

GCM 日降水量の統計的バイアス補正の並列化

山本 昭夫[†]Cho Thanda Nyunt^{*}喜連川 優[‡][†]東京大学地球観測データ
統融合連携研究機構^{*}広島大学大学院工学研究院
社会基盤環境工学[‡]東京大学生産技術研究所
国立情報学研究所

1. はじめに

近年、豪雨や熱波・早魃など、地球温暖化に起因すると考えられる気候変動がもたらす極端な気象現象の発生頻度および強度が大きくなり、今後の影響の拡大が懸念されている状況である。

気候変動による自然災害の影響評価にあたっては、大気大循環モデル(General Circulation Model, GCM)を用いるのが一般的であるが、モデル内部のパラメータ処理や計算機能力の制約などから、GCM には不確実性がある。とりわけ降水量の推定値には大きなバイアス(系統誤差)があり、観測値に比べて、降水強度の弱い雨が長くなることが知られている。また、影響評価研究においては、例えば、降水量 10%増加といった相対的な変化量よりも、日降水量 100mm 以上の発生頻度という絶対値が重要となることが多い。そのため、過去をシミュレートした GCM 出力値と観測値を統計的に比較することにより、過去および将来の GCM 値を補正(バイアス補正)する必要がある。

補正精度の観点から、対象地域の気候特性を適切に表現できる複数の GCM を用いることが望ましいが、モデル数に加えて観測地点数の増大により補正処理にかかる時間が長くなる問題がある。本稿では、実行時間の短縮を目的として、複数 GCM 出力値の並列読み込み及び補正プログラムのマルチスレッド化によるバイアス補正の並列処理について述べると共に、バイアス補正システムの性能評価を行った結果を示す。

2. GCM 日降水量のバイアス補正

東京大学地球観測データ統融合連携研究機構が運用している DIAS (Data Integration and Analysis System) [1] では CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) データセット [2] として公開されている気候変動予測モデル出力の可視化・解析ツールを開発している。

ここでは、既に開発された解析ツールによる日降水量のバイアス補正システムについて説明する。まず、CMIP3 (第 3 次結合モデル相互比較プロジェクト) の 24 の気候変動予測モデル出力から、対象領域の気候特性をよく再現できる気候変動予測モデルを選択し、これらの出力に対して現地観測データを用いた統計的バイアス補正を実行するという処理手順となる。

2.1. モデル選択

CMIP3 の 20 世紀再現実験出力データと降水量の観測に基づく格子データ(GPCP) [3] とを比較し、気候変動予測モデルの再現性を評価する。CMIP3 データ解析ツール [4] を用いて、対象領域における過去 20 年間の平均月降水量の観測値および各 GCM 出力値から降水パターンの空間相関係数(Scorr)および二乗平均平方根誤差(RMSE)の 2 つの統計量を算出する。気候特性に関する統計的な評価を行い、再現性の高いモデルをバイアス補正の対象として選択する。

2.2. 統計的バイアス補正

アジア・アフリカを中心とする観測地点における日降水量データが DIAS コアシステムに逐次アーカイブされており、これら現地観測データを用いて上述した手順に従って選択されたモデルに対し日降水量のバイアス補正を行う。東京大学河川/流域環境研究室において開発された統計的バイアス補正の詳細は文献 [5] に譲るが、次の 3 つの処理モジュールを順次適用することで日降水量のバイアス補正が実行される。

- (a) 異常降雨：過去の異常降雨発生を一般化パレート分布でモデル化し、将来降水量を補正する。
- (b) 無降水日：日降水量の各データ系列から順位統計量を求め、観測値から得られた降水日数を閾値とし、この日数以上は無降水日とする。
- (c) 平均降雨：(a), (b) 以外の平均降雨については、日降水量の累積分布関数がガンマ分布に従うと仮定し、観測データを近似する累積分布関数を用いて補正する。

3. 並列化手法

バイアス補正の実行時間を短縮する手段として、モデル選択の並列処理、並びに複数 GCM 出力値の並列読み込み及び補正プログラムのマルチスレッド化による統計的バイアス補正の並列

Parallel Implementation of Statistical Bias Correction of Daily GCM Precipitation

[†] Akio Yamamoto, Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative, The University of Tokyo

^{*} Cho Thanda Nyunt, Department of Civil and Environmental Engineering, Hiroshima University

[‡] Masaru Kitsuregawa, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo / National Institute of Informatics

処理について述べる。

モデル選択における統計量の算出は互いに独立であるため、それぞれの GCM 出力を複数の子プロセス（ワーカプロセス）で処理する。また、統計的バイアス補正の並列化手法は以下の擬似コードに示す通りである。

```

program bias_correction_parallel
  foreach GCM
    Read output data
  end
  foreach obs_station
    Execute bias correction
  end
  Plot/Save results
end

```

・複数モデル
並列処理

・複数観測地点
並列処理
・マルチスレッド化

図 1：統計的バイアス補正の並列化

(1) データ読み込みの並列化

モデル選択と同様に、マルチプロセスによる並列化を行う。すなわち、選択された気候モデルごとにワーカプロセスを起動し、複数の GCM 出力ファイルからデータを並列に読み込む。

(2) バイアス補正の並列化

バイアス補正では各観測地点の処理が独立であるため、観測地点ごとにワーカプロセスを起動してバイアス補正を並列に実行する。さらに、OpenMP[6]により補正プログラムをマルチスレッド化しており、スレッドレベルの並列実行が可能である。

4. 性能評価

分散共有メモリ型並列計算機 HITACHI Blade Symphony 2000(以下 BS2000)を利用して、バイアス補正システムにおけるプログラム実行時間を計測し性能評価を行った。BS2000 は Intel Xeon X7560 を 8 基搭載し、総計 64 コアを有する。Red Hat Enterprise Linux 5.8 上で Intel Fortran コンパイラ ifort 12.0 を用いてプログラム開発を行った。

本研究ではスリランカを対象とした。雨季に相当する 6 ヶ月間（6 月から 11 月）の平均月降水量から算出された統計量に基づき気候特性の再現性評価を行い、16 モデルを選択した。DIAS コアシステムにはスリランカの 8 地点から観測データがアーカイブされており、これらの現地観測データを用いて 16 の GCM 日降水量に対し OpenMP により並列化した統計的バイアス補正プログラムを適用した。

図 2 に実行時間の計測結果を示す。総実行時間は逐次処理 343.8 秒、並列処理 30.3 秒であり、

速度向上比は 11.3 倍となるが、並列性の高いバイアス補正プログラムに着目すると速度向上比は 25.8 倍(168.1 秒→6.5 秒)の結果が得られた。

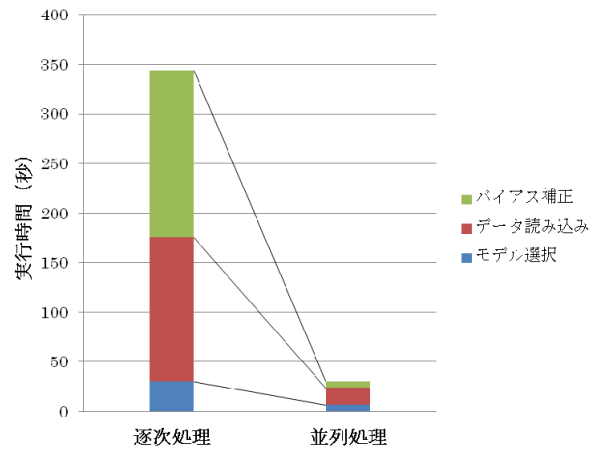


図 2：性能評価結果

5. おわりに

並列化により高速処理が可能となった本バイアス補正システムは、DIAS プロジェクトにおいて様々な研究者に広く利用され、気候変動による自然災害の影響評価に寄与している。

今後は、現地観測データのアップロードシステムとのオンライン連携動作を可能とする予定である。また、IPCC 第 5 次評価報告書に用いられる CMIP5 データ[7]に対しバイアス補正が適用できるようにシステムの拡張を継続する。

謝辞

東京大学河川／流域環境研究室の各位には有益なご助言を戴いた。ここに謝意を表する。本研究は文部科学省委託事業「気候変動適応戦略イニシアチブ・地球環境情報統融合プログラム (DIAS-P)」の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] <http://www.editoria.u-tokyo.ac.jp/dias/>
- [2] <http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/cmip/>
- [3] <http://www.gewex.org/gpcp.htm>;
- [4] 山本昭夫, 喜連川優, マルチ気候モデルによる気候変動予測のための可視化・解析システム, 情報処理学会第 74 回全国大会, 5F-6, 2012.
- [5] C.T. Nyunt et al., Bias Correction Method for Climate Change Impact Assessments in the Philippines, Journal of Japan Society of Civil Engineering, 69 (4), I_19-I_24, 2013.
- [6] The OpenMP API Specification for Parallel Programming, <http://openmp.org/wp/>
- [7] <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>