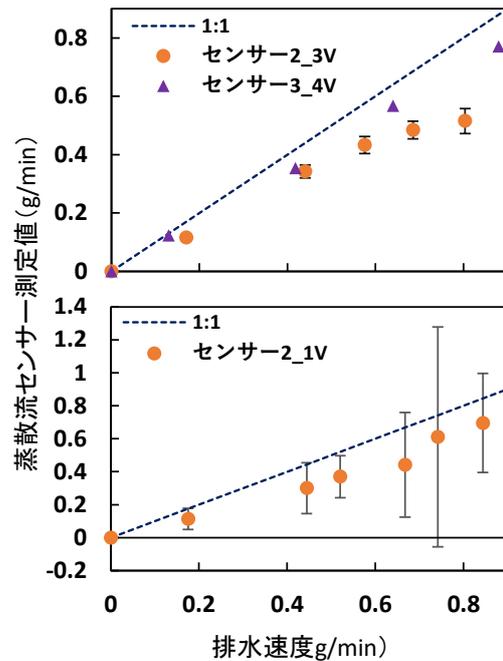


図3 $\phi 7\text{ mm}$ センサーの流速測定結果

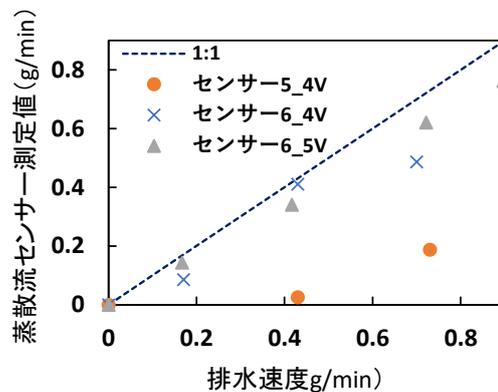


図4 $\phi 30\text{ mm}$ センサーの流速測定結果

