

氏 名	チアン 江	シェン 申
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)	
学 位 記 番 号	工 博 第 2559 号	
学位授与の日付	平 成 17 年 9 月 26 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 土 木 工 学 専 攻	
学位論文題目	Hydrological Model Comparison and Refinement through Uncertainty Recognition and Quantification (水文予測の不確かさの認識と定量化による水文モデルの比較と改良)	
論文調査委員	(主 査) 教 授 寶 馨	教 授 池 淵 周 一 助教授 立 川 康 人

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、水文予測の不確かさを定量化する新たな手法を開発し、不確かさの計量を通して水文予測モデルの予測性能を比較する新たな評価指標を提案するとともに、水文予測モデルの改良の効果を、予測の不確かさの減少度の観点から数値的に示すことを実現したものであり 8 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水文予測の不確かさを定量化する手法およびそれを用いた水文予測モデルの予測性能評価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 章では水文予測の不確かさを定量的に評価するための手法とその計算アルゴリズムを展開している。水文予測の不確かさは、入力データの不確かさ、予測モデルの構造の不十分さ、パラメータ同定の不十分さに起因することを指摘し、これらの関連を定量的に評価するために、System Uncertainty, Entire Uncertainty, Inherent Uncertainty, Structure Uncertainty という四種の水文予測に関する不確かさを新たに定義した。次にこれらの不確かさを定量的に求める計算機アルゴリズムを開発した。その計算機アルゴリズムは以下の手順で構成される。1) 降雨データに異なる大きさの観測ノイズを導入する。2) その降雨データを入力とする流出予測シミュレーションを多数回繰り返す。3) 多数の流出予測シミュレーションによって得られるモデルパラメータの値域、計算河川流量の予測幅、観測河川流量をもとにした予測誤差を用いて上で述べた予測の不確かさを定量化する。さらに、これらの不確かさの指標を利用して、水文予測モデルの構造に起因する予測の不確かさを定量的に示す指標として MSII (Model Structure Indication Index) を新たに提案した。

第 3 章では、第 2 章で展開した水文予測の不確かさを定量化するアルゴリズムを適用する四種の水文予測モデル (貯留関数法, TOPMODEL, KW-GIUH, DIUH) を説明している。この中で、流出現象の非線形性と流域地形特性を取り込みつつ高速に流出予測計算を実現する流出予測モデルとして、新たに DIUH (Dynamic Instantaneous Unit Hydrograph) 法を提案し、四種の水文予測モデルが持つ特性を比較している。

第 4 章では、本手法を適用する野洲川流域の概要およびそこでの水文観測データについて概説するとともに、第 3 章で提示した四種の流出予測モデルを構成するための土地利用データ、衛星リモートセンシングデータおよび流域地形データの加工方法について述べている。

第 5 章では、第 2 章で述べた水文予測の不確かさの定量化手法を用いて、第 3 章で取り上げた四種の流出予測モデルを予測の不確かさの観点から評価している。比較の対象とした流出予測モデルはモデル構造や表現式、モデルパラメータの個数などが異なるものの、入力データの不確かさが小さい場合はどの水文モデルを用いても予測誤差に大きな違いが見られないことを見出している。しかし入力データの不確かさが大きくなるにつれてモデル間の予測誤差に大きな違いが現れ、KW-GIUH と DIUH は入力誤差によらず安定した予測結果を出すこと、貯留関数法と TOPMODEL は予測幅が広くなり予測結果が不安定となることを示した。特に第 2 章で提案した指標 MSII を用いることによって、水文予測モデルの構造に起因する予測の不確かさを定量的に示すことに成功した。

第6章では、TOPMODELとDIUHを対象とし、これらのモデルの改良が予測の不確かさを減少させるためにどのように機能するかを定量的に評価している。TOPMODELに関しては土壌浸透の表現式を変更することにより、またDIUHに関しては時々刻々の降雨強度を利用した動的単位図を用いることにより、予測の不確かさが減少することを定量的に検証した。これにより、単に観測流量への適合性のみを指標として水文モデルの改良を図るのではなく、予測の不確かさを減じることを考慮して水文モデルの改良を実施することが可能となった。これは、水文観測情報の精度に応じて適切なモデル選択やモデル改良の結果を評価するために、本手法が極めて有用であることを示している。

第7章では、本論文で得られた成果と今後の課題についてについて要約し、第8章で結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、水文予測の不確かさを定量化する新たな手法を開発し、不確かさの計量を通して水文予測モデルの予測性能を比較する新たな評価指標を提案するとともに、水文予測モデルの改良の効果を、予測の不確かさの減少度の観点から数値的に示すことを実現したものである。その主な成果の概要は以下の通りである。

1. 水文予測の不確かさは、入力データの不確かさ、予測モデルの構造の不十分さ、パラメータ同定の不十分さに起因する。これらの関連を定量的に評価するために入力データに観測誤差を導入したシミュレーションを繰り返し、得られるパラメータの値域、計算河川流量の変動幅、観測河川流量からの予測誤差をもとに予測の不確かさを示す四種の定量的な指標を新たに定義した。次に、その指標をもとに予測の不確かさを同定する計算機アルゴリズムを開発した。
2. 上で定義した四種の不確かさの指標を利用して、予測モデルの構造の不確かさを示す新たな指標を提案した。
3. 本研究で開発した予測の不確かさを同定するアルゴリズムおよび水文予測モデルの構造の不確かさを示す指標を用いて、水文流出予測に頻繁に利用される三種の既存モデル（貯留関数法、TOPMODEL、KW-GIUH）に加えて、新たな水文予測モデル（DIUH）を開発し、それら四種のモデルの予測性能を予測の不確かさの観点から評価した。
4. 次に、水文予測モデルの改良が予測精度の向上にどのように寄与するのかを示すために、TOPMODELおよびDIUHを対象とし、上記のアルゴリズムを用いて予測の不確かさの観点からモデル改良の効果を評価した。

以上のように、本論文は従来、観測値との適合性のみから評価されることの多かった水文予測モデルの性能を、予測モデルへの入力には不確かさが伴うことを前提として、予測の不確かさの観点から評価することを可能としたものである。この研究成果は水文予測モデルの予測精度を評価し、精度を向上させるために大きく役立つものであって、当該分野の科学・工学の進展に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17年8月11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。