

土砂災害予報サービスの提供に向けた確率的発生予測基準の構築とシステム実装への展開

中電技術コンサルタント(株) ○杉原成満, 桑田志保, 藤原涼太郎

1. はじめに

近年の豪雨増加に伴い、防災・減災に対する社会的ニーズはこれまで以上に高まっている。このような状況の中、民間事業者の多様なニーズに応じた「きめ細かな予報」の提供を図るため、気象業務法及び水防法の一部を改正する法律が施行された（令和5年11月）。これにより、土砂災害を対象とした民間事業者による予報サービスが可能となり、新たな市場が創出されている。

土砂災害予報の分野に関しては、既存の行政サービスとして土砂災害警戒情報が運用されている。同情報は、災害発生リスクの高まりを周知するうえで有効である一方、災害発生リスクの程度を定量的に示すものではなく、降雨状況に応じたリスクの時間的変化についても十分に示されていないという課題が挙げられる。

本稿では、上述の課題に対する対応としてロジスティック回帰分析を活用し、確率的発生予測基準の構築についての検討結果を報告する。また、土砂災害予報サービスの提供を見据え、構築した予測モデルの実装に向けて構築中のシステムに関する紹介を行う。

2. 確率的発生予測基準の構築方法

(1) 検討対象地域および使用データ

検討対象地域は、過去から繰り返し土砂災害が発生している広島県とし、気候条件が概ね同等である範囲として広島・呉予報区を対象とした。

検討に用いる降雨データは、レーダー・アメダス解析雨量および当該降雨から算定した土壌雨量指数である。また、災害発生降雨として扱う対象災害は、国総研資料第1231号付録資料¹⁾において整理されているCL対象災害とした。ここで、本検討では一定規模以上の降雨として対象災害を捕捉できるCL相当を超過した降雨イベントのみを用い、非発生降雨は市区の代表値を用いる。

(2) 予測モデル

確率的発生予測モデルは、説明変数が量的、従属変数が質的な変数の場合に用いられる二値変数に対する回帰分析であるロジスティック回帰分析により構築する。

一般的にある現象の発生確率 P の生起を説明するために観測された変数群をモデル化したものを $P(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_r)$ と表す。ここで、変数群の合成関数を $Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_r x_r$ とすると、ロジスティック関数は次式のように表される。当該関数を表す曲線を図-1に示す。

$$P(x) = (\text{発生}|x_1, x_2, \dots, x_r) = \frac{1}{1 + \exp(-Z)}$$

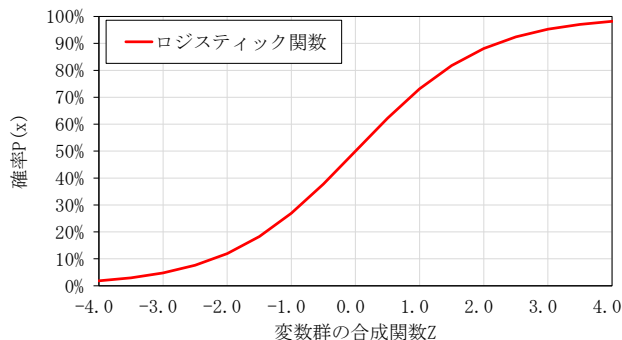


図-1 ロジスティック関数の概念図

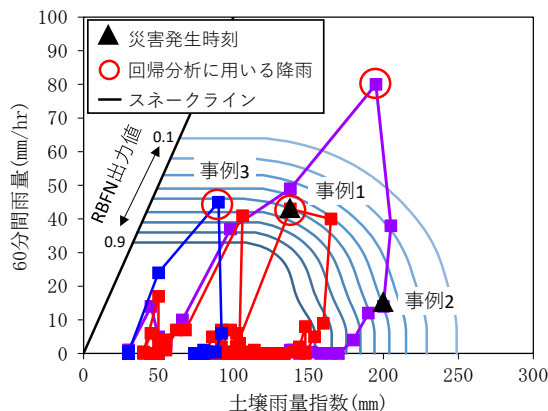


図-2 モデル構築に用いる降雨データの概念図

(3) 説明変数および従属変数

説明変数は、土砂災害の誘因である降雨量とし、本検討では土砂災害警戒情報との親和性を考慮し、「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)平成17年6月」に従って算出したRBFN出力値を用いる。ここで、全降雨の時系列データを用いた分析は煩雑となることから、既往研究²⁾を参考に土砂災害の発生・非発生に最も寄与した降雨量として降雨ピーク時の値を用いる(図-2)。さらに、本検討では降雨ピーク以降における災害発生確率の時間的変化を示す指標として、降雨ピークからの経過時間を説明変数として考慮する。なお、従属変数は、土砂災害の発生・非発生である。

(4) 確率的発生予測モデルの一般式

これらの説明変数および従属変数に基づき構築する確率的発生予測モデルの一般式は以下のとおりとなる。

$$P(x) = \frac{1}{1 + \exp\left\{-\left(\beta_0 + \beta_1 x_{\text{RBFN出力値}} + \beta_2 x_{\text{経過時間}}\right)\right\}}$$

3. 確率的発生予測基準の検討

(1) モデル構築および妥当性評価

前章で示したデータおよび方法に基づき構築した確率的発生予測モデルの回帰係数 β およびt値（回帰係数 β を推定標準偏差で除した値）を表-1に示す。

表-1より、各説明変数に関する回帰係数 β は負の値を示している。これは、降雨量が大きくなるほど土砂災害の危険性が高く、また強い雨が降っている最中またはその直後ほど土砂災害の危険性が高いという一般的な知見と整合する結果である。さらに、各説明変数のt値はいずれも絶対値が1.96以上であることから、95%の信頼性で災害発生確率に有意な影響を与える指標であると判断できる。

図-3は構築した確率的発生予測モデルより算定された災害発生確率 $P(x)$ と実際の発生率(=発生降雨数÷全降雨数)を比較したものである。図-3より、災害発生確率 $P(x)$ と発生率との間には高い整合性が認められる。

以上のことから、構築した確率的発生予測モデルは降雨を誘因とする土砂災害の発生しやすさを精度良く表現できており、妥当なモデルであると評価できる。

(2) アラート通知基準としての予測精度評価

災害発生確率 $P(x)$ をアラート通知基準の閾値とした場合における捕捉率と空振り率の関係を図-4に示す。図-4より、捕捉率と空振り率はトレードオフの関係にあるため、安全側の運用とする場合は災害発生確率 $P(x)=10\%$ が通知判断の目安となる。しかしながら、この閾値設定では既存の土砂災害警戒情報との差異が生じにくい。そこで、この閾値設定では、CLのように単一の閾値とするのではなく、例えば災害発生確率30%、60%、90%といった複数の閾値を設定し、段階的にリスクを提示する運用とすることが望ましいと考えられる。この場合、それぞれの閾値における捕捉率は概ね95%、90%、80%程度となり、利用目的や防災対応フェーズに応じた柔軟な情報提供が可能となる。

4. おわりに

本検討では、土砂災害予報サービスの提供を見据え、確率的発生予測基準の構築を行った。構築した確率的発生予測モデルは降雨を誘因とする土砂災害の発生しやすさを精度良く表現できることを確認した。さらに、災害発生リスクを確率として定量化し、段階的なアラート通知を行うサービスとすることで民間事業の細かなニーズに応じた柔軟な情報提供が可能と考えられる。

弊社では、確率的発生予測モデルを活用した土砂災害予報サービスとして「bye 災アラート」のサービス開発に着手している(図-5)。今後は、予報事業者としての認証取得に加え、サービスエリアの拡大を見据え、他地域における予測モデル構築を進めていく予定である。

表-1 構築した予測モデルの回帰係数 β およびt値

	β_0	β_1	β_2
回帰係数	8.871	-15.857	-2.441
t値	13.818	-12.595	-10.945

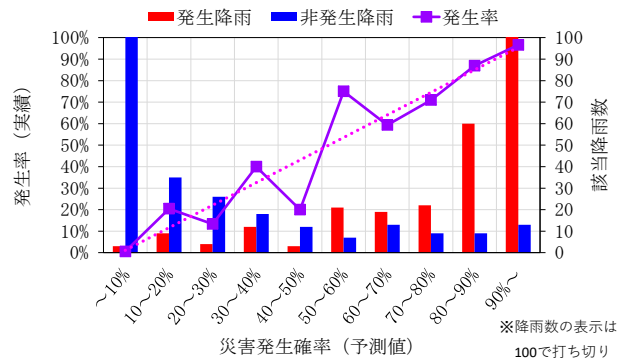


図-3 災害発生確率 $P(x)$ と発生率(実績)の関係

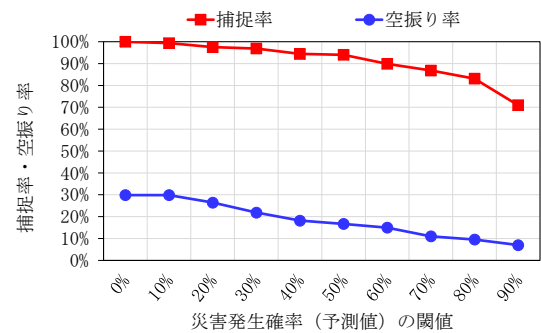


図-4 災害発生確率 $P(x)$ と捕捉率・空振り率の関係



図-5 bye 災アラートサービスの概念図

参考文献: 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所: 降雨による土砂災害に関する全国集計データ, 国総研資料第1231号, 2022

2) 杉原成満, 篠崎嗣浩, 大石博之, 荒木義則, 古川 浩平: ロジスティック回帰分析を用いた土砂災害警戒情報の解除基準の設定に関する一考察, 土木学会論文集F6, Vol. 67, No. 1, pp. 41-51, 2011