

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 Acierto Ralph Allen Elpa

アチエルト ラルフ アレン エルパ

気候変動予測には側面境界条件の設定の困難性を回避するために、全球を対象とする大循環モデル (GCM) を使用する。しかし、計算負荷に対する計算機能力の限界から、空間分解能が数 10km の粗いモデルしか実行することができないため、河川、水資源管理に必要となる降水の時空間分布の定量的情報を得ることが困難である。そこで、高い空間解像度の領域気候モデル(RCM)の初期値や境界条件として、GCM の計算結果を与える力学的ダウンスケーリング手法が開発されている。RCM では、雲降水過程に直接関連する積雲対流過程(CU) や雲微物理過程(MP)に加え、放射過程(RAD)や境界層過程 (BL) 等が相互に関連しており、それぞれの過程を表現する物理的パラメタリゼーション手法が多く開発されている。これらの手法は特定の領域でそれぞれ単独に開発されており、それぞれの手法の異なる気候条件下での適合性や、複数の過程の相互作用に関する物理的理解に基づく適合性に関する研究は充分ではない。そこで、様々な領域への適用には、試行錯誤的にパラメタリゼーション手法が選択され、統計的評価に基づいてチューニングするというアプローチがとられることが多い。

本研究は、それぞれの過程を表現する物理的パラメタリゼーション手法の物理的背景と計算手法特性を理解した上で、気候特性の異なる 3 領域における戦略的な数値比較実験を実施し、統計的評価に加えて、物理的なメカニズムの理解に基づく各手法およびその組み合わせの適合性の評価を行い、気候特性を考慮して物理的パラメタリゼーション手法の組み合わせを合理的に選択する手法を開発することを目的としている。

対象領域は、異なる緯度帯に位置する日本、フィリピン、インドネシアの海洋と島嶼からなる領域とし、GCM として欧州気象中期予報センターの再解析プロダクト (ERA-Interim)、RCM として Weather Research and Forecasting model (WRF) を用いて、24km、6km、2km の段階的な一方向(one-way)ダウンスケーリングを実施している。検証用の降水量の観測データとしては、熱帯降雨観測衛星(TRMM)および地上観測雨量情報をグリッド化したアジア域の降雨データセット(APHRODITE)を、また大気温度、湿度の鉛直プロファイルデータとして全球の高層ゾンデ観測点データ(IGRA)および衛星搭載赤外サウンダー(AIRS)データを用いている。解析は、第一段階としてテラーダイアグラムなどを用いてシミュレーション結果の適合性に関する統計的評価を行い、第二段階として季節変動や日周変動特性、鉛直断面などを検討してシミュレーション結果が各過程を表現しているかを確かめている。さらに第三段階としてエネルギー、水収支解析によりサブグリッドスケールの加熱 (Q1)、乾燥化 (Q2) 過程が物理的パラメタリゼーション手法によってどの程度表現されているかを確認している。

本研究ではまず CU スキームの適応について、日本領域の解析より、大気下層の条件

から対流のきっかけを与える **Kain-Fritsch** スキームでは、湿潤暖候期に降水量を課題に推定するバイアスを見出し、それはフィリピン、インドネシアでも顕著に現れることを示し、大気下層と上層の両方の条件を加味し、アンサンブルフィードバックを行う **Grell** 型のスキームがこの問題の解決に貢献することを示している。ただし、**Grell** 型では大気の **Q2** プロファイルが **GCM** とは大きく異なっている特徴を見出し、これがアンサンブルフィードバックの影響であるという考え方を提示している。一方、**Tiedtke** スキームは、**Kain-Fritsch** スキームと同様に大気下層の条件から対流のきっかけを与えるタイプであるが、積雲クラスターの組織化の表現が可能であり、インドネシアでの降水量、**Q1**、**Q2** プロファイルともにより適合性を示している。

次に **CU** スキームとして、日本、インドネシアでは **Kain-Fritsch**、インドネシアでは **Tiedtke** を用いて **CU-MP** 結合実験を行った結果、いずれの **MP** スキームを用いても、**CU** で生じた問題を解決することはできないことを示した。さらに **MP** として 2 重モーメントを用いるスキームを加え、**CU-MP-RAD** の結合実験を行っているが、ここでも顕著な改善は見られないことを示している。一方、**CU-BL** 結合実験では、日本では **Kain-Fritsch**、フィリピンとインドネシアで **Grell** 型を用いて、4 つのタイプの **BL** スキームとの結合結果を解析したところ、局所型スキームとの組み合わせが、いずれの場合においてよい適合性を示すことを明らかにしている。

これらの結果を踏まえ、本研究では、物理的パラメタリゼーション手法の組み合わせの選択には、まず対象気候条件化で **CU** の性能を検討し、その上で **CU-BL** 結合結果を評価して、それぞれのスキームの選択を検討し、最後に **MP**、**RAD** の結合結果により、よりよい組み合わせを選択することを推奨している。

以上の通り、本研究は、河川、水資源管理への気候変動の影響評価に必要不可欠な、**GCM** を用いた降水の時空間分布の予測値の定量的情報を求めるための **RCM** の適用における物理的パラメタリゼーションの組み合わせの選択指針を、それぞれの手法の異なる気候条件下での適合性や、複数の過程の相互作用に関する物理的理解に基づいて提案している。本研究成果は、気候の変化を考慮した将来の洪水、水資源計画と管理に資するところが大きく、科学的、社会的有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。