

神戸大学大学院  
神戸大学大学院

学生員 ○森本 皓一  
正会員 宮本 仁志

1. 序論

近年の気候変動予測から中長期にわたる環境の変質が懸念される。そのため、河川流域における将来の整備計画や環境保全を考える際にも、気候変動の不確実性を合理的に検討に取り入れることが望ましい。この気候変動予測は、グローバルスケールでの AOGCMs(大気海洋結合モデル)の解析がもとなるため、そのままでは河川流域の地先スケールでの検討には適さない。本報では、AOGCMs のモデル間における予測不確実性を統計的に評価し、得られた結果を流域地先へダウンスケールするための手法を検討した。

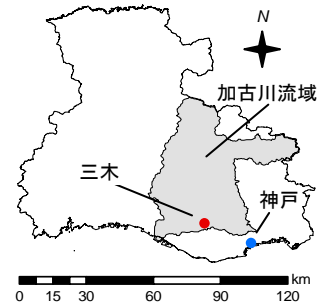


図-1 対象地点の位置図

2. 気候変動の解析データ

解析対象とした気象要素は、気温および一降雨での連続降雨日数と最大日降水量である。AOGCMsの出力値は気温の解析には20モデルを、降雨には13モデルを用いた。それらのデータを使用する際には、対象地域に位置するグリットの出力値を平均した。一方、観測値は気象官署・アメダス<sup>1)</sup>の値を用いた。図-1に、本報におけるダウンスケーリング対象地点を示す。気温はアメダスの三木観測地点、降雨は神戸気象官署を対象とした。解析は季節ごとに行い、春(3~5月)・夏(6~8月)・秋(9~11月)・冬(12~2月)とした。手法の検証を行う再現期間を1980年3月~2010年2月(気温)もしくは1961年1月~2000年12月(降雨)、統計評価の標本を得るためのベース期間を1979年3月~1999年2月(気温)・1981年1月~2000年12月(降雨)、予測を行う将来期間を2079年3月~2099年2月(気温)・2081年1月~2100年12月(降雨)とした。検証・予測において、気温は対象期間における変化量を、降雨はその変化比率をそれぞれ解析対象にした。

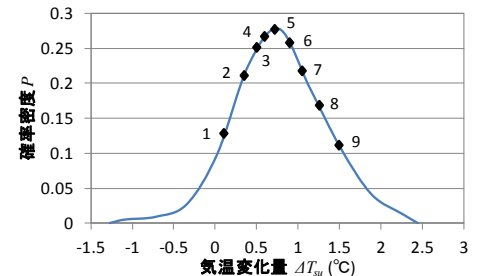


図-2 気温変化量の確率密度分布

3. 統計的ダウンスケーリング手法

まず、AOGCMs のモデル間における予測不確実性を統計的に評価する。全ての AOGCMs を考慮した気象変化量  $\Delta M$  は、各 AOGCMs の出力値  $\Delta m_i$  ( $i$  は各モデルを表す下添字)に対してマルコフ連鎖モンテカルロ法に基づくギブスサンプリング<sup>2)</sup>を適用することによって、確率密度分布(以下 PDF と略記)の形で求められる。この手法において、ギブスサンプリングの  $k$  回目の標本値  $\Delta M^k$  は、疑似乱数を用いることで次の式(1)~(3)から与えられる。サンプリングの対象地域は、気温：日本全域、降雨：西日本太平洋側の気候区分<sup>1)</sup>、とした。

$$\Delta M^k \sim N\left(\overline{\Delta M^k}, \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i^k\right)^{-1}\right), \quad \lambda_i^k \sim \text{Gam}\left(a+1, b+\frac{1}{2}\left(\Delta m_i - \Delta M^{k-1}\right)^2\right), \quad \overline{\Delta M^k} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i^k \Delta m_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^k} \quad (1),(2),(3)$$

ここに、 $N(\cdot)$ :正規分布、 $\overline{\Delta M^k}$ :気象変化量の加重平均、 $\lambda_i^k$ :各 AOGCMs がもつ気象変化量の精度(分散の逆数)、 $n$ : AOGCMs のモデル数、 $\text{Gam}(\cdot)$ :ガンマ分布、 $a, b$ :ガンマ分布のパラメータである。式(2)のガンマ分布に含まれる二乗誤差の評価により、 $\Delta M^{k-1}$ に近い値をとる AOGCMs は精度  $\lambda_i^k$  が高いと判断され、式(3)の加重平均によりそのことが解析に反映される。本報では  $b$  を調節することによってモデル間の不確実性を PDF として表現する。図-2 に、再現期間での春季(3~5月)の気温変化量  $\Delta T_{su}$  の PDF を例示する。図には PDF 上に第 1~9 十分位数を表わすプロットを併示した。図-2 より  $\Delta T_{su}$  の PDF はほぼ対称分布であり、0.8°C付近を中心に±0.7°C程度の幅で事象の 8 割を表現している。

本報では、PDFの第5十分位数(以下中央値と略記)をAOGCMsの代表値として考察に用いる。

次に、得られたPDFの情報を流域地先へダウンスケールするために最近傍法<sup>3)</sup>を用いる。最近傍法は、流域地先の観測値に関する昇順リストを用いて、観測値平均とAOGCMsのPDF中央値が等しくなるように手法中の重みパラメータを調整する統計的手法である。本報では、再現期間で同定された重みパラメータを将来予測でも用いることにした。

#### 4. 結果と考察

図-3に、日本全域における再現期間での気温変化量 $\Delta T$ を示す。ここでの $\Delta T$ は、ヒートアイランド現象など現行のAOGCMsでは表現されない昇温量を気温時系列の統計解析で推定し補正している。また、図には対応する日本全域38地点の観測値を併示した。観測値平均は、PDF中央値から $\pm 20\%$ 以内に収まる。

また季節間の変化傾向は、秋季を除き両者は概ね一致する。図-4に、再現期間での連続降雨日数の変化比率 $R_{dp}$ と対応する西日本太平洋側26地点の観測値を示す。観測値平均はPDF中央値から $\pm 10\%$ 以内に収まり、冬季の減少傾向など両者は一致する部分が見られる。しかしながら春～秋季では、観測値はほぼ変化しないが、PDF中央値は春季に減少、秋季に増加傾向となっており、傾向が一致しない部分が多い結果となった。

図-5に、再現期間での最近傍法を用いて得られた三木地点の気温変化量を、図-6に、神戸地点での連続降雨日数の変化比率を示す。図には標準偏差をバーで併示している。これらより、観測値平均およびその標準偏差が良好に再現されていることがわかる。再現結果の標準偏差が観測値のものと比較して若干小さくなっている。

図-7に、ベース期間から将来期間までの三木地点での気温変化量を、図-8に、神戸地点での連続降雨日数の変化比率を示す。図-7より、AOGCMsのPDF中央値が表す年間の気温上昇量は100年間で $3.8^\circ\text{C}$ に対し、三木地点での気温上昇量は $4.5^\circ\text{C}$ となった。つまり三木地点ではAOGCMsと比較して、1.2倍程度大きな気温上昇が予測される。一方、図-8より、神戸地点での連続降雨日数は、AOGCMsに比べて春・夏季に増加、冬季に減少が予測される。これらの結果は、図-5, 6に示すAOGCMsのPDF中央値と流域地先での観測値平均の大小関係が、最近傍法を介して将来予測の際にも保たれるためであり、統計的手法を用いる際には結果の解釈に留意が必要である。

以上より、本報で検討したギブスサンプリングと最近傍法は、統計手法としての限界に留意して使用するのであれば、ある程度の合理性を担保して流域地先における将来予測値を得られる可能性が示された。

【謝辞】 神戸大学の石哲教授にはAOGCMsのデータ解析に際して有益なご助言を頂きました。謝意を表します。

【参考文献】 1) 気象庁(HP): <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2012年3月6日接続確認)。 2) Tebaldi C. et al., *Journal of Climate*, Vol.18, pp.1524-1540, 2005。 3) Groves D.G et al., *Water Resources Research*, Vol.44, W12413, pp.1-16, 2008。

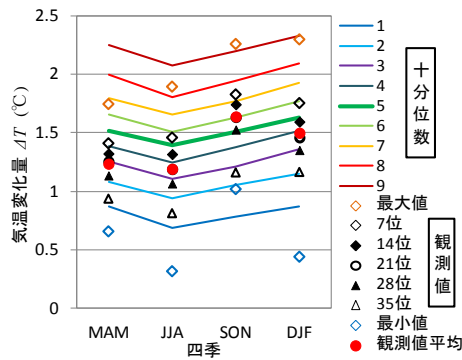


図-3 再現期間の気温変化

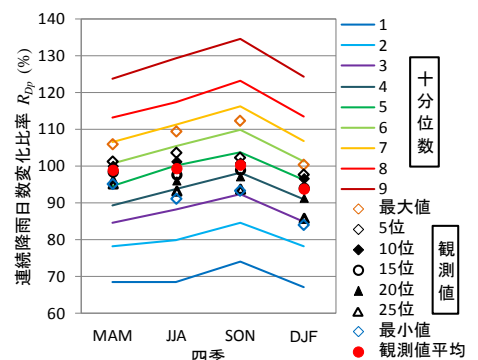


図-4 再現期間の連続降雨日数変化

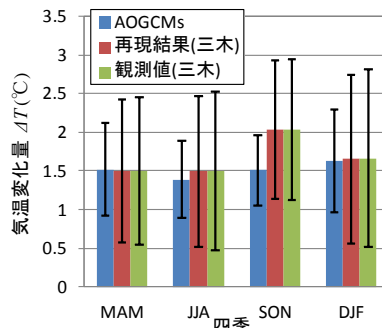


図-5 気温変化の再現結果

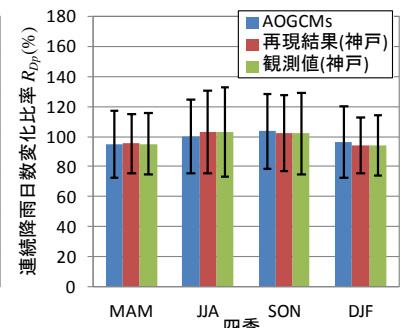


図-6 連続降雨日数変化の再現結果

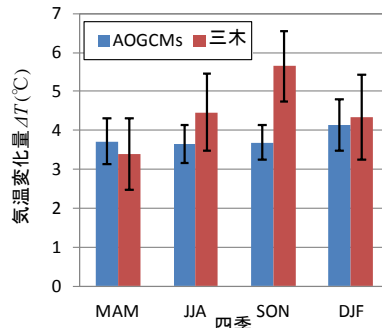


図-7 ベース期間から将来期間までの気温変化

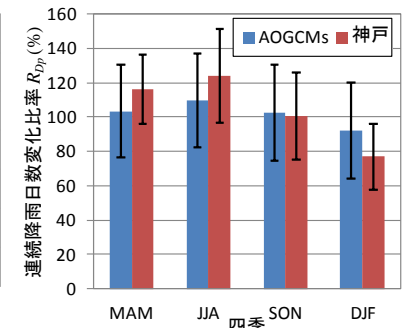


図-8 ベース期間から将来期間までの連続降雨日数変化