

審査の結果の要旨

氏名 Abdul Wahid Mohamed Rasmy

アブドゥル ワヒド モハメッド ラスミー

全球規模、地域規模の数値気象予測情報を局所規模の情報にダウンスケーリングするためには、細かな計算格子を有するモデルの初期値や側方境界条件として、広域予測のための粗い計算格子モデルの出力をネスティングする力学的ダウンスケーリング手法や、局所規模の観測データの空間分布に関する統計的性質を用いて広域モデルの出力を補正する統計的ダウンスケーリング手法が用いられてきた。しかし、これらの手法では短期の数値予測において重要な大気状態量の初期値の局所スケールでの空間分布特性を直接導入することはできない。とりわけ、雲・降水過程は10kmスケールの積雲対流現象であり、河川・水資源管理に必要な流域スケールの降水分布の予測情報を高精度で得ることは困難であった。

これらの問題を解決に導くために、近年衛星情報と数値モデルを組み合わせたデータ同化手法が開発されてきた。まず、土壌層と陸面での電磁波伝播を表す高度なマイクロ波放射伝達モデル、鉛直一次元の陸面での水・エネルギーフローを表す陸面スキーム (SiB2)、および衛星観測と地上観測による大気からの強制力データ組み合わせた陸面データ同化手法 (LDAS) が開発された。次に積雲対流を表現できるメソスケールの非静力大気モデル (NHM) と LDAS を組み合わせたシステムも開発され (LDAS-A)、陸面の不均一性の影響を考慮したメソスケールの雲・降水予測システムが開発された。一方、大気中でのマイクロ波放射伝達モデル、NHM に組み込まれている雲微物理スキームと衛星観測データを組み合わせた雲微物理データ同化システム (CMDAS) が開発された。さらに LDAS から得られる地表面のマイクロ波放射を境界条件とする大気の放射伝達モデルと CMDAS を組み合わせた陸域-大気結合データ同化システムのプロトタイプも開発された。

本研究の目的は、これらを適切に組み合わせるシステムを開発し、その性能を評価して、降水予測のダウンスケーリング手法の基盤を構築することにある。

論文提出者は、まず LDAS、LDAS-A、CMDAS、NHM 間のデータの受け渡し方法とそのタイミングを精査し、同化ウィンドウが比較的長い LDAS には Ensemble Kalman Filter (EnKF) を、一方同化ウィンドウが数10分と短い CMDAS には Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) をよる同化手法を用いることとした。また、CMDAS による同化結果を改善された NHM の初期値として引き渡す手法を吟味し、初期に開発された CMDAS プロトタイプの欠陥を改善するとともに、NHM にお

ける雲微物理関係の変数だけでなく、力学場においてもデータの引渡しが確実に実施できる手法(dumping)を開発した

以上を踏まえ、論文提出者は、計算時間ステップの異なる NHM、雲微物理スキーム、陸面スキーム、放射伝達モデル間でモデル出力や観測データを適切に引き渡すことができ、かつ様々なスキームを結合、切り替えを可能とするカップラーの基本構造を開発した。汎用性に関して具体的には、陸面スキーム(SiB2、JMA 新 SiB)、マイクロ波放射伝達モデル(土壌層-地表面系、地表面-大気系)、同化スキーム(EnKF、SCE-UA)をそれぞれ2種類づつ実装した。

論文提出者は、さらにこのカップラーによる大気-陸面結合データ同化システム(CALDAS)をチベット高原の東西の地域に適用し、南北を東西に走る山脈で囲まれた高原平地部での陸面、大気状態の同化実験を行った。大気大循環モデル(GCM)は米国大気海洋庁の国立環境予測センター(NCEP)の現業予測モデルの同化-予測サイクルの出力を用い、NHMは改良型領域予測システム(ARPS)、衛星観測は改良型高性能マイクロ波放射計(AMSR-E)データを用いた。また、雲微物理スキームはLinの手法、陸面スキームはSiB2を用い、LDASにはEnKF、CMDASにはSCE-UAを選択している。

適用結果を、2008年に実施されたJICA技術協力プロジェクト「日中気象災害協力研究センター」で実施された強化観測データを用いて検証したところ、土壌水分、地表面温度、大気鉛直プロファイル、雲分布、日射量に関して、大幅な改善が見られた。土壌水分、地温に関しては、NHM単体、LDAS-Aで見られた大気モデルによる誤った降雨出力の影響を取り除くことができ、安定した高精度の予測値が得られた。ゾンデ観測値で検証した大気プロファイルの予測値は、NHM単体、LDAS-Aで見られた境界層での低温化傾向が大幅に改善され、混合層の発達のはっきり予測された。積算雲水量の予測値の空間分布は静止気象衛星の熱赤外面像で観測された雲の分布と良く一致しており、その結果地上での日射量も観測値と良く整合していた。論文提出者はこのように、新たに開発されたシステムの有効性を明確に示している。

以上、論文提出者は、電磁波伝播の基礎検討をもとに衛星による土壌水分観測精度の向上を通して、その成果をデータ同化システムに組み込むことにより、陸域上の大気中の水分量の算定精度を向上させ、降水予測の精度向上に大きく貢献している。また開発されたカップラーは、汎用性を有しており、今後様々なシステム要素(雲微物理スキーム、陸面スキーム、放射伝達モデル、同化スキーム、観測データ)の改善、交換に柔軟に適応でき、拡張性によるメリットが大いに期待できる。この科学的、工学的成果は、水資源、農業、生態系などの社会的利益分野にも貢献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。