

## 論 文

L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点  
における年最深積雪の再現期待値

大西 雄基\*・水野 量\*\*

Return Period Values of Extreme Snow Depth over Japan Using Regional  
Frequency Analysis with L-moment Methods

Yuuki OHNISHI and Hakaru MIZUNO

## 要 旨

大雪による災害に備えるための基礎データとして、時空間密度が高いアメダス積雪深計による年最深積雪のデータに対して、L-moment法・地域頻度解析を用いて再現期間5年～200年の再現期待値を推定した。解析対象地点は統計年数20年以上を確保できる170地点であり、統計期間は1980～2005寒候年である。アメダス積雪深計の統計年数は最長で26年であるが、L-moment法と地域頻度解析を用いることにより、統計年数100年程度のデータに対する1地点解析と同程度の推定精度があるということを示した。また、1地点解析に対して経年変化を考慮することの有効性を示した。

## 1. はじめに

大雪は、建物や交通網などに甚大な被害をもたらす。平成18年豪雪では、消防庁によると2006年3月31日現在、死亡152人、重傷902人、軽傷1243人、全壊18棟、半壊28棟、一部破損4667棟、床上浸水12棟、床下浸水101棟などの被害状況となっている (<http://www.fdma.go.jp/data/010608251903144250.pdf>, accessed 2007-1-26)。このような被害に備えるには、積雪の頻度及び規模について知る必要がある。

日本建築学会(2004)が作成した建築荷重指針では、建物の構造計算に必要な積雪荷重の基本

値として再現期間100年の最深積雪が必要である。積雪の頻度と規模を表現するため、頻度に関しては「再現期間」が、また規模に関しては「再現期待値」がそれぞれ用いられる。例えば、 $T$ 年に1回の確率で年最深積雪が $X_T$ となるとする場合、 $T$ が再現期間で、 $X_T$ が $T$ に対応する再現期待値である。

再現期待値を求める統計解析手法は、水文・水資源学会(1997)に良くまとめられている。実際に観測された年最深積雪を $X$ とするとき、確率密度関数 $f(x)(>0)$ はどの程度の頻度で $X$ が生じるかを特定する。 $X$ が独立で、ある確率密度関数 $f(x)$ に従うとすると、分布関数 $F(x)$ は(1)式のようになる。

\* 気象大学校(2007年4月から厚生労働省大臣官房統計情報部)。

\*\* 気象大学校(2008年4月から気象庁観測部)

(2007年7月6日受領, 2008年7月2日受理)

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (1)$$

$F(x)$ は、 $X$ が $x$ を超えない確率を表し、非超過確率と呼ばれる。(1)式と $f(x) > 0$ から、 $F(x)$ は単調増加である。つまり、 $F(x)$ と $X$ は1対1の関係にある。また、 $T$ と $F(x)$ の関係は、

$$T = \frac{1}{1 - F(x)} \quad (2)$$

のようになる。(2)式より、 $T$ と $F(x)$ は1対1の関係にある。したがって、 $T$ と $X$ は1対1の関係にあり、 $F(x)$ の逆関数 $x(F)$ がクオンタイル関数である。

積雪の再現期待値は、通常、年最深積雪に対する極値解析によって推定される。年最深積雪は、ある積雪の上に降雪が加わり、雪の密度の増加や融解など複雑な過程を経た量である。また、個々の降雪は、複数の降雪機構(母集団)からの標本である可能性がある。このような降雪の複雑な積算として形成される積雪に一つの極値分布を適用することには問題があると考えられる報告(和泉ほか, 1988)がある。しかし、本研究では、地域的な最深積雪の確率値を求めることが実際上必要であると考え、一般化極値分布や対数正規分布を含む5つの分布の中から最も適合する分布形を選んで積雪の再現期待値を推定する。

年最深積雪に関する極値解析は、これまでさまざまな方法で行われてきた。その主なものとして、第1表に示すように解説資料第3号「積雪の統計」(気象庁観測部, 1976)、建築研究資料No. 67「年最大積雪深及び年最大積雪強度の再現期間値」(和泉ほか, 1989)、及び解説資料第21号「積雪の統計(II)」(気象庁観測部, 1994)がある。

これらの再現期待値の求め方について述べる。解説資料第3号「積雪の統計」では、観測値を片対数方眼紙にHazenプロットすることにより再現期待値を求めている。また、建築研究資料No. 67「年最大積雪深及び年最大積雪強度の再現期間値」では、観測値を極値I型分布の確率紙にHazenプロット

することにより再現期待値を求めている。ここで、Hazenプロットとは、

$$P_j = 1 - \frac{2j-1}{2N} \quad (3)$$

を確率紙にプロットすることである。ここで、 $P_j$ : 変数 $x$ の標本の大きな方から数えて $j$ 番目の標本値の経験的非超過確率、 $N$ : 標本数、である。また、極値I型分布の分布関数は、

$$F(x) = \exp[-\exp\{-a(x-b)\}] \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 $a$ : 尺度パラメータ、 $b$ : 位置パラメータ、である。

解説資料第21号「積雪の統計(II)」では、観測値に対して岩井法を用いて対数正規分布に当てはめることにより再現期待値を求めている。岩井法とは、(5)~(9)式によって再現期待値を求める方法である。

$$\log(X+b) = \log(x_0+b) + \frac{1}{a}\xi \quad (5)$$

$$\log x_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\log x_i}{n} \quad (6)$$

$$b = \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{m} \quad (7)$$

$$b_i = \frac{x_{(i)}x_{(n-i+1)} - x_0^2}{2x_0 - (x_{(i)} + x_{(n-i+1)})} \quad (8)$$

$$\frac{1}{a} = \sqrt{\frac{2}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \log \frac{x_i+b}{x_0+b} \right)^2} \quad (9)$$

ここで、 $\xi$ : 補正係数、 $n$ : 観測値の個数、 $m$ :  $\frac{n}{10}$ に最も近い整数、 $x_i$ : 小さい方から $i$ 番目の観測値である。ただし、 $-b$ が $x_i$ より大きいとき、 $b=0$ とする。また、年最深積雪が0cmに満たない年は、年最深積雪を1cmとみなして計算し、最終結果から1cmを差し引く。

これらの極値解析はともに、1地点のみのデータ

第1表 これまで行われた積雪に関する極値解析の概要

資料名	統計期間(寒候年)	地点数	再現期待値の求め方
解説資料第3号「積雪の統計」 <sup>※1</sup>	1887~1970	214	対数方眼紙
建築研究資料No.67「年最大積雪深及び年最大積雪強度の再現期間値」 <sup>※2</sup>	1983 までの約30年 <sup>※4</sup>	423	極値I型確率紙
解説資料第21号「積雪の統計(II)」 <sup>※3</sup>	1877~1990	146	岩井法(対数正規分布)

※1 気象庁観測部(1976), ※2和泉ほか(1989), ※3 気象庁観測部(1994).

※4 明記されていないため統計年数を示す

に対して積率法を用いて解析を行っている。1地点解析では、①統計期間が短い地点において十分な精度の推定ができないこと、②求められる再現期待値はある特定の場所に対するものであること、という不十分さがある。また、Hosking(1990)によると、積率法では高次のmomentsが求められない場合がある。さらに、観測場所の変更による統計的切断を考慮していない。

この問題に対処するために、本研究では観測場所の変更を考慮したデータに対して、L-moment法・地域頻度解析を用いて極値統計解析を行った。第2章で用いたデータについて、第3章で解析方法(L-moment法、地域頻度解析、トレンドモデル)について説明する。第4章で解析結果を示し、第5章で理論値及び従来の1地点解析との比較・検討を行う。

## 2. データ

用いたデータは次の2種類の積雪データである。1つは、アメダス積雪深計による年最深積雪であり、L-moment法・地域頻度解析による再現期待値推定に用いた。もう1つは、アメダス積雪深計データと合わせて統計年数100年程度のデータに対する1地点解析を行うために用いたアメダス観測以前のデータである。

アメダス積雪深計による年最深積雪を気象庁気象資料電子データベースの地域気象観測年集計表-地域気象観測積雪年報から取得した。アメダスのデータを用いた理由として、以下の3つがある。

(1) 時空間密度の高さ：時間的には1時間間隔で、空間的には約700km<sup>2</sup>当たり1地点の密度で全国の積雪地域に287地点(2005年1月1日現在)の観測点がある。

(2) データの蓄積：Hosking and Wallis(1997)によると、L-moment法・地域頻度解析を用いた場合、十分な精度の推定を行うためには統計期間が20年以上必要である。アメダス積雪深計は1980年以降設置されており、2006年4月現在、統計期間20年以上の地点が半数を超えている。

(3) 今後蓄積されていくと考えられるデータであること：現在有人観測が行われている地点においても今後アメダス積雪深計に置き換わっていくと考えられる。

統計期間は、利用可能な1980寒候年から、データを取得した2006年4月時点で最新であった2005寒候年である。推定精度を保つため、統計期間が20年以上の地点のみを用いた。その結果、地点数は第1図に示す170となった。なお、寒候年とは前年の初冬から当年の春までを指す。例えば、2005寒候年は2004年の初冬から2005年の春までである。

また、アメダス観測開始以前のデータは、1963年までを気象庁技術報告第34号「積雪累年気候表」(気象庁, 1964)から、1966年からアメダス観測開始の前年までを「地域気象観測所年報」から取得した。1964年及び1965年のデータについては、入手できなかったため欠測扱いとした。

### 3. 方法

積雪の再現期待値の推定に用いた方法は、L-moment 法と地域頻度解析である。Hosking and Wallis(1997)から要約して L-moment 法と地域頻度解析を説明する。また、地域頻度解析の結果を比較するため、1 地点解析を行った。さらに、1 地点解析に対して経年変化を考慮する際、Coles(2001)によるトレンドモデルを利用した。

#### 3.1 L-moment 法

L-moment 法は、Hosking(1990)によって提案され、従来の積率法に比べて変動やバイアスが小さい統計量を求めることができる。

##### 3.1.1 定義

1 ~ 4 次の L-moments の定義式 (10) ~ (13) を示す。

$$\lambda_1 = E(X_{1:1}) \quad (10)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} E(X_{2:2} - X_{1:2}) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \lambda_3 &= \frac{1}{3} E(X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}) \\ &= \frac{1}{3} E\{(X_{3:3} - X_{2:3}) - (X_{2:3} - X_{1:3})\} \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_4 &= \frac{1}{4} E(X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}) \\ &= \frac{1}{4} E\{(X_{4:4} - X_{1:4}) - 3(X_{3:4} - X_{2:4})\} \quad (13) \end{aligned}$$

ここで、 $X_{k:n}$  は順序統計量で、 $n$  個の標本のうち小さい方から  $k$  番目の観測値である。 $E(\quad)$  は期待値を示す。

まず、1 次の L-moments について説明する。母集団から 1 つの標本  $X_{1:1}$  を取り出す。これは分布の location に相当する。第 2 図 (a) のように、分布が大きな値の方にシフトしたら、 $X_{1:1}$  の大きな値を観測する。

次に、2 次の L-moments について説明する。母

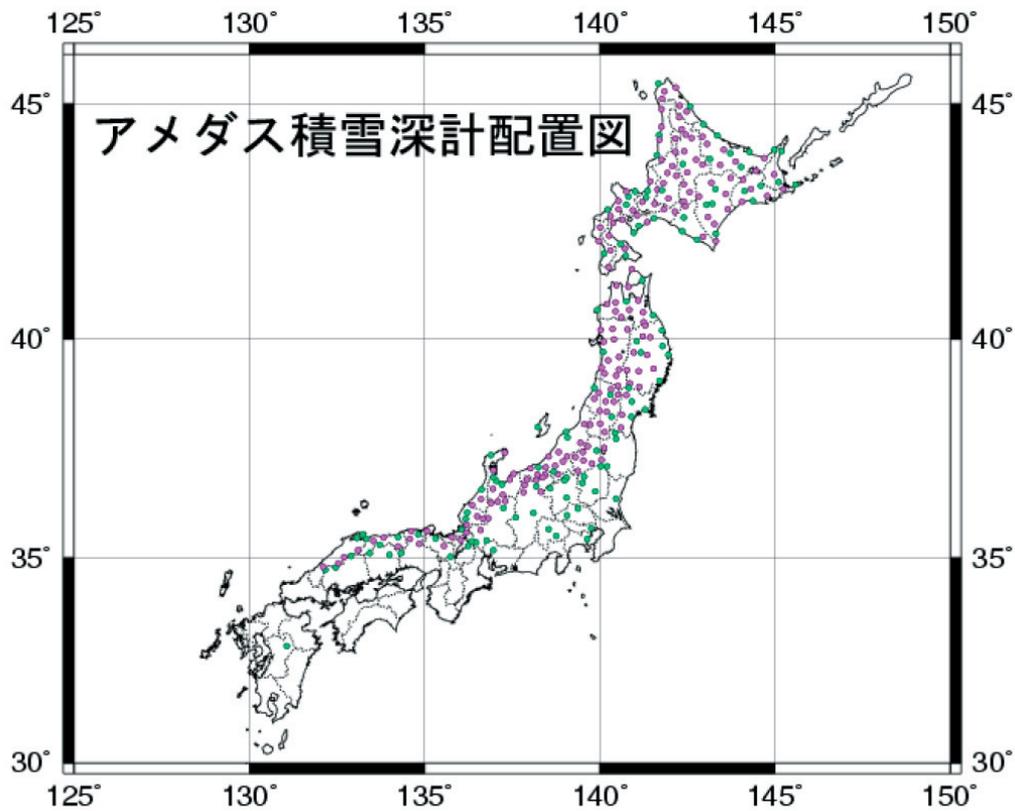
集団から 2 つの標本  $X_{1:2}$  と  $X_{2:2}$  を取り出す。第 2 図 (b) 左のように、分布が中央値の近くに集まるなら、2 つの観測値は互いに近づく傾向にある。第 2 図 (b) 右のように、分布が広く分散するなら、2 つの観測値は概して離れる。このように 2 つの観測値の差  $X_{2:2} - X_{1:2}$  は分布の scale, すなわちばらつきを評価している。

3 次の L-moments について説明する。母集団から 3 つの標本  $X_{1:3} \leq X_{2:3} \leq X_{3:3}$  を取り出す。第 2 図 (c) 左のように、分布が中央値について対称なら、2 つの両端の値は概して中央値からおおよそ等距離である。つまり、 $X_{3:3} - X_{2:3} \approx X_{2:3} - X_{1:3}$  もしくは  $X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3} \approx 0$  である。第 2 図 (c) 右のように、分布が右にひずんでいるなら、右側の裾は左側の裾より厚くなり、概して  $X_{3:3} - X_{2:3}$  は  $X_{2:3} - X_{1:3}$  より大きい。だから  $X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}$  は正である。同様に、分布が左にひずんでいるなら、概して  $X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}$  は負である。このように  $X_{3:3} - 2X_{2:3} + X_{1:3}$  は、分布の skewness, すなわち歪みを評価している。

最後に、4 次の L-moments について説明する。母集団から 4 つの標本  $X_{1:4} \leq X_{2:4} \leq X_{3:4} \leq X_{4:4}$  を取り出す。 $X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}$  を  $(X_{4:4} - X_{1:4}) - 3(X_{3:4} - X_{2:4})$  と変形すると、標本の両端の値が中央の 2 つの値よりどの位離れているかを評価しているとわかる。第 2 図 (d) 左のように、分布が一様密度関数に従うなら、標本値は概しておおよそ等間隔となり、 $X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}$  は 0 に近づく。第 2 図 (d) 右のように、分布が中央に高いピークを持ち、長い裾を持つなら、 $X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}$  は概して大きい。このように  $X_{4:4} - 3X_{3:4} + 3X_{2:4} - X_{1:4}$  は分布の kurtosis, すなわち尖りの評価である。

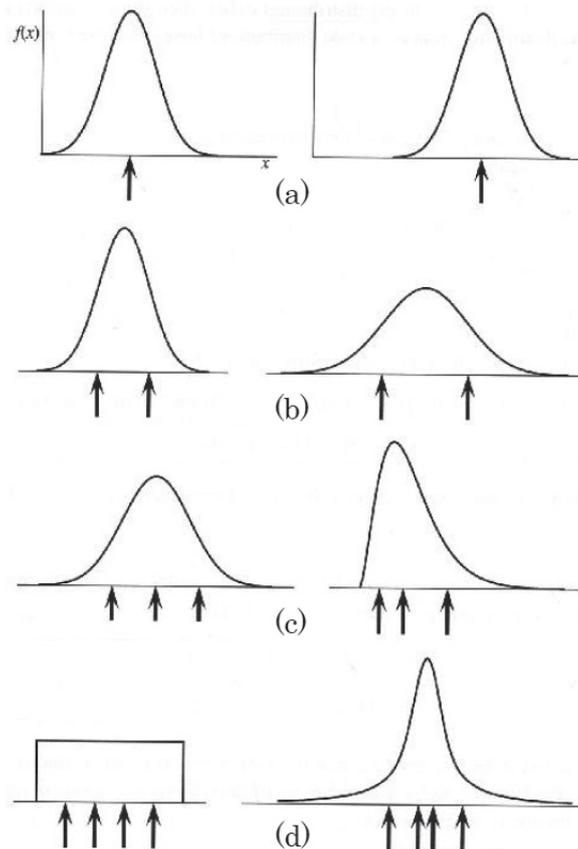
一般に、L-moments は (14) 式で定義される。

$$\lambda_r = \frac{1}{r} \sum_{j=0}^{r-1} C_j E(X_{r-j:r}) \quad (14)$$



第1図 アメダス積雪深計配置図

● : 利用した170地点, ● : 利用しなかった117地点, 2005年1月1日現在.



第2図 1~4次のL-momentsの説明図

黒矢印は順序統計量  $X_{k:n}$  ( $n$ : 矢印の数,  $k$ : 左から  $1, 2, \dots, n$ ) を示す.

$${}_r C_j = \frac{r!}{(r-j)!j!} \quad (15)$$

次に、L-moments 比の定義式を示す。

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (16)$$

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2} \quad (r=3,4,\dots) \quad (17)$$

$\tau$ ,  $\tau_3$ ,  $\tau_4$  は、それぞれ L-CV, L-skewness, L-kurtosis と呼ばれ、変動係数、歪み係数、尖り係数に相当する。

なお、 $X$ と $Y$ をそれぞれ L-moments  $\lambda_i$ と $\lambda_i^*$ を持つランダム変数とすると、 $Y = aX (a > 0)$  という線形変換に対して、 $\lambda_1^* = a\lambda_1$ ,  $\lambda_2^* = a\lambda_2$ ,  $\tau_3^* = \tau_3$ ,  $\tau_4^* = \tau_4$  が成り立つ。したがって、 $X$ と $Y$ を $\lambda_1$ と $\lambda_1^*$ でそれぞれで規格化すると、パラメータ (平均, L-CV, L-skewness, L-kurtosis) が同じになり、同じ分布に従う地点データを統合して解析を行う地域頻度解析に便利な性質である。

### 3.1.2 標本 L-moments

L-moments は、Greenwood et al.(1979) の確率重み付き積率を発展させたものである。分布関数  $F(x)$  に従うランダムな変数  $X$  の確率重み付き積率は、(18) 式のように Greenwood et al.(1979) によって定義された。

$$M_{p,r,s} = E[X^p \{F(X)\}^r \{1-F(X)\}^s] \quad (18)$$

(18) 式において、 $p=1$ ,  $s=0$  とし、 $\beta_r = M_{1,r,0}$  とする。クオンタイル関数  $x(u)$  を持つ分布に対して、次の (19) 式より (20) 式が導かれる。

$$E\{g(X)\} = \int_{-\infty}^{\infty} g(x) dF(x) = \int_0^1 g\{x(u)\} du \quad (19)$$

$$\beta_r = \int_0^1 x(u) u^r du \quad (20)$$

$\beta_r$  の不偏推定量は (21) 式のようになる。

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n C_r x_{j:n} \quad (21)$$

(21) 式を  $r=0,1,2,3$  について具体的に書くと、(22) 式のようになる。

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{j:n}, \\ b_1 &= \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{j-1}{n-1} x_{j:n}, \\ b_2 &= \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{j-1}{n-1} \frac{j-2}{n-2} x_{j:n}, \\ b_3 &= \frac{1}{n} \sum_{j=4}^n \frac{j-1}{n-1} \frac{j-2}{n-2} \frac{j-3}{n-3} x_{j:n}. \end{aligned} \quad (22)$$

$\beta_r$  を用いて、(23) 式のように L-moments を定義することもできる。

$$\lambda_r = \int_0^1 x(u) P_{r-1}^*(u) du = \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k}^* \int_0^1 x(u) u^k du = \sum_{k=0}^{r-1} p_{r-1,k}^* \beta_k \quad (23)$$

$$p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} C_{r-k} C_k = \frac{(-1)^{r-k} (r+k)!}{(k!)^2 (r-k)!} \quad (24)$$

(23) 式を 1~4 次の L-moments について具体的に書くと、(25) 式のようになる。

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \beta_0, \\ \lambda_2 &= 2\beta_1 - \beta_0, \\ \lambda_3 &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0, \\ \lambda_4 &= 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0. \end{aligned} \quad (25)$$

(25) 式より、標本 L-moments  $l_r$  は (26) 式のようになる。

$$\begin{aligned} l_1 &= b_0, \\ l_2 &= 2b_1 - b_0, \\ l_3 &= 6b_2 - 6b_1 + b_0, \\ l_4 &= 20b_3 - 30b_2 + 12b_1 - b_0. \end{aligned} \quad (26)$$

一般には、(23) 式より (27) 式のようになる。

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* b_k \tag{27}$$

$l_r$  は  $\lambda_r$  の不偏推定量である.

(16), (17) 式より, 標本 L-moments 比  $t$ ,  $t_r$  は (28) 式のようになる.

$$t = \frac{l_2}{l_1},$$

$$t_r = \frac{l_r}{l_2} (r = 3, 4, \dots). \tag{28}$$

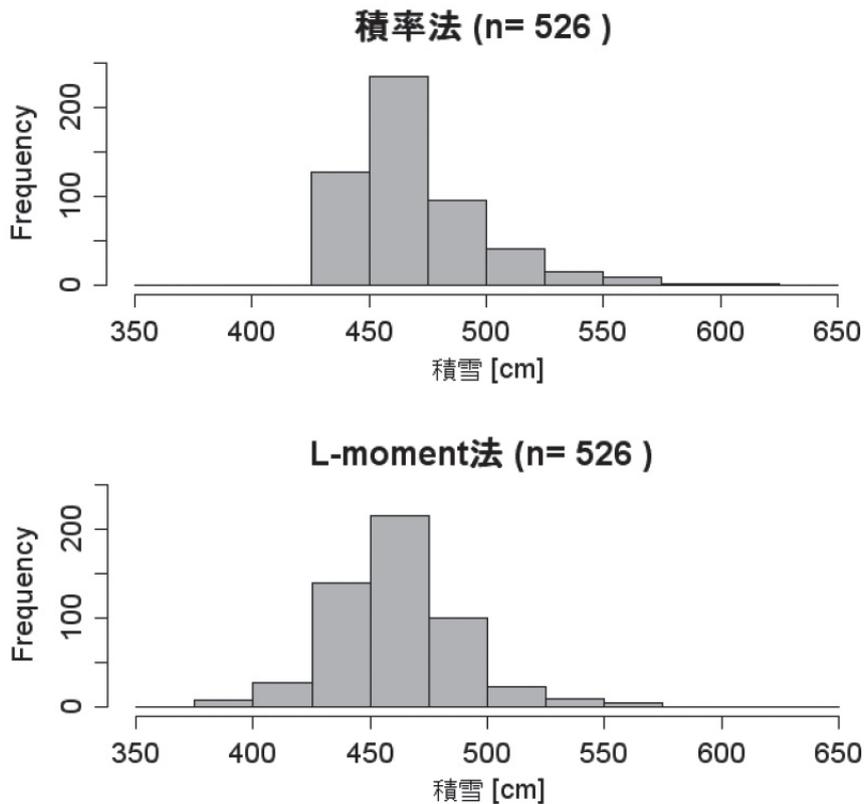
$t$ ,  $t_r$  はそれぞれ  $\tau$ ,  $\tau_r$  の不偏推定量である.

### 3.1.3 利点

L-moments は, 平均, ばらつき, 歪み, 尖りなどの統計量をデータの線形和で表される. 一方, 積率法は, データの累乗で表現される. そのため,

L-moments の方が外れ値やデータの偏り・変動に対して強いという利点が挙げられる.

第3図は, モンテカルロシミュレーションによって積率法と L-moment 法によって推定された再現期待値をヒストグラムで比較したものである. 標本として積雪の年最大値が Gumbel 分布 (新潟県内の積雪データを代表するものとして, 位置パラメータ  $\xi = 155$ , スケールパラメータ  $\alpha = 55$  を与えた) に従うデータ 25 個 (統計年数 25 年に相当) をランダムに発生させ, この標本から積率法と L-moment 法によって Gumbel 分布のパラメータを求めて 50 年再現期待値を推定した. このようなシミュレーションを 10,000 回行い, 1 標本内のデータ数が 25 個と少ないため各回の標本による 50 年再現期待値 (積率法, L-moment 法) は母分布の 50 年再現期待値 (345cm) のまわりに大きく分散した. 10,000 回のシミュレーション結果では, 積率法, L-moment 法



第3図 積率法と L-moment 法によって推定された再現期待値のヒストグラム

積雪の年最大値が Gumbel 分布 (位置パラメータ  $\xi = 150$ , スケールパラメータ  $\alpha = 55$ ) に従う標本 (データ数 25 個) を発生させ, 標本から積率法と L-moment 法によって 50 年再現期待値を求めるモンテカルロシミュレーションを 10,000 回行った. 積率法によって推定された 50 年再現期待値が母分布の 200 年再現期待値 (441cm) を超える標本 526 回について, 積率法と L-moment 法による再現期待値のヒストグラムを比較している.

とも 526 回 (約 5%) の標本で 50 年再現期待値は母分布の 200 年再現期待値 (441cm) よりも大きく計算された。第 3 図は、積率法による 50 年再現期待値が母分布の 200 年再現期待値を超えて計算された標本 (大きな値のデータが含まれている標本) 526 回について、積率法と L-moment 法による再現期待値のヒストグラムを示している。第 3 図の作成に用いられた大きなデータを含む標本に対して、L-moment 法の方が積率法よりも再現期待値の分散が小さく推定されていることがわかる。

また、L-moments は、平均が存在すれば高次の L-moments も存在する。一方、Hosking(1990)によると、積率法では高次の moments が存在できない場合がある。このことも L-moments を用いる利点と言える。

### 3.2 地域頻度解析

地域頻度解析は、Hosking and Wallis(1993)によって提案され、地域内の数多くの地点のデータを用いて極値の分布関数を推定する方法である。

#### 3.2.1 概要

アメダス積雪深計のデータは、1980～2005 寒候年の 26 年分であり、1 地点解析では、より長期間の再現期待値に対して推定精度が悪くなる。そのため、地域頻度解析では、分布が似た地域を同質な地域とみなし、データ数を増やして推定精度を改善している。例えば、統計年数 25 年の地点 20 箇所におけるデータが同一分布の独立標本データであるとする、見かけ上  $25 \times 20 = 500$  年分のデータとなる。第 4 図左は、同じ分布型からデータを人工的に発生させた場合の統計期間 25 年のある地点の分布である。それらをまとめたものが第 4 図右で、分布が滑らかになっており、分布関数を表すパラメータ推定の精度が改善される。

また、地域頻度解析の手順は 3.2.2～3.2.5 の 4 段階からなる。

#### 3.2.2 データの検定

まず、データに含まれる異常値などを取り除くデ

ータ検定を行う。すなわち、あるグループ中に調和していない地点を次のようにして見つける。グループの中に地点あるとする。地点  $i (= 1, 2, \dots, N)$  に対する  $t, t_3, t_4$  を含むベクトルとして、 $u_i = \{t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}\}^T$  を作る。ここで、上付きの  $T$  はベクトルまたは行列の転置を意味する。次に、(29) 式と (30) 式により  $\bar{u}$  と  $A$  を求める。

$$\bar{u} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i \quad (29)$$

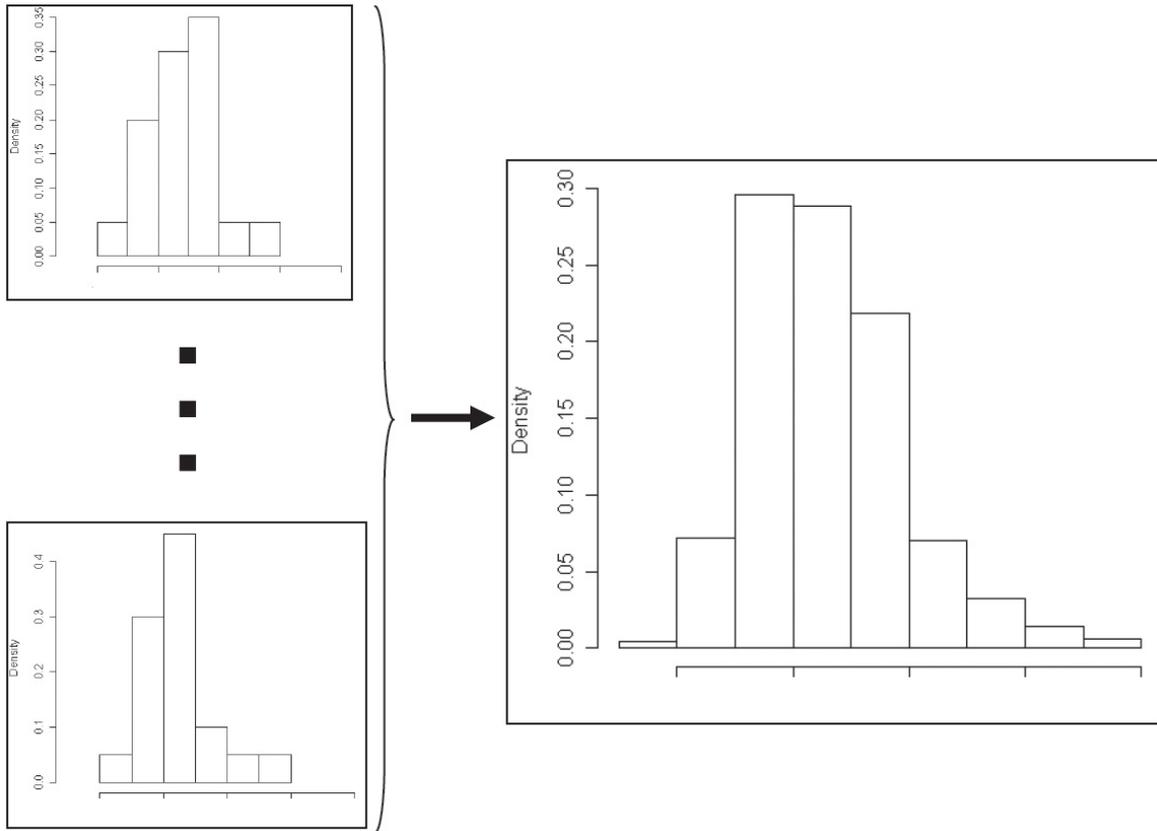
$$A = \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^T \quad (30)$$

そうすると、地点  $i$  に対する不調和は、(31) 式の  $D_i$  で評価される。

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \bar{u})^T A^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (31)$$

上式は、ある場所の標本 L-moment 比 (L-CV, L-skewness, L-kurtosis) を 3 次元空間における点とみなした場合、 $D_i$  はこの点とグループの中心との距離を表している。

$u_i$  が独立で同一の多変量正規分布から取り出されるなら、Wilks の統計量の分布は得られ (Wilks(1963), Caroni and Prescott(1992) を Hosking and Wallis(1997) より引用)、外れ値の存在に対する有意性検定が得られる。有意水準  $\alpha$  に対して、 $\max_i D_i$  のおおよその臨界値は  $\frac{(N-1)Z}{N-4+3Z}$  である。ここで、 $Z$  は自由度 3 と  $N-4$  を持つ F 分布の上位  $100\alpha/N\%$  点である。この臨界値は  $\alpha$  と  $N$  の関数である。 $\alpha = 0.10$  を選択をするが、この  $\alpha$  の選択で、実際に同質地域を構成する地点のグループにおいて少なくとも 1 地点は調和していないとされる可能性がおおよそ 10% ある。 $\alpha = 0.10$  で  $5 \leq N < 15$  に対して、臨界値は第 2 表における値である。 $N \geq 15$  に対して、臨界値は 3 以上だが、 $D_i > 3$  である場所はとにかく調和していないとみなすことが勧められる。なぜならば、そのような地点はグループ内の他の地点に対する平均とは明らかに違う L-moment 比を持つからである。



第4図 地域頻度解析の概念図

横軸は再現期待値を求める対象（本研究においては年最深積雪）を示し、縦軸は確率密度を示す。

第2表  $D_i$ の臨界点

地点数 $N$	$\max_i D_i$
5	1.333
6	1.648
7	1.917
8	2.140
9	2.329
10	2.491
11	2.632
12	2.757
13	2.869
14	2.971
15以上	3.000

第3表 自由度の差  $k$  と  $\chi_k^2$

$k$	$\chi_k^2$
1	3.841
2	5.991
3	7.815
4	9.488

### 3.2.3 地域分け

1 地域に約 20 地点以上含まれていても、それほど推定精度が上がるわけではないとされている (Hosking and Wallis, 1997). そのため、170 地点を 20 地点前後で構成される地域に分けた。地域分けを行う手法としては、地理的に分ける方法や、累年平均値によって分ける方法などさまざまな方法が考えられる。この研究では、最初にクラスター分析を用いて地域分けを行った。変数は、年最深積雪累年平均値の 1/3 乗・起日の累年平均値、緯度、経度、標高の 1/5 乗の 5 つである。ここで、起日とは、年最深積雪が観測された日を 1 寒候年において 1 月 1 日から数えたものである。クラスター分析の変数を正規分布に近い分布に従う変数にするため、年最深積雪の累年平均値と標高に関しては適当な変換をした。クラスター分析の手法は、Ward 法で行った。Ward 法については、河口 (1978) に記述がある。

次に、構成された地域が同質であるかを調べるための統計量  $H$  を導入する。

構成された地域は  $N$  地点を含み、地点  $i$  が記録長  $n_i$  と標本 L-moment 比  $t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}$  を持つと考える。 $t^R, t_3^R, t_4^R$  は、それぞれ地点ごとの記録長に比例して重みを付けられた地域平均 L-CV, L-skewness, L-kurtosis とする。例えば、 $t^R$  は (32) 式で与えられる。

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (32)$$

次に、地点ごとの標本 L-CV の重みを付けた標準偏差を計算する。

$$V = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N n_i (t^{(i)} - t^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i} \right\}^{1/2} \quad (33)$$

次に、頻度分布として L-moment が 1,  $t^R, t_3^R, t_4^R$  の kappa 分布を持つ  $N$  地点の地域を  $N_{sim}$  回シミュレーションする。シミュレーションされた

地域は同質で、相互相関や連続的な相関を持たない。各地点はそれぞれの観測と同じ記録長を持つ。それぞれのシミュレーションした地域に対して、(33) 式と同様に  $V$  を計算する。なお、Hosking and Wallis (1997) に従い  $N_{sim} = 500$  とした。 $N_{sim}$  のシミュレーションから、 $V$  の平均と標準偏差を決める。これらをそれぞれ  $\mu_V, \sigma_V$  とする。

最後に、地域内の異質性を表す (34) 式の  $H$  を計算する。

$$H = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V} \quad (34)$$

$H$  が十分大きければ、地域は異質である。 $H < 1$  なら、地域を許容可能な程度に同質であるとみなし、 $1 \leq H < 2$  なら、恐らく異質であるとみなし、 $H \geq 2$  なら、絶対に異質であるとみなすことが Hosking and Wallis (1997) において勧められている。なら、異質とした。

クラスター分析の結果のみを用いると、 $H < 2$  を満たす 1 地域の構成地点数が 20 を大きく割り込む地域が出てきた。これを避けるため、クラスター分析の 1 つ上の段階に対しての大小によって地域を構成し、 $H < 2$  となるようにした。

### 3.2.4 分布型の選択

3.2.3 で構成した同質な地域がどの確率密度関数に従うかを調べた。候補関数として、一般 Pareto 分布 (GPA), 一般極値分布 (GEV), 一般 logistic 分布 (GLO), 対数正規分布 (LN3), Pearson III 型分布 (PE3) の 5 つを用意した。そのいずれにも当てはまらない場合には、Wakeby 分布 (WAK) を当てはめた。それを調べる統計量として、次のように  $Z$  を導入する。

地域は  $N$  地点含み、地点  $i$  は記録長  $n_i$ , 標本 L-moment 比  $t^{(i)}, t_3^{(i)}, t_4^{(i)}$  を持つと想定する。 $t^R, t_3^R, t_4^R$  で、(32) 式におけるように、場所の記録長に比例して重みを付けた地域平均 L-CV, L-skewness, L-kurtosis を表す。最初に、それぞれの分布を地域平均 L-moment 1,  $t^R, t_3^R, t_4^R$  に合わせる。 $\tau_4^{DIST}$  で合わせられた分布の L-kurtosis を

表す。ここで、DISTは分布関数名である。次に、kappa分布を地域平均L-moment比1,  $t^R$ ,  $t_3^R$ ,  $t_4^R$ に合わせる。

$N$ 地点を含む地域の $N_{sim}$ 回のシミュレーションをし、それぞれがその頻度分布としてこのkappa分布に従う。シミュレーションされた地域は同質で、相互相関や連続的な相関を持たない。各地点はそれらの観測と同じ記録長を持つ。kappa分布のfittingやkappa地域のシミュレーションは3.2.3で述べた異質性評価に対するときと同じように計算される。 $m$ 回目のシミュレーション地域に対して、地域平均L-skewness  $t_3^{[m]}$ とL-kurtosis  $t_4^{[m]}$ を計算する。

次に、 $t_4^R$ の偏り:(35)式、 $t_4^R$ の標準偏差:(36)式、それぞれの地域に対する適合度評価:(37)式を計算する。

$$B_4 = \frac{1}{N_{sim}} \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R) \quad (35)$$

$$\sigma_4 = \left[ \frac{1}{N_{sim} - 1} \left\{ \sum_{m=1}^{N_{sim}} (t_4^{[m]} - t_4^R)^2 - N_{sim} B_4^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (36)$$

$$Z^{DIST} = \frac{\tau_4^{DIST} - t_4^R + B_4}{\sigma_4} \quad (37)$$

もし $Z^{DIST}$ が十分0に近いなら、適合は十分であるとす。十分0に近いという妥当な基準は $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ である。 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ は、90%の信頼区間で仮説分布の許容に対応する。 $|Z^{DIST}| \leq 1.64$ を満たし、最小の分布を選択した。

### 3.2.5 クオントイル推定

3.2.4で選択した分布に基づき、地域のクオントイル関数 $\hat{q}(F)$ を求めた。 $\hat{q}(F)$ は $I_1^R = 1$ として求めているので、地点ごとのクオントイル関数 $\hat{Q}_i(F)$ は(38)式によって求められる。

$$\hat{Q}_i(F) = I_1^{(i)} \hat{q}(F) \quad (38)$$

ここで、 $I_1^{(i)}$ は地点 $i$ における累年平均値である。 $T = 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200$ に対して求めた。

再現期待値の70%標本誤差範囲も求めた。例えば、100年のうち、どの25年を取るかによって再現期待値も変わる。そこで各地点において、求めたパラメータに従う分布からランダムに統計年数分の標本を取り出し、この標本に対して再現期待値を求めた。これを1000回繰り返し、各再現期間において小さい順に151番目から850番目を70%標本誤差範囲とした。

### 3.3 トレンドモデル

統計期間100年程度のデータを利用した再現期待値を推定するため、Coles(2001)による経年変化を考慮したトレンドモデルを利用した。パラメータ推定は、最尤法を用いて行われる。パラメータ推定に関する他の技術に対する最尤法の利点は、モデル構造の変化に対する適応性である。例として、時間 $t = 1, \dots, m$ に対するトレンド推定対象 $Z_t$ の分布を示す非定常GEVモデル $Z_t \sim GEV(\mu(t), \sigma(t), \xi(t))$ を考える。ここで、は次のトレンドモデルであれば、

$$\mu(t) = (I_1(t), I_2(t), \dots, I_k(t)) \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_k \end{pmatrix} \quad (39)$$

で与えられ、 $\sigma(t)$ ,  $\xi(t)$ も同様である。また $I_k(t)$ は、(40)式で与えられる。

$$I_k(t) = \left( \frac{\text{観測年} - \text{観測開始年} + 1}{\text{最新観測年} - \text{観測開始年} + 2} \right)^k \quad (40)$$

$\beta$ でパラメータベクトルを示すと、尤度は、

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^m f_{GEV}(z_i; \mu(t), \sigma(t), \xi(t)) \quad (41)$$

となる。ここで、 $f_{GEV}(z_i; \mu(t), \sigma(t), \xi(t))$ は $Z_t$ における分布パラメータ $\mu(t)$ ,  $\sigma(t)$ ,  $\xi(t)$ を持つ一般極値分布(GEV)の確率密度

関数である. すべての  $t$  に対して  $\xi(t) \neq 0$  かつ

$$1 + \xi(t) \frac{z_t - \mu(t)}{\sigma(t)} > 0 \quad (t=1, \dots, m) \quad \text{ならば, 対数}$$

尤度は,

$$l(\mu, \sigma, \xi) = -\sum_{t=1}^m \left[ \log \sigma(t) + \left(1 + \frac{1}{\xi(t)}\right) \log \left\{ 1 + \xi(t) \frac{z_t - \mu(t)}{\sigma(t)} \right\} + \left\{ 1 + \xi(t) \frac{z_t - \mu(t)}{\sigma(t)} \right\}^{-1/\xi(t)} \right] \quad (42)$$

となる. ある  $t$  に対して  $\xi(t) = 0$  ならば, (42) 式において  $\xi(t) \rightarrow 0$  として,

$$l(\mu, \sigma, \xi) = -\sum_{t=1}^m \left[ \log \sigma(t) + \frac{z_t - \mu(t)}{\sigma(t)} + \exp \left\{ -\frac{z_t - \mu(t)}{\sigma(t)} \right\} \right] \quad (43)$$

となる. (42) 式もしくは (43) 式が最大になるように  $\beta$  の最尤推定が決められる.

また, 有意な経年変化であるかを検定する必要がある. モデル  $M_0 \subset M_1$  として, (44) 式の統計量を用いる.

$$D = 2 \{ l_1(M_1) - l_0(M_0) \} \quad (44)$$

ここで,  $l_0(M_0)$ ,  $l_1(M_1)$  はそれぞれ  $M_0$ ,  $M_1$  における最大対数尤度である.  $D$  が大きければ,  $M_1$  が  $M_0$  よりデータ中の変動をより良く説明している. 逆に  $D$  が小さければ, 経年変化をより高次の項まで考慮したことによって, モデルのデータ説明能力に有意な改善が見られなかったということの意味している.

有意な  $D$  の基準として  $\chi^2$  検定が用いられる (Cox and Hinkely, 1974 を Coles, 2001 より引用).  $D > C_\alpha$  であれば,  $\alpha$  有意水準でモデル  $M_0$  が棄却される. ここで,  $C_\alpha$  は第3表に示す  $\chi^2_k$  分布の  $(1-\alpha)$  クオンタイル ( $\alpha = 0.05$ ),  $k$  は  $M_0$  と  $M_1$  との自由度の差である.

## 4. 結果

3.2.2 ~ 3.2.5 の小節ごとに解析結果を示す. 具体的な数値は, 付録 B に示す.

### 4.1 データの検定

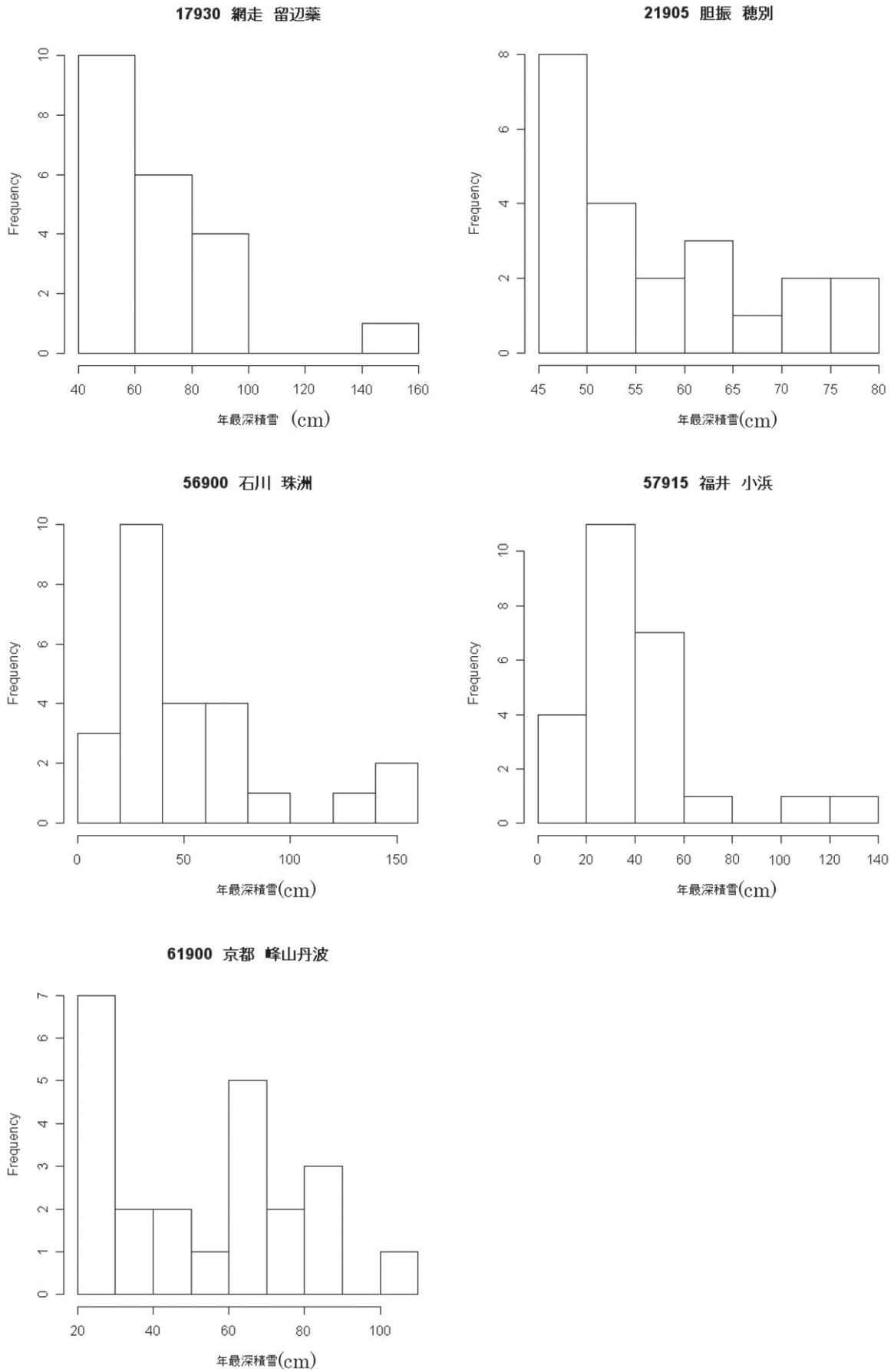
データに含まれる異常値などを取り除くため (31) 式による  $D_i$  を計算した結果,  $D_i > 3$  となった地点は 5 地点であった. これらの地点のヒストグラムを第 5 図に示す. 自然現象における一般的なヒストグラムは, 第 3 図のように右裾が長くなるが, これらの地点のヒストグラムはそうではない. また, 第 6 図は,  $t-t_3$ ,  $t-t_4$ ,  $t_3-t_4$  の関係を示す図である.  $D_i > 3$  となった地点は 5 地点は, 3 つすべての図においてデータの中心から離れた位置にあることがわかる. このため  $D_i$  が大きくなったものと考えられる. しかし, これらのデータは異常値ではなく実際の現象を表すと考えられるため, そのまま解析を進めた.

### 4.2 地域分け

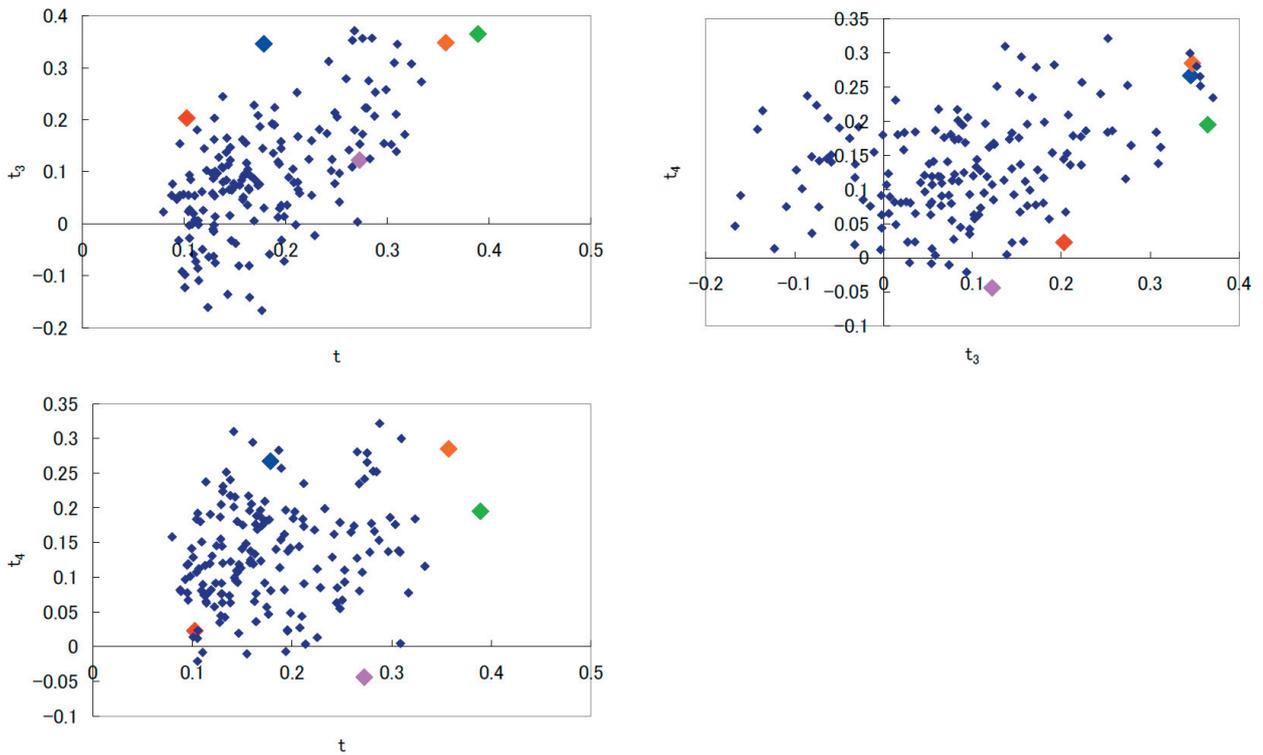
全国を 1 地域として (34) 式の  $H$  を求めた結果,  $H = 27.08$  となり, 全国を同質な地域とみなすことはできなかった. そこで, クラスタ分析を用いて 170 地点を 4 つに分割した. そのうちの 1 つである Region 3 は  $H < 2$  を満たしたが, 他の 3 つは満たさなかった. そのため,  $H < 2$  を満たさなかった 3 つについては, 各地点における L-moment 比の大小という基準も加え 2 地域ずつに分けた. 最終的に第 7 図に示すように 7 地域に分けられ, 各地域の  $H$  は第 4 表に示すとおりである.

### 4.3 分布型の選択

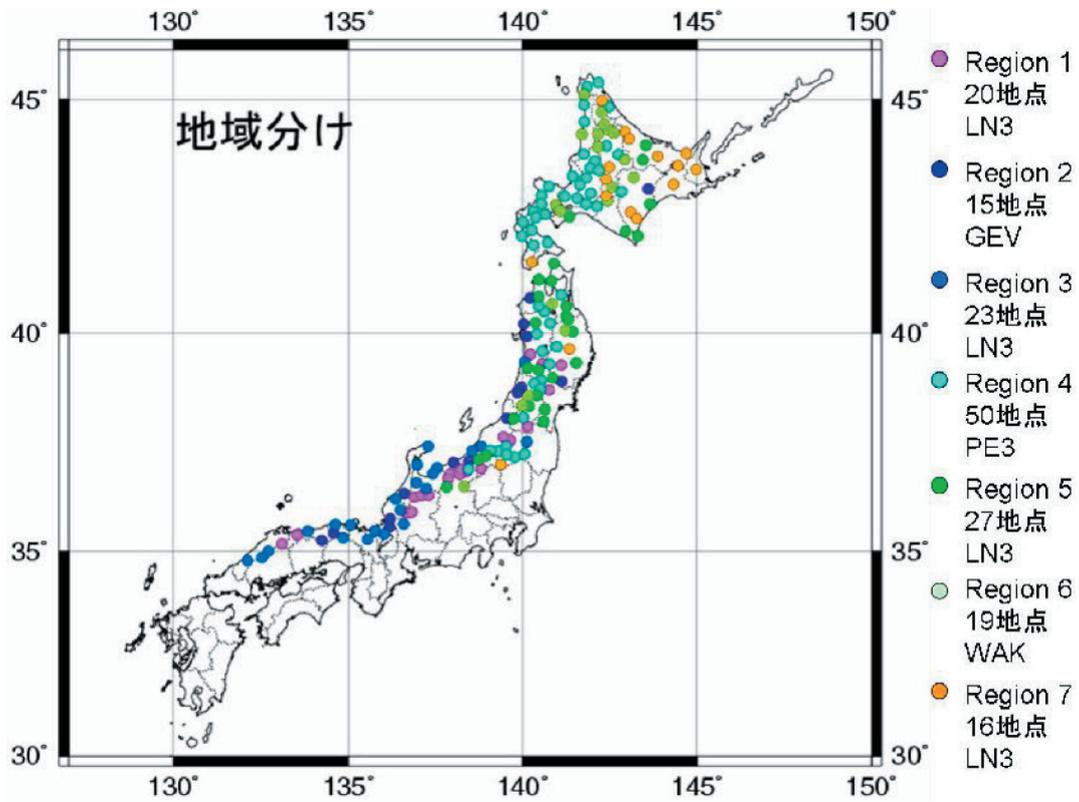
第 7 図右側に, 分布型選択の結果が示した. 4.2. で構成した地域に対して各分布型に対する  $Z$  を求めた結果は, 第 4 表に示すとおりであった.  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たすもののうち最小のもの (下線) を選択した. ただし,  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たしていれば, その分布型を当てはめることは可能である. Region 6 のみ 5 つの分布型がどれも



第5図  $D_i > 3$  となった地点のヒストグラム.



第6図  $t-t_3$ ,  $t-t_4$ ,  $t_3-t_4$  図



第7図 地域分けおよび分布型選択の結果.

第4表 各地域の地点数、 $H$ 、及び  $|Z|$

地域番号	地点数	$H$	$ Z $				
			GPA	GEV	GLO	LN3	PE3
1	20	-0.34	5.623	<b>0.888</b>	2.119	<u>0.518</u>	<b>0.700</b>
2	15	-2.59	8.175	<u>0.297</u>	<b>1.406</b>	<b>0.610</b>	<b>1.316</b>
3	23	0.77	12.535	<b>0.497</b>	2.362	<u>0.119</u>	<b>1.289</b>
4	50	0.83	7.238	<b>0.779</b>	4.143	<b>0.136</b>	<u>0.038</u>
5	27	0.47	6.816	<b>0.556</b>	2.657	<u>0.209</u>	<b>0.442</b>
6	19	-2.26	7.320	5.166	6.947	5.585	5.581
7	16	-1.51	6.049	<b>0.302</b>	1.972	<u>0.186</u>	<b>0.471</b>

$H$  : 地域内の異質性を示す統計量、 $Z$  : 各分布型の地域への適合度評価、下線 :  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たした最小のもの、太字 :  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たすもの、GPA : 一般 Pareto 分布、GEV : 一般極地分布、GLO : 一般 Logistic 分布、LN3 : 対数正規分布、PE3 : Pearson III型分布

$|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たさなかったため、Wakeby 分布 (WAK) を当てはめることになった。

#### 4.4 クオンタイル推定

第8図は  $T = 10, 20, 30, 50, 100, 200$  年に対する再現期待値である。各地点における  $T$  年再現期待値は、4.3 で選択された分布型のクオンタイルの推定から求めたものである。第8図からどの再現期間においても北陸地方で再現期待値が大きくなっていることがわかる。また、観測所番号 31925 の青森県の酸ヶ湯が周囲と比べて極端に大きい。

各地点における再現期待値と再現期間の関係図の例として、第9図に6地点のものを示す。

### 5. 議論

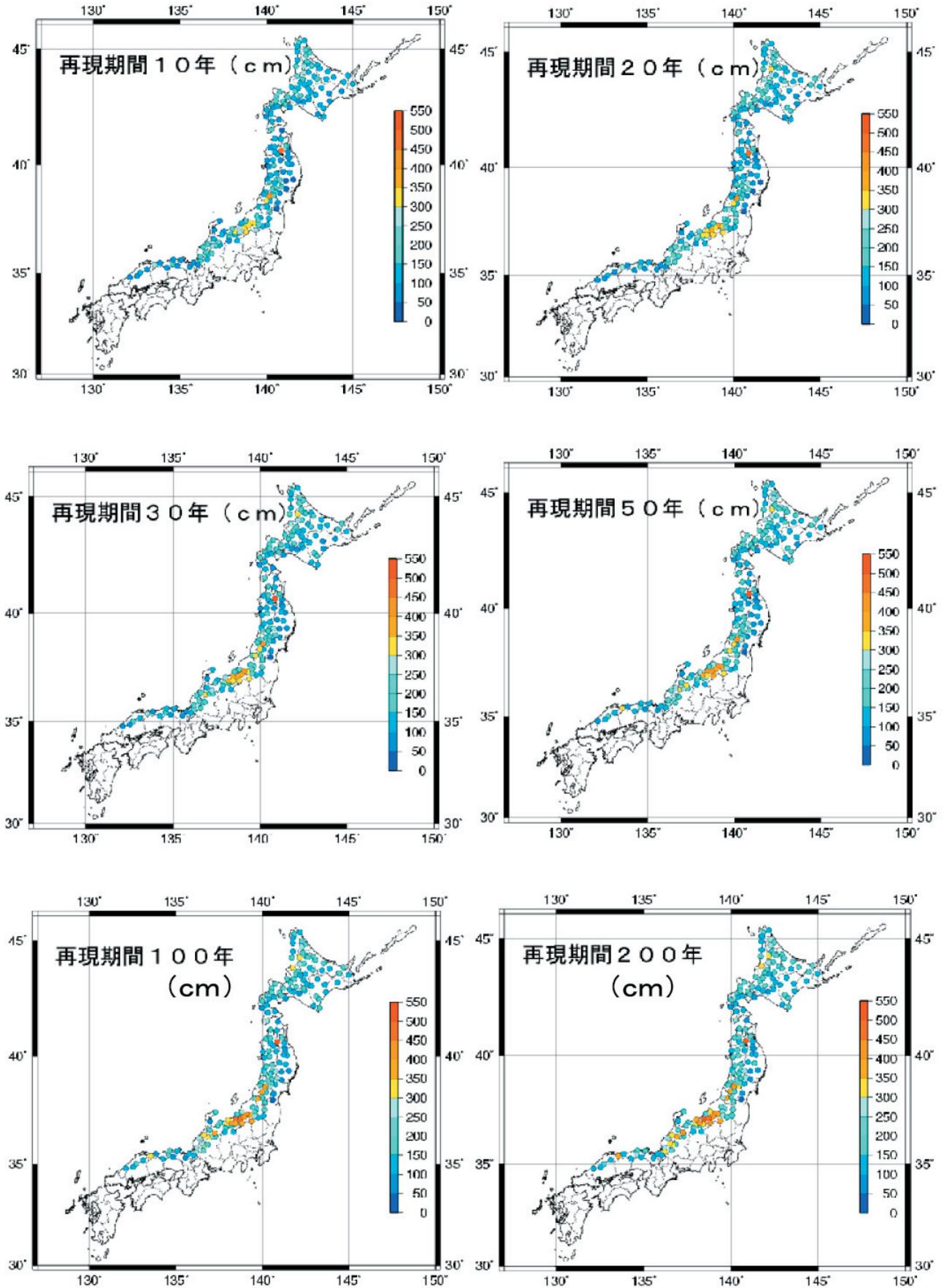
得られた再現期待値の適合度を、再現期待値の超過地点数及び従来の1地点解析による再現期待値との比較から議論する。

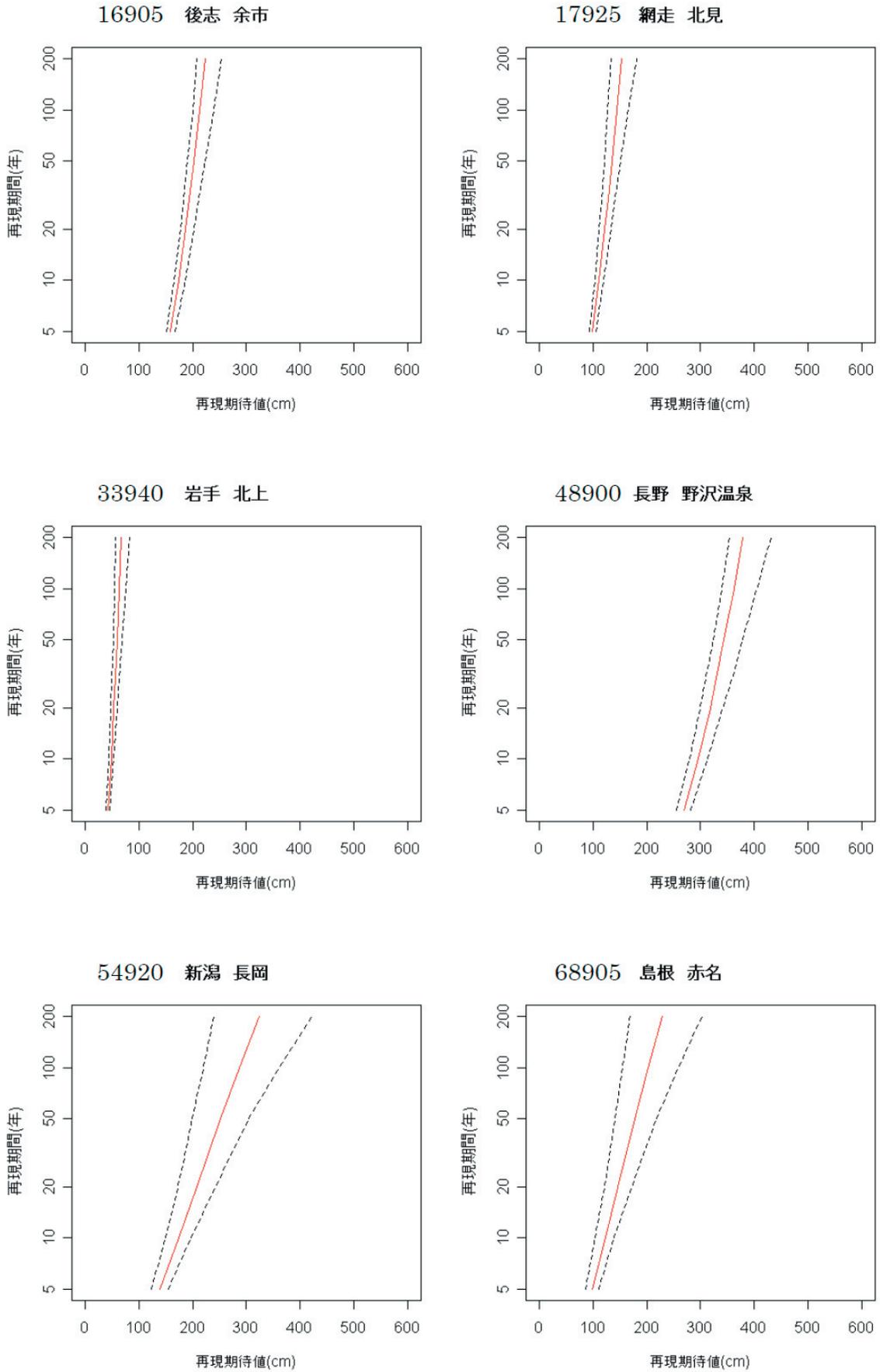
#### 5.1 再現期待値の超過地点数

再現期待値の超過地点数について理論的な期待値を次のように求めることができる。(2)式より非超過確率  $F$  は、次の(45)式ようになる。

$$F = 1 - \frac{1}{T} \tag{45}$$

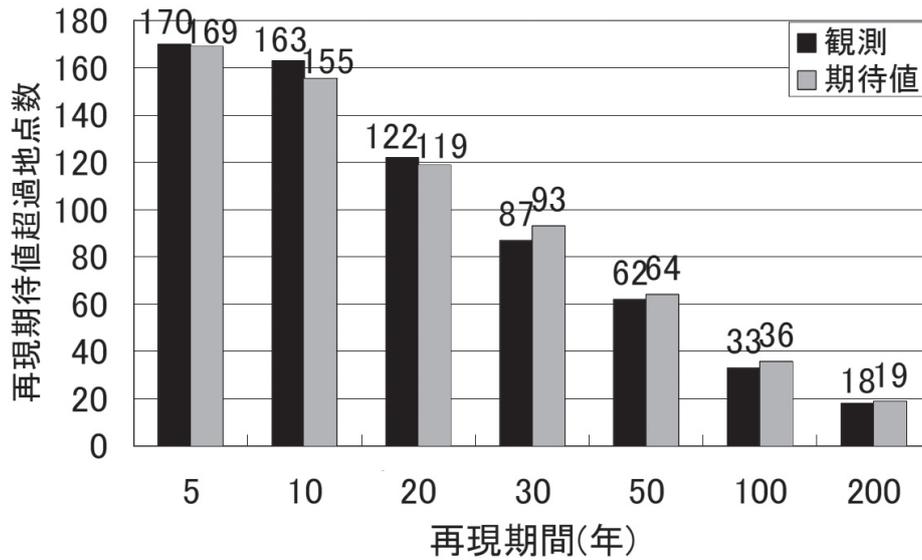
$F$  はある年において再現期待値  $x_T$  を超えない確率である。統計期間が  $n$  年のとき、 $n$  年間を通して  $x_T$  を超えない確率は  $F^n = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$  である。したがって、 $n$  年間に少なくとも1回  $x_T$  を超える確率は  $1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$  であり、 $T$  を指定すれば求めることができる。これを地点ごとに求め、足し合わせたものが再現期待値超過地点数の理論的な期待値となる。この期待値と実際に統計期間中に再現期待値を超えた最深積雪が一度でも観測された地点数を比較した。その結果を第10図に示す。両者はよく一致しており、求めた再現期待値が統計期間中では正しく推定されていると評価される。

第 8 図 積雪の  $T$  年再現期待値の分布図
 $T=10, 20, 30, 50, 100, 200.$



第9図 再現期待値と再現期間の関係図

破線：70%標本誤差範囲.



第10図 各再現期間における実際の再現期待値超過地点数とその期待値の比較

## 5.2 1地点解析との比較

まず、今回解析した170地点のうち、気象庁技術報告第34号「積雪累年気候表」(気象庁, 1964)に含まれる88地点を対象として、より長期間のデータを集めた。

従来の研究としては、解説資料第3号「積雪の統計」(気象庁観測部, 1976), 建築研究資料No.67「年最大積雪深及び年最大積雪強度の再現期間値」(和泉ほか, 1989)及び解説資料第21号「積雪の統計(Ⅱ)」(気象庁観測部, 1994)などがある。これらの結果と比較する場合、今回解析した170地点と一致する地点に限られる。そのため、集めたデータに、解説資料第21号「積雪の統計(Ⅱ)」(気象庁観測部, 1994)の方法を用いて得られた再現期待値と比較した。解説資料第21号「積雪の統計(Ⅱ)」(気象庁観測部, 1994)では、岩井法を用いて再現期待値を求めている。岩井法は、(5)～(9)式で示したように客観的に再現期待値を求めることができる。

比較結果を第5表に示す。88地点中52地点でおおよそ地域頻度解析による再現期待値の70%標本誤差範囲に含まれた。このことから30年弱という統計期間からより長期の再現期待値をある程度の精度を持って推定できたとと言える。例として、観測所

番号54920の新潟県の長岡における地域頻度解析による再現期待値と1地点解析による再現期待値を比較した第11図を示す。長岡では、1地点解析による再現期待値が地域頻度解析の70%標本誤差範囲にはほぼ収まっている。

しかし、すべての再現期間において1地点解析の再現期待値が地域頻度解析のものより大きくなっている。そこで、第12図によって長岡における年最深積雪の経年変化を調べた。この図から、アメダス統計期間は年最深積雪の少ない時期に当たっており、年最深積雪が経年変化していることがわかる。経年変化を考慮することにより、比較結果が改善されると期待される。

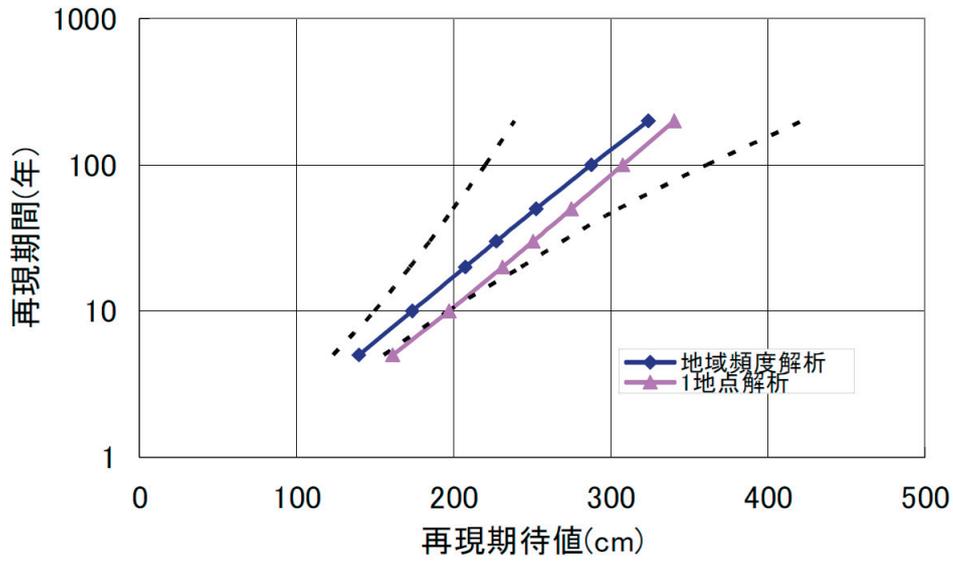
## 5.3 経年変化を考慮した1地点解析

Coles(2001)及びZhang et al.(2004)に従い、経年変化を考慮したトレンドモデルによる1地点解析を行った。当てはめる分布は、最も一般的な3パラメータ分布である一般極値分布(GEV)である。locationパラメータ $\mu$ とscaleパラメータ $\sigma$ において2次の項( $\mu = \mu_0 + \mu_1 t + \mu_2 t^2$ ,  $\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 t + \sigma_2 t^2$ ,  $t$ :時間)まで経年変化を考慮すると、88地点中45地点で経年変化が認められた。第13図は長岡における累年平均値の変化を

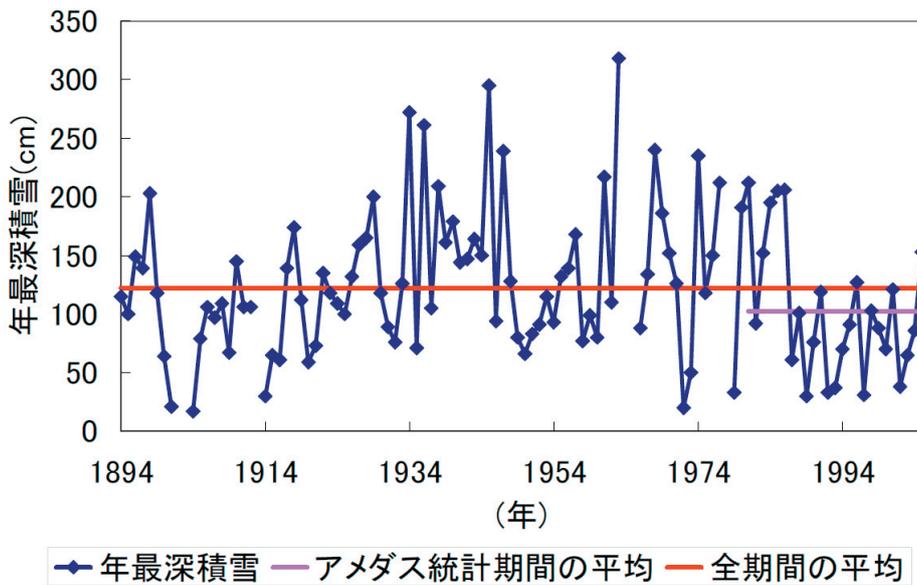
第5表 1 地点解析と地域頻度解析とによる再現期待値の適合度

地点数	
完全に含まれる	24
部分的に含まれる	28
全く含まれない	36

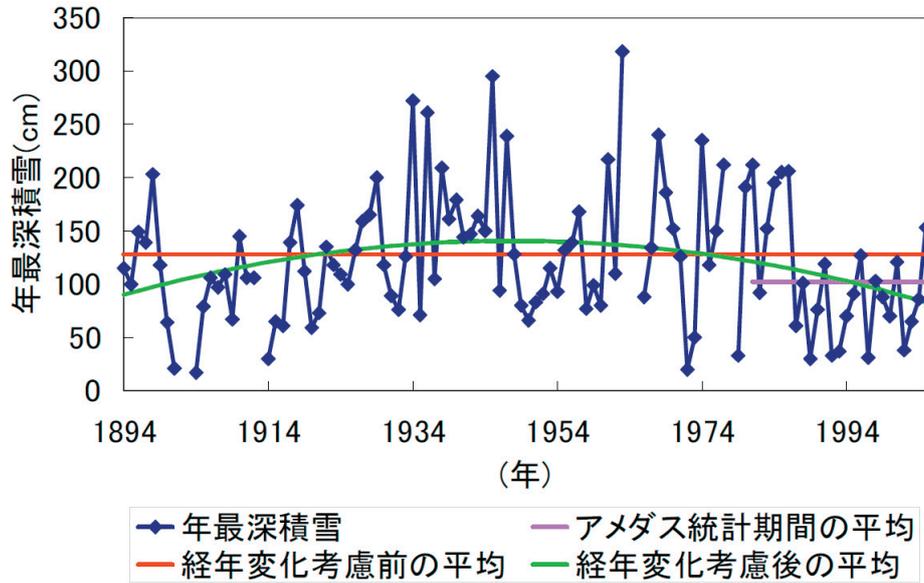
※地域頻度解析による再現期待値の70%標本誤差範囲に  
1地点解析による再現期待値が入る地点数を示した。



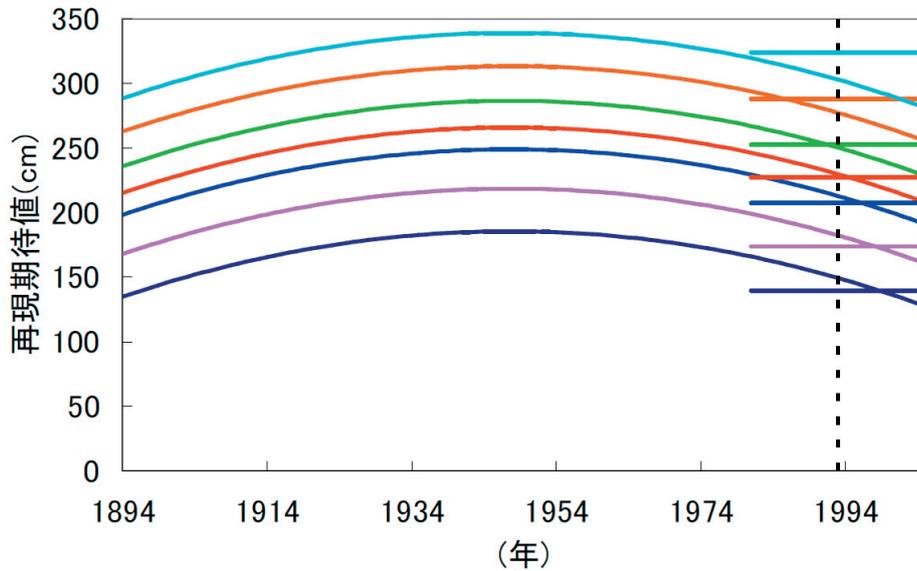
第11図 長岡における地域頻度解析と1地点解析の比較  
破線：70%標本誤差範囲.



第12図 長岡における年最深積雪の変化



第13図 長岡における累年平均値の変化



第14図 長岡における累年平均値の変化

曲線：経年変化後の平均，直線：アメダス統計期間の平均，破線：アメダス統計期間の中間年.

示す図である。長岡では、location パラメータにおいて2次の項まで考慮した場合、経年変化の有意性を検定する統計量は、

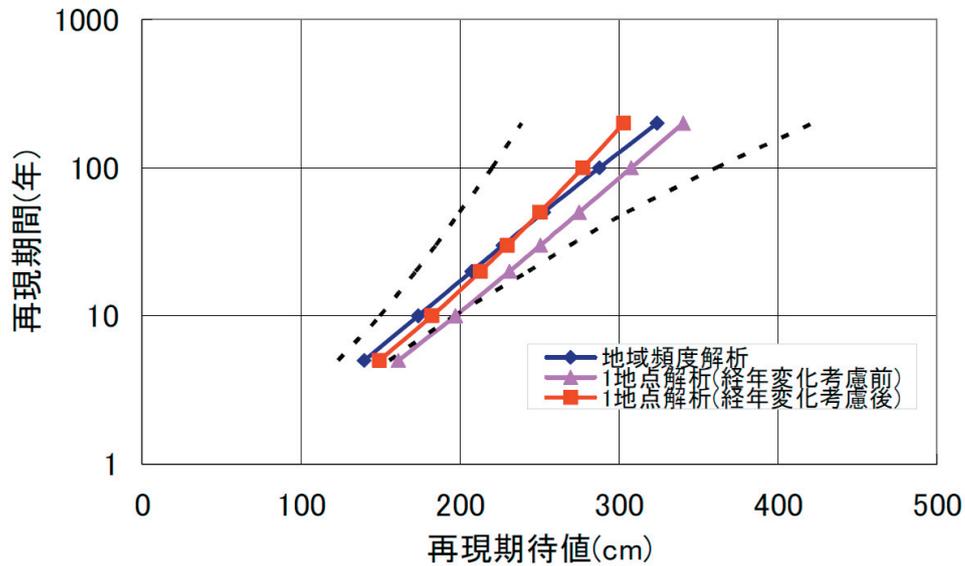
$$D = 2\{(-576.5) - (-581.8)\} = 10.5 > \chi_2^2 = 5.991$$

となり、有意な経年変化が認められた。

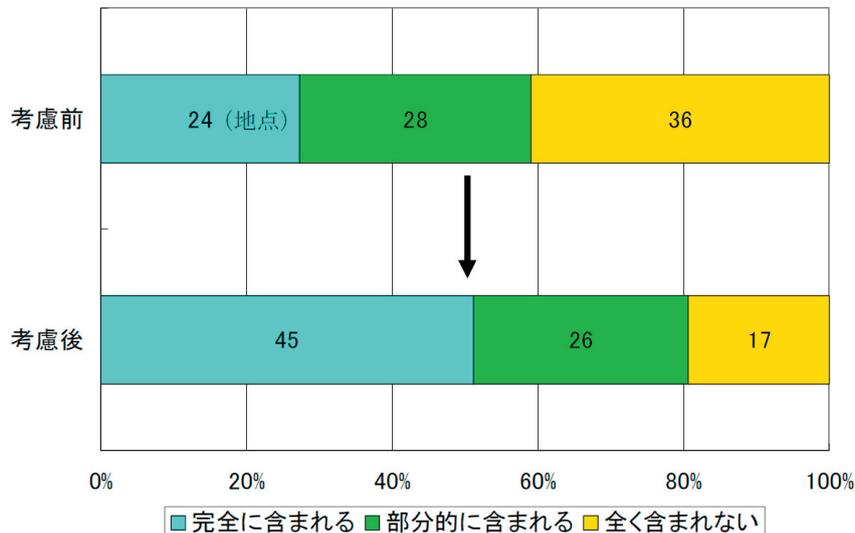
経年変化が認められた45地点において、経年変化を考慮したパラメータを用いて各年の再現期待値を求めた。第14図は長岡における各再現期間の変化を示す図である。この図から再現期待値も経年変

化していることがわかる。地域頻度解析による再現期待値と比較する際には、アメダス統計期間の真ん中の年における1地点解析の再現期待値を用いた。これを第11図と同じ様式の第15図で示す。経年変化を考慮することにより、1地点解析の再現期待値は、地域頻度解析の70%標本誤差範囲に完全に含まれている。

次に、長岡以外の地点に対しても5.2と同じ比較をした。第16図に比較結果を示す。この図が表すとおり、1地点解析による再現期待値が地域頻度解析の70%標本誤差範囲にほぼ含まれる地点は考



第15図 経年変化を考慮した地域頻度解析と1地点解析の比較  
破線：70%標本誤差範囲。



第16図 経年変化考慮前後における1地点解析による再現期待値の地域頻度解析による70%標本誤差範囲への含まれ具合の変化

慮前の 88 地点中 52 地点から 71 地点へと増加し、全く含まれない地点は 17 地点のみとなった。このことから、経年変化を考慮する有用性が示された。

#### 5.4 平成 18 年豪雪の再現期間への応用

本研究の結果を用いて、平成 18 年豪雪の各地点における再現期間を求めた（第 17 図）。第 17 図左から、ほとんどの地点で再現期間 50 年未満であったが、300 年以上の地点もあったことがわかる。再現期間 50 年未満をさらに小さく分けると（第 17 図右）、大部分の地点で 10 年未満であったが、新潟県の一部（観測所番号 54960 湯沢など）では、40 年弱となった。

#### 6. まとめ

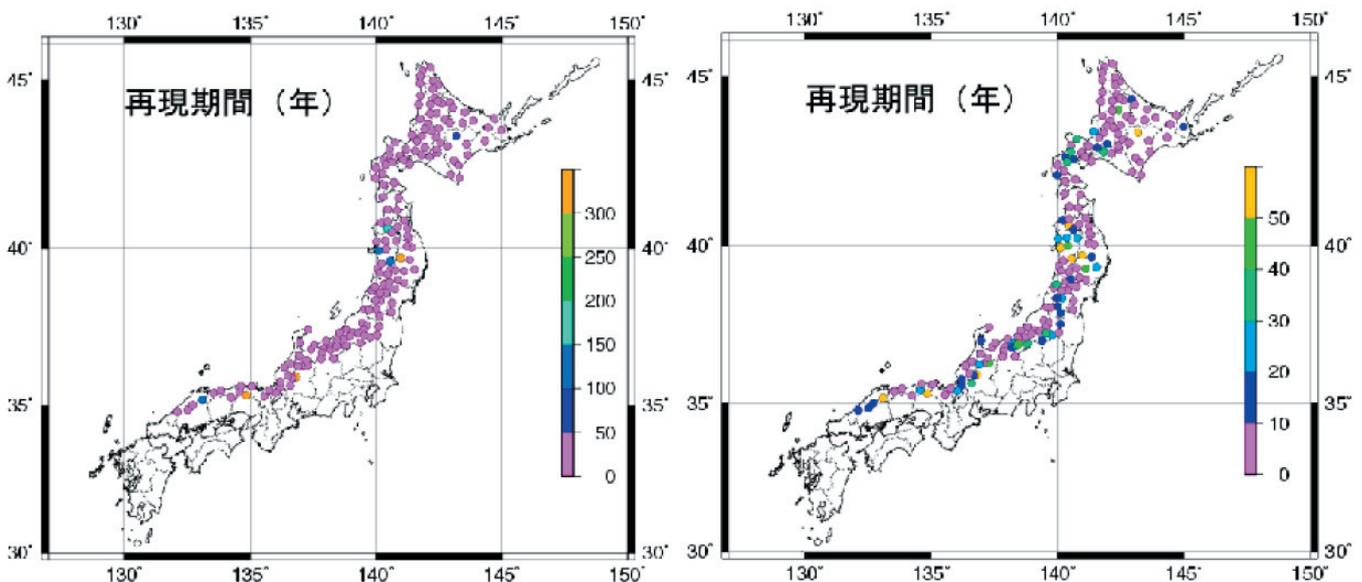
アメダス積雪深計のデータに対して、L-moment 法・地域頻度解析を用いて再現期間 5 年～200 年の再現期待値を求めた。地域分けの結果、7 地域が構成され、各地域は Region 4 の 50 地点を除いておおむね 20 地点前後で構成された。当てはめた分布型は、対数正規分布 (LN3) が 4 地域、一般極値分布 (GEV) が 1 地域、Pearson III 型分布 (PE3) が 1 地域、Wakeby 分布 (WAK) が 1 地域となった。再現期待値は、各再現期間ともに北陸地方で大きな値であった。

地域頻度解析の 70% 標本誤差範囲と 1 地点解析の結果を比較すると、88 地点中 52 地点が 70% 標本誤差範囲にほぼ含まれた。88 地点中 45 地点では経年変化が認められたため、それらに対して経年変化を考慮した 1 地点解析を行った。その結果、88 地点中 71 地点となった。

今後の課題として、地点間相関がある場合の解析方法及び経年変化を考慮した他の解析方法との比較などが挙げられる。

#### 謝辞

L-moment 法・地域頻度解析において R のパッケージ RFA(Ribatet, 2006) 及び Imomco(Asquith, 2006) を使用し、経年変化を考慮した解析では R のパッケージ ismev(Coles and Stephenson, 2006) を使用した。また、地図など図の一部は、柴田(2003)を参考にして GMT(<http://gmt.soest.hawaii.edu/>, accessed 2004-05-20) を用いて作成した。本研究は平成 18・19 年度科学研究費補助金による「極端な気象現象の発生頻度とその長期変動に関する研究」(研究代表者 藤部文昭) に関連して実施し、日本気象学会 2007 年度春季大会で発表したものである。ここに記して謝意を表す。



第 17 図 平成 18 年豪雪における再現期間

右図は、左図の再現期間 50 年未満をさらに小さく分けて示している。

## 参考文献

- Asquith, W. H.(2006): The lmomco Package(ver. 0.80), 176pp. <http://cran.r-project.org/> (accessed 2006-07-07).
- Caroni, C. and P. Prescott(1992): Sequential application of Wilks's multivariate outlier test. *Applied Statistics*, 3, 1-27.
- Coles, S.(2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer-Verlag Heidelberg, 105-123, 185-194.
- Coles S. and A. Stephenson(2006): The ismev Package, 25pp. <http://cran.r-project.org/> (accessed 2006-06-05).
- Cox, D. R., and D. V. Hinkly(1974): *Theoretical Statistics*. Chapman and Hall, 511pp.
- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., and J. R. Wallis(1979): Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water Resources Research*, 15, 1049-1054.
- Hosking, J. R. M.(1990): L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *J. R. Statist. Soc., B*, 52, 105-124.
- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis (1997): *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-moments*, Cambridge University Press, Cambridge, 224pp.
- 和泉正哲・三橋博三・高橋徹 (1988): 年最大積雪深の確率統計的性質と再現期間値推定法, 日本建築学会構造系論文報告集, 390, 49-58.
- 和泉正哲・城攻・桜井修次・三橋博三・前田博司・高橋徹・室田達郎・岡田恒 (1989): 年最大積雪深及び年最大積雪強度の再現期間値, 建築研究資料, 67, 99pp.
- 河口至商 (1978): *多変量解析入門Ⅱ*, 森北出版, 36-37.
- 気象庁 (1964): *積雪累年気候表 (1963年版)*, 気象庁技術報告, 34, 619pp.
- 気象庁観測部 (1976): *積雪の統計*, 解説資料, 3, 1-3, 77-80.
- 気象庁観測部 (1994): *積雪の統計 (Ⅱ)*, 解説資料, 21, 1-4, 44-49.
- Ribatet, M.(2006): The RFA Package(ver. 0.0-6), 13pp. <http://cran.r-project.org/> (accessed 2006-05-20).
- 柴田のり子 (2003): GMTを使ってみよう, 東管ニュース, 145. (CD-ROM)
- 水文・水資源学会編 (1997): *水文・水資源ハンドブック*, 朝倉書店, 228-255.
- Wilks, S. S.(1963): Multivariate statistical outliers. *Sankhya*, 25, 407-26.
- Zhang, X., F. W. Zwiers, and G. Li (2004): Monte carlo experiments on the detection of trends in extreme values, *J. Climate*, 17, 1945-1952.

## 付録 A. さまざまな分布の概要

本研究において各地域に当てはめる分布型の候補とした3パラメータの一般 Pareto 分布 (GPA), 一般極値分布 (GEV), 一般 logistic 分布 (GLO), 対数正規分布 (LN3), Pearson III型分布 (PE3), 及びこれら5つが当てはまらなかった場合に当てはめた Wakeby 分布 (WAK) を用いた。また, 異質性を表す統計量  $H$  を求める過程のシミュレーションにおいて4パラメータの kappa 分布を用いた。これら7つの分布について確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオントイル関数  $x(F)$  を示し, 第 A1 図～第 A5 図に概略図を記す。なお, 各分布関数の L-moments とパラメータの計算方法については, Hosking and Wallis(1997) に詳しく示されている。

### A.1 一般 Pareto 分布 (GPA)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオントイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである。

パラメータ (3) :  $\zeta$ (location),  $\alpha$ (scale),  $k$  (shape)

$$x \text{ の範囲 : } \begin{cases} \zeta \leq x \leq \zeta + \frac{\alpha}{k}, & k > 0 \\ \zeta \leq x < \infty, & k \leq 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \alpha^{-1} e^{-(1-k)y} \quad (\text{A1})$$

$$y = \begin{cases} -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x-\zeta)}{\alpha} \right\}, & k \neq 0 \\ \frac{x-\zeta}{\alpha}, & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A2})$$

$$F(x) = 1 - e^{-y} \quad (\text{A3})$$

$$x(F) = \begin{cases} \zeta + \frac{\alpha \left\{ 1 - (1-F)^k \right\}}{k}, & k \neq 0 \\ \zeta - \alpha \log(1-F), & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A4})$$

### A.2 一般極値分布 (GEV)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオントイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである。

パラメータ (3) :  $\zeta$ (location),  $\alpha$ (scale),  $k$  (shape)

$$x \text{ の範囲 : } \begin{cases} -\infty < x \leq \zeta + \frac{\alpha}{k}, & k > 0 \\ -\infty < x < \infty, & k = 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \alpha^{-1} e^{-(1-k)y} \quad (\text{A5})$$

$$y = \begin{cases} -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x-\zeta)}{\alpha} \right\}, & k \neq 0 \\ \frac{x-\zeta}{\alpha}, & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A6})$$

$$F(x) = 1 - e^{-y} \quad (\text{A7})$$

$$x(F) = \begin{cases} \zeta + \frac{\alpha \left\{ 1 - (-\log F)^k \right\}}{k}, & k \neq 0 \\ \zeta - \alpha \log(-\log F), & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A8})$$

### A.3 一般 logistic 分布 (GLO)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオントイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである。

パラメータ (3) :  $\zeta$ (location),  $\alpha$ (scale),  $k$  (shape)

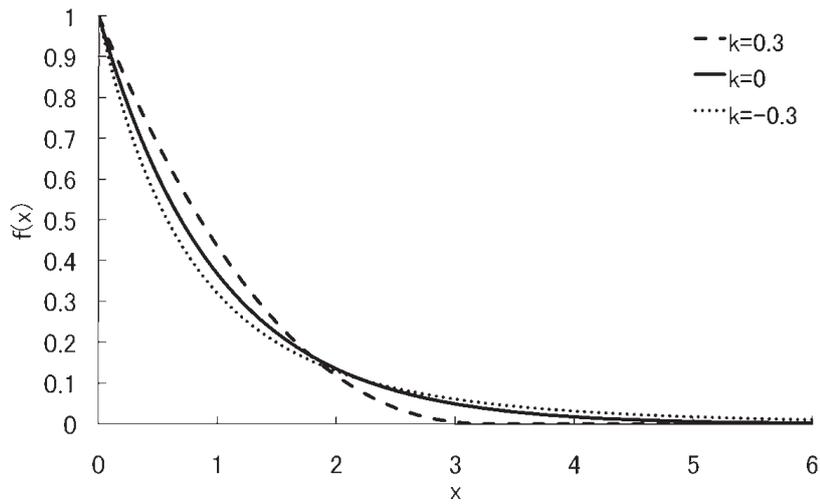
$$x \text{ の範囲 : } \begin{cases} -\infty < x \leq \zeta + \frac{\alpha}{k}, & k > 0 \\ -\infty < x < \infty, & k = 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)y}}{(1+e^{-y})^2} \quad (\text{A9})$$

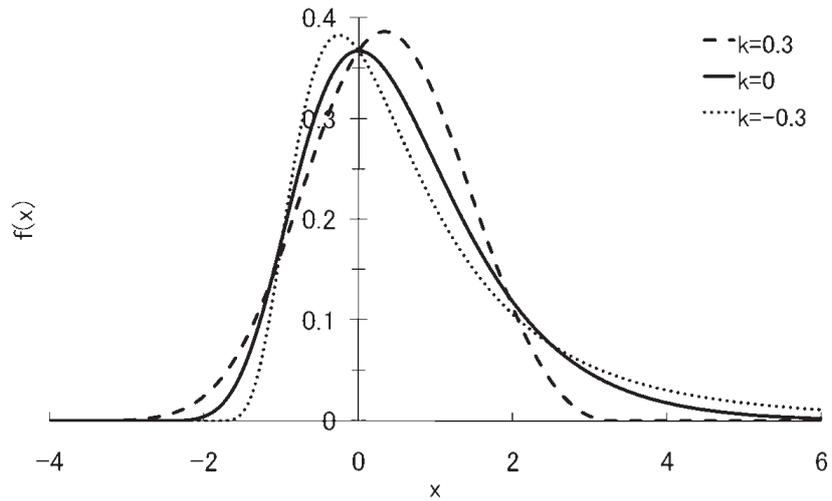
$$y = \begin{cases} -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x-\zeta)}{\alpha} \right\}, & k \neq 0 \\ \frac{x-\zeta}{\alpha}, & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A10})$$

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-y}} \quad (\text{A11})$$

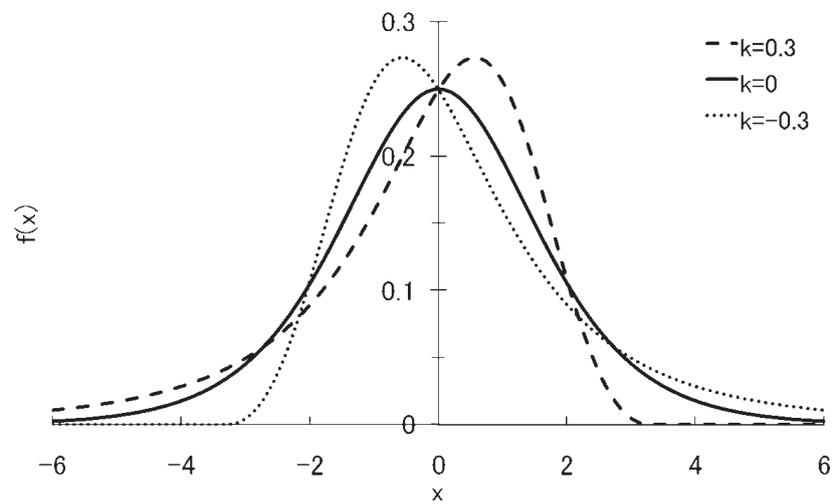
$$x(F) = \begin{cases} \zeta + \frac{\alpha \left\{ 1 - \left( \frac{1-F}{F} \right)^k \right\}}{k}, & k \neq 0 \\ \zeta - \alpha \log \left( \frac{1-F}{F} \right), & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A12})$$



第 A1 図  $k$  を固定した一般 Pareto 分布 (GPA) の確率密度関数



第 A2 図  $k$  を固定した一般極値分布 (GEV) の確率密度関数.



第 A3 図  $k$  を固定した一般 logistic 分布 (GLO) の確率密度関数.

#### A.4 対数正規分布 (LN3)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオンタイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである.

パラメータ (3) :  $\zeta$ (location),  $\alpha$ (scale),  $k$  (shape)  
 $x$ の範囲 : 
$$\begin{cases} -\infty < x \leq \zeta + \frac{\alpha}{k}, & k > 0 \\ -\infty < x < \infty, & k = 0 \\ \zeta + \frac{\alpha}{k} \leq x < \infty, & k < 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \frac{e^{ky - y^2/2}}{\alpha \sqrt{2\pi}} \quad (\text{A13})$$

$$y = \begin{cases} -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x - \zeta)}{\alpha} \right\}, & k \neq 0 \\ \frac{x - \zeta}{\alpha}, & k = 0 \end{cases} \quad (\text{A14})$$

$$F(x) = \Phi(y) \quad (\text{A15})$$

$x(F)$  は解析的に表せない.  
 ここで,  $\Phi$  は標準正規分布の分布関数である.

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \phi(t) dt \quad (\text{A16})$$

$$\phi(x) = \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \quad (\text{A17})$$

#### A.5 Pearson III型分布 (PE3)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオンタイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである.

パラメータ (3) :  $\mu$  (location),  $\sigma$  (scale),  $\gamma$  (shape)  
 $\gamma \neq 0$  のとき,

$$\alpha = \frac{4}{\gamma^2} \quad (\text{A18})$$

$$\beta = \frac{1}{2} \sigma |\gamma| \quad (\text{A19})$$

$$\xi = \mu - \frac{2\sigma}{\gamma} \quad (\text{A20})$$

$\gamma > 0$  のとき,  
 $x$ の範囲 :  $\xi \leq x < \infty$

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (\text{A21})$$

$$F(x) = \frac{G\left(\alpha, \frac{x - \xi}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)} \quad (\text{A22})$$

$\gamma = 0$  のとき,  
 $x$ の範囲 :  $-\infty < x < \infty$

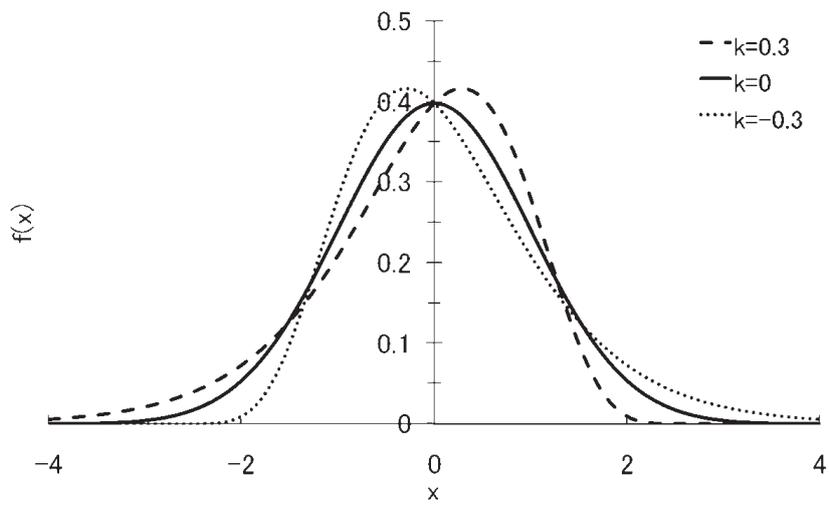
$$f(x) = \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{A23})$$

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (\text{A24})$$

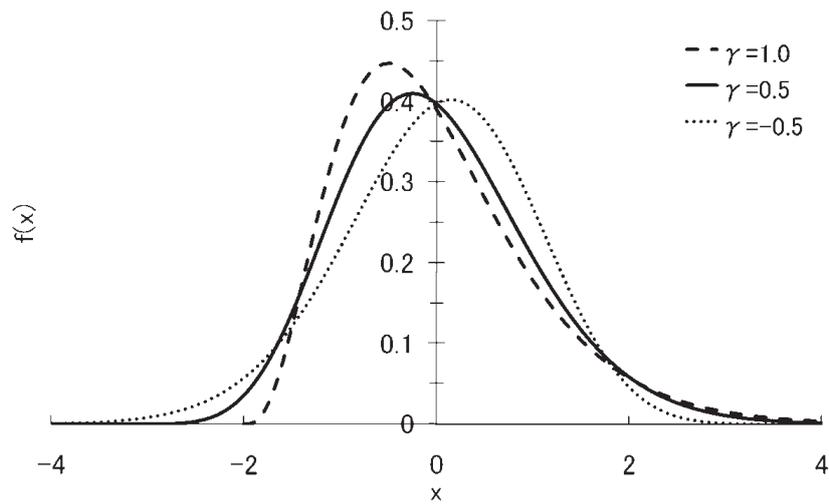
$\gamma < 0$  のとき,  
 $x$ の範囲 :  $-\infty < x \leq \xi$

$$f(x) = \frac{(\xi - x)^{\alpha-1} e^{-(\xi-x)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (\text{A25})$$

$$F(x) = 1 - \frac{G\left(\alpha, \frac{\xi - x}{\beta}\right)}{\Gamma(\alpha)} \quad (\text{A26})$$



第 A4 図  $k$  を固定した対数正規分布 (LN3) の確率密度関数.



第 A5 図  $k$  を固定した Pearson 分布 (PE3) の確率密度関数.

どの場合も,  $x(F)$  は解析的に表せない.

ここで,  $\Gamma(\cdot)$  はガンマ関数,

$$G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (\text{A27})$$

は不完全ガンマ関数である.  $\phi(\cdot)$  は (A17) によって,  $\Phi(\cdot)$  は (A16) によって定義される.

### A.6 kappa 分布

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオンタイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである.

パラメータ (4) :  $\zeta$  (location),  $\alpha$  (scale),  $k, h$

$$x \text{ の範囲の上限 : } \begin{cases} \zeta + \frac{\alpha}{k}, & k > 0 \\ \infty, & k \leq 0 \end{cases}$$

$$x \text{ の範囲の下限 : } \begin{cases} \zeta + \frac{\alpha(1-h^{-k})}{k}, & h > 0 \\ \zeta + \frac{\alpha}{k}, & h \leq 0, k < 0 \\ -\infty, & h \leq 0, k \geq 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \alpha^{-1} \left\{ 1 - \frac{k(x-\zeta)}{\alpha} \right\}^{1/k-1} \{F(x)\}^{1-h} \quad (\text{A28})$$

$$F(x) = \left[ 1 - h \left\{ 1 - \frac{k(x-\zeta)}{\alpha} \right\}^{1/k} \right]^{1/h} \quad (\text{A29})$$

$$x(F) = \zeta + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left( \frac{1-F^h}{h} \right)^k \right\} \quad (\text{A30})$$

### A.7 Wakeby 分布 (WAK)

確率密度関数  $f(x)$ , 分布関数  $F(x)$ , クオンタイル関数  $x(F)$  は, 以下のとおりである.

パラメータ (5) :  $\zeta$  (location),  $\alpha, \beta, \gamma, \sigma$

$$x \text{ の範囲 : } \begin{cases} \zeta \leq x < \infty, & \delta \geq 0, \gamma > 0 \\ \zeta \leq x \leq \zeta + \frac{\alpha}{\beta} - \frac{\gamma}{\delta}, & \delta < 0 \text{ or } \gamma = 0 \end{cases}$$

$f(x), F(x)$  は, 解析的に表せない.

$$x(F) = \zeta + \frac{\alpha}{\beta} \left\{ 1 - (1-F)^\beta \right\} - \frac{\gamma}{\delta} \left\{ 1 - (1-F)^{-\delta} \right\} \quad (\text{A31})$$

### 付録 B. 地域頻度解析における各地点の結果

各地域の地点数,  $H$ , 選択した分布型,  $Z$ , 地域平均 L-moments ( $t^R, t_3^R, t_4^R$ ), 再現期間  $T$  年のクオンタイル ( $T = 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200$ ), 分布のパラメータを第 B1 表に, 各地点における属する地域番号, 統計年数, 経度 ( $^\circ$ ), 緯度 ( $^\circ$ ), 標高 (m), 起日 (日),  $l_1$  (cm), L-moments 比 ( $t, t_3, t_4, t_5$ ),  $T$  年再現期待値 (cm), 再現期待値の 70% 標本誤差範囲を第 B2 表に示す. 第 B1 表において, Region 6 の  $Z$  が “-” となっているのは, 当てはめる分布の候補として用意した 5 つの中に  $|Z^{DIST}| \leq 1.64$  を満たす分布が存在せず, Wakeby 分布を当てはめたためである.

例として, 観測所番号 54920 の新潟県長岡における 50 年再現期待値の求め方を示す. 第 B1 表に示した長岡が属する Region 3 の再現期間 50 年のクオンタイル 2.464 に, 第 B2 表に示した長岡の  $l_1 = 102$  (cm) をかけると, 求める 50 年再現期待値 253 が出る.

### 付録 C. 経年変化を考慮した 1 地点解析における各地点の結果

1 地点解析において有意な経年変化が認められた 45 地点の統計年数, 経年変化考慮前後の対数尤度  $J$  及び分布のパラメータを第 C 表に示す. 分布のパラメータにおいて, “-” は考慮しなかったパラメータである.



第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	ll (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)							
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年	
石狩支庁																				
14900	厚田	4	24	141.44	43.40	5	43	113	0.113	0.180	0.117	-0.065	140	156	170	178	188	200	213	
													134	147	158	164	171	180	188	
													127	139	149	154	160	168	175	
													149	164	179	187	198	211	224	
14910	新篠津	4	24	141.65	43.22	9	47	119	0.129	-0.002	0.091	0.002	141	155	166	172	180	189	198	
													133	146	157	162	168	176	184	
													157	174	190	199	209	223	237	
14915	小金湯	4	24	141.22	42.97	240	51	126	0.109	0.019	0.081	0.058	150	164	177	183	191	201	211	
													142	155	166	172	179	188	196	
													103	114	124	129	136	145	154	
14920	恵庭島松	4	24	141.57	42.93	30	48	82	0.096	0.055	0.119	-0.006	98	107	116	120	125	132	138	
													92	101	109	112	117	122	127	
空知支庁																				
15900	朱鞠内	6	24	142.16	44.28	255	54	238	0.105	-0.003	0.012	-0.066	292	310	323	330	339	351	361	
													279	299	312	317	322	327	330	
													265	284	298	303	309	314	316	
													243	259	271	277	283	294	305	
15905	幌加内	6	24	142.16	44.01	159	57	200	0.110	0.054	-0.008	-0.023	234	251	261	266	270	274	277	
													222	237	248	253	258	262	264	
													149	165	180	188	199	212	226	
15910	深川	4	24	142.07	43.72	55	45	119	0.089	0.076	0.080	0.027	142	155	167	173	181	190	199	
													134	148	159	164	170	178	186	
													102	113	123	129	136	145	154	
15915	芦別	4	24	142.19	43.52	90	46	82	0.128	0.097	0.035	0.021	97	107	115	119	124	130	137	
													92	101	108	112	116	122	127	
													143	159	173	181	191	204	217	
15920	美唄	4	24	141.83	43.36	16	41	115	0.104	0.024	0.183	-0.012	136	149	161	167	174	183	191	
													129	141	151	156	163	170	178	
													172	191	208	217	229	245	260	
15925	夕張	4	26	141.96	43.04	293	49	138	0.122	0.102	0.057	0.007	164	180	193	200	209	220	230	
													155	170	182	189	197	207	216	
													141	156	170	178	188	201	213	
15930	滝川	4	23	141.94	43.57	50	49	113	0.106	0.027	0.023	-0.021	134	147	158	164	171	180	188	
													127	139	149	154	160	168	175	
後志支庁																				
16905	余市	4	24	140.76	43.18	20	50	133	0.101	-0.098	0.129	-0.040	168	186	202	212	223	239	254	
													159	174	187	194	202	213	223	
													151	165	177	183	191	200	208	
													174	193	211	221	233	248	265	
16910	岩内	4	21	140.54	42.99	33	48	138	0.114	-0.109	0.075	-0.085	164	180	193	201	209	220	230	
													154	169	182	188	196	206	215	
													169	188	205	215	226	241	255	
16915	蘭越	4	24	140.54	42.81	39	50	135	0.142	0.165	0.099	-0.107	160	176	189	196	204	215	225	
													151	166	178	184	192	201	210	
													179	190	198	203	208	215	222	
16920	喜茂別	6	24	140.95	42.79	264	57	146	0.093	0.047	0.097	-0.104	171	183	191	194	197	200	202	
													162	174	182	186	189	193	194	
													169	187	204	214	226	241	256	
16925	黒松内	4	24	140.31	42.66	27	50	135	0.134	0.128	0.251	-0.049	161	177	190	197	206	216	226	
													152	166	178	185	192	202	211	
網走支庁																				
17900	西興部	7	20	142.94	44.33	120	54	93	0.157	0.083	0.217	0.145	121	136	152	162	174	192	211	
													113	127	139	146	155	166	176	
													105	116	125	130	135	141	147	
													124	141	158	168	180	198	218	
17905	滝上	7	21	143.06	44.18	165	52	96	0.187	0.182	0.283	0.190	116	130	143	150	158	170	181	
													108	120	129	134	140	147	154	
													115	133	149	159	172	190	210	
17910	遠軽	5	21	143.54	44.05	80	49	82	0.173	0.208	0.209	0.181	106	122	136	143	152	164	176	
													97	109	120	125	131	138	145	
													105	119	133	141	152	166	181	
17925	北見	7	26	143.88	43.81	114	51	81	0.189	0.228	0.186	0.160	99	111	122	128	135	145	154	
													93	103	112	116	121	128	133	
													96	111	127	137	148	164	180	
17930	留辺蘂	5	21	143.45	43.74	325	48	69	0.178	0.346	0.267	0.206	89	102	114	120	128	138	148	
													81	92	101	106	111	117	122	
													142	161	181	192	207	228	248	
17940	斜里	7	20	144.70	43.88	15	66	109	0.138	0.107	0.063	-0.033	132	148	163	171	181	193	206	
													123	136	146	151	158	165	171	
根室支庁																				
18910	中標津	7	20	144.98	43.54	50	59	73	0.161	0.117	0.119	-0.033	96	108	121	129	139	154	169	
													89	100	109	115	121	130	138	
													82	91	98	102	106	111	115	

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	H (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)						
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年
銅路支庁													134	153	172	182	197	217	238
19900	川湯	7	20	144.46	43.62	158	63	104	0.175	0.187	0.057	0.011	126	141	155	162	172	184	196
													117	129	139	144	150	158	164
19920	鶴居	7	20	144.33	43.23	38	55	61	0.161	0.155	0.294	0.028	79	89	100	106	115	126	138
													69	76	82	85	89	93	97
十勝支庁													124	132	138	141	145	150	156
20910	糠平	6	21	143.19	43.37	540	54	101	0.120	0.144	0.131	-0.078	119	127	133	135	137	139	140
													112	120	126	128	131	133	134
20920	上札内	7	21	143.10	42.64	251	57	109	0.129	-0.011	0.155	0.025	141	159	178	190	205	226	247
													132	148	162	170	180	193	205
20930	新得	4	21	142.84	43.08	178	42	77	0.138	0.062	0.218	0.071	122	135	146	152	157	165	172
													96	106	116	122	128	136	146
20935	本別	2	20	143.80	43.13	67	32	46	0.246	0.124	0.085	0.051	81	100	108	112	116	122	128
													86	94	101	105	109	114	119
20945	浦幌	5	20	143.66	42.81	20	42	53	0.192	0.012	0.082	-0.064	69	85	102	113	126	151	178
													62	75	89	97	106	120	133
20960	大樹	7	20	143.28	42.50	87	53	101	0.163	0.104	0.133	0.071	54	64	72	77	82	88	93
													75	87	99	105	114	127	139
21900	安平	4	22	141.83	42.81	32	45	68	0.130	0.162	0.076	0.060	69	79	88	93	99	106	114
													85	95	104	108	114	122	130
21905	穂別	4	22	142.14	42.76	56	45	58	0.103	0.203	0.023	-0.028	77	84	90	94	97	102	106
													72	80	88	92	97	104	110
21910	大滝	6	22	141.06	42.67	390	55	130	0.108	-0.001	0.180	-0.043	69	75	81	84	88	92	96
													65	71	76	79	82	86	90
21915	大岸	4	22	140.64	42.59	8	44	83	0.112	-0.073	0.074	0.077	159	170	177	181	186	193	200
													152	163	170	173	176	178	180
21920	白老	5	22	141.35	42.54	6	45	35	0.253	0.042	0.110	0.076	144	155	162	166	169	171	173
													104	115	125	131	138	147	156
日高支庁													99	108	116	121	126	132	139
22900	日高	6	21	142.44	42.88	280	56	90	0.105	-0.028	0.192	0.030	93	102	109	113	118	124	129
													49	57	64	68	74	81	89
22910	中札白	5	21	142.95	42.22	80	44	60	0.188	0.136	0.114	0.114	45	52	57	61	65	70	74
													41	46	51	53	56	59	62
22915	目黒	5	21	143.31	42.13	17	47	85	0.177	-0.167	0.047	0.038	111	118	123	126	129	134	138
													106	113	118	120	122	124	125
渡島支庁													100	107	112	115	118	118	119
23900	長万部	4	23	140.38	42.52	10	47	74	0.144	0.113	0.095	0.041	84	97	110	118	128	141	155
													77	89	99	104	111	120	128
23905	八雲	4	23	140.27	42.25	8	48	86	0.123	-0.161	0.091	0.027	70	80	86	92	97	102	107
													119	137	155	165	178	196	214
23910	大沼	4	23	140.72	41.98	165	47	68	0.154	-0.081	0.148	0.078	110	126	141	149	158	171	182
													100	114	125	131	137	145	151
23920	千軒	7	23	140.27	41.56	100	54	142	0.131	0.101	0.120	0.009	93	103	113	118	124	133	141
													89	97	104	108	113	119	124
118													83	91	98	102	106	112	116
106													109	120	131	137	145	155	164
103													103	113	121	126	131	138	144
97													97	107	114	118	123	129	135
85													85	95	103	108	114	122	130
81													81	89	96	99	104	109	114
76													76	84	90	93	96	101	105
184													184	209	234	249	268	295	323
173													173	194	213	223	236	253	269
161													161	179	194	201	210	220	230

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	l1 (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)							
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年	
樽山支庁																				
24900	今金	4	23	140.01	42.43	19	48	107	0.118	-0.049	0.191	-0.017	134	149	163	170	179	191	203	
													127	139	150	156	162	171	179	
													121	132	142	147	153	160	167	
24905	熊石	4	23	139.98	42.13	34	41	59	0.158	0.046	0.121	0.038	74	83	90	94	99	106	113	
													71	78	83	87	90	95	99	
													67	73	79	82	85	89	93	
24910	鶴	4	23	140.31	41.93	53	47	88	0.142	0.084	0.201	0.038	109	121	132	138	146	156	165	
													104	114	123	127	133	140	146	
													98	108	116	120	124	130	136	
青森県																				
31900	大間	5	22	140.91	41.53	14	43	31	0.288	0.253	0.322	0.161	43	49	56	61	66	73	80	
													40	46	51	54	57	61	66	
													36	41	45	47	49	52	55	
31905	今別	5	26	140.48	41.18	30	43	88	0.194	0.115	0.197	-0.014	122	141	160	171	185	203	223	
													114	131	146	154	164	177	189	
													105	119	131	137	143	151	158	
31910	五所川原	5	26	140.46	40.81	9	42	89	0.201	0.036	0.184	0.021	123	142	161	172	186	204	224	
													115	132	147	155	165	178	191	
													107	121	132	138	145	153	160	
31915	野辺地	4	26	141.11	40.85	43	48	129	0.128	0.058	0.187	0.008	161	179	195	204	215	230	244	
													154	168	181	188	196	206	216	
													146	159	171	177	184	194	202	
31920	弘前	4	23	140.46	40.61	30	45	84	0.138	0.244	0.240	0.081	105	116	127	133	140	149	159	
													100	109	118	122	127	134	140	
													94	103	110	114	119	125	130	
31925	酸ヶ湯	6	26	140.85	40.65	890	58	380	0.088	0.054	0.082	0.027	462	492	514	526	539	557	574	
													445	476	497	505	513	521	525	
													423	453	475	484	492	499	502	
31935	酸ヶ湯	4	26	140.83	40.48	137	48	92	0.131	-0.075	0.224	-0.016	115	127	138	145	152	162	172	
													108	120	129	134	139	147	154	
													104	113	122	126	132	138	144	
31940	脇野沢	5	22	140.82	41.15	15	44	73	0.265	0.109	0.127	0.028	102	120	136	146	159	175	193	
													95	109	121	128	136	147	157	
													86	98	108	113	118	125	131	
31945	脇野沢	2	22	140.21	40.78	40	35	57	0.271	0.004	0.107	-0.080	86	106	128	143	165	196	232	
													78	95	111	121	133	150	167	
													69	82	93	99	105	115	122	
31950	十和田	5	22	141.25	40.60	42	49	53	0.198	-0.072	0.142	0.100	74	86	98	104	113	124	136	
													68	78	87	92	98	106	113	
													63	71	77	81	84	89	93	
31955	三戸	5	22	141.26	40.38	38	48	51	0.223	0.124	0.168	-0.059	71	82	94	100	108	120	131	
													66	76	84	89	95	102	109	
													60	68	75	78	82	86	90	

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	l1 (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)							
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年	
秋田県														66	81	98	109	123	145	170
32900	能代	2	26	140.03	40.20	6	33	44	0.278	0.223	0.136	0.006	80	73	86	93	102	115	129	
													53	64	73	77	83	89	95	
													105	122	137	146	159	174	189	
32905	鷹巣	5	26	140.37	40.23	29	44	76	0.179	0.030	0.081	-0.016	98	112	125	132	141	152	162	
													90	103	113	118	124	131	137	
													79	88	96	100	105	112	118	
32910	鹿角	4	26	140.79	40.22	123	41	64	0.151	-0.038	0.175	0.026	76	83	89	93	97	102	107	
													72	79	85	88	91	96	100	
													77	85	115	127	143	168	197	
32915	五城目	2	26	140.12	39.94	6	38	52	0.253	0.097	0.083	0.013	70	86	101	109	121	136	151	
													62	75	86	92	99	107	114	
													150	166	181	189	199	212	225	
32920	阿仁合	4	26	140.41	39.99	120	47	120	0.146	0.147	0.082	-0.025	143	156	168	174	182	191	200	
													135	148	159	165	171	179	187	
													125	139	151	159	167	178	189	
32930	角館	4	26	140.56	39.60	56	45	100	0.168	0.087	0.196	-0.051	119	131	141	146	152	160	167	
													112	124	133	137	143	150	156	
													108	123	138	147	157	172	187	
32935	大正寺	1	25	140.23	39.53	20	38	80	0.212	0.066	0.091	0.035	101	114	126	132	140	150	159	
													84	105	114	119	124	130	136	
													71	89	111	124	142	168	196	
32940	本荘	3	26	140.06	39.36	11	23	46	0.241	0.173	0.129	0.030	63	79	94	103	114	130	147	
													56	68	79	84	91	101	110	
													154	176	197	209	224	245	266	
32945	横手	1	26	140.56	39.32	59	38	115	0.164	-0.142	0.188	-0.011	145	164	181	190	201	216	229	
													134	151	165	171	179	187	195	
													151	175	198	213	230	253	277	
32950	矢島	5	26	140.15	39.23	72	44	109	0.184	-0.059	0.140	-0.022	141	162	180	190	203	218	234	
													128	146	161	168	176	186	195	
													166	184	200	209	220	235	249	
32955	湯の岱	4	26	140.53	38.86	335	48	133	0.124	-0.064	0.145	-0.035	158	174	187	194	202	213	222	
													150	164	175	181	188	197	205	
													129	150	172	184	199	221	242	
32960	湯沢	5	20	140.46	39.19	74	41	92	0.199	0.014	0.049	-0.049	119	136	152	160	171	184	197	
													108	123	134	140	147	156	162	
													岩手県							
33905	二戸	5	22	141.30	40.30	87	46	41	0.287	0.207	0.153	-0.033	58	67	77	82	89	98	107	
													54	62	69	72	77	83	89	
													49	56	61	64	67	71	74	
33915	奥中山	6	26	141.23	40.06	430	52	80	0.118	0.062	0.120	0.033	98	104	109	111	114	118	121	
													94	101	105	107	108	110	111	
													89	96	100	102	104	106	106	
33920	葛巻	5	21	141.44	40.04	390	47	53	0.242	0.312	0.162	0.075	74	86	96	105	113	126	137	
													69	79	88	93	99	106	114	
													62	71	78	81	85	89	93	
33925	雫石	4	22	140.98	39.70	195	41	66	0.145	0.016	0.180	0.053	82	91	99	103	108	117	124	
													78	85	92	95	99	105	110	
													73	80	86	89	93	98	102	
33930	遠野	5	21	141.54	39.34	273	41	29	0.225	0.055	0.013	-0.045	41	48	55	58	63	70	77	
													38	44	49	51	55	59	63	
													35	39	43	45	47	50	52	
33935	湯田	4	26	140.78	39.31	250	48	178	0.104	0.055	0.107	-0.088	222	246	269	281	297	317	337	
													212	232	250	259	270	285	298	
													201	220	236	244	254	265	276	
33940	北上	1	21	141.11	39.29	61	31	34	0.164	-0.080	0.036	0.060	46	53	59	63	68	75	82	
													43	48	53	56	59	64	68	
													39	44	48	50	52	55	57	
33945	祭時	5	22	140.87	39.01	350	43	131	0.174	0.076	0.181	-0.098	183	211	240	258	281	312	344	
													170	195	217	230	244	263	282	
													155	176	193	201	211	222	232	
33950	一関	2	23	141.13	38.93	32	32	24	0.266	0.352	0.281	0.222	36	44	53	59	67	79	93	
													32	39	46	50	55	62	69	
													28	34	39	41	44	48	51	
33955	区界	7	20	141.35	38.65	760	56	81	0.164	0.065	0.076	0.117	105	119	134	143	154	170	186	
													98	110	121	127	134	144	153	
													91	101	109	113	118	124	130	

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	t1 (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)						
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年
宮城県																			
34900	川渡	1	26	140.76	38.74	170	36	55	0.211	0.252	0.184	0.077	73	84	93	99	106	116	125
													89	78	86	91	96	103	109
													64	72	78	81	85	89	93
34915	新川	5	21	140.64	38.30	264	41	36	0.194	0.029	-0.007	-0.084	50	58	66	70	76	83	90
													46	53	59	63	67	72	77
													42	48	52	54	57	60	62
34920	白石	5	21	140.61	38.02	86	39	19	0.229	-0.023	0.085	0.017	26	31	35	37	40	45	49
													24	28	31	33	35	38	40
													22	25	28	29	31	32	34
山形県																			
35900	金山	4	23	140.33	38.88	170	48	130	0.147	0.064	0.118	0.043	162	180	196	205	216	231	244
													155	169	182	189	197	207	217
													146	160	171	177	184	193	201
35905	狩川	2	26	139.97	38.80	17	36	76	0.245	0.102	0.063	-0.079	113	140	167	184	208	243	283
													102	125	147	159	176	198	220
													91	109	125	132	142	153	162
35910	櫛引	2	23	139.85	38.67	33	33	75	0.248	0.077	0.055	-0.050	112	136	167	184	209	249	287
													101	123	145	158	174	196	218
													90	107	122	129	139	149	158
35915	尾花沢	5	26	140.41	38.61	106	45	141	0.173	0.074	0.092	0.011	196	227	256	275	297	328	358
													183	210	234	247	263	284	303
													169	192	210	219	229	243	255
35920	肘折	6	23	140.16	38.61	330	52	322	0.105	0.094	-0.021	-0.111	394	419	437	447	459	476	495
													377	404	422	429	435	442	446
													357	383	401	410	418	423	426
35925	大井沢	6	26	139.99	38.39	440	52	256	0.119	0.026	0.082	0.000	313	333	347	354	363	375	387
													300	321	335	341	346	351	355
													284	306	320	327	333	337	340
35930	長井	4	26	140.02	38.11	210	42	111	0.155	0.074	-0.010	0.030	138	153	167	174	183	195	207
													124	136	146	151	157	165	171
													245	285	323	345	372	409	446
35935	小国	5	26	139.74	38.08	140	46	177	0.195	0.035	0.023	-0.010	229	263	293	309	329	354	379
													211	240	264	275	287	305	321
													143	163	182	194	208	227	247
35940	米沢	1	26	140.14	37.91	245	33	106	0.203	0.089	0.194	0.055	134	152	167	176	186	199	211
													125	140	152	158	165	174	182
													106	122	138	148	160	177	194
35945	左沢	5	23	140.19	38.37	133	41	75	0.196	-0.032	0.137	0.115	98	112	125	132	140	151	162
													90	102	111	115	121	128	135
													161	178	194	204	214	229	243
35950	向町	4	22	140.52	38.76	212	47	128	0.162	0.036	0.065	-0.017	152	167	179	186	194	204	214
													144	158	169	176	183	191	200
福島県																			
36905	西会津	1	25	139.66	37.59	165	36	104	0.207	0.105	0.144	0.118	141	161	180	191	205	226	246
													131	149	164	172	182	195	207
													122	137	149	155	161	170	177
36910	猪苗代	3	26	140.12	37.56	522	19	75	0.282	0.275	0.253	0.170	113	144	178	200	230	272	317
													102	127	151	166	184	210	236
													89	109	126	136	147	162	176
36915	只見	4	26	139.31	37.34	377	48	237	0.129	0.087	0.045	-0.047	295	327	357	374	394	420	446
													282	308	332	344	359	378	395
													267	292	314	325	338	354	370
36920	金山	4	25	139.53	37.45	324	42	155	0.150	0.072	0.141	0.057	193	214	234	245	258	275	292
													184	202	217	225	234	247	258
													174	191	205	212	221	232	242
36925	南郷	4	25	139.54	37.27	494	42	167	0.159	0.085	0.206	0.064	209	232	253	265	280	299	316
													199	218	235	243	254	267	280
													188	206	220	228	237	249	259
36935	田島	4	23	139.77	37.20	570	44	92	0.158	0.051	0.138	0.010	115	128	140	147	155	165	176
													110	121	130	134	140	148	154
													104	114	122	126	131	138	143
36940	楡枝岐	7	23	139.39	37.03	930	51	206	0.149	0.077	0.113	0.003	265	301	337	358	385	421	458
													250	280	307	323	341	365	389
													233	257	278	288	300	315	329
36945	湯本	4	20	140.06	37.28	640	43	91	0.143	-0.136	0.216	-0.054	115	128	139	146	154	165	175
													109	119	128	133	139	146	153
													102	112	120	125	130	136	142

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	ll (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)						
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年
長野県													282	314	342	358	378	405	430
48900	野沢温泉	4	25	138.45	36.92	571	47	227	0.131	0.014	0.231	0.008	270	295	318	330	344	362	378
.....													255	279	299	310	323	339	354
48905	信濃町	1	24	138.20	36.81	685	39	103	0.169	0.005	0.123	-0.006	139	159	177	189	203	222	241
.....													130	147	162	170	180	193	205
.....													120	135	147	153	160	168	175
.....													206	235	264	280	301	330	359
48910	飯山	1	22	138.38	36.67	313	39	152	0.163	0.068	0.176	0.039	191	216	239	251	265	284	302
.....													177	199	216	225	234	247	258
.....													231	264	297	316	340	372	406
48915	小谷	1	22	137.93	36.82	550	38	171	0.129	-0.063	0.205	-0.022	215	243	268	282	298	319	339
.....													199	223	242	252	262	276	287
.....													142	162	182	193	207	227	247
48920	白馬	1	25	137.86	36.70	703	41	106	0.196	0.145	0.022	0.058	134	152	167	176	186	199	211
.....													124	139	152	157	164	173	180
.....													83	96	109	117	126	139	153
48930	大町	5	24	137.83	36.52	784	43	59	0.225	0.160	0.112	0.091	76	88	98	103	110	118	127
.....													69	79	87	90	95	100	105
.....													125	133	139	142	145	150	155
48935	菅平	6	24	138.32	36.53	1253	56	102	0.099	0.056	0.141	0.000	120	128	134	136	138	140	142
.....													114	122	128	131	133	134	138
岐阜県													194	221	248	264	283	310	337
52900	河合	1	25	137.10	36.31	471	41	144	0.192	0.119	0.162	0.038	181	205	226	238	252	269	286
.....													168	188	203	211	221	232	241
.....													129	148	165	177	191	208	229
52905	神岡	1	22	137.31	36.32	455	35	96	0.208	0.079	0.027	-0.131	121	137	151	158	167	179	190
.....													111	125	136	142	148	155	162
.....													247	282	315	335	361	396	433
52910	白川	1	22	136.90	36.27	478	41	182	0.145	0.066	0.109	0.017	229	259	286	300	318	340	361
.....													213	239	259	269	281	295	308
.....													142	162	182	194	208	227	248
52915	長滝	1	24	136.83	35.93	430	34	106	0.195	0.158	0.024	-0.003	133	151	166	175	185	198	210
.....													124	139	151	157	163	171	179
.....													116	147	181	203	231	273	322
52920	樽見	3	25	136.60	35.64	190	28	76	0.251	0.205	0.067	0.034	104	129	154	169	188	214	241
.....													91	111	129	138	149	164	179
新潟県													129	160	190	211	240	285	333
54905	下関	2	25	139.56	38.09	36	33	86	0.268	0.180	0.080	0.023	117	142	168	182	201	226	252
.....													103	123	142	152	163	176	189
.....													156	178	200	213	230	252	274
54915	津川	1	25	139.45	37.67	100	39	117	0.214	0.058	0.004	-0.084	147	166	183	193	204	218	232
.....													136	151	164	171	178	187	194
.....													156	196	243	269	305	361	424
54920	長岡	3	25	138.82	37.45	23	29	102	0.317	0.171	0.077	-0.009	140	174	207	227	253	288	322
.....													123	150	172	185	200	220	239
.....													104	131	159	177	200	234	272
54925	柏崎	3	25	138.55	37.35	7	27	68	0.324	0.307	0.184	0.076	93	116	138	152	169	192	216
.....													81	98	114	122	133	145	157
.....													332	368	401	419	443	472	501
54930	入広瀬	4	25	139.07	37.36	230	44	266	0.157	0.162	0.196	0.050	317	347	373	387	404	425	445
.....													300	328	352	365	380	398	414
.....													291	338	383	410	442	489	535
54935	小出	5	25	138.96	37.24	98	45	209	0.189	0.190	0.154	0.002	271	311	346	366	389	419	449
.....													248	282	309	323	338	358	376
.....													270	331	395	435	492	574	671
54940	安塚	2	25	138.46	37.11	126	40	180	0.262	0.142	0.174	-0.083	243	297	349	379	418	471	525
.....													213	256	293	311	336	361	384
.....													316	367	415	445	478	528	576
54945	十日町	5	25	138.73	37.14	170	43	227	0.177	0.145	0.183	-0.010	294	338	376	397	423	456	487
.....													270	307	337	351	367	387	405
.....													188	231	277	308	346	410	478
54950	能生	2	25	138.02	37.08	55	37	125	0.310	0.345	0.300	-0.002	169	207	243	264	291	328	365
.....													150	180	206	220	235	252	269
.....													298	340	381	404	434	475	519
54955	関山	1	25	138.22	36.93	350	41	221	0.170	0.085	0.174	-0.025	278	314	347	364	385	412	438
.....													258	289	314	327	342	361	377
.....													285	324	365	388	418	460	501
54960	湯沢	1	23	138.81	36.94	340	40	212	0.142	0.137	0.310	0.033	267	302	333	349	370	396	421
.....													248	277	301	312	324	340	354

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	ll (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)						
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年
富山県																			
55900	泊	3	25	137.55	36.95	13	29	57	0.307	0.309	0.138	-0.036	87	109	133	149	170	199	231
													78	97	115	126	140	160	180
55905	魚津	3	25	137.43	36.82	48	29	71	0.333	0.273	0.116	-0.057	68	82	95	102	111	121	132
													108	136	166	185	213	250	292
55910	砺波	3	25	136.96	36.61	69	28	65	0.276	0.356	0.266	0.155	97	120	144	157	175	199	224
													85	103	120	128	139	153	168
55920	猪谷	3	25	137.24	36.47	215	30	129	0.212	0.168	0.235	0.097	99	125	153	172	195	233	272
													89	110	132	144	160	183	206
石川県																			
56900	珠洲	3	25	137.29	37.45	4	27	53	0.389	0.365	0.195	0.066	77	94	110	118	128	142	154
													81	102	124	138	158	187	218
56905	七尾	3	25	136.97	37.03	14	29	34	0.309	0.139	0.004	-0.021	196	247	303	339	385	450	524
													51	64	79	88	100	116	136
56910	鳥越	2	25	136.61	36.36	180	35	117	0.268	0.371	0.235	0.105	46	57	69	75	84	95	107
													41	49	57	61	66	72	78
56915	山中	3	25	136.36	36.23	126	32	95	0.285	0.357	0.252	0.101	174	215	259	288	326	383	448
													157	192	226	246	270	305	339
福井県																			
57900	九頭竜	1	23	136.67	35.91	430	41	162	0.165	0.092	0.169	0.013	140	167	192	206	221	238	256
													144	183	223	249	282	330	382
57905	大野	3	25	136.50	35.97	182	29	103	0.259	0.279	0.165	0.105	129	161	192	210	234	266	300
													156	197	240	268	305	359	416
57910	今庄	2	25	136.20	35.77	128	34	101	0.299	0.258	0.186	-0.002	140	167	192	206	221	238	256
													150	185	222	247	281	331	387
57915	小浜	3	25	135.78	35.48	10	29	41	0.357	0.348	0.285	0.173	121	145	165	176	188	202	216
													82	78	96	107	122	145	171
滋賀県																			
60900	柳ヶ瀬	2	24	136.19	35.58	220	35	108	0.283	0.125	0.166	0.088	162	201	242	267	304	358	422
													146	178	210	228	251	283	315
60905	今津	3	24	136.03	35.41	88	22	46	0.280	0.222	0.177	0.062	129	156	177	189	202	220	235
													69	87	107	120	137	163	191
京都府																			
61900	峰山丹波	3	23	135.07	35.62	23	31	53	0.273	0.122	-0.044	0.055	80	101	124	139	158	188	219
													72	90	107	117	130	148	167
61910	美山	3	24	135.55	35.28	200	30	34	0.309	0.210	0.136	-0.004	62	75	87	94	101	111	121
													51	65	80	89	102	122	143
兵庫県																			
63900	香住	3	24	134.63	35.63	5	28	55	0.304	0.152	0.176	0.108	84	106	130	145	166	196	228
													75	94	112	122	136	155	175
63911	村岡	2	24	134.58	35.43	540	40	94	0.248	0.213	0.179	0.143	66	79	92	99	107	117	127
													140	173	209	231	262	308	362
63915	和田山	3	24	134.85	35.32	80	24	33	0.275	0.172	0.279	0.106	126	154	181	197	217	245	273
													113	135	154	162	174	197	219
兵庫県																			
63915	和田山	3	24	134.85	35.32	80	24	33	0.275	0.172	0.279	0.106	50	63	77	86	98	116	135
													45	56	66	73	81	92	104
兵庫県																			
63915	和田山	3	24	134.85	35.32	80	24	33	0.275	0.172	0.279	0.106	38	46	54	57	61	68	73
													38	46	54	57	61	68	73

第B2表 続き

観測所 番号	観測所名	地域 番号	統計 年数	経度 (°)	緯度 (°)	標高 (m)	起日 (日)	t1 (cm)	t	t3	t4	t5	再現期待値(cm)						
													T=5年	10年	20年	30年	50年	100年	200年
鳥根県																			
68900	横田	1	24	133.10	35.17	369	38	61	0.189	0.223	0.257	0.230	82	93	105	111	120	131	142
													76	86	95	100	106	113	121
													71	79	86	89	93	98	102
68905	赤名	3	24	132.71	35.00	444	31	72	0.210	-0.002	0.044	0.026	110	139	172	192	219	259	302
													99	123	146	160	178	203	228
													86	105	121	131	142	156	169
68910	瑞穂	3	21	132.53	34.85	327	24	43	0.212	0.080	0.173	0.181	66	83	103	115	131	156	182
													59	73	87	95	106	121	136
													51	62	71	77	83	91	99
68915	弥栄	3	21	132.11	34.78	380	25	40	0.233	0.181	0.199	0.159	62	77	95	108	120	142	167
													55	68	81	89	99	112	127
													47	57	66	71	77	85	91
鳥取県																			
68900	倉吉	3	24	133.84	35.47	8	29	32	0.297	0.154	0.137	0.011	49	62	76	84	97	115	134
													44	54	65	71	79	90	102
													38	46	53	57	62	68	74
68905	大山	1	24	133.54	35.39	875	46	179	0.158	0.090	0.125	0.000	242	276	309	328	352	385	420
													225	255	281	295	313	335	356
													208	232	252	262	273	287	300
68915	智頭	2	24	134.24	35.26	182	36	48	0.273	0.153	0.242	0.165	71	88	106	119	135	159	184
													64	78	92	100	111	125	139
													57	68	78	83	88	94	100





