

「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。

平成12年度は、(1)の目的に対して、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するとともに、ウィンドプロファイラやライダーなどの観測機材の国内試験運用を実施した。(2)の目的に対しては、NASAおよびNASDAが平成13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国際共同比較実験を行い、その性能を検証した。(3)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、前年度開発した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。

平成13年度は、チベット高原とタイにウィンドプロファイラやライダーを設置して現地試験運用を実施するとともに、チベット高原での冬期乱流フラックス観測のための機器を設置する。また開発・検証された衛星アルゴリズムを用いて既存の衛星データを用いてデータセットを作成する。モデルについては凍土プロセスを組み込んだ陸面スキームと大気メソモデルとの結合結合実験を行い、陸面が大気の及ぼす影響をモデルシミュレーションによって定量的に把握する。

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、さらにCEOPは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)の水循環テーマのprecursor projectとして認められた。平成13年2月にはCEOP実行計画が採択され、本研究代表者(小池)がLeading Scientistおよび科学運営委員会議長に選任された。

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。

12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

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%にもおよび収支の不整合が明らかになった。これを解決するために、土壤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。

土壤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、土壤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壤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、その違いは土壤水分の標準偏差で表現できることが示された。

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機と土壤水分観測装置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13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

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。

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。

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。

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. 主な研究成果の発表 (論文発表)

Tadono, T., Koike, T., Shi, J., Ding Y., Chen, X., Wang, S., Yang, M., 2000 : Development of an algorithm for soil moisture mapping based on single-parameter SAR images in permafrost regions including the effect of surface roughness, *Journal of Hydrosience and Hydraulic Engineering*, Vol.18, No.1, 29-38.

Njoku E., Koike T., Jackson, T., Paloscia, S., 2000 : Retrieval of soil moisture from AMSR data, *Microwave Radiometry and Remote Sensing of Earth's Surface and Atmosphere*, edited by Pampaloni and Paloscia, *VSP 2000*, 525-233.

Chang, A. and Koike, T., 2000 : Progress in AMSR snow algorithm development, *Microwave Radiometry and Remote Sensing of Earth's Surface and Atmosphere*, edited by Pampaloni and Paloscia, *VSP 2000*, 515-523.

Y.Ma, O.Tsukamoto, I.Tamagawa, J.Wang, H.Ishikawa, Z.Hu and H.Gao, 2000 : The study of turbulence structure and transfer characteristics over the grass land surface of Tibetan Plateau, *Chinese J. Atmos. Science*, 24, 456-464

Ueno, K., H. Fujii, H. Yamada and L. Liu, 2001 : Weak and Frequent Monsoon Precipitation over the Tibetan Plateau. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1 B, 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, 1 B, 435-461.

Uyeda, H., H. Yamada, J. Horikomi, R. Shiroyuka, 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, 1 B, 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, 1 B, 475-483.

Xu, J. and S. Haginoya, 2001 : An Estimation of Heat and Water Balances in the Tibetan Plateau. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1 B, 485-504.

Tanaka, K., H. Ishikawa, T. Hayashi, I. Tamagawa and Y. Ma, 2001 : Surface Energy Budget at Amdo on the Tibetan Plateau using GAME/Tibet IOP98 Data. *J. Meteor. Soc. Japan*, 79, 1 B, 505-517.