

だいくつもの問題点をかかえており、改良を続けていく必要があることは言うまでもないことである。特に、両者に共通した問題としてデータ処理が挙げられる。比較的単純な雲粒の粒径分布はすでに市販の画像解析装置で処理しているが、氷晶や雪片などの複雑な形状の粒子は人間の手作業で処理されているのが現状である。その他にも、AVIOM-Cは着氷対策、HYVISは照明方法の改良等の問題を抱えており、一つ一つ解決していく必要がある。

気象研究所でAVIOM-CやHYVISを開発した後、同様な測器が国内・国外で試作されており、世界中の雲物理学者が共通の認識のもとに新しい測器開発に取り組んでいる。これら新たに開発された直接観測の手法と衛星やドップラーレーダ等の間接観測の手法を有機的に結合した総合観測によって、これまで未解決のまま残されてきた問題が次々と解明される日が近いことを確信している。

#### 参考文献

Knollenberg, R. G., 1981: "Techniques for probing cloud microstructure. CLOUDS-Their formation, optical properties, and effects—". ed., P. V. Hobbs and A. Deepak, Academic Press.

Magno, C. and S. Tazawa, 1966: Design of a "snow crystal sonde". J. Atmos. Sci., **23**, 618-625.

Murakami, M. and T. Matsuo "Development of the hydrometeor video-sonde". J. Atmos. Ocean. Tech., **7**, 1990.

Tanaka, T., T. Matsuo, K. Okada, I. Ichimura, S. Ichikawa and A. Tokuda "An airborne video-microscope for measuring cloud particles". Atmospheric Research, **24**, 1989.

#### コメント

上田 博 (北大理)

遊馬 (北大・理) さんによる、2D-Pプローブ (PMS社製) での雪雲の飛行機観測では明瞭な雪結晶のイメージが得られています。また、今年 (1992年) 1月の石狩湾周辺での雪雲の観測では遠藤 (北大・低温研) さんがHYVISをあげており、北大理学部の直交二偏波ドップラーレーダーとの比較解析結果が待たれるところでです。

しかし、地上から放球するゾンデ方式では、観測機会が制約されるので、飛行機から投下するビデオゾンデの開発と利用に期待したいと思います。

103; 107; 306 (TRMM: 熱帯降雨; エルニーニョ; 南方振動; ENSO)

## 7. TRMM (熱帯降雨観測衛星) 計画について\*

新田 勅\*\*

### 1. はじめに

TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 計画は、1986年6月に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 (SSLG)」で提案されて以来、1997年の打上げを目指して、日米を中心に観測内容や研究計画の取り組みがなされている。

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。

本報告では、TRMMの現状と今後の展望について述べる。

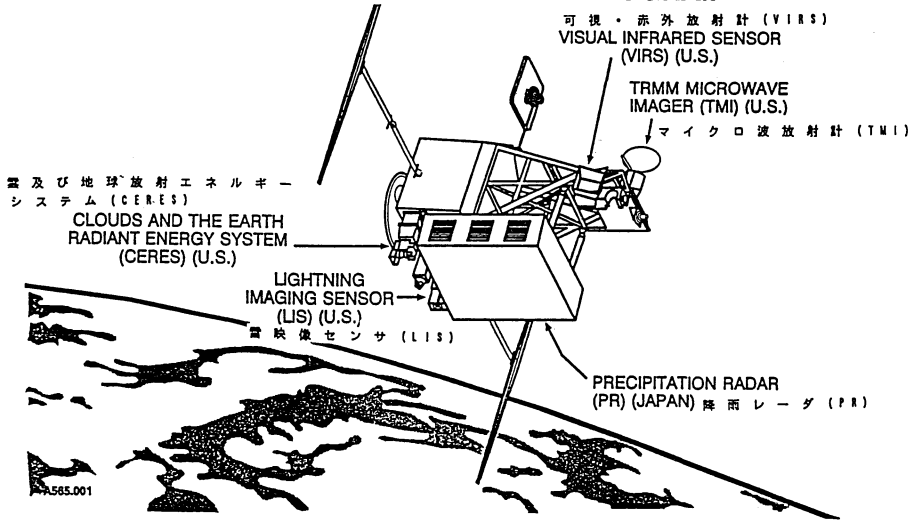
### 2. TRMMの目的

熱帯域は、大気大循環を動かす熱機関車の役割を果たしているが、その熱源のほとんどは対流活動による凝結熱放出によっている。凝結過程に伴って、水蒸気

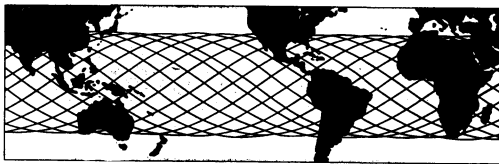
\* On the TRMM Program.

\*\* Tsuyoshi Nitta, 東京大学気候システム研究センター。

## TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) U.S./JAPAN COOPERATIVE PROGRAM



第1図 TRMM に搭載される各種センサー



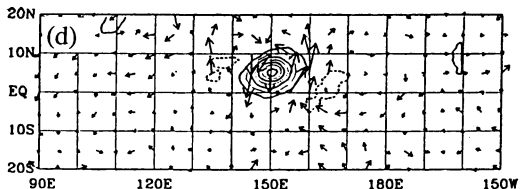
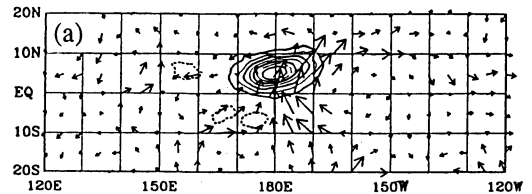
第2図 TRMM の1日間の軌道

から水滴が生じ、降水として地上に落下する。従って、降雨量の正確な分布やその変動を把握することは、上空の気柱全体で積分した正味の潜熱量の正確な値と変動を知ることであり、大気大循環の維持や変動の機構を理解する上で大変重要である。また、水は降水や蒸発を通して、大気、海洋、陸地を循環しており、地球の様々な物質循環に大きな役割を果たしている。

しかし、熱帯域はその多くを海洋で占められているために、地上からの観測だけでは正確な降水分布を求めることは非常に困難である。TRMM は、衛星を使って宇宙から熱帯域の降水を観測し、熱帯域全体で均一な、定量的な降水量を求めようとするものである。

### 3. 観測の内容

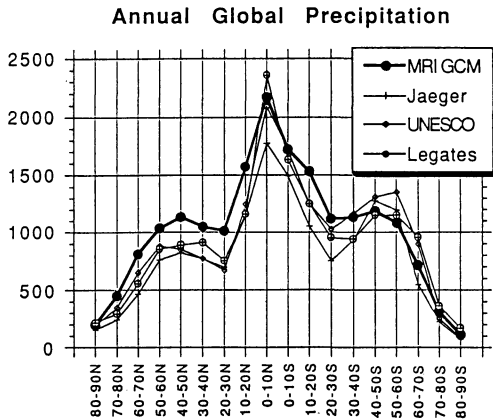
すでに打ち上げられている様々な静止衛星、軌道衛星には、可視、赤外、マイクロ波の観測器が搭載されており、これまでもそれらのデータによって降水量の見積りがなされている。第1図に示されるように、



第3図 3~4日周期変動に関する TBB 及び 850 mb 風偏差の合成図。等値線は TBB 偏差を示し、実線は正、破線は負の偏差。上図は TBB の中心が180°に、下図は150°E に存在している場合。(Takayabu and Nitta, 1992)

TRMM は (1) 可視赤外觀測装置、(2) TRMM マイクロ波観測装置の他に、初めて (3) 降雨レーダを搭載し、宇宙から電波を出すことによって、降雨の水平-垂直分布を得ようとするものである。また、その他に (4) CERES (雲・地球放射エネルギー観測装置) と (5) LIS (雷観測装置) も搭載される。

第2図に TRMM の予想される1日間の軌道を示



第4図 気象研究所大気大循環モデル (MRI・GCM) による年平均降水量分布と、3種類の観測結果との比較 (鬼頭, 1992)

した。TRMM は、これまでの極軌道衛星と異なり、軌道傾斜角 (赤道を横切る時の角度) を  $35^\circ$  にし、約  $37^\circ\text{N}$  ~  $37^\circ\text{S}$  の熱帯~亜熱帯域を集中的に観測する。観測領域には熱帯域の降水現象のみならず、梅雨などの亜熱帯域の降水現象も含んでいる。

観測機器のうち、降雨レーダは日本が開発し、他の機器は米国が開発することになっている。またロケットは日本が、衛星本体は米国が分担する。

#### 4. 研究計画

TRMM に関する研究組織として、日本では1990年7月に TRMM ミッションチームが発足し、(1)日本の研究計画の推進、(2)科学的要求のまとめ、(3)降雨量推定アルゴリズムの開発、(4)グラント・トルースの具体化等に関して活動を行ってきている (現在委員は約30名)。一方、米国では、米国航空宇宙局 (NASA) が中心となり、1991年1月、40数名の研究者による TRMM 科学チームが結成された。双方の委員会はこれまで何回かの共通のシンポジウムを開催し、研究計画に関する踏み込んだ議論を行った。

現在までのところ、研究テーマとして

- (1) 降水の気候特性
- (2) 熱帯の対流活動
- (3) 雲物理過程
- (4) 亜熱帯の対流活動 (梅雨など)
- (5) 大気大循環に与える熱帯域熱源の影響
- (6) 大気大循環モデルの検証と予測精度の向上
- (7) 熱帯降雨と植生

(8) 降水と海洋の相互作用

(9) 水文過程

があがっており、既存の衛星データ等を用いた Pre-TRMM 研究が取組まれている。

以上の研究テーマの中から、1つ2つその内容を紹介してみよう。

近年、気象衛星等のデータによって、熱帯域の対流活動は、様々な時間、空間スケールに組織化されていることが明らかになってきた。第3図は約10年間の「ひまわり」TBB (雲頂高度相当黒体温度) データから、3~4日周期で変動する対流活動の中心が  $180^\circ\text{E}$  と  $150^\circ\text{E}$  にある時の TBB 分布と 850 mb 風を合成したものである。対流域が  $180^\circ\text{E}$  付近にある時は、赤道を横切り、対流域に吹き込む流れが存在し、東側の時計回りの循環の東西幅は約  $40^\circ$  である。一方、対流の中心が  $150^\circ\text{E}$  にある時は、対流を中心にして反時計回りの低気圧性の流れが生じている。前者は以前熱帯成層圏で確認された混合ロスビー重力波の構造を、後者はこれまで偏東風波動と呼ばれていた周期3~4日のじょう乱に対応している。隣接する領域でこのような異なった大気変動がどのように共存しているのか、その対流活動の内部構造はどうか、まだ未解明である。熱帯域にはその他、スコールライン、クラウドクラスター、スーパークラウドクラスター、双子低気圧など数十キロ~数千キロの現象が混在しており、それぞれの現象の内部構造とともに、相互の間の関連を理解する上でも TRMM のデータは大いに期待される。

熱帯域の信頼できる降水量分布の気候値を求め、数値モデルによる結果の検証を行うことによって、モデルの精度向上を図ることも TRMM の大きな研究目標の一つである。第4図は気象研究所大気大循環モデルによる年平均降水量の緯度分布と、3種類の“観測値”の結果である。いずれも熱帯域の多雨、亜熱帯域の少雨、中緯度域の多雨等が定性的に表現されている。北半球中緯度の降雨量は観測に比べてモデルの方が系統的に大きいようである。しかし、熱帯や南半球では“観測値”の間のバラツキが大きく、モデルの正確な検証には使えそうにない。これは、この地域の大部分が海洋におおわれているために、正確な雨の観測値が得られていないためと思われる。TRMM によって、こと熱帯域に関しては、モデルの検証のために十分役立つ降雨量の推定が得られることが大いに期待される。

一方、観測器生のデータから、いかに降雨に関する有効な情報を導き出すかというアルゴリズムの開発も

重要な研究課題である。同じレーダ観測といっても宇宙から地球表面に向けてビームを発射することによって、地表面からの反射など新たな問題も生じてくる。またレーダや他の観測器による複数センサーをいかに有効に組み合わせる最終製品である定量的な降雨量を推定するか等も今後開発されなければならない。さらに宇宙からの“間接的”な観測データを、地上からのより“直接的”なデータで、しっかり検証しておく必要があるであろう。(グラント・トルースに関してはコメンテーターの中村健治氏から有益なコメントをいただいた。)

## 5. 今後の展望

当面は、TRMM ミッションチームのメンバーを中心に、アルゴリズムの開発、グラント・トルースの実験計画、熱帯降雨に関する研究の具体化に取り組んで行く予定である。また今後、TRMMに限らず各種の宇宙からの観測データがどんどん入ってくる状況が予想され、これらのデータを研究用のみならず、現業や応用分野でも有効に活用する方向が検討される必要がある。

TRMMで得られる熱帯降雨データは、GEWEX(全球エネルギー・水循環実験計画)にとっても重要なデータの一つであり、全球的な気候変動の解明に大きな役割を果たすことが期待されている。当面TRMMの観測期間は3年の予定であるが、気候変動の解明のためには、さらに長期の観測体制の強化が望まれる。1992年3月、東京で行われた「宇宙からの降雨観測データの処理・利用に関する国際ワークショップ」では、現在予定されているTRMM観測以後、速やかに次期TRMMを打ち上げること、また、その際には、中緯度帯の降水も把握できるように緯度55°程度まで広げべきであるとの決議が採択された。

## 参考文献

- 鬼頭昭雄, 1992: 大気大循環モデルと熱帯降雨, TRMM ミッションチーム成果報告書, 73-79.  
 Takayabu Y., and T. Nitta, 1992: 3-5 day period disturbances coupled with convection over the tropical Pacific Ocean. (Submitted to J. Meteor. Soc. Japan).

## コメント

中村 健治 (通総研)

衛星からの地球観測は当然リモートセンシングであり、そのデータを有効にするにはグラントトルースが必要である。これにより衛星による推定値が地球規模で信頼できるものとなる。TRMMも例外ではなく、種々の気候帯にいくつかのグラントトルース点を設け、トルースデータによりTRMMによる降雨のリモートセンシングデータを検定することにより、TRMMの降雨データを地球規模で有効なものとして行うことができる。このため典型的な地域での降雨観測が必要である。米国ではフロリダ半島、クウェゼリン環礁、オーストラリア北部、タイなどにすでに候補地を考えている。日本では気象庁の定常観測網のデータ、つまりアメダス、またアメダスレーダ合成図などは理想に近いデータセットとなり得る。

定常的なデータとは別に、さらに特別観測も必要であろう。日本国内における特別観測地域としてはつくば地域を中心とした関東地域、また南西諸島、特に宮古島地域が考えられよう。つくば地域は各省庁の研究所が集まっており、少い経費で充実した観測の行なえる可能性がある。南西諸島は、日本国内では南に位置し、梅雨前線、台風等、熱帯、亜熱帯の気候の影響を大きく受ける地帯であり、また、海上データに近いデータが得られる。海上データとしては、南鳥島も考えられる。南鳥島は非常に孤立しておりこのことだけでも観測点として価値があるが、更に、小さくかつほとんど平坦であり、地形の影響を受けないデータが期待できる。

国外での観測に関しては日本は遅れていると言わざるを得ない。TRMMは日米対等の計画であり、米国が既にいくつかの地点をグラントトルースサイトとして計画を進めているのに対し、日本では海外観測の計画は未だに無い。現在、有望と考えられる観測点に京都大学がインドネシアと協力して進めている赤道レーダサイトがある。しかしそれだけでなくTRMM計画の一環として海外での観測点、特に西太平洋の島での観測点の確立に努める必要がある。米国が、軍事基地があり気象レーダが設置されているためグラントトルース点として考えていた太平洋のクウェゼリン環礁が東西冷戦の終結に伴い、データが入らなくなる恐れもあり、日本の西太平洋域でのグラントトルース観測への期待は大きい。