

わが国における過去 30 年間のパン蒸発の長期トレンドについて

筑波大学陸域環境研究センター 浅沼 順
長岡技術科学大学大学院エネルギー・環境工学専攻 上米良秀行

1. はじめに

地球規模の気候変動において、水資源利用という立場からは、気候変動に伴って起ると考えられる水循環の各素過程の変動の検証・予測が重要である。水循環素過程の中で、定常観測が一般的に行われている降雨量の長期変動については、すでに多くの研究が行われている。その一方で、蒸発散量に関しては、定常観測の例が多くなく、長期的な時系列解析の例は少ない。しかしながら近年、長期間の観測が行われているパン蒸発計のデータに着目し、これを実蒸発散量のインデックスとして扱う研究が見られるようになった。

Peterson et al. (1995) は、世界中の多くの地域でパン蒸発量が減少しており、これはそれぞれの地域での実蒸発量が減少している証拠であるとしている。これに対し、Brutsaert and Parlange (1998) は、パン蒸発量と実蒸発量の補完関係を用いれば、パン蒸発量の減少は実蒸発量の増加を意味していると主張し、また実蒸発量の増加は全球的に報告されている降水量増加とも矛盾しないとした。以後、彼らの考え方を支持する論文がいくつか発表されている (Lawrimore and Peterson, 2000; Golubev et al., 2001)

本研究の最終目標とするところは、気象官署におけるパン蒸発量データの統計解析から、わが国における水循環過程の変動を探ろうというものである。

2. 解析データ

わが国の気象庁所管の気象官署におけるパン蒸発量観測は、1966 年ごろを境にそれまでの小型パン蒸発計による観測が終了した折りに、大半の観測が中止した。観測を継続した 14 地点 (図 1) では、クラス A パンに変更され現在まで観測が続けられている。よって、これらの地点での日パン蒸発量および日平均の気象要素が本研究の解析対象である。データの不連続性を避けるため、解析対象期間は 1967 年から 1996 年としている。また、北日本において、凍結のためパン蒸発観測が休止となる 11 月から 4 月を除外し、すべての地点において 5 月から 10 月の 6ヶ月を暖後期としてこの期間の平均値を取り、その年々変動を解析の対象としている。

3. 解析

14 地点の気象官署のパン蒸発量、降水量、気温、風速の暖後期平均値に時系列分析を行った。対象デー

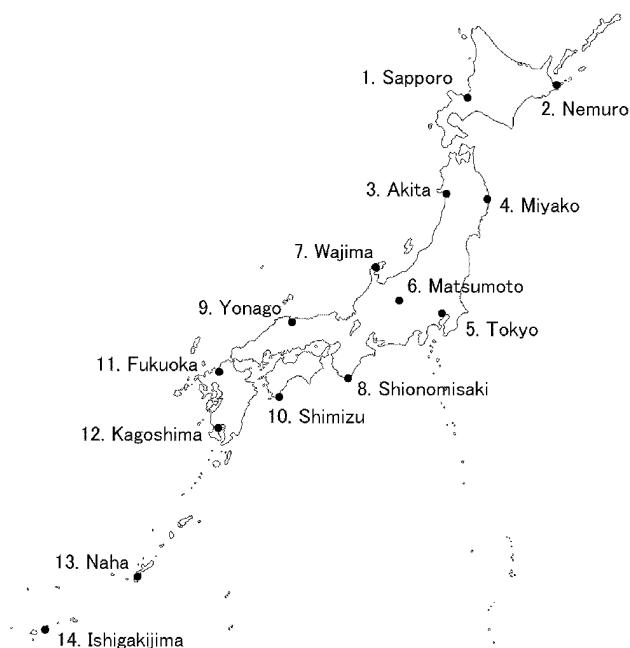


図 1: 解析対象地点

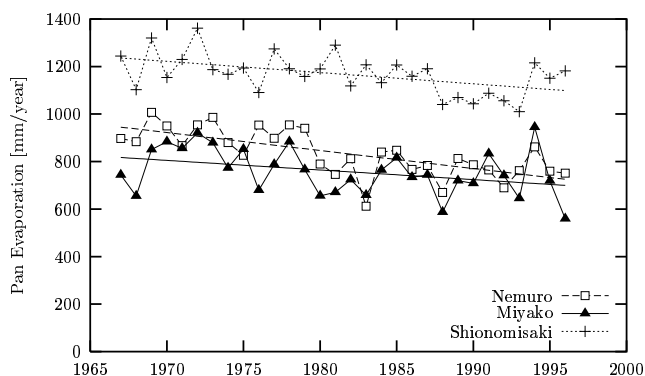


図 2: 暖後期平均パン蒸発量と回帰直線の例

タを y , 時間を t とすると

$$y = at + b \quad (1)$$

として、回帰分析により a を求める。また、 σ_a を求め $t = a/\sigma_a$ として、片側 t 検定を行った。回帰直線を求めた例を図 2 に示す。また検定の結果を表 1 に示す。表中の太字+下線および太字、下線はそれぞれ、有意水準 97.5%, 95%, 90% で、上昇あるいは減少トレンドの有意性が認められるものである。

明らかに大都市部にある官署 (東京・札幌など) では、都市気候変化の影響 (風速減少と気温増加) を明確に受けており、またパン蒸発量のトレンドは不明確である。これは、気温の上昇、粗度の増加、乾燥

表 1: 標準偏差で無次元化された各気象要素の勾配 (t 値). 太字, 下線については文章中を参照.

地点	パン蒸発量	降水量	気温	風速
札幌	-0.93	-0.89	<u>2.47</u>	<u>-1.51</u>
根室	<u>-4.97</u>	0.85	0.39	<u>2.51</u>
秋田	<u>2.05</u>	0.46	1.73	1.28
宮古	<u>-2.06</u>	0.02	-0.04	1.86
輪島	<u>-1.61</u>	-0.97	1.21	<u>5.49</u>
松本	<u>-1.63</u>	0.10	1.99	-0.72
東京	0.16	<u>1.33</u>	1.29	<u>-2.49</u>
米子	<u>-2.27</u>	-0.17	1.20	<u>-1.64</u>
潮岬	<u>-3.02</u>	-1.91	1.97	-0.75
福岡	-2.00	0.32	1.77	-0.08
鹿児島	1.17	0.39	<u>3.01</u>	-0.36
清水	<u>-2.35</u>	-0.45	<u>1.47</u>	-1.73
石垣島	-0.53	-0.62	<u>2.06</u>	<u>1.42</u>
那覇	-1.23	-1.28	<u>3.42</u>	1.73

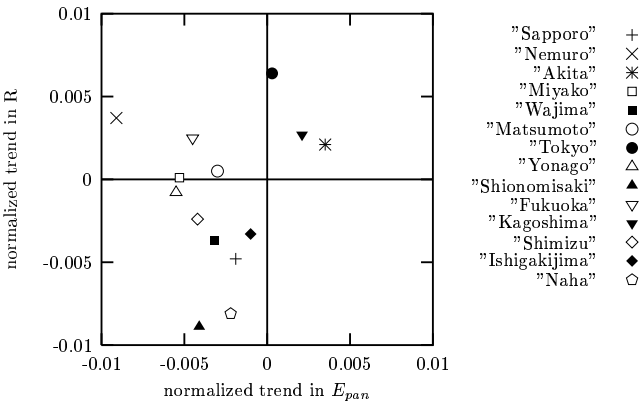


図 3: パン蒸発量と降水量のトレンドの関係

化などの複雑な要因に因るものと考えられる。ただし、これには例外 (福岡) もあることに注意が必要である。

このような事例を除けば、表 1 に挙げた結果から概ねパン蒸発量は全国的に減少していることがわかる。特に根室、宮古、潮岬、清水、米子の 5 地点で有意水準の高い減少トレンドを示した。これらのうち、4 地点 (根室、宮古、潮岬、清水) は太平洋岸に位置し、海水面温度などの海洋の影響を大きく受けている可能性も考えられる。

このような全国的なパン蒸発量の減少傾向が都市気候の局地的な影響ではなく、広い地域での水循環過程の変化をとらえているものであると考え、実蒸発量の補完関係を前提とするならば、これは全国的な実蒸発量の増加傾向を示すことになる。これは、気温の全国的な上昇傾向とも矛盾しない結果である。また、これは 1 次元的な水収支を考えれば、降水量の増加とも結び付かなければならない。しかしながら、表 1 に見られるように降水量は全国的に弱い減少傾向にあり、実蒸発散量の全国的な増加傾向とは必ずしも一致しない。

図 3 は、パン蒸発量と降水量の変動傾向をさらに調べるために、x 軸, y 軸にそれぞれ、パン蒸発量、降水量の回帰直線の傾き a をそれぞれの 30 年平均で無次元化したものを地点毎にプロットしたものである。負から正まで広い範囲を取る降水量のトレンドと主に負の値を取るパン蒸発量のトレンドに余り強い相関が無いことがわかる。

4. 考察

パン蒸発計によって計測されるパン蒸発量の物理的な意味に関しては、長い間、議論が空白のままである。計測値の物理的な意味が経験的にでも明らかになるならば、過去の長いデータの蓄積が気候の解析に一役買うことになると考えられる。その一つとして、Brutsaert and Parlange (1998) のような実蒸発量との補完関係は重要な概念である。Lawrimore and Peterson (2000) は、パン蒸発量と実蒸発量の補完関係が湿潤な地域でも成立することを報告している。

特に本研究の解析では、海洋に近い観測点におけるパン蒸発量が強い減少トレンドを示すことが明らかになった。このような、陸面と海面の境界付近やあるいは異なる土地被覆の境界付近にパン蒸発計が位置する場合、どの地表面がパン蒸発量に影響を与えるか、という微気象学的な観点＝パン蒸発計のフットプリント、といった考察もまた、重要になってくる。

また、本解析ではパラメーター検定を行ったが、取り扱っている変数が必ずしも正規分布を示すわけではない。このような場合に検定に用いられる非パラメーター検定も合わせて行う必要がある。

参考文献

Brutsaert W. and Parlange M.B. (1998): Nature, **396**, pp. 30

Golubev V., Lawrimore J., Groisman P., Speranskaya N., Zhuravin S., Menne M., Peterson T. and Malone R. (2001): Geophys. Res. Lett., **28**(13), pp. 2665–2668

Lawrimore J. and Peterson T. (2000): J. Hydrometeorol., **1**(6)

Peterson T., Golubev V. and Groisman P. (1995): Nature, **377**, pp. 687–688

キーワード 気候変動, 水資源予測, 水循環