

日米合同 TRMM (熱帯降雨観測衛星計画)

サイエンスチーム会議出席報告*

新田 勳^{*1}・古津 年章^{*2}・中村 健治^{*3}
中澤 哲夫^{*4}・小池 俊雄^{*5}

1. はじめに

日米共同観測計画である TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) は、1997年夏H2ロケットによる打ち上げを目指して、米国航空宇宙局(NASA)、宇宙開発事業団(NASDA)及び日米それぞれのサイエンスチームを中心に活動が取り組まれている。1993年 NASDA と NASA は共同で TRMM に関する研究公募 (Joint Research Announcement: JRA) を行い、日本ではフランス、中国、インドからの応募を含む23件の研究計画が採択され、一方、米国側は38件の研究が採択された。その後日米双方で採択された研究計画の研究代表者 (PI) による TRMM サイエンスチームがそれぞれ新たに作られた。これまで TRMM に関して個別な研究協力は行われてはいたものの、全体のサイエンスチームとしては別々に活動をしてきており、今回の JRA に基づくサイエンスチームの結成によって、全体としても日米が協力して TRMM 研究を遂行する基盤ができたわけである。

日米双方のサイエンスチームの代表 PI による初めての合同 TRMM サイエンスチーム (Joint TRMM Science Team: JTST) 会議が1994年9月13日-15日米国メリーランド州グリーンベルト市で開催され、日本からは大学、通信総合研究所、NASDA から8名が、また、米国側からは10名他が出席した。また JTST 会

議前に TRMM 後継機に関する会議が半日行われた。

以下では JTST 会議と TRMM 後継機会議の要点について報告する。なお、TRMM の科学目的、経過に関しては、通信総合研究所季報(1990)、新田(1991)を参照して欲しい。(新田 勳)

2. 合同 TRMM サイエンスチーム (JTST) の役割、及び合意事項

まず日米双方の JRA で採択された研究計画の内容について紹介がなされた。日本側で採択された研究計画の内訳は、(1) アルゴリズム: 12, (2) 検証: 6, (3) 研究と応用: 5 であり、米国側で採択された研究計画は(1) レーダ: 5, (2) 検証: 13, (3) 複合センサアルゴリズム: 4, (4) マイクロ波: 4, (5) モデルとデータ解析: 8, (6) TRMM と他衛星: 4 であった。

会議では日本側からの提案に基づいて、JTST の役割について議論がなされ、

(1) 衛星の科学的側面、衛星と観測機器の作動状況、衛星の運用、観測機器操作と調整、科学データ及びデータ処理、アルゴリズム開発と検証、日米双方のデータセンターで作られるレベル1 (生データに軌道補正、幾何学補正、キャリブレーション補正を行ったデータ) からレベル3 (時・空間で平均し、地図投影したデータ) までのデータ、に関するすべての科学的要求を決定する、

(2) データ処理、標準アルゴリズムの改訂、衛星操作計画の手順を承認する、

(3) 測器や衛星が科学要求通り作動しているかどうかの検討を行う、

(4) 日米 TRMM サイエンスチームから提起された問題を検討する、

(5) 日米双方の研究協力及び関連する国際研究計画を推進する、

* Report on the Joint TRMM Science Team Meeting.

^{*1} Tsyoshi Nitta, 東京大学気候システム研究センター。

^{*2} Toshiaki Kozu, 通信総合研究所。

^{*3} Kenji Nakamura, 名古屋大学大気水圏科学研究所。

^{*4} Tetsuo Nakazawa, 気象庁気象研究所。

^{*5} Toshio Koike, 長岡技術科学大学。

(6) データの使用に関する基本を定める,

(7) 最低1年に1度は会議を開催する,

ことが確認された。また、これらのJTSTの役割を含めて、JTSTのTop-Levelでの合意文書を作成することとし、原案は日本側が作成することになった。

(新田 勳)

3. TRMM 標準プロダクト及び TRMM データ処理アルゴリズムの開発

TRMM に搭載される降雨レーダ (PR)、マイクロ波放射計 (TMI) および可視・赤外放射計 (VIRS) データ並びに地上検証データは、主に NASA/ゴダード宇宙飛行センター (GSFC) のデータ処理システム (TRMM Science Data and Information System; TSDIS) で処理される。処理結果は EOSDIS (Earth Observation Satellite Data and Information System) に送られ、そこで保存やユーザへの配布が行われることとなっている。一方日本側では、NASDA 地球観測センター (EOC) において、主に PR のデータについて TSDIS と同様の処理が行われ、その他の NASA で生産されたデータについては NASDA でユーザ要求を取りまとめ、NASA側から入手、ユーザへの配布が行われる予定である。

今回の会合では、これら NASA および NASDA で定常的に生産/配布されるプロダクトの基本的な考え方や位置づけについて議論がなされた。その結果、これら TRMM 標準プロダクトおよびそのためのアルゴリズムについて、日米共通に生産される U.S./Japan 標準プロダクト、NASA 側のみで生産される U.S. 標準プロダクト、および NASDA 側のみで生産される Japan 標準プロダクトの3種類に分類されること、これらの標準プロダクトの新規導入、変更、再処理など重要な仕様決定/変更の場合は、JTST のレビュー/承認が必要であることが決定された。Japan 標準プロダクトは、現在のところ特に定義されていないが、将来そのようなプロダクトを日本側で生産できる「権利」を確保したわけである。

TRMM 搭載センサ及び Ground truth (地上検証) データの処理アルゴリズムは、センサー固有の工学値 (輝度温度、Z因子) への変換まではセンサー開発側 (PR の場合は NASDA) が開発し、それら工学値から降雨強度などの物理量を導出する高次処理アルゴリズムについては基本的に TRMM サイエンスチームで開発することとなっている。アルゴリズム開発のため

に米国サイエンスチームの中に、PR チーム、TMI チーム、Combined algorithm チーム (複数のセンサデータを組み合わせる手法)、TOST (TRMM and Other Satellite Team) の4チームがあり、それぞれ標準アルゴリズムの開発を進めている。一方日本側サイエンスチームには、東大気候システム研究センターの住教授を主査としたアルゴリズムチームがあり、米国側と協力しつつ標準アルゴリズムの開発やアルゴリズムの研究を行っている。

今回の会合では、住教授が日本側のアルゴリズム開発に関連した提案や活動状況全般を紹介し、古津が、現在特に日米協力でアルゴリズム開発をすすめている PR チームの活動状況を紹介した。米国側からは、TMI チーム、Combined algorithm チームおよび TOST の研究提案および活動状況を、それぞれテキサス A&M 大学の T.Wilheit、コロラド州立大学の E.Smith、NASA/GSFC の R.Adler が紹介した。PR アルゴリズム以外は、米国サイエンスチームを中心に開発が進められているが、それぞれのチームの活動に日本側のサイエンスチームも参加し、標準アルゴリズムの開発を含め協力を進めることが合意された。PR アルゴリズムや Combined アルゴリズムは、今までに衛星搭載センサの実績がないことや、処理の複雑さなどで比較的开发要素が高く、「標準」とはいえかなり研究要素を残してはいるが、今後プロジェクト側の要求する締切りに間に合うようアルゴリズムを提出するという研究者には苦手?な作業が要求されている。

(古津年章)

4. 検証計画 (Validation)

米国は TRMM validation については少なくとも表向きは着々と進めている。テストデータをアルゴリズム側へ渡し推定結果を持ち寄ってアルゴリズムの評価をすることを実行中である (但し、このような評価は米国の研究者の押しの強さ、多分直接に研究補助金に影響することを考えるとスムーズに行くような気がしない)。また米国側の validation の研究リーダーである R.Houze が降雨の鉛直構造の観測の重要性を強調していた。このような米国に対し、日本側の validation 計画は進んでいない。会議での発表でも GAME/GEWEX に関連した観測計画、通信総研の航空機搭載 14 GHz レーダの開発等の現状を述べるにとどまった。しかし、AMeDAS, radar-AMeDAS 合成図の入手に対しては強い期待が寄せられ、これについては気

象庁に対して validation のためとしての提供 (TSDIS, EOSDIS には入れない) を要望しようということになった。また、海洋降雨の観測が TRMM の一つの眼目であるが、海洋降雨の地上レーダ観測点は少ない。このため熱帯西太平洋の Kwajalein 環礁のレーダのアンテナを大型のものに交換するための予算的措置を特に要望することとなった。

会議での validation の議論と日本の JRA validation 研究計画とはかなりのギャップがある。日本の JRA validation は衛星打ち上げ前の計画であり、データを集めるということに中心を置いているが、もっと系統的かつ具体的な比較方法、等の検討が必要である。また、地上設置レーダどうしの相互比較、検証をどうするか (ground truth validation?) という疑問が出されたが結論は出していない。これは transfer standard にかかわる問題である。なお、各種アルゴリズムとの比較方法に関してはそれぞれのセンサアルゴリズム開発グループが行うこととなった。

日本側の validation に関しては、具体的方法、実施方法、予算的要望、他のプロジェクトとの関係等、早急にもっと詰める必要がある。また、現業データの実態、入手可能性等について調査要望する必要がある。さらに、validation のための実際の研究活動 (例: 3次元レーダマップからの TRMM PR image simulation 等) を行う必要があろう。(中村健治)

5. 研究と応用

日本側からは私中澤が日本で採択された5つの公募研究について紹介、アメリカ側からはフロリダ州立大学のクリシュナムーティ教授が同様の報告を行った。とりわけ印象的だったことは、アメリカ側では数値モデルを使って TRMM 衛星から観測されるデータを使って対流や降水量をシミュレートする研究が行われてきていることである。日本ではこのような数値モデルでの研究は採択されていないが、大変重要な研究である。日本では、公募研究以外にも、TRMM サイエンスチームで梅雨やモデルの研究を行う予定である、と述べたら、あとで NASA の Adler から、あれはどのような意味なのか、と質問を受けた。アメリカではもちろん公募研究に対して研究費がつくと同時に義務も生じるわけで、日本の現状とは全く違う状況である。

今後の日米協力については、すでに TRMM に関連して研究者の交流が行われてきていること、今後もフェローシップ制度などを利用して博士課程修了者レ

ベルの交流を続けていくことが確認された。また、現在アメリカ側で作成中の Science Operation Plan (科学運用計画) についても日本側から意見をあげていき共同で作成することになった。

今回の会議でクリシュナムーティ教授は、アメリカ側からも準リアルタイム要求のあることを初めて明らかにした。日本側からも同様な要求のあることを述べたが、この点について、衛星の健康チェック用にダウンロードしているものについては可能である、との回答があった。

衛星打ち上げまであと2年。合同 TRMM サイエンスチームも発足し今後さまざまな作業が本格化していくことになった。TRMM 衛星が上がって何がわかるのか、「研究と応用」グループのがんばりに依存する部分は大きい。(中澤哲夫)

6. データ処理システム

米国側のデータ処理を行う TSDIS に関しては、GSFC の Kummerow が説明したがその内容は、(1) TSDIS ではレベル1からレベル3までのデータを扱う、(2) TSDIS では、各アルゴリズムグループで決定された標準プロダクトのみについて処理を行う、(3) 打ち上げ後6か月間はデータのチェックを行い、その後各種データ処理を行う、(4) 12か月毎に各アルゴリズムグループはアルゴリズムの検討を行い、必要に応じてアルゴリズムを改訂し、最初から計算をやり直す、と言うものであった。

続いて日本側から NASDA 地球観測センター (EOC) の森山氏が日本での TRMM データ処理システムの計画の概要について説明した。日本では主に PR データ処理が中心になる予定である。今後は TSDIS と EOC の間のデータ伝送等の問題をつめる必要がある。(新田 勲)

7. TRMM 後継機 (TRMM F/O)

9月13日午前に TRMM F/O セッションが開かれ、日本側から地球環境観測委員会 TRMM F/O ミッションチームでの検討結果を小池が報告した。これは、TRMM に継続して ENSO サイクルに伴う降雨の変動現象を計測するとともに、南北55度の範囲の降水、水蒸気、雲水、顕熱・潜熱フラックスの月平均データセットを提供するミッションで、「湿潤大気研究計画 (Wet Atmosphere Research Mission (WARM))」と名付けられている。また、NASDA で行われた TRMM

F/O 用の降水レーダの概念検討結果を古津が、NASDA の地球環境観測衛星長期シナリオの中での TRMM F/O の位置付けと現状について NASDA の春山、森山両主任開発部員が紹介し、特に2001年以降の太陽非同期衛星 ATOMS シリーズを長期シナリオの中に位置づけており、TRMM F/O を実現する場合の有力候補であることが示された。日本提案に対しては、以下の議論が行われた。

- (1) 降雨と雷の相関は高く、NASA 側としては LIS (雷観測装置) も要望する。
- (2) 水蒸気用のマイクロ波サウンダには、気温サウンダが必要である。一方、大循環モデルによる推定値でも十分という意見もあった。
- (3) 特に雪の場合の降水レーダの感度の議論があり、14 GHz レーダも nadir 観測だけでよいという案もでた。
- (4) GEWEX Dedicate Space Mission という日本の方針について、米国側に関係する研究者がいないこと、そもそも米国の気象グループはあまり GEWEX に深く関わっていないことから、反応はあまりなかった。

米国側は、NASA GSFC での「Pre-Phase B」検討以外はまとまった検討はなく、個人レベルの考え方で対処している印象を持った。J.Wolff のシステム検討結果報告では、高度を上げることによる若干の変更が必要だが、基本的には TRMM の日米フレームワークを継承するという前提で検討し、バス機器の大幅改修によるコスト/スケジュールインパクトを避けるために、高度は425 km 以下とすべきだとしている。レーダについては、今回古津が発表した PR-2 のシステム検討の結果は、まだ反映されていなかったが、電力/重力とも許容範囲であると思われる。設計寿命については、“5年”を表に出すと「Class A」衛星として定義することが必要であり、コストインパクトが出ることから、「3年を要求/5年目標」という考え方をとっている。次に J.Weinman と G.North より、それぞれ TRMM F/O に対するサイエンス側の考え方、サンプリングの問題についての発表があった。その中で Weinman は、雪の観測の重要性、LIS 搭載の意義などを強調した。また G.North はサンプリングに関連して、中緯度の降雨の統計的性質が、熱帯域と大きく異なっていると考えられ、そのため、中緯度での「GATE」あるいは「TOGA/COARE」的な実験が必要と強調した。

NASA の Study Scientist の J.Weinan との事前協議の中では、厳しい NASA の研究費状況の下で、現在活動は活発でないが、米国側研究者の TRMM F/O に対する関心は強いとのことであった。9月13日夜の米国側の計画立案のための会議では、今後、今年度中に出される予定の Earth Probe AO への申請に向けて Science Plan をまとめていくことが確認された。

ただし、NASA から衛星の提供がない場合、ATOMS シリーズという形で降水観測を続けたいとする日本の考え方について、米国側からは明確な回答は引き出せなかった。NASA HQ の Theon が欠席したので一般的な NASA の方針的なもの (Earth Probe) もあまり出されなかった。NASA 側は、FY 96 からまた Phase B 的な study を開始できる可能性はあるが Phase C/D への移行についても全く予想がつかないようである。現時点では、NASA 側からの TRMM F/O 用衛星の提供はないと判断する。

TRMM の継続、太陽同期/非同期衛星の同時運用を考えると、国内での長期シナリオ見直し作業に関連して、太陽非同期衛星開発を早急に着手するよう NASDA、科学技術庁に強く要請する必要がある。その際、TRMM で築いた日米共同の枠を保っていくことを考えながら、GEWEX のみならず WCRP およびその他の国際的サイエンスプロジェクトを進める研究者を中心に、今後科学側でのミッションに対する議論を国際的に盛り上げていく必要がある。(小池俊雄)

8. おわりに

今回の会合でとりあえず形の上では日米合同の TRMM サイエンスチームが出来上がり、日米双方の研究者の合同の意思で TRMM 科学プロジェクトが推進されることになった。しかし、日本側の実態は、米国側に比べて圧倒的に少ない研究者層、研究体制の不十分さ等、TRMM に関する活動は大きく立ち後れている。今後は全般にわたり可能な限り“対等”に近付ける努力を行うとともに、日本側で得意な分野(レーダの開発や熱帯・梅雨研究等)で逆に米国をリードする取組みが必要であろう。(新田 勳)

参考文献

- 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、125pp。
 新田 勳、1991：第1回米国 TRMM (熱帯降雨観測衛星) 計画科学チーム会議、天気、38、561-564。