

日本における蒸発散量の長期変動解析 Trends of evapotranspiration in Japan

小早川直也*・○諸泉利嗣**・三浦健志**

KOBAYAKAWA Naoya・MOROIZUMI Toshitsugu・MIURA Takeshi

1. はじめに 近年の地球温暖化は気候変動を促進し、水循環過程に影響を及ぼすことが懸念される。気候変動に伴い水循環がどのように変動するかを調べることは、防災や水資源利用の計画を立てる際に重要である。水循環の一要素である蒸発散量については、長期的な実測データが少ないため、長期的変動についての議論が少ない。本研究では、気象データから蒸発散量を推定し、そのトレンドを分析するとともに、蒸発散量と気象要素との関係を調べ、蒸発散量に長期的な変動傾向がある場合、その要因について検討した。

2. 対象地点と解析期間 本研究の対象地点を図1に示す。蒸発散量の計算に必要な気象データが長期間そろっており、都市化の影響が比較的小さいとされている17地点を対象とした。1951～2010年の60年間のデータを解析した。

3. 蒸発散量推定式

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

$$ET_o = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_{sa} - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

$$E_{MAA} = 2 \cdot 1.26 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{(R_n + M)}{\ell} - \left\{ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{(R_n + M)}{\ell} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u_2)(e_{sa} - e_a) \right\}$$

E_{pen} : Penmanの可能蒸発量(mm d⁻¹), ET_o : FAO Penman-Monteith(FAO56)式の基準蒸発散量(mm d⁻¹), E_{MAA} : Modified Advection-Aridity(MAA)モデルの実蒸発散量(mm d⁻¹), Δ : 飽和水蒸気圧曲線の勾配(hPa °C⁻¹), γ : 乾湿計定数(hPa °C⁻¹), R_n : 純放射量(MJ m⁻² d⁻¹), ℓ : 水の蒸発潜熱(MJ kg⁻¹), $f(u_2)(e_{sa} - e_a)$: ダルトン型蒸発量推定式(mm d⁻¹), e_{sa} : 飽和水蒸気圧(hPa), e_a : 水蒸気圧(hPa), T : 平均気温(°C), u_2 : 地表面からの高さ2mの風速, M : 移流項(MJ m⁻² d⁻¹) ただし FAO56 式の圧力の単位は kPa とする。

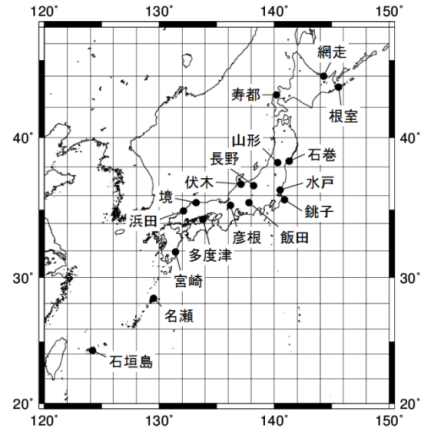


図1 解析対象地点
17 locations around the Japan in this study

表1 蒸発散量の線形トレンド

Linear trends for evapotranspiration

地点	Penman	FAO56	MAA
網走	0.48	1.15	-0.11
根室	1.03	1.67	-0.94
寿都	-3.98	-0.79	4.88
山形	0.92	0.87	-0.36
石巻	1.54	1.62	-2.69
伏木	0.67	0.82	-1.16
長野	0.41	0.67	-1.58
水戸	0.81	0.95	0.70
飯田*	1.20	1.07	0.29
銚子	0.12	0.28	2.86
境	-0.38	-0.09	-0.54
浜田	-0.16	0.15	1.24
彦根	1.45	1.42	-0.69
宮崎*	1.44	1.61	-1.21
多度津	1.08	1.57	-1.47
名瀬	-1.60	-1.35	1.21
石垣島	0.62	0.99	-1.40

* 解析期間に観測所の移転あり
また、**太字+下線**、**太字**はそれぞれ、検定によって判別された有意水準1%、5%のトレンドを示す。

* 岡山大学大学院環境学研究所 Graduate School of Environmental Science, Okayama Univ. , ** 岡山大学大学院環境生命科学研究科 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama Univ.

キーワード: 可能蒸発量, 基準蒸発散量, 実蒸発散量, 地球温暖化, 長期変動

4. 年蒸発散量のトレンド

年蒸発散量のトレンドを表1に示す。Penman式とFAO56式の蒸発散量は、多くの地点で増加傾向を示した。トレンドの統計的有意性を調べるために、t検定を行った結果、増加傾向を示した13地点の内、8地点が有意水準5%以下で有意であると判別された。Penman式とFAO56式の蒸発散量が有意な減少傾向を示したのは、寿都、名瀬の2地点のみであった。Penman式、FAO56式の蒸発散量は全国的に増加傾向を示すことがわかった。一方、MAAモデルの蒸発散量は、減少傾向を示す地点が多いことがわかる。これは、MAAモデルが可能蒸発量と実蒸発量の補完関係を定式化したモデルであることから、妥当な結果であると考えられる。

蒸発散量と相関が高い気象要素の線形トレンドを表2に示す。全国的に、平均気温は上昇傾向を示し、相対湿度は減少傾向を示した。この結果、飽和水蒸気圧が上昇し、水蒸気圧が減少したため、飽差が増加傾向を示した。飽差はPenman式、FAO56式の蒸発散量と高い正の相関を持っている。さらに、トレンドの値が他の気象要素に比べて大きいことから、飽差の増加は、Penman式、FAO56式の蒸発散量の増加に大きく影響したと考えられる。一方、寿都、名瀬でPenman式、FAO56式の蒸発散量が減少傾向を示した要因としては、日照時間の減少が挙げられる。日照時間の減少により純放射量が減少し、このことが飽差の増加に比べて相対的に強く影響し、蒸発散量の減少を引き起こしたと考えられる。

5. 各月の蒸発散量のトレンド

Penman式、FAO56式の年蒸発散量は、多くの地点で増加傾向を示した。しかし、月ごとに蒸発散量のトレンドを求めた結果、年蒸発散量が有意な増加傾向を示す地点でも、減少傾向を示す月があることがわかった。例えば、Penman式では、6月に多くの地点で増加傾向を示した(図2下)。また、4月、9月、10月という季節の変わり目となる月でも、増加傾向を示す地点が多かった。これらの月では、日照時間、純放射量が増加傾向にあり、蒸発散量が増加傾向を示した要因であると考えられる。これに対して、12月、1月、2月の冬場では多くの地点で減少傾向を示した(図2上)。また、一年を通して増加傾向を示す地点でも、月によりトレンドの値にばらつきがあることがわかった。MAAモデルの蒸発散量は7月、8月に多くの地点で減少傾向を示した。4月、10月は比較的、増加傾向を示す地点が多かった。

6. まとめ

日本の17地点を対象とし、1951~2010年の60年間の蒸発散量の長期変動解析を行った。飽差の増加により、Penman式、FAO56式の蒸発散量が増加傾向であることがわかった。一方、MAAモデルの蒸発散量は、減少傾向を示し、補完関係の概念をよく表す結果となった。この期間では、降水量が減少傾向を示す地点が多く、これを土壤水分量の減少ととらえれば、妥当な結果であると考えられる。月ごとの解析では、季節により変動の傾向が異なることがわかった。

表2 気象要素の線形トレンド

Linear trends for meteorological factor

地点	平均気温	相対湿度	飽差	日照時間
網走	0.21	-1.00	4.39	0.53
根室	0.17	-0.75	3.87	0.64
寿都	0.12	-0.83	2.78	-1.69
山形	0.20	-0.80	3.90	0.37
石巻	0.13	-1.17	4.84	-0.08
伏木	0.14	-1.04	4.05	-0.31
長野	0.18	-1.12	4.47	-0.74
水戸	0.17	-1.24	5.67	1.53
飯田*	0.17	-0.76	3.72	1.44
銚子	0.12	0.08	0.44	2.21
境	0.16	-0.70	3.33	-1.28
浜田	0.14	0.06	0.81	0.60
彦根	0.20	-1.17	5.41	0.63
宮崎*	0.23	-1.78	6.87	0.75
多度津	0.21	-3.02	8.99	0.67
名瀬	0.12	-0.75	3.00	-0.84
石垣島	0.16	-1.60	6.29	-0.09

* 解析期間に観測所の移転あり

また、太字+下線、太字はそれぞれ、t検定によって判別された有意水準1%、5%のトレンドを示す。

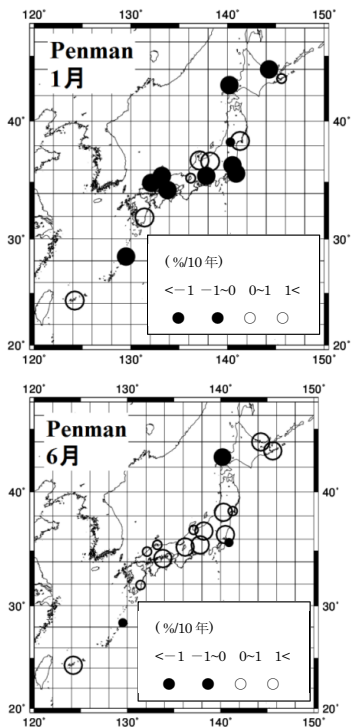


図2 Penman式による蒸発散量のトレンド(上)1月、(下)6月
Linear trends for evaporation by the Penman equation