

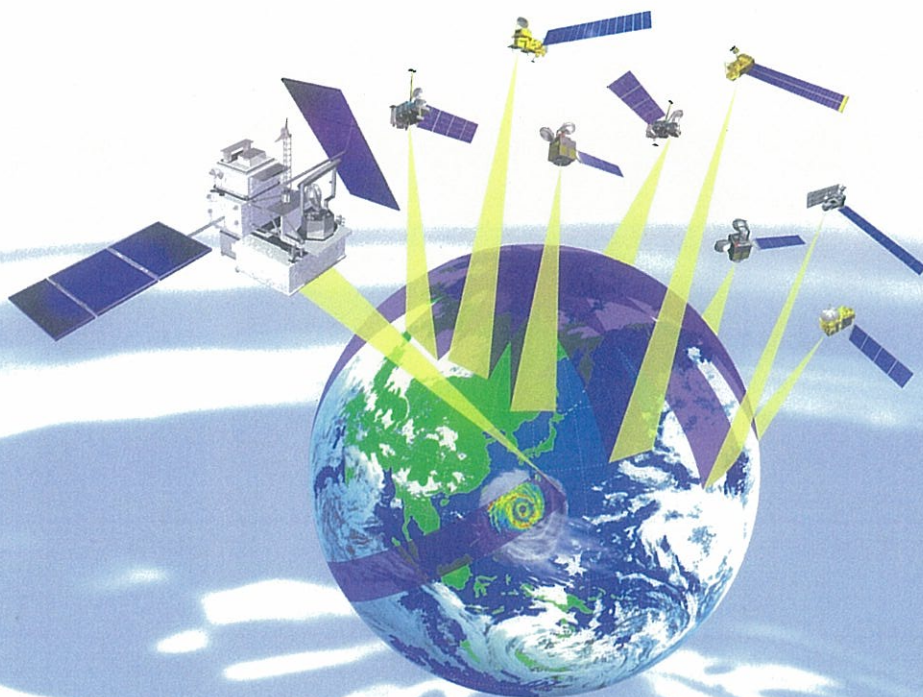


# 全球降水観測 (GPM) 計画

## — 科学的・社会的期待 —

平成19年3月

(独) 宇宙航空研究開発機構  
地球観測研究センター



## 目次

本文書の位置づけ .....	I
まえがき .....	III
要旨と構成 .....	IV
目次 .....	V
<b>1. GPM の科学的・社会的意義 .....</b>	<b>1</b>
1.1. GPM の科学的・社会的意義 -TRMM から GPM へ- (中村 健治) .....	1
1.2. 全球水循環及び地球環境変動 .....	5
1.2.1. 全球水循環及び地球環境変動 (小池 俊雄) .....	5
1.2.2. 地球表層の水循環システム (沖 大幹) .....	10
1.3. 大気科学 .....	14
1.3.1. 熱帯・亜熱帯の降雨特性 .....	14
1.3.1.1. 熱帯気象 (中村 健治) .....	14
1.3.1.2. 降雨特性の研究 (高藪 縁) .....	16
1.3.2. 降水日変化 (里村 雄彦) .....	21
1.3.3. 台風 (中澤 哲夫) .....	27
1.3.4. 中高緯度の大気じょう乱 (新野 宏) .....	30
1.3.5. 潜熱加熱 (重 尚一) .....	35
1.3.6. 亜熱帯の降雨 (児玉 安正) .....	39
1.3.7. 中緯度の降雨 .....	45
1.3.7.1. 日本の豪雨 (吉崎 正憲) .....	45
1.3.7.2. 梅雨と降水システム (上田 博) .....	49
1.3.8. 北西太平洋上での爆弾低気圧 (遊馬 芳雄) .....	55
1.3.9. モンスーン (松本 淳) .....	59
1.3.10. 雷 (河崎 善一郎・牛尾 知雄・森本 健志) .....	63
1.3.11. 山岳域の降水 (上野 健一) .....	67
1.3.12. 数値実験の中の降水 .....	71
1.3.12.1. 気候モデルにおける降水 (鬼頭 昭雄) .....	71
1.3.12.2. 全球雲解像モデルにおける降水 (佐藤 正樹) .....	74
1.3.13. 気象庁での利用 (竹内 義明) .....	78
1.4. 雪氷圏 (藤吉 康志) .....	82
1.5. 水文 .....	84
1.5.1. 水文分野における衛星による降水観測 (沖 大幹) .....	84
1.5.2. 時間、空間相関長等瞬時降雨場パラメータの気候値推定の可能性 (中北 英一) .....	88
1.6. 海洋 (久保田 雅久) .....	95
1.7. 農業 (大野 宏之・鳥谷 均) .....	98
1.8. 洪水予警報 (梅田 和男・深見 和彦) .....	102

2. ミッション概要.....	107
2.1. GPMによる全球降水観測 (中村健治) .....	107
2.2. ミッション要求概要 (古川 欣司) .....	110
2.3. GPM 主衛星の仕様.....	117
2.3.1. 観測機能の考え方 (中村 健治) .....	117
2.3.2. GPM 主衛星主要諸元 (古川 欣司) .....	119
2.3.3. 二周波降水レーダ (花土 弘) .....	121
2.3.4. GPM マイクロ波放射計の概要 (可知 美佐子) .....	128
2.4. 副衛星の概要 (古川 欣司) .....	130
2.5. データシステム (仁尾 友美) .....	131
2.6. プロダクト案 (清水 収司) .....	137
3. アルゴリズム.....	141
3.1. 二周波降水レーダ (DPR) アルゴリズム .....	141
3.1.1. レベル1アルゴリズム (清水 収司) .....	141
3.1.2. レベル2アルゴリズム (井口 俊夫) .....	143
3.1.3. 地球規模の雨滴粒径分布推定 (古津 年章) .....	148
3.2. マイクロ波放射計アルゴリズム.....	152
3.2.1. マイクロ波放射計アルゴリズム (青梨 和正) .....	152
3.2.2. GPROF アルゴリズムと GPM への期待 (増永 浩彦) .....	156
3.2.3. 陸上用のマイクロ波放射計アルゴリズム (瀬戸 心太) .....	159
3.2.4. 降水物理モデルの改良 (高橋 暢宏) .....	163
3.3. 複合アルゴリズム (高橋 暢宏) .....	166
3.4. 潜熱加熱推定アルゴリズム (重 尚一) .....	169
3.5. 全球マッピングアルゴリズム (牛尾 知雄) .....	174
4. 校正検証.....	178
4.1. 総論 (中村 健治) .....	178
4.2. 二周波降水レーダ校正 (花土 弘) .....	180
4.3. 検証.....	183
4.3.1. 検証の考え方 (井口 俊夫) .....	183
4.3.2. 検証計画 (清水 収司) .....	187
4.4. 地上観測と検証 .....	191
4.4.1. NICT 沖縄検証サイト (佐藤 晋介) .....	191
4.4.2. 稚内 (2004 年 1 月北見豪雪) (遊馬 芳雄) .....	195
4.4.3. 札幌 (藤吉 康志) .....	198
4.4.4. 固体降水観測サイトとしての防災科学技術研究所雪氷防災研究センター (岩波 越) .....	199
4.5. 長期データを用いた検証 (沖 理子) .....	204
5. 体制とスケジュール (沖 理子・中村 健治) .....	209
6. GPM と国際的状況 (石田 中・小池俊雄) .....	213
7. GPM への助言 - TRMM の反省を踏まえて - (岡本 謙一) .....	216

付録.....	221
A.1 GPMサイエンス関連会合等.....	223
A.2 主な略語.....	225
A.3 関連ホームページ一覧.....	228
A.4 執筆者リスト.....	229

## 3.2.3. 陸上用のマイクロ波放射計アルゴリズム(瀬戸 心太)

マイクロ波放射計による陸上の降水量推定精度は、海上の場合に比べて低い。その理由として、地表面の輝度温度が高く高周波数のチャンネルしか利用できないこと、また地表面の輝度温度変動が大きく降水による変動との判別が難しいことがある。本稿では、陸上用のマイクロ波放射計アルゴリズムについて、降雨判定(降水と無降水の判別)と、散乱アルゴリズムに基づくリトリバルに分けて述べることにする。

降雨判定は、マイクロ波放射計による瞬時観測に対して、降水強度のリトリバルを行うかを決める前処理である。陸上では、陸面自体の放射輝度温度が時間的・空間的に複雑な変動を示すため、降水によるシグナルとの判別が難しい場合も多い。とくに、積雪域や砂漠域においては、地表面にある雪および砂粒子による散乱の影響で、高周波数で観測される輝度温度が低くなり、降水と間違えやすいことが指摘されてきた。これまで、Grody (1991) が開発した手法が、多少の修正を加えられながら、その後開発された多くの主要なアルゴリズム (Adler *et al.* (1994), Ferraro (1997) など) で利用されてきた。TMI の標準アルゴリズム GPROF Version5 (Kummerow *et al.*, 2001) の場合、次のようになっている。最初に、観測輝度温度が散乱の影響を受けているかどうかを判定する。これは、85 GHz 垂直偏波で観測された輝度温度  $TB(85V)$  を、無降水条件下での推定値  $TB^*(85V)$  と比較することで行う。 $TB^*(85V)$  は、22 GHz 垂直偏波で観測された輝度温度  $TB(22V)$  と等しいとして与える。 $SI = TB^*(85V) - TB(85V)$  が 8 K より大きい場合には、散乱ありとして次のステップに進み、8 K より小さい場合には散乱なし、すなわち降水なしと判定する。次に散乱ありと判定されたデータから、砂漠域や積雪域の影響を受けているデータを取り除き(スクリーニング)、すなわち降水なしと判定し、それ以外のデータを降水ありと判定する。

これに対して、Seto *et al.* (2005) [以下、S2005 と記す]では、無降水時の輝度温度の統計的な情報をデータベース化し参照する方法を開発した。まず、PR と TMI の同時観測を利用して、TMI のフットプリント内に含まれる PR がすべて無降水と判定している場合の TMI の観測輝度温度を集計する。集計の解像度は緯度経度  $1^\circ$  グリッド、1 ヶ月とした。各チャンネルの輝度温度について、観測数・平均・標準偏差をデータベースに収める。また、2 つのチャンネルの輝度温度間の回帰係数もあわせて計算した。降雨判定では、GPROF と同様に、いずれも  $SI = TB^*(85V) - TB(85V)$  の大小で降水有無を判定するものであるが、砂漠域や積雪域に対するスクリーニングは利用しない。また、 $TB^*(85V)$  の与え方は、データベース化した無降水時の  $TB(85V)$  と  $TB(22V)$  の線形回帰式 ( $TB(85V)_{\text{norain}} = a + b \times TB(22V)_{\text{norain}}$ ) を参照して、これに観測値の  $TB(22V)_{\text{obs}}$  を代入して  $TB^*(85V) = a + b \times TB(22V)_{\text{obs}}$  とする。線形回帰式の残差を  $\sigma_e$  として、 $SI$  が  $k_0 \times \sigma_e$  より大きい場合に降水あり、小さい場合に降水なしとする。

GPROF と S2005 について、判定精度の比較を示す。ここで、判定精度の評価は、データベースの作成と同様にして、PR による判定を正解とみなして行う。PR が降水ありと判定したうち、各手法が降水ありと正しく判定できた回数の割合を RTDO とする。RTDO を PR による降水強度の重みつけて計算したものを RTDA とする。逆に、PR が降水なしと判定したうち、各手法が降水ありと誤って判定した回数の割合を RFAO とする。RTDO および RTDA が高く、RFAO が低いのが良い (PR に近い) 判定手法である。2000 年 1 年間の PR と同期観測された TMI に対する判定精度は、GPROF を使った場合 RTDO が 60 %、RTDA が 80 %、RFAO が 1 % 程度であった。S2005 の場合  $k_0=3.5$  とすると RFAO が GPROF のそれとほぼ等しくなるが、このとき、RTDO は 63 %、RTDA は 86 % となり、S2005 は GPROF より高い精度を示した。S2005 と GPROF について、RTDA と RFAO の分布を図 3.2.3-1 に示す。

GPROF は、S2005 で使う回帰式を  $a=0, b=1$  とした場合に相当する。このため、砂漠や積雪など地表面散乱の効果を考慮できない。S2005 では、砂漠域や積雪域に相当する部分で  $a$  が負の値となっており、地表面散乱の効果が考慮されている。したがって、GPROF ではスクリーニングが必要となる



が、この結果として、砂漠域や積雪域の上にある降水も、降水強度を問わずほとんどが取り除かれてしまう。S2005 では、砂漠域や積雪域の降水も一定程度検出可能であり、強い降水ほど判定しやすい傾向にある。このため、GPROF では全体として強い雨に対する RTDO が S2005 よりも低くなる。

このように、TMI については、PR との同期観測を利用して統計的に作成したデータベースを使うことで、陸面の物理温度の時空間変動をより適切に考慮できるようになり、より高い降雨判定精度を実現できた。陸上降雨判定に関する一番大きな課題は、PR の観測域外側の広く積雪に覆われる中高緯度に対する輝度温度データベースの開発である。

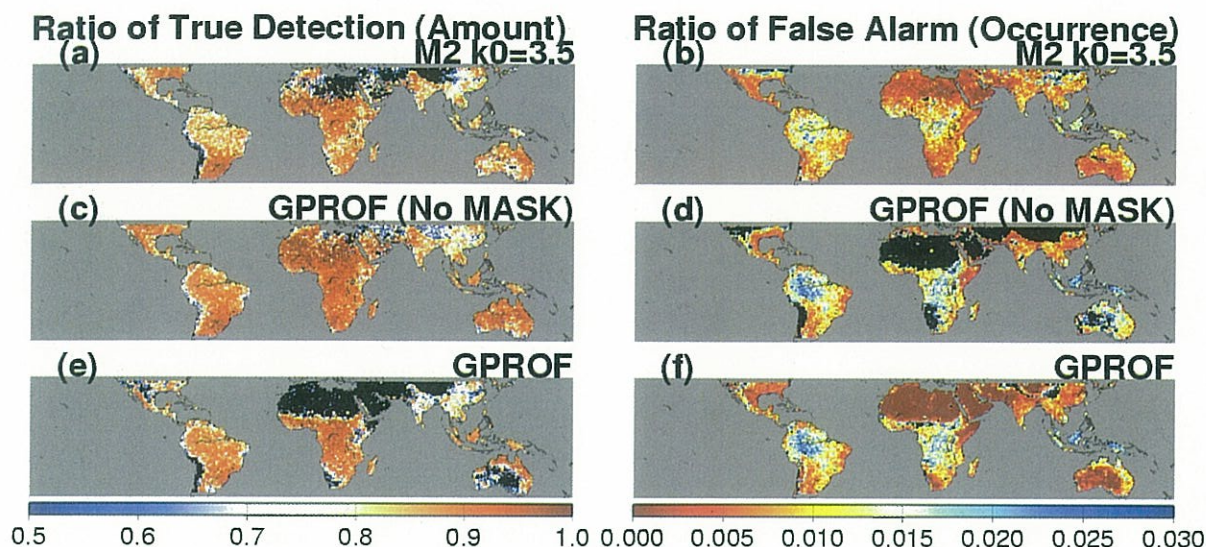


図3.2.3-1 S2005 (上段) と GPROF (下段) の RTDA (左列) および RFAO (右列) の比較。  
(a) に示すように、S2005 では部分的に砂漠・積雪上の降雨を抽出できるが、(e) に示すように GPROF ではほとんどできない。なお、中段は GPROF で砂漠・積雪マスクを利用しない場合であり、(d) の図で黒くしめされた部分で RFAO が極めて高くなる。

次に、リトリバルの精度について述べる。1998 年～2000 年に対して、TMI による降水強度推定値 ( $R_{TMI}$ ) と、PR による降水強度推定値 ( $R_{PR}$ ) の比較を示す。ここで、 $R_{PR}$  を真値とみなして、両推定値の差  $\Delta R = R_{TMI} - R_{PR}$  を TMI の推定誤差とみなす。まず、 $\Delta R$  を、降雨判定による誤差 ( $\Delta R_{RNC}$ ) とリトリバル ( $\Delta R_{RET}$ ) による誤差に分離する。PR による (真とみなす) 降雨判定に従い TMI のリトリバルを行った降水強度推定結果を  $R_{INT}$  として、 $\Delta R_{RNC} = R_{TMI} - R_{INT}$ 、 $\Delta R_{RET} = R_{INT} - R_{PR}$  と定義する。明らかに、 $\Delta R = \Delta R_{RNC} + \Delta R_{RET}$  が成り立っている。月ごと・緯度ごとの  $\Delta R$ 、 $\Delta R_{RNC}$ 、 $\Delta R_{RET}$  を、GPROF (Version6) と GSMaP (Version4.7) について示す (図3.2.3-2)。なお、GSMaP には、先に述べた S2005 の降雨判定手法が導入されている。GPROF では、 $\Delta R_{RET}$  が正、 $\Delta R_{RNC}$  が負であり、全体として  $\Delta R$  が正となる傾向を示すが、GSMaP では、 $\Delta R_{RET}$ 、 $\Delta R_{RNC}$  ともにゼロに近づいている。

リトリバル誤差について、さらに解析結果を示す。図3.2.3-3 は、(PR が推定した) 降雨頂高度別のリトリバル誤差である。GPROF、GSMaP ともに傾向は良く似ている。地表面の降水強度が同じならば、降雨頂高度が高い降雨ほど、強い降水強度を与えるのが散乱アルゴリズムの避けられない特徴だからである。ただし、気象学的に降雨頂高度と地表面の降水強度には正の相関があるため、降雨頂高度が高いほど過大評価が強まるわけでは必ずしもない。対流性では、降雨頂高度 5 km 付近がもっとも過小評価しやすい。降雨頂高度 10 km 以上の場合には、大きな過大評価を生みやすいが、GSMaP では Version4.6 以降、強い雨に対しては 85 GHz だけでなく、37 GHz を併用する 2 周波アル



### 3. アルゴリズム

ゴリズムを採用したことで、この部分の過大評価をある程度解消することに成功している。

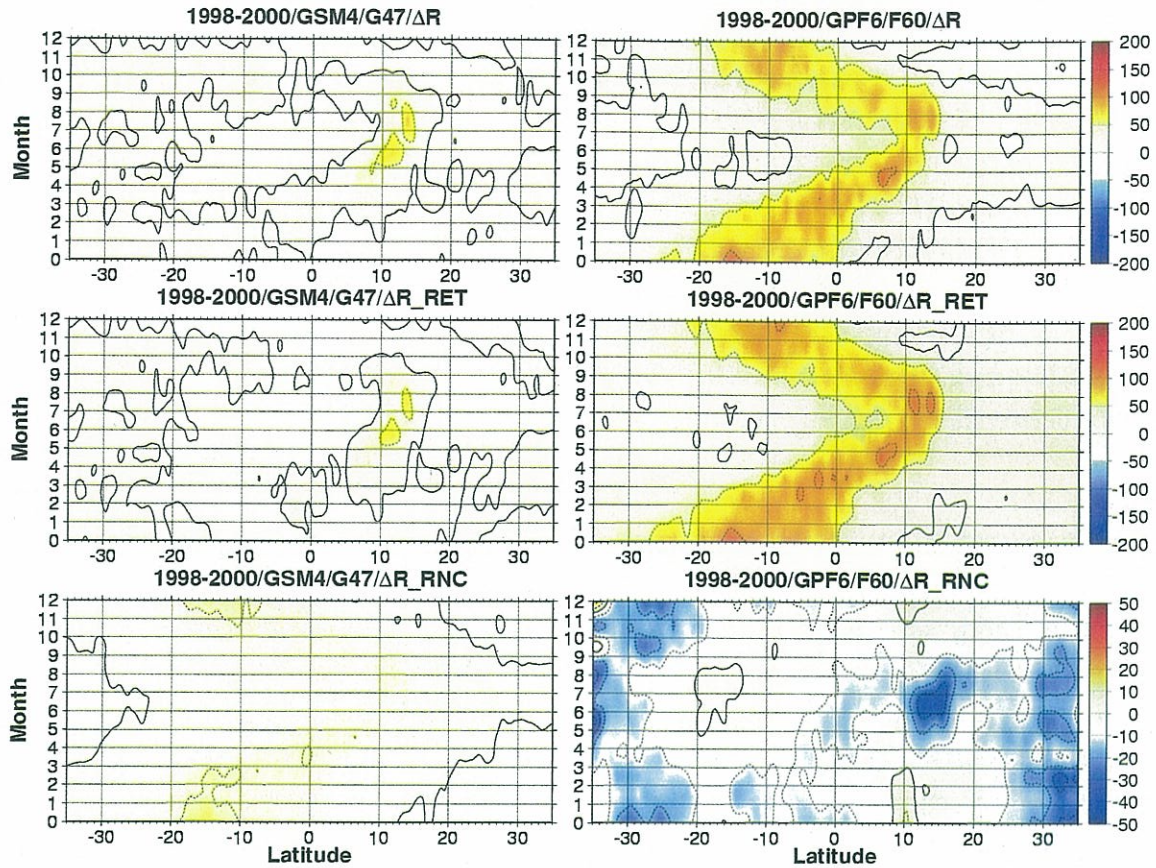


図3.2.3-2 GSMaP Version4.7 (左列)、GPROF Version6 (右列) の、全誤差 (上段)、リトリーバル誤差 (中段)、降雨判定誤差 (下段)。横軸は緯度、縦軸は月。各月ごとに3年分 (1998-2000年) を平均した結果。

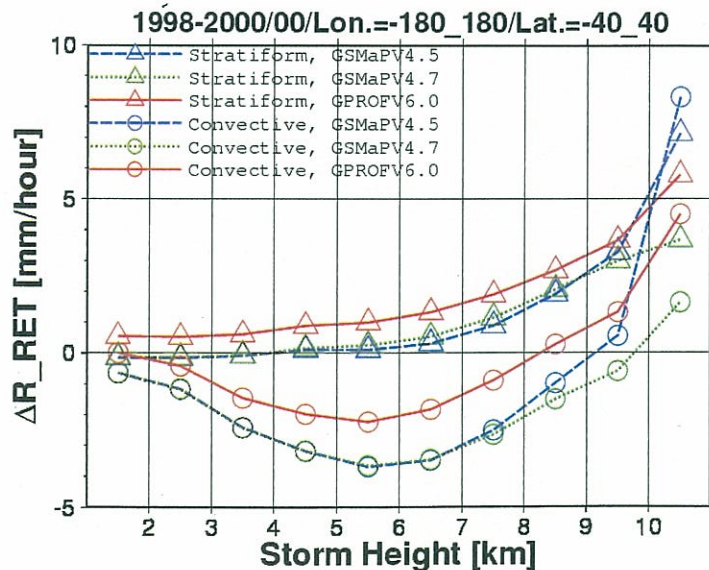


図3.2.3-3 GSMaP Version4.5, Version4.7, GPROF Version6.0 のリトリーバル誤差と降雨頂高度の関係。Version4.7 には2周波アルゴリズムの導入により、降雨頂高度10 km以上の過大評価が抑えられている。

ローカルタイム別のリトリバル誤差をみると、昼に過小評価、夕方に過大評価する傾向にある。これは、夕方に降雨頂高度が高い雨が多く、先に述べたような理由で散乱アルゴリズムは過大評価しやすいからである。ただし、一定の降雨頂高度の雨だけに注目しても、GSMaP の場合、昼の過小評価が残る。これについて、GSMaP では背景の気温場を1日1回(00Z)しか取得しておらず、0°C高度の変動に伴う固体降水層厚さの変動を考慮できていないためと考えられる。すなわち、昼には0°C高度が高く、同じ降雨頂高度に対して散乱に寄与する固体降水層が薄くなるため、同じ地表面降水強度に対して観測される輝度温度が弱くなる。結果として、降水強度推定値が弱くなると説明できる。

GSMaP は、GPM 時代に備えて開発を進めている日本で唯一ともいえるマイクロ波放射計アルゴリズムである。月平均、緯度平均としてみれば、GSMaP と PR の差は、GPROF と PR の差に比べて小さくなったが、降雨頂高度、ローカルタイムで切ってみると、GPROF と同様の問題が残っている。今後、融解層モデル・DSD モデル・陸面輝度温度情報・背景となる気象場情報の利用などについて、さらなる改良が必要である。

#### 参考文献

- Adler, R. F., G. J. Huffman and P. R. Keehn, 1994: Global tropical rain estimates from microwave-adjusted geosynchronous IR data. *Remote Sens. Rev.*, **11**, 125-152.
- Ferraro, R. R., 1997: Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications. *J. Geophys. Res.*, **102**, 16715-16735.
- Grody, N. C., 1991: Classification of snow cover and precipitation using the special sensor microwave imager. *J. Geophys. Res.*, **96**, 7423-7435.
- Kummerow, C., Y. Hong, W. S. Olson, S. Yang, R. F. Adler, J. McCollum, R. Ferraro, G. Petty, D.-B. Shin and T. Wilheit, 2001: The evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from passive microwave sensors. *J. Appl. Meteorol.*, **40**, 1801-1820.
- Seto, S., N. Takahashi and 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. Meteorol.*, **44**, 1243-1257.