

# ロジスティック曲線を用いた年最大 1・2・3日降水量の非定常頻度分析

寒川典昭\*・吉永幹太\*\*

(平成9年10月31日受理)

## Nonstationary Frequency Analysis of Annual Maximum 1・2・3 Day Precipitations Using Logistic Curve

Noriaki SOGAWA\* and Kanta YOSHINAGA\*\*

The nonstationary frequency analysis of uniformized annual maximum 1・2・3 day precipitations was carried out by using logistic curve as the estimated value of parameter time series. First, the parameter time series of Gumbel distribution was made by using 5 year moving partial data. Next, the parameter time series was described by the logistic curve. Besides, the time series of hydrological variable was calculated by the estimated logistic curve. Lastly, the stability of hydrological variable was checked from the length of moving partial data. The result said that the convergent value of nonstationary hydrological variable was smaller than the stationary hydrological variable in many cases, and 5 year moving partial data did not give the sufficient estimated value of parameter time series.

### 1. はじめに

現在、水文学の頻度分析の分野で解決しなければならない大きな問題が2つある。それは、水文学の母集団の非等質の問題と非定常性の問題である。

水文学の母集団の等質性とは、個々の水文学が同一の母集団から発生したものと見なすことができる性質である。従って、この仮定は、個々の水文学が種々の原因の水文学それ自身、あるいはその和から得られていることを考えれば、一般に成立しないものと考えられる。前者の例としては、治水計画に用いられる年最大1・2・3日降水量等が、後者の例としては、利水計画に用いられる月・年降水量等が挙げられる。この問題を解決する1つの手段は、可能な場合は母集団を等質化することである。寒川等<sup>1)</sup>は、年最大1・2・3日降水量に対して等質化を行うために、前線、台風、低気圧毎に年最大1・2・3日降水量を抽出し、定常頻度分析を実施した。尚、それ以外の原因で年最大1・2・3日降水量を持たらされていることはなかった。その結果、前線の1部分と台風の大部分で、気象原因別に

\* 社会開発工学科 助教授

\*\* (株)日本構造橋梁研究所

分離した場合の超過確率水文学量が、従来の気象原因別に分離しない場合の超過確率水文学量より大きな値を取ることが分かった。

水文学量の母集団の定常性とは、厳密には任意時点間で全ての次数の統計モーメントが一致することである。しかし、水文学量の頻度分析上は、平均、分散、ひずみ係数、尖り係数程度まで、すなわち4次モーメント程度まで一致すれば良からう。ところが、一般にこの仮定が成立しない場合が多々ある。寒川等<sup>2),3),4)</sup>は、これまで長野県内における年、月、年最大1・2・3日降水量に存在する非定常性を、原時系列、及び1、2乗の移動部分標本時系列の回帰直線の傾きを用いて検討してきた。その結果、多くの場合対象とした時系列に非定常性が存在することを見出した。一方、最近の古期水文学の分野では、未観測の古水文学量を復元する研究が発達してきた。Webb<sup>5)</sup>は south-central Utah の Escalante River において、Knox<sup>6)</sup>は south-western Wisconsin の Upper Mississippi Valley において、寒川等<sup>7)</sup>は長野県の千曲川において未観測な歴史洪水を復元している。こうして復元された水文学量の時系列を観測されている水文学量の時系列と結合させると、合成された時系列には観測されている水文学量時系列に存在する非定常性よりも強い非定常性を見ることが多い。また、アメリカ合衆国の EPA レポート<sup>8)</sup>は、地球の温暖化現象は将来の地球の降水量の時系列パターンを変化させる可能性があることを警告している。こうしたことは、治水計画・利水計画を策定するときの確率水文学量の算定に非定常性を考慮する必要があることを指摘していることになる。このような現状に鑑み、寒川等は水文学量の母集団と仮定した確率分布のパラメータ時系列を線形回帰した非定常頻度分析<sup>2),3),4)</sup>、及びそれに周期性を考慮した非定常頻度分析<sup>9)</sup>を提案してきた。ところが、これらの非定常頻度分析ではパラメータ時系列に線形回帰を仮定しているため、パラメータがいずれ不適切な値を取ることになる。また、水文学量時系列には適切な規制が働き、従ってパラメータ時系列は将来何らかの値に収束することが予想される。

本稿は、上述の課題を解決するために、非等質性の強い年最大1・2・3日降水量を用い、非等質のままの水文学量及び等質化した水文学量の母集団と仮定する確率分布にグンベル分布を用い、この分布のパラメータ時系列に収束値を有する曲線であるロジスチック曲線を採用して、対象水文学量の非定常頻度分析を行ったものである。

## 2. パラメータ時系列の作成

### 2.1 用いたデータとその処理方法

対象としたデータは長野県内5箇所の気象官署（長野、松本、飯田、諏訪、軽井沢）における昭和39年から平成4年までの日降水量である<sup>10)</sup>。昭和38年以前のデータは日降水量の日界がそれ以降と異なるため、今回は採用しなかった。この日降水量から降水原因別に分離した場合と分離しない場合（非分離）の年最大1・2・3日降水量を抽出した。降水原因としては、大雨の主要原因である前線、台風、低気圧の3つを取り上げた。なお、降水がいくつかの降水原因の組み合わせで発生している場合、その降水は基となる単独の原因にそれぞれに属するものとみなした。例えば、ある年最大1日降水量の降水原因が前線を伴った低気圧であった場合、その降水量の値を前線と低気圧の両方に与えた。

こうして長野、松本、飯田、諏訪、軽井沢の5箇所の気象官署における29年分の降水原

因別年最大1・2・3日降水量が得られた訳だが、これらを、それぞれの降水原因別に等質性の仮定を満足し得るものとみなした。

## 2.2 時系列の作成方法

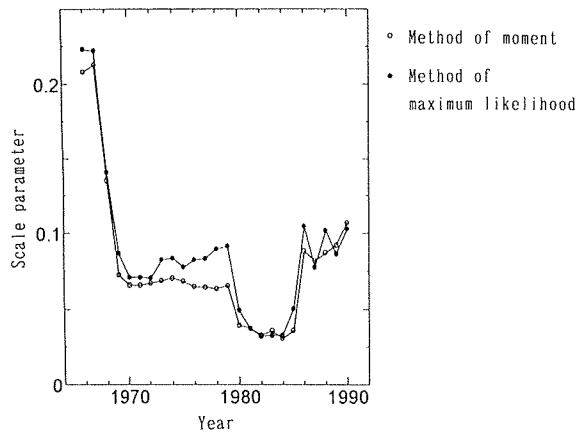
ここでは、対象としている水文データが極値降水量であるため、その母集団分布としてグンベル分布を採用した。その確率分布関数及び確率密度関数は、それぞれ次式で与えられる<sup>11)</sup>。

$$F(x) = \exp\{-e^{-a(x-b)}\} \quad (1)$$

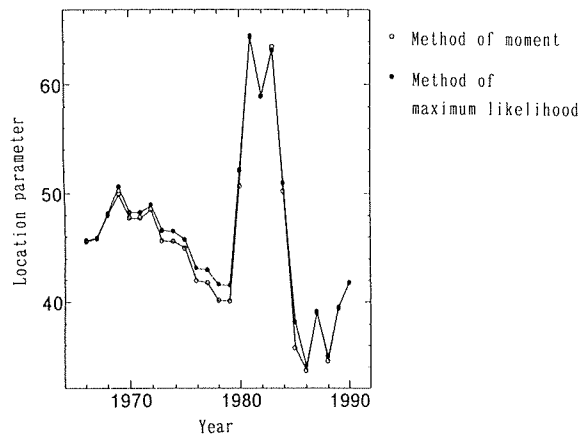
$$f(x) = a \cdot \exp\{-a(x-b) - e^{-a(x-b)}\}, (-\infty < x < \infty; a > 0) \quad (2)$$

ここに、 $x$  は確率変数、 $a$  は尺度母数、 $b$  は位置母数である。

まず、(1)式、(2)式で与えられるグンベル分布の尺度母数と位置母数の経年変動を視覚的に捉えるために前節で求めた原時系列から5年移動部分標本毎にモーメント法<sup>11)</sup>及び最尤



(a) Time series of 5 year moving scale parameter.



(b) Time series of 5 year moving location parameter.

Fig. 1 The parameter time series calculated by the method of moment and the method of maximum likelihood (Nagano, front, annual maximum 1 day precipitation).

法<sup>12)</sup>を用いて、5年移動尺度母数時系列と5年移動位置母数時系列（以下これらをパラメータ時系列と呼ぶ）を作成した。但し、モーメント法における2次モーメントとしては不偏分散を用いている。

モーメント法及び最尤法のパラメータ時系列の1例として長野気象官署における前線の年最大1日降水量のものを Fig. 1 に示す。

### 3. 確率水文量の算定法

#### 3.1 確率水文量の算定式

水文量  $x$  が  $x_T$  以上となることが平均して  $T$  年に1年の割合で期待される時、 $T$  年をリターンピリオド（再現期間）といい、また、 $x_T$  を  $T$  年超過確率水文量という。 $T$  年超過確率水文量に対して、リターンピリオド  $T$  と確率密度関数  $f(x)$  の間には次式のような関係がある。

$$\int_{x_T}^{\infty} f(x) dx = \frac{1}{T} \quad (3)$$

(3)式は平均して  $T$  年に1年の割合で、 $x_T$  を越える水文量が生起する確率を表すことになる。

今、母集団分布としてグンベル分布を採用していることから、(3)式に(2)式を代入して理論展開すると次式が得られる。

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

これによりグンベル分布のリターンピリオド  $T$  の超過確率水文量を求めることができる。

#### 3.2 データ及びパラメータの変化による確率水文量の変化

非定常頻度分析を行う際、元のデータやパラメータの変化に対して、確率水文量がどの程度変化するかを知っておく必要がある。よって長野の年最大1日降水量（非分離）の原時系列を  $\pm 10$ ,  $\pm 5$ ,  $\pm 3$ ,  $0\%$  と変化させたときの尺度母数、位置母数及び確率水文量を Table 1 に示す。これをみると確率水文量は定常で計算した値と比較すると、原時系列が  $-10\%$  で  $12.7\text{mm}$  小さく、 $+10\%$  で  $12.6\text{mm}$  大きくなっている。次に、同じデータ

Table 1 The relationship between the change of precipitation and the change of hydrological variable.

| Precipitation (%) | Scale parameter | Location parameter | Hydrological variable(mm) |
|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| -10               | 0.064           | 42.5               | 113.5                     |
| -5                | 0.061           | 44.8               | 119.9                     |
| -3                | 0.060           | 45.8               | 122.4                     |
| 0                 | 0.058           | 47.2               | 126.2                     |
| 3                 | 0.057           | 48.6               | 129.9                     |
| 5                 | 0.055           | 49.6               | 132.5                     |
| 10                | 0.053           | 51.9               | 138.8                     |

Table 2 The relationship between the change of parameter and the change of hydrological variable.

| Scale parameter (%) | Location parameter (%) | Hydrological variable (mm) | Scale parameter (%) | Location parameter (%) | Hydrological variable (mm) |
|---------------------|------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|
| -10                 | -10                    | 130.2                      | 0                   | 3                      | 127.6                      |
| -10                 | -5                     | 132.6                      | 0                   | 5                      | 128.5                      |
| -10                 | -3                     | 133.5                      | 0                   | 10                     | 130.9                      |
| -10                 | 0                      | 134.9                      | 3                   | -10                    | 119.1                      |
| -10                 | 3                      | 136.3                      | 3                   | -5                     | 121.5                      |
| -10                 | 5                      | 137.3                      | 3                   | -3                     | 122.4                      |
| -10                 | 10                     | 139.7                      | 3                   | 0                      | 123.9                      |
| -5                  | -10                    | 125.6                      | 3                   | 3                      | 125.3                      |
| -5                  | -5                     | 128.0                      | 3                   | 5                      | 126.2                      |
| -5                  | -3                     | 128.9                      | 3                   | 10                     | 128.6                      |
| -5                  | 0                      | 130.3                      | 5                   | -10                    | 117.7                      |
| -5                  | 3                      | 131.7                      | 5                   | -5                     | 120.0                      |
| -5                  | 5                      | 132.7                      | 5                   | -3                     | 121.0                      |
| -5                  | 10                     | 135.0                      | 5                   | 0                      | 122.4                      |
| -3                  | -10                    | 123.9                      | 5                   | 3                      | 123.8                      |
| -3                  | -5                     | 126.2                      | 5                   | 5                      | 124.8                      |
| -3                  | -3                     | 127.2                      | 5                   | 10                     | 127.1                      |
| -3                  | 0                      | 128.6                      | 10                  | -10                    | 114.3                      |
| -3                  | 3                      | 130.0                      | 10                  | -5                     | 116.6                      |
| -3                  | 5                      | 131.0                      | 10                  | -3                     | 117.6                      |
| -3                  | 10                     | 133.3                      | 10                  | 0                      | 119.0                      |
| 0                   | -10                    | 121.4                      | 10                  | 3                      | 120.4                      |
| 0                   | -5                     | 123.8                      | 10                  | 5                      | 121.3                      |
| 0                   | -3                     | 124.7                      | 10                  | 10                     | 123.7                      |
| 0                   | 0                      | 126.2                      |                     |                        |                            |

で定常で計算させた尺度母数，位置母数に対して，それぞれ $\pm 10$ ， $\pm 5$ ， $\pm 3$ ， $0\%$ と変化させた時の確率水文量を Table 2 に示す．これをみると確率水文量は位置母数の変化に対するより尺度母数の変化に対する方が影響を受けやすいことが分かる．また定常で計算した値と比較すると，尺度母数 $-10\%$ ，位置母数 $+10\%$ で $13.5\text{mm}$ 大きく，尺度母数 $+10\%$ ，位置母数 $-10\%$ で $11.9\text{mm}$ 小さくなっている．

#### 4. ロジスティック曲線によるパラメータの推定と確率水文量の算定

##### 4.1 ロジスティック曲線の概説

本研究では，確率水文量の算定に用いられるパラメータが将来ある極限值に収束するものと考え，パラメータ時系列の推定値を算定したいため，このような特性を備えたロジスティック曲線を採用した．

本研究では，ロジスティック曲線の最も簡単な形である次式を用いた<sup>13)</sup>．

$$Y = \frac{K}{1 + me^{-at}} \quad (5)$$

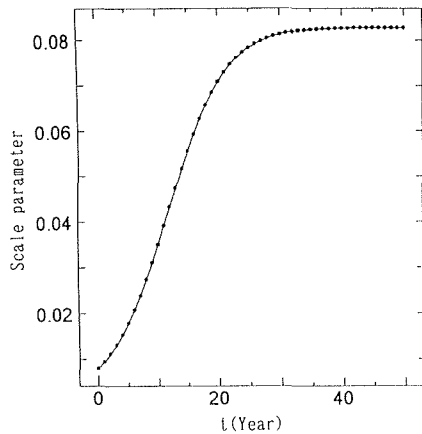
ここに、 $t$ は時間、 $K$ は $Y$ の収束値、 $a$ 、 $m$ は定数である。 $K$ 、 $a$ 、 $m$ の推定は、参考文献13)に詳しく記述されているので、それを参照されたい。

#### 4.2 推定されたパラメータの時系列

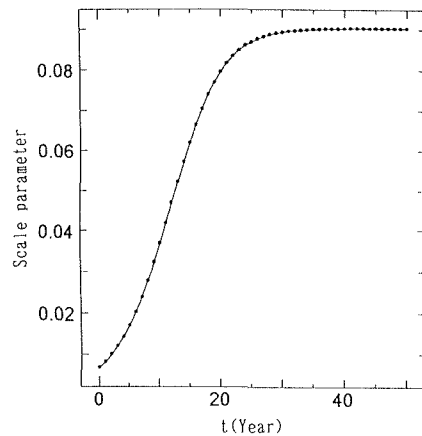
ロジスチック曲線を導入して算定した推定値の時系列の1例として、パラメータの同定法がモーメント法による場合をFig.2に、最尤法による場合をFig.3に示す。いずれも長野気象官署における前線の年最大1日降水量のものである。ただし、 $t=0$ は水文データが存在する最初の5年の中間の年を意味し、1年毎に $t=50$ の時点までの値を求めた。推定したロジスチック曲線はどの場合も $t=50$ の時点までで十分に収束していた。

#### 4.3 推定されたパラメータ時系列からの確率水文量の算定

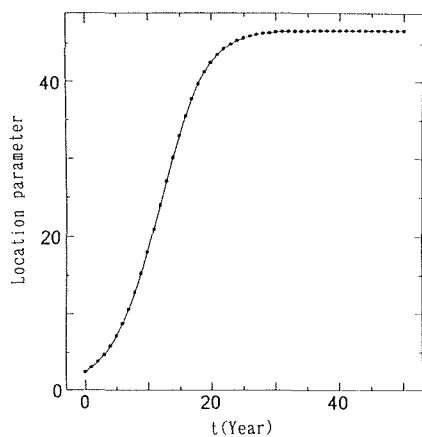
ここでは、4.2節で得られた $t=50$ の時点までのパラメータ時系列の推定値を用いて、



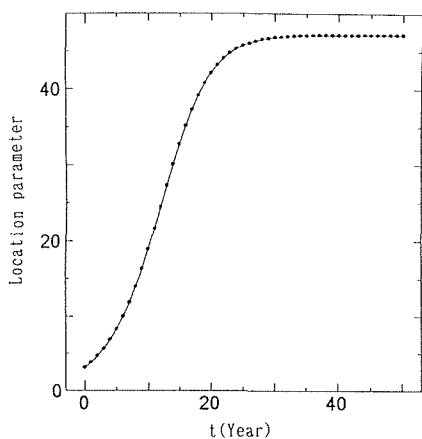
(a) Time series of estimated scale parameter.



(a) Time series of estimated scale parameter.



(b) Time series of estimated location parameter.



(b) Time series of estimated location parameter.

Fig.2 The logistic curve of the parameter time series calculated by the method of moment (Nagano, front, annual maximum 1 day precipitation).

Fig.3 The logistic curve of the parameter time series calculated by the method of maximum likelihood (Nagano, front, annual maximum 1 day precipitation).

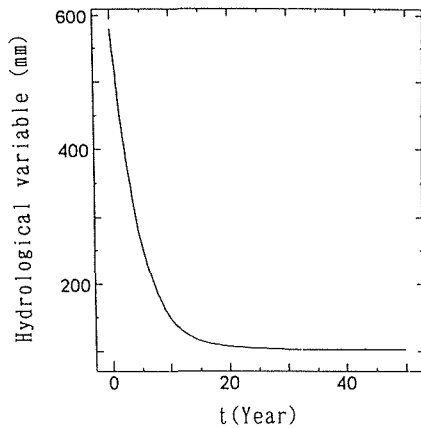


Fig. 4 The 100 year hydrological variable of exceedance using the logistic curve of the parameter time series calculated by the method of moment (Nagano, front, annual maximum 1 day precipitation).

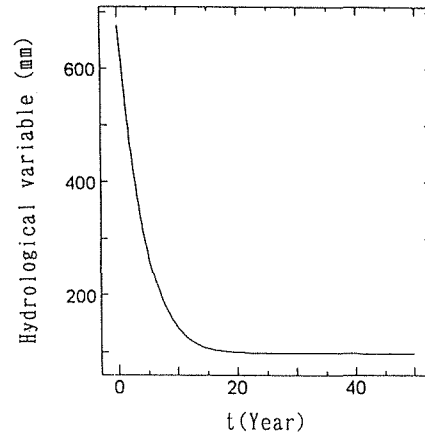


Fig. 5 The 100 year hydrological variable of exceedance using the logistic curve of the parameter time series calculated by the method of maximum likelihood (Nagano, front, annual maximum 1 day precipitation).

降水原因別及び非分離の100年超過確率水文量を求めた。特にリターンピリオド  $T=100$  年としたのは、千曲川及び犀川の建設省直轄区間では治水計画規模として100年超過確率水文量を対象にしているからである。それは(4)式の  $a$ 、 $b$  をパラメータ推定値  $\hat{a}(t)$ 、 $\hat{b}(t)$  に置き換えた式から算定される。

次に、求めた確率水文量の経年変化を見るために、縦軸を100年超過確率水文量  $x_T(t)$ 、横軸を  $t$  (年) とした時系列グラフを作成した。100年超過確率水文量の時系列の1例として、パラメータの同定法がモーメント法の場合を Fig. 4 に、最尤法の場合を Fig. 5 に示す。いずれも長野気象官署における前線の年最大1日降水量のものである。算定した100年超過確率水文量時系列は  $t=50$  の時点までで十分に収束していた。

また同じデータで定常で求めた確率水文量の値と今回求めた収束値の1例として年最大1日降水量の場合を示したのが Table 3 である。定常で計算した値と今回の収束値を比較するとモーメント法の諏訪(2日, 前線), 長野(3日, 低気圧)と最尤法の長野(3日, 低気圧), 飯田(3日, 低気圧)以外では、すべて収束値の方が下回るという結果が得られた。よって従来の方法で計算すると確率水文量を大きく見積もっている可能性がある。一方、非分離の確率水文量と降水原因別の確率水文量のそれを比較すると、定常値の場合でも、非定常の収束値の場合でも、降水原因別の値で非分離のそれを上回るものがあることが分かった。上回ったものを見ると、それは台風の大部分と前線の1部分であり、低気圧によるものにはなかった。次に、モーメント法による確率水文量と最尤法による確率水文量を比較すると、モーメント法による確率水文量の方が大きい値を示すことが多かった。最後に、日数別に見ると、モーメント法でも最尤法でも、長野(非分離)は3日の方が2日より、軽井沢(非分離)は2日の方が1日より、軽井沢(台風)は2日の方が1日よりも確率水文量が減っていた。それ以外では、日数が増えるに従って、確率水文量の値は増加していた。ただし、年最大2日降水量から年最大3日降水量への増加分は比較的

Table 3 The stationary value and the convergent value of hydrological variable  
(Annual maximum 1 day precipitation, unit : mm).

| Station   | Weather factor | Method of moment |                  | Method of maximum likelihood |                  |
|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|------------------|
|           |                | Stationary value | Convergent value | Stationary value             | Convergent value |
| Nagano    | Front          | 124.2            | 102.4            | 112.6                        | 98.1             |
|           | Typhoon        | 127.7            | 107.6            | 134.7                        | 109.7            |
|           | Cyclone        | 105.5            | 87.9             | 89.1                         | 80.0             |
|           | Non-separation | 124.6            | 106.2            | 118.4                        | 105.9            |
| Matsumoto | Front          | 167.0            | 143.2            | 159.0                        | 134.5            |
|           | Typhoon        | 155.0            | 118.2            | 161.9                        | 123.9            |
|           | Cyclone        | 135.4            | 95.2             | 118.9                        | 100.4            |
|           | Non-separation | 161.2            | 131.0            | 152.1                        | 120.4            |
| Iida      | Front          | 233.6            | 192.5            | 218.1                        | 191.9            |
|           | Typhoon        | 216.6            | 183.5            | 221.2                        | 170.1            |
|           | Cyclone        | 211.7            | 127.8            | 183.4                        | 132.1            |
|           | Non-separation | 237.1            | 201.0            | 226.3                        | 200.4            |
| Suwa      | Front          | 175.3            | 170.2            | 185.3                        | 165.4            |
|           | Typhoon        | 164.1            | 142.2            | 176.5                        | 131.1            |
|           | Cyclone        | 152.5            | 109.0            | 147.6                        | 94.5             |
|           | Non-separation | 169.5            | 157.5            | 175.8                        | 154.9            |
| Karuizawa | Front          | 162.9            | 106.1            | 151.5                        | 104.6            |
|           | Typhoon        | 199.6            | 188.2            | 217.5                        | 193.1            |
|           | Cyclone        | 128.0            | 80.6             | 112.0                        | 81.4             |
|           | Non-separation | 179.9            | 164.0            | 175.7                        | 155.1            |

小さかった。

## 5. 確率水文量の安定性の解析

### 5.1 用いたシミュレーションデータと解析手法

解析は、あらかじめ母数を設定したグンベル分布に従う母集団から乱数を発生させ標本集団を採取し、その標本集団から推定された母数から得られた種々の確率水文量とあらかじめ設定した母数から得られた確率水文量の2種類の確率水文量から算定したBias及びRmseをもとに行う<sup>14)</sup>。母集団を設定するために、長野、非分離、年最大2日降水量の昭和39年から平成4年までの29年間のデータを用いる。そして、このデータから算定した確率水文量を真の確率水文量と仮定する。

まず、このデータからモーメント法を用いて尺度母数  $a_1$ 、位置母数  $b_1$  を推定する。次にこの  $a_1$ 、 $b_1$  をグンベル分布の確率分布関数(1)式に代入すると、水文量  $x$  は次式により求まる。

$$x = b_1 - \frac{1}{a_1} \ln\{-\ln F(x)\} \quad (6)$$

ここで、 $F(x)$ に  $(0,1)$  区間で発生させた  $n$  個の乱数の値を代入し、その乱数に対応する



$x_p$  ( $p = 1 \sim n$ ) の値を求める。次に、この  $n$  個の  $x_p$  ( $p = 1 \sim n$ ) の値を対象降水量と見なし、再びモーメント法を用いて尺度母数  $a_2$ 、位置母数  $b_2$  を推定し、この  $a_2$ 、 $b_2$  から確率水文量を算定する。以上の計算を同様の手順で発生させる乱数の個数  $n$  は固定したまま  $N$  回行い、 $N$  組の  $x_p$  ( $p = 1 \sim n$ ) を求め、それぞれの尺度母数  $a_2$ 、位置母数  $b_2$  を推定し、このパラメータから  $N$  個の確率水文量を計算する。この  $N$  個の確率水文量を用いて、竹内等<sup>14)</sup>の方法により Bias と Rmse を評価する。ここで Bias は推定された確率水文量の真値からの隔たりであり、Rmse は推定された確率水文量の真値まわりの分散の平方根である。また、Bias と Rmse が十分に安定するために、 $N = 5000$  とした。

以上のことを発生させる乱数の個数を  $n = 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$  と変えて行い、それぞれについての Bias と Rmse を算定した。その結果をグラフ化したものが Fig. 6 である。

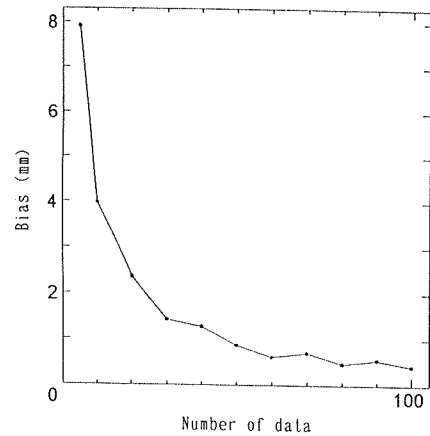
## 5.2 解析結果と考察

Fig. 6(a) は真値からの隔たりである Bias を表しており、Fig. 6(b) は標準偏差である Rmse を表している。

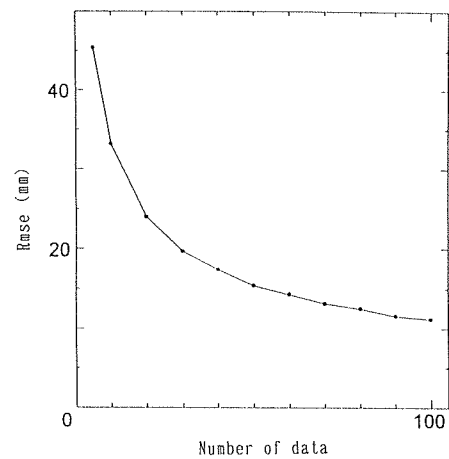
この図より、パラメータの発生させる乱数の個数を多くすると、すなわちパラメータの推定に用いるデータの数を増やせば増やすほど、真値からの隔たりも標準偏差も少なくなり、算定された確率水文量が安定していく挙動が分かった。このことより、現在はデータ数が少なく、ある程度十分なパラメータの時系列データの長さを確保するために、5年移動部分標本毎にパラメータ時系列を推定しているため、乱数の個数が  $n = 5$  の段階での安定性しか得られていないが、将来、データ数が増していけば、より安定した確率水文量が算定できるものと思われる。

## 6. あとがき

最近、水文量時系列には非定常性が存在することが報告されている。従って、水文量の頻度分析には非定常性を考慮する必要がある。著者等はこのような立場から、非定常頻度分析手法を提案してきているが、パラメータ時系列を線形回帰しているため、パラメータがいずれ不適切な値を取るという問題点を抱えていた。また、水文量時系列には適切な規



(a) Bias



(b) Rmse

Fig. 6 The relationship between the stability of hydrological variable and the number of data.

制が働き、パラメータ時系列は将来何らかの値に収束することが予想される。従って、本稿は、パラメータ時系列の推定値に収束値を有するロジスチック曲線を採用して、年最大1・2・3日降水量の非定常頻度分析を行ったものである。

年最大1・2・3日降水量としては、長野県内の5箇所の気象官署である長野、松本、飯田、諏訪、軽井沢のデータを用いた。ここで、これらのデータを降水原因別（前線、台風、低気圧）に分離したものと、非分離のものを採用した。また、これらのデータの母集団分布としてはグンベル分布を使用した。得られた成果を要約すると以下のようになる。

年最大1・2・3日降水量については、すべての地点のどの気象原因に対しても確率水文量の収束値を得ることができた。定常で計算した確率水文量と今回の非定常頻度分析の収束値の確率水文量を比較すると、モーメント法の諏訪（2日、前線）、長野（3日、低気圧）と最尤法の長野（3日、低気圧）、飯田（3日、低気圧）以外では、すべて収束値の確率水文量の方が下回るという結果が得られた。このことは、従来の治水計画における頻度分析には確率水文量を大きく見積る、すなわち過大評価を与える可能性を示唆している。更に、気象原因別に比較すると、前線の1部分及び台風の大部分の確率水文量が非分離の確率水文量より大きい値を取った。また、ほとんどの場合において台風による確率水文量が最大の値を取っていた。一方、確率水文量の安定性の結果、パラメータの算定に用いるデータ数が増す毎に、Bias及びRmseが小さくなることが把握できた。その結果、今回用いた5年移動部分標本ではデータ数が少なすぎることが判明した。

今後、解決すべき課題としては、対象としたデータから作成したパラメータ時系列とロジスチック曲線を導入して作成したパラメータ推定値の時系列の形状があっておらず、そのため確率水文量が収束するまでの時系列があまり現実的なものでない等、回帰の手法について問題が残った。非定常水文頻度分析の精度がパラメータ時系列の挙動に大きく左右されることを考慮すると、データが十分に整備された段階では移動部分標本の数を大きく取ったり、他の曲線の適用を試みる等より適切な回帰の手法を検討し、分析に矛盾が生じないような配慮が必要となる。更に、年最大1・2・3日降水量に対しては、降水原因を細分化し等質性を高める必要もある。

以上のような問題は残されているものの、年最大1・2・3日降水量の非定常頻度分析が、その母集団と仮定するグンベル分布のパラメータ時系列にロジスチック曲線を用いて実施されたことは、今後のこの降水量の非定常頻度分析に大きく貢献するものと考えられる。

## 参考文献

- 1) 寒川典昭, 河上岳史, 福本 徹: 年最大1・2・3日降水量の等質化とその頻度分析, 京都大学防災研究所水資源研究センター研究報告, 第15号, pp.43-50 (1995).
- 2) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 年降水量時系列の経年変化と非定常水文頻度分析, 環境システム研究, 第20巻, pp.25-32 (1992).
- 3) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 長野県における月降水量時系列の経年変化と確率水文量, 第4回水資源に関するシンポジウム前刷集, pp.775-780 (1992).
- 4) 寒川典昭, 中村 哲, 山田広樹: 年最大1・2・3日降水量時系列に存在する非定常性と非定常確率水文量の推定, 日本統計学会誌, 第23巻, 第2号, pp.249-262 (1993).
- 5) R. H. Webb: Late holocene flooding on the Escalante river, south-central Utah, Ph. D.

- Dissertation, The University of Arizona, Tucson, AZ (1985).
- 6) J. C. Knox : Responses of floods to holocene climate change in the upper Mississippi Valley, Quaternary Research, Vol. 23, pp.287-300 (1985).
  - 7) 寒川典昭, 山下伊千造, 南 志郎 : 千曲川下流の歴史洪水の復元と考察, 土木史研究, 第12号, pp.251-262 (1992).
  - 8) 地球温暖化影響研究会 : 地球温暖化による社会影響 (技報堂出版, 1990) pp.8-49.
  - 9) 寒川典昭, 小牧健二, 永江正一 : 周期性を考慮した年降水量時系列の非定常な確率水文量の算定, 天気, 第43巻, 第3号, pp.159-165 (1996).
  - 10) 財団法人日本気象協会長野センター : 長野県気象月報 (財団法人日本気象協会長野センター, 1964-1992).
  - 11) 藤田睦博, 神田 徹 : 水文学—確率論的手法とその応用— (技報堂出版, 1982) p.44.
  - 12) 土木学会水理委員会水理公式集例題集編集小委員会 : 水理公式集例題集 (昭和60年版) (技報堂出版, 1988) p.34.
  - 13) 岸根卓郎 : 理論・応用統計学 (養賢堂, 1966) pp.156-159.
  - 14) 竹内邦良, 土屋一仁 : 正規分布および3母数対数正規分布のPWM解の性能について, 土木学会論文集, 第393号/II-9, pp.103-112 (1988).