

論文の内容の要旨

論文題目

Application of Spatial and Temporal Downscaling of Monthly Gridded Rainfall to Daily Rainfall by Multifractal to Statistical Extreme Events

(マルチフラクタルによるグリッド月降雨量から日降雨量への
時空間ダウンスケーリング手法の極値統計への適用に関する研究)

氏名 アピラムマニーケン チューシット

現在の水文学には時空間スケールでの高解像度の気象データが不可欠である。洪水、水資源管理、都市化に伴う水質汚染などの水に関連する諸問題はこの数十年で大きく増大している。これらの問題は、結果として、経済や環境の破壊、人命の損失、住民に精神的な負担をもたらす。また、主要な都市において水の供給が停止することで、重大な経済活動の損失が生じることも考えられる。人口密集域では、洪水を抑制する目的で、治水目的のダムや貯水池のリスク・アセスメントを行う必要がある。このためには PMP (可能最大降水量) が必要となる。ある場所における PMP を見積もるためには、多くの物理的要素(気象学、山岳やその他)を考慮した詳細な降雨過程の解析が必要である。このためには、アジアの多くの地域では困難なことであるが、複雑な気象データとその地域の気候に精通した気象学と水文学の専門家が必要である。

時空間スケールにおける高解像度の降雨データは水文学的な分析に必要不可欠であるが、これらのデータを得るには膨大な時間とコストが必要となる。実際の水文学における問題を解決するために、利用可能な低解像度データから時空間におけるダウンスケーリングが研究されてきた。小規模スケールにおける降雨データを作成するため、雨量計の単純な内挿法、統計的ダウンスケーリングや雨量計と衛星データ、気候モデルのデータの合成が行われてきた(以降、合成降雨データとする)。

本研究では、時空間スケールにおける降雨データのダウンスケーリングに関し、フラクタルスケール解析を行った。降雨データの分析とダウンスケーリングに加えて、水資源管理に使用されている PMP もマルチフラクタル解析により得られた。この PMP を決定するマルチフラクタル解析(FMP)における最大の利点は、必要とされるデータが少なく済むことであり、つまり降雨データだけが必要となる。また、FMP は統計的手法と物理法則から得られる。ここ二十年、様々な研究分野でフラクタルとマルチフラクタルの理論が発展してきた。最初に、マルチフラクタルの概念が降雨に適用可能かを調べるため、雨量計や衛星観測による降雨データにおけるフラクタルのスケールと性質が調べられた。既存の研究の大部分は、ヨーロッパやアメリカ、オーストラリア、日本などの比較的広範囲の高解像データを用いている。しかし雨量計が少ない地域での

研究は存在しない。さらには、水文学において重要な降雨のダウンスケーリングや最大降雨量の算定はマルチフラクタル解析ではほとんど行われてこなかった。本研究の目的は、水文学研究のために低解像度の降雨データを高解像度化し、マルチフラクタル解析を利用して雨量計の少ない地域における PMP を求めることである。マルチフラクタル解析を適応するために、まず最初に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を調べた。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、スペクトルはおよそ 1 ヶ月で傾きに大きな変化が見られる。また、DTM(Double trace moment)法が全体のマルチフラクタルパラメータ(α, C_1)を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)の算定に用いられている。

PMP の算定にはかなりの労力と広範囲なデータが必要とされるので、アジアではほとんど利用されてこなかった。雨の極値もマルチフラクタルの特徴を持ち、最大積算降雨がマルチフラクタルパラメータのみから得られる。FMP による日降雨データでのスペクトルの傾きはおよそ 10 日と 1 年で変化している。一方月降雨データでは、6 ヶ月と 12 ヶ月で変化している。それゆえ、DMD 法によるマルチフラクタルパラメータの算定は上記に記す期間に制限されていて、FMP それらの期間で算定される。

本研究の目的として、ダウンスケーリングは月降雨データを用いて行い、月単位の観測データから日単位データへのダウンスケーリングを行った。そして新たに提案された手法として、平均降雨強度や季節変動といった降雨パターンを再現する合成降雨データを作成した。また、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求められた。本研究はタイに着目したものであり、同国では 4 ヶ月ごとに季節が変化するため、季節ごとに確率場が求められ、これらの確率場を日単位に変換した。合成降雨データの大きさはカスケードに依存するので、カスケードが高いほど、合成降雨データの降雨強度は高く示された。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い、月単位での合成降雨データと観測データが統計的に有意な関係となる場合のカスケードを抽出した。

妥当な降雨の空間分布を再現するには、高解像度における月降雨データと日降雨のフラクタル期間が一致しなければならない。そこで本研究では時間スケールに関する新しいダウンスケーリングを提案し、降雨の平均値と季節変動のみから高解像度の降雨データを作成した。この高解像度の降雨データと観測の降雨データを比較したところ、両者には統計的に有意な関係が得られた。

空間スケールにおけるダウンスケーリングでは、降雨過程はカスケードから求められ

る確率場と空間方向の不均一性という 2 つの要素から構成される。まず確率場に関しては、データ数の増加に伴いマルチフラクタルの信頼性は高まる。しかしマルチフラクタルの信頼性のみでは空間スケールの降雨パターンの不均一性は再現されない。そのため長期平均された降雨データを確率場を用い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。マルチフラクタルとこの長期平均された降雨データの併用により、空間方向の変動やパターンの不均一性を再現する高解像度の降雨データが作成された。従って空間方向の変動パターンを再現するには、この長期平均された降雨データが空間方向の不均一性を示す重要なパラメータとなる。そこで高密度に分布した雨量計網から内挿した長期平均された降雨データを用いることにより、空間的に高解像度の不均一性を再現した。各グリッド上での長期平均された降雨データはタイに設置されている 43 の雨量計から内挿されたものである。空間スケールにおけるこのモデルの妥当性は雨季 (9 月) の全球降雨データ (GPCP(2.5°) の 5 日平均データ) を用いて検証された。高解像度の降雨データの検証には、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により行われた。その結果、本研究により作成された高解像度の降雨データは統計的有意性が得られた。

本研究の最終目的は FMP を応用した時空間ダウンスケーリングを用いた雨の極値の特徴を示す降雨データの作成にある。そのためにまず、GPCP の 2.5° 格子スケールの月降雨データを用いて空間スケールにおけるダウンスケーリングを行った。そしてダウンスケーリングにより高解像度化された月降雨データは最終的に時間スケールのダウンスケーリングに用いられた。空間解像度はカスケードや信頼性の高い長期平均の降雨量に依存する。時間スケールにおけるダウンスケーリングを行うには高解像度化された月降雨データが必要となり、この月降雨データからマルチフラクタルパラメータはグリッドごとに求められた。空間方向に高解像度化された月降雨データから基準となる降雨特性(平均値や標準偏差等)によりフィルタリングされ、時間スケールのダウンスケーリングが行われた。そして、従来の方法と FMP における雨の極値の再現性を比較することにより、本研究で得られた高解像度の降雨データの検証が行われた。最終的に FMP を用いて得られた日単位の高解像度降雨データを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一致するものであった。また 1950~2000 年までの 50 年といった長期の確率年であっても、雨量計の日降雨データと高解像度の降雨データから求まる確率分布関数の推定値における誤差の平均値は統計的に有意であることがわかった。以上から、時空間スケールの 2 つのダウンスケーリングを併用することにより得られた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る。

本研究では、時空間スケールにおけるダウンスケーリングに関し、新たな数値モデルを用いた手法を提案し、雨量計の少ない地域においてその適用可能性が検討された。この数値モデルは全球を網羅する月降雨データから、日単位の高解像度の降雨データを作成した。本研究によって新たに提案された合成降雨データはマルチフラクタルの特性と

空間分布を再現しているものであった。また、最大降雨量についても、本研究で提案されたマルチフラクタル解析により算定された。結論として、本研究はマルチフラクタル解析を用いて降雨データを時空間スケールに高解像度化することに成功した。このことは水文学が直面する水に起因する諸問題の解決に役立てられるであろう。

3860 文字