

# 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

鈴木 博人\*・大島 竜二\*

## A Study on the Difference of the Precipitation Observed by Rain Gauge and the Precipitation of the Disaster Occurrence Point

Hiroto SUZUKI\* and Ryoji OSHIMA\*

### Abstract

This study analyzed statistically the difference of the precipitation at rain gauge point and the precipitation at disaster occurrence point, using data of rainfall disasters which occurred in East Japan Railway Company and Radar/Rain Gauge-analyzed Precipitation of JMA during 2006 to 2013. In the case of the disaster which occurred before (during) suspending operation, the precipitation at the disaster occurrence point is larger (smaller) than the precipitation at the rain gauge point on the average. Furthermore, in the case of the disaster which occurred before suspending operation, when the precipitation of the disaster occurrence point is used, there are a few cases which can be issued suspending operation before the disaster occurrence. On the other hand, there are many cases which are practically equal to the precipitation at rain gauge point and the precipitation at disaster occurrence point.

キーワード：降雨災害、降雨量、差異、雨量計の地点、災害の発生地点

Key words : rainfall disaster, precipitation, difference, rain gauge point, disaster occurrence point

### 1 はじめに

鉄道では、降雨に起因した土砂災害など（以下、災害とする）から列車運行の安全を確保するために、雨量計で災害を発生させる恐れのある大雨を検知した場合に、運転中止や速度規制を実施する列車運転規制を行っている<sup>1)</sup>。列車運転規制は、

雨量計の観測値のみに基づく単純な方法であるが、降雨時の列車運行の安全に大きな貢献を果たしてきた<sup>2)</sup>。しかし、全ての災害が列車運転規制の発令中に発生するわけではなく、列車運転規制の発令前に発生する災害がある。この原因の一つに、雨量計の設置は離散的であることから、雨量計に

\* 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター防災研究所  
Disaster Prevention Research Laboratory, Research and Development Center, East Japan Railway Company

よる降雨量の観測が行われている地点と災害の発生地点の降雨量に差異があることが考えられる。すなわち、災害の発生地点では災害を発生させるような大雨であったにも関わらず、雨量計の地点では大雨として観測されないことが考えられる。

鉄道では、雨量計の設置間隔は積乱雲の水平方向の広がり方が10km程度という定性的な理由から10kmを標準<sup>1), 3)</sup>としている場合が多く、個々の雨量計の受け持ち区間の平均は約5kmである。この区間における降雨量は雨量計の地点の観測値で代表される。しかし、離散的に配置された雨量計の大雨の捕捉性能について解析した鈴木ら<sup>4)</sup>によると、雨量計による大雨の捕捉性能は雨量計からの距離の拡大とともに低下する。また、雨量指標の時間スケールが小さいほど、雨量計からの距離が同じ場合に大雨の捕捉性能が低い。これからも、災害の発生地点では災害を発生させるような大雨であったにも関わらず、災害の発生地点から離れた雨量計の地点では大雨が観測されない可能性が考えられる。そのため、離散的に配置された雨量計による雨量観測網における雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量の差異を把握することは重要であると考えられる。

そこで、本研究では、東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本とする)において発生した降雨に起因した災害事例を用いて、災害を運転中止の発令前に発生した災害と運転中止の発令中に発生した災害に分けたうえで、雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量の差異について統計的な解析を行った。つまり、雨量計の受け持ち区間の平均が約5kmの雨量観測網における雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量の差異に関して解析を行った。降雨量データには、任意の地点の降雨量を得ることのできる気象庁のレーダー・アメダス解析雨量を用いた。また、雨量指標は、現在、JR東日本が降雨時の列車運転規制の雨量指標として採用している半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量を対象にした。これに、従前採用していた1時間雨量と連続雨量、および雨量指標として一般的に用いられることの多い24時間雨量を解析の対象にした。

## 2 列車運転規制方法

### 2.1 雨量計の設置間隔と受け持ち区間

鉄道では、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、その雨量計の受け持ち区間に対して列車運転規制が実施される。雨量計は駅等に設置され、JR東日本ではその設置間隔は10kmを標準としている<sup>1)</sup>。JR東日本が在来線に設置している雨量計は537基で、そのうち図1のように雨量計の受け持ち区間が隣接するのは487区間である。図2はこのような区間における雨量計の設置間隔の頻度分布で、雨量計の設置間隔の平均は9.1km、標準偏差は2.6kmである。

雨量計の受け持ち区間は、雨量計の設置地点(駅等)の両側2区間(図1のタイプ2)の場合が多いが、終端地点(駅)などでは1区間(図1のタイプ1)、分岐地点(駅)では複数の区間(図1のタイプ3)となる場合がある。図3はJR東日本における雨量計の受け持ち区間の延長の頻度分布を示したもので、雨量計の受け持ち区間の延長の平均は5.0km、標準偏差は1.9kmである。

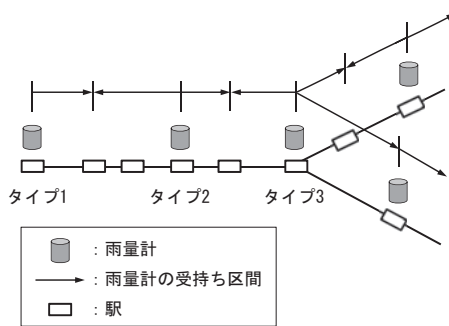


図1 雨量計の受け持ち区間の模式図。

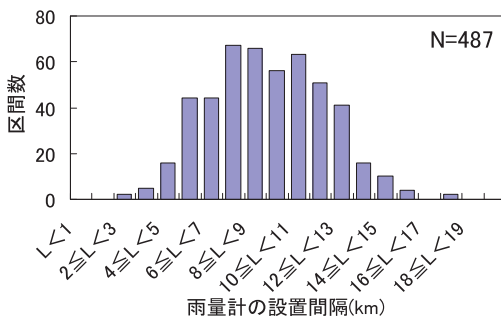


図2 JR東日本における雨量計の設置間隔の頻度分布。

### 2.2 列車運転規制の区分<sup>1)</sup>

JR 東日本における列車運転規制は、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、運転中止となるのが一般的である。運転中止は列車の運行停止、速度規制は旅客列車が 35km/h、貨物列車が 25km/h の徐行運転、警戒では列車運転規制は実施しないが保守係員が点検を実施する。

なお、点検は警戒と速度規制の発令中に 3 から 4 時間の周期で耐降雨性能が低いとして指定した土構造物に対して実施する。また、運転中止が発令された場合には雨量計で観測される降雨量が運転中止基準値を下回った後に、運転中止となった全区間に対して徒歩等による点検を実施する。

### 2.3 列車運転規制の雨量指標

列車運転規制に用いる雨量指標は、日本国有鉄

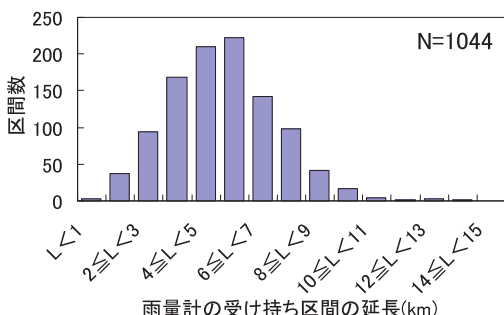


図 3 JR 東日本における雨量計の受け持ち区間の延長の頻度分布。

道（以下、国鉄とする）において、1972 年に 1 時間雨量と連続雨量（1 時間雨量 - 連続雨量法）に統一された<sup>5)</sup>。なお、連続雨量は 12 時間の降雨中断をひと雨の区切りとする降り始めからの降雨量の合計である。この方法は、国鉄の分割民営化以降も、JR 各社に継承され、その後 JR 各社において改良が加えられた。JR 東日本では、1989 年に列車運転規制基準値について、国鉄が定めた 2 段階の階段状から図 4 に示す 3 段階の階段状に改良した<sup>1)</sup>。さらに、JR 東日本では 2009 年に降雨時の列車運転規制に用いる雨量指標を図 5 に示すような半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量（実効雨量法）に変更した<sup>6)</sup>。

1 時間雨量 - 連続雨量法では、列車運転規制基準値は図 4 に示すように 1 時間雨量と連続雨量の領域に階段状の値が設定されている。列車運転規制は、雨量計による観測値が列車運転規制基準値を超過した場合に発令される。また、列車運転規制基準値を下回った後に、異常のないことが確認できた場合に解除される。

一方、実効雨量法では、列車運転規制基準値は図 5 に示すように半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量それぞれに設定されている。列車運転規制は、半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量のいずれかの値が列車運転規制基準値を超過した場合に発令される。また、全ての実効雨量値が列車運転規制基準値を下回った後に、異常のないことが確認できた場合に解除される。

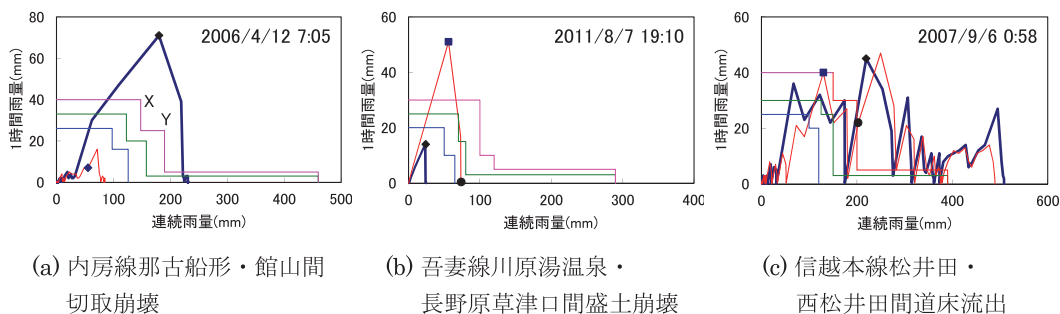
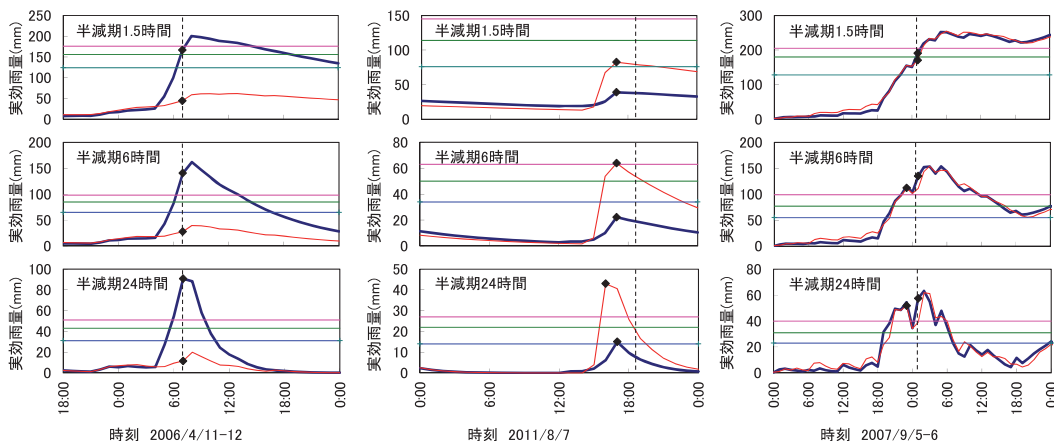


図 4 雨量計の地点（細線）と災害の発生日点（太線）における 1 時間雨量と連続雨量の関係。図中の実線は、降雨量の大きい方から運転中止基準値、速度規制基準値、および警戒基準値。また、図中の■、●、◆は推定した災害の発生時の降雨量で、■は 1 時間雨量、●は連続雨量、◆は 1 時間雨量と連続雨量が同じ位置にプロットされる場合。図中の日時は、災害の発見時刻。



(a) 内房線那古船形・館山間 切取崩壊 (b) 吾妻線川原湯温泉・長野原草津口間盛土崩壊 (c) 信越本線松井田・西松井田間道床流出

図5 雨量計の地点(細線)と災害の発生地点(太線)における実効雨量の時系列。図中の実線は、降雨量の大きい方から運転中止基準値、速度規制基準値、および警戒基準値。また、図中の◆は推定した災害の発生時の降雨量で、図中の点線は災害の発見時刻。

運転中止、速度規制、および警戒の基準値は、運転規制区間ごとに定められており、これらの値は区間ごとに異なっている。JR東日本における運転中止基準値の平均値は、実効雨量法では半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量がそれぞれ40.5, 80.1, 148.6mmである。また、1時間雨量-連続雨量法では、図4(a)のXおよびYにあたる値の平均値として1時間雨量が39.2mm, 連続雨量が140.6mmである。

### 3 災害データと気象データ

#### 3.1 降雨災害データ

降雨災害データは、JR東日本において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件の事例を用いた。なお、ここで降雨に起因した災害とは、災害の発生時に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が多い事例がある可能性があるためである。また、図6には運転中止の発令前に発生した災害と運転中止の発令中に発生した災害の災害

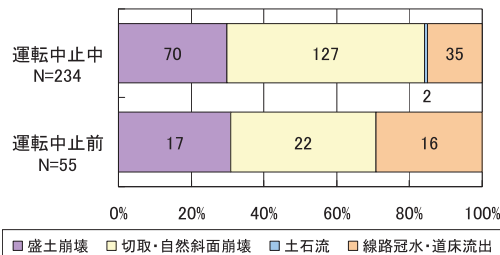


図6 運転中止前に発生した災害と運転中止中に発生した災害の災害種別。図中の数字は、それぞれの発生件数。

種別ごとの内訳を示した。

災害は、その発生地点を受け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。また、速度規制中、警戒中、および平常運転中に発生した災害を運転中止の発令前(以下、運転中止前)に発生した災害とする。2006年から2013年において発生した災害289件のうち、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件数は、234件、16件、21件、および18件である。

### 3.2 降雨量データ

JR 東日本において雨量計の地点の降雨量は雨量計の観測値として保存しているが、災害の発生地点における雨量計の観測値は存在しない。そこで、降雨量については、任意の地点における約 1km メッシュの降雨量を得ることのできる気象庁のレーダー・アメダス解析雨量を用いることとし、解析雨量 CD-ROM/DVD から入手した。雨量計の地点と災害の発生地点の 1 時間雨量には、それぞれの地点を含む直上のメッシュにおける正時の解析雨量値を用いた。なお、レーダー・アメダス解析雨量が約 1km メッシュになったのは 2006 年であることから、本研究では解析の対象期間を 2006 年から 2013 年とした。

### 3.3 雨量指標

雨量指標には、JR 東日本が降雨時の列車運転規制の雨量指標として現在採用している半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量と、従前採用していた 1 時間雨量と連続雨量、および雨量指標として一般的に用いられることの多い 24 時間雨量を用いた。

なお、時刻  $T$  における実効雨量  $D(T)$  は、1 時間前の実効雨量を  $D(T-1)$ 、1 時間雨量を  $R(T)$ 、半減期を  $M$ 、減少係数を  $\alpha$  とすると、

$$D(T) = D(T-1)e^{\alpha} + R(T)e^{\alpha/2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$M = (\ln 0.5) / \alpha \quad \dots \text{式 (2)}$$

で推定した<sup>7)</sup>。

### 3.4 降雨災害の発生時の降雨量

降雨災害の発生時の降雨量を求めるためには、災害の発生時刻が必要である。しかし、災害の発生時刻は、災害の発生を災害検知装置で検知した場合などの特別な場合を除いて分からないのが一般的である。また、運転中止中に発生した災害は、雨量計で観測される降雨量が運転中止基準値を下回った後に、運転中止となった全区間に対して実施される点検で保守係員が発見するのが一般的である。そのため、運転中止中に発生した災害は、運転中止が発令されてから点検で発見されるまで

の期間に発生したと考えられる。これから、運転中止中に発生した災害については、その間における降雨量の最大値を災害の発生時の降雨量とした。一方、運転中止前に発生した災害については、雨の降り始めから災害の発見時刻までの最大値を災害の発生時の降雨量とした。なお、運転中止前に発生した災害では、災害の発見時刻の降雨量が雨の降り始めから災害の発見時刻までの期間で最大である場合が多くみられた。これは、運転中止前に発生した災害では、列車の運行中に発生していることから、運転中止中に発生した災害に比べて災害の発生から発見までの期間が短いと考えられる。なお、レーダー・アメダス解析雨量は毎正時の 1 時間雨量である。そのため、災害の発見時刻における降雨量は、0 分から 29 分に発見された災害は前の正時、30 分から 59 分に発見された災害は次の正時の値とした。

図 4 は、(a) に 2006 年 4 月 12 日に発生した内房線那古船形・館山間における切取崩壊、(b) に 2011 年 8 月 7 日に発生した吾妻線川原湯温泉・長野原草津口間における盛土崩壊、および (c) に 2007 年 9 月 6 日に発生した信越本線松井田・西松井田間における道床流出について、雨の降り始めからの 1 時間雨量と連続雨量の関係を例示したものである。図 5 には、同様に実効雨量の時系列と災害発生時の降雨量を例示した。ここで、(a) は災害の発生地点が雨量計の地点の降雨量に比べて大きい事例、(b) は小さい事例、(c) はほぼ同等の事例である。なお、図 4 および図 5 には、前述の方法に従って推定した災害の発生時の降雨量を示した。

## 4 災害発生地点と雨量計地点の降雨量の差異

### 4.1 降雨量の差異

図 7 および図 8 は、JR 東日本において発生した災害について、災害の発生時における雨量計の地点と災害の発生地点における 1, 24 時間雨量、連続雨量、および半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量をレーダー・アメダス解析雨量から算出して、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量の関係

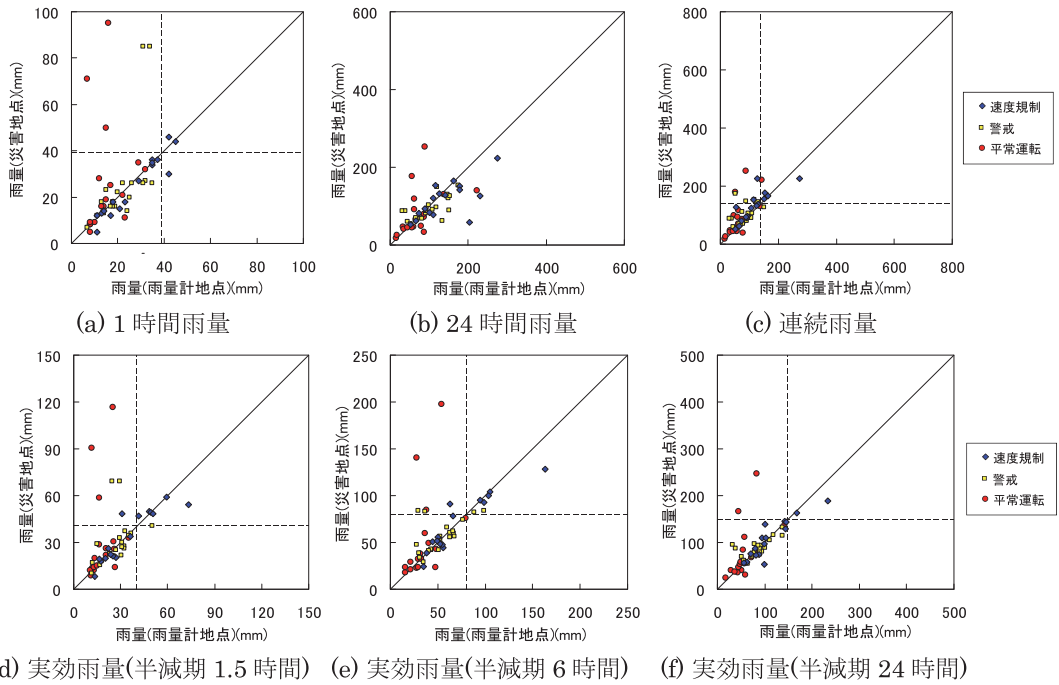


図7 運転中止前に発生した災害における雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量の関係。図中の直線は傾き1の直線で、横軸および縦軸と平行な点線はJR東日本における運転中止基準値の平均値。

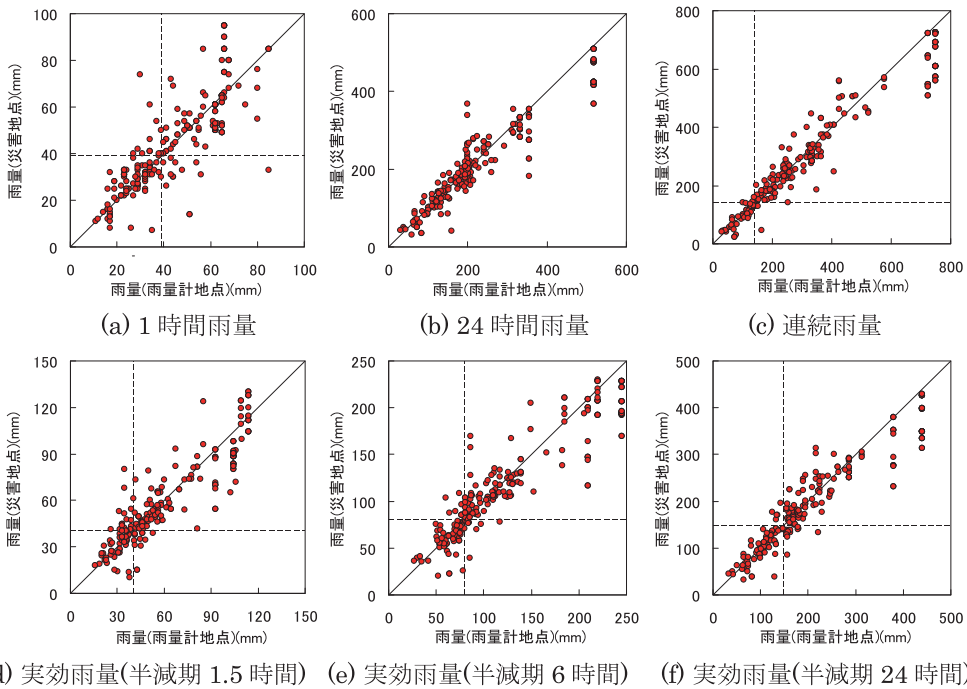


図8 図7と同様。ただし、運転中止中に発生した災害の場合。

を示したものである。図7には、運転中止前に発生した災害について、速度規制中、警戒中、および平常運転中に区分して示した。また、図8は運転中止中に発生した災害について示したものである。

これらの図には、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量が一致する場合を示す傾き1の直線を示した。雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量の関係がこの直線上にあれば雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量が一致する。また、この直線よりも左上にプロットされれば雨量計の地点に比べて災害の発生地点の降雨量が大きく、右下にプロットされれば雨量計の地点に比べて災害の発生地点の降雨量が小さいことを意味する。

図7 (a), (c) には、JR 東日本において従前採用していた1時間雨量と連続雨量の運転中止基準値の平均値(図4 (a) のXおよびYの値)を横軸および縦軸と平行な点線で示した。また、図7 (d), (e), (f) には半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量について、JR 東日本における現在の運転中止基準値の平均値を示した。これらの図において、運転中止基準値の平均値を示す横軸と縦軸に平行な点線によって区切られた4つの領域のうち、左上の領域にプロットされた災害事例は、雨量計の地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以下である一方で、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上である。したがって、この領域にプロットされた災害事例は、雨量計の地点の降雨量では、運転中止前に災害が発生したが、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止中に災害が

生する可能性があると考えられる。

表1には、運転中止前に発生した災害のうち、前述の図7の左上の領域にプロットされた災害事例数と、運転中止前に発生した災害と全災害の事例数に対する割合を示した。なお、1時間雨量-連続雨量法では、雨量計の地点における1時間雨量と連続雨量がともに運転中止基準値の平均値以下のときに、災害の発生地点におけるそれらのいずれかが運転中止基準値の平均値以上の事例数と割合を示した。また、実効雨量法では雨量計の地点における半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量の全てが運転中止基準値の平均値以下のときに、災害の発生地点におけるそれらのいずれかが運転中止基準値の平均値以上の事例数と割合を示した。これから、災害の発生地点の降雨量を用いると、運転中止中に災害が発生する可能性がある事例は、運転中止前に発生した災害の10%前後、全災害の2%前後である。

図7によると、運転中止前に発生した災害には、前述のように雨量計の地点に比べて災害の発生地点の降雨量が大きい事例がある一方で、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量が一致する場合を示す傾き1の直線の近傍にプロットされる事例が多くみられる。すなわち、運転中止前に発生した災害には、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量に大きな差がない事例が多くみられる。特に、速度規制中に発生した災害は、雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量に大きな差がみられない。

図8 (a), (c), (d), (e), (f) には、図7と同様に運転中止基準値の平均値を示した。これらの図

表1 雨量計の地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以下で、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上の事例数と割合。

	事例数	運転中止前に発生した災害 (55事例)に対する割合(%)	全災害(289事例)に対する割合(%)
1時間雨量	5	9.1	1.7
連続雨量	5	9.1	1.7
1時間雨量-連続雨量法	8	14.5	2.8
実効雨量(半減期1.5時間)	6	10.9	2.1
実効雨量(半減期6時間)	6	10.9	2.1
実効雨量(半減期24時間)	2	3.6	0.7
実効雨量法	6	10.9	2.1

において、運転中止基準値の平均値を示す横軸と縦軸に平行な点線によって区切られた4つの領域のうち、右下の領域にプロットされた災害事例は、雨量計の地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上である一方で、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以下である。したがって、この領域にプロットされた災害事例は、雨量計の地点の降雨量を用いると、運転中止の発令中に災害が発生したが、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止の発令前に災害が発生する可能性があると考えられる。

表2には、運転中止中に発生した災害のうち、図8の右下の領域にプロットされる災害事例数と、運転中止中に発生した災害と全災害の事例数に対する割合を示した。なお、1時間雨量-連続雨量法では、災害の発生地点における1時間雨量と連続雨量がともに運転中止基準値の平均値以下のときに、雨量計の地点におけるそれらのいずれかが運転中止基準値の平均値以上の事例数と割合を示した。また、実効雨量法では災害の発生地点における半減期1.56, 24時間の実効雨量の全てが運転中止基準値の平均値以下のときに、雨量計の地点におけるそれらのいずれかが運転中止基準値の平均値以上の事例数と割合を示した。これから、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止の発令前に災害が発生する可能性がある事例は、運転中止中に発生した災害および全災害の5%前後である。ただし、この事例数は、運転中止前に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止の発令中に災害が発生する可能性がある事例数よりも多い。

これから、運転中止前に発生した災害には、事例数は少ないが、災害の発生地点の降雨量を用いると、運転中止が発令される大雨として捉えられて、運転中止中に災害が発生する可能性がある事例がある。その一方で、運転中止前に発生した災害の多くは、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量に大きな差がない。よって、雨量計の受け持ち区間の平均が5.0kmの雨量観測網では、線路沿線の任意の地点で発生する災害を発生させるような大雨を雨量計で概ね捉えていると考えられる。また、雨量計による観測値では運転中止の発令中に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止が発令される大雨として捉えられない事例がある。

#### 4.2 降雨量の差異の平均値

表3は、運転中止前に発生した災害と運転中止中に発生した災害について、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値と平均値±標準偏差を示したものである。この平均値を求めるにあたって、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比は、前者が後者に比べて大きい場合には0から1の値、小さい場合には1から無限大の値をとる。そのため、単純にこれらの比の平均値を求めたのでは、これらの比の平均値を正しく評価できない。そこで、これらの降雨量の比の平均値は、雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量をそれぞれ  $R_a, R_b$  とすると、初めに直交座標  $(R_a, R_b)$  から極座標  $(r, \theta)$  に変換した上で、極座標の偏角  $(\theta = \arctan(R_b/R_a))$  の平均値  $(\mu)$  を求めて、最後に直交座標に再変換することに

表2 雨量計の地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上で、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以下の事例数と割合。

	事例数	運転中止中に発生した災害 (234事例)に対する割合(%)	全災害(289事例)に対する割合(%)
1時間雨量	13	5.6	4.5
連続雨量	4	1.7	1.4
1時間雨量-連続雨量法	9	3.8	3.1
実効雨量(半減期1.5時間)	13	5.6	4.5
実効雨量(半減期6時間)	8	3.4	2.8
実効雨量(半減期24時間)	12	5.1	4.2
実効雨量法	15	6.4	5.2



表3 運転中止前に発生した災害と運転中止中に発生した災害について、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値と平均値±標準偏差。各列の中央は平均値、左は平均値-標準偏差、右は平均値+標準偏差。

雨量計地点と災害発生地点の距離	全距離		0≤L<2km		2≤L<5km		5≤L	
	運転中止前に発生した災害	運転中止中に発生した災害	運転中止前に発生した災害	運転中止中に発生した災害	運転中止前に発生した災害	運転中止中に発生した災害	運転中止前に発生した災害	運転中止中に発生した災害
1時間雨量	0.70-1.06-1.62	0.77-0.99-1.28	0.79-0.97-1.18	0.78-0.97-1.20	0.68-1.05-1.63	0.77-0.99-1.29	0.80-1.48-3.32	0.76-1.07-1.56
24時間雨量	0.79-1.07-1.46	0.78-0.95-1.15	0.79-0.96-1.17	0.81-0.96-1.14	0.81-1.11-1.53	0.78-0.94-1.13	0.84-1.27-2.01	0.72-0.96-1.27
連続雨量	0.78-1.09-1.53	0.78-0.94-1.14	0.74-1.01-1.39	0.81-0.96-1.14	0.79-1.10-1.54	0.77-0.93-1.13	0.84-1.27-2.00	0.73-0.93-1.18
実効雨量(半減期1.5時間)	0.75-1.10-1.62	0.76-0.96-1.21	0.81-0.97-1.16	0.80-0.97-1.17	0.75-1.11-1.68	0.77-0.96-1.19	0.85-1.47-2.93	0.65-0.97-1.44
実効雨量(半減期6時間)	0.77-1.08-1.53	0.77-0.95-1.18	0.80-0.97-1.16	0.81-0.97-1.16	0.78-1.12-1.62	0.76-0.94-1.16	0.80-1.31-2.30	0.66-0.93-1.29
実効雨量(半減期24時間)	0.78-1.06-1.47	0.79-0.95-1.14	0.81-0.96-1.14	0.83-0.97-1.13	0.77-1.09-1.56	0.78-0.94-1.12	0.83-1.27-2.04	0.71-0.94-1.25

よって算出した。また、標準偏差 ( $\sigma$ ) についても平均値と同様に、極座標の偏角 ( $\theta$ ) について求めた。これから、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値±標準偏差は、 $\tan(\mu \pm \sigma)$  として求めた。

表3によると、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値は、運転中止前に発生した災害が1より大きく、運転中止中に発生した災害が1より小さい。よって、運転中止前に発生した災害では、雨量計の地点に比べて災害の発生地点の降雨量が平均的に大きい。一方、運転中止中に発生した災害では、雨量計の地点に比べて災害の発生地点の降雨量が平均的に小さい。

雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値±標準偏差の範囲は、運転中止前に発生した災害が運転中止中に発生した災害に比べて大きい。よって、運転中止前に発生した災害が運転中止中に発生した災害に比べて、雨量計の地点の降雨量と災害の発生地点の降雨量の差異のばらつきが大きい。

### 5 雨量計地点と災害発生地点の降雨量比と距離の関係

図9および図10は、1, 24時間雨量、連続雨量、および半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量について、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比と、雨量計の地点と災害の発生地点の距離の関係を示したものである。図9では運転中止前に発生した災害について、図7と同様に速度規制中、警戒中、平常運転中に区分して示した。なお、図

9および図10は、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比に関する偏角と、降雨量の比で示した。

また、表3には運転中止前に発生した災害と運転中止中に発生した災害について、雨量計の地点と災害の発生地点の距離が0km以上2km未満、2km以上5km未満、および5km以上の場合に区分して、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値と平均値±標準偏差を示した。これらから、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比は、運転中止前に発生した災害と運転中止中に発生した災害ともに、雨量計の地点と災害の発生地点の距離の拡大とともにばらつく範囲が広がる。その度合いは、運転中止前に発生した災害が運転中止中に発生した災害に比べて高い。図9によると、特に運転中止前に発生した災害では、雨量計の地点と災害の発生地点の距離が2km以上離れると、雨量計の地点に対して災害の発生地点の降雨量が2倍を超える事例がみられる。

### 6 雨量計地点と災害発生地点の降雨量比が大きい事例の解析

運転中止前に発生した災害のうち、災害の発生地点における1, 24時間雨量、連続雨量、および半減期1.5, 6, 24時間の実効雨量のいずれかが運転中止基準値の平均値以上であるとともに、雨量計の地点に対する災害の発生地点におけるいずれかの降雨量が2倍を超える事例について事例解析を行った。このような災害事例は、表4のとおり5

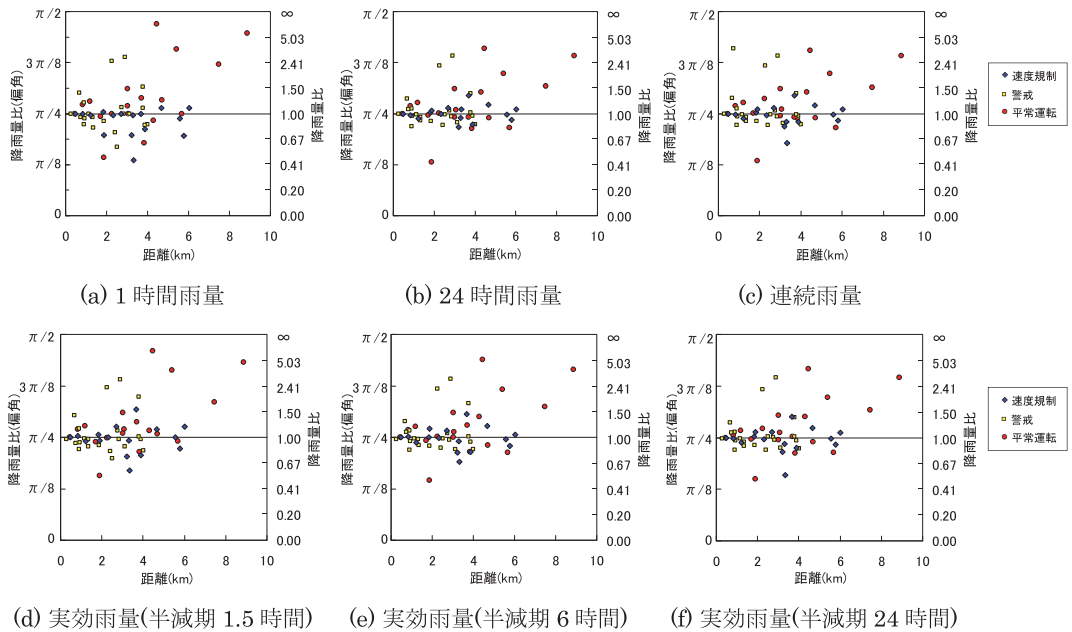


図9 運転中止前に発生した災害について、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比と雨量計の地点と災害の発生地点の距離の関係。

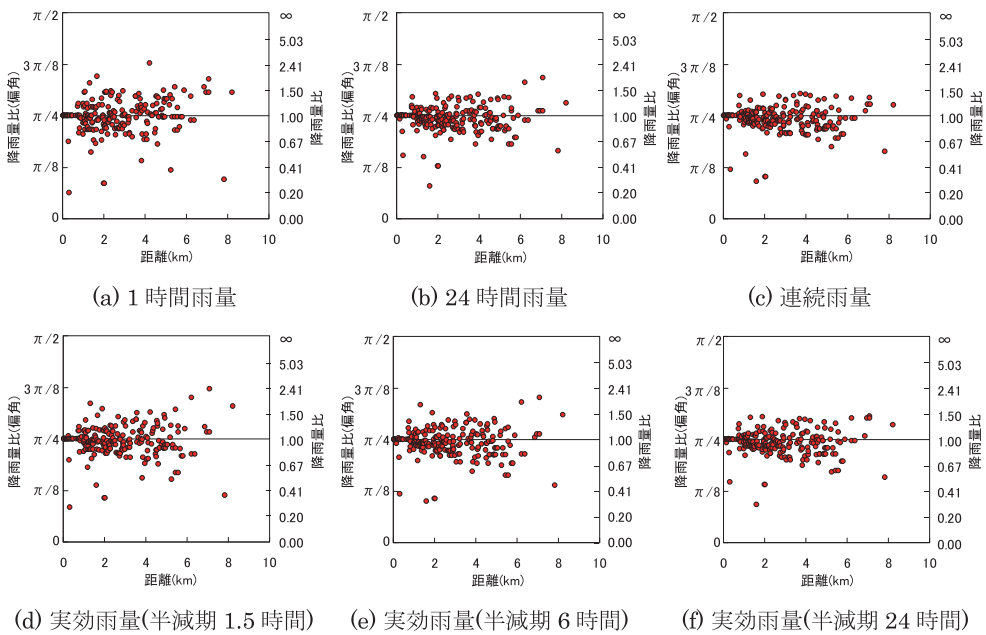
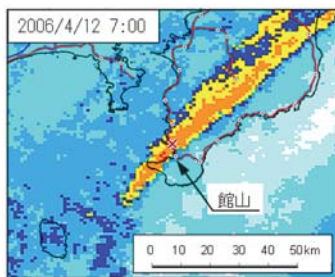


図10 図9と同様。ただし、運転中止中に発生した災害の場合。

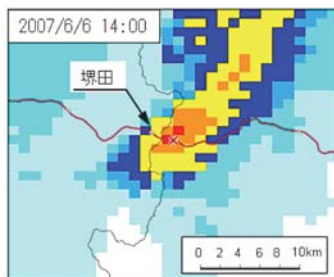
表 4 運転中止前に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上であるとともに、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量が2倍を超える事例。なお、降雨量比の網掛けは降雨量の比が2倍以上の場合。

No.	区間	発生日時	運転規制等区分	災害	気象 じょう乱	雨量計からの距離 (km)	降雨量比(災害の発生地点/雨量計の地点)					
							積算雨量(mm)			実効雨量(mm)		
							1時間雨量	連続雨量	24時間雨量	半減期1.5時間	半減期6時間	半減期24時間
1	内房線 富浦・那古舟形	2006/4/12 7:05	平常運転	切取崩壊	前線(低気圧)	4.46	10.1	3.2	3.4	7.9	5.1	3.8
2	陸羽東線 中山平温泉・堺田	2007/6/6 13:50	警戒	自然斜面崩壊	雷雨	2.26	2.5	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2
3	羽越本線 仁賀保・西目	2007/8/27 6:01	平常運転	線路冠水	停滞前線	5.40	3.3	1.9	1.9	3.6	2.2	1.9
4	中央本線 高尾駅構内	2008/8/29 0:26	平常運転	線路冠水	停滞前線	8.88	5.9	2.8	2.8	4.7	3.7	2.9
5	磐越西線 郡山・喜久田	2013/6/25 17:01	警戒	線路冠水	雷雨	2.90	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9

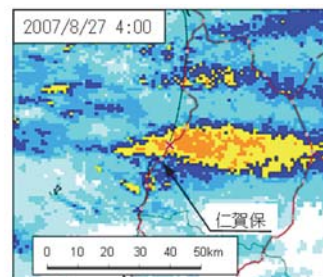
No.	区間	災害の発生地点						雨量計の地点					
		積算雨量(mm)			実効雨量(mm)			積算雨量(mm)			実効雨量(mm)		
		1時間雨量	連続雨量	24時間雨量	半減期1.5時間	半減期6時間	半減期24時間	1時間雨量	連続雨量	24時間雨量	半減期1.5時間	半減期6時間	半減期24時間
1	内房線 富浦・那古舟形	71.0	180.2	177.0	90.7	140.3	166.5	7.0	55.6	52.0	11.4	27.7	44.4
2	陸羽東線 中山平温泉・堺田	85.0	88.0	88.0	69.0	82.8	87.3	34.0	39.0	39.0	29.5	36.3	39.0
3	羽越本線 仁賀保・西目	50.0	118.0	118.0	58.4	84.8	111.2	15.0	61.4	61.4	16.4	38.0	57.9
4	中央本線 高尾駅構内	95.0	253.2	253.2	116.5	197.8	246.3	16.0	89.2	89.2	24.9	54.2	83.8
5	磐越西線 郡山・喜久田	85.0	88.0	88.0	69.0	83.6	95.4	31.0	31.4	31.4	24.8	29.7	32.6



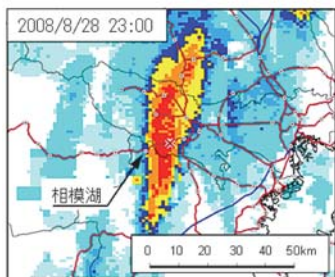
(a) 内房線富浦・那古船形間  
切取崩壊



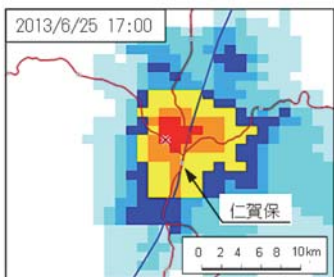
(b) 陸羽東線中山平温泉・堺田間  
自然斜面崩壊



(c) 羽越本線仁賀保・西目間  
線路冠水



(d) 中央本線高尾駅構内  
線路冠水



(e) 磐越西線郡山・喜久田間  
線路冠水

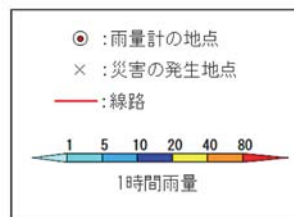


図 11 運転中止前に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上であるとともに、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量が2倍を超える事例における災害の発生時におけるレーダー・アメダス解析雨量(1時間雨量)。

事例が抽出された。表 4 には、これらの災害事例について、災害形態、災害を発生させた気象じょう乱、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比、および雨量計の地点と災害の発生地点の降雨量を示した。また、図 11 には、これらの災害事例について、災害の発生時におけるレーダー・アメダス解析雨量（1 時間雨量）を示した。前線による災害事例である 2006 年 4 月 12 日に発生した内房線富浦・那古舟形間の切取崩壊、2007 年 8 月 27 日に発生した羽越本線仁賀保・西目間の線路冠水、および 2008 年 8 月 29 日に発生した中央本線高尾駅構内の線路冠水の事例では、隣接する雨量計の地点の間に、雨域が線路にほぼ直行して細長く延びている。また、雷雨による災害事例である 2007 年 6 月 6 日に発生した陸羽東線中山平温泉・堺田間の自然斜面崩壊と 2013 年 6 月 25 日に発生した磐越西線郡山・喜久田間の線路冠水の災害事例では、隣接する雨量計の地点の間に小さい雨域が位置している。そのため、これらの事例では、災害の発生地点では運転中止基準値の平均値以上の大雨となっているが、雨量計の地点の降雨量は運転中止基準値の平均値以下である。なお、内房線富浦・那古舟形間の切取崩壊については、雨量計の地点と災害の発生地点における雨の降り始めからの降雨量を図 4 (a) および図 5 (a) に示してある。

これから、運転中止前に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量が運転中止基準値の平均値以上であるとともに、雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量が 2 倍を超える事例は、隣接する雨量計の地点の間に、前線に起因した雨域が線路とほぼ直行するように細長く延びる場合と、雷雨に起因した小さい雨域の場合であった。このような大雨は、雨量計の受け持ち区間の平均が 5.0km の雨量観測網で全て捉えるのは難しいと考えられる。

## 7 まとめと成果の鉄道での活用

本研究では、雨量計の受け持ち区間の平均が 5.0km の雨量観測網における雨量計の地点と降雨災害の発生地点の降雨量の差異について、JR 東日

本において 2006 年から 2013 年に発生した降雨に起因した災害事例とレーダー・アメダス解析雨量を用いて統計的な解析を行った。解析は、1, 24 時間雨量、連続雨量、および半減期 1.5, 6, 24 時間の実効雨量について、災害を運転中止の発令前に発生した災害と運転中止の発令中に発生した災害に分けたうえで行った。得られた結果は下記のようにまとめられる。

- (1) 雨量計による観測値では運転中止の発令前に発生した災害について、事例数は少ないが、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止が発令される大雨として捉えられて、災害の発生前に運転中止を発令できる事例がある。その一方で、運転中止の発令前に発生した災害には、雨量計の地点と災害の発生地点における降雨量に大きな差がない事例が多くみられる。これから、雨量計の受け持ち区間の平均が 5.0km の雨量観測網では、線路沿線の任意の地点で発生する災害を発生させるような大雨を雨量計で概ね捉えていると考えられる。また、雨量計による観測値では運転中止の発令中に発生した災害のうち、災害の発生地点の降雨量を用いると運転中止が発令される大雨として捉えられない事例がある。
- (2) 雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比の平均値は、運転中止の発令前に発生した災害が 1 より大きく、運転中止の発令中に発生した災害が 1 より小さい。よって、運転中止の発令前に発生した災害では、雨量計の地点の降雨量に比べて災害の発生地点の降雨量が平均的に大きい。一方、運転中止の発令中に発生した災害では、雨量計の地点の降雨量に比べて災害の発生地点の降雨量が平均的に小さい。
- (3) 雨量計の地点に対する災害の発生地点の降雨量の比は、運転中止の発令中に発生した災害と運転中止の発令前に発生した災害ともに、雨量計の地点と災害の発生地点の距離の拡大とともにばらつく範囲が広がる。特に、運転中止の発令前に発生した災害では、雨量計の地点と災害の発生地点の距離が 2km 以上離れると、雨量計の地点に対して災害の発生地点の降雨量が 2

倍を超える事例がみられる。

(4) 運転中止の発令前に発生した災害のうち、災害の発生日の降雨量が運転中止基準値の平均値以上であるとともに、雨量計の地点に対する災害の発生日の降雨量が2倍を超える事例は、隣接する雨量計の地点の間に、前線に起因した雨域が線路にほぼ直行するように細長く伸びている場合と、雷雨に起因した小さい雨域の場合であった。

鉄道では、降雨に起因した災害から列車運行の安全を確保するために、雨量計の観測値に基づいて列車運転規制を行っている。雨量計の設置は離散的であり、JR 東日本における雨量計の受け持ち区間の平均は5.0kmである。そのため、雨量計の地点と災害の発生日の降雨量に差異があると考えられる。しかし、運転中止の発令前に発生した災害の多くで、雨量計の地点と災害の発生日の降雨量に大きな差がみられなかった。これから、このような雨量観測網では、線路沿線の任意の地点で発生する大雨を雨量計で概ね捉えていると考えられる。

一方で、運転中止前に発生した災害には、事例数は少ないが、災害の発生日の降雨量を用いると、運転中止が発令される大雨として捉えられて、運転中止中に災害が発生する可能性がある事例がある。このような災害の中でも、雨量計の地点に対する災害の発生日の降雨量が2倍を超えるような事例は、隣接する雨量計の地点の間に、前線に起因した雨域が線路にほぼ直行するように細長く伸びる場合と、雷雨に起因した小さい雨域の場合であった。このような大雨は、離散的に配置された雨量計で捉えるのは難しく、レーダー雨量の活用が有効と考えられる。そこで、降雨時の列車運行の安全性をさらに向上するためには、前述のように JR 東日本の雨量計の観測網では、線路沿線の任意の地点における大雨を概ね捉えていることを踏まえると、雨量計の観測値に基づいた列車運転規制を継続した上で、レーダー雨量による列車運転規制を補完的に用いるのが有効と考えられる。今後は、このような列車運転規制方法の開発

を進めて行きたいと考えている。

また、本研究では、災害の発生日に1mm以上の降雨量がみられた場合を降雨に起因した災害とした。運転中止の発令前に発生した災害の中には、図7に示したように災害の発生日の地点と雨量計の地点のいずれも降雨量が小さい事例がみられる。これらの災害は、何らかの原因で小さい降雨で発生した、あるいは降雨以外の原因で発生したと考えられる。今後は、このような災害の発生原因を調べて、この対策について研究を進めることで鉄道の安全性をさらに向上して行きたいと考えている。

### 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，Vol.35，pp.437-440，1989.
- 2) 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，Vol.18，pp.141-147，2014.
- 3) 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，Vol.42，pp.136-138，1996.
- 4) 鈴木博人・中北英一・高橋日出男：離散的に配置された雨量計の大雨の捕捉性能に関する解析，水工学論文集，Vol.57，pp.I\_296-I\_300，2013.
- 5) 施設局土木課：降雨による運転規制基準作成要領，鉄道土木，Vol.14，pp.837-840，1972.
- 6) 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，pp.200-2003，2009.
- 7) 鈴木雅一・小橋澄治：がけ崩れ発生と降雨の関係について，新砂防，Vol.121，pp.16-25，1981.

(投稿受理：平成26年4月18日)

