

内之浦宇宙観測所における流量観測に基づく土砂災害予測の高度化

○赤塚 悠希¹⁾ 岩崎大和¹⁾ 山野井一輝²⁾ 阿波田康裕³⁾

1) 京都大学大学院工学研究科, 2) 京都大学防災研究所, 3) 宇宙航空研究開発機構

1. はじめに

土砂災害警戒情報は、土壌雨量指数を用いて発令されているが、この方法では土壌雨量指数の算定に全国一律のパラメータが使用されており、地質等の影響で変化する降雨応答特性が反映されておらず、見逃し率や空振り率を現状よりも小さくすることが困難であると想定される。本研究では、内之浦宇宙観測所の流量観測結果から、土壌雨量指数算定で用いられる3段タンクモデルのパラメータを最適化し、内之浦宇宙観測所独自の警戒情報基準を求めた。

2. 流量観測

内之浦宇宙観測所における水文観測は、2024 年から実施している。水位計には四角堰が設置してあり、その形状をもとに、以下の四角堰公式で流量を算出した。

$$Q = Cbh^{\frac{3}{2}}$$

ここに、 Q は越流量、 C は流量係数、 b は切欠きの幅、 h は越流水深である。

集水面積については、以下の式から算出した。

$$Ca = \frac{\sum Q}{\sum \text{rain}}$$

ここに、 Ca は集水面積、 Q は流量、 rain は降雨量である。

3. タンクモデル

本研究では、3 段タンクモデルを使用している。本研究を進めるにあたって用いた 3 段タンクモデルの概要図を図 1 に示す。ここに、 L は各流出孔高さを、 S は各タンクの貯留高を表し、添字 α 、 β はそれぞれ側方、鉛直流出係数とされる。

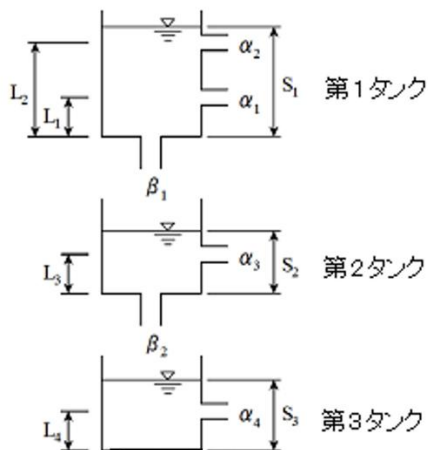


図1 浸透流出による降雨量の消失を考慮しない
3 段タンクモデルの概要

入力降雨としてアメダス内之浦地点の1時間雨量データを用いたため、3 段タンクモデルの計算ステップは1 時間とした。

着目領域からの流出量 Q_{calc} は、集水面積を Ca として、

$$Q_{calc} = Ca(q_{\alpha 1} + q_{\alpha 2} + q_{\alpha 3} + q_{\alpha 4})$$

と表される。また、土壌雨量指数 SWI は、

$$SWI = S_1 + S_2 + S_3$$

で与えられる。すなわちこのモデルを用いることで、降雨量と 10 のパラメータ（以下パラメータ群）を入力に流量 Q_{calc} を計算することができ、その際の土壌雨量指数を求めることができる。気象庁の土壌雨量指数の算定には、気象庁標準のパラメータが全国一律に用いられているが、流量観測値 Q_{obs} を用いて、対象領域の流出特性を反映したパラメータ群を用いれば、 SWI による土砂災害発生の予測性能が向上することが期待できる。

これを実現するには、 Q_{obs} と Q_{calc} の一致度が最大となるパラメータ群を推定する必要がある。流量の計算値 Q_{calc} と観測値 Q_{obs} の一致度の評価手法としては、下記式で算出できる Nash - Sutcliffe efficiency (NSE)を用いた。

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - Q_{calc}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \bar{Q}_{obs})^2}$$

すなわち、 NSE が最大となる 10 のパラメータを求めるという最適化問題に帰着する。本研究では、Python のライブラリ Optuna 上で整備されている TPE を用いた最適化計算手法を使用した。

鹿児島県大隈地方振興局によると、内之浦宇宙空間観測所の位置する肝属郡肝付町内で 2024 年に起きた土砂移動の総件数は11 件でありその内訳は表-1 に示す通りである。この期間を含む一連の降雨イベントを抜粋し最適化計算を行った。最適化結果と気象庁標準パラメータを表-2 に示した。

表-1 肝付町で発生した土砂移動件数（2024 年）

発生期間	降雨要因	件数
6/20 ~ 6/21	梅雨前線	1 件
8/28	台風 10 号	1 件
10/21 ~ 10/22	線状降水帯	8 件

表-2 タンクモデルの気象庁標準パラメータと最適化結果

parameter	unit	気象庁の値	最適化結果
L_1	mm	15	10.01
L_2	mm	60	38.88
L_3	mm	15	10.74
L_4	mm	15	13.58
α_1	1/hr	0.1	0.07588
α_2	1/hr	0.15	0.1624
α_3	1/hr	0.05	0.001827
α_4	1/hr	0.01	0.0002772
β_1	1/hr	0.12	0.9072
β_2	1/hr	0.05	0.008748
β_3	1/hr	0.01	0.04889

図2に計算された流量 Q_{calc} と観測流量 Q_{obs} との比較を示す。

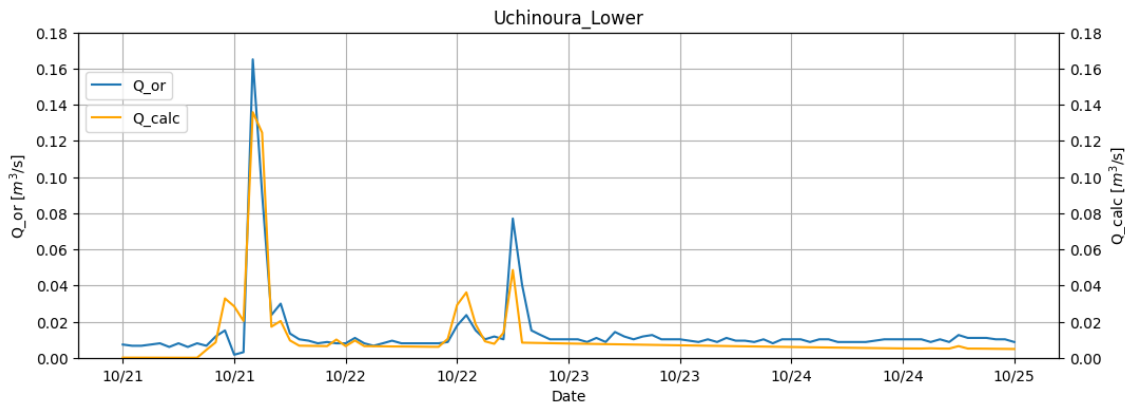


図2 計算流量と観測流量の比較

4. 解析結果

前項で得られた最適化パラメータと気象庁式パラメータとを用いて3段タンクモデルの計算を行い、土壌雨量指数をそれぞれ算出した。その際、2021年1月1日からデータ取得開始の前日2024年1月21日まで、計算ステップ1時間間隔で約3年間分の助走計算を行った。得られた各土壌雨量指数を比較したグラフを図3に示す。

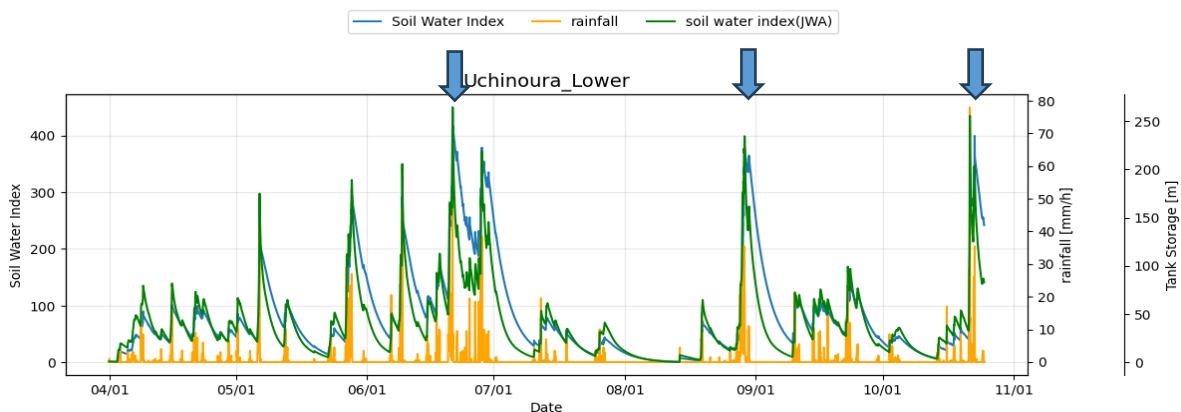


図3 最適化パラメータと気象庁式パラメータの土壌雨量指数の推移比較

最適化したものと気象庁式の両方の推移において、矢印で示している土砂移動が起こった期間に土壌雨量指数が高くなっていることがわかる。最適化パラメータを用いた土壌雨量指数は観測流量に基づいており、その土地の地質特性が反映されたものであるため、気象庁式パラメータの土壌雨量指数よりも、予測性能が高いと期待できる。

5. 今後の展望

以上より、本研究で提案する最適化計算手法を用いた改良土壌雨量指数は、土砂災害警戒情報の精度向上に有効であると期待できるが、この手法の適切な評価をするためにはより長期間の流量観測をしていく必要がある。

REFERENCES

- 1) 倉本和正, 國友優, 内田太郎, 寺田秀樹: 土砂災害警戒情報のための降雨指標の統計的検討, 2001