

時間周波数解析を用いた地域気候モデル 日降水量のバイアス補正と 種々のバイアス補正手法との比較

井芹慶彦¹・鼎信次郎¹
Yoshihiko ISERI and Shinjiro KANAE

¹東京工業大学 環境・社会理工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1-M1-6)

本研究では、離散ウェーブレット解析を用いた気候モデル日降水量出力のバイアス補正手法を提案した。また、提案した手法と既存の複数のバイアス補正手法を、三つの地域気候モデルの日降水量に適用し、得られた降水量プロダクトを比較した。その結果、分散と持続した大雨の将来値は、バイアス補正と地域気候モデルによって大きく異なり得る可能性が示された。また、本研究で提案したバイアス補正手法は、持続する大雨に対して比較的優れた補正能力を有することが分かった。また、バイアス補正を行う事で夏季平均降水量の空間分布は改善される一方、9通りの降水量空間分布パターン毎の発生日数は、地域気候モデルや用いたバイアス補正手法によって異なる傾向があった。

Key Words : statistical downscaling, statistical bias correction, heavy rainfall spatial distribution, discrete wavelet transform

1. はじめに

地球温暖化が引き起こしうる問題の1つとして、水循環の変化が指摘されている。水循環の変化は洪水や渇水の発生の変化といった形で社会に大きな影響を及ぼし得る。将来の陸上の水循環変化を予測するための有効な手段として、気候モデルが予測した将来の降水量や気温などを、河川の流量や土壌の水分などを計算できる影響評価モデル（陸面モデルや水文モデル）へ入力するという方法がある。しかし、国内の流域や自治体などを対象とするには、気候モデルの出力は時間・空間解像度が必ずしも十分とはいえず、また、全球気候モデルの出力のみならず、地域気候モデルの出力も時間・空間解像度が必ずしも十分とはいえないことがある。そのため、気候モデル出力の時間・空間解像度を統計的手法によって細かくする技法（統計的ダウンスケーリング）が影響評価を行う際にはしばしば用いられる（Fowler et al., 2007¹⁾; 飯泉ら, 2010²⁾）。このとき、統計的ダウンスケーリングの一部として、バイアス補正とよばれる技法が使われることが多くある（Ines and Hansen, 2006³⁾; Piani et al., 2010⁴⁾; Terink et al., 2010⁵⁾; 渋尾・鼎, 2010⁶⁾）。バイアス補正は、気候モデルから出力される将来変化の情報を影響評価モデルへと入力する際に、対象地域における気候モデルの出力と観測データとの間にある系統的な差を埋

める統計的技法である。

日降水量の極値は河川計画の計画規模の策定などにも利用されるため、水文分野で将来の降水量シナリオが利用される場合には、日単位で降水量のバイアスが補正される事の意義は大きい。そこで本研究の目的としてまず、異なるバイアス補正手法を地域気候モデル出力の日降水量に適用し、バイアス補正が影響評価に用いる降水量に与える影響を明らかにし、バイアス補正方法に由来する水災害影響評価の不確実性を低減することがある。

また、大雨の持続特性は土砂災害などの水災害の発生と関係があるため、大雨の時間的な変動特性の再現性がある程度保証された降水量データを用いることは、水災害影響評価を行う上で重要である。しかし、既存のバイアス補正手法の多くは、モデル出力の時間的な変動特性については補正されない。即ち、既存のバイアス補正手法は、モデル出力時系列の時間的な変動特性を補正することを本来の目的としたものではない。しかし、例えば少雨や大雨の持続性は、渇水災害や豪雨災害の発生にも関連し得るので、水文分野の影響評価研究を行う上では、降水量時系列の時間的な変動のバイアスは除去されることが望ましいと言える。また、Haerter et al. (2010)⁷⁾は、気候モデル出力の異なる時間スケール変動を補正することの重要性について議論している。即ち、時間的な変動特性についてもある程度補正された将来シナリオを利用

することも、水災害評価を行う上では重要であると言える。

一方、観測された降水量の時間的な変動特性については、これまで様々な研究が行われており、時間的に局在化した変動特性を解析する有効な解析手法として、ウェーブレット解析がしばしば用いられている (Kumar, 1997)⁸⁾。それらの研究では、対象とした降水量時系列中で、どの時間スケールの変動が卓越するかといった点についてウェーブレット解析を用いて評価がなされている。このように、ウェーブレット解析は降水量の時間的な変動特性の抽出に有効であると考えられる。また、Johnson et al. (2011)⁹⁾はGCM (General Circulation Models) の海面水温に対してウェーブレット解析を適用し、年々またはそれ以上の時間スケールを持つ変動の再現性を評価している。

そこで本研究では、変動の時間スケールに着目したバイアス補正を行う手段として、離散ウェーブレット解析を用いた日降水量のバイアス補正手法を提案して日本域の地域気候モデル出力日降水量に適用し、他のバイアス補正手法で得られた降水量データとその性質を比較する。

即ち本研究では、水災害の影響評価に強く関わる、気候モデルの降水量出力に特に着目し、各種バイアス補正手法の比較や新たな手法の提案などを行う。更に、バイアス補正された日降水量の空間分布を、パターン認識手法を利用して評価した。

本論文の構成は以下である。第2章では本研究で用いた既存のバイアス補正手法と、本研究で提案する離散ウェーブレット解析を用いたバイアス補正手法の概要を説明する。また、バイアス補正の対象とした地域気候モデルおよび、それらモデルの日降水量へのバイアス補正手法の適用方法についても述べる。第3章では、本研究で3つの地域気候モデルに対して4通りのバイアス補正を適用して作成した計12通りの降水量プロダクトを比較した結果を示す。第4章はまとめとした。

2. 研究方法

将来予測に不確実性を生じさせる要因は複数あるが、バイアス補正手法の選択のみならず、将来予測に用いる気候モデルの選択も気候予測に不確実性をもたらさう。そこで本研究では、3つの地域気候モデル (気象研究所 NHRCM¹⁰⁾、防災科学研究所 RAMS¹¹⁾、筑波大学 WRF¹²⁾) に、提案する補正手法を含む種々のバイアス補正手法を適用することで、マルチ地域気候モデル×複数バイアス補正手法の計算を行い、得られた降水量プロダクトの性質を比較する。具体的には平均や分散といった基本統計量、持続した大雨に着目して、異なる地域気候モデルに対して行った複数のバイアス補正手法が、これらの諸量に与える影響を比較する。これにより、地域気

候モデルとバイアス補正手法に起因する不確実性を見積もり、水災害影響評価を行う際の判断材料となり得る情報を提供する。

また、得られた日降水量プロダクトに対してパターン認識手法を適用し、用いた気候モデルや適用したバイアス補正手法が、降水量プロダクトの日降水量の空間分布の再現性に与える影響を評価する。

(1) 既存のバイアス補正手法

本研究では、既存研究で見られる3つのバイアス補正手法に加え、本研究で提案する離散ウェーブレット (Discrete Wavelet Transform: DWT) を利用したバイアス補正手法 (DWT手法) を3つの地域気候モデルに適用した。

本研究で比較対象とする3つの既存のバイアス補正手法としては、地域気候モデルと観測値の月平均降水量の比を用いる方法、気候モデル出力と観測値の累積分布関数を用いてバイアス補正を行う方法 (CDF手法: Cumulative Distribution Function; 例えば Ines and Hansen, 2006やPiani et al., 2009)、日降水量に対して各日毎に補正係数を定める方法 (Daily Scaling手法; Kiem et al.¹³⁾, 2008; 渋尾・鼎, 2010) を用いた。月平均降水量の比を用いた方法は、基準期間におけるモデル出力と観測値の各月毎の月平均降水量の比を計算する。その比を対応する月の日降水量にかけることで、モデル出力の月平均値が観測の月平均値と一致するように補正される。累積分布関数 (CDF) を用いる方法では、モデル出力の確率分布が観測値の確率分布へと置き換えられる。CDF手法では、CDFとして経験分布関数を用いる場合と理論分布に当てはめる場合があるが、理論分布に当てはめる場合は分布のパラメータの推定方法などについて不確実性が生じる。そこで本研究では、CDF手法については経験分布関数を用いる方法を採用している。本研究で用いた各日降水量毎に係数を定める方法 (Daily scaling手法) ではまず、基準期間における観測日データとモデル日データをそれぞれ降順に並べ、同順位の日データの比を求めることで、各日毎のスケール係数を定めた。そのスケール係数を、降順に並べたバイアス補正対象期間の対応する順位の日降水量にかけることで補正された日降水量を得た。

(2) 離散ウェーブレット変換を用いたバイアス補正

ここでは、本研究で提案する離散ウェーブレット変換 (DWT; Discrete Wavelet Transform) を利用したバイアス補正手法を説明する (以降単に、DWT手法と呼ぶ)。DWT手法では、モデル出力の日降水量時系列 (実際は他の変数でもよい) の各時間スケール毎の変動エネルギーが、観測値の対応する時間スケールの変動エネルギーと一致するように補正を行う。この方法ではまず、現在気候 (バイアス補正の基準期間) におけるモデル出

力時系列と観測時系列それぞれに対して、レベル j の離散ウェーブレット展開を行う。そして、モデル出力時系列と観測時系列の展開係数それぞれに対して、各スケール毎のエネルギーを計算し、その比をバイアス補正の係数とみなしてバイアス補正を行う。具体的には、以下の手順で補正を行う。

まず、解析対象の時系列を x 、サンプル数を N として、 x を離散ウェーブレット変換すると以下の展開係数が得られる。

$$x = P_j(u) + \sum_{j=1}^J Q_j(u) \quad (1)$$

$$P_j(x) = \sum_{k=0}^{N/2^j-1} \langle u, \varphi_{j,k} \rangle \varphi_{j,k} \quad (2)$$

$$Q_j(x) = \sum_{k=0}^{N/2^j-1} \langle u, \psi_{j,k} \rangle \psi_{j,k} \quad (3)$$

P は近似係数 (Approximation coefficient) , Q は詳細係数 (Detail coefficient) とよばれる。 j はウェーブレット変換する際の分解のレベルであり、 $\varphi_{j,k}$ はレベル j のスケーリングベクトル、 $\psi_{j,k}$ はレベル j のウェーブレットベクトルである。次に、モデル出力時系列と観測時系列の展開係数それぞれに対して、各スケール毎のエネルギーを計算する。変動の各時間スケール別のエネルギーは、以下の式で計算することができる。

$$\|x\|^2 = \|P_j(x)\|^2 + \sum_{j=1}^J \|Q_j(x)\|^2 \quad (4)$$

$\|x\|^2$ は元の時系列の持つエネルギーであり、上の式は元の時系列のエネルギーは展開係数 $P_j(x)$ と $Q_j(x)$ ($j=1,2,\dots,J$) の二乗和として求められることを表している。この時、スケール j の展開係数に対する補正係数を以下のように定める。

$$\alpha_j = \frac{\|Q_j^{\text{observatio n}}\|^2}{\|Q_j^{\text{modeloutput t}}\|^2} = \frac{E_j^{\text{observatio n}}}{E_j^{\text{modeloutput t}}}, j=1,2,\dots,J \quad (5)$$

$$\alpha_0 = \frac{\|P_j^{\text{observatio n}}\|^2}{\|P_j^{\text{modeloutput t}}\|^2} = \frac{E_0^{\text{observatio n}}}{E_0^{\text{modeloutput t}}} \quad (6)$$

なお $E_j^{\text{modeloutput t}}$, $E_j^{\text{observatio n}}$ ($j=1,2,\dots,J$)は、それぞれモデル出力および観測値のレベル j における詳細係数成分の変動エネルギーであり、 $E_0^{\text{modeloutput t}}$, $E_0^{\text{observatio n}}$

は近似成分の変動エネルギーである。

次に、将来気候のモデル出力に対して、上記と同様にレベル J の離散ウェーブレット変換を適用し、各時間スケール別の展開係数を得る。基準期間で得た各スケール別のエネルギー補正係数を、得られた展開係数に対して乗じることで、モデル出力の各スケール毎の変動エネルギーが観測時系列に近づくように、以下のように補正する。

$$\begin{cases} Q_j^{\text{corrected}} = \sqrt{\alpha_j} \cdot Q_j^{\text{modeloutput t}}, j=1,2,\dots,J \\ P_j^{\text{corrected}} = \sqrt{\alpha_0} \cdot P_j^{\text{modeloutput t}} \end{cases} \quad (7)$$

上記のようにして各スケール毎のエネルギー補正が行われた結果に対して逆離散ウェーブレット変換することで、バイアス補正された将来期間の時系列を得る。なお、逆変換した降水量が負の数となった場合は、0に繰り上げる。なお本研究では、マザーウェーブレットとしては Coifletを用い、分解のレベル j の最大値は5とした。

(3) 用いた地域気候モデルとデータ

バイアス補正対象の地域気候モデルとして、気象研究所NHRCM (Non-Hydrostatic Regional Climate Model)¹⁰、防災科学技術研究所RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)¹¹、筑波大学WRF (Weather Research and Forecasting System)¹²の3つの気候モデルを用いた。これら地域気候モデルの水平解像度は水平20km²であり、鉛直層数は各モデル順に、40層、27層、31層である。これら地域気候モデルの時間降水量出力からまず、各モデルの日降水量データを作成した。なお、地域気候モデルの出力領域は日本とその周辺を覆っており、それらモデル出力の1981-2000年、2081-2100年をバイアス補正の対象期間とした。なお将来期間の排出シナリオには、NHRCMとWRFはRCP4.5、RAMSはA1Bを用いた。

バイアス補正に用いる観測日降水量データとして、日本域高解像度日降水量グリッドデータ (APHRO-JP)¹⁵を用いた。APHRO-JPは0.05度×0.05度格子で日本全域を覆っており、解析には1981-2000年のデータを用いた。なお、APHRO-JPの格子点と3つの気候モデルの格子点は異なる。したがって、マルチ気候モデルのバイアス補正を行う際には、NHRCM出力とAPHRO-JPの格子点が一致するように、APHRO-JPの0.05°×0.05°格子上に対してその格子点の周辺4点のNHRCM日降水量出力を逆距離荷重法で空間内挿して、0.05°×0.05°格子点上のNHRCM出力データを作成した。同様のデータ処理をRAMS、WRFの日降水量に対しても行い、3つの各RCM毎に0.05°×0.05°格子の日降水量データを作成した。なお本研究は、6月から8月までを夏季として解析を行う。

(3) バイアス補正手法の適用

バイアス補正の基準期間は、NHRCMおよびAPHRO-

JPがともにデータの存在する1981-2000年とし、バイアス補正の期間の違いに起因する補正結果の誤差を避けるため、バイアス補正の評価期間も同じく1981-2000年とした。このように補正期間を定めることで、バイアス補正結果の違いは、手法の相違にのみ起因するものとして解釈でき、提案するバイアス補正手法の特性をより明確に検証できる。また、将来気候としては2081-2100年を対象とした。気候モデル出力のバイアス補正は、気候変動影響評価のために、しばしば将来気候に対して適用される。そのように将来気候に対してバイアス補正を行った場合に、提案手法と他の補正手法とで補正プロダクトにどのような相違が生じるかを検討するため、本研究では将来期間も補正結果の比較対象とした。なお、気候変動の影響評価を行う際には、現在から将来にかけて対象とする変数（または指数）がどの位変化したか、という事が重要な情報になり得る。そのため、本研究では補正手法による将来気候の降水量プロダクトの差異を比較する際に「観測」に対する変化を基に議論する事とした。

また、降水量プロダクトに影響評価に用いるという観点からは、水災害につながりうる持続する大雨に対する補正能力は重要な関心事である。そのため、本研究では極端降水量としては、年最大5日合計降水量に着目して補正プロダクトの比較を行う。

具体的には、本研究はまず初めに、降水量データの現在気候（1981-2000年）における夏季平均降水量の平均値、分散、年最大5日合計降水量の平年値を観測降水量と比較した。次に、降水量データの将来気候（2081-2100年）における平均値、分散、年最大5日合計降水量の平年値を観測降水量と比較した。

更に、現在気候における観測降水量および作成した降水量プロダクトに対してパターン認識手法を適用し、各降水量データの日降水量空間分布パターンの再現性を検討した。

3. 提案するバイアス補正手法と種々のバイアス補正手法による降水量プロダクトの比較

1) 現在気候(1981-2000)の降水量プロダクトと観測値の夏季降水量との比較

まず、現在気候における降水量プロダクトと観測降水量の夏季平均日降水量の差を調べた。RCM直出力にはモデル間で夏季平均日降水量の空間分布に観測降水量と相違があるものの、既存の三手法によるバイアス補正を行うことで、夏季平均日降水量は観測にほぼ一致する値へと補正されていた。一方、離散ウェーブレットによる補正プロダクト（図-1左下図）は、観測の夏季平均日降水量と比べ、東北～北陸日本海側から木曾山脈にかけてバイアスが残っているが、その他の地域ではモデル直出力（図-1左上図）と比べて夏季平均降水量が改善さ

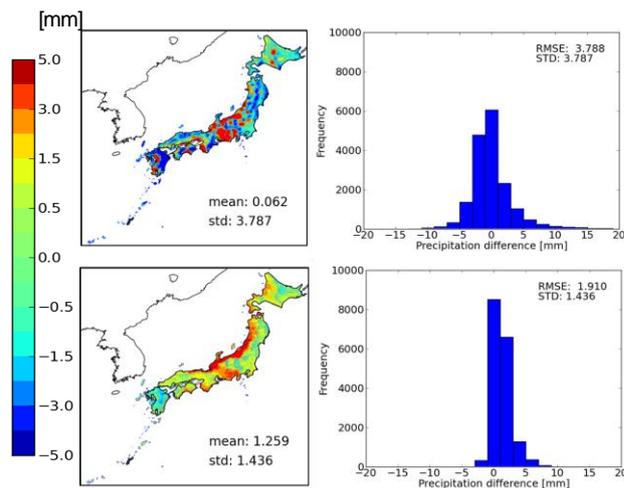


図-1 左上図：1981年～2000年におけるNHRM内挿と観測との夏季平均日降水量の差 [mm]と、右上図：グリッド毎の差の値のヒストグラム。左下と右下も同様の図。ただし、NHRMに対してDWT手法を用いた場合。

れていた。

次に、現在気候におけるモデル降水量と観測降水量の夏季平均日降水量とで分散の比を調べた。その結果、夏季平均日降水量の分散は基本的な傾向としては、観測に近い値へと補正されているが、分散のバイアスの空間分布はモデル間でやや異なる傾向があった。また、例えばNHRMの出力に着目すると（図-2上段）、北陸日本海側～中部地方日本海側で分散がやや過大評価となっているものの、その他の地域では観測に近い値へと分散も補正されている。更に、年最大5日合計降水量の補正精度を調べると（図-2下段）、離散ウェーブレットによる補正は優れた補正精度を示している事が確認される。これは、離散ウェーブレットを利用して数日以上の変動成分が観測に合うように補正するという、本研究で提案した離散ウェーブレットによる補正手法の性質によるものと考えられる。なお、平均値の比その他の手法でも年最大5日合計降水量に対して良好な補正精度を示していたが、月降水量の比を用いた場合は、やや大きなバイアスが残る地点が見受けられた。

2) 将来気候(2081-2100)の降水量データと観測値の夏季降水量との比較

まず、将来気候における降水量データと観測降水量の夏季平均日降水量の差を調べた。現在気候では、モデル間においては、バイアス補正された夏季平均降水量にあまり相違は見られなかったものの、将来気候では各モデル間およびバイアス補正手法間で平均値の空間分布の差異が現在気候より大きくなっており、バイアス補正手法または用いるモデルによる不確実性が、将来気候では現在気候と比べてより大きくなっている可能性が示唆される。

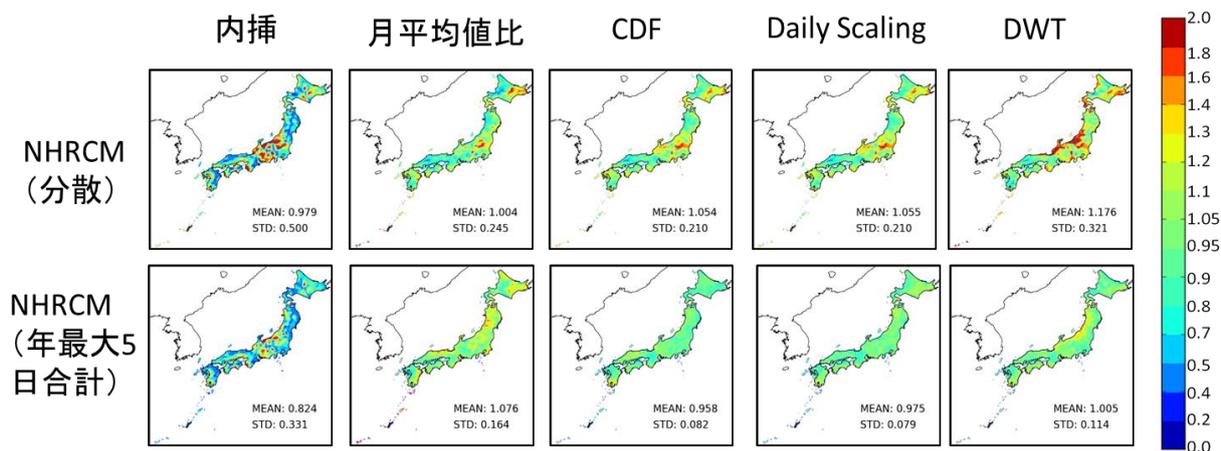


図-2 NHRCM (現在気候: 1981-2100年) と観測 (現在気候: 1981-2000年) との夏季平均日降水量の分散の比 (上段) および年最大5日合計降水量の比 (下段). MEANは全グリッドの平均値, STDは標準偏差を表す. モデル (将来気候2081-2100年) と観測 (現在気候: 1981-2000年) との年最大5日合計降水量の平年値の比.

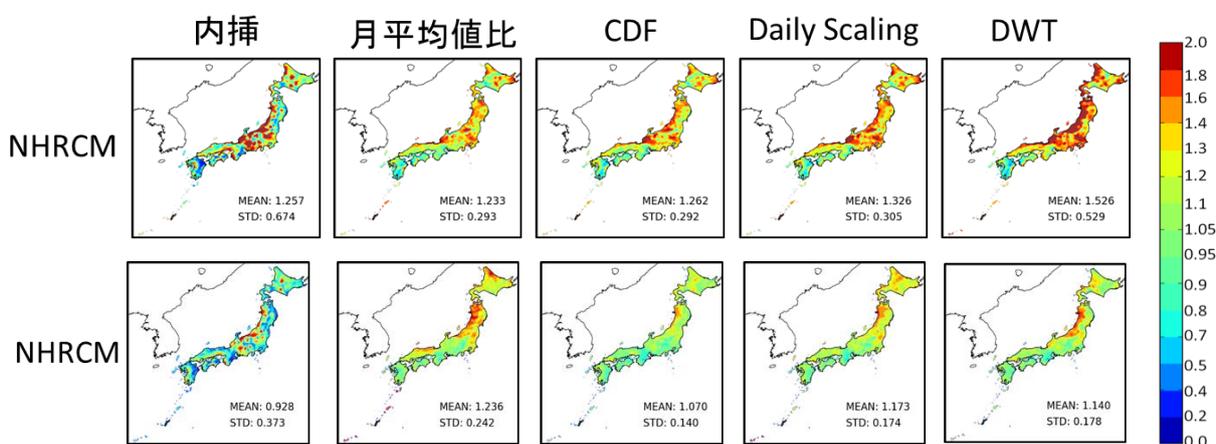


図-3 モデル(将来気候:2081-2100年)と観測(現在気候: 1981-2000年)との夏季平均日降水量の分散の比. MEAN, STDは図-2と同様.

図-3には、将来気候における降水量データと観測降水量の夏季平均降水量の分散の比を示す。図-2最上段の現在気候におけるNHRCMの分散の比と、図-3最上段の将来気候におけるNHRCMの分散の比を比べると、補正手法間の空間分布のバラツキの大きさは、図-3の将来気候の方が大きくなっている。また、分散の空間分布は、バイアス補正手法の相違の影響が平均値に比べて大きい傾向があった。なお、地域気候モデル間における補正プロダクトの差異も、将来期間は現在期間よりも大きい傾向があった。

図-4には、将来気候における降水量データと観測降水量の年最大5日合計降水量の平年値の比を示す。図-4より、分散の場合と同様に、将来気候については、年最大5日合計降水量の平年値のモデルおよびバイアス補正手法間の相違が大きくなっていることが分かる。今回の解析結果からは、将来変化に関してCDFとDaily scaling手法は比較的似た傾向を示していた。CDF手法とDaily scaling手法は、現在気候における日毎のデータに対して

補正係数 (または写像) を定めるという点において手法上類似しており、そのため将来気候の日降水量が現在気候の降水量と同程度の絶対値であった場合は、両手法による補正結果は大よそ近い値になると推察される。

従って、複数のバイアス補正手法を日降水量に対して適用する際の一つの方法としては、CDFまたはDaily scaling手法のいずれかに加えて、補正精度は劣るものの簡便に用いることができる月平均値の比による補正方法を用い、更に5日合計降水量のような持続特性を持つ量の評価が必要になる場合には、離散ウェーブレットによる補正方法を更に補正手法として検討するという方法が考えられる。

3) 現在気候(1981-2000)の降水量プロダクトと観測値の夏季降水量の空間分布の比較

日降水量が降雨流出モデルの入力として用いられる際には、降水量の空間分布は地表の表面被覆や地形条件を介して、流出特性に大きな影響を与えうる。したがって、

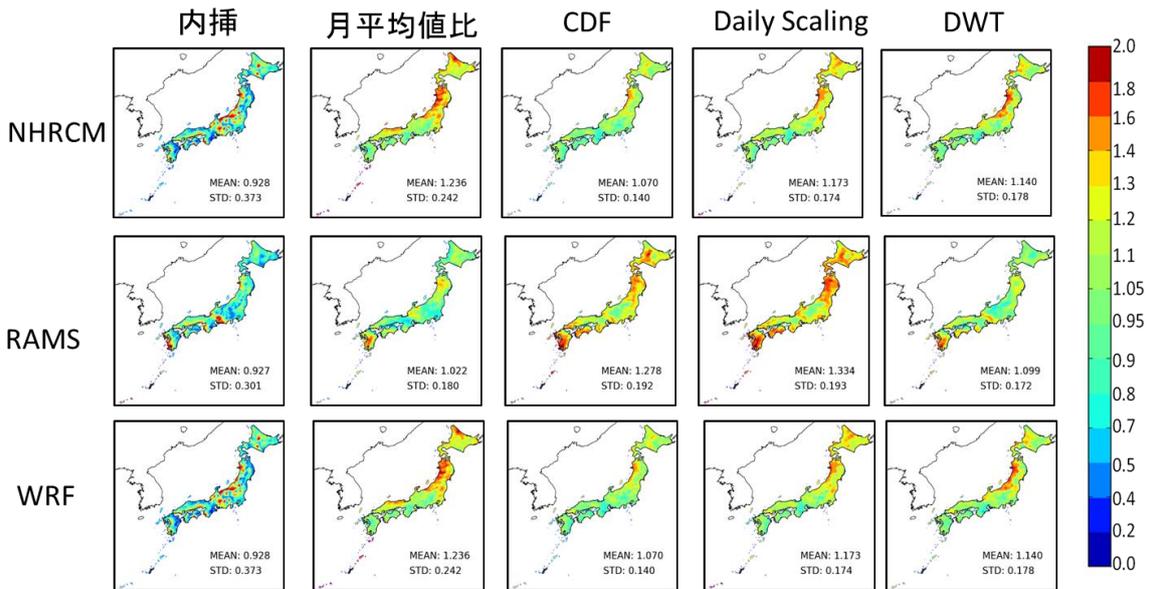


図-4 モデル（将来気候2081-2100年）と観測（現在気候：1981-2000年）との年最大5日合計降水量の年平均値の比。MEAN, STDは図-2と同様。

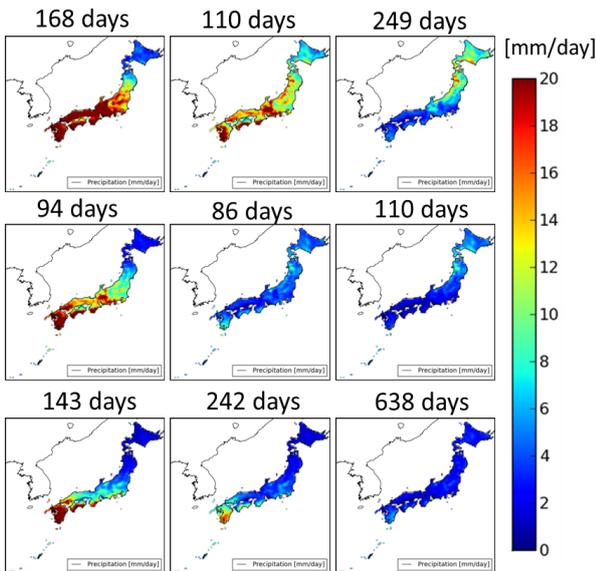


図-5 抽出した夏季日降水量の空間分布パターンと観測日降水量における各パターンの発生回数（日）

バイアス補正手法の違いが降水量の空間分布に与える影響を明らかにすることは、バイアス補正されたデータを水文分野で用いる際には重要であると考えられる。そこで本節ではパターン認識手法を用いて、バイアス補正された降水量やモデル出力降水量の空間分布再現性を以下の手順で評価した。

まず、観測値、各3つの気候モデル出力を空間内挿した日降水量（バイアス補正なし）、各3つの気候モデルにそれぞれ4つのバイアス補正手法を適用して得た日降水量、の計16通りの日降水量データセットそれぞれについて、対象領域のデータを0.2°間隔で抽出した。次に、

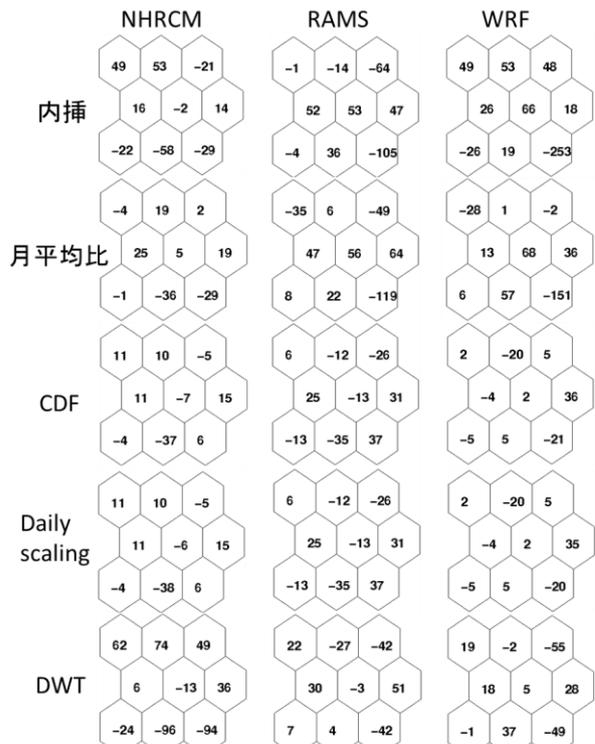


図-6 抽出した夏季日降水量の空間分布パターンの観測日降水量との発生日数の差（モデルでの発生日数－観測の発生日数）。各列は各RCMに対応、各行は上から順に内挿（バイアス補正なし）、月平均値の比、CDF、daily scaling、DWT手法による補正に対応している。

1981-2000年の20年間における夏季（6月、7月、8月の計92日）を対象として、日本の日降水量分布を表すデータを作成した。即ち、92日×20年間×16セット=29,440個の

入力データ（各入力は1,076次元）を作成し、それらを自己組織化マップ¹⁵⁾というパターン認識手法にマップサイズを3×3（9パターンに対応）として入力した。これにより、観測データから日降水量の空間分布パターンを9通り抽出した。SOMは、抽出したパターンを2次元平面状にその類似性を考慮して配置する事ができる手法であり、GCM出力の特性評価¹⁶⁾にも用いられている。

抽出した9つの空間パターンと、各パターンの観測データにおける20年間での発生日数を、それぞれ図-5に示す。また、内挿モデル出力、4つのバイアス補正手法データのそれぞれについて、各パターンに分類された日数の観測値との差を図-6に示す。図-5より、例えばマップ左上には、中日本～西日本にかけて強い雨となっており、梅雨と関連した降水分布が抽出されていると考えられる。また、マップ右下のパターンは最も観測値での発生頻度が高く、日本全国的にはほぼ無降雨（または非常に少雨）のパターンとなっている。また、図-5に示されているマップ右下の空間パターンと、図-6の第1列の3つの各図の右下のセルの発生頻度を見ると、モデル出力を内挿して得た降水量データは、全国的に無降雨（または非常に少雨）の発生頻度が観測に比べて低いというバイアスがあることが分かる。また、バイアス補正を行うことで、各パターンの発生日数の観測との差が小さくなる傾向があり、バイアス補正を行うことで、夏季日降水量の空間分布の再現性が向上することが分かる。また、提案した離散ウェーブレット手法も基本的には、RCM内挿と比べて空間分布を向上させる傾向があることが確認された。しかし、提案手法を含むどの補正手法を用いた場合でも、観測と発生日数が完全に一致しているわけではなく、空間分布のバイアスがある程度は残っていることに留意する必要がある。

4. 結論

本研究では降水量の変動を幾つかの時間スケール別に分解し、その変動の時間スケール毎に変動の強さのバイアスを補正する手法を提案することで、降水量の時間的変動特性という観点から降水量のバイアス補正を行うことができた。また、複数のバイアス補正手法を複数の地域気候モデルに用いることで、気候モデルとバイアス補正手法に起因する不確実性を検討した。その結果、分散や持続的な大雨のような量に関しては、用いる地域気候モデルおよびバイアス補正手法の違いによって、将来値が大きく異なり得る可能性が示された。本研究で提案したバイアス補正手法は、持続する大雨に対しては比較的良い補正能力を有することが分かった。また、バイアス補正を行う事で、夏季平均降水量の空間分布は改善される一方、9通りの降水量空間分布パターン毎の発生日数は、地域気候モデルや用いたバイアス補正手法によって

異なる傾向があった。

謝辞：本研究は環境省地球環境研究総合推進費(S-10)および環境省地球環境研究総合推進費(S-5)の成果の一部です。ここに謝意を表します。

引用文献

- 1) Fowler H.J., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi : Linking climate change modelling to impact studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling, *International Journal of Climatology*, Vol. 27, pp. 1547-1578, 2007.
- 2) 飯泉仁之直, 西森基貴, 石郷岡康史, 横沢正幸 : 統計的ダウンスケーリングによる気候変化シナリオ作成入門, *農業気象*, Vol. 66, No.2, pp. 131-143, 2010.
- 3) Ines, A. V. M., and J. W. Hansen : Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 138, pp. 44-53., doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.009, 2006.
- 4) Piani, C., J.O. Haerter, and E. Coppola : Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.1, No.2, pp. 187-192., 10.1007/s00704-009-0134-9, 2009.
- 5) Terink W., R.T.W.L. Hurkmans, P.J.J.F. Torfs and R. Uijlenhoet : Evaluation of a bias correction method applied to downscaled precipitation and temperature reanalysis data for the Rhine basin, *Hydrology and earth system sciences*, Vol. 14, pp. 687-703, 2010.
- 6) 渋尾欣弘, 鼎信次郎: 大雨に着目した気候モデル日降水量出力のバイアス補正手法比較, *水工学論文集*, 第54巻, pp. 235-240, 2010.
- 7) Haerter, J.O., S. Hagemann, C. Moseley, and C. Piani : Climate model bias correction and the role of timescales, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 1065-1079, doi:10.5194/hess-15-1065-2011, 2010.
- 8) Kumar, P. : Wavelet analysis for geophysical applications, *Reviews of Geophysics*, Vol. 35, No.4, pp. 385-412, doi:10.1029/97RG00427, 1997.
- 9) Johnson, F., S. Westra, A. Sharma, and J. Pitman : An assessment of GCM skill in simulating persistence across multiple time scales, *Journal of Climate*, Vol. 24, No. 14, pp. 3609-3623, 2011.
- 10) Saito K., Fujita T, Yamada Y, Ishida J, Kumagai Y, Aranami K, Ohmori A, Nagasawa R, Kumagai S, Muroi C, Kato T, Eito H, Yamazaki Y : The operational JMA nonhydrostatic mesoscale model, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 134, pp. 1266-1298, 2006.
- 11) Pielke RA, Cotton WR, Walko RL, Tremback CJ, Lyons WA, Grasso LD, Nicholls ME, Moran MD, Wesley DA, Lee TJ, Copeland JH : A comprehensive meteorological modeling system – RAMS, *Meteorol. Atmos. Phys.*, Vol. 49, pp. 69-91,

- 1992.
- 12) Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M.G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers : A description of the Advanced Research WRF Version 3. *NCAR Tech. Notes-475+STR*, 2008.
- 13) Kiem A. S., H. Ishidaira, H. P. Hapuarachchi, M. C. Zhou, Y. Hirabayashi, and K. Takeuchi : Future hydroclimatology of the Mekong River basin simulated using the high-resolution Japan Meteorological Agency (JMA) AGCM., *Hydrological Process*, Vol. 22, No. 9, pp. 1382-1394., DOI: 10.1002/hyp.6947., 2008.
- 14) Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N.Yasutomi : Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, *Hydrological Research Letters*, Vol. 4, pp. 60-64, 2010.
- 15) Kohonen, T. : Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps, *Biological cybernetics*, Vol. 43, pp. 59-69, 1982.
- 16) Leloup, J., Lengaigne, M. et al. : Twentieth century ENSO characteristics in the IPCC database, *Climate Dynamics*, Vol. 30, No.2-3, pp. 277-291, 2008.

(2016. 4. 7受付)

APPLICATION OF TIME-FREQUENCY ANALYSIS METHOD FOR BIAS CORRECTION OF DAILY PRECIPITATION OUTPUT FROM CLIMATE MODELS WITH COMPARIING VARIOUS BIAS CORRECTION METHODS

Yoshihiko ISERI¹ and Shinjiro KANAE¹

¹School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

This study focused on precipitation outputs from regional climate models and compared the properties of precipitation products which were obtained by using several bias correction methods. Result indicated future change of variance and continued heavy rainfall (i.e. 5 days total rain) could largely vary according to the choice of bias correction methods and regional climate models.

This study also suggests a bias correction method which aims to correct temporal variation of daily precipitation obtained from the climate models. The proposed method showed relatively better performance in reproducing maximum 5 days total precipitation, which statistics would be important in evaluating the potential for water disasters. Result also indicated although spatial distribution of daily precipitation is improved by bias correction methods, the frequencies of each precipitation pattern are different according to regional climate models and employed bias correction methods.