

世界の正味の長波放射量と同じ係数で推定することは妥当か
Validity of General Net Long Wave Radiation Equation with the Identical Coefficients

○松井 宏之*, 勝元 修平*
MATSUI Hiroyuki, KATSUMOTO Shuhei

1. はじめに

実用的に蒸発散量を求める式として Penman 型蒸発散量推定式がある。この式中の正味の長波放射量は、気温、大気の射出率と雲に関わる項から求められ、一般的に英国国内で同定した Penman の式や米国の Davis で同定した FAO24 式、FAO56 式で算出される。松井 (2010) は館野 (つくば市) を対象として Penman の式と比較して、FAO24 式や FAO56 式を用いると、可能蒸発散量を 100mm 強過大評価することを示した。本研究では、より多くの地点を対象とするため、BSRN (Baseline Surface Radiation Network) に登録されている観測所での観測データを用いて、正味の長波放射量を推定する既存式の係数の汎用性について検証する。

2. 長波放射量推定式

2.1 正味の長波放射量推定式

正味の長波放射量推定式には Penman (Penman (1948), 式 (1)), FAO24 (Doorenbos et al (1977), 式 (2)), FAO56 (Allen et al. (1998), 式 (3)) の 3 式がある。

$$R_{nl}(\text{Penman}) = \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot (0.56 - 0.25\sqrt{e_a}) \cdot (0.9 \cdot \frac{n}{N} + 0.1) \quad (1)$$

$$R_{nl}(\text{FAO24}) = \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \cdot (0.9 \cdot \frac{n}{N} + 0.1) \quad (2)$$

$$R_{nl}(\text{FAO56}) = \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \cdot \left(1.35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right) \quad (3)$$

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{K}^{-4}$), T_{\max} , T_{\min} : 日最高気温, 日最低気温 (K),
 e_a : 蒸気圧 (kPa), n , N : 日照時間, 可照時間 (h), R_s , R_{so} : 全天日射量, 快晴日の全天日射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$)

2.2 下向き長波放射量推定式

式 (1) ~ 式 (3) の精度を検証するには、上向き/下向き長波放射量、気温、蒸気圧 (あるいは湿度)、日照時間あるいは全天日射量の観測データが必要となる。しかしながら、上向き長波放射量を観測している観測所が限られるのに加えて、推定に必要な気象データを全て観測している観測所、あるいは近傍の気象観測所のデータで補完できる観測所がある BSRN の観測所は、館野、Payerne (スイス) に限られる。

そこで、多くの BSRN 観測所で観測されている下向き長波放射量に着目した。下向き長波放射量の推定式にはいくつかあるが、ここでは式 (3) と同形の式 (4) を導き、推定に用いた。

$$R_{ld} = R_{nl} - R_{lu} = \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot \varepsilon \cdot f_{cld} = \sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (T_{\max}^4 + T_{\min}^4) \cdot (a + b\sqrt{e_a}) \cdot \left(c \cdot \frac{R_s}{R_{so}} + (1-c)\right) \quad (4)$$

R_{ld} : 下向き長波放射量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), ε : 大気の射出率 (-), f_{cld} : 雲の効果 (-), a , b , c : 係数 (-)
蒸気圧を含む項は快晴日の大気からの射出率を表す Brunt 式と同一であり, (R_s/R_{so}) を含む項は雲の効果を表す項となっている。

対象地点および係数の同定 対象観測所は全 18 観測所 (Fig.1) であり、ケッペンの気候区分では

*宇都宮大学農学部 Faculty of Agriculture キーワード: 長波放射量, 射出率, Penman 式

熱帯雨林 3, サバナ 1, 砂漠 2, ステップ 2, 温暖湿潤 5, 西岸海洋性 4, 冷帯湿潤 1 となっている。

これら 18 観測所を対象として観測所毎に, RMSE を最小化するように, 快晴日 (日照率 0.9 以上) の Brunt 式の係数 a 、 b を決めた後に, 雲の効果を表す項の係数 c を同定した。

係数 a , b 蒸気圧と快晴日の大気の射出率の関係を Fig.2 に示す。両者の関係を表す Brunt 式の係数 a の平均は 0.61 ± 0.08 , 係数 b の平均は 0.14 ± 0.06 となった。こうして同定された係数を用いたときの快晴日の下向き長波放射量の推定誤差 RMSE の平均は $0.71 \pm 0.19 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ となった。また, Fig.2 に示した全対象地点の全データを対象として回帰式を求めると, a_0 が 0.61, b_0 が 0.24 となった。

係数 a と b の関係を Fig.3 に示す。両係数の関係を表すプロットが直線に分布しており, 気候区分毎の観測所数が限られるものの, 気候区分毎に比較的近傍にまとまる傾向があることが分かる。

Fig.3 中の ● は, 式 (1) で用いられている係数に基づいている。式 (1) の同定は英国内と考えられるにもかかわらず, 熱帯雨林に区分される観測所がプロットされる領域に位置している。このことから, 式 (1) に用いられる係数は, 下向き長波放射量に基づいた係数ではないことが推察される。

係数 c (R_s/R_{so}) と雲の効果を表す係数 f_{cl} の関係を Fig.4 に示す。係数 c の平均は -0.23 ± 0.08 となり, 同定された係数を用いたときの下向き長波放射量の RMSE の平均は $1.05 \pm 0.24 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$ となった。また, Fig.4 に示した全対象地点の全データを対象として回帰式を求めると, c_0 は -0.23 となった。

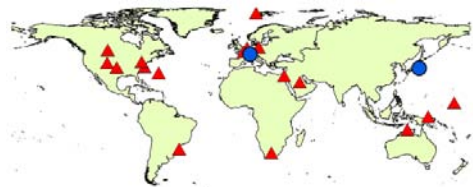
c についても, a , b と同様に, 気候区分毎に比較的近い値になる傾向が見られた。

3. おわりに

上向き長波放射量は便宜上気温から一義的に求められることから, 正味の長波放射量推定式の係数は下向き長波放射量の推定式の係数に規定される。今回の下向き長波放射量推定式の係数に関する結果から, 正味の長波放射量推定式の係数が気候的な影響を反映している可能性が高いことが分かった。

【引用文献】

Allen et al. (1998) : FAO ID 56, Doorenbos et al. (1977) : FAO ID 24, Penman (1948) : Proc of the Royal Soc of London, Ser.A., Mathematical and Physical Sciences, 193, 120-145, 松井宏之 (2010) : 農業農村工学会論文集, 270, 95-100



● upward and downward, ▲ downward
Fig.1 BSRN stations in this study

- Bermuda ▲ Lindenberg ▶ Sede Boqer
- Boulder ▲ Momote ▶ Solar Village
- Cabauw ▼ Palaiseau Cedex + Tateno
- Darwin ▼ Payenne × Kwalalein
- De Aar ▲ Regina ■ Nauru Island
- ◇ Florianopolis ◀ S Great Hains ▲ Chesapeake Light

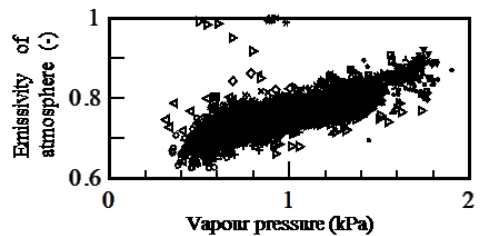


Fig.2 Relationship between emissivity and vapour pressure at 18 stations

- ▽ 熱帯雨林 + 砂漠 ○ 温暖湿潤 ◀ 冷帯湿潤
- △ サバナ □ ステップ ◇ 西岸海洋性 (● Penman)

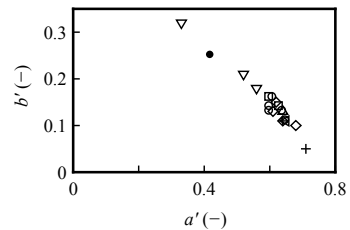


Fig.3 Relationship between a and b

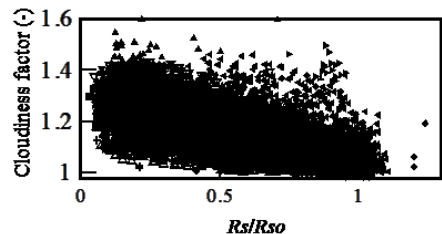


Fig.4 Relationship between cloudiness factor and R_s/R_{so} at 18 stations