

京都大学工学部 学生会員 ○日和佐真丈 京都大学防災研究所 正会員 立川康人
京都大学防災研究所 正会員 寶 馨

1 はじめに 洪水防御計画における計画降雨の空間分布は、検討対象降雨を選定しその空間分布を計画降雨量まで一律に引伸ばすことで導入されている。しかし、実際には様々な空間分布パターンが考えられ、その空間パターンによって河川流量は様々な値をとるはずである。従って、実際に発生すると思われる様々な空間分布パターンを生成する降雨モデルを分布型流出モデルと組み合わせて河川計画を考えていくべきである。そこで本研究では降雨の空間分布を確率的に発生させるモデルの構築を目的とし、そのモデルとしてランダムカスケードモデルの導入を試みた。このモデルは初期エリア（レベル0）に平均降雨強度を割り当て、レベル毎に各エリアをさらに4つの細かいサブエリアに分割していくモデルである。レベル n におけるサブエリア i のボリュームを μ_n^i ($i = 1, 2, \dots, b^n$) とすると、

$$\mu_n^i = R_0 L_0^d b^{-n} \prod_{j=1}^n W_j^i \quad (1)$$

となる。ただし、 R_0 は初期エリアの平均降雨強度 (mm/h)、 L_0 は領域の一辺の長さ、 d は次元を表す変数で $d = 2$ 、 b は branching number と呼ばれる定数であり $b = 4$ である。 W はカスケードジェネレータと呼ばれ、カスケードを決定する要素である。本研究では Over and Gupta[1] によって提案された β -lognormal model によるジェネレータを採用し、さらに鈴木、中北ら[2]による標高依存直線をもとに、地形標高が降雨分布に与える影響を考慮した標高補正ジェネレータ G を導入して降雨場を発生させ、その様子を調べた。

2 カスケードジェネレータ 以下に β -lognormal model によるカスケードジェネレータ W を示す。

$$W = BY \quad (2)$$

$$B = \begin{cases} 0 & \text{with probability } 1 - b^{-\beta} \\ b^\beta & \text{with probability } b^{-\beta} \end{cases} \quad (3)$$

$$Y = b^{-\sigma^2 \ln b / 2 + \sigma X} \quad (4)$$

すなわち

$$P(W = 0) = 1 - b^{-\beta} \quad (5)$$

$$P(W = b^\beta Y = b^{\beta - \sigma^2 \ln b / 2 + \sigma X}) = b^{-\beta} \quad (6)$$

ここで、 $b = 4$ 、 X は標準正規乱数、 W の期待値 $E[W] = 1$ である。このモデルでは β と σ^2 がパラメータとなっており、この2つを実際の降雨データから同定する。Chatchai Jothityangkoon ら[3]による β 、 σ^2 の同定方法を採用し、深山レーダー雨量データを用いて β 、 σ^2 の同定を行ったところ、

$$\beta = 0.3089 R^{0.1691} \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \exp[-0.0875 (\ln R)^2 - 0.0963 (\ln R) - 2.9380] \quad (8)$$

が得られた。ここで、 R は雨量データの領域平均降雨強度 (mm/h) である。なお、深山レーダー雨量計のデータは、空間分解能 3km (80 × 80 メッシュ)、時間分解能 5 分間隔を用いており、本研究では得られた 80 × 80 メッシュのデータの中央部分の 64 × 64 メッシュの部分のデータを用いた。

3 地形依存性のカスケードジェネレータへの導入 鈴木、中北らによると、降雨分布と地形標高との間に明確な依存性があることが示されており、地形標高を 100m 間隔で層別化し、各標高区分内における積分降雨量の空間平均値の対数値をとると、相関係数 0.9 以上の明確な直線関係（鈴木らはこの直線を標高依存直線と呼んでいる）が成立することが確認されている。標高依存直線は、

$$\ln \left\{ \frac{\mu_k(T)}{\mu(T)} \right\} = a \cdot Z_k + b \quad (9)$$

と表される。ここに、 $\mu(T)$ は積分時間スケール T における領域平均降雨量 (mm)、 $\mu_k(T)$ は標高区分 k 内における空間平均降雨量 (mm)、 Z_k は標高区分 k における平均標高、 a 、 b はパラメータである。時間積分後の領域平均降雨量が 300mm における標高依存直線は、 $y = \ln(\mu_k(T)/\mu(T))$ とし、 $x = Z_k$ とすると、

$$y = 0.00027175x + \ln(0.83099) \quad (10)$$

となる。本研究では、この標高依存直線を用いて標高補正ジェネレータ G を作り、カスケードジェネレータ $W = BYG$ として 89 年 9 月 5 日 12 時 40 分の深山レーダー雨量データ (64 × 64 メッシュ) に対して降雨

場を発生させた。レベル n において、 G を G_n 、サブエリアナンバーを i ($i = 1, 2, \dots, 64$)、式 (10) の y をサブエリア毎に $y_n(i)$ とすると、 G_n のサブエリアの成分 $G_n(i)$ は、

$$G_n(i) = \frac{\mu_n(i)}{\mu_n} \quad (11)$$

と表される。ただし、

$$\mu_n(i) = e^{y_n(i)}, \quad \mu_n = \sum_{i=1}^{64} e^{y_n(i)} / 64$$

である。図 1、図 2 はそれぞれ 89 年 9 月 5 日 12 時 40 分の深山レーダー雨量データと標高補正を加えた β -lognormal model による発生降雨場であり、一辺が 192km の領域となっている。

4 考察と今後の課題 本研究で得られた成果、及び今後の課題を以下に示す。カスケードジェネレータを用いて 100 個の空間降雨データを生成した。1 個のデータ、50 個のデータ、100 個のデータに対して標高と降雨強度 $R(\text{mm/h})$ 、積算降雨強度 $\sum^{50} R/50(\text{mm/h})$ 、 $\sum^{100} R/100(\text{mm/h})$ の散布図を図 3、図 4、図 5 に示す。ここで図中の直線は標高依存直線である。標高の影響を取り入れた結果、積分降雨量と地形標高の間に明確な相関が見られ、鈴木ら [2] が指摘した地形標高と「積分降雨量の標高区分内平均値」の対数値との間に成立する関係を表現していることを確認した。

本研究では標高補正ジェネレータ G を全ての分割レベルに対して組み込んだが、そうすることが妥当である保証はないため、 G の組み込み方を理論的に示す必要がある。また、実際の降雨予測においては降雨の時間分布も考慮する必要がある、本研究で用いたモデルに時間の要素を取り入れていくことを試みたい。

謝辞： 本研究で用いたレーダー雨量データは国土交通省淀川ダム統合管理事務所から提供していただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] Over, T.M., and V. K. Gupta : A space-time theory of mesoscale rainfall using random cascades, Jour. Geophys. Res., 101, 26, pp.319-331, 1996.
- [2] 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.
- [3] Chatchai Jothityangkoon, Murugesu Sivapalan, and Neil R. Viney : Tests of a space-time model of daily rainfall in southwestern Australia based on nonhomogeneous random cascades, Water Resour. Res., 36, 1, pp.267-284, 2000.



図 1：89 年 9 月 5 日 12 時 40 分における深山レーダー雨量データ

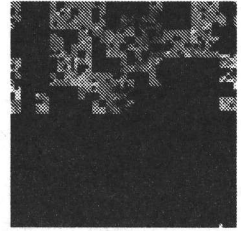


図 2：標高補正を加えた β -lognormal model による降雨の発生例

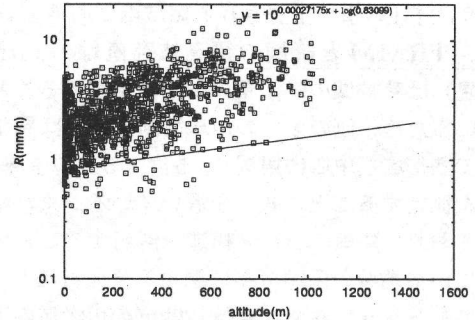


図 3：発生降雨強度 $R(\text{mm/h})$ の散布図と標高依存直線

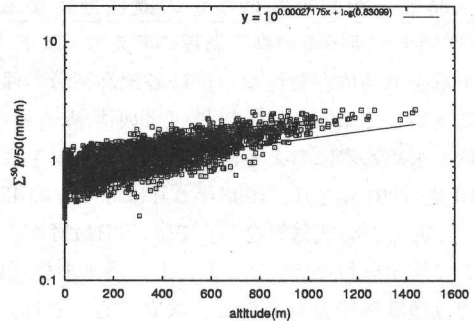


図 4：50 回積算降雨強度 $\sum^{50} R/50(\text{mm/h})$ の散布図と標高依存直線

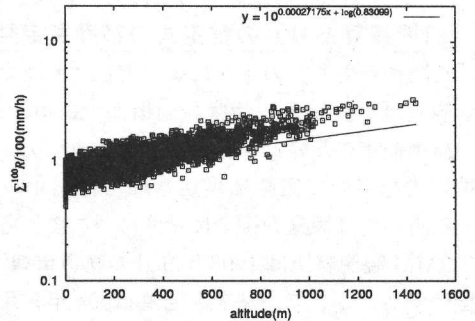


図 5：100 回積算降雨強度 $\sum^{100} R/100(\text{mm/h})$ の散布図と標高依存直線