

氏名	キム 金	スン 善	ミン 玟
学位(専攻分野)	博士(工学)		
学位記番号	工博第2709号		
学位授与の日付	平成18年9月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
研究科・専攻	工学研究科都市環境工学専攻		
学位論文題目	Stochastic Real-Time Flood Forecasting Using Weather Radar and a Distributed Hydrologic Model (気象レーダーと分布型流出モデルを用いた確率の実時間洪水予測)		
論文調査委員	(主査) 教授 寶	馨	教授 椎葉充晴 助教授 立川康人

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、レーダー雨量計を用いた降雨予測と分布型洪水流出予測モデルをもとに確率的な実時間流出予測手法を開発し、実流域に適用して手法の有効性を確認したものである。その主な成果の概要は以下の通りであり、6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の主題である実時間流出予測手法として、レーダー雨量計および分布型流出予測モデルを用いた確率的予測手法を展開することの重要性を述べるとともに、本論で展開する手法の概要を述べている。

第2章では、レーダー雨量計による空間的な降雨分布情報を用いた決定論的な実時間降雨予測手法として移流モデルを採用し、移流モデルによる予測降雨の誤差の統計的な特性を予測のリードタイムごとに分析している。これにより、予測誤差の空間的分布特性は降雨イベントごと異なるものの、ある降雨イベント内では降雨期間を通して同様の空間分布パターンを示すこと、また予測誤差の統計的特性は数時間にわたってある持続性を有することを示した。

第3章では、第2章で得た降雨の予測誤差構造を確率場としてモデル化し、乱数発生により、実際に生起する可能性のある降雨の空間分布を多数生成する手法を展開している。この手法では、現在時刻までに得たレーダー観測雨量と移流モデルによる予測雨量とから降雨予測誤差の統計的特性を分析し、それを基に予測誤差の空間相関構造を考慮した誤差場を多数発生させ、それと移流モデルによる予測値を合わせて予測降雨の空間分布を生成する。この手法を用いることにより、特に大洪水を引き起こすような豪雨に対して、移流モデルによる決定論的な降雨予測値が大きく改善されること示した。さらに、生成した多数の予測降雨を淀川流域を対象とした分布型流出シミュレーションモデルへの入力とし、河川流量のアンサンブル予測を実現した。移流モデルによる予測降雨を入力とした場合の河川流量の予測値と比べて、アンサンブル予測による河川流量の予測値は予測精度が大きく向上しており、また、多数の降雨時系列を入力することによって、洪水流量の予測幅を示すことも可能となった。

第4章では、分布型流出予測モデルを実時間流出予測システムに導入するにあたって、状態量の新たな観測更新手法を提案している。実時間流出予測手法では、時々刻々得られる観測量によってモデル状態量を更新し、それを初期値として将来時刻の予測値を得るという一連の過程を繰り返す。この場合、分布型流出モデルにおける多地点での水深(貯留量)を状態量として観測更新することは、計算量が膨大となるために実時間予測システムの欠点となる。この欠点を補い、かつ時々刻々変動する水深の空間分布パターンを予測更新に反映させるために、流域貯留量をモデル状態量として観測更新の対象とし、観測更新された流域貯留量によって分布型流出モデルによって計算される水深分布を時々刻々調整する観測更新手法を提案した。これにより、流量変動の著しい非定常時において状態量を観測更新した場合も、空間分布する初期水深を得ることによって適切に予測計算に反映させることができることを示した。

第5章では、第4章で示した観測更新手法を用い、分布型流出予測モデルにカルマンフィルター理論を導入した実時間流出予測アルゴリズムを提案し、上椎葉ダム流域に適用して、様々な規模の洪水に対して予測システムが適切に動作することを示した。分布型流出予測システムを導入した流出予測システムでは、降雨や流域の空間分布特性を陽に導入できる一方で、

集中型流出モデルにカルマンフィルターを適用させる場合と異なって、予測システムの推移を逐次線形化することが難しい。そのため、提案された予測システムでは、事前情報として与えられる流域貯留量とその予測誤差分散値に応じて状態量を乱数発生させ、モンテカルロシミュレーションによって将来時刻の状態量とその予測誤差分散を得るアルゴリズムとしている。これにより、非線形分布システムにおける予測値を得て、観測流量が得られた場合は第4章で展開した観測更新手法を用いることによって、流域貯留量を観測更新して初期水深の空間分布を決定する一連の実時間予測アルゴリズムを実現した。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を取りまとめるとともに、今後の研究課題についてについて要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、レーダー雨量計を用いた降雨予測と分布型洪水流出予測モデルをもとに確率的な実時間流出予測手法を開発し、実流域に適用して手法の有効性を確認したものである。その主な成果の概要は以下の通りである。

1. レーダー雨量計による空間的な降雨分布情報を用いた決定論的な実時間降雨予測モデル（移流モデル）の予測誤差構造を分析し、その予測誤差構造を表現する予測誤差モデルを提案した。
2. 移流モデルによる決定論的な降雨予測情報に予測誤差モデルによって発生させる誤差の空間場を附加し、実現する可能性のある多数の予測降雨情報を生成する計算機アルゴリズムを開発した。さらに、発生させた多数の降雨情報を分布型流出予測システムに導入し、流域の多地点における流量予測情報を、予測の不確かさとともに出力するアンサンブル予測手法を開発した。これにより、分布型入力情報と分布型流出予測システムを組み合わせることで予測値とともにその予測誤差を示す実時間予測アルゴリズムを実現し、実流域に適用してその有用性を検証した。
3. 流量予測精度を向上させるために、モデル状態量の空間分布情報を生かしつつ、河川流量から分布型流出モデルの状態量を時々刻々更新するアルゴリズムを開発し、その適用性を確認した。
4. 分布型流出予測システムにカルマンフィルター理論を組み込み、時々刻々得られる河川流量をもとに、分布型流出予測モデルの状態量を更新しつつ流出予測を実現する一連の実時間アルゴリズムを開発した。

以上のように、本論文は、気象レーダーと分布型流出モデルを用いた確率的な実時間洪水予測手法を開発し、予測の不確かさを定量的に示すとともに洪水予測の精度を向上させることを実現したものである。この研究成果は、学術的観点からは降雨流出の不確定性評価の一つの方向性、洪水災害の防止・軽減の実務現場における技術革新の方向性を示したものと言え、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18年8月21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。