

京都大学	博士 (工学)	氏名	兪 完植
論文題目	Ensemble Flood Forecasting using High-Resolution Ensemble Numerical Weather Prediction with Radar Based Prediction Considering Rainfall Forecast Uncertainty (降雨予測の不確実性を考慮に入れた高解像度数値予報とレーダー予測を用いたアンサンブル洪水予測)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、近年、台風等による極端降雨に起因した洪水に対する予測の精度向上を目標として、まだ現業化されていない超高解像度の短期間アンサンブル降雨数値予測情報を、分布型流出モデルを用いたダム流入量、洪水予測という水文学的な応用に高度に実時間活用するための基盤を構築して、洪水予測の精度向上手法を開発したものであって、全8章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景として、アンサンブル降雨予測情報を利用した洪水予測について記述した。特に、近年になってようやく世界的に研究されているアンサンブル数値予測情報を利用した洪水予測に関する研究をレビューし、アンサンブル数値予報はリードタイムによっては不確実性が顕著であることから、洪水予測に利用するためには高度な利用手法の構築いうまだまだ未確立の課題が存在することを明らかにした。</p> <p>第2章では、本研究で利用したメソスケール数値気象モデルと、大規模な出水や斜面崩壊のあった2011年台風12号に対する超高解像度の短期間数値アンサンブル降雨予測情報(30時間先まで)の紹介を行った。また、本研究で洪水予測を評価するために用いられた分布型流出モデルや、対象流域である新宮川水系の二津野ダムと七色ダム流域の特性についての記述を行った。</p> <p>第3章では、アンサンブル数値降雨予報の特性を理解するために、それを入力とした洪水予測精度の予備評価を行った。ここでは2011年台風12号の事例を取り上げ、アンサンブル降雨数値予報を利用した洪水予測と単一降雨数値予報を利用した洪水予測を比較することで、アンサンブル降雨数値予報を利用した洪水予測の方が長い予測リードタイムまで精度を維持した洪水予測が可能であることを示した。しかし、アンサンブル降雨数値予報を利用した洪水予測もリードタイムによって不確実性が顕著であり、その結果として、30時間近くまでの長い予測リードタイムまでの洪水予測精度の向上を目標として、降雨分布の誤差を考慮できる補正方法の構築が必要であることを明らかにした。</p> <p>第4章では、アンサンブル降雨数値予報を利用した洪水予測の不確実性が流域スケールに依存して、どのように伝播されるかを理解するため、新宮川水系を33の小流域に分けて降雨予測の不確実性がどう洪水予測の不確実性に伝播するかを評価した。ただし、アンサンブル降雨予測情報の不確実性の評価に焦点を合わせるため、流出モデルそのものの誤差は洪水予測の誤差に寄与しないと仮定した。結果として、洪水予測誤差の変動性は対象流域の大きさに対して依存性があり、小流域になるほど変動性が大きくな</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	兪 完植
<p>る事を明らかにした。</p> <p>第 5 章では、洪水予測精度向上のために、時々刻々と得られるレーダー観測情報とアンサンブル降雨数値予測結果とを比較して、精度が高いアンサンブル降雨予測のメンバーの選択手法を検討した。具体的には、アンサンブル降雨数値予測による降雨分布の位置誤差を考慮できるよう、アンサンブル数値予測降雨分布のトランスポジション（空間的なシフト）を施した予測精度向上手法を検討した。また、良好なアンサンブル降雨予測メンバーの実時間での選択手法の開発し、これとトランスポジション手法を組み合わせた降雨予測情報の改良手法の開発を行った。その結果、アンサンブルメンバーの実時間選択手法を適用することにより、アンサンブル洪水予測精度の平均値が向上することを明らかにした。また、トランスポジション手法を適用することにより、流量予測における予測幅の上限値が向上することを明らかにした。しかし、降雨分布のトランスポジションの場合、停滞する地形性降雨も空間的なシフトとともに移動するという問題点があり、これに対する解決策も重要であることを明らかにした。</p> <p>第 6 章では、第 5 章における地形性降雨の空間的なシフトという問題点を解決するため、既にレーダー短時間降雨予測のために開発されていた「非地形性降雨と停滞する地形性降雨とを分離する手法」をアンサンブル降雨数値予報結果に適応できるように改良し、それを利用してリアルタイムで洪水予測を更新する手法を提案した。また、地形性降雨を考慮するトランスポジションを利用した洪水予測は、更新によって精度が向上することを示した。</p> <p>第 7 章では、アンサンブル降雨数値予測のエラーフィールド(予測誤差期待値の空間分布)の実時間推定を通してバイアス補正を行う手法を構築して洪水予測精度を向上させた。加えて、地形性降雨の分離手法とエラーフィールド手法を適用したレーダーによる短時間予測手法を効果的に結合して、そのレーダー予測情報とアンサンブル降雨数値予測情報をブレンディング予測システムも開発し、洪水予測精度を向上させた。また、第 6 章で提案した地形性降雨を考慮するトランスポジションを利用した洪水予測更新手法も、レーダー予測手法との結合を通じて予測精度を向上させる手法を開発した。それらを統合した降雨予測手法をベースとして、レーダー予測手法とのブレンディングを通じたハイブリッド予測手法の有効性を示した。すなわち、本論文で提案する統合手法である「地形性降雨の分離とエラーフィールド技法を適用したレーダーによる短時間降雨予測情報と、トランスポジション手法とエラーフィールド技法を適用したアンサンブル降雨数値予測情報を効果的に結合する手法」は、統合する前のすべての降雨予測手法では実現しなかった台風 12 号による洪水ピーク流量を精度良く予測することができた。また以上により、エラーフィールドを用いた降雨予測空間分布のバイアス補正は、リアルタイム洪水予測において、極めて有効な手法であることも明らかにしたことになる。</p> <p>第 8 章は結論であり、各章で得られた成果について要約するとともに今後のさらなる発展への課題について整理した。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、まだ現業化されていない超高解像度の短期間アンサンブル降雨数値予測情報を、分布型流出モデルを用いたダム流入量、洪水予測という水文学的な応用に高度に実時間活用するための基盤を構築して、洪水予測の精度向上手法を開発したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 超高解像度の短期間アンサンブル降雨数値予測を利用した洪水予測は、長い予測リードタイムまで精度を維持した洪水予測が可能であることを示した。しかし、予測リードタイムによって不確実性が顕著であることを明らかにし、したがって、降雨分布の誤差を考慮できる補正方法の構築が必要であることを明らかにした。
2. アンサンブル降雨数値予測による降雨分布の予測位置誤差を考慮できるよう、アンサンブル予測された降雨分布のトランスポジッションを施した予測精度向上を検討した。トランスポジッション手法を適用することにより、アンサンブル洪水予測精度が向上することを明らかにした。
3. 非地形性降雨と停滞する地形性降雨との分離を考慮するトランスポジッション手法を構築し、より精度が向上するリアルタイム洪水予測更新手法を提案した。
4. アンサンブル降雨数値予測のエラーフィールドの実時間推定を通して逐次バイアス補正を行う手法を構築して、洪水予測精度の向上を実現した。
5. 上記の成果を統合した手法として、地形性降雨の分離とエラーフィールド技法を適用したレーダーによる短時間降雨予測情報と、トランスポジッション手法とエラーフィールド技法を適用したアンサンブル降雨数値予測情報を効果的に結合することにより、逐次リアルタイムで洪水予測精度を向上させるブレンディングシステムを開発した。その結果、エラーフィールドを用いて降雨予測分布をバイアス補正する手法が、リアルタイム洪水予測を実施する上で極めて有効な手法であることを明らかにするとともに、これまでよりも長いリードタイムに至るまで精度を維持する洪水予測が可能であることを示した。

本論文は、洪水予測の精度向上を目標として、超高解像度の短期間アンサンブル降雨予測情報を利用した洪水予測精度向上手法を開発したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 8 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。