

WRF を用いた降雨再現実験において 微物理過程および初期条件の感度分析

盧 涛^{1*}・山田 朋人²・山田 正³

¹中央大学大学院理工学研究科（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

²北海道大学大学院工学研究科（〒060-8628 北海道札幌市北区北十三条西8丁目）

³中央大学理工学部（〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: lutao@civil.chuo-u.ac.jp

従来から豪雨は気象災害の主な要因の一つである。また、気候変動の影響で極端気象の発生が懸念されている。豪雨の観測、解析および予測は災害管理と水資源管理にとって重要である。しかし、豪雨の発生時刻と場所を捉えるのは困難である。

Weather Research and Forecasting (WRF) Modelを用いて2015年9月の鬼怒川流域で発生した豪雨イベントの再現実験を行っており、微物理過程と初期条件の感度分析からWRFの豪雨発生再現性能を評価する（C-band radarと比較）上で、モデルを改善し、リアルタイムの短期間の豪雨予測システムの構築を目的とした。本研究において、どの微物理過程と初期条件の下で得られた降雨強度が小さめに出たが、高い解析度の初期条件を用いた計算結果は降雨帯の位置と到達時間のよい再現性を示した。

Key Words : heavy rain, WRF, microphysics, initial condition, rain band, precipitation density

1. はじめに

従来から豪雨は気象災害の主な要因の一つである¹⁾。また、気候変動の影響で極端気象の発生は懸念されている。豪雨の観測、解析および予測は災害管理と水資源管理にとって重要である。本研究ではWeather Research and Forecasting (WRF) Modelを用いて2015年9月の鬼怒川流域で発生した豪雨イベントの再現実験を行った。初期条件は解析度が異なるNCEP Final Analysis (FNL from GFS) (ds083.2)とJMA MSMの二通りで行い、C-band radarと比較して、降雨帯の形、位置、到達時間について比較した。NCEPからの初期条件において異なる微物理過程の感度分析をし、比較的良い結果を得ることができるMorrison 2-momを用いたJMA MSMの初期条件と比較を行った。

全ての計算結果は強雨強度が観測結果より小さめに出たが、高い解析度の初期条件を用いた計算結果は降雨帯の位置と到達時間では良い再現性を示した。

2. 研究手法の概要

(1) 数値モデルの概要

Weather Research and Forecasting (WRF) Modelは次世代のメソスケール数値予報モデルである。WRFは静力学に基づいた地形追従垂直座標を用いた非静力学モデルである。WRFの基礎方程式系は運動方程式・連続の式・熱力学の式・混合比の保存式からなる。基礎式には、静力学平衡の仮定を用いていない。また、非圧縮性の近似もほどこされていない。これは、WRFが積雲対流などの深い対流を数100mから

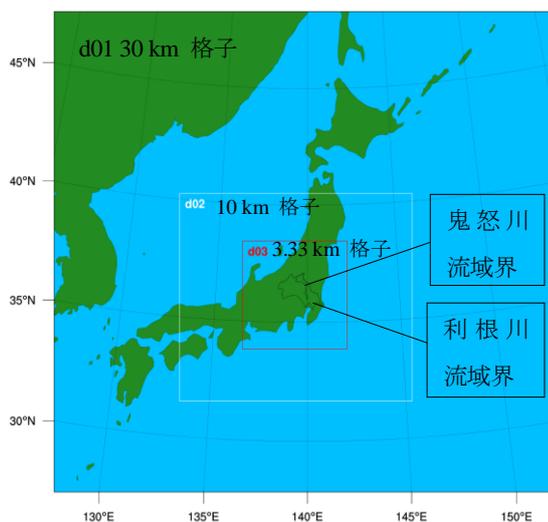


図-1 WRF の計算領域

数 10 km の任意の水平分解能で計算できることを意味する²⁾。計算には 2 次と 3 次の Runge-Kutta 時間積分スキーム, 2 次から 6 次までの Runge-Kutta 空間積分スキームを用いる。多くの物理モデルが搭載されるモデルである。

(2) 2015 年鬼怒川豪雨の概要

2015 年 9 月 7 日から 11 日まで、栃木県内の鬼怒川流域中で広範囲の豪雨が記録された。一般財団法人国土技術研究センターの報告書によると、7 日 18 時から 11 日 06 時まで、618.5 mm の雨量が日光市にある五十里観測所で観測された。また、9 月 10 日同じ観測所で、1 時 17 分より前の一時間内で 62.0 mm/h の豪雨が観測された。

(3) 数値シミュレーション条件

本研究では、WRF ARW model (version: 3.7.1)を用

いた。地形データは USGS の土地被覆データとした。気象観測入力データは 6 時間間隔で提供されている NCEP Final Analysis (FNL from GFS) (ds083.2) (1 度×1 度)と JMA MSM (0.1 度×0.125 度)のデータである。海面水温は NCEP からの 0.5 度グリッドデータ (RTG_SST)を用いた。三つの計算領域を用いて(図-1), 水平格子解像度は 30 km, 10 km, 3,333 km である。計算領域 d03 では利根川流域と鬼怒川流域 2 つの流域



図-2 9月9日16時C-band観測降雨強度 (mm/h)

がある。シミュレーション期間は 9 日 0 時から 10 時までと設定され、また鉛直方向では 40 層のシグマ座標系を用いてシミュレーションを行っている。

(4) C-band レーダ観測概要

日本の気象庁は 20 個の C-band ドップラー気象レーダの観測ネットワークを運営しており、ドップラー分光法に基づいた降雨強度および風の分布を観測している。用いた気象レーダは 1km の解像度で観測を行っている。計算と比較するためレーダで観測された 9 月 9 日 16 時の降雨強度は図-2 に示している。

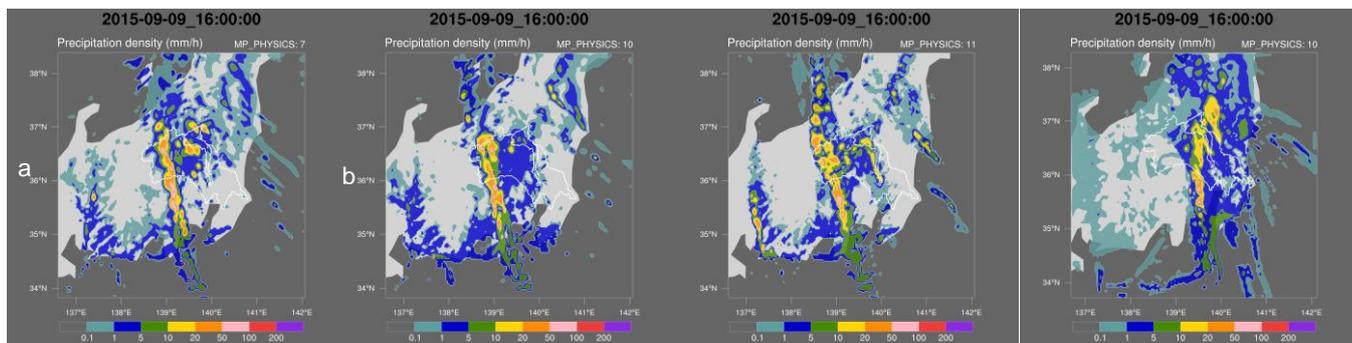


図-3 a, b, cはNCEPを初期条件にした異なる微物理過程に基づいた降雨強度: Goddard (7), Morrison 2-mom (10), CAM 5.1 (11); dはJMA MSMを初期条件にした Morrison 2-mom (10) に基づいた降雨強度

3. 結果と考察

本研究では Kessler (1), Lin (Purdue) (2), WSM3 (3), WSM5 (4), Eta (Ferrier) (95), WSM6 (6), Goddard (7), Thompson (8), Milbrandt 2-mom (9), Morrison 2-mom (10), CAM 5.1 (11), SBU-YLin (13), WDM5 (14), WDM6 (16) と NSSL 1-mom (19)の 15 個異なる微物理過程の計算を行った。スキーム後の数字はモデル中の記号である。

計算結果は降雨帯の形、位置と到達時間の分布三つ方面で図-2の観測結果と比較を行った。観測された降雨帯の形は南北方向で線形になって、東西方向に約 40 km の最大幅を持っている。また、降雨帯の幅は南方向で減少していく。計算の降雨帯では、全ては幅一様になる。そして、計算した降雨帯は細めに出た。それは計算で用いた微物理過程は雲と降雨粒子の形成条件が自然の雲と降雨粒子の形成より厳しいと考えられる³⁾。

計算で示した降雨帯の位置を見ると、9日16時の時点で観測された降雨帯は鬼怒川流域上方に移動した、降雨帯位置は一致しているのは高い分解能の JMA MSM データを初期条件とした結果だけである。それは高い分解能の気象データは本当の気象状態を再現していると考えられる。

4. まとめ

本研究では、水災害および水資源管理ツールとした WRF を用いて 2015 年 9 月の鬼怒川流域で発生した豪雨イベントの再現実験を行っています。微物理過程と初期条件の比較から得られた知見を以下に示す。

(1) 微物理過程は降雨形成に重要な役割を持っていることが検証できた。

(2) 初期条件の分解能にも拘らず、WRF から降雨強度の計算結果は少なめであった。それは微物理過程では雲と降雨粒子の形成条件厳しいになると考えられる。

(3) 初期条件は降雨帯の位置と運動に大きい影響に出ることが検証できた。

(4) 初期の気象状態をより正確に再現したため、高い分解能の JMA MSM 気象データを初期条件とした計算結果では降雨帯の位置と到達時間は再現できた。

参考文献

- 1) Mannan, Md Abdul, Md Abdul Mannan Chowdhury, and Samarendra Karmakar. "Application of NWP model in prediction of heavy rainfall in Bangladesh." *Procedia Engineering* 56 (2013): 667-675.
- 2) 日下 博幸, 平口 博丸, 和田 浩治: 次世代のメソスケール気象モデル WRF を用いた平成 16 年新潟・福島豪雨のシミュレーション. 電力中央研究所報告. 研究報告. N / 電力中央研究所地球工学研究所 編.. (通号 05070) 2006.6. 1~11, 巻頭 1~5
- 3) 杉山知, 深和岳人, 松浦正典, 稲毛正昭, 播磨屋敏生, 藤吉康志, 日比野忠史, 山田正: 長大立坑を利用した準実スケールでの雲物理実験 (その 2), 水文・水資源学会 1993 年研究発表会要旨集, pp.210-211, 1993.