

# 第1回米国 TRMM (熱帯降雨観測衛星) 計画

## 科学チーム会議\*

新田 勅\*\*

### 1. はじめに

上記の会議が1991年5月15日から17日にかけて、ワシントンD.C.郊外にある米国メリーランド大学で行われ、米国から約50名、日本から8名(通信総合研究所5名、宇宙開発事業団2名、気象庁1名)、オーストラリアから2名、イギリス、フランス、台湾、イスラエルから各1名が参加した。筆者もこの会議に出席する機会があったので、会議の内容を中心に、TRMM計画に関する最近の取り組み状況と今後の課題について報告したい。

### 2. これまでの経過

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 計画は1986年6月、ワシントンで開催された「宇宙分野における日米科学常設幹部連絡会議 (SSLG)」で提案、承認されて以来、日米双方でその実現のための予算措置、研究計画のまとめなどの努力がなされてきた。1987年10月には日本で“熱帯降雨観測国際シンポジウム”が開催され、内外から150名以上の研究者、技術者が参加し、熱心な討議が行われた(中村・新田, 1988)。また、1990年6月には、“地球と水の国際シンポジウム—熱帯降雨を中心にして—”が東京で、1990年10月には、“日本の地球観測計画に関する国際会議”の一環として“TRMMワークショップ”がつくば(市)で開催され、熱帯降雨観測の重要性が議論された。

TRMM計画の特徴は、(1)衛星にレーダを搭載して、宇宙から直接降雨を測定すること、(2)衛星の軌道傾斜角を35度にし、熱帯を中心とした約37°N~37°Sの地域の降雨の3次元分布を定量的に求めること、(3)日米共同研究であること、である。

TRMM計画の主要な研究目的は、

(1) 熱帯域の降雨量を定量的に把握することにより、地球のエネルギーおよび水循環を解明すること。

(2) 熱帯域の降雨量の様々な時間—空間スケール変動の実態と大気大循環に与える影響のメカニズムを明らかにするとともに、これらを再現・予報できる数値モデルを開発すること。

(3) 宇宙からの降水量観測の手法を確立することである。

TRMM計画の詳しい科学目的および経過については、日本学術会議 WCRP 専門委員会 TRMM 作業委員会パンフレット(1987)、TRMM Science Steering Group 報告(1988)、通信総合研究所季報(1990)を参照していただきたい。

最近の経過としては、

米国側：

- (1) 1990年春：米国航空宇宙局(NASA)のGSFC(Goddard Space Flight Center)にTRMMプロジェクト事務局が発足。
- (2) 1991年1月：NRA(NASA Research Announcement)に応募した約130の研究計画から約40の計画を選び、TRMM科学チームを結成。
- (3) 1991年5月15日~17日：第1回米国科学チーム会議を開催。

日本側：

- (1) 1990年7月：TRMM ミッションチーム発足。
- (2) 1990年12月：開発研究段階のTRMMの予算が認可される(宇宙開発事業団、通信総合研究所)。
- (3) 1991年3月：NASAに対する日本側の窓口を宇宙開発事業団とする。

などがあげられる。

### 3. 米国 TRMM 科学チームの活動

米国 TRMM 科学チームは、Dr. Theon (NASA)：プログラム委員長、Dr. Simpson (GSFC)：プロジェクト委員長、および Dr. Thiele (GSFC)：事務長のもとに36名(米国28名、日本、オーストラリア各2名、イギリス、フランス、イスラエル、台湾各1名)の委員で構成さ

\* U.S. First TRMM Science Team Meeting.

\*\* Tsuyoshi Nitta, 気象大学校.

れており、各委員は、(1) モデルとデータ解析 (チームリーダー: Dr. Geller, Dr. Lau), (2) グランド・トルース (チームリーダー: Dr. Houze), (3) TRMM レーダ (チームリーダー: Dr. Okamoto), (4) マイクロ波放射計 (チームリーダー: Dr. Wilheit), (5) 複数観測データの解析 (チームリーダー: Dr. Weinman), (6) TRMM と他衛星観測 (チームリーダー: Dr. Arkin), の6つの科学チームに属して活動している。

今回の会議は米国科学チームの第1回会議として行われたものであり、会議の目的は、(1) TRMM に関する全体的な問題点を明らかにすること、(2) TRMM の科学目的を再度確認すること、(3) データ処理体制の強化方策を検討すること、(4) 衛星打ち上げ時期 (できるだけ早い時期) について意志統一すること、(5) 科学チーム内の意見交換を行うこと、(6) 他の研究計画—EOS (地球観測システム)、GEWEX (全地球エネルギー・水循環実験計画) など—との関係を明確にすること、であり、3日間にわたり熱心な討論が行われた。日本からは米国科学チームのメンバーである岡本謙一氏 (通信総合研究所)、古津年章氏 (宇宙開発事業団) の他に、TRMM 計画の一方のパートナーである日本の進捗状況を説明するために、通信総合研究所、宇宙開発事業団、気象庁から関係者が出席した。

個々の研究課題の討議に入る前に、GSFC の Klineberg 所長から、NASA としては TRMM を EOS の最初の重要な計画として位置づけているとの歓迎の挨拶があった。続いて Simpson 博士が TRMM 計画の現状と今後の見通しについて述べ、(1) TRMM は日米共同研究計画ではあるが、熱帯降雨に関心を持つ他の国 (オーストラリア、フランス、イスラエル、台湾、英国など) との協力も必要である、(2) TRMM には降雨レーダ、可視/赤外放射計、マイクロ波放射計の他に、雲・地球放射エネルギーシステム観測器 (CERES) および雷写真観測器 (LIS) が搭載される予定である、(3) 衛星打ち上げ時期はできるだけ早いことが望ましい (1996年予定)、(4) 少ない予算で大きな成果を上げることが要求されている、(5) 最近の研究面の進展として—「各種衛星による降雨量推定の比較検定が、日本域、ダーウィン、タイ、フロリダのデータを用いて行われており、良いアルゴリズムが得られてきている」、「レーダから観測された降水分布から雲モデルを用いて熱源の垂直分布を得るアルゴリズムが進展している」—をあげることができる、などの報告があった。

次に日本側から通信総合研究所 畚野所長が“TRMM 計画への日本の参加”について、TRMM 計画のこれまでのいきさつをふりかえるとともに、予算、衛星開発、研究体制などに関する日本と米国との違いについて触れ、それらの相違点を十分に考慮した上で日米協力を進める必要があることを強調した。また、宇宙開発事業団のワシントン駐在所長の長友氏から宇宙開発事業団の TRMM 計画に関する取り組み状況についての報告があった。続いて筆者が“日本 TRMM ミッションチームの活動” (詳細は4章参照) について報告を行った。

研究課題については、全体会議でそれぞれの課題に関する発表と質疑応答があり、その後各科学チーム毎に分かれた分科会で、チーム内の研究課題相互の整合性や他チームとの関係が話し合われた。最後に再び全体会議が行われ、チーム間の連携や全体的な問題について討論がなされた。各研究課題と主な討論の内容は以下の通りである。

#### (1) モデルとデータ解析

- TRMM データを用いた4次元同化システムの開発
- イギリス気象局予報モデルを用いた同化システム
- マイクロ波放射計による降雨量と水蒸気量データを用いた全球数値モデルの初期化と予報
- 気候モデルにおける降水と雲の役割
- 熱帯降水システムと大気大循環に及ぼす影響
- 熱帯大気の物理—統計的3次元モデルの開発
- TRMM データの積雲集団モデルへの適用
- 熱帯降雨量とエネルギー解析
- 北米大陸夏季モンスーンにおける水文過程
- オーストラリア・モンスーン期の対流活動の観測とモデリング
- 海洋上層の力学に及ぼす熱帯降雨の影響

分科会では、(a) 地表面の物理過程に関する研究を追加する必要があること、(b) Real-Time データが必要かどうかの検討、(c) 日本の研究者との交流、(d) TRMM 観測以前に“TOGA/COARE (熱帯海洋全球大気変動研究/西太平洋大気海洋相互作用研究; 1992~93)”, “Convection Experiment (1994~95)” のデータを用いた数値モデルによるデータ同化システムの比較を行うこと、などが議論された。

#### (2) グランド・トルース (地上観測による比較検証)

- TRMM データ検証のための熱帯降雨システムの研究
- “グランド・トルース” 計画について

- TRMM グランド・トルースのためのマイクロ波観測
  - TRMM グランド・トルースに関するダーウィン・モンスーンの対流活動
  - アフリカ気候変動研究への TRMM データの利用
  - レーダ/雨量計同化法の開発
  - 台湾における降雨システムの解明
  - 熱帯降雨量算出法の検証
- (3) TRMM レーダ
- 降雨レーダで観測できる降雨パラメータのリストアップ (定量的データおよび定性的データの分類, データの処理レベル—レベル 1 A, 1 B, 2 A, 2 B, 3—による分類)
  - 現在考えられている降雨強度算出アルゴリズムのリストアップと各方法の比較検討, 決定論的方法と統計的方法の比較
  - 各種降雨強度算出アルゴリズムの有効性の検証法  
グランド・トルース データとの比較,  
航空機実験による検証法 (CaPE 実験—フロリダ対流・降雨・電気観測実験—, TOGA/COARE 実験など)
  - 降雨レーダのキャリブレーション法について  
降雨レーダ内部のキャリブレーション法,  
外部のアクティブトランスポンダによる較正,  
既知の散乱断面積を持つ物体を用いたキャリブレーション法
  - 降雨強度算出アルゴリズムの問題点の整理とそれらを解決するための重点課題の作成
- (4) マイクロ波放射計
- マイクロ波による降雨量の見積り
  - マイクロ波放射計による降雨量と凝結熱の決定
  - マイクロ波による降水量の鉛直分布
  - マイクロ波による TRMM 降水量算出のためのアルゴリズム
- (5) 複数観測データの解析
- 複数観測データを用いた降雨量推定のためのアルゴリズムの開発
  - TRMM 降水量算出のための統計処理
  - TRMM 複数観測データの統計解析
- (6) TRMM と他衛星観測
- GPCP (全球降水気候計画) と TRMM 計画
  - TRMM データと他の衛星データを用いた熱帯降水量の見積り
  - 静止気象衛星データを用いたアフリカ大陸上の降水変動の研究
- (7) 他の搭載測器について
- CERES (雲および地球放射エネルギーシステム) について
  - LIS (雷写真観測) について
- 最後の全体討議では次の2つの項目に関する決議がなされた。
- (1) TRMM 米国科学チームとして, NASA 本部に対してできるだけ早い時期の打ち上げを要求する。
- (2) TRMM 米国科学チームは得られた観測データはできるだけ早く EOSDIS (EOS データ情報システム) を通じて一般に供出することに努める。一方, 科学チームには, TSDIS (TRMM 科学データ情報システム) を通じてデータが渡るようにする。
- また, 以下のことが確認された。
- (3) 実際の打ち上げ前に, 降雨量推定のアルゴリズム開発のための検証実験を行う必要がある。そのために 1991 年 CaPE 実験 (フロリダ), 1992~93 年 TOGA/COARE は重要である。
- (4) Real-Time データを必要とするユーザーにどう対処するか, 今後 TRMM Data Advisory Group を中心にして検討する。
- (5) チーム間同士や日米相互間の情報交換, 研究交流が必要である。

#### 4. 日本 TRMM ミッションチームの活動

日本の TRMM ミッションチームは, 財団法人リモートセンシング技術センターが宇宙開発事業団の委託を受けて, 関係者に呼びかけ, 松野太郎 (東京大学理学部) 委員長をはじめとする11名の委員の構成により, 1990年7月に発足した。ミッションチームの主な目的は, (1) 日本の TRMM に関する研究活動を促進すること, (2) 科学的要求を整理すること, (3) 降雨量推定のアルゴリズムを開発すること, (4) 降雨量検証実験を計画すること, である。

ミッションチームでは昨年度4回の会合を持ち, ミッションチームの役割や日本の研究計画の柱などについて討論を行った。また, 1990年11月につくば (市) で行われた「TRMM ワークショップ」では, 日本の研究計画のまとめを発表した。

ミッションチームは, また, ①「TRMM 搭載センサーのデータ処理アルゴリズムの研究」, ②「TRMM デー

タを利用した研究計画」の2種類のアンケートを関係者に配布し、研究計画の調査を行った。①のアンケートに対しては、(1) 降雨リモートセンシング手法の開発—18件、(2) TRMM データの利用—16件、(3) 降雨以外の種々の物理量 (海面水温など) の推定—5件、(4) 地上検証および地上観測への応用—8件、の4つの分野に計47件の研究計画が寄せられた。

一方、②のアンケートに対しても約50件の研究計画家が寄せられ、それらは、(1) 降水の気候学、(2) 熱帯の降雨システムの特徴、(3) 大気大循環に対する熱帯域熱源の役割、(4) 大気大循環モデルの検証、(5) 数値予報モデルの精度向上、(6) 亜熱帯域の降雨システム、(7) アジア高山地帯の降水、(8) 海洋に及ぼす降水の影響、(9) 熱帯降雨と植生の変動、(10) 水文過程、(11) 降雨量推定法の開発、の研究分野に及んでいる。

以上のアンケート結果は、まだ予備的な調査結果であるとはいえ、TRMM に関して100近い潜在的な研究の計画 (希望?) があることを示しており、今後予算の裏付けに基づいた具体的な研究計画の策定に取りかかる必要があるものと思われる。

## 5. おわりに

TRMM 計画は1996年ごろの衛星打ち上げを目指して具体的に動きだした。米国では NASA を中心にレーダ以外の搭載観測機器の整備、データ処理体制の強化が図られるとともに、科学チームのもとに衛星打ち上げ前からの具体的な研究活動の取り組みが始められている。一方、日本は宇宙開発事業団がロケットの打ち上げを目指すとともに、通信総合研究所との協力の下に降雨レーダの開発に取り組んでいる。しかし、研究課題の取り組みに関しては、昨年7月「TRMM ミッションチーム」が発足したとはいえ、予算的裏付けも未定であり、米国側の対応に比べて大きく出遅れていると言わざるを得ない。今回の TRMM 計画はこれまでの気象関係の国際共同研究観測計画に比べて、めずらしく (?) 日本の貢献度 (予算などに関して) が大きく、米国と対等の観測計画である。これには TRMM 計画実現に向けた通信総合研究所の努力が大きく寄与しているものと思われるが、一方、TRMM データを有効に研究に活用する面では出遅れているといえよう。今回の計画に際しては、当初の

米国側の  $30^{\circ}\text{N}$ – $30^{\circ}\text{S}$  の熱帯域に限定した観測計画家に対して、日本側からの要求によって東アジアの重要な天候現象である梅雨も観測出来るように約  $37^{\circ}\text{N}$ – $37^{\circ}\text{S}$  の地域に拡張された。また、最近、熱帯域スーパークラスター、アジアモンスーンと ENSO との関連、西部熱帯太平洋からのテレコネクションなど、熱帯域降雨に関して日本主導の研究成果が得られてきている。先のアンケート結果にも表れているように、TRMM 計画に関する潜在的な研究テーマは多種多様に渡っており、決して米国側に引けを取るものでない。今後必要なことは、これらの潜在的な研究要求をまとめ、予算的な裏付けの下に具体的研究活動に入ることであろう。また、その際、TRMM 計画を単発の研究計画としてではなく、TOGA/COARE, GEWEX, EOS などの気候変動関連研究計画の一連の中で位置づけることが重要と思われる。

もう一つ今回の会議に出席して感じたことは、観測されたデータが末端ユーザーに渡るまでのデータ処理体制の確立の必要性である。米国側は各測器から送られてきた生データを48時間以内に最小限のデータ処理を施し、レーダ、可視/赤外、マイクロ波データは GSFC にある TSDIS (TRMM 科学データ情報システム) に渡し、そこで各種アルゴリズムに基づいたデータが作られ最終的には EOSDIS (EOS データ情報システム) を通じて一般に開放される。日本には TSDIS に渡る前のデータが観測後48時間以内に送られることになっている。日本側ではこの送られてきたデータをどのように独自に処理するか、また、米国でも検討課題となっているが、日本でも48時間前の Near-Real-Time データをどの様に利用するかなど、今後データ処理体制を早急に確立させる必要があるであろう。

## 参考文献

- 中村健治, 新田 勲, 1988: 熱帯降雨観測国際シンポジウム, 天気, 35, 21–23.  
 日本学術会議 WCRP 専門委員会 TRMM 作業委員会, 1989: 熱帯降雨観測計画 (TRMM) 一概要と期待される成果—, 25 p.  
 Simpson, J., NASA/GSFC, 1988: Report of the Science Steering Group for a TRMM, 94 p.  
 通信総合研究所, 1990: 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) 計画特集号, 通信総合研究所季報, 36, 125 p.