

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 水循環系の物理的ダウンスケーリング手法の開発

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者： 小池 俊雄 (東京大学 大学院工学系研究科 教授)

主たる共同研究者： 上野 健一 (筑波大学 大学院生命環境科学研究科 准教授)

3. 研究内容及び成果：

本研究は、全球規模ならびに地域規模の水循環変動様相を取り込むために、海洋－陸面－大気結合全球モデルから分布型流出モデルまで物理的にダウンスケーリング手法を、地球観測衛星データを数値気象予測モデルに同化する手法を開発することにより実現し、河川流域規模の極端事象の予測精度の向上と予測情報に基づく適切な河川・水資源管理情報を提供することを目的とし、システム開発研究とシステム検証のためのチベット観測研究から構成されている。システム開発研究では、衛星マイクロ波放射計観測データを効果的に用いたデータ同化手法を開発し、このデータ同化手法を効果的に取り込んだ全球規模～地域規模～流域規模を一貫して記述できる物理的ダウンスケーリングシステムの構築に成功した。チベット観測研究では、2004年度に「チベット高原における春期～夏期集中観測実験」を実施し、得られたデータは、システム開発研究において、特に大気－陸面結合データ同化システムの基本概念の整理およびシステムの検証に用いられた。

以下に、主な研究内容と成果の概要を列記する。

1) 大気－陸面結合データ同化スキームの開発とダウンスケーリング

- ・マイクロ波放射伝達モデルの開発(陸面・大気)：東京大学農場の実験圃場に設置した2つの地上設置型マイクロ波放射計(GBMR)を用い、砂層の厚さや含水量、下層境界条件を変化させた観測実験を基に、地表面での **Shadowing** 効果を導入することにより、水平、垂直両偏波で推定精度が高い放射伝達モデルが開発された。
- ・陸面データ同化システムの開発(土壌・植生)：以下の手順で構成されるシステムが開発された。①まず鉛直一次元の陸面スキーム(SiB2、新 SiB)や積雪モデルにおける初期値を設定し、観測データや数値気象予報モデルの出力を入力して、土壌水分や地温、積雪量や積雪温度などの土層、積雪層の状態量の変化を予測する。②この状態量の予測値を土層内および積雪層におけるマイクロ波放射伝達モデルに入力して衛星で観測されるマイクロ波輝度温度を算定する。③このマイクロ波輝度温度の算定値と衛星搭載マイクロ波放射計観測値を比較し、その誤差が許容範囲に入るようにいくつかの最適化手法を適用して妥当な初期値を推定する。ここでは、陸面スキームと放射伝達モデルのパラメータ推定が鍵になるが、長期間(数週間から数ヶ月)の同化ウィンドを設定してパラメータを同定し、それを用いて衛星データ取得ごとに土壌水分などを同化する2段階の陸面データ同化システムを開発した
- ・雲微物理データ同化システムの開発とダウンスケーリング：領域数値気象モデル(ARPS)に組み込まれている雲氷微物理過程モデルをモデル操作子として、大気中の放射伝達モデル(4ストリームファーストモデル)、発見的な誤差最小化手法である **Shuffled Complex Evolution (SCE)** と AMSR-E データを用いた雲微物理同化システムを開発した。これを実際の豪雨例に適用し、同化によって輝度温度の誤差が改善されること、および、同化の結果得られた雲水量と水蒸気量を初期値として ARPS で得られた降雨の予測が高い精度を実現していることが確認された。
- ・大気－陸面結合データ同化手法の開発とダウンスケーリング：陸面データ同化と雲微物理データ同化を、陸面

から大気までの連続したマイクロ波放射伝達モデルを用いて結合することにより、陸域大気上でのマイクロ波放射計によって大気水文情報(水蒸気量、雲水量、降水量など)が得られ、これらを初期値として、陸域での降水系の物理的ダウンスケーリングを行う新たな手法を構築した。これをチベット高原のメソ領域に適用して、大気水文情報の推定への有効性と有用性が検証された。

## 2) 河川流出の予測と河川・水資源管理の最適化

- ・分布型流出モデルへの陸面スキームの導入:開発された物理的ダウンスケーリングによる降水過程および陸面過程を的確に取り込んで河川流出を予測するために、陸面データ同化ならびに大気-陸面結合データ同化に用いられた陸面スキームと結合した流域規模の分布型流出モデル(WEB-DHM)を開発した。このモデルを米国オクラホマ州の Little Washita 流域での集中観測実験データに適用し、流出ハイドログラフだけでなく、航空機搭載マイクロ波センサーで計測された面的な土壌水分分布、地点フラックスのすべてを精度よく再現できることを検証した。
- ・水管理意思決定支援システムの開発:物理的ダウンスケーリングシステムの水管理への応用の1つとして、気象予測と分布型流出モデルを組み合わせた洪水時のダム最適操作システムを構築、提案した。これは、システムの予測精度を考慮に入れてダム操作ルールの目的関数を最適化するもので、最適解の探索には、遺伝アルゴリズムの1種である Shuffled Complex Evolution(SCE) algorithm が用いられている。この最適操作決定手法は、利根川上流域に適用され、実運用を目指した研究開発が進められている

## 3) チベット高原観測とチベット高原の水循環プロセスの解明

2004年2、4、8月にチベット高原において大気-陸面相互作用の集中観測実験を実施した。2月の観測実験では、チベット高原において初めて厳冬期の地表面状態が観察され、観察と衛星を用いた凍土データ同化システム結果を組み合わせ、チベット高原での凍土融解層の発達状況が整理された。4、8月の集中観測実験では、ウィンドプロファイラおよびレーダ音波サウンディングシステム、ラジオゾンデ、陸面フラックスの集中観測が実施された。特にラジオゾンデ観測では、昼間の2時間ごとの集中観測により、山岳域から谷に向かって伝播する擾乱の発生メカニズムの解明を目指した。従来からこの地域で蓄積された高度で集中的な観測研究は、地球水・エネルギー循環の中で重要な役割を占めるチベット高原における大気-陸面結合データ同化システムの構築と検証に重要な役割を果たした。

## 4. 事後評価結果

### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌19件、国際誌21件)、学会発表(招待講演:国内3件、国際13件、口頭発表:国内13件、国際81件、ポスター発表:国内0件、国際34件)。現段階ではCREST水循環研究領域の他の研究プロジェクトに比べて原著論文数は必ずしも多いとはいえないが、研究内容の豊富さから判断して引き続き多くの論文が出されると期待される。また、国際会議における招待講演の多さは、この分野の研究開発を牽引する研究代表者の役割を如実に示すものといえる。以下に、研究全体を通しての評価をまとめる。

- 1) 衛星マイクロ波放射計観測データを効果的に用いたデータ同化手法の開発を中核として全球規模-地域規模-流域規模を一貫して記述できる物理的ダウンスケーリングシステムの構築を実現するという明確なターゲットのもとに、それに必要な要素研究であるマイクロ波放射モデルの開発と改良、陸面同化システムの開発、雲微物理データ同化システムの開発とダウンスケーリング、それぞれを着実に成功させ、それらを総合化して大気-陸面結合データ同化手法と物理的ダウンスケーリングシステムの構築を見事に達成させた。これは、衛星リモートセンシング、気象モデル、ならびに物理水文モデルすべてに精通した研究代表者ならではの優れた構想力と実践力によって達成された世界最先端の成果と極めて高く評価される。

- 2) 開発された陸面スキームと分布型流出モデルの結合により、物理的ダウンスケーリングによる降水過程および陸面過程を取り込んで河川の流出予測を可能にする新たな分布型流出モデルを構築できたこと、さらに、洪水時のダムの最適操作への応用まで研究を進展させたことは、当初計画を超える成果として高く評価される。
- 3) チベット観測は、研究代表者が主導して立ち上げた国際協力プロジェクト「統合全球水循環強化観測期間 (CEOP)」の一環として行われ、本研究のシステム開発と検証のデータ基盤となったが、本 CREST 研究プロジェクトは、この他にも研究代表者が主導する科学技術振興調整費 (重要課題解決型研究等の推進)『地球観測データ統合・情報融合基盤技術の開発』(平成 17～19 年)、第 3 期科学技術基本計画で GEOSS に対応した国家基幹技術 (海洋地球観測探査システム)『データ統合・解析システム』(平成 18～22 年)などの大型研究プロジェクトと連動して計画・実施された。本研究の成果は、これらのプロジェクトを支える不可欠の基幹的研究開発として活用されている。
- 4) 今後、開発された各種のシステムが他の地域に適用され、検証されることによって、より普遍性のあるものへと改良されることを期待する。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究の成果は、広域気象モデルのダウンスケール問題にブレークスルーを与えるとともに、降水短期予報の精度向上にも資するものである。また、河川流域スケールの水文予測の精度向上とそれを利用した効果的・効率的の水管理に革新的な進歩をもたらす可能性を持っている。さらに、本研究は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) で今後打ち上げが予定されている水循環変動観測衛星のデータ利用へとつながり、より精度が高いシステム構築へと発展することが期待される。

国際的な観点からは、研究代表者がリーダーのひとりとなっている地球観測の国際的枠組みである GEOSS に貢献する成果であり、特に観測データの乏しい途上国における水循環予測の向上に資するところが大きい。現に、研究代表者が JAXA と連携して組織化している“アジア水循環イニシアティブ (AWCI)”において、本研究の成果のアジア諸国の河川流域への適用が図られつつある。

#### 4-3. その他の特記事項 (受賞歴など)

受賞

小池俊雄: IPCC ノーベル平和賞受賞への貢献に対する表彰、2008 年 3 月

IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会 (自然科学的根拠) の評価編集者として参画し、IPCC を運営する世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) より、感謝状が授与された

以上