

熱収支を基礎とした最適化手法による潜熱と顕熱フラックスの分離

— 1 高度の気温, 湿度を利用したバルク法に基づく実蒸発散量の推定 —

Reciprocal Determination of Sensible and Latent Heat Fluxes
Based on Heat Balance Approach

○丸山利輔, 瀬川学

○Toshisuke Maruyama, Manabu Segawa

本研究は, 熱収支を前提に気温, 湿度, 風速の実測値を使って, バルク法の構成要素である地表面温度と粗度長を逆推定し, 実蒸発散量を求める方法を提案したものである. このような方法は, 既往の文献検索の限りでは全く新しい考え方である. この報告は, 昨年度の報告に続くものであるが, 特に解の一意性を重視した一般解と使いやすさを重視した簡易解に対して研究した結果を報告する.

1. 研究の方法

本研究のモデルとして Fig.1 を考える. 純放射 R_n は, 地中 G , 顕熱 H , 潜熱 IE フラックスとして消費される. 本研究では, R_n, G は測定値を使う. 地表面温度 T_s , バルク係数 C_H, C_E が既知でない限り算定できない H, IE を気温, 湿度, 風速の実測値から求めることが本研究の課題である. 熱収支の基本式は次のように表現できる. ただし, 3 項が H , 第 4 項が IE であり, バルク法では, C_H, C_E は (2) 式で定義される. また, 既往の研究から $Z_0 > Z_T > Z_Q$ とし $Z_0 = 0.1\text{m}$ とおく. この条件で, (1) 式の ε が 0 となるよう, T_s, Z_T, Z_Q を探索する. 分析は日単位の資料で行う.

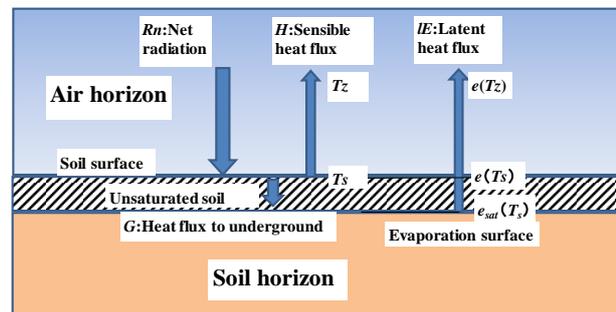


Fig.1 熱フラックスの流れと使用した記号
Flow of heat flux and symbols used

$$R_n - G - \rho C_p C_H (T_s - T_z) U_z - l \rho C_E [q_{sat}(T_s) - q(T_z)] U_z = \varepsilon \quad (1)$$

$$C_H = \frac{\kappa^2}{\text{Ln}\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \text{Ln}\left(\frac{z-d}{z_T}\right)} \quad C_E = \frac{\kappa^2}{\text{Ln}\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \text{Ln}\left(\frac{z-d}{z_Q}\right)} \quad (2)$$

一般法: (1) 式に (2) 式を代入しても, T_s, Z_T, Z_Q の 3 つの未知数が含まれ, 解の自由度が 2 つ残り, 未知数は同定できない. そこで, (1) 式と同様の式を連続した 2 日間の資料にも当てはめ, 3 つの連立方程式を解く. このとき 3 日間の T_s, Z_T, Z_Q は等しく置く. この解は, 誤差面 ε が複雑であるので, Evolutionally という Algorithm を使う.

*石川県立大学 Ishikawa Prefectural University

キーワード: 渦相関法, バルク係数, 最適同定, 解の一意性, ボーエン比

簡易法：一般法では誤差を最小にすることを目的にしているが、ゼロにすることは原則出来ない。そこで一意性はなくても、(1)式単独で、目的関数をゼロにする解を求める。この方法を簡易法と呼ぶ。これには GRG(General Reduced Gradient) という最適化の手法を用いる。Evolutionally も GRG も Excel Solver に装着されている。この方法の妥当性は、実測値との比較によって判定する。

実測値との比較は、次の3地点で行った。(1)石川県林業試験場 (Site1)：長波放射による地表温度の測定をおこなっており T_s の実測値とした。(2)筑波大学環境動態研究センター (Site2)：渦相関法により顕熱フラックスの測定を行っており、これを IE の実測値とした。(3)農業環境技術研究所 (Site3)：長波放射による地表温度と Bowen 比法による H, LE の測定が行われており、これを実測値とした。

2. 研究結果

一般法は、 T_s については、Site1, Site3, IE については、Site2, Site3 とも再現性は良かった (Fig.2)。簡易法についても同様に、 T_s については、Site1, Site3, IE については、Site2, Site3 とも再現性は良かった。さらに、一般法と簡易法の結果を直接比較した結果、両者は T_s, LE ともに良く一致し、実用上は、いずれの方法を使っても良いことが分かった。従って、収束性の良い、簡易法を使うのが良い結論した。一意性の保障されない簡易法が、一般法とほぼ同様な結果が得られるのは、収束に対する変数の感度の差によると考えられる。収束に対して、 T_s の感度が Z_T, Z_Q に比較して、圧倒的に大きく、あたかも T_s のみによって収束する傾向がみられた。

3. 結論

この方法が認知されれば、これまで係数決定困難で使えなかったバルク法 Penman-Monteith 法が観測困難で精度の得がたい Bowen 比法、渦相関法に変わって、実蒸発散が求められることになり、その影響はきわめて大きい。少なくとも、これまで使われている、上記の方法のチェックに使ったり、観測密度の低い地点の蒸発散の補完に活用することが出来て有用である。

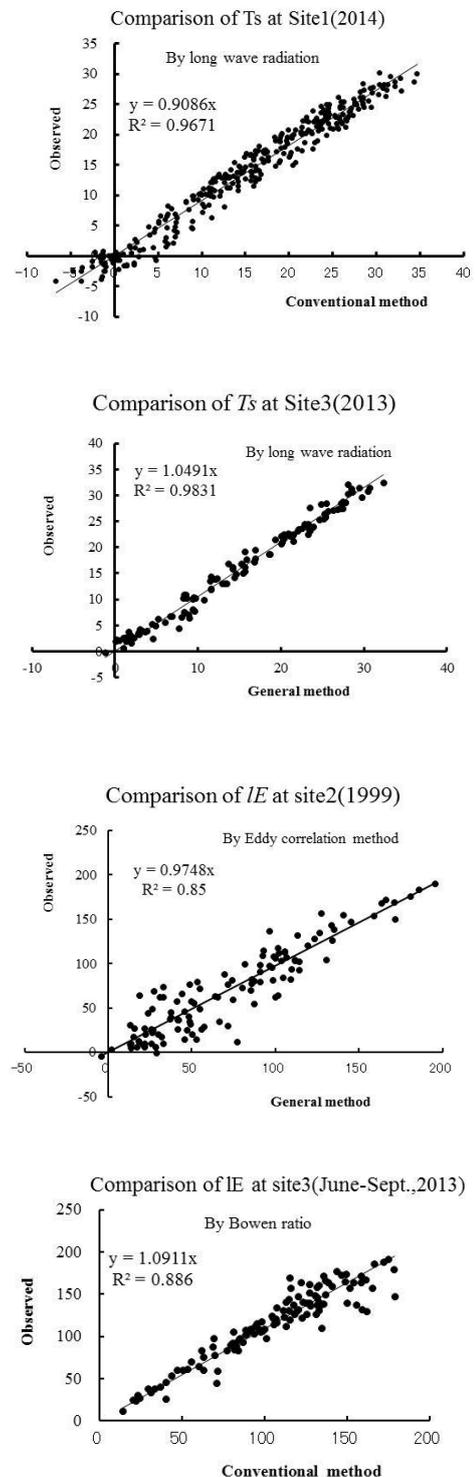


Fig.2 実測値と推定値の比較
Comparison of observed and estimated