

純放射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

-非積雪期におけるバルク法に基づく実蒸発量の推定-

Partitioning of latent and sensible heat flux by optimization based on net radiation

- Estimation of actual evapotranspiration based on Bulk Transfer Method-

丸山利輔、瀧本裕士

Toshisuke Maruyama Hiroshi Takimoto

本研究は、熱収支式を前提に非線形最適化手法を使って日単位にバルク法の構成要素である粗度長と地表面温度を逆同定し、これを通じて潜熱と顕熱フラックスを分離して、蒸発量を推定する方法を提案したものである。この方法をまず、ペンマン法と同じ条件に適用し、本法とペンマン法がよく一致することを確認した上、同法では不明であった地表面温度を使って、修正ペンマン法とも称する方法を提案した。次に、この推定実蒸発量を筑波大学で実測している実蒸発量と比較し、よく一致することから本研究の考え方が正しいことを確認した。

2. 研究の方法

2.1 研究の基本的考え方

本研究のモデルとして、Fig. 1 に示すような構成を考える。まず、大気から受けた純放射は、顕熱、潜熱、および地中熱伝達に配分される。地表面温度を  $T_s$  とし、大気中の観測点の気温を  $T_z$ 、水蒸気圧を  $e(T_z)$  とする。また、土壌中の蒸発面の水蒸気圧を  $e(T_s)$  と表わし、 $T_s$  の関数とする。潜熱フラックスを求めるとき、蒸発による水蒸気移動を、地表部と地下部に分け、地下部について土壌水分不足と植物による減率蒸発を表現する。このような減率蒸発の考え方は、ペンマン・モンティースが採用している。

また、潜熱フラックスのバルク係数 ( $C_{1E}$ )と顕熱フラックスのバルク係数 ( $C_H$ )と同等とする。ただし、土壌中の気-液界面(蒸発面)における温度は、顕熱フラックスの計算時の地表面温度  $T_s$  と同等とし、これに対応する飽和水蒸気圧が土壌中の気-液界面で発生していると考える。

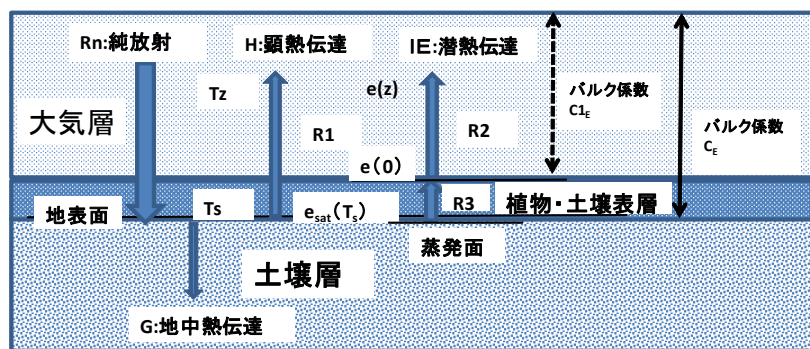


Fig.1 熱収支構成要素と本法で使用した記号

2.2 潜熱顕熱を最適決定するための基礎式

$$Rn - G - \rho C_p C_H (T_s - T_z) U_z - l \rho C_E \left( \frac{0.622}{P} \right) [e(T_s) - e(z)] U_z = \varepsilon$$

ここに、 $R_n$ :純放射フラックス( $W/m^2$ )、 $G$ :地中熱フラックス( $W/m^2$ )、 $H$ :顕熱フラックス( $W/m^2$ )、 $1E$ :潜熱フラックス( $W/m^2$ )、 $l$ :蒸発潜熱 ( $2500.8-2.366Tz(kJ/kg)$ )、 $\rho$ :空気の密度( $kg/m^3$ )、 $C_p$ :空気の定圧比熱  $1.004kJ/kg/K$ 、 $C_H$ : 顕熱バルク係数、 $C_{1E}$ :大気中の潜熱バルク係数、 $C_E$ : 全層の潜熱バルク係数  $p$ :大気圧 (hPa)、 $e(0)$ :地表の水蒸気圧 (hPa)、 $e(z)$ :高さ  $z$  の水蒸気圧 (hPa)、 $U_z$ :高さ  $z(m)$ の風速 (m/sec)、 $e(T_s)$ :温度  $T_s$  に対する水蒸気圧 (hPa)、 $d$ :地面修正量(m)、 $Z_0$ 、 $Z_T$ 、 $Z_q$ :それぞれ風速、気温、比湿に対する粗度長

### 3 分析結果

#### 3.1 ペンマンの方法に基づく検討(Fig.2)

ペンマン法と本法の比較を図に示した。両者の関係はこのように誤差 1.2%、重相関係数 0.981 となり、きわめてよく一致した。ペンマン法は地表面温度が不明なために、気温に対する飽和水蒸気圧勾配を地表面の水蒸気圧勾配と仮定している。この点で、本法は修正ペンマン法の一つということができる。

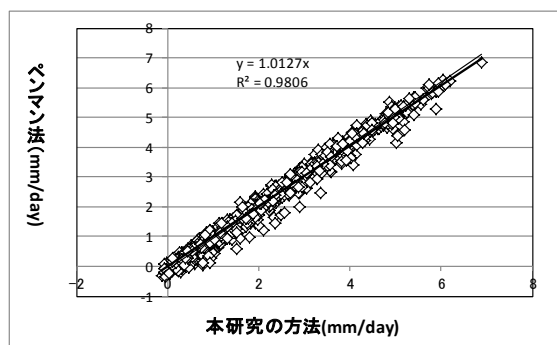


Fig.2 ペンマン法と本法の比較

#### 3.2 本法による推定実蒸発散量と熱収支法による実蒸発散量の比較 (Fig.3)

筑波大学アイソトープ環境動態研究センター環境動態予測部門では水文・気象観測値を公表している。この資料では純放射、地中熱、渦相関法により顕熱フラックスが計測されているので、熱収支関係を使うと潜熱フラックスを求めることが出来る。本研究では、この潜熱フラックスを実蒸発散量の実測値とする。この値と本研究で求めた推定実蒸発散量とを比較し、本研究の妥当性を検証する。この結果、実測潜熱と推定潜熱フラックスは Fig.3 に示すようによく一致した。参考までに顕熱の分配も示した。

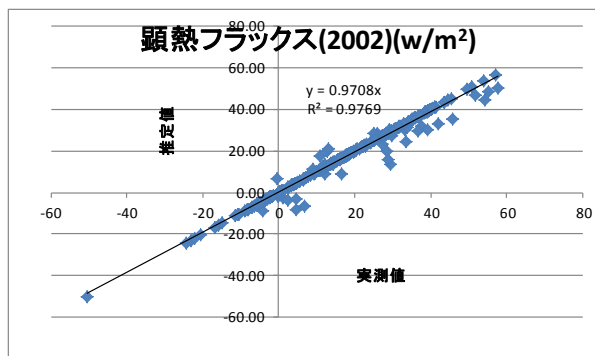
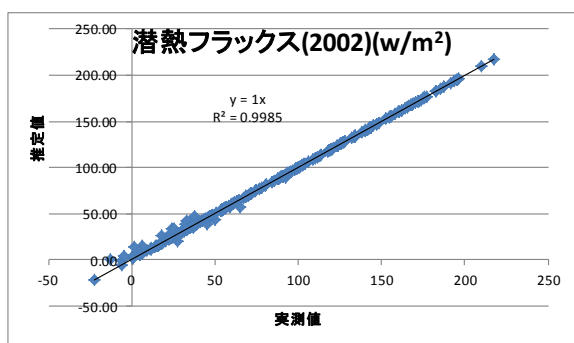


Fig.3 潜熱・顕熱フラックスの実測値と推定値の比較

実蒸発散量を測定、あるいは推定する際に、バルク法では 1 高度の気温と湿度が測定されていれば実用可能であるが、地表面温度の測定が困難なために実際に利用困難な面がある。本法によれば純放射と 1 高度の気温と湿度が測定されていれば利用できるのできわめて便利と考える。本報告の概要は、農業農村工学会、水文・水環境研究部会で報告している。