

II-12

地形形状と風速が降雨現象に及ぼす影響に関する一考察

（株）建設環境研究所 正員 荒木 隆 中央大学大学院 学生員 斉藤 大作 松浦 直
日本建設コンサルタント（株） 正員 杉山 知 中央大学理工学部 正員 山田 正 池永 均

1. はじめに：山地流域における降雨観測が詳細に行われた例は少なく、このような地域における降雨特性を把握することは困難である。そこで、著者らはこれまでに降雨観測と数値シミュレーションを行い山岳地域において、降雨現象は地形の影響を受けて増幅することを示してきた。本研究は、山地流域における降雨現象の一般性を検証するために標高と勾配が降雨現象に与える影響について考察を行ったものである。

2. 降雨モデルの概要と計算条件：本研究で用いた降雨モデルはHobbsらによって提案された¹⁾雪及び氷晶を考慮した冷たい雨のモデルであり地形性降雨の実現象に近い解析モデルである。表1に基礎式を示す。ここで用いる従属変数は、水蒸気混合比 q_v 、雲水混合比 q_c 、雲氷混合比 q_i 、雪の混合比 q_s 、雨の混合比 q_r 、温度 T の6個である。解析領域は水平方向に63km、鉛直方向に5000mの x - z 平面とし、初期条件や境界条件、その他の計算条件は表2に示した通りである。また、風の場合はPotential flow²⁾で与えた。

3. 計算結果と考察：《a. 標高の影響》図1の(a)は、A(標高600m)、B(標高900m)、C(標高1200m)の条件のもとで計算した結果である。この図から、地形の勾配が一定で風速10m/s程度ならば、山の標高が高くなっても地上における降雨の分布域は変化しない。しかし、標高が高くなるほど降雨強度は強くなっているのがわかる。ここに、降雨強度の最大値はそれぞれ、A=1.90mm/hr、B=3.63mm/hr、C=4.61mm/hrとなっている。また図1の(a)より、標高が高くなるにつれて降雨強度の最大値を示す位置がA=36km、B=33km、C=32kmと風上側に移動していることがわかる。これは、勾配が一定であるため山の標高が高くなると山の裾が風上側へ移動するため、流入する大気が地形の影響を早くから受けるようになるためである。従って、降雨強度が強くなり始める位置もA=28km、B=25km、C=23kmとより風上側に移動し、降雨強度の最大値を示す位置も風上側に移動する。

《b. 勾配の影響》図1の(b)は、地形勾配をA(56.25:1000)、B(75.00:1000)、C(112.50:1000)として計算した結果である。これらの図から、勾配が急になっても地上における降雨の分布域、降雨強度の最大値及び最大値を示す位置は変化しないことがわかる。ここで、(a)の場合と同様に降雨強度が強くなり始める位置がA=28km、B=26km、C=24kmと2km位ずつずれているが、これも(a)の場合と同様に山の裾野の位置がA、B、Cで違うために降雨に対する地形の影響が出始める地点に差がでるものと考えられる。図2(a)は標高一定(1200m)で斜面勾配及び主流風速を変化させたとき(10, 20, 30m/s)の地上での最大降雨強度を示したものである。

表1 Steven and Hobbs モデルの基礎式

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{S}{\rho} \quad (q \Rightarrow q_v, q_c, q_i, S \Rightarrow S_v, S_c, S_i)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + (w + \bar{V}) \frac{\partial q}{\partial z} + \frac{q}{\rho} \frac{\partial (\rho \bar{V})}{\partial z} = \frac{S}{\rho} \quad (q \Rightarrow q_v, q_c, S \Rightarrow S_v, S_c)$$

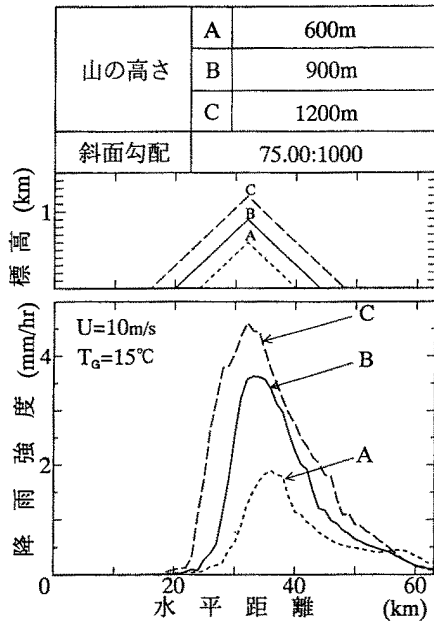
$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma_v \right) = \frac{S_h}{\rho}$$

ここで、
 q_v : 水蒸気混合比 q_c : 雲水混合比 q_i : 雲氷混合比
 q_s : 雪の混合比 q_r : 雨の混合比
 ρ : 乾燥大気密度 Γ_v : 乾燥断熱減率
 $\bar{V}$: 落下速度 u, w : x, z 軸方向の風速

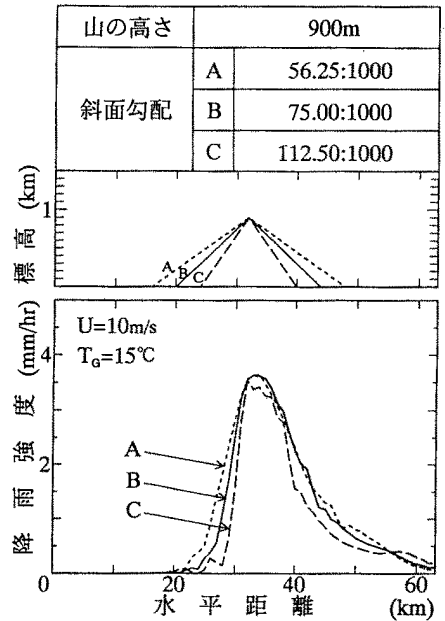
表2 計算条件

	初期条件	境界条件
水蒸気量	計算領域内に相対湿度100%の一樣分布を与える。	風上側境界から相対湿度100%の大気を流入させる。
温度分布	地上温度を288.16Kで与え、鉛直方向には乾燥断熱減率で減少させ水平方向には一樣に与える。	上端 $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$ 下端 初期条件で固定する。
		風上 $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$ 風下 $\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
混合比	$q_v, q_c, q_i, q_s, q_r = 0$	上端 $q_v, q_c, q_i, q_s, q_r \rightarrow \frac{\partial q}{\partial z} = 0$
		下端 $q_v, q_c, q_i, q_s, q_r \rightarrow \frac{\partial q}{\partial z} = 0$
		風上 $q_v \rightarrow$ 初期条件で固定 $q_c, q_i, q_s, q_r = 0$
		風下 $q_v, q_c, q_i, q_s, q_r \rightarrow \frac{\partial q}{\partial x} = 0$
飽和水蒸気混合比	$q_{s,v} = 100\%$	
気圧分布	静水圧分布で与える。	
風速分布	風上側境界から $U = 10\text{m/s}$ の一樣風速で与え、風の場合はPotential flowモデルで計算する。	
計算幅	$\delta x = 1000\text{m}, \delta z = 200\text{m}, \delta t = 10\text{s}$	
拡散係数	$300\text{m}^2/\text{s}$	

この図より、主流風速が10m/sの場合は、斜面勾配が急になるにつれ地上最大降雨強度は強くなり、一度ピークをむかえた後地上最大降雨強度は弱くなることがわかる。これに対し、主流風速が20、30 m/sの場合には斜面勾配が急になるにつれ地上最大降雨強度は弱くなることがわかる。これらの



(a) 勾配を一定に保ち標高を変化させた時の降雨強度の水平分布



(b) 標高を一定に保ち勾配を変化させた時の降雨強度の水平分布

図1 各地形条件での降雨強度の水平分布の比較

原因としては、上昇風速が強くなりすぎると、雲水が成長しきれない間にその成長領域を通過して風下側に移流するためと考えられる。以上の結果は台風時に非常に強い降雨をともなう場合（雨台風）と、ほとんど降雨をともなわない場合（風台風）があるという現象を再現したものと考えられる。

4. まとめ：山の標高と勾配が地形性降雨に及ぼす影響に関して以下のことが明らかになった。

- (1) 標高が高い山ほど地上での降雨強度は強くなる。しかし、地上での降雨の分布域は変化しない。
- (2) 標高が一定で弱い風(10m/s)であるときには、山の勾配は地上降雨強度や地上での降雨の分布域にほとんど影響を与えない。

- (3) 雲水の成長領域は地形勾配と主流風速に強く影響される。

謝辞：本研究は科学研究費一般研究(c)（代表 山田 正）の援助を受けている。ここに記して謝意を表すものである。

〈参考文献〉 1) Steven A.R. and Hobbs, P.V.: The Mesoscale and Microscale Structure and Organization of Clouds and Precipitation in Midlatitude Cyclones. VIII: A Model for the "Seeder-Feeder" Process in Warm-Frontal Rainbands, J. of Atmos. Sci., vol. 40, pp. 1185-1206, 1983. 2) 中津川誠・竹本成行・山田正：流域スケールの降雨特性の研究(その3)-山地流域における気流と降雨のシミュレーション-：北海道開発局開発土木研究所月報447号, pp. 20-35, 1990. 3) 松浦正典・日比野忠史・山田正：冷たい雨のモデルを用いた1次元及び2次元地形性降雨の解析、第48回年次学術講演会講演概要集、 pp. 164-165, 1993.

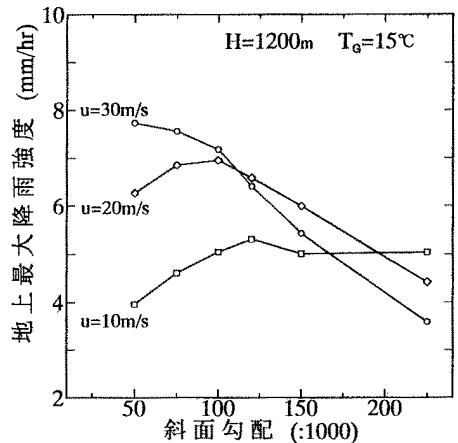


図2 勾配を変化させたときの地上での地上最大降雨強度の変化