

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 チューシット アピラムマニークン

適切な水資源管理のためには、水マネジメント手法の高度化も重要であるが、社会基盤インフラストラクチャーの様な施設の整備も不可欠である。水管理施設の設計や、洪水、渇水といった自然現象に対応するためには、事前に降水や河川流量等に関して想定する規模の極値を設定する必要がある。

そうしたいわば設計外力としての極値水文量を定めるためには、生起確率に応じた長期の観測データが原則的には必要である。しかし、雨量に関してですら、十分な密度で地上観測されている陸地は世界でも限られており、データの蓄積も限定的である。これに対し、近年の衛星観測技術の向上や数値モデルとの同化手法の進歩に伴って、グローバルスケールの降水量データが整備される様になっている。ただし、そうしたグローバル降水量データは、月単位と時間分解能が粗く、また、空間解像度も緯度経度 2.5 度格子(約 300km)等という風にそのまま現実の水資源管理に利用するには十分ではない。

そうした背景のもと、本研究は、そうした粗い月単位降水量データから、マルチフラクタル理論を応用して日単位の降水量の時空間分布を推定するための実用的な手法を、開発したものである。

空間的ダウンスケーリングに関しては、全球降水量気候値プロジェクト(GPCP)の 2.5° 格子スケールの月降雨データから高解像度の降水量分布データが作成された。具体的には降雨分布をマルチフラクタル理論に基づくカスケード過程に従う確率場と、気候値に対応する空間的不均一性の重ね合わせで表現できるものとし、長期平均された降雨分布を確率場に掛け合わせることで降雨パターンの不均一性を再現することができた。本研究では例としてタイに設置されている 43 の雨量計観測データからクリギングにより内挿した長期平均された降雨データを用いることによって、空間的な不均一性を再現した。空間的ダウンスケーリングにおけるこの取り扱いの妥当性は雨季(9月)の観測データ(2.5度格子 GPCP の 5日平均データ)を用いて降雨量ごとに地域を区分し、その地域ごとに降雨強度を統計的に比較することにより検証されている。その結果、本研究によって作成された高解像度の降雨データは統計的な有意性を持って精度が得られていることが確認されている。

時間に関するダウンスケールにあたっては、スペクトル解析を用いて、ある期間(この期間で、マルチフラクタル解析が適応される)の降雨強度の空間分布がまず調べられた。タイにおける日降雨データのスペクトルの変動は月降雨データのスペクトルの変動に対応していて、両方のパワースペクトルの傾きは

0.28であり、これは日降雨データと月降雨データでのマルチフラクタルが一致していることを示している。実際、スペクトルにはおよそ1ヶ月の時間スケールで傾きに大きな変化が見られる。この情報に基づき、DTM(Double trace moment)法が全体のマルチフラクタルパラメータ($\alpha, C1$)を各格子ごとに求めるために利用された。これらのマルチフラクタルパラメータは降雨データのマルチフラクタルの特性を示すだけでなく、時間方向のダウンスケーリングに確率場を作り、またフラクタル最大降雨量(FMP)の算定にも用いられた。

提案された手法では、月単位のマルチフラクタルパラメータを用いた1次元カスケード過程から確率場が算定され日降水量時系列が作成されている。本研究では適用例はタイに着目しており、同国では4ヶ月ごとに季節が変化するため、季節ごとに確率場を定めた場合にもっとも日降水量変動の統計的再現性が高くなるという結果が得られている。マルチフラクタルによって合成される降雨データのピークの大きさはカスケードプロセスの回数に強く依存するが、数種類の異なるカスケードを用いたシミュレーションを行った結果、月降水量の標準偏差と最適なカスケード回数との間の相関が一番高いことが判明し、経験式が提案された。

こうして月降水量から空間的、時間的ダウンスケーリングを経て得られる高空間解像度日雨量データは、その時空間スケールにおける観測値の代用となり、さらにそれらに基づいて、最大積算降雨をマルチフラクタルパラメータのみから推定する手法が提案された。FMPによる日降雨データでのスペクトルの傾きはおおよそ10日と1年で変化しているが、一旦マルチフラクタルにより日降水量時系列を推定することにより、この10日という時間スケールにおけるスケールギャップを克服し、元々は月単位のデータから、日降水量変動に関する最大フラクタル降雨量のスケージングが可能となっている。そして、実際には日降水量データが存在する領域に提案手法を適用し、伝統的な水文統計的手法による雨の極値の再現性と精度が比較された。その結果、FMPを用いて得られた日単位の高解像度降雨データは雨の極値を的確に再現し、各年における最大値は確率分布関数に良く一致することが示された。以上から、本研究によって提案された手法による日単位の高解像度降雨データは雨の極値を十分再現するものであると結論づけられる。

水文学・水資源学分野ではマルチフラクタル理論はどちらかという現象の理解、説明に使われることが多く、本研究の様に現実の問題に適用可能な形で時空間ダウンスケール手法が開発された例は極めて少ない。また、最終的に得られた精度も高解像度データがあった場合とほぼ同等であり、本研究は当該分野の研究を新たに開拓する画期的な研究であるとして、高く評価される。

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。