

線状降水帯を対象とした降雨パターンに伴う河川流量の不確実性

Uncertainty of river discharge associated with rainfall patterns of a line-shaped rainband

北海道大学工学部 ○学生会員 柴田幸之介 (Konosuke Shibata)
 北海道大学大学院工学院 学生会員 小林彩佳 (Ayaka Kobayashi)
 北海道大学大学院工学院 学生会員 一瀬輪子 (Rinko Ichinose)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 山田朋人 (Tomohito Yamada)

1. はじめに

2015年9月9~10日に、栃木県・茨城県を流れる鬼怒川流域において、線状降水帯に伴う大雨災害が発生した。日本列島上空に南北に形成された気圧の谷の東日本への進行、台風18号による南から、台風17号による東からの暖湿な水蒸気流入の結果として鬼怒川流域全体を覆うように線状降水帯が形成・維持された。この豪雨により茨城県上総市内の堤防が決壊し、河川が氾濫したことで人々に多大な被害を及ぼした。

本研究は鬼怒川降雨事例をもとに線状降水帯による降雨の時空間特性および流出特性についての議論を目的とする。2章では使用したデータ、3章では降雨域、積算降雨量、河川水位の時間変化について論じ、4章では流出モデルの概要について説明する。5章をまとめとする。

2. 使用したデータ

国土交通省 X-band MP レーダ(以下, X-MP), 気象庁が保有する C-Band 気象レーダによって推定された1kmメッシュ降雨データ(以下, 気象庁 C-Band), 国土交通省, 気象庁, NTT ドコモの保有する地上雨量計が観測した降雨データを用いた。

3. 線状降水帯ならびにピーク水位の時間変化

3.1 強降水域の北進

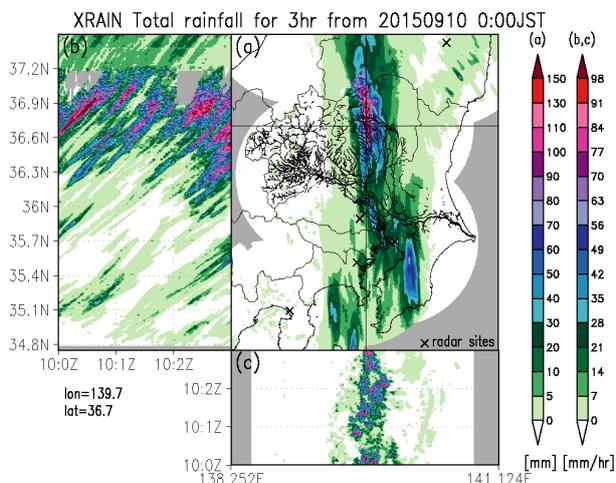


図-1 2015年9月10日0時から9月10日3時までの(a)3時間積算降雨量[mm], (b)東経139.7°におけるホフメラーダイアグラム, (c)北緯36.7°におけるホフメラーダイアグラム(平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書より転載)

本研究が対象とする豪雨時、強降水域が南北に線状形状を保ちつつ鬼怒川流域上空に長時間停滞した。図-1(a)は、X-MPによる2015年9月10日00時(以降、日本時間)から同日03時までの3時間積算降雨量を示す。特に降水強度が大きい東経139.7度および北緯36.7度におけるホフメラー図を図1-(b),(c)にそれぞれ示す。図-1(b)から強降水域はほぼ同じ角度で図中の左下から右上に向かっており、これは強降水域が約15~25m/sの速度で北進していたことを意味する。図-2は図-1(b)より、北緯36.7~36.9度の地点のレーダ雨量の時間変化を示す。強降水域は10分間で0.1度、すなわち18.5m/sで北上する。これは前述の強降水域速度の範囲に含まれる。図中の赤丸は同一の対流セルによる降水であると推察される。強降水域はある時間間隔で発生しており、対流セルが繰り返し発生しながら鬼怒川流域の下流部から上流部に移動していたことになる。この移動速度は対流圏下層における風向風速とほぼ一致していた(図省略)。

3.2 積算降雨量の南下

図-3は気象庁C-Bandによる2015年9月9日15時から24時間積算降雨量を示す。24時間積算降雨量が50mm以上を観測した地域の存在範囲は、南北に約400km、東西に約50kmであったことがわかる。とりわけ、山地を含む鬼怒川流域の上流部では、300mm以上の大雨が広範囲に分布している。線状降水帯が形成され始めた8日午後から最終的に消失した11日06時の時点まで、利根川流域の積算降雨量は最大600mm程度だった。また、3.1節で述べたように強降水域は北進するのに対し、積算降雨量は南下する。(図省略)

3.3 ピーク水位の時間変化

図-4は、鬼怒川に存在する水位観測所の河口からの距離(以下, KP)とピーク水位の生起時間の関係を示す。佐

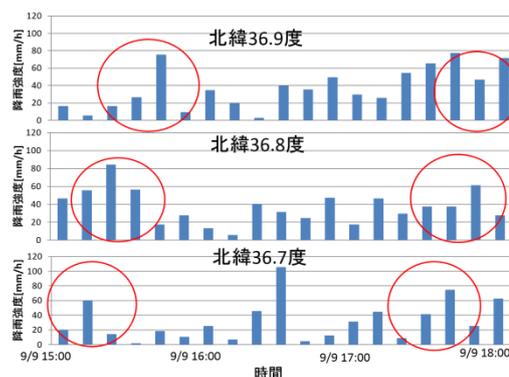


図-2 東経139.7度及び北緯36.7, 36.8, 36.9度それぞれの地点の降雨強度の時間変化。

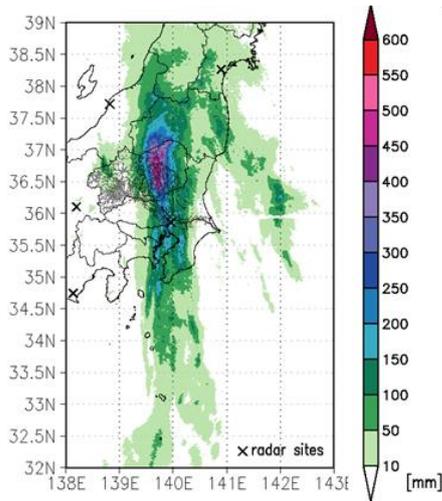


図-3 鬼怒川流域における2015年9月9日15時からの24時間積算雨量(平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書より転載)

貫(上)(下)観測所から鬼怒川水海道観測所にかけてのピーク水位は9時間前後の差が存在している。前述の強降水域の上流伝搬、積算降雨量の下流伝搬の速度が流域末端付近での洪水リスクに与える影響が考えられる。なお、元湯観測所はダム直下に位置するため省略した。

4. 降雨流出解析

4.1 解析手法

流出計算では、鉛直浸透機構と斜面計算を分離した降雨流出の基礎式を用いた。斜面における降雨流出経路としては表面流、飽和側方流、不飽和側方流、地下流出等があり、大規模出水もしくは斜面深層の流れを考慮した計算手法である。以下に、式を示す。

$$\frac{ds_n}{dt} = V_{n-1} - \gamma_{nm} - V_n \quad (1)$$

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (2)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (S_n \leq h_{nm}) \\ r_{nm} = \alpha_{nm}(S_n - h_{nm}) & (S_n \geq h_{nm}) \end{cases} \quad (3)$$

$$q_{loss} = V_n = b_n S_n \quad (4)$$

ここに、 n ：層数、 m ：各層における側方成分の数、 S_n ：各層の土壌内水位[mm]、 α_{nm}, b_n ：各流出孔の比例定数[1/h]、 h_{nm} ：流出成分発生時の閾値[mm]、 r_{nm} ：雨量の斜面流出成分[mm/h]、 V_n ：鉛直浸透量[mm/h]、 α_{nm}, β_{nm} ：土壌地形特性を示す流出パラメータである。本研究では、2段3層のモデルを用いて解析を行った。

4.2 解析結果

図-5は、鬼怒川上流部に位置する五十里ダム流域において降雨流出計算を行った結果を示す。入力値は、ティーセン法を用いた地上雨量計の流域平均雨量、五十里ダムの流入量である。なお、パラメータは、前述の入力値に対して、同流域に線状降水帯が発生した9月8日01時から9月10日00時の降雨イベントを用いて推定した。図-5に示される流量は、五十里ダム流域を3つの小流域に分割して計算した。ピーク時の計算流量は観測流入量よりも50m³/s小さい値となった。ピーク後は、観測流

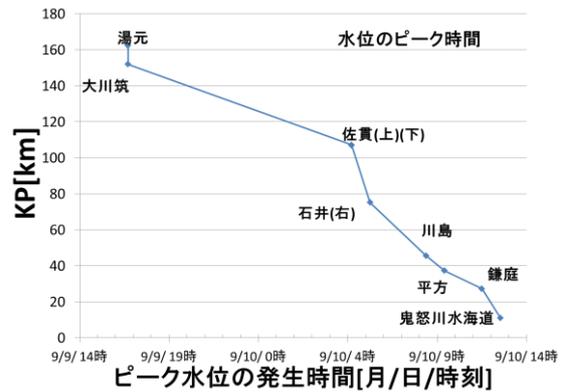


図-4 水位観測所の河口からの距離 (KP) とおけるピーク水位の発生時間

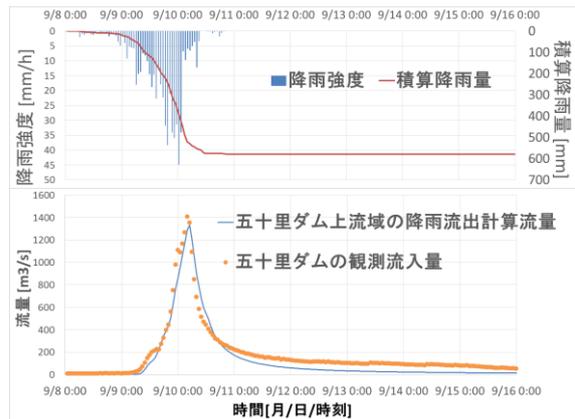


図-5 (上図)2015年9月8日から16日までの時間平均降雨強度[mm/h](棒グラフ)と同期間での積算降雨量[mm](実線)、(下図)同期間における観測流量[m³/h](点)と計算流量(実線)

入量より60~80 m³/s小さい値を保ちながら逡減した。

5. まとめ

対象とする線状降水帯の移動について議論し、鬼怒川上流において降雨流出計算を行い以下の結果を得た。

1. 強降水域の北進に対し、積算降雨量は南下するように拡大する。
2. 鬼怒川上流のサブ流域において降雨流出計算を行った結果、ピーク時において計算結果は観測値より50m³/s小さく、ピーク後は、実測より60~80 m³/s小さい値を保ちながら逡減した。

今後は、鬼怒川全流域を対象とし、同様の手法を用いて降雨流出計算を行う。求められた流量を入力値として河道計算を行い氾濫箇所付近の下流端の流量を求める。一連の大雨で線状降水帯がもたらした積算降雨量を条件として固定し、様々なパターンの雨の降り方を検証し、洪水リスクについて議論する。

参考文献

- 1) 平成27年9月関東・東北豪雨による関東地方災害調査報告書、2015年関東・東北豪雨災害 土木学会・地盤工学会合同調査関東グループ
- 2) 吉見和弘, 山田正: 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.70, No.4, I_367-I_372, 2014.