

## 孤立した円錐山における雨量分布特性について

脇水, 健次  
九州大学農学部農業気象学講座

小林, 哲夫  
九州大学熱帯農学研究センター | 九州大学農学部農業気象学講座

林, 静夫  
九州大学熱帯農学研究センター

<https://doi.org/10.15017/23384>

---

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 46 (3/4), pp.237-242, 1992-02. 九州大学農学部  
バージョン :  
権利関係 :

## 孤立した円錐山における雨量分布特性について

脇水 健次・小林 哲夫・林 静夫\*

農業気象学講座

(1991年11月15日受理)

### On Characteristics of the Rainfall Distribution on the Isolated Conical Mountain

Kenji WAKIMIZU, Tetsuo KOBAYASHI, Shizuo HAYASHI\*

Laboratory of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture.

Kyushu University 46-05, Fukuoka 812

#### I 緒 言

雨量の分布と地形との関係については、多くの研究者が、種々様々な角度から取り組んでおり、その大半が、「雨量の分布は、地形の影響を強く受ける」と結論している。

その先駆的で代表的なものに、Geiger (1928) が、ドイツの Hohenkarphen で行った研究がある。彼は、比高約 100 m で円錐形をした小丘を観測の対象地を選び、雨量及び風向・風速に関する観測を行った。その結果、受水口が水平な雨量計(水平面雨量計)では、風向が、一定の場合、風速が弱い風下側で雨量が多くなることを見いだした。

坂上 (1969) は、比高約 600 m の円錐山(湧蓋山; 大分県)を観測の対象地を選び、雨量及び風向・風速の観測を行った。その結果、円錐山での雨量分布は風の影響を強く受け、風向が一定で頂上付近の風速が 9 m/s 以上に達すると、雨量が多い区域は、風上側から風下側へ移動することを見いだした。

一方、武田 (1960) は、地形と雨量分布との関係を、大気を非圧縮性流体と仮定して、理論的に検討した。その結果、降雨線(雨滴降下線)に直角な面上での降雨強度は、風下側が大きく、風速が小さくなると風上側と風下側では、その差が小さくなることを示した。

その他にも、数多くの観測や解析が行われている(Balchin *et al.*, 1948, Merva *et al.*, 1976) が、地形

と雨量分布との関係についていまだ結論は得られていないように思われる。その主な理由としては、1) 雨量観測の精度の低さ、2) 降雨機構の複雑さ、3) 流体実験の難しさ、等が考えられる。

そこで、本論文では、地形と雨量分布との関係を解明するための第一段階として、孤立円錐山における雨量観測結果と高層風資料を用いて、統計的解析を行ったので、その結果を報告する。

#### II 資 料

解析の対象とした孤立円錐山は、湧蓋山(大分県)と桜島(鹿児島県)である(Fig. 1)。湧蓋山は、九重連峰の一つで複雑な地形の中に存在する円錐山で、標高 1500 m、比高約 600 m である。一方、桜島は、周囲を海で囲まれ、しかも比較的平坦な地形の中に存在する円錐山で、標高 1200 m、比高 1200 m である。Fig. 2 に湧蓋山および桜島の東西および南北の地形断面図を示す。なお、本論文で用いた比高とは、湧蓋山の場合は頂上を中心に半径 2 km 以内の頂上と山麓の平均標高との標高差を示し、桜島の場合は頂上と周囲の海との標高差を示す。

解析に用いた降雨資料は、湧蓋山の場合は、坂上(1969)のものを、桜島の場合は、建設省および京都大学桜島火山研究所のものを使用させていただいた。

湧蓋山では、26 台の雨量計が頂上を中心として半径 2 km 以内に設置された。一方、桜島では、頂上付近に噴火口をもち現在も火山活動を行っている山のため、

\* 九州大学熱帯農学研究センター

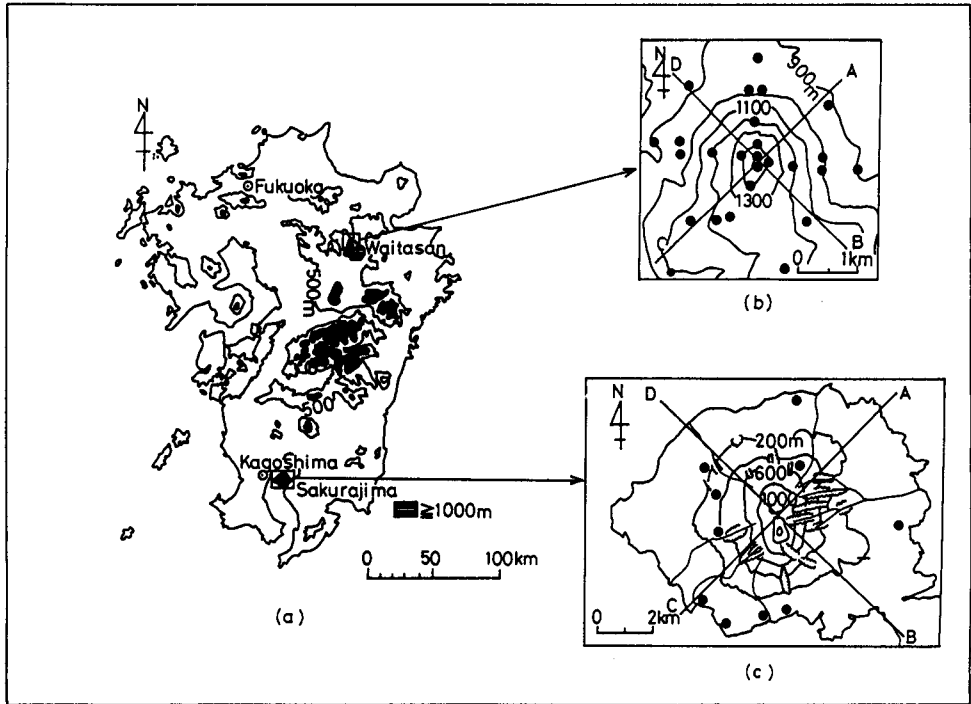


Fig. 1 (a) Topographic map of Kyushu District  
 (b), (c) Station location and topography  
 (● : rain gauge)  
 (b) Mt. Waita (c) Mt. Sakurajima

雨量計は山頂付近には設置出来ず、麓から標高約 400 m 付近にかけてのみ設置された。

湧蓋山の降雨資料は、1955 年 5 月—1958 年 11 月(夏季のみ)の一雨雨量、桜島の降雨資料は 1977 年 4 月—1981 年 10 月(夏季のみ)の 1 時間雨量、6 時間雨量及び一雨雨量である。本論文では、1 時間雨量が 0.5 mm 以下を無降雨と考え、連続降雨の前後 12 時間以上無降雨期間をもつ連続雨量を一雨雨量とした。桜島の場合、6 時間雨量も用いたが、1 日に 4 回測定される高層の風資料の測定時刻との関係で、3 時、9 時、15 時及び 21 時を中心に関前後 3 時間ずつ計 6 時間の雨量を 6 時間雨量とした。

湧蓋山で用いた高層の風資料は、湧蓋山から北西に約 80 km 離れた福岡管区气象台で得られた、湧蓋山の頂上より少し高い約 2000 m (800 mb に相当)の結果である。一方、桜島で用いた高層の風資料は、桜島から

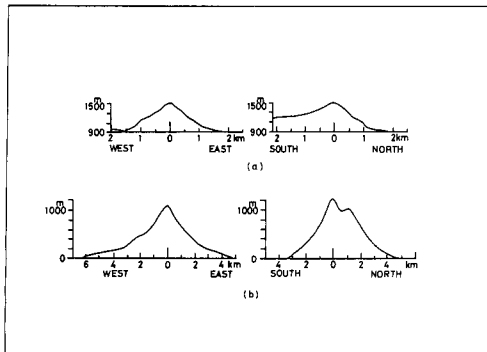


Fig. 2 Cross-sections of topography  
 (a) Mt. Waita (b) Mt. Sakurajima

西に約 10 km 離れた鹿児島県吉野の高層気象観測所で得られた、桜島の頂上より少し高い約 1500 m (850 mb に相当) の結果である。

解析にはすべての降雨資料のうち次の 2 つの条件を満たすものを用いた。1) 降雨期間内に 1 時間で 10 mm 以上の雨量を含む。2) 降雨期間中の高層風の風向がほぼ一定。

### III 解析方法

#### 1. 風向

降雨期間中の風向は次のように分類した。真北を 0 度として、時計まわりに、46 度から 135 度までの風を東風、136 度から 225 度までの風を南風、226 度から 315 度までの風を西風、316 度から 0 度をこえて 45 度までの風を北風とした。Table 1 に本解析で用いた風向別資料数を示す。

#### 2. 雨量

雨量の解析は、次の順序で行った。

- (1) 解析対象域 (湧蓋山：頂上を中心として半径 2 km 以内、桜島：島全体) のすべての雨量計の値を用い、面積雨量 (Rm) を求める。以後、この面積雨量を全面積雨量と呼ぶ。
- (2) 対象域を頂上を通る北東-南西 (A-C) 線、及び北西-南東 (D-B) 線によって、東・西・南・北の 4 ブロックに分割する (Fig. 1)。つまり、東ブロックは 46 度から 135 度までの範囲、南ブロックは 136 度から 225 度までの範囲、西ブロックは 226 度から 315 度までの範囲、北ブロックは 316 度から 0 度を越えて 45 度までの範囲とする。
- (3) 各降雨ごとに各ブロックごとの面積雨量を(1)と同様な方法で求め、北ブロック、東ブロック、南ブロックおよび西ブロックの面積雨量をそれぞれ Rn, Re, Rs, Rw とする。

Table 1. Frequency of storms with each main wind direction

Net storm rain					
	Total	East	West	South	North
Mt. Waita	196	21 (11%)	110 (56%)	45 (23%)	20 (10%)
Mt. Sakurajima	130	10 (8%)	82 (63%)	34 (26%)	4 (3%)
6-hours rainfall					
Mt. Sakurajima	141	14 (10%)	86 (61%)	38 (27%)	3 (2%)

(4) 各ブロックごとの面積雨量 (Rn, Re, Rs, Rw) と全面積雨量 (Rm) との差を求め、その差と全面積雨量との比を求める。これを、面積雨量比 (Rr) とする。  
 面積雨量比 =  $\{(\text{各ブロックの面積雨量}) - (\text{全面積雨量})\} / (\text{全面積雨量})$

#### 3. 正規確率紙による正規分布型の適合度の検定

「風上側と風下側でどちらが雨量が多いか」および「主風向に対して右側と左側でどちらが雨量が多いか」を統計的手法を用い検証をする方法としては、「風上側と風下側 (または右側と左側) との雨量差の平均値」がゼロになるか否かを検定すればよいことになる。しかし、この検定をする前に、標準化した面積雨量比と相対度数の分布型が正規分布型であるか否かの適合検定を行う必要がある。そこで、正規確率紙を用い適合度を検定した。

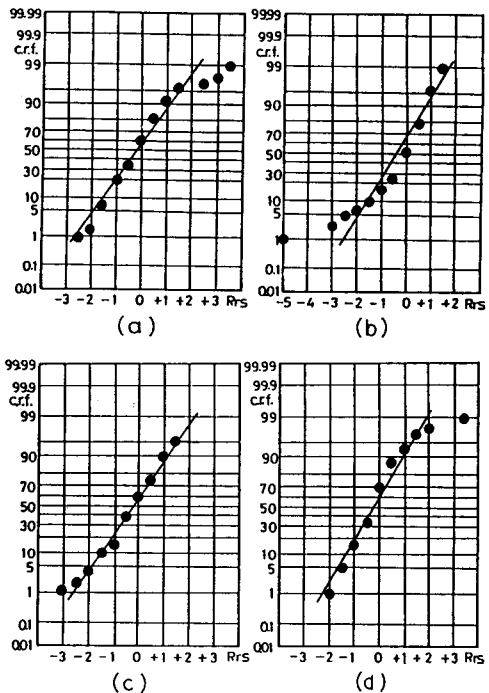
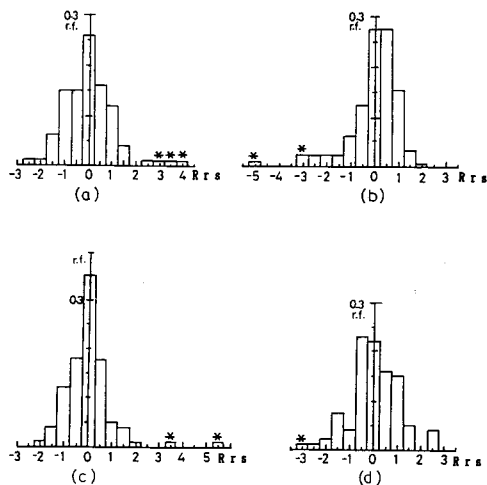


Fig. 3 Test of best fit of normal distribution with normal probability paper (westerly wind, net storm rain)  
 axis of abscissas: normalized areal-rainfall ratio (Rrs)  
 axis of ordinates: cumulative relative frequency (c. r. f.)  
 (a) western region {Mt. Waita (sample size: 110)}  
 (b) northern region {Mt. Waita (110)}  
 (c) western region {Mt. Sakurajima (82)}  
 (d) southern region {Mt. Sakurajima (82)}



**Fig. 4** Histogram of normalized areal-rainfall ratio (Rrs)  
 (westerly wind, net storm rain)  
 axis of abscissas: normalized areal-rainfall ratio (Rrs)  
 axis of ordinates: relative frequency (r. f.)  
 (a) western region {Mt. Waita (sample size: 110)}  
 (b) northern region {Mt. Waita (110)}  
 (c) western region {Mt. Sakurajima (82)}  
 (d) southern region {Mt. Sakurajima (82)}

その結果の代表例を Fig. 3, Fig. 4 に示す。Fig. 3 では、横軸は標準化した面積雨量比 (Rrs)、縦軸は累積相対度数 (c. r. f.) を示し、Fig. 4 では、横軸は標準化した面積雨量比 (Rrs)、縦軸は相対度数 (r. f.) を示す。Fig. 3 より、わずかにひずんだ分布やとがった分布もみられるが異常値を除き、値はほぼ直線上にのっており、これらの分布型は、正規分布型であるとみなせる。

#### 4. 異常値の検定

正規分布型の適合度の検定の際、直線より大きく外れた異常値を次のような検定方法を用い決定した。「平均値から標準偏差の3倍以上離れたデータの生じる確率は非常に小さい(千三ツの法則; 小林, 1974)」ので、本論文では、標準化した面積雨量比 (Rrs) が3.01の値より大きい値を異常値とした。異常値は、一雨雨量では、湧蓋山の場合は10例(南風: 2例, 西風: 8例)、桜島の場合は4例(南風: 2例, 西風: 2例)である。6時間雨量では、桜島で3例(南風: 1例, 西風: 2例)である。Fig. 4中、\*印が異常値を示す。

#### 5. 風上側雨量と風下側雨量との大小関係

風上側と風下側のどちらに雨量が多いかについて解析を行った。解析には前節で得られた異常値を除いた資料を用い、一雨雨量の場合は、湧蓋山では、南風を伴う降雨の43例、西風を伴う降雨の102例であり、桜島では、南風を伴う降雨の32例、西風を伴う降雨の80例である。一方、6時間雨量の場合は、桜島の南風を伴う降雨の37例、西風を伴う降雨の84例である。

風上側と風下側のどちらに雨量が多いかについて、まず風上側と風下側との雨量差の平均値 ( $\mu$ ) を用いて比較する。つまり、

- 1)  $\mu = 0$  の場合は、風上側の雨量と風下側の雨量が等しくなる。
- 2)  $\mu \neq 0$  の場合は、風上側の雨量と風下側の雨量が異なり、 $\mu > 0$  では、風上側の雨量が風下側の雨量より大きくなり、 $\mu < 0$  では、逆に小さくなる。

##### (1) 検定方法

風上側と風下側との雨量差の平均値 ( $\mu$ ) がゼロになるか否かの検定を有意水準1%で次のような方法で行った。

帰無仮説 ( $H_0$ ):  $\mu = 0$

対立仮説 ( $H_1$ ):  $\mu \neq 0$

次に、 $T = \sqrt{n-1}(x-\mu_0)/S$  に X の値を代入し、t 分布表の  $t(n-1; 0.01)$  の値をしらべ検定を行う。

ここで n : 標本数

X : 標本平均

$\mu_0$  : 母平均

S : 標本標準偏差

$|T| < t(n-1; 0.01)$  のときは、有意水準 (危険率) 1% で帰無仮説は棄却できない。一方、 $|T| > t(n-1; 0.01)$  のときは、有意水準 (危険率) 1% で帰無仮説は棄却できる。つまり、 $\mu = 0$  でないと判定するときその危険率は1%以下である。その結果、危険率1%以下で風上側の雨量と風下側の雨量差の平均値 ( $\mu$ ) は0でない。 $\mu > 0$  では、風上側の雨量が風下側の雨量より大きくなり、 $\mu < 0$  では、逆に小さくなる。

##### (2) 検定結果

検定結果を Table 2 に示す。

危険率1%で帰無仮説が棄却できる場合は、湧蓋山では西風の場合、桜島では南風の場合であり、両者とも風下側のほうが顕著に雨量が多くなる。

6時間雨量では一雨雨量と異なり西風も南風もともに危険率1%で帰無仮説は棄却できない。風下側と風上側との雨量差の平均値 ( $\mu$ ) をみると南風ではわずかに負の値となるが西風ではわずかに正の値となる。

全体として風上側より風下側のほうが雨量が多い。  
この理由は、山を越えた気流が雨滴を風下側へ流すためと考えられる。

**Table 2.** Test of the difference between the depth of rainfall on the windward side and on the leeward side, or between the depth of rainfall on the right side of the main wind direction and on the left side

WI : Rrs (normalized areal-rainfall ratio) on the windward side of mountain  
LE : Rrs on the leeward side of mountain  
E : eastern region W : western region  
N : northern region S : southern region  
R : Rrs on the right region of the main wind direction  
L : Rrs on the left region of the main wind direction  
L. S. : level of significance

(Net storm rainfall : Westerly wind)

	Areal rainfall	$\mu$	S	T	L. S. (%)
Mt. Waita (n=102)	WI-LE (W-E)	-0.170	0.222	7.696	>2.627
	R-L (N-S)	-0.044	0.194	2.276	<2.627
Mt. Sakurajima (n=80)	WI-LE (W-E)	-0.011	0.315	0.282	<2.640
	R-L (N-S)	0.113	0.561	1.790	<2.640

(Net storm rainfall : Southerly wind)

Mt. Waita (n=43)	WI-LE (S-N)	-0.013	0.198	0.426	<2.698
	R-L (W-E)	-0.021	0.271	0.503	<2.698
Mt. Sakurajima (n=32)	WI-LE (S-N)	-0.291	0.409	3.961	>2.744
	R-L (W-E)	0.180	0.321	3.132	>2.744

(6-hours rainfall : Mt. Sakurajima)

Southerly wind (n=37)	WI-LE (S-N)	-0.198	0.583	2.035	<2.715
	R-L (W-E)	0.236	0.457	3.098	>2.715
Westerly wind (n=84)	WI-LE (W-E)	0.071	0.437	1.489	<2.637
	R-L (N-S)	0.162	0.555	2.661	>2.637

### 6. 右側雨量と左側雨量との大小関係

一雨雨量の場合、湧蓋山では、西風時も南風時も危険率1%で帰無仮説は棄却できない。しかし、右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )をみると西風時も南風時もわずかではあるが値が負となる。つまり、左側がわずかに雨量が多くなる。桜島では、南風時、危険率1%で帰無仮説が棄却できる。つまり、危険率1%以下で右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )が0でない。右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )をみると顕著に値が正となり右側が雨量が多くなる。西風時も右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )をみるとわずかではあるが値が正となり右側が雨量が多くなる。

6時間雨量では、危険率1%で帰無仮説が棄却できる。つまり、危険率1%以下で右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )が0でない。右側と左側との雨量差の平均値( $\mu$ )をみると顕著に値が正となり右側が雨量が多くなる。

この理由は、雨滴を伴う気流が山地にぶつかるとき、気流の一部は山地を迂回する。気流に対して山地の肩となるところでは、迂回した気流が収束するため、上昇気流が生じ、雨量が増え、シュルダール効果が生じると考えられる。山により右側で雨量が多かったり左側で雨量が多かったりする理由については山体の形状や山体の周辺の地形が大きく影響しているのではないかと考えられる。

## IV 結 論

今回は東西南北の4ブロックにわけ上層風の風向別に風上側と風下側、右側と左側の雨量の比較を行い、孤立円錐山における雨量分布の特性把握を統計的手法を用いた。

その結果、次の事柄が判明した。

(1) 風上側と風下側との雨量の比較：一雨雨量の場合、湧蓋山でも桜島でも風下側のほうが雨量が多い。特に、湧蓋山での西風時および桜島での南風時には、顕著に風下側のほうが雨量が多くなる。

この理由としては、山を越えた気流が雨滴を風下側へ流すためと考えられる。

(2) 主風向に対し右側と左側との雨量の比較：一雨雨量の場合、湧蓋山ではわずかではあるが左側が多くなる。桜島では、顕著に右側のほうが雨量が多くなる。6時間雨量では西風時も南風時もともに右側のほうが雨量が多くなる。山体の形やその周辺の地形によって右側で雨量が多くなったり左側で多くなったりする。

この理由として、シュルダール効果が考えられるが、

どのような条件のもとで山体の右側または左側が雨量が多くなるかについては今後さらに検討する必要がある。

## 要 旨

地形と雨量分布との関係を解明するため孤立円錐山（湧蓋山：大分県，桜島：鹿児島県）における雨量観測結果と高層風資料を用いて，統計的解析を行った。

その結果，次の事柄が判明した。

- (1) 風上側と風下側との雨量の比較では，湧蓋山でも桜島でも風下側の方が雨量が多い。特に湧蓋山での西風時および桜島での南風時にはその傾向が顕著となる。
- (2) 主風向に対し右側と左側との雨量の比較では，湧蓋山では左側で雨量が多いが，桜島では右側で雨量が多い。つまり，同じ様な形をした円錐山でも右側で雨量が多い場合，左側で雨量が多い場合が生じる。

これらの現象は，風上側地域の地形が影響していると考えられる。

## 参 考 文 献

- Balchin, W. G. V. and Pye, N. 1948 Local Rainfall Variations in Bath and the Surrounding District. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 74 : pp. 361-378
- Geiger, R. 1928 Messung des Expositions Klimas V. *Forstw. c.* 50 : pp. 437-448
- 小林竜一 1974 サイエンスライブラリ 統計学=7 現代の統計/基礎と応用. サイエンス社, pp. 44-48
- Merva, G. E., Strommen, N. D., Kidder, E. H. 1976 Rainfall Variations as Influenced by Wind and Topography. *J. Appl. Meteor.*, 15 : pp. 728-732
- 坂上 務 1969 山岳降水量に関する研究, 九州大学農学部学芸雑誌, 24(1) : pp. 29-113
- 武田京一 1960 山岳雨量について, 森林立地, 1 : pp. 36-39

## Summary

This paper describes the relationship between the upper wind (at about 1500-2000 m high) and the rainfall distribution around isolated conical mountains.

The data collected around Mt. Waita (Oita prefecture) and Mt. Sakurajima (Kagoshima prefecture) were analysed and the following results were obtained.

- (1) The depth of rainfall on the windward side of the summit of mountain is more than on the leeside. In particular, it becomes more remarkable in case of the westerly wind around Mt. Waita and under the southerly wind around Mt. Sakurajima.
- (2) The shape of Mt. Waita is almost the same as Mt. Sakurajima. But, the depth of rainfall on the leftside of the main wind direction is more than on the rightside, while, the converse is true around Mt. Sakurajima.

These phenomena seem to reflect the influence of the topography on the windward areas.