

論文の要旨

題目 XRAIN データを活用した集中豪雨の数値予測の精度向上 (Improvement of Numerical Prediction Accuracy for Heavy Rainfall Using XRAIN Data)

氏名 北 真人

近年、地球温暖化による気温上昇とその多方面に渡る影響が懸念されている。とりわけ、海面水温の上昇によって水蒸気生産が促進されることや大気中の水蒸気量が増加することに伴い、台風の強化や集中豪雨の頻発化が危惧されている。とりわけ、日本のように多くの山地や急流河川を有する場合、それらの災害リスクに晒される危険性が増大する。また、都市域において多量の降雨が発生した場合には、雨水の排除が間に合わず内水氾濫が生じ、甚大な経済的な被害が発生する可能性が高まる。そのため、集中豪雨による災害軽減はわが国の社会・経済の持続的発展を実現する上で最も重要な課題の1つである。

集中豪雨災害のソフト対策の一例として、降雨観測の高度化が挙げられ、国土交通省において XRAIN (eXtended RAdar Information Network) と呼称されるレーダーネットワークを整備している。その結果、従来の C-band レーダーと比較して、高解像度かつ高時間分解能を誇る雨量観測を実現し、豪雨のリアルタイム情報の提供等に大きく貢献している。一方で、豪雨災害の防止・軽減を図るためには、豪雨の適切な予報が不可欠である。災害情報の発信の遅れが防災・減災対策の有効性を減じ、被害を拡大させた事例は枚挙に暇がない。すなわち、より先の豪雨を的確に予測することの重要性は一層高まっている。

豪雨の予測手法は運動学的手法と物理的手法の2つに大別できる。前者は、降水分布の移動パターンを時間外挿することで今後の降水分布を推定する手法である。この手法は、短期(1時間以内)での予測において高い精度を発揮するが、力学過程を十分には反映していないことから1時間先の予測には不向きである。他方、物理的手法では、運動方程式等から構成される数値モデルを時間積分することによって将来の雨量を予測する。この手法は、より先の予測を確保するためには有効な手法であるが、初期値が予測精度に強く依存する「初期値鋭敏性」という課題を抱えている。そのため、予測精度を向上させるためには初期値の改善、すなわち、データ同化を用いた適切な初期値の推定を必要とする。

時空間スケールが小さい集中豪雨において、レーダーデータが有効であることはよく知られているが、XRAIN データを活用した事例は少なく、その有効性を明らかにする必要がある。そのため、本論文は、実例を対象とした数値予測実験により XRAIN データを用いたデータ同化の有効性を検討したものである。とりわけ、XRAIN データが時空間的に密な観測データである点について着目したものとなっている。また、対象事例として2014年8月に発生した広島豪雨の線状降水帯を対象としている。

本論文は以下に示す6章で構成されている。

第1章では、研究の背景、対象豪雨とした2014年広島豪雨の概要について説明し、集中豪雨を予測することの必要性を述べた。また、集中豪雨の数値予測の利点・欠点、及び、レーダー観測の有用性について述べ、研究目的と論文構成を説明した。

第2章では既往研究のレビューを行った。数値モデルのレビューに関して、数値モデルの現在までの発展や特徴、課題を示し、解像度や初期値が数値予測の精度に大きく影響することを示した。また、同化手法に関するレビューを行い、各々の同化手法の利点・欠点について整理を行うとともに、本研究において3次元変分法(3DVAR)を使用する論拠を述べた。さらに、国内におけるレーダー観測技術の整理・比較を行うことで、XRAIN の特徴や有意性を整理した。

第3章では、数値予測で使用した気象モデル WRF の基礎方程式や内包される物理モデルを説明した。

また、3次元変分法についての基礎理論やレーダーデータを同化するための観測演算子について説明した。また、同化に必要なパラメータである背景誤差の設定方法や観測データの処理方法を述べた。

第4章では、XRAINデータ（反射強度と動径風）の同化に対する基礎的な性能評価として、2014年広島豪雨を対象とした数値予測実験を実施した。その結果、同化をしない場合では見られなかった線状降水帯の発生を予測するだけでなく、同化によって強雨域の位置や移動パターンの予測精度が向上することを示した。しかし、線状降水帯の起点となる積乱雲の発達過程には改善が見られなかった。一方、データ同化が大気場に及ぼす影響を検討した。そして、動径風データの同化により、大気の下層で風速場の収束場がより明瞭に形成されること、すなわち、上昇流の発生しやすい環境を生成することを示した。さらに、上空の水物質（水蒸気、霰、氷晶）の混合比分布を調べることにより、強雨発生地点付近で大幅に水蒸気が増加し、降水が発生しやすい水蒸気場に修正されることを示した。

第5章では、第4章での結果を受けて同化条件を変化させることで予測精度がどのように変化するかについて2種類の感度数値実験を行った。1種類目の数値実験ではデータ同化間隔を変化させた。同化サイクルを短くした場合、数値モデルの時間積分による誤差を抑制し、適切な初期値が作成されることを確認した。2種類目の数値実験では、使用するレーダーの観測仰角データを変化させた。その結果、低仰角のレーダーデータを取り除いた場合に下層での風速の収束位置が変化し、降水帯の形成位置が変化した。また、反対に低仰角データのみデータを使用した場合には、雨水混合比の鉛直構造に違いが見られるとともに、全仰角を使用した場合と比べて、雨域が広がった。以上のことから、XRAINの特徴でもある3次元的に反射強度や動径風を観測可能な「ボリュームスキャン」データを同化することが有効であることを示した。

第6章では、本研究で得られた成果を取りまとめるとともに、今後の課題を整理した。