

研究成果報告書

研 究 題 目		XRAIN データを活用した集中豪雨予測手法の開発	実 施 年 度
			27 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学・大学院工学研究院・社会基盤環境工学専攻	
	氏 名	河 原 能 久 印	
1. 研究の目的・背景 広島市は、2014 年 8 月 20 日深夜に急激に発達した線状降水帯によって 3 時間に 200mm を越える集中豪雨に見舞われ、甚大な土石流災害が発生した。災害調査より、土石流の発生箇所は 3 時間の積算雨量が 140mm を越える地域とよく対応することを確認し、局所的な豪雨の予測が災害軽減に直結することを再認識した。 その大雨について、気象庁は、C バンドレーダー（空間解像度 1km）による観測等に基づき、バックビルディング現象によって線状降水帯が形成されたことによると報告している。一方、国土交通省は、空間解像度 250 m、時間解像度 1 分の性能を有する XRAIN（降水の 2 偏波レーダー観測システム）を運用しており、集中豪雨の詳細を報告してはいないが、観測した可能性が高い。今後とも豪雨の局所化や凶暴化が進行すると懸念されており、XRAIN の一層の有効活用が望まれている。 豪雨災害を軽減するためには、モニタリングだけではなく、いかに早期に集中豪雨を予測するかが重要である。気象庁は広島土砂災害をもたらした線状降水帯を現状の数値予報業務の中で捉えることは困難であったことを報告している。その理由として、数値予報に用いる空間解像度が不十分であること、豪雨の規模や発生位置が計算の初期条件に強く依存することを指摘している。前者の課題に対しては、着目する計算領域では小さな計算格子幅を設定し、その周辺の領域では大きい格子幅を採用するという、ネスティング手法の有効性を検討することが必要である。また、後者に対しては XRAIN の元データ（未公表の計測データ）を利用するデータ同化手法を開発することが有効であると考えられる。 そこで、本研究では、XRAIN の元データを加工することによって広島土砂災害をもたらした線状降水帯の発達・減衰過程を可視化するとともに、XRAIN の弱点である降雨減衰による降雨の過小評価やデータの欠損を改善する方法を検討した。これらは XRAIN の降雨データを数値予報のデータ同化に活用するための事前評価という意味をも有する。 一方、線状降水帯による集中豪雨を数値解析によって再現するために、メソスケール気象モデルである WRF（Weather Research and Forecasting model）を選び、空間解像度やネスティング手法が豪雨の予測精度に及ぼす影響を明らかにした。すなわち、C バンドレーダーや XRAIN で観測されたバックビルディング現象を WRF の計算条件を変化させることによってどこまで再現できるかを検討した。さらに、数値解析結果に基づき、広島豪雨の原因を明らかにした。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

（1）XRAIN による観測データの活用法の開発

2014 年 8 月の広島土砂災害をもたらした豪雨を対象として、野貝原と牛尾山に設置された X バンド MP レーダーによって観測されたレーダーの反射強度 Z または位相差 K_{DP} から雨量強度の 3 次元分布を算出するコード、および、観測された動径風から COPLAN 法に基づき風速分布を算出するコードを開発した。そして、本研究の方法が、雨量の平面分布については国土交通省が提供している結果とほぼ同一の値を算出すること、X バンド MP データは地上での観測降雨を豪雨時には過小評価するが、気象庁の C バンドレーダーより精度の高い地上雨量を与えることを確認した。また、XRAIN がバックビルディング現象による積乱雲の発達・減衰過程を捉えることができること、広島豪雨時には雨量強度が 10 mm/h の雨雲は高度 10 km に達していたこと等を示し、研究計画をほぼ達成した。

豪雨に対する XRAIN の雨量データの精度低下や欠測に対する対策として、欠測のない気象庁の C バンドレーダーの結果を利用して補完するアルゴリズムの有効性を検討した。その結果、XRAIN データの欠測をなくすることはできるものの、C バンドレーダーによる雨量自体の精度が低い地域では補完による雨量の精度の向上は期待できないことを示した。

（2）集中豪雨の数値解析の精度向上

メソスケール気象モデル WRF を、XRAIN データと地上観測データを収集した 2 ケース（平成 26 年 8 月の広島豪雨災害、平成 25 年 8 月の島根西部豪雨災害）に適用した。

島根西部豪雨に対して、データ同化手法である Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) と 1 方向ネスティングを組み合わせる数値解析を行った。その結果より、最大雨量やその発生時刻、各時刻の雨量の空間分布をある程度再現するものの、良好に算出するレベルには至らなかった。初期条件の作成方法、ネスティング手法の有効性を再検討する必要性を示した。

広島豪雨に対して、単一の細かい格子網を用いたケース、複数の格子網を組み合わせるとともに 2 方向のネスティングを実施するケース、格子網を組み合わせるが 1 方向のネスティングありのケースの 3 ケースを検討した。そして、計算領域が比較的狭く初期条件が妥当であれば、2 方向のネスティングを行ってもバックビルディング現象を再現するが、1 方向のネスティングを用いるとバックビルディング現象の再現性が低下することを示した。また、中国を含む範囲にまで計算領域を拡大すると、広島以外で強い降雨が発生し、広島豪雨が再現されないことが判明した。研究計画で掲げていた線状降水帯の再現はある程度実現したが、数値解析の信頼性を向上させるためにはデータ同化手法の見直しとレーダー雨量の活用を進める必要があることが明らかとなった。

（3）集中豪雨の発達機構の解明

数値解析より、広島の上空に存在した湿舌に対して、大気の下層において豊後水道から広島湾への多量の水蒸気が輸送されたこと、同時に、鉛直シアが形成されたことによってバックビルディング現象が発生したことを確認した。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

WRF を用いた数値解析専用のワークステーションとその解析結果を保存するためのハードディスクは別の予算で購入した。申請時に計上していたハードディスクの費用は解析結果や計算条件を可視化するソフトウェアの購入や論文集への投稿料に振り向けた。気象解析用のデータに対しては、多くのデータを気象業務支援センターから購入したが、地上観測データに関しては、国土交通省や広島県、AMeDAS から入手させていただいた。また、河川情報センターとデータ配信サービスの契約を予定していたが、XRAIN データに関しては国土交通省の中国地方整備局から、C バンドレーダーのデータに関しては関係のホームページから入手することができたため、契約を行わなかった。データ同化手法を取り入れた数値解析手法がさらに進んだ段階で契約を行う予定である。WRF の解析や XRAIN データの解析コードの開発のために、つくば市の ICHARM と NIED を訪問する予定であった。しかし、申請者の指導学生が別件で NIED を訪問し技術情報を入手したこと、中国地方整備局の担当者との議論や学会での研究者との相談などによって情報収集を行い、技術開発を行うことができた。なお、会計報告書には記載していないが、国際会議の開催時に台湾中央大学の気象解析グループを訪問し、気象予報やレーダー観測に豊富な経験を有する研究者と詳細に議論させていただいたことは本研究での数値解析技術の開発に大いに役立った。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

気候変動の進展に伴って短時間で局所的な大雨の頻度や強度が増加すると予想されているため、豪雨の観測と数値予報ともに一層の精度向上を図ることが要請されている。

XRAIN で観測されている限られたデータの加工技術については実用のレベルに達している。しかし、降雨量や風速分布以外のデータと気象現象との関連性を不明瞭であり、今後も検討を進めることが必要である。XRAIN の最大の弱点である降雨減衰への対応は重要な課題である。そのためには、XRAIN と同じ時空間解像度を有する、国土交通省の C バンド MP レーダー（羅漢山に設置）を用いて、XRAIN データの精度向上や補完を検討する予定である。これにより広範囲にわたって精度の高い降雨分布を 1 分間隔で入手することが可能になると予想される。

WRF による集中豪雨の数値解析については、計算結果の初期値依存性を軽減するために、XRAIN あるいは C バンド MP レーダーで補正されたデータを同化する手法を発展させることが最重要である。XRAIN データの精度向上と並列計算の速度の向上により、局所的な大雨の数値予報技術はさらに進歩すると予想される。したがって、XRAIN データを用いた同化手法を発展させ、線状降水帯が形成されるような局所的な大雨に限ることなく、さらに空間スケールの大きい梅雨前線や低気圧による大雨に対する適用性を評価する研究を進めることが必要である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

査読付き原著論文

- 1) 北真人, 河原能久, 椿涼太, 牛山朋来 (2015) : 2013 年島根県西部を対象とした WRF によるダウンスケール実験, 河川技術論文集, 第 20 巻.
- 2) 北真人, 河原能久, 椿涼太, Nyunt, C. T. (2016) : WRF による 2014 年 8 月広島豪雨の数値解析, 土木学会論文集 B1 (水工学) , Vol. 72, No. 4, I_211-I_216.

国際会議論文

- 3) Nyunt, C. T., Kolar, B., Tsubaki, R. and Kawahara, Y. (2015): Analysis of 3-d unprecedented torrential and convective rainfall by high resolution x-band radar precipitation, IAHR 2015, The Hague, The Netherlands.
- 4) Kita, M., Kawahara, Y., Tsubaki, R. and Nyunt, C. T. (2015): Numerical experiment on localized heavy rainfall in Hiroshima in august 2014 using Weather Research and Forecasting model, Int. Conf. on Civil and Environmental Engineering-2015, National Central University, Taiwan.
- 5) Kita, M., Kawahara, Y., Tsubaki, R. and Nyunt, C. T. (2016): Numerical simulation of localized torrential heavy rainfall in Hiroshima, APD-IAHR, Sri Lanka. (accepted)
- 6) Nyunt, C. T., Kolar, B., Kawahara, Y. and Tsubaki, R. (2016): Analysis of heavy rain in Hiroshima based on X-band multi-parameter radars, APD-IAHR, Sri Lanka. (accepted)

国内会議（口頭発表）

- 7) 北真人, 河原能久, 椿涼太, Nyunt, C. T. (2015) : 気象モデル WRF による 2014 年 8 月広島豪雨の高解像度シミュレーション, 応用力学シンポジウム, pp.165-166, 金沢大学.
- 8) Nyunt, C. T., Kolar, B., Tsubaki, R. and Kawahara, Y. (2015): Analysis of heavy rain in Hiroshima by 3d MP-X rain and doppler wind, Proc. 70th Annual Meeting of JSCE, 2p, CD-ROM, Okayama University.
- 9) 北真人, 河原能久, 椿涼太 (2015) : 空間解像度が WRF の局地的豪雨の再現性に与える影響-2014 年 8 月広島豪雨を対象として-, 第 70 回土木学会全国大会講演会, 2p, CD-ROM, 岡山大学.
- 10) 宮本大聖, Nyunt, C. T., 河原能久 (2016) : C バンドレーダーによる X バンド MP レーダーの降雨分布の補完, 第 68 回土木学会中国支部研究発表会発表論文集, 2p, CD-ROM, 広島工業大学.

土木学会論文集及び英文の著名なジャーナルへ 3 編（XRAIN 関係 1 編, 豪雨の数値解析関係 2 編）投稿する準備を進めている。