

補完関係式を用いた実蒸発散量推定の特徴

Characteristics of the complementary relationship-based evapotranspiration Models

○中道丈史・諸泉利嗣・三浦健志

NAKAMICHI Takeshi・MOROIZUMI Toshitsugu・MIURA Takeshi

1. はじめに

補完関係式を用いた実蒸発散量推定式(以下, 補完法)は AMeDAS 等の一般気象資料から実蒸発散量を推定でき, 広域蒸発散量の推定に適している。補完法には複数のモデルがあり, これまでに多くの適用例, 報告がされてきた。しかし, 現時点では広域実蒸発散量推定手法としての完全な確立には至っておらず, これには推定モデルの更なる検証, 解析が必要であると考えられる。本研究では複数のモデルを用い, 都市を含めた日本の複数の地点で実蒸発散量を推定するとともに, 推定結果を用いた重回帰分析により各モデルの特徴を整理した。

2. 推定モデル

以下に示す MAA(Modified Advection-Aridity)モデル(大槻ら, 1984b)と CRAE(Complementary Relationship Areal Evapotranspiration)モデル(Morton, 1978)を用いて実蒸発散量を推定した。また, 参考として Penman 式による可能蒸発量も求めた。

$$E_{MAA} = 1.52 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{(R_n + M)}{\ell} - \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u_2) \cdot (e_{sa} - e_a), \quad E_{CRAE} = 2\phi \frac{(R_n' + M)}{\ell} - \left\{ \frac{\Delta}{\Delta + \lambda} \cdot \frac{R_n'}{\ell} + \frac{\lambda}{\Delta + \lambda} \cdot \frac{F}{\ell} \cdot (e_{sa} - e_a) \right\}$$

$$E_{pen} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\ell} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u_2) \cdot (e_{sa} - e_a), \quad E_{MAA} \leq E_{pen}, \quad E_{CRAE} \leq E_{pen}$$

E_{MAA}, E_{CRAE} : MAA, CRAE モデルによる実蒸発散量推定値 (mm/day), E_{pen} : Penman の可能蒸発量 (mm/day),

R_n : Penman の純放射量推定値 (MJ/m²/day), M : 移流項 (MJ/m²/day), ℓ : 蒸発潜熱 (MJ/kg), ϕ : エネルギー荷重係数

Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配 (hPa/°C), λ : 熱輸送係数 (hPa/°C), F : 水蒸気輸送係数 (MJ/m²/hPa), e_{sa} : 飽和水蒸気圧 (hPa)

e_a : 水蒸気圧 (hPa), R_n' : CRAE モデルの純放射量推定値 (MJ/m²/day), γ : 乾湿計定数 (hPa/°C), $f(u_2)$: 風速関数 (MJ/m²/hPa)

MAA モデルは AA モデル(Brutsaert and Stricker, 1979)に大槻ら(1984b)が移流項 M を取り入れ, 改良したものである。いずれの式もアルベドにより地表面被覆を考慮した。

3. 推定地点と期間

推定地点を図 1 に示す。都市-郊外の AMeDAS 観測所 6 組 12 地点で推定を行った。これらの地点では推定モデルに必要な気象要素(気温・湿度・風速・日照時間・雲量)を観測している。都市や郊外の具体的な定義はないが, ここでは観測所を中心とした半径 5km の土地利用を衛星画像解析により市街地, 森林・林, 田畑・裸地の 3 種類に分類し, 市街地の割合が半分以上のものを都市, その他を郊外と定義した。各地点の土地利用割合を表 1 に示す。推定期間は 2000 年とした。

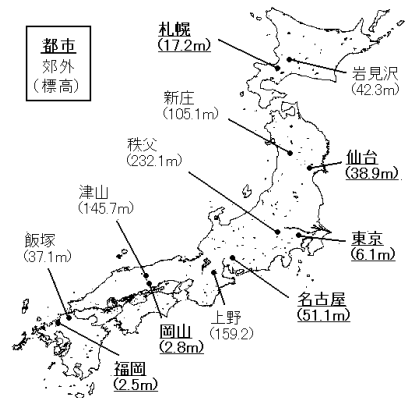


図 1 推定地点の位置

Location of estimation points

4. 推定結果

東京と秩父の推定結果を図 2 に示す。土地利用により推定値は異なり, 水域で大きく市街地で小さいが, これはアルベドの違いによるものである。秩父(郊外)では手法毎の差は小さいが, 東

表 1 各地点の土地利用割合

Land use percentage in each point

都市	市街地	森林・林	田畑・裸地	郊外	市街地	森林・林	田畑・裸地
札幌	0.58	0.25	0.17	岩見沢	0.27	0.45	0.27
仙台	0.65	0.14	0.21	新庄	0.24	0.47	0.29
東京	0.76	0.14	0.10	秩父	0.20	0.63	0.16
名古屋	0.72	0.15	0.13	上野	0.31	0.46	0.23
岡山	0.65	0.20	0.15	津山	0.16	0.59	0.26
福岡	0.80	0.11	0.09	飯塚	0.42	0.34	0.24

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

キーワード: 補完関係式, 実蒸発散, 可能蒸発散, 水収支

京(都市)では大きい。同様の傾向は他の地点でも見られた。Penman 式は水域や湿潤面からの実蒸発散量を良く推定するため(大槻ら, 1984a), 補完法は都市の水域や緑地帯(常緑樹)からの蒸発散量を過小推定している。表 2 は各地点の土地利用割合と図 2 の推定結果から求めた観測所周辺の実蒸発散量である。MAA モデルや CRAE モデルでは郊外に比べ都市の推定値は小さい。逆に Penman 式は都市で大きくなった。MAA モデルと CRAE モデルでは, 都市の実蒸発散量推定値に約 200~300mm/year の差がある。都市と郊外の実蒸発散量推定値に有意な差があるかを t 検定したところ, CRAE モデル, Penman 式は有意水準 5%で, MAA モデルは有意水準 1%で差があると判定された。一般的に都市はアスファルトなどの不透透面積が多く, 蒸発散量は小さくなる(例えば浅沼ら, 2004)。MAA モデルは特にこの傾向を捉えている。

5. 重回帰分析

気象要素を説明変数とした各手法の重回帰分析結果を表 3~5 に示す。補完法と Penman 式では飽差と風速で逆の相関が見られた。また, CRAE モデルは MAA モデルに比べ, 蒸発散量に対する気象要素(飽差を除く)の寄与が大きい。CRAE モデルは風速を必要としないため, MAA モデルに比べ偏相関係数はかなり小さく, ほぼ 0 となった。都市と郊外の気象要素に有意な差があるかを t 検定したところ, 都市は郊外に比べ気温と飽差が有意に大きいと判定された。従って, 都市部で補完法と Penman 式に大きな差が見られたのは, 飽差が大きいことが要因である。CRAE モデルは MAA モデルより飽差から受ける負の影響が大きいにも関わらず都市の推定値は大きい, これは手法の違いによる本来の差が出たと言える。即ち, 飽差以外の寄与は CRAE モデルの方が大きく, 飽差の負を打ち消して余りあるため, 都市の地域蒸発散量は CRAE モデルの方がかなり大きくなった。郊外で差が小さいのは, Penman 式の値が小さく, $E_{CRAE} \leq E_{pen}$ の制限がかかるためである。

6. おわりに

補完法を全国の代表的な都市-郊外に適用した結果, 郊外では手法毎の推定値の差は小さいが, 都市部では手法毎に大きな差が生じた。都市部では MAA モデルが比較的妥当な実蒸発散量の推定ができる。しかし, Penman 式との比較から, 都市の水域や緑地帯では蒸発散量を過小評価しており, 適切な推定にはこの点を改善する必要がある。

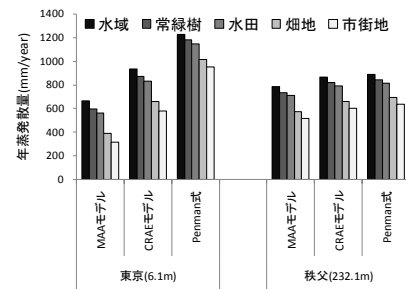


図 2 年蒸発散量推定結果

Result of estimating annual evapotranspiration

表 2 各地点の地域蒸発散量
Areal evapotranspiration in each point

	MAAモデル	CRAEモデル	Penman式
札幌	419	540	607
仙台	421	629	770
東京	373	637	999
名古屋	490	773	975
岡山	467	693	957
福岡	511	700	966
岩見沢	484	567	594
新庄	567	644	695
秩父	676	761	787
上野	667	782	853
津山	742	816	840
飯塚	658	820	896

単位は mm/year

表 3 MAA モデルの重回帰分析結果
Result of multiple regression analysis (MAA)

MAAモデル	回帰係数	偏相関係数	P値	判定
気温	0.122	0.678	0.000	**
飽差	-0.139	-0.319	0.000	**
風速	-0.217	-0.237	0.000	**
日照時間	0.606	0.649	0.000	**
雲量	0.453	0.542	0.000	**
定数項	-4.663		0.000	**

表 4 CRAE モデルの重回帰分析結果
Result of multiple regression analysis (CRAE)

CRAEモデル	回帰係数	偏相関係数	P値	判定
気温	0.145	0.664	0.000	**
飽差	-0.293	-0.499	0.000	**
風速	-0.066	-0.060	0.480	
日照時間	0.994	0.751	0.000	**
雲量	0.682	0.620	0.000	**
定数項	-7.214		0.000	**

表 5 Penman 式の重回帰分析結果
Result of multiple regression analysis (Penman)

Penman式	回帰係数	偏相関係数	P値	判定
気温	0.087	0.697	0.000	**
飽差	0.066	0.231	0.006	**
風速	0.170	0.271	0.001	**
日照時間	0.490	0.715	0.000	**
雲量	0.296	0.530	0.000	**
定数項	-3.967		0.000	**

**1%有意 *5%有意

参考文献 : 1) Brutsaert, W. and Stricker, H. (1979): Water Resour. Res., 15(2), pp. 443-450

2) Morton, F. I. (1978): Journal of Hydrology, 38, pp. 1-32 3) 浅沼ら (2004): 天気, 51, pp. 17-28

4) 大槻ら (1984a): 農土論集, 111, pp95-103

5) 大槻ら (1984b): 農土論集, 112, pp. 17-23