中央コンサルタンツ(株)	正会員	○細川	達也
鳥取大学大学院工学研究科	正会員	矢島	啓
パシフィックコンサルタンツ(株)	正会員	橋本	健

1. はじめに

平成25年台風第26号は、伊豆大島で土石流によ る被害をもたらし、東京都、千葉県、茨城県の14地 点で観測史上最大の24時間降水量を記録したことは 記憶に新しい.近年,降水量は過去最大記録を頻繁 に更新している. 今後気候変化などによる降水量の 増加が懸念されており、L2相当の降水量を設定し、 効率的なハード対策, ソフト対策を立案して被害の 最小化を目指す必要性が議論されている¹⁾.現在の 河川計画では、降水量の外力設定として100~200年 確率降水量が採用されている.しかし,確率降水量 は、これまでに発生した降水量をもとに計算される ことから、降水記録が更新されるたびに確率雨量も 更新される. このことから, 確率降水量は不確実性 が強く、L2相当の降水量を推定するのには適してい ないと考えられる.よって、L2相当の降水量の推定 には, 確率雨量とは別の物理学的な観点からの推定 が必要となる.

2. 従来の研究

降水量においてL2レベルに相当する指標の1つと して可能最大降水量 PMP(Probable Maximum Precipitation)がある. PMP は,「流域内で物理的に発生 しうる降水の内,最も大きな降水量」と世界気象機 関 WMO(World Meteorological Organization)により 定義されている²⁾. PMP の推定方法には,WMO に よる気象条件を最大化する方法³⁾,DAD 解析結果を 用いる方法⁴⁾,統計的な方法⁵⁾,気象モデルを用いた 方法⁶⁾などがある.ここでは,本研究で重要視する 降水の物理機構にもとづく気象モデルを用いた方法 について従来の研究を問題点と共に簡単に説明する.

気象モデルを用いた方法としては, Tan⁶の方法が ある. Tan は, 領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting Model)を用いて米国のアメリカンリ バーを対象に 42 の歴史的豪雨を用いて流域平均 72 時間の PMP 推定を行っている.まず, WRF で設定



可能な様々な物理パラメタリゼーションの中で豪雨 の再現に最適な設定を検討している.その後,これ らの設定を用いて主要豪雨を再現した上で,モデル に入力する初期値・境界値の風速,相対湿度,気温 を増加または減少させた計算等を行い,その中で降 水量が最も大きくなったものを PMP としている.こ の研究は平坦な地形を対象としており,山地を有す る複雑な日本の地形条件の検討と異なる.また,降 雨継続時間が72時間のみを対象としており,それよ り短い時間には対応できていないという問題がある.

研究の目的

本研究では、Tan の論文⁶⁾を参考に PMP 推定の前 段階として、領域気象モデル WRF を用いて豪雨を再 現し、①降水と気象学的変数の応答関係を把握する ②風速、湿度等の大気場の変化が降水分布に与える 影響を評価することを目的とした.

4. 研究方法

(1) 検討対象豪雨

本研究は、図-1 に示す利根川上流域を対象に解析 を行う.対象豪雨は、NCEP-FNLデータの存在する 1999年以降で八斗島地点流量が2000m³/s以上を記録 した豪雨(表-1)とし、その中でも気象庁解析雨量 データで利根川上流域平均72時間降水量の大きい豪

降雨	生起日	八斗島上流域	八斗島流量	降雨要因			
番号		平均 72 時間	(m³/s)				
		雨量(mm)					
1	2001/09/10	175.2	6, 785	台風 15 号			
2	2002/07/11	159.2	5, 973	台風6号, 梅雨前線			
3	2004/10/09	98.4	2, 124	台風22号,前線			
4	2004/10/21	107.6	3, 729	台風 23 号,前線			
5	2006/07/19	225.8	2, 929	梅雨前線			
6	2007/09/07	258.3	7, 756	台風9号			

表-1 利根川上流域

表-2 大気場変更ケース

計算ケース名			備考		
再現計算			再現計算の値		
	rh-30		-30%	拍対復産な減小を建え	
	rh-10	- 湿度の - 変化	-10%	作利祉度を減少させる	
大気場の変化	rh+10		+10%	相対温度を増加される	
	rh+30		+30%	相対征度を増加させる	
	rh100		100%	相対湿度を全層 100%にする	
	w1.5	風速の	1.5 倍	風速を増加させる	
	w2.0	変化	2.0 倍		

雨5,6を対象にした.この72時間を解析対象時間 とする.この2つの豪雨は降雨成因が前線,台風と 異なり,大気場の変化を変化させた時の両者の違い や共通した要素を見ることができる.

(2) 計算モデルと計算条件

本研究で使用する気象モデルは,豪雨のシミュレ ーションに実績のある WRF とした. WRF は米国国 立大気研究センター(NCAR),ペンシルバニア州立大 学で開発されてきた非静力学モデルである.計算領 域は図-2に示すように,日本周辺の第1領域(16km 格子),第2領域(4km 格子),利根川流域を含む第3 領域は1km 格子の3重ネスティングとした.各領域 の時間ステップは,第1領域が96秒,第2領域が24 秒,第3領域が6秒とした.

計算の初期条件,境界条件には NCEP-FNL のデー タを用いた.地形データには国土地理院発行の数値 地図 50mメッシュ標高を用いた.WRF による計算期 間は,72時間の助走期間を設定した上で気象庁解析 雨量データの利根川上流域平均降水量が最大となる 72時間を含む 96時間の計算を行った.WRF の計算 に用いる物理過程オプションである雲微物理スキー ムは WSM 3-class simple ice scheme,境界層スキーム には YSU scheme を用いて行った.



(3) 大気場を変化させる方法

大気場を変化させるケースについては, 表-2 にま とめた.湿度の変化に関しては,再現計算における 初期値・境界値に用いる NCEP-FNL の値(基準)に ±10%及び±30%加える4ケースの計算を行い.風速 に関しては,基準を1.5倍,2.0倍した2ケースの計 算を行なった.これらを変化させたときの降水量と 様々な気象学的変数の関係を見ることにより,将来, より風速の強い台風や湿った前線を伴った時の降雨 を推定することができる.

5. 結果

(1)豪雨5(前線性降雨)

図-3に豪雨5の第2領域72時間降水量の平面分布 を示した.この図から,再現計算と比べ,湿度を減 らすと降水域が北に広がり,湿度を増やすと南に広 がることが分かる.また,風速を増やしたケースで は,再現ケースと比べて降水域が南に移動し,その 降水強度が高くなっていることが分かる.

(2) 豪雨 6 (台風性降雨)

図-4に豪雨6の第3領域72時間降水量の平面分布 を示した.この図から,再現計算と比べて大気場を 変更したケースはいずれも強い降水の生じている場 所に変化は見られなかった.しかし,その降水強度 は,湿度を増やすほど強くなり,風速を増やすほど 強くなることが分かる.

6. 考察

降水量と様々な気象学的変数の応答関係を把握す ることを目的の一つとしている.そこで,降水量と



図-3 豪雨5の第2領域72時間降水量平面分布 可降水量,水蒸気フラックス,水蒸気フラックス収 束量,CAPE,相当温位との関係を調べた.解析の対 象とした72時間の利根川上流域平均1時間降水量と 同じ時間の各気圧面の気象学的変数の間の相関係数 を見た.豪雨5,豪雨6のそれぞれでの相関係数を見 た結果,豪雨5,豪雨6に共通して相関の高い気象学 的変数は,600hPa面の相当温位であることが分かっ た.PMP推定を定式化する場合,降雨成因が異なる 場合でも同様の評価を行うことができる方が良い. よって,以降の考察では,600hPa面の相当温位を用 いた降水分布の評価を行った.

(1) 豪雨5(前線性降雨)

図-6 に豪雨 5 の第 2 領域の東経 138.0 度線上の降水量と 600hPa 面の相当温位の時間変化を示した.この図を見ると,再現計算時と比べて, rh+30 は全体的に相当温位が高くなっており,特に南側での相当温位が高い.逆に rh-30 は,全体的に相当温位が低くなり再現計算と相当温位の高い位置が北に移動している.また,降水域は再現計算と比べ rh+30 で南下し,rh-30 で北上していることが分かる.以上のことから,湿度を高くすれば領域全域での相当温位が高くなる.



図-4 豪雨 6 の第 3 領域 72 時間降水量平面分布 その中でも、北側では気温が低いことから、南側に 比べて相当温位の上昇が小さくなる.よって、南側 から流れてきた暖かく湿った空気の方が北側の空気 塊と比べ、より相当温位が高くなることが分かる. また、相当温位の高い場所では上昇流が発生しやす い.つまり、南から流れてくる空気はすぐに持ち上 げられ、その大気が持つ水蒸気が降水に変換される ことによって、再現計算と比べ、南側で降水が発生 していると考えられる.

また,w2.0をみると相当温位の高い場と低い場の 境界で降水が発生している様子が再現計算と比べよ り顕著に表れていることが分かる.これは,風速を 強くすれば,前線面に乗り上げる上昇流も高くなる ためであると考えられる.

(2) 豪雨 6 (台風性降雨)

豪雨6では、南東からの風が利根川上流域の東に 位置する日光白根山にぶつかり,湿った空気塊が持 ち上げられることにより降水が生じていると考えら れる.この様子を見るために第3領域の北緯36.8度 線上の降水量と600hPa面の相当温位を図-7に示し た.この図から,139.5度日光白根山付近で降水が生



図-6 豪雨5第2領域の東経138.0 度線上の降水量 と600hPa面相当温位の時間変化(左上:再現 計算,右上:rh+30,左下:rh+30,右下:w2.0)

じていることが分かる.赤丸で示した箇所では降水 が生じているにも関わらず600hPa面での相当温位の 上昇がわずかしかみられない.これは,空気塊が持 つ上昇エネルギーによって自然と持ち上げられず, 地形によって持ち上げられたために相当温位に変化 がないためだと考えられる.

7. まとめ

本研究では、気象モデルを用いて豪雨の再現を行い、その後入力する湿度、風速に変化を加えた計算を行い、降水分布がどのように変化するかを調べた. その結果、前線性の豪雨では降水域が南北に移動し、 台風性の豪雨では降水域に変化はなく、降水強度に 大きな変化がみられることが分かった.また、両者 に共通して降水と高い相関が得られた気象学的変数 は 600hPa 面 の相当温位であった.しかし、地形の 効果で持ち上げられた降雨は600hPa 面の相当温位で



 図-7 豪雨6第2領域の北緯36.8 度線上の降水量と600hPa面相当温位の時間変化(左:再現計算, 右:w2.0)

とらえられないことが分かった.

今後、PMP を推定する際には、降水とより相関の ある気象学的変数を見つけ,降水量の関係式から PMP を推定することがより物理的な PMP 推定方法 になると考えられる。

謝辞:本研究は、(一財)国土技術研究センターの研 究助成を受け実施した.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 玉井信行,2011年7月新潟・福島豪雨災害の概要と 超過洪水対策について,H23年度河川災害に関す るシンポジウム,土木学会水工学委員会.
- World Meteorological Organization, Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) WMO-No.1045, 2009.
- 3) 橋本健ら,利根川上流域を対象とした気象条件の 最大化による可能最大降水量(PMP)の推定,土木学 会論文集B1(水工学),69(4), pp. I_331- I_336, 2013.
- Hershfield D.M., Estimating the probable maximum precipitation, J.Hydraulic Eng., ASCE, 87(HY5), pp. 99-106, 1961.
- 5) 橋本健ら,利根川上流域を対象とした気象条件の 最大化による可能最大降水量(PMP)の推定,土木学 会論文集B1(水工学),69(4), pp. I_331- I_336, 2013.
- 6) Tan E., Development of a methodology for probable maximum precipitation estimation over the American River watershed using the WRF model., 2010.