

審査の結果の要旨

パティラ アセラ

論文提出者氏名 Pathirana Assela

本研究は、降雨の時間および空間変動特性それぞれにフラクタル理論を適用することによって、ダウン・スケーリングのためのモデル化を試みたものである。欧米では、降雨の時間スケールにマルチフラクタル理論を適用する研究がかなり蓄積されているが、降雨特性が異なるアジア域での研究例はほとんどない。この研究では、時・空間的に比較的密な観測網がある日本の降雨が対象とされ、既往の研究に無い新たなフラクタル上の知見やモデリング手法が提示されている。論文は、10章で構成されている。

第1章では、水文学における降雨の時・空間スケールリングの意義、その手段としてのマルチフラクタルを適用したスケール・モデリングの有用性等を議論した後、論文全体の構成を示している。

第2章では、広範な文献調査により、フラクタルならびにマルチフラクタル理論とその適用のための数学的基礎が整理されるとともに、降雨の時・空間スケールリングに関するモデルやパラメータなどの既往の研究を吟味・整理している。時間単位以下の降雨に対するスケールリングに関する研究例が少ないこと、また、空間スケールに関する研究例は稀少で、空間降雨分布の解析では従来ほとんどが日降雨の集計値に基づいていること、が指摘されている。

フラクタルの適用に入る前の段階で、降雨の時間分布特性を確率モデルにより表現しようとする試みがなされた。その過程で、分布特性を表すパラメータの多くと時間スケールとの関係にフラクタルが適用できる要件が充たされていることが見出され、研究はフラクタルの適用に向けられた。第3章では、そうした視点からの降雨時間特性の解析結果が示されている。

第4章では、日本気象庁アメダスの時間単位観測時系列（最小雨量単位；1mm）を対象として、降雨の時間スケールリングにフラクタル理論が適用できるか否かの吟味がなされる。まず、アメダス観測点350の降雨時系列のスペクトル解析から、単一のマルチフラクタル特性によるスケールリング期間は2時間から2日であり、これは欧米の研究結果と比べて極めて短いこと、また、スペクトル勾配が大きいことが、指摘されている。次いで、モデル・パラメータの適合性の検証により、日本の降雨の時間スケールリングにはユニバーサル・マルチフラクタル・モデルが適用できることを明示している。

第5章では、マルチフラクタル・モデルにより日単位観測データから時間単位降雨を推定する手法が開発される。ここでは、南関東の17観測点（ほとんどが観測期間22年）のデータが対象とされている。既存のモデル・パラメータ推定法では、少なくとも5~6単位の時間スケールが必要であるが、前章で明らかになったように日本の降雨では2日つまり2単位であるため、それらは使用できない。そこで、少ない単位観測データでモデル・パラ

メータを推定する新たな方法が開発され、それによってマルチフラクタル・モデルの適用を可能にした。このモデルによりシミュレートされた時間降雨と観測時間降雨とが、降雨強度の分布、時系列としての統計的特性、無降雨時間の分布、およびリターン・ピリオド、それぞれの面から比較され、いずれの面からも再現性の良いことが検証されている。

第 6 章では、高精度で時間的に解像度が高い観測データを用いることにより、どの程度短い時間単位の降雨までマルチフラクタル・モデルによるダウン・スケーリングが可能かについて検討される。この目的のために、千葉県海老川流域に 0.1mm 転倒枡雨量計がいくつか配置され、1 分単位で整理された 1 年間の観測データが解析の対象とされる。第 4 章と同様の解析の結果、数時間から 5 分単位まで同一のマルチフラクタル特性でダウン・スケーリングができることを見出している。

以上は、降雨の時間分布を対象とした検討であるが、第 7 章～第 9 章では空間分布特性が扱われる。第 7 章では、アメダスの地点観測から内挿された降雨の空間分布データが解析の対象とされる。まず、観測網そのものが、その均一性と空間解像度の限界を知るために検討され、0.1～0.8 度グリッド・スケールを採用すべきとの結論を得ている。次いで、1997 年の 8,760 の時間雨量分布図から 3,634 を選び、ユニヴァーサル・マルチフラクタル・モデルを適用してそのパラメータが算定される。算定パラメータ・セットには季節性が認められ、夏季降雨と冬季降雨の 2 つのタイプに分けられることが明らかにされている。

第 8 章では、気象庁のレーダ・アメダス・データを対象とし、7 章で扱った地点内挿雨量を使った場合との比較・検討がなされる。モデル・パラメータ 2 つのうちの 1 つは両者で良い一致を示すが、もう 1 つのパラメータ値の対応性がかなり悪い。理由として、そのパラメータが極値に対して感度が高く、レーダ・アメダスにおいて大きな雨ほど過大に評価されることが指摘されている。

地形や斜面の向きなどの効果による降雨の規則的な空間不均質性は、マルチフラクタル・モデルで表現できない。時間単位が短い（時間、日）場合、この不均質性はランダム性の中に隠され得るが、時間単位が長くなる（例えば、月）と、規則的不均質性として現れる。そこで、第 9 章では、時間単位が長い降雨に対して空間スケールリングが可能な新しいモデルが開発される。すなわち、長期間平均空間降雨分布によって規則的空間不均一性は表せると仮定し、それによって正規化された降雨空間分布がフラクタルの要件を持つと仮定する。 β -ログノーマル・モデルが適用され、本州中部域の月単位雨量分布を対象にそのモデル適用の妥当性とモデル・パラメータの振る舞いが詳細に検証されている。

第 10 章では、本研究の結論の整理とともに、今後の研究の方向が展望されている

以上、本研究は、日本の観測降雨データに初めて系統的にフラクタル理論を適用して、時間および空間スケールリングのための新しいモデル開発に成功した点が、まず、高く評価できる。また、これらの成果は、水文モデルへの入力としての時間降雨分布の処理、洪水対策のための設計雨量の設定など、応用水文学、水資源工学に資するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。