

モンゴル草原における大口径シンチロメータによる広域顕熱フラックスの観測

筑波大学陸域環境研究センター 浅沼 順

1. はじめに

広域の熱収支の計測・算定は、広域蒸発散量の推定に、ひいては水文学の究極の目標の一つである流域蒸発散量の推定につながる。近年、一般的に用いられる地上設置の渦相関システムによる観測は地点観測であり、数百メートルのスケールでの観測である。よって、そのスケールアップが必要となる。

地点観測よりも大きな領域の地表面フラックスの計測方法として、これまで乱流計測器を搭載した航空機による観測 (浅沼ほか, 2003) やラジオゾンデによる観測などが用いられてきた。これらは、数キロから数十キロメートルの領域での平均的な地表面フラックスを計測するが、その計測原理上、定常的な観測は不可能であり、モニタリングには向かない。これに対して大口径シンチロメータ (LAS) は、地上のタワーに設置し、数キロメートル程度の領域での地表面フラックスを、定常的に計測できることに利点がある。

本報告では、RAISE プロジェクト (Rangelands Atmosphere-Hydrosphere Interaction Study Experiment in Northeastern Asia) の集中観測の一環として、2003年夏、モンゴル草原上において行われた大口径シンチロメータ観測とその初期解析結果を紹介する。

2. 大口径シンチロメータ

シンチロメータは光学機器であり、送信機と受信機の対からなる。送信機から発せられた電磁波を受信機で受信し、その受光強度の変動、すなわち”ゆらぎ”から、屈折率 n の構造パラメータ C_n^2 を計算し記録する。 C_n^2 は、パス間における屈折率の空間変動の大きさを示す指標であり、 $C_n^2 = \overline{\{n(x+r) - n(x)\}^2} / r^{2/3}$ で定義される。使用する電磁波に近赤外を用いた場合は、屈折率の変動は温度の変動によって主に支配されるため、 C_n^2 は温度の構造パラメータ C_T^2 に変換することができる。そして、温度変動は顕熱フラックスと関係があるので、 C_T^2 からモニン=オブコフ相似則を用いて顕熱フラックス H が計算でき

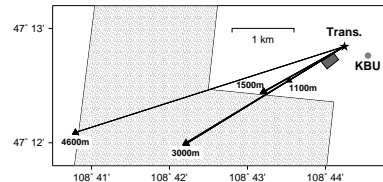


図 1: KBU 村付近の地図。シンチロメータの設置位置と渦相関法ステーションをそれぞれ三角、星印で記している。

る。ここで、元の C_n^2 は送信機と受信機のパス間の平均であるので、得られる顕熱フラックスもパス間の平均である。シンチロメータの原理、および C_n^2 から H の計算方法については、Asanuma and Iemoto (2007)、およびその参考文献を参照されたい。

従来のシンチロメータはレーザーを用いることから、そのパス間距離は数百メートルであったが、近年実用化された大口径シンチロメータ (LAS) は、LED ディスクを光源とし、最長 5km 程度のパス間距離をとることが可能であり、より広域の顕熱フラックスを計測することができる。

3. 観測

RAISE 集中観測は、2003年夏期、6月から7月にわたってモンゴル国ヘルレン川上中流域を対象に行われた (Sugita et al., 2007)。期間中、モンゴル国の Kherlen 川流域の Kherlen-Bayaan-Ulan (KBU) 村付近の草原において、大口径シンチロメータを用いた観測が行われた。使用したシンチロメータは、独 Scintec 社の BLS900 である。880nm の近赤外光を用い、500m~5000m のパス長さをとることができる。KBU 村郊外に設置された微気象ステーションの横に送信機を設置し固定した。一方、受信機は、様々なパス配置をとることができるよう移動式とし、毎日異なったパス間距離で計測を行った (図 1 参照)。センサー高さは 2.6m である。結果として、パス長さは 1100, 1500, 3000, 4500m の 4 通りで、計 15 日間の観測が得られた。検証用として、微気象ス

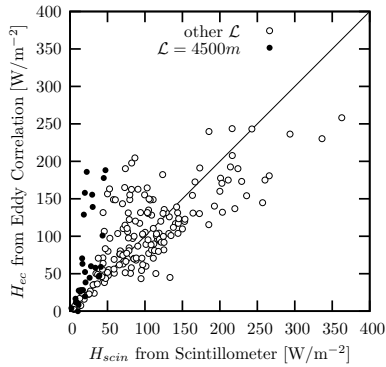


図 2: シンチロメータと渦相関法の比較.

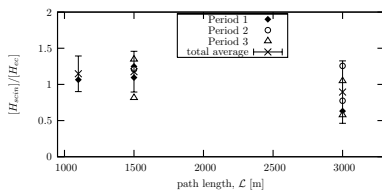


図 3: H_{scin} の日平均と H_{ec} の比をパス長さ L に対してプロットしたもの. 異なる印は異なる期間, エラーバーは全期間の平均周りの標準偏差を表す.

テーションで観測された渦相関法での観測値を用いるとともに、航空機観測による地表面放射温度観測値を用いる。

4. 解析結果

図 2 は、シンチロメータによる顕熱フラックス H_{scin} と渦相関法による顕熱フラックス H_{ec} の比較である。パス長さ $L = 4500$ m においては、明らかにシンチロメータが過小評価となっているが、これは蜃気楼によるものと考えられる。それ以外のパス長さにおいては、渦相関法と同程度の顕熱フラックスが計測されており、おおむね妥当であるといえる。

図 2 のばらつきが何に起因するかを調べるため、 H_{scin} , H_{ec} ともに日平均をとり、その比をパス長さに対してプロットしたものが図 3 である。季節によってばらつきはあるものの、大まかな傾向としては $L = 3000$ m の時に、 $L = 1100, 1500$ に比べて H_{scin}/H_{ec} が小さくなっていることがわかる。

これは、図 4 にハッチで示す、KBU 村付近の農地跡と関連があると考えられる。この農地跡は 90 年代に放棄されたものであるが、現在も周辺の自生草原とは異なった植生となっており、比較的植生高、植生量ともに多い。図 4 では、地表面温

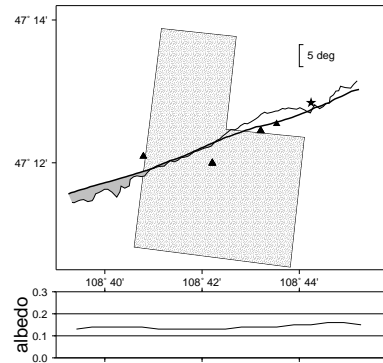


図 4: 上:航空機の飛行経路と観測された地表面放射温度(細線)。2003 年 8 月 23 日 12:50(MDT)。下: 航空機より観測されたアルベド。ハッチ部分は農地跡。

度が農地跡内で低めになっている。これは、アルベドは周囲とそれほど変わらないことから(図 4 下図)、蒸発散が多く顕熱が小さく、そのため地表面温度が低いと考えられる。よって、図 3 で $L = 3000$ m での H_{scin} が小さい傾向にあるのは、 $L = 3000$ m に対する顕熱のソースエリアに農地跡が含まれていることが原因であると推測される。

このように、シンチロメータによって計測された顕熱フラックスは、数キロメートルスケールのソースエリアに含まれる様々な土地被覆での大気-地表面相互作用の結果を反映している可能性が示された。シンチロメータの有効性を示すものである。

謝辞

本研究は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業「水の循環系モデリングと利用システム」による RAISE プロジェクト(代表: 杉田倫明)、および科学研究費補助金(基盤 C、代表: 浅沼)の研究成果である。

キーワード: 蒸発散, 地表面熱収支, 地表面フラックス

参考文献

- Asanuma, J. and Iemoto, K. (2007): *J. Hydrol.*, **333**, pp. 58–67
- Sugita, M., Asanuma, J., Tsujimura, M., Mariko, S., Lu, M., Kimura, F., Azzaya, D., and Adyasuren, T. (2007): *J. Hydrol.*, **333**, pp. 3–20
- 浅沼順・玉川一郎・檜山哲哉・松島大 (2003): 水文・水資源学会誌, **16**(2), pp. 183–192