

「地球変動のメカニズム」

平成 10 年度採択研究代表者

小池 俊雄

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

「大気－陸域相互作用のモデル化と衛星観測手法の開発」

1. 研究実施の概要

本研究は、大気－陸域相互作用における科学的不確実性の部分に焦点を当て、包括的な衛星観測システムを国際的な共同研究体制を基盤に、グローバルな検証実験と比較研究によって、(1)大気－陸面相互作用の中で鍵となるプロセス解明、(2)新しい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、(3)モデルのグローバルな適用の可能性の検証、を達成しようというものである。

これまでに(1)の目的に対して、地球エネルギー・水循環観測研究アジアモンスーン観測実験(GAME)で取得されたデータを用いた解析を行うとともに、新たに導入する観測機材の国内試験運用を実施し、チベット高原とタイに自動気象観測装置を設置して観測を開始した。

(2)の目的に対しては、NASA および NASDA が平成 14 年度に打ち上げを予定している改良型マイクロ波走査放射計(AMSR)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を開発し、積雪と土壌水分については国際共同比較実験を行い、本研究のアルゴリズムの性能が最も優れていることを示した。また、オクラホマ、長岡、若狭湾、千葉、コロラドにて、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家庭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。

(3)の目的については、領域モデルや大気大循環モデルと結合できる陸面スキームに土壌の凍結・融解プロセスモデルを導入してその性能を検証するとともに、陸面不均一性を考慮した水・エネルギーフローモデルにより領域平均フラックスに土壌水分の不均一性が及ぼす影響を定量的に評価した。さらに、これら陸面モデルと領域大気モデルを結合して、地形と土壌水分分布が局所循環に与える影響を評価した。また(2)と(3)の成果に基づき、衛星データと陸面スキームを組み合わせた土壌水分と地温のデータ同化システムを開発し、検証した。

本研究で主として利用する予定である衛星の打ち上げが当初予定より大幅に遅れているため、衛星を用いたチベット、タイでの現地集中観測は遅れているが、一方で衛星アルゴリズムおよびモデルの開発研究と、両者を組み合わせたデータ同化研究については、進捗度が予定以上に速く、研究全体は順調に推移している。

本研究は、世界気候研究計画(WCRP)における全地球スケールでの合同強化観測プロジェクト

(CEOP)立案を実質的にリードし、平成13年3月にはCEOP実行計画がWCRPにおいて認められ、本研究代表者(小池)がLead Scientistに選任された。平成13年7月よりCEOPはスタートし、さらに国連機関や地球観測衛星委員会で組織される統合地球観測戦略(IGOS)が平成13年11月に採択した「水循環テーマ」のfirst elementとして認められた。平成14年3月には、東京にてワークショップ「CEOP Kickoff Meeting / CAMP International Science Panel Meeting」を開催し、チベット、タイを含む世界33箇所のリファレンスサイトの代表者が集まり、データ公開に関するポリシーを合意し、また、衛星データ統合、シミュレーション・予測、モンスーンシステム研究に関する実行計画をまとめた。

2. 研究実施内容

GCM グリッドスケールと大陸スケールの陸面での多様性が大気-陸面相互作用に与える影響を定量的に理解し、多様性を考慮した普遍的な鉛直輸送スキームを開発するために、本研究では、多様な大陸上にグリッドスケールの集中観測領域を複数設定し、それぞれの観測領域においてその領域の特徴的な気候条件下で、衛星と地上集中観測により、地表面水文状態、フラックス、大気状態の空間分布を様々な空間スケールで計測して、その実態を把握するとともに衛星観測手法の確立を目指すこととした。次にそれぞれの領域での空間平均化手法を取り込んだ鉛直輸送スキームを開発し、それらを異なる気候条件下で相互に比較することによって、包括的で普遍的なスキームを開発し検証するという手法を採用している。

13年度は、(1)フィールド観測によるプロセス研究、(2)衛星による多様な地表面の様々なスケールの情報収集と解析、(3)大気-陸面結合モデルの開発とそのtransferabilityの向上および検証のそれぞれに関して、下記の研究を行った。

(1) フィールド観測によるプロセス研究

① チベット高原で地表面熱・水収支のインバランス

チベット高原での各熱・水フラックス項目を独立して計測した結果、20-30%にもおよぶ収支の不整合が明らかになった。これを解決するために、土壌の熱拡散モデルと陸面スキームを観測データに適用して検討したところ、主要な誤差は渦相関法による潜熱フラックスの観測誤差にあることが示された。

② 土壌水分の不均一性が蒸発に及ぼす影響の評価

凍土の水・エネルギーフローを表す1次元モデルに地表貯留効果を導入することにより、土壌水分の不均一性の季節変化を表現できるモデルを開発し、観測で得られた気象データを用いて土壌水分の不均一性が蒸発に及ぼす影響調べたところ湿潤な場合には最大で約2倍の差が認められ、その違いは土壌水分の標準偏差で表現できることが示された。

③ 観測システムの構築

本研究では、チベット高原中央部のメソスケール観測領域に新たに開発した自動気象観測装置(AWS)3機と土壌水分観測装置2機を設置して観測を開始するとともに、観測ベースを建設した。またタイ北部と東部のそれぞれチーク林、キャッサバ畑にAWSを設置して観測を開始した。

また、国内では太陽光発電装置、低層用および中層用ウィンドプロファイラ+RASS、ライダーの試験運用を行った。その結果、中層用ウィンドプロファイラは RASS との接合部に問題があることが判明し、引き続き国内にて機器調整を進めることとした。その他の機器は平成 14 年度に現地へ設置することとした。

(2) 衛星による多様な地表面の様々なスケールの情報収集と解析

① 大陸スケールの土壌水分算定アルゴリズム開発と検証

前年度に開発した衛星搭載マイクロ波放射計による土壌水分と積雪観測のアルゴリズムを国際的な枠組み(ADEOS-II/AMSRアルゴリズム国際比較実験)で相互比較した結果、最も性能が優れていることが示された。また車載型マイクロ波放射計を用いた米国オクラホマ州での航空機、衛星同期実験結果を解析したところ、乾燥状態で土壌内部の低温領域からのマイクロ波放射の影響が見られることが判明し、乾燥状態での土壌水分算定に手法の改良が課題として示された。

② 大陸スケールの積雪量算定アルゴリズム開発と検証

積雪層の上部にある植生層の効果を考慮するために、植生層の消散効果と熱放射による射出効果を、植生層の光学的厚さ-植生水分量-LAI-NDVI の関係式を用いて表す手法を導入し、NOAA AVHRR データを組み合わせ、マイクロ波放射計によって算定される積雪量を補正する手法を開発した。

③ 大陸スケールの降水量算定アルゴリズム開発と検証

降水アルゴリズムの高度化に関しては、平成 11 年度に開発した降水と同時に土壌水分を推定することによって地表面の不均一性の影響を考慮したアルゴリズムを、Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) に搭載されたマイクロ波放射計 TMI で観測される 85GHz および 10GHz での輝度温度データに適用し、ISW-PI の関係から降水層の光学的厚さと地表面の土壌水分の推定した。推定された光学的厚さを GAME-Tibet メソ領域の降水量データと比較した結果、降水の鉛直プロファイルが光学的厚さの推定の影響を及ぼすことが示され、推定値を 10 日間平均化することにより、プロファイルの変動が降水量推定精度に及ぼす影響を提言できることが分かった。

④ 衛星データによるアジア域の降水量分布に与える積雪の影響評価

衛星 DMSP 搭載の SSM/I より得られた積雪深データを解析し、チベット高原上では極めて明瞭な積雪深の東西分布を明らかにし、さらにこの分布の年々変動も見とめられ、東西域で最大積雪深には準2年で東西振動が有ること、中央から東部での多降雪が12-1月に出現するのに比べて西部の多降雪は2月に出現しやすいことを示した。500hPa の気温偏差から、12月の東部降雪が寒気団の移流と関係している事が示唆された。さらに衛星とモデル出力を組み合わせた全地球降水データセット CMAP の月降水量を特異年で合成することにより、高原東部で積雪が少ない冬に引き続く夏の降水量分布が、インドと中国中部から長江北部にかけて多雨となり、ベンガル湾から中国南部にかけて小雨傾向となることが明らかとなった。

(3) 大気-陸面結合モデルの開発とその transferability の向上および検証

開発すべきモデルは、空間的には数 10km、時間的には1時間のスケールの、地表面の複雑性

を考慮した土壌－植生－大気熱・水輸送スキーム(SVATS)となる。そこで、汎用な陸面スキーム(SiB2)へ凍土の融解・凍結プロセスを組み込んだ改良モデルを開発し、チベット高原で得られた1次元的な観測データによってその妥当性を検証した。広域への応用には衛星データとの結合が不可欠である。衛星観測データは地上観測データと比較すると、一般に広い空間を同時に観測するが、回帰軌道衛星の場合は時間的には間欠的なデータとなる。静止衛星は時間的にも連続的なデータの取得が可能であるが、空間分解能が劣り、しかも水循環観測に有利なマイクロ波帯での観測が現状ではできない。また、衛星データのほとんどは陸域や海洋の表面データの取得は可能であるが、土壌や海洋内部のデータ取得は困難である。また、衛星データは瞬間的な観測(スナップショット)であるので、原則的に蒸発や河川流量などのフラックスを直接観測することは出来ない。そこで、陸面での水・熱フローを表現する一次元モデルと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次元データ同化の手法開発に着手し、初期条件が改善され、プロファイルの推定精度が向上することが確かめられた。

3. 研究実施体制

(1) 陸面スキーム・陸面－大気結合モデル研究グループ

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

小池俊雄(東京大学大学院工学系研究科, 教授)

② 研究項目

- ・ 陸面スキーム, 大気－陸域結合モデルの開発
- ・ 陸面水文量の4次元データ同化手法の開発

(2) 衛星観測研究グループ

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

小池俊雄(東京大学大学院工学系研究科, 教授)

② 研究項目

- ・ 陸面水文量, 降水量の衛星アルゴリズムの開発と検証
- ・ 陸面水文量, 降水量データセット作成

(3) チベット高原観測研究グループ

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

上野健一(滋賀県立大学環境科学部, 助教授)

② 研究項目

- ・ チベット高原観測の準備, 実施, データセット作成

(4) 熱帯モンスーン地域観測研究グループ

① 研究分担グループ長名(所属、役職)

青木正敏(東京農工大学 農学部, 教授)

② 研究項目

- ・ タイでの観測の準備, 実施, データセット作成

4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

<レビューのある国際誌>

- Ueno, K., H. Fujii, H. Yamada and L. Liu, 2001: Weak and Frequent Monsoon Precipitation over the Tibetan Plateau. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1B, 419-434.
- Shimizu, S., K. Ueno, H. Fujii, H. Yamada, R. Shirooka and L. Liu, 2001: Mesoscale Characteristics and Structures of Stratiform Precipitation on the Tibetan Plateau. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1B, 435-461.
- Uyeda, H., H. Yamada, J. Horikomi, R. Shirooka, S. Shimizu, L. Liu, K. Ueno, H. Fujii and T. Koike, 2001: Characteristics of Convective Clouds Observed by a Doppler Radar at Naqu on Tibetan Plateau during the GAME-Tibet IOP. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1B, 463-474.
- Fujii, H. and T. Koike, 2001: Development of a TRMM/TMI Algorithm for Precipitation in the Tibetan Plateau by Considering Effects of Land Surface Emissivity. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1B, 475-483.
- Koke, T., Fujii, H., Ohta, T., Togashi, E., 2001: Development and validation of TMI algorithms for soil moisture and snow, Remote Sensing and Hydrology 2000, *IAHS Publ.* 267, 390-393
- Li, X. and T. Koike, 2001: A New Frozen Soil Parameterization in Land Surface Scheme, Present and Future of Modeling Global Environmental Change, Eds., T. Matsuno and H. Kida pp.405-414.
- Yang, K., Tamai, N. and T. Koike, 2001: Analytical Solution of Surface layer Similarity Equations, *J. Applied, Meteor.*, Vol.40, No.9, 2001.
- Yang, K. and T. Koike, 2002: ESTIMATING SURFACE SOLAR RADIATION FROM UPPER-AIR HUMIDITY, *Solar Energy* Vol.72, No.2, pp.177-186.

<国内の学術誌>

- 石平博・小池俊雄・広瀬望・Shen Yongping・Wang Shaoling・Ye Bosheng: 永久凍土の融解過程に及ぼす地形効果の観測的研究, *水工学論文集* 43 巻, pp.97-102, 1999.
- 広瀬望・小池俊雄・石平博・田殿武雄・Shen Yongping・Wang Shaoling・Ye Bosheng: 土壌水分算定のための凍土一次元モデルの開発, *水工学論文集* 43 巻, pp.103-108, 1999.
- 小池俊雄・吉本惇一・藤春兼久・柴田彰: グローバルな積雪量分布推定のための衛星アルゴリズムの開発と検証, *水工学論文集* 43 巻, pp.211-215, 1999.
- 田殿武雄・小池俊雄・Jiancheng Shi: 地表面粗度を考慮した SAR による土壌・積雪パラメータ推定のための数値シミュレーション, *水工学論文集* 43 巻, pp.217-222, 1999.
- 広瀬望・小池俊雄・石平博: 土壌水分算定の空間不均一性が領域平均蒸発量算定に及ぼす影響, *水工学論文集* 44 巻, pp.169-174, 2000.
- 小池俊雄・下茂力・太田哲・藤井秀幸・柴田彰: 陸面水文分布のグローバル推定のためのマイクロ波放射計アルゴリズムの開発と検証, *水工学論文集* 44 巻, pp.247-252, 2000.

<国際学会などのプロシーディングス>

- Yang, K., Koike, T., 2001 : Modeling analysis to energy closure problem at a GAME/Tibet Site, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.36-41.
- Pathmathevan, M., Koike, T., Xin, L., 2001 : Incorporation of four dimensional data assimilation of microwave remote sensing observations into a land surface scheme (LSS), Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.229-234.
- Koike, T., Xin, L., 2001: Data assimilation of observations from microwave remote sensing into land surface model, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.246-249.
- Wang, J., Koike, T., Fujii, H., 2001: The retrieving of surface parameters with microwave remote sensing, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.343.
- Koudelova, P., Koike, T., Herath, S., Dutta, D., Li, X., 2001 : Testing and modifications of the SiB2 land surface model for the purpose of its use for hydrological modeling in the Tibetan Plateau, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.470-475.
- Koike, T., Stewart, R., Leese, J., Lawford, G. 2001,: The coordinated enhanced observing period, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.613-618.
- Hirose, N., Koike, T. , Eds.,2001,: The effect of the soil moisture heterogeneity on the spatially averaged evaporation at the permafrost plain area in Tibetan Plateau, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.655-660.
- Fujii, H., Koike, T. ,2001: Development of a TRMM/TMI algorithm for precipitation in the Tibetan Plateau by considering effects of land surface emissivity, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.772-777.
- Ma, Y., Ishikawa, H., Tsukamoto, O., Wang, J., Koike, T., Yasunari, T. ;,2001 Regionalization of surface heat flux densities over inhomogeneous landscape of Tibetan Plateau area combining satellite remote sensing and field observations, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.798-803.
- Taniguchi, K., Koike, T., 2001 : Effects of the temporal variations of air temperature and westerly jet over the Tibetan Plateau in the Somali Jet formation, Proc. The Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, pp.804-809.

(2) 特許出願

なし