

(株) 清水建設

正員

○菅原竜也

京都大学防災研究所

正員

中北英一

京都大学防災研究所 正員

岡田憲夫

京都大学防災研究所

正員

池淵周一

1 はじめに

降雨の時空間的変動特性を考えると、地形の大気場に与える影響を切り離すことはできない。また、山岳地域において降雨強度は標高とともに増幅していると一般に言われている。図1に示すように、本研究で用いる建設省国見山レーダー雨量計により観測された1993年6/18~9/14までの3ヶ月間の平均降雨強度分布にもその特性が現れている。

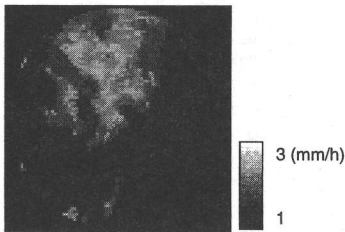


図1：国見山レーダーにより観測された3か月分の平均降雨強度分布（1993年6/18 16:55~9/14 7:30）

本研究では、 D 日平均雨量の分布 $R_D(x, y)$ を、

$$R_D(x, y) = \underbrace{\bar{r}(x, y)}_{(a)} + \underbrace{\delta_D(x, y)}_{(b)} \quad (1)$$

といった、地形（標高）との関係において普遍的な特徴を持つ空間的な降雨分布 $\bar{r}(x, y)$ とそこからの変動 $\delta_D(x, y)$ を用いた形で表現する。そして、(1)式を地形標高の関数として表現した上で、右辺第1項は確定項とみなし、第2項が不確定項、すなわち確率変数的な扱いをすることによって確率モデルを構築する。

2 平均降雨強度分布の地形依存性とスケール効果

まず、いくつかの期間をサンプルとし、時間スケールを1日ずつ変化させながら、各時間スケールにおける平均降雨分布と地形標高分布との相関係数を算出した結果、図には示していないが、どの期間においても20日程度で相関係数がピークを迎え、その後はほぼ一定の値で推移していることがわかる。また、相関係数は2者の直線的な関係を示すことから、20日より長い時間スケールにおいて相関係数の変動

が小さくなるということは少なくとも直線的な関係は保存されるということになる。よって時間的なスケール効果という観点からみると、地形との関連において、20日というこの時間スケール付近がスケールの階層構造の1つの境目になるということもできる。

3 各時間スケールにおける降雨分布の変動特性

本節では20日より短い時間スケールについて、20日平均雨量からのばらつきとして表現するための分析を行う((1)式(b)の項)。まず、各メッシュ (x, y) における D 日 ($D < 20$) 平均降雨強度を $r_D(x, y)$ として、 $\{r_D(x, y) - r_{20}(x, y)\}$ の値をとる頻度を0.5 mm/h刻みで調べ、そのうち $D = 1, 3$ 日、任意にとったメッシュ $(40, 40)$ について図2に示す。また、これらを正

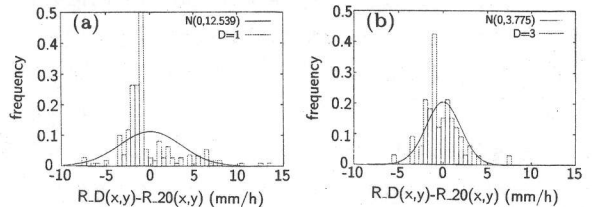


図2：メッシュ $(40, 40)$ における $\{r_D(x, y) - r_{20}(x, y)\}$ の頻度分布 ((a) $D = 1$, (b) $D = 3$)

規分布とみなして分散を計算し、その分散と平均値0をもつ正規分布の確率密度関数も同時にこの図に示した。この図をみると、 $r_D(x, y) - r_{20}(x, y) = -1$ のあたりでの頻度が高くなっていることがわかる。これは、日雨量が0に近い晴天日の影響であると考えられる。一方、正の領域については、正規分布に比較的適合していることがわかる。したがって、晴天日の存在を考慮すれば、 $D=3$ 以上の時間スケールでは正規分布で近似可能であるということができる。

次に上の計算を全地点で行い、標高の値に対する $\{r_D(x, y) - r_{20}(x, y)\}$ の分散の分布をプロットする。また最小二乗法を用い、直線をあてはめた結果を図3に示す。なお図中の波線は、直線を母分散を示すものと仮定し、 χ^2 分布により有意水準0.01で両側検定

を行った際の棄却域の限界線を示すものである。こ

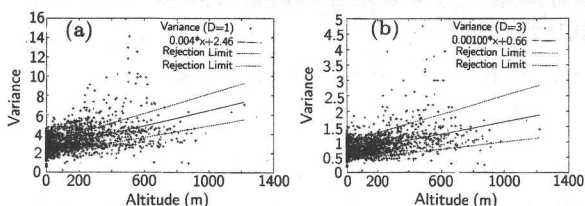


図3：標高に対する $\{r_D(x, y) - r_{20}(x, y)\}$ の分散の分布と χ^2 分布による母分散の検定から得られた棄却域の限界線 ((a) $D=1$, (b) $D=3$)

の図をみると、標高とともに分散の値が大きくなり、直線的に分布していることから、標高に関して傾きが正の直線で近似する事が妥当であることがわかる。

また検定の結果、 $D=3$ の場合、 $D=1$ の場合と比べて各地点での分散の値が棄却域より内側に多く存在していることがわかる。図2で示した頻度分布においても、 $D=3$ の場合は負の部分に飛び抜けて大きな値がなく正規分布によく適応していたため、この直線であてはめることだけではなく、正規分布として分布形をみなしたことにしてもある程度の妥当性を示したといえることができる。

また、図3で上側棄却域の限界線より分散が大きい地点においては、グランドクラッタの大きな影響を受けている可能性が高く、逆に、下側棄却域の限界線より小さな値を示している地点においては、シャドウの影響を受けていると考えることができる。

4 年雨量からの変動による降雨量の確率分布

これまで共通の分布としてみなしてきた20日平均降雨強度も変動することが考えられるため、(1)式における(a)の項を分割し、年平均降雨分布とそこからのずれとして表現する。ここで現れるずれの項は、地形標高との相関関係が保存されるということから、降雨強度を標高の一次式で表したとき、降雨量の変化に伴ってその傾き a あるいは切片 b が変化するものであると考えることができる。さらにここでは、20日平均降雨強度 $r_{20}(x, y)$ の領域平均値 $\bar{r}_{20}$ にも依存して傾き a が変化すると考え、

$$r_{20}(x, y) = (c\bar{r}_{20} + d)h(x, y) + b \quad (2)$$

のように、傾き a を定数とするのではなく、 $\bar{r}_{20}$ の線形関数として表現するものとする。この $r_{20}(x, y)$ に対し、1年間の平均降雨強度を $r_{\text{年}}$ とすると、

$$r_{20}(x, y) - r_{\text{年}} = (c(h(x, y) - \bar{h}) + 1)(\bar{r}_{20} - r_{\text{年}}) \quad (3)$$

と、 c で表される式で表現することができる。ここで、 $\bar{r}_{20} - r_{\text{年}}$ が平均値0の正規分布であると仮定すると、(3)式より $r_{20}(x, y) - r_{\text{年}}$ も平均値0をもつ正規分布となり、その分散は、

$$\sigma^2(r_{20}(x, y) - r_{\text{年}}) = \sigma^2((\bar{r}_{20} - r_{\text{年}})(c(h(x, y) - \bar{h}) + 1)^2) \quad (4)$$

によって求められる。この方法により、(2)式から時空間的な平均化を施した式を導き、最小二乗法によって c を算出した結果、 $c=0.0023$ となった。一方、 $\bar{r}_{20} - r_{\text{年}}$ の分散は、11個のデータによって計算され、その結果は0.454となり、それらを(4)式に代入して定式化することができる。

5 確率モデルによる豪雨時の降雨量分布の推定

以上の解析より、 D 日の平均降雨分布は年平均降雨分布と、3, 4で得られた変動項の3つの項で表すことができる。このモデルをレーダーによるデータに適用し、再現期間10年として算出した3日雨量の分布を図4に示す。図4を見ると、海岸近くの標高

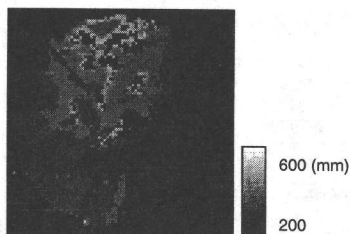


図4：モデルにより算定された3日平均降雨量分布(再現期間10年)

の低い地域では約300 mm、標高の高い地域では500~600 mmの降雨量があることがわかる。福岡、長崎における再現期間10年を示す3日積算雨量は、気象観測所におけるデータからそれぞれ372.6 mm、356.8 mmと算定されるので、オーダー的にもかなり妥当な量であるとみなすことができる。

6 おわりに 本研究の解析では、1993年という年平均雨量としてみてもかなり大きな雨量を持つデータを用いた。よって、このデータを用いた解析では降雨量が多めに見積もられているということも考えられる。したがって、既に幾多のモデルがあるとともに、近年温暖化等の影響により変化しつつあると推定されている年降雨量の変動特性をモデルに組み込み、ダウンスケーリングを行っていくというのが本研究の今後の進むべき方向であると考えている。