

## 研究課題別事後評価結果

### 1. 研究課題名

大気-陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発

### 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）

小池俊雄 東京大学大学院工学系研究科 教授

青木正敏 東京農工大学農学部 教授  
(平成 12 年 4 月～平成 15 年 11 月)

竹内延夫 千葉大学環境リモートセンシング研究センター 教授  
(平成 12 年 4 月～平成 15 年 11 月)

Ma Yaoming 中国科学院 教授  
(平成 13 年 4 月～平成 15 年 11 月)

Joon Kim 延世大学 教授  
(平成 13 年 4 月～平成 15 年 11 月)

石田朋康 宇都宮大学農学部 教授  
(平成 12 年 4 月～平成 15 年 11 月)

楊 大文 東京大学大学院工学系研究科 助教授  
(平成 13 年 4 月～平成 15 年 11 月)

陽 坤 東京大学大学院工学系研究科 助教授  
(平成 13 年 4 月～平成 15 年 11 月)

石川裕彦 京都大学防災研究所 助教授  
(平成 11 年 4 月～平成 15 年 11 月)

上野健一 滋賀県立大学環境科学部 講師  
(平成 12 年 4 月～平成 15 年 11 月)

福村一成 宇都宮大学農学部 講師  
(平成 12 年 4 月～平成 15 年 11 月)

### 3. 研究内容及び成果

地球規模、地域規模等の水循環変動には、それぞれのスケール内での地表面、特に陸面の多様性が大きく影響しており、そこに介在する大気-陸面相互作用を観測し、定量的に理解し、多様性を踏まえた物理モデルが開発されなければならない。

本研究では、チベット高原とタイのチャオプラヤ川を中心とする領域において大気-陸面相互作用に関する強化観測体制を確立し、それぞれの観測領域において、衛星と地上集中観測により地表面水文状態、フラックス、大気状態を計測する手法を開発し、その実態を把握した。また大気-陸面相互作用を記述するモデル群を開発し、観測データでその妥当性を検証するとともに、メソスケールの山谷地形が境界層の発達に与える影響、地表面の不均一性が領域平均フラックスに与える影響、水・エネルギー収支の季節変化特性等を明らかにした。さらにチベット高原では、地形の影響を受けた局地循環と谷部での境界層

の発達過程のメカニズムを明らかにするとともに、チベット高原の加熱がアジアモンスーンの開始に与える影響を示した。チベット高原とタイにおける強化観測に加えて、世界気候研究計画(WCRP)における統合地球水循環強化観測期間(CEOP)国際プロジェクトの立案・実施を国際的にリードして、地球規模の観測データを国際協力により取得する体制を確立した。その基礎のもとで、地域の特徴的な大気-陸面相互作用に介在する水循環に焦点を当てて観測研究、モデル研究、プロセス研究を進めるとともに、チベット高原とタイで得られた成果を適用して、衛星観測手法およびモデルの普遍化を目指す研究基盤を確立した。

本研究は、2つの地域観測研究グループ(チベット高原、タイ)、衛星観測研究グループ、および陸面スキーム・陸面-大気結合モデル研究グループから構成される。

#### (1) チベット高原観測研究

チベット高原中央部のメソスケール観測領域に、既存の観測ネットワークに加え、フラックス観測が可能な自動気象観測装置(AWS)4機、土壌水分観測装置4機を設置して観測を開始するとともに、その中心に小型境界層タワー観測ネットワーク、ウィンドプロファイラ(2機)、電波音響サウンディング装置(2機)、ライダー、精密放射観測装置および太陽光発電装置を備えた観測基地を建設して、強化観測体制を確立した。得られた観測データを用いて、チベット高原での熱・水フラックスに関するエネルギー収支不整合問題、土壌水分の不均一性が蒸発に及ぼす影響の評価、チベット高原での山谷循環、境界層の発達に関する研究を実施し、そのメカニズムを定量的に明らかにした。

#### (2) タイ(熱帯モンスーン地域)観測研究

タイ北部と東部のそれぞれチーク林、キャッサバ畑にフラックス観測が可能なAWSを設置して観測を開始し、既存の灌漑水田、非灌漑水田の観測拠点の維持管理により、タイの典型的な土地利用における大気-陸面相互作用観測体制を確立した。また、チャオブラヤ川中上流域にウィンドプロファイラ、電波音響サウンディング装置を設置して大気境界層の日周変化、季節変化を捉える集中観測体制を確立した。

#### (3) 衛星観測研究

地球観測衛星Aqua、ADEOS-IIに搭載されたマイクロ波放射計データを用いた積雪、土壌水分、地温、植生水分量、降水量の算定アルゴリズムの開発を目的として、オクラホマ、長岡、若狭湾、千葉、コロラド、アイオワ、福井等において、地上マイクロ波放射計観測を実施し、詳細なマイクロ波放射伝達過程の理解とアルゴリズムの高度化のための基礎データを収集した。またチベット高原、タイでの強化観測を含むCEOPプロジェクトおよび衛星検証実験で収集された地上データを用いてアルゴリズムを検証し、その妥当性を確認した上で、地球規模および地域規模の土壌水分、積雪プロダクトを作成した。

#### (4) 陸面スキーム・陸面-大気結合モデル研究

大気の領域モデルや大循環モデルと結合できる陸面での水・エネルギーフローを表現するスキームを改良し、土壌の凍結・融解プロセス、陸面不均一性に起因する領域平均顕熱・潜熱フラックス、陸面での水平方向の表面流・地中流を表現できるモデル群を開発した。

また、衛星リモートセンシングで用いられる放射伝達モデルと陸面モデルとを組み合わせ、衛星観測データを用いた陸面の1次元データ同化スキームを開発した。ここでは Simulated Annealing 法（焼きなまし法）による誤差低減手法を新たに導入しており、熱帯降雨観測衛星（TRMM）に搭載されているマイクロ波放射計（TMI）を用いてチベット高原に適用した結果、初期条件が改善され、土壌水分、地温の推定精度が著しく向上した。

#### 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

本研究は、大気-陸域相互作用の鍵となるプロセスの解明、地球観測衛星を用いたグローバルモニタリングシステムの確立、モデルのグローバルな適用の可能性の検証などを目指している。主要な研究成果は、衛星観測データの水文学への応用、大気・陸面相互作用、陸面水文過程等、下記3項目にまとめることができる。いずれも現在の気候研究にとっての重要課題に適切に応えるものである。

- (1) 衛星搭載高性能マイクロ波放射計のための積雪・土壌水分・地温・植物水分量・降水量等の算定アルゴリズムを開発した。それぞれ、国際比較実験を経て最終的な標準アルゴリズムが選定されるが、本研究成果はそれらの有力候補となっている。
- (2) 大気モデルと結合できる陸面での水・エネルギーフローを表現するスキームの改良を図り、土壌の凍結・融解プロセス、陸面不均一性に起因する領域平均顕熱・潜熱フラックス、陸域での水平方向の表面流・地中流を表現できる陸面モデルを開発した。
- (3) 陸面モデルと衛星リモートセンシングで用いられる放射伝達モデルとを組み合わせ、衛星観測データを用いた4次元データ同化手法が開発された。ここでは誤差低減手法を導入しており、熱帯降雨観測衛星（TRMM）に搭載されているマイクロ波放射計を用いてチベット高原に適用した結果、初期条件が改善され、土壌水分、地温の推定精度が著しく向上した。

上記各研究成果についてバランスよく16篇の論文が国際誌に発表されている。

地球観測衛星（Aqua、ADEOS-II）打上げの遅れ、さらに SARS 禍という思いがけない事情で2003年春から夏に計画された集中観測の実施を断念せざるを得なくなり、そのため衛星と地上観測機器を組み合わせた集中観測をチベット高原とタイで完全な形で実施できなかった。しかし、研究代表者の周到な計画により研究目標に接近できた。尚、チベット高原及びタイに設けた観測施設は引続き CREST「水の循環系モデリング」で生かされるであろう。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究成果を踏まえて、世界気候研究計画(WCRP)におけるグローバルな統合地球水循環強化観測期間(CEOP)プロジェクトが企画・立案され、本研究代表者を Lead Scientist として、地球水循環変動研究が実施されつつある。

石油の世紀といわれた20世紀と対比して、21世紀は水の世紀といわれるであろう。本研

究成果は 2002 年のヨハネスブルクでの「持続可能な開発のための世界サミット」、2003 年京都での「第 3 回世界水フォーラム」、2003 年ワシントンでの「地球観測サミット」などにおける地球規模水循環の観測および予測精度の向上、データおよび情報の共有に関する国際的な議論を展開することに多大な貢献をしている。