

月平均気温と昼の長さを用いた月可能蒸発散量推定法

The Approximate Method to Estimate Potential Evapotranspiration Using Monthly Mean Temperature and Daytime

沼尻 治樹^{1) 2)}

Haruki Numajiri

¹⁾ 公益社団法人日本測量協会 測量技術センター

²⁾ 法政大学経営学部

That in previous studies, there is a high correlation to the integrated value of the monthly mean temperature and integrated value of the monthly potential evapotranspiration by Thornthwaite method is revealed. The monthly mean temperature for 12 months was required for the presumed method of the existing monthly potential evapotranspiration. In this study, the relation between monthly mean temperature and monthly potential evapotranspiration was reanalyzed. The approximating method of monthly potential evapotranspiration not using an annual monthly mean temperature observed value was built using the obtained in result.

Keywords: Potential evapotranspiration, Monthly mean temperature, Regression analysis

1. 研究の目的

ソーンズウェイト法による可能蒸発散量と月平均気温とに高い相関があることは、これまでの研究によって明らかになっている(野上 1990, 沼尻 2006)^{[5][4]}。野上(1990)^[5]では、可能蒸発散量と月平均気温、暖かさの指数との関係を明らかにし、月平均気温と暖かさの指数から可能蒸発散量を算出する手法を紹介している。沼尻(2006)^[4]では、月平均気温と可能蒸発散量との関係を、月単位で分析し、月平均気温と月平均気温 0℃以上の年積算値によって月可能蒸発散量を算出する推定式を求めた。この研究では、可能蒸発散量を月平均気温と年間の積算気温だけで推定できるという簡便性を得ることができたが、複数の係数の算出や月平均気温の年積算気温がないと推定できないという短所があった。

ソーンズウェイト法は米国において、丈の短い青草に覆われた土地に十分な水を与えた場合の観測値

から得られた経験式である(Thornthwaite 1948)^[6]。月平均気温、昼の長さ、熱指数から求められることから、ほとんど水不足が起こらない日本においてもよく利用されている。一方、樫根(1980)^[1]は、ソーンズウェイト法は米国での経験式であることから、日本で利用するときには注意が必要であると述べている。

本研究では、月平均気温とソーンズウェイト法による可能蒸発散量との関係を精査し、ソーンズウェイト法に替わる可能蒸発散量推定法の構築を行う。まず、可能蒸発散量について回帰分析を行い、回帰式を求めた。さらに、年単位による流域水収支による比較を行う。

2. 使用データとアプリケーション

分析には、気候値メッシュデータ 2000(気象庁)の月平均気温を利用した。気候値メッシュデータは、

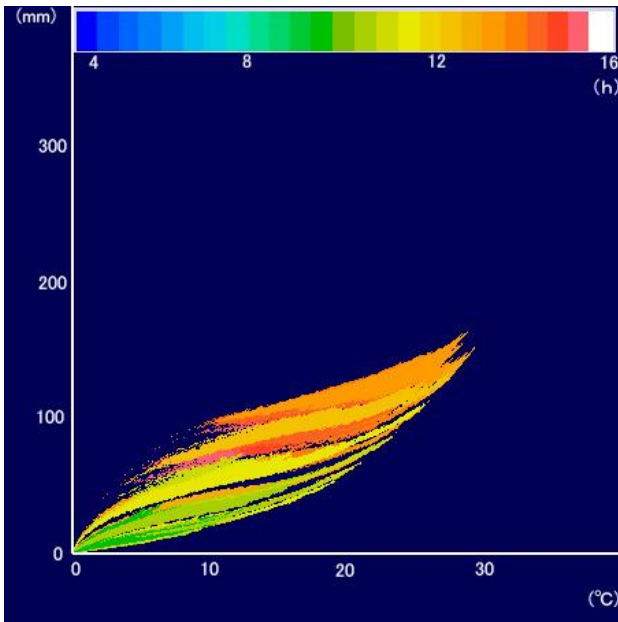


図 1 月平均気温と可能蒸発散量
Fig.1 Monthly mean temperature and potential evapotranspiration

標準地域メッシュ第3次メッシュ (1km) の空間解像度をもっている。このデータから、ソーンスウェイト法による可能蒸発散量を算出した。分析などのデータ処理には、Visual C#と.NET Framework によるアプリケーションを自作し用いた。

3. 分析結果

まず、すでに計算で得ている各月の可能蒸発散量 (PE_{mean}) と月平均気温 (T_{mean}) の全数 (12 ヶ月 × 陸域のグリッド数 : 379,611) で回帰分析を行った。その結果、相関係数は 0.955, 標準偏差は 12.668 となった。回帰式は式 (1) に示す。また、各月の平均気温と可能蒸発散量の関係を分散図 (図 1) に示す。月平均気温 (横軸) が同じでも可能蒸発散量 (縦軸) には最大 80mm ぐらいの幅がある。図 1 では昼の長さで色を違えてプロットしてあるので、この幅、つまり昼の長さが関係していることが読み取れる。そこで月平均気温 (T_{mean}) と昼の長さ (d) を説明変数として重回帰分析を行った。得られた回帰式は式 (2) である。

$$PE_{mean} = 5.58761T_{mean} - 10.32874 \quad (1)$$

$$PE_{mean} = 4.91575T_{mean} + 4.49278d - 57.33933 \quad (2)$$

可能蒸発散量の計算条件として、月平均気温が 0°C 以下の地点においては 0 となっている。しかし、蒸発は月平均気温が 0°C 以下であったとしても昼間に 0°C 以上になっていれば、蒸発が起きていることが考えられる (ここでは昇華は含まない)。そこで、月最高気温 (T_{max}) の平均値と昼の長さを説明変数として重回帰分析を行った。サンプル数は、379,611 である。その結果、相関係数 0.959, 標準偏差は 13.972 となった。この結果は月平均気温の場合より悪くなっている。得られた回帰式は式 (3) である。

$$PE_{max} = 4.6978T_{max} + 6.7626d - 98.5655 \quad (3)$$

4. 回帰式による推定法の考察

ここまで述べてきたことはソーンスウェイト法の値をもっと簡単な変数で近似的に計算する方法であった。しかしながら、ソーンスウェイト法も蒸発の物理的原理に基づいた方法ではなく、一種の近似法である。それならばソーンスウェイト法による値との相関は低くても、従来指摘されてきたソーンスウェイト法の欠点とされている季節的傾向 (中川 1991)^[2]が補正されるような近似的計算値であるならば、かえって望ましいと考え季節的に相関を検討した。

回帰式から推定した可能蒸発散量とソーンスウェイト法による月可能蒸発散量の特徴について以下のことが明らかになった。

- (1) 月平均気温から月可能蒸発散量を推定する式 (1) と月可能蒸発散量の差を計算した。その結果、回帰式による推定法と月可能蒸発散量の差は、平均気温ごとにみても幅があることが明らかになった (図 2)。
- (2) 相関を低くしている原因のひとつに昼の長さが季節によって変わることが考えられる。
- (3) 月平均気温から月可能蒸発散量を推定する回帰式 (2) と月可能蒸発散量の差は小さくなっている (図 3)。
- (4) 回帰式 (2) と月可能蒸発散量の差が大きいのは、月平均気温の高い地域と低い地域である (図 4)。
- (5) 月平均最高気温と昼の長さを用いた回帰式

(3) との差を昼の長さで色分け (図 1 と同じ) して示した (図 5)。この差の空間的分布を確認するため図 6 を示す。1 月では低温側で差が大きく、4 月では高温側で差が大きいことがわかる。

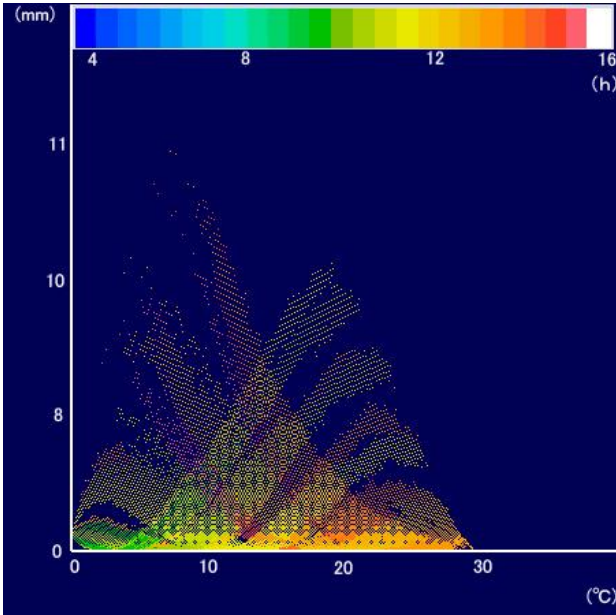


図 2 月平均気温と回帰式 (1) による月可能蒸発散量の差の分布

Fig.2 Scatter diagram of differences between monthly mean temperature and monthly potential evapotranspiration by equation of regression (1)

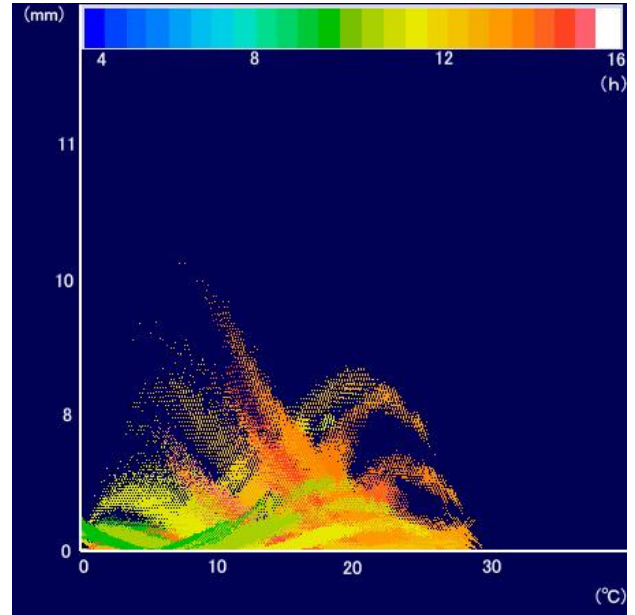


図 3 月平均気温と回帰式 (2) による月可能蒸発散量の差の分布

Fig.3 Scatter diagram of differences between monthly mean temperature and monthly potential evapotranspiration by equation of regression (2)

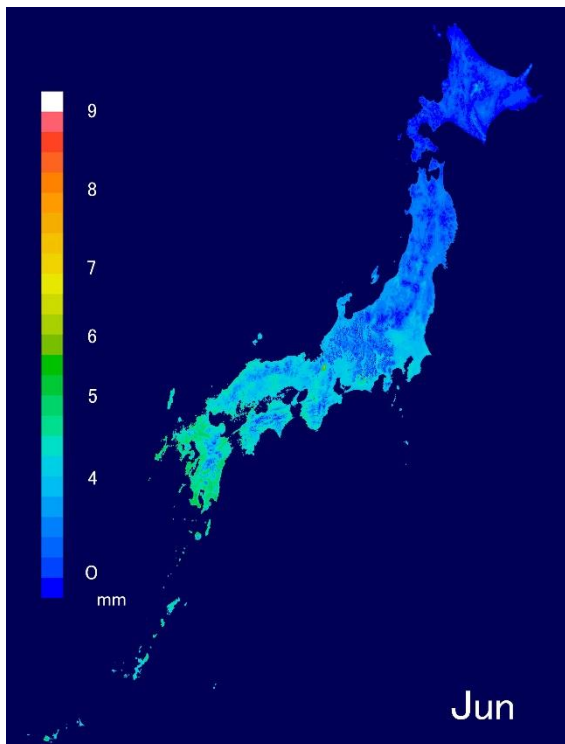


図 4 6 月の回帰式 (2) と月可能蒸発散量の差の分布図

Fig.4 Distribution map of differences between equation of regression (2) and quantity of monthly potential evapotranspiration of June

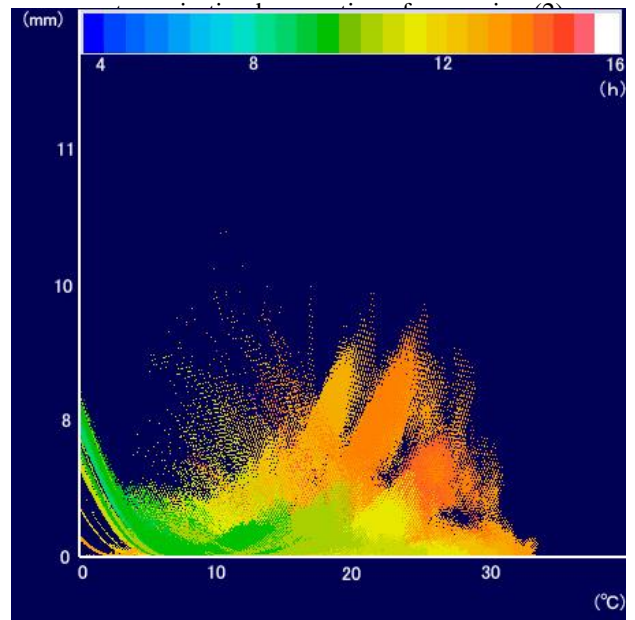


図 5 月平均最高気温の回帰式 (3) と月可能蒸発散量の差の分布

Fig.5 Scatter diagram of differences between monthly maximum temperature and monthly potential evapotranspiration by equation of regression (3)

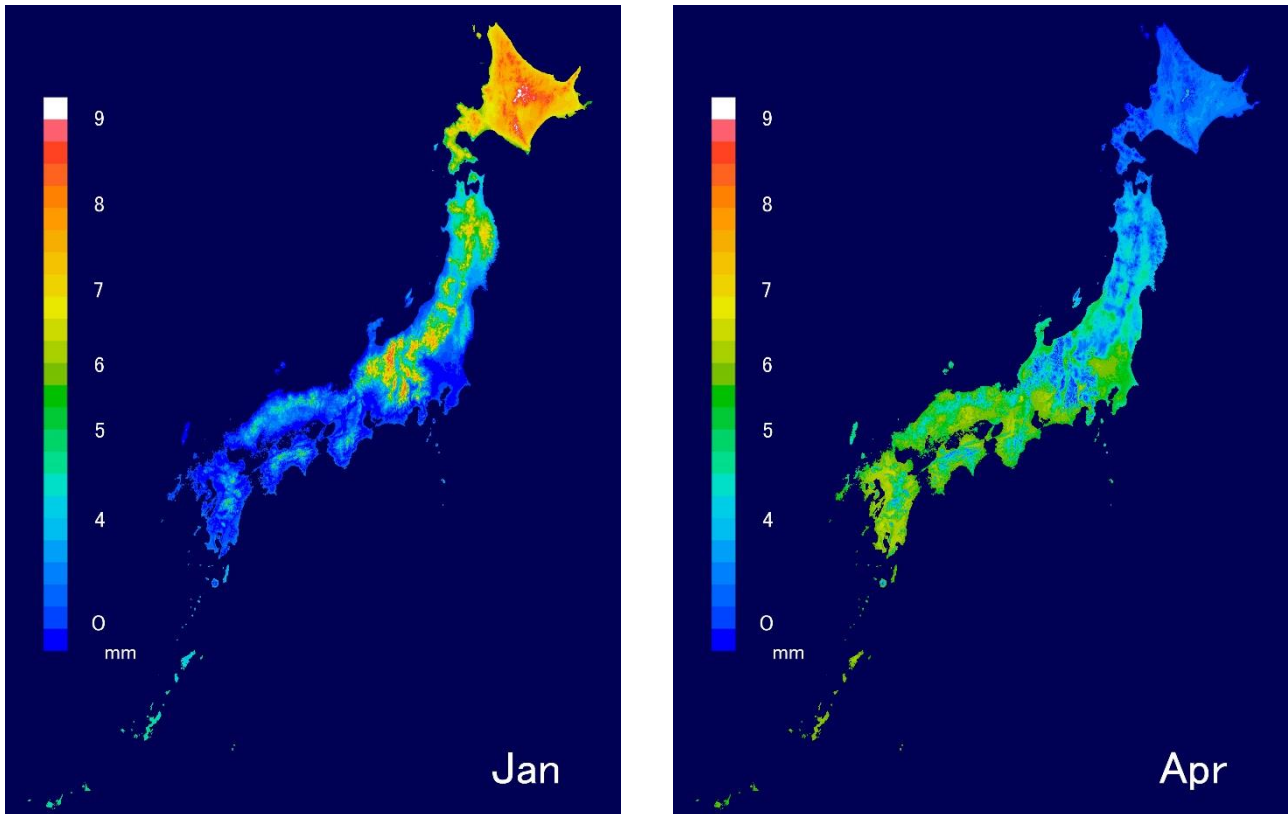


図6 1月（左）と4月（右）の回帰式（3）と可能蒸発散量の差の分布図

Fig.6 Distribution map of differences between equation of regression (3) and potential evapotranspiration of January (left) and April (right)

表1 流域ごとの可能蒸発散量と流域水収支による蒸発散量

Table 1 Potential evapotranspiration and evapotranspiration by the water balance drainage

PE: ソーンズウェイト法による可能蒸発散量 PE_{mean1}: 回帰式(1)による可能蒸発散量 PE_{mean2}: 回帰式(2)による可能蒸発散量 PE_{max}: 回帰式(3)による可能蒸発散量 P-R: 流域水収支による蒸発散量(降水量-流出)

地方	河川名	流出量R(mm)	降水量P(mm)	PE	PE _{mean1}	PE _{mean2}	PE _{max}	P-R
北海道	美瑛川	970.8	1191.5	505.2	143.9	196.1	476.6	220.7
北海道	沙流川	1150.4	1336.4	491.6	121.5	176.4	465.9	186.0
北海道	渚滑川	830.5	1044.3	494.3	129.6	183.6	473.5	213.8
北海道	空知川	1088.4	1208.0	509.9	163.6	213.4	487.2	119.6
東北	馬淵川	823.3	1211.7	566.1	389.3	412.1	586.3	388.5
北陸	犀川	1444.5	1794.6	549.5	335.3	364.8	570.9	350.1
中部	長良川	2765.8	3051.0	619.1	551.2	554.7	688.4	285.2
近畿	新宮川	2503.1	2821.5	640.2	644.2	636.5	744.7	318.5
中国	高津川	1678.3	2066.3	647.9	649.4	641.3	760.2	388.0
四国	物部川	2203.6	2818.5	644.6	655.4	646.5	764.8	614.9
九州	彦山川	1330.8	2018.5	707.1	805.6	778.8	867.1	687.7
九州	川内川	2483.5	3060.8	684.4	763.2	741.5	869.1	577.3
九州	本庄川	2225.0	2799.0	694.0	787.9	763.3	892.1	574.0
九州	北川	2058.4	2400.7	693.6	794.1	768.7	878.1	342.3

5. 流域水収支による年蒸発散量との比較

ソーンズウェイト法による可能蒸発散量と各回帰式による近似可能蒸発散量を年間の流域水収支と比較し検討した(表1)。流域の流出量は気候値メッシュデータ 2000 の観測期間と同じ期間の平均値である。

九州の流域では、降水量から流出量を引いた蒸発散量(P-R)の値よりも、いずれの近似可能蒸発散量の方が大きな値を示す傾向がある。

回帰式(2)による近似可能蒸発散量と降水量から流出量を引いた蒸発散量(P-R)の値が、北海道、東北、北陸の河川において近い値を示すことが分かった。しかし、気候値メッシュデータの降雪における捕捉率の精度について、その精度の低さが指摘されている(野上1990, 沼尻2004)^{[5][3]}ことを考慮する必要はある。

6. まとめ

月平均気温と昼の長さを用いて、ソーンズウェイト法による月可能蒸発散量の推定を試みた。その結果、相関係数0.95以上の精度を持つ近似式で月可能蒸発散量を推定することができた。また、月平均気温ではなく月平均最高気温を用いてソーンズウェイト法による月可能蒸発散量をもっと単純で計算しやすい変数を用いて近似する方法を考案した。この結果も相関係数0.95以上であった。月平均最高気温を用いたことで、月平均気温が0℃以下の月でも日中の月平均最高気温が0℃以上であればあり得るだろう蒸発を近似式の中に取り込むことができた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京都立大学名誉教授の野上道男先生には多くの有益なご助言をいただきました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 榎根勇, “水文学”, 大明堂, 1980年
- [2] 中川慎治, “蒸発散量に関する研究”, 筑波大学水理実験センター報告, 第15巻, 1991年
- [3] 沼尻治樹, 野上道男, “気象庁気候値メッシュデータの降雪降水量の精度”, 地理情報システム学会講演論文集, Vol. 13, 2004年
- [4] 沼尻治樹, “月平均気温を用いた可能蒸発散量の近似推定法”, 日本水文科学会誌, Vol. 36, 2006年
- [5] 野上道男, “暖かさの指数と流域蒸発散量—気候値メッシュデータによる解析—”, Vol. 99, 1990年
- [6] Thornthwaite, C. W. , “An approach toward a rational classification of climate”, Geographical review, Vol. 38, 1948年