

森林樹冠上での気象観測による顕熱輸送量推定法の比較

— 鹿北流域試験地での集中観測より —

森林総合研究所九州支所 清水 貴範・清水 晃
宮縁 育夫・小川 泰浩

1. はじめに

森林地の熱収支に関して、特にその日変化に着目して解析を行うには、気象観測に基づいて個々の熱収支構成要素を算出する必要がある。乱流変動法は、熱輸送の駆動力である乱流を直接測定して、熱フラックスを算出することが出来るが、観測データに高精度を要するため、森林樹冠上で長期に安定してデータを取得するのが難しい。また、最も基本的な乱流変動測器である超音波風速温度計(以下、SAT)について風洞実験した結果、SATのセンサー自体が風速を減衰させてしまう影響があることが確認されており¹⁾、野外観測でもその影響を考慮する必要がある。それに対して、有効放射量 $R_n - G$ (R_n : 純放射量, G : 地中熱流量) を顕熱フラックス H (気温の勾配による熱輸送量) と潜熱フラックス λE (水蒸気による熱輸送量) に分配するボーエン比法は、①気温・水蒸気の拡散係数が等しい②外部からの熱の移流が無い、という仮定こそあるが、2高度の温湿度の勾配から熱収支を推定できる、安定且つ簡便な方法である。今回は、風洞実験からSATの“センサー自体の風速減衰効果”を見積もり、その結果を暖温帯の森林流域での観測に試行するとともに、顕熱フラックス H の算出値について、ボーエン比法との比較を行ったので、ここに報告する。

2. 風洞実験と結果の樹幹上への試行

風洞実験及び野外観測には、スパン長5cmの小型SAT(カイジョー製・TR-90AH)を用いた。このSATから得られる水平風速成分は、互いに120°で交わる2つのプローブからの演算値である。また、センサー正面からの風速よりも、背後からの風速が乱される可能性が高い。

風洞実験は、九州農業試験場の開口部1m×1m、長さ2.5mの風洞を用いて行った。風洞内で風速とセンサーの設置角度とを様々に変化させ、隣接して設置した熱線風

速計の風速値と比較した。SATの1対のセンサーでの観測風速を U_m 、その方向の真の風速を U 、1対のセンサーを結ぶ直線に対する風向を θ とすると、センサー自体の風速の減衰率は以下のような数式で表現できる。

$$U_i / U_m = f(\theta, U_m) = 1 / \{ C + (1 - C) \cdot \sin^{1.5} \theta \}$$

$$C = 0.6 + 0.04U_m \quad (U_m < 3.6)$$

$$C = 0.744 \quad (U_m \geq 3.6) \quad (1)$$

ここで θ は $\theta = \cos^{-1} \{ U_m / S \}$ (S : 全風速のスカラー値) であり、繰り返し計算を2回行うことで算出する。また、背後からの風速については $V \cdot Ho$ をそれぞれ風速計に対する吹き上げ角・背後からの水平風向(deg) とすると、 $V / 25 + Ho / 60 < 1$ のとき

$$U_i / U_m' = 1 / \{ C' + (1 - C') \cdot (V / 25 + Ho / 60) \}$$

$$U_m' + ; \text{式(1)で補正した風速, } C' = 0.739$$

と見積もった。

以上で得られた補正式の森林樹冠上への試行は、清水ら²⁾が畑地に用いたのと同様に以下の方法で行った。

(1)式を $f(\theta, U_m) = \{ 1 + g(\theta, U_m) \}$ と表すと、風洞実験での補正式から得られる補正量 ΔU は $\Delta U = \{ g(\theta, U_m) \} \cdot U_m$ である。そこで野外観測での補正式を

$$\{ 1 + k \cdot [g(\theta, U_m)] \} \quad (2)$$

と表し、(1)式の k を0(無補正)~1(完全補正: 風洞での補正式と同じ補正)に変化させ、 k の値に応じて観測風速を補正して比較・解析を行った。

3. 観測法

鉛直方向の風速変動成分を w' 、物質の変動成分を X' とすると、その物質の単位時間・単位面積当たりの流量、すなわちフラックス ϕ は、 $\phi = C < w' X' >$ と表される。 C は係数、 $< >$ は概ね5~30分程度の時間平均値を表す。今回の観測での平均化時間は約13分とした。上式で X として水平風速 u をとると運動量フラックス τ が、気温 T をとると顕熱フラックス H が得られる。その際 $\tau = \rho < -$

$u'w' >$, $H = \rho c_p < w'T' >$ (ρ : 空気密度, c_p : 空気の比熱) と表される。

ボーエン比法に関しては、樹冠上2高度間の温湿度観測から得られる気温 T_1 , T_2 及び水蒸気圧 e_1 , e_2 からボーエン比 β は以下のように得られる。

$$\beta = \gamma \cdot (e_1 - e_2) / (T_1 - T_2)$$

γ は乾湿計定数で、 $\gamma \approx 0.667$ である。上記 β を用いると、顕熱フラックス H は以下のように算出できる。

$$H = (R_n - G) / (1 + 1/\beta)$$

以上の方法から得られる H を以降の比較に用いた。

4. 結果及び考察

森林樹冠上での気象観測は、熊本県北部の鹿北流域試験地Ⅲ号沢内の気象観測塔を用いて行われた。試験地では、従来からボーエン比法による熱収支観測が行われ、一定の成果を挙げている³⁾。これと同期させてSATによる乱流変動観測を1998年3月8日~9日に行った。観測期間の天気は概ね晴天であった。表-1に気象測器の配置と、これらの測器から得られるデータについて示す。SATを用いて取得した気温・風速の変動値から乱流変動法による τ と H が、2高度の気温・湿度データからはボーエン比 β が得られる。解析は、まずSATから得られた観

測風速を、(2)式の係数 k の値を変化させて補正し、それに基づいて τ 及び H を算出して比較した。 $k=0$ (無補正), $k=0.6$, $k=1$ (完全補正) とした場合の τ , H の算出値の相違を、図-1(a), (b)に示す。 τ の算出は k の値に従って大きくなる傾向があるが、 H の算出値にはほとんど影響を与えないことが分かる。そこで、 $k=0$ として乱流変動法から算出した H と、ボーエン比法によって算出した H との比較を行った(図-2)。その結果、両者の日変化の波形は概ね一致したが、その値にはピーク時を除いてかなりの誤差が生じた。こうした誤差の原因としては、①測定原理の違い ②測器自体のエラーなどが考えられる。①については地形傾斜や測器の設置高度、②については結露や微振動によるSATの不調、などが関係していると考えられる。今後さらに比較観測を行って原因を明らかにするとともに、乱流変動データの処理方法に反映させていく必要がある。

引用文献

- (1) Hanafusa ほか: 気象研究所報告, 33, 1~19, 1982
- (2) 清水 晃ほか: 日林九支研論, 47, 225~226, 1994
- (3) 清水貴範ほか: 98水水文資源学会要旨集, 102~103, 1998

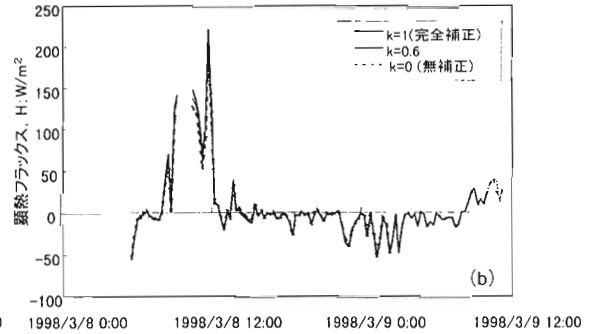
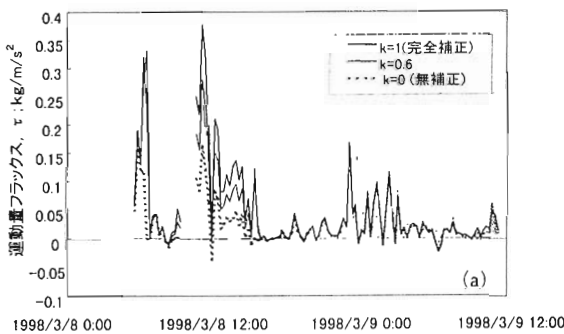


図-1 補正係数の違いによる乱流変動法から算出される運動量(a)・顕熱(b)フラックスの差異

表-1 観測機器の配置

観測機器	設置高度	解析に用いるデータ
超音波風速 温度計(SAT)	21.5m	水平風速・鉛直風速・ 気温の変動成分 (u' , w' , T')
通風乾湿計	24m, 21m	2高度の気温・ 水蒸気量 (T_1 , T_2 , e_1 , e_2)
放射収支計	22.4m	純放射量(R_n)
熱流板	-0.01m	地中熱流量(G)

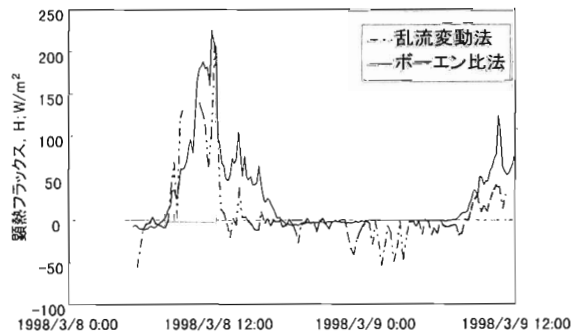


図-2 算出される顕熱フラックスの測定法による違い