

# 蒸発散量を考慮した土壌雨量指数の算出

-自然災害のリスクを情報技術を使って自らの力で見出す探求型の教材開発-

河元 信幸

情報技術課

## 1 はじめに

自然災害で被害が甚大になる土砂災害に着目して、土砂災害の危険度を示す『土壌雨量指数』を自らの力で求めることで、自然災害への心構えを図る探求型の教材の作成を試みた。その結果、汎用オフィスソフト Microsoft Excel を使用して土壌雨量指数の算出を行い、その時系列変化から土砂災害に関する警報値を超えた時期と土砂災害警戒情報の発表時期はおおよそ合致することが確認できた。

その中で、土壌雨量指数を算出のために構築したタンクモデルは降水量と流出量のみで算出したため、最適化されたタンクモデルから算出された土壌雨量指数は全体的に増加することが確認できた。これは、水収支の視点から構築したタンクモデルでは土壌雨量指数をはじめ、推定流出量の値は適正とは判断できない。

本研究では、水収支を考慮したタンクモデルを構築して、長期間のデータから土壌雨量指数を算出して、その傾向を把握するものである。具体的には、蒸発散量を新たに気象資料データから推定し、タンクモデルに組み込むことで年単位での水の半減期に対応したタンクモデルから土壌雨量指数を算出し、その差異を把握することである。

## 2 実蒸発散量の推定

降雨、降雪による河川等への流出、大気中への蒸発等の水循環の関係は、水収支式として以下のように示される。

$$P - E - R = \Delta S$$

ここで、 $P$  は降水量、 $E$  は流域蒸発散量、 $R$  は流出量、 $\Delta S$  は貯留量変化である。水収支期間を 1 年程度にすれば、貯留量変化は無視できるとされている。

流域での蒸発散量推定のために、日単位で蒸発散位を推定するペンマン式を用いる。ここで、蒸発散位とは「植物で完全に覆われた地表面に十分に水が供給されている場合に失われる蒸発散量」と定義されている。以下に、ペンマン式を示す。

$$E_{pen} = E_R + E_V = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u)(e_{sa} - e_a)$$

ここで、 $E_{pen}$ ：ペンマンの蒸発散位、 $E_R$ ：放射収支項、 $E_V$ ：空気力学項、 $\Delta$ ：温度飽和水蒸気圧曲線の勾配、 $\gamma$ ：乾湿計定数、 $R_n$ ：純放射量、 $G$ ：地中熱フラックス、 $L$ ：水の蒸発潜熱、 $f(u)$ ：風速関数、 $e_{sa}$ ：地表面温度での飽和水蒸気圧、 $e_a$ ：空気の水蒸気圧である。なお、日単位の蒸発散量での熱収支式において地中熱フラックスは無視する。ペンマン式は、算定において一定高度の気象資料以外のデータを必要としないため、気候学的蒸発散推定法としては有効である。しかしながら、定義にあるように、本質的には表面が水分で飽和している条件下についてのみに適用可能であり、実蒸発散量を高い精度で推定できるとされている。しかしながら、表面が飽和しておらず乾燥状態へと変化すると実蒸発散量は小さくなり、ペンマン式の蒸発散位は大きくなる<sup>1),2),3)</sup>。

Brutsaert and Stricker は Morton が示した「流域蒸発散量と Penman 法による蒸発散位は補完し合い、両者の

和は Priestley-Taylor 法による可能蒸発量の 2 倍に等しい」ことが、日単位でも成立するという結果を示している<sup>3)</sup>。

$$E_{ac} = 2 \cdot E_p - E_{pen}$$

ここで、 $E_{ac}$ ：実蒸発散量の推定値、 $E_p$ は、可能蒸発量である。可能蒸発量は Priestley and Taylor が「蒸発面を移流のない広大な均一の湿潤面に規定し、その表面からの蒸発量」と定義し、観測値から以下のようにした。

$$E_p = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left( \frac{R_n}{L} \right)$$

大槻<sup>3)</sup>は、流域の蒸発散量の推定に、Brutsaert – Stricker 法の修正式を提案している。

$$E_{ac} = 2 \cdot E_p' - E_v \cdot \log(\theta)$$

$$E_p' = 1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \left( \frac{R_n + M}{L} \right)$$

$$M = 0.66L_n - 0.44R_n$$

ここで、 $E_p'$ ：Priestley and Taylor による可能蒸発量の修正式であり、移流項  $M$  は、0 以上とする。また、夏季の推定可能蒸発散量の制御式として以下の式を考慮する。

$$E_{ac} \leq E_{pen}$$

本研究では、図 1 に示す第一容器の蒸発散量として大槻<sup>3)</sup>による補完法を用いてタンクモデルを構築する。

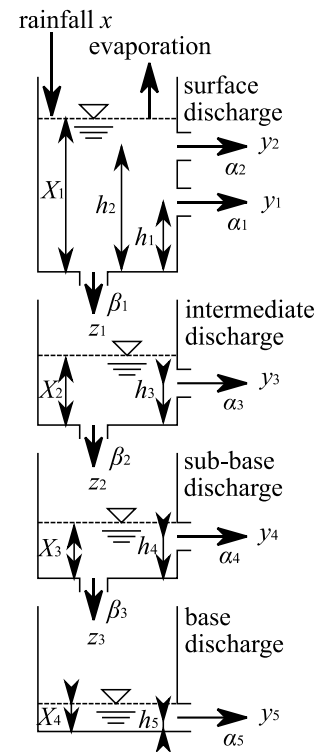


図 1. タンクモデル

### 3 計算結果

#### 3.1 蒸発散量の推定

ペンマン式では、一定高度の気象資料データが必要である。ここでは、日単位での平均気温、平均湿度、平均風速と日照時間、および降水量、降雪量の日合計が得られる山口県内の気象観測所<sup>4)</sup>として、地上気象観測装置からのデータが得られる山口観測所(観測所番号 81286)とした。

図 2 は、蒸発散量の年間変化を示している。図 2(a)はペンマン式から求めた蒸発散位の年間変化である。蒸発散位は放射収支項と空気力学項で大別され、図から夏季における放射収支項の増加が確認できる。図 2(b)は大槻による補完法を適用した場合の蒸発散量推定値の年間変化を示している。図から、当該データではペンマン式から求めた蒸発散位と補完法を適用した実蒸発散量の推定値による差異は小さいことが確認できる。これは、夏季の推定可能蒸発散量の制御式によるものと考えられる。図 3 に、ペンマン式から求めた蒸発散位と補完法を適用した実蒸発散量の推定値による年間変化を示している。図 3(a)は山口観測所において降水量が多かった 2016 年(年間降水量 2493 mm)と、図 3(b)は降水量の少なかった 2007 年(年間降水量 1332 mm)の結果である。図から、降水量に関わらず山口観測所付近の蒸発散量は、冬季で 1 mm、夏季で 5 mm 程度であることがわかる。また、図 3(c) 図 3(d)は 2016 年での県内での同様の地上気象観測装置がある下関観測所(観測所番号 81428 年間降水量 2065 mm)、萩観測所(観測所番号 81071 年間降水量 2185 mm)での気象資料データから算出した蒸発散位と実蒸発散量の推定値である。図から、県内の 3 カ所での蒸発散位と実蒸発散量の推定値は、ほぼ同様の傾向であることがわかる。図 4 に山口観測所、下関観測所、萩観測所それぞれの蒸発散量の相関関数を示している。図から、山口県内 3 カ所の相関関係は

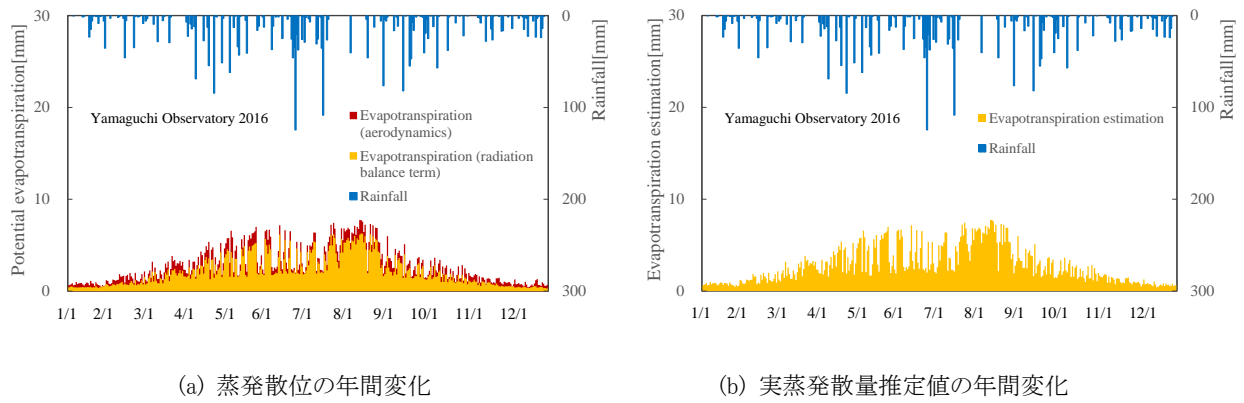


図2 蒸発散量の年間変化(山口 2016 年)

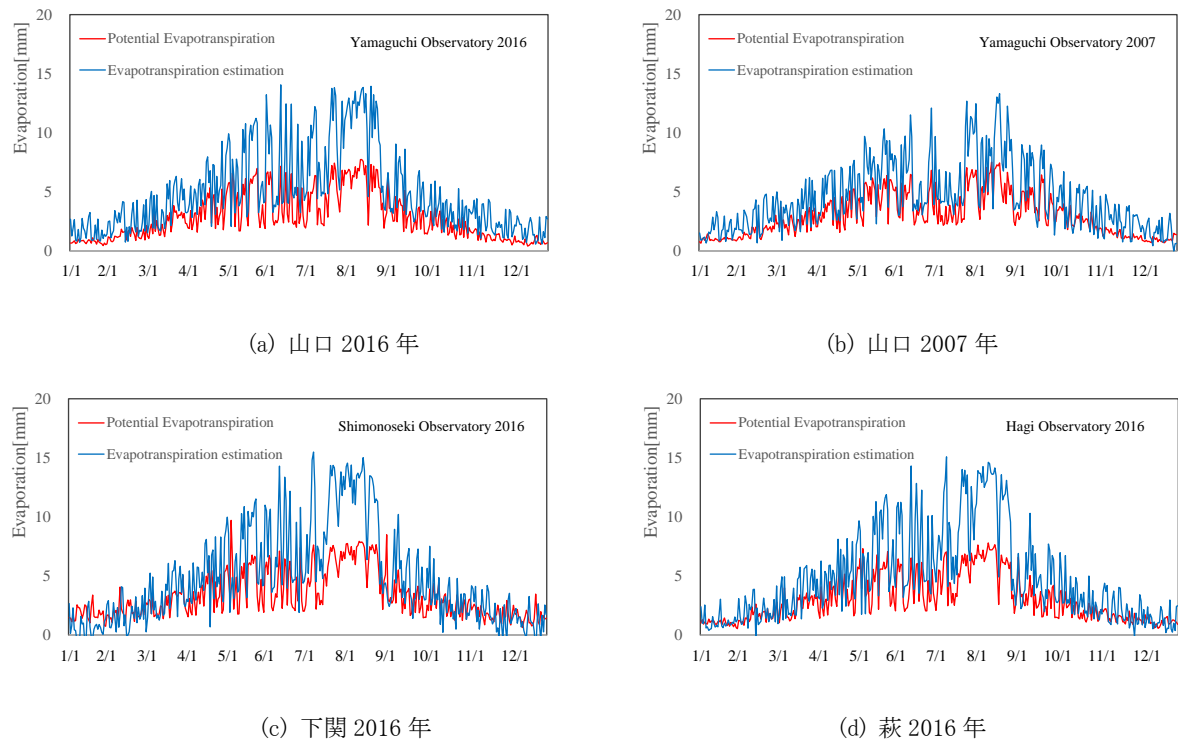


図3. 蒸発散位と実蒸発散量の推定値の年間変化

0.94 を超えた強い正の相関があることが確認できる。

### 3.2 タンクモデルの最適化

本研究では佐波川水系佐波川を対象とした。流出量は防府観測所に近く、沿岸の影響を受けないと考えられる新橋観測所とした。降水量、蒸発散量は佐波川河口付近に位置する防府観測所では気象資料データが一部揃わなかったため、図3の中から、防府観測所に近い山口観測所のものを用いた。なお、計算期間は2016年1月1日から2020年12月31日までの5年間とした。

タンクモデルの各パラメータの同定の最適化を、Microsoft Excel のソルバー機能を使用した。また、タンクモデルの各パラメータの最適化は、表1に示すように気象庁が定めた全国一律のタンクモデルの各パラメータを使用して計算(RUN.1)した結果を初期値とした。

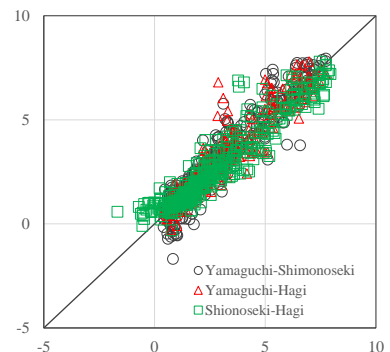
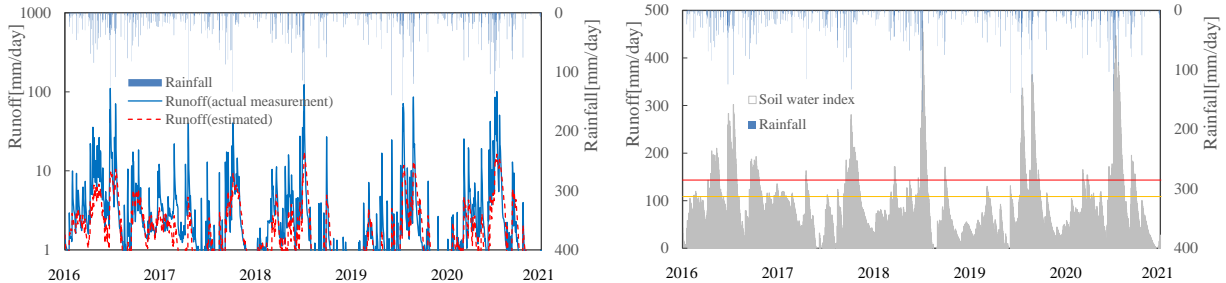


図4. 観測所ごとの実蒸発散量の相関関係

表1. タンクモデルの各パラメータの最適化

	$h_1$	$h_2$	$h_3$	$h_4$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
RUN.1	15.00	60.00	15.00	15.00	0.1	0.15	0.05	0.01	0.12	0.05	0.01
RUN.4	1.90	80.14	15.00	14.96	0.01	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01	0.40



(a) 降水量と実測流出量・推定流出量の関係

(b) 降水量と土壌雨量指数の関係

図5. 新橋流域のタンクモデルの最適化

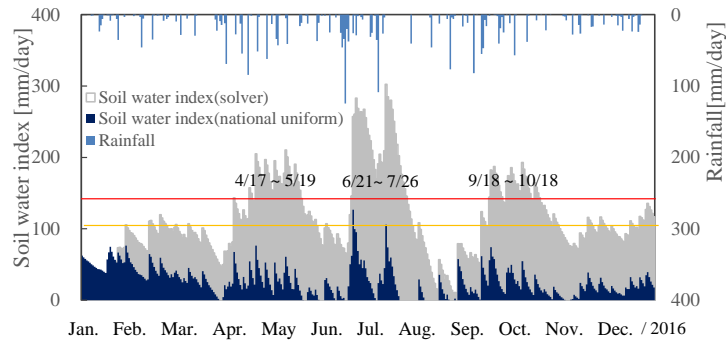


図6. 新橋流域のタンクモデルの最適化比較

実測流出量と推定流出量の誤差が最小となるように最適化を行った結果をRUN.4として表1に示す。

図5に蒸発散量を考慮し最適化された新橋流域のタンクモデルによる流出解析結果を示す。図5(a)は最適化されたパラメータを用いて降水量と実測流出量、推定流出量を対数表示して比較したものである。図から推定流出量は実測流出量を良好に表現していることが確認できる。しかし、この実測流出量の最大値には対応できていないことが確認できる。図5(b)は、降水量とタンクモデル第3容器までの貯留高の合計である土壌雨量指数の関係を示している。図中の赤実線、黄実線はそれぞれ山口県防府市での大雨による土砂災害に関する警報値と注意報値を示している。図から、年間を通じて梅雨期、台風発生時期に生じる大雨により、土壌雨量指数が増大していることが確認できる。また、計算期間では土壌雨量指数が年々増加していることができる。

図6は、蒸発散量を考慮した条件でのタンクモデルでのパラメータによる土壌雨量指数の比較を示している。図から、蒸発散量を考慮して気象庁が定めた全国一律のタンクモデルの各パラメータを使用して計算(RUN.1)では、土砂災害に関する警報値を超えることはなかった。しかし、タンクモデルの各パラメータを最適化した場合、4月中旬からの1カ月間、6月中旬からの1カ月間、9月中旬からの1カ月間に土砂災害に関する警報値を超える期間があり、その中に実際の土砂災害警戒情報の発表時期を含んでおり、警報値を上昇させることでおおよそ合致することが可能である。

## 4 まとめ

本研究では、水収支を考慮したタンクモデルを構築して、長期間のデータから土壌雨量指数を算出して、その傾向を把握するために実施した。具体的には、蒸発散量を新たに気象資料データから推定し、タンクモデルに組み込むことで年単位での水の半減期に対応したタンクモデルから、土壌雨量指数を算出してその差異を把握することである。新たに得られた知見は以下のとおりである。

1. 気象資料データから山口県内の3カ所の蒸発散位と実蒸発散量の推定値を算出した。得られた結果から、山口県内では冬季で1 mm、夏季で5 mm程度の蒸発散量であることがわかる。
2. 得られた蒸発散量を用いて新橋流域のタンクモデルの最適化を行い、土壌雨量指数を算出した。得られた土壌雨量指数の時系列変化から、大雨による土砂災害に関する警報値を超えた時期は、土砂災害警戒情報の発表時期を含んでいることが確認できた。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP21H04102 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 大槻恭一,三野徹,丸山利輔:計器蒸発量,蒸発散位と実蒸発散量の関係—実蒸発散量推定に関する研究(I)—,農業土木学会論文集, 1984 卷 111 号 pp. 95-103,1984
- 2) 大槻恭一,三野徹,丸山利輔:水収支法と補完関係式による流域蒸発散量の比較—実蒸発散量推定に関する研究(II)—,農業土木学会論文集,1984 卷 112 号 pp.17-23
- 3) 大槻恭一:補完関係を利用した流域蒸発散量の推定, 水文・水資源学会誌, 第1巻第1号 pp.83-93,1988.
- 4) 国土交通省気象庁 各種データ・資料 <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- 5) CPS-IIP (CPS Integrated IT Platform) プロジェクト 気象リスクウォッチ 土砂災害警戒情報:  
<http://www.cps.nii.ac.jp/>