

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

第96巻 第2号 2018年4月号 目次と要旨

論 文

- 加藤輝之：東アジア域での豪雨もたらす湿潤対流発生を議論するための下層水蒸気場の
代表的な高度69-83
- Chung-Chuan YANG・Chun-Chieh WU・Kevin K. W. CHEUNG：NCEP-GFS モデル
における2008年台風 Fengshen の転向に関する大きな予測誤差の診断85-96
- Guanghua CHEN・Ke WANG：スーパー・エルニーニョ現象後の2016年と1998年の北西
太平洋の熱帯低気圧活動がどうして違うのか？97-110
- Jing XU・Yuqing WANG：数値的にシミュレートされた熱帯低気圧の強度に対する初期
渦構造の影響111-126
- Jingchao LONG・Yuqing WANG・Suping ZHANG：東シナ海の黒潮域における雲量
データセットの相互比較127-145
- 藤部文昭：数分～数十分スケールの地上気温変動の気候学的特性147-160
- 川瀬宏明・佐々井崇博・山崎 剛・伊東瑠衣・大楽浩司・杉本志織・佐々木秀孝・
村田昭彦・野坂真也：5 km 地域気候アンサンブル実験によって計算された
西日本から東北日本における強い降雪発生時の総観場の特徴161-178
- 岡本幸三・石橋俊之・石井昌憲・Philippe BARON・蒲生京佳・田中泰宙・山下浩史・
久保田拓司：衛星搭載コヒーレントドップラー風ライダーの実現性検討
Part 3：感度観測システムシミュレーション実験を用いたインパクト評価179-199
- 久慈 誠・村崎あつみ・堀 雅裕・塩原匡貴：船舶に搭載された全天カメラと雲底高度計で
観測された東アジアと南極の間の雲量201-214
- 内山明博・Bin CHEN・山崎明宏・Guangyu SHI・工藤 玲・西田千春・林 政彦・
Ammara HABIB・松永恒雄：ネフェロメーターとエサロメーターによって
測定された福岡と北京のエアロゾル光学特性：発生域と下流域の比較215-240

要報と質疑

- 石岡圭一：球面調和関数変換の効率的な計算のための新しい漸化式241-249
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト（2018年1月号・2月号）251
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト（2018年1-32）252
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト253-254

.◇.◇.◇.

加藤輝之：東アジア域での豪雨もたらす湿潤対流発生を議論するための下層水蒸気場の代表的な高度

Teruyuki KATO: Representative Height of the Low-Level Water Vapor Field for Examining the Initiation of Moist Convection Leading to Heavy Rainfall in East Asia

本研究では、東アジア域での豪雨発生可能性の議論に用いることができる下層水蒸気場の代表的な高度を調査した。まず、1 km 水平分解能の雲解像モデルがシミュレートした湿潤対流の雲底高度を統計的に調べた。統計は、2008年4月から8月の九州・四国周辺領域を対象とした。シミュレートされた強い上昇流を持つ湿潤対流の雲底高度の多くは、陸上で500 m、海上で300 m 付近に出現していた。これは、高度500 m 以下の下層湿潤気塊が強い湿潤対流の生成に重要であることを意味している。また、積乱雲を発生させる、持ち上げられる気塊の相当温位を明らかにするために雲底高度の相当温位を調べた。その結果、雲底下には355 K 前後の相当温位がよくみられた。

次に、雲底高度の統計結果に基づき、2008年6月から9月の北緯35度以南の東アジア域の海上を対象に、10 km 水平分解能の客観解析データから作成した異なる高度と気圧レベルの相当温位を統計的に比較した。その結果、850 hPa の解析は下層水蒸気場を表現することができない一方、梅雨期の850 hPa の相当温位場は梅雨前線帯の対流活動の影響を強く受けていることが示された。925 hPa の相当温位でも下層水蒸気場を十分表現できなかったが、高度250 m と高度500 m の差は非常に小さかった。したがって、高相当温位層にある厚みがあることも考慮すると、高度500 m のデータは豪雨もたらす湿潤対流の発生を議論するための下層水蒸気場を代表すると考えられる。

Chung-Chuan YANG・Chun-Chieh WU・Kevin K. W. CHEUNG：NCEP-GFS モデルにおける2008年台風 Fengshen の転向に関する大きな予測誤差の診断

Chung-Chuan YANG, Chun-Chieh WU, and Kevin K. W. CHEUNG: Diagnosis of Large Prediction Errors on Recurvature of Typhoon Fengshen (2008) in the NCEP-GFS Model

渦位診断に基づく指向流の解析により、National Centers for Environmental Prediction Global Forecast System (NCEP-GFS) モデルが2008年台風 Fengshen の事例で大きな進路予測誤差（過大な転向）を示した原因を調べた。本研究では、特に2008年6月19日および20日の0000UTC を初期時刻とする2つの予測結果を使用した。台風の循環場を除去した925-300 hPa の間の深い層で平均した（DLM）指向流は、客観解析データにおいて西または北西向き、ベストトラックにおける連続的な西進および北西進を説明する。しかし、予報されたDLM 指向流は、より北向きであった。台風の周囲においてバランスした指

向流を診断するために、亜熱帯高気圧、モンスーントラフ、大陸高気圧、および中緯度トラフに関連する4つの異なる渦位偏差を定義した。渦位解析の結果は、予測された指向流の西向き成分の弱さが500 hPa 高度の分布に特徴づけられるように、主に南西方向に過大に広がる亜熱帯高気圧と、過小評価された大陸高気圧に起因することを示した。モンスーントラフに関連する指向流成分は、台風 Fengshen が解析と予報の両方で北へ転向するとき重要な役割を果たした。これによって、NCEP-GFS モデルにおける弱い西向き指向流成分は、この台風の過大な転向をもたらした。

Guanghua CHEN・Ke WANG：スーパー・エルニーニョ現象後の2016年と1998年の北西太平洋の熱帯低気圧活動がどうして違うのか？

Guanghua CHEN, and Ke WANG: Why is the Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific so Distinct in 2016 and 1998 Following Super El Niño Events?

2016年と1998年の熱帯低気圧（TC）のピークシーズンはいずれもスーパーエルニーニョの衰退期であっ

たが、北西太平洋 (WNP) の TC 活動は大きな違いがあった。2016年の TC は、1998年とは対照的に、より多くの発生数、より強い強度、より明確な TC 活動の月々の変動を特色とする。詳細に比較すると、1998年とは異なり、2016年には WNP における暖かい海面温度偏差がより強く、より東に張り出していた。特に、2016年 8 月は マッデン・ジュリアン振動 (MJO) の西風位相期であり、南西風のサージにより東方に広がる対流帯内に多くの TC が発生した。2016年の TC 発生の平均経度はより東にシフトし、TC の

より長い寿命とより大きな強度のために有利であった。中高緯度への影響に関しては、中緯度からのシルクロードパターンに伴った低気圧性の循環の偏差が南方に貫入し、2016年 8 月に WNP 亜熱帯高気圧 (WNPSH) を 2 つに分割した。その結果、両高気圧の間に対流圏内の深い層で南風の指向流をもたらし、その結果北偏しやすい TC の経路が得られた。2016年の北半球での秋には、WNPSH が強まり、西方向に伸び、持続的な東風の指向流を形成し、東アジアの沿岸域に影響を与える連続的な TC をもたらした。

Jing XU・Yuqing WANG: 数値的にシミュレートされた熱帯低気圧の強度に対する初期渦構造の影響

Jing XU and Yuqing WANG: Effect of the Initial Vortex Structure on Intensification of a Numerically Simulated Tropical Cyclone

非静力学軸対称雲解像モデルを用いて、最大接線風半径 (RMW) と、RMW の外側における接線風の動径方法の減少率を含む、熱帯低気圧 (TC) の初期構造に対する発達率 (IR) の依存性を調べた。初期に RMW が小さい、または RMW の外側における接線風の減率が大きい低気圧の場合、初期のスピンアップの期間が短く、その後の IR が大きいことが示された。この結果は、初期スピンアップ期間の長さが、対流圏下層から中層において内部コア領域がどれだけ早く飽和し、そして RMW 付近の深い対流が発生し組織化するかによって決定されることを示している。よ

り大きい初期渦の内部コアは、より大きい体積とより弱いエクマンポンピングのため、飽和に達するのにより長い時間を要し、それゆえより長い初期スピンアップ期間を要する。大きな RMW を持つ (RMW の外側における接線風の減衰が小さい) 初期渦は、RMW の内側における慣性安定性が低いほど (RMW の外側における慣性安定性が高いほど)、外部コア領域におけるより活発な対流活動と、コア領域におけるより弱い境界層内のインフローをとめない、それゆえ初期の強化段階における発達率が低下する。

Jingchao LONG・Yuqing WANG・Suping ZHANG: 東シナ海の黒潮域における雲量データセットの相互比較

Jingchao LONG, Yuqing WANG, and Suping ZHANG: Intercomparison of Cloud Amount Datasets in the Kuroshio Region over the East China Sea

東シナ海上の黒潮域の海面水温前線における層積雲から積雲への雲の変動とレジーム遷移は重要な地域気候の特徴であり、地球のエネルギーバランスに影響を与える可能性がある。しかし、利用可能な雲の観測データ間に大きな不確実性があるため、この地域の雲の特徴を調査し、また、気候モデルにおけるこの地域の雲のシミュレーションを検証するために、どの雲データセットがより信頼性が高いのか不明である。本研究では、Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations (CALIPSO), Moder-

ate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), the International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS) の当該領域の月毎の低層雲量 (LCA) と全雲量 (TCA) データセットを、CloudSat+CALIPSO (CC) の複合プロダクトに対して、気候学的平均、季節サイクル、および年々変動の整合性と相違の観点から検証する。その結果、MODIS と CALIPSO による LCA と TCA は、気候学的な年平均の点で CC データと比較的高い整合性を示し、季節周期について似たような挙動を示す

ことが示された。3つのデータセットとCCとの間のLCAの整合性は一般的に寒候期(冬, 春および秋)では良好であるが, 夏では非整合性が高い。MODISは99%以上の信頼水準で0.77の相関係数で秋にCCと最もよく一致する。CALIPSOとMODISは, 全ての季節でTCAに関して同等の品質をもっており, ICOADSは冬季のみTCAの気候学的な季節平均の

点で優れている。さらに, 全データセットのLCAとTCAの年々変動は, 冬と春の両方でCCとの相関が高く, マッチングスコア(MS)は2/3と1の間である。長期データによるさらなる解析から, ICOADSとMODISのLCA, TCAの両方も, 当該領域における雲の年々変動の研究のよい参照データとなり得ることが示唆される。

藤部文昭：数分～数十分スケールの地上気温変動の気候学的特性

Fumiaki FUJIBE: Climatological Features of Sub-Hourly Temperature Variations in Japan

全国のアメダス917地点における4年間の1分値資料を使い, 地上気温に現れる数分～数十分スケールの変動の気候学的特徴を調べた。気温の時系列にガウス関数型のハイパスフィルターを施した後, スペクトル解析を行い, 周期64分以下の変動の分散を気温変動の大きさの尺度とした。昼間の気温変動は全国的に見られ, 地点間のばらつきは比較的小さい。変動の振幅は秋～冬よりも春～夏に大きく, 低温・寡照時や降水時よりも高温・多照時に顕著である。気温と風速のクロススペクトル解析によると, 風速の極小期あるいはそ

の後に気温の極大が生ずる傾向がある。これらの特徴から, 変動は混合層内の対流運動に対応すると考えられる。一方, 夜の気温変動は地点間のばらつきが大きく, 特に北海道と東日本の一部の地点で冬に著しく大きな値を持つ。変動の周期は昼間よりも長く, 風速変動と同位相の傾向があり, 高温・強風時や降水時よりも低温・弱風時に顕著である。変動が大きい地点は鞍部や斜面上に位置しており, 強い接地逆転のもと, 冷気が蓄積しにくい地形条件における何らかの大気運動によって気温変動が生ずると考えられる。

川瀬宏明・佐々井崇博・山崎 剛・伊東瑠衣・大楽浩司・杉本志織・佐々木秀孝・村田昭彦・野坂真也：5 km 地域気候アンサンブル実験によって計算された西日本から東北日本における強い降雪発生時の総観場の特徴

Hiroaki KAWASE, Takahiro SASAI, Takeshi YAMAZAKI, Rui ITO, Koji DAIRAKU, Shiori SUGIMOTO, Hidetaka SASAKI, Akihiko MURATA, and Masaya NOSAKA: Characteristics of Synoptic Conditions for Heavy Snowfall in Western to Northeastern Japan Analyzed by the 5-km Regional Climate Ensemble Experiments

強い降雪の詳細な地域分布は, 特に太平洋側などで積雪の観測点が限られていること, 過去の強い降雪事例が少ないことからよく分かっていない。本研究では, 5 km 格子間隔の高解像度地域気候アンサンブル実験の結果を解析することで, 現在気候下で西日本から東北日本において強い降雪をもたらす気象場の特徴を明らかにする。地域気候モデルの側面境界値には, 気象庁55年長期再解析(JRA-55)と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)の過去実験10メンバーを用いた。d4PDFを用いた力学的ダウンスケーリング(d4PDF-DS)は, JRA-55を用いたダウンスケーリング(JRA55-DS)

に比べ, より強い降雪が評価可能となる。

強い降雪は日本海側では寒気吹き出し時に発生し, 太平洋側では南岸低気圧の通過時に強い降雪が発生していた。JRA55-DSとd4PDF-DSの比較から, 首都圏においてはさらに発達した温帯低気圧と寒気のせき止め(cold air damming)の強化によって, より強い降雪が発生しうることが示された。強い降雪の地域分布は, 降雪をもたらす2つの典型的な総観場(寒気の吹き出しと温帯低気圧)の間で異なる。地域分布の違いは通常の降雪時よりも強い降雪時に明瞭に現れた。強い降雪は太平洋側では1月や2月, 日本海側では12月や1月, 標高の高い山岳地域では11月や3月に

発生頻度が高かった。降雪が発生しうる状況では0°C付近で飽和水蒸気圧が最も高くなるが、強い降雪が0°Cよりかなり低い状況で発生していた山岳域におい

ては、晩秋から冬季の総観場が強い降雪の発生に深く関連しているといえる。

岡本幸三・石橋俊之・石井昌憲・Philippe BARON・蒲生京佳・田中泰宙・山下浩史・久保田拓司：衛星搭載コヒーレントドップラー風ライダーの実現性検討 Part 3：感度観測システムシミュレーション実験を用いたインパクト評価

Kozo OKAMOTO, Toshiyuki ISHIBASHI, Shoken ISHII, Philippe BARON, Kyoka GAMO, Taichu Y. TANAKA, Koji YAMASHITA, and Takuji KUBOTA: Feasibility Study for Future Space-Borne Coherent Doppler Wind Lidar, Part 3: Impact Assessment Using Sensitivity Observing System Simulation Experiments

感度解析システム実験 (SOSE) 手法に基づく観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を用いて、超低高度衛星に搭載する将来の衛星搭載風ドップラーライダー (DWL) のインパクトについて評価した。DWL 観測値をシミュレートするために、疑似真値場 (PT) として風・気温などの現実的な大気データを計算し、これと整合的な毎時のエアロゾル・雲も作成した。先行論文に詳述されているフル規格のライダーシミュレータを用いて、現実的な視線方向の風観測値や、信号雑音比 (SNR)、測定誤差などの観測品質情報をシミュレートした。データ同化においては、エアロゾルや雲が存在する場所で強まる後方散乱を反映した平均 SNR に基づいて、高品質な DWL 観測を選択するよう品質管理 (QC) 処理を開発した。さらに同化で用いる DWL 観測誤差は、ライダーシミュレータ

で推定した観測誤差を用いて計算した。

極軌道及び熱帯軌道衛星に搭載した DWL の予報へのインパクトを、現業全球データ同化システムを用いて調査した。全体的なインパクトや季節依存性を調べるため、データ同化実験は2010年1月と8月を対象として行った。極軌道、熱帯軌道いずれの衛星も、風や気温の予報を概ね改善し、その改善量は1月実験の方が大きかった。予報誤差減少率は、熱帯でほぼ2%に達した。しかし8月実験では南半球で改悪が見られ、観測誤差設定や QC にまだ改善の余地があることを示唆している。極軌道と熱帯軌道の優劣はつけられず、これは熱帯での誤差成長の特性と関係していると考えられる。SOSE-OSSE 手法の限界や、例えば単純化した観測誤差膨張設定に起因する DWL のインパクトの過小評価の可能性についても議論している。

久慈 誠・村崎あつみ・堀 雅裕・塩原匡貴：船舶に搭載された全天カメラと雲底高度計で観測された東アジアと南極の間の雲量

Makoto KUJI, Atsumi MURASAKI, Masahiro HORI, and Masataka SHIOBARA: Cloud Fractions Estimated from Shipboard Whole-Sky Camera and Ceilometer Observations between East Asia and Antarctica

南極観測船しらせ船上において、全天カメラと雲底高度計を用いて、日本と南極の間で雲量が観測された。55次及び56次日本南極地域観測 (JARE) は2013年11月から2014年4月までと2014年11月から2015年4月まで、それぞれ実施された。全天カメラからは天空の明るさと分光学的特徴に基づいて雲量が評価された一方で、雲底高度計によって雲の出現頻度が記録された。全天カメラから導出された日平均雲量と雲底高度計による観測を比較すると、日本と南極の間の外洋域では、JARE 55と56で、相関係数はそれぞれ0.87と

0.93となった。全体として、2つの観測手法の結果は外洋域では整合的であった。しかしながら、海水域では地表面アルベドが高いため、雲域と晴天域間の輝度および分光学的コントラストが低くなり、全天カメラから雲量を導出する際には特に地表面状態に対する考慮が必要となった。そのため、本研究では、海水域では雲と晴天の分類パラメータを太陽高度の関数として表現した。このパラメータは JARE 55の海水域の一部で決定され、JARE55の残りと JARE 56の海水域に適用された。その結果、海水域における日平均雲量は、

JARE 55と56でそれぞれ、およそ84%と57%と見積もられた。海水域においても、全天カメラから導出された日平均雲量と雲底高度計の観測は整合的であり、

JARE 55と56でそれぞれ、相関係数が0.93と0.96となった。

内山明博・Bin CHEN・山崎明宏・Guangyu SHI・工藤 玲・西田千春・林 政彦・Ammara HABIB・松永恒雄：ネフェロメーターとエサロメーターによって測定された福岡と北京のエアロゾル光学特性：発生域と下流域の比較

Akihiro UCHIYAMA, Bin CHEN, Akihiro YAMAZAKI, Guangyu SHI, Rei KUDO, Chiharu NISHITA-HARA, Masahiko HAYASHI, Ammara HABIB, and Tsuneo MATSUNAGA: Aerosol Optical Characteristics in Fukuoka and Beijing Measured by Integrating Nephelometer and Aethalometer: Comparison of Source and Downstream Regions

東アジアの二つの都市（福岡と北京）におけるエアロゾルの光学特性を2010年から2014年の期間測定した。エアロゾルの発生域と下流域の特性の違いを理解するために季節をまたぐ長期間のデータを比較した。今まで、季節をまたぐ長期間の観測はほとんど報告されていない。著者の一人によって開発した方法を用いて、推定した光学特性が以前の研究で得られたものよりも正確であるように測定データが解析された。これらのデータを使用して、信頼の高いエアロゾル特性およびそれらの頻度分布が得られた。福岡における消散係数 C_{ext} (525 nm), 散乱係数 C_{sca} (525 nm), 吸収係数 C_{abs} (520 nm) の年平均値は、それぞれ74.6, 66.1, 8.1 Mm^{-1} であった。一方、北京では、それぞれ、412.1, 367.2, 42.4 Mm^{-1} であった。福岡におけるこれらの値は、北京の約5分の1であった。福岡と北京における一次散乱アルベド ω_0 (525 nm) は、それぞれ、0.877と0.868であった。散乱位相関数の非対称因子 G (525 nm) は、それぞれ、0.599と0.656であった。消散係数に対するオングストローム指数 α_{ext} は、それぞれ、1.555と0.855であった。吸収係数に対するオングストローム指数 α_{abs} は、それぞれ、1.106

と0.977であった。福岡における微細粒子と粗大粒子の体積比率は、約80%と20%であった。一方、北京においては夏を除いて両方とも約50%であった。

C_{ext} , C_{sca} , C_{abs} は、両市において季節変化していた。他のいくつかのエアロゾル特性も、季節変化していた。特に、 α_{abs} の季節変化はどちらの都市においても明瞭であり、夏に小さく、冬に大きい変化をしていた。これらのエアロゾル特性の頻度分布についても調べた。福岡においては、 C_{ext} が500 Mm^{-1} を越えることはまれであり、大きな C_{ext} や C_{abs} は、春季に他の季節より頻繁に観測された。北京においては、 C_{ext} が1000 Mm^{-1} を越えることがしばしば起こった。吸収係数 C_{abs} が、10から60 Mm^{-1} の値の頻度が春と夏に高いことが特徴的であった。また、1より小さい値の α_{abs} が、しばしば測定された。これは、単純な光吸収性エアロゾルの外部混合では説明できない。

本研究で得られたデータの有効性を示すために、 α_{abs} , α_{ext} , 体積粒径分布, 屈折率(虚数部), ω_0 の関係を調べ、更に、北京の冬や福岡の春など特徴的なケースについて初期的な解析を行った。

石岡圭一：球面調和関数変換の効率的な計算のための新しい漸化式

Keiichi ISHIOKA: A New Recurrence Formula for Efficient Computation of Spherical Harmonic Transform

球面調和関数変換の効率的な計算のために、ルジャンドル陪関数の新しい漸化式が提案される。この新しい漸化式は、現代の計算機に搭載されている積和算(FMA)命令を最大限利用する。この新しい漸化式を実装した数値コードと、伝統的な漸化式を使ったもの

とで球面調和関数変換に要する計算時間が比較される。この比較は、この新しい漸化式の実装がより速い変換に寄与することを示す。さらに、切断波数が非常に大きい場合でも変換の精度を保つ手法についても説明される。