

二重偏波フェーズドアレイ気象レーダを用いた降雨予測精度向上に関する研究

中央大学大学院 学生会員 ○小島 彩織

中央大学 正会員 小山 直紀
中央大学研究開発機構 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

近年、特に都市部においてゲリラ豪雨による被害が頻発している。このような被害を軽減する対策としては降雨の観測だけでなく、その発生を予測し、1秒でも早くその規模や雨域の情報を対象地域に提供する枠組みが必要である。近年開発された二重偏波フェーズドアレイ気象レーダ (Multi-Parameter Phased Array Weather Radar, 以下MP-PAWR) は、仰角方向の観測を電子走査で実施することで、高度方向に高密度な観測を行うため、3次元観測を30秒で行うことが可能となった。図-1にMP-PAWRで観測された3次元降水分布の一例を示す。同図より、降雨が立体的に観測されていることがわかる。本研究では、高い時空間分解能を有するMP-PAWRの観測データを用いて降雨予測を実施し、その予測の傾向及び誤差要因についての検証を行うことで、水文分野における実用可能性を探ることを目的とする。

2. 研究手法

(1) 対象イベントと対象流域

2018年8月13日14時から17時にかけて発生したゲリラ豪雨を対象イベントとする。対象流域は白子川流域 (流域面積25km², 流路延長10km) を選定した。

(2) 降雨予測手法

本研究では、MP-PAWRによる高速・高密度な降雨観測の特徴を活用し、平野ら¹⁾が提案するVILナウキャストにより降雨予測を行った。VILナウキャストは以下の条件を仮定している。

- ① ある空間の気柱に含まれる雨水量の時間変化が雨滴の生成率と雨滴が地表面に落下した量との差に等しいことを仮定している。
- ② VILと降雨強度の関係が線形である仮定をしている。VILの時間変化は式(1)により表される。

$$\frac{d(VIL)}{dt} = S(t) - P(t) \quad (1)$$

ここに、 VIL : 鉛直積算雨量[kg m⁻²], $S(t)$: 雨滴生成率[kg m⁻² s⁻¹], $P(t)$: 降雨強度[kg m⁻² s⁻¹]である。 $S(t)$ は二時刻の連続したボリュームスキャンのペアのVILから取得することができ、式(2)のように得られる。

$$S(t) = \frac{VIL(t) - VIL^*(t - \Delta t)}{\Delta t} + P(t) \quad (2)$$

ここで、 $VIL^*(t)$ は、移流ベクトル推定後の移動した $VIL(t)$ を表している。本研究では移流ベクトル推定手法として、計算負荷の少ない直接相互相関法を用いてい

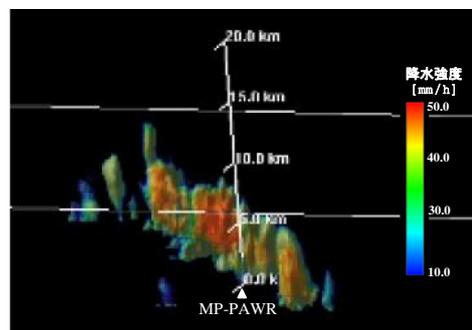


図-1 MP-PAWRで観測された3次元降水分布の一例

る。移流ベクトルとは、降雨域が将来どの方向に変動するかを予測する速度成分であり、精度の高い予測において重要な要素であると言える。本研究で用いた直接相互相関法は、予測開始時刻とその5分前における二値化したVIL (以下、二値化VILとする)より相互相関数が最大となるシフト量を観測移流ベクトルとしている。また、仮定①より式(3)が成立する。

$$P(t) = \frac{d(VIL(t) - w(t))}{dt} \quad (3)$$

ここに、 $w(t)$: 気柱の上空に残存する雨水量[kg/m²]である。次に、式(2)と式(3)から式(4)が導出される。

$$\frac{dVIL(t)}{dt} + \frac{VIL(t)}{\tau(t)} = S(t) + \frac{w(t)}{\tau(t)} \quad (4)$$

ここに、 τ : VILから地上の降雨への変換時間[s]である。VILナウキャストにおけるパラメータは S, τ, w であり、計算初期時刻において定常であると仮定し、式(4)においてVILについて解き、さらに $VIL(t+\Delta t)$ についてTaylor展開することで式(5)が得られる。

$$VIL(t+\Delta t) = VIL^*(t) \cdot \exp\left[-\frac{dt}{\tau(t_0)}\right] + \tau_0(t_0) \left(S(t_0) + \frac{w(t_0)}{\tau(t_0)} \right) \left(1 - \exp\left[-\frac{dt}{\tau(t_0)}\right] \right) \quad (5)$$

ここに、 t_0 : 解析開始時刻[s]である。式(5)を降雨強度に変換すると、次時刻における降雨強度を予測することができる。

3. 結果・考察

対象流域における流域平均降雨強度の予測結果を図-2に示す。同図において、灰色の棒グラフはMP-PAWRの観測降雨強度であり、青線、赤線、緑線はそれぞれ10分先、20分先、30分先予測降雨強度である。例えば10分先予測降雨強度とは、予測開始時刻において、そ

の10分先時点における降雨強度を、予測開始時刻までの観測値を用いて予測した降雨強度と定義する。10分先予測降雨強度の立ち上がりは、観測値を概ね再現できているものの、予測時間が長くなるほど降雨の立ち上がり及びピーク時刻が遅れており、予測精度が低下することが分かる。予測時間の長期化に伴う降雨の立ち上がりの遅れは、VILから地上の降雨への変換時間 τ の推定誤差に起因すると考えられる。一方でピーク降雨強度に着目すると、10分先予測のピーク降雨強度が過大に予測されていることが分かる。そこで本研究では、過大予測傾向の要因の一つとして支配的と考えられる、移流ベクトルの推定値の妥当性について定量的な評価を行った。移流ベクトル推定値の算定は、粒子画像速度計測法(Particle Imaging Velocimetry ; PIV)により実施した。本手法は、時間的に連続する二時刻のVIL画像データより、局所的な輝度分布の類似性を輝度値の相互相関によって求め、そのピーク位置から検査領域の移動量を算出する手法である。なお、二時刻の時間間隔は5分とする。理由として、VILナウキャスト手法におけるVILの移動方向は、計算開始時刻とその5分前時刻のVILによって10分先から30分先までを予測しているためである。対象イベントのある時刻における、二値化VIL及び、値の大きさを加味したVIL (以下、全VILとする)より推定した移流ベクトルの一例を図-3(a)・(b)に示す。なお、移流ベクトルの推定に用いた、連続する5分間隔のVIL画像データを図-3(a)・(b)の上部に示す。赤で示されるベクトルは、誤相関による異常ベクトルであるため、無視する。同図より、VILの移動方向とそのベクトルの大きさを知ることが可能であることが分かる。さらに、これらの移流ベクトルを検査領域内において空間平均した時系列を図-4(a)・(b)に示す。図-4(a)は移流ベクトルのx方向成分 u 、図-4(b)は移流ベクトルのy方向成分 v の時間的な変動である。同図における破線は、二値化VILより推定した移流ベクトル、実線は全VILより推定した移流ベクトルである。両者は降雨強度の強弱によらず異なる値をとっている。つまり、二値化VILを用いて推定した移流ベクトルの予測方向が必ずしも正確に予測されないことによる降雨域の位置ずれが、降雨予測の過大傾向に影響したと考えられる。降雨域の時間外挿による予測においては、高精度な移流ベクトルの推定が必要である。

4. まとめと今後の展望

本研究ではMP-PAWRの観測特性を活用したVILナウキャストを用いて降雨予測を実施し、その予測の傾向及び誤差要因についての検証を行った。二値化VILを用いて推定した移流ベクトルの予測方向が必ずしも正確に予測されないことによる、降雨域の位置ずれが予測値の過大要因の一つとして考えられることを示した。今後の展望として、VILの大きさを考慮した移流ベクト

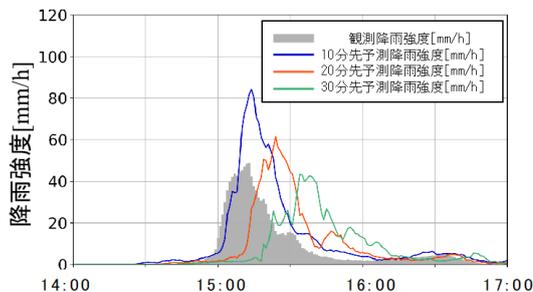


図-2 対象流域における降雨予測結果

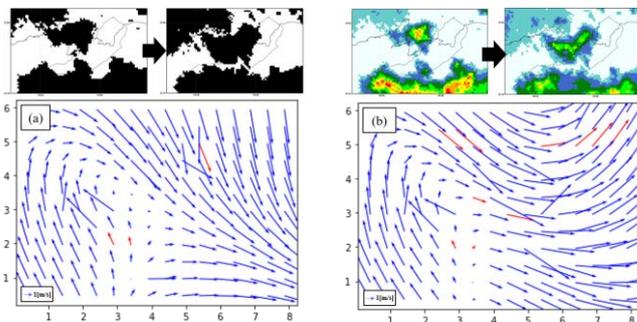


図-3(a) 二値化 VIL より推定した移流ベクトル
 図-3(b) 全 VIL より推定した移流ベクトル

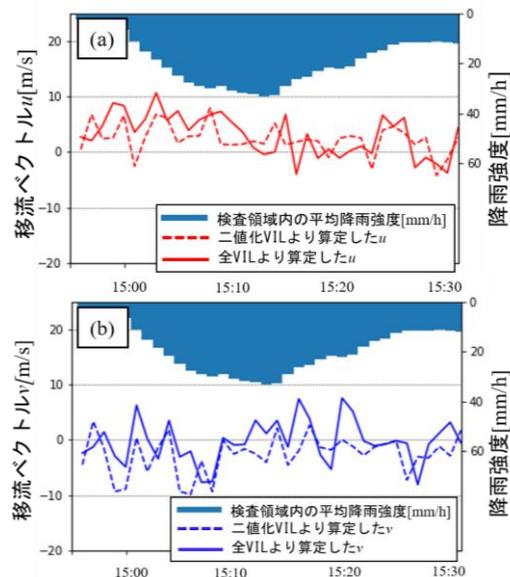


図-4(a) 移流ベクトル u の推定値の時系列
 図-4(b) 移流ベクトル v の推定値の時系列

ルの推定により、高精度な降雨予測の実現を目指す。

5. 謝辞

MP-PAWRの観測データは、国立研究開発法人情報通信研究機構より提供していただきました。東芝インフラシステムズ株式会社には、研究の遂行にあたり数多く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) K. HIRANO, M. MAKI : Imminent Nowcasting for Severe Rainfall Using Vertically Integrated Liquid Water Content Derived from X-Band Polarimetric Radar, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol.96, pp.201-220, 2018.