

「GPM および衛星シミュレータ合同研究集会」

名古屋大学宇宙地球環境研究所平成 30 年度研究集会

「衛星による高精度降水推定技術の開発とその利用の研究企画のための集会」

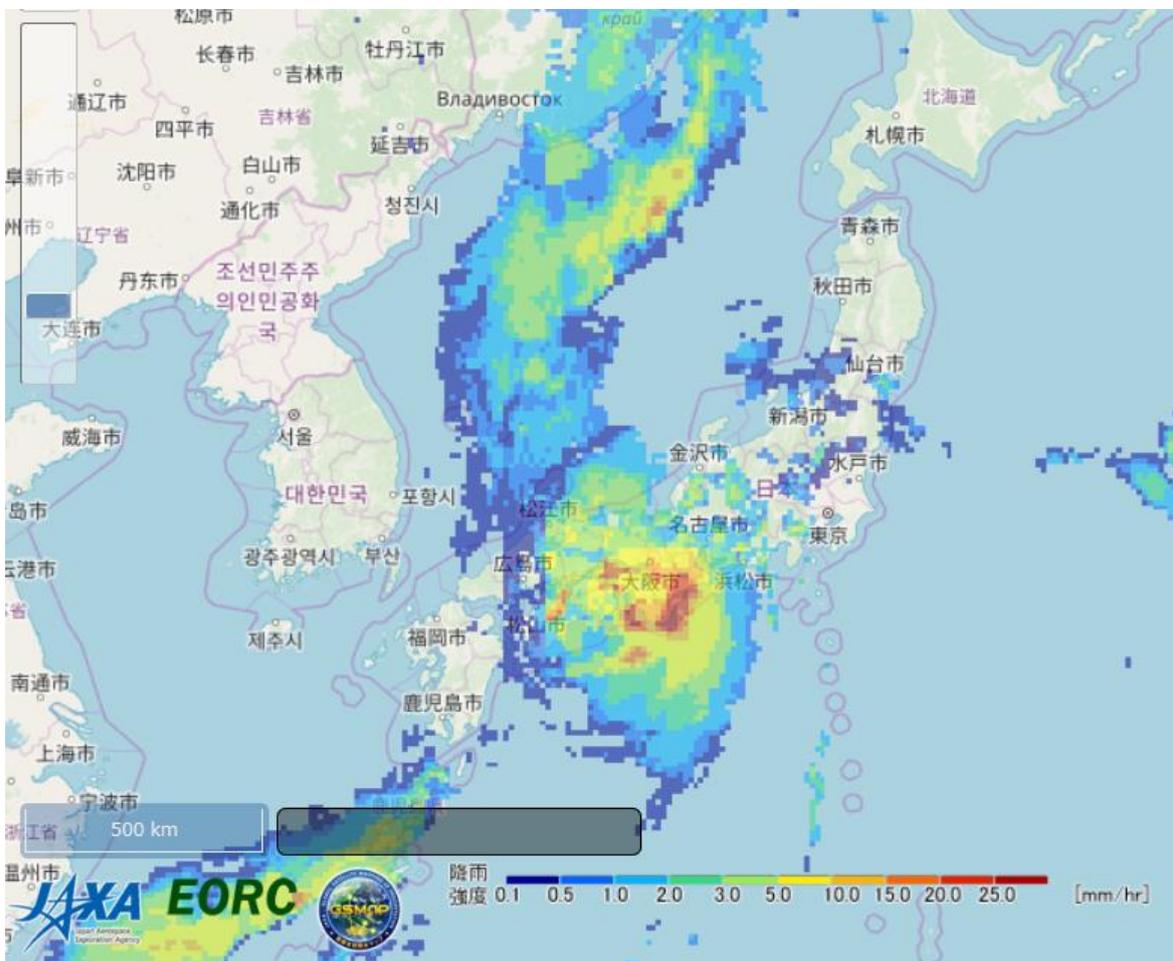
(研究代表者：JAXA/EORC 久保田拓志、名大側担当者：増永浩彦)

&

「衛星データシミュレータの開発および応用研究に関わる研究集会」

日時：2019 年 3 月 18 日 (月) ~19 日 (火)

場所：名古屋大学環境総合館 1F レクチャーホール



台風 21 号の GSMaP 画像

2018 年 9 月 4 日 12 時 JST (1hr) 四国上陸時

プログラム

3月18日(月) 13:00~17:40

座長 久保田拓志(JAXA)

13:00-13:10 はじめに

久保田拓志(JAXA)

13:10-13:30 「DPR プロダクト V06 の瞬時降水強度推定値の検証」

瀬戸心太・Panya Na Chiangmai・春成寿朗(長崎大)

13:30-13:50 「DPR による固体降水層と液体降水層の分離について」

井口俊夫(NICT)

13:50-14:10 「GPM/KuPR を用いた anvil 検出について」

豊嶋紘一・樋口篤志(千葉大)・増永浩彦(名古屋大)

14:10-14:30 「GPM/DPR による全球雨滴粒径分布の季節変化と降水特性との関係」

山地萌果(JAXA/首都大)・高橋 洋(首都大/JAMSTEC)・
久保田拓志・沖 理子(JAXA)・濱田 篤(富山大)・高藪 縁(東京大)

14:30-14:45 (休憩)

座長 重 尚一(京都大)

14:45-15:05 「GPM 潜熱加熱プロダクトを用いた

北半球温帯低気圧の潜熱加熱分布の統計調査」

辻 宏樹・高藪 縁(東京大)

15:05-15:25 「GPM/DPR を用いた海洋上温帯低気圧に伴う強い固体降水帯の解析」

秋山静佳・重 尚一・山本宗尚(京都大)・井口俊夫(NICT)・
Michael P. Bauer(Columbia University/NASA)

15:25-15:45 「衛星搭載降水レーダを用いた

高緯度大陸西岸における地形性降水の解析」

青木俊輔・重 尚一(京都大)

15:45-16:05 「アラビア半島の衛星降水観測」

山本園実・広瀬正史(名城大)

16:05-16:20 (休憩)

座長 広瀬正史(名城大)

16:20-16:40 「全球地表水マップ GSMaWS の洪水氾濫への応用」

瀬戸心太・谷口幸弥・中迫惇斗・Porrawatt Singhalak(長崎大)

16:40-17:00 「GSMaP を活用した陸面水循環の評価」

山本晃輔(JAXA)・日比野研志・芳村 圭(東京大)・
可知美沙子・沖 理子(JAXA)

17:00-17:20 「GSMaP_NOW/NRT 雨量計補正のシステム開発と

異常降水モニタリングへの応用」

田島知子・久保田拓志・沖 理子(JAXA)・牛尾知雄・妻鹿友昭(首都大)

17:20-17:40 「地上気象レーダと GSMaP との合成降水マップの作成手法の開発」

筒井健・市川真弓 (NTT データ)

懇親会 (花の木)

3月19日 (火) 09:00~17:40

座長 井口俊夫 (NICT)

09:00-09:20 「衛星全球降水マップ GSMaP の最近の進展と今後の予定」

久保田拓志・田島知子・山地萌果・沖 理子 (JAXA)

09:20-09:40 「GSMaP 地形性降雨推定手法に対する大気下層安定度の導入」

山本宗尚・重 尚一 (京都大)

09:40-10:00 「固体降水の厚みの変動を考慮した新散乱アルゴリズム」

青梨和正 (気象研)

10:00-10:20 「ひまわり 8号を用いた高分解能 GSMaP の開発」

妻鹿友昭・牛尾知雄 (首都大)

10:20-10:35 (休憩)

座長 樋口篤志 (千葉大)

10:35-10:55 「APHRODITE を用いた GSMaP の種類およびバージョン間の比較」

金子有紀・田島知子・久保田拓志 (JAXA)

10:55-11:15 「北部ヴェトナムにおける地上時間雨量と GSMaP の比較」

野津雅人・松本淳・Long Trinh-Tuan (首都大)・

Thanh Ngo-Duc (ハノイ科技大)・

Truong Duc-Tri (ヴェトナム天然資源環境省)

11:15-11:35 「GSMaP と他の衛星観測データを用いた

降水プロダクト間の extreme 比較」

古澤 (秋元) 文江・増永浩彦 (名古屋大)

11:35-11:55 「国交省河川局雨量計データを用いた

降水グリッド化プロダクトの作成について」

豊嶋紘一・広瀬民志・加藤章子・樋口篤志 (千葉大)・

安富奈津子・田中賢治 (京都大)・谷田貝亜紀代 (弘前大)

(写真撮影・昼食・休憩)

座長 古澤 (秋元) 文江 (名古屋大)

13:00-13:20 「GPM DPR 観測による

3次元降水データを用いた浅い降水の統計的解析」

大類大地・高藪 縁 (東京大)

13:20-13:40 「全球衛星データ解析にもとづく強雨の構造進化とその地域特性」

巢原夢加・増永浩彦 (名古屋大)

- 13:40-14:00 「日本付近での Atmospheric River 発生時における降水の
衛星データを用いた解析」
渡部友祐・重 尚一(京都大院理)・辻 宏樹・高藪 縁(東京大)
- 14:00-14:20 「GPM-DPR データを用いた雲微物理モデルの電予報に向けた予備調査」
清木達也(JAMSTEC)
- 14:20-14:35 (休憩)
座長 佐藤陽祐(名古屋大)
- 14:35-14:55 「衛星観測による気候モデル雲物理の拘束とその放射影響」
鈴木健太郎・Xianwen Jing(東京大)・道端拓朗(九州大)
- 14:55-15:15 「雲水量の水平不均質性がもたらす気候影響」
堀田陽香・鈴木健太郎(東京大)・五藤大輔(環境研)
- 15:15-15:35 「暖かい雨に対する雲物理スキームの比較実験
ー衛星シミュレータを利用したバルク法の改良ー」
久芳奈遠美(東京大)・清木達也(JAMSTEC)・
鈴木健太郎・Woosub Roh・佐藤正樹(東京大)
- 15:35-15:55 「高解像度大気モデルを利用した
3次元放射伝達計算に基づく不均質雲の影響の解明」
石田春磨・太田芳文(気象庁)・関口美保(東京海洋大)・
岩淵弘信(東北大)・櫻井篤(新潟大)・佐藤陽祐(名古屋大)
- 15:55-16:10 (休憩)
座長 増永浩彦(名古屋大)
- 16:10-16:30 「Improvement of a single bulk microphysics in NICAM
for super-cooled water clouds using J-simulator and CALIPSO」
Woosub Roh(東京大)・Tatsuya Seiki(JAMSTEC)・
Masaki Satoh(東京大)・Tempei Hashino(高知工科大)
- 16:30-16:50 「全球雲システム解像モデルを用いた
降水短時間関連の雲微物理スキーム比較」
金丸佳矢・佐藤正樹(東京大)
- 16:50-17:10 「数値天気予報とノウキャストを組み合わせた全球降水予測」
黒澤賢太・小槻峻司・大塚成徳・寺崎康児・三好建正(理化研)
- 17:10-17:30 「NICAM-LETKF を用いた GPM/DPR データ同化実験」
小槻峻司・寺崎康児・黒澤賢太(理化研)・
金丸佳矢(東京大)・三好建正(理化研)
- 17:30-17:40 おわりに
増永浩彦(名古屋大)

DPR プロダクト V06 の瞬時降水強度推定値の検証

瀬戸 心太¹, Panya Na Chiangmai¹, 春成 寿朗¹

(1:長崎大学)

要旨

DPR レベル 2 標準プロダクト Version06 による瞬時降水強度推定値を、気象庁の地上気象観測 (155 地点)・アメダス (九州地域の 137 地点) の雨量計による 1 分値降水強度データを用いて検証した。DPR は、KuPR と KaPR の 2 つのレーダから構成されており、KuPR のみを用いた KuPR アルゴリズム、KaPR のみを用いた KaPR アルゴリズム (以上、一周波アルゴリズム)、両者を用いた二周波アルゴリズムが開発されている。二周波アルゴリズムでは、一周波アルゴリズムよりも高精度であることが期待される。各アルゴリズムの基本構成は共通のものである。まず、雨滴粒径分布 (DSD) モデルとして、2 パラメータのガンマ分布を仮定する。さらに、DSD から算出可能な 2 つの変数、降水強度 R と質量重みつき平均粒径 D_m についての関係 (R - D_m 関係) を与えることで、各レンジビンの自由度は 1 つとなる。そのため、観測レーダ反射因子 Z_m を与えることで、 R や D_m などが決定される。二周波アルゴリズムにおいて、通常は KuPR の Z_m を用いる。

R - D_m 関係は、 $R = \epsilon^p D_m^q$ の形式で表される (p, q, r は定数であり、降水タイプにのみ依存する)。 ϵ は、ピクセルごとに決まる R - D_m 関係の修正係数である。 ϵ を決める基準は、以下のようになる。(1) ϵ の事前確率分布: ϵ は対数正規分布に従うと仮定する。その確率分布パラメータは、季節・月ごとに異なり、DSD データベースにより与えられる。ただし、二周波観測が可能な場合は固定値を用いる。(2) 表面参照法 (SRT): 積算減衰量 (PIA) について、SRT による推定値からの誤差を評価する。二周波観測が可能な場合は、二周波の表面参照法 (DSRT) を用いる。(3) KaPR の Z_m : 二周波観測が可能な場合、KuPR の Z_m をもとに算出した DSD から KaPR の Z_m を計算し、その観測値との誤差を評価する。(1)~(3) の同時確率を最大化するように ϵ を決定する。

検証の対象期間は、2014~2017 年とする。DPR による降水強度推定値として precipRateESurface を用いる。これは、地表面における降水強度を示すが、地表面近傍はクラッタの影響で Z_m を得ることができないため、アルゴリズムにおいては、クラッタの影響のない最低高度から外挿して推定している。このことを考慮して、DPR による観測時刻の 5 分後の雨量計による値と比較した。KuPR アルゴリズムは、約 20% の過小評価バイアスを示す。10mm/h での雨に対しても若干の過小評価を示す。10mm/h 以上の雨については、大きな過小評価を示す。KaPR アルゴリズムは、KuPR アルゴリズムよりも、過小評価バイアスが大きい。降雨判定による見逃しの影響が大きい。ともに降雨ありと判定された場合に限り、10mm/h までの雨については KaPR アルゴリズムの方が、過小評価バイアスは小さい。二周波アルゴリズムは、一周波アルゴリズムより過小評価バイアスが小さい。20mm/h 程度まで、バイアスの小さい推定を行っている。20mm/h を超えると、過小評価がみられる。一周波アルゴリズムでは、DSD データベースにより ϵ の平均値が小さく設定され、 R の過小評価につながっていると考えられる。二周波アルゴリズムでは、強い雨を除き、表面参照法により、 ϵ が適切に修正されている。KaPR アルゴリズムでは、 ϵ が明らかに低い値をとる場合があり、改善が必要である。

DPR による固体降水層と液体降水層の分離について

井口俊夫¹

(1:情報通信研究機構)

要旨

GPM 主衛星搭載の二周波降水レーダ(DPR)の主目的は、レーダによる降水強度の推定精度の向上である。その要素の一つは感度の向上であり、他の一つは粒径分布パラメータのより良い推定である。同時に、降水粒子の相の判別が期待されていた。降水粒子が液相(水)であるか固相(氷)であるかにより電波の伝播および散乱特性が異なり、減衰補正や降水強度の推定結果に違いをもたらす。ブライトバンドを伴う層状性の降雨では、ブライトバンドを境にして、それより上では固体降水、それより下では液体降水とすればよいので問題はないが、ブライトバンドを伴わない降水システムでは、レーダ反射因子の鉛直プロファイルのみから固体から液体に変化する高さを捉えるのは難しい。TRMM 衛星搭載の降雨レーダ(PR)の降雨強度推定アルゴリズムでは、基本的に0℃高度をもってこの変化が起きる高さとしてデータを処理している。今回、DPRの二周波でのレーダ反射因子の情報を利用し、多くの場合にもっともらしい推定を行うアルゴリズムを開発した。そのアルゴリズムの考え方と実際のDPRデータに適用した場合の結果を紹介する。この方法では層状性降雨の場合にはスキャン角が大きくブライトバンドが明確にはバンドとして観測されない観測幅の端付近でもMelting layerの上端を正しく推定していると思われる。また、対流性降雨の場合は雹などの存在により非常に強いエコーを伴う激しい対流の場合を除いて、おおむね正しいと思われる高さを推定している。ただし、検証データがないため、実際に正しく判断しているかどうかは今後確かめる必要がある。

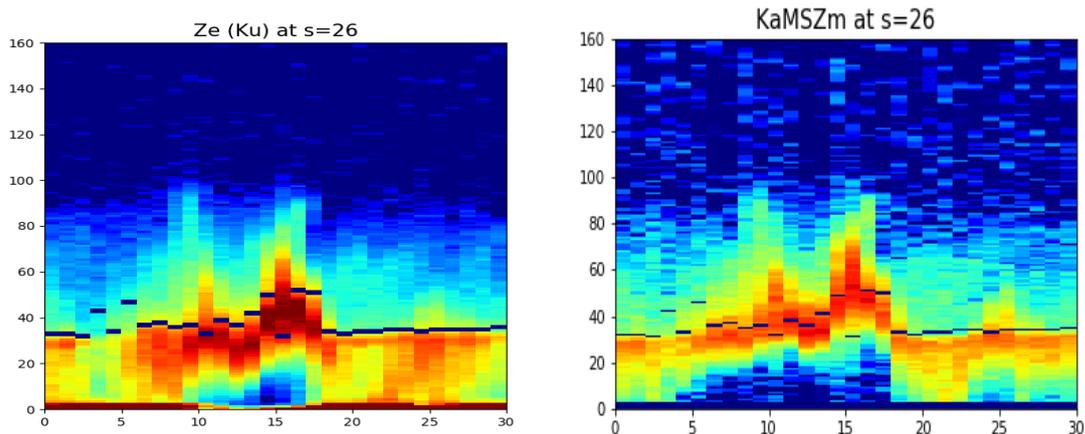


図1. KuPR(左)とKaPR(右)のレーダ反射因子の鉛直プロファイル。濃い青線の位置が液層の上端と判断された高さ。(KuPRのカラースケールは10から50dBZ、KaPRのそれは10から40dBZ。)

GPM/KuPR を用いた anvil 検出について

豊嶋紘一¹, 樋口篤志¹, 増永浩彦²

(1: 千葉大, 2: 名古屋大)

要旨

上層雲は地球の放射収支に重要な役割を果たしており、その実態を全球規模で把握することは重要である。GPM・KuPR は感度が向上し、anvil に関連するシグナルを捉えることが期待される。anvil cloud 検出の理解と、地域ごとの気候学的特徴、また静止衛星を用いた、対流雲の発達段階に伴う anvil cloud 形成メカニズムについて明らかにする。熱帯から中緯度に至る地域を選び、KuPR の anvil 検出と地域差に着目した解析を行った。使用したデータは anvil 事例の検出に、GPM/DPR L2 v5 プロダクトに含まれるレーダー反射因子(measured)と、flag anvil である。flag anvil は cloud bottom が 0 度高度から 500m 以上、あるいは降雨をもたらすエコー上部の cloud bottom まで 1km 以上 15dBZ を下回る場合として定義され、それぞれフラグがつけられている。全球規模の統計的な分布を調べるために解析期間は 2015 年 4 月～2017 年 3 月とし、nadir $\pm 3^\circ$ の観測幅を用いた。anvil flag の地理的特徴は、西太平洋やアフリカ中央部、南米などの熱帯域では対流活動の活発なエリアとほぼ一致する一方、黒海周辺や南米中緯度域、さほど対流が活発でない部分にも分布している。anvil flag の鉛直プロファイルを海陸別に調べた。降水エコーを伴わない anvil の海/陸域を比較すると、海域の最頻値の高度は 4～6 km の高度に対して、陸域では 6～10 km と相対的に高い分布をしている。一方降水を伴う anvil の海/陸域分布は 8～10 km と似通っている。対流雲に伴って形成する anvil cloud について、降雨頂高度や降水強度の関連について調べた。特徴的なプロファイルを示したアフリカ中央部エリアにおいて、anvil のフットプリントに隣接する降雨サンプルの降雨頂高度や地表面降水量で分類した結果、降雨頂高度との対応が見られたものの、隣接する降雨強度とは明瞭な関連が見られなかった。積乱雲の発達段階と anvil 検出の関係についても解析を行い、地域差に着目した anvil の特徴と、雲のライフサイクルについても紹介する予定である。

GPM/DPR による全球雨滴粒径分布の季節変化と降水特性との関係

山地萌果^{1,2}, 高橋洋², 久保田拓志¹, 沖理子¹, 濱田篤³, 高藪縁⁴

(1:JAXA/EORC, 2:首都大, 3:富山大, 4:東大)

要旨

降水を特徴付けるものの1つとして雨滴粒径分布 (Drop Size Distribution, DSD) が挙げられる。過去の研究でも、ディストロメータや地上二重偏波レーダによる地上観測を用いた研究により、DSD の特徴が地域・降水強度・対流層状などの降水タイプによって変化することが知られている^{[1][2][3]}。さらに、DSD はレーダ観測データから得られたレーダ反射因子を降水強度に変換する際の両者の関係式を左右するため、リモートセンシングの観点においても重要な要素の1つである。

DSD の観測手段は、前述した地上観測のほか、1997年11月に打ち上げられた熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載された降雨レーダ (PR) や 2014年2月に打ち上げられた全球降水観測計画 (GPM) 主衛星に搭載された二周波降水レーダ (DPR) による衛星降水レーダ観測によっても情報が得られる。GPM/DPR では、修正ガンマ分布 ($\mu=3$) を仮定した DSD モデルが用いられており、質量重み付き平均 (D_m) と Normalized Intercept Parameter (N_w) がプロダクトとして提供されている^[4]。GPM 主衛星打ち上げから約5年が経ち、データも蓄積されつつあることから、統計的なデータ解析が可能となっている。本発表では、GPM/DPR V05 プロダクトを用いたデータ解析を行い、全球の質量重み付き平均粒径 D_m の季節変化や降水特性との関係性に関して得られた解析結果を報告する。

D_m と降水強度の地上付近での全球分布の4年平均値を比較すると、一般に降水強度が強い領域で D_m も大きくなっている一方で、海陸のコントラストや海上でのコントラストなど、降水強度の分布と一対一の関係ではないことがわかった。分布の季節差による違いに着目すると、特に冬季と夏季の亜熱帯～中緯度海上での差が有意にみられたが、このような特徴は降水強度では顕著にみられなかった。北西太平洋の亜熱帯と中緯度に焦点を当てて、降水特性に関連する降水頂高度や層状対流性比率を確認すると、冬季と夏季の D_m の違いに対応して変化していることが分かった。

また、マイクロ波放射計アルゴリズムにおいても、DSD による誤差は従来研究でも指摘されている。現在の最新バージョンの GSMaP では、TRMM/PR 時代の手法を引き継ぎ、GPM/KuPR による ϵ^* を、降水タイプごとのデータベースとしてアルゴリズムに導入している。今後は、二周波情報を活用したデータベースの導入に向けて、開発を行う予定である。

* ϵ ・・・レーダ反射因子 (Z) と降雨強度 (R) 関係を調整するパラメータ

参考文献

- [1] Bringi et al. 2003, *J. Atmos. Sci.*, **60**(2), 354-365.
- [2] Kozu et al. 2006, *J. Meteor. Soc. Japan*, **84A**, 195-209.
- [3] Dolan et al. 2018, *J. Atmos. Sci.*, **75**(5), 1453-1476.
- [4] Seto et al. 2016, *IEEE, Proceedings IGARSS 2016*, 3938-3940.

GPM 潜熱加熱プロダクトを用いた

北半球温帯低気圧の潜熱加熱分布の統計調査

辻 宏樹¹, 高藪 縁¹

(1: 東京大学大気海洋研究所)

要旨

積雲対流に伴う潜熱加熱は、様々な大気現象に重要な役割を果たしている。そのため、観測に基づいた加熱の分布の情報は大気現象の理解に必須である。熱帯域に関しては、TRMM 衛星による観測から潜熱加熱分布の詳細な特徴が調べられている(Takayabu et al. 2010)。一方、中緯度域における潜熱加熱は、低気圧の発生や発達に重要な役割を果たすことが知られている(e.g., Ahmadi-Givi et al. 2004)が、数値モデルを用いた研究が多く、観測データに基づく統計的に定量的な議論はこれまでなされてこなかった。

2014年2月に打ち上げられたGPM主衛星は、降水レーダーを搭載しており、観測範囲が65S–65Nで中緯度域を含むので、中緯度域の降水の鉛直分布を得ることができる。加えて、2017年7月より、GPMの潜熱加熱プロダクトが中緯度域まで拡張されたことで、中緯度域における加熱の分布を得ることが可能となった。本研究では、GPM主衛星の潜熱加熱プロダクト(SLH V06)を用いて、北半球中緯度域(30N–70N)、特に温帯低気圧に伴う加熱の構造の統計的な調査を行う。温帯低気圧はHodges (1994, 1995, 1999)の手法をJRA55の900 hPaの渦度データに対して用いて抽出した(データは東京大学大気海洋研究所の柘本博士より提供)。

低気圧域(低気圧中心から1000 km四方の領域)内で平均した加熱の鉛直プロファイルは、高度3.5 kmにピークを持つ。3.5 kmより下層では高度とともに加熱が弱まり、高度750 m付近で加熱が負となる。3.5 kmの加熱は低気圧の最発達時刻の24時間前に最も強まる。これは、降水に伴う潜熱が低気圧の発達に重要であることを示唆しており、先行研究(Michaelis et al. 2017; Bengtsson et al. 2009)と整合的である。高度3.5 kmの加熱は最発達時刻の24時間前以降は時間とともに減少し、最発達時刻より後では確認できない。加熱を対流種別で分けると、低気圧の発達期では深い層状性の対流に伴う加熱が大部分を占めている。低気圧の衰退期(最発達時刻より後)に入ると深い層状性の寄与が小さくなり、相対的に浅い層状性や対流性の加熱の寄与が大きくなる。低気圧の最発達時刻の39時間前から15時間前まで(低気圧の発達期)で平均した高度3.5 kmの加熱の水平分布は、温暖前線や寒冷前線に伴う加熱域が明瞭に確認でき、理想的な低気圧の構造(Houze 2014)と整合的である。今後は低気圧の強度や発達率で分けた解析を行う予定である。

GPM/DPR を用いた海洋上温帯低気圧に伴う強い固体降水帯の解析

秋山静佳¹, 重尚一¹, 山本宗尚¹, 井口俊夫², Michael P. Bauer³

(1:京都大学大学院理学研究科, 2:NICT, 3:Columbia University/NASA)

要旨

GPM 衛星搭載の二周波降水レーダ(Dual Precipitation Radar: DPR)の登場で, これまで観測データが少なかった海洋上の温帯低気圧に伴う降水の 3 次元構造が観測可能になった. DPR は Ku 帯(13.6GHz)と Ka 帯(35.5GHz)のレーダで構成され, 観測される二周波のレーダ反射因子の差(measured Dual Frequency Ratio: DFRm)を得ることができる. DFRm は降水粒子による減衰を受けた値であるが, 減衰量が小さい固体降水場合には DFRm は降水の粒径に依存する. これを用いて, 粒径の大きな固体降水の存在を示す強い固体降水(Heavy Ice Precipitation: HIP)判定が導入された. ここでは, 海上低気圧に伴う HIP に着目し, バンド状に分布する HIP の構造と大気場の関係を調べた. DPR プロダクトの他, 再解析データ, 低気圧中心位置データを用いて解析を行った.

海洋上低気圧事例を解析したところ, HIP がメソスケールのバンド状に連続して, 温暖前線に沿って分布する様子が見られた. この HIP バンドの降水の構造について, 降水エコーの鉛直分布や観測される Ku 帯のレーダ反射因子($Z_m(Ku)$)と DFRm の関係から考察した. 結果, 降水頂の 4 km 付近から 3.5 km 高度までの範囲では DFRm の高度変化が少なく, 降水粒子の幅広い密度の分布が見られた. また, HIP バンドのピクセルはすべて冬季の対流性降水と分類されていた. 降水頂付近には鉛直流の極大域が分布しており, 4 km から 3.5 km 高度では降水粒子の生成と成長が促進されていることが考えられる. そこから下方に向かっては, 粒子密度は減少(粒径は増大)しており, 落下に伴った降水粒子の凝集成長が起こっていることが示唆される.

さらに HIP バンドのメソスケールの構造を発生させている要因を解析した. 大陸上で発生する低気圧に伴った強い降雪帯は, 対流圏中層に前線形成と条件付対称不安定(Conditional Symmetric Instability: CSI)を伴い, この環境場で発生する局所的な中層の斜向対流によって発生することが知られている. 今回の HIP バンドが見られる地点でも, 降水頂付近に強い前線形成と CSI が分布する様子が確認でき, HIP のメソスケールのバンド構造は中層の対流によって生成されていると考えられる.

一方, 低気圧中心に対する発生位置については海陸で違いが見られた. 先行研究の冬季アメリカ北東部上で発生する強い線状降水帯の多くは低気圧の北西象限に分布した. それに対し, 今回抽出した海洋上低気圧性の HIP バンド(2 年間で 116 事例)では, 61.2%の事例が低気圧の北東象限(南半球の場合南東象限)で見られた. 低気圧に伴って強い降雪帯を発生させる前線形成と CSI がよく分布する場所が, 海陸では異なることが示唆される.

衛星搭載降水レーダを用いた高緯度大陸西岸における地形性降水の解析

青木俊輔¹, 重尚一¹

(1: 京都大学)

要旨

TRMM/PR による観測から、熱帯の海岸地域では海洋上の湿った空気が流入して比較的多量の降水がもたらされることが確認された (Ogino et al. 2016)。高緯度(緯度 45~70 度)の大陸西岸地域は海岸付近まで山地が迫るため、地上観測の乏しい地域であったが、GPM/DPR の登場により高解像度での降水分布を得ることが得ることができるようになった。このデータを利用して、対象地域の地形と降水の関係について調べた。

2014 年 4 月から 2018 年 3 月の GPM/DPR (KuPR/KaPR) の LEVEL2 データを用いて、高緯度の大陸西岸に当たるアラスカ、パタゴニアにおける格子間隔 0.1 度の降水頻度分布図を出した。海岸線のすぐ海側に降水頻度の大きい領域が存在する一方、海岸のすぐ陸側の山地上では降水頻度の低い領域が存在しており、海岸付近の地形に非常に良く対応した分布をなすことがわかった。海岸線からの距離をパラメータとしたコンポジット解析を行うことで、海岸線のすぐ海側の降水頻度の高い領域では、降水時の平均降水強度や降雨頂高度も高くなっていることが確認された。KuPR/KaPR であまり降水の検出されなかった海岸山脈の高標高域において、より小さい降水粒子をとらえることのできる CloudSat/CPR から求めた降水頻度は大きな値をとっており、この領域では KuPR/KaPR でとらえられないような弱い雨や雪が頻繁に発生していると推察された。

海岸部の海側に多量の降水をもたらす要因について調べるために、降水時の周囲の環境場との比較を行った。事例解析の結果、この海岸域での降水は低気圧や前線に伴って起こっており、低い持ち上げ凝結高度をもつ湿った空気が、障壁となる地形や地形の手前に形成される安定度の高い領域の風上側で収束することによって、降水が強化されていることが示唆された。低緯度の海岸域では日周期の局地循環やモンスーン流による地形性上昇などから降水が生じると考えられているが、高緯度の海岸域では低気圧や前線などが海洋上から海岸部に到達することによって降水が生じており、地形はその外来的な降水システムを停滞、強化する役割を果たしていると考えられる。

アラビア半島の衛星降水観測

山本園実, 広瀬正史

(名城大学)

要旨

乾燥域を始めとした少雨域での降雨分布に関する研究の事例は少ない。しかし、そのような地域では極めて高いレベルの水ストレスに瀕している反面、水災害が生じているという現状があり、降雨の実態を知ることは重要である。山脈や乾燥域では雨量計等による地上観測数密度が小さく、測器による地上観測は蒸発の影響を受けるという欠点があるため、地表付近のデータには不確実性が大きい。そこで 16 年間蓄積された熱帯降雨観測衛星搭載降雨レーダ (TRMM PR) のデータを使用し、1 km 規模の地形との対応、降水システムの集団的特徴、地表付近における降水の鉛直勾配に焦点を当て、解析を行った。本研究では、砂漠気候が卓越するアラビア半島の降水特性に着目した。

アラビア半島には南東部を中心として広域に 0.1 mm/day 以下の少雨域が存在するが、半島南西部の山脈に沿って 1.5 mm/day 以上の幅の狭い降水域も存在することが分かった。全降水量に対して大規模の降水システムが占める割合を調査したところ、半島内において稀に発生するインパクトの大きい降水システムが気候値を決定づける地域と、そうでないところがあると考えられた。高度 1-2 km における降水強度を比較することで、ブライトバンドを持つ層状性降雨は乾燥域において 1 km あたり平均して 50% 以上も地表に向かって減少していることが分かった。また、半島南西部では稀に高度 10km 以上の高い場所で 50 dBZ 近くの強いレーダ反射因子を持つ雹を含むと考えられる地形性の降水システムが存在することが分かった。

地表面の降水強度は、地表面クラッターの影響が及ばないと考えられる最も地表面に近い高度 (Clutter Free Bottom, CFB) の降水強度に基づいて求められる。CFB 以下のレーダ反射因子を一定にした場合、気圧補正により、降水強度は地表に向けて 4%/km ほど減少する。また、2A25 では、陸上での層状性降雨は蒸発の影響を考え、クラッター内でレーダ反射因子を 0.5 dB/km 減らしている。ブライトバンドを持つ層状性降雨の高度 1-2 km における降水強度の鉛直勾配は、PR の全観測域で平均すると 4.2%/km の下方減少傾向であり、気圧補正による高度変化に近い値となった。一方、今回の結果より、乾燥域を始めとした特定の地域では地表付近の増減傾向に関する単一の補正は不適切であると言える。PR、GSMaP とともに乾燥域では蒸発の影響を加味した補正を行うことで、より降水推定の精度が上がることを示唆される。

先に述べたように、アラビア半島は各地域によって降水の水平・鉛直分布が大きく異なり、多様性がある。当日は、GPM DPR を始めとした衛星の降水データ間の比較結果、気候学的特徴の表れ方についても紹介する。

全球地表水マップ GSMaWS の洪水氾濫への応用

瀬戸 心太¹, 谷口 幸弥¹, 中迫 惇斗¹, Porrawatt Singhalak¹

(1:長崎大学)

要旨

マイクロ波放射計 GMI と AMSR2 から、竹内ら(2009)の提案した地表水指標 Normalized Differential Frequency Index(NDFI)を算出し、 0.1° 格子・日単位での全球地表水マップ Global Satellite Mapping of Wet Surface(GSMaWS)を2013~2017年の5年分作成した。JAXA/EORCが公開している Today's Earth Global(TE)で推定された洪水氾濫の情報と GSMaWS を比較した。GPM のもとで GMI や AMSR2 などのマイクロ波放射計の輝度温度が相互校正されたプロダクト(L1C)が公開されている。19.3GHz 垂直偏波の輝度温度(19V)と 23.8GHz 垂直偏波の輝度温度(23V)を用いて、 $NDFI=(23V-19V)/(23V+19V)$ が算出される。GMI と AMSR2 の各軌道データから NDFI を算出し 0.1° に格子化した。次に、日内変動の補正を行った。さらに、毎日0時の値に時間内挿し、センサ間のバイアスを求めた。AMSR2 の各軌道データの NDFI を GMI に合わせるように補正した。最後に、2つのマイクロ波放射計を用いて、毎日0時の値に時間内挿した。なお、L1Cプロダクトを用いているため、センサ間の NDFI のバイアスは小さかった。

NDFI の5年平均値を、Pekel ら(2016)による Global Surface Water(GSW)の水域データと比較する。GSW は、約 30m と高い解像度を持つ。これから、 0.01° 格子の冠水率を求める。次に、 0.1° 格子に含まれる 100 個の 0.01° 格子について、それぞれにマイクロ波放射計のフットプリント中心がある場合を想定し、アンテナパターンを考慮してフットプリント内の冠水率を求める。これを平均した値を、NDFI と比較する。日本周辺では、相関係数 0.988 という高い相関で、 $NDFI=0.00056+(\text{冠水率})\times 0.005769$ という回帰式が得られた。以下では、 $(\text{冠水率})=NDFI/0.06$ として用いる。

TE では、JRA-55 を入力として MATSRIO から得られた流出量を、CaMa-Flood に入力して洪水氾濫のシミュレーションを行っている。TE から月単位・ 0.25° 解像度の洪水氾濫深さのデータを手し、これをダウンスケールして、 0.01° 解像度の洪水氾濫面積率を求めた。前節と同じようにして、フットプリント内のアンテナパターンを考慮して、 0.1° 格子の冠水率を求め、NDFI と比較する。アマゾン川下流域では、NDFI と冠水率の月単位時間相関は高い。しかし、植生密度が高いアマゾン川上流域や、人間による水管理の影響が強いミシシッピ川などでは月単位時間相関は低い。

タイのチャオプラヤ川では、月単位時間相関はある程度高いものの、TE による冠水率が、 $NDFI/0.06$ から求められる値よりも明らかに大きい。そこで、CaMa-Flood のシミュレーションを以下のように変更して精度の向上を図った。(1)河道を深くする(最低 2m \Rightarrow 最低 10m)。(2)Bhumibol ダム、Sirikit ダムからの放流量を考慮する。(1)により、年平均の冠水率が約半分になった。(2)により、年平均の冠水率がさらに 10%程度減り、季節変化にも改善がみられた。また、NDFI は 2015 年に低い値をとるなど経年変動を示すのに対して、TE による冠水率には経年変動がほとんどなかったが、GSMaP を入力として得られた流出量に代えると、経年変動が再現される。

GSMaP を活用した陸面水循環の評価

山本晃輔¹, 日比野研志², 芳村圭², 可知美沙子¹, 沖理子¹

(1:宇宙航空研究開発機構(JAXA), 2:東京大学生産技術研究所)

要旨

JAXA/EORC では水循環の統合的理解のため、東京大学生産技術研究所との共同研究において陸面シミュレーションシステム Today's Earth (以下 TE) を開発してきた。TE は陸面過程モデル MATSIRO と河川氾濫モデル CaMa-Flood から構成されるシステムであり、衛星観測データや再解析気象パラメータを入力値として土壌水分量や河川流量といった陸面水文量を計算する。現在、全球版 (TE-Global) は緯度経度 0.5 度 (河川は 0.25 度) 格子で定常運用中であり、3 時間毎に各変数を出力している。日本域高解像度版 (TE-Japan) は緯度経度 0.01 度格子・1 時間毎の出力で、近日中に定常運用に移行・公開予定である。

TE-Global では気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) を入力値として用いた基底試験と、そこから降水量を GSMaP に差し替えた試験、日射量を MODIS に差し替えた試験の計 3 種類のシミュレーション結果が利用可能であり、本研究ではそれぞれの試験について、GRDC (Global Runoff Data Centre) が提供する地点観測流量データを用い、全球規模での河川流量再現性について検証を行った。結果、JRA-55 に比べ総降水量が少ない GSMaP を利用した試験で全球的に流量が過大推定になる傾向が見られた。流出計算機構を確認した結果、現状の陸面モデルの境界条件設定では基底流出に比べ表面流出が卓越する傾向にあり、JRA-55 の雨に比べて時空間的ばらつきの大きい GSMaP の雨が河川流量により直接的に影響してしまっていることがわかった。本発表ではこれらの結果を元に、TE-Global の次回バージョンアップに向けた当該システムの境界条件の見直しや、入力データセットの整備状況について紹介する。

GSMaP_NOW/NRT 雨量計補正のシステム開発と異常降水モニタリングへの応用

田島知子¹, 久保田拓志¹, 沖理子¹, 牛尾知雄², 妻鹿友昭²

(1: JAXA/EORC, 2: 首都大学東京)

要旨

衛星全球降水マップ (GSMaP) プロダクトには、観測時刻に提供するリアルタイム版 (GSMaP_NOW)、観測から 4 時間遅れで提供する準リアルタイム版 (GSMaP_NRT)、観測から約 3 日後に提供する標準版 (GSMaP_MVK) がある。中でも、提供時間が早く降水モニタリングに利用できるリアルタイム版と準リアルタイム版は、ユーザの利用頻度が高いプロダクトである。標準版にくらべて精度が劣るものの、準リアルタイム雨量計補正アルゴリズム (Mega et al., 2019) を適用し、標準雨量計補正データ (GSMaP_Gauge) を用いてバイアスを補正することで精度は向上する。今回、最新アルゴリズムバージョン (GSMaP v7) から採用されているこの手法を、GSMaP v7 とともに 2 世代提供されている GSMaP v6 に適用し、準リアルタイム雨量計補正データ (GSMaP_Gauge_NRT v6) とリアルタイム雨量計補正データの定常処理システムを構築した。前者は、2000 年 4 月以降のデータセットとして 2018 年 12 月に公開され、後者は近日中の公開を予定している。

本発表では、GSMaP_Gauge_NRT v6 の長期データセットから算出したパーセンタイル値による異常多雨と Standardized Precipitation Index (SPI) による干ばつの検出状況について報告し、この取組みが実装されている WMO 主導のプロジェクト Operational Space-based Monitoring of Weather and Climate Extremes (SWCEM) についてご紹介する。また、準リアルタイム雨量計補正アルゴリズムの問題点を改善したリアルタイム雨量計補正アルゴリズムの開発と、大幅な過大推定が指摘されている GSMaP_NOW が補正によりどの程度改善するかについてもご報告する。

地上気象レーダと GSMaP との合成降水マップの作成手法の開発

筒井 健¹, 市川 真弓¹

(1:株式会社 NTT データ)

要旨

アジアをはじめとする世界各地で、気候変動に伴う大規模な洪水や土砂災害が毎年のように発生しており、防災インフラ施設が十分でない新興国にて特に甚大な被害が発生している。その対策として、堤防等の施設ハード面の対策に加えて、防災情報の充実や予警報精度の向上、伝達システムの整備などソフト面の対策の充実が切実に求められている。現在、新興国では、予警報の基礎情報となる降雨監視の高精度化を図るため、地上気象レーダの導入が進められているが、それらの運用メンテナンスやキャリブレーション、エリアの網羅性に課題が残っている。

上記課題を解決するため、報告者らは、近年、観測精度やリアルタイム性が高まっている衛星からの降雨観測データに着目して、その活用を検討してきた。衛星観測データは、①地上気象レーダのキャリブレーションや②地上気象データのエリアカバレッジの補完やバックアップとして期待できる。本報告では、②地上気象データのエリアカバレッジの補完として、衛星全球降水マップ (GSMaP) を地上気象レーダと GSMaP と合成して作成した降水マップの作成手法とその性能評価結果について述べる。合成においては、GSMaP の雨量補正用ソフトウェア (GSMaP Interface: GSMaP-IF) を活用し、地上気象レーダと同期して GSMaP の雨量を校正し、継ぎ目が少ないように、精度良く地上気象レーダと GSMaP の雨量データを合成する手法を検討した。そして、合成結果について、日本において気象庁のレーダーアメダス合成データを用いて、仮想的に気象レーダを離散的に配置して、実際に GSMaP との合成マップを作成して、その性能検証を行った。

本検討は、フィリピン共和国で同国防災機関が検討している降雨情報を用いた土砂災害予測の取り組みへ協力しながら進めており、今後、同国の地上気象レーダのキャリブレーションについても検討を加えたうえで、地上気象レーダとの合成試験や、土砂災害警戒情報の生成への適用やシステム化などの検討を同防災機関へ協力して進めていく計画である。

衛星全球降水マップ GSMaP の最近の進展と今後の予定

久保田拓志¹, 田島知子¹, 山地萌果¹, 沖理子¹

(1: JAXA/EORC)

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、2020 年 1 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。

現在、GPM プロダクトとしている GSMaP プロダクトは、観測から 4 時間遅れで提供する準リアルタイム版 (GSMaP_NRT)、観測から約 3 日後に提供する標準版 (GSMaP_MVK) がある。雨量計補正版においても、準リアルタイム雨量計補正版 (GSMaP_Gauge_NRT) と標準版 (GSMaP_Gauge) の 2 種類がある。また 2000 年 3 月から 2014 年 2 月までの期間を、気象庁の再解析データ (JRA55) を用いて、バージョン 6 と同じアルゴリズムで処理した再解析プロダクトも JAXA/EORC から提供しているが、現在、バージョン 7 での処理を実施中である。2018 年 12 月には、GSMaP_Gauge_NRT バージョン 6 の配布を開始した。このプロダクトではアルゴリズム 7 で導入した過去 30 日分の雨量計補正量を考慮し、準リアルタイムで適用可能な補正手法を導入している。この改良手法により過去データを再処理し、2000 年 4 月以降のデータを公開した。気象庁の地上レーダデータの検証では、GSMaP_NRT と比べて精度が向上していることを確認している。

降水データの即時提供は気象監視や洪水予測において非常にニーズが高い。そのニーズに対応するため、2015 年 11 月から GSMaP リアルタイムプロダクト (GSMaP_NOW) を気象庁ひまわり観測域で提供を開始している。GSMaP 準リアルタイムプロダクトが観測から 4 時間遅れであるのに対して、直接受信した衛星データの新規利用等により、観測終了直後にデータを提供する。そのシステムを発展させ、2018 年 11 月から EUMETSAT GEO region (Meteosat/MSG) にも GSMaP_NOW を拡張し、たとえば、西アジア、ヨーロッパ、アフリカ域での利用が可能となった。今後、米国 NOAA の気象衛星観測領域にも拡張し、GSMaP_NOW のグローバル化を果たす予定である。

GSMaP 地形性降雨推定手法に対する大気下層安定度の導入

山本宗尚¹, 重 尚一¹

(1: 京都大学大学院理学研究科)

要旨

地形性上昇流を伴う豪雨の中には、十分な固体降水を伴わずに雨が形成される場合がある。このとき、高周波数（85 GHz）帯では固体降水による十分な散乱が伴わないため降水量が過小評価していた。2014年9月に更新された GSMaP アルゴリズムバージョン 6 では、客観解析データから求められた地形性上昇流 $w = Dh/Dt = VH \cdot \nabla h$ （ここで h は標高、 VH は地上風）と水蒸気フラックス収束量 $Q = -\nabla \cdot VHq$ （ここで q は地上の水蒸気混合比）を利用した地形性降雨推定手法が全観測領域に導入された。さらに、アルゴリズムバージョン 7 では、降水の過大評価と地形上流の大気下層風速による降水強化位置を考慮に入れ、地形性降雨判定・推定精度が向上した。しかし、強い対流活動に伴う背の高い降雨を判別できないため、高降雨発雷比域は地形性降雨判定を行わないこととした。また、 Q は主に海上からの水蒸気の流入を仮定したもので、内陸部の地形性降雨の中には依然判定できていない事例が存在している。さらに、地形性降雨鉛直プロファイルはサンプリング量の問題から地域・季節によらず一定で、適用・非適用域の間に推定降水量の大きなギャップが存在していた。

そこで、GSMaP 次期バージョンアップに向けて、より広範な地形性降雨に対応できる降雨推定手法の開発を進めている。 Q の代わりに大気下層安定度 (dTv/dz) を導入し、12 の降雨タイプごと・3 段階の安定度ごとに降雨プロファイルを作成したところ、特に降雨システムの時空間スケールが小さな降雨タイプで降雨頂の差が大きくなる傾向がみられた。また、高降雨発雷を伴う降水タイプでは相対的に不安定性が強く、強い対流活動に伴う背の高い降雨も判別できることが示された。この傾向は、地形性降雨判定域以外でも同様の傾向がみられた。発表当日は、TRMM PR と GPM KuPR から作成したプロファイルの差についても議論する予定である。

固体降水の厚みの変動を考慮した新散乱アルゴリズム

青梨和正

(気象研究所)

要旨

本研究の目的は、GMI 高周波 TB の降水による depression (TB depression) を入力とする GSMaP 散乱アルゴリズムを改良して、陸上と海岸域の新しい GMI 用散乱アルゴリズムを開発することである。

まず、我々は、従来 GSMaP 散乱アルゴリズムのバイアス (散乱バイアス) と KuPR の降水特性の関係を調べた。このため、2014 年 6 月–2015 年 5 月の GPM V05A data とこれから Retrain. v6.1.20180403 のアルゴリズムで計算した降水強度リトリーバル値、及び 6 時間毎の JRA55 全球解析値のマッチアップデータを作った。散乱バイアスは、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、固体降水の厚みに高い相関を示した。

固体降水の厚みに対する散乱バイアスの大きさは、主に地表面状態 (陸上/海岸) と地表面温度に依って変わった。地表面状態による散乱バイアスの差は、陸上と海岸の雨のプロファイルの違いを反映している。

この解析結果に基づき、本研究は、新しい散乱アルゴリズムを開発した。固体降水の厚みの変動対策として、固体降水の厚みと比較的相関の高い JRA55 物理量 (対流圏中下層の気温減率、RH) と地上降水強度から、固体降水の厚みの指標 (FPD_ENV) を求めた。新アルゴリズムの前方計算では、この FPD_ENV に伴う各鉛直レベルの降水強度の変動を導入した降水プロファイルを使用する。

ひまわり 8号を用いた高分解能 GSMaP の開発

妻鹿友昭¹, 牛尾知雄¹

(1: 首都大学東京)

要旨

Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) は衛星搭載放射計のデータを元に全球の降雨推定を行う降水マップである。現在の GSMaP 主要プロダクトの分解能は1時間、0.1° グリッドとなっている。低軌道衛星の放射計は1時間では全球をすべて観測できないため、GSMaP では静止衛星の赤外輝度温度を用いて無観測域の降雨を補完してきた。現在、ひまわり 8号に代表される新世代の静止衛星の赤外放射計は十分程度毎に数kmの分解能で観測できるようになった。また、新しい放射計が観測する波長が増加した。新世代静止衛星はすでにひまわり 8号、GOSE-R が観測をはじめており、Meteosat も次世代機を開発中である。将来の静止衛星搭載赤外放射計により空間分解能の高い多波長の観測が全球を覆う。そこで本研究では、GSMaP に新世代静止衛星の多波長・高時空間分解能を利用した高時空間分解能を持つ高分解能 GSMaP の開発を目指す。GSMaP の高時間・高空間分解能開発は大きく二つの部分に分けて開発する。一つ目は静止軌道衛星が観測する赤外輝度温度を用いた GSMaP の高空間分解能化手法の開発である。二つ目は高時空間分解能を持つ雲移動ベクトルを用いた数分から十分程度の短時間の降雨移動手法の開発である。両手法により GSMaP 高分解能化を行う。

本研究では GSMaP MVK 高分解能化手法の一つ目である多波長・高空間分解能な輝度温度データを用いた高空間分解能手法について発表する。本手法は最初に静止衛星の輝度温度から空間分解能が 0.1 度より高い降雨量を推定する。多波長とはいえ雲頂からの信号である赤外輝度温度から推定した降雨の精度はマイクロ波から求めた降雨より低い。そこで、赤外の推定降雨と GSMaP MVK 降雨をカルマンフィルタに入力し 0.1 度より細かい降雨分布を推定する手法を開発した。本研究では赤外輝度温度はひまわり 8号のデータを用い、GSMaP の日本付近において本手法を適用し降雨推定を行った。発表では推定した降雨に対し、レーダアメダスを用いた検証結果を示す。

APHRODITE を用いた GSMaP の種類およびバージョン間の比較

金子有紀¹, 久保田拓志¹, 田島知子¹

(1:宇宙航空研究開発機構 地球観測研究センター)

本研究の目的は GSMaP のバージョン間・プロダクト種別間のエラーを相対的に明らかにすることである。GSMaP プロダクトには、配信までに要する時間が短い順にリアルタイム (GSMaP_NOW), 準リアルタイム (GSMaP_NRT), 標準 (GSMaP_MVK), 再解析 (GSMaP_RNL)があり、準リアルタイム版、標準版および再解析版には雨量計補正版がそれぞれ存在する。現在、定常的にデータが提供されているのはアルゴリズムバージョン6 と 7であり、現在は6が安定版、7が開発版として位置付けられている。ユーザーはどのプロダクト/バージョンを使用するかをまず判断しなければならないが、単純にバージョンが新しいほう、雨量計補正のなされているほうがよいと考えるユーザーも少なからず存在する。実際は各プロダクトにはそれぞれ長所と短所があり、用途に応じた考慮をすることが望ましい。バージョン間・プロダクト種別間の比較研究はなされているものの、地上データとの比較検証の場合は、期間や地域、プロダクトの種類が限定的なものがほとんどである。また、論文の場合には出版されるまでのタイムラグとバージョンアップの頻度の関係上、論文が世に出るころには次のバージョンの GSMaP が使われ出しているような場合もままある。これは地上データの QC に要する時間や、GSMaP の過去のデータの提供までに要する時間、プロダクトにより入手可能なデータ期間の違いの影響があると考えられる。

本研究では GSMaP ユーザーの多いアジア域を対象とし、2001~2007 年および 2015 年を対象に「アジアの水資源への温暖化影響評価のための日降水量グリッドデータの作成 (APHRODITE) および「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良 (APHRODITE-2)」のデータをランドトゥルースとして GSMaP 3 日雨量と月雨量のグリッド単位での評価を行った。雨量計補正なし GSMaP の降水量の領域全体の平均では冬季の降水量の過大評価および夏季の過小評価となっており、雨量計補正により改善している。標準版 V7 は過大評価傾向が非常に強い。また、標高依存性の傾向については雨量計補正なしの GSMaP は APHRODITE と似通った傾向を示すが、雨量計補正版では 1,000~5,000m では過小、5,000m 以上で過大となっており、ダブルピークの傾向も弱い。これは年降水量の空間分布からも読み取れる傾向であった。

GSMaP の推定した降水量の空間分布は、先行研究で指摘されているとおり平野部で比較的良好で、海岸および山岳域で不確実性が増すが、その程度はバージョンが上がるごとに改善されている。V6 準リアルタイム版では春季と秋季に中~高緯度で「偽」の強い降水を示すことがあり、おそらく雪面の影響だと考えられるが、V7 では改善されている。

このような精度指標の空間分布・時系列変化から GSMaP のプロダクト別の特徴を明らかにする。

北部ヴェトナムにおける地上時間雨量と GSMaP の比較

野津雅人¹, 松本淳^{1,2}, Long Trinh-Tuan¹, Thanh Ngo-Duc³, Truong Duc-Tri⁴

(1:首都大学東京, 2:海洋研究開発機構, 3:ハノイ科技大, 4:ヴェトナム天然資源環境省)

1. イントロダクション ヴェトナム北部のほとんどがその流域に属する Red River は首都ハノイを貫流する重要な河川である。Red River は平野部でデルタを形成し、しばしば洪水を起こす。その上流域は複数の山脈が数十 km スケールで走る複雑な地形である。したがって、この地域での衛星降水観測は、洪水予測に決定的な役割を果たす。本研究は GSMaP における日以下の時間スケールの降水量を地上雨量データと比較し、水文予測への実用的な修正方法考案と、GSMaP の改善への寄与を目的とする。本稿は、洪水警報基準の日雨量発生確率に相当する 3 時間雨量の再現性を示し、その再現性を左右する降水強度域を明らかにする。

2. データと手法 2010, 2014 年のヴェトナム水文気象局 (VNHS) による最大 7 地点の時間雨量計観測, GSMaP MVK v7, MVK v6, NRT v6 (2014 年), NRT v6, RNL v6 (2010 年) を使用した。解析対象は 4-10 月である。VNHS における洪水警報の基準は日雨量 50 mm である。この雨量は上記の雨量計降水観測では上位 4.49% にあたる。そこで、本研究は日以下の時間スケールで 95 パーセンタイル値 (P_{95}) 相当以上の雨に関して両者を比較する。そこで、まず、1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72 時間雨量について P_{95} 相当以上の雨量の再現性を捕捉率 (POD) と空振率 (FAR) を MVK v7 に対して求めた。合わせて 90 パーセンタイル値 (P_{90}) についても同様の計算を行う。この結果から GSMaP 降水推定の壁となっている P_{90} での時間幅を見出し、その隣接カテゴリーでの POD, FAR の悪化がどのように起きているかの実態を調べた。

3. 結果 P_{90} の POD は 6 時間幅以下で 50% を超える一方、FAR は全時間幅で 37-52% の範囲であった。空振は時間幅依存性が少ないのに対し、時間幅の増加による基準雨量の増加が大雨の捕捉を困難にしていると思われる。なお、基準雨量を 0.1 mm および降水の有無とした場合には、より長い雨量時間幅の方が優れた再現性 (高い POD, 低い FAR) を示した。3 時間雨量の P_{90} (以後、 P_{90_3h} のように示す) は、POD, FAR はそれぞれ 56%, 47% であった。これに対して、 P_{95_3h} は POD, FAR でそれぞれ 15%, 9% 悪化し、 P_{90} と P_{95} の再現性に大きな違いが出た。そこで、3 時間雨量における大雨の高精度推定が鍵と考え着目する。まず P_{95_3h} の POD は 2014 年については MVK v7, MVK v6, NRT v6 の順に高い。したがって、より新しい MVK アルゴリズムが優秀と言える。2010 年の RNL v6, NRT v6 についても同様である。この傾向はすべての時間幅の雨量に共通した。次に、Phu Yen の 3 時間雨量の再現事例を示す。Phu Yen では POD (FAR) が P_{90_3h} での 72% (52%) に対して P_{95_3h} で 49% (65%) と、 P_{95} の再現能力がかなり悪い。降水量別の頻度 (図 1) を見ると、降水量 1-12 mm (3 hour)⁻¹ で GSMaP の頻度が大きい。このことから、 P_{95_3h} の FAR が P_{90_3h} に比べて大きいことを説明できる。図 2 の 2 つの事例では雨量計は降り始めに強く、以後徐々に弱くなる雨を捉えている。GSMaP は降り始めの強雨を過小評価している一方で、徐々に弱くなる雨を過大評価している。2 事例ではあるが、図 1 の降水量頻度分布と整合する。

4. まとめと今後 本稿は、北部ヴェトナムにおいて MVK v7 による日スケール以下の雨量推定が改善したことを示した。3 時間雨量について、弱雨での過大評価が再現性に悪影響をもたらす例を示した。ただし、POD に対する説明は十分になされていない。また、降水の過大過小が、降水のどの段階で起こるのか、その背景について調べる必要がある。

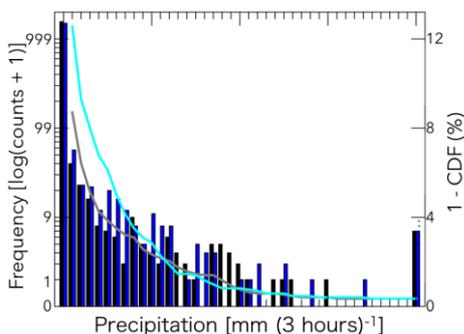


図 1: Phu Yen における地上雨量計 (黒) および GSMaP MVKv7 (青) の 1 mm ごとの 3 時間降水量別頻度分布。右側の 40 mm はそれ以上のすべての降水頻度を示す。縦軸は降水回数に 1 を加えたものの対数で示している。強雨から数えあげた CDF (地上雨量計: 灰色, GSMaP: 水色) も実線で示した。

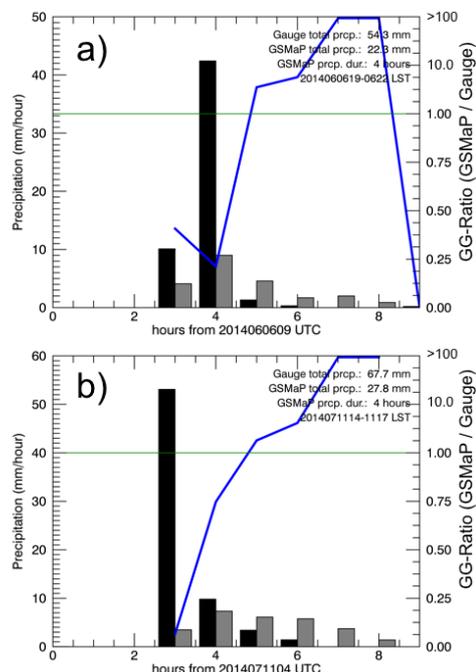


図 2: 2014 年 (a) 6 月 6 日 19-22 時, (b) 7 月 11 日 14-17 時 (地方時) の Phu Yen における地上雨量計 (黒) および GSMaP MVKv7 (灰色) の時系列。青い実線は GSMaP と地上雨量計の降水量比。比が 1 以上の部分は対数で示している。

GSMaP と他の衛星観測データを用いた降水プロダクト間の extreme 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

GSMaP と広く使用されている衛星による降水プロダクト間の比較を引き続き行っている。今回は極端降水についての比較も行った。GSMaP は MVK/GAUGE/MWR の V7.5 テストデータの結果を主に報告する。比較した他の衛星プロダクトは、IMERG-UNCAL/CAL/HQ (V05B: 去年は V04A の結果), TRMM3B42 (V7), CMORPH/CMORPH-MW (V1.0RT), GPCP (monthly-V2.3/daily-V1.3), CMAP/CMAP-no-numeric (V1604), PERSIANN (m6s4)/PERSIANN-CDR, HOAPS (V4.0: 去年は V3.2 で 2015 年のデータは存在しなかった), MEGHATROPIQUES (TAPEER) (V1.00), CHIRPS (V2.0) の 9 個 17 種と、雨量計データ CPC (V1.0/V1.0RT) と GPCC (full-V7/monitor-V4, daily データ v2018 を追加) である。今回初めて、これらの 2015 年のデータがそろった。比較する際は、海、陸、沿岸に分け、時空間分解能を合わせた。また、GSMaP と IMERG、TRMM3B42 については、マイクロ波のみからのプロダクト、赤外データを考慮したプロダクト、雨量計補正プロダクトがあるので、それぞれ比較した。去年は年平均までであったが、今年は 2015-2017 の 3 年平均も行った(そろっていないプロダクト有り)。

頻度分布を比較した結果、IMERG は V05 になり高い降水量が多過ぎる傾向がなくなった。海上の HOAPS の分布は IMERG V04 に似て大きな降水量が多いが、小さな降水量も多い。GPCP の海上は大きな降水量が少ない。年平均帯状降水量を比較した結果、熱帯海洋の多雨領域で、GSMaP-MVK が最も大きかったが、HOAPS はそれを上回り、一番大きかった。陸上 30S 以南の GSMaP-MVK の過大が目立つ所は V7 から V7.5 になりやや改善した(7-10 月に顕著であり、7 月は 0.42mm/hr であったが 0.32 まで改善し、8 月は 0.30mm/hr であったが 0.23 まで改善した)。しかし、GSMaP は GAUGE 補正するとベトナムの降水が減少するという、CPC に由来する傾向は V6、V7、V7.5 と同じである。また、GSMaP-MWR は 160mm/hr で頭打ちになるデータが原因となり、1 日毎 0.5 度格子の頻度分布が 6.5 mm/hr にピークを持つ特徴も同じである。他にハドソン湾や GSMaP だけに見られる 7/31 の南太平洋の降水も変化はない。

次に、極端降水として、30mm/day を閾値として比較をした。閾値が上がるに連れて、その雨量を超える日数はラプラタ川周辺やミシシッピ川周辺、バングラデシュなど限られた場所に限定されていくが、ある閾値を決めた時その分布はプロダクト毎に大きな違いが出る。頻度分布からも明らかであるが、海上では GPCP は大きい雨量が少ないため、特に違いが目立つ。年平均帯状降水量は、月平均の全降水量から求めるとよく一致するが、日平均で閾値を入れた場合は、バラツキが非常に大きくなる。それらの特徴を報告する。また、GPCP は 40 度より高緯度と低緯度で明らかなギャップが存在する事がわかった。

国交省河川局雨量計データを用いた降水グリッド化プロダクトの 作成について

豊嶋紘一¹, 広瀬民志¹, 加藤章子¹, 樋口篤志¹,

安富奈津子², 田中賢治², 谷田貝亜紀代³

(1: 千葉大, 2: 京都大, 3: 弘前大)

衛星降雨観測は広域・高頻度の観測が可能であるため、災害対策などの分野でますます需要が高まってきている。しかし空間不均一性の高い極端降水現象の推定には、地上降雨観測との相互比較によるさらなる精度向上が必要不可欠である。気象庁のレーダーアメダス観測網は世界でも有数の観測点密度を誇っているが、レーダーによる降水観測は山岳域が遮蔽されることにより降水が過小評価されることが知られている。一方で、雨量計による観測では、山岳域に比べ標高の低い地域に観測点の割合が多く分布する傾向にあり、山岳域における降水を必ずしも十分に観測できていない。そこで本研究では山岳域での観測密度を補うため、河川流域に沿った山岳域に密な観測点をもつ国土交通省(MLIT)河川局雨量計データを活用することを試みた。MLITの地点データをグリッド化する際に、雨量計ベースのグリッド化プロダクトである Aphrodite のアルゴリズムを用いた。この Aphrodite グリッド化アルゴリズムは地点データの観測値を気候値や周囲の観測点の値と比較することによって Quality Check を行っており、単にグリッド化するだけでなくプロダクトの精度を向上させることが可能になっている。国交省河川局が運営する「水文水質データベース」では雨量計データをはじめとする観測データが公開され、観測地点数は約 2750、1 時間雨量値と速報値として 10 分値も公開されている。雨量計データ期間は 1936 年から公開され、2001 年にはおよそ 2400 地点を超え、十分な観測点数で推移している。「平成 30 年 7 月豪雨」について気象庁が発表の資料と MLIT の観測値を比較した結果、MLIT の一定期間における積算降雨量の分布は気象庁の解析雨量と定性的に一致し、豪雨によって多くの雨がもたらされたエリアの降水を比較すると、山間部では MLIT の方がより多くの降水量を記録し、山岳域の地形性に伴う降水を捉えている可能性を示唆する。レーダーアメダス解析値と MLIT の降水量を比較すると、中国山地や四国・岐阜の山間部など標高の高い地域で MLIT の方が多く補足していることがわかった。当日はさらに複数の衛星降雨観測データと、レーダーアメダス及び MLIT を用いた高密度地上雨量計観測データとの相互比較をおこない、特に山岳域における観測点密度が極端降雨の推定精度に与える影響について紹介する予定である。

GPM DPR 観測による 3 次元降水データを用いた

浅い降水の統計的解析

大類大地¹, 高薮縁¹

(1:東京大学大気海洋研究所)

要旨

熱帯域の浅い降水のうちで逆転層高度の積雲に伴う雨と雄大積雲に伴う雨の時空間分布や環境場との関連を知るために、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)の3次元データを4年分用い、解析を行った。

まず、熱帯($30^{\circ}S \sim 30^{\circ}N$)を対象としてGPM DPRのピクセルベースの軌道データから雨域ベースの軌道データを作成した。それから、雨域をクラス分けするために、雨域内最大のエコー頂高度(PTH)-雨域面積降雨貢献2次元ヒストグラムを作成した。熱帯では基本的に、メソスケール対流システムのような雨域面積が非常に大きくPTHが極めて高い雨域の降雨寄与が最も大きい。しかしながら、雨域面積がかなり小さくPTHが低く浅い降水の寄与も大きいことがわかった。そこでこの解析結果と先行研究を基に、浅い対流を逆転層高度の積雲(Shallow1:PTH<4km)と雄大積雲のモード(Shallow2:4km<=PTH<7km)の2クラスに分け、さらに詳しく解析した。

Shallow1クラスとshallow2クラスの雨域とでは地理分布や季節変化、サイズによる分布が大きく異なることがわかった。さらに、雨域の面積によって、Sサイズ(面積<200km²)、Mサイズ(200km²<面積≤500km²)、Lサイズ(面積≥500km²)に分類し、サイズごとの分布について比較すると、Shallow1ではサイズによる地理的季節的な分布の違いがほとんどないことが特徴的だった。そして、Sサイズの雨域がShallow1の中で最も降雨寄与が大きいことがわかった。一方でshallow2はサイズによって分布が異なるというshallow1とは違う特徴が明らかになった。Sサイズは海上で比較的SSTが高い場所で卓越する特徴をもち、Lサイズの雨域はITCZのような下層の収束が大きい地域で卓越する特徴を持つ。Mサイズの雨域はインド洋ではSサイズに近い分布、太平洋ではSサイズとLサイズの間の特徴を持つことがわかった。

次に、Shallow1クラスとShallow2クラスの分布や季節変化のコントラストが明瞭なインド洋に着目し、Shallow1とShallow2が卓越する環境場との関係を調べた。同じ浅い降水でも逆転層高度の積雲モード(Shallow1)と雄大積雲モード(Shallow2)とでは地理分布や環境場が非常に異なるということがわかった。

Shallow1は比較的低いSSTによって最下層の不安定が小さい地域でかつ、下降流で中層が乾燥し、強い逆転層が存在する地域が多い。一方でShallow2は最下層のSSTが比較的高いことによって最下層の不安定が大きい地域が多い。Shallow2が多い地域ではDeepも多い傾向があるが、Shallow2に対してDeep(深い積乱雲モード)が少ない地域も存在する。前者は中層がやや湿潤であるのに対して、後者では中層がやや乾燥していた。

全球衛星データ解析にもとづく強雨の構造進化とその地域特性

巢原夢加¹, 増永浩彦²

(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

近年の衛星技術によってより詳細に世界中の降雨の特性を調査することができるようになり、降水システムの規模や発達過程の研究がこの数十年間活発に行われてきた。低軌道衛星は静止衛星には技術的に装備が困難なレーダや高性能サウンダが搭載可能であり、比較的低い高度を飛行しながら大気の立体的な計測を行うことができる。Masunaga (2012) では、2つの低軌道衛星を用いることで、強雨と関係する大気の時間的に連続した詳細な構造進化を捉えることに成功した。同論文で提唱されたこの方法を、熱帯降雨観測衛星 (TRMM) の降雨レーダと CloudSat の雲レーダ (CPR) に適用すれば、強雨に関する雲と降水システムの構造進化を立体的かつより細かな時間変化で、地域別に解析することが可能である。本研究ではこの Masunaga (2012) の手法を参考に、熱帯全球および特定の地域における雲と対流システムの構造進化を調査し、その物理的要因を解明することを目的として解析を行った。

本解析では CloudSat の CPR レーダから雲量を出力し、かつ対流性降水雲、層状性降水雲、浅い降水雲、非降水雲を判別して雲の形状の描画を行った。コンポジット解析の結果、陸域で急激に雲が発達し短い時間で衰退する降水システム、海域において長時間の持続時間を持つメソスケール対流システム (MCS) を捉えていた。さらに熱帯アフリカ、アマゾン、西太平洋、東太平洋の各地域を選び、降水システムの特徴を調査した。熱帯アフリカでは急激に高く成長し短い時間で衰退するシステム、アマゾンでは海と陸の間隔的な特徴を示すシステム、西太平洋では背が高くアンビルが特徴的な MCS、東太平洋では浅い降水雲と MCS をそれぞれ同定することができた。

さらに再解析データ (ERA-Interim) を用い、水蒸気混合比、鉛直流、湿潤静的エネルギー (MSE)、対流有効位置エネルギー (CAPE) のコンポジット時系列を求めた。陸域では顕熱と潜熱によって大きな不安定が生じたのち短時間で一気に解消するといった環境場の特徴を明らかにすることができた。海域では豊富に存在する水蒸気で比較的小さな不安定が維持され易く、組織化した降水システムによって持続的に不安定を解消するような環境場が見られた。さらにアフリカ地域では不安定を大きく解消すること、アマゾン地域の CAPE は海と似た特徴を持つこと、西太平洋は高い海面水温に伴い湿潤で不安定な環境が典型的なこと、東太平洋は比較的 CAPE が小さく比較的背が低い対流が発達しやすい環境が支配的であるとわかった。本研究で観測した強雨に伴う降水システムの特徴と、再解析データによる環境場の特性は既存研究の知見と一致していた。

日本付近での Atmospheric River 発生時における降水の

衛星データを用いた解析

渡部友祐¹, 重尚一¹, 辻宏樹², 高薮縁²

(1:京大院理, 2:東大大気海洋研)

要旨

Atmospheric River(AR)とは熱帯域から中緯度へ細長い川のように多量の水蒸気が輸送される現象であり(Zhu and Newell 1998)、アメリカ西海岸での発生事例などを中心に研究がおこなわれてきた。最近では、日本域でも豪雨をもたらす要因として注目されている。AR がもたらした豪雨事例として平成 30 年度 7 月豪雨が挙げられるが、この事例では一般に降水強度が弱いとされる層状性降水が比較的強い降水強度で広い範囲に発生していた。本研究では、アメリカ域での AR と比較して日本域で発生する AR に伴う降水がどのような特性をもつか、主にその鉛直構造に注目して解析をおこなう。

AR の抽出は ERA-interim 再解析データ(0.75 度格子)を用いておこなった。各時間各ピクセルにおける AR 性の有無を決定した後、GPM 主衛星二周波降水レーダーKuPR プロダクト(Level2)を用いて降水特性を統計解析した。ここで降水特性として主に注目したものは降水タイプ、地表面降水強度、レーダー反射強度鉛直分布である。先行研究で得られている AR の出現頻度分布(Mundhenk et al. 2016)から日本域では夏季(6 月、7 月、8 月)、アメリカ域では冬季(12 月、1 月、2 月)について特に着目した。

どちらの領域でも全観測に対する降水発生頻度は AR 外より AR 内で高くなった。降水があった場合に限定して降水強度分布を見ても AR 内では強い雨の割合が高くなり、AR は降水頻度、降水強度をともに上昇させていると言える。

次に各降水強度に対する降水頂高度を調べた。アメリカ域の対流性降水において、AR 外では降水量の増加とともにその降水頂高度が大きく変化していたが、AR 内では弱い降水に対しても高い降水頂高度をもつ一方で降水が強くなっても降水頂高度がさほど変わらなかった。このことから、アメリカ域の AR ではいわゆる「暖かい雨」の過程が降水強化に関わっていると考えられる。一方日本域の AR ではそのような違いは鮮明には見られなかった。

日本域の層状性降水に関してはブライトバンド下端(BBb)より低い高度での降水強化に関しても解析をおこなった。ここでは BBb における減衰補正されたレーダー反射強度(Ze)を4つのランクに分け、各ランクについて相対的な高度と Ze の分布を調べた。どのランクでも BBb 以下の高度における相対的な Ze は AR 内の場合で大きく、特に2番目のランク($25.25\text{dBZ} \leq \text{Ze}[\text{BBb}] < 30.25\text{dBZ}$)では AR 外での Ze が下層に向かって小さくなる傾向に対し、AR 内では下層でも Ze が小さくならない傾向が見られた。このことから日本域の AR 内における層状性降水では BBb 以下の高度で雲水の生成や雲粒の捕捉による降水強化のメカニズムが働いていると考えられる。

GPM-DPR データを用いた雲微物理モデルの雹予報に向けた予備調査

清木 達也¹

(1: 海洋研究開発機構)

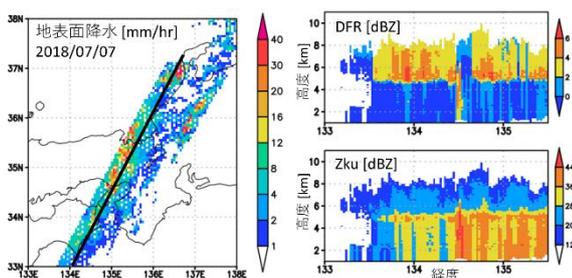
要旨

雲粒子の成長を数値的に計算する雲微物理モデルでは、雲粒子を幾つかの分類に分けて成長モードを予報する手法が主流である。なかでも、氷粒子を雲氷、雪、あられの3種類で代表するモデルが多く存在するが、これに雹を加えた4種類モデルもいくつか存在する。日本国内のバルク法雲微物理モデルでは4種類の氷粒子を扱っているモデルはなく、雹の重要性については明確に認識されていない。

一方米国では、ロッキー山脈山麓部で頻発するスーパーセルによる豪雨・暴風被害を背景に、スーパーセルの急成長や持続メカニズムの研究が進められてきた。Milbrandt and Morrison (2012)によると、雹を予報しない雲微物理モデルでは降水強度の上限があられの落下速度で律速されてしまい、スーパーセルの成長が抑えられてしまうことが分かった。この傾向は他のモデルでも同様に得られており(Lang et al., 2014)、雹の取り扱いが雲微物理モデリング業界としては無視できない課題である。これら雹の影響評価は幾つかの事例に限定されており、他の地域における雹の降水影響については理解が進んでいない。そこで本研究ではまず、どこにどの程度雹が存在するのか、雹の降水への影響はどの程度大きいのかを視える化した全球マップを作成する事を目標とする。

Liao and Meneghini (2011)は2周波降水レーダーGPM-DPRの打ち上げ事前評価論文として、氷粒子の密度を推定する手法を提案した。これは、KuバンドとKaバンドで氷粒子の散乱特性が異なることを利用し、Kuバンドのレーダーエコー強度 Z_{ku} と2周波間のレーダーエコー強度差($DFR=Z_{ku}-Z_{ka}$)でlook up tableを構築するものである。本研究ではこの手法を参考にし、GPM衛星データから多数の豪雨事例をサンプリングし、雹の重要性の有無を定量的に評価する。

使用するデータは降水観測衛星GPMのlevel2プロダクト(2A.DPR version 05B)、解析期間は2014年3月から2018年3月までの5年間とする。特に、Ku, Kaバンドの2波長レーダーデータが利用可能な120km swathのデータを利用する。GPMデータの水平解像度は5km、鉛直解像度は鉛直250m(地表面から高度22kmまで)である。これは一般的な雲解像モデルと同程度であり、モデル評価の予備調査として適している。また、JRA55再解析データを利用し、GPM衛星軌道とマッチングした気温データを用意した。JRA55の空間解像度は $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ であるため、気温分布は降水システム的环境場として参考にする。



図にGPMデータより作成した平成30年7月豪雨の観測例を示す。降水域(左)の黒線上のDFR, Z_{ku} の鉛直分布が右図である。DFRが大きい雲域は固体粒子が多い証拠であり、東経134.5°の地上付近で強い固体降水が観測されている事が分かる。本研究では同様の解析を全球で行った。

衛星観測による気候モデル雲物理の拘束とその放射影響

鈴木健太郎¹, Xianwen Jing¹, 道端拓朗²

(1: 東京大学大気海洋研究所, 2: 九州大学応用力学研究所)

要旨

近年の衛星観測とその解析手法の発達によって、雲・降水の物理プロセスに関する情報が全球規模で観測的に得られるようになって来た。本研究では、筆者らが開発してきた暖かい降雨過程の診断手法を用いて、数値気候モデルにおける雲物理過程の表現を素過程レベルで評価・拘束するとともに、それがもたらす雲の放射影響を定量化した。

このために、A-Train 衛星群に含まれる CloudSat および MODIS のデータプロダクトの解析と、数値気候モデル MIROC を用いた数値実験を行った。前者の衛星解析では、暖かい雨の微物理プロセスを診断する解析手法 (Suzuki et al. 2010) を用いて、Contoured Frequency by Optical Depth Diagram (CFODD) と呼ばれる統計を作り、非降水雲から降水雲への微物理的な遷移過程の全球的な特徴を調べた。これを観測に基づく reference として用いることで、モデルにおける雲物理プロセスの表現を評価・拘束した。すなわち、後者のモデル数値実験では、雲からの降雨生成を表現している auto-conversion 過程の定式化を系統的に変更した感度実験を行い、そのそれぞれに対して衛星シミュレータ COSP を適用することで、モデル結果から CFODD 統計を作成した。これらを衛星観測から得られる CFODD 統計と比較することによって、auto-conversion 過程のどの定式化がもっとも現実的に降雨プロセスを表現できているかを評価した。

このように雲物理過程が拘束されたモデルを用いて、気候変化に伴う雲の放射影響の変化の不確実要因であるエアロゾル・雲相互作用による放射強制力を評価した。その結果、衛星観測で得られる CFODD をもっとも現実的に再現するモデルでは、エアロゾル・雲相互作用による負の有効放射強制力は非現実的に大きくなってしまふ矛盾が存在することが示された。これは、衛星観測に見られる非降水雲から降水雲への遷移を表現するモデルでは、エアロゾル変化に伴って雲水量が大きく変化することによって有効放射強制力が大きく増大するためである。詳細な解析によって、このような雲水量の大きな変化は、湿性除去過程も含むエアロゾル・雲・降雨の相互作用によってもたらされていること (Jing and Suzuki, 2018)、それによる雲水応答の増幅は auto-conversion 過程の定式化に系統的に依存すること (Jing et al. 2019) がわかった。このことは、現在の気候モデルにおける降雨プロセスの表現には、微物理過程の表現とエネルギー収支の要請を両立させるには未だ不十分な点があることを示唆している。そこで、筆者らが行っている MIROC モデルにおける降水スキームの高度化 (Michibata et al. 2019) によって、これがどのように解決され得るかについても議論する。

引用文献:

Jing, X., and K. Suzuki, 2018: *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2018GL079956.

Jing, X., K. Suzuki, and T. Michibata, 2019: *J. Clim.*, in revision.

Michibata, T., K. Suzuki, M. Sekiguchi, and T. Takemura, 2019: *J. Adv. Mod. Earth Sys.*, in revision.

Suzuki, K., T. Y. Nakajima, and G. L. Stephens, 2010: *J. Atmos. Sci.*, **67**, 3019-3032.

雲水量の水平不均質性がもたらす気候影響

堀田陽香¹, 鈴木健太郎¹, 五藤大輔²

(1: 東京大学, 2: 国立環境研究所)

要旨

近年気候モデルの雲を衛星観測などに対し評価する研究が進んだことで、世界各国の気候モデルが雲や降水過程に共通するバイアスを抱えていることが明らかになってきた。気候モデルの雲表現が困難である根本的な要因は、計算資源の制約から水平格子間隔が数100km程度と粗いことである。衛星観測情報から、気候モデル格子スケール内で雲水量は顕著に変動（雲水量の水平不均質性）しており、さらに雲水不均質性は雲のレジームや地域毎に特徴が異なることが分かってきた[1]。雲水不均質性は雲水量について非線形に依存する雲過程に影響を与える。

本研究では気候モデルMIROC6[2]が雲量を診断するため総水量に対して仮定している三角形型の確率密度分布(PDF)[3]のうち、飽和領域を雲水量 x のPDF $P(x)$ として用いることで、代表的な非線形過程であるautoconversion過程(雲粒同士が衝突併合し雨水に遷移する過程)と雲放射過程に対して雲水不均質性が与える効果を、それぞれに対応する補正ファクターEau およびRradの形で導入した。雲水量 x の非線形な関数 $R(x)$ で表される autoconversion の 変換率や雲アルベドに対して、Eau や Rrad の値は雲水不均質性を無視して平均雲水量 \bar{x} を $R(x)$ に直接代入した場合に対する比率、すなわち $\int R(x)P(x)dx/R(\bar{x})$ を計算することで得られる。さらにA-train衛星観測から全球的に推定された水平1.1km × 1.4kmのピクセル毎の雲水量や光学的厚さと、全球雲解像モデルNICAM[4]を水平14km格子で1年間積分した実験結果から、MIROCの水平格子間隔に相当する140kmスケール内での雲水不均質性やファクターEau・Rradの評価を行った。

雲水不均質性を特徴付けるパラメータとして雲水分布の相対分散 V を評価したところ、衛星観測では高緯度や大陸西岸で相対的に値が小さく、低緯度では大きな値を取っていた。EauやRradの地域分布は V の分布に対応しており、低緯度で特に効果が高くなっていた。雲水不均質性とその効果を陽に表現しているNICAMはこのような地域分布をよく再現していた。MIROCは三角形型のPDFを用いることに由来して、 V が雲量に強く拘束される・大きな V の値をとり得ないなどの制約を受けていたものの、低緯度でEauやRradの効果が高いという地域分布を再現していた。

このように雲水不均質性やその効果について再現している点・できていない点を踏まえた上で、MIROCの標準実験に対してEau導入実験とRrad導入実験の気候場を評価することで、雲水不均質性が全球的な気候にもたらす影響を調べた。Eauは大きな値をとる低緯度で雲水量を減らす効果がある、Rrad導入が光学的に厚い雲の割合を減らすなど、気候モデルが共通して抱える雲や降水バイアスに対して、雲水不均質性が寄与している部分があることが示唆された。

引用文献

- [1] Lebsock et al. 2013. *J. Geophys. Res.*, 118, 6521–6533
- [2] Tatebe, T., et al. 2018. *Geosci. Model Dev. Discuss.*
- [3] Watanabe, M., et al. 2009. *Clim, Dyn.*, 33(6), 795-816.
- [4] Satoh, M., et al. 2008. *J. Comput. Phys.*, 227, 3486-3514.

暖かい雨に対する雲物理スキームの比較実験

ー衛星シミュレータを利用したバルク法の改良ー

久芳奈遠美¹, 清木達也², 鈴木健太郎², Woosub Roh¹, 佐藤正樹¹

(1: 東京大学大気海洋研究所, 2: 海洋研究開発機構)

1. はじめに

詳細に雲物理過程を表現できるビン法と全球モデルに搭載されている 2 モーメントバルク法の二つの雲物理モデルを比較し、積算降水量の差をもたらす雲物理過程を調べた。その差が衛星観測から得られるデータにどのように反映されるかを調べ、改良のための活用法を探った。

2. Kinematic driver model

Shipway and Hill (2012)の kinematic driver model (KiD) を用いて 2 次元の領域 (水平 9 km、鉛直 3 km) で浅い暖かい対流雲を対象として雲物理スキームの比較実験を行う。このような比較実験は既に Large-eddy simulation (LES) により行われているが(van Zanten et al. 2011; Sato et al. 2015)、雲物理過程から力学過程へのフィードバックを無視するなど単純化された KiD を用いることにより、詳細な解析が可能になる。

3. 雲物理スキーム

2 モーメントバルク法は Seifert and Beheng (2006)を基に Seiki and Nakajima (2014)が改良したもの (NICAM に搭載されている NDW6)を用いる。ビン法は Kuba and Fujiyoshi (2006)が開発し Kuba and Murakami (2010)により改良された 2 モーメントビン法を用いる。KiD 本体、バルク法雲モデル、ビン法雲モデルのすべてのタイムステップは 0.5 秒とした。この双方の出力を用いて、衛星シミュレータである Joint-Simulator (Hashino et al., 2013)を使ってレーダ反射因子・光学的厚さなどを求め、衛星データと比較するためのダイアグラムを作成した。

4. 数値実験の結果

雲は上昇流最大値が 0.8, 1.6, 3.2 ms^{-1} の 3 種類とする。雲凝結核の活性化スキームの比較はせずに雲粒から雨滴への変換効率を比較するために、雲凝結核の数密度を変えた数値実験を繰り返し、初期の雲粒数密度がおよそ同じになるケースをバルク法とビン法のそれぞれから選んで比較した。120 分間の積算降水量は上昇流が大きい雲では雲粒数密度にかかわらずビン法とバルク法で差がないが、上昇流が小さい雲では、特に雲粒数密度が大きい場合にバルク法では降水量が少なくなった。accretion rate はビン法とバルク法で差が小さいことから、これは auto-conversion の susceptibility がバルク法の方が大きいことによることがわかった。ビン法とバルク法で auto-conversion rate の差が無い場合にはバルク法で雨滴粒径分布として仮定されているガンマ分布の shape parameter の値を適切な値にすることで雨滴の平均落下速度が修正され、降水量のビン法とバルク法の差は縮まることがわかった。auto-conversion rate の値を変えると「レーダ反射因子と雲頂からの光学的厚さの関係」を表すダイアグラムも変化することから衛星観測データで auto-conversion rate の値の検証が可能になると言える。一方、バルク法で用いられる shape parameter の値を変えてもこのダイアグラムに変化は生じないので、検証には他のものを利用する必要がある。

高解像度大気モデルを利用した 3 次元放射伝達計算に基づく不均質雲の影響 の解明

石田春磨¹, 太田芳文¹, 関口美保², 岩淵弘信³, 櫻井篤⁴, 佐藤陽祐⁵

(1: 気象庁, 2: 東京海洋大学, 3: 東北大学, 4: 新潟大学, 5: 名古屋大学)

要旨

雲の空間不均質性が大気中の放射伝達に与える影響を、高解像度大気モデルのシミュレーション及び 3 次元放射伝達モデルを利用して調査した。雲の空間的な変動は、雲粒子による非等方散乱と相まって放射伝達過程を複雑にし、特に局地的な放射収支に影響する(雲の 3 次元効果)。しかし、雲の 3 次元効果の理論的な定量評価には放射伝達計算への入力として雲物理特性を現すパラメータが必要になるが、これらのパラメータ作成のための細かい空間スケールにおける妥当な雲空間分布の取得は一般に困難である。近年、空間解像度が 10m オーダーの Large Eddy Simulation (LES)モデルが開発されており(SCALE-LES)、物理法則に基づいた雲の空間変動部分の計算が可能となっている。本研究では、SCALE-LES モデルによる海上の低層水滴雲(晴天積雲・層積雲)の発達・衰退過程の計算結果をオフラインで利用して局地的な雲の 3 次元効果を調査した。SCALE-LES モデルは気圧・気温などとともに雲水量と雲粒数密度の空間分布を出力する。本研究では、それらから雲粒の粒径分布を仮定して雲の光学特性(消散係数など)、及び大気分子の吸収係数を導出した。また、雲の水平不均質性を加味した放射伝達計算は平行平板近似よりも計算量が非常に増大するため、放射計算の実践には種々の近似や工夫が必要になる。本研究では、球面調和関数による角度方向離散化及び有限体積法による空間離散化に基づく明示的解法を使用した。この解法は放射エネルギーの保存を確約する点が特徴のひとつであり、放射収支の評価に適している。また、赤外放射など、強い大気分子吸収が存在する場合の放射伝達を効率的に計算できる。このようにして SCALE-LES モデルによる雲場の時系列計算結果から雲層内の広帯域放射フラックスの空間分布を算出したところ、平行平板近似では評価できない放射フラックス空間分布の特徴を捉えることができた。赤外放射の水平発散による雲の側面や薄い雲の内部の放射冷却が再現され、また、雲の間隙(即ち晴天域)には水平収束が存在して放射冷却を緩和していることが示された。雲の 3 次元効果による放射冷却・加熱は、雲の成長・衰退過程において無視できない規模であることが示唆された。

Improvement of a single bulk microphysics in NICAM for super-cooled water clouds using J-simulator and CALIPSO

Woosub Roh¹, Tatsuya Seiki², Masaki Satoh¹, Tempei Hashino³

(¹AORI, the University of Tokyo, ²JAMSTEC, ³Kochi University of Technology)

The satellite simulator is one of good tools to evaluate and improve cloud and precipitation systems simulated by non-hydrostatic models such as NICAM (Satoh et al. 2014) using observation data. Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) has the information about thermodynamics phases. It is used for evaluation of mixed phases clouds for GCMs. However, there are few studies about evaluations and improvements of thermodynamics phases of clouds for a global nonhydrostatic model.

This study is an evaluation and improvement of mixed-phase clouds in NICAM using a CALIPSO and a satellite simulator. We evaluated thermodynamics phase of mixed-phases clouds over the Southern Ocean in a regional version of NICAM between 45°S to 65°S and 170°E to 170°W following Yoshida et al. (2010) method. We found underestimation of super cooled water clouds in our single moment scheme. We improved the single moment microphysics scheme using a double moment microphysics and a single column model. We expand to global simulations to check the improvement.

全球雲システム解像モデルを用いた降水短時間相関の雲微物理スキーム比較

金丸佳矢¹, 佐藤正樹¹,

(1: 東京大学大気海洋研究所)

要旨

近年の計算機性能の向上に伴って数値モデルの高解像度化や物理過程の高度化が行われているが、時空間変動の大きい雲降水現象が全球規模でどれほど尤もらしく表現されているのか、ということはいくつか分かっていない。それを調べようにもそもそも参考にするべき観測結果がない、ということも関係しているかもしれない。地上観測は高頻度で詳細な観測が可能だが、その情報は局所的である。衛星観測は広域性に優れるが、せいぜい数時間で起こる雲降水現象に対して衛星観測は十分な時間分解能や観測情報を持ち合わせていない。地球観測衛星として一般的な低軌道衛星の観測頻度は1日2回(つまり時間解像度 12 時間)ていどなので、それ単体では数時間スケールの変動を取り出すことは不可能である。静止気象衛星は時間解像度 1 時間以下の高頻度観測が行われているが、その観測情報は晴天域の水蒸気量や雲頂付近の雲情報であって、雲の内部構造や降水の変動を調べることには原理的な限界がある。

ところが、衛星観測の難点を克服した解析研究が最近着目されている。Masunaga (2012)は衛星軌道の特徴を生かして、刻々と変化する2つの低軌道衛星(太陽非同期衛星 TRMM と太陽同期衛星 Aqua)の観測時間差を統計的な相対時間軸に並べ替え、数時間から一日以内で起こる熱帯対流の時間発展をつぶさにあぶりだすことに成功した。そこで本研究は Masunaga (2012)を参考にしつつ対流活動が活発な熱帯海洋上での降水短時間変動特性を調べ、その観測結果と非静力学正 20 面体格子大気モデル(NICAM)を用いた実験と比較する研究を行った。

本発表では、降水量、雲頂情報(赤外輝度温度/OLR)、水蒸気量の時間スケールやその空間解像度依存性に着目して衛星観測と NICAM 実験の比較結果を報告する。NICAM 実験では 112 km と 14 km 格子解像度ごとに積雲スキームの有無や雲物理スキームを変えた実験の比較結果について紹介する。

参考文献:

Masunaga, H., 2012: A satellite study of the atmospheric forcing and response to moist convection over tropical and subtropical oceans, *J. Atmos. Sci.*, 69, 150-167.

数値天気予報とノウキャストを組み合わせた全球降水予測

黒澤賢太¹, 小槻峻司¹, 大塚成徳¹, 寺崎康児¹, 三好建正¹,

(1:理化学研究所 計算科学研究センター)

要旨

数値天気予報 (NWP) モデルを用いた降水予測精度は, モデル性能の向上, 観測数の増加, データ同化手法の発展により大きく向上してきた. 他方で, ノウキャスト手法による降水予測も, 高速かつ計算コストが低い手法として知られている. ノウキャスト手法は, 最新の降水パターンから雨域の移動ベクトルを算出し, その移動ベクトルを用いた外挿により雨雲の将来位置を予測する. ノウキャスト手法は短時間の予測精度で NWP を上回る一方, 時間経過と共に急速に予測精度が悪化する. 気象庁の降水短時間予測システムでは, NWP とノウキャスト手法を組み合わせた降水予測が実施されている. 組み合わせ降水予測は一般に, レーダー観測と領域気象モデルを用いて 3 時間程度先までの領域スケールで実施されている.

本研究では新たに, この組み合わせ降水予測を全球スケールで実施する. 理化学研究所で開発されている全球天気予報システム NICAM-LETKF と, JAXA の全球降水マップを基にしたノウキャスト GSMaP_RNC を組み合わせた, 新しい全球降水予測システムを開発する. ここでは 112km 解像度で計算した NICAM の降水予測を GSMaP の格子に内挿し, その上で GSMaP_RNC の予測と組み合わせる.

ここでは, NWP とノウキャストの重みづけ平均を行う. この重みは時間依存の関数であり, NWP とノウキャストの降水予測精度によって決定される. 領域スケールの予測では, 重みは領域一様に与えられる. しかし全球スケールの予測では, 領域ごとに最適な重みが異なりうる. NWP とノウキャストの局所的な予測精度を比較するため, 新たに局所スレットスコア (LTS) を導入した. LTS は, 各グリッドの周囲 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ の領域で統計をとりスレットスコアを計算する. 本研究では, この LTS が最大化される様に, GSMaP の各格子で重みを求めた. スレットスコア閾値は 0.5mm/hr とし, 検証データには GSMaP_MVK を用いた. 重みは 0 から 1 までの 0.1 刻みの値とし, 最適な重みをトレーニング期間の結果から数値的に求めた. 2014 年 9 月からの 1 年間のトレーニング期間, 次の 1 年間の検証期間として実験を行った.

テスト期間 1 年間の LTS の全球平均値を見ると, 7 時間先までの予測精度で GSMaP_RNC が NICAM を上回るが, それ以降では逆転した. 両者を組み合わせることで, LTS と平均絶対誤差 (MAD) の両指標で予測精度が向上する結果を得た. 発表では, 詳細な実験設定や他の検証結果も含めて報告する.

参考文献

Kotsuki S., Kurosawa K., Otsuka S., Terasaki K. and Miyoshi T. (2019): Merging Global Precipitation Forecasts of Extrapolation and Numerical Weather Prediction with Locally Optimized Weights. (under review)

NICAM-LETKF を用いた GPM/DPR データ同化実験

小槻峻司¹, 寺崎康児¹, 黒澤賢太¹, 金丸佳矢², 三好建正¹

(1:理化学研究所・計算科学研究センター, 2:東京大学・大気海洋研究所)

要旨

本研究の目的は、TRMM/GPM による降水観測データ利用し、大気客観解析及びこれを初期値とした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)を理化学研究所で開発されている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てモデルパラメータを開発した。GSMaP の同化により大規模凝結スキームパラメータを推定し、NICAM の降水予報を改善した。本研究は既往研究を更に発展させ、GPM/DPR の反射強度データの直接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 Glevel6 (水平 112km 解像度)から Glevel8(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を切り、雲微物理(Tomita 2008, JMSJ)を陽に解くモデル設定とした。GPM に搭載された 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)を用いた。GPM/DPR 観測は、NICAM の格子以上に集約化して同化した。GPM/DPR 以外の観測として、NCEP の提供する PREPBUFR と AMSU-A 輝度温度、JAXA の提供する GSMaP を同化した。

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、残念ながら有意な改善は見られなかった。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善傾向である。GPM/DPR 同化による状態推定については、局所化スケールの設定や、観測と予報間のバイアス、GPM/DPR とモデル変数間の相関など、確認すべき統計を引き続き調査中である。

状態推定と並行して、GPM/DPR を用いたモデルパラメータ推定の可能性について調査中である。Iguchi et al. (2018, JTECH)は KuPR と KaPR の差である、DFR (Dual-Frequency Ratio)を用いることで、粒径の大きい固体降水が検出可能である事を示している。また、Laio and Meneghini (2010, JAMC)は、KuPR と DFR の統計関係を利用し、固体降水についての密度等の情報が抽出可能であることを示した。これらは、GPM による二周波観測があつてこそ可能となる分析手法である。パラメータ推定に向けた最初のステップとして、GPM/DPR と NICAM の出力結果を比較評価した。その結果、実験に用いた雲微物理スキームでは、冬半球の大気中層の固体降水が過小評価される事が示された。この原因として、雪から霰への変換速度が速く、固体降水の落下が早い可能性がある。また、KuPR と DFR の統計関係を GPM/DPR と NICAM で比較したところ、NICAM の雪の密度が低く、結果として雪の落下が早い可能性が示された。これらの DPR の特徴を生かしたモデル評価については、現在成果をまとめるべく論文を執筆中である。今後、これまでの知見を総動員し、GPM/DPR の直接同化による状態推定・パラメータ推定について、さらに研究開発を進める予定である。