

長野県と関東 1 都 3 県における等確率降水線図の作成と利水・治水計画への利用

信州大学大学院 ○ 吉平 誠司
 信州大学工学部 中村 政嗣
 信州大学工学部 正会員 寒川 典昭

1. はじめに

今まで河川流域では、観測点のみでしか降水は計測されてきていない。そこで、観測点のない地点で確率降水量を推定することにより、利水・治水計画に役立てられるのではないかと考えた。このような背景のもと、本稿では長野県と関東 1 都 3 県（東京・埼玉・神奈川・千葉）の等確率降水線図¹⁾の作成方法と利水・治水計画への利用について提案する。

2. 対象データ

対象データとして、長野県と長野県を取り囲む他県の気象庁降雨観測所計 63 地点の年降水量、月降水量・季節降水量、年最大日降水量データを使用した。関東 1 都 3 県（東京・埼玉・神奈川・千葉）も同様に関東 1 都 3 県とそれらを取り囲む他県データ計 71 地点の各降水量データを使用した。長野県の等確率降水線図を作成するに至っては 2005 年から、関東 1 都 3 県は 2006 年からさかのぼって 25 年分以上あるデータを使用した。また、今後は関東 1 都 3 県を関東地方と呼ぶ。

3. 確率降水量の算出方法

3.1 年降水量・月降水量・季節降水量

年降水量が従う分布は正規分布で、確率密度関数は式(1)で表わされる。

< 正規分布の確率密度関数 >

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (1)$$

算出方法は、変量を 0 から 1 mm 間隔で部分区間に区切り、各区間の $p(x)$ を算出し、算出した $p(x)$ を使って、区間ごとに台形面積を求める。そして、台形面積を足し合わせた時に、要求される非超過確率を超える直前の変量 X_T を、求める非超過確率降水量 X_T とする。

3.2 月降水量・季節降水量

月降水量・季節降水量が従う分布は、対数正規分布で、確率密度関数は式(2)で表わされる。

< 対数正規分布の確率密度関数 >

$$p(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right\} \quad (2)$$

非超過確率降水量 X_T の算出過程は、年降水量と同様の考え方である。

図 - 2 は、非超過確率降水量 X_T の算出方法の簡略図である。

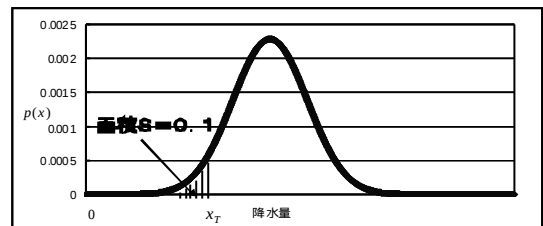


図 - 2 非超過確率降水量 X_T の算出方法の簡略図

3.3 年最大日降水量

年最大日降水量が従う分布は、グンベル分布で、確率密度関数は式(3)で表わされる。

$$p(x) = a \cdot \exp \left[-a(x - b) - \exp \{ -a(x - b) \} \right] \quad (3)$$

年最大日降水量の超過確率降水量 X_T は、グンベル分布の与える式(4)で求めることができる。

$$X_T = b - \frac{\ln \left\{ \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right\}}{a} \quad (4)$$

(a : 尺度母数, b : 位置母数 T : 確率年)

4. 空間予測とバリオグラム

観測点以外での確率降水量を予測する為に、空間予測方法の 1 つでもあるクリギング法²⁾ (通常クリギング)を使用した。クリギングによる空間予測において推定値 $Z^*(x_\alpha)$ を求めるのにその周辺の (n 個の) 観測値 $Z(x_\alpha)$ の重み付き移動平均を利用する。推定値 $Z^*(x_\alpha)$ は式(5)で表される。

$$Z^*(x_\alpha) = \sum_{\alpha=1}^n w_\alpha Z(x_\alpha) \quad (5)$$

式(5)中の重みである w_α の 1 番目から n 番目までの重み係数の総和は 1 となり、式 (6) で表される。

$$\sum_{\alpha=1}^n w_\alpha = 1 \quad (6)$$

重み w_α には、観測値から得られる標本バリオグラムを利用する。重み w_α を得る為には、通常型クリギン

グ推定システムを解く必要がある．推定システムは式(7)で表わされる．

$$\begin{bmatrix} \gamma^*(h_{11}) & \cdots & \gamma^*(h_{1n}) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma^*(h_{n1}) & \cdots & \gamma^*(h_{nn}) & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma^*_{10} \\ \vdots \\ \gamma^*_{n0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

ここで, w_α はデータ値に割り当てられる重み係数, μ はラグランジュ乗数である．式(7)の左辺がデータ点間の, 右辺がデータ点と推定点 x_0 間の非類似度を示している．

4.1 バリオグラムクラウド

今, 空間領域 D における点 $\mathbf{x}_\alpha$ と点 $\mathbf{x}_\beta$ に位置するデータ値をそれぞれ z_α と z_β として, これらの間の非類似度を求めることにより, 異なるスケールにおける領域変数 $z(x)$ の変動を観測することを考える．2つの値の非類似度を示す測度 γ^* は式(8)で表わされる．

$$\gamma_{\alpha\beta}^* = \frac{(z_\alpha - z_\beta)^2}{2} \quad (8)$$

ここで, 地理的空間における2点 $\mathbf{x}_\alpha, \mathbf{x}_\beta$ をベクトル $\mathbf{h} = \mathbf{x}_\alpha - \mathbf{x}_\beta$ によって結びつけることができる．このとき, 非類似度 γ^* は式(9)で表わされる．

$$\gamma^*(h) = \frac{(z(x_\alpha + h) - z(x_\alpha))^2}{2} \quad (9)$$

よって, データセット内の標本対をすべて対象とし, 非類似度 γ^* を空間的離間距離 h に対してプロットすることにより, バリオグラムクラウド³⁾が形成される．

4.2 標本バリオグラム

すべての点を組み合わせてできる n_c 個の対を, その離間距離 h を基に, 与えられたベクトルの階級 h にグループ化すれば, 階級 h に対する非類似度の $\gamma^*(h)$ が求められる．ベクトル階級 h_k に関する非類似度の平均を標本バリオグラム⁴⁾と呼び, 式(10)で表わされる．

$$\gamma^*(h_k) = \frac{1}{2n_c} \sum_{\alpha=1}^{n_c} (z(x_\alpha + h) - z(x_\alpha))^2 \quad (10)$$

4.3 理論バリオグラム

標本バリオグラムは理論バリオグラム⁵⁾関数によって置き換えるのが一般的である．モデル化に使用する理論バリオグラムは幾つか種類があるが今回は線形モデルを使用した．

線形モデルは式(11)で表わされる．

$$\gamma(h) = C_0 + S \cdot h \quad (11)$$

(C_0 は未知のナゲット効果, S は未知の傾き)

5. 等確率降水線図についての結果と考察

年降水量・月降水量・季節降水量に関しては, 非超過確率年を $T=5, 10, 20, 30$ 年, 年最大日降水量は, 超過確率年を $T=30, 50, 100$ 年として, 前述した空間補間とバリオグラムの理論と等高線図作成ソフト Surfer[®] 8⁶⁾を使用して等確率降水線図を作成した．ここでは, 渇水についての関東地方の月降水量(1月・ $T=10$ 年)の場合の等確率降水線図について考察を行う．

図-3は関東地方の月降水量(1月・ $T=10$ 年)の等確率降水線図である．等確率降水線図には, 観測地点とダム配置図を記してある．

関東地方では, 埼玉県北部と西部が5mm程度と低い値を示す結果となった．そのため, 西部に点在するダムや導水路の必要性を感じる結果となった．

神奈川県南西部は30mm以上と埼玉県の北部や西部に比べると大きな値を示す結果となったが, 神奈川県南西部にはダムや貯水施設がほとんど存在していない．そのためこの地域には, 水資源施設を充実させてもいいのではないかと考えられる結果となった．

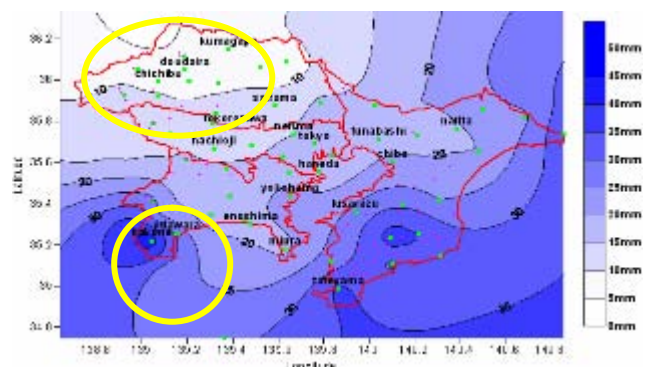


図-3 月降水量(1月・ $T=10$ 年)の等確率降水線図

6. あとがき

今回, 長野県と関東地方についての等確率降水線図を作成し, 考察をおこなった．空間補間をするためにバリオグラムの理論を取り入れたが, 理論バリオグラムに線形モデル以外を使用し, モデルの比較検討することや違うモデルを使用し作成した等確率降水線図の比較検討を行う事が必要だと考えられる．

<参考文献>

- 1) 長野県河川課: 長野県内の降雨確率, 1975年．
- 2), 3), 4), 青木謙治・松岡俊文・水戸義忠: 地球統計学, 森北出版, pp79-81, pp.41, pp.42-44, 2003年．
- 5) Surfer[®] 8: ユーザーズガイド, pp172-173．
- 6) Golden Software, Inc.: Surfer[®] 8．