

日本気象学会誌 気象集誌 (Journal of the Meteorological Society of Japan)

第99巻 第3号 2021年6月号 目次と要旨

Falko JUDT・Daniel KLOCKE・Rosimar RIOS-BERRIOS・Benoit VANNIERE・Florian ZIEMEN・Ludovic AUGER・Joachim BIERCAMP・Christopher BRETHERTON・Xi CHEN・Peter DÜBEN・Cathy HOHENEGGER・Marat KHAIROUTDINOV・小玉知央・Luis KORNBLUEH・Shian-Jiann LIN・Masuo NAKANO・Philipp NEUMANN・William PUTMAN・Niklas RÖBER・Malcolm ROBERTS・佐藤正樹・澁谷亮輔・Bjorn STEVENS・Pier Luigi VIDALE・Nils WEDI・Linjiong ZHOU： 全球ストーム解像モデルにおける熱帯低気圧 [†]	579-602
小林隆久・野村光春・足立アホロ・杉本聡一郎・高橋暢宏・平口博丸：GPM 搭載 2 周波レー ダによる降水減衰特性高度プロファイルの推定 ^{†,2}	603-620
Chiu Tung CHENG・鈴木健太郎：全球非静力学大気モデルにおける粒径解像エアロゾル微 物理モジュール：モデルの記述と検証 [†]	621-648
Ye CUI・Zheng RUAN・Ming WEI・Feng LI・Runsheng GE・Yong HUANG：中国の中 緯度で発生した降雪イベントの C バンド鉛直レーダーの観測による微物理量の発達 過程.....	649-671
山地萌果・久保田拓志・山本宗尚：GSMaP 準リアルタイム降水プロダクトの信頼度特性の 推定とその評価 ^{†,*2}	673-684
高田久美子・花崎直太：陸面過程モデル MATSIRO の流出過小バイアスの低減に向けた流出 感度調査 ^{†,*}	685-695
中村健治：熱帯降雨観測衛星 (TRMM) から全球降水観測計画 (GPM) への進歩 ^{†,#2}	697-729
山田芳則：2つのパルス繰り返し周波数によるドップラー速度データの品質管理のための実 用的で効率のよい後処理アルゴリズム ^{†,*}	731-739
Prashant KUMAR・Rakesh GAIROLA・久保田拓志・Chandra KISHTAWAL：高密度地上 雨量計ネットワーク観測を用いた衛星降雨プロダクトの日推定を改善するためのハイ ブリッド同化法：インド・カルナータカ州の事例研究 ^{†2}	741-763
諸田雪江・坪木和久・佐藤晋介・中川勝広・牛尾知雄・清水慎吾：フェーズドアレイ気象レー ダで観測された孤立積乱雲内の降水コアの構造と時間発展 [†]	765-784
学会誌「天気」の論文・解説リスト (2021年3月号・4月号).....	785
英文レター誌 SOLA の論文リスト (2021年41-80, A29-37).....	786
気象集誌次号掲載予定論文リスト.....	787-788

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

[†] 和文要旨掲載論文

* 要報と質疑

レビュー論文

¹ 特集号「DYAMOND」

² 特集号「GPM」

Falko JUDT · Daniel KLOCKE · Rosimar RIOS-BERRIOS · Benoit VANNIERE · Florian ZIEMEN · Ludovic AUGER · Joachim BIERCAMP · Christopher BRETHERTON · Xi CHEN · Peter DÜBEN · Cathy HOHENEGGER · Marat KHAIROUTDINOV · 小玉知央 · Luis KORNBLUEH · Shian-Jiann LIN · Masuo NAKANO · Philipp NEUMANN · William PUTMAN · Niklas RÖBER · Malcolm ROBERTS · 佐藤正樹 · 澁谷亮輔 · Bjorn STEVENS · Pier Luigi VIDALE · Nils WEDI · Linjiong ZHOU : 全球ストーム解像モデルにおける熱帯低気圧

Judt, F., D. Klocke, R. Rios-Berrios, B. Vanniere, F. Ziemens, L. Auger, J. Biercamp, C. Bretherton, X. Chen, P. Düben, C. Hohenegger, M. Khairoutdinov, C. Kodama, L. Kornblueh, S.-J. Lin, M. Nakano, P. Neumann, W. Putman, N. Röber, M. Roberts, M. Satoh, R. Shibuya, B. Stevens, P. L. Vidale, N. Wedi, and L. Zhou: Tropical cyclones in global storm-resolving models

近年のコンピューターとモデル開発の進歩により、全球ストーム解像モデルの時代が始まり、それに伴って気象や気候予測が一変する可能性を秘めている。本研究では、この新しいクラスのモデルを検証するという一般的なテーマの中で、9つの全球ストーム解像モデルについて、熱帯低気圧（TC）をシミュレートする能力を評価した。その結果、大まかにいえば、これらのモデルは現実的な熱帯低気圧を再現し、熱帯低気圧の強度の正確なシミュレーションを可能とするなど、全球モデルの長年の課題が解消されていることが示さ

れた。一方、TCはモデルの設計に強く影響され、全てのモデルはTCの数、強度、大きさ、構造に関して独自のバイアスを持っている。いくつかのモデルは他のモデルよりも優れたTCをシミュレートするが、全ての点で優れたモデルが存在するわけではなかった。全体的な結果は、全球ストーム解像モデルがTC予測の新時代を切り拓くことが可能であることを示しているが、その可能性を最大限に引き出すためには改良が必要である。

小林隆久 · 野村光春 · 足立アホロ · 杉本聡一郎 · 高橋暢宏 · 平口博丸 : GPM 搭載 2 周波レーダによる降水減衰特性高度プロファイルの推定

Kobayashi, T., M. Nomura, A. Adachi, S. Sugimoto, N. Takahashi, and H. Hirakuchi: Retrieval of attenuation profiles from the GPM dual-frequency radar observations

全球降水観測計画衛星には Ka および Ku バンドの二周波降水レーダが搭載されている。このレーダを用いて、降水の減衰特性を推定する新しい手法を開発した。この方法は2つの周波数で観測したレーダ反射因子の差を利用するもので、降水減衰特性の相対値高度変化を得ることができる。降水の電波減衰は、降水微物理的特性と密接に関連しており、降水量を正確に測

定するために不可欠な降水タイプ判別に利用できる。開発した手法を雨、乾雪、湿雪に適用し、数値シミュレーションにより検証した結果、理論値とよく対応することが分かった。実際の衛星観測にも適用した結果、雨と雪の判別に有用なことが示された。また融解層に適用することで、融解層の構造や減衰量検出に役立つ情報が得られることが分かった。

Chiu Tung CHENG · 鈴木健太郎 : 全球非静力学大気モデルにおける粒径解像エアロゾル微物理モジュール: モデルの記述と検証

Cheng, C. T., and K. Suzuki: Size-resolved aerosol microphysics in a global nonhydrostatic atmospheric model: Model description and validation

エアロゾル粒子の輸送・除去過程とそれらの雲や気候への影響は、粒子の大きさに強く依存する。近年の

計算機の発展に伴って、このようなエアロゾルの粒径を解像するビン型スキームを大循環モデルや化学輸送モデルの上で開発することが可能となってきた。ビン型スキームは、核形成や併合などの微物理過程によるエアロゾルの粒径分布の変動を実験室や観測の知見に基づいて陽に表現できる。本研究では、全球非静力学大気モデル NICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model) で稼働するエアロゾルモジュール SPRINTARS (Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species) について、2モーメントのビン型モジュール (SPRINTARS-bin) を開発した。これは、NICAM に結合されている従来の質量ベース (1モーメント) のエアロゾルモジュール SPRINTARS-orig の代わりとなるものである。NICAM-SPRINTARS モデルは、領域から全球規模のシミュレーションを様々な解像度で行うことのできるシームレスなマルチスケールモデルである。本研究では、典型的な気候モデルの水平解像度 (~230km) を用いて、気象場を再解析データにナッジングした NICAM-SPRINTARS-bin の計算を行い、同じ解像度を用いた従来のモデル (NICAM-SPRINTARS-orig) の計算および観測データとの比較を行った。観測との比較は、AER-

ONET (AErosol RObotic NETwork) 観測網における 500nm でのエアロゾル光学的厚さと 440-870nm でのオングストローム指数、GAW (Global Atmospheric Watch) 観測サイトにおけるエアロゾル数濃度、EUSAAR (European Supersites for Atmospheric Aerosol Research) および GUAN (German Ultrafine Aerosol Network) 観測サイトでの粒径ごとのエアロゾル数濃度について行った。NICAM-SPRINTARS-orig と比べて、NICAM-SPRINTARS-bin では超微小粒子の高緯度域への長距離輸送が計算されるとともに、オングストローム指数や全エアロゾルの数濃度は高く、観測とより整合していた。これは、超微小エアロゾルの数濃度を決める微物理過程を解像すること、除去過程の粒径依存性を陽に表現することの重要性を示している。しかしながら、粗大粒子の数濃度は、従来の質量ベースのスキームと新たに開発した微物理スキームの両方で過小推定された。粒径分布が観測と異なる理由を理解するためには、より高い空間解像度でモデル計算を行うことに加え、様々な排出量データや二次有機エアロゾル生成スキームを用いることや、異なるエアロゾル種の間での併合過程や黒色炭素のエージング効果を導入することが必要である。

山地萌芽・久保田拓志・山本宗尚：GSMaP 準リアルタイム降水プロダクトの信頼度特性の推定とその評価

Yamaji, M., T. Kubota, and M. K. Yamamoto: An approach to reliability characterization of GSMaP Near-Real-Time precipitation product

衛星降水プロダクトの様々な分野での応用のために、信頼度情報が必要とされている。本研究では、衛星全球降水マップ準リアルタイムプロダクト (GSMaP_NRT) の信頼度フラグの概要とその評価結果を示した。本フラグは、アルゴリズムにおける特性を考慮して、GSMaP_NRT の信頼度をシンプルかつ定性的に表現するために開発されており、各格子における信頼度を10段階 (10が最大、1が最小) で表す。信頼度フラグは、次の3つの主要な要素を考慮して開発されている。1) マイクロ波放射計による降水推定は陸上よりも海上の方が優れているという効果を考慮した「地表面信頼度」、2) 低温域では積雪などの影響によって信頼度が低くなるという「低温域信頼度」、3) マイクロ波放射計が通過してから時間が経つとともに信頼度が下がる「MVK (Moving Vector with Kalman

Filter) 伝搬信頼度」。

信頼度フラグの実用性を評価するため、日本域の雨量計で補正された地上レーダ観測データを用いて、統計的な評価指標を各信頼度フラグのレベル毎に算出した。結果から、信頼度フラグはGSMaPの精度の違いを表現できていることがわかり、信頼度が下がるにつれて精度も低下していた。GSMaP精度の季節変化に着目すると、信頼度フラグの全10段階のいずれのレベルでも精度の季節変化が表現できており、信頼度フラグは、環境要因の変化によるGSMaP精度の季節変化も捉えていることが示された。

また本研究では、地形性豪雨情報を活用した信頼度フラグの改良の可能性を提案している。地形性豪雨の誤差特性が全体の降水に対しどのように異なっているかを示すことで、地形性豪雨情報が信頼度フラグの改

良に活用できることが示唆された。

高田久美子・花崎直太：陸面過程モデル MATSIRO の流出過小バイアスの低減に向けた流出感度調査
Takata, K., and N. Hanasaki: Investigating runoff sensitivity in the land-surface model MATSIRO to reduce low runoff bias

Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and RunOff (MATSIRO) は全球気候モデル Model for Interdisciplinary Research On Climate (MIROC) の陸面過程として使われており、Dunne 流出と基底流出を TOPography-based MODEL (TOP-MODEL) に基づいて算定している。MATSIRO を用いたこれまでの実験では、流出および流出の降水に対する応答が観測と比較して過小だった。私たちはこれらのバイアスが深すぎる地下水水位によるものだと推測した。地下水水位は格子点平均の土壌水分をもとに、飽和閾値を用いて診断される。飽和閾値は元々、ほぼ空隙率に等しい値に設定されていたが、本研究では、閾

値を空隙率の75%、50%、25%、13%以下に下げた感度実験を行い、河川流量への影響について、タイのチャオプラヤ川流域をケーススタディーとして調べた。その結果、Dunne 流出と基底流出はともに増加し、河川流量の降水に対する応答も増大した。モデルによる河川流量は飽和の50%のパラメタ値の時に観測に最も近くなった。また、土壌水分とボーエン比も流出の変化に伴って大きく変化した。これらの結果は、格子点平均の土壌水分と地下水水位の関係が TOP-MODEL において重要であることを示唆している。予備的な全球実験の結果から、流出の感度は気候帯によって異なることが示された。

中村健治：熱帯降雨観測衛星 (TRMM) から全球降水観測計画 (GPM) への進歩
Nakamura, K.: Progress from TRMM to GPM

熱帯降雨観測衛星 (TRMM) は1997年に打ち上げられ、17年以上にわたり観測を続けた。TRMM 観測の特長として、(1) 太陽非同期軌道をとることにより降水の日周変化もとらえることができたこと、(2) レーダとマイクロ波、可視赤外放射計を、雷観測装置と雲及び地球放射エネルギー観測装置とともに搭載していたこと、(3) 他の衛星搭載マイクロ波放射計の降水観測データへの参照データを与え、全球降水マップの作成を可能としたこと、が挙げられる。TRMM は科学面では、降水気候学において第一に重要な熱帯・亜熱帯域の降水の分布を高い精度で出した。降水システムの3次元構造の観測は、全球の降水システムの特徴の研究を可能とした。技術面では、TRMM 搭載降雨レー

ダは宇宙からのレーダ観測を実証するとともに、他の降水観測測器への校正源としての有効性を示した。TRMM の成功を受けて、熱帯・亜熱帯のみならず中・高緯度の降水観測を目指して全球降水観測計画 (GPM) が構想された。GPM の主衛星には Ku 帯と Ka 帯の二周波降水レーダ (DPR) がマイクロ波放射計とともに搭載され、DPR は固体降水と液体降水の区別が可能となった。TRMM と GPM により23年以上にわたる降水観測データが蓄積され、このデータは地球環境変化に伴う降水の変化の研究に大きく寄与すると期待される。なお、本レビュー論文では日本の成果を中心に記している。

山田芳則：2つのパルス繰り返し周波数によるドップラー速度データの品質管理のための実用的で効率のよい後処理アルゴリズム

Yamada, Y.: An efficient practical post-processing algorithm for the quality control of dual-pulse repetition frequency Doppler velocity data

この論文では、PPIモードで観測された2つのパルス繰り返し周波数による(dual-PRF)ドップラー速度データの品質管理を行うための実用的で効率のよいアルゴリズムを提案する。品質管理とは、大きな誤差を含む速度データの存在に起因する不自然な速度差を解消することを目的として、適切なナイキスト数の再割り当てや信頼度の低い速度データの削除によって速度データの品質を向上させる処理全般を指す。なお、速度データの品質を低下させている原因は問わない。このアルゴリズムは、多くの先行研究と同様に速度デー

タの局所的な連続性に基づいているとはいえ、基準となるデータを準備する方法及び高い仰角のPPIデータへも適用可能であることに特徴がある。本論文で提案するアルゴリズムの性能が高いことは、C-及びX-バンドレーダーで観測されたdual-PRFドップラー速度データの品質管理に適用した結果が明瞭に示している。この方法は、実用的で効率がよく、しかも品質管理の処理に要する時間は長くないので、dual-PRFドップラー速度データから精度良い風の情報を得るために非常に有益である。

Prashant KUMAR・Rakesh GAIROLA・久保田拓志・Chandra KISHTAWAL：高密度地上雨量計ネットワーク観測を用いた衛星降雨プロダクトの日推定を改善するためのハイブリッド同化法：インド・カルナータカ州の事例研究

Kumar, P., R. M. Gairola, T. Kubota, and C. M. Kishtawal: Hybrid assimilation of satellite rainfall product with high density gauge network to improve daily estimation: A case of Karnataka, India

インド夏季モンスーン(ISM)期間中の正確な降雨量推定はインド亜大陸およびその周辺で最も重要な活動の一つである。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、Global Satellite Mapping of Precipitation(GSMaP)降雨プロダクトとして、全球客観解析データ等を補助データとして用いて計算した衛星プロダクトであるGSMaP_MVKや全球地上雨量計データで調整したGSMaP_Gaugeを提供している。本研究では、2016～2018年のISM期間で、インド南西部の州の1つであるカルナータカ州における高密度地上雨量計ネットワークを基準として、GSMaP降雨プロダクト(バージョン7)の日降雨量を検証する。さらに、本研究の主目的として、これら的高密度地上雨量計観測を、ハイブリッド同化法を用いてGSMaP降雨量に同化することで、最終的な降雨推定を改善する。ここで、ハイブリッド同化法は二次元変分(2D-Var)法とKalmanフィルタの組合せであり、2D-Var法を用いて地上雨

量計観測を統合し、Kalmanフィルタを用いて2D-Var法の背景誤差を更新する。準備としての検証結果は、GSMaP_Gauge降雨量が北部内陸カルナータカ州(NIK)と南部内陸カルナータカ州(SIK)地域で十分な精度を持ち、西ガーツ山脈の地形性豪雨領域で大きな誤差を持つことを示唆する。これらの誤差はGSMaP_MVK降雨量の地形性豪雨領域でより大きかった。ランダムに選択した地上雨量計観測を用いたハイブリッド同化結果は、独立した地上雨量計観測と比較して、GSMaP_GaugeとGSMaP_MVK降雨量の精度を改善した。これらの日雨量における改善は地形性豪雨領域でより顕著である。GSMaP_MVK降雨プロダクトは、JAXAの運用処理において地上雨量計による調整が含まれていないので、より大きな改善を示した。また本研究は、Cressman法や最適内挿法と比較して、用いられた雨量計の数のインパクトに対するハイブリッド同化法の優位性を示す。

諸田雪江・坪木和久・佐藤晋介・中川勝広・牛尾知雄・清水慎吾：フェーズドアレイ気象レーダで観測された孤立積乱雲内の降水コアの構造と時間発展

Moroda, Y., K. Tsuboki, S. Satoh, K. Nakagawa, T. Ushio, and S. Shimizu: Structure and evolution of precipitation cores in an isolated convective storm observed by phased array weather radar

フェーズドアレイ気象レーダは、30秒間隔で積乱雲内の反射強度と風速場の詳細な三次元分布を観測することができる。本研究では、この高速スキャン機能を用いて、孤立積乱雲の構造と時間発展を調べた。積乱雲の構造を記述するために、次のような定義を用いた。降水セルは、高度2 km以上の領域で、反射強度40dBZ以上の三次元的に連続した領域と定義した。降水コアは、成熟期における降水セルの平均反射強度からの偏差が+7 dBZ以上の領域と定義した。上昇流コアは、高度2 kmにおける上昇流が 1 m s^{-1} 以上の領域と定義した。

解析した孤立積乱雲は、2015年8月7日の近畿地方において、2台のフェーズドアレイ気象レーダで観測された。この積乱雲は、上述した定義で判別するとシングルセルであった。この降水セルの成熟期49分間

は、9個の降水コアと5個の上昇流コアを識別することができた。降水コアは、1つの長寿命な上昇流コアと、そこから分岐した上昇流コアの周辺で次々と発生しており、それらの上昇流コアは南西、もしくは南東方向へ移動していた。最も長く観測された上昇流コアの寿命は73.5分だったのに対し、観測された降水コアの寿命は4.5~14.5分だった。識別された複数の上昇流コアは次々と発生し、下層での南西風の流入によってもたらされた水蒸気を降水セルへと継続的に供給していた。上昇流コアから見積もられた水蒸気供給量は、降水セル体積と比例しており、その相関係数は0.75だった。このように、高時空間解像度の観測データは、降水セルが複数の降水コアと複数の上昇流コアから構成されているという新しい概念を提示する。