

CAPS2002 におけるシンクロメータ観測報告

浅沼 順 (筑波大学陸域環境研究センター)

家本 薫 (筑波大学環境科学研究科)

多田 毅 (防衛大学校建設環境工学科)

小野圭介 (農業環境技術研究所)

石田祐宣(弘前大学理工学部地球環境学科)

1. はじめに

シンクロメータは、大気乱流中に光線を透過させ、その受光強度を計測して大気中の屈折率の構造関数を計測する計測器である。屈折率の変動は、大気乱流中の密度変動によってもたらされることから温度変動と密接なつながりを持つため、屈折率の構造関数から温度の構造関数を求めることができ、そこから顕熱フラックスなどを求めることが可能である。タワーに設置した超音波風速計が点における時間レイノルズ平均の観測であるのに対し、シンクロメータは発光器と受光器間のパス上での空間レイノルズ平均の観測であることから、ソースエリアの広いフラックス観測が可能で、また空間平均であることから非定常性に関わる問題を気にする必要が無いことなどから、空間代表性の強い地表面フラックスの観測が可能な測器として、近年、注目を集めている (De Bruin, 2002 など)。

本報告では、CAPS2002 におけるシンクロメータ観測の概要報告と、初期的な観測結果を紹介する。

2. 観測概要

4 台のシンクロメータを用いた多重シンクロメータ観測を CAP2002 期間中に行った。主な目的は、空間平均フラックス計測機器としてのシンクロメータの有効性の確認とその特性の把握である。

用いたシンクロメータは、防衛大学建設環境工学科所蔵の Scintec 社製 SLS20 2 台、農業環境技術研究所所蔵の同じく Scintec 社製 SLS40 1 台、そして筑波大学陸域環境研究センター所蔵の Scintec 社製 BLS900 1 台の計 4 台である。SLS20 と SLS40 は、ともに 50-250m のパス間で波長 670nm 赤色レーザービームによる計測から内部スケールと屈折率の構造係数を求める方式である。二つの計測値があることから、解析により顕熱フラックスと運動量フラックスが計測されることが、特徴である。

また BLS900 は 500-5000m のパス間で、LED 発光による波長 880nm の赤外光の計測により屈折率の構造係数を計測する。直径 15cm の LED ディスクによる発光で光線の広がりも大きいため、パス間の距離を長く取ることができることが特徴である。

CAPS2002 におけるシンクロメータ観測の詳細を表 1、表 2 にまとめた。

3. 初期解析結果

筑波大学陸域環境研究センター所蔵の BLS900 による初期的な解析結果を紹介する。

顕熱フラックスの計算手順は、Green and Hayashi(1998)に習い、以下の通りに行った (家本, 2003)。

1) 以下の式を用いて、屈折率の構造係数から温度の構造係数を計算する。

$$C_n^2 = C_T^2 \left(0.78 \times 10^{-6} \frac{\bar{P}}{\bar{T}^2} \right)^2 \left(1 + \frac{0.03}{\beta} \right)^2$$

2) モニンオブコフ相似則を用いて、顕熱フラックスを計算する。以下の式を用いて繰り返し計算を行った。

$$f(\xi) = \frac{z^{2/3} C_T^2}{T^{*2}} = 4.9(1 + 7|\xi|)^{-2/3} \quad (\xi \leq 0)$$

ここで、

$$\xi = \frac{-z \kappa g H \left(1 + \frac{0.07}{\beta} \right)}{u^{*3} \rho C_p \bar{T}}$$

はオブコフ長さ、また

$$T^* = \frac{H}{\rho C_p u^*}$$

は温度のスケールである。ここで、摩擦速度 u^* 、気温 T は、渦相関法による観測 (C4,5.9m) を、また気圧は S10 における観測値を用いた。

以上のようにして求めた顕熱フラックスを 30 分平均したものを、渦相関法(C4)による顕熱フラックスと比較したものが図 1 (11 月 19 日) および図 2 (11 月 20 日) である。両日ともに、シンチロメータによる顕熱フラックス測定値が、渦相関法によるフラッ

クスを大きく上回っていることが分かる。シンチロメータによる顕熱フラックスのパス長さへの依存を調べたのは、図 3 である。RAISE プロジェクトによるモンゴルでの観測、農業環境技術研究所真瀬圃場における観測 (家本, 2002) を併せて表示してある。このように、今のところ明らかなパス長さに対する依存性を示しており、原因は調査中である。

謝辞

琵琶湖プロジェクト代表の京都大学防災研 田中賢治氏および名古屋大学地球水循環研究センター樋口篤氏に謝意を表す。また、CAPS 観測における共同観測者の皆さんに謝意を表す。また、使用機材のうち、筑波大学所蔵のシンチロメータは、科学技術振興機構による RAISE プロジェクトの備品である。

参考文献

- H. De Bruin, 2002: Introduction: Renaissance of Scintillometry, *Boun. Layer Meteo.*, 105(1), pp1-4
- 家本薫, 2003: 「大口径シンチロメータを用いた収穫後の水田における顕熱フラックスの測定」、平成 14 年度筑波大学自然科学類卒業論

表 1 観測詳細 (防衛大 A、防衛大 B)

項目	詳細
観測責任者:	多田毅 (防衛大)
設置器械:	Scintec SLS20 (Surface Layer Scintillimeter)
観測期間:	2002/11/17 11:01 - 11/21 3:22
設置場所:	東西パス 1 番目 (S1-S2 線上)
設置高度:	2.64m
パス間長さ:	148m (11/17 11:01 - 16:17), 112m (11/17 17:14 - 11/18 14:44) 70m (11/18 16:08 - 11/19 12:36), 78m (11/19 12:44 - 11/21 3:22)
データ内訳:	屈折率変動の構造関数定数 C_n^2 , 内部スケール l_0 , 温度変動の構造関数定数 C_T^2 , エネルギー消散率 ϵ , 顕熱フラックス, 運動フラックス
サンプリング間隔:	1 分間
特記事項:	断続的に多数の欠測期間あり
観測責任者:	多田毅 (防衛大)
設置器械:	Scintec SLS20 (Surface Layer Scintillimeter)
観測期間:	2002/11/13 12:14 - 11/21 8:40
設置場所:	東西パス 2 番目 (S3-S4 線上)
設置高度:	2.09m
パス間長さ:	75m (11/13 12:14 - 14:32), 89m (11/13 14:41 - 11/17 15:09) 100m (11/17 15:52 - 11/21 8:40)
データ内訳:	屈折率変動の構造関数定数 C_n^2 , 内部スケール l_0 , 温度変動の構造関数定数 C_T^2 , エネルギー消散率 ϵ , 顕熱フラックス, 運動フラックス
サンプリング間隔:	1 分間
特記事項:	断続的に多数の欠測期間あり

表 2 観測詳細 (農環研、筑波大)

項目	詳細
観測責任者:	小野圭介 (農業環境技術研究所)
設置器械:	Scintec, SLS40, Surface Layer Scintillometer.
観測期間:	2002 年 11 月 12 日から 2002 年 11 月 21 日
設置場所:	SinW-E(3) Transmitter (N 35°29.104')(E 136°14.178') Receiver (N 35°29.077')(E 136°14.074')
設置高度:	2.42m (Transmitter 高度と Receiver 高度の中間)
パス間長さ:	160m (実測)
データ内訳:	気圧, 温度, パス長さ, 高さ, siglogX (Beam1 の輝度振幅の対数の標準偏差), siglogY (Beam2 の〃), logCor (Beam1 と Beam2 の輝度振幅の対数の相関係数), Nok (測定エラーにならなかったデータの割合), C_n^2 (屈折率変動の構造パラメータ), l_0 (屈折率のインナースケール), C_T^2 (温度変動の構造パラメータ), ϵ (消散率), H (顕熱フラックス), M (運動量フラックス), MOL (オブコフ長),
サンプリング間隔:	1000Hz or 917Hz
平均時間:	1 分
特記事項:	11 月 13 日 14 時 30 分まではビーム強度が規定値に達していないので注意.

表3 観測詳細 (農環研、筑波大)

項目	詳細
観測責任者 :	浅沼順
設置機械 :	Scintec BLS900
観測期間 :	2002/11/16,18,19,20
設置場所 :	V1-C5 V1 : Transmitter (35° 29'36N, 136° 13' 51E) C5 : Receiver (35° 28' 57N, 136° 14' 08E)
設置高度 :	V1 : Transmitter=751cm、C5 : Receiver=670cm
パス間長さ :	1232m
データ内訳 :	beta [X,Y の 2 チャンネルの平均], C_n^2 (屈折率の構造係数), C_t2 (温度の構造係数), H(顕熱フラックス), r0(Fried diameter (m)), クロス風速 (cross wind (m/s)), エラーコード, <X> [channel X の平均], <Y> [channel Y の平均], sigX [channel X の標準偏差], sigY [channel Y の標準偏差], correlation [X と Y の共分散], Xmin, Xmax, Ymin, Ymax, nok [発信パルス数と受信パルス数], エラーコード
サンプリング間隔 :	Transmitter のパルスは 125Hz
平均時間 :	1 分間 ただし顕熱フラックスの算出は 30 分間
特記事項 :	測器が稼動した全期間は 2002/11/13 10:00 ~ 11/21 8:45 15 日までは降雨のため、また 17 日は受信機の設置不良から欠測

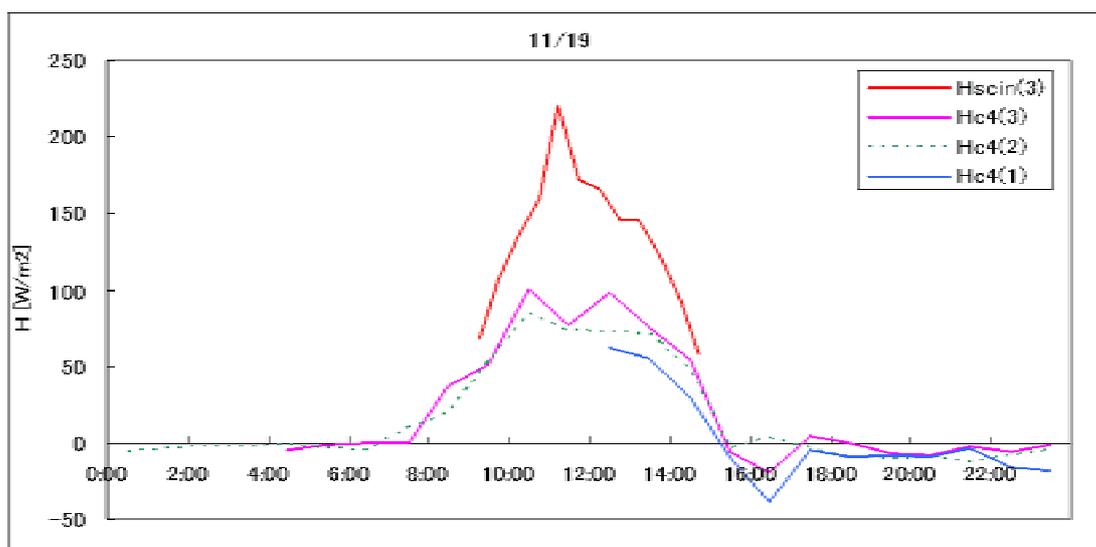


図1 : 11月19日におけるシンチロメータによる顕熱フラックス(Hscin)と渦相関法による顕熱フラックス(Hc4)の比較。

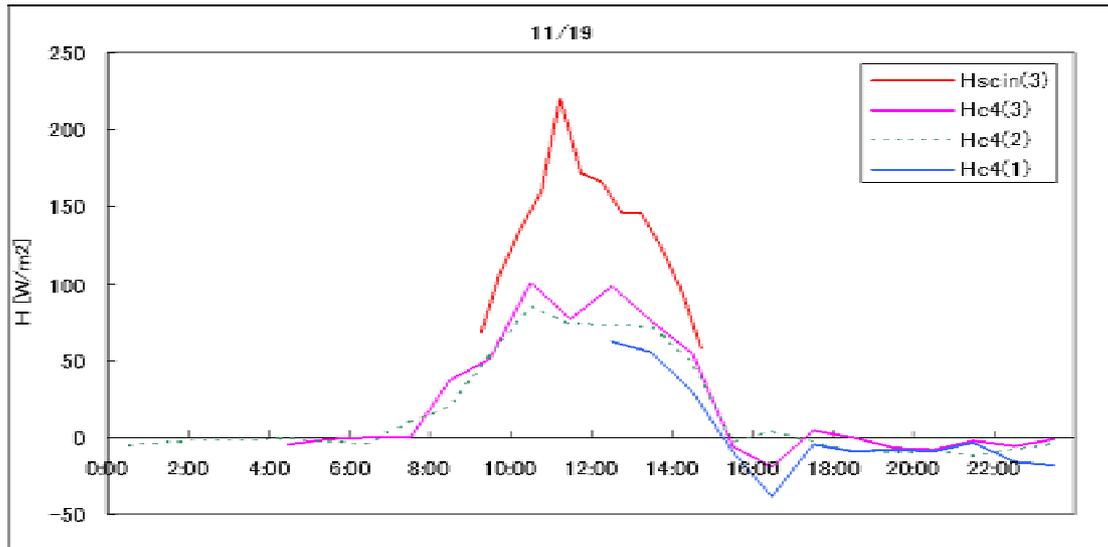


図 2： 図 1 に同じ。ただし、11 月 20 日について。

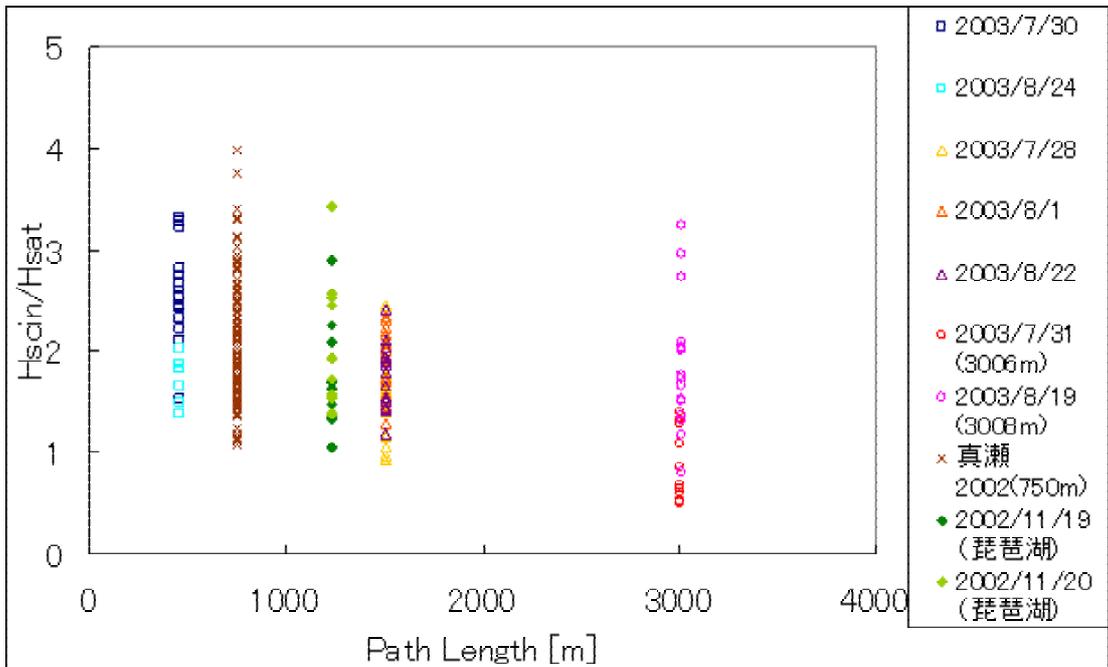


図 3： 渦相関法による顕熱フラックスで無次元化したシンチロメータによる顕熱フラックスの、パス長さに対する依存。地点の記述の無いものは、**RAISE** プロジェクトによるモンゴルでの観測。真瀬は、農業環境技術研究所の観測圃場（家本,2002 参照）。