

ペンマン型蒸発散量推定式における有効長波放射量推定式の検討

Net Longwave Radiation Equation on Penman Type Evapotranspiration Equation in Japan

松井 宏之
MATSUI Hiroyuki

1. はじめに

蒸発散量の推定には Penman 式や Penman-Monteith 式など Penman 型推定式が広く用いられている。Penman 型推定式は日射項と空力項から構成され、日射項は全天日射量から有効長波放射量を差し引いた純放射量から計算される。この際、有効長波放射量は観測地点がきわめて限定されるため、文献に記載されている式をそのまま用いることが多い。本研究では、館野（つくば）での観測結果から有効長波放射量を求め、既存の 3 つの有効長波放射推定式による算出値と比較した。なお、使用する気象データは気象庁年報に収録されたものを用いた。

2. 有効長波放射量推定式

ペンマン型蒸発散量推定式において、地表面の有効長波放射量は式(1) (Brunt, 1932) により求められる。

$$R_{nl} = R_l \uparrow - R_l \downarrow = \varepsilon_{bulk} \cdot \sigma \cdot (T_{k,max}^4 + T_{k,min}^4) / 2 \quad (1)$$

R_{nl} : 有効長波放射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), $R_l \uparrow$, $R_l \downarrow$: 上向き (下向き) の長波放射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$),
 f_{cld} : 雲の効果を表す係数, σ : ステファン・ボルツマン定数 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1} \text{ K}^{-4}$),
 ε_{bulk} : 地表面の射出率－大気の射出率, $T_{k,max}$, $T_{k,min}$: 日最高気温, 日最低気温 (K)

Penman (1948) は, ε_{bulk} (地表面の射出率－大気の射出率) が蒸気圧, 日照率の影響を受けるとして, 英国国内と考えられる観測値をもとに係数を同定し, ε_{bulk} に式(2)を用いている。

$$\varepsilon_{bulk} = (a_1 + b_1 \sqrt{e_a}) \cdot (a + b \cdot n/N) = (0.56 - 0.25 \sqrt{e_a}) \cdot (0.1 + 0.9 \cdot n/N) \quad (2)$$

e_a : 蒸気圧 (kPa), n : 日照時間 (h), N : 可照時間 (h), a_1 , b_1 , a , b : 係数

Doorenbos and Pruitt (1977) は, 全天日射量が観測されている場合の ε_{bulk} の式として式(3)を, 全天日射量が観測されておらず, 日照時間のみ観測されている場合の ε_{bulk} の式として式(4)を提案している。式(3), 式(4)の係数はいずれも米国 California 州 Davis で同定されている。また, 式(3), 式(4)は式(5)で表される Angstrom 式により同一の式である。

$$\varepsilon_{bulk} = (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \cdot (1.35 \cdot R_s / R_{so} - 0.35) \quad (3)$$

R_{so} : 快晴時の全天日射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), R_s : 全天日射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

$$\varepsilon_{bulk} = (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \cdot (0.9 \cdot n/N + 0.1) \quad (4)$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \cdot n/N) \cdot R_a \quad (5)$$

式(2), 式(3), 式(4)を式(1)に代入し, それぞれを $R_{nl}(\text{Pen})$ 式, $R_{nl}(\text{FAO56})$ 式, $R_{nl}(\text{FAO24})$ 式とする。

3. 有効長波放射量推定式の推定精度

推定結果 館野（つくば）では, 上向き長波放射量 $R_l \uparrow$, 下向き長波放射量 $R_l \downarrow$ が観測されており, 両者の差 ($R_l \uparrow - R_l \downarrow$) から有効長波放射量 L_{net} を求めることができる。上向きの長波放射は土壌水分の影響を受けること, ならびに Penman 型蒸発散推定式では, 土壌水分が十分にある状態を前提としていることから, 前日の日降水量が 30mm 以上あったときの観測値のみを対象とした。1996

年から 2005 年までの 10 年間を対象としたところ、条件を満足するのは 70 日分であった。この 70 日のデータを対象として、3 つの推定式による有効長波放射量と観測された有効長波放射量 L_{net} を比較した。比較結果を図 1 に示す。

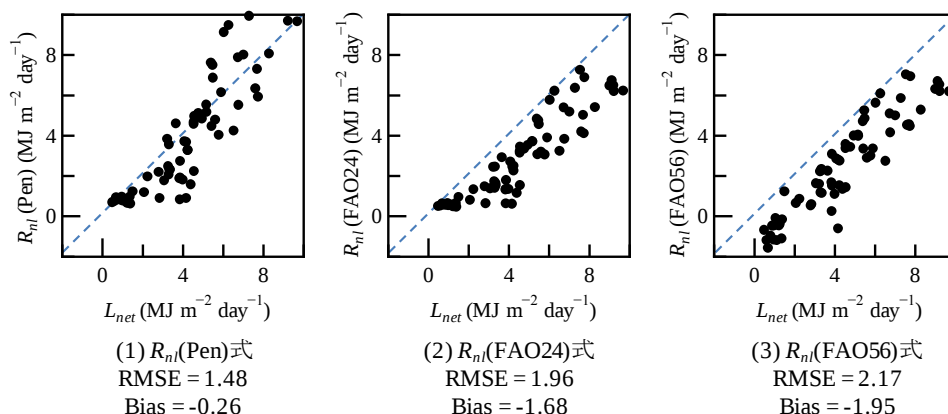


図 1 有効長波放射量推定式の推定結果
Calculated net longwave radiation of each equation
Unit: RMSE ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), Bias ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

$R_{nl}(\text{Pen})$ 式の推定精度が最も高く、順に $R_{nl}(\text{FAO24})$ 式、 $R_{nl}(\text{FAO56})$ 式となっていることがわかる。式形は共通していることから、推定精度に違いが生じたのは、係数の同定場所が異なるためである。つまり、FAO の 2 式の係数が Davis, CA で同定されているのに対して、 $R_{nl}(\text{Pen})$ 式の係数が英国国内で同定されている。今回対象とした館野が 2 カ所の比較では英国国内に近かったため、 $R_{nl}(\text{Pen})$ 式の推定精度が高くなったものと考えられる。

また、 $R_{nl}(\text{FAO56})$ 式を用いると、有効長波放射量が負の値となることがあることがわかる。これは、 R_s/R_{so} が $0.35/1.35 \approx 0.26$ 未満となったときに式(3)の右辺第 2 項が負となるためであり、 $R_{nl}(\text{FAO56})$ 式を用いる FAO-56 Penman Monteith 式 (Allen et al., 1998) を利用するには注意が必要である。
期別推定結果 図 1 に示した結果を FAO-56 Penman Monteith 式に基づく基準蒸発散量に与える影響に換算し、2 ヶ月ごとに整理したものを図 2 に示す。

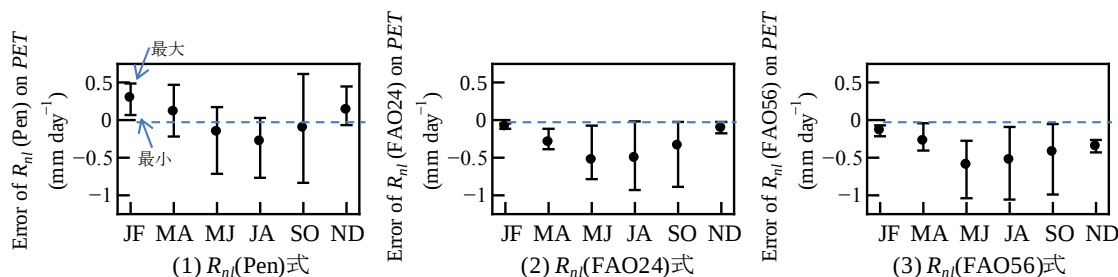


図 2 有効長波放射の推定誤差が基準蒸発散量に与える影響
Effect of estimation error of net longwave radiation on referential ET value

いずれの式も、夏季の基準蒸発散量を過小評価する傾向があることがわかる。図 2 の結果をもとに年基準蒸発散量への影響を概算すると、FAO の 2 式では 100mm 強の過大評価、 $R_{nl}(\text{Pen})$ 式では寒候期の過小評価と暖候期の過大評価が相殺され、ほぼゼロとなる。

5. まとめ

今回は館野の観測結果をもとに有効長波放射量推定式の精度について検討した。今後は、全国各地での長波放射の観測結果を整理し、我が国の蒸発散量に対する Penman 型推定式の精度を向上させる必要がある。

【引用文献】 Allen et al. (1998): Crop evapotranspiration, FAO, Brunt (1932): Physical and dynamics meteorology, Camb. Univ. Press, Doorenbos and Pruitt (1977): Crop water requirements, FAO, Penman (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass, Proc. Roy. Soc. Lond., A193