# 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

# COMPARISONS OF BIAS CORRECTION METHODS FOR CLIMATE MODEL'S DAILY PRECIPITATION – FROM A HEAVY RAINFALL PERSPECTIVE

# 渋尾欣弘1・鼎信次郎2 Yoshihiro SHIBUO, and Shinjiro KANAE

<sup>1</sup>正会員 博士(理学)東京工業大学 情報理工学研究科 研究員(〒152-8552東京都目黒区大岡山2-12-1)
<sup>2</sup>正会員 博士(工学)東京工業大学 情報理工学研究科 准教授(〒152-8552東京都目黒区大岡山2-12-1)

Five statistical approaches for correcting biases in regional climate model's precipitation output are compared. These approaches remove model biases by means of: relative ratio of observed mean to model's mean; relating distribution functions of observational records and climate model's output with their mean and standard deviations, mapping distributions of monthly precipitation, and daily precipitation; and scaling ordered ranks of observational records. Results show that each approach appears to fix model biases in monthly total precipitation during validation period, yet their future projections altogether result in wide ranges in extreme values.

*Key Words:* daily precipitation, bias correction, statistical downscaling, climate change, return period

# 1. はじめに

豪雨や熱波・旱魃など,極端な気象現象は,気候変動 に伴い発生頻度・強度共に大きく変化していく事が予想 されている<sup>1)</sup>.これら自然災害の影響評価を行うにあた り,気候モデルを用いた温暖化予測実験の結果は貴重な 外力データとなるが,気候モデル出力に含まれる系統誤 差(いわゆるバイアス)が,様々な影響評価研究分野で の大きな妨げとなっている.バイアスは,気候モデル内 部のパラメータ処理などにより生じるもので,例えば降 水出力においては,観測値に比べ,降水強度の弱い雨が 長くなる事などが知られている<sup>2)</sup>.こういったモデル出 力の特徴的な偏向は,時空間解像度の変換を伴う作業も 含めて,広範に統計的ダウンスケーリングと呼ばれる手 法により精錬され,水文分野や農業分野を中心に,様々 な補正手法が開発されてきている<sup>3),4,5)</sup>.

Fowler et al. は統計的ダウンスケーリングに関する 文献の包括的なレビューを行い,空間解像度の向上の見 地からRegression Models, Weather typing schemes, Weather generators等にグループ分けしているが<sup>60</sup>,降 水量のバイアス補正に重点を置いた研究で多く用いられ ているものは、先の分類に属さない、頻度分布を用いた

手法である. この手法に共通するコンセプトは、気候モ デル出力値や観測値の頻度分布ごとに対して何らかの マッピング操作を行い、補正量を推定するというもので ある. 例えばWood et al. はモデル出力値と観測値との 間で, 互いの順序統計量を関連づけるマッピングテーブ ルを作成し、同テーブルを利用する事で将来予測値のバ イアス補正を行った<sup>4),5)</sup>. これとは対照的に, Harrold et al.は、現在と将来のモデル出力値の間で、順序統計 量の変化の比を求め、同比を観測値に適用する事で将来 予測値に対してバイアス補正を行っている".累積分布 に確率関数を適用するパラメトリック型の手法も存在す る. この手法では、観測値・モデル出力が何らかの分布 に従うと仮定し、例えば正規分布の場合、両者の平均 値・分散を用いてデータ分布の関係を正規化して関連付 ける. Ines and HansenやPiani et al. はガンマ分布を 仮定して日降水量に対してバイアス補正を行った<sup>5),8)</sup>.近 年における、頻度分布のマッピングを発展させた補正手 法としては, 渡部は, 較正期間中において, 値の重複を 含める事で複数のマッピングテーブルを用意し、その平 均から補正量を決定する手法を開発している<sup>9</sup>. また, 田中らは、頻度分布に対する降水強度別の階級分けを行 い、全ての階級に一律の比を与えて月平均値を合わせ、 次に階級ごとに異なる比を与えて頻度分布を調整する手

法を開発している<sup>10</sup>. 頻度分布以外を用いた方法も勿論 存在する. 例えば、シンプルなものでは、平均値を利用 するものが挙げられる<sup>11</sup>. この手法では観測値平均とモ デル出力平均値を使い、気温の場合は両平均値の差を、 降水の場合は比を用いてバイアスの補正処理が行われる.

このようにバイアス補正手法の開発は活発に行われて いるものの、課題も残されている。一つ目の問題点とし て、補正手法の妥当性が、特に将来予測の補正値に対し て,説明しきれない事があげられる.これは主として観 測年数の制約によるものであるが、現在における観測年 数は,数十年程度のオーダーであり,統計的に十分なサ ンプル数が得られていない可能性が高く、仮に較正期間 中において、精度の高い補正性能を示したとしても、同 補正手法が気候モデルの将来予測値にも適用できるとは 断言しがたい. また観測記録が短い場合, 補正手法の検 証自体も困難である.二つ目の問題点として、補正手法 は数多く開発されてきているものの、手法間の性能比較 に関する研究が、非常に少ない事があげられる、既往の 統計的ダウンスケーリングに関するレビューは、例えば 前述のFowler at al により行われてはきた<sup>6)</sup>が、現時点 で、複数のバイアス補正手法の直接的に比較・検証を 行った研究は、著者らの知る限り渡部により行われたも ののみである<sup>9)</sup>.

そこで本研究では、この二つ目の課題に貢献する事を 目的とし、治水安全対策の見地から、これまでに開発さ れてきたバイアス補正手法の比較・検証を行う.具体的 には、気候変動への適応策において重要視されている、 洪水や土砂災害に対して大きな影響を及ぼす大雨に着目 し、地域気候モデルの日降水量出力を対象にして、既存 の研究の中から代表的と思われるバイアス補正手法を適 用し、その補正性能を比較する.次に、補正された値か ら確率降水量を計算し、大雨の確率降水量を比較する事 で、各補正手法結果間の比較を行う.

#### 2. 気候データ

#### (1)気候モデル出力

バイアス補正手法の比較・検証に用いた気候モデル出 力値は、気象庁気象研提供の地域気候モデル(MRI-RCM20)<sup>12)</sup>によるものである.同気候モデルは、IPCC地 球温暖化第3次評価報告書によるSRES排出シナリオのA2 シナリオに準拠し、水平解像度20km、時間解像度24時間 で、1981年から2000年の現在再現期間、2031年から2050 年の近未来予測期間、2081年から2100年の100年後予測 期間の、3期間それぞれ20年分の実験結果が得られる. 実験期間が20年程度と、比較的短い理由は、RCM20に限 らず、地域気候モデルは格子解像度が細かい分、数値計 算の安定性から細かいタイムステップを必要とするため である.なお、提供要素は、最低(最高)気温や顕熱、 風速成分などで、全て日単位で得られる.本研究では降 水量出力のみを使用した.

#### (2) 較正データ(観測値)

モデルバイアスを検出し、補正を行うための観測デー タとして、 咲村によるグリッド化されたAMeDASデータ <sup>13)</sup>を使用した.空間解像度は0.1°であり、較正に使用 した観測期間は1981年から2000年である.本研究では大 雨に着目するため、夏の太平洋側で、且つできるだけ台 風の影響を受けにくいという条件から任意の地点データ

(茨城県下妻市周辺)を選び,各種バイアス補正を行う. 次に,空間分布の違いを比較するため,空間解像度を AMeDASグリッドデータと揃えたRCM20との間でバイアス 補正を行う.ここでは便宜的に線形内挿を用いたが,実 際の精度は気候モデルのものである事に注意されたい. また,両データ間で9時間の日界のずれがあるが,本研 究では短期間における特定の日を直接比較するのでは無 く,20年の日データを統計的に比較する事から,ずれに よる影響は小さいものと仮定した.

# 3. 方法

#### (1) バイアス補正手法概要

本研究では、バイアス補正対象地域を含め、太平洋沿 岸地域でも降水量が大きい8月を補正対象月とした.則 ち、RCM20の8月の日データとAMeDAS日データとの間で バイアス補正を行う.比較対象とするバイアス補正手法 については、1で述べた既存の補正手法を参考に、(a) モデル出力値の平均値の比によるバイアス補正,(b)正 規分布型バイアス補正,(c)頻度分布マッピング型-月 降水量補正型,(d)頻度分布マッピング型-日降水量補 正型,(e)頻度分布マッピング型-Daily scaling型, の5つの手法を選出し、日降水量データを作成する.

(a)の平均値を利用する方法<sup>11)</sup>は、気候モデルの現在 再現実験から将来予測実験値への変化の差や比について、 出力値全体の平均値をとり、観測値全ての日データに均 ーに適用する。その簡便さから、容易に気候モデル出力 に適用する事が可能であるが、その反面、弊害を伴う事 が指摘されている。例えば、この手法では平均値などを 単にスケールするものであり、気候モデル出力の降水日 数の変化が考慮されない<sup>6)</sup>.また、田中らはこの手法に よる極値の再現性が低い事を指摘している.<sup>10)</sup>

(b)の正規分布型では、観測値とモデル出力値それぞれに正規分布をあてはめ、モデル出力値の平均値と分散が、観測値のそれと等しくなるように、頻度確率を揃える方法である.この手法を適用する際の注意点としては、気象データの分布が、特に極値において、正規分布に従うとは限らない事が挙げられ、対象とする時間スケールや地域においては、その他の分布関数の方が、より適切

な表現となる可能性がある.

(c)頻度分布マッピングー月降水量補正型<sup>3),4</sup>では,観 測値,気候モデル出力それぞれの月降水量を計算し,観 測期間・現在再現期間における順序統計量として扱い, 気候モデルのパーセンタイル値を,観測値の同パーセン タイル値と置き換えるものである.将来予測値に対して も,(現在再現期間の)パーセンタイル変換を行い,補 正を行う.月降水量から日降水量への時間解像度の変換 については,観測記録の中から無作為に抽出した年の降 水頻度を選び,月総降水量が一致するようにスケーリン グ操作が行われる.

(d) 頻度分布マッピングー日降水量補正型は,(c)の パーセンタイル値の変換コンセプトを,直接日データに 適用するものである. 観測記録と気候モデル出力の日降 水量の,強度の弱い降水量においての違いを考慮するた め,本研究では無降水日数の閾値についてもパーセンタ イル値の変換を行う. 月降水量補正型との大きな違いは, 母数について,月補正型は観測年数分のサンプルから推 定を行うのに対し,日補正型では年数と日数の積により 推定を行う事にある. これにより,限られた観測年数で も,よりサンプル数を取ることが可能となる.

(e) 頻度分布マッピングーDaily scaling型<sup>14</sup>は, (a) の現在再現値から将来予測値の変化の比の関係を,全体の平均値から求めるのではなく,日降水量の順序統計量 それぞれについて求める方法であり,平均値を一律に用いる場合に比べて,極値の補正に対して改善が期待される.この手法において,降水頻度の変化は,気候モデル出力値の,降水日数のパーセント変化を観測値に適用する事で表現される<sup>14</sup>.

#### (2) バイアス補正式

前項に述べた5手法に用いた数式は以下の通りである. a) 平均値の比によるバイアス補正型(Relative ratios)

平均値を用いる手法では、観測値とモデル出力値それ ぞれの平均値を計算し、それらの比を一律モデル出力に 与える事により、補正がなされる. すなわち

$$x_{di}^{'} = x_{di} \frac{\overline{x}_{m,obs}}{\overline{x}_{m,rcm}}$$
(1)

ただし,

x<sub>di</sub>:現在(将来予測の場合は将来)の気候モデル出力 値の,i日目の降水量

x<sub>di</sub>: 現在(将来予測の場合は将来)の気候のバイアス 補正された,i日目の降水量

Xm.obs: 8月の観測値の平均降水量

Xm.rcm: 8月の現在気候モデル出力値の平均降水量

b) 正規分布型バイアス補正(Parametric)

本研究ではパラメトリック型<sup>5,8</sup>の補正に正規分布を適 用した.

$$x_{di}^{'} = \begin{cases} \frac{\sigma_{obs}}{\sigma_{rcm}} (x_{di} - \mu_{rcm}) + \mu_{obs}, & x \ge 0\\ 0, & x < 0 \end{cases}$$
(2)

ただし,

μ<sub>rcm</sub>:現在(将来予測の場合は将来)の気候モデル日 降水量出力の平均値

μ<sub>obs</sub>: 観測値の日降水量の平均値

σ<sub>obs</sub>:現在(将来予測の場合は将来)の気候モデル日 降水量出力の標準偏差

σ rcm: 観測値の日降水量の標準偏差

c) 頻度分布マッピングー月降水量補正型(CDF mapping, monthly)

Wood et al. によれば月降水量は、観測値とモデル出 カそれぞれの累積分布関数を作成し、モデル出力に対し マッピングを行う事で、順序統計量ごとに補正量が決ま る<sup>3),4)</sup>. すなわち

$$x'_{mi} = F_{obs}^{-1} \left( F_{RCM}(x_{mi}) \right)$$
(3)

ただし,

x<sub>m</sub>:現在(将来予測の場合は将来)の気候モデル出力の月降水量

x<sup>'</sup><sub>m</sub>:現在(将来予測の場合は将来)のバイアス補正後 月降水量

F<sub>RCM</sub>:現在気候モデル出力の累積分布関数

F<sup>-1</sup>: 観測値の累積分布逆関数

将来予測値において、気候モデル出力のパーセンタイル が観測値のそれを超える場合、第1種極値型のガンベル 分布が使用された.月降水量から日降水量への時間解像 度の分解は、Wood et al.の手法<sup>3),4)</sup>にならい、観測記録 より、ある年の降水頻度分布がランダムに抽出され、バ イアス補正された月降水量となるよう、一律の比が与え られた.

d) 頻度分布マッピングー日降水量補正型(CDF mapping, daily)

本研究では、月降水量のマッピングとの比較を目的と して、日降水量に対しても直接マッピングをかけ、バイ アス補正を行った.日降水量同士に直接マッピング変換 を行う際、降水頻度の分布の違いを考慮しなければなら ないが、例えばInes and Hansenは、降水頻度の閾値に 対してもマッピングを行い、降水頻度の補正を行ってい る.<sup>80</sup>これに倣い、降水強度の補正に先立ち、観測値の 降水量の最小値(本研究では0.1mmとする)に対する**x**を 計算し、同値以下の順位の値の切り捨てを行った.

$$x_{di}^{'} = \begin{cases} F_{di,obs}^{-1} \left( F_{di,RCM}(x_{di}) \right), & x_{di} \ge \tilde{x} \\ 0, & x_{di} < \tilde{x} \end{cases}$$
(4)

e) 頻度分布マッピング – Daily Scaling型(Daily scaling)

Kiem et al. らの手法<sup>12</sup>に倣い,降水頻度については,現在再現値から将来予測値への降水日数のパーセント変

化を求め、これを用いて観測値に対して降水日数の増減 を決定する.降水日数がx%減少した場合(本研究では 0.5mm以上を降水と見なす)は、観測値の順序統計量の 下位x%に対する切り捨てを行い、x%増加した場合には、 観測値の無降水日数の中からx%を無作為に抽出し、 0.1mmの降水量を与えた.これら降水日数の操作の後、 バイアス補正後の予測値は

$$x_j = \alpha_j x_{obs,j} \tag{5}$$

ただし,

xobs,j: 観測値のj番目順序統計量

x<sub>i</sub>: バイアス補正後j番目順序統計量

*α<sub>j</sub>*:現在・将来の気候モデル出力間のj番目の順序統計 量の変化の比

#### (3) 10年確率降水量による補正結果比較

(2)項の各手法により補正処理が施された日降水量に ついて,確率降水量により大雨の頻出度の比較を行う. 本研究では,求められたそれぞれの日降水量の最大値分 布について,10年に一度の大雨,いわゆる再現期間10年 の確率降水量を算出する.非超過確率の推定は,ガンベ ル極値分布により,

$$F(x) = \exp\left[-\exp^{-b(X-a)}\right] \tag{6}$$

$$a = \mu - \frac{\gamma}{h} \tag{7}$$

$$b = \frac{\pi}{6\sqrt{\sigma}} \tag{8}$$

ただし,

γ: オイラー定数

µ: 標本平均

σ:標本標準偏差

本研究ではデータ数が20と比較的に少ない事から,計算 結果の安定性を考慮して,求める確率降水量を10年とし た.また,年間を通して降水強度の頻度が高い8月の データのみを用いて確率降水量を求めた.

# 4. 結果・考察

#### (1) 月総降水量と最大降水量によるバイアスの検出

図1aにAMeDASとバイアス未補正のRCM20(直出力)の8月 降水量,図1bにそれぞれの最大降水量の推移を示す.こ こで気候モデルは推測される境界条件のもと現在の気候 を再現するものであり、特定の日時を再現するものでは ない事に注意されたい.検出されたバイアスは、較正期 間のAMeDASの20年平均降水量が約123mmであるのに対し、 RCM20の同平均降水量は約273mmであり、倍以上の開きを 示している.将来予測の経年変化については2031-2050 期間で約288mm、2081-2100期間で293mmと、少量の増加



# 図-1 任意地点データ(下妻)におけるa)AMeDASとRCM20直出力 の8月の総降水量,b)同8月の最大降水量の推移

を見せ、降水強度が強い月も増加の傾向を示している. 降水の月最大値について比較して見ると、グラフから も見られるように、互いの総降水量が拮抗している年に おいて、必ずAMeDASの最大降水量の方が大きい事から、 少なくとも当該地点データでは、RCMの強い雨は観測値 と比較して弱い傾向がみられる.

#### (2) バイアス補正後、月平均降水量の比較

次に、バイアス補正処理を施した降水量について、その総量の比較・検証を行う.図-2は、1981~2000年、2031~2050年、2081~2100年の各期間における8月の総降水量の平均値を示すものである.(e)Daily scaling型では、観測値をもとに将来予測値を算出するので、1981~2000年期間における値は誤解を招かないよう敢えて欠損としている.バイアス補正処理により、各種法とも一





図-3 任意地点データ(下妻)における,日降水量の10年確 率降水量の変化と手法間の比較.棒グラフ(左主軸)は10年 確率降水量を表し.折れ線グラフ(右副軸)は,各手法の現 在期間(1981-2000)からの変化の割合を示す.

応は観測値の平均値(約123mm)より数パーセントの範 囲に収まってはいるものの、今後の変化の傾向について はばらつきがみられ、バイアス補正前のRCM20直出力に 見られるように、一貫して降水量の増加を示したものは、 a)平均値の比型(Relative ratios)とe)Daily scaling型 のみである.(b)正規分布型に至っては、将来予測値が 現在値よりも下回る結果となってしまっている.

#### (3) 10年確率降水量によるバイアス補正性能評価

図3に、3-(3) により算出された8月の日降水量の、

再現期間10年の確率降水量の比較を示す.まず,RCM出 力にバイアス補正を行わなかった場合の確率降水量につ いてであるが、1981-2000期間と比べ、2031-2050期間で ほぼ横這い, 2081-2100期間で, 24%の増加を示している. この確率降水量の変化について、各バイアス補正手法で はどのような特徴があるのか、その違いを以下に比較す る. まず, (a) 平均値の比を用いたバイアス補正では, 定性的変化はRCM直出力と良く合致しているものの、現 在期間における絶対量が相対的に大きく下回っている. これは、一律の比が与えられる事が極値の絶対量を引き 下げるためだと考えられる. (b) 正規分布によるパラメ トリック型補正については、観測値平均と分散を用いる 事により、全体として観測値と近い値が保証されるもの の、強度の強い雨は大きな変化を見せる事が出来ない (例:2081-2100期間の折れ線). 頻度分布マッピング型 の補正手法に着目すると、(c)月平均補正型(CDF mapping, monthly)はRCM直出力と比べ、大きなずれを示 している.これは、月降水量から日降水量への時間方向 解像度分解を行う際、無作為に抽出された年の降水頻度 に従うため、例えばそれが降水日数の多い年の場合、相 対的に降水強度が弱まってしまう(逆に降水頻度の少な い年が抽出された場合は、必然的に降水強度が上がる) アーティファクトによるものと考えられる. 対照的に (d) 日降水量補正型は、2031-2050期間において相対的に 小さい値を示すが、月降水量補正型と比較した場合、よ りRCM直出力に近い傾向を示した. (e)Daily scaling型 は、全ての補正手法の中で、最も高い確率降水量の値を 示した. これは、RCM出力の変化の比が、対応する観測 値の各順位に適用されるため、降水強度の増減がある場 合は必然的に保証されるためである.

図-4a, bに,現在-100年後間の,8月日降水量による



図-4 a) 月降水量補正型とb) Daily Scalingによる, バイアス補正後の, 10年確率日降水量の1981-2000期間から2081-2100期間への変化の比較

10年確率降水量の変化の割合の空間分布を表す.図-3で 見られたように、月降水量補正型はDaily Scaling型と 比べ、相対的に変化が小さいが、先に述べた無作為抽出 の影響により、常にこの関係が成り立つとは限らない. さらに、これら変化は適用するバイアス補正手法によっ て異なる.紙幅の都合により省略するが、Daily Scaling型の特徴として空間分布においても、確率降水 量の変化がRCM20直出力のそれと類似した結果となった 事を付記しておく.

### 5. 結論

観測記録を頼りにバイアス補正を行えば、例えば20年 平均の月降水量でみた場合、本研究で用いた何れの手法 においても、見かけ上は尤もらしい将来予測値が得られ た.しかしながら、比較的に強度の強い降水についてみ た場合、補正手法間において大きな差が生じる事が、再 現期間10年の確率降水量の比較により示された.

RCM直出力に対し各補正手法を比較すると,順序統計 量ごとに補正を行う手法(d, e)が,変化の傾向を残しつ つバイアスを除去でき得る事がわかった.これに対し, (a) 平均値を用いた補正や,(c)月平均補正型(CDF mapping monthly)のように,用いる手法によっては,確 率降水量を過小評価してしまう傾向がみられた事から, 豪雨災害の治水安全対策に対して,気候モデル出力を使 用する際には,注意を払うべきである.また,異なる対 象地域における補正結果の比較については,用いる観測 記録・RCM出力の組み合わせにより,バイアス補正手法 間の優劣が異なる可能性もある.

気候モデル出力の定性的変化が自然の豪雨頻度の変化 を表現しているかどうかについては、本研究の範疇を超 えてしまうが、この点を検証するには、本研究で使用し たサンプル数20年よりもさらに長い期間のRCM出力が必 要となり、統計的安定性を考慮するのであれば、同様に できるだけ長い観測記録との間での検証が必要であり、 今後この点について研究が望まれる.

気候モデル出力を用いて、地域の影響評価を行う場合、 気候モデルそのものの不確実性を考慮しなければならな いのは当然であるが、バイアス補正処理の過程において 付加される、新たな不確実性についても留意すべきであ る

謝辞:本研究は,環境省地球環境研究総合推進費戦略研 究開発プロジェクトS-5の助成を受け,行われたもので ある.

#### 参考文献

 Intergovernmental Panel on Climate Change (2007), Climate Change: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers, www.ipcc.ch

- Boberg, F., P. Berg, P Thejll, and J. H. Christensen (2007), Analysis of temporal changes in precipitation intensities using PRUDENCE data, Danish Climate Center Report 07-03, Copenhagen, Denmark
- Wood, A. W., E. P. Maurer, A. Kumar, and D. P. Lettenmaier (2002), Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 4429, doi:10.1029/2001JD000659.
- Wood, A. W., L. R. Leung, V. Sridhar, and D. P. Lettenmaier (2004), Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs, *Climatic Change*, 62(1-3), 189-216.
- Piani, C., J. O. Haerter, and E. Coppola (2009), Statistical bias correction for daily precipitation in regional climate models over Europe, *Theor. Appl. Climatol.*, *138*, 44-53, 10.1007/s00704-009-0134-9
- Fowler, H. J., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi (2007), Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, *Int. J. Climatol.*, 27(12), 1547-1578, DOI: 10.1002/joc.1556
- 7) Harrold, T.I., F.H.S. Chiew, and L. Siriwardena (2005), A method for estimating climate change impacts on mean and extreme rainfall and runoff. In MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation, Zerger A, Argent RM (eds), Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand: Melbourne; 497–504, CDROM (ISBN0-9758400-2-9).
- Ines, A. V. M., and J. W. Hansen (2006), Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agric. For Meteorol.*, *138*, doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.009
- 9) 渡部哲史(2009),気候モデルの出力特性を考慮した全球 気候変動予測東京大学大学院工学系研究科修士論文.
- 田中賢治, 萩澤佑樹, 佐久間良一, 小尻利治 (2008), 気候モデルのバイアス検出と補正, 京都大学防災研究所年報, 第51 号, pp.723-736.
- Prudhomme, C., N. Reynard, S. Crooks (2002), Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: Where are we now?. *Hydrol. Process.* 16, 1137-1150, 10.1002/hyp.1054.
- 12) 気象庁(2005),地球温暖化予測情報第6巻,IPCCのSRES A2シナリオを用いた地域気候モデルおよび都市気候モデル による気候予測
- 13) 咲村隆人 (2006),水・エネルギー収支算定に基づく日本域 洪水危険度推定手法の開発,東京大学生産技術研究所,修 士論文
- 14) Kiem A. S., H. Ishidaira, H. P. Hapuarachchi, M. C. Zhou, Y. Hirabayashi, and K. Takeuchi (2008), Future hydroclimatology of the Mekong River basin simulated using the high-resolution Japan Meteorological Agency (JMA) AGCM. Hydrol. *Process.* 22(9), 1382-1394, DOI: 10.1002/hyp.6947.

(2009.9.30受付)