地球観測データ利用ハンドブック - TRMM編 -



2001年2月



<u>地球観測データ利用ハンドブック</u> - TRMM 編 -



はじめに

近年、地球規模の環境変化を把握する必要性について、世界的な関心が高ま りつつあります。このような問題に対し、人工衛星による宇宙からの観測技術 を利用し、地球を診断しようとする新たなチャレンジとして、熱帯降雨観測衛 星(Tropical Rainfall Measuring Mission: TRMM)計画が日米の協力で進められてい ます。この TRMM は、世界で初めて、地球規模の気候変動の解明や環境変化の モニターに重要な熱帯地域の降雨強度やその分布に関わるデータを取得するこ とを目指したものです。

TRMM は、1997 年 11 月、宇宙開発事業団 / 種子島宇宙センターから H-II ロ ケットにより打ち上げられ、高度約 350 km、軌道傾斜角 35 度、周期約 90 分で 地球を周回する軌道にのりました。その後、観測データの収集が開始され、今 年 1 月末に当初計画していた 3 年間の定常運用段階を終えました。現在は、さ らなる科学的成果を目指した後期運用段階に入っており、今後約 3 年程度は運 用が継続できるものと見込まれています。

TRMM の観測データは、米国の追跡・データ中継衛星(Tracking and Data Relay Satellite: TDRS)を経由して NASA の地上局で受信され、NASA ゴダード宇宙飛行センターから、宇宙開発事業団 / 地球観測センター(Earth Observation Center: EOC)に伝送されてきます。

本書は、EOC で得たデータを、広く解析研究に利用・活用していただくため に必要となる情報を、データ利用者の皆様に提供することを目的として作成し ました。また、それらの研究に基づき地球規模の気候変動や環境保全に貢献で きればと期待しております。

最後に本書の作成・編集にあたり、多忙の中、ご協力いただきました研究者 (PI)並びに総務省通信総合研究所(CRL)の方々、及び財団法人リモート・セ ンシング技術センター(RESTEC)、地球観測データ解析研究センター(EORC) をはじめとする NASDA の関係者の皆様に心から感謝致します。

平成 13 年 2 月

宇 宙 開 発 事 業 団 地球 観 測 セン ター

地球観測データ利用ハンドブック -TRMM 編-

目 次

1	序	「論		1-1
	1.1	目的		1-1
	1.2	範囲		1-1
	1.3	TRMM	(ミッション	1-1
	1.4	日米の	役割分担	1-3
2	T	RMM 4	衛星システムの概要	2.1
2	21	御足シ	<i>戦生ノハノムの</i> 減安	
	2.1		<i>へ。</i> ●信データ処理系	
	2.	1.1 č 12 ž	空后,	
	2.	حد 1.2 13 آ	雪装系	2-5
	2.	1.5 4 14 व	言	2-5
	2.	1.7 4 15 £	=////////////////////////////////////	2-6
	2.	1.5 点 16	就制御系	
	2.	1.0 <u>x</u> 17 4	生准系	2_7
	2.	1.7 J. 18 E	星圈系	2-8
	2.2	1.0 九 塔載機	線の概要	2_9
	2.2		品の減少 条雨レーダ(PR)	2-9
	2	2.1 -	ミッション概要	2-9
		22.2.1.1	システム主要諸元	2-9
	2	2.2.1.2 2.2 T	アハテム工具語のUnited States (TMI)	2-11
	2	2221	ミッション概要	2-11
		2222	システム主要諸元	2-11
	2	2.3 Ē	「視赤外観測装置(VIRS)	2-12
	2	2231	ミッション概要	2-12
		2.2.3.2	システム主要諸元	
	2.	2.4 <i>\overline</i>	■アバクユニシ品の ■及び地球放射エネルギー観測装置(CERES)	
		2.2.4.1	ミッション概要	
		2.2.4.2	システム主要諸元	
	2.	2.5 冨	雪観測装置(LIS)	
		2.2.5.1		
		2.2.5.2	システム主要諸元	
	2.3	軌道概	·····································	
	2.4	運用フ	ー 'ェーズ	
	2.5	衛星・	センサの運用方針	
	2	5.1 循	新星運用	
	2	5.2 t	センサ運用	2-21
		2.5.2.1	降雨レーダ	2-25
		2.5.2.2	TRMM マイクロ波観測装置	2-26
		2.5.2.3	可視赤外観測装置	2-26
		2.5.2.4	雲及び地球放射エネルギー観測装置	2-27

2.5.2	2.5 <i>雷観測装置</i>	2-29
2.6 降雨	<i>『レーダの詳細仕様説明</i>	2-30
2.6.1	構成及び諸元	2-30
2.6.2	機能	2-33
2.6.3	性能	2-36
2.6.4	動作の概要	
2.6.5	コンポーネントの説明	2-40
2.6.5	5.1 アンテナ系	2-40
2.6.5	5.2 送受信系	2-42
2.6.5	5.3 信号処理系	2-44
2.6.5	5.4 構造系	2-47
2.6.5	5.5 その他	2-47
2.6.6	観測モデル	2-47
2.6.6	5.1 <i>ラジオメトリックモデル</i>	2-47
2.6.6	5.2 観測距離モデル	2-48
2.6.6	5.3 幾何モデル	2-50
3 TRMM	<i>1 地上システムの概要</i>	
3.1 TRM	1M 運用全体地上システム	
3.2 TRM	1M 降雨レーダデータ処理システム	
3.2.1	<i>処理設備</i>	
3.2.2	<i>検証設備</i>	
3.2.3	運用計画設備	
3.2.4	能動型レーダ校正器 (ARC)	
3.3 地球	<i>、観測情報システム</i>	
3.3.1	データ総合管理・提供システムの概要	
3.3.2	データ提供系システム	
3.3.3	スケジュール管理系システム	
3.3.4	カタログデータ伝送系システム	
3.3.5	オンライン情報系システム	
3.3.6	EOIS ユーザインタフェースソフトウェア	
3.3.7	ブリッジサブシステム	
3.4 NAS	5A 地上設備	3-16
3.4.1	ミッション運用センター(MOC)	
3.4.2	NASA 通信系	
3.4.3	ネットワーク制御センター (NCC)	
3.4.4	飛行力学系設備(FDF)	
3.4.5	センサデータ処理設備(SDPF)	
3.4.6	TRMM 科学データ情報システム(TSDIS)	
3.4.7	ラングレー研究センター (LaRC)	
3.4.8	マーシャル宇宙飛行センター(MSFC)	
3.4.9	スペースネットワーク (SN)	
3.4.10	ワロップス局 (WFF)	

4	T_{-}	RMM プ	ロダク	トの概要	 	 		 4-1
	4.1	提供デー	タプロタ	^ヾ クト	 	 	•••••	 4-2

 4.1.1.1 データの種類 4.1.1.1 処理アルゴリズムの概要 4.1.1.2 データの利用目的 4.1.2 TRMM マイクロ波観測装置 	
 4.1.1.1 処理アルゴリズムの概要 4.1.1.2 データの利用目的 4.1.2 TRMM マイクロ波観測装置 	4-5 4-30
 4.1.1.2 データの利用目的 4.1.2 TRMM マイクロ波観測装置 	4-30
4.1.2 TRMM マイクロ波観測装置	
	4-31
4.1.2.1 テーダの裡鶏	4-31
4.1.2.2 処理アルゴリズムの概要	4-31
4.1.3 可視赤外観測装置	4-36
4.1.3.1 データの種類	4-37
4.1.3.2 処理アルゴリズムの概要	4-37
4.1.4 複合センサ	4-38
4.1.4.1 データの種類	4-38
4.1.4.2 処理アルゴリズムの概要	4-38
4.1.5 雪及び地球放射エネルギー観測装置	4-43
4.1.5.1 データの種類	4-43
4.1.5.2 処理アルゴリズムの概要	4-46
4.1.6 雷観測装置	4-52
4.1.6.1 データの種類	4-52
4.1.6.2 処理アルゴリズムの概要	4-54
4.2 HDF フォーマット	4-63
4.2.1 概要	4-63
4.2.2 EOSDIS によるデータ構造	4-66
4.2.2.1 Swath Structure	4-66
4.2.2.2 Planetary Grid Structure	4-67
<i>4.2.3 フォーマット規定</i>	4-69
4.2.3.1 ファイル構造図	4-69
4.2.3.2 ファイルの内容	4-70
4.2.3.3 欠損データ	4-70
4.2.3.4 配列次元の順番	4-70
4.2.3.5 軌道とグラニュールの定義	4-70
<i>4.2.3.6 グラニュール内のスキャン</i>	4-71
4.2.3.7 時刻	4-72
4.2.3.8 $QAC I = - \oint I I$	4-75
4.2.4 TRMM データブロダクトの構造	4-75
4.2.4.1 降雨レーダ	4-75
4.2.4.2 TRMM マイクロ波観測装置	4-87
<i>4.2.4.3 可視赤外観測装置</i>	4-90
4.2.4.4 複合センサ	4-91
$4.3 TSDIS \mathcal{Y} - \mathcal{V} + \mathcal{Y} + \dots$	4-95
$4.3.1 IO y - \mu + y + \dots$	4-96
4.3.2 定数・変換ツールキット	4-98
<i>4.3.3 ジオロケーションツールキット</i>	4-98
4.4 OrbitViewer	4-99
5 地球観測情報システムのデータサービス	
5.1 EOIS 提供サービスの概要	
5.2 カタログ情報サービス	

5.2.1	インベントリ情報	5-2
5.2.2	画像カタログ	5-2
5.2.3	ガイド情報	5-3
5.3 デー	·夕提供	5-3
5.3.1	データの注文方法	5-3
5.3.2	データ提供の流れ	5-5
5.3.3	TRMM 提供媒体	5-6
5.3.4	オンラインデータ提供	5-7
5.4 EOL	S オンラインサービスの利用	5-7
5.4.1	WWW ブラウザ	5-7
5.4.2	EUS/GUI	5-11
5.4.3	サービス制限	5-13

6	ŧ.]ち上げ後の状況・成果と将来計画	6-1
	6.1	<i>軌道上初期チェックアウト結果</i>	6-1
	6.2	PR 校正検証結果	6-5
	6.3	TRMM データ処理アルゴリズムの出力例	6-8
	6.4	TRMM データ利用例	6-10
	6.5	TRMM 後継機に関する将来計画	6-15

付録

付録-1	略語一覧	
付録-2	関連情報	

地球観測データ利用ハンドブック -TRMM 編-

図表一覧

【図】

図 1.3-1	熱帯降雨と気候変動のかかわり	1-2
図 2.1-1	TRMM 衛星	2-2
図 2.1-2	通信データ処理系のブロック図	2-3
図 2.1-3	姿勢制御系ブロック図	2-4
図 2.1-4	電装系ブロック図	
図 2.1-5	電源系ブロック図	2-6
図 2.1-6	無線通信系ブロック図	2-7
図 2.1-7	推進系ブロック図	
図 2.2-1	PR 外観図	2-10
図 2.2-2	TMI 外観図	2-11
図 2.2-3	VIRS 外観図	2-13
図 2.2-4	CERES 外観図	2-15
図 2.2-5	LIS 外観図	
図 2.3-1	TRMM の軌道	2-17
図 2.4-1	TRMM ミッション運用フェーズ	2-19
図 2.5-1	TRMM24 時間運用プロファイル	2-21
図 2.5-2	TRMM 運用計画立案フロー	2-24
図 2.5-3	アンテナパターン測定校正タイムライン	2-26
図 2.5-4	温度モニタ	2-27
図 2.5-5	CERES スキャンプロファイル	2-29
図 2.6-1	降雨レーダの外観	2-31
図 2.6-2	降雨レーダのブロック図	2-32
図 2.6-3	降雨レーダの測定概念	2-33
図 2.6-4	降雨レーダ運用モード間の遷移	2-36
図 2.6-5	降雨レーダの構成	2-40
図 2.6-6	アンテナ系の座標軸	2-41
図 2.6-7	FCIF 状態遷移図	
図 2.6-8	FCIF-A 系がオンの場合の PLO の動作	
図 2.6-9	降雨レーダ観測システムの信号強度に関する機能系統図	2-48
図 2.6-10	観測モード時のデータ抽出エリア	2-49
図 2.6-11	外部校正モード時のデータ抽出	2-49
図 2.6-12	衛星と降雨レーダの座標軸	2-51
図 2.6-13	降雨レーダのスキャン軌跡	2-51
図 3.1-1	TRMM 全体地上システム	
図 3.2-1	TRMM 降雨レーダデータ処理システムと対外機関との関連図	
図 3.2-2	TRMM 降雨レーダデータ処理システムの全体構成図	
図 3.2-3	TRMM 降雨レーダデータ処理システム ソフトウェア構成図	
図 3.2-4	運用時コンフィギュレーション	
図 3.2-5	能動型レーダ校正器外観図	
図 3.4-1	TRMM 地上システム機能ブロック図	3-17
図 4.1-1	降雨観測装置のアルゴリズムフロー	

図 4.1-2	降雨レーダ アルゴリズム 全体フロー図	4-4
図 4.1-3	1A21 処理 機能構成図	4-7
図 4.1-4	1A21 処理 機能関連図	4-7
図 4.1-5	1B21 処理 機能構成図	4-12
図 4.1-6	1B21 処理 機能関連図	4-12
図 4.1-7	1C21 処理 機能構成図	4-14
図 4.1-8	1C21 処理 機能関連図	4-15
図 4.1-9	2A12 処理フロー	4-35
図 4.1-10	CERES データフロー図	4-45
図 4.1-11	CERES スキャン概念図	4-47
図 4.1-12	LIS HDF データ構成	4-53
図 4.1-13	0 ms における時間積分	4-58
図 4.1-14	100 ms における時間積分	4-58
図 4.1-15	350 ms における時間積分	4-59
図 4.1-16	400 ms における時間積分	4-60
図 4.1-17	700 ms における時間積分	4-60
図 4.2-1	HDF がサポートするデータモデル	4-64
図 4.2-2	HDF ファイルフォーマットと相互作用する 3 つのレベル	4-64
図 4.2-3	一般的な Swath Structure	4-66
図 4.2-4	一般的な Planetary Grid Structure	4-67
図 4.2-5	プロダクトの構造の例	4-69
図 4.2-6	グラニュールの構造	4-71
図 4.2-7	PR 1B21 プロダクトの構造	4-77
义 4.2-8	PR 2A21 プロダクトの構造	4-78
図 4.2-9	PR 2A23 プロダクトの構造	4-79
図 4.2-10	PR 2A25 プロダクトの構造	4-80
凶 4.2-11	PR 3A25 プロダクトの構造	4-82
図 4.2-12	PR 3A26 プロダクトの構造	4-87
図 4.2-13	TMI 1B11 プロダクトの構造	4-88
図 4.2-14	TMI 2A12 プロダクトの構造	4-89
図 4.2-15	TMI 3A11 プロダクトの構造	4-90
図 4.2-16	VIRS 1B01 プロダクトの構造	4-91
図 4.2-17	複合センサ 2B31 プロダクトの構造	4-92
図 4.2-18	複合センサ 3B31 プロダクトの構造	4-93
図 4.2-19	3B42 プロダクトの構造	4-94
図 4.2-20	3B43 プロダクトの構造	4-94
図 4.4-1	OrbitViewer による TRMM データの表示例	4-99
図 5.1-1	EOIS 提供サービス一覧	5-1
図 5.3-1	生産依頼書例 (TRMM PR シーンオーダ用)	5-5
図 5.3-2	TRMM データの注文からデータ提供までの流れ	5-6
図 5.4-1	EUS/WWW の画面イメージ	5-8
図 5.4-2	ガイド情報サービスのページの画面イメージ	5-8
図 5.4-3	オンラインデータ提供サービスのページの画面イメージ	5-9
図 5.4-4	観測計画サービスページの画面イメージ	5-10
図 5.4-5	スタンディングオーダ状況確認サービスページの画面イメージ	5-10
図 5.4-6	EUS/GUI 概要	5-13

図 6.1-1	降雨レーダの初画像	6-3
図 6.2-1	PR と石垣島地上レーダのクロスキャリブレーション	6-6
図 6.2-2	PR と航空機搭載レーダにより観測されたレーダ反射因子の鉛直断面	6-6
図 6.2-3	TRMM 降雨レーダと地上レーダーの同期観測によるレーダ反射因子の分布	6-7
図 6.3-1	アルゴリズム 1B21,1C21, 2A25 の出力結果の表示例	6-8
図 6.3-2	アルゴリズム 2A23 の出力結果の表示例	6-9
図 6.3-3	TRMM レベル 3 月間降雨プロダクトの出力例 (2000 年 5 月)	6-10
図 6.4-1	PR により観測された降雨分布	6-11
図 6.4-2	TMI により観測された海面水温分布	6-11
図 6.4-3	VIRS、TMI、PR による降雨観測	6-12
図 6.4-4	PR による全球土壌水分量の分布(1998年)	6-13
図 6.4-5	CERES による長波上端フラックスの観測例	6-14
図 6.4-6	LIS による雷活動の観測例	6-14

【表】

表 1.4-1	日米分担項目(開発・衛星運用関連)	1-3
表 1.4-2	日米分担項目(データ処理関連)	1-4
表 2.1-1	TRMM 衛星主要諸元	2-1
表 2.2-1	PR システム主要諸元	2-10
表 2.2-2	PR アンテナの諸元	2-10
表 2.2-3	PR 送受信系の諸元	2-10
表 2.2-4	TMI システム主要諸元	2-12
表 2.2-5	TMI 観測諸元	2-12
表 2.2-6	TMI 観測性能	2-12
表 2.2-7	VIRS システム主要諸元	2-14
表 2.2-8	VIRS 観測性能	2-14
表 2.2-9	CERES システム主要諸元	2-15
表 2.2-10) LIS システム主要諸元	2-16
表 2.5-1	TRMM 衛星運用概要	2-20
表 2.5-2	衛星軌道制御	2-24
表 2.5-3	PR 運用モード	2-25
表 2.6-1	降雨レーダの構成	2-30
表 3.3-1	データ総合管理・提供システムの構成	3-11
表 3.3-2	データ総合管理・提供システムの機能概要	3-12
表 4-1 T	ΓRMM プロダクトのレベル定義	4-1
表 4.1-1	TRMM 提供プロダクト	4-2
表 4.1-2	TMI 提供プロダクト	4-31
表 4.1-3	VIRS 提供プロダクト	4-37
表 4.1-4	複合プロダクト (COMB)	4-38
表 4.1-5	CERES のプロダクト一覧	4-46
表 4.1-6	LIS プロダクト構成の概要	4-53
表 4.1-7	エリアデータの結果	4-61
表 4.1-8	閃光データの結果	4-61
表 4.1-9	グループデータの結果	4-61
表 4.1-10) LIS 処理ソフトウェアの機能構成	4-62
表 4.2-1	GridStructure $\mathcal{O}\mathcal{I}\mathcal{I}\mathcal{I}\mathcal{V}$	68

表 4.2-2	2 TMI の関係式	
表 4.2-3	3 オフセット値	74
表 4.2-4	↓ エラーフィールド	75
表 4.3-1	ツールキットのカテゴリー	4-95
表 4.3-2	2 モジュール構成	4-98
表 5.2-1	EOIS で管理・提供する TRMM のインベントリ情報	5-2
表 5.2-2	2 公開する TRMM 画像カタログデータ	5-2
表 5.2-3	3 公開するガイド情報(TRMM 可視化画像)	5-3
表 5.3-1	シーンオーダにより提供する TRMM プロダクト	5-4
表 5.3-2	2 シーンオーダ時の指定項目	5-4
表 5.3-3	3 スタンディングオーダ時の指定項目	5-5
表 5.3-4	↓ TRMM 提供可能媒体一覧	5-6
表 5.3-5	う インターネット経由で提供する低容量データ	5-7
表 6-1	TRMM 打ち上げ以降の主要なイベント	6-1

1 序論

TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission: 熱帯降雨観測衛星)は、1997年11月28 日午前6時27分(日本標準時)に、宇宙開発事業団(NASDA)の種子島宇宙センター から H-II ロケットにより打ち上げられた。この衛星は、日本と米国の共同プロジェク トとして開発されてきたものであり、宇宙からのレーダによる降雨観測を行っている。

TRMM は、主に熱帯地域の降雨強度やその分布に関わる観測を実施し、得られた データは地球規模の気候変動の解明や環境変化のモニタとして重要な役割を果たすこ とが期待されている。

1.1 目的

本書は、ユーザが TRMM 衛星から得られたデータを有効利用するために必要な様々 な情報を提供するものであり、標準プロダクトに関する各種情報をはじめ、TRMM 衛 星、搭載センサ及び地上システム等の関連する参考情報もあわせて紹介する。

1.2 範囲

本書は、以下の6つの章と付録から構成される。

- 1章:本文書の目的及び範囲、TRMM ミッションの概要について記述
- 2章: TRMM 衛星システム及び搭載センサの仕様、軌道概要、衛星及び搭載セン サの運用方針等について紹介
- 3章: NASDA 及び NASA の関連する地上システムの概要を紹介
- 4章: NASDA より提供される TRMM プロダクトの概要及び HDF フォーマット の概要を説明、さらに、各種ツールキットを紹介
- 5章: NASDA の地球観測センターから提供する、TRMM プロダクトに関連する データサービスの概要を説明
- 6章: 打ち上げ後の TRMM ミッションの状況、成果と将来計画について説明 付録: 略語一覧、関連情報の所在を紹介

1.3 TRMM ミッション

近年の地球環境に関する世界的関心の高まりを背景に、地球規模の気候変動を把握し、そのメカニズムを解明することの重要性が認識されてきている。特に、水循環は地球環境の中心的な役割りを果たしており、その振る舞いを理解することが重要である。中でも、熱帯・亜熱帯地方に降る雨は、全地球上の降雨の 2/3 以上を占め、全球的

な大気の循環の動力となる熱源である。そのため熱帯での降雨やその変動を知ること は気候変動の解明と予測に重要となる。一方、降雨は人類生活や気候変動と密接な関 連を持っていながら、地球規模での測定はきわめて難しい。それは、降雨が時間的、 空間的に大きく変動するためであり、特に熱帯域や海洋域では観測点が少ないことも あって、多くのデータは得られていない。

衛星からのリモートセンシングは、地球規模での降雨観測を行うことのできる唯一 の手段であり、一日も早い実現が望まれていた。TRMM では、我が国が開発を担当し た降雨レーダをはじめとする 5 種類のセンサにより、世界で初めて降雨観測に目的を 特化した観測を行っている。

地表に降り注ぐ太陽エネルギーのうち半分は、地表や海面に吸収され、このエネル ギーが水蒸気を作り出す。水蒸気は上昇し上空で凝結し雨となる。その時発生する熱 (凝結熱)で大気が暖められる。この凝結熱が熱帯大気循環の原動力となり、大気循 環の駆動力となる。

図 1.3-1 は熱帯での海水温の分布と大気の循環について正常時と異常時(エルニー ニョ)の場合について示している。正常時には暖水域は西太平洋に偏っているが、エ ルニーニョ時には東へ移動し、それに伴って大気の循環も変わってくる。

TRMM による降雨観測で、これら熱エネルギー分布が明らかにされ、気候変動の予 測、エルニーニョ現象に関わる異常気象、長期予報や自然災害の予防に大きく役立て られることが期待される。



図 1.3-1 熱帯降雨と気候変動のかかわり (正常時;左図,異常時;右図)(NASA 提供) TRMMの主要ミッションは以下の3つに集約される。

- (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・水循環を解明 する。
- (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・予報するための数値モデルの検証・開発を行う。
- (3) 宇宙からの降雨量観測の手法を確立する。

なお、TRMMの設計寿命は、3年2ヶ月であり、当初の予定としては2001年1月までの運用となっていた。しかし、現在の衛星の状況は良好であり、衛星燃料の残量から、およそ3年以上の運用期間の延長が可能と予測されている。

1.4 日米の役割分担

TRMM プロジェクトは、1986 年 6 月に開催された「宇宙分野における日米常設幹部 連絡会議(SSLG)」で提案、承認されて以来、日米共同プロジェクトとして宇宙開発 事業団(NASDA)とアメリカ航空宇宙局(NASA)を中心に推進されている。

表 1.4-1 に TRMM プロジェクトのシステムの開発・運用に関する日米の役割分担を 示す。また、表 1.4-2 には、データ処理に関する分担を示す。

TRMM は、日本と米国との共同プロジェクトとして具体化されてきたが、このプロ ジェクトで日本(通信総合研究所及び NASDA)は降雨レーダの開発と H-II ロケット を用いた TRMM 衛星の打ち上げを担当し、米国は衛星バスと降雨レーダ以外の 4 つの センサの提供並びに衛星の運用を担当する。また、H-II ロケットにより種子島宇宙セ ンターから打ち上げられた後の TRMM 衛星の運用は、NASA のゴダード宇宙飛行セン ターにより、追跡・データ中継衛星(TDRS)を経由して実施する。

分担項目	日本	米国
H-II ロケット		
衛星本体		
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		
データシステム		

表 1.4-1 日米分担項目(開発・衛星運用関連)

また、TRMM 衛星からのテレメトリや観測データは、CCSDS 準拠のパケット方式に よりフォーマットされた後、TDRS を経由して地上へ送信され、米国のホワイトサンズ の地上局にて受信される。

全データの前処理、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)の高次データ処理等は NASA ゴダード宇宙飛行センター (GSFC)で実施される。

雲及び地球放射エネルギー観測装置(CERES)と雷観測装置(LIS)については、前 処理済みのデータ(レベル0プロダクト)が、それぞれ、NASAのラングレー研究セン ター(LaRC)、マーシャル宇宙飛行センター(MSFC)に送られて処理される。

日本へも GSFC より PR のレベル 0 プロダクトが送られ、NASDA の地球観測セン ター(EOC)で高次処理される。EOC や GSFC において高次処理されたデータ(レベ ル 1~3 プロダクト)は日本、米国、その他多くの国の気象、気候、水文等の分野の科 学者を含むユーザに配布する。

また、 NASDA の地球観測データ解析研究センター(EORC)においては、TRMM データを用いた解析研究を行うとともに、研究用データセットを作成し研究者に提供 する。

	•	
分担項目	日本	米国
データ受信		
全データの前処理		
PR の高次処理		
TMI の高次処理		
VIRS の高次処理		
CERES の高次処理		
LIS の高次処理		

表 1.4-2 日米分担項目 (データ処理関連)

2 TRMM 衛星システムの概要

本章では、TRMM 衛星システムと、搭載センサの概要について示す。

2.1 衛星システム

表 2.1-1 に TRMM 衛星の主要諸元を示す。

打ち上げ重量	約 3.62 t
打ち上げロケット	H-II ロケット
打ち上げ時期	1997 年 11 月 28 日 (日本時間)
軌道高度	約 350 km
軌道傾斜角	約 35 度
寸法	打ち上げ時:5.1 m (長さ),3.7 m (直径)
	軌道上:5.1 m(長さ), 14.6 m(パドル方向)
重量	全体:3524 kg
	燃料:890 kg
	乾燥重量:2634 kg
発生電力	850 W(平均)
姿勢制御方式	ゼロモーメンタム三軸姿勢制御方式
データ伝送	NASA の追跡・データ中継衛星(TDRS)を経由
	32 Kbps (Real Time), 2 Mbps (Play Back)
ミッション寿命	3 年 2 ヶ月
観測機器	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)

表 2.1-1 TRMM 衛星主要諸元

TRMM 衛星は主要構造体、8 つのサブシステム、及び5 つの科学センサで構成されて いる。本節では、TRMM 衛星のサブシステムについてその概要を示す。TRMM を構成 するサブシステムを以下に示す。

- a. 通信データ処理系 (C&DH 系)
- b. 姿勢制御系 (ACS 系)
- c. 電装系
- d. 電源系
- e. 無線通信系
- f. 熱制御系
- g. 推進系(RCS系)
- h. 展開系

図 2.1-1 に TRMM 衛星の外観を示す。



図 2.1-1 TRMM 衛星

2.1.1 通信データ処理系

通信データ処理系(C&DH 系)はコマンドの収集、検証、配信のために必要な冗長 系を有するソフトとハードを提供する。さらに、あらゆるタイミング要求に対して必 要とされる衛星クロックの供給、時刻指定のコマンドの実行、データストレージ、及 びコマンドとテーブルの格納機能を有している。C&DH 系は I チャネル及び Q チャネ ルのテレメトリ出力、複数のテレメトリエンコード機能(リード・ソロモン、サイク リック・リダンダンシ・チェック、及びコンボリューションエンコーディング)も備 えている。C&DH 系は主系と冗長系で構成されており、各系は以下のコンポーネント を含んでいる。

- a. アップリンクカード
- b. ダウンリンクカード
- c. クロックカード
- d. 搭載プロセッサ
- e. ACS プロセッサ
- f. 2.2 Gbits メモリ

C&DH 系に搭載されている半導体レコーダ(バルクメモリカード)は約 210 分の データを記録することができる。図 2.1-2 に TRMM 通信データ処理系のブロック図を 示す。



図 2.1-2 通信データ処理系のブロック図

2.1.2 姿勢制御系

姿勢制御系(ACS系)は衛星の自律的な制御機能を有しており、姿勢制御精度 0.4°、 検知精度 0.2°を維持する。ACS 系のハードとソフトは冗長構成となっている。ACS 系 は3個の2軸ジャイロを持った慣性・リファレンス・ユニット(IRU)、2個の3軸磁 力計(TAM)、2個の粗太陽センサ(CSS)ユニット(全8センサ)、2個の2軸ディ ジタル太陽センサ(DSS)ユニット、3個の二重巻き磁気トルクバー(MTB)、地球セ ンサ(ESA)、主系とバックアップの姿勢制御電子回路(ACE)、4 個のリアクション ホイール(RWA)、主系と冗長系の ACS プロセッサ(FDS に格納されている)、及び エンジン/バルブドライバ(EVD)で構成されている。ジンバルと太陽電池制御電子回 路(GSACE)は高利得アンテナシステム(HGAS)と太陽電池駆動装置(SADA)を制 御する。

図 2.1-3 に ACS 系のブロック図を示す。





2.1.3 電装系

電装系は電力スイッチング・分配、光学コマンド及びテレメトリのルーティング、 並びにディスクリートのテレメトリ及びコマンド配信機能を有する。火工品、打ち上 げ機インタフェース支援、及び特殊試験インタフェースも電装系に含まれる。電装系 には 2 個の電力スイッチング・分配ユニット(PSDU)、GSACE に位置する配電モ ジュール、及び電気的光学的ハーネスより構成されている。図 2.1-4 に電装系のブロッ ク図を示す。



図 2.1-4 電装系ブロック図

2.1.4 電源系

電源系は 2 個のニッケル-カドミウム電池より構成されるピーク電力トラッキングシ ステム、4 枚の太陽電池パネル(2 本の翼には各々2 枚の太陽電池パネルが搭載されて いる)、及び電源システム回路(PSE)からなる。電源系は 1100 W の電力を供給し、 主系及び従系のバスに直接接続されている。 PSE は電源システムインタフェースボックス(PSIB)、標準電源調整ユニット (SPRU)、及び電源バスインタフェースユニット(PBIU)から構成されている。 PSIB は電源系と FDS とのインタフェースを提供するマイクロプロセッサベースのユ ニットである。PSIB も個々のバッテリの電圧のモニタリングや SPRU の電流時間の積 算制御などの機能を持っている。SPRU は太陽電池アレイからピーク電力を供給し、電 圧/温度及び定電流制御回路を用いてバッテリの充電制御を行う。PBIU はバッテリと バスリレイを含み、電力を主系及び従系のバスに直接供給する。システム内を流れる 電流をモニタリングするためのバッテリとバスの電流分流器も有している。図 2.1-5 に 電源系のブロック図を示す。



図 2.1-5 電源系ブロック図

2.1.5 無線通信系

無線通信系は TDRS スペースネットとのリアルタイム通信をするために設計されて いる。このために展開型のハイゲインアンテナとオムニアンテナを使う。ハイゲイン アンテナは楕円形のカバレッジで、オムニアンテナはほぼ円形のカバレッジである。 TRMM は 2 機の NASA 標準第 2 世代ユーザトランスポンダを搭載するよう設計されて いる。図 2.1-6 に無線通信系のブロック図を示す。



図 2.1-6 無線通信系ブロック図

2.1.6 熱制御系

熱制御系は全てのミッションモードでの衛星の熱環境を保持するための部品と装置 を備えている。これらには能動的と受動的の二種類の熱制御システムがある。受動的 なものとしてはサーマルブランケット、放熱孔、サーマルコーティング、及びいくつ かの温度センサが含まれる。能動的なものとしてヒーター、ヒートパイプ、サーモス タット、及び電子熱制御装置が含まれる。

2.1.7 推進系

推進系(RCS 系)は軌道保持、軌道遷移時の姿勢制御、及び寿命後の海洋投棄に必要な推進機能を有する。RCS はモーメンタムホイールのアンローディングとヨー方向マヌーババックアップ機能を有する。これらのバックアップ機能は2個以上の ACS コンポーネントの故障を想定しているので、これらのための余分な燃料は搭載されていない。RCS 系は12個のロケットエンジンモジュール(REM)、5個のフィル・ドレインバルブ、圧力変換器、調整器、推薬制御モジュール(PCM)、及び推薬タンクから構成される。図 2.1-7 に RCS 系のブロック図を示す。



デルタ-V スラスタ(8)

図 2.1-7 推進系ブロック図

2.1.8 展開系

TRMM 衛星の展開系としてはハイゲインアンテナ展開・指向システム(HGAD/PS)、 太陽電池パドル展開・駆動システム(SADDS)、及びジンバル・太陽電池パドル制御 回路(GSACE)ボックスである。ハイゲインアンテナ(HGA)は通常のテレメトリ通 信に用いられ、追尾のために2軸の指向システム(PS)、及び HGA 並びに PS を展 開・指示するためのハイゲインアンテナ展開システム(HGADS)より構成される。 SADDS は2 翼に各々2 枚の太陽電池パドル(SA)と太陽電池パドル駆動装置 (SADA)からなる。GSACEは HGA 指向システムとSADA 内の SA 回転駆動装置を制 御している。

2.2 搭載機器の概要

TRMM の観測は、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)といった 5 つの機器により行われる。

TRMM は、熱帯や亜熱帯地域における降雨観測(降雨の鉛直構造や輝度温度など) をするために3つの機器(PR, TMI, 及び VIRS)を有している。TMI は、傾斜軌道上に 搭載される初の受動型マイクロ波放射計であり、PR は世界で初めての衛星搭載用降雨 レーダである。これら3 つの降雨観測機器は、気候モデルや降水現象の研究を行うた めに有効な降水に関するデータセットを提供している。

降雨観測機器の他に、CERES と LIS が TRMM に搭載される。これらの機器は NASA の地球観測システム(EOS)プログラムのための機器であり、CERES は地球の放射エネルギーを測定し、LIS はグローバルな雷の分布を測定するために利用される。

2.2.1 降雨レーダ (PR)

2.2.1.1 ミッション概要

降雨レーダ(PR)はTRMMの主要な観測機器である。PRは、5つの搭載機器の中で 最も革新的な機器であり、衛星に搭載される初の定量的な降雨観測レーダである。PR の主な観測目的は、以下の通りである。

- a. 降雨の3次元構造を観測すること
- b. 海洋及び陸上の降雨の定量的観測を行うこと

PR データは、降雨量の高さ方向のプロファイルを得ることに有効であり、この結果 に基づいて、潜熱(凝結熱)放出のプロファイルを見積もることが期待されている。 降雨強度は、弱い雨の時には地上レーダにも用いられる経験則を用いてレーダ反射因 子(Z因子)から求める。降水強度が大きい場合、地(海)表面エコーに現われるパス 減衰を用いて降雨減衰を補正して降水強度を求める。

2.2.1.2 システム主要諸元

図 2.2-1 は、PR 機器の外観図を示す。また、表 2.2-1、表 2.2-2 及び表 2.2-3 に PR の システム、アンテナ及び送受信系の主要諸元を示す。



図 2.2-1 PR 外観図

レーダ方式	アクティブフェーズドアレイ
周波数	13.796 GHz 及び 13.802 GHz (2 周波アジリティ)
観測幅	~215 km
観測範囲	地表から高度 20 km
距離分解能	250 m
水平分解能	4.3 km ± 0.12 km (直下)
検出可能降雨強度	0.5 mm/h の降雨時に降雨頂で S/N=0 dB 以上
独立サンプル数	64
データレート	93.5 kbps
質量	465 kg
消費電力	213 W

表 2.2-1 PR システム主要諸元

表 2.2-2 PR アンテナの諸元

形式	128 素子導波管スロットアレイアンテナ
ビーム幅	0.71 deg. × 0.71 deg.
開口面	2.1 m×2.1 m
走查角	± 17 deg.
利得	≥ 47.4 dB

表 2.2-3 PR 送受信系の諸元

送信素子	固体電力増幅器(SSPA)(×128)
ピーク電力	700 W
パルス幅	1.6 μ s × 2 ch.
パルス繰り返し周波数(PRF)	2776 Hz
ダイナミックレンジ	81.5 dB

2.2.2 TRMM マイクロ波観測装置(TMI)

2.2.2.1 ミッション概要

TRMM マイクロ波観測装置(TMI)は、5 周波/2 偏波の受動型マイクロ波放射計で ある。TMIには10.65 GHz、19.35 GHz、21.3 GHz、37 GHz 及び 85.5 GHz の観測周波 数を有する 9 つのチャネルがある。TMI により海洋上の降雨強度に関連するデータを 得ることができる。また、信頼性は低下するが不均一な放射を伴う陸域上の降雨強度 に関しても有効な情報に成りうる。TMI は、現在、運用中の米国の防衛気象衛星プロ グラムの衛星に搭載された SSM/I に類似した観測装置である。TMI のデータは、PR と VIRS のデータと組み合わせることにより、降雨の鉛直構造を明らかにするために利用 される。

TMI の運用モードは 1 つであるため、コマンドの手順は単純であり、電力とヒー ターの制御に関するものだけである。即ち、TMI には ON と OFF の 2 つのモードのみ が存在する。

固定シャフト上の2つの外部校正装置は機器の回転(走査)中の校正を実施するために利用される。TMI は毎分31.6回の速度で回転する。各走査は130°の観測データで開始し、これに続いて低温のリファレンスと高温のリファレンスの測定が実施される。 このリファレンス測定は、走査の校正のために利用される。

2.2.2.2 システム主要諸元

図 2.2-2 に TMI 機器の外観図を示す。また、表 2.2-4 にシステムの主要諸元、表 2.2-5 に観測諸元、表 2.2-6 に観測性能を示す。



図 2.2-2 TMI 外観図

観測周波数	10.65, 19.35, 21.3, 37 及び 85.5 GHz
偏波	垂直 / 水平 (21.3 GHz Channel は垂直偏波のみ)
水平分解能	6 ~ 50 km
観測幅	~ 760 km
走査モード	コニカルスキャン(49度)
データレート	8.8 kbps
質量	50 kg
消費電力	39 W

表 2.2-4 TMI システム主要諸元

バンド	中心周波数	偏波	バンド幅	積分時間	フットプリン	トサイズ(km)
	(GHz)		(MHz)	(µs)	スキャン垂直方向	スキャン方向
1	10.65	V	100	6.6	63.2	36.8
2	10.65	Н	100	6.6	63.2	36.8
3	19.35	V	500	6.6	30.4	18.4
4	19.35	Н	500	6.6	30.4	18.4
5	21.3	V	200	6.6	27.2	18.4
6	37.0	V	2000	6.6	16.0	9.2
7	37.0	Н	2000	6.6	16.0	9.2

表 2.2-5 TMI 観測諸元

表 2.2-6 TMI 観測性能

3.3

3.3

7.2

7.2

4.6

4.6

バンド	中心周波数	偏波	ビーム効率	受信感度	主要目的	主要観測域
	(GHz)		(%)	(K)		
1	10.65	V	93	0.975	非常に強い降雨	海上
2	10.65	Н	93	0.975	非常に強い降雨	海上
3	19.35	V	96	1.045	強い降雨	海上
4	19.35	Н	96	1.045	強い降雨	海上
5	21.3	V	98	1.196	水蒸気	海上
6	37.0	V	91	0.783	弱い雨	陸域 / 海上
7	37.0	Н	92	0.783	弱い雨	陸域 / 海上
8	85.5	V	82	1.165	強い雨	陸域
					弱い雨	海上
9	85.5	Н	85	1.165	強い雨	陸域
					弱い雨	海上

2.2.3 可視赤外観測装置 (VIRS)

85.5

85.5

8

V

Η

3000

3000

2.2.3.1 ミッション概要

VIRS はクロストラックを走査する放射計であり、可視から赤外域の 5 つの帯域の放射を測定する装置である。VIRS は NASA や NOAA の他の気象衛星に搭載された機器に

類似したものである。

VIRS のデータは、PR や TMI のデータと比較することにより、可視赤外のデータだ けから降雨量を測定する場合と比べてより高精度の測定を可能とすることが期待され ている。また、VIRS はバックグランドの観測として利用され、PR や TMI の観測に対 して雲情報を提供することができる。VIRS からのデータは PR や TMI の降雨測定アル ゴリズムにおいても利用される。

VIRS は放射冷却装置、太陽校正窓、地球パネルシールド及び太陽パネルシールドを 有する。地球パネルシールドは、地球の放射をブロックするために展開され、太陽パ ネルシールドは VIRS へ太陽光が当たるのを防ぐ。

2.2.3.2 システム主要諸元

図 2.2-3 に VIRS の外観図を示す。また、表 2.2-7 にシステム主要諸元、表 2.2-8 に観 測性能を示す。



図 2.2-3 VIRS 外観図

観測幅	走査角度範囲±45 度、地表で 720 km
走查角度	360度
回転速度	98.4 rpm
瞬時視野	瞬時視野角 6.02 mrad
	2.11 km (直下)
光学系	カセグレン光学系
スペクトル分離	フィルタによる
	焦点面は全バンド同一
焦点面	シリコンフォトダイオード(0.63 μm)
	水銀カドミウムテルル (1.6, 3.75, 10.8, 12 µm)
検知器冷却	放射冷却器
	冷却温度 117 K
校正	黒体、太陽光拡散板、宇宙空間を使用
データレート	50 kbps(日照時)
質量	49 kg
消費電力	53 W

表 2.2-7 VIRS システム主要諸元

表 2.2-8 VIRS 観測性能

	バンド1	バンド 2	バンド 3	バンド4	バンド 5
目的	昼間の雲	水と氷の	水蒸気	雲頂温度	水蒸気
	マッヒ゜ンク゛	識別			
中心波長 (µm)	0.63	1.61	3.75	10.80	12.00
バンド幅 (µm)	0.10	0.06	0.38	1.00	1.00
$SNR/NE\Delta T$	100	100	0.06K	0.06K	0.06K
校正精度(%)	10	10	5	5	5

2.2.4 雲及び地球放射エネルギー観測装置(CERES)

2.2.4.1 ミッション概要

CERES の観測は、地球の気候変化の長期予測における主要な不確定要素の 1 つを解 明するために有効なデータを提供することが期待されている。NOAA に搭載された Earth Radiation Budget Experiment (ERBE)では、晴天時のフラックスと曇天時のフラッ クスとの間の適当な分離を施し、地球大気の上層(TOA)における放射フラックスが測 定された。さらに、詳細なプロセスは十分に解明されていないが、雲が TOA のフラッ クスに対して、従来予測されていた程度より大きく影響することが ERBE により発見 されている。

CERES のデータは、対流活動や境界層気象学のように、異る雲生成過程が TOA フラックスにどのように影響するか理解するために利用される。この理解は物理的な拡

大範囲の天気及び気象予測に関わる放射フラックスの発散の決定に対して有効と成り うる。さらに CERES は、大気エネルギー論、生物生産力の研究及び大気海洋エネル ギー移送にとって重要な地表面の放射エネルギーを決定するための情報を提供するこ とができる。

2.2.4.2 システム主要諸元

図 2.2-4 に CERES 機器の外観図を示す。また、表 2.2-9 にシステムの主要諸元を示す。



図 2.2-4 CERES 外観図

表 2.2-9 C	ERES シスラ	「ム主要諸元
-----------	----------	--------

観測バンド	0.3~5 μm (短波長チャネル)				
	8~12 μm (長波長チャネル)				
	0.3 ~> 50 µm (全チャネル)				
水平分解能	10 km (直下)				
観測幅	スキャン角度 : ±82 deg.				
スキャンモード	クロストラックスキャンあるいは2軸スキャン				
データレート	8.5 kbps				
質量	45.5 kg				
消費電力	47 W				

2.2.5 雷観測装置(LIS)

2.2.5.1 ミッション概要

LIS は狭帯域フィルターを用いた光学センサであり、雲の中及び雲から地表までの雷 の分布や変化を地球規模で測定することができる。また、LIS のデータは PR、TMI や VIRS のデータとともに、雷の発生分布が降雨量やその他の降雨の特性とどのような関 係をもっているかを調べるために利用される。LIS からのデータは降雨の地球規模の強 度、量や分布、さらに潜熱の放出や輸送と関係付けることが可能である。

LIS は初期の機器の起動時に電源が ON された後、不具合時を除いてミッション期間 中、そのコンフィギュレーションが維持される。

2.2.5.2 システム主要諸元

図 2.2-5 に LIS 機器の外観図を示す。また、表 2.2-10 にシステムの主要諸元を示す。



図 2.2-5 LIS 外観図

観測バンド	0.777655 μm
水平分解能	4 km (直下)
観測幅	~ 600 km
データレート	6 kbps(平均)
質量	18 kg
消費電力	42 W

表 2.2-10 LIS システム主要諸元

2.3 軌道概要

1997 年 11 月 28 日、TRMM は技術試験衛星(ETS-VII)と共に、宇宙開発事業団の H-II ロケットにより、種子島宇宙センターから打ち上げられ、高度約 380 km、軌道傾 斜角 35 度の軌道に投入された。この軌道では、衛星は約 90 分で地球を 1 周し、1 日に 16 周回する。

全サブシステムと機器は、CERES を除いて動作確認を打ち上げから 26 日間で終了した。その時点(12月29日)で、定常ミッション運用段階の観測が可能になった。初期 運用中に、数回の軌道降下制御を行い、TRMM は投入軌道からミッション高度である 約350 km、周期約91.5分の軌道に変更された。90度ヨーマヌーバが、降雨レーダと高 度制御センサのキャリブレーションをサポートするために実行された。

TRMM 衛星の軌道は太陽非同期であり、軌道長半径、離心率、軌道傾斜角、近地点引数、周期といった軌道要素で表される。

TRMM 衛星におけるノミナルの軌道要素の値はおおよそ以下の通りであり、図 2.3-1 に示すような軌道軌跡をとる。

- a. 軌道長半径 (Semi Major Axis)
- b. 離心率 (Eccentricity)
- c. 軌道傾斜角(Inclination)
- d. 近地点引数 (Argument of Perigee)
- e. 周期 (Orbit Period)

: 6728.388 ± 1.25 (km) : 0.00054 ± 0.0001 : 35 ± 0.1 (deg) : 90 ± 2.0 (deg) : 91.538 ± 0.026 (min)



2.4 運用フェーズ

TRMM 運用ライフサイクルは、打上げ前の初期計画段階から、軌道上のミッション 運用を経て、TRMM 衛星の海中投棄で運用を終了する。定常ミッション運用フェーズ は、太陽サイクルに非常に依存する(図 2.4-1)。TRMM ミッション運用は、以下に示 す 4 つのミッションフェーズが計画され、各ミッションフェーズには、それぞれ達成 すべき基準と焦点を持っている。

- a. 打上げ前の計画及び試験
- b. 打上げ及び軌道上チェックアウト
- c. 定常ミッション運用
- d. 運用終了海中投棄
- (1) 打上げ前の計画及び試験フェーズ

打上げ前の計画及び試験フェーズは、地上部分の取付け、試験、フライト運用計画 が主なイベントである。このフェーズは、最終検査チェックアウトと射場運用を含む。

(2) 打上げ及び軌道上チェックアウトフェーズ(初期運用)

打上げ及び軌道上チェックアウトフェーズは、打上げに始まり、約 60 日を要する。 このフェーズ中の重要イベントは、TRMM 打上げ、軌道投入 / 安定化、衛星チェック アウト、ミッション高度(350±1.25 km)への軌道降下、機器電源 ON 及びキャリブ レーションである。

(3) 定常ミッション運用フェーズ

定常ミッション運用フェーズは、主要ミッション運用フェーズであり、少なくとも 3 年間である。この期間中、科学データが収集される。また、このフェーズはさらに 2 つの段階からなり、3年2ヶ月のミッション寿命までを定常運用段階、その後を後期運 用段階としている。

実際には、打上げ約2ヶ月後の1998年1月31日にこのフェーズへ移行し、2001年 1月31日で定常運用段階を無事完了し、後期運用段階へ移行した。なお、2000年末時 点の残燃料から、2003年いっぱいまでの運用が可能と試算されている。

(4) 運用終了海中投棄フェーズ

運用終了海中投棄フェーズはミッションの最終フェーズである。TRMM は低軌道 (350±1.25 km)であるため、軌道維持が定常運用の主要事項である。TRMM は約 890 kg のヒドラジンを搭載して打上げられる。約 58 kg の残燃料が残っている時に、ミッ ションを終了する決断がなされる。その時点で制御再突入が、姿勢制御サブシステム と推進系サブシステムで実行される。



2.5 衛星・センサの運用方針

通常のミッション運用は、衛星及びミッション機器のヘルス&セーフティの維持及び 定常的な制御とサイエンスデータの取得から構成される。TRMM の飛行運用チーム (FOT)はミッション機器のヘルス&セーフティの監視と定常的な衛星の制御を担当す る。サイエンス担当の各施設はサイエンスの目的を達成し、ミッション機器の性能を 維持する責任を有する。FOT はミッション運用センター(MOC)からの要求に基づい て安全な観測運用を実施する。

2.5.1 衛星運用

TRMM に対して実施される軌道上の運用概要について表 2.5-1 に示す。また、1 日の 典型的な運用プロファイルを図 2.5-1 に示す。

システム	運用	頻度		
姿勢制御系(ACS)	TRMM 軌道伝搬 EPV 更新	1回/日		
	TDRS 軌道伝搬 EPV 更新	1回/月		
	デルタ ∨ 制御	2~10日毎		
	ヨー制御	2~4週間毎		
	ACS センサ校正/バイアス更新	必要時		
	姿勢決定精度検証	必要時		
	軌道決定	1回/日		
	ACS 性能監視	受信パス毎		
コマンドデータ処理系	レコーダー再生	受信パス毎		
(C&DH)	レコーダー再送信	必要時		
	イベントバッファーダンプ	受信パス毎		
	ストアードコマンドプロセッサー登録	1回/日		
	フライト S/W 及びテーブル登録	必要時		
	衛星クロックメンテナンス	16~17 回/日		
電源系	バッテリ SOC 検証	毎周回		
	電源解析	2~3周回/日		
	ソーラアレイ スルウィング/フェザ	毎周回		
	リング(太陽アレイ旋回 / フェザー)			
	運用			
通信系	高感度アンテナ旋回運用	受信パス毎		
	送信機中心周波数メンテナンス	2回/週		
	TDRS 追跡 (R&RR)	16~17 回/日		

表 2.5-1 TRMM 衛星運用概要

ACS Operations								
TRMM EPV Update		(0)	nce per Day	and Subsequ	ent to each N	faneuver)	••••	
TDRS EPV Update					(E	very month)	· · · · · •	
Delta-V Maneuver		(Initially Ev	I /ery 7 - 10 Da	I iys, Every 2 I	I Days near EC	DL)) 🗕		
180 deg. Yaw Maneuver					(Ever	y 2 to 4 Week	(s) ■	
C&DH Operations				ĺ				
S/C Stored Command Load ••••••					· = (Once	per Day; ACS	and S/C Pro	cessors)
Solid State Recorder Operations								
Close Data Set							• • • • • • • • •	
Recorder Playback	•••		••=•		∲e··me·•me	· · 🜉 · · 🔳 · ·		•••
Retransmissions								
Release Data Set			4					•••••
S/C Clock Checks	••••					•••••		
Communications (RF) Operations								
HGA Slew Operations for TDRS			· · • · • • •		• · · • · · • •	• • • • •		•••••••
XMTR Operations (2-Way) · · · · · ·	· · .	• • • • • •	······	} ∎··· ■ ··	÷ · · • · • •	· • · · •		
XMTR Operations (1-way Doppler)		🔳 .	·(Every oth	l er day; Alteri	I nating Transp	l ponders) ·		
HGA Feathering		aa	.		.		ж	
In stars and On southers								
CERES Biaxial Mode	•··· (Eve	rv 3 Davs)						
CERES Short Scan Mode		L	_(Every SR	 & SS; While	 e in Biaxial N	l vlode) ∎ •∎		
CERES Max # Scans			(Every SR	l & SS; While	ı e in Biaxial I	Node) -		a. a. a
CERES CrossTrack Mode		 s. Every Thi	rd Day)					
CERES External Calibrations			· · · · · · · · · ·		·•···(E	I Every 2 Week:	s) • • • • •	
VIRS Solar Calibrations					. 🕳 (E	very 1-3 Wee	eks)	
PR External Calibrations					. . (F	I very Month)	I 	
PR Antenna Pattern Measurements					· • · · · · (E	very 6 Month	ns) • • • • • •	
	:	3:00	6:00	9:00 1	2:00	15:00 1	8:00 2	1:00 24

UTC (Day N)

図 2.5-1 TRMM24 時間運用プロファイル

2.5.2 センサ運用

科学運用コントロールセンター(SOCC)は、PR、TMI及び VIRS の運用計画の立案 に関して、TRMMの飛行運用チーム(FOT)の窓口を担当する。

センサの運用は遅くともその運用週の2週間前までに要求されなければならない。 PRのアンテナパターンの測定のような衛星の姿勢変更を必要とする要求に関しては、 4週間前までにSOCC経由でFOTに連絡されなければならない。FOTは、この連絡に 基づいて他のセンサ運用や衛星運用との調整を実施するとともに、Special Planning Products(特別立案プロダクト)を生成する。さらに、SOCCはFOTに対して3日前ま でにコマンドのパラメータ入力を提出しなければならない。タイムラインレポートが SOCCに対して提供され、SOCCはこれを基に、PR、TMI及びVIRSの運用とCERES、
LIS 及び衛星の運用との間の調整を実施する。

機器の運用の競合が発生した場合、SOCC と FOT はその解決を試みる。もし、競合 が解決できない場合、TRMM 合同サイエンスチームとプロジェクト運用責任者 (POD)が協議して結論を見いだす。なお、全ての軌道制御(180°のヨー制御及び増速 制御)はセンサ運用に優先して実施される。以下の運用の優先順位に関するガイドラ インに従って立案することで、全ての競合は SOCC と FOT の間の調整の範囲内にある ことが期待される。

TRMMの運用に関する優先順位は以下の通りである。

- 1. 衛星不具合
- 2. センサの安全モードへの移行
- 3. レコーダー再生
- 4. 180°ヨーマヌーバ
- 5. デルタ V マヌーバ
- 6. 降雨観測装置の運用(性能劣化に対するトラブルシュート、PR アンテナパターン 測定(90° yaw)を含む)
- CERES あるいは LIS の運用(性能劣化に対するトラブルシュート、CERES 深宇宙 校正を含む)

NASDA/EOC は、PR 機器の運用計画立案を担当する。EOC は PR の立案に対して、 SOCC を経由して立案支援情報 (Planning Aids)を入手することができる。 EOC は、 PR の全ての運用要求について、PR の運用制約に触れていないか、運用前に確認する。 確認後、EOC は機器運用要求と情報を SOCC へ送信する。これらの情報は、FOT へ転 送された後、DAP に組み込まれる。なお、運用計画に競合が発生した場合、FOT と SOCC の間で調整される。このとき、SOCC が EOC の代理として調整にあたる。

PR の外部校正の立案に対して、NASDA/EOC は、TRMM 衛星が能動型レーダ校正器 (ARC)上空を通過する時刻を提示する。外部校正コマンドは、内部校正コマンドと ともに、ディリー・コマンド・ロードに格納される。PR のアンテナパターン測定の要 求は、他の運用との調整及び DAP への取り込みを可能とするため、PR サイエンティス トによって遅くとも 4 週間前に作成されなければならない。FOT はその運用と他の機 器及び衛星の運用を調整する。その測定に対する時刻とビーム角度は、NASDA/EOC か ら SOCC 経由で提示される。アンテナパターン測定に必要なコマンドはディリー・コ マンド・ロードに登録される。立案プロセスの間、NASDA/EOC は、タイムラインレ ポートによって PR の運用計画の検証結果を受領する。さらに、ロードを生成した後は、 統合されたプリントレポートによってその結果を知ることができる。外部校正及びア ンテナパターン測定の立案に対して、NASDA/EOC は 2 回のウインドウを要求する。2 回目のウインドウは初回のウインドウの間の天候が悪条件の時にのみバックアップと して計画される。

VIRS と TMI の運用は、MOC が提供する適当な立案支援情報を利用して、インスツ ルメント・サイエンティストによって計画される(立案支援情報は SOCC を経由して インスツルメント・サイエンティストへ配布される)。VIRS の太陽光校正は、太陽が VIRS の太陽光校正ポートの視野内にある時にあわせて計画される。

TMI 機器は、ミッション期間を通して中断されることなしに継続運用されるため、 定常的な運用要求を必要とせず、よってコマンドも必要としない。TMI に対するあら ゆる要求は、機器運用要求が提出された後にはじめて取り込まれる。

図 2.5-2 は、上述した機器の立案フローを示している。また、表 2.5-2 は、TRMM 衛 星の軌道制御を示している。

TSDIS の SOCC は 3 つの降雨観測装置 (PR, TMI, VIRS) の運用計画の立案を支援す る。FOT は LaRC と MSFC に対して CERES と LIS の運用計画を立案する。運用計画は 最終的に 1 日毎の計画 (Daily Activity Plan: DAP) としてとりまとめられる。DAP は 1 日の運用に対して要求される観測コマンドを含んでいる。DAP が作成され、NCC から TDRS の確定された計画が MOC に届くと、該当の 1 日の運用に関して制約条件の チェック、モデリング、及びロードの生成が可能となる。

さらに、TRMM の運用のためには TDRS(データ中継衛星)とのコンタクトのスケ ジューリングが必要となる。SN の運用計画の立案は軌道データプロダクトが FDF から 届く、運用の約3週間前から開始される。FOT の NCC(スペースネットワークコント ロールセンター)とのインタフェースはユーザ立案システム(UPS)を用いて実施され る。UPS は自動立案機能を提供し、さらに、TDRS の運用要求及び確定された計画の電 子的な交換機能を可能とする。



図 2.5-2 TRMM 運用計画立案フロー

運用	^{180°Yaw} (衛星の+Y 側への 太陽照射の回避)	Delta-V (軌道姿勢維持)	90°Yaw (PR アンテナ パターン測定)	CERES 深宇宙校正
運用期間	17 分	45 分間隔で 50 秒の噴射 を 2 回	35 分	6 周回 (48 時間以 上間隔をあけて)
安定時間	運用期間に含まれる	約 5 分	運用期間に含まれる	約3分
頻度	1 回/2-4 週	1回/7-10日(ミッション初期) 1回/2日(ミッション中期)	1回/6-12ヶ月	1回/初期軌道上 チェックアウト
PRモード	ノーマル	ノーマル	外部校正	スタンバイ
VIRS モード	ノーマル	ノーマル	ノーマル	ノーマル
TMIモード	ノーマル	ノーマル	ノーマル	ノーマル
CERES モード	コンタミネーションセーフ	コンタミネーションセーフ	コンタミネーションセーフ	ノーマル
LISモード	ノーマル	ノーマル	ノーマル	ノーマル

表 2.5-2 衛星軌道制御

2.5.2.1 降雨レーダ

PR 機器は定常、ほとんどコマンドを送信する必要がない。外部校正はおよそ 2 ヶ月 に1回、内部校正はおよそ 1 週間に 1回実施される。通常、外部校正は 103 のビーム の内、7 ビームのみを使用する限定走査モードにおいて実施される。外部校正は、日本 に設置された能動型レーダ校正器 (Active Radar Calibrator: ARC)の上空を TRMM が通 過する時に実施する必要がある。NASDA/EOC は、その実施時刻と校正を実施する中心 のビーム番号を設定する。内部校正は PR の電波放射が禁じられている地点を通過する 時に合わせて行われる。

アンテナパターン測定は、クロストラック・アンテナパターン及びアロングトラッ ク・アンテナパターンの2種類の外部校正から構成される。アンテナパターン測定は、 SSPA や LNA のテレメトリに異常が生じた場合の時のみに ARC を用いて実施する。 NASDA/EOC は、その実施時刻とビーム番号を TSDIS の SOCC 経由で FOT へ入力する。 クロストラック・アンテナパターン測定は、衛星を進行方向に対して-Y 軸へ向ける 90° のヨー制御を要求する。その軌道制御には、安定する時間を含めると約 15 分を要する。 この校正自体は約 5 分間で完了する。校正終了後、衛星は通常の向きに戻る。クロス トラック・アンテナパターン測定が開始される以前に、PR は外部校正用の固定ビーム モードに設定され、ビーム番号が指定される。そのビーム番号は、NASDA/EOC が ARC を向けるために使用する固有の角度に一致する。クロストラック・アンテナパ ターン測定の校正タイムラインが図 2.5-3 に示される。

PR - F	
観測	PR の通常の運用モード。このモードの間、PR は+17°の走査角で通常の降雨のエコー測定
	を実施する。
外部校正	地上の ARC によって PR の軌道上校正を実施するモード。限定走査あるいは固定ビーム
	サブモードが衛星の通常の姿勢あるいは 90°ヨー制御のコンフィギュレーションにおいて
	用いられる。
	限定走査 : 選択したアングルビンを中心とした 7 ビーム方向を走査
	固定ビーム : ビームは選択したアングルビンに固定され、走査は実施しない
内部校正	内部折り返し信号により LOGAMP の入出力特性について軌道上校正を実施するモード。
	このモードの間、RF 信号はアンテナから送信されず、サイエンス観測は実施されない。
ヘルス・	システム制御データ処理部(SCDP)の RAM 及び ROM をチェックするモード。電源のオ
チェック	ンによってセーフティモードから本モードへ移行する。
LNA 動作	それぞれの LNA が正常かどうか確認するモード。このモードの間、サイエンス観測は実
解析	施されない。
スタンバイ	SCDP に保存される位相コードをチェックするモード。本モードは一時的に RF 放射を停
	止するためにも使われる。このモードの間、PR はオンであるが、あらゆる RF 送信も開
	始しない。
セーフティ	TRMM が以下の運用モードにあるときに使用されるモード:
	・打上げモード
	・初期軌道確立モード
	・ 安全維持/低負荷モード
	安全維持/低負荷信号が受信された時、NEB 電源供給が自律的に停止される前に、PR は内
	部コマンドにより、このモードへ移行する。このモードの間、PR はサバイバルヒーター
	を除いてオフされる。
	を味いてオノされる。

表 2.5-3 PR 運用モード

15 分	5 分	15 分	
90°Yaw	校正	90°Yaw	通常運用

図 2.5-3 アンテナパターン測定校正タイムライン

2.5.2.2 TRMM マイクロ波観測装置

TMI は1つの運用モードのみを有しており、少ないコマンドで運用される。従って、 コマンドの手順はシンプルであり、電源のオンオフ制御のみを対象としている。即ち TMI には OFF と ON の2つのモードが存在する。軌道上において一端 TMI へ電源供給 が開始されると、Safehold、Low Power、及び TMI 自体の故障等の特定の不具合時を除 いて TMI は常時電源がオンのままに維持され、その後のミッション期間中はコマンド 送信を必要としない。リアルタイムイベントが実施される間、TMI の一般的な機器の 状態監視が実施される。なお、不具合については SOCC から通知される。

2.5.2.3 可視赤外観測装置

VIRS の運用は、少ないコマンドで運用される。昼間のモードから夜間のモードへの 切替えは、衛星テレメトリと統計監視(TSM)機能によって達成される。衛星プロ セッサーが PSIB の"time of day"テレメトリを使って昼夜を把握する。TSM は夜の状態 をモニタすると RTS を発信する。RTS は 3 分後に VIRS へ夜間モードへの移行コマン ドを送出し、20 分後に昼間モードへ復帰するコマンドを送出する。このコマンド運用 が毎周回実施される。

太陽光校正は、太陽が太陽光校正器ドアの視野内に位置するときに、1~3 週間に 1 回の割合で実施される。 VIRS のインスツル・サイエンティストは、立案支援情報を 参考として、校正の実施時刻を決定する。その設定された時刻は、通常のコマンド群 に取り込むため、SOCC 経由で FOT へ通信される。この校正運用には、校正ドアの開 /閉のための2つのコマンドが必要とされる。

180°ヨー制御は、衛星の+Y 側に太陽があたらないようにするため、太陽が 0°のベー タ角度に達するときに、2~4 週間に 1 回の割合で実施される。その制御は、太陽光が VIRS に照射される可能性を排除するために、日陰時に実施される。

VIRS の通常運用はリアルタイム運用時の HK データの一般的なヘルスモニタを伴う。 同様に、VIRS の温度モニタも実施される。VIRS は VIRS のスキャナーを 0°~20°C の 温度範囲に維持するために 4 段階のヒーター電圧を供給できる運用ヒーターを有して いる。その運用ヒーターはコマンドリンクによって指定することができる。しきい値 がリアルタイムイベントの間にセットされ、モニタされる。図 2.5-4 は運用温度範囲を 示している。



図 2.5-4 温度モニタ

2.5.2.4 雲及び地球放射エネルギー観測装置

CERES は、他のミッション機器より多くのコマンド運用を必要としており、そのコマンドのほとんどは、衛星の SCP(Stored Command Processor)から発行されるストアードコマンドによって実行される。なお、CERESの運用は、LaRC によって事前承認され、FOT によって立案される。

CERES の通常のサイエンス運用には、クロストラックモードと 2 軸スキャンモード の 2 つが存在し、それぞれ 66%と 33%の時間比率で運用される。また、太陽光校正と 内部校正が 2 週間に 1 回実施される。内部校正は、CERES が通常の観測モードである クロストラックモードあるいは 2 軸スキャンモードのどちらかにある時に実施される。

クロストラックモードへの移行はストアードコマンドによって実施される。クロス トラックモードでは、CERES はエレベーション軸においてのみ、水平から水平へとス キャンする。この時、アジマス角は180°に固定されている。 2 軸スキャンモードでは、エレベーションジンバルが通常のスキャンあるいは短周期 のスキャンを実施し、アジマスジンバルは 90°~270°の範囲で前後に回転する。通常の 地球スキャンと短周期の地球スキャンはストアードコマンドによって切り替えられる。 この切り替えは、日の出と日の入付近で、太陽を直接スキャンすることを避けるため に実施される。通常のスキャンの開始に対して、スキャンプロファイル中のスキャン をカウントするトリガーとなるコマンドが送信される。スキャン数がコマンド中に規 定された数に達すると、自律的にコマンドを発行して、短周期のスキャンプロファイ ルへ移行する。

通常の 90°~270°のアジマスジンバルの回転範囲は、太陽のベータ角が-20°以下、あ るいは、+20°以上の時適用される。ベータ角が-20°~+20°の範囲の時、アジマスジンバ ルは 110°~250°の範囲の回転に限定される。この 2 つのアジマス回転範囲の切り替えは ベータ角の予測値に基づいて、ストアードコマンドによって実施される。110°~250°の の限定範囲でのアジマス回転は、検出器が太陽に対して 20°より近くスキャンすること をさけるために使われる。

CERES の校正は、2週間毎に実施される。太陽光校正の間、太陽の仰角は-11°になり、 CERES 機器のアジマスは、太陽が MAM (Mirror Attenuator Mosaic)の視野内に位置する ようなエレベーション角に対応して設定される。太陽光校正は、CERES 機器のマイク ロプロセッサー内に、事前にプログラムされたシーケンスに従って実施される。 CERES は一端、スタンバイモードへ移行された後に、太陽光校正を開始し、約 30 分間 の校正運用後、再びスタンバイモードへ戻る。

内部校正は通常、太陽光校正の完了後直ちに実施される。内部校正のシーケンスは、 事前に設定されたシーケンスに従って内部校正のソースをオン / オフすることである。 校正データはエレベーションジンバルが通常の地球スキャンプロファイルを実行し、 機器がクロストラックモードあるいは 2 軸スキャンモードのどちらかで運用中に取得 される。

CERES の深宇宙校正は、機器のチェックアウト期間に実施される。この校正を実施 するため、TRMM 衛星の姿勢は直下指向から慣性固定姿勢へと変更される。

なお、CERES は、打ち上げから9ヶ月が経過した 1998 年 8 月頃、過電圧が流れる不 具合が発生し、現在までに原因の解析と各種対処が継続して実施されており、観測 データの取得は断続的な実施に限定されている。



図 2.5-5 CERES スキャンプロファイル

2.5.2.5 雷観測装置

LIS の運用は非常にシンプルであり、通常のサイエンス運用の間、昼夜を通してサイ エンスモードにおいて連続運用する。LIS はその間、2 ms 毎の連続的な観測を実施し、 この 2 ms のサンプリング期間中に雷を検出すると、雷の位置、強度、時刻を報告する。

LIS は一度電源が供給されると通常のサイエンスデータ収集モードに設定される。 FOT は LIS に対して、定常運用の間、この設定の確認のみを実施する。さらに、衛星 とのリアルタイムコンタクトの際に、自動のリミットチェックが実施される。

LIS へのコマンド送信は、機器のチェックアウトが完了するまでの初期段階において、 頻繁に実施される。そのほとんどは RTEP (Real Time Event Processor)のしきい値の変 更コマンドである。データが解析され、最適のしきい値が一度決定されると、その後 のコマンド送信はほとんど必要としない。ヨー制御、増速制御、CERES 深宇宙校正と いった衛星の運用に対しても、LIS は特別の設定を必要とせず、通常の設定を維持する。 2.6 降雨レーダの詳細仕様説明

TRMM に搭載される降雨レーダ (PR: Precipitation Radar)は、世界で初めての衛星搭 載用降雨レーダであり、郵政省通信総合研究所の協力を得て宇宙開発事業団が開発を 担当した。

降雨レーダは、13.8 GHz 帯を用いて衛星直下点の幅約 215 km の範囲の高度約 20 km までの降雨エコー強度を測定するレーダシステムである。

降雨レーダの主要な目的としては、

- 降雨の三次元構造、特に垂直分布を観測すること、
- 海洋及び陸域上の降雨の定量的観測を行うこと、
- 降雨構造に関するデータを提供することにより、TRMM マイクロ波観測装置 (TMI)による降雨観測精度を向上させること等である。
- 2.6.1 構成及び諸元

降雨レーダの構成・外観・機能ブロック図を以下に示す。

(1) 構成

降雨レーダは、表 2.6-1 に示すサブシステム及びコンポーネントより構成される。

	P(= 10 1	111132 23	- 11-37-20	
サブシステム	コンポーネント名	略語	数量	備考
アンテナ系		ANT	一式	128 台導波管スロットアンテナ
	電力増幅器	SSPA	128	出力で 17 種類に区分
	低雑音増幅器	LNA	128	利得で 17 種類に区分
	分合波器 1	DIV/COMB1	1	16 分合波
送受信系	分合波器 2	DIV/COMB2	16	移相器を含む 8 分合波
(TRS)	送信系駆動増幅器	TDA	2	冗長構成
	受信系駆動増幅器	RDA	2	冗長構成
	バンドパスフィルター	BPF	2	冗長構成、FCIF で使用す
				るものと同一
	電源	RF PS	2	冗長構成
	システム制御・データ処理部	SCDP	2	冗長構成
信号処理系	周波数変換・IF 部	FCIF	2	冗長構成
(SP)	PLO ユニット	PLO	1	内部冗長構成、電源は
				FCIF から供給
構造系		STR	一式	
熱制御系		TCS	一式	
計装系		INT	一式	

表 2.6-1 降雨レーダの構成

(2) 外観

降雨レーダの外観を図 2.6-1 に示す。

(3) 機能ブロック図

降雨レーダの機能ブロック図を図 2.6-2 に示す。





2.6.2 機能

降雨レーダの主要機能を以下に示す。

(1) 主要機能

降雨レーダの主要機能は次の通りである。測定概念図を図 2.6-3 に示す。

- 地球方向に短い正弦波パルスを送出し、雨滴等から散乱されたレーダエコーを降雨の垂直分布を知るために必要な距離範囲にわたり受信する。
- 2) 降雨の三次元構造を知るため、TRMM 衛星進行方向に対して垂直な平面内にビー ムを走査する。
- 3) 2 周波で各々32 パルスずつ受信した計 64 パルスを平均する(2 周波アジリティ)。
- 4) レーダ受信電力、レーダ反射因子(Z 因子)及び地球表面の規格化散乱断面積 (σ⁰)を定量的に測定する(内部校正機能、システム雑音レベル測定機能)。
- 5) 地上設置の校正器を用いた降雨レーダ校正及びアンテナパターンを測定する。
- 6) 降雨レーダの正常な動作、性能を確保するための熱制御を行う。
- 7) 降雨レーダの運用モード設定、主系 / 冗長系の切り換え等に必要なコマンド機能、 状態モニタのためのテレメトリ機能。
- 8) コマンドデータ、テレメトリデータ等の授受、降雨レーダ電源及びその入切等につ いて TRMM 衛星とインタフェースする。



図 2.6-3 降雨レーダの測定概念

(2) 運用モード

コンポーネント毎の運用モードについては、2.5.2.2章を参照すること。 SCDPの運用モードは降雨レーダの運用モードに対応している。 降雨レーダの運用モードの概要は以下の通りである。

(a) 観測モード

本モードは±17°のアンテナビーム走査(49 ビーム)による通常の降雨観測モードで あり、定常段階のほとんどの時間は本モードで運用される。本モードでの観測データ の校正を行うため、下に示す外部及び内部校正モードでの運用が適宜行われる。本 モードでは地表面追尾を行う。

(b) 外部校正モード

本モードは主に地上に設置した能動型レーダ校正器(Active Radar Calibrator: ARC) を用い、ARC からの送受信電力値と PR で得た受送信電力値とを比較して、PR 電力値 に劣化(差異)が認められた場合に受信係数または送信係数として補正を行うための 校正値を算出する際に用いられる。これらの校正係数は降雨レーダレベル 1 処理ソフ トウェアへ反映される。また、このモードの値を用いて、アロングトラック、クロス トラックのアンテナパターン及び PR 受信電力値の濃度表示を行う。

これらの運用を行うため、外部校正モードはアンテナビームの走査方式により次の 2 つのサブモードに分けられる。

- 限定走査モード:指定の観測角度ビンを中心とした 7 ビーム(0.355°間隔)の走査 を行うモードであり、観測モードに比べて細かいスキャンを行うことで、確実に PR からの信号のピークを受けられるようにした運用モード
- 固定ビームモード:指定の走査角度ビンに固定するモード(走査なし)

(c) 内部校正モード

本モードは、レーダ内部の折り返しループを使用して RF パルスを折り返し、受信信 号を対数検波してビデオ信号に変換するための対数増幅器の線形性及び対数勾配の誤 差を測定する際に使用される。ここで使用される RF 信号は、可変減衰器により 2.6 dB ステップの 32 段階の基準信号を有し、ダイナミックレンジの測定が行われる。処理時、 どのポイントデータを用いるかはユーザが指定可能であり、算出した差の値を FCIF 入 出力特性表(校正係数)として算出する。なお、内部校正モードでは、アンテナから RF 信号は送出されない。

(d) 動作解析モード

本モードは、LNA の動作状態を確認する場合に使用される。具体的には、ビームを 直下方向に固定し、海面からのエコーを 1 つの LNA 素子で受信する。受信する LNA 素子を順次切り替えて、128 素子の各々の LNA に対して、ピーク値、エコー平均値、 地上試験平均値との差が基準値(3 dB: default)以内であることを確認する。LNA 素子 の異常については表示画面にて確認可能である。

(e) ヘルスチェックモード

本モードは降雨レーダの電源投入時における最初の本モードである。また、TRMM 衛星の Engineering モード時に降雨レーダのヘルスチェックに使用される。本モードは、 SCDP 内部の RAM/ROM が正常であるかの確認を実施する。本モードでは、アンテナ から RF 信号は送出されない。本モードは最も安全なモードであり、降雨レーダ異常時 は、通常、本モードに戻して待機する。

(f) スタンバイモード

本モードは降雨レーダで使用する位相コードを再度設定したり、変更したりするために使用される。本モードでは、地上にて設定した位相コードデータ(オフライン入手)とスタンバイモード時のテレメトリを比較することにより、地上で設定した位相コードが衛星に正しく伝わっているかを確認することができる。なお、本モードでは、アンテナから RF 信号は送出されない。また、干渉防止等の目的で降雨レーダのデータ送信を短時間停止する場合にも、本モードを使用する。

(g) セーフティモード

本モードは、降雨レーダを動作させるための TRMM 衛星からのノンエッセンシャル バス電源が供給されず、降雨レーダの"サバイバルヒータ"のみにエッセンシャルバ ス電源が供給されている状態である。TRMM 衛星の打上げ前に降雨レーダは本モード に設定されており、衛星の打上げから初期段階まで(Launch モード、IOA モード)維 持される。また、TRMM 衛星の異常時(Safe-hold モード、Low-Power モード)に、降 雨レーダはこのモードに移行する。その他、TRMM 衛星の打ち上げから初期段階等の 異常時(GSTDN モード)もこのモードに設定される。

運用モード相互の関係を図 2.6-4 に示す。



図 2.6-4 降雨レーダ運用モード間の遷移

2.6.3 性能

降雨レーダの主要性能を以下に示す。

1)	周波数	:13.796 GHz (f1)及び 13.802 GHz (f2)(2 周波周波数アジリティ)
2)	送信周波数安定度	:±2×10 ⁻⁵ 以内/3年2ヶ月
3)	占有帯域幅	: 14 MHz 以内
4)	スプリアス	: -50 dBc 以下(アンテナ系入出力端にて)
5)	距離分解能	:250 m 以下(受信フィルタ出力パルスの 6 dB 幅で規定)
6)	水平分解能	:物理学的高度 350 km 時、直下点で 4.34 ± 0.12 km 以下
		(送受往復アンテナパターンの6dB幅で規定される地上で
		の水平方向分解能)
7)	最小レーダエコー	: -111 dBm
		= 受信レベル (Smin) (アンテナ系とのインタフェース点にお
		ける値。1 パルス当りの S/N が 0 dB となる受信レベル。ア
		ンテナ入力雑音温度 = 290 K とする。)
8)	最小測定降雨強度	: 0.5 mm/h (雨域頂で 1 パルス当りの S/N = 0 dB)
9)	走査幅	
а	観測モード時	: 215 km 以上(地理学的高度は 350 km 時、地表での幅フット プリントの中心問)

- 10) 走査角度間隔及び1 走査内の走査角度ビンの数
 - a. 観測モード時 : 走査角度間隔:2 走査角度ビン毎(約0.71°) 走査角度ビン数:49(直下方向を含む)
- 11) 走查周期
 - a. 観測モード時 : 0.6 秒以下
- 12) アンテナ指向方向固定: 外部校正モード時、9)~11)で規定したアンテナ走査の他、 走査角度ビンの内指定された走査角でのアンテナビーム方 向固定も可能。
- 13) 観測距離範囲
 - a. 観測モード時 : 高度 20 km¹からアンテナメインローブによる表面エコーま で観測できる。走査角0°では更に高度5kmまでエコーのミ ラーイメージを含む。
- 14) システム雑音レベル:レーダエコーの無視できる距離範囲で測定する。
- 15) レーダビデオ信号の平均化独立サンプル数:64 以上
- 16) ダイナミックレンジ:直下点での表面エコーレベルと雑音レベルを同時に測定す るため(海面のσ⁰=16 dB、アンテナ入力雑音温度 = 120 K と する)、正弦波パルス入力に対する受信機総合入出力特性 (対数検波器、A/D 変換を含み受信系雑音は無視できると仮 定した場合の特性)の直線部分は本項で規定した雑音及び、 表面エコーレベルに対して5dB以上のマージンを持つ。 :16)項の直線部分において±0.6 dB 以内
- 17) 直線性
- 18) レンジ基準点²決定精度:距離分解能の10%以下
- 19) 測定精度
 - a. 等価 Z 因子及び表面規格化レーダ断面積:±1 dB 以内^{3,4}
 - b. レーダ受信電力 : ±0.9 dB 以内⁴
 - c. レーダ送信電力 : ±0.4 dB 以内
- 20) アンテナサイドローブ及び::13)に規定した観測距離範囲において、0.5 mm/h の降雨エ 交差偏波グレーティング コー強度以下。14)に規定したシステム雑音レベル検出ウ ローブ による表面 インドウで、アンテナサイドローブは雑音レベルより II-強度 -20 dB 以下、交差偏波グレーティングローブは雑音レベル より-5 dB 以下、アンテナ入力雑音温度 = 120 K とする。
- 21) 受信パ ILXのレンジ サイト ローブ : -25 dB 以下
- 22) 受信フィルタ損失 : 1.5 dB 以下

¹ 高度 23 km までのデータが取得されるが、最終的には 20 km までのデータを利用する。

² 降雨レーダからの距離をゼロとみなす仮想の点で、この位置をレンジビン1とする。

³降雨及び大気減衰による誤差を除く。

⁴ レーダ受信レベルのパルス毎の統計的変動による誤差を除く。本規定は 16)で規定したダイナミックレ ンジ内の信号レベルに対して適用される。

- 23) アンテナ利得 : 47.4 dB 以上(アンテナ系入出力端にて)
 24) アンテナビーム半値幅 : 0.71±0.02°(直下点指向時)
 0.74±0.03°(走査角 17°時)
- 25) アンテナサイドローブ : ピーク値 - 27 dB 以下 同一レンジ積分値 - 64 dB 以下 (0° 40°)
- 26) アンテナビーム傾き角 : 給電点方向に 4±0.1°
- 27) 最大アンテナ走査角: クロストラック方向に±17°以上
- 28) グレーティングローブ : 27)項の走査角範囲でアンテナを走査した場合発生しない。
- 29) 交差偏波グレーティングローブ: 15 dB
- 30) 送受L^{*}-ム指向方向一致度:±0.07°以内
- 31) ビーム指向方向精度 : レーダのアライメント基準に対するアンテナビーム指向方
 向の誤差(不確定性)は±0.2°以内
- 32) レンジビン
 - a. レンジビン数 :400
 - b. レンジビン間隔 : 125 ± 1 m
- 33) 走査角度ビン
 - a. 走査角度ビン数 : 103
 - b. 走査角度ビン間隔 : 0.355±0.1°

2.6.4 動作の概要

動作の概要として観測原理及び観測方法を以下に示す。

レーダによる降雨測定の原理は、レーダから発射された電波が雨滴によって散乱し、 その一部がレーダ方向に戻ること(後方散乱)を利用するものである。レーダアンテ ナによって受信された散乱波のエネルギー強度(受信電力強度)と雨量強度との間の レーダ方程式に基づく関係式により、降雨量を推定する。レーダ方程式には、例えば、 雨滴の直径が使用電波の波長に比べて十分小さく(5 mm 以下)レーダビーム内に一様 に分布しており、その落下速度も一定である等の仮定条件が設けられている。した がって必要に応じて補正を行う。

降雨レーダは、高度 350 km の軌道から 13.8 GHz 帯の 2 周波数 (f1 = 13.796 GHz、f2 = 13.802 GHz) でパルス幅がそれぞれ約 1.6 µsec のパルス波を、1 つのビーム方向につ いて 32 パルス、送信パルス繰り返し周期 (PRI) である 360.23 µsec 毎に送信する。そ して、送信したパルス波が雨滴や地表面により散乱して戻ってくる電波 (レーダエ コー)の受信電力強度を測定する。1 送信パルスについて、地表面から高度約 20 km ま でのレーダエコーの受信電力をビーム方向の距離にして約 250 m 毎にサンプリングす

る。ビーム方向について同じ距離(同一レンジ)の 64 個(32 パルス×2 周波数分)の 受信電力データについて平均処理を行い、地上に伝送する。32 パルス、2 周波数の 64 個のデータは統計的に独立なサンプルデータであり、これらの平均をとることにより 所要の観測精度(S/N)を確保している。独立サンプル数を確保するために 2 つの送信 周波数を用いる方式を 2 周波アジリティ方式という。降雨レーダは、衛星進行方向 (アロングトラック方向)と直角な方向(クロストラック方向)に、0.6 秒に 1 回走査 (スキャン)する。衛星直下方向より±17 度の範囲について 0.71 度毎の 49 のビーム (観測角度ビン)を、1 スキャンとして観測を行う。

TRMM 搭載降雨レーダは 128 本の導波管スロットアンテナにそれぞれ送信機と受信 機がつながっているアクティブフェーズドアレイ方式のレーダであり、ビーム走査は 128 系統のアクティブアレイの位相をディジタル位相器により各ビーム方向に対応する ように制御することで行われる。

アンテナのサイドローブ方向から入り込む地表面の強いエコーが、同じ距離にある メインビームで観測する降雨エコーに重なって観測精度に影響を与えないよう、降雨 レーダのアンテナパターンは、アロングトラック方向もクロストラック方向もテイ ラー分布に従った給電により、非常に低いサイドローブレベルを実現している。アロ ングトラック方向の給電分布は各導波管スロットアンテナのスロットの切り方、クロ ストラック方向の給電分布は128台の送信機の送信電力分布により実現されている。

降雨レーダは 350 km より + 7 km、及び - 8 km の範囲の衛星高度において正常に観測 データを取得できるよう設計されており、この高度範囲をはずれると、受信エコー データの一部が欠けたり、地表面エコーが観測データの中に含まれなくなる。

宇宙からのレーダによる降雨観測には、地上の降雨レーダとは違い、レーダエコー に地表面或いは海表面の強い散乱エコーが含まれる。この強いエコーに対する減衰を 利用して、降雨強度推定精度を上げることができる。

本降雨レーダの観測データは、レーダパルス幅で決まる距離分解能(250 m)毎にサ ンプルされているが、特に鉛直入射付近の地表面エコーは非常に鋭く、250 m 毎のサン プルではエコーレベルを正確に求めることは困難である。そこで、測定誤差を軽減す るため、125 mのサンプル間隔でデータを取得する。これをオーバーサンプルと呼び、 地表面エコーを追尾し、その付近のデータを綿密に取得する。

これらの処理は、本降雨レーダのシステム制御・データ処理部に搭載されたデータ 処理アルゴリズムによって行われる。 2.6.5 コンポーネントの説明

降雨レーダは図 2.6-5 に示すサブシステム及びコンポーネントから構成される。



図 2.6-5 降雨レーダの構成

2.6.5.1 アンテナ系

アンテナ系は、送受信系と 128 素子の導波管アンテナで構成され、送受信系から供 給される送信信号を空間に放射し、また雨滴等からの反射波を受信して送受信系に供 給する。

(1) 構成

降雨レーダはアクティブフェーズドアレイアンテナ方式を採用している。フェーズ ドアレイとは、多数のアンテナ素子をアンテナ開口面に配列し、各アンテナ素子に接 続された移相器により、電子的に位相を変えてビーム方向を制御する方式である。ア ンテナ系は 128 台の導波管スロットアンテナを衛星の進行方向と直交する方向に配列 したアレイアンテナである。

(2) 機能

アンテナ系の主要機能を以下に示す。

- 1) レーダ送信信号の空間への放射並びにレーダ反射エコーを受信する。
- 2) 送受信系によって形成される各系統の振幅・位相分布に従い、アンテナビーム指向 方向を TRMM 衛星進行方向と直交する面内で走査する。

(3) 性能

- 1) アンテナ形成 :非共振型導波管スロットアレイアンテナ
- アンテナ素子数 : 128
- 3) 電気的開口径 : 2.1 × 2.1 m
- 4) 中心周波数 : 13.796 GHz (f1)及び 13.802 GHz (f2) (2 周波周波数アジ リティ)
- 5) 偏波 : 水平偏波
- 6) 帯域幅 : ± 10 MHz 以上
- 7) 効率 :95%以上
- 8) 導波管損失 : 0.5 dB 以下
- 9) VSWR : 1.2 以下 (アンテナエレメント単体特性)
- 10) 利得 : 47.4 dB 以上 (アンテナ系入出力端にて)
- 11) ビーム半値幅 : 0.71±0.02°(直下点指向時)
 - 0.74±0.03°(走査角 17°時)
- 12) サイドローブ : ピーク値 27 dB 以下
- 13) ビーム傾き角 : 給電点方向に 4±0.1°
- 14) 最大走査角 : クロストラック方向に±17°以上
- 15) アンテナ系座標軸
 : アンテナ系座標軸として、機械座標軸(Xa,Ya,Za)と電気座 標軸(Xe,Ye,Ze)を用いる。
 これらの座標軸を図 2.6-6 に示す。

降雨レーダ機械座標軸

図 2.6-6 アンテナ系の座標軸

2.6.5.2 送受信系

送受信系は信号処理系から供給される送信信号を送信系駆動増幅器で増幅し、分合 波器 1 及び分合波器 2 により 128 系統に分配し、各系統に接続された電力増幅器 (SSPA)により電力増幅を行った後、アンテナ系に供給する。SSPA は飽和電力で使 用しており、出力安定度が高く、十分なマージンをもって飽和領域で動作させている。

また、アンテナ系から供給される 128 系統の受信信号を低雑音増幅器(LNA)で増幅し、分合波器 2 及び分合波器 1 により合成し、受信系駆動増幅器で増幅した後、信号処理系に供給する。

分合波器 2 には移相器が内蔵されており、これにより 128 系統の送信信号間の位相 関係及び 128 系統の受信信号間の位相関係を制御する。この機能によりアンテナビー ムを指定された方向に走査する。SSPA、LNA、分合波器 2 及び送信 / 受信駆動増幅器 の電力は、送受信系の電源から供給される。

- (1) 電力增幅器(SSPA)
- (a) 構成

電力増幅器(SSPA)は回路構成により大きく 2 種類に分類され、さらに励振振幅により 18 種類に分類される。

SSPA18 は、同軸導波管変換器が搭載されており、また、出力ボードにサーキュレー タがなく、他の SSPA と区別して送信系駆動増幅器(TDA: Transmit Drive Amplifier)と 称する。TDA は信号処理系からの RF 信号を、分合波器1に入力するレベルまで増幅す るために用いる。

- (b) 機能
- 1) 送信アンテナパターン条件を満たす出力電力を有する。
- アンテナへの送信信号とアンテナからの受信信号を分離するためのサーキュレータ を有する。
- 3) 制御信号により送信制御を行う。
- 4) 出力電力モニタ機能を有する。
- (2) 低雑音増幅器(LNA)
- (a) 構成

低雑音増幅器(LNA)はその利得により18種類に分類される。

LNA18 は、同軸導波管変換器が搭載されており、受信系駆動増幅器 (RDA: Receiver Drive Amplifier)と称する。RDA は、分合波器 1 から出力された RF 信号を、送受信系 への入力として必要なレベルまで増幅するために用いる。

- (b) 機能
- 1) 受信アンテナパターン条件を満たす利得を有する。

- 2) 送信時に送信パルスの漏れ込みによる LNA の保護及び他の回路への影響を防止す るための T/R スイッチを有する。
- 3) 制御信号により T/R スイッチ制御を行う。
- (3) 分合波器 1
- (a) 機能
- 1) 送信時には、信号処理系の周波数変換・IF 部からの RF 送信パルスを入力し、それ を 16 分岐した後分合波器 2 に出力する。
- 2) 受信時には、16系統の分合波器2からのRF信号を入力し、合成して周波数変換・ IF部に出力する。
- 周波数変換・IF 部への入出力信号を分離するためのサーキュレータ、及び信号分配/合成のハイブリッドを有する。
- 4) 冗長系を含めた 2 個の周波数変換・IF 部に対応するため、周波数変換・IF 部への 入出力端子が送受それぞれ 2 個用意されている。
- (4) 分合波器 2
- (a) 構成

分合波器 2(DIV/COMB2)はハイブリッド(HYB)、5 ビットのデジタル移相器 (PHS)、アイソレータ(ISO)/サーキュレータ(CIR)から構成される。

- (b) 機能
- 1) 送信時には、分合波器 1 からの RF 送信パルスを入力し、それを 8 分岐したのちデ ジタル移相器により必要な位相に調整し、SSPA に出力する。
- 2) 受信時には、8 系統の LNA からの RF 信号を入力し、必要な位相量に調整したのち 合成して分合波器 1 に出力する。
- 3) SSPA/LNA 入出力側に入出力信号を分離するためのサーキュレータを有すること。
- 4) 制御信号によりデジタル移相器の制御が行えること。
- (5) 電源
- (a) 構成

電源(RF系)は、主系及び冗長系の2台で構成され、相互は降雨レーダシステム ハーネスで有線のOR回路として結線される。送受信系の電源であるため、略称は区別 して RF PSと記す。

- (b) 機能
- 1) 外部バス電源を入力し、各部で必要とされる電源を供給する。
- コマンド信号により、機器の起動・停止、及びテレメトリ信号により、機器の動作 状態をモニタできる。

- 3) 緊急オフ信号により、機器の動作を停止する。さらに電源の再投入時にはコマンド により起動する。
- 4) 2 台の RF PS の出力を有線の OR 回路とすることにより、冗長系を構成する。

5) RF PS は常時1台のみ動作し、他は停止しているよう制御される。

2.6.5.3 信号処理系

信号処理系はレーダシステムの制御、レーダデータの収集・処理、衛星とのテレメ トリ / コマンドインターフェース等を行う。

(1) システム制御・データ処理部 (SCDP)

システム制御・データ処理部は、送受信系の SSPA、LNA、分合波器 2 に制御信号を 供給し、送受信切り替え、アンテナビーム走査等の制御を行う。また、周波数変換・ IF 部から供給されるビデオ信号を A/D 変換、平均処理した後、衛星側に供給する。ま た、降雨レーダ各部の温度、動作状態等のテレメトリを収集し衛星側に供給する。ま た、衛星側から供給されるコマンドにより機器の ON/OFF、運用モードの切り替え等の 制御を行う。

(a) 構成

システム制御・データ処理部(SCDP)はデジタル(一部、アナログ・デジタル混 在)電子回路2台(主系・冗長系)より構成される。

(b) 機能

SCDP の主要機能を以下に示す。

- 1) レーダビデオ信号、アナログテレメトリの処理
- 2) レーダ運用制御
- 3) 表面エコー及びシステム雑音に関するデータ処理(データ処理部ソフトウェア)
- 4) 基準クロック、各種タイミング信号及び時刻信号の発生
- 5) S/C とのインターフェース制御
- 6) 各サブシステムとのインターフェース
- 7) ヘルスチェック機能
- 8) 電源 ON/OFF 制御

S/C からの Safe-hold/Low Power Warning (SH/LP) 信号を CPU ソフトウェアが受 信すると、約4秒後に CPU ソフトウェアからのコマンド信号により FCIF、RF PS をオフにしたあとで、SCDP 電源 (DC/AC コンバータ) は自分自身をオフにする。 そして、1 次電源の再供給によりオンする。SH/LP 信号が PR に送られずに一次電 源が「断」になった場合、SCDP、FCIF、RF 電源が落ちるが、ハードウェアダ メージは無い。ただし、運用の最中に電源が落ちるので、その時に S/C へ伝送し ようとしていたサイエンス/HK テレメトリは消滅し、RAM に保存されていた位 相コードデータも消える。

- (2) 周波数変換・IF 部
- (a) 構成

周波数変換・IF 部 (FCIF)は降雨レーダの信号処理系の構成機器の 1 つであり、2 台で冗長系を構成する。

FCIF は Ku 帯の送受信系、LOCAL 系、IF 帯(60MHz 帯)の送受信系、及び制御回 路、電源で構成される。

- (b) 機能
- 1) 2 周波のパルスを発生し、送受信系に供給する。
- 2) コマンドにより、2周波のうちいずれか一方または両方のパルスの発生を停止する。
- 送受信系から出力されるレーダ受信信号の周波数変換、IF 増幅、帯域制限及び対 数検波を行い、レーダビデオ信号をシステム制御・データ処理部に出力する。
- 4) 地上にて受信系入出力特性の校正が可能なように、RF 信号折り返しループを有す る。また、校正は制御信号により制御される。
- (本機能は降雨レーダシステムの内部校正モード時に使用される。)
- 5) 出力ビデオ電圧ドリフトをモニタするため、制御信号により対数検波器の入力端を 整合終端する。
- 6) コマンドにより、受信利得を調整する。(3 dB ステップで5 段階に可変)
- 7) コマンド信号により、FCIFを ON/OFF する。同時に PLO ユニットを立ち上げる。
- 8) FCIF の ON/OFF ステータスをテレメトリ信号として出力する。
- 9) 温度センサを有し、テレメトリ信号として出力する。
 - 注 1: コマンド信号、及び制御信号は全て、システム制御・データ処理部から送出さ れる。また、テレメトリ信号は全て、システム制御・データ処理部へ出力する。
 - 注 2: FCIF-A 系 (B 系)がオフの場合、TDA/RDA の A 系 (B 系)へのゲート信号は 出ない。
- (c) 動作状態

FCIFの動作状態を以下に示す。また、動作状態遷移を図 2.6-7 に示す。

1) 状態1

FCIF が OFF の状態

2) 状態 2
 FCIF が ON であり、かつパルス無送信の状態

3) 状態3

FCIF が ON であり、かつパルス送信をしている状態

4) 状態 4

RF 信号折り返しループにより校正を行っている状態



観測時の通常のモード遷移

図 2.6-7 FCIF 状態遷移図

- (3) PLO ユニット
- (a) 構成

PLO ユニット (PLO UNIT) は降雨レーダの信号処理系の構成機器の1つである。 1 台で内部冗長系を構成する。FCIF A 系/B 系のうち、電源供給されている側に対

しローカル信号を発生する。図 2.6-8 に、FCIF A 系がオンの時の PLO 動作を示す。



図 2.6-8 FCIF-A 系がオンの場合の PLO の動作

(b) 機能

1) 稼働中の FCIF に対し、一定周波数のローカル信号を供給する。

2) FCIF の電源がオンされると同時にオンになる。

2.6.5.4 構造系

構造系は、降雨レーダシステムを構成するコンポーネント等を支持する。

2.6.5.5 その他

熱制御系は降雨レーダ各部の温度を許容範囲内に維持・制御する。

降雨レーダの熱制御方式は、MLI、OSR、ヒートシンク、コーティング材等の受動型 熱制御方式と、ヒータ、ヒートパイプの能動型制御方式から構成される。ヒータ制御 は、降雨レーダ機器搭載パネル内に取り付けた機械式サーモスタットによって行われ る。

降雨レーダは TRMM 衛星本体と独立に熱制御されることを前提としている。独立熱 制御を行うためには、TRMM 衛星本体との熱輻射 / 熱伝導結合をできるだけ回避する 設計でなければならない。このため、放熱面は TRMM 衛星との熱的干渉が小さい±Y 面パネルとアンテナ部に配置されている。放熱面以外の降雨レーダ周囲は多層イン シュレーション (MLI) で覆う。MLI 最外層には耐原子上酸素を考慮してベータクロス を採用する。

発熱量が大きい搭載機器である RF PS と FCIF については、それぞれ+Y 面パネル、 及び - Y パネルに配置する。RF PS と FCIF はそれぞれ冗長構成になっているため冗長 側の機器の温度制御を考慮し、主系 / 冗長系は同一のヒートシンク上に搭載する。RF PS 及び FCIF からの発熱は、±Y 面パネルの OSR 放熱面より直接放熱される。

SSPA、LNA、DIV/COMB1、DIV/COMB2、SCDP、PLO ユニット等の送受信電子機器 が搭載される中央パネルには、ヒートパイプを配置することによって中央パネル内の 温度分布均一化するとともに、熱歪が小さくなる設計となっている。中央パネルから の機器発熱はアンテナ部との熱輻射結合によって宇宙空間に放熱する設計となってい る。搭載機器及び搭載機器側パネルには黒色塗料を配置することによって熱輻射結合 を大きくする。

搭載機器が非動作となるセーフホールドモードでは、搭載機器の許容温度下限値を 下がらないようにサバイバルヒータを採用し、サバイバルヒータは機械式サーモス タットで制御される。

2.6.6 観測モデル

2.6.6.1 ラジオメトリックモデル

降雨による反射電力のデータから等価レーダ反射因子 (Z_m)と地表面の規格化散乱

断面積(σ⁰)を求めるための数学モデルについては、4.1.1章にて記述する。

図 2.6-9 に降雨レーダシステムの信号強度に関する機能系統図を示す。



⁽NOTE) TX: Transmitter, ANT: Antenna, PROP: Propagation, REF: Reflection, NS: Various Noise Sources, RX: Receiver

図 2.6-9 降雨レーダ観測システムの信号強度に関する機能系統図

2.6.6.2 観測距離モデル

観測領域の概略を図 2.6-10(観測モード時)、図 2.6-11(外部校正モード時)に示す。 どちらの図も、走査範囲の半分のみを描いている。

なお、高度 23 km までのデータを取得するが、最終的には 20 km までのデータが利用される。



2.6.6.3 幾何モデル

降雨レーダの幾何モデルは、レーダ電気座標系、レーダ機械座標系、アライメント 座標系、衛星機械座標系の4つの座標系を用いて表現することができる。座標系相互の関係を図2.6-12に示す。

レーダ機械座標系は、PR の基準となる座標系であり、走査はこの座標系の x 軸まわ りに行われる。レーダ電気座標系は、おおよそレーダ機械座標系を y 軸回りに-φ1(約 4°、測定により求める)回転させた座標系であり、周波数 f1、f2 時各々のビーム指向 方向の中間値である。

アライメント座標系は、衛星とのアライメントを調整するための座標系であり、お およそレーダ機械座標系に一致する。また、走査角が 0°のときにビームが衛星の直下 方向を向くようにレーダ機械座標系は衛星機械座標系に対し y 軸回りにφ2(φ2 φ1) 回転している。

レーダ機械座標系におけるビーム方向 D_Mは以下のようになる。

$$D_{M} = S_{x}(\theta) \cdot \text{TEM} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

θ:走査角(測定値;正負の定義は図 2.6-12 参照)

 $S_{x}(\theta)$: 走査角 θ に対応する回転行列

TEM : レーダ電気座標系からレーダ機械座標系への変換行列

したがって、衛星機械座標系におけるビーム方向 D_sは、以下のようになる。

 $D_s = T_A^{s} \cdot T_M^{A} \cdot D_M$

T_A^s:アライメント座標系から衛星機械座標系への変換行列

T_M^A: レーダ機械座標系からアライメント座標系への変換行列

以上より、地上におけるビームの軌跡を図示すると、図 2.6-13 のようになる。衛星 の飛行速度を考慮しているため、クロストラックからのずれが生じる。



3 TRMM 地上システムの概要

TRMM のミッション運用を実施する日米の関連する地上設備の概要について以下に 紹介する。

3.1 TRMM 運用全体地上システム

TRMM のミッション運用を実施する NASA 及び NASDA の地上システムの全体構成 を図 3.1-1 に示す。

TRMM 衛星の運用は、NASA のゴダード宇宙飛行センター(GSFC)により、追跡・ データ中継衛星(TDRS)を経由して行われる。テレメトリや観測データの取得は、コ マンド送信と同様に TDRS を経由して、米国のホワイトサンズの地上局にて受信され る。受信された全データは、オンラインで、GSFC のセンサデータ処理設備(SDPF) へ送られ、観測後48時間以内にレベル0データに処理される。

SDPF で前処理された全てのミッションデータは、同じく GSFC の TRMM 科学デー タ情報システム(TSDIS)へ送られて、高次処理される。なお、CERES のレベル 0 データはラングレー研究センター(LaRC)に、LIS のレベル 0 データはマーシャル宇 宙飛行センター(MSFC)に送られ、それぞれ処理されて、ユーザへ提供される

日本へは、SDPF より PR のレベル 0 データがオンラインで送られ、NASDA の地球 観測センター(EOC)で高次処理される。さらに、TMI と VIRS のレベル 1 データが、 TSDIS よりオンライン伝送される。その他の米国で処理された PR 以外のプロダクトは 媒体を利用して郵送で EOC へ送られ、国内のユーザへ提供される。

また、NASDA の地球観測データ解析研究センター(EORC)においては、TRMM データを用いた解析研究を行うとともに、研究用データセットを作成し研究者に提供 する。

1999 年秋より、NASA が準リアルタイムデータの配信を開始した。EOC では、2000 年 11 月より、PR 2A25-R1、PR 2A25-R2、TMI 1B11 の準リアルタイムデータを TSDIS よりオンラインで取得し、気象庁に伝送している。



図 3.1-1 TRMM 全体地上システム

3.2 TRMM 降雨レーダデータ処理システム

TRMM 降雨レーダデータ処理システムは、宇宙開発事業団地球観測センター (NASDA/EOC)に設置された地上処理システムであり、処理機能・検証機能・運用機 能を有している。

以下に、TRMM 降雨レーダデータ処理システムの概要について説明する。本システム内の各設備の説明については、3.2.1~3.2.4 項に示す。

(1) 全体構成

図 3.2-1 に、TRMM 降雨レーダデータ処理システムと対外機関との関連図を、また、 図 3.2-2 に TRMM 降雨レーダデータ処理システムの全体構成図を示す。

TRMM 降雨レーダデータ処理システムは NASDA/EOC 内の TRMM 運用室に設置する 処理設備、検証設備、降雨レーダ運用計画設備及び NASDA/EOC を常置場所として西 日本にて使用する能動型レーダ校正器 (ARC: Active Radar Calibrator)の4設備にて構成 されている。各設備はインタフェースを持ちながらも基本的には独立であって、全設 備を統合管理する計算機は有しない。



3-3



図 3.2-2 TRMM 降雨レーダデータ処理システムの全体構成図

TRMM地上システム

(2) ソフトウェア構成

TRMM 降雨レーダデータ処理システムは以下の 6 種類のソフトウェアから構成され ており、各ソフトウェアと設備マシンとの関係を図 3.2-3 に示す。

- (a) 降雨レーダレベル1処理ソフトウェア
- (b) 処理制御ソフトウェア
- (c) 高次処理ソフトウェア
- (d) 校正処理ソフトウェア
- (e) 検証制御ソフトウェア
- (f) 運用計画ソフトウェア



図 3.2-3 TRMM 降雨レーダデータ処理システム ソフトウェア構成図

(3) 運用時コンフィギュレーション

システム運用時のソフトウェアコンフィギュレーション、情報の流れを図 3.2-4 に示 す。



図 3.2-4 運用時コンフィギュレーション

3.2.1 処理設備

(1) 概要

処理設備は、NASA から回線にて送信されるレベル0 データを高密度磁気テープに記録・保存し、これにより温度特性の補正等、降雨レーダの内部校正を行い、校正済みの受信電力値や雨滴粒子のレーダ波に対する反射強度を示すレーダ反射因子(Z因子)を算出する(PR レベル1処理)。更に、このレーダ反射因子を降雨強度などの物理量に変換(PR レベル2処理)するとともに、月1回、地表面上の一定区画ごとに月間降雨量を算出(PR レベル3処理)する。これらは、プロダクト(製品)としてNASDA/EOIS を介して、特定ユーザ及び一般ユーザに配布される。このようなデータ処理は、運用員の立案する作業計画に基づいてプロダクトを量産する。

(2) 主要機能

以下に、処理設備における主要機能を記す。

- (a) 処理作業指示の管理
- (b) レベル 0 データの記録
- (c) データ処理
 - PR レベル1処理(1A21・1B21・1C21)
 - PR 高次処理 (2A21・2A23・2A25・3A25・3A26)
 - PR ブラウズ (1C21・2A25)
- (d) 処理済みデータの伝送
- (e) 媒体の管理
- (f) 定数ファイル管理
- (g) 日報・月報の作成
- (3) 処理の実行(自動化)

レベル 0 データ記録については、計算機(通常は主系)の立ち上げさえ行えば、 データ受信をトリガとして処理を実行する。また、標準プロダクト処理については、1 日の最初に作業登録を行うことで、計算機が自動的に処理を順次進めていく。

3.2.2 検証設備

(1) 概要

降雨レーダは、降雨のデータを連続的に取得する観測モード以外に、レーダ自体を 校正するための特殊モードがある。この特殊モードデータのうち、外部校正モード、 内部校正モード、LNA 動作解析モード、スタンバイモードを用い、降雨レーダレベル 1処理に用いる3種の校正係数(受信係数、送信係数、FCIF入出力特性表)を決定す る。また、降雨レーダデータ処理システムにて作成したプロダクトの品質管理を行う ために、プロダクトの検査や処理データの検証を行う機能も有している。

(2) 主要機能

以下に、検証設備における主要機能を記す。

- (a) 校正係数の算出・管理
- (b) プロダクトの検証・検査

3.2.3 運用計画設備

(1) 概要

降雨レーダのモード変更などのコマンド操作は、NASA のミッション運用センター (MOC)から行われるが、本設備では、どのようなコマンドを送出して降雨レーダを 運用するかの計画立案や、NASA への要求と調整などを行う。

(2) 主要機能

以下に、運用計画設備における主要機能を記す。

- (a) 軌道データの管理
- (b) 観測領域表示

- (c) ARC 運用シミュレーション
- (d) PR 運用要求の作成
- (e) MOC レポートの管理
- (f) クイックルックデータ作成要求の作成
- (g) データ伝送計画の作成

3.2.4 能動型レーダ校正器(ARC)

(1) 概要

降雨レーダは降雨からの微少な散乱エコーを受信し、その受信電力値から降雨強度 を推定するシステムであり、受信電力の誤差は直接降雨強度の推定誤差に結びつくた め、十分な精度での校正が必要である。そこで、無降雨時に TRMM の軌道と ARC 設置 場所が重なる際、能動型レーダ校正器を屋外に出し、降雨レーダの経年劣化などを計 測する。本装置はレーダ信号を受信するためのアンテナ、受信信号の周波数変換、増 幅などを行う電子機器、信号を送信するためのアンテナなどから構成される。ARC の 外観図を図 3.2-5 に示す。

(2) 主要機能

以下に、能動型レーダ校正器における主要機能を記す。

- (a) 受信機能
- (b) 送信機能
- (c) 折返し(受送信)機能
- (d) フロッピーディスクを媒体としたデータの転送
- (e) データ変換用校正値入力機能
- (3) 処理の実行

通常は倉庫に保管しているが、使用時には保管場所から出し、設置場所まで移動させる。そのために、ARC は可搬型となっている。その後、ARC を固定させ、アンテナ 搭載面が水平になるように調整し、運用開始となる。





3.3 地球観測情報システム

地球観測情報システム(EOIS: Earth Observation Data and Information System)は、地球 観測データの利用促進を目的として、地球観測データのカタログ情報サービス及びプ ロダクト提供を行うユーザフロントエンドシステムである。

EOIS は、図 3.3-1 に示すように 2 つのシステムから構成されている。

(1) データ総合管理・提供システム (DDMS: Data Distribution and Management System)

本システムは、地球観測衛星データを選択するために必要な各種情報をデータベー スで管理し、オンライン提供するとともに、各種媒体、フォーマットにより、標準処 理データを提供するシステムであり、宇宙開発事業団の地球観測センター (NASDA/EOC)に設置されている。

(2) データ解析処理システム (DAS: Data Analysis System)

本システムは、地球観測データの処理アルゴリズムの開発、検証のための計算機環 境を提供するシステムである。また、衛星データと地上観測データ等を組み合わせて、 地球環境に関する高次処理データ(データセット)を試作し、提供する機能、ならび に処理、検証に必要な地上観測データを提供する機能を有しており、宇宙開発事業団 の地球観測データ解析研究センター(NASDA/EORC)に設置されている。



図 3.3-1 EOIS システム概要

3.3.1 データ総合管理・提供システムの概要

表 3.3-1 にデータ総合管理・提供システムの構成、表 3.3-2 に各サブシステムの機能 概要を示す。

表 3.3-1 データ総合管理・提供システムの構成

地	球観	測情報システム NASI	DA Earth Observation data and Information System	(EOIS)
	データ総合管理・提供システム		Data Distribution Management System	(DDMS)
		デ <u>ー</u> タ提供系システム	Data Generation System	(DGS)
		媒体変換サブシステム	Media Conversion Subsystem	(MCS)
		データ保存システム	Data Storage Subsystem	(DSS)
		データ編集サブシステム	Data Editing Subsystem	(DES)
		スケジュール管理系システム	Schedule Management System	(SMS)
		スケジュール管理サブシステ	Ь Schedule Management Subsystem	(SMSS)
		検索処理サブシステム	Information Retrieval Subsystem	(IRS)
		要求処理サブシステム	User Request Management Subsystem	(URS)
		カ <u>タログデータ伝送系システム</u>	Catalogue data Distribution System	(CADS)
		カタログサブシステム	Catalogue Subsystem	(CATS)
		画像カタログデータ伝送サブ	システム Browse data Distribution Subsystem	(BDS)
		ガイドサブシステム	Advertisement Subsystem	(ADS)
		オンライン情報系システム	On-Line Information System	(OLIS)
		処理済みデータ伝送サブシス	テム Data Distribution Subsystem	(DDS)
		ネットワーク管理サブシステ	لالله المعاملة معاملة	(NMS)
		データ提供サブシステム	Data Retrieval Subsystem	(DRS)
	EO	IS ユーザ I/F ソフトウェア	EOIS User interface Software	(EUS)
	ブリ	リッジサブシステム	Catalogue Interoperability Subsystem	(CIS)

表 3 3-2	デー	夕総合管理	•	提供システ	ト	の機能概要
18 3.3-2)	ノがいロート生		ルティスノ	_	い戊間が成立

システム	サブシステム	機能
	媒体変換サプシステム	データを各種ディジタル媒体でデータ利用機関に提供 するために、処理済みデータを提供媒体に複写する。
データ提供系	データ保存システム	衛星データを、即時読みだし可能な形で保存・管理す る。
	データ編集サブシステム	8mm で保存されているデータをデータ保存システム ヘオンライン出力する。また、フルシーンデータから サブシーンを作成出力する。
	スケジュール管理	注文情報の入力・編集や提供品の発送管理等を行う。
	サブシステム	
スケジュール	検索処理サブシステム	受信情報・処理情報等の登録・管理を行う。
官理系	要求処理サブシステム	EOIS ユーザインタフェースソフトウェアからの注文 を受け付け、その処置状況をネットワークを通じて提 供する。
	カタログサブシステム	データの管理情報(イベントリ情報)を管理し、これ らの情報をネットワークを通じてユーザへ提供する。
カタログ	画像カタログデータ	間引きデータ、圧縮データを、画像カタログとして、
データ伝送系	伝送サブシステム	ネットワークまたは媒体でユーザへ提供する。
	ガイドサブシステム	特定の画像カタログ及び準リアルタイムデータに対す る可視化データ及びガイド情報を WWW サーバ経由で ユーザへ公開する。
	処理済みデータ 伝送サブシステム	NASA 等のデータセンターやデータ利用・研究機関等 との間で、ネットワークを通じたデータのやり取りを する。
オンライン 情報系	ネットワーク管理 サプシステム	ネットワーク資源の管理、ネットワークパフォーマン スの解析・表示、ネットワークシステムの障害箇所・ 原因の検出等を行う。
	データ提供サブシステム	特定プロダクトを保存、管理し、ネットワークを通じ てユーザへ提供する。
EOIS ユーザインタフェースソフトウェア ブリッジサブシステム		カタログ等によるデータの検索・注文サービスを受け るためのクライアントソフトウェア。
		NASA のインベントリシステム(IMS サーバ)との相 互運用性を提供する。

3.3.2 データ提供系システム

(1) 媒体変換サブシステム

媒体変換サブシステムは、データをディジタル媒体でデータ利用機関に提供するために、データ保存システムから入力した処理済みデータを各種の提供媒体に複写するシステムである。また、画像の切り出し、ピクセル配列の並び替え、HDF、Skinny、 CEOS 等の各種フォーマットでの出力等のフォーマット変換処理機能を有する。

なお、TRMM データの媒体としては、プロダクト種別により、8mm、CD-ROM が選 択可能であり、データフォーマットは HDF のみが提供される(表 5.3-4 参照)。

(2) データ保存システム

データ保存システムは、衛星データを、即時読みだし可能な形で保存・管理するシ ステムであり、処理済みデータ伝送サブシステム、媒体変換サブシステム、データ提 供サブシステム等からの処理済みデータ伝送要求に基づき、該当のデータを LAN 経由 で転送する。

なお、データ毎に定められた保存期間に応じて、ディスク及び自動倉庫を用いて データが保存管理される。加えて、保存棚、外部倉庫によるデータ保存についても本 システムで管理される。

(3) データ編集サブシステム

データ編集サブシステムは 8mm で提供された NASA センサデータをデータ保存シス テムヘオンライン出力する機能を有するとともに、フルシーンデータを 8mm あるいは LAN 経由で入力し、サブシーンを作成し、同様に出力するシステムである。

本サブシステムで作成するサブシーンは、経度において 10 度毎に分割したデータで ある。

3.3.3 スケジュール管理系システム

(1) スケジュール管理サブシステム

スケジュール管理サブシステムは、注文情報の入力・編集を行い、処理成果物の生 産状況の把握、提供品の作成作業の進捗管理、提供品の受け取り・発送管理等を実施 するシステムである。

(2) 検索処理サブシステム 検索処理サブシステムは、処理設備等が出力する各種の処理結果、シーン情報、処 理情報等を登録・管理し、他設備からの検索要求に基づいて、検索結果を依頼元へ提供するシステムである。さらに、シーン情報及び処理情報からインベントリ情報を作成し、カタログサブシステムに提供する機能を有する。

(3) 要求処理サブシステム

要求処理サブシステムは、EOIS ユーザインタフェースソフトウェアからの注文をオ ンラインにより受け付け、ユーザからの要求に基づいて、その処置状況をネットワー クを通じて提供するシステムである。

3.3.4 カタログデータ伝送系システム

(1) カタログサブシステム

カタログサブシステムは、データの管理情報(イベントリ情報)を管理し、これら の情報をネットワークを通じてデータ利用・研究機関に提供するシステムである。 ここで、インベントリ情報検索の検索キーとして以下のような項目がある。

- ・観測日
- ・衛星
- ・センサ
- ·観測地域
 - 等

なお、カタログシステムを利用する際の接続先等の情報については、5.4 節を参照の こと。

(2) 画像カタログデータ伝送サブシステム

画像カタログデータ伝送サブシステムは、間引きデータ、圧縮データを、画像カタ ログとして作成・管理し、ネットワークまたは媒体でユーザに提供するシステムであ る。

ここで、画像カタログデータ作成時の主な処理としては以下のようなものがある。

- ・データ圧縮処理(JPEG 離散コサイン変換)
- ・アノテーション情報の付加
- ・データのエンハンス処理(線形ストレッチング)

なお、画像カタログデータのオンライン検索サービスは、EUS/GUI 及び EUS/WWW を通してユーザへ提供される。

(3) ガイドサブシステム

ガイドサブシステムは、特定の画像カタログ、準リアルタイムデータ及び処理済み データを対象に、可視化データ及びガイド情報を作成し、WWW サーバを利用して、 一般ユーザへ公開するシステムである。

3.3.5 オンライン情報系システム

(1) 処理済みデータ伝送サブシステム

処理済みデータ伝送サブシステムは、NASA 等の外部機関の設備との間で、ネット ワークを介してデータをやり取りするシステムである。また、EOIS を利用するために 必要となるユーザ情報の管理、認証処理を行う。

(2) ネットワーク管理サブシステム

ネットワーク管理サブシステムは、ネットワークシステムの論理的・物理的資源の 管理、ネットワークパフォーマンスの解析・表示等を行うシステムであり、さらに、 ネットワーク上の障害箇所・原因の検出・切り分け、障害に対する制御等を実施する 機能を有する。

(3) データ提供サブシステム

データ提供サブシステムは、ユーザ提供向けの低容量の特定プロダクトを保存・管理し、その保存データに関してユーザへ検索サービスを提供するとともに、データを インターネット経由でオンライン提供するシステムである。

3.3.6 EOIS ユーザインタフェースソフトウェア

EOIS ユーザインタフェースソフトウェアは、カタログ等によるデータの検索・注文、 サービスをオンラインで利用するためのクライアントソフトウェアであり、GUI 操作 環境で機能する EUS/GUI と WWW ブラウザ上で利用できる EUS/WWW がある。

なお、EUS の機能については 5.4 節に示す。

3.3.7 ブリッジサブシステム

ブリッジサブシステムは、NASA の地球観測データ情報システム(EOSDIS)とのカ タログデータの相互運用性を確保するために、カタログ検索等のためのプロトコルを 変換する機能を有するシステムである。また、EUS と EOIS サーバ間のメッセージの中 継処理も行う。

3.4 NASA 地上設備

TRMM ミッションが科学データの取得と普及に対して貢献できるようにする手段は、 NASA のゴダード宇宙飛行センター (GSFC)の Mission Operations and Data Systems Directorate (MO&DSD)を通して提供される。GSFC の共通要素およびミッション固有の 要素の組み合わせにより、TRMM 地上システム(GDS)が構成される。ミッション運 用は、主に TRMM ミッション運用センター(MOC)で実施される。TRMM 飛行運用 チーム(FOT)は、TRMM ミッションを支援するために要求されるリアルタイムおよ びオフラインの作業を実施する。

図 3.4-1 に、TRMM の地上システムの機能ブロック図を示す。 TRMM ミッションを遂行する NASA 地上設備の主な構成要素は以下の通りである。

- ミッション運用センター(MOC)
- NASA 通信系
- ネットワーク制御センター(NCC)
- 飛行力学系設備(FDF)
- センサデータ処理設備(SDPF)
- TRMM 科学データ情報システム(TSDIS)
- ラングレー研究センター(LaRC)
- マーシャル宇宙飛行センター(MSFC)
- スペースネットワーク(SN)
- **ワロップ**ス局(WFF)

以下のセクションでは、TRMM ミッションを支援する NASA の各地上システムの機能の概要について紹介する。



3.4.1 ミッション運用センター(MOC)

TRMM ミッション運用センター(MOC)は、GSFC の Mission Operations and System Development Division (MOSDD)の下で機能する、TRMM の軌道上運用制御に関する中枢 組織である。MOC は全日 24 時間体制で運用者が配備され、コマンド送信、状況監視、 ミッション計画立案、ネットワーク計画立案、および 1 日の衛星および各機器の運用 計画の調整機能等を提供する。また、MOC はリアルタイムおよびオフラインの業務に 必要なハードウェアおよびソフトウェアを提供する。このセンターから、飛行運用 チーム(FOT)は、衛星の状態モニタリングや制御を実施し、さらにサイエンスデータ の最大限の取得を可能とする。さらに、MOC は TDRS の運用計画の立案を支援し、 ミッション運用を実施するために必要とされる要素と MOC の間に適当なインタフェー スを提供する。

MOC の主な機能は以下の通りである。

- TRMMの観測運用のための計画立案に対して集中的な調整機能を提供する
- リアルタイム観測コマンドのアップリンクおよび確認機能を提供する
- 衛星のサブシステムやミッション機器の状態監視のためにリアルタイムテレメトリを受信、復調、処理および表示する
- 衛星のハウスキーピングシステムのオフラインの性能分析あるいはトレンド解 析向けに SDPF からレベル 0 データファイルを受信し、処理する
- 欠損テレメトリフレーム番号を確定するため再生データを処理し、リアルタイムで欠損再生データの再送信を指定するコマンドを送信する
- 1 日の全運用イベント中のリアルタイム履歴データを記録し、約 30 日間保管 する
- TDRS のリソース要求およびスケジュール調整用の NCC とのインタフェース を提供する
- リモート表示装置を含む、センサを運用および監視するために必要とされる データ / 情報の交換用の各センサ施設とのインタフェースを提供する
- プロジェクトデータベース (PDB)を維持する

3.4.2 NASA 通信系

GSFC の Nascom は、ミッションの支援要素間のデータおよび音声通信に対するハブ としてサービスする。全てのリアルタイムおよびオフラインの活動を実施するために 必要なデータと音声のリンクは、打上げ前の試験からミッション期間を通して、 Nascom によって提供される。TSDIS、LaRC、MSFC や NASDA/EOC といった外部機関 との間のデータあるいは音声の活動についても Nascom によって提供・維持される。 3.4.3 ネットワーク制御センター(NCC)

ネットワーク制御センター (NCC)は、GSFC の Networks Division によって開発、運用される。

NCC は、全ての宇宙飛行追跡・データネットワーク(STDN)の立案、コンフィギュ レーション管理、性能監視、およびリアルタイム運用支援を提供する。NCC は、ス ペースネットワーク(SN)、地上ネットワーク(GN)および深宇宙ネットワーク (DSN)といった全てのネットワーク要素を含んでいる。

3.4.4 飛行力学系設備(FDF)

飛行力学系設備 (FDF) は、GSFC の Flight Dynamics Division (FDD)によって開発、運用される。

FDF は、軌道決定、姿勢決定、軌道上姿勢制御性能の評価、姿勢センサの校正、軌 道および姿勢制御支援、軌道決定のための TRMM 追跡データの処理、TRMM 送信機の 中心周波数の測定、ミッション解析、ミッション立案支援といった機能を提供する。 ミッション立案支援には、TDRS の可視範囲、日照時間、太陽のベータ角度等の情報が 含まれる。さらに、FDF は MOC 内で利用するソフトウェアユーティリティを提供する とともに、軌道制御計画の立案を実施する。

3.4.5 センサデータ処理設備 (SDPF)

センサデータ処理設備(SDPF)は、GSFCのInformation Processing Division によって 開発、運用される。SDPFは全取得データのレベル0処理を実施し、ユーザへ効率的か つタイムリーに処理済みデータを転送する機能を提供する。SDPFはリアルタイムおよ び再生データを受信し、レベル0データおよびQLデータファイルを作成する。これに 加えて、SDPFはユーザに対して課金情報やデータ品質情報を作成・提供する。

SDPF はレベル 0 データセットを 24 時間分のデータの受信後 24 時間以内に TSDIS、 MOC、LaRC、MSFC および NASDA/EOC に対して有効にする。なお、その生データを 2 年間保管することになっている。レベル 0 処理済みデータは、24 時間の間に受信さ れた全てのテレメトリを含むデータであり、APID によって分類後、時間順に編集され、 冗長のパケットを削除したものである。

SDPF はさらに、TDRS からのデータ受信毎に、特定パケットを含む QL データセットを提供する。データ処理に加えて、SDPF は FDF から受領した軌道予測値および決定値を NASA や NASDA の関係施設へ提供する。

3.4.6 TRMM 科学データ情報システム(TSDIS)

TRMM 科学データ情報システム (TSDIS)は、GSFC の Global Change Data Center の 下で運用される。その主な機能は、TRMM の PR、VIRS と TMI といった降雨観測機器 からのサイエンスデータおよび地上検証 (GV)サイトからのデータを処理し、TRMM サイエンスアルゴリズム開発者、データ品質管理を担当するサイエンティスト、およ び TRMM 機器サイエンティストへそのプロダクトを提供することである。TRMM のレ ベル 1 プロダクトを作成するためのレベル 0 データの処理は、TRMM 機器サイエン ティストによって提供されたアルゴリズムに基づいて実施される。TSDIS は、TMI と VIRS のレベル 1 処理ソフトウェアを開発する。PR のレベル 1 処理ソフトウェアは NASDA が開発する。TRMM のレベル 2 および 3 プロダクトの作成は、TRMM サイエン スチームのアルゴリズム開発者によって提供されたアルゴリズムソフトウェアを用い て行われる。データは一般配布および永久保存のために NASA の EOSDIS へ送られる ともに、TSDIS サイエンスユーザ (TSU) へも送られる。TSU はサイエンスアルゴリ ズム開発者、TMI、VIRS、PR の TRMM 機器サイエンティストおよびサイエンスデータ の品質管理を担当するサイエンティストである。

TSDIS の主要な機能は、TSDIS データプロダクトの作成と転送、TRMM MOC との調整、TSDIS サイエンスユーザとのデータおよびソフトウェアの交換の 3 つである。以上の 3 つの機能は、それぞれ、科学データ運用センター(SDOC)、科学運用コントロールセンター(SOCC)、遠隔科学端末(RST)によって達成される。

SDOC の主な機能は以下の通りである。

- 全てのサイエンスプロダクト(レベル1~3)の作成
- 準リアルタイムプロダクトの作成
- 1日につき2日分の再処理
- SDPF と EOSDIS からのデータ入手
- EOSDIS へのプロダクトの転送
- サイエンスユーザへのプロダクト配布
- 全ての TSDIS の構成要素に対するデータ保存
- 情報およびデータ管理
- 次期アルゴリズムの検証用のインテグレーションおよび試験環境の提供

SOCC の主な機能は以下の通りである。

- TMI、VIRS、および PR の機器サイエンティストと MOC との間の調整
- MOC リアルタイム表示装置へのアクセスの提供
- 機器のハウスキーピングデータの監視に対する機器サイエンティストの支援

RST の主な機能は以下の通りである。

- サイエンスユーザに対する TSDIS へのインタフェース
- 質問、ブラウズデータ表示、プロダクトの注文等に関する支援
- 機器の運用要求の受信および MOC が作成した立案支援情報の配布

3.4.7 ラングレー研究センター(LaRC)

ラングレー研究センター(LaRC)は、CERES 機器を担当する。但し、CERES の日常の運用は、FOT によって管理される。LaRC の CERES 機器監視システムは、SDPF からのデータハンドリングを LaRC Distributed Active Archive Center (DAAC)が担当する間、 リアルタイムのテレメトリ監視機能を有する。LaRC は、CERES 機器の状態監視のために、MOC の遠隔ターミナルインタフェースを有する。

3.4.8 マーシャル宇宙飛行センター(MSFC)

マーシャル宇宙飛行センター(MSFC)は、LIS 機器を担当する。MSFC の LIS 機器 支援ターミナルは、SDPF からのデータハンドリングを MSFC の DAAC が担当する間、 リアルタイムのテレメトリ監視機能を有する。MSFC は、LIS 機器の状態監視のために、 MOC の遠隔ターミナルインタフェースを有する。

3.4.9 スペースネットワーク(SN)

スペースネットワーク(SN)は、TDRS 通信衛星を利用するリアルタイム支援ネットワークを含む要素を指す。TDRS 衛星は、その地上ターミナルと合わせて、MOC との間のテレメトリおよびコマンドデータの送受信のために利用される。地上ターミナルの人員は、通信状態が不良の間、NCC を通して支援する。全ての通常のリアルタイム支援は、SN によって実施される。TRMM データは、TDRS の 4800bit Nascom ブロックフォーマットにおいて、MOC へ転送される。

3.4.10 ワロップス局(WFF)

バージニア州のワロップス局(WFF)の追跡局は、打上げ・初期軌道上チェックア ウトフェーズからミッション期間を通して、緊急支援のために利用され、不具合発生 時には、リアルタイムおよび再生テレメトリが、WFF にダウンリンクされる。リアル タイムテレメトリは直ちに抽出され、MOC へ転送される。再生テレメトリは、MOC と SDPF 向けにオフライン処理され、その場で保存される。TRMM データは、DDPS の 4800bit Nascom ブロックフォーマットにおいて、MOC へ転送される。

4 TRMM プロダクトの概要

TRMM の各センサから取得されたデータは、NASA と NASDA によって処理され、 ユーザへ配布される。表 4-1 に TRMM のプロダクトの処理レベルの定義を示す。

レベル	内容
0	TRMM 衛星から地上に送られたデータを時系列に並べ、冗長部の削除等を行って
	形式を整えたもの。データエラー、データ欠損情報等の品質情報が付加される。
1	レベル0データに補助データや位置情報等を付加し、センサの校正結果を用いて各
	センサ固有の物理量(雨によるレーダの反射因子やマイクロ波帯の輝度温度等)に
	変換したもの。
2	レベル1データを種々のアルゴリズムで処理し、降雨強度等、気象に関係深い物理
	量に変換したもの。
	TRMM の観測領域に沿った2次元あるいは3次元降雨分布のスナップショット。
3	レベル 2 データを時間的、空間的に平均し、一様な空間メッシュの物理量(例え
	ば、平均降水量)としたもの。

表 4-1 TRMM プロダクトのレベル定義

なお、TRMMのレベル0データの特徴は以下のように整理される。

- a. 多重取得セッション中に受信されたデータユニットで構成される
- b. 1 つの SCID、及び、1 つあるいは複数の APID または VCID、あるいはその複合に より選択され、時刻及びシーケンスカウンタによってソートされる
- c. 時間順に配列される
- d. リアルタイムデータと再生データがマージされる
- e. オプションとして、クイックルックデータとして転送されたデータを除く
- f. オプションとして、冗長データが削除される
- g. オプションとして、品質情報が付加される(例えば、データエラー、データ欠損情報等)
- h. 下記の何れかの方法によって定義された、事前調整済みのスケジュール、あるいは 特別要求によって作成される
 - h-1.1 データセットに対するデータユニット数により定義(例えば、X 個のデータ ユニット毎に1つデータセットを作成する)
 - h-2. 地上の時間範囲により定義(例えば、毎日 6:00、12:00、18:00、24:00 (UTC)に 事前のデータセット作成以降受信した全データを含むデータセットを作成)
 - h-3. 衛星時刻範囲により定義(例えば、H1 衛星時刻と H2 衛星時刻の間に衛星か ら受信されたデータユニットからデータセットを作成する)
- i. 日々作成するデータセットに対して、ソースとなる全てのデータユニットを受信し てから 24 時間以内にユーザへのデータ転送の準備を完了する

4.1 提供データプロダクト

NASDA より提供される TRMM の各センサプロダクトは表 4.1-1 に示す通りである。 なお、CERES 及び LIS の提供プロダクトについてはそれぞれ、表 4.1-5 及び表 4.1-6 に 示すプロダクトが提供される。

図 4.1-1 に降雨観測装置のアルゴリズムフロー図を示す。

センサ	処理レベル	プロダクト名	シーン単位*1	概算データ量*2
				(圧縮時)
PR	1B21	受信電力	1周回 (16/日)	149 MB
			. ,	(60~70 MB)
	1C21	レーダ反射因子	1周回 (16/日)	149 MB
		(Z因子)		(40~50 MB)
	2A21	地表面規格化	1周回 (16/日)	10 MB
		散乱断面積 (σ⁰)		(6~7 MB)
	2A23	降雨タイプの分類	1周回 (16/日)	13 MB
				(6~7 MB)
	2A25	降雨強度	1周回 (16/日)	241 MB
		プロファイル		(13~17 MB)
	3A25	降雨パラメータの	全球マップ(1/月)	40 MB
		月間統計値	(グ リッド : 5° × 5°	(26~27 MB)
			0.5°×0.5°)	
	3A26	統計的手法による	全球マップ(1/月)	9.3 MB
		月平均降雨強度	(グ リッド : 5° × 5°)	(5~6MB)
TMI	1B11	輝度温度	1周回 (16/日)	14 MB
				(14 MB)
	2A12	降雨強度分布	1周回 (16/日)	97 MB
				(6.7~9MB)
	3A11	月積算降水量分布	全球マップ(1/月)	53 KB
			(グリッド: 5°×5°)	(44 KB)
VIRS	1B01	放射輝度	1周回 (16/日)	92 MB
				(90 MB)
COMB	2B31	降雨強度分布	1周回 (16/日)	151 MB
				(8 MB)
	3B31	月積算降水量分布	全球マップ(1/月)	442 KB
			(グリッド: 5°×5°)	(380~410 KB)
	3B42	複合プロダクト 1	全球マップ(1/日)	242 KB
		-	(グリッド: 1°×1°)	(110~115 KB)
	3B43	複合プロダクト 2	全球マップ(1/月)	242 KB
			(グ リッド : 1° × 1°)	(242 KB)

表 4.1-1 TRMM 提供プロダクト

*1:1 周回の定義は、各周回の南端から南端とする。1 周回をシーン単位とするプロダクトは、殆どの場合において1日に16提供されるが、15の場合もある。

*2:ここで示した概算データ量は、バージョン5のプロダクトにおける1シーンに対応し た値のため、今後アルゴリズムのバージョンアップに応じて変更される可能性がある。 なお、データ圧縮は Zip 形式である。



図 4.1-1 降雨観測装置のアルゴリズムフロー

4.1.1 降雨レーダ

降雨レーダ(PR)にて取得したデータは、レベル1~3 まで処理される。各レベルの 処理について以下に説明する。また、PR アルゴリズムの全体フローを図 4.1-2 に示す。



図 4.1-2 降雨レーダ アルゴリズム 全体フロー図

4.1.1.1 データの種類

PR データをもとに処理されるデータの種類は以下の通りである。

(1) PR レベル1 処理

PR レベル 1 処理は、NASA から送信されてくる PR Level-0 データが観測モードであ るかを確認し、1A21、1B21、PR 1C21 の 3 種の処理を実施し、受信電力やノイズレベ ル、降雨減衰を含んだ Z 因子を算出する。ただし、実際には 1A21 の処理と 1B21 の処 理は、同一のルーチン(1B21)の中で実施され、1A21 単独での出力は無く、1B21 で 出力される。

(2) PR レベル 2 処理

PR レベル 2 処理は、レベル 1 処理の結果データをもとに、2A21、2A23、2A25 の 3 種の処理を実施し、ブライトバンドの高さや地表面規格化散乱断面積、降雨タイプの 分類、降雨減衰の補正をした Z 因子及び降雨強度の 3 次元分布などの降雨の定性・定 量値を算出する。

(3) PR レベル3処理

PR レベル 3 処理は、レベル 1 及び 2 処理の結果データをもとに、3A25、3A26 の 2 種の処理を実施し、緯経度 5°×5°の範囲の月平均降雨強度などを算出する。また、 3A25 については、ユーザへの便宜を考慮し、緯経度 0.5°×0.5°の月平均降雨強度など を算出する。

4.1.1.2 処理アルゴリズムの概要

以下に、各処理アルゴリズムの概要を示す。なお、各 PR プロダクト(ただし、1A21 を除く)の構造については、4.2.4.1 にて後述する。また、処理アルゴリズム及び出力 データの詳細については、「Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar Algorithm Instruction Manual」を参照のこと(ただし、1A21を除く)。

(1) 1A21 処理

1A21 処理は、UT 00:00:00 ~ UT 24:00:00 までの連続した観測データである PR Level-0 データから、シーン(軌道の南端で始まる1周回分のデータ)単位で切り出しを行い、 PR データ処理に必要とするパケットの抽出を行う。この時間に対応して HK データ、 軌道データの編集や工学値変換を実施し、以降の処理において必要なデータベースの 準備を行う。

1A21 処理の機能構成を図 4.1-3 に、処理機能関連図を図 4.1-4 に示す。また、以下に 各機能の内容を記す。 (a) 入力データのチェック

パラメータファイルで指定されたファイルが処理可能かをチェックし、異常ならば 運用者に通知し、処理を終了する。また、HK データを APID 毎に分離する。

(b) パケットの連続性のチェック

PR Level-0 データのヘッダレコード内のシーケンスカウントをチェックし、パケット を昇順に並び替える。また、シーケンスカウントとタイムコードの整合性をチェック し、異なっていた場合には時刻補正を行う。

(c) シーンの切り出し

ACS パケットに格納されている ACS 時刻とタイムコードにより、UTCF を算出する。 また、シーン情報の開始終了時刻を UTCF 及びシーン開始時刻より導いた閏秒とで、 タイムコードと同じフォーマットに変換する。この情報を基に、PR Level-0 データ内の サイエンスデータ及び HK データを抽出する。

(d) 工学值变换

HK データ中の PR HK データについて (RF PS 電圧・FCIF 温度・パネル温度・アン テナ温度・IPSDU 電流&電圧)、工学値変換を行う。工学値変換済みデータは、TACC 用 HK データファイルに出力する。

(e) リミットチェック

工学値変換済みデータについてリミットチェックを行い、リミット範囲外ならば、 運用者にリミット異常が発生した事を通知する。また、異常監視項目(CPU RESET FLAG・PHASE CODE ERROR FLAG・RAM CHECK FLAG1・RAM CHECK FLAG2・ RAM CHECK FLAG3・RAM CHECK FLAG4・T-ROM CHECK FLAG)について異常監視 を行い、異常が発見された場合には運用者に異常発生を通知する。

(f) シーン編集

インプットパラメータファイルで指定された待ちファイルがある場合にはシーンの 先頭と結合させ、パラメータファイルで指定されたレベル 1A ファイルに出力する。

シーン分割された同一シーンのサイエンスデータと HK データについてもパラメー タファイルにて指定されたレベル IA ファイルに出力する。パラメータファイルで指定 された校正係数ファイルについても、パラメータファイルで指定されたレベル IA ファ イルに出力する。また、シーン未満のデータについては、パラメータファイルで指定 された待ちファイルに出力する。

レベル 1A ファイル及び待ちファイルを構成するサイエンステレメトリデータまたは HK データが無い場合は、データサイズ0のヘッダレコードのみのファイルを作成する。

(g) QL データ処理

パラメータファイルで指定されたデータが QL データであっても、レベル 1A ファイ ルに編集可能である。ここではパケットの連続性のチェックを行う。



図 4.1-3 1A21 処理 機能構成図



図 4.1-4 1A21 処理 機能関連図

(2) 1B21 処理

1B21 処理は、降雨レーダのラジオメトリックモデルを基に作成したアルゴリズム (温度校正及び伝達関数に依る電力値の校正)により、レーダビデオ信号ディジタル カウント値を受信電力値及びノイズレベル値に変換する。この値を、降雨減衰を含ん だレーダ反射因子(Z因子)に変換するために地表面上の経緯度情報なども付加する。 また、アングルビン毎に降雨の有無を判定し、フラグを立てるとともに、降雨の高さ の算出も行う。また、アンテナのメインローブ及びサイドローブより混入する地表面 クラッタの影響を評価し、それぞれ地表面レンジビン番号の算出及び降雨の有無判定 に反映する。

1B21 処理の機能構成を図 4.1-5 に、処理機能関連図を図 4.1-6 に示す。また、以下に 各機能の内容を示す。

(a) 観測モードデータの編集

入力パラメータファイル名を基に、レベル 1A ファイルから、1 校正周期(3 分)分 のサイエンステレメトリデータ(観測モード時のみ)及び工学値変換済み HK データ を読み込む。読み込んだデータ中に、特殊モードデータが含まれていた場合には、ダ ミーデータを設定する。読み込んだ校正周期内にパケット欠損が存在した場合には、 該当個所にダミーデータを設定する。また、シーンの最初にパケット欠損が存在すれ ば、該当期間のダミーデータを出力する。

サイエンステレメトリデータ(特殊モード)については、ヘッダ部分を付加し、校 正モードデータファイルに出力する。

(b) ラジオメトリック情報算出

読み込まれた PR HK データの中の工学値変換済みパネル温度テレメトリデータにより、PR 推定温度を算出する。また、FCIF 推定温度に相当する送信レベル、送信パルス 幅を算出する。

また、ラジオメトリック情報として必要な項目(RF PS 電圧・工学値変換済み温度テレメトリ・IPSDU 温度&電流・SSPA 電力モニタ・LOGAMP モニタ・ノイズレベル平均値)を、プログラムで規程した検証ファイルに出力する。

(c) ジオメトリック情報算出

軌道データファイルを基に、観測時刻における衛星位置情報、ビームの各アングル 毎のフットプリントの位置情報を算出する。なお本処理は、NASA 提供のジオロケー ション TOOLKIT を使用する。

(d) 受信電力值変換

テレメトリデータから得たカウント値を受信電力値に変換するために、ゲイン/ロ ス要因を考慮した対数検波方式に基づく受信電力対カウント値のテーブルを作成し、 このテーブルを基に、サイエンスデータのノーマルエコーサンプル、表面エコーオー バーサンプル及び降雨エコーオーバーサンプルを受信レベルに変換し、レベル 1B プロ ダクトデータとして出力する。

(e) 地表面エコー算出

サイエンステレメトリデータの地表面エコー位置を基に、オーバーサンプルのス タートレンジビン番号を算出する。また、ノーマルエコーサンプル、表面エコーオー バーサンプル及びトポグラフィックデータベース(DID:DTED Intermediate Dataset)か ら求めた高度データにより、地表面において受信電力が最大となるレンジビン番号 (地表面レンジビン番号)を算出する。また、DID に基づく地表面最低高度、最高高度 及び平均高度に対応したレンジビン番号を、最低高度、最高高度については 5 km × 5 km 及び 11 km × 11 km のウィンドウ、平均高度については 5 km × 5 km のウィンドウを 対象としてそれぞれ算出する。さらに、メインローブ地表面クラッタの影響を受けて いないレンジの最下部にあたるレンジビン番号や、地球楕円体表面におけるレンジビ ン番号についても算出する。なお、本処理においては、地表面レンジビン番号の算出 に島根大学の古津博士によるアルゴリズムを、メインローブ地表面クラッタの影響の 除去には、北海道東海大学の阿波加博士によるアルゴリズムを使用している。

(f) 最小エコー算出

ヘッダー部に定義されているしきい値とシステムノイズレベルから、受信レベルに ついて降雨の有無判定を行い、フラグをたてる。また、降雨の有無の判定結果を基に 降雨層の位置(降雨の高さ)を算出する。

ここで、降雨判定結果は、降雨エコーが存在している可能性の信頼度を、以下の 6 種類のフラグでアングル毎に示すものである。

0:降雨なし

- 10:降雨の可能性あり (地表面クラッタの影響の無いレンジにおいて、ノイズレベ ル(平均雑音)より弱いエコーがある)
- 20:降雨あり (地表面クラッタの影響の無いレンジにおいて、ノイズレベル(平均 雑音)より強いエコーがある)
- 11:降雨の可能性があるが、ノイズか地表面クラッタの可能性もある(クラッタに影響されている可能性のあるレンジにおいて、弱いエコーがある)
- 12:降雨の可能性があるが、クラッタの可能性もある(クラッタに影響されている可能性のあるレンジにおいて、強いエコーがある)
- 13:降雨の可能性はあるが、おそらくサイドローブクラッタである(ノイズレベル (平均雑音)より強いエコーがあるが、殆どの場合においてサイドローブクラッ タによるものである)

なお、本アルゴリズムは、通信総合研究所の熊谷博士によるものである。また、サ イドローブクラッタの影響除去については、通信総合研究所の井口博士による改良が 加えられた。

(g) 1 次検査

サイエンステレメトリデータのシステムノイズ値及びログアンプ入力終端時雑音に ついてリミットチェックを行う。また、受信レベルに変換するとき、ダイナミックレ ンジのチェックを行い、結果をレベル 1B スキャンステータスに反映する。

(h) 出力データ

1B21 処理においては、以下のデータが出力される。なお、降雨レーダの受信電力値 及び送信電力値は、受信機校正処理ソフトウェア及び外部校正実験によって定期的に 校正することにより、経年変化等に対応することとなっている。

・メタデータ	:全ての角度ビンに共通的に適用されるメタデータ。 ECS(EOSDIS Core System)が EOSDIS に保存され る殆どのデータに利用可能な共通的な情報として定 義する"ECS コアメタデータ"と、TSDIS が TRMM データに対して利用可能な情報として定義する"PS
	(Product Specific)メタデータ"の2種類がある。
・PR校正係数	:PR の機器特性を示す以下のハフメータ。 送信器ゲイン校正要表
	- と信命ノイノ牧正安系 一 一 会信器ゲイン校正要表
	- シロ語シーン 役工安奈 - LOGAMP 入出力特性
・Rav ヘッダ	:全てのスキャンに共通的に適用可能な情報。例えば
	レーダ方程式に使用するパラメータや、サンプルの
	開始レンジビン番号等であり、各角度ビン毎に与えられる。
・スキャンタイム	:スキャンの中心時刻。 直下方向のビームが送信され
	た時刻であり、1 日のうちの UTC 秒で示される。ス
	キャンタイムと、そのスキャンに含まれる各角度ビ
	ンの観測時刻の関係については、後述の 4.2.3.7 を 参照のこと。
・ジオロケーション	: 各角度ビンの中心緯度経度。位置情報が算出できな
	い場合には、"-9999.9"が設定される。
・スキャンステータス	: 各スキャンのステータス情報。衛星及び機器の品質 フラグ等が格納される。
・ナビゲーション	: TSDIS が提供する"Geolocation Toolkit"により算出
	される情報。各スキャン毎の衛星位置、速度、姿勢 等を含む。
・電力	: 各スキャン毎の送信電力 [dBm/100]、及び送信パル
	ス幅 [s]。
・システム雑音 [dBm/100]	:PR 機器内外のノイズを含み、アンテナ出力におけ
	る全ノイズ出力に相当する。全ての角度ビンに対し
	て与えられ、データ欠損の場合には"-32734"が設 定される。
・システム雑音警告フラグ	:全ての角度ビンに対して、システム雑音が限界値を

超えた場合に"1"が設定される。警告フラグが立 つ理由としては、次の3つが考えられ、特に上の2 つについては注意が必要である。 - 電波干渉 - システム雑音レベルの異常な上昇(システム不具 合の可能性) - 雑音レベルの統計的な変化(予測可能な警告) ・最小エコーフラグ :全ての角度ビンに対して、最小エコーフラグが設定 される(上記、(f)参照)。 :降雨頂高さに相当するレンジビン番号。最小エコー ・第一降雨位置 フラグが "20:降雨あり"か "10:降雨の可能性あ リ"かに応じた2種類がある(第一降雨位置が、ク ラッタの影響を受けないレンジよりも下で検出され た場合は、最小エコーフラグが"11"か"12"に応 じた2種類)。 : 各角度ビン毎の、天頂とビーム中心線のなす角度。 ・衛星天頂角 [deg] ・衛星レンジ [m] :各角度ビン毎の、地球楕円体表面のビーム中心と、 衛星の距離(高度)。 : DID に基づく陸海フラグ ・陸海フラグ 0:水域(海洋または陸水) 1:陸域 2:沿岸域(水・陸共に存在) : 5km × 5km における、DID に基づく平均地表面高さ。 ・地表面高さ [m] ・地球楕円体表面レンジビン番号 :地球楕円体表面の高度に相当するレンジビン番号。 ・地表面クラッタ影響のないレンジビン番号:地表面クラッタの影響を受けないレンジの最低 高度に対応するレンジビン番号。 : 5km × 5km の領域における、DID に基づく平均高度 ・DID平均高度レンジェン番号 に相当するレンジビン番号。 ・DID最高高度レンジェン番号 : 5km×5km、11km×11km の領域における、DID に基 づく最高高度に相当するレンジビン番号。 :5km×5km、11km×11km の領域における、DID に基 ・DID 最低高度レンジビン番号 づく最低高度に相当するレンジビン番号。 ・オーバーサンプル開始レンジビン番号 : オーバーサンプルを開始したレンジビン番号。地表 面トラッカのステータスフラグが付加されている (0: Normal, 1: Lock off):地表面ピークエコーに対応するレンジビン番号。と ・地表面レンジビン番号 表面が検出できない場合には"-9999"が設定される。 ・標準サンプル [dBm/100] :49 角度ビン×140 要素で与えられる PR 受信電力。

角度ビン毎にサンプル数が異なる場合、サンプル終 了以降の要素には"-32767"が設定される。

- ・地表面II-オーバーサンプル[dBm/100] : 直下を中心とした 29 角度ビンにおいて、地表面 付近の 5 レンジビンに対して与えられる。
- ・降雨エコーオーバーサンプル[dBm/100] :直下を中心とした 11 角度ビンにおいて、地表面エ コーオーバーサンプルを与えた 5 レンジビン直上の 28 レンジビンに対して与えられる。
- (i) 他のアルゴリズムとの関係

1B21 処理の出力データは、1C21 及び 2A21 処理に使用される。



図 4.1-5 1B21 処理 機能構成図



(3) 1C21 処理

1C21 処理は、1B21 処理で算出した校正済みの受信電力値とノイズレベル値から、 レーダ方程式に基づいて、降雨減衰の影響を含んだ降雨時の見かけの等価レーダ反射 因子(Z因子:Z_m)を算出する。

以下に、レーダ反射因子(Z)と降雨散乱受信電力値(P_r)の関係を表す基本式 (レーダ方程式)を示す。

$$P_r = \frac{C_1}{r^2} Z \quad [W]$$

Z : レーダ反射因子 $[mm^6 / m^3]$ (dBZ = $10 \times \log(Z)$)

P. : 降雨散乱受信電力値 (受信電力 – システムノイズ値)

ここで、C₁はレーダ機器に依存する送信電力、波長、パルス幅、アンテナ利得等に より決定する定数(レーダ定数)であり、以下の式で与えられる。

$$C_{1} = \frac{\pi^{3} |K|^{2}}{2^{10} \ln 2} \frac{P_{t} \times G_{t} \times G_{r} \times \theta_{1} \times \theta_{2} \times c \times \tau}{\lambda^{2}} \times 10^{-18}$$

$$P_{t} : \nu - \phi' 送信電力 [W]$$

$$G_{t} : 送信Py f + 5 & \& c = 2 \\ G_{t} : \vdots & \vdots & \vdots \\ F = 0 \\ G_{t} : \vdots & \vdots \\ F = 0 \\ G_{t} : g = 0 \\ G_{t} = 0 \\$$

また、上記のレーダ方程式は、2.6.6.1 に示したラジオメトリックモデルに従って、 以下のような形で表現することもできる。

 $P_r = C_2 \cdot P \cdot L_r \cdot E \quad [W]$

1C21 処理の機能構成を図 4.1-7 に、処理機能関連図を図 4.1-8 に示す。また、以下に 機能の内容を記す。

(a) 入力データチェック

レベル 1B プロダクトデータのスキャンステータスを判定し、降雨無しデータならば ダミーデータに変換する。また、レベル 1B プロダクトデータのスキャンステータスを 判定し、品質の悪い(ジオロケーション異常)データならばダミーデータに変換する。

(b) Z因子算出

1B21 のレイヘッダの値により、レーダ定数(C₁)を算出する。また、1B21 で算出し たレーダ受信電力値及びノイズレベル値から降雨散乱受信電力値(P_r)を算出し、電力 値レーダ方程式を用いてレーダ反射因子を算出する。なおレーダ反射因子は、伝搬中 の損失、例えば降雨減衰等を分離せず、これらの値を含んだ状態で算出するため、 "見かけの"レーダ反射因子(Z_m)となる。

(c) 出力データ

1C21 処理により出力されるデータ項目は 1B21 と同様である。ただし、標準サンプ ル、地表面エコーオーバーサンプル、降雨エコーオーバーサンプルについて、上記(b) にて算出した"見かけの"レーダ反射因子(Z_m)が与えられる(単位:[dBZ/100])。 また、雑音(エコーが無いレンジビン)に対して、ダミーデータが埋められる。

(d) 他のアルゴリズムとの関係

1C21 処理の出力データは、2A25 及び 2B31 処理に使用される。



図 4.1-7 1C21 処理 機能構成図



図 4.1-8 1C21 処理 機能関連図

- (4) 2A21 処理
- (a) 処理内容

2A21 処理は、1B21 処理で算出した結果を入力し、レーダ受信電力から地表面の散乱 係数(散乱断面積)の瞬時値、及び時空間平均値を計算する。時空間平均値の計算に おいては、二つの方法がとれる。一つの方法では、地表面を 1°×1°の領域に分けて、瞬 時視野が各領域内に入り込む散乱係数のデータを各領域毎に入射角別に集め、その値 を 1 ヶ月毎に時間的に平均する(時間的に平均した参照データ)。もう一つの参照 データとして、衛星のパスに沿って降雨域の直前の 8 スキャン分の無降雨領域の散乱 係数の平均値を、各入射角毎に計算する(空間的に平均した参照データ)。参照デー タとしては、時間的に平均した参照データと空間的に平均した参照データのうち、分 散の小さい方の値を用いる。

降雨時には、アンテナビームが指向している方向の総降雨減衰量(Path Integrated Attenuation: PIA)を、無降雨時の参照データ(Surface Reference Data)を基に計算する。 この総降雨減衰量は、2A25 において表面参照法(Surface Reference Technique: SRT)を 用いて降雨プロファイルを算出するために利用される。

(b) 入力データ

2A21 処理は、1B21 に含まれる以下のデータ項目を入力とする。

- ・ジオロケーション情報
- ・システムノイズ
- ・最小エコーフラグ
- ・地表面レンジビン番号

- ・観測点入射角
- ・地球楕円体表面レンジビン番号
- ・標準サンプル
- ・オーバーサンプルスタートレンジビン番号
- ・地表面エコーオーバーサンプル
- ・衛星レンジ(衛星高度)
- ・スキャンタイム
- (c) 中間データ

時間的に平均した散乱係数、及び空間的に平均した散乱係数。

(d) 出力データ

・総降雨減衰量 [dB]

・信頼性フラグ

2A12 処理においては、以下のデータが出力される。

- ・地表面規格化散乱断面積 [dB]:散乱係数。49 観測角度ビン毎に算出される。
- ・降雨 / 無降雨フラグ :降雨=1/無降雨=0(1B21の最小エコーフラグにお いて、「降雨無し」及び「降雨の可能性あり」の データは、全て「無降雨」に分類される。) ・入射角 [deg.]
 - : 衛星姿勢(ロール / ピッチ) 誤差補正済み入射角。
 - : 地表面との往復による降雨減衰の推定値。
 - :総降雨減衰量の信頼性(10進法表記で "VWXYZ")。
 - V:降雨/無降雨フラグ
 - 1:降雨、2:無降雨
 - W:総降雨減衰量の信頼性
 - 1: 信頼性高、2: 信頼性中、3: 信頼性低
 - 4:信頼性最低、9:降雨無し
 - X:参照データ種別
 - 1:空間的に平均した参照データ使用
 - 2:時間的に平均した参照データ使用
 - 3:時間的、空間的参照データ共に存在しない
 - (十分なデータサンプルがそろわない 等)
 - 4:地表面タイプが未知(z=3)
 - 5:降雨無しまたは、低 SN 比
 - (時間/空間的参照データが更新されていない)
 - 9:降雨無し
 - Y: 地表面検出情報
 - 1:中心角度ビンで地表面トラッカがロックした
 - 2:中心角度ビンで地表面トラッカがロックしない

3:最大地表面反射を通常の Sampled Gate で検出

4:最大地表面反射を通常の Sampled Gate 外で検出

Z:地表面タイプ

0:海洋、1:陸域、2:沿岸域、

3:不明、上記以外または上記の混合

:総降雨減衰量/無降雨時の参照用散乱係数の標準偏差。 なお、総降雨減衰量の信頼性(w)は、この信頼性要 素(F_r)とSN比(SNR)の関係により決定される。 $F_r \ge 3 \text{ and } SNR > 3 W=1$ $3 > F_r \ge 1 \text{ and } SNR > 3 W=2$ $1 > F_r \text{ or } (3 > F_r \text{ and } 3 \ge SNR) W=3$ $F_r \ge 3 \text{ and } 3 \ge SNR W=4$

また 2A21 には、メタデータ、スキャンタイム、ジオロケーション、スキャンステー タス及びナビゲーションについて、1B21 と同様の情報が格納される。

(e) 他のアルゴリズムとの関係

2A21 処理の出力データは、2A25、3A25 及び 3A26 処理に使用される。

(5) 2A23 処理

信頼性要素

(a) 処理内容

2A23 処理は、降雨についての定性的な量の算出を行う。1C21 処理結果を入力データ として用い、降雨 / 無降雨の判定結果及び降雨の高さを出力する。また、降雨時には、 降雨タイプの分類とプライトバンドの有無の判定を行い、プライトバンドがある時は、 その高さの算出を行う。降雨タイプの分類は、鉛直方向の Z 因子プロファイルと、水 平方向の Z 因子分布をもとにして行う。

ブライトバンドのある雨は層状性降雨と判定する。層状性降雨以外の雨は対流性降雨とその他の降雨に分類される。対流性降雨のうち降雨の高さが 0°C 高度よりも低い時は、Warm Rain(分類上は、孤立した低い雨(Shallow Isolated Rain)と分類する)と判定される。

(b) 入力データ

2A23 処理は、1C21 に含まれる以下のデータ項目を入力とする。

- ・スキャンステータス
- ・ジオロケーション情報
- ・最小エコーフラグ
- ・第一降雨位置レンジビン番号(降雨高さ)
- ・衛星レンジ(衛星高度)

- ・地表面レンジビン番号
- ・メインローブクラッタの影響が無いレンジの最低高度レンジビン番号
- ・観測点入射角
- ・地球楕円体表面レンジビン番号
- ・陸海フラグ
- ・標準サンプル
- ・地表面エコーオーバーサンプル
- ・DID 平均高度レンジビン番号
- ・メタデータ(観測開始 / 終了時刻、軌道半径等)
- ・レイヘッダデータ(標準サンプル開始レンジビン番号、メインローブクラッタエッジ、サイドローブクラッタレンジ)

また、2A23 処理においては、0 高度の算出において、海面温度データ(sst-hou data)を使用する。

(c) 出力データ

・降雨タイプ

2A23 処理においては、以下のデータが出力される。

- ・降雨 / 無降雨フラグ
- :降雨タイプの分類。

:1C21の最小エコーフラグと同様。

- 10~15: 層状性降雨(ブライトバンドを伴い、か つ降雨域でのZ因子が比較的小さい降雨、 あるいはこれに準じると判定された降 雨)
- 20~29:対流性降雨(ブライトバンドが存在せず、 かつ Z 因子が大きい。または、ブライト バンドより下の降雨域における Z 因子が 大きい)
- 30~31:その他の降雨(ブライトバンドが存在せず、かつZ因子が小さい)
- -88 :降雨無し
- -99 :データ無し

• Warm Rain

- :孤立した低い雨の検出フラグ。
 - 0: 孤立した低い雨は存在しない
 - 1:孤立した低い雨がおそらく存在する
 - 2:孤立した低い雨が存在する
- -88:降雨無し

-99:データ無し

: 2A23 処理結果ステータス。 ・処理ステータス 0X:良好 1X:ブライトバンドの検出はほぼ良好 2X:降雨タイプの識別はほぼ良好 3X:ブライトバンドの検出、降雨タイプの識別と もにほぼ良好 5X: 不良(処理において何らかの警告が発生) 10X:不良(観測データ不良) -88:降雨無し -99:データ無し ここで、 X=0:海域、X=1:陸域、X=2:陸・海混合域 X=9:陸・海混合域で、いずれかの領域のデータ が不良 ・ブライトバンドレンジビン番号 : ブライトバンドの高さに相当するレンジビン番号。 :レンジビン番号 >0 -1111 : ブライトバンド無し -8888 :降雨無し -9999 :データ無し ・ブライトバンド高さ [m] : ブライトバンドの高さ。 >0 :ブライトバンド高さ -1111 : ブライトバンド無し -8888 :降雨無し -9999 : データ無し ・ブライトバンド強度 [dBZ] ブライトバンドにおけるZ因子の値。 >0 :ブライトバンド強度 -1111.0 : ブライトバンド無し -8888.0 :降雨無し -9999.0 :データ無し :海面温度データ(sst-hou data)より推定した 0 ・0 高度 [m] 高度。 >0 :0 高度 -5555 : 処理エラー -8888 :降雨無し -9999 :データ無し ・降雨頂高度 [m] :降雨頂高度。 : 降雨頂高度(高信頼性) >0 -1111 : 高信頼性の降雨頂高度が算出できない

-8888 :降雨無し -9999 :データ無し

また 2A23 には、メタデータ、スキャンタイム、ジオロケーション、スキャンステー タス及びナビゲーションについて、1B21 と同様の情報が格納される。

(d) 他のアルゴリズムとの関係

2A23 処理の出力データは、2A25、3A25 及び 3A26 処理に使用される。

- (6) 2A25 処理
- (a) 処理内容

2A25 処理では、1C21 処理で算出した降雨減衰を考慮していないレーダ反射因子 (Z_m)、2A21 処理で算出した地表面の散乱係数(o⁰)及び 2A23 処理で算出した0 高 度、降雨タイプ等を用い、各アンテナビーム毎にレーダ方程式を解き、降雨減衰補正 を施したレーダ反射因子(Z_e)を算出する。また Z_eより、Z-R 関係(R = a・Z⁰)を用 いて、降雨レーダで観測する最も基本的な降雨に関する物理量である降雨強度 R (mm/h)のプロファイルを算出する。1C21、2A21、2A23 処理結果を入力データとし て用い、まず降雨の分解能セル単位(約4 km×約4 km×250 km)毎の降雨強度を算出 し、更に 2 つの高度(2 km、4 km を想定)間の平均降雨強度(パス平均降雨強度)を 算出する。また、利用した算出手法及び降雨強度の算出精度についても合わせて出力 する。

(b) 入力データ

2A25 処理は、1C21、2A21、2A23 に含まれる以下のデータ項目を入力とする。

1C21 からの入力データ

- ・スキャンステータス
- ・スキャンタイム
- ・ジオロケーション情報
- ・最小エコーフラグ
- ・第一降雨位置レンジビン番号(降雨高さ)
- ・衛星レンジ(衛星高度)
- ・地表面レンジビン番号
- ・メインローブクラッタの影響が無いレンジの最低高度レンジビン番号
- ・地球楕円体表面レンジビン番号
- ・観測点入射角
- ・標準サンプル
- ・レイヘッダデータ(標準サンプル開始レンジビン番号、メインローブクラッタエッジ、サイドローブクラッタレンジ)

2A21 からの入力データ

- ・総降雨減衰量
- ・信頼性フラグ
- ・信頼性要素
- ・地表面規格化散乱断面積

2A23 からの入力データ

- ・降雨タイプ
- Warm Rain
- ・処理ステータス
- ・0 高度
- ・ブライトバンド高度
- (c) 出力データ

2A25 処理においては、以下のデータが出力される。

・クラッタフラグ :1B21 のレイヘッダに格納されている、以下のク ラッタ情報。 - メインローブクラッタエッジ: 検出した地表面と、メインローブクラッタエッ ジの間のレンジビン数 - サイドローブクラッタレンジ: 検出した地表面と、サイドローブクラッタ位置の 間のレンジビン数 : 降雨減衰係数 k と Z 因子の間に与えられる k-Z 関 ・降雨減衰パラメータ(α) 係式 ($k=\alpha Z^{\beta}$)の係数 α (「降雨減衰パラメータ ノード」で示される、5 箇所のノードに対して与 えられ、ノード間については線形で内挿される)。 ・降雨減衰パラメータ(β) : k-Z 関係式の係数β(-つの角度ビンの全レンジに 対して与えられる)。 ・降雨減衰パラメータノード :降雨減衰パラメータ(α)が与えられるノードの レンジビン番号(降雨の無い角度ビンに対して は、"0"が設定される)。 :降雨減衰補正済みの Z 因子(推定値が 0 以下と ・補正済み Z 因子 [dBZ] なった場合、"0.0" が設定される)。 : HB法(Hitschfeld-Bordan)、及びSRT法(Surface ・イプシロン(ε : epsilon) Reference Technique: 表面参照法)のハイブリッド 法による最終的な校正係数。
・降雨強度誤差 [dB]	:地表面付近降雨強度の推定誤差。
・Z 因子誤差 [dB]	: 地表面付近降雨 Z 因子の推定誤差。
・手法	:降雨強度及び Z 因子鉛直分布算出に使用した降雨 モデル。
・地表面付近降雨強度	:地表面付近における推定降雨強度。「地表面付
	近」とはクラッタの影響を受けない最低高度を意
	味する。ただし、この点における Z _m (降雨減衰を
	考慮しない Ζ 因子)が小さく、かつ降雨減衰推定
	量が大きい場合は、Z _m がノイズを越える最低のレ
	ンジビンを「地表面付近レンジビン」とする。
 ・地表面付近 Z 因子 	:地表面付近における Ζ 因子(「地表面付近」の定
	義については、地表面付近降雨強度と同様)。
・NUBF 校正係数	:NUBF(Non-Uniform Beam Filling)校正係数。
・総降雨減衰量(PIA) [dB]	: ハイブリッド法による降雨減衰補正済みの Ζ 因子
	より算出した総降雨減衰量。
・品質フラグ	: 各角度ビンごとのデータ品質情報。
・降雨強度 [mm/h]	: 各角度ビン毎、各レンジビン毎の降雨強度の 2 次
	元配列(49×80要素)。
・平均降強度[mm/h]	: 高度 2 km~4 km の平均降雨強度 (最低高度が 2
	km 以上の場合、最低高度~4 km の平均値が与え
吹玉っこど	は~0~か設走される)。 . 名会 広じ たっ 吹声 コニ ゲ
・ 降雨ノフク	: 合用度ヒノ毋の降限ノフク。 ・ゴニノレバンド宮庭レンジビン来日 略正宮さし
・レノシヒノ留ち	: ノフィトハノト同度レノシヒノ留ち、 () () () () () () () () () () () () ()
・信頡州フラグ	ノンヒノ宙ち守。 ・タレンジビン毎の信胡州フラグ
・ 同様 E フ フ フ フ フ フ フ フ フ フ フ フ フ	・ロレノンビノ毎の信頼住ノノフ。 ・7 の値が ある関値(現在は 30 dB7 に設定され
	Z_m の m の る 國 m (現在は、 30 ubz に 設定 c it) T () る) を $ t$ え た し い ジ ビ ン と ア ン テ ナ ビ ー ム
	が指向している方向の7因子積質値がある閾値を
	超えたレンジビンの間のレンジビンの数
・重み要素	: SRT 校正係数 (ϵ)の計算における重み要素。
・クシー (と: xi)	:総降雨減衰量(PIA)の規格化標準偏差。
・ゼータ (ζ: zeta)	: k-Z 関係式から算出した降雨減衰の積算値。
・ゼータ平均値 / 標準偏差	:3×3 ビーム(瞬時視野)におけるゼータの平均値
	及び標準偏差(スキャン端においては、6 ビームの平均)。
・Z 因子最大値 [dBZ]	:各ビーム(瞬時視野)におけるΖ因子の最大値。
・降雨強度パラメータ(a)	: 降雨強度 R と Z 因子の間に与えられる Z-R 関係式

(R=aZ^b)の係数 a(「Z-R パラメータノード」で 示される、5 箇所のノードに対して与えられ、 ノード間については線形で内挿される)。

- ・降雨強度パラメータ(b)
 :Z-R 関係式の係数b(「Z-R パラメータノード」で 示される、5 箇所のノードに対して与えられ、 ノード間については線形で内挿される)。
- ・降雨強度パラメータノード :降雨強度パラメータ(aとb)が与えられるノード のレンジビン番号(降雨の無い角度ビンに対して は、"0"が設定される)。

また 2A25 には、メタデータ、スキャンタイム、ジオロケーション、スキャンステー タス及びナビゲーションについて、1B21 と同様の情報が格納される。

(d) 他のアルゴリズムとの関係

2A25 処理の出力データは、3A25 及び 3A26 処理に使用される。

- (7) 3A25 処理
- (a) 処理内容

3A25 処理は、1C21、2A21、2A23、2A25 処理結果を用い、降雨パラメータの緯経度 5°×5°及び 0.5°×0.5°の領域の月平均値を求める。代表的なものとしては、鉛直 5 層(2 km、4 km、6 km、10 km、15 km)及び全高度の平均についての緯経度 5°×5°の領域の 月平均降雨強度(mm/h)や、鉛直 3 層(2 km、4 km、6 km)及び全高度の平均につい ての緯経度 0.5°×0.5°の領域の月平均降雨強度(mm/h)がある。また、降雨パラメータ の出現確率、平均、標準偏差、ヒストグラム、及び降雨パラメータ間の相関係数を算 出する。

(b) 入力データ

3A25 処理は、1C21、2A21、2A23 及び 2A25 を入力とする。

(c) 出力データ

3A25 処理においては、以下のデータが緯経度 5°×5°、または 0.5°×0.5°のグリッドに ついて出力される。なおグリッドの範囲は、北緯 40°~南緯 40°×東経 180°~西経 180° であり、5°×5°の場合のグリッド数は 16×72、0.5°×0.5°の場合は 148×720 となる。

a. 降雨パラメータの出現確立

・降雨観測回数	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての
	降雨観測回数。
・層状性降雨観測回数	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての
	グリッド毎の層状性降雨観測回数。

- ・対流性降雨観測回数 : 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての グリッド毎の対流性降雨観測回数。
- ・地表面付近降雨観測回数 :降雨フラグが "降雨あり"の場合についての地表 面付近の降雨観測回数。
- ・地表面付近全降雨観測回数 : バージョン 5 のプロダクトについては、上記「地表面降雨観測回数」と同様。バージョン 4 以前では、降雨フラグが"降雨あり"または"降雨の可能性あり"の場合についての地表面付近の降雨観測回数。
- ・Warm Rain 観測数 : Warm Rain (孤立した低い雨)の観測回数。
- ・合計観測回数 : "降雨なし"も含めた全観測回数。
- ・ブライトバンド観測回数 : ブライトバンドの観測回数。

以下のパラメータについては、5°×5°グリッドデータについてのみ出力される。

 ・ε適用回数 : SRT 校正係数(ε)の適用回数。
 ・角度毎全観測回数 : 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについての "降雨なし"も含めた全観測回数。
 ・角度毎降雨観測回数 : 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについての

降雨観測回数。

上記の各種パラメータを組み合わせることによって、以下に示すような様々な現象 の出現確立を算出することができる。

- ・降雨の出現確立
 ・層状性降雨出現確立
 ー層状性降雨観測回数 / 合計観測回数
 ・対流性降雨出現確立
 ーブライトバンド出現確立
 ーブライトバンド出現確立
 ーブライトバンド観測回数 / 合計観測回数
 ・ブライトバンド出現確立
 ーブライトバンド観測回数 / 合計観測回数
 ・アライトバンド出現確立
 ー戸状性降雨観測回数 / 降雨観測回数
 ・降雨中の耐流性降雨出現確立
 ー対流性降雨観測回数 / 降雨観測回数
- ・降雨中のブライトバンド出現確立 = ブライトバンド観測回数 / 降雨観測回数

また、ある一つの現象に着目し、その現象の鉛直高度毎の特徴等を把握するパラ メータを算出することもできる。例えば、

- ・層状性降雨観測回数(各高度) / 降雨観測回数(各高度)
 - = 対象高度における、層状性降雨の出現確立。
- ・層状性降雨観測回数(各高度)/降雨観測回数(全高度平均)
 - = 対象高度において、層状性降雨が存在するかどうか。

・層状性降雨観測回数(全高度平均)/降雨観測回数(全高度平均)
 = 層状性降雨の出現確立。

- b. 平均及び標準偏差
- < 降雨強度パラメータ>> [mm/h] 5°×5°グリッド、0.5°×0.5°グリッドのそれぞれについて、以下が出力される。
- ・降雨強度 : 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、 降雨強度の平均及び標準偏差。
- ・層状性降雨強度
 ・
 に
 と
 に
 と
 に
 し
 に
 に
 し
 、
 層
 状
 性
 降
 雨
 に
 つ
 い
 て
 。
- ・対流性降雨強度 :上記と同様。ただし、対流性降雨について。

・地表面付近降雨強度 : 降雨フラグが "降雨あり"の場合についての地表 面付近降雨強度の平均及び標準偏差。

・地表面付近全降雨強度
 : バージョン 5 のプロダクトについては、上記「地表面付近降雨強度」と同様。バージョン 4 以前では、降雨フラグが"降雨あり"または"降雨の可能性あり"の場合についての地表面付近降雨強度の平均及び標準偏差。

<レーダ反射因子(Z)>> [mm⁶/m³] ただし、0.5°×0.5°グリッドについては、平均値のみが出力される。

- ・未補正レーダ反射因子(Z_m) :各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、
 降雨減衰の補正を行っていない"見掛けの"レー
 ダ反射因子の平均及び標準偏差。
- ・Z_m(層状性降雨) :上記と同様。ただし、層状性降雨について。
- ・Z_m(対流性降雨) :上記と同様。ただし、対流性降雨について。
- ・補正済みレーダ反射因子(Z_i):各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、 降雨減衰補正済みレーダ反射因子の平均及び標準 偏差。
- ・Z((層状性降雨) :上記と同様。ただし、層状性降雨について。
 - :上記と同様。ただし、対流性降雨について。
- ・最大レーダ反射因子(Z_{max})
 : ブライトバンド内における、最大レーダ反射因子の平均及び標準偏差。

<総降雨減衰(PIA)>> [dB/km]

・Z₄(対流性降雨)

ただし、0.5°×0.5°グリッドについては出力されない。

• SRT PIA	:観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、
	SRT(表面参照法) による補正を行った PIA の平
	均及び標準偏差。
• HB PIA	:観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、
	SRT を用いない HB 法による補正を行った PIA の
	平均及び標準偏差。
• 0 th -Order PIA	:観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、
	降雨減衰補正を行わない PIA の平均及び標準偏差。
• 2A25 PIA	:観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、
	SRT と HB を適当に組み合わせたハイブリッド方
	式による PIA (2A25 の出力)の平均及び標準偏差。

<ブライトバンド高度、降雨頂高度、雪氷層厚さ等> 5°×5°グリッド、0.5°×0.5°グリッドのそれぞれについて、以下が出力される。

- ・ブライトバンド高度
 ・降雨頂高度
 ・降雨頂高度の平均及び標準偏差。降雨タイプの分類に従い、 "層状性降雨"、 "対流性降雨"、
 "全ての降雨"についてそれぞれ算出される。
- ・雪氷層厚さ : 雪氷層厚さの平均及び標準偏差。

以下については、5°×5°グリッドの出力項目として定義されているが、現段階(バージョン5)においては算出されていない。

- ・ZPZM : 2 つの高さ(ブライトバンド高度 ± ε)における レーダ反射因子の差の平均及び標準偏差。
 ・ブライトバンド幅 : ブライトバンド幅の平均及び標準偏差。
- < その他 >

以下は、5°×5°グリッドについてのみ出力される。

- ・クシー : 2A25 で算出したクシー (PIA の規格化標準偏差)
 の平均及び標準偏差。
- NUBF 校正係数 : 2A25 で算出した NUBF 校正係数の平均及び標準 偏差。
- ・イプシロン : 2A25 で算出したイプシロン(降雨減衰補正の最終 的な校正係数)の平均及び標準偏差。

c. 度数分布

度数分布は、5°×5°グリッドに対してのみ出力される。各データ項目に対してあらか じめ設定された 31 の閾値により、5°×5°グリッドに含まれるデータを分類し、その データを単純にカウントすることによって算出している。

・降雨強度	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、 降雨強度の度数分布。
・層状性降雨強度	:上記と同様。ただし、層状性降雨について。
・対流性降雨強度	:上記と同様。ただし、対流性降雨について。
・地表面付近降雨強度	:降雨タイプによらない、地表面付近降雨強度の度 数分布。
・地表面付近全降雨強度	: バージョン 5 のプロダクトについては、上記「地 表面降雨強度」と同様。バージョン 4 以前では、 降雨フラグが"降雨あり"または"降雨の可能性 あり"の場合についての地表面付近降雨強度の度 数分布。
・未補正レーダ反射因子 (Z _m)	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、 降雨減衰の補正を行っていない"見掛けの"レー ダ反射因子の度数分布。
・Z _m (層状性降雨)	:上記と同様。ただし、層状性降雨について。
・Z _m (対流性降雨)	:上記と同様。ただし、対流性降雨について。
・補正済みレーダ反射因子(Z _t)	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての、 降雨減衰補正済みレーダ反射因子の度数分布。
・Z _t (層状性降雨)	:上記と同様。ただし、層状性降雨について。
・Z _t (対流性降雨)	:上記と同様。ただし、対流性降雨について。
・最大レーダ反射因子(Z _{max})	: ブライトバンド内における、最大レーダ反射因子 の度数分布。
• SRT PIA	: 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、 SRT(表面参照法) による補正を行った PIA の度 数分布。
• HB PIA	: 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、 SRT 法を用いない HB 法による補正を行った PIA の度数分布。
• 0 th -Order PIA	: 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、 降雨減衰補正を行わない PIA の度数分布。
• 2A25 PIA	: 観測角度 0°、5°、10°、15°のそれぞれについて、 SRT と HB を適当に組み合わせたハイブリッド方 式による PIA (2A25 の出力)の度数分布。

・雪氷層厚さ

- ・ブライトバンド高度 : ブライトバンド高さの度数分布。
- ・降雨頂高度
 ・降雨頂高度の度数分布。降雨タイプの分類に従い、
 "層状性降雨"、"対流性降雨"、"全ての降
 雨"についてそれぞれ算出される。
 - :雪氷層厚さの度数分布。
- ・クシー : 2A25 で算出したクシー (PIA の規格化標準偏差)
 の度数分布。
- ・NUBF 校正係数 : 2A25 で算出した NUBF 校正係数の度数分布。
- ・イプシロン : 2A12 で使用したイプシロン(降雨減衰補正の最終的な校正係数)の度数分布。

以下については、5°×5°グリッドの出力項目として定義されているが、現段階(バージョン5)においては算出されていない。

• ZPZM	:2 つの高さ(ブライトバンド高度 ± ε)における
	レーダ反射因子の差の度数分布。
・Z _m 変化率	: " 見掛けの " レーダ反射因子の鉛直方向変化率の
	度数分布。

d. 相関係数

以下の項目についての相関係数は、高度 2km、4km および 6km の降雨強度がいずれ も 0 で無い場合に限り、5°×5°グリッドに対して出力される。

・降雨強度	: 高度 2km と 4km、2km と 6km 及び 4km と 6km の
	全てのタイプの降雨の降雨強度の相関係数。
・層状性降雨強度	:上記と同様。ただし、層状性降雨について。
・対流性降雨強度	:上記と同様。ただし、対流性降雨について。

以下の項目についての相関係数は、3種類全ての手法で算出した PIA が存在する場合 に限り、5°×5°グリッドに対して出力される。

• PIA

: HB と SRT、0th-Order(降雨減衰補正無し)と SRT、 及び 0th-Order と HB の各手法で算出した PIA の相 関係数。

以下については、5°×5°グリッドの出力項目として定義されているが、現段階(バージョン5)においては算出されていない。

・クシー / Z _m	: クシーと、その角度ビン内での最大 Z _m との相関係
	数。
・降雨頂高度 / Z _m	: 降雨頂高度と、その角度ビン内での最大 Z _m との相
	関係数。

また 3A25 には、1B21 と同様のメタデータ(コアメタデータ、PS メタデータ)も格納される。

(d) 他のアルゴリズムとの関係

3A25 処理の出力は最終プロダクトであり、その他のアルゴリズムへの入力としては 使用されない。

- (8) 3A26 処理
- (a) 処理内容

3A26 処理は、 1C21、2A21、2A23、2A25 処理結果を用い、Multiple Threshold Method と呼ばれる統計的手法を用いて、鉛直 3 層(2 km、 4 km、6 km)及び全高度の平均に ついて緯経度 5°×5°の領域の月単位の降雨蓄積量(mm)及び降雨強度(mm/h)の月平 均値、標準偏差、確率分布を算出する。

(b) 入力データ

3A26 処理は、1C21、2A21、2A23 及び 2A25 を入力とする。

(c) 出力データ

3A26 処理においては、以下のデータが緯経度 5°×5°のグリッドについて出力される。 なおグリッドの範囲は、北緯 40°~南緯 40°×東経 180°~西経 180°であり、グリッド数 は 16×72 となる。

a. 降雨パラメータの出現確率

・降雨観測回数	: 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについての
	降雨観測回数。

・合計観測回数 : "降雨なし"も含めた全観測回数。

- b. 降雨強度の確率分布関数
- ・0th-Order 降雨強度
 :各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについて、
 降雨減衰補正無しで算出した降雨強度を使用した
 確率分布関数。
- ・HB 法降雨強度
 : 上記と同様。ただし、HB 法で降雨減衰補正を
 行った降雨強度による。

- ・2A25 降雨強度
 : 上記と同様。ただし、SRT 法と HB 法を適当に組 み合わせたハイブリッド方式で降雨減衰補正を 行った降雨強度(2A25 の出力)による。
- c. 降雨強度の平均値、標準偏差、確率分布
- ・0th-Order 降雨強度
 : 各鉛直高度及び全高度平均のそれぞれについて、 上記の確率分布関数(0th-Order)を用いて算出された、降雨強度の平均値、標準偏差及び確率分布。
 ・HB 法降雨強度
 : 上記と同様。ただし、上記の確率分布関数(HB法)を用いる。
- ・2A25 降雨強度
 : 上記と同様。ただし、上記の確率分布関数 (2A25)を用いる。

d. 信頼性要素

上記の 3 つの手法による降雨強度について算出した、平均値、標準偏差及び確率分 布の信頼性を示すパラメータ。

また 3A26 には、1B21 と同様のメタデータ(コアメタデータ、PS メタデータ)も格納される。

(d) 他のアルゴリズムとの関係

3A26 処理の出力は最終プロダクトであり、その他のアルゴリズムへの入力としては 使用されない。

4.1.1.3 データの利用目的

降雨レーダデータのユニークな所は、他のセンサでは直接的に得られない降雨の鉛 直分布データを得られることである。

PR は、世界で初の人工衛星搭載用の降雨レーダであり、そのデータを処理するアル ゴリズム自身も世界で初めて開発されたものある。そのアルゴリズムを用いて処理さ れた PR プロダクトは、良く校正された地上観測レーダデータとの比較によって検証さ れ、TRMM に搭載されている TMI、VIRS による観測データと共に用い、緯経度 5°×5° 毎の月平均降雨強度を 10%以内の誤差で算出するという、TRMM の初期目標を達成す るために利用される。

レベル 1 処理(1A21、1B21、1C21)結果は、テレメトリデータがカウント値である のに対し、物理的に意味の有る電力値 [dBm] 及びレーダ反射因子(Z_m)に変換してあ る。これらは、レベル 2 以上の全ての解析の元となるデータであり、逆にレベル 2 処 理等でデータ解析されて始めて、雨の特性等が見えてくる。

レベル 2 処理(2A21、2A23、2A25)結果は、瞬時視野毎のデータであり、研究要素 の高いデータである。降雨強度の 3 次元分布、降雨の種類や高さ等、雨に関する情報 を知りたい時に有用である。

レベル 3 処理(3A25、3A26)結果は、降雨分布等の月間統計値であり、統計的な値 を得たい時に有用である。

4.1.2 TRMM マイクロ波観測装置

ここでは TRMM マイクロ波観測装置 (TMI)のデータの種類、及び処理アルゴリズ ムの概要について示す。なお、各 TMI プロダクトの構造については、4.2.4.2 にて後述 する。

4.1.2.1 データの種類

TMI データからは、表 4.1-2 に示すプロダクトが生成される。

レベル	内容
1B11	幾何学補正及びラジオメトリック補正を施した TMI 輝度温度データ。
2A12	各ピクセルに対して、雲水量、雨水量、雲氷量、雪水量、及び潜熱が 14 の鉛直層に
	対して与えられる。地表面の降雨強度、対流性降雨強度やそれらの信頼性を示す指標
	も含まれている。
3A11	海域における、5°×5°グリッドの月積算降水量分布。

表 4.1-2 TMI 提供プロダクト

4.1.2.2 処理アルゴリズムの概要

表 4.1-2 に示した TMI プロダクトに関しその処理アルゴリズムの概要を以下に示す。

- (1) 1B11 処理
- (a) 処理内容
 - 1B11 プロダクトは TMI 観測データに対し、以下の処理を行う。 幾何学補正 センサ固有値の校正
- (b) 出力データ

1B11 処理においては、以下のデータが出力される。

・メタデータ : PR プロダクトと同様

・スキャンタイム	:観測年月日及び時刻。スキャンタイムと、そのス
	キャンに含まれる瞬時視野毎の観測時刻の関係に
	ついては、後述の 4.2.3.7 を参照のこと。
・ジオロケーション	・百八韶代チャンナル(05 CHa)の隠時祖昭山心の

- ・ジオロケーション : 高分解能チャンネル (85 GHz)の瞬時視野中心の 緯度経度。位置情報が算出できない場合には、"-9999.9"またはそれ以下の値が設定される。
- ・スキャンステータス : 各スキャンのステータス情報。品質、衛星及び機 器の管理データ、軌道番号等が格納される。
- ・ナビゲーション : PR プロダクトと同様
- ・校正係数 : TMI データ校正に必要となる校正係数、ホット ロード温度、受信器温度等。
- ・校正データ : ホットロード及びコールドスカイ測定値
- ・衛星天頂角 [deg] : 高分解能ピクセルの天頂方向と、衛星方向のなす 角。1 スキャンにおいて、20 ピクセル毎に与えら れる(1,21,41,...,201,208)。
- ・低分解能観測データ
 :低分解能チャンネル(10 GHz, 19 GHz, 21 GHz, 37GHz)による観測データ(100 K を引き、100 倍 された輝度温度)。
- ・高分解能観測データ : 高分解能チャンネル(85GHz)による観測データ (100 K を引き、100 倍された輝度温度)。
- (c) 他のアルゴリズムとの関係

1B11 処理の出力データは、2A12、2B31 及び 3A11 処理に使用される。

- (2) 2A12 処理
- (a) 目的

2A12 処理の目的はピクセル単位の水蒸気・雲・降水等の鉛直分布を求めることである。 これは TMI の全 9 チャンネルの測定輝度温度を、雲解像モデルを基に事前に計算して おいた輝度温度と比較することで実行される。

(b) 処理内容

2A12の処理フローを図 4.1-9 に示す。

まず、4 km メッシュの陸 / 海域データベースを用いて、各ピクセルに地表面タイプ (陸域、水域、混合域、その他)を割りあてる。各ピクセルに対しては、ピクセルの 中心位置だけでなく周辺のグリッドのデータが参照される。なお、適用される周辺グ リッドの数は、中心位置の地表面タイプにより水域で 8 グリッド、陸域で 4 グリッド である。

2A12 処理では、次に 0 高度に関連した大気中の蒸気量を決定する。対象となるピ

クセルが水域上にある場合、単純な回帰アルゴリズムが総水蒸気量を決定するために 用いられる。降雨によって、このアルゴリズムが使えない領域に対しては、水域上の 結果は平滑化される。陸域と混合域では、水蒸気と 0 高度の気象データベースに基づ いた地形データが地域条件を決定するのに用いられる。このためには、TSDIS が提供 する水平解像度 4 km 及び鉛直解象度 200m の地形データベースが利用される。また、 気象データベースはアルゴリズム内で提供される。

さらに 0 高度に基づき、単純な偏光差テスト (polarization difference test) によって 晴天条件のピクセルを抽出する。晴天条件が見つかった場合、晴天フラグがセットさ れ、このピクセルに対しては以降の処理は実施されない。晴天テストを通過しなかっ たピクセルに対しては、まず海上に雲がかかっているかどうか (ただし雨が降ってい ない)がチェックされる。この目的のためには、異なる雲の状態に対する輝度温度の 組合わせを含んだルックアップテーブルが用いられる。もし輝度温度の特徴が雲だけ に合致する場合は、雲フラグがそのピクセルにセットされ、以降の降雨プロファイル 処理は実行されない。なお、この処理は事前に決定された 6 つの可能な 0 高度の各々 に対し繰り返される。

次に、2A12 処理では、雲モデルプロファイルデータベースをメモリに読み込まれ、 晴天フラグ、雲フラグがセットされたピクセル以外の各ピクセルに対し、順次雲プロ ファイル処理が行われる。各プロファイルに対しては、その値と測定値との二乗平均 偏差が計算される。計算された二乗平均偏差値によって重み付けられたデータベース により、全てのプロファイルを合成することで新たなプロファイルが生成される。こ の処理は、各0 高度に対し6回繰り返される。ピクセルが、アルゴリズムにより設定 された最小二乗平均偏差内に収まらない場合は、"不一致"というフラグが立つ。 "不一致"のピクセルについては、付近のピクセル値に基づく内挿で補間されるか、 または欠損ピクセルとされる。

(c) 入力データ

2A12 処理は、1B11 を入力とする。また、処理に必要な参照データとして、以下を使用している。

・TSDIS より提供されるデータ

- 4 km 解像度の陸域 / 海域のデータベース
- 水平 4 km、鉛直 200 m の地形学データベース

・アルゴリズムより提供されるデータ

- 海面温度の気候統計値:1ファイル約 300 k バイト
- 雲だけのプロファイルデータベース:6ファイル約15kByte
- 雲モデルプロファイルデータベース:6ファイル約 30 MByte

なお、上記のデータベースは TSDIS に永久に保存されており、アルゴリズムが更新 されない限り変更されることはない。また、これらのデータベースに格納されている 情報のユーザへの提供は行われない。

(d) 出力データ

以下に、2A12処理の出力データを示す。

・データフラグ	:データの品質を示す以下のフラグ
	0 : 良好
	-9 :輝度温度有効レンジを越えている。
	-15 :スキャンエッジ等により、隣り合うデータ
	が完全でない。
	-21 :地表面タイプが適当でない。
	-23 :時刻が適当でない。
	-25 :観測緯経度が適当でない。
・降雨フラグ	:降雨の有無の判定。
	0以上 = 降雨の可能性あり
	0 未満 = 降雨無し
・地表面フラグ	:地表面タイプの分類。
	0:海域、1:陸域、2:沿岸域、3:その他
・地表面降雨強度 [mm/h]	:各ピクセル毎の地表面降雨強度。
・地表面対流性降雨強度[mm/h]	:各ピクセル毎の地表面対流性降雨強度。
・信頼性 [K]	:地表面降雨強度の信頼性であり、温度の rms 偏差と
	して与えられる。
・雲水量 [g/m ³]	:鉛直 14 層における、各ピクセル毎の雲水量。
・雨水量 [g/m ³]	:鉛直 14 層における、各ピクセル毎の雨水量。
・雲氷量 [g/m ³]	:鉛直 14 層における、各ピクセル毎の雲氷量。
・雪水量 [g/m ³]	:鉛直 14 層における、各ピクセル毎の雪水量。
・潜熱 [°C/h]	:鉛直 14 層における、各ピクセル毎の潜熱。

また 2A12 には、メタデータ、スキャンタイム、ジオロケーション、スキャンステー タス及びナビゲーションについて、1B11 と同様の情報が格納される。

(e) 他のアルゴリズムとの関係

2A12 処理の出力データは、2B31、3B31 及び 3B42 処理に使用される。



図 4.1-9 2A12 処理フロー

- (3) 3A11 処理
- (a) 目的

3A11 の目的は、TMI データを使って、降雨に関する月間の各種統計値を、北緯 40° ~ 南緯 40°、東経 180° ~ 西経 180°の範囲の 5° × 5°グリッドについて作成することである。

(b) 処理概要

一般に衛星搭載センサによって観測されるマイクロ波の輝度温度は地(海)表面からの放射に依存するが、間にある大気中の水蒸気・雲・降水等によるマイクロ波の吸収及び散乱の影響を含んでいる。そのため、海表面からの放射が安定している海域ではマイクロ波の放射は降雨の強さに関係している。TMIの観測データから推定される降水強度は、2つの分布関数(離散分布と降雨時に用いられる対数分布)でモデル化できるというこれまでの観測結果に基づいて、ヒストグラム法を採用した。また、ここで用いた分布関数は無降水状態の時を0降水としている。

(c) 入力データ

3A11 処理は、1B11 の TMI 輝度温度データ(ただし陸域データを除いたもの)を入 力とする。また、処理に必要な参照データとして、以下を使用している。

- ・陸域 水域マスクデータファイル (空間分解能は TMI と同等であり、TMI チームが 提供する)
- ・気象統計学的 0 高度 (freezing height) 情報 (空間分解能は 5°×5°で TMI チームが提 供する)
- (d) 中間データ 降水強度 / 輝度温度ヒストグラム
- (e) 出力データ

以下に、3A11 処理の出力データを示す。なお、以下のデータは 5°×5°グリッドで与 えられる月間統計値である。グリッドの範囲は北緯 40°~南緯 40°×西経 180°~西経 180°で、グリッド数は16×72となる。また、陸域のグリッドに対しては-9999が設定さ れる。

- ・降水量 [mm] :海域における月間の積算降水量。
- ・サンプル数 :海域における月間のデータサンプル数。
- ・カイニ乗フィット :対数分布関数に輝度温度がどの程度フィットしてい るかを示すカイ二乗フィット。 :海域における 0°C 高度推定値。
- ・0°C 高度 [km]
- :無降雨の状態の海域における輝度温度の月間平均値。 ・輝度温度平均 [K]
- ・降雨強度対数平均 [mm/h] :海域における、降雨強度の対数平均値。
- ・対数標準偏差 [mm/h] :海域における、降雨強度の対数標準偏差。
- ·降雨出現確率 :海域における、降雨の出現確率。

(f) 他のアルゴリズムとの関係

3A11 処理の出力は最終プロダクトであり、その他のアルゴリズムへの入力としては 使用されない。

4.1.3 可視赤外観測装置

ここでは TRMM 可視近赤外観測装置 (VIRS)のデータの種類、及び処理アルゴリズ ムの概要について示す。なお、VIRS 1B01の構造については、4.2.4.3 にて後述する。

4.1.3.1 データの種類

VIRS データから表 4.1-3 に示すプロダクトが生成される。

表 4.1-3 VIRS 提供プロダクト

レベル	内容
1B01	幾何学補正及びラジオメトリック補正を施した VIRS 放射輝度データ。

4.1.3.2 処理アルゴリズムの概要

- (1) 1B01 処理
- (a) 処理内容

1B01 プロダクトは VIRS 観測データに対し、以下の処理を行う。

幾何学補正

センサ固有値の校正

(b) 出力データ

1B01 処理においては、以下のデータが出力される。

- ・メタデータ : PR プロダクトと同様
- ・スキャンタイム
 : 観測年月日及び時刻。スキャンタイムと、そのス キャンに含まれる瞬時視野毎の観測時刻の関係に ついては、後述の 4.2.3.7 を参照のこと。
- ・ジオロケーション : 各瞬時視野中心の緯度経度。位置情報が算出でき ない場合には、"-9999.9"またはそれ以下の値が 設定される。
- ・スキャンステータス : 各スキャンのステータス情報。品質、衛星及び機 器の管理データ、軌道番号等が格納される。
- ・ナビゲーション : PR プロダクトと同様。
- ・太陽位置
 : 地心座標系における、太陽位置(X,Y,Z)、及び
 地球と太陽の距離。
- ・校正データ : 観測データの校正に用いる、黒体、深宇宙及び太 陽光観測データのカウント値。
- ・温度データ : 黒体温度、放射冷却器温度、反射鏡温度および電 子機器温度のカウント値。
- ・太陽-衛星方向 [deg.] : 各ピクセル位置における、太陽方向と衛星方向の なす角。
- ・観測データ :5 チャンネルによる観測データ。

(c) 他のアルゴリズムとの関係

1B01 処理の出力データは、3B42 処理に使用される。

4.1.4 複合センサ

ここでは、TRMM 降雨レーダ(PR)と TRMM マイクロ波観測装置(TMI)を組み合わせた複合プロダクト(2B31、3B31)、及び PR、TMI、VIRS 及び他衛星観測データ等を組み合わせたの複合プロダクト(3B42、3B43)の種類、及び処理アルゴリズムの概要について示す。

4.1.4.1 データの種類

複合プロダクトの種類を、表 4.1-4 に示す。

プロダクト	内容
2B31	PR 及び TMIの10 GHz チャネルデータを用いた、降水粒子直径の質量重みづけ平均
	値の相関補正値、降雨減衰補正係数、総降雨減衰量、地表面降雨強度、及びそれら
	の推定誤差。
3B31	2B31 に含まれる PR の降雨強度を用いて、2A12 の TMI 降雨強度の校正を行い、地
	表面及び鉛直 14 層についての 5°×5°グリッドで月間の積算を行った降水量分布。
3B42	静止衛星等の赤外データより算出された 1°×1°グリッドの降水量分布に対して、
	TRMM 観測域においてバイアスが小さいと考えられる「TRMM 複合センサ」デー
	タによる調整を施したもの。
3B43	全てのグローバルなデータソース、すなわち TRMM、調整済み赤外降水量分布
	(3B42)、SSM/I マイクロ波観測データより算出した降水量分布、及び雨量計の
	データから作成した、TRMM 観測領域の中で「最良」の月積算降水量推定値。

表 4.1-4 複合プロダクト (COMB)

4.1.4.2 処理アルゴリズムの概要

表 4.1-4 に示した複合プロダクトに関しその処理アルゴリズムの概要を以下に示す。

- (1) 2B31 処理
- (a) 処理内容

PR 及び TMI の 10 GHz チャネルデータを用いて、降水粒子直径の質量重みづけ平均 値の相関補正値、降雨減衰補正係数、総降雨減衰量、地表面降雨強度、及びそれらの 標準偏差を算出する。 (b) 入力データ

2B31 処理は、TMI プロダクトの 1B11、2A12、及び PR プロダクトの 1C21 を入力と する。

(c) 出力データ

2B31 処理においては、以下が出力される。

・降雨粒子直径 [mm]	: 降水粒子直径の質量重みづけ平均値の相関補正値、
	及びその標準偏差。(単位[mm]は、規格化単位)
・イプシロン [dB]	: 降雨減衰校正係数、及びその標準偏差。
・降雨強度 [mm/h]	:レーダレンジゲートにおける、瞬時の降雨強度、
	及びその標準偏差。
• PIA [dB]	:PR と TMI のデータより推定した降雨減衰量、及
	びその標準偏差。
• TMI PIA [dB]	:TMI のデータより推定した降雨減衰量、及びその
	標準偏差。
・地表面降雨強度 [mm/h]	:地表面降雨強度、及びその標準偏差。

- (d) 他のアルゴリズムとの関係2B31 処理の出力データは、3B31 処理に使用される。
- (2) 3B31 処理
- (a) 処理内容

TMI と PR の複合プロダクト(2B31)に含まれる、PR の観測幅(220 km)のデー タで作成された高品質の降水量を用いて、TMI2A12 プロダクト(降水量)の広い観測 幅(760 km)のデータの校正を行い、5°×5°格子の月積算降水量分布を地表面及び鉛 直14 層について作成する。

各 5°×5°のグリッドに対し、それぞれの観測幅のオーバーラップ領域から調整率が算 出され、その調整率を 2A12 の TMI 降水量に適用し月間平均値を求める。観測幅のオー バーラップは TMI のピクセル番号 79~129 に相当するため、詳細な位置決めは必要と しない。

アルゴリズムは 2 つのモジュールに分割されている。最初のモジュールは調整率を 求めるのに用いられる。以下に各モジュールの処理ステップを示す。

- a. モジュール1
- ・TMI 構造体の初期化
- ・2A12 と 2B31 のオーバーラップ領域を取り込む。詳細は TSDIS に依存するが、アル ゴリズムは一ヶ月の最初と最後の軌道番号を必要とする。

- ・調整率の算出。
- b. モジュール2
- 2番目のモジュールは 2A12 とモジュール 1 で求められた調整率を利用する。
- ・通過パス数をカウントするとともに降水粒子プロファイルを合計する。
- ・月間累積値を計算する。
- ・各グリッド及び層に対する調整率を月間合計値に掛ける。
- ・結果を出力する。
- (b) 入力データ

3B31 処理は、TMI プロダクトの 2A12、及び複合プロダクトの 2B31 を入力とする。 また、処理に必要な参照データとして、4 km 解像度の陸域 / 海域データベース(TMI 処理に対して必要となる。TSDIS により提供される)を使用している。

(c) 出力データ

3B31 処理においては、以下が出力される。

- ・地表面降水量 [mm] : 2A12 に含まれている地表面降雨強度の月積算値。
- ・地表面対流性降水量 [mm] : 2A12 に含まれている地表面対流性降雨強度の月積
 算値。
- ・地表面降水量(複合)[mm] :2B31 に含まれている地表面降雨強度の月積算値。
- ・雨水量(複合) [g/m³]
 : 2B31 に含まれている雨水量の各ピクセル毎の月平 均値。鉛直 14 層に対して与えられる。
- ・地表面降水量(オーバラップ)[mm]: TMI と PR の観測幅オーバラップ部分について、
 2A12 に含まれている地表面降雨強度の月積算値。
- ・地表面対流性降水量 (オーバラップ) [mm]: TMI と PR の観測幅オーバラップ部分につい て、2A12 に含まれている地表面対流性降雨強度の 月積算値。
- ・地表面降水量 (オーバラップ / 複合) [mm] : TMI と PR の観測幅オーバラップ部分につい て、2B31 に含まれている地表面降雨強度の月積算 値。
- ・地表面降水量比
 :TMI と PR の観測幅オーバラップ部分について、
 2A12 からの降水量に対する 2B31 からの降水量の
 比。
- ・雲水量 [g/m³]
 : 2A12 からの雲水量の各ピクセル毎の月平均値。鉛
 直 14 層に対して与えられる。
- ・雨水量(TMI) [g/m³]
 :2A12 からの雨水量の各ピクセル毎の月平均値。鉛

直 14 層に対して与えられる。

- ・雲氷量 [g/m³]
 : 2A12 からの雲氷量の各ピクセル毎の月平均値。鉛 直 14 層に対して与えられる。
- ・雪水量 [g/m³]
 : 2A12 からの雪水量の各ピクセル毎の月平均値。鉛 直 14 層に対して与えられる。
- ・ 潜熱 [°C/h]
 : 2A12 からの潜熱の各ピクセル毎の月平均値。鉛直
 14 層に対して与えられる。
- (d) 他のアルゴリズムとの関係

3B31 処理の出力データは、3B42 及び 3B43 処理に使用される。

(3) 3B42 処理

(a) 処理内容

3B42 処理では、TRMM 観測領域において、バイアスが小さいと考えられる「TRMM 複合センサ」の降雨強度と、静止衛星の高解像度の IR 降水量データを用いて、1°×1° グリッドの降水量の推定を行う。3B42 処理は、2 つのアルゴリズムに分かれている。 すなわち、 月間の IR 校正パラメータの算出し、 そのパラメータを適用した IR 降 水量の調整、及び誤差推定を実施する。

a. IR 校正パラメータの算出

3B42 処理では、まず 1 軌道毎に VIRS 放射輝度データ(1B01)と、TMI 降雨強度 データ(2A12)が読み出され、データの妥当性の評価される。また VIRS 放射輝度は GPI(Global Precipitation Index)を用いて降雨強度に変換される。VIRS とTMIの降雨強 度は、観測データ(カウント値)と共に、北緯 40°~南緯 40°の範囲における 1°×1°グ リッド毎に積算され、軌道毎の平均値が計算された後、同一観測領域で切り出される。 切り出された TMI と VIRS の降雨強度及び観測データの軌道毎の平均値は、それぞれ 月ごとの積算ファイルに追加されていく。また、切り出し前の TMI 降雨強度及び観測 データの軌道毎の平均値についても月ごとの積算ファイルに追加される(このファイ ルは、3B43 に使用される)。これらのファイルに格納されたデータからは、TSDIS が 規定する月の終わりの最後の軌道の処理が完了した後、月平均値が算出される。

続いて、PR と TMI の複合プロダクト(3B31)から TMI / 複合校正パラメータ(上記の地表面降水量比)を抽出し、1°×1°グリッドに内挿したうえで、切り出し TMI 月平均降雨強度 / 観測データに乗じることで、「複合プロダクト」としての切り出し月平均降雨強度 / 観測データを算出する。そして、この複合月平均降雨強度 / 観測データとVIRS の月平均降雨強度 / 観測データを用いて、月間の IR 校正パラメータを算出する。

b. IR 降水量の調整及び誤差推定

IR 降水量データ(3A44)は、1°×1°分解の1日毎のデータが、5日おきに提供される。

3B42 処理では、3A44 から 1 日分のデータを抽出し、VIRS データのバイアスに対して 校正される。続いて、上記で算出した月間の IR 校正パラメータを用いて、1 日の IR 降 水量データを調整し、また推定誤差を算出する。

(b) 入力データ

3B42 処理は、VIRS プロダクト(1B01)、TMI プロダクト(2A12)、複合プロダクト(3B31)、及び静止衛星等の IR データから算出した降水量(3A44)を入力とする。 また、VIRS 放射輝度データの処理に対して、GPI を使用している。

(c) 出力データ

3B42処理においては、以下が出力される。

- ・降水量 [mm]
 :1°×1°のグリッドにおける 1 日毎の調整済み降水
 量。
- ・誤差 [mm] : 各グリッドの降水量に含まれる推定誤差。
- (d) 他のアルゴリズムとの関係
 3B42 処理の出力データは、3B43 処理に使用される。
- (4) 3B43 処理
- (a) 処理内容

3B43 処理では、以下に示す4 種類の月間降水量データから、TRMM 領域における 1° ×1°のグリッドの「最良」の月間降水量及び推定誤差を算出する。

・TMI 降水量推定値	:3B42 処理の中間生成物として算出される、TMI の月間
	降水量(降雨強度の月積算値)。
・SSM/I 降水量推定値	: Special Sensor Microwave/Imager(SSM/I) の観測データよ
	り算出された月間降水量 (3A46)
・調整済み IR 降水量推定値	: 3B42 の出力。
・雨量計データ	: Climate Assessment and Monitoring System (CAMS) または、
	Global Precipitation Climatology Center (GPCC)の雨量計
	データ(3A45)。

これらの入力データは、調整済み IR 降水量推定値を除き月間データとして与えられ ており、調整済み IR 降水量推定値については、3B43 処理において月平均値を算出して いる。また、3B42 処理の中間生成物として与えられる TMI の月間降水量推定値につい ては、3B31 で与えられるパラメータを用いて「複合」プロダクトについてのデータに 変換される。これらの前処理が完了した後、4 種類の独立した降水量データは互いに統 合され、「最良」の月間降水量、及び推定誤差が算出される。

(b) 入力データ

3B43 処理は、TRMM 複合プロダクトである 3B42(中間生成物を含む)、3B31、 SSM/I データから算出した降水量(3A46)、及び雨量計データ(3A45)を入力とする。

(c) 出力データ

3B43 処理においては、以下が出力される。

- ・降水量 [mm]
 :1°×1°のグリッドにおける、「最良」の月間降水量。
- ・誤差 [mm]
 : 各グリッドの降水量に含まれる推定誤差。
- (d) 他のアルゴリズムとの関係

3B43 処理の出力は最終プロダクトであり、その他のアルゴリズムへの入力としては 使用されない。

4.1.5 雲及び地球放射エネルギー観測装置

ここでは雲及び地球放射エネルギー観測装置(CERES)のデータの種類、及び処理 アルゴリズムの概要について示す。

4.1.5.1 データの種類

CERES のデータは図 4.1-10 のサークルで示されたアルゴリズムにより処理される。 このアルゴリズムでの処理はサブシステムと呼ばれている。四角で示されているのは CERES のプロダクトである。CERES のプロダクトの一覧を表 4.1-5 に示す。

CERES のプロダクトは以下の三つのタイプに分類される。

- a. ERBE ライクプロダクト: ERBE (Earth Radiation Budget Experiment)¹によって生成 されるプロダクトに可能な限り一致するようにしたプロダクト。これらのプロダク トは、ERBE データソースと直接比較する時、気候モニタリングや気象研究に使用 される。
- b. 地表面プロダクト:シーン識別のための雲画像データと、ERBE ライクプロダクト により供給されるものよりも、より正確な TOA フラックスを与える CERES による 角度モデルを使用するプロダクト。地表面フラックスと TOA フラックス間の直接 的な関係は、放射伝達モデルの仮説ができるだけ独立していて、地表面放射測定を

¹ ERBS (Earth Radiation Budget Satellite 地球放射量衛星)、NOAA-9、NOAA-10 に搭載されている ERBE スキャンニングラジオメータ

直接測定することができる SRB 推定が成立する時に使用される。これらのプロダクトは、ERBE ライクプロダクトによって提供されるものより正確な TOA フラックスが必要となる気候研究や陸・海面エネルギー収支の研究にも使用される。

c. 雲観測装置から求まる雲物理特性、NCEP(米国気象局環境予測センター)あるい は EOS DAO(Data Assimilation Office)の気温と湿度場、オゾンとエアロゾルデータ、 CERES 観測による地表面特性、並びに広帯域放射伝達モデルを用いて大気プロダ クト:地表面、大気中レベル、TOA での SW(短波)と LW(長波)放射フラック ス(上下)を計算する。信頼性の低い地表面と雲特性を調整することにより、 CERES TOA 測定フラックスに一致させることにより、内部的に整合性のある放射 フラックスと雲特性のデータセットを生成する。これらのプロダクトは、雲、TOA、 及び地表面放射が整合性を持つデータセットを必要とする気候研究、並びに大気中 のエネルギーバランスの研究のためのものである。

データ容量は ERBE ライク、または地表面プロダクトよりもずっと多い。



図 4.1-10 CERES データフロー図

Number	Name	Level	Description		
CER01	BDS	L1B	二方向スキャンによりフィルターされた放射		
CER02	ES-8	L2	ERBE ライクな TOA と地表面の瞬時フラックス量		
CER13	ES-4	L3	ERBE ライクな月間地理的平均(ES-8 の入力)		
CER14	ES-4G	L3	ERBE ライクな月間グリッド内平均(ES-8 の入力)		
CER03	ES-9	L3	ERBE ライクな月間リージョナル平均(ES-8 の入力)		
CER11	SSF	L2	単一衛星フラックス(FOV 放射、晴天域放射、雲域放射、及び雲特性)		
CER04	CRS	L2	雲域放射幅(地表面フラックス、大気中フラックス、TOA フラックス)		
			(SARB モデリング法)		
CER05	FSW	L3	毎時グリッド内単一衛星フラックス及び雲		
CER07	SYN	L3	総観放射フラックス及び雲		
CER08	AVG	L3	月間リージョナルフラックス及び雲放射(SYN の入力)		
CER15	ZAVG	L3	月間ゾーン及びグローバルフラックス及び雲		
CER12	SFC	L3	毎時グリッド単一衛星 TOA 及び地表面フラックス及び雲 (パラメータ		
			法)		
CER06	SRBAVG	L3	月間平均 TOA 及び地表面放射量(SFC の入力)		
CER16	CRH	L3	クリア反射率(可視アルベド) / 温度履歴		
CER06	MOA	L3	気象プロファイル(温度及び湿度)、オゾン、エアロゾル		

表 4.1-5 CERES のプロダクト一覧

4.1.5.2 処理アルゴリズムの概要

(1) サブシステム 1: センサ幾何学的補正と地球放射輝度の校正

このサブシステムは CERES のレベル 0 のカウントデータを、トータルチャンネル (0.3-200 µm)、短波チャンネル(0.3-5 µm)、長波ウィンドウチャンネル(8-12 µm) の 3 つのスペクトルチャンネルに対して、幾何学的に補正され、校正された放射輝度 に変換する。

CERES 機器は図 4.1-11 が示しているように、ペアで容易に運用するように設計され ている。この運用において、機器の一つは、地球上の空間サンプリングを最適化する 方位角固定のクロストラックスキャンをする。二つめの機器(RAP スキャナー)は、 仰角方向を走査するように方位角走査面内を回転する。それによって、完全な半球の 放射サンプルが採取される。 RAP スキャナーは、雲観測装置による雲と地表面タイプ の分類と合わせて処理した場合、ERBE ADM(サブシステム 4.5)よりも良い結果を提 供できる可能性を有する。



図 4.1-11 CERES スキャン概念図

(2) サブシステム 2:瞬時 TOA フラックスへの ERBE ライクインバージョン

ERBE ライクインバージョンサブシステムはフィルターを通した CERES 放射測定値 を、各 CERES 視野に対する TOA における瞬時放射フラックス量に変換する。このサ ブシステムの基盤は、1984年11月から1990年2月の5年間の ERBS(Earth Radiation Budget Satellite: 地球放射量衛星)、NOAA-9、NOAA-10に搭載された ERBE 走査放射計 から TOA フラックスを生成した ERBE データ管理システムである。ERBE インバー ジョンサブシステムは、十分に検証されテストされてきたアルゴリズムの完全なセッ トである。CERES ERBE ライクプロダクトの特徴は、CERES 機器特性に適合可能にな るよう最小限の変更で、ERBE が使用できるように同じアルゴリズムでデータを処理す ることである。

(3) サブシステム 3: TOA への ERBE ライク毎月平均値

このサブシステムは、TOA 放射パラメータの ERBE ライク平均値を計算するために、 瞬時 CERES フラックス量を一時的に内挿する。SW(Short Wave)と LW(Long Wave)フラックスの CERES 観測は、ERBE データ管理システムが使用しているものと 類似したデータ内挿方式を用いて時間平均値される。平均値を算出する処理により、 日中の地上表面の系統的な LW 放射サイクルと共に、日中のアルベルドの太陽天頂角 も分かる。

平均値を出すアルゴリズムは、リージョナル、ゾーン、グローバルな空間スケール において、TOA と地表面の SW と LW フラックスの毎日、毎月毎時(monthly-hourly)、 毎月の平均値を出す。計算は晴天フラックスと全空フラックスにて別々に計算される。 (4) サブシステム 4: 雲検索と放射フラックスインバージョン

ERBE による CERES の放射量解析の主な進展の一つは、比較的広い CERES 視野内の 雲と地表面特性を決定する高スペクトルで高空間分解能な雲画像データが使用可能に なることである。CERES では入力として VIRS の雲画像を使用する。このサプシステ ムは観測された雲特性を各 CERES FOV に対応付け、ERBE ADM (リリース 1、2、3) か改良された CERES ADM (リリース 4)を使用して、各 CERES FOV に対する TOA フ ラックス量を推定する。打ち上げ 3 年後に新しい CERES ADM が使用可能になるまで、 ERBE TOA フラックス法の進展により、晴天フラックスの精度向上を図る。ERBE 晴天 決定の限界は、雲放射量の推定を非常に不確実なものにしてしまう。新しい ADM を使 用するリリース 4 で、全てのシーンでの TOA フラックスエラーの rms とバイアスの両 方は、ERBE ライク解析よりも 1/3~1/4 位に小さくなることが期待されている。

改良された TOA フラックスに加えて、このサブシステムは各 CERES FOV に対する 地表面、大気中、及び TOA における放射フラックスを計算するため、サブシステム 5 により使用される CERES FOV に対応付けされた雲特性も提供する。最後に、このサブ システムは TOA から地表面へのパラメータで表したものを直接使用する地表面の評価 をも供給する。このサブシステムは以下の6つの処理で構成される。

- 1 晴天画像決定と雲探知
- 1 雲画像高度決定
- 1 雲光学特性のリトリーバル
- 1 CERES フットプリントポイント広がり関数の画像雲特性への畳み込み
- 1 瞬時 TOA フラックスへの CERES インバージョン
- 1 CERES 測定に関する短波と長波の地表面放射量の経験的見積り

(5) サブシステム5:地表面及び大気フラックスの算出(大気データプロダクト)

このサブシステムは一般に SARB(地表面・大気放射量)として知られており、それ とともに、地表面放射フラックスを求めるもう一つの方法として大気中のいくつかの 高度での放射フラックスの見積量の取得に使われている。利用されている。全 SARB フラックスは地表から TOA までの設定した出力レベルでの上方及び下方要素の両方に 対する SW 及び LW フラックスを含む。

リリース 2 では、出力レベルは地表面、500hPa、圏界面、及び TOA である。各 CERES FOV に対する SARB アルゴリズム内の主要なステップは以下の通りである。

地表面データ(アルベド、放射)の入力 気象データ(温度、湿度、オゾン、エアロゾル)の入力 CERES FOV に対応した雲特性画像の入力 観測値から放射フラックスを求めるための放射モデルの利用 CERES によって観測される TOA SW 及び LW フラックスと一貫性をとるための地 表面及び大気パラメータ(雲、降水量)の調整 最終フラックス計算値、初期 TOA 不一致、オリジナルの地表及び雲特性に沿って

最終ノラックス計算値、初期 IOA 不一致、オリシアルの地表及び雲特性に沿って 調整された地表面 / 大気特性のセーブ

グローバル TOA フラックスは 20 年以上の間、衛星観測から推定されてきたが、地表面と大気中のフラックスに関し信頼できるグローバルな推定はここ数年の間に確立されてきている。SARB 計算法に対する顕著な問題点は以下のものである。

- 雲の層の重なり
- 雲の不均一性の影響
- 雲の三次元効果
- 潜在的な雲の吸収
- 陸域地表面の二方向の反射、放射、地表面温度

リリース 2 では、SARB は平行平面放射モデルによる計算方法を用いており、各 CERES FOV に対し二つの重なりのない雲層に対して放射計算を行うことで、雲の不均 一性に対処している。各雲層に対する平均 CERES FOV 光学的濃度はアルベドが光学的 濃度の対数に対し線形に変化するという仮説を用いて、画像の光学的濃度の対数の平 均と定義している。

(6) サブシステム 6: グリッド内単一衛星フラックス及び雲、並びに空間平均値の計算 (大気データプロダクト)

CERES 大気データプロダクトに対するここでの処理は、EOS 標準の 1 度等角グリッドボックスに対しサブシステム 5.0 からの出力データを切り出すことである。

(7) サブシステム7:時間内挿及び単一並びに複数衛星による概略フラックス算出(大 気データプロダクト)

CERES の方法は、CERES によって十分なデータ取得が行われない日中のサイクルを 補正するために3時間毎の静止衛星による放射データを取り入れるというものである。 この方法の鍵は日中のサイクルの形を補うために静止衛星データを使うことにあるが、 この場合でも CERES 観測データをあまり校正されていない静止衛星データのアンカー となるべく絶対的な指標として利用する。この手法の良い点はグローバルモデルテス トや雲及び放射の日中のサイクルの試験を改良するために3時間総観放射領域を生成 することができる点である。サブシステム7の出力としては、3時間ごとの雲特性と地 表面、大気、TOA フラックスの見積である。これらの見積も月間雲及び放射データの 平均値を生成する際にシステム8に用いられる。

処理は以下のステップで行われる。

サブシステム 6 により生成されたグリッド化した雲及び放射データを地域的かつ時 間的に並び替えて結合する。

総観に近い静止衛星データを地域的かつ時間的にソートし結合する。

雲特性を CERES の観測時間から総観の時間に内挿する。

雲情報と角度モデルクラスを内挿し、CERES 観測への領域相関を利用して、狭帯 域 GOES 放射を広帯域に変換する。その後、CERES 広帯域 ADM を使って広帯域放 射を広帯域 TOA フラックスに変換する。

総観 TOA フラックス量を制約条件として、サブシステム 5 で行ったように時間内 挿した雲特性を放射フラックスプロファイルを計算するのに用いる。

静止衛星データから求めた放射の日中変化を使う。ただし、CERES の観測時間に 合うように、(静止衛星データ内に利得誤差があると仮定し)、このプロファイル を調整する。

上記に示したシステムも ISCCP 静止衛星雲特性を利用している。この方法の欠点は、 システム的に異なりかつ、CERES の雲の画像よりも精度が劣る雲特性を用いている点 である。ISCCP 雲特性は静止衛星の空間分解能、スペクトルチャネル、及び校正精度 に限界がある。この点で、TRMM 及び EOS 雲特性に対し ISCCP 雲特性を「校正」する 必要があろう。現在 ISCCP 雲特性をこの目的のために用いることに関し感度分析を 行っている。

(8) サブシステム 8:月間領域、ゾーン、及びグローバル放射フラックス並びに雲特性 (大気データプロダクト)

このサブシステムは、領域、ゾーン、グローバルなスケールでの月間平均を求める ために CERES FOV 放射フラックス及び雲のデータ (サブシステム 7)と時間平均値を 用いる。1 時間及び 3 時間データを使った初期のシミュレーションでは、3 時間データ の単純平均は LW フラックスの月間平均を計算するのに十分であることを示している。 しかしながら SW フラックス平均には問題がある。太陽放射の日中の変化は LW フ ラックスに比べ 10 から 100 倍の規模であるからだ。

SW 時間平均に対する二つの方法がリリース2 データを使って現在テストされている。 最初の方法はサブシステム7 と同じ手法を使うが、3 時間データではなく1 時間データ を用いている。そのため時間平均は1 時間概略領域から生成される。二番目の方法は3 時間データを使い、顕著な太陽放射のある日の ERBE と似た手法を使って時間内挿を 行う。アルベドに依存する太陽天頂角モデルを使うことで TOA 及び地表面フラックス には十分であるが、大気円柱内の太陽光吸収量の内挿を含めるようこの手法を更に拡 張することを試みている。主要な問題点は太陽天頂角が、日出日の入りと日中の観測 時間の間でアルベドのシステム的な増加により生ずるバイアスを除去することにある。 (9) サブシステム 9: 即時地表面プロダクトのためのグリッド TOA 及び地表面フラックス(地表面データプロダクト)

このサブシステムは基本的にはサブシステム 6 での処理と同様である。主な違いは 大気データプロダクトで使われているグリッドデータのかわりにこのサブシステムで は地表面データプロダクトで使われている空間グリッドを使う点である。この空間グ リッドは 1.0 度間隔のものである。図 4.1-10 のデータフロー図を参照のこと。

(10) サブシステム 10 : 月間領域内 TOA 及び地表面放射見積(地表面データプロダクト)

地表面データプロダクトに対する時間平均は二通りの方法で作成される。最初の方法は以下の点を除いて ERBE 手法(サブシステム 3 の ERBE プロダクト)と同じである。

- アルベドに依存する太陽天頂角に関する CERES モデルの改良
- 即時フラックスの精度を上げるために雲画像の識別(サブシステム 4)と CERES ADM の改良
- 月間平均フラックスが ERBE ライクフラックスよりも 2~3 倍高精度になることが シミュレーション結果より示されている。

二番目の方法はサブシステム 7 での概略プロダクトに対する処理に似た静止衛星放 射を利用する方法である。これは一日に一つの衛星で 2 画像しか得られない TRMM の 初期フライトの間は問題を最小化する方法にも適応できる。衛星の数が 3 に増加すれ ば、静止衛星データは結果にほとんど影響を及ぼさなくなろう。

地表面データプロダクトに関し主要な正当性の一つは、地表面フラックス見積を可能 なかぎり CERES 直接観測に近づけることにあるため、このサブシステムは大気中フ ラックスを計算しない、また、サブシステム 4.6 で示した同じ手法による地表面フラッ クスの見積を行う。

(11) サブシステム 11:静止衛星によるグリッド狭帯域放射

CERES は TOA フラックスの日中モデルを補助するため、及び TOA フラックスプロ ダクトの月間平均内の内挿誤差を最小にするために、3 時間間隔の静止衛星放射データ を利用する。このサブシステムは基本的にサブシステム 6 内の処理と同じである。主 な違いは CERES TOA フラックスのかわりに静止衛星の放射に関し処理が行われる点で ある。現在の入力データは、異なる衛星からの可視及び赤外狭帯域放射を含む、3 時間 毎の ISCCP B1 静止衛星(GEO)データである。現時点では、GEO のデータは METEOSAT、GOES-East、GOES-West、及び GMS の 4 つの衛星について利用可能であ る。GEO データセットの空間分解能は約 10 km である。これらのデータはグリッド化 され、サブシステム 6 に示した機能を使って CERES の 1 度間隔のグリッドボックス及び日中 3 時間間隔に対する VIS と IR の狭帯域放射量の平均と統計値で構成されている。この データプロダクトはサブシステム 7 及び 10 の主要な入力になっている。

(12) サブシステム 12:湿度と温度に関する再グリッド化

このサブシステムは、多様なデータ源から CERES のサブシステムによる空間的かつ 一時的な解像度要求に合った温度、水蒸気量、オゾン、エアロゾル、及び受動的マイ クロ波円柱水蒸気量(passive microwave column water vapor)に変換するための内挿方法 が示されている。サブシステムは多くの異なるグリッドの多様なデータを受け付けら れるが、多くの入力源は EOS DAO または NOAA NCEP 解析プロダクトからである。出 力は入力と同じ気象データを保存しているが、他の CERES 処理サブシステムからの要 求に合うように空間的一時的な解像度も保持している。内挿方法は情報の質に依存し ている。リリース2では、CERES は DAO 解析プロダクトを使う計画である。気象デー タセット内の解析プロダクトを使うことの主要な問題の一つは、気象記録内の解析プ ロダクトのアルゴリズムが「固定」していることである。DAO は CERES に対し更なる 解析を行うことに同意している。

4.1.6 雷観測装置

ここでは TRMM 雷観測装置(LIS)のデータの種類、及び処理アルゴリズムの概要について示す。

4.1.6.1 データの種類

LIS データの保存には、EOS HDF Standard Data Format (SDF) バージョン 1 の HDF Vgroups、Vdatas、Vsets (Vdata のセット)、及び科学データセット (Scientific Data Sets: SDS's)が使用されている。

1周回分のLIS データは、2つのHDFファイルに保存される。1つは、主要なサイエ ンスデータを含み、もう1つはその他のバックグラウンドイメージを含む。このため、 バックグラウンドイメージを必要としないユーザは、ファイルサイズの大きいバック グラウンドイメージをダウンロードしなくてもよい。HDFファイルリーダーを有する ユーザが軌道グラニュールデータを読み込んで処理することができるようにデータが 構成されている。実際のデータは、VsetsとVgroupsに保存されている。インデックス は様々なVsetsにリンクできるようにVgroups内に保持されている。ファイルネームは、 衛星プラットホーム名(TRMM)から始まり、以下機器名称(LIS)、ファイルタイプ 識別(SC:サイエンスデータ、BG:バックグラウンドイメージデータ)、バージョン 番号(VV)、レビジョン番号(R)と続く。レビジョン番号以降ファイルネームは、 データの年(YYYY)、年間通算日(DDD)及び軌道番号(ORBIT)を含む。

ここで、図 4.2-12 にサイエンスデータ、及びバックグラウンドイメージの HDF ファ

イル構造を示す、また、表 4.1-6 に LIS プロダクトの構成要素の概要を示す。



- (a) サイエンスデータ
- (b) バックグラウンドイメージデータ

図 4.1-12 LIS HDF データ構成

	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
表 4.1-6	LIS ブロダクト構成の概要

データ分類		名称	レベル	内容
生データ		LIS01	L1A	雷のパルスとバックグランドデータ
軌道	軌道属性	LIS07	L3	軌道の開始・終了時刻及び位置報
	軌道概要	LIS07	L3	該当周回中の検出された面積、閃光、グループ、イベント、
				バックグランドの概要
ブラウズ	ブラウズ	LIS09	L3	ブラウズ(緯経度 2.5 度のグリッド)
	ベクトル	LIS08	L2	各地点の重心におけるイベント、グループ、閃光、面積の合計
	画像属性	LIS02	L1B	画像の四隅の緯経度
バックグランド		LIS02	L1B	バックグランドイメージのピクセル毎の強度
エリア		LIS06	L2	地域毎の放射輝度の合計(地域: 1 周回中の一連の閃光)
閃光		LIS05	L2	閃光の放射輝度の合計(閃光: 330 ms 以下までの時間において
				分離される一連のグループ)
グループ		LIS04	L2	グループの放射輝度の合計(グループ:同一のタイムフレーム
				内の1つあるいは複数のイベント)
イベント		LIS03	L1B	校正されたイベントの放射輝度(イベント: 2 ms の間にしきい
				値を越えた単一ピクセルの発生)
閃光密度		LIS10	L4	緯経度 2.5 度グリッド及び 500 km グリッドの閃光の数
観測時間		-	-	雷データの取得に要した観測時間の情報
1 秒データ		-	-	LIS 機器の内部 / 外部パラメータの 1 秒間のスナップショット
メタデータ		-	-	関連する補足情報のテキスト

4.1.6.2 処理アルゴリズムの概要

稲妻は、電光放電路付近の急激な加熱、(雷鳴のように音波へ急激に弱まる)衝撃 波、及び超長波(ELF)から X 線までの範囲の電磁放射などの急激な電気エネルギー の放出を伴って発生する最も強力な放射の一つとして、100~100 MW の間にピークを 持つ光学的波長帯がある。これらの光学的放射は、電光放電路の急激な加熱に対応し た、大気成分の分離、励起、及び再結合の結果である。加熱は非常に急激(電子温度 は 20,000 K を越える)であり、そのため光学発光は主により短い波長でいくつかの連 続体を持つ励起レベルで起こる。

上空から観測した場合、光学的稲妻のシグナルは雲の頂上から放射する散乱光とし て現れる。雲の頂上からの全光学的エネルギー放射を観測することは雲と地上の間の 稲妻の地上での観測によく一致し、雲が保存性のある散乱帯であるという理論、すな わちほとんどの光学的エネルギーは雲から散逸する、という理論と一致する。

LIS は雷により生ずる近赤外のスペクトルラインを、雲頂上から放射する散乱光とし て観測するセンサである。以下に LIS のプロダクトを構成する要素の定義、及び処理 アルゴリズム手順の概要を示す。

(1) 定義

LIS の基本的科学データプロダクトは稲妻である。このプロダクトは色々な要素で構成されており、それらは生データ(レベル 1-A)、バックグランドイメージ(レベル 1-B)、イベント(レベル 1-B)、グループ(レベル 2)、閃光(レベル 2)、エリア(レベル 2)、ベクトルデータ(レベル 2)、ブラウズデータ(レベル 1-B)、軌道情報(レベル 3)、閃光密度マップ(レベル 4)、及びメタデータを含んでいる。色々な要素について議論する前に、アルゴリズムが用いるデータストレイジクラスについて定義する。これらのデータストレイジクラスはバックグラウンド、イベント、グループ、閃光、エリア、及び軌道の各クラスである。

(a) バックグラウンド

バックグランドイメージは LIS リアルタイムイベントプロセッサ(RTEP)により作 成されるバックグランド見積の「スナップショット」である。バックグランドデータ は、128×128 ピクセルの各々に対し 12 ビットのカウント値とバックグランドイメージ が撮られた時刻で構成されている。バックグランドは LISO2 として識別される。バッ クグランドは平均転送速度を保つようにイベントデータとともにデータストリームと して転送される。一つのバックグランドの転送が始まると、次のバックグランドイ メージが撮影される。新しいイメージはイベントがロードされ、転送速度が許す程度 で地上に送られる。 (b) イベント

イベントは一つのフレーム内でバックグランドが閾値を超えるピクセルが現れた場合として定義される。言い換えれば、RTEP からの各ピクセルの出力は分離したイベントとして処理される。LIS の生データは時刻、x 及び y ピクセル位置、並びにイベントの値より構成される。イベントは LIS からのデータの基本ユニットである。イベントは LIS03 として識別される。

イベントは閃光による単一光学パルスと考えられるが、2 ms の積分時間内に起こっ た複数のパルスも一つのイベントに関与する可能性がある。そのため、LIS からのデー タの基本ユニットを「パルス」とか「ストローク」(又は同じような名前)は使わな い(注:イベントは時折稲妻に全く因らない場合もある。それはバックグランドの閾値 を超えるアナログデータストリーム内のノイズによって生ずる。この場合、イベント は故障アラームとなる)。

(c) グループ

ー個のピクセルが正確に雷の光った地域に対応するとは限らないので、閃光放電は 時間積分内に一つ以上のピクセルを照らすことがしばしばある。その結果、同一フ レーム時間に二つ以上の隣接したイベントが生ずることがある。これらの複数のイベ ントが互いに隣接する場合(イベントが接する辺や隅)、これらを一つのグループと して扱う。グループの正式な定義は、一つ以上の同時に起こる、撮像素子の隣り合っ たピクセルに対応するイベント(すなわち同じ時間積分のフレーム内に起こったイベ ント)である。グループは一つのイベントだけで構成されるか、複数のイベントを含 んでいる。グループに対する位置データは地球基準座標(緯度経度)で計算される。 これはグループ/閃光/エリア処理内で一貫した表現であり、地上に対し稲妻の位置 を求めることが最終的な目的である。グループはLIS04 として識別される。

(d) 閃光

電閃光は、特定の時間及び距離内の同じ雷雲内で起こる一つから複数の光学的パル スより成り立っている。雷閃光は限られた領域内のいくつかの関連したグループに対 応している。LIS アルゴリズムでは、時間的に 330 ms、空間的に緯度又は経度で 5.5 km 以上に離れていない連続したグループとして閃光を定義している。時間的及び空間 的な定義は LIS アルゴリズム処理ソフト内で調整出来る。

OTD と初期の LIS データの解析の間、閃光を定義するに最適な値を調査する予定で ある。閃光は一回のイベント内に一つのグループを含んでいるか、各々が多くのイベ ントを含んでいる多数のグループにより構成される。TRMM 衛星が閃光の間に十分な ピクセル間を移動することが出来るならば、閃光の空間的特徴(及びより高次レベル の全パラメータ)は地上の座標(すなわち緯度経度)内で計算される。閃光は LIS05 として識別される。上で定義したように、「閃光」の結果は一般的に従来雷閃光とし て受けいられてきた定義に一致すると思われるので、このデータカタログに対し閃光 という言葉を使っている。LIS データだけでは、閃光が地上のものか雲上のものかを判別することは出来ない。LIS アルゴリズムの将来のバージョンでは、閃光が地上か雲上のものであるかどうかに関し LIS データの解釈を助けるために地上閃光位置判断システムからのデータを取り組むことになるだろう。現時点では明確な従来の雷閃光が LIS アルゴリズムによって作成される一個の閃光であると考えている。アルゴリズムによる閃光と実際の従来の閃光との間の他の違いもあることは疑いがないだろう。閃光に対する絶対的な時間制限はない。このことは、連続したグループが 330 ms 時間内のある領域内で生ずるかぎり、全てのグループは一つの閃光として取り扱われる。

(e) エリア

稲妻は約10 km×10 kmの雷雲で発生する。しかしながら多くのストームは複数の地 域で発生し、広いエリアに広がり、何時間も存在する。多くの場合、個々のストーム は LIS の観測時間以上に続く。そのため、LIS の一軌道の間稲妻が発生している (LIS 閃光のセットとして定義される)地表面上の連続した領域としてエリアを定義してい る。エリアは緯度又は経度で16.5 km (約3ピクセルに相当する)以上ではない空間的 に分割された閃光のセットとして定義される。この空間的な設定値は、OTD や初期 LIS データの解析により必要ならば LIS アルゴリズム処理ソフト内で容易に調整すること が可能である。エリアは多くの閃光を含むか、または一つのイベントだけで構成され ているかもしれない(例えば、一つのイベントからなる一つのグループからなる閃 光)。LIS の観測時間はストームのライフタイムよりかなり短いので、エリアの定義に 内部閃光や絶対時間枠を持ち込まない。エリア内の持続時間の明確な制限はないけれ ども、LIS 観測機器は最大 80 秒間の FOV 内のどんな地上の位置も見ることが出来ない。 それゆえ、非常に大規模な嵐でない限りエリアの継続時間は通常 80 秒を超えることは ない。エリアは LIS06 として識別される。アルゴリズムの性質上、及びデータの空間 的時間的な広がりにより、エリアの定義は雷雲の代わりに使われるももの、いくつか のストームは一つのエリアに結合される。一つの雷雲を一つ以上のエリアに分割する ことも可能である。(外部の地上、航空機、衛星搭載観測システムからの入力をも つ)より洗練されたアルゴリズムでは LIS データの「雷雲」のより正確な定義が必要 となるであろう。

(f) 軌道

TRMM のデータグラニュールは 1 軌道としてすでに定義されている。すなわち、全 ての LIS データも軌道グラニュールで保存、要約されている。しかしながら、LIS の軌 道グラニュールの開始 / 終了時刻は、TRMM で定義される軌道と異なっている。赤道 で LIS データを分割することが、しばしばストームを分割してしまうため、LIS 軌道グ ラニュールは、軌道の最南端の緯度で開始 / 終了するよう定義された。この位置は、 殆どの場合において、熱帯対流が発生させる雷から遠い。これは、ユーザが雷の研究 を行う際に、1 軌道以上のデータを入手しなければならない可能性を少なくする。一つ の軌道は、地理的な軌道の境目を含む、全てのエリアを含んでいる。軌道内のエリア と結合している全ての閃光、グループ、及びイベントは、軌道を気にすることなく、 どこに位置しているかを把握することができる。軌道の開始 / 終了地点の間で発生し たバックグラウンドイメージデータについても同様である。軌道は LISO7 として識別 される。軌道の地理的な開始 / 終了は最南端にあるため、閃光、グループ及びイベン トは、軌道の境目をはさんでエリアと反対側になる可能性がある。これは、衛星が軌 道をまたぐ時に、エリアが有効となった場合に起こる現象である。全ての LIS データ は、エリアと結合しており、全ての閃光、グループ、イベントはエリアと共に同一の 軌道内に確保されている。

(g) 観測時間

TRMM に搭載されている他のセンサと異なり、LIS 観測データは、どれくらい長い時間、特定の地域を観測することができるかに大きく依存している。LIS は 1 周回において地上の異なる場所を長時間(0~80 秒)観測することができる。ある地点における、 雷データを有効に活用するためには、その雷データの取得に要した観測時間の情報が 重要である。よって、各雷観測に対応した観測時間を計算し、LIS データユーザに提供 する。

(h) 1 秒データ

LIS 観測データは、機器自身の状態にも大きく依存している。1 秒データは、LIS 機器の内部 / 外部パラメータの1 秒間のスナップショットを提供するものである。

- (2) アルゴリズムの数学的記述
- (a) データ処理手順の例

ここでは、典型的な LIS データシナリオに従って、LIS の個々のイベントをグループ、 閃光、及びエリアへと蓄積するアルゴリズムについてグラフィカルに示す。ここで示 す例では、全ての時間は最初のイベント時間からの時間を表している。小文字はグ ループを示しているが、番号はイベント番号を表している。閃光は大文字で表し、エ リアはギリシャ文字で表す。各々の部分系列は積分時間内で起こったイベントをアル ゴリズムを以下に処理しているかを示している。この目的のため、時刻 0 より前のイ ベントはなく、ピクセルグリッドは緯度経度ともに4 km の幅であると仮定している。 一般には、地球基準座標の緯度経度グリッドとピクセルグリッドは同じ大きさではな い。なお、時間は軌道開始時間からの時間である。

a. Time = 0 ms

最初の時間積分を図 4.1-13 に示す。三つのイベント(1,2,3)がこの時間積分内に発生している。イベントは同時に、かつ隣接したピクセルで発生しているので、これらは一つのグループ (a)に集められる。グループは新たな親閃光(A)に割り当てられ、
このグループは新たな親エリア(α)に割り当てられる。



図 4.1-13 0 ms における時間積分

b. Time = 100 ms

次の時間積分でのデータを図 4.1-14 に示す。この時間(最初から 100 ms 後)では、 更に三つのイベント(4,5,6)が発生している。前のケースのように、これらの三つの 新たなイベントは全て新しいグループ(b)に割り当てられる。異なる時間に発生した ため、これらのイベントはグループ a には割り当てられない。グループ b はグループ a の 5.5 km 内(実際にこれらは接している)であり、それぞれのグループは 330 ms 内に 発生しているので、グループ b は閃光 A とエリア αに割り当てられる。



図 4.1-14 100 ms における時間積分

c. Time = 350 ms

次のデータの積分時間を 図 4.1-15 に示す。時刻は最初のイベントから 350 ms たっているが、最後のイベントから 250 ms である。この時間に更に四つのイベント

(7,8,9,10)が発生している。イベント 7 と 8 はお互いに隣り合っており、新しいグ ループ(c)に割り当てられる。イベント 9 と 10 は 7 と 8 に隣り合っていないが、他の イベントと接している。これらは新しいグループ(d)に割り当てられる。グループ c は閃光 A (250 ms)の最後のグループの 330 ms 内であり、閃光 A の一部の 5.5 km 内で もあるので、グループ c は閃光 A とエリア α に割り当てられる。グループ d も閃光 A の 最後のグループの 330 ms 内に発生しているが、閃光 A のどの部分よりも(緯度及び経 度が)5.5 km 以上であるので、新たな閃光(B)に割り当てられる。閃光 B (すなわち、 グループ d)の一部はエリア α のどの部分より 16.5 km 以上離れているので新たなエリ ア(β)に割り当てられる。



図 4.1-15 350 ms における時間積分

d. Time = 400 ms

図 4.1-16 に次の時間積分のデータを示す。時刻は最初のイベントから 400 ms、最後 のイベントから 50 ms である。このとき二つのイベント(11,12)が発生している。こ れらの二つのイベントは同時に発生しているが、お互い接していない。これらは新た なグループ(11 は e、12 は f)に割り当てられる。新しい二つのグループは閃光 B の最 後のグループの時刻より 330 ms(50 ms)以内であり、閃光 B の一部の 5.5 km 以内 (隣接)であるので、二つのグループは閃光 B とエリアβに割り当てられる。



図 4.1-16 400 ms における時間積分

e. Time = 700 ms

(この例における)イベントの最後の時刻を図 4.1-17 に示す。この時間積分は最初 のイベントから 700 ms、最後のイベントから 300 ms であり、新しいイベント(13,14) がある。イベントは隣り合っていないため、新たなグループ(13 は g、14 は h)に割 り当てられる。グループ g は閃光 A の一部と重なっているが、350 ms (330 ms より大 きい)であるので、最後のグループは閃光 A に統合される。それゆえ、グループ g は 新しい閃光(C)に割り当てられる。閃光 C はエリア α の一部に重なっており、エリア に対する時間制限がないので、閃光 C はエリア α に割り当てられる。グループ h はどの 閃光の 5.5 km 内ではないので、新たな閃光(D)に割り当てられる。閃光 D もどのエ リアの 16.5 km 以内でないので、他の新たなエリア(γ)に割り当てられる。



図 4.1-17 700 ms における時間積分

(b) 要約データ

以上に示したデータ処理手順の例では、14 のイベント、8 つのグループ、4 つの閃光、 及び 3 つのエリアがあった。この例では LIS アルゴリズムがイベントを如何にグルー プ、閃光、及びエリアに変換していくかを示している。LIS 処理アルゴリズムにより生 成されるこの例の要約データのいくつかを表 4.1-7 (areas)、表 4.1-8 (flashes)、及び 表 4.1-9 (groups)に示す。LIS ミッションの間、start_time は各軌道の始まりからカウ ントされる相対時刻である。

area_id	start_time	delta_time	event_count	latlon_count	child_count	child_id's	
α	0	700	7	6	2	A,C	
β	350	50	4	4	1	В	
γ	700	0	1	1	1	D	

表 4.1-7 エリアデータの結果

表4.1-8 閃光データの結果

flash_id	parent_id	start_time	delta_time	event_count	latlon_count	child_count	child_id's
А	α	0	350	6	6	3	a,b,c
В	β	350	50	4	4	3	d,e,f
С	α	700	0	1	1	1	g
D	γ	700	0	1	1	1	h

表4.1-9 グループデータの結果

group_id	parent_id	group_time	event_count	latlon_count	child_count	child_id's
а	А	0	3	3	3	1,2,3
b	А	100	3	3	3	4,5,6
с	А	350	2	2	2	7,8
d	В	350	2	2	2	9,10
e	В	400	1	1	1	11
f	В	400	1	1	1	12
g	С	700	1	1	1	13
h	D	700	1	1	1	14

(3) 処理アルゴリズムの概要

LIS データ処理ソフトウェアでは2種類の主要なプロダクトが作成される。すなわち、 雷データセットと、対応するバックグラウンドデータセットである。これらのデータ セットは、LIS 生データに対してデコーディング処理、フィルタリング処理、クラスタ 処理、及び HDF ファイルへの出力処理等を行うことで作成される。これらの処理を実 行するための LIS データ処理ソフトウェアの機能構成、及び概要を表 4.1-10 に示す。

機能項目	処理内容
雷データ / バックグラウンドデータ	TRMM 標準フォーマットで取得された LIS データを、雷デー
フォーマット変換	タ、バックグラウンドデータ及び HK データに分離する。
ピクセルベースフィルタリング処理	雷以外イベント (NLE : Non-Lighting Events) によるデータを
	除去する。
エフェメリスデータフォーマット変換	TRMM フォーマットのエフェメリスデータより、衛星位置及
	び速度情報を抽出する。
エフェメリスフィルタリング処理	エフェメリスデータ内の、不良データを除去する。
幾何補正	LIS データと、衛星位置情報、姿勢情報、及び LIS の観測方
	位情報を結びつけ、雷パルスの地球上位置を決定する。
LIS 観測時間決定	LIS 観測視野内を、緯経度 0.5°ずつのグリッドに分割し、そ
	れぞれに対して LIS 観測時間を算出する。
閃光クラスタ処理	閃光データのクラスタ分析処理を行う。(すなわち、グルー
	プ、閃光が作成される)
閃光ベースフィルタリング処理	幾何補正エラーデータ、及び残存する NLE データを除去す
	ర .
エリアクラスタ処理	抽出された閃光データに対して、さらにクラスタ分析処理を
	行い、エリアデータとする。
エリアベースフィルタリング処理	これまでのフィルタリング処理で、謝って除去されてしまっ
	た雷データを復活させる。逆に、極めて NLE の疑いの強い雷
	データを除去する。
HDF ファイル作成	データを HDF フォーマットに変換し、ファイルに書き出
	す。

表 4.1-10 LIS 処理ソフトウェアの機能構成

4.2 HDF フォーマット

4.2.1 概要

HDF(Hierarchical Data Format)は、分散型の環境下において科学データを共有するた めのマルチオブジェクトファイルフォーマットである。このデータフォーマットは 様々な分野のプロジェクトに従事している異なる科学者グループの要求を満たすため に米国スーパーコンピュータ応用センター(NCSA)において作成された。HDF は科学 データを保存する際の以下のような要求に答えるよう設計されている:

- 科学者によって共通的に使用されるタイプのデータ及びメタデータのサポート
- 大きなデータセットの効率的な保存とアクセス
- プラットフォームからの独立性
- 将来の機能強化のための拡張性と他の標準フォーマットとの互換性

HDF は現在、以下の 6 種類の異なるデータモデルをサポートしている(図 4.2-1 参照)。それぞれのデータモデルは、異なるタイプのデータ及びそれに付随する情報を 利用するためのフレームワークとなるものである。すなわちデータモデルは HDF ファ イルの内容をカスタマイズするためのツールセットと考えることができる。

8-bit Raster Model

8-bit ラスタ画像データ、画像データの次元、及びカラーパレットを保存・検索する 場合に用いるモデル。

Palette Model

8-bit ラスタ画像データとは別に 8-bit のパレットを保存・検索する場合に用いるモデル。

24-bit Raster Model

24-bit 画像データ及びその次元を保存浮動小数・検索する場合に用いるモデル。

Scientific Data Model

整数、及び浮動小数の多次元配列データ、その次元、数値タイプ、及びその他属性 データを保存・検索する場合に用いる。

Annotation Model

ファイル、あるいはそこに含まれているすべてのデータ要素に対するコメントなど を記述するために使用される文字列を保存・検索するためのモデル。

Virtual Data Model

規定された形式の表の形で、あらゆる種類のデータを保存・検索する場合に用いる モデル。

上記の 6 つのデータモデルに加えて、これらのデータオブジェクトをグループ化す

る目的で Vgroup オブジェクトが設計されている。

HDF データモデルは、そのグループのフォーマットで「読むことが出来る」データ 要素のみにしか対応していない。例えば、24-bit Raster Model はカラーパレットや 3 次 元配列をサポートしていない。これは 24-bit の画像を利用する場合にはこれらのどちら も必要とされないためである。



図 4.2-1 HDF がサポートするデータモデル

また、HDF は単なるファイルフォーマットではなく、HDF ファイルにデータを保存、 検索、可視化、解析、管理することを容易にする各種の支援ソフトウェアから成立し ている。ユーザが HDF を扱う場合、図 4.2-2 に示されるような幾つかのレベルを通し て取り扱うことが可能となる。



図 4.2-2 HDF ファイルフォーマットと相互作用する 3 つのレベル

最下層において、HDF は科学データを保存するための物理ファイルフォーマットで あり、最上層においては、HDF ファイルにデータを操作、検証、解析するためのユー ティリティやアプリケーションの集合体である。これらのレベルの中で、HDF は高次 のアプリケーションプログラミングインタフェース(API)と低次のデータインタ フェースを提供するソフトウェアライブラリの一つである。

基本のインタフェース層(低レベルインタフェース)は、ソフトウェア開発者に対して用意されたものであり、データストリーム、エラー処理、メモリ管理、物理的保存に対する直接のファイル入出力のために設計されている。また、この層は、現在利用可能となっている高次レベルのインタフェース以外の操作を HDF に対して行う場合に必要なソフトウェアツールキットである。低レベルのルーチンは C においてのみ利用可能である。TSDIS ツールキットはこのカテゴリーに分類される。

図 4.2-2 において上から二つ目の層は HDF の API で、幾つかの独立のルーチンの セットを含んでいる。この個々のセットは、上記 6 種類のデータモデルの一つ一つに 対応したシングルファイルインタフェースと、いくつかのデータモデルをまとめたマ ルチファイルインタフェースの 2 種類に分類できる。これらの API を利用するにはプ ログラミングが必要となるが、低レベルの詳細な規則等については無視することがで きる。ほとんどの場合、必要なのは、正しいタイミングに正しい機能を呼び出すこと だけであり、その他のことは API が面倒をみる。ほとんどの HDF API のルーチンは Fortran-77 及び C の両方において利用できる。

低レベルインタフェースを形成するルーチン及び API は NCSA の HDF ライブラリに おいて有効であり、種々のプラットフォームに対するバイナリ及び HDF ライブラリの ためのソースコードは NCSA の ftp サーバ (hdf.ncsa.uiuc.edu) やミラーサイトから入手 できる。

最上層の「General Applications」において、HDF は HDF ファイルを管理及び検証す るコマンドラインユーティリティ、データの可視化及び解析を支援する NCSA アプリ ケーション、及び様々なサードパーティ製のアプリケーションを含む。HDF ユーティ リティは NCSA の HDF 配付に含まれている。世界中の HDF ユーザコミュニティのメ ンバーによって提供されたアプリケーションと同様に NCSA によって支援されるアプ リケーションは、NCSA ftp サーバで無料で入手可能である。

4.2.2 EOSDIS によるデータ構造

TRMM のプロダクトフォーマットには、HDF-EOS が採用されている。HDF-EOS は HDF の発展形の一つであり、NASA の EOSDIS によって開発された。このフォーマッ ト形式は、衛星データに適用するため、既存の HDF データモデルの上に幾つかの新し いデータモデルを提供している。

4.2.2.1 Swath Structure

Swath Structure は走査機構によって観測する衛星データ向けに、EOSDIS が作成した Vgroup 型のデータ記録形式である。TRMM はレベル 1B、1C、2A 及び 2B の衛星プロ ダクトに対して Swath Structure を適用している。図 4.2-3 は TSDIS のデータプロダクト に使用されている一般的な Swath Structure を示している。Swath Structure は、名称が SwathData でクラスが SwathData の Vgroup である。この SwathData には、SwathStructure、 Scan Time、Geolocation、scan data 及び IFOV data で構成されている。以上の全てのオブ ジェクトにおいて、スキャン数が共通の指標である。各オブジェクトは以下のモデル で構成される。

SwathStructureIFOV データのある要素に対応する位置と時間を規定するテキス
トで、Vdata である。
Scan Time
れかで規定される Vdata である。
Geolocation4 バイトの浮動小数からなる緯経度を含む SDS である。
Scan data全スキャンに適用するデータであり、一つまたは複数の Vdata あ
るいは SDS である。
IFOV data各ピクセル毎あるいは一定のピクセル間隔(例えば 10 ピクセル



SwathStructure は EOSDIS がデータをそのアーカイブに取り込む際に使用される。一 方、アルゴリズム開発者にとっては、このオブジェクト内のデータは必要でない。 HDF は Vgroup に対して属性をまだ定義していないので、SwathStructure は属性を模擬 するオブジェクトである。この属性の模擬は、名称「SwathStructure」、クラス 「Attr0.0」、フィールド名称「VALUES」、番号タイプ「DFNT_CHAR8」でかつ、テ キスト長に等しいオーダを有する Vdata として実現される。こういった SwathStructure の仕様は、HDF において Vgroup に対する属性の開発を期待して設定されたものである。 なお、SwathStructure は最大で 5000 バイト以下とする。

4.2.2.2 Planetary Grid Structure

Planetary Grid Structure は地球上のグリッドデータを保存するために EOSDIS によって 創造されたデータ構造で、グリッドは格子点というより、むしろ格子ボックスの配列 である。TSDIS は Planetary Grid Structure をレベル 3A と 3B プロダクトに採用している。 図 4.2-4 は TSDIS フォーマットにおいて使用されている一般的な Planetary Grid Structure を示している。Planetary Grid Structure はファイルの1部分において適用されうる。

この構造は、名称「PlanetaryGrid」、クラス「PlanetaryGrid」の Vgroup に属する。そ の Vgroup の中には、一つの GridStructure、一つあるいは複数の Data Grid、及びその他 のデータが現れる。GridStructure はグリッドの幾何学的な解釈を可能とする一つの Vdata である。HDF は現時点で Vgroup に対する属性を定義していないため、 GridStructure は属性を模擬するオブジェクトである。この属性の模擬は、名称 「GridStructure」、クラス「Attr0.0」、フィールド名称「VALUES」、番号タイプ 「DFNT_CHAR8」でかつ、テキスト長に等しいオーダを有する Vdata として実現され る。こういった GridStructure の仕様は、HDF において Vgroup に対する属性の開発を期 待して設定されたものである。なお、GridStructure は最大で 5000 バイト以下とする。 GridStructure は EOSDIS がデータをそのアーカイブに取り込む際に使用される。一方、 アルゴリズム開発者にとっては、この GridStructure は必要でない。

表 4.2-1 は GridStructure 内のフィールドを規定している。6 つのフィールド(解像度 と境界の座標)は Core Metadata 中にも存在する。他の3つのフィールド(bin_meth、登 録、原点)は Core Metadata 中には存在しない。



名称	サイズ	内容		
	(bytes)			
bin_meth	50	ビン内の値を得るために使われる方法。簡易的な手法は		
		「ARITHMEAN」の値を用いるものであり、現在その他の値は		
		定義されていない。		
登録	50	ビン内を代表する位置。例えば、ビンの中心が最も代表的な位		
		置であるなら、値「Center」が使用される。現在、この他の値は		
		定義されていない。		
緯度分解能	50	ビンの南北方向のサイズ(緯度)		
経度分解能	50	ビンの東西方向のサイズ(経度)		
北境界座標	50	グリッドによってカバーされる北端の緯度		
南境界座標	50	グリッドによってカバーされる南端の緯度		
西境界座標	50	グリッドによってカバーされる西端の経度		
東境界座標	50	グリッドによってカバーされる東端の経度		
原点	100	グリッド指標の原点。例えば、「SOUTHWEST」。		

表 4.2-1 GridStructure のフィールド

特に規定がなければ、bin_meth は ARITHMEAN、登録は CENTER である。TSDIS の Planetary Grid は常に北境界座標=40、南境界座標=-40、西境界座標=-180、東境界座標 =180、原点= SOUTHWEST となる。さらに、特に規定がない限り、緯度分解能=経度分 解能=5 となる。

各データグリッドは「配列 Y×nlat×nlon」の SDS である。ここで、Y は変数であり、 nlat と nlon はそれぞれ、南北及び東西のグリッド点の数である。緯度と経度のディメン ジョンは Latitude_X 及び Longitude_X となり、ここで X はデータグリッド SDS の名称 である。他の次元は Swath の記述において規定された名称を有する。SDS の名称はグ リッドに含まれる変数の名称である。

TRMMの標準プロダクトの一つ「3A25」は、二つの異なる分解能においてグリッド を持つ。このため二つのグリッド構造を必要とし、上記の説明とは異なる名称付けの 規則が適用される。このプロダクトにおいて名称「PlanetaryGrid1」と 「PlanetaryGrid2」の二つの Vgroup が存在し、名称「GridStructure1」と 「GridStructure2」の二つのGridStructure が存在する。

本文書では、特に規定がない限り、データグリッド SDS のフォーマットに対して、 配列の名称は上記の規則に従う。 4.2.3 フォーマット規定

4.2.3.1 ファイル構造図

ファイル構造を図解する図は Vgroup かデータオブジェクト(メタデータオブジェクト、SDS あるいは Vdata)のどちらかを含んでいる。図 4.2-5 はプロダクト構造の例で ある。Vgroup はボックスなしの Vgroup の名称で示されており、データオブジェクトは ボックス付きのオブジェクトの名称で示されている。メタデータオブジェクトに対し て、予想される最大の合計サイズがボックスの右端に記されている。もし、オブジェ クトが Vdata table であれば、一つのレコードのサイズがボックスの右端に記され、レ コード数がボックスの横に記される。もし、オブジェクトが SDS 配列であれば、各要 素のサイズがボックスの右端に記され、その配列の次元がボックスの横に記される。

多くのメタデータがフリーテキストであり、また、データ長が固定でなく、メタ データの全ての要素が全てのプロダクトに対して使用されるとは限らないため、メタ データオブジェクトのサイズは、予想される最大値が記されている。記されたサイズ はいずれも HDF のオーバーヘッドを考慮していない。HDF のオーバーヘッドはこれま での検討から、プロダクトの総ファイルサイズの10%以下となることが示されている。



4.2.3.2 ファイルの内容

ファイル中の各オブジェクトの内容の記述において、各オブジェクトは次のフォー マットにおいて定義される:

名称(HDFの構造のタイプ,次元,ワードのサイズ及び形式): 記述

4.2.3.3 欠損データ

欠落したスキャンは、欠損データであることを示す標準値でうめられるとともに、 スキャンステータスの中の「missing」バイトを1にセットする。-99、-9999、-9999、9999.9、-999.9、-999

4.2.3.4 配列次元の順番

配列次元(例えば、n ピクセル×n スキャン)において、第1次元(n ピクセル)は 最も変化する指標であり、最終次元(n スキャン)は、最も変化の少ない指標である。 FORTRAN においてこのフォーマットを実行するためには、本文書の記述と同様な次元 を持った配列を宣言する。一方、C においてこのフォーマットを実行するためには、本 文書の記述とは逆の次元を有する配列を宣言する。

4.2.3.5 軌道とグラニュールの定義

1 周回の開始 / 終了は、衛星の地上軌跡が最南緯度にある時刻によって定義される。 この時刻は軌道決定値から求められる。あるスキャンは、そのスキャン時刻(4.2.3.7 項参照)が周回開始時刻以降で、かつ周回終了時刻より前であるとき、その周回中に 含まれる。平均 1 周回は、91.5 分(5490 秒)である。打上げ直後の最初の部分的な周 回が第 1 周回となり、最初のフルの一周回が第 2 周回となる。

グラニュールは VIRS と PR に対して一周回として定義され、TMI に対しては、一周 回にその周回前のオーバーラップ(Preorbit Overlap)と周回後のオーバーラップ (Postorbit Overlap)を加えたものとして定義される。オーバーラップのサイズは正確に 50 スキャンで一定である。1 グラニュールに対して二つのオーバーラップがあるため、

各グラニュールは100オーバーラップスキャンを含んでいる。図4.2-6を参照。

Single granule:



Multiple granules:



(右方向で時間増加)

図 4.2-6 グラニュールの構造

オーバーラップはアルゴリズム 2B31 において、1 グラニュールを出力するために 1 入力グラニュールのみをオープンすることを可能とする。2B31 が同地点の TMI と PR の観測を必要とするために、オーバーラップは不可欠である。これは、PR は直下方向 を観ており、TMI は直下から 49°ずれた方向を観ているため、同一地点の観測が約1分 ずれて行われることに起因している。オーバーラップを伴うプロダクト(1A11、1B11 及び 2A12)のフォーマットは、グラニュール間をまたがる同一ピクセルに対する均一 性より 1 グラニュール内の均一性の方が良いという仮定に基づいている。このため、 一つの軌道ファイルと一つの世界標準時相関係数(UTCF)が1 グラニュールに対して 使用される。同様に、校正はグラニュールの始点において開始し、10 スキャン以内に 満足できる値に達する。グラニュール方式を用いる有利な点は、1 グラニュール内は連 続であり、処理において1 グラニュールを出力するためには、1 グラニュールを入力す るだけで良いことである。欠点は、1 グラニュール中のあるピクセルがもう一つのグラ ニュール内の同一のピクセルとは異なる値、位置、及び時刻をもつ可能性がある点で ある。そのような相違が発生した場合、そのピクセルは、一つのグラニュールの中の オーバーラップ領域に存在する。TRMMの要求としては、位置と時間の誤差はそれぞ れ1km、1ミリ秒以下となっている。

レベル 1A において、各センサのパケットの前後にある ACS とセンサハウスキーピ ングパケットが確実に入っているように、余分(通常一つ)の ACS 及びハウスキーピ ングパケットが付加される。

4.2.3.6 グラニュール内のスキャン

1 グラニュール内の平均スキャン数は、構造図及び配列次元において n スキャンとして示される。VIRS 及び PR に関しては、n スキャンは一秒あたりのスキャン数(SS)

と平均一周回時間(SO)から次のように計算される:

 $n = SS \times SO.$

TMI に関しては、n スキャンは次のように計算される:

 $n = SS \times SO + 100$

ここで、各数値は以下の通りである。

]	センサ	スキャン/秒 (SS)	秒/周回 (SO)	n スキャン
	TMI	31.600 / 60	5490	2991
	VIRS	2 * 98.5 / 60	5490	18026
	PR	1 / 0.6	5490	9150

4.2.3.7 時刻

スキャン時刻と周回開始時刻がレベル 1A のヘッダー、メタデータ、及びオブジェク ト名称「Scan Time」の中に格納される。周回開始時刻は軌道データ及びあらゆるス キャンに対して共通な周回開始の定義に基づいて決定される。対照的に、スキャン時 刻は、個々の機器のスキャンに関連した時刻である。スキャン時刻は各サイエンステ レメトリパケット上にスタンプされた時刻タグである。特に、周回第 1 スキャン時刻 は、周回開始時刻、あるいはそれ以降に発生する、ある周回の最初のスキャンに対す るスキャン時刻である。レベル 1A のヘッダーは周回の最初の ACS パケットから求め られる世界標準時相関係数(UTCF)を格納する。UTCF は周回開始時刻を UTC から衛 星時刻へ変換するために利用される。通常のデータ処理において、UTCF、UTC でのス キャン時刻、及び衛星時刻でのスキャン時刻がレベル 1B 及びそれ以降の処理において 繰り返し利用される。UTCF が正しくないと発見された非定常ケースにおいては、修正 された UTCF がレベル 1B 及びそれ以降の高次プロダクトに格納され、さらに修正され た UTCF が使用されていることを知らせるためにセットされたフラグが格納される。 修正された UTCF が適用された時、衛星時刻スキャン時刻はどのプロダクトにおいて も同一であるが、UTC スキャン時刻は(1)レベル 1A と(2)レベル 1B 及びそれ以降 の高次プロダクトの間で異なる。レベル 1B 及び高次プロダクトの中の別のフラグがグ ラニュール内で閏秒が発生したかどうかを示す。

時刻は以下のフォーマットにおいて表現される:

(1) コアあるいは PS メタデータ、あるいはレベル 1A のヘッダーにおいて、UTC 時刻 は、日付、時刻、ミリ秒の 3 ワードで記述される。コアメタデータの開始終了時刻に 関しては、ミリ秒は省略される。

日付は以下の文字を用いた 10 文字列となる:

YYYY/MM/DD ここで、 YYYY = 年 MM = 月 DD = 日 "/" はそのまま

時刻は以下の文字を用いた8文字列となる:

HH:MM:SS

ここで、

HH = 時 MM = 分 SS = 秒 ":" はそのまま

ミリ秒は以下の文字を用いた3文字列となる:

MMM

ここで、

MMM = 最後の秒以降のミリ秒の数

(2) 1B11 及び 2A12 において、UTC 時刻は、年、月、日、時、分、秒に対してそれぞれ 別のワードに記録される。

(3) データの本体に含まれるスキャン時刻は、1日における UTC 秒で記録される。メタ データ内の UTC 日付と時刻は各スキャンに対して完全な日付と時刻を求めるためにス キャン時刻と組み合わせることが可能となっている。

(4) 衛星クロック時刻と UTCF は同一のフォーマットで表現される。

衛星クロック時刻は、オンボードの TRMM 衛星データシステム内のクロックカード の電源をオンにしてからの積算時刻カウントである。衛星時刻は UTCF を用いて UTC 時刻に変換される。UTCF と衛星時刻の合計は、仮に閏秒の日でさえ、1 日が正確に 86400 秒であると仮定すると 1993 年 1 月 1 日 00:00:00 (UTC)からの合計秒数を表現する 時間となる。この合計秒数を用いると 1993 年 1 月 1 日以降の日数を容易に計算するこ とができる。しかし、正確に時刻誤差を計算するためには、閏秒を考慮できるより複 雑な手法を用いることが必要である。

スキャン時刻は個々のサイエンスデータのスキャンと関連した時刻であり、各サイ エンステレメトリパケットに書かれたタイムタグである。サイエンステレメトリパ ケット毎に1スキャンがある。各 IFOV の時刻に対するスキャン時刻の関係はセンサ毎 に異なる。三つのセンサ機器のそれぞれに対するスキャン時刻と観測時刻の間の関係 が以下に示される。以下の記述において、T はサンプリング開始時刻であり、i は IFOV 番号である。

(1) PR に関して、その関係は下式のように報告されている。

T = Scan Time + 3.41 ms + (i-1) * 11.768 ms

ここで、

i = 1 ~ 49

(2) TMI に関しては、表 4.2-2 に示される関係式が報告されている。

チャネル	関係式	インデ゛ックス	サンプリング時間
1, 2	T=Scan Time+59.185 ms+(i-1)*6.600 ms	i = 1 ~ 104	6.304 ms
(10 GHz)			
3, 4, 5	T=Scan Time+125.544 ms+(i-1)*6.600 ms	i = 1 ~ 104	6.266 ms
(19, 21 GHz)			
6, 7	T=Scan Time+125.544 ms+(i-1)*6.600 ms	i = 1 ~ 104	6.304 ms
(37 GHz)			
8, 9	T=Scan Time+125.544 ms+1.650 ms+(i-1)	i = 1 ~ 208	3.004 ms
(85 GHz)	*3.300 ms		

表 4.2-2 TMI の関係式

(3) VIRS に関しては、以下の式が導きだされている:

T = Scan Time + 107.6 ms + (OFFSET + (i-1)) * Sample Time

主ィック

ここで、

i = 1, 261 Sample Time = 0.29157 ms OFFSET値は表4.2-3を参照

18 4.2-3	オノビジー値
チャネル	OFFSET
1	0

フカット値

2 1 1 1 1 1	OLIPPI
1	0
4	2
5	4
3	6
2	8

サンプリング時間の値(0.29157 ms)は、チャネル1のサイエンスデータの開始終了 時刻を用いて次のように求めることができる:

Sample Time = (183.7 ms - 107.6 ms) / 261

4.2.3.8 QAC エラータイプ

この1バイトのエラー情報は、不具合が検出された各パケットに対して、SDPF にお いて作られる。このバイトは8つのフィールドを含み、それぞれが1つのフラグと なっている(表4.2-4参照)。

ビット	エラータイプ
0	未使用
1	RSヘッダーエラー
2	データユニット長コード誤り
3	RSフレームエラー
4	CRCフレームエラー
5	データユニットシーケンスカウンタエラー / 不連続
6	データユニットの作成中に発見されたフレームエラー
7	データユニットがフィルデータを含む

表 4.2-4 エラーフィールド

4.2.4 TRMM データプロダクトの構造

本項では、TRMM データプロダクトの構造として、PR、TMI、VIRS、及び COMB に ついて概説する。なお CERES については"Data Management System Data Products Catalog"、" Algorithm Theoretical Basis Document CERES Algorithm Overview"、及び LIS に ついては"Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) For The Lighting Imaging Sensor (LIS)"を参照いただきたい。

4.2.4.1 降雨レーダ

ここで示す PR のプロダクト構造に使われているパラメータの値は以下の通りである。

<レベル1及びレベル2>

- nray = 49:アングルビン数
- ・nscan = 9150:1 軌道内のスキャン数(平均)
- ・ngeo = 2:ジオロケーションデータ数
- ncell1 = 80:レンジビン数(降雨強度推定値)
- ・mcell2 = 5: レンジビン数 (Z-R パラメータ)
- nmeth = 2:使用する処理方式数

<レベル3>

- nlat = 16:北緯 40°~南緯 40°の範囲における 5°間隔のグリッド数
- nlon = 72: 西経 180°~東経180°の範囲における 5°間隔のグリッド数
- nlath = 148:北緯 40°~南緯 40°の範囲における0.5°間隔のグリッド数
- nlonh = 720: 西経 180°~東経180°の範囲における0.5°間隔のグリッド数

- ・nh1 = 6: 地表面からの鉛直高度(2,4,6,10,15 km 及び全高度平均)
- ・nh2 = 3: 地表面からの鉛直高度(2,4,6 km)
- ・nh3 = 4: 地表面からの鉛直高度(2,4,6 km 及び全高度平均)
- ncat1 = 25: 度数分布におけるカテゴリー数
- ・ncat2 = 30: 度数分布におけるカテゴリー数

(1) 1B21 (受信電力)

1B21 は、PR の出力であるデジタルカウント値を受信電力値ならびにノイズレベル値 に変換したものである。また、受信電力値より Z 因子に変換する際の校正係数や緯度 経度情報が付加されている。

1B21 は HDF の Swath 構造で記述されている。 図 4.2-7 に 1B21 の構造を構成要素と そのサイズで示す。



図 4.2-7 PR 1B21 プロダクトの構造

(2) 1C21(レーダ反射因子(Z因子))

1C21 のデータ構造は 1B21 と同様である。ただし、標準サンプル、地表面エコー オーバーサンプル、降雨エコーオーバーサンプルについて、"見かけの"レーダ反射 因子(Z_m)が与えられる。

(3) 2A21 (地表面規格化散乱断面積)

2A21 は 1B21 の受信電力値から、陸上 / 海上、雨域 / 無降雨域に分類される地表面 の散乱断面積の時空間平均値である。

2A21 はは HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-8 に 2A21 の構造を構成要素 とそのサイズで示す。



図 4.2-8 PR 2A21 プロダクトの構造

(4) 2A23(降雨タイプの分類)

2A23 は、降雨強度プロファイル(2A25)の算出に必要となる降雨の有無及び高さ、 ブライトバンドの有無及び高さ、層状性降雨、対流性降雨等の降雨タイプの分類であ る。

2A23 は HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-9 に 2A23 プロダクトの構造を 構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-9 PR 2A23 プロダクトの構造

(5) 2A25(降雨強度プロファイル)

2A25 は 1C21、2A21 及び 2A23 を入力とし、海上 / 陸上、降雨タイプ等に応じて算出 した、降雨強度のプロファイル(降雨強度の分解能は水平 4 km、垂直 250 m)である。 また、高度 2 km 及び 4 km における平均降雨強度を含んでいる。

2A25 は HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-10 に 2A25 プロダクトの構造を 構成要素とそのサイズで示す。



第4章 TRMM プロダクトの概要

図 4.2-10 PR 2A25 プロダクトの構造

(6) 3A25 (降雨パラメータの月間統計値)

3A25 では、低水平分解能(緯度経度 5°x5°)と高水平分解能(緯度経度 0.5°x0.5°)に 対し、PR 測定値の月間平均を計算している。低分解能グリッドは Planetary Grid 1 構造 であり、降雨強度、レーダ反射因子、総降雨減衰量(PIA)等を含む各種降雨パラメー タの出現確率、平均値と標準偏差、度数分布、相関係数が与えられる。低分解能グ リッドは Planetary Grid 2 構造であり、各種降雨パラメータの出現確率、平均値と標準 偏差が与えられる。図 4.2-11 に 3A25 プロダクトの構造を構成要素とそのサイズで示す。

×	ECS Core Metadata 10,000 bytes		
	PS Metadata 10,000 bytes		
Data Granule	PlanetaryGrid 1		
-	PlanetaryGrid 2		
	GridStructure 5000 bytes		
	Rain Rate Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Rain Rate Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
,	Conv. Rain Rate Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Conv. Rain Rate Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Strat. Rain Rate Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Strat. Rain Rate Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Zm Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Zm Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Conv. Zm Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Conv. Zm Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Strat. Zm Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
PlanetaryOnd 1	Strat. Zm Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Zt Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Zt Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Conv. Zt Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Conv. Zt Dev. 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	Strat. Zt Mean 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
/// /	Strat. Zt Dev 1 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nhl
	PIA srt Mean 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
\	PIA srt Dev. 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
	PIA hb Mean 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
	PIA hb Dev. 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
	PIA 0th Mean 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
	PIA 0th Dev. 4 bytes	Array:	nlat x nlon x nang
	:		

Continued on next page

図 4.2-11 PR 3A25 プロダクトの構造

		pia2a25Mean	4 bytes	Array:	nlat x nlon x	nang
	7	pia2a25Dev	4 bytes	Array:	nlat x nlon x	nang
	//	Storm Height Mean	4 bytes	Array:	nlat x nlon x	3
		Storm Height Dev.	4 bytes	Array:	nlat x nlon x	3
		Xi Mean	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		Xi Dev.	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		NUBF Corr. Factor Mean	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		NUBF Corr. Factor Dev.	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		BB Height Mean	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		BB Height Dev.	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
PlanetaryGrid 1 (continued)		epsilonMeanl	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		epsilonDevl	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		SurfRainMean1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		SurfRainDev1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		bbZmaxMean1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		bbZmaxDev1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		bbwidthMean1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		bbwidthDev1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		sdepthMean1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		sdepthDev1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		surfRainAllMean1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
	```	surfRainAllDev1	4 bytes	Array:	nlat x nlon	
		:				
		Continued on next n	age			
		en ment p	0.			

図 4.2-11 PR 3A25 プロダクトの構造(続き)



図 4.2-11 PR 3A25 プロダクトの構造(続き)

	4	Storm Height Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		Conv. Storm Height Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		Strat. Storm Height Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		BB Height Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		Snow-ice Layer Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		Zm Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Conv. Zm Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Strat. Zm Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Zt Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Conv. Zt Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Strat. Zt Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Rain Rate Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Conv. Rain Rate Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
		Strat. Rain Rate Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nhl
Planatan Grid I		PIA srt Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nang
(continued)		PIA hb Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nang
		PIA 0th Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nang
		pia2a25H	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2 x nang
		Zm Gradient Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	a neat2 x nh2
		Xi Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		NUBF Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		ZPZM Hist.	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		bbZmaxH	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		epsilonH	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		surfRainH	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		surfRainAllH	2 bytes	Array:	nlat x	nlon x	ncat2
		RR Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon x	3
		Conv. RR Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon x	3
		Strat. RR Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon x	3
		Hgt. and Zm Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon	
		PIAs Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon x	nang x 3
		Xi and Zm Corr. Coef.	4 bytes	Array:	nlat x	nlon	

図 4.2-11 PR 3A25 プロダクトの構造(続き)

	GridStructure 50	000 bytes		
	Rain Rate Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Rain Rates Dev. 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
///	Conv. Rain Rate Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Conv. Rain Rate Dev. 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
/////	Strat. Rain Rate Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
///	Strat. Rain Rate Dev. 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
///4	Zm Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
///	Conv. Zm Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Strat. Zm Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Zt Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Conv. Zt Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Strat. Zt Mean 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Storm Height Mean	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x 3
	BB Height Mean	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainMean2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
PlanetaryGrid 2	bbZmaxMean2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	bbZmaxDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	sdepthMean2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	sdepthDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	stormHeightDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x $3$
	bbHeightDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainAllMean2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainAllDev2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	Total Pixel Number 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	Bright Band Pixel Number 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	wrainPix2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainPix2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	surfRainAllPix2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh
	Rain Pixel Number 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
	Conv. Rain Pixel Number 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3
•	Strat. Rain Pixel Number 2	4 bytes	Array:	nlath x nlonh x nh3

図 4.2-11 PR 3A25 プロダクトの構造(続き)

(7) 3A26 (統計的手法による月平均降雨強度)

3A26 では Multiple Threshold Method と呼ばれる統計的手法を用いて時空間領域(月間の 5°×5°グリッド)の降雨強度の統計値を算出する。出力プロダクトは時空間領域の降雨強度(高度:2 km、4 km、6 km、全高度平均)の確率分布関数の推定値とこの確率分布関数を用いて算出される降雨強度の平均値、標準偏差、確率分布である。このアルゴリズムに入力される高分解能降雨強度として 3 つの異なる方法によって推定されたものが用いられている。それらは、標準的な Z-R 関係(降雨減衰補正なし)、Hitschfeld-Bordan 法及び 2A25 の計算する降雨強度である。

3A26 は HDF の Planetary Grid 構造で記述されている。図 4.2-12 に 3A26 プロダクト の構造を構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-12 PR 3A26 プロダクトの構造

### 4.2.4.2 TRMM マイクロ波観測装置

ここで示す TMI のプロダクト構造に使われているパラメータの値は以下の通りである。

### <レベル1及びレベル2>

- ・npixel = 208:スキャン内の高分解能ピクセル数
- ・nscan = 2991:1 軌道内のスキャン数(平均)
- ・ngeo = 2:ジオロケーションデータ数
- ・nlayer = 14:鉛直層数

#### <レベル3>

nlat = 16:北緯 40°~南緯 40°の範囲における 5°間隔のグリッド数

nlon = 72: 西経 180°~東経180°の範囲における 5°間隔のグリッド数

(1) 1B11 (TMI 輝度温度)

1B11 は、幾何学補正及びラジオメトリック補正を施した TMI 輝度温度データである。 1B11 は HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-13 に 1B11 プロダクトの構造を 構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-13 TMI 1B11 プロダクトの構造

(2) 2A12 (TMI 降雨強度分布)

2A12 は、各ピクセル毎に 14 の鉛直層に対して与えられる、雲水量、雨水量、雲氷量、 雪水量、及び潜熱である。また地表面の降雨、対流性降雨やそれらの信頼性を示す指 標も含まれている。

2A12 は HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-14 に 2A12 プロダクトの構造を 構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-14 TMI 2A12 プロダクトの構造

(3) 3A11 (TMI 月積算降水量分布)

3A11は、海域における、5°×5°グリッドの月積算降水量分布である。

3A11 は HDF の Planetary Grid 構造で記述されている。図 4.2-15 に 3A11 プロダクト の構造を構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-15 TMI 3A11 プロダクトの構造

- 4.2.4.3 可視赤外観測装置
- (1) 1B01 (VIRS 放射輝度)

1B01 は幾何学補正及びラジオメトリック補正を施した VIRS 放射輝度データである。 1B01 は HDF の Swath 構造で記述されている。パラメータ nscan は 1 軌道におけるス キャン数であり 18026 (平均)に相当する。

図 4.2-16 に 1B01 プロダクトの構造を構成要素とそのサイズで示す。



図 4.2-16 VIRS 1B01 プロダクトの構造

## 4.2.4.4 複合センサ

(1) 2B31 (複合センサ降雨強度分布)

2B31 は、PR 及び TMI の 10 GHz チャネルデータを用いた、降水粒子直径の質量重 みづけ平均値の相関補正値、降雨減衰補正係数、総降雨減衰量、地表面降雨強度、及 びそれらの推定誤差である。

2B31 は HDF の Swath 構造で記述されている。図 4.2-17 に 2B31 の構造を構成要素と そのサイズで示す。なお、ここで示す 2B31 のプロダクト構造に使われているパラメー 夕の値は以下の通りである。

nray = 49:アングルビン数

- ・nscan = 9150:1 軌道内のスキャン数(平均)
- ・ngeo = 2:ジオロケーションデータ数
- ・Nradarrange = 80:レンジビン数



図 4.2-17 複合センサ 2B31 プロダクトの構造

(2) 3B31 (複合センサ月積算降水量分布)

3B31 は、TMI と PR の複合プロダクト(2B31)に含まれる PR の観測幅(215 km) のデータで作成された高品質のデータを用いて、TMI 2A12 プロダクトの広い観測幅 (760 km)のデータの校正を行った、地表面及び鉛直 14 層についての 5°×5°格子の月 積算降水量分布である。

3B31 は HDF の Planetary Grid 構造で記述されている。図 4.2-18 に 3B31 プロダクト の構造を構成要素とそのサイズで示す。なお、ここで示す 3B31 のプロダクト構造に使 われているパラメータの値は以下の通りである。

nlat = 16:北緯 40°~南緯 40°の範囲における 5°間隔のグリッド数

- nlon = 72: 西経 180°~東経180°の範囲における 5°間隔のグリッド数
- nlayer = 14: 鉛直層数



図 4.2-18 複合センサ 3B31 プロダクトの構造

(3) 3B42 (複合プロダクト1)

3B42 は、静止衛星等の赤外データより算出された 1°×1°グリッドの降水量分布に対して、TRMM 観測域においてバイアスが小さいと考えられる「TRMM 複合センサ」 データによる調整を施したものである。

3B42 は、HDF の Planetary Grid 構造で記述されている。図 4.2-19 に 3B42 プロダクト の構造を構成要素とそのサイズで示す。なお、ここで示す 3B42 のプロダクト構造に使 われているパラメータの値は以下の通りである。

nlat = 80:北緯 40°~南緯 40°の範囲における 1°間隔のグリッド数

nlon = 360: 西経 180°~東経180°の範囲における 1°間隔のグリッド数


図 4.2-19 3B42 プロダクトの構造

(4) 3B43 (複合プロダクト2)

3B43 は、全てのグローバルなデータソース、すなわち TRMM、調整済み赤外降水量 分布(3B42)、SSM/I マイクロ波観測データより算出した降水量分布、及び雨量計の データから作成した、TRMM 観測領域の中で「最良」の月積算降水量推定値である。

3B43 は、HDF の Planetary Grid 構造で記述されている。図 4.2-20 に 3B43 プロダクト の構造を構成要素とそのサイズで示す。なお、ここで示す 3B42 のプロダクト構造に使 われているパラメータの値は 3B42 と同様である。



図 4.2-20 3B43 プロダクトの構造

4.3 TSDIS ツールキット

サイエンスアルゴリズムのソフトウェア開発者用のツールキットは、サイエンスア ルゴリズムソフトウェアを TSDIS や EOC の計算機環境に容易に組み込むためのもので ある。サイエンスアルゴリズムのソフトウェアモジュールは、アルゴリズム開発者の 計算機環境である TSDIS 以外の計算機環境上でも開発され、その後、TSDIS システム、 テスト環境、運用生産環境への組み込みがなされる。

ここで、ツールキットは異なる計算機環境間の違いを解消するための橋渡しの役割 を果たし、各ユーザは修正無しに同じソースコードをコンパイルして実行できる。 ツールキットは複数の機能を有するライブラリのセットから成る。様々な環境に対す る機能の詳細は異なるものの、アプリケーションプログラムのインタフェースは各環 境で独立である。異なる環境で同一パラメータにより同一関数を呼ぶと、内部コード が異なっていても同一結果を生成する。環境間の違いをマスクする以外にも、ツール キットは TSDIS のシステム資源の扱いからソフトウェア開発者を分離する機能も供給 する。このため、開発者がどのように TSDIS 特有の資源を一貫して安全に使わなけれ ばならないかを知らなくとも済む。ツールキットは共通に使用される単一なソースも また供給する。サイエンスアルゴリズムソフトウェアは、多くの数学的、科学的そし て工学的な機能を使用し、これらは分離したライブラリに入れることができる。これ らのライブラリの使用によりアルゴリズムとアルゴリズムの処理結果の整合性を高め られる。

表 4.3-1 にツールキットのカテゴリーを示す。TSU-TSDIS ICS(インタフェース管理 仕様書)の Vol. 2 のツールキットユーザズガイドでは、使用ルーチンとそれらのコー リングシーケンスの詳細が記述されている。

ツールキットカテゴリー名	機能
I/O ツールキット	データとメタデータの読み / 書きを実行する。
数学的ツールキット	一般数学ルーチン
定数・変換ツールキット	定数、単位、データ、時刻変換を実行する。
ジオロケーションツールキット	画素のジオロケーション(地表の幾何学的位置)計算の
	実行
エラーハンドリング	一般エラー処理

表 4.3-1 ツールキットのカテゴリー

ツールキットの目的は、大きくわけて2つ存在する。

まず第1に、アルゴリズム開発者が使用するための共通関数、定数、マクロのセットを供給することである。これらの共通項目は、各アルゴリズム開発者が並行して コード開発する必要がないようにツールキットに準備されている。このことは、例え ば、各アルゴリズム開発者が彼ら自身の I/O ルーチンをコード化する必要を最小限に留 める。そのルーチンは、アルゴリズム開発者が彼らの研究所で容易に使用できるよう に設計されている。このことは、このルーチンが殆どのアルゴリズム開発者により使 用される基本的な機能を含んでいることを意味している。

ツールキットの第2の目的は、TRMM アルゴリズムを TSDIS 計算機環境へ容易に組 み込むことができるようにすることである。TSDIS は受け取ったアルゴリズムをブ ラックボックスとして扱うので、TSDIS とのインタフェースがアルゴリズム上、一貫 して定義されていることが必要である。

このように、ツールキット開発は TSDIS 計算機環境との相互作用において重要なこれらのルーチンに集中している。

ICS の 2 章で、開発されたツールキットルーチンのカテゴリを記述する。これらの ルーチンは各カテゴリー上で見出され、どのように使用されるかの一般的な概要を示 している。これは、同じく第 3 章では継続して、各ルーチン毎にどのようにそのルー チンを使用するのかという例を添えて説明されている。各々のルーチンのコーリング シーケンスに於いて、各パラメータを定義するパラメータ辞書も供給されている。こ のパラメータ辞書はアルゴリズム開発者が各パラメータが使用されているのがどこか を見出すのに利用される。ツールキットルーチンは ICS のリリース 2 の Vol. 3 (レベル 1 ファイル仕様) および Vol. 4 (レベル 2 と 3 のファイル仕様) に示されるファイル仕 様に基づいてコード化されている。

TSDIS ツールキットの現在のリリース (Release 5.7) では、DEC、SGI、SUN と HP のプラットフォームがサポートされている。

本節では、TSDIS のツールキットルーチンに対する簡便な紹介を行うものであり、 以降の項においては、表 4.3-1 に示した 5 つのカテゴリーのうち、I/O ツールキット、 定数・変換ツールキット、ならびにジオロケーションツールキットの概要を紹介する。

なお、ツールキットに関する最新情報は、TSDIS のツールキットホームページ (http://www-tsdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdistk.html)内の「Toolkit Fast Fact Information」か ら提供される。

4.3.1 I/O ツールキット

入出力ルーチンは、アルゴリズム開発者が TRMM データにアクセスすることが容易 になるように設計されている。これらのルーチンは、ファイルアクセス、スキャンラ インアクセス、グリッドアクセス、L1 GV データアクセス、メタデータアクセス、 ヘッダアクセスにクラス分けされる。 ファイルアクセス: Tkopen, TKseek, TKclose, TKendOfFile TKopen は読み書きのため、ファイルを開く。 TKclose はファイルを閉じる。 TKseek はファイルの中で、特定のスキャンへポインタを移動する。 TKendOfFile はファイルの最後に来た時、通知する。

データアクセス(スキャン):TKreadScan, TKwriteScan TKreadScan はスキャン形式の衛星プロダクトを含むファイルからスキャン毎の データを読み出す。 TKwriteScan はスキャン形式の衛星プロダクトを含むファイルへ、スキャン毎の データを書き出す。

データアクセス(グリッド):TKreadGrid, TKwriteGrid これらのルーチンは格子データ形式の衛星データプロダクトであるレベル 3 プロ ダクトと、レベル 2 と 3 の GV (地上検証)プロダクトのデータを読み書きする。

データアクセス(L1 GV): TKgetNvos, TKgetNsensor, TKgetNparam, TKgetNcell,

TKgetNray, TKgetNsweep, TKsetL1GVtemplate, TKreadL1GV, TKwriteL1GV,

TKreadL1GVparm, TKreadL1GVdate, TKreadL1GVbyVosNum, TKfreeL1GV

これらのルーチンはレベル1GV プロダクトにアクセスする。

TkgetNxxx ルーチンはグラニュールに関する情報を提供する。

TKsetL1Gvtemplate は出力データプロダクトに対するテンプレートを作成する。

TKreadL1GVとTKwriteL1GVはレベル1GVデータを読み書きする。

TKreadL1Gvparm は特定のパラメータを有する VOS を読む。

TKreadL1Gvdate はあるグラニュール内の VOS の全ての開始・終了時刻を読む。

TKreadL1GvbyVosNum はユーザ指定の VOS 番号を有する VOS を読む。

TKfreeL1GV はユーザが割当てた VOS 構造に関係するメモリをフリーにする。

メタデータ: TKreadMetadataChar, TKwriteMetadataChar, TKreadMetadataFloat,

 $TK write Metadata Float, \ TK read Metadata Int, \ TK write Metadata Int$ 

キャラクタ、浮動小数点、整数データタイプに対しては、それぞれのメタデータ ルーチンがある。

TKreadMetadataTYPE ルーチンは単一のメタデータ要素を型変数へ読み込む。 TKwriteMetadataTYPE ルーチンは単一のメタデータ要素をあるファイルへ書き出す。 メタデータは内部的にはキャラクタとして保持されるので、これらのルーチンは 適切なタイプへの変換を行うものである。

ヘッダアクセス:TKreadHeader,TKwriteHeader,TKcopyScanHeader

TKreadHeader と TKwriteHeader は PR 1B21 および 1C21 プロダクトの ray ヘッダ、 ならびに 2A25 のクラッタフラグを読み書きする。 TkcopyScanHeader は特定の入力グラニュールから特定の出力グラニュールへ swath データの要素をコピーする。

4.3.2 定数・変換ツールキット(TKconstant.h)

定数および変換因子のツールキットは、地球半径のような物理定数、角度とラディアンの変換係数、ECS PGS ツールキットからの時間変換ルーチンなどで構成される。

4.3.3 ジオロケーションツールキット

ジオロケーションツールキット(Geolocation Toolkit)は、観測点の経緯度算出を行う 為のツールである。ツール内のモジュール構成を表 4.3-2 に示す。

モジュール名	処理概要							
GEOinitGeolocation								
GEOgetModelParams	センサや地球のモデルパラメータを読み込む。							
GEOcreatIFoV	1 スキャンのすべての pixcel(アングルビン)に対する単位 IFoV ベクトル(ビーム方向ベ							
	クトル)のテーブルを算出する。							
GEOreadEphem	GCI ( geocentric inertial ) 座標系で orbit start time の衛星位置・速度ベクトルを算出する。							
GEOgetOrbElem	orbit start timeの衛星位置速度ベクトルからケプラー軌道6要素を算出する。							
GEOprocessGeolocation								
GEOreadACSData	与えられたスキャン時刻に一番近い時間の ACS データパケットを L1A ファイルから抽出							
	する。							
GEOgeolocation Scan	1 スキャンの幾何計算を以下のモジュールにそって行う。							
GEOreadEphem	補間ルーチンを使用し、GCI (geocentric inertial)座標系でスキャン開始時の衛星の位置・							
	速度ベクトルを算出する。							
GEOnadirtoGCI								
	トルを算出し、Nadir / GCI 変換行列を算出する。							
GEOcalculateGHA	必要な時間のユリウス暦から章動を考慮したグリニッチ時角を算出する。							
GEOelipsx	GCI 系で表した Nadir Z方向ベクトルと衛星位置ベクトルから衛星レンジ(衛星高度)を求							
	め、観測位置ベクトルを算出する。							
GEOconv2ECoords	WGS-84系表現でアングルビン番号1のときの衛星位置の緯度経度を算出する。							
GEOextractAttd	衛星 / ACS 変換行列、ACS / Nadir 変換行列を求め、Nadir / GCI 変換行列とあわせて衛星							
	/ GCI 変換(姿勢)行列を算出する。							
matmpy	姿勢行列とアライメント行列からセンサ / GCI 行列を算出する。							
GEOearthLocate	ビーム方向ベクトル(センサ系)をセンサ / GCI 変換行列を用いてビーム方向ベクトル							
	(GCI系)に変換する。これと衛星位置ベクトルから衛星レンジを算出する。GCI系で表							
	したビーム方向ベクトルと衛星位置ベクトルと衛星レンジから観測位置ベクトルを求め、							
	WGS-84 系表現で各アングルビンの観測位置の緯度経度を算出する。							
GEOgetSatZeAz	衛星位置を天頂角、方位角で表す。また GCI 系で表した観測点における垂直、北、東成分							
	の単位ベクトルを求める。							

表 4.3-2 モジュール構成

4.4 OrbitViewer

OrbitViewer は、NASA の TSDIS において開発された TRMM 専用の可視化ツールであ り、TSDIS および NASDA EORC のホームページから無料で提供されている。オリジナ ルのバージョンでは、別途 IDL を購入する必要があったが、IDL のランタイムライブラ リを組み合わせて、単体で動作するように改良されたバージョンも同時に提供されて いる。

現在、以下のサイトから OrbitViewer が入手可能である。

EORC (URL: http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM)

ランタイム版 (UNIX 版、Windows 版)

TSDIS (URL : http://tisdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/)

オリジナル版(UNIX版)、ランタイム版(Windows版)

Orbit Viewer は、TRMM データ専用に作られているため、TRMM データを取り扱うに あたって、操作が非常に容易であることが特徴である。1 ファイルに対応する 1 軌道を 全球マップ上に表示したり、特定地域の拡大、特定高度の断面図等を表示することが できる。



(a) 平面画像表示

(b) 鉛直断面表示



5 地球観測情報システムのデータサービス

地球観測情報システム(EOIS)は、地球観測データの利用促進を目的として、地球 観測データのカタログ情報サービス及びプロダクト提供を行うユーザフロントエンド システムである。ユーザは、インターネットを利用して、EOIS が提供する各種のサー ビスをオンラインで受けることができる。

5.1 EOIS 提供サービスの概要

EOIS から提供されるサービスの概要について以下に示す。なお、ツール毎に利用できるサービスが異なる。

ここで、各ツールの概要及び EOIS へのアクセス方法等については 5.4 節に示す。



ADS :ガイド情報サービスサイトより利用可能

ORFO: 観測計画サービスサイトより利用可能

DRS : オンラインデータ提供サービスサイトより利用可能

図 5.1-1 EOIS 提供サービス一覧

なお、図 5.1-1 にあるように、各種のサービスは、EUS/WWW、ADS、OREQ、DRS 等の異なるシステム / サーバから提供されるが、ユーザはこれを特に意識する必要は なく、それぞれの URL (5.4.1 項参照) にアクセスすることで、サービスを利用するこ とができる。また、EUS/GUI は PI へのみ提供される。 5.2 カタログ情報サービス

5.2.1 インベントリ情報

TRMM データシステムで処理する標準処理プロダクトのカタログデータを作成し、 ユーザに提供する。EOIS で管理・提供する TRMM のインベントリ情報を表 5.2-1 に示 す。なお、EUS/GUI または EUS/WWW を利用して、EOIS 経由で EOSDIS に保存され る NASA の TRMM 科学データ情報システム (TSDIS)の処理結果に対するカタログ データを検索することができる。

カタログ情報はインベントリ情報とも呼ばれ、地球観測データの標準プロダクトの 衛星名、センサ名、観測日時、観測地域、データセット名等の文字情報で構成される。

表 5.2-1 EOIS で管理・提供する TRMM のインベントリ情報

÷ •	
センサ	プロダクト
PR	1B21, 1C21, 2A21, 2A23, 2A25, 3A25, 3A26
TMI	1B11, 2A12, 3A11
VIRS	1B01
COMB	2B31, 3B31, 3B42, 3B43
<b>N A N N N N</b>	

注:インベントリ情報はフルシーンのみに対応

#### 5.2.2 画像カタログ

TRMM データシステムの標準処理プロダクトの画像カタログデータをユーザに提供 する。画像カタログデータは、TRMM データシステムにおいてブラウズ用に処理した 間引きデータを EOIS の画像カタログデータ伝送サブシステムにて可視化したものであ る。なお、本サービスは EUS/WWW あるいは EUS/GUI で利用できる。

画像カタログデータのフォーマットは、JFIF (JPEG File Interchange Format)、サイズ は 1000×1000 ピクセル程度であり、対象となるプロダクトの種類は PR の 1C21 及び 2A25 である(表 5.2-2)。

	-	
センサ	レベル	概要
PR	1C21	レーダ反射因子を水平分解能 10 km×10 km、垂直分解能 500 m で、
		TRMM の地上軌跡を中心に 3 本の走査幅のカラーデータとして表示
		・高度 2 km の水平断面図
		・高度 4 km の水平断面図
		・直下方向の鉛直断面図
	2A25	上記のレーダ反射因子のかわりに同様の形式にて、降雨強度を表示

表 5.2-2 公開する TRMM 画像カタログデータ

#### 5.2.3 ガイド情報

一般ユーザは、WWW ブラウザを使用してインターネット経由で表 5.2-3 に示される ガイド情報(TRMM 可視化画像)を利用することができる。

ガイド情報は、EOC が所有する地球観測衛星データの画像カタログの一部を閲覧で きるようにしたものであり、EOC のホームページで公開される。

K3.23 AMJ 87					
センサ	レベル				
PR	1C21, 2A25 (一部)				

表 5.2-3 公開するガイド情報(TRMM 可視化画像)

#### 5.3 データ提供

TRMM データシステムにおける標準処理結果及び EOIS に保存される TSDIS 処理結 果について、ユーザからの注文に応じて、8 mm テープまたは CD-ROM にて提供する。 フォーマットは、HDF が使用される。

TRMM の PI は、EUS/GUI または EUS/WWW を利用することで、オンラインでの データ注文、並びに EOC におけるその処理状況の検索を行うことができる。

5.3.1 データの注文方法

TRMMのデータ提供は、シーンオーダとスタンディングオーダの2つの方法で行う。

PIへの TRMM データの提供は、通常、スタンディングオーダで受け付けるものとし、 緊急の場合等スポット的な要求についてはシーンオーダにて受け付ける。一方、一般 ユーザはシーンオーダ及び PR 2A25 のスタンディングオーダが利用可能である。

(1) シーンオーダ

必要なシーン及びプロダクトを一意に指定して注文要求を行う。シーンオーダでは 既に処理済みデータが存在するものが提供の対象となる。また、1 パス/1 シーンのフ ルシーンデータの他に、日本近海の固定域、10 度の経度毎にデータを分割した、サブ シーンの提供がある。対象プロダクトを表 5.3-1 に示す。

センサ	シーン種別	プロダクト
PR	フルシーン/固定域サブシーン*/サブシーン**の選択可	1C21, 2A25
	フルシーンのみ	1B21, 2A21, 2A23, 3A25, 3A26
TMI	フルシーン/サブシーンの選択可	1B11, 2A12
	フルシーンのみ	3A11
VIRS	フルシーン/サブシーンの選択可	1B01
COMB	フルシーン/サブシーンの選択可	2B31
	フルシーンのみ	3B31, 3B42, 3B43

表 5.3-1 シーンオーダにより提供する TRMM プロダクト

*固定域サブシーン:日本上空付近となる東経 80~160 度、南緯 5 度~北緯 35 度で切り出した範囲 **サプシーン:経度方向 10 度毎に切り出した範囲

#### (2) スタンディングオーダ

スタンディングオーダでは、取得または作成される予定の(未来の)データに対す る予約注文が中心となる。あらかじめ受け付けたおいた注文の条件に合致するプロダ クトが作成されると、提供媒体に該当のデータを格納して、データが提供される。ス タンディングオーダの対象プロダクトは、表 5.3-1 のプロダクトに CERES と LIS を加 えたものとなる。なお、CERES と LIS については、NASA が作成したプロダクトが格 納された媒体(全ての処理レベルのデータを含む)のデットコピーとなる。

(3) 注文指定項目

TRMM データの提供を依頼する際に、指定する項目を表 5.3-2 及び表 5.3-3 に示す。 また、注文時に記入する生産依頼内容記入用紙の例を図 5.3-1 に示す。

	指定項目	内容
観測日		観測日を指定
処理レベル		処理レベルを指定
データセット名		データセット名を指定
シーン種別		フルシーン、固定域⁵⁴、サブシーンの中から 1 つを選択
シーン番号	*1	シーン番号を指定
サブシーン番号	*2	サブシーンを注文する際、サブシーン番号を指定
マルチファイルグループ		マルチファイルを希望する場合、そのグループ番号を指定
グループ内順序	*3	マルチファイルを希望する場合、グループ内の格納順番を指定
提供品		提供媒体(8 mm、CD-ROM の中から 1 つ)を選択
データコード		提供品のデータコード*5を記入
プロダクトバージョン		プロダクトのバージョンを指定(未記入時は提供可能な最新版)
員数		希望するデータの個数を指定

表 5.3-2 シーンオーダ時の指定項目

:必須項目、 :指定可能項目

*1:各パスを特定する番号(衛星の通算周回数)

*2:サブシーンを選んだ場合のみ指定可能

*3:マルチファイルグループを指定した場合のみ指定可能

*4:PR1C21、2A25のみ指定可能

*5:媒体種別、データフォーマット等をコード化したもの

	指定項目	内容
観測日(開始)		提供を希望する最初の観測日を指定
観測日(終了)		提供を希望する最後の観測日を指定
処理レベル		処理レベルを指定
データセット名		データセット名を指定
シーン種別		フルシーン、固定域*²、サブシーンの中から1つを選択
サブシーン番号の範囲	* 1	サブシーンを注文する際、サブシーン番号を指定
サブシーン緯経度の範囲	* 1	サブシーンを注文する際、サブシーン緯経度を指定
提供単位		提供単位(1日、10日、1ヶ月の中から1つ)*3を選択
提供品		提供媒体(8 mm、CD-ROM ^{*₄} の中から1つ)を選択
データコード		提供品のデータコード*5を記入
プロダクトバージョン		プロダクトのバージョンを指定(未記入時は提供可能な最新版)
員数		希望するデータの個数を指定

表 5.3-3 スタンディングオーダ時の指定項目

:必須項目、 :指定可能項目(なお、CERES 及び LIS については、「観測日(開始)」、「観測日(終了)」、「処理レ ベル」以外の項目は指定することができない)

*1:サブシーンを選んだ場合、「サブシーン番号の範囲」または「サブシーンの緯経度の範囲」のどちらか一方を指定する

*2:PR 1C21、2A25 のみ指定可能

*3: PR 2A25 のフルシーン時のみ指定可能、その他の場合は原則、暦の月単位に固定(配布契約に基づく場合は、10日あるいは 1ヶ月単位も選択可能)

*4: PR 2A25 のフルシーンの1日単位での提供に対してのみ CD-ROM を選択可能

*5:媒体種別、データフォーマット等をコード化したもの

枝番	衛星	センサ	観測日	観測日			処理レベル				データセット名				
	T1	PR					1B	1C	2A	3A		21	23	25	26
マルチファイ グループ グループ内 格納順番	1		シ 種 ン		フルシーン 固定域 サブシーン	シ	ーン番り	Ч,			サブシ	ーン番	:号 ^{(サブS}	/ーンの場合	<b>∃のみ</b> )
提供品	CD-RC	DM 8	3mm	オンライン	ע ע	デ	ータコー	- F			員数				
備考															

## 図 5.3-1 生産依頼書例(TRMM PR シーンオーダ用)

5.3.2 データ提供の流れ

TRMM プロダクトのユーザからの注文から提供までの流れは以下の通りであり、概略を図 5.3-2 に示す。

ユーザは生産依頼書によりデータ注文を行う。PI については EUS/GUI または EUS/WWW を利用してオンラインでのシーンオーダも可能となっている。

注文は NASDA の承認を得て、作業指示が出される。

注文に応じ、当該の処理済みデータが媒体へ記録され、ユーザへ発送される。

ここで、提供データの元となる TRMM の処理済みデータは、全て計画生産において 作成され、媒体に記録、保存されている。



図 5.3-2 TRMM データの注文からデータ提供までの流れ

5.3.3 TRMM 提供媒体

TRMM の各種提供品の作成は下記の通り実施される。

表 5.3-4 に TRMM の成果品の提供可能媒体を示す。なお、提供品のフォーマットは HDF のみである。

- (1) PR、TMI、VIRS、COMBの提供品はマスタと同一のフォーマットとし(フォーマット変換等の処理は行わない)、プロダクト毎(センサ、処理レベル、データセット 種別、フルシーン / サブシーンの種類)に提供品を作成する。
- (2) CERES、LIS は NASA から受領する単位で提供品を作成する(8 mm のデッドコ ピー)。
- (3) 提供品の提供媒体としては 8 mm、及び CD-ROM がある。
- (4) 注文において指定されたバージョン、あるいは、未指定時は処理が完了している最 新バージョンの処理済みマスタデータを使用して提供品を作成する。

センサ	シーン	オーダ	スタンディ	ングオーダ
	8 mm	CD-ROM	8 mm	CD-ROM
PR				*
TMI				×
VIRS				×
COMB				×
CERES	×	×		×
LIS	×	×		×

表 5.3-4 TRMM 提供可能媒体一覧

:提供、×:提供しない

*: PR 2A25 のフルシーンデータの1日単位のデータ提供のみ

5.3.4 オンラインデータ提供

登録されたユーザに対しては、表 5.3-5 に示す低容量データをインターネット経由で 提供するサービスを実施する。

ここで提供されるデータは、最新の1ヶ月分のデータが対象であり、1ヶ月を経過し たそれ以前のデータは、自動的に提供用サーバから消去されることになっている。

また、EUS/GUIを利用してデータ注文を行える特定のユーザ(PI)は、注文した データを本機能により取得することが可能となっている。

10.00		
センサ	処理レベル	プロダクト
PR	1C 21	固定域サブシーン*、サブシーン**
	2A25	固定域サブシーン、サブシーン
	3A25	全球データ
	3A26	全球データ
ТМІ	1B11	サブシーン
	2A12	サブシーン
VIRS	1B01	サブシーン
COMB	2B31	サブシーン
	い、日本上の付近したてる	

表 5.3-5 インターネット経由で提供する低容量データ

* 固定域サプシーン:日本上空付近となる東経 80~160 度、南緯 5 度~北緯 35 度で切り出し た範囲

** サブシーン:経度方向10度毎に切り出した範囲

5.4 EOIS オンラインサービスの利用

5.1 節に示した EOIS の提供サービスは、以下に示すツールを通して、利用することが可能となる。

5.4.1 WWW ブラウザ

WWW ブラウザを利用したインターネット経由で利用できるサービスの概要を以下 に示す。

(1) EUS/WWW ベースのサービス

ユーザは、WWW ブラウザを用いてインターネット経由で、以下のアドレスにアク セスすることで、カタログ検索、画像カタログ検索等のサービスを利用することがで きる。なお、EUS/WWW から提供されるデータ注文サービスは PI のみ利用可能となる。

• EUS/WWW O URL : http://eus.eoc.nasda.go.jp/



(2) ガイド情報サービス

全てのユーザは、WWW ブラウザを用いてインターネット経由で、以下のアドレス にアクセスすることで、ガイド情報(可視化画像)を閲覧することができる。

・ガイド情報サービスの URL: http://www.eoc.nasda.go.jp/www/index_j.html



5-8

(3) オンラインデータ提供サービス

登録ユーザは、WWW ブラウザを用いてインターネット経由で、以下のアドレスに アクセスすることで、低容量データの提供サービス(FTP によるダウンロード)を受 けることができる。

なお、未登録ユーザも本ホームページから、ユーザ登録を行うことができる。

・オンラインデータ提供サービスの URL: http://drs.eoc.nasda.go.jp/



図 5.4-3 オンラインデータ提供サービスのページの画面イメージ

また、EUS/GUIを利用してデータを注文した PI は、注文したデータを本ページから 取得することが可能となっている。

(4) 観測計画サービス

全てのユーザは、WWW ブラウザを用いてインターネット経由で、「観測要求受付 システム(OREQ)WWW サービス」(観測計画)サイトにおいて、観測計画を閲覧す ることができる。実際には、前述の EUS/WWW(URL は(1)を参照)のサイトにログイ ンした後、観測計画サイトに移動する。

	1 ②戦戦軍発行(2.7人) 日前															
	<b>4</b> 85	)) 200	×		0	1 1-1	080.0		20 21 - 10-							e
	ar e sa a 🔞 http://www.eveneta.go.jp/nerged1.com/9802.2012.0004															
4	Merc		-													
NUM	1-988 8240	ı.	福祉18年時世生も広外も385.17支まい													
1	$-2^{\alpha}r^{\alpha}h^{\beta}h$			<b>1</b> 522	6 AL (1823	0		LANCE	AT-7 -							
1.88	7000110			<del>8</del> 34	7 6 <b>6</b> 6	880		ET H+								-
1363	anti-suo cito suo		II							1998	1-118-7					-
100	nan Le										Come	oon-Bete				
100				Na.	View	Status	Setellite	Sensor	Start_Date	Stort_Time	End_Dete	End_Time	Stort_RSP	End_RSP	Start_Lot Start_Long	End_Lot End_Long
	÷-953			1	-	1120+	TRHH	PR	20010101	02:30:14	20010101	02:32:10	-	-	-21.03 119.96	~17.20 194.98
0.00	0850			2	-	日香中	TRMM	PR	20010101	02:32:11	20010102	01:18:27	-	-	-17.11 125.97	-23.92 123.96
				τ		日間中	TREE	PB	20010103	05-18-28	20010103	01-20-40	-		-23.30	-19.37
	a com	48.215														P (0)

図 5.4-4 観測計画サービスページの画面イメージ

(5) スタンディングオーダ状況確認サービス

全てのユーザは、WWW ブラウザを用いてインターネット経由で、以下のアドレス にアクセスすることで、スタンディングオーダに関する、プロダクトの生産状況を閲 覧することができる。

・スタンディングオーダ状況確認サービスの URL:

http://www.eoc.nasda.go.jp/www/guide/status j.html



図 5.4-5 スタンディングオーダ状況確認サービスページの画面イメー

5.4.2 EUS/GUI

EUS/GUIは、EOCのサーバで提供される各種サービスをGUI操作環境で利用するための総合オンライン情報サービス用ソフトウェアである。なお、EUS/GUIの入手問い合わせ先は、RESTECのオーダデスク(付録2参照)となる。

ユーザは、EUS/GUI から利用したいサービスを選択し、検索条件等のパラメータを 入力して検索要求を送信することにより、各サーバから検索結果を受信し、表示させ ることができる(図 5.4-6 参照)。

また、PI 等の特別に許可されたユーザは注文要求を送信することができる。

現在、動作する EUS/GUI のソフトウェアは EUS/PC Ver. 3.x (Windows 95、Windows 98、Windows NT4.0 上で動作)となる。EUS/PC Ver. 2.x を所有している場合は、バージョンアップが必要となる。

EUS/GUI が提供する機能の概要は以下の通りである。

(1) カタログ情報検索

標準プロダクトのカタログ情報の検索を行うことができる。

検索キー項目としては、観測日(期間)、緯度経度、データセット名、衛星名、センサ名その他オプションの検索キーが用意されている。

(2) 画像カタログデータ検索

標準プロダクトの画像カタログデータを検索し、画像表示を行うことができる。表示に際しては、以下の表示が可能である。

- ・拡大、縮小、移動表示
- ・エンハンス表示
- ・シュードカラー表示
- ・バンド切り替え表示
- ・緯経線オーバーレイ
- ・複数データ表示
- ・レベルスライス表示
- ・画像位置情報表示
- ・レイヤ表示 (重ね合わせ表示)

また、後述するカスタマイズ機能により、ユーザ独自のビューワを使用したり、画 像カタログのプリントを行うことができる。 (3) 地図表示

世界地図または日本地図を表示し、各シーンのカバレッジの各種検索結果を描画で きる。地図投影法としては等割円筒図法、ポーラステレオ図法が選択できる。描画可 能な情報は以下の通りである。

- ・インベントリ検索結果
- ・観測要求地点
- ・地図上での範囲指定等
- (4) 注文要求(注文要求は許可されたユーザのみが実行できる)

カタログ情報検索結果を基に標準プロダクトの注文を行うことができる。注文内容 はオンラインでサーバに送信するとともに注文シートとしてプリント出力することが できる。

(5) 要求ステータス検索

自分の要求した注文要求の受付状態や作業の進捗度合いを示すステータス情報の検 索を行うことができる。

(6) カスタマイズ

アクセスするゲートウェイの選択、画像ビューワやカラープリンタの設定等、 EUS/GUIのカスタマイズを行うことができる。



図 5.4-6 EUS/GUI 概要

## 5.4.3 サービス制限

EOC で提供される各種オンラインサービスを利用するにあたり以下の制限がある。

EUS/GUI 機能制限 サーバによるサービス制限

(1) EUS/GUI 機能制限

EUS/GUI は、起動時に行う認証処理により利用ユーザを識別し、ユーザに許可されたサービスのみ操作可能となる様、機能のマスキングを行う。これにより当該ユーザに割り当てられたサービスにのみアクセス可能となる。

(2) サーバシステムにおけるサービス制限 EOC で提供するサービスは、特定情報について開示制限を行う場合がある。 このようなサービス制限はサービスの種類により異なるため、各サービスを提供しているサーバシステムにて行う。 個々のユーザ毎にサービス開示制限を行うために、EUS/GUIからサーバへ伝送する 要求メッセージの中にはユーザ名が設定される。

なお、ユーザによりサービス範囲の異なるサービスは以下の通りである。

インベントリ情報サービス 標準プロダクト注文受け付けサービス 画像カタログサービス

# 6 打ち上げ後の状況・成果と将来計画

TRMM 衛星は 1997 年 11 月に打ち上げ以来、現在までに種々の成果が報告されている。ここでは、軌道上初期チェックアウト・校正検証結果、各種成果等について、PR に関する情報を中心に紹介する。

また、TRMM が期待以上の順調な成果を上げていることも幸いして、TRMM の後継機に関する将来計画について活発な検討が実施されている。将来計画に関する現在の動向についてもあわせて以下に報告する。

なお、打ち上げ以降、現在までの主要イベントを以下に示す。

時	期(日本時間)	イベント
1997 年	11月28日	種子島宇宙センターから H-II ロケット 6 号機に
		より打ち上げ
	12月1~2日	PR の電源投入、初期機能確認の実施
	12月4日	投入軌道 380km から観測軌道 350km への軌道変
		換
	12月8日	PR の初期チェックアウト開始
	12月9日	PR の初画像を取得
	12月17日	PR、TMI、LIS の初画像をプレス発表
1998 年	1月中旬	PR の初期チェックアウトを完了
	5月22日~6月3日	石垣・宮古 TRMM キャンペーン実験の実施
	6月1日	TRMM データの一部(レベル 1)提供を開始
	9月1日	全レベルの TRMM データの提供を開始
1999 年	5月10日~6月9日	石垣・宮古 TRMM キャンペーン実験'99 の実施
	11月	Ver. 5 データ処理開始
2000 年	9月12日	EORC において、TRMM で観測された降水量や
		海面水温などの画像データの準リアルタイム画像
		配信サービスを開始
	11月28日	TRMM 打上げ 3 周年記念シンポジウム開催
2001 年	1月31日	当初予定ミッション達成、後期運用開始

表 6-1 TRMM 打ち上げ以降の主要なイベント

## 6.1 軌道上初期チェックアウト結果

TRMM 衛星のフェアリングの開頭後、TDRS との通信回線を確立して衛星が正常であることを確認し、ロケットから分離、引き続き自動シーケンスによる太陽電池パドルの展開、三軸姿勢確立等が正常に実施された。その後、TRMM バス機器のチェックアウトが行われた。

¹残燃料から、さらに3年程度の運用が見込まれている。

降雨レーダは、1997年12月1日(日本時間、以下同じ)に軌道上で初めて電源を投入し、2日間かけて初期機能確認として全コマンド動作と全テレメトリデータが正常であることを確認した。

そして、12月4日から投入高度380 km から観測高度350 km への軌道変換マヌーバ が行われ、高度350 km になったことを確認した後の12月8日午前5時45分に降雨 レーダを観測モードに設定し、同時に降雨レーダの初期チェックアウトを再開した。

能動型レーダ校正器(ARC)による降雨レーダの性能確認を含めた初期チェックアウトを1998年1月中旬に無事に終了した。

なお、初期チェックアウト再開後の 1997 年 12 月 9 日に、沖縄域の降雨の上空並び にニュージーランド北東でサイクロン(パム)の上空を通過した時に観測された降雨 観測データを初画像として、12 月 17 日に記者発表した(図 6.1-1 参照)。

図 6.1-1(1/2)では、サイクロン周辺の降雨の微細構造が広範囲にわたり明瞭に観測されている。サイクロン内部の降雨の構造が観測されていて、中心付近の壁雲付近で高い高度まで強い降水があるのがわかる。

降雨レーダは鉛直分解能 250 m、水平分解能約 4 km と設計されており、これらの画 像にはその性能が現れている。衛星搭載型である TRMM の降雨レーダでは地上レーダ とは異なり、距離により分解能の差がほとんどないという利点がある。さらに、陸に 近い降雨は地上設置のレーダで観測できるが、洋上の降雨は衛星ゆえに観測が可能と なる。また、これまでの気象衛星では、雲の頂上付近しか観測できなかったのに対し て、雲内部の降雨の 3 次元構造を測定できることがこのレーダの大きな特長である。



GOES IR 18:00(UTC) by JWA

降雨の3次元構造



図 6.1-1(1/2) 降雨レーダの初画像



GMS IR 18:00 (UTC) by JWA





### 6.2 PR 校正検証結果

降雨レーダの外部校正については通信総合研究所関西支所に設置されているレーダ 校正器によって受信感度が定期的に校正されている。

現在、TRMM レーダの状態は非常に良く、またその技術的な校正も内部校正、能動型レーダ校正器、さらに無降雨時の海面散乱強度などから 1 dB 以内で信頼できるとの結果が得られている。さらに、地上レーダと異なり、異常伝播やクラッターの影響が小さくデータが非常にクリーンであるという特徴も確認された。

一方で、レーダの感度は限界があり弱い降雨が観測から漏れてこれが降雨統計にも 数パーセントの誤差を含む可能性のあること、また上空の弱い降水粒子層を十分には 観測できないらしいことなどの問題が指摘されている。また、クラッターにもアンテ ナサイドローブの影響と思われる極く弱いエコーが認められている。しかしながら、 これらは素性が知れており、現アルゴリズム(Ver. 5)ではクラッター除去処理が行わ れている。これらから、TRMM レーダのデータの質は地上レーダなどと比較しても良 いと考えられる。

しかしながら、技術的校正では 1 dB 以下の精度は困難と思われる。その一方、レー ダ反射因子の 1 dB は 15 %程度の降雨強度の差を引き起こす。誤差がランダムならば多 くのサンプルの平均により誤差軽減が可能であるが、バイアス誤差については、検証 側から無くす必要がある。

TRMM では降水分布の絶対量を精度良く測定することが目的となっているためレー ダ反射因子、降水量、それぞれの絶対量の検証が必要であり、地上レーダ、雨量計網 との比較などが重要である。

地上レーダによる反射因子の検証は、石垣島の気象レーダ等の我が国の地上降雨 レーダ、シンガポールに設置した英ラザァフォードアップルトン研究所のレーダで 行っている。また、NASDA所有の可搬型気象ドップラーレーダを全地球エネルギー・ 水循環実験観測計画(GEWEX)アジアモンスーン実験(GAME)計画の一環としてチ ベットに設置し、約半年間の観測を実施した。また、宮古島、鹿児島でもこのレーダ を用いたキャンペーン観測を実施した。その後、種子島にて定常観測を実施しており、 これらのデータを用いて、TRMM/PRデータとの比較・検証を行っている。さらに、 TRMM降雨データは、GAMEの集中観測と同期して観測されたゾンデ、レーダ等の地 上観測のデータとも比較・検証が行われている。また、我が国の雨量計による全国 ネット観測網(気象庁のアメダス等)の結果とも比較・検証を行っている。また同様 にTMIで得られたマイクロ波により観測された降雨量との比較・検証も行っている。

以下、各種レーダを用いた検証結果の例を示す。

石垣島の地上レーダを用いた TRMM 降雨レーダの検証結果を図 6.2-1 に示す。両者

は、ばらつきはあるものの、比較的良い一致をしていることがわかる。なお、石垣島 レーダはレーダとして1dB以内で校正されることが確認されている。



図 6.2-1 PR と石垣島地上レーダのクロスキャリブレーション

また、TRMM 降雨レーダと航空機搭載レーダ(CAMPR)の同期観測結果の例を図 6.2-2 に示す。CAMPR は通信総合研究所で開発したものであり、TRMM 降雨レーダと 同じ周波数(13.8 GHz)を用い、PR と同様、上空から下向きに電波を出して雨を観測 する。CAMPR は PR に比べて、分解能、感度がよく、多偏波及びドップラ観測機能を 備えている。そのため、PR と同時に CAMPR の観測を行ない、両者を比較することに より、PR やそのデータ処理アルゴリズムの検証を行なうことができる。図から CAMPR による観測の方が、空間分解能や感度が優れていることがわかるが、全体とし て CAMPR と PR の観測結果はよく一致している。



図 6.2-2 PR と航空機搭載レーダにより観測されたレーダ反射因子の鉛直断面

図 6.2-3 は、1998 年 3 月 9 日のフロリダ州メルボルンのグラウンドトルースサイト上 空の TRMM 降雨レーダと地上降雨レーダの同期観測結果である。図は、高度 3 km にお けるレーダ反射因子 Z の水平分布の等値線図で示している。両者の等値線パターンは 良く一致しているが、対応する等値線の絶対値は TRMM 降雨レーダの方が 2 dB 大きい 値を示す。これは、TRMM 降雨レーダと地上降雨レーダのサンプリングボリュームの 大きさ、位置が完全には一致していないこと等の原因に起因する両レーダの観測値の 差異が依然 2~3 dB あることを示している。



図 6.2-3 TRMM 降雨レーダと地上レーダーの同期観測によるレーダ反射因子の分布 (アルゴリズム 2A25 の出力結果の表示例)

以上の校正・検証の結果をまとめる。レーダ反射因子の分布パターンについては、 良い一致を示している。しかしながら、レーダ反射因子の絶対値については、PR 側は 良い結果を示しているが、地上レーダについては校正等に問題のある場合が多い。

雨の定量的な検証に関しては、PR と地上観測との比較が困難であり、手法について 現在検討中である。PR 以外の降雨センサの観測結果からは、PR の降雨観測について 過小評価が示唆されている。降雨の表面エコー強度と海上の鏡像エコー強度の比較な どからもそれを支持する結果が出ている。今後、原因の特定とアルゴリズムへの反映 が必要とされている。

今後の検証結果については、主に、これまで行われてきた定常データの解析の継続 と、より高度な物理量(例えば潜熱放出プロファイル等)の検証を中心として行われ る予定である。

# 6.3 TRMM データ処理アルゴリズムの出力例

(1) 1B21(PR 受信電力)、1C21(Z因子)、2A25(降雨強度プロファイル)の出力

図 6.3-1 は、1997 年 12 月 21 日に PR により観測されたアルゼンチン北部からウルグ アイにかけての降雨の鉛直構造であり、それぞれアルゴリズム 1B21、1C21、2A25 の 出力例である。横軸は TRMM の飛行方向に沿った距離であり、相対的なスキャン番号 (1 スキャン時間は 4.3 km に相当)で表現されている。縦軸は衛星との相対距離で、 レンジビン番号(1 レンジビンの長さは 250 m に相当)で表示されている。

1B21 の出力は受信電力値、1C21 の出力は未補正のレーダ反射因子、2A25 は降雨減 衰の補正を施したレーダ反射因子ならびにこれに基づく降雨強度(図の例では降雨強 度を表示)である。このようにして、瞬時視野内の降雨散乱体積毎の受信電力、レー ダ反射因子、降雨強度が順次求められる。



(アルゼンチン上空の3次元降雨構造)

(2) 2A23(降雨タイプの分類).の出力

図 6.3-2 は、アルゴリズム 2A23 の出力例で降雨のタイプの分類を行ったものであり、 層状性降雨(stratiform)、対流性降雨(convective)、その他の雨に分類されている。 図は 1997 年 12 月 19 日のフィリピン東部海上における台風 28 号の中心部分における 観測結果であり、シーンの大きさは走査幅 215 km × 進行方向 630 km である。



図 6.3-2 アルゴリズム 2A23 の出力結果の表示例 (台風 28 号の降雨タイプ分類、1997 年 12 月 19 日)

(3) TRMM レベル3月間降雨プロダクト

#### (a) 3A25 (PR 降雨パラメータの月間統計値)の出力

アルゴリズム 3A25 では、PR レベル 2 データ(降雨強度)を用いて、低分解能(5°×5°格子、地表面及び鉛直 5 層)及び高分解能(0.5°×0.5°格子、地表面及び鉛直 3 層)の月平均降雨強度を算出する。図 6.3-3 の Fig. 2 と 3 は、他のプロダクトと比較を行いやすくするために、それぞれ低分解能と高分解能に対して、別途、月積算降水量を計算した結果を図示したものである。

(b) 3B31(複合センサ月積算降水量分布)の出力

3B31 では、TMI と PR の複合プロダクト(2B31)に含まれる、PR の観測幅(215 km)のデータで作成された高品質の降水量を用いて、TMI 2A12 プロダクト(降水量)の広い観測幅(760 km)のデータの校正を行い、5°×5°格子の月積算降水量分布(図 6.3-3 の Fig. 4)を地表面及び鉛直 14 層について作成する。また、2B31 プロダクトから計算した 5°×5°格子の月積算降水量分布(図 6.3-3 の Fig. 5)についても、地表面及び鉛直 14 層のデータを作成する。

(c) 3B43 (複合プロダクト2)の出力

3B43 では、TRMM、静止気象衛星の赤外画像及び雨量計のデータから、TRMM 観 測領域内の「最良」の月平均降雨強度を 1°×1°格子で提供する。ただし、図 6.3-3 の Fig. 6 は他のプロダクト比較するため、月積算降水量を別途計算した結果を図示したも のである。



図 6.3-3 TRMM レベル3月間降雨プロダクトの出力例(2000 年 5 月)

6.4 TRMM データ利用例

(1) エルニーニョに関する観測

図 6.4-1 は、PR によって観測された 1998 年 1 月及び 1999 年 1 月の、それぞれの月 降水量の全球分布であり、エルニーニョの有無による降雨分布の違いが明確に現れて いる。1998 年 1 月の上図では、エルニーニョが続いていたため、通常年に比べて、太 平洋上の降雨の多い領域は西太平洋から中部太平洋に移動している。熱帯収束帯 (ITCZ)がエルニーニョの影響で、ほぼ赤道上に位置し、南太平洋上の雨の多い領域も 通常より東側にシフトしている。

1999年1月の下図はエルニーニョが終息した後の降雨分布である。上図とは異なり、 赤道中部太平洋上での降水量が少なく、ITCZ が通常の位置に見られる。またインドネ シア周辺で降水が多く、対流活動の中心位置も通常の位置に戻っていることがわかる。

エルニーニョ年と通常年における海面水温の状況を示すために、対応する 1998 年 1 月と 1999 年 1 月の、TRMM マイクロ波放射計から求めた海面水温を図 6.4-2 に示す。



TRMM降雨レーダによって観測されたエルニーニョ年と通常年の降雨分布







図 6.4-2 TMI により観測された海面水温分布

## (2) 複数降雨センサによる同時観測

図 6.4-3 は 1998 年 2 月 20 日のアルゼンチン北部からウルグアイにかけての降雨を、 VIRS、TMI、PR が同時に観測した画像群である。図 6.4-3 の Fig. 1 は VIRS のチャネル 1(可視)に赤、チャネル 2(近赤外)に緑、チャネル 4(赤外)に青を振り分けて合成した画 像、図 6.4-3 の Fig. 2 は TMI による輝度温度の分布、図 6.4-3 の Fig. 3、4 は PR の高 度 2.0 km の水平断面と垂直断面である。図 6.4-3 の Fig. 1 で、上層にある光学的に厚 い雲はチャネル 1 の反射率が大きく、温度が低いために、赤系統の色に見える。図 6.4-3 の Fig. 3 から、それに対応する領域で雨が降っていることが確認でき、図 6.4-3 の Fig. 4 より、下層の降雨が強い領域では、その上層にまで降雨が発達していることがわ かる。このように 3 つのセンサで同時に観測することによって、雲の中で起きている 降雨のプロセスと降雨の特徴を把握することができる。

TRMM には PR の他に降雨推定に従来から用いられてきたマイクロ波放射計と可視赤 外観測装置が載っている。これらの異なるタイプのセンサが同一衛星に搭載されるの は初めてである。これまで観測対象の違いから、なかなか推定降雨量は一致しなかっ たが、TRMM による同時観測が各センサアルゴリズムの改良につながることが期待さ れている。



Fig.1 VIRS: RGB color composite





Fig.3 PR: Horizontal Cross Section of Rain at 2.0km Height





図 6.4-3 VIRS、TMI、PR による降雨観測

(3) PR による全球土壌水分量の観測

PR による地表面観測データには地表面の乾湿の他に、植生量や表面のでこぼこ等の 情報も含まれている。そこで、可視・近赤外センサから得られる植生指標やマイクロ 波散乱理論等を用いてそうした効果を除去し、土壌水分量に変換したのが図 6.4-4 であ る。上が 1998 年 2 月、下が 1998 年 8 月に対応している。両者を比較すると、例え ば 8 月には乾季の終りに近い南米のアマゾン川流域では乾燥化しているが、そのすぐ 北のオリノコ川流域は雨季の最中であるため湿潤化していることがわかる。アジアモ ンスーン地域における 8 月の湿潤化も顕著である。この定量的な土壌水分推定結果で はサハラ砂漠やルブアリ砂漠等はきちんと乾燥域として推定されている。なお、斜面 の影響から散乱理論の入射角依存性をうまく利用することができない山岳部付近と、 森林密度が非常に高い熱帯雨林領域については、現在のところ土壌水分を推定するこ とはできず、図では欠測(黒い部分)となっている。

なお、オーストラリアの欠測(黒い部分)は、PR の周波数帯(13.8 GHz)が地上での利用周波数と重なっているため、この領域を通過する際には観測を停止していることによる。



図 6.4-4 PR による全球土壌水分量の分布(1998 年)

(4) 大気上端長波フラックスの観測例

図 6.4-5 は、1997 年 12 月 28 日に CERES によって観測された、地球及び地球大気か ら射出されている長波放射のエネルギーを示している。雲などの冷たい地域と晴天域 の砂漠や熱帯海洋などの温かい地域を識別することができる。ただし、CERES は、 1998 年 8 月、過電圧が流れる不具合が発生し、各種対策が継続して施されており、観 測データの取得は断続的な実施に限定されている。



図 6.4-5 CERES による長波上端フラックスの観測例

(5) **雷活動の観測例** 

図 6.4-6 は LIS で記録された 1998 年 1 月の雷活動である。南半球の真夏に当たる 1 月の雷活動は、南半球、それも大陸部に集中しているのがよくわかる。海洋上の雷活動に関しては、赤道付近にライン状にわずかに認められるにすぎないが、これは熱帯 収束帯に対応する領域と考えられる。一方、北半球の雷活動は活発ではないが、日本 近辺及び北アメリカ東部海岸付近に、冬季雷の活動が記録されている。



図 6.4-6 LIS による雷活動の観測例

### 6.5 TRMM 後継機に関する将来計画

# (1) TRMM 後継機への期待

熱帯降雨観測衛星 TRMM は 1997 年 11 月に成功裏に打ち上げられ、その後、降雨の 3 次元構造と分布に関するデータを送り続けており、大きな科学的成果が得られている。 しかしながら、世界の降雨の分布と変動の状況を把握するには限界がある。

降雨は短時間でも変動するが、長期間の変動もある。この 100 年間近くのインドモンスーンの降水量を見るとエルニーニョ時はインドモンスーン域の降雨量は少ないことが分かってきている。このエルニーニョは 10 年で数回の割合で出現している。

TRMM のミッション寿命は限られており、TRMM のみではエルニーニョ/ラニー ニャのサイクルの変動などは観測できない可能性がある。実際、TRMM が打ち上げら れたのは 1997 年 11 月であり、レーダ観測は 12 月に入ってから実施されているが、そ の年に出現し今世紀最大とも言われたエルニーニョは 12 月に最大期を迎えていた。こ のため、TRMM はこのエルニーニョの発生期は観測できていない。エルニーニョまた その反対の現象であるラニーニャはそのたびにその大きさは変動しており、その変動 要因を探るためには数回のエルニーニョ/ラニーニャ観測が必要である。このため、 より長い期間にわたる降雨の分布、時間変動を得るために TRMM に次ぐ降水観測ミッ ションが必要である。

世界の降雨量を経度方向に平均して緯度分布のみを見ると、降雨はもちろん熱帯域 でピークを持つが中緯度域に次のピークを持つ。これは中緯度の低気圧に伴う降水で ある。日本においても冬季にはオホーツク海で台風並に発達する低気圧が出現するが、 これらにも活発な積雲活動が付随している。TRMMの観測域はこれらをカバーしてい ない。温帯・亜寒帯域の降水分布のピークを含めた観測をすることは世界規模の水循 環を把握する上で必要である。温帯低気圧においても降水活動による潜熱放出はその 構造に影響を与えており、降水過程が個々の低気圧に与える非断熱加熱の量、鉛直分 布を知ることが必要である。

このため TRMM の後を継ぐ衛星構想が、日本では降雨観測衛星(ATMOS-A1)として、また米国などでも同様の全球降水観測ミッション(Global Precipitation Mission: GPM)として検討されている。

また、技術的な面においても、TRMM のレーダは世界初の衛星搭載降雨レーダであ り、大きな発展の余地を残している。このために TRMM 計画の実現に目処が立った当 時から TRMM 後継機の構想があった。

TRMM は 1986 年に米国ゴダード宇宙飛行センターでその構想が出された。その頃は 未だ衛星からのマイクロ波放射計による降雨観測が十分には信頼性が無かった。その 一方、大気大循環の駆動源としての熱帯域の降雨の重要性は認識されており、このた め衛星搭載降雨センサとして降雨レーダが不可欠とされた。現在ではマイクロ波放射 計や可視・赤外放射計でもかなりの降雨観測ができるようになっている。これら、ま た地上降雨測定値などを組み合わせて、現在、世界の降雨分布図が作成されている。 このような状況から、TRMM の意義はその概念が出された時からは若干異なってきて いる。当初は TRMM レーダで降雨分布を把握することが主であったが、現在では降雨 レーダによる降雨の 3 次元構造のデータを有効に生かし、他のセンサの降雨推定の精 度向上、また潜熱放出プロファイルの推定など、より深い目的に変化してきている。 このような降水システムの 3 次元構造を把握する TRMM ではレーダの約 215 km という 比較的狭い観測幅においては他のマイクロ波放射計、可視・赤外放射計による同時観 測を通じて、放射計による観測の精度を向上させ、それを放射計の約 760 km 以上とい う比較的広い観測幅領域に広げる。さらに他の SSMI や NOAA、GMS などに搭載され ている降雨観測センサデータに結び付け、全体の降雨分布の気候値の精度を上げる、 という方式が取られている。ATMOS-A1 においても同様の方式が採用されており、ま た、GPM では、コア衛星と 8 機の小型衛星からなるコンステレーション(衛星群)に より、この方式を実現する。

TRMM 並びに TRMM 後継機搭載の降雨レーダ観測の特長と意義は以下のようにまとめられる。

- ・衛星搭載型レーダにより降雨の3次元構造を世界規模で観測できる。
- ・ 降雨の 3 次元構造は降水活動により、大気に与えられる熱の高度分布を知る上で非 常に重要である。
- ・降雨の 3 次元構造の把握は、降水活動による上下混合、また水の循環を把握する上 で重要である。
- ・レーダによる降雨の鉛直構造から、マイクロ波放射計、可視・赤外放射計による降 水推定の向上が図れる。
- ・さらに、既にデータの蓄積がなされており、今後も継続して観測が行われると見られる SSM/I、AVHRR、また静止軌道上の可視・赤外センサのデータによる降雨推定の向上が図れる。

また、TRMM 後継機は TRMM と比較して、以下の点が変更・改善される。

- ・観測域を熱帯域から高緯度地域までに拡大する。
- ・2周波降雨レーダによる観測精度の向上、並びに感度の向上を図る。
- ・降水と降雪の識別を目指す。
- (2) 計画概要(ATMOS-A1)
- (a) 衛星

以下にミッションの概要を示す。現在の想定では打ち上げとレーダは日本、衛星バ スとマイクロ波放射計は米国、という分担となっている。
- ・打上げ時期 : 2007 年頃
- ・ミッション期間:5年
- ・衛星重量 : 2.5 トン級
- ・軌道高度 :約 400 km
- ・軌道傾斜角
   :約70度
- ・センサ : 2 周波降雨レーダ、マイクロ波放射計、他
- ・降雨レーダ

周波数	: 14/35 GHz
距離分解能	: 250 m
水平分解能	: 4 km
感度	:約10dBZ
走査幅	: 200 km ( 14 GHz )

100 km ( 35 GHz )

・マイクロ波放射計

TRMM Microwave Imager (TMI)と同様

- ・可視・赤外放射計、雷センサ:搭載が望ましい。
- (b) 軌道

TRMM 後継機の衛星高度はレーダを搭載している関係上、TRMM とあまり変わらない400km 程度としている。軌道傾斜角は 70 度程度とし、これにより、温帯、亜寒帯の降水の観測を可能とする。

(c) センサ

TRMM 後継機のコアセンサはレーダとマイクロ波放射計である。降雨レーダは本 ミッションを特長づけるものであり、欠かせない。可視・赤外放射計や雷センサも要 望されている。可視・赤外放射計は広域の降雨・雲の観測を行うだけでなく、既存の データへの橋渡しをする。また、雷は上空に氷晶などがないと生じないとされており、 降水形態の一つの指標となりうる。別のセンサを組み合わせる観測では同じ降水シス テムを同時に観測することが重要である。データ同化技術が進歩しても、データ同化 はモデル依存であり、またモデルの解像度以上のものは出力できない。同時にいろい ろのセンサで観測することによりセンサデータの直接の融合が可能となり新しいデー タ、より高度なデータが期待できる。この意味から直接の融合の可能なセンサは同一 プラットフォームに載っていることが必要である。TRMM パッケージはその良い例と なっており、これは TRMM 後継機にも引き継がれよう。

TRMM 後継機は高緯度域までも降雨を観測することが大きな目的である。熱帯域に 比べて中高緯度ではより弱い降雨が多く、また雪、氷晶も降水粒子として降ってくる。 このため、搭載降雨レーダにはより高感度の能力と同時に降水粒子の液相/固相識別 能力も必要とされる。このためのレーダとしては 2 周波レーダが適当と考えられる。 レーダの性能としては、走査幅なども大きなパラメータであるが、TRMM の降雨レー ダ以上の性能を持つことが望まれる。低周波側のレーダは TRMM 搭載のレーダレベル、 高周波側のレーダは少なくともマイクロ波放射計の 1 ピクセルをカバーする走査幅が 要請されている。衛星搭載の高出力送信管は開発要素が大きく、高周波側のレーダで はパルス圧縮方式が検討されている。

(3) 米国の計画 (GPM: Global Precipitation Mission)

米国では Global Precipitation Mission と称してマイクロ波放射計を搭載した多数の極 軌道小型衛星と一つのコア衛星による降水観測計画がある。小型衛星は 8 個を計画し ており、これにより 3 時間間隔の降水観測を実現する。コア衛星には、TRMM 後継機 が位置づけられており、コア衛星のレーダ観測によりマイクロ波放射計の推定値の向 上を図る。TRMM 後継機において新たに計画される高緯度の観測では、サンプリング 間隔が大きくなる問題があるが、この問題は多数の小型マイクロ波放射計衛星により 回避できるという利点がある。

現在、この GPM と ATOMS-A1 を共同ミッションとしてまとべるべく、協力が進められている。

## 付録-1 略語一覧

	А	CATS	: Catalogue Subsystem
A/D	: Analog to Digital		カタログサブシステム
	アナログ・ディジタル	CCSDS	: Consultative Committee for Space Data
ACS	: Attitude Control Subsystem		Systems
	姿勢制御系		宇宙データシステム諮問委員会
ACE	: Attitude Control Electronics	CD	: Compact Disc
	姿勢制御電子回路		コンパクトディスク
ADEOS	: Advanced Earth Observing Satellite	CERES	: Clouds and Earth's Radiant Energy System
	地球観測プラットフォーム技術衛星		雲及び地球放射エネルギー観測装置
ADM	: Angular Directional Model	CIR	: Circulator
	h		サーキュレータ
ADS	: Advertisement Subsystem	CIS	: Catalogue Interoperability Subsystem
TID 5	ガイドサブシステム		ブリッジサブシステム
AGO	Santiago	COMB	: Combined
1100	サンチャゴ		複合(センサ)
ANT	· Antenna	COMETS	: Communications and Broadcast
11111	アンテナ系		Engineering Test Satellite
ΑΡΙ	· Application Programming Interface		通信放送技術衛星
7 <b>11</b> 1	$PT^{\circ} J f = 3 + 7^{\circ} D f^{\circ} = 5 + 7^{\circ} D$	CRC	: Cyclic Redundancy Code
APID	· Application Process Identification		サイクリック・リダンダンシー・コード
	アプリケーションプロセス ID	CRL	: Communications Research Laboratory
APS	· Antenna Pointing System		(総務省)通信総合研究所
711.5	アンテナ指向システム	CRS	: Cloud Radiative Swath
ARC	· Active Radar Calibrator		雲放射幅
me	能動型レーダ校正器	CSS	: Coarse Sun Sensor
ARM	· Atmospheric Radiation Measurement		粗太陽センサ
	大気放射計測		D
ASCII	· American Standard for Computer and	DAAC	: Distributed Active Archive Center
110 011	Information Interchange		分散型アクティブアーカイブセンター (NASA)
	米国情報交換標準コード	DAO	: Data Assimilation Office
ATBD	: Algorithm Theoretical Basis Document		データ・アシミレーション・オフィス
	アルゴリズム記述書	DAP	: Daily Activity Plan
AVHRR	: Advanced Very High Resolution		1日単位の運用計画
	Radiometer	DAS	: Data Analysis System
	改良型高分解能放射計		データ解析処理システム (NASDA)
	В	DDMS	: Data Distribution and Management
BDS	: Browse data Distribution Subsystem		System
	画像カタログデータ伝送サブシステム		データ総合管理提供システム (NASDA)
BDS	: Bi-Directional Scans	DDS	: Data Distribution Subsystem
	二方向スキャン		処理済みデータ伝送サブシステム
BPF	: Band Pass Filter	DES	: Data Editing Subsystem
	バンドパスフィルター		データ編集サブシステム
BRF	: Band Rejection Filter	DGS	: Data Generation System
	帯域除去フィルター		データ提供系システム
	С	DIV/	: Divider / Combiner
C&DH	: Command and Data Handling (Subsystem)	COMB	分合波器
	通信データ処理系	DMR	: Detailed Mission Requirements
CADS	: Catalogue data Distribution System		詳細ミッション要求
	カタログデータ伝送系システム		

DRS	: Data Retrieval Subsystem データ提供サブシステム	FDF	: Flight Dynamics Facility 飛行力学系設備 (NASA)
DSN	: Deep Space Network 深宇宙ネットワーク	FOT	: Flight Operations Team 飛行運用チーム (NASA)
DSS	: Data Storage Subsystem データ保存システム	FOV	: Field of View 視野
DSS	: Digital Sun Sensor ディジタル太陽センサ	FTP	File Transfer Protocol ファイル転送プロトコル
	Е		G
ECS	: EOSDIS Core System EOSDIS コアシステム (NASA)	GCI	: Geocentric Celestial Inertial 地心天体慣性
EOC	: Earth Observation Center 地球観測センター (NASDA)	GDPF	: Generic Data Products Format 一般的データプロダクトフォーマット
EOIS	: Earth Observation Data and Information System	GDS	: Ground Data System 地上データシステム
EORC	地球観測情報システム (NASDA) : Earth Observation Research Center	GEO	: Geostationary 静止
EOS	地球観測データ解析研究センター (NASDA) : Earth Observing System	GEWEX	: Global Energy and Water Cycle Experiment 全地球エネルギー・水循環実験観測計画
EOSDIS	地球観測システム : EOS Data and Information System	GMS	: Geostationary Meteorological Satellite 静止気象衛星
FPV	地球観測データ情報システム (NASA) Endpoint Vector	GN	: Ground Network 地上ネットワーク
	エンドポイントベクトル	GOES	: Geostationary Operational Environment
ERBE	: Earth Radiation Budget Experiment 地球放射量宝駼	GOLD	Satellite 静止実用環境衛星
ERBS	: Earth Radiation Budget Satellite 地球放射量衛星	GPCP	: Global Precipitation Climatology Project 全球降水気候計画
EROS	: Earth Resources Observation System 地球資源観測システム (USGS)	GPI	: Global Precipitation Index 全球降雨指標
ESA	: Earth Sensor Assembly 地球センサ部	GRS	: Global Reference System 全球参照座標系
ESA	: European Space Agency 欧州宇宙機関	GSACE	: Gimbal and Solar Array Control Electronics ジンバル・太陽電池パドル制御回路
ESDIS	: Earth Science Data and Information System 地球科学データ情報システム	GSFC	: Goddard Space Flight Center ゴダード宇宙飛行センター (NASA)
ETS	: Engineering Test Satellite 技術試験衛星	GSTDN	: Ground Station 地上局
EUS	: EOIS User interface Software EOIS ユーザ [*] インタフェースソフトウェア	GUI	: Graphical User Interface グラフィカル・ユーザ゛・インタフェース
EVD	: Engine Valve Driver エンジン・バルブ・ドライバ	GV	: Ground Validation 地上検証
	F		
FCIF	: Frequency Converter • IF unit		
	周波数変換・インタフェース部		Н
FD	: Floppy Disk フロッピーディスク	HDF	: Hierarchical Data Format 階層型データフォーマット
FDD	: Flight Dynamics Division 飛行力学部 (NASA)	HGA	:High Gain Antenna ハイゲインアンテナ
FDDI	: Fiber-optic Data Distribution Interface 光ファイバデータ分配インタフェース	HGADS	: High Gain Antenna Deployment System ハイゲインアンテナ展開システム

HGAS	: High Gain Antenna System ハイゲインアンテナシステム
HK	: Housekeeping
ЦП	ハワスキーヒンク
HP	: Hewlett Packard Co. F = -1 + y + J' + z + z + z
HYB	こユーレットバッパート社 : Hybrid
in b	ハイブリッド
	1
ICS	: Interface Control Specification インタフェース管理仕様書
IFOV	: Instantaneous FOV 瞬時視野
IMS	: Information Management System 情報管理システム (NASA)
INT	: Integration 計装系
IOA	: Initial Orbit Acquisition 初期軌道
IP	: Internet Protocol インターネットプロトコル
IPSDU	: Instrument Power Switching and Distribution Unit 観測装置電源分配器
IR	: Infrared 赤外
IRS	: Information Retrieval Subsystem 検索処理サブシステム
IRU	: Inertial Reference Unit 慣性リファレンスユニット
ISCCP	: International Satellite Cloud Climatology Project 国際衛星雲気候計画
ISO	: Isolator アイソレータ
	J
JPEG	: Joint Photographic Coding Experts Group カラー静止画符号化方式
JFIF	: JPEG File Interchange Format JPEG ファイル交換フォーマット
JMA	: Japan Meteorological Agency 気象庁
JPL	: Jet Propulsion Laboratory ジェット推進研究所
	L
L&IOC	: Launch and In-orbit Checkout 打上げ・初期軌道上チェックアウト
LAN	: Local Area Network 構内ネットワーク
LaRC	: Langley Research Center ラングレー研究センター (NASA)

LHCP	: Left-Hand Circular Polarization 左旋円偏波
LIS	: Lightning Imaging Sensor 雪観測装置
LNA	:Low Noise Amplifier 低雑音増幅装置
LOGAMP	: Logarithmic Amplifier 対数増幅器
LVPC	: Low Voltage Power Connector 低雷圧コネクタ
LW	に こ に の gwave 長波
LZP	: Level-0 Processed レベル 0 処理済み
	M
MAM	· Mirror Attenuator Mosaic
MCS	ミラー・アテニュエーター・モザイク
MCS	媒体変換サブシステム
METOSAT	: Meteorological Satellite 気象観測衛星
MLI	: Multi Layer Insulation 多層断熱
MO&DSD	: Mission Operations and Data Systems Directorate ミッション運田・データシステム部
MOC	: Mission Operations Center
MOSDD	: Mission Operations and System
MSFC	ミッション運用システム開発部 : Marshall Space Flight Center
MTB	<ul> <li>マーシャルテ宙飛行センター (NASA)</li> <li>: Magnetic Torque Bar</li> </ul>
	磁気トルクバー
	N
N/A	: Not Applicable 適用外
NASA	: National Aeronautics and Space
	アメリカ航空宇宙局
NASCOM	: NASA Communications Network
NASDA	: National Space Development Agency of
	Japan 宇宙開発事業団
NCC	: Network Control Center ネットワーク制御センター (NASA)
NCEP	: National Centers for Environmental Prediction
	米国環境予測センター
NCSA	: National Center for Supercomputing
	Applications 米国スーパーコンピュータ応用センター
NMS	: Network Management Subsystem
	ネットワーク管理サブシステム

## 付録-1 略語一覧

NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気局(衛星)
NS	: Noise Source 推音源
NUBF	: Non-Uniform Beam Filling 非単一ビーム・フィリング
	0
OLIS	: On-Line Information System オンライン情報系システム
OSR	: Optical Solar Reflector 太陽光反射板
OTD	: Optical Transient Detector オプティカル・トランジェント検出器
	Р
PBIU	: Power Bus Interface Unit 電源バスインタフェースユニット
PC	: Personal Computer パーソナルコンピュータ
РСМ	: Propellant Control Module 推薬制御モジュール
PDB	: Project Data Base プロジェクトデータベース
PGS	: Product Generation Service プロダクト作成サービス
PHS	: Phase Shifter 移相器
PI	: Principal Investigator 検証ユーザ
PLO	: Phase Lock Oscillator 位相同期発振器
POD	: Project Operations Director プロジェクト運用責任者
PR	: Precipitation Radar 降雨レーダ
PRF	: Pulse Repetition Frequency パルス繰り返し周波数
PRI	: Pulse Repetition Interval パルス繰り返し周期
PROP	: Propagation 伝搬
PS	: Pointing System 指向システム
PS	: Product Specific (metadata) プロダクト固有(メタデータ)
PS	: Power Supply 電源供給
PSDU	: Power Switching and Distribution Unit 電力スイッチング・分配ユニット
PSE	: Power System Electronics 電源システム回路

PSIB	: Power System Interface Box 電源システムインタフェースボックス
	Q
QAC	: Quality and Accounting Capsule 品質算定カプセル
QL	: Quick Look クイックルック
	R
R&RR	: Range & Range Rate 距離と距離変化率
R/T	: Real-Time 実時間
RAM	: Random Access Memory ランダム・アクセス・メモリ
RAP	: Rotating Azimuth Plane ローテーティング・アジマス・プレーン
RCS	: Reaction Control Subsystem 推進系
RDA	: Receiver Drive Amplifier 受信系駆動増幅器
REF	: Reflection 反射
REM	: Rocket Engine Module ロケット・エンジン・モジュール
RESTEC	: Remote Sensing Technology Center of Japan (財)リモート・センシング技術センター
RF	: Radio Frequency 無線
RHCP	: Right-Hand Circular Polarization 右旋円偏波
RIS	: Raster Image Set ラスター画像セット
ROM	: Read Only Memory 読み取り専用メモリ
RS	: Reed Solomon リードソロモン
RST	: Remote Science Terminal 遠隔科学端末
RTEP	: Real Time Event Processor リアルタイム・イベント・プロセッサ
RWA	: Reaction Wheel Assembly リアクションホイール部
S/C	S
5/U	a Spacecrant 衛星
S/N	: Signal to Noise 信号対雑音比
SA	: Solar Array 太陽電池パドル
SADA	: Solar Array Drive Assembly 太陽電池パドル展開部

SADDS	: Solar Array Deployment and Drive System 太陽電池パドル展開・駆動システム
SARB	: Surface and Atmospheric Radiation Budget 地表面・大気放射量
SCDP	: System Control Data Processing システム制御・データ処理部
SCF	: Science Computing Facility 科学計算設備 (NASA)
SCID	: Spacecraft Identifier 衛星 ID
SDF	: Standard Data Format 標準データフォーマット
SDOC	: Science Data Operations Center 科学データ運用センター (NASA)
SDPF	: Sensor Data Processing Facility センサデータ処理設備 (NASA)
SDS	: Scientific Data Set 科学データセット
SFDU	: Standard Format Data Unit 標準フォーマットデータユニット
SGI	: Silicon Graphics Incorporated シリコングラフィックス社
SH/LP	: Safe-Hold / Low Power 安全維持・低電力
SMS	: Schedule Management System スケジュール管理系システム
SMSS	: Schedule Management Subsystem スケジュール管理サブシステム
SN	: Space Network スペースネットワーク
SNR	: Signal to Noise Ratio 信号対雑音比
SOC	: State of Charge 蓄積電荷量
SOCC	: Science Operations Control Center 科学運用コンロールセンター (NASA)
SP	: Signal Processor 信号処理系
SPRU	: Standard Power Regulator Unit 標準電源調整ユニット
SSF	: Single Satellite Flux 単独衛星フラックス
SSLG	: Standing Senior Liaison Group 宇宙分野における日米常設幹部連絡会合
SSM/I	: Special Sensor Microwave/Imager DMSP 搭載マイクロ波撮像装置
SSPA	: Solid-State Power Amplifier 固体電力増幅器
STDN	: Spaceflight Tracking and Data Network 宇宙飛行追跡・データネットワーク

STR	: Structure 構造系
SW	: Shortwave 短波
	Т
T/R	:Transmitter / Receiver 送受信
TACC	: Tracking and Control Center 中央追跡管制所
TAM	: Three Axis Magnetometer 3 軸磁力計
ТСР	: Transmission Control Protocol 転送制御プロトコル
TCS	: Thermal Control Subsystem 熱制御系
TDA	: Transmit Drive Amplifier 送信系駆動増幅器
TDRS	: Tracking and Data Relay Satellite 追跡データ中継衛星 (NASA)
ТК	: Toolkit ツールキット
TMI	: TRMM Microwave Imager TRMM マイクロ波観測装置
TOA	: Top of the Earth's Atmosphere 地球大気頂上
TRMM	: Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星
TRS	: Transmitter / Receiver Subsystem 送受信系
TSDIS	: TRMM Science Data and Information System TRMM 科学データ情報システム (NASA)
TSM	: Telemetry and Statics Monitoring 統計監視
TSU	: TSDIS Science Users TSDIS サイエンスユーザ
TTY	: Teletype テレタイプ
TX	: Transmitter 送信機
	U
UPD	: User Performance Data ユーザ・パフォーマンス・データ
UPS	: User Planning System ユーザ立案システム
URL	: Universal Resource Locator ユニバーサルリソースロケータ
URS	: User Request Management Subsystem 要求処理サプシステム
UTC	: Universal Time Coordinate 協定世界時

## 付録-1 略語一覧

UTCF	: Universal Time Correlation Factor 世界標準時相関係数
	V
VCID	: Virtual Channel Identification 仮想チャネル ID
VIRS	: Visible and Infrared Scanner 可視赤外観測装置
VIS	: Visible 可視
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio 電圧定在波比
	W
WFF	: Wallops Flight Facility ワロップス飛行施設
WGS	: World Geometric System 世界幾何システム
WRS	: World Reference System 世界参照座標系
WS	: Workstation ワークステーション
WSC	: White Sands Complex ホワイトサンズ局
WWW	: World Wide Web ワールド・ワイド・ウェッブ
	X
XMTR	:Transmitter 送信器

## 付録-2 関連情報

(1) 参考文献

以下に関連する文書のタイトル、作成元、概要等を紹介する。

- (a) 「EOIS ユーザインタフェースソフトウェアユーザーズマニュアル」
- 作成:宇宙開発事業団地球観測センター
  - 内容:地球観測センターの地球観測情報システム(EOIS)が提供するクライアントソ フトウェアである EOIS ユーザ I/F ソフトウェア(EOIS User I/F Software; EUS)の利用マニュアル。
- (b) 「EUS WWW ゲートウェイユーザーズマニュアル」
  - 作成:宇宙開発事業団地球観測センター
  - 内容:地球観測センターの地球観測情報システム(EOIS)から各種オンラインサービ スを WWW サーバを通じてユーザに公開する EUS/WWW ゲートウェイ版の 利用マニュアル。
- (c) ^r TRMM Earth View Second Edition J
  - 作成:宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター
  - 内容:TRMM のミッション概要、運用概要及び TRMM 打ち上げ後の観測結果を、 写真や図表をふんだんに使用して紹介したパンフレット。EORC の運営する TRMM ホームページからダウンロードでき、また、CD-ROM 版も配布され ている。
- (d) 「熱帯降雨観測衛星 TRMM-世界初の降雨観測に挑む」
  - 作成:宇宙開発事業団
  - 内容:TRMM プログラムに関するパンフレット。

(e) Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Radar Algorithm Instruction Manual, Version 2.0, January 1, 2000

作成:TRMM PR チーム

内容: PR のデータ処理アルゴリズムの説明書。

(f) Interface Control Specification Between the Tropical Rainfall Measuring Mission Science Data and Information System (TSDIS) and the TSDIS Science User (TSU), TSDIS-P907, Volume 1, "Algorithm Software Development and Delivery" Release 5.01, June 2, 2000.

(g) Interface Control Specification Between the Tropical Rainfall Measuring Mission Science Data and Information System (TSDIS) and the TSDIS Science User (TSU), TSDIS-P907, Volume 3, "File Specification for TRMM Products – Level 1" Release 5.03, June 1, 2000.

(h) Interface Control Specification Between the Tropical Rainfall Measuring Mission Science Data and Information System (TSDIS) and the TSDIS Science User (TSU), TSDIS-P907, Volume 4, "File Specification for TRMM Products – Level 2 and 3" Release 5.03, June 1, 2000.

(i) TSDIS Level 1 Software Design Specification, Volume 2, Version 5, July 15, 1998.

(j) Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Alogrithm Theoretical Basis Document, Release 2.2, June 2, 1997.

(k) Alogrithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the Lightning Imaging Sensor (LIS), February 1, 2000.

(I) HDF-EOS Library User's Guide for the ECS Project, 170-TP-005-003, April 1997.

(m) Getting Started with HDF, Draft, Version 3.2, May 1993, University of Illinois at Urbana-Champaign.

(2) インターネット上の関連サイト

TRMM に関する情報を提供しているホームページの URL を以下に紹介する。

- (a) 宇宙開発事業団 (NASDA) ホームページhttp://www.nasda.go.jp/
- (b) 宇宙開発事業団地球観測センター(NASDA/EOC)ホームページ http://www.eoc.nasda.go.jp/
  - a. 地球観測情報システム WWW サービス(EUS/WWW カタログ検索) http://eus.eoc.nasda.go.jp/

- b. 可視化画像表示サービス(ガイド情報)
   http://www.eoc.nasda.go.jp/www/index_j.html
- c. オンラインデータ提供サービス(DRS) http://drs.eoc.nasda.go.jp/
- (c) 宇宙開発事業団地球観測データ研究解析センター(NASDA/EORC)ホームページ
   http://www.eorc.nasda.go.jp/index.html
  - a. TRMM ホームページ (NASDA/EORC) http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/
  - b. Orbit Viewer ダウンロード (NASDA/EORC) http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/doc/orbitviewer/index_j.htm
- (d) 総務省通信総合研究所(CRL)ホームページhttp://www.crl.go.jp/overview/index-J.html
  - a. 電波計測研究室(CRL)ホームページ http://www2.crl.go.jp/ck/ck121/ index_j.html
- (e) (財)リモート・センシング技術センター(RESTEC)ホームページ
   http://www.restec.or.jp/
- (f) NASA ホームページ http://www.nasa.gov/
- (g) GSFC ホームページ http://www.gsfc.nasa.gov/
  - a. TRMM ホームページ http://trmm.gsfc.nasa.gov/
  - b. TRMM Science Data and Information System(TSDIS)ホームページ http://tsdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdis.html
  - c. TRMM Satellite Validation Office ホームページ http://trmm-fc.gsfc.nasa.gov/trmm_gv/index.html

- d. NASA EOS ホームページ http://eospso.gsfc.nasa.gov/
- (h) CERES ホームページ (NASA/LaRC) http://asd-www.larc.nasa.gov/ceres/trmm/
- (i) LIS ホームページ (NASA/MSFC)
   http://thunder.msfc.nasa.gov/
- (j) NCSA HDF ホームページhttp://hdf.ncsa.uiuc.edu/
- (k) NCSA anonymous ftp サーバ ftp.ncsa.uiuc.edu
- (3) 問い合わせ先 各種関連情報に関する連絡先を以下に整理する。
  - (a) EOIS に対する要望/問い合わせ先
     宇宙開発事業団 地球観測センター内
     (財)リモート・センシング技術センター(RESTEC)
     観測技術本部 観測部 計画課
     〒350-0302 埼玉県比企郡鳩山町大字大橋沼ノ上 1401
     TEL: 0492-98-1307 FAX: 0492-98-1398
     E-mail: eusadmin@eoc.nasda.go.jp