

現在気候と将来気候の豪雨のアンサンブルデータを用いた頻度比較解析

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○森 聡紫

名古屋工業大学大学院 学生会員
名古屋工業大学 正会員Zhao Wenpeng
北野 利一

1. はじめに

温暖化に対する適応策を効率的に行うためには、どのような影響が、どこで顕在化しつつあるのかを把握する必要があり、現在気候と将来気候における相違の検出が求められる。なぜなら、地球温暖化対策としてインフラ整備が不可欠であり、急務であるからだ。また、気候変動リスク情報創生プログラムで、多数のアンサンブル標本を使える状況になった。そこで本研究では、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF)」からの札幌を含む格子(東経 141.255, 北緯 43.044 を南西端, 東経 141.509, 北緯 43.230 を北東端とする格子内)の過去実験データ出力値(1951-2010 年の 60 年×50 アンサンブル標本)を用いて、個々の標本から得られる推定と、標本の最大値のみのアンサンブル標本を用いた推定の両者について、確率降水量の相似性、すなわち、極値統計解析による両者の結果の一貫性を検証する手法を論じる。また、議論を単純化するために、取扱うデータは年最大値のみに限ることとする。一般的に、長期の観測および十分なデータ数を解析に用いることができれば、推定精度は向上する。よって、d4PDF による多数のアンサンブルデータを用いれば、頻度が低く大規模な外力の推定(外挿)も可能にできると期待する。

2. アンサンブル標本毎に得られる推定結果の統合

確率降水量は推定値であるゆえに、一般には、中心極限定理から、その誤差分布が正規分布であることを期待する。しかしながら、推定すべき外挿領域では、データが少なくなってしまうので、中心極限定理が十分に適用できないと予想され、その誤差が正規分布に

$$\lambda(y, \theta_n) = \exp \left\{ -\frac{1}{\xi} \log \left(1 + \xi \frac{y - \mu_n}{\sigma_n} \right) \right\} \quad (1)$$

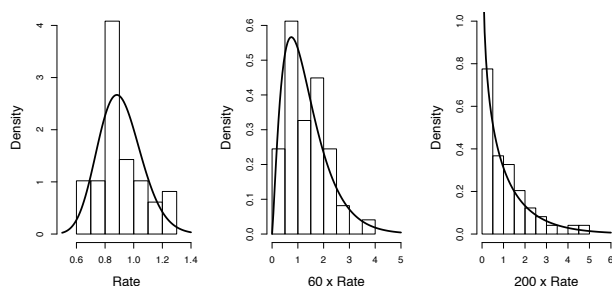


図-1 推定される生起率の誤差分布特性

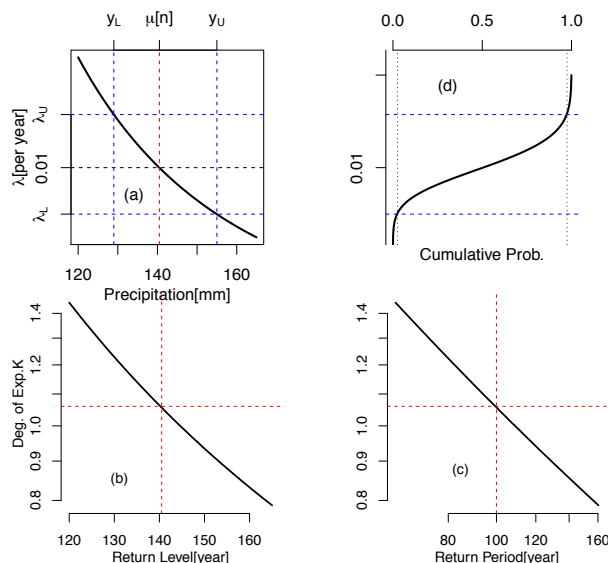


図-2 ガンマ分布による確率降水量と経験度の算出

したがうとは期待できない。そこで、アンサンブル標本ごとに推定される母数を式(1)を用いて降水量 y に対する生起率に変換する。得られた生起率のヒストグラム図-1によると、生起率の適合性はかなり良いと言え、一般論として中心極限定理による誤差の正規性を期待するよりも、生起率に変換した方が、その不確実性の変動を適切に扱えることを示している¹⁾。

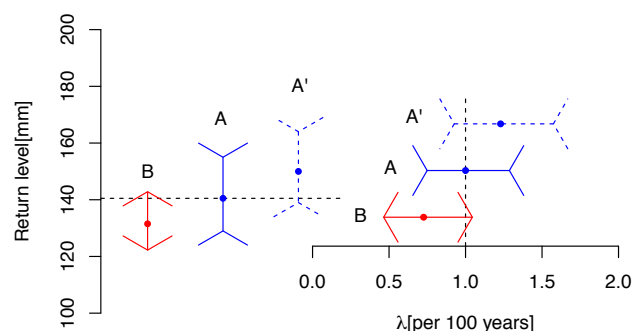
図-2 は、確率降水量の信頼区間を求めるために必要となる諸量の関係図である。Box の囲みがある a) は、降水量 y を変化させて与え(横軸)、式(2)のガンマ分布の確率密度関数より最尤法で求められる(期待)生起率の推定値(縦軸)を示している。

$$g(\lambda) = \frac{\beta^K \lambda^{K-1} e^{-\beta\lambda}}{\Gamma(K)} \quad (2)$$

ここでガンマ分布を用いるのは、ポアソン分布の母数となる生起率を確率変数として扱うため、ポアソン分布に自然共役な分布であることによる。また、b) は、同時に得られる形状母数 K の推定値(縦軸)を示し、c) は、その対応する再現期間(横軸)との関係を示している。ガンマ分布の形状母数 K は、ポアソン分布の生起数に相当し、個々のアンサンブル標本に対する経験度(降水量 y を超える仮想的な生起数)である。これを元に、生起率の区間推定を行う場合は、50 標本を包括することになり、形状母数(すなわち、経験度)を $50K$ として、事前分布を更新した事後分布のガンマ分布を用いればよい。d) は、ガンマ分布の累積確率を表し、その端点($P=0.025, 0.975$)の生起率に対応する降水量を読み取れば、確率降水量の 95% 信頼区間の端点 y_L と y_U を求められる¹⁾。

キーワード d4PDF, 外挿, ガンマ分布, ポアソン分布, 生起率, 経験度

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 社会工学専攻 TEL052-735-5498



(a)確率降水量の信頼区間 (b)生起率の信頼区間
図-3 A, B の信頼区間の比較

3. 外挿域における接続の検定

60 年最大値より推定された 100 年確率降水量 μ_{100} の信頼区間 B と前述の方法により 50 アンサンブル標本を包括した時の μ_{100} の信頼区間 A の 2 標本を取扱う。ここで、標本 A と B を従属させないために、標本 A から標本 B の 60 年最大値を取り除いて用いることとする。なお、標本 A に 60 年最大値を加えて推定を行ったものが標本 A' である。図-3 の(a)は、2 標本を確率降水量の信頼区間で比較をしたものであり、(b)は μ_{100} の値 141mm に対する生起率の信頼区間で比較したものである。どちらの場合も信頼区間 A, B は互いに重複していることがわかる。生起率で見ると、A が 100 年に平均 1 回に対して、B は平均 0.73 回になる。信頼区間の算定に用いた経験度は、 $K_A = 53.0$ 、 $K_B = 23.9$ であり、極値の生起率の相違の検定（ポアソン検定の拡張）²⁾によれば、その p 値は 0.12 (> 0.05) となるので、生起率の相違は有意と判断することができない。図-4 は、再現期間とそれに対応する降水量の関係を示していて、灰色のプロットは各アンサンブル標本におけるプロットである。赤色のプロットは 60 年最大値であり、それらから推定される再現レベルを曲線で示している。前述の統合法により求められる n 年確率降水量の値を、1 年から 200 年まで求めて、それを繋いだ線が青色の曲線である。そしてその上の青色の点線は、図-3 における A' の推定値を、同様に再現期間 1~200 年までつなぎ合わせて行ったものである。極値分布の漸近理論によると、年最大値から求められる n 年確率降水量の値は μ_n で表すことができ（青線）、 n 年最大値から nm 年確率降水量を求めるときは、 μ_n を用いて

$$\mu_{nm} = \mu_n + \sigma_n (m^{\xi} - 1) / \xi \quad (3)$$

で表すことができる（赤線）。この式(3)からわかるように、 μ_n と μ_{nm} は同一曲線として連続する（相似形を成す）ということが理論的に言える。しかし、図-4 を見てわかる通り、標本から得られる関係では、推定誤差を伴うため、 μ_n （青線）と μ_{nm} （赤線）が一致していないようにも見える。この不一致は前述における検定によって有意ではないということが示された。よ

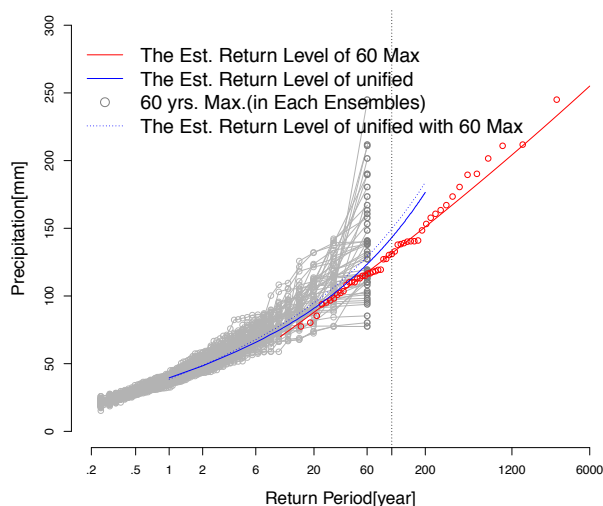


図-4 降水量と再現レベルの関係

って、この地点におけるデータでは、アンサンブル標本を包括して求められる推定値が極値分布に十分に漸近しているということが言える。

4. 頻度比較に向けて

今回は、d4PDF からのデータを用いて多数のアンサンブルデータが使用できる状況下での外挿領域における推定の方法を論じ、個々の標本から得られる推定と、標本の最大値のみのアンサンブル標本を用いた推定の接続について検定を行った。今回の札幌のデータによる結果からは、年最大値を用いた結果でも極値分布への漸近が十分であり、この手法を推定に用いることが可能であるとわかった。しかし、一般的に、気候モデルからの出力を影響評価へ用いる場合は、対象地域での再現性を確認した上で必要に応じてバイアス補正などの事前作業を行う必要性が出てくる。したがって、この d4PDF による気候モデル出力と実測値データそれぞれの統計的特徴や物理的整合性を比較し、それらの関係を用いて気候モデル出力値の統計的特徴を実測値のそれに近くなるように変換しなければならない。また、POT 法を用いて得られる閾値超過データを用いると、年最大値を用いる時に比べてデータ数が増えるので、そのような議論も可能である。そして、今回は紙面の都合上割愛したが、将来気候を再現したデータ（2051-2110 年の 60 年×90 アンサンブル標本）と上記の解析手法を用いて、現在気候と将来気候における豪雨の頻度比較も可能である。

参考文献

- 1) 北野利一・高橋倫也・田中茂信：気候モデルから得られる多数のアンサンブルデータを用いた確率降水量の推定法，水工論文集，第 61 巻，73 巻（2017）4 号，p.1_1-1_6
- 2) 北野利一・高橋倫也・田中茂信：降水量の極値特性の気候変動に伴う差異の検出，土木学会論文集 B1（水工学），第 71 巻，pp.1_361-1_366，2015
- 3) 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（database for Policy Decision making for Future climate change, d4PDF）<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>，2018 年 3 月 30 日閲覧