

温度法による基準蒸発散量の推定と検証

Estimation and Verification of Reference Evapotranspiration Using Temperature Methods

○小早川直也・諸泉利嗣・三浦健志

KOBAYAKAWA Naoya・MOROIZUMI Toshitsugu・MIURA Takeshi

1. はじめに

FAO（国連食糧農業機関）では、灌漑計画の基準蒸発散量算定に FAO Penman-Monteith 式の使用を推奨している。この式は、気温、湿度、風速、日照時間の気象データを必要とするため、気象観測の設備が整っていない地域では、この式に必要なデータが揃うとは限らない。本研究では、気温のみで可能蒸発散量を推定できる温度法（Hamon 式と Thornthwaite 式）を用いて FAO Penman-Monteith 式の基準蒸発散量を推定できるように、温度法において経験的な定数を提案することを目的とする。

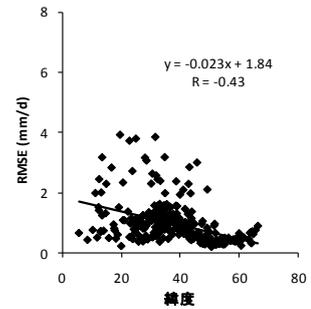


図 1 緯度と RMSE の関係
(Hamon 式)
Relationship between latitude
and RMSE (Hamon equation)

2. 研究期間・対象地点

1996～2000 年までを地域係数の同定期間、2001～2005 年までを推定精度検証期間とした。対象地点は世界の 281 点とした。

3. 蒸発散量推定式について

本研究で使用した蒸発散量推定式を以下に示す。FAO Penman-Monteith 式と比較する温度法として Hamon 式，Thornthwaite 式を選択した。

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}, \quad E_H = 0.14D_0^2 P_t, \quad E_T = 0.533 \cdot D_0(10T/J)^a$$

ET_0 : FAO Penman-Monteith 式による基準蒸発散量(mm/d), E_H : Hamon 式による蒸発散量(mm/d)
 E_T : Thornthwaite 式による蒸発散量(mm/d), R_n : 純放射量(MJ/m²/d), G : 地中熱伝導量(MJ/m²/d), T : 日平均気温(°C)
 u_2 : 地表面からの高さ 2m での風速(m/s), e_s : 飽和水蒸気圧(kPa), e_a : 水蒸気圧(kPa)
 Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配(kPa/°C), γ : 乾湿計定数(kPa/°C), D_0 : 日照時間(12hour/d を 1 とする)
 P_t : 月平均気温(°C)に対する飽和絶対湿度(g/m³), J, a : 気温に関する関数

4. 結果と考察

温度法による FAO Penman-Monteith 式の基準蒸発散量の推定精度を検証するために、RMSE（二乗平均平方根誤差）を使用した。図 1 は全対象地点における緯度と RMSE の関係を Hamon 式について示したものである。低緯度，中緯度において RMSE が大きく，これらの地域では、気温のみで基準蒸発散量を推定することは困難だと考えられる。結果の一例として，大阪においての各式による蒸発散量の経時変化を図 2 に示す。Hamon 式による蒸発散量は，夏場は FAO Penman-Monteith 式の蒸発散量と同程度の値をとるが，冬場に FAO Penman-Monteith 式よりも

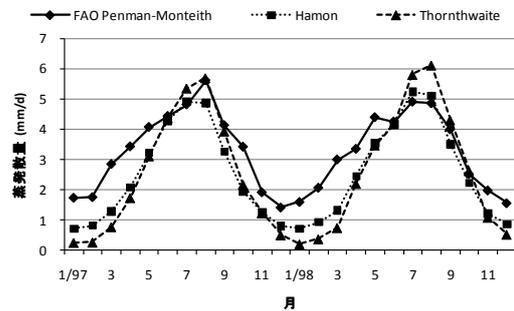


図 2 各式による蒸発散量の経時変化（大阪）
Evapotranspiration change in each equation (Osaka)

岡山大学大学院環境学研究科 Graduate School of Environmental Science, Okayama Univ.

キーワード：基準蒸発散量，FAO Penman-Monteith 式，可能蒸発散量

過小に推定する傾向がある。Thorntwaite 式についても、冬場に FAO Penman-Monteith 式よりも過小に推定する傾向がある。また、夏場には FAO Penman-Monteith 式よりも過大に推定する傾向がある。Hamon 式と FAO Penman-Monteith 式の蒸発散量の比較を図 3 に示す。回帰直線の傾きは 0.78, y 切片は 1.23 となり、これが地域係数となる。大阪における補正前後の FAO Penman-Monteith 式と Hamon 式との蒸発散量の比較結果を図 4 に示す。補正を行ったことにより、ほぼ一対一直線上にのっている。表 1 は地域係数による RMSE の平均値の違いを比較したものである。各対象地点の地域係数を使用した場合、Hamon 式では補正前の 0.96mm/d から補正後の 0.50mm/d へと約 48%, Thorntwaite 式では補正前の 1.18mm/d から補正後の 0.57mm/d へと約 52%RMSE を減少させることができた。また、補正前後の RMSE について両側 t 検定を行ったところ、両式とも補正前後で有意水準 1 %以下の有意差が見られた。以上の結果から、補正を行うことにより温度法を用いて FAO Penman-Monteith 式の基準蒸発散量の推定精度を向上させることができたといえる。

表 2 は、対象地点をケッペンの気候区分を用いて分類し、各分類の地域係数の平均値と、全地点の地域係数の平均値をまとめたものである。これらの地域係数を用いて補正を行い、RMSE の比較を行った。表 1 を見てみると、気候区分の平均値を用いた場合は補正前よりも RMSE を小さくできていることから、気候区分平均の地域係数はある程度有効であるといえる。また、全地点の平均値の地域係数を使用した場合よりも RMSE を小さくできていることが分かる。

5. おわりに

本研究では、世界の 281 地点の地域係数を提案し、温度法に地域係数を用いることにより温度法による FAO Penman-Monteith 式の基準蒸発散量の推定精度を向上させることができた。また、気候区分における地域係数の平均値を用いることにより、温度法による FAO Penman-Monteith 式の基準蒸発散量の推定精度が向上することがわかった。今回の対象地点以外で、気候区分毎の地域係数による補正を行い、精度の向上が確認できれば、より広い範囲での適用が可能になる。気候区分の地域係数を使用するには、さらに検証する必要がある。

参考文献：1) FAO Irrigation and Drainage Paper No.56, Crop Evapotranspiration

2)永井明博, 1993: Makkink 式による計器蒸発量の推定と考察, 水文・水資源学会誌, Vol.6.No.3, pp238-243

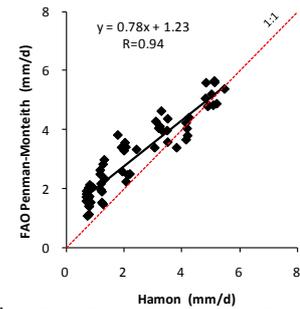


図 3 FAO Penman-Monteith 式と Hamon 式の比較 (大阪 1996~2000)

Comparison of FAO Penman-Monteith equation and Hamon equation

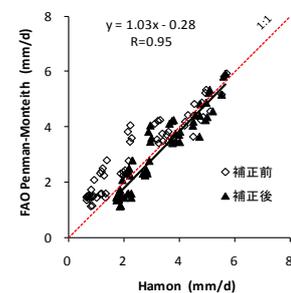


図 4 FAO Penman-Monteith 式と Hamon 式の比較 (大阪 2001~2005)

Comparison of FAO Penman-Monteith equation and Hamon equation

表 1 地域係数による RMSE の違い
Difference of RMSE in each region coefficient

	Hamon式	Thorntwaite式
補正前	0.96±0.70	1.18±0.76
全地点平均	0.87±0.50	1.04±0.56
気候区分平均	0.79±0.43	0.96±0.63
各対象地点の地域係数	0.50±0.27	0.57±0.26
	Ave.±S.D.	

表 2 気候区分毎の地域係数の平均値
Average of region coefficient in each climatic division

	Hamon式		Thorntwaite式	
	a	b	a	b
熱帯	0.963	0.759	0.494	1.969
乾燥帯	1.120	1.223	0.816	1.939
温帯	0.966	0.636	0.819	0.924
冷帯	0.931	0.380	0.758	0.629
寒帯	0.632	0.386	0.138	0.716
全地点平均	0.986	0.689	0.768	1.127