

「水の循環系モデリングと利用システム」

平成14年度採択研究代表者

岡本 謙一

(大阪府立大学大学院 教授)

「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」

1. 研究実施の概要

本研究は、複数の衛星（TRMM、DMSP F-13、F-14、F-15、Aqua、ADEOS-II等）搭載用のマイクロ波放射計データを用いて、時間・空間分離能のよい（例えば1日毎0.1度×0.1度グリッドの）全球降水マップを作成することを目的としている。このために信頼性のあるマイクロ波放射計アルゴリズムの開発を目指す。また、高時間分解能の降水マップを作成するために、マイクロ波放射計データの補間用に、静止衛星搭載の可視・赤外の雲画像データを利用する研究をも実施する。さらに、TRMM降雨レーダデータを利用して、TRMM降雨レーダアルゴリズムと矛盾しない降水物理モデルに基づくマイクロ波放射計アルゴリズム開発を行うと共に、TRMM降雨レーダデータから作成する降水マップをマイクロ波放射計データを用いて作成する降水マップの比較検証用に利用する。研究は、(1) 全球降水マップ作成、(2) アルゴリズム改良・開発、(3) 降水物理モデル改良・開発、及び(4) 地上レーダ定常観測の4つのサブグループに分かれつつも、グループ間の連携を密にしながら進めている。これまでに、既存のマイクロ波放射計アルゴリズムをレビューし、各アルゴリズムの問題点を把握すると共に、青梨アルゴリズムを軸としその改良を行い、TRMM/TMIに応用して全球マップを作成してきたが、今後は改良を進めると共に、より多くのAqua/AMSR-E, DMSP/SSM/I等の衛星搭載マイクロ波放射計データに応用し、全球降水マップを作成して行く。

2. 研究実施内容

(1) 地上レーダ定常観測

地上レーダ観測グループにおいては、平成16年度の梅雨期（5月22日～6月9日）に、情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターにおいて降雨観測装置を結集して降雨の集中観測を実施した。同センター名護降雨観測施設既設の5GHzの大電力偏波降雨レーダ（COBRA）、大宜味大気観測施設既設の400MHz帯ウインドプロファイラレーダと共に、防災科学技術研究所のミリ波マルチパラメータレーダ（35GHz）を筑波より沖縄に移設して、これらのレーダを中心にして約3週間の降雨の集中観測を実施した。同観測では、これらのレーダに加えて、大宜味大気観測施設の400MHzのウインドプロファイラレーダ、

24GHzのマイクロレインレーダ、ドップラソダ、地上の雨滴粒径分布測定装置、雨量計による観測をも実施した。また、観測期間中にラジオゾンデを6時間毎ならびに、マイクロ波放射計を搭載したTRMM衛星等の通過に約100球放球し、大気の気温、湿度プロファイル等のデータを取得した。これらのデータを総合して降雨の鉛直プロファイルに関する情報を取得し、データベースの構築を開始した。同データベースは、降水の鉛直構造（雪・氷、融解層、降雨域の構造）に関する情報を提供し、マイクロ波放射計アルゴリズム開発に不可欠な降水の物理モデルを作成するために有用なものとなる。

(2) アルゴリズム改良・開発、および降水物理モデル改良・開発

(a)前年度に引き続き、AMS-EとTMI用の海上の降雨のリトリーバルアルゴリズムの改良を行った。本アルゴリズムでは、一様な降水に対するRTM計算にLiuのRTMプログラムを用い、これに近似計算を適用して、非一様な降水に対する輝度温度を計算した。RTM計算に必要な降水物理量パラメータとして、freezing levelはGANALの気温データを用いて推定した。降水プロファイルは、緯経度 5° ごとのボックスで卓越する降水タイプ（陸上:1-5, 海上:6-8）毎の平均的なプロファイルを用い、青梨アルゴリズムに組み込んだ(Version 4)。陸上のアルゴリズムでは、陸上の降水域判定を行った後、高周波の偏光補正済み温度(PCT)と最も合うRTMに基づく輝度温度計算値を与えるような最適降水強度分布を求めた。TMIについては、陸面輝度温度データベースを利用した統計的な陸上降水域判定法を用いた(Version 3)。また、AMSR-Eについては、簡便な判定法を開発した。

(b)前年度に開発した陸面輝度温度データベースを利用した統計的な降雨判定手法を青梨アルゴリズムに組み込んだ(Version 3)。また、AMSR-E用青梨アルゴリズムをTRMMが観測できない緯度 35° よりも高緯度側に応用するために、陸面輝度温度データベースの拡張方法を検討した。陸面輝度温度データベースは無降水時の $T_B(85V)$ と $T_B(22V)$ の関係を表現したものであるが、これは植生と関係が深いことに着目して、土地被覆分類別にデータベースを纏めることを試みたが、十分利用可能と期待される。

(c)PRデータを用いて降雨タイプを分類する手法の第1バージョンを仕上げた。これによって分類された降雨タイプ別に、平均的な鉛直降雨分布を求め、これを青梨アルゴリズムに組み込める形にして、青梨アルゴリズムの改良を行った(Version 4)。その結果、降雨タイプ別降雨プロファイル情報を導入した改訂青梨アルゴリズムを用いた降雨強度推定データが実際に一部の期間について作成された。また、求められた降雨強度データのデータ検証手法についての検討を開始した。

(d)妥当な融解層（フライトバンド）モデルを青梨アルゴリズムに組み込むことを目指して研究を継続した。このために、粒子の併合・分裂過程を間接的に含んでいると解釈される西辻モデルを、プログラム化して整備し、青梨アルゴリズムに組み込みテストを実施した。それによると、雪領域においては体積含水率を強制的に0とするのが良いとの予備結果を得ている。また西辻モデルは、上空の雪領域のレーダ反射因子の高度分布をよく記述できそうであるとの感触を得た。

(e)前年度に引き続き、PR2A25アルゴリズムによって推定された降雨鉛直プロファイルから輝度温度をLiuのRTMモデルを用いてシミュレートし、TMIの観測輝度温度と比較することによってPR2A25で仮定されているDSDモデルの物理的整合性を吟味した。また、PR2A25とTMI2A12の差が顕著なエルニーニョ期東太平洋域を対象とした統計解析も開始した。また、三次元の放射伝達方程式に基づく同様な研究も継続した。

(3) 全球降水マップ作成

全球降水マップ作成グループとしては、改良された青梨アルゴリズム(Version 3, 4)を、TMI, AMSR-Eのマイクロ波放射計データに適用した。TMIについては、Version 3を用いて1998年と2003年の2年間のデータの長期処理を実施した。また、Version 4を用いて1998年後半の処理を行った。AMSR-Eについては、Version 4を用いて、2003年1月のデータ処理を実施した。その改良効果の評価においては、月平均降雨強度マップ、15選定領域ごとの時系列図、15選定領域ごと一ヶ月ごとの散布図(PR vs. GSMaP, PR vs. GPROF)、15選定領域ごと一ヶ月ごとの降雨強度に対するヒストグラムを作成するが、その評価法を研究すると共に、一部評価法を開始した。月平均降雨強度マップにおいては、Version 3.2において、陸上の降雨判定法が導入され、山岳地帯の積雪域や砂漠域を誤って降雨と認識してしまうことが大幅に減少すると共に、Version 4.3においては、降雨タイプ別、地域別、季節別の降雨プロファイルデータが導入されたこと、非一様性の補正が行われたことにより、主に熱帯海洋上で降雨強度が増大し、その結果PRに近づいたと言える。また、高時間分解能の降水マップを作成するために、マイクロ波放射計データの補間用に、静止衛星搭載の可視・赤外の雲画像データを利用する研究をも開始し、2000年8月について10日間のTMIデータに可視・赤外の雲移動ベクトルの補間を施した高分解能降水マップを作成した。また、作成されたマップの精度を評価するためにも、マップの精度の検証法の開発が不可欠あり、日本近くでは、レーダ・アメダス合成図の利用を図る等、比較検証法の開発並びに、サンプリング誤差の推定法を実施した。

3. 研究実施体制

全球降水マップ作成グループ

① 研究分担グループ長：牛尾 知雄

(大阪府立大学大学院 工学研究科 航空宇宙工学分野 講師)

② 研究項目：全球降水マップの作成

複数の人工衛星搭載マイクロ波放射計データを解析処理し、全球の高精度、高分解能降水マップを作成する。そのため、マイクロ波放射計の輝度温度データを収集し、新たに開発されるアルゴリズムを応用して降水強度を算出し、全球降水マップを作成するとともに、その検証・評価を行う。また、複数の衛星データの合成手法についても研究する。

降水強度推定アルゴリズム開発グループ

① 研究分担グループ長：井口 俊夫

(独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測部門 降水レーダグループ グループリーダー)

② 研究項目：降水強度推定アルゴリズム開発

信頼性のある降水強度推定のため、衛星搭載降雨レーダアルゴリズムと物理的な整合性を有するマイクロ波放射計アルゴリズムの開発・改良を行う。このため、全球降水マップ作成グループと協力し、現在のマイクロ波放射計アルゴリズムの処理結果を解析し、TRMM降雨レーダアルゴリズムの処理結果等と比較し、問題点を抽出し、アルゴリズムの改良点を明確にする。それらを基に、アルゴリズムを改良し、全球降水マップ作成に用いる。

降水物理モデル開発グループ

① 研究分担グループ長：高橋 暢宏

(独立行政法人 情報通信研究機構 電磁波計測部門 降水レーダグループ 主任研究員)

② 研究項目：降水物理モデル開発

信頼性のあるマイクロ波放射計降水強度推定アルゴリズム開発に必要な降水物理モデルを開発する。そのために、これまでに提案されてきた降水物理モデルの調査を実施し、地上レーダを初めとする観測データやTRMM PR、TMIデータ等を用いて、降水物理モデルの改良を行う。

地上レーダ観測グループ

① 研究分担グループ長：岩波越

(独立行政法人 防災科学技術研究所 防災基盤科学技術研究部門 主任研究員)

② 研究項目：地上レーダ観測

情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターに既設の5GHz偏波ドップラ降雨レーダを用いて亜熱帯地域の降水観測を実施する。沖縄亜熱帯計測技術センターに於ける地上レーダ降雨観測実験においては、400MHzウインドプロファイラ、ディストロメータ、雨量計などを用いた観測を合わせて行う。また、防災科学技術研究所のミリ波2周波マルチパラメータレーダ(35GHz, 95GHz)などを用いて降雨集中観測を実施する。また、これまでに観測した沖縄梅雨期集中降雨観測実験(2004/5-6月)等のデータの解析を行い、降水物理モデル作成のための基礎となるデータベースを作成する。

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- Aonashi, K., N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, F. Liu, and K. Yoshida, Variational Assimilation of TMI Rain Type and Precipitation Retrievals into Global Numerical Weather Prediction, *Journal of Meteorological Society of Japan*, **82**, 671-693, 2004.
- Shige, S., Y. N. Takayabu, W.-K. Tao, and D. E. Johnson, Spectral Retrieval of Latent Heating Profiles from TRMM PR Data. Part I: Development of a Model-Based Algorithm, *J. Applied Meteor.*, **43**, 1095-1113, 2004.
- Mardiana, R., T. Iguchi, N. Takahashi, and H. Hanado, Study of Quantization Effects on Rainfall Rate Estimation from GPM Dual-Frequency Radar, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing Letters*, **1**(3), 220-223, 2004.
- Mardiana, R., T. Iguchi, and N. Takahashi, Dual-frequency Rain Profiling Method Without the Use of Surface Reference Technique, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing Letters*, **42**(10), 2214-2225, 2004.
- Kuo, K.-S., E. A. Smith, Z. Haddad, E. Im, T. Iguchi and A. Mugnai, Mathematical-Physical Framework for Retrieval of Rain DSD Properties from Dual-Frequency Ku- Ka-Band Satellite Radar, *Journal of the Atmospheric Sciences*, **61**, 2349-2369, 2004.
- Takahashi, N., and T. Iguchi, Estimation and Correction of Beam Mismatch of the Precipitation Radar after an Orbit Boost of the Tropical Rainfall Measuring Mission Satellite, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, **42**(11), 2362-2369, 2004.
- Meneghini, R., J. A. Jones, T. Iguchi, K. Okamoto, and J. Kwaitkowski, A Hybrid Surface Reference Technique and Its Application to the TRMM Precipitation Radar, *Journal of the Atmospheric and Oceanic Technology*, **21**, 1645-1658, 2004.
- Thurai, M., and H. Hanado, Melting Layer Model Evaluation Using Fall Velocity Spectra at Ku-band, *IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation*, **151**(5), 2004.
- Kim, H.-K., D.-I. Lee, K. Iwanami, M. Maki, K.-E. Kim, and S.-N. Oh, Retrieval of Ice Crystal Size and Ice Water Content in Cirrus Using Dual Wavelength Cloud Radar, *J. Korean Meteor. Soc.*, **40**, 697-711, 2004.
- 播磨屋敏生, 桑田路子, 千葉ゆきこ, 真木雅之, 岩波越, 三隅良平, 朴相郡, 須藤美穂子, 2波長雲レーダによる巻雲の観測. 北海道大学地球物理学研究報告, **68**, 1-10, 2004.

- 中川勝広, 北村康司, 花土弘, 高橋暢宏, 井口俊夫, 沖縄偏波降雨レーダ (COBRA) を用いた降雨の鉛直構造特性に関する研究, 土木学会水工学論文集, **49**, 277-282, 2005.
- 瀬戸心太, リトリーバル誤差と降雨判定誤差－TRMM/TMIとPRの月降水量推定値の比較－, 水工学論文集, **49**, 271-276, 2005.
- Thurai, M., E. Deguchi, K. Okamoto, and E. Salonen, Rain Height Variability in the Tropics, IEE Proceedings - Microwaves Antennas and Propagation, **152**(1), 17-23, 2005.
- 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄, 沖理子, TRMM衛星による降雨推定のためのサンプリングシミュレーション, 天気, **52**(3), 155-162, 2005.