

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22658071

研究課題名（和文）超音波風速温度計と細線熱電対を用いた蒸発散量測定システムの開発

研究課題名（英文）Development of Measuring System for evapotranspiration with a ultrasonic anemometer and fine thermocouple

研究代表者

松岡 延浩 (NOBUHIRO MATSUOKA)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授

研究者番号：80212215

研究成果の概要（和文）：

超音波風速温度計から得られた気温が湿度の影響を受けることを利用して、超音波風速計と細線 K 熱電対温度計を用いた潜熱フラックスの簡単な評価方法を提案し、その実現を試みた。このシステムのコストダウンを図るためには、安価な高速サンプリングデータロガーの分解能に合わせて熱電対の出力を増幅するためのアンプ（熱電対アンプ）の開発が必要となった。このシステムを屋外に取り付け、応答特性、ノイズの分離、零点補償部分の精度の検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

A simple measuring system for evapotranspiration with an ultrasonic anemometer and fine thermocouple was proposed based on the theory that the temperature measured by sonic anemometer is affected by humidity. In order to reduce the costs of this system, it became necessary to develop low cost amplifier for fine K-thermocouples. Responsibility, separation of noise and accuracy of cold junction has been examined.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,100,000	0	2,100,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：蒸発散量，潜熱，渦相関法，細線熱電対，簡易測定法

1. 研究開始当初の背景

大気－陸面に関する研究を行うためには長期間にわたる熱フラックスの観測が重要である。顕熱および潜熱フラックスは一般的に渦相関法によって算出される。しかし、潜熱フラックスを求める際に使う湿度を計測するための赤外線ガス分析計は保守管理が難しく、砂漠のような厳しい環境条件にお

ける長期観測には適さない。この問題点を解決するために、超音波風速温度計と細線 T 熱電対を用いた潜熱フラックスの簡易評価法を提案している。この方法では、超音波風速温度計で観測される音仮温度が湿度の影響を受けて実際の気温よりも過大になる現象を利用している。しかし、ノイズの影響が大きく実用化に至らなかった。

2. 研究の目的

本研究では、ノイズの影響を除去するため新たにアンプを作成し、渦相関法で顕熱および潜熱フラックスを求め、細線熱電対を使用しない従来の方法と細線熱電対を使う方法を比較した。

3. 研究の方法

(1) 測定原理

細線熱電対を使わない方法

$$H_{sv} = C_p \rho \overline{w' T_{sv}'} \quad (1)$$

$$l E_1 = l \rho \overline{w' q'} \quad (2)$$

細線熱電対を使う方法

$$H_t = C_p \rho \overline{w' T'} \quad (3)$$

湿度が音仮温度に与える影響は以下の式で表すことができる。

$$T_{sv} = T(1 + 0.51q) \quad (4)$$

両辺を平均値と偏差に分けて、 w を両辺に乗じて

平均化し、高次項を無視すると、

$$w' q' = \frac{\overline{w' T_{sv}'} - \overline{w' T'}}{\overline{T_{sv}}} \quad (5)$$

⑤式を②式に代入して、

$$l E_2 = l \rho \frac{\overline{w' T_{sv}'} - \overline{w' T'}}{\overline{T_{sv}}}$$

ここで、

H : 顕熱フラックス ($W \cdot m^{-2}$)

C_p : 空気の定圧比熱 $1004.67 J \cdot ^\circ C^{-1} g^{-1}$

T : 気温 (K)

$l E$: 潜熱フラックス ($W \cdot m^{-2}$)

l : 水の気化潜熱 ($J \cdot g^{-1}$)

w : 風速の鉛直成分 ($m \cdot s^{-1}$)

T_{sv} : 音仮温度 (K)

ρ : 空気密度 ($kg \cdot m^{-3}$)

$\bar{\quad}$: 時間平均 (30 分)

$'$: 変動 (実測値と時間平均値との差)

(2) 測定方法

千葉大学園芸学部圃場内の $30m \times 30m$ イネ科雑草地において観測を行った。草本の多くは既に枯れて草丈は $20cm$ 以下だった。風速および音仮温度の測定は、超音波風速温度計 (KAIJO, 本体: DA-600, プロープ: TR-62TX) を使用した。また、気温測定は細線 T 型熱電対 ($\phi = 100 \mu m$) を使用した。熱電対は観測部がプロープの中心になるように設置し、出力側は熱電対アンプ (バロン電子) に接続して $1V = 0.5^\circ C$ に増幅させた。ただし零接点は取らず、相対温度のみを記録した。比湿は赤外線ガス分析計 OP-2 (Data Design Group) を使用した。超音波風速温度計および OP-2 はそれぞれの観測部が地上から $150cm$ の高さになるように三脚の上に設置した。観測の様子を写真に示す。必要な気象データをデジタルレコーダ (TEAC, DR-M3) によってサンプリング周波数 $10Hz$ で MO に記録し、上述した計算式から顕熱および潜熱フラックス 30 分平均値を算出し、比較を行った。

システム構成を図 1 に示す。

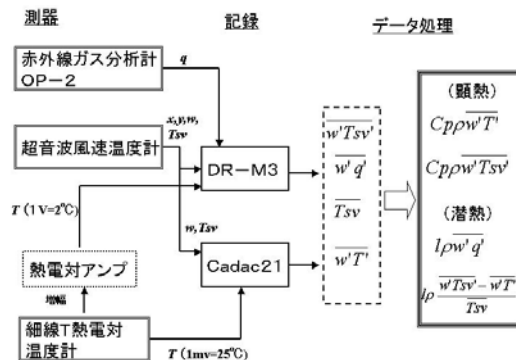


図 1 システムの構成

4. 研究成果

(1) 音仮温度と気温の比較

音仮温度と気温の関係を図 2 に示した。音仮温度の変動は湿度の影響を受けて、細線熱電対で計測された気温変動よりも大きい傾向がある。標準偏差を比較すると、音仮温度が 0.51 であるのに対して、気温は 0.48 であった。

(2) 応答性の確認

気温と音仮温度のパワースペクトルを図 3 に示した。 $0.1 \sim 5Hz$ の範囲ではおよそ $-5/3$ 乗の傾きで減衰していることがわかる。

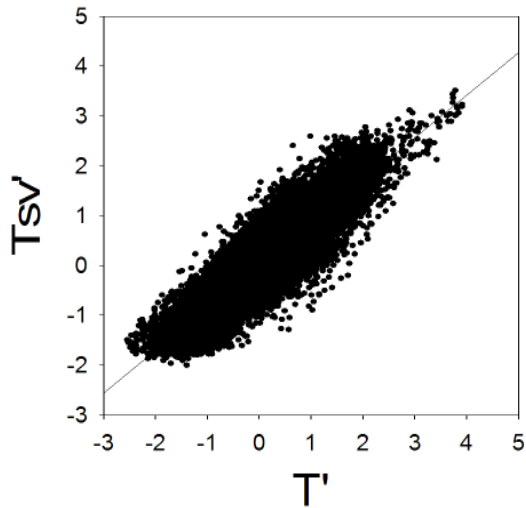


図2 T_{sv}' と T' の比較
実線は線形回帰直線を示す。

よって熱電対アンプ(表)に接続した細線T熱電対は本研究で使用し得る応答性をもつことが確認された。

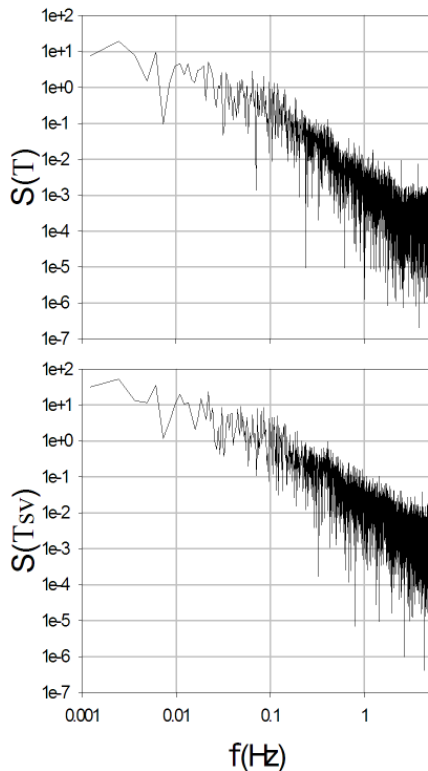


図3 気温と音仮温度のパワースペクトル

(3) フラックスの算出

産出されたフラックスを図4に示す。顕熱フラックスに関しては従来法のほうがわずかに大きく、MEは3.71、RMS Eは11.35

であった。潜熱フラックスを比較すると、MEは-0.11であり、両者の差は小さかった。しかし、RMS Eは124.37で両者のばらつきは顕熱の場合よりも大きかった。

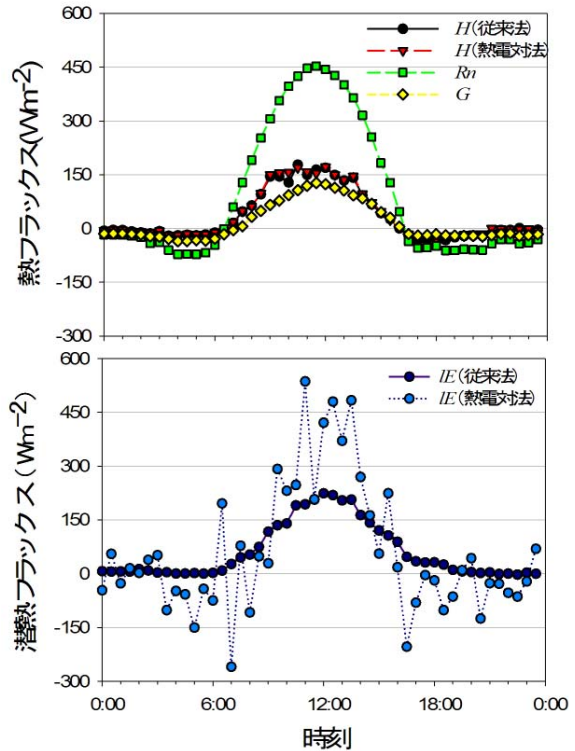


図4 算出されたフラックスの経時変化

(4) 結論

超音波風速温度計から得られた気温が湿度の影響を受けることを利用して、超音波風速計と細線K熱電対温度計を用いた潜熱フラックスの簡単な評価方法を提案し、その実現を試みた。平成22年度の結果から、このシステムのコストダウンを図るためには、安価な高速サンプリングデータロガーの分解能に合わせて熱電対の出力を増幅するためのアンプ(熱電対アンプ)の開発が必要となった。当該年度は実用化を目標として、①使用する熱電対より応答性がよいこと、②屋外に設置された数十mの熱電対の出力を増幅するためノイズ対策を行うこと、③温度を知るための零点補償部分にノイズがないことを条件として、熱電対アンプを作成した。また、将来のモジュール化も視野に入れて小型化も考慮した。出来上がったアンプを利用して、つくばみらい市にある真瀬観測サイトと塩尻市にある岩垂原観測サイトにおいて、細線K熱電対温度計と組み合わせて屋外に取り付け、応答特性、ノイズの分離、零点補償部分の精度の検討を行った。これによって、10Hzのサンプリング間隔で、十分なS/N比を

得られるかどうか検討したが、目標とした①と③は達成できたが、②に対しては外部ノイズの除去に対し十分な成果が得られなかった。

平成 22 年度検証を行ったシステムの観測に加えて、既存の超音波風速温度計を用いて鉛直方向風速 w 、音仮温度 T_{sv} を、細線 K 熱電と試作した熱電対アンプを用いて気温 (T) を、熱電対入力ない高速サンプリングデータロガー (ES-8, TEAC 社製, 既存) を用いて、10Hz のサンプリング間隔でデータを取得した。これらの 3 つの方法で観測された蒸発散量を比較検討し、本研究課題で目的とした細線熱電対による蒸発散量計測の妥当性が検証された

また、平成 22 年度の観測結果同様、高湿度条件下におけるデータの妥当性は示されたが、低湿度で行った岩垂原観測サイトの実験では、上記の理由により S/N 比が十分に得られなかった。この達成が可能であれば熱電対アンプの小型モジュール化により、渦相関法による安価な蒸発散量測定技術として、他研究分野および一般への普及が可能となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Guo Meng, Xiufeng Wang, Yang Liu, Nobuhiro Matsuoka (2012), Hiroshi Tani and Shinji Matsumura, Improvement of Knowledge Classifier to Enhance Classification in Arid Semi-arid area. Journal of Arid Land Studies, 21(4), 155-165(査読有).
- ② GUO Meng, Xiufeng Wang, Nobuhiro Matsuoka, Hiroshi Tani and Shinji Matsumura (2012): Desertification Assessment Using Multivariate Data and Overlay Analysis in Kerqin Sandy Land, China. Journal of Environmental Information Science, 40(5), 11-22, (査読有) .
- ③ Liu Yang, Xiufeng Wang, Meng Guo, Hiroshi Tani, Nobuhiro Matsuoka and Shinji Matsumura (2011): Spatial and temporal relationships among NDVI, climate factors and land cover changes in northeast Asia, GIScience and Remote Sensing, 48(3), 371-393 (査読有) . DOI: 10.2747/1548-1603.48.3.371

[学会発表] (計 2 件)

- ① 天野晃太・松岡延浩・白龍・木村玲二・王秀峰 (2012): 運動量バルク輸送係数

を用いたカラガナ群落の LAI 推定, 日本農業気象学会 2012 年全国大会講演要旨, 95 (2012 年 3 月 15 日, 堺市) .

- ② Guo Meng, Yang Liu, Xiufeng Wang, Nobuhiro Matsuoka and Hiroshi Tani, (2011): Analysis of desertification and wood land distribution: A case study on the Balinyou Banner of Inner Mongolia, China. 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 10-15, (Aug. 12, 2011, Sydney, Australia).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松岡 延浩 (MATSUOKA NOBUHIRO)

千葉大学・大学院園芸学研究科・教授

研究者番号: 80212215