

TRMMデータ利用講習会

第1部

TRMMセンサーの概要と

TRMMデータの構造

Ver 1.01

平成10年12月4日

宇宙開発事業団

地球観測データ解析研究センター

1. はじめに.....	3
1.1 搭載機器の概要.....	3
1.1.1 降雨レーダ (PR)	3
1.1.2 TRMMマイクロ波観測装置 (TMI)	6
1.1.3 可視赤外観測装置 (VIRS)	7
1.1.4 雲及び地球放射エネルギー観測装置 (CERES)	8
1.1.5 雷観測装置 (LIS)	8
1.2 軌道概要.....	8
2. TRMMプロダクトの概要.....	10
2.1 提供プロダクト.....	11
2.2 データの種類とアルゴリズム概要.....	13
2.2.1 降雨レーダ.....	13
2.2.2 TRMMマイクロ波観測装置.....	16
2.2.3 可視赤外観測装置.....	17
2.2.4 複合センサ.....	17
2.2.5 雲及び地球放射エネルギー観測装置.....	19
2.2.6 雷観測装置.....	20
3. TRMMデータのフォーマット.....	22
3.1 ファイル構造.....	22
3.2 フォーマット規定.....	23
3.2.1 軌道とグラニユールの定義.....	23
3.2.2 グラニユール内のスキャン.....	24
3.2.3 時刻.....	24
3.2.4 配列ディメンジョンの順番.....	26
3.2.5 欠損データ.....	26
3.2.6 PRデータの幾何構造.....	27
3.3 TRMMデータプロダクトの構造.....	30
3.3.1 降雨レーダ.....	30
3.3.2 TRMMマイクロ波観測装置.....	43
3.3.3 可視赤外観測装置.....	46
3.3.4 複合センサ.....	47
付録-1 略語一覧	
付録-2 関連情報	

1. はじめに

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たものであり、世界で初めて宇宙からの降雨観測を実施している。

1.1 搭載機器の概要

TRMMの観測は、降雨レーダ (PR) 、可視赤外観測装置 (VIRS) 、TRMMマイクロ波観測装置 (TMI) 、雲及び地球放射エネルギー観測装置 (CERES) 、雷観測装置 (LIS) の5つの機器により行われている。

1.1.1 降雨レーダ (PR)

● 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、衛星に搭載された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、①降雨の3次元構造を観測すること、②海洋及び陸域上の降雨の定量的観測を行うことである。

表 1-1 PRシステム主要諸元

レーダ方式	アクティブフェーズドアレイ方式
周波数	13.796 GHz 及び13.802 GHz (2周波アジリティ)
観測幅	～215km
観測範囲	地表から高度15km
距離分解能	250m
水平分解能	4.3km (直下)
検出可能降雨強度	0.5mm/hの降雨時に降雨頂でS/N=0 dB以上

● 降雨レーダの観測原理及び観測方法

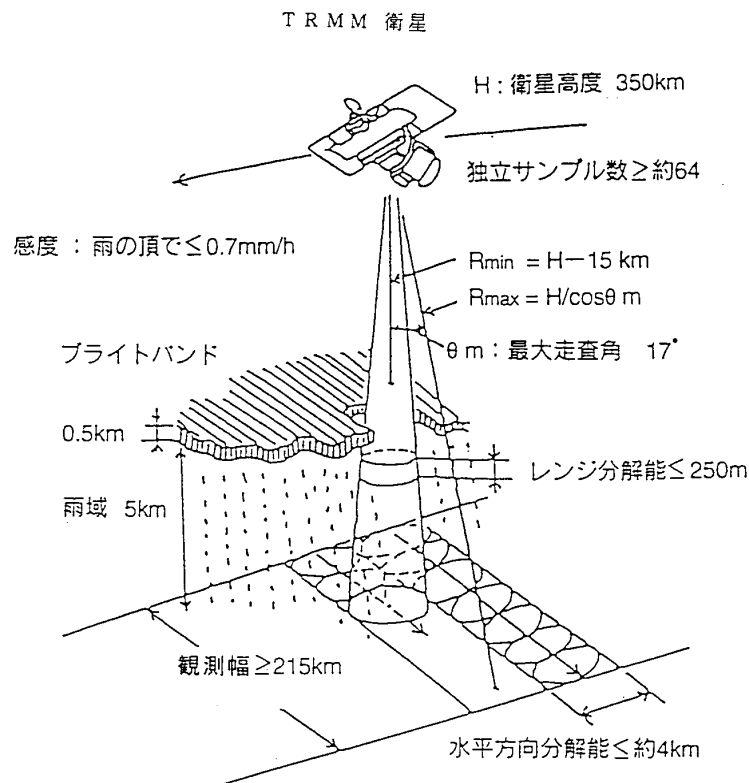


図 1-1 降雨レーダの観測概念

図 1-1 は、降雨レーダの観測概念である。レーダによる降雨測定の実理は、レーダから発射された電波が雨滴によって散乱され、その一部がレーダ方向に戻るこゝ（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関係式（レーダ方程式、 $Z-R$ 関係）が成立する事に基づき、降雨量を推定する。レーダ方程式には、雨滴の直径が使用電波の波長に比べて十分小さく（1–5mm）レーダビーム内に様に分布しており、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ため、必要に応じて補正を行う。

降雨レーダは、高度350kmの軌道から13.8GHz帯の2周波数（ $f_1 = 13.796\text{ GHz}$ 、 $f_2 = 13.802\text{ GHz}$ ）でパルス幅がそれぞれ約1.6msecのパルス波を、1つのビーム方向について32パルス、送信パルス繰返し周期である 360.23msec 毎に送信する。また、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 15km 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 250m 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）の受信電力サンプリング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。衛星直下方向を中心として±17度の範囲について0.71度毎に49のビーム（観測角度ビン）があり、1スキャンで49ビーム方向の観測を行う。

降雨レーダは350km+7km、-8km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。

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（250m）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、250m 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、125m 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。図1-2に観測モード時のデータ抽出エリアを示す。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。

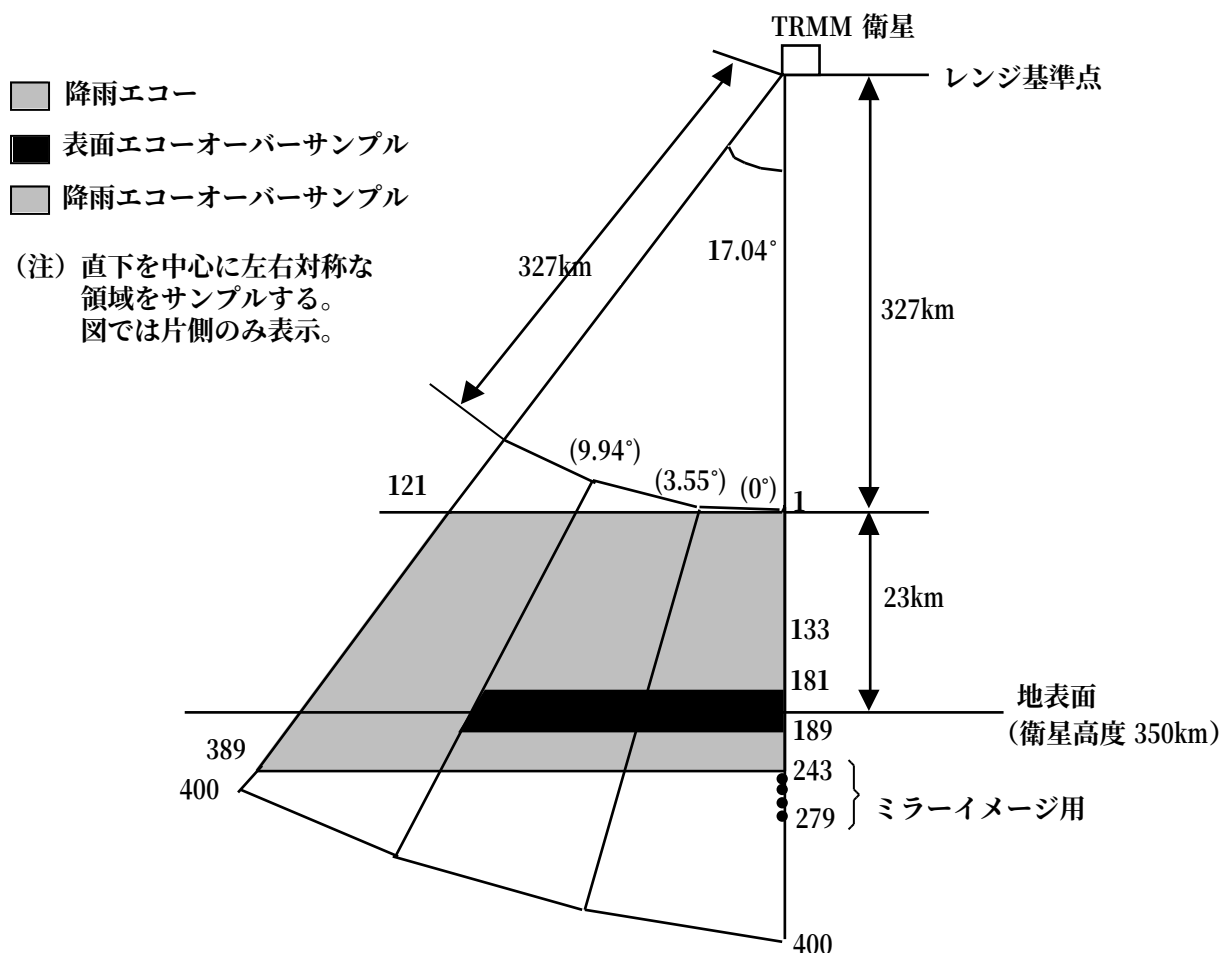


図 1-2 観測モード時のデータ抽出エリア

1.1.2 TRMMマイクロ波観測装置 (TMI)

● 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、米国のDMSPに搭載された、SSM/Iに類似した観測装置である。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つのチャンネルがある。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。

表 1-2 TMIシステム主要諸元

観測周波数	10.65, 19.35, 21.3, 37及び85.5 GHz
偏波	垂直 / 水平(21.3GHz Channelは垂直偏波のみ)
水平分解能	6-50km
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	8.8kbps
重量	62kg
消費電力	72W

表 1-3 TMI観測諸元

バンド	中心周波数 (GHz)	偏波	バンド幅 (MHz)	積分時間 (ms)	フットプリントサイズ(km)	
					スキャン方向	スキャン垂直方向
1	10.65	V	100	6.6	63.2	36.8
2	10.65	H	100	6.6	63.2	36.8
3	19.35	V	500	6.6	30.4	18.4
4	19.35	H	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	H	2000	6.6	16.0	9.2
8	85.5	V	3000	3.3	7.2	4.6
9	85.5	H	3000	3.3	7.2	4.6

表 1-4 TMI観測性能

バンド	中心周波数 (GHz)	偏波	ビーム効率 (%)	受信感度 (K)	主要目的	主要観測域
1	10.65	V	93	0.975	非常に強い降雨	海上
2	10.65	H	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	H	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	H	92	0.783	弱い雨	陸域／海上
8	85.5	V	82	1.165	強い雨 弱い雨	陸域 海上
9	85.5	H	85	1.165	強い雨 弱い雨	陸域 海上

1.1.3 可視赤外線観測装置 (VIRS)

● ミッション概要

VIRSは、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NOAAに搭載されたAVHRRに類似したものである。

表 1-5 VIRSシステム主要諸元

観測幅	走査角度範囲45度、地表で720km
走査角度	360度
回転速度	98.4rpm
瞬時視野	瞬時視野角 6.02mrad 2.11km (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 mm) 水銀カドミウムテルル (1.6, 3.75, 10.8, 12mm)
検知器冷却	放射冷却器 冷却温度117K
校正	黒体、太陽光拡散板、宇宙空間を使用

1.1.4 雲及び地球放射エネルギー観測装置 (CERES)

● ミッション概要

CERES は可視から赤外までの3つの広帯域スペクトラムを走査する放射計であり、地球放射エネルギー及び雲を含めた、大気上層から地表までの大気放射エネルギーを測定する。

表 1-6 CERESシステム主要諸元

観測バンド	0.3-5mm(短波長チャンネル) 8-12mm(長波長チャンネル) 0.3-50mm(トータルチャンネル)
水平分解能	10km (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

1.1.5 雷観測装置 (LIS)

● 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。

表 1-7 LISシステム主要諸元

観測バンド	0.777655 mm
水平分解能	4 km (直下)
観測幅	~600 km

1.2 軌道概要

● 軌道概要

TRMMは、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、約350km $\pm$ 10km、軌道傾斜角35度の軌道で運用されている。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。図1-3に1日分の軌道の例を示す。ちなみにTRMMレベル1、および2データのファイル単位は、軌道の最南端から次の最南端までになっており、これをグラニュール(granule)と呼んでいる。

各緯度帯における観測頻度は、センサごとに走査幅によって異なるが、図1-3からもわかるように、南北緯度35度付近は最も観測頻度が高く、赤道で低い。降雨レーダ(PR)の走査幅(215km)では、日本付近の同一地点は1日に1回から2回の観測がある。赤道全周がカバーされるのには6日から7日かかる。TMIの走査幅(~760km)では、日本付近では1日に3回前後の観測がある。全ての赤道上の地点は2日間でほぼカバーされる。

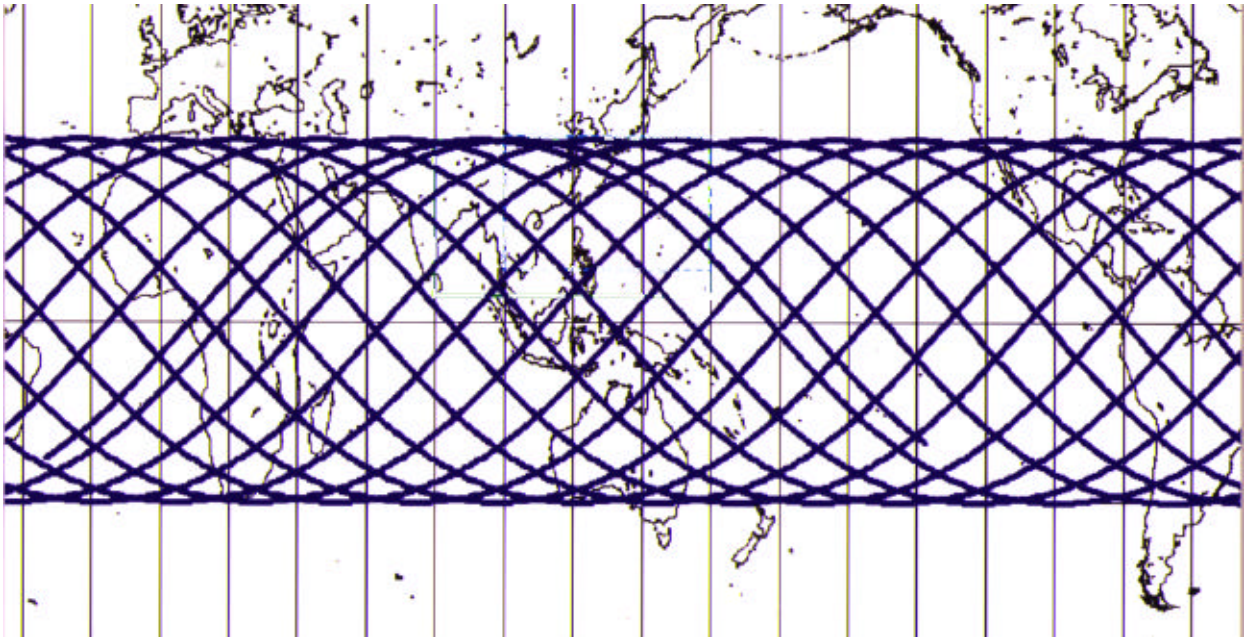


図 1-3 TRMMの1日分の軌道例

参考文献

Oki, R. and A. Sumi, Sampling simulation of TRMM rainfall estimation using Radar-AMeDAS composites, 1994: J. Appl. Meteorol., 33, 1597-1608.

● 衛星のマヌーバ

(1) 軌道保持マヌーバ

TRMM 衛星の軌道を高度 350km に保つため、軌道長半径及び離心率の制御が行われる。軌道半径は、 $6728\text{km} \pm 1.25\text{km}$ の範囲で制御される。この軌道保持マヌーバの実施頻度は定常段階の初期では、7-10日に1回、太陽活動の活発な寿命末期では、2日に1回と予測されている。

(2) 180度ヨーマヌーバ

軌道面の回転のため、太陽光とTRMM衛星の軌道面のなす角度は ± 58.5 度の範囲で変化する。VIRSの放射冷却器に太陽光が当たらないように、太陽光と軌道面のなす角度が ± 1 度以内になるとTRMM衛星は180度のヨーマヌーバを実施する。マヌーバ中に太陽光が VIRS に当たらないように、このマヌーバは、軌道の日陰の位置で、2-4 週間に1 度実施される。このマヌーバを実施すると、衛星の進行方向が反転するため、スキャン方向も反転するので、注意が必要である。各スキャンデータの Geolocation を同時に確認することを推奨する。

(3) 90度ヨーマヌーバ

降雨レーダのクロストラックアンテナパターンの評価を行うため、TRMM衛星の姿勢をヨー軸まわりに、90度回転させた状態を約5分間保つ運用を、約半年に1回実施する。90度ヨーマヌーバ実施時にVIRSの放射冷却器に太陽光が入射するのをさけるため、本マヌーバを実施できる軌道上の衛星位置は限定される。

マヌーバ実施の情報は、レベル1、2のプロダクトの各スキャン毎のデータ (Swath Data) の Scan Status 内の、Geolocation Quality の第4ビットのフラグとして格納されている、さらに、マヌーバの種類は、Scan Status 内の、Current Spacecraft Orientation に格納されている。

2. 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2-1にTRMMのプロダクトの処理レベルの定義を示す。

表2-1 TRMMプロダクトのレベル定義

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、データの品質チェック、冗長部の削除等を行って形式を整えたもの
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（レーダ反射因子やマイクロ波の輝度温度等）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平均降雨量としたもの
4	上記データを気候モデル等と組み合わせて得られるもの

2.1 提供プロダクト

NASDAが提供するTRMMの降雨観測センサのプロダクトは表2-2に示す通りである。なお、CERES およびLISの提供プロダクトについてはそれぞれ、表2-6および表2-7に示す。

また、図2-1に降雨観測装置(PR,TMI,VIRS)のアルゴリズムフロー図を示す。

表 2-2 TRMM (PR,TMI,VIRS) プロダクト

センサ	処理レベル	プロダクト名	シーン単位	圧縮サイズ (Z形式)	解凍後サイズ
PR	1B-21	受信電力	1周回 (16/day)	約62.7 MB	149.4 MB
	1C-21	レーダ反射因子	1周回 (16/day)	約38.3 MB	149.4 MB
	2A-21	後方散乱断面積	1周回 (16/day)	約6.0 MB	10.5 MB
	2A-23	品質プロダクト	1周回 (16/day)	約5.9 MB	13.1 MB
	2A-25	降雨構造	1周回 (16/day)	約26.6 MB	241.4 MB
	3A-25	月平均降雨構造	5°×5° (Monthly)	約25.6 MB	39.5 MB
	3A-26	月平均地表面降雨	5°×5° (Monthly)	約5.6 MB	9.3 MB
TMI	1B-11	輝度温度	1周回 (16/day)	約13.9 MB	13.8 MB
	2A-12	降雨構造	1周回 (16/day)	約8.3 MB	94.9 MB
	3A-11	月平均地表面降雨	5°×5° (Monthly)	約26.4 KB	58.3 KB
VIRS	1B-01	放射輝度	1周回 (16/day)	約85.7 MB	88.3 MB
COMB	2B-31	降雨構造	1周回 (16/day)	約8.5 MB	149.9 MB
	3B-31	月平均降雨構造	5°×5° (Monthly)	約314.9KB	348KB
	3B-42	複合プロダクト1	1°×1° (5days)	TBD	TBD
	3B-43	複合プロダクト2	1°×1° (5days)	TBD	TBD

注1： 1周回の定義は、ある周回の南端から南端とする

注2： 圧縮サイズは、データの内容により多少の変動がある

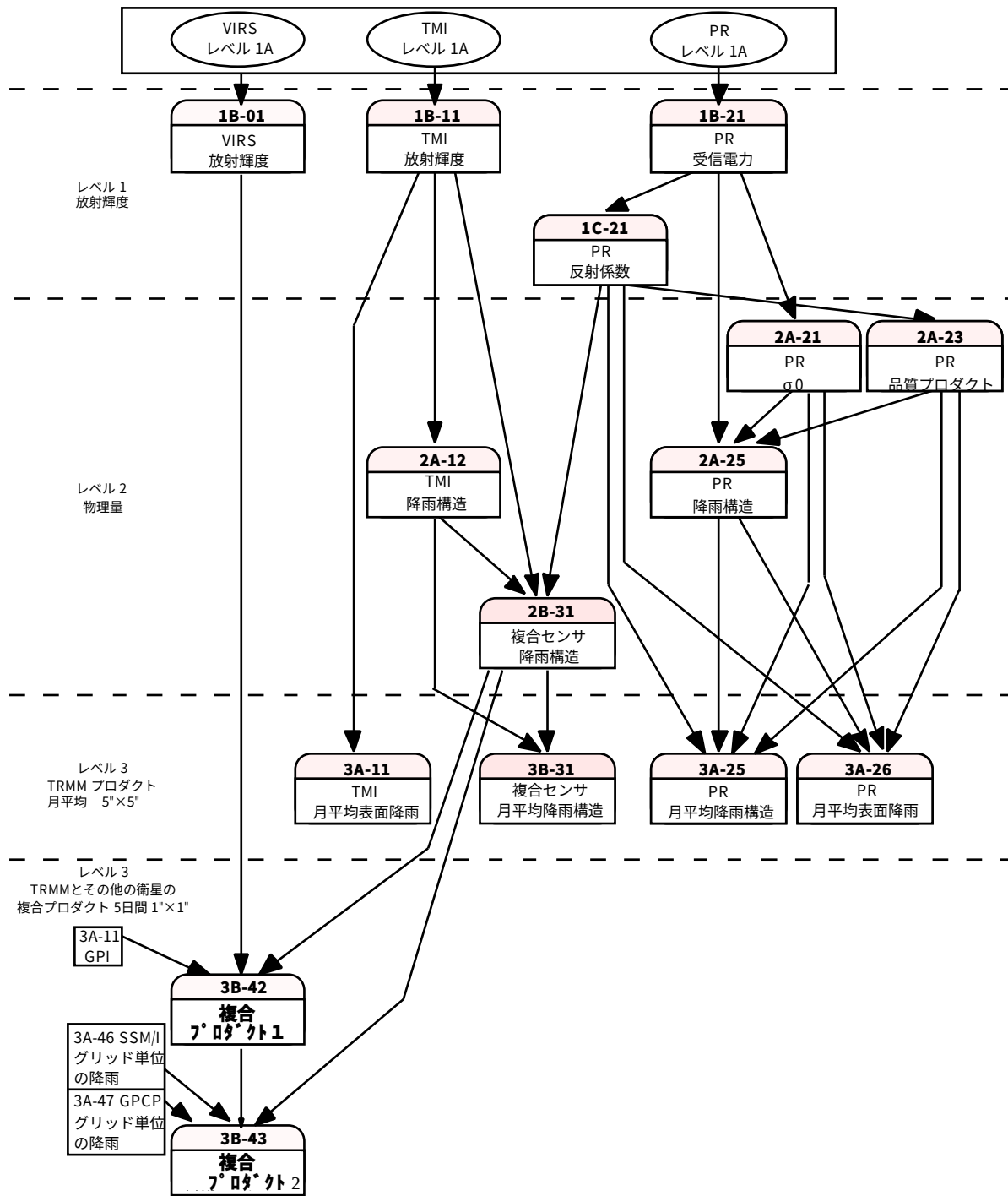


図 2-1 降雨観測装置のアルゴリズムフロー

2.2 データの種類とアルゴリズム概要

2.2.1 降雨レーダ

ここでは降雨レーダ（PR）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。

● データの種類

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Level-0データが観測モードであるかを確認し、1A-21、1B-21、1C-21の3種の処理を実施し、受信電力やノイズレベル、Z因子などによる降雨の三次元構造を算出する。

1A-21処理

1A-21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Level-0データから、シーン（軌道の南端から南端まで）単位で切り出しを行い、PRデータ処理に必要な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。

1B-21処理

1B-21処理は、デジタルカウント値に対して、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校正）に則り、受信電力値およびノイズレベル値に変換を行う。さらに、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。降雨の高さの判定についても行う。

1C-21処理

1C-21処理は、1B-21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散乱受信電力値より、降雨時の見かけのレーダ反射因子（Z因子）を算出する。

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、2A-21、2A-23、2A-25の3種の処理を実施し、ブライトバンドの高さや地表面散乱断面積、降雨タイプなどによる降雨の定量・定性的観測を行う。

2A-21処理

2A-21処理は、1B-21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断面積の時空間平均値を計算する。ここでは地表面を $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ の領域に分けて、瞬時視野が各領域内に入り込む散乱断面積のデータを各領域毎に集め、その値を時間的に平均する。散乱断面積のデータ量は時間とともに増加するため、時間と共に安定した平均値が求められる。地表面の散乱断面積は、陸上／海上、降雨域／無降雨域および入射角に従って分類する。また、降雨時には、散乱断面積の降雨減衰量を計算する。この降雨減衰量は、Surface Reference Dataとして、2A-25において表面参照法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。

2A-23処理

2A-23処理は、降雨についての定性的な情報の算出を行う。1C-21処理結果を入力データとして用い、降雨／無降雨の判定結果および降雨の高さを出力する。また、降雨時には、ブライトバンドの有無の判定を行い、ブライトバンドがある時は、その高さを算出し、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高度よりも低い時は、Warm Rainと判定される。

2A-25処理

2A-25処理は、降雨強度 (mm/h) プロファイルを算出する。1C-21、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(4km×4km×250m)毎の降雨強度を算出し、更に2つの高度(2km、4km を想定) 間の平均降雨強度 (パス平均降雨強度) を算出する。降雨強度算出法は、海上／陸上／強い雨／弱い雨の時に応じて異なるため、種々のケースに対応できるように複数の降雨強度算出手法が組み込まれている。利用した算出手法および降雨強度の算出精度についても合わせて出力する。

PRレベル3処理

PRレベル3処理は、レベル1および2処理の結果データをもとに、3A-25、3A-26 の2 種の処理を実施し、月平均降雨強度などを算出する。

3A-25処理

3A-25処理は、1C-21、2A21、2A23、2A25処理結果を用い、高度2km、4kmおよび6kmと地表面における経緯度5°×5°の領域の月平均降雨強度 (mm/h) を算出する。また、降雨パラメータのヒストグラム、降雨パラメータ間の相関係数の計算結果を出力する。

3A-26処理

3A-26処理は、1C-21、2A21、2A23、2A25処理結果を用い、Multiple Threshold Methodを用いて、経緯度5°×5°の領域の月単位の積算降雨量 (mm) および月平均降雨強度 (mm/h) を直接算出する。統計的手法で求めた月平均降雨強度と、決定論的手法で求められた月平均降雨強度の比較する。

● PR処理アルゴリズムフロー

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。PRアルゴリズムの全体フローを図2-2に示す。

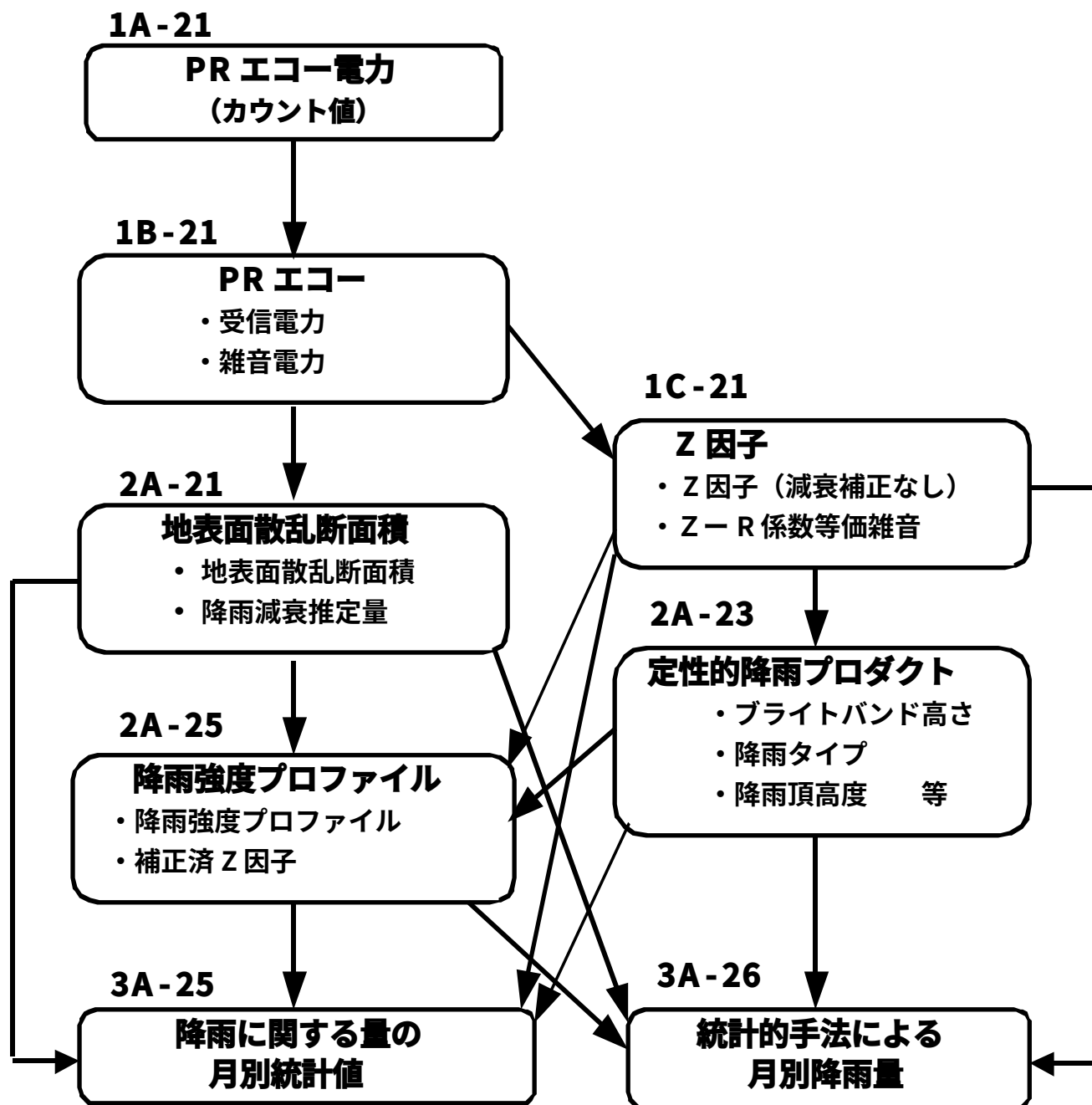


図 2-2 降雨レーダ アルゴリズム 全体フロー図

2.2.2 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。

● データの種類

TMIデータから表2-3に示すプロダクトが生成される。

表 2-3TMI提供プロダクト

レベル	内容
1B-11	TMI輝度温度
2A-12	“降雨強度, ピクセル単位での水蒸気の鉛直プロファイル。各ピクセルに対して、雲水量、雨水量、雲氷量、雪水量、潜熱が14の鉛直層に対して与えられる。地表面の降雨とその信頼度が計算される。
3A-11	“降雨分布, TMIレベル1データを使った5°×5°の範囲の海域の月間降雨マップ。月間雨量の統計も計算される。

● 処理アルゴリズムの概要

表2-3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。

レベル1処理

1B-11処理

TMI 1B-11プロダクトはTMI観測データに対し、以下の処理を行う。

- ① 幾何学補正
- ② センサ固有値の校正

レベル2処理

2A-12処理

2A12(TMI プロファイリングアルゴリズム)では、ピクセル単位の雲粒、降水粒子、および水蒸気の垂直分布を推定する。これにはまず、あらかじめ雲プロファイルモデルで計算されたhydrometeor の鉛直プロファイルから、計算されるTMI の輝度温度を求め、様々なケースについてのルックアップテーブルを作成しておく。これを、全9 チャンネルで実際に測定された輝度温度と比較し、テーブルから最も一致するものを探しだし、その対応するhydrometeor の鉛直分布を推定値とするものである。アルゴリズムの詳細は以下の文献を参照されたい。

Hong, Y., C. Kummerow, and W. S. Olson, 1998: Separation of convective/stratiform precipitation using microwave brightness temperature, J. Appl. Meteorol., (conditionally accepted).

Kummerow, C., W.; Barnes, T. Kozu, J. Shiue, and J. Simpson, 1998: The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package, J. Atmos. and Ocean Tech., 15, 808-816.

Kummerow, C., W. S. Olson and L. Giglio, 1996: A simplified scheme for obtaining precipitation and vertical hydrometeor profiles from passive microwave sensors, IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 34, 1213-1232.

レベル3処理

3A-11処理

衛星搭載センサによるマイクロ波輝度温度は地表面からの放射に依存し、大気中の雲粒、降水粒子等による吸収及び反射の影響を受ける。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。3A-11 のプロダクトの目的は、TMIデータを使って5° ×5° の月間平均海域降雨マップを作成することである。

2.2.3 可視赤外観測装置

ここではTRMM可視赤外観測装置（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。

● データの種類

VIRSデータから、表2-4に示すプロダクトが生成される。

表 2-4 VIRSプロダクト

レベル	内容
1B-01	VIRS 放射輝度

● 処理アルゴリズムの概要

VIRS 1B-01プロダクトはVIRS観測データ（1Aプロダクト）に対し、以下の処理を行う。

- ① 幾何学補正
- ② センサ固有値の校正

2.2.4 複合センサ

TRMM 降雨レーダ(PR)と TRMM マイクロ波観測装置(TMI)、可視赤外観測装置（VIRS）を組み合わせる複合プロダクトが作られる。

● データの種類

PRとTMIの組合せ処理により、表2-5に示すプロダクトが生成される。

表 2-5 COMB提供プロダクト

レベル	内容
2B-31	2B-31（TRMM Combined）は、PRレーダーおよびTMIの10 GHzチャンネルからデータを用いて垂直な大気プロファイルを生成する。
3B-31	3B-31（雨量Combined）は、2B-31および2A-12の月別積算データである。
3B-42	3B-42（TRMMおよびOther GPI Calibration）は、静止気象衛星の赤外データの情報とTRMMの観測の特長を生かして作られる、5日平均、1度×1度にグリッド化された降水量データである。
3B-43	入手利用可能な他の降水量データとあわせて、TRMMの月別降水量として、「最良」の推定を行う。

● 処理アルゴリズムの概要

表-5に示したCOMB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。

レベル2処理

2B-31 処理

2B-31(TRMM Combined) は、降雨レーダ(PR)と、TMI の 10GHZ のデータを、PR の観測幅の範囲であわせて用いることにより、降雨強度の鉛直分布ならびに雨滴粒径分布のパラメータを出力する。PR で観測される降雨強度に対して、考えられる様々な雨滴粒径分布を仮定し、TMI で実際に観測された輝度温度をもっとも良く説明する雨滴粒径分布を採用するという方法を用いている。現在は TMI の 10GHz の情報だけを用いているが、将来的には全てのチャンネルのデータを用いるアルゴリズムが検討されている。アルゴリズムの詳細は、以下の参考文献を参照されたい。

参考文献

Haddad, Z. S., E. A. Smith, C. D. Kummerow, T. Iguchi, M. R. Farrar, S. L. Durden, M. Alves, and W. S. Olson, 1997a: The TRMM 'Day-1' radar/radiometer combined rain-profiling algorithm, J. Meteor. Soc. Japan, 75, 799-809.

Haddad, Z. S., D. A. Short, S. L. Durden, E. Im, S. Hensley, M. B. Grable and R. A. Black, 1997b: A new parameterization of the rain drop size distribution, IEEE Trans. Geosci, Rem. Sens., 35, 532-539.

レベル3処理

3B-31処理

3B-31(雨量Combined)は、2B-31 および2A-12 の月別積算データである。TMI の走査幅の広い点、降雨レーダの優れた点をあわせて用いる2B-31の統計量である2B-31は、それらを単独に用いて得られる月降水量よりも正確であることが期待される。そこでこのアルゴリズムはその比較、確認をも目的としており、2A-12 の各高度における月統計量、積算量も同時に求め、出力する。積算は0.5 度グリッドで行われ、月降水量は観測のある場合の平均降雨強度に一月の時間をかけるシンプルな方法で求められる。

参考文献

Haddad, Z. S., E. A. Smith, C. D. Kummerow, T. Iguchi, M. R. Farrar, S. L. Durden, M. Alves, and W. S. Olson, 1997a: The TRMM 'Day-1' radar/radiometer combined rain-profiling algorithm, J. Meteor. Soc. Japan, 75, 799-809.

3B-42処理

3B-42 (TRMMおよびOther GPI Calibration) は、静止気象衛星の赤外データの情報とTRMMの観測の特長を生かして作られる、5日平均、1 度×1 度にグリッド化された降水量データである。北緯40度から南緯40度の範囲で出力される。

入力データは、VIRS(1B-01)、TMI(2A-12)および静止気象衛星のIRデータである。2A-12を1ヶ月間グリッド化して得られる中間プロダクトを、3B-31で出力したTMIとコンバインドプロダクトの間の校正係数を用い、TCI(TRMM Combined Instruments) データに変換する。次に、グリッド化した月平均 VIRS データ(1B-01)とTCIデータを比較し、校正係数を求める。これらの校正係数を、5日毎に合成した静止気象衛星のIRデータに適用し、3B-42プロダクトを作成する。

参考文献

Huffman, G. J., R. F. Adler, B. Rudolph, U. Schneider, and P. Keehn, 1995: Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information, *J. Clim.*, 8, 1284- 1295.

Huffman, G. J., 1997: Estimates of root-mean-square random error for finite samples of estimated precipitation, *J. Appl. Meteor.*, 1191-1201.

Huffman, G. J., R. F. Adler, P. Arkin, A. Chang, R. Ferraro, A. Gruber, J. Janowiak, A. McNab, B. Rudolph, and U. Schneider, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset, *Bul. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 5-20.

3B-43 処理

入手利用可能な他の降水量データとあわせて、TRMM の月別降水量として、「最良」の推定を行うことを目的とする。データソースは、3B-42の中間ファイルであるTMIによる推定値、5日平均の合成されたIRによる推定値に加え、SSM/Iによる推定値、全球の雨量計ネットワークによる解析値の4種類である。出力は、5日平均、1度×1度にグリッド化された北緯40度から南緯40度の範囲の降水量データである。

参考文献

Huffman, G. J., R. F. Adler, B. Rudolph, U. Schneider, and P. Keehn, 1995: Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information, *J. Clim.*, 8, 1284- 1295.

Huffman, G. J., 1997: Estimates of root-mean-square random error for finite samples of estimated precipitation, *J. Appl. Meteor.*, 1191-1201.

Huffman, G. J., R. F. Adler, P. Arkin, A. Chang, R. Ferraro, A. Gruber, J. Janowiak, A. McNab, B. Rudolph, and U. Schneider, 1997: The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset, *Bul. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 5-20.

2.2.5 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。

● データの種類とアルゴリズムの概要

CERESのプロダクトの一覧を表2-6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、気象モニタリングや気象変化研究に使用される。

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 スキャンングラジオメータ

- 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（Top of Atmosphere）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る地表面放射収支（Surface radiation budget）を推定する時に使用され、また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象研究や陸・海面エネルギー量の研究にも使用される。
- c. 大気プロダクト：地表面、大気中の複数高度、およびTOAでのSW（短波）とLW（長波）放射フラックス（上下）の推定を実施するため、雲観測装置から求まる雲物理特性、NCEP（国立環境予測センター）あるいはEOS DAO（Data Assimilation Office）の気温と湿度フィールド、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使用するプロダクト。もっとも信頼性の低い地表面と雲特性を調整することにより、計算はCERES TOA測定フラックスに一致させる。それによって、内部で矛盾のない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、矛盾のない雲、TOA、及び地表面放射データセットを要求する気候研究、並びに大気中のエネルギーバランスの研究のために設定されたものである。
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。

表2-6 CERESのプロダクト一覧

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

2.2.6 雷観測装置

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

● データの種類

TRMMでは軌道（周回）をデータグラニューールとして定義しているため、全てのLISデータは軌道によって分類される。表2-7にLISプロダクトの構成要素の概要を示す。

表2-7 LISプ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ウンドデータ
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エリア、閃光、グループ、イベント、バックグラウンドの概要
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	イベント、グループ、閃光、地域の放射輝度の合計
	画像属性	LIS02	L1B	画像の四隅の緯経度
バックグラウンド		LIS02	L1B	バックグラウ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: 330ms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: 2ms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500kmグリッドの閃光の数
メタデータ		—	—	関連する補足情報のテキスト

● 処理アルゴリズムの概要

稲妻の発生には、電気エネルギーの突然の開放を伴い、そのエネルギーは電気放電路付近の急激な加熱、（雷鳴のように音波へ急激に崩壊する。）衝撃波、及び超長派（ELF）からX線までの範囲の電磁波放射に変換される。最も強力な放射領域の一つは光学的波長帯で、100～100MWの間にピークパワーを持つ。これらの光学的放射は、電放電路の急激な加熱による、大気成分の分離、励起、および再結合の結果である。加熱は非常に急激（電子温度は20,000K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観測される。雲の頂上からの全光学的エネルギー放射の観測は、雲と地上の間の閃光を地上で観測した結果によく一致し、雲は保存散乱体（conservative scatter）（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）のように振る舞うという理論を支持する。

LISは雷により生ずる近赤外のスペクトルを、雲の上から観測するセンサである。

3. TRMMデータのフォーマット

3.1 ファイル構造

TRMMデータはHDF (Hierarchical Data Format)フォーマットで作成されている。HDF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。図3-1 にプロダクト構造の例を示す。

TRMMデータ（レベル1，2）の1シーン（軌道の最南端から次の最南端まで）は1 Data Granule として表される。1 Data Granuleには、1シーンにおける共通なデータと、各スキャン毎のデータ、各グリッド毎のデータが含まれる。また、それらのデータ形式には、TableデータとArrayデータの2種類のフォーマットが用いられている。レベル3のデータでは1 Data Granule に決められた期間（5日、1ヶ月）の平均値のデータを格納する。1 Data Granuleには、平均期間における共通データと、各グリッド毎のデータが含まれる。

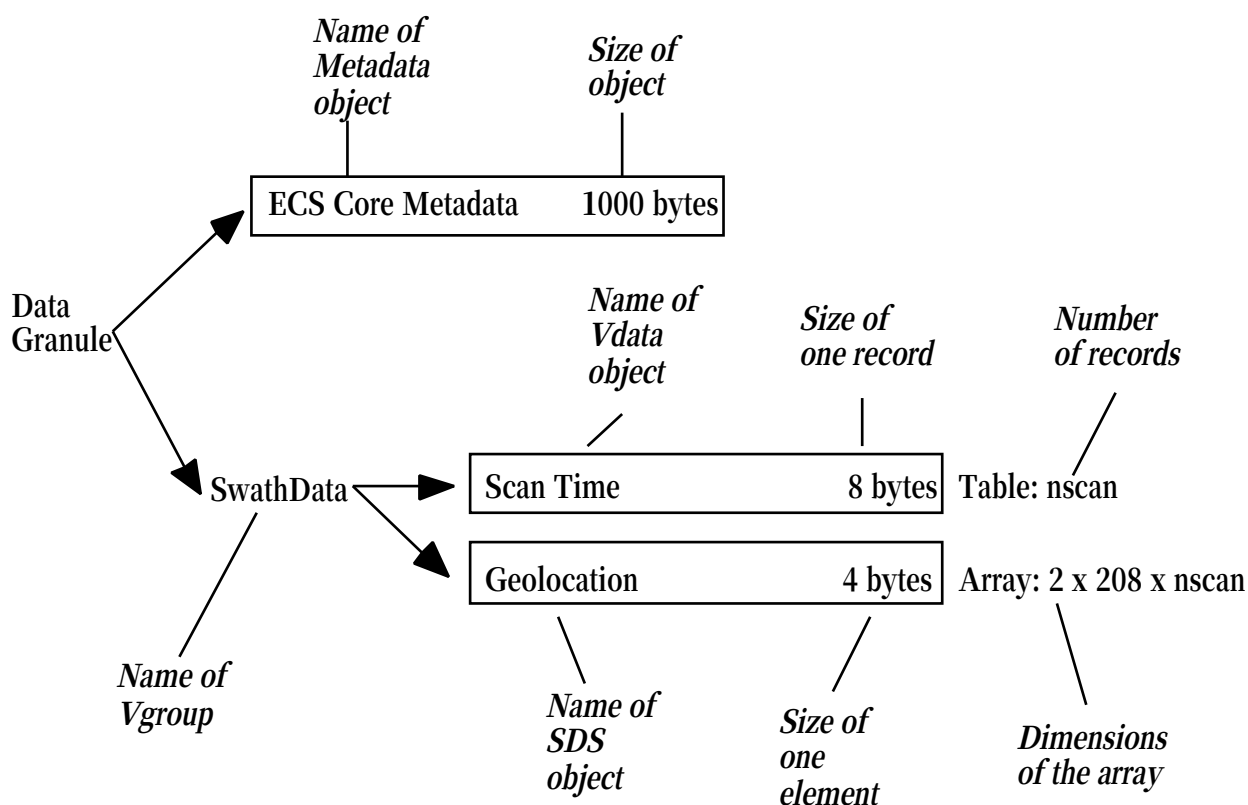


図 3-1 プロダクトの構造の例

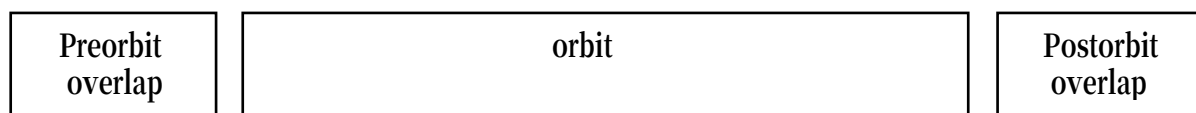
3.2 フォーマット規定

3.2.1 軌道とグラニューールの定義

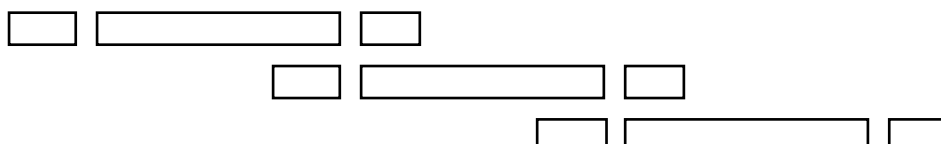
1 周回の開始／終了は、衛星の地上軌跡が最南緯度にある時刻によって定義される。この時刻は軌道決定値から求められる。あるスキャンは、そのスキャン時刻が周回開始時刻以降で、かつ周回終了時刻より前であるとき、その周回中に含まれる。平均1周回は、91.5分（5490秒）である。

グラニューールは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、各グラニューールは100オーバーラップスキャンを含んでいる。図3-2を参照。

Single granule :



Multiple granules :



(右方向で時間増加)

図 3-2 グラニューールの構造

オーバーラップはアルゴリズム2B-31において、1 グラニューールを出力するために1 入力グラニューールのみをオープンすることを可能とする。2B-31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。

3.2.2 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、構造図及び配列ディメンジョンにおいてnScanとして示される。各センサに対するスキャン数は表3-1の通りである。

表3-1 各センサのスキャン数

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

3.2.3 時刻

●時刻のフォーマット

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各センサのスキャンに対して独立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、個々のセンサのスキャンに関連した時刻である。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。

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

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

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) 1B-11及び2A-12においては、UTC時刻は「Scan time」に、年、月、日、時、分、秒として記録される。

(3) その他のプロダクトについてはデータの本体に含まれるUTCスキャン時刻「Scan time」は1日の秒単位で記録される。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。

● IFOVの時刻に対するスキャン時刻の関係

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) TMIに関しては、表3-2に示される関係式が報告されている。

表 3-2 TMIの関係式

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

(2) VIRSに関しては、以下の式が導きだされている：

$$T = \text{Scan Time} + 107.6 \text{ ms} + (\text{OFFSET} + (i-1)) * \text{Sample Time}$$

ここで、

$$i = 1, 261$$

$$\text{Sample Time} = 0.29157 \text{ ms}$$

OFFSET値は表3-3を参照

表 3-3 オフセット値

チャネル	オフセット
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：

$$\text{Sample Time} = (183.7 \text{ ms} - 107.6 \text{ ms}) / 261$$

(3) PRに関して、その関係は下式のように報告されている。

$$T = \text{Scan Time} + (i-1) * 11.527 \text{ ms} - 0.005 \text{ ms}$$

ここで、

$$i = 1 \sim 49$$

3.2.4 配列ディメンジョンの順番

配列ディメンジョン（例えば、n ピクセル×n スキャン）は、FORTRAN においては、本文書の記述と同様なディメンジョンを持った配列を宣言し、一方、C においては、本文書の記述とは逆のディメンジョンを有する配列を宣言する。

3.2.5 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、 -9999.9以下の数値は、それぞれ1バイト整数、2バイト整数、4バイト整数、4バイト浮動小数点、8バイト浮動小数点に対して、欠損データあるいは無効データを示す。これらの標準値の使用に関する例外は、オブジェクトの記述の中で宣言される。PRセンサに対して、観測モード以外のモードのスキャンは欠損値がうめられる。衛星データの1周回全てが欠損した場合は、スキャンデータは省略され、メタデータエレメントの「Orbit Size」が0となる。

3.2.6 PRデータの幾何構造

PR のデータは図 3-3 に示す様に、実際に観測される領域は、扇形の一部を切り出した様な形であるが、データ処理は、この領域を長方形の領域に写像した形で行っている。1B-21、1C-21 のデータでは、衛星からの距離326,658mの点を原点として、250m毎（ノーマルサンプル）に140レンジビンのサンプリングを行っている。また、スキャン方向には $\pm 17^\circ$ の範囲を49アングルビンでサンプリングしている。従って、データは、図3-4の左図のように格納される。2A-25では、1C-21に入っている、衛星からellipsoid までの距離を用いて、その距離に一番近いレンジビンに相当するビン番号を80番目のデータとして並べ替え、そのビンから上に80個のデータを用いている（図3-4、右図）。したがって、250mの誤差範囲内で、ellipsoidから3kmのデータは、

$$80 - 3/0.25 = 68$$

番目のレンジビンのデータと、ellipsoidではなく実際の地表面からの高さを用いる場合は、

$$\text{rangeBinNum}(3,*) - 12 + 1$$

番目を見れば良い。12が3km の間にあるレンジビンの数であり、1を足しているのは、2A25ではレンジビン番号としては0から79を出力してるためである。海上ではellipsoidと地表面は(概ね)一致するから、

$$\text{rangeBinNum}(3,*) = 79$$

と本来はなっているはずである。しかし、地表面の位置はレーダのエコーを用いて決めている(1B-21)ので、実際には79の前後でふらついている。また、レーダエコーで決めた地表面の位置を基準にして雨のエコーを表示するとブライトバンドががたつくので、前者の方法を用いることを推奨する。

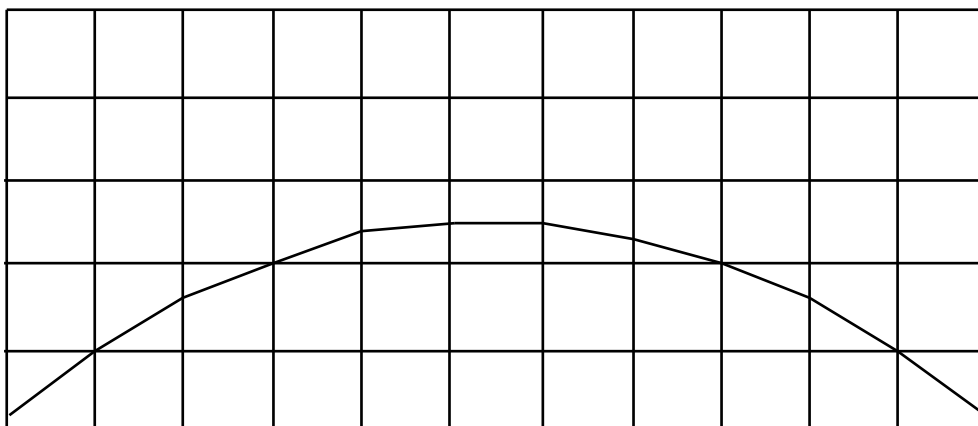
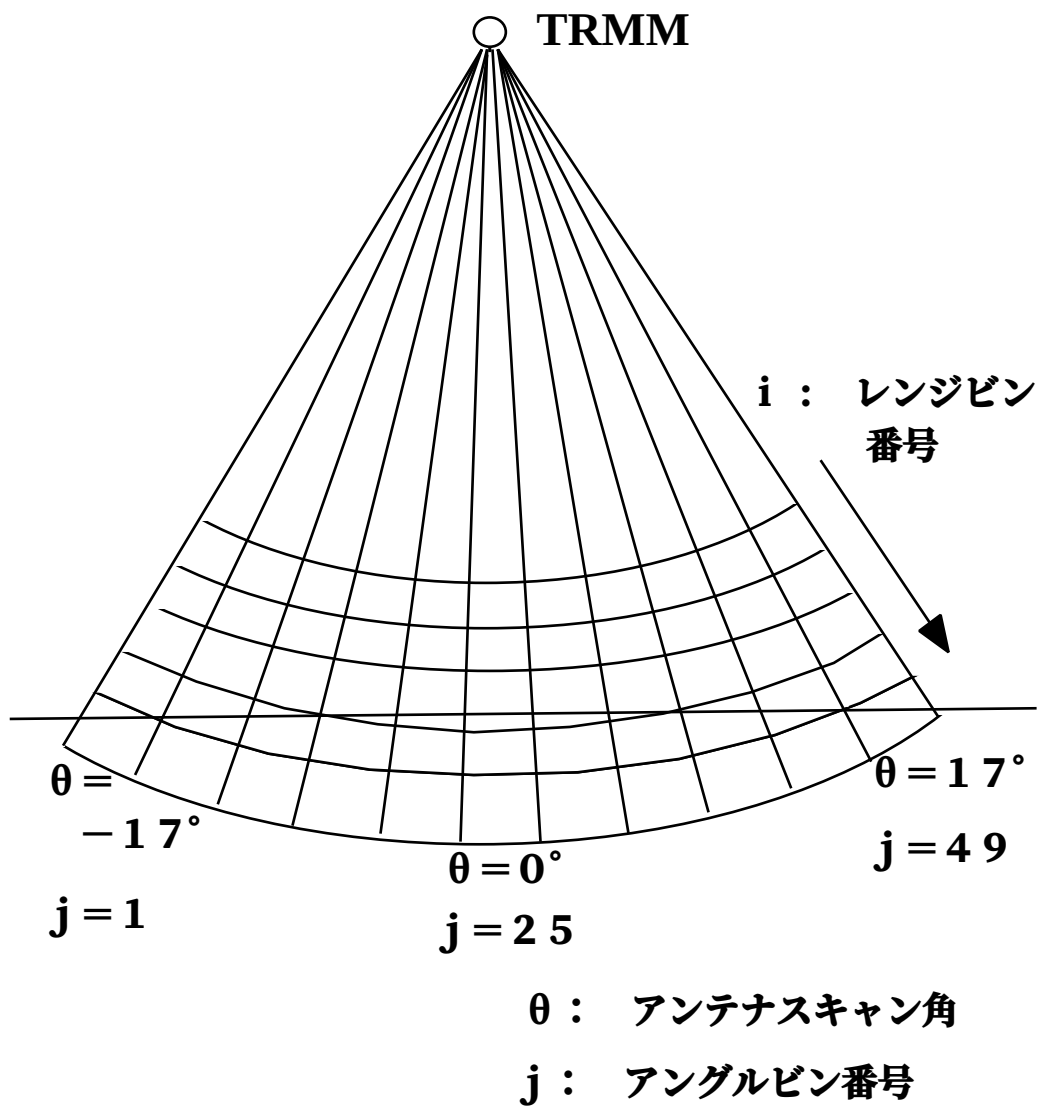
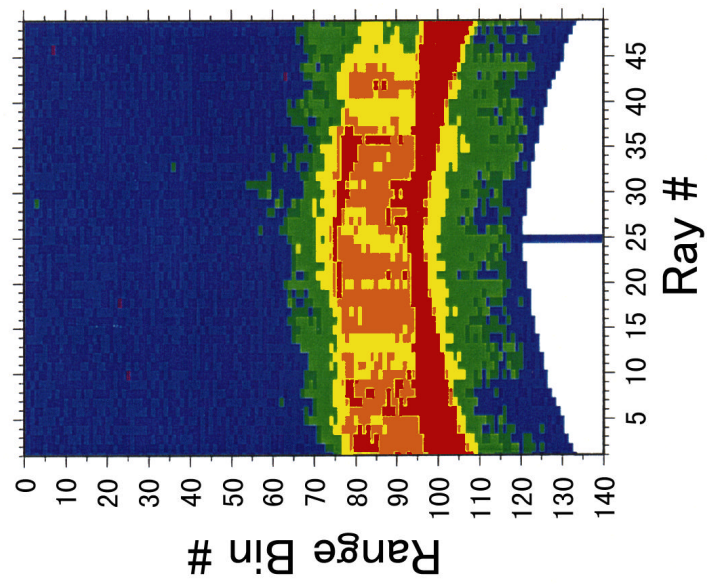


図3-3 アンテナスキャンの概要

この図から明らかなように、実際に観測される領域は扇形の一部を切り出したような形であるが、データ処理は、この領域を長方形の領域に写像した形で行う。

Example of Vertical Profile(1B-21)



Example of Vertical Profile(2A-25)

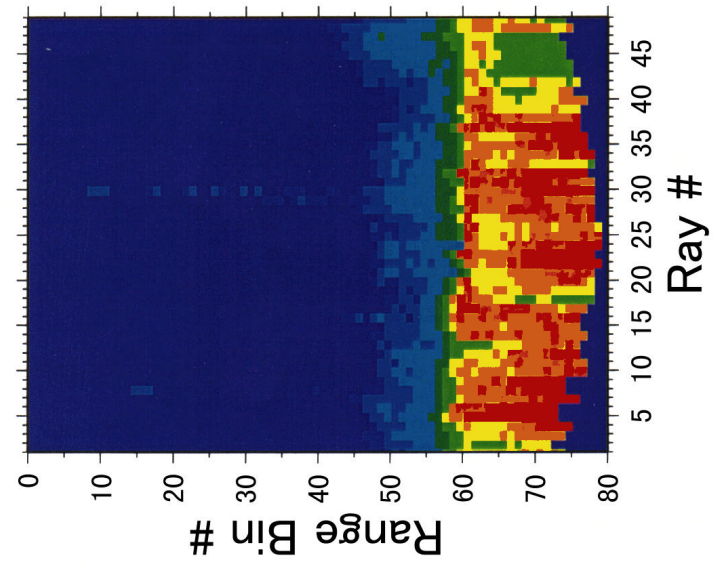


図 3-4 ノーマルサンプルデータの例

3.3 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、およびCOMBについて概説する。
尚 CERES については、<http://asd-www.larc.nasa.gov/ceres/docs.html>、LIS については
<http://thunder.msfc.nasa.gov/data.html>で公開されているマニュアルを参照いただきたい。

3.3.1 降雨レーダ

(1) 1B-21 (PR Power)

PRのレベル1Bプロダクトである1B-21,“PR Power”の構造をコンポーネントとそのサイズで示す。ここで使われているパラメータの値を以下に示す。メインプロダクトである受信電力は、Normal Sample に格納されている。更に、Oversample 情報は、Surface OversampleとRain Oversampleに格納されている。
図3-5に1B-21プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

$\sum nray$ = アングルビン数 = 49

$\sum nscan$ = スキャン数 = 9150

(2) 1C-21 (PR Reflectivities)

PRのレベル1Cプロダクトは1C-21,“PR Reflectivities”で、レベル1B-21と同じフォーマットである。ただし、Normal Sample、Surface Oversample、およびRain Oversampleには1C-21ではレーダ反射因子(dBZ)が格納されている。これらの三つの変数は-20 dBZから80 dBZの範囲で、1.0 dBZの精度である。セル内の降雨がない場合は、レーダ反射因子は-32700に設定される。

1C-21のプロダクト構造は1B-21と同一である。

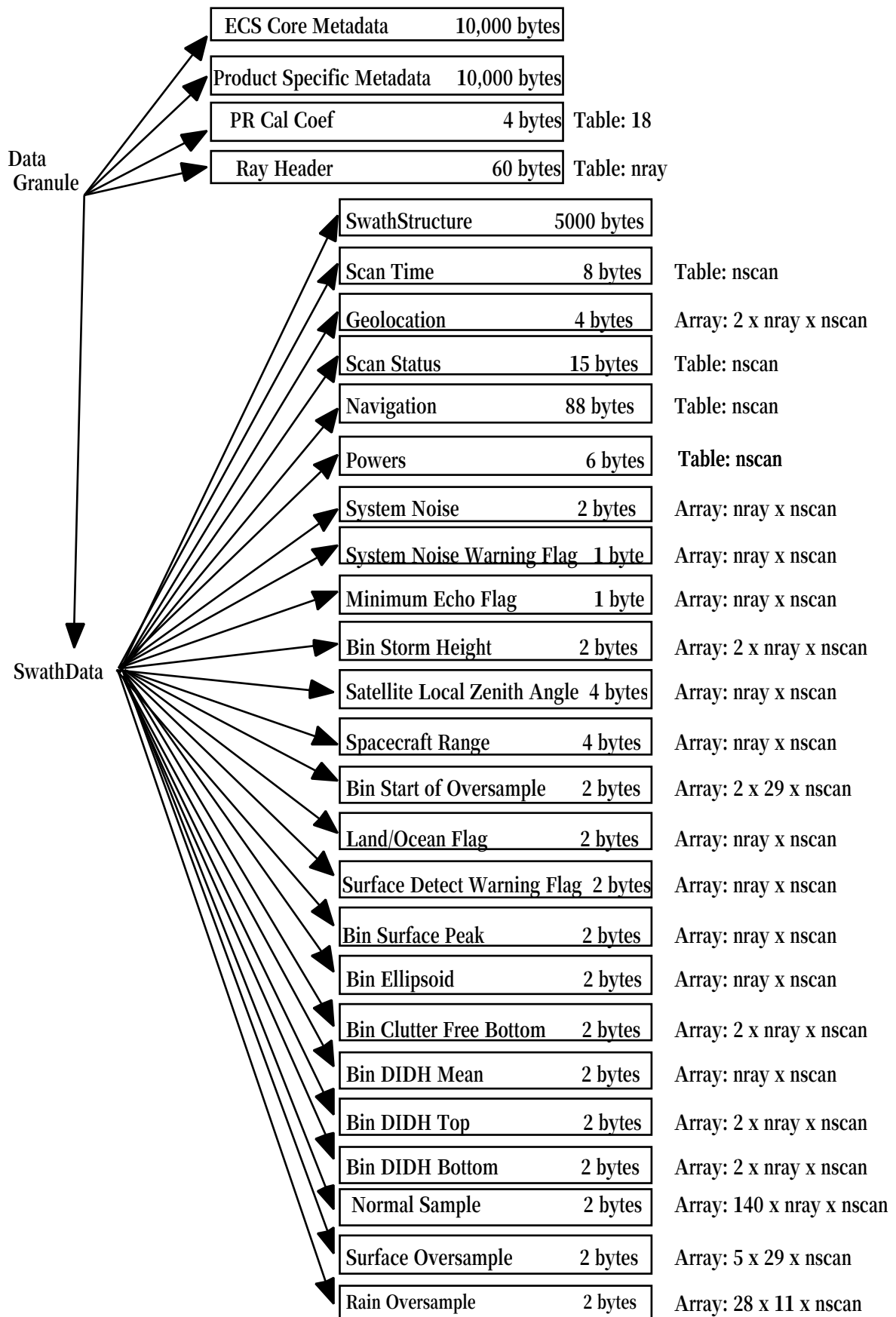


図3-5 1B-21、1C-21プロダクトの構造

(3) 2A-21 (Surface Cross Section)

2A-21, “Surface Cross Section”プロダクトでは正規化した地表面散乱断面積を算出する。降雨がある場合、観測経路の減衰率とその信頼性も計算される。図3-6に2A-21プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

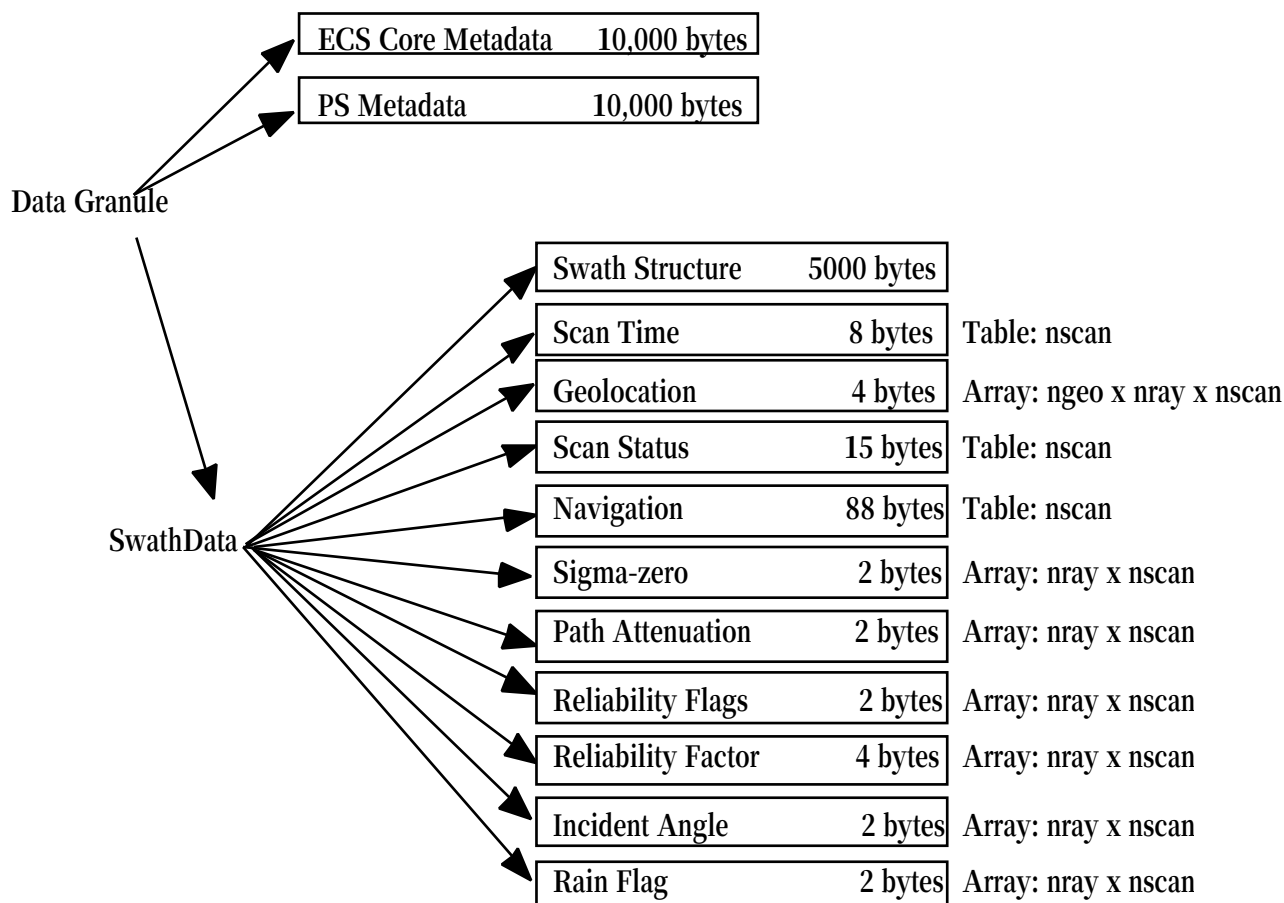


図 3-6 2A-21プロダクトの構造

(4) 2A-23 (PR Qualitative)

2A-23, “PR Qualitative”プロダクトは降雨の有無、及び降雨タイプの分類を出力する。降雨がある場合、このアルゴリズムはブライトバンドを検知し、ブライトバンドの高さとストームハイトを決定し、降雨タイプの分類を行う。図 3-7 に2A-23プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

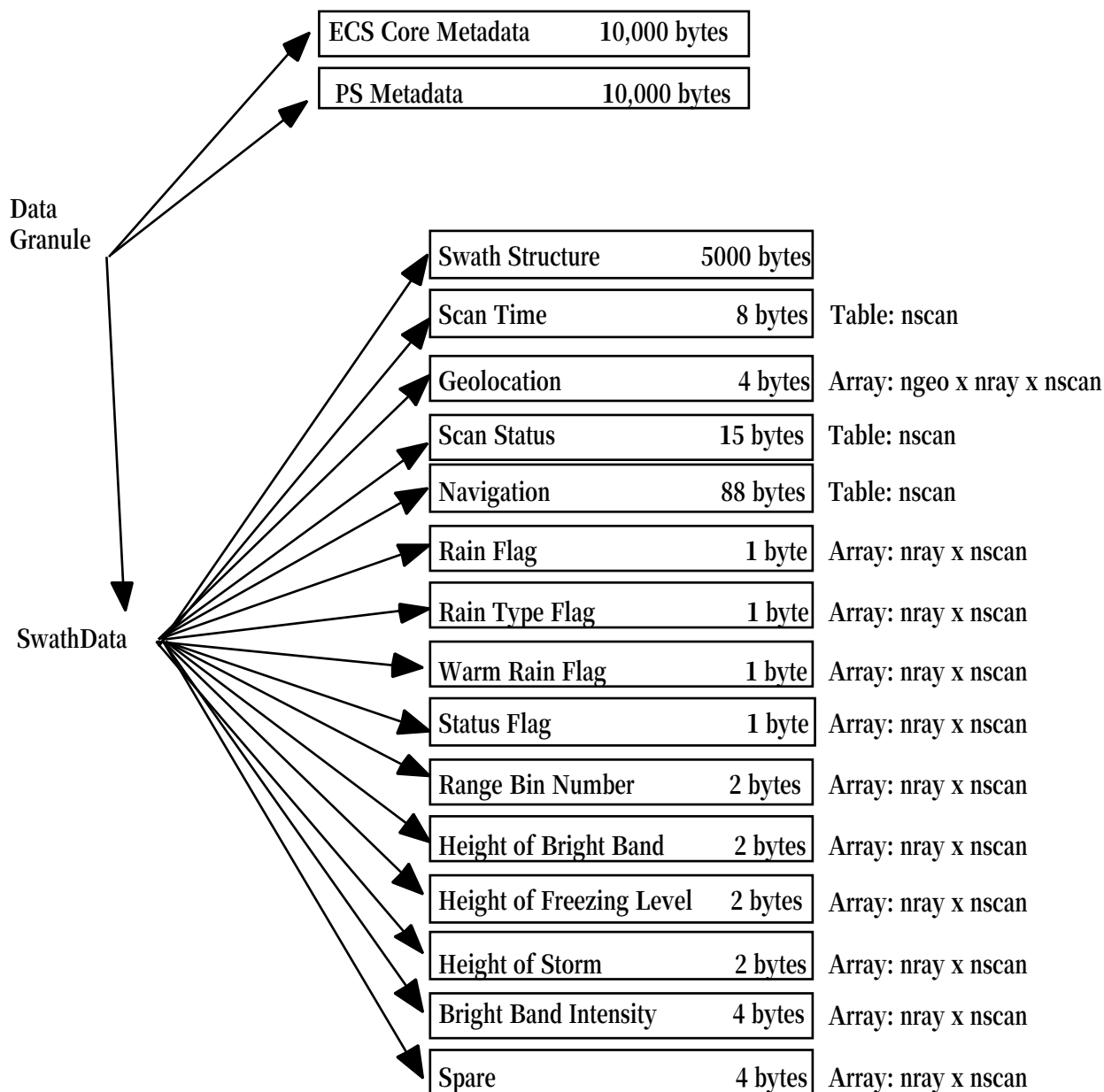


図 3-7 2A-23プロダクトの構造

(5) 2A-25 (PR Profile)

2A-25, “PR Profile”プロダクトは各レーダービーム内での鉛直降雨強度プロファイルの推定値である。降雨強度の推定値は PR レーダー分解能毎の各セルに対して与えられる。地上レーダーのデータと比較するために、降雨減衰補正済みレーダー反射因子のプロファイルも与えられる。2 つの事前に定義された高度間の平均降雨強度は各ビーム位置に対し計算される。他の出力データは各セルに対し Z-R 関係のパラメータ、各ビームの積算降雨強度、降雨層境界のビン番号、および多くの中間パラメータを含んでいる。図 3-8 に 2A-25 プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

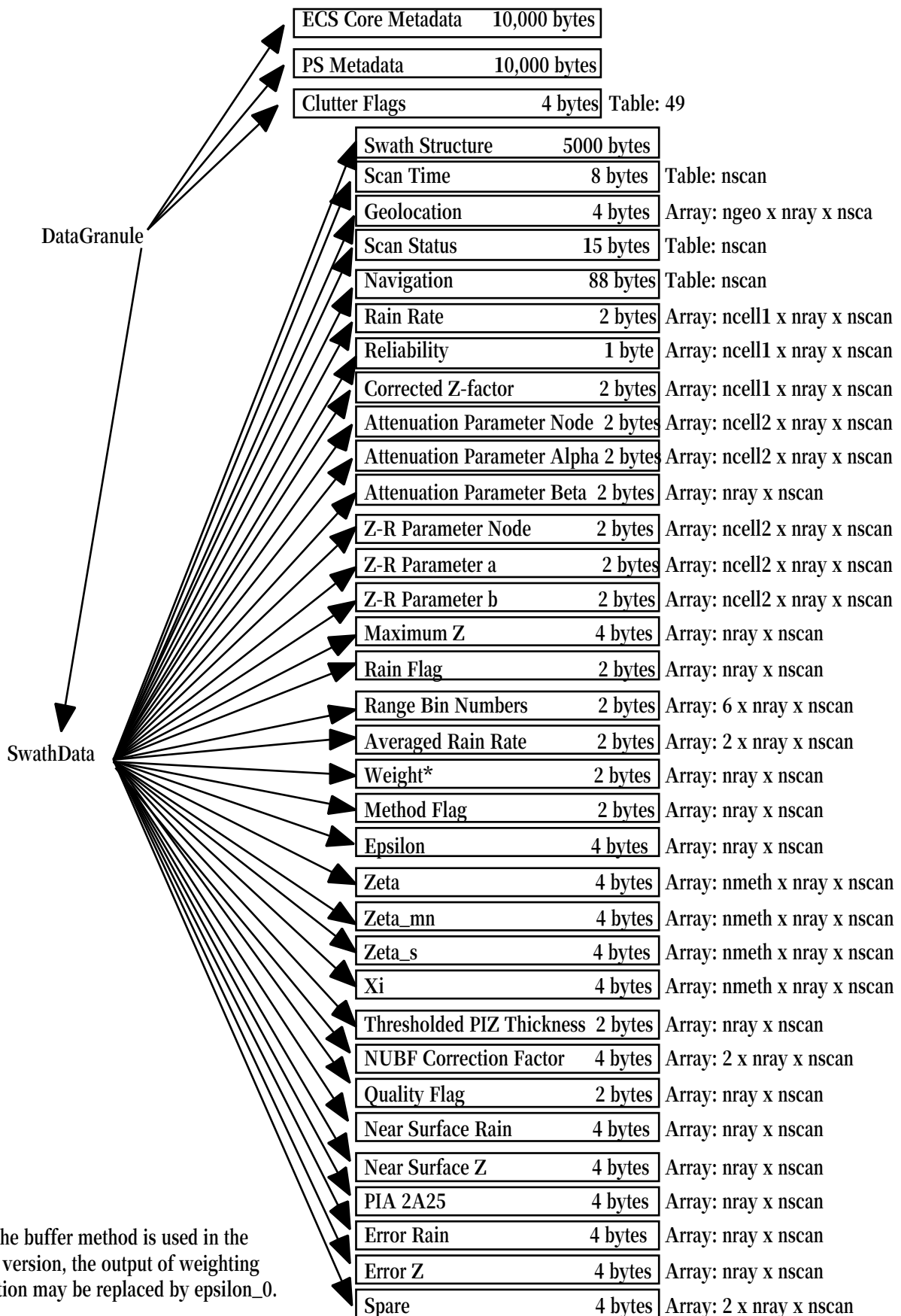
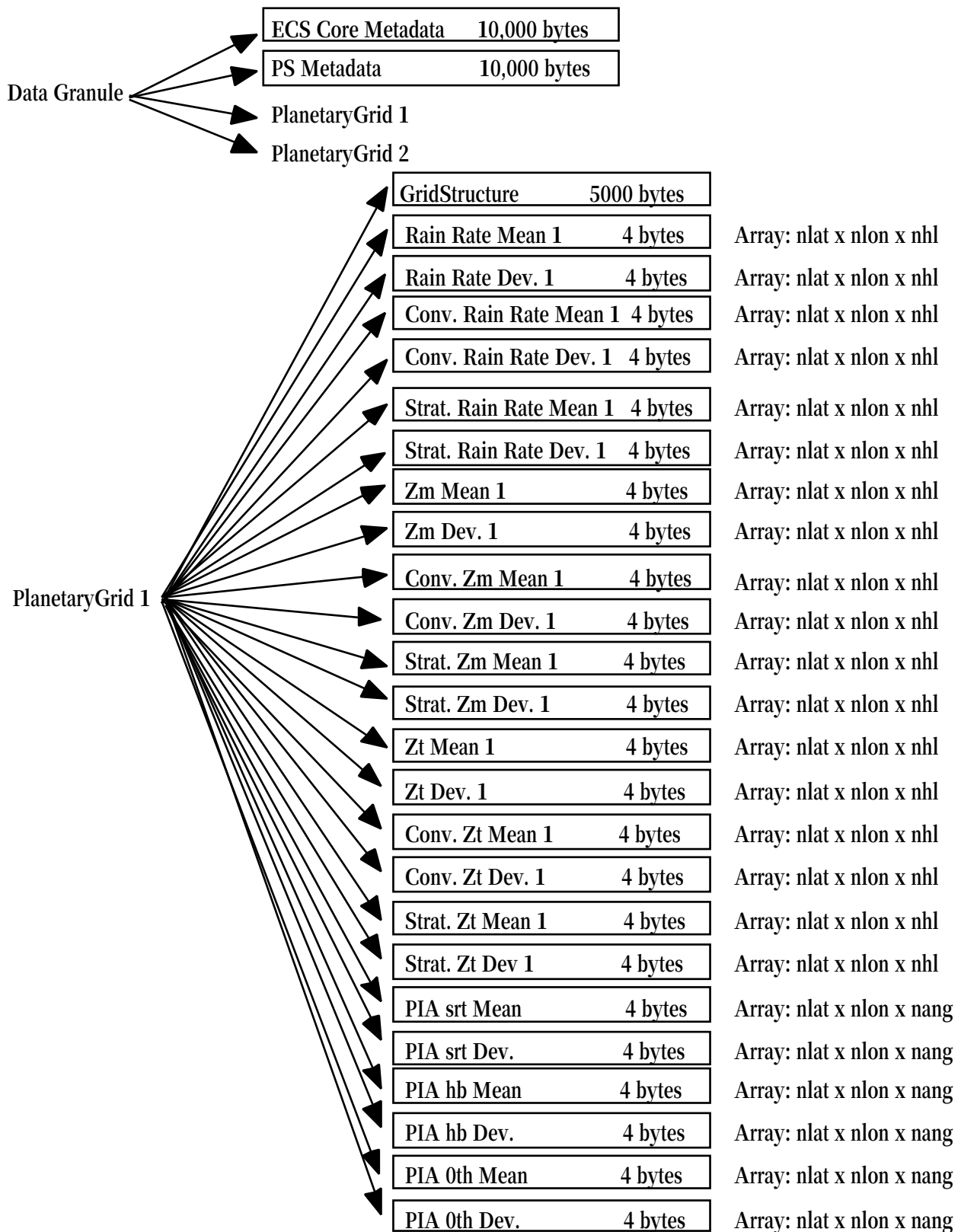


図 3-8 2A-25 プロダクトの構造

(6) 3A-25 (PR Rainfall)

3A-25, “PR Rainfall”プロダクトでは、低分解能(緯度経度 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$)と高分解能(緯度経度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$)での、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 Structureであり、次の4種類のデータを含む。1)降雨強度、レーダ反射因子、パス積算減衰率(PIA)、ストームハイト、 X_i 、ブライtbバンドの高度、およびNUBF(Non-Uniform Beam Filling)補正の各々の平均値と標準偏差、2)レインフラクション、3)ストームハイト、ブライtbバンドの高度、雪-氷層、レーダ反射因子、降雨強度、パス減衰およびNUBF補正の各々のヒストグラム、4)相関係数。図3-9に3A-25プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。



Continued on next page

図3-9 3A-25 のプロダクト構造

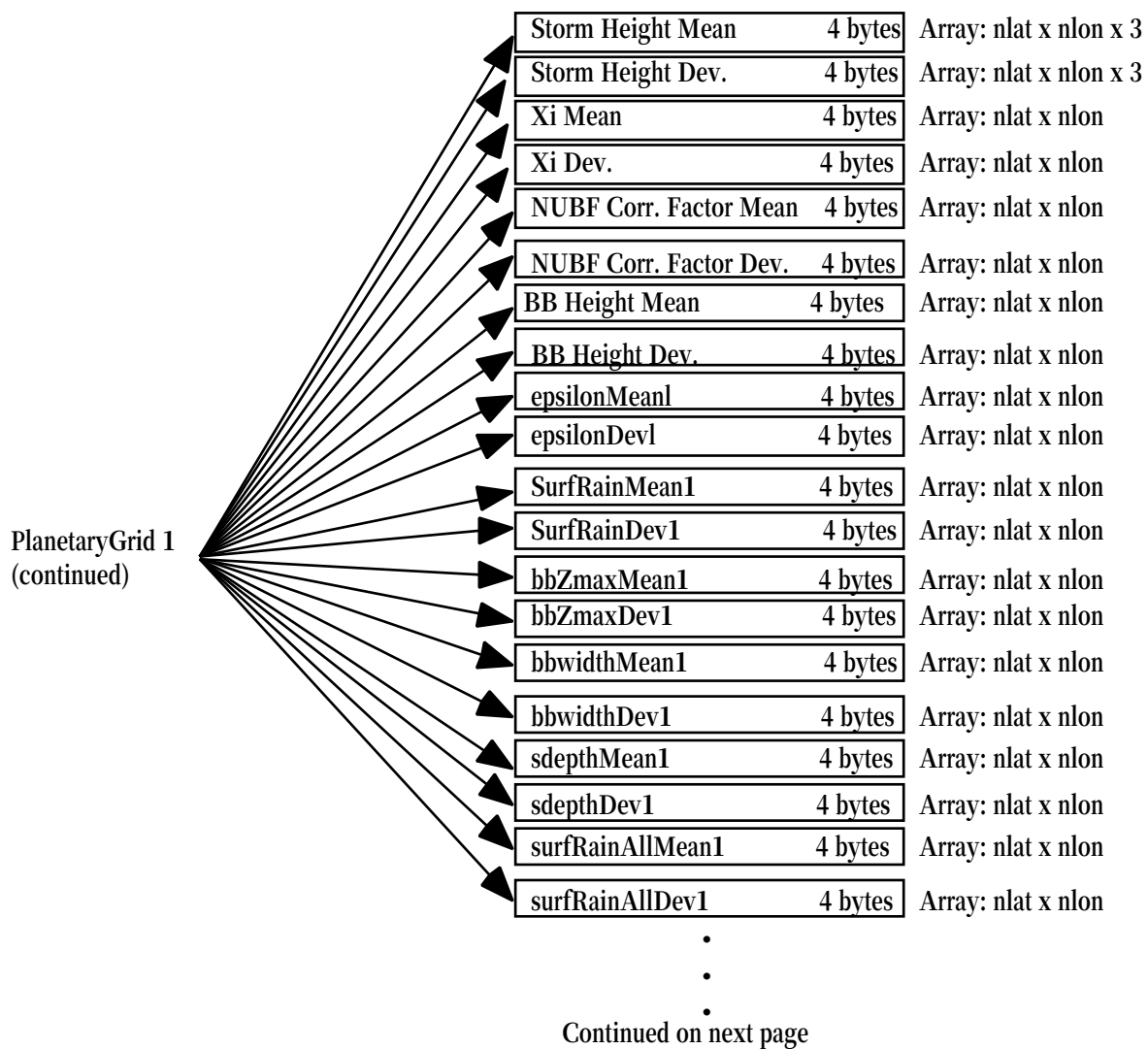


図3-9 3A-25 のプロダクト構造 (続き)

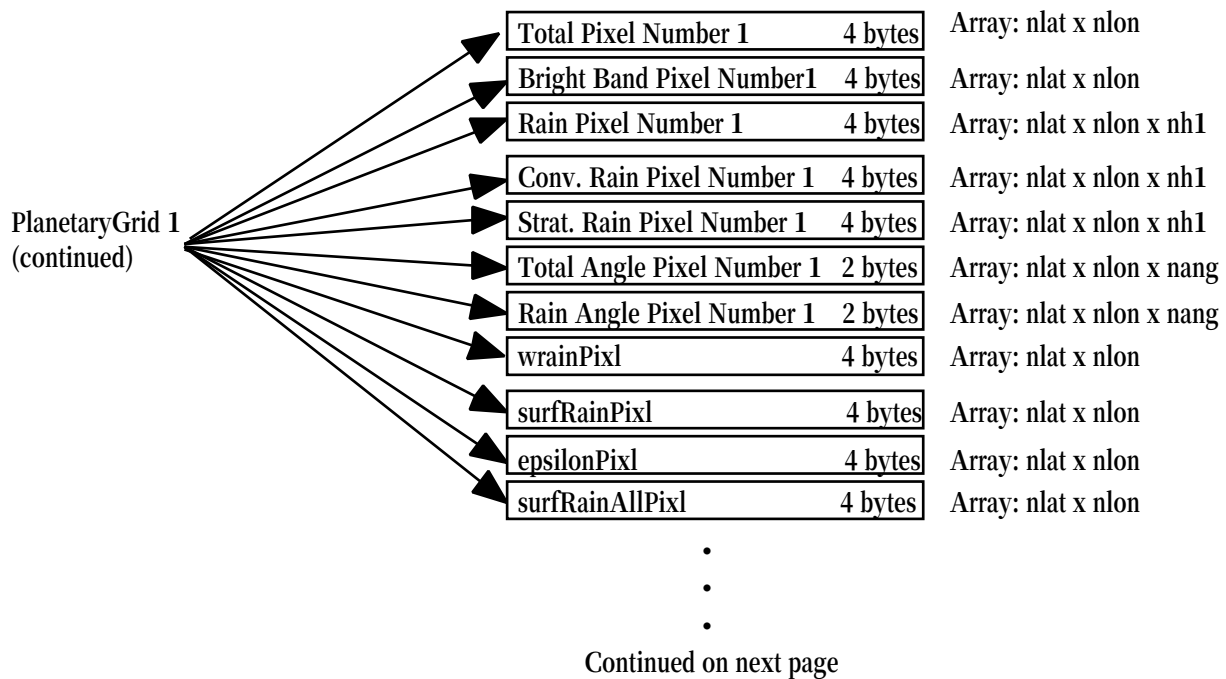


図3-9 3A-25 のプロダクト構造 (続き)

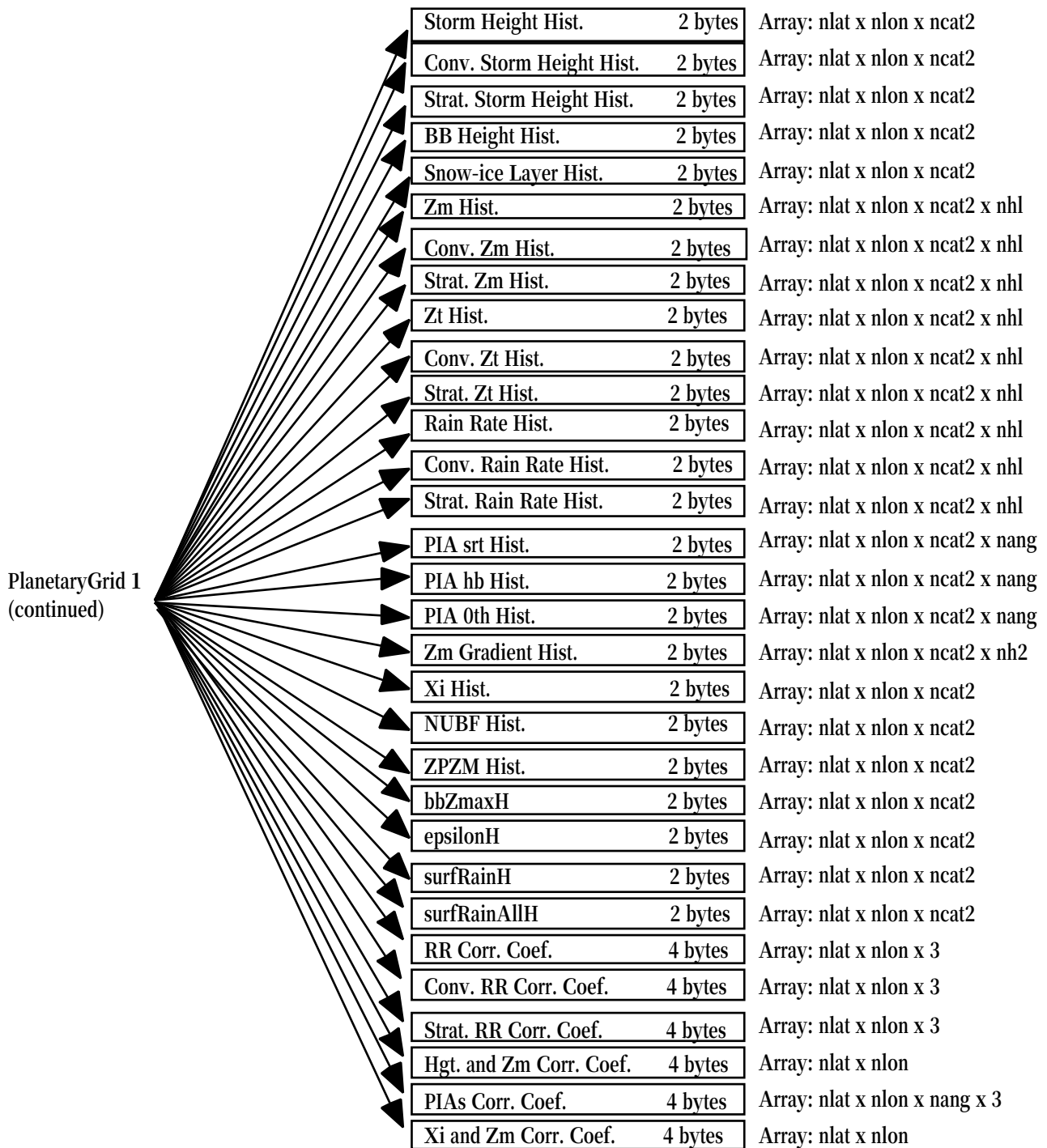


図3-9 3A-25 のプロダクト構造 (続き)

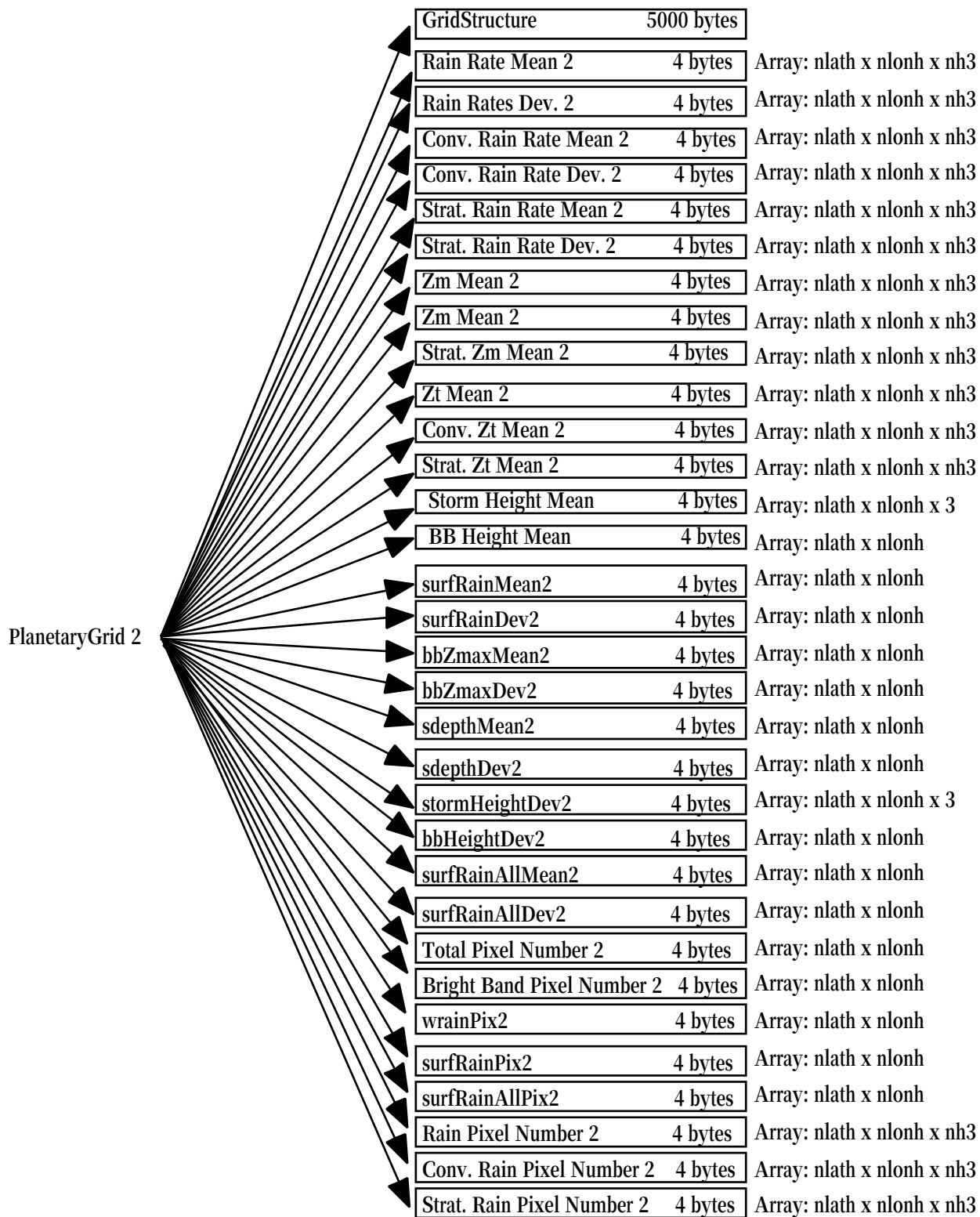


図3-9 3A-25 のプロダクト構造 (続き)

(7) 3A-26 (Surface Rain)

3A-26, “Surface Rain”プロダクトでは月間の $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ グリッド内の降雨の分布を計算している。出力プロダクトは3つの固定高度 (2、4および6km)での月平均降雨強度と、パス平均降雨強度である。図3-10に3A-26プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

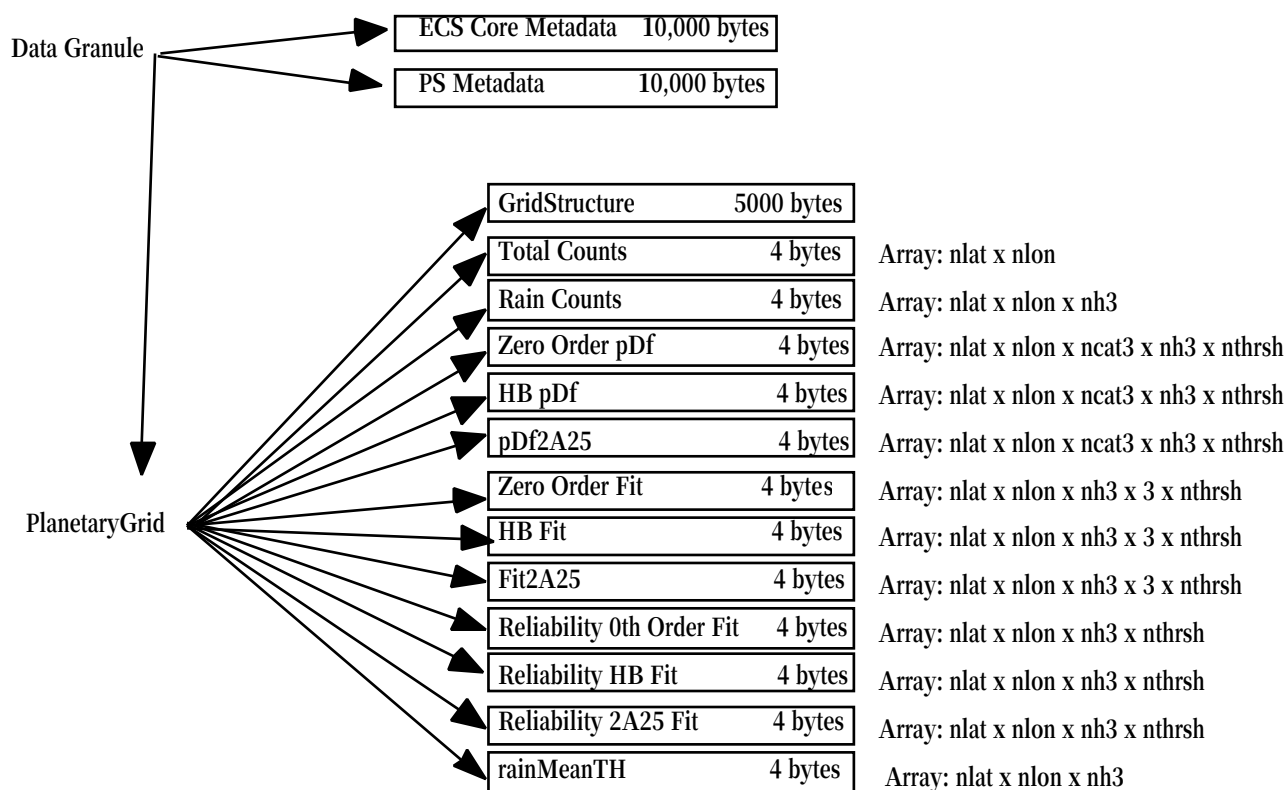


図 3-10 3A-26 プロダクトの構造

3.3.2 TRMMマイクロ波観測装置

(1) 1B-11 (TMI Brightness Temperatures)

TMIのレベル1Bプロダクトは1B-11, “TMI Brightness Temperatures”で、以下のパラメータの値が使用される。

$\sum nscan = 1$ グラニューール内のスキャン数= 2991

図3-11に1B-11プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

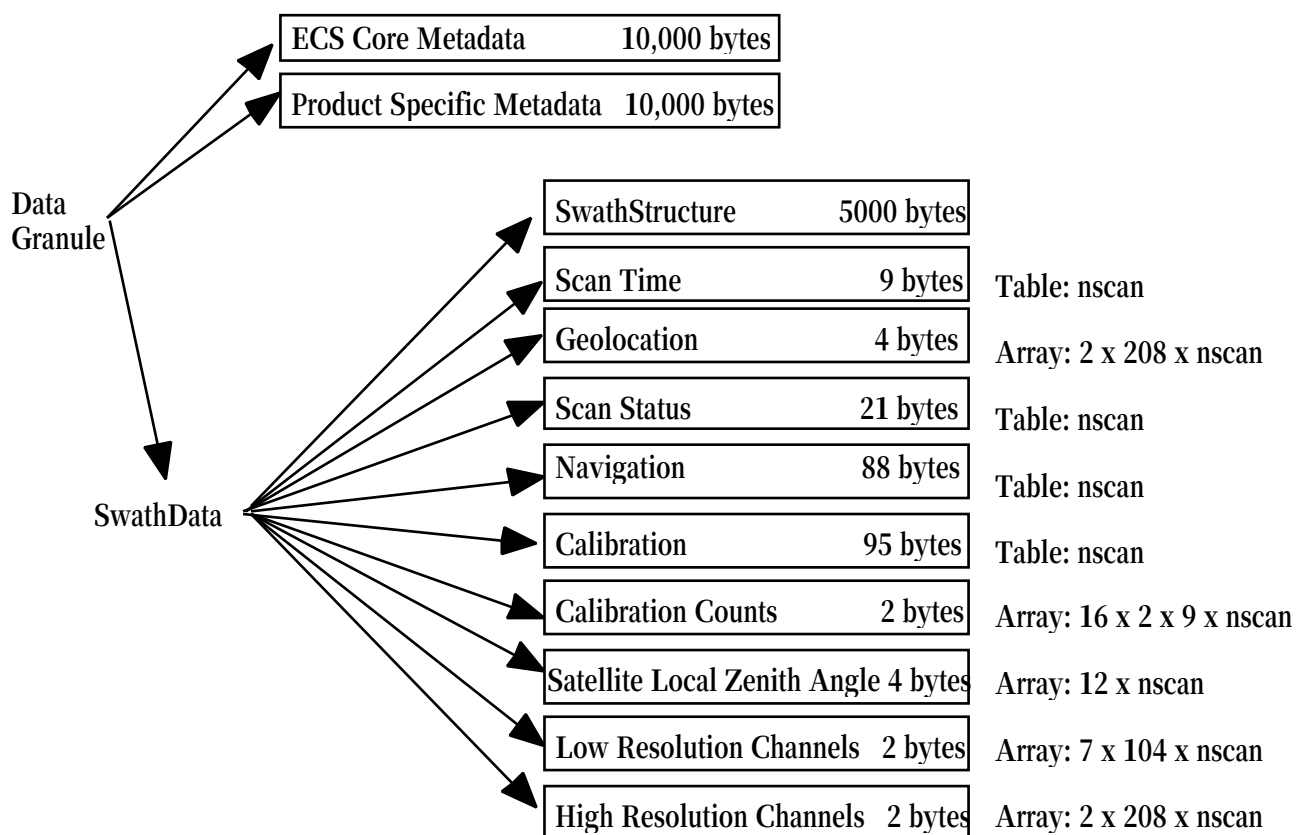


図 3-11 1B-11プロダクトの構造

(2) 2A-12 (TMI Profiling)

2A-12, “TMI Profiling”プロダクトでは、ピクセル毎の大気の鉛直プロファイルを推定する。各ピクセルに対し、雲水量、雨水量、雲氷量、雪水量および潜熱が鉛直14層で与えられる。地表面への降雨やそれに密接に係る指標も計算される。図3-12に2A-12プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

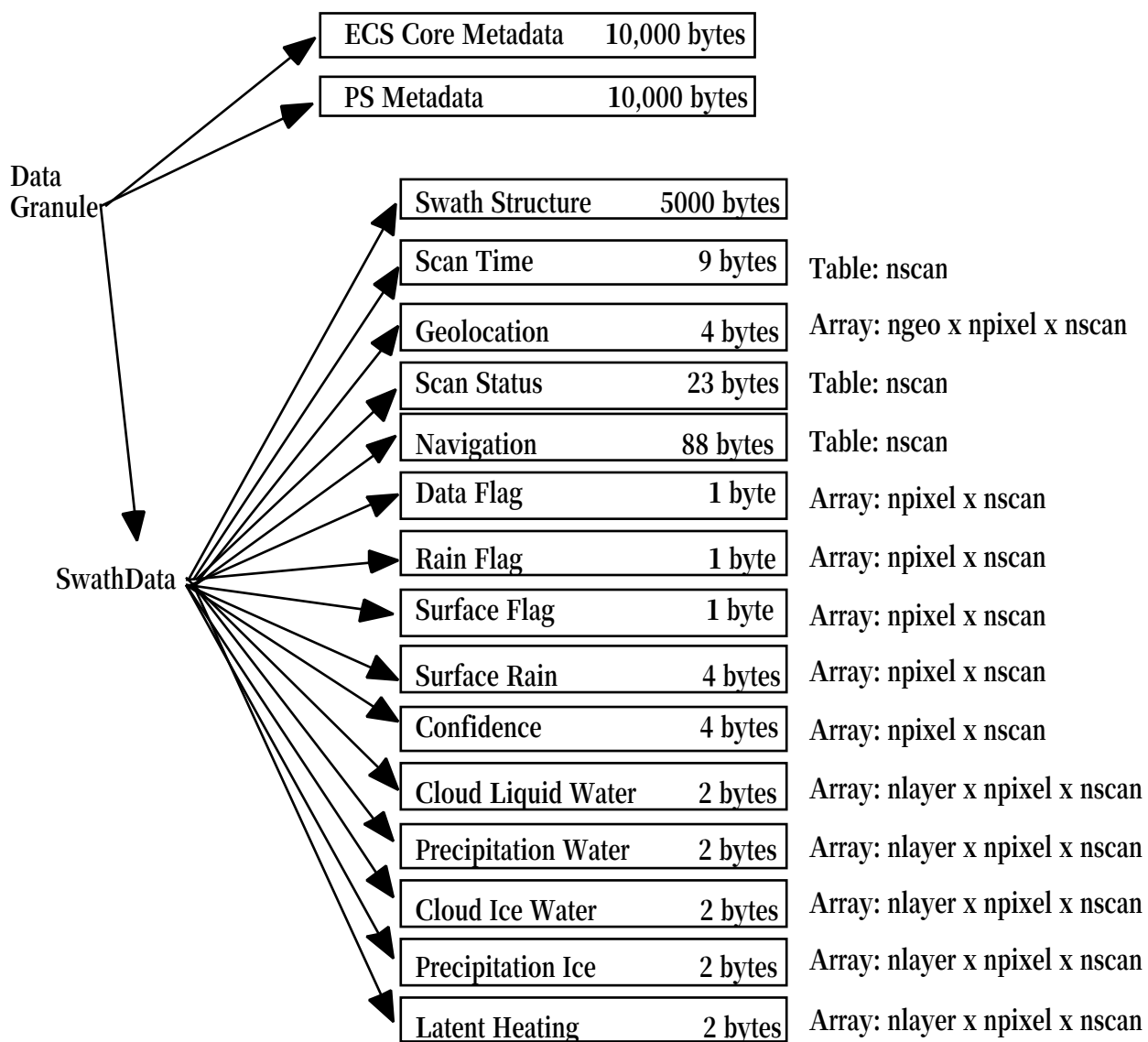


図3-12 2A-12プロダクトの構造

(3) 3A-11 (TMI Emission)

3A-11, “TMI Emission”プロダクトでは、TMIレベル1データを用いて、 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ の月間海洋上降雨量マップを作成する。図3-13に3A-11プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

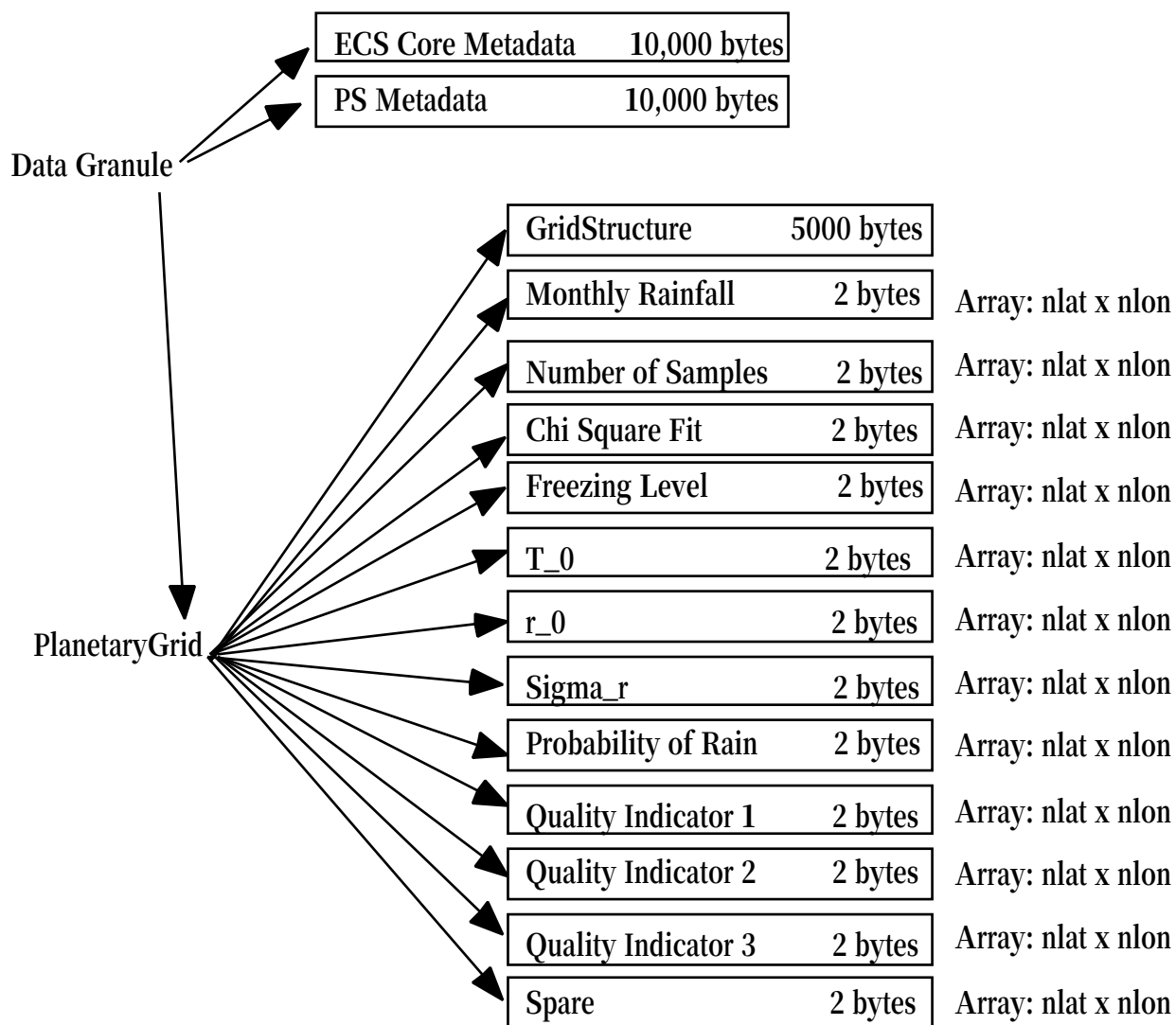


図3-13 3A-11プロダクトの構造

3.3.3 可視赤外観測装置

(1) 1B-01 (VIRS Radiance)

VIRSのレベル1Bプロダクトである1B-01;“VIRS Radiance”のパラメータnscanは1グラニューールのスキャン数であり18026に相当する。

図3-14に1B-01プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

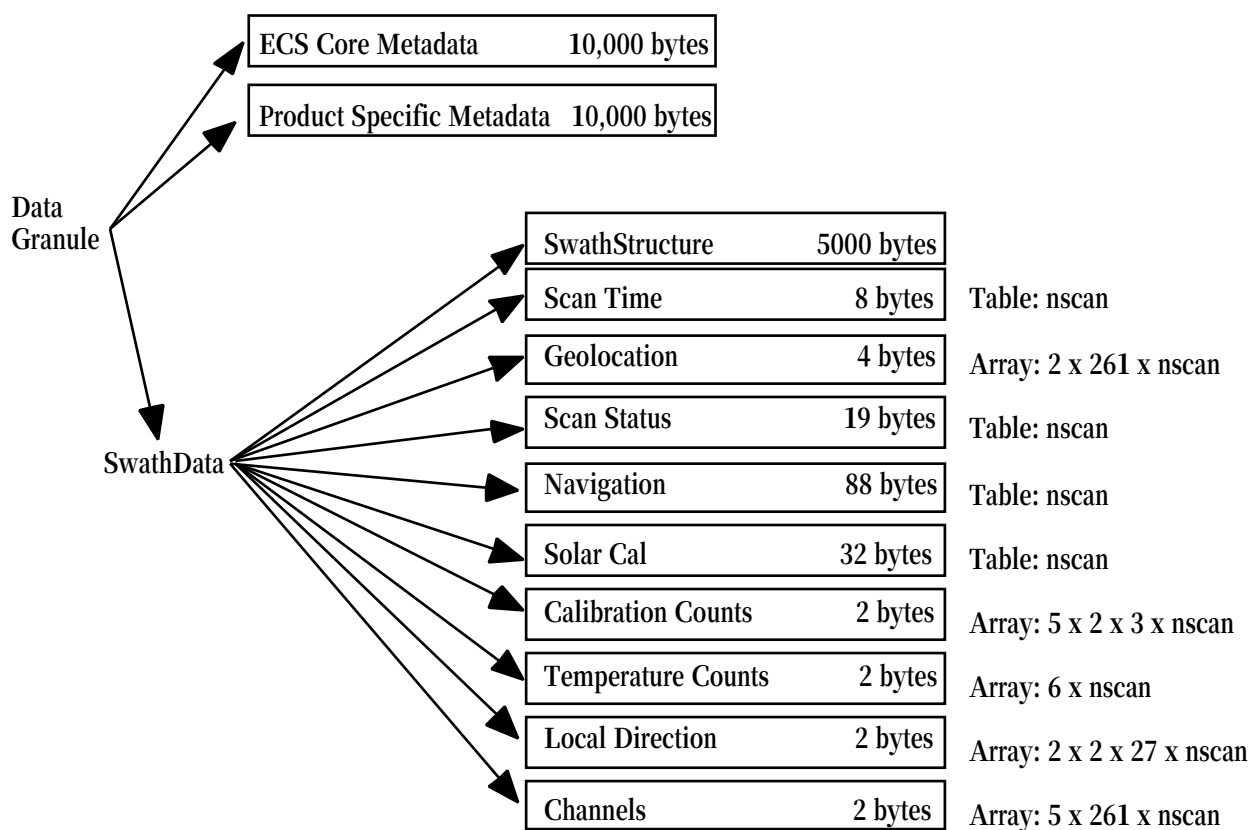


図 3-14 1B-01プロダクトの構造

3.3.4 複合センサ

(1) 2B-31 (TRMM Combined)

2B-31, “TRMM Combined” プロダクトではPRとTMIの10GHzチャンネルのデータを使って大気の鉛直プロファイルを推定する。図3-15に2B-31の構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

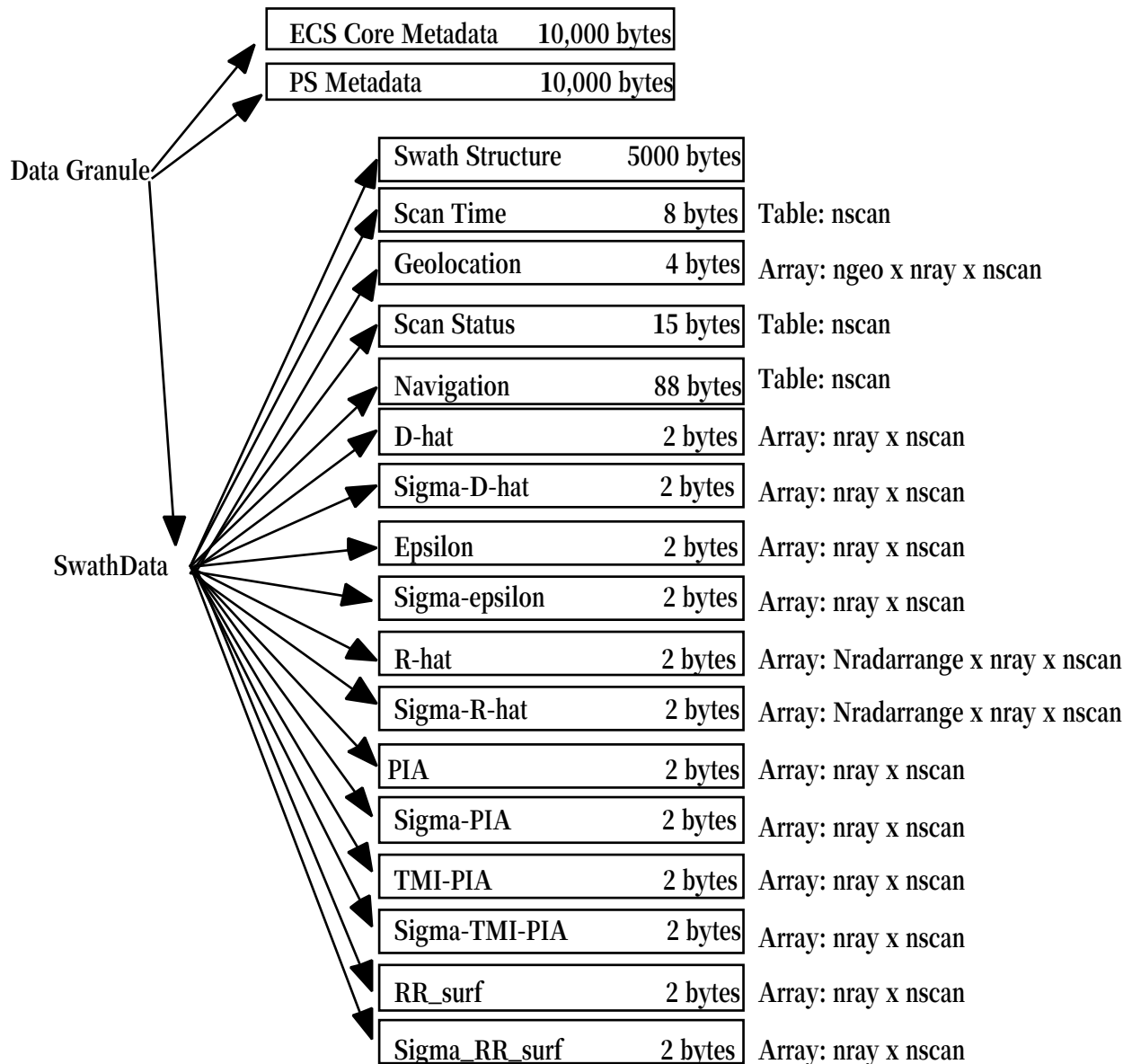


図 3-15 2B-31プロダクトの構造

(2) 3B-31 (Rainfall Combined)

3B-31, “Rainfall Combined”プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで図3-16に示す。

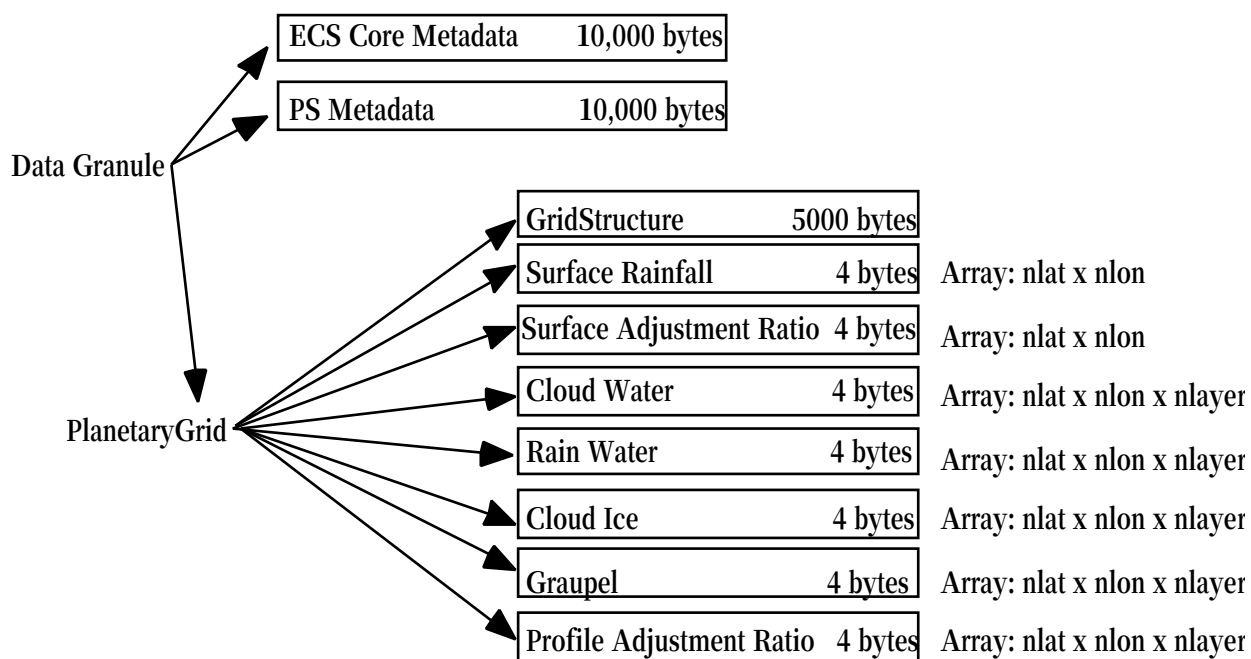


図 3-16 3B-31プロダクトの構造

(3) 3B-42 (TRMM and Others GPI Calibration)

3B-42, “TRMM and Others GPI Calibration”プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで図3-17に示す。

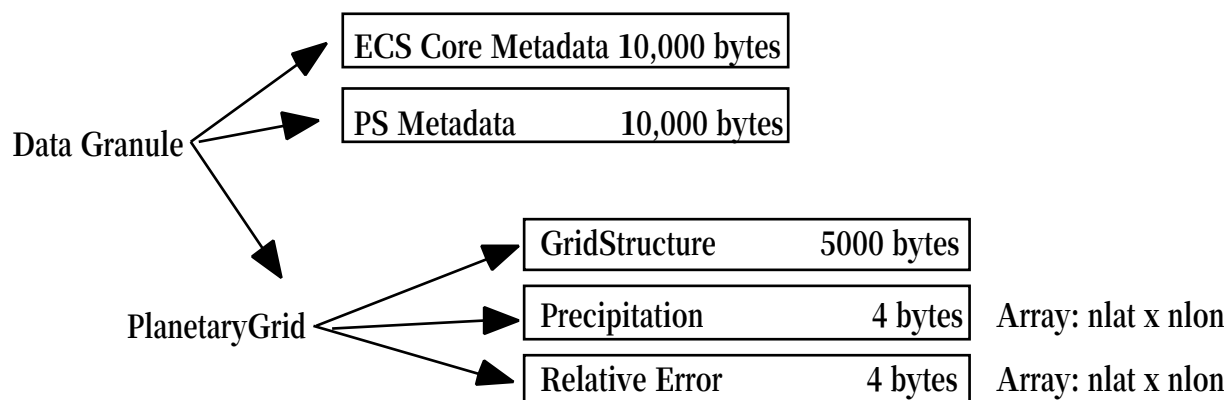


図 3-17 3B-42プロダクトの構造

(4) 3B-43 (TRMM and Others Data Sources)

3B-43, “TRMM and Others Data Sources”プロダクトは、TRMM、静止衛星のIR画像、SSM/Iマイクロ波放射計、および雨量計に至るすべてのデータソースからTRMMの観測領域内の「最良」の降雨量推定値を提供する。図3-18に3B-43プロダクトの構造をコンポーネントとそのサイズで示す。

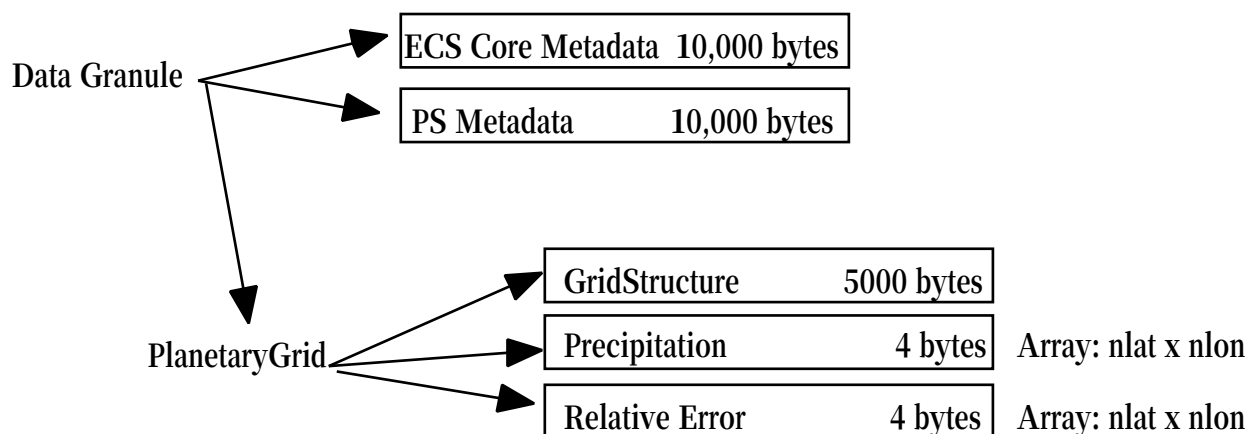


図 3-18 3B-43プロダクトの構造

付録-1 略語一覧

A			
A/D	:Analog to Digital アナログ・デジタル	CADS	:Catalogue data Distribution System カタログデータ伝送系システム
ACS	:Attitude Control Subsystem 姿勢制御系	CATS	:Catalogue Subsystem カタログサブシステム
ACE	:Attitude Control Electronics 姿勢制御電子回路	CCSDS	:Consultative Committee for Space Data Systems 宇宙データシステム諮問委員会
ADEOS	:Advanced Earth Observing Satellite 地球観測プラットフォーム技術衛星	CD	:Compact Disc コンパクトディスク
ADM	:Angular Directional Model 角方位モデル	CERES	:Clouds and Earth's Radiant Energy System 雲及び地球放射エネルギー観測装置
ADS	:Advertisement Subsystem ガイドサブシステム	CIR	:Circular サーキュレータ
AGO	:Santiago サンチャゴ	CIS	:Catalogue Interoperability Subsystem ブリッジサブシステム
ANT	:Antenna アンテナ系	COMB	:Combined 複合（センサ）
API	:Application Programming Interface アプリケーション・プログラム・インタフェース	COMETS	:Communications and Broadcast Engineering Test Satellite 通信放送技術衛星
APID	:Application Process Identification アプリケーションプロセス ID	CRC	:Cyclic Redundancy Code サイクリック・リダンダンシー・コード
APS	:Antenna Pointing System アンテナ指向システム	CRL	:Communications Research Laboratory （郵政省）通信総合研究所
ARC	:Active Radar Calibrator 能動型レーダ校正器	CRS	:Cloud Radiative Swath 雲放射幅
ARM	:Atmospheric Radiation Measurement 大気放射計測	CSS	:Coarse Sun Sensor 粗太陽センサ
ASCII	:American Standard for Computer and Information Interchange 米国情報交換標準コード	D	
ATBD	:Algorithm Theoretical Basis Document アルゴリズム記述書	DAAC	:Distributed Active Archive Center 分散型アクティブアーカイブセンター (NASA)
AVHRR	:Advanced Very High Resolution Radiometer 改良型高分解能放射計	DAO	:Data Assimilation Office データ・アシミレーション・オフィス
B		DAP	:Daily Activity Plan 1 日単位の運用計画
BDS	:Browse data Distribution Subsystem 画像カタログデータ伝送サブシステム	DAS	:Data Analysis System データ解析処理システム (NASDA)
BDS	:Bi-Directional Scans 二方向スキャン	DDMS	:Data Distribution and Management System データ総合管理提供システム (NASDA)
BPF	:Band Pass Filter バンドパスフィルター	DDS	:Data Distribution Subsystem 処理済みデータ伝送サブシステム
BRF	:Band Rejection Filter 帯域除去フィルター	DES	:Data Editing Subsystem データ編集サブシステム
C		DGS	:Data Generation System データ提供系システム
C&DH	:Command and Data Handling (Subsystem) 通信データ処理系	DIV/ COMB	:Divider / Combiner 分合波器

DMR	:Detailed Mission Requirements 詳細ミッション要求	FDDI	:Fiber-optic Data Distribution Interface 光ファイバデータ分配インタフェース
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	:Digital Sun Sensor デジタル太陽センサ	FOV	:Field of View 視野
E		FTP	File Transfer Protocol ファイル転送プロトコル
ECS	:EOSDIS Core System EOSDIS コアシステム (NASA)	G	
EOC	:Earth Observation Center 地球観測センター (NASDA)	GCI	:Geocentric Celestial Inertial 地心天体慣性
EOIS	:Earth Observation Data and Information System 地球観測情報システム (NASDA)	GDPF	:Generic Data Products Format 一般的データプロダクトフォーマット
EORC	:Earth Observation Research Center 地球観測データ解析研究センター (NASDA)	GDS	:Ground Data System 地上データシステム
EOS	:Earth Observing System 地球観測システム	GEO	:Geostationary 静止
EOSDIS	:EOS Data and Information System 地球観測データ情報システム (NASA)	GEWEX	: Global Energy and Water Cycle Experiment 全地球エネルギー・水循環実験観測計画
EPV	:Endpoint Vector エンドポイントベクトル	GMS	:Geostationary Meteorological Satellite 静止気象衛星
ERBE	:Earth Radiation Budget Experiment 地球放射量実験	GN	:Ground Network 地上ネットワーク
ERBS	:Earth Radiation Budget Satellite 地球放射量衛星	GOES	:Geostationary Operational Environment Satellite 静止実用環境衛星
EROS	:Earth Resources Observation System 地球資源観測システム (USGS)	GPCP	:Global Precipitation Climatology Project 全球降水気候計画
ESA	:Earth Sensor Assembly 地球センサ部	GPI	:GOES Precipitation Index GOES 降雨指標
ESA	:European Space Agency 欧州宇宙機関	GRS	:Global Reference System 全球参照座標系
ESDIS	: Earth Science Data and Information System 地球科学データ情報システム	GSACE	: Gimbal and Solar Array Control Electronics ジンバル・太陽電池パドル制御回路
ETS	:Engineering Test Satellite 技術試験衛星	GSFC	:Goddard Space Flight Center ゴダード宇宙飛行センター (NASA)
EUS	:EOIS User interface Software EOISユーザインタフェースソフトウェア	GSTDN	:Ground Station 地上局
EVD	:Engine Valve Driver エンジン・バルブ・ドライバ	GUI	:Graphical User Interface グラフィカル・ユーザ・インタフェース
F		GV	:Ground Validation 地上検証
FCIF	:Frequency Converter・IF unit 周波数変換・インタフェース部	H	
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

HGADS	: High Gain Antenna Deployment System ハイゲインアンテナ展開システム	LaRC	:Langley Research Center ラングレー研究センター (NASA)
HGAS	: High Gain Antenna System ハイゲインアンテナシステム	LHCP	:Left-Hand Circular Polarization 左旋円偏波
HK	: Housekeeping ハウスキーピング	LIS	:Lightning Imaging Sensor 雷観測装置
HP	: Hewlett Packard Co. ヒューレットパカード社	LNA	:Low Noise Amplifier 低雑音増幅装置
HYB	: Hybrid ハイブリッド	LOGAMP	:Logarithmic Amplifier 対数増幅器
I		LW	:Longwave 長波
ICS	:Interface Control Specification インタフェース管理仕様書	LZP	:Level-0 Processed レベル0 処理済み
IFOV	:Instantaneous FOV 瞬時視野	M	
IMS	:Information Management System 情報管理システム (NASA)	MAM	:Mirror Attenuator Mosaic ミラー・アテニュエーター・モザイク
INT	:Integration 計装系	MCS	:Media Conversion Subsystem 媒体変換サブシステム
IP	:Internet Protocol インターネットプロトコル	MDSS	:Master Data Storage System マスターデータ保存システム
IPSDU	:Instrument Power Switching and Distribution Unit 観測装置電源分配器	METOSAT	:Meteorological Satellite 気象観測衛星
IR	:Infrared 赤外	MLI	:Multi Layer Insulation 多層断熱
IRS	:Information Retrieval System 地球観測情報検索設備	MO&DSD	:Mission Operations and Data Systems Directorate ミッション運用・データシステム部
IRU	:Inertial Reference Unit 慣性リファレンスユニット	MOC	:Mission Operations Center ミッション運用センター (NASA)
ISCCP	:International Satellite Cloud Climatology Project 国際衛星雲気候計画	MOSDD	:Mission Operations and System Development Division ミッション運用システム開発部
ISO	:Isolator アイソレータ	MSFC	:Marshall Space Flight Center マーシャル宇宙飛行センター (NASA)
J		MTB	:Magnetic Torque Bar 磁気トルクバー
JPEG	:Joint Photographic Coding Experts Group カラー静止画符号化方式	N	
JFIF	:JPEG File Interchange Format JPEG ファイル交換フォーマット	N/A	:Not Applicable 適用外
JMA	:Japan Meteorological Agency 気象庁	NASA	:National Aeronautics and Space Administration アメリカ航空宇宙局
JPL	:Jet Propulsion Laboratory ジェット推進研究所	NASCOM	:NASA Communications Network NASA 通信網
L		NASDA	:National Space Development Agency of Japan 宇宙開発事業団
L&IOC	:Launch and In-orbit Checkout 打上げ・初期軌道上チェックアウト	NCC	:Network Control Center ネットワーク制御センター (NASA)
LAN	:Local Area Network 構内ネットワーク		

NCEP	:National Centers for Environmental Prediction 米国環境予測センター	PS	:Pointing System 指向システム
NCSA	:National Center for Supercomputing Applications 米国スーパーコンピュータ応用センター	PS	:Product Specific (metadata) プロダクト固有 (メタデータ)
NMS	:Network Management Subsystem ネットワーク管理サブシステム	PS	:Power Supply 電源供給
NOAA	:National Oceanic and Atmospheric Administration 米国海洋大気局 (衛星)	PSDU	:Power Switching and Distribution Unit 電力スイッチング・分配ユニット
NS	:Noise Source 雑音源	PSE	:Power System Electronics 電源システム回路
NUBF	:Non-Uniform Beam Filling 非単一ビーム・フィリング	PSIB	:Power System Interface Box 電源システムインタフェースボックス
O		Q	
OLIS	:On-Line Information System オンライン情報系システム	QAC	:Quality and Accounting Capsule 品質算定カプセル
OSR	:Optical Solar Reflector 太陽光反射板	QL	:Quick Look クイックルック
OTD	:Optical Transient Detector オプティカル・トランジェント検出器	R	
P		R&RR	:Range & Range Rate 距離と距離変化率
PBIU	:Power Bus Interface Unit 電源バスインタフェースユニット	R/T	:Real-Time 実時間
PC	:Personal Computer パーソナルコンピュータ	RAM	:Random Access Memory ランダム・アクセス・メモリ
PCM	:Propellant Control Module 推進制御モジュール	RAP	:Rotating Azimuth Plane ローテティング・アジマス・プレーン
PDB	:Project Data Base プロジェクトデータベース	RCS	:Reaction Control Subsystem 推進系
PGS	:Product Generation Service プロダクト作成サービス	RDA	:Receiver Drive Amplifier 受信系駆動増幅器
PHS	:Phase Shifter 移相器	REF	:Reflection 反射
PI	:Principal Investigator 検証ユーザ	REM	:Rocket Engine Module ロケット・エンジン・モジュール
PLO	:Phase Lock Oscillator 位相同期発振器	RESTEC	:Remote Sensing Technology Center of Japan (財)リモート・センシング技術センター
POD	:Project Operations Director プロジェクト運用責任者	RF	:Radio Frequency 無線
PR	:Precipitation Radar 降雨レーダ	RHCP	:Right-Hand Circular Polarization 右旋円偏波
PRF	:Pulse Repetition Frequency パルス繰り返し周波数	RIS	:Raster Image Set ラスタ画像セット
PRI	:Pulse Repetition Interval パルス繰り返し周期	ROM	:Read Only Memory 読み取り専用メモリ
PROP	:Propagation 伝搬	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	SP	:Signal Processor 信号処理系
RWA	:Reaction Wheel Assembly リアクションホイール部	SPRU	:Standard Power Regulator Unit 標準電源調整ユニット
S		SSF	:Single Satellite Flux 単独衛星フラックス
S/C	:Spacecraft 衛星	SSLG	:Standing Senior Liaison Group 宇宙分野における日米常設幹部連絡会合
S/N	:Signal to Noise 信号対雑音比	SSM/I	:Special Sensor Microwave/Imager DMSP 搭載マイクロ波撮像装置
SA	:Solar Array 太陽電池パドル	SSPA	:Solid-State Power Amplifier 固体電力増幅器
SADA	:Solar Array Drive Assembly 太陽電池パドル展開部	STDN	:Spaceflight Tracking and Data Network 宇宙飛行追跡・データネットワーク
SADDS	:Solar Array Deployment and Drive System 太陽電池パドル展開・駆動システム	STR	:Structure 構造系
SARB	:Surface and Atmospheric Radiation Budget 地表・大気放射量	SW	:Shortwave 短波
SCDP	:System Control Data Processing システム制御・データ処理部	T	
SCF	:Science Computing Facility 科学計算設備 (NASA)	T/R	:Transmitter / Receiver 送受信
SCID	:Spacecraft Identifier 衛星 ID	TACC	:Tracking and Control Center 中央追跡管制所
SDF	:Standard Data Format 標準データフォーマット	TAM	:Three Axis Magnetometer 3 軸磁力計
SDOC	:Science Data Operations Center 科学データ運用センター (NASA)	TCP	:Transmission Control Protocol 転送制御プロトコル
SDPF	:Sensor Data Processing Facility センサデータ処理設備 (NASA)	TCS	:Thermal Control Subsystem 熱制御系
SDS	:Scientific Data Set 科学データセット	TDA	:Transmit Drive Amplifier 送信系駆動増幅器
SFDU	:Standard Format Data Unit 標準フォーマットデータユニット	TDRS	:Tracking and Data Relay Satellite 追跡データ中継衛星 (NASA)
SGI	:Silicon Graphics Incorporated シリコングラフィックス社	TK	:Toolkit ツールキット
SH/LP	:Safe-Hold / Low Power 安全維持・低電力	TMI	:TRMM Microwave Imager TRMM マイクロ波観測装置
SMS	:Schedule Management System スケジュール管理系システム	TOA	:Top of the Earth's Atmosphere 地球大気頂上
SMSS	:Schedule Management Subsystem スケジュール管理サブシステム	TRMM	:Tropical Rainfall Measuring Mission 熱帯降雨観測衛星
SN	:Space Network スペースネットワーク	TRS	:Transmitter / Receiver Subsystem 送受信系
SNR	:Signal to Noise Ratio 信号対雑音比	TSDIS	:TRMM Science Data and Information System TRMM 科学データ情報システム (NASA)
SOC	:State of Charge 蓄積電荷量	TSM	:Telemetry and Statics Monitoring 統計監視
SOCC	:Science Operations Control Center 科学運用コントロールセンター (NASA)	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
要求処理サブシステム
UTC :Universal Time Coordinate
協定世界時
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
可視赤外線観測装置
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тサンズ局
WWW :World Wide Web
ワールド・ワイド・ウェブ

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) 「TRMMサイエンスプログラム」

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：日本のTRMMデータを利用する科学活動全般について記述した文書。

(b) 「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。

(c) 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, Release 3.01, November 15, 1996.

(d) 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, Release 3.02, March 20, 1997.

(e) 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, Release 3, October 30, 1996.

(f) Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Algorithm Theoretical Basis Document, Release 2.2, June 2, 1997.

(g) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the Lightning Imaging Sensor (LIS), September 10, 1996.

(h) HDF-EOS Library User's Guide for the ECS Project, 170-TP-005-003, April 1997.

(i) 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。

① TRMMアルゴリズム／データ関連サイト

(a) NASA TRMMホームページ

<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>

・TRMM Office ホームページ

http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_office/

・アルゴリズムステータスページ

<http://trmm.gsfc.nasa.gov/ProductStatus.html>

(b) TRMM Science Data and Information System (TSDIS) ホームページ

<http://tsdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdis.html>

・TSDISドキュメントホームページ

http://tsdis02.nascom.nasa.gov/tsdis/tsdis_redesign/SelectedDocs.html

(c) CERESオンラインドキュメンテーション

<http://asd-www.larc.nasa.gov/ceres/docs.html>

(d) LISホームページ

<http://thunder.msfc.nasa.gov/>

② TRMMツールキット関連サイト

(a) TRMM Science Data and Information System (TSDIS) ホームページ

<http://tsdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdis.html>

・ToolKitホームページ

<http://www-tsdis.gsfc.nasa.gov/tsdis/tsdistk.html>

③ HDF関連サイト

(a) NCSA HDFホームページ

<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>

④ TRMMデータサイト

(a) The Goddard DAAC

<http://daac.gsfc.nasa.gov/>

⑤ その他関連サイト

- (a) 宇宙開発事業団 T R M M ホームページ (N A S D A / E O R C)
<http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM/>
- (b) 宇宙開発事業団 T R M M 関連情報ホームページ (N A S D A / E O R C)
http://www.eorc.nasda.go.jp/TRMM_Info/
- (c) 宇宙開発事業団 T R M M & A D E O S 画像カタログデータの提供ページ (ガイド情報)
http://www.eoc.nasda.go.jp/guide/homepage_j.html
- (d) 宇宙開発事業団 (N A S D A) ホームページ
<http://www.nasda.go.jp>
- (e) 宇宙開発事業団地球観測データ研究解析センター (N A S D A / E O R C)
ホームページ
<http://www.eorc.nasda.go.jp/>
- (f) 宇宙開発事業団地球観測センター (N A S D A / E O C) ホームページ
<http://www.eoc.nasda.go.jp/>
- (g) N A S A ホームページ
<http://www.nasa.gov/>
- (h) G S F C ホームページ
<http://www.gsfc.nasa.gov/>
- (i) N A S A M T P E (Mission To Planet Earth) ホームページ
<http://www.earth.nasa.gov/>
- (j) N A S A E O S ホームページ
<http://eospso.gsfc.nasa.gov/>