

平成27年9月関東・東北豪雨における 鬼怒川流域を対象とした 降雨の時空間分布と河川水位の関係

Relationship between the spatial-temporal distribution of precipitation and river water level in Kinugawa river basin

北海道大学工学部

学生員 布施拓也 (Takuya Fuse)

北海道大学大学院工学院

学生員 大屋祐太 (Yuta Ohya)

北海道大学大学院工学研究院

正員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

近年、全国各地において豪雨に伴う洪水災害が頻発している。国土交通省が設置した専門家委員会¹⁾は、気候変動の影響を踏まえ河川整備計画の見直しを提言している。降雨量だけでなく河川の流量に影響を与える要因として、降雨の時空間分布や流域特性（流域の形状や勾配など）が挙げられる。流域特性を考慮した研究として、虫明ら(1981)は山地河川における降雨の流出と地質的要因との関係性²⁾を示しており、Suseno・山田(2013)は流域の形状によるピーク流量の立ち上がりへの影響を示している³⁾。本研究では、雨雲の移動方向とは逆向きに広がる累積雨量分布が河川形状およびピーク水位の伝搬方向

と一致⁴⁾し、鬼怒川流域に大規模な洪水氾濫をもたらした平成27年9月関東・東北豪雨（以下、鬼怒川豪雨）を対象として分析を行なった。

2. 研究概要

2.1 使用したデータ

解析に使用したデータについて説明する。降雨データは解析雨量を使用し、流量・水位データは水文水質データベースから取得した。また、**図-1**には鬼怒川流域の形状と水位観測点を示す。同流域の水位・流量観測点は、佐貫（下）、石井、平方、鬼怒川水海道の4地点である。それぞれの観測点の集水域を上流から順に求め、上流域を取り除いたものを流域A、流域B、流域C、流域Dとした。

2.2 洪水の概要

2015年9月9日、温帯低気圧化した台風18号と北上する台風17号によって大量の暖湿空気塊が日本列島に流れ込み、線状降水帯が形成された。同降水帯が鬼怒川流域上に長時間停滞したことで記録的な大雨・洪水となった。**図-2**は鬼怒川流域周辺における9月8日8時から48時間雨量を示したもので、黒線は鬼怒川流域を表す。同図から南北に細長い鬼怒川流域の形状に沿うように降雨分布が広がっていることが読み取れる。調査団の報告書によって降雨の時空間分布と鬼怒川流域の形状が流量に影響を与えたと指摘されており、広範囲の洪水氾濫は死者8名、家屋被害約2万棟の甚大な被害をもたらした。

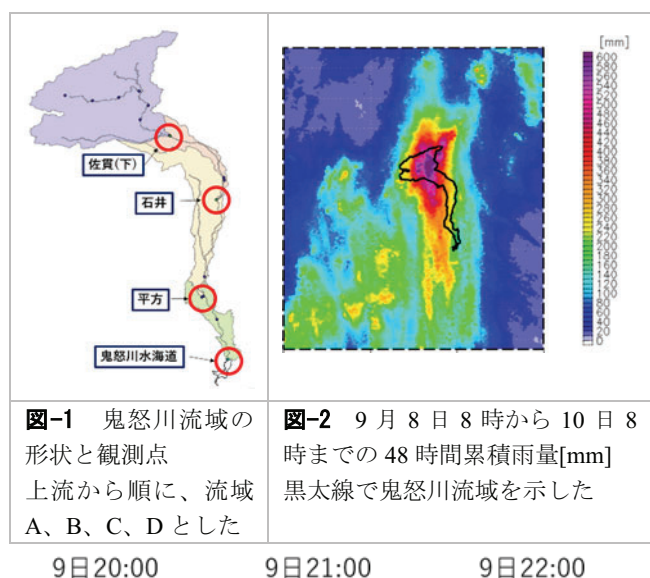


図-2 9月8日8時から10日8時までの48時間累積雨量[mm]
黒太線で鬼怒川流域を示した

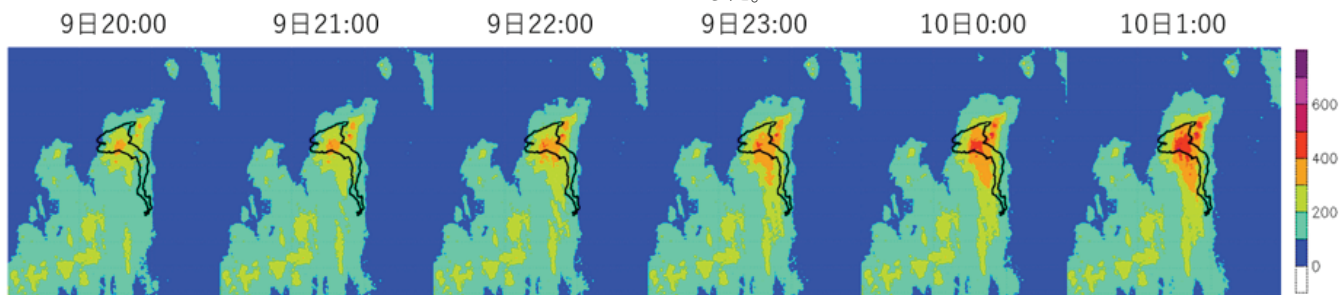


図-3 2015年9月9日20時から9月10日1時の鬼怒川流域周辺の累積雨量の時空間分布
(黒太線で示した範囲が鬼怒川流域)

9月8日9時から9月9日1時の降雨量を累積した降雨量[mm]

図-3に9日20時から翌1時までの累積雨量分布を示す。同事例では累積雨量が流域の上流域（北側）から徐々に大きくなり、その分布が川の流下方向（南側）へ移動している。つまり、上流域で降雨強度がピークに達した後に、中流域、下流域でも降雨強度が高まったと考えられる。本研究では降雨強度の変動を速度として換算（強い雨の移動速度と定義）し、その速度とピーク水位の流下方向への伝播速度（洪水波の伝播速度）を比較した。両者の速度が一致した時は、流量が増大し続けながら流下するため、危険な降雨の時空間分布と考えられる。

3 結果

3.1 強い雨の移動速度

図-4に降雨強度と水位の時間変化を示す。図-4(a)は、図-1で示した各流域 A, B, C, D における降雨強度を、図-4(b)は各流域の下流に位置する観測地点における水

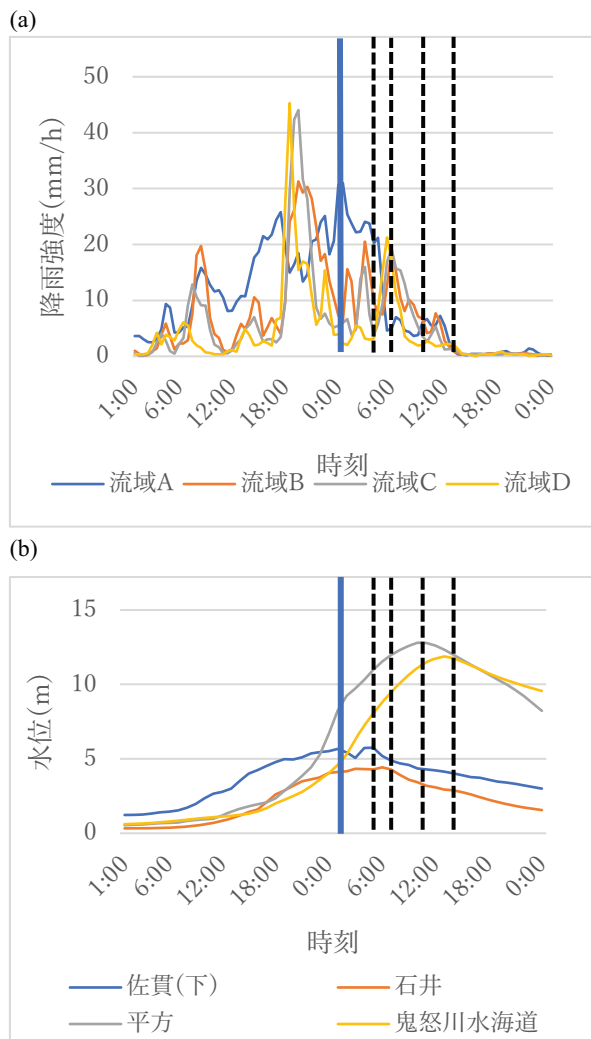


図-4 (a)各流域における降雨強度の時間変化(9月9日1時~9月11日0時) 上流域(流域A)で降雨強度がピークに達した時刻を青色実線で示した。

(b)各水位観測所における水位の時間変化(9月9日1時~9月11日0時) 各観測所のピーク水位生起時刻を黒点線で示した。9月6日1時の水位を0mとしている。

位の時間変化を示す。降雨強度の時間変化が激しい理由として、流域と降雨域が共に細長い形状を有しているため、その一致具合によって流域に降る雨が大きく左右されるからであると考えられる。上流域から下流域への累積雨量分布の広がりを考慮するため、上流域（流域A）で降雨強度がピークに達した時刻（図-4 青線で示す）以降に対して強い雨の移動速度を求めた。各流域の下流側に位置する佐貫(下)、石井、平方間の距離を各流域のピーク降雨強度の生起時間の差で割ったものを強い雨の移動速度とした。上流（佐貫）から中流（石井）にかけての移動速度は 3.52m/s、中流（石井）から下流（平方）にかけては 3.51m/s となった。

3.2 ピーク水位の流下方向への伝播速度

ピーク水位の流下方向への伝播速度（洪水波の伝播速度）の理論値として一般的に Kleitz-Seddon の法則⁹⁾では「十分幅の広い単断面流路では波速が流速の 5/3 倍」とされている。本研究では中流域（石井）、下流域（平方）それぞれの流量観測所で広幅長方形断面と仮定して、断面積と流量から流速を求める。石井観測所では幅 475.5m、平方観測所では幅 169.7m の矩形断面と仮定して求めた結果、伝播速度（理論値）はそれぞれ 5.81m/s、4.27m/s となった。

また、図-5にピーク水位の生起時間と水位観測所の距離の関係から求まる速度をピーク水位の流下方向への伝播速度（実測値）として、中流域の5地点と下流域の3地点で直線近似して求めた結果を示す。中流域では 5.94m/s、下流域では 1.69m/s となった。理論値と比較すると中流域において同程度の値を示したが、下流域においては実測値に対して理論値が高い結果となった。これは利根川との合流地点から上流へ35から45km付近（平方観測所付近）の川幅が急激に変化する複雑な断面形状を有する実河道において矩形断面を仮定した影響が考えられる。

4. まとめ

本研究では、鬼怒川豪雨時における同流域の降雨の時空間分布と水位の関係を分析した。流域形状に沿うように分布した線状降水帯は、上流域から強い降雨をもたら

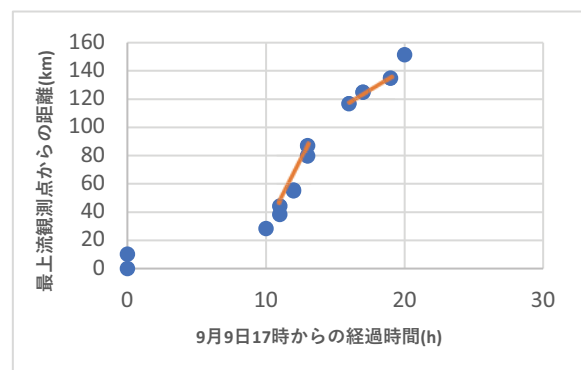


図-5 各水位観測所のピーク水位生起時間 中流域、下流域におけるピーク水位の流下方向への伝播速度を直線近似し、橙色実線で示した。

した。強降雨は、上流から下流へ約3.5m/sの速度で移動した。一方で、ピーク水位の伝搬速度は、理論値・実測値ともに中流域において約6.0m/s、下流域において1.5から4.5m/sとなり、今後複雑な断面形状や合流部を考慮する必要があると考えられる。強い雨の移動速度とピーク水位の流下方向への伝播速度は同一オーダーであることが確認され、本事例は流量が増大し続けながら流下する危険な降雨の時空間分布であったことが示唆された。同様の降雨分布をもたらす降雨パターンをアンサンブル気象データから抽出し、降雨流出解析を行うことで、同流域における最も危険な降雨の時空間分布を明らかにすることができる。アンサンブル気象データを用いるにあたり、本事例と同様の細長い流域形状と降雨形状が重なる流域と降雨分布においては、降雨強度の時間変化の幅が大きくなることが示唆された。

5. 謝辞

謝辞：本研究の遂行にあたっては文部科学省統合的気候モデル高度化研究プログラム領域テーマC「統合的気候変動予測」JPMXD0717935561の助成を受けた。また科研費基盤研究(B)19H02241の支援を受けた。ここに記して謝意を表します。

6. 参考文献

- 1) 国土交通省水管理局・国土保全局、2019「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」
- 2) 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果
虫明功臣、高橋裕、安藤義久：日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果、土木学会論文報告集、1981.309 (1981): 51-62.
- 3) Suseno, Dwi Prabowo Yuga. The use of geostationary satellite based rainfall estimation and rainfall-runoff modelling for regional flash flood assessment. Diss. 北海道大学, 2013.
- 4) 2015 年関東・東北豪雨災害土木学会・地盤工学会合同調査団関東グループ調査報告書
- 5) 水理公式集(平成11年度版),土木学会,1999
- 6) 国土交通省 関東地方整備局：第1回鬼怒川堤防調査委員会資料