

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

第97巻 第6号 2019年12月号 目次と要旨

論文

- Jingyu WANG・Robert A. HOuze, Jr.・Jiwen FAN・Stacy R. BRODZIK・Zhe FENG・Joseph C. HARDIN：GPM Ku バンド衛星搭載レーダによるメソ対流系の検出*1059-1073
- Meiling GAO・Fei CHEN・Huanfeng SHEN・Michael BARLAGE・Huifang LI・Zhenyu TAN・Liangpei ZHANG：都市高解像陸面データ同化システム (u-HRLDAS) に基づく実現可能なヒートアイランド緩和策の有効性1075-1097
- 大塚成徳・小槻峻司・大東真利茂・三好建正：GSMaP RIKEN Nowcast：データ同化を用いた全球降水ナウキャスト*1099-1117
- Liangtao XU・Yijun ZHANG・Fei WANG・Xi CAO：メソスケール対流系対流領域における反転電荷構造形成のシミュレーション1119-1135
- Zhengkun QIN・Xiaolei ZOU：チベット高原下流の量的降水予報に対する高標高地形上の AMSU-A データ同化のインパクト1137-1154
- Wei-Ting CHEN・Chien-Ming WU・Wei-Ming TSAI・Peng-Jen CHEN・Po-Yen CHEN：南シナ海夏季モンスーン開始期における沿岸対流の水蒸気蓄積に対する役割1155-1171
- 栗津妙華・大塚成徳・三好建正：パターン認識を用いた降水予測の評価1173-1189
- 露木 義：大気マルチスケールデータ同化のための渦位に基づくアンサンブルカルマンフィルタ1191-1210

要報と質疑

- 高村民雄・入江仁士：太陽直達光観測におけるエアロゾルの光学的厚さの推定に及ぼす前方散乱効果について1211-1219
- 末木健太・梶川義幸：平成30年7月豪雨期間中の広島と京阪神の降水システムの違い**1221-1232
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2019年9月号・10月号)1233
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2019年178-215, 15A 60-65)1234
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト1235
- 第97巻 (2019) 総目次1241-1245
- 索引：A. 著者別索引1247-1260
- 索引：B. 主題別索引1261-1263

* 特集号『GPM』

** 気象集誌・SOLA 合同特別号『2017・2018年の豪雨イベント』

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

Jingyu WANG・Robert A. HOUZE, Jr.・Jiwen FAN・Stacy R. BRODZIK・Zhe FENG・Joseph C. HARDIN : GPM Ku バンド衛星搭載レーダによるメソ対流系の検出

Jingyu WANG, Robert A. HOUZE, Jr., Jiwen FAN, Stacy R. BRODZIK, Zhe FENG, and Joseph C. HARDIN: The Detection of Mesoscale Convective Systems by the GPM Ku-Band Spaceborne Radar

2014年に打ち上げられた全球降水量計測 (GPM) コア観測衛星は、その前身の熱帯降雨量計測ミッション (TRMM, 35°S-35°N) よりもさらに広い緯度範囲 (65°S-65°N) を観測する。GPM に搭載されている Ku バンドレーダは、深い対流の3次元構造を全球的に特徴付けることができる。本研究では、メソ対流系 (MCS) のGPMによる検出性能を評価する。GPMによって観測された極端対流エコーを、米国大陸上の個々の対流を追跡する MCS データベースと比較する。対流の追跡は、2014-2016年の暖候期に得られた静止気象衛星と地上設置次世代レーダ (NEX-

RAD) ネットワークデータに基づく。解析結果によると、GPMで検出された深い広域対流コア (DWC) および広域対流コア (WCC) オブジェクトの70%以上が NEXRAD で識別された MCS の一部であることを示しており、このことは、GPMによって分類された DWC および WCC が大規模な対流の特徴をもつ典型的な MCS とよい相関をもつことを示す。この方法を世界の他の地域にも適用することで、MCS 分布の全球的な描像が得られる。この研究は、特に密な観測ネットワークのない遠隔地において、GPM が全球規模で MCS を検出できる展望を示す。

Meiling GAO・Fei CHEN・Huanfeng SHEN・Michael BARLAGE・Huifang LI・Zhenyu TAN・Liangpei ZHANG : 都市高解像陸面データ同化システム (u-HRLDAS) に基づく実現可能なヒートアイランド緩和策の有効性

Meiling GAO, Fei CHEN, Huanfeng SHEN, Michael BARLAGE, Huifang LI, Zhenyu TAN, and Liangpei ZHANG: Efficacy of Possible Strategies to Mitigate the Urban Heat Island Based on Urbanized High-Resolution Land Data Assimilation System (u-HRLDAS)

夏の猛暑は中国の公衆衛生に大きな脅威をもたらす。本論文では、中国の4大暑熱都市のひとつである武漢市を対象とし、都市ヒートアイランド (UHI) に対する複数の緩和策、すなわち屋上緑化、クールルーフ、高反射舗装、および都市建物構造の改変、について検討した。なお、UHI は地表面温度 (LST) によって算出される。オフラインの都市高解像陸面データ同化システム (u-HRLDAS) を用い、1 km 分解能の数値実験を実施した。湖の多い武漢市における UHI を調べるために、u-HRLDAS に湖モデルを組み込んだ。緩和策の違いによる UHI の日変化および空間分布を調べた。湖の影響を考慮した場合、日中 (夜間) の UHI 強度は約1.0K (0.5K) 緩和された。高反射舗装を採用するよりも屋上緑化またはクールルーフを採用した場合に、日中の UHI をより効果的

に緩和できた。従来の屋根の80%を屋上緑化した場合に UHI は最も低下し、現地時刻13:00に約2.1K の減少を示した。屋上緑化の割合が大きいほど、また屋根と道路の反射率が高いほど、UHI の緩和効率は増加した。夜間の効果が小さかった屋上緑化、クールルーフ、高反射舗装とは異なり、都市建物構造の変化は UHI の緩和に対して一日中効果を示した。「建物構造の高さ方向の変化 (建造物の高さを上げ、建造物の容積を保存するために各格子点での不透水表面の比率を調整する)」を加味した場合 UHI は0.4~0.9K 減少し、「建物構造の密度変化 (建物の密度は一様とした上で全体の建物容積が変化しないように建物の高さを調整する)」を加味した場合 UHI は1.2~2.6K 減少した。以上の結果から、武漢市のような巨大都市のヒートアイランド緩和に対する新たな知見を示すと

ともに、より住みやすい都市を提供するための実践的なガイドラインを政策立案者に提示する。

大塚成徳・小槻峻司・大東真利茂・三好建正：GSMaP RIKEN Nowcast：データ同化を用いた全球降水 ナウキャスト

Shigenori OTSUKA, Shunji KOTSUKI, Marimo OHHIGASHI, and Takemasa MIYOSHI: GSMaP RIKEN Nowcast: Global Precipitation Nowcasting with Data Assimilation

2016年1月より、理化学研究所では時空間補外を用いた全球降水ナウキャストを実時間運用している。著者らによる既報では、当該システムにおいてデータ同化を利用することの優位性について、短い評価期間については報告済みであるが、異なる季節を通じた長期的な予報精度の安定性については未調査であった。加えて、2016年1月から2018年3月の間に7回アルゴリズムの更新が行われた。よって、本稿ではどのようにして移動ベクトルをより精度良く算出するか、長期運用するにあたり、どのようにデータ同化によって移流拡散モデルを安定的に拘束するかを示すことを目的とする。本システムは宇宙航空研究開発機構の提供する衛星全球降水マップ (GSMaP) の準リアルタイムプロダクトのみを入力として用いる。降水域の移動ベクトル

は相互相関法によって算出し、局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いて滑らかで欠損のない移動ベクトル場を生成する。その移動ベクトルを用いて降水域を移流させて12時間先までの予測を生成しており、ウェブページ上でGSMaP RIKEN Nowcastとして予測プロダクトを実時間公開している。アルゴリズム更新の多くは移動ベクトル算出の精度向上に関するもので、予測精度は徐々に、着実に向上してきた。特に、スレットスコアは南北40度付近で最も向上した。また、移流計算のノイズを低減することによって、北半球冬季に見られた予測精度低下も改善された。アンサンブルスプレッドの時系列は利用可能な移動ベクトル数が増えた時にスプレッドが下がり、減った時に上がることを示していた。

Liangtao XU・Yijun ZHANG・Fei WANG・Xi CAO：メソスケール対流系対流領域における反転電荷構造形成のシミュレーション

Liangtao XU, Yijun ZHANG, Fei WANG, and Xi CAO: Simulation of Inverted Charge Structure Formation in Convective Regions of Mesoscale Convective System

2000年8月にコロラド州・カンザス州境界で実施された Severe Thunderstorm Electrification and Precipitation Study プロジェクトで観測された異常なわち反転電荷構造を持つメソスケール対流系の電荷構造の発達を、帯電と放電プロセスを組み合わせた Weather Research and Forecasting (WRF) モデルによってシミュレーションした。液体雲水量 (LWC) と霰の着氷速度 (RAR) に基づく2つの非誘導帯電スキームを用いた。LWCに基づく帯電スキームを用いたシミュレーションは正に帯電した領域が負に帯電した層によって挟まれた反転電荷構造を再現できなかったが、RARに基づく帯電スキームを用いたシミュレーションは対流領域における電荷構造が

通常-反転-通常という発達過程を示しており、観測と一致していた。低い RAR ($< 2 \text{ gm}^{-2}\text{s}^{-1}$) 領域では、霰は氷晶から跳ね返るとき主に負に帯電し、氷晶は正に帯電する。しかしながら、反転電荷構造が形成される区域では、強い上昇気流 ($> 16 \text{ ms}^{-1}$)、高い LWC ($> 2 \text{ gm}^{-3}$)、および高い RAR ($> 4.5 \text{ gm}^{-2}\text{s}^{-1}$) 領域が -20°C 層高度より上層に現れる。これにより、正に帯電した霰の領域が対流領域の -20°C 層高度より上層に生成され、その結果、正に帯電した霰の上層に負に帯電した氷晶を伴う負の双極子電荷構造が形成される。この負の双極子が、低い位置での正の双極子 (負の上層に正) 電荷構造と重なり、反転三極電荷構造を形成する。

Zhengkun QIN・Xiaolei ZOU：チベット高原下流の量的降水予報に対する高標高地形上の AMSU-A データ同化のインパクト

Zhengkun QIN and Xiaolei ZOU: Impact of AMSU-A Data Assimilation over High Terrains on QPFs Downstream of the Tibetan Plateau

チベット高原とそこでの大気状態は、下流の領域気象に強く影響を与える。改良型マイクロ波探査計 (AMSU-A) 輝度温度観測は、気温のサウンディング情報を提供し、長きにわたって数値天気予報にうまく同化されてきた。極軌道衛星 NOAA15号・18号から2016年7月と8月に観測された AMSU-A 輝度温度を集めた。この時期、これらの衛星が赤道を通過する時間は現地時間の午前6時であった。0000UTC と1200UTC を中心とした3時間の間のチベット高原をカバーする観測を同化した。米国環境予測センター (NCEP) の格子点統計的内挿システム (GSI) では、対流圏中層の AMSU-A チャンネル6及び7の重み

係数が、それぞれ2 km 及び4 km より高い標高の領域で顕著に減少した。チベット高原上での AMSU-A チャンネル6及び7をよりよく生かすように AMSU-A 輝度温度観測の同化を改善した。具体的には、これらの2つのチャンネルのチベット高原の高標高地形の草原上での重み係数を減少しないようにし、重み係数を誤差共分散の逆数と整合させた。この修正により、衛星データ同化がチベット高原下流の対流圏中層トラフ、水蒸気、量的降水予報の48時間予報により大きな正のインパクトが得られた。また、本研究は、チベット高原下流の数値天気予報に対し、早朝の衛星軌道からの AMSU-A 観測の重要性を示唆する。

Wei-Ting CHEN・Chien-Ming WU・Wei-Ming TSAI・Peng-Jen CHEN・Po-Yen CHEN：南シナ海夏季モンスーン開始期における沿岸対流の水蒸気蓄積に対する役割

Wei-Ting CHEN, Chien-Ming WU, Wei-Ming TSAI, Peng-Jen CHEN, and Po-Yen CHEN: Role of Coastal Convection to Moisture Buildup during the South China Sea Summer Monsoon Onset

この研究では、夏季モンスーン開始期の急激な遷移期間における南シナ海 (SCS) を対象に、オブジェクト (雲の塊)・ベースで検出した降水システム (OPS) と水蒸気蓄積の気候的特性を解析した。衛星観測を用いた OPS の統計により、モンスーン開始前の20日間には小規模 (<100km) から中規模 (100–300km) の OPS が SCS 周辺の陸上で活発なことが示された。モンスーン開始前のコンポジット平均では、海洋上で下降流偏差となる海盆スケール (~1000km) の局所的循環が見られ、対流はほぼ抑制される。モンスーン開始後の20日間には、大規模 (>300km) な OPS が沿岸海域で発達し、総降水量の60%以上に寄与する。観測される大規模な OPS の数は、モンスーン開始後の10日間において急激な水蒸気蓄積とともに著しく増

加する。水蒸気収支解析により、対流による鉛直混合の局所的寄与が、モンスーン開始後5日間の主要な水蒸気供給源であることが示唆された。次に、SCS 海盆を模した海陸配置を用いる理想条件の雲解像モデル (CRM) 実験により、水蒸気蓄積と対流組織化の関係を調べた。CRM は観測された沿岸対流の発達を適切に表現している。風の鉛直シアなしの環境場では、強い海盆スケールの循環が形成され、海洋上の水蒸気蓄積が抑制される。モンスーン開始直後5日間の大規模循環の変化を表現するため風の鉛直シアを与えた実験では、組織化した対流システムは沿岸海洋上で増加して外洋に向けて伝播し、5日から10日以内の急速な湿潤化を伴う。

栗津妙華・大塚成徳・三好建正：パターン認識を用いた降水予測の評価

Taeka AWAZU, Shigenori OTSUKA, and Takemasa MIYOSHI: Verification of Precipitation Forecast by Pattern Recognition

本論文は、降水領域の位置ずれと形状を同時に評価することができる尺度 Pattern Similarity Index (PSI) を提案する。スレットスコアや root mean squared error (RMSE) のようなピクセルごとと比較する検証手法では、小さな降水領域を評価することや、降水領域の位置ずれや形状を評価することは難しい。これらに対処するために、様々なオブジェクトベースの手法が開発されてきた。しかし、オブジェクトベースの手法は複雑で計算が重くなりがちであった。そこで、PSI は次に述べるようにより簡潔でより計算効率の良いアルゴリズムを採用する。初めに個々の降水領域の外接矩形を求め、人の認識に似た降水領域の集合体にするために近接する外接矩形を統合する。次に、統合された外接矩形内において形状パラメータが計算される。対応関係にある観測と予測された降水領域で、形状パラメータの差によって重み付けされた位置ずれの値が評価スコアとなる。予測された

降水領域の近傍に面積の似た降水領域が観測されていなかった場合、当該予測領域に対して、この距離に基づいた評価スコアに大きな値を設定する。本手法ではパラメータは外接矩形の統合方法と降水の閾値だけであり、これらのパラメータを変更しながら、評価値の計算を繰り返す。最終的な評価値は最も良い値とする。

理想化実験では、PSI が位置ずれや形状パラメータの差異を評価できることを示した。全球降水ノウキャストを用いた実例では、提案手法の評価値は予測時間とともにほぼ線形に増加するが、スレットスコアと RMSE は予測時間が増加するにつれて変化が乏しくなる傾向があり、PSI の潜在的利点を示している。他のオブジェクトベースの手法と比較したところ、PSI は同等の評価スコアを出しつつ、計算効率が良いという利点が明らかになった。

露木 義：大気マルチスケールデータ同化のための渦位に基づくアンサンブルカルマンフィルタ

Tadashi TSUYUKI: Ensemble Kalman Filtering Based on Potential Vorticity for Atmospheric Multi-Scale Data Assimilation

速い変数の観測データが十分得られない場合の大気モデルについて、アンサンブルカルマンフィルタ (EnKF) のためのマルチスケールデータ同化法を提案する。この方法は、渦位の保存とインバージョン可能性に基づいている。予測値アンサンブルの各メンバーについて、空間平滑化された力学変数から渦位アンマリーを算出し、それをインバージョンすることによって、自由大気中における力学変数をバランス成分と非バランス成分に分解する。この分解によって生じる付加的な標本誤差を除去するために、この2つの成分の質量変数を調整する。カルマンゲインにおいてこれらの成分間の予測誤差共分散を無視することによって、偽の誤差相関を抑制する。この近似により、それ

ぞれの成分に対して異なる共分散局所化を適用することが可能になる。こうして得られるカルマンゲインを用いて観測データを同化する。

この方法の性能を、完全モデルの仮定のもとで浅水モデルを用いた双子実験で示す。2つの成分に同じ局所化半径を用いた実験結果は、アンサンブルの大きさが十分大きくなければ、提案された EnKF は従来の EnKF より解析精度において勝ることを示す。このためには質量変数の調整が必要なが見出される。これらの実験では、Bolin-Charney バランスを用いる渦位インバージョンの準地衡風インバージョンに対する利点はわずかである。

高村民雄・入江仁士：太陽直達光観測におけるエアロゾルの光学的厚さの推定に及ぼす前方散乱効果について

Tamio TAKAMURA and Hitoshi IRIE: Forward Scattering Effect on the Estimation of the Aerosol Optical Thickness for Sun Photometry

エアロゾルによる放射強制力を正確に評価するためには、その光学的厚さの精度が重要である。太陽を光源としたサンフォトメータによる分光観測は、取り扱いの容易さからよく用いられる手法の一つであるが、直達光の観測時に前方散乱光も併せて取り込むことにより、推定値に対応する誤差が入ることは避けられない。その結果、推定される光学的厚さは機器が正しく校正されているとしても、過小評価傾向が生まれる。これは機器の光学特性とエアロゾル自身の特性に依存するが、本報告ではこれらのパラメータを仮定して、その影響について評価した。

前方散乱比 $\gamma_{\lambda, fwd}$ を、波長 λ における直達光観測に含まれる前方散乱光の割合として定義すると、観測値 ($I_{\lambda, obs}$) は、 $I_{\lambda, obs} = I_i (1 + \gamma_{\lambda, fwd})$ で表せるが、この時観測する視線方向の相対エアマスを m とすると、近似的に $\gamma_{\lambda, fwd} \approx \epsilon_{\lambda} \omega_{\lambda} \tau_{\lambda, aer} m$ となる。 ω_{λ} 及び $\tau_{\lambda, aer}$ は、それぞれエアロゾルの単一散乱アルベド及び光学的厚さである。係数 ϵ_{λ} は機器及びエアロゾルの光学特性に由来するものであり、その依存性について定量的に評価した。この時、推定されるエアロゾルの光学的厚さの誤差は、 $\Delta \tau_{\lambda} \approx -\epsilon_{\lambda} \omega_{\lambda} \tau_{\lambda, aer}$ で表すことが出来る。

末木健太・梶川義幸：平成30年7月豪雨期間中の広島と京阪神の降水システムの違い

Kenta SUEKI and Yoshiyuki KAJIKAWA: Different Precipitation Systems between Hiroshima and Keihanshin during Extreme Rainfall Event in Western Japan in July 2018

西日本で壊滅的な被害が生じた平成30年7月豪雨の期間中、4日1200UTCから7日1200UTCまでの72時間で、広島と京阪神は共に平年を大きく上回る総降水量を記録した。しかしながら、土砂災害の発生件数は広島の方がはるかに多かった。本研究では豪雨期間における両地点の降水特性の違いに着目し、広島と京阪神の土砂災害に大きな差を生じさせた可能性のある要因について調べた。レーダーの観測データに基づき、広島と京阪神を襲った降水システムの特徴を調査した結果、広島では面積が10⁴km²以上の非常に大き

な降水システムに伴う雨が顕著であり、積算雨量の急速な増大が生じた結果、土砂災害のリスクを高めていたことが分かった。一方の京阪神では、比較的弱い雨か、小さな降水システムに伴う雨が支配的であった。広島と京阪神の被害に差が生じた主要因は、両地域を襲った降水システムの大きさの違いであると考えられる。豪雨期間に生じた降水システムの環境場の統計解析を行った結果、強い鉛直シアのある環境場が、巨大な降水システムの形成に適した条件であることが分かった。