

豪雨・高潮・津波の重畳災害に関する研究

課題責任者

有川 太郎

中央大学理工学部都市環境学科

著者

有川 太郎^{*1}, 白井 知輝^{*1}, 今井 遥輝^{*1}, 渡部 真史^{*1}

^{*1} 中央大学理工学部都市環境学科

近年多発している自然災害及び、将来発生する可能性のある複合的な自然災害のリスク検討に向けて、豪雨・高潮・津波の重畳災害を予測・解析することができるモデルの開発は重要である。本研究では、その統一モデルを開発し、重畳現象を検証すると同時にリアルタイムの予測精度の向上を最終目標としている。しかし、これらの計算を同時に実施するためには、時空間スケールの幅が広いため、計算機負荷が大きいうえに、鍵となる台風予測精度は、境界条件や物理オプションに起因する。本年度においては、台風経路ならびに豪雨予測精度の検証を中心として検討を行った。その結果台風経路予測誤差は、平均的には2日先で約70 km、3日先で120 km程度となり、気象庁による台風予測精度とほぼ同等の結果が得られ、強度予測に関しては、今回検討した物理オプションの組み合わせの範囲内では、物理オプションの組み合わせの違いによる差異は、ほとんど見られなかった。降雨域については比較的良好的な結果が得られた。今後は、重畳氾濫計算を行う予定である。

キーワード：豪雨，高潮，津波，大規模計算，重畳災害

1. はじめに

近年多発している自然災害及び、将来発生する可能性のある複合的な自然災害のリスク検討に向けて、豪雨・高潮・津波の重畳災害を予測・解析することができるモデルの開発は重要である。他方、これまでの研究は、河川側と海岸側とが別々に開発されており、統一的なモデルに関する研究は少ない(たとえば、武田ら(2018)¹⁾)。そこで、本研究では、その統一モデルを開発し、重畳現象を検証すると同時にリアルタイムの予測精度の向上を最終目標としている。しかし、これらの計算を同時に実施するためには、時空間スケールの幅が広いため、計算機負荷が大きいうえに、鍵となる台風予測精度は、境界条件や物理オプションに起因する。そこで、本年度においては、台風経路ならびに豪雨予測精度の検証を中心として検討を行った。

らの計算条件を変えることで台風予測結果が大きく変わることから、台風に対して最適な計算条件を調べるために、WRFの感度解析がなされてきた²⁾。中でも、物理オプションや格子解像度、領域サイズ、WRFの初期値境界値に与える気象データの違いによる台風予測精度への影響は特に大きいことがわかっている。台風の発生地域や台風の強度、大きさなどの特徴量によっても適切な計算条件設定は異なるが、日本に上陸した台風に関する検討はあまり行われておらず、日本域で台風予測を行う際の適切な計算条件設定が難しいのが現状である。そこで、WRFを用いて日本に上陸した台風に対して予測を想定した複数の感度解析計算を行い、予測精度を向上させるような計算条件を検討した。

2. 台風予測精度の検討

計算システムの全体像を図-1に示す。気象場のモデルとしてWRF³⁾を用い、高潮・津波およびそれに伴う氾濫解析に、STOC³⁾を用いる。WRFで用いるパラメタなどについては、過去の再現計算を用いたデータベースを構築し、そこからパラメタ設定するというを行う⁴⁾。本章では、特に物理的なパラメタが台風予測に与える影響を調べた。

WRFでは、基礎方程式(運動方程式、連続式、熱力学の式、水蒸気の式、ジオポテンシャルの式)では表現することができない、雲物理や地面と大気の相互作用等サブグリッドスケールの現象に対するパラメタリゼーション(WRFでは物理オプションと呼ばれる)や、格子条件などの多様な計算条件まで、ユーザーが任意に選択できる。これ

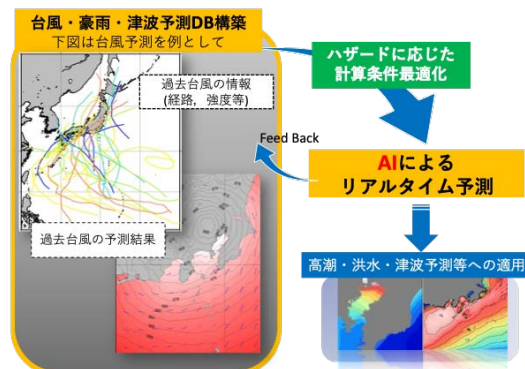


図-1 計算システムの全体像

2.1 計算条件ならびに対象外力

ここでは紙面の都合から、異なる物理オプションを用いた場合の台風予測精度への影響を記載する。既往研究で、物理オプションの中で台風予測精度に大きく影響するのは雲微物理(MP)、積雲対流(CU)、惑星境界層(PBL)の3つであることがわかっている。CUについてはKain-Fritschスキーム (KF) を用いることで、他のCUのオプションよりも現実的な台風の三次元構造を再現することができる⁶⁾。

MP, CU, PBLの3つの物理オプションの総組み合わせ数は非常に多く、本研究に用いたWRF(WRF-ARW v.3.8.1)においても、すべての組み合わせを考慮して感度解析を行うのは非現実的である。そこで、CUにKFスキームを用いることでケース数を減らし、表-3に示したMP4通りとPBL2通り、計8通りの組み合わせで表-1の7台風を対象に予測開始時間(初期値)を複数変えた計152 Caseの物理オプションの感度解析を行った。

2.2 計算結果

台風経路について、予測期間と予測誤差の関係を図-2に示した。経路予測誤差は、平均的には2日先で約70 km、3日先で120 km 程度となり、気象庁による台風予測精度⁷⁾とほぼ同等の結果となった。また、台風経路に関して、台風上陸位置の誤差に基づいてBest-setを検証したところ、日本域ではMP(雲微物理)にWSM5もしくはWSM6 (opt=4 or 6), PBL(惑星境界層)にMYJ(opt=2)を用いた場合に誤差の平均値とばらつきが最も小さくなった(平均で25 km 程度、誤差の平均値が最も大きかったのはCase 9で、50 km 程度)ため、これらを本検討におけるBest-setとした。

台風の強度予測に関しては、今回検討した物理オプションの組み合わせの範囲内では、RMSEは平均的には約6 m/sとなった。ME(Bias)は平均的には0で、過大評価・過小評価は見られず(図-3 a)とb)), 強度(最大風速)の時系列平均では物理オプションの組み合わせの違いによる差異は、ほとんど見られなかった。

3. 降雨予測精度の検討

3.1 対象外力

令和元年東日本台風(以降、2019年台風19号)、平成30年(2018年)7月豪雨、令和2年(2020年)7月豪雨の3つを対象に予測計算を行った。計算領域は図-4に示す。本研究では、特に被害の大きかった地域を対象とした。

本検討において雲微物理過程スキーム(MicroPhysics, 以下 MP)、積雲対流パラメタリゼーション(Cumulus Parameterization, 以下 CU)、惑星境界層スキーム(Planetary Boundary Layer, 以下 PBL)の3つの物理オプションを変化させて予測計算を行う。

MPは6種類(表-2参照)、CUはKain-Fritsch scheme(CU1)と New Simplified Arakawa-Schubert (CU14)の2種類、PBLは Yonsei University scheme(PBL1)と Mellor-Yamada-Janjic scheme(PBL2)の2種類を用いて、計16 caseの物理オプションの組み合わせで、予測開始時間(初期値)を変えて物理オプションの感度解析を行った(表-3参照)。

表-1 各対象外力の計算

台風番号	予測開始時間(積分時間(日))	特徴量
2019年19号	2019/10/8 12:00UTC(4.5) 10/9 12:00UTC(3.5) 10/10 12:00UTC(2.5) 10/11 12:00UTC(1.5)	915 hpa, 105 kt, 1400 km
2019年15号	2019/9/6 0:00UTC(5) 9/7 0:00UTC(4)	955 hpa, 85 kt, 560 km
2019年10号	2019/8/12 12:00UTC(4) 8/13 0:00UTC(3.5) 8/13 12:00UTC(3)	965 hpa, 75 kt, 1800 km
2018年24号	2018/9/26 0:00UTC(5) 9/27 0:00UTC(4) 9/28 0:00UTC(3)	915 hpa, 105 kt, 1300 km
2018年21号	2018/8/31 0:00UTC(5) 9/1 0:00UTC(4) 9/2 0:00UTC(3)	915 hpa, 105 kt, 1500 km
2017年21号	2017/10/20 0:00UTC(3.5) 10/21 0:00UTC(2.5) 10/22 0:00UTC(1.5)	915 hpa, 100 kt, 1700 km
2016年09号	2016/8/20 0:00UTC(2.5)	975 hpa, 65 kt, 500 km

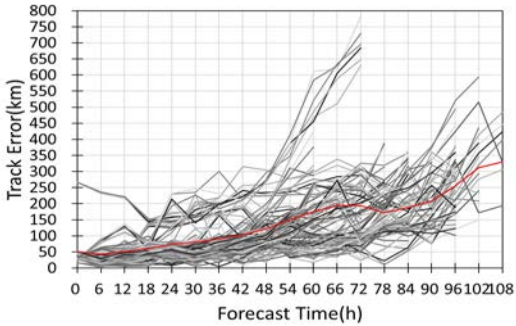


図-2 予測期間長さと経路誤差の関係(赤:平均)

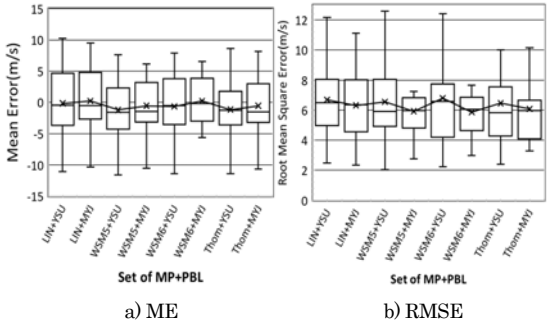


図-3 物理オプションの set 毎の(a)最大風速 Mean Error, (b)最大風速 Root Mean Square Error

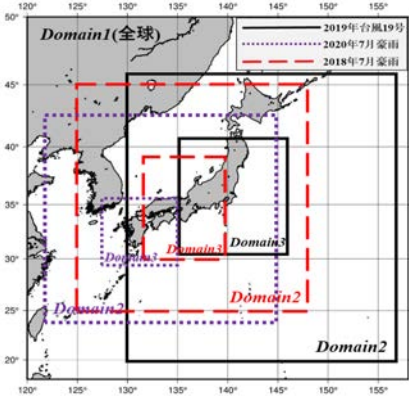


図-4 各対象外力の計算領域

表-2 本研究で使用する雲微物理モデル

Microphysics	MP Scheme
MP(option=)2	Lin et al. scheme
MP4	WRF Single-Moment 5-class scheme
MP5	Ferrier(new Eta) microphysics
MP6	WRF Single-Moment 6-class scheme
MP8	New Thompson et al. scheme
MP10	Morrison

表-3 使用する物理オプションの組み合わせ

Case	(MP, CU, PBL)	Case	(MP, CU, PBL)
1	(MP2, CU1, PBL1)	9	(MP10, CU1, PBL2)
2	(MP2, CU1, PBL2)	10	(MP2, CU14, PBL2)
3	(MP4, CU1, PBL2)	11	(MP4, CU14, PBL2)
4	(MP5, CU1, PBL2)	12	(MP5, CU14, PBL2)
5	(MP6, CU1, PBL2)	13	(MP6, CU14, PBL2)
6	(MP8, CU1, PBL1)	14	(MP8, CU14, PBL2)
7	(MP8, CU1, PBL2)	15	(MP10, CU14, PBL1)
8	(MP10, CU1, PBL1)	16	(MP10, CU14, PBL2)

3.2 台風性降水による結果

(1) 降雨強度

2019 年 19 号の結果を示す。予測開始時間を台風上陸の約 3.5 日前の 10/9 9:00UTC から 1 日前の 10/11 12:00UTC まで 12 時間ごとに、予測計算を行った。各格子点に予測降雨が算出されるが、被害の大きかった関東（箱根、横浜、小沢、浦山、湯ヶ島）・東北（普代、宮古）の実測値と比較した。例として、浦山(埼玉県)の時系列降雨と累積雨量の比較を図-5 に示す。最も感度の高かった物理オプションの組み合わせは、MP10, CU14, PBL2 の組み合わせであった。平均的に MAE＝約 2-5 mm, RMSE＝約 4.5-13 mm であった。RMSE が大きいことから、外れ値の値の影響が出ていることがわかる。図からもわかるように、10/9 12:00UTC(上陸約 3 日前)に予測を開始したものや 10/11 12:00UTC(上陸約 1 日前)に開始した予測結果にあまり変化はなく、予測開始時刻が遅くなる(台風が日本域に近づく)につれて、過大評価(安全側)になっている。上陸約 3 日前に予測開始で、1 時間あたり $\pm 2 \sim 5$ mm の誤差であり、気象データが公開されるまでの時間や計算時間を考慮すると、1.5 日以上前に降雨量の予測ができ、十分なリードタイムの確保が期待できる。全体的に、10/9 00:00UTC 開始の結果が比較的良好くないのは、与えた初期値がモデルに十分に整合しないスピンアップが考えられる。助走期間の誤差の蓄積が結果に及ぼす影響については注意が必要だが、今後の検討課題としたい。

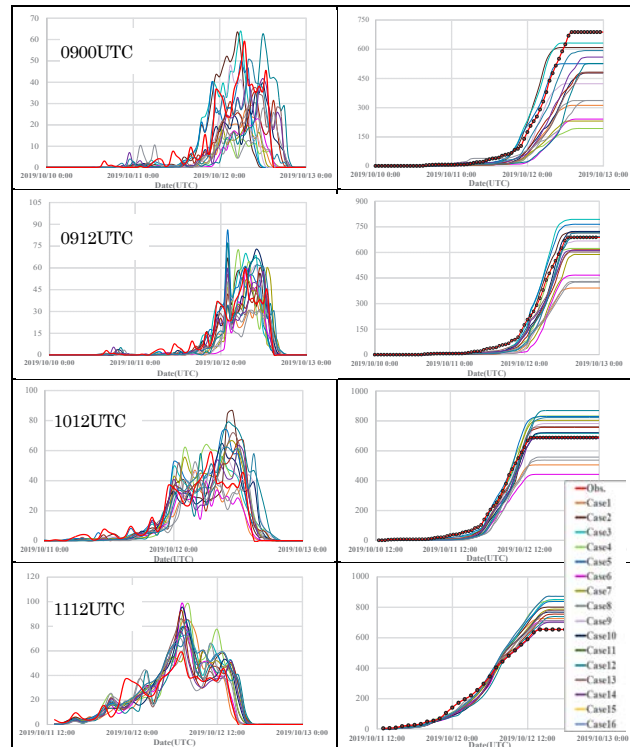


図-5 計算開始時刻の予測雨量と AMeDAS(埼玉県浦山)の比較 (2019 年 19 号)：左が時系列比較，右が累積雨量の比較

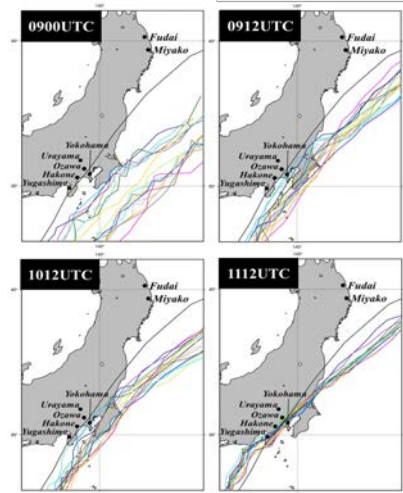


図-6 2019 年台風 19 号の台風経路予測結果

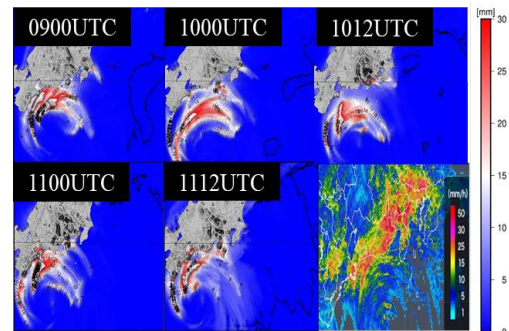


図-7 2019 年台風 19 号に対する予測の降水分布図 (Case16)：右下は日本気象協会による雨雲レーダー⁸⁾。

Multi-Hazard Analysis for Heavy Rainfall, Storm Surge, and Tsunami

Project Representative

Taro Arikawa Faculty of Science and Engineering, Chuo University

Authors

Taro Arikawa ^{*1}, Tomoki Shirai ^{*1}, Haruki Imai ^{*1}, Masashi Watanabe^{*1}

^{*1} Faculty of Science and Engineering, Chuo University

It is important to develop a model that can predict and analyze the multi-hazard due to heavy rainfall, storm surge, and tsunami to assess and reduce the risk of disasters that may occur in the future. The goal of this study is to develop a unified model to validate the multi-hazard and to improve the real-time prediction accuracy. However, the computer load is heavy to perform these calculations simultaneously due to the wide range of spatial-temporal scales, and the key typhoon prediction accuracy depends on the boundary conditions and physical options. In this year's study, the typhoon path and heavy rainfall prediction accuracy were mainly examined. The results showed that the typhoon path prediction error was about 70 km two days ahead and about 120 km three days ahead on average, which was almost the same as the accuracy of the JMA typhoon prediction. In terms of intensity prediction, within the range of the physical option combinations examined in this study, there was almost no difference between the different physical option combinations. For the rainfall area, the results are comparatively reasonable. In the future, we plan to perform superimposed inundation calculations.

Keywords : heavy rain, storm surge, tsunami, large simulation, multi hazard risk

1. Introduction

It is important to develop a model that can predict and analyze the superposition of heavy rainfall, storm surge, and tsunami to examine the risk of natural disasters that have occurred frequently in recent years and complex natural disasters that may occur in the future. On the other hand, previous studies have been developed separately for the river and the coastal sides, and few studies on a unified model. In this study, a unified model is developed to verify the superposition phenomenon and improve real-time prediction accuracy as the goal. However, the computer load is heavy to perform these calculations simultaneously due to the wide spatial-temporal scale, and the key typhoon prediction accuracy depends on the boundary conditions and physical options. Therefore, in this paper, we focus on verifying typhoon path and heavy rainfall prediction accuracy.

2. Accuracy of Typhoon Predictions

The overview of the calculation system is shown in **Fig-1**. The WRF¹⁾ is used as a model of the meteorological field, and STOC²⁾ is used for storm surge, tsunami and associated inundation analysis. For parameters used in WRF, a database using reproduction simulations is constructed, and parameters are set from there³⁾. In this chapter, the effects of physical parameters on typhoon prediction are investigated.

In WRF, the user can arbitrarily select parameterizations (called "physics options" in WRF) for sub grid-scale phenomena that cannot be represented by equations, such as cloud physics and ground-atmosphere interaction, as well as various

computational conditions such as grid conditions. Since changing these computational conditions can significantly change the typhoon forecast results, sensitivity analysis of WRF has been conducted to investigate the optimal computational conditions for typhoons⁴⁾. In particular, the effects of physical options, grid resolution, domain size, and meteorological data used in the initial bounds of WRF on the accuracy of typhoon forecasts are particularly important. However, there have been only a few studies on typhoons that have landed in Japan, and it is difficult to set up appropriate conditions for typhoon forecasting in Japan. Therefore, in this study, sensitivity analysis calculations are performed for a typhoon that landed in Japan using WRF, and the calculation conditions are examined to improve the forecast accuracy.

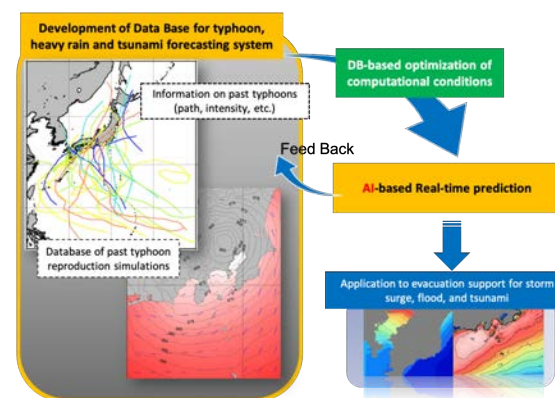


Fig-1 Overview of the prediction system

Fig-2 shows the relationship between the forecast period and forecast error for the typhoon path. The average forecast error was about 70 km two days ahead and about 120 km three days ahead, which was almost the same as the accuracy of the JMA typhoon forecast. For the typhoon path, the best sets based on the error of the typhoon landfall position were verified. The mean error and the variability of the typhoon path were the smallest when WSM5 or WSM6 (opt=4 or 6) was used for MP (cloud microphysics) and MYJ (opt=2) was used for PBL (planetary boundary layer) in Japan (The average error was about 25 km, and the largest average error was about 50 km in Case 9), so these were selected as the best sets in this study.

3. Accuracy of rainfall prediction

Rainfall forecast simulations were performed for three cases: Typhoon No. 19 in 2019, heavy rainfall in July 2018, and heavy rainfall in July 2020. Three physical options, that are cloud microphysics (MP), cumulus parameterization (CU), and planetary boundary layer (PBL), are varied to calculate.

In Typhoon No. 19 of 2019 case, the forecast start time was calculated every 12 hours from about 3.5 days to 1 day before the typhoon landed. Considering the time required for the release of meteorological data and the computation time, it was found that the rainfall prediction could be made more than 1.5 days in advance, and sufficient lead time could be expected (see **Fig-3**). However, it is important to improve the accuracy of the typhoon path.

In the case of frontal rainfall, the combination of CU14 and PBL2 is relatively accurate, independent of MP. In terms of cumulative rainfall, relatively good results are also obtained. As shown in **Fig-4**, the rainfall distribution for each heavy rainfall event is well reproduced in the linear precipitation zone.

References

- [1] Skamarock, W. C., and Coauthors: A description of the Advanced Research WRF version 3, NCAR Tech. Note NCAR/TN-4751STR, 113 pp.,2008.
- [2] Tomita, T., and T. Kakinuma: Storm Surge and Tsunami Simulator in Oceans and Coastal Areas (STOC), Report of The Port and Airport Research Institute, Vol. 44, No.2, 2005
- [3] Shirai, T., M. Watanabe, and T. Arikawa: A Development of An Automatically Determining Method for Calculation Condition of WRF Using Machine Learning for The Purpose of Improvement of Realtime Storm Surge Prediction Accuracy, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering), 2021, in press
- [4] Di, Z., Gong, W., Gan, Y., Shen, C., Duan, Q.: Combinatorial Optimization for WRF Physical Parameterization Schemes: A Case Study of Three-Day Typhoon Simulations over the Northwest Pacific Ocean, Atmosphere, 10, 233, 2019.

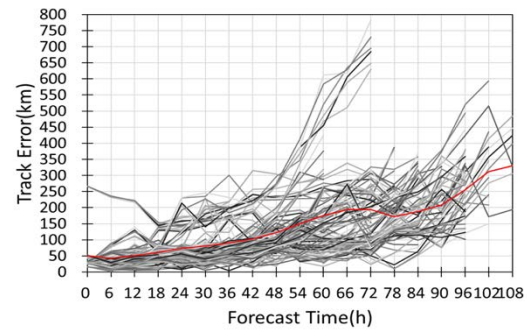


Fig-2 Relationship between the forecast start time and typhoon path error (red line is the mean value). For example, 48h means that the calculation is started 2 days before the landing.

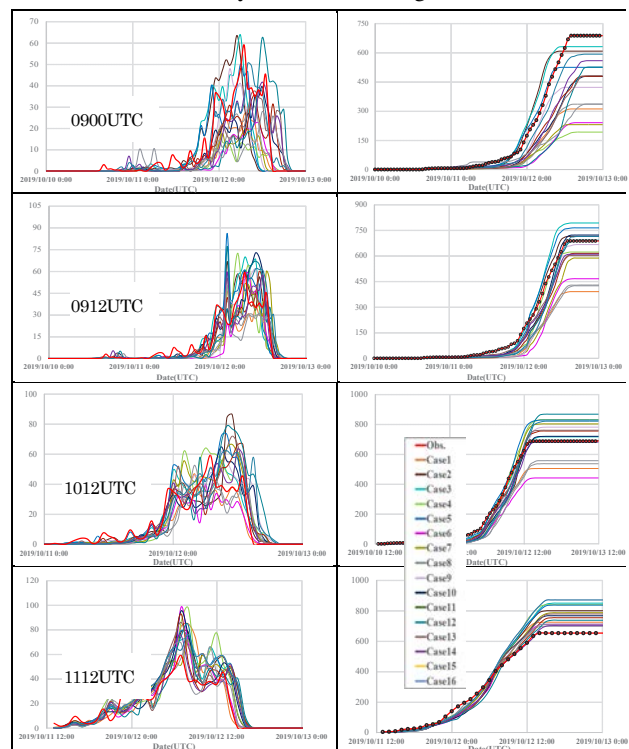


Fig-3 Comparison of predicted rainfall at each computation start time and AMEDAS (Urayama, Saitama, Japan) (No. 19, 2019): left: time series comparison, right: cumulative rainfall comparison

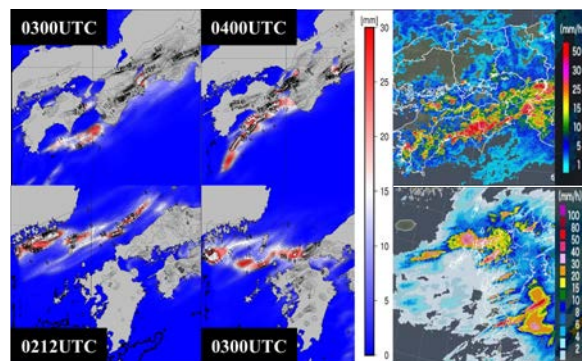


Fig-4 Rainfall distribution for each event: The upper figure shows the July 2018 event, and the lower figure shows the July 2020 event.