

蒸発散量推定への CMOS 温湿度センサーの適用 Application of the CMOS temperature-humidity sensor to evapotranspiration estimates

○伊藤祐二* 平嶋雄太** 宮本英揮** 梶井和朗*

○Yuji ITO*, Yuta HIRASHIMA**, Hideki MIYAMOTO**, and Kazuro MOMII*

1. はじめに

温湿度センサーの1つに、コンピュータのCPUにも利用される相補型金属酸化膜半導体 CMOS を内蔵する Sensirion 製の SHT71 がある。CMOS は、小型、安価、高精度、高反応速度、低消費電力など多くの利点を有し汎用性も高いため、その利用可能性は極めて大きい。SHT71 の精度はメーカーの公称では高いようであるが、Bowen 比法などによる ET 推定への実用性に関する情報は皆無である。Bowen 比法による ET 推定精度には、2 高度間の温湿度差の測定精度が影響するため、使用する 2 台のセンサーの個体差が小さいことが重要である。本研究では、CMOS 温湿度センサー SHT71 の ET 推定への適用可能性を評価するために、センサー個体差を明らかにし、従来の Vaisala 製センサー HMP110 による ET 推定値と比較・検討した。

2. 方法

観測概要は以下のようである。学内クリムゾンクローバー畑（長辺 57 m，短辺 22 m）の中央に、SHT71，HMP110，純放射計（Q7.1，Campbell Scientific：CS），熱流板（HFT3-L，CS）から成る観測ステーションを構築した。純放射計は地表面から 1.5 m の位置に、熱流板は地下約 2 cm に埋設した。また、SHT71 には周囲をろ紙（PHWP02500，Merck）で覆う防食加工を施した。個体差を評価するため、高さ 1 m の位置に 2 台の HMP110 と 4 台の SHT71 を併設し 2018/10/23～2019/1/16 まで観測した。その後、ET 推定のため、HMP110 のセンサー 1（HMP-1）と SHT71 のセンサー 1 と 3（SHT-1 と 3）を高さ 0.2 m，他を 2 m に移設し 1/22～3/22 まで観測した。SHT71 はマイコン Arduino MEGA（Arduino Holding），他のセンサーをデータロガー CR1000（CS）に接続し、測定間隔は 5 min とした。平均草丈は概ね 0.2 m 以下であった。

提案する個体差補正法を以下に述べる。まず、各センサーを SHT-1 や HMP-1 のように表記し、SHT-1 と 2 の組合せは SHT-12 のように表した。SHT-12 の場合の温度 T を例にとると、10/23～1/16 における SHT-1 と 2 の平均値からの残差を測定間隔毎に求め、この T に関する SHT-1 の残差を個体差 γ_{T1} とした。 γ_{T1} を目的変数とし、SHT-1 による T と相対湿度 RH を説明変数として導いた重回帰式によって γ_{T1} を修正した。RH に関する個体差 γ_{RH1} および SHT-2 の個体差 γ_{T2} と γ_{RH2} も同様に算出・修正し、この手法を SHT-14，32，34 にも適用した。

3. 結果と考察

まず、SHT71 および HMP110 の全センサーの個体差 γ を検討した。HMP110 と比べて、温度 T に関する SHT71 の個体差 γ_T は標準偏差 SD で 3.0～3.7 倍、偏差の絶対値 Ab. bias で 0.5～2.8 倍、相対湿度 RH では γ_{RH} の SD で 2.0～3.8 倍、Ab. bias で 1.5～46.5 倍であった（Table 1 立体の値）。一方、重回帰

Table 1 温湿度センサーの個体差 γ
Indi. specificity γ in temp.-humidity sensors

Sensor	γ_T (°C)		γ_{RH} (%)	
	SD	Ab.bias	SD	Ab.bias
SHT-1,2	0.09 <i>0.07</i>	0.11 <i>0.00</i>	0.69 <i>0.19</i>	0.76 <i>0.00</i>
SHT-1,4	0.09 <i>0.07</i>	0.05 <i>0.00</i>	0.75 <i>0.25</i>	0.14 <i>0.00</i>
SHT-3,2	0.09 <i>0.07</i>	0.03 <i>0.00</i>	0.40 <i>0.25</i>	0.03 <i>0.00</i>
SHT-3,4	0.11 <i>0.09</i>	0.02 <i>0.00</i>	0.48 <i>0.31</i>	0.93 <i>0.00</i>
HMP-1,2	0.03 <i>0.03</i>	0.04 <i>0.00</i>	0.20 <i>0.19</i>	0.02 <i>0.00</i>

Ex.: SHT-1 denote the sensor 1 of SHT71.
Italics are the corrected value.
Ab.bias: Absolute bias

*鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima Uni., **佐賀大学農学部 Faculty of Agriculture, Saga Uni.
キーワード: Bowen 比法, センサー個体差, 蒸発散, 温湿度, CMOS

式による補正によって, Ab. bias は全センサーで 0 となり, γ_T と γ_{RH} の SD は HMP と比べて 2.3~3.0 倍と 1.0~1.6 倍のように改善した (Table 1 斜体の値). 重回帰分析の結果より, SHT71 の T は T , RH は RH と相関が強かったが, 比較対象の HMP110 ではいずれも相関は低かった. そのため, 重回帰式による補正効果は HMP110 よりも SHT71 で高くなった. 以上より, SHT71 は比較的大きい T -RH 依存性を示し, T と RH の重回帰式より一定の補正効果がある.

ET 推定について, まず Bowen 比法特有の問題を検討した. 5 min 間隔の ET 値を算術平均した日 ET を, HMP110 による ET 推定値と比べると (Fig.1(a)), RMSE は 0.6~34.5 mm day⁻¹ であり (Table 2), 誤差が大きかった. この一因に, Bowen 比法では Bowen 比が -1 に近似する場合などに ET 推定値が異常となる問題があるため, この影響を既往の研究¹⁾に倣って除去した. その結果, RMSE は 0.3~1.4 mm day⁻¹ のように低下し (Table 2), 異常値による大きな誤差は改善された. しかし, 各 ET 推定値には差異があり (Fig.1(b)), 各々の精度も実用上, 問題がある.

この問題に対し, 提案した個体差補正法の効果を調べた. 異常値除去に加えて個体差補正を施すと RMSE は 0.2~1.2 mm day⁻¹ のように低下した (Table 2). SHT-12 と 14 では RMSE < 0.3 mm day⁻¹ で線形性も維持 ($R > 0.98$) されたが, 個体差を補正しても SHT-32 と 34 の RMSE は 1 mm day⁻¹ 程度で全体的に過大評価傾向にある (Fig.1(c)). センサーの組合せを考えると, SHT-3 を含む場合に, ET 推定精度の低下が生じていることから, 誤差は SHT-1, 2, 4 とは異なる SHT-3 の特性に起因する. 個体差補正の効果が及ばない異常個体を含み得るが, 検討結果より, 少なくとも SHT71 においてはそのようなセンサーは比較的少数と予想される. 特性が極端に異なるセンサーを予め排除できれば, SHT71 のような市販の安価な CMOS 温湿度センサーを ET 推定に適用可能と考える. なお, 以上の解析では, 比較対象の HMP110 による ET 推定値に, 異常値除去のみを施したデータを用いた.

4. おわりに

本報では, CMOS 温湿度センサー SHT71 を用いた ET 推定を検討した. 提案したセンサー個体差補正法を適用すれば, 従来のセンサーを用いた場合と同等の ET 推定精度が期待できることを論じた. 今後, 補正式の特に夏季における有効性と補正効果が及ばない特異なセンサーの排除方法の検討が必要である.

参考文献 1) Ohmura (1982): *Journal of Applied Meteorology*, **21**, 595-598.

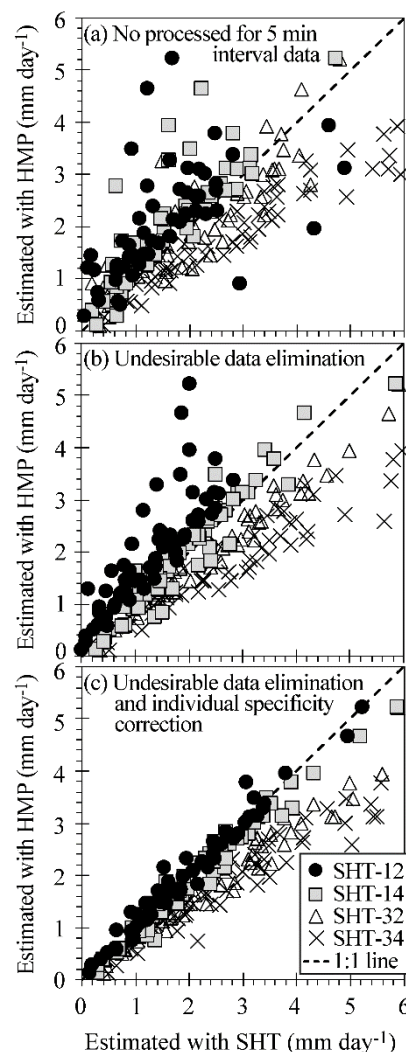


Fig.1 従来の温湿度センサーHMP110と4台のCMOSセンサーSHT71を用いて推定した日蒸発散量の比較
Comparisons of daily evapotranspiration estimated with the conventional temp.-humidity sensor HMP110 and the four CMOS sensors SHT71s

Table 2 CMOS 温湿度センサーSHT71による日蒸発散量の推定誤差
Estimation errors of daily evapotranspiration by the CMOS temp.-humidity sensors

Data processing*	SHT71 couple	RMSE** (mm d ⁻¹)	R
Non	SHT-12	34.51	-0.17
	SHT-14	0.69	0.85
	SHT-32	0.55	0.89
	SHT-34	1.20	0.95
Elimination	SHT-12	0.90	0.83
	SHT-14	0.33	0.95
	SHT-32	0.56	0.99
	SHT-34	1.43	0.92
Correction	SHT-12	0.19	0.98
	SHT-14	0.28	0.98
	SHT-32	0.78	0.98
	SHT-34	1.15	0.97

*Second and third columns show undesirable data elimination by Ohmura (1982)¹⁾ and correction of individual sensor specificity.

**Calculated as difference from the estimates by the conventional sensor HMP110