

将来における時間降雨確率値の推定法について

A Method of Future Probability Value Estimation of Hourly Rainfall

北海学園大学 工学部 社会環境工学科 ○正 員 三浦拓朗 (Takuro Miura)  
北海学園大学 工学部 社会環境工学科 学生員 山上翔吾 (Shogo Yamakami)  
北海学園大学 工学部 社会環境工学科 フェロー 許士達広 (Tatuhiko Kyoshi)

1. はじめに

地球温暖化が顕在しつつあり、世界各地で異常気象が頻発している。気象災害としては洪水や高潮により多大な被害が生じているが、特に短時間降雨の強度が増加しているとされ、ゲリラ降雨として浸水による都市機能や交通への影響や土砂災害による災害が顕著になっている。降雨強度が増大傾向にある場合、単に過去の実績から確率降雨を求めたのでは将来的に安全度が確保されないことになる。ここでは確率モデルに用いられる統計量の将来値を過去の降雨データから求めることにより、気候変動を考えた将来確率降雨を算出する方法を検討する。

2. 年最大時間降雨の増減傾向

短時間降雨として年最大の一時間降雨を採用し、横軸に年、縦軸に降雨を取り図-1 のように回帰直線を当てはめて、全国 20 の観測所の経年の増減傾向を調べた。

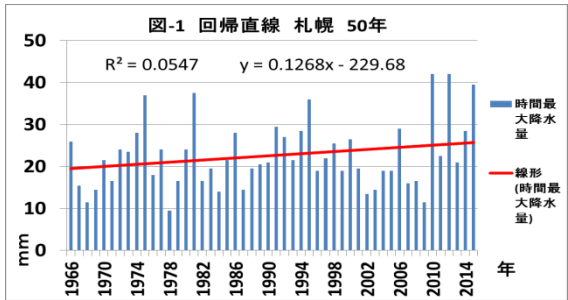


表-1 降水量増加表(mm/時/年)

|     | 20年    | 30年    | 50年    | 全既往観測期間 |         |
|-----|--------|--------|--------|---------|---------|
| 東京  | 0.418  | 0.465  | 0.421  | 0.153   | (125年分) |
| 京都  | 0.354  | 0.149  | 0.062  | 0.076   | (86年分)  |
| 名古屋 | -0.113 | -0.041 | 0.062  | 0.069   | (125年分) |
| 長崎  | 0.982  | 0.507  | 0.084  | 0.114   | (119年分) |
| 徳島  | 1.124  | 0.491  | 0.144  | 0.181   | (115年分) |
| 札幌  | 0.667  | 0.186  | 0.127  | 0.029   | (80年分)  |
| 釧路  | 0.971  | 0.263  | 0.126  | -0.001  | (79年分)  |
| 網走  | 0.684  | 0.458  | 0.082  | 0.022   | (80年分)  |
| 函館  | -0.089 | -0.122 | -0.038 | -0.100  | (68年分)  |
| 沖縄  | -0.297 | -0.150 | 0.181  | 0.183   | (65年分)  |
| 岩手  | 0.177  | -0.074 | -0.041 | 0.006   | (93年分)  |
| 新潟  | -0.609 | 0.458  | 0.288  | 0.147   | (102年分) |
| 広島  | 0.113  | -0.115 | 0.074  | 0.027   | (128年分) |
| 宮崎  | 0.081  | -0.218 | -0.119 | 0.011   | (91年分)  |
| 福島  | 0.184  | -0.165 | 0.056  | 0.085   | (79年分)  |
| 茨城  | -0.106 | -0.084 | 0.224  | 0.049   | (110年分) |
| 長野  | 0.168  | 0.280  | -0.002 | -0.037  | (100年分) |
| 神奈川 | -0.484 | -0.095 | 0.191  | 0.109   | (79年分)  |
| 大阪  | 0.259  | 0.002  | -0.016 | 0.076   | (112年分) |
| 福岡  | -0.427 | 0.423  | 0.423  | 0.139   | (120年分) |
| 平均  | 0.203  | 0.131  | 0.117  | 0.067   |         |

直線の勾配が増減傾向を示し、単位はmm/時/年である。20 観測所の勾配の増減を表 - 1 に示す。傾向を取る期間は最近 20 年、30 年 50 年、全既往観測期間の 4 種とした。4 つの期間すべてで増加傾向が 6 箇所、3 期間が増加 6 箇所、全期間で減少傾向にあるのが 1 箇所である。20 観測所を平均すると全期間で 0.067 mm/時/年の増加となり、温暖化による短時間降雨の増加が読み取れる。

3. 既往水文データから統計量を求めるときの問題点

将来の水文確率値を求めるためには将来の平均、分散、ひずみ度といった統計量を求める必要がある。従来の研究において将来の平均を求めるときには、図 - 1 に示すような直線回帰の推定値を用いることが多い。この場合決定係数が小さいため信頼性が小さいことになる。

分散の増減傾向を考える場合には、どのように位置と幅で区切って分散を取るかによって結果が大きく異なる。例えば図 - 2 において期間を A,B のように分ければ A 期間より B 期間の分散が大きく分散は増加傾向となるが、期間を A'B' のように分ければ分散は A' 期間の方が大きく、分散は減少傾向ということになる。

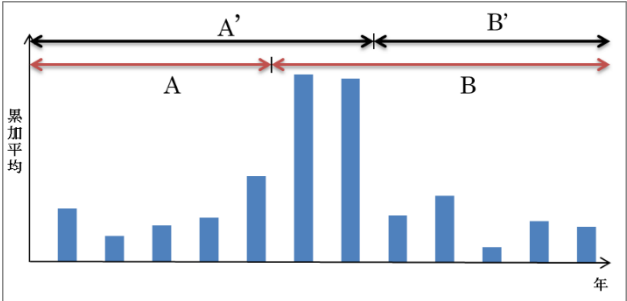


図 - 2 期間の分け方と分散の変化

3. 将来統計量の求め方

ここでは問題の解決のために各データを用いて直接母数を算出し、それに回帰の線を当てはめて将来推定を行う。最小二乗法は一般に 1) 式であらわされるが、正確には y の分散  $\sigma$  が求められれば 2) 式となる。

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \cdots 1) \quad E' = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sigma_i^2} \cdots 2)$$

$y_i$  が平均値や標準偏差であれば、その中のデータ数は  $i$  個であり、データ数による誤差分散  $\sigma_i^2$  の違いが生じる。 $\sigma_i^2$  自体を求めることはできないが、各  $i$  番目の項の重みの違いは知ることができる。

平均、分散、ひずみ度はそれぞれ以下の式で表される。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \dots 3)$$

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad \dots 4)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} s^2 \quad \dots 5)$$

$$\gamma = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad \dots 6)$$

$\bar{x}$  : 平均値  $S^2$  : 標本分散  $\hat{\sigma}^2$  : 不偏分散

$\gamma$  : 不偏ひずみ度  $x$  : データ  $N$  : データ数

詳しい説明は省略するが、 $\Sigma$ の中の各項は累加値から、累加値に直線あるいは曲線を当てはめた推定線の値を引いた残差である。これはデータ  $x$  から  $x$  の回帰推定線を引いたものにほぼ等しいものとなる。したがって各累加項の  $\sigma_i^2$  は各項の残差の2乗に相当するので、データ数に応じて小さくなる。これにより直線回帰式を求めたときの各国の重み  $W_i$  は下から  $k$  番目の項(データ数  $k$ )で、平均値は  $k^2$ 、標準偏差は  $k-1$ 、ひずみ度は  $((k-1)(k-2)/k)^2$  となる。分散は各項のばらつきが大きくなるので標準偏差で計算している。推定値の重み付推定のために、回帰式の重み付き定数は以下のように表される。

$$a^* = \frac{\sum w_i (x_i - \bar{w}x)(y_i - \bar{w}y)}{\sum w_i (x_i - \bar{w}x)^2} = \frac{\sum w_i \sum w_i x_i y_i - \sum w_i x_i \sum w_i y_i}{\sum w_i \sum w_i x_i^2 - (\sum w_i x_i)^2} \quad \dots 7)$$

$$b^* = \bar{w}y - a^* \bar{w}x = \frac{1}{\sum w_i} \left( \sum w_i y_i - a^* \sum w_i x_i \right) = \frac{\sum w_i x_i^2 \sum w_i y_i - \sum w_i x_i \sum w_i x_i y_i}{\sum w_i \sum w_i x_i^2 - (\sum w_i x_i)^2} \quad \dots 8)$$

統計量はデータ数が多くなるほど、一定値に収束していく漸近性を持つため、推定線は直線でないほうが良い。ここでは  $\hat{y} = c + a X^p$  のべき乗の形として重み付計算を行った。これは通常の方法では解けないので、指数  $p$  を  $-0.9 \sim 1.0$  でトライアルし、重み付誤差  $\sum W_i (Y - \hat{Y})^2$  を最小化するものを用いた。

図-3は平均値の重み付回帰曲線の例である。

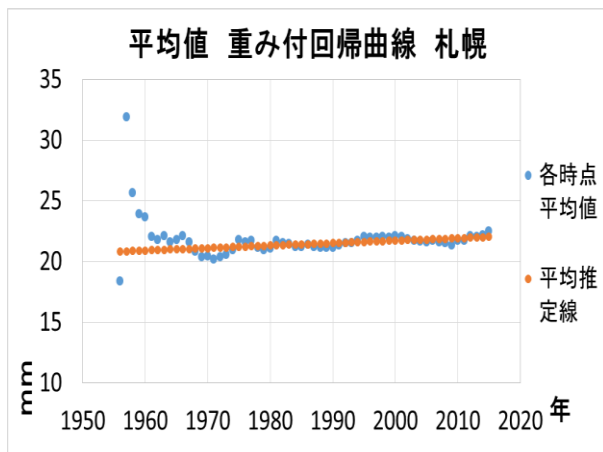


図-3 将来平均値の推定

#### 4. 将来確率値の算定

3母数の代表的分布である一般化極値分布は、水文量の確率値  $x_p$  は標準変量  $E_p$  の一次式で表わされる。

$$x_p = c + \left( \frac{a}{k} \right) \cdot E_p \quad \dots 9)$$

$$E_p = 1 - \{-\ln(p)\}^k \quad (p: \text{非超過確率}) \quad \dots 10)$$

$x$  : 水文量  $a$  : 尺度母数  $c$  : 位置母数

$k$  : 形状母数

理論平均、理論標準偏差、理論歪み係数はそれぞれ以下の式で表される。

$$\mu_x = c + \frac{a}{k} \{1 - \Gamma(1+k)\} \quad \dots 11)$$

$$\sigma_x = \frac{a}{|k|} \sqrt{\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)} \quad \dots 12)$$

$$\gamma_x = \text{sign}(k) \frac{-\Gamma(1+3k) + 3\Gamma(1+k)\Gamma(1+2k) - 2\Gamma^3(1+k)}{[\Gamma(1+2k) - \Gamma^2(1+k)]^{3/2}} \quad \dots 13)$$

データから平均、標準偏差、歪み係数を求めて

11)、12)、13)式から定数を定め、9)、10)式から確率値を求める。確率値はデータの開始年から現在までの傾向で算定され、開始年が変われば確率値は異なる。図-4、図-5は将来確率の計算値を示すもので、棒グラフは各年の時間最大雨量、オレンジの点は各開始年から2015年までのデータを用いて計算した2030年の将来100年確率値を、確率年の位置にプロットしたものである。

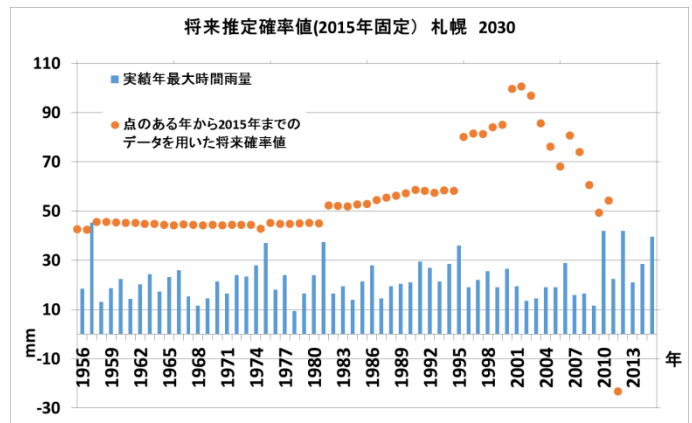


図-4 時間雨量将来確率値(札幌)

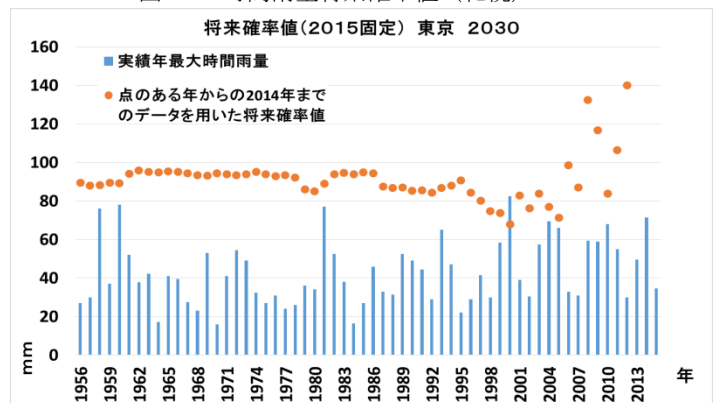


図-5 時間雨量将来確率値(東京)