

日本気象学会誌 気象集誌

(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第100巻 第1号 2022年2月号 目次と要旨

巻頭言	1-3
JMSJ 論文賞2021	4
巻頭言：特集号『Years of the Maritime Continent (YMC)』	5-7
Jürgen STEPPELER・Jinxi LI・Fangxin FANG・Jiang ZHU：微分可能な流束表現を用いた o2o3局所ガラーキン法	9-27
柴田清孝・直江寛明：成層圏準二年振動 (QBO) の振幅の十年規模変調 [†]	29-44
中井専人・山下克也・本吉弘岐・熊倉俊郎・村上茂樹・勝島隆史：日本国新潟県における Xバンドレーダー及びディストロメーター観測の直接比較によって求められたレーダー反射因子と降雪強度水当量の関係式 ^{†,*1}	45-56
Yi CHANG・Qianrong MA・Lijun GUO・Jing DUAN・Jun LI・Xiaopeng ZHANG・Xueliang GUO・Xiaofeng LOU・Baojun CHEN：中国東部廬山における梅雨期の雨滴粒径分布に見られる特徴	57-76
Murni Ngestu NUR'UTAMI・早坂忠裕：インドネシアの乾季における降水とインド太平洋域の大気海洋相互作用の年々変動および太平洋数十年規模振動の関係 [†]	77-97
Erma YULIHASTIN・Tri Wahyu HADI・Muhammad Rais ABDILLAH・Irineu Rakhmah FAUZIAH・Nining Sari NINGSIH：ジャワ島西部における早朝降水に伴う対流システムの伝搬と異なる北寄りの背景風 ²	99-113
竹村和人・向川 均：太平洋・日本パターンに関する新たな視点：ロスビー波の碎波によって引き起こされる事例の推定割合 [†]	115-139
栃本英伍・横田 祥・新野 宏・柳瀬 亘：海難事故を生じた竜巻状渦を発生させたメソβスケール渦のアンサンブル実験 [†]	141-165
Ying Lung LIU・Chi-Yung TAM・Andie Yee Man AU-YEUNG：北西太平洋夏季の熱帯性総観規模擾乱の中緯度強制に対する感度-地域気候モデルによる研究	167-180
宮本佳明・筆保弘徳・和田章義：数値シミュレーションで得られた上陸前の台風 Faxai (1915) の強度・構造変化 ^{†,3}	181-196
五藤大輔・打田純也：2011年3月福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の事例におけるエアロゾル雲内洗浄過程の不確実性 [†]	197-217
工藤 淳：エンコーダー・デコーダーモデルに基づく深層畳み込みニューラルネットワークを用いた面的気温予測ガイダンス [†]	219-232
Huei-Ping HUANG・Girish Nigamanth RAGHUNATHAN：1979/80年冬季の北半球高緯度に見られた逆行性波動に関する予測可能性 [*]	233-243

[†] 和文要旨掲載論文

^{*} 要報と質疑

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

² 特集号「Years of the Maritime Continent (YMC)」

³ 特集号「Typhoons in 2018-2019」

中西幹郎・新野 宏・安斎太朗：Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) スキームから導かれた安定な接地層における安定度関数 [†]	245-256
高橋千陽・今田由紀子・渡部雅浩：日本の冬季極端降雪と極端降水に対するマッデンジュリアン振動の影響 [†]	257-283
学会誌「天気」の論文・解説リスト (2021年11月号・12月号)	285
英文レター誌 SOLA の論文リスト (2021年196-256)	286
気象集誌次号掲載予定論文リスト	287

.....◇.....◇.....◇.....

柴田清孝・直江寛明：成層圏準二年振動 (QBO) の振幅の十年規模変調

Shibata, K., and H. Naoe: Decadal amplitude modulations of the stratospheric quasi-biennial oscillation

熱帯成層圏における準二年振動 (QBO) の十年規模変動を1950年代から2019/2020年までのシンガポールと再解析のデータを使って調べた。その結果、QBOは周期と同様に振幅も十年規模の時間スケールで変調されていることが判明した。これら二つの十年規模変動は1980年代以前には正相関であったが、1980年代以降は負相関を示していた。1950年代から2014年までの期間において、QBO 振幅には四つの極大値 (QBO_{max}) が1967, 1983, 1995, 2005年ころにあり、三つの極小値 (QBO_{min}) が1973, 1988, 2000年ころにあった。これらのQBO_{max}とQBO_{min}のコンポジット解析を行ったと

ころ、QBO 十年規模振幅変動は鉛直断面で最大値は20hPa面において約3 m s⁻¹であった。一方、水平構造において最大値は赤道線上に位置せず、その値は20hPa面では北緯5度で3.5 m s⁻¹、50hPa面では南緯5度で1.8 m s⁻¹であった。QBO 十年規模振幅変動はNiño3.4域の海面水温偏差や太平洋十年規模振動 (PDO) 指数の十年規模成分と正の高い相関になっており、太平洋中央の熱帯海面水温偏差が十年規模のタイムスケールでQBOに実質的な影響を及ぼしていることを示している。

中井専人・山下克也・本吉弘岐・熊倉俊郎・村上茂樹・勝島隆史：日本国新潟県におけるXバンドレーダー及びディストロメーター観測の直接比較によって求められたレーダー反射因子と降雪強度水当量の関係式

Nakai, S., K. Yamashita, H. Motoyoshi, T. Kumakura, S. Murakami, and T. Katsushima: Relationships between radar reflectivity factor and liquid-equivalent snowfall rate derived by direct comparison of X-band radar and disdrometer observations in Niigata Prefecture, Japan

Xバンド水平偏波レーダー反射因子 (Z_h) と降雪強度水当量 (R) の関係式を6種類の固形降水粒子種 (クラス) について示す。これらの関係式は、日本の新潟県における同時観測によって得られた Z_h , R , 及び降水粒子種を比較することによって求められた。式の形は $Z_h = B R^{1.67}$ を仮定し、 B を観測により決定される係数とした。 R の値と降水粒子種は、それぞれ、風よけネット内に設置された高分解能降雪強度計と光学式ディストロメーターを用いて求められた。平均 Z_h は地上観測点風上側に位置する約100km²の解析領域について求められた。3冬季にわたる48事例について、卓

越する降水粒子種、代表的な粒径と落下速度、 Z_h , R , B の平均値が得られた。濃密雲粒付雪片の B の平均値は雲粒付雪片の値より小さかった。最も大きな B の値は雲粒無し樹枝状結晶の雪片 (unrimed-Dクラス) の事例について、最も小さい B の値は雲粒無し低温型結晶の雪片 (unrimed-Cクラス) が降っていた事例について得られた。霰事例の B の平均値は、雲粒付及び濃密雲粒付雪片の値に対して大まかに2倍程度であり、unrimed-Dクラスの値よりも小さかった。Xバンドにおいては、雪片の単位降雪強度あたりの後方散乱が霰よりも強いかわりかは、ライミングの程度と構成雪結

晶の種類に依存していた。

Murni Ngestu NUR'UTAMI・早坂忠裕：インドネシアの乾季における降水とインド太平洋域の大気海洋相互作用の年々変動および太平洋数十年規模振動の関係

Nur'utami, M. N., and T. Hayasaka: Interannual variability of the Indonesian rainfall and air-sea interaction over the Indo-Pacific associated with Interdecadal Pacific Oscillation phases in the dry season

乾季（6月～11月）におけるインドネシアの降水量の年々変動および数十年スケール変動について、1939年から2016年までのClimate Research Unit (CRU) および1979年から2016年までのGlobal Precipitation Climatology Project (GPCP) の降水データを用いて解析した。CRU データと GPCP データの両方の EOF 第一主成分 (PC 1) は、標準的な El Niño-Southern Oscillation (ENSO), ENSO Modoki, および Indian Ocean Dipole (IOD) が、インドネシアの降水量の年々変動に影響を与える主要な気候モードであることを示した。また、Interdecadal Pacific Oscillation (IPO) が降水量の十年スケール変動に影響を及ぼす主要な要因

であることも示された。さらに、IPO は、インドネシアの降水に対する IOD の影響を変化させ、1979年から1997年の正の IPO フェーズでは IOD の影響が弱く、1939年から1978年と1998年から2016年の負の IPO フェーズでは IOD の影響が強くなることが明らかになった。また、標準的な ENSO および ENSO Modoki の影響の IPO フェーズ依存性は全般的には不明瞭ではあるものの、1998～2016年の負の IPO フェーズでは、それ以前の期間と比較して、ENSO Modoki の影響がより重要になる一方で、標準的な ENSO の影響はそれほど明確ではなくなっていた。

竹村和人・向川 均：太平洋・日本パターンに関する新たな視点：ロスビー波の砕波によって引き起こされる事例の推定割合

Takemura, K., and H. Mukougawa: A new perspective of Pacific-Japan pattern: Estimated percentage of the cases triggered by Rossby wave breaking

太平洋・日本 (Pacific-Japan; PJ) パターンの形成に及ぼす日本の東海上で生ずるロスビー波砕波の寄与の重要性を、熱帯大気海洋変動の寄与と比較しながら定量的に調べた。まず、正及び負の位相を持つ PJ パターンのそれぞれの事例を、砕波が発生した事例と発生しなかった事例に分類した。その結果、砕波によって引き起こされた正位相の PJ パターン事例数は、正位相全事例の約20%を占めることが分かった。また、砕波を伴う正位相の PJ パターン事例数は、砕波を伴う正負両位相事例の約80%を占めていた。次に、砕波を伴う正位相の PJ パターン事例について、ラグ合成図を用いた Q ベクトルに基づく診断を行った。その結果、日本の東海上での砕波が、北西太平洋亜熱帯域へ向かう南西方向への高渦位大気の進入と、それによって北西太平洋亜熱帯域で力学的に惹起される強い対流活動を通して、PJ パターンの形成を促進することが示

された。この PJ パターンの形成メカニズムは先行研究で示されたものと一致する。一方、砕波を伴う負位相の PJ パターン事例を対象とする合成図解析によって、砕波と関連する対流圏上層での東西方向に延伸した大気循環場偏差、及びインド洋全体での正の海面水温偏差が北西太平洋亜熱帯域での対流活動を弱体化させたために、砕波の発生にも拘わらず、負位相の PJ パターンが形成されたことが示された。最後に、砕波を伴わない正負両位相の PJ パターン事例では、北西太平洋亜熱帯域での対流活動域が、時間とともに北西進して PJ パターンの形成を促すことが合成図解析の結果より示された。砕波を伴わない PJ パターンは、熱帯での海面水温偏差や北半球夏季季節内振動の位相と密接に関連し、「純粋な」熱帯の影響によって形成されることが明らかとなった。

栃本英伍・横田 祥・新野 宏・柳瀬 亘：海難事故を生じた竜巻状渦を発生させたメソ β スケール渦のアンサンブル実験

Tochimoto, E., S. Yokota, H. Niino, and W. Yanase: Ensemble experiments for a maritime meso- β -scale vortex that spawned tornado-like vortices causing shipwrecks

2015年9月1日に日本海の南西部の海上で突風を発生させ、その結果海難事故を引き起こしたメソ β スケール渦 (meso- β -scale vortex: MBV) の発達のために重要な大気条件を理解するために、アンサンブルカルマンフィルター (LETKF) を用いた101メンバー (一つのアンサンブル平均を含む) のアンサンブル実験を行った。最も MBV が強くなった8メンバー (STRG) と最も弱くなった10メンバー (WEAK) における、MBV の構造と周りの大気条件の違いを明らかにするために、コンポジット解析を行なった。ここで、二つの強いメンバーは他の8メンバーと比べて早く発達していたことから、解析から取り除いた。解析の結果、

STRG における、MBV 中心より北東域及び南域の地表付近の低気圧性シアは、WEAK よりも強かった。加えて、STRG における下層の水蒸気及び水蒸気フラックスは、MBV 南東域におけるより大きな対流有効位置エネルギーに寄与し、結果として、MBV 周辺の強い対流を生じた。アンサンブル感度解析によって、コンポジット解析の結果は統計的に支持された。地表付近の水平シアは、MBV が埋め込まれた温帯低気圧の構造に強く関係していた。STRG における温帯低気圧の強さは WEAK と同程度であったが、温帯低気圧の北東象限における風の低気圧性水平シアは、STRG の方が WEAK よりも強くなっていた。

宮本佳明・筆保弘徳・和田章義：数値シミュレーションで得られた上陸前の台風 Faxai (1915) の強度・構造変化

Miyamoto, Y., H. Fudeyasu, and A. Wada: Intensity and structural changes of numerically simulated Typhoon Faxai (1915) before landfall

中心気圧が960hPaで関東地方に上陸した台風 Faxai (1915) に関して、非静力学モデルを用いて格子間隔1 kmでの数値シミュレーションを行なった。Faxai は上陸まで軸対称的な構造を維持し、強風により甚大な被害をもたらした。シミュレーションの結果、上陸前後の48時間の現実的な経路・強度が再現された。計算された強度は上陸まで強く、渦の水平方向の大きさは小さかった。計算された Faxai の構造は、熱帯海洋上における発達した熱帯低気圧 (TC) のように、軸対称的で目の壁雲が存在していた。中心付近で海面の潜熱フラックスは上陸まで 300 W m^{-2} を超えていて、高度1.5-12kmでの鉛直シアは中緯度としては比較的弱

く、 9 m s^{-1} よりも低かった。

台風の環境場パラメータからポテンシャル強度 (MPI) を算出した。計算された TC の強度もベストトラックの強度も、上陸12時間前から MPI よりも大きい superintense 状態にあった。これは、内部コア域で超傾度風化していたことによるもので、強い強度や軸対称な構造が原因と考えられる。計算された TC は、成熟期において傾度風平衡を除いた MPI の式に必要な近似を良く満たしており、これは TC の構造が熱帯で発達したものと類似していたためと考えられる。

今回の解析から、Faxai は、好ましい環境条件と渦構造によって強い強度を維持したと考えられる。

五藤大輔・打田純也：2011年3月福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の事例におけるエアロゾル雲内洗浄過程の不確実性

Goto, D., and J. Uchida: Uncertainty in aerosol rainout processes through the case of the radioactive materials emitted by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant in March 2011

エアロゾル湿性沈着の雲内洗浄過程は、特に微小粒子のシミュレーションに大きな不確実性を生じさせる。本研究では、非静力学正20面体格子大気モデルであるNICAMに、四つの異なる雲内洗浄スキームを導入して、2011年3月に起きた福島第一原子力発電所事故に伴う放射性セシウム137 (Cs-137) の粒子動態に関するモデル相互比較を実施した。導入した雲内洗浄スキームの一つは、全球気候モデル (GCM) で用いられる手法であり、単純なチューニング変数を用いて除去定数を決めるものである (GCM-Type)。二つめは、降水の予報変数化や現実的な鉛直輸送を考慮した雲解像モデル (CRM) に最適化したスキームである (CRM-Type)。三つめは、地表面降水フラックスを用いて擬一次近似の仮定で表現した伝統的なスキームである (CONV-Type)。四つめは、オフライン化学輸送モデル (CTM) で用いられており、雲・降水フラックスや簡略化されたパラメータ分析アプローチを用いたものである (CTM-Type)。多くの実験結果では、シミュレーションしたCs-137を観測結果と比較すると、土

30%のバイアス、0.6-0.9の相関係数、67-112Bq m⁻³の不確実性、<40%の精度 (1/10から10倍の範囲に収まる値の割合) となった。CRM-typeでは最適な結果が得られたが、その結果を得るためにチューニング変数の下限値を用いる必要があった。GCM-typeとCONV-typeでは適切なチューニング変数を設定すれば、適用可能なスキームであることもわかった。CTM-typeでは相関が良く、不確実性が小さかったが、大きな負のバイアスが存在した。これらの解析から、NICAMで計算している雲粒から雨粒への変換効率が過大評価であることが示唆された。しかし、これは単純に雲微物理モジュールを変えるだけでは解決しない問題である。エアロゾル雲内洗浄スキームの感度は、雲微物理の取り扱いの感度よりも、Cs-137への影響が大きいこともわかった。したがって、観測で得られたCs-137の空間分布を再現するためには、適切な雲内洗浄スキームの利用と共に、より良い気象場を利用することが不可欠である。

工藤 淳：エンコーダー・デコーダーモデルに基づく深層畳み込みニューラルネットワークを用いた面的気温予測ガイダンス

Kudo, A.: Statistical post-processing for gridded temperature prediction using encoder-decoder-based deep convolutional neural networks

気象庁では、降雪量および、雨や雪などの降水種別の面的予測において鍵となる要素の一つである地上気温を予測するため、格子形式の気温ガイダンスを運用している。運用中の気温ガイダンスではカルマンフィルタを用いており、入力として地上気温の観測値と観測地点周辺の数値予報モデル出力値のみ利用している。そのため、数値予報モデルで前線の予測に位置ずれがある場合や、極端な低温または高温が観測されるような場合には、気温を適切に予測することが困難と

なっている。

本研究では、関東周辺での面的な地上気温の予測手法として、エンコーダー・デコーダーモデルに基づく畳み込みニューラルネットワークを提案する。検証の結果、提案手法は運用中の気温ガイダンスの予測精度を大幅に改善するとともに、前線の位置ずれや極端な気温予測においても数値予報モデルのバイアスを修正しうることがわかった。

中西幹郎・新野 宏・安齋太朗：Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) スキームから導かれた安定な接地層における安定度関数

Nakanishi, M., H. Niino, and T. Anzai: Stability functions in the stable surface layer derived from the Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) scheme

大気の数値モデルにおける接地層スキームは、そのモデルに導入される大気境界層スキームに矛盾しないことが望ましい。この研究では、Monin-Obukhovの相似則に基づいて、安定な接地層における運動量と熱量に対する安定度関数 ϕ_m と ϕ_h をMellor-Yamada-Nakanishi-Niino (MYNN) スキームから導いた。得られた安定度関数は、運動量と熱量のフラックスを求めるために高度 z に関して解析的に積分できるように、それぞれ $\phi_m=1+4.8z/L$ と $\phi_h=0.74+6.0z/L$ の関数形に近似した。ここで、 L はObukhovの長さである。こうして求めたフラックスを過去の研究で提案された四つの安定度関数から得られるフラックスと比較した。その結果、MYNNスキームによるフラックスは四つのうちの二つとほとんど同じであり、ほかの二つよ

りも、海水上で行われたSurface Heat Budget of the Arctic Ocean experiment (SHEBA) で得た観測結果とよく一致した。MYNNスキームの結果とSHEBAデータの詳しい比較から、氷が乾雪に覆われた「冬」の期間に観測されたフラックスの著しいばらつきは、観測サイト周辺の粗度の大きな変動によって起こっていることが示唆された。MYNNスキームの安定度関数によると、バルク・リチャードソン数とフラックス・リチャードソン数は $z/L \rightarrow \infty$ の極限で、それぞれ0.26と0.21の臨界値に近づくことが示された。これらの臨界値はMYNNスキームにおける乱流散逸にコロモゴロフ仮説が適用された結果であり、コロモゴロフ乱流から非コロモゴロフ乱流への遷移に対応すると考えられる。

高橋千陽・今田由紀子・渡部雅浩：日本の冬季極端降雪と極端降水に対するマッデンジュリアン振動の影響

Takahashi, C., Y. Imada, and M. Watanabe: Influence of the Madden-Julian Oscillation on wintertime extreme snowfall and precipitation in Japan

本研究は、日本における冬季極端降雪と極端降水の発生に対してマッデンジュリアン振動 (MJO) が有意な影響を及ぼしている事を、観測データ及び地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF) を用いた解析により明らかにした。d4PDFの全球および高解像度の領域モデルによる大規模アンサンブルシミュレーションの解析により、MJOに伴う日本における極端気象の発生確率を定量的に評価し、地理的分布の違いを明らかにする事が初めて可能となった。d4PDFの全球シミュレーションは、MJO及び、北太平洋域から北米領域におけるMJOテレコネクションを良く再現する事を示した。

MJOの位相ごとに冬季極端降雪 (降水) の発生確率を評価したところ、以下の三つの結果が得られた。(1) 北西日本域における日本海側 (SJA) の極端降雪発生確率は、MJOが海大陸から西太平洋で活発な位相で有意に約20%増加し、MJOがインド洋で活発な位相

で30-40%減少する、(2) 日本の太平洋側 (PAC) の極端降水は、MJOがインド洋で活発な位相で40-50%増加し、MJOが西太平洋で活発な時は約30%減少する、(3) 関東地方 (Kanto) の極端降雪は、MJOが東部インド洋から海大陸で活発な位相で30-45%増加する。

三つの領域 (SJA, PAC, 及び Kanto) における極端現象は、MJOに関係した異なるプロセスで発生する。MJOにより東シベリア域でブロッキングの頻度が増加し、シベリアから日本への上層トラフを伴う顕著な寒気移流が強化されることにより、SJAの極端降雪が促進される。PACの極端降水やKantoの極端降雪の発生には、MJOに伴う水蒸気フラックス収束の強化による、ストームトラック活動や南岸低気圧の急発達を促進する効果が重要である。さらにKantoの降雪は、MJOに関係したブロッキングからの寒気流入が部分的に寄与している。