

熱帯降雨観測衛星 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) 計画における降水測定システムの研究開発*

—1993年度堀内基金奨励賞受賞記念講演—

岡本 謙 一**

1. はじめに

この度、日本気象学会堀内基金奨励賞を頂きまして有難うございました。受賞の対象は熱帯降雨観測衛星 (Tropical Rainfall Measuring Mission : TRMM) 計画における降水観測システム、具体的には降雨レーダの研究開発ですが、その背景となった航空機搭載降雨レーダの研究についても少し述べさせていただきます。TRMM 計画について概念検討を始めたのは1987年ごろからですが、その契機となったのが1985年から開始した日米共同の航空機からの降雨観測実験であります。日米共同の航空機実験を行う内に、米国の NASA/GSFC (アメリカ航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センター) を中心とする科学者が地球的規模の気候変動に及ぼす熱帯降雨観測の重要性を強く認識し、TRMM 計画を立案し、世界初の人工衛星搭載の降雨レーダを必要としていることを知りました。日米共同の航空機からの降雨観測実験は最初から TRMM 計画を意識したものではありませんでしたが、共同研究を続けて行く上で incentive が増加し、段々と大きな日米共同の熱帯降雨を観測する衛星計画に深く係わることになりました。

1985年7月に筆者はその年から始まった航空機を用いた日米共同降雨観測実験に参加するために、NASA/GSFC を訪問しました。既に同センターに滞在していた通信総合研究所の中村健治主任研究官 (当時) と共に、NASA 側の責任者の Dr. T. Wilheit と

航空機実験について打ち合わせを行っている最中に Wilheit 氏より、「この日米共同の航空機実験は、NASA が検討している TRMM という熱帯降雨を衛星から観測する計画のためのほんの一里塚に過ぎない」ということを聞いたのが、筆者が TRMM の名前を耳にした最初となりました。筆者にはとても十分には理解できない南部なまりの英語による会話でしたが、Wilheit 氏が TRMM 計画の重要性をとて熱心に訴えるのが印象的であり、何かとても大切なことを聞かされているように思われ、ノートに TRMM とは Tropical Rainfall Measuring Mission と書きつけたことを思い出します。NASA の科学者の持っていた科学的ニーズと、通信総合研究所の開発した技術とがうまく結びついて、1987年1月～1988年3月の日米共同の feasibility study を契機に計画が少しづつ実現に向かって動いて行きました。その後、宇宙開発事業団の方々と東京大学の気候システム研究センターを中心とする科学者の多大の努力に支えられ、1997年8月の打ち上げを目指して TRMM 計画は、米国の衛星を日本の H-II ロケットで打ち上げるという極めてユニークな日米共同の衛星計画として認められるに到りました。本稿では、航空機搭載降雨レーダによる観測実験から始め、熱帯降雨観測衛星計画についてまで概説させていただきます。

2. 航空機搭載降雨レーダによる観測実験

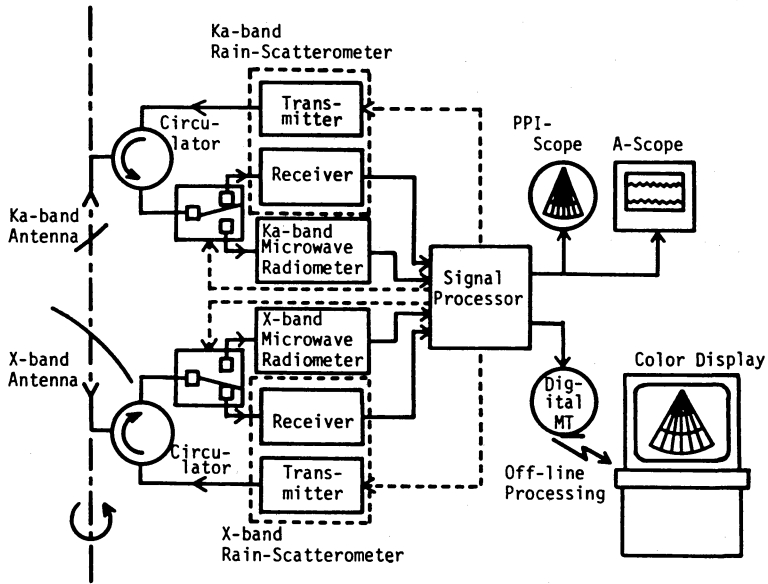
2.1 航空機搭載降雨レーダの開発及び国内での観測実験

通信総合研究所では将来の宇宙からのレーダによる降雨観測を実現する第一歩として、1980年に航空機からの降雨観測を目的とした航空機搭載「雨域散乱計/放射計」と呼ばれるシステムを完成し、国内での降雨

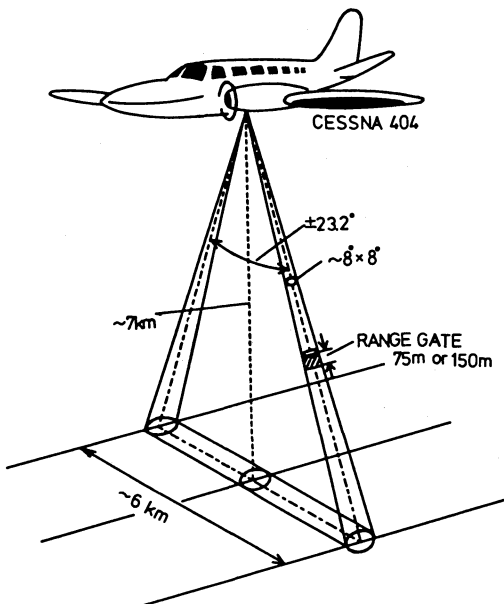
* Studies on the precipitation measurement system at the project of Tropical Rainfall Measuring Mission.

** Ken'ichi Okamoto, 通信総合研究所

© 1994 日本気象学会



第1図 航空機搭載降雨レーダ/放射計システムの概略ブロック図。



第2図 日本国内での航空機実験時の概念図。

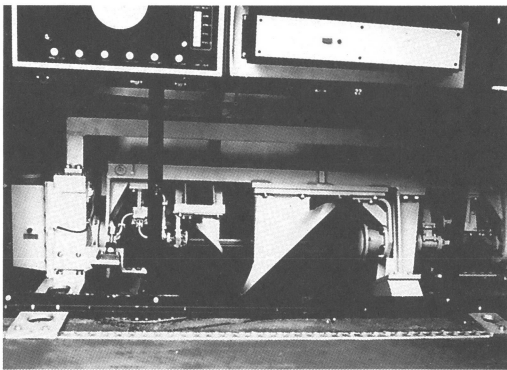
観測実験を開始しました (Okamoto *et al.* 1982a, 1982b). 同システムは能動型リモートセンサである X バンド (10 GHz) および Ka バンド (34.5 GHz) の雨域散乱計 (降雨レーダと同じであり、以下降雨レーダと呼びます) と、受動型電波リモートセンサである X

バンドおよび Ka バンドのマイクロ波放射計の、合計 4 種類のセンサを結合したものであります。降雨レーダは機上より雨域に向かってパルス状に電波を発射し、雨滴によって散乱され戻ってくる電波を受信し、降雨強度の 3 次元分布を飛行経路に沿って観測します。マイクロ波放射計は雨滴自身から放射される微弱なマイクロ波帯の雑音を受信し、雨域の広がりや高さ方向に平均的な降雨強度を計測することを目的とします。降雨観測のために降雨レーダとマイクロ波放射計を組み合わせることは、データを比較する上でも意義が大きく、TRMM でも降雨レーダと TMI (TRMM Microwave Imager) と呼ばれるマイクロ波放射計が同時に降雨観測に用いられます。

全システムの概略的なブロック図を第1図に示します。Xバンド、Kaバンド共に各バンドの降雨レーダと放射計はアンテナ系を共用しています。降雨レーダの受信系と放射計は信号処理系からの信号によって切り替わられて時分割で動作します。Xバンド及びKaバンドのアンテナビーム幅は等しく、同一の降雨散乱体積をほぼ同一の時間に2つの周波数の降雨レーダで観測します。また降雨レーダと同一のアンテナビーム指向方向のマイクロ波放射輝度温度を降雨エコーとほぼ同時に観測します。雨域散乱計の主要な諸元を第1表に示します。第2図は国内における航空機実験時の概観図を示します。アンテナビーム中心は航空機の機首

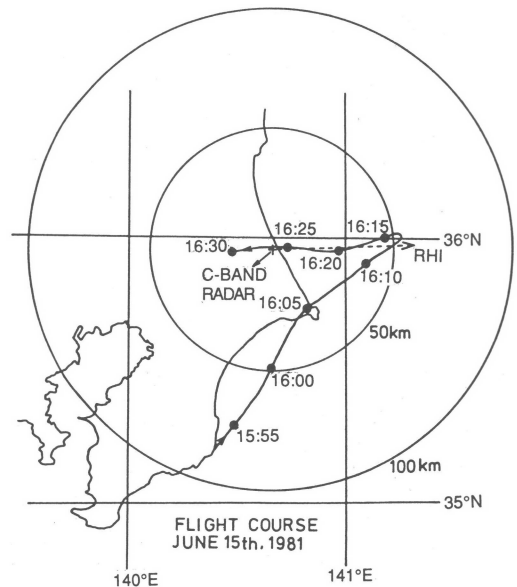
第1表 航空機搭載降雨レーダの主要諸元.

	X-バンド	Ka-バンド
中心周波数	10 GHz	34.45 GHz
偏波	HH/VV	HH/VV
アンテナ		
タイプ	オフセット パラボラ	オフセット パラボラ
開口径	260 mm	75 mm
利得	約 26 dB	約 26 dB
ビーム幅	約 8°×8°	約 8°×8°
サイドローブレベル	約-30 dB	約-30 dB
走査角	±23.2°	±23.2°
送信機		
送信管	マグネトロン	マグネトロン
ピーク電力	20 kW	10 kW
PRF	440 Hz/220 Hz	440 Hz/220 Hz
パルス幅	0.5 μs/1 μs	0.5 μs/1 μs
受信機		
雑音指数	5.3 dB	9.6 dB
バンド幅	2.97 MHz/1.86 MHz	3.93 MHz/2.25 MHz
最少受信感度	-104 dBm/-106 dBm	-99 dBm/-101 dBm
ダイナミックレンジ	80 dB	80 dB
最大積分数	128/64	128/64

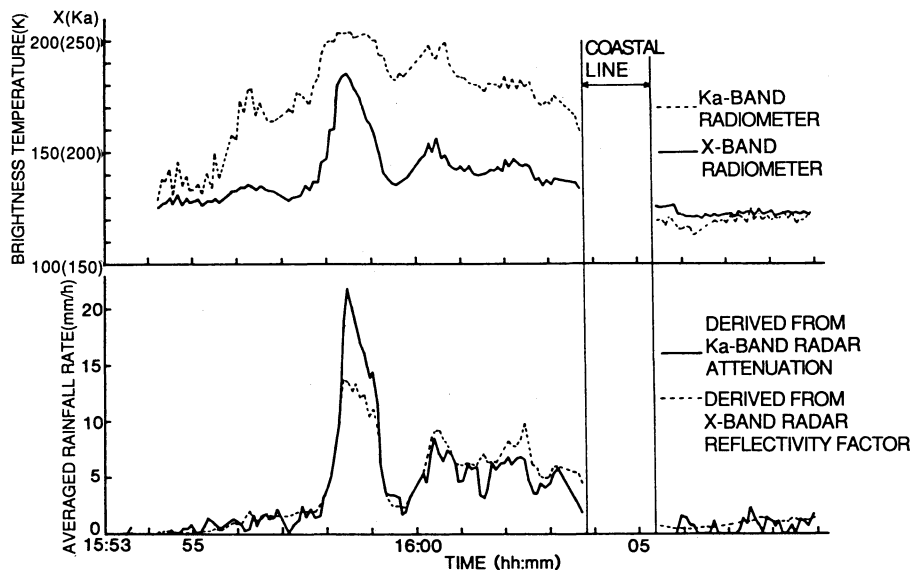


第3図 日本国内での航空機実験において航空機セスナ404機内床穴に取り付けられた降雨レーダ/放射計システムのオフセットパラボラアンテナ.

方向に垂直な平面内を往復走査し、隙間なく雨域を観測します。第3図に示すようにアンテナは機内に配置されており、アンテナ走査角は、航空機の床穴の大きさによって直下点より $\pm 23.2^\circ$ の範囲に制限されます。実験は航空機セスナ404を用いて高度約7 kmより行いました。地上における走査幅は高度約7 kmのとき約6 kmとなります。第3図に示す様にサイドローブ特性の良いオフセットパラボラアンテナを用いています。右側の大きい方が開口径26 cmの10 GHzのA



第4図 1981年6月15日の航空機実験時のフライトコース、数字は観測時の地方時刻を示す。(通信総合研究所鹿島宇宙通信センターの地上Cバンドドップラ降雨レーダとの同時観測)。



第5図 航空機搭載降雨レーダ/放射計システムで観測された降雨強度（下図）及び放射輝度温度（上図）。横軸の時刻は第4図のなかの地方時刻を示す。

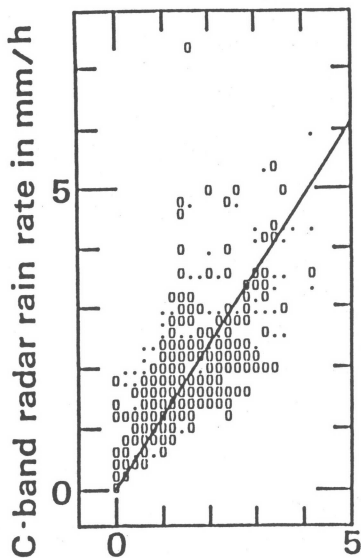
ンテナ鏡面、左側の小さい方が開口径 7.5 cm の 34.45 GHz のアンテナ鏡面です。

国内の航空機実験は1980年～1981年に合計81時間にわたって実施しました。第4図は1981年6月15日の航空機実験時の飛行コースの一部を示します。飛行コースはロランデータに基づいてプロットしたものであり、コース上の数字は時刻を示します。平均飛行高度は約 6500 m でした。同日の実験では、通信総合研究所鹿島宇宙通信センターの地上のCバンド気象レーダと航空機搭載レーダによる、機上と地上からの降雨の同時観測を行いました。図中の二つの同心円は、鹿島支所の地上Cバンド気象レーダを中心とした半径 50 km および 100 km の観測領域を示します。図中Cバンド気象レーダよりひかれた破線は同時観測時のCバンド気象レーダの RHI モードにおけるアジマス方向を示し、航空機はこの方向にほぼ沿うようにレーダ上空を通過しました。第5図に観測例を示します。鉛直下方を眺めたものです。図の下半分は、降雨レーダから求めた高さ方向に平均した降雨強度を、時刻に対してプロットしたものです。時刻は第4図の飛行コース中の時刻に対応します。波線はXバンドのZ因子より降雨減衰を無視したZ-R関係を仮定して降雨強度Rを求めたものです。実線はKaバンドの海面反射エコー強度の降雨減衰量に基づいて、減衰係数kと降雨強度Rの関係を仮定して降雨強度を求めたものです。

降雨領域に隣接した非降雨領域の海面反射エコー強度をリファレンスにとっています。第5図の上図は下図の平均降雨強度と同時刻のマイクロ波放射計の示す輝度温度を時刻に対してプロットしたものです。実線がXバンド、破線がKaバンドのマイクロ波放射計の示す輝度温度です。Xバンドの放射計の輝度温度と、Kaバンドの海面反射エコー強度の降雨減衰量より求めた平均降雨強度との相関は0.92と高く、Xバンドのマイクロ波放射計が高さ方向の平均降雨強度を見積るのに有効であることがわかります。TRMMではTMIと呼ばれるマイクロ波放射計を搭載しますが、これまでのDMSP (Defence Meteorological Satellite Program) で実用的に用いられているマイクロ波放射計SSM/I (Special Sensor Microwave Imager) を改良して、10.69 GHzのチャンネルを新しく追加しています。第6図は機上の2周波レーダデータをもとに2周波データ処理アルゴリズムを用いて算出した降雨強度と、地上のCバンド気象レーダより求めた降雨強度の比較を示します (Fujita 1985)。機上と地上の両方のレーダビームの観測する降雨散乱領域がほぼ一致するデータをプロットしたものです。Cバンド気象レーダは第4図に示す様にRHIモードで動作しました。図中の‘・’印はデータ個数が1個、“0”印はデータ個数が2個以上のデータ点を意味します。図中の実線は直線回帰を行った結果であり、その傾きは1.2となって

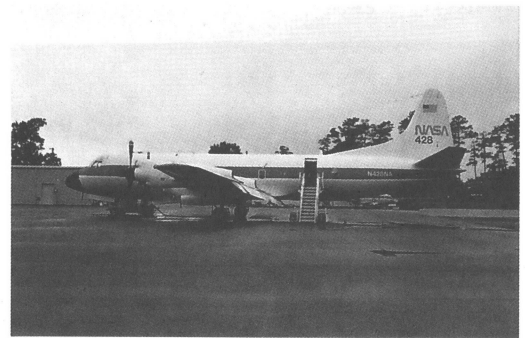
第2表 日米共同降雨観測実験の経緯.

年	第I期 (1985-1988)	第II期 (1989-1991)
研究題目	・宇宙からの降雨観測の可能性の研究	・宇宙からの降雨観測の可能性の研究 ・熱帯降雨観測衛星のための基礎研究
参加機関	NASA/CRL/NOAA	NASA/CRL
実験場所	ワロップス飛行実験施設	ワロップス飛行実験施設 熱帯太平洋 (台風実験) フロリダ半島沖
航空機	P-3A, T-39	DC-8, T-39
搭載センサ	降雨レーダ/放射計	降雨レーダ/放射計 NASA 放射計システム
グラウンド	地上レーダ	地上レーダ
トランス	雨量計	雨量計



第6図 第4図で示された同時観測実験において航空機搭載降雨レーダで観測された降雨強度と地上Cバンド降雨レーダで観測された降雨強度の比較.

第4図で示された同時観測実験において航空機搭載降雨レーダで観測された降雨強度と地上Cバンド降雨レーダで観測された降雨強度の比較.



第7図 航空機搭載降雨レーダによる日米共同降雨観測実験時に用いられた NASA の航空機 P-3A.

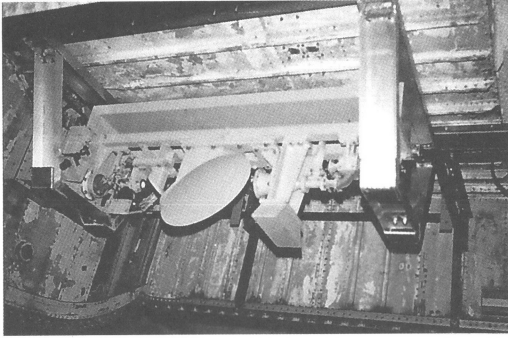
います。両者の差異は、両方のレーダビームの散乱体積の異なることが最大の原因と考えられます。

2.2 日米共同降雨観測実験

1980年代においては我が国では、観測研究目的に航空機を使用する場合、運行経費が高い民間の航空機を借り上げる外なく、実験を続けることは予算的に困難でしたが、我々の実験結果に興味を持った当時 NASA/GSFC の Laboratory for Atmosphereの

Director であった Dr. D. Atlas が、我々の開発したレーダを米国 NASA に持ってきて、NASA の航空機に搭載して共同実験をやろうと1984年に提案してきました。NASA も将来、衛星搭載の降雨レーダによる降雨観測を行うことに興味を持っていました。第2表に日米共同降雨観測実験の経緯を示します。同共同実験は大きく第1期 (1985~1988) と第2期 (1989~1991) に分けることができると思いますが、現在もデータ解析と地上実験を中心に続いています。

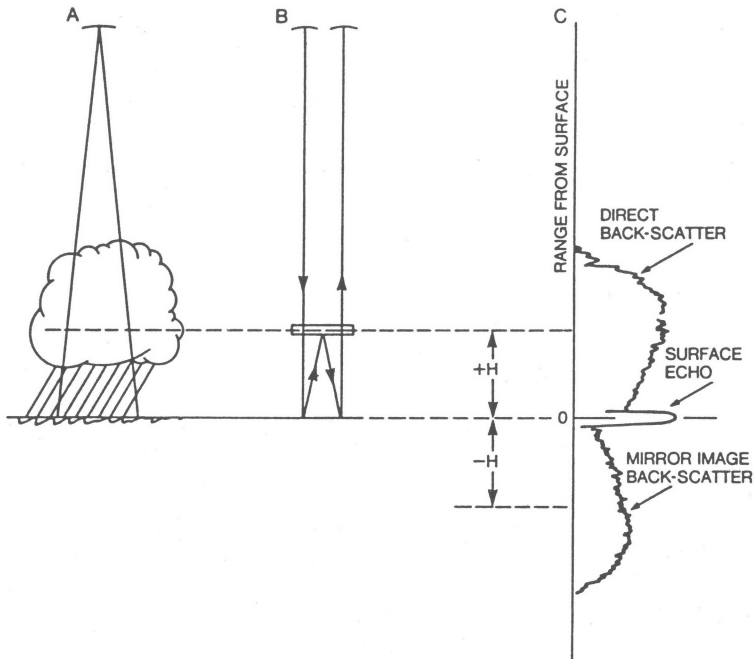
第1期の目標は「宇宙からの降雨観測の可能性の研究」であり、主にワロップス飛行実験施設を基地として、大西洋上空での飛行実験を実施しました。当所で開発した降雨レーダ/放射計システムを、NASA の航空機 P-3A や高高度飛行のできるジェット機 T-39 に搭載して実験を実施しました。ワロップス島にはアンテナ開口径 18 mφ、送信ピーク電力が 1MW のスパンダー (spander) と呼ばれる大型の直交偏波レーダ



第8図 NASA の航空機 P-3A の胴体下部の床穴部に取り付けられた通信総合研究所の降雨レーダ/放射計システムのオフセットパラボラアンテナ。



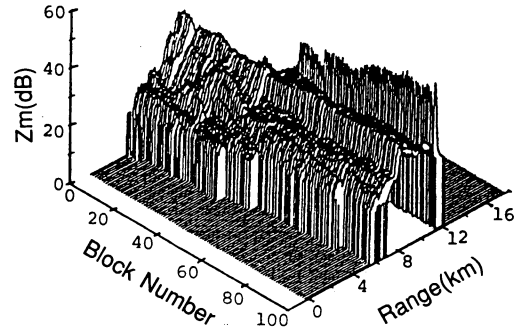
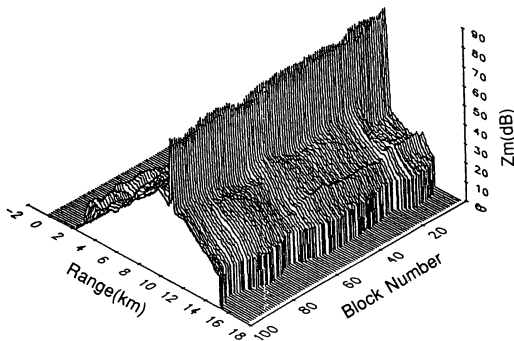
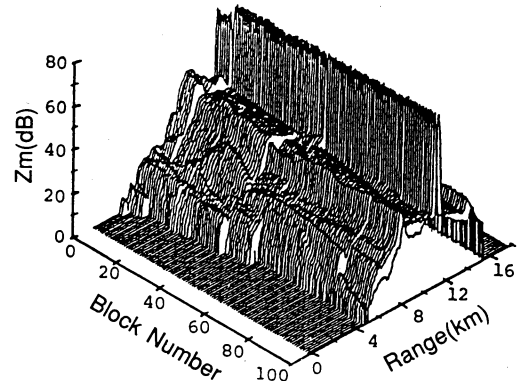
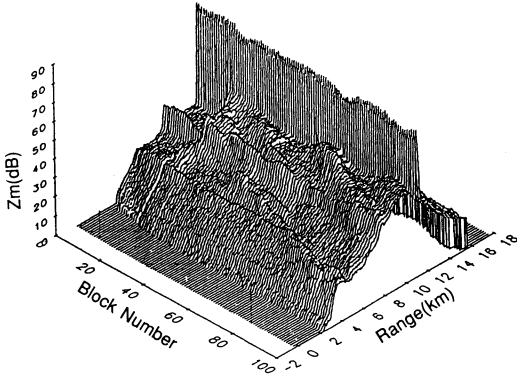
第9図 航空機搭載降雨レーダによる日米共同降雨観測実験時に用いられた NASA の航空機 T-39 (NASA/GSFC ワロプス飛行実験施設において)。



第10図 背景が海面のとき、降雨散乱領域のミラーイメージが出現することを説明する図。

があります。また地上雨量計網もグラウンドトゥースデータを収集するために用いました。この期間参加したのは中村健治主任研究官(当時)及び古津年章主任研究官(当時)でした。第7図にP-3A, 第8図にP-3Aの胴体下部に装置した当所の降雨レーダアンテナ部, 第9図にT-39を示します。この様に各種航空機を用途に応じて使えること, また当所の降雨レーダ/

放射計システムをこれらの航空機に搭載できる様に, 航空機とのインターフェース等の改修工事を安価に, かつ簡単にやってのける, なおかつ安全飛行のためのライセンスが簡単にとれる, 我が国では殆ど想像をすることのできない現実を目のあたりにし, サポート部門を含めたNASAの実験研究を実施する上の底力を知りました。

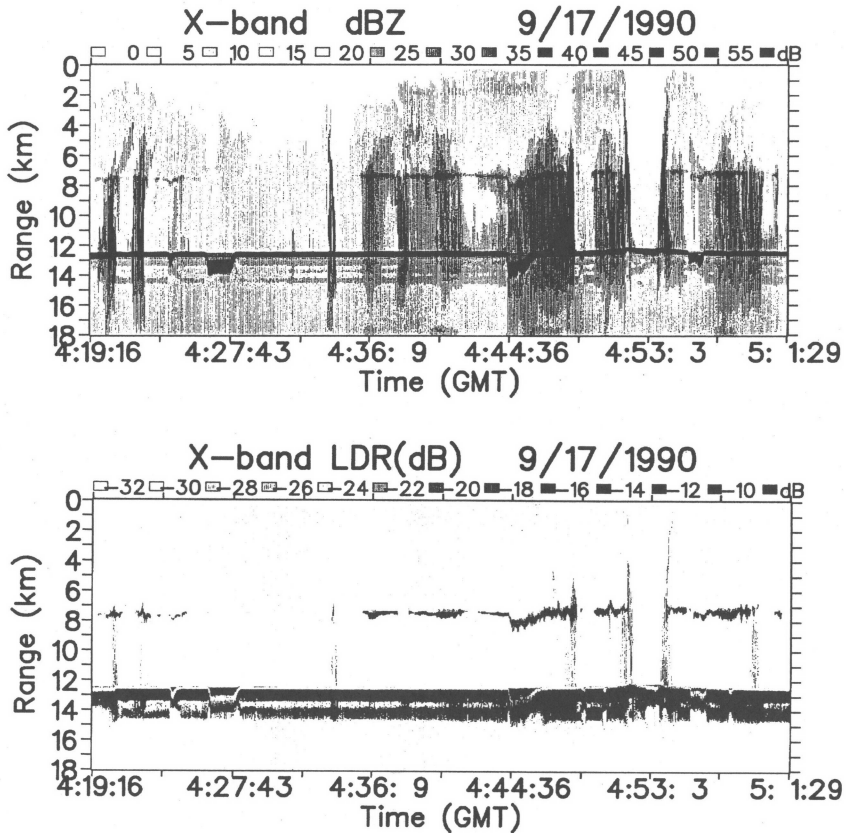


第11図 航空機搭載降雨レーダ (10GHz) で観測された降雨からの直接散乱領域のZ因子 (上図)およびミラーイメージ領域のZ因子 (下図)。

第12図 航空機搭載降雨レーダ (10GHz) で観測された降雨からの直接散乱領域のZ因子 (上図)および航空機搭載降雨レーダ (34.5GHz) で観測された降雨からの直接散乱領域のZ因子 (下図)。

背景がなめらかな海面の場合、降雨のミラーイメージ (鏡像) エコーを観測することができます。第10図はミラーイメージの概念 (Meneghini and Atlas, 1986) を示します。ミラーイメージは海面表面で反射された電力が途中の降雨によって散乱されて再度海面表面に向い、海面表面で再反射されレーダに向かうものです。第11図は古津氏によって T-39 から1988年11月1日に取得されたXバンドのZ因子の3次元プロットです。第11図の上図では縦軸は降雨のZ因子の大きさ、右上に向かう横軸は航空機から測った距離 (距離0が航空機の位置)、左上に向かう横軸はブロック番号であり、航空機の飛行方向の距離 (あるいは時間) を示します。降雨からの直接的なエコー及び航空機からの距離が約 11 km の所に強い海面からのエコーがみられます。第11図の下図では縦軸は降雨のZ因子の大きさ、右上に向かう横軸はブロック番号であり航空機の飛行方向の距離 (あるいは時間)、左上に向かう横軸は航空機から測った距離 (距離0が航空機の位置)

を示します。下図では航空機からの距離が約 11 km の所の海面からの強いエコーのあとに、海面よりも遠い所にエコーがある様に見えますがこれがミラーイメージです。第12図は Kozu *et al.* (1991) によるもので、上図はXバンドの下図は Ka バンドのZ-因子の大きさを示します。各軸の意味は第11図と同じ意味を持ちます。このZ-因子は降雨減衰を含んだものであって、Xバンドの場合海面からの散乱の大きさはほぼ一定の大きさを示しますが、Ka バンドの場合は海面エコーが降雨減衰によって飛行距離 (あるいは) 時間と共に変動している様子がよくわかります。日米共同降雨観測実験の第2期においては、熱帯降雨の観測を行うことを中心に実験を行いました。1990年9月には NASA DC-8 に当所の開発した降雨レーダ/放射計システム及び NASA の多周波のマイクロ波放射計を搭載して台風実験に参加し、熱帯域の台風の観測を実施しました (Kumagai *et al.*, 1991; 1992; 1993)。この実験の目的の一つは、降雨レーダとマイクロ波放



第13図 台風実験時に航空機搭載降雨レーダ (10GHz) で観測された降雨散乱のZ因子 (上図) および LDR 値 (下図).

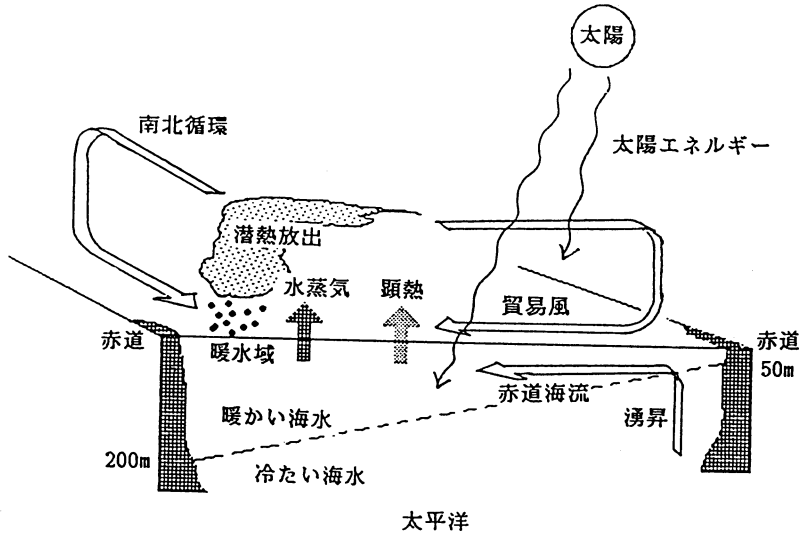
射計データを組み合わせて、TRMMにも利用可能な複合的な解析アルゴリズムを開発することでした。この実験では当所のXバンドレーダに一部改良を加え、送受同一偏波成分のZ因子Zhh(送信：水平偏波，受信：水平偏波)に加え、直交偏波成分のZ因子Zhv(送信：水平偏波，受信：垂直偏波)が受信できるようになりました。これによってLDR(Linear Depolarization Ratio = $10 \log(Zhv/Zhh)$)が、パルス毎に受信偏波を切り替えることによって観測することが可能となりました。1990年9月17日の実験においては、沖縄の東南120 kmに中心を有する台風Floの観測が高度13 kmから実施され、台風の眼の上を2度にわたって飛行しました。本実験では熊谷博主任研究官(当時)が参加しました。第13図の上図はXバンドのZ因子を表示したもので、縦軸は航空機から測った距離、横軸は現地時間であり、4時53分ごろに台風の眼の上を飛行しています。台風の眼の周辺の壁は強い降雨降度領域を示

します。縦軸の距離13 kmあたりの強いエコーは海面からのエコー、距離8 kmあたりのエコー(高度5 kmあたり)はブライトバンド(氷、雪片等が融けて雨滴に変化する物理過程が進行する融解層)のエコーであり、台風中と言えども層状性降雨が大部分であることがわかります。第13図の下図はXバンドのZ因子のLDRを示します。LDRデータでは、ブライトバンドの様な非対称な物質及び台風の眼の壁の様な強い降雨領域(多重散乱の影響と推定される)からのエコーが明瞭に観測されています。

3. 熱帯降雨観測衛星搭載降雨レーダの研究開発

3.1 熱帯降雨観測衛星計画の概要

TRMMは低緯度を中心とした軌道上の衛星に降雨レーダ、マイクロ波放射計及び可視・赤外放射計の降雨観測機器を搭載し、宇宙から熱帯域の降水量の水平、垂直分布を観測しようとする計画で、1985年に米国の

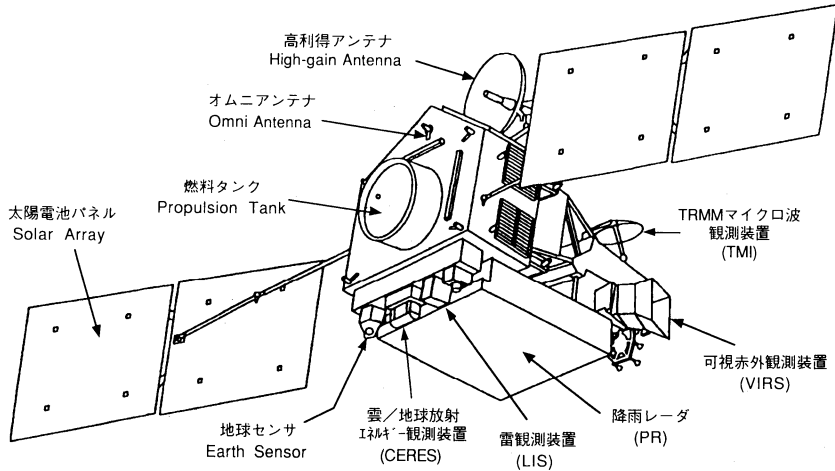


第14図 熱帯太平洋の気と海洋の相互作用を表す概念図。

研究者グループによって提唱されました。TRMM 衛星は1997年8月に、わが国の H-II 6号機によって軌道傾斜角 35° 高度 350 km の軌道に打ち上げられ、3年間の観測寿命が期待されています。観測においては熱帯全域にわたる降雨の直接測定を行います。そのデータから得られる最も基本的なデータは、経緯度 $5^\circ \times 5^\circ$ の区域毎の月平均降雨量です。これは熱帯域の水循環、大気大循環を駆動するエネルギー、また熱帯域だけでなく各地の洪水や干ばつなどの全地球の大気の年々変動に大きな関連を持つと考えられているエルニーニョ/南方振動現象の理解のための貴重なデータと考えることが期待されます。

第14図は現在考えられている熱帯太平洋域の気と海洋の相互作用の様子を示します (Nakamura *et al.* 1990b)。通常期においては、西太平洋の海洋表層には暖水域があり、この上空では積雲、降雨活動が盛んで水蒸気の凝結による潜熱の放出により気温が上がり、大気の上昇域ができます。この大気の上昇域によって太平洋の赤道上では上層で西風、下層で東風(貿易風)が引き起こされ、この下層の東風によって海洋には東から西に向かう赤道海流が生じています。また東太平洋のペルー沖では下方から冷たい海水の湧昇域が生じて海面温度の低い領域ができます。東太平洋から赤道海流に乗った海水は長期間太陽に暖められたのち西太平洋に達し、そこに暖水域を形成します。そしてこの暖水域の活発な水蒸気供給を受けて積雲が発達します。このようなフィードバックシステムが太平洋では

できています。ところがエルニーニョ期にはこのフィードバックが崩れ、暖水域とその上の活発な積雲、降雨活動域が東よりの中部太平洋に移動します。この結果、東太平洋やペルー沖の海水温度が異常に上昇します。この様に熱帯太平洋域の積雲、降雨活動は海との相互作用を通じて大規模な気象海象変動に大きな役割を果していると考えられています。降雨はこの様に大気の駆動源として重要であるにも拘わらず、観測が困難な物理量でもあります。特に熱帯太平洋域では広大な海洋が広がっており、陸上では熱帯雨林が広がっており、観測データが非常に少ない領域であります。従って熱帯地方の降雨観測のためには衛星観測しかないといっても過言ではありません。このために降雨観測用センサ等を搭載した TRMM 衛星が計画されました。第15図は TRMM 衛星の外観図を示します。TRMM 衛星は世界初の衛星搭載用の降雨レーダ (PR: Precipitation Radar) を搭載すると共に、マイクロ波放射計 TMI 及び可視・赤外放射計 VIRS (Visible Infrared Scanner) の降雨観測用センサに加え、地球や大気からの熱放射を観測する目的の赤外放射計 CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System)、雷を観測する目的の可視センサ LIS (Lightning Imaging Sensor) を搭載しています。衛星による積雲降水活動の観測は過去15年以上の歴史を持っています。しかし可視・赤外放射計は雲域・雲頂高度の観測はできますが、雲の下の降水量そのものを観測することはできません。マイクロ波放射計は水蒸気や降雨



第15図 熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の概念図。

第3表 TRMM 計画における日米分担。

分担項目	日本	米国
H-II ロケット	○	
衛星本体		○
搭載機器		
降雨レーダ (PR)	○	
TRMM マイクロ波観測装置 (TMI)		○
可視赤外観測装置 (VIRS)		○
雲及び地球放射エネルギー観測装置 (CERES)		○
雷観測装置 (LIS)		○
衛星の追跡・運用		○
データ処理システム	○	○
科学研究	○	○

等からの熱放射を測定することによって平均降雨強度を推定しますが、海面、地表面等からの放射を含めた積分値を得るものであり、特に陸上では、地表面からの熱放射が強く、降雨からの熱放射を覆いかくすので感度に問題があります。また降雨域の高度分布等の情報が得られません。これに対し、TRMM 搭載のレーダは陸上/海上の区別なく、また昼夜を問わずに降雨を直接に観測できるだけでなく、距離分解能があるので降雨の鉛直構造をも観測できること等の大きな利点を持っており、大いに期待されています。取得されたデータは基本的な流れとして、データ中継衛星 (TDRSS : Tracking and Data Relay Satellite System) を経由してホワイトサンズの地上局に降されます。その後 NASA の通信ネットワークを通じて NASA/GSFC に伝送され処理されます。また1日3

パスのリアルタイムデータが、実験的に我が国のデータ中継衛星とも言うべき COMETS (Communications and Broadcasting Engineering Test Satellite) を経由して日本の地上局に降されます。TRMM 計画における日米分担案を第3表に示します。計画では米国は衛星本体、VIRS、TMI、CERES、LIS のセンサを提供します。またデータ伝送及び追尾、衛星運用及びコントロールの責任を負います。また地上グラウンドトゥースデータの取得は大部分が米国によります。日本は打ち上げ用ロケット、降雨レーダを担当します。科学研究・データ利用は日米で対等であり、日米のサイエンス・チームを中心としたユーザが広く利用できます。TRMM データ処理アルゴリズムの開発は、降雨レーダについては日本のサイエンスチームを中心に、その他のセンサについては米国のサイエンスチームを中心に開発を行っています。

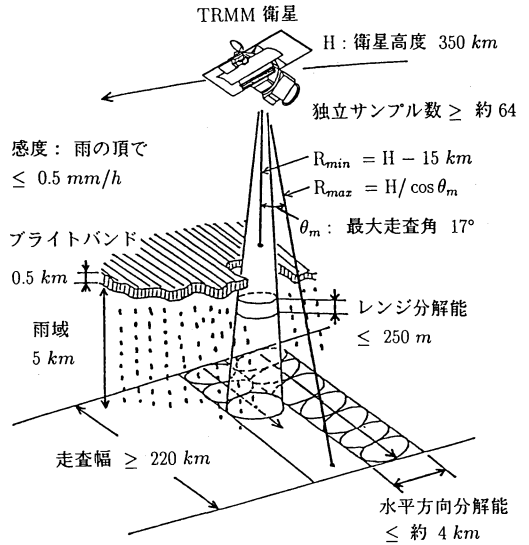
3.2 TRMM 搭載降雨レーダの概念検討

1987年1月から1988年3月までの間 TRMM 計画のフィージビリティスタディが実施され、通信総合研究所は降雨レーダを担当しました (Okamoto *et al.*, 1988a, 1988b, 1989, 1990a ; Nakamura *et al.*, 1990a)。降雨レーダの概念検討は、第4表及び第16図に示す TRMM 衛星搭載降雨レーダの満足すべき機能・性能に基づいて実施されました。これらの要求条件は、基本的に NASA の科学者側によって示された最低限度の要求条件に基づいています。衛星高度は赤道上空 350 km です。大型の太陽電池パネルを展開することは空気抵抗によって現実的ではありません。従って

第4表 TRMM 搭載降雨レーダに対するミッション要求条件.

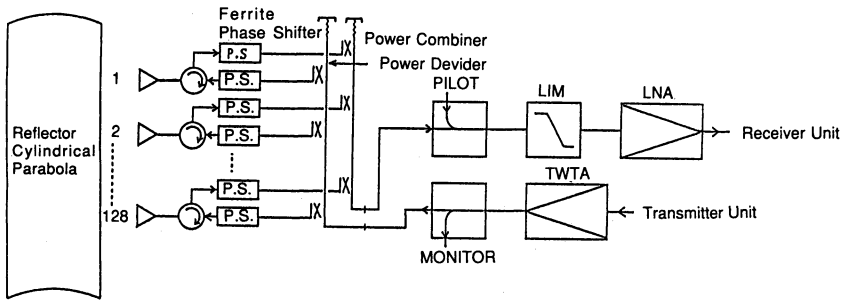
周波数	14 GHz
衛星高度	350 km
走査角	$\pm 17.0^\circ$
レンジ方向分解能	≤ 250 m
水平方向分解能	約 4 km (直下点)
最小観測可能降雨強度	≤ 0.5 mm/h (雨域の頂きで)
最大観測可能距離範囲	15 km + 5 km (直下点)
独立なサンプル数	≥ 64
アンテナサイドローブレベル	グラウンドクラッタの影響を除去できること

TRMM 搭載降雨レーダの利用できる電力は約 220 W と限られており、この制約条件の下に概念検討は実施されました。周波数は、周波数割当原則を考慮して 13.8 GHz を中心周波数として選んでいます (フィージビリティスタディを実施した1987年の時点においては周波数割当原則表によれば、13.4~14 GHz の周波数は宇宙研究用に二次業務として使用することができました。その後1992年に開始された世界無線通信主管庁会議 (WARC 92) において、13.75~14 GHz の周波数帯は固定衛星業務に第一次業務として割り当てられることになりましたが、TRMM 搭載降雨レーダに極力干渉を与えないような措置が採られています。地表面近くにおいて観測可能な降雨強度のダイナミックレンジをできる限り広くとるためには、降雨減衰の影響を受ける 24 GHz 帯、35 GHz 帯の周波数は適当ではありません。また周波数を 10 GHz 帯に下げた場合は、水平分解能の要求条件を満たすためにはアンテナ開口径が大きくなり過ぎます。これらのことから 13.8 GHz の選択は妥当と考えられます。走査角 (あるいは走査幅) は大きい程良いわけですが、走査角が大きくなると、アンテナビーム幅とパルス幅で決まるレンジビンの垂直方向の分解能が急激に劣化しますので、走査角をむやみに大きくすることはできません。また1つのアングルビン (アンテナビームの指向する方向) 内の滞在時間を長くするためにも走査角を大きくすることはできません。この点で降雨レーダの走査はマイクロ波放射計のようなコンカルスキャンは好ましいものではなく、アンテナビームは鉛直下方向を中心にして衛星の進行方向に直交する平面内を往復する走査方式となります。走査角として $\pm 17^\circ$ のとき走査幅は第16図に示すように 220 km となります。アンテナビームが走査範囲を隙間なく走査するには、衛星が約 4 km の水平方向分解能の距離を移動する時間の間 (衛星の地

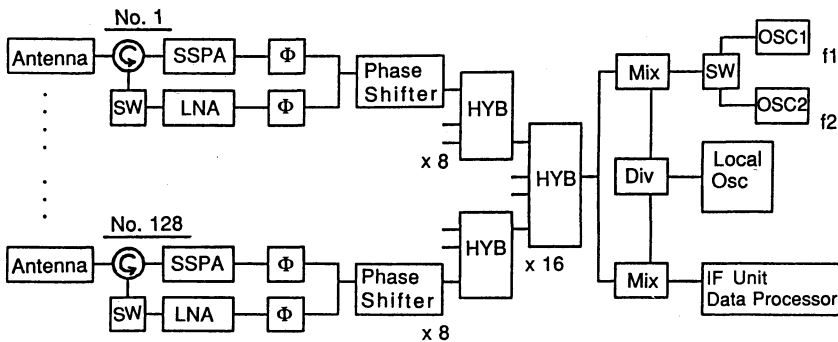


第16図 TRMM 搭載降雨レーダに対する要求条件と降雨モデル.

表軌跡の移動速度 7.3 km/秒のとき約 0.6秒となる) に $\pm 17^\circ$ の範囲を走査する必要があります。このような高速でアンテナビームを走査するには、機械的にアンテナビームを走査するのではなく電子走査が不可欠となります。各レンジビン内に存在する降雨から散乱されて戻ってくる電波の強度はそれぞれの平均値のまわりに大きく変動するため、独立とみなせる十分な数の受信強度のサンプル値を平均して変動を押える必要があります。独立なサンプル数の要求値は64以上であります。水平方向の距離分解能の要求値はレーダの直下点で約 4 km \times 4 km、またレンジ方向の距離分解能は 250 m です。観測可能な最大の高さの要求値は 15 km であり、衛星高度を H、最大アンテナ走査角を θ_m とすると、レーダから見た観測範囲は最小観測距離 R_{min} が $R_{min} = H - 15$ km、最大観測距離 R_{max} がほぼ $R_{max} = H / \cos \theta_m$ となります。その他、直下点方向では、海面からの反射で生じる降雨のミラーイメージを観測することが要求されています。降雨域の高さは 5 km と仮定していますから、直下点でのミラーイメージの観測に必要なレーダからの最大の距離は H + 5 km となります。また最小観測可能降雨強度は雨域の頂において規定され、0.5 mm/h 以下の値が要求されています。第16図に示す様に降雨モデルとして高さ 5 km の一様降雨強度の降雨の層の上に、厚さ 0.5 km のブライトバンドを仮定しています。降雨の Z 因子 (mm^6/m^3) およ



第17図 パッシブアレー方式降雨レーダ RF 部のブロック図.



第18図 アクティブアレー方式降雨レーダ RF 部のブロック図.

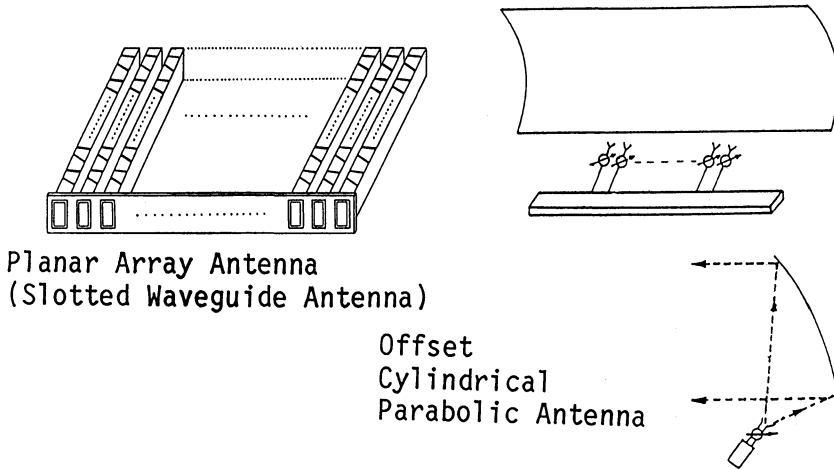
び減衰係数 k (dB/km) と降雨強度 R (mm/h) の関係は Ulbrich (1987) による $Z=372.4R^{1.54}$ 及び Olsen *et al.* (1978) による $k=0.032R^{1.124}$ の関係を用いています。ブライトバンドの減衰係数は、その下に存在する降雨の減衰係数の2倍と仮定します。

降雨レーダの概念検討においてレーダタイプを選ぶ上で検討を要する主要な技術的課題は、(1)パルス圧縮方式か非パルス圧縮方式か、(2)パッシブアレー方式かアクティブアレー方式か、(3)プレーナアレー方式かオフセットシリンドリカルパラボラアンテナ方式かの三点でした。

(1)パルス圧縮方式対非パルス圧縮方式

パルス圧縮方式は、低ピーク電力の長いパルス幅のパルスを送信し、受信後フィルタにより圧縮して等価的に短いパルス幅の大きなピーク電力を作り出す方式です。大きなピーク電力を実現し難い時によく用いられる方式です。圧縮比を大きく選ぶことによって短いパルス幅を実現し、250 m よりも小さな距離分解能を実現することができます。距離分解能を250 m の $1/N_r$ に設定し、 N_r 個のレンジについて積分して、距離分解

能が250 m の場合のデータとして合成すれば、その独立サンプル数は非パルス圧縮方式の場合の N_r 倍となります。パルス圧縮方式を採用することによって、NASA の要求を満たす独立サンプル数を容易に確保することができます。これはパルス圧縮方式の利点ですが、パルス圧縮に伴って生じるレンジサイドローブ領域の地表面クラッタが降雨エコーと干渉を生じる問題があります。鉛直下方向を見る場合、背景が海面の場合、海上風の強さによって異なりますが、海面クラッタは降雨エコーに比べて約60dB程度大きいため、レンジサイドローブ内のクラッタの影響を受けずに降雨エコーの観測を行うには、少なくとも-60 dB程度にまでレンジサイドローブレベルを下げる必要があります。しかし現在までのところ、このような低いレンジサイドローブレベルを実現するための技術は開発されていません。パルス圧縮方式は3種類に大別できます。送受とも表面弾性波 (SAW) デバイスを用いるアナログタイプのパルス圧縮方式はほぼ確立した技術ですが、実現可能なレンジサイドローブレベルは高々-45 dB程度です。送受信共にデジタル化されたパルス圧



第19図 TRMM 搭載降雨レーダのために検討された2つのタイプのアンテナ：平面アンテナ（導波管スロットアレーアンテナ）およびオフセットシリンダリカルパラボラアンテナ。

縮方式では -60 dB 程度以下のレンジサイドロープレベルも期待されますが、開発要素が大きく、また消費電力も大きいため、TRMM 打ち上げのタイムフレームの中では衛星搭載用システムを開発することは困難と考えられ、TRMM ではパルス圧縮方式は採用しないことになりました。通常の非パルス圧縮方式では、パルス圧縮ほどシャープなパルスを得るのが困難ですが、レンジサイドロープを問題にしないですむという利点を有します。

(2) パッシブアレー方式対アクティブアレー方式

送信機および受信機にシステム全体で共通の進行波管増幅器 (TWTA : Travelling Wave Tube Amplifier) および低雑音増幅器 (LNA : Low Noise Amplifier) を用い、アレーアンテナの動作に必要な給電部の位相制御を受動素子で行う方式をパッシブアレー方式、アレー素子それぞれに移相器と固体増幅器 (SSPA : Solid State Power Amplifier) , LNA の能動素子を組み合わせる方式をアクティブアレー方式といいます。第17図にシリンダリカルパラボラを用いる場合の、パッシブアレー方式レーダのRF部のブロック図の例を示します。この場合、送信機出力は分岐されたあと各1次ホーンアレー素子へと給電され、また各アレー素子で受信された信号は合成後LNAで増幅されます。移相器は増幅器とアレー素子、アレー素子とLNAの間に配置されます。この方式では高出力の送信用増幅器が必要でありTWTAの使用を考えます。また移相器としては耐電力性、低損失性と共に細

かい位相制御性を要求しますので、5ビットのフェライト移相器を選びます。パッシブアレー方式は構成が単純で軽量であるという利点がある反面、TWTAの故障が直ちにレーダシステム全体の機能低下に結びつくという欠点を有します。パルスTWTAは特殊な高圧の電源回路を必要とし、高圧対策及び他の機器に与えるEMC対策も重要な技術問題となります。第18図にアクティブアレー方式のRF部を中心としたブロック図を示します。この場合各アレー素子は送信用固体増幅器 (SSPA) と受信用LNAに直結しています。TRMM 降雨レーダではアレー素子数は128となるので、送信用増幅器として小型軽量で位相特性の安定なGaAs FETのSSPAの使用を考えます。移相器としては、損失が約5 dBと大きいものの小型軽量の5ビットのPINダイオード移相器の使用を考えています。アクティブアレー方式の場合、送受信の移相器の損失はそれぞれ後段に位置するSSPA及び前段に位置するLNAより補償することができます。アクティブアレー方式は素子数が多く構成が複雑で重量が大きくなる反面、少数のアレー素子が故障しても、それがレーダシステム全体の大きな機能低下に結びつかないという利点を有します。また1つ1つの送信素子の電力が小さいため電源回路も簡単になります。現時点では効率の点ではまだ困難ですがMMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 化することによってシステム全体をモジュール化し、小型軽量化する可能性を持っており、我が国が得意とする固体素子技術を

第5表 フィージビリティスタディにおける概念検討による TRMM 降雨レーダの主要諸元.

周波数	13.8 GHz
アンテナ	
タイプ	平面アレーアンテナ
利得	47.7 dB
ビーム幅	$0.71^\circ \times 0.71^\circ$
開口径	2.2 m × 2.2 m
サイドロープレベル	約 -30 dB
走査角	$\pm 17^\circ$
送信機	
タイプ	固体増幅器 (128台)
ピーク電力	577.8 W
パルス幅	$1.67 \mu\text{s} \times 2$ チャンネル
PRF (*1)	2778 Hz
受信機	
雑音指数	2.3 dB
バンド幅	0.78 MHz × 2 チャンネル
ダイナミックレンジ	≥ 70 dB
線形性	$\leq \pm 0.5$ dB
最小受信電力	-112.8 dBm
その他	
所要S/N (*2)	0 dB (単一エコーに対して)
全システム損失	2.0 dB
フィルタ損失	1.5 dB
独立サンプル数 (*3)	64 (32 × 2)
データレート	85 kbps
消費電力	224 W
重量	347 kg

(*1) 固定 PRF: 周波数アジリティを用いる. (13.796 GHz および 13.802 GHz)

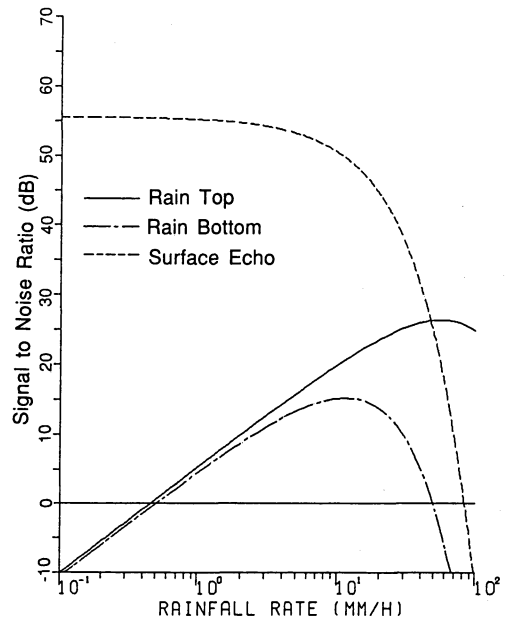
(*2) 雨域の頂きにおける観測可能最小降雨強度 0.5 mm/h.

(*3) 周波数アジリティを用いる.

発展させることにつながります.

(3) プラナーアレーアンテナ方式対オフセットシリンドリカルパラボラアンテナ方式

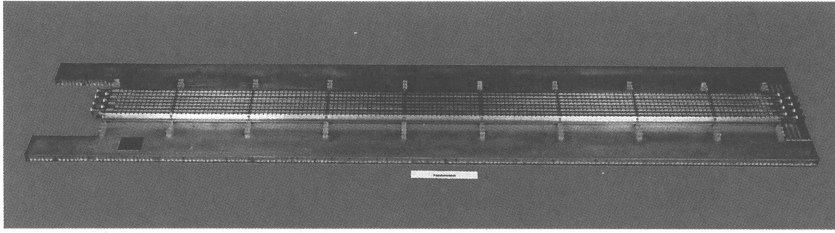
TRMM 降雨レーダ用アンテナとしては、主ビームの高速走査性と共に地表面クラッタの干渉を抑えるために、平均的に -35 dB 以下の低サイドローブ特性が要求されます。また寸法が大きいので、衛星や打ち上げロケットとの機械的適合性も重要です。これらの条件をほぼ満たす電子走査型アンテナとして、導波管スロットプラナーアレーアンテナと、線型1次ホーンアレーで励振したオフセットシリンドリカルパラボラアンテナの2つのタイプを検討の対象としました。第19図に2つのタイプのアンテナの概観図を示します。アンテナの開口径は、アンテナビーム幅、利得、所要のサイドローブ特性等によって決まります。アレー素子間隔は、最大走査角においてグレーティングローブの



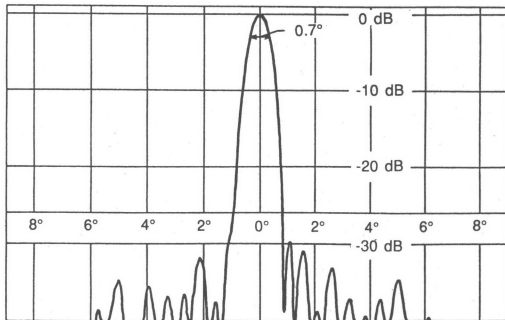
第20図 降雨エコーならびに海面散乱エコーの単一パルス S/N 比 (直下点).

生じないための条件より決まります。導波管スロットアレーアンテナの場合のアンテナ開口径は約 2.1 m となります。シリンドリカルパラボラ反射鏡のビーム走査方向の寸法は、ビーム走査を行うため1次ホーンアレーの寸法よりもかなり大きく約 3 m となります。TRMM 衛星の打ち上げロケットと想定される H-II ロケットのフェアリング径は約 3.5 m であり、いずれのタイプのアンテナもロケットに搭載が可能と考えられます。

以上の3項目のトレードオフの結果、概念検討においては TRMM 降雨レーダとしては、非パルス方式で我が国の得意の技術が使えて将来性もあるアクティブアレー方式を採用することにしました。アンテナはアクティブアレー方式との整合性の観点から、寸法が小さくて良いプラナーアレーアンテナ方式を採用することにしました。フィージビリティスタディ段階で検討した TRMM 降雨レーダの主要ミッションパラメータをまとめて第5表に示します。独立なサンプル数64を確保するために周波数アジリティの方式(6 MHz 離れた2周波数を用いています)を採用しています。重量等の見積りはフィージビリティスタディ段階の概念検討の結果であり、現在の宇宙開発事業団の詳しい設計検討では冗重系を含めて約 450 kg と大幅に増加し



第21図 TRMM 搭載降雨レーダ機能性能確認モデル8素子導波管スロットアレーアンテナ。



第22図 8素子導波管スロットアレーアンテナの管軸方向のアンテナパターン。

ています。信号対雑音比の計算結果を第20図に示します。単一パルスについて $S/N=0$ dB の条件で観測可能な最小の降雨強度は、雨域の頂で 0.5 mm/h の要求条件を満足しています。雨域の底においては 0.5 mm/h から 52 mm/h の範囲の降雨強度が観測されます。海面散乱の降雨減衰データを用いる場合、観測可能な平均降雨強度は単一パルスについて $S/N=0$ dB の条件で 80 mm/h 程度まで増加します。

3.3 TRMM 搭載降雨レーダ機能性能確認モデルの試作

フィジビリティスタディ終了後、通信総合研究所では TRMM 搭載降雨レーダの機能性能を確認するための主要部品の試作を、国内メーカーの協力を得て 1988年より開始しました (Okamoto *et al.*, 1990b, 1991, 1992)。これらの主要部品は(1) 8素子の導波管スロットアレーアンテナ、(2) 5ビットの PIN ダイオード移相器、(3) 10 W 出力の固体増幅器、(4) 低雑音受信増幅器でした。(2)~(4)の部品は組み上げられて 8素子の送受信 RF 部が構成されました。その後 IF 部を組みあけて 8素子のアクティブアレーレーダとして機能性能が確認できるモデルを試作し、降雨観測実験

第6表 8素子導波管スロットアレーアンテナ主要諸元。

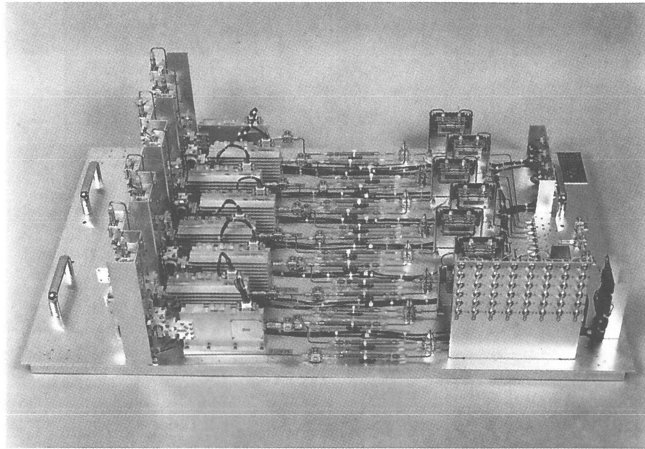
中心周波数	13.8 GHz
バンド幅	± 10 MHz
長さ	2.2 m
スロット間隔	16 mm
偏波	水平偏波
VSWR	1.08
導波管損失	0.27 dB
放射効率 (*1)	$> 95.8\%$
管軸方向の面内のビーム幅	0.7°
管軸方向の面内の最大サイドローレベル	< -28 dB
管軸方向の面内の広角サイドローレベル	< -35 dB
ビームチルト角	4°

(*1) $(P_{in}-P_L)/P_{in} \times 100(\%)$:

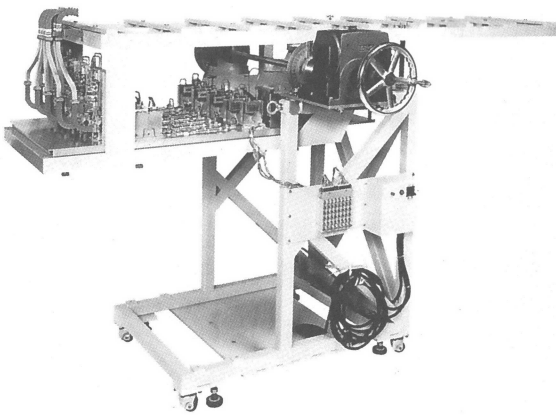
P_{in} : 入力電力

P_L : アンテナ終端のダミーロードで吸収される電力

及び別途開発した能動型レーダ較正装置と対向試験を実施しました。アンテナ部の試作は東芝、それ以外の送受信部等の試作は NEC におりましたが、全面的な協力を得ることができ、アクティブアレー方式の降雨レーダが TRMM 搭載降雨レーダとしての基本的な機能性能を満足することを確認しました。第21図は 8素子の導波管スロットアレーアンテナの外観図です。またその主要諸元を第6表に示します。管軸方向の長さは 2.2 m ですが、管軸方向のアンテナパターンを第22図に示します。 -30 dB 以下の広角サイドローブ特性が実現されています。第23図は 8素子送受信 RF 部の外観図で、8素子の SSPA, LNA, 移相器等を組み合わせたものです。第24図は送受信 RF 部、IF 部を組み合わせた試験装置で、第21図のアンテナと共に機能性能確認モデルを構成し、降雨観測実験に用い、ほぼ所要の性能で降雨を観測することができました。第25図は降雨レーダ較正用の能動型レーダ較正装置の



第23図 TRMM 搭載降雨レーダ機能性能確認モデル8素子送受信 RF 部外観図.

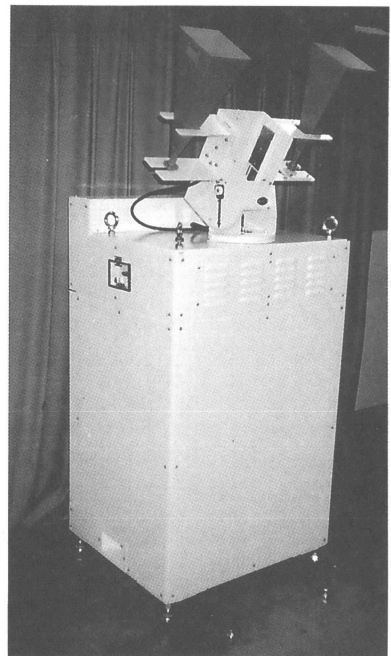


第24図 TRMM 搭載降雨レーダ機能性能確認モデル8素子送受信 RF 部及び IF 部を組み合わせた試験装置.

外観図です。同装置は、レーダ信号を受信する機能（レーダ送信系の較正のため）、レーダと同じ周波数帯の電波をレーダに向けて送信する機能（レーダ受信系の較正のため）及びレーダ信号を受信し、遅延をかけてレーダに送り返すトランスポンダ機能（レーダ送受信系のトータルな較正のため）を持っています。

4. おわりに

現在、宇宙開発事業団の地球観測衛星グループの手によって TRMM 搭載降雨レーダの開発が推進されています。搭載用の降雨レーダは1995年の12月ごろまでに完成し、米国 NASA/GSFC に運び、人工衛星本



第25図 能動型レーダ較正装置外観図.

体とのインテグレーションテストを実施し、その後日本に運び H-II ロケットに搭載し、1997年8月の打ち上げを目指しています。最初に米国で計画が提案されてから12年経ってようやく実現することになるわけです。よく衛星計画は10年かかると言われますが、初めての日米共同の地球観測衛星プロジェクトということもあり予想以上に時間がかかりました。双方の国の財

政的理由等で途中何度も一旦停止することがありましたが、多くの方々のねばり強い努力が実を結び今日に到りました。今後は打ち上がった後、いかに有効にデータが使われるかが問題となり、科学者の責任も大きくなるものと思われまます。我が国の宇宙計画ではまずロケットがあり、ロケットを打ち上げるために衛星が計画され、衛星計画をサポートするためにミッションが考えられる、というような発想が市民権を得ていた様な時期がありました。日米協力を通して、アメリカ側の科学者のミッション要求が計画を動かす原動力となることを知らされました。ミッションの科学的重要性が先ず初めにあり、衛星計画が起き上がって行きます。そのかわり最初にミッション要求をした科学者の責任もわが国とは比較にならない位大きなものとなり、衛星計画にも大きく組みこまれていきます。TRMM 計画は GEWEX (全球エネルギー・水循環国際共同実験計画) から大きな期待がかけられていますが、3年間のミッションであり、エルニーニョ現象を解明するには10年規模の観測が必要で、ミッションの継続性が要求されます。さらに TRMM の後継機以外にも、地球の熱放射に大きな影響を与える雲の分布を観測する目的の雲レーダを搭載する新しい衛星計画も GEWEX で要請されています。わが国の気候・気象・海洋・水文・防災等の分野の科学者の方々が地球的規模の気候変動を解明するために進んでミッションを提案し、中心となって衛星計画を推進するような時代になることを望んで止みません。最後になりましたが、宇宙開発事業団、東京大学気候システム研究センターを初め、TRMM 計画の推進に努力をしておられる関係各位に深く感謝致します。TRMM 計画がここまで前進して来られたのも多くの方々の御理解と御支援の賜であります。今後とも一層の御支援を心からお願い申し上げます。

参 考 文 献

- Fujita, M., K. Okamoto, H. Masuko, S. Yoshikado and K. Nakamura, 1985a : Influence of rain rate profile and path-integrated rain rate by an airborne microwave rain-scatterometer, *Radio Sci.*, **20**, 631-642.
- Kozu, T., K. Nakamura, R. Meneghini, and W. Boncyk, 1991 : Dual-parameter radar rainfall measurement from space : A test result from an aircraft experiment, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **29**, 690-703.
- Kumagai, H., R. Meneghini and T. Kozu, 1991 : Multiple-parameter airborne rain radar experiment in the western pacific, Preprint of the 25th International Conference on Radar Meteorology, 400-403.
- Kumagai, H., R. Meneghini and T. Kozu, 1992 : Hydrometeor discrimination in melting layer using multiparameter airborne radar measurement, *Proc. of IGARSS' 92*, 1725-1727.
- Kumagai, H., R. Meneghini and T. Kozu, 1993 : Preliminary results from multiparameter airborne rain radar measurement in the western pacific, *J. Appl. Meteorol.*, **32**, 431-440.
- Meneghini, R. and D. Atlas, 1986 : Simultaneous ocean cross section and rainfall measurements from space with a nadir-looking radar, *J. Atmos. and Ocean Technol.*, **3**, 400-413.
- Nakamura, K., K. Okamoto, T. Ihara, J. Awaka and T. Kozu, 1990a : Conceptual design of rain radar for the Tropical Rainfall Measuring Mission, *Int. J. of Satellite Communications*, **8**, 257-268.
- Nakamura, K., T. Nitta, T. Matsuno and J. Simpson, 1990b : Science background and goals of TRMM, *Rev. of CRL*, **36**, 57-70, in Japanese
- Okamoto, K., S. Yoshikado, H. Masuko, T. Ojima, N. Fugono, K. Nakamura, J. Awaka and H. Inomata, 1982a : Airborne microwave rain-scatterometer/radiometer, *Int. J. Remote Sensing*, **3**, 277-294.
- Okamoto, K., T. Ojima, H. Masuko, S. Yoshikado, H. Inomata and N. Fugono, 1982b : Remote sensing of precipitations by the airborne microwave rain scatterometer/radiometer system, *J. Remote Sensing Society of Japan*, **2**, 31-50, in Japanese.
- Okamoto, K., ed., 1988a : A feasibility study of rain radar for the Tropical Rainfall Measuring Mission, *J. Commun. Res. Lab.*, **35**, 109-208.
- Okamoto, K., J. Awaka, T. Ihara, T. Manabe, K. Nakamura and T. Kozu, 1988b : Conceptual design of rain radar in the Tropical Rainfall Measuring Mission, *Proc. of the Sixteenth International Symposium on Space Technology and Science*, 2277-2282.
- Okamoto, K., J. Awaka, T. Ihara, K. Nakamura, T. Kozu and T. Manabe, 1989 : Conceptual design of rain radar in the Tropical Rainfall Measuring Mission and on the Japanese Experiment Module at the manned space station program, Preprint volume of the Fourth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography, 18-21.

- Okamoto, K. and T. Tanaka, 1990a : Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Proc. of the Seventeenth International Symposium on Space Technology and Science, 1947-1952.
- Okamoto, K., T. Ihara, J. Awaka, T. Kozu, K. Nakamura and M. Fujita, 1990b : Rain radar in the Tropical Rainfall Measuring Mission, Proc. of URSI-F Special Open Symposium, regional effect of rain rate, 171-174.
- Okamoto, K., T. Ihara, T. Kozu, K. Nakamura, J. Awaka, and M. Fujita, 1991 : Development status of rain radar in the Tropical Rainfall Measuring Mission, Reprint volume of the 25th International

- Conference on Radar Meteorology, 388-391.
- Okamoto, K., T. Ihara and H. Kumagai, 1992 : Development of Bread Board Model of TRMM precipitation radar, Proc. of the Eighteenth International Symposium on Space Technology and Science, 1919-1924.
- Olsen, R. L., D. V. Rogers and D. B. Hodge, 1978 : The aRb relationship in the calculation of rain attenuation, IEEE Trans. Antenna Propag. AP-26, 318-329.
- Ulbrich, C. W., 1987 : Private communication from D. Atlas, based on the empirical fits on the experimental data by Joss.

日本気象学会1994年度春季大会の報告

日本気象学会1994年度春季大会は、1994年5月24～26日にお茶の水スクエアで行われた。参加者数は615名（一般会員457，学生会員131，非会員27）であった。

2日目午後には、大会シンポジウム「酸性雨」に続き、総会が開かれ、定款の一部改正が承認された。これに続き、学会賞と藤原賞の記念講演が行われた。

会期中およびその前後には、個別のテーマによる研究会が計6件開かれた。

発表申込件数は318件で、ほぼ前回並であった。その内訳は第1種講演が236，第2種講演が65，ポスターが17件であった。第2種講演として申し込まれた講演の

うち、予稿の書き方が第2種の要件を満たさない等の理由でプログラム編成時に第1種に変更されたものが12件（前回は11件）あった。

講演企画委員会は、大会発表数の制限と第2種講演の要件変更を内容とする講演申込方法について、大会期間中にアンケートを行い、38件の回答を頂いた。アンケートの結果については、秋季大会プログラムに合わせて「天気」誌上（9月号）に報告する予定である。

今大会事務局として大会準備・運営にご尽力頂いた気象庁観測部と気象大学校の皆様へ深く感謝の意を表します。

1994年7月 講演企画委員会

第6回 IGBP/GAIM 研究会のお知らせ

日 時：1994年10月21日（金） 9：00～13：00
会 場：九州大学・理学部・生物学教室・会議室
（箱崎キャンパス理学部3号館5階）

上記の日程で第6回のGAIM研究会を開きます。今回も招待講演と一般講演を行う予定です。地球圏と生物圏との間の相互関係を主にモデルを用いて研究されておられる方の発表を募集いたします。希望者は8月

末日までに演題を添えて下記にお申し込み下さい。
尚、参加費などは一切ありません。

申込先：〒305 つくば市天王台1-1-1
筑波大学・生物科学系
及川 武久
(TEL & FAX) 0298-53-6661