

大雨発生時の列車運転規制決定方法の一考察

○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 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 97 年の年平均時間 50mm 以上の降雨は 234 回だが、その後 10 年間では 313 回と急増している¹⁾。こうした中、平成 18 年度の JR 東日本管轄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⁾ 当然これらは列車事故に繋がるもので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場合もあり、結果的に何もないのに電車が止まるという事態も増えてしまう。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くとする。

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いるが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、規制値以下で線路故障があると思えば規制値外で起こらないケースもあり、決定論的な見方でいえば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。確率論的に見ると規制値というのは線路故障発生が 0%ということを保証しているのではなく、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。

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。

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性を試みる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。

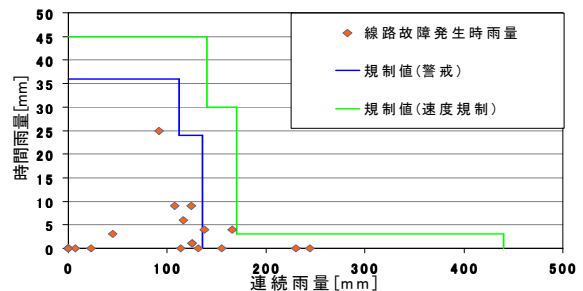


図-1 従来の方法での災害発生状況

3. フラジリティカーブの作成による考察

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。

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に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

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

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) 時間雨量

同様に時間雨量での fragility curve 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よくなく, c 駅では説明変数として時間雨量が有効であるようである。(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 2 番目の理由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。

5. 線路故障発生時の降雨の特性

次に線路故障を起こした降雨がどのような特性があるかを調べた。特性を調べるために、階段状の規制を上からそれぞれ短期・中期・長期雨量型とし、規制値を著しく下回った線路故障を省き、発生降雨が直前に越えた型と直後に越えた型をそれぞれ調べた。(図-5 右下) この場合は運転中止の判断する規制値を中期雨量型で超過し、長期雨量型で降雨が同規制値を下回っているため、中期から長期と定義する。そうしていったところ b 駅では短期から短期での頻度が高かった。これは集中豪雨型と考えられ被害の規模が小さく規制の空振りが多いものである。次に c 駅は短期から長期、長期から長期の大雨・長雨型と考えられ、これは規模が多きく規制継続時間が長くなると考えられる。また a 駅はあまり特徴がみられず一般型とした。

次にこの特性と規制値を降雨の超過時間の面から考察した。(図-5) まず規制値を超えることなく発生したのを見てみると被害の規模は小さく、時間雨量 5mm 程度連続雨量 20mm 程度であった。これらは超過時間でみると発生リスクを保有しても問題ないと考えられる。また規制値との関係を見ると b 駅では集中豪雨型に合わせて短期の規制が低く設定されていて実際の線路故障時の降雨をとらえているといえる。しかし c 駅では短から短の発生はないにもかかわらず短期での規制が低くなっており空振りにつながるのではないかと考える。しかし総合的に見ると降雨特性にあった規制といえる。

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車両故障補足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 fragility 「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。

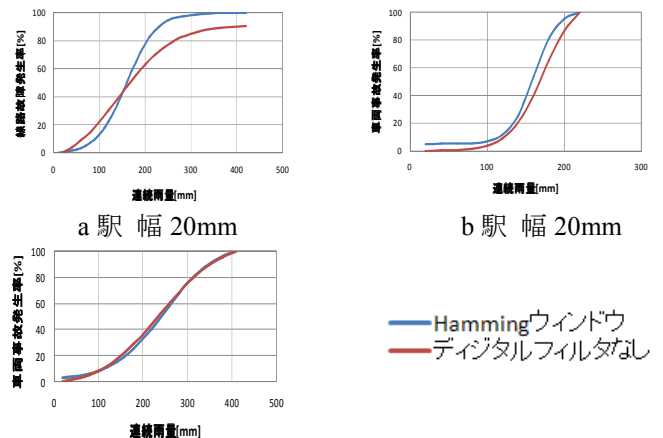


図-3 フラジリティカーブ(連続雨量)

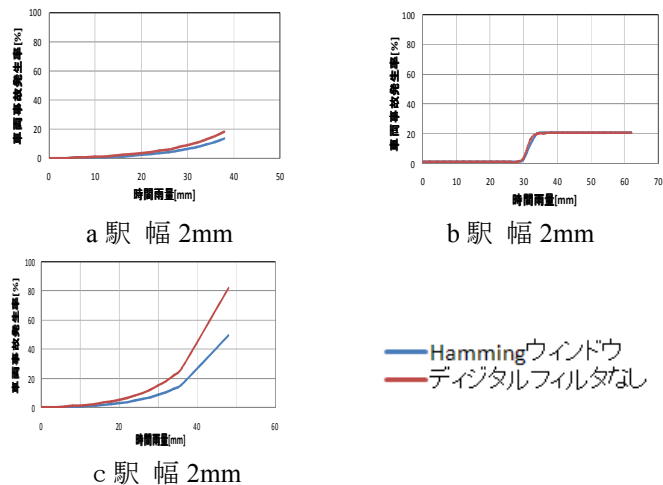


図-4 フラジリティカーブ(時間雨量)

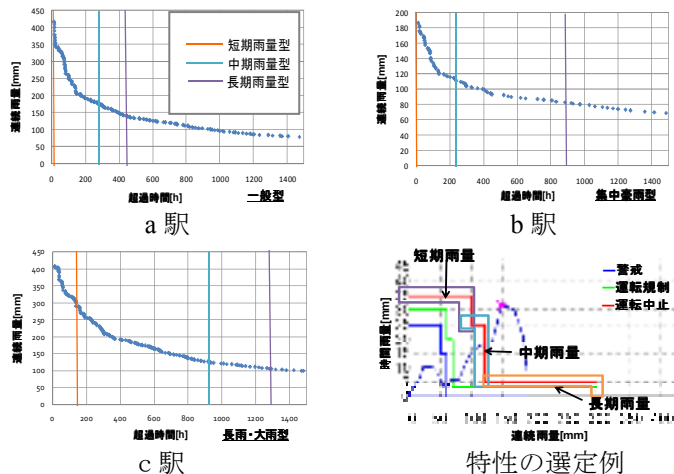


図-5 超過時間からみた線路故障・規制値

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