「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」

主催者:久保田拓志(JAXA/EORC), 增永浩彦(名大)

日時: 2021 年 3 月 15 日 (月)~16 日 (火) 発表 12 分間、質疑応答 3 分間+チャット 朝開始 15 分前より接続テスト

プログラム

3月15日(月) 10:00~15:45

座長 久保田拓志(JAXA/EORC)

10:00-10:10 はじめに 久保田拓志 (JAXA)

10:10-10:25「衛星搭載降水レーダーが捕捉できていなかった台湾山岳域豪雨事例」

清水陸・重尚一(京都大)・井口俊夫(メリーランド大学)・Cheng-Ku Yu(国立台湾大学) 10:25-10:40「マイクロ波放射計による降水鉛直分布の推定」

内海信幸(京都先端科学大)・F. J. Turk・Z.S. Haddad (JPL)・

P.-E. Kirstetter (U. Oklahoma)・Hyungjun Kim (東京大)

10:40-10:55「**降水プロダクトの長期解析結果の比較」** 古澤(秋元)文江・増永浩彦(名古屋大)

10:55-11:10 (休憩)

座長 樋口篤志(千葉大)

11:10-11:25「HIMAWARI-8 画像を用いた機械学習による

GPM コンステレーション衛星の輝度温度推定」

武田拓巳・端野典平(高知工科大)

11:25-11:40「ひまわり降水推定プロダクトの検証」

豊嶋紘一(千葉大)・広瀬民志(JAXA/EORC)・樋口篤志(千葉大)

11:40-11:55「VIIRS を基準として放射計算を用いた

ひまわり8号の代替え校正手法の開発」

田中秀昂・奥山新・吉崎徳人(気象庁)

11:55-12:10「ひまわり全天候赤外輝度温度データ同化に向けた、

シミュレーションの検証」

岡本幸三・林昌宏(気象庁)・端野典平(高知工科大)・中川雅之・奥山新(気象庁)

12:10-13:30 (昼食・休憩)

座長 岡本幸三(気象庁)

13:30-13:45 「NICAM-LETKF を用いた全球天気予測システムの開発について」

Ying-Wen Chen(東京大)・寺崎康児(理研)・小槻峻司(千葉大)・佐藤正樹(東京大)・ 中野満寿男(JAMSTEC)・三好建正(理研)・久保田拓志(JAXA)・金丸佳矢(NICT) 13:45-14:00「GPM DPR データ同化による NICAM 雲微物理パラメータ推定」

小槻峻司(千葉大)・寺崎康児(理研)・佐藤正樹(東京大)・三好建正(理研)

14:00-14:15「GPM 衛星を用いた雲物理スキームの検証」

幾田泰酵(気象研)・佐藤正樹(東京大)・沢田雅洋・草開浩(気象研)・久保田拓志(JAXA) 14:15-14:30 「Evaluations of NICAM over the Kanto area

using intensive observations and the Joint simulator」

Woosub Roh, Masaki Satoh Naomi Kuba Shuhei Matsugishi(東京大)

14:30-14:45 (休憩)

座長 高橋暢宏(名古屋大)

14:45-15:00「GPM-DPR データを用いた雹の全球3次元分布の検出」

清木達也(JAMSTEC)

15:00-15:15「GPM DPR による冬季日本域の降水推定精度」

黒沢裕也・広瀬正史(名城大)

15:15-15:30「土壤水分効果を考慮した GPM/DPR 表面参照法の補正」

瀬戸心太(長崎大)

15:30-15:45 「**DPR 降水判定改良を目的としたクラッター強度の推定」** 金丸佳矢・花土弘・中川勝広(NICT)

オンライン懇親会(18:30-20:00頃) 兼 GPM 主衛星の7歳のお誕生会

3月16日(火) 10:00~15:40

座長 広瀬正史(名城大)

10:00-10:15「衛星搭載レーダを用いた沿岸域の降水分布の解析」

青木俊輔・重尚一(京都大)

10:15-10:30「**TRMM/GPM 長期降水レーダ情報を用いたアジアモンスーン地域の降水特性」** 山地萌果(JAXA/EORC)・高橋洋・松本淳(東京都立大)

10:30-10:45「**DPR プロダクツを利用した冬季温帯低気圧の構造解析」** 上野健一・澤田壮弘(筑波大)

10:45-11:00「衛星降水レーダを用いた熱帯と中・高緯度における 夏季降水特性の統計的解析」

濱田篤・川端玲衣(富山大)

11:00-11:15 (休憩)

座長 端野典平(高知工科大)

11:15-11:30「**北半球中緯度温帯低気圧の降水特性と潜熱加熱の統計的調査」** 辻宏樹・高薮縁(東京大)・栃本英伍(防災科研)

11:30-11:45「マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダデータに基づく 孤立積乱雲の内部構造の時間変化」

川口航平・高橋暢宏・纐纈丈晴(名古屋大)

11:45-12:00「マルチパラメータ気象レーダデータ用いて解析した **雷をもたらす対流雲の内部構造の特徴:2018 年 8 月 27 日の関東地方における観測事例」** 岩田和樹・纐纈丈晴・高橋暢宏(名古屋大)

12:00-12:15「**雷を伴う降雨事例における GPM DPR V06X プロダクトの検証」** 鈴木賢士・小田哲路(山口大)・竃本倫平(鉄道総研)・中川勝広(NICT)

12:15-13:30 (写真撮影・昼食・休憩)

座長 濱田篤(富山大)

13:30-13:45「衛星全球降水マップ GSMaP の新バージョンについて」

久保田拓志・田島知子・山地萌果・広瀬民志・青梨和正 (JAXA/EORC)・

山本宗尚・東上床智彦(RESTEC)

13:45-14:00「GSMaP マイクロ波サウンダの海岸アルゴリズムの改良」

田島知子・久保田拓志(JAXA/EORC)・妻鹿友昭(大阪大)・重尚一(京都大) 14:00-14:15「**雲タイプ別に評価した GSMaP ヒストグラム補正結果」**

広瀬民志・田島知子・久保田拓志(JAXA/EORC)・妻鹿友昭・牛尾知雄(大阪大) 14:15-14:30「GSMaP マイクロ波放射計降水リトリーバルアルゴリズム(V05)の開発」

青梨和正(JAXA/EORC)

14:30-14:45 (休憩)

座長 増永浩彦(名古屋大)

14:45-15:00「**GSMaP に対する衛星センサ間のばらつきを補正するモジュールの開発」** 山本宗尚(RESTEC)・久保田拓志(JAXA/EORC)

15:00-15:15「北部ヴェトナムにおける GSMaP データにおける

降水システムの時空間サイズと GSMaP のパフォーマンスの関係」

野津雅人・松本淳・Thanh-Hoa Pham-Thi(東京都立大)・Thanh Ngo-Duc・

Long Trinh-Tuan(ハノイ科学技術大)・Tri Truong-Duc(ヴェトナム天然資源環境省) 15:15-15:30 「GSMaP データを用いた将来衛星の降水サンプリング実験」

高橋暢宏(名古屋大)

15:30-15:40 おわりに 増永浩彦(名古屋大)

衛星搭載降水レーダーが捕捉できていなかった台湾山岳域豪雨事例

清水陸¹, 重尚一¹, 井口俊夫², Cheng-Ku Yu³

(1:京都大学大学院理学研究科, 2:メリーランド大学, 3:国立台湾大学)

要旨

地形性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 ーダーによる観測が重要になる。しかし、衛星搭載降水レーダーは山岳域で地表面クラッター の影響を強く受け低い高度で雨を捉えられない。台湾北部の山岳域には他に例を見ない高密度 の雨量計が設置されている(Cheng and Yu 2019, J. Atomos. Sci.)。本研究では衛星搭載降水 レーダーの台湾北部山岳域での降水強度データを雨量計、地上レーダーのデータと比較した。

衛星搭載降水レーダーとして全球降水観測計画(GPM)主衛星搭載の二周波降水レーダー(DPR) を使用した。GPM/DPRはKuバンドレーダー(KuPR)、Kaバンドレーダー(KaPR)の二種類の周波数 で構成されているが、KuPRの方がより感度が高いため、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 最低高度の降水強度データである。雨量計データは台湾北部の山岳域に設置された Da-Tun rain gauge network (DTRGN) (Cheng and Yu, 2019)の1分間隔のデータを用いた。地上レーダ ーはS-バンド地上ドップラーレーダーであるWu-Fen-San (WFS)レーダーを用いた。

Terao et al. (2017, SOLA) の手法に倣って KuPR データと雨量計、地上レーダーデータとを 比較した結果、雨量計や地上レーダーが降水を捉えているにもかかわらず、KuPR が降水を捉え ていない事例が見つかった。特に、雨量計で 10mm/h 以上を観測した強い雨を見逃している事例 が 12 件存在した。中には直下近くのデータはクラッターの影響が小さいにもかかわらず、降水 頂がクラッターフリーボトム (CFB) 高度以下である事例も存在した。地上レーダーの降水強度 プロファイルから、これらの強い降水は CFB 高度以下の浅い降水であったことが判明した。

Cheng and Yu (2019)では台湾山岳域の浅い降水で大気安定度が高くなる傾向が示された。また、Shige and Kummerow (2016, J. Atmos. Sci.)ではアジアモンスーンの降水で静的安定度と降水長の高度に負の相関があることが示された。ERA5の再解析データを用いて大気安定度を調べたところ、KuPR が雨を捉えられていない事例では台湾山岳域付近の大気は安定である傾向がみられた。

CFB 高度以下の浅い降水を捉えるためには、クラッター領域を狭めることが重要である。CFB 高度は受信するエコー強度から推定されているものであり(Iguchi et al. 2020,

https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/doc/algorithm/ATBD_DPR_202006_with_Appendix_a.pdf)、実際よ り高く設定されている可能性がある。Ku バンドと Ka バンドで地表面クラッターの大きさが異なる ことを利用して、KuPR と KaPR の反射強度の差、measured Dual-Frequency Ratio (DFRm)の値から CFB 高度を推定できないか検討した。複数の事例で KuPR の CFB 高度以下で地表面クラッターの影 響による DFRm の値のジャンプがみられた。CFB 高度をジャンプの高度まで下げることで、クラッ ター領域を狭めて浅い雨を捉えられるようになる可能性が示唆された。

マイクロ波放射計による降水鉛直分布の推定

内海信幸¹, F.J. Turk², Z.S. Haddad², P.-E. Kirstetter³, Hyungjun Kim⁴

(1:京都先端科学大学, 2:JPL, 3:University of Oklahoma, 4:東京大学)

要旨

マイクロ波放射計による降水推定については、地上降水強度の検証はこれまで多くの研究が 行われてきたものの、降水鉛直分布の推定可能性については十分な検討が行われてこなかった。

本研究では発表者らが開発を行っている Emissivity Principal Components (EPC) algorithm と NASA の Goddard profiling algorithm (GPROF) (Version 5)の二つの放射計アルゴリズムに より推定された降水鉛直分布について、その推定精度の検証を行うとともに、鉛直降水分布と 地上降水強度の推定精度の関係についても検討を行った。

GPM radar-radiometer combined algorithm product (2B-CMB)による降水鉛直分布と比較 すると、EPC アルゴリズムは中・高緯度地域で鉛直平均の降水量(降水粒子大の凝結水量)を 20%-50%過小評価していた。また GPROF は中・高緯度地域で 20%-50%の過大評価、熱帯域 では 50%以上の過大評価であった。一方、降水の鉛直分布の形についてはその季節・領域平均 の特徴を両アルゴリズムとも良く表現していた。

降水鉛直分布と地上降水強度の推定精度の関係についても解析を行ったところ、降水鉛直分 布の推定誤差と地上降水強度の推定誤差には明確な関係が認められた。これは鉛直降水分布を 精度良く推定しているケースでは、地上降水量も精度良く推定できていることを示している。

Reference:

Utsumi, N., Turk, F. J., Haddad, Z. S., Kirstetter, P.-E., & Kim, H. (2021). Evaluation of Precipitation Vertical Profiles Estimated by GPM-Era Satellite-Based Passive Microwave Retrievals. Journal of Hydrometeorology, 22(1), 95–112. https://doi.org/10.1175/JHM-D-20-0160.1

降水プロダクトの長期解析結果の比較

古澤(秋元)文江¹, 増永浩彦¹

(1:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

要旨

広く使用されている衛星による全球降水プロダクト間の比較を引き続き行っている。今回は 長期変動に着目して比較を行なった。比較したプロダクトは、GSMaP MWR/MVK/GAUGE について は長期データが存在する V6(アルゴリズムバージョン 6)と、IMERG HQ/UNCAL/CAL の最新バージ ョンである V06B、CMORPH/CMORPH-MW の V1.0RT、GPCP については monthly の V2.3 と daily の V1.3、CMAP/CMAP-no-mumeric、Persiann/Persiann-CDR、HOAPS V4.0、MEGHA-TROPPIQUES V1.00、 CHIRPS V2.0 の 8 個 14 種類である。また、雨量計データである CPC V1.0/V1.0RT と GPCC につい ては 2016 年 12 月までしかないが monthly, daily ともに最新の full-v2018 を使用している。 1998 年から 2017 年までの 20 年間の月平均降水量に着目しているが、すべての期間にデータが 存在しているプロダクトは CMORPH、GPCP、CMAP、Persiann-CDR、CHIRPS、CPC のみである。ま た、1 度格子にそろえて比較を行っている。しかし、CMAP は 2.5 度格子で、1 度にそろえること ができないため、海、陸、沿岸の分類をした場合に他のプロダクトとは領域が異なる。

長期解析として、熱帯太平洋や日本などの領域の降水について、NINO3 領域などの海表面温度 に基き ENSO のフェーズに着目した解析結果の比較などを行ったところ、熱帯 20 度以内の太平 洋(120-180W:EA)とその西側(90-150E:WE)における海上の月平均降水量から年平均した月平均 値を引いた anomaly の変動は、ほとんどのプロダクトが、似た変動をし、変動幅もほぼ同程度 であることがわかった。それぞれ、EA 領域は北半球夏 JJAS で小さく冬 NDJF で大きい、WE 領域 は 4,10 月に小さく 7,12 月に大きいという変動をしている。しかし、平均値はプロダクト毎に 異なり、EA 領域では、IMERG や HOAPS が多く、PERSIANN が少ない、GSMaP もやや少ない。WE 領 域では、IMERG が大きい事は同じであるが CMAP も大きい。一方、GSMaP-MWR が非常に小さい。 この GSMaP の過小評価は、この領域で朝~午前に海上の雨が多く、観測頻度が非常に低い時刻 (3UTC 頃)と重なっていることが一因であると考えられるが、IMERG は頻度の低下にも関わらず 過小評価とはなっていないため、使用できた衛星の結果が過小評価気味であった可能性がある。 平均値と季節変動を取り除かないと、平均値の違いによりプロダクト毎のばらつきが大きかっ たが、取り除くと、かなり似たような年々変動を示していることがわかった。ただし、EA 領域 において、GSMaP は 2014 年夏~2016 年春のエルニーニョ期間に、他のプロダクトに比べ、より 大きく増加している様子が見える (MVK がより大きい)。

いくつかの NINO 領域の海表面温度や、その anomaly と、降水量の相関を調べたところ、NINO3 領域の anomaly との相関が一番高かった。ほとんどのプロダクトが、同じように、WE 領域で負 の、EA 領域で正の相関を示し、相関係数は、それぞれ、-0.6 ~ -0.7、0.7 ~ 0.8 と、各プロ ダクトが同じようにENSO の特徴を示していた。そこで、これらのプロダクトから導出するENSO の共通な特徴は本物の可能性が高いと考えられる。

利用者の利便性のためデータセットを準備するにあたり分かった Quick Look の結果も示したい。

HIMAWARI-8 画像を用いた機械学習による

GPM コンステレーション衛星の輝度温度推定

武田拓巳¹, 端野典平²

(1: 高知工科大学工学研究科基盤工学専攻, 2:高知工科大学環境理工学群)

要旨

平成 30 年 7 月豪雨や令和元年台風 19 号等に伴う豪雨等,近年,豪雨による洪水や土砂崩れ等, 災害が多発している.このような豪雨の雨量推定や予測を改善するには,センサ特性の異なる人工 衛星を複合利用することが有効である. 雲内部の氷鉛直積算量に感度のあるマイクロ波観測は多 数の極軌道衛星により実施され,降水プロダクトが開発・提供されている.近年の静止気象衛星 「ひまわり8号」の運用開始により,より詳細に雲の時間発展を観測することができるようにな った.本研究の目的として,雲頂付近の情報をもつ赤外の輝度温度と,雲頂内部の情報を持つマイ クロ波輝度温度の関係性を調査し,赤外の観測からマイクロ波輝度温度を推定するモデルを構築 することとする.

本研究では、機械学習の1つである教師あり学習手法を用いる.入力データとしてひまわり8号の 近赤外の波長帯における輝度温度,教師データとして全球降水観測計画(GPM)で運用されている GPM コンステレーション衛星の89 GHz 付近の周波数で観測された輝度温度を使用する.モデルに使用す るデータの領域は、四国地方とその周囲の海洋である.入力に用いる波長の選定や領域サイズの 比較を行い、推定精度の向上を目指す.

まず、マイクロ波の高輝度温度のみを観測しているスナップショットを削除し、入力データを作成 した.このモデルでは、マイクロ波の観測範囲に対応する緯度経度 0.06°四方のデータで十分とい う結果が得られた.加えて、Hirose et al. 2019の手法を参考に変数の重要度を調査した結果、 時刻やセンサ ID、B07、ΔB15-B07 などの変数の寄与度が大きいことが分かった.しかしながらこ のモデルは主に晴天時の低輝度温度パターンを学習していることがわかった.



入力に使用したモデルの実測値(縦軸)と

次に、マイクロ波の高輝度温度の情報 を学習に加え、モデルを構築した.その結 果、台風の事例に観測された低輝度温度 を精度よく推定することが出来た. また 入力データ(ひまわり)の領域サイズはマ イクロ波観測領域よりも広い 0.30°四方 が最適なことがわかった.また, 説明変 数としてセンサ IDや陸・海域フラッグに 加え、ΔB15-B07、ΔB15-B08、ΔB15-B10 など、雲頂と下層雲・水蒸気との差が重 要という結果が得られた.

ひまわり降水推定プロダクトの検証

豊嶋紘一¹, 広瀬民志², 樋口篤志¹

(1:千葉大/CEReS, 2:JAXA/EORC)

要旨

全球衛星降水プロダクトは、極端降水の発生頻度の移り変わりなど気候研究のみならず、地上 降雨観測に制限のある東南アジア域における水害対策での活躍が期待されるなど、様々な応用分 野で重要な役割を担うことが想定され高精度化が期待される。全球衛星降水プロダクトは複数の 衛星搭載マイクロ波放射計(PMW)観測の隙間を静止気象衛星搭載の赤外(IR)放射計による高頻 度観測で補間し、全球 1 時間毎の高頻度降水観測を可能にしているが、従来の静止衛星では利用 可能な IR バンドが 2^{~3} バンドと限られていたため、これまで単一の IR バンドから得られる雲頂高 度情報が活用されてきた。2015年に運用開始された第三世代静止気象衛星ひまわり8号には、9 つの IR 観測バンドが利用可能となり、以降同様の IR マルチバンド観測を行う衛星として 2016 年 GOES-R シリーズ、2021年の第三世代 METEOSAT と続き、静止気象衛星の IR マルチバンド観測が全 球で活用できる環境が整ってきている。そこでひまわり 8 号の IR マルチバンド観測を活用し、 Hirose et al. (2019)で示された手法である、GPM / KuPRの同時観測に対して Random Forest 機 械学習法を適用した高精度なひまわり8号降雨推定アルゴリズム (Himawari Rainfall Analysis: HRA)の RF 機械学習法の改良を行った。機械学習を用いた降水推定プロダクトは発生頻度の低い 極端降水を過小評価する傾向が報告されており(Kühnlein et al. 2014)、これは機械学習の内部 パラメータが RMSE 等の統計誤差を最小にするよう調整されているためである。そのため機械学習 降水推定プロダクトを適切に精度評価するためには、降水強度で区分した詳細な検証が必要であ る。そこでひまわり8号全球観測モード(FD)での2019年1年間のHRA再解析プロダクトを作成 し、代表的な衛星全球降水プロダクトである GSMaP の PMW 観測を比較検証用の真値とし、観測値の 降水強度分布が HRA で適切に再現されているのか検証を行った。

はじめに GSMaP の PMW 観測を真値として HRA と比較した。PMW との同時観測域に限定して 2018 年8月の1ヶ月で平均した帯状平均降水量を調べると、海上、陸上とも PMW の観測値とよく一致し ている一方、PMW と HRA の降雨強度ヒストグラムを調べると分布が異なっている。PMW と比較する と HRA は 0.4 mm/h 以下と 5.0 mm/h 以上の雨の観測数が非常に少なく、一方で 0.4 から 3.0 mm/h 程度の弱い雨の頻度が過大となっている。つまり降雨強度 0.4 mm/h 以下と 5.0 mm/h 以上の雨の観 測数の不足分を 0.4 から 3.0mm/h の雨の過大な観測数で補っている。降雨強度分布は PMW とのズレ が大きく不自然な分布となっており、強い雨に対する過小評価傾向は水災害対策への活用には問 題である。そこで極端降雨の過小評価傾向を改善するために、Hirose et al. (2021)で用いた手法 を HRA 降水強度 PDF に適用し、GSMaP の PMW 観測から得られた PDF に一致するように補正を試みた 結果、 陸域など一部地域では RMSE の悪化が見られたが、HRA は PMW より広い雨域推定を行ってお り、より広い面積に対して同じ降雨強度 PDF を適用したことによるものであった。補正前に同者 の降雨標本数を一致させることで補正後の降雨強度も PMW と良い一致を示した。

VIIRS を基準として放射計算を用いたひまわり8号の代替え校正手法の開発

田中秀昂¹、奥山新¹、吉崎徳人¹

(1:気象庁)

要旨

気象衛星センターでは、静止気象衛星「ひまわり」の観測値の品質管理のため、定常的に観 測値の校正、評価を行っている。本発表では、放射伝達計算を用いた、ひまわり 8 号・9 号の 観測値の評価手法の検討状況を紹介する。

近年の気象衛星観測の充実は著しく、従来よりも時間・空間・波長分解能および観測精度が 改良された観測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も観測値が利用されるようになり、当センターを含め各 国の気象衛星運用機関でも種々のプロダクトが作成されている。しかし、世界各国が運用して いる気象衛星に搭載されている観測機器の性質は必ずしも一様ではなく、気候モデルや長期解 析に利用するためには、世界中の複数の気象衛星の観測値を一つの均質なデータセットにまと める必要がある。

世界気象機関(WMO)等の傘下に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、世界中の衛星運用機関が集い、不確かさが小さく且つ衛星 間で一貫した放射量の校正、評価手法の開発が議論されている。同枠組み内では、可視近赤外 バンドを評価する際の基準となるセンサーとして、長年 NASA の運用する Aqua/MODIS が利用 されてきた。しかし、Aqua は打ち上げから約 20 年が経過し、センサーの感度劣化が懸念され るため、近年、Aqua/MODIS に代わる基準センサーとして、NOAA20/VIIRS または S-NPP/VIIRS を利用することが提唱されている。

当センターでは、可視近赤外バンドの評価手法として、放射伝達モデル RSTAR を用いた RSTAR 代替校正と呼ばれる手法を採っている。本手法では、Aqua/MODIS の観測値から得られ た物理要素を入力値として、ひまわり 8 号の観測値をシミュレーションし、得られた計算値と 実際に観測された観測値を比較することで観測値の評価を行う。本研究では、Aqua/MODIS の 代わりに S-NPP/VIIRS を用いた RSTAR 代替校正の開発を行った。観測データの特性を踏まえ て入力する物理要素の値の品質確認をより厳格行うことにより、従来の Aqua/MODIS を用い た評価よりも同程度以上の精度でひまわり 8 号の観測値を評価することを目指し、新たな入力 値の選定方法を提案した。

ひまわり全天候赤外輝度温度データ同化に向けた、シミュレーションの検証

岡本幸三¹,林昌宏¹,端野典平²,中川雅之¹,奥山新³

(1:気象庁気象研, 2:高知工科大, 3:気象庁衛星センター)

要旨

衛星が観測する赤外輝度温度は、数値予報データ同化において大きなインパクトを持つ。現 在、世界の現業・研究機関において、赤外輝度温度の利用は晴天域での利用が主であるが、雲 域も含む全天候域での有効な活用に向けた研究が盛んに進められている。全天候域輝度温度

(all-sky radiance: ASR)の同化のためには、同化処理の開発に加え、予報モデルおよび放射 伝達モデルを用いて計算されるシミュレーションが、観測値をどの程度正確に再現できるかを 知ることが重要となる。我々は、気象庁全球データ同化システムを用いたひまわり 8 号の赤外 バンドの ASR 同化に向けて、気象庁全球モデル(GSM)と放射伝達モデル(RTTOV)が ASR をど の程度再現しているか、さらに観測とシミュレーションの間の系統誤差の要因についても調査 した。

2018 年 8 月の一か月分の GSM 出力から、RTTOV を使ってひまわり水蒸気 3 バンドと窓バンド の ASR を計算し、観測値と比較した。シミュレーション結果は、主に負バイアス(観測よりも 輝度温度が過大)でそれが特に低温域で顕著であった。また薄い氷雲が主体となる比較的温度 が高い雲域では正バイアス(観測よりも輝度温度が過少)を示した。これらのバイアスの要因 について調べるため、観測の校正精度、独立した放射伝達モデル(Joint-Simulator)や氷雲プ ロファイル(DARDAR)を用いた時のバイアスを調査した。その結果、負バイアスは GSM の雲が 過少であること、正バイアスは RTTOV(と Joint-Simulator)の雲氷に対する雲吸収効果が過大 であることが主な要因であることが分かった。モデルの雲過少については、熱帯域における雲 量の時間変化も調査した。観測では夕方に上層雲の広がりが見られるが、シミュレーション結 果からはそのシグナルが弱いことが分かった。

さらに本調査から、モデルは厚い氷雲の再現性が特に悪いことや、地表面の影響を強く受け る場合も、再現性が悪いことが判明した。また、雲の効果に応じて、観測とシミュレーション の差の分散値が単調増加することを確認した。これらの結果に基づき、モデルの再現性が特に 悪い条件のデータを除く品質管理や、雲の効果に応じて観測誤差値を増大させる動的観測誤差 設定を開発し、データ同化システムに導入した。さらにモデルの雲過少については、雲過程を 改変し降水や雪への変換を抑制することによって雲氷量を増加させることにより、ASR の再現 性がどのように変わるかも調査している。このように、ASR 同化に向けて、同化開発のみなら ず、放射伝達モデルやモデルの検証・改良も進めている。

NICAM-LETKF を用いた全球天気予測システムの開発について

Ying-Wen Chen¹, 寺崎康児², 小槻峻司³, 佐藤正樹¹, 中野満寿男⁴,

三好建正², 久保田拓志⁵, 金丸佳矢⁶

(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:海洋開発研究機構,5:宇宙航空研究開発機構,6:情報通信研究機構)

要旨

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 面体格子非靜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。NEXRA の 5 日予測は NICAM-LETKF の 100 メンバーによる解析値の平均値を大気 の初期値を使用した。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 NCEP FNL の解析 値を使用し、計算開始時刻の値を固定している。NICAM-LETKF の同化プロセスでは、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)を 取り入れている。予測した気象情報は空間解像度を約 112 km で「世界の気象リアルタイム (https://www.eorc.jaxa.jp/theme/NEXRA/index_j.htm)」 にて公開されている。

発表では、これまでのNEXRA 開発及び運用状況から、今後リニューアルするNEXRA の開発状況に ついて紹介する。同時に、NEXRA を利用した 2019 年の 8 月広島呉市に上陸した台風 10 号をターゲ ットとしたアンサンブル予測実験から見られた台風 10 号の進路予測と太平洋高気圧の関係につい て紹介する。

GPM DPR データ同化による NICAM 雲微物理パラメータ推定

小槻峻司^{1,2}, 寺崎康児¹, 佐藤正樹³, 三好建正¹

(1:理化学研究所・計算科学, 2:千葉大学・環境リモセン, 3:東京大学・大気海洋研)

要旨

本研究の目的は、GPM 衛星による降水観測データを利用し、数値天気予報に改善をもたらすことである。観測値を同化して数値天気予報を改善する一般的な方法は、モデル状態変数の推定であ

る。Kotsuki et al. (2017, JGR) は、全球降水マップ Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP)を全球大気データ同化システム NICAM-LETKF (Terasaki et al. 2015, SOLA) に同化し、衛星観測降水量を用いた数値予報精度の改善に成功した。また、Kotsuki et al. (2018, JGR) はアンサンブルデータ同化手法を応用したモデルパラメータ推定により大規模凝結スキーム のパラメータを推定し、NICAM の降水予報を改善した。本研究はこれらの既往研究を発展させ、GPM 衛星搭載二周波降水レーダ DPR の反射強度観測を有効利用するデータ同化手法を開発する。

GPM DPR の直接同化のために、データ同化に用いる NICAM の解像度を Glevel-6 (水平 112km 解像 度)から Glevel-8(水平 28km 解像度)に上げると共に、大規模凝結スキームと積雲対流パラメタリ ゼーションの代わりに雲微物理を陽に解くモデル設定とした。雲微物理は、6 つの水物質を扱う 1 モーメント・バルクスキームを用いた(Tomita 2008, JMSJ; Roh and Satoh 2014, JAS)。GPM の 2 つの降水レーダ KuPR と KaPR に相当する第一推定値を得るために、観測演算子として Joint Simulator (Hashino et al. 2013, JGR)を NICAM-LETKF に実装した。GPM DPR 観測は水平約 5km 解 像度だが、一般にモデルは格子間隔の数倍程度の現象を表現するため、NICAM の 3×3 格子毎 (84km×84km に相当)に観測データを集約し解像度を落として同化した。これは、高空間解像度観 測データの superobservation と呼ばれる事前処理にあたる。GPM DPR 以外の観測として、従来型 観測データ PREPBUFR の他、衛星による AMSU-A、GSMaP_NRT を用いた。

テスト計算を実施し、まず1時刻のGPM DPRのKuPR及びKaPR観測を同化したところ、レーダー 反射強度の空間分布・鉛直分布共に、同化により解析値が観測値に近づく良好な結果を得た。そ の上でGPM DPRの同化サイクル実験を実施したが、望ましい結果は得られなかった。降水と関連性 の高い水蒸気混合比に改善傾向が見られる一方で、中期天気予報に重要な気温場は改悪傾向がみ られた。大きな理由の1つとして、GPM DPRのカバレッジが疎であることが考えられる。GPMの再 帰頻度は1-2日に一度であり、同じ雲を連続して観測できない。

そこで、GPM DPR 観測データ同化の有効な方法として、状態推定ではなくパラメータ最適化に取り組んだ。具体的には、レーダー反射強度に関連するモデルパラメータとして、雲微物理スキームの、雪の終端速度をコントロールするパラメータ(以下、Cs)を選択した。GPM DPR および NICAM Joint Simulator から計算されるレーダー反射強度と高度のジョイントヒストグラム CFAD を用いて、データ同化により Cs を推定した。これにより、データ同化システムには下記の変化が 見られた。

・ジョイントヒストグラム CFAD で見た、GPM DPR に対するバイアスの緩和

・ERA Interim 再解析に対する、東西風や南北風などの大気循環の改善。対流圏下層(< 400hPa)の気温場・水蒸気場の改善。ただし主に熱帯の対流圏上層(> 400hPa)の気温場は改悪傾向。

・CERES 放射プロダクトに対する、大気上端における上向き長波・短波放射バイアスの改善

・GSMaP_NRT に対する、平均二乗偏差やスレットスコアなど、降水予測スコアの改善 研究会では、これまでの成果を報告すると共に、最新の研究結果を報告する。

GPM 衛星を用いた雲物理スキームの検証

幾田泰酵¹. 佐藤正樹². 沢田雅洋³. 草開浩³. 久保田拓志⁴

(1:気象研究所, 2:東京大学, 3:気象庁, 4:JAXA)

要旨

全球降水計画(GPM)主衛星に搭載されている GPM マイクロ波イメージャ(GMI)と二周波 降水レーダ(DPR)を用いて数値予報モデルの検証を行った。検証対象とした数値予報モデル は、気象庁メソモデル(MSM)として現業運用されている気象庁非静力学モデル asuca である。 asuca は、雲物理スキームとしてシングルモーメントバルクスキームを採用しており、雲水、雨、 雲氷、雪、霰の混合比を予測している。まず、氷雲の水平分布を検証するため GMIの輝度温度 のシミュレーションを行った。輝度温度のシミュレーションには、欧州気象衛星開発機構の散 乱を含む高速放射伝達モデル(RTTOV-SCATT)を利用した。RTTOV-SCATT は、MSM の雲物 理過程で用いている水物質や粒径分布を扱えるように拡張している。次に降水の鉛直分布を検 証するため、DPR のシミュレーションを行った。DPR のシミュレーションには、データ同化の 観測演算子として開発を進めている統合型シミュレーター(I-simulator)を用いた。I-simulator の散乱計算は、雲水、雨、雲氷、雪、霰粒子を対象としている。氷と雪は非球形粒子を仮定し、 雲水、雨、霰は球形粒子を仮定した。非球形粒子の反射因子は、SCATDB(Liu 2008)を利用し、 球形粒子の反射因子は Mie 散乱により計算した。再現対象の DPR プロダクトは、KuPR(KaPR) の減衰補正無し反射因子 Zm(Ku)(Zm(Ka))及び二周波レーダ反射因子差 DFRm である。

GMI 観測とシミュレーションを比較すると、89GHz 帯の輝度温度では氷雲による低輝度温度 領域がモデルで再現できていないこと、Zm 観測とシミュレーションを比較すると、融解層より 上層と対流圏下層で反射因子が小さいことが分かった。また、観測された DFRm とシミュレー ションの比較から、固体降水域の誤差の原因は雪の予測が過少であることと霰の予測が過剰で あることが分かった。これらの結果を基に雲物理スキームの問題点を抽出し、シングルカラム モデルを用いてスキームの修正を行った。スキーム修正後の予測では、GMI と DPR の両者で観 測とシミュレーションの差が縮小した。また、降水予測や大気のプロファイルの予測も改善し た。この成果は、MSM に導入され 2020 年 3 月 25 日から現業運用されている。講演では、スキ ームの改良と予測へのインパクトの詳細を紹介したい。

Evaluations of NICAM over the Kanto area using intensive

observations and the Joint simulator

Woosub Roh¹, Masaki Satoh¹, Naomi Kuba¹, Shuhei Matsugishi¹

(1:AORI, the University of Tokyo)

Abstract

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. One of the methods is a radiance-based evaluation using satellite data and a satellite simulator (here Joint simulator, Hashino et al. 2013), which avoids making different settings of the microphysics between retrieval algorithms and NICAM.

The satellite data with active sensors has a limitation to observe the specific case of cloud and precipitation systems. And it is needed to validate satellite observations using in-situ observation. There are intensive observation stations over the Tokyo area, whose domain size is 100 km×100 km. For examples, the High Spectral Resolution Lidar (HSRL, 355 nm), Doppler lidar, and the Cloud Profiling Radar (CPR, 94 GHz) are located in Tokyo. The WInd profiler Network and Data Acquisition System (WINDAS) data is available in Kawaguchiko, Mito, and Kumagaya. 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. In this study, we simulated the three convective precipitation cases in September 2019 like a tropical cyclone and a frontal system. We evaluate the simulation results using the Joint simulator and discussed how to improve the microphysics using these observation data.

GPM-DPR データを用いた雹の全球3次元分布の検出

清木達也

(1:海洋研究開発機構)

要旨

前回の発表では GPM-DPR の Ku 帯のレーダー反射因子 ZKu と 2 周波エコー比 DFR (=ZKu-ZKa)を利 用する事で氷粒子のバルク密度を推定し、特に高密度の氷粒子である雹を検出しようという予備 解析結果を紹介した。本研究では、雹粒子が雨との衝突によって急速に成長する事に着目し、二 粒子衝突モデルによって雹の成長を特徴づけられると仮定した。そして、Mie 散乱理論に基づき、 この雲微物理的特徴が Zku と DFR の信号にどのように現れるのかを予測した。

まず初めに、降雹の一事例を基に ZKu と DFR の散布図の特徴を抽出したところ、二粒子衝突モデ ルに則った成長曲線は雹の分布をよく捉えられることが分かった。気温に依存して雹の密度が変 化する事から、本研究では五つの温度帯で雹を検出するための ZKu と DFR の閾値を定義した。この 閾値を用いて NEXRAD と GPM-DPR が 3 分以内にマッチングする 74 の雹事例を抽出し、雹の検出精度 を検証した。この検証を通じて、本研究では雹の誤検出を低減する融解雪除去フィルター及び雨 除去フィルターを提案した。これら雹閾値と誤検出除去フィルターを準全球観測データに適用し たところ、雹は陸上と海上の収束帯に広く存在することが分かった。特に海洋上の雹は凍結高度 付近に薄く広く存在しており、その存在は従来の地上レーダー網では見逃されていたことが示唆 された。

以上の研究成果は JMSJ の GPM-DPR 特集号に受理されており、オンラインで公開中である (Seiki 2021, https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-018)。また、検証に利用した 74 の雹事例は Supplementary file にまとめているので、極端現象の解析に取り組みたい方に活用して頂きたい。

GPM DPR による冬季日本域の降水推定精度

黒沢裕也¹. 広瀬正史¹

(1: 名城大学)

要旨

本研究は、積雪寒冷地域が広く分布する冬季日本域を対象として、全球降水観測計画(GPM) 主衛星搭載二周波降水レーダ(DPR)の降水推定精度について調査を実施した.DPR の二周波比、 0℃高度情報、ERA5 の気温と相対湿度の情報を用いて雨雪判別を行い、2014/12-2017/2 の冬季 における AMeDAS の観測結果と DPR 06A の降雨・降雪の推定値を比較した.マッチアップ解析で は、AMeDAS10 分値に対応する時間内に DPR のフットプリントの中心が半径 2km 以内にあるデー タを選定した.

気温-相対湿度の関係式を用いると、冬季において雪と判別される環境は、北海道で 9 割を 超える.本州内陸部では 7-8 割程度であり、日本海側沿岸部では 5-6 割程度を占める.太平洋 側陸域や北緯 38-40 度付近の海上で、気温 1.5 度を閾値とした場合よりも 1-2 割ほど頻度が高 い. AMeDAS の降水が雪と判別される割合は、相対湿度を考慮することで日本海側沿岸部に沿っ て低下しており、地域ごとの雨雪分類の湿度依存性についてさらなる精査が必要と思われるが、 本研究では単一の気温-相対湿度の関係式を用いて分類する.

DPR の二周波比による雨雪判別結果は、気温等による分類に比べて、北緯 40 度以南の日本海 側沿岸部や太平洋上の広い範囲で降雪サンプルを多く検出している.地上近傍における融解に 特徴がある海域がデータ間の差異をもたらしやすいと考えられる.DPR と AMeDAS による降雪分 布は共に日本海側の降雪の集中を捉えているが、DPR のサンプリング誤差の影響が顕著であり、 地域差も見られる.例えば、DPR は新潟北部、AMeDAS は新潟南部で降雪量の極大が現れている. DPR の二周波比によって分類された降雪は新潟北部などで AMeDAS に対して過大評価が見られる が、降雨分布は全体的に過小評価傾向である.

気温-相対湿度で雨雪を分類した DPR と AMeDAS の同時観測のデータは 1,286 地点について得 られたが、そのうち DPR (AMeDAS)の降雪が 1 回以上観測された地域は 35% (20%)の地域に限ら れる. さらにその半数以上の地点で2回以上の降雪サンプルが得られている. AMeDAS または DPR で降雨・降雪が観測された地域に絞ると、DPR の降雨量は AMeDAS に対して-30%、降雪量は-40% の過小評価である. AMeDAS で降雨・降雪が検出された地域に限定すると、降雨と降雪の過小評 価はそれぞれ-45%、-66%となり、AMeDAS で観測されていない降水を DPR が捉える事例が見られ る. -80%を超える過小評価の地域は低温の内陸の山地や北海道など、乾き雪地域とある程度一 致している. 日中 (夜間)の降雪の過小評価は-46% (-37%)である. 降雪の検出率は、雪質など の環境変化に依存する可能性や地形性降水の構造に起因する問題があり、一律ではないと言え る.

土壌水分効果を考慮した GPM/DPR 表面参照法の補正

瀬戸心太1

(1:長崎大学 大学院工学研究科)

要旨

Seto and Iguchi (2007)は、TRMM/PR のプロダクトを解析し、実際の(降雨減衰の影響を受けて いない)地表面後方散乱断面積 de が、陸上において、降水時に高くなることを示した。これは、 降水による表層土壌水分量の一時的な増加によると考えられることから、土壌水分効果と呼ば れる。土壌水分効果を考慮しないと、SRT は PIA を過小評価することになる。PR 標準アルゴリ ズム(version7)では、陸上における SRT による PIA 推定値(PIA_{SRT})に、一律+0.5dB の補正値を加 えて、降水強度のリトリーバルを行っている。

本研究では、DPR を構成する 2 つのレーダ KuPR(13.6GHz)と KaPR(35.5GHz)について、土壌水 分効果の解析を行い、PIA_{SRT}の補正手法を開発した。さらに、補正手法を DPR 標準アルゴリズ ム(version 06A)に導入した場合の降水強度推定値の変化を示す。

無降水時の地表面後方散乱断面積の観測値 σ_m について、1°×1°格子・月・アングルビンごとに、 平均値を求める(σ_{NR} とする)。降水時の σ_m について、同じ格子・月・アングルビンの σ_{NR} から の偏差を $\Delta \sigma_m$ とする。 $\Delta \sigma_m$ と降水強度 *R* の関係を解析する。ここで、*R* は KuPR プロダクトの 地表面降水強度推定値とする。弱い雨では、KuPR の $\Delta \sigma_m$ は正の値を示すことが多い。また、*R* の増加に対して、KuPR の $\Delta \sigma_m$ は増加する。さらに雨が強くなると、降雨減衰の影響により、 $\Delta \sigma_m$ は減少し、負の値を示すようになる。降水時の σ_e を推定するために、Hitschfeld-Bordan 法 で求めた PIA(PIA_{HB})を用いて、 σ_m + PIA_{HB} = σ_e (HB)とする。 $\Delta \sigma_e$ (HB)は、正の値を示し、*R* の 増加に対して増加する。しかし、強い雨では、*R* の増加に対して、 $\Delta \sigma_e$ (HB)は減少し、負の値 となる。強い雨に対しては、HB 法は正しく働かないためと考えられる。一方、 σ_m + PIA_{SRT} = σ_e (SRT)とすると、 $\Delta \sigma_e$ (SRT)は、わずかに 0 を超えることが多く、*R* には明確に依存しない。 弱い雨では、 $\Delta \sigma_e$ (SRT) < $\Delta \sigma_e$ (HB)である。このことから、PIA_{SRT} の補正の必要性が確認される。 KaPR についても同様である。

センサ(KuPR または KaPR)、5°×5°格子、6 個のアングルビングループ(入射角が近い 8 または 9 のアングルビンを 1 つのグループとする)、9 つの降水強度カテゴリ(*R* を 2^k mm/h を境界にして 分ける ; $k=-1\sim6$)ごとに、 $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (HB) – $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (SRT)により補正量を求める。ただし、 $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (HB)が 最大となる降水強度カテゴリを求め、それより上の降水強度カテゴリでは、 $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (HB)の値を最 大値で置き換える。また、 $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (SRT)は*R* によらず平均値を求め、すべての降水強度カテゴリで $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (SRT)の値を平均値で置き換える。 $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (HB) < $\Delta\sigma_{e}^{0}$ (SRT)となる場合は、補正量 0 とする。 DPR 標準アルゴリズム(Version06A)の KuPR アルゴリズムおよび KaPR アルゴリズムに、補正を 導入する。1 回目のループでは PIA_{SRT}の補正を行わず、*R* を求める。2 回目のループでは、1 回 目に求めた *R*を用いて、PIA_{SRT}の補正量を決定し、*R*の最終推定値を求める。2016年6月の1か

月分のテストの結果、KuPR の inner swath において、陸上での降水強度が 18.3% 増加した。一方、KaPR では、陸上の降水強度が 15.1% 増加した。

DPR 降水判定改良を目的としたクラッター強度の推定

金丸佳矢¹,花土弘¹,中川勝広¹

(1:情報通信研究機構)

要旨

宇宙からの降水レーダー観測の場合、観測する降水エコーは非常に大きな強度をもつ地表面 エコーの近くに分布するため、地表面エコーが降水エコーの観測領域に混入する問題がある。 アンテナの放射パターンはサイドローブと呼ばれるアンテナの主ビームから離れた方向にも感 度をもち、サイドローブの寄与は主ビームとくらべて非常に小さいが、地表面がサイドローブ の方向に分布すると降水観測にとって無視できない地表面エコー(サイドローブクラッター)が 発生する(Hanado and Ihara, 1992)。全球降水観測(GPM)主衛星に搭載された二周波降水レーダ ー(DPR)はサイドローブクラッターの混入が降水検出に大きな影響を与えているため、DPR アル ゴリズムの処理内でサイドローブクラッターの大きさを推定しその寄与を除去している(Kubota et al., 2016)。しかしながら、現状のクラッター除去手法にはいつくかの課題がある。例えば、 現状の DPR 降水判定で見逃している降水エコーを検出するためには、サイドローブクラッター による降水誤判別を抑えつつ、弱い降水エコーの検出を改善しなければならない。現状のアル ゴリズムでは除去しきれない弱いサイドローブクラッターが残存するため、降水判定改良には クラッター強度の推定精度向上が欠かせない。また、現状のクラッター除去手法は同じ運用条 件ではクラッターの発生分布が変化しないことを仮定しているが、6年分のDPRデータ解析結果 からその仮定は成り立たないことが分かった。時間変化するクラッターの発生分布に対処する、 という長期間観測故の課題に直面するようになった。

これらの背景を踏まえ、本研究は DPR 降水判定改良に資するクラッター除去手法の高度化を 行った。まず、Kanemaru et al., (2020)の手法に基づいて DPR 観測データから詳細なクラッタ 一発生分布を作成した。クラッター分布は 6 年分の観測データから月ごとに作成し、クラッタ 一分布の時間変化に対応させた。瞬時のクラッター強度は作成したクラッター分布と瞬時の地 表面エコー強度、レーダーと地表面の幾何学的関係から求めることが出来て、その推定誤差も 考慮して DPR 観測データから除去させた。また、降水判定では推定したクラッター強度を判定 そのものに利用しつつ、クラッター強度推定が不十分な場合に備えて形状判断(クラッターを降 水として誤判別すると非自然的な空間分布になりやすいことを利用)による除外処理も追加させ た。

上述した処理を DPR 一周波アルゴリズムに実装させると、クラッターによる降水誤判別の軽 減と降水エコー検出の改善を両立できそうなことが分かった。また、クラッター強度がある程 度大きくなると、測定精度の制限を受けてクラッター除去に限界があることも分かった。 参考文献

Hanado and Ihara, 1992: doi: 10.1109/36.142922,

Kubota et al., 2016: doi: 10.1175/JTECH-D-15-0202.1

Kanemaru et al., 2020: doi: 10.1109/TGRS.2019.2963090

衛星搭載レーダを用いた沿岸域の降水分布の解析

青木俊輔¹,重尚一¹

(1:京都大学大学院理学研究科)

要旨

衛星搭載レーダは海陸を問わず均質な降水観測を行うことができるため,沿岸域の観測を行うのに適している.これまでに,熱帯降雨観測衛星(TRMM)搭載の降雨レーダ(PR)によって熱帯沿岸域での降水についての研究が進められ,海洋から内陸へと輸送される水蒸気のうちの多くが沿岸域で降水へと変換されていることが明らかとなった.TRMM PR では低緯度域の観測に限られるが,2014年打ち上げの全球降水観測計画(GPM)主衛星搭載二周波降水レーダ(DPR)Ku帯レーダ(KuPR)による観測データの蓄積により,高緯度沿岸域の降水分布も得ることが可能となった.

沿岸域の中でも地域や季節によって水蒸気の輸送量とその方向や降水が生じる要因は様々で ある.特に,沿岸地域には山岳地形が存在する場合が多く,下層風の向き・強さによって降水 分布が変化すると考えられる.そこで本研究では,沿岸地域での降水分布と下層風の関連つい て全球統一的な理解を得るために,TRMM PR による低緯度域の観測と GPM KuPR による高 緯度域の観測から得られた降水データを,「海岸線からの距離」および「陸方向の下層風速」 によって分類した.後者については,大気再解析データ ERA5 の 850hPa 水平風を利用して算 出した.

TRMM PR による熱帯域(緯度-22.5°-22.5°)の降水観測から,陸方向風速に伴う降水分布 の変化を見た.熱帯域で陸方向の風が強い場合は,モンスーン流により多量の水蒸気が継続的 に沿岸域へ向けて輸送される地域に該当した.これらの地域では,モンスーン流が海岸山脈に よる地形効果を受けることで,沿岸域にかけて日周期変動の小さい降水が多量にもたらされて いた.熱帯域で風が弱い場合には,海陸の加熱コントラストに起因する降水の日周期変動が卓 越していた.この場合,海陸ともに海岸線から離れる方向に降水域・無降水域が伝播するモー ドが顕著に確認された.

続いて、GPM KuPR を用いて中高緯度(緯度 22.5°-67°)の地域でも熱帯と同様の解析を行った.中高緯度域陸方向の風速が強い時に降水量が最も多い点は熱帯と同様であったが、弱風時にも降水の日周期変動が小さいという点で異なっていた.これは、高緯度域では地表への短波放射量が少ないことで、地表面加熱により駆動される降水の寄与が小さいためであると考えられる.また、陸方向風速が弱いときの降水量は小さく、風速が強くなるほど降水量が多くなることから、中高緯度沿岸域での降水分布は湿った気流が地形による力学的な強制を受けることにより起こるものが支配的であることが示唆された.

TRMM/GPM 長期降水レーダ情報を用いたアジアモンスーン地域の降水特性

山地萌果^{1,2},高橋洋²,松本淳²

(1: JAXA/EORC, 2: 東京都立大学)

要旨

降水は全球の水循環を考える上で非常に重要な要素の1つである。近年の気候変動によって 激甚化している洪水や干ばつなどの極端気象にも密接に関わっていることから、人間生活に大 きな影響を与える現象でもあり、降水量の分布のみならず、降水特性を理解する必要がある。 とりわけ日本を含むアジア域では、特徴的なモンスーンアジア気候が卓越している。これは、 季節によって生じる熱的な海陸コントラストにより形成されるもので、大規模に大気や水が循 環することで季節的に異なる降水をもたらしている。

本研究では、モンスーン期だけでなく、プレモンスーン期にも着目し、両者の降水特性を比 較することで、環境場の違いによってモンスーンアジア域における降水特性がどのように変化 しているかを調査することを目的とした。モンスーンアジア域の降水特性のさらなる理解に資 するとともに、衛星観測データを用いた観測的側面からの統計解析情報を提供することにより、 数値モデル改良にも貢献できると考えられる。

熱帯降雨観測衛星(Tropical Rainfall Measuring Mission; TRMM)に搭載された降雨レーダ (Precipitation Radar; PR) と全球降水観測(Global Precipitation Measurement; GPM)計 画主衛星に搭載された二周波降水レーダ(Dual-frequency Precipitation Radar; DPR)の1998 年から2019年までの長期降水レーダデータを用いて、降水量、降水強度、降水頂高度、平均雨 滴粒径、層状性比率、固体降水の割合およびTRMMに搭載された雷センサ(1998年²⁰¹⁵年)に よる発雷率を算出し、プレモンスーン期(4-5月)とモンスーン期(7-8月)それぞれの平均値 を比較した。インド亜大陸やインドシナ半島を中心とした陸域に着目すると、プレモンスーン 期は、降水頂高度が高く、上層に固体降水を伴っていてより発雷率も高い対流的な降水システ ムであることに対し、モンスーン期は降水量は多いが、降水頂高度はそれほど高くなく発雷率 や固体降水の存在確率もプレモンスーン期と比較して低かった。両者の降水システムの違いは 明瞭であり、上層の氷晶粒子や雷だけでなく、地表付近の雨滴粒径の大きさの違いにもこの特 徴は表れていた。

DPR プロダクツを利用した冬季温帯低気圧の構造解析

上野健一¹、澤田壮弘²

(1:筑波大学・生命環境系, 2:筑波大学・生命環境科学研究科卒)

冬季、本州内陸に多降水をもたらす温帯低気圧は閉塞過程の段階であることが多く[1]、GPM-DPR プロダクツにより弧状列島スケールで低気圧を構成する気流系とメソシステムの関係を明 らかにできる可能性がある[2]。一方で、GSMaP-MVK は温帯低気圧通過時に降水量を過大評価す る傾向が指摘されており[3]、PMW アルゴリズムへの影響を降水系の立体構造の観点で考察する 必要がある。本研究では、GPM 主衛星が観測を開始した 2014 年以降の寒候期(11-4月)に全国 137 地点の気象官署の時間降水量を雨量計の捕捉率で補正して各地点の 2 日積算降水量を算出 し、降水量順に並び替えて上位 50 事例の多降水イベントを抽出した。これらのイベントで GPM-DPR が降水域を観測した 33 事例に関して、DPR が検出した特異的なメソ降水システム近傍の気 流系を ERA5 再解析データ上で流跡線解析により規定し、層状性・対流性降水の形成要因を考察 した。さらに、潜熱加熱域の形成と低気圧循環の間接的強化に関する考察を行った[4]。

[1] 安藤直貴,上野健一,2015: 温帯低気圧による本州中部内陸域での多降水・多降雪の発現 傾向. *雪氷*,**77**,397-410.

[2] Sawada et al., 2019: Continuous heavy precipitation with a winter occluding cyclone captured by GPM satellite in central Japan. *Tsukuba Geoenvitonmental Sciences*, **15**, 1-15.

[3] 上野健一ほか, 2019:暖候期の中部山岳における総観規模擾乱に応じた降水分布と衛星降水量の比較,地学雑誌, 129, 31-47.

[4] Sawada M. and K. Ueno, 2020: Heavy winter precipitation events with extratropical cyclone diagnosed by GPM products and trajectory analysis. J. Meteor. Soc. Japan, 99, https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-024.R1-R8.

衛星降水レーダを用いた熱帯と中・高緯度における

夏季降水特性の統計的解析

濱田篤¹,川端玲衣²

(1:富山大学学術研究部, 2:富山大学理学部)

要旨

全球降水観測(Global Precipitation Measurement; GPM)計画主衛星に搭載された二周波降水 レーダ(dual-frequency precipitation radar; DPR)による降水3次元観測データを用いて,熱 帯から高緯度に渡る降水システムの降水特性を統計的に解析した。本研究の主眼は,様々な種類 の降水システムの違いを全球で統一的に記述する手法を提案することにある。

GPM/DPRのKu帯観測データに基づく物理量プロダクト2AKuのプロダクトバージョン06Aを用いた。解析領域は65S-65Nの夏季陸上とし、2015-2020年の7月(北半球)と1月(南半球)のデータを用いた。熱帯と中・高緯度における降水特性を比較するため、特に45N-65Nと20S-0Sの2領域を重点的に調べた。GPM主衛星の観測軌道に沿って、長さ20ピクセル×幅21ピクセル(約100km四方)の矩形領域を設定し、それぞれの矩形領域において降水面積・総降水量・平均降水量高度・層状性降水面積比などの統計量を求めた。

さまざまな統計量およびそれらの組み合わせを用いて熱帯と中・高緯度の降水特性を比較した 結果,層状性降水面積比(stratiform area fraction; SAF)と層状性降水効率(stratiform precipitation efficiency; SPE := 層状性と対流性の平均降水強度比)の2つの統計量が,降水 システムの違いを地域によらず効果的に記述できることを見出した。メソ対流系などの組織化し た降水システムは幅広い SAF をとる一方で SPE は低くなる傾向を示し,温帯低気圧に関係するよ うな広域に拡がる降水域は SAF, SPE ともに高い値を示す傾向にある。これらの結果は,降水シス テムの環境場や降水生成過程の違いが,特に層状性降水の違いによく現れることを示している。

北半球中緯度温帯低気圧の降水特性と潜熱加熱の統計的調査

辻宏樹¹, 高薮縁¹, 栃本英伍²

(1:東京大学大気海洋研究所, 2:防災科学技術研究所)

要旨

温帯低気圧に伴う降水は中緯度域における降水の大部分を占めており、水循環に大きな影響 を与える。また、降水に伴う非断熱加熱は渦位生成を通して低気圧の発達に影響を与えること も知られている。低気圧における降水や加熱の重要性は多くの研究で指摘されているが、特定 事例の観測結果や数値モデルに基づく議論が多数であり、観測データに基づく統計的で定量的 な議論はほとんどなされていない。特に加熱に関して観測データに基づく解析はこれまでなさ れていない。本研究では GPM 主衛星が搭載する二周波降水レーダ観測データを用いて、2014 年 から 2020 年における約 900 の北半球冬季温帯低気圧の加熱と降水の平均的構造やその時間変化 を統計的に解析した。

低気圧域(低気圧中心から 1000 km 四方の領域)内で平均した加熱や降水は低気圧が最低中心 気圧を記録する時刻の 24 時間前に最大値を持つ。加熱の鉛直プロファイルは、高度 3.5 km に ピークを持ち、高度 750 m より下層で負となる。加熱や降水の水平分布のコンポジット図から、 温暖前線や閉塞前線と関係する進行方向前面北側における降水/加熱のピーク(以降、温暖前線 域の加熱/降水とする)に加えて、低気圧中心南側に寒冷前線に伴う降水/加熱のピーク(以降、 寒冷前線域の加熱/降水とする)が確認された。寒冷前線域の降水はこれまでの北半球冬季温帯 低気圧を統計的に調査した先行研究では確認されていなかった。温暖前線域の降水の大部分は 10 mm/h 未満の強さの弱い層状性降水によって構成されている一方、寒冷前線域の降水は 10 mm/h を超える強い対流性降水で特徴づけられていることが明らかになった。二つの前線域のコ ントラストは層状性降水比によって明瞭になる。

急発達する低気圧と急発達しない低気圧に分けた解析も行った。急発達する低気圧では最低 中心気圧時刻の24時間前のピークが顕著である一方、急発達しない低気圧ではこのピークが不 明瞭である。最低中心気圧となる時刻より前での加熱や降水の値は、急発達低気圧で急発達し ない低気圧の2倍程度大きい。これは、低気圧の発達に対する降水や潜熱加熱の重要性を示唆 している。急発達低気圧では降水分布において前線構造が明瞭に確認できるが、急発達低気圧 では不明瞭であった。一方、層状性降水比を用いると、急発達しない低気圧でも二つの前線域 を識別できることも明らかになった。

マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダデータに基づく

孤立積乱雲の内部構造の時間変化

川口航平¹, 高橋暢宏², 纐纈丈晴²

(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、ゲリラ豪雨などの局所的な気象災害の増加が社会的問題となってきている.このような 豪雨は積乱雲からもたらされている.1 つの積乱雲はおよそ 30~60 分の寿命を持ち, そのライフ サイクルは発達期,成熟期,衰退期の3つに分類でき,それぞれで異なる特徴を持つ.さらに, 水平スケールも数km程度であることから、時間的・空間的に高い分解能を持つ地上レーダが利用 されている. フェーズドアレイ気象レーダ(PAWR: Phased Array Weather Radar)はアレイアンテナ を採用し,仰角方向のスキャンを電子的に行っているため,方位角方向に回転するだけで 30 秒毎 に立体的な観測が可能である.さらに、マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ(MP-PAWR: Multi-Parameter Phased Array Weather Radar)は PAWR の高速立体観測に加え,水平・垂直 偏波を用いた二重偏波観測が可能であるため、降水粒子の形状なども推定することができる。そ のため、従来のレーダでは捉えることのできなかった積乱雲の内部構造の時間変化がより詳細に 明らかになることが期待される.本研究では,MP-PAWRのデータを利用し,積乱雲の構造的特徴及 び対流システムの素過程の理解を目的とし、1つのケーススタディとして孤立積乱雲を解析した. 対象とした事例は2018年8月2日15時頃,東京都港区付近で観測された孤立積乱雲である.当日 は風が弱く、東京東部で単一セルのエコーが数個発生していた. レーダ反射因子が 30dBZ 以上の 領域を降水コアと定義し解析した結果、1つのコアが検出された。地上降水とコアに着目すると、 コアが地上付近に落下してきたのとほぼ同時に地上降水が最大となっていた. さらに, MP-PAWR 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を行った結果、コアを構成 する粒子は発生初期では霰が支配的であったが、コアの落下に伴い雨に変化していく様子が確認 された. 霰と雨の境界にρ_{HV}の低い領域が確認され, 霰の融解が示唆される. また, PAWR と MP-PAWR によるデュアルドップラー解析を行うことで3次元風速場を推定し、上昇流の観点からライ フサイクルの分類を行った.これにより積乱雲のライフサイクルと雲物理量との対応を明らかに することができた.

マルチパラメータ気象レーダデータを用いて解析した

雷をもたらす対流雲の内部構造の特徴:

2018 年 8 月 27 日の関東地方における観測事例

岩田和樹¹,纐纈丈晴²,高橋暢宏²

(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

雷は人体への被害のみでなく、電子機器への影響も大きい. 近年の IT 化に伴う通信機器や再 生可能エネルギー設備等の増加により、雷被害は今後も増加すると考えられ、現在も重要な研 究テーマである. 雷とは, 雲内に生じた正負の電荷を解消して放電する現象である. 現在, 電 荷分離のメカニズムは Takahashi (1978)で提唱された着氷電荷分離機構説が最も有力とされる. 雷雲内で霰と氷晶が衝突する際に、およそ-10℃高度以下で霰は正、氷晶は負に、-10℃高度以 上では霰は負、氷晶は正に帯電し、これらが質量差により上昇流で振り分けられ、夏季雷では 正・負・正の三極構造を示す. 先行研究において, 発雷現象を粒子タイプや上昇流と関係づけ る研究が進む中で、変化の激しい対流雲の立体的かつ高時間分解能の情報が必要となるため、 30 秒で高速立体観測できるマルチパラメータフェーズドアレイ気象レーダ (MP-PAWR) が有効で あると考えた、そこで本研究では、2018年8月27日に関東地方で発生した雷雲を解析対象とし た. 解析では従来型のマルチパラメータ気象レーダである XRAIN のデータも用いた. 本事例で 発雷数が最も多い時間帯における雷雲の内部構造の特徴を MP-PAWR 及び XRAIN のデータ解析か ら明らかにすることを目的とした. XRAIN データを用いて粒子判別を行ったところ, 雲放電数 が多い時, 乾霰と氷晶が支配的であった. 乾霰が存在するため, 高高度まで負電荷が存在して いる可能性があり、強い上昇流が存在していたことが示唆される. MP-PAWR データを用いて、 レーダエコーの立体構造の変化を高時間分解能で見ると、発雷数が変化する数分前にエコーは 特徴的な変化を示した。まず、エコー頂の変化に注目すると、高高度までエコーが発達する時、 電荷分離が盛んに行われ、正に帯電した氷晶が供給され、雲放電の増加に対応したと考えられ る.次に、エコー領域の変化に注目すると、-10℃から-30℃付近の高度での強いエコー領域の 増加は、負に帯電した霰が増加し、負極性雷(対地放電)の増加に対応したと考えられる.

雷を伴う降雨事例における GPM DPR VO6X プロダクトの検証

鈴木賢士¹, 小田哲路¹, 竈本倫平², 中川勝広³

(1:山口大, 2:鉄道総合技術研究所, 3:情報通信研究機構)

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)は,Ka帯およびKu帯の 降水レーダで構成されており、2018年5月のスキャンパターン変更に伴い、新バージョンV06Xが 研究プロダクトとして提供されている。V06Xには、雲内の霰や雹の存在を示すflagGraupelHail や、固体降水粒子と液体降水粒子が混在する融解(凍結)領域の上端の高度を示す binMixedPhaseTopなどが含まれている。本研究では、雲内の霰の有無や上昇流の存在がその発生 メカニズムに関連している雷分布をひとつの指標としてこれらプロダクトの検証を行った。対象 とした事例は、2018年から2020年の暖候期に日本周辺で発生した降雨のうち、強い降水が見られ、 かつその周辺で雷が発生していた15事例である。

2019 年 9 月 4 日は、日本海に前線が停滞し、南の台風の影響により、暖かく湿った空気が流入 し、九州の山岳域で雷雨が発生した。DPR は 15:26 JST に九州上空を北西から南東に通過した。下 図(d)は DPR の Ku 帯レーダによる反射強度であり、九州山地にいくつかの降水域がみられる。図 (a)~(c)は、放電分布と flagGraupelHail分布、binMixedPhaseTop(福岡における高層気象観測に よる 0℃高度 4625m で色分けしている)、typePrecip をそれぞれ示しており、落雷分布と flagGraupelHail が対流性と分類された領域でよく一致しており、binMixedPhaseTop は 0℃高度よ りも上空に検出されていた。つまり、雷発生に重要な霰のような固体降水粒子と強い上昇流の存 在を示唆する結果であった。

2020 年 7 月 24 日は,前線や低気圧の影響により熊本県牛深町で 86.5mm/h を記録する大雨となった。DPR は 7:12JST に東シナ海から九州・中国地方上空を通過した。東シナ海上のライン状の降雨域に注目すると,熱雷の事例と同様に,雷分布と flagGraupelHail の分布はよく一致していた。しかし,雷が発生していない領域でも flagGraupelHail が検出されていた。さらに,binMixedPhaseTop については,熱雷のような比較的単純な構造では明瞭であるが,組織化した大きなスケールの降水システムについてはアルゴリズムには改良の余地があるのかもしれない。



図. 2019年9月24日午後に九州 山地に発生・発達した熱雷事例.
(a)flagGraupelHail と落雷位置,
(b) binMixedPhaseTop (福岡の 0℃高度よりも高いところを赤で 示している)(c)typePrecip (桃 色:対流性,青:層状性)(d)Ku 帯レーダによる反射強度(高度 1.5km)

衛星全球降水マップ GSMaP の新バージョンについて

久保田拓志¹, 田島知子¹, 山地萌果¹, 広瀬民志¹、青梨和正¹、

山本宗尚²、東上床智彦²

(1: JAXA/EORC, 2: RESTEC)

要旨

Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) は、日本の全球降水観測計画(GPM) 標準プロダクトとして開発されている。GSMaP のような衛星降水観測は、特に、地上観測が 整っていない途上国におけるモニタリングに効果的であり、複数の現業機関等での定常的な利 用が広まりつつある。GSMaP は継続的に研究開発されており、2014 年 9 月に、プロダクトバ ージョン 03 (アルゴリズムバージョン 6)、2017 年 1 月に、プロダクトバージョン 04 (アル ゴリズムバージョン 7)の提供を開始した。今後、2021 年 5 月に、プロダクトバージョン 05 (アルゴリズムバージョン 8)の提供を開始する予定である。本発表では、プロダクトバージ ョン 05 の内容について紹介する。

プロダクトバージョン 05 では、MHS (Metop-C) や ATMS (Suomi-NPP/ATMS, NOAA-20/ATMS) という新規センサを追加することで、マイクロ波放射計の観測範囲を向上させる。 また、マイクロ波放射計アルゴリズムを改良し、推定域を極まで拡張する。ただし、これは、 マイクロ波 IR 複合アルゴリズムへの適用は、今回は含まず、緯度 60 度より極側の領域では、 マイクロ波センサによる推定のみの予定である。

また、降水物理モデルに関するデータベースの改良を行う。より長期の GPM/DPR データの 利用や DPR の二周波情報の利用等を導入する。また地形性豪雨推定手法の改良も取り入れる。 また固体降水の厚みの指標による散乱アルゴリズムの改良も導入する。地上雨量計補正手法の 改良として、従来版で見られた不自然な補正の修正を行う。

さらに、プロダクトバージョン 05 での大きな改良点として、GSMaP のセンサによる不均質 性を軽減する。不均質性は、マイクロ波センサ(MWR)観測域と気象衛星赤外放射計(IR) による推定域の境目で起こることが多い。異なる種類の MWR 間でも、アルゴリズムはできる だけ共通化しているものの、センサ仕様の違い等により、不均質性が生じる。MWR 間の不均 質性は、センサ毎に降水に関する累積分布の計算をもとに補正を行う Yamamoto and Kubota (2020)に基づき、修正を行う。MWR と IR の不均質性については、Hirose et al. (2021)のヒス トグラムマッチング手法を適用する。さらに、MWR と IR の境目で起こる降雨強度の不連続に ついては画像処理的な軽減手法も導入する。これらの手法により、センサによる不均質性は軽 減されることが期待できる。

GSMaP マイクロ波サウンダの海岸アルゴリズムの改良

田島知子¹. 久保田拓志¹. 妻鹿友昭². 重尚一³

(1: JAXA/EORC, 2:大阪大学, 3:京都大学)

要旨

日本の全球降水観測計画(GPM)標準プロダクトとして開発されている Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) アルゴリズムは、数年ごとにメジャーバージョンアップが 行われている。2014年9月にアルゴリズムバージョン6、2017年1月にバージョン7へと更新 され、2021年5月にはバージョン8への更新を予定している。GSMaPは、受動型マイクロ波セ ンサと赤外放射計データを利用した複合アルゴリズムにより降水推定している。前者の受動型 マイクロ波センサにはサウンダとイメージャの2種類があり、マイクロ波サウンダ用降水推定 アルゴリズム(GSMaP_MWS)は、降水観測に適したチャンネルをもつイメージャ用アルゴリズムを ベースに開発されてきた。海陸の開発/検証は、Shige et al. (2009)やKida et al. (2018) に 詳細があるが、海岸についてはまだまだ改良の余地があり、最新版のGSMaP_MWS v7の海岸には、 冬半球高緯度の極端に少ない降水頻度、低緯度の大幅過大推定などの問題がみられる。

本発表では、上記問題対応として実施した海岸用 GSMaP_MWS の改良について紹介する。海岸 用 GSMaP_MWS では、AMSU-A の 23GHz 帯と AMSU-B/MHS の 89・150GHz 帯の輝度温度を利用してい る。AMSU-A の FOV(衛星直下で約 48km)内に海と陸が混在する場合に"海岸"と判定されるが、 降水判定と降水推定の要となる AMSU-B/MHS の FOV は AMSU-A よりも小さい(衛星直下で約 16km)。 そこで、AMSU-B/MHS FOV 内の水面比率をもとに、海岸を海側と陸側に分離し、スクリーニング 条件や降水判定、降水推定方法をそれぞれ再考した。その結果、GSMaP_MWS v7の帯状平均月降 水量でみられていた低緯度の過大評価や冬半球高緯度の過小評価は大幅に改善し、Global Precipitation Climatology Project (GPCP)データにかなり近づく結果となった。

雲タイプ別に評価した GSMaP ヒストグラム補正結果

広瀬民志¹, 田島知子¹, 久保田拓志¹, 妻鹿友昭², 牛尾知雄²

(1:JAXA EORC, 2:阪大工)

要旨

IMERG や CMORPH, GSMaP に代表される全球衛星降水プロダクトは,低軌道衛星に搭載 されたマイクロ波センサー (PMW) と静止気象衛星に搭載された赤外 (IR) 放射計観測 を結合させることで,高時間分解能の全球降水観測を提供してきた.全球高頻度の降 水推定に必要不可欠な静止気象衛星観測だが,雲頂温度情報に依存する IR 観測は PMW 観測に比べて降水推定精度が低く,全球衛星降水プロダクトの時空間的な不均一性の 原因となっている (Utsumi and Kim, 2018).本研究では GSMaP IR 観測の降水強度ヒ ストグラムを PMW 観測の降水強度ヒストグラムと一致するよう補正するため,ヒスト グラム補正手法を導入した (Hirose et al. 2021; submitting to IEEE GRSL).ヒス トグラム補正手法は複数の衛星可視光学センサー間の RGB ヒストグラムを補正し、モザ イク合成画像を作成するために用いられてきた (Helmer and Ruefenacht 2005).

GSMaP IR 観測は帯状平均降水量の月積算値を、PMW 観測と比較して熱帯海上で最大約 100 mm,陸上で約20~30 mm 過大評価していた. どのタイプの雲で過大評価が発生して いるのか ISCCP の雲タイプ分類データを用いて解析した結果, IR 観測の降雨過大評価 の約70%が圏界面付近まで発達した深い対流雲で生じており、約25%はそこから派生 した巻層雲で生じていた.熱帯域で深く発達した対流雲は偏東風に流され西側に上層 雲を伸ばしていくが、PMW 観測で見ると強い降水コアは移流されておらず、西側に広が った雲の大部分は強い雨を伴っていない. GSMaP は静止気象衛星の IR 観測を用いて降 水雲の移動先を推定しており、このような場合しばしば降水コアも西側に移流された と推定してしまう. さらに GSMaP は Kalman Filter を用いて移動先の IR 輝度温度に対 応するよう降水強度を補正している(Ushio et al. 2009). そのため移流先に IR 輝度 温度の非常に低い雲が広がっていると広範囲に強い雨を補間しすぎてしまい、降雨過 大評価が発生してしまったと考えられる. ヒストグラム補正適用後の結果では IR 観測 の深い対流雲と巻層雲に対する降雨過大評価傾向の大部分は解消され、PMW 観測との間 に生じていた GSMaP の時空間的な不均一性を軽減することに成功した. 中層雲以下の雲 に対しては、IR 観測は PMW 観測と比較して降水過小評価傾向が見られたが、乱層雲や 層雲などの比較的面積の広い雲ではヒストグラム補正後に過小評価傾向が軽減されて いた一方で、積雲や高積雲などの面積の小さい雲に対しては補正後も過小評価傾向が あまり改善されていなかった. 今回のヒストグラム補正では降水判定には変更を加え ておらず, IR 観測で検出自体が困難な下層の孤立積雲に対する降水過小評価は改善が 難しかったことが考えられる.

GSMaP マイクロ波放射計降水リトリーバルアルゴリズム(V05)の開発

青梨和正 (JAXA/EORC)

要旨

本研究の目的は、従来の GSMaP MWI 降水リトリーバルアルゴリズム (V04) よりリトリーバルバ イアスの小さなアルゴリズム (V05)を開発することである。

V04 は、陸上、海岸で DPR の地上降水強度 (rainsurf)より過大になる点が多く、バイアスに地域 的な偏りがある。陸上、海岸でのバイアスは、KuPR 降水トップと全球解析値の 0C レベルの差で表 わされる、固体降水の厚みと高い相関を示した。海岸では、リトリーバルと rainsurf の相関が悪 化する。また、海上では、rainsurf より過小になる点が多く、降水域が rainsurf より狭い(特に 低温域)。

これらのバイアスを緩和するため、V05では以下の改良を行った:

- 1) 前方計算部分で FPD の変動を考慮するアルゴリズムを開発した。このため、固体降水の厚みと相関のある、JRA55の対流圏中下層の気温減率、RHから、地上降水強度毎の固体降水の厚みの指標(FPD_ENV)を求めた。そして、FPD_ENVを使って、アルゴリズム前方計算部に、固体降水の厚みに伴う、降水プロファイルの変動と固体降水粒子の密度の変動を導入した。
- 2) 動的な海陸フラッグを導入して海岸域と判定される MWI pixel を減らし、海岸用の降水タ イプ、降水プロファイルを新設した。
- 3) 0 mm hr-1 に対する TB の前方計算値のバイアス補正を、非降水域の TB 観測値を使って行った。
- 4) 海上の低温域で、散乱アルゴリズムを使って降水をリトリーバルした。

V05 の検証を行った結果、陸上、海岸のリトリーバル値の過大評価及び、その地域的な偏りが V04 より小さくなった。海岸でのリトリーバルと rainsurf の相関が改善した。また、海上のリト リーバル値、降水域の過小評価も緩和された。

GSMaP に対する衛星センサ間のばらつきを補正するモジュールの開発

山本宗尚¹, 久保田拓志²

(1:RESTEC, 2: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/散乱計や赤外放射計 による観測データが用いられる。マイクロ波放射計と散乱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、衛星センサ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、衛星センサごとの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)を開発した。

MMN モジュールは以下の手法で作成した。①MWR L3 一時間降雨強度に対し、センサごと、海・ 陸・沿岸別、月ごと、緯度 5 度ごと(緯度 60 度より赤道側)、地形性降雨を除く降水強度 0.01 mm h⁻¹ごとの出現頻度数を積算する。②それぞれにパーセンタイル値を求め、GMI のパーセンタイ ル値に対応した降雨強度に置き換えた補正テーブルを作成する。③補正テーブルと対象センサの 積算降水量に対する GMI の積算降水量の比を用いて、MWR L3 降雨強度を補正する。今回は、高周 波数帯を用いており相対的に推定精度が高い陸上域、サンプル数が少ない海岸域、GMI と周波数・ アルゴリズムが近い TMI/AMSR2 は除外し、SSMI/SSMIS/マイクロ波サウンダの海域のみを対象とす ることとした。また降水有無判定や最大降水量のセンサ間のばらつきにより補正テーブルが大き く歪むため、補正には一定の制限を加えた。

2021 年度に公開が予定されている GSMaP アルゴリズムバージョン v8(プロダクトバージョン 5)予定版の 2014 年 7 月に対して MMN モジュールを適用したところ、熱帯海洋上で過小見積となっていた SSMI/SSMIS で改善がみられた。

北部ヴェトナムにおける GSMaP データにおける降水システムの 時空間サイズと GSMaP のパフォーマンスの関係

野津雅人¹, 松本淳^{1,2}, Thanh-Hoa Pham-Thi¹, Thanh Ngo-Duc³,

Long Trinh-Tuan³, Tri Truong-Duc⁴

(1: 東京都立大, 2: JAMSTEC, 3: ハノイ科技大, 4: ヴェトナム天然資源環境省)

要旨

衛星観測に基づく降水データの再現性改善において、様々な降水を取り巻く条件下での検証 を行うことにより、再現性の向上を妨げる条件を見出すことは有用である.本研究の目的は降 水システムの種類による Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)の再現性の違 いを明らかにすることである.本発表では、その第一段階として降水システムの時空間サイズ による違いが再現性に与える影響について調べた結果について報告する.

降水システムの時空間サイズの定義には GSMaP そのものを用いた. その理由は, GSMaP デー タの降水ありなしの再現性がかなり高いこと, および, 外部データに頼らずに降水のタイプを 分類できる点にある. 本研究では 2010 年および 2014 年を解析対象とした. 北部ヴェトナム におけるヴェトナム水文気象局による地上降水観測データは, 2010, 2014 年は, それぞれ, 6, 7 地点を用いた. 衛星降水観測については, GSMaP RNL Version 6, MVK Version 7 (MVKv7) を, それぞれ用いた. 両者の時間分解能は 1 時間, 後者の水平分解能は 0.1°である. MVKv7 につ いては, GPM が観測を始めた 2014 年 3 月以降のデータしかないため, 10 カ月間の解析であ る. しかし, 北部ヴェトナムの降水は 4 から 10 月に集中するため, 洪水をもたらすような強 い降水イベントは十分に捉えられていると考える.

GSMaP において時空間的に連続する 1.0 mm hour⁻¹ 以上の降水域をひとつの降水システムと みなし,降水システムの継続時間(24 時間)を基準に長寿命,短寿命のシステムを定義した. また,それぞれの時刻における連続する降水システムについては,降水システムの広さ(400 グリッド)を基準に広い,狭いシステムを定義した.以下に述べる両者のバイアス(GSMaP 雨 量データから地上雨量計データを引いたものの平均を,後者の平均で規格化.大きいほど GSMaP が過大評価)および平均自乗誤差(バイアス同様に,地上雨量計データの平均で規格化, 以下 RMSD と呼ぶ)は、GSMaP,地上雨量計の両方で 1.0 mm hour⁻¹ 以上の降水を観測した時刻 を対象とする.

長寿命(短寿命)の降水システムのバイアスは -0.31 (-0.44), 面積の広い(狭い)降水シ ステムのバイアスは -0.22 (-0.48) であり, 規模の大きな降水システムにおいて GSMaP が地 上降水観測に近い値を示す. ただし, 規模の大きい降水システムは 10% ほど降水強度が弱い. 一般に降水強度が弱いほどバイアスは大きくなるため, この差が有意であるかはさらなる検討 が必要である. 長寿命降水システムの RMSD はより小さくバイアス同様に高い再現性を示した が, 面積の広い降水システムは RMSD がより大きい. 後者の理由は, 地上雨量計で比較的弱い 雨を観測している場合に, GSMaP が大きく過大評価している場合が目立ったためである.

GSMaP データを用いた将来衛星の降水サンプリング実験

高橋暢宏

(1:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

要旨

将来の人工衛星搭載降水レーダによる観測として様々な手法が考えられている。例えば、GPM 主衛星搭載の二周波降水レーダ(DPR)と同タイプで走査幅を広げたもの、複数の小型衛星によ るコンステレーション観測、静止軌道からの常時観測などがある。それらの観測で重要視され ているものとしては、観測感度、観測頻度、および多周波観測やドップラー速度観測などの観 測物理量の増加が挙げられる。そのうち、観測頻度に注目すると、短期間に全球を観測できる こと(逆に、特定の地域を高頻度に観測できること)や日変化をくまなく取得できることが重 要な要素になっている。

本研究では、GPM/DPRと同等性能の走査型レーダ(走査幅250km)を有する人工衛星を複数機 打ち上げることを想定し、1時間ごとのGSMaPの降水をサンプルすることにより、それらの観測 が GSMaP の観測をどの程度再現できているかを検証した。今回は、人工衛星の軌道を GPM 主衛 星とほぼ同じの軌道傾斜角 65°、高度 405 kmとして計算した。人工衛星の軌道計算には、 Crisp et al. (2018)に示されている方法を用いた。

サンプリング実験では、まず1機の人工衛星搭載レーダによる降水量推定誤差と観測日数 (10日~120日)の関係を確認した。緯度ごとの帯状平均を比較すると、およそ60~70日程度 で誤差がゼロに近くなり、それ以上の日数ではそれほど変化はなかった。

次に、観測日数を10日または30日に固定し、衛星数を4,6,9,12,18,36,72,144 機と し、それらを赤道上で等間隔に配置した場合の観測誤差を求めた。例えば72機配置するという ことは、経度5度に1機配置することになり走査幅250kmを考えると常に半分以上の領域を観 測することになる。30日に観測日数を固定して計算したところ、降水量推定誤差は36機を超え たあたりからほぼ一定値になった。

日変化の再現性の解析は、同様に複数衛星のサンプリングデータを用いて、地方時 1 時間ご とのデータを作成し、3 時間の移動平均をかけた上で降水強度が最大となる時刻を推定した。 さらに、1日に2回ピークが存在することを想定して、1つ目のピークから3時間以上離れた時 刻においてピークが存在する場合に、2 つ目のピークとして求めた。初期解析結果では、ピー クの現れる時刻は、当然ではあるが、機数の増加に伴い一致度が高くなる。また、ピークの降 水強度も同様であるが、機数が72機程度以上でバイアスが小さくなった。

Reference

Crisp, N. H., Livadiotti, S., and Roberts, P. C. E., "A Semi-Analytical Method for Calculating Revisit Time for Satellite Constellations with Discontinuous Coverage", arXiv e-prints, 2018.