

レーダー雨量の列車運転規制への活用に関する研究

Study on utilization of the radar rainfall for the train operation control



渡邊 美徳*



大島 竜二**



鈴木 博人*

East Japan Railway Company (JR East) enforces the train operation control based on precipitation observed by rain gauges to ensure the safety of train operation during heavy rain. In JR East, the rain gauges are installed in approximately 10 km intervals. These rain gauges can detect the majority of heavy rainfall that occurred in any area along the railways. However, there are a few cases when these rain gauges cannot detect localized heavy rainfall. Therefore, we developed a train operation control method by using the radar rainfall. This method can detect localized rainfall that cannot be detected by the rain gauge.

●キーワード：列車運転規制、大雨、雨量計、レーダー雨量

1. はじめに

鉄道では降雨時の列車運行の安全を確保するために、雨量計で大雨を検知した場合に、運転中止や速度規制といった列車運転規制を行っている。列車運転規制に用いる雨量計は、多くの鉄道において積乱雲の水平方向の広がりが10km程度という定性的な理由から、10kmを標準として設置されている^{1) 2)}。鉄道では、このような降雨時の列車運転規制(ソフト対策)と、防災設備による耐降雨性能の向上(ハード対策)とを併せて行うことで、降雨に起因した列車脱線事故を大幅に減少させてきた³⁾。

このように配置された雨量計では、線路沿線の任意の地点で発生する大雨を概ね捉えているとされている一方で、局地的な高い大雨は大雨として捉えられない場合がある⁴⁾。そこで、本研究では、降雨時の列車運行の安全をより向上するために、面的な降雨量の情報であるレーダー雨量を活用することで、鉄道の雨量計では検知されない場合がある局地的な大雨を検知可能な列車運転規制方法を開発した。

2. 列車運転規制方法

東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本)の在来線では、約10km間隔に設置した雨量計で観測される降雨量が列車運転規制基準値を超過した場合に、その雨量計の受持ち区間に対して列車運転規制が実施される。列車運転規制は、一般的な区間においては雨量計で観測される降雨量が多くなるのに従って、平常運転から、警戒、速度規制、運転中止となる。また、雨量指標には、半減期1.5、6、24時間の実効雨量が用いられている⁵⁾。

3. 資料

3.1 降雨量データ

降雨量データは、国土交通省解析雨量とJR東日本の雨量計で観測された降雨量データを用いた。解析雨量は2006年以降日本全国の約1kmメッシュの1時間雨量を得ることができ、解析雨量CD-ROM/DVDの正時の値を使用した。JR東日本の雨量計は1回の転倒が0.5mmの転倒ます型雨量計で、解析雨量と同様に正時の1時間雨量を用いた。なお、解析の対象期間は、両者の降雨量データのそろそろ2006年から2013年とした。

3.2 降雨災害データ

降雨災害データは、JR東日本の在来線において2006年から2013年に発生した列車の運行に影響を及ぼした289事例を用いた。これらの降雨災害の内訳は、盛土崩壊が87事例、切取・自然斜面崩壊が149事例、土石流が2事例、道床流出・線路冠水が51事例であった。ここで降雨災害とは、災害発生時に発生地点を受持つ雨量計において1mm以上の降雨がみられた場合とした。このように定義したのは、降雨量が小さい事例については降雨との因果関係がはっきりしないものも含まれるが、雨量計の地点では降雨量が小さいが災害の発生地点では降雨量大きい可能性があるためである。

289件の降雨災害について、降雨災害の発生時の降雨量を災害の発生地点を受持つ区間の列車運転規制基準値と照らし合せて、運転中止の発令中(以下、運転中止中)、速度規制の発令中(以下、速度規制中)、および警戒の発令中(以下、警戒中)と、平常運転中に発生した災害に4分類した。289件の降雨災害のうち、運転中止中、速度規制中、

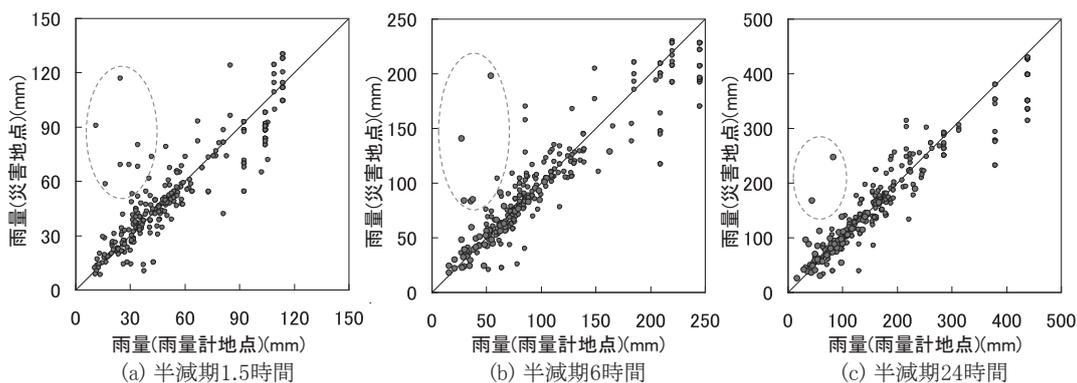
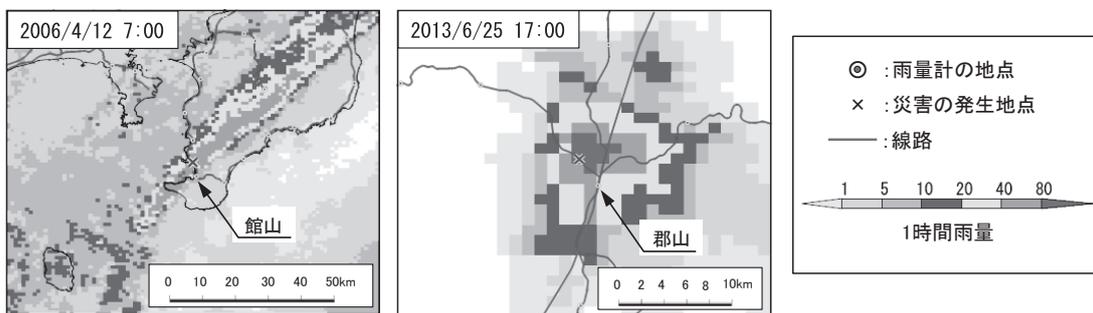


図1 雨量計の地点と災害の発生地点における実効雨量値の関係



(a) 内房線富浦・那古船形間切取崩壊水 (b) 磐越西線郡山・喜久田間線路冠水

図2 雨量計の地点の降雨量が災害の発生地点の降雨量の2倍を超える事例での災害の発生時における解析雨量(1時間雨量)⁴⁾

警戒中、および平常運転中に発生した件数は、それぞれ230件、25件、20件、および14件であった。

ためには、雨量計では検知されない局地的な大雨も捉えることのできる列車運転規制方法を開発することが課題である。

4. 列車運転規制方法の課題

鈴木・大島⁴⁾は、前述の289件の降雨災害について、災害発生地点と雨量計地点での実効雨量値の差異を調べた。図1には、解析雨量を用いて、降雨災害の発生時における雨量計の地点と災害の発生地点を含むメッシュにおける半減期1.5、6、24時間の実効雨量値の関係を示した。図1によると、降雨災害の発生時における両者の実効雨量値の関係を表す点は1対1の直線の近くに多くみられ、多くの災害事例において両者の実効雨量値に大きな差がみられない。これから、鉄道の雨量計は線路沿線の任意の地点における災害を発生させるような大雨を概ね検知できていると考えられる。一方で、事例数は少ないものの、雨量計の地点に比べて災害の発生地点の実効雨量値が数倍大きくなる場合がある。このような事例は、図2のように隣接する雨量計と雨量計の間に線状の大雨域や局地的な大雨域が収まるように停滞する場合である⁴⁾。つまり、事例数は少ないものの、雨量計と大雨域の位置関係によっては、雨量計では災害を発生させるような大雨を検知できない場合がある。

そのため、降雨時の列車運行の安全性をより向上させる

5. レーダー雨量を活用した列車運転規制

5.1 列車運転規制方法の提案

鉄道の雨量計では、前述のように線路沿線の任意の地点における災害を発生させるような大雨を概ね検知できていると考えられる。よって、雨量計による列車運転規制を継続する。その上で、鉄道の雨量計では検知されない場合がある局地的な大雨も検知可能な列車運転規制方法として、解析雨量の1時間雨量を補完的に用いる方法を提案する。

鈴木³⁾は、降雨災害に起因した列車脱線事故と、運転士が災害を発見して停止することで脱線しなかった事例を対象に、運転士が災害を発見したときの列車速度を調べた。その結果、列車脱線事故は列車速度が徐行速度以下であった場合にほとんど発生していないことと、徐行運転の場合には運転士が災害を発見して停止した事例があることを示した。これから、列車脱線事故の防止に、速度規制を実施することの効果は大きいと考えられる。よって、解析雨量による列車運転規制では、降雨量が基準値を超えた場合には、速度規制を行うことを考える。

5.2 列車運転規制方法の評価

自然災害に対する列車運転規制を行う際の基本は、自然外力により被る危険を十分に回避(安全の確保)した上で、列車の正常な運行を可能な限り確保(安定性の確保)することである⁹⁾。そこで、解析雨量を活用した列車運転規制方法について、列車運行の安全性と安定性の両面から評価した。解析には、図3に示すように、雨量計による列車運転規制では離散的に配置された雨量計の観測値、解析雨量を活用した列車運転規制では線路を含むメッシュの雨量値を用いた。

安全性は、列車運転規制方法と列車運転規制基準値を定めた場合に、降雨災害の発生時における降雨量が速度規制基準値以上であった降雨災害の件数で評価する。これを降雨災害の捕捉数とする。安定性は、列車運転規制方法と列車運転規制基準値を定めた場合に、降雨量が速度規制基準値以上になる時間数で評価する。これを速度規制時間とする。

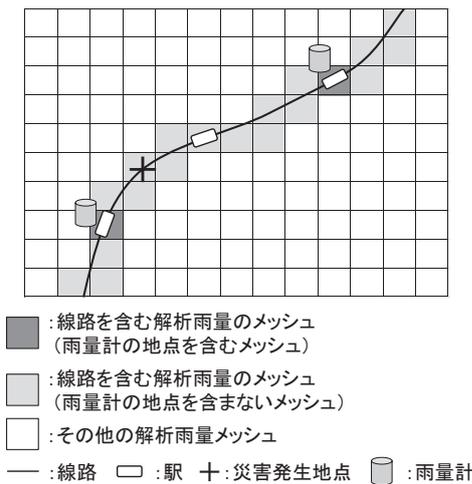


図3 解析雨量のメッシュと雨量計、線路、災害発生地点の関係の模式図

安全性の評価には、前述の289件の降雨災害事例を用いた。雨量計による列車運転規制では、運転中止中、速度規制中、警戒中、および平常運転中に発生した降雨災害の件数は、3.2項に示したように230件、25件、20件、および14件である。これから、雨量計による列車運転規制における降雨災害の捕捉数は、速度規制中と運転中止中に発生した災害件数の合計である255件で、表1の最左欄に示した。解析雨量による列車運転規制では、降雨災害の捕捉数を求めるにあたって、解析雨量による1時間雨量の基準値を30mmから100mmまでの10mm刻みで設定した。雨量計による列車運転規制において速度規制前に発生した降雨災害の中で、降雨災害の発生地点を含む駅間において、線路を含むメッシュの解析雨量を用いた場合に、降雨災害の発生時における1時間雨量の最大値が前述の基準値以上になる

降雨災害の件数を調べた。これは、列車運転規制に解析雨量による1時間雨量を用いた場合に、雨量計による列車運転規制に追加して捕捉できる降雨災害の件数である。図4には、降雨災害の発生時における雨量計による雨量計の地点の1時間雨量と、解析雨量による降雨災害の発生地点を含む駅間のメッシュにおける1時間雨量の最大値との関係を示した。この場合に、雨量計による列車運転規制に追加して捕捉できる降雨災害の件数は、表1の降雨災害捕捉数に示した。この件数に、雨量計による列車運転規制で速度規制後に発生した降雨災害の件数を加えた件数が、雨量計による列車運転規制を継続した上で、解析雨量による列車運転規制を補完的に用いた場合の降雨災害の捕捉数となる。

安定性の評価では、JR東日本において降雨時に速度規制を実施する82路線を対象にした。解析には、2006年から2013年における雨量計の観測値と解析雨量を用いた。雨量計による列車運転規制では、速度規制時間は路線内において1箇所以上の雨量計の観測値が速度規制基準値以上であった時間数で、表1の最左欄に示した。解析雨量による列車運転規制では、速度規制時間を求めるにあたって解析雨量による1時間雨量の基準値を30mmから100mmまでの10mm刻みで設定した。この場合に、雨量計による列車運転規制で速度規制が発令されていないときに、路線内の線路を含むメッシュの1つ以上において、解析雨量による1時間雨量がそれぞれの基準値以上であった時間数を求めた。これは、雨量計による列車運転規制を継続した上で、解析雨量を用いた列車運転規制を実施した場合に、雨量計による列車運転規制に追加される速度規制時間である。表1の速度規制時間には、雨量計による列車運転規制の速度規制時間に追加されるそれぞれの時間数の平均値を示した。この時間数に、雨量計による列車運転規制による速度規制時間の平均値を加えた時間数が、雨量計による列車運転規制を継続した上で、解析雨量による列車運転規制を補完的に用いた場合の速度規制時間の平均値となる。

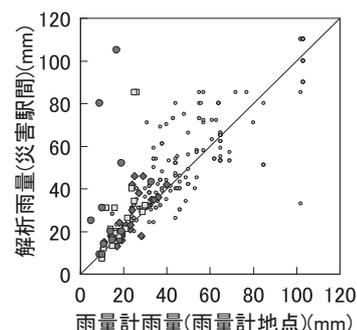


図4 降雨災害の発生時における雨量計による雨量計の地点と解析雨量による降雨災害の発生地点を含む駅間における1時間雨量の最大値との関係

表1 雨量計のみによる列車運転規制による降雨災害捕捉数、速度規制時間の平均値（時間/年）、およびそれらの比。雨量計による列車運転規制に、解析雨量による1時間雨量を用いた列車運転規制を追加して実施する場合に、追加される降雨災害捕捉数、速度規制時間の平均値（時間/年）、およびそれらの比

	雨量計の場合	雨量計による運転規制に下記の解析雨量の基準値による列車運転規制を追加して実施する場合							
		30mm	40mm	50mm	60mm	70mm	80mm	90mm	100mm
降雨災害捕捉数（件）(A)	255	12	7	5	4	4	4	1	1
速度規制時間（時間/年）(B)	17.970	4.178	1.073	0.325	0.097	0.025	0.016	0.005	0.004
B/A	0.070	0.348	0.153	0.065	0.024	0.006	0.004	0.005	0.004

表1には、雨量計による列車運転規制の災害の捕捉数と速度規制時間の平均値、およびこれらの比を示した。また、雨量計による列車運転規制に、解析雨量による1時間雨量の速度規制基準値を30mmから100mmの10mm刻みにした列車運転規制を追加した場合に、追加して捕捉できる降雨災害の件数と追加される速度規制時間の平均値、およびこれらの比を示した。ここで、降雨災害の捕捉数と速度規制時間の平均値の比は、降雨災害の捕捉効率を表していると考えることができる。降雨災害の捕捉効率は、解析雨量による1時間雨量の基準値が高いほど小さくなる傾向がある。この比は、1時間雨量50mm以上のときに、雨量計による列車運転規制の降雨災害の捕捉効率と同等または同等以下になる。これから、雨量計による列車運転規制を継続した上で、解析雨量による列車運転規制を補完的に用いる方法は、解析雨量による1時間雨量の基準値を50mm以上にすると、列車運行の安全性と安定性の両面からみた場合に雨量計による列車運転規制と同等または同等以上の効率で列車運転規制が実施できることになる。

一方、排水設備等の整備状況を調べると、鉄道では線路防護設備の防災強度は1、2、3、4級線でそれぞれ70、30、10、2年確率雨量としており、JR東日本管内における2年から70年確率の1時間雨量は25mmから120mm程度である⁷⁾。下水道は、例えば東京都や横浜市などが1時間雨量50mm、秋田市が51mmに対応できるように整備が進められている。また、河川では一般河川については、10年以下から50年確率雨量としている⁸⁾。このような排水設備の防災強度を大幅に超えるような大雨が発生すると、降雨災害の発生が懸念される。そのため、解析雨量による1時間雨量の基準値の設定には、鉄道内外の排水設備の整備状況の考慮も必要である。

以上より、解析雨量を活用した列車運転規制の基準値は、降雨災害の捕捉効率に加えて、鉄道内外の排水設備の整備状況を考慮して決める必要がある。

6. まとめ

本研究では、降雨時の列車運行の安全性をより向上するために、鉄道の雨量計では検知できない場合がある局地的な大雨も捉えることのできる列車運転規制方法として、雨量計による列車運転規制を継続した上で、解析雨量による1時間雨量を補完的に用いる列車運転規制方法を提案した。

この方法の導入にあたっては、実務的には以下の課題が残る。国土交通省解析雨量は、データの更新が30分間隔であることに加えて配信までに時間を要していることからリアルタイム性に乏しい。そのため、現状では国土交通省の解析雨量を列車運転規制に活用するのは難しく、データの更新間隔や配信時間を短くした独自の解析雨量を用いる必要がある。また、レーダー雨量として、関東平野では国土交通省のXRAINも利用可能である。そこで、関東平野の区間では、解析雨量に加えて、XRAINも活用することを考えている。さらに、解析雨量の基準値は、実務的な判断に基づいて決定する必要がある。

この方法は、これらの課題を解決した上で、防災システムの改修を行い、早期の実用化を目指している。

参考文献

- 1) 島村 誠; 降雨・河川増水に対する運転規制方法等の改正、日本鉄道施設協会誌、35、437-440. 1989
- 2) 岩井美津雄; 在来線防災情報収集システムの開発・導入、日本鉄道施設協会誌、42、136-138. 1996
- 3) 鈴木博人; 降雨時の列車運行の安全性向上に向けた考察—降雨に起因した列車脱線事故の分析—、鉄道工学シンポジウム論文集、18、141-147. 2014
- 4) 鈴木博人、大島竜二; 雨量計で観測される降雨量と災害の発生地点の降雨量の差異に関する考察、自然災害科学、33、101-113. 2014
- 5) 鈴木 修、島村 誠; 実効雨量による降雨時列車運転規制基準の開発と導入、鉄道力学論文集、Vol.13、200-203. 2009
- 6) 村石尚、杉山友康、香川清治; 実効雨量による災害予測法の検討、鉄道総研報告、Vol.9、pp.7-12. 1995.
- 7) 岩井重久、石黒政儀; 応用水文統計学、森北出版、370p. 1970
- 8) 日本河川協会; 国土交通省河川砂防技術基準同解説計画編、技報堂出版、448p. 2005