

日本気象学会誌 気象集誌

(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第99巻 第5号 2021年10月号 目次と要旨

| | |
|---|-----------|
| 巻頭言：特集号『Special Edition on Extreme Rainfall Events in 2017 and 2018』 | 1145-1147 |
| T. Hanh NGUYEN・石島健太郎・菅原 敏・長谷部文雄：熱帯の成層圏大気サンプルから得られた平均大気年齢の解釈へのナッジング大気大循環モデルの応用 [†] | 1149-1167 |
| 宇田智紀・坂上貴之・稲津 将・古賀一基：流線トポロジー解析 (TFDA) による大気ブロッキング現象の抽出とその型同定 [†] | 1169-1183 |
| Dong SI・Yihui DING・Dabang JIANG：東アジアの大寒波発生に至った長周期・下流発達プロセス | 1185-1200 |
| 青梨和正・田島知子・久保田拓志・岡本幸三：降水の混合対数正規確率分布関数と新しい位置ずれ補正法の全天候マイクロ波イメージャ輝度温度のアンサンブルに基づく変分同化への導入 ^{†,1} | 1201-1230 |
| 広瀬正史・重 尚一・久保田拓志・古澤文江・民田晴也・増永浩彦：直下付近観測を利用した GPM 主衛星搭載二周波降水レーダの地表面降水推定の改良 ^{†,1} | 1231-1252 |
| 阿波加純・Minda LE・Stacy BRODZIK・久保田拓志・正木岳志・V. CHANDRASEKAR・井口俊夫：全球降水観測計画二周波降水レーダのフルスキャンモードに対する降水タイプ分類アルゴリズムの開発 ^{†,1} | 1253-1270 |
| Christoph HEIM・Laureline HENTGEN・Nikoline BAN・Christoph SCHÄR：亜熱帯海洋低層雲の対流解像シミュレーションにおけるモデル間ばらつき ² | 1271-1295 |
| 山田広幸・伊藤耕介・坪木和久・篠田太郎・大東忠保・山口宗彦・中澤哲夫・長浜則夫・清水健作：日本初のアイウォール貫通型航空機観測により捉えられた2017年台風第21号 (ラン) の二重暖気核構造 [†] | 1297-1327 |
| 日置智仁・坪木和久：雲解像モデルでシミュレーションされた発達期の台風の暖気核発達と気圧低下に関するトラジェクトリー解析 [†] | 1329-1350 |
| 小原涼太・岩崎俊樹・山崎 剛：平成30年7月豪雨における梅雨前線による大雨での雨滴蒸発冷却の影響 ^{†,3} | 1351-1369 |
| 井上豊志郎・Kavirajan RAJENDRAN・佐藤正樹・三浦裕亮：全球雲解像モデル実験と衛星観測による熱帯域における地上降水強度の半日周期変動について ^{†,2} | 1371-1388 |
| 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2021年7月号・8月号) | 1389 |
| 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2021年131-157・A38-50・B9-13) | 1390 |
| 気象集誌次号掲載予定論文リスト | 1391 |

.◇.◇.◇.

[†] 和文要旨掲載論文

¹ 特集号「Global Precipitation Measurement (GPM): 5th Anniversary」

² 特集号「DYAMOND: The DYNAMICS of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains」

³ 特集号「Special Edition on Extreme Rainfall Events in 2017 and 2018」

T. Hanh NGUYEN・石島健太郎・菅原 敏・長谷部文雄：熱帯の成層圏大気サンプルから得られた平均大気年齢の解釈へのナッジング大気大循環モデルの応用

Nguyen, T. H., K. Ishijima, S. Sugawara, and F. Hasebe: Application of a nudged general circulation model to the interpretation of the mean age of air derived from stratospheric samples in the tropics

インドネシアのピアクで行われた Coordinated Upper-Troposphere-to-Stratosphere Balloon Experiment in Biak (CUBE/Biak) 観測キャンペーンの一環として行われたクライオジェニックサンプリング実験による大気サンプルから推定された平均大気年齢 (mean age) の成層圏高度分布について、大気大循環モデルに基づく化学輸送モデル (Atmospheric general circulation model-based Chemistry Transport Model: ACTM) を用いた Boundary Impulse Evolving Response (BIER) 法とラグランジュ後方流跡線解析の二つの方法を適用して検証した。ACTMは、大気大循環モデルを European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis-Interim (ERA-Interim) にナッジングすることにより、1時間間隔の現実的な気象場を提供した。BIER法では陽に解像されない拡散混合過程を考慮することが可能であり、後方流跡線解析では空気塊が観測地点に到達するまでの経路を区別できる。ACTMによって再現された共通の輸送場に対して二つの方法を適用することは、CO₂ と SF₆ から推定された平均年齢を評価する上で有用で

ある。計算に用いた輸送場の信頼性は、ラグランジュ法によって再現された CO₂, SF₆, および水蒸気の鉛直分布を観測結果と比較することで評価した。二つの方法による平均年齢を CO₂ age と比較すると、ラグランジュ法の結果が比較的良い再現性を示した。ラグランジュ法の平均年齢はやや小さくなるバイアスが見られたが、このことは流跡線計算を一定の有限時間で停止させているためであると考えられる。一方、BIER法の平均年齢は、高度25km以上において CO₂ age よりも大きくなっており、モデルの拡散の効果が大きい可能性が示唆された。これとは対照的に、SF₆ age との比較では成層圏下部のみで再現性が良いものの、SF₆ age はラグランジュ法の平均年齢よりもかなり大きくなった。ラグランジュ法では中間圏起源の空気塊が含まれていないことや、観測された上層の SF₆ 濃度が流跡線から再現された濃度よりもかなり低くなっていることから、観測された大気サンプルが SF₆ 消失の影響を受けた中間圏大気との混合の影響を受けているために平均年齢が過大評価になっているという仮説を裏付けている。

宇田智紀・坂上貴之・稲津 将・古賀一基：流線トポロジー解析 (TFDA) による大気ブロッキング現象の抽出とその型同定

Uda, T., T. Sakajo, M. Inatsu, and K. Koga: Identification of atmospheric blocking with morphological type by topological flow data analysis

本論文では500hPaの等高線が作るトポロジー構造を抽出して大気ブロッキング現象の同定を実現するアルゴリズムを提案する。このアルゴリズムは、構造安定な2次元のハミルトンベクトル場の作る流線パターンのトポロジーによる分類理論に基づいて、この流線構造に部分順序根付き木 (partially cyclically ordered rooted tree=COT) 表現とそれに付随するレーブグラフ (Reeb graph) という木構造を一意に割り当て、それを用いてブロッキング同定を可能にする。この方法

は、従来手法に比べて気象学的なパラメータをほとんど利用せずに簡便かつ効果的に大気ブロッキング現象を抽出できる。加えて、従来手法では困難であったオメガ (Ω) 型や双曲極子型といった大気ブロッキングのタイプ (型) を区別することもできる。このアルゴリズムで同定された大気ブロッキングイベントの期間やそのタイプは現業予報で行われている主観的な判断とよく一致する。

青梨和正・田島知子・久保田拓志・岡本幸三：降水の混合対数正規確率分布関数と新しい位置ずれ補正法の全天候マイクロ波イメージャ輝度温度のアンサンブルに基づく変分同化への導入

Aonashi, K., T. Tashima, T. Kubota, and K. Okamoto: Introduction of a mixed lognormal probability distribution function and a new displacement correction method for precipitation to the ensemble-based variational assimilation of the all-sky microwave imager brightness temperatures

全天候マイクロ波イメージャ輝度温度を雲解像モデルの降水物理量へ同化するため、2スケール近傍法を使うアンサンブルに基づく変分同化法スキーム(EnVar)に、降水の非正規型確率分布関数(PDF)と、PDFの代用レジームを使った新しい位置ずれ補正法を導入した。

多くの事例について降水のアンサンブル予報摂動の既存の非正規PDFモデルへの適合性を評価した。これをもとに、降水強度のPDFとして混合対数正規分布を選び、EnVarに降水なし、降水ありの二つのPDFレジームを導入した。次に、EnVarで非降水、降水、強雨の代用レジームを導入し、そのPDFを対象地点の周囲のPDFの平均で近似する、降水の位置ずれ補正法を開発した。この平均の水平スケールは、アンサンブル予報摂動の相似性に基づいて推定した。上記手

法が、マイクロ波イメージャ輝度温度の観測値と第一推定値の差のバイアスと正規性を向上させた。

台風1518について全天候マイクロ波イメージャ輝度温度観測データを同化する実験を行なった。その結果、本研究のEnVarは、従来の、降水の単一の正規分布PDFレジームを使うEnVarに比べて、衛星全球降水マップ(GSMaP)に近い降解析値を与えた。降水の混合対数正規分布の導入は、台風や前線付近の強雨域で降解析値を強め、代用レジームの使用は、降解析値の降水の位置ずれ誤差を大幅に減らした。本研究のEnVarは、雲解像モデルの12時間予報までの降水予報を改善し、1日以上台風中心位置や中心気圧の予報を改善した。さらにEnVarの予報解析サイクルは、1時刻の輝度温度同化よりも、台風周辺の強雨の短期予報と台風に付随した降水帯の予報を改善した。

広瀬正史・重 尚一・久保田拓志・古澤文江・民田晴也・増永浩彦：直下付近観測を利用したGPM主衛星搭載二周波降水レーダの地表面降水推定の改良

Hirose, M., S. Shige, T. Kubota, F. A. Furuzawa, H. Minda, and H. Masunaga: Refinement of surface precipitation estimates for the Dual-frequency Precipitation Radar on the GPM Core Observatory using near-nadir measurements

全球降水観測(GPM)計画主衛星搭載二周波降水レーダ(GPM DPR)による降水の統計は入射角に依存した系統的なバイアスによって過小評価となっている。5年間のGPM DPR Ku帯降水レーダ(KuPR) Version 06Aデータによる降水量は、衛星の直下付近における統計に比べて陸では7%、海では2%少ない。本研究では、直下付近の観測データを参照して、低高度降水強度鉛直分布(LPP)と浅い降水の見逃し(SPD)の影響を推定した。

はじめに、降水の構造的な特徴や環境変数で分類した直下付近のデータベースを用いてLPPを更新した。高標高域や中高緯度等、高度2km以下で下方増加傾向の降水プロファイルが卓越する場所では、LPP補正によって降水量が増加しており、全球平均降水量は

5%増加した。続いて、降水頂2.5km以下の降水データの検出数に見られる入射角間の差異をもとに、SPDによる全降水量への寄与を推定した。SPDに関する影響はLPP補正の結果と同程度であった。本研究では、地表面クラッターの干渉しない最低高度と空間的に平均した浅い降水の割合に対するSPD補正のルックアップテーブルを作成し、3か月間の0.1度格子の統計にSPD補正を適用した。SPD補正の結果、浅い降水が卓越する亜熱帯の少雨域や高緯度の降水量が50%ほど増加した。これらの二つの補正により、陸の降水は8%、海の降水は11%増加することが分かった。北緯60度から南緯60度におけるKuPRの降水平均値を他のデータと比較すると、補正によって衛星・雨量計合成データとの差異は-17%から-9%へ、陸の雨量計

のみのデータとの差異は-19%から-15%へと縮小した。

**阿波加純・Minda LE・Stacy BRODZIK・久保田拓志・正木岳志・V. CHANDRASEKAR・井口俊夫：
全球降水観測計画二周波降水レーダのフルスキャンモードに対する降水タイプ分類アルゴリズムの開発**

Awaka, J., M. Le, S. Brodzik, T. Kubota, T. Masaki, V. Chandrasekar, and T. Iguchi: Development of precipitation type classification algorithms for a full scan mode of GPM Dual-frequency Precipitation Radar

全球降水観測 (GPM) 計画主衛星搭載の二周波降水レーダ (DPR) は、2018年5月から Ku 帯と Ka 帯の双方でフルスキャン (FS) モードで運用されている。従来のアルゴリズムでは観測幅約125km の内側走査領域でのみ二周波処理していたが、FS モードにより、初めて観測幅約245km の全走査領域で二周波処理することが可能となった。本論文では、FS モードに対応するよう新たに開発した DPR レベル2 のバージョン V06X 実験アルゴリズムに含まれる降水タイプ分類 (CSF) モジュールについて述べる。CSF モジュールは、降水を層状性、対流性、その他の三つの種類に分類し、ブライツバンド (BB) 情報を提供する。

Ka 帯 Matched Scan (Ka-MS) モードと Ka 帯高感度 (Ka-HS) モードでレーダの感度が異なるため、1ヶ月間の統計では、内側走査領域と外側走査領域において Ka 帯のみで一周波処理した各降水タイプの個数に大きな段差が見られた。しかし、二周波処理では、

内側走査領域だけでなく外側走査領域でも降水タイプを適切に分類していることがわかった。BB 数の統計では、二周波処理を行った場合、特に外側走査領域で BB 検出率が大きく向上していることがわかった。

さらに、V06X では Ku 帯の CSF モジュールに関連する二つの問題、(a) スロープ法で再分類した層状性の降水において非常に大きな地表面降水強度が出現する可能性があること、および、(b) BB ピークを地表面エコーの上部であると稀に誤判定すること、を解決している。

V06X では、GPM DPR アルゴリズムのデータ構造が大幅に変更された。V06X で導入された新しいデータ構造は、V07A 以降にも採用される予定である。この意味で、本稿で概説する V06X の CSF モジュールは、将来の降水タイプ分類アルゴリズムの原型の役割を果たすことになる。

山田広幸・伊藤耕介・坪木和久・篠田太郎・大東忠保・山口宗彦・中澤哲夫・長浜則夫・清水健作：日本初のアイウォール貫通型航空機観測により捉えられた2017年台風第21号 (ラン) の二重暖気核構造

Yamada, H., K. Ito, K. Tsuboki, T. Shinoda, T. Ohigashi, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, and K. Shimizu: The double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) as observed through the first Japanese eyewall-penetrating aircraft reconnaissance

2017年台風第21号 (ラン) に対する上部対流圏の航空機観測を、新たに開発したドロップゾンデシステムを備えた民間ジェット機を用いて行った。これは、日本の研究グループがドロップゾンデを用いて非常に強い台風の内部コアを観測した初めての事例である。本論文では、目の暖気核構造と、それに関連するアイウォールの熱力学的および運動学的特徴について記述する。この台風は観測の2日間において、鉛直シア-

が強まる環境で最大の強度を維持した。ドロップゾンデにより、この期間に対流圏中層と上層に温位偏差の極大をもつ二重暖気核構造が維持されたことが捉えられた。この二つの暖気核は相当温位が10K 以上異なり、起源が異なることが示唆された。飽和点分析により、上部暖気核の空気はアイウォールから流入したことが示唆された。鉛直シアベクトルの左半円側におけるアイウォール上昇気流は、台風の中心側で相当温

位が高く絶対角運動量が低い2層の構造を持っていた。飽和点とパーセル法の分析から、この中心側の上昇気流で相当温位が370Kを超える暖かい空気が目の境界層から流入し、最終的に上部暖気核に輸送されることが示唆された。これらの結果から、目の境界層を起源とする高い相当温位の空気の鉛直輸送が、鉛直シアによる台風強度への負の影響に対抗して、上部対

流圏の目の継続的な昇温に寄与するという仮説が導かれた。この研究は、相当温位の計算に必要な温度と湿度の測定が、ドロップゾンデのような消耗型の機器でしか行えない現状において、アイウォール貫通型の上部対流圏航空機観測が暖気核構造の監視に重要であることを示している。

日置智仁・坪木和久：雲解像モデルでシミュレーションされた発達期の台風の暖気核発達と気圧低下に関するトラジェクトリー解析

Hioki, T., and K. Tsuboki: Trajectory analyses on the warm core development and pressure falls of a developing typhoon as simulated by a cloud-resolving model

台風の中心気圧は暖気核の発達と眼の領域での質量の発散に関連している。トラジェクトリー解析を用いて、暖気核へ移流する空気塊の起源と眼から流出する空気塊の経路を調べた。まず、高解像度(2 km)雲解像モデルを用いて発達期の台風 Wipha(2007)のシミュレーションを行った結果、中心気圧の低下と、眼の上層の暖気核、眼の壁雲、二次循環といった軸対称構造が再現された。このシミュレーション結果を用いて眼の空気塊の後方トラジェクトリー解析を行った結果、暖気核を構成する空気塊は対流圏下層と成層圏下層が起源であることが明らかになった。対流圏下層起源の

空気塊は海面からの潜熱フラックスによって相当温位が増加しており、眼の壁雲で上昇し、対流圏上層で内向きに吹き込んでいる。成層圏下層起源の空気塊は温位が高く、対流圏上層へ下降している。したがって、対流圏下層からの高相当温位の空気塊と成層圏下層からの高温位の空気塊によって構成されている。次に、眼から流出する空気塊の前方トラジェクトリー解析を行った結果、眼の空気塊は対流圏全層から眼の壁雲を通して流出しており、特に高度2 km以下及び9 kmから12 kmからの流出量が多いことが明らかになった。この眼の空気の流出の結果、中心気圧が低下する。

小原涼太・岩崎俊樹・山崎 剛：平成30年7月豪雨における梅雨前線による大雨での雨滴蒸発冷却の影響

Ohara, R., T. Iwasaki, and T. Yamazaki: Impacts of evaporative cooling from raindrops on the frontal heavy rainfall formation over western Japan on 5-8 July 2018

平成30年7月豪雨では、7月5日から3日以上にわたって梅雨前線が西日本に停滞し、西日本から東海地方にかけての広範囲で記録的な大雨となった。本研究では、前線付近の降水のメカニズムおよび、雨滴蒸発による冷却が前線付近の降水の形成・維持に及ぼす影響について調べた。最初に、全球再解析(JRA-55)を用い、豪雨を発生させた梅雨前線の力学的・熱力学的構造について調べた。南方から停滞前線に向かって大量の水蒸気が輸送されており、とりわけ前線面として同定された299Kの等温位面付近で断熱的な上昇流が最大であった。断熱的に上昇した暖気は高度500m付近で飽和に達し、強い非断熱加熱による上昇流も加わり、活発な降水システムが形成された。降水粒子は

299K面の南端付近で蒸発冷却を起こし、前線面の位置の維持に大きな役割を果たしていたことが示唆された。そこで、非静力学数値モデルJMA-NHMを用いた降水粒子の蒸発に関する感度実験を水平解像度3 kmで行った。数値実験では300K等温位面が前線面として同定され、同時におこなった地形の平坦化の有無に関する感度実験の結果、中国地方から近畿地方中部に伸びる強い降水帯は地形ではなく主に前線面に沿った上昇流で形成されていたことが示された。雨滴蒸発をオフにした場合には、蒸発による前線面下の寒気生成が消失することで寒気の張り出しが弱まり、前線面が北に後退することで活発な降水帯が100 km以上北に変位することが示された。

井上豊志郎・Kavirajan RAJENDRAN・佐藤正樹・三浦裕亮：全球雲解像モデル実験と衛星観測による熱帯域における地上降水強度の半日周期変動について

Inoue, T., K. Rajendran, M. Satoh, and H. Miura: On the semidiurnal variation in surface rainfall rate over the tropics in a global cloud-resolving model simulation and satellite observations

3.5km メッシュの非静力学正20面体格子大気モデル (NICAM) による2006年12月26日-31日のシミュレーション結果を用いて、熱帯において一日二回のピークを示す降水強度の半日周期について解析を行った。結果を熱帯降雨観測衛星 (TRMM) に搭載された降水レーダ (PR) 及びマイクロ波放射計 (TMI) で観測された冬季17年間の気候値、同一期間に解析された GSMaP データ、さらに静止気象衛星で観測された赤外面像データと比較した。

陸域であるアフリカ南部とアマゾン域に注目して調査を行った。この領域において NICAM は一番強い午後のピーク (第一ピーク) と二番目に強い早朝のピーク (第二ピーク) をとらえた。このようなピークは TRMM でも同様に観測されている。PR の観測によると、第一ピークは対流性降水、第二ピークは層状性降

水が主となっている。単純に降水強度によって対流性及び層状性降水を分類した場合、NICAM では対流性降水が一日中卓越するとともに降水強度は一般的に PR の降水強度よりも強い。一方、深い対流雲 (DC) に注目した解析によると、NICAM が再現した降水強度の第一ピークは DC の数が多い時間帯に対応し、第二ピークは DC のサイズがほぼ最大の時間に対応しており、静止気象衛星の観測結果と整合的である。但し、NICAM では二つのピークの相対的な大きさを十分に表現できず、層状性降水による寄与が過小評価されている。

改善の余地はあるものの、NICAM のような高解像度の全球非静力学モデルは深い対流の半日周期を表現でき、低分解能の大気大循環モデルの限界を克服できる可能性があることを今回の研究は示している。