

# マッデン・ジュリアン振動に伴う

## 海洋大陸上での降水に関する再検討

加藤ふみ, 重尚一

(京都大学大学院理学研究科)

### 要旨

マッデン・ジュリアン振動 (MJO) ではインド洋上で発生した活発な対流雲群が海洋大陸上を通過しながら西太平洋まで東進していく。また従来、MJOに伴う降水の研究においては、降水量データとして、マイクロ波放射計データに IR データなどを合成した TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 3B42 が用いられてきた。3B42 を用いた先行研究によると、海洋大陸周辺の海域では MJO が対流活発域である時に降水が強まる (Hidayat and Kizu, 2009; Rauniyar and Walsh, 2011) のに対して、陸域のボルネオ島やジャワ島では降水はあまり強まらない (Hidayat and Kizu, 2009)、むしろボルネオ島やニューギニア島、スラウェシ島などにおいて負のアノマリー (Rauniyar and Walsh, 2011) となることが述べられている。それらの研究を踏まえて、MJO は海洋大陸に到達した後その地形の影響を受け、活発な対流域の中心が赤道以南にずれ海洋大陸を迂回しながら東進していくとする先行研究もある (Kim et al., 2017; Wu and Hsu, 2009)。しかし 3B42 は海陸の混在する地域の観測には課題のあるデータであり、TRMMPR (Precipitation Radar) 2A25 のデータを用いて同様に解析すると、海域においては先行研究と同様の結果が得られたが、陸域のカリマンタン島上において 3B42 と PR で異なる降水アノマリーが見られた。また MJO の対流活発域がスマトラ島西岸にある Phase 3 において、先行研究ではスマトラ島上で降水が観測されていたのに対して、PR では確認されなかった。またそれらの差異は、3B42 においてマイクロ波放射計のデータのみを取り出した時より顕著に見られた。さらに MJO 通過時の降水雲タイプを調べると、広域の層状性雲が 3B42 と PR で降水量に差のあったフェーズにおいて存在率が顕著に変化しており、このタイプの降水雲による降水に対する観測の差が、上で述べたことの原因ではないかと考えている。また 3B42 に代わる GPM 時代の合成データである IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) についても現在比較を進めているところである。

# 衛星・再解析データに基づくIris仮説の評価

伊藤誠人<sup>1</sup>, 増永浩彦<sup>2</sup>

(1:名古屋大学大学院環境学研究科, 2:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

## 要旨

将来気候予測に不確実性をもたらす原因の1つとして、雲放射フィードバックが挙げられる。不確実性低減に向け、観測データ等を駆使したそのメカニズム解明が急務である。雲放射フィードバックメカニズムを説明する理論の1つとして、温暖化に伴い熱帯アンビル雲が減少することによって負のフィードバックが発生するというIris仮説が存在する。Iris仮説を説明する素過程として、2つの物理過程が提案されている。Lindzen Iris仮説では、SST増加に伴い対流雲の降水効率（本研究ではその観測的指標として雲降水比（PPC）を使用）が上昇するとされ、一方Stability Iris仮説では、将来気候において晴天領域の対流圏上層静的安定度が上昇する結果アンビル雲が減少すると考えられている。これらの仮説の妥当性を包括的に検証した観測研究は、ほとんど存在しない。そこで本研究では、2つのIris仮説に基づく雲放射フィードバックを衛星観測および再解析データに基づき検証を試みる。2007年1月1日からの4年間の衛星観測

（CloudSatレーダやAMSR-Eマイクロ波放射計を含むA-Train衛星群）と再解析データ（ERA5）を使用し、熱帯海洋上における深い対流雲を抽出しアンビル雲と大気状態のコンポジット解析を行った。Lindzen Iris仮説を想定したコンポジット解析の結果、雲降水比の増加に伴うアンビル雲量は変化せず、中下層の雲量が増加する傾向が得られた。また、SST増加に伴う雲降水比の変化も得られなかった。そのときの正味雲放射強制力は雲降水比が増加するにつれて減少（冷却）傾向を示した。

一方Stability Iris仮説を想定したコンポジット解析の結果、200 hPaの静的安定度が増加するにつれ晴天領域の水平収束とアンビル雲量が減少する傾向が得られた。夜間データのみに着目すると、上層静的安定度増加に伴う雲放射強制力の変化はStability Iris仮説を支持する結果が得られた。しかし昼と夜のデータを総合すると、静的安定度増加に伴って正味雲放射強制力は定性的に異なり、Stability Iris仮説と整合しない結果となった。ただしA-Train衛星の昼軌道観測地方時（1時30分）は、太陽入射角が高い時間帯に偏ることに注意が必要である。そこで短波放射の日変化を正弦波で近似する簡便な補正手法を導入し、1日を通じた短波放射の平均を求め解析を行った。解析の結果、補正後の正味雲放射強制力はアンビル雲量によらず短波と長波がほぼ打ち消し合う中立的な変動を示した。

研究の結果、衛星観測からはLindzen Iris仮説を支持する結果は得られなかった。

Stability Iris仮説については、仮説が予想するとおり大気の静的安定度増加に伴うアンビル雲量の変動が確認されたが、その雲放射強制力は日平均でほぼ中立であった。

Iris仮説が雲放射フィードバックにおいて果たす役割について、さらなる注意深い定量的検討が必要であることが示唆された。

当日は、Stability Iris 仮説の解析結果を中心に発表する予定である。

## マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダデータを用いた

### 孤立積乱雲のライフサイクルにおける内部構造の変化

宮入真菜<sup>1</sup>, 高橋暢宏<sup>2</sup>

(1:名古屋大学環境学研究科, 2:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

#### 要旨

近年、通称「ゲリラ豪雨」と呼ばれる局地的大雨や集中豪雨などの急激な気象変化による被害が大きな問題となっている。それらは発達した積乱雲によってもたらされるが、1つの積乱雲の寿命は30~60分程度と短時間であり、早期予測が難しい。マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR)は、『迅速な雨雲把握』と『正確な降水量観測』という2つの目的を1つのレーダで実現することができるため、雨雲全体の姿や降雨の状態を連続的に捉え、上空で発生する“豪雨のたまご”を素早く観測し、ゲリラ豪雨なども早期に探知できるようになることが期待される。

本研究では、MP-PAWRによるデータを利用し、積乱雲の発達パターンや積乱雲の発達における雲同士の相互作用の解明を目的とし、孤立積乱雲の解析を行った。対象とした事例は2018年8月2日15~16時頃に東京都で観測されたものである。当日は東京都東部でいくつもの積乱雲が発生しており、その中の二つのケースについて解析を行った。使用したMP-PAWRデータは半径60 km、高度15 kmの3次元情報を、30秒で114仰角、300方位角でカバーするものである。解析は、個々の積乱雲の同定、ライフサイクルの特徴抽出(ファーストエコーの高度、最大エコー頂、最大エコー強度、粒子判別)を行った。解析を行った二つのケースをそれぞれCase1, Case2とする。Case1は大田区のあたり(レーダから見ておよそ南南東の方角)で発生し、15:06:30-15:32:00までの約25分間の事例であり、川口らによる先行研究[1][2]でも解析が行われている。Case2は墨田区のあたり(レーダから見ておよそ南東の方角)で発生し、15:11:00-15:42:00までの約31分間の事例である。どちらもレーダ反射因子30dBZ以上の領域を定義した降水コアが検出され、そのコアが地上付近まで落下したとほぼ同時に地上での降水が最大となっていた。二つのケースの降水コアを比較すると、Case1では鉛直方向、Case2では斜め方向と構造の違いが見られた。MPPAWRと館野の高層気象観測によって得られた気温のデータを用いて粒子判別[3]を行った結果、Case1では先行研究[1][2]の結果同様、初期の降水コアはWet Graupelで構成され、落下に伴いrainに

変化する様子が確認された。一方、Case2 では上層でWet Graupel が多く生成されていたが、Case1 のような降水コアに対応したWet Graupel は確認されなかった。また、MP-PAWR によるドップラー速度の解析による結果から、Case1 では積乱雲内部のドップラー速度の変動が大きく、明確な収束や発散といった風の流れが見られたが、Case2 ではCase1 に比べてドップラー速度の変動が小さく、発散や収束がはっきりとは見られなかった。このような積乱雲内部の風の影響により、Case1 とCase2 での降水コアとWet Graupel の対応に違いが見られたと考えられる。これら二つの事例の解析から、孤立積乱雲の時間変化、内部構造の変化の違い、また、その環境の違いについて比較をすることができた。

#### 参考文献

- [1] 川口ほか, 2020: 日本気象学会 2020 年春季大会, P328.
- [2] 川口ほか, 2020: 日本気象学会2020年秋季大会, PR-03 (P3P).
- [3] Kouketsu et al., 2015: JTECH. 32, 2052-2074.

## 気象情報システム NEXRA の開発について

Ying-Wen Chen<sup>1</sup>, Masaki Satoh<sup>1</sup>, Koji Terasaki<sup>2</sup>,

Shunji Kotsuki<sup>3</sup>, Takemasa Miyoshi<sup>2</sup>, Takuji Kubota<sup>4</sup>

(1: 東京大学大気海洋研究所, 2: 理化学研究所計算科学研究センター, 3: 千葉大学,  
4: 宇宙航空研究開発機構)

#### 要旨

2017 年から開発し続けてきた NEXRA (NICAM-LETKF JAXA Research Analysis) は東大・理研・JAXA の連携で開発されている、正 20 面体格子非静力大気大循環モデル NICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model; Satoh et al. 2014, 2017) に局所アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF; Local Ensemble Transform Kalman Filter; Hunt et al. 2007) を導入したデータ同化システム (NICAM-LETKF; Terasaki et al. 2015; Kotsuki et al. 2017a, b) による作成した初期値を使用した全球天気予測システムである。このシステムは JAXA のスーパーコンピュータシステム (JSS) で定常運用している。これまでの NEXRA の開発・運用は JSS2 (JSS Generation 2) 上で行ってきた。2021 年 2 月に JSS2 の運用終了および JSS3 (JSS Generation 3) の運用開始に合わせて NEXRA の同化システムおよび予測プロセスは変更した。NICAM-LETKF においては、これまでの従来型観測 PREPBUFR、改良型マイクロ波探査計 (AMSU-A)、ガウス変換を用いた衛星全球降水マップ (GSMaP) のほか、新たにクロストラック走査マイクロ波放射計 (ATMS; 温度と湿度) とマイクロ波サウンダ (MHS; 湿度) のデータを新たに取り入れる。

水平・鉛直解像度はそれぞれ 112 km と 38 層であり、アンサンブル数は 128 に拡張した。また、モデルの境界条件の海面水温や海氷密接度は NCEP FNL の速報解析値を使用している。予測プロセスは JSS3 の計算性能の向上により水平解像度を 14 km(cumulus parameterization 不使用)に変更された。14 km 予測の作成において大気初期値は NICAM-LETKF で作成された解析値の平均（水平解像度 112km）から線形内挿したものを使用する。予測におけるモデルの境界条件の海面水温や海氷密接度はこれまでと同様に NCEP FNL の速報解析値を使用しており、計算開始時刻の値を固定している。また、大雨や台風などによる災害リスク評価用の参考データとして、アンサンブル予測の実施も可能となっている。発表では、2021 年度中における NEXRA 開発・運用状況及び、高解像度 NEXRA を利用した 2021 年の 7 月上旬に関東地域(熱海)に発生した大雨事例をターゲットとしたアンサンブル予測実験結果を紹介する。

## 放射伝達計算に基づくひまわり 8号校正評価と、

### 9号への正衛星交代に向けて

奥山新<sup>1</sup>，小寺和貴<sup>1</sup>，栄木美沙紀<sup>1</sup>，伊達謙二<sup>1</sup>

(1:気象庁気象衛星センター)

#### 要旨

気象衛星センターでは、静止気象衛星ひまわりの観測データの品質管理のため、定期的に校正及び位置合わせ等の精度評価を行っている。本発表では放射伝達計算を用いた手法を中心に、ひまわり 8 号の校正評価についてこれまでの結果を振り返るとともに、2022 年 12 月頃の観測運用開始を予定しているひまわり 9 号の校正評価についても紹介する。

近年の気象衛星観測の充実は目覚ましく、従来よりも時間・空間・波長分解能および観測精度が向上した機器が各国の気象衛星に搭載されている。このため、定性的な画像としての利用だけでなく、定量的なデータとしての利用も進んでいる。既に軌道上にあるひまわり 8 号・9 号、米国の GOES-16・17 等に加え、欧州の Meteosat 次世代機の打ち上げが今後予定されていることから、ひまわり 8 号と同等性能の静止気象衛星によってほぼ地球全体が観測される予定である。こうした全球の観測データセットを” GEO-ring” と称して包括的に扱い、特に気候研究の分野で活用しようとする動きも見られる。

複数衛星の複合利用においてはデータ間の相互校正が不可欠である。世界気象機関(WMO)等の主導により設置された全球衛星搭載センサー相互校正システム(GSICS)と呼ばれる枠組みでは、衛星間での一貫した放射量の校正評価手法の開発が、衛星運

用機関等によって進められている。気象衛星センターでも、放射伝達モデル RSTAR に基づく評価手法を開発するなどしてこの活動に貢献している。

本発表では、2015 年のひまわり 8 号運用開始から現在までの校正精度について、放射伝達計算に基づく手法および GSICS で開発された手法で評価した結果を示すとともに、ひまわり 9 号についてもこれまで行った試験観測データを用いた評価結果を紹介する。

## 気象庁メソ数値予報システムにおける

### マイクロ波輝度温度データの全天同化に向けた調査

清水 宏幸

(気象庁情報基盤部数値予報課)

#### 要旨

衛星搭載マイクロ波放射計により観測された輝度温度データは地球大気における様々な情報（水蒸気、気温、雲・降水、地上風など）を含んでいるため、数値予報データ同化において非常に重要である。近年数値予報の現業機関では、従来の晴天域みのデータ同化から、雲・降水域も含む全天候域のデータ同化(全天同化)へ移行するための調査研究が活発に進められている。気象庁でも全天同化に向けた開発を進めてきており、全球数値予報システムでは 2019 年 12 月にマイクロ波輝度温度データの全天同化を現業化し、解析値における水蒸気場の精度や、台風の予測精度などが向上した。一方で気象庁メソ数値予報システムでは晴天域のデータは輝度温度を直接同化し、降水域のデータは輝度温度から降水強度をリトリーブして同化している。現在降水域のデータについても、リトリーブに伴う誤差が生じない輝度温度の直接同化に移行するための調査を行なっている。

雲・降水域における輝度温度を直接同化するためには、数値予報モデルから得られる鉛直プロファイルから放射伝達モデルにより計算される輝度温度がどの程度観測と整合しているのかを知る必要があるため、計算値と観測値の比較を行なった。雲・降水を考慮した放射伝達計算には、放射伝達モデル RTTOV13 のパッケージに含まれる RTTOV-SCATT (Bauer et al. 2006) を用いた。また RTTOV13 より前のバージョンでは RTTOV に与える水物質のフラクシオン(モデル格子内に存在する物質の割合(0-1))を雲量として共通のものを与えることしかできなかったが、RTTOV13 では水物質の種類ごとに別々に与えることができるため、メソモデル内で計算される各水物質のフラクシオンを与えて、両者の計算値の比較も行った。

メソモデル内で計算される雲水、雲氷、雨、雪、あられの混合比を RTTOV に入力し

て計算された低周波チャンネル(19GHz, 24GHz, 37GHz)の計算値は、晴天を仮定して計算された輝度温度よりも高い輝度温度が計算されるようになり、雲・降水域で観測値に近づく結果が得られた。また水物質のフラクシオンとしてメソモデルの中で計算される雲量を共通に与える場合よりも、メソモデル内で計算される水物質の種類に応じたフラクシオンを別々に与えた場合のほうがより観測値に近い計算がされることが確認され、輝度温度の直接同化に有効であることが分かった。

## DPR と GMI 観測値から求めた固体降水粒子特性

青梨和正, 重尚一

(京都大学大学院理学研究科)

### 要旨

従来の GSMaP マイクロ波放射計(MWI) 降水リトリバルアルゴリズムでは、固体降水粒子特性(形状、密度)モデルが、降水プロファイルに使っている GPM 2 周波降水レーダ(DPR) L2 data の作成アルゴリズムと一貫していなかった。本研究の目的は、次期 GSMaP (バージョン V06) の MWI アルゴリズム用に DPR、GPM マイクロ波放射計(GMI)の観測値と合う固体降水粒子特性を見つけることである。

我々は、KuPR の減衰補正後の反射因子の観測値( $Z_{eo}$ )から、固体降水粒子の形状、密度に対して固体降水の融解直径平均値( $D_m$ )と数密度( $N_w$ )を求める手法を開発した。この手法では、Liu の RTM を使って、固体降水粒子の形状、密度から、KuPR の後方散乱断面積を求めた。次に、DPR L2 アルゴリズムの降水物理量モデルを使って、DPR L2 の  $D_m$ ,  $N_w$  を第1推定値として KuPR の  $Z_e$  を計算した( $Z_{ec}$ )。そして、 $Z_{eo}-Z_{ec}$  の差から、 $D_m$ ,  $N_w$  の値を推定した。この  $D_m$ ,  $N_w$  と  $0 \sim 0.7 \text{ kg/m}^2$  の雲氷量から、固体降水粒子による散乱に感度のある 36, 89, 166GHz 垂直偏波(TB36v, TB89v, TB166v)の TB を Liu の RTM で計算した(TBc)。そしてこの TBc と GMI 観測値(TBo)を比較することで、尤もらしい固体降水粒子特性モデルと雲氷量を推定した。

本研究は上記手法を層状性の降水(2018年7月5日12UTC)、深い対流性強雨(2020年7月24日00UTC)、台風周辺の降水事例(2016年9月27日00UTC)で実験した。

これらの TBc と TBo を比較すると、周波数ごとに最尤な形状、密度が異なっていた:

- 1) 層状性降水では、TB36v と TB89v で雪片(sector snow, 雲氷量=0.5 kg/m<sup>2</sup>)、TB166v では、氷晶(6-rosette, 雲氷量=0.5 kg/m<sup>2</sup>)の TBc が TBo に近い値を示した。
- 2) 深い対流性強雨では、TB36v で、あられ(密度 $\sim 0.1$ の球形粒子, 雲氷量=0.5 kg/m<sup>2</sup>)、

TB89v で雪片 (sector snow, 雲氷量=0.5 kg/m<sup>2</sup>)、TB166v では、氷晶 (6-rosette, 雲氷量=0.1 kg/m<sup>2</sup>) の TBc が TBo に近い値を示した。

- 3) 台風周辺の降水では、TB36v と TB89v で、あられ(密度~0.1 の球形粒子, 雲氷量=0.5 kg/m<sup>2</sup>)、TB166v では、氷晶 (6-rosette, 雲氷量=0.1 kg/m<sup>2</sup>) の TBc が TBo に近い値を示した。

## CPR と DPR を用いた NICAM 雲微物理モデルの評価

清木達也<sup>1</sup>

(1: 国立研究開発法人 海洋研究開発機構)

### 要旨

本研究では高解像度大気大循環モデル NICAM に実装されている 2 モーメントバルク法雲微物理モデル NDW6 の改良を行った。主な改良点は氷晶核形成過程と衝突併合過程である。これらの変更により、雲氷の数濃度が増えることで上層雲が広がり、また、熱帯における強い降水システムの霰の出来方が大きく変わる事が分かった。そこで、巻雲に感度が有る CPR と強い降水システムを捉えることが出来る DPR を用い、本改良の比較検証を実施した。

大気モデルには NICAM を用い、全球 14km 解像度、鉛直 78 層とした。数値実験の初期条件には気象庁全球解析値を用い、2016 年 9 月 12 から 10 日間積分を実行し、後半 5 日間を解析に利用した。物理過程の詳細な実験設定は HighResMIP (Kodama et al., 2021) に準ずる。本研究で利用した衛星観測プロダクトは the EarthCARE Research Product

Monitor([https://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/research\\_product/ecare\\_monitor.html](https://www.eorc.jaxa.jp/EARTHCARE/research_product/ecare_monitor.html)) と the GPM-DPR level 2 product ( JAXA G-Portal ) である。モデルと衛星を比較する為、モデル結果の後処理に衛星シミュレータ J-Simulator (Hashino et al., 2013) を適用した。本研究で利用する物理変数は CPR の 95GHz の attenuated radar reflectivity と、DPR の 13.6GHz, 35.5GHz の attenuation-corrected radar reflectivity である。



# **Evaluation of rain microphysics in NICAM using Joint simulator and a polarimetric radar**

Woosub Roh<sup>1</sup>, Masaki Satoh<sup>1</sup>, Tempei Hashino<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>AORI, the Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Kouchi Tech. Univ.)

## 要旨

It is important to evaluate and improve the cloud properties in global non-hydrostatic models like a Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM, Satoh et al. 2014) using observation data. There are intensive observation stations over the Kanto region in Japan. The ULTIMATE (ULtra sIte for Measuring Atmosphere of Tokyo metropolitan Environment) is proposed to verify and improve high-resolution numerical simulations based on these observation data.

The Polarimetric radars are located in Haneda and Narita airports with 5.3 GHz wavelength. Polarimetric radar can observe the precipitation hydrometeors and retrieve the hydrometeor identification based on polarimetric variables. In this study, we used the Joint simulator, which is developed for The EarthCARE satellite. The POLARimetric Radar Retrieval and Instrument Simulator (POLARRIS, Matsui et. al. 2019) was implemented in the Joint simulator. We introduced the preliminary results of NICAM using Joint simulator and a polarimetric radar last year.

This year, we introduce our evaluation method and results for rain microphysics using polarimetric radars and discuss how to improve rain microphysics using a polarimetric radar.

## **Joint-Simulator の気候モデルへの適用**

端野典平<sup>1</sup>, 岡本幸三<sup>2</sup>, 神代剛<sup>2</sup>, 清木達也<sup>3</sup>

(1:高知工科大学, 2:気象研究所, 3:JAMSTEC)

## 要旨

Joint-Simulator(Joint Simulator for Satellite Sensors) は JAXA EarthCARE project にて開発が始まった、放射前方計算手法の集合体である。主な目的として、雲解像モデルにて再現されるエアロゾルや雲降水現象の検証やスキームの改良、そして衛星リトリバルプロダクト開発の支援がある。ここ数年の開発により、雲解像モデルの出力のみならず、気候モデル(地球システムモデル)の出力を直接、Joint-Simulatorに入力し、前方計算ができるようになった。本発表では、気候モデル用のインターフェイスを紹介し、気候モデルの前方計算に内在する不確定性について議

論する。

気候モデル用のインターフェースは CMIP5 や CMIP6 の AMIP 実験の出力を対象としている。設定ファイルである `Configure_SDSU.F` にて、変数ごとにファイル名を指定する。次に `subgrid` の雲降水を発生させるために、大規模凝結由来か対流由来、雲か降水粒子の指定をする。統計モジュールにより、デフォルトで `radar` もしくは `ease` のシグナルの統計値が出力され、`COSP` に準拠する統計値も出力される。あとは粒径分布情報を指定するが `COSP` の設定も可能である。MRI-ESM2.0 の出力から前方計算を行い、`COSP` の統計結果と比較したところ、`CALISO` の後方散乱係数については良い一致を見た。`CloudSAT` のレーダー反射因子についてはまだ違いが見られるため、調査が必要である。

ここでは前方計算における不確定性を調査するために、`NICAM` による全球再現実験データを用いて、`AMIP` のようなデータセットを構築した。約 14km の水平解像度から 2.5x2.5 度の緯度経度グリッドデータを作成し、`cloud fraction` を求め、力学、熱力学、雲微物理変数のグリッド平均値を算出した。これを上記の気候モデル用のインターフェースを用いて前方計算を行った。

Tropical Western Pacific 領域について、`AMIP` 形式データから得られたレーダー反射因子を `CFAD` 解析を実施した。雪カテゴリに対応する 10km 以上のシグナルについて元データより大きな値で頻度が増加していること、0 度以上では雲と降水に対応するモードが現れることがわかった。5-10km の高度域において `NSW6` データセットの場合は、反射因子が大きく減少する高度があり、`NDW6` の場合は、増加する高度があった。これらは、`subgrid` の降水分布を生成する `PREC-SCOPS` の影響であることがわかった。

さらに `EarthCARE` による新しい観測量、`Doppler velocity` とレーダー反射因子の関係を調査した。2.5x2.5 度のグリッドデータを用いても、2 変数の同時確率分布の大まかな特徴は捉えられることがわかった。しかし鉛直風の速度成分については、グリッド平均で 0.2m/s 以下となるので、前方計算には含まれない。今後は高度ごとの特徴や捉えられる雲降水タイプについて調査する必要がある。

<特別講演>

## 衛星搭載走査型ドップラ降水レーダの提案

中村健治<sup>1</sup>

(1:獨協大学)

### 要旨

現在、米国の AOS 計画に合わせて、日本では KuPR-2 (ここでの仮称) の検討がなされている。KuPR-2 は TRMM PR、GPM/DPR の開発を基礎とし、DPR/KuPR の感度向上に加えてドップラ機能を付加している。通常のドップラ方式では衛星の大きな移動速度によるドップラスpekトルの広がり大きな問題となるが、DPCA (Displaced Phase Center Antenna) 技術によりこれを達成する。これは実現の見込みが立っている。

KuPR-2 では、少なくとも定常観測では nadir のみで Doppler 測定を行うことになっている。これは降水システムの発達に強く関連する鉛直流の測定を目的としているためである。一方、利用者側からは 3 次元の気流分布データが強く求められている。近い将来に打上げが予定されている EarthCARE に搭載される雲レーダ (CPR) には Doppler 機能が付加されるが、これも nadir 付近のみに限られている。Doppler lidar もあるが、lidar では厚い雲内、また雨域内の観測はできない。降水システムの力学的構造の理解のためには降水システム内の気流構造を測定することが求められる。地上では Doppler 雨レーダにより多くの観測がなされているが、地域に限られる。衛星から Doppler 観測により 3 次元の気流が得られれば、このデータはレーダ反射因子の分布観測と合わせて、降水システムの 3 次元構造の理解に大きく寄与する。また衛星観測域に限定されることや、瞬時観測であることの限界も、高度に発達している大気モデルへ同化することにより、克服されよう。このために現在検討中の KuPR-2 の発展させた走査型の衛星搭載降水レーダ (Scanning Doppler Precipitation Radar: SDPR) を提案する。

現在の KuPR-2 は、Ku 帯で 2.1m×2.1m のアンテナ 2 枚を衛星進行方向に並べ、DPCA 方式で Doppler 測定を行う。Doppler 測定は nadir が中心であるが、レーダは cross-track 方向を電子走査するので、原理的には nadir 以外でも測定可能である。これを踏まえて SDPR は DPCA アンテナを 2 組使いそれぞれ衛星進行方向から斜めに走査し、観測域は交差させる。アンテナは slotted waveguide antenna で電子走査する。DPCA を実現するため、斜めにおかれた二つのアンテナは DPCA 条件を満足するように along-track 方向にずらせる。また斜め走査の端は観測時間の差が 20 秒程度あり、レーダ反射因子の分布の差から短時間での降水システムの発達を観測できる可能性がある。さらに海上では海面による鏡像エコーの Doppler 速度も利用しての気流の精度向上の可能性がある。

原理的には可能と考えられるが、より細かい技術検討、また得られるデータの有効性

などの検討が必要である。実現するとしても 2035 年以降と考えられ、EarthCARE/CPR や AOS のレーダによる Doppler 観測結果の検討も必要となる。

## GSMaP\_NOW のプロダクトバージョンアップと精度検証について

山地 萌果<sup>1</sup>, 田島 知子<sup>1</sup>, 久保田 拓志<sup>1</sup>

(1: 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター (EORC))

### 要旨

全球降水観測 (Global Precipitation Measurement; GPM) 計画では、日本が開発した二周波降水レーダ (Dual-frequency Precipitation Radar; DPR) と米国が開発した GPM マイクロ波放射計 (GPM Microwave Imager; GMI) の 2 種類のセンサを搭載した GPM 主衛星に加え、複数のコンステレーション衛星群との連携により、高頻度の全球降水マッププロダクトを提供している。日本では、GPM プロダクトとして 1 時間毎 0.1 度格子の衛星全球降水マップ (Global Satellite Mapping of Precipitation; GSMaP) を開発・提供している。GSMaP のユーザは年々増加しており、2008 年 9 月以降、データ利用の累計登録者数は 2022 年 1 月末時点で 145 か国から 8753 名にのぼり、利用分野は気象のみならず、気候監視・水文分野・農業分野など幅が広がってきている。

気象庁の静止気象衛星ひまわり 8 号が利用可能となったことをうけ、JAXA では従来の準リアルタイム版 GSMaP (観測後 4 時間遅れで提供) と標準版 GSMaP (観測後 3 日遅れで提供) に加えて、リアルタイム版の GSMaP (観測後数分遅れで提供、GSMaP\_NOW) を開発し、2015 年 11 月より静止気象衛星ひまわり観測領域に限って一般公開を開始した。アジア太平洋地域を中心に GSMaP\_NOW を用いた降水現況把握での実利用が拡大し、グローバル化を望む声から、2018 年 11 月に、欧州 EUMETSAT の静止気象衛星の Meteosat の観測領域に領域を拡張した。2019 年 6 月には、米国 NOAA の静止気象衛星 GOES の観測領域にも拡張し、現在は全球 (南緯 60 度から北緯 60 度) でリアルタイムでの GSMaP が利用可能となっている。

GSMaP\_NOW では、GSMaP\_NRT をベースに直接受信で入手可能なマイクロ波放射計をできる限り利用しつつ移動ベクトルで外挿させることで、ほぼ実時刻での提供を実現している。直接受信で入手できるマイクロ波放射計は限られることと、外挿させることにより、GSMaP\_NRT と比較してレーテンシはよいが精度が落ちる傾向がある。GSMaP\_NOW のアルゴリズムは GSMaP アルゴリズムバージョン 6 をベースに開発されており、領域拡張やマイナーバージョンアップを経て維持改良されてきた。2021 年 12 月に GSMaP アルゴリズムバージョン 8 が公開となることに伴い、GSMaP\_NOW のア

ルゴリズムを GSMaP v8 ベースのアルゴリズムにメジャーバージョンアップした。

本発表では、2021 年 12 月の GSMaP\_NOW のメジャーバージョンアップ前後で、従来版（v6 ベース）と現行版（v8 ベース）の GSMaP\_NOW の精度検証を行い、両者を比較することにより GSMaP\_NOW のアルゴリズム改良の定量的な評価結果を報告する。日本域を対象に、気象庁の解析雨量を真値とした日雨量精度検証では、従来版より現行版で RMSE が減少して空間相関係数が増加しており、精度が向上していることが確認できた。

## 高分解能化に向けた GSMaP への赤外雲マップの適用

妻鹿友昭<sup>1</sup>，牛尾知雄<sup>1</sup>

(1:大阪大学大学院工学研究科)

### 要旨

JAXA が現在提供している Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) の時空間分解能は 1 時間 0.1 度である。降水量などからの資源管理や大規模な降雨災害の把握などに利用できる。しかし、近年問題とされる局所的、短時間の極端現象の災害把握や防災への利用には分解能が不足しており高分解能化が期待されている。

マイクロ波放射計の水平分解能は高いが、観測期間が短くなると観測範囲は非常限られる。一方、ひまわり 8 号 や GOSE-R 等の最新の静止衛星赤外放射計における時間空間分解能は高く、10 分毎 4 km でフルディスクを観測できる。そこで、高分解能化にはこの赤外輝度温度 (TB) を用いて高分解能化を行う。本研究では TB から作った雲判定を雨域の高分解能化に利用できるか確認のため、現在の雨量計補正 (GSMaP Gauge) に雲マップを組み合わせて降雨判定が改善するか検証する。

GSMaP Gauge は低い水平分解能の雨量計データを用いて GSMaP MVK 雨量補正し、NOAA が提供する全球の  $10\mu\text{m}$  の TB から雨域を求め、水平分解能を補完している。現在の GSMaP Gauge 雨域判定には輝度温度—降雨関係から  $0.01\text{ mm/h}$  の降雨強度に対応する TB を求め、温度マージンを足した温度より低い温度のグリッドを雨域としていた。温度のマージンはレーダアメダスとの比較によって決めた。しかし、TB と降雨の関係は分散が大きく雨域とされる温度を制限が緩い。このため、特に高緯度で雨域を制限する効果は低かった。このような地域では TB の分布で見られる雲の分布情報が利用できてなかった。そこで、雨域の前に TB から雨域判定より比較的容易な雲域判定を入れることにより雨域判定の改善ができると考えた。

本研究では雲判定は Rossow and Garder (1993) の手法を用いた雲域の判定を用いた。この求めた雲域とこれまでの雨域の両方が重なるグリッドを新しい雨域とした。この雨

域マップを GSMaP Gauge アルゴリズムに適用した。この結果、GSMaP Gauge の雨域が減少し、TB からみた雲の分布と雨域の分布がより一致するようになった。今後、高分解能な TB への適用し GSMaP MVK の高分解能化に適用する予定である。

## GSMaP における雲移動ベクトル高分解能化の検討

阪本晴香<sup>1</sup>，妻鹿友昭<sup>1</sup>，林修吾<sup>2</sup>，和田有希<sup>1</sup>，牛尾知雄<sup>1</sup>

(1:大阪大学, 2:気象研)

### 要旨

Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) は、JAXA によって全球領域 ( $60^{\circ} S \sim 60^{\circ} N$ ) で提供されている、緯度経度  $0.1^{\circ}$  格子、1 時間間隔の全球降水マップである。今日、気候変動の影響で、台風や集中豪雨による災害が世界的に多発しており、気象観測網が発達していない地域において、GSMaP に対する防災分野でのニーズが高まっている。これらの気象現象は短時間で局地的に変化するため、時間的・空間的により高分解能な推定が GSMaP に求められる。

GSMaP の時空間分解能を向上させるためには、降雨域の移動を推測する際に用いられる雲移動ベクトルの分解能向上が必要となる。なぜなら、低軌道衛星搭載のマイクロ波放射計では、全球の観測が不可能となっており、未観測領域の降雨を補完するために雲移動ベクトルが用いられているからである。雲移動ベクトルは、1 時間間隔・格子間隔  $2.5^{\circ}$  でパターンマッチングによって導出された後、 $0.1^{\circ}$  間隔に内挿したものが用いられている。この雲移動ベクトルを高分解能化することで、従来ものでは観測できなかったより詳細な雲の動きを捉えられ、より高精度な降雨域の移動推定が可能になる。

2014 年に打ち上げられたひまわり 8 号からは、10 分間隔で高分解能な赤外輝度温度データが取得可能となった。そこで本研究では、ひまわり 8 号の高分解能データを使用し、より細かい格子間隔で 10 分ごとの高分解能雲移動ベクトルを導出した。そして局地数値予報モデル GPV (LFM) に含まれる風速の初期時刻データとの比較を行い、相関係数、RMSE を東西および南北成分のそれぞれで計算することで、雲移動ベクトルの精度を検証した。

現在の GSMaP で用いられている雲移動ベクトルでは、相関係数、RMSE が東西成分でそれぞれ 0.48, 10 m/s, 南北成分で 0.16, 14 m/s であった。これに対し、 $0.6^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$  の格子間隔を用いて 10 分間隔で導出した場合、相関係数、RMSE が東西成分でそれぞれ 0.77~0.85, 8.2 ~6.1 m/s, 南北成分で 0.64 ~0.70, 12~10 m/s という結果が得られた。いずれの格子間隔においても現在の GSMaP よりも精度良い結果が得られたが、特に格子間隔が  $2.1^{\circ}$  の時に相関係数が最大値 0.85, RMSE が最小値 6.1 m/s となった。また、雲移動ベクトルの精度が低い領域の雲を調査した結果、1 つの格子内において、複数の高度に雲が存在しているという特徴があった。加えて、雲移動ベクトル導出格子間隔を変更した結果、 $0.6^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$  間隔で導出した場合、 $2.5^{\circ}$  間隔に比べて局地的に発生する雨雲の動きを捉えられていたことを確認できた。特に  $0.6^{\circ}$  で導出した場合、雲の発生から発達までの動きを細かく捉えられていた。雲が大きく発達した後、移動する段階においては、 $0.6^{\circ} \sim 2.0^{\circ}$  のどの格子間隔でも正しく移動を導出できていた。これより、時間・空間分解能を向上させることで、現在の GSMaP よりも精度良い雲

移動ベクトルが得られることがわかった。

## GSMaP 衛星センサ間のばらつきを補正するモジュールの検証

山本宗尚<sup>1</sup>, 久保田拓志<sup>1</sup>

(1: JAXA/EORC)

### 要旨

GSMaP をはじめとする衛星降水データセットは、複数のマイクロ波放射計や赤外放射計による観測データが用いられる。マイクロ波放射計は異なる周波数帯の観測チャンネルから構成されるため、異なる降水量推定アルゴリズムが用いられる。TRMM/GPM の衛星コンステレーションに搭載されているマイクロ波放射計間でも観測周波数や測器の特性は異なる。このため、マイクロ波放射計ごとに推定降水量には差が生じる。このような差は現状のアルゴリズムで縮減することは難しく、何らかの補正を行うことが期待されている。そこで、衛星センサ間の降水量のばらつきを縮減することを目的として、マイクロ波放射計ごとの L3 降水量データに対して降水量を補正するモジュール (MMN; Method of Microwave rainfall Normalization) を開発し、2021 年 12 月に公開された GSMaP プロダクトバージョン V05 (アルゴリズムバージョン 8) に実装された。

MMN の動作確認・検証は、各センサの全有効観測値に対する MMN 補正前後の帯状月平均降水量を衛星搭載降水レーダ (GPM DPR) の帯状月平均降水量で比較するに留まっており、定量的な評価が求められている。そこで、2014 年 4~10 月における各センサ L3 降水量データ (MMG モジュールの中間出力値) に対し、GMI と 15 分以内のマッチアップデータを抽出し、降水強度のヒストグラム・帯状平均・いくつかの評価値を求めた。

MMN 補正前に比べ、MMN 補正後の帯状平均降水量は GMI に近づいており、マッチアップでも改善傾向にあることを確認した。海上に対しては、すべてのセンサで平均絶対誤差 (MAE) は改善し、陸上も SSMIS の一部センサ (F16, F17) を除いては改善を示した。GMI に対する各センサの月平均降水量偏差の分布は、MMN 補正により DPR に対する GMI の偏差分布に近づいた。ただし、全センサに共通して海上の降水は過大評価し、SSMIS に対しては冬半球極域の海上で過小評価、MHS に対しては夏半球中・高緯度陸上で過大評価する傾向は残るなどの課題が残っていることが示された。

# GSMaP ヒストグラム補正導入後の影響検証

広瀬民志<sup>1</sup>, 久保田拓志<sup>1</sup>, 妻鹿友昭<sup>2</sup>, 牛尾知雄<sup>2</sup>

(1: JAXA EORC, 2: 阪大工)

## 要旨

GSMaP はマイクロ波放射計 (PMW) 搭載衛星による降水観測網の隙間を補間するため、静止気象衛星 (GEO) の高頻度観測を用いて PMW が捉えた降水雲をトラッキングしている。しかし静止気象衛星の連続画像から得られた雲移動ベクトルは、熱帯域のような上層雲の被覆率が高くかつ恒常的な鉛直シアが存在する領域では、中下層の降水コアの移動方向をしばしば上層雲と同じ方向と誤認してしまうことが判明した。また GSMaP は単一の GEO IR バンド観測から得られる雲頂温度情報を Kalman filter に入力し、降水強度の時間変化分を補正している。ところが上層雲域に誤って中下層の降水コアを移動させてしまうと、雲頂温度が急激に低下し降水雲が発達したと誤認され、降水強度を強く補正し過ぎてしまうという課題が存在した。

この GSMaP\_MVK アルゴリズムの課題を解決するため、本研究では GEO 観測域における降水強度の観測頻度分布そのものを、PMW の観測値を真値として補正するヒストグラムマッチング手法を導入した。2021 年 12 月のメジャーアルゴリズムアップデートにて実装された本補正手法により、特に熱帯域における GEO 観測域の降水過大評価傾向は劇的に改善した。

ヒストグラムマッチング手法は GEO 観測域と PMW 観測域の境界付近で見られる降水強度観測値のギャップを軽減し、より時・空間的に均質な GSMaP プロダクトの提供を可能にした。しかし本補正手法適用後に行った精度検証では、いくつかの課題が明らかになってきている。GSMaP\_MVK は中下層雲からの降水に対しては PMW 観測と比較して逆に過小評価傾向を示しており、この過小評価傾向に関してはアルゴリズムアップデート以降も十分に改善されなかった。また個々の豪雨事例に着目すると、日本付近におけるいくつかの線状降水帯事例では補正適用後も GEO 観測域の過小評価傾向が十分に改善されなかった。当日の発表では最新の GSMaP プロダクトが持つ GEO 観測域におけるいくつかの課題を検証し、それらを改善するための改良案について紹介する予定である。



# 山間部で GSMaP の過大または過小評価を引き起こす

## 様々な気象条件の分析

岩下 久人<sup>1</sup>

(1: 明星電気株式会社)

### 要旨

POTEKA 気象観測装置は気温、海面気圧、相対湿度、風速、風向、日射、感雨、降水量の 8 つの気象要素が観測可能である。気温、海面気圧、相対湿度、風速、降水量の 5 要素は、気象庁の検定試験に合格している。2022 年 1 月現在で、気象庁検定品でない旧型のものも含めると、日本全国に約 1000 台が設置されている。POTEKA の地上気象観測網は、気象庁アメダスのように全国一様ではなく局所的ではあるが、地域によっては観測距離間隔が約 1~10 km の稠密な観測網を構成している。また、40 年以上の観測の歴史を持つ気象庁アメダスと比較すると、最も早いものでも 2013 年頃の観測開始である POTEKA の観測統計期間は、長くても 9 年程度であり非常に短い。しかし、気象庁アメダスの観測地点数が比較的少ない山間部に、観測距離間隔が約 2~10 km の稠密な観測網を構成する地域もあり、その中には複数年の観測統計期間を持つ POTEKA も存在する。

山間部における GSMaP による衛星降水量観測は、季節や地域によって様々な異なる特徴を持っており、地上降水量観測に対して、時には過大評価もしくは過小評価が非常に顕著に現れることもある。山間部において POTEKA が比較的稠密な地上気象観測網を構成し、3 年程度の観測統計期間を持つ 4 地域(①長野県池田町/筑北村、②岩手県葛巻町、③島根県雲南市、④愛媛県松野町/高知県梶原町)について、GSMaP 衛星降水量観測と POTEKA 地上降水量観測との比較分析を実施した。特に、2020 年 7~10 月の 4 か月においては、各地域で GSMaP の過大評価と過小評価が様々な形で現れていたことが確認された。その中でも 4 地域に共通して過大評価もしくは過小評価が出現する時には、高確率で現れやすい日本列島周辺の気象条件(気圧配置)が存在することが確認された。4 地域で過大評価が顕著な時は、総観規模レベルにおける低気圧帯が日本列島の南側に存在する可能性が高く、4 地域で過小評価が顕著な時は、総観規模レベルにおける低気圧帯が日本列島の北側に存在する可能性が高かったのである。その出現の精度確率は、どちらの場合も 60~70%程度であり 50%を超過していた。

本稿では、逆にこの出現の精度確率が高いケース以外に確認された事例について紹介する。例えば、4 地域の内 2~3 地域で GSMaP の過大評価が確認されたにも関わらず、総観規模レベルにおける低気圧帯が日本列島の南側に存在しなかった事例(2020 年 7 月 7 日: 線状降水帯、2020 年 8 月 8 日: 各地で局地的大雨)、4 地域の内 2 地域で GSMaP の過小評価が確認されたにも関わらず、総観規模レベルにおける低気圧帯が日本列島の北

側に存在しなかった事例(2020年9月6日:台風10号ハイシェンの東シナ海北上による地形性降雨)、4地域においてGSMaPの過大もしくは過小評価が混在して確認された事例(2020年8月22日:各地で局地的大雨、2020年10月22日:寒冷前線が日本列島を分断するように通過)などである。

## 長野県におけるGSMaP\_MVKデータの検証

上野健一<sup>1</sup>, 栗林正俊<sup>2</sup>, 小林元<sup>3</sup>

(1:筑波大学・生命環境系, 2:長野県環境保全研究所, 3:信州大学農学部附属AFC)

### 要旨

山岳域の降水量分布を地上観測により把握することは極めて困難で、衛星による推定および検証研究への期待は高い。多くの研究は雨量計データと衛星推定値の総計的誤差や衛星の過小評価を指摘しており、客観解析データや近傍の定常観測データを使ったバイアス補正が提案されている。GSMaPは0.1度格子点間隔で時間分解能のデータを全球規模で提供し、雨量計や地上レーダー網に乏しい大陸内陸域での降水ノウキャストにニーズが高いと考えられる。本研究は、地上観測雨量データが充実した長野県における短時間強雨・一雨降水に着目し、GSMaP\_MVKデータが山間地の地上降水量に対して過大・過少を引き起こす降水要因を特定した。

本研究では、まず長野県独自で展開する215地点の時間降水量データを6年分収集し、GPM/DPRが同期観測を行った強雨事例における降水の立体構造を分析し、過大・過少評価の要因を考察した。降水エコートップが高く、上空で降水相に多量の氷が認められる場合はGSMaPが過大推定となり、氷の相を含まず地上付近で暖かい雨の強化が見られる場合はGSMaPが過小推定となる事が明らかとなった[1]。同時に、西駒ヶ岳・富士見高原でメソ領域を設定し、5年間の暖候期雨量の集中観測を実施した。両サイトで総観規模擾乱に応じて生じる一雨積算降水量の標高依存性は、直上の格子点で推定されたGSMaPデータでは再現されていない。一方で、一雨積算降雨量は両者間で強い相関があり、GSMaP\_MVKデータは一雨単位・100kmスケール程度の降雨量の相対的な変動は再現している。両サイトで過大・過少となった一雨事例には重複が見られ、GSMaPが過大評価する事例は秋季に主要擾乱の北側でHouze(2012)のe, fタイプの地形の影響とみられる降水時に相当し、過小評価する事例は主要擾乱の南側で卓越する降水時に相当した[2]。この結果は[1]の条件と整合し、GSMaP\_MVKの過大/過少推定の発生は総観規模擾乱の寒域/暖域に依存した氷晶量、および地形性滑翔に伴う下層での降水強化に強く依存する事が示唆された。短時間強雨推定のニーズを考えた場合、GSMaPによる過大推定を補正・フィルターするために、マイクロ波散乱の上層散乱を修正するアルゴリズム改良が望まれる。

山間部の冬季降水量には雨量計の捕捉率低下による大きなバイアスが含まれる。菅平サイトにて現在天気計による長期降水形態観測を行い[3]、1次元多層積雪モデルで再現された積雪量に見合う修正降水量・未修正降水量とGSMaP\_MVK/Gaugeの比較分析も行った。

[1] 上野健一、栗林正俊、小林元：長野県における暖候期の短時間強雨の発現とGPMプロジェクトによる検証、日本気象学会、三重大学、2021年12月、予稿集p 236.

[2] Ueno K., 2022: Validation of GPM products for heavy precipitation cases in the inlands of Japan. PI meeting of JAXA Earth Observation Missions FY2021, Jan. 12.

[3] Yang Y., and K. Ueno, 2022: Monitoring mountain weather variabilities based on decadal observations of the present weather sensor in the highland of Central Japan. 地学雑誌 (受理)

## グリーンランド南部における積雪面マイクロ波シグナルの特徴と

### GSMaP 降雪リトリバルへの影響

内海 信幸<sup>1</sup>, Guosheng Liu<sup>2</sup>, 渡部 哲史<sup>3</sup>

(1:京都先端科学大学, 2:フロリダ州立大学, 3:京都大学)

#### 要旨

GSMaP のマイクロ波放射計降雪アルゴリズムはグリーンランドで降雪量を過大推定することがわかっている。このためマイクロ波センサによる推定が極まで拡張された新バージョン GSMaP プロダクト (V05) においても、グリーンランド上は欠損値になっている。本研究はグリーンランド上での降雪推定の改善を目指し、2017 年を対象に GMI による輝度温度観測と降雪推定値の解析を行った。

通常積雪面上では積雪による散乱シグナル (TB19V > TB89V) が見られるが、グリーンランド南部はこれと逆の傾向 (TB19V < TB89V) を示す。これは比較的均一な氷層と粒状の氷層 (これらは夏季の融雪水で作られる) の上に低密度の積雪層があるグリーンランドの地表面の特徴によるとされる (Grody and Basist, 1997)。積雪散乱シグナルが見られない地域は、GSMaP 降雪推定アルゴリズム (Liu and Seo, 2013) による降雪量の過大推定が見られる地域と空間的によく一致した。現状の GSMaP 降雪アルゴリズムは降雪面上ではすべて同一のルックアップテーブルが用いられる。本解析の結果は、グリーンランド南部のように特徴的なマイクロ波特性を示す積雪面では、通常積雪面用ルックアップテーブルが適切に機能しない可能性を示している。

## 参考文献

- Grody, N. C. & Basist, A. N. Interpretation of SSM/I measurements over Greenland. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35, 360-366 (1997).
- Liu, G. & Seo, E.-K. Detecting snowfall over land by satellite high-frequency microwave observations: The lack of scattering signature and a statistical approach. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 1376-1387 (2013).

## 全球降水観測計画「GPM」のプロダクトバージョンアップについて

久保田拓志<sup>1</sup>, 山地萌果<sup>1</sup>, 広瀬民志<sup>1</sup>, 山本宗尚<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>:宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター (EORC) )

### 要旨

全球降水観測 (GPM) 主衛星は、2014年2月の打上げ以降、順調に観測を続けている。GPM 主衛星は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と米国航空宇宙局 (NASA) の共同ミッションであり、日本が開発した二周波降水レーダ DPR と、米国が開発した GPM マイクロ波放射計 GMI の2種類のセンサを搭載する。さらに、GPM 主衛星と複数のコンステレーション衛星群の連携により、GPM 計画では、高頻度の全球降水マッププロダクトを提供する。全球降水マップは日米で別々に開発・運用され、日本では、GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) プロダクトを提供する。本発表では、2021年12月に実施した DPR プロダクトと GSMaP プロダクトのバージョンアップについて紹介する。

### ○GPM/DPR プロダクトについて

JAXA および NASA は、2018年5月21日に Ka 帯降水レーダ (KaPR) のスキャンパターンを変更した。スキャンパターンの変更後、KaPR の高感度ビームは、KaPR のマッチドビームの外側を観測することで、KaPR による 250km 観測幅を実現した。DPR では、Ku 帯降水レーダ (KuPR) と KaPR により、同じ降水を2つの周波数で観測することにより降水の推定精度ならびに感度を向上させた (Masaki et al. 2020; Seto et al. 2021; Masaki et al. 2021 等)。さらに KuPR と KaPR の観測結果の違いを利用することで、霰や雹などの固体降水を検出するなど、様々な降水タイプの分類手法が可能となった (Awaka et al. 2016; Iguchi et al. 2018; Le and Chandrasekar 2021 等)。この KaPR のスキャンパターンの変更により、2周波情報に基づく推定手法を

250km 観測幅で適用可能となり、降水推定手法の高度化が期待できる。JAXA と NASA は、バージョン 06A アルゴリズムに基づく研究プロダクト（バージョン 06X）を 2020 年 6 月に提供を開始し、これが KaPR のスキャンパターン変更に対応した初めてのプロダクトとなった (Awaka et al. 2021)。さらに、降水推定手法をさらに向上させた標準プロダクトとなるバージョン 07 を 2021 年 10 月に公開した。潜熱加熱 (SLH) プロダクトも、バージョン 07 を 2021 年 12 月に公開した。

#### ○GSMaP プロダクトについて

2021 年 12 月に、GSMaP バージョン 5（アルゴリズムバージョン 8）を公開した。バージョン 5 では、以下のような改良を予定している。バージョン 5 の特徴として、推定域を極まで拡張（ただし、マイクロ波センサ推定のみ。海氷上やグリーンランド上は、推定の難しさから本バージョンでは欠損値とする。）やマイクロ波センサ間のバイアス補正手法の導入 (Yamamoto and Kubota 2020) やヒストグラムマッチング手法 (Hirose et al. 2021) によるマイクロ波・赤外放射計複合アルゴリズムの改良等による、異なるセンサ間のバイアスを軽減した降水推定を上げることができる。

## 改良した DPR 降水判定の初期評価

金丸佳矢<sup>1</sup>, 花土弘<sup>1</sup>

(1: NICT)

#### 要旨

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) から 2021 年 12 月に提供が開始された DPR (二周波降水レーダー) プロダクトの最新版 (V07A) には、DPR の降水 3 次元観測を活かした新しい降水判定手法が導入された。従来の降水判定は、レーダーの受信した信号が雑音信号よりもある程度大きく、かつそのような信号がレンジ方向 (高度方向) に連続した場合を降水ありと判定していた。今回、改良された降水判定手法は、受信信号と雑音信号を比較する閾値の変更をしつつ、該当する信号の連続性をレンジ方向のみではなく、空間方向 (クロストラック方向とアロングトラック方向に隣り合う 1 ピクセルぶん) の連続性も考慮して降水ありの判定を行うようにした。降水の 3 次元情報を利用することで、降水頂が低くても空間方向の広がりがある高緯度域の降水についての検出改善が期待される。その一方で、レーダーの受信信号には、サイドローブクラッターと呼ばれる地表面からの信号も重複する。サイドローブクラッターはレンジ方向に局所的に表れるが空間的な広がりをもつため、新しく導入した 3 次元降水判定によってサイドローブクラッターが降水として誤検出することが増えるおそれがある。この影響を最小限にするため、サイドローブクラッターの推定方法の改良、クラッターの推定精度を考慮した降水判定の導入、

形状判断に基づく簡易的なフィルタ処理なども追加した。その結果、降水検出の改善と誤検出の軽減をある程度両立すると期待される降水判定アルゴリズムを DPR アルゴリズムに実装することが出来た。

本発表では、改良した DPR 降水判定結果について、公開された DPR プロダクト V07A の統計解析による初期評価を報告する。

## 衛星搭載降水レーダの二周波観測を活用した

### 山岳域降水検出手法の開発

清水陸<sup>1</sup>，重尚一<sup>1</sup>，井口俊夫<sup>2</sup>，Cheng-Ku Yu<sup>3</sup>

(1:京都大学, 2:メリーランド大学, 3:国立台湾大学)

#### 要旨

水収支を計算する上で降水量の観測が過小評価されていると考えられており、正確な降水量の観測が求められる。山岳域の降水は雨量計や衛星搭載マイクロ波放射計による観測が難しいため、衛星搭載降水レーダによる観測が重要になる。しかし、衛星搭載降水レーダは地表面クラッターの影響を受けるため、地表面付近の低い高度に降水を観測できないブラインドゾーンが存在し、特に山岳域では高い高度まで広がってしまう。中高緯度の山岳域では冬季の安定した大気場で山を這うような浅い山岳域降水が多く発生する。GPM/DPR によって、TRMM/PR よりも高緯度まで観測が可能になったことで、浅い山岳域降水の観測はより重要性を増している。本研究は、衛星搭載降水レーダのブラインドゾーンを狭めることによって浅い山岳域降水の検出の改良を行った。

台湾北部の山岳域には他に例を見ない高密度の雨量計網が設置されており、これらの雨量計と地上レーダのデータを衛星搭載降水レーダのデータと比較した。衛星搭載降水レーダとして GPM/DPR の 2014 年 3 月から 2020 年 2 月の期間のデータを使用した。GPM/DPR は Ku バンドレーダ (KuPR)、Ka バンドレーダ (KaPR) の二周波のレーダで構成されているが、KuPR の方がより感度が高いため、地上降水強度データとして KuPR Near Surface Rain (NSR) データを用いた。ここで NSR データは地表面クラッターの影響を受けない最低高度である Clutter Free Bottom (CFB) 高度の降水強度データである。

KuPR データと雨量計、地上レーダデータとを比較した結果、KuPR が 10 mm/h 以上の強い雨を見逃している事例が 12 件存在した。特に地表面クラッターの影響が小さい衛星直下付近の観測でも降水を見逃している事例が 5 件存在した。地上レーダのレーダ反射強度プロファイルから、KuPR が浅い降水のエコーを地表面クラッターと誤って判断し、CFB 高度を実際より高く推定していることが明らかになった。これを踏まえて本研

究では KuPR と KaPR の受信電力値を用いて、CFB 高度推定アルゴリズムを改善することで浅い降水検出の改善を行った。

元のアルゴリズムでは地表面クラッターによる KuPR の受信電力値のジャンプから CFB 高度を推定していたが、本研究では KuPR と KaPR 両レーダの受信電力値を用いて CFB 高度を推定した。地表面クラッターによる受信電力値の値は送信電力値と周波数に依存する。このため KuPR (1012.0 W, 13.6 GHz) と KaPR (146.5 W, 35.5 GHz) で地表面クラッターによる受信電力値の大きさが異なり、KuPR と KaPR の受信電力値の差 (Diff) の値が、地表面クラッターの影響を受ける高度でジャンプする。このジャンプが起こる高度から新たに CFB 高度を推定した結果、KuPR が衛星直下付近で降水を捉え損ねていた事例でブラインドゾーンが狭まり、見逃していた浅い雨を捉えられるようになり、地上レーダと同様の降水分布を捉えることに成功した。また、CFB 高度を下げてもより地上に近いデータを使用することで、山岳域に多く見られる下層に近づくほど強くなる降水の推定の過小評価を改善することに成功した。

## 固体降水形成に関連する2つのGPM/DPRプロダクト

### flagGraupelHail/flagHeavyIcePrecipの特徴

鈴木賢士<sup>1</sup>, 古川郁将<sup>1</sup>, 竈本倫平<sup>2</sup>

(1: 山口大, 2: 鉄道総合技術研究所)

#### 要旨

全球降水観測計画GPM主衛星に搭載されている二周波降水レーダDPRのプロダクトには、上空 $-10^{\circ}\text{C}$ 以下での活発な固体降水形成を示すflagHeavyIcePrecipや、雲内の霰や雹の存在を示すflagGraupelHailなど、雲物理学的な特徴を示すプロダクトが含まれている。この2つのプロダクトはともに、一般的には対流域で形成される固体降水を検出するものである。しかしながら、過去の大雨事例解析によると、これら2つのプロダクトの検出頻度は異なり、層状域でもflagGraupelHailが検出されていた。同じ固体降水を示すプロダクトであるにも関わらず、なぜ検出に違いがあるのか、また、なぜflagGraupelHailは層状域でも検出されるのか、これらについて、スキャンパターン変更後の2018年5月21日から2021年8月31日までの期間中、DPR通過時に日本周辺で降水があった383事例のうちflagGraupelHailもしくはflagHeavyIcePrecipが検出された273事例を調べた。

解析の結果、flagHeavyIcePrecipは年間を通して検出された一方で、flagGraupelHailは暖候期によく検出され、冬季にはほとんど検出されなかった。暖候期に両プロダクトが同時に検出される場合の平均のレーダ反射強度は45~50dBZで、それぞれ単独で検

出される場合に比べ降水が強くなる傾向にあった。フットプリントごとに降水タイプに注目すると、flagHeavyIcePrecipは対流域で比較的多く検出されていたが、flagGraupelHailでは多くの降水事例で層状域での検出が90%以上を占めていた。また、両プロダクトが同時に検出された場合は、多くが対流性と分類されていた。層状性と対流性それぞれに分類されたフットプリントについて、レーダ反射強度と気温（高度）の二次元出現頻度分布を比較した結果、flagGraupelHailが検出された事例では、0°C高度より上空では層状性と対流性で大きな差はなく、一般的な層状性雲よりも強い降水を示していた。この特徴は大雨をもたらす事例で顕著であった。以上より、このプロダクトの検出頻度の違いはアルゴリズムの違いによるところが大きく、特にflagGraupelHailの定義の中にあるパラメータ StormTopHeight が影響していることが確認された。冬季の降水雲は StormTopHeight が低いためflagGraupelHailが検出されにくいことから、例えば StormTopHeight の代わりに 0°C高度からの高さを指標とするなど、アルゴリズムの改良を提案できるかもしれない。また、flagGraupelHailが層状域に多く検出されていることについては、上昇流の弱い層状域では霰や雹の形成は考えにくいことから、極めて高密度の雪など、霰とは異なる固体降水粒子形成が示唆された。特に大雨事例で顕著であることから、例えば 2018 年の西日本豪雨のように比較的背が低く雷もほとんど観測されないが大雨をもたらしていたように、この層状域での固体降水形成が大雨形成に重要な役割を果たしているのかもしれない。これについてはゾンデなどによる上空の氷粒子の直接観測によるさらなる検証が必要である。

## GPM DPR の固体降水プロダクトの評価

黒沢裕也<sup>1</sup>、高橋暢宏<sup>2</sup>

(1:名古屋大学環境学研究科, 2:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

### 要旨

全球降水観測計画 (GPM) 主衛星搭載の二周波降水レーダ (DPR) は周波数の異なるKu帯 (KuPR) とKa帯 (KaPR) のレーダから構成されている。この二周波における液体や固体降水の散乱や減衰の特性の違いを用いることによる、相の状態の推定や降水粒子タイプの推定に関する研究が盛んに行われている。

GPM DPR Level2の最新プロダクト (V07) には雹、霰の検出フラグ [flagGraupelHail] (以下、flagGH)、粒径の大きい固体降水の検出フラグ [flagHeavyIcePrecip] (以下、flagHIP)、多重散乱の検出インデックス [MSindex]が含まれている。これらのプロダクトに共通して用いられているのが、KuとKaのレーダ反射因子Zの観測値の比 (dual frequency ratio : DFRm) である。mは観測値を意味し、減衰補正が行われていないことを表す。flagGHは鉛直プロファイル内の観測レーダ反射因子Zm (Ku) の最大



値、ストーム頂高度とDFR<sub>m</sub>を用いて算出されている。flagHIP は-10°C以下の高度でのZ<sub>m</sub> やDFR<sub>m</sub> の最大値を用いて算出される。MSindexは主に多重散乱発生時の鉛直プロファイルに特徴付けられるDFR<sub>m</sub> のKnee と、地表面エコーとその付近の受信電力の傾きから算出されている。

本研究ではこれら3種の固体降水に関連したプロダクトの関係について調査した。データはGPM DPR Level2 V07のテストプロダクトITE760を暫定的に使用した。解析期間は2018年7月から2019年6月までの1年間とした。解析領域は南北緯度約65度以内とした。またMSindexは直下付近の25アングルビン（インナースワス）でのみ有効な指標であるため、そのほか二種のプロダクトもインナースワスのみで解析した。固体降水の存在を示唆する以下の(a)~(c)のいずれかの条件を満たしているピクセル数を母数とし、それに対する各条件の占める割合を調査した：(a) MSindex = 100, (b) flagGH > 0, (c) flagHIP > 0。

解析期間の陸上または海上において上記の(a)~(c)のいずれかの条件を満たしているピクセルは陸上と海上でそれぞれ378015個と567266個であった（降水ピクセルの約2.4%と約1.0%）。

固体降水の存在が示唆されたうちMSindexは0.5割以下、flagGHは4~5割、flagHIPでの検出は6~7割を占めている。陸上（海上）で多重散乱が検出されたうちの6割（3割）でflagGHまたはflagHIPそれぞれにより固体降水が検出されている。また、複数のプロダクトで固体降水が検出される割合は海上よりも陸上で増加する結果が得られた。flagGHとflagHIPは共に高密度・大粒径の固体降水の検出フラグであると考えられるが、両方で検出された場合はそれぞれの4割程度にとどまる結果となった。

課題としては、それぞれのプロダクトの違いを明確にすることでそれらの持つ物理的な意味を明らかにすることが挙げられる。今後は、固体降水をflagGHで検出したがflagHIPでは検出していないなど様々なパターンの事例におけるレーダ反射因子の鉛直プロファイルを解析する予定である。

# 地上設置型 Ka バンドレーダーと GPM/KaPR 及び KuPR の比較検証

後藤悠介<sup>1</sup>, 篠田太郎<sup>1</sup>, 民田晴也<sup>1</sup>, 久島萌人<sup>1</sup>, 馬場賢治<sup>2</sup>,

高橋暢宏<sup>1</sup>, 坪木和久<sup>1</sup>

(1:名古屋大学宇宙地球環境研究所, 2:酪農学園大学)

## 要旨

全球降水観測 (Global Precipitation Measurement; GPM) 計画主衛星には、二周波降水レーダー (dual-frequency precipitation radar; DPR) が搭載されている。DPR と地上レーダーとの交差検証は、これまでに多く行われてきた (e.g. Biswas and Chandrasekar, 2018) が、これらは雨滴を対象としている場合が多い。雪雲を対象に交差検証を行った研究 (Kamamoto et al., 2020) もあるが、解析事例数は少なく、統計的な知見を得るには不十分であると考えられる。そこで、本研究では地上設置型 Ka バンド二重偏波レーダー (以下、名大 Ka) と DPR のデータを用いて、雪雲を対象としてレーダー反射因子に関する比較検証を行った。

名大 Ka を酪農学園大学 (43.0694° N, 141.5072° E) に設置した 2018 年 12 月 6 日から 2019 年 4 月 18 日の期間で、名大 Ka の観測範囲内に KaPR の Matched-Scan 領域が通過し、かつ GPM 準リアルタイムモニターでエコーが検出された 6 事例を抽出した。この 6 事例に関して、名大 Ka の PPI 観測によるレーダー反射因子と KaPR (V06X) zFactorCorrected、及び KuPR (V06X) zFactorCorrected との比較検証をそれぞれ行った。Schwaller and Morris (2011) を参考に、名大 Ka と DPR の観測格子が重なる部分を抽出し、DPR 観測格子内にある名大 Ka の観測値を水平方向に平均化してから比較を行った。また、GPM 通過時刻の、前後 1 分間と、前後 5 分間の PPI 観測データを用いる比較をそれぞれ行った。その結果、全検証において、平均誤差 (ME, DPR-名大 Ka) が負の値であったことから、名大 Ka が過大評価していることが示された (図 1)。前後 1 分間のデータを用いた解析に着目すると、KaPR との検証では、ME は -4.65 dB であり、平均絶対誤差 (MAE) は 5.10 dB であったが、KuPR との検証では、ME は -2.76 dB、MAE は 3.29 dB であった。このことから、名大 Ka の過大評価に関し

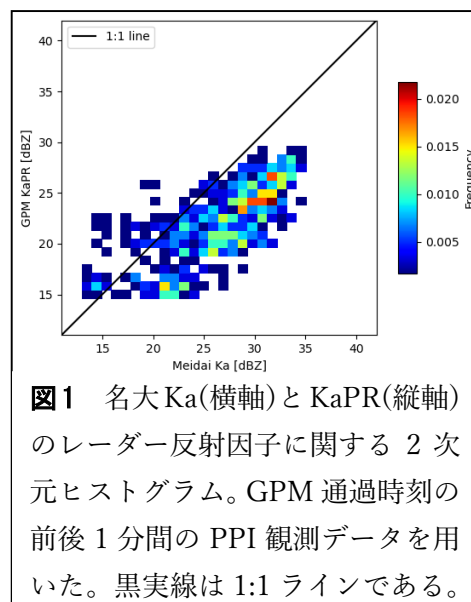


図1 名大Ka(横軸)とKaPR(縦軸)のレーダー反射因子に関する2次元ヒストグラム。GPM通過時刻の前後1分間のPPI観測データを用いた。黒実線は1:1ラインである。

では、KuPR と比較した場合よりも KaPR と比較した場合に、より大きくなることが示された。同様の結果は前後 5 分間の比較でも得られた。これは、Toyoshima et al. (2015) でも示されたように、KaPR の感度が低いことが原因の 1 つであると考えられる。また、KaPR との検証に注目すると、前後 1 分間の解析での相関係数は 0.73 であったが、前後 5 分間の解析での相関係数は 0.61 であった。同様に、KuPR との比較検証でも前後 5 分間の解析の方が相関係数は低下した。これは、降水システムの移動や時間変化によって、DPR の観測格子と名大 Ka の観測格子との mismatch が生じるためであると考えられる。

## 参考文献

- Biswas, S. K., and V. Chandrasekar, 2018: doi:10.3390/rs10111773.  
Kamamoto et al., 2020: doi:10.2151/sola.2020-020.  
Schwaller, M. R., and K. R. Morris, 2011: doi:10.1175/2010JTECHA1403.1.

# チベット域における地上ドップラーレーダ観測を用いた 衛星搭載降水レーダ降水タイプ分類アルゴリズムの検証

正木岳志<sup>1</sup>, 重尚一<sup>1</sup>, 山田広幸<sup>2</sup>

(1: 京都大学大学院理学研究科, 2: 琉球大学理学部)

## 要旨

降水タイプの分類では、その分類指標として鉛直流の情報が重要であるが、レーダ観測においては、多くの場合、鉛直流を直接観測することが難しい。そのため、代替指標としてレーダ反射因子 (Z 因子) の強度や分布の情報を用いて分類を行う。これは、衛星搭載降水レーダ TRMM PR や GPM DPR の降水タイプ分類アルゴリズム (Awaka et al., 2016, JTECH) も同様である。このことにより、降水タイプ分類の誤判定が生じ得る。実際、PR 観測データを用いた統計解析の結果、夏期チベット域では降水の日周期が卓越する一方、午後の降水の多くが層状性降水と判定された。本研究では、NASDA (現 JAXA) が GAME-Tibet プロジェクトの一環で 1997 年から 1998 年に実施した、X バンドドップラーレーダ (以降、NASDA レーダ) によるチベット高原上での降水観測データ (Shimizu et al., 2001, JMSJ) を用いて、衛星搭載降水レーダによる降水タイプ分類アルゴリズムの検証を行った。検証では、衛星搭載降水レーダとして PR V06A level-2 プロダクトを、0 度高度算出のため ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) を使用した。また、NASDA レーダ観測から鉛直流を推定するため、Mapes and Lin (2005, MWR) の手法を基に Velocity azimuth display (VAD) 法を用いて水平発散 (Div) の鉛直分布を

解析した。

結果、NASDAレーダとTRMM PRの観測が同時に行われた1998年8月1日22:43LTのケースにおいては、NASDAレーダ範囲でTRMM PRによって推定された降水タイプのほとんどが層状性降水として分類されることがわかった。また、PR降水タイプ分類で採用されている手法をNASDAレーダ観測結果に対して適用した結果、ほとんどが層状性降水に分類された。他方、Divの時間-高度断面から、PR通過時には下層収束の対流性分布が確認された。なお、PR通過後には、ブライトバンドが明瞭に現れ、対流性から層状性への変遷が確認できる。Shimizu et al. (2001) では、同事例に対し対流性分布は確認できなかったとしたが、本研究により対流性分布が明らかとなった。これはMapes and Lin (2005) の手法によるVAD法適用前の観測データ積算手法の効果であると推察される。PR降水タイプ分類アルゴリズムでは、ブライトバンドの検出とオーストラリア・ダーウィン域を対象としたSteinar et al. (1995)の手法をベースとして全球一様に適用しており、Z因子の最大値が40 dBZより強い場合、対流性降水と判定される。この事例における降水タイプ分類の誤判定は、チベット高原の地域特性の考慮が不十分であることに起因していると考えられる。

謝辞

本研究で使用した VAD 解析プログラムはマイアミ大学 Brian Mapes 教授にご提供いただきました。

# インド・メガラヤ豪雨地域における

## 衛星降雨レーダーとの比較に基づく降雨の特徴と地形の関係

村田 文絵<sup>1</sup>, 寺尾 徹<sup>2</sup>, 山根 悠介<sup>3</sup>, 福島 あずさ<sup>4</sup>,

木口 雅司<sup>5</sup>, 田上 雅浩<sup>6</sup>, 上米良 秀行<sup>7</sup>, 林 泰一<sup>8</sup>,

Hiambok J. Syiemlieh<sup>9</sup>, Laitpharlang Cajee<sup>9</sup>,

Shamsuddin Ahmed<sup>10</sup>, Sayeed Ahmed Choudhury<sup>10</sup>

(1:高知大学工学部, 2:香川大学教育学部, 3:常葉大学教育学部,  
4:神戸学院大学人文学部, 5:東京大学未来ビジョン研究センター, 6:国立環境研究所,  
7:防災科学技術研究所, 8:京都大学東南アジア地域研究研究所, 9:North Eastern Hill  
University, India, 10:Bangladesh Meteorological Department)

### 要旨

インド北東部に位置する標高約 2,000m のメガラヤ高地南斜面は平均年雨量 1 万ミリを超える世界的豪雨地域として知られる。その中でも月雨量以上の時間スケールで世界記録をもつチェラプンジやマウシンラムといった豪雨地点は標高 1300m 以上の台地上にある。一方、TRMM 降雨レーダー長期観測に基づく気候値の降水極大は豪雨地点に隣接する谷の中にある。住民の多くは台地上にある町に住んでおり、地上雨量観測は台地上で行われてきた。2016 年に TRMM 気候値で雨が多い谷付近に新規に 2 台雨量計を設置した。これまでのこれらの雨量計の観測結果は、チェラプンジに比べて雨が少ない傾向を示す。TRMM PR 及び GPM DPR 雨量は台地上の雨量計に対して有意な過小評価を示す一方で、新規に設置した雨量計地点ではむしろ過大評価を示す。これらの結果は谷の中の降水極大が地形クラッター等による偽の降水極大である可能性を示唆する。豪雨地域における降雨衛星通過時の Clutter Free Bottom(CFB) 高度と降水強度と比較すると、CFB 高度が 2km 未満の時に降水強度 150mm/h 以上の事例がみられる。また衛星直下点からの角度が 2° 未満の時に 200mm/h 以上の事例の多くがみられる。2006 年からの長期の雨量計観測と TRMM 及び GPM による長期の衛星降水観測により、衛星通過時にメガラヤ豪雨地帯の雨量計で 30mm/h 以上の雨が観測されている事例が 100 例ほどある。最も顕著な豪雨事例ではマウシンラムで 156.0mm/h, チェラプンジで 144.0mm/h が観測された。降水強度 80mm/h 以上の事例の数は多くないものの、反射強度の鉛直分布は上空から他事例に比べて大きな反射強度を示している。

# ユーラシア大陸中高緯度夏季降水の空間分布特性

西村俊輝<sup>1</sup>, 広瀬正史<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>:名城大学)

## 要旨

全球降水観測計画主衛星搭載二周波降水レーダ (GPM DPR) は従来の熱帯降雨観測衛星搭載降雨レーダ (TRMM PR) の未観測領域である中高緯度の降水を7年超に渡って観測している。シベリア域は地形の起伏があり、降水分布が一様ではないことが先行研究から知られている。局所的な特徴の有無については、雨量計の数密度が小さいため、長期間の衛星による観測結果を用いて識別する必要がある。本研究では、夏季に降水が多いユーラシア大陸中高緯度に焦点を当てて、地形および降水 (GPM DPR KuPR 06A, GSMaP\_MVK V7, GSMaP\_Gauge V7) の空間的な分布の理解を深めることを目的とした調査を行った。

DPR は 64-65 度付近の緯度でサンプル数が最大となる。北緯 45, 55, 65 度の各月 1 度格子あたりのサンプル数は約 3500, 4200, 12200 であり、これを 500 で割ると各月のおおよその通過回数が求まる。本研究では7年間 (2014~2021年) の6~8月に観測された数百回の衛星通過による降水データを調べた。北緯 60 度以北のシベリア域の DPR による降水量に関しては、東経 60 度に位置するウラル山脈の東に広がる西シベリア平原で多く、東経 90 度のエニセイ川以東に位置する中央シベリア高原あたりでは少ない。1 度格子の平均値を比較すると、西シベリアでは空間的な変動が激しいものの、東シベリアに比べて5倍ほど降る地域が目立つ。西シベリアには西から流入した水蒸気が広域に渡って収束しており、100km を超える大規模な降水システムに伴う降水の寄与が東シベリアに比べて顕著に高い。周囲 1 度内の 0.1 度平均降水量の変動係数 (以下, CV) を調べると、サンプル数の多い高緯度に向かうほど値が小さくなり降水の一様性が高いという結果を得た。北緯 65 度付近では 0.2 程度、北緯 55 度付近では 0.4 程度の CV が広く見られた。

北緯 60 度以南の GSMaP データの解析では、上記の局所的な降水変動状況を表す CV が DPR の値の半分以下であった。GSMaP\_Gauge の降水分布は GSMaP\_MVK より空間的に一様である。地表と水面が混在する沿岸や湖、河川がある場所では、GSMaP\_MVK による降水量の CV が局所的に 0.3 程度大きくなっていた。地表面タイプに対応した推定方法の違いがこれらのパターンに表れている。バイカル湖北東部のように、地形の起伏が大きく、CPC 雨量計が無い場所において、GSMaP\_MVK が GSMaP\_Gauge より非一様であり、過大に見積もられている地域が見られた。しかし、DPR の大規模降水システムなどのサンプル不足による降水統計の空間変動も大きかったため、サブセット間の比較など地域的特徴の存在を保証するための調査が引き続き必要である。