

学位論文題名

貯留型流出モデルの確率応答に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、気象レーダによる降雨情報、GISによる地形・地質情報の整備にともない、降雨場および流出場の空間特性の把握が可能になってきている。流出解析をする際に、これらの情報を有効に利用できる分布型の流出モデルの開発がなされている。分布型の流出モデルの構築に当たって、降雨場および流出場の空間特性が均一と見なせるスケールが、重要な要素となる。これまでに、これらの二つの場の均一性に関する研究が為されている。流出場の特性は、流出モデルの基礎方程式を規定し、降雨場の特性は流出モデルの入力情報となっている。したがって、分布型の流出モデルを構築するには、降雨場と流出場の空間特性が均一と見なせるスケールを別個に解析するだけでは不十分である。すなわち、降雨場と流出場の特性が流出特性にどのように影響するかを知る必要がある。このことは、流出解析の目的そのものであるが、これまでその評価法に関する研究が十分になされていない。

本研究では、降雨場および流出場の特性は、その平均値と平均値からの変動成分より構成されていると考える。したがって、これら二つの空間場が均一と見なせるスケールは、これら空間特性の平均値からの変動成分のレベルの大きさで判断できる。流出モデルは微分方程式によって記述される。降雨量は基礎式の強制項に相当し、流出場の特性は基礎式の係数に関与している。すなわち、流出量を確率微分方程式の解として評価する手法を採用する。また、流出場の空間特性を記述できる流出モデルは、本来、分布定数系のモデルである。本研究では、実用的な側面も考量して集中定数系の流出モデルを採用する。最近の研究によると、分布定数系の流出モデルをランピングすることにより得られる集中定数系のモデルは、全て貯留型の流出モデルに置換されることが知られている。すなわち、貯留型の流出モデルは、集中定数系のモデルでありながら、空間特性を基礎式に導入できる利点がある。また、貯留型の流出モデルは、本邦で実流域における流出解析に広く利用されているモデルでもある。

上述した研究の背景のもとに、本研究では貯留型の流出モデルを用いて、降雨量と基礎式の係数の確率特性が既知である条件下で、流出量の流出量の1~4次モーメント理論的に導いている。流出量の4次モーメントまでも導いた理由は、流出量の1~4次モーメントまでを得ることによって、流出量の確率密度関数を推定できるからである。

本研究のもう一つの目的は、昨年建設省による河川法の改定による河川の新しい確率流量の計算法に応用できる手法を提案している。

本論文は、5章より構成されている。

第1章は、研究の背景、研究の目的を述べている。

第2章は、降雨量が不規則関数である場合に流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。

まず、入手でききる観測雨量は、降雨量の離散化過程からの出力であり、我々が得ることのできる降雨量の確率特性は、観測雨量の特性である。観測量の確率特性から実降雨である離散化時間 Δt を0にしたときの時間的に連続な降雨量の確率特性を求める、逆問題を解いている。これによって、離散化時間 Δt に依存しない実降雨の確率特性を知ることができる。次に、離散化雨量に確率変動成分を含んでいるとき、流出量の1次モーメントは滑らかな時間関数になるのに、2～4次モーメントには振動成分が含まれることを理論的に解明し、振動成分の周期が離散化時間 Δt に相当していることを見出した。

理論解析の結果、当然のことであるが流出量の1～4次モーメントには降雨量の1～4次モーメントがそれぞれ関与しているが、このほかに非線形貯留型の流出モデルの場合、降雨量の1次モーメントが流出量の2～4次モーメントに関与していることを見出した。すなわち、降雨量の2～4次モーメントが同じ値でも、平均降雨量が大きくなると流出量の2～4次モーメントが増大することを理論的に明らかにした。従来、流出系のシステム関数を求める際、経験的に中小降雨と大降雨にグループ分けして計算すると安定したシステム関数が得られていた。理論的にこの手法が、妥当であることを確かめた。また、得られた理論解は降雨量の1～4次モーメントが非定常過程の場合でも、利用できることを確かめている。

第3章は、貯留係数が不規則関数である場合について流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。ここでは、貯留量の1～4次モーメントを求めて、これを流出量の1～4次モーメントに置換する手法(Method-1)と流出量の1～4次モーメントを直接求める手法(Method-2)を比較している。第2章では、計算の容易なMethod-1でも高精度な解が得られたが、貯留係数が不規則関数である場合Method-2によらないと高精度な解を得られないことを確かめた。

第4章は、降雨雨量の損失量を考慮したときの流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。第2章では、有効降雨量が不規則関数である場合を扱っている。実際の流出解析では、有効降雨量推定する機能を貯留型の流出モデルに付加する必要がある。先ず、一定率損失雨量法や一定量損失雨量法の場合は、第2章の結果を若干修正することによって、流出量の1～4次モーメントを求めることができることを示している。実際の流出解析では貯留型の流出モデルを基礎式としているが、第2章で述べたような簡単なモデルではない。次に、現在よく用いられている2段並列タンクと流域内の飽和雨量までを損失雨量とする流出モデルを採用して、流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。得られた結果は、流出量の*i*次のモーメントは、降雨量の1～*i*次のモーメントに関係しており、第2章の結果とは異なることを確かめた。また、第4章の結果は、最近改定された河川法の新しい確率流量の計算に直接応用できることを示している。

第5章は、各章の結論をまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 陸 博
副 査 教 授 板 倉 忠 興
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 助 教 授 清 水 康 行

学 位 論 文 題 名

貯留型流出モデルの確率応答に関する研究

近年、リモートセンシング情報、GISによる地形・地質情報あるいは気象レーダによる降雨情報の整備にともない、流出場および降雨場の空間特性の把握が可能になってきている。流出解析をする際に、これらの情報を有効に利用できる分布型の流出モデルの開発がなされている。分布型の流出モデルの構築に当たって、降雨場および流域場の空間特性が均一と見なせる流出場のスケールが重要な研究課題となっている。本論文は、本邦の流出解析で多用されている貯留型流出モデルを用いて、新たに流出場および降雨場の特性量を確率変数と定義することにより、流出量を確率微分方程式の解として評価しようとするものである。すなわち、流域場の特性は貯留係数に関与しており、降雨場の特性は基礎式の強制項に関与しているので、係数および強制項を確率変数とする貯留型流出モデルを採用して、流出量の1～4次モーメントを個別に与える理論式を誘導している。

本論文は、5章より構成されている。

第1章は、研究の背景、研究の目的を述べている。

第2章は、有効降雨量が確率変数である場合に、流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。まず、観測量の確率特性から実降雨である時間的に連続な降雨量の確率特性を求める逆問題を解いて、実降雨の2～4次のキュームラント関数を求めている。次に、得られたキュームラント関数を用いて、流出量の1～4次モーメントを個別に与える理論式を誘導している。また、得られた理論式は、降雨量の1～4次モーメントが非定常過程の場合でも成立していることを確かめている。

また、理論解析の結果、流出モデルの非線形性が增大するに伴い、流出量の2～4モーメントも増大すること降雨量の1次モーメントが流出量の2～4次モーメントに関与していることを明らかにしている。すなわち、降雨量の2～4次モーメントが同一でも、平均降雨量の増大に伴い流出量の2～4次モーメントが増大することを理論的に見出している。従来、流出系のシステム関数を求める際、経験的に中小降雨と大降雨にグループ分けして計算すると安定したシステム関数が得られている。理論的にこの手法が、妥当であることを確かめている。

第3章では、流出場が確率変数である場合を解析している。すなわち、貯留係数が確率変数である場合について流出量の1～4次モーメントを個別に与える理論式を誘導している。貯留係数と流出量の相関係数が流出量の1～4次モーメントに関与していることを見出している。また、貯留量の1～4次

モーメントを求めて、これを流出量の1～4次モーメントに置換する手法(Method-1)と流出量の1～4次モーメントを直接求める手法(Method-2)を比較している。第2章では、計算の容易なMethod-1でも高精度な解が得られたが、貯留係数が不規則関数である場合Method-2によらないと高精度な解を得られないことを確かめている。

第4章は、降雨量の損失を考慮したときの流出量の1～4次モーメントを理論的に求めている。実際の流出解析では、有効降雨量推定する機能を貯留型の流出モデルに付加する必要がある。まず、一定率損失雨量法や一定量損失雨量法の場合は、第2章の結果を直接用いて流出量の1～4次モーメントを求めることができることを示している。次に、実際の流出解析で多用されている2段並列タンクと流域内の飽和雨量までを損失雨量とする貯留型流出モデルを採用して、流出量の1～4次モーメントを与える理論式を提案している。流出量の i 次のモーメントは、降雨量の1～ i 次のモーメントに関係していることを明らかにしている。

また、第2,3,4章では、いずれも流出量の1～4次モーメントを個別に与える理論式を提案しているので、降雨場および流域場の特性量の確率密度関数形に依存することなく理論解が得られることを指摘し、得られた流出量の1～4次モーメントを用いて流出量の確率密度関数を推定でき、計算流出量の信頼限界を求めることができることを示している。

第5章は、各章の結論をまとめている。

これを要するに、著者は短期流出解析において確率論的手法を導入し流出量の確率特性を明らかにし、水文学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。