

北陸地方に大出水をもたらす 地域的・季節的降雨要因分析

ESTIMATION OF HEAVY RAINFALL IN HOKURIKU DISTRICT BY OROGRAPHIC AND SEASONAL FACTORS

杉本利英¹・後藤祐輔²・須藤哲寛³・田所 正⁴

Toshihide SUGIMOTO, Yusuke GOTO, Norihiro SUDO and Tadashi TADOKORO

¹正会員 国土交通省 北陸地方整備局 (〒950-8801 新潟市中央区美咲町1-1-1)

²一般財団法人日本気象協会 事業本部防災事業部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋三丁目1-1)

³一般財団法人日本気象協会 事業本部防災事業部 (〒170-6055 東京都豊島区東池袋三丁目1-1)

⁴正会員 国土交通省 北陸地方整備局 (〒950-8801 新潟市中央区美咲町1-1-1)

We tried to estimate the rainfall distribution by means of the numerical simulation of meteorological model WRF, changing wind direction in 16 ways. We put improvement by using vertical atmospheric profile of actual condition and effect of convergence and divergence caused by geographical feature. And it is ascertained that the distribution of rainfall is affected by height and direction of the slopes in the mountainous area, especially slopes facing the seasonal rain front direction easily cause heavy rainfall and gain intensity of linear precipitation zone, just like the Niigata-Fukushima heavy rain disaster last year.

Key Words : heavy rainfall, meteorological simulation model, height of the mountain, direction of slope

1. はじめに

2011年は、7月の新潟・福島豪雨や9月の台風12号、15号による累計雨量1,000mmを超える記録的豪雨により多数の堤防決壊や土砂災害が発生した¹⁾。近年、我が国では長期間停滞する前線や勢力の強い台風によって一雨1000ミリを超える大雨が頻発しており、今回のような事象は、地球温暖化に伴う気温上昇による水蒸気量の増加等の影響により近年増える傾向にある²⁾。

このような豪雨災害に備えるため、日頃から河川ごとに大雨が降りやすい降雨発生メカニズムや時期、場所を知り、人的被害を最小限にする有効なソフト・ハード対策を講じる必要がある。

山岳域が多く存在する我が国では、古くから降雨と地形との関係について気象学的・水文学的観点で数多く研究がなされ、日雨量や一雨雨量の比較的長い時間スケールの降水量に対して、地形の影響が強いことや、風上側

斜面や高標高域に長時間にわたって強い雨域が停滞する地形性降雨現象が起こりやすいことなどが明らかとなっている^{3) 4) 5)}。我が国における暖候期の大雨分布は、日本列島の大規模な地形と対流圏下部の卓越風向によって支配されていると言える。特に、北陸地方には、日本アルプスなど高い山が多いため、降雨は地形の影響を受けやすい。大雨をもたらす成因は、台風や前線あるいは、両者の複合作用によるものであるが、その成因ごとに北陸のどの地域に強雨が降りやすいかは、地形特性が密接に関係していると考えられる。

本研究では、北陸地方の一級河川に大出水をもたらす地域的、季節的要因を明らかにすることを目的に、大雨要因として重要な地形効果について気象モデルによる主風向別シミュレーションを行った。また、一級12水系17河川の既往洪水を対象に降雨要因、発生時期や卓越風向の分析を行い、各河川に大出水をもたらす要因(地形、風向、時期)を明らかにした。

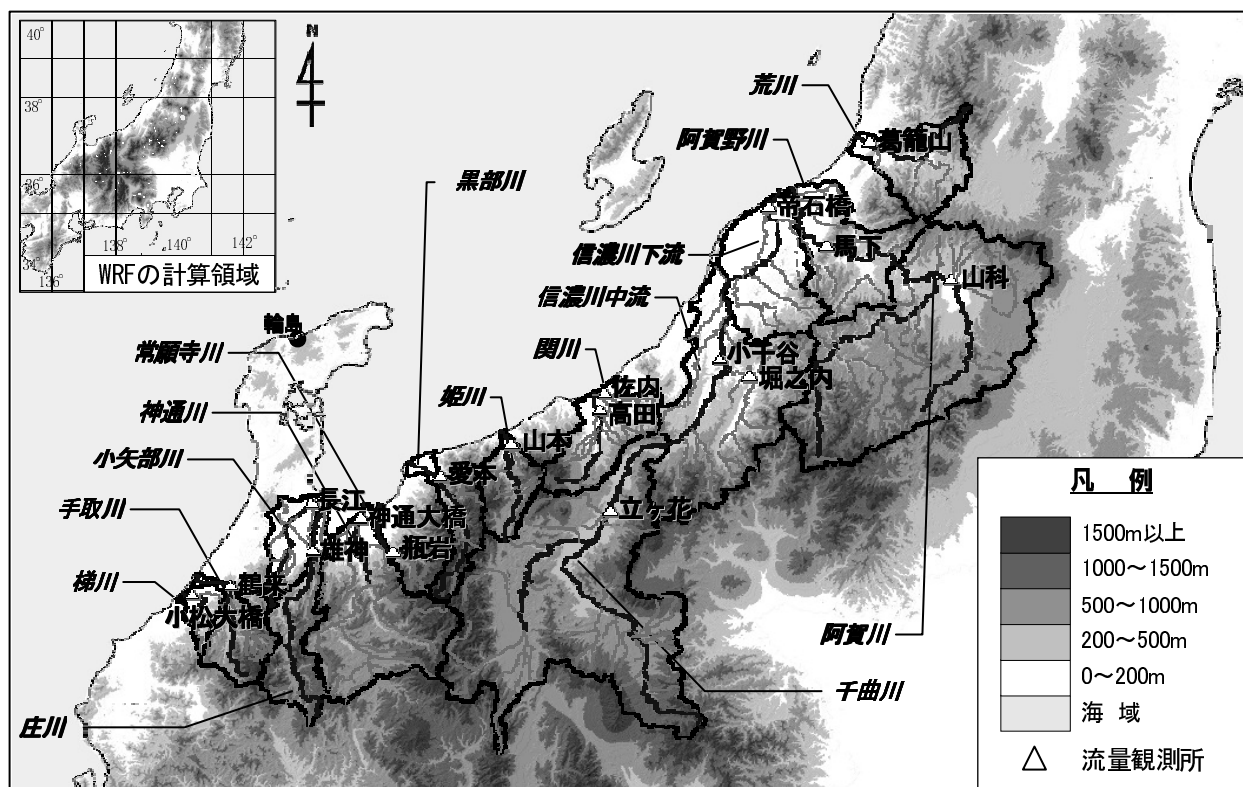


図-1 本研究の対象流域の位置図

2. 北陸地方の大出水事例の特性

(1) 降雨原因の分類と水系別降雨特性

図-1に示す北陸地方整備局管内一級12水系17河川の代表水位流量観測所を対象に、昭和31年～平成23年（55年間）に発生したはん濫注意水位以上の295降雨による570回の出水原因（前線性、梅雨性、台風性、低気圧性、融雪）を調査した。

その結果、図-2に示すとおり北陸管内一級水系河川のはん濫注意水位以上の出水原因は、43%梅雨、16%前線、11%低気圧、32%が台風性による降雨で、残り1%が融雪・熱雷による降雨であった。水系別では、荒川、信濃川下流、黒部川、常願寺川において70%以上が梅雨か前線性の降雨で、阿賀野川、姫川、小矢部川、手取川も60%以上が梅雨・前線性であった。一方、阿賀川では、70%以上、千曲川では55%が、台風か低気圧性の降雨による出水であった。

(2) 降雨原因と発生時期の関係性

近年、北陸地方では、2004年、2008年など梅雨末期の豪雨が大量の水害をもたらす事例が顕著である。そこで、ピーク流量が大きい出水事例上位10位の期別の大出水事例の発生頻度とその降雨原因を調査した。調査結果を図-3に出水上位10位の河川別原因比較図、図-4に期別発生分布図を示す。

出水上位10位の降雨原因は、59%が前線性、41%が台風性で、発生頻度が多いのは6月下旬～7月中旬の梅雨、9

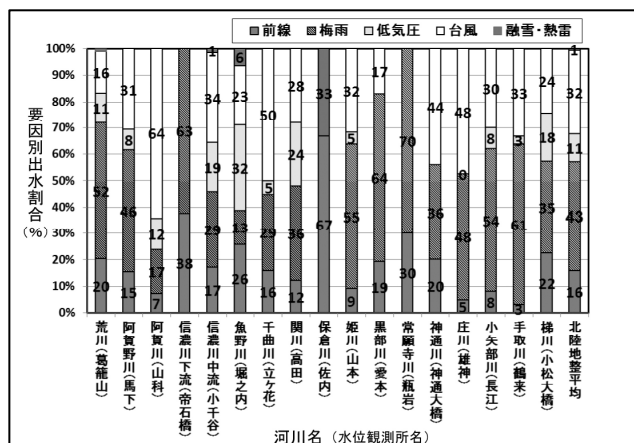


図-2 河川別出水原因比較図（はん濫水位以上）

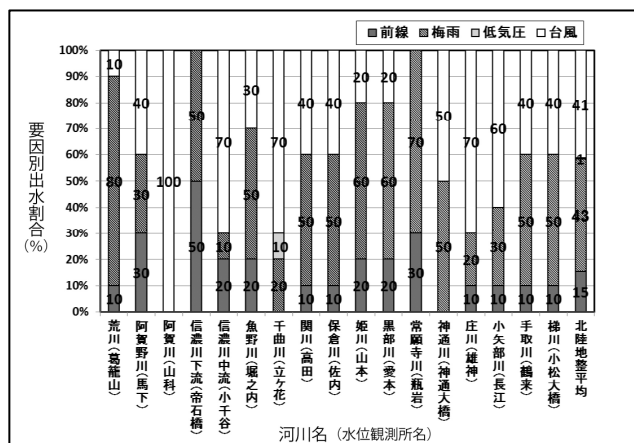


図-3 河川別出水原因比較図（出水上位10位）

月中旬～下旬の台風、7月下旬～8月中旬の停滞前線の三期に区分でき、梅雨期は7月中旬の梅雨末期に一番頻度が高いものの、6月下旬の梅雨入りから末期までともに出水頻度が高い。また、台風期は9月中旬に集中して大出水が発生している。梅雨期に発生頻度が高い河川は、荒川、常願寺川で、ついで姫川、黒部川である。信濃川下流、阿賀野川は、梅雨期およびその後の夏場も頻度が高い。また、阿賀川、千曲川、信濃川中流、庄川の各河川は、9月中旬から下旬に台風が原因で大出水となっている。

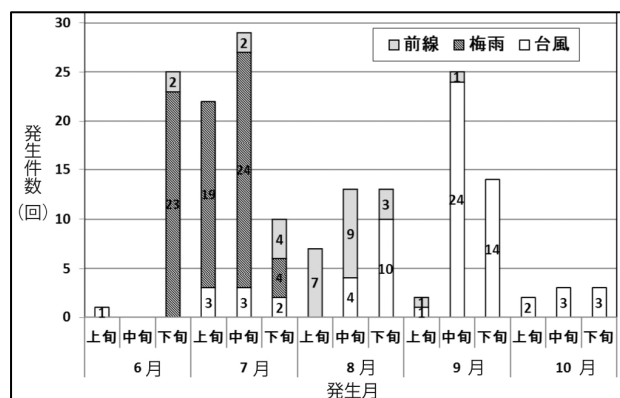


図-4 期別発生分布図（出水上位10位）

(3) 北陸地方の各水系の地形的特徴

北陸地方整備局管内は、急峻な山岳地が多く、台風や前線性などの大規模擾乱による降雨現象では、山岳の風上側・風下側で降水量分布に差が現れる。

各流域の代表的な斜面方向（流下方向）を算出し、図-5に示す。斜面方向の頻度算出には、国土数値情報の3次メッシュ平均標高を使用した。

千曲川、阿賀川、庄川、信濃川中流は西向きと東向き斜面の両方が卓越している。荒川、関川でも同様の傾向を示している。常願寺川、神通川、梯川は西北西向きが卓越しており、黒部川、手取川は、西向きが卓越している。姫川では東向き斜面が卓越している。卓越する斜面の向きは、北アルプスなど大きな山脈位置と関係していることが分かる。

斜面の向きは、常願寺川と梯川は類似した傾向を示し

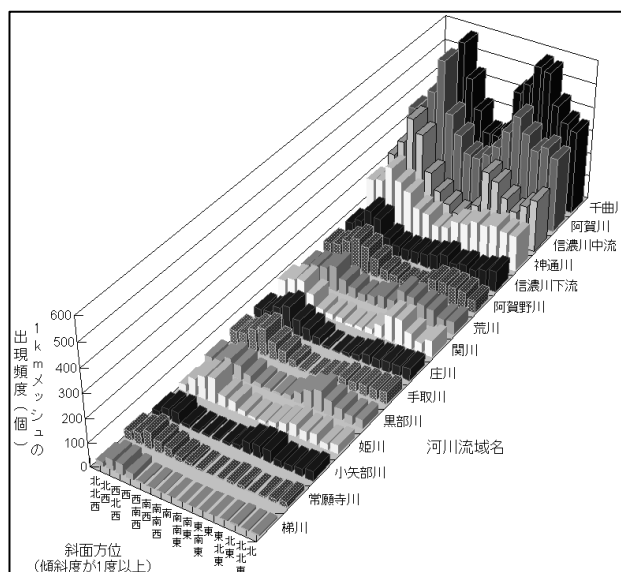


図-5 河川流域別斜面方向の出現頻度

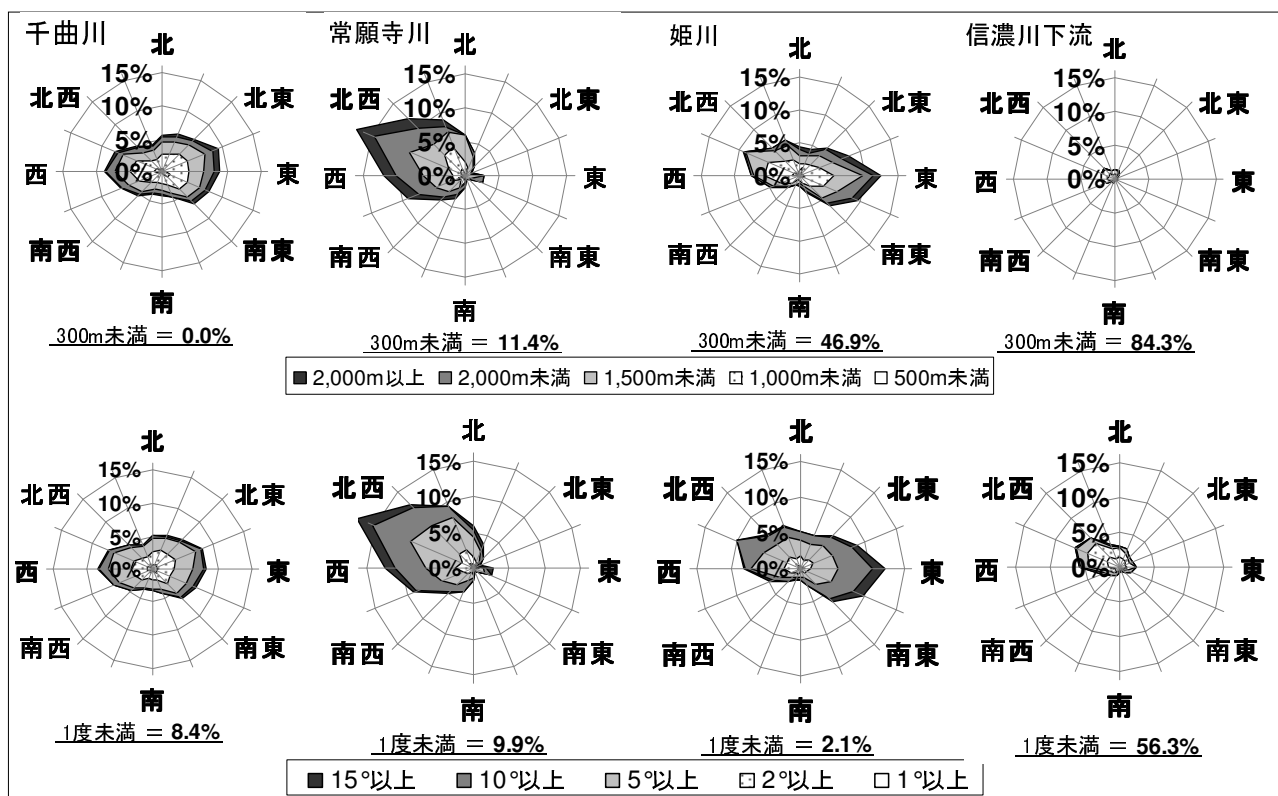


図-6 斜面方向別の標高（上段）と傾斜度（下段）

ているが、両流域の標高は全く異なる。梯川は1,000m以下の低い山地に囲まれており、常願寺川は、1,000m以上の標高が流域の約6割以上を占める。地形性降雨には標高自体も大きく寄与することから、ここでは各流域の斜面方向別の標高分布と傾斜度の二つの要素を図-6に示す。

流域の標高が高い千曲川では、卓越する斜面方向が東向きと西向きであるが、2,000m以上の標高分布や、15度以上の急傾斜面は、東向きを中心とした斜面方向に属していることが分かる。

常願寺川流域は、西北西向きの斜面が卓越しており、2,000m以上の標高は西南西～北北西に分布している。中でも15度以上の急傾斜面は、西北西向きに分布している。常願寺川は北アルプスの西側に位置しているため、東向き斜面はなく1方向を向いているのが特徴である。

姫川流域は、東向きの斜面が卓越しており1,500m以上の標高は、東向きを中心として北～南東方向に分布している。また、15度以上の急傾斜面は、東向きを中心とした斜面方向に属していることが分かる。なお、10度以上の斜面は、西北西側にも分布が見られる。

信濃川下流域は、標高300m以下の低地が約84%を占めており、標高の高い地域に見られる5度以上の傾斜度は、西北西向きに数%程度が分布しているだけである。

他の各河川もそれぞれ類似した特徴を持つため、流域標高が300mの面積比率が30%未満を高標高比率大、30%以上を低標高比率大と分類し、高標高比率が大きい流域は、卓越する斜面方向によってさらに分類した。北陸管内の河川には標高が高い流域は、北向きや南向き斜面が卓越する流域がないため、主に東向き、西向き、東西両方が卓越している斜面かで地形を四つに分類した。地形分類した結果を以下に示す。

地形分類 a：低標高比率大

関川、荒川、信濃川下流、信濃川中流、阿賀野川、梯川、小矢部川

地形分類 b：高標高比率大、西向き斜面

常願寺川、黒部川、神通川、手取川

地形分類 c：高標高比率大、東向き斜面

姫川

地形分類 d：高標高比率大、東西両方向き斜面

千曲川、阿賀川、庄川

3. 大雨の地形効果シミュレーション

(1) 従来の研究の紹介と本研究の立場

地形が降水量を増幅する効果を気象モデルによる数値解析した研究では、沖ら⁴⁾(1990)は地形性上昇域における降雨分布の算定を行い、8風向別に流域スケールの豪雨発生域を計算している。使用したモデルは、総観場の気象予測に用いられているプリミティブ方程式系で、主に力学的な計算を実施している。栗原ら⁶⁾は、気象庁非静力学モデルJMANHMを用いて広島地方で発生した対流

性の強い豪雨の再現実験を行い、周辺地形標高を部分的に0mに置き換えた仮想計算との比較によって地形効果の影響を評価した。

本研究では、北陸地方を対象に、12水系の流域別に豪雨が発生しやすい風向を算定するため、沖ら⁴⁾と同様に初期の気象条件を水平方向は均一的に与える理想化実験を行った。

(2) 気象モデルについて

北陸管内の1級水系の各河川は異なる地形特性を持っており、どの風向の場合に降水量が増加するかを調査するため気象モデルを用いて16風向2風速別に32ケースの降雨分布をシミュレーションした。

数値計算モデルは、領域気象モデルWRF（理想実験仕様）を用い、計算領域は図-1に示す、東経134° 30'～143°、北緯33°～40° 30'とした。また、表-1に計算設定条件を示す。初期条件は平成23年7月新潟・福島豪雨直前の輪島高層観測の値を鉛直プロファイル（図-7）として水平方向に一様に設定した。

(3) 計算結果と実際の現象との比較検証

理想化シミュレーションの結果と実際の降雨状況との比較を行った。理想化シミュレーション結果のうち、図-8（中央図）に北西風15m/sの場合の富山・石川地域

表-1 計算設定条件

計算条件	設定内容
水平格子間隔	2km
水平格子数	東西375×南北425
鉛直層数	50層
計算積分時間	4時間
計算時間ステップ	10秒
側方境界条件	周期境界
気温・湿度の分布	輪島高層気象観測所の温度・湿度（2011年7月28日午前9時の観測値）
土壤水分	0.30(m ³ /m ³): 一様
土壤温度	290K: 一様
風向	16ケース (=16方位)
風速	2ケース ①15m/s(停滞前線を想定) ②30m/s(台風性降雨を想定)

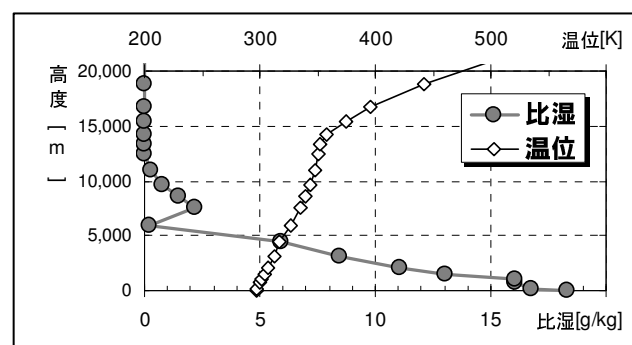


図-7 温度と比湿の初期条件の鉛直プロファイル

(上段)と新潟地域(下段)の時間雨量分布図を示し、右図にそれぞれ同地域の平成23年7月28日～29日の実際の降雨状況を示す。いずれの地域においても、雨域の発達する状況はレーダ雨量観測結果と類似している。

(4) 風向別の流域平均時間雨量

風向別に各流域の流域平均雨量を該当メッシュの算術平均値によって算出した。主風向別の風速15m/sと30m/sの場合の流域平均雨量を表-2、表-3に示す。低平地(地形分類a)では、降水量がないか、弱い降水量のため、流域平均雨量としては10mm/hを超える流域は少ない。

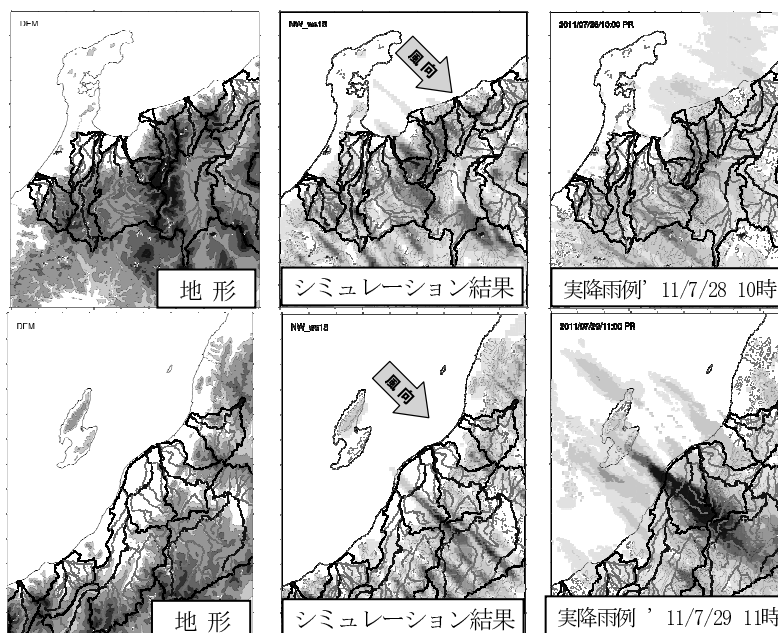


図-8 シミュレーション結果(中央図)と実際の降雨例(右図)の比較

(1) 地形と各流域の主風向別流域平均雨量の関係

a～dに分類した地形とシミュレーションにより得られた主風向別平均雨量との関係について検討を行った。

① 地形分類a b c：全河川

風速30m/sの場合は、風速15m/sの場合よりも降水量が増加する流域・風向が多い。

② 地形分類a：低標高比率大(信濃川下流、小矢部川、梯川)

風速15m/sの場合は北東や北方向からの風向でやや強い降水があるが、台風並みの風速30m/sでは、ほとんどの風向で風下側の山岳部での降雨となり、低標高部の降雨はない。

③ 地形分類b：高標高比率大、西向き斜面(常願寺川、黒部川、神通川、手取川)

北西方向を中心に北～西北西の風向で降水量が多く、東を中心とした南南西～北東からの風向では、数mm以下程度の降水しか見られない。

④ 地形分類c：高標高比率大、東向き斜面(姫川)

姫川は、東方向からの風よりも西方向からの風の時の降水量が多い。シミュレーション結果によると、西～北の風向で北アルプスを山越えた強雨域が姫川流域に進入することが多い。

⑤ 地形分類d：高標高比率大、東西両方向き斜面(千曲川、阿賀川、庄川)

風速にかかわらず、南方向が弱い傾向を示すが、他の風向では様な降雨傾向が見られる。庄川では、北方向からの雨量が最も強いが、シミュレーション結果の分布図を精査した結果、平地に存在する発達した雨雲の進入であったため、地形性降雨としては扱えないことを確認した。

表-2 風向別の流域平均時間雨量(風速15m/sの場合)

地形分類	流域名	北北西	北北西	北西	西	西南	南南西	南南西	南南	南南東	南南東	東	東北	北北東	北北東	北
a	荒川	0	1	1	1	1	0	0	0	0	2	1	2	5	0	2
	阿賀野川	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1	2
	信濃川中流	3	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
	信濃川下流	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0
	関川	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
	小矢部川	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	梯川	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
b	常願寺川	5	11	10	6	9	2	0	0	0	0	0	1	0	2	3
	黒部川	4	6	6	5	4	2	1	0	0	1	0	1	0	3	4
	神通川	7	3	2	5	4	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2
	手取川	2	3	3	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1
c	姫川	4	3	2	2	1	0	2	0	1	0	3	0	0	2	1
d	千曲川	2	2	2	1	2	1	1	1	3	2	2	2	2	2	3
	阿賀川	3	3	3	1	1	0	0	0	1	2	3	2	2	3	4
	庄川	3	3	2	3	2	3	1	1	1	0	0	0	0	1	6

(単位：mm/h)

表-3 風向別の流域平均時間雨量(風速30m/sの場合)

地形分類	流域名	北北西	北北西	北西	西	西南	南南西	南南西	南南	南南東	南南東	東	東北	北北東	北北東	北
a	荒川	1	2	2	2	1	0	0	0	1	1	0	2	2	2	0
	阿賀野川	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	信濃川中流	4	4	3	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	2	1
	信濃川下流	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	関川	4	3	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2
	小矢部川	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	梯川	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
b	常願寺川	11	12	13	5	10	2	2	1	0	1	0	3	1	3	2
	黒部川	12	13	11	8	7	1	0	0	4	5	2	3	3	2	7
	神通川	5	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	2
	手取川	6	6	5	4	7	6	8	3	1	0	1	0	0	1	2
c	姫川	11	9	6	6	3	0	0	0	2	1	1	1	0	2	5
d	千曲川	2	2	2	2	2	1	2	1	5	4	3	3	4	3	4
	阿賀川	3	4	4	2	1	0	0	1	3	3	3	3	4	2	4
	庄川	6	6	4	4	3	2	3	2	2	0	1	0	1	1	4

(単位：mm/h)

(2) 過去の出水要因と地形性降雨の関係

北陸地方の各河川の出水上位10位の主な要因と地形性降雨の関係について検討を行った。

- ① 70%以上の出水要因が台風の流域：阿賀川・千曲川・庄川は、流域内の地形により、南系の風で地形性降雨が発生するパターンが多い流域である。流域の南側に標高が高い地形がないか、または流域が比較的南側までであることから台風の影響を受けやすい。
- ② 70%以上の出水要因が前線による流域パターン1：姫川・黒部川・常願寺川は、流域が北アルプスにかかっており、標高が高く、急流が特徴となっている河川である。シミュレーションによる地形性降雨のうち、北北西~西北西の場合、西北西向きで急峻な地形の影響を受け地形性降雨が高まり高標高部の大雨が顕著となっている。
- ③ 70%以上の出水要因が前線による流域パターン2：荒川・信濃川下流は、流域標高が低く、勾配も緩やかであり、流域平均雨量は多くない。しかし、今回のシミュレーション結果では、図-8に示すように平成23年7月新潟・福島豪雨でも発生した線状降水帯が形成され、局地的な強雨が発生している。当該流域では、少しの風向の違いによって線状の強雨発生箇所が大きく変化することから注意が必要である。
- ④ 前線と台風がほぼ50%の出水要因の流域パターン1：関川・小矢部川・梯川は、地形が比較的なだらかで、ほとんど地形性降雨が発生しない。
- ⑤ 前線と台風がほぼ50%の出水要因の流域パターン2：阿賀野川・神通川・手取川は、日本海側に面しているが、流域の南側に標高が高い地形がないため、北西と南の両方の風向で地形性降雨が発生しており、前線と台風の双方の影響を受ける。

5. まとめ

北陸地方の一級河川に大出水をもたらす地域的、季節的要因を明らかにすることを目的に、大雨要因として重要な地形効果について気象モデルによる降雨シミュレーションを行い、各流域の主風向別流域平均雨量を算出した。以下に研究結果を挙げる。

- ① 標高が高い西向き斜面では、北~西方向からの風向で地形性降雨が発達しやすく、これらの地形を有する常願寺川、黒部川、神通川、手取川では、停滞前線による降雨が過去の出水要因の上位を占めている。
- ② 標高が高く、西向きと東向きの両方が卓越している大河川の上流域では、北~西方向からの風向と、南~東方向から風向で地形性降雨が発達しやすい。これらの地形を有する千曲川、阿賀川などでは、台風による降雨が過去の出水要因の上位を占めているが、シミュレーション結果からは、前線性降雨も潜在的に危険であることが示された。

- ③ 標高約1,000m以下の山地に囲まれているような低標高の流域では、地形性降雨が発達しない。該当する関川、小矢部川、梯川など北陸西部に位置し、流域面積が比較的小さい流域では、停滞前線による降雨と台風による降雨が過去の出水要因の上位を分け合っている。
- ④ 北陸地域の東部に位置し、南~東側が高い山地に囲まれている信濃川下流や荒川では、停滞前線による降雨が出水要因の上位を占めている。西北西~北方向の風向で線状降水帯が平野部に発達する結果が得られた。
- ⑤ 過去の出水要因の時期別発生頻度分布によると、6月~8月上旬は停滞前線による降雨が多く、8月下旬~10月は台風による降雨が多い。

6. 今後の課題

平成10年、16年、23年と近年になって6、7年毎に新潟地方の平野部を集中豪雨が襲っており、何らかの理由で降りやすい地域である可能性が高い。本研究の理想化シミュレーションでは、西~北方向からの風の場合に佐渡ヶ島や能登半島の風下側に、強雨域を含む線状降水帯の発生が確認できた。これらの降水特性については、今後さらに研究を進めていく必要がある。

7. 謝辞

国土交通省関東地方整備局には、本研究の基礎となる地形性降雨シミュレーションに関する資料⁹⁾をご提供いただきました。また、筑波大学計算科学研究センターの日下博幸准教授には、WRFの理想化シミュレーションにおいてご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杉本利英：平成23年7月新潟・福島豪雨災害について，河川，67巻，第9号，No. 782，日本河川協会，pp31-38，2011.
- 2) 藤部文昭：日本の気候の長期変動と都市化，天気，58. 1，pp. 5-14，2011.
- 3) 二宮洗三：豪雨の時間スケールからみた降水強度極値の地理的分布，天気，24. 1，pp. 63-70，1977.
- 4) 沖大幹，虫明功臣・小池俊雄：地形と風向による豪雨時の降雨分布の推定，土木学会論文集，No. 417/II-13，pp199-207，1990.
- 5) 地球温暖化を考慮した利根川ダム上流ダム群の管理運用長期展望報告書，関東地方整備局，2006年3月.
- 6) 栗原佳代子，金森恒雄，瀬古弘：2003年7月18日に広島県で発生した線状降水帯，天気，56. 8，pp613-626，2009.

(2012. 4. 5受付)