

山間部の鉄道沿線における大雨の標高依存性

DEPENDENCE OF HEAVY RAINFALL ON ELEVATION ALONG RAILROAD IN MOUNTAINOUS AREA

鈴木博人¹・中北英一²

Hiroto SUZUKI, Eiichi NAKAKITA

¹正会員 理修 東日本旅客鉄道株式会社千葉支社設備部(〒260-8551 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)

This study statistically analyzed the dependence of precipitation of heavy rainfall on elevation along railroad in mountainous area. We installed 23 raingauges on the valley floor along Ou Main Line track, and observed precipitation from 2006 to 2008. The results are summarized as be follows: (1) In many heavy rainfall events, total rainfall amount increases linearly with the increase of elevation. (2) The correlation between the total rainfall amount and the actual elevation at the rain gauge is as same as that between the total rainfall amount and the average elevation around the rain gauge. (3) The increase ratio to elevation for total rainfall amount is different every heavy rainfall event. (4) The correlation between total rainfall amount and elevation is higher in case of typhoon and low pressure rather than in case of stationary front. (5) The correlation between total rainfall amount and elevation becomes high when total rainfall amount increases. (6) In heavy rainfall events which have a significant correlation between the total rainfall amount and elevation, the correlation is more significant at an early stage of rainfall.

Key Words : heavy rainfall, dependence on elevation, total rainfall amount, railroad

1. はじめに

鉄道では、降雨災害を防止するために防災強化や列車運転規制を行っている¹⁾。鉄道における降雨災害は主に鉄道沿線で発生する土砂災害で、土砂災害の多くは山間部で発生する。山間部では、降雨量に標高依存性があることが知られている^{2),3),4)}ことから、山間部の鉄道の安全性や列車運行の安定性をより向上するためには、大雨の標高依存性を考慮した防災強化や列車運転規制を行うことが望ましい。つまり、鉄道線路の標高に応じて防災強度を向上し、その上で標高に応じて降雨時の列車運転規制を行うことが望ましい。このためには、山間部の鉄道線路に沿った大雨の降雨量分布を把握して、線路に沿った大雨の標高依存性を明らかにする必要がある。

降雨量の標高依存性に関する研究事例として、例えば沖ら²⁾は降雨量に地形効果が顕著に現れるのが個々の気象擾乱に対応する時間スケールよりも若干時間スケールが長い一雨雨量から数日間雨量においてであるとしている。中北ら³⁾は、レーダ雨量計の観測値の分析から、一雨雨量より長い時間スケール(月雨量程度)において、気象擾乱ごとの変動を越えた普遍的な降雨-地形関係があるとしている。また、山田ら⁴⁾は山岳地域に設置した

地上雨量計による観測データを用いて、熱雷を除けば降雨量は標高に対してほぼ線形に増加するとしている。

日本の鉄道網の骨格は、明治から昭和の初期にかけて建設されている。このような時代に建設された鉄道線路は、山間部を通過する際に河川に沿って標高を増しており、鉄道線路は周辺よりも標高の低い谷地形の底部近くに敷かれているのが一般的である。このような山間部の鉄道線路に沿った降雨量の標高依存性について、鈴木・中北⁵⁾は多くの大雨事例で降雨量が雨量計の設置箇所の標高に依存することを示している。しかし、地形が複雑な山間部に位置し、さらに谷地形の底部近くにおける大雨時の降雨量が、雨量計を設置した箇所の標高に依存するのか、あるいはあるスケールの平均標高に依存するかは定かではない。

そこで、谷地形の底部近くにおける大雨の標高依存性を分析するために、奥羽本線(山形新幹線)庭坂駅・米沢駅間の線路延長約30kmの区間に23基の雨量計を配置して、2006年から2008年までの3年間にわたって降雨量の観測を行った。この観測データを用いて、標高に雨量計の設置箇所および雨量計の設置箇所を中心とした0.5~20km四方の平均標高をとり、大雨時の降雨量と標高の関係を分析するとともに、大雨の標高依存性と大雨

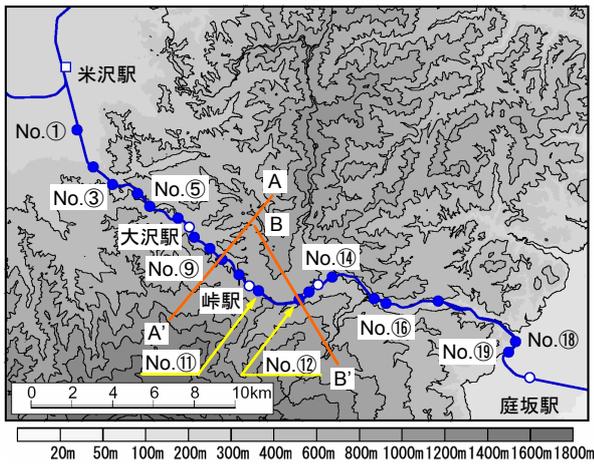


図-1 降雨量の観測地域と雨量計の設置位置

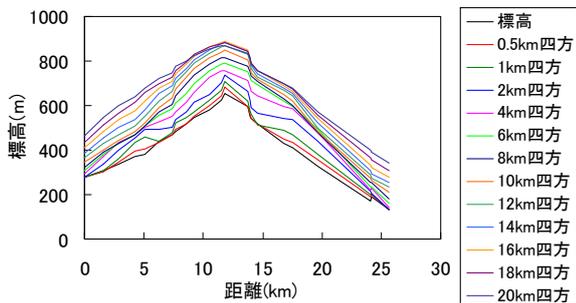


図-3 雨量計の設置箇所の標高および雨量計の設置箇所を中心とする0.5~20km四方の平均標高。水平距離はNo.①雨量計と庭坂駅雨量計を結ぶ直線に投影した距離で、No.①雨量計からの水平距離で示した。

をもたらした気象擾乱の関係を分析した。また、降雨量の空間代表性とジェボンス効果⁶⁾(風の影響で降雨量の観測精度が低下する現象)が観測される降雨量に与える影響を把握するための観測を行った。

2 解析方法

(1) 対象地域

対象地域は、奥羽本線庭坂駅・米沢駅間で奥羽山脈を越える板谷峠を挟んだ区間である(図-1)。この区間は、ほぼ西北西-東南東方向に鉄道線路が敷かれており、米沢駅から峠にかけて羽黒川に沿って標高を増して板谷峠を越え、峠駅から庭坂駅にかけて松川に沿って標高を下げていく。この区間の南側には標高2,035mの吾妻山、北側には1,216mの栗子山がある。図-2は、図-1のA-A'断面およびB-B'断面と鉄道線路の位置を示したもので、鉄道線路はこれらの山岳の鞍部を河川に沿って谷地形の底部近くに敷かれている。

(2) 雨量計の設置位置

降雨量の観測は、奥羽本線庭坂駅・米沢駅間の線路延長で約30km、両端の雨量計の直線距離で約25kmの区間に23基の雨量計を配置して行った。雨量計は、4箇所が列車運転規制に用いる既設雨量計、19箇所が臨時雨量計である。臨時の雨量計は、2006年から2008年の6月から

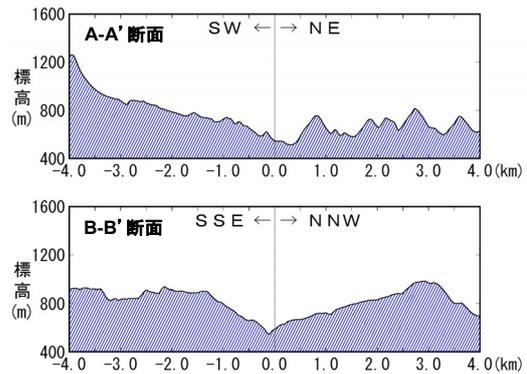


図-2 図-1のA-A'断面図およびB-B'断面図。中央の0kmの位置が鉄道線路および雨量計設置箇所。A-A'断面はNo.⑨雨量計箇所、B-B'断面はNo.⑫雨量計箇所。

表-1 大雨事例の降雨期間、一雨雨量が最大の箇所とその降雨量、主風向、平均風速、および大雨をもたらした気象擾乱。風向・風速は気象庁の福島における観測値で、主風向は大雨の降雨期間中の最も出現頻度の高い風向、平均風速は降雨期間中の平均値。

No	降雨期間	一雨雨量 (mm)	一雨雨量 の 最大箇所	福島(気象庁)		原因
				風向	平均風速 (m/s)	
1	2006/6/30-7/3	110	No.④	北東	1.8	停滞前線
2	2006/7/15-19	153	No.⑦	北東	1.3	停滞前線
3	2006/10/5-9	293	No.⑪	西北西	3.9	低気圧
4	2006/10/23-25	205	No.⑪	北北東	2.5	低気圧
5	2007/7/14-16	179	No.⑮	北東	2.7	台風4号
6	2007/9/5-9/7	399	No.⑪	東	3.7	台風9号
7	2007/10/26-28	117	No.⑮	北北東	1.7	台風20号
8	2008/8/16-17	103	No.①	北東	2.0	停滞前線
9	2008/8/20-27	153	No.⑮	北東	1.3	低気圧
10	2008/8/28-31	158	No.⑲	北東	1.6	停滞前線

10月まで観測を行った。雨量計は転倒ます0.5mmの転倒ます式雨量計で、雨量データは5分間隔で保存されている。保存される雨量データは、既設の雨量計が1mm単位、臨時の雨量計が0.5mm単位である。

雨量計の設置箇所の緯度・経度および標高は、地理情報システムを用いて読み取った。また、標高については50mメッシュの国土数値情報を用いて、雨量計の設置箇所を中心に0.5km四方および1~20km四方の1km四方ごとに平均標高を算出した。

図-1は、既設雨量計と臨時雨量計の平面位置である。また、図-3の縦断面図は雨量計の設置箇所の標高および0.5~20km四方の平均標高とNo.①雨量計からの水平距離の関係で、水平距離はNo.①雨量計と庭坂駅雨量計を結ぶ直線に投影した距離で示した。なお、図示を省略した平均標高の場合を含めて、標高は平均する範囲が広がるほど高くなる傾向にある。これからも、鉄道線路は周辺より標高の低い位置に敷設されていることが分かる。また、板谷峠の山形側の斜面を山形側斜面、福島側の斜面を福島側斜面とすると、山形側斜面にはNo.①雨量計からNo.⑪雨量計まで、福島側斜面にはNo.⑫雨量計から庭坂駅雨量計が属している。

No.⑫雨量計の地点には、降雨量の空間代表性とジェボ

表-2 No. ⑫の雨量計の設置箇所における2基の雨量計（垂直雨量計）、高標高雨量計、および風速計の観測値とそれらの比。

No	降雨期間	最大1時間雨量(mm)	一雨雨量(mm)		一雨雨量比(%)	補填一雨雨量(mm)	補填一雨雨量と一雨雨量の比(%)	降雨期間中の平均風速(m/s)	最大10分間平均風速(m/s)
		No.⑫-1	No.⑫-1	No.⑫-2		No.⑫-1			
5	2007/7/14-16	14.5	145.0	144.0	100.7	155.0	106.9	2.6	7.0
6	2007/9/5-7	31.5	298.5	295.0	101.2	304.0	101.8	3.3	8.1
7	2007/10/26-28	12.5	111.0	112.5	98.7	115.0	103.6	1.0	3.2
8	2008/8/16-17	14.5	72.5	73.5	98.6	74.0	102.1	0.9	2.8
9	2008/8/20-27	3.5	131.0	134.5	97.4	178.0	135.9	2.2	4.7
10	2008/8/28-31	14.5	96.0	97.0	99.0	101.5	105.7	0.7	3.2

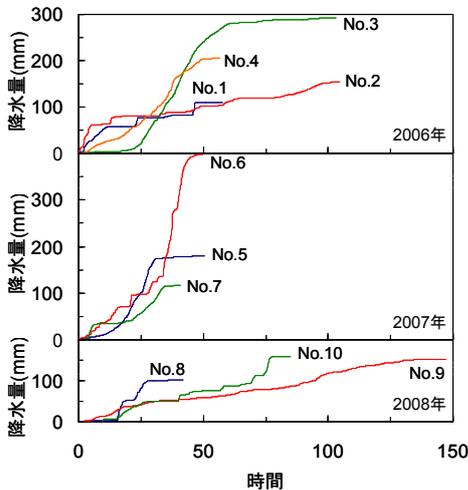


図-4 大雨事例ごとの一雨雨量が最大の箇所における降り始めからの降雨量と時間の関係。なお、図中の番号は表-1の大雨番号。

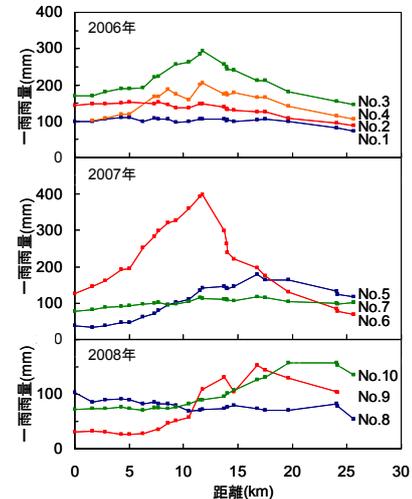


図-5 大雨事例ごとの各雨量計箇所における一雨雨量と No. ①雨量計からの水平距離の関係。なお、図中の番号は表-1の大雨番号。

ンス効果が観測される降雨量に与える影響を把握するための観測を行った。この箇所では、5m 間隔で No.⑫-1 と No.⑫-2 の雨量計（垂直雨量計）2 基、これらの中央に高標高雨量計⁷⁾（水平雨量計）1 基、およびプロペラ式風速計 1 基を 2007 年と 2008 年に設置して、降雨量と風向・風速の観測を行った。

3 大雨事例と観測精度

(1) 大雨事例

奥羽本線庭坂駅・米沢駅間に設置した雨量計において、2006 年から 2008 年の 6 月から 10 月までの期間に 1 箇所以上で 100mm 以上の一雨雨量が観測された場合を大雨とし、表-1 に示す 10 事例を抽出した。なお、ここでは便宜的に 12 時間以上の降雨中断があった場合を一雨の区切りとして、一雨雨量を算出した。

表-1 には、大雨の降雨期間、一雨雨量が最大の箇所とその降雨量、降雨期間中の主風向と平均風速、および大雨をもたらした気象擾乱を示した。風向・風速は気象庁の福島における観測値で、主風向は降雨期間中に最も出現頻度の高い風向とした。これから、大雨の出現時の主風向は No.3 と No.6 の大雨事例を除いて、雨量計を設置した鉄道線路に対してほぼ直角方向である。大雨をもたらした気象擾乱を天気図から判断すると、大雨は台風、低気圧、および停滞前線によって発生し、一雨雨量は台風や低気圧による大雨が停滞前線による大雨に比べて大

きい傾向にある。図-4 は、一雨雨量が最大の箇所における降り始めからの降雨量と時間との関係である。

(2) 降雨量の観測精度

No.⑫雨量計の箇所に設置した雨量計（垂直雨量計）2 基と高標高雨量計（水平雨量計）の観測データを用いて、降雨量の空間代表性とジェボンス効果が観測される降雨量に与える影響を調べた。

仙台管区気象台調査課⁸⁾によると、ほぼ同一地点とみなされる一辺 15m の正三角形内でも、一雨雨量に±6% のばらつきがある。そこで、本研究で設置した雨量計の観測値の空間代表性を確認するために、5m 間隔で設置した雨量計の観測値を比較した。表-2 に示したこれらの雨量計における一雨雨量とその比によると、一雨雨量の差は数%である。よって、本研究では 5m 程度の範囲内の一雨雨量に差がないと考えることにする。

山間部では、風の影響で降雨量の観測精度が低下する（ジェボンス効果）⁹⁾ことが知られている。そこで、本研究で設置した雨量計（垂直雨量計）で観測される垂直雨量に与える風の影響を把握するために、高標高雨量計（水平雨量計）で観測される水平雨量で垂直雨量を補填した補填雨量⁷⁾と垂直雨量を比較した。なお、補填雨量⁷⁾とは垂直雨量と水平雨量を比較して、卓越する雨量を採用する雨量指標である。表-2 には、補填雨量と垂直雨量による大雨の一雨雨量の差を示した。表-2 によると、両者には No.9 の大雨事例に 3 割を超える差がみられるが、その他の大雨事例は 5%前後である。このように、風の影響

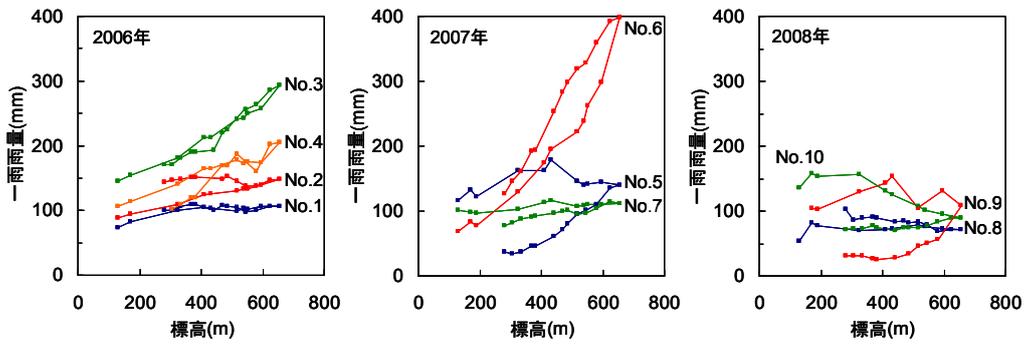


図-6 大雨事例ごとの各雨量計箇所における一雨雨量と雨量計の設置箇所の標高との関係。なお、図中の番号は表-1の大雨番号。

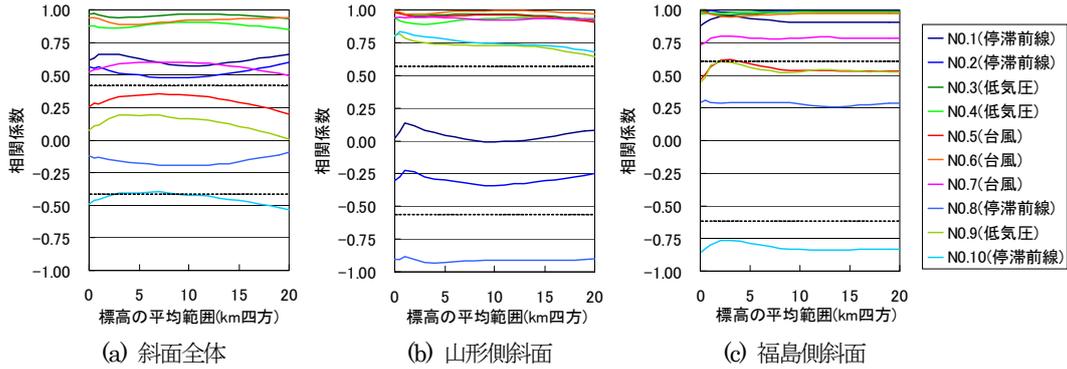


図-7 大雨の一雨雨量と標高との間の相関係数。標高は雨量計の設置箇所の標高（標高の平均範囲が0km四方の場合として示した）および雨量計の設置箇所を中心とする0.5~20km四方の平均標高とした場合。なお、凡例中の番号は表-1の大雨番号。

による垂直雨量の捕捉率の低下は降雨量の空間代表性の影響に比べて大きい。しかし、風の影響による垂直雨量の捕捉率の低下を補正する方法は十分に確立されていないことから、本研究では雨量計（垂直雨量計）で観測される垂直雨量を真値として解析を行うことにする。

No.⑫雨量計の箇所で観測される垂直雨量に与える風の影響は、No.9の大雨事例を除いて他の山岳域における観測事例⁷⁾⁹⁾に比べて小さい。これは、No.⑫雨量計の箇所が図-2に示したように谷地形の底部近くに位置するために、谷地形によって風速が低減される影響が大きいと考えられる。なお、No.⑫雨量計の箇所と盆地である福島における大雨の降雨期間中の平均風速は、表-1と表-2を比較すると同程度である。また、No.9の大雨事例に大きな捕捉率の低下がみられるのは次のことが考えられる。川畑⁶⁾によると、ジェボンス効果の影響は風速が大きいほど、雨滴が小さいほど大きい。No.9の大雨事例は、降雨期間中の風速は他の事例と比べて大きいとはいえないことから、一定の強風の下で最大1時間雨量が3.5mm/hと弱い雨が続いたことが影響していると考えられる。

4. 大雨の標高依存性

(1) 一雨雨量の標高依存性

大雨の一雨雨量の標高依存性に関する解析を行った。ここでは、既設雨量計の雨量データが1mm単位であることから、臨時雨量計の雨量データについても1mm単位のデータとして扱った。図-5は、大雨事例の各雨量計

表-3 降雨量が欠測なく観測された雨量計の箇所数、大雨の一雨雨量と標高との間の相関係数、および標高が100m増加した場合の大雨の一雨雨量の変化率。なお、標高は雨量計の設置箇所の標高、表中の網掛けは両者の相関が有意水準5%で有意な場合。

No	降水期間	箇所数	相関係数			変化率			最大雨量(mm)	原因
			斜面全体	山形側斜面	福島側斜面	斜面全体	山形側斜面	福島側斜面		
1	2006/6/30-7/3	22	0.62	0.02	0.88	3.43	0.06	5.46	110	停滞前線
2	2006/7/15-19	21	0.57	-0.31	0.99	4.62	-0.76	7.00	153	停滞前線
3	2006/10/5-9	21	0.97	0.98	0.99	9.83	11.79	8.49	293	低気圧
4	2006/10/23-25	20	0.88	0.94	0.97	9.75	14.44	7.79	205	低気圧
5	2007/7/14-16	23	0.26	0.98	0.47	4.52	16.93	2.87	179	台風4号
6	2007/9/5-9/7	23	0.94	0.99	0.99	15.83	19.29	11.81	399	台風9号
7	2007/10/26-28	23	0.53	0.94	0.74	3.20	7.16	2.38	117	台風20号
8	2008/8/16-17	22	-0.12	-0.91	0.29	-0.82	-6.76	1.33	103	停滞前線
9	2008/8/20-27	18	0.08	0.81	0.45	1.73	10.31	3.52	153	低気圧
10	2008/8/28-31	22	-0.49	0.80	-0.86	-6.45	2.64	-7.50	158	停滞前線

箇所における一雨雨量とNo.①雨量計からの水平距離の関係である。一雨雨量は、No.3やNo.6などの大雨事例のように図-3に示した雨量計の標高の縦断形状と類似している事例と、No.2やNo.10などの大雨事例のように一雨雨量がNo.①雨量計からの水平距離の増加に伴って増加または減少する事例がある。

図-6は、大雨事例の各雨量計箇所における一雨雨量と雨量計を設置した箇所の標高の関係で、隣接する雨量計の観測値を直線で結んである。図-6によると、No.3やNo.6などの大雨事例は一雨雨量が標高の増大に伴って一次関数的に増加する。一方、No.2やNo.10などの大雨事例は一雨雨量が標高に対して>型または<型の分布をしており、一雨雨量が標高の増大に伴って一次関数的に

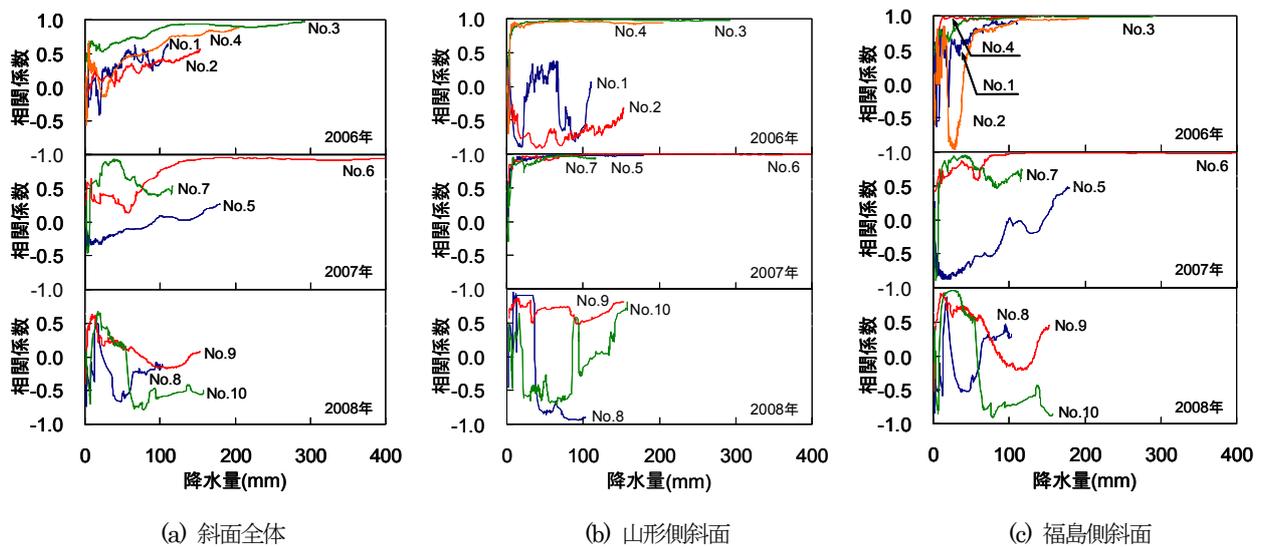


図-8 任意の時刻における全雨量計の中で降り始めからの降雨量が最大の箇所の降雨量と、その時刻での各雨量計箇所における降り始めからの降雨量と雨量計の設置箇所の標高との間の相関係数。なお、図中の番号は表-1の大雨番号。

増加するのは片側の斜面のみで、もう一方の斜面は一雨雨量が標高の増大に伴って減少するかほとんど変化していない。

図-7は、各大雨事例について、斜面全体、山形側斜面、福島側斜面における各雨量計箇所の一雨雨量と標高との間の相関係数を示したもので、標高を雨量計の設置箇所の標高および雨量計の設置箇所を中心とする0.5~20km四方の平均標高とした場合について示した。図中の上側の点線より相関係数が大きければ正の相関が有意水準5%で有意で、下側の点線より小さければ負の相関が有意である。ただし、これらの相関係数は各雨量計で欠測なく降雨量が観測された場合に有意になる値である。表-3に示すように降雨量の観測に欠測が生じた大雨事例では、相関が有意水準5%で有意になる相関係数の絶対値はこれらの値より大きくなる。図-7によると、両者の正の相関が有意水準5%で有意な場合、つまり一雨雨量が標高の増加に伴って大きくなる大雨事例は、斜面全体では10事例中6事例、山形側斜面と福島側斜面が7事例である、また、斜面全体、福島側斜面、山形側斜面の全てで両者の正の相関が有意水準5%で有意な場合が4事例、山形側斜面または福島側斜面の一方でも有意な事例が9事例である。このように、全ての大雨事例で一雨雨量が標高の増加に伴って増加するわけではないが、多くの大雨事例で一雨雨量が標高の増加に伴って増加する。

図-7の一雨雨量と標高との間の正の相関が有意水準5%で有意な大雨事例をみると、一雨雨量と最も相関が高い標高は雨量計の設置箇所の標高または3km四方以下の平均標高である場合が多い。一方で、標高に雨量計の設置箇所の標高と0.5~20km四方の平均標高とした場合で両者の相関係数の差が小さい。そこで、標高を雨量計の設置箇所の標高および0.5~20km四方の平均標高とした場合について、相関係数の差の有無の検定を大雨事例ごとに行った。その結果、これらの相関係数に有意水準

5%で有意な差が認められるのはNo.6の大雨事例の山形側斜面のみで、No.6の大雨事例の他の斜面の場合や他の大雨事例では有意水準5%での有意な差が認められなかった。したがって、谷地形の底部近くに位置する鉄道線路に沿った大雨の一雨雨量は、雨量計の設置箇所の標高または3km四方以下の平均標高と相関が高いものの、標高に雨量計の設置箇所の標高や雨量計周辺の平均標高をとった場合で、標高への依存度に差がないと考えられる。

次に、大雨の一雨雨量の標高依存性と大雨をもたらした気象擾乱との関係を調べた。台風や低気圧による大雨事例は、相関係数が0.9を超える事例が多くみられるとともに、斜面全体、山形側斜面、福島側斜面の全ての場合で一雨雨量と標高との正の相関が有意水準5%で有意な場合が多い。一方、停滞前線による大雨は両者の正の相関が有意水準5%で有意な場合が福島側斜面または山形側斜面のいずれか一方のみであるか、全ての場合で正の相関の有意性がみられない。このように、台風や低気圧による大雨は、停滞前線による大雨に比べて標高依存性が高いと考えられる。これは、中北ら³⁾によるレーダ雨量計の観測値に基づいた解析結果と一致する。この理由として、大雨が同時に生起する範囲が広い台風や低気圧が、その生起する範囲が狭い停滞前線に比べて降雨量の空間代表性が高いために^{10,11)}、降雨量に標高依存性が現れやすいと考えられる。

最後に、標高の増加に伴う大雨の一雨雨量の変化率を調べた。表-3は、標高に雨量計の設置箇所の標高をとった場合の斜面全体、山形側斜面、福島側斜面において標高が100m増加した場合の一雨雨量の変化率である。なお、変化率は各雨量計箇所における一雨雨量と標高との間の一次回帰直線の傾きを一雨雨量の最大値で除したものとした。表-3によると、大雨事例によって一雨雨量の標高に対する変化率は異なるとともに、山形側斜面が福島側斜面に比べて一雨雨量の標高に対する増加率が大き

い傾向にある。また、観測期間中に生じた大雨事例の中で一雨雨量と標高との間の相関が有意水準 5%で有意な大雨事例では、標高が100m増加すると一雨雨量が数%から約20%の範囲で増加する。

(2) 降り始めからの降雨量と標高との相関関係

大雨の一雨雨量と標高の関係の解析から、大雨の一雨雨量は標高依存性が高いことが分かった。ここでは、降り始めからの降雨量と標高との間の相関係数を求めて、標高依存性が現れ始める降雨量を分析した。

図-8は、斜面全体、山形側斜面、福島側斜面に区分して、任意の時刻において全雨量計の中で降り始めからの降雨量が最大の箇所の降雨量と、その時刻での各雨量計箇所における降り始めからの降雨量と雨量計の設置箇所の標高との間の相関係数の関係である。降り始めからの降雨量と標高との間の相関は、多くの大雨事例で降雨量が大きくなるほど高くなる。斜面全体を対象にした場合には、一雨雨量と標高との間の相関が有意水準 5%で有意な大雨事例では、降り始めからの降雨量が数10mmで両者の正の相関が有意になり、100mm程度以上になると相関係数が0.7以上の強い相関がみられるようになる。片側の斜面のみを対象にした場合には、一雨雨量と標高との間の相関が有意な大雨事例は、降り始めからの降雨量が数10mm程度で相関係数が0.7以上の強い相関がみられるようになる。このように、一雨雨量と標高との間の正の相関が有意水準 5%で有意な大雨事例は、降雨期間の比較的初期の段階で両者の正の相関が有意になる事例が多い。また、一雨雨量と標高に有意水準 5%での有意性がみられない事例でも、降雨期間の途中で両者の正の相関が有意水準 5%で有意になる場合がみられる。

5 まとめ

奥羽本線庭坂駅・米沢駅間の23箇所において観測された2006年から2008年までの降雨量データを用いて、山間部の鉄道線路に沿った箇所における大雨の標高依存性について分析した。その結果、下記のことから分かった。

- (1) 谷地形の底部近くに位置する鉄道線路に沿った箇所における大雨は、全ての大雨事例で一雨雨量が標高の増加に伴って増加するわけではないが、多くの大雨事例で一雨雨量が標高の増加に伴って一次関数的に増加する。
- (2) 谷地形の底部近くに位置する箇所における大雨の一雨雨量は、雨量計の設置箇所の標高または3km四方以下の平均標高と相関が高いものの、標高に雨量計の設置箇所の標高や雨量計周辺の平均標高をとった場合で、標高への依存度に差がないと考えられる。
- (3) 大雨事例によって一雨雨量の標高に対する変化率は異なっている。観測期間中に生じた大雨事例の中で一雨雨量と標高との相関が有意な事例では、標高が100m増加すると一雨雨量が数%から約20%の範囲で増加する。
- (4) 台風や低気圧による大雨は、停滞前線による大雨に

比べて標高依存性が高い。

(5) 降り始めからの降雨量と標高との間の相関は、降雨量が大きくなるほど高くなる大雨事例が多い。また、一雨雨量と標高との間の正の相関が有意水準 5%で有意な大雨事例では、降雨期間の比較的初期の段階で相関が有意になる事例が多い。

(6) 5m離れた地点における大雨の一雨雨量の差は数%である。また、風の影響による一雨雨量の損失は5%前後であった。

本研究で、山間部の鉄道線路に沿った大雨時の降雨量が標高に依存し、標高に降雨量の観測箇所の標高やその周辺の平均標高をとった場合で、降雨量の標高依存度に差がないことが示された。よって、実務的には、鈴木・中北⁹⁾の研究事例を踏まえると、山間部の鉄道線路に沿った降雨量は雨量計の設置箇所の標高に依存するとして差し支えないと考えられる。今後は、降雨量の標高に対する増加率の設定方法を確立した上で、今回の結果を活用することで鉄道の安全性や列車運行の安定性をより向上して行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズム及び危険度予測，地盤工学 実務シリーズ23，丸善，184p，2006。
- 2) 沖 大幹，虫明功臣，小池俊夫：地形と風向による豪雨時の降水分布の推定，土木学会論文集，Vol417II-13，pp.199-207，1990。
- 3) 中北英一，鈴木善晴，池淵周一：降雨場の地形依存性に関する基礎的研究，京都大学防災研究所年報，Vol43B-2，pp.117-136，2000。
- 4) 山田正，日比野忠史，荒木 隆，中津川誠：山地流域での降雨特性に関する統計的関係，土木学会論文集，Vol527II-33，pp.1-13，1995。
- 5) 鈴木博人，中北英一：鉄道と気象庁の降水量データを用いた大雨の標高依存性の解析，水工学論文集，Vol.50，pp.283-288，2007。
- 6) 川畑幸雄：応用気象学体系 第1巻 水文気象学，地人書院，268p，1961。
- 7) 五代 均，大津洋介，小川達則，渡 正昭，福田光生，越野正史：高標高雨量計を用いた観測と降雨標高依存性，砂防学会研究発表会，pp.372-373，2007。
- 8) 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。
- 9) 五代 均，大津洋介，小川達則，植野利康，長谷川賢市，櫛清彦：山岳域の強風下における雨量観測に関する考察，砂防学会研究発表会，pp.370-371，2007。
- 10) 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。
- 11) 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。

(2009. 9. 30 受付)