

降水短時間予報の誤差特性とその土砂災害リスク評価への応用

長岡技術科学大学 非会員 ○小林 徹
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎

1. はじめに

近年の災害の激甚化、頻発化を受けて令和5年7月に新たな国土強靱化基本計画が閣議決定されたことで、従来の基本計画に加え新しい技術を積極的に取り入れ、施策の高度化を図っている¹⁾。

陸ら(2023)は、適切な災害対策を講じる上で重要とされる土砂災害の発生リスク評価において、現在使用されている土壌雨量指数を用いた方法は、過去の土砂災害発生状況のデータ収集や警戒基準雨量線を引くのに高度な知識と技術が必要であることを問題視しており、リスク評価における新たな指標として土壌水分欠損量(soil moisture deficit, 以下SMDと呼ぶ)つまり土柱が降水を受容する余力がリスク評価の良い指標となることを明らかにした²⁾。この方法は、事前に3次メッシュでのモデル運用をできるように環境整備をすることで、SMDにおける最適な警戒基準線を、必要とする災害捕捉率に基づいて随時計算によって求めることができる。これにより問題視していたデータ収集や警戒基準雨量線の問題が改善され、さらにSMDの算出に将来数時間先の短時間雨量予報を用いることで、土砂災害の早期警戒を行う可能性があるとしている²⁾。

本研究では、短時間雨量予報として、土壌雨量指数の推定等に使用されている降水短時間予報に着目した。予測雨量の使用にあたって、不確実性を考慮する必要があるが、降水短時間予報による予測結果が有する誤差がどのような確率分布に従って発生するのか一般に明らかになっていない。

以上より、本研究では降水短時間予報による予測雨量データが有する不確実性について、AMeDAS観測所の雨量計にて観測されたデータと比較することで誤差を求め、どのような確率分布に従って誤差が発生するのか明らかにすること。また、陸らによるSMDの算出記録を基に、不確実性を考慮したうえで、将来数時間先における土砂災害のリスク評価の可能性について過去に新潟県で発生した土砂災害を例にとり、検証することを目的とする。

2. 手法

2.1 取得データ

誤差特性の把握にあたって、取得するデータは、①降水短時間予報によって予測された予測雨量データ(本研究では、2023年3月~7月までのデータを使用)、②気象庁管轄の雨量観測所にて雨量計によって観測された実測雨量データの2つである。降水短時間予報による予測雨量データは降雨強度[mm/h]であり、雨量観測所にて雨量計によって観測された実測雨量データは10分当たりの雨量[mm]である。

予測データについては気象庁が公開しているWebサイト(今後の雨)より1時間先の予測雨量データを取得した。取得条件については、5.0 mm/h~10 mm/h以上のメッシュとし、図-1に示すようにセルの色をその地点の予測雨量データとした。また、予測雨量には幅が存在するためその色が示す幅に対して下限値、平均値、上限値の3つのパターンを取得した。

実測雨量データについては、気象庁がHPにて公開している過去の気象データより予測雨量データのメッシュと重なる位置にある雨量観測所にて観測された10分雨量を取得した。10分雨量を取得したのは、雨量計によって測定された1時間雨量は積算値であるため、後の計算に支障があるためである。よって取得した10分雨量を6倍することで降雨強度に変換した。

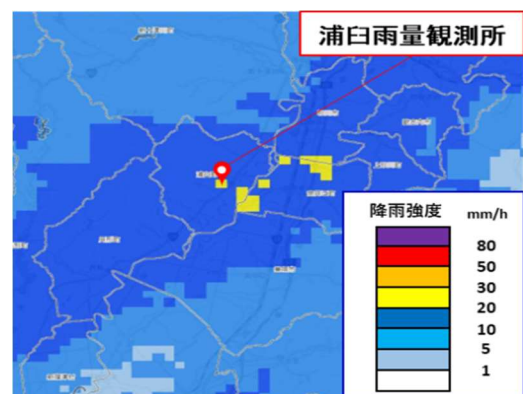


図-1 降水短時間予報による予測結果例

2.2 誤差特性の把握

取得した予測雨量データおよび実測雨量データを使用して誤差指標を以下の式より算出した。

① 誤差*E*の算出

$$E_{(i)} = f_{(i)} - X_{(i)} \quad (1)$$

ここで、 $E_{(i)}$:ある時間における予測雨量と実測雨量の差、 $f_{(i)}$:ある時間における予測雨量、 $X_{(i)}$:ある時間における実測雨量

② 比率*P*の算出

$$P_{(i)} = \frac{f_{(i)}}{X_{(i)}}, \frac{X_{(i)}}{f_{(i)}} \quad (2)$$

ここで、 $P_{(i)}$:ある時間における予測雨量と実測雨量の比率、比率は算術平均によって平均値を求め、気象庁が公開している降水短時間予報の精度を示す指標であるスレットスコアの例年値と比較することで使用したデータの信頼度を確かめるために使用する。

③ *ME, MAE, SD, RMSE*の算出

精度の評価指標として、*ME, MAE, SD, RMSE*を山岸ら (2011)、伊藤ら (2018) の手法より算出した³⁾⁴⁾。

2.3 誤差の分布特性の把握

本研究の目的となる降水短時間予報が有する誤差の分布特性について、一般に誤差の発生分布が正規分布に従うことから正規性の検証を行った。

検証方法としては、定性的な評価として①箱ひげ図、②ヒストグラム、③QQプロットの3つを作成した。定量的な評価としては、Kolmogorov-Smirnov 検定を行った。

2.4 土砂災害リスク評価への応用

2.3 節にて明らかにした誤差の分布特性より、不確実性を考慮した上で、予測雨量を使用した将来数時間先の土砂災害リスク評価への応用方法について検討する。

① 対象とする土砂災害および発生時間の整理

対象とする土砂災害は2010年に9月17日に発生した土砂災害(がけ崩れ)である。また、本研究にて土砂災害として扱う現象は地すべり、がけ崩れ、土石流の3つである。各土砂災害について記録されている発生時間は、住民等によって土砂災

害が目撃され自治体等に連絡があった時間もしくは、自治体が土砂災害を発見し記録した時間であることから、発生時刻は正確にはわからない。よって、陸らの研究同様に報告があった時刻から遡って前24時間以内に発生したものとする。

② 予測データの入手および整理

過去の降水短時間予報の予測雨量データは無料で公開されておらず、気象業務センターより年単位で購入可能である。本研究では、予測雨量を使用した土砂災害リスク評価への応用方法を検討することを目的としているため、以下の式に示すように過去の実測データから確率分布に従ってランダムに発生させた誤差を差し引くことで予測雨量を推定した。

$$R_{f(t)(i)} = X_{(t)} - E_{(i)} \quad (7)$$

ここで、 $R_{f(t)(i)}$:ある時間における予測雨量データ、 $X_{(t)}$:ある時間における実測雨量データ、 $E_{(i)}$:確率分布に従ってランダムに発生させた誤差である。また、 $R_{f(t)(i)} < 0$ となる場合 $R_{f(t)(i)} = 0$ とする。

③ 土砂災害リスク評価への応用方法

陸らの研究によれば、1時間先の予測雨量を使用したその時間における*SMD*は以下の式より求めることができる。

$$SMD_{(t)(i)} = SMD_{(t-1)} - R_{f(t)(i)} \quad (8)$$

ここで、 $SMD_{(t)(i)}$:ある時間における土壌水分欠損量である。 $SMD_{(t)(i)} < 0$ となる時、 $SMD_{(t)(i)} = 0$ とする。算出における基準となる $SMD_{(t-1)}$ は陸らの研究によって計算および記録されたものを使用した。ここで、降水短時間予報が有する不確実性を考慮するため、式(7)にて分布特性に従った $E_{(i)}$ を50個から100個程度発生させその分の $R_{f(t)(i)}$ を算出する。同様に $SMD_{(t)(i)}$ も算出することで、1時間先に取りうる $SMD_{(t)(i)}$ が推定できる。陸らの研究より、(8)式によって算出された $SMD_{(t)}$ が基準とする災害捕捉率における閾値 SMD_c と比較して $SMD_{(t)} < SMD_c$ となる時、土砂災害がいつ起こってもおかしくない警戒レベルであるとした。

以上より、 $SMD_{(t)(i)}$ を土砂災害発生報告時間から24時間遡り、1時間ごとに求め各時間で SMD_c をどの程度下回るのかに着目し、土砂災害の発生リスクを評価する。

3. 結果と考察

3.1 誤差特性の把握

① 誤差指標の計算結果

各誤差指標の計算結果は表-1 のようになった。

MEが正の値であることから、全体として予測雨量が過大評価する傾向があることがわかる。

MAEおよびRMSEの数値より平均的な誤差の出現範囲は 5.0 mm/h~10 mm/h 程度であることがわかる。

平均比率は、気象庁が公開しているスレットスコアの例年値が 0.5 程度であることから大きな差はなくデータの信頼度は十分あると考えられる。

表-1 誤差指標の計算結果

	下限値	平均値	上限値
データ数	688	688	688
ME [mm/h]	0.52	4.57	8.63
MAE [mm/h]	5.06	6.95	9.95
SD [mm/h]	6.93	7.44	8.17
RMSE [mm/h]	6.94	8.74	11.89
平均比率	0.58	0.53	0.45

② 誤差の分布特性（正規性の検証）

定量的な評価として Kolmogorov-Smirnov 検定の結果は、表-2 のとおりである。

検定における帰無仮説 H_0 は誤差分布が正規分布に従うであり、 $\alpha = 0.05$ である。表-2 よりすべてのパターンにおいて p-value<0.05 であり帰無仮説は積極的に棄却できないため誤差分布は正規分布には従わないと考えられる。

表-2 Kolmogorov-Smirnov 検定結果

	下限値	平均値	上限値
p-value	2.66e-37	3.33e-33	6.04e-30

定性的な評価として、箱ひげ図、ヒストグラム、QQ プロットの結果は、図-2~図-6 のとおりである。図-2 より箱の大きさ、ひげの大きさ中央値の位置より、正規分布に近い分布をしていることがわかる。図-3、図-4 よりヒストグラムの形状からすべてのパターンで正規分布に近い分布をしていることがわかる。図-5、図-6 より、QQ プロットは、ほぼ直線に近いことから誤差の分布が

正規分布に近い傾向にあることがわかる。

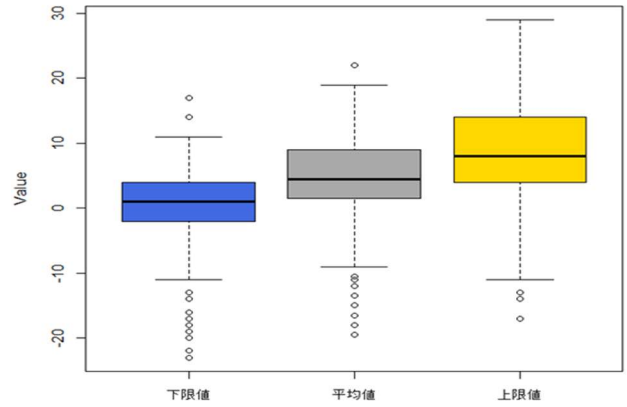


図-2 箱ひげ図

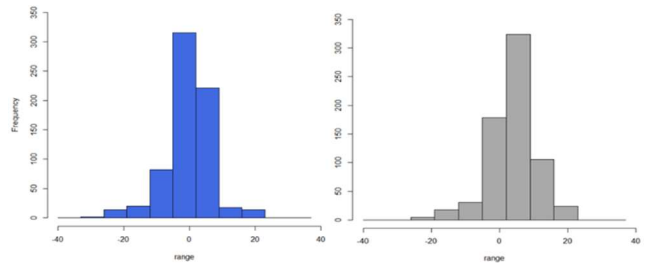


図-3 ヒストグラム（左：下限値，右：平均値）

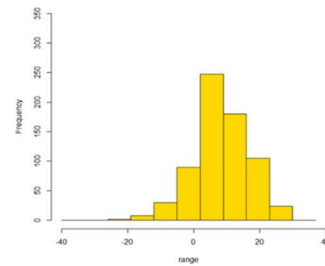


図-4 ヒストグラム（上限値）

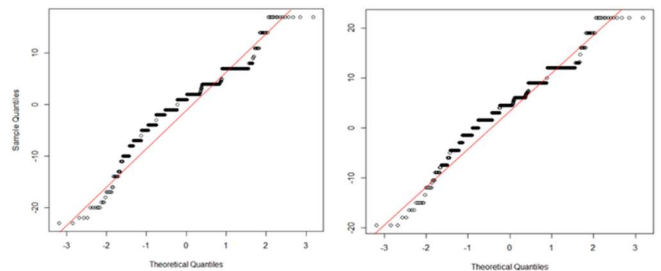


図-5 QQ プロット（左：下限値，右：平均値）

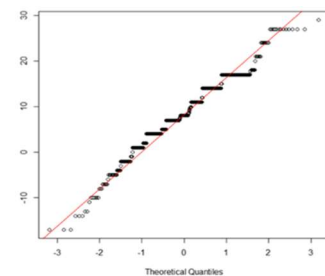


図-6 QQ プロット（上限値）

②の結果より定性的な評価においては、誤差分布が、正規分布に従う傾向がみられた。水本ら

(2008)より、フリーソフト G*Power⁴⁾を用いて検定力、最適なサンプルサイズを解析した結果、条件に合う最適なサンプルサイズは 32 程度であり、本研究におけるサンプルサイズでは検定力が 1.0 となり第二種の誤りを正確に設定できないことがわかった。よって本研究のようなサンプルサイズが大きくなる場合には統計的検定は不向きであり定量的な評価を判断材料とすることはあまり望ましくないと考えられる。よって、定性的な評価のみにおける結論とし、降水短時間予報における予測雨量データの誤差の分布は、正規分布に従うとする。

3.2 土砂災害リスク評価への応用

不確実性を考慮した土砂災害リスク評価結果は、図-7 のようになった。

図-7 は 2010 年 9 月 17 日 6:00 に記録された土砂災害について SMD を推定したものである。 $p_0 = 0.90$ 以上の災害捕捉率であれば、16 日 22 時以降の取りうる大半の SMD が SMD_c 以下となることがわかる。本土砂災害においては、災害捕捉率を 90%~95% に設定することで、警戒レベルとなる時間およびその時間における SMD を推定できる可能性があることが考えられる。本例はがけ崩れを対象としたものであり、他 2 つの現象は多くのパターンで SMD が 0 になっているときに発生する。対してがけ崩れは、SMD が 100mm 程度であっても発生しているケースが多くあり、実降雨を用いた場合でも災害の補足が難しい。しかし、予測雨量を用いて本例のように推測することで、基準値を下回る確率を出すことができ、補足できる可能性があることが考えられる。

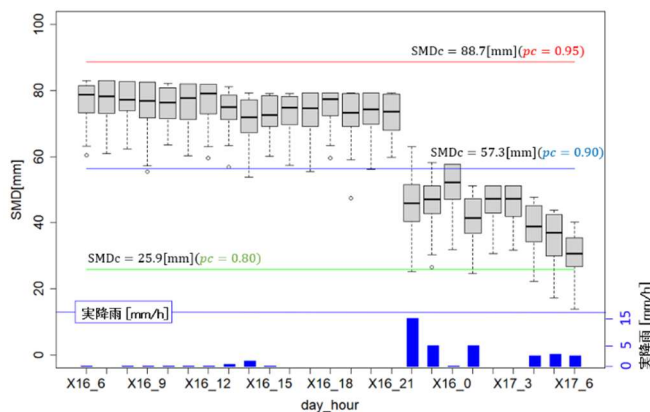


図-7 SMD 推定結果 (2010/9/17 報告)

4. 結論および今後の展望

降水短時間予報による予測雨量と AMeDAS 観測所にて観測された雨量計データを比較し、誤差を求めた。求めた誤差より定性的な観点から、誤差が正規分布に従って発生することがわかった。

また、誤差が正規分布に従って発生することから、降水短時間予報の予測結果より、陸らが導いた計算手法に基づいて予測値が有する不確実性を考慮した SMD を求めた。結果として、例における災害を高い確率で捕捉できたことで予測雨量を用いて不確実性を考慮した SMD を求めることで、1 時間前に災害を捕捉できる可能性があることがわかった。今後、複数の土砂災害のケースについても同様に検証を行い、現状での捕捉に対する信頼度を調査していく必要がある。

5. 参考文献

- 1) 内閣官房：新たな国土強靱化基本計画の概要 pp.1, https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-gaiyou-r057028.pdf (参照：2023/10/09)
- 2) 陸旻皎・小椋崇弘・ThandarTunZIN・岡滋晃・鬼東俊一・川村直明・山本隆広・込山晃市 2023：土壌水分欠損量による土砂災害リスク評価の試み -2010 年と 2011 年に新潟県で発生した土砂災害を例として-, 水文・水資源学会誌 36: 118-128, DOI: 10.3178/jjshwr.36.1752
- 3) 山岸良雄・佐治憲介・青木功・谷川亮一・藤井康正：2011, 気象庁気象予報データを用いた日射量予測手法の精度検証, 電気学会論文誌 B, Vol.132, No.4, pp.334-340. DOI: 10.1541/ieejpes.132.334
- 4) 伊藤公紀・伊藤裕康：身につく統計学, pp.18-19, 森北出版株式会社, 2018
- 5) 水本篤・竹内理 2010. 効果量と検定力分析入門—統計検定を正しく使うために—. 外国語教育メディア学会 (LET) 関西支部 メソドロジー研究部会 2010 年度報告論集, 47-73
- 6) 葛西俊治 2021. 検定力分析ソフト G*Power について. <https://www.relak.net/psy/power/p4.htm> (参照：2023/10/14)