

大雨発生時の列車運転規制決定方法の検討

中央大学 学生会員 須山友太郎 中央大学 正会員 佐藤尚次
JR 東日本 防災研究所 外狩麻子 JR 東日本 防災研究所 島村誠

1. はじめに

日本には、地震、大雨、台風、雷、大雪などによる様々な自然災害が発生している。中でも大雨の発生頻度は近年上昇しており、全国 1300 地点での観測データにおいて、1987 年から 1997 年の年平均時間 50mm 以上の降雨は 234 回だが、その後の 10 年間には 313 回と急増している¹⁾。これらは、鉄道にも影響をあたえ、列車の遅延要因となっている。JR 東日本区内では 2008 年には降雨に起因する盛土崩壊、土砂流入などの大小の線路故障が 102 件あるとされている²⁾。「事故は起こさないが遅延時間も短く」というのが一番の理想であり、鉄道会社は日々そのより高い安全を目指している。しかし、管理の面からみればこれは生産者危険と消費者危険に対応するトレードオフである。

現在の運転規制プログラム中における一定以上の雨が降った際、列車を止めなければならない雨量の規制値は、今までに JR 東日本で発生した線路故障から経験的に定められた値になっている。そのため、必ずしも説明性があるともいえない。そこで本研究では、この運転規制プログラムが信頼性理論の枠組みの中で、どのように位置づけられるのかを調べていくことにより、説明性の高さを加えていこうとする。

2. 従来の災害捕捉システム

現在 JR 東日本では、線路故障を捕捉する際には、タンク内の水の減り具合を半減期で表した、実効雨量を用いているが³⁾、つい最近までは横軸に連続雨量、縦軸に時間雨量を取っている。そこに各エリアで設定された規制値を、図-1 に示すシステムで線路故障を捕捉していた。従来のシステムの問題点としては、時間雨量と連続雨量の考え方の違う指標を同時に使うので、規制値が一意的に決まらない、連続雨量の計測方法が、12 時間以上無降雨でリセットされてしまうので、その前後の時間の降雨により雨量が大きく変化するなどが挙げられる。

そこで実際にどれくらい従来のシステムで線路故障を捕捉出来るのか、A 線の a 駅を例にとって図-1 の上にプロットしてみると、図-1 に示すとおり規制値内での線路故障も少なくない。先程の連続雨量の計測方法に問題はあるにしても、極めて雨量の少ない条件下で線路故障が生じることがあるのは事実である。従来の考え方を多少修正したぐらいでは説明

がつかない点もあるように見受けられ、明確に線路故障の有無を識別できる説明変数の発見は容易ではない。規制値というのは線路故障発生が 0% というのを保証しているのではなく、これは多次元のフラジリティカーブの等高線の近似値と解釈しており、社会的に受忍可能なリスクレベル以下であることを「表現」していると理解することができるであろう。

また図-2 に概念的に多次元フラジリティ曲線（曲面）を示した。フラジリティ曲線は耐震設計分野のリスク分析の中ではよく用いられるが、横軸に作用あるいは作用因子の軸をとって、その増加による被害発生率の増加を示したものである。建築物の地表被害では横軸の説明変数として、PGV（地表面最大速度）の方が PGA（地表面最大加速度）よりも説明性が高いとする認識が一般的である。

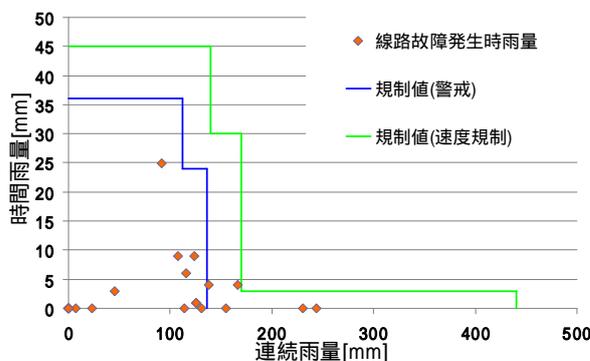


図-1 従来の方法での災害発生状況

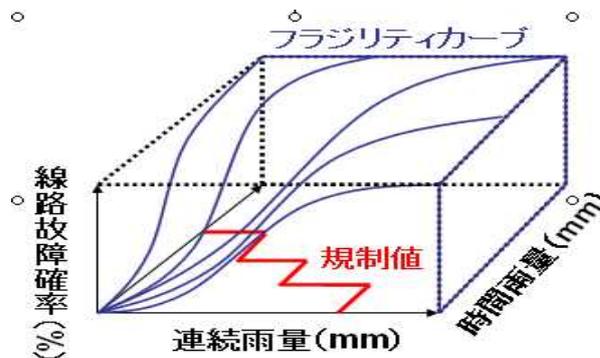


図-2 災害発生率の分布

キーワード：実効雨量, フラジリティカーブ, R-S モデル, ロジスティック関数, シグモイド関数

連絡先：東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科

以下、JR 東日本防災研究所で収集できたデータに基づき、連続雨量に対応するフラジリティ曲線の特定を試みる⁴⁾⁵⁾。本研究では、現在用いられている実効雨量ではなく、取り扱いがより容易な従来の連続雨量を取り扱っている。今後、プロセスを形成してから多変数へと移行して、一般式化していく予定である。

3. フラジリティカーブの作成

実際に A 線の駅での雨量データと線路故障データから、縦軸に連続降水量、横軸に破壊確率を設定し、10~20, 30~40 と一定の雨量の間隔をとり、その間隔での実際に線路故障が発生した降雨回数から、その間隔の総降雨回数を割ったもので表される線路故障発生率をとってプロットしていき、図-2 を作成した。そのプロットを基に、ロジスティック関数の一つの形であるシグモイド関数(式-1)を用いて近似曲線を描いた。利用した場所は先程扱った a 駅周辺の雨量計である。プロットされた点を見ると連続雨量が 100mm を越えた値で急に発生確率が上昇し、200mm を超えると発生確率 100% の方へなだらかに上昇していく。しかし、降水量が大きくても災害が発生していないデータも存在し、それによりシグモイド曲線の上昇は鈍くなっている。ロバスト的な考え方をするならマルチニアなどを用いた方がリスク上昇の直感的印象に近い表現ができるのかもしれない。

4. 地形的特徴の考慮

ここで提案したフラジリティカーブは、線路故障事例数が少なく精度は十分ではないものの、枠組みは構築出来たと考える。線路故障データのある b 駅、c 駅の駅周辺でも同様に作業し、これを図-3 に示す。これらのカーブの違いの説明変数としては、地形・地質に着目する。都道府県または市町村レベルでの災害発生危険指定箇所を参考に、Google Earth、等高線図を利用し、台地と低地の境のある崖線地形で、かつ交通量の多い首都圏の電車区間に近接する箇所を探索した。図-5 に示した D 線 d 駅付近は、線路故障データは得られていないものの、「a 駅と「地質が堆積岩でできている」、「駅周辺に急傾斜による土砂崩れの発生する恐れのある地点が 2ヶ所ある」などの地形的特徴の類似がみられる。今後は当該地点の対策工事の状況なども勘案し、フラジリティカーブの説明変数に加えていくことを想定している。

5. 終わりに

1) 現在のシステムへの移行

現在の運転規制に対応づけていくために、「時間雨量」と「実効雨量」の 2 つの変数の関数として曲線の関数形を表現していく。またこのフラジリティ「曲面」の線路故障発生確率ごとの等高線（限界雨量曲線）描きそしてこれと運転規制システムと対応させていく。(図-5)

2) 地質・地形的特徴の取り入れ

現在 JR 東日本で扱っている地質・地形の危険評価プログラムを用いて危険地点を点数で数値化を行いフラジリティカーブに取り組む。

$$S_a(x) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma x}} + \delta \quad \text{-(式-1)}$$

シグモイド近似曲線

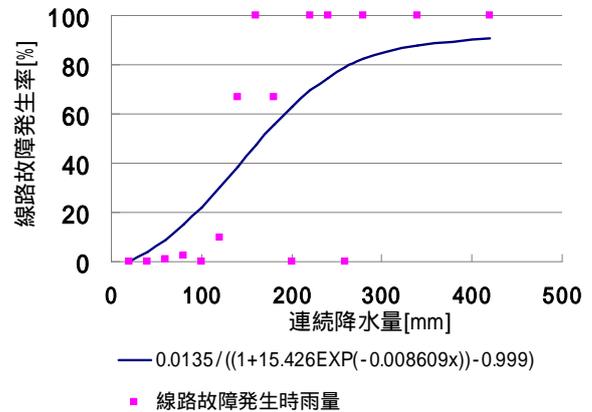
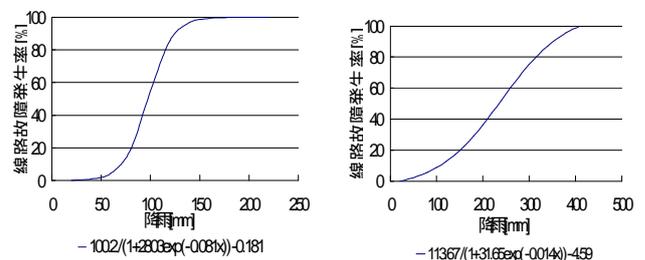


図-3 a 駅でのフラジリティカーブ



b 駅 c 駅

図-4 フラジリティカーブ



図-5 D 線 d 駅危険箇所

参考文献

- 1) 浅羽雅晴: 温暖化時代の集中豪雨・都市洪水にどう備えるか, 社会法人 日本損害保険協会 予防時報 234 2008
- 2) 日本鉄道施設協会誌: 2008
- 3) 鈴木修, 島村誠他: 実効雨量指標を用いた降雨時運転規制手法導入について, JR East Technical Review No21 2007
- 4) 島村誠, 友利方彦: 降雨時列車運転規制に用いる危険指標の選択について, 土木学会第 58 回年次学術講演会, IV-012 2003
- 5) 杉山 友康: 斜面の降雨被害発生確率による防災投資の意思決定支援手法の研究, 第 214 回 鉄道総研月例発表会: 防災技術に関する最近の研究開発