渇水対策のための月降水量の非定常頻度分析～四国地方への適用～

信州大学工学部 学生会員 ○相葉恒甫
 信州大学工学部 寒川典昭
 元信州大学大学院 正会員 草刈智一
 信州大学工学部 正会員 中屋眞司

1. はじめに

近年、異常気象によって今までの予想を大きく上回る洪水や渇水が発生し、従来の全期間定常性という仮定は成り立たないケースが増加してきている。そのため、利水計画を講じる上では、気候変動に伴う降水量の非定常性を前提とした計画が必要と考えられる。

そこで本稿では、GCM（大気大循環モデル）出力データ（以下「GCM データ」という）と四国地方4県（徳島、香川、愛媛、高知）の観測所における月降水量データを用いて、月降水量の非定常頻度分析を行った結果について述べる。さらに、その結果について算出される非超過確率降水量の変化を考察する。なお、月降水量は対数正規分布に従うものとし、GCM データは現在気候（1979～2003年）、近未来気候（2015～2039年）、世紀末気候（2075～2099年）を使用する。また、GCM データには前期ランと後期ランの2つがあり、前期ランを修正したものが後期ランである。両者には雨の降らせ方に違いがあり、それぞれのケースについて検討する。

2. 研究手順

(1) 気象庁の各気象観測所で観測されたデータ¹⁾を用いて、研究対象地域の1979年～2003年の月降水量データがある地点を採用する。

(2) 研究対象地点の位置に最も近いGCM データ（メッシュデータ）に対して前期ラン・後期ラン共にバイアス補正を行い、現在・近未来・世紀末の各気候のGCM データを対象地点の値に対応させる。ここでバイアス補正とは、GCM データの現在気候の値と観測データの値の乖離を簡便に補正するために、観測所ごとにGCM データの現在気候の値と観測データの値の差をとり、その差の平均でGCM データを補正することである。

(3) 非超過確率降水量の算定に用いる対数正規分布の母数が増えていることを仮定した上で、それがどのように変化しているかを捉えることを目的としバイアス補正したGCM データを基に25年間の時系列グラフを作成する。そこから母数（ μ ：平均、 σ^2 ：分散）を推定し5,10,20,30年非超過確率降水量の算出を行う。この時に用いる対数正規分布は以下の式で示される。

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y(t)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{(\log x - \mu_y(t))^2}{\sigma_y(t)^2}\right\}$$

(a) 最尤法

$$\mu_y(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i$$

$$\sigma_y(t)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log x_i - \mu_y(t))^2$$

(b) モーメント法

$$\sigma_y(t)^2 = \log\left(1 + \frac{\sigma_x(t)^2}{\mu_x(t)^2}\right)$$

$$\mu_y(t) = \log \mu_x(t) - \frac{\sigma_y(t)^2}{2}$$

ここに、 $\mu_y(t)$ 、 $\sigma_y(t)^2$ は時間 t に依存した母集団の $y (= \log x)$ に関する平均および分散を表すパラメータである。また、 $\mu_x(t)$ 、 $\sigma_x(t)^2$ は時間 t に依存した x に関する平均と分散である。

(4) 現在気候では、実測データとGCM データとが存在するため、両者の非超過確率降水量を比較しその一致度より信頼性を確認する。この時に用いる式は以下の式で示され、値が小さいほど信頼性が高いものとする。

$$s = \left| \frac{x_G - x_o}{x_o} \right|$$

ここに、 s は信頼性、 x_o は実測データの非超過確率降水量、 x_G はGCM データの非超過確率降水量である。

3. 適用データ

本稿に用いる観測データは、四国地方の気象観測所の月降水量データのうち不備の少ない地点を採用し、その期間における不備の多い地点については除外した。その結果、徳島1地点、香川2地点、愛媛2地点、高知1地点の計6地点のデータとなった。

4. 結果および考察

各観測所の実測データと GCM データを用いて 10 年非超過確率降水量について各月の分析を行う。本稿は渇水対策を対象としているため、特に渇水対策が必要とされる 7 月について分析を行い表にまとめたものが表 - 1 である。なお、表中の「×」は観測データの不備等で計算結果がうまく出なかったものを示す。分析の方法として各地点での確率降水量の増減を以下の式によりパターン分けを行った。

$$\text{上に凸, } \frac{\zeta}{\eta_1} \geq 1.1, \frac{\zeta}{\eta_2} \geq 1.1$$

$$\text{下に凸, } \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 0.9, \frac{\zeta}{\eta_2} \leq 0.9$$

$$\text{全期間増加, } \frac{\zeta}{\eta_1} \geq 1.1, \frac{\eta_2}{\zeta} \geq 1.1$$

$$\text{前部増加, } \frac{\zeta}{\eta_1} \geq 1.1, \frac{\eta_2}{\zeta} \leq 1.1, \frac{\zeta}{\eta_2} \leq 1.1$$

$$\text{後部増加, } \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 1.1, \frac{\zeta}{\eta_1} \geq 0.9, \frac{\eta_2}{\zeta} \geq 1.1$$

$$\text{全期間減少, } \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 0.9, \frac{\eta_2}{\zeta} \leq 0.9$$

$$\text{前部減少, } \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 0.9, \frac{\eta_2}{\zeta} \geq 0.9, \frac{\zeta}{\eta_2} \geq 0.9$$

$$\text{後部減少, } \frac{\zeta}{\eta_1} \geq 0.9, \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 1.1, \frac{\eta_2}{\zeta} \leq 0.9$$

$$\text{横ばい, } 0.9 \leq \frac{\zeta}{\eta_1} \leq 1.1, 0.9 \leq \frac{\zeta}{\eta_2} \leq 1.2,$$

$$0.9 \leq \frac{\eta_i}{\eta_j} \leq 1.1, \quad i=1,2, \quad j=1,2$$

η_1 は現在気候、 η_2 は世紀末気候、 ζ は近未来気候の確率降水量である。表 - 1 から、前期ランと後期ラン、また最尤法とモーメント法で確率降水量の増減が違っていることがわかる。シミュレーション過程に改善が施された後期ランに着目すると、前期ランに比

べて増加傾向を示す地点が減っていることがわかる。減少傾向、上に凸、下に凸であると出た地点については将来的に渇水の危険性があると判断されるため、貯水池の容量を増やす、流域間導水の可能性を探る等の対策が必要だと考えられる。また、信頼性については、地点によってその値に違いがみられた。

5. まとめ

計算結果、将来的に確率降水量が減少傾向、上に凸、下に凸にある地点がいくつか見受けられ、渇水の危険性があることがわかった。

今後の課題としては、同地点であっても算定方法により非超過確率降水量のパターンが異なるもの、前期ランと後期ランとでの傾向の違い、信頼性の高くないものへの検討が挙げられる。なお、本研究を進めるにあたり文部科学省「気候変動リスク情報革新プログラム：課題対応型の精密な影響評価」²⁾の多大なる支援を賜りました。ここに記して謝意を表します。

表 - 1 各地点の傾向 (7 月)

		全期間増加		前部増加		後部増加		全期間減少		前部減少		後部減少	
徳島	前期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(1地点)	後期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香川	前期	最尤法	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2地点)	後期	最尤法	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
愛媛	前期	最尤法	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2地点)	後期	最尤法	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0
高知	前期	最尤法	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(1地点)	後期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
		モーメント法	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		上に凸		下に凸		横ばい		その他		×	
徳島	前期	最尤法	0	0	0	0	0	0	4	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	4	0	0	0	0
(1地点)	後期	最尤法	0	0	0	0	0	4	0	0	0
		モーメント法	4	0	0	0	0	0	0	0	0
香川	前期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	1	0	0	0	5	0	0	0	0
(2地点)	後期	最尤法	0	3	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	6	0	0	0	0	0	0	0	0
愛媛	前期	最尤法	0	0	0	0	0	0	4	0	0
		モーメント法	2	0	0	0	6	0	0	0	0
(2地点)	後期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	1	0	0	0	0
高知	前期	最尤法	0	2	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	3	0	0	0	0
(1地点)	後期	最尤法	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		モーメント法	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<参考文献>

- 1) 気象庁：気象統計情報 過去の気象データ検索 <http://www.data.jam.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 2) 気候変動リスク情報革新プログラム：課題対応型の精密な影響評価，シナリオ A1B モデル MRI-AGCM20