

第1回熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 国際科学会議報告*

中澤哲夫*¹・佐藤晋介*²・沖理子*³・重尚一*²
 広瀬正史*⁴・増永浩彦*⁵・高藪縁*⁶・清水収司*²
 牛尾知雄*⁷・可知美佐子*²・別所康太郎*¹・大野裕一*⁸
 井上豊志郎*¹・中村健治*⁹・久保田雅久*¹⁰・尾瀬智昭*¹
 謝尚平*¹¹・児玉安正*¹²

1. はじめに

第1回熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 国際科学会議が、2002年7月22日から26日にかけて、米国ハワイ州のハイアット・リージェンシー・ワイキキで米国航空宇宙局 (NASA) と日本の宇宙開発事業団 (NASDA) の共催で開かれた。米国、日本を中心に、世界10か国、200名の参加があった。TRMM は、1997年11月に種子島から打ち上げられた、熱帯の降雨を測定する衛星で、すでに5年近くにわたって観測を続けている。TRMM がユニークなのは、降雨レーダを搭載していることである。世界で初めての衛星搭載レーダにより、宇宙から降雨の三次元観測が可能となるとともに、同じプラットフォーム上のマイクロ波放射計から推定される降雨精度の向上にも大きく貢献している。

今回の会議では、降雨レーダを中心に、TRMM に搭載されているマイクロ波放射計 TMI、可視赤外放射計 VIRS による研究の成果発表が行われたが、そのほか、地上レーダや集中観測で得られたデータに基づく地上検証研究結果についても多くの発表が行われた。

本報告では、この会議で発表された研究を概観する

第1表 TRMM データの種類 (本文中に出てくるもののみ)。

1B11: TMI 輝度温度軌道データ
2A12: TMI 降雨強度分布軌道データ
2A25: PR 降水強度鉛直プロファイル軌道データ
3A11: TMI 月積算降水量分布格子点データ

とともに、会議に先立って行われた全球降水観測計画 (GPM) の雲・放射モデリングワークショップの内容と、日米合同 TRMM サイエンスチーム (JTST) 会合の内容にも触れて、学会員の皆様に情報としてお伝えするものである。尚、文中に2A12等、TRMM のデータ識別符号が幾つか出てくるが、意味については第1表を参照してほしい。(中澤哲夫)

2. GPM 雲・放射モデリングワークショップの報告

標記の会議 (GPM Coupled Cloud-Radiation Modeling Workshop) は、GPM における降雨量推定アルゴリズムに必要となる「雲・放射モデル」に関する議論を目的として、TRMM 国際科学会議の前々日と前

* Report on the 1st TRMM International Science Conference.

*¹ Tetsuo NAKAZAWA, Kotaro BESSHO, Toshiro INOUE, Tomoaki OSE, 気象研究所.

*² Shinsuke SATO, Shoichi SHIGE, Shuji SHIMIZU, Misako KACHI, NASDA/EORC.

*³ Riko OKI, NASDA.

*⁴ Masafumi HIROSE, 名古屋大学理学研究科.

© 2003 日本気象学会

*⁵ Hirohiko MASUNAGA, 米国・コロラド州立大学.

*⁶ Yukari TAKAYABU, 東京大学 CCSR.

*⁷ Tomoo USHIO, 大阪府立大学.

*⁸ Yuichi OHNO, 通信総合研究所.

*⁹ Kenji NAKAMURA, 名古屋大学地球水循環研究センター.

*¹⁰ Masahisa KUBOTA, 東海大学.

*¹¹ Shang-Ping XIE, ハワイ大学・IPRC.

*¹² Yasu-masa KODAMA, 弘前大学.

日に開催された。GPM では、TRMM 衛星の後継機にあたる二周波降水レーダ搭載の主衛星とマイクロ波放射計を搭載した8機程度の副衛星群によって全球の降水分布を3時間毎に観測することを目標としており、2007年頃の実現を目指している。現在の衛星搭載マイクロ波放射計 (TMI など) で用いられている降雨量推定アルゴリズムでは、雲解像モデル (CRM) で得られる降水プロファイルからの放射や散乱をあらかじめ計算してデータベースを作成し、観測された各チャンネルの輝度温度から最も適切な降水プロファイルを求めている。そのため、推定降雨量の誤差原因の多くは、モデルやデータベースの不完全性によるものと考えられている。そこで本会議では、GPM 実現の為に、どのような研究が必要であるかというテーマのもとで、14件の発表と総合討論が行われた。

野外観測に関する研究報告では、Rosenfeld (イスラエル・ヘブライ大学) が45 m/s を超える上昇流を伴う対流雲コア内部での航空機による直接観測結果から、 -15°C の高度までは液体の雲粒子が卓越しており、その上層でも霰粒子に混ざって -37.5°C までは液体の雲粒子が存在したことを示した。Houze (米国・ワシントン大学) は、地上偏波ドップラーレーダ観測から、地形性降雨は融解層の役割が重要であり、その上部にはほとんど対流が見られないことを示した。Im (米国・NASA/JPL) は、航空機搭載二周波レーダ (14/35 GHz) の観測データから降水粒子の平均粒径を算出できることを示した。

数値モデルに関する研究報告では、Tripoli (米国・ウイスコンシン大学) がビン法を用いた CRM の紹介を行った。彼の方法では、rimed (凍結氷)/aggregate (雪片)/graupel (あられ) の3タイプに分類した水粒子と雨粒子をそれぞれ24の粒径 (ビン) に分類している。W.-K. Tao (米国・NASA/GSFC) は、雲物理プロセスと潜熱加熱プロファイル (Q1, Q2) の関係や、冬季日本海の降雪雲のシミュレーション研究計画について報告した。

総合討論では、マイクロ波放射計のアルゴリズムを改良するために、何をすべきかという議論が行われた。主要な問題点は、GPM のアルゴリズムに用いられるデータベースの構築には、海洋性、大陸性、地形性といった多くの降水システムを低緯度から高緯度までの様々な環境場でシミュレーションする必要があるが、それらを5年後に迫った GPM 時代までに如何にして実行し検証するのかということである。結局のところ、

TRMM 観測データの解析、CRM の雲物理過程モデリングの改良、地上検証実験で観測された雲システムのシミュレーション、現実的な融解層モデルの構築、そしてアルゴリズム開発といった各々の研究テーマを、それぞれの研究者が地道に進めて行くしかないというのが、筆者が感じた結論である。(佐藤晋介)

3. 基調講演

TRMM 国際科学会議は、日米の TRMM プロジェクト・サイエンティストである Adler (米国・NASA/GSFC) と中澤 (気象研究所) 両氏の挨拶の後、Asrar 氏 (米国・NASA) の基調講演で始まった。博士は、1960年代~1980年代を「(地球衛星観測) 可能性の探索期」、1990年~2000年を「地球システムの調査期」と位置づけて NASA の地球衛星観測の歴史を振りかえり、2000年~2020年は国家の政策決定に必要な情報提供を目指すとして述べた上、TRMM を「地球システムの調査期」における画期的衛星と評価し、TRMM の成功を受けて高緯度までカバーすることが計画されている GPM は、社会の様々な分野に貢献するだろうと述べた。一方、片木嗣彦氏 (NASDA) は、日本が開発した世界初の衛星搭載型降雨レーダー (PR) による成果を中心に紹介する基調講演を行い、2002年5月に NASA Aqua 衛星に搭載されて打ち上げられた AMSR-E、及び今秋打ち上げ予定の NASDA ADEOS-II 衛星に搭載される AMSR といった NASDA が開発したマイクロ波放射計と TRMM を結合させることによる水循環の解明、及び GPM における日米協力関係のさらなる発展への期待を述べた。(沖 理子, 重 尚一)

4. セッション1 (降水気候学)

「Precipitation Climatology」と銘打たれた最初のセッションでは、降水形態を広く捉えることにより可能となった降水の統計的な解釈について論じられた。本セッションは開拓されつつある「降水気候学」に注目したいが、むしろ、多くの研究者が包括的に見ておきたい TRMM プロジェクトにおける骨太なキーワードが集められた感があった。

始めに Houze (米国・ワシントン大学) により、種類別の降水分布とそれが熱源や風に与えるインパクトについての研究が紹介された。これは層状性降雨の占有率の地域的差異に焦点を当てたものであり、降水の3次元構造の観測が降雨タイプ識別の信頼性を高めたことに基づく展開である。降水イベントの水・熱収支、

およびその作用について多くの研究者が興味を寄せており、こうした降水の気候学的特徴について今後一層の発展が感じられるトピックであった。続いて Chiu (米国・ジョージメイソン大学) は複数センサーによる海陸における降水の日周期変化の観測結果を示した。Berg (米国・コロラド州立大学) は複数のアルゴリズムにおける様々な降水レジームに対する偏差を列挙し、降水観測がより高い精度を要求する段階にあることを述べた。中村 (名古屋大学) は初の衛星搭載降雨レーダ (PR) がもたらした降水観測と今後も GPM など鍵となるマイクロ波放射計 (TMI) による降水観測のそれぞれで推定される降水強度の違いを季節・水平分布、または降水レジームの違いについて発表した。Berg や中村に示される絶対的な真値を求めるスタイルは、地上検証だけに頼らずにアルゴリズムの手順、現象の解釈を泥臭く探ることの重要性を感じさせた。Atlas により、TMI と PR の二者択一するならばどちらを取るか、という確信的質問が出たが、差異の明瞭な認識がなされ、更なる降水リトリバルの追求に融合的検討が必要である現在では、単独の観測結果にこだわらずに各々の魅力を尊重するという見解が大勢としてすでに定まっているように感じられた。またこれらの議論は各センサーによる降水観測がそれだけの精度に至るレベルであることを再認識させるものでもあった。続いて、現在熱気を帯びている熱源推定というトピックの代表として、Tao (米国・NASA/GSFC) が 5、6 の提案がなされている各アルゴリズムの現状を述べ、今後の展望として相互の比較研究の重要性を強調した。午前最後は Huffman (米国・NASA/GSFC) が TRMM ベースの短時間世界降水分布の開発に関しての発表を行った。

観測機器や降水レジーム、リトリバルの特性に関するこれらの議論はいまだ渦中にあるものが多く、統一的な見解が生み出されたわけではないが、方向性をもたなくてはいけない重要なテーマであり、その論議ひとつひとつが発展しつつある降水観測の現状のように感じられた。(広瀬正史)

5. セッション2 (降水特性-リトリバル)

セッション2 はまず、チェアの1人 Negri (米国・NASA/GSFC) に「我々のヒーロー」と紹介された Kummerow (米国・コロラド州立大学) による講演で始まった。彼は続く Wilheit (米国・テキサス A & M 大学) と共に TMI 降水量アルゴリズム (2A12 および

3A11) の開発責任者であり、それぞれのアルゴリズムに内在する不定性要因を定量化する試みを紹介した。一方、PR レベル2アルゴリズム (2A25) 開発責任者である井口 (通信総合研究所) はアルゴリズムの話題から離れ、エコーの含まれていないレーダ・データを用いて PR を放射計として利用する可能性を議論した。続くポスターセッションの発表では、以前のように米国側と日本側でそれぞれ TMI と PR に偏りがちな傾向が薄れ、特に米国サイドの研究者が積極的に PR データを使い始めている印象を強く受けた。

後半セッションではまず、岡本 (大阪府立大学) が PR エコー入射角を適切に選ぶと極めて安定した海面反射エコーが得られること、また PR を一種の散乱計として用い海上風速を推定する手法を提案した。続き、清水 (米国・NASA/EORC) は TRMM 衛星軌道変更前後における PR 感度の変化を示し、予想された程度を超える変化は見られなかったことを確認した。Grecu (米国・コネチカット大学) は、PR と TMI の複合利用により降水量を推定する試みを紹介し、ハリケーンの観測例を元にその成果を発表した。佐藤 (通信総合研究所) は PR データに基づく潜熱加熱プロファイル推定手法を提案し、既存の力学モデル等に基づくデータベースを必要としない独自のアルゴリズムとその適用結果を示して、セッション2 は終了した。

(増永浩彦)

6. セッション3 (対流システム)

このセッションでは、雲の微物理からメソスケールの組織化、さらに Madden-Julian 振動 (MJO) までの話題が提供され、「対流システム」が非常に広い時間空間スペクトルで把握しなければならない特性を持つことをよく示していた。

まず、Atlas (米国・NASA) 他は、レーダー観測と航空機による粒径分布・粒子特性の観測から、雲内の微物理特性と流れ場との明瞭な対応関係を示した。特に、雨滴の落下速度と上昇流とが釣合う「バランスレベル」で雲微物理過程が平衡状態にあることを印象的に示した。大陸性・海洋性ストームに初期からの温度や雷の相違がある訳ではなく、熱帯大陸性の強いストームも発生初期には暖かい雷の少ないステージを経験した後に冷たく雷の多い段階に移行するという変遷を強調した。

Zipser グループの Nesbitt (米国・ユタ大学) は、PR データと TMI の水散乱情報とを併用し、個々の降水

システムを、氷晶過程の有無およびその空間サイズで分類したデータベースを作成した。このような降水システム特性の詳細な把握が陸上の降水量推定のバイアスの解消に役立つと主張した。Cieselski (米国・コロラド州立大学、筆頭は Zhang (米国・SUNY at Stony Brook)) は、SCSMEX, KWAJEX 等の TRMM フィールドキャンペーンの様々な観測データを総合的に解析する手法を示した。

コロラド州立大学の R. Johnson 他は、SCSMEX 観測でのメソシステムの組織化形態と中層・下層のシアとの関係について報告した。南アジアモンスーンオンセットの場でも、赤道域の TOGA-COARE で見られたものとよく似たメソスケール構造が現れていることを示した。面白かったのは、対流性降雨の割合が、中下層共に弱シアでは80%弱あったのに対し、中下層共に強シアの場合では61~66%、下層弱シア・中層強シアでは59%と、環境シアと降水活動特性との顕著な対応であった。これが対流システムのライフサイクルとどのように関係しているのか興味深い。

続く Lin (米国・NOAA-CIRES CDC) 他は、アンビル降雨が MJO 降雨の50%以上を占めることを示し、TOGA-COARE で観測された MJO のトップヘビーな大気加熱構造をこれで説明した。現在の GCM が現実的な MJO を再現できない原因は、対流システムのアンビル降雨を表現できないからだろうと主張した。

Viltard (フランス・CETP/CNRS) 他は、西アフリカ2004~05年に実施される「アフリカモンスーン」野外キャンペーンに向けて、PR と TMI とを合成した降雨データベースの構築について講演した。Rosenfeld (イスラエル・ヘブライ大学) は、雨滴粒径分布 (RSD) と降雨強度との関係について過去の文献を総ざらいし、同じレーダー反射強度 (Z) に対し、海洋性は大陸性の3倍、地形性は海洋性のさらに4倍の降雨強度があり、層状性降雨は海洋性対流雨の2倍であるという結果を示した。そして TRMM VIRS データから雲の微物理特性を決定し変動的 Z-R 関係を導入すれば、降雨量推定のバイアスをファクター2~4解消できると主張した。(高藪 縁)

7. セッション4 (水循環に関するモデリングと解析研究)

2日目の午後に行われたセッション4では海面水温と水蒸気場や降水との相互作用についての発表や、

TRMM データを用いた全球モデルの検証や雲パラメタリゼーションの向上についての発表など8件の報告があった。その中では Hou (米国・NASA/GSFC) からは、TMI データを用いた4次元同化によるハリケーンの予測についての報告があり、着実に予測精度の改良が進んでいることが示された。

ポスター発表は事例解析的な研究を中心に20件の報告があった。これまではグローバルデータを用いた解析か、ポイントでのデータ検証的な解析が多かった印象があるが、今回は TRMM データをインドやチベットなど、特定の地域の降水現象を対象とした解析的研究が多く目に付いた。Shepherd (米国・NASA/GSFC) の都市領域での降雨分布についての発表は、最近ヒートアイランドの影響について話題になっていることもあり、興味深かった。TRMM データを用いた解析についてはサンプリングの問題もあり、まだ初期結果のようなのだが、今後の研究の進展に期待したい。

(清水収司)

8. セッション5 (降雨特性一解析)

最初に、ヨーロッパの TRMM 研究プロジェクトである EuroTRMM の活動内容が報告された。EuroTRMM は、BAMPR 及び PATER という TMI 降水アルゴリズムを独自に開発し、これらの降水プロダクトを ECMWF モデルに4次元同化することを目指していた。

Song Yang (米国・メリーランド大学 JCET) は、TMI2 A12のアルゴリズムである GPROF の潜熱加熱推定について発表した。推定された熱帯の潜熱加熱プロファイルは、下層と中層にダブルピークを持っており、ゾンデ観測を用いた診断的研究で得られてきた上層にシングルピークを持つプロファイルとは異なっていた。

Shige (NASDA/EORC) は、CRM で作成した潜熱加熱プロファイルの Look-up テーブルで、PR 観測データから潜熱加熱プロファイルを推定する SLH アルゴリズムについて発表した。1998年2月の PR データに適用して、Tao らの3つの潜熱加熱アルゴリズムと比較し、SLH アルゴリズムのみが大西洋上で浅い加熱プロファイルを推定し、GATE の観測結果に似ていることを示した。

ポスター発表では、Takayabu (CCSR) が、SLH アルゴリズム Look-up テーブルの一般性を調べるために TOGA-COARE 及び GATE シミュレーションそ

れぞれからの Look-up テーブルを比較し、浅い対流加熱で差異が見られること等を示した。(重 尚一)

セッション5の後半は、講演者は全部で3人で、Fu (米国・フロリダ工科大学) 他による PR/TMI による東アジア地域の降雨特性、河崎 (大阪大学) ほかによる PR/LIS データを用いた解析結果、Williams (米国・MIT) ほかによる陸域と海域の雷活動の差に関する発表が行われた。

Fu ほかは、2A25, 1B11 データによりインド、中国、インドネシア周辺地域において、対流性・層状性降雨の割合の季節的变化、鉛直プロファイルが異なること、輝度温度対降雨強度の関係が降雨タイプ別に異なることなどを報告した。これらの差異がなぜ生ずるのかについての考察の時間は短く、主に観測事実が指摘された。河崎ほかの発表は、PR/LIS のデータ解析によって得られた3つの結果についての報告であった。インドネシア付近での雷活動がエルニーニョの時期の方が、ラニーニャの時期より活発で、これは降水のパターンと反することが指摘された。また、冬季の日本付近の雷活動について、日本海沿岸地域より太平洋側の沖合の方が雷活動が活発であることが指摘された。さらに、雷雲の放電頻度と雷雲高度のグローバル関係式において、雷放電を伴わない積乱雲を考慮に入れるべき指摘がなされ、このことを考慮した関係式が提案された。Williams ほかは、陸上と海上における放電頻度が大きく異なる点に関して、エアロゾル及び熱力学的効果の検証を行った。様々なサイズの島、群島を対象にして、その表面積と放電頻度が一次に比例することを示し、熱力学的効果の方が、エアロゾル効果に比べて放電生成に寄与することを示した。筆者には、基礎的かつ目新しく感じられ、会場の反応も大変良かった。

(牛尾知雄)

9. セッション6 (海洋陸面解析) 及びポスターセッション6P (気候解析)

3日目の24日午後に行われたセッションでは、7件の口頭発表と約20件のポスター発表があった。口頭発表のセッション6は、TRMM 研究の中では少数派に属する、海域・陸域研究者によるアルゴリズム開発や解析研究の発表、ポスターは降水量解析などを中心とした、気候に関連した解析研究の発表がまとめて行われた。

初めに、Wentz (米国・リモート・センシング・システムズ) が、TRMM の軌道高度変更後から2002年11

月末までの期間に見られた、姿勢制御情報のエラーによる TMI レベル1輝度温度と海面水温・海上風速等の物理量算出への影響およびこれらのエラーの除去方法について報告した。また、Liu (米国・NASA) は、TMI や QuikSCAT のデータを利用し、台風通過の際の例などを交えて、水蒸気輸送と風速ベクトル、降水量の関連を示した。Nonaka (地球フロンティア研究システム、ハワイ大学) は、TMI データやプイ、NCEP 再解析データなどを用いた解析を行い、黒潮の経路変化と海面水温・海上風速変動との関連性を示した。Xie (米国・ハワイ大学) は、TMI の海面水温や雲水量、海上風速データなどを用い、ハワイ諸島において風下遠くまで島の効果が見られることを示した。

Jackson (米国・農務省) は、Aqua 搭載 AMSR-E および ADEOS-II 搭載 AMSR 用に開発されたアルゴリズムを TMI の10 GHz に応用して土壌水分量分布を算出し、南部アメリカの地上検証サイトのデータを用いて検証した。Kachi (NASDA/EORC) は、TMI による海面水温の算出と、今年末打ち上げ予定の ADEOS-II 衛星の時代に向けて、マイクロ波センサと赤外センサによる海面水温を複合した新たなデータセットの作成プロジェクトについて報告した。Lin (米国・NASA) は、数少ない CERES データを利用した研究発表であり、海面水温と熱帯のかなとこ雲の変動との関連について解析結果を発表した。(可知美佐子)

10. セッション7 (降水系と暴風雨)

口頭発表では、まず Halverson (米国・メリーランド大学) が各種衛星データとモデルの結果を用いて、ハリケーンの発生・発達にメソスケールの渦の相互作用が重要であることを示した。彼らはハリケーン Floyd (1999) や TD2 (2000) の解析を行い、深い対流よりも渦の結合の方がそれらの発生・維持により大きな役割を果たしていることを主張した。これらは、これまでの研究結果と大きく異なる結論である。続いて、Hawkins (米国・NRL) が、NRL で開発した熱帯低気圧の準リアルタイム画像データベースの紹介を行った。このデータベースは、静止気象衛星の可視・赤外画像に加えて、TRMM・TMI や DMSP の SSM/I, NOAA の AMSU といったマイクロ波放射計の画像を、各熱帯低気圧について自動的に収集し、公開している。現業と研究、両分野での利用を見込んだもので、インターネット上で米国海軍の気象センターにより運営されている。このデータベースのアドレス

は http://kauai.nrlmry.navy.mil/sat_products.html である。

Braun(米国・NASA/GSFC)は、ハリケーン Bonnie (1998) について、MM5を用いて多重格子 (one-way) で台風中心の水平解像度を 2 km にして行ったシミュレーションをポスター発表した。ちなみにボーガスは 4DVAR で同化したとのこと。TRMM・PR の画像とシミュレーションの結果を比較すると非常によく再現されていることがわかった。さらに、台風の眼の壁雲付近に吹き込む風について、トラジェクトリー解析を行い、従来いわれてきた眼の周囲を旋回しながら順調に上昇していく (one-step) 粒子ばかりでなく、眼の周辺に存在する対流抑制域で上昇を制限されつつも、次の対流雲域で上昇を再開する (two-step) 粒子も存在し、その割合はむしろ one-step のものより多いことを示した。(別所康太郎)

11. セッション 8 (降雨の特性—地上検証実験)

このセッションは主として、TRMM の地上検証サイト (Texas, Florida, Brazil, Kwajalein) 等で取得されたデータを使った降雨の特性に関する解析結果が報告された。降雨の特性はセッション 3, 5 でも取り上げられているが、ここでは降雨粒形分布や雲の微物理など、微に入り細にわたった専門的話題が多かった。Stith (米国・NCAR) は航空機による観測から、氷雲内の上昇流の強いところでは粒径が小さく、弱いところでは粒径が比較的大きいという結果を示し、内陸域でも海洋域でも同様な傾向であると報告した。Smith(米国・NASA/GSFC)は TMI による降水量算定アルゴリズム (特に氷晶過程) の問題点を指摘して、飛行機や地表の検証実験結果をアルゴリズム改良に取り入れる必要性を述べた。高橋 (桜美林大学) は東南アジアでのビデオゾンデ観測結果から、海洋大陸域であられと氷晶が多く、雷が多いという帯状の地域分布があることを示した。Williams(米国・コロラド大学)は鉛直固定の UHF レーダと水平走査する S 帯レーダの降雨の鉛直プロファイルを相互比較し、きちんとレーダ較正して、PR の検証を行っていた。Yutter(米国・ワシントン大学)は、Kwajalein 付近の降雨と赤道波の関係、中緯度からの影響など、大規模場からみた解析を示した。ポスターセッションでは、降水量推定、降雨・氷晶の粒径分布、Z-R 関係、レーダの較正、層状性、対流性などの降雨分類などが主な話題であり、地上・航空機レーダ、ウィンドプロファイラ、マイク

ロ波放射計、降雨粒形分布計、航空機による粒子の直接観測などを組み合わせた解析が行われていた。しかし、残念ながら TRMM データを地上観測と比較している発表がこのセッションでは少なかった。

(大野裕一)

12. セッション 9 (気候解析 2)

最終日の気候解析 2 のセッションでは多様なトピックス 9 件の口頭発表があった。Takayabu (CCSR) の PR による対流性降雨と層状性降雨の降雨強度ごとの鉛直プロファイルの解析や陸域、海域での違い、日変化など多岐にわたる解析に、Atlas(NASA/GSFC)は賞賛のコメントを述べた。Vecchi (米国・NOAA/PMEL) は TMI を用いてベンガル湾の SST とモンスーンブレイクについて解析した。ベンガル湾の海面温度はモンスーン期間中雲がなかなか取れず赤外での算定は難しかった。TMI あつてのテーマであり面白いと思った。ただ、雲域での SST の精度について誰か調査すべきではないかと感じている。Chang (米国・NASA/GSFC) は Drizzle のような降水がどれほど TMI や IR で観測できるのか PR の観測を TMI や IR 閾値法で検証しようとしていた。浅い対流雲からの降水について、どの程度の雲が降水を伴っているのか個人的には興味があった。しかし、わたしも含めてアプローチの仕方に疑問をもつ人が多かったようだ。関連して、Schumacher (米国・ワシントン大学) は東部熱帯太平洋の浅い対流からの Drizzle は層状性降水ではなく対流性降水であると主張していた (これまでの PR の解析によると、この領域の降水タイプは層状性になっている)。Sumi (CCSR) はサハラ砂漠での降水というテーマにチャレンジした。モデルではなかなか再現できないこの領域の降水のメカニズム解明のためにはじめたテーマとのことである。LIS の解析でも結構雷が観測されており、砂漠は降水研究の上でも面白そうな地域でありそうだ。気候モデルではアマゾンの森林破壊が降水のタイプを変え、ひいては大気大循環を変えてしまうという結果が出ている。Negri(米国・NASA/GSFC) や Changnon (米国・MIT) が衛星観測からこの問題に取り組んでいた。TRMM などの観測から森林破壊域と森林域での降水の違いを見出すのは難しそうであるが、森林破壊域では降水が多く、森林域では少なく、日変化の振幅も地上の状態と異なることが報告された。(井上豊志郎)

13. JTST 報告

会議途中の23日の夜、日米間で TRMM についての現状や今後の方向を議論する日米 TRMM サイエンスチーム会合が行われた。米国の TRMM プログラムサイエンティストの Kakar から、米国が新たな研究公募をもうすぐ、TRMM だけでなく、雨をテーマに発出する準備を進めていることを紹介。米国にとっては、TRMM から GPM へと動いている流れの中で、当然の方向かと思った。議題で重要だったものは、新しいプロダクト、バージョン6の改訂スケジュールを決めることと、米国から提案のあった潜熱鉛直分布の格子点データ作成。まずバージョン6の改訂スケジュールは、当初今年11月から再処理がスタートする予定だったが、ちょうど半年遅れ、来年5月から再処理を実施することとなった。潜熱加熱量の算出は、TRMM がスタートしたときから、科学的目標の1つに挙げられていたものなので、実現まで来たことそれ自体は喜ぶべきことだが、問題はどの程度もってもらいたいものとなっているか、ということだろう。今回提案された標準プロダクトのうち、マイクロ波放射計のプロダクトのレベル2 (軌道ごとのデータ) については、承認されたが、レベル3 (格子点、月平均) については、日本側から時期尚早との意見が出され、標準プロダクトとしては処理しないこととなった。(中澤哲夫)

14. 感想1

TRMM が1997年に打上げられて以来4年半が経ち、成果も順調に出てきている。日本、米国とも地道な成果が数多く出されたといえよう。PR については PR チームまた NASDA の結果に対し批判的意見は全く無く、良くやっている、という評価である。軌道変更に伴う PR データの検証についても地道ながらしっかりとした発表が清水(NASDA)からなされ、PR の技術的成功がさらに強調された結果となっている。検証に関しては米国は PR についても地上レーダ等との比較などを地道に行っており、日本側はいささか遅れをとっている。アルゴリズムに関しては、それぞれのセンサーアルゴリズムについては行き着くところまでいった感がある。既に始められているが、相互のデータ比較、特に TMI と PR のデータ比較による tuning や融合に向かっている。降水システムについてはエルニーニョとラニーニャ時の太平洋の降水域の降雨形態の差異が TMI と PR に現われている、など、世界の降水形態の研究が進みつつある。またデータ同化により

短期予報に良いインパクトのあることが示されているが、これは海上の可降水量など、データの少ないところにデータを入れたためであり予報精度が向上したことは当然ではあるがモデルとの比較は不十分である。TRMM は降水システムの1スナップショットを出力するだけなので、メソ降水モデルとの直接の比較は無理である。TRMM の大きな成果は、降水分布の高精度化というもともとの第一目的とともに、降雨の頻度、広がり、高度などの降雨形態の気候値を出力した、という点にあると考えるが、後者について TRMM と直接に比較できるようなモデル結果はまだ不十分である。高い空間分解能を持ち、降水システムを直接表現する全球モデルの結果が早く出てくることを期待したい。今回のコンファレンスの1つの目玉は潜熱放出プロファイルの導出である。様々な手法が提案されているが、大雑把に言えば、深い対流、浅い対流、総観規模擾乱に伴う対流、など降水システムの形態それぞれのモデルからの潜熱放出プロファイルと、TRMM から得られるそれら降水システムの形態の世界的分布とを使い、潜熱放出プロファイルの世界分布を出すのである。いずれにせよ間接手法となるため、私は TRMM 本体としてはある程度のものしか出せないと考えている。それでも、これは積雲降水活動と大規模場との関係を考える上で基本的に重要な結果となり得る。(中村健治)

15. 感想2

この会議に参加して個人的に一番強く感じたのは、座り心地の悪さのような違和感でした。それは、基本的に、自分が気象ではなく、海洋を専門としていることと、海洋関係の参加者が非常に少なかったことに起因しているのでは無いかと思われます。事実、発表の多くは、大気中の現象に関係するものが多く、降水量のバリデーションについてですら、海上での結果に関する研究発表は1件しかありませんでした。これは、海上での降水に関する研究が、実際に、ほとんどなされていないことを意味するののか、それとも、研究はもっと多く行われているのだが、この会議には研究者が参加していないのか、一体、どちらなのでしょう。前者ならば、もっと活発に研究を進めるべきでしょうし、後者ならばそういった研究者のこの会議への参加を今後は強く勧めるべきでしょう。また、違和感を感じたもう1つの理由が存在します。それは蒸発量や淡水フラックスに関連した発表もほとんど無かったことで

す。TRMM 衛星の目的は地球上での水循環を理解することが目的であると考えられますが、水循環は降水だけで成り立っているわけでは無く、蒸発も重要な要素です。それにもかかわらず、蒸発、そして、降水と蒸発の両者から計算される淡水フラックスの研究に関しての発表が、皆無であったことには、少し驚くとともに、それについて発表した自分にとっては違和感がありました。海上での蒸発に関するデータセットの作成や解析は、我々のグループ以外に、ドイツのハンブルグ大学やアメリカのゴダード航空宇宙センターでも行われていますから、将来的には蒸発や淡水フラックスに関係した研究発表がこの会議でも、もっと増えることが期待されます。私が違和感を感じた状況は、今回の会議が、TRMM に関連した初めての国際会議だと聞いて、うなずけるものでもありました。今後は、参加者の携わる分野が急速に広がっていくでしょうし、地球上における水循環の理解のためには、そうならなくてはならないと強く感じました。(久保田雅久)

16. 感想3

TRMM を特徴づける降水現象の解析については、今回の会議では Takayabu (CCSR) や Kawasaki ほか (大阪大学) によって研究発表がなされ、新しい観測手段利用のインパクトを見ることができた。他の研究者も TRMM データをうまく自分の研究に利用しているのが印象的であった。Sumi and Harada (CCSR) のサハラ砂漠の降水現象の解析は、TRMM (PR) 観測の特徴を利用したアイデア研究といえる。Fowler and Randall (米国・コロラド州立大学) は、GCM において浅い対流と深い対流の外力に対する応答時間を前者は短く後者は長くすることによって、TRMM・PR 観測と比較できるブラジルの降水日変化を再現し、対流スキーム中の不確定なパラメーターの範囲について知見を得ている。Li, Takacs and Hou (米国・NASA) は、GCM において降水粒子のデトレインメントとその蒸発スキームのチューニングによって、対流現象に伴う層状性降水を再現していた。このようなことができるのも、TRMM・PR によって対流に伴う層状性降水量なるものが観測できたからである。

幅広い研究分野の発表の一方で、発表そのものが他分野の研究者向けといった印象がある。しかし、私のように、気候モデルまたは気候系の一部として、もっとも(時間的に空間的に理論的に現象的に)粗視化し

て降水現象を見る立場からは、降水現象に関係した広い分野の最新の研究をサマリー的な形で知ることができるのは非常にありがたく興味がある。たとえば、Kawasaki and Yoshida (大阪大学) は、エルニーニョ時の乾燥気味のインドネシアで雷、すなわち背の高い、水からなる対流が多いことを示していた。このことは対流現象と水蒸気の関係を考えるうえで興味深い。さらに Williams and Chan (米国・MIT) は、陸上で雷が多いのは熱的効果かエアロゾルの効果かという問題設定を行い、熱的効果であるという解答を得ている。また、雲物理についても、最新の観測データの解析を説明付きで知ることができたのはありがたい。

(尾瀬智昭)

17. 感想4

地球物理学の進歩・革命は新しい観測手法の出現によることが多い。最近急速に発達してきた衛星マイクロ波観測がこのような革命的な性質も持っています。4年前に可知さんの学会発表で、雲の影響が殆どない TMI SST 分布図を初めて見た時、すごく感動したのを覚えています。TMI は海面水温、海上風速、水蒸気量、雲水量と降水を一緒に計って、日本では EORC、またアメリカでは Wentz 氏の努力によって、これらの計測値がきれいにグリッド化されており、鉛直レベルがないことを除いて、GCM 出力と何も変わりがない使いやすさです。海面散乱計や海面高度計など他の衛星観測と組み合わせ、大気と海洋が互いに作用し合い、風や雲、降水などの空間分布・時間変化が作られているか、といった研究には絶好なデータセットとなっています。TMI SST データを使った発見的研究は高藤さんたちの99年の論文を始め、Nature や Science 誌に次々と発表されています。

この期待とは裏腹に、海洋・気候関連の発表は少なかった(20件程度)です。考えてみると、TRMM はあくまでも雨が中心であるほか、衛星観測の可能性が気象・海洋解析研究者の間でまだ認識されていないからだと思います。今 NCEP などの再解析データが出回っている中、衛星観測として OLR しか浮かばない解析屋さんが多いと思います。衛星観測はまだ未熟で期間も短いし、自分の研究に関係ないと思っているようです。しかし、NCEP 再解析データのユーザは世界中何千も数えられ、新しい発見をするのは相当難しいと思います。一方、衛星観測はユーザ、特に気象・気候学的ユーザの数がそれより一桁も二桁も少ないし、今ま

でデータの少ない海上を高頻度に観測してくれているので、発見的研究ができるチャンス(情報量/ユーザ数)が非常に多いと思います。(謝 尚平)

18. 感想5

TRMM-PR データによる Latent Heating の評価に強い興味があり会議に参加しました。日本からは、この評価に関連して、佐藤、及び、重と高藪が、それぞれ特徴のある方法を発表し、高い関心を呼んでいたと思います。米国の Tao (NASA/GSFC) のグループにより、Cloud Resolving Model と南シナ海、アマゾン、中部太平洋で行われた TRMM のキャンペーン観測の結果を有機的につないで、Latent Heating の評価に関連する発表が数多くなされていましたが、組織的な研究とその進展の早さに舌を巻きました。GAME 強化観測期間 (IOP) でもアジアモンスーンの複数の領域で重要なデータが得られていますが、TRMM と GAME を結びつけた研究はまだあまり行われていません。次の機会には自分でもなにか発表したいものです。GAME では再解析データが作られ、データから熱収支、水収支的に求められる Q1, Q2 の解析がモンスーンシステムの理解のために行われつつあります。私は、PR 観測から導かれる Latent Heating と Q1, Q2 をどのように結びつけるかに興味があるのですが、Q1, Q2 はあくまでみかけの熱源、水蒸気シンクであって、熱・水蒸気の渦鉛直輸送の発散も入っていることに注意する必要があります。渦鉛直輸送の効果は PR では観測することはできませんが、PR 観測を Q1 のモニタリング等に役立てようなどと考えるのであれば、この効果を評価し、その素性を良く知っておくことが課題となると思われます。この問題に Cloud Resolving Model を使って取り組むというのも方法の一つかもしれませんが、やはり直接的な観測データをもとに議論したいところであり、日本とインドネシアによる赤道大気レーダー (EAR) のプロジェクトで、短い時間間隔で鉛直流や気温、水蒸気プロファイルの観測が行われるので、このデータを解析して渦鉛直輸送の評価が出来たら面白いかもしれないと考えています。

(児玉安正)

<略語>

3DVAR : 3-dimensional variational method (三次元変分法)

4DVAR : 4-dimensional variational method (四次元変

分法)

ADEOS : Advanced Earth Observing Satellite (地球観測プラットフォーム技術衛星)

ADEOS-II : Advanced Earth Observing Satellite-II (環境観測技術衛星)

AMSU : Advanced Microwave Scanning Radiometer (高性能マイクロ波放射計)

AMSU-E : Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS (改良型高性能マイクロ波放射計)

AMSU : Advanced Microwave Sensor Unit (高性能マイクロ波センサーユニット)

BAMPR : Bayesian Algorithm for Microwave-based Precipitation Retrieval (マイクロ波降水量推定のためのベイズ法アルゴリズム)

CCSR : Center for Climate System Research (東京大学気候システムセンター)

CDC : Climate Diagnostics Center (気候診断センター)

CETP : Centre d'etude des Environnements Terrestre et Planetaires (フランス地球・惑星環境研究センター)

CERES : Clouds and Earth's Radiant Energy System (雲および地球放射エネルギー観測装置)

CIRES : Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (環境科学研究共同機関)

CRM : Cloud Resolving Model (雲解像モデル)

DMSU : Defence Meteorological Satellite Program (防衛気象衛星プログラム)

ECMWF : The European Centre for Medium-range Weather Forecasts (欧州中期予報センター)

EORC : Earth Observation Research Center (宇宙開発事業団地球観測利用研究センター)

EuroTRMM : The European Participation in the TRMM (TRMM への欧州参加)

GAME : GEWEX Asian Monsoon Experiment (GEWEX アジアモンスーンエネルギー水循環観測研究計画)

GATE : GARP Atlantic Tropical Experiment (GARP 大西洋熱帯研究計画)

GCM : Global Circulation Model (全球大気大循環モデル)

GPM : Global Precipitation Measurement (全球降水観測計画)

GPROF : Goddard Profiler (ゴダード・プロファイラー・アルゴリズム)

GSFC : Goddard Space Flight Center (米国航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センター)

IPRC : International Pacific Research Center (国際太平洋研究センター)

JCET : Joint Center for Earth Systems Technology

(地球システム技術統合センター)
 JTST: Joint TRMM Science Team (日米合同 TRMM サイエンスチーム)
 JTWC: Joint Typhoon Warning Center (統合台風警報センター)
 JPL: Jet Propulsion Laboratory (米国航空宇宙局ジェット推進研究所)
 KWAJEX: Kwajalein Experiment (ケジュレン諸島実験)
 LIS: Lightning Imaging Sensor (雷観測装置)
 MIT: Massachusetts Institute of Technology (マサチューセッツ工科大学)
 MJO: Madden-Julian Oscillation (マダン-ジュリアン振動)
 MM5: The 5th generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (第5世代ペンシルバニア州立大/NCAR 開発のメソモデル)
 NASA: National Aeronautics and Space Administration (米国航空宇宙局)
 NASDA: National Space Development Agency of Japan (宇宙開発事業団)
 NCAR: National Center for Atmospheric Research (米国大気科学センター)
 NCEP: National Center for Environmental Prediction (米国環境予報センター)
 NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (米国海洋気象庁)
 NRL: Naval Research Laboratory (米国海軍研究所)
 OLR: Outgoing Longwave Radiation (外向長波放射)

PATER: Precipitation Radar (PR) Adjusted TRMM Microwave Radiometer (TMI) Estimation of Rainfall (PR で調節した TMI 降水量推定)
 PMEL: Pacific Marine Environmental Laboratory (太平洋海洋環境研究所)
 PR: Precipitation Radar (降雨レーダー)
 Q1: apparent heat source
 Q2: apparent moisture sink
 SCSMEX: South China Sea Monsoon Experiment (南シナ海モンスーン実験)
 SLH: Spectral Latent Heating (スペクトル潜熱加熱)
 SSM/I: Special Sensor Microwave Imager (マイクロ波イメージャ特別センサー)
 SST: Sea Surface Temperature (海面水温)
 SUNY at Stony Brook (ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校)
 TOGA-COARE: Tropical Ocean and Global Atmosphere Program-Coupled Ocean and Atmosphere Response Experiment (熱帯海洋全球大気研究計画-西太平洋大気海洋相互作用研究計画)
 TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission (熱帯降雨観測衛星)
 TRMM-LBA: TRMM Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (TRMM アマゾン大規模生物圏-大気実験)
 TMI: TRMM Microwave Imager (TRMM マイクロ波観測装置)
 VIRS: Visible Infrared Scanner (TRMM 搭載可視赤外放射計)

月例会「長期予報と大気大循環」のご案内と講演募集のお知らせ

毎年テーマを絞って開催している標記月例会を今年度は「モンスーンとその予測可能性」をメインテーマとして開催いたします。モンスーンのオンセットや年々変動などに関する講演やそれらの予測可能性に関する講演を募集いたします。講演を希望される方は下記の要領でご応募下さい。なお、1講演あたりの講演時間は30分程度を予定しています。また、講演をしていただいた方には原則として講演内容を「グロースベッター」に執筆していただきますのであらかじめご了承願います。「グロースベッター」は、この月例会を主催する LF グループの長期予報研究会誌です。

記

日時: 2003年11月4日(火) 13時30分~17時
 場所: 気象庁大会議室(旧第1会議室: 5階)
 メインテーマ: モンスーンとその予測可能性
 申込方法: 講演者氏名, 所属, 講演題目, 講演要旨(400字以内) を添えて申し込んで下さい。
 申込・問い合わせ先:
 〒100-8122 東京都千代田区大手町1-3-4
 気象庁気候情報課内 LF グループ事務局
 Tel・Fax: 03-3211-8406 (自動切換え)
 e-mail: lfd_clim@hq.kishou.go.jp
 申込締切: 2003年9月1日(月)