

気候変動予測における全球規模トレンド分析の OpenMP による並列化に関する検討

山本 昭夫[†]

[†]東京大学地球観測データ
統融合連携研究機構

喜連川 優[‡]

[‡]国立情報学研究所
東京大学生産技術研究所

1. はじめに

近年、地球温暖化に起因するとみられる気候変動とそれがもたらす地球環境への影響が大きな問題として社会的に関心を集めている。気候変動に関する議論では、将来の変化予測が不可欠である。気候変動の特徴を把握し、その影響評価を行うには、様々な物理量の長期変化傾向（トレンド）を見積もる必要があるが、長期間のデータを得ることができ、小さな変化であっても統計的に有意なトレンドを検出可能な気候モデルによる数値シミュレーションが有効な手段となる。

将来の気候変化特性の研究において、従来は全球平均されたデータの変動に関する議論が多かったが、最近の研究によると、全球平均気温は温暖化傾向にある場合でも、ある地域では寒冷化しているなど、地域・季節間の違いが小さくないことが明らかになってきている。また、気候特性を考える上で重要な降水量においては、地域ごとにトレンドに増加、減少が顕著に異なり、地域ごとの評価が不可欠である。こうした地域や季節による違いを検出するには、気候モデルの全ての格子点ごとに特定の時間範囲においてトレンド分析を行う必要があるが、対象となるデータ量が増加するため、実行時間が長くなってしまいう問題がある。

本稿では、全球規模における格子点ごとのトレンド分析の高速化を目的とし、分散共有メモリ型並列計算機で OpenMP により並列化したトレンド分析の性能評価を行い、その有効性を検証した結果について報告する。

2. トレンド分析

気候変動による影響評価では、数十年から百年程度の期間において、気温などの物理量の経年変化にトレンドがあるかどうかを調べるのが重要である[1]。ここではトレンドを見積もる方法およびその統計的有意性検定の方法について簡潔に説明する。

気候変動予測の分野におけるトレンド分析では、ノンパラメトリック法の一つである Mann-Kendall 検定が広く用いられる[2]。この手法では、ある時系列の各要素が独立で同一の確率分布に従う、すなわち「時系列にトレンドが存在しない」という帰無仮説が成立するかどうかを検定する。帰無仮説が棄却されると、その系列は傾向変動を持つと判定される。

2.1. 全球規模トレンド分析

Mann-Kendall 検定を用いたトレンド分析では、全球平均した年平均気温は温暖化傾向にある一方で、ある特定の地域では逆に寒冷化しているなど、地域間の違いが小さくないことが最近の研究から明らかになってきている。こうした地域ごとの違いや特性を検出するためには、全球平均や年平均したデータの時系列を対象とするのではなく、気候モデルの全ての格子点ごとにトレンド分析を行う必要がある。

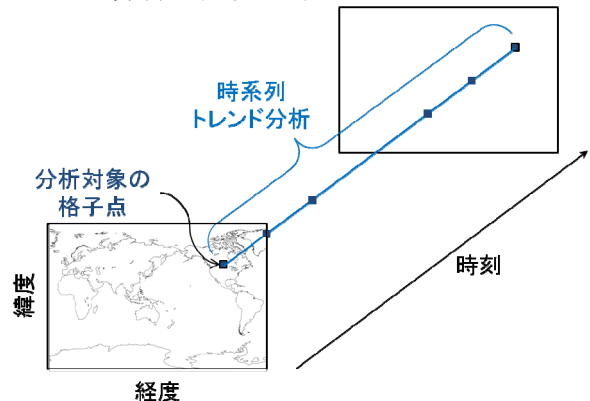


図 1：全球規模トレンド分析の概念図

全球規模での時系列データを対象としたトレンドの検出ならびにトレンドの値を見積もることが極めて重要であるが、全球平均の時系列に対するトレンド分析と比較して計算量が大幅に増加するため、実行時間が長くなってしまいう問題がある。

3. OpenMP による並列化

気候モデルによる数値シミュレーション結果では、図 1 に示したように、トレンド分析対象の一つの格子点に着目すると、その格子点の時系列は他の格子点の時系列とは独立である。す

A study on OpenMP-based parallel implementation of global-scale trend analysis for climate change predictions

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

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

なわち、全球規模トレンド分析は並列度が極めて高く、並列処理による高速化が大いに見込まれる。本研究では、並列コンピューティング環境を利用するために標準化された基盤である OpenMP [3] を用いて並列トレンド分析を実装し、全球規模での高速化を目標とする。

全球規模での Mann-Kendall トレンド分析では、分析対象となる格子点の時系列データに連続的にアクセスしながら処理が実行される。すなわち、数値シミュレーション結果のデータ構造である 3 次元配列ではなく、トレンド分析において効率的にアクセスが可能となるように配列を再配置することで、処理速度の更なる向上が期待できる。

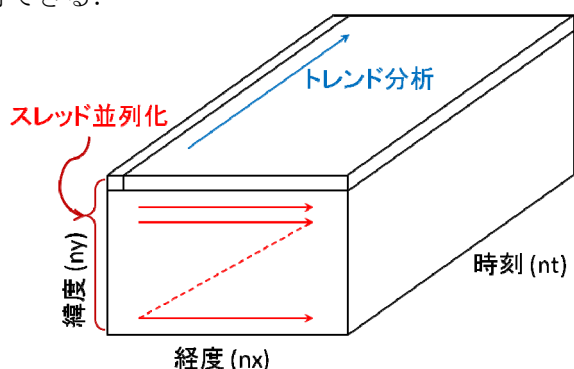


図 2: 全球規模トレンド分析データの再配置

また、本研究で性能評価に用いる分散共有メモリ型並列計算機 HITACHI BladeSymphony 2000 (以下、BS2000) は NUMA アーキテクチャであり、データはファースト・タッチ・ポリシーによりメモリに配置される。そこで、分析データの再配置を行う際、本来のトレンド分析計算と同一のデータアクセスパターンの下で新たな配列にデータを書き込むことにより、各スレッドが担当する配列要素を、それぞれのスレッドを実行するコアのローカルメモリに割り当てる。

4. 性能評価

本研究の性能評価では、CMIP3 (第 3 次モデル相互比較プロジェクト) 全球気候モデルデータセットから、東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋開発研究機構で共同開発維持管理されている気候モデル MIROC3.2-HIRES [4] を用いる。2001 年から 2100 年まで 100 年間の地表気温の年平均値時系列を対象データとし、HITACHI BS2000 (Intel Xeon X7560 プロセッサ 8 個搭載) を利用して、OpenMP により並列化した Mann-Kendall トレンド分析の実行時間により性能を評価する。

4.1. 評価結果

OpenMP による並列化の効果を検証するため、

再配置を行わないデータに対しシングルスレッドで実行したトレンド分析の実行時間を基準として、データ再配置を行った場合の処理速度向上比を図 3 に示す。BS2000 に搭載されたプロセッサ・コア 64 をすべて利用して同時実行した場合、概ね 60 倍から 75 倍程度の処理速度向上が達成できるとの結果が得られた。

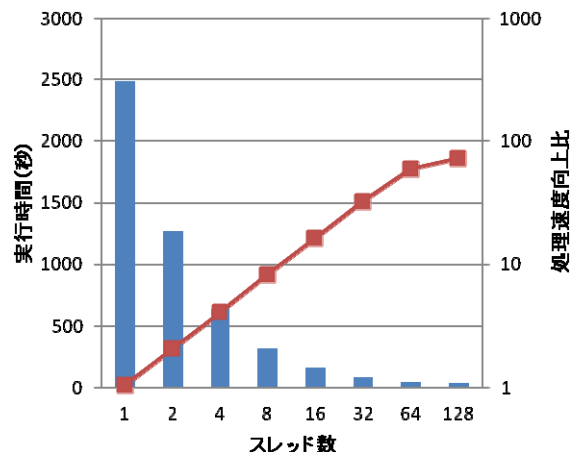


図 3: 実行時間および処理速度向上比

5. おわりに

本稿では、気候変動予測結果を対象とした Mann-Kendall 検定を用いた全球規模トレンド分析の高速化を目的として並列コンピューティング環境基盤 OpenMP により並列化し、分散共有メモリ型並列計算機 HITACHI BS2000 上での性能評価について報告した。全球規模 Mann-Kendall トレンド分析において効率的なデータアクセスが可能となるように配列を再配置することで、データ再配置を行わずシングルスレッドで逐次処理した場合と比較して 75 倍の速度向上が得られた。

謝辞 本研究は、文部科学省委託事業「気候変動適用戦略イニシアチブ地球環境情報統融合プログラム」の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 西澤: 気象観測データの長期トレンドの統計解析, 応用数理, 18(3), pp.27-38 (2008)
- [2] 小林, 宝, 中北: 全球気候モデル出力を用いた日本域の 100 年確率日降水量の将来予測, 水工学論文集, Vol.54, pp. 223-228 (2010)
- [3] The OpenMP API Specification for Parallel Programming, <http://openmp.org/wp/>
- [4] K-1 model developers: K-1 Coupled GCM (MIROC) Description, In: Hasumi, H. and Emori S.:K-1 Technical Report No.1 (2004)