

熊谷地方気象台が観測した極端な高・低温及び 大雨の年間日数の変遷

福 眞 吉 美*

1. はじめに

極端な自然現象の発現回数やその変動性の長期的な変化は、災害等の観点で、人類の生存にとって平均の変化より一層大きな影響を持つ(IPCC(1995), 気象庁訳, 1996)。これらの変化についても、気温については霜期間の長さなどに置き換えたもの(N. NICHOLLSら, 気象庁訳, 1996)、大雨については日降水量の第3位までのデータがどの期間に観測されたか(Iwashimaら, 1993)などの調査がある。しかし、一貫した全球的な変化を把握するためのデータは十分ではない(IPCC(1995), 気象庁訳, 1996)。極端な現象の発現回数は、期間、場所を限定すると、「0」が多くなる。この度数分布を正規化できれば、その発現回数や変動性の長期的変化を容易に評価することができる。

熊谷地方気象台が創立以来100年間に観測した、極端な高・低温及び大雨の年間日数を福眞ら(1998)の手法を用いて正規化し、正規化後の平均と変動性の最近100年間の変化を評価した。

2. 用いた資料とその処理

2.1 用いた資料

熊谷地方気象台は、1897年から100年間にわたり移転なしに、気象観測を行ってきた。この100年間に同気象台が観測・保存してきた次の資料を「埼玉県気象年報」又は相当する報告から読み取った。いずれも、1年間に1回前後の珍しい現象である。日界、測器などの変更の影響は、無視した。

- ① 日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数
- ② 日最高気温が 2.0°C 未満の年間日数

- ③ 日最低気温が 25.0°C 以上の年間日数
- ④ 日最低気温が -7.0°C 未満の年間日数
- ⑤ 日降水量が100 mm以上の年間日数

2.2 度数分布の正規化

それぞれの年間日数の平均と分散の100年間の変化を有意性を踏まえて評価するために、これらの度数分布を正規化すると便利である。いずれの年間日数も、約半分の事例が「0」日であり、一般的に正規化が困難である。このため、福眞ら(1998)の正規化手法を用いた。手法の概要は、付録に示すとおりである。

2.3 度数分布の作成

第1図は、「日降水量が100 mm以上の年間日数」の度数分布で、左から順に、次の変換を行っている。

- (a) 無変換
- (b) 「n個連続した0」を「 $1/(n+1)$ 」に置き換え
- (c) (b)の $1/3$ 乗変換
- (d) (b)の対数変換

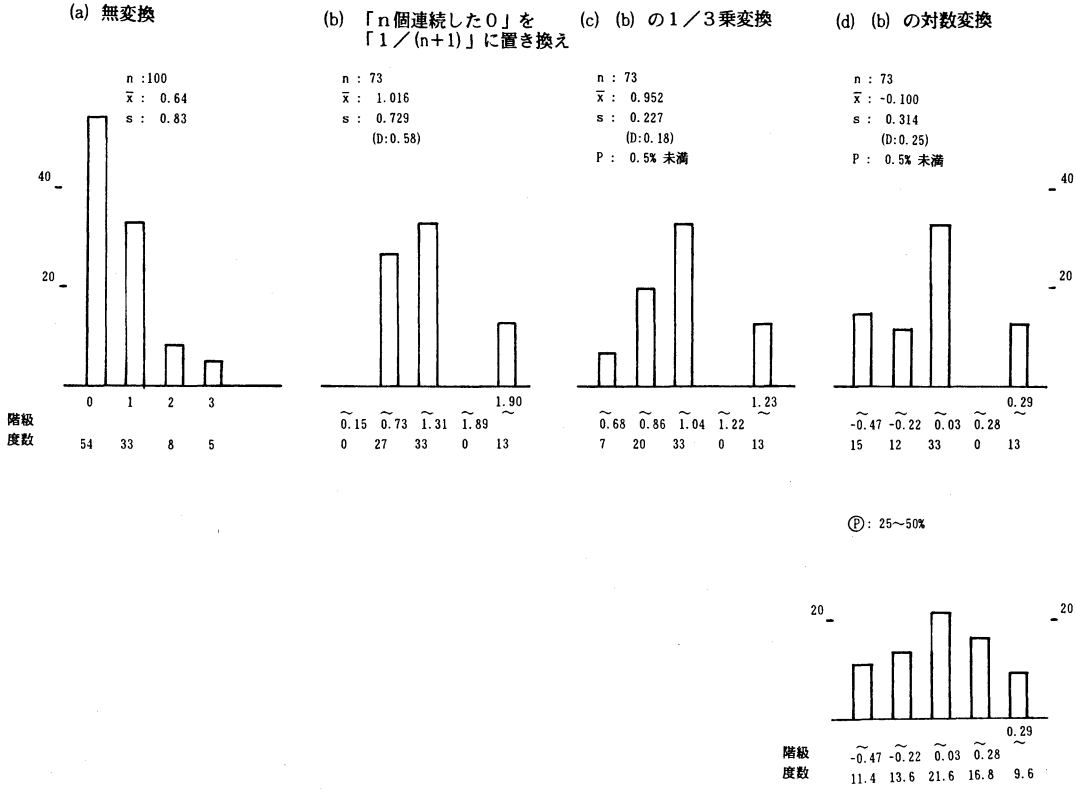
また、いずれの変換も正規分布とみなすことができないので、対数変換について福眞ら(1998)の飛び飛び補正を行った度数分布を(d)の下に示した。

図中には、標本数(n)、平均(\bar{x})、標本標準偏差(s)、後述の階級幅(D)及び χ^2 -検定に基づく正規分布である確率(P)を合わせて示した。また、度数を示す棒グラフの下には、階級の区切り値及び度数を示した。正規分布である確率が10%程度以上の場合には、正規分布とみなす(気象学ハンドブック編集委員会, 1959)として、Pに○を付した。

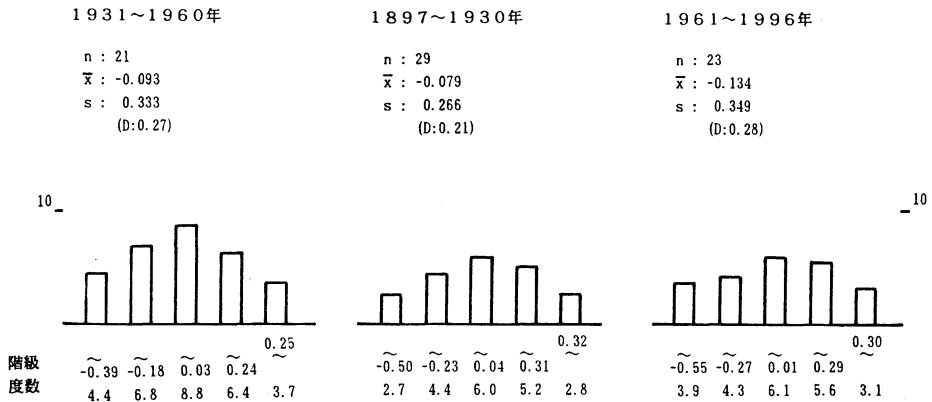
第1図で、(b)から(d)まで次第にモードが右に移行している。図には示していないが、 $1/2$ 乗変換は(b)と(c)の、 $1/4$ 乗変換は(c)と(d)の中間的位置にモードがある。同様の度数分布は、「日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数」等についても作成した。いずれの度数分布も、対数変換又はその飛び飛び補正を正

* 秋田地方気象台。

—1999年3月10日受領—
—2000年12月11日受理—



第1図 熊谷地方気象台が100年間に観測した日降水量が100 mm以上の年間日数。



第1'図 第1図(d)の期間別度数分布の飛び飛び補正。

規分布とみなすことができた。

度数分布は階級の区切り値の採り方で異なり、 χ^2 も異なる。本文においては、(a)の無変換の場合を除き、

次の共通条件で度数分布を作成した。

- ① 階級の数は、5とする。
- ② 中央の階級の右端の区切り値は $\bar{x} + 0.4s$ とし、

階級幅は0.8sとする。ただし、「s」は、標本標準偏差である。

すべての度数分布が、「n個連続した0」を「 $1/(n+1)$ 」に置き換えた上での対数変換によって、正規分布とみなすことができることが確認された。比較するそれぞれの期間の度数分布が正規分布であることは、 χ^2 -検定を行う際の標本数が51個以上の制約（鈴木，1975）から、厳密には確認できなかった。しかし、標本数は少ないものの、期間別の度数分布も正規分布に近いことは、第1図に示すとおりである。第1図は、第1図(d)を1897年～1930年、1931年～1960年及び1961年～1996年の3期間に分け、飛び飛び補正を行ったものである。「日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数」等についても、3期間に分けた度数分布は、類似の形となる。このことから1897年～1930年、1931年～1960年及び1961年～1996年のそれぞれの期間の度数分布も正規分布であると推定される。

2.4 平均の差及び分散の違い並びにその検定

100年間で1897年～1930年、1931年～1960年及び1961年～1996年の3期間に分けて、前述の方法で正規化した度数分布について平均及び変動性の変化を比較した。正規分布とみなすことができる場合は、平均の差についてはt-検定、変動性の違いについてはF-検定を用いた分散の評価が可能である。それぞれの期間の標本数、平均及び標本標準偏差から、平均の差及び分散の違いの検定を行った。また、日降水量については、期間を前半と後半に分けた検定も行った。

3. 熊谷の極端な高・低温及び大雨の年間日数の変遷

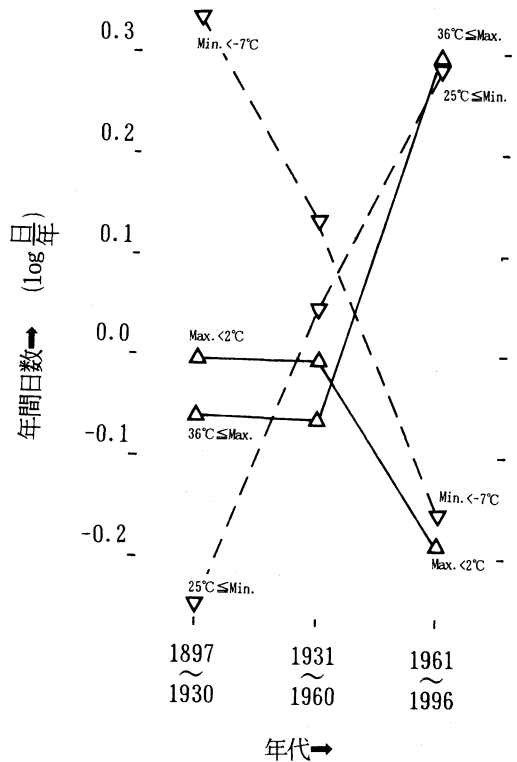
以下に、各要素の平均等の変化を示す。平均・標本標準偏差は、正規化した度数分布における値である。

3.1 極端な高・低温の年間日数の変化

第2図は、日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数、日最高気温が 2.0°C 未満の年間日数、日最低気温が 25.0°C 以上の年間日数及び日最低気温が -7.0°C 未満の年間日数の平均の変化を示す。左から1897年～1930年、1931年～1960年及び1961年～1996年の順である。

日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数の平均は、0.9日/年程度（対数が -0.060 及び -0.062 ）で安定していたが、最近約30年間で2.0日/年程度（対数が $+0.295$ ）に増加した。以下、対数値の記述は省略する。

日最高気温が 2.0°C 未満の年間日数の平均は、1.0日/年程度で安定していたが、最近約30年間で0.6日/年程



第2図 日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数の平均、日最高気温が 2.0°C 未満の年間日数の平均、日最低気温が 25.0°C 以上の年間日数の平均及び日最低気温が -7.0°C 未満の年間日数の平均の100年間の変遷。

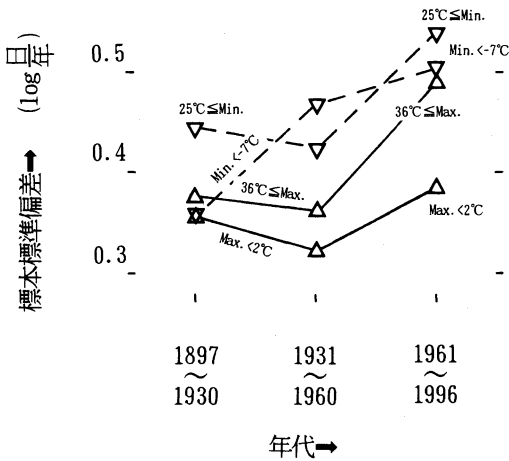
度に減少した。

日最低気温が 25.0°C 以上の年間日数の平均は、0.6日/年程度から、1.1日/年程度、1.9日/年程度へと100年間にわたり一貫して増加した。

日最低気温が -7.0°C 未満の年間日数の平均は、2.2日/年程度から、1.4日/年程度、0.7日/年程度へと100年間にわたり一貫して減少した。

それぞれの変化の有意性の検定結果は、日最高気温が 2.0°C 未満の年間日数の平均の変化の危険率が5～10%である以外は、有意（危険率5%未満）である。

第3図は、それぞれの標本標準偏差の変化を示す。全体として変動性が大きくなってきているように見える。しかし、標本標準偏差が平均の2.3倍程度から、2.9倍程度、3.1倍程度と大きくなった日最低気温が -7.0°C 未満の年間日数のみが有意である。



第3図 日最高気温が 36.0°C 以上の年間日数等の標準標準偏差の100年間の変遷。

3.2 極端な大雨の年間日数の変化

第4図は、第2図と同様に、日降水量が 100.0 mm 以上の年間日数の平均の変化を示す。大雨の年間日数の平均は、 0.8 日/年 程度から、 0.8 日/年 程度、 0.7 日/年 程度へと若干減少しているように見える。しかし、有意な減少とは認められなかった。

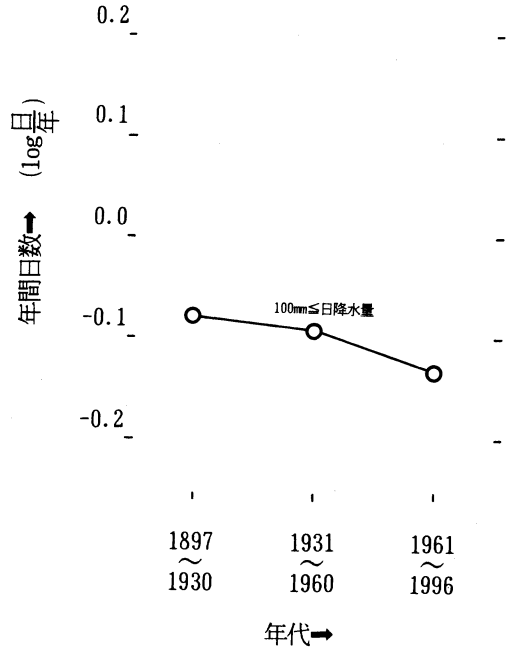
第5図は、この標準標準偏差の変化を示す。標準標準偏差が平均の1.8倍程度から、2.2倍程度、2.2倍程度と若干増大しているように見える。ただし、有意な増大ではない。同じ資料を1897~1946年と1947~1996年のように、前半と後半に分けると、標準標準偏差に有意な増加が認められた。前半の50年間に比べて後半の50年間では、1年間に何回も大雨が発生したり、何年も大雨が発生しないようになったといえる。

4. まとめと考察

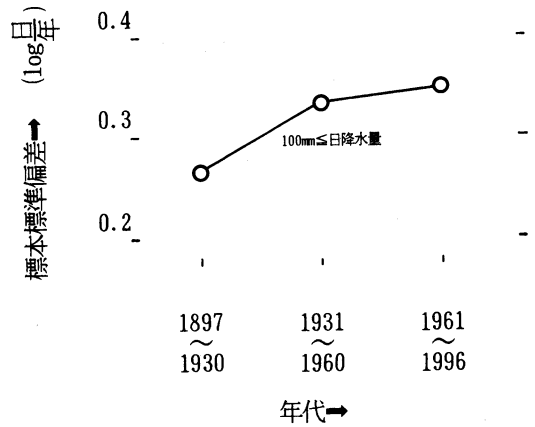
福真らの正規化手法(福真ら, 1998)は、「0」に度数が集中する極端な現象の発生回数の評価に役立つ。

過去100年間の熊谷市におけるそれぞれの100年間の変化は、次のようにまとめることができる。

- ① 極端に高い日最高気温の年間日数の平均は、ほとんど変化がない状態から、最近約30年間に有意に増加している。
- ② 極端に低い日最高気温の年間日数の平均は、ほとんど変化がない状態から、最近約30年間に減少の傾向が見られる。
- ③ 極端に高い日最低気温の年間日数の平均は、100



第4図 日降水量が 100.0 mm 以上の年間日数の平均の100年間の変遷。



第5図 大雨の年間日数の標準標準偏差の100年間の変遷。

- 年間により一貫して有意に増加している。
- ④ 極端に低い日最低気温の年間日数の平均は、100年間にわたり一貫して有意に減少している。
- ⑤ 極端な大雨の年間日数の平均は、100年間に有意な変化がない。
- ⑥ 極端に低い日最低気温の年間日数は、変動性が大

きくなっている。

⑦ 極端に高い日最高気温、極端に低い日最高気温及び極端に高い日最低気温の年間日数は、変動性が認められない。

⑧ 極端な大雨の年間日数は、期間の取り方によっては、変動性が大きくなっている。

100年間における極端な大雨の年間日数の平均が変化しないまま、期間の取り方によっては変動性が有意に増加している。これは、気温の上昇によってより極端な降水現象が起こる可能性が示唆されている (IPCC (1995), 気象庁訳, 1996) ことに対する傍証である可能性がある。

この評価手法は、長期間の気象資料を持つ多くの気象観測所に適用できる。この評価手法の利用は、極端な現象の発現回数やその変動性の長期的な変化を、1個又は少数の観測点の資料を用いて把握するための道をひらくものであると考える。

付 録 「0」の階級に度数が集中する度数分布の正規化の手続き (福眞等, 1998から)

① 発生順序を崩さない標本を用意する。どのような順番で標本が並んでいるかの情報も用いる。

鈴木 (1975) によると、 χ^2 -検定のためには51個以上の標本数が望ましい。後述のとおり作業中に標本数が減少するので、100個程度以上の標本が望ましい。

② 「 n 個連続した0 (日/年, 人/個, 個/月など)」を「 $1/(n+1)$ 」に置き換える。標本の最初又は最後が「0」の場合は、分かる範囲を連続数とみなす。例えば、標本が「1, 0, 0, 2, 0」の場合は、「1, 1/3, 2, 1/2」とする。

この置き換えは、「 $\dots, 3, 2, 1$ 」の次を「0」とせず、「 $\dots, 3, 2, 1, 1/2, 1/3, 1/4, \dots$ 」と考えることに相当する。分数の部分は、何年 (個, 月など) ぶりに発生したかを示す。「0」となる例が多い現象であってもそれが連続する例は少なくなる。極端に日 (回, 人, 個など) 数が多い場合の度数が少なくなるのと同様に、「0」が連続する場合の度数も少なくなる。

この置き換えは、日数などの自然数に発生間隔という異質なものを継ぎ足したように見える。しかし、この自然数の本質的な単位は、例えば「日」ではなく「日/年」である。特定の1年間に発生しない場合、次に発生するまでの年数を「何年ぶりに1日」と求めれば、「日/年」などの本質的な単位は変わらない。

③ ②で置き換えた標本に、正規化のための変換 ($1/2$ 乗, $1/3$ 乗, $1/4$ 乗, 対数変換など) を行う。

④ ③で変換した標本を用いて、変換ごとの度数分布を作り、 χ^2 -検定を行う。正規分布である確率が10%程度以上である変換は、正規分布とみなす。

⑤ これらの変換の中に正規分布とみなすことができる変換がない場合は、飛び飛び補正を行う。

度数が自然数又はその逆数にのみ存在する場合、自然数又はその逆数を正規化変換すると、度数が飛び飛びの値にのみ現れる。階級幅を等しくすると度数が存在し得ない階級や度数が集中する階級が生ずる場合がある。階級幅や区切り値の恣意的な選択も考えられるが、実行には羞恥心を伴う。飛び飛び補正は、この部分を一定のルールで補正するものである。

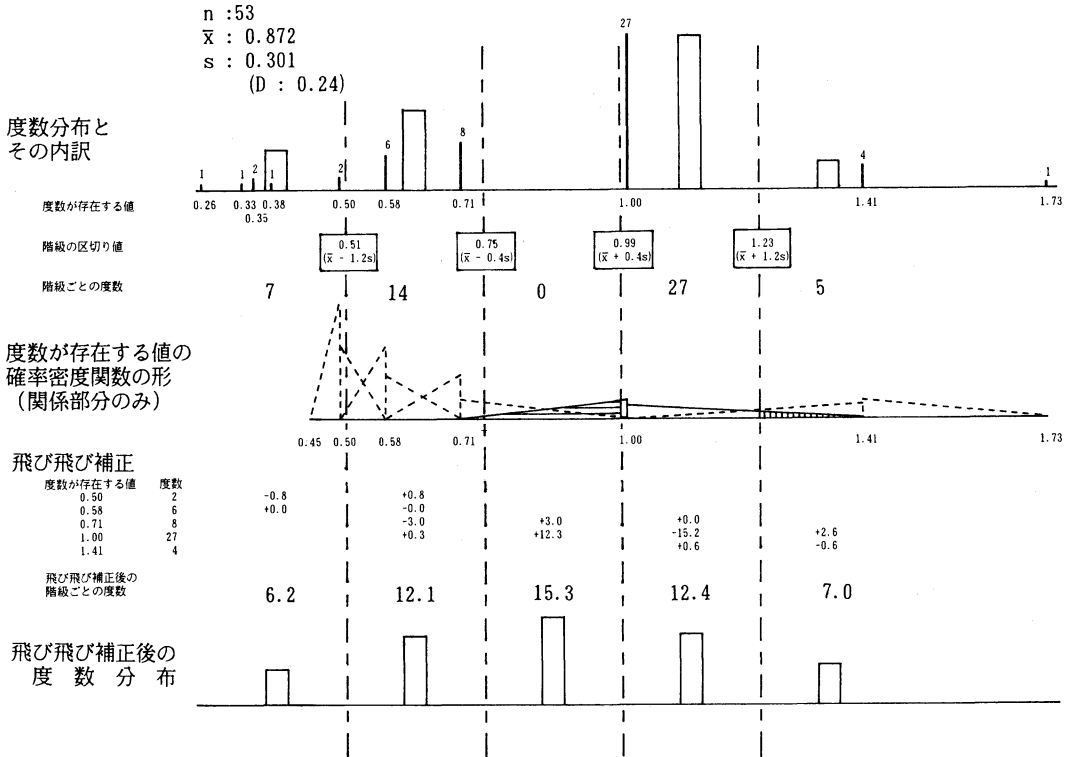
飛び飛びの値に存在した度数は、その値付近に密度が高く、度数が存在しうる隣の値で密度が「0」となるような、確率密度関数の積分と考える。飛び飛びの値にある度数は、その値を含まない階級の度数をも含んでいる。この影響を各階級に補正した度数が、歪みがない度数であると考え。この補正のため、計算の容易さも考慮して、面積が等しい直角三角形を二つ合わせた確率密度関数を提案している。

補正の計算例は、図Aに示すとおりである。

この補正を行っても正規分布とみなすことができない場合は、モードが複数の可能性がある。

参 考 文 献

- 福眞吉美, 高山仁志, 須永次雄, 石井孝明, 佐藤和典, 岡村隆太郎, 藤掛 洋, 1998: 「0」の階級に度数が集中する度数分布の正規化の一例 (対数変換を例に), 気象庁研究時報, 50巻1号, 1-15.
- IPCC (1995), 気象庁訳, 1996: 気候変化1995 気候変化の科学, 気象庁, 26-28, 44.
- Iwashima, T. and R. Yamamoto, 1993: A statistical analysis of the extreme events: Long-Term trend of heavy daily precipitation, J. Meteor. Soc. Japan, 71, 637-640.
- 気象学ハンドブック編集委員会, 1959: 気象学ハンドブック, 技報堂, 1019.
- NICHOLLS, N., G. V. GRUZA, J. JOUZEL, T. R. KARL, L. A. OGALLO and D. E. PARKER, 気象庁訳, 1996: 気候変化1995 気候変化の科学 第3章 観測された気候の変動性と変化, 気象庁, 162.
- 鈴木栄一, 1975: 気象統計学, 第五版, 地人書館, 48-55.



図A 飛び飛び補正の計算例

1.00 (1の1/2乗変換)の値にある27の度数は、0.71 (1/2の1/2乗変換)から1.41 (2の1/2乗変換)までの2個の直角三角形を合わせた確率密度関数の積分である。直角三角形の面積は、半分の13.5の度数を示す。この積分は、0.52から0.75、0.76から0.99、1.00から1.23及び1.24以上の4階級にまたがっている。度数が等間隔に存在しない歪みを補正するため、それぞれの階級に確率密度関数の部分積分を戻す。0.52から0.75の階級に戻すべきものは、0.71から0.75までの部分積分(小さな三角形)である。相似三角形の面積は、底辺の長さの二乗に比例する。0.71から1.00の相似形の三角形の面積が27度数の半分(13.5)を示すことから、戻すべき度数は、次のように求められる。

$$\text{度数} = 13.5 \times \left\{ \frac{(0.71 - 0.75)}{(0.71 - 1.00)} \right\}^2 = 0.3$$

同様に、0.76から0.99 m までの階級の部分積分(台形)及び1.24以上の階級の部分積分(三角形)から戻すべき度数を求める。

それぞれの階級に度数を戻す。1.00から1.23までの階級の度数は、減少する。

階級の区切り値に隣接する値に存在するすべての度数について、同様の補正を行う。

Trends in Yearly Number of Days with Extreme High and Low Temperature and Heavy Precipitation Observed at Kumagaya Local Meteorological Observatory

Yoshimi Fukuma

Akita Local Meteorological Observatory, Sanno 7-1-4, Akita 010-0951, Japan

(Received 10 March 1999 ; Accepted 11 December 2000)