



日本における 1961 年から 2023 年までの 可能蒸発散量と気象要素の時空間変動

青木伸輔¹・佐藤直人²・丸尾裕一³・砂川優樹⁴

Spatial-temporal variation of evapotranspiration and meteorological factors in Japan from 1961 to 2023

Shinsuke AOKI¹, Naoto SATO², Yuichi MARUO³, Yuki SUNAKAWA⁴

Abstract: Evapotranspiration is an important component of the hydrological cycle, and its trends affect water management and agricultural production. In this study, potential evapotranspiration was calculated based on meteorological data from 137 stations in Japan from 1961 to 2023 using the Penman method, and changes over time were examined for each JMA (Japan Meteorological Agency) meteorological district. The results showed that temperature, sunshine duration, and evapotranspiration tended to increase nationwide. To evaluate the characteristics of temperature, relative humidity, and evapotranspiration by region, the mean values for 1961–1963 and 2021–2023 and the differences between them are plotted on a distribution map. The results show an increasing trend of temperature and evapotranspiration over the inland areas of the Japanese islands during the 60-year period. Evapotranspiration increased by up to 300 mm per year. No increasing trend in annual precipitation was observed, suggesting that some soils may potentially become drier. On the other hand, relative humidity tended to decrease in the inland areas and increase in the coastal areas.

Key Words: evapotranspiration, soil water content, meteorological factors, Penman method, spatial-temporal variation

1. はじめに

蒸発散は水循環とエネルギー収支の重要な構成要素であり、様々なスケールで地球の気候システムを動かしている (e.g. Yang et al., 2011; Ma et al., 2019). このため、その変動は水管理や農業生産に影響を与える可能性がある。

る。たとえば、杉浦・横沢 (2004) は年平均気温の将来の変動予測からリンゴ、ウンシュウミカンとも栽培に有利な地域が北上すると予想した。また、蒸発散量は土壌水分量とも相互に作用している。Wang et al. (2021) は草地の表層土壌水分量の変動と蒸発散量との有意な正の相関を報告した。Lian et al. (2020) は気候変動に伴う植物の春の葉の展開時期の早期化が、蒸発散量の増加を通じて夏季の土壌水分量の減少を引き起こすことを解明した。一方で、土壌水分量は蒸発散の制御要因となる (Seneviratne et al., 2010; Zhou et al., 2021)。近年の局地的な豪雨や気温の上昇など、気候変動への関心は高まるばかりだが、蒸発散量の変動にも注意を払う必要がある。

地球温暖化などの気候変動の影響を理解するために、気温や降水量とともに蒸発散量も重要である。気温などの計測は比較的容易なため、長期間の記録が多量に存在する一方で、蒸発散量の測定は煩雑であり、気象要素データを解析することで蒸発散量を推定するのが一般的である。

日本国内における先行研究では岡山 (三浦, 1996)、青森 (諸泉ら, 2001)、香川 (山地ら, 1999) などの限られた地点における気象要素の長期的な変化傾向に関する研究や、沖縄地域の蒸発散量の時空間分布 (吉永ら, 2004)、1951 年から 1980 年の気象資料から推定した日本の蒸発散量 (大槻ら, 1984) などが報告されてきた。しかし、日本全土の気象要素と蒸発散量の関係を長期にわたって調べた研究は見当たらない。このため、日本国内における蒸発散量の長期変化と地域性についてはよくわかっていない。

蒸発散量の時間・空間的な変化傾向に関する研究として、Zhang et al. (2020) は人工衛星による地球観測から中国の調査地域のほとんどで蒸発散量が過去に比べて増加していること、空間的変動も増加する傾向にあることを報告した。Salam et al. (2020) はバングラデシュの気象台のデータ不足を補い、バングラデシュ国内の蒸発散量の時空間的変動を明らかにした。

¹Faculty of Agriculture, Kagawa University, 2393 Ikenobe, Miki, Kagawa, 761-0795, Japan. Corresponding author: 青木伸輔, 香川大学農学部.

²School of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita, Tama, Kawasaki, Kanagawa, 214-8571, Japan.

³Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University, Kawasaki, Japan.

⁴Graduate School of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita, Tama, Kawasaki, Kanagawa, 214-8571, Japan.

2024 年 7 月 31 日受稿 2024 年 10 月 22 日受理

気象要素の観測は気象庁が長年実施してきており、長期間の記録が公開されている。蒸発散量の推定にはさまざまな方法があるが、長期間の観測記録がある気象庁のデータを有効利用できる推定方法は、三浦・奥野 (1993a; b) が詳細に報告したペンマン式である。本研究では全国各地の気象台の観測結果を利用し、過去 60 年にわたる気象要素と可能蒸発散量の経年変化と気候変動の傾向を地域ごとに明らかにすることを試みた。

2. 実験方法

2.1 データセット

気象庁の気象官署では、気温、降水量、湿度、日照時間など多くの気象要素が観測されており、これらのデータは気象庁のホームページに公開されている。本研究ではこれらの気象観測所のうち、後述するペンマン法による可能蒸発散量の算出に必要な観測値が揃い、データの欠損期間が少ない 137 地点 (札幌管区 22 地点、仙台管区 14 地点、東京管区 41 地点、大阪管区 30 地点、福岡管区 24 地点、沖縄管区 6 地点) を解析対象とした (Fig. 1)。日照時間や平均風速の観測が一般化したのは 1961 年であったため、解析期間は 1961 年から 2023 年までの 63 年間とした。観測器の移動や、切り替えは気象庁のホームページから確認し、風速計の設置高度や設置地点 (緯度) の変更は計算に反映した。

2.2 可能蒸発散量の推定 (ペンマン法)

蒸発散量はいくつかの算出方法が報告されてきたが、比較的少ない観測項目で、かつ長期間記録されている気象官署のデータを活用できるペンマン法を本報告では用

いた。日本におけるペンマン法の計算式の適用は三浦・奥野 (1993a; b) の一連の研究に詳しい。

ペンマン式では気象台で観測されている日平均気温、日平均相対湿度、日平均風速、日積算日照時間の記録から可能蒸発散量を計算することができる。日データ (平均気温、平均相対湿度、平均風速、積算降水量、積算日照時間) を気象庁のホームページより取得し、日毎の可能蒸発散量を求めた。ペンマン法は気象データに加え観測地点の緯度、風速計の地上高さ、アルベドの値が必要である。緯度と風速計高さは変更履歴を含め、気象庁のホームページより確認した。アルベドの値は本研究同様に気象台のデータから可能蒸発散量を求めた三浦・奥野 (1993b) や吉永ら (2004) を参考に、水面における値 0.06 を用いた。

気象要素のうち、日照時間は 1986 年の 1 月 1 日に測定計器が更新され、測定基準も更新されたことから補正計算を行った。旧式の日照時間の補正には三浦・奥野 (1993b) に提案された方法で行った。

1 日の可能蒸発散量 ET_{penman} は以下のペンマン式であらわされる。

$$ET_{penman} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{l} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(u_2)(e_{sa} - e_a) \quad (1)$$

ここで Δ は温度飽和水蒸気圧曲線の勾配、 γ は乾湿計定数 0.66、 R_n は純放射量 (MJ m^{-2})、 l は水の蒸発潜熱 (MJ kg^{-2})、 $f(u_2)$ は風速関数、 u_2 は高度 2 m の風速 (m s^{-1})、 e_{sa} 、 e_a はそれぞれ飽和水蒸気圧 (hPa) と空気の水蒸気圧 (hPa) である。このうち純放射量 R_n は次式によって計算した。

$$R_n = (1 - \alpha)Q_a \left(a + \frac{b \cdot n}{N} \right) - \sigma T_a^4 (0.56 - 0.080\sqrt{e_a}) \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

ここで α は地表面のアルベド、 σ はステファン-ボルツマン定数、 Q_a は大気圏外日射量 (MJ m^{-2})、 n は日照時間 (hour)、 N は可照時間 (hour)、 T_a は気温 (K) である。 a 、 b は回帰係数で三浦・奥野 (1993a; b) はペンマンが求めた $a = 0.18$ 、 $b = 0.55$ を使用していたが、吉永ら (2004) は那覇、宮古、石垣、南大東の 4 地点の 22 年間のデータに基づいた回帰係数の平均値として $a = 0.21$ 、 $b = 0.53$ を使用した。このように対象地域によって異なることから、本研究では大槻ら (1984) が求めた全国 153 地点の平均値である $a = 0.19$ 、 $b = 0.51$ を用いた。大気圏外日射量、温度飽和水蒸気圧曲線の勾配、可照時間の算出は三浦・奥野 (1993a; b) を参考に計算した。

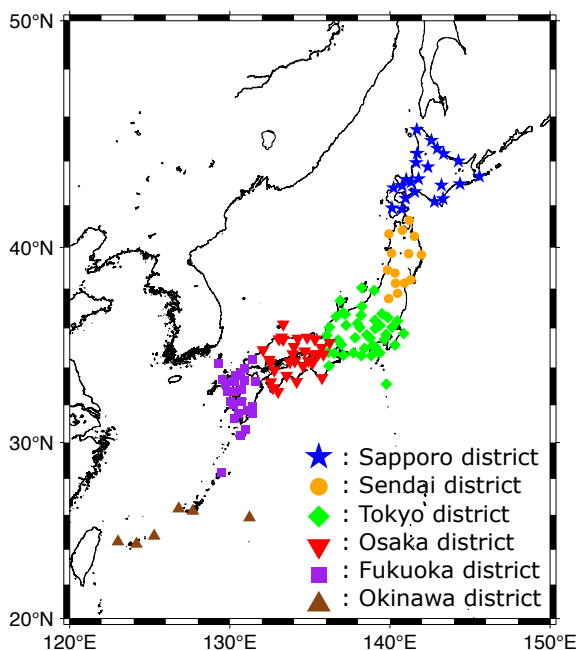


Fig. 1 気象台・気象観測所の位置。
The location of weather stations.

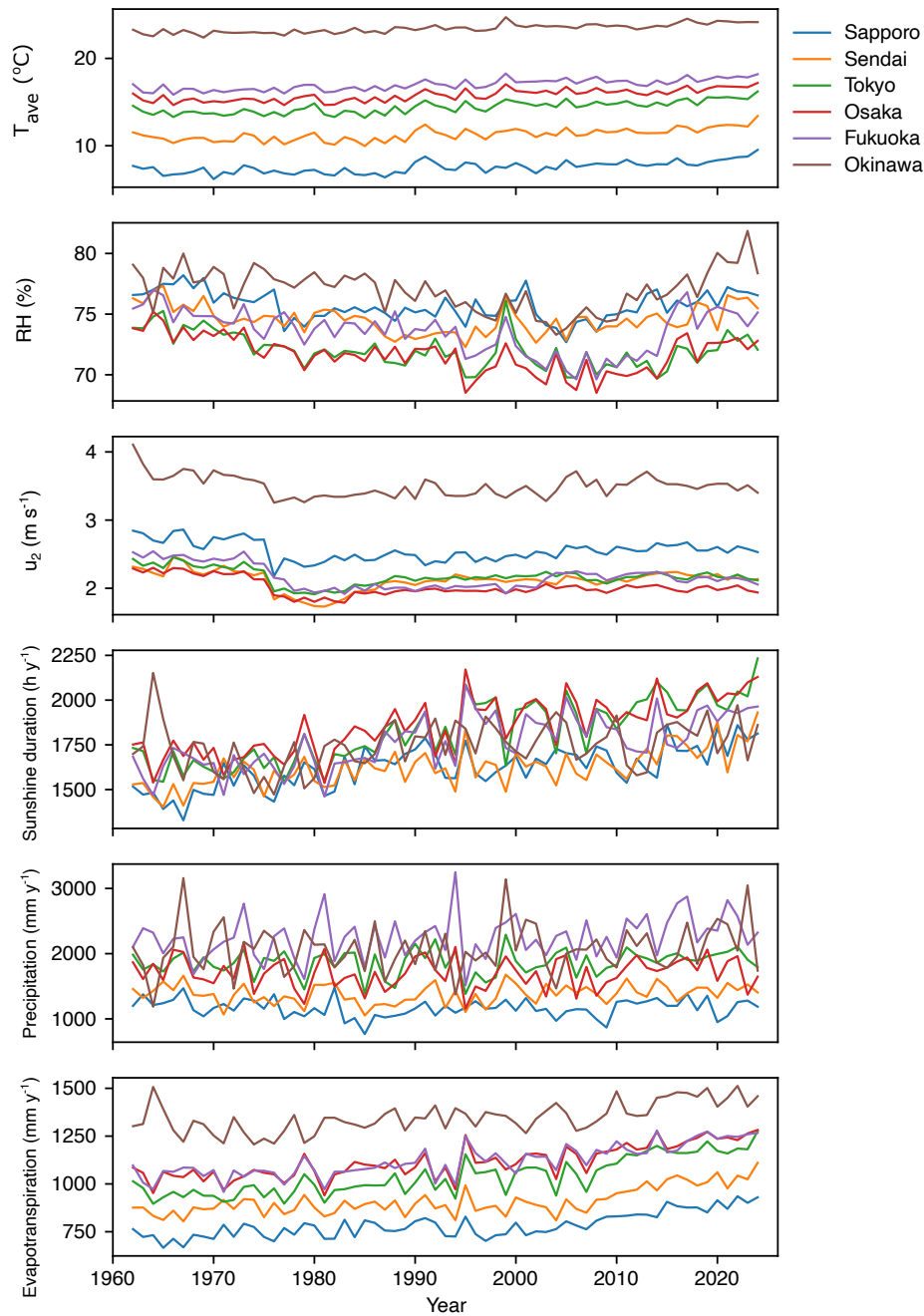


Fig. 2 気象要素と可能蒸発散量の年平均あるいは年積算値の経年変化.
Time series variations of meteorological factors and evapotranspiration.

3. 結果・考察

3.1 経時変化と気象管区

取得した気象要素と(1)式で計算した可能蒸発散量から年平均値あるいは年積算値を求めた。これらの値から気象管区(札幌, 仙台, 東京, 大阪, 福岡, 沖縄)ごとの平均値を算出して整理した。各気象要素と可能蒸発散量の経年変化を Fig. 2 に示す。

年平均気温は沖縄, 福岡, 大阪, 東京, 仙台, 札幌管区の順に低下した。緯度の低い南側から順番になってお

り, 年によって入れ替わることはなかった。年平均気温が最も低い札幌管区と最も高い沖縄管区では約 20°C の差があった。他の気象要素で管区ごとの順位がほとんど起きないのは年平均風速および可能蒸発散量の年積算値のみであった。風速は沖縄が最も大きく, 次いで札幌が大きく, その他の気象管区ではほとんど同じ値で推移した。観測器が変更された 1976 年頃に, 風速の測定値がすべての地域で低下した。式(1)より, 風速の低下により可能蒸発散量も低下したと推察される。しかし, 1976 年以降の可能蒸発散量は全ての地域で増加傾向にあった (Fig. 2)。このことは, 観測器の変更による風

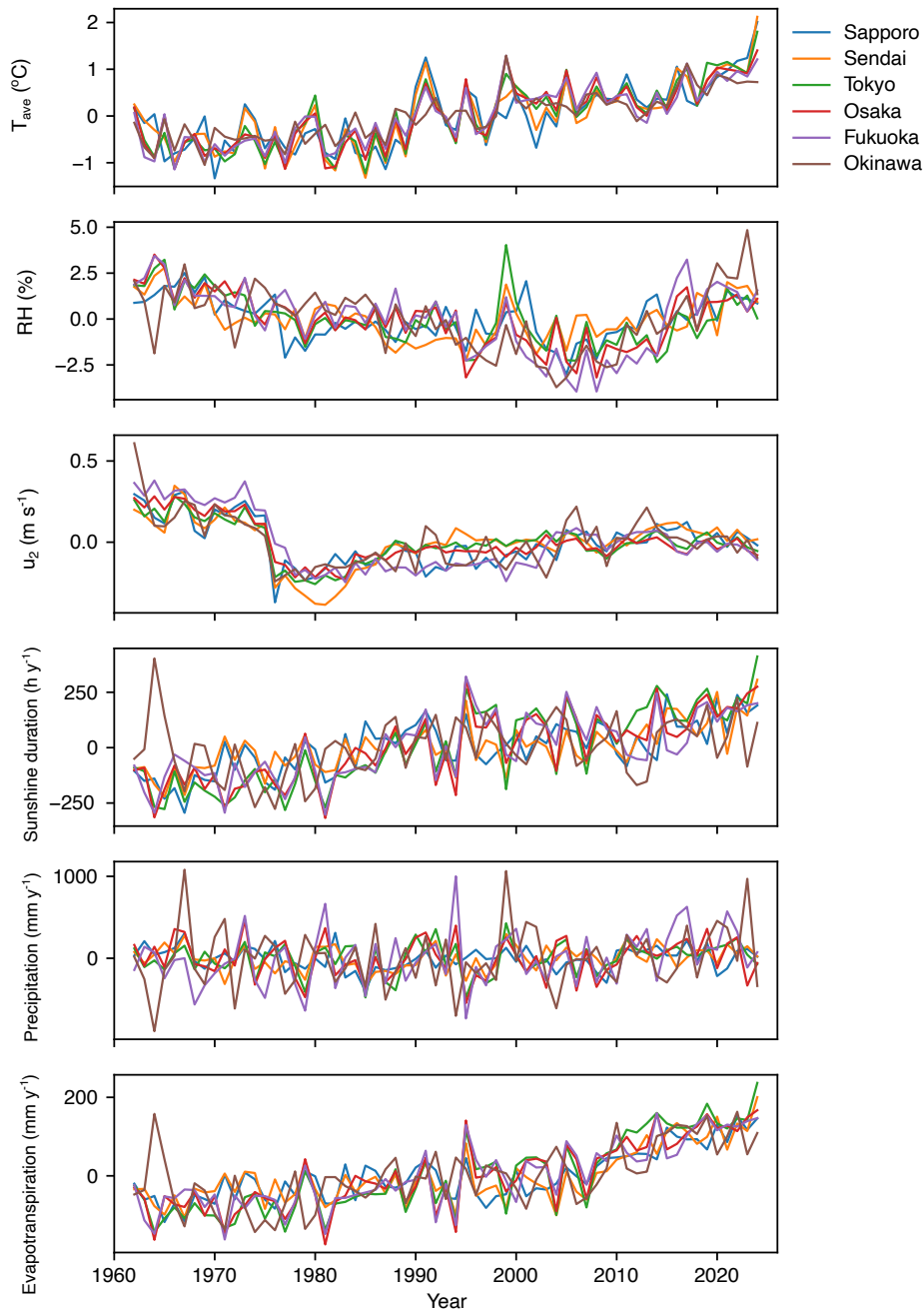


Fig. 3 観測期間の平均値を基準とした各気象要素と可能蒸発散量の偏差。
Time series variations of the deviations of meteorological factors and evapotranspiration.

速の低下がもたらす可能蒸発散量の低下よりも、他の気象要素の変化がもたらす可能蒸発散量の上昇幅が上回っていることを示す。

相対湿度の年平均値、日照時間の年積算値、降水量の年積算値は年による変動が大きく、大きさの順位が頻繁に入れ替わった。相対湿度は東京と大阪が近い値をとりながら類似した年変化を示した。いずれの地域も 2010 年以降は上昇傾向にあることがわかった。年間日照時間は札幌と仙台で短い傾向であったのに対し、大阪、東京、福岡は長い傾向にあった。沖縄は両者の日照時間の間で推移することが多かった。降水量は札幌と仙台で低く、他の地域では年による変動が大きかった。中でも福岡と

沖縄の変動が大きく、年降水量が 3000 mm を超える年もあれば、半分の 1500 mm を下回る年もあった。

ペンマン法による可能蒸発散量の年積算値は気温の変化同様に、沖縄、福岡、大阪、東京、仙台、札幌の順に低くなった。年平均気温では差があった大阪と福岡の可能蒸発散量の年積算値はほとんど同じ値かつ連動するように年変化した。

3.2 偏差の変動

1961 年から 2023 年までの長期的な傾向を地域差なく議論するため、各気象要素と可能蒸発散量の観測期間の平均値を基準値とした偏差の変化を Fig. 3 に示す。いずれの項目も管区による傾向の違いは小さかった。年平均

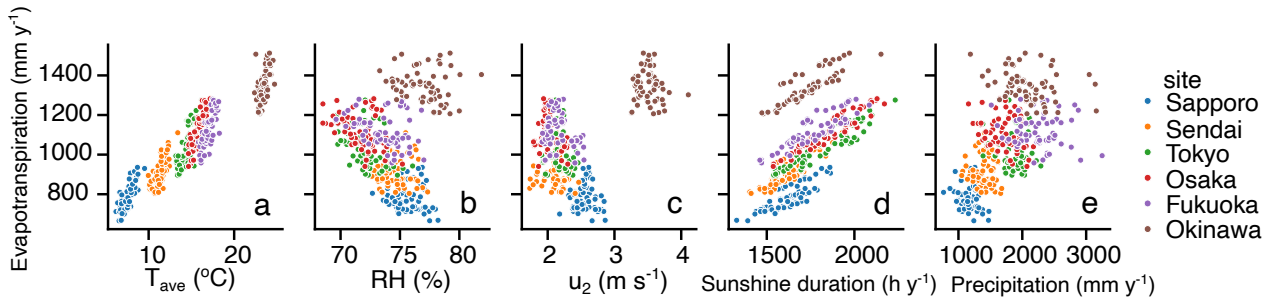


Fig. 4 可能蒸発散量と気象要素の関係. a) 気温, b) 相対湿度, c) 高度 2 m 換算の風速, d) 日照時間, e) 降水量.
Correlation of evapotranspiration and meteorological factors. a) Temperature, b) Relative humidity, c) Wind speed at 2 m height, d) Sunshine duration, e) Precipitation.

Table 1 可能蒸発散量に対する各気象要素の管区別相関係数. * は有意な相関 (有意水準 5%) を, ** は有意な相関 (有意水準 1%) を示す.
Correlation coefficients by districts for meteorological elements with respect to evapotranspiration. *Correlation is significant at the level 5%, and **correlation is significant at the level 1%.

	Sapporo	Sendai	Tokyo	Osaka	Fukuoka	Okinawa
Tair	0.769**	0.746**	0.808**	0.787**	0.775**	0.561**
RH	-0.111	-0.055	-0.451**	-0.412**	-0.302*	-0.170
u_2	-0.007	0.139	-0.065	-0.221	-0.217	-0.069
Sunshine duration	0.833**	0.895**	0.939**	0.934**	0.886**	0.844**
Precipitation	-0.100	-0.052	-0.047	-0.179	-0.090	-0.312*

気温は 1990 年頃まで横ばいで推移したが、これ以降は上昇傾向を示した。年平均相対湿度の偏差は 2010 年頃まで減少傾向にあったが、2010 年以降は上昇傾向に転じた。年平均風速の偏差は 1976 年に全国で急激に低下し、その後緩やかに増加を続けた。しかし、2010 年から 2020 年にかけて横ばいとなり、2020 年以降は低下傾向にみられた。日照時間の偏差は気温の変化に類似し、1980 年頃まで横ばいだったが 1980 年以降増減を繰り返しながら、増加傾向にあった。降水量の偏差はいずれの管区においても増減を繰り返しながら推移した。降水量の多い年、少ない年は認められたが、本研究で取り上げる期間において、年降水量の長期的な増減傾向は認められなかった。年可能蒸発散量の偏差は気温や日照時間に似た経年変化を示し、1980 年から 1990 年頃まで横ばいで推移し、これ以降、全国的に増加傾向を示した。Zhang et al. (2024) は 1982 年から 2020 年までの陸上の蒸発散量が増加傾向にあると報告しており、日本においても地域に依らず、同じ傾向であることが示された。

3.3 気象要素と可能蒸発散量

各気象要素と可能蒸発散量の関係を Fig. 4 に示し、それぞれの相関係数を Table 1 に示した。日照時間の相関係数はいずれの管区においても 0.8 以上と高い相関係数を示した。気温の相関係数は日照時間に次いで高い相関係数を示したが、沖縄管区は他の管区にくらべて低い相関係数となった。ソーンスウェイト法 (Thornthwaite, 1948) は気温により求めた可能蒸発散量を日長に応じて補正する。降水量の増加による放射量の減少に対して気温があまり変化しないので、低緯度地域では湿潤なほど、

ソーンスウェイト法による可能蒸発散量がペンマン法と比べて過大評価となる (近藤, 1994a)。気温と日照時間が可能蒸発散量と高い相関係数を示す一方で、沖縄管区では気温の相関係数が他の管区より低く、年降水量が有意な負の相関係数を示すことは、これらの研究と一致する (Table 1)。その他の気象要素は相関係数が小さく、相関は認められなかった。

気象要素の経年変化 (Fig. 2) で確認したように、年平均気温によって年蒸発散量は札幌、仙台、東京-大阪-福岡、沖縄の 4 つのグループに大別された。相対湿度と風速は沖縄とそれ以外の集団を形成した。

管区ごとに見れば、年降水量が多くなると可能蒸発散量は低下する傾向となった。これは降水量が多い地域では日照時間が短いため、可能蒸発散量が低下したと考えられる。近藤 (1994b) は 1 年の観測結果から、土壌が降雨後に湿潤になると蒸発散量が大きくなると報告している。本研究のように年単位の計算では降雨による土壌水分量の増加が可能蒸発散量の増加をもたらすのではなく、降雨による日照時間の減少は可能蒸発散量の低下をもたらす傾向になったと考えられた。

3.4 地域分布

全国 137 地点について計算した 1961-1963 年と 2021-2023 年の年平均気温、年平均相対湿度、年可能蒸発散量、および両者の差 Δ を Fig. 5 に示す。いずれの地域においても約 60 年で年平均気温が 0.3-2.3 °C 程度上昇した。気温の上昇は沿岸部より内陸で大きい傾向が明らかになった (Figs. 5a-c)。

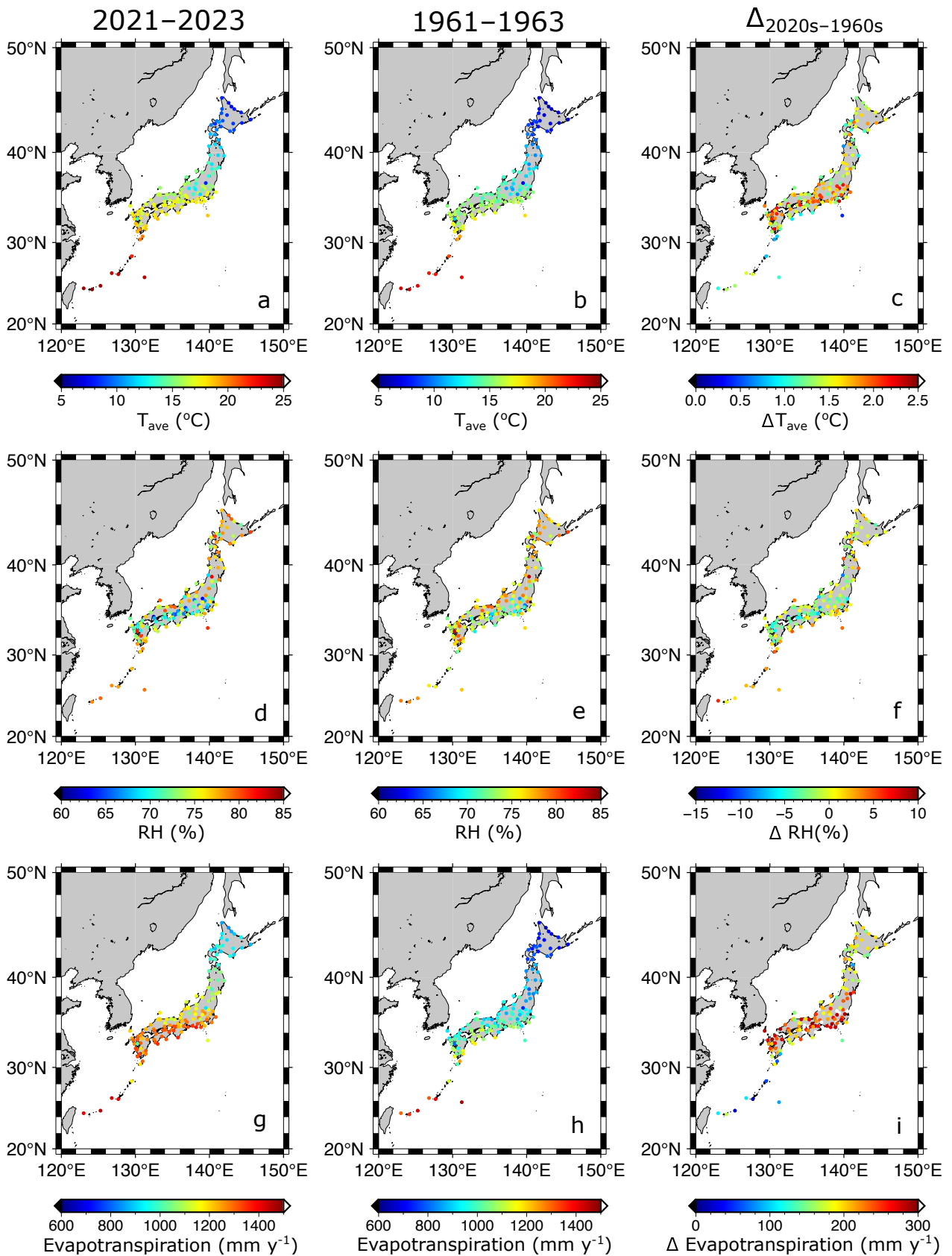


Fig. 5 年平均気温・年平均相対湿度・年可能蒸発散量の地域分布. 左カラム：2021–2023 年の平均値，中央カラム：1961–1963 年の平均値，右カラム：両者の差. a-c：気温，d-f：相対湿度，g-i：年蒸発散量.

The distribution of annual mean temperature and relative humidity, and annual evapotranspiration. Left column : annual mean (2021–2023), center column : annual mean (1961–1963), right column : difference between 2021–2023 and 1961–1963. a-c : Temperature, d-f : Relative humidity, g-i : Annual evapotranspiration.

年平均相対湿度は内陸で低く、沿岸に近い観測地点では高い傾向となった (Figs. 5d, e). 両年の差 ΔRH をみると、内陸と日本海側でやや低下傾向にあり、太平洋沿岸では上昇傾向にあった (Fig. 5f). これは気温の上昇による飽和水蒸気量の増加によって、相対湿度が低下したことと、地球温暖化に伴った海水温の上昇が海水からの蒸発を促したと考えられる。日本海側と太平洋側で異なる傾向となった要因は、半閉鎖的な日本海が存在である。日本海の中だけで完結する熱塩循環により、同じ緯度帯の北太平洋にくらべ、日本海の深層水は高い酸素濃度と低い水温を示す (e.g. Gamo et al., 2014; 青木ら, 2020). 表層水温には太平洋と日本海で大きな差は見られないが、水温の深度プロファイルを確認すると、日本海では急激に水温が低下する。このため、地球温暖化による海水温の上昇がもたらす蒸発量の増加は、太平洋側で大きく、日本海側では比較的小さい傾向が確認されたと考えられる。

年可能蒸発散量は北海道、東北で低い傾向 (近藤ら, 1992) が報告されたように、北日本で低く、南日本で高い結果となった (Figs. 5g, h). 1960 年代は西日本の中でも南側となる太平洋側で高い傾向であり、2020 年代も同様であった。1960 年代と 2020 年代の年可能蒸発散量の差 ΔET を地図上に示すと、ほとんどの地点で増加していたことが明らかになった。両年の差は関東から関西にかけて、内陸で大きく増加した。最大で年可能蒸発散量が 300 mm 以上も増加した観測地点があり、潜在的に土壌は乾燥状態に傾いていくことを示唆している。1960 年代と近年では観測器や観測地点の周囲の土地利用も変遷しており、全く同じ条件の比較ではないことに注意する必要があるが、可能蒸発散量は増加している傾向にあることが示された。

4. まとめ

本報では南北に細長く、緯度の差が大きい日本国内の可能蒸発散量を 1961 年から 2023 年にわたって算出した。日ごとの気象要素の測定値から気象管区ごとの年平均または年積算値を求め、60 年超の経年変化と地域分布を図示した。経年変化を気象管区でまとめると、年平均気温と可能蒸発散量は増加傾向にあり、特に内陸でこの傾向が顕著であることが明らかになった。一方で、年平均相対湿度は日本海側および内陸で低下傾向が認められ、太平洋側では増加傾向が認められた。

引用文献

青木伸輔, 小宮秀治郎, 大井剛志, 登尾浩助, 松本 良 (2020): 日本海東縁と北海道周辺の洋上大気メタン濃度と海底ガスプルームの関係. 石油技術協会誌, 85(6): 309–314, doi:10.3720/japt.85.309.

- Gamo, T., Nakayama, N., Takahata, N., Sano, Y., Zhang, J., Yamazaki, E., Taniyasu, S. and Yamashita, N. (2014): The Sea of Japan and its unique chemistry revealed by time-series observations over the last 30 years. *Monogr. Environ. Earth Planets*, 2: 1–22, doi:10.5047/meep.2014.00201.0001.
- 気象庁 (2024): 過去の気象データ・ダウンロード. <https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>. (2024 年 1 月 2 日)
- 近藤昭彦 (1994a): 複数の手法によるモンスーンアジアの蒸発散量推定値の比較. *ハイドロロジー*, 24: 11–30.
- 近藤純正 (1994b): 裸地面蒸発量の土壌種類と年降水量への依存性. *天気*, 41: 525–535.
- 近藤純正, 中園 信, 渡辺 力, 桑形恒男 (1992): 日本の水文気象 (3) — 森林における蒸発散量 —. *水文・水資源学会誌*, 5: 8–18.
- Lian, X., Piao, S., Li, L.Z.X., Li, Y., Huntingford, C., Ciais, P., Cescatti, A., Janssens, I.A., Peñuelas, J., Buermann, W., Chen, A., Li, X., Myneni, R.B., Wang, X., Wang, Y., Yang, Y., Zeng, Z., Zhang, Y. and McVicar, T.R. (2020): Summer soil drying exacerbated by earlier spring greening of northern vegetation. *Science Advances*, 6, eaax0255. doi:10.1126/sciadv.aax0255.
- Ma, Y.-J., Li, X.-Y., Liu, L., Yang, X.-F., Wu, X.-C., Wang, P., Lin, H., Zhang, G.-H., Miao, C.-Y. (2019): Evapotranspiration and its dominant controls along an elevation gradient in the Qinghai Lake watershed, northeast Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Hydrology*, 575: 257–268, doi:10.1016/j.jhydrol.2019.05.019
- 三浦健志 (1996): 岡山市の気温・降水量の経年変化. 岡山大学環境理工学部研究報告, 1:163–168.
- 三浦健志, 奥野林太郎 (1993a): ペンマン式の計算を容易にするための工夫と提案. *農業土木学会論文集* 164: 165–170.
- 三浦健志, 奥野林太郎 (1993b): ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細. *農業土木学会論文集*, 164: 157–163.
- 諸泉利嗣, 佐藤裕一, 佐藤幸一, 三浦健志 (2001): 青森市における気候変動傾向. 岡山大学環境理工学部研究報告, 6: 81–84.
- 大槻恭一, 三野 徹, 丸山利輔 (1984): 気象資料から推定したわが国の蒸発散量. *農業土木学会論文集*, 112: 25–32.
- Salam, R., Islam, A.R.Md.T., Pham, Q.B., Dehghani, M., Al-Ansari, N., Linh, N.T.T. (2020): The optimal alternative for quantifying reference evapotranspiration in climatic sub-regions of Bangladesh. *Scientific Reports*, 10: 20171, doi:10.1038/s41598-020-77183-y.
- Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B. and Teuling, A.J. (2010): Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3–4), 125–161, doi:10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
- 杉浦俊彦, 横沢正幸 (2004): 年平均気温の変動から推定したリンゴおよびウンシュウミカンの栽培環境に対する地球温暖化の影響. *園芸學會雑誌*, 73: 72–78.

- Thornthwaite, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55–94.
- Wang, Y., Zhang, Y., Yu, X., Jia, G., Liu, Z., Sun, L., Zheng, P. and Zhu, X. (2021): Grassland soil moisture fluctuation and its relationship with evapotranspiration. *Ecological Indicators*, 131, 108196, doi:10.1016/j.ecolind.2021.108196.
- 山地一代, 米谷俊彦, 森 征洋 (1999): 香川県の都市域における気象要素の経年変化と地表面状態の変化. *天気*, 46: 197–204.
- Yang, Z., Liu, Q., Cui, B. (2011): Spatial distribution and temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2006 in the Yellow River Basin, China. *Hydrological Sciences Journal*, 56: 1015–1026, doi:10.1080/02626667.2011.590810.
- 吉永安俊, 酒井一人, 村上哲也 (2004): 沖縄地域におけるペンマン法による蒸発位の時空間分布. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 9: 31–36, doi:10.7132/jrcsa.KJ00000795236.
- Zhang, F., Geng, M., Wu, Q., Liang, Y. (2020): Study on the spatial-temporal variation in evapotranspiration in China from 1948 to 2018. *Scientific Reports* 10: 17139, doi:10.1038/s41598-020-74384-3
- Zhou, S., Williams, A.P., Lintner, B.R., Berg, A.M., Zhang, Y., Keenan, T.F., Cook, B.I., Hagemann, S., Seneviratne, S. I. and Gentile, P. (2021): Soil moisture–atmosphere feedbacks mitigate declining water availability in drylands. *Nature Climate Change*, 11(1): 38–44, doi:10.1038/s41558-020-00945-z.



This article is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

要 旨

蒸発散量は水循環の重要な構成要素であり、その動向は水管理や農業生産にも影響を与える。本研究では1961年から2023年の日本国内の137地点分の気象データとペンマン法から、可能蒸発散量を算出し、気象庁の気象管区ごとに経年変化を検討した。この結果、気温、日照時間、可能蒸発散量は全国的に増加する傾向が確認された。気温、相対湿度、蒸発散量の地域ごとの特徴を明らかにするために、1961年–1963年と2021年–2023年のそれぞれの平均値と両者の差を分布図に現した。この結果、60年経過する間に日本列島の内陸部は気温と蒸発散量の増加傾向が明らかとなった。蒸発散量は最大 300 mm y^{-1} も増加した。年降水量は増加傾向が認められなかったことから、一部の土壌は潜在的に乾燥していく可能性を示唆している。一方、相対湿度は内陸部で低下、沿岸部で増加する傾向が明らかになった。

キーワード：蒸発散， 土壌水分量， 気象要素， ペンマン法， 時空間変動