

## 鉛直積算雨量による予測雨量を用いた河川水位の予測可能性 Prediction possibility of river water level by nowcasting rainfall using vertically integrated liquid water content

中央大学大学院 学生会員 ○干場 希乃  
中央大学大学院 学生会員 清水 啓太  
中央大学大学院(現：土木研究所) 正会員 諸岡 良優

中央大学大学院 学生会員 青木 啓祐  
中央大学研究開発機構 正会員 寺井 しおり  
東芝インフラシステムズ(株) 正会員 吉見 和紘  
中央大学 フェロー会員 山田 正

### 1. はじめに

近年、都市部を中心にゲリラ豪雨が頻発している。ゲリラ豪雨は、降雨のピークから河川の増水までの時間が短いという特徴を有し、避難や被害抑止に使うためのリードタイムを確保できないために、多大な被害が発生する要因となる。図-1に2018年8月27日のゲリラ豪雨時における渋谷川の渋谷橋地点における水位ハイドログラフとハイエトグラフを示す。同図より、降雨のピークから約20分後に、氾濫危険水位(4m)まで水位が一時的に上昇したことがわかる。このような背景から被害を軽減する対策として降雨を監視するだけでなく、その発生を予測し、1秒でも早くゲリラ豪雨を探知することが重要である。

ゲリラ豪雨の予測手法として、平野ら<sup>1)</sup>は、鉛直方向に積算した雨量をこれから降ってくる雨として扱い、短時間降雨予測手法を提案している。この手法では鉛直積算雨量を求めるために気象レーダによる3次元観測を必要とする。近年開発されたマルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダ(以下、MP-PAWRと記す)は、3次元観測を30秒で行い、XバンドMPレーダによる3次元観測にかかる時間が5分であるのに対し、より早くゲリラ豪雨を探知することを可能とするものである。また、このレーダの空間分解能は150mであり、XバンドMPレーダと比較して時間的にも空間的にも高精度である。既往研究においては従来の気象レーダであるCバンドレーダやXバンドMPレーダの降雨データを用いた流出解析例が実施されている一方、MP-PAWRの降雨データを用いた流出解析は未だ行われていない。

そこで本研究では、MP-PAWRの3次元観測から得られた鉛直積算雨量による予測雨量を用いて降雨流出解析を行い、河川流量の予測可能性に関する検討を行う。

### 2. 研究手法

#### (1) 対象流域と対象降雨

本研究では、渋谷川流域を対象流域、2018年8月27日19時30分から22時にかけて発生したゲリラ豪雨を対象降雨とする。

#### (2) 予測降雨計算

平野ら<sup>1)</sup>の鉛直積算雨量(以下、Vertically Integrated Liquid water contentの略としてVILと記す)を用いた降雨予測手法について述べる。VILを求める式を(1)に示す。式(1)に

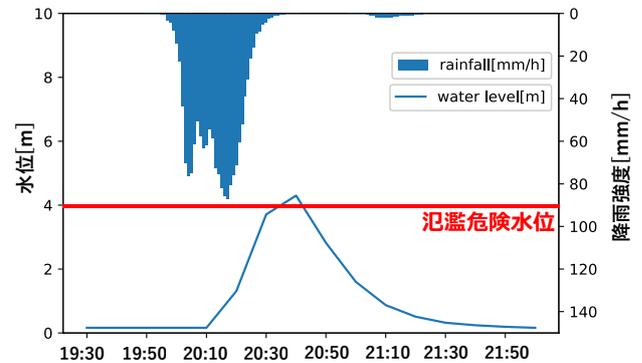


図-1：ハイエトグラフと渋谷川における水位ハイドログラフ(渋谷橋地点、2018年8月27日19:30～22:00)

示すように、VILはMP-PAWRが観測した反射強度から算出される。雨量の時間変化が雨滴生成の量と地上に落下する雨の量の差に等しいことと降雨強度とVILは線形関係であることを仮定すると式(2)が成り立ち、式(2)の厳密解からVILの予測値を算出する。この予測したVILから予測降雨強度を求めることができる。

$$VIL(t) = 3.93 \times 10^{-3} \int_0^h Z^{0.55} dh \quad (1)$$

$$\frac{dVIL(t)}{dt(t)} + \frac{VIL(t)}{\tau(t)} = S(t) + \frac{\beta(t)}{\tau(t)} \quad (2)$$

ここに、VIL：鉛直積算雨量[kg/m<sup>2</sup>]、Z：反射強度[mm<sup>6</sup>/m<sup>3</sup>]、h：積算高度[m]、P：降雨強度[kg/m<sup>2</sup>s]、β：地上に降雨が到達するまでに単位面積当たりの気柱に許容できる雨量[kg/m<sup>2</sup>]、τ：VILから地上の降雨への変換時間[s]、S：生成率[kg/m<sup>2</sup>s]である。

本研究では、ある時点を基準として、10分前から60分先までの降雨を10分間隔で予測し、対象降雨イベントにおける雨が降り始めてから降り終わるまでの19:50～21:50までの2時間に、10分間隔で初期値を与えて予測値を算出した。

#### (3) 降雨流出計算

VILにより求めた予測降雨強度を用いて流出解析を行

う。流量ハイドログラフを作成するために山田ら<sup>2)</sup>によって提案された合成合理式を用いた。合理式は降雨強度からピーク流量を得る式で、一般に中小河川の管理や下水道の設計に用いられる。合成合理式は、合理式から得た結果を重ね合わせることで、ハイドログラフを算定することができる。

基本式を式(3)に示す。

$$\frac{\partial q}{\partial t} + v \frac{\partial q}{\partial x} = vr(t) \quad (3)$$

ここで、 $q$ ：単位幅流量[m<sup>2</sup>/s]、 $v$ ：断面平均流速[m/h]、 $r$ ：降雨高度[m/h]である。式(3)の解析解から河川流量を求める式(4)。

$$q_n(t) = r_n^{ave} v \left\{ \begin{array}{l} \left\{ (t-t_n)H[t-t_n] - (t-(t_n+t_r))H[t-(t_n+t_r)] \right\} - \\ \left\{ (t-t_n - \frac{x}{v})H[t-t_n - \frac{x}{v}] - (t-(t_n+t_r) - \frac{x}{v})H[t-(t_n+t_r) - \frac{x}{v}] \right\} \end{array} \right\} \quad (4)$$

ここで、 $H$ はヘヴィサイドのステップ関数であり、一般に次の式が成り立つ。

$$H(x-a) = \begin{cases} 1 & (x > a) \\ 0 & (x < a) \end{cases}$$

ここに、 $t_n$ ：降雨開始時間、 $r^{ave}$ ：降雨強度、 $t_r$ ：降雨継続時間である。水位は、算出した河川流量からManningの公式を用いて求めた。

### 3. 結果・考察

対象降雨時のハイドログラフ、ハイトグラフを図-2に示す。ハイトグラフはXバンドMPレーダの合成雨量データをもとに作成した。黒点は渋谷橋地点での実測水位を示す。同図より、初期値の時刻に関わらず、予測値は、20分先までは精度が概ね良好であることがわかる。

渋谷川における氾濫危険水位は4mであり、実測水位が氾濫危険水位よりも高い水位を記録した時刻は20:40である。20:00時点で予測した水位は30分先に氾濫危険水位を超えることを予測しており、実際に氾濫危険水位を超える時刻よりも約40分前に氾濫危険水位を超えることを予測したことが明らかとなった。また、20:40時点での各予測水位に着目すると、実測値に最も近い値をとったのは実測時刻よりも10分前、20分前に予測した水位であった。また、30分前、40分前に予測した水位は実測水位よりも大きな値をとる結果となった。このように、予測降雨を用いて流出解析した結果、危機管理上、有用である可能性があることが明らかとなった。

キーワード フェーズドアレイ気象レーダ、鉛直積算雨量、降雨流出解析

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 河川・水文研究室 TEL：03-3817-1805

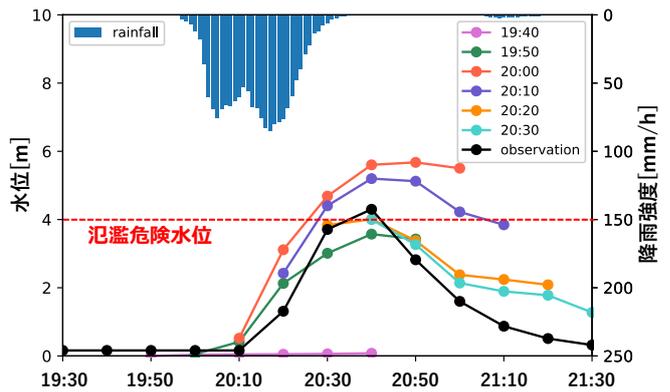


図-2：予測水位と実測水位の比較

### 4. まとめと今後の展望

本研究では鉛直積算雨量を用いた降雨予測手法に基づく降雨流出解析を行うことで、都市部におけるゲリラ豪雨時のリードタイムの確保を目指した。鉛直積算雨量を求める際には、より高精度な3次元の降雨データを使用するため、最新の気象レーダであるMPフェーズドアレイレーダの観測値を用いた。

以下、本研究の結論を述べる。

- 1) 予測降雨強度を用いて降雨流出解析を行うと、20分先の河川・水位を精度よく予測できることが明らかとなった。
- 2) 河川水位の予測をすることで氾濫危険水位を実際に超えた時刻よりも40分前に氾濫危険水位を超えることを予測することが可能であることが明らかとなった。

本研究では予測雨量値を用いることで河川流量の予測が可能であることが示された。MPフェーズドアレイレーダは30秒間隔での3次元観測が可能であることから本研究では、初期値を10分間隔で与えたが、初期値を与える間隔をさらに狭めることでより高精度な降雨・河川流量予測の実現が期待できる。

### 5. 謝辞

本研究を進めるにあたり、国立研究開発法人 防災科学技術研究所のご助言をいただきました。心より、感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Kohin HIRANO, Masayuki MAKI : Imminent Nowcasting for Severe Rainfall Using Vertically Integrated Liquid Water Content Derived from X-Band Polarimetric Radar, pp.201-220, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.96, 2018
- 2) 渡邊暁人, 笹田拓也, 渡辺直樹, 山田正：合成合理式の理論的導出, 水工学論文集, Vol.56, 2012