

# 雲微物理モデルの変化に対する WRF の感度実験

—2013年8月島根県西部豪雨を対象として—

広島大学大学院工学研究科  
広島大学大学院工学研究科  
広島大学大学院工学研究科

学生会員 ○北 真人  
フェロー会員 河原能久  
正会員 椿 涼太

## 1. 序論

近年、地球温暖化による平均気温の上昇などの世界規模での気候変動が問題とされており、それに起因する集中豪雨も増加傾向にある。集中豪雨のような、限られた地域において短時間に多量の降雨が発生する場合、内水氾濫や外水氾濫、さらには土砂災害の発生が懸念される。このため、XRAINのような集中豪雨を観測する手法とともに、集中豪雨を予測する手法はその重要性を増している。

近年では、基礎方程式を時間積分していくことで、物理量を予測する数値予報と呼ばれる手法が目覚ましく発展してきている。数値モデルの課題でもある初期値鋭敏性を改善するために、著者ら<sup>1)</sup>は本研究で使用した WRF に、データ同化手法の一種である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (Local Ensemble Transform Kalman Filter: LETKF) を適用し、一定の同化効果を実証した。しかしながら、そのような初期値鋭敏性の他にも格子解像度や物理モデルの違いなど予測精度に関する因子は多岐に渡る。また、モデル自体の性能評価という観点から、それらの因子が予測結果に与える影響を把握することが重要であると考え、そして、それらを実証した上で、データ同化を適用し、更なる予測精度の向上に繋がると考える。

そこで、本研究では降雨の発生に重要だと考えられる物理モデルの一つである雲微物理モデルに着目し、それらを変えることで、物理モデルの違いが雨量予測に与える影響を検証することを目的とする。

## 2. 対象豪雨の概要

本研究では、2013年8月23日から8月25日にかけて、島根県西部で発生した豪雨を対象とした。図-1に降雨期間 (2013年8月23日12:00~2013年8月25日12:00) におけるレーダーアメダス解析雨量の累積雨量分布を示す。図より、島根県西部において、400mmを超える降雨が見られる。また、山口県北東部 (萩市須

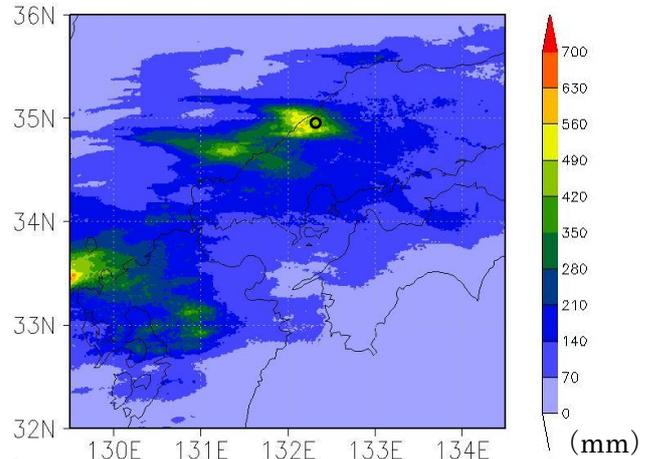


図-1 解析雨量による期間累積雨量  
(2013/8/23 12:00 ~2013/8/25 12:00)

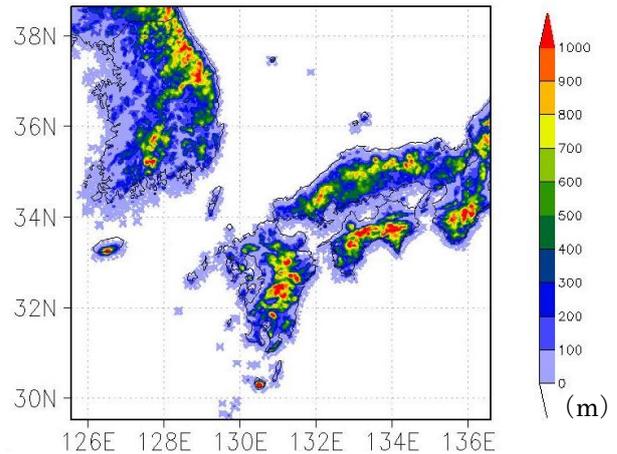


図-2 計算領域におけるモデル地形

佐町付近) や熊本県北部においても、約 300mm の降雨が見られる。時間降雨量では、アメダスの桜江観測地点 (図-1 中の黒丸) において、8月24日3:00において、78mm/h を記録し、同地点の観測史上最高記録となっている。

## 3. 数値実験概要

### 3.1 気象モデルの概要

本研究で使用した WRF は米国国立大気研究センター (National Center for Atmospheric Research) が中心となり開発を進めている気象モデルである。WRF の特徴

表-1 計算条件（雲微物理モデル除く）

格子数 (WE×SN×V)	500×500×40
格子間隔:dx (WE), dy (SN)	2km
タイムステップ	12sec
地表面スキーム	Monin-Obukhov scheme
地表面モデル	5-layer thermal diffusion
境界層スキーム	YSU scheme
初期値および境界値	気象庁メソモデル(MSM)解析値(大気データ) RTG-SST(海表面データ)

表-2 実験対象の雲微物理モデル

スキーム名	混合比	数濃度	予報変数
WSM3	水蒸気, 雲水, 雨粒	/	3
WSM5	水蒸気, 雲水, 雨粒, 雲氷, 雪		5
WSM6	水蒸気, 雲水, 雨粒, 雲氷, 雪, 霰		6
Thompson	水蒸気, 雲水, 雨粒, 雲氷, 雪, 霰	雲水, 雨粒	8
Morrison	水蒸気, 雲水, 雨粒, 雲氷, 雪, 霰	雲水, 雨粒, 雪, 霰	10

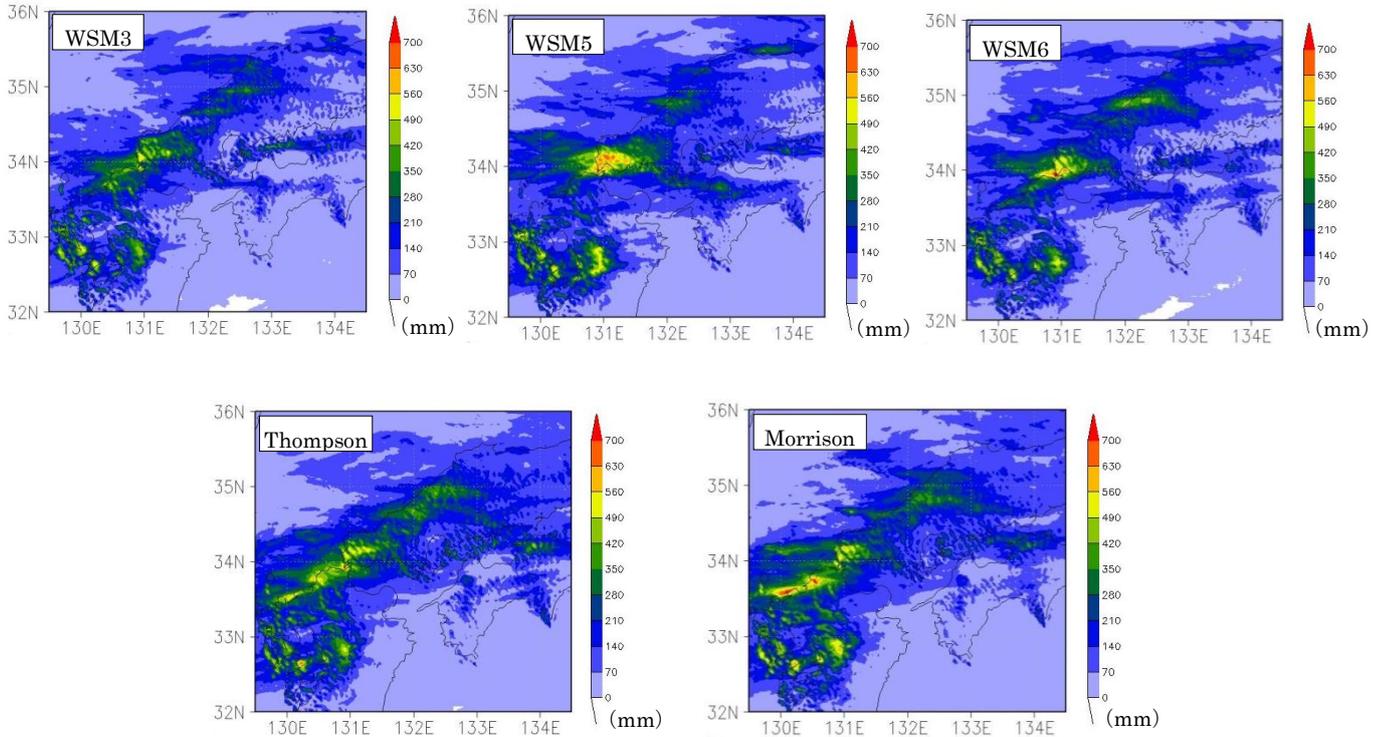


図-3 各スキームにおける降水期間中累積雨量（2013/8/23 12:00~2013/08/25 12:00）

の一つとして、静水圧近似を用いておらず、格子幅を狭く設定できる。また、雲物理過程、降水過程、接地境界層における物理モデルを自由に設定可能である。

### 3.2 計算条件

図-2 に計算領域におけるモデル地形を示す。本研究では、西日本全体を囲むように計算領域を設定している。なお、ダウンスケーリングを実施しない単一ネストとしている。地形データは米国地質調査所 (USGS) が発行している 30 秒間隔の地形データを用いている。

表-1 に計算条件を示す。雲微物理モデルの影響を確認するため、その他の物理モデルに関しては固定している。初期値および境界条件は気象庁メソモデルの解析値を使用し、境界値は 3 時間ごとに与えた。また、海表面温度の変化を導入するために、RTG-SST を外挿し、WRF に標準装備されているアップデートオプションにより、3 時間ごとに更新されるように設定した。

表-2 に本研究で対象とした雲微物理モデルを示す。雲微物理モデルは 2 種類に大別される<sup>2)</sup>。雲・降水粒子の粒形分布を推定する変数として混合比のみを用いる 1 モーメントスキームと、それに加えて数濃度を用いる 2 モーメントスキームである。本研究では、1 モーメント (WSM3, WSM5, WSM6) と 2 モーメント (Thompson, Morrison) の両方について実験を行い、各スキームとも、予報変数が異なるように選定した。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 累積雨量の空間分布による比較検証

図-3 に降雨期間 (2013 年 8 月 23 日 12:00~2013 年 8 月 25 日 12:00) 各ケースの累積雨量分布を示す。全体の傾向として、福岡県東部から山口県西部にかけて、観測 (図-1) では見られない強雨が発生しているという点と、観測で見られる熊本での強雨が過大に評価されている上に、その位置が僅かに南にずれている点が

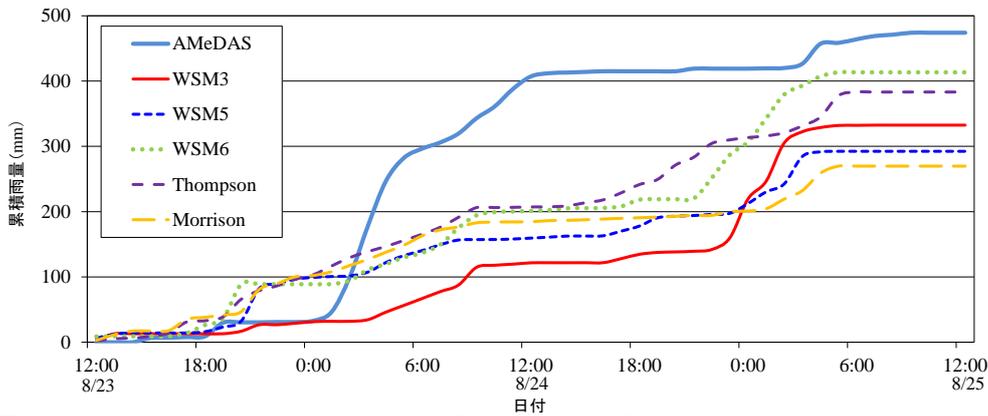


図-4 アメダス桜江地点における降水期間中累積雨量 (2013/8/23 12:00~2013/08/25 12:00)

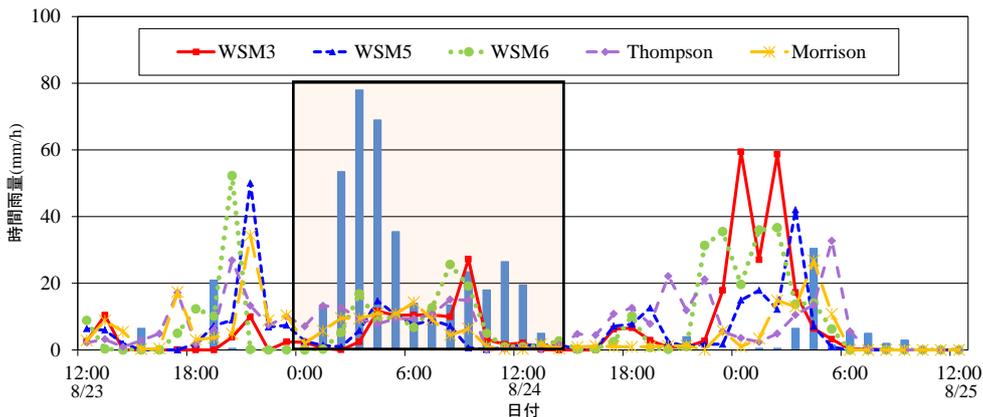


図-5 アメダス桜江地点における降水期間中一時間雨量 (2013/8/23 12:00~2013/08/25 12:00)

挙げられる。しかしながら、発生位置や分布に違いがあるものの島根県西部においても強雨が発生している点においては、有用な結果といえる。

WSM3 に関して、他のスキームと比較して、全体的に降雨量が小さくなっていることが分かる。また、他の 1 モーメントスキーム (WSM5, WSM6) と比較して、島根県西部の強降雨域が東にずれている。WSM5 に関しては、WSM3 と比較して、降雨量は大きくなっている。また、各スキームの中でも、観測値 (図-1) における島根県西部の累積雨量分布と比較的類似している。WSM6 に関しては、WSM5 よりも強降雨域が広がっており、その範囲は島根県中部にまで及んでいる。また、観測値 (図-1) で見られるような山口県北東部で見られたような強雨も僅かであるが見られた。1 モーメントのスキームでは、全体の傾向として、島根西部の強降雨域と、福岡県東部から山口県西部における強降雨域が分離していることが分かる。

Thompson に関しては、WSM6 と同様に、強降雨域が広がっているが、位置が東にずれている。しかしながら、上述の山口県北東部の強降雨域が WSM6 よりも顕著に再現されていることが分かる。Morrison に関し

ては、Thompson と同様な分布形状となっているが、福岡県北部において、更に強い降雨が発生している。2 モーメントのスキームでは、1 モーメントとは異なり、上述の 2 つの強降雨域が繋がっている傾向が見られた。

1 モーメントと 2 モーメントのスキーム間で分布形状に違いが見られ、各スキーム間でも雨量や分布形状・位置に差異が見られたことから、スキームの選択が空間分布に与える影響は大きいと考えられる。

#### 4.2 AMeDAS 観測雨量との比較による検証

図-4 に各スキームにおける累積雨量の計算結果を示す。なお、比較対象の AMeDAS 観測点は島根県内で最も高い雨量を記録した桜江地点 (図-1 中の黒丸) とし、計算値は観測地点から最も近い格子点のデータを使用した。図より、どのスキームも期間中に 250mm 以上の値を示している。最も高いスキームは WSM6 であり、400mm を超えており、観測値に近い値を示している。しかしながら、その時系列変化は観測値とは大きく異なっている。また、最も低いスキームは Morrison であり、約 280mm となっている。この理由として、図-3 の降雨量分布より、計算値では実際よりも降雨域が

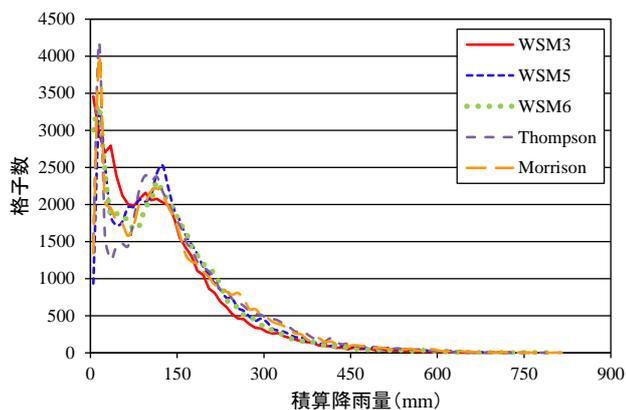


図-6 累積雨量の頻度分布

南下していることが挙げられる。また、同様な理由で、WSM5も累積雨量が小さくなっていると考えられる。

図-5に各スキームにおける1時間雨量の計算結果を示す。全体の傾向としては、23日18時や25日4時の降雨を大幅に過大に評価していることと、その発現が早い場合や遅い場合があることが挙げられる。一方で、集中して降雨が発生した24日0時から13時までの間（図中黒枠部）では、大幅に過小評価しており、その降雨パターンにも違いが見られる。しかし、WSM6に関しては、その期間中における降雨の降り方を、過小評価ではあるが、他のスキームと比べて相対的に良く再現している部分が見られた。

以上のことから、スキームの違いにより降雨のパターンにも違いが生じることを確認した。また、一つの観測点で比較した場合、空間分布の違いによる影響も出ることが示唆される。

### 4.3 強降雨の発生頻度による比較

図-6に、各格子点における累積雨量を抽出し、階級別に分類した頻度分布を示す。図より、WSM3とそれ以外のスキームでは大きな違いが見られた。30～100mmでは、WSM3の方が格子数（発生回数）は大きくなっている。それ以降では、他のスキームの方が、強降雨の発生回数が大きくなっている。この理由として、積乱雲の頂部では気温が氷点下であり、氷晶が発生することから、雲氷を考慮しないWSM3では、考慮している他のスキームとの違いが生じたと考えられる。そのため、空間分布（図-3）において、WSM3の場合、他のスキームよりも雨量が小さくなったと考えられる。

図-7に一時間雨量の頻度分布を示す。累積雨量（図-6）と同様に、WSM3では、他のスキームと比べて強降雨の発生回数が小さくなっている。しかし、

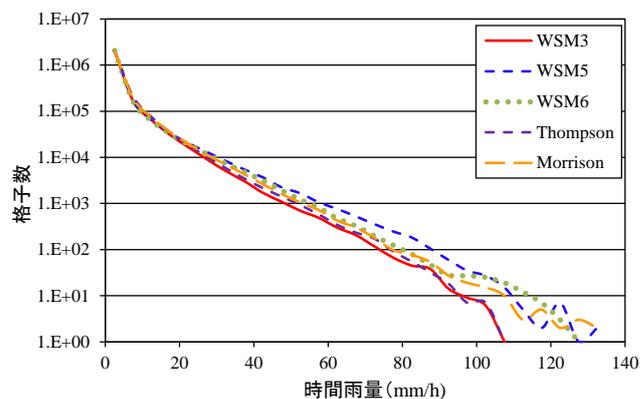


図-7 1時間雨量の頻度分布

Thompsonに関しては、僅かにWSM3を上回る部分もあるが、WSM3と類似している。この理由として、図-5より、Thompsonは他のスキームよりも比較的継続して降雨が発生している。そのため、累積雨量では発生回数が大きくなるが、時間雨量にした場合に、値が小さくなったと考えられる。

## 5. 結論

本研究では、雲微物理モデルの違いが雨量予測に与える影響の検証を目的として、気象モデルWRFの感度実験を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) 1モーメントと2モーメントスキームの間で、空間分布の違いが見られ、スキームの選択が空間分布に与える影響は大きいことを確認した。
- 2) 1時間雨量の時系列変化の比較により、スキームの違いによって降雨のパターンにも違いが生じることを確認した。
- 3) 頻度分布により、氷雲の考慮の有無が、強降雨の発生に寄与することを示唆した。

謝辞：気象庁のMSM-GPVデータは京都大学生存圏研究所生存圏データベースからダウンロードした。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 北ら：LETKFを適用したWRFによる平成24年九州北部豪雨の解析，河川技術論文集，第19巻，pp.283-288，2013。
- 2) 橋本ら：雲微物理パラメタリゼーションにおける雨滴粒径分布推定法の精度評価，北海道大学地球物理学研究報告，第68巻，pp.51-64，2005。