

「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 日ごと、緯経度 0.1 度×0.1 度グリッドごとの) 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。研究は、(1) 全球降水マップ作成、(2) アルゴリズム開発、(3) 降水物理モデル開発、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、各サブ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、気象研究所の青梨さんが開発したアルゴリズムを基礎として、研究成果を順次反映して、アルゴリズムの改良を行い、TRMM/TMI、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て全球マップを作成してきたが、今後は改良を更に進めると共に、より長期間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。また、1 時間程度の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として、静止衛星搭載の赤外の雲画像データを利用するアルゴリズムの研究をも継続して推進する。さらに、作成する降水マップの比較検証用に TRMM 降雨レーダデータ等から作成する降水マップ、ならびに地上の雨量計、レーダ網等による観測データを利用する。作成されたアルゴリズムならびに高時間・高空間分解能の全球降水マップは、洪水の準リアルタイム予測等への応用のために様々なユーザに提供して行く。

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、同センターの 5GHz の大電力偏波降雨レーダ (COBRA)、400MHz 帯ウインドプロファイラレーダ (WPR)、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) を集中して、各種地上降雨観測測器と共に、約 3 週間の降雨の集中観測を実施した。平成 17 年度に於いては、これらの観測データを解析し、4 次元データセットの作成を実施した。同データセットは、降水の鉛直構造などに関する情報を有し、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。4 次元データセットの

作成については、観測データ量が膨大な COBRA 以外のデータセットの作成はほぼ完了した。COBRA 観測データについては、降水物理モデルグループ等と調整し、TRMM 衛星などが飛来した時間を含む前後数時間の期間を優先して4次元データセットの作成を行なうこととなった。また、COBRA データの事例解析により、偏波データを用いた雨滴粒径分布情報抽出、降雨の鉛直構造の解析、レーダ反射因子と偏波間相関係数を用いた降水タイプ分類(層状性降水、孤立型対流性降水、層状埋め込み型対流性降水)の研究を開始した。400MHz WPR については、層状性降雨の場合の融解層より上空での粒径分布の推定法の開発、受信機の較正、受信機飽和の補正方法の提案を行なった。また、2次元VDによる雨滴粒径分布観測データの処理法を改良し、光学式雨量計による観測降雨強度と良い一致を示した。

(2) 降水物理モデル開発

降水強度推定アルゴリズム開発グループと共同で決定した、アルゴリズムに導入すべき降水物理モデルの項目である「降水プロファイルモデル」、「融解層モデル」および、「雨滴粒径分布モデル」に関してサブグループを構成して研究を実施した。これらの研究から得られた結果は、リトリバルアルゴリズムの中で輝度温度と降水強度の関係を与えるルックアップテーブルを作成するために用いられる。降水プロファイルモデルについては、昨年度、世界中の降水の8つの降水タイプ(陸上5つ、海上3つ)の分類に基づいて提案した降水タイプかつ降水強度別に特徴的な降水プロファイルデータセットの改良を7年半分の TRMM PR Version 6 データを用いて行った。また、降水タイプ別降水プロファイルデータセットを各地の降水鉛直分布群と比較することで、その地域代表性について調べ、データセットの有効性の検証を試みた。

融解層モデルの導入に関しては、TRMM 降雨レーダ (PR)のアルゴリズムに導入している融解層モデルをリトリバルアルゴリズムに導入する前段階として、融解層の放射輝度温度へ与える影響について TRMM 降雨レーダ (PR)と TMI のデータを用いて検証を行ったほか、導入する融解層モデルの妥当性も検証した。これらの結果をもとに、融解層モデルをリトリバルアルゴリズムへ導入し、2ヶ月程度の試験によりその有効性を確認した。現在、融解層モデルを導入したリトリバルアルゴリズムの試験的な長期処理を実施中である。

雨滴粒径分布モデルについては、TRMM PR アルゴリズムで導入されている、 k (降雨減衰率)と Z (レーダ反射因子)の関係式 $k = \alpha Z^\beta$ の α を補正するパラメータ ϵ が指数分布あるいは γ 分布で近似した雨滴粒径分布関数に関わる情報を提供することに注目して全球的な雨滴粒径モデルをアルゴリズムに導入する研究を行なっているところである。

(3) アルゴリズム開発

降水リトリバルアルゴリズム開発において、青梨アルゴリズムを基礎として改良を行っている。海上の降雨のリトリバル(放射アルゴリズムと散乱アルゴリズムの併用)に

関しては基本的な構成を維持しつつ降水物理モデル等の改良にあわせて更新を行っている。陸上降水・海上降雪のリトリバル（散乱アルゴリズム）に関しては、地上観測データおよび TRMM 降雨レーダ（PR）のデータを用いて散乱アルゴリズムの問題点を明確にし、これまでの TMI の 85GHz（AMSR-E では 89GHz）のみを用いていたアルゴリズムを 37GHz も併用するアルゴリズムへ改良し、現在 Version 4.6 アルゴリズムとして定常的な処理に用いている。その結果、従来のアルゴリズムでは背の高い降水の強度を極端に過大評価する点が多数みられたのに対して、2 周波アルゴリズムではこのような過大評価は軽減されている。但し、背の低い降水に対する過小評価は改善されておらず、さらなる検討が必要である。

陸上降雨判定アルゴリズムに関しては、平成 16 年度に TRMM 降雨レーダ（PR）と TMI のマッチアップデータに基づく降雨判定用のデータベースを用いるアルゴリズムを開発した。平成 17 年度は、マッチアップ法に改良を加えて、データベースを再構築した。その結果、陸上降雨判定に関して GPROF 以上の精度を実現した。このアルゴリズムを TRMM 降雨レーダ（PR）のデータのない高緯度地域まで適用可能とするため、無降雨時の輝度温度の確率分布パラメータ（正規分布と仮定）を、降雨の有無を問わない全輝度温度の確率分布パラメータから推定する方法を提案している。但し、現実的には何らかの降雨なしのマスクの導入も不可避であり、（現在用いているアルゴリズム Version 4.6 においては、地表面温度が負の領域では、降雨なしのマスクが導入されている）、今後最適な陸上降雨判定アルゴリズムの導入とマスクの導入の調整についての更なる議論が必要となろう。

（4） 全球降水マップ作成

全球降水マップ作成グループでは、降水強度リトリバルアルゴリズム、Version 4.4, 4.5, および最新の Version 4.6 を、各種衛星搭載マイクロ波放射計の輝度温度に適用し、長期間にわたる降水量の全球マップの作成を行なってきた。具体的には、導入可能となった降水物理モデル等を一つ一つ導入した新しいアルゴリズムを用いて種々の衛星データから降水強度を算出し、それらを合成して全球の降水マップを作成・評価することによって、新しいアルゴリズムの効果の評価を行い、更なるアルゴリズムの改良・開発へとフィードバックする手順を踏んできた。最新の Version 4.6 の処理結果を表 1 に纏めて示す。TRMM/TMI について 7 年間（98～04）、Aqua/AMSR-E について 2 年間（03, 04）、ADEOS-II/AMSR について 7 ヶ月（03/4～10）、DMSP/SSM/I について 2 年間（03, 04）の全球降水マップを得ている。プロダクト名は、例えば TMI のみを使用したプロダクトについては、GSMaP_TMI と名付けている。これらのマップの空間分解能は、0.25 度であるが、各衛星の瞬時視野ごとの降水強度のリトリバルを行なっているため、時間分解能については、30 分、1 日、1 ヶ月など各種のマップが作成できる。上記のマイクロ波放射計による降水量を合成したプロダクトを GSMaP_MWR、と呼び、空間分解能は、0.25 度、時間分解能は 6 時間である。後述するが、GSMaP_MWR に静止衛星 IR 画像より求めた雲移動ベクトルを応用して得られる時間分解能 1 時間、空間分解能 0.1 度の高時間・空間分解能のマップは、GSMaP_MV と呼ばれており、データ量が膨大のために、

2003 年 9 月と 12 月についてのみ作成されている。

表1 Version 4.6 を用いた処理済みプロダクト

プロダクト	データソース、マイクロ波放射計(衛星)	処理済み期間
GSMaP_TMI	TMI(TRMM)	1998 年 1 月～2004 年 12 月
GSMaP_AMSR-E	AMSR-E(Aqua)	2003 年 1 月～2004 年 12 月
GSMaP_AMSR	AMSR(ADEOS-II)	2003 年 4 月～9 月
GSMaP_SSM/I	SSM/I(DMSP F13, F14, F15)	2003 年 1 月～2004 年 12 月
GSMaP_MWR	GSMaP_TMI, _AMSR-E, _AMSR, _SSM/I	2003 年 1 月～2004 年 12 月
GSMaP_MV	GSMaP_MWR, IR(雲移動ベクトル)	2003 年 9 月、12 月

衛星からの降雨観測精度が現在のところ最も高いと考えられる TRMM/PR を真値と見做して、1998 年から 2004 年の 7 年間について、GSMaP_TMI V4.6 と TMI の標準プロダクトである Goddard profiling algorithm (GPROF) V6 の比較を行なった。TMI プロダクトは PR の観測幅内の値のみを用いる。ここでは、緯経度 0.5 度格子点値で比較を行った。PR の降水量に対する相対誤差、すなわち、 $100 \times |TMI - PR| / PR$ (%) は、海上の場合、熱帯域(15S-15N)の相対誤差の 7 年平均値は、GSMaP が 6.6%、GPROF が 7.2%で、GSMaP は GPROF より PR に近い。しかし、TMI の全観測範囲(37S-37N)では、冬半球中緯度海上の GSMaP の降水強度過大評価を反映し、GSMaP が 7.6%、GPROF が 6.0%となり、GPROF は GSMaP より PR に近い。これについては、原因と対策も分かっており、次期の GSMaP アルゴリズム改定に反映される予定である。一方、陸上については、熱帯域(15S-15N)の相対誤差の 7 年平均値は、GSMaP が 9.4%、GPROF が 45.1 %、TMI の全観測範囲(37S-37N)では、GSMaP が 9.9 %、GPROF が 32.6 %で GSMaP は GPROF より圧倒的に PR に近い値を示している。

平成 16 年度に IR データから推定した雲移動ベクトルを GSMaP_MWR に応用して高時間空間分解能のマップを作成し、その有効性を示したが、平成 17 年度は、カルマンフィルタを導入して GSMaP_MWR に応用することにより、雨域の移動について、より精度の高い推定が可能となった。またスプリットウインドウ法を導入して、雲の中の実際の雨域のみを抽出し、その移動について推定する方法についても研究を実施している。

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：

H17.12.31 まで 牛尾 知雄（大阪大学、助教授）

H18.01.01 から 岡本 謙一（大阪府立大学、教授）

②研究項目：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。さらに、静止衛星の赤外データをもとに推定した雲移動ベクトルを用いて高時間・高空間分解能の全球降水マップを作成する。

「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（情報通信研究機構、研究主管）
- ②研究項目：信頼性のある降水強度推定のため、マイクロ波放射計リトリバルアルゴリズムを開発する。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（情報通信研究機構、主任研究員）
- ②研究項目：信頼性のあるマイクロ波放射計降水リトリバルアルゴリズム開発に必要な降水物理モデル（降水構造、雨滴粒径分布など）を開発する。そのために、地上降雨レーダの観測データや TRMM 降雨レーダ(PR) データ等を用いて、降雨レーダのアルゴリズムと同様の物理過程を考慮した降水物理モデルを構築する。

「地上レーダ観測」グループ

- ①研究分担グループ長：岩波 越（防災科学技術研究所、主任研究員）
- ②研究項目：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 偏波ドップラー降雨レーダ(COBRA)、400MHz ウィンドプロファイラ、24GHz マイクロレインレーダや、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と95GHz:MP-Ka/W)、マイクロ波放射計などのリモートセンサと、ディスドロメータ(雨滴粒径分布測定装置)、雨量計などの地上観測測器を用いて亜熱帯地域、中緯度地域の降水観測を実施する。特に、2004年5～6月には、これらの測器を結集して「2004年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)」を行った。観測したデータの解析を行い、降水データベースを構築し、降水物理モデルの開発に利用する。

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

（1）論文（原著論文）発表

- 高橋暢宏, 重尚一, 佐藤晋介, 清水収司, 瀬戸心太, 衛星搭載マイクロ波放射計降水

- リトリバーバルアルゴリズムに関するレビュー PART II: 決定論的降水リトリバーバルアルゴリズム, 日本リモートセンシング学会誌 25(2), 221-230, 2005.
- 高橋暢宏, 重尚一, 佐藤晋介, 清水収司, 瀬戸心太, 衛星搭載マイクロ波放射計降水リトリバーバルアルゴリズムに関するレビュー PART III: 確率論的降水リトリバーバルアルゴリズム, 日本リモートセンシング学会誌 25(3), 289-303, 2005.
 - 牛尾知雄, 岡本謙一, 井上豊志郎, 重尚一, 橋爪寛, 飯田泰久, 全球雨量マップ作成のための雲赤外データ利用の検討について, 日本リモートセンシング学会誌 25(4), 367-371, 2005.
 - 高橋暢宏, 重尚一, 佐藤晋介, 清水収司, 瀬戸心太, 衛星搭載マイクロ波放射計降水リトリバーバルアルゴリズムに関するレビュー PART IV: アルゴリズムの横断的比較, 日本リモートセンシング学会誌 25(4), 384-398, 2005.
 - Kozu, T., T. Shimomai, Zainul Akramin, Marzuki, Y. Shibagaki, H. Hashiguchi, 2005: Intraseasonal variation of raindrop size distribution at Koto Tabang, West Sumatra, Indonesia, *Geophys. Res. Letters*, 32(7), L07803, doi:10.1029/2004GL022340.
 - Seto, S., N. Takahashi, and T. Iguchi, Rain/no-rain classification methods for microwave radiometer observations over land using statistical information for brightness temperatures under no-rain conditions, *J. Appl. Meteor.*, 44(8), 1243-1259, 2005.
 - Eito, H., K. Aonashi, G. Liu, C. Muroi, S. Hayashi, T. Kato, and M. Yoshizaki, Preliminary Comparison of AMSR-E Observation and Numerical Simulation with Cloud Resolving Model for Solid Precipitation in Winter During the Wakasa 2003, CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, Report No.35, 5-3 - 5-4, 2005.
 - M. Thurai(Colorado State Univ.), H. Hanado(JAXA), Absolute calibration of C-band weather radars using differential propagation phase in rain, *ELECTRONICS LETTERS* Vol.41, No.25, 8 December 2005.
 - Iida, Y., K. Okamoto, T. Ushio, and R. Oki (2006), Simulation of sampling error of average rainfall rates in space and time by five satellites using radar-AMeDAS composites, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01816, doi:10.1029/2005GL024910.
 - 門田和士, 妻鹿友昭, 牛尾知雄, 岡本謙一, 気象用小型高距離分解能レーダの開発と初期観測結果, 電子情報通信学会論文誌, pp.278-285, 2006.
 - 北村康司, 中川勝広, 関澤信也(NICT), 花土弘(JAXA), 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), 400MHz 帯ウィンドプロファイラを用いた融解層より上空における粒径分布の推定手法の開発, 水工学論文集(土木学会), 第 50 巻, pp. 439-444, 2006.
 - 瀬戸心太(NICT), TRMM/PR 降雨強度推定アルゴリズムの再検討 表面参照法に起因するバイアス, 水工学論文集 第 50 巻, pp. 373-378, 2006.

(2) 特許出願

H17 年度出願件数：0 件（CREST 研究期間累積件数：1 件）