

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 フェロー会員 島村誠 JR 東日本 防災研究所 外狩麻子

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⁾。こうした中、平成 18 年度の JR 東日本管内で起きた降雨に起因する盛土崩壊、土砂流入などの構造物被害を伴う線路故障は全部で 102 件発生している²⁾。これらは列車事故に繋がるため、電車を止めなければならないが、一方で大雨が降っても線路故障が起こらないケースもありその場合は結果的に何も無いのに電車が止まるという事態も増えてしまう。「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、鉄道会社が目指している目標である。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、必ずしも理論的に一般化された裏付け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. 従来の線路故障捕捉システム

次に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 駅を例にとってみた。(図-1) この規制値は線区ごとで制定されており、降り始めからの連続雨量と一時間雨量の関係で警戒及び速度規制が決まっているが、規制値以下であると思えば規制値外で起こらないケースもあり、このプログラムの良し悪しを判断しにくいところがある。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。また補足として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りスクレ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。

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。³⁾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。

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。

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。

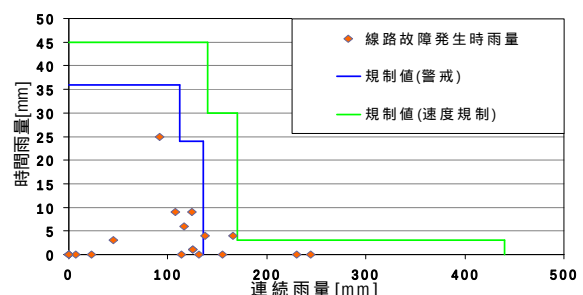


図-1 従来の方法での災害発生状況

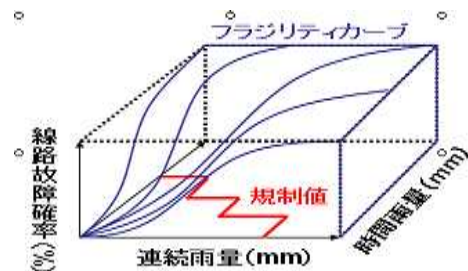


図-2 災害発生率の分布

3. フラジリティカーブの作成

1) シグモイド関数

ここで決定論的な見方に変えて確率論的な見方でフラジリティカーブを作成した。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作成した。そのプロットを基に、ロジスティック回帰の一つの形であり、ニューラルネットワークなどで利用されているシグモイド関数(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

キーワード : 連続雨量 時間雨量 フラジリティカーブ ロジスティック回帰 シグモイド関数

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816 fax.03-38171803

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リ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．ここで提案したフラジリティカーブは，線路故障事例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．

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

2) デジタル・フィルタ

次にデータ数の少なさが原因でカーブの外形が中々精度のいいものにならず曲線が粗くなってしまうので，曲線を滑らかにするためにデジタル・フィルタの一種である Hamming ウィンドウを使用した．

4. 作成結果

1) 連続雨量

次に実際に参照地点を3つほど選んでみた．図-3のように青のデジタル・フィルタをしたものと赤のそうでないもので差がある・ないもある．しかし先ほどの図-1はa駅のものだが運転規制のライン100mm程度の発生率は30%程度でそのあたりから急に上がるのが経験測であり，Hamming ウィンドウをかけたほうが対応していることも読み取れる．また降雨が地盤に浸透し時間差で起こる車両事故を，降雨0mmでの発生確率上昇で表すことができた．

2) 連続雨量

同様に時間雨量でのフラジリティカーブを作成したところa，b駅では曲線が立ち上がりず説明変数としては機能しておらず，逆にc駅では時間雨量の影響が見取れる(図-4)この原因にはa，bに関しては時間50mm以上のデータがないこと，3地点で言えることは時間雨量という雨量指標が短い時間の間隔の数値なので規制を掛けるタイミングが早く行えることが原因に挙げられる．また後者に関しては電車を止めるが線路故障が起こらない確率が上昇していると考えられる．さらにb駅は他と違う形となったので詳しく調べてみた．30mmの雨量を超えることが稀だが少ない雨量での発生と高い雨量で発生しないことにより直観的にデータの質の違いがあると考え、それぞれの発生時期を調べた．95～98年のあたりで分布が変わりこれは大規模な補強工事などがあったのではと考えられる．もしあったと仮定したとき同じ時期の連続雨量での発生分布を見てみるとそれがなく舗強工事が短期的な雨に強く長期的な雨に弱いといえる．このことから連続雨量と時間雨量に説明変数の性格の違いがあると考えられる．

5. 地形的特徴の考慮

ここまで行ってきたフラジリティカーブの違いに影響している要因の一つとして，それぞれの地点の地形・地質の特徴が考えられる．そこで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してGoogle Earth，等高線図を利用し，3地点で調査を行った．c駅での時間雨量のフラジリティカーブの違いにこれらが影響しているのかもしれないが，今後は当該地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．

6. まとめ・今後の課題

1) 現在のシステムに対する見解

連続雨量の方が時間雨量より線路故障捕捉との相関性が高く連続雨量に地質特性を取り入れた現在JR東日本が扱う補足システムは精度がよいと考えられる．

2) 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．

3) 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込む．

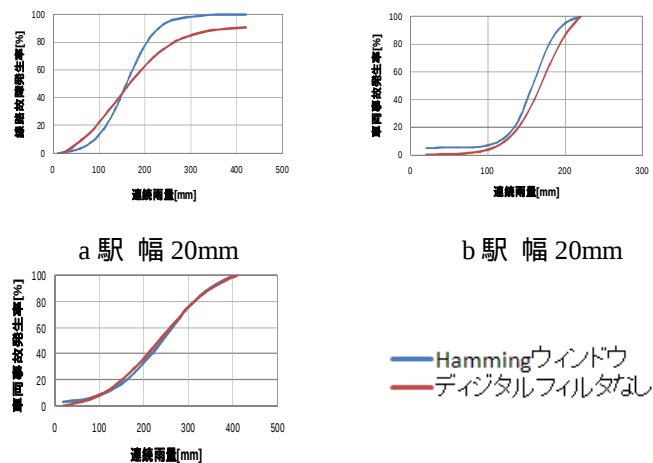


図-3 フラジリティカーブ(連続雨量)

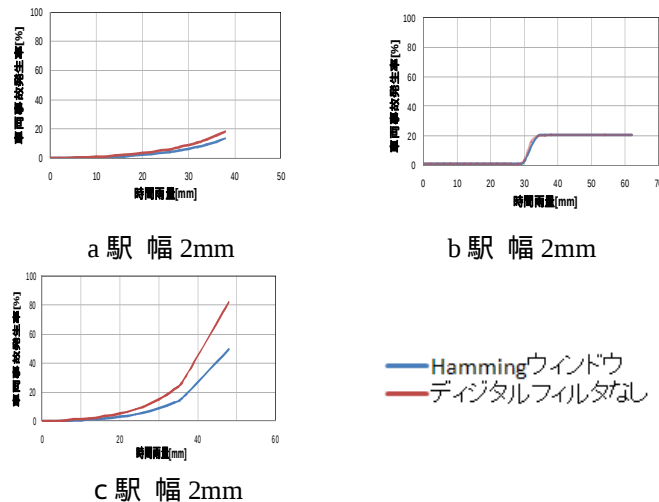


図-4 フラジリティカーブ(時間雨量)

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，友利彦彦: 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