

# **Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) for GPM**

## **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)**

### **Algorithm Ver.6**

日本降水観測ミッション (PMM) サイエンスチーム  
日本降水観測ミッション (PMM) アルゴリズム開発チーム  
全球合成降水マップアルゴリズム開発チーム

平成25年9月

平成26年9月A改訂

## 目次

1. 概要.....	3
1.1. 背景.....	3
1.2. 基本方針.....	3
2. 入力データ.....	4
2.1. マイクロ波イメージャ.....	4
2.2. マイクロ波サウンダ.....	5
2.3. マイクロ波イメージャ/サウンダ.....	5
2.4. 静止気象衛星赤外イメージャ.....	6
2.5. 衛星搭載降水レーダ.....	6
2.6. 大気情報.....	6
2.7. 海面水温データ.....	6
2.8. 雨量計データ.....	7
2.9. 地形データ.....	7
2.10. 高分解能海陸フラグ.....	7
3. 出力データ.....	7
3.1. 時間平均プロダクト.....	7
3.2. 月平均プロダクト.....	8
4. 各アルゴリズムの説明.....	8
4.1. マイクロ波イメージャ (MWI) アルゴリズム.....	8
4.2. マイクロ波サウンダ (MWS) アルゴリズム.....	10
4.3. マイクロ波イメージャ/サウンダ (MWIS) アルゴリズム.....	10
4.4. マイクロ波-赤外複合 (MVK) アルゴリズム.....	11
4.5. 雨量計による補正 (Gauge) アルゴリズム.....	11
4.6. 準リアルタイム用 (NRT) アルゴリズム.....	11
5. モジュール.....	12
5.1. 概要.....	12
5.2. 主要モジュール.....	12
6. 検証.....	12
6.1. 検証計画.....	12
6.2. 衛星搭載降水レーダとの比較.....	13
6.3. 地上データとの比較.....	13
6.4. GCOM-W1/AMSR2 との連携.....	13
6.5. 国際降水作業部会 (IPWG) との協力.....	13
7. アルゴリズム開発スケジュール.....	13
8. 参考文献.....	14

## 1. 概要

### 1.1. 背景

日本における、衛星データを主体とした全球降水マップの開発は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」の研究課題「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成」の下で、2002年～2007年にかけて実施された。この活動は、2007年以降は、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の降水観測ミッション・サイエンスチームの下で継続している。

GSMaP プロジェクトは、「最良の」降水推定を行うことを目的としているため、速報性や定常処理はもともと考慮されていなかった。しかしながら、1章でも述べた衛星全球降水マップに対する防災分野での国際的なニーズの高まりに対応することを目的として、準リアルタイムで GSMaP データを作成・公開することが可能なシステムの構築を行った。このシステムは、JAXA において GSMaP データの準リアルタイム版「世界の雨分布速報（GSMaP\_NRT）」システムとして、2007年秋以降、定常運用とデータ公開を行っている。本システムでは、観測から約4時間後に、0.1度格子の分解能で、1時間毎の全球降雨マップを作成している (<http://www.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>)。

GSMaPアルゴリズムは、主に三つのアルゴリズムから構成される。TRMM衛星搭載のTMI、Aqua衛星搭載の改良型高性能マイクロ波放射計 AMSR-E といったマイクロ波イメージャ用のアルゴリズム (Aonashi *et al.*, 2009)、NOAA衛星搭載の AMSU-A/AMSU-B といったマイクロ波サウンダ用のアルゴリズム (Shige *et al.*, 2009)、DMSP衛星搭載の SSMIS といったマイクロ波イメージャ/サウンダ用のアルゴリズム (Kubota *et al.*, 2011)、マイクロ波-赤外 (IR) 複合アルゴリズム (Ushio *et al.*, 2009) である。

### 1.2. 基本方針

GPM全球合成降水マップアルゴリズムは、以下の5つのアルゴリズムから構成される。

- ・ マイクロ波イメージャアルゴリズム (MWIアルゴリズム)
- ・ マイクロ波サウンダアルゴリズム (MWSアルゴリズム)
- ・ マイクロ波イメージャ/サウンダアルゴリズム (MWISアルゴリズム)
- ・ マイクロ波-赤外 (IR) 複合アルゴリズム (MVKアルゴリズム)
- ・ 雨量計による補正アルゴリズム (MVK\_Gauge アルゴリズム)

アルゴリズム開発にあたっては、以下の点に留意する。

- ・ JST/CRESTの「衛星による高精度高分解能全球降水マップの作成（平成14年～19年。研究代表：大阪府立大学岡本謙一教授）」（Global Satellite Mapping for Precipitation; 通称GSMaPプロジェクト）の成果をベースとして開発すること
- ・ マイクロ波イメージャの降水推定アルゴリズムについては、GSMaPをベースとして開発が進められている、第1期水循環変動観測衛星（GCOM-W1）搭載の高性能マイクロ波放射計2（AMSR2）の降水量プロダクトの標準アルゴリズムを採用し、これをベースとして、GMIやその他の副衛星搭載マイクロ波イメージャに適用・改良を行うこと
- ・ マイクロ波サウンダの降水推定アルゴリズムについては、マイクロ波イメージャアルゴリ

ズムと同じ設計思想で開発を行うこと

- TRMM/PRを用いた降水リトリーバル用データベースを利用・改良し、DPRにも適用すること
- AMSR2グループと、アルゴリズム開発・校正検証に関しても連携すること
- 準リアルタイムのプロダクト作成のために、標準アルゴリズムをベースに、準リアルタイムアルゴリズムを開発すること

## 2. 入力データ

GPM 全球合成降水マップアルゴリズムは、複数の衛星データ、および、参照データを利用する。以下に入力に用いられるデータについてまとめる。

### 2.1. マイクロ波イメージャ

表 1 の既存、または、計画中のコニカルスキャン型のマイクロ波イメージャが、GPM 全球合成降水マップアルゴリズムの MWI アルゴリズムの入力に用いられる。

表 1 既存・計画中のコニカルスキャン型マイクロ波イメージャの概要 (2014 年 8 月現在)

Satellite	Height (km)	Instrument	frequency (GHz)	Data Period	Data Provider
TRMM	402	TMI	10.7, 19.4, 21.3, 37, 85.5	Dec.1997 - present	NASA
Aqua	705	AMSR-E	6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 50.3, 52.8, 89	Jun. 2002 - present (Oct. 2012)	JAXA
ADEOS-II	802	AMSR	6.9, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 89	Apr. 2003 - Oct. 2003	JAXA
DMSP-F11	833	SSM/I	19.4, 22.2, 37, 85.5	Dec. 1991 - May 2000	DoD/NOAA
DMSP-F13	833			Dec. 1995 - Nov. 2009	DoD/NOAA
DMSP-F14	833			Dec. 1997 - Aug. 2008	DoD/NOAA
DMSP-F15	833			Dec. 1999 - present (retrieved over ocean only since Aug. 2006)	DoD/NOAA
Megha-Tropiques	833	MADRAS	18.7, 23.8, 36.5, 89, 157	Oct. 2012 - Jan. 2013	CNES/ISRO
GCOM-W1	700	AMSR2	6.9, 7.3, 10.7, 18.7, 23.8, 36.5, 50.3, 52.8, 89	Jul. 2012 - present	JAXA
GPM Core Observatory	407	GMI	10.7, 19.4, 21.3, 37, 85.5, 166, 183.31±3, 183.31±7	Mar. 2014 - present	NASA
DWSS-1	TBD	TBD	TBD	TBD	DoD/NOAA

## 2.2. マイクロ波サウンダ

表2の既存、または、計画中のマイクロ波サウンダが、GPM 全球合成降水マップアルゴリズムのMWS アルゴリズムの入力に用いられる。

表2 既存・計画中のクロストラック型マイクロ波サウンダの概要 (2014年8月現在)

Satellite	Height (km)	Instrument	frequency (GHz)	Data Period	Data Provider
NOAA-N15	807	AMSU-A/ AMSU-B	23.8-89.1 (AMSU-A), 89.0±0.9, 150.0±0.9, 183.31±1, 183.31±3, 183.31±7 (AMSU-B)	Oct. 1998 - Mar. 2011 (AMSU-B not operational)	NOAA
NOAA-N16	849			Jan. 2001 - Jun. 2014	NOAA
NOAA-N17	810			Aug. 2002 - Apr. 2013	NOAA
NOAA-N18	854	AMSU-A/ MHS	23.8-89.1 (AMSU-A), 89, 157, 183.31±3, 183.31±5, 190.311 (MHS)	May 2005 - present	NOAA
NOAA-N19	870			Apr. 2009 - present	NOAA
MetOp-A	817			May 2007 - present	EUMETSAT
MetOp-B	817			Sep. 2012 - present	EUMETSAT
NPP	824	ATMS	23.8-88.2, 165.5, 183.31±1, 183.31±1.8, 183.31±3, 188.31±4.5, 188.31±7	launched in Oct. 2011	NOAA
JPSS-1	824	ATMS		to be launched in 2017	NOAA

## 2.3. マイクロ波イメージャ/サウンダ

表3の既存、または、計画中のコニカルスキャン型のマイクロ波イメージャ/サウンダが、GPM 全球合成降水マップのMWIS アルゴリズムの入力に用いられる。

表3 既存・計画中のコニカルスキャン型マイクロ波イメージャ/サウンダの概要 (2014年8月現在)

Satellite	Height (km)	Instrument	frequency (GHz)	Data Period	Data Provider
DMSP-F16	833	SSMIS	19.4, 22.2, 37, 91.7, 60-63, 50-59, 150, 183.31±1, 183.31±3, 183.31±7	Nov. 2005 - present	NOAA
DMSP-F17	850			Mar. 2008 - present	NOAA
DMSP-F18	850			Oct. 2009 - present	NOAA
DMSP-F19	850			to be launched in 2014	DoD/NOAA
DMSP-F20	850			to be launched in 2020	DoD/NOAA

#### 2.4. 静止気象衛星赤外イメージャ

NOAA Climate Prediction Center (CPC)が提供している、Globally-merged, full-resolution IR Data が、MVK アルゴリズムの入力として用いられる。このデータは、静止気象衛星（表 4）に搭載されている赤外の約 11 ミクロンのチャンネルを約 4km の格子に全球合成したものである。

表 4 静止気象衛星の概要（2014 年 8 月現在）

Satellite	Sub-satellite Longitude	Parameter	Data Provider
MTSAT-1R (old GMS)	140E	~11 micron IR channels	JMA
GOES-E (8, now 12)	75W		NOAA
GOES-W (10, now 11)	135W		NOAA
Meteosat-8 (old 7)	0E		EUMETSAT
Meteosat-5	63E		EUMETSAT

#### 2.5. 衛星搭載降水レーダ

衛星搭載降水レーダ（表 5）のデータや情報は、直接的な利用ではなく、参照データベースや降水物理モデルの構築に用いられる。

表 5 衛星搭載降水レーダの概要（2013 年 8 月現在）

Satellite	Height (km)	Instrument	frequency (GHz)	Data Period	Data Provider
TRMM	402	PR	13.8	Dec.1997 - present	JAXA
GPM Core Observatory	407	DPR	13.6, 35.5	Mar. 2014 - present	JAXA

#### 2.6. 大気情報

気象庁 (JMA) の全球客観解析値 (GANAL) および全球予報値 (FCST) が、MWI、MWS、MWIS アルゴリズムから参照するルックアップテーブルの作成のために、大気の情報として用いられる。GANAL および FCST は、6 時間毎、1.25 度格子のデータセットである。GANAL は標準プロダクトの処理に、FCST は準リアルタイムプロダクトの処理に用いられる。過去期間については、JMA55 年再解析 (JRA-55) データ (6 時間毎、TL319L60 モデル格子) の利用を計画している。

#### 2.7. 海面水温データ

JMA の日別全球合成海面水温 (Merged satellite and in situ data Global Daily Sea Surface Temperatures: MGDSST) データが、MWI、MWS、MWIS アルゴリズムから参照するルックアップテーブルの作成のために、海面水温情報として用いられる。MGDSST は、1 日平均、0.25 度格子のデータセットである。

## 2.8. 雨量計データ

NOAA CPC が提供している CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation データセットが、雨量計による補正アルゴリズムで、入力データとして用いられる。このデータセットは、1 日平均、0.5 度格子のデータセットである。

## 2.9. 地形データ

USGS が提供している SRTM30 データセットが、地形性降雨判別の際、地形による上昇流推定のための情報として用いられる。30 秒メッシュ（約 900 m）で地域分割され提供されているデータを 0.05 度にリサンプリングし全球結合している。

## 2.10. 高分解能海陸フラグ

海岸での海陸判定に用いられる海・陸・海岸フラグである。主に National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) と NASA が提供する SRTM Water Body Data を用い、北緯 60° より北を NOAA's National Geophysical Data Center が提供する Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shorelines(GSHHS)に基づいて作られた 30 秒格子のデータである。

## 3. 出力データ

### 3.1. 時間平均プロダクト

#### 3.1.1. 時間分解能

1 時間単位。

#### 3.1.2. 空間分解能

0.1 度等緯度経度格子。

#### 3.1.3. 観測範囲

出力データの範囲は、西経 180 度～東経 180 度、南緯 90 度～北緯 90 度である。ただし、現在は、南緯 60 度～北緯 60 度の範囲しか降雨を算出しておらず、それ以外の領域には欠損値が入っている。

#### 3.1.4. 出力フォーマット

HDF5 および TEXT (CSV) 形式。

#### 3.1.5. 時間降雨量 (HourlyPrecipRate)

ピクセルの時間平均降雨量。単位は mm/hour。

#### 3.1.6. 衛星情報フラグ (SatelliteInformationFlag)

1 時間の間にピクセルを観測した衛星情報。

#### 3.1.7. 時刻情報フラグ (ObservationTimeFlag)

観測時 X 時のスタート時刻 (X 時 00 分) を基準として、マイクロ波放射計が最後にピクセルを観測してからの相対時刻を示す。

### 3.1.8. 雨量計校正降雨量 (HourlyPrecipRateGC)

地上雨量計によって補正された、ピクセルの時間平均降雨量。単位は mm/hour。

### 3.1.9. 雨量計品質情報 (GaugeQualityInformation)

ピクセルの雨量計補正に利用した地上雨量計の、日平均の観測数。準リアルタイムプロダクトの場合は、補正の有無を示す (有りの場合に 1 が格納)。

## 3.2. 月平均プロダクト

### 3.2.1. 時間分解能

月単位。

### 3.2.2. 空間分解能

0.1 度等緯度経度格子。

### 3.2.3. 観測範囲

出力データの範囲は、西経 180 度～東経 180 度、南緯 90 度～北緯 90 度である。ただし、現在は、南緯 60 度～北緯 60 度の範囲しか降雨を算出しておらず、それ以外の領域には欠損値が入っている。

### 3.2.4. 出力フォーマット

HDF5 および TEXT (CSV) 形式。

### 3.2.5. 時間降雨量 (MonthlyPrecipRate)

ピクセルの月平均の時間降雨量。単位は mm/hour。欠損値は-9999.9。

### 3.2.6. 観測数 (ObservationNumber)

1 ヶ月の間にピクセルを観測した回数。欠損値は-9999。

### 3.2.7. 標準偏差 (StandardDeviation)

1 ヶ月の観測の標準偏差。欠損値は-9999.9。

### 3.2.8. 雨量計校正降雨量 (MonthlyPrecipRateGC)

地上雨量計によって補正された、ピクセルの月平均の時間降雨量。単位は mm/hour。欠損値は-9999.9。

### 3.2.9. 雨量計品質情報 (GaugeQualityInformation)

ピクセルの雨量計補正に利用した地上雨量計の、月平均の観測数。欠損値は-9999。

## 4. 各アルゴリズムの説明

### 4.1. マイクロ波イメージャ (MWI) アルゴリズム

GSMaP マイクロ波イメージャ (MWI) アルゴリズムは、衛星搭載マイクロ波イメージャ



(TMI, GMI, AMSR, AMSRE, AMSR2, SSMI) の輝度温度 (TB) から、全球的な降水強度をリトリールするアルゴリズムである。このアルゴリズムは、Aonashi *et al.* (2009)のアルゴリズムに地形性降水の補正手法などを導入することで改善したものである。

MWI アルゴリズムの基本的な考え方は、MWI TB 観測値と最もよく合う輝度温度の放射伝達モデル (RTM) 計算値を与えるような最適な降水強度分布を求めることである。MWI アルゴリズムは、陸上では高周波 (TMI では 37,85.5 GHz) の Polarization corrected temperature (PCT)、海上ではこれに加えて、低周波 (TMI では 10.7,19.7, 37GHz) の垂直偏波の輝度温度を使う。(SSMI に対しては、10GHz の TB のかわりに、19GHz の偏波差を用いる)

MWI アルゴリズムは、地上降水強度に対する TB の RTM 計算値の Look-Up Table (LUT) を求める前方計算部分と、LUT を使って MWI TB 観測値から降水強度を推定するリトリール部分からなる。

前方計算部分では、JMA の全球解析値または予報値の大気地面物理量と TRMM 観測等に基づく降水物理量モデル (Takayabu, 2008, Takahashi and Awaka, 2005) を、Liu (1998) の RTM プログラムに入力して、一様降水についての LUT を計算する。また、Shige *et al.* (2013) や Taniguchi *et al.* (2013) に従い、背の低い地形性降水に対する LUT を計算する。次に、これらの LUT から、Aonashi and Liu (2000) の近似計算を用いて、非一様降水に対する LUT を求める。

リトリール部分は、降水判定、散乱シグナルを使った降水強度リトリール、海上の放射シグナルを使った降水強度リトリールを行なう。降水判定法として、陸上では Seto (2005)、海岸では Kubota (2007)、海上では Kida *et al.* (2009) の方法を用いる。散乱シグナルを使った降水強度リトリールでは、2周波 PCT (TMI では 37,85.5 GHz) を用いる。陸上海岸では、固体降水の厚みと地表面温度の指標を用いた補正を導入している。さらに、地形性降水の判定を行い、判定された領域では、地形性降水に対する LUT を用いる (Yamamoto and Shige, 2014)。放射シグナルを使った降水強度リトリールでは、散乱降水を第 1 推定値として、低周波の鉛直偏波の TB (TMI では 10.7,19.7, 37GHz) についてのコストファンクションを最小化して、降水強度を求めている。

本アルゴリズムで用いる地形性降雨判定は、Shige *et al.* (2013)、Taniguchi (2013)、Shige *et al.* (2014) の手法に修正を施して全球に適用したものである (Yamamoto and Shige 2014)。地形性降雨の判別には、次の式による地形による上昇流  $w$  と水蒸気フラックスの収束  $Q$  を用いる。

$$w = \frac{Dh}{Dt} = u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \quad (1)$$

$$Q = - \left( \frac{\partial(uq)}{\partial x} + \frac{\partial(vq)}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで  $h$  は SRTM30 の標高データ、 $u$  と  $v$  は GANAL データによる地上風速、 $q$  は地上の

水蒸気混合比である。ただし、 $h$  は  $0.05^\circ$  にリサンプリングし、さらに  $0.5^\circ$  の移動平均を施したものである。これらが、次の閾値

$$w > 0.01 \text{ m s}^{-1}, Q > 0.3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1} \quad (3)$$

を超えた場合を地形性降雨とした。

地形性降雨に対する降雨プロファイルモデルは、前項に示した降雨プロファイルモデルの作成に準じた方法で、 $5^\circ \times 5^\circ$ 、2003-2011 年 6-8 月で積算した地形性降雨判定時のみの TRMM PR プロファイルデータで作成した。ただし、サンプル量の問題から、インド西海岸 ( $5^\circ\text{--}10^\circ\text{N}$ ,  $70^\circ\text{--}75^\circ\text{E}$ ) の地形性降雨プロファイルを全球に準用した。地形性降雨時の対流・層状比 (SPR) も同条件下で作成した。地形性降水に対する固体降水粒子密度は、上昇流が弱く霰の生成が十分でないことを仮定し、通常用いられる  $0.4 \text{ g cm}^{-3}$  に対して、雲解像モデルで雪に対する密度として一般に用いられる  $0.1 \text{ g cm}^{-3}$  (Rutledge and Hobbs 1984) を使用している。GSMaP MWR アルゴリズムでは、前方計算部分で地形性降雨に対する降雨プロファイルモデル、SPR、および固体降水粒子密度を切り替えて地形性降雨 LUT を求めている。

雷活動が活発な地域 (例: メキシコ西海岸部) では一般に対流が強く、背が高く霰が多く生成されていたため、 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  の降雨タイプ分類のうち高降雨/発雷比が割り当てられている地域は除外した。

#### 4.2. マイクロ波サウンダ (MWS) アルゴリズム

海上用の GSMaP マイクロ波サウンダアルゴリズムは、GSMaP マイクロ波イメージャアルゴリズムをベースとして、Shige *et al.* (2009) によって開発された。本アルゴリズムは、23GHz チャネルの輝度温度による放射アルゴリズムに基づく推定と、89GHz チャネルの輝度温度による散乱アルゴリズムに基づく推定を複合している。降雨の非一様性についても考慮されている。さらに、海上降雨判定の高度化、地形性降雨の過小評価の改良 (Shige *et al.*, 2013, Taniguchi *et al.*, 2013) 等の改良を加えている。

陸上用の GSMaP マイクロ波サウンダアルゴリズムは、89GHz の散乱アルゴリズムをベースとして 150GHz や 183GHz 帯チャンネルを降雨判定に活用して開発している (Kida *et al.*, 2012)。

サウンダアルゴリズムでは、RTM 計算により作られる  $T_b$  のルックアップテーブル (LUT) を入射番号の 5 次の線形関数でフィッティングしこの係数を保存する。リトリバル処理ではこの係数から LUT を復元する。

#### 4.3. マイクロ波イメージャ/サウンダ (MWIS) アルゴリズム

GSMaP マイクロ波イメージャ/サウンダアルゴリズムは、GSMaP マイクロ波イメージャアルゴリズムをベースとして、Kubota *et al.* (2011) によって開発された。SSMIS には SSM/I と同様、10GHz チャネルがないため、本アルゴリズムは海上で、19GHz(v) チャネルの輝度温度による放射アルゴリズムに基づく推定と、85GHz チャネルの輝度温度による散乱アルゴリズムに基づく推定に加えて、19GHz の偏波差による放射アルゴリズムによる推定を

複合している。降雨の非一様性についても考慮されている。詳細は Kubota *et al.* (2011)を参照。

陸上用の GSMaP マイクロ波イメージャ/サウンダアルゴリズムは、イメージャ用アルゴリズムをベースとして開発している。

#### 4.4. マイクロ波-赤外複合(MVK)アルゴリズム

GSMaP マイクロ波-IR 複合アルゴリズムは、衛星搭載マイクロ波放射計及び静止気象衛星搭載赤外放射計データを併用して作成した全球（60S-60N）、1 時間毎の降水マップ作成アルゴリズムである。マイクロ波放射計による雨量は、GSMaP マイクロ波イメージャアルゴリズムの出力を利用し、この雨域を赤外放射計による画像から算出した移動ベクトルによって移動させ、カルマンフィルタを用いて補正している。移動ベクトルからの雨域の移動は、マイクロ波放射計の通過から時間的に順方向と逆方向、双方について行っており、最終的なマップの合成は、この順方向と逆方向の平均により作成している。移動ベクトルの算出は、Joyce *et al.*(2004)に詳しい記述があり、本マップでも基本的に同様な手法を用いている。一方、カルマンフィルタは、移動ベクトルによる移動後の雨量に対して、赤外輝度温度と降水量の統計的關係によって補正するように施されている。詳細は Ushio *et al.* (2009)を参照。

#### 4.5. 雨量計による補正(Gauge)アルゴリズム

本アルゴリズムは、MVK アルゴリズムおよび準リアルタイム用 (NRT) アルゴリズムで作成される、1 時間、0.1 度分解能の全球降水マップ (GSMaP\_MVK および GSMaP\_NRT) を、NOAA Climate Prediction Center (CPC)によって配布されている CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation プロダクトによって、補正するアルゴリズムである。補正後の分解能は、GSMaP\_MVK および GSMaP\_NRT と同一であり、1 時間、0.1 度である。本プロダクトは、陸上のみ補正を行っており、海上に関しては、GSMaP\_MVK および GSMaP\_NRT と同値である。補正後の雨量は、最尤推定法に基づいており、24 時間の積算雨量が、NOAA の雨量計プロダクトと類似するよう制限することによって得ている (Ushio *et al.*, 2013)。

#### 4.6. 準リアルタイム用(NRT)アルゴリズム

準リアルタイム用アルゴリズムは、標準アルゴリズムをベースとしているが、準リアルタイムでの運用性を確保するために、処理の一部簡略化を行っている。準リアルタイムと標準の主な違いは下記の通りである。

- ・ 大気情報として、予報値を利用
- ・ 海面水温情報として、過去の直近データを利用
- ・ マイクロ波-IR複合処理で、時間的に順方向の雲域移動のみを使って計算
- ・ 雨量計補正処理で、過去データから作成した雨量計補正テーブルを利用

## 5. モジュール

### 5.1. 概要

全球合成降水マップアルゴリズムのアルゴリズムフローを図1に示す。

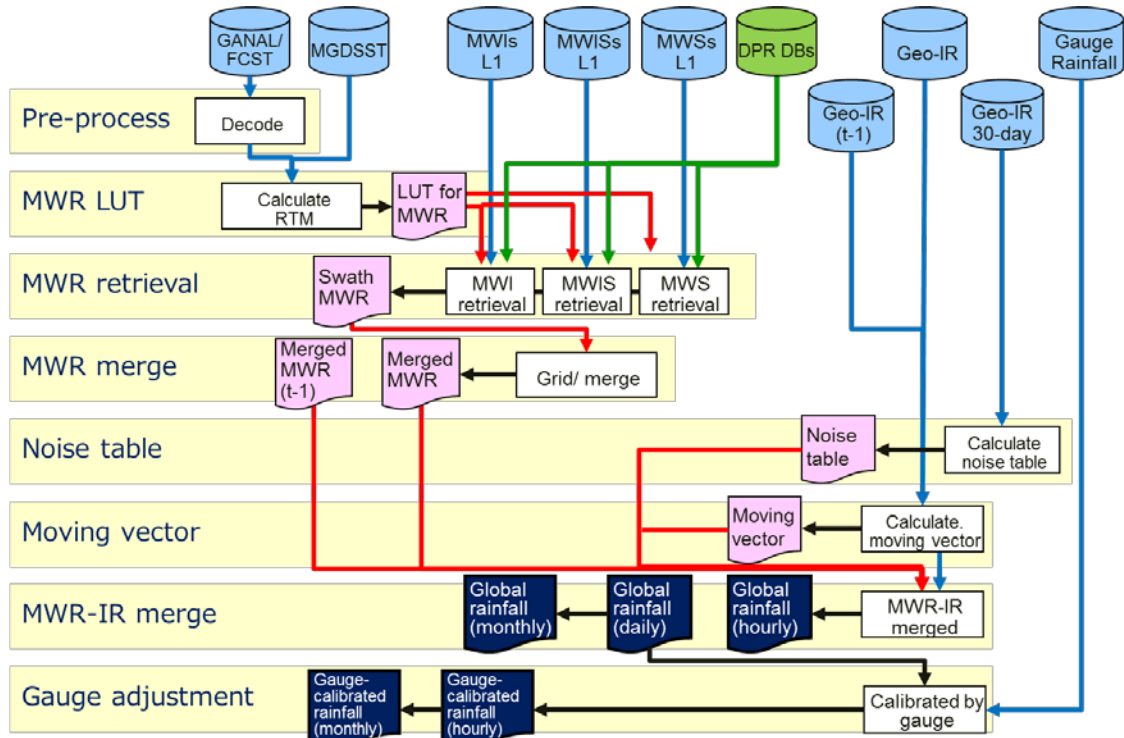


図1 GSMaP アルゴリズムフロー

### 5.2. 主要モジュール

全球合成降水マップアルゴリズムを構成する主なモジュールは、以下の通りである。

- ・ 前処理
- ・ マイクロ波放射計 (MWI/MWS/MWIS) LUT (ルックアップテーブル) 処理
- ・ マイクロ波放射計リトリバル処理
- ・ マイクロ波放射計 格子化・合成処理
- ・ ノイズテーブル作成処理
- ・ 雲移動ベクトル算出処理
- ・ マイクロ波-IR 複合処理
- ・ 雨量計補正処理

## 6. 検証

### 6.1. 検証計画

降水量は時空間変動が激しく、地上観測データとの直接比較が難しい地球物理量のひとつである。基本的には既存の現業地上レーダ網や地上雨量計群を用いた検証を行うが、地上データ自体の精度や均一性の観点から、衛星搭載降水レーダとの比較を行うことが非常に重要である。また、散乱アルゴリズム検証のため、固体降水の雲物理量とマイクロ波放射の同期観測が必要であるため、全球降水観測計画/二周波降水レーダ (GPM/DPR) の検証計画・キャンペーン観測と連携する。

## 6.2. 衛星搭載降水レーダとの比較

TRMM/PR、または、GPM/DPR などの衛星搭載降水レーダのデータと、全球降水マップ、あるいは、個別のマイクロ波センサとのマッチアップを作成し、比較検証を定常的に実施する。

## 6.3. 地上データとの比較

JMA のアメダス、レーダアメダス（日本域について合成・格子点化された、雨量計補正されたレーダ解析雨量データ）、地上レーダデータとの比較を行う。マッチアップの手法は、衛星搭載降水レーダの場合と同様である。

また、GPM 地上検証チームと連携し、国内だけでなく東南アジア、海洋上など多くの異なる気候帯での観測データによる比較を行って全球規模での精度検証を行う。

## 6.4. GCOM-W1/AMSR2 との連携

MWI アルゴリズムの検証として、GCOM-W/AMSR2 プロジェクトの検証活動と連携する。GCOM-W では、単独のセンサに対して、衛星搭載降水レーダ、または、地上雨量計・レーダデータとのマッチアップを作成し、比較を行う。また、GCOM-W/AMSR2 の検証サイト（平成 24 年度運用開始）に、上記の比較結果が掲載される。

## 6.5. 国際降水作業部会 (IPWG) との協力

気象衛星調整会議 (CGMS) に設置されている国際降水作業部会 (IPWG) が主催する国際的な降水比較検証に参加し、整合性の取れた降水プロダクトの検証に資する。京都大学が JAXA/GPM 利用研究プロジェクトとの協力の下で運用している、国際降水作業部会 (IPWG) の複数衛星合成降水マップの日本検証サイト

([http://www-ipwg.kugi.kyoto-u.ac.jp/IPWG/sat\\_val\\_Japan.html](http://www-ipwg.kugi.kyoto-u.ac.jp/IPWG/sat_val_Japan.html)) と連携し、レーダアメダス解析雨量の 1 時間雨量／日平均雨量との比較およびその時系列モニタを実施する。

## 7. アルゴリズム開発スケジュール

図 2 に GPM 全球合成降水マップの開発スケジュール（平成 26 年 8 月現在）を示す。

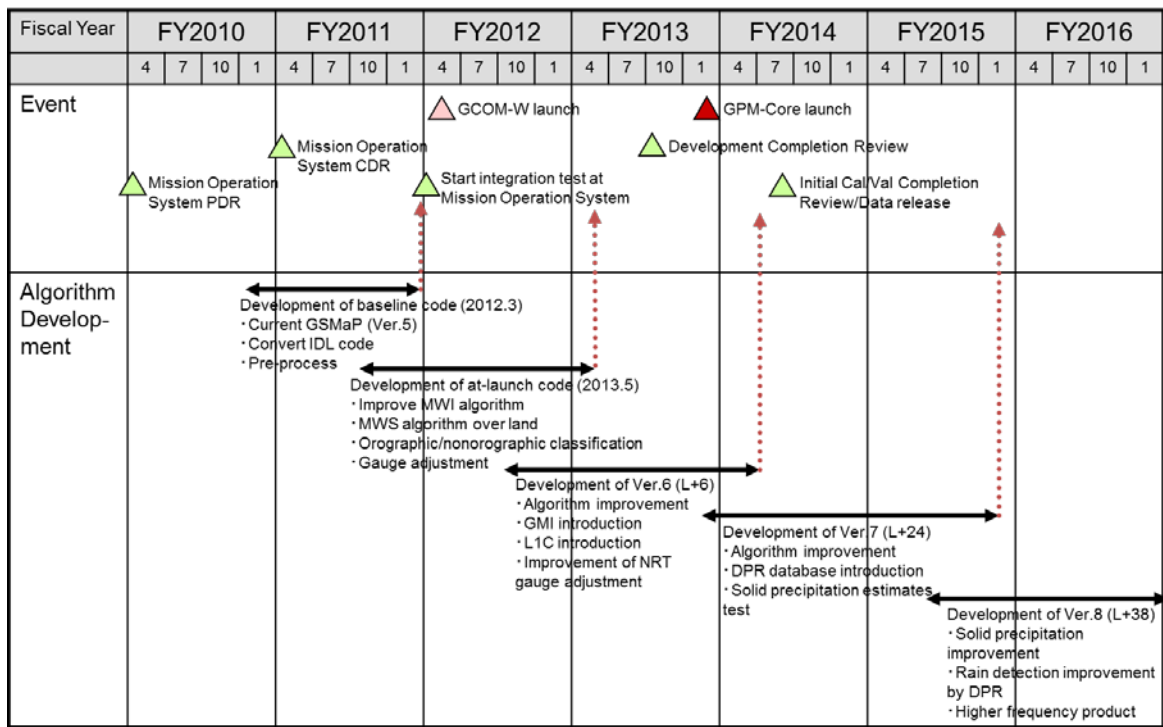


図2 開発スケジュール（平成26年8月現在）

## 8. 参考文献

### GSMaP プロジェクト関連

K. Okamoto, T. Iguchi, N. Takahashi, K. Iwanami and T. Ushio, 2005: The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project. *Proc. of IGARSS 2005*, 3414-3416.

K. Okamoto, T. Iguchi, N. Takahashi, T. Ushio, J. Awaka, S. Shige, and T. Kubota, 2007: High precision and high resolution global precipitation map from satellite data. *Proc. of ISAP 2007*, 506-509.

T. Kubota, S. Shige, H. Hashizume, K. Aonashi, N. Takahashi, S. Seto, M. Hirose, Y. N.

Takayabu, K. Nakagawa, K. Iwanami, T. Ushio, M. Kachi, and K. Okamoto, 2007: Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **45**, 2259-2275.

### マイクロ波イメージャアルゴリズム関連

K. Aonashi, J. Awaka, M. Hirose, T. Kozu, T. Kubota, G. Liu, S. Shige, S., Kida, S. Seto, N.

Takahashi, and Y. N. Takayabu, 2009: GSMaP passive, microwave precipitation retrieval algorithm: Algorithm description and validation. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**, 119-136.

- K. Aonashi, and G. Liu, 2000: Passive Microwave Precipitation Retrievals Using TMI during the Baiu Period of 1998. Part I: Algorithm Description and Validation. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 2024-2037.
- H. Hashizume, T. Kubota, K. Aonash, S. Shige, and K. Okamoto, 2006: Development of over-ocean SSM/I rain retrieval algorithm in the GSMaP project. *Proc. of IGARSS 2006*, 2588-2591.
- S. Kida, S. Shige, T. Kubota, K. Aonashi, and K. Okamoto, 2009: Improvement of rain/no-rain classification methods for microwave radiometer observations over ocean using the 37-GHz emission signature. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**, 165-181.
- S. Seto, N. Takahashi, T. Iguchi, 2005: Rain/no-rain classification methods for microwave radiometer observations over land using statistical information for brightness temperatures under no-rain conditions. *J. Appl. Meteor.*, **44**, 1243-1259.
- S. Seto, T. Kubota, N. Takahashi, T. Iguchi, T. Oki, 2008: Advanced rain/no-rain classification methods for microwave radiometer observations over land. *J. Appl. Meteor. Clim.*, **47**, 3016-3029.
- S. Shige, S. Kida, H. Ashiwake, T. Kubota, and K. Aonashi, 2013: Improvement of TMI rain retrievals in mountainous areas. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **52**, 242-254.
- N. Takahashi, and J. Awaka, 2007: Introduction of a melting layer model to a rain retrieval algorithm for microwave radiometers. *Proc. 25th IGARSS*, 3404-3409.
- Y. N. Takayabu, 2008: Observing Rainfall Regimes Using TRMM PR and LIS Data. *GEWEX Newsletter*, **18**, 9-10.
- A. Taniguchi, S. Shige, M. K. Yamamoto, T. Mega, S. Kida, T. Kubota, M. Kachi, T. Ushio, and K. Aonashi, 2013: Improvement of high-resolution satellite rainfall product for Typhoon Morakot (2009) over Taiwan. *J. Hydrometeor.*, **14**, 1859-1871.
- S. Shige, M.K. Yamamoto, and A. Taniguchi, 2014. Improvement of TMI rain retrieval over the Indian Subcontinent. *Geophys. Monogr. Ser.* (in print).
- M.K. Yamamoto, and S. Shige, 2014: Implementation of an orographic/nonorographic rainfall classification scheme in the GSMaP algorithm for microwave radiometers. *Atmos. Res.* (in print)

#### マイクロ波サウンダアルゴリズム関連

- S. Shige, T. Yamamoto, T. Tsukiyama, S. Kida, H. Ashiwake, T. Kubota, S. Seto, K. Aonashi and K. Okamoto, 2009: The GSMaP precipitation retrieval algorithm for microwave sounders. Part I: Over-ocean algorithm. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*, **47**, 3084-3097.
- S. Kida, S. Shige, and T. Manabe, 2010: Comparison of rain fractions over tropical and sub-tropical ocean obtained from precipitation retrieval algorithms for microwave sounders. *J. Geophys. Res.*, **115**, D24101, doi:10.1029/2010JD014279.
- S. Kida, T. Kubota, M. Kachi, S. Shige, and R. Oki, 2012: Development of precipitation retrieval algorithm over land for a satellite-borne microwave sounder. *Proc. of IGARSS 2012*, 342-345.

#### マイクロ波イメージャ/サウンダアルゴリズム関連

- T. Kubota, S. Shige, M. Kachi, and K. Aonashi. 2011: Development of SSMIS rain retrieval algorithm in the GSMaP project. *Proc 28<sup>th</sup> ISTS*, 2011-n-46.

#### マイクロ波-IR 複合アルゴリズム関連

- T. Ushio, T. Kubota, S. Shige, K. Okamoto, K. Aonashi, T. Inoue, N., Takahashi, T. Iguchi, M. Kachi, R. Oki, T. Morimoto, and Z. Kawasaki, 2009: A Kalman filter approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from combined passive microwave and infrared radiometric data. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87A**, 137-151.
- T. Ushio, T. Tashima, T. Kubota, and M. Kachi, 2013: Gauge Adjusted Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP\_Gauge), *Proc. 29th ISTS*, 2013-n-48.

#### 準リアルタイムシステム関連

- M. Kachi, T. Kubota, T. Ushio, S. Shige, S. Kida, K. Aonashi, and K. Okamoto, 2011: Development and utilization of “JAXA Global Rainfall Watch” system. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, **131**, 729-737. (In Japanese with English abstract)
- T. Ushio, and M. Kachi, 2009: Kalman filtering application for the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP). *Chapter for “Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology” (Edited by Mekonnen Gebremichael and Faisal Hossain)*, Springer, ISBN978-9048129140, 105-123.



## GSMaP 関連以外の参考論文

- R. J. Joyce, J.E. Janowiak, P.A. Arkin and P. Xie, 2004: CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *J. Hydrometeor.*, **5**, 487-503.
- G. Liu, 1998: A fast and accurate model for microwave radiance calculation, *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 335-343.
- G. W. Petty. 1994: Physical retrievals of over-ocean rain rate from multichannel microwave imagery. Part I: Theoretical characteristics of normalized polarization and scattering indices. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **54**, 79-99.