

鉄道における雨量計の配置間隔に関する考察

A STUDY ON THE INSTALLATION INTERVAL OF RAIN GAUGE FOR RAILROAD

鈴木博人¹・中北英一²・高橋日出男³
Hiroto SUZUKI, Eiichi NAKAKITA, Hideo TAKAHASHI

¹正会員 理修 東日本旅客鉄道株式会社千葉支社設備部(〒260-0031 千葉県千葉市中央区新千葉 1-3-24)

²正会員 工博 京都大学防災研究所教授(〒606-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³非会員 理博 首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

Train operation is stopped to ensure safety when the precipitation observed by a rain gauge exceeds a predetermined value. This paper proposes a method to determine the installation interval of rain gauges for railroads suitable for hourly precipitation which is often used as the index of rainfall intensity. The installation interval of rain gauges is evaluated from viewpoint of both safety and reliability of train operation, based on the spatial distribution of precipitation observed by rain gauges. The results is that when the installation interval of rain gauges is reduced from 10 km, the current standard in JR East's, to 5km, the rate of increase in safety exceeds the rate of decrease in reliability. The conclusion is, therefore, the installation interval of rain gauges should be set at 5 km.

Key Words : rain gauge, installation interval, railroad, safety, reliability, spatial distribution, hourly precipitation

1. はじめに

鉄道では、降雨に起因した土砂災害などから列車運行の安全を確保するために、災害を発生させる恐れのある大雨が生起した場合に、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¹⁾。列車運転規制は、地上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。しかし、降雨に起因した全ての降雨災害が運転中止中に発生するわけではないことから、列車運転規制方法は長年に亘って改良が加えられてきた。その改良の多くは雨量指標についてであり、雨量計の設置間隔については十分な検討がなされてきたとはいえない。これは、鉄道の多くが雨量計の設置間隔を 10km を標準としており^{1),2)}、このような狭い間隔で設置された雨量計の設置間隔を雨量計で観測された降水量データを用いて定量的に評価するのが困難であったためである。しかし、近年では複数の機関において雨量計の観測網が整備され、降水量データが蓄積されてきた。そこで、本研究では複数の機関の雨量計で観測された降水量データを利用して、2 地点間の距離が 10km 以下、つまりメソスケールにおける降水量の空間分布を定量的に把握した上で、鉄道における雨量計の設置間隔を評価する方法について考察した。

雨量計の配置に関する研究として、村上ほか³⁾は神奈川県内における 5km メッシュのレーダーアメダス解析

雨量を用いて、2 地点の 1 時間降水量の差異が 10%以内の範囲は 1km 程度、20%の範囲は 2km 程度としている。井良沢・田口⁴⁾は、雨量計の観測値が代表し得る範囲を 2 地点における 1 時間降水量の相関係数が 0.9 以上の範囲とし、新潟県山間部における雨量計の観測値から、その範囲を 3km 前後としている。また、建設省土木研究所⁵⁾は、雨量計の設置箇所と災害発生地点の距離の検討から、災害発生箇所の降水量を把握するには概ね 5km 以内での観測が必要としている。

最近では、メソスケールにおける降水量の空間分布に関して、鈴木ほか⁶⁾などによって鉄道や気象庁などの複数の機関が設置した多数の雨量計による降水量データを用いた統計的な解析が行われた。鈴木ほか⁶⁾では一定以上の降雨が生起したときの 2 地点の降水量比、鈴木・高橋⁷⁾では一定以上の降雨が同時に生起した割合(同時生起率⁸⁾)について、2 地点間の距離との関係を解析した。そこで、本研究ではこれらの成果を利用して、降雨強度の雨量指標として用いられることの多い 1 時間降水量を対象に、雨量計の設置間隔を列車運行の安全性と安定性の両面から評価する方法について考察した。

2 降水量データと解析フロー

(1) 降水量データ

対象とする地域は、降水量に与える地形の影響が小さいと考えられる関東平野の標高 150m 以下の地域(図-1)

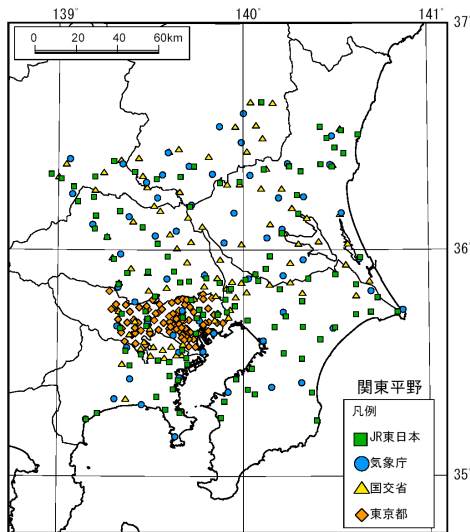


図-1 解析に用いた雨量計の位置

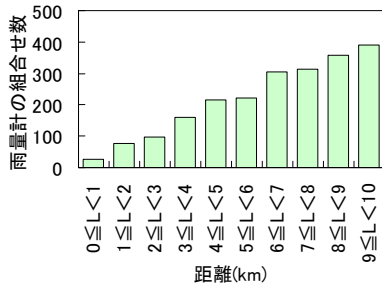


図-2 1km ごとの雨量計の組合せ数

とし、東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR 東日本とする）の防災情報システム⁹⁾、気象庁の地域気象観測システム（アメダス）、国土交通省の水文水質データベース¹⁰⁾、東京都の東京都水防災総合情報システム¹¹⁾の雨量計で観測された正時の1時間降水量を用いて分析を行った。雨量計の地点数は図-1に示す347地点で、JR 東日本が110箇所、気象庁が60箇所、国土交通省が87箇所、東京都が90箇所である。これらの雨量計の組合せ数は図-2に示すとおりで、2地点間の距離が10km以下の組合せが2,175組存在する。対象期間は、1991年から2007年の17年間の暖候期（5月～10月）で、この期間に延べ10年以上の降水量データがある地点を対象にした。

(2) 解析フロー

降雨時の列車運転規制を行う際の基本は、降雨により被る危険を十分に回避（安全の確保）した上で、列車の運行を可能な限り確保（安定性の確保）することである¹²⁾。そこで、本研究では雨量計の設置間隔を列車運行の安全性と安定性の両面から評価することとし、評価にあたって以下のとおり仮定した。

- (a) 一般的に大雨とされる1時間降水量が30mm以上の場合を大雨とみなし、列車運転規制の運転中止基準値を1時間降水量が30mmと仮定する。なお、実際の運転中止基準値は、雨量計の受け持ち区間ごとに異なっている。
- (b) JR 東日本における運転中止基準値と速度規制基準値の比は平均すると1.2程度であることから、2地点の1

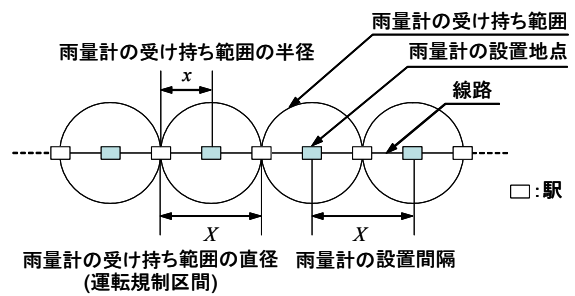


図-3 雨量計の設置間隔と雨量計の受け持ち範囲の関係

表-1 雨量計の設置間隔の評価基準

評価基準	定義
曝露率	雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点までの区間において、1時間降水量の降水量比が1.2以上の降雨に曝される確率
超過関数	雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点までの区間において、1時間降水量の降水量比が1.2を超過した量を2乗和した平均値
ダウンタイム	運転中止基準値を1時間降水量が30mmとした場合の運転中止時間

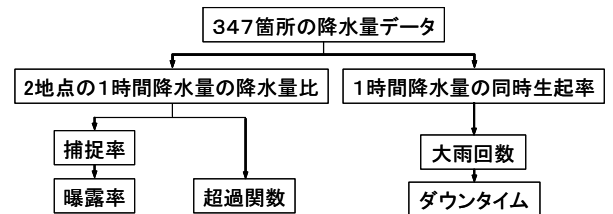


図-4 解析フロー

時間降水量の降水量比が1.2以下であれば大雨を捕捉できたと考えることにする。これは、運転規制区間（ X ：雨量計の受け持ち範囲の直径、図-3）内のある地点の降水量が雨量計の地点の降水量の1.2倍以下であれば、ある地点で運転中止基準値以上の降雨が生じたときに少なくとも速度規制が発令されている（雨量計の地点の降水量が速度規制基準値以上）と考えられるためである。(c) 雨量計は、直線の線路に等間隔で設置されているものと仮定する（図-3）。

雨量計の設置間隔は、表-1に示す安全性を曝露率と超過関数、安定性をダウンタイムで評価することにした。これらは、図-4に示す解析フローにしたがって、2地点のうち1地点以上で30mm以上の1時間降水量が観測された場合の2地点の1時間降水量の降水量比および同時生起率から求めた。

3 1時間降水量の空間分布

(1) 既往の研究

a) 1時間降水量の降水量比

鈴木ほか⁹⁾は、図-1に示した関東平野の347地点で観測された1991年から2007年の暖候期における正時の1時間降水量を用いて、2地点の1時間降水量の降水量比と2地点間の距離との関係を解析した。図-5には、2地

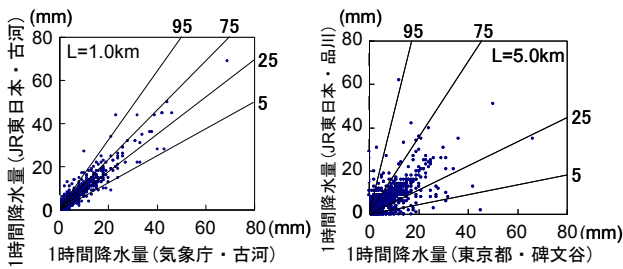


図-5 2地点間の距離が1kmおよび5kmの場合の1時間降水量の関係。実線は横軸の地点に対する縦軸の地点の降水量比に関する5, 25, 75, 95パーセンタイル値に対応する傾きを表す直線。

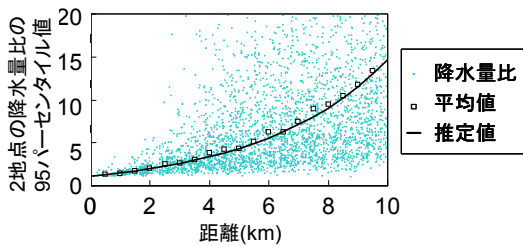


図-6 2地点の1時間降水量の降水量比に関する95パーセンタイル値と2地点間の距離との関係。

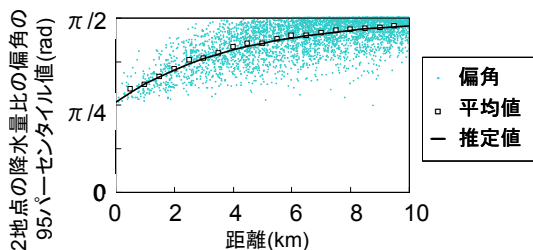


図-7 2地点の1時間降水量の偏角に関する95パーセンタイル値と2地点間の距離との関係。

点間の距離が1kmと5kmの雨量計の組合せについて、正時の1時間降水量の関係を示した。図中の実線は、2地点のうちの1地点以上で30mm以上の1時間降水量が観測された場合について、横軸の地点に対する縦軸の地点の降水量比に関する5, 25, 75, 95パーセンタイル値に対応する傾きを表す直線である。なお、この5, 25パーセンタイル値は縦軸の地点に対する横軸の地点の降水量比の95, 75パーセンタイル値に相当する。図-6には、全ての雨量計の組合せについて、2地点の1時間降水量の降水量比に関する95パーセンタイル値と2地点間の距離との関係を示した。また、図には示すことができないが2地点の降水量比に関する95パーセンタイル値は2kmを超えると無限大になる組合せが現れる。そこで、図-7には2地点の1時間降水量の関係を有限の値で表すために、これらの関係を極座標の偏角(2地点の降水量を R_a , R_b としたときの $\theta = \arctan(R_a/R_b)$)で示した。これによって、2地点の1時間降水量と2地点間の距離との平均的な関係を求めることができる。図-7の□は、ある距離±0.5kmの1kmの範囲に含まれる組合せについて、2地点の1時間降水量の偏角に関する95パーセンタイル値の平均値

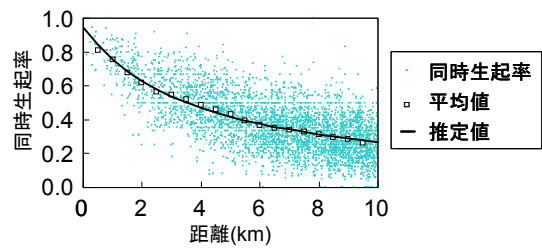


図-8 1時間降水量の同時生起率と2地点間の距離との関係。

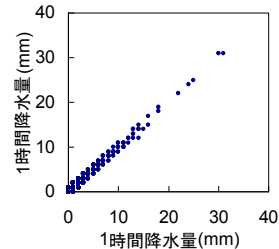


図-9 5m離れた2地点の1時間降水量の関係。

を0.5kmごとに示したものである。さらに、図-7の□を直角座標に変換すると、2地点の1時間降水量の降水量比に関する95パーセンタイル値の平均値を求めることができ、それを図-6に□で示した。

b) 1時間降水量の同時生起率

鈴木・高橋⁷⁾は、関東平野を対象(図-1)に、JR東日本と気象庁の雨量計で観測された1991年から2005年の暖候期における正時の1時間降水量を用いて、1時間降水量の同時生起率⁸⁾は、ある地点の降水量があるしきい値以上の場合に、もう一方の地点の降水量が同時にそのしきい値以上になった割合である。図-8は、しきい値を30mmとした場合の1時間降水量の同時生起率と2地点間の距離との関係で、鈴木ほか⁹⁾と同じ降水量データを用いて再計算したものである。また、図中の□は図-7と同様に同時生起率の平均値を0.5kmごとに示したものである。

(2) 降水量の空間分布の数式化

a) 同一地点とみなせる2地点の降水量の差異

仙台管区気象台調査課¹³⁾は、ほぼ同一地点とみなされる一辺15mの正三角形内の雨量計で観測されるひと雨降水量に±6%の差異があるとしている。そこで、2地点の1時間降水量の降水量比および同時生起率と2地点間の距離との関係の数式化にあたって、2地点間の距離が0kmの場合の条件を把握するために、2基の雨量計を5m間隔で設置して降水量の観測を2年間実施した。図-9は、2基の雨量計の正時における1時間降水量の関係である。ここでは、2地点のうちの1地点以上で10mm以上の1時間降水量が観測された場合について、2地点の1時間降水量の降水量比に関する95パーセンタイル値を求めると1.10と1.11であった。また、1時間降水量の同時生起率は0.94と0.97であった。このように、2地点間の距離が0kmの場合に、これらは1になるはずであるが、観測誤差などに起因して1にならないと考えられる。

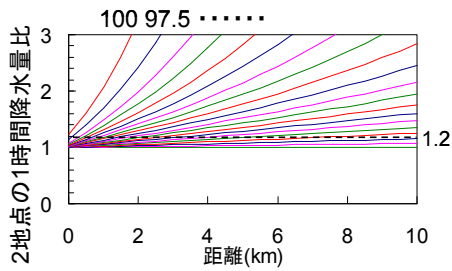


図-10 2地点の1時間降水量の降水量比と2地点間の距離との関係で、50から100パーセント値までの2.5パーセント値ごとの関係。

b) 1時間降水量の降水量比の数式化

2地点の1時間降水量の降水量比に関するパーセント値と2地点間の距離との関係の数式化を行った。初めに2地点の1時間降水量の偏角に関する p パーセント値 $r(p, x)$ と2地点間の距離 x との関係式を求めた。2地点の1時間降水量の偏角に関する p パーセント値と2地点間の距離との関係は、 p パーセント値ごとに定まる $a(p)$ 、 $b(p)$ を係数とする指数型(式(1))と分数型(式(2))の2種類の関係式を考えた。なお、 $b(p)$ は2地点間の距離が0kmの場合における $\pi/4$ (降水量比が1)からの誤差を表す係数である。

$$r(p, x) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}(1 - b(p)) \exp(-a(p) \times x) \quad (1)$$

$$r(p, x) = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi/4 - b(p)}{1 + a(p) \times x} \quad (2)$$

式(1)、(2)の係数 $a(p)$ 、 $b(p)$ は、図-2のように雨量計の組合せ数が2地点間の距離の増加とともに多くなることから、各1km区間の組合せの寄与度が同じになるように、各1km区間の組合せ数に応じて重み付けを行った上で、最小二乗法を用いて推定した。その結果、式(1)は式(2)に比べて2地点の1時間降水量の偏角に関する p パーセント値との誤差が小さいことから、2地点の1時間降水量の偏角に関する p パーセント値と2地点間の距離との関係式には式(1)を採用することにした。図-7の実線は式(1)から算出される2地点の1時間降水量の偏角に関する95パーセント値を示したもので、1km範囲ごとの平均値と良く一致する。これから、2地点の1時間降水量の降水量比に関する p パーセント値 $R(p, x)$ と2地点間の距離 x との関係は、式(1)を直角座標に変換した下記の関係式で表すことができる。

$$R(p, x) = \tan(r(p, x)) \quad (3)$$

図-6には、式(3)から算出される2地点の1時間降水量の降水量比に関する95パーセント値と2地点間の距離との関係を実線で示した。また、図-10には50から100パーセント値までの2.5パーセント値ごとに2地点の1時間降水量の降水量比に関するパーセント値と2地点間の距離との関係を示した。

c) 1時間降水量の同時生起率の数式化

1時間降水量の同時生起率 $P(x)$ と2地点間の距離 x との関係は、式(1)、(2)と同様な指数型と分数型の2種類の

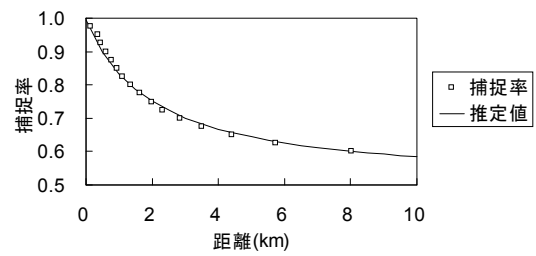


図-11 捕捉率と2地点間の距離との関係。

関係式を考えて、最小二乗法を用いて係数 a 、 b を推定した。その結果、分数型は指数型に比べて1時間降水量の同時生起率との誤差が小さいことから、これらの間の関係式には下記に示す分数型を採用することにした。

$$P(x) = (1 - b) / (1 + a \times x) \quad (4)$$

図-8の実線は、式(4)から算出される1時間降水量の同時生起率を示したもので、1km範囲ごとの平均値である□と良く一致する。

4 雨量計の設置間隔の評価

(1) 曝露率

曝露率は、雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点までの区間において、1時間降水量の降水量比が1.2以上の降雨に曝される確率とする(表-1)。これは、雨量計の地点の降水量が速度規制基準値に達していないときに、雨量計の受け持ち範囲の半径(図-3の x)にあたる区間のどこかで降水量が運転中止基準値以上である確率と考えることにする。

曝露率を求めるにあたって、初めに捕捉率を求めた。捕捉率は、雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点における1時間降水量の降水量比が1.2以下になる確率とする。捕捉率は、式(3)の左辺 $R(p, x)$ を1.2として x について解くことで求めることができ、図-10において2地点の1時間降水量の降水量比 $R(p, x)$ が1.2になる2地点間の距離 x として求めることができる。このようにして求めた捕捉率が図-11の□である。捕捉率 $C(x)$ と2地点間の距離 x との関係は、式(1)、(2)と同様な指数型と分数型の2種類の間関係式を考えて、最小二乗法を用いて係数 a 、 b を推定した。その結果、分数型は指数型に比べて捕捉率との誤差が小さいことから、これらの間の関係式には次式に示す分数型を採用することにした。

$$C(x) = 0.5 + (0.5 - b) / (1 + a \times x) \quad (5)$$

図-11の実線は、式(5)から算出される捕捉率と2地点間の距離との関係である。

雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点における1時間降水量の降水量比が1.2以上になる確率は、捕捉率の余事象($=1 - C(x)$)になる。ここで、距離 x を雨量計の受け持ち範囲の半径とすると、曝露率 $E(x)$ はこの区間における1時間降水量の降水量比が1.2以上になる確率の平均値として、次式で表すことができる。

$$E(x) = \int (1 - C(x)) dx / x \quad (6)$$

図-12は、式(6)から算出される曝露率と雨量計の受け

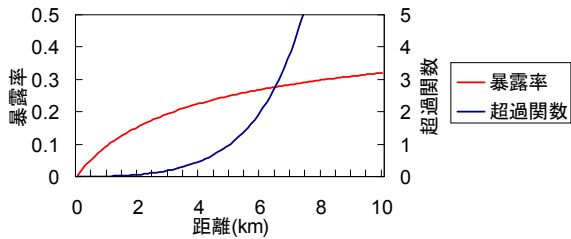


図-12 曝露率および超過関数と雨量計の受け持ち範囲の半径(2地点間の距離)との関係。超過関数は雨量計の受け持ち範囲の半径を5kmで規格化。

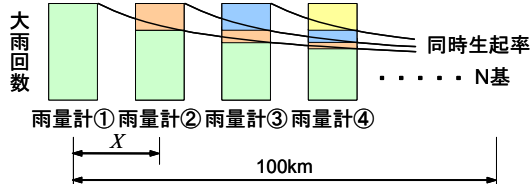


図-13 1時間降水量の同時生起率と大雨回数の関係

持ち範囲の半径(2地点間の距離)の関係で、曝露率は収束型の増加関数である。

(2) 超過関数

超過関数は、雨量計の地点と雨量計からある距離離れた地点までの区間において、1時間降水量の降水量比が1.2を超過した量を2乗和した平均値とする(表-1)。これは、雨量計の地点の降水量が速度規制基準値に達していないときに、雨量計の受け持ち範囲の半径(図-3の x)にあたる区間において、降水量が運転中止基準値を超過した量を評価する指標と考えることにする。2乗和するのは、降水量が運転中止基準値を超えても実際に降雨災害が発生するのは稀であることから、僅かな超過であれば大目みで、大きな超過に対しては厳しく評価するためである。雨量計から距離 x の地点における1時間降水量の降水量比が1.2を超過した量の2乗和 $l(x)$ は、2.5パーセントイル値ごとの1時間降水量の降水量比の p パーセントイル値 $R(p, x)$ を用いて次式で示すことにした。

$$l(x) = \sum(((R(p, x) - R(p - 2.5, x)) / 2 - 1.2)^2 \times 0.025) \quad (7)$$

ただし、 $(R(p, x) - R(p - 2.5, x)) / 2 > 1.2$ の場合のみ計算することとする。ここでは、距離 x を雨量計の受け持ち範囲の半径とすると、超過関数 $L(x)$ はこの区間における1時間降水量の降水量比が1.2を超過した量の2乗和 $l(x)$ の平均値として次式で表すことができる。

$$L(x) = \int l(x) dx / x \quad (8)$$

図-12は、式(8)から算出される超過関数と雨量計の受け持ち範囲の半径(2地点間の距離)との関係で、雨量計の受け持ち範囲の半径を5kmで規格化して示した。これから、超過関数は発散型の増加関数である。

(3) ダウンタイム

ダウンタイムは、運転中止基準値を1時間降水量が30mmとした場合の運転中止時間とする(表-1)。ダウンタイムを求めるにあたって、初めに大雨回数を求めた。鉄道は、路線ごとの運行になることから、一つの雨量計

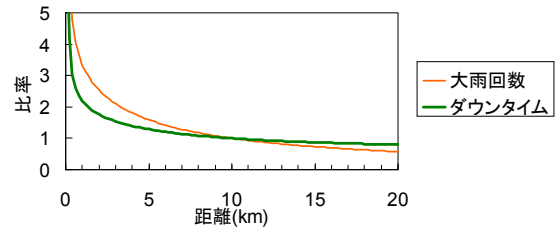


図-14 大雨回数およびダウンタイムと雨量計の設置間隔との関係。雨量計の設置間隔が10kmの場合で規格化。

で運転中止になると全線で運行できなくなることが多い。そのため、ある路線における運転中止回数はある路線で観測される大雨の回数の合計(大雨回数)になる。大雨の出現率が一定と仮定すると、雨量計が等間隔(X :雨量計の設置間隔 $=2x$)で設置されている場合には、ある雨量計(図-13の雨量計①)で観測される大雨のうち隣りの雨量計(図-13の雨量計②)でも大雨として観測されるのは1時間降水量の同時生起率 $S(X)$ に相当する回数である。よって、雨量計②では同時生起率の余事象 $(=1 - S(X))$ に相当する回数が雨量計①で観測されなかった大雨として新たに観測されることになる。さらに、隣り以降の雨量計についても同様である。これから、路線延長 L に雨量計が等間隔 X で設置されている場合に観測される大雨回数 $n(X)$ は、次式で表すことができる。

$$n(X) = 1 + (L/X - 1)(1 - S(X)) \quad (9)$$

図-14は、路線延長 L を100kmとした場合の大雨回数と雨量計の設置間隔との関係で、大雨回数は雨量計の設置間隔が10kmの場合で規格化して示した。

運転中止は、降水量が運転中止基準値に達した場合に発令され、運転中止基準値を下回るとともに、運転規制区間の線路巡回で線路に異常がないことが確認された場合に解除になる。これから、運転中止時間は降水量が運転中止基準値を超えている時間と線路巡回に要する時間の合計になる。これから、1つの運転規制区間(X :雨量計の受け持ち範囲の直径)における運転中止の平均時間 $d(X)$ は、1時間降水量が30mm以上の平均継続時間を t 、降水量が運転中止基準値を下回ってから線路巡回に出発するまでに要する準備時間を s 、線路巡回の移動速度を v とすると次式となる。

$$d(X) = t + s + X/v \quad (10)$$

線路巡回には雨量計の設置間隔に関わらず運転規制区間ごとに1パーティーを充当できる、つまり同時に線路巡回を実施できると仮定すると、ダウンタイム $D(x)$ は大雨回数 $n(X)$ と運転中止の平均時間 $d(X)$ の積になり、次式で表すことができる。

$$D(X) = n(X) \times d(X) \quad (11)$$

1時間降水量が30mm以上の平均継続時間 t は、JR東日本の雨量計110箇所の5分ごとの降水量データを用いて算出すると45分であった。また、準備時間 s および線路巡回の移動速度 v は、JR東日本千葉支管内における実績から46分および178m/分とした。

図-14は、路線延長 L を100kmとした場合のダウンタ

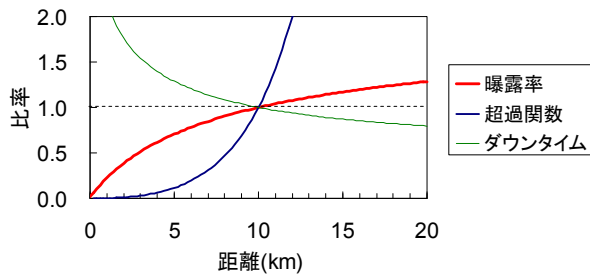


図-15 曝露率、超過関数、ダウンタイムと雨量計の設置間隔の関係。雨量計の設置間隔が10kmの場合で規格化。

イムと雨量計の設置間隔との関係で、ダウンタイムは雨量計の設置間隔を10kmで規格化して示した。これから、ダウンタイムは収束型の減少関数である。なお、運転中止区間の線路巡回を同時にできるとする仮定は、雨量計の設置間隔が極端に小さい場合に成り立たないことから、図-14に示したダウンタイムは雨量計の設置間隔が極端に小さい場合には最小値を示していることになる。

5 考察

雨量計の設置間隔に関する考察では、雨量計の受け持ち範囲の半径 x と雨量計の設置間隔 X が $X=2x$ の関係にある(図-3)ことから、曝露率、超過関数、およびダウンタイムと雨量計の設置間隔で議論する。図-15は、曝露率 $E(X)$ 、超過関数 $L(X)$ 、およびダウンタイム $D(X)$ と雨量計の設置間隔 X との関係で、雨量計の設置間隔が10kmの場合で規格化して示した。

図-15によると、超過関数は5km程度以下では増加率が小さいが、5km程度以上では増加率が大きくなる発散型の増加関数である。そのため、超過関数の観点からみた安全性は、雨量計の設置間隔を5km程度以下にすると、10kmの場合に比べて著しく向上すると考えられる。雨量計の設置間隔が5kmの場合には、10kmの場合に比べて超過関数は88%減少する。一方、曝露率およびダウンタイムは5km程度以下では増減率が大きい、5km程度以上では増減率が小さくなる収束型の増加関数および減少関数である。曝露率の減少率とダウンタイムの増加率を比べると、雨量計の設置間隔が5km程度を境に、それ以下では後者、それ以上では前者が大きくなる。雨量計の設置間隔を10kmから5kmにした場合には、曝露率の減少率とダウンタイムの増加率はそれぞれ29%である。よって、雨量計の設置間隔を10kmから5kmにすると、曝露率とダウンタイムの関係からみた安全性の向上と安定性の低下は同等である。

したがって、雨量計の設置間隔を鉄道の多くが標準としている10kmから5km、すなわち雨量計の受け持ち範囲の半径を5kmから2.5kmに半減すると、安全性の評価基準とした曝露率の減少率と安定性の評価基準としたダウンタイムの増加率がほぼ同等であるとともに、安全性の基準とした超過関数を大幅に減少させることができる。つまり、曝露率とダウンタイムの関係からみた安全性の

向上と安定性の低下は同等であるが、超過関数の観点からみると安全性が著しく向上する。これから、雨量指標に1時間降水量を用いた場合の雨量計の設置間隔は5kmが一つの目標であると考えられる。

6 おわりに

本研究では、鈴木ほか⁹⁾や鈴木・高橋⁷⁾によって行われた2地点の1時間降水量の降水量比および同時生起率と2地点間の距離との関係に関する研究成果を利用して、鉄道における雨量計の設置間隔を評価する方法について考察した。その結果、鉄道における雨量計のより適切な設置間隔の設定方法を提案するとともに、降雨強度の雨量指標として用いられることの多い1時間降水量を雨量指標に用いた場合の雨量計の設置間隔は5kmが一つの目標であることを導いた。また、今後は長期雨量(24時間降水量など)やJR東日本の列車運転規制に用いられている実効雨量について、同様の解析を行うことで、研究成果を実務に反映させていきたいと考えている。

謝辞: 本研究では、気象庁、国土交通省、東京都、およびJR東日本の降水量データを利用しました。それぞれの機関において観測とデータの保存・整理に従事された方々に深く感謝申し上げます。

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) 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。
- 3) 村上隆博，菊井稔宏，嶋 大尚，清水基成：雨量計の有効範囲に関する一考察，砂防学会誌，Vol.61，pp.16-22，2008。
- 4) 井良沢道也，田口隆男：降雨特性を考慮したテレメータ配置計画の検討，新砂防，Vol.49，pp.22-27，1996。
- 5) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室：土石流の警戒・避難基準雨量の設定に関する研究，土木研究所資料，No.2215，79pp，1985。
- 6) 鈴木博人，高橋日出男：関東平野における大雨の空間スケール-鉄道と気象庁の降水量データを用いた統計解析-，自然災害科学，Vol.27，pp.161-173，2008。
- 7) 鈴木博人，中北英一，高橋日出男：雨量計の観測値を用いた降水量の空間代表性の解析，水工学論文集，Vol.53，pp.391-396，2009。
- 8) 葛葉泰久，友杉邦雄，岸井徳雄：降水量の空間相関構造，水工学論文集，Vol.46，pp.127-132，2002。
- 9) 加藤 光：防災情報システムの導入，Japan Railway Engineers' Association，Vol.32，pp.18853-18856，1989。
- 10) 国土交通省：水文水質データベース，<http://www1.river.go.jp>，2010年9月30日。
- 11) 東京都：東京都水防災総合情報システム，<http://www.kasen-suibo.metro.tokyo.jp/im/tsim0101g.html>，2010年9月30日。
- 12) 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。
- 13) 仙台管区気象台調査課：降雨特別調査観測について，研究時報，No.26，pp.16-17，1974。

(2010.9.30 受付)