

時間・空間変動特性を考慮した山岳域における 降雨-地形関係の解析とそのモデル化

宇都宮大学大学院 学生会員 ○鎌田 雅憲 宇都宮大学 正会員 鈴木 善晴
宇都宮大学 正会員 長谷部正彦

1. はじめに

近年、メソスケールの降水現象に関する予測計算等の精度が高まっているが、その適応可能地域は限定されている。このような現状の中、普遍性の高い降雨分布特性を明らかにできれば、降雨分布推定の適応領域が広がるなど、工学的に利用価値は高いと言える。

鈴木ら¹⁾は、観測値や数値シミュレーションより「降雨分布の標高依存直線」という降雨-地形関係が存在することを明らかにしている。さらに鈴木ら³⁾はそのメカニズム解明を目的とし、単峰性山岳を地形条件とした実験的数値シミュレーションを行い、降雨-地形関係が「ガウス関数型の関数関係」にあることを示している。しかし、降雨分布の標高依存直線とガウス関数型の降雨-地形関係の結びつきについての詳細なメカニズムは明らかにされていない。

そこで本研究では、山岳域における降雨-地形関係およびそのメカニズムの解明を目的として、メソ気象モデルMM5を用いた降雨の再現シミュレーションを行い、様々な時間・空間スケールを対象とした降雨分布特性の解析を行う。さらに得られた知見をベースに降雨分布推定モデルの構築を行う。

2. ガウス関数型の降雨-地形関係

鈴木ら³⁾のMM5による実験的数値シミュレーション結果より、単峰性山岳における「ガウス関数型の降雨-地形関係」を表したグラフの一例を図-1に示す。同図中に示した曲線から単峰性山岳においては、積算降雨量の層別平均値 r の対数値と、地形標高 z の関係は次式のような二次関数で表すことができる。

$$\log \frac{r_k}{R} = -a(z_k - b)^2 + c \quad (1)$$

$$\iff \frac{r_k}{R} = C \exp[-a'(z_k - b)^2] \quad (2)$$

ここで、 a, b, c は定数とし、 R は領域平均降雨量、添え字の k は各標高区分を表す。また、 $a' = \ln 10 \times a$ 、 $c' = \ln 10 \times c$ 、 $C = \exp[c']$ である。このとき、式-(2)は、ガウス関数型の式形となっており、単峰性山岳における降雨-地形関係が「ガウス関数型の関数関係」にあることを示している。式-(1)、式-(2)の関係を、便宜的に『降雨-地形関係のGRIM曲線 (Gaussian-functional Relationship on an Isolated Mountain)』と呼ぶこととする。

3. 一山岳斜面における降雨-地形関係

本研究では、鈴木ら²⁾と同様に、MM5を用いた山岳域(近畿地方)における再現シミュレーションにより、降雨-地形関係の解析を行った。その結果、ある程度の降雨積分を行った場合、図-2に示すような一山岳斜面程度の空間スケールに相当する山岳斜面において、多くのケースでGRIM曲線が成立することが明らかとなった。また、GRIM曲線が成立する積算時間スケールの解析では、図-3に示

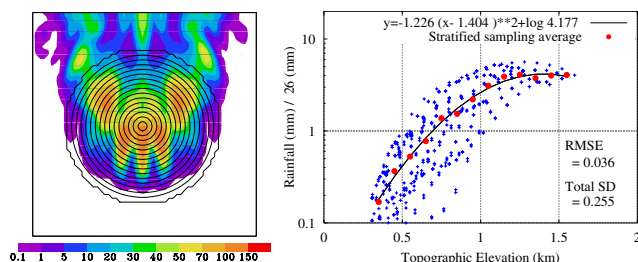


図-1 実験的シミュレーションによる6時間積算降雨分布(左図)と風上斜面における地形標高と積算降雨量の関係(左図下側が風上)

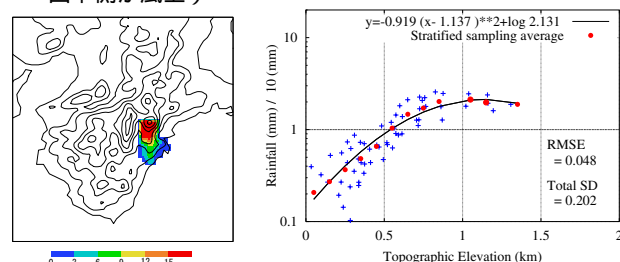


図-2 再現シミュレーションによる一山岳斜面における地形標高と積算降雨量の関係(大台ヶ原山南側斜面、積算期間99.9.14 12:50-14:30、領域平均降雨量:10mm)

すように、同曲線の成立度合いを表すRMSEは領域平均降雨量(RAR)が10~20mm程度以上で0.08以下の十分小さい値を示すことから、GRIM曲線の成立条件の1つとして「RAR>10~20mm」が必要であることが示された。

4. 降雨-地形関係の時間・空間変動特性

(1) GRIM曲線の重ね合わせ

鈴木ら¹⁾が示す、標高依存直線は時間・空間的に大きなスケールで成立する特性であるが、それはGRIM曲線などのより小さいスケールでの降雨-地形関係が重なり合い成立していると考えられることができる。そこで、98年9月21日の近畿地方を対象として、領域平均降雨量が10mmになるように時間を追ってGRIM曲線を求めることで、その重ね合わせによる影響について検討した。図-4よりGRIM曲線を足し合わせた結果(赤線)が、各ケースの全期間積算降雨量分布より直接求めた層別平均値(緑丸)と良く一致しており、GRIM曲線の重ね合わせによって、期間内の平均的な降雨-地形関係が精度良く再現されることが明らかとなった。このGRIM曲線の重ね合わせにより得られた二次の曲線関係を本研究では便宜的に『降雨分布の標高依存曲線』と呼ぶこととする。

また詳細は割愛するが、期間内の各GRIM曲線のパラメータの時間的な変動特性について解析したところ、その変動の大小に依存して標高依存曲線の曲率が決定されることが明らかになった。

(2) GRIM曲線の空間変動特性

上記の解析により、ある期間内の平均的な降雨-地形関係は、より短い時間スケールの降雨-地形関係により成立

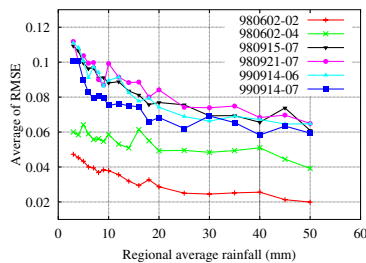


図-3 GRIM 曲線と層別平均値との偏差の大きさを表す RMSE のサンプル平均と領域平均降雨量との関係 (括弧内の数字は山岳斜面番号)

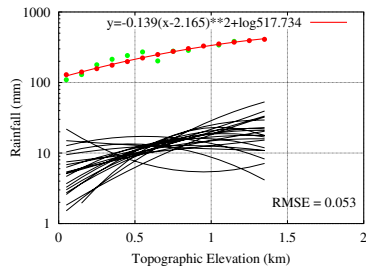


図-4 積算雨量 10mm の GRIM 曲線 (黒線) とその重ね合わせにより得られた標高依存曲線 (赤線)

する GRIM 曲線の重ね合わせにより表現されることが示されたが、GRIM 曲線の時間的な重ね合わせだけでは、標高依存直線が成立することを示すまでに至らなかった。そこで次に、GRIM 曲線の空間的な重ね合わせも考慮した標高依存曲線の変動特性について解析を行った。

上記の解析と同様に 98 年 9 月 21 日を対象として、図-5 左図に示した山岳分割図に従って各山岳領域における標高依存曲線を求め、それらの重ね合わせを行った結果を図-5 右図に示す。同図からは、標高依存曲線が各山岳によって様々な形状を示すことが見て取れる。また、各標高依存曲線を足し合わせた結果 (赤線) が二次曲線により精度良く近似されている。さらに重ね合わせにより得られた標高依存曲線は極めて直線的 (最大曲率 0.067) であり、領域平均的な降雨-地形関係を表す「標高依存直線」が GRIM 曲線の時間的、空間的な重ね合わせにより成立することが明らかとなった。

5. 降雨-地形関係のモデル化

前節までの解析結果に基づいて、降雨-地形関係のモデル化を行う。本研究では、モデル化の初期段階として、標高依存曲線のパラメータが地形、気象条件を説明変数とした一次式で表せると仮定した重回帰モデルの構築を行う。

パラメータの変動要因である地形条件、気象条件として、従来の研究より影響が大きいとされている山岳標高、山岳面積、水平風速、大気不安定度を重回帰モデルの説明変数とし、図-5 左図の各山岳における 48 時間積算の標高依存曲線をサンプルとし、標高依存曲線のパラメータ a, b および山岳毎の平均降雨量について定式化を行った。定式化された各パラメータの重回帰係数は 0.7 以上と比較的良好なものとなっている。また、各パラメータに対する気象、地形条件の寄与率を表す標準回帰係数を表-1 に示す。同表からは、各説明変数の寄与率は大きく異なり、また、その値はパラメータ毎に異なっていることがわかる。例えば、水平風速はパラメータ a に対しては、大きな影響を与えているが、パラメータ b に与える影響は小さくなっていることがわかる。このように、着目する要素により影響の現れ方

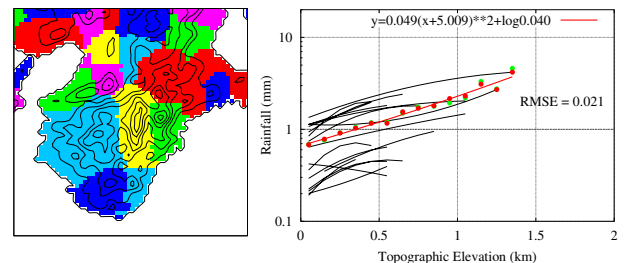


図-5 解析に用いた山岳分割 (左図) と各山岳領域に対して求められた標高依存曲線 (黒線) とその重ね合わせにより得られた標高依存曲線 (赤線)

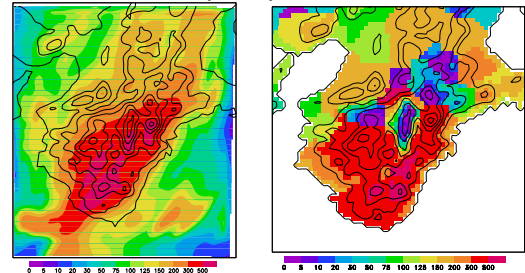


図-6 再現シミュレーションによる降雨分布図 (左図) および降雨分布推定モデルによる降雨分布図 (右図)

表-1 定式化された各パラメータに対する説明変数の標準回帰係数

	山岳標高	山岳面積	水平風速	大気不安定度
parameter a	0.596	-0.278	0.704	-1.088
parameter b	0.874	-0.093	0.049	0.004

が異なることから、降雨-地形関係の解析においては気象、地形条件に対する降雨分布の変動特性を明確に把握する必要がある。

次に、パラメータの定式化の結果得られた降雨分布推定モデルによる降雨分布図を図-6 右図に示す。同図からは降雨分布推定モデルが全体的な傾向は表現できているものの、シミュレーションによる降雨分布と大きく異なる点が見られる。これはパラメータ a が負となるサンプルは除かれていることや、サンプル対象を一事例のみとしている点など影響が考えられる。

6. まとめ

本研究は、山岳域においてガウス関数型の降雨-地形関係 (GRIM 曲線) が成立することを示すとともに、GRIM 曲線の時間的、空間的な重ね合わせにより領域の平均的な降雨-地形関係である「標高依存曲線」が成立することを明らかにした。今後は、本論文で得られた知見の検証・精緻化を行うとともに、様々な変化する気象、地形条件が標高依存曲線のパラメータに与える影響について解析を行い、それらを考慮した降雨-地形関係の定式化や、降雨-地形関係をモデル化するうえで最適な時空間スケールの決定を行い、標高依存曲線をベースとした降雨分布推定モデルの構築を行う。

参考文献

- 鈴木善晴・中北英一・池淵周一：標高依存直線に基づいた降雨分布の地形依存特性の解明，水工学論文集，第 45 巻，pp.301-306，2001。
- 鈴木善晴・宮田昇平・中北英一・池淵周一：メソ気象モデルによる数値シミュレーションに基づいた降雨-地形関係の解析，水工学論文集，第 47 巻，pp.73-78，2003。
- 鈴木善晴・宮田昇平・中北英一・池淵周一：山岳域における降雨-地形関係のメカニズムに関する数値実験的研究，水工学論文集，第 48 巻，pp.289-294，2004。