# 平成29年7月九州北部豪雨の数値再現実験

NUMERICAL ANALYSIS OF HEAVY RAINFALL IN NORTHERN KYUSHU REGION IN JULY 2017

# 金子 凌<sup>1</sup>・仲吉 信人<sup>2</sup> Ryo KANEKO, Makoto NAKAYOSHI

 1学生会員 工修 東京理科大学 理工学研究科土木工学専攻(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641 5号館3階)
 2正会員 博(工) 東京理科大学講師 理工学部土木工学科(同上)

We investigated the effect of sea surface temperature, topography, and initial and boundary conditions (hereafter IC and BC) on heavy rainfall occurred in northern Kyushu area on July 5<sup>th</sup> in 2018 using Weather Research and Forecast model (WRF). We found that high resolution SST by MODIS satellite data improved accumulated precipitation. On the other hand, the effect of high resolution topography data provided by Geospatial Information Authority of Japan, which are 10 m higher than low resolution counterpart in Kyusyu area was not as significant as SST. IC and BC differences yielded large discrepancy in rainfall patterns between NCEP final analysis and JMA Meso-Scale Model mainly due to the difference of water vapor concentration in troposphere.

Key Words : sea surface temperature, terrain, precipitation, heavy rainfall, WRF

# 1. 背景と目的

平成29年7月九州北部豪雨は死者39名,行方不明者2名 を出した(2017年12月21日現在).しかし,現業の気象 庁のモデルでは直前まで予測することが出来ず,豪雨予 測の難しさが露呈する結果となった.流域に住む住民へ の防災情報の提供をはじめ,流出解析など水防の面から も,気象モデルの精度向上が強く望まれている.

このような局地豪雨の計算精度向上に向けて様々な面から精力的な研究がなされている.北ら<sup>1)</sup>はデータ同化を用いて2008年の鳥取県西部豪雨の再現計算を行い,雨域の移動を精度良く再現した.瀬戸ら<sup>2)</sup>はアメリカ海洋大気庁などが開発する,Weather research and forecasting model (WRF)を結合した陸面・雲衛星データ同化システムの作成を行い,降水の空間分布の再現性を向上させた.さらに杉原ら<sup>3)</sup>は,平成24年7月九州北部豪雨の再現精度と物理モデルの関係について検討し,雲微物理過程にThompsonのスキーム<sup>4)</sup>を,乱流モデルには,Mellow-Yamada Nakanishi and Nino Level 2.5スキーム<sup>5)</sup>を用いたとき,豪雨の再現が最も良いことを示した.これらの取り組みは重要であるが,データ同化は,境界値の誤差や各物理モデルの多様なパラメータなどの,様々な不確実

性が観測値と整合性がとれるように修正された初期値・ 境界値に丸め込まれるため、気象モデルの種々の物理モ デルの改良・精度向上にはつながらない.また、物理モ デルの変更による豪雨の再現は多岐にわたり行われてき たが、包括的な議論が出来ているわけではなく、対象豪 雨ごとに適切なモデルを選定しているものが多い.

吉野らのように、アンサンブル予測を行った研究も ある.物理過程の計算スキームを変更し組み合わせるこ とで、全32メンバーのアンサンブル予測を、2010年7月 に発生の可児豪雨に対して適用した.豪雨発生箇所を24 時間前にある程度の精度で予測出来ること、計算精度の 向上には初期条件の高精度化が必要であることを示した.

そこで本研究では、平成29年7月九州北部豪雨を対象 とし、その再現計算における初期値・境界値の影響、及 び、海面温度(SST)・地形データの高精度化が豪雨形 成に与える影響を明らかにすることを目的とする.地形 が降水の誘発する重要な因子であることは広く知られて いるが、対象のように前線の影響を受ける総観場スケー ルの豪雨において地形の影響を検討した研究は少ない. また、仲野ら<sup>¬</sup>はSSTが都市型局地豪雨の生成・助長に 影響することを指摘しており、対象豪雨においてもSST の影響が大きいことが想定されるが、これを検討した事 例はない.豪雨の再現計算は非常に難しいことは周知の 事実である.本論文では、XRAINを用いた実況との比較は行うが、再現精度そのものよりも、初期値・境界値の差異、SST・地形の高精度化が豪雨の時空間パターンに如何に影響するかを議論することに重きを置く.

## 2. 平成29年7月九州北部豪雨の実況の概要

7月5日から7月6日までに発生した豪雨である.7月5日,7月6日の地上天気図を図-1に示す.台風1703号が7月4日 (図略)に九州を通過し7月5日(図-1(a))には本州東 の海上へ抜けている.梅雨前線は5日にかけて南下し山 ロ県や広島県にかかり,まず中国地方で強い雨を降らせ た.三日間,太平洋の沖合には1018 hPaの高気圧が張り 出し,その縁を大きく回るように九州地方に海上からの 湿った空気が流れ込んでいる.6日(図-1(b))には前線 位置が,大きく蛇行し関門海峡に掛かるようになる.朝 倉のAMeDASでは,7月5日15時39分までの1時間に観測 史上最大の129.5 mmを観測した.また,同様に大分県日 田のAMeDASでも強雨を観測している.

# 3. 計算設定

WRFモデルを使用し,豪雨の再現計算を行った.計 算ケースを以下のように設定する.

- CTL: SSTにNCEP Final Analysisのデータ(空間解像 度1度,時間解像度6時間,以下FNLと表記),地形 データにUSGS(空間解像度30秒)のデータを用い たケース.
- ② CASE-SST: CTLに対し、SSTデータにMODIS SST のLevel 3のデータ(図-2,空間解像度4 km,以下 MODIS SSTと表記)を与えたケース.但し、雲によ るMODIS SSTの欠損を補間するため、各格子点で12 時間ごとに撮影されるデータを1ヶ月分アンサンブ ル平均し、連続する2ヶ月分のアンサンブル平均 データを時間方向へ線形内挿することで6時間解像 度のSSTデータを作成した.1ヶ月のアンサンブル 平均でも雲による欠損が除去できない地点がある場 合には、さらに逆距離加重法により補間している.
- ③ CASE-Terrain: CTLに対し、地形データに国土地理 院発行のDigital elevation model (DEM)のデータ(図-3,空間解像度50 m)を使用したケース.
- ④ CASE-Full: CTLに対して、②、③と同じ高精度な SST・地形データを使用したケース.

さらに、それぞれのケースの境界条件にはNCEP Final Analysis (空間解像度1度、時間解像度6時間) と気象庁 メソスケールモデル (JMA MSM,空間解像度5 km,時 間解像度は3時間であるが6時間になるように間引いた) の二種類のデータを用意し、ケースを分けた. それぞれ のケース名の末尾に、NCEP Final Analysisを用いたもの には "+FNL"を、JMA MSMを用いたものには "+MSM" を付記する. 合計8ケースの計算を行った.

また,計算領域には2wayの3重ネスティングを用いた(図-2,左).2章で示した台風や太平洋上の高気圧,またSSTの影響を考慮できるように領域設定を行い,FNLのケースでは第一領域は30 km解像度,第二領域は6 km解像度,第三領域では1.2 km 解像度とし,MSMのケースでは,FNLの第二,第三領域をやや広げたものをそれぞれ第一,第二領域と設定した.用いた物理モデルは表-1の通りである.助走期間は台風の大規模な擾乱影響をふまえるために,7月3日から7月4日までの二日間を設定した.解析に用いるのは7月5日からのデータである.



図-1 9時における実況天気図. (a)7/5, (b)7/6

表─1 計算設定					
		Domain 1	Domain 2	Domain 3	
FZ	格子数	110×100×58	141×201×58	176×176×58	
-	格子・時間解像度	$30 \mathrm{km} \cdot 100 \mathrm{s}$	6.0 km • 20 s	1.2 km • 4 s	
SM	格子数	250×265×50	266×321×50		
Ξ	格子・時間解像度	5.0 Km • 20 s	1.0 Km • 4 s	-	
	Microphysics	ophysics WSM 6-class scheme		ne	
Long/Short-wave		RRTM Scheme / Dudhia Shortwave Scheme			
PBL		MYNN Level 2.5			
Surface layer		MM5 Similarity Scheme			
Land surface		Unified Noah Land Surface scheme			



 2
 4
 6
 8
 10
 12
 14
 16
 18
 20
 22
 24
 26
 28
 30
 32

 Sea Surface Temperature [degree Celsius]

 図-2
 SST
 (左: NCEP Final Analysis, 右: MODIS SST)





図-4 各ケースの積算雨量. 図中の星マークは朝倉を示す.

図-4にXRAINによる実況,各計算ケースの積算雨量の時間変化を示す.表-2には朝倉市の実況24時間積算雨量と計算領域内最大24時間積算雨量を示した.紙面の都合上,CTL系,CASE-SST系以外のケースは図-4では省略し,適宜別図で掲載する.CASE-SST系が最も実況と類似し,次いで,CASE-Full系,CTL系の順に類似度が低下し,もっとも再現性が悪かったのは,CASE-Terrain系であった.詳細は次節以降で言及する.特筆すべき点として,初期・境界条件をMSMで与えたケースでは、7月5日に豪雨を解像できているが,FNLでは、1日遅延した7月6日に解像されている.これについては5章で議論する.

XRAINなどのレーダー雨量は実際の降雨場と完全に は一致していないことが知られており<sup>8</sup>, XRAINを真 値とすることは議論の余地があるが,それは本研究のス コープから外れるため議論は省く.

## (1) CASE-SST+FNL, CASE-SST+MSM

FNLのケースでは、領域内の多くの点でCTLよりも降水量が増加し実況に値が近づいている.10時には既に大分県で先行の降雨があった.12時になり朝倉でも50 mmを超える積算雨量を解像した.14時には二本の線状の降水帯が解像され、北側の降水帯は実況とよく似ている.15時30分には二つの線状の降水帯が合成されるような挙動をとった.

一方,MSMケースでは,CTLよりも降水を抑制する ことで実況との類似度が向上している.また,降水開始 時刻もCTLよりも実況と近く,12時頃から50 mmを越す 箇所が見られる.19時までに降水量と降水範囲は増え続 け,24時間積算雨量は実況に最も近い506.30 mmであっ た(表-2).ただし,朝倉を覆う線状降水域の範囲は実 況よりも狭く,降雨の空間パターンはCTLの方が実況と 近い.

実況では、計算よりもおよそ3時間長く降水が続いており、24時間積算雨量で比較したとき、特にFNLのケースで大きな違いがあった(表-2).

## (2) CASE-Full+FNL, CASE-Full+MSM

両ケースは、概ねCASE-SST+FNL,CASE-SST+MSMと 同様の結果であった.しかし、積算雨量を強く解像した 地点がCASE-SST+FNL,CASE-SST+MSMよりも南東にず れ、実況と比較しても南東へずれてしまった.積算雨量 はCASE-SSTより僅かに減少する(表-2,図-5,a1,a2). また、MSMケースでは地形データの高精度化により領 域内に多くの微細な積乱雲が生成された.

# (3) CTL+FNL, CTL+MSM

#### 表-2 朝倉市の実況24時間積算雨量と朝倉周辺の24時間積 算雨量計算値

ケース	雨域 (朝倉を基準)	24時間 積算雨 量[mm] (NCEP)	24時間 積算雨 量[mm] (MSM)
実況	-	519.5	
CASE-SST	同じかやや東	339.57	506.30
CASE-Full	やや東	311.98	442.70
CTL	北東	256.04	856.60
CASE-Terrain	東	196.93	879.56



図-5 21:00までの積算雨量, a1 : CASE-Full +FNL, a2 : CASE-Full +MSM, b1 : CASE-Terrain +FNL, b2 : CASE-Terrain +MSM

両ケースとも、積算雨量が50mmを超えるのは実況よ りも遅い14時であった.FNLケースでは積算雨量が小さ く、線状降水域も1筋しか解像されず、それは朝倉から 外れている.一方、MSMではその逆であり、朝倉周辺 の線状降水域が強化され積算雨量の最大値は非常に過大 評価されている(表-2,図-4).

## (3) CASE-Terrain+FNL, CASE-Terrain+MSM

FNLケースでは強い降水帯が発生しても直ぐに東へ流 されてしまうため、降水帯が定着することは無く、積算 雨量の分布も東へずれ、全ケースの中で最も低かった. しかし、MSMのケースでは、積算雨量を非常に過大評 価していた(表-2,図-5, b1, b2).

#### 5. 議論

#### (1) SSTの影響

SSTの高精度化が降水パターンを大きく変え,降水の 精度向上につながることが確認されたが,SSTの作用は FNLとMSMで大きく異なっていた.その要因について 考察する.

両ケースとも、東シナ海海上のSSTが強く影響していると考えられる.図-2の丸部に着目すると、FNLより

MODISのSSTが高くなっていることがわかる.豪雨を解 像する以前より、九州北部には、高気圧の縁を回り東シ ナ海海上を通過する風が吹き込んでおり、それは夜間も 継続していた(図-6).このため、九州北部の地表面の 水蒸気量は、CTLよりも増加し、AMeDAS観測値と近い 値を取っていた(図略).常に多湿な空気が供給される ことがMODIS SSTを用いたケースの特徴である.

さらに、FNLのケースでは、SSTを高精度化すること により、前線の位置も変化した.図-7はCTL+FNLと CASE-SST+FNLの前線の位置を示したものである.CTL と比較しCASE-SSTでは前線が南下して九州北部に近づ いた.前線付近でシアーが強化され、前線の活発化、さ らに水蒸気の収束域を変化に繋がった.以上の理由によ り降水帯の強化に繋がったものと考えられる.

一方,MSMのケースでは、降水量はCTL+MSMより も大幅に減少し実況の値に近づいた.CTL+MSMに比べ CASE-SST+MSMでは、九州北部での地表水平風速収束 の継続時間が短く、朝倉付近での積乱雲の生成がCTL程 長く継続されなかったことが要因である(図略).また、 FNLケースで見られた前線の南下はMSMケースでは確 認されなかった.これは、MSMの第一領域が、FNLの 第二領域と同じいう狭領域で計算していることが一つの 理由と考えられる.SSTの影響よりも、境界条件の影響 が卓越して現れてしまうため、前線位置は変化しなかっ たものと考えられる.

#### (2) 地形の影響

図-8は二つの地形データの差分を取ったものである. 高精度化することにより,標高が過小評価傾向にあった 有明海沿岸地域(図中丸部)が修正されている.このた め,CASE-Terrain系ではFNL,MSMケースとも標高の高 い地形により,水蒸気の流入が阻害されている(図-9). 一方,降水量に関してはFNLケースでは,地形データ を高精度化すると降水量は減少し,MSMケースでは強 化された.内陸への水蒸気移流が少ないCASE-Terrain+MSMで降水が強化された理由は,地形に起因す る地表風速の収束が朝倉周辺でCTLよりも長く続いたこ とが要因である(図略).また,収束もFNLのケースより 強く出ており,MSMケースでは水蒸気流入の効果より も収束の効果の方が卓越して豪雨を助長させたと考えら れる.

地形データの高精度化は,SSTの高精度化ほど降水量 に大きな差異を与えないが,内陸部への水蒸気流入経路 の変化,収束域の変化をもたらし,降水の空間パターン を変化させた.ところで,橋本ら<sup>9</sup>はモデル解像度を高 くし,高精度な地形データを与えることで,谷風や尾根 を伝う実況と近い風速場を再現した.しかし,このよう な高解像度計算を空間平均したときの風速場は,解像度 の粗い計算と一致したと述べられており,このことから も,地形データはよりローカルなスケールで影響を及ぼ



 図-6 高海面温度からの水蒸気の供給(7/521時)CASE-SST+FNL,ベクトルは地表風速,カラーコンターは 第一層での混合比)



0.015 0.016 0.017 0.018 0.019 0.020 Mixing ratio [kg/kg]

図-7 前線位置(黄破線)の変化, 左:CTL+FNL,右:CASE-SST+FNL 7/6 12:00



図-8 二つの地形データの差分,国土地理院DEM-USGS



図-9 地形データによる水蒸気の流入の変化, al: CTL+FNL (7/614:00), a2: CASE-Terrain+FNL (7/614:00), b1: CTL+MSM (7/514:00), b2: CASE-Terrain+MSM (7/514:00)

すパラメータであると言える.

#### (3) FNLのケースで豪雨解像が一日遅延した理由

FNLのケースでは、豪雨が解像された日が一日遅延してしまった.7月5日と6日の午前9時の福岡管区気象台における混合比の鉛直プロファイルを図-10に示す.5日では、実況に対して、FNLのケースでは地表面での混合比

は良好に解像されているが,高度500~3500 mにかけて 混合比が過小評価されていることが分かる.これは積雲 形成に関連する高度であり,水蒸気量の過小評価が豪雨 形成をもたらさなかった理由と考えられる.MSMを境 界条件として与えたケースでも水蒸気量は過小評価され ているが,FNLよりも実況と近く,2000 m以上では実況 と一致している.一方で,7月6日におけるFNLケースの 混合比の鉛直分布は積雲形成に影響する地上3000 m程度 までは7月5日の実況と近くなっている.

図-11には7月5日午前9時の高度2000 mでの混合比の分 布を示す. MSMケースで見られる九州北部への水蒸気 の輸送がFNLでは確認されない. FNLのケースにおいて, 水蒸気流入が確認されるのは翌日6日であり,このこと からも上空への水蒸気の流入が遅れ,それが豪雨の解像 に1日の遅延をもたらしたと考えられる.

# 6. まとめと今後の展望

本論文では、平成29年7月九州北部豪雨を対象に、その再現計算における初期値・境界値の影響、及び、 SST・地形データの高精度化が豪雨形成に与える影響を評価した.

SST高精度化には以下のような影響が確認された.

- 九州北部への水蒸気輸送を増加させ、前線位置や風速 場への影響が大きかった。
- 降水の時空間分布を大きく変えた.
   地形データの高精度化の影響は以下の通りである.
- 高精度化することで、過小評価されていた標高を正確
   に再現することができ、東シナ海からの水蒸気の地上
   への流入を阻害した.
- 高精度化することで、谷筋や高標高地域の迂回など陸域の風速場が修正され、それに伴い水蒸気の内陸への 輸送分布に大きな違いを生じさせた。

しかし、これらを改良しただけでは上層の大気場への 影響は小さく、境界値の重要性も明らかとなった.

SSTの影響は非常に大きく,今後ひまわり8号など高 解像度な衛星がそのプロダクト作成の役割を担うことで, 更なる気象計算の精度向上が期待される.

謝辞:利用したデータセットは、国家基幹技術「海洋地 球観測探査システム」:データ統合・解析システム (DIAS),地球環境情報統融合プログラム(DIAS-P),並び に地球環境情報プラットフォーム構築推進プログラムの 枠組みの下で収集・提供されたものである.謝意を表し たい.

## 参考文献

1) 北 真人, 河原 能久, 椿 涼太, 牛山 朋來: WRF-LETKFによ る2013年8月の島根県西部豪雨の数値解析. 土木学会論文集



図-10 福岡管区気象台における混合比鉛直分布



A2(応用力学) Vol. 70, I\_277-I\_287, 2014

- 瀬戸 里枝、小池 俊雄、RASMY Mohamed: WRFを結合した 陸面・雲の衛星データ同化システムの開発と関東域への適用. 水工学論文集 土木学会水工学委員会 編 58,535-540,2014
- 杉原 裕司, 今釜 祥, 大隈 洋平, 松永 信博, 久田 由紀子,
   李 洪源: WRFによる豪雨イベントの計算雨量に関する感度
   実験. 土木学会論文集B1(水工学) 70, I\_541-I\_546, 2014
- 4) Thompson, G., Field, P. R., Rasmussen, R. M., Hall, W. D. : Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization, Monthly Weather Review, 136(12), 50 95-5115, 2008
- Nakanishi, M., Niino, H. : An improved Mellor-Yamada Level-3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog, Boundary-Layer Meteorology, 119(2), 397-407, 2006
- 6) 吉野純,飯田潤士,安田孝志:モデルアンサンブル予報による2010年7月可児豪雨の予測可能性.土木学会論文集B1(水工学)67,L475-L480,2011
- 7) 仲野久美子, 仲吉信人, Alvin C.G Varquez, 神田学, 足立幸穂, 日下博幸:最新の都市パラメタリゼーションを導入した集中豪雨シミュレーション, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 69, No.4, I\_355-I\_360, 2013
- 8) 国土技術政策総合研究所:XRAIN雨量観測の実用化技術に 関する検討資料,第909号,第8章,2016
- 9) 橋本篤,大澤輝夫,安田孝志:複雑地形上でのメソ気象モデ ルMM5の風況計算精度と高解像度化の限界に関する検討. 日本風工学会論文集 30,65-74,2005

(2018.4.3受付)