

鉄道の降雨災害に対する斜面投資における意思決定行動分析

東京大学 正会員 柴崎隆一
 東京大学 学生会員 田仲洋之
 東京大学 正会員 家田 仁

1. はじめに

各種の事故・災害リスクに対する人間の評価は、被害規模や生起頻度といった、当該リスクの特性によって異なる。特に、カタストロフィックな被害が発生するリスクや、稀少頻度のリスクでは、不確実性・不可逆性・被災の集合性などが存在するため、機械的に計算された生起頻度や被害額に対する人間の評価特性は相当程度に偏差を持つと予想される。そのため、当該リスクに対して行われる防災投資の期待被害軽減便益の計算において、生起頻度や被害額といった当該リスク固有の値をそのまま用いた場合に最適とされる防災投資のあり方（例えば、防災レベルや投資箇所（優先順位））が、実際に行われるものと異なるケースがしばしば見られる。本研究は、鉄道の降雨災害に対する斜面投資を例に、期待被害軽減便益算出モデルを構築し、その結果と防災投資実績を比較することで、現状の防災投資における意思決定行動の分析を試みた。

2. 便益算出モデルの概要

期待被害軽減便益は、防災投資前後における災害による被害額 D とその発生頻度 fr を乗ずることで得られる期待損失 $D \cdot fr$ の差で定義される。被害額と生起頻度は一対一に対応するとし、また、一般的に被害額の大きい災害ほど生起頻度が低いことから、 D と fr の関係を示す被害額曲線 $D(fr)$ は図 1 のように描ける。これより、防災投資による期待被害軽減便益 ΔOB は下式で表される。 D^o 、 D^w はそれぞれ投資前後の被害額曲線である。

$$\Delta OB = \int_0^{\infty} fr \cdot (D^o(fr) - D^w(fr)) dfr \quad \dots \textcircled{1}$$

本研究では、対象エリアをJR東日本管内の全在来線とし、これを路線や線路等級を参考に 170 の線区に分割し、それぞれの線区ごとに斜面率、防災投資の進捗率、輸送量、旅客列車本数などを与えた。意思決定者であるJR東日本は、予算制約のもとに毎年投資箇所を選択し（単位斜面距離あたりの防災投資コストはど

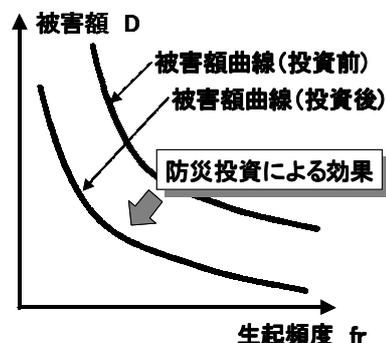


図 1 被害額曲線 $D(fr)$

こでも一定とした)、防災投資を行うと仮定した。また、地質や地形の相違等は考慮せず、斜面災害の発生頻度や被害額は日降水量のみに依存するとの仮定して計算を行った。

3. 便益算出のための諸要素

1) 降雨の生起頻度

本モデルでは fr を降雨の年生起頻度としている。降雨傾向と沿線にある地上観測気象台の位置を参考に、対象エリアを 36 の地域に分割し、各地域ごとに、日降水量 Q (mm/day) と頻度 fr の関係を求めた。ここで、 a_j 、 b_j は各線区 j ごとに定まる定数である。

$$fr(Q) = a_j \cdot Q^{-b_j} \quad (\text{ただし } 30 < Q < 400, \text{ 以下同様}) \quad \dots \textcircled{2}$$

2) 斜面の崩壊確率

過去 3 年分 (1997-1999) の災害履歴と気象データより、日降水量 Q に対して、対象エリアで崩壊が生じた斜面数 (斜面 100m で 1 単位) を求め、そこから斜面の崩壊確率 $P(Q)$ を得た。 P^o 、 P^w はそれぞれ投資前後の崩壊確率である。

$$P^o(Q) = 3.49 \cdot 10^{-5} \cdot Q \quad \dots \textcircled{3}$$

$$P^w(Q) = 1.09 \cdot 10^{-7} \cdot Q^2 + 1.13 \cdot 10^{-5} \cdot Q \quad \dots \textcircled{4}$$

3) 斜面崩壊により生じる損失

斜面崩壊に伴う損失として以下の 3 つを考慮した。なお、損失の単位はすべて百万円である。

i. 崩壊土砂の除去・復旧費 D_1

斜面崩壊による直接的被害であるが、今回のデータでは日降水量と被害額の相関が得られなかったため、日降水量には依存させず、過去の災害復旧工事費用の平均値を与えた。 D_1^o 、 D_1^w が生じる確率がそれぞれ P^o 、 P^w である。

$$D_1^o = 8.39, \quad D_1^w = 3.79 \quad \dots \textcircled{5}$$

ii. 不通による運賃収入減少分 D_2

電車が折り返しできる地点が線路 10km ごとに存在すると仮定する。ある折返し区間内で 1 箇所でも斜面が崩壊すれば、その区間は不通となり、運賃収入は得られない。ここで、 f_j を線区 j における運賃収入 (百万円/10km/day)、 sus を不通期間 (今回はデータの都合上 1 日に固定) とすると、

$$D_{2j} = f_j \cdot sus \quad \dots \textcircled{6}$$

となる。また、折返し区間内で 1 箇所でも斜面が崩壊する確率 P_{sus} は下式で表せる。ここで、 P_j^o 、 P_j^w はそれぞれ未投資・投資済の斜面数 (斜面 100m で 1 単位) である。

Keyword: 防災投資, 社会的意思決定, 鉄道の斜面災害
 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院
 工学系研究科社会基盤工学専攻 交通・都市基盤計画研究室
 tel :03-5841-6116 fax :03-5841-8507 e-mail :shiba@trip.t.u-tokyo.ac.jp

$$P_{susj} = \left\{ 1 - (1 - P^o(Q))^{l_j^o} \cdot (1 - P^w(Q))^{l_j^w} \right\} \quad \dots \textcircled{7}$$

iii. 事故による人身・車両損失 D_3

$$D_{3train} = 100 \text{ (車両損失)} \quad \dots \textcircled{8}$$

$$D_{3death} = 33.2 \text{ (乗客の死亡損失)} \quad \dots \textcircled{9}$$

$$D_{3inj} = 0.88 \text{ (乗客の負傷損失)} \quad \dots \textcircled{10}$$

車両事故の発生確率 P_{col} は、斜面崩壊が生じた時、列車がその地点に存在する確率を与えた。 n_j は旅客列車の本数 (本/day), $pass$ は、1 区間 (斜面 100m) を通過するのにかかる時間 (時速 50km として、0.002 時間 (7.2 秒)) を与える。

$$P_{colj} = \frac{n_j \cdot pass}{24} \quad \dots \textcircled{11}$$

また、事故により乗客が死亡する確率 P_{death} は、過去の事故データより 0.072 とした。これらより、事故による損失は下式で表せる。 $flow_j$ は輸送量 (人キロ/day/km) である。

$$D_{3j} = P_{colj} \cdot \left\{ D_{3train} + \frac{flow_j}{n_j} \cdot (P_{death} \cdot D_{3death} + (1 - P_{death}) \cdot D_{3inj}) \right\} \quad \dots \textcircled{12}$$

4. 現状の意思決定行動の分析

以上の前提に基づいて、線区ごとに期待被害軽減便益 ΔOB を求めた。図 2 は ΔOB の大きい順に各線区を並べてプロットし、3 年間で実際に投資された線区に印をつけたものである。意思決定者の目的が単純な便益の最大化であれば、便益の大きい線区から順番に集中的に投資を行うことが合理的であるが、実際には各線区にまんべんなく、分散的に投資がなされていることが分かる。このことから、実際の防災投資の意思決定は便益の大きさだけに着目して行われているわけではないことが推察される。

次に、図 2 中の線区順位と便益の関係のグラフを、傾きの大小に着目して 2 つのグループに分割する。3 年間で防災投資がなされた斜面の距離を比較すると、傾きが大きいグ

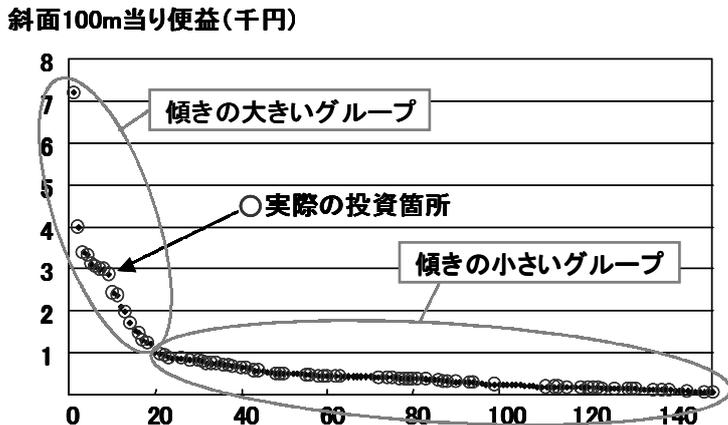


図 2 各線区の斜面 100m あたりの便益と実際の投資箇所

ループ、すなわち、各線区の便益の差が大きいグループでは路線 10km あたり平均約 80m であるのに対し、傾きの小さい、すなわち、各線区の便益の差があまりないグループでは約 31m となっていて、前者のほうがより手厚く投資されていることが分かった。

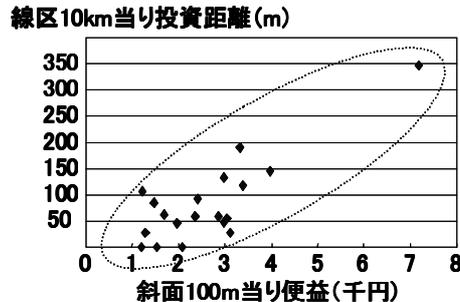


図 3 便益と斜面投資距離の関係 (傾きの大きいグループ)

傾きの大きい (各線区の便益の差が大きい) グループに注目すると、このグループでは、この 3 年間でほとんどの線区に対して何らかの投資がなされている。また図 3 より、3 年間の斜面投資距離と本モデルで計算された便益が比例関係にあることが分かり、投資の意思決定の際に各線区の便益の大きさがある程度考慮されているといえる。これに対し、傾きの小さい (各線区の便益の差があまりない) グループでは同様の比例関係は見られず、より分散的な投資状況となっていて、便益の差があまり意味を持たない。また図 4 に示すように、支社別の総路線距離と投資斜面の総距離に相関が見られ、このグループにおいては、支社間のバランスを考慮して投資が行われていることが推察される。

5. おわりに

本研究では、鉄道斜面災害に対する防災投資について便益算出モデルを構築し、現状の投資状況と比較した。その結果、①投資の意思決定基準は単純な便益の最大化ではなく、全体としては各線区に分散的に投資しているといえるが、②線区間の便益の差が比較的大きい状況においては便益の大きさがある程度考慮されること、③便益の差が小さい線区については支社間のバランスを考慮して投資が行なわれていると考えられること、の 3 点を得た。

参考文献

1) 柴崎・亀井・家田, 防災投資の実績を用いた『生起頻度と被害額』に関する社会的なリスク認知特性の計測, 土木計画学研究・講演集, No.23(1), p275-278, 2000.10.

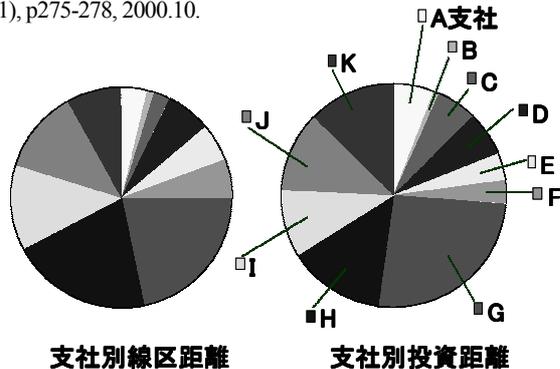


図 4 支社別の総路線距離と総斜面投資距離の比較 (傾きの小さいグループ)