

日本気象学会誌 気象集誌

(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第99巻 第4号 2021年8月号 目次と要旨

Hien X. BUI・Jia-Yuh YU：熱帯の対流スペクトルとそれに伴う雲放射効果のシミュレーションに対するモデル空間解像度の影響	789-802
Peter HAYNES・Peter HITCHCOCK・Matthew HITCHMAN・余田成男・Harry HENDON・George KILADIS・小寺邦彦・Isla SIMPSON：成層圏が熱帯対流圏に与える影響 ^{†, #}	803-845
Brian MAPES：対流のメソ構造における形態-機能関係性に向けて [#]	847-878
竹村和人・向川 均・前田修平：大規模アンサンブル気候予測実験において見出された地球温暖化に伴う夏季北太平洋中央部でのロスビー波の碎波頻度の減少 [†]	879-897
平田英隆・川村隆一・野中正見・坪木和久：冬季に黒潮が強化した温帯低気圧に伴う対流性の降雨バンド [†]	899-912
Fang-Ching CHIEN・Yen-Chao CHIU・Chih-Hua TSOU：1979年から2018年までの梅雨期の台湾における南西風と大雨の気候学的研究	913-931
菊地一佳：北半球夏季季節内変動 (BSISO)：レビュー ^{†, #}	933-972
澁谷亮輔・中野満寿男・小玉知央・那須野智江・佐藤正樹・宮川知己・三浦裕亮・菊地一佳：雲物理を陽に計算する全球非静力学大気モデルシミュレーションによる夏季熱帯季節内振動に関する予測スキル ^{†, 1}	973-992
佐藤拓人・日下博幸：海面気圧配置分類における類似度の統計的な相互比較 ^{†, *}	993-1001
小松謙介・飯島慈裕・金子有紀・Dambaravjaa OYUNBAATAR：GPM 主衛星が捉えたモンゴル複雑地形上での強雨事例に対する GSMaP の検証 ^{†, 2}	1003-1022
Ying-Jhang WU・Yu-Chiang LIOU・Yi-Chuan LO・Sheng-Lun TAI・Shao-Fan CHANG・Juanzhen SUN：高解像4次元変分法データ同化システムを用いた台湾北部で2014年8月19日に発生した雷雨の降水過程に関する研究	1023-1044
Maryliss BARREYAT・Philippe CHAMBON・Jean-François MAHFOUF・Ghislain FAURE・幾田泰醇：GPM マイクロ波イメージャーの観測に適用された1D Bayesian inversion：感度研究 ^{†, 2}	1045-1070
Jinjie SONG・Philip J. KLOTZBACH・Yihong DUAN：ENSO モドキと夏季の台風発生数との間にみられる関係の近年の弱化	1071-1088
関山 剛・梶野瑞王：福島第一原子力発電所近傍の沿岸2観測地点において検証された250m格子オイラー移流拡散シミュレーションの性能について ^{†, *}	1089-1098
中村健治・金子有紀・中川勝広・花土 弘：デュアル Ka 帯レーダシステムによって測定された融解層の電波散乱特性 ^{†, 2}	1099-1114

[†] 和文要旨掲載論文

* 要報と質疑

レビュー論文

¹ 特集号「DYAMOND: The Dynamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains」

² 特集号「Global Precipitation Measurement (GPM): 5th Anniversary」

³ 特集号「Years of the Maritime Continent (YMC)」

米山邦夫・藤田実季子・清木亜矢子・城岡竜一・横井 覚・Esperanza O. CAYANAN・Cynthia O. IGLESIA・Olivia C. CABRERA：集中観測 YMC—北半球夏季モンスーン研究2018及び2020時のLMS6及びRS41ラジオゾンデ湿度データの評価 ^{†,*,3}	1115-1125
小寺邦彦・江口菜穂・Rei UEYAMA・Beatriz M. FUNATSU・Marco GAETANI・Christopher M. TAYLOR：サヘルの極端に深い対流に対する熱帯対流圏界面遷移層の低温化の影響 ^{†,*}	1127-1139
学会誌「天気」の論文・解説リスト (2021年5月号・6月号).....	1141
英文レター誌 SOLA の論文リスト (2021年81-129・B 1-8).....	1142
気象集誌次号掲載予定論文リスト.....	1143

.....◇.....◇.....◇.....

Peter HAYNES・Peter HITCHCOCK・Matthew HITCHMAN・余田成男・Harry HENDON・George KILADIS・小寺邦彦・Isla SIMPSON：成層圏が熱帯対流圏に与える影響

Haynes, P., P. Hitchcock, M. Hitchman, S. Yoden, H. Hendon, G. Kiladis, K. Kodera, and I. Simpson: The influence of the stratosphere on the tropical troposphere

観測的研究およびモデル実験研究は、成層圏が熱帯の対流圏に重要な影響を与えることを示唆している。力学的結合を通じて成層圏が中・高緯度の対流圏に与える影響は、過去15~20年の間に盛んに研究されて来ており、その結果、科学的理解が向上し、数値天気予報や気候予測では既にその知見が活用されている。この結合には、成層圏から対流圏への力学的影響の伝達と、対流圏の応答を高める対流圏内でのフィードバックが必要である。一方、成層圏が熱帯の対流圏に及ぼす影響についての科学的理解は、まだ十分には進んでいない。本レビューでは、1日周期から100年単位まで

の時間スケールで、その影響に関する観測事実とモデル化の現状を要約する。また、影響伝達と熱帯対流圏内でのフィードバックに関連しうるメカニズムの今日的な理解と、天気予報や気候予測に対して成層圏と熱帯対流圏との力学結合が果たしうる役割について議論をする。これらには、モデル検証の機会や、季節内予報および季節予報の改善の機会、成層圏オゾンの変化の影響や、採りうる気候工学的アプローチの影響などが含まれる。最後に、未解決の科学的疑問点を特定し、これらの疑問点を解決するために必要な今後の観測およびモデル実験研究を提案する。

竹村和人・向川 均・前田修平：大規模アンサンブル気候予測実験において見出された地球温暖化に伴う夏季北太平洋中央部でのロスビー波の碎波頻度の減少

Takemura, K., H. Mukougawa, and S. Maeda: Decrease of Rossby wave breaking frequency over the middle North Pacific in boreal summer under global warming in large-ensemble climate simulations

現在気候及び将来気候を対象とする大気大循環モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションの結果を用いて、8月の北太平洋中央部におけるロスビー波の碎波頻度の将来変化、及びそれに関連する大気循環場の特徴を調べた。現在気候実験における北太平洋中央部での碎波頻度は、再解析データと同様に、エルニーニョ・南方振動と関連することが相関解析より示された。将来気候実験における北太平洋中央部での碎

波頻度は、現在気候実験と比べて顕著に減少することが分かった。将来気候実験では、アジアモンスーン循環が顕著に弱化し、その結果としてアジアジェット気流が南偏する傾向が見られた。このアジアジェット気流の将来変化に伴って、北太平洋中央部ではジェット気流の分流・減速が弱化し、それは碎波頻度の減少と関連していた。また将来気候実験では、ユーラシア大陸及び北太平洋の中緯度でロスビー波の波束伝播が弱

化する傾向が明瞭であり、このことは砕波頻度の減少と整合的である。相関解析及び頻度分布の解析より、将来気候実験における砕波頻度の減少は、フィリピンの東海上での積雲対流活動の弱化と関連することが示

された。さらに、 ω 方程式を用いた診断より、砕波頻度の減少は、中部太平洋トラフの弱化及びそれに伴う力学的上昇流の弱化を通して、フィリピンの東海上での積雲対流活動の弱化に影響を及ぼすことが示された。

平田英隆・川村隆一・野中正見・坪木和久：冬季に黒潮が強化した温帯低気圧に伴う対流性の降雨バンド

Hirata, H., R. Kawamura, M. Nonaka, and K. Tsuboki: Kuroshio-enhanced convective rainband associated with an extratropical cyclone in the cold season

2017年1月、温帯低気圧に伴う前線に沿って発達した対流性の降雨バンドが三宅島に記録的大雨をもたらした。本研究は、この降雨バンドの強化過程における黒潮からの熱フラックスの役割について調査した。領域雲解像モデルを用いて降雨バンドの再現実験（コントロール実験）と黒潮からの顕熱および潜熱フラックスを除去する感度実験を実施した。低気圧に伴う温暖前線の北側で発生した非古典的な前線（アウターフロント）に沿って、降雨バンドが発達した。コントロール実験は、降水バンドの強度や移動をよく再現した。さらにコントロール実験では、降雨バンドが発達するにつれて、降雨バンドの南側の低気圧に伴う寒冷コンベアベルト周辺において、黒潮からの熱フラックスが明瞭となった。顕熱フラックスと比較して、潜熱フ

ラックスは約2.3倍の大きさであった。コントロール実験と感度実験との比較は、熱フラックス、特に潜熱フラックスが、降雨バンドを強化することを示した。顕熱フラックスは対流圏下層の対流不安定度を若干強め、潜熱フラックスは地表付近の水蒸気量および対流不安定度を大きく増加させた。アウターフロントに沿う前線性の上昇気流によって、強化された対流不安定は解放される。その結果、水蒸気収束、水蒸気の凝結および上昇流が強化され、降雨バンドの発達が生じた。これらの結果は、黒潮からの熱フラックス、特に潜熱フラックスは、水蒸気量と対流不安定度の増加を介して、大雨を引き起こした降雨バンドの発達へ寄与したことを示す。

菊地一佳：北半球夏季季節内変動（BSISO）：レビュー

Kikuchi, K.: The boreal summer intraseasonal oscillation (BSISO): A review

北半球夏季季節内変動（BSISO）は、北半球夏季の熱帯で起こる季節以下の時間規模をもった変動の中で最も顕著なものの一つである。マッデンジュリアン振動と呼ばれる、北半球冬季に卓越する季節内変動と比べ、夏季季節内変動はより複雑な時空間構造を示し、赤道域で東進する特徴とともに、北半球インド洋及び西部北太平洋で北進する特徴を有する。夏季季節内変動は、台風発生、モンスーンの開始、活発・不活発サイクルなどといった広範囲にわたる熱帯気象・気候に

強い影響を及ぼす。夏季季節内変動についての本質的な理解は徐々に進んできている。これまで、夏季季節内変動の様々な側面について調べられてきており、その北進機構についてもいくつかの理論が提唱されてきた。しかしながら、大気大循環モデルによる夏季季節内変動の再現性は、改善されてきたとはいえ、依然として不十分である。本論文では、観測、理論、モデリングの観点から夏季季節内変動のいくつかの本質的な側面についてレビューを行う。

澁谷亮輔・中野満寿男・小玉知央・那須野智江・佐藤正樹・宮川知己・三浦裕亮・菊地一佳：雲物理を陽に計算する全球非静力学大気モデルシミュレーションによる夏季熱帯季節内振動に関する予測スキル

Shibuya, R., M. Nakano, C. Kodama, T. Nasuno, K. Kikuchi, M. Satoh, H. Miura, and T. Miyakawa: Prediction skill of the Boreal Summer Intra-Seasonal Oscillation in global non-hydrostatic atmospheric model simulations with explicit cloud microphysics

雲物理を陽に計算する格子間隔14kmの全球非静力学大気モデルNICAMを用いて1か月積分における夏季熱帯季節内振動(BSISO)の予測スキルを評価した。数値実験データとして、2000-2014年の8月の各日付を初期値としたhindcast実験による13950日分の積分、計465本のシミュレーションを用いた。予測スコアを基にした統計解析によると、NICAMはおよそ24日間のBSISO予測スキルを持つことが示された。特に初期値がBSISOのphase 7-1にある時、予測スキルはさらに約2日高くなることが分かった。BSISOのphase 7-1時の特徴は、フィリピン諸島上で対流活動が減衰し始める一方、西インド洋で新たな対流が組織化し始める際の構造に対応する。BSISOの位相速度や振幅の変化について調べたところ、NICAMでは、海洋大陸から西部太平洋上で外向き長波放射(OLR)が

北西から南東に明瞭に傾いた構造をよく再現する。一方、フィリピン海上に対流が留まりやすくなる傾向があることが分かった。位相平面上で解析すると、対流が留まりやすくなるという特徴により、位相速度がphase 6-7で観測よりも小さく、phase 7-1で振幅が大きく減衰しやすくなる。湿潤静的エネルギーを用いた回帰解析によると、フィリピン海上での対流の滞留は、NICAMで再現される背景場としての南風が弱いことに原因がある可能性があることが分かった。この大規模循環のバイアスは水蒸気場のバイアスとそれに付随する背景場のモンスーン循環と密接に結びついていると考えられる。故に、BSISOの予測スキルの向上には背景場バイアスを軽減するモデルの物理過程の改良が重要であることが示唆された。

佐藤拓人・日下博幸：海面気圧配置分類における類似度の統計的な相互比較

Sato, T., and H. Kusaka: Statistical intercomparison of similarity metrics in sea level pressure pattern classification

本研究では、気圧配置分類の精度向上のため、相関係数、ユークリッド距離、S1スコア、Structural similarity (SSIM)、average Hash という5種類の類似度の精度を相互比較した。この際、多数の教師データを使用して統計的に精度を評価した。評価の結果、S1スコアとSSIMが全教師データに対する平均精度および最高精度の点で他の類似度より高いことがわかつ

た。これらの類似度では、理想的でない教師データを使用した場合でも精度が低下しにくかった。これに加えて、サンプルケースでは、S1スコアとSSIMはユークリッド距離よりも、2つの気圧配置図の視覚的な類似性をよく再現できた。それに対して、ユークリッド距離は低気圧の中心の位置を再現することができた。

小松謙介・飯島慈裕・金子有紀・Dambaravjaa OYUNBAATAR：GPM主衛星が捉えたモンゴル複雑地形上での強雨事例に対するGSMaPの検証

Komatsu, K. K., Y. Iijima, Y. Kaneko, and D. Oyunbaatar: Validation of GSMaP products for a heavy rainfall event over complex terrain in Mongolia captured by the GPM Core Observatory

本稿では、複雑な地形の一方で気象観測網が疎であるモンゴルにおいて、Global Satellite Mapping of Pre-

cipitation (GSMaP) によって作成された夏季降水量の推定値の不確実性に注目した。まず、モンゴルの気

候・水文気象評価に関連して、全球降水観測ミッション (GPM) の観測情報を含む様々な降水量モニタリングプロダクトの特性の違いを検討するため、複数の降水プロダクトで報告されているモンゴル領域内の夏季平均降水量を比較した。プロダクトの経年変動は同程度だったが、記録された降水量は各プロダクトで異なっていた。雨量計補正が施されたプロダクトでは降水量が最も少なく、衛星のみの GSMaP_MVK では降水量が最も多くなった。続いて、2016年7月に GPM 主衛星がとらえたウランバートル近郊での強雨イベント事例を用いて、降水プロダクトの詳細な比較を行った。この事例では、山間部での雨量計補正が施された GSMaP_Gauge と雨量計補正が施されていない

GSMaP_MVK の推定値が、アルゴリズムのバージョン6と7で大きく異なった。領域気象モデル (WRF) による数値実験、GPM 主衛星の観測、地上雨量計の観測との相互比較によって、GSMaP_Gauge は、GSMaP_MVK の有する大きな誤差を効果的に緩和することが示された。GSMaP_MVK の大きな誤差の原因は、アルゴリズムのバージョン7の雨量推定にあると考えられた。しかし、GSMaP_Gauge による山岳上での降水量の推定値は、地上降水観測網が存在しない局所的な降水量データの欠落により、降水量補正が持つ潜在的な過小評価の影響を受けている可能性がある。これらの知見は、GSMaP アルゴリズムのさらなる改良に参考になるとことが期待される。

Marylly BARREYAT・Philippe CHAMBON・Jean-François MAHFOUF・Ghislain FAURE・幾田 泰醇 : GPM マイクロ波イメージャーの観測に適用された 1D Bayesian inversion : 感度研究

Barreyat, M., P. Chambon, J.-F. Mahfouf, G. Faure, and Y. Ikuta: A 1D Bayesian inversion applied to GPM Microwave Imager observations: Sensitivity studies.

フランス気象局では、「1D-Bay+3D/4D-Var」と呼ばれる手法を用いて、雲域や降水域のマイクロ波観測のデータ同化に関する研究を行っている。この方法は、(i) マイクロ波観測データの Bayesian inversion と、(ii) リトリブされた相対湿度プロファイルの 3D/4D-Var による同化という2つのステップで構成されている。本論文では、Bayesian inversion の推定手法として、加重平均 (WA) による推定手法とカーネル密度関数を用いた最尤 (ML) 推定手法を使用した。この手法の調査の第一段階として観測誤差、チャンネル選択、観測演算子における氷相の水物質の散乱特性といった自由度に対する感度研究を行った。この研究では GPM 主衛星に搭載された全球降水観測計画 (GPM) のマイクロ波イメージャー (GMI) による2ヶ月間の観測データと、対流スケールの数値天気予報モデル Application of Research to Operations at Meso-scale (AROME) の予測結果を利用した。調査対象と

して選択した気象状況は、AROME の予測が曇りで観測が晴れの場合と、逆に AROME の予測が晴れで観測が曇りの場合である。主な結論は以下の通りである。第1に、小さい観測誤差は、観測と高い整合性を持つプロファイルに関係付けられる傾向がある。第2に、リトリブされたプロファイルの妥当性は、使用したチャンネルセットに依存し鉛直方向に変動する。第3に、放射伝達シミュレーションで使用する放射特性は、大気プロファイルのリトリバルに強い影響を与える。最後に、ML 推定は、観測誤差に依存しないという利点はあるが、考慮するチャンネルが少ない場合には WA 推定よりも拘束性能は小さくなる。今回示した感度解析は、このスキームをデータ同化システムに組み込むことを目的として実施したものであるが、この結果は地球物理学的なりトリバルとして一般化できる可能性もある。

関山 剛・梶野瑞王：福島第一原子力発電所近傍の沿岸2観測地点において検証された250m格子オイラー移流拡散シミュレーションの性能について

Sekiyama, T. T., and M. Kajino: Performance of a 250-m grid Eulerian dispersion simulation evaluated at two coastal monitoring stations in the vicinity of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

本研究では2種類の水平解像度(3kmおよび250m)を使って、2011年福島原子力事故下の汚染源近傍(距離3.2kmおよび17.5km)沿岸の2観測地点での移流拡散場再現におけるオイラーモデルの性能を検証した。250m格子シミュレーションはこの検証のために新たに実施され、複雑地形上における詳細な風速場と濃度場の再現に成功した。3km格子モデルは福島第一原子力発電所付近の風とプルームの詳細な再現には失敗したが、見逃し率が低いために時折250m格子モデルよりも高い性能を示すことがあった。これは3km格子モデルの数値拡散が大きいことが原因である。オイラー移流拡散モデルの欠点は発生源近くでの

人工的な数値拡散だと考えられている。この人工的な数値拡散は空振り率を増加させる代わりに見逃し率を減少させる。この特徴は環境緊急対応(EER)システムにはむしろ好都合となる。その上で、250m格子モデルの結果はプルーム拡大処理(マックスプーリング)によって確実に改善させることができた。この処理はプルームの幅を拡大させることにより、短時間のラグやプルームの小さな位置ずれを目立たなくした。プルーム拡大処理は統計スコアを改善させることで高解像度モデルに有益であり、EERシステムに役立つものである。

中村健治・金子有紀・中川勝広・花土 弘：デュアルKa帯レーダシステムによって測定された融解層の電波散乱特性

Nakamura, K., Y. Kaneko, K. Nakagawa, and H. Hanado: Radiowave scattering characteristics of melting layer measured by a dual Ka-band radar system

Ka帯レーダシステムにより融解層内部での減衰係数と等価レーダ反射因子を測定した。このレーダシステムは同じ仕様の二つのKa帯レーダから成っている。相対した二つのレーダの間に降水システムが入ってくると、二つのレーダは反対の方向で降水システムを観測することになる。この時、電波路上での減衰は二つのレーダエコーに対称的に現れる。測定された2方向からのレーダエコーの差のプロファイルを距離微分することにより減衰係数(k)が求められ、続いて等価レーダ反射因子(Z_e)が推定される。蔵王の山腹に

おいてこのシステムにより融解層の観測を行った。融解層では k と Z_e はともに大きく変化するが、 k - Z_e 面上ではループ形状を示した。この形状の発生原因について簡単な理論的検討を行った。このループ形状は、まず降水粒子が雪から雨に変化するときの等価誘電率の変化により作られ、さらに粒子の大きさの変化により拡大される。Mie散乱の効果は、主に後方散乱係数の小さくするように働く。これらによりKa帯では融解層がピーク形ではなく棚型の高度プロファイルを持つことも説明される。

米山邦夫・藤田実季子・清木亜矢子・城岡竜一・横井 覚・Esperanza O. CAYANAN・Cynthia O. IGLESIA・Olivia C. CABRERA：集中観測 YMC—北半球夏季モンスーン研究2018及び2020時の LMS6及び RS41 ラジオゾンデ湿度データの評価

Yoneyama, K., M. Fujita, A. Seiki, R. Shirooka, S. Yokoi, E. O. Cayan, C. O. Iglesia, and O. C. Cabrera: Evaluation of LMS6 and RS41 radiosonde humidity data obtained during YMC-BSM 2018 and 2020

2種のラジオゾンデの湿度データの精度評価について、同時飛揚比較実験と全球測位衛星システム信号から算出される可降水量 (GNSS-PWV) との比較に基づき行った結果を報告する。また、今回の補正結果を他の事例に応用できるか否かを判断する手法についても提案する。

国際プロジェクト海大陸研究強化年 (YMC) 集中観測の1つである2018年北半球夏季モンスーン研究キャンペーン (YMC-BSM 2018) の中で、同年7月後半から8月初旬にフィリピン北イロコス州ラワーグにおいて、ロッキードマーチン社製 LMS 6 型とヴァイサラ社製 RS41-SGP 型のラジオゾンデ同時飛揚比較実験を行った。対流圏平均の両者の相対湿度の差は5%以下であったが、GNSS-PWV との比較により LMS 6 の日中晴天時に乾燥バイアスを確認した。そこで、RS41 データを基準として、両者に差がでないよう LMS 6

用の補正値を算出した。

精度確認のためには、同時飛揚比較実験や、独立した測器を用いた比較などを行うことが望ましいが、必ずしもそのようなデータが入手できるとは限らない。事実、2020年に行った別の集中観測 (YMC-BSM 2020) では、マイクロネシア連邦ヤップにおいて LMS 6 観測を実施しているが、比較実験は行っていない。そこで、YMC-BSM 2018 で得られた結果を適用できるか否かを判断する手法を導出した。その方法とは、観測初期値として入力する地上の比湿と、放球直後 300m の平均比湿との比較である。その結果、晴天日中時は曇天時に比べ有意な差を示し、かつこの差は前観測でもほぼ同様の値であることを確認した。そこで YMC-BSM 2018 の LMS 6 用に導出した補正値を YMC-BSM 2020 のデータにも適用した。

小寺邦彦・江口菜穂・Rei UYAMA・Beatriz M. FUNATSU・Marco GAETANI・Christopher M. TAYLOR：サヘルに極端に深い対流に対する熱帯対流圏界面遷移層の低温化の影響

Kodera, K., N. Eguchi, R. Ueyama, B. M. Funatsu, M. Gaetani, and C. M. Taylor: The impact of tropical tropopause cooling on Sahelian extreme deep convection

近年、北半球の夏季において極端に深い積雲対流の増加傾向が特に熱帯アジア並びにアフリカに存在する。これが熱帯下部成層圏の低温化と関連して発生している事がこれまでの研究から示唆されている。本研究では、極端な降水イベントの発生がここ数十年で増加している西アフリカのサヘル地域に焦点を絞り解析を行った。その結果、1980年代以降の西アフリカの変化には熱帯下部成層圏—対流圏界面遷移層の低温化傾向と、対流圏の温暖化との関連が示された。こうした変化は温室効果ガスの増加に起因すると考えられる特

徴に類似している。一方、これは大西洋からの水蒸気輸送に依存する年々の降水量の変化とは異なっている。また、熱帯対流圏界面遷移層の気温の鉛直勾配の減少はサヘル地域で頻繁な極端に深い対流を強化するのに対し、対流圏の温暖化はサヘル南側のギニア湾沿岸の浅い対流を抑制している事が示唆された。この事から、西アフリカにおける近年の変化の特徴は地表面に於ける降水量より対流の深さの変化がより本質的であると言える。