

### 鉄道路線災害の誘因・素因に関する主成分分析

九州大学大学院 学生会員○伊藤 旭 九州大学大学院 フェロー 善 功企  
 九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

#### 1. 背景および目的

鉄道路線の大部分は、自然斜面に接するため、落石や斜面災害といった土砂災害の脅威に晒されている。鉄道路線における現行の災害対策は、実効雨量や最大風速といった特定の誘因外力値を用いた運転規制が主流である。しかし、災害は複数の誘因から発生し、同じ強度の誘因外力を受けても、外力履歴や地質などの素因によって地域ごとに影響は異なる。本文では、誘因として各気象台データ9つと素因として地質データを用い、災害発生確率ならびに災害発生件数に関する主成分分析を行った。

#### 2. 内容

##### 2.1 分析データ

図-1 は、分析対象とした路線図(全長約 350 km)であり、路線横にある点は、気象データの入手可能な気象観測ポイント(全 11 地点)である。災害データは鉄道事業者データから、気象観測データは気象庁のデータベースから、そして地質データは九州地盤情報共有データベースから調査した。最終的に、災害データとして発生した災害の種類、発生日時、被害額、誘因として 19 年間各日の日降水量, 最大時間雨量, 最大風速, 1 日前~6 日前の日降水量. 素因として発生場所における  $N$  値, 粘着力  $c$ , 勾配  $\theta$  のデータを揃えた。

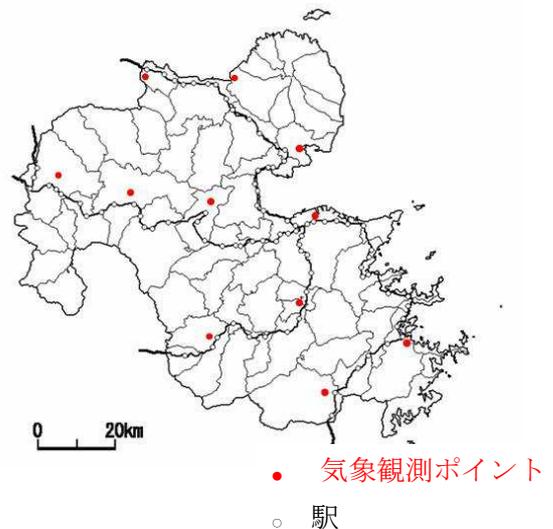


表-1 主成分分析の固有ベクトル

図-1 対象とした路線図

固有ベクトル	主成分 $Z_1$	主成分 $Z_2$
日降水量	0.568	-0.368
最大風速	0.035	-0.261
最大時間雨量	0.560	-0.371
1日前降水量	0.330	0.071
2日前降水量	0.247	0.313
3日前降水量	0.253	0.363
4日前降水量	0.229	0.400
5日前降水量	0.210	0.405
6日前降水量	0.181	0.317

本文では、気象データの有効範囲を、分析に必要な災害データ量および大雨の同時生起率を考慮し観測所から半径 30km とした。9 つある誘因を正規化した後、主成分分析を行った。累積寄与率を 90%以上とするため、第 1 主成分  $Z_1$  よび第 2 主成分  $Z_2$  を用いた。新しい指標である主成分  $Z_1$  および主成分  $Z_2$  は、主成分分析における各誘因外力の固有ベクトルを各誘因外力強度にかけることで算出した。固有ベクトルと算出した主成分  $Z_1$  および  $Z_2$  の関係を表-1 に示す。第 1 主成分  $Z_1$  は、全て符号が正であること、当日誘因の項目が特に大きい値を示すことから当日の影響を表すと指標と判断した。第 2 主成分  $Z_2$  は、1 日前~6 日前までの事前項目が正、当日の項目が負を示すことから、事前の影響を示す指標と判断した。主成分  $Z_1$  および  $Z_2$  の値を 12 段階に階級化し、各階級の災害発生日数を誘因発生日数で割ることで災害発生確率  $p$ 、最終的な累計災害発生確率  $P$  は、以下の式で定義した。

$$P_{i+1} = 1 - (1 - p_{i+1}) \times (1 - P_i) \quad (1)$$

式(1)により、実際に発生した災害だけでなく、起こり得た災害も組み込んだ累計発生確率となる。各エリアで発生確率を算出した後、互いの比較を行う為に分析範囲(距離)で除して単位距離あたりの累計災害発生確率とした。

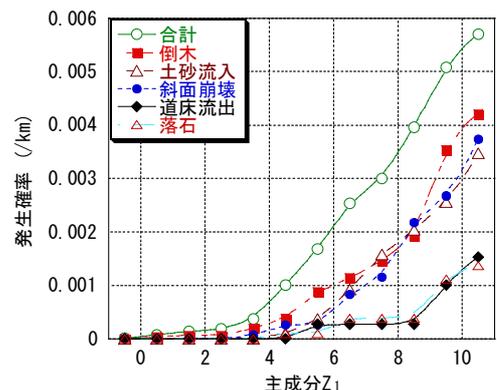


図-2 エリア 1 の発生確率

あるエリア1の主成分 $Z_1$ から算出した累計災害発生確率の分析結果を図-2に、別のエリア2の主成分 $Z_1$ における分析結果を図-3に示す。エリア1では、倒木・土砂流入・斜面崩壊災害のグループと、道床流出・落石災害の発生パターンが類似している。エリア2では、倒木災害・土砂流入災害の発生確率は極めて低く、斜面崩壊の発生確率の上昇が顕著である。また、このエリア2では土砂流入と道床流出の発生パターンが類似している。発生パターンの違いは、エリア1が $N$ 値の小さいシルト質の地域であったのに対し、エリア2が $N$ 値の大きい礫質土の多い地域であったためと考えられる。道床流出、落石、土砂流入災害における違いはこのグラフからは現れなかった。

エリア2における主成分 $Z_2$ から算出した累計災害発生確率の分析結果を図-4に示す。 $Z_2$ では-2以下の小さい範囲に災害発生が集中している為、 $Z_1$ によるグラフは滑らかな増加を示すのに対し、 $Z_2$ によるグラフは-1から4の間でほとんど変化せず、-2以下において急激な増加を示した。

**2.3 素因分析および考察**

駅間単位の $N$ 値、平均勾配、最大勾配および粘着力は、素因データをもとに算出した。最大勾配、倒木および落石災害の関係を図-5に示す。例外はあるものの、最大勾配が $30^\circ$ 付近を境界にして災害件数が急増した。この傾向は、土砂流入と道床流出災害でも同様の結果となった。特に、落石災害においては $27^\circ$ 以上でしか発生していない。以上から、最大勾配 $27^\circ$ 以上の駅間はそれ以下の駅間に比べ危険度が上であると判断できる。

災害被害額に関するデータから、斜面崩壊による被害損失は、誘因や素因の階級によらず、1件あたり560万円と推定された。エリア2は沿線距離が64.98kmなので、主成分 $Z_1$ が8の場合で約150万円の損失を、主成分 $Z_2$ が-3の場合で約75万円の損失が予想される。災害ごとに想定被害額を算出することで、発生確率が上昇を始める主成分 $Z_1$ が6.5以上および主成分 $Z_2$ が5以下を危険箇所とする一例を挙げる事ができる。

**3. まとめ**

鉄道沿線における災害の予測ならびにリスクマネジメントを目的とし、災害ごとの特性および発生確率等の試算を行った。結論を以下に示す。

1. 誘因を用いて主成分分析を行い、新しく2つの指標を算出した。
2. 算出した指標を用いて災害の累計発生確率を算出した結果、主成分 $Z_1$ は5以上で滑らかな増加を示し、主成分 $Z_2$ は中盤まで横這いを続け、-2以下で急激な増加を示す。
3. 地質により発生しやすい災害が異なり、 $N$ 値が小さいシルト質地域では倒木が発生しやすく、最大勾配が $27^\circ$ 以上の地域は落石・道床流出をはじめとした多くの災害が発生しやすいと思われる。
4. 発生確率と平均被害額から各エリアでのリスク分析、災害対策が可能となる。

**<参考文献>**

鈴木博人・高橋日出男:関東平野における大雨の空間スケール-鉄道と気象庁の降水量データを用いた統計解析-, 自然災害科学, Vol.27, No.2, pp. 161-173, 2008

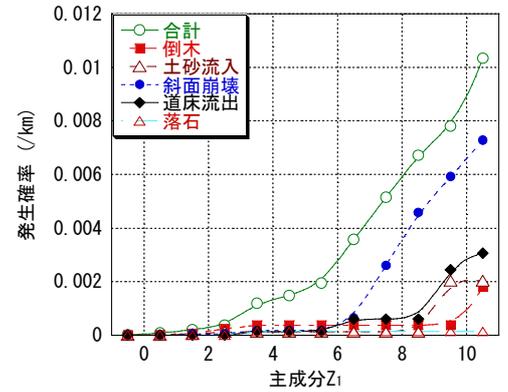


図-3 エリア2の発生確率

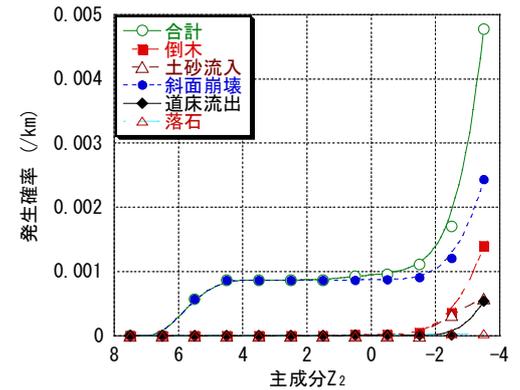


図-4 エリア2の発生確率

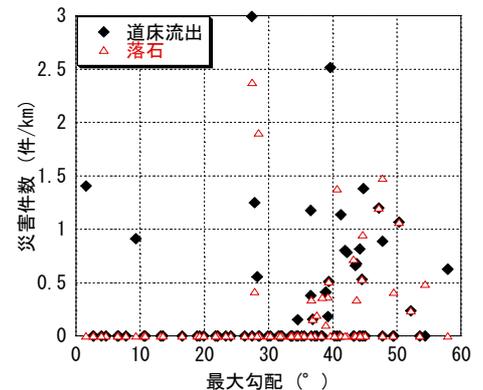


図-5 最大勾配と災害の関係