

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題
「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」

研究終了報告書

研究期間 平成14年11月～平成20年3月

研究代表者：岡本 謙一
(大阪府立大学大学院工学研究科 教授)

1 研究実施の概要

1.1 研究の背景と目的

地球的規模の降水分布とその変動は、人間活動や社会システムに重要な影響を及ぼす。信頼性のある観測データに基づく地球的規模の高精度高分解能な降水マップの作成は、気候変動に伴う降水量変動のモニタリング、水循環モデルの構築、私達の生活に密接にかかわっている水資源管理および農業生産性予測等の社会基盤にとって必要不可欠なものである。

しかし、全球の降水量を均質な精度で観測するのは、容易ではなく、衛星からのリモートセンシングがほぼ唯一の手段である。そのため、衛星データを用いた降水分布図は、静止気象衛星搭載の赤外放射計データ等を主に使用して、*GPCP(WCRP/GEWEX), *CMAP(NOAA/CPC)の降水分布図に代表されるように 1970 年代後半あたりから作成されてきた。しかし、赤外放射計は、雲の下層部の降雨の有無に関わらず、雲の上層部からの放射輝度温度情報のみから降雨強度を推定しており、降雨そのものを直接観測することが困難であるという、原理的な問題を有している。これに対して近年、赤外放射計に比べて降雨からの放射をより直接的に観測できる衛星搭載のマイクロ波放射計の利用が全世界で活発に行われるようになってきた。

現在、降水観測に適した 5 台(TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, DMSP F13, F14, F15/SSM/I)以上の衛星搭載マイクロ波放射計が軌道上にあり、その数は今後増加し、衛星からの降水観測にとってマイクロ波放射計は、中心的センサとなって行くものと考えられる。このため、本研究では、将来多数の衛星からの観測が期待されるマイクロ波放射計観測データを用いて、信頼できる降水物理モデルに基づいた降水強度推定アルゴリズムを開発し、TRMM 降雨レーダ(PR)データ、静止衛星の赤外放射計データをも総合的に利用して衛星データのみを用いた全球の高精度高分解能降水マップを作成することを目的とした。

*本報告書で用いる英文略語表をまとめて巻末の P.112 に示す。

1.2 研究方法

全球降水マップ作成という最終目的を達成するための中心的な課題は、衛星搭載用のマイクロ波放射計データを解析処理する信頼できるアルゴリズムの開発である。アルゴリズムは、現実の衛星搭載降雨レーダ(現在は TRMM 以外にはない)や地上レーダ等による降水観測データから抽出された降水情報から作られた降水物理モデルに基づくことにより精度の向上を図る。このため、TRMM 降雨レーダ(PR)データや、地上の高機能・高精度レーダ群による観測データの蓄積が必要になってくる。本研究チームは、このために、地上レーダ観測グループ、降水物理モデル開発グループ、降水強度推定アルゴリズム開発グループ、及び全球降水マップ作成グループの 4 グループを組織し、相互に連絡を密にし研究を進めることにした。図 1-1 に研究全体の構成を示す。

研究の流れとして、まず地上レーダ観測グループでは、高機能・高精度な地上降雨レーダ群で、定常観測と集中観測によって降雨の三次元構造を詳細に観測し、降雨情報(特に、降水粒子の鉛直プロファイル)についてのデータベースを作成し、降水物理モデル開発グループの利用に供した。また、地上観測によって作成された降水マップは、衛星搭載マイクロ波放射計データから作成されるローカルな降水マップの検証用としても利用した。

降水物理モデル開発グループでは、TRMM 降雨レーダ(PR)データベースや地上レーダ観測データベース等を用いて、降水を特徴づける物理量である、降水タイプ分類、降水の鉛直プロファイル、雨滴粒径分布、融解層の構造、対流性降雨と層状性降雨の分類などについて、放射伝達方程式に利用可能な降水物理モデルを作成した。

降水強度推定アルゴリズム開発グループでは、降水物理モデルに基づいてマイクロ波放射計アルゴリズムの開発を行った。研究開始当時は、NASA/GSFC が開発した雲解像モデルの出力に基づく降雨物理モデルを用いる GPROF アルゴリズムが、衛星搭載用マイクロ波放射計アルゴリズムの de facto standard として世界的に広く用いられていた。しかし、当チームはこの様なアプロー

チを取るのではなく、観測データ等に基づく現実的な降水物理モデルを用いる気象研究所の青梨和正氏が基本的な枠組みの開発を行った青梨アルゴリズムを原型とすることにした。そして、青梨アルゴリズムに、当チームが開発した降水物理モデルを組み込み、同アルゴリズムの本体の改良と共に、順次改良する方式を取ることにした。青梨アルゴリズムは、マイクロ波放射計によって観測された各周波数における輝度温度と、放射伝達方程式によって計算される輝度温度との差が最も小さくなるような降雨量を、最小二乗法により推定するアルゴリズムである。具体的には、降水物理モデルを取り入れた放射伝達方程式に基づいて輝度温度と降水強度の関係を表すルックアップテーブルの作成をし、最も良く観測輝度温度データを再現できる降水強度の値を決定した。青梨アルゴリズム本体の改良に於いては、陸上で主に用いられる散乱アルゴリズムの二周波化(85GHz と共に 37GHz の利用を行うこと)、陸上、海上、ならびに海岸上における降雨有無の判定法、降雨の非一様性補正法などの改良を行った。

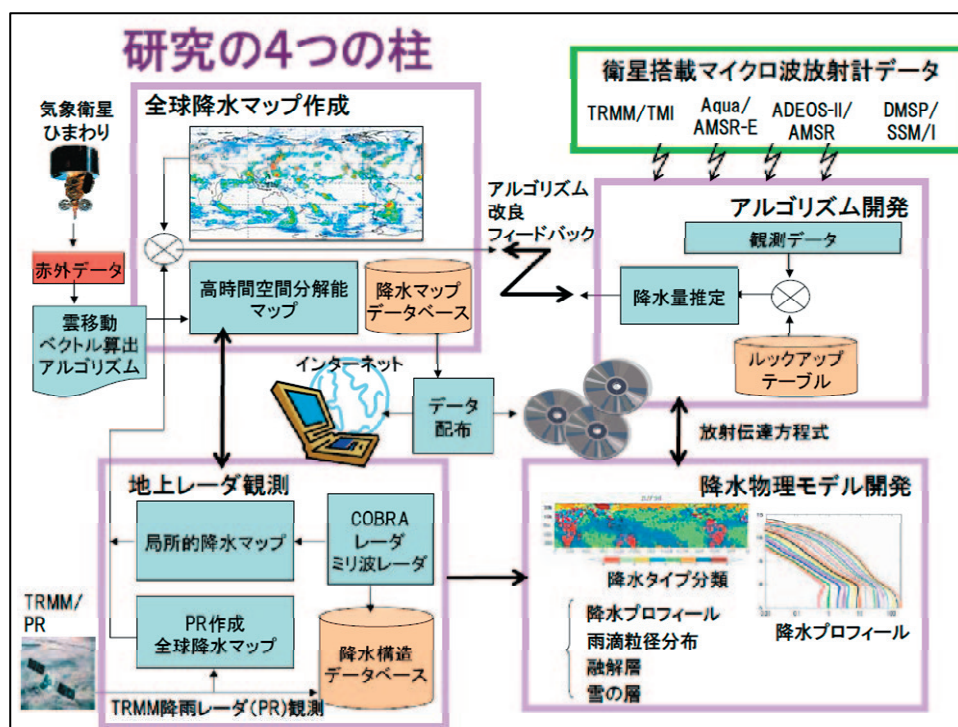


図 1-1 研究全体の構成

全球降水マップ作成グループは、開発した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・評価した。評価においては、当チームのアルゴリズムを用いて計算された降雨強度やマップの形で表現された全球の降水強度分布図を TRMM 降雨レーダーより計算された降水強度や、GPROF 等を用いて作成された降水マップと比較して評価した。また、地上観測データである、世界各地の地上雨量計データ（例えば、GPCC）や地上レーダー観測データを用いて局所的に、あるいはレーダー・アメダス解析雨量図を用いて広域的に、雨量の評価を行った。評価結果は、さらなるアルゴリズムの改良・開発へとフィードバックした。実際のアルゴリズム開発では、導入可能となった降水物理モデル等を一つ一つ導入し、マップを作成し、その効果の評価を行うというステップを踏んだ。

また、マイクロ波放射計データから作られた全球降水マップを静止気象衛星の赤外放射計データを用いて計算した雲移動ベクトルなどを用いて補間するアルゴリズムを開発し、それを用いて高時間・高空間分解能のマップを作成した。作成された全球降水マップは、DVD あるいは、インターネット経由で全世界のユーザに発信した。

なお、当研究チームのニックネームとして、GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation)を用いた。また、開発中のアルゴリズムの名称や作成した全球降水マップの名称についても、世界の

他のグループのものと区別するために GSMaP を用いた。この名称は、後述する IPWG (International Precipitation Working Group) / PEHRPP (Program to Evaluate High Resolution Precipitation Products)の活動などを通して、世界的にも認知されるようになった。

1. 3 研究成果

(1) 2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu)の観測データならびに解析データをデータベース化し、データ集を作成すると共に CD-ROM 化し、研究者に公開した。

(2) 約9年間の TRMM 降雨レーダ(PR)の観測データ、地上観測データを用いた、降水物理モデルの新たな開発を行った。これらの降水物理モデルには、(a)気象庁の全球客観解析(GANAL)データを利用した 0℃高度情報の利用、(b)陸上 6 種類、海上 4 種類の計 10 種類の 3 ヶ月毎、緯度経度 2.5 度格子毎の降水タイプ分類、(c)降水タイプごと、降水強度ごとの降水プロファイルモデル、(d)雨滴粒径分布モデル、(e)融解層モデル、(f)対流性降雨、層状性降雨の分類などが含まれる。

(3) これらの降水物理モデルを放射伝達方程式に組み込むと共に、85GHz と 37GHz の Polarization Corrected Temperature の利用を行う散乱アルゴリズムならびに放射アルゴリズムの改良、陸上、海上、ならびに海岸上における降雨有無の判定法の改良、降水の非一様性補正法などの改良を繰り返し行い、マイクロ波放射計アルゴリズム(最新版は、Version 4.8.4)を開発した。図 1-2 に開発した GSMaP マイクロ波放射計アルゴリズムの概要を示す。

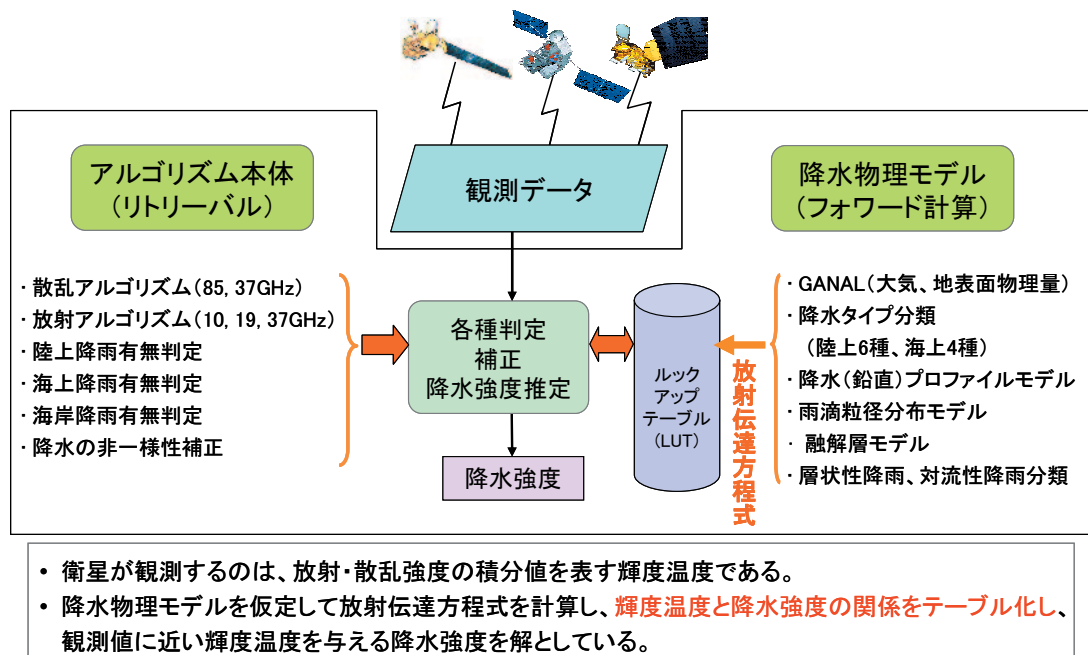


図 1-2 開発した GSMaP マイクロ波放射計アルゴリズムの概要

(4) マイクロ波放射計アルゴリズム(Vesion 4.8.4)をマイクロ波放射計の輝度温度データに適用し、長期にわたる降水量の全球マップの作成を行った。TRMM/TMI について 9 年間(1998/1～2006/12)の全球降水マップ(GSMaP_TMI)、DMSP(F10, F11, F13, F14, F15)/SSMI について 16 年間(1991/1～2006/12)の全球降水マップ(GSMaP_SSM/I)を作成した。なお、複数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 の様に名付けた。GSMaP_MWR については、1998 年 1 月～2006 年 12 月の期間のマップを作成した。降水プロダクトの一覧表を表 1-1

に示す。また図 1-3 に作成した全球降水マップの例として、GSMaP_TMI の 1998 年～2006 年の平均降水マップを示す。上図は、12 月～2 月平均値、下図は 6～8 月平均値である。緯度経度 0.25 × 0.25 度格子点データを利用している。

表 1-1 GSMaP 降水量プロダクトの一覧表

	プロダクト名	プロダクト期間	時間・空間分解能
衛星搭載マイクロ波放射計ごとに計算した降水量プロダクト	GSMaP_TMI	1998/1～2006/12	時間:1 時間、1 日、1 ヶ月 空間:0.25 × 0.25 度
	GSMaP_AMSR-E	2002/6～2006/12	
	GSMaP_AMSR	2003/4～2003/10	
	GSMaP_SSM/I	1991/1～2006/12	
複数のマイクロ波放射計プロダクトを合成した降水量プロダクト	GSMaP_MWR	1998/1～2006/12	時間:1 時間、1 日、1 ヶ月 空間:0.25 × 0.25 度
	GSMaP_MWR+	2003/1～2006/12	
赤外・マイクロ波放射計複合降水量プロダクト	GSMaP_MV_RT(+), GSMaP_MV(+), GSMaP_MVK_RT(+), GSMaP_MVK(+)	2004/1～2005/12	時間:1 時間、1 日、1 ヶ月 空間:0.1 × 0.1 度

表注) Advanced Microwave Sounding Unit(AMSU)-B データを利用している場合に+が付く。(+)は、+が付いたプロダクトと付かないプロダクトの 2 種類があることを示す。赤外・マイクロ波放射計複合降水量プロダクト中、RT が付いたプロダクトは、雲移動ベクトルの Forward 方向の移動のみ考慮、RT の無いプロダクトは、Forward 方向と Backward 方向の両方向の移動を考慮。(P.57 の 3.4.2 を参照のこと)

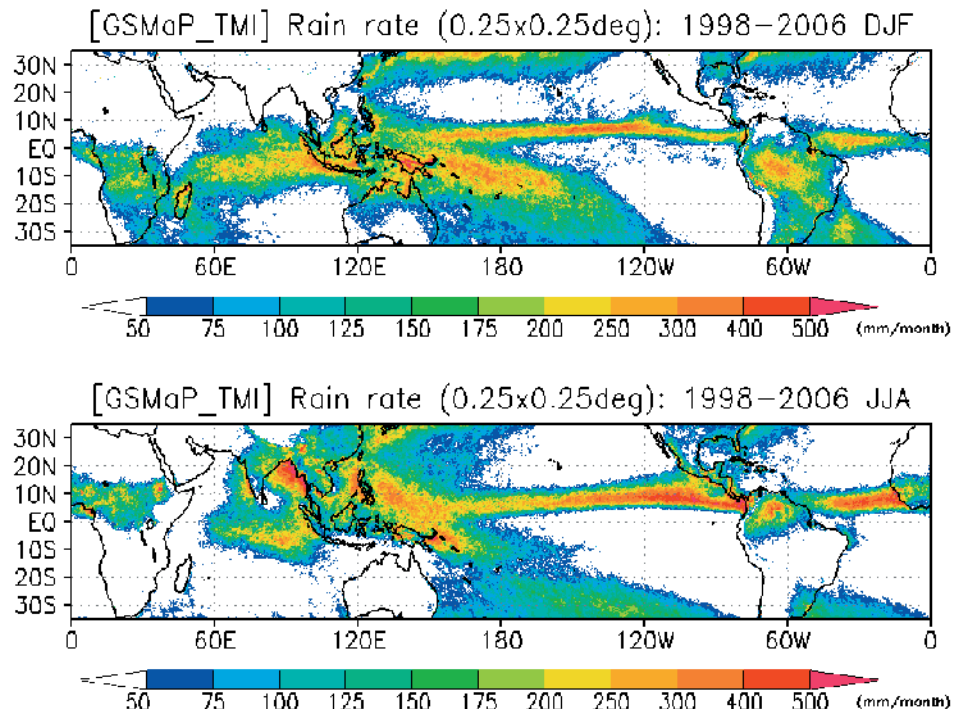


図 1-3 GSMaP_TMI の 1998 年～2006 年の平均降水マップ。(上図) 12～2 月平均値。(下図) 6～8 月平均値。緯度経度 0.25 × 0.25 度格子点データを利用。単位は mm/month。

(5) 赤外放射計(11 μ m)の雲画像データから計算した雲移動ベクトル情報にカルマンフィルタを加えた手法をマイクロ波放射計アルゴリズムが推定した降雨強度分布の補間に用いて、降水推定精度が良く、サンプリング誤差も少ない、マイクロ波放射計と赤外放射計データの両方の長所を融合した、高時間・高空間分解能の全球降水マップを作成するアルゴリズムを開発した。

(6) 同アルゴリズムを用いて、時間分解能1時間、空間分解能、緯経度0.1°という従来のCMAP(時間間隔5日、緯度経度2.5°)及びGPCP-daily(NASA/GSFC)(時間間隔1日、緯度経度1°)に比して格段に分解能の高い全球降水マップが作成された。プロダクトには、雲移動ベクトルのみを考慮したGSMaP_MV、カルマンフィルタの導入をも考慮したGSMaP_MVKがある。表1-1を参照されたい。

(7) NOAA15, 16, 17, 18号衛星に搭載された89GHz, 150GHzという高周波のマイクロ波サウンダであるNOAA/AMSU-BデータからNOAAが算出した降雨強度とGSMaP_MWRアルゴリズムが算出した降雨強度の統合を行った。統合プロダクトの名称は、GSMaP_MWR+, GSMaP_MV+, GSMaP_MVK+等である。

(8) 作成された各種降水マップは、TRMM降雨レーダ(PR)やTRMM/TMI GPROFアルゴリズムにより作成された衛星降水マップ、地上レーダ観測データ、地上雨量計・流量計データ、レーダー・アメダス解析雨量マップなどと比較・解析し、アルゴリズム開発にフィードバックした。

(9) 作成された全球降水マップをDVD(No. 1, No. 2は、国内ユーザ中心に、700部ずつ配布済、DVD No. 3は、本年10月に完成し、約400部配布済み)、インターネット経由(Home Page Addressは、<http://www.radar.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmmap/>)で全世界のユーザに発信した。

(10) CGMS(世界気象衛星調整グループ:わが国は気象庁が参加)とWMO(世界気象機関)をスポンサーとし、国際的に高時間・高空間全球降水マップを作成しているIPWG/ PEHRPPにわが国を代表して参加し、レーダー・アメダス解析雨量マップを用いて、日本周辺の各国の高時間・高空間降水マップの検証を実施した。日本検証サイトのHome Page*に於いては、検証図を2003年12月～2005年12月までの約2年分作成し、掲載した。

*(<http://www.radar.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmmap/IPWG/dailyval.html>)

(11) 開発したアルゴリズムについては、洪水予警報利用などの実利用目的のために、土木研究所(PWRI)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で実施中の、発展途上国向け洪水予警報システムに衛星推定降水量を利用することを目指した「洪水予測実現のための衛星降水量推定精度向上及び利用手法の検討に関する研究」に提供した。

(12) JAXAの地球観測センター(EORC)では、TRMMなどの地球観測衛星の観測データを用いて準リアルタイム(観測後約4時間)での高分解能の世界の雨量分布図「世界の雨分布速報」を作成し、その画像をインターネット上で公開した(http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm)。この画像の雨量の算出には、当研究チームが開発したアルゴリズムが用いられている。

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

(a) 研究開始時の目標

研究開始時の目標は、複数の衛星搭載マイクロ波放射計データを用い、TRMM 降雨レーダデータ等を参照して、時間・空間分解能の良い全球降水マップを作成すること、ならびに、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行うことであった。研究開始時においては、衛星搭載マイクロ波放射計を用いた降雨強度推定アルゴリズムについては、30 年以上の実績を有する米国が圧倒的に進んでおり、わが国においては、気象研究所の青梨和正氏がほぼ唯一の研究者であった。このために、この分野の若手研究者を育成し、研究者の層を厚くし、来るべき GPM (Global Precipitation Measurement 全球降水観測計画) 衛星の時代に備えることも、研究開始時の見えない目標の一つであった。

(b) 研究計画とその進め方

図 2-1 に、研究計画の概要を示す。実際の研究は、ほぼこの計画に従って進められた。

平成 14 年度後半に於いては、衛星データ解析の中心となるクラスター計算機(計算機ならびにハードディスクとして機能するワークステーション群)を購入整備した。ワークステーションについては、その後、平成 15 年度から平成 18 年度までに各年度 1 から 2 台程度増強し、最終的には合計 16 台のワークステーション群からなるクラスター計算機システムが構成された。

(*) 2004 沖縄梅雨集中観測実験(Okn-Baiu)

項目	平成 14 年度 (5 ヶ月)	平成 15 年度	平成 16 年度	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度
設備の整備 (計算機システム)	計算機購入	計算機及び随時ハードディスク増設				
降水物理モデル・ アルゴリズム調査						
降水物理モデル開発						
降水強度推定 アルゴリズム開発						
レーダ観測・データ 解析 (情報通信研究機構)		レーダ校正	亜熱帯域観測 (沖縄)			
レーダ観測・データ 解析 (防災科研)	レーダ保守	中緯度観測	(*)	データ解析		
衛星データ解析処理						
全球降水マップ作成						
国際ワークショップ	(第 1 回)		(第 2 回)		(第 3 回)	
まとめ						

図 2-1 研究計画

地上レーダ観測においては、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 帯偏波ドップラ降雨レーダ(通称 COBRA レーダ)、400MHz 帯ウインドプロファイラ、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)を中心として、亜熱帯域および中緯度の降雨観測を実施すると共に、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、CREST-LAPS(研究代表者:名古屋大学 中村健治教授)と協力して、降雨の集中観測を実施した。これらのデータについては、生データ及び解析済みデータを報告書、CD に纏めて研究者に公開した。

降水物理モデルならびにアルゴリズム開発については、平成 14 年度後半の研究開始以来、約 1 年かけて世界のアルゴリズムの Review を徹底的に行い、約 30 編の研究論文の Review を行い、Review Paper に纏めた。また、進むべき方向性を青梨アルゴリズムの改良に定め、以後降水物理モデルの改良とアルゴリズム本体の改良を行った。具体的には、散乱アルゴリズムの改良(85GHz, 37GHz の二周波化)、陸上降水有無の判定法の導入、TRMM/PR と LIS(雷観測装置)データに基づく降水タイプの分類、TRMM/PR データベースに基づく降水鉛直プロファイルモデル、ブライトバンド(融解層)モデル、ならびに TRMM/PR 雨滴粒径分布モデルの導入、海上、海岸降水有無の判定、降雨の非一様性補正法等の改良を、平成 15 年度後半(Version 2.2)から平成 18 年度(Version 4.8.4)にかけて実施した。

また、マイクロ波放射計アルゴリズムの改良と平行して、マイクロ波放射計データの補間用に静止衛星搭載の赤外の雲画像データを利用する研究をも平成 16 年度より開始し、雲移動ベクトルの利用(Forward 方向のみの移動ベクトルから Backward 方向の移動ベクトルをも併せて考慮するように、順次改良した)、カルマンフィルタの導入(平成 17～18 年度)、スプリットウインドウ法の利用検討(平成 17 年度)、と順次高度化を進めた。これらの様々なマイクロ波放射計アルゴリズム、マイクロ波・赤外放射計複合アルゴリズム(Version 4.8.4)を用いて、大量の衛星データの長期間のデータ処理を平成 19 年度当初より開始した。

(c) 研究の展開から生まれた新たな目標

- ・ 赤外放射計データを補間用に用いる高時間・高空間分解能アルゴリズムの開発研究
- ・ IPWG/PEHRPP への参加と貢献
- ・ 宇宙航空研究開発機構(JAXA)と土木研究所(PWRI)の共同研究及び JAXA「世界の雨分布速報」への GSMAp アルゴリズムの提供
- ・ マイクロ波サウンダデータ(AMSU-B)の利用と AMSU-B 用アルゴリズムの開発
- ・ 洪水予警報(特にアジア地域)という実利用の観点からの地上雨量計データと GSMAp プロダクトとの融合研究の開始

(d) 研究グループ毎の役割分担

地上レーダ観測グループ(リーダー、防災科学技術研究所 岩波越):

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 帯偏波ドップラ降雨レーダ、400MHz 帯ウインドプロファイラ、ディストロメータ、雨量計などを用いて、亜熱帯地域の降水観測を定常的に実施した。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)などを用いて中緯度域での降雨観測を実施した。2004 年度の梅雨期には、これらの装置を情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターに集中して、ラジオゾンデを放球し、観測実験を実施した。取得データを解析し、データベース化した。

降水物理モデル開発グループ(リーダー、情報通信研究機構 高橋暢宏):

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した。このために、10 年近くの長期間観測した TRMM 降雨レーダの統計データ、ならびに地上レーダによる観測データを用いて降水物理モデルの開発を行った。

降水強度推定アルゴリズム開発グループ(リーダー、情報通信研究機構 井口俊夫):

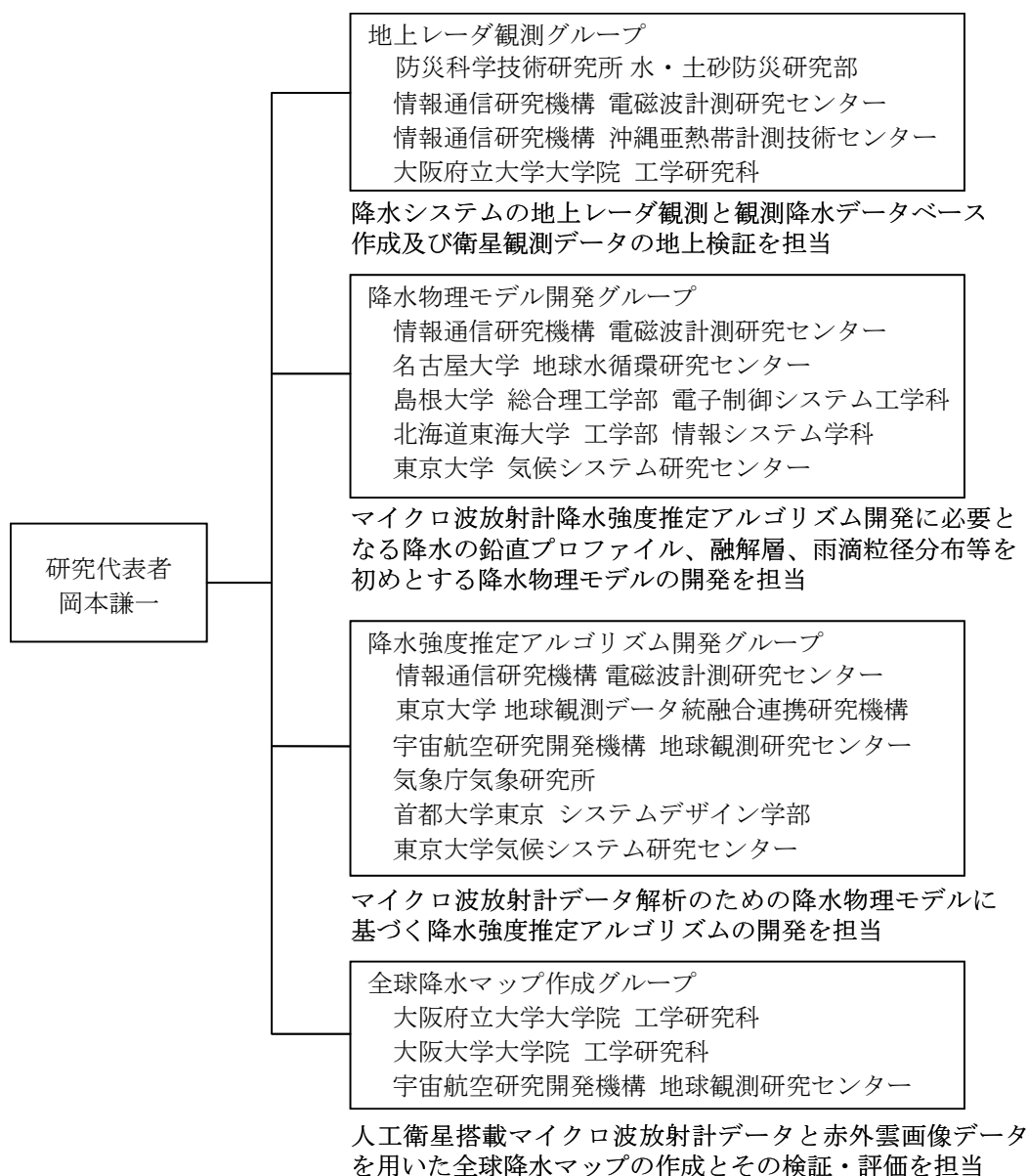
信頼性のある降雨強度推定のため、降水物理モデル開発グループと協力し、衛星搭載降雨レ

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・改良を行った。このため、全球降水マップ作成グループと協力し、GSMP 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、地上観測装置の観測データなどと比較した。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た。

全球降水マップ作成グループ(リーダー:大阪府立大学 岡本謙一):

開発したGSMPアルゴリズムを応用して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と共に、その検証・評価を行った。さらに、静止気象衛星の赤外データをもとに算出した雲移動ベクトルならびにカルマンフィルタによる推定法を応用してマイクロ波放射計データの補間を行い、高時間・高空間分解能の全球降水マップを作成した。

(2)実施体制



3 研究実施内容及び成果

3.0 研究課題全体の研究実施内容及び成果

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

本研究では、将来多数の衛星からの観測が期待されるマイクロ波放射計観測データを用いて、信頼できる降水物理モデルに基づいた降水強度推定アルゴリズムを開発し、TRMM 降雨レーダ(PR)データ、静止衛星の赤外放射計データをも総合的に利用して衛星データのみを用いた全球の高精度高分解能降水マップを作成することを目的とした。マイクロ波放射計の降水強度推定アルゴリズムについては、研究開始当時は、雲解像モデルの出力に基づく降雨物理モデルを用いる NASA/GSFC が開発した GPROF アルゴリズムが、衛星搭載用マイクロ波放射計アルゴリズムの de facto standard として世界的に広く用いられていた。しかし、当チームはこの様なアプローチを取るのではなく、観測データ等に基づく現実的な降水物理モデルを用いる気象研究所の青梨和正氏が基本的な枠組みの開発を行った青梨アルゴリズムを原型とすることにした。そして、青梨アルゴリズムに、当チームが開発した降水物理モデルを組み込み、同アルゴリズムの本体の改良と共に、順次改良する方式を取ることにした。

② 研究実施方法・実施内容

全球降水マップ作成という最終目的を達成するための中心的な課題は、衛星搭載用のマイクロ波放射計データを解析処理する信頼できるアルゴリズムの開発である。アルゴリズムは、現実の衛星搭載降雨レーダ(現在は TRMM 以外にはない)や地上レーダ等による降水観測データから抽出された降水情報から作られた降水物理モデルに基づくことにより精度の向上を図る。このため、TRMM 降雨レーダ(PR)データや、地上の高機能・高精度レーダ群による観測データの蓄積が必要になってくる。本研究チームは、このために、地上レーダ観測グループ、降水物理モデル開発グループ、降水強度推定アルゴリズム開発グループ、及び全球降水マップ作成グループの4グループを組織し、相互に連絡を密にし研究を進めることにした。

③ 研究成果

地上レーダ観測グループは、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帯偏波ドップラ降雨レーダ、400MHz帯ウインドプロファイラ、ディストロメータ、雨量計などを用いて、亜熱帯地域の降水観測を定常的に実施した。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)などを用いて中緯度域での降雨観測を実施した。2004年度の梅雨期には、これらの装置を情報通信研究機構沖縄亜熱帯計測技術センターに集中して、ラジオゾンデを放球し、観測実験を実施し、取得データを解析し、データベース化した。これらのデータは、降水物理モデル開発グループの利用に供した。また、地上観測によって作成された降水マップは、衛星搭載マイクロ波放射計データから作成されるローカルな降水マップの検証用としても利用した。

降水物理モデル開発グループは、約9年間のTRMM降雨レーダ(PR)の観測データ、地上観測データを用いて、降水物理モデルの新たな開発を行った。これらの降水物理モデルには、(a)気象庁の全球客観解析(GANAL)データを利用した0℃高度情報の利用、(b)陸上6種類、海上4種類の計10種類の3ヶ月毎、緯度経度2.5度格子毎の降水タイプ分類、(c)降水タイプごと、降水強度ごとの降水プロファイルモデル、(d)雨滴粒径分布モデル、(e)融解層モデル、(f)対流性降雨、層状性降雨の分類などが含まれる。

降水強度推定アルゴリズム開発グループは、これらの降水物理モデルを放射伝達方程式に組み込むと共に、85GHzと37GHzのPolarization Corrected Temperatureの利用を行う散乱アルゴリズムならびに放射アルゴリズムの改良、陸上、海上、ならびに海岸上における降雨有無の判定法の改良、降水の非一様性補正法などの改良を繰り返し行い、マイクロ波放射計アルゴリズム(最新版は、Version 4.8.4)を開発した。

全球降水マップ作成グループは、マイクロ波放射計アルゴリズム(Vesion 4.8.4)をマイクロ波放射計の輝度温度データに適用し、長期にわたる降水量の全球マップの作成を行った。TRMM/TMI について 9 年間(1998/1~2006/12)の全球降水マップ(GSMaP_TMI)、DMSP(F10, F11, F13, F14, F15)/SSMI について 16 年間(1991/1~2006/12)の全球降水マップ(GSMaP_SSM/I)を作成した。なお、複数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 の様に名付けた。GSMaP_MWR については、1998 年 1 月~2006 年 12 月の期間のマップを作成した。

また、赤外放射計(11 μ m)の雲画像データから計算した雲移動ベクトル情報にカルマンフィルタを加えた手法をマイクロ波放射計アルゴリズムが推定した降雨強度分布の補間に用いて、降水推定精度が良く、サンプリング誤差も少ない、マイクロ波放射計と赤外放射計データの両方の長所を融合した、高時間・高空間分解能の全球降水マップを作成するアルゴリズムを開発した。同アルゴリズムを用いて、時間分解能 1 時間、空間分解能、緯経度 0.1°という分解能の高い全球降水マップが作成された。プロダクトには、雲移動ベクトルのみを考慮した GSMaP_MV、カルマンフィルタの導入をも考慮した GSMaP_MVK がある。

作成された各種降水マップは、TRMM 降雨レーダ(PR)や TRMM/TMI GPROF アルゴリズムにより作成された衛星降水マップ、地上レーダ観測データ、地上雨量計データ、レーダー・アメダス解析雨量マップなどと比較・解析し、アルゴリズム開発にフィードバックした。

作成された全球降水マップを DVD No. 1, No. 2, No. 3 に纏め、国内ユーザ中心に、配布した。また、インターネット経由 (Home Page Address は、<http://www.radar.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmap/>)で全世界のユーザに発信した。

CGMS(世界気象衛星調整グループ:わが国は気象庁が参加)と WMO(世界気象機関)をスポンサーとし、国際的に高時間・高空間全球降水マップを作成している IPWG (International Precipitation Working Group) / PEHRPP (Program to Evaluate High Resolution Precipitation Products)にわが国を代表して参加し、レーダー・アメダス解析雨量マップを用いて、日本周辺の各国の高時間・高空間降水マップの検証を実施した。日本検証サイトの Home Page に於いては、検証図を 2003 年 12 月~2005 年 12 月までの約 2 年分作成し、掲載した。

開発したアルゴリズムについては、洪水予警報利用などの実利用目的のために、土木研究所(PWRI)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で実施中の、発展途上国向け洪水予警報システムに衛星推定降水量を利用することを目指した「洪水予測実現のための衛星降水量推定精度向上及び利用手法の検討に関する研究」に提供した。また、JAXA では、GSMaP アルゴリズムを用いて、準リアルタイムで 4 時間の時間遅れで全世界の高分解能雨量の分布図を作成し、その画像をインターネット上に公開するサービス(世界の雨速報分布)を開始した。

④ 研究成果の位置づけと類似研究との比較

GSMaP アルゴリズムを開発し、複数の衛星搭載マイクロ波放射計データに適用することによって全球の降水マップが作成できるようになった。これによって、当チームの初期の目標である「信頼に値するマイクロ波放射計アルゴリズムの開発とそれによる全球降水マップの作成」については、達成することができた。

GSMaP アルゴリズムは、TRMM/PR で約 9 年間にわたって観測された降水データならびに地上降雨レーダ観測データを基に作成された降水物理モデルに基づいており、その結果作成された TRMM/TMI の全球降水マップは予測されたように TRMM/PR の作成する全球降水マップと非常に近いものとなっている。陸上については、GSMaP が開発基準とした TRMM/PR アルゴリズムそのものが、陸上雨量を過少評価しているという問題が最近浮上している。これについては、融解層よりも上の雪の層のモデル化が現在の PR アルゴリズムでは十分ではないことが大きな原因と考えられており、今後降水物理モデルを改良することによってその結果が TRMM/PR と GSMaP の両アルゴリズムの改良につながるものと考えられ、まだ研究する必要があると思われる。

GSMaP アルゴリズムは、限られた観測データに基づく数値的な雲解像モデルから作られた降水物理モデルに基づく NASA の GPROF アルゴリズムに比べて、降水物理モデルの根拠が明白であると考えられる。

当研究チームにおいては、時間分解能 1 時間、空間分解能、緯経度 0.1°という従来の CMAP(時

間隔 5 日、緯度経度 2.5°)及び GPCP-daily(NASA/GSFC)(時間間隔 1 日、緯度経度 1°)に比して格段に分解能の高い全球降水マップを作成した。また、IPWG/PEHRPP に参加している世界の他機関作成の高時間高空間分解能降水マップと、レーダー・アメダス解析雨量マップを基準に用いて比較したが、遜色のない結果を得ている。2005 年 7 月の 1 ヶ月間の GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+、CMORPH、NRL-BLENDED、TRMM 3B42 についての平均降雨強度、相関係数、RMSE、POD、FARなどを計算した。GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+およびCMORPHは他のプロダクト(NRL-BLENDED、TRMM 3B42 など)に比べてレーダー・アメダス解析データの領域平均雨量の値とよく合い、相関係数が概ね良い。これは、GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+およびCMORPHは、降水強度算出に推定精度の悪いIRデータを用いるのではなく、推定精度のよいマイクロ波放射計データから降水強度を算出し、IRデータは単に降水域の移動の計算にのみ用いているためと考えられる。これによって、GSMaP 作成の高時間・高空間分解能降水マップは、少なくともわが国周辺においては、全世界の他の高時間・高空間分解能降水マップに遜色がないことが明らかになった。

(2) 研究成果の今後期待される効果

2013 年頃に日米を中心とした全世界協力によって、二周波降雨レーダを搭載したコア衛星とマイクロ波放射計を搭載した8機程度の衛星群による全球降水観測計画(GPM)衛星が実現される予定であり、当研究チームが開発したアルゴリズムと降水マップ作成手法、評価手法は、GPM時代に大いに貢献するものと考えられる。ただし、最近の情報では、GPM コア衛星運用時において、マイクロ波放射計搭載のコンステレーション衛星を8機確保することが困難な情勢となっている。このため、本来は気温・水蒸気の鉛直高度分布を算出する目的で開発されたNOAA15, 16, 17, 18号衛星に搭載されたマイクロ波サウンダ AMSU データを用いた降雨推定アルゴリズムが必要であり、今後 GSMaP_MWR と共通した降水物理モデルに基づく GSMaP_AMSU アルゴリズムの開発が求められている。リリーバル部分に関しては新たな開発が必要であるが、本研究の降雨判定、非一様性の補正、ならびに散乱アルゴリズムの開発を通して培った経験と技術が、大きな威力を発揮するであろう。とりわけ、85GHz と 37GHz の降水頂に対する感度の違いに基づく二周波散乱アルゴリズムは、高周波数帯のチャンネルを多数持つ AMSU 用の多周波散乱アルゴリズムへと発展していくと思われる。GSMaP アルゴリズムを GPM の複数の衛星搭載マイクロ波放射計データに適用することによって、短期的な洪水予測や、長期的な気候変動予測に利用するための、高精度高分解能の全球降水マップが作成されることも可能になると考えられる。

レーダー・アメダス解析雨量データを検証の真値として用い、GSMaPを含めて、PEHRPP参加の高時間・高空間分解能降水マップの比較を行ったが、この結果は、2007 年 12 月に開催されるPEHRPPの会合で発表すると共に、GSMaPのHome Pageから全世界に発信していく予定である。レーダー・アメダス解析雨量データを用いた検証結果についての全世界からの意見を参考にすると共に、また、GSMaPの作成した全球降水マップを他国の検証サイトにおいても逆に評価してもらい、その結果をアルゴリズム開発に反映する予定である。

JAXAでは、GSMaPアルゴリズムを用いて、準リアルタイムで4時間の時間遅れで全世界の高分解能雨量の分布図を作成し、その画像をインターネット上に公開するサービス(世界の雨速報分布)を開始した。この運用成果についても短期的な洪水予測に繋がって行くか注目して行きたい。

3. 1 地上レーダ観測(地上レーダ観測グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

降水物理モデル開発グループによる降水物理モデルの作成、及び全球降水マップ作成グループによるローカルな降水マップの検証に役立てるため、高機能・高精度な地上レーダ群等で降水の3次元構造を詳細に観測する。これらのために、観測データから降水物理パラメータの導出手法を開発して、良質なデータベースを作成する。

② 研究実施方法・実施内容

②-1 2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)等の実施とデータベースの作成

衛星搭載マイクロ波放射計による降水強度推定アルゴリズムの改良・検証に役立つデータベースの構築を目的として、2004 年 5 月 22 日から 6 月 9 日に、沖縄県にある情報通信研究機構(NICT)大宜味大気観測施設を主要サイトとして梅雨の集中観測を行った。GSMaP チーム全体の協力を得ると共に、CREST-LAPS チーム(研究代表者:名古屋大学 中村健治教授)と共同で観測を実施した。

NICT 沖縄亜熱帯計測技術センターに既設の C バンド偏波ドップラーレーダ(COBRA)、400MHz 帯ウィンドプロファイラ(400MHz WPR)、防災科学技術研究所(防災科研)の Ka バンドドップラーレーダ(MP-Kaレーダ)を中心とした各種の降水リモートセンサ、2Dビデオディストロメータ(2DVD)等を用いた地上観測装置による連続観測を実施するとともに、合計 109 個の GPS ゾンデを飛揚して環境場の気温、湿度、風の鉛直プロファイルのデータを取得した。ゾンデ観測は 6 時間間隔の定常観測に加えて、降雨イベント時や TRMM と Aqua 衛星の上空飛来時にも行った。観測の全体概念図を図 3.1-1 に、大宜味大気観測施設の観測時の写真を図 3.1-2 に示す。

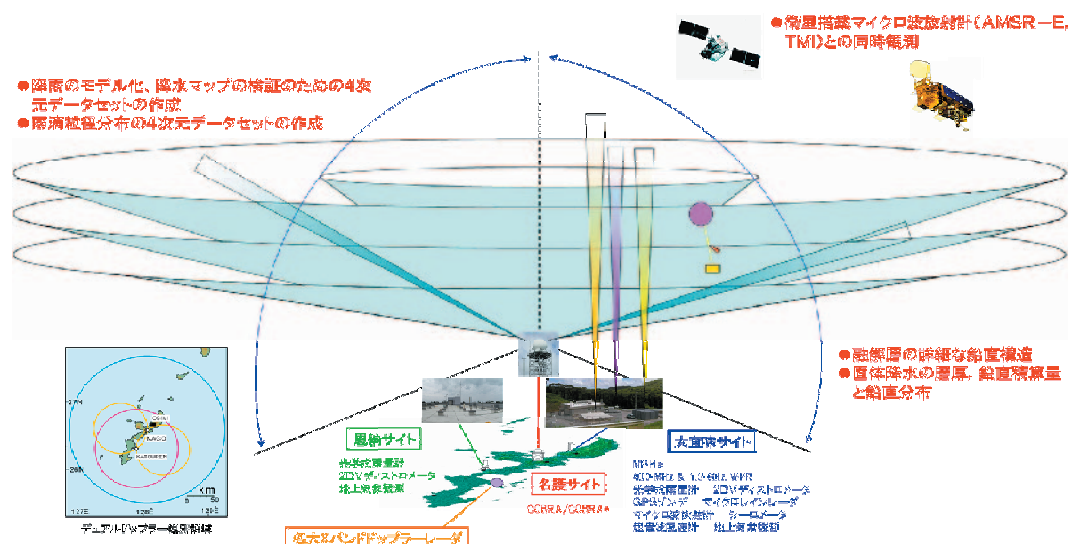


図 3.1-1 2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)概念図



図 3.1-2 2004 年沖縄梅雨集中観測で主要観測サイトとした情報通信研究機構 (NICT) 大宜味大気観測施設の外観

COBRA は大宜味大気観測施設から約 15km 離れた名護に設置されており、詳細なボリウムスキャン(約 6 分)と地上降雨観測装置が整備されている NICT 沖縄亜熱帯計測技術センター(恩納村)及び NICT 大宜味上空の RHI スキャン(約 4 分)を 1 シーケンス(10 分)として観測を実施した。MP-Ka レーダは主に鉛直上向き観測を行い、約 420 時間分のデータを得た。

観測データをデータカタログにとりまとめるとともに、②-2 で開発した手法等を用いて降水物理量を導出し、データベースを作成して CD を配布した。

Okn-Baiu-04 以外に、亜熱帯地域の沖縄では NICT の COBRA や 400MHz WPR、ディストロメータ、雨量計などを利用した定常観測を実施した。また、2003 年梅雨期には中緯度地域の神奈川県平塚市において防災科研のミリ波 2 周波レーダ (MP-Ka/W レーダ) 等による観測も実施した。

②-2 降水物理量の推定手法の開発

400MHz WPR のスペクトルデータと COBRA データを利用して、降雨層のみならず固体降水層を含めた降水粒子の粒径分布を推定する手法を開発した。Okn-Baiu-04 の取得データに適用してデータベースを作成した。

Okn-Baiu-04 において、鉛直上向きの連続観測を行った MP-Ka レーダと 400MHz WPR、2DVD のデータを組み合わせて、固体降水層の氷水量等の降水物理量の鉛直プロファイルを導出する手法を開発した。

そのほかに、雨滴粒径分布の規格化切片パラメータ $N0^*$ が、同種の降雨の中では一定の値をとること (Testud et al. 2001) を利用して、2 周波レーダデータから降雨強度鉛直プロファイルを推定する手法等を開発した。

②-3 降水のタイプ分類と鉛直構造のモデル化

GSMaP チームでは融解層モデルや、粒径分布モデル等の導入により、降水強度推定アルゴリズムの改良を図っているが、これらの降水物理モデルを効果的に利用するためには、降水タイプ分類が重要である。COBRA の偏波パラメータデータを用いて、降水粒子分布の特徴に基づいた降水タイプ分類法を開発し、その分類法を利用して対流性降水域の融解層高度調査を行った。

また、2DVD 及び COBRA のデータを利用して、層状性降雨における地上雨滴粒径分布特性と降雨の鉛直構造に関して調査した。

③ 研究成果

③-1 2004 年沖縄梅雨集中観測 (Okn-Baiu-04) 等の実施とデータベースの作成

Okn-Baiu-04 期間中に梅雨前線に伴う対流性・層状性の降雨、寒冷低気圧に伴う浅い対流雲、台風に伴う降雨等のデータを得ることができた。

2004 年度中に取得したデータのクイックルック画像の作成、データのアーカイブを行った。観測データに加えて、関連する衛星データや数値予報結果を掲載した web ページ及びデータカタログ (CD 及び冊子) を作成・配布した。2006 年度には、データベース第一版として COBRA、400MHz WPR データから推定した降雨強度等の 3 次元分布や降水粒子の粒径分布の鉛直プロファイルを収めた CD を作成・配布した。2007 年度には、さらに COBRA 偏波情報を活用した降雨強度の 3 次元分布、MP-Ka レーダと 400MHz WPR のデータを組み合わせて推定した固体降水層の氷水量等の鉛直プロファイル、及び 2DVD による雨滴粒径分布パラメータ等を追加したデータベース第二版をとりまとめた。データベース化された降水物理量等の一覧を表 3.1-1 に示す。

COBRA はデータ量が膨大なため、Okn-Baiu-04 期間中に TRMM、Aqua、DMSP 衛星が上空に飛来した時刻を含む期間に限定してデータベースを整備した。降水強度の 3 次元分布の一例を図 3.1-3 に示す。2DVD については Okn-Baiu-04 全期間のデータを対象とした。

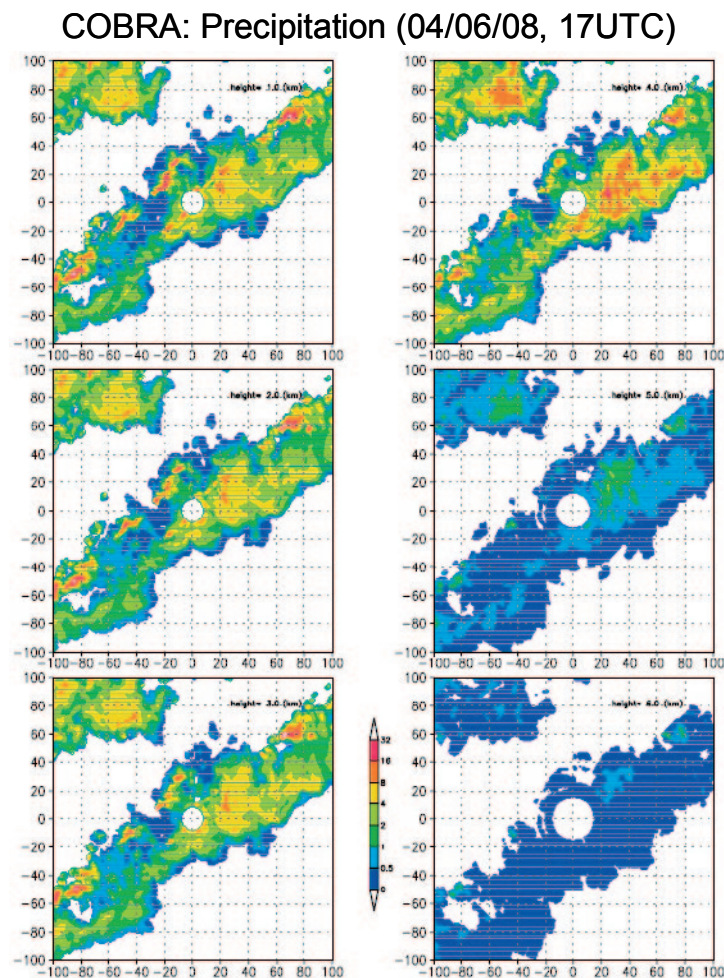


図 3.1-3 COBRA データから導出された降水強度の 3 次元分布の一例。
左上から右下の順に高度 1, 2, 3, 4, 5, 6km の水平分布。

表 3.1-1 2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)データによる降水物理量のデータベース

主なセンサ	収録パラメータ等
COBRA	減衰補正済みレーダ反射因子 Z , 反射因子差 Z_{DR} , 偏波間位相差 Φ_{DP} , 偏波間相関係数 ρ_{HV} , 降雨強度 $R_1(Z)$, $R_2(Z)$, $R(K_{DP})$ の 3 次元データ
400MHz WPR	降水粒子の粒径分布の鉛直プロファイル
MP-Ka	減衰補正済みレーダ反射因子 Z , 減衰係数 A , 降雨強度 R , 氷水量 IWC の鉛直プロファイル
2DVD	雨滴粒径分布, 落下速度 V_t , 降雨強度 R , 体積中央直径 D_0 , 体積平均直径 D_m , 規格化切片パラメータ N_0^* , 総雨滴数 N_t 粒径分布に基づく散乱計算結果: Z , Z_{DR} , 比偏波間位相差 K_{DP}

(注) 降雨強度 $R_1(Z)$ は全高度で $Z=200R^{1.6}$ により変換。降雨強度 $R_2(Z)$ は、 0°C 高度より下層では $Z=200R^{1.6}$ 、上層では $Z=1780R^{2.21}$ により変換した結果。 $R(K_{DP})$ は、偏波間位相差 ϕ_{DP} を距離によって微分した比偏波間位相差 K_{DP} より推定した降雨強度である。

降水粒子の粒径分布の鉛直プロファイルは 400MHz WPR、マイクロレインレーダ(MRR)、2DVD のデータを組み合わせて、のべ 17 日分作成した。図 3.1-4 は、その一例として 2004 年 6 月 8 日に観測された事例を示す。MP-Ka レーダデータからは、層状降水雲が観測された 6 月 2 日 16:00 から 18:20 と 6 月 8 日 10:00 から 17:00 の固体降水層における氷水量 IWC 等の鉛直プロファイルが推定された。図 3.1-6 はその一例として 2004 年 6 月 2 日に観測された事例を示す。

COBRA データによる降雨強度分布は、全球降水マップ作成グループにより、GSMap アルゴリズムで作成された降雨量プロダクトの評価のために利用された。また、降水物理量に変換前の観測データも、降水物理モデル開発グループ、アルゴリズム開発グループにより、衛星搭載マイクロ波放射計データとの比較(COBRA のレーダ反射因子)、融解層モデルの改良(400MHz WPR と MP-Ka レーダのデータ)、雲解像モデルによる数値実験結果との比較(COBRA 及び MP-Ka レーダのレーダ反射因子)に利用された。

③-2 降水物理量の推定手法の開発

③-2-1 400MHz WPR と COBRA による粒径分布推定

WPR: DSD Profile (04/06/08, 10:27)

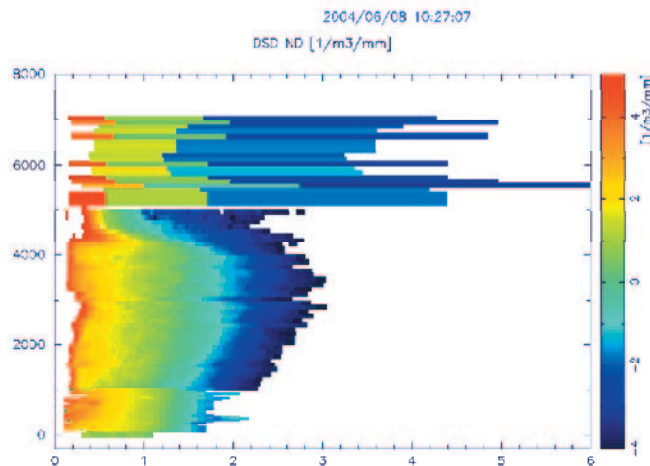


図 3.1-4 400MHz WPR, MRR, 2DVD のデータを利用した降水粒子の粒径分布の鉛直プロファイルの一例。横軸:降水粒子の直径(mm), 縦軸:高度(m)

降雨時に 400MHz WPR が観測するドップラースペクトルは、大気散乱によるエコーと降雨エコーが分離した双峰性となるため、融解層より下層における雨滴粒径分布の推定手法はいくつか提案

されており、Okn-Baiu-04 のデータベース作成に際しても、降雨層の雨滴粒径分布の導出には Kobayashi and Adachi (2001)のノンパラメトリック手法を利用した。

本研究では、大気と降水のエコーの分離が困難であるため、研究がほとんど行われていなかった融解層より上層における粒径分布の推定手法の開発を行った。当初は、大気エコーの目視による確認と両者のドップラー速度の差の一様性を仮定した(北村ほか, 2006)。次いで、COBRA のレーダ反射因子 Z を用いて降水粒子の粒径分布とドップラースペクトルの第一推定値を設定し、ノンパラメトリック手法と組み合わせた繰り返し計算を行うことによって、粒径分布を推定する手法を開発した(北村ほか, 2007)。これにより大量のデータ処理が可能となり、粒径分布の導出率は 90% からほぼ 100% となった。

この手法によって導出された粒径分布の鉛直プロファイルの一例を図 3.1-4 に示す。400MHz WPR で観測できない高度 1km 以下については、MRR 及び地上の 2DVD の測定結果を接続し、地上から降水頂までの降水粒子粒径分布の鉛直プロファイルのデータベースを作成することができた。

③-2-2 MP-Ka と WPR, 2DVD による固体降水のモデル化

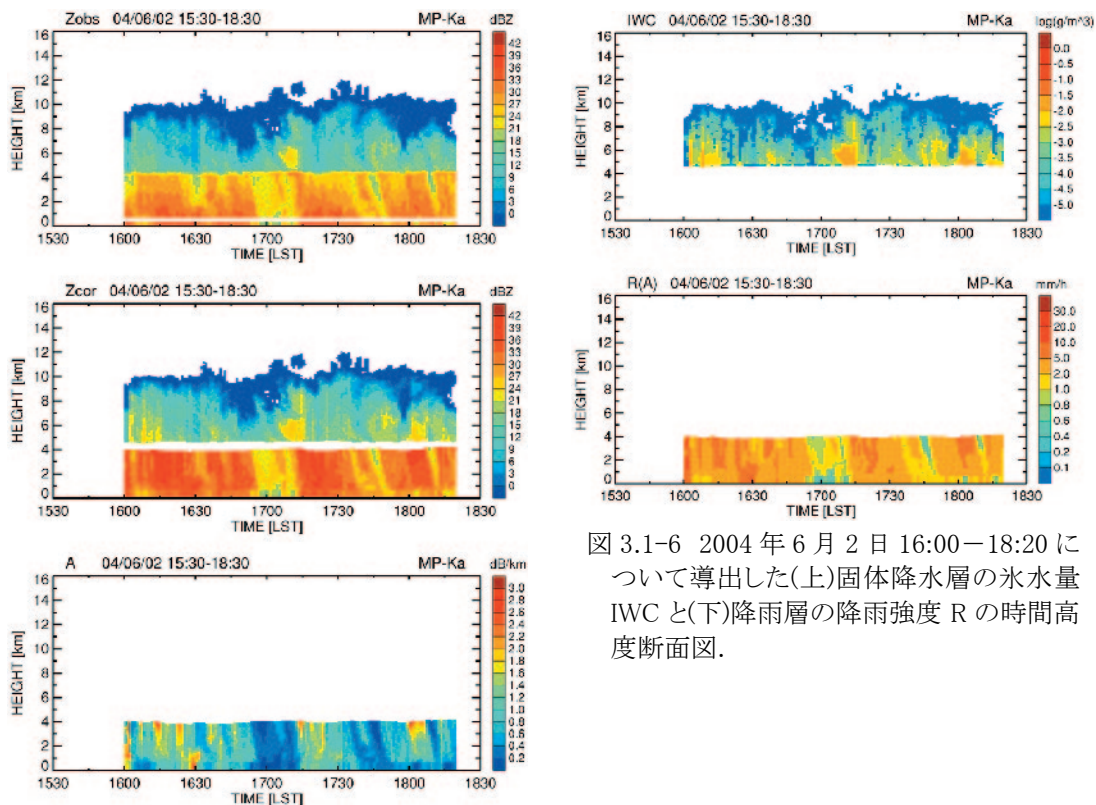


図 3.1-6 2004 年 6 月 2 日 16:00–18:20 について導出した(上)固体降水層の氷水量 IWC と(下)降雨層の降雨強度 R の時間高度断面図。

図 3.1-5 2004 年 6 月 2 日 16:00–18:20 の時間高度断面図。(上)観測されたレーダ反射因子, (中)減衰補正済みレーダ反射因子, (下)降雨層の減衰係数。

Okn-Baiu-04 において、鉛直上向きの連続観測を行った MP-Ka レーダと 400MHz WPR, 2DVD のデータを組み合わせて、固体降水層の氷水量 IWC を中心に降水物理量の鉛直プロファイルを導出する手法を開発した。導出の手順は以下の通りである。

まず、地上の 2DVD で測定した雨滴粒径分布を用いた散乱計算結果と比較することにより、MP-Ka レーダのアンテナ面の水膜の影響を含むレーダ反射因子 Z の較正を実施した。各地でディストロメータにより取得した雨滴粒径分布データを用いた散乱計算結果に基づき、規格化切片パ

ラメータ $N0^*$ を用いた反射強度－減衰係数 ($Z/N0^* - A/N0^*$) 関係を求めた。この関係を用いて、 0°C 高度以下の降雨層における MP-Ka レーダの Z の降雨による減衰係数 A を推定し、減衰補正済みの Z 及び降雨強度 R の鉛直プロファイルを求めた。MP-Ka レーダで測定したドップラー速度 V の鉛直プロファイルの2階微分値を利用して、融解層の範囲を同定し、融解層における総減衰量を、西辻モデル (Nishitsuji et al. 1983) に基づいて評価した。以上により、融解層を除く全層のレーダ反射因子 Z の減衰補正済み鉛直プロファイル (図 3.1-5) が求められる。

次に、固体降水粒子の落下速度 V_t を、MP-Ka レーダによるドップラー速度データ V を 400MHz WPR データから推定された鉛直流 V_a で補正して評価した。地上で測定された固体降水粒子の落下速度と粒径 D の間の $V_t - D$ 関係 (石坂ほか, 2004) では、「あられ」(D が小さく V_t が大きい)と「雪片」(D は大きな値まで広がるが、 V_t は 2m/s 程度以上にならない) が明らかに区別できる。この関係から類推される $V_t - Z$ 関係を利用して、固体降水粒子を雪片とあられに分類した。最後に、Hause and Amayenc (1986) による、雪片とあられのそれぞれに対する $Z - \text{IWC}$ 関係を用いて、氷水量 IWC の鉛直プロファイル (図 3.1-6) を導出した。

この手法を Okn-Baiu-04 期間中に層状降水雲が観測された 6 月 2 日 16:00 から 18:20 と 6 月 8 日 10:00 から 17:00 に適用してデータベースを作成した。さらに、この全データを利用して氷水量 IWC の鉛直積算量 IWP と地上降雨強度 R の関係を調べたところ、図 3.1-7 のとおり正の相関が見られ、固体降水層のモデル化に利用可能な情報が得られた。

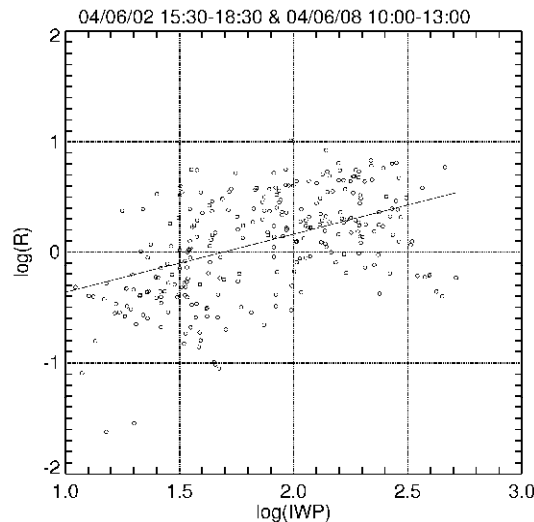


図 3.1-7 地上降雨強度 R と積算氷水量 IWP の関係。実線は近似直線。

③-3 降水のタイプ分類と鉛直構造のモデル化

降水粒子の分布に基づく降水タイプ分類手法を開発するために、Okn-Baiu-04 期間中に観測された(1)層状性降水、(2)孤立型対流性降水、(3)層状埋め込み型対流性降水の3タイプの降水事例について偏波パラメータの特徴を詳細に調べた。これらの事例はいずれも湿潤亜熱帯域で頻繁に観測されるタイプの降水であり、(1)には明瞭なブライトバンドが観測されたが、(2)と(3)には見られず、(2)と(3)は従来の分類法ではともに対流性降水と判定される事例である。

各降水領域 ($10\text{km} \times 15\text{km}$) 内で観測された偏波間相関係数 ρ_{HV} の鉛直分布を図 3.1-8 に示す。一般に ρ_{HV} は融解層において低い値を示すことが知られており、層状性降水では、 0°C 高度付近で ρ_{HV} は全体的に低く融解層の存在が示唆される。地上付近では ρ_{HV} は 0.98 以上の高い値を示している。一方、孤立型対流性降水では、 0°C 高度付近で ρ_{HV} が高く、地上付近では 0.9 程度までの小さい値がみられる。また、層状埋め込み型対流性降水の ρ_{HV} の鉛直分布の特徴は、孤立型対流性降水より、むしろ層状性降水に近いことが分かった。さらに、高度 2km 以下の下層の水平偏波のレーダ反射因子 Z_{HH} と反射因子差 Z_{DR} の関係からも、従来の Z_{HH} のみを用いた層状・対流分類は、雲物理的な性質を特徴づけるという点では不十分であることが示された。

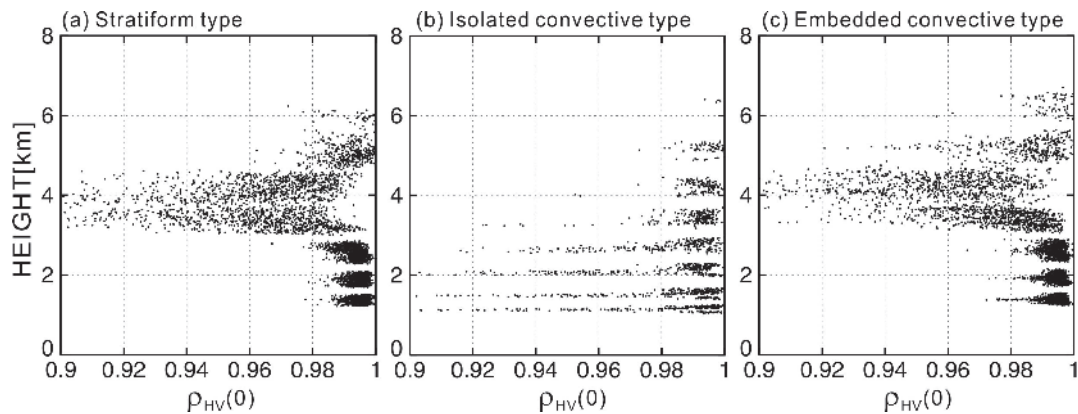


図 3.1-8 (左)層状性降水, (中央)孤立型対流性降水, (右)層状埋め込み型対流性降水の各領域における偏波間相関係数 ρ_{HV} の鉛直分布.

衛星搭載レーダやマイクロ波放射計の降水リトリバルアルゴリズムにおいて、融解層の扱いは大きな課題の一つであるため、上記の解析結果において、対流性降水でも融解層が存在する事例があることは新しい発見である。この結果を降水リトリバルアルゴリズムに反映させるために、従来の Z_{HH} のみを用いた Steiner et al. (1995) の方法による層状・対流判別(図 3.1-9 上・中図)に、偏波間相関係数 ρ_{HV} の鉛直分布による融解層の有無の判定(図 3.1-9 下・中図)を加えた新しい降水タイプ分類手法を開発した。これにより、降水雲は(1)層状・融解層有り、(2)層状・融解層無し、(3)対流・融解層有り、(4)対流・融解層無しの4つのタイプに分類されることになる(図 3.1-9 中図)。この分類法を 2006 年 6 月 2 日に観測された降水システムに適用して、融解層の存在割合と高度を調べた。その結果、対流性降水域は、降水域全体の約 20%を占めており、そのうち約 40%に融解層が存在していた。また、融解層高度は、高度 3km から 5.5km の間で広く分布しているが、対流性降水域(平均高度 4.2km)の融解層は層状性降水域(平均高度 3.9km)に比べて全体的に高い(平均で約 0.3km 程度)傾向がみられた。

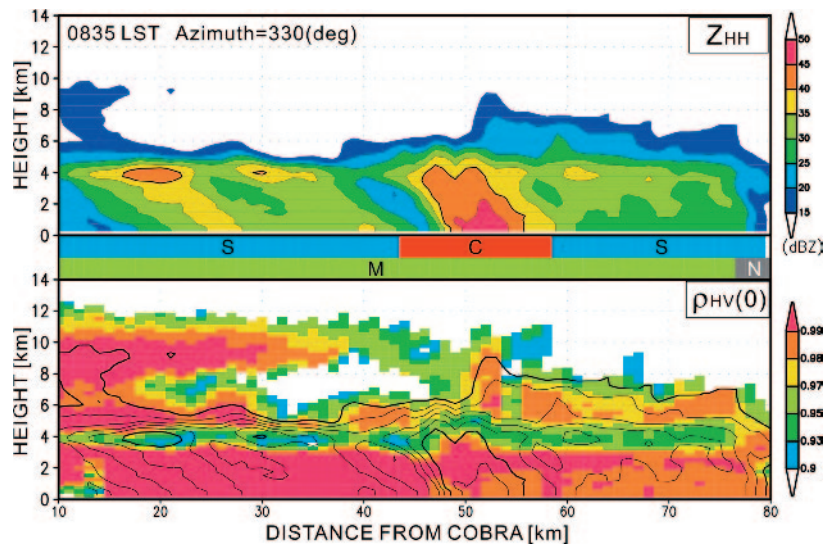


図 3.1-9 (上) Z_{HH} の鉛直分布. (中)降水タイプ. C: 対流性, S: 層状性, M: 融解層有り, N: 融解層無し. (下) ρ_{HV} の鉛直分布. 等値線は Z_{HH} .

また、COBRA と 2DVD を組み合わせて降水雲を特徴づける解析も行った。2006 年 6 月 2 日に観測された梅雨前線通過に伴う降雨事例について、層状性降雨の雨滴粒径分布特性及び偏

波パラメータ等の鉛直構造の解析を行ったところ、梅雨前線の通過前後で最大粒径や直径 1mm 前後の雨滴の個数に変化が見られた。これはブライトバンド(融解層)高度の違い等の降水の鉛直構造の差違を反映していることが分かった。

④ 研究成果の位置づけと類似研究との比較

2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)は、短い時間間隔の GPS ゾンデ観測、C バンド偏波レーダ COBRA による連続的な3次元データの取得、多周波レーダによる鉛直プロファイル観測を地上測器観測と組み合わせて実現し、マイクロ波放射計搭載衛星の上空飛来時のデータも得られたことから、非常に意義深いものと考えられる。観測データのデータカタログ、4次元データセットを短期間で作成・配布し、降水物理量のデータベース化を進めることにより、降水物理モデル開発グループによる降水物理モデルの作成、及び全球降水マップ作成グループによるローカルな降水マップの検証に寄与できた。衛星推定雨量の検証目的に提供した地上レーダデータは、面積的なサンプリング誤差が非常に小さく、衛星通過に同期したデータのため時間的なサンプリング誤差も小さいという利点を持つ。

ウィンドプロファイラデータを用いた降雨層における雨滴粒径分布の推定手法はいくつか提案されているが、融解層より上層の降水粒子の粒径分布に関する研究はほとんど行われておらず、本研究で開発した粒径分布推定手法は画期的である。この手法の 400MHz 帯ウィンドプロファイラ(400MHz WPR)データへの適用と、地上の2Dビデオディストロメータ(2DVD)、マイクロレインレーダ(MRR)データの接続により得られた、地上から降水頂に至る時間・空間的に連続した降水粒径分布の鉛直プロファイルのデータベースは非常に貴重である。

Ka バンドドップラーレーダ(MP-Ka レーダ)と 400MHz WPR のデータを組み合わせた固体降水層の氷水量の鉛直プロファイル導出手法は、両者の特長を生かして固体粒子の落下速度を求め、地上観測結果の類推から「あられ」と「雪片」を分類している点が独創的である。この結果を用いて求められた地上降雨強度と積算氷水量の関係は、固体降水層のモデル化に有益な情報を提供した。また、近年飛躍的な発展を遂げている、雲解像モデルによる数値シミュレーション結果との比較の点でも有意義である。

COBRA による偏波パラメータの活用により、レーダ反射因子 Z のみを用いて行われてきた従来の層状・対流分類は、降水の雲物理的な性質を特徴付けるとい点では不十分であることを明らかにし、降水粒子の分布を直接的に考慮した新しい概念に基づく降水タイプ分類を提案した。また、対流性降水域の融解層高度を初めて統計的に整理することができた。

(2) 研究成果の今後期待される効果

2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)で得られたデータ及び降水物理量のデータベースならびに観測のノウハウは、全球降水観測計画(GPM)衛星等今後の衛星搭載マイクロ波放射計及びレーダによる降雨強度推定アルゴリズムの開発・検証、地上検証観測の計画・立案に大いに役立つものと期待される。

開発された降水物理量推定手法は、それぞれのリモートセンサを利用した気象学、雪氷学等の観測研究分野でも有効である。

散乱アルゴリズムの改良に重要な固体降水に関しては、雨に比べて圧倒的に未知な部分が多いが、Okn-Baiu-04 で得られた COBRA 偏波情報や多周波レーダデータを利用した複合解析、雲モデルによる数値シミュレーション、詳細な散乱計算を組み合わせた研究を今後も進めることにより、固体降水層のモデル化に進展が見込める。

また、COBRA 偏波情報を用いた降水粒子の分布に基づく新しい降水タイプ分類アルゴリズムは、TRMM/PR などのデータとの比較を進めることにより、最終的には、衛星搭載レーダやマイクロ波放射計で得られるパラメータを用いて分類可能な手法に結びつけることが期待される。

参考文献：

- Hause, D. and P. Amayenc, 1986: Retrieval of cloud water and water vapor contents from Doppler radar data in a tropical squall line. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 823–838.
- 石坂雅昭・椎名 徹・中井専人・佐藤篤司・岩本勉之・村本健一郎, 2004: 画像処理手法を用いた自動観測による降雪粒子の同定について その2 長岡で観測された降雪粒子と自動観測による検出手法の検証. *雪氷*, **66**, 647–659.
- 北村康司・中川勝広・関澤信也・花土 弘・高橋暢宏・井口俊夫, 2006: 400MHz 帯ウィンドプロファイラを用いた融解層より上層における粒径分布の推定手法の開発. *水工学論文集*, **50**, 439–444.
- 北村康司・中川勝広・関澤信也・花土 弘・高橋暢宏・井口俊夫, 2007: 400MHz 帯ウィンドプロファイラおよび COBRA を用いた融解層上層の粒径分布推定手法の開発. *水工学論文集*, **51**, 349–354.
- Kobayashi, T. and A. Adachi, 2001: Measurements of raindrop breakup by using UHF wind profilers. *Geophys. Res. Let.*, **28**, 4071–4074.
- Nishitsuji, A., M. Hoshiyama, J. Awaka, and Y. Furuhashi, 1983: An analysis of propagative character at 34.5 GHz and 11.5 GHz between ETS-II satellite and Kashima station. – On the precipitation model from stratus, *IEICE Trans. (Japanese Edition)*, **J66-B**, 1163–1170.
- Steiner, M., R. A. Houze Jr., and S. E. Yuter, 1995: Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 1978–2007.
- Testud, J., S. Oury, R. A. Black, P. Amayenc, and X. Dou, 2001: The concept of "normalized" distribution to describe raindrop spectra: A tool for cloud physics and cloud remote sensing. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1118–1140.

3. 2 降水物理モデル開発(降水物理モデル開発グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

衛星搭載マイクロ波放射計から得られる情報は、大気による上向き放射、大気からの下向き放射の地(海)表面での反射および地(海)表面の放射を足し合わせたものである(ただし、マイクロ波帯で降水を観測する場合には放射だけではなく散乱も考慮する必要がある)。そのため、マイクロ波放射計の観測から地表面付近の降水量を推定するには各高度における降水の放射・散乱への寄与(即ち降水の高度分布)を正確に見積もる必要がある。一般的なマイクロ波放射計では5周波9チャンネル(水平・垂直偏波を含む)程度の情報しか得ることができないため、高度を分解する重み関数により降水の高度分布を推定するといった方法は用いることはできず降水の高度分布や降水粒子のタイプ(雨、雪など)の高度分布をモデル化して降水量を推定することになる。これが即ち降水物理モデルである。

本研究グループの目的は、この降水物理モデルを、衛星搭載の降雨レーダの降水物理モデルまたは衛星搭載降雨レーダから得られる降水物理情報と共有することにより、より信頼度の高いものとして構築することである。降水物理モデルは放射伝達モデルによるフォワード計算に用いられ、得られた降水強度と輝度温度の関係をルックアップテーブル(LUT)としてまとめ、リリーバルに用いている。

② 研究実施方法・実施内容

本グループの研究は、最初に先行研究で用いられている降水物理モデルを吟味し、改良を要する要素を抽出する作業を行った。その後、それぞれの要素に対して降水物理モデルの構築・改良を進めた。この中で降水物理モデルの根幹をなすものとして、

- 降水プロファイル(降水粒子タイプの鉛直分布を含む)(②-3)
- 雨滴粒径分布(DSD)(②-4)
- 融解層(②-5)

を取り上げた。さらに全球の降雨推定に適用し、高度化するために

- 0℃高度などの大気情報の利用(②-1)
- 全球の降水タイプの分類(②-2)
- 対流性・層状性の降水の分類(②-6)

が重要なテーマとなった。以下からはこれらの研究項目ごとに成果を示してゆく。

②-1 0℃高度情報の利用

放射伝達モデル(RTM)を用いたフォワード計算によるルックアップテーブル(Look-up Table, LUT)を作成するには降水強度のプロファイルとともに大気のプロファイル情報も必要になる。大気の情報日はごと、緯度経度ごとに異なるため、本研究では5×5度格子点ごとに気象庁の全球客観解析(GANAL)データを用いることとした。客観解析データは、種々の直接観測データ(固定観測点のデータ、ラジオゾンデデータなど)や間接観測データ(衛星観測データなど)の収集と品質管理を系統的に行った上で、数値予報モデルを用いてデータ同化することにより作られる物理的に整合性を有するデータセットである。フォワード計算において必要な大気等の物理量は、気温、地表風、地表面温度(本研究では海上のみ気象庁の海面水温データを利用)、および0℃高度(FLH)である。FLHはこれを境に降水粒子の相(雨か雪)が変るためフォワード計算において重要なパラメータになり、ここではGANALの気温データと高度データを用いて、スプライン補間することにより求めている。

②-2 降水タイプ分類

地球上で観測される降水雲は大きく対流性と層状性に分けられるが、マイクロ波放射計の観測に影響する降雨頂や雨滴粒径分布を考えると時間・空間的に詳細な特徴を与える方が降水推定精度向上に役立つ。しかしながら、計算機資源の効率化やアルゴリズムの汎用性を考えるとなるべ

く少ない情報で降水の特徴を表わすことが必要になる。本研究では熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載されている降雨レーダ (PR) および雷センサ (LIS) を用いて地球上の地域的な降水の特徴を明らかにし、それを基に降水タイプ分類を行った。即ち、

1. TRMM PR の軌道データを約 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ のメソスケールの単位で切り出し、降雨特性を③-2 で詳述する5つの指標で表現するための統計解析を行い、その結果を利用して、熱帯・亜熱帯の降雨を、降雨要因別に複数のタイプに分類するフローチャートを作成し、分類を行う。
2. この降雨タイプ分類をベースとしてさらに TRMM PR の降雨量と共に LIS の雷データを併用し、降雨量／発雷比 (RPF: Rainyield Per Flash) を用いた降水タイプ分類を行い、これを最終的な全球降水タイプとした。

降水タイプのデータは3ヶ月毎、2.5 度格子毎に作成し、降水プロファイル、雨滴粒径分布、さらに対流性・層状性の出現割合とリンクさせ、フォワード計算へ供している。

②-3 降水プロファイル

マイクロ波放射計降水推定において参照される降雨強度プロファイル情報をより地域や季節に即したものとするために、本研究ではPRによって観測される降雨強度プロファイルを用いて前項の降水タイプ分類に基づいた降水プロファイルデータベースを作成した。このデータベースの評価方法として、1). 降雨強度鉛直分布の多様性に関する解析、2). 降水プロファイルデータベースの地域代表性の評価、3). GSMaP アルゴリズムへの導入効果の検証、を実施した。

②-4 雨滴粒径分布

②-2 で作成した降水タイプに対応させた雨滴粒径分布モデルを開発するため、TRMM 搭載降雨レーダ (PR) から求められる雨滴粒径分布情報を利用した。実際、降水タイプ分類の全球的分布とPRから求めた雨滴粒径分布パラメータの分布の相関が良いため、降水タイプ分類と雨滴粒径分布モデルをリンクさせることが可能になった。これまでは 5 度グリッドの LUT を作成するときに従来のマーシャル-パルマー型の粒径分布を用いたが、本研究では PR から求めた雨滴粒径分布パラメータにより得られる雨滴粒径分布モデルを採用して RTM 計算を行う。TRMM 観測範囲外の高緯度地方の雨滴粒径分布モデルは外挿によって得ることにした。

一方、雨滴粒径分布モデルの作成においては、1) PR による雨滴粒径分布推定は様々な誤差要因が含まれるため、その誤差検討、2) 降雨タイプ毎の雨滴粒径分布モデルを求め、降雨タイプと雨滴粒径分布モデルの関連づけ、3) PR による降雨強度推定に、開発したモデルを適用して妥当性を検証、といった作業を行ったほか、RTM への雨滴粒径分布モデル組み込み作業を実施した。

②-5 融解層モデル

0°C 高度より上空で形成された降水粒子 (氷晶、雪) が落下中に0°C 高度に達すると融解が始まり、層状性降雨では雪、半融解の雪、雨が共存する融解層を形成する。この融解層はマイクロ波放射の観点からも雨のみの状態や雪のみの状態と異なることから、放射伝達計算に適切に取り入れる必要がある。本研究では、TRMM/PR のアルゴリズムに採用されている融解層モデルを放射伝達計算に導入するとともに、新たな融解層モデルの開発を行った。

TRMM/PR の融解層モデルの導入については、これまでの放射伝達モデルの13層の大気モデルにおいて0°C 高度付近に19層 (50m 間隔) を追加し融解層を詳細に表すようにした。TRMM/PR で用いられている融解層モデルの妥当性は TRMM/PR データから得られる0°C 高度情報を参照した輝度温度と降水強度の関係等においてモデルと観測を比較することにより確認した。

一方、新たな融解層モデルの開発では、現在採用されているモデルの問題点である、1) 降水強度に関わらず融解層の厚さが一定であること、2) 0°C 高度以上で非常に小粒径の粒子が多い粒径分布となり雪のモデルと整合性が無いこと、3) 融解層内で降水強度が一定という仮定をしていること、を解消する目的で実施した。

②-6 対流性・層状性降雨の取り扱い

融解層モデルの導入にあたり対流性降雨と層状性降雨を分類して取り扱うことが必要になった。

現在の GSMaP のアルゴリズムでは瞬時データから対流性・層状性の判定を行うアルゴリズムは開発されていないため、各降水タイプ分類にあわせて統計的に対流性・層状性の出現頻度に重みをつけたルックアップテーブル(LUT)を作成することとした。研究は1998年3月から2004年2月までの6年間のPR レベル2プロダクトのデータ(2A25 Version6)を用いて、1)PR のピクセル単位での、降水タイプ別、降水強度別の対流性降雨と層状性降雨の頻度の割合の計算、2)TRMM マイクロ波イメージャ(TMI) 10GHz 有効瞬時視野角単位(EFOV)での、降水タイプ別、降水強度別の対流性降雨と層状性降雨の頻度の割合の計算を実施した。前者は85GHz や37GHz でのLUT 作成用、後者は10GHz、19GHz のLUT 作成用として用いられる。

③ 研究成果

③-1 0℃高度(Freezing Level Height: FLH)情報の利用

これまでのマイクロ波放射計アルゴリズムでは、固相(雪)から液相(雨)へ変化する0℃高度を観測データから推定していたが(例えば、Wilheit et al., 1991)、昨今の客観解析データの入手性の向上により信頼度の高い FLH のデータを得ることができるようになった。マイクロ波放射計の低周波の輝度温度は降雨からの放射と関係しており、液体降水層の厚さの与え方により推定される降水強度が変化するため、FLH 情報の信頼度の向上は推定精度向上につながる。以下では、本研究で用いた客観解析データと従来方法を比較することにより、この手法の利点を明らかにする。

図 3.2-1 は1998年1月1日(TRMM 軌道番号 549)の事例解析を示している。図 3.2-1a は Wilheit et al. (1991)に基づく FLH の分布で、図 3.2-1c は 観測された降水強度の分布である。両者を比較すると、Wilheit et al. (1991)に基づく FLH は、強い降雨域で、しばしば非現実的に低い(局所的に500m 程度も低くなる)FLH が推定されている。一方、気象庁客観解析データ(GANAL)から計算された FLH(図 3.2-1b)ではそのような特徴はない。気温データと高度データから直接的に FLH が計算されているため、GANAL からの計算値がより精度が高いと考えられる。従って、この特徴は Wilheit et al. (1991)に基づく FLH 推定アルゴリズムの問題点として挙げられる。

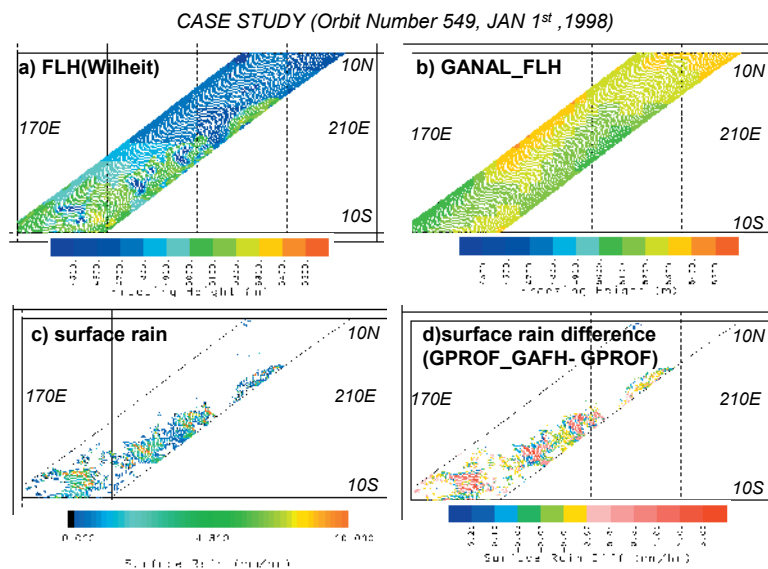


図 3.2-1 1998 年 1 月 1 日 (TRMM 軌道番号 549) の事例解析. a) Wilheit et al. (1991)に基づく FLH. b) GANAL に基づく FLH. c) GPROF により推定された降水強度. d) GPROF アルゴリズムで、b)と a)の FLH を用いてリトリーバルした差の分布.

③-2 降水タイプ分類

TRMM/PR データを用いた $1^\circ \times 1^\circ$ のメソスケールのボックス毎の統計解析の結果、各ボックスにおける降雨面積 (Area)、層状性降雨面積比 (Stratiform Pixel Ratio: SPR[%])、層状性降水量比 (Stratiform Rain Ratio: SRR[%])、降雨強度 (Rainfall Strength: RS [mm/h])、降雨頂高度 (Rain Top

Height:RTH[km])の5つの統計量でボックスの降雨特性をよく表現できることが示された。この統計結果から、1)夕立の雨、2)亜熱帯高気圧下の浅く離散的な雨、3)冬半球中緯度帯における温带低気圧の雨、4)海上の熱帯収束帯や雨季モンスーン域でよく見られる組織化したメソスケールのクラウドクラスターの雨、に分類することができた。

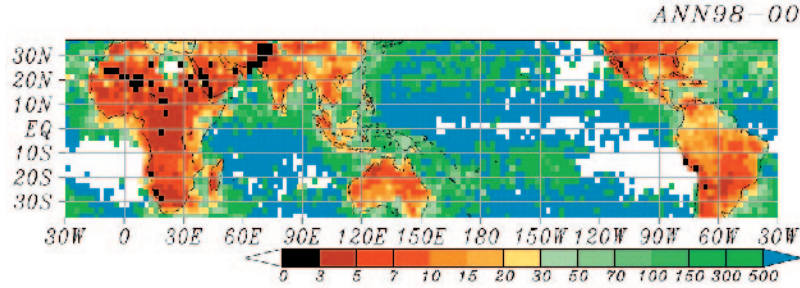


図 3.2-2 1998-2000 年全平均の降雨/発雷比 (RPF) 分布. カラースケールの単位は, $\times 10^7 \text{ kg/flash}$. (Takayabu, 2006)

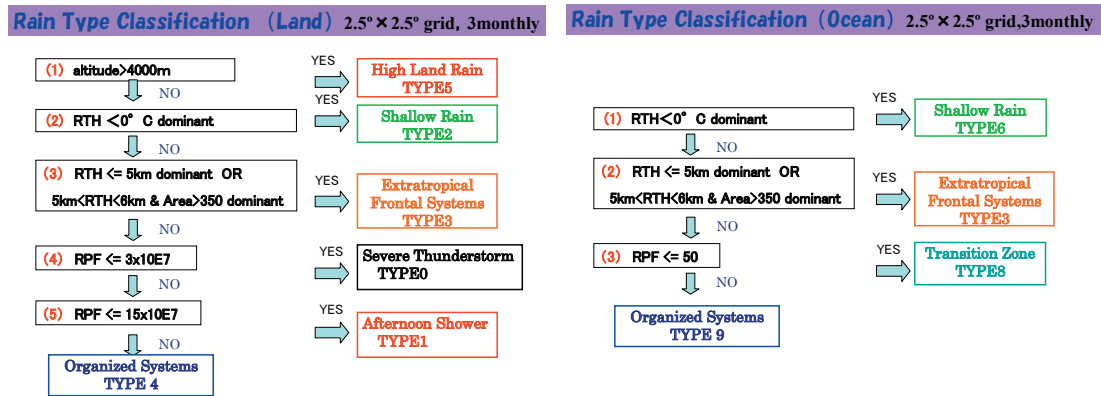


図 3.2-3 降雨タイプ分類のフロー (左)陸上, (右)海上.

さらに、TRMM 衛星に同時搭載された降雨レーダ (PR) と発雷センサ (LIS) とによる観測データを利用し、熱帯亜熱帯域の降雨量/発雷比 (RPF: Rainyield Per Flash) の季節毎の値を計算した。この値は降雨量を雷活動で規格化した値であるため、「量」でなく「質」を表し降雨特性をよく表現する。図 3.2-2 は、3 年平均 RPF 分布である。第一に、海陸のコントラストが非常に顕著であり、雷あたりの降雨量は海上の方がはるかに大きい。また、海上も特に大陸の周辺を主とする領域に、中間的な値を示す「遷移域」が見出された。この RPF と背の高い降雨 (-20°C より降雨頂高度の高い雨) との関連を見ると、特に陸上では、この2つの値に顕著な (-0.55) 相関関係があり、小さい RPF は背の高い降雨を代表する。一方海上での相関は小さい (-0.28) が、海上も年平均 $\text{RPF} < 5.0 \times 10^8 \text{ kg/flash}$ で定義した遷移域に限ると比較的相関が高くなるが (-0.34)、それ以外の海上では相関がなかった (-0.01)。このように RPF の値は降雨特性をよく表現することが示され、RPF を降雨タイプ分類手法のパラメータに加えて最終的な降水タイプとした (図 3.2-3)。この新しい分類により後述の雨滴粒径分布パラメータとの対応が改善された。最終的な分類は、陸上で 6 種類 (0. Severe Thunderstorm, 1. Afternoon Shower, 2. Shallow Rain, 3. Extratropical Frontal Systems, 4. Organized Systems, 5. High Land Rain)、海上で 4 種類 (6. Shallow Rain, 7. Extratropical Frontal Systems, 8. Transition Zone, 9. Organized Systems) となった (図 3.2-4)。

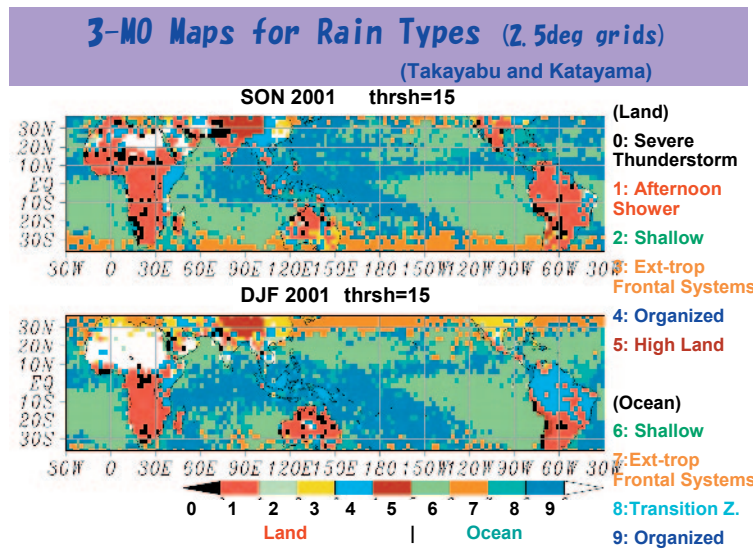


図 3.2-4 RPF 値を利用して改良した新しい降雨タイプ分類の例。
2001 年 9-11 月と 12-2 月期. 陸上6種類, 海上4種類の計 10 種類に分類した.

③-3 降水プロファイル

マイクロ波放射計観測のみでは降水プロファイル情報を得ることができないため、適切な降水プロファイルを与えることが降水強度推定精度の向上につながる。本研究では、前項で述べた降水タイプ毎に降水プロファイルのデータベース作成を目指した。実際には、TRMM/PR で観測した降水強度プロファイルを降水タイプ別、降水強度別に1℃高度を基準として作成した。例として図 3.2-5 にタイプ 9 (Organized Systems) のプロファイルデータを示す。それぞれのプロファイルは、ルックアップテーブル(LUT)に用いる地表面降水強度に合わせて、TRMM/PR のプロファイルデータを平均したものであり、3 ヶ月ごとに 10 タイプの降水プロファイルを作成することになる。

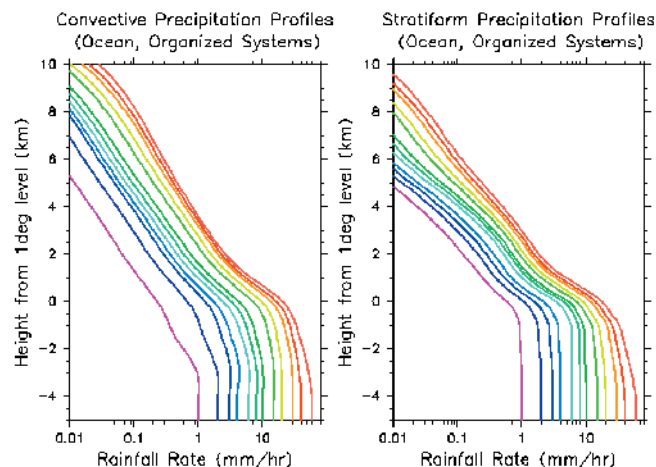


図 3.2-5 降水プロファイルデータベースの例。
左) 対流性降雨, 右) 層状性降雨, 降水タイプは海上の Organized Systems.

この降水プロファイルの導入において重要なのは、降水タイプ別に作成した降水プロファイルの代表性である。そこで8年分の5度格子平均のプロファイルデータセット(5DEG)を作成し、クラスター解析を実施した。はじめに降水タイプ分類の確認のため、クラスター分類を地図にしたところ、③-2 で示した降水タイプ分類と概ね合っていたが、アフリカのサハラ・サヘル域では上空に顕著な

降雨強度のピークがあることが明らかとなり、その地域のプロファイルの特異性をアルゴリズムにおいて考慮する必要があることが示された。

前項で述べた雷と雨との関係を表す指標(RPF)の導入の効果についても RPF 情報の有り無しでクラスター解析を行い、大陸性の非常に発達した降水が分離されることにより、降雨強度プロファイル分類としてのパフォーマンスが向上することが確認された(図 3.2-6)。

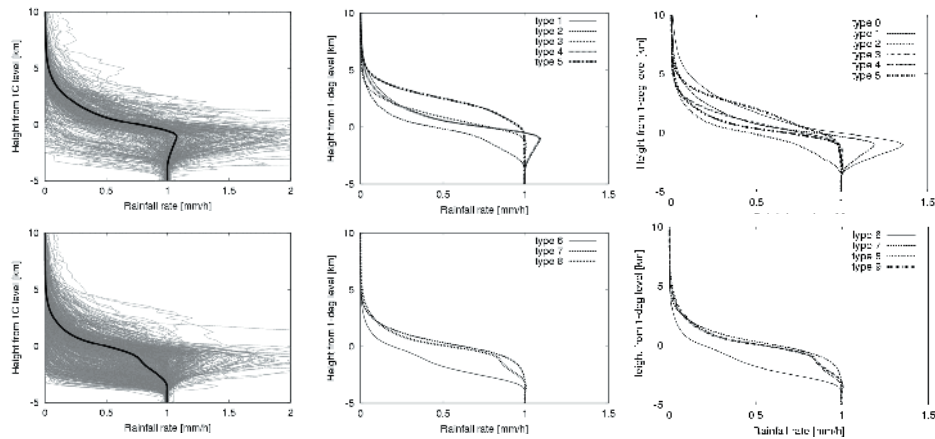


図 3.2-6 地表面降雨強度 1mm/h の平均降雨強度プロファイル.

左は 2.5 度格子平均のプロファイル(灰色の実線)と全領域平均のプロファイル(黒色の実線). 中央は RPF を用いない分類, 右は RPF を導入した現在の分類による各降水タイプの平均プロファイル. 上は陸, 下は海を対象としている.

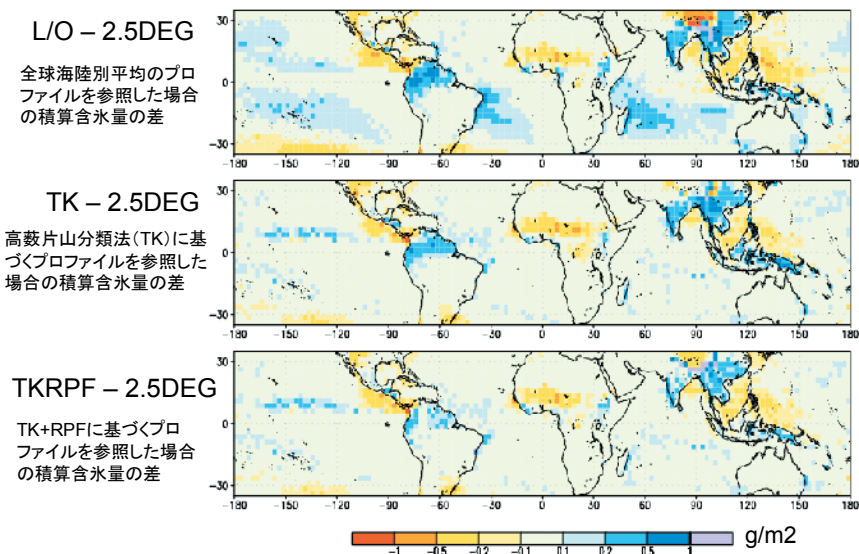


図 3.2-7 観測された積算含水量に対する各推定量の差. ここでは, 単に海陸を分けただけの降水タイプ分類法, RPF 導入前の分類法, RPF 導入前の分類法による積算含水量と観測値の差を示す. 地表付近降雨強度が 1mm/h の場合の含水量をそれぞれ積算した. 期間は 1998~2000 年 JJA.

プロファイルデータセットが地域の特徴をよく代表しているかどうか、実際のパターンと隔たりがある地域はどこかを明らかにするための検証も実施した。上記のクラスター解析結果より、プロファイルのバラツキの大きさが、発達高度(降水トップ)や 1℃高度よりやや低い高度に見られるピークの強さと良い相関を持っていたことから、プロファイルの代わりに含水量の積算値(即ち0℃高度から

発達高度まで)を求め、各地域で平均した2.5DEG(降水タイプ分類を用いない観測値)との比較を行った(図 3.2-7)。単純な海陸別平均のプロファイルを参照した場合では、東南アジアや南米北部などでは含氷量を過大に見積もる傾向がある。含氷量は陸上では散乱シグナルの強さと関連が深く、含氷量を過大・過小に見積もった地域では降水量の過小・過大評価(PR との比較)に対応していた。これらに対して、RPF を導入した現在の降水タイプ分類法では、特に南米北部や南アジアにおけるプロファイル地域代表性がより改善されていた。

③-4 雨滴粒径分布

③-4-1 雨滴粒径分布モデルの概念

本研究では地域毎に降水タイプの分類(③-2)に基づき、それに関連させた雨滴粒径分布のモデルを与えるため、全球的にデータ取得可能なTRMM/PRの雨滴粒径分布モデルを採用した。TRMM/PR のアルゴリズムでは、まず層状性、対流性それぞれについて標準の Z-R 関係を定めている。これは過去の多くの研究結果から求められた Z-R 関係を元に決定されたものである。PR では、表面参照法(SRT)を基準にして、どのモデルが適しているか推定することができる。

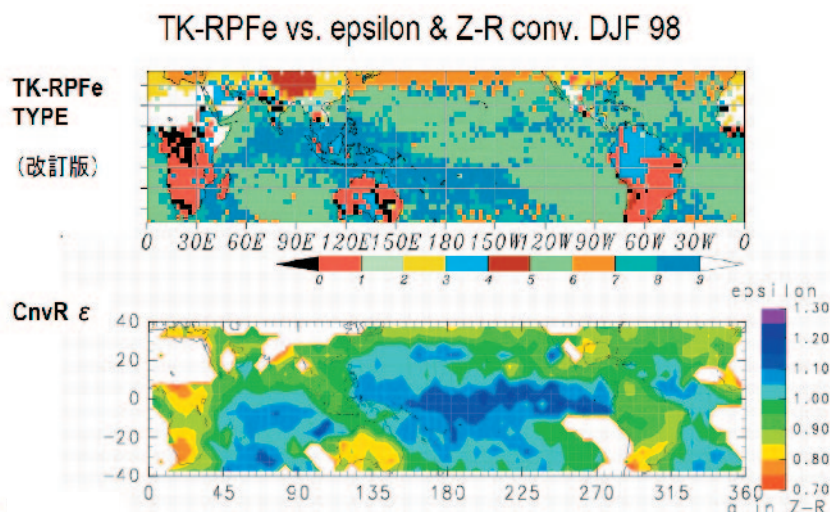


図 3.2-8 降雨タイプ分類(上)と粒径分布情報を反映する対流性の ϵ 値(下)との比較。

表 3.2-1 降雨タイプ分類に対応した Z-R 関係($Z=aR^b$)のパラメータ a

RainType	DJF	MAM	JJA	SON
0	294.5371	288.8701	288.8701	274.7542
1	254.9534	255.5108	255.5108	247.5403
2	216.9971	217.2955	217.2955	208.1179
3	245.7738	234.6863	234.6863	237.9826
4	205.8423	204.4079	204.4079	208.8274
5	260.6215	210.8952	210.8952	232.4771
6	178.8646	180.0451	180.0451	180.2396
7	215.8243	230.7565	230.7565	229.2268
8	196.9204	196.5226	196.5226	186.2256
9	178.6883	177.8723	177.8723	178.3797

その結果、PR 観測を最も妥当に説明できる雨滴粒径分布パラメータ ($Z-R$ 関係式、 $Z=aR^b$ 但し b は固定) が推定される。実際には雨滴粒径分布モデルを連続的に変化させるため、SRT による調整パラメータ (ε) の関数として雨滴粒径分布モデルが決められる。標準では $\varepsilon = 1$ であり、 $\varepsilon > 1$ では小さな雨滴が、 $\varepsilon < 1$ では大きな雨滴が卓越するモデルとなる。この方法により、長年にわたり、雨滴粒径分布モデルの地域毎の統計値が求められている。PR により推定された ε の分布例を降水タイプ分類と併せて図 3.2-8 に示す。陸上と海上で、 ε に違いがみられ、陸上では ε が小さく、海上では大きくなっている。これは陸上の雨滴は海上よりも全般に大きいことを示唆している。また、降水タイプ分類のパターンとも良い一致を示した。

降雨タイプ分類と対応させて、TRMM のレベル3プロダクト PR3A25 を処理し、降雨タイプ毎の標準 $Z-R$ 関係を求めた。その結果を表 3.2-1 に示す。PR3A25 には 0.5 度グリッドの ε の月平均値が格納されておりそれを降水タイプ分類の 2.5 度グリッドに変換し、最後に ε を $Z-R$ 関係の a の値に変換し、これをフォワード計算に供した。

③-4-2 地上雨滴粒径分布測定(ディストロメータ)との比較

PR 推定値の妥当性の検討として世界各地のディストロメータデータから求めた $Z-R$ 関係の係数と、PR から推定した係数の比較を行った。その結果の例を図 3.2-9 に示す。

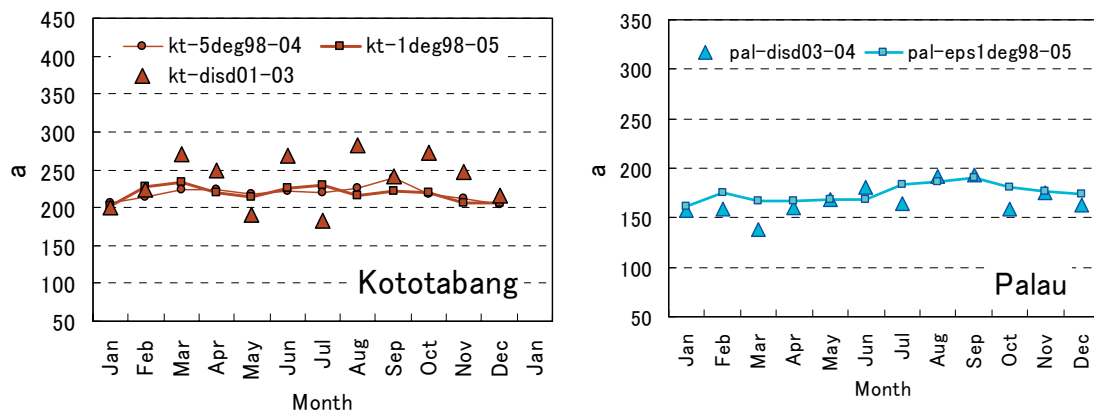


図 3.2-9 TRMM PR から推定した $Z-R$ 関係の係数 a とディストロメータから推定した a の比較。

コタババン(西スマトラ・山岳地帯)(左)およびパラオ(海洋性)(右)。kt-5deg98-04 は 1998 年から 2004 年でのコタババン周辺の緯度経度 5 度の領域の TRMM/PR から推定した a の値の平均値、同じく kt-1deg98-05 は 1998 年から 2005 年でのコタババン周辺の緯度経度 1 度の領域の平均値、kt-disd01-03 は 2001 年から 2003 年でのコタババンにおけるディストロメータ観測値から求めた a を示す。同様に、pal-eps1deg98-05 はパラオ周辺の緯度経度 1 度の領域の TRMM/PR から推定した a の値、pal-disd03-04 はパラオでのディストロメータ観測値から求めた a を示す。

この 2 例では、絶対値およびその季節変化は PR 推定値とディストロメータの間でよい一致を示している。その他のサイトでは、いくらかの不一致は見受けられるが、全般には PR とディストロメータは相互に矛盾しない結果となった。この結果から、PR で推定される雨滴粒径分布パラメータは統計的には妥当なものと推測される。

③-4-3 日周変化、降雨頂高度、雷頻度などの解析

TRMM から推定される ε の日周変化を海上および陸上において調べたところ、陸上では午後に ε が低下することがわかった。また ε は降雨頂高度や雷頻度が高くなるとともに減少することがわかった。これらの結果は、午後陸上でみられる対流性降雨で雨滴が大きく、また背の高い激しい対流では雨滴が大きい、という従来からの経験と矛盾しない。このことも間接的に ε による雨滴粒径分布モデルの妥当性を支持する。

③-5 融解層モデル

③-5-1 TRMM/PR の融解層モデルの導入

TRMM/PR のアルゴリズムで用いられているものと同様の融解層モデル(Nishitsuji et al., 1983)を GSMap アルゴリズム(放射伝達モデル)へ導入した。LUT の評価において融解層は雨のみのモデルよりも輝度温度を上昇させる効果を持っており、図 3.2-10 に示す融解層モデルを取り入れた降水強度の推定量と従来方法との差をみると、融解層モデルを導入したものの方が全般的に降水強度が弱くなっている。特に、 0°C 高度の低い冬半球の中緯度では融解層モデルの導入のインパクトが大きくなっており、モデル導入の重要性が示された。

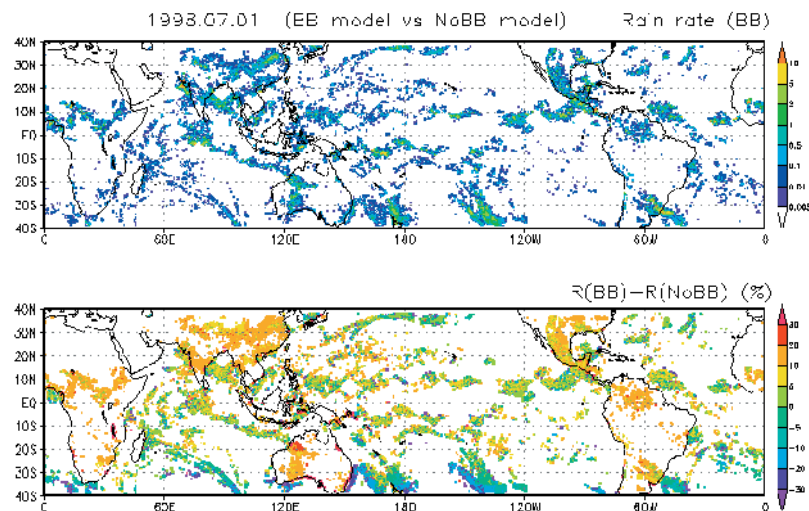


図 3.2-10 (上)融解層モデルを用いたアルゴリズムによる降雨パターン(1998 年 7 月 1 日のデータ)。
(下)融解層モデルの有り無しによる降水強度の変化の割合(%)。

この融解層モデル導入の前提として、融解層モデルの妥当性についても TRMM/PR のデータを用いて検討を行った。層状性降水の場合、TRMM/PR の観測では融解層はブライトバンドとして現われるため、 0°C 高度の推定が比較的たやすく行えることと、層状性降水はそれほど降雨強度の鉛直方向の変化が大きいことから、観測とモデルが比較し易い。そこで、 0°C 高度を一定(即ち、雨の層の厚さを一定)とした観測データ(降水強度、鉛直積算減衰量、輝度温度)をモデルからの推定値と比較することにより、モデルの妥当性を検証した。また、鉛直積算減衰量は低周波の輝度温度と非常に相関が高く、TRMM/PR のデータのみでの検証も可能になる。その結果、一般に層状性降水の現われる数 mm/h 以下の降水強度では融解層モデルが観測と良く一致することが確認できた。

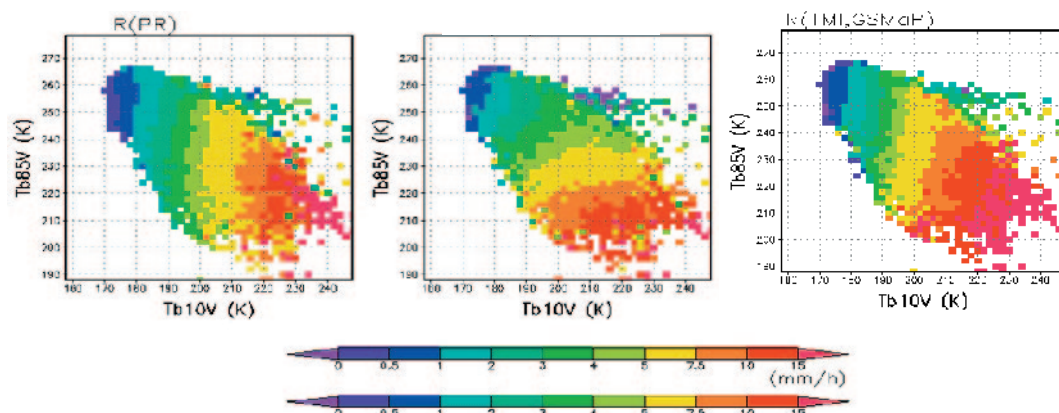


図 3.2-11 融解層高度 4km 時における輝度温度と降水強度の関係。
(左)PR, (中央)GPROF, (右)GSMap。

また、マイクロ波放射計の降水推定アルゴリズムの特徴を評価する手法を開発した。これは TRMM の降雨レーダ (PR) を用いて融解層高度毎に層状降水を抽出して、それぞれに対しての輝度温度 (10GHz、85GHz) と降水強度 (TMI のリトリバル結果) の関係を調べるものである。これにより、降水強度の輝度温度依存性がアルゴリズム同士のみならず、リファレンスとなる PR の降水強度と比較できる。その結果、TMI の標準アルゴリズム (GPROF) は降水強度推定において 85GHz に対する依存度が非常に高く、これが PR との違いの一因になっていることが明確になった。一方で、GSMaP は PR との類似性が非常に高くアルゴリズム開発が良い方向に進んでいることが示せた (図 3.2-11)。

③-5-2 新たな融解層モデルの開発

一般的に融解層モデルに求められていることは、どの高さに (高度分布)、どのサイズの雪が (粒径分布)、どの程度融けて (融解度) 存在するか、をなるべく現実的に与えることである。本研究では、現在採用されている西辻モデルの問題点である、1) 降水強度に関わらず融解層の厚さが一定であること、2) 0°C 高度以上で非常に小粒径の粒子が多い粒径分布となり雪のモデルと整合性が無いこと、3) 融解層内で降水強度が一定である仮定をしていること、を解消する目的で新たに融解層モデルを開発した。このモデルでは球形粒子を仮定した一様混合誘電体モデルを採用し、粒子の併合・分裂過程は粒径分布を与えることで間接的に含まれていると解釈することにする。さらに、融解層の下端 (即ち、雨のみ)、上端 (即ち、雪のみ) の降水強度および粒径分布は、Marshall-Palmer の式 (雨, Marshall and Palmer, 1948) および Sekhon-Srivastava の式 (雪, Sekhon and Srivastava, 1971) を用いる。粒子の融解度のモデルは横山-田中 (Yokoyama and Tanaka, 1984) のモデルを採用し、粒径分布の傾きは融解層上端から融解層中のある高度まで直線近似し、降水強度についても融解層上端から融解層中のある高度まで直線近似し、それぞれ雨領域の上端の値に接続している。この粒径分布の傾きと降水強度の情報により数密度を求めることができる。実際に TRMM/PR のデータを用いて (ブライトバンドの上端と下端のデータのみを用いる) 融解層の粒径分布プロファイルを求める場合には用いたレーダ反射強度因子 (Z) が融解層内での減衰の効果を受けているので、繰り返し計算による減衰補正が必要となる。

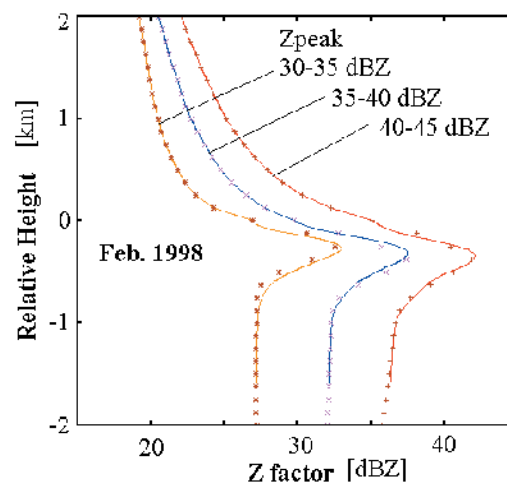


図3.2-12 TRMM/PRで融解層が観測されたときのレーダ反射因子 (Z 因子) のピークの大きさと分けた Z 因子の高度分布 (ドット) と本研究で開発したモデルによる計算結果 (実線) との比較。ただし、TRMM/PR の観測値には減衰の影響が含まれている。

図 3.2-12 に本研究で開発した融解層モデルを TRMM 衛星搭載降雨レーダのデータに対して適用した結果を示す。モデルと観測の間では非常に良い一致が見られる。また、雪領域の降水強度は雨領域の降水強度よりも一桁まではいかないにしてもかなり小さい。このことは、本研究で開発した融解層モデルでは、雨領域から上空の雪領域にかけて降水強度は減少しているが、それに

もかわらず融解層においてレーダ反射因子のピークが再現されている。また、非併合・非分裂モデルのように融解層中で降水強度が一定であると仮定しても融解層においてレーダ反射因子のピークが再現されることがよく知られている。このことを逆に言えば、融解層においてレーダ反射因子にピークが現われたとしても、融解層中において降水強度にピークが現われる必要はないことを意味している。レーダ観測は上空の雪領域における降水強度は、通常、下方の雨領域における降水強度よりもかなり小さいことを強く示唆しており、融解層において降水強度が上空に行くほど小さくなるとする本研究で採用した仮定は、直線的に変化するかどうかという定量的な点は今後検討すべきであるが、定性的にはかなりの現実味を有しているといえる。

③-6 対流性・層状性降雨の取り扱い

③-5で示した融解層モデルを統計的にかつ降水タイプ分類に応じて導入するために、TRMM/PR のデータから対流性降雨と層状性降雨の出現割合(対流層状比)を算出して対流性降雨(対流性雨滴粒径分布および融解層モデルなし)のルックアップテーブル(LUT)と層状性降雨(層状性雨滴粒径分布および融解層モデルあり)LUT の間で重み付けを行っている。高周波チャンネル(85GHz、37GHz)用の対流層状比は TRMM/PR のピクセル単位の出現頻度で求めた。低周波(10GHz、19GHz)チャンネルの対流層状比は、TRMM/TMI のフットプリントにマッチアップさせた TRMM/PR のピクセルの TMI フットプリント内での層状性ピクセル比の統計値から求めた。

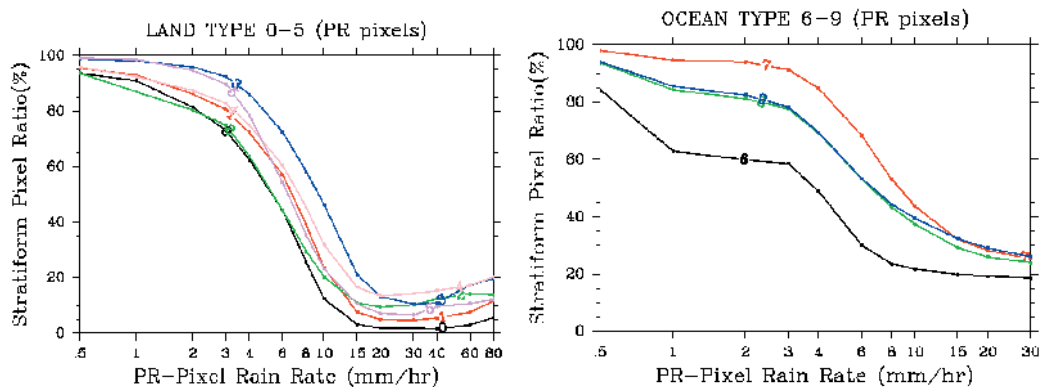


図 3.2-13 1998 年 3 月～2004 年 2 月の 6 年間の PR 2A25 Verion6 データから求めた降水タイプ別、降水強度別の層状性ピクセル比。図中の実線に付けられた番号がタイプ分類の番号と対応している。(左)陸上、(右)海上。降水タイプは陸上で 6 種類(0.Severe Thunderstorm, 1.Afternoon Shower, 2.Shallow Rain, 3.Extratropical Frontal Systems, 4.Organized Systems, 5.High Land Rain)、海上で 4 種類(6.Shallow Rain, 7.Extratropical Frontal Systems, 8.Transition Zone, 9.Organized Systems)。

図 3.2-13 は降水タイプ別、降水強度別の対流層状比を PR のピクセル単位の出現頻度から算出したものである。横軸は TRMM/PR レベル2プロダクト 2A25 の Estimated surface rain(地表面降水強度の推定値)の大きさで、その関数として、対流性もしくは層状性と判定されたピクセル全体に対する層状性ピクセルの割合(Stratiform Pixel Ratio, SPR)を示している。陸上・海上でともに、層状性降雨の頻度が extratropical frontal rain で相対的に高い。海上では、層状性降雨の頻度が shallow タイプで特に低い。これは海上の浅い積雲の発生頻度が高いことと関連している。陸上では、層状性降雨の頻度が severe thunderstorm タイプで相対的に低く、雷を伴う対流性降雨の頻度が高いことと対応していると考えられる。

図 3.2-14 は TMI 10GHz EFOV(FOV10)と PR のピクセル中心の分布の例である。TMI FOV10 のフットプリントサイズは 63km×37km の楕円である一方、PR の空間分解能は 4.3km であるので、FOV10 のサブピクセルスケールでの対流性ピクセルと層状性ピクセル割合を調べるために PR データを利用することは可能である。なお、FOV10 に含まれる PR ピクセルは 100 個程度である。図

3.2-15 は、FOV10 サイズにおける、海上の降水タイプ別、降水強度別の対流層状比を示している。ここで、横軸は FOV10 で平均した 2A25 の Estimated surface rain の値である。FOV 中で対流性もしくは層状性と判定されたピクセル数を、降水強度別に合算し、それから SPR を求めている。SPR が extratropical frontal rain で他のタイプより高いことは図 3.2-13 と図 3.2-15 で共通している。これは中緯度の総観規模擾乱に伴う降雨に層状性降雨が多いことを示しており、これまでに得られている気象学的な知見(例えば、Schumacher and Houze 2003)と一致している。一方、shallow の弱い降水強度で図 3.2-13 と図 3.2-15 の違いが大きい。図 3.2-15 では弱い降水強度で SPR が極小値となっている。FOV10 (63x37km) の領域平均をして降水強度が小さい場合に、海上の浅い積雲の頻度が多く、それによって対流性降雨のピクセルが相対的に多くなっている一方、それぞれの積雲による降水強度は 1mm/h 以上の大きさであるために、PR のピクセル単位で見た図 3.2-13 ではそのような特徴がないことが予想される。

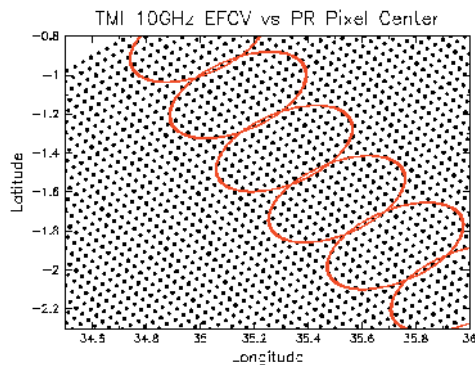


図 3.2-14 TMI 10GHz EFCV (赤線の楕円)と PR のピクセル中心(黒丸)の例。TMI の 10GHz の EFCV サイズは 63km×37km の楕円。PR の空間分解能は 4.3km。

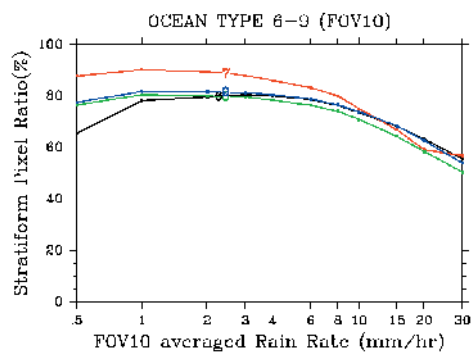


図 3.2-15 1998 年 3 月～2004 年 2 月の 6 年間の FOV10 サイズにおける海上の降水タイプ別、降水強度別の層状性ピクセル比。図中の実線に付けられた番号が、タイプ分類の番号と対応している。横軸は FOV10 で平均した 2A25 の Estimated surface rain の値。

表 3.2-2 降水物理モデル改良のインパクトのまとめ

test #		condition	reference condition	result for emission algo.
1. profile (convective)	[profile model] [DSD model] [BB model]	convective MP NoBB	global ave. MP NoBB	increase about 10%
2. profile (stratiform)	[profile model] [DSD model] [BB model]	stratiform MP NoBB	global ave. MP NoBB	decrease about 5%
3. DSD (convective)	[profile model] [DSD model] [BB model]	convective KozuConv NoBB	convective MP NoBB	increase about 10-20%
4. DSD (stratiform)	[profile model] [DSD model] [BB model]	stratiform KozuStrat NoBB	stratiform MP NoBB	increase about 5-10%
5. BB (MP)	[profile model] [DSD model] [BB model]	stratiform MP BB	stratiform MP NoBB	decrease about 10%
6. BB (KozuStrat)	[profile model] [DSD model] [BB model]	stratiform KozuStrat BB	stratiform KozuStrat NoBB	decrease about 10%

MP: Marshall-Palmer DSD,
KozuConv: DSD model in GSMaP (convective)
KozuStrat: DSD model in GSMaP (stratiform)

③-7 降水物理モデル改良のまとめ

本研究で取り扱ったのは、観測対象である降水の構造のモデル化についてであり、これらは基本的にはリトリーバルを実行するためのルックアップテーブル(LUT)に反映されるものである。よって、それぞれのモデル改良が降水推定においてどのようなインパクトを与えるかはLUTからある程度見積もることができる。ここでは、それらの改良の効果の概略を示す。表 3.2-2 にプロファイルモデル、雨滴粒径分布モデル(DSD)、融解層モデル(BB)とそれらの組み合わせによる導入の効果をもとめた。全般的にどの改良もおおよそ10%程度のインパクトを持っていることがわかる。また、層状のプロファイル導入と融解層モデルの導入は降雨を減少させ、その他のパラメータは降雨を増加させる働きを持っていることがわかる。

降水物理モデルの開発対象のうち、まだアルゴリズムへ反映されていないものとして、降雪のモデル化が挙げられる。これまでの降雪強度と粒径分布の関係を経験的に結びつけたモデルから、氷晶、雪、霰、雹を識別した粒子モデルと粒径分布モデル(及び、落下速度モデル)へ拡張したモデルの構築を目指して、地上レーダ観測および数値雲解像モデルによる研究を進めてきた。3.1節で示されたように、MP-Ka とウインドプロファイラを組み合わせた研究では、地表面付近の降水強度と上空のIWP(Ice water path)が良い関係を持つことが示されており、この結果は今後のアルゴリズム改良に役立つものと考えている。降雪のモデル化は地球温暖化の影響を受け易い高緯度での降水の観測(例えばGPM)において不可欠であり、これからさらに重要となるテーマである。

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

マイクロ波放射計による降水推定アルゴリズムの推定精度はTRMMの出現以降、TRMM搭載降雨レーダ(PR)との比較を行うことにより改善されてきた。主な改善点はやはりマイクロ波放射計では直接観測できない降水プロファイルや雨滴粒径分布モデルといった降水物理モデルにあった。本研究もTRMM/PRと共通な降水物理モデル開発を目指して包括的に研究を行ったが、このような例は世界的にも類を見ない。まだ最終的なプロダクトを作り出すに至っていないが、本研究において0°C高度以上の降雪・氷晶のモデルの改良を目指したが、世界の他の研究グループもほぼ同様の状況である。また、2013年に打上げ予定の全球降水観測計画(Global Precipitation Measurement: GPM)衛星に向けても降水物理モデルの構築・高度化が必要になることを考えると(特に、高緯度の降水)、本研究はそのための基礎を築いたといえる。

0°C高度推定については、これまで客観解析データを用いた研究はあまりなされていないが、今後はこのようなモデル出力と複合するアルゴリズムも増えてくると予想され、その意味では本研究は先駆的な研究であるといえる。

降雨タイプの分類には、これまでDai(2001)の降雨強度を指標とした、霧雨、シャワー、激しいストームなどによる分類などがあるが、衛星観測データから卓越する降雨要因(夕立や温帯低気圧前線、組織化したメソシステムなど)を動的に特定しようとする試みはこれまでにない。PRの統計のみでは分類に困難な部分が残ったが、雷情報を併用したRPF値により、より降雨特性を的確にとらえる分類が可能になった。

降水プロファイルの研究について、本研究ではPRによるプロファイル観測と統計的に整合性のあるプロファイルデータベースの構築を目指した。気温(1°C高度)と地表面降雨強度を制約条件とした場合のプロファイルの地域差異が明らかとなり、プロファイルの違い、降水システムの統計的性質の違いとして分類されたデータベースが作成された。他のマイクロ波放射計降水推定におけるPR情報の活用を目的とした研究(e.g., Masunaga and Kummerow, 2005)に比べて、PRによって観測された降水システム群の地域性を陽に扱ったデータベースであると言える。またTMIやLISの観測データにプロファイルを対応づける研究(Boccippio, 2004)があるが、本手法はマイクロ波放射計による数チャンネルの輝度温度情報を分類の条件に課さず、PRのみで多様性を分離することに重きを置いた。PR自身の観測誤差、推定誤差を今後も厳密に評価していく必要があり、プロファイル情報の効果を評価するときに独立性が保たれている必要がある。

雨滴粒径分布についてこれまで、地球規模のモデルは存在しなかった。TRMM PRにより、多くの誤差要因や制限はあるが、これが可能になった。TRMM PRによる雨滴粒径分布推定は、いくつかサンプル的には行われているが、ディストロメータとの比較、日周変化、降雨頂や雷との関連な

どを詳しく調べた例はない。その意味で、本研究の試みは全く新しいものである。特に、全世界の降雨を 10 タイプに分類し、それぞれに特有の雨滴粒径分布モデルを当てはめる試みは、今後の地球規模の降雨観測に新しい情報を提供するものと言える。PR を用いた雨滴粒径分布モデルの構築という意味では Colorado State University の Kummerow のグループが PR データと TMI 輝度温度データから雨滴粒径分布のデータベースの構築を行っている。

融解層モデルに関する研究は各国で盛んになされており、これらのモデルでは融解層下部と降雨領域はうまく繋がっているが、融解層上端とそれより上空の雪領域をうまく結びつけるモデルはほとんど皆無といってよい。本研究で開発したモデルは、上空の雪領域、融解層、そして下方の雨領域をうまく繋げたモデルとして特筆に価するであろう。ただし、モデルで採用した多くの仮定については、今後多くのバリエーションで調べる必要がある。例えば、本研究では一様混合誘電体モデルとして Wiener のものを採用したが、このほかに多くの混合誘電体モデルが提案されており、それら異なる混合誘電体モデルを用いた場合にどのような結果になるかを調べる必要がある。このほか、落下に伴う雪粒子の融け具合の計算法の吟味や、初期の雪の密度をどう仮定するかなど、モデルに含まれる多くの諸量の計算方法や値の与え方について研究すべき課題が多数存在している。また周波数が異なる降雨レーダデータとの比較などといった、多数の実験データを用いたモデルの検証も必要である。

GSMaP の現在のアルゴリズムでは、対流性降雨・層状性降雨と判定される気候学的な頻度を考慮して、実際にリトリバルに用いる LUT を作成している。瞬時データによる対流層状判定とその判定による LUT の変更は行っておらず、その技術開発がより高度な降水推定アルゴリズムに向けての課題の一つである。これに関連して、GSMaP の将来のアルゴリズムへの導入に向けて、瞬時に観測した PCT85 の値から降雨頂高度の推定を行い、その大きさに従って LUT を使い分ける手法の開発が進められている。一方、他の研究グループによっても対流・層状の判別手法の開発とその手法の降水リトリバルへの導入が行われている。Kummerow and Giglio (1994) のアルゴリズムは、対流性と層状性の 2 つのタイプの降水物理モデルを用いており、85GHz のみで求めた降水強度の標準偏差の大きさが 5mm/hr よりも大きいときに対流性と分類し、0.5mm/hr よりも小さいときに層状性として分類している。Hong et al. (1999) はマイクロ波放射輝度の水平勾配からフットプリント内に占める対流性降水の割合を表す指標を Texture-based 法として開発した。Olson et al. (2001) は観測した偏波に注目して Polarization-based 法を開発した。GPROF アルゴリズムの 2A12 Version 6 プロダクトでは、Texture-based 法と Polarization-based 法を組み合わせる降水リトリバルに利用している (Olson et al. 2006)。

(2) 研究成果の今後期待される効果

① 客観解析データおよびモデルの利用

客観解析データは、気象庁のみならず、米国環境予測センター (NCEP) や欧州中期気象予報センター (ECMWF) などの現業機関によって、活発に研究・開発され、またそのデータは公開されている。さまざまな観測データの収集や同化手法そのものの開発が活発に行われ、客観解析データの高精度化が進められている。降水リトリバル手法においても、客観解析データを利用することでより高精度な降水リトリバルを行うことが可能となった。今後、解析値だけでなく、数値予報モデルの予報値を使うことで、衛星の観測時刻の環境場の情報を降水リトリバルに導入することが期待される。

一方、衛星データが、客観解析データのさらなる高精度化やそれによる数値予報精度の向上に寄与することも期待できる。気象庁のメソ解析では、マイクロ波放射計で観測された輝度温度データから降水量及び可降水量を推定し、これらの値を 4 次元変分法により同化している (佐藤と江河 2007)。従って降水量推定の高精度化は、メソ解析の高精度につながる。さらに初期値であるメソ解析がよくなることで、気象庁のメソ数値予報モデルによる予報精度の向上につながると考えられる。

② 気候モデルの検証

本研究の成果は、本プロジェクトの目的であるより正確な降雨量推定を通じて、気候現象の理解

のための学術研究や、災害対策などに利用されることが期待される。また、降雨データによる降雨タイプ分類は、温暖化研究などに用いられている気候モデルにおいて降雨要因の妥当性を検証するためにも利用できる。つまり、気候モデルの降水過程の適正を検証し、気候モデルによる将来気候予測の高精度化に貢献できると期待される。

③ 全球降水観測計画(GPM)衛星へ向けたアルゴリズム開発

本グループでの一連の降水物理モデル開発・研究は、GPM衛星の時代において二周波降水レーダ観測からの詳細な降水物理情報をマイクロ波放射計アルゴリズムへ的確に反映させる素地を作ったと言える。即ち、二周波降水レーダはTRMM/PRに比べて雨滴粒径分布情報や降水粒子タイプ(雨か雪かなど)の識別が容易になるが、このような情報は本研究で培ったノウハウで容易にマイクロ波放射計アルゴリズムに反映させることができ、全球での降水推定精度の向上に貢献できる。

参考文献：

- Boccippio, D. J., 2004: An orbital “virtual radar” from TRMM passive microwave and lightning observations. NASA Technical report, Document ID: 20050123567.
- Dai, A., 2000: Global precipitation and thunderstorm frequencies, Part I: Seasonal and interannual variations, *J. Climate*, 14, 1092–1111.
- Hong, Y., C. D. Kummerow, and W. S. Olson, 1999: Separation of Convective and Stratiform Precipitation Using Microwave Brightness Temperature. *J. Appl. Meteor.*, 38, 1195–1213.
- Kozu, T., and T. Iguchi, 1999: Nonuniform beamfilling correction for spaceborne radar rainfall measurement: Implications from TOGA COARE radar data analysis. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 16, 1722–1735.
- Kummerow, C., and L. Giglio, 1994: A passive microwave technique for estimating rainfall and vertical structure information from space. Part I: Algorithm description, *J. Appl. Meteorol.*, 33, 3–18.
- Marshall, J. S. and W. McK. Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165–166.
- Masunaga, H., and C. D. Kummerow, 2005: Combined radar and radiometer analysis of precipitation profiles for a parametric retrieval algorithm. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22, 909–929.
- Nishitsuji, A., M. Hoshiyama, J. Awaka, and Y. Furuhashi, 1983: An analysis of propagative character at 34.5 GHz and 11.5 GHz between ETS-II satellite and Kasima station. – On the precipitation model from stratus, *IEICE Trans. (Japanese Edition)*, Vol. J66-B, 1163–1170. (in Japanese)
- Olson, W. S., Y. Hong, C. D. Kummerow, and J. Turk, 2001: A Texture-Polarization Method for Estimating Convective-Stratiform Precipitation Area Coverage from Passive Microwave Radiometer Data. *J. Appl. Meteor.*, 40, 1577–1591.
- 佐藤芳昭, 江河拓夢, 2007: 第4章 マイクロ波放射計, 数値予報と衛星データ同化の現状と課題一, 数値予報課報告・別冊第53号(編集:気象庁), pp. 91–105.
- Schumacher, C., and R. A. Houze, Jr., 2003: The TRMM Precipitation Radar’s view of shallow, isolated rain. *J. Appl. Meteor.*, 42, 1519–1524.
- Sekhon, R. S., and R. C. Srivastava, 1971: Doppler radar observations of drop-size distributions in a thunderstorm. *J. Atmos. Sci.*, 28, 983–994.
- Takayabu, Y. N., 2006: Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L18705, doi:10.1029/2006GL027531.
- Wilheit, T. T., A. T. C. Chang, and L. S. Chiu, 1991: Retrieval of Monthly Rainfall Indices from Microwave Radiometric Measurements Using Probability Distribution Functions. *J. Atmos. and Oceanic Technol.*, 8, 118–136.
- Yokoyama, T., and H. Tanaka, 1984: Microphysical processes of melting snowflakes detected by two-wavelength radar. Part I. Principle of measurement based on model calculation”, *J. Meteor. Soc. Japan*, 650–667.

3. 3 降水強度推定アルゴリズム開発(降水強度推定アルゴリズム開発グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

衛星搭載マイクロ波放射計が観測する降水粒子により放射あるいは散乱されるマイクロ波の強度は、マイクロ波の波長帯、地表面の放射率、降水粒子の状態[液体(雨)、あるいは固体(雪、あられ等)]で大きく異なる。衛星搭載マイクロ波放射計によって観測される温度(輝度温度)は、マイクロ波の放射率が小さい海面では低温である。そのため、液体の水粒子からの放射が卓越する低周波数帯(30 GHz 以下)では、海上で雨の降っている領域が高温に見える。一方、放射率が一般的に大きい陸面の輝度温度は地表面温度に近いので、雨の降っている領域を区別することが難しい。しかしながら、固体粒子による散乱の効果が大きい高周波数帯(30 GHz 以上)では、海上だけでなく陸上においても、上層に雪などが多く存在する領域で低温に見える。これらのマイクロ波の特徴から、マイクロ波放射計降水推定アルゴリズムには

- 低周波帯における海上の輝度温度が、海面から 0℃高度までの雨水量の鉛直積算量と対応すると見なして、降雨を推定する手法(放射アルゴリズム)
- 高周波帯における輝度温度が、0℃高度より上層の固体降水量の鉛直積算量と対応すると見なして、降雨を推定する手法(散乱アルゴリズム)

の二つのタイプが存在する。また、マイクロ波放射計の降水推定アルゴリズムは、決定論的アルゴリズムと確率論的アルゴリズムに大別することができる。TMI の標準アルゴリズム GPROF では確率論的アルゴリズムが用いられているのに対し、我々は海上では放射アルゴリズムと散乱アルゴリズムの両者を利用し、陸上では散乱アルゴリズムを利用する決定論的降水推定アルゴリズムを、Aonashi and Liu (2000)のアルゴリズムを基に開発する。

② 研究実施方法・実施内容

本グループは、TRMM PR (降雨レーダ) 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を目指し、まず PR による同時観測データを利用できる TMI アルゴリズムの開発・改良を行い、順次 AMSR-E 及び AMSR アルゴリズムの開発・改良を行った。GSMaP_MWR アルゴリズムの基本構造は、図 3.3-1 に示すようにフォワード計算部分とリトリーブ部分からなり、リトリーブ部分は「降水強度の第一推定」→「陸上、海上、ならびに海岸上における降雨判定」→「非一様性の補正」→「散乱アルゴリズム」→「放射アルゴリズム(海上のみ)」という流れを持っている。下記、それぞれの項目について簡単に述べる。PR はマイクロ波放射計に比べて瞬時視野の水平分解能が高く、また海陸均一に降雨を推定できるという特徴を持っているので、降雨有無判定(陸上、海上、および海岸)、降雨の非一様性の補正、および陸上の降雨推定すなわち散乱アルゴリズム、といった項目について PR のデータを活用して改良をおこなった。これらの改良項目、および TMI・AMSR-E に比べてセンサ機能が劣っていることを考慮に入れて開発した SSM/I アルゴリズムに関して、研究実施方法・実施内容について述べる。

フォワード計算

フォワード計算においては、3.2 節で詳述した様に降水強度と輝度温度(TBc)との関係を示す Look-Up Table (LUT)を放射伝達モデル(RTM)で作成する。RTM 計算には、大気物理量(0℃高度、気温、相対湿度)、地表面状態(地上風速、陸面温度)、降水物理量パラメータ等が必要である。本アルゴリズムでは、降水物理モデル開発グループによって開発された降水物理モデルを RTM 計算に導入し、以下のように LUT を作成した。

1. 0℃高度、気温、相対湿度、地上風速、陸面温度に関しては、GANAL を用いて作成した 5 度×5 度の緯度経度グリッドボックスのデータを用いた。海面温度は気象庁の MGDSSST (Merged satellite and in situ data Global Daily Sea Surface Temperatures in the global ocean) データから内挿した。
2. 降水プロファイルは、TRMM/PR データと TRMM/LIS データに基づく降雨量/発雷比 (Rainyield Per Flash)値を用いて分類された各降雨タイプ(陸上 6 種類、海上 4 種類の計 10

種類の3ヶ月ごと)に対する、降水強度ごと、対流性降雨、層状性降雨ごとの TRMM/PR 降水プロファイル統計値を用いた。

3. 雨滴粒径分布は、対流性降水に対しては、TRMM/PR 標準の対流性降雨用ガンマ分布を TRMM/PR の観測結果によって補正した雨滴粒径分布モデルを用い、層状性降水に対しては、TRMM/PR 標準の層状性降雨用ガンマ分布を用いた。
4. 降水が一様であると仮定して、各降水タイプ、層状性・対流性、降水強度に対して、Liu(1998) の RTM プログラムを用いて TBc を計算した。尚、層状性降水に対しては、雪氷粒子の併合・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に基づく融解層モデルを導入している。
5. 層状性・対流性に対する LUT から、降水タイプ別、降水強度別の対流性降雨と層状性降雨の頻度の割合の重みつき平均で、各降水強度に対する LUT を作成する。

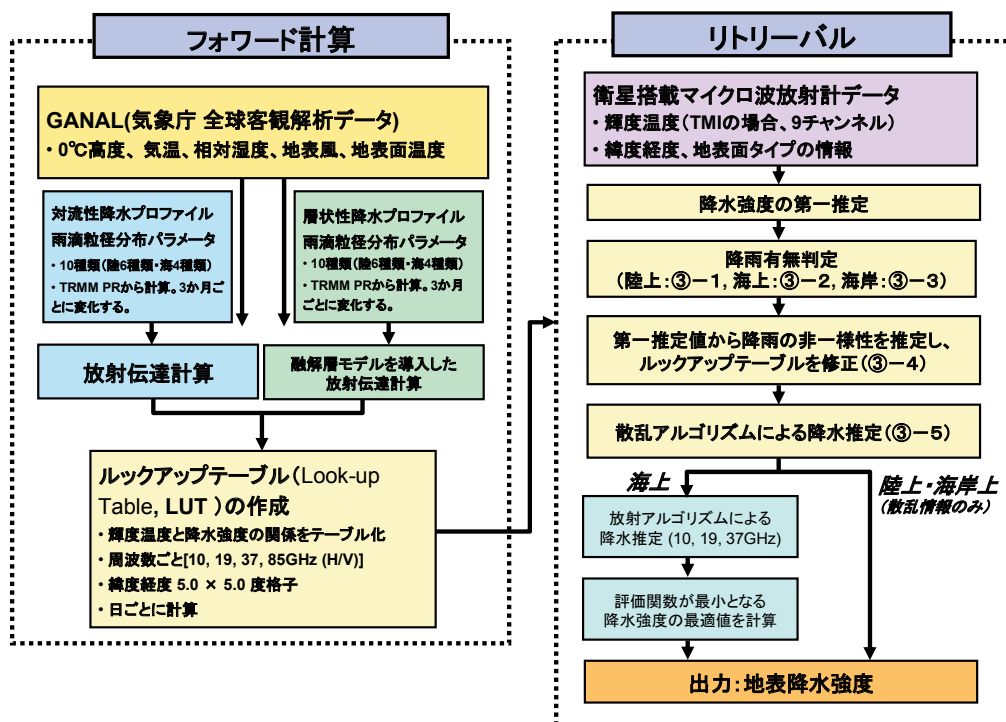


図 3. 3-1 GSMaP_MWR アルゴリズムのフローチャート

リトリバルについてフローチャートの順に従って以下に示す。

降水強度の第一推定

降水が一様であると仮定して作成された LUT を用いて、TMI(AMSR-E)の PCT85(PCT89)から降水強度の第一推定値(rain85)を求める。

降雨有無判定

放射計の瞬時視野(FOV)ごとに「降雨あり」・「降雨なし」を決定論的に判定する。「降水あり」と判定された瞬時視野に対してのみリトリバル本体が実行され、「降水なし」と判定されたピクセルは降水強度がゼロとなる。降雨有無の判定には、陸上降雨判定(③-1)、海上降雨判定(③-2)、海岸降雨判定(③-3)の3つがある。

陸上降雨判定(③-1)

マイクロ波放射計による陸上の降水強度推定は、背景となる陸面輝度温度が高く、その変動が大きいため、困難と考えられてきた。このため、既往の推定手法は、陸上については簡便な手

法を適用するにとどまってきた。現状のマイクロ波放射計の周波数構成では、陸面輝度温度が高いために放射アルゴリズムが使えないことは仕方ない。しかしながら、陸面の情報を与えることで降雨の有無の推定精度は多少なりとも向上できると考え、本研究では、陸面輝度温度のデータベースを統計的手法で作成し、これを用いた陸上での降雨判定手法を開発した。尚、開発した手法は、PR とのマッチアップを利用してデータベースを作成することができる TMI に対するものと、それ以外の SSM/I, AMSR, AMSR-E に対するものに大別される。

海上降雨判定(③-2)

海上においては放射アルゴリズムを利用できるため、陸上ほどには降雨判定の問題が深刻ではない。しかしながら、マイクロ波放射計の瞬時視野の水平分解能が低周波帯で低く、高周波帯で高いため、海上においても 85GHz のマイクロ波における散乱を主に用いた背の高い降水の判定に重点をおいた降水判定が行われてきた。海上においては暖かい雨(warm rain)とよばれる背の低い降水が陸に比べて多く存在する。暖かい雨は氷晶を持たないために 85GHz の散乱を利用して捉えることができず、また水平スケールが一般的に小さいために低周波数帯の放射を利用しても捉えることができなかった。一方、マイクロ波放射計が進歩するにつれて水平分解能は高くなっており、TMI と AMSR-E の 37GHz の水平分解能は、SSM/I の 85GHz の水平分解能と同等になっている。そこで本研究は、水平分解能が高く、弱い雨からの放射を捉えることができる、高周波数帯の 37GHz からの放射を利用して、降雨判定の精度向上に努めた。

海岸降雨判定(③-3)

マイクロ波放射計の瞬時視野内に、放射特性の異なる海面と陸面が混在している海岸では、海上もしくは陸上のみでの降雨判定よりも複雑な判定条件が必要となる。海岸域は、陸上や海上に比べて地球上に占める面積が非常に狭いが、世界的に見ても海岸域は内陸より人口密度が高く、台風やハリケーンのような降雨災害を与える熱帯低気圧の上陸のリスクも高いため、実利用の観点において極めて重要な領域である。本研究では、海岸での降雨判定アルゴリズムを McCollum and Ferraro (2005) の手法をもとに開発した。

降雨の非一様性(③-4)

マイクロ波放射計の瞬時視野における降水量が同じであっても、対流性降雨のように局所的に強い雨が降っている場合と、層状性降雨のように一様な強度の雨が降っている場合では、観測される輝度温度が大きく異なる。このため、輝度温度から降雨推定する際には降雨の瞬時視野内の非一様性を考慮に入れる必要があり、nonuniform beam filling (NUBF) 問題と呼ばれている。例えば、TRMM/TMI の場合の瞬時視野の大きさは、10GHz で 63km×37km, 85GHz で 7km×5km である。また、SSM/I の場合の瞬時視野の大きさは、19GHz で 69km×43km, 85GHz で 15km×13km である。本アルゴリズムでは、瞬時視野内の降水強度の分布を対数正規分布と仮定し、降水強度の第一推定値(rain85)から降雨の非一様性を推定して、フォワード計算および降水リトリーバルにおける非一様性の補正を行っている。しかしながら、降水との関係が弱い TMI の 85GHz (AMSR-E の 89GHz) の輝度温度から求められた rain85 からの非一様性の推定が誤差を生み出している可能性がある。そこで、PR のデータを利用して rain85 からの非一様性の推定を補正した。

散乱アルゴリズム(③-5)

散乱アルゴリズムでは、高周波数帯側(TMI の 37 GHz, 85.5 GHz; AMSR-E の 36 GHz, 89 GHz の Polarization Corrected Temperature (PCT))の 観測値 と最もよく合う PCT の RTM 計算値を与える降水強度分布を求める。当初、本アルゴリズムでは、TMI (AMSR-E) の PCT85 (PCT89) と最も合う放射伝達モデル (RTM) 計算値を与えるような降水強度を求めていた (一周波散乱アルゴリズム)。しかしながら、一周波散乱アルゴリズムによる TMI 推定値を PR 推定値と比べると、PR で観測した降水頂が高いほど、降水強度を過大評価していることがわかった。このため、高周波数帯 85GHz と 37GHz の降水頂に対する感度の違いに着目し、TMI(AMSR-E)の PCT37, PCT85 (PCT36, PCT89) から各々降水強度をもとめ、これらの値を重みつき平均して、降水強度の最適値

を求める二周波散乱アルゴリズムを開発した。

放射アルゴリズム

放射アルゴリズムでは、低周波数側(TMIの10.7GHz, 19.4GHz; AMSR-Eの10.7GHz, 18.7GHzの垂直偏波の輝度温度)の観測値と最もよく合う輝度温度の放射伝達モデル(RTM)計算値を与える降水強度分布を求める。低周波数側の輝度温度についてのコストファンクション(各周波数の輝度温度の観測値と計算値の差の二乗の重み付き平均で表される)を最小にするような降水強度を、散乱アルゴリズムによって求められた降水強度を初期値として求める。

SSM/I アルゴリズム(③-6)

SSM/Iは、2007年現在3つの衛星DMSP F-13, 14, 15に搭載されており、全球降水マップ作成において、サンプリングエラー低減に大きく貢献することが期待される。また、先代のDMSP F8, F10, F11も含めると、1987年まで遡って全球降水マップを作成できるため、SSM/I用の降雨推定アルゴリズムの開発を行う。SSM/Iは、TMI、AMSR-Eが持つ10GHzを持っておらず、瞬時視野が大きくて水平分解能が劣っている。本研究では、85GHzの瞬時視野サイズを考慮した降雨非一様性値の補正、および19GHzの偏光度(偏波差)の導入によって、SSM/Iによる海上の降雨推定の精度向上を試みた。

③ 研究成果

GSMaP_MWR リリイーバル・アルゴリズムの主要なアルゴリズムバージョン(Algorithm Version)の一覧表を表3.3-1に示す。アルゴリズム Version 番号については、以下、例えば Version 4.8.4 を V4.8.4 の様に略記する。また、アルゴリズムの変遷に伴う帯状平均した降水量の変化を図3.3-2に示す。最新版は V4.8.4 で、過去の V2.2、V3.2、V4.3、V4.6 と比較している。図3.3-2 左は、1998年1月における海上の帯状平均値の比較である。TRMM/PR 2A25 を真値として、バージョン間の違いについて考察する。熱帯海上では、V2.2 や V3.2 では、過小評価であったが、V4.3 以降では PR に近くなっている。また北半球冬季中緯度海上では、V4.3 では不連続が見られるのに対して、V4.6 ではその問題が解消している。これは、V4.6 ではルックアップテーブルを線形内挿して使用しているためである。さらに、V4.6 で見られた PR に対する過大評価が、V4.8.4 では緩和している。これは、層状性降雨用ルックアップテーブルの作成の際に、融解層モデルが導入されたためである。

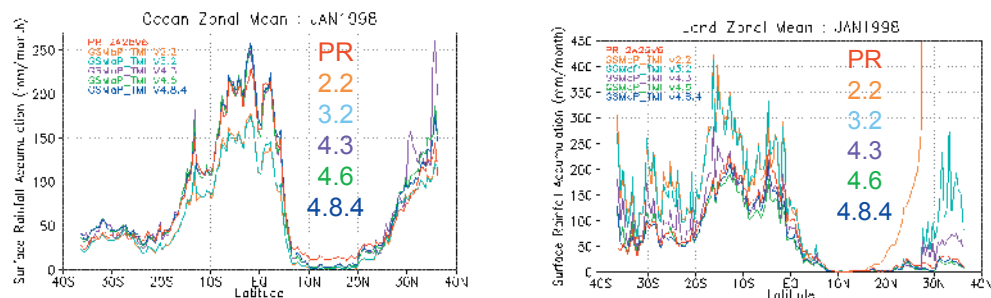


図3.3-2 1998年1月における(左)海上(右)陸上の帯状平均値の比較。赤はTRMM/PR 2A25 V6。それ以外の色はGSMaP_TMIで、アルゴリズムのバージョンが異なるプロダクト。藍色は最新のV4.8.4でPRと良く一致している。GSMaP_TMIはPRの観測幅のみを解析に使用。

図3.3-2 右は、1998年1月における陸上の帯状平均値の比較である。北半球側では、特に、ユーラシア大陸上での偽の降水が、バージョンが進むにつれ、減少している。これは陸上降雨判定がバージョンごとに改良されたためである。V4.6以降はユーラシア大陸上でPRとかなり近い降水量となっている。熱帯域では、V2.2やV3.2で降水量が多すぎる問題があったが、こちらもアルゴリ

ズムの開発とともに解消している。

以下、改良したリトリバー部分の項目（陸上の降雨判定、海上の降雨判定、海岸上の降雨判定、非一様性の補正、散乱アルゴリズム）、および SSM/I アルゴリズムについて述べる。

表 3.3-1 主要なアルゴリズムバージョンの一覧表（リトリバーの部分の瀬戸型、青梨型等の説明は本文中の③-1～③-4 を参照されたい。フォワード計算の部分については、以下の通りである。広瀬高藪：広瀬・高藪らによる PR をもとにした降水データベース、広瀬高藪簡易型：降水データベースで、陸海それぞれ1タイプ（海上では組織化タイプ、陸上ではタ立タイプ）としたもの、西辻：西辻ら（1983）や GSMaP で開発された融解層モデル、古津：古津による PR 2A25 アルゴリズムと consistent なガンマ分布、St：層状性降雨用ルックアップテーブル）

バージョン名 マイクロ波放射計		リトリバー					フォワード計算			
		陸上 降雨判定 (③-1)	海上降 雨判定 (③-2)	海岸上 降雨 判定 (③-3)	降雨の非 一様性の 補正手法 (③-4)	散乱アル ゴリズム (③-5)	降水タイ プ分類・ 降水プロ ファイル	融解層 モデル	雨滴粒 径分布 モデル	雲 水量 (kg/m ²)
V2.2	TMI	-	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	Liu-Fu	-	MP	0.5
V3.2	TMI	TMI 用 瀬戸型 V1	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	Liu-Fu	-	MP	0.5
V4.2	TMI	TMI 用 瀬戸型 V1	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	広瀬高藪 V1	-	MP	0.1
V4.3	TMI	TMI 用 瀬戸型 V1	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	広瀬高藪 V1	-	MP	0.5
	AMSR-E	青梨 簡易型	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	広瀬高藪 簡易型 V1	-	MP	0.5
V4.5	TMI	TMI 用 瀬戸型 V2	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	広瀬高藪 V2	-	MP	0.5
	AMSR-E	青梨 簡易型	青梨型	青梨型	青梨型	一周波	広瀬高藪 簡易型 V2	-	MP	0.5
V4.6	TMI	TMI 用 瀬戸型 V2	青梨型	青梨型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	-	MP	0.5
	AMSR-E	AMSR-E 用 瀬戸型 V1	青梨型	青梨型	青梨型	二周波	広瀬高藪 簡易型 V3	-	MP	0.5
V4.7	TMI	TMI 用 瀬戸型 2	青梨型	青梨型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	西辻	MP	0.5
	AMSR-E	AMSR-E 用 瀬戸型 V1	青梨型	青梨型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	西辻	MP	0.5
V4.7.2	TMI	TMI 用 瀬戸型 V2	青梨型	久保田 型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	St のみ 西辻	MP	0.5
	AMSR-E	AMSR-E 用 瀬戸型 V1	青梨型	久保田 型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	St のみ 西辻	MP	0.5
V4.8	TMI	TMI 用 瀬戸型 V2	青梨型	久保田 型	青梨型	二周波	広瀬高藪 V3	St のみ 西辻	古津	0.5
V4.8.4	TMI	TMI 用 瀬戸型 V2	木田・重 型	久保田 型	久保田・ 橘爪型	二周波	広瀬高藪 V4	St のみ 西辻	古津	0.5
	AMSR-E	AMSR-E 用 瀬戸型 V1	木田・重 型	久保田 型	久保田・ 橘爪型	二周波	広瀬高藪 V4	St のみ 西辻	古津	0.5

③-1 陸上降雨判定

③-1-1 TMI 用 (TMI 用瀬戸型 V1,V2)

TMI に対する降雨判定手法の開発においては、TMI と PR のマッチアップデータから PR 無降雨時の TMI 85GHz-V (垂直偏波) 輝度温度[TB(85.5V)no-rain]を抽出し、統計的に処理してデータベース化した。降雨判定時には、このデータベースを参照して無降雨だった場合の 85GHz-V 輝度温度の推定値(TB(85.5V)e)を求め、

$$SI = TB(85.5V)e - TB(85.5V)obs \quad (1)$$

によって SI を計算し、SI がしきい値より大きい場合には、「降水あり」と判定する。ただし、TB(85.5V)obs は、判定の対象となる観測値である。二つの方法に基づいて、二種類のデータベース(1 ヶ月ごと、緯度経度1度×1度グリッド)を作成した。

1 番目の方法(M1)は、TB(85.5V)no-rain の平均 μ と標準偏差 σ を求める。TB(85.5V)e は μ で与えられ、SI のしきい値は $k_0 \times \sigma$ となる。ここで、 k_0 はグローバルに固定した係数である。

2 番目の方法(M2)は、TB(85.5V)no-rain と TB(21.3V)no-rain の線形関係

$$TB(85.5V)no-rain \sim a + b \times TB(21.3V)no-rain \quad (2)$$

を、最小二乗法を用いた回帰分析で求める。判定時には、図 3.3-3 に示すような TMI と PR のマッチアップデータから求められた係数 a, b のデータベースを参照し、

$$TB(85.5V)e = a + b \times TB(21.3V)obs \quad (3)$$

より TB(85.5V)e を求める。SI のしきい値は、式(2)における回帰式で生じる残差の標準偏差を σ_e として、 $k_0 \times \sigma_e$ で与えられる。GPROF で使われている降雨判定手法では、式(3)で $a=0$ 、 $b=1$ とした場合であり、SI のしきい値は 8K となる。GPROF では、この判定のあと、砂漠・積雪マスクをかけるが、M1 および M2 ではマスクを利用しない。

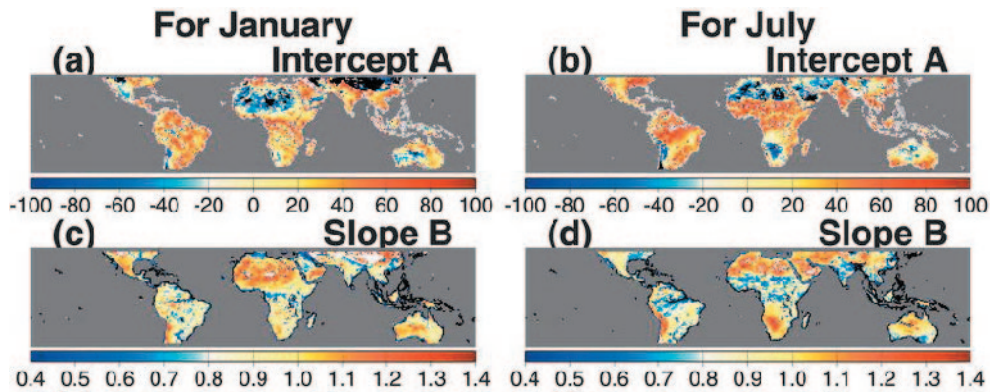


図 3.3-3 M2 の判定法 $TB(85.5V)e = a + b \times TB(21.3V)obs$ の係数(左図が1月，右図が7月):(a), (b) 切片 a, (c), (d) 傾き b.

③-1-2 SSM/I, AMSR, AMSR-E 用 (AMSR-E 用瀬戸型 V1)

TMI 用に開発した降雨判定手法はデータベース(図 3.3-3)作成時に PR とのマッチアップを必要とするため、TMI 以外のマイクロ波放射計にそのまま適用することはできない。しかしながら、M1,M2 において必要なパラメータ(μ 、 σ 、a、b、 σ_e)を、PR の助けを借りずに推定することができれば良い。

TMI の TB(85.5V)について、「降水なし」の場合、「降水あり」の場合、両者を分類しない場合(全データ)の確率分布を描いてみると、次の2点に気づく。(I)「降水なし」の分布は正規分布に近いこと、(II)「降水なし」の分布と全データの分布は高温側ではほとんど一致すること、である。このため、全データの分布の高温側半分に対して正規分布をあてはめることで、 μ と σ を求めることができる。これは TMI 用の M1 の「一般化」であり、この手法を M1b と呼ぶ。式(1)で判定する部分は M1 と同じである。

M1.5b は、M1b と同様のことを $SI0 = TB(21.3V) - TB(85.5V)$ に対して行う。無降水時の SI0 の平均と標準偏差の推定値を μ_0 と σ_0 とする。SI0 が $\mu_0 + k_0 \times \sigma_0$ より大きい場合には「降水あり」と判定される。

M2 については次のように一般化される。分類なしの全データに対して、最小二乗法ではなく、絶対値誤差を最小化する方法で回帰分析を行い a, b を求める。この方法を M2d と呼ぶ。最小二乗法では、中心から離れたデータ(この場合、降雨ありのデータ)の影響を受けやすいが、絶対値誤差の最小化の場合そうしたことがなく、得られた回帰直線は、「降水なし」の分布を反映しやすい。すなわち、M2 で得られる回帰直線に近い結果となる。なお、 σ_e は、回帰式より TB(85.5V)が高いデータに対する残差の二乗平均の平方根として求める。パラメータ推定以外は M2 と M2d は同様である。

③-1-3 TMI/PR を用いた降雨判定手法の精度評価

各手法を TMI に適用して、PR の降雨判定精度による評価を行ったところ、M2 は GPROF および M1 より精度が高かった。M2 が M1 より精度が高いのは、TB(21.3V)obs を用いることによって陸面物理温度の変動による TB(85.5V)e の変動を表現しているためである。一方、M2 が GPROF より精度が高かったのは、TMI と PR のマッチアップデータから求められたデータベース(図 3.3-3)を利用しているために砂漠・積雪マスクを必要とせず、砂漠・積雪上の降水をある程度検出できているためである。以上の結果から、GSMaP_TMI の Version 3.2 以降、陸上の降雨判定手法として M2 が導入された。

一方、M1b は M1 に比べて、M2d は M2 に比べて、それぞれ精度がやや低かった。ただし、M2d は、同じく PR を使わない GPROF と比べて同等以上の精度を示していた。TMI 以外の放射計に対しては、TB(23.8V)が 262K 以下を積雪マスクした M2d を導入するのが現時点で最良であるが、M2d の開発が遅かったため、M1.5b を利用して Version 4.8.4 の長期処理が行われた。

③-1-4 降雨判定による月降水量の誤差

上記の降雨判定手法を TMI 用の降水強度推定アルゴリズムに導入した場合の月降水量推定に与える誤差を、PR による推定値(2A25)を真値として評価した。ここでは、TMI による推定の全誤差から、降雨判定による誤差(降雨判定誤差)を分離して評価した。そのため、PR の降雨判定に従い TMI のリトリバルを行った中間プロダクトを作成して、TMI による月降水量から中間プロダクトの月降水量を引いたものを降雨判定誤差と定義した。

GSMaP_TMI (Version 4.7.0、降雨判定は M2($k_0=3.5$))の降雨判定誤差の緯度および季節別変化を示す(図 3.3-4)。全体にわたり大きなバイアスはみられない。 k_0 を 3.5 より大きくすると降雨判定誤差は過大評価に、小さくすると過小評価になる。一律に $k_0=3.5$ とすることが、適切であると考えられる。一方で、GPROF_TMI(Version 6)では、南北 30° より外側および夏の 10N-20N 帯(サヘルからサハラ砂漠にかけて)で降雨を多く見逃している。これは、砂漠・積雪マスクの影響である。冬の 10N 付近では過大評価が生じている。

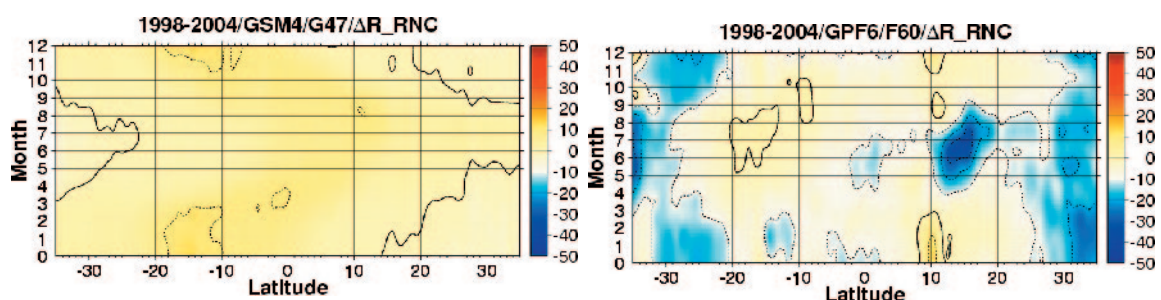


図 3.3-4 GSMAp_TMI(Version 4.7.0)[左]および GPROF(Version 6)[右]の降雨判定誤差。緯度および季節変化を示す。1998-2004 年の 7 年間のデータを利用。

③-2 海上降雨判定

③-2-1 従来の判定条件(青梨型)

GSMaP アルゴリズムの海上の降水判定は、2 段階に分けて行われている。第一段階における降

水判定は、85GHz の散乱シグナルによって背の高い降水の判定を行い、背の高い降水の判定が無い場合は、37GHz の放射シグナルによって背の低い降水の判定を行う。散乱シグナルの降水判定は、10GHz の瞬時視野内において、85GHz の散乱シグナルから求めた降水強度の第一推定値 (rain85) が一つでも 1mm/h を超えた場合、「降水あり」としている。放射シグナルの降水判定は、Petty(1994)によって提唱された normalized polarization difference

$$P \equiv \frac{T_V - T_H}{T_{V,O} - T_{H,O}} \quad (4)$$

が 1 より小さい場合に、「降水あり」と判定する条件である。ただし、 T_V は垂直偏波の観測輝度温度、 T_H は水平偏波の観測輝度温度、 $T_{V,O}$ は雲が無い場合の垂直偏波の観測輝度温度、 $T_{H,O}$ は雲が無い場合の水平偏波の観測輝度温度である。GSMaP アルゴリズムでは P を計算する際に、雲が無い場合の輝度温度を LUT によって計算された降水強度 0mm/h の時の輝度温度を用いて計算する。

第二段階における降水判定では、第一段階の判定の結果に従い、雨粒からの放射を用いた降水判定が行われる。第一段階で 85GHz の散乱シグナルによって背の高い降水が判定された場合、10GHz と 19GHz を用いて降水判定が行われる。一方、37GHz の放射シグナルによって背の低い降水が判定された場合は、10GHz と 19GHz と 37GHz の 3 つの周波数で降水判定が行われる。

③-2-2 新しく提案する判定条件(木田・重型)

本研究では、第一段階における新たな降水判定の条件として、

- 85GHz の散乱シグナルによる降水判定において、10GHz の瞬時視野内の探査を用いない。
- 37GHz の放射シグナルによる降水判定において、37GHz の垂直偏波による観測輝度温度 (T_{37v}) が LUT の無降水時の輝度温度 (T_{37vc}) よりも大きい時、「降水あり」とする。

を検討した。

従来の 85GHz の散乱シグナルによる降水判定において、10GHz の FOV 内において rain85 が 1mm/h より大きなピクセルを探す条件(以下、10FOV(on))は、水平スケールの小さな暖かい雨でも、その付近に「rain85>1mm/h」となる背の高い降水が存在する場合、背の高い降水として判定してしまう。その結果、第二段階における降水判定では、水平スケールの小さな暖かい雨を 10GHz や 19GHz の水平分解能では捉え切れないため、「降水なし」と判定してしまう可能性がある。そのため、本研究では、10FOV(on)を使わない条件(以下、10FOV(off))を導入した。

また従来の 37GHz の P を用いた降水判定条件(以下、P37)は、分母に LUT の値を用いている。GSMaP アルゴリズムは LUT を一日ごとに $5^\circ \times 5^\circ$ の領域で作成するので、 $T_{V,O} - T_{H,O}$ はその間は一定値を持つことになる。一方、P の分子に当たる $T_V - T_H$ は、マイクロ波放射計が観測した瞬時の値を用いて計算される。37GHz の水平偏波は、37GHz の垂直偏波に比べて、雲水や海面風速に対する感度が高い。そのため、LUT を作成に用いている環境場と実際の環境場の違いが大きいと、降水判定のエラーが大きくなると推測される。それゆえ、本研究では雲水や海面風速に対するエラーを少なくするため、37GHz の垂直偏波を利用する条件(以下、T37v)を導入した。

③-2-3 TMI/PR を用いた降雨判定手法の精度評価

これまで GSMaP アルゴリズムに使われていた 10FOV(on)と P37 の条件と、新たに提案した 10FOV(off)と T37v の降水判定の条件で降水を判定し、TRMM/PR の観測結果および GPROF との比較を行った。マイクロ波放射計による降水強度の推定ではなく、降水の判定に主眼を置くため、カテゴリー予報評価で用いられる Critical Success Index (CSI)

$$CSI = \frac{N_1}{N_1 + N_2 + N_3} \quad (5)$$

という指標を用いる。本研究では、PR の降水判定を真値とみなし、 N_1 を「PR で降水を判定し、かつ、マイクロ波放射計で降水を判定している領域」、 N_2 を「PR で降水を判定しているが、マイクロ波放射計では降水を判定していない領域」、 N_3 を「PR で降水を判定していないが、マイクロ波放射計では降水を判定している領域」とする。CSI は、マイクロ波放射計の降水判定が真値と完全に一致する場合 1 となり、全く一致しない場合 0 となる。

「散在している小さな降水システムが広がる領域」(図 3.3-5)において、PR (図左上) に比べて GPROF (図右上) で降雨域と判定された領域が少ない。一方、GSMaP の旧判定法 (図左下) は、ぼやけた降水域の判定を行っている。これは、降水域である可能性がある領域を広げるための 10FOV(on)の条件が原因である。GSMaP の新判定法 (図右下) は、10FOV(off)を用いることで、降水域がぼやけることがなく判定ができ、図中に示す CSI の値も旧判定に比べて高くなっている。

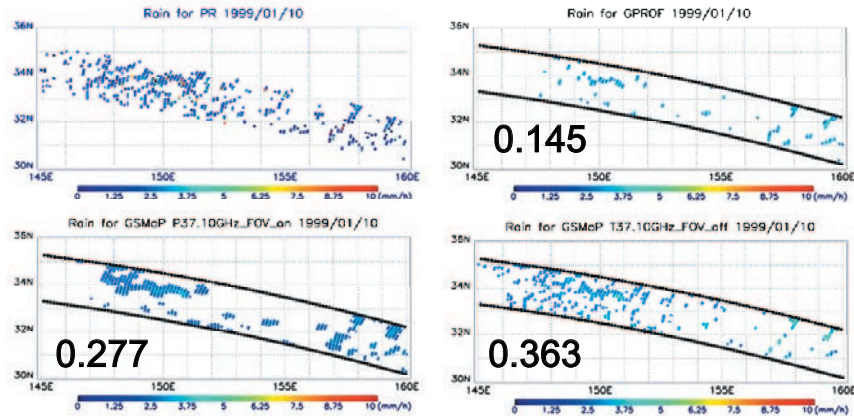


図 3.3-5 「散在した背の低い降水域」の事例. 1999 年 1 月 10 日の軌道番号 6436 による日本の東の海域(北緯 30 度～北緯 36 度, 東経 145 度～東経 160 度). 図中の数字は CSI の値.

「台風 OLGA」の事例(図 3.3-6)では、2A25 の降水域との比較において、新判定「T37v+10FOV(off)」(図右下) と GPROF (図右上) は図中の数字で示す CSI による評価で良い結果を示している。しかしながら、GSMaP の旧判定法 (図左下) では、降水域を非常に広く見積もっており、CSI の値が低い。旧判定で広範囲に広がった降水域を判定しているのは、P37 の条件を用いているためある。

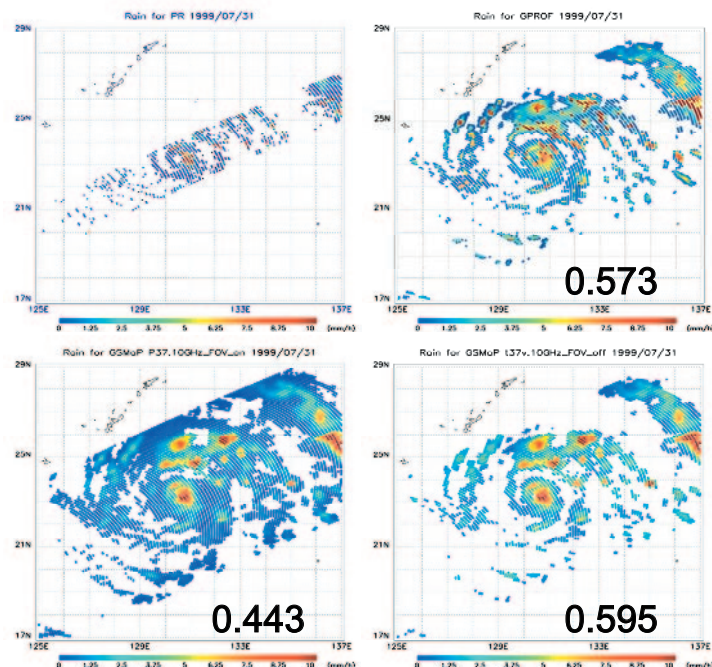


図 3.3-6 台風 OLGA の事例: 1999 年 7 月 31 日の軌道番号 9629 による太平洋西北部(北緯 17 度～南緯 29 度, 東経 125 度～東経 137 度). 図中の数字は CSI の値.

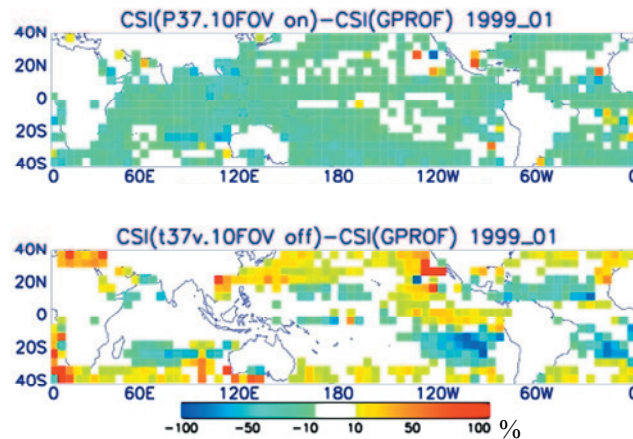


図3.3-7 TRMM/TMI標準プロダクトGPROFとのCSIの違いの割合.
上) GSMaP旧判定「P37+10FOV(on)」との違い. 下) GSMaP新判定「T37v+10FOV(off)」との違い.

全球において新しく提案した降水判定手法が与える影響を、CSIを用いて1999年1月において $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ の領域で調べた。GSMaP 旧判定「P37+10FOV(on)」と GPROF で比較を行った結果(図 3.3-7 上図)、全球において GPROF の方が CSI は高いが、GSMaP 新判定「T37v+10FOV(off)」と GPROF との比較(図 3.3-7 下図)では、概ね GSMaP 新判定「T37v+10FOV(off)」の方が高い CSI 示している。特に、冬場の中緯度で、高い CSI を示している。これは、GSMaP アルゴリズムが散在している小さい降水システムの降水判定が良くなったことが起因していると考えられる。

尚、TMIと AMSR-E では新判定手法が導入され、P37 から Tb37v による降雨判定に切り替えられたが、TMI や AMSR-E に比べて瞬時視野が大きくて水平分解能が劣っている SSM/I においては、以前のままの P37 による降雨判定を用いている。

③-3 海岸降雨判定

③-3-1 McCollum and Ferraro(2005)の手法の問題点

TRMM TMI の標準プロダクト 2A12 Version 6 で使用されている McCollum and Ferraro(2005)の手法は、図 3.3-8 で示す“Decision-tree”と散乱判定(PCT Cutoff Threshold)に基づいている。Decision-tree で“possible rain”と判定された場合に散乱判定が適用され、その散乱判定の条件を満たす場合に、降雨あり、そうでない場合に、降雨なし、となる。

海岸が多い日本域において 2A12 プロダクトは、気象庁によって提供されているレーダーアメダス解析雨量(RA)に比べても、TRMM PR の標準プロダクトである 2A25 に比べても、推定している降雨量が少ない(図 3.3-9)。

McCollum and Ferraro(2005)の手法の Decision Tree のみを利用して TMI より降雨判定すると、偽の降雨域が日本列島の海岸域に広がる(図 3.3-10 a))。一方、PCT Cutoff Threshold を加えると逆に、日本列島の海岸上で過小評価となり、散乱判定が偽の降水だけでなく、真の降水も除去していることがわかる(図 3.3-10 b))。ここで、PCT Cutoff Threshold の散乱判定において、McCollum and Ferraro(2005)が定義した、“ $Tb_{21v} - PCT < 3$, $PCT = (b \times Tb_{85h} - Tb_{85v}) / (b - 1)$, $b = 0.4$ ”の条件を用い、この条件が“No”のとき、「降雨あり」と判定している。従って、弱い降水強度での判定精度を上げるためには、Decision-tree が弱い降水強度においてもより正確に“possible rain”を判定する必要があることが分かる。

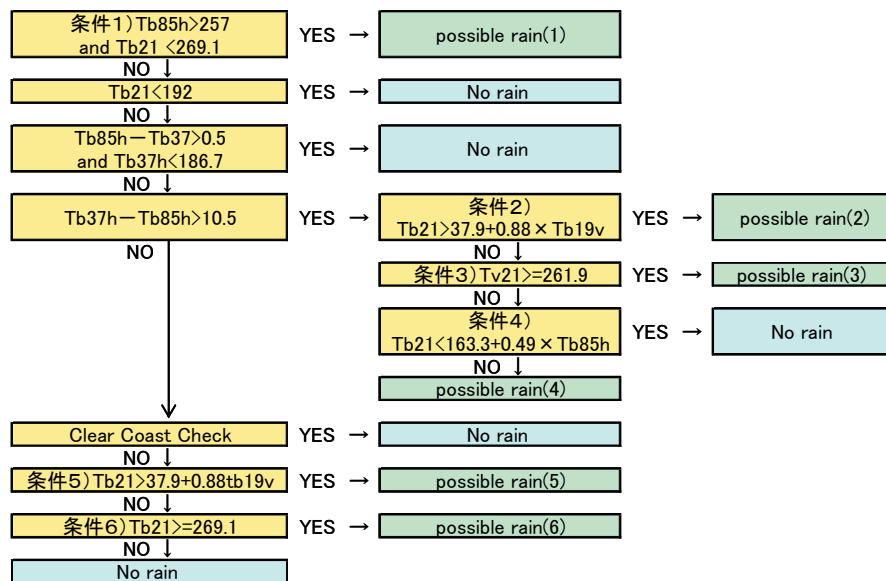


図 3.3-8 McColium and Ferraro の手法をもとにした海岸上の降雨判定. ここで, McColium and Ferraro(2005)で定義された ambiguous (63)-(65)フラグは”possible rain”, ambiguous (66)フラグは”no rain”と定義している. ここで新たに“possible rain”の番号(1)～(6)を定義している.

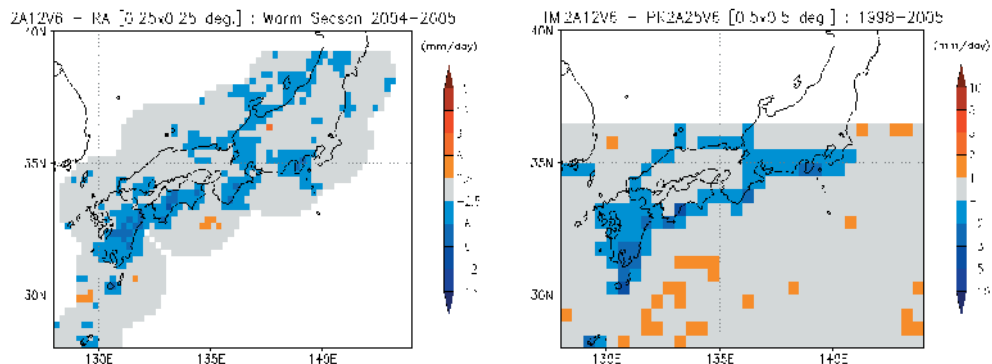


図 3.3-9 (左)TMI 2A12 とレーダー・アメダス解析雨量(RA)の差. 2004～2005 年の 4～10 月で比較. 緯度経度 0.25×0.25 度格子. TMI が通過した領域・時刻の RA のみで解析. (右)TMI 2A12 と PR 2A25 の差. 1998～2005 年で比較. 緯度経度 0.5×0.5 度格子. PR の観測幅のみのデータで比較.

図 3.3-8 の Decision-tree で“possible rain”と判定する条件は 6 種類ある(図 3.3-8 中の条件(1)～(6)を参照)。その条件の精度について、“PCT85 からリトリバルした降水強度 (rain85) が 1mm/hr より大きいときに「降雨あり」、という散乱判定を用いて、TRMM PR 2A25 Version 6 プロダクトを基準として比較を False Alarm Rate (FAR) を用いて行った。“possible rain”と判定する条件(1)～(6)別に FAR を計算したところ、条件(1)と条件(6)で FAR が高く、空振り（無降雨を降雨と誤判定すること）の確率が非常に高いことがわかった。条件(1)は使われる頻度も多いため、この条件によって降雨判定を失敗している場合が多いことがわかった。

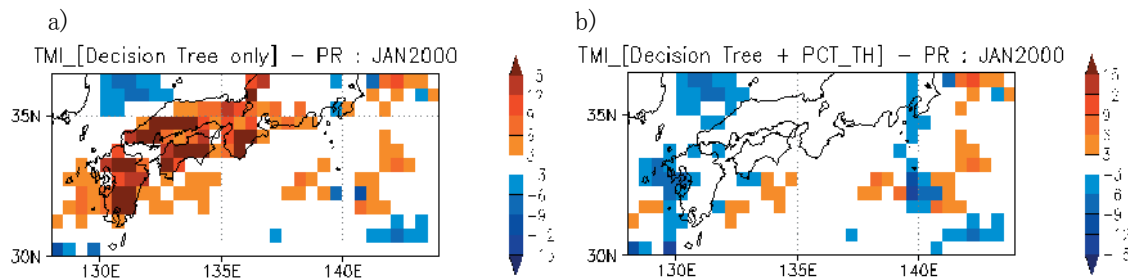


図 3.3-10 (a)海岸の降雨判定で、Decision Tree だけで降雨判定した TMI と PR 2A25 の差。
(b)海岸の降雨判定で、Decision Tree に加えて PCT Threshold で降雨判定した TMI と PR 2A25 の差。両者ともに 2000 年 1 月平均値。TMI の観測幅は PR にあわせて比較している。

③-3-2 McCollum and Ferraro (2005) の手法の改良 (久保田型)

条件(1) ($Tb_{85h} > 257$ and $Tb_{21} < 269.1$) が GSMaP_MWR 降雨リトリーバルアルゴリズムにどのような影響をもたらすかについて調べた。ここでは、散乱判定の条件を“rain85>1mm/hr のときに「降雨あり」”に固定して、条件(1)を使う場合(図 3.3-11a)と条件(1)を外した場合(図 3.3-11b)で TMI の輝度温度に対してリトリーバルを行った。それにより得られた降水強度の 1998 年 1 月平均値と 2A25 Version 6 の月平均値との差を日本付近で調べた。条件(1)を使う場合(図 3.3-11a)、日本列島上で TMI リトリーバルが大きく過大評価している。これは McCollum and Ferraro (2005) の散乱判定よりも弱い降水強度を残す散乱判定をここでは採用しており、偽の降雨を散乱判定が除去しないためである。McCollum and Ferraro (2005) と同じ散乱判定を使用した場合、偽の降雨が除去される一方、真の降雨も除去されてしまうので、PR と比べて過小評価となろう。一方、条件(1)を外した場合(図 3.3-11b)、図 3.3-11a のような大きな過大評価はなく、PR 2A25 の降水量に近い値を示している。散乱判定の条件 (rain85>1mm/hr のときに「降雨あり」) を採用すると共に、Decision-tree によって偽の降雨が除去できることが示唆されている。

なお、散乱判定の閾値を“rain85>1mm/hr”ではなく、変化させた場合についても調べたが、閾値を高くすると空振りが減る一方で見逃し(降雨を無降雨と誤判定すること)が増え、閾値を低くすると空振りが増える一方で見逃しが減る、という trade-off の関係がある。CSI (式(5)) で調べた結果は、閾値を“rain85>0.5mm/hr”にしたときにわずかによかった。しかし実際には 85GHz の条件だけでなく、McCollum and Ferraro (2005) が採用しているような Tb_{21v} も含めた散乱判定の改良が望ましいと思われる。これについては今後の検討課題とし、現在の GSMaP_MWR アルゴリズムでは、散乱判定として“rain85>1mm/hr のときに「降雨あり」”、の条件を採用することにする。

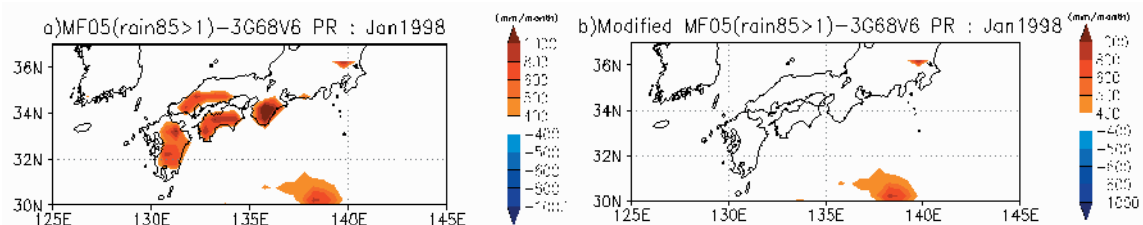


図 3.3-11 a)海岸の降雨判定で条件(1)を使う場合と、b)条件(1)を使わない場合の TMI リトリーバルと PR 2A25 の差。1998 年 1 月平均。TMI の観測幅は PR にあわせて比較している。

③-4 非一様性

③-4-1 フォワード計算における降水非一様性の補正

フォワード計算においては、各降水強度 R に対して求めた輝度温度 $Tb(R)$ から、降雨の非一様性を考慮して補正した輝度温度

$$Tb_{correct}(\langle R \rangle, \zeta) = \int_0^\infty Tb(R) \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \zeta R} \exp\left\{ \frac{-1}{2\zeta^2} [\ln(R) - \mu]^2 \right\} dR \quad (6)$$

を求めている。ここで、10GHz の有効瞬時視野 (EFOV) 内の非一様性を示すパラメータ ζ (非一様性係数と呼ぶ) を用いた降水強度分布として対数正規分布を仮定している。また、平均降水強度を $\langle R \rangle$ 、標準偏差を $\langle R \rangle$ で割ることによって規格化した標準偏差を σ とおくと、 $\zeta^2 = \ln(\sigma^2 + 1)$ 、 $\mu = \ln(\langle R \rangle) - 0.5\zeta^2$ の関係がある。GSMaP_MWR アルゴリズムでは、 ζ を 0 から 2 まで 0.1 刻みごとに变化させて $\langle R \rangle$ 対 $Tb_{correct}$ の関係を求め、Look-Up Table(LUT)としてデータベース化している。

降水リトリバルにおいては、まず、85GHz 輝度温度から降水強度の第一推定値 (rain85 と呼ぶ) を $\zeta=1$ として求める。次に、降水有無判定を適用した rain85 を用いて、10GHz の有効瞬時視野 (EFOV) 内の降水の非一様性係数を推定する。その際、Kummerow and Giglio (1994) に従って 10GHz の有効瞬時視野内の rain85 の規格化した標準偏差を

$$\sigma = \frac{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_i - R_{avg})^2 \right]^{1/2}}{R_{avg}} \quad (7)$$

によって求め、 $\zeta^2 = \ln(\sigma^2 + 1)$ から非一様性係数 ζ を求める。ここで R_i ($i=1 \sim N$) は 10GHz の有効瞬時視野内の rain85 の値である。 R_{avg} は R_i の値の平均値である。求めた ζ に対応する $\langle R \rangle$ 対 $Tb_{correct}$ の関係を示す LUT を用いることで 10GHz の有効瞬時視野内の降水の非一様性を考慮した降水リトリバルを行っている。

③-4-2 PR データを用いた非一様性係数の補正 (久保田・橋爪型)

降水との関係が弱い 85GHz 輝度温度から求められた第一推定値に過ぎない rain85 から計算された ζ が非一様性補正において誤差を生み出している可能性がある。そこで、TRMM PR の標準プロダクトである 2A25 の Estimated surface rain (以下、rainpr と表記) から計算した TMI 10GHz EFOV における ζ を真値として比較した。図 3.3-12 に rain85 から計算した ζ と rainpr から計算した ζ の海上における確率分布を示す。rain85 の TMI 10GHz EFOV 内の平均値を以下 ave_rain85 と書く。ave_rain85 ≤ 1 の場合と ave_rain85 > 1 の場合で区別して解析を行っている。ave_rain85 ≤ 1 の場合に、分布が多い領域がほぼ横軸に平行に広がっており、rain85 からの値を rainpr からの値で効果的に補正できないように見える。一方、ave_rain85 > 1 の場合は、rain85 からの値と rainpr からの値で、弓形に 1 対 1 の関係で分布の大きい領域が広がっている。これらの結果から、ave_rain85 ≤ 1 の場合には ζ は rainpr から計算した最頻値を用いる一方、ave_rain85 > 1 の場合は rain85 から計算した値に対して rainpr から計算した値に近づけるような補正を行う。図 3.3-12 の右図のように、弓形の関係であることから、

$$y = a\sqrt{x} \quad (8)$$

でフィッティングを行った (海上: $a=1.23$, 陸上: $a=1.15$)。

この補正式で補正した ζ と rainpr から計算した値を比較したものが図 3.3-13 である。1 対 1 のライン上に確率分布のピークがあり、補正式がうまく機能して、両者の値が近づいていることがわかる。

上記の式を用いた非一様性係数の補正が降水推定にどのような影響を与えるかについて、2000 年 7 月平均で調べた。補正式を用いない非一様性係数による降水推定と、補正式を用いた非一様性係数による降水推定をそれぞれ行い、帯状平均値で比較した。海上における結果を図 3.3-14 で示す。非一様係数の補正によって降水が増加する傾向がわかる。これは上記の補正式によって ζ が増加していることと対応している。

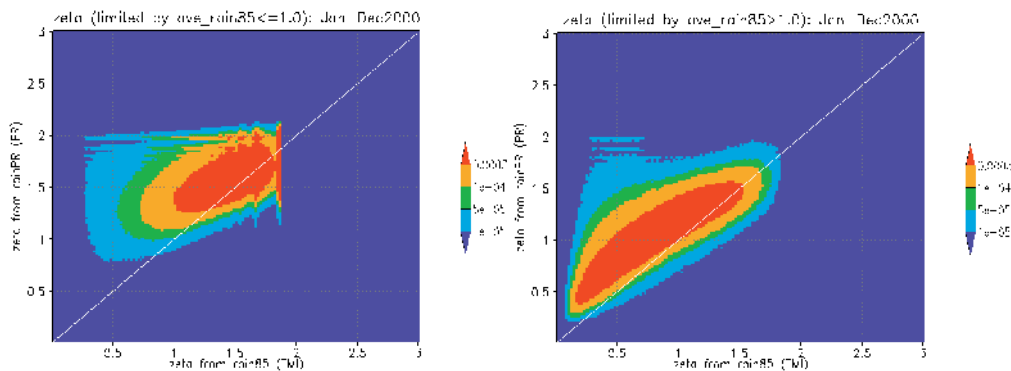


図 3.3-12 rain85, もしくは rainpr から計算した海上の非一様性係数と間の確率分布.
左の図は ave_rain85 ≤ 1 の場合, 右の図は ave_rain85 > 1 の場合. 計算期間は 2000 年 1 ~ 12 月.

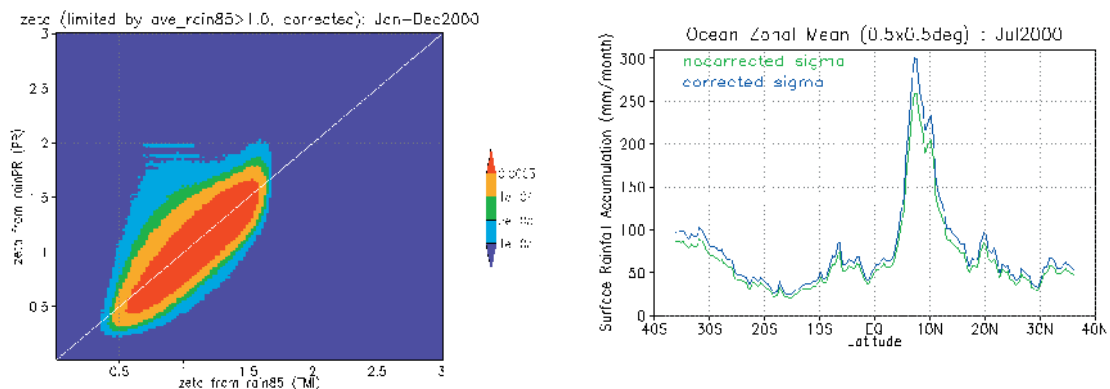


図 3.3-13 rain85, もしくは rainpr から計算した海上の非一様係数と間の確率分布関数. ただし, rain85 から計算した値に対して補正式を適用している. 計算期間は 2000 年 1 ~ 12 月.

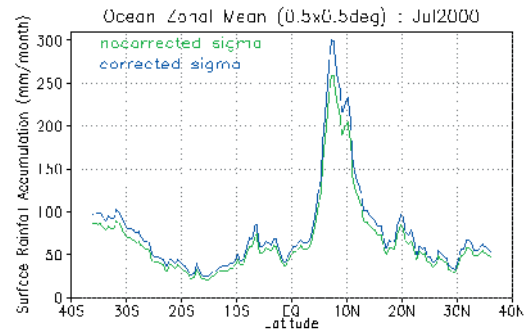


図 3.3-14 2000 年 7 月平均した海上における降水強度の帯状平均値の比較. 補正しない非一様係数を用いた結果を緑線, 補正した非一様係数を用いた結果を青線で示す.

③-5 散乱アルゴリズム

③-5-1 二周波散乱アルゴリズム

85GHz の一周波散乱アルゴリズムによって TMI から推定した降水強度と PR2A25 の地上降水強度の比を PR でみた降水頂に対してプロットしたものを図 3.3-15 に示す。この図より、TRMM 降雨レーダ PR でみた降水頂が高いほど、この比が大きくなることが分かる。即ち、このアルゴリズムは、熱帯で多く観測される背の高いメソスケールの対流系の降水コアやその周りのアンビル等による降水を特に過大評価する。このため、本研究は、異なる周波数の PCT の降水頂に対する感度の違いに着目した。図 3.3-16 が示すように、TMI の 85 GHz の PCT は、PR の降水頂とよく対応するが、37 GHz の PCT は、特に降水頂が 10,000m 以下のときに降水頂に対する感度が小さい。一方で、輝度温度の低下として観測される散乱のシグナルは、85 GHz の方が 37 GHz より大きい。これは、弱い降水のリターンには、85 GHz の方が有効であることを示唆する。従って、本アルゴリズムは、降水強度の最適値を求めるのに、TMI (AMSRE) の pct37, pct85 (pct36, pct89) の輝度温度から推定した降水強度の重みつき平均を行った。この結果、二周波散乱アルゴリズムを導入した V4.6 以降はユーラシア大陸上で PR とかなり近い降水量となり、熱帯域では、V2.2 や V3.2 で降水量が多すぎる問題も解消された(図 3.3-2 右)。

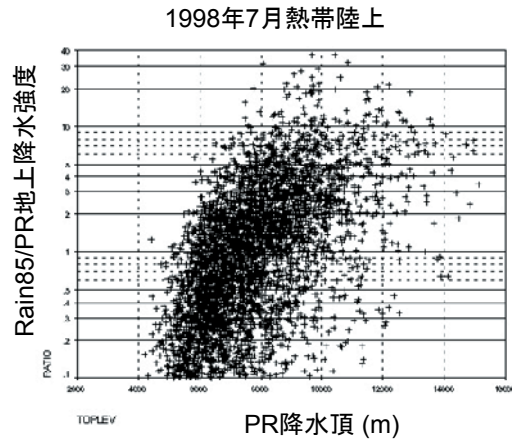


図3.3-15 1998年7月熱帯陸上のPR降水頂(横軸)と(Rain85/PR地上降水強度) (縦軸)の散布図.

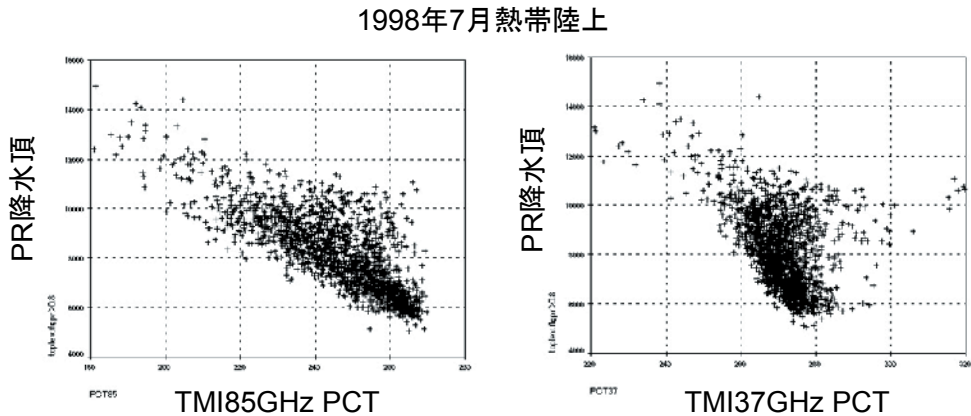


図 3.3-16 1998 年 7 月熱帯陸上の TMI PCT(横軸)と PR 降水頂(縦軸)の散布図.
左図は 85 GHz, 右図は 37 GHz である.

③-5-2 降水頂の推定

前述のように、本アルゴリズムは、背の高い(低い)降水を過大(過小)評価する傾向がある。このことは、降水頂を放射伝達計算(降水物理モデル)に適切に反映させることが必要なことを示唆する。そこで、本研究は、降水頂をマイクロ波放射計データから推定する方法を調べた。

まずマイクロ波放射計データから降水頂を推定するため、陸上の PR の降水頂と TMI の TB の相関を調べた。その結果、TMI の 10GHzFOV 内の降水域で平均した 85GHz 垂直偏波輝度温度 TB85v と 21GHz 垂直偏波輝度温度 TB21v の差(DTB85vra) が、PR 降水頂と0℃高度との差(DTOP)とよい相関を示していることがわかった。今後の更なるアルゴリズムの改良として、DTB85vra, 降水域で平均した 37GHz 垂直偏波輝度温度 TB37v と 21GHz 垂直偏波輝度温度 TB21v の差(DTB37vra)を説明変数として、DTOP を線形 fitting した値(DTOPFIT)を降水頂として用いる方法を検討する。

③-6 SSM/I アルゴリズム

③-6-1 19GHz における偏光度の導入

10GHz チャンネルを持たない SSM/I では、19GHz チャンネルの輝度温度の飽和のために、海上の 10 mm/hr を超えるような強い雨の推定は原理的に過小評価となってしまう。GSMaP アルゴリズムの海上降雨推定では、海上風速の影響を避けるため、基本的に垂直偏波の輝度温度のみを用い

ている。一方、海上風速依存性の問題はあるものの、偏光度(垂直偏波と水平偏波の輝度温度差)は、垂直偏波のみに比べて強い降雨に対する感度があるため、本研究では、垂直偏波の輝度温度の代わりに偏光度を使って輝度温度飽和による強い雨の過小評価を改善することを試みた。ここでは、19GHz チャンネルの P (式(4): P19) を用いた。SSM/I-PR マッチアップデータを用いた解析の結果、弱い雨は rain19V (19GHz の垂直偏波より求めた降雨強度)、強い雨には rainP19 (19GHz の偏光度より求めた降雨強度)、非常に強い雨には rain85ave (85GHz より求めた降雨強度の 19GHz の瞬時視野内の平均値)を使うのが良いということがわかった。そのため、図 3.3-17 に示す散乱アルゴリズム側の重み付け関数 SSpol2 と

$$\text{rainSS} = \text{Wei}_{19V} \times \text{rain19V} + \text{Wei}_{P19} \times \text{rainP19} + \text{Wei}_{85} \times \text{rain85ave} \quad (9)$$

から降水強度を推定した。ここで重み付け係数 Wei_{19V} , Wei_{P19} , Wei_{85} の値については、図 3.3-17 を参照のこと。

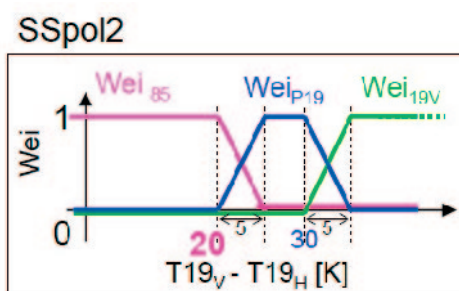


図3.3-17 散乱アルゴリズム側の重み付け関数SSpol2.

③-6-2 非一様性の補正

TMIと同様にPR-SSM/Iのマッチアップデータを用いて、PR 2A25のrainprから計算したSSM/I 19GHz EFOV (FOV19)における t を真値として比較し、 $\text{ave_rain85} \leq 1$ の場合には t はrainprから計算した最頻値(海上: 1.5, 陸上: 1.3)を用い、 $\text{ave_rain85} > 1$ の場合には式(8)によってフィッティングを行った(海上: $a=1.42$, 陸上: $a=1.24$)。

④ 研究成果の位置づけと類似研究との比較

現在、マイクロ波放射計による降水推定アルゴリズムの開発・改良において、TRMM PRのデータを積極的に利用する試みが盛んに行われているが、その多くは、降水物理モデル、すなわちフォワード計算に関するものである。本グループは、降水物理モデルグループによって開発されたTRMM PRと共通な降水物理モデルをフォワード計算部分に導入したのに加え、降雨判定(陸上、海上、および海岸)、降雨の非一様性の補正、および散乱アルゴリズム、といったリトリバル部分についても、TRMM PRの特性を活用して包括的に開発・改良をおこなった。

陸上降雨判定については、従来の手法がグローバルに一律な判定式を用いていたのに対して、陸面輝度温度の変動を表現できるデータベースを使ったことが大きな特徴である。同様にデータベースを用いたアプローチとしてはConner and Petty (1998)やBauer et al. (2002)があるが、データベース作成にPRを利用したものではなく、精度は本研究の方が高いと考えている。

海上降雨判定については、上空に氷晶を持たない上に水平スケールが小さいため、マイクロ波放射計で捉えることが難しいとされていた暖かい雨(Petty 1997)を、水平分解能の高い37GHzの放射シグナルを積極的に利用することで、捉えることができるようになった。特に冬季中緯度で、GPROFに比べて優れた降雨判定となっている。降水判定には、降雨と無降雨の閾値を設定する必要があるが、GSMaPでは客観解析データ等を用いているために適切な閾値を設定できており、特に傾圧性が強く水平方向の気温傾度が大きい冬季中緯度で効果的に働いていると思われる。

海岸降雨判定については、McCollum and Ferraro (2005)で提案された海岸の降雨判定アルゴリズムにおいて、散乱判定の条件を緩和する一方、Decision-treeを改良することで、偽の降雨を除去し、TMIの推定結果がPR 2A25の降水量に近い値を示すに至った。

散乱アルゴリズムについては、従来の手法が 85GHz の高周波数帯一周波のみを利用していたのに対し、85GHz と 37GHz の降水頂に対する感度の違いに着目し、二周波を利用したことが大きな特徴である。GPROF アルゴリズムでは、Version 5 においては SSM/I で用いられてきた 85GHz からの非常に簡便で経験的な手法(Ferraro 1997)を陸上降雨推定に用いており(Kummerow et al. 2001)、また Version 6 におけるリトリーバル部分での改良は海上降雨推定のみで、陸上降雨推定に関してはせいぜい雲解像モデルのデータベースを追加したに過ぎない(Olson et al. 2006)。これに対して我々は、陸域の降雨判定の開発・改良と共に、二周波散乱アルゴリズムの導入によって、陸上において驚異的なまでに PR の推定との一致に至った。

SSM/I 降雨推定アルゴリズムに関しては、非一様性計算方法の精度が向上し、降雨以外のパラメータ(融解層、DSD、雲水量)などを TMI と同じ方法で統一することで、海上の月平均経度平均の降水強度分布では、概して PR と consistent な結果を算出できるようになった。非一様性の問題に関しては早期に取り組んでいたことにより、TMI や AMSR-E アルゴリズムの改良にも貢献できた。

(2)研究成果の今後期待される効果

GSMaP アルゴリズムの大きな成果として、GPROF アルゴリズムで後回しにされてきた陸上降雨推定(陸上降雨判定+散乱アルゴリズム)において、これまでのマイクロ波放射計アルゴリズムの常識を越えるレベルで PR の結果と一致に至ったことがあげられる。陸上の降雨は人間の生活圏に直接的なインパクトを与えるため、実利用を主眼においた GPM に向けて極めて意義がある。最近、PR 自体が陸上で過小評価であり、結果的に GSMaP プロダクトが陸上で過小評価傾向あることが認識されるようになってきた。PR、GSMaP 共に改良された降水物理モデル(特に、融解層上空の雪の層)を導入することによってこの問題が解消されれば、開発途上国などの降水の地上観測のまばらな領域で、防災や洪水の対策への支援をすることが可能となるであろう。

GSMaP アルゴリズムの GPROF 等他のアルゴリズムと比較した主な特徴として、現実的な大気物理量や降水物理量の値を、GANAL データと TRMM の統計的研究結果から求めていることがあげられる。しかしながら、現状の GSMaP アルゴリズムでは GANAL データの利用はフォワード計算部分においてのみであり、今後はリトリーバル部分において、GANAL データに基づいて気象擾乱に伴う大規模場の特徴を同定し、それに対応した降水タイプを動的に求めることが課題である。GANAL データの積極的な利用は、GPM の主要ターゲットである、傾圧性が強く大規模場が一樣ではない中・高緯度において効果を発揮すると思われる。

軌道上に現在ある降水観測に適した 5 台(TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, DMSP F13, F14, F15/SSM/I)の衛星搭載マイクロ波放射計に対して降雨推定アルゴリズムを開発したが、サンプリングが十分ではない。GPM コア衛星運用時においても、マイクロ波放射計搭載のコンステレーション衛星を 8 機確保することが困難な情勢となっている。このため、本来は気温・水蒸気の鉛直高度分布を算出する目的で開発された NOAA15, 16, 17, 18 号衛星に搭載されたマイクロ波サウンダ AMSU データを用いた降雨推定アルゴリズムが必要であり、GSMaP_MWR と共通した降水物理モデルに基づく GSMaP_AMSU アルゴリズムの開発を予定している。リトリーバル部分に関しては新たな開発が必要であるが、本研究の降雨判定、非一様性の補正、ならびに散乱アルゴリズムの開発を通して培った経験と技術が、大きな威力を発揮するであろう。とりわけ、85GHz と 37GHz の降水頂に対する感度の違いに基づく二周波散乱アルゴリズムは、高周波数帯のチャンネルを多数持つ AMSU 用の多周波散乱アルゴリズムへと発展していくと思われる。

参考文献：

- Aonashi, K. and G. Liu, 2000: Passive Microwave Precipitation Retrievals using TMI during the Baiu period of 1998. Part 1: Algorithm description and Validation. J. Appl. Meteor. 39, 2024–2037.
- Bauer, P., D. Burose, and J. Schulz, 2002: Rain detection over land surfaces using passive microwave satellite data. Meteor. Z., 11, 37–48.
- Conner, M. D., and G. W. Petty, 1998: Validation and intercomparison of SSM/I rain-rate retrieval methods over the continental United States. J. Appl. Meteor., 37, 679–700.

- Ferraro, R. R., 1997: Special Sensor Microwave Imager-derived global rainfall estimates for climatological applications. *J. Geophys. Res.*, 102 (D14), 16 715–16 735.
- Kummerow, C., and L. Giglio, 1994: A passive microwave technique for estimating rainfall and vertical structure information from space. Part I: Algorithm description, *J. Appl. Meteorol.*, 33, 3–18.
- Kummerow, C., and Coauthors, 2001: The evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *J. Appl. Meteor.*, 40, 1801–1820.
- Liu, G., 1998: A fast and accurate model for microwave radiance calculation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 76, 335–343.
- McCollum, J. R. and R. R. Ferraro, 2005: Microwave Rainfall Estimation over Coasts, *J. Atmos. Ocean. Technol.*, 22, 497–512.
- Olson, W., and Coauthors, 2006: Precipitation and latent heating distributions from satellite passive microwave radiometry. Part I: Improved method and uncertainties. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 45, 702–720.
- Petty, G., 1994: Physical retrievals of over-ocean rain rate from multichannel microwave imagery. Part I: Theoretical characteristics of normalized polarization and scattering indices, *Meteorology and Atmospheric Physics* 54(1), 79–99.
- Petty, G., 1997: An intercomparison of oceanic precipitation frequencies from 10 SSM/I rain rate algorithms and shipboard present-weather reports, *J. Geophys. Res.*, 102, 1757–1777.

3. 4 全球降水マップ作成(全球降水マップ作成グループ)

3. 4. 1 マイクロ波放射計アルゴリズムによる全球降水マップの作成

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

降水強度推定アルゴリズム開発グループによって開発された、マイクロ波放射輝度温度から降水量を算出する降水リトリバル・アルゴリズム(GSMaP_MWR Version 4.8.4, 以下 V4.8.4 と略記)をマイクロ波放射計の輝度温度データに適用し、長期にわたる降水量の全球マップの作成を行う。また、6 台程度の複数のマイクロ波放射計から計算した降水量データを合成し、高時間分解能のプロダクトを作成する。

② 研究実施方法・実施内容

降水リトリバル・アルゴリズム GSMaP_MWR V4.8.4 をマイクロ波放射計の輝度温度データに適用し、長期にわたる降水量の全球マップの作成を行った。表 3.4-1 に示すように、TRMM/TMI について 9 年間(1998/1～2006/12)、Aqua/AMSR-E について 4 年 7 ヶ月間(2002/6～2006/12)、ADEOS-II/AMSR について 7 ヶ月(2003/4～10)、DMSP(F10, F11, F13, F14, F15)/SSM/I について 16 年間(1991/1～2006/12)の全球降水マップを得ている。ただし、1997 年以前は TRMM PR の情報が使えないので、PR を利用しているデータについては、平均的な季節変化を仮定した値を用いて、降水リトリバル計算を行っている。なお、上記の複数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、また、単独の、例えば TMI のみを使用したプロダクトを GSMaP_TMI の様に名付けている。データ解析は、各衛星データの瞬時視野単位の処理を行い、マップ作成においては、1 時間ごとの緯度経度 0.25 度格子点のデータを作成している。

表 3.4-1: 人工衛星搭載マイクロ波放射計毎に分類したデータ処理状況

プロダクト名	マイクロ波放射計(衛星)	期間
GSMaP_TMI	TMI (TRMM)	1998 年 1 月～2006 年 12 月
GSMaP_AMSR-E	AMSR-E (Aqua)	2002 年 6 月～2006 年 12 月
GSMaP_AMSR	AMSR (ADEOS-II)	2003 年 4 月～2003 年 10 月
GSMaP_SSMI	SSM/I (DMSP F10, F11, F13, F14, F15)	1991 年 1 月～2006 年 12 月
GSMaP_MWR	TMI, AMSR-E, AMSR, SSM/I (DMSP F13, F14, F15)	1998 年 1 月～2006 年 12 月

③ 研究成果

作成された全球降水マップの一例として、図 3.4-1 に、TMI, AMSR-E, AMSR, SSM/I を合成した 1998-2006 の 9 年間の月平均降雨量の降水マップ(GSMaP_MWR)を示す。図 3.4-2 は、1991 年 1 月～2006 年 12 月の赤道(5S～5N)上で平均した GSMaP_SSM/I の経度時間断面図である。ここで、DMSP F10, F11, F13, F14, F15 に搭載されている SSM/I からリトリバルされた降水量を合成している。1991 春-1992 夏、1997 春-1998 春のエルニーニョ、1998 年夏-2000 年春のラニーニャに伴う西太平洋から東太平洋に亘る降水域の変化が見られる。

次に、GSMaP_TMI V4.8.4 と TMI の標準プロダクトである Goddard Profiling (GPROF)アルゴリズムによる 2A12 Version 6 とを、TRMM/PR 2A25 Version 6 を基準値として用い、1998 年 1 月から 2006 年 12 月までの 9 年間で比較した。TMI プロダクトは PR(降雨レーダ)の観測幅内の値のみを用いる。ここでは、緯度経度 0.5 度格子点値で比較を行った。

図 3.4-3(a)は北半球冬季(DJF)、図 3.4-3(b)は北半球夏季(JJA)の海上で帯状平均値を計算し、比較した結果である。熱帯海上では、GSMaP_TMI は 2A12(GPROF)に近く、2A12(GPROF)と比べるとわずかに小さい。2A25(PR)は GSMaP よりさらに小さい。北半球冬季中緯度海上では、GSMaP は 2A25(PR)より大きく、2A12(GPROF)は 2A25(PR)より小さい傾向がある。図 3.4-3(c)は北半球冬季(DJF)、図 3.4-3(d)は北半球夏季(JJA)の陸上の帯状平均値の比較である。陸上で、熱帯の降水量が多く、2A12(GPROF)は、2A25(PR)との違いが大きい、GSMaP は全体的に 2A25(PR)とよく一致している。

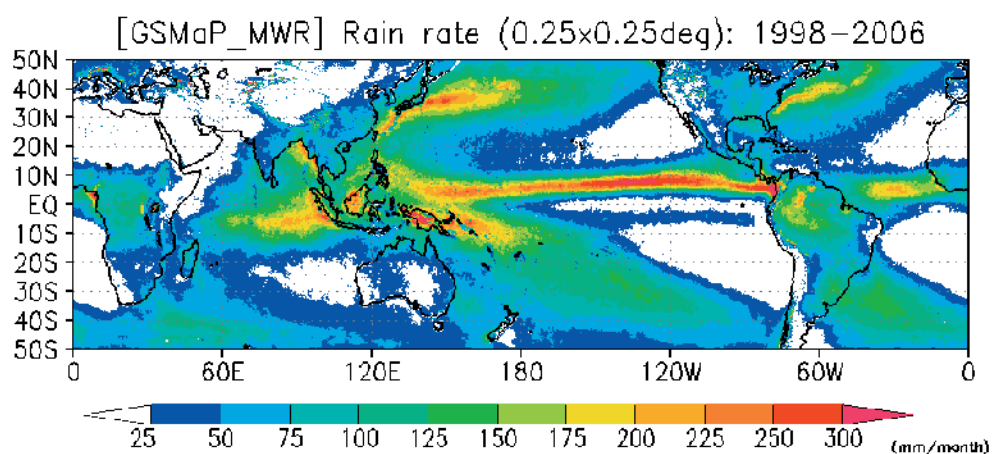


図 3.4-1 GSMaP_MWR 気候値

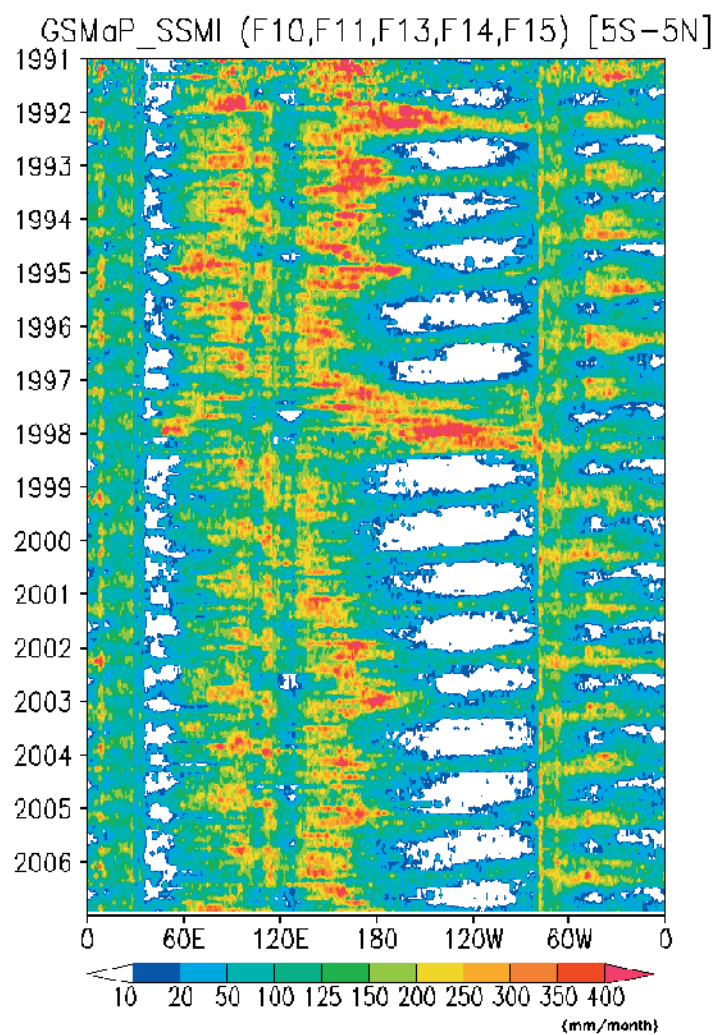


図 3.4-2 GSMaP_SSM/I データの経度時間断面図

④ 研究成果の位置づけと類似研究との比較

GSMaP アルゴリズムを開発し、複数の衛星搭載マイクロ波放射計データに適用することによって、全球の降水マップが作成できるようになった。これによって、当チームの初期の目標である「信頼に値するマイクロ波放射計アルゴリズムの開発とそれによる全球降水マップの作成」については、達成することができた。

GSMaP アルゴリズムは、TRMM/PR で約 9 年間にわたって観測された降水データならびに地上降雨レーダ観測データを基に作成された降水物理モデルに基づいており、その結果作成された TRMM/TMI の全球降水マップは予測されたように TRMM/PR の作成する全球降水マップと非常に近いものとなっている。海上においては、図 3.4-3 に見られるように NASA/GSFC が 1990 年以来開発し、現在も改良を続けている最新版のアルゴリズム(GRPOF Version 6)の処理結果と比較しても遜色のない降雨強度を算出できるようになっており、TRMM/TMI のアルゴリズム開発については、GSMaP は、ほぼ完成の域に近づいている。GSMaP アルゴリズムは、観測データ等に基づく現実的な降水物理モデルを用いるアルゴリズムであり、GPROF アルゴリズムは、雲解像モデルの出力に基づく降水物理モデルを用いるアルゴリズムであるため、その根本的な考え方は異なるが、GPROF もデータベースの改良を加えてきており、結果的に作成される降水マップについては、海上においては、両者は非常に近づいて来ているといえよう。TRMM/TMI 用の GSMaP アルゴリズムを基本として、他の衛星のマイクロ波放射計(AMSRE、SSM/I)用の GSMaP アルゴリズムも、それぞれのマイクロ波放射計固有の周波数などの差を考慮して、最適化を図るなど改良が施されている。

陸上については、GSMaP が開発基準とした TRMM/PR アルゴリズムそのものが、陸上雨量を過少評価しているという問題が最近浮上している。これについてはマップの評価のところでも述べるが、融解層よりも上の雪の層のモデル化が現在の PR アルゴリズムでは十分ではないことが大きな原因と考えられており、今後降水物理モデルを改良することによってその結果が TRMM/PR と GSMaP の両アルゴリズムの改良につながるものと考えられ、まだ研究する必要があると思われる。

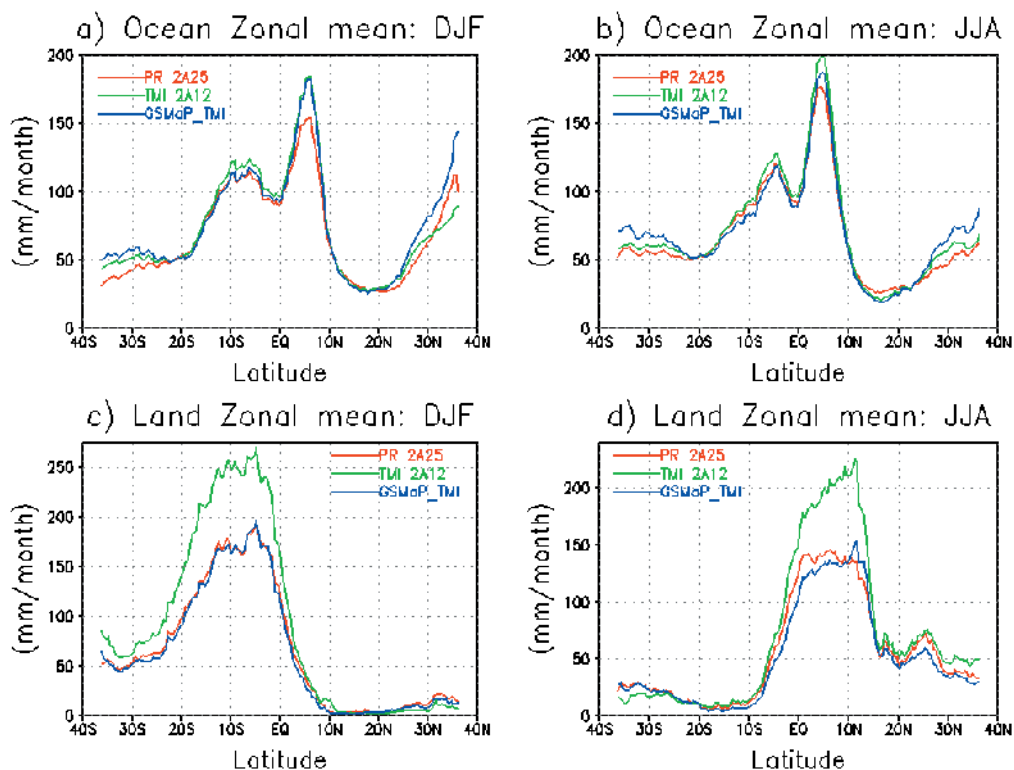


図 3.4-3 1998～2006 年の北半球冬季(DJF)及び北半球夏季(JJA)の帯状平均値の比較。
(a)海上北半球冬季, (b)海上北半球夏季, (c)陸上北半球冬季, (d)陸上北半球夏季。

(2) 研究成果の今後期待される効果

2013 年頃に日米を中心とした全世界協力によって、二周波降雨レーダを搭載したコア衛星とマイクロ波放射計を搭載した 8 機程度の衛星群による全球降水観測計画(GPM)衛星が実現される予定であり、当研究チームが開発したアルゴリズムと降水マップ作成手法、評価手法は、GPM 時代に大いに貢献するものと考えられる。GSMaP アルゴリズムを GPM の複数の衛星搭載マイクロ波放射計データに適用することによって、短期的な洪水予測や、長期的な気候変動予測に利用するための、高精度高分解能の全球降水マップが作成されることも可能になると考えられる。

3. 4. 2 赤外放射計データを用いた高時間・高空間分解能全球降水マップの作成

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

マイクロ波放射計は、静止気象衛星の赤外画像に比べて、高精度での降雨量推定が可能であるが、低軌道衛星に搭載されているため、観測領域の隙間が多く、サンプリングエラーが顕著な問題となる。図 3.4-5 に 1 時間の間に 5 台のマイクロ波放射計のみによって観測される領域(黒い軌道の部分のみ)の例を示す。一方、静止気象衛星の赤外画像は、マイクロ波放射計データに比べて降雨量推定精度は劣るものの、サンプリングエラーの問題が少ない。本研究では、マイクロ波放射計と静止気象衛星搭載赤外放射計データを併用して、空間分解能は緯度経度 0.1 度、時間分解能は 1 時間といった従来に比して格段に分解能の高い全球降水マップを作成することをねらいとしている。

② 研究実施方法・実施内容

赤外放射計から算出される雲の移動ベクトルを用いて、マイクロ波放射計による観測間隔を補間する手法の開発を行った。アルゴリズムの概要を、図 3.4-4 に示す。入力データは、1 時間前の降水マップ、1 時間前から現在までに観測されたマイクロ波放射計データから算出した降雨強度データ、現在及び 1 時間前の赤外放射計データである。マイクロ波放射計データは、GSMaP_MWR データである。また、赤外放射計データに関しては、NASA Goddard DAAC (Distributed Active Archive Center) から配布されている 4km、30 分の分解能を有する全球赤外画像データを用いている。雲移動ベクトルの算出では、6.5 度×6.5 度グリッドの画像間での相互相関を計算し、その相互相関係数が最も大きくなるような画像間のバイアス値(移動ベクトル)を計算する。これを基に、1 時間前の降水マップにおける各ピクセルの降水を移動させ、さらに、1 時間前から現在までの間にマイクロ波放射計により観測された降水量を重ねることにより、現在の降水マップを得る。

さらに本研究では、時間の経過と共に推定雨量を移動ベクトルに基づいて移動させる通常の Forward プロセス(降水マップのプロダクト名は GSMaP_MV_RT)と共に、時間軸上で逆方向にマイクロ波放射計による推定雨量を移動ベクトルに基づいて移動させる Backward プロセスを導入している。

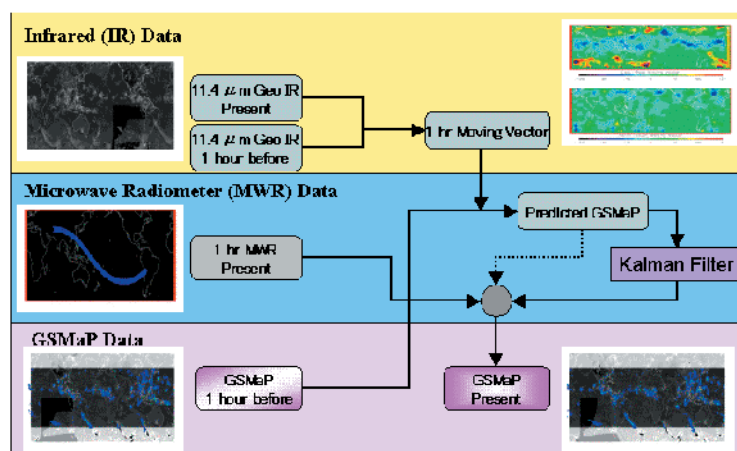


図 3.4-4 高時間・高空間分解能マップ作成マイクロ波・赤外放射計複合アルゴリズムのフロー

そして、Forward プロセスと Backward プロセスの重み付け平均を計算することにより、最終的なプロダクトとしている(降水マップのプロダクト名は GSMaP_MV)。このようにして、降水マップの作成が可能であるが、雲移動ベクトルのみの手法では、降雨量の増大や減少が、考慮されていない。そのため、本研究では、カルマンフィルタによる補正を加えている。カルマンフィルタとは、雑音を含む観測値から真の値(信号成分)の最適な推定値を求めるフィルタ(アルゴリズム)であり、カルマンフィルタを用いる手法を導入することにより、降雨の増大・減少プロセスを考慮することが可能となる。カルマンフィルタを導入したプロダクト名は、GSMaP_MVK_RT および GSMaP_MVK である。表 3.4-2 に赤外放射計データを用いた降水マップの作成状況を示す。これまでに 2004 年 1 月～2005 年 12 月の期間のデータを処理して、現在処理期間を広げている。さらに本研究では、静止気象衛星「ひまわり」に搭載された赤外二チャンネルデータ(11 μm と 12 μm)を用いたスプリットウィンドウ法を導入して、日本付近の雨域の判定を行い、雲の移動の代わりに判定された雨域を用いて雨域の移動ベクトルを推定して降水マップの精度向上を図る試みを試験的に実施し、その有効性を確認している。スプリットウィンドウ法による雨域移動ベクトルにより初期値のレーダー・アメダス降水量を外挿した降水分布と、トルースとしての次の時間におけるレーダー・アメダス降水量分布を比較した。2003 年 9 月の降水事例 30 例についての赤外 1 チャンネルによる雲移動ベクトルとスプリットウィンドウ法による判定雨域移動ベクトルを用いた降水強度の外挿の比較では、スプリットウィンドウ法による雨域移動ベクトルを用いた手法は約 20%相関係数がよくなることが分かった。

表 3.4-2: 赤外放射計データを用いた高時間・高空間分解能全球降水マップの作成状況

プロダクト名	赤外放射計による補間法	期間
GSMaP_MV_RT	雲移動ベクトル(Forward のみ)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MVK_RT	雲移動ベクトル+カルマンフィルタ(Forward のみ)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MV	雲移動ベクトル(Forward+Backward)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MVK	雲移動ベクトル+カルマンフィルタ(Forward+Backward)	2004 年 1 月～2005 年 12 月

③ 研究成果

図 3.4-5 に、一例として、作成された 2005 年 7 月 8 日午前 0 時(UTC)の降水マップ(GSMaP_MVK)を示す。黒く示された軌道の部分の降雨(青色)が過去 1 時間の間に 5 台のマイクロ波放射計によって新たに観測された降雨を示す。白い領域の降雨(青色)は、赤外放射計データを用いた 1 時間前の降水マップの移動とカルマンフィルタに推定によって補間されたものである。このように、マイクロ波放射計の未観測域が、IR データによる補間手法によって、補間され、南緯 60 度から北緯 60 度に至るほぼ全球の降水マップが時間分解能 1 時間、空間分解能緯度経度 0.1 度の分解能で作成される。図 3.4-6 は、これらを重ねた時間分解能 1 日の 2005 年 7 月 1 日の降水マップ(GSMaP_MVK)を示す。

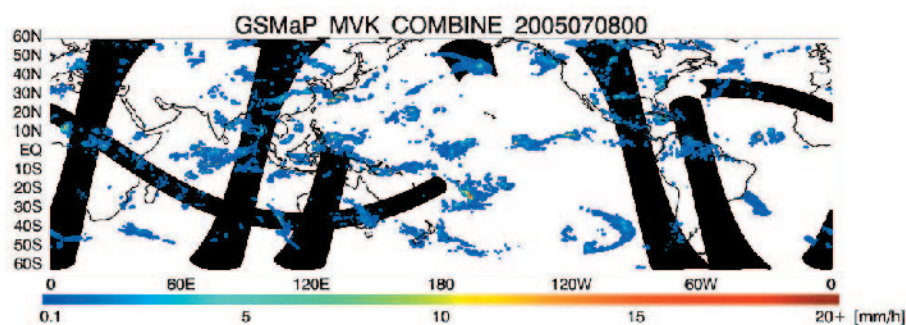


図 3.4-5 作成された空間分解能 0.1°の全球降水マップの一例(時間分解能 1 時間)
背景が黒の部分がマイクロ波放射計のみによる観測領域

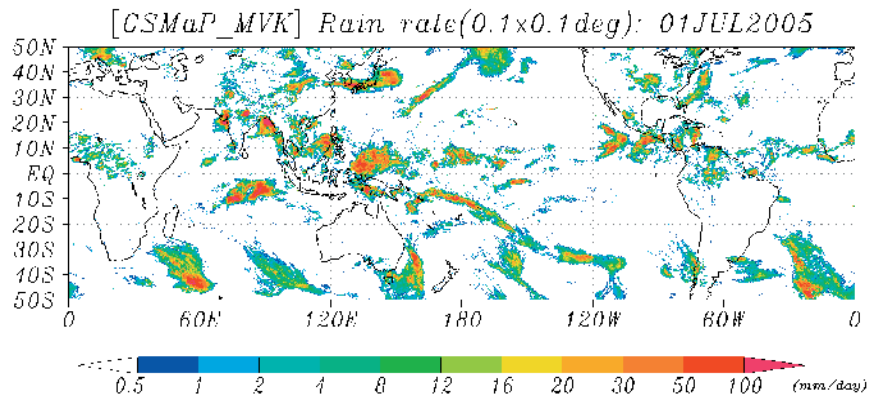


図 3.4-6 作成された空間分解能 0.1° の全球降水マップの一例(時間分解能 1 日)

図 3.4-7 に、マイクロ波放射計が通過してからの時間が経るに従い、雲移動ベクトルのみによる推定値(実線)及びそれにカルマンフィルタを加えた場合の推定値(破線)のマイクロ波放射計による推定値に対する相関係数がどのように変化するかを示す。

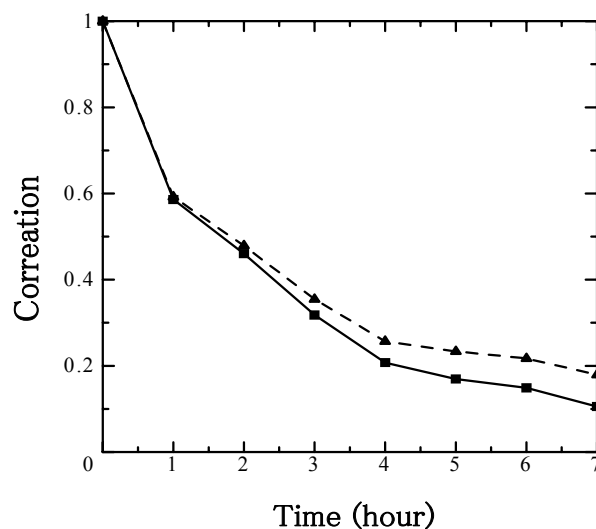


図 3.4-7 マイクロ波放射計通過からの降雨量推定値の相関係数の変化
実線:雲移動ベクトルのみ、破線:雲移動ベクトル+カルマンフィルタ。

この図に示されているように、時間が経過するに従い、単調に相関係数が減少していく。マイクロ波放射計の通過からの時間が比較的短い 1 時間あるいは 2 時間の場合では、カルマンフィルタを加えた場合と雲移動ベクトルのみによる推定値とは、ほとんど差が見られないのに対して、4 時間後、5 時間後では、差が徐々に大きくなり、カルマンフィルタの効果が現れてくる傾向にあることがわかる。

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

このような全球降水マップ作成プロジェクトとして CMAP(緯度経度 2.5°)及び GPCP(緯度経度 1°)が従来から良く知られているが、空間分解能の点で、GSMaP(緯度経度 0.1°)は、これらより遥かに優れている。GSMaPと同じようにマイクロ波放射計と赤外放射計データを組み合わせる手法により高時間・高空間分解能の降水マップを作成するグループが集まり、IPWG/ PEHRPP (International Precipitation Working Group/Program to Evaluate High resolution Precipitation

Products:Chair Dr. Phil Arkin)において活動している。GSMaPもわが国を代表して PEHRPP に参加している。この中には、赤外放射計データを降雨強度を推定するために用いているグループが多いが、GSMaP と同じように赤外線放射計データを補間のために用いて精度の高い降水マップを作成しているグループに CMORPH がある。これらとの比較は、3. 5. 3において行う。

(2) 研究成果の今後期待される効果

土木研究所(PWRI)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で実施している、「GPMデータを想定した洪水予測実現のための降水量推定精度向上及び利用手法の検討」に関する研究に於いて、当研究チームの開発したGSMaPアルゴリズム(GSMaP_MVK_RT)の利用が予定されている。このPWRIとJAXAの共同研究は、発展途上国向け洪水予警報システムに衛星推定降水量を利用することを目指している。このため、当研究チームの開発したGSMaPアルゴリズムを提供し、準リアルタイムで動作するように試験を行っている。

3. 4. 3 NOAA/AMSU データの利用

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

マイクロ波放射計は、マイクロ波イメージャ(Imager)とマイクロ波サウンダ(Sounder)に大別される。前者は、マイクロ波放射輝度温度の水平的な分布を観測し、海面温度や降雨強度の水平分布を観測することを目的としてきた。後者は、マイクロ波放射輝度温度の鉛直分布から、大気気温や水蒸気の鉛直分布を算出することを目的としてきた。これまで、降雨算出用に用いられたマイクロ波放射計(TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, ADEOS-II/AMSR, DMSP/SSM/I)は、すべてイメージャであった。しかし、6 台程度のマイクロ波イメージャデータを合成して、1 時間程度の分解能の降水マップを作成しても、多くの未観測域(ギャップ)が存在する。このギャップを埋めるために、上記の様に赤外放射計データを利用してきたのであるが、研究を進めるにつれてこのギャップを埋めるためには、NOAA 衛星に搭載されている、本来は大気中の水蒸気の鉛直分布を観測するために開発されたサウンダ、AMSU-B(NOAA 18 以降は MHS)データの利用が可能であることに気づいた。とりわけ、AMSU-B の 89GHz のチャンネルは、AMSR-E の 89GHz のチャンネルと同一周波数であり、その利用は有用である。

既に、NOAA では、AMSU-B から降雨強度を算出する簡易なアルゴリズムを開発し、降雨強度を算出している。当チームにおいても、AMSU-B 用の GSMaP アルゴリズムの開発を、最近開始した。しかし、まだ十分に信頼できるアルゴリズムは開発されていないため、以下では、NOAA が解析した降雨強度の値と、当チームの GSMaP アルゴリズムによって当チームが解析したイメージャのデータを共に用いて作成した全球降水マップについて報告する。

② 研究実施方法・実施内容

NOAA がリトリバルした AMSU 降水量データ(Ferraro et al. 2005)を利用する。なお、NOAA AMSU データの冬季海上で、海氷に関連していると思われる偽の降雨域が見られた。そのため、GSMaP で使われている、「Freezing level height が 500m 以下の場合、欠損値とする」、という条件を、NOAA AMSU データに適用している。

GSMaP マイクロ波放射計アルゴリズムのプロダクトである GSMaP_MWR に AMSU-B データをチューニング無しに単純に統合したプロダクトを GAMaP_MWR+ と呼ぶ。また、赤外放射計データを補間として用いた GSMaP プロダクトは、表 3.4-2 に示されているが、これらに AMSU-B を統合したものを GSMaP_MV_RT+、GSMaP_MVK_RT+、GSMaP_MV+、GSMaP_MVK+と呼ぶ。厳密には、GSMaP_MWR+ に対して赤外放射計データを補間として用いて、GSMaP_MV_RT+、GSMaP_MVK_RT+、GSMaP_MV+、GSMaP_MVK+を作成した。作成したプロダクトを表 3.4-3 に示す。

表 3.4-3: AMSU-B データを GSMaP データに統合した全球降水マップの作成状況

プロダクト名	使用データ	期間
GSMaP_MWR+	GSMaP_MWR, AMSU-B(NOAA)	2003 年 1 月～2006 年 12 月
GSMaP_MV_RT+	GSMaP_MV_RT, AMSU-B(NOAA)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MVK_RT+	GSMaP_MVK_RT, AMSU-B(NOAA)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MV+	GSMaP_MV, AMSU-B(NOAA)	2004 年 1 月～2005 年 12 月
GSMaP_MVK+	GSMaP_MVK, AMSU-B(NOAA)	2004 年 1 月～2005 年 12 月

③ 研究成果

マイクロ波サウンダによる降水推定の精度は、海上で降水に感度のある周波数帯を持たないことから、マイクロ波イメージャと比較すると低いことが考えられるが、どちらも散乱アルゴリズムのみを用いる陸上降水の推定精度は、SSM/I と同程度の精度を示すことがわかっている (Ferraro et al., 2006)。

GSMaP でリトリバルした降水量データと NOAA が解析した NOAA AMSU データを比較するために、衛星搭載マイクロ波放射計ごとに海上と陸上別に 2005 年 1 月～12 月の期間にわたって平均した緯度ごとの帯状平均値を図 3.4-8 で示す。海上では、GSMaP_TMI と GSMaP_AMSR-E と NOAA_AMSU で違いが小さい。SSM/I は熱帯で AMSU より降水量が小さく、中緯度では AMSU より大きい傾向がある。全体として、海上では衛星間の違いは小さい。一方、陸上では、GSMaP グループと AMSU-B グループに分かれ、両者の違いが大きい。この様に、陸上で GSMaP データと NOAA AMSU-B データで違いが大きいことが問題点として考えられる。このため、AMSU-B データを GSMaP データと統合して実験プロダクトを作成するとき、チューニング無しの単純な統合に加えて、陸上のみで AMSU-B データを GSMaP データにチューニングを行う手法の開発をも行った。

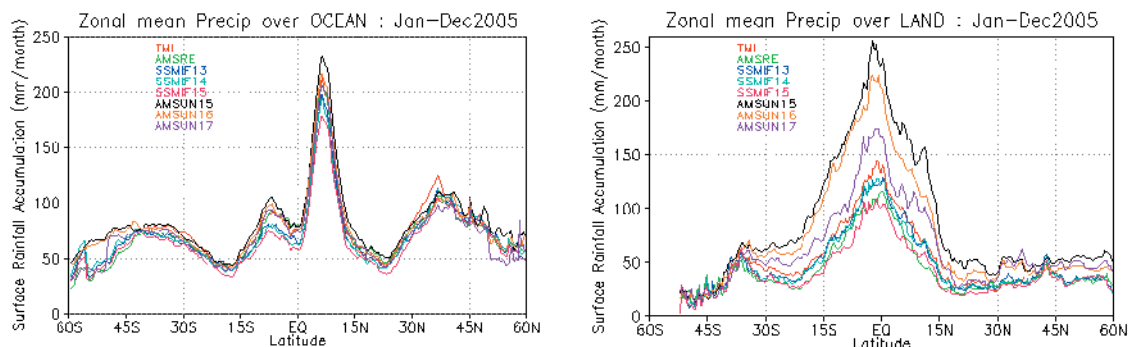


図 3.4-8 2005 年 1 月～12 月で平均した(左)海上、(右)陸上でのマイクロ波放射計から求めた降雨量。

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

研究成果は、NOAA の解析した AMSU-B データを用いているために、実験プロダクトと考えている。GSMaP で現在開発中の AMSU-B 用アルゴリズムが完成すれば、これを応用し、正式な GSMaP プロダクトとしたい。なお、PEHRPP プロジェクトにおける高分解能降水マップの代表に NOAA/CMORPH があるが、CMORPH (Joyce et al. 2004) は、AMSU-B のデータを統合しているが、海上のみチューニングしていて、陸上ではしていない。

(2) 研究成果の今後期待される効果

マイクロ波サウンダデータを利用する利点として、サンプリングの向上が考えられる。これについて 2005 年 7 月 1 日を例として、ある観測時間で、衛星が平均的に観測する領域の割合 (全領域を 60S-60N とする) を算出した。マイクロ波イメージャ(TMI, AMSR-E, SSM-I×3)のみの場合、3 時間で約 60%、6 時間で約 90%の観測面積となる。一方、マイクロ波イメージャに加えてマイクロ波サウン

ダデータ(NOAA 15,16, 17/AMSU-B, 18/MHS)を利用する場合、3時間で約90%、6時間では100%の観測面積となる。サンプリングに関しては、マイクロ波サウンダデータを利用する利点は非常に大きいことがわかる。また GSMaPとNOAAの降水量で、特に、陸上で違いが大きい。これに対応するためのチューニング手法を開発した。この手法は、ヒストグラムマッチング法と呼ばれ、降水発生頻度を降水強度ごとに求め、NOAAの発生頻度を GSMaPの発生頻度に合わせるように降水強度ごとに決められた係数をかける手法である。しかし、単に頻度を合わせるだけのものであり、降水物理的な原理には基づいていない。このため今後は、GSMaP独自の AMSU 用降水リトリーバルアルゴリズムを研究・開発し、それによって計算した値を合成する予定である。

参考文献：

- Ferraro, R. R., F. Weng, N. Grody, L. Zhao, H. Meng, C. Kongoli, P. Pellegrino, S. Qiu and C. Dean, 2005:NOAA operational hydrological products derived from the Advanced Microwave Sounding Unit. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **43**, 1036–1049.
- Ferraro, R., W. Chen, C. Kongoli, H. Meng, P. Pellegrino, D. Vila, N.-Y. Wang, F. Weng and L. Zhao, 2006: The status of the NOAA/NESDIS operational AMSU/MHS precipitation algorithm. *The 3rd International Precipitation Working Group Workshop*, 23–27 Oct. 2006, Melbourne, Australia.
- Joyce, R. J. , J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution, *J. Hydrometeorol.*, vol. 5, no. 3, pp. 487–503, 2004.

3. 5 全球降水マップの評価(全球降水マップ作成グループ)

3. 5. 1 TRMM PR アルゴリズム、TMI/GPROF アルゴリズムとの比較

(1)研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

従来、衛星からの降雨推定値の検証は、地上観測器によって得られた推定値を真値と考えて行われてきた。しかしながら、地上観測器が十分に校正されていないために、衛星からの推定値の検証に用いることができない場合が多い。また、非常に限定された期間・場所で検証を行っても、雲・降水特性の空間的・時間的変動に起因するエラーを調べることができない。そこで本研究課題では、TRMM/PR(降雨データ)からの降雨推定値を基準値として用い、GSMaP アルゴリズムによる降雨推定値をグローバルに検証した。

② 研究実施方法・実施内容

熱帯海域(インド洋、西太平洋、東太平洋、大西洋)、中緯度海域(太平洋北西部、太平洋南東部、大西洋北西部、大西洋南部)、および陸域(アフリカ大陸、インド亜大陸、インドシナ半島・中国、南アメリカ大陸)の計 12 領域に注目して比較を行った。比較期間は PR データの信頼性が高い、TRMM/PR の軌道高度変更前の 1998 年～2001 年の 4 年間とした。PR および GPROF のアルゴリズムは Version 6、GSMaP のアルゴリズムは Version 4.8.4 で、いずれも最新のものである。PR および TMI GPROF に関しては 3G68 と呼ばれる格子間隔 0.5 度 x 0.5 度のグリッドデータ、TMI GSMaP も 3G68 を参考にして作成した格子間隔 0.5 度 x 0.5 度のグリッドデータを用いており、GSMaP、GPROF に関しては PR の観測幅のデータのみ使用している。

③ 研究成果

熱帯海上では東太平洋の ITCZ 領域(210E-270E, 0N-20N 領域)を除けば GSMaP が過小評価傾向、GPROF が過大評価傾向であり、その差はせいぜい 2mm/day 以下である。図 3.5-1 (a)にインド洋における PR 2A25 降雨量、GSMaP 降雨量と PR 2A25 降雨量の差、GPROF 降雨量と PR 2A25 降雨量の差、の時間-緯度断面図を示す。また、図 3.5-1(b)にインド洋における降水強度のヒストグラム解析の結果を示す。2mm/hr 以下の非常に弱い降雨強度の範囲において、GSMaP は PR や GPROF に比べて過小評価であり、これが総降水量における過小評価の原因となっている。同様の傾向は他の熱帯海域でもみられ、GSMaP で仮定している雲水量(0.5kg/m²)が、非常に弱い降雨強度の雲に対しては過大であると思われる。

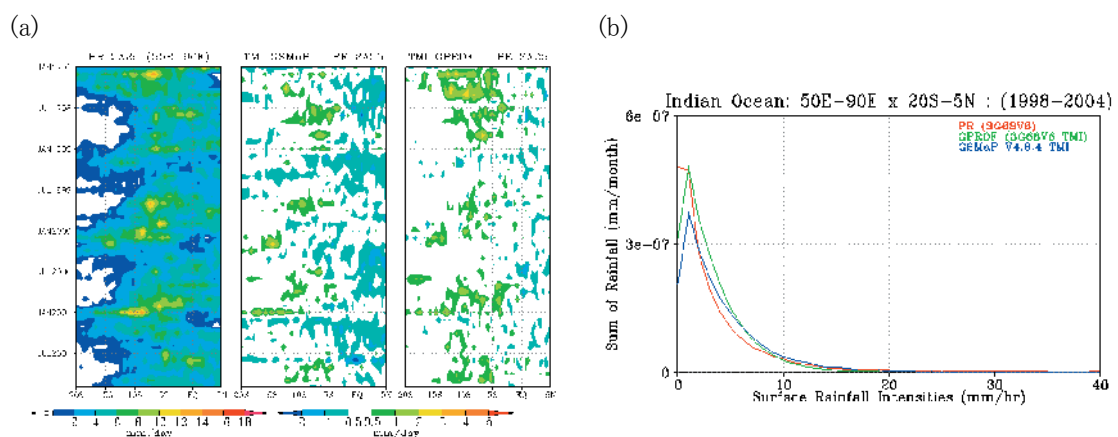


図 3.5-1 (a)インド洋における[PR 2A25 降雨量], [GSMaP 降雨量 - PR2A25 降雨量], [GPROF 降雨量 - PR2A25 降雨量]の時間-緯度断面, (b)ヒストグラム解析

中緯度海域については、図は割愛するが、太平洋北西部において、GSMaP、GPROF とともに PR と比べて、降雨量を、低緯度側で過小評価、高緯度側で過大評価している。また、太平洋北西部ほどではないが太平洋南東部においても、GSMaP、GPROF とともに低緯度側で過小評価、高緯度側で過大評価傾向にある。ただし、いずれの領域においても GSMaP の方が PR との差が大きい。一方、大西洋においては、北半球中緯度で GSMaP、GPROF とともに過小評価、南半球中緯度で GSMaP、GPROF とともに過大評価となっている。

陸域では、GSMaP は、インドシナ半島・中国においてやや過小評価傾向が見られるが、アフリカ大陸・インド亜大陸・南アメリカ大陸では4年間を通してPRの推定と良い一致を示している。陸域においては散乱シグナルしか用いることができないことから考えれば驚異的であると言える。一方、GPROF は、アフリカ大陸、南アメリカ大陸における過大評価が非常に顕著である。図 3.5-2 (a) にアフリカ大陸における PR 2A25 降雨量、GSMaP 降雨量と PR 2A25 降雨量の差、GPROF 降雨量と PR 2A25 降雨量の差、の時間-緯度断面図を示す。アフリカ大陸の北緯 10 度付近では、PR でほとんど降雨を推定していない冬の時期に GPROF は降雨を推定している場合があり、陸域の降雨判定に大きなエラーが存在している。また、図 3.5-2 (b) にアフリカ大陸における降水強度のヒストグラム解析の結果を示す。GSMaP は、非常に弱い降雨強度の範囲で過小評価しているのを除けば、極めて良い一致を示している。陸域においてマイクロ波放射計アルゴリズムが、散乱のない浅い降水システムを見逃すことを考えれば、弱い降雨強度での過小評価は原理的に避けられないと考えられる。

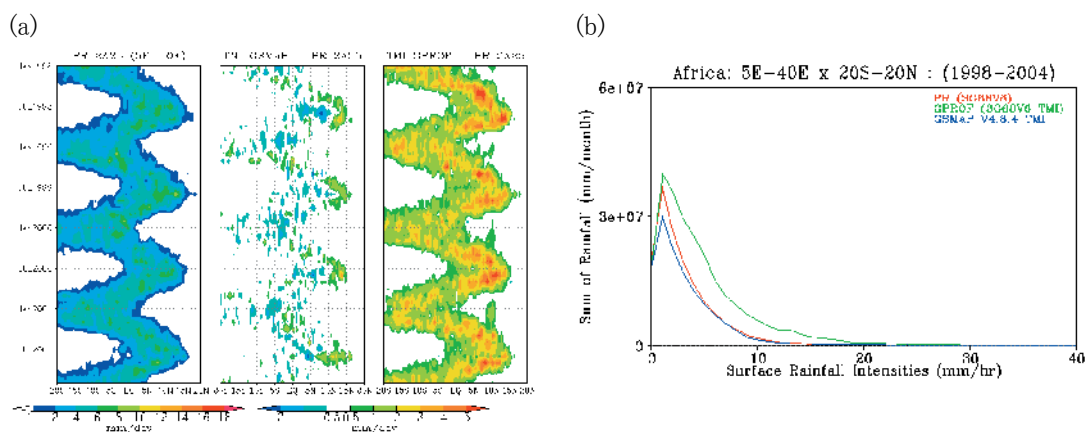


図 3.5-2 (a)アフリカ大陸における[PR 2A25 降雨量]，[GSMaP 降雨量 - PR2A25 降雨量]，[GPROF 降雨量 - PR2A25 降雨量]の時間-緯度断面，(b) ヒストグラム解析

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

本研究終了報告書では最新の GSMaP_TMI Version 4.8.4 の結果のみを示したが、過去 5 年間にわたって PR との比較により、アルゴリズムの検証・改良を進めてきた。例えば、GSMaP が海上で異常に強い降雨強度を推定していることがヒストグラム解析によって見つかり、非一様性の問題の改修を行った。このような検証・改良の蓄積の結果、とりわけ陸域において研究開始当初には考えられなかったほど PR の推定値と良い一致を示すに至った。NASA においても GPROF の検証に PR を基準として用いているが、1 ヶ月間(2000 年 7 月)のデータを用いて行っている程度で、我々のように長期間のデータを用いた地域的な検証は行われていない。

(2) 研究成果の今後期待される効果

PR を基準として検証を行ってきたが、最近、PR 自体が陸上で過小評価であり、結果的に GSMaP プロダクトが陸上で過小評価傾向にあることが認識されるようになってきた。このため、PR、GSMaP 共に改良された降水物理モデル(特に、融解層上空の雪の層)に基づく改良されたアルゴリズムによる処理結果を用いて、再度相互に比較検証する必要がある。特に GSMaP アルゴリズム

の開発は最新の V4.8.4 に至ってヒストグラム解析で問題点がすぐに見つかるという段階を抜け、さらなる改良のためにはより詳細な解析が必要な状況である。また、本研究で確立された PR による検証手法は、GSMaP アルゴリズムを基礎に開発が予定されているマイクロ波サウンダ降水推定の検証・改良にも威力を発揮すると思われる。

3. 5. 2 地上観測データとの比較

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

GSMaP アルゴリズムで作成した降水量プロダクトの評価のために、地上雨量計データならびに地上レーダデータとの比較を行う。

② 研究実施方法・実施内容

地上雨量計データセットとして、GPCC Monthly Precipitation Monitoring Product (Fuchs et al. 2007)を用いた。これは、世界中の約 7000 点の地上雨量観測点データを収集し、品質管理を行って作成された緯度経度 1×1 度格子の月平均データである。

地上レーダデータとして、沖縄偏波降雨レーダ (COBRA) データ、Kwajalein レーダデータ、ならびに防災科学技術研究所 X-band multi-parameter radar (MP-X) データを利用する。

③ 研究成果

(a) 地上雨量計データとの比較

地上雨量計データセットと GSMaP_MWR の比較を行った。図 3.5-3(a),(b)は、2003-2006 年における熱帯 (15S～15N) で、地上雨量計が 1 ヶ所以上ある格子点における GSMaP_MWR 及び GSMaP_MWR+ と GPCC の散布図を示している。図 3.5-3(a)では、熱帯で GSMaP_MWR と GPCC はよい線形関係を示し、相関係数は 0.85 (12177 個で計算)と高い。ただ、GSMaP を説明変数、GPCC を目的変数としたときの回帰直線は、

$$y=1.21x+19.2 \text{ (mm/month) [15S～15Nで計算]}$$

で、切片が正で回帰係数が1より大きいことは、GSMaP_MWRがGPCCより過小評価していることを示している。

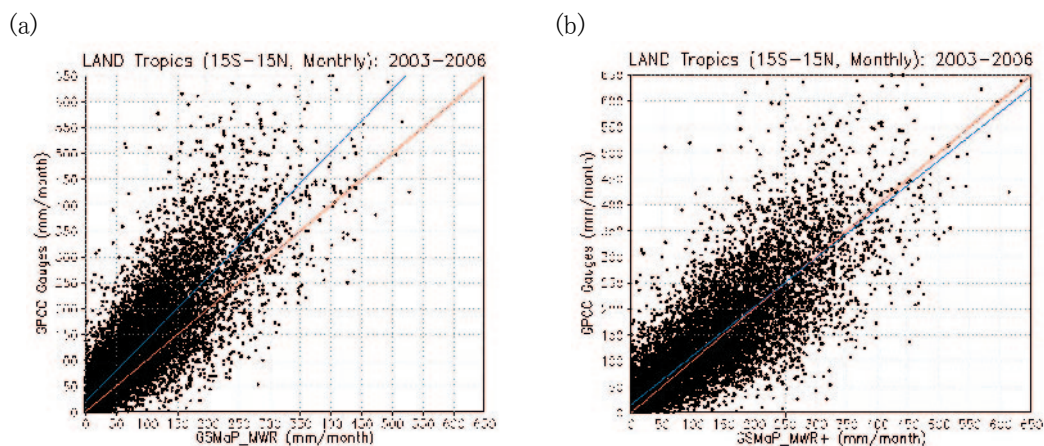


図 3.5-3 (a)(b)熱帯(15S-15N)で地上雨量計が 1 ヶ所以上ある格子点における GSMaP_MWR 及び GSMaP_MWR+と GPCC の散布図。緯度経度 1°×1°格子の 2003～2006 年の月平均値で比較。青線は回帰直線。

図3.5-3(b)は、GSMaP_MWR+とGPCC雨量計の散布図を示している。GSMaP_MWR+とGPCCもまたよい線形関係を示し、15S～15Nで相関係数は0.85(12177個で計算)とGSMaP_MWRと同様に高

い。また、GSMaPを説明変数、GPCCを目的変数としたときの回帰直線は、

$$y=0.93x + 16.0 \text{ (mm/month) [15S} \sim \text{15Nで計算]}$$

で、図3.5-3(b)が示すように、1対1の線(赤線)と回帰直線(青線)は近い。これは、GSMaP_MWR+とGPCCとが月平均値でよく対応していることがわかる。

図3.5-4は、地上雨量計が1ヶ所以上ある格子点におけるGPCC雨量計、GSMaP_MWR, GSMaP_MWR+の帯状平均値の2005年における比較を示している。図3.5-4もまたGPCC雨量計とGSMaP_MWR+の値が近く、GSMaP_MWRが過小評価している傾向を示している。

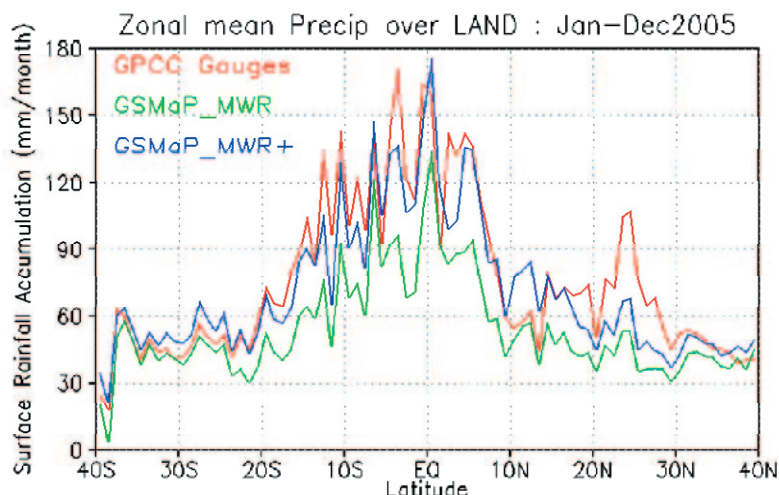


図 3.5-4 GSMaP_MWR, GSMaP_MWR+及び GPCC で求めた帯状平均降雨量の比較(2005 年)

(b) 地上レーダデータとの比較

沖縄偏波降雨レーダ(COBRA)データとの比較

地上レーダ観測グループによる 2004 年沖縄梅雨集中観測(Okn-Baiu-04)期間中の COBRA 観測データ(10 分サイクルで観測)に対して GSMaP アルゴリズムを用いて算出した TMI と AMSR-E プロダクトについての検証を行った。まず、図 3.5-5 は、COBRA による降水強度に対して GSMaP アルゴリズム、GPROF アルゴリズム(Wilheit et al. 2003, Adler et al. 2004)、JAXA プロダクト(Liu and Curry 1992, 1996, Liu 2002)による AMSR-E 解析結果の比較を行った結果である。この事例は 2004 年 6 月 8 日 17:10-17:19UTC(軌道番号 11162D)である。緯度経度 0.1×0.1 度格子で解析した。COBRA 降水強度に対する RMSE(二乗平均誤差平方根)は、GSMaP は 1.80mm/hr、GPROF は 1.72mm/hr であった。JAXA プロダクトは海岸上では欠損値である。次に、海上のみに限定して計算した RMSE では、GSMaP は 1.58mm/hr (255 grids)、GPROF は 1.45mm/hr (264 grids)、JAXA は RMSE=2.03mm/hr (253 grids)であった。なお、海陸マスクがプロダクトごとに異なるので、海の格子点数をカッコ内で示している。

次に、2004 年 6 月の 4 事例で緯度経度 0.25×0.25 度格子で解析をした。図 3.5-6 (a)は、COBRA による降水強度と GSMaP_TMI による降水強度の散布図を示している。COBRA と GSMaP_TMI の相関係数は 0.82、RMSE は 1.37mm/hr であった。

GSMaP_TMI と Kwajalein レーダデータとの比較

NASA GSFC Distributed Active Archive Center で提供されている Kwajalein 環礁(8.72° N , 167.73° E)に置かれた地上レーダデータのプロダクト 2A53V5(KWAJ)と GSMaP_TMI との比較を行った。図 3.5-6 (b)で示すように、2003 年 5 月の 10 事例で緯度経度 0.25×0.25 度格子で解析をした。Kwajalein レーダデータと GSMaP_TMI の相関係数は 0.65、RMSE は 1.78mm/hr であった。

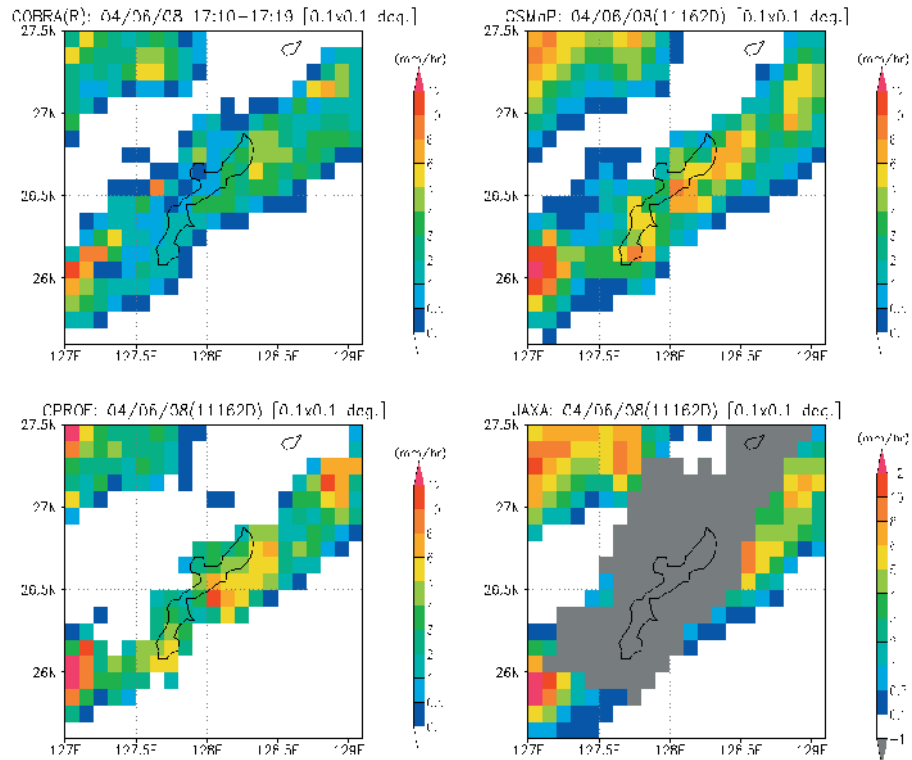


図 3.5-5 COBRA による降水強度(左上)と GSMapP(右上), GPROF アルゴリズム(左下)と JAXA プロダクト(右下)による AMSR-E 解析結果の比較. 2004 年 6 月 8 日 17:10-17:19UTC(軌道番号 11162D)を緯度経度 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 格子で解析.

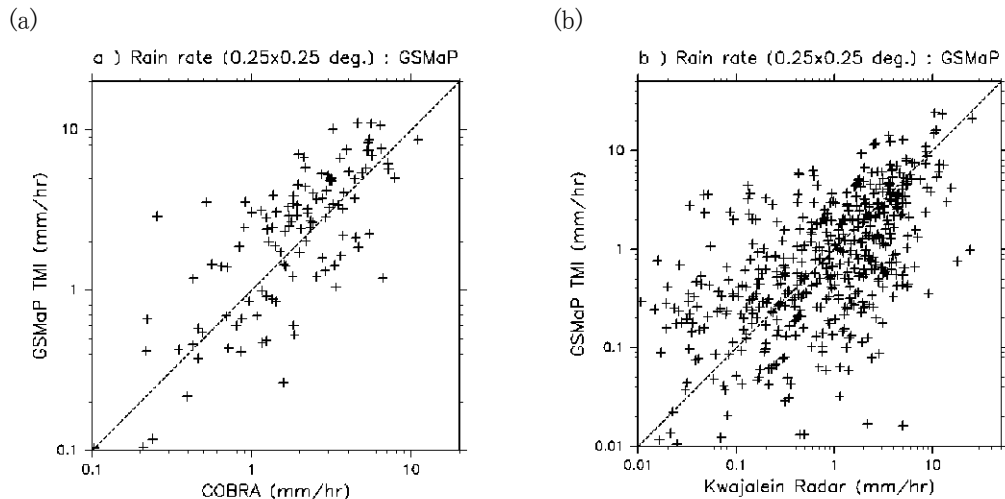


図 3.5-6 (a)COBRA による降水強度と GSMapP_TMI による降水強度の散布図
2004 年 6 月の 4 事例を緯度経度 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 格子で解析.
(b)Kwajalein Radar による降水強度と GSMapP_TMI による降水強度の散布図
2004 年 5 月の 10 事例を緯度経度 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 格子で解析.

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

衛星測器はある領域で平均した降水強度に関係する輝度温度を観測している。一方、地上雨量計は1点での観測値である。従って、領域平均値とある1点での観測値の間では、面積的なサンプリング誤差が生じる。Rudolf et al. (1994)は2.5度格子点で雨量計がまばらなことによる面積的なサンプリング誤差を調べている。彼らは、雨量計5ヶ所の場合、5ヶ所の雨量計平均値と雨量計の面積平均値(同じ2.5度格子点で100ヶ所以上に雨量計があるデータを作る)の相対誤差が±7～40%、雨量計10ヶ所の場合、相対誤差が±5～20%であることを示した。また、TAOブイの雨量計の研究(Bowman 2005)では、1×1度格子で雨量計(TMI通過時のみ使用)とTMIによるRMSEが、個々での観測の比較で200～300%、32日平均の比較で、40～70%であることが示されている。サンプリング誤差がこんなに大きいことは、衛星推定雨量の検証にとって大きな問題である。

一方、地上レーダは、上記のような面積的なサンプリング誤差は非常に小さい。また本解析では、衛星の通過と同期したレーダ観測結果で検証するため、衛星による時間的なサンプリング誤差も小さいという利点を有する。

(2) 研究成果の今後期待される効果

今回、GPCC 地上雨量計データ、COBRA レーダデータ、Kwajalein レーダデータ、防災科学技術研究所 MP-X データを用いて TMI, ASMR-E に対して行った検証手法は、今後も、衛星データの検証に適用可能である。特に、計画されている GPM 衛星データに対する検証として期待できるものと考えられる。

参考文献：

- Adler, R., T. Wilheit, Jr., C. Kummerow, and R. Ferraro. 2004: AMSR-E/Aqua, L2B global swath rain rate/type GSFC profiling algorithm V001. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
- Bowman, K. P., 2005: Comparison of TRMM Precipitation Retrievals with Rain Gauge Data from Ocean Buoys., J. Climate, vol. 18, No. 1, pp. 178-190
- Fuchs, T., U. Schneider, and B. Rudolf, 2007: Global Precipitation Analysis Products of the GPCC.Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), Deutscher Wetterdienst, Germany. Internet publication. pp. 1-10. [Online]. Available: [http://www.dwd.de/en/FundE/Klima/KLIS/int/GPCC/ Reports_ Publications/Reports_Publications.htm](http://www.dwd.de/en/FundE/Klima/KLIS/int/GPCC/Reports_Publications/Reports_Publications.htm)
- Liu, G., and J. A. Curry, 1992: Retrieval of precipitation from satellite microwave measurements using both emission and scattering. J. Geophys. Res., 97, 9959-9974.
- Liu, G., and J. A. Curry, 1996: Large-scale cloud features during January 1993 in the North Atlantic Ocean as determined from SSM/I and SSM/T-2 observations. J. Geophys. Res., 101,7019-7032.
- Liu, G., 2002: Description of Precipitation Retrieval Algorithm For ADEOS II AMSR, Algorithm Description Chapter 7, Japan Aerospace Exploration Agency, Available: <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/AMSR/doc/index.htm>
- Rudolf, B., H. Hauschild, W. Rueth and U. Schneider, 1994: Terrestrial Precipitation Analysis: Operational Method And Required Density Of Point Measurements. In: Global Precipitations and Climate Change (Ed. M. Desbois, F. Desalmond), NATO ASI Series I, Vol. 26, Springer-Verlag, 173 - 186.
- Wilheit, T., C. Kummerow, and R. Ferraro, 2003: Rainfall algorithms for AMSR-E. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing 41(2), pp. 204-214.

3. 5. 3 レーダー・アメダス解析雨量データとの比較

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

広域の降水マップの検証においては、特定の地点の地上雨量計データとの点的な比較よりは雨量計ネットワークなどが与える面的な降水マップが重要になってくる。わが国のレーダー・アメダス解析雨量図は、世界的にも稀な広域の検証用の降水マップを提供する。このため、当研究チームは、PEHRPP プロジェクトからも、同プロジェクトに参加している世界の様々なグループの作成した高分解能降水マップの検証を依頼された。本研究課題では、レーダー・アメダス解析雨量データを用いて、GSMaP の種々のプロダクトならびに PEHRPP 参加のいくつかの外国グループが作成した高分解能降水マップのわが国周辺での検証を行い、比較検討することを目的とした。

② 研究実施方法・実施内容

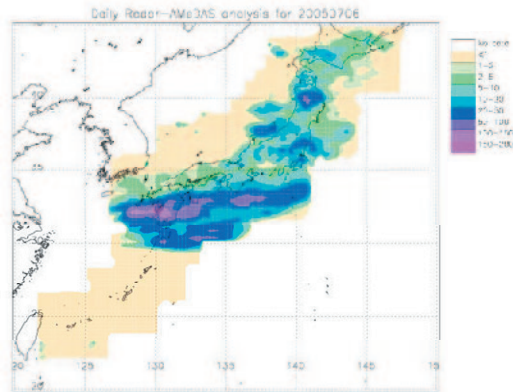
気象庁が提供しているレーダー・アメダス解析雨量データを検証の真値として用いた。データの比較に用いた時間・空間分解能は、1 日で 0.25×0.25 度グリッドである。レーダー・アメダス解析雨量データの時間・空間分解能は、1 時間で $2.5\text{km} \times 2.5\text{km}$ グリッドであるので、前日の正午から当日の正午までの 1 日積算、 0.25×0.25 度グリッドのデータに変換して比較を行った。データの検証期間は、2004-5 年の 2 年間について実施した。図 3.5-7 (a)は、その一例(2005 年 7 月 6 日)である。

比較に用いた GSaP プロダクトは、GSaP_MWR、GSaP_MWR+、GSaP_MV、GSaP_MV+、GSaP_MVK、GSaP_MVK+である。これらの定義については、3. 4. 2、3. 4. 3 の表 3.4-2、表 3.4-3 を参照されたい。GSaP プロダクトの時間・空間分解能は、1 時間で 0.1×0.1 度グリッドによって作成されているため、レーダー・アメダス解析雨量データと同様に、前日の正午から当日の正午までの 1 日積算、 0.25×0.25 度グリッドのデータに変換して比較を行った。GSaP プロダクトのうち、GSaP_MVK 及び GSaP_MVK+のマップを図 3.5-7 (b),(c)に示す。

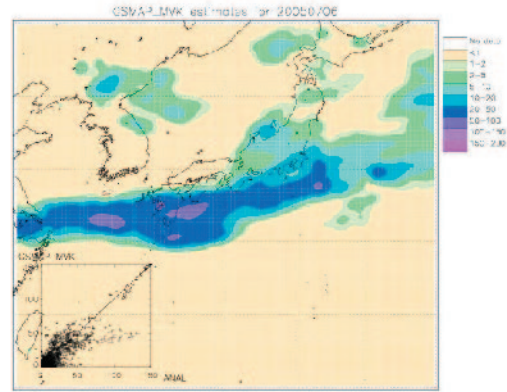
PEHRPP に参加している降水マッププロダクトのうち CMORPH、NRL-BLENDED、TRMM3B42 を用いて GSaP MVK+との比較を行い、図 3.5-7 (d), (e), (f)に示す。CMORPH は、NOAA の CPC によって開発が行われているプロダクトで、TMI, AMSR-E, SSM/I, AMSU のマイクロ波放射計からの降水量プロダクトを算出し、GSaP と同様に IR データからの雲移動ベクトルによって補間を行っているプロダクトである。NRL-BLENDED は、NRL (Naval Research Laboratory) により開発されており、TMI, AMSR-E, SSM/I, AMSU のマイクロ波放射計からの降水量プロダクトとヒストグラムマッチングによって校正された IR データからの降水量プロダクトを用いて作られている。TRMM3B42 は、NASA/GSFC によって開発されたプロダクトで、NRL-BLENDED と同様にマイクロ波放射計の降水量プロダクトとヒストグラムマッチングされた IR データからの降水量プロダクトを用いて作られている。

比較および評価は、レーダー・アメダスとの相関係数、RMSE および Probability Of Detection (POD, 検出率: 降雨を見逃さず正しく検出する割合)、False Alarm Rate (FAR, 空振り率: 無降雨を誤って降雨と判定する割合)などの指標を用いた。

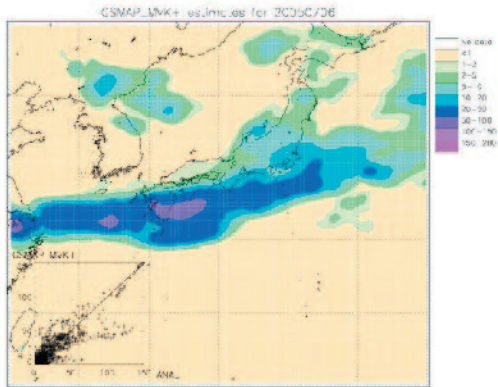
(a)レーダー・アメダス解析雨量データ



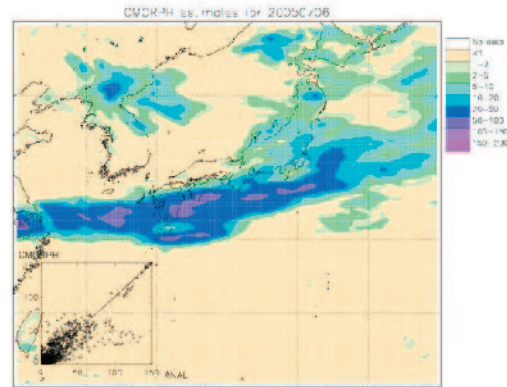
(b)GSMaP_MVK



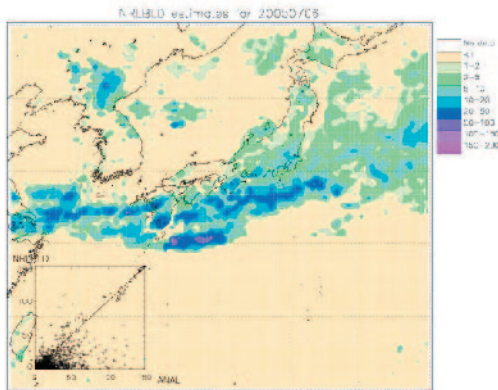
(c)GSMaP_MVK+



(d)CMORPH



(e)NRL-BLENDED



(f)TRMM3B42

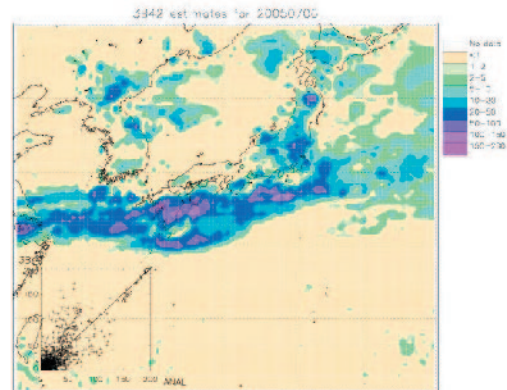


図 3.5-7 2005 年 7 月 6 日の 1 日平均降雨強度

(a) レーダー・アメダス解析雨量データ, (b) GSMaP_MVK, (c) GSMaP_MVK+,
(d) CMORPH, (e) NRL-BLENDED, (f) TRMM3B42

③ 研究成果

2005 年 7 月の 1 ヶ月間の GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+、CMORPH、NRL-BLENDED、TRMM 3B42 についての平均降雨強度、相関係数、RMSE、POD、FARなどを計算した。この内、平均降雨強度、相関係数を図 3.5-8, 3.5-9 に示す。GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+および CMORPH は他のプロダクトに比べてレーダー・アメダス解析データの領域平均雨量の値とよく合い、相関係数が概ね良い。これは、GSMaP_MVK、GSMaP_MVK+および CMORPH は、降水強度算出に推定精度の悪い IR データを用いるのではなく、推定精度のよいマイクロ波放射計データから降水強度を算出し、IR データは単に降水域の移動の計算にのみ用いているためと考えられる。

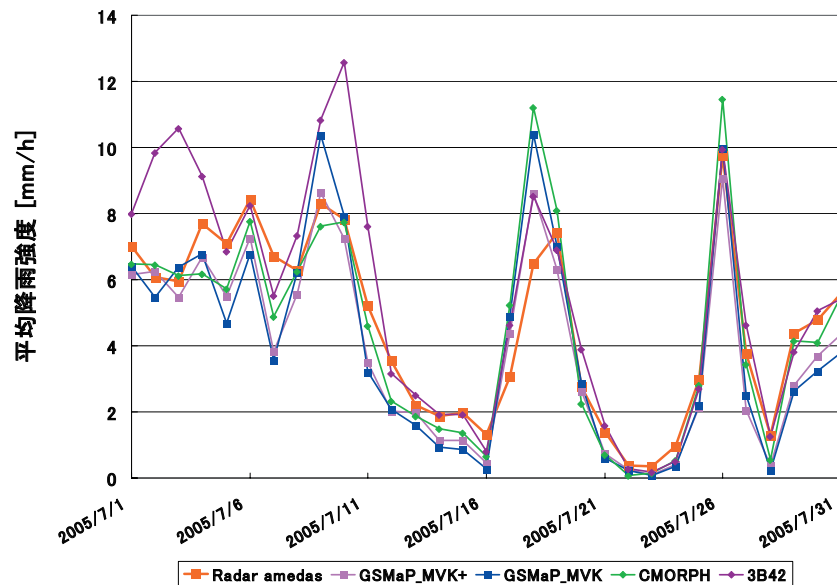


図 3.5-8 GSMaP_MVK, GSMaP_MVK+, PEHRPP 参加プロダクト及びレーダー・アメダスの領域平均降雨強度

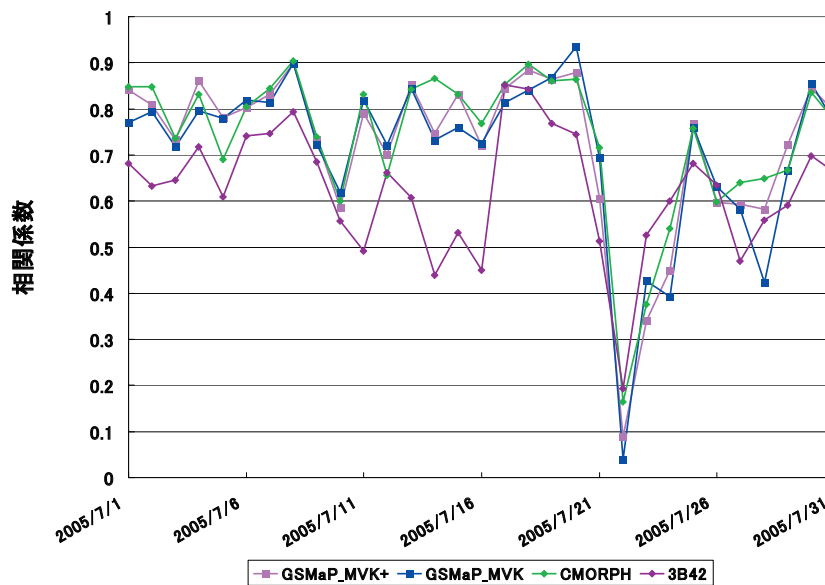


図 3.5-9 GSMaP_MVK, GSMaP_MVK+及び PEHRPP 参加プロダクトのレーダー・アメダスに対する相関係数

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

静止軌道衛星搭載赤外放射計と低軌道衛星搭載マイクロ波放射計データを併用する手法は、マイクロ波放射計による降水域を IR データから算出された移動ベクトルを用いて補間する手法 (GSMP, CMORPH) と IR データから降雨強度を算出することで補間する手法 (NRL-BLENDED, TRMM 3B42 など) に大別されるが、PEHRPP の日本サイトでの検証では、前者の降雨推定精度が高いことが示された。これによって、GSMP 作成の高時間・高空間分解能降水マップは、少なくともわが国周辺においては、全世界の他の高時間・高空間分解能降水マップに遜色がないことが明らかになった。

(2) 研究成果の今後期待される効果

レーダー・アメダス解析雨量データを検証の真値として用い、GSMP を含めて、PEHRPP 参加の高時間・高空間分解能降水マップの比較を行った。この結果は、2007 年 12 月に開催される PEHRPP の会合で発表すると共に、GSMP の Home Page (3.6.1 を参照のこと) から全世界に発信していく予定である。また、GSMP の全球降水マップを他国の検証サイトにおいて逆に評価してもらい、その結果をアルゴリズム開発に反映する予定である。

3. 6 全球降水マップの発信と応用分野での利用

3. 6. 1 全球降水マップの発信とIPWG/PEHRPP への参加

(1) 研究実施内容及び成果

作成された全球降水マップは、DVD(No. 1, No. 2)の形で、国内ユーザ中心に、700 部ずつ配布した。DVD No. 3は、本年 10 月に完成し、約 400 部配布した。また、インターネット経由(Home Page Address は、http://www.radar.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmmap/index_japanese.html)で全世界のユーザに発信している。本研究チームは、バイナリ・フォーマットで格子点データを、HDF フォーマットで TMI の軌道データを提供している。バイナリ・フォーマットは Grid Analysis and Display System (GrADS)形式で、Institute of Global Environment and Society (IGES)より提供され、気象学研究者でよく使われているソフトウェアである GrADS に よってすぐにデータを可視化できる。HDF フォーマットは NASA による 2A12 プロダクトと 同じフォーマットで、NASA の TSDIS が開発した TRMM Orbit Viewer によって、非常に 簡単な操作でデータを見ることができる。

PEHRPP(Program to Evaluate High Resolution Precipitation Products)は、世界各国で作成されている高時間・高空間分解能降水マップの相互比較を行い、比較を通じて、それぞれの利点や欠点を明らかにし、実時間利用に向けた協調を行うことを目的とするプロジェクトである。わが国からは、当研究チームが代表して参加している。具体的な活動として、各国において利用可能な地上雨量計やレーダ観測データを用いて参加国のプロダクトの比較検証を実施し、結果を web で公開することがある。

PEHRPP 検証サイトの一つとして選ばれた日本検証サイトに関しては、当チームが担当し、レーダー・アメダス解析雨量を用いた各国のプロダクトの比較検証を実施した。その際、GSMaP のプロダクトの比較検証も行った。各国プロダクトの比較検証結果を公開するために、日本検証サイト Home Page(図 3.6-1) (<http://www.radar.aero.osakafu-u.ac.jp/~gsmmap/IPWG/dailyval.html>) を作成した。Home Page には、図 3.6-2 に示す検証図を 2003 年 12 月～2005 年 12 月までの約 2 年分作成し、掲載した。PEHRPP 検証サイトとして選ばれた日本のサイトを GSMaP が担当し、PEHRPP へ貢献をすることができた。PEHRPP に参加することによって、静止軌道衛星搭載赤外放射計と低軌道衛星搭載マイクロ波放射計データを併用する手法で作成されている他の降水マッププロダクトの特性を知ることができた。

Home Go to developer page (includes semi-operational algorithms)

Daily validation results for daily precipitation estimates* Note that spatial resolution varies by product.

Click [here](#) to go to the GPC validation page for the US.
Click [here](#) to go to the U. Birmingham validation page for Europe.

Valid Date (12-12 UTC)	GSMaP_MWR	GSMaP_MV	GSEFC_MPA	GSEFC_MPA	NRL_Blended_IR+Mwave	U.Arizona_PERSIANN	GPC_Morphed	NESDIS
20031231	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031230	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031229	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031228	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031227	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031226	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031225	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031224	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031223	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031222	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031221	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---
20031220	GSMaP_MWRV4.6	GSMaP_MV	---	3b42rt	---	---	CMORPH	---

図 3.6-1 PEHRPP のための日本検証サイト Home Page

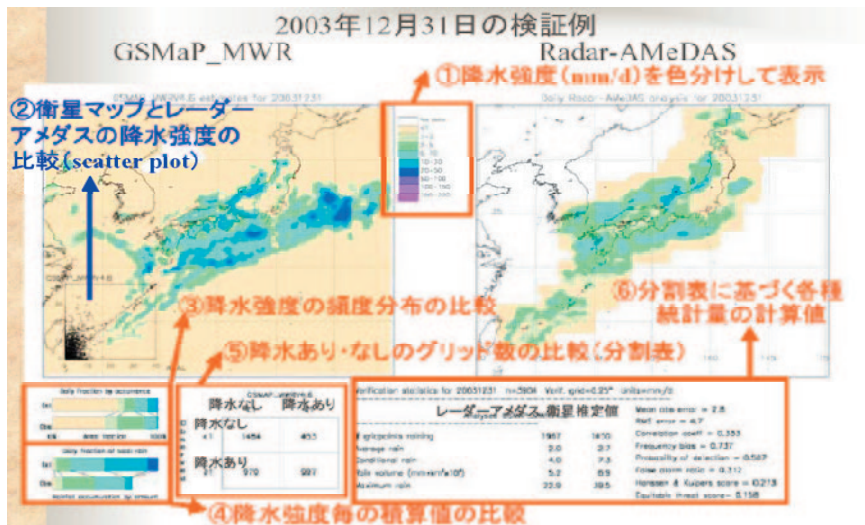


図 3.6-2 PEHRPP 検証図の例

(2) 研究成果の今後期待される効果

引き続き PEHRPP に参加し、日本周辺での各国プロダクトの比較検証をすることによって、また逆に、外国検証サイト(オーストラリア、ヨーロッパ、米国、韓国、台湾、南アフリカ)において GSMaP プロダクトが検証を受けることによって、GSMaP アルゴリズムの改良に繋げることが可能になろう。また、高時間・高空間分解能全球降水マップ作成の分野に於ける国際貢献に多大の寄与をすることができる。

3. 6. 2 洪水予警報利用のための全球降水マップの利用

(1) 研究実施内容及び成果

① 研究のねらい

作成された GSMaP プロダクトが、洪水予警報利用という実用的な目的にどの程度利用可能か調べると共に、実利用のためのアルゴリズムの改良点を探る。

② 研究実施方法・実施内容

GSMaP プロダクトを東京大学生産技術研究所が別プロジェクトで開発したシミュレーションツールに入力し、河川流量、ならびに新たに定義する洪水検出能力を表す指標(FDI)を計算し、他の衛星プロダクトと比較する。また、GSMaP プロダクトと地上雨量計データを融合するアルゴリズムの試作を行う。さらに、土木研究所(PWRI)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で実施している、「GPM データを想定した洪水予測実現のための降水量推定精度向上及び利用手法の検討」に関する研究に GSMaP アルゴリズムを提供する。

③ 研究成果

シミュレーション実験の結果によると、河川の平均流量については、GSMaP の結果は、GPCP(衛星推定雨量(赤外データ, SSM/I データなどを用いる)を月単位で GPCC 地上雨量計で補正したもの)の与える平均流量と比べて低めの傾向にある。次に洪水検出能力を表す指標(FDI)を示す。ここで FDI の定義は以下のとおりである。観測の水位データからある期間内の水位の平均 μ および標準偏差 σ を計算する。水位が $\mu + 2 \times \sigma$ を超える期間を「洪水期間」とする。シミュレーションの流量データについて、洪水期間の平均流量の期間全体の平均流量に対する比を洪水検出指標(FDI)とする。「洪水」を検出するという目的からは FDI が高いほど良い。図 3.6-3(a),(b)に GPCP と GMV3(GSMaP_MVK+, V4.8.4 のこと)の比較を示す。図 3.6-3(a)が平均流量を、(b)が FDI を示す。一点は、一つの観測点に対応する。○は集水域面積 5000km² 以上、□は 1000-5000km², △

は 1000km² 未満の河川に於ける観測点を示す。GSMaP は、GPCP と比べて平均流量は低めの傾向にあるが、FDI は、高めの傾向にある。これは、GSMaP は平均流量は低いが、洪水検出能力では必ずしも劣っていないことを示す。このことは、とくに集水域面積 5000km² 以下の中小河川で当てはまる。GSMaP 間で比較すると、MWR と対応する MVK では、MVK の方が平均流量が高く、FDI も高い傾向にある。また、AMSU-B データを統合すると平均流量がやや高くなるが、FDI が向上するかについてははっきりしない。洪水検出という面でみれば、洪水を引き起こすような豪雨の検出は衛星が比較的得意とするであり、GSMaP でも洪水検出能力は決して低くないことが示されている。

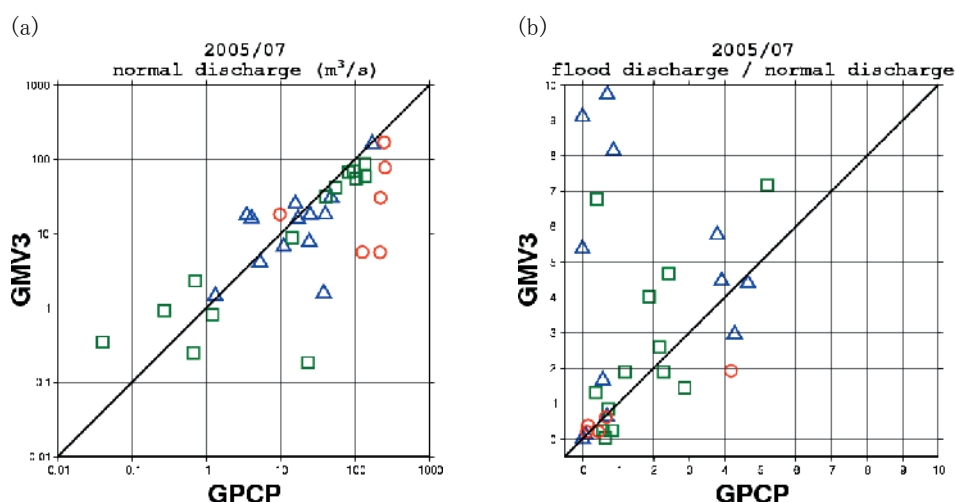


図 3.6-3 シミュレーションによる GPCP と GSMaP_MVK (GMV3 と標記) の比較
(a) は平均流量の比較, (b) は FDI の比較. 2005 年 7 月. ○ は集水域面積 5000km² 以上,
□ は 1000-5000km², △ は 1000km² 未満の下線における 1 つの観測点を示す。

現実的な、洪水予警報の利用に資するために、現在の GSMaP が示す河川平均流量の過小評価の傾向に対処する方法の一つとして GSMaP 雨量を GPCC 地上雨量計データでチューニングすることの検討を最近開始した。これは、NASA/GSFC のアルゴリズム GPCP や 3B42 と同じ思想である。本研究では、赤外放射計を併用した GSMaP_MVK を対象にして、GPCC など広範囲に渡ってデータの得られる地上雨量計との複合手法について検討を開始した。

GSMaP_MVK プロダクトは、マイクロ波放射計データから求められた地表面降水量を、連続する赤外放射計の画像データから求められた移動ベクトルを元に移動させ、さらに、その輝度温度を参考にカルマンフィルタによる補正を加えて、算出している。このプロダクトの空間時間分解能は、0.1 度、1 時間であり、一方、GPCC の空間時間分解能は、1 度、1 ヶ月である。そのため、1 ヶ月の積算雨量について比較を行い、その後、1 時間分解能にダウンスケーリングする手法の開発が必要となる。本研究の手法では、GSMaP_MVK プロダクトに対して、その入力となる GSMaP_MWR の一ヶ月の陸上における月積算降雨量を GPCC と比較して各雨量毎に、過少評価の補正係数を算出し、これを一時間分解能の GSMaP_MWR に適用して、一ヶ月分の GSMaP_MWR 積算降雨量を再度計算する。この値と GPCC の月積算降雨量との相関係数が最も高くなる補正係数をもって、最終値としている。この最終補正係数を用いて GSMaP_MWR から GSMaP_MVK を計算して得られたプロダクトを GSMaP_Gauge と呼ぶ。初期的な研究結果によると、過小評価傾向が、修正され、GPCC に近い関係が得られることが示されている。

当研究チームの開発している高時間分解能降水マップ作成用アルゴリズムの洪水予警報利用については、具体的には、土木研究所 (PWRI) と宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が共同で実施している、「GPM データを想定した洪水予測実現のための降水量推定精度向上及び利用手法の検討」に関する研究に於いて、当研究チームの開発した GSMaP アルゴリズムの利用が予定されている。この PWRI と JAXA の共同研究は、発展途上国向け洪水予警報システムに衛星推定降水量を

利用することを目指している。このため、当研究チームの開発した GSMaP アルゴリズムを提供し、準リアルタイムで動作するように試験を行っている。なお、洪水予警報利用のためとは必ずしも言えないが、JAXA の地球観測センター (EORC) では、TRMM などの地球観測衛星の観測データを用いて準リアルタイム(観測後約 4 時間)での高分解能の世界の雨量分布図「世界の雨分布速報」を作成し、その画像をインターネット上で公開した(http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index_j.htm)。この画像の雨量の算出には、当研究チームが開発したアルゴリズムが用いられている。

④ 研究成果の位置づけや類似研究との比較

本研究は、まだ試験的に開始したばかりであり、今後の研究成果に期待したい。移動ベクトルを用いた降水マップと地上雨量計との複合プロダクトについては、CMORPH(NOAA/CPC)と中国における雨量計との複合を想定したRMORPHプロダクトがある。しかしながら、RMORPHは、未だ基礎的な検討段階にある。今後、GSMaP_Gauge を改良することによって、国内外で衛星データの利用を考えている多くの洪水予測プログラム等において、これまでの結果に比して、より現実的でより正確な予測に直接的に貢献できると思われる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

信頼できる GSMaP_Gauge が開発されれば、そのプロダクトを東京大学生産技術研究所が別プロジェクトで開発したシミュレーションツールに入力し、河川流量、洪水検出能力を表す指標(FDI)を計算し、他の衛星プロダクト、ならびに実際の河川流量データ、洪水発生事象と比較する。これによって衛星観測データ・地上雨量計データを融合する実利用目的のアルゴリズムの開発が加速され、洪水予警報への実利用が期待される。

4 研究参加者

① 地上レーダ観測グループ(地上降雨レーダを用いた降雨観測と降水構造の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
岩波 越	防災科学技術研究所	主任研究員	グループリーダー 防災科研レーダ	H14.11～
真木 雅之	防災科学技術研究所	主任研究員	防災科研レーダ	H14.11～ H15.03
中川 勝広	情報通信研究機構	主任研究員	情報通信研究 機構レーダ	H14.11～
花土 弘	情報通信研究機構	主任研究員	情報通信研究 機構レーダ	H14.11～
北村 康司	情報通信研究機構	専攻研究員	情報通信研究 機構レーダ	H15.04～ H19.03
出世 ゆかり	情報通信研究機構	専攻研究員	情報通信研究 機構レーダ	H17.04～
澤井 涼	筑波大学	研究補助員	防災科研 レーダ	H15.08～
妻鹿 友昭	大阪府立大学大学院 工学研究科	研究補助員	大阪府大 レーダ	H14.11～H17.03 H18.04～
蝶野 洋平	北海道大学大学院 理学研究科	研究補助員	平塚・沖縄 降雨観測実験	H15.06～07 H16.04～07
桑田 路子	北海道大学大学院 理学研究科	研究補助員	平塚 降雨観測実験	H15.06～07
岡本 謙一	大阪府立大学大学院 工学研究科	教授	研究代表者・ 大阪府大レーダ	H14.11～

② 降水物理モデル開発グループ(アルゴリズム開発のための降水物理モデル開発の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
高橋 暢宏	情報通信研究機構	主任研究員	グループリーダー 降水構造モデル	H14.11～
佐藤 晋介	情報通信研究機構	主任研究員	降水構造モデル	H14.11～
阿波加 純	北海道東海大学	教授	ブライトバンド モデル	H14.11～
古津 年章	島根大学	教授	雨滴粒径分布	H14.11～
高薮 縁	東京大学 気候システム研究センター	教授	降水構造モデル	H14.11～
広瀬 正史	名古屋大学 地球水循環研究センター	研究員	降水構造モデル	H16.04～

③ 降水強度推定アルゴリズム開発グループ

(マイクロ波放射データを用いた降水強度推定のためのアルゴリズム開発の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
井口 俊夫	情報通信研究機構	グループ リーダー	グループリーダー レーダアルゴリズム	H14.11～
瀬戸 心太	東京大学 地球観測データ統融合 連携研究機構	特任助教	放射計 アルゴリズム	H15.04～
清水 収司	宇宙航空研究開発機構	主任研究員	レーダ アルゴリズム	H14.11～
青梨 和正	気象研究所	主任研究官	放射計 アルゴリズム	H14.11～
永戸 久喜	気象研究所	主任研究官	雲解像モデル	H15.10～
井上 豊志郎	東京大学 気候システム研究センター	特任教員	可視赤外 アルゴリズム	H14.11～
福地 一	首都大学東京	教授	放射計 アルゴリズム	H18.4～
藤田 正晴	首都大学東京	教授	放射計 アルゴリズム	H14.11～ H17.10

④ 全球降水マップ作成グループ(マイクロ波及び赤外放射計データを用いた全球の降水マップ作成の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
岡本 謙一	大阪府立大学大学院 工学研究科	教授	研究代表者・ グループリーダー 全球降水マップ作成	H14.11～
重 尚一	大阪府立大学大学院 工学研究科	助教	データ処理・ マップ作成	H14.11～
橋爪 寛	大阪府立大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	データ処理・ マップ作成・ 放射計アルゴリズム	H15.12～ H19.3
久保田 拓志	大阪府立大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	データ処理・ マップ作成・ 放射計アルゴリズム	H17.05～
飯田 泰久	大阪府立大学大学院 工学研究科	研究補助員	データ処理・ マップ評価法	H14.11～
牛尾 知雄	大阪大学大学院 工学研究科	准教授	データ処理・ マップ作成・赤外 放射計アルゴリズム	H14.11～
沖 理子	宇宙航空研究開発機構	主任研究員	評価用マップ作成	H14.11～
可知 美佐子	宇宙航空研究開発機構	主任開発員	データ処理・ マップ作成	H14.11～
磯田 総子	大阪府立大学大学院 工学研究科	CREST 研究員	データ処理・ マップ作成	H15.05～ H17.4

5 招聘した研究者等

氏 名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Robert F. Adler NASA Goddard Space Flight Center, Senior Scientist	国際ワークショップ 参加	大阪府立 大学	H15.03.08 ～H15.03.15
Christian Kummerow Colorado State University, Associate Professor	国際ワークショップ 参加	大阪府立 大学	H15.03.08 ～H15.03.11
Grant W. Petty University of Wisconsin-Madison, Associate Professor	国際ワークショップ 参加	大阪府立 大学	H15.03.07 ～H15.03.11
Guosheng Liu Florida State University, Associate Professor	国際ワークショップ 参加	大阪府立 大学	H15.03.08 ～H15.03.11
Frank Marzano University of L'Aquila, Italy, Associate Professor	国際ワークショップ 参加	大阪府立 大学	H15.03.08 ～H15.03.12
Peter Bauer European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H17.03.12 ～H17.03.16
Grant W. Petty University of Wisconsin-Madison, Professor	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H17.03.12 ～H17.03.16
Mircea Grecu NASA Goddard Space Flight Center, Research Assistant Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H17.03.12 ～H17.03.16
Robert Kuligowski NOAA/NESDIS, Physical Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H17.03.12 ～H17.03.16
Hirohiko Masunaga Colorado State University, Research Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H17.03.12 ～H17.03.16
Phil Arkin Cooperative Institute for Climate Studies, University of Maryland, Director	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H19.01.30 ～H19.02.03
Bill Olson University of Maryland Baltimore County, Research Associate Professor	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H19.01.29 ～H19.02.03
Min-Jeong Kim CIRA of Colorado State University and NOAA/NESDIS, Research Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H19.01.29 ～H19.02.04
Christian Kummerow Colorado State University, Professor	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H19.01.30 ～H19.02.03
Sabatino Di Michele European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Scientist	国際ワークショップ 参加	情報通信 研究機構	H19.01.29 ～H19.02.04

6 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内誌 18 件、国際誌 26 件)

1. Lutz, H-J., T. Inoue, J. Schmetz, Comparison of a split-window and multi-spectral cloud classification for MODIS observations, J. Meteor. Soc. Japan, 81, 623-631, 2003.
2. Reddy, K.K. and T. Kozu, Measurements of raindrop size distribution over Gadanki during south-west and north-east monsoon, Indian Journal of Radio & Space Physics, 32, 286-295, 2003.
3. Thurai, M., E. Deguchi, T. Iguchi, and K. Okamoto, Freezing height distribution in the tropics, Int. J. Satell. Commun. Network, 21, 6, 533-545, Dec. 2003.
4. Thurai, M., T. Iguchi, T. Kozu, J. D. Eastment, C. L. Wilson, and J. T. Ong, Radar observations in Singapore and their implications for TRMM Precipitation radar retrieval algorithms, Radio Science, 38, 5, 1086, 2003.
5. 瀬戸心太, 井口俊夫, 陸面輝度温度変動を考慮したマイクロ波放射計による陸水降水有無判定, 水工学論文集 第 48 巻, 253-258, 2004.
6. 田川哲也, 花土弘, 岡本謙一, 古津年章, GPS 搭載 35.5GHz 降雨レーダによる降雨観測に及ぼす地表面クラッタの影響評価とサイドローブクラッタの新しい低減手法の検討, 電子情報通信学会論文誌 B, J87-B(6), 883-892, June 2004.
7. 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.
8. 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.
9. Mardiana, R., T. Iguchi, N. Takahashi, and H. Hanado, Study of Quantization Effects on Rainfall Rate Estimation from GPM Dual-Frequency Radar, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 1(3), 220-223, 2004.
10. Mardiana, R., T. Iguchi, and N. Takahashi, A Dual-frequency Rain Profiling Method Without the Use of Surface Reference Technique, IEEE Geoscience and Remote Sensing, 42(10), 2214-2225, 2004.
11. 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.
12. Thurai, M., and H. Hanado, Melting Layer Model Evaluation Using Fall Velocity Spectra at Ku-band, IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation, 151(5), 464-472, 2004.
13. 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.
14. 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, 2005.
15. 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.
16. 瀬戸心太, リトリバブ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.
17. Thurai M., E. Deguchi, K. Okamoto, E. Salonen, Rain height variability in Tropics, IEE Proceedings —

- Microwaves, Antenna and Propagation, 152(1), 17-23, 2005.
18. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄, 沖理子, レーダ・アメダス解析雨量を用いた太陽同期衛星群 5 機並びに 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, 日本気象学会誌「天気」 52(3), 155-162, 2005.
 19. Kozu, T., T. Shimomai, Zainul Akramin, Marzuki, Y. Shibagaki, H. Hashiguchi, Intraseasonal variation of raindrop size distribution at Koto Tabang, West Sumatra, Indonesia, Geophys. Res. Letters, 32(7), L07803, doi:10.1029/2004GL022340, 2005.
 20. 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.
 21. 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.
 22. Thurai M., H. Hanado, Absolute calibration of C-band weather radars using differential propagation phase in rain, ELECTRONICS LETTERS 41(25), December 2005.
 23. Iida, Y., K. Okamoto, T. Ushio, and R. Oki, 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, 2006.
 24. 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, B, J89-B(2), 278-285, 2006.
 25. 瀬戸心太, 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, 373-378, 2006.
 26. 北村康司, 中川勝広, 関澤信也, 花土弘, 高橋暢宏, 井口俊夫, 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, 第 50 巻, 439-444, 2006.
 27. Shige S., H. Sasaki, K. Okamoto, T. Iguchi, Validation of rainfall estimates from the TRMM precipitation radar and microwave imager using a radiative transfer model:1. Comparison of the version-5 and -6 products, Geophysical Research Letters, Vol. 33, doi: 10.1029/2006GL026350, July 2006.
 28. Takayabu N. Y., Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain, Geophys. Res. Lett., 33, L18705, doi:10.1029/2006GL027531, Sept 2006.
 29. Takahashi N., H. Hanado and T. Iguchi, Estimation of path-integrated attenuation and its non-uniformity from TRMM/PR range profile data, IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing, 44(11), 3276-3283, Nov. 2006.
 30. Bringi V. N., M. Thurai, K. Nakagawa, G.J. Huang, T. Kobayashi, A. Adachi, H. Hanado and S. Sekizawa (2006), Rainfall Estimation from C-Band Polarimetric Radar in Okinawa, Japan: Comparison with 2D-Video Disdrometer and 400 MHz Wind Profiler, Journal of Meteorological Society of Japan, 84(4), 705-724, 2006.
 31. 北村康司, 中川勝広, 関澤信也, 花土弘, 高橋暢宏, 井口俊夫, 400MHz 帯ウィンドプロファイラおよび COBRA を用いた融解層上層の粒径分布推定手法の開発, 土木学会水工学論文集, 第 51 巻, 349~354, 2007.
 32. Ushio T., D. Katagami, K. Okamoto, and T. Inoue, On the use of split window data in deriving the cloud motion vector for filling the gap of passive microwave rainfall estimation, SOLA, Vol. 3, 001-004, doi:10.2151/sola, February 2007-001, 2007.
 33. Kozu T., K. K. Reddy, S. Mori, M. Thurai, J. T. Ong, D. N. Rao, and T. Shimomai, Seasonal and diurnal variations of raindrop size distribution in Asian monsoon region. J. Meteorol. Soc. Japan, 84A, CPEA

Special Issue, 195-209, 2006.

34. Tao W.-K., E. A. Smith, R. F. Adler, Z. S. Haddad, A. Y. Hou, T. Iguchi, R. Kakar, T. N. Krishnamurti, C. D. Kummerow, S. Lang, R. Meneghini, K. Nakamura, T. Nakazawa, K. Okamoto, W. S. Olson, S. Satoh, S. Shige, J. Simpson, Y. Takayabu, G. J. Tripoli, and S. Yang, Retrieval of Latent Heating from TRMM Measurements, Bulletin of American Meteorological Society, 87(11), 1555-1572, November 2006.
35. 佐々木宏, 重尚一, 岡本謙一, TRMM 降雨プロダクト検証のための輝度温度シミュレーションの高度化, 日本リモートセンシング学会誌, 27(2), 153-166, 2007.
36. Tagawa T., H. Hanado, K. Okamoto, T. Kozu, Suppression of Surface Clutter Interference with Precipitation Measurements by Spaceborne Precipitation Radar, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(5), 1324-1331, May 2007.
37. Aonashi, K. , T. Koike, K. Muramoto, K. Imaoka, N. Takahashi, G. Liu, and Y.-J. Noh, 2007, Physical Validation of Microwave Properties of Winter Precipitation Over the Sea of Japan, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 45(7), 2247-2258, 2007.
38. Kubota, T., S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. N. Takayabu, K. Nakagawa, K. Iwanami, T. Ushio, M. Kachi, and K. Okamoto, Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 45(7), 2259-2275, 2007.
39. Mega, T., K. Monden, T. Ushio, K. Okamoto, Z.-I. Kawasaki, and T. Morimoto, A Low-Power High-Resolution Broad-Band Radar Using a Pulse Compression Technique for Meteorological Application, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 4(3), 392-396, July 2007
40. Shige, S., Y. N. Takayabu, W.-K. Tao, and C.-L. Shie,, Spectral Retrieval of Latent Heating Profiles from TRMM PR Data. Part II: Algorithm Improvement and Heating Estimates over Tropical Ocean Regions, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46(7), 1098-1124, 2007
41. Adhikari, N. B., T. Iguchi, S. Seto, and N. Takahashi, Rain Retrieval Performance of a Dual-Frequency Precipitation Radar Technique With Differential-Attenuation Constraint, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 45(8), 2612-2618, 2007
42. Seto, S., and T. Iguchi, Rainfall-induced changes in actual surface backscattering cross sections and effects on rain rate estimates by spaceborne precipitation radar, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, to be published in 2007.
43. 野田俊輔, 片上大輔, 牛尾知雄, 久保田拓志, 岡本謙一, 飯田泰久, 木田智史, 重尚一, 下村卓, 青梨和正, 井上豊志郎, カルマンフィルタを用いた衛星搭載マイクロ波放射計及び赤外放射計による全球降水マップの作成, 日本リモートセンシング学会誌, 27(5), 474-482, November 2007
44. Shige, S., Y. N. Takayabu, W.-K. Tao, Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. Part III: Estimating apparent moisture sink profiles over tropical oceans, Journal of Applied Meteorology and Climatology, accepted.

(2) その他の著作物(総説、書籍など 計 12 件)

1. 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ーバルアルゴリズムに関するレビューPART I : 降水リトリーバルの概要, 日本リモートセンシング学会誌, 25(1), 101-109, 2005.
2. 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.
3. 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), 331-340, 2005.

トセンシング学会誌 25(3), 289-303, 2005.

4. 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.
5. 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 Working Group on Numerical Experimentation Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, Report No.35, WMO/TD-No.1276, 5-03-5-04, July 2005.
6. 岡本謙一, リモートセンシングによる宇宙からの降雨観測, 日本地球惑星科学連合ニュースレター, Vol.2, No.3, pp.6-8, 2006 年 8 月
7. K. Okamoto, H. Sasaki, E. Deguchi, M. Thurai, and K. Matsukawa, Bright-Band Height Statistics Observed by the TRMM Precipitation Radar, IRS2004: Current Problems in Atmospheric Radiation, 275-278, ed. H. Fisher and B-Ju Sohn, ISBN 978-0-937194-48-5, A. Deepak Publishing 2006
8. Eito H. and K. Aonashi, Resolution dependence of hydrometeor structures generated by cloud resolving model. CAS/JSC Working Group on Numerical Experimentation Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, Report No.37, WMO/TD-No.1397, 5-07-5-09, April 2007.
9. 阿波加純(北海道東海大), 井口俊夫(NICT), 岡本謙一(大阪府大), Rain Type Classification Algorithm, Measuring precipitation from space -- EURAINSAT and the future/. V. Levizzani, P. Bauer, and F. J. Turk, Eds., Springer, 213-224., 2007 年 4 月
10. 井口俊夫(NICT), Space-Borne Radar Algorithms, Measuring precipitation from space -- EURAINSAT and the future/. V. Levizzani, P. Bauer, and F. J. Turk, Eds., Springer, 199-212., 2007 年 4 月
11. 中村健治(名古屋大), 井口俊夫(NICT), Dual-Wavelength Radar Algorithm, Measuring precipitation from space -- EURAINSAT and the future/. V. Levizzani, P. Bauer, and F. J. Turk, Eds., Springer, 225-234., 2007 年 4 月
12. E. A. Smith, G. Asrar, Y. Furuhashi, A. Ginati, A. Mugnai, K. Nakamura, R. F. Adler, M.-D. Chou, M. Desbois, J. F. Durning, J. K. Entin, F. Einaudi, R. R. Ferraro, R. Guzzi, P. R. Houser, P. H. Hwang, T. Iguchi, P. Joe, R. Kakar, J. A. Kaye, M. Kojima, C. Kummerow, K.-S. Kuo, D. P. Lettenmaier, V. Levizzani, N. Lu, A. V. Mehta, C. Morales, P. Morel, T. Nakazawa, S. P. Neeck, K. Okamoto, R. Oki, G. Raju, J. M. Shepherd, J. Simpson, B.-J. Sohn, E. F. Stocker, W.-K. Tao, J. Testud, G. J. Tripoli, E. F. Wood, S. Yang, and W. Zhang, International Global Precipitation Measurement (GPM) Program and Mission: An Overview, Measuring precipitation from space -- EURAINSAT and the future/. V. Levizzani, P. Bauer, and F. J. Turk, Eds., Springer, 611-615, 2007 年 4 月

(3) 学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 3 件、国際会議 15 件)

1. Y. N. Takayabu, Characteristics of precipitation observed by TRMM PR. GEWEX-GCIP Workshop on Precipitation Analysis, Reading, 11-13 March 2003.
2. Y. N. Takayabu(U. of Tokyo/CCSR), Regional and seasonal variations of precipitation characteristics analyzed with TRMM Precipitation Radar and implications to precipitation estimates and errors, IUGG2003 Sapporo, 30 June, 2003.
3. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Variations of Precipitation Characteristics Associated with Sea Surface Temperature in the Tropics with TRMM PR2a25 and TMI Data, ISAM4, Kunming, 25-29 May 2004.
4. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Variations of Deep-Rain Properties with the SST over the Tropics Analyzed with TRMM PR2a25 and TMI SST, The University Allied Workshop on Climate and Environmental Studies and Global Sustainability, Kanagawa, 20-23 July 2004.

5. T. Iguchi and S. Seto(NICT), Structures of Rain Systems Inferred from TRMM Precipitation Radar Data, International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea, 26 August 2004.
6. K. Okamoto(OPU), R. Meneghini(NASA/GSFC), T. Iguchi(NICT), J. Awaka(Hokkaido Tokai U.), N. Takahashi(NICT), S. Shimizu(JAXA), J. Kwiatkowski(NASA/GSFC), and J. Stout(NASA/GSFC), TRMM Precipitation Radar Version 6 Algorithms, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 6 September 2004.
7. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Variations of Deep-Rain Properties with the Sea Surface Temperature in the Tropics Analyzed with TRMM PR2a25 and TMI data, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 6 September 2004.
8. S. Shige(OPU), U. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), W. K. Tao, and C. L. Shie, Spectral Retrieval of Latent Heating Profiles from TRMM PR data: Comparison of Look-up Tables, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 6 September 2004.
9. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), What we have gained from a 3D rain radar observation from TRMM satellite, 2nd Earth CARE workshop, Tokyo, 22-23 March 2005.
10. Y. N. Takayabu, Analysis of Rain Characteristics Utilizing Multi Sensors of TRMM Satellite, IAMAS2005, Beijing, 2-11 August 2005.
11. Y. N. Takayabu, What we have gained from the 3-D rain radar observation from TRMM satellite, ICWES13, Seoul, 26-29 August 2005.
12. Y. N. Takayabu(University of Tokyo), Precipitation Characteristics Derived from Rain-Thunderstorm-Ratio and Rain Profiles. University Allied Workshop, Taipei, 18-20 July, 2006
13. Y. N. Takayabu(University of Tokyo), Tropical Rain Characteristics in Models and Satellite Observations. Japan-Australia workshop on Earth Systems Science: Climate Change, Canberra, 21 November, 2006.
14. 高藪 縁(東京大学 気候システム研究センター), 「宇宙から雨の特性を知る」, 名古屋大学地球水循環研究センター第6回公開講演会『人工衛星から雲と雨を観る』, 名古屋大学, 2006年12月9日
15. S. Seto(University of Tokyo), Global precipitation map produced by using satellite remote sensing; Development, evaluation, and application into hydrology, International Symposium on “Hydrology delivering Earth System Science to Society”, Tsukuba, March 2007
16. Y. N. Takayabu(University of Tokyo), Representation of Rain Characteristics Using Rainyield Per Flash (RPF) Calculated From TRMM PR and LIS Data. International Symposium on Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA Symposium), Kyoto, 20-23 March, 2007
17. 重尚一(大阪府大), 衛星搭載降雨レーダによる潜熱加熱プロファイル推定, 第27回メソ気象研究会, 名古屋, 平成18年10月24日
18. S. Shige(OPU) and Y. N. Takayabu(University of Tokyo), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data. International Symposium on Coupling Processes in the Equatorial Atmosphere (CPEA Symposium), Kyoto, 20-23 March, 2007

② 口頭発表 (国内会議 113 件、国際会議 81 件)

1. 河野文江, 藤田正晴(東京科技大), 衛星搭載マイクロ波放射計を用いた降雨観測のための計算機シミュレーションツール, 第470回電波研連F分科会, 東京, 平成14年12月13日
2. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), レーダ・アメダス合成図を用いた太陽同期衛星群5機ならびに TRMM 衛星による降雨観測時のサンプリング誤差の推定, 第473回電波研連F分科会, 堺, 平成15年4月18日
3. 田川哲也(大阪府大), 花土弘(通総研), 岡本謙一(大阪府大), GPM(全球降水観測計画)搭載の

- 35.5GHz 帯降雨レーダに及ぼす地表面クラッタの影響評価, 第 473 回電波研連 F 分科会, 堺, 平成 15 年 4 月 18 日
4. 古津年章(島根大学), K.K.Reddy(地球観測フロンティア研究システム), 下舞豊志(島根大学), 橋口浩之(京大), 大野裕一(通総研), 南真一郎(島根大学), 南インドおよびスマトラ大気観測レーダによる熱帯降雨の雨滴粒径分布高度プロファイル推定, 第 473 回電波研連 F 分科会, 堺, 平成 15 年 4 月 18 日
 5. 高薮縁(東大気候システム研究センター), TRMM PR2a25 データを用いた熱帯降雨特性の定量的解析: 季節変化, 日本気象学会 2003 年度春季大会 同予稿集 p. 116, つくば市, 平成 15 年 5 月 23 日
 6. 青梨和正, 柴田彰, 小司禎教(気象研), 藤井秀幸, 小池俊雄(東京大学), 今岡啓治, 佐々木政幸, 那須彰一(NASDA), AMSR 降水検証グループ, 若狭湾特別観測(WAKASA2003)の固体降水の構造と雲物理量の特徴(その 1), 日本気象学会 2003 年度春季大会 同予稿集 p. 229, つくば市, 平成 15 年 5 月 24 日
 7. 田川哲也(大阪府大), 花土弘(通総研), 岡本謙一(大阪府大), GPM 搭載の 35.5GHz 帯降雨レーダに及ぼす地表面クラッタの影響評価とサイドローブクラッタの新しい低減手法の提案, 電子情報通信学会〔宇宙・航行エレクトロニクス研究会〕SANE 2003-11, pp. 23-28, 高知市, 平成 15 年 5 月 30 日
 8. T. Iguchi(CRL), Dual-frequency precipitation radar algorithms, 3rd GPM Workshop, ESTEC, Noordwijk, 25 June, 2003.
 9. M. Thurai (通総研), J. T. Ong (シンガポール Nanyan Tech. Univ.), 古津年章 (島根大学), J. D. Eastment (Rutherford Appleton Lab., 英国), Rain Drop Size Distribution Estimates from Doppler Radar Measurements in Singapore, 第 475 回 電波研連 F 分科会, 調布市, 平成 15 年 6 月 20 日
 10. T. Iguchi(CRL), Statistics of spatial rain distribution required for non-uniform beam filling correction in space-borne radar measurement of rain, IUGG2003 Sapporo, 1 July, 2003.
 11. K. Nakagawa, H. Hanado(CRL), S. Satoh(NASDA), N. Takahashi, T. Iguchi(CRL), K. Fukutani(NEC), Development of a new C-band polarimetric Doppler weather radar in Japan, IGARSS 2003, Toulouse, 25 July, 2003.
 12. T. Iguchi, H. Hanado, N. Takahashi(CRL), S. Kobayashi(CRL), S. Satoh(NASDA), The dual-frequency precipitation radar for the GPM core satellite, IGARSS 2003, Toulouse, 25 July, 2003.
 13. R. Mardiana, T. Iguchi, N. Takahashi, H. Hanado(CRL), Dual-frequency rain profiling method without the use of surface reference technique, IGARSS 2003, Toulouse, 25 July, 2003.
 14. T. Kozu(Shimane U.), K. Krishna Reddy(FORSGC), T. Shimomai(Shimane U.), H. Hashiguchi(Kyoto U.), G. Viswanathan (ISRO/ISTRAC, India), Characteristics of vertical profile of raindrop size distribution derived from MST radars in tropics, 31st Conference on Radar Meteorology, Seattle, 6 August, 2003.
 15. T. Kozu(Shimane U.), T. Iguchi(CRL), J. Testud (CETP-CNRS, France), A generalization of normalized NO and its relevance to radar rainfall remote sensing, 31st Conference on Radar Meteorology, Seattle, 6 August 2003.
 16. K. Nakagawa, H. Hanado(CRL), S. Satoh(NASDA), N. Takahashi, T. Iguchi(CRL), K. Fukutani(NEC), Development of a new C-band bistatic polarimetric radar and observation of typhoon events, 31st Conference on Radar Meteorology, Seattle, 11 August 2003.
 17. 岡本謙一(大阪府立大学), 水循環観測 - 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) から全球降水観測ミッション (GPM) へ -, 2003 年 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 新潟市, 平成 15 年 9 月 26 日
 18. 岩波越, 真木雅之, 三隅良平, 朴相郡, 圓山憲一, 須藤美穂子(防災科研), 花土弘 (通総研), 蝶野洋平, 桑田路子, 播磨屋敏生 (北大院理), V.N.Bringi (コロラド州立大), D.-I.Lee, H.-K.Kim, M.Jang(韓国釜慶国立大), 2 波長ミリ波レーダによる層状降水雲の観測, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 28, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日

19. 出口絵里(阪府大), Merhala Thurai(通総研), 岡本謙一(阪府大), 井口俊夫(通総研), TRMM 衛星降雨レーダにより観測されたブライトバンド高度の統計値, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 263, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
20. 岩波越(防災科研), E. Le Bouar, J. Testud (CETP, Fr.), 真木雅之, 三隅良平, 朴 相郡, 須藤美穂子(防災科研), 降雨プロファイリング・アルゴリズム「ZPHI 法」の X バンド偏波レーダーデータへの適用, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 260, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
21. 桑田路子, 播磨屋敏生, 千葉ゆきこ(北大院理), 真木雅之, 岩波越, 三隅良平, 朴相郡, 須藤美穂子(防災科研), 2 波長ミリ波レーダを用いた巻雲の雲物理量リトリバル, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 29, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
22. Redy Mardiana, 高橋暢宏, 井口俊夫(通総研), Retrieval of DSD's from Dual-Frequency Radar Measurements Without the Use of Surface Reference Technique, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 258, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
23. 青梨和正, 小司禎教(気象研), 藤井秀幸, 小池俊雄(東大), 村本健一郎(金沢大), 柴田彰, 今岡啓治, 佐々木政幸(JAXA), AMSR 降水検証グループ 若狭湾特別観測(WAKASA2003)の固体降水の構造と雲物理量の特徴(その2), 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 166, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
24. 飯田 泰久, 岡本 謙一, 牛尾 知雄(大阪府立大学), レーダ・アメダス合成図を用いた太陽同期衛星群5機ならびに TRMM 衛星による降雨推定のためのサンプリングシュミレーション(その2), 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 261, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
25. Merhala Thurai, 花土弘(通総研), N-N Model Evaluation Using CAMPR data: A Case Study At 13.8 GHz, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 208, 仙台市, 平成 15 年 10 月 16 日
26. 高橋暢宏, 花土弘, 井口俊夫(通総研), TRMM / PR の地表面エコープロファイルを用いたフットプリント内の減衰の変動の推定, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 206, 仙台市, 平成 15 年 10 月 16 日
27. 岡本謙一(大阪府立大), 井口俊夫(通総研), 沖理子(JAXA), 宇宙からの降雨観測 —TRMM から GPM へ—, 第 47 回 宇宙科学技術連合講演会, 新潟市, 平成 15 年 11 月 19 日
28. 岡本謙一(大阪府立大), 井口俊夫(通総研), 沖理子(JAXA), レーダを用いた宇宙からの降雨観測 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) から全球降水観測ミッション (GPM) へ, 日本航空宇宙学会 第 40 回関西・中部支部 合同秋季大会 同講演集 pp.112-113, 神戸市, 平成 15 年 11 月 20 日
29. 岡本謙一(大阪府立大), 井口俊夫, 花土弘, 高橋暢宏(通総研), 牛尾知雄(阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成, 日本航空宇宙学会 第 40 回関西・中部支部 合同秋季大会 同講演集 pp.114-117, 神戸市, 平成 15 年 11 月 20 日
30. 出口絵里, 岡本謙一(大阪府立大), Merhala Thurai, 井口俊夫(通総研), TRMM 衛星降雨レーダにより観測されたブライトバンド高度の統計値, (社)日本リモートセンシング学会, 第 35 回(平成 15 年度秋季)学術講演会 同予稿集 pp. 93-94, 長岡市, 平成 15 年 11 月 26 日
31. K. Aonashi(MRI), Structural and cloud-physical characteristics of solid precipitation observed by Wakasa Bay field campaign (WAKASA 2003), 8th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, Rome, 24 February 2004.
32. H. Eito, K. Aonashi(MRI), G. Liu(Florida State Univ.), C. Muroi, S. Hayashi, T. Kato, M. Yoshizaki(MRI), Preliminary comparison of AMSR-E observation and numerical simulation with cloud resolving model for solid precipitation in winter during the WAKASA 2003, 8th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, Rome, 26 February 2004.
33. S. Shige(OPU), S. Shimizu(JAXA/EORC), N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), T. Kozu(Shimane Univ.), and K. Okamoto(OPU), Consistency Check of Drop Size Distribution in Rain Retrievals with a Combination of TRMM Microwave Imager and Precipitation Radar Observations, 8th Specialist Meeting on Microwave

Radiometry and Remote Sensing Applications, Rome, 26 Feb. 2004.

34. 磯田総子 (JST), 対流圏季節内振動と降雨の 2 年周期振動, 大気圏シンポジウム, 平成 16 年 2 月 27 日
35. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), A Study on Variations of Deep-Rain Properties with the Sea Surface Temperature over the Tropics Utilizing TRMM PR2a25 and TMI Data, 26th Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, Miami, USA, 2-8 May 2004.
36. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Wei-Kuo Tao, D. E. Johnson and C.-L. Shie(NASA/GSFC), Spectral Retrieval of Latent Heating Profiles from TRMM PR Data: Comparison of Look-up Tables, 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, 4 May 2004.
37. S. Shige(OPU), S. Shimizu(JAXA/EORC), N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), T. Kozu(Shimane Univ.), and K. Okamoto(OPU), Consistency Check of Drop Size Distribution in Rain Retrievals with a Combination of TRMM Microwave Imager and Precipitation Radar Observations, 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, 5 May 2004.
38. 永戸久喜, 青梨和正, 室井ちあし, 林修吾, 加藤輝之, 吉崎正憲(気象研), G. Liu(フロリダ州立大), WAKASA2003(WMO-03)中の降雪システムについての AMSR-E 観測と雲解像モデルの比較, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 31, 平成 16 年 5 月 16 日
39. 高橋暢宏(NICT), 清水収司(JAXA/EORC), 井口俊夫(NICT), 雨滴粒径分布のマイクロ波放射計輝度温度へ与える影響の評価, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 48, 平成 16 年 5 月 18 日
40. 高薮縁(東大/CCSR), TRMM PR と TMI データを用いた熱帯域の背の高い降雨と海面水温との関係についての解析, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 133, 平成 16 年 5 月 18 日
41. 青梨和正, 小司禎教(気象研), 藤井秀幸, 小池俊雄(東大), 村本健一郎(金沢大), 柴田彰, 今岡啓治, 佐々木政幸(JAXA), 若狭湾特別観測(WAKASA2003)の固体降水の構造と雲物理量の特徴(その 3), 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 47, 平成 16 年 5 月 18 日
42. 青梨和正(気象研), 柴田彰, 今岡啓治(JAXA/EORC), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリバアルゴリズムの開発(その 1), 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 51, 平成 16 年 5 月 18 日
43. 片山勝之, 高薮縁(東大/CCSR), TRMM PR データのメソスケール統計を用いた熱帯・亜熱帯域の降雨特性とその降雨要因についての研究, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 37, 平成 16 年 5 月 18 日
44. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi, H. Hanado(NICT), and T. Ushio(OPU), High Precision, High Resolution Global Precipitation Map from Satellite Data: Japan's New Project, 24th International Symposium on Space Technology and Science, ISTS 2004 n-07, Miyazaki, 3 June 2004.
45. Y. Iida, K. Okamoto, T. Ushio(OPU), and R. Oki(JAXA/EORC), Sampling Simulation of Rainfall Estimation for GPM Mission Using Radar-AMeDAS Composites, 24th International Symposium on Space Technology and Science, ISTS 2004 n-08, Miyazaki, 3 June 2004.
46. Y. N. Takayabu, and M. Katayama(Univ. of Tokyo/CCSR), Low-Latitude Rainfall Characteristics and its Meteorological Factors Analyzed with Mesoscale Statistics of TRMM PR Data, 1st Meeting AOGS, Singapore, 8-10 July 2004.
47. 牛尾知雄, 岡本謙一(大阪府大), 磯田総子(JST), 飯田泰久(大阪府大), 沖理子, 可知美佐子(JAXA/EORC), 全球降水マップの作成と高度化, 日本大気電気学会第 71 回研究発表会, 大気電気研究 65, p. 81, 平成 16 年 7 月 23 日
48. T. Iguchi(NICT) and T. Kozu(Shimane Univ.), Uncertain Factors in the Standard Rain Profiling Algorithm for the TRMM Precipitation Radar, The 8th International Conference on Precipitation, Vancouver, Canada, 9 August 2004.

49. Y. N. Takayabu and M. Katayama(Univ. of Tokyo/CCSR), An Attempt to Determine Dominant Meteorological Factors of Precipitation Utilizing Mesoscale Statistics of TRMM PR2A25 Data, The 8th International Conference on Precipitation, Vancouver, Canada, 9 August 2004.
50. 瀬戸心太, 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), 無降水時の輝度温度に関する統計的情報を利用したマイクロ波放射計による陸上の降雨判定, 水文・水資源学会, 平成 16 年 8 月 21 日
51. 中川勝広, 花土弘, 岩波越, 北村康司, 岡本謙一, 中村健治, 上田博, 坪木和久, 沖縄梅雨集中観測 2004, 水文・水資源学会, 平成 16 年 8 月 21 日
52. K. Okamoto(OPU), E. Deguchi(JSAT Corp.), M. Thurai(Colorado State Univ.), and K. Matsukawa(OPU), Bright Band Statistics Observed by TRMM Precipitation Radar, International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea, 26 August 2004.
53. V. N. Bringi(Colorado State Univ.), K. Nakagawa(NICT), M. Thurai(Colorado State Univ.), H. Hanado(NICT), and T. Iguchi(NICT), Drop Size Distribution in Okinawa, Japan, from 2D-Video Distrometer and C-band Polarimetric Radar, Third European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD), 6 September 2004.
54. K. Aonashi(MRI), Structural, Cloud-Physical Characteristics of Solid Precipitation and Their Influence on Microwave Radiation Observed by Wakasa Bay Field Campaign 2003 (WAKASA2003), The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
55. T. Inoue(MRI), Development of a Technique to Define the Life Stage of Deep Convection Using the Split Window Data of GOES, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
56. Y. Iida, K. Okamoto, T. Ushio(OPU), and R. Oki(JAXA/EORC), Sampling Simulation of Rainfall Estimation Using Radar-AMeDAS Composites, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 10 September 2004.
57. 蝶野洋平, 播磨屋敏生, 桑田路子(北大), 岩波越, 真木雅之, 朴相郡(防災科研), 橋本明弘(AESTO), 2 波長レーダを用いた降水量鉛直プロファイルのリトリバル(1)ーレーダーパラメータの規格化ー, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p.61, 平成 16 年 10 月 6 日
58. 永戸久喜, 青梨和正, 加藤輝之(気象研), 岩波越(防災科研), 花土弘, 中川勝広(NICT), CREST-GSMaP-LAPS 観測グループ, 2004 年沖縄梅雨集中観測期間中に発生したメソ降水系の雲解像数値シミュレーション, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 33, 平成 16 年 10 月 6 日
59. 高橋暢宏(NCT), 阿波加純(北海道東海大), 融解層の衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度へ与える影響の評価, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 68, 平成 16 年 10 月 6 日
60. 井上智亜, 植田宏昭(筑波大), 井上豊志郎(気象研), Split Window データおよび TRMM から見たベンガル湾における雲の時空間的特徴, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 162, 平成 16 年 10 月 7 日
61. 井上豊志郎(気象研), 河本和明(地球研), Split Window による下層雲の光学的厚さの推定について, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 350, 平成 16 年 10 月 7 日
62. 青梨和正(気象研), 瀬戸心太(NICT), 広瀬正史(JAXA/EORC), 高薮縁(東大/CCSR), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリバルアルゴリズムの開発(その 2), 日本気象学会 2004 年度秋季 大会講演予稿集, p. 377, 平成 16 年 10 月 8 日
63. T. Ushio, Y. Iida(OPU), F. Isoda(JST), K. Okamoto(OPU), T. Inoue and K. Aonashi(MRI), The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project – Integration of Microwave and Infrared Radiometers for Global Precipitation Map, 2nd International Precipitation Working Group (IPWG) Workshop, Monterey, CA, USA, 25 October 2004.
64. T. Inoue(MRI), T. Ushio(OPU), Rainfall Type Estimation from the Information on Life Stage of Deep Convection-Feasibility of Assigning the Life Stage of Deep Convection-, 2nd International Precipitation Working Group(IPWG) Workshop, Monterey, CA, USA, 27 October 2004.

65. 永戸久喜, 青梨和正, 加藤輝之(気象研), G. Liu(フロリダ州立大), 岩波越(防災科研), 花土弘, 中川勝広(NICT), 衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた気象庁非静力学モデルの雲物理量予測特性の検証, 第6回非静力学モデルに関するワークショップ, 平成16年11月26日
66. 岡本謙一, 佐々木宏(大阪府大), TRMM 降雨レーダで観測されたブライトバンド高度統計値, 第41回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会 講演集, pp.15-18, 平成16年11月26日
67. 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), 井口俊夫(NICT), 花土宏(JAXA), 高橋暢宏(NICT) 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成(その2), 第41回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会 講演集, pp. 19-20, 平成16年11月26日
68. 岡本謙一, 佐々木宏(大阪府大), 徳本絵里(JSAT 株式会社), TRMM 降雨レーダで観測されたブライトバンド高度統計値(その2), (社) 日本リモートセンシング学会 第37回学術講演会 論文集, pp. 69-70, 平成16年12月2日
69. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 花土弘(JAXA), 牛尾知雄(大阪府大) 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成(その2), (社) 日本リモートセンシング学会 第37回学術講演会 論文集 pp. 71-72, 平成16年12月2日
70. 柏木寛之, 藤田正晴(東京科技大), TRMM PR データを用いた一次元と三次元マイクロ波放射伝達モデルの比較, 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会, 平成16年12月16日
71. 北村康司(琉球大学), 中川勝広, 関澤信也, 花土弘, 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雨滴粒径分布の鉛直構造に関する研究, 第4回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ, pp. 109-116, 平成16年12月17日
72. K. Okamoto(OPU), T. Tanaka(JAXA/EORC) and T. Iguchi(NICT), Observation of Precipitation by the TRMM Precipitation Radar, Proc. of ISRS 2004, 178-181, Jeju, Korea, 28 October 2004.
73. K. Aonashi, H. Eito, and G. Liu(MRI), Development of Data Assimilation Method to Incorporate Microwave Radiometer Data into a Cloud-Resolving Model, 4th WMO International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography, Prague, Czech Republic, 20 April 2005.
74. 青梨和正, 永戸久喜(気象研), 衛星搭載マイクロ波放射計データの非静力学解像モデルへの同化法の開発(その2), 日本気象学会 2005年度春季大会 講演予稿集, p. 171, 平成17年5月16日
75. 井口俊夫, 瀬戸心太, 花土弘(NICT), Robert Meneghini (NASA/GSFC), 衛星搭載降雨レーダによる降雨推定の原理と推定誤差, 日本気象学会 2005年度春季大会 講演予稿集, p. 196, 平成17年5月18日
76. 牛尾知雄, 岡本謙一, 野田俊輔, 橋爪寛(JST), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 青梨和正(MRI), 井上豊志郎(MRI), 沖理子(JAXA), マイクロ波放射計及び静止気象衛星の赤外放射計データによる全球降水マップの試作, 日本気象学会 2005年度春季大会 講演予稿集, p. 205, 平成17年5月18日
77. 佐々木宏, 重尚一(大阪府立大学), 1次元放射伝達モデルを用いたTRMM降雨プロダクトの物理的検証, 日本気象学会 2005年度春季大会 講演予稿集, p. 200, 平成17年5月18日
78. 青梨和正(気象研), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリーバルアルゴリズムの開発(その3), 日本気象学会 2005年度春季大会 講演予稿集, p. 199, 平成17年5月18日
79. Zainul Akramin, 古津年章, 下舞豊志(島根大学), 森修一, K.K.Reddy(地球観測フロンティア), 柴垣佳明(大阪電気通信大学), 東南アジアにおける TBB と雨滴粒径分布の関係, 日本気象学会 2005年度春季大会, 講演予稿集, p. 191, 平成17年5月18日
80. Marzuki, T. Kozu, T. Shimomai, Zainul Akramin(Shimane University), H. Hashiguchi(Kyoto University), Y. Fujiyoshi(Hokkaido University), 2005: The influence of intraseasonal variation on vertical profile of

reflectivity (VPR) as inferred from zenith looking radars at Koto Tabang, west Sumatra, 日本気象学会 2005 年度春季大会, 講演予稿集, p. 192, 平成 17 年 5 月 18 日

81. 高薮縁(東大/CCSR), 降雨特性の指標となるもの—OLR・雷・降雨量・降雨強度・降雨頂高度の関係—, 日本気象学会 2005 年度春季大会, 講演予稿集, p. 204, 平成 17 年 5 月 18 日
82. 岡本謙一(大阪府大), 阿波加純(北海道東海大), 井口俊夫(NICT), 松川佳代(大阪府大), TRMM 衛星の現状と TRMM 降雨レーダ Version6 アルゴリズム, (社) 日本リモートセンシング学会 第 38 回 (平成 17 年度春季) 学術講演会 論文集, pp. 47-48, 平成 17 年 5 月 20 日
83. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫(NICT), 高橋暢宏(NICT), 岩波越(防災科研), 牛尾知雄(大阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成(その 3), (社) 日本リモートセンシング学会 第 38 回 (平成 17 年度春季) 学術講演会 論文集, pp. 49-50, 平成 17 年 5 月 20 日
84. 森増陽介, 岡本謙一(大阪府立大), 雨滴粒径分布測定装置(ディスドロメータ)による降雨の観測, 2005 年度日本気象学会関西支部年会 講演予稿集, pp. 5-8, 平成 17 年 6 月 11 日
85. 野田俊輔, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府立大), マイクロ波及び赤外放射計データを用いた全球降水マップの作成, 2005 年度日本気象学会関西支部年会 講演予稿集, pp. 28-31, 平成 17 年 6 月 11 日
86. 木田智史, 重尚一(大阪府立大), TRMM 観測データを用いたモンスーン域における降雨タイプの統計解析, 2005 年度日本気象学会関西支部年会 講演予稿集, pp. 32-34, 平成 17 年 6 月 11 日
87. T. Ushio, K. Okamoto(OPU), N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), and K. Aonashi(MRI), Global Satellite Mapping of Precipitation Project in Japan –Infrared and Microwave Radiometer Combined Algorithm–, Pilot Evaluation of High Resolution Precipitation Products (PEHRPP) Meeting, Irvine, CA, USA, 25 June 2005.
88. Y. Iida, K. Okamoto, T. Ushio(OPU), and R. Oki(JAXA), Sampling Simulation for Estimating the Sampling Error of Space-Time Average Rain Rate for TRMM and GPM Mission, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 25 July 2005.
89. K. Monden, T. Mega, T. Ushio, and K. Okamoto(OPU), Development and Observation of the Broad-band Radar for Meteorological Application, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 27 July 2005.
90. H. Kashiwagi and M. Fujita(Tokyo Metro. Inst. Tech.), Comparison between one-and three-dimensional radiative transfer models using TRMM PR and TMI data, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 27 July 2005.
91. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), and T. Ushio(OPU), The Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP) Project, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 28 July 2005.
92. N. Takahashi(NICT), J. Awaka(Hokkaido Tohoku U.), Introduction of a Melting Layer Model to a Rain Retrieval Algorithm for Microwave Radiometers, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 28 July 2005.
93. S. Seto, S. Satoh, N. Takahashi, and T. Iguchi(NICT), Biases in the Standard Rain Rate Product by the TRMM Microwave Radiometer over Land, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 28 July 2005.
94. T. Iguchi, S. Seto, N. Takahashi(NICT), H. Hanado(JAXA), Uncertainties in the rain retrieval algorithm for the GPM Dual-Frequency Precipitation Radar, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 28 July 2005.
95. T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), T. Kozu(Shimane Univ.), J. Awaka(Hokkaido Tokai Univ.), R. Meneghini(NASA/GSFC), Validation strategy and improvement of the rain profiling algorithm for the TRMM Precipitation Radar, IAMAS 2005 (The International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences), Beijing, 3 August 2005.

96. 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層状性降雨における雨滴粒径分布の鉛直構造解析, 水文・水資源学会, pp. 178-179, 平成 17 年 8 月 4 日
97. 牛尾知雄, 岡本謙一, 野田俊輔(大阪府大), 橋爪寛(JST), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 青梨和正, 井上豊志郎(気象研), 沖理子(JAXA), マイクロ波及び赤外放射計データを用いた全球降水マップの作成, 電気学会 A 部門大会, 東京, 平成 17 年 8 月
98. K. Nakagawa, Y. Kitamura(NICT), H. Hanado(JAXA) and K. Iwanami(NIED), Okinawa 2004 Field Campaign of observing precipitation, The Third Japan-China Joint Workshop on Lower Atmosphere and Precipitation Study, 13 September 2005.
99. M. Fujita and Kashiwagi(Tokyo Metro. Inst. Tech.), Three- dimensional radiative transfer modeling of Microwave brightness temperature using TRMM PR data, 2005 SPIE Europe Int. Sym. Remote Sensing, Bruges, Belgium, 19 September 2005
100. K. Okamoto(OPU), GV for Japan's radiometer algorithm development, 2nd International GPM Ground Validation Workshop, Taipei, 27 September 2005.
101. S. Sato, K. Nakagawa, Y. Shusse, Y. Kitamura, N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), H. Hanado(JAXA), K. Nakamura(Nagoya U. HyARC), Okinawa Validation Site in Japan, 2nd International GPM Ground Validation Workshop, Taipei, 27 September 2005.
102. Takayabu, Y. N.(Univ. of Tokyo/CCSR), S. Shige(OPU), W-K. Tao(NASA/GSFC), C-L. Shie(NASA/GSFC), and Y. Kodama (Hirosaki Univ.), Latent Heating Evaluation, GPM GV workshop, Taipei, September 2005.
103. 井口俊夫(NICT), 岡本謙一(大阪府大), TRMM 及び GPM による降雨観測と全球降水マップの作成, 第 22 回センシングフォーラム計測部門大会 センシング技術の新たな展開と融合(計測自動制御学会), 大阪市, 平成 17 年 9 月 29 日
104. K. Aonashi, H. Eito, and M. Murakami (MRI), Physical Validation of Microwave Properties of Wintertime Precipitation over the Sea of Japan, IPWG/GPM/GRP Workshop on global microwave modeling and retrieval of snowfall, Madison, USA, 11 October 2005.
105. H. Eito(MRI), Validation and improvement of snowfall forecast with cloud resolving model for microwave radiometer data assimilation, IPWG/GPM/GRP Workshop on global microwave modeling and retrieval of snowfall, Madison, USA, 12 October 2005.
106. 池田浩三, 古津年章, 下舞豊志(島根大), TRMM 降雨レーダにより推定した雨滴粒径分布と発雷数および降雨頂高度の関係, 平成 17 年度電気・情報関連学会中国支部第 56 回連合大会, 16-10, 平成 17 年 10 月 22 日
107. T. Ushio, K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), K. Aonashi(MRI), S. Shige(OPU), H. Hashizume, T. Kubota(JST), T. Inoue(MRI), The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 8 November 2005.
108. Takayabu, Y. N. (Univ. of Tokyo/CCSR), M. Hirose(JAXA), S. Shige, T. Ushio(OPU), F. Furuzawa, K. Nakamura(Nogoya Univ.), and Y. Kodama(Hirosaki Univ.), Characterizations of Tropical Precipitation with TRMM data, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, November 2005.
109. H. Eito, K. Aonashi(MRI), Potential and problems of cloud resolving model for improvement of microwave modeling and retrieval of snowfall, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 8 November 2005.
110. 永戸久喜, 青梨和正(気象研究所), Guosheng Liu(フロリダ州立大学), 衛星搭載マイクロ波放射計データ同化に向けた雲解像モデルの降水物質予測特性改善の検討, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 48, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
111. 古津年章, 下舞豊志(島根大), 井口俊夫(NICT), 清水収司, 花土弘(JAXA), 高藪緑(東大気候システ

- ムセンター), 吉田直文, 沼田晶彦(RESTEC), TRMM 降雨レーダによる雨滴粒径分布パラメータの推定, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 49, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
112. 青梨和正(気象研), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリーバルアルゴリズムの開発(その 4), 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 222, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日
113. 岡本謙一(大阪府大), John Stout, Robert Meneghini (NASA/Goddard Space Flight Center), 阿波加純(北海道東海大), 井口俊夫(NICT), 松川佳代(大阪府大), TRMM 衛星の現状と TRMM 降雨レーダ Version 6 アルゴリズム (その 2), (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同論文集 57-58, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 25 日
114. K. Okamoto(OPU), Status/Issues/Directions for TRMM Level 2 Algorithms-V6 to V7 Precipitation Radar, 2005 年 Precipitation Measurement Missions Science Team Meeting, Monterey, USA, 平成 17 年 12 月 12 日
115. 中川勝広, 北村康司, 北村ゆかり(NICT), Rainfall observation by using COBRA and 443MHz Wind profiler, QPE/QPF Workshop, 平成 18 年 2 月 24 日
116. 岩波越, 三隅良平(防災科研), 中村健治(名大 HyARC), Okn-Baiu-04 観測チーム, 浅い対流性降水雲の降雨特性-2004 年 6 月 4-5 日沖縄での降雨事例解析-, 沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層、海洋表層の観測的研究に関する研究集会, 平成 18 年 3 月 1 日
117. M. Kachi, R. Oki(JAXA), K. Okamoto(OPU), Japanese Precipitation Missions, The Second Integrated Global Observation Strategy (IGOS) Water Cycle Theme Planning Workshop, Paris, 平成 18 年 3 月 2 日
118. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio(Osaka Univ.), K. Aonashi(MRI), T. Kubota(JST), Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP) Project, 9th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications (MicroRad06), Puerto Rico, 平成 18 年 3 月 3 日
119. 阿波加純(北海道東海大学), 井口俊夫(NICT), 岡本謙一(大阪府大), TRMM 降雨レーダで観測したブライトバンド高度について, 2006 年電子情報通信学会総合大会, 東京, 平成 18 年 3 月 23 日
120. 久保田拓志(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), CREST 岡本チーム, マイクロ波放射計による全球高分解能降水マップ (GSMaP), アジアにおける大気水文環境の変動と人間社会, 東京, 平成 18 年 3 月 28 日
121. 重尚一(大阪府大), 高薮縁(東大 CCSR), Wei-Kuo Tao, Chung-Lin Shie(NASA/GSFC), TRMM PR データからの潜熱加熱プロファイルの推定, アジアにおける大気水文環境の変動と人間社会, 東京, 平成 18 年 3 月 28 日
122. N. Takahashi(NICT), K. Aonashi(MRI), T. Iguchi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio (Osaka Univ.), and K. Okamoto(OPU), The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) project, European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2006, Wien, 3 April 2006
123. S. Shige, H. Sasaki, K. Okamoto(OPU), Consistency check of TRMM rainfall estimates using a radiative transfer model, 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, 25 April 2006
124. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo), Wei-Kuo Tao, Chung-Lin Shie (NASA/GSFC), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data.: Algorithm improvement and heating estimates over tropical ocean regions, 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, 26 April 2006
125. Y. N. Takayabu, C. Yokoyama(Univ. of Tokyo), and T. Ushio(Osaka Univ.), A statistical study on the relationship between rain top heights and lightning activity over the global tropics utilizing TRMM PR2A25 and LIS data, AMS 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, 24-28 April, 2006.
126. 岡本謙一(大阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成, 日本航空宇宙学会関西支部 第 406 回航空懇談会, 堺, 平成 18 年 5 月 12 日

127. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo), Spectral Latent Heating (SLH) algorithm, 4th TRMM Latent Heating Workshops, Seattle, 17 May 2006
128. Y. N. Takayabu(CCSR, University of Tokyo), Precipitation Characteristics Derived from Rain-Thunderstorm-Ratio and Rain Profiles, 4th TRMM Latent Heating Workshops, Seattle, 18 May, 2006
129. 牛尾知雄(阪大), 久保田拓志, 橋爪寛(JST), 野田俊輔, 飯田泰久, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), 青梨和正, 井上豊志郎(気象研), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 可知美佐子, 沖理子(JAXA), 衛星搭載マイクロ波放射計及び赤外放射計データを用いた高分解能全球降水マップの作成, 日本リモートセンシング学会, 第40回(平成18年度春季)学術講演会, 同論文集, pp. 109-110, 千葉, 平成18年5月19日
130. 久保田拓志(JST), 重尚一(大阪府大), 橋爪寛(JST), 青梨和正(気象研), 牛尾知雄(阪大), 可知美佐子(JAXA), 岡本謙一(大阪府大), マイクロ波放射計データによる全球降水マップ(GSMaP)の作成と評価(2), 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 217, 筑波, 平成18年5月22日
131. 高橋暢宏(NICT), 沖理子(JAXA), CREST・GSMaPにおける降水リトリバールとGPM計画, 日本気象学会 第3回地球観測衛星研究連合会, 筑波, 平成18年5月22日
132. 青梨和正, 永戸久喜(気象研), 衛星搭載マイクロ波放射計データの非静力雲解像モデルへの同化法の開発(その4) Ensemble Kalman Filter 解析スキームの試作, 日本気象学会 2006年春季大会, 同予稿集, p. 231, 筑波, 平成18年5月23日
133. 高藪縁(東大気候システム研究センター), TRMMで観測された降雨/発電比(RTR)全球分布と日変化, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 97, 筑波, 平成18年5月24日
134. 高橋暢宏, 井口俊夫(情報通信研究機構), GPMにおける降水推定アルゴリズムと衛星搭載雲レーダの利用, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 96, 筑波, 平成18年5月24日
135. 久保田拓志(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), CREST 岡本チーム, マイクロ波放射計による全球高分解能降水マップ(GSMaP), 日本気象学会関西支部 2006年度年会, 大阪, 平成18年6月17日
136. T. Kubota(JST), S. Shige(OPU), H. Hashizume(JST), T. Ushio(Osaka Univ.), K. Aonashi(MRI), M. Kachi(JAXA), and K. Okamoto(OPU), Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation, IGARSS 2006, Denver, July 2006
137. K. Nakagawa, H. Hanado, N. Takahashi, S. Satoh, K. Fukutani, and T. Iguchi(NICT), Development of a C-band polarimetric and pulse compression radar in Okinawa, Japan, IGARSS 2006, Denver, 31 July – 04 August 2006
138. H. Hashizume, T. Kubota(JST), K. Aonashi(MRI), S. Shige, K. Okamoto(OPU), Development of over-ocean SSM/I rain retrieval algorithm in the GSMaP project, IGARSS 2006, Denver, 2 August 2006
139. T. Tagawa, K. Okamoto(OPU), H. Hanado(JAXA), T. Kozu(Shimane University), Suppression of Surface Clutter Interference with TRMM Precipitation Radar Observation, IGARSS 2006, Denver, 3 August 2006
140. N. Takahashi(NICT), Comparison of instantaneous rain rate of stratiform rainfall from TRMM/TMI with PR, IGARSS 2006, Denver, 3 August 2006
141. 岡本謙一(大阪府大), 人工衛星による宇宙からの降雨観測, 平成18年度大阪府高等学校教員「地学」研修, 大阪, 平成18年8月11日
142. 瀬戸心太(東京大学 生産技術研究所), 久保田拓志(JST), GSMaP_TMI プロダクトにおける陸上降水強度の評価, 水文・水資源学会 2006年度研究発表会, 岡山, 平成18年8月31日
143. 北村康司, 中川勝広(情報通信研究機構), 関澤信也, 花土弘(JAXA), 高橋暢宏, 井口俊夫(情報通信研究機構), 400MHz 帯ウィンドプロファイラおよび COBRA を用いた雨滴粒径分布推定手法の開発, 水文・水資源学会 2006年度研究発表会, 岡山, 平成18年8月31日

144. Y. Shusse, K. Nakagawa, N. Takahashi, S. Sato, T. Iguchi(NICT), Characteristics of polarimetric radar variables and their precipitation type dependence in a highly humid oceanic region, Fourth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Proc. ibid. 57-60, Barcelona, 18 September 2006
145. H. Eito and K. Aonashi (MRI), Resolution dependence of hydrometeor structures generated by cloud resolving model, The international workshop on high resolution & cloud modeling fusion of satellite observations and high-resolution modeling, Kusatsu, October 3 2006
146. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Wei-Kuo Tao (NASA/GSFC), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data, The international workshop on high resolution & cloud modeling fusion of satellite observations and high-resolution modeling, Kusatsu, October 3 2006
147. Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Rain-yield per flash calculated from TRMM PR and LIS data and its relationship to the contribution of tall convective rain. The International Workshop on High-resolution and Cloud Modeling: Fusion of Satellite Observation and High-resolution modeling, Kusatsu, 3-5 October 2006
148. T. Inoue(MRI), T. Ushio(Osaka Univ.), D. Katagami(OPU), Applications of split window data for rainfall estimation, 3rd International Precipitation Working Group Workshop on Precipitation Measurements, Melbourne, 24 October 2006
149. T. Ushio(Osaka Univ.), K. Okamoto(OPU), K. Aonashi, T. Inoue(MRI), T. Kubota, H. Hashizume(JST), T. Simomura(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), R. Oki, and M. Kachi(JAXA), A combined microwave and infrared radiometer approach for a high resolution global precipitation map in the GSMap Japan, 3rd International Precipitation Working Group Workshop on Precipitation Measurements, Melbourne, 24 October 2006
150. K. Aonashi(MRI), Development of Passive Microwave Precipitation Retrieval Algorithm for AMSR/AMSRE, 3rd International Precipitation Working Group Workshop on Precipitation Measurements, Melbourne, 24 October 2006
151. K. Aonashi, H. Eito(MRI), Development of data assimilation method to incorporate microwave radiometer data into a cloud-resolving model, 5th International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon, Denver, November 1 2006
152. J. Awaka (Hokkaido Tokai Univ.), N. Takahashi, T. Iguchi (NICT), Modeling of Bright Band Having a Smooth Connection to Snowfall for Observation of Rain from Space, ISAP 2006, Singapore (Proceedings of ISAP 2006 (CD-ROM), a113_r47), November 4, 2006
153. Marzuki(Andalas University, Indonesia), T. Kozu and T. Shimomai (Shimane University), Raindrop size distributions of tropical precipitation over West Sumatra, International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2006, Singapore, November 4, 2006
154. T. Kozu(Shimane Univ.), T. Iguchi(NICT), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo), H. Hanado(JAXA), N. Yoshida(RESTEC), Estimation of raindrop size distribution parameter with TRMM Precipitation Radar, International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2006, Singapore, November 4, 2006
155. N. Takahashi(NICT), K. Aonashi(MRI), T. Iguchi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio(Osaka Univ.) and K. Okamoto(OPU), Multi-Sensor Precipitation Analysis Development in Japan, 6th GPM Planning Workshop, Annapolis, 6 November 2006
156. T. Inoue and K. Kawamoto(MRI), Retrieval of optical properties of water cloud from VIS/IR and comparison with TMI/TRMM, SPIE Proceedings, Vol. 6408, 64080F, 8 pages, Goa, India, 13 November 2006
157. 岡本謙一, 重尚一(大阪府大), 久保田拓志, 橋爪寛(JST), 牛尾知雄(阪大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成(その3), 第43回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会, 同講演集, pp. 25-28, 名古屋, 平成18年11月24日
158. 森増陽介, 岡本謙一, 肥後誠輝(大阪府大), ドップラレーダと地上測器を用いた降雨の観測, 第43回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会, 同講演集, pp. 33-36, 名古屋, 平成18年11月

24 日

159. 木田智史, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), TRMM 降雨レーダとマイクロ波放射計によって推定された降雨域の比較, 第 43 回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会, 同講演集, pp. 37-40, 名古屋, 平成 18 年 11 月 24 日
160. 野田俊輔, 片上大輔(大阪府大), 牛尾知雄(阪大), 橋爪寛, 久保田拓志(JST), 岡本謙一, 飯田泰久, 木田智史, 重尚一(大阪府大), 青梨和正, 井上豊志郎(気象研), 沖理子, 可知美佐子(JAXA/EORC), マイクロ波及び赤外放射計を用いた全球降水マップの作成, 第 43 回日本航空宇宙学会 中部・関西支部合同秋期大会, 同講演集, pp. 29-32, 名古屋, 平成 18 年 11 月 24 日
161. 岩波越, 防災科研 MP レーダーシステムによる雲・降水研究, 第 4 回環境研究機関連絡会成果発表会概要集, pp. 16-17, 平成 18 年 11 月 28 日
162. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 岩波越(防災科研), 牛尾知雄(阪大), 青梨和正(気象研), 沖理子(JAXA/EORC), 重尚一(大阪府大), 久保田拓志, 橋爪寛(JST), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成に関する研究の現状, (社) 日本リモートセンシング学会 第 41 回(平成 18 年度秋季)学術講演会, 同論文集, pp. 93-96, 那覇, 平成 18 年 11 月 30 日
163. W.-K. Tao, E. Smith, S. Lang, M. Katsumata, W. Olson, S. Shige, S. Satoh, Y. Takayabu, and S. Yang, Latent Heating Retrievals Deriving from TRMM: Overview (Status), 6th GPM International Planning Workshop, Maryland, U.S., November 2006
164. 瀬戸心太, Kim Hyungjun, 芳村圭, 沖大幹(東京大学生産技術研究所), 衛星による降水観測を利用したグローバルな洪水監視システムの開発に向けて, 第 5 回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ, 千葉, 平成 18 年 12 月 7 日
165. 岡本謙一(大阪府大), 熱帯降雨観測衛星(Tropical Rainfall Measuring Mission), 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会(SANE), 信学技報 Vol.106, No.445, SANE 2006-116, 鹿嶋, 平成 18 年 12 月 22 日
166. 肥後誠輝, 岡本謙一, 森増陽介(大阪府大), MRR (マイクロレインレーダ) ならびにディストロメータによる雨滴粒径分布の鉛直プロファイルの測定, 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会(SANE), 信学技報 Vol.106, No.445, SANE 2006-114, 鹿嶋, 平成 18 年 12 月 22 日
167. S. Seto, H. Kim, K. Yoshimura, Y. Arai, T. Oki(Univ. of Tokyo/IIS), A pilot system for flood monitoring by using satellite precipitation measurement, 3rd MODIS Workshop on Monitoring and Modeling of Environmental and Disaster in Asia, Bangkok, January 2007
168. 出世ゆかり, 高橋暢宏(NICT), 中川勝広, 佐藤晋介, 井口俊夫(NICT), COBRA 観測による対流性降水域の融解層高度ー沖縄地方の梅雨前線事例についてー, 平成 18 年度「沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層・海洋表層の観測的研究」に関する共同研究集会, 名古屋市, 平成 19 年 3 月 8 日
169. 北村康司, 中川勝広, 関澤信也(NICT), 400MHz 帯ウィンドプロファイラによる雨滴粒径分布の推定手法について, 平成 18 年度「沖縄亜熱帯域における雲・降水システムと大気境界層・海洋表層の観測的研究」に関する共同研究集会, 名古屋市, 平成 19 年 3 月 8 日
170. 岡本謙一(大阪府大), 牛尾知雄(阪大), 阿波加純(北海道東海大), 古津年章(島根大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, 名古屋, 平成 19 年 3 月 20 日
171. S. Seto, Hyungjun Kim, K. Yoshimura, and T. Oki(Univ. of Tokyo), A global flood monitoring system with high-resolution precipitation maps by satellite, European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, 2007 年 4 月 16 日
172. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫, 高橋暢宏, 佐藤晋介(情報通信研究機構), 阿波加純(北海道東海大), 古津年章(島根大), 福地一(首都大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成, 第 5 1 3 回 URSI-F (電波研究連絡委員会ーF 分科会) 会合, 横浜, 2007 年 4 月 27 日

173. K. Okamoto(OPU), R. Meneghini(NASA/GSFC), T. Iguchi(NICT), J. Awaka(Hokkaido Tokai University), S. Shimizu(JAXA), J. Kwiatkowski(NASA/GSFC/PPS), TRMM Precipitation Radar Algorithms –V6 Status and Plans for V7–, NASA Precipitation Measurement Missions (PMM) Science Team Meeting, Atlanta, 平成 19 年 5 月 7 日
174. 出世ゆかり, 高橋暢宏, 中川勝広, 佐藤晋介, 井口俊夫(情報通信研究機構), COBRA 観測による対流性降水域の融解層高度 — 沖縄地方の梅雨前線事例について —, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 100, 東京, 平成 19 年 5 月 15 日
175. 高橋暢宏, 井口俊夫(情報通信研究機構), TRMM/PR による全球の雨滴粒径分布モデルパラメータの推定, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 126, 東京, 平成 19 年 5 月 16 日
176. 高薮縁(東大気候システムセンター), TRMM-RPF(降雨/発雷比)を利用した海陸の降雨特性解析, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 225, 東京, 平成 19 年 5 月 16 日
177. 松本迪斉, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), TRMM 降雨レーダデータを用いた月平均降雨強度の算出のための統計的手法について, 電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 SANE 2007-40, 信学技法 Vol. 107, No. 67, 31-36, 横須賀市, 平成 19 年 5 月 25 日
178. 高橋暢宏, 井口俊夫(情報通信研究機構), Analysis of densely observed TRMM/PR data during 180-degree yaw maneuver, IEEE International Geophysical and Remote Sensing Symposium 2007, 平成 19 年 7 月 26 日
179. S. Shige, T. Watanabe, H. Sasaki, and K. Okamoto(OPU), Validation of TRMM PR rain estimates using a radiative transfer model, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, 7 August 2007.
180. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), T. Ushio(Osaka Univ.), J. Awaka(Hokkaido Tokai Univ.), S. Shige(OPU), and T. Kubota(JST), High Precision and high resolution global precipitation map from satellite data, 2007 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP2007), 22 August 2007.
181. A. Yasuda, J. Awaka, and M. Kotaki, (Hokkaido Tokai University), Effects of snowfall on wave propagation along a 7.7 km 18/26 GHz FWA link, 2007 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP2007), 22 August 2007.
182. 岡本謙一, 松本迪斉(大阪府立大学), TRMM 降雨レーダデータを用いた月平均降雨強度算出のための統計的手法, 2007 年統計関連学会連合大会, 平成 19 年 9 月 8 日
183. 岡本謙一, 森増陽介, 肥後誠輝(大阪府立大学), ドップラレーダと雨滴粒径分布測定装置を用いた降雨の観測, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, 平成 19 年 9 月 11 日
184. 竹洋平, 齋藤貴之, 福地一(首都大東京), 岡本謙一(大阪府大), TRMM 及び地上降雨レーダ観測による 1 次元及び 3 次元マイクロ波放射伝達モデルの比較, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, 平成 19 年 9 月 11 日
185. 古津年章(島根大), 柏木宣久(統計数理研究所), 井口俊夫(情報通信研究機構), 2スケールモデルによる雨滴粒径分布特性解析, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会, 平成 19 年 9 月 11 日
186. 小向井淳, 岡本謙一(大阪府大), TRMM 降雨レーダから求められた海面のレーダ散乱断面積, 第 51 回 URSI-F 会合, 平成 19 年 9 月 21 日
187. 青梨和正(気象研究所), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリバアルゴリズムの開発(その6), 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 202, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
188. 可知美佐子, 沖理子(JAXA/EORC), 衛星による高頻度全球降水プロダクトの準リアルタイム配信に向けて, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 204, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
189. 久保田拓志(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), 衛星搭載マイクロ波放射計の降水リトリバルにおける降水非一様性の影響, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 203, 札幌, 平成 19 年 10

月 14 日

190. 高薮縁(東大気候システム研究センター), 次世代静止衛星による雲・降水・雷観測への期待 --- 熱帯気象の立場から ---, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 100, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
191. 重尚一(大阪府大), 高薮縁(東大気候システム研究センター), 木田智史(大阪府大), Wei-Kuo Tao(NASA/GSFC), TRMM PR データからの潜熱加熱プロファイルのスペクトル推定: 2次元および3次元モデルから作成された参照テーブルの比較, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 205, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
192. 井上豊志郎(東大気候システム研究センター), 静止衛星による熱帯での深い対流雲の観測例, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 87, 札幌, 平成 19 年 10 月 16 日
193. 牛尾知雄(大阪大), 片上大輔(大阪府大), 笹重和史(大阪大), 久保田拓志(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大)・青梨和正(気象研), 井上豊志郎(東大 CCSR), 井口俊夫, 高橋暢宏(情報通信研究機構), 可知美佐子, 沖 理子(JAXA/EORC), 森本健志, 河崎善一郎(大阪大), 静止気象衛星搭載赤外放射計と低軌道衛星搭載マイクロ波放射計データを用いた高分解能全球降水マップの作成, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 同予稿集 p. 104, 札幌, 平成 19 年 10 月 16 日
194. 岡本謙一(大阪府大), 阿波加 純(北海道東海大), 井口俊夫(情報通信研究機構), Robert Meneghini(NASA/GSFC), 東上床 智彦, 清水収司(JAXA/EORC), 熱帯降雨観測衛星(TRMM)降雨レーダ(PR)標準アルゴリズム, 第 51 回宇宙科学技術連合講演会, 札幌, 平成 19 年 10 月 31 日

③ ポスター発表 (国内会議 79 件、国際会議 57 件)

1. 高橋暢宏, 中川勝広(通総研), 佐藤晋介(NASDA), 花土弘, 井口俊夫(通総研), 福谷晃一(NEC), 通信総研 沖縄偏波降雨レーダ(COBRA)による降水システムの観測, レーダの基本性能の確認および雲物理パラメータの推定, 日本気象学会 2003 年度春季大会 同予稿集 p. 219, つくば市, 平成 15 年 5 月 21 日
2. 岩波越(防災科研), Kim Hyo-Kyung, Lee Dong-In(韓国釜慶国立大), 真木雅之, 三隅良平, 朴相郡(防災科研), 桑田路子, 播磨屋敏生(北大院理), 2 波長雲レーダによる雲水量のリトリバル, 日本気象学会 2003 年度春季大会 同予稿集 p. 290, つくば市, 平成 15 年 5 月 21 日
3. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), レーダ・アメダス合成図を用いた太陽同期衛星群 5 機ならびに TRMM(TMI)衛星による降雨のサンプリング誤差の推定, 日本気象学会 2003 年度春季大会 同講演予稿集 p. 434, つくば市, 平成 15 年 5 月 23 日
4. 田川哲也(大阪府大), 花土弘(通総研), 岡本謙一(大阪府大), GPM(全球降水観測計画)衛星搭載の 35.5GHz 帯降雨レーダの地表面クラッタ特性の評価, 日本気象学会 2003 年度春季大会 同予稿集 p. 436, つくば市, 平成 15 年 5 月 23 日
5. T. Inoue(MRI), Convective/stratiform rain by PR/TRMM and life stage of deep convection defined by the cloud type of GOES snap shot image, 3rd GPM Workshop, ESTEC, Noordwijk, 25 June, 2003.
6. T. Inoue(MRI), Comparison between TMI/TRMM and PR/TRMM near surface rainfall estimation in terms of cloud information, IUGG2003 Sapporo, 1 July, 2003.
7. T. Tagawa(OPU), H. Hanado(CRL), K. Okamoto(OPU), Calculations of surface clutter interference on precipitation measurement from space by 35.5GHz radar for global precipitation measurement, IGARSS 2003, Toulouse, 24 July, 2003.
8. Y. Iida, K. Okamoto(OPU), Sampling simulation of five sun synchronous orbit satellites' group and TRMM rainfall estimation using RADAR-AMEDAS composites, IGARSS 2003, Toulouse, 25 July, 2003.
9. 井上智重(筑波大), 井上豊志郎(気象研), 植田宏明(筑波大), Split Window データを用いた熱帯地域における雲型分類, 日本気象学会 2003 年度秋季大会講演予稿集, p.322, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日
10. 片山勝之, 高薮 縁, 熱帯・亜熱帯の降水システム特性とその日変化, 日本気象学会 2003 年秋季大

会講演予稿集, p. 330, 仙台市, 平成 15 年 10 月 15 日

11. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫, 花土弘, 高橋暢宏(通総研), 牛尾知雄(大阪府大), 青梨和正(気象研), 沖理子(JAXA), 中川勝弘(通総研), 岩波越(防災科研), 佐藤晋介, 重尚一(JAXA), 古津年章(島根大), 高薮縁(東大), 清水収司(JAXA), 井上豊志郎(気象研), 阿波加純(北海道東海大), 藤田正晴(都立科技大), 瀬戸心太(通総研), 可知美佐子(JAXA), 磯田総子(JST), 戦略的創造研究推進事業(CREST) 水の循環系モデリングと利用システム「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」研究概要, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 386, 仙台市, 平成 15 年 10 月 17 日
12. 高橋暢宏, 中川勝弘, 花土弘, 井口俊夫(通信総合研究所), 通信総研 沖縄偏波降雨レーダ(COBRA)による台風の観測 -2002 年 7 月 3 日に観測した台風 5 号のケース-, 日本気象学会 2003 年度秋季大会 同予稿集 p. 410, 仙台市, 平成 15 年 10 月 17 日
13. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, H. Hanado, N. Takahashi(CRL), T. Ushio(OPU), R. Oki(JAXA), K. Aonashi(MRI), High precision, high resolution global precipitation map from satellite data, Japan's new project, NASA Precipitation Mission Science Team Meeting, Greenbelt, USA, 27 October 2003.
14. Y. Iida, K. Okamoto(OPU), R. Oki (JAXA) , Sampling Simulation of Rainfall Estimation retrieved by now flying five sun-synchronous-orbit satellites and TRMM using Radar-AMeDAS composites, NASA Precipitation Mission Science Team Meeting, Greenbelt, USA, 27 October 2003.
15. K. Okamoto(OPU), R. Meneghini(NASA/GSFC), T. Iguchi(CRL), J. Awaka(Hokkaido Tokai U.), N. Takahashi(CRL), S. Shimizu(JAXA), J. Kwiatkowski, J. Stout(NASA/GSFC), TRMM Version 6 PR Algorithms (Major Changes from version 5) , NASA Precipitation Mission Science Team Meeting, Greenbelt, USA, 27 October 2003.
16. 岡本謙一(大阪府立大), 井口俊夫, 花土弘, 高橋暢宏(通総研), 牛尾知雄(阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成, (社)日本リモートセンシング学会 第 35 回(平成 15 年度秋季) 学術講演会 同論文集 pp. 227-230, 長岡市, 平成 15 年 11 月 26 日
17. T. Inoue(MRI), Life stage of deep convection defined by the split window, the 84th AMS Annual Meeting, The Fred Sanders Symposium, Seattle, 12 January 2004.
18. 井口俊夫(NICT), 古津年章(島根大), 岡本謙一(大阪府大), 阿波加純(北海道東海大), R. Meneghini(NASA/GSFC), TRMM 降雨レーダによる降水推定アルゴリズムの新しいバージョン, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 251, 平成 16 年 5 月 16 日
19. 古津年章, 下舞豊志, 岡本隆宏, Z. Akramin(島根大), 森修一(地球観測フロンティア), 橋口浩之(京大 宙空電波科学研究センター), EAR およびディストロメータによるスマトラ・コトタパンの雨滴粒径分布特性解析, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 264, 平成 16 年 5 月 16 日
20. 瀬戸心太, 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), マイクロ波放射計による陸上降雨判定手法の比較, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 252, 平成 16 年 5 月 16 日
21. 門田和士, 阿部吉和, 牛尾知雄, 岡本謙一(大阪府大), 河崎善一郎(阪大), ブロードバンドレーダの研究開発と初期観測結果, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 255, 平成 16 年 5 月 16 日
22. 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 阿波加純(北海道東海大), 青梨和正, 井上豊志郎, 永戸久喜(気象研), 佐藤晋介, 清水収司(JAXA/EORC), 重尚一(大阪府大), 高薮縁(東大/CCSR), 藤田正晴, 柏木寛之(東京科技大), 瀬戸心太(NICT), 橋爪寛(JST), 岡本謙一(大阪府大), 古津年章(島根大), CREST「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」研究(Ⅱ) 衛星搭載マイクロ波放射計降水リトリーバルアルゴリズムの改良, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 351, 平成 16 年 5 月 17 日
23. 井上豊志郎(気象研), 牛尾知雄(大阪府大), MSG の赤外多チャンネルデータによる降水域推定について, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 334, 平成 16 年 5 月 17 日
24. 磯田総子(JST), 青梨和正(気象研), 牛尾知雄, 岡本謙一(大阪府大), 青梨リトリーバルアルゴリズムを用いて計算された TRMM/TMI の降水量に関する研究, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 335, 平成 16 年 5 月 17 日

25. 花土弘, 中川勝広(NICT), 岩波越(防災科研), 北村康司(琉球大), 妻鹿友昭, 岡本謙一(大阪府大), CREST「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」研究(IV) マイクロ波放射計降水強度リトリーバルアルゴリズムの改良及び検証のための降雨観測実験, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 353, 平成 16 年 5 月 17 日
26. 牛尾知雄(大阪府大), 磯田総子(JST), 飯田泰久, 岡本謙一(大阪府大), 青梨和正, 井上豊志郎(気象研), 沖理子, 可知美佐子(JAXA/EORC), CREST「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」研究(III) 衛星搭載マイクロ波放射計による全球降水マップの作成, 評価, 高度化, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 352, 平成 16 年 5 月 17 日
27. 井上智亜(筑波大), 井上豊志郎(気象研), 植田宏昭(筑波大), Split Window データを用いたベンガル湾における雲型判別, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 393, 平成 16 年 5 月 18 日
28. 重尚一(大阪府大), 清水収司(JAXA/EORC), 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), 古津年章(島根大), 岡本謙一(大阪府大), TRMM 搭載マイクロ波放射計と降雨レーダを用いた雨滴粒径分布の物理的整合性チェック, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 420, 平成 16 年 5 月 18 日
29. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), 沖理子(JAXA/EORC), 現在運用中の衛星群 6 機からの降雨観測シミュレーションによるサンプリング誤差の推定とモデリング, 日本気象学会 2004 年度春季大会 講演予稿集, p. 435, 平成 16 年 5 月 18 日
30. 平岡智宏, 岡本謙一, 妻鹿友昭, 牛尾知雄(大阪府大), 花土弘(NICT), 雨滴粒径分布測定装置および低層大気観測用レーダを用いた降雨の予備観測結果, 日本リモートセンシング学会 第 36 回学術講演会論文集, pp. 143-144, 平成 16 年 5 月 19 日
31. H. Eito, K. Aonashi(MRI), G. Liu(Florida State Univ.), C. Muroi, S. Hayashi, T. Kato, and M. Yoshizaki(MRI), Preliminary Comparison of AMSR-E Observation and Numerical Simulation with Cloud Resolving Model for Solid Precipitation in Winter during the WAKASA 2003, 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 19 July 2004.
32. T. Inoue(MRI), H-J. Lutz, and J. Schmetz, The Life Cycle of Deep Convection Defined by the MSG Multi-Channel Data, International Radiation Symposium 2004, Busan, Korea, 25 August 2004.
33. F. Isoda(JST), K. Aonashi(MRI), T. Ushio, and K. Okamoto(OPU), Passive Microwave Precipitation Retrievals Using TRMM/TMI: Comparison with TRMM/PR (2A25) and TRMM/TMI Standard Product (2A12), The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
34. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, H. Hanado, N. Takahashi(NICT), and T. Ushio(OPU), The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project: Part I Outline of the Project, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
35. N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), K. Aonashi(MRI), J. Awaka(Hokkaido Tokai Univ.), H. Eito(MRI), M. Fujita(TMIT), H. Hashizume(JST), M. Hirose(JAXA/EORC), T. Inoue(MRI), H. Kashiwagi(TMIT), T. Kozu(Shimane Univ.), S. Satoh(JAXA/EORC), S. Seto(NICT), S. Shige(OPU), S. Shimizu(JAXA/EORC), Y. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), and K. Okamoto(OPU), The Global satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project Part II Algorithm and precipitation model development, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
36. T. Ushio(OPU), F. Isoda(JST), Y. Iida, and K. Okamoto(OPU), T. Inoue, K. Aonashi(MRI), R. Oki(JAXA/EORC), The Global satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project Part III Overview of the Satellite Mapping Group, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
37. H. Hanado, K. Nakagawa(NICT), K. Iwanami(NIED), and N. Takahashi(NICT), The Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Project Part IV Radar Observation and Validation, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
38. H. Hashizume(JST), S. Shige, and K. Okamoto(OPU), Effects of Freezing Height Estimation on Passive-microwave Rain-retrieval, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7 September 2004.
39. N. Takahashi(NICT), Jun Awaka(Hokkaido Tokai Univ.), S. Shimizu(JAXA/EORC), and T. Iguchi(NICT), On the Effect Of the Drop Size Distribution (DSD) and Melting Layer to the Brightness Temperature of a Spaceborne Passive Microwave Radiometer, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 7

September 2004.

40. S. Seto, N. Takahashi, and T. Iguchi(NICT), Comparison of Rain/No-Rain Classification Methods over Land for TRMM Microwave Imager, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
41. K. Okamoto, H. Sasaki(OPU), E. Deguchi(JSAT Corporation), and M.Thurai(Colorado State Univ.), Bright-Band Height Statistics Observed by the TRMM Precipitation Radar, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
42. T. Kozu, Z. Akramin, T. Shimomai(Shimane Univ.), S. Mori(FORSGC), H. Hashiguchi(Kyoto Univ./RISH), Y. Shibagaki(Osaka Electro-Communication Univ.), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), and S. Saraspriya(LAPAN, Indonesia), Properties of Raindrop Size Distribution and Relation to Macro Scale Rain Properties at Koto Tabang, West Sumatra, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
43. S. Shige(OPU), T. Iguchi(NICT), S. Shimizu(JAXA/EORC), N. Takahashi(NICT), T. Kozu(Shimane Univ.), and K. Okamoto(OPU), Consistency Check of Drop Size Distribution in Rain Retrievals with a Combination of TRMM Microwave Imager and Precipitation Radar Observations, The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, 9 September 2004.
44. Z. Akramin, 古津年章, 下舞豊志(島根大学), 森修一(地球観測フロンティア), 柴垣佳明(大阪電気通信大学), スマトラ・コトタブンにおける雨滴粒径分布の季節内変動, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 443, 平成 16 年 10 月 6 日
45. 磯田 総子(JST), 青梨和正(気象研), 牛尾知雄, 岡本謙一(大阪府大), 新しい降水リトリバーアルゴリズムによって計算された TMI, AMSRE の降水量を用いた全球降水マップの作成, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 416, 平成 16 年 10 月 6 日
46. 岩波越(防災科研), 花土弘, 中川勝広, 高橋暢宏(NICT), 蝶野洋平(北大), CREST-GSMaP-LAPS 観測グループ, 2004 年沖縄梅雨集中観測における Ka バンドレーダー観測結果速報, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 400, 平成 16 年 10 月 6 日
47. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), 沖理子(JAXA/EORC), 全球降水観測(GPM)ミッションのためのマイクロ波放射計を搭載した衛星群による平均降水強度推定のサンプリングシミュレーション — サンプリングエラーの推定とミッション要求の検討 — , 日本気象学会 2004 年度秋季大会講演予稿集, p. 417, 平成 16 年 10 月 6 日
48. 牛尾知雄(大阪府大), 磯田総子(JST), 飯田泰久, 岡本謙一(大阪府大), 井上豊志郎(気象研), 沖理子(JAXA/EORC), 全球雲赤外面像による移動ベクトルを用いたマイクロ波放射計データによる全球降水マップの補間手法について, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 488, 平成 16 年 10 月 8 日
49. 橋爪寛(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), マイクロ波放射計降雨推定における 0℃高度の影響 ～ 1997/98 El Nino に注目して～, 日本気象学会 2004 年度秋季大会 講演予稿集, p. 489, 平成 16 年 10 月 8 日
50. T. Inoue(MRI), H-J Lutz and J. Schmetz, The life stage of deep convection defined by the Meteosat-8 multi-channel data and rainfall type observed by PR/TRMM, ARM Science Team Meeting, Daytona Beach, USA, March 2005.
51. 蝶野洋平, 播磨屋敏生, 桑田路子 (北大), 岩波越・真木雅之・朴相郡 (防災科研), 2 波長レーダを用いた降水量鉛直プロファイルのリトリバー(2)ーリトリバー, 日本気象学会 2005 年度春季大会講演予稿集, p. 321, 平成 17 年 5 月 15 日
52. 高橋暢宏(NICT), 阿波加純(北海道東海大), 融解層の衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度へ与える影響の評価 (その 2) , 日本気象学会 2005 年度春季大会 講演予稿集, p. 387, 平成 17 年 5 月 16 日
53. 瀬戸心太, 佐藤晋介, 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), TRMM/TMI 標準アルゴリズムによる陸上の降雨強度推定値の偏差, 日本気象学会 2005 年度春季大会 講演予稿集, p. 397, 平成 17 年 5 月 16 日
54. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), 沖理子(JAXA), マイクロ波放射計を搭載した衛星群か

- ら観測される時間空間平均降水強度のサンプリングエラーの推定, 日本気象学会 2005 年度春季大会 講演予稿集, p. 465, 平成 17 年 5 月 17 日
55. 高橋暢宏(NICT), 地上レーダデータを用いた衛星搭載マイクロ波放射計輝度温度再現実験, (社) 日本リモートセンシング学会 第 38 回 (平成 17 年度春季) 学術講演会 論文集, pp. 217-218, 平成 17 年 5 月 20 日
 56. T. Inoue(MRI), H-J Lutz and J. Schmetz, The life cycle of deep convection defined by the Meteosat-8 multi-channel data, GEWEX Cloud System Study Meeting, Athens, Greece, May, 2005.
 57. T. Mega, K. Monden, T. Ushio and K. Okamoto(OPU), Melting Layer Observation by the Broad Band Radar(BBR), Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 29 July 2005.
 58. K. Nakagawa, K. Kitamura(NICT), H. Hanado(JAXA), K. Iwanami(NIRD), and K. Okamoto(OPU), Field Campaign of Observing Precipitation in the Rain Season of Okinawa, Japan in 2004, Int. Geoscience Remote Sensing Symposium 2005(IGARSS 2005), Seoul, Korea, 29 July 2005.
 59. 瀬戸心太(NICT), 井口俊夫(NICT), 降雨時の後方散乱断面積に関する統計的考察, 水文・水資源学会, つくば, 平成 17 年 8 月 4 日
 60. K. Iwanami (NIED), Y. Chono, T. Harimaya (Hokkaido Univ.), Jacques Testud (NOVIMET, Fr.), M. Maki, R. Misumi, and Sang_Goon Park (NIED), Retrieval of Vertical Rain Rate Profile by Dual-Frequency Radar Data, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 61. S. Shige, H. Sasaki, K. Okamoto(OPU), Physical validation of TRMM PR rainfall products using a radiative transfer model, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 62. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Wei-Kuo Tao, Chung-Lin Shie(NASA/GSFC), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data: Comparison of look-up tables, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 63. Y. Kitamura, K. Nakagawa(NICT), S. Sekizawa, H. Hanado(JAXA), N. Takahashi, T. Iguchi(NICT), Vertical profile of raindrop size distribution by using 400MHz wind profiler in stratiform rainfall, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 64. S. Seto, and T. Iguchi(NICT), Biases in surface reference estimates by the TRMM/PR standard algorithm, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 65. T. Iguchi(NICT), Possible algorithms for the Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) on the GPM core satellite, 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 25 October 2005.
 66. T. Ushio, K. Monden, T. Mega, K. Okamoto(OPU), Z. Kawasaki(Osaka Univ.), Development of broadband radar and initial observation, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 28 October 2005.
 67. Y. Shusse, K. Nakagawa, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), S. Sato, T. Iguchi(NICT), Three-dimensional characteristics of polarimetric radar variables and their precipitation-type dependence, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 28 October 2005.
 68. N. Takahashi, K. Nakagawa, and T. Iguchi(NICT), Simulation of the Brightness Temperature of Spaceborne Microwave Radiometer by using COBRA Data, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 28 October 2005.
 69. N. Takahashi, Y. Kitamura(NICT), and K. Iwanami(NIED), Analysis of the Melting Layer by using 400MHz Wind Profiler and 35 GHz Radar, The 32nd Conference on Radar Meteorology, Albuquerque, USA, 28 October 2005.
 70. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio(OPU), K. Aonashi(MRI), R. Oki(JAXA), S. Shige(OPU), Research on the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Part 1 -Outline of the Research-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
 71. T. Kubota(JST), S. Shige(OPU), H. Hashizume(JST), T. Ushio(OPU), K. Aonashi(MRI), M. Kachi (JAXA) , and K. Okamoto(OPU), Research on the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Part 5 -Validation of Global Precipitation Maps-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7

November 2005.

72. T. Ushio(OPU), H. Hashizume(JST), T. Kubota(JST), S. Shige(OPU), K. Okamoto(OPU), R. Oki(JAXA), M. Kachi(JAXA), Y. Iida(OPU), Research on the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Part 4 -Mapping of the global precipitation-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
73. H. Hashizume (JST), K. Aonashi (MRI), S. Shige (OPU), and K. Okamoto (OPU), Development of the SSM/I rain retrieval algorithm over ocean in GSMaP project - Experiments using TMI data and TMI algorithm-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
74. K. Iwanami(NIED), K. Nakagawa(NICT), H. Hanado(JAXA), Y. Kitamura, Y. Shusse(NICT), R. Sawai(Univ. of Tsukuba), N. Takahashi, S. Sato(NICT), M. Hirose(JAXA), T. Kozu(Shimane Univ.), J. Awaka(Hokkaido-Tokai Univ.), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo-CCSR), Research on the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Part 2 -Ground based radar observation and development of physical precipitation model-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
75. T. Iguchi(NICT), K. Aonashi, H. Eito, T. Inoue(MRI), S. Shimizu(JAXA), M. Fujita(TMU), K. Takahashi(Tokyo Metropolitan Institute of Technology), S. Seto, N. Takahashi, S. Sato(NICT), M. Hirose(JAXA), T. Kozu(Shimane Univ.), J. Awaka(Hokkaido-Tokai Univ.), Y. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Research on the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) Part 3 -Development and improvement of precipitation retrieval algorithm and application of new physical precipitation model-, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
76. S. Shige, H. Sasaki, K. Okamoto(OPU), Physical validation of TRMM PR rainfall products using a radiative transfer model, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
77. S. Shige(OPU), Y. N. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Wei-Kuo Tao, Chung-Lin Shie (NASA), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data : Algorithm Improvement and its Estimates over the Tropical Ocean Regions, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
78. Y. Iida, K. Okamoto, T. Ushio(OPU), R. Oki(JAXA), Sampling error of space-time average rain rate observed from GPM satellites, The 5th GPM International Planning Workshop in Tokyo, 7 November 2005.
79. 久保田拓志(科学技術振興機構), 重尚一(大阪府大), 橋爪寛(科学技術振興機構), 青梨和正(気象研究所), 牛尾知雄(大阪府大), 岡本謙一(大阪府大), マイクロ波放射計データによる全球降水マップ (GSMaP) の作成と評価, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 362, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
80. 木田智史, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), TRMM 降雨レーダとマイクロ波放射計によって判定された降雨域の比較, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 361, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
81. 井上豊志郎(気象研究所), Pt. Reyes (カリフォルニア州) における下層雲の特徴とラジオゾンデデータの対応, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 355, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
82. 出世ゆかり, 中川勝広, 高橋暢宏, 佐藤晋介, 井口俊夫(情報通信研究開発機構), 降水の特徴と COBRA 偏波パラメータの 3 次元特性, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 366, 神戸, 平成 17 年 11 月 20 日
83. 高橋暢宏(情報通信研究機構), 融解層モデルの衛星搭載マイクロ波放射計 降水リトリバアルゴリズムへの導入, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 462, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日
84. 佐々木宏, 重尚一(大阪府立大学), 1 次元放射伝達モデルを用いた TRMM 降雨プロダクトの物理的検証 (その 2) , 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 456, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日
85. 岩波越(防災科研), 蝶野洋平(株HBA), 播磨屋敏生(酪農学園大), 桑田路子(新潟地台), J. Testud (NOVIMET), 真木雅之, 三隅良平, 朴相郡(防災科研), 2 波長レーダーを用いた降水量鉛直プロファイルのリトリバル (3) 観測データへの適用, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 457, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日
86. 横山千恵, 高藪縁(東大気候システム研究センター), TRMM 衛星データを用いた台風の降雨特性の解析, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 484, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日

87. 瀬戸心太, 高橋暢宏, 井口俊夫(情報通信研究機構), 陸上降雨判定アルゴリズムの AMSRE への適用, 日本気象学会 2005 年度秋季大会 同予稿集 p. 458, 神戸, 平成 17 年 11 月 22 日
88. 森増陽介, 岡本謙一(大阪府大), マイクロフォン型雨滴粒径分布測定装置を用いた降雨の観測, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 131-132, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
89. 岡本謙一(大阪府大), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 岩波越(防災科研), 牛尾知雄(大阪府大), 青梨和正(気象研究所), 沖理子(JAXA), 重尚一(大阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 1) 全体概要, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 119-120, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
90. 岩波越(防災科研), 岡本謙一(大阪府大), 中川勝広(NICT), 花土弘(JAXA), 北村康司, 出世ゆかり(NICT), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 2) 地上レーダによる観測, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 121-122, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
91. 飯田泰久, 岡本謙一, 牛尾知雄(大阪府大), 全球降水観測計画 (GPM) 衛星群から観測された時間空間平均降雨強度のサンプリングエラー, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 133-134, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
92. 高橋暢宏, 佐藤晋介(NICT), 阿波加純(北海道東海大), 古津年章(島根大), 高藪縁(東大気候システム研究センター), 広瀬正史(JAXA), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 3) 降水物理モデルの開発, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 123-124, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
93. 井口俊夫(NICT), 青梨和正(気象研), 瀬戸心太(NICT), 永戸久喜, 井上豊志郎(気象研), 清水収司(JAXA), 藤田正晴(首都大学東京), 高橋暢宏(NICT), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 4) 降水強度推定アルゴリズムの開発, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 125-126, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
94. 牛尾知雄(大阪府大), 久保田拓志, 橋爪寛(JST), 野田俊輔, 飯田泰久, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), 青梨和正, 井上豊志郎(気象研究所), 井口俊夫, 高橋暢宏(NICT), 可知美佐子, 沖理子(JAXA), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 5) 全球降水マップの作成, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 127-128, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
95. 重尚一(大阪府大), 久保田拓志, 橋爪寛(JST), 牛尾知雄(大阪府大), 青梨和正(気象研究所), 可知美佐子(JAXA), 岡本謙一(大阪府大), 衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成についての研究(その 6) 全球降水マップの評価, (社) 日本リモートセンシング学会 第 39 回学術講演会 同予稿集 pp. 129-130, 鳴門市, 平成 17 年 11 月 24 日
96. S. Shige, H. Sasaki, K. Okamoto(OPU), Consistency check of TRMM PR rainfall estimates using a radiative transfer model, 2005 Precipitation Measurement Missions Science Team Meeting, Monterey, USA, 12 December 2005.
97. S. Shige(OPU), Y. Takayabu(Univ. of Tokyo/CCSR), Wei-Kuo Tao, Chung-Lin Shie (NASA), Spectral retrieval of latent heating profiles from TRMM PR data : Algorithm Improvement and its Estimates over the Tropical Ocean Regions, 2005 Precipitation Measurement Missions Science Team Meeting, Monterey, USA, 12 December 2005.
98. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio(OPU), K. Aonashi(MRI), and R. Oki(JAXA/EORC), High Precision, High Resolution Global Precipitation Map from Satellite Data Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) -(Part1) Outline of the research, 2005 Precipitation Measurement Missions Science Team Meeting, Monterey, USA, 12 December 2005.
99. T. Kubota, S. Shige(OPU), H. Hashizume(JST), T. Ushio(OPU), M. Kachi(JAXA/EORC), K. Aonashi(MRI), and K. Okamoto(OPU), High Precision, High Resolution Global Precipitation Map from Satellite Data -Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP)- (Part 2) Production and Evaluation of the Global Precipitation Maps, 2005 Precipitation Measurement Missions Science Team Meeting, Monterey,

USA, 12 December 2005.

100. K. Okamoto(OPU), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), T. Ushio(Osaka Univ.), K. Aonashi(MRI), R. Oki, M. Kachi(JAXA), High Precision, High Resolution Global Precipitation Map from Satellite Data -Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP)-, The second Integrated Global Observation Strategy(IGOS) Water Cycle Theme Planning Workshop, Paris, 1-3 March 2006.
101. T. Kubota(JST), S. Shige(OPU), H. Hashizume(JST), T. Ushio(Osaka Univ.), K. Aonashi(MRI), M. Kachi(JAXA), and K. Okamoto(OPU), Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation, 9th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications (MicroRad06), Puerto Rico, 3 March 2006.
102. K. Aonashi, H. Eito, M. Murakami(MRI), Physical validation of microwave properties of winter precipitation over Sea of Japan, 9th Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications (MicroRad06), Puerto Rico, 3 March 2006.
103. 高橋暢宏(NICT), 久保田拓志(JST), 阿波加純(北海道東海大), 衛星搭載マイクロ波放射計降水推定アルゴリズムへの融解層モデルの導入, 日本リモートセンシング学会 第40回(平成18年度春季)学術講演会, 同論文集, pp. 181-182, 千葉, 平成18年5月19日
104. 橋爪寛(JST), 重尚一(大阪府大), 久保田拓志(JST), 青梨和正(気象研), 岡本謙一(大阪府大), GSMaPプロジェクトにおける SSM/I 用降雨強度推定アルゴリズムの開発 ～偏光度を用いた海上降雨強度推定の改良～, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 258, 筑波, 平成18年5月21日
105. 青梨和正(気象研), 高橋暢宏(NICT), 日本海での冬期降水のマイクロ波特性の物理的検証, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 257, 筑波, 平成18年5月21日
106. 出世ゆかり, 中川勝広, 高橋暢宏, 佐藤晋介, 井口俊夫(NICT), 梅雨期の東シナ海における対流性降水の COBRA 偏波特性 ～孤立タイプと層状埋め込みタイプの偏波特性の比較～, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 418, 筑波, 平成18年5月23日
107. 飯田泰久, 岡本謙一, 重尚一(大阪府大), 牛尾知雄(阪大), 仮想的な軌道と現実的な軌道を用いた場合の降雨観測のサンプリングエラーの検討, 日本気象学会 2006年度春季大会, 同予稿集, p. 438, 筑波, 平成18年5月24日
108. 重尚一(大阪府大), 高薮縁(東大 CCSR), Wei-Kuo Tao (NASA/GSFC), TRMM PR データからの潜熱加熱プロファイルのスペクトル推定: 熱帯海洋上の加湿プロファイルの推定, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 310, 名古屋, 平成18年10月24日
109. 永戸久喜, 青梨和正(気象研), 雲解像モデルの降水物質予測特性の水平解像度依存性について, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 291, 名古屋, 平成18年10月25日
110. 古津年章(島根大学), 高薮縁(東大 CCSR), 井口俊夫(NICT), 清水収司(JAXA), 瀬戸心太(東大生研), 吉田直文(RESTEC), 衛星降雨観測のための地球規模雨滴粒径分布モデル, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 309, 名古屋, 平成18年10月25日
111. 出世ゆかり, 中川勝広, 佐藤晋介(NICT), 沖縄地方の梅雨期の寒冷前線に伴う対流性降水の COBRA 偏波特性, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 302, 名古屋, 平成18年10月25日
112. 青梨和正(気象研), 衛星搭載マイクロ波放射計 AMSRE 降水強度リトリーバルアルゴリズムの開発その5, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 283, 名古屋, 平成18年10月25日
113. 重尚一(大阪府大), 南シナ海における対流システムの伝播, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 311, 名古屋, 平成18年10月25日
114. 久保田拓志(JST/大阪府大), 重尚一(大阪府大), 広瀬正史(JAXA), 高薮縁(東大 CCSR), 青梨和正(気象研), 高橋暢宏, 井口俊夫(NICT), 古津年章(島根大), 岡本謙一(大阪府大), 対流性降雨と層状性降雨の区別がマイクロ波降水リトリーバルに与える影響評価, 日本気象学会 2006年度秋季大会, 同予稿集, p. 383, 名古屋, 平成18年10月27日

115. 高橋暢宏(NICT), TRMM/PR のアルゴリズムにおける融解層の取り扱いの評価, 日本気象学会 2006 年度秋季大会, 同予稿集, p. 370, 名古屋, 平成 18 年 10 月 27 日
116. 佐藤晋介(NICT), 久保田拓志(JST), 蔵治光一郎(東大農), 松本淳(東大理), 東南アジアにおける地上雨量計と衛星推定降雨量の比較(序報), 日本気象学会 2006 年度秋季大会, 同予稿集, p. 397, 名古屋, 平成 18 年 10 月 27 日
117. 青梨和正, 永戸久喜(気象研究所), 衛星搭載マイクロ波放射計データの非静力雲解像モデルへの同化法の開発 (その 5), 日本気象学会 2006 年度秋季大会, 同予稿集, p. 376, 名古屋, 平成 18 年 10 月 27 日
118. 北村康司, 中川勝広, 関澤信也, 花土弘, 高橋暢宏, 井口俊夫 (NICT), 400MHz 帯ウィンドプロファイラおよび COBRA を用いた融解層より上層における粒径分布推定手法の開発, 日本気象学会 2006 年度秋季大会, 同予稿集, p. 369, 名古屋, 平成 18 年 10 月 27 日
119. 高橋暢宏(NICT), TRMM/PR の海上における降雨判定アルゴリズムの改良, (社)日本リモートセンシング学会 第 41 回(平成 18 年度)学術講演会, 同論文集, pp. 237-238, 那覇, 平成 18 年 11 月 30 日
120. K. Okamoto(OPU), T. Kubota(JST), S. Shige(OPU), T. Ushio(Osaka University), T. Iguchi, N. Takahashi(NICT), K. Iwanami(NIED), K. Aonashi(MRI), R. Oki(JAXA), High Precision and High Resolution Global Precipitation Map from satellite Data – a present status of GSMaP project in Japan, NASA Precipitation Measurement Missions (PMM) Science Team Meeting, Atlanta, 平成 19 年 5 月 9 日
121. 久保田拓志(JST), 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), 衛星搭載マイクロ波放射計データに適用する海岸降雨判定アルゴリズムの改良, (社)日本リモートセンシング学会 第 42 回(平成 19 年度春季)学術講演会 同論文集 pp. 201-202, 東京, 平成 19 年 5 月 11 日
122. 松本迪斉, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), TRMM 衛星搭載降雨レーダデータを用いた統計的手法による月平均降雨強度の算出, (社)日本リモートセンシング学会 第 42 回(平成 19 年度春季)学術講演会 同論文集 pp. 205-206, 東京, 平成 19 年 5 月 11 日
123. 森増陽介, 重尚一, 岡本謙一(大阪府大), ドップラーレーダと雨滴粒径分布測定装置を用いた降雨の観測, (社)日本リモートセンシング学会 第 42 回(平成 19 年度春季)学術講演会 同論文集 pp. 203-204, 東京, 平成 19 年 5 月 11 日
124. 高橋暢宏, TRMM/PR を用いた地上に到達しない降水の全球的特徴の解析, (社)日本リモートセンシング学会 第 42 回(平成 19 年度春季)学術講演会, 同論文集 pp. 198-200, 東京, 平成 19 年 5 月 11 日
125. 渡邊友紀, 重尚一, 佐々木宏, 岡本謙一(大阪府大), 放射伝達モデルを用いた TRMM 降雨プロダクトの地域的・季節的な検証, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 271, 東京, 平成 19 年 5 月 13 日
126. 木田智史, 重尚一(大阪府大), 青梨和正(気象研), 久保田拓志(JST), 岡本謙一(大阪府大), Wei-Kuo(NASA/GSFC), TRMM 衛星搭載マイクロ波放射計と降雨レーダデータを用いた降雨と無降雨を識別するための雲水量の閾値の決定法の提案とその応用, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 338, 東京, 平成 19 年 5 月 15 日
127. 久保田拓志(JST), 牛尾知雄(大阪大学), 木田智史, 飯田泰久, 岡本謙一(大阪府大), Phillip A. Arkin(University of Maryland), レーダー・アメダス解析雨量による衛星推定降雨量の検証, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 383, 東京, 平成 19 年 5 月 16 日
128. 高橋暢宏(情報通信研究機構), 池上久道(東京学芸大学), TRMM/PR における 0°C 高度を基準とした降水マップの作成, 日本気象学会 2007 年度春季大会 講演予稿集 p. 415, 東京, 平成 19 年 5 月 16 日
129. K. Nakagawa(GEST/UMBC, NICT), Y. Shusse(NICT), Y. Kitamura(KAIJO SONIC), R. Meneghini(NASA/GSFC), Characteristics of vertical profile of rainfall parameters in a Baiu frontal rainfall using 2D-Video distrometer, COBRA, and 400MHz Wind Profiler, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, Cairns, Australia, 7 August 2007.
130. K. Iwanami(NIED), K. Kusunoki, N. Orikasa(MRI), M. Maki, R. Misumi(NIED), M. Murakami(MRI), Hydrometeor type classification in winter clouds using x-band polarimetric radar measurements –

Comparison of x-band polarimetric radar data with in-situ measurements by HYVIS -, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, Cairns, Australia, 7 August 2007.

131. Y. Shusse, N. Takahashi, K. Nakagawa, S. Satoh, T. Iguchi(NICT), Rainfall-type classification by polarimetric radar, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, Cairns, Australia, 9 August 2007.
132. T. Iguchi(NICT), Estimation of the drop size distribution parameter in the rain profiling algorithm for the TRMM Precipitation Radar, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, Cairns, Australia, 6 August 2007.
133. N. Takahashi, and T. Iguchi(NICT), Possible improvements in the standard algorithm for TRMM/PR, 33rd International Conference on Radar Meteorology, AMS, Cairns, Australia, 6 August 2007.
134. 永戸久喜, 青梨和正(気象研究所), レーダ反射強度データとの比較による雲解像モデルの降水物質予測特性の検証と改善の検討, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 講演予稿集 p. 356, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
135. 高橋暢宏(情報通信研究機構), TRMM/PR による地表面に到達しない降雨の全球分布, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 講演予稿集 p. 391, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日
136. 妻鹿友昭(大阪府大), 吉川栄一, 高橋琢也, 山本剛, 酒井大輔, 森本健志, 牛尾知雄, 河崎善一郎(大阪大学), 岡本謙一(大阪府立大学), 広帯域レーダによる高距離分解能な降雨観測, 日本気象学会 2007 年度秋季大会 講演予稿集 p. 358, 札幌, 平成 19 年 10 月 14 日

(4) 特許出願

① 国内出願 (1 件)

1. 小型気象用レーダ, 牛尾知雄(大阪府立大), 2005 年 2 月 15 日, 特願 2005-37726

② 海外出願 (0 件)

(5) 受賞等

① 受賞

2002 年武田賞 岡本謙一 (Charles Elachi, 畚野信義と共同受賞)
「地球環境モニタリングのための人工衛星搭載マイクロ波レーダの開発」
2002 年 11 月 20 日

平成 18 年度 土木学会 水工学論文奨励賞 瀬戸心太
「TRMM/PR 降雨強度推定アルゴリズムの再検討ー表面参照法に起因するバイアスー」
(土木学会 水工学論文集 第 50 巻掲載論文に対して)
2007 年 3 月 6 日

平成 19 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞 (研究部門) 井口俊夫
「衛星搭載レーダを用いた降雨強度推定アルゴリズムの開発研究」
2007 年 4 月 17 日

2007 年猿橋賞 高薮縁
「熱帯における雲分布の力学に関する観測的研究」
2007 年 5 月 26 日

② 新聞報道

衛星レーダで降雨の原因分析, 日経産業新聞, 2004/06/19

宇宙航空研究開発機構と科学技術振興機構 世界の降雨地域インターネット上で公開
日刊工業新聞 2007/11/15 ■朝刊 ■20 面 ■1 段

宇宙機構、世界の降雨分布、4時間後に情報。
日経産業新聞 2007/11/15 ■■13 面 171 文字 ■

宇宙航空研究開発機構がインターネット公開 世界雨量分布ひと目で途上国の豪雨予測も
フジサンケイビジネスアイ 2007/11/16 ■朝刊 ■10 面 ■1 段 枚数(1)

③ その他

電子情報通信学会平成 17 年度フェロー 岡本謙一
「人工衛星搭載降雨レーダの研究開発」

共同通信ニュース =世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開=
<http://www.47news.jp/CN/200711/CN2007111401000374.html>

ZAKZAK:世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開
http://www.zakzak.co.jp/top/2007_11/t2007111445_all.html

北海道新聞:「世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開」
http://www.hokkaido-np.co.jp/news/environment/60469.html?_nva=9

中日新聞:世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開:社会(CHUNICHI Web)
<http://www.chunichi.co.jp/s/article/2007111401000374.html>

世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開 - 山陽新聞ニュース
<http://www.sanyo.oni.co.jp/newsk/2007/11/14/20071114010003741.html>

世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開 徳島新聞社
http://www.topics.or.jp/contents.html?m1=1&m2=13&NB=CORENEWS&GI=Science/Environment/Health&G=&ns=news_11950261562&v=&vm=all

世界の雨量分布を一目で 宇宙機構がネットで公開 西日本新聞
http://www.nishinippon.co.jp/nnp/national/science/20071114/20071114_003.shtml

サイエンスポータル編集ニュース: 世界の雨量分布ウェブで公開
<http://scienceportal.jp/news/daily/0711/0711151.html>

(6) その他特記事項

特に無し

7 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名 称	場 所	参加 人数	概 要
平成 15 年 3 月 10 日～ 3 月 11 日	第1回衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ	大阪府立 大学	24	衛星搭載マイクロ波放射計による降水強度抽出アルゴリズムの現状を国際的なレベルの研究者を招聘し、把握すると共に、その問題点を分析する。そして、本研究チームの今後の研究計画を議論し、科学的な立脚点を具体的に明らかにすることを目指す。
平成 17 年 3 月 14 日～ 3 月 15 日	第2回衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ	情報通信 研究機構	35	衛星搭載マイクロ波放射計による降水強度抽出アルゴリズムの現状を国際的なレベルの研究者を招聘し、研究発表ならびに討論を通して、その問題点を分析する。そして、本研究チームのこれまでの研究成果を総括すると共に今後の研究計画を明確にすることを目指す。
平成 19 年 2 月 1 日～ 2 月 2 日	第3回衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ	情報通信 研究機構	45	岡本研究チームが過去2回開催してきた国際ワークショップの延長上にあり、衛星からのマイクロ波放射計データ、降雨レーダデータ及び可視赤外線データを総合的に用いて降雨強度を算出するアルゴリズム、並びにそのアルゴリズムを用いて作成された全球降水マップとその利用について研究チームの過去 4 年に渡る研究成果を発表すると共に、その分野での世界の最先端の研究者の発表を聞き討議を行うことによって、今後の研究の進展を図る。

8 結び

(1) 研究目標の達成度と成果の意義

研究の目標である信頼できる衛星搭載マイクロ波放射計アルゴリズムの開発については、ほぼ達成できたと考えている。わが国にその実績が殆ど無い状態からスタートしたわけであるが、将来の GPM 衛星時代のために、わが国独自の衛星搭載マイクロ波放射計アルゴリズムが開発できたことは大きな成果と考えられる。CREST の本プロジェクトが無ければ、衛星搭載のマイクロ波放射計アルゴリズムもなく、TRMM 衛星が始まったときと同様に、米国の GPROF アルゴリズムをブラックボックス的に信じて、処理された衛星搭載マイクロ波放射計から算出された降雨量を利用するということが、2013 年に打ち上げが予定されている TRMM 衛星を継承する GPM コア衛星を初め、GPM 衛星群の時代に於いても起こることになったであろう。もちろん、究極のアルゴリズムというわけではなく、多くの研究課題が残っている。問題は、アルゴリズム開発について、どの様にして継続するかである。GPM アルゴリズムについての研究面から考えれば、アルゴリズム開発は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)または情報通信研究機構(NICT)に引き継いで継続して欲しいと考えている。開発したアルゴリズムは、プロジェクト終了後も、JAXA に移管して、Pre-GPM 時代の TRMM, Aqua, DMSPF13, F14, F15 などの衛星搭載マイクロ波放射計データの解析、ならびに将来の GPM 主衛星搭載の GMI、および 8 機程度の GPM 副衛星群搭載のマイクロ波放射計用のアルゴリズムとして利用されることになろう。このために、アルゴリズムマニュアルについても整備を進めている。

開発したアルゴリズムを用いたデータ解析とマップ作成については、現在利用可能な TRMM/TMI, Aqua/AMSR-E, ADEOS-II/AMSR, DMSP/SSM/I データのほぼすべてを利用してマップを作成してきた。これについては、当初の目標は、1998 年 1 月の TRMM データ以降を目標に考えてきたので、ほぼその目標を達成できたと考える。特に、SSM/I については、DMSP F10, F11, F13, F14, F15 データを利用して、1991 年 1 月～2006 年 12 月までの 16 年間のデータの処理を終えることができた。SSM/I は、TRMM データに比べて、アンテナ開口径の寸法が小さいため、同じ周波数のマイクロ波放射計でも、空間分解能が悪く、降雨の非一様性の影響を受けやすいという問題がある。SSM/I アルゴリズムについては、この難しい降雨の非一様性の問題についても考慮して開発を進め、ほぼ満足できるアルゴリズムを開発した。

IPWG/PEHRPP のグループに参加して、わが国周辺において、レーダー・アメダス解析雨量を用いて全世界の高時間・高空間分解能の降水マップを評価することになった。このための Home Page を立ち上げて、その結果を IPWG/PEHRPP のグループメンバーのみならず、世界の研究者に発信している。これによって IPWG/PEHRPP に貢献することができた。研究当初には、まったく予想もしていなかった研究の新しい展開であった。PEHRPP のリーダーである Phil. Arkin からは、感謝されたが、この国際貢献について、CREST の終了以降はどの様にして継続して行くのか、その方策を考える必要がある。やはり、気象庁とか JAXA とかが引き継いで欲しいと考えている。

作成した全球降水マップの重要な利用分野には、洪水の予警報がある。このためには、準リアルタイムでデータを処理する必要がある、このために、開発したアルゴリズムは、土木研究所(PWRI)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で実施している、「GPM データを想定した洪水予測実現のための降水量推定精度向上及び利用手法の検討」に関する研究に提供した。これについても、当初は考えていなかった研究の新しい展開であり、作成したアルゴリズムの利用分野の拡大に繋がってよかったと考えている。

(2) 今後の研究の展開

今後の研究の展開については、幾つかの研究課題が残っている。

地上雨量計と比較したときの地上降雨量の過少評価については、GSMaP アルゴリズムが教師役として用いた TRMM 降雨レーダアルゴリズムと軌を一にする問題であることが、最近明らかになってきた。TRMM 降雨レーダが用いている融解層よりも上空の雪の層のモデル化を正しく行う必要がある。観測データが、取得しにくい領域であるが、観測データを積み重ねて信頼できるモデルを作成し、TRMM 降雨レーダとマイクロ波放射計アルゴリズムを一体として改良する必要がある。難しい問題であるが、安直な解決法を取るのではなく、これまで進めてきた正攻法で研究を進めるべきと

考える。当チームでは、雲解像モデルの開発を活動の一環として進めてきた。現在は、観測されるマイクロ波輝度温度を説明できる雲解像モデルはまだできていない。将来のアルゴリズム開発を考えると、雲解像モデルと放射伝達方程式で用いられる降水物理モデルが乖離していない状況になることが望ましく、アルゴリズムの改良と並行して、融解層よりも上空の雪の層の状況を正しく反映する雲解像モデルの改良が期待される。

NOAA 15~18 衛星搭載の 89 GHz, 150 GHz 帯マイクロ波サウンダー(AMSU-B, NOAA18 では MHS と呼ぶ)用の GSMaP アルゴリズムについては、開発を開始したところであるが、これまでの TMI, SSM/I 搭載の 85GHz 帯の散乱アルゴリズム開発の経験を踏まえて、開発は可能と思われる。

GSMaP_MVK と地上雨量計との融合アルゴリズムについては、試行的に開発を進めたところであるが、地上雨量計データで補正をかけた MWR または MWR+(AMSU-B を加味したデータ)を入力し、赤外データによる雲移動ベクトルとカルマンフィルタを考慮した GSMaP_MVK または GSMaP_MVK+ を作成するアプローチについては、基本的な困難はない。問題は参照する信頼に値する地上雨量計データであるが、今のところ GPCC の利用を考えている。

(3) 研究代表者としてのプロジェクト運営

研究チームの運営については、チームメンバー全員が協力的であったことは幸いであった。4つのサブグループリーダーを初め、チームメンバー全員が、GPM 計画実現という共通の目的を持っていたことがその原因と考えられる。参加機関の中でも中心的な組織であった、JAXA と NICT が共に GPM 計画を推進しており、財政的に恵まれた組織であったことが、財政的な面でのチーム運営に貢献したと考える。チームメンバーは、南は NICT 沖縄亜熱帯計測技術センター、北は、北海道東海大学と地域的に広がり、東京のメンバー数が過半数を占め、大阪のメンバー数がこれに続いた。チーム全体の会合は、旅費のことを考えて、東京で開催することが多かった。NICT 沖縄は、地上レーダ観測の中心ということもあり、会合には毎回 2 から 3 名出席いただいたが、出張旅費は、ほぼ NICT で負担いただいた。また、全体会合は、JAXA/EORC (地球観測研究センター) が筑波に移転した 2006 年 11 月までは、JAXA の会議室(無料)を借りて行った。それ以降は、全体会合は、東京駅の近くの CREST「水の循環系モデリングと利用システム」の研究事務所に近い八重洲ホールを有料で借りて開催した。JAXA の会場を利用するときには、緊急なコピーとかのセクレタリーサービスも受けることができ、非常に便利であり研究推進に大いに貢献したと考える。

若手の育成が、一つの課題であったが、将来衛星のデータ解析アルゴリズム(マイクロ波放射計、降雨レーダ)の分野に貢献してくれそうな若手が何人か発掘できたことは良かったと考えている。ただ、その若手もパーマネントポジションが保障されているわけではないので、何時まで現在の研究を継続できるかは保証の限りではない。また、次世代のリーダーを育成するということも陰にやってきたが、有望な人材を何人か見出すことができたと考えている。後は、本人達の自覚を待つしかない。研究代表者としては、プロジェクト運営で努力をしたつもりであるが、リーダーというものは、うまくいって当たり前、へまをすると袋叩きになるという性格の存在であるため、周りからどのように評価されているのかは不明である。研究代表者というものは、どっしりと構えてチームメンバーのやり易いように研究をやらせ、ある程度は見えて見ぬふりをし、責任だけ取ると、いうのが期待されている姿かも知れないが、生来の隅々まで見ていないと気がすまない性格のため、細かい注文をチームメンバーに出して、かえって研究をやり難くしてしまったかも知れないと反省している。

(4) 戦略的創造研究推進事業に対する意見、要望

始まった頃は、予算執行はすべて研究事務所の直執行の形を取っていた。チームの事務のために事務員がおり、研究事務所と連絡をとって、要求書に基づき直執行で事務を進めていくやり方は、研究者が研究に専念できる非常にいい形であった。しかし、段々と受託研究の比重が高くなり、最終年度はむしろ受託研究が予算執行の主流になってしまい、これまでと予算執行のやり方が異なってしまう、非常に戸惑いを感じた。まず、4月当初からの受託研究契約が締結されず、5月半ばからようやく受託研究費が執行できるようになった。勿論これは、受け入れ側の大学の事務当局の事務能力の低さに責任の大半があることはいうまでもない。このため、結局のところ、4月には出張が出来ず、チーム全体会合が開催できなかった。最終年度は10月末に終わるため、4月からス

タートダッシュができなかったことは大きな痛手であった。また、大学の事務方と予算執行の仕方、5月、6月は何かことある度に何回も交渉することになった。CREST 受託研究費の執行マニュアルとチームメンバーのリストを経理課に持って行って、「この人は、CREST の受託研究費で依頼出張をお願いしても、JST からはクレームは付かない。」と説明することが何回も続くと、つくづく、始まった頃の直接執行制度を、なぜ最後まで継続してくれなかったのか、と思うことが何回もあった。ポストドクの出張一つを取っても、以前とくらべて煩雑な事務手続きが必要である。また、学会参加費の立替払いは、大学では基本的には認められていない。しかし、学会参加費の立替払いしか認めない学会もある。外国雑誌のカラーページチャージもクレジットカード決済を取るところが多い。このため、チーム事務員と研究代表者は、ことある度に、大学の事務方との折衝でかなりの時間を取られてくたびれてしまった。この状態は段々と緩和されてきたが、まだ続いている。多分落ち着くまでに1年は、かかるものと考ええる。

研究事務所の、技術参事、事務参事、事務の方々には、この5年間大変お世話になった。皆さん、良い方でどんなことでも良く相談に乗ってくださった。感謝している。特に、増田技術参事は、研究管理の経験を積まれた方だけあって、研究者の立場に立ってものごとを考えてくださった。何事も安心して相談することができた。よくは知らないが、研究チームとJST 本部の間に板ばさみになって苦労されることも多かったのではないかと思う。しかし、研究チームの研究成果をあげるために、我々のチームのために非常に貢献してくださったことに対して心より感謝している。この場を借りてお礼を述べたい。

英文略語表

AMSR: Advanced Microwave Scanning Radiometer
AMSR-E: AMSR for EOS(Earth Observing System)
AMSU: Advanced Microwave Sounding Unit
Aqua: Aqua satellite

BB: Bright Band

CGMS: Coordination Group for Meteorological Satellites
CMAP: CPC Merged Analysis of Precipitation
CMORPH: CPC MORPHing technique
COBRA: CRL Okinawa Bistatic Polarimetric RAdar
CPC: Climate Prediction Center
CREST: Core Research for Evolutional Science and Technology
CSI: Critical Success Index

DAAC: Data Active Archive Center
DMSP: Defense Meteorological Satellite Program
DSD: Drop Size Distribution
DVD: Digital Versatile Disc

ECMWF : European Center for Medium range Weather Forecasting
EFOV: Effective Field of View

FAR: False Alarm Rate
FDI: Flood Detection Index
FLH: Freezing Level Height
FOV: Field of View

GANAL: Global Analysis Data
GEWEX: Global Energy and Water Cycle Experiment
GPCC: Global Precipitation Climatology Centre
GPCP: Global Precipitation Climatology Project
GPM: Global Precipitation Measurement Mission
GPS: Global Positioning System
GPROF: Goddard Profiling Algorithm
GrADS: Grid Analysis and Display System
GSFC: Goddard Space Flight Center
GSMaP: Global Satellite Mapping of Precipitation
GSMaP_MWR: GSMaP_MicroWave Radiometer
GSMaP_MWR+: GSMaP_MWR+AMSU-B
GSMaP_MV: GSMaP_Moving Vector
GSMaP_MV+: GSMaP_MV+AMSU-B
GSMaP_MVK: GSMaP_Moving Vector with Kalman Filter
GSMaP_MV_RT: GSMaP_MV_Real Time
GSMaP_MV_RT+: GSMaP_MV_RT+AMSU-B
GSMaP_MVK_RT: GSMaP_MVK_Real Time
GSMaP_MVK_RT+: GSMaP_MVK_RT+AMSU-B

HDF: Hierarchial Data Format

IGES: Institute of Glabal Environment and Society
IPWG: International Precipitation Working Group
IR: Infra Red

ITCZ: Intertropical Convergence Zone
IWC: Ice Water Content
IWP: Ice Water Path

JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency
LAPS: Lower Atmosphere Precipitation Study
LIS: Lightning Imaging Sensor
LUT: Look Up Table

MGDSST: Merged satellite and in situ data Global Daily Sea Surface Temperatures in the global ocean
MRR: Micro Rain Radar

NASA: National Aeronautics and Space Administration
NCEP: National Centers for Environmental Prediction
NICT: National Institute of Information and Communications Technology
NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration
NRL: Naval Research Laboratory
NUBF: Nonuniform Beam Filling

PCT: Polarization Corrected Temperature
PEHRPP: Program to Evaluate High Resolution Precipitation Products
POD: Probability of Detection
RPF: Rainyield Per Flash
PR: Precipitation Radar
PWRI: Public Works Research Institute

RMORPH: Rain Gauge MORPHing technique
RMSE: Root Mean Square Error
RS: Rainfall Strength
RTH: Rain Top Height
RTM: Radiative Transfer Model

SPR: Stratiform Pixel Ratio
SRR: Stratiform Rain Ratio
SRT: Surface Reference Technique
SSM/I: Special Sensor Microwave Imager

TAO: Tropical Atmosphere and Ocean
TMI: TRMM Microwave Imager
TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission
TSDIS: TRMM Science Data and Information System

WCRP: World Climate Research Program
WMO: World Meteorological Organization
WPR: Wind Profiling Radar

2DVD: Two Dimensional Video Disdrometer



第1回 衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ
平成 15 年 3 月 10 日～11 日 大阪府立大学



第3回 衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ
平成 19 年 2 月 1-2 日、情報通信研究機構

←将来を嘱望される若手研究者たち



第3回衛星データを用いた降水強度抽出アルゴリズムに関する国際ワークショップ
平成 19 年 2 月 1-2 日 情報通信研究機構 (若手リーダー達)



ある日の研究チーム全体会合(平成 19 年 8 月 21 日)の集合写真:この日は、欠席が多かった。
(欠席者:牛尾、永戸、沖、清水、佐藤、中川、花土、井上)



うーん、青梨アルゴリズムは難しいな！



発表を熱心に聞いている風景