

## 名古屋都市圏における温熱環境の将来予測とその不確か性 Estimation of uncertainty in thermal environmental projection around Nagoya metropolitan area

原 政之<sup>1\*</sup>; 足立 幸穂<sup>2</sup>; 日下 博幸<sup>3</sup>; 木村 富士男<sup>4</sup>; 高橋 洋<sup>5</sup>; 馬 燮鈞<sup>4</sup>

HARA, Masayuki<sup>1\*</sup>; ADACHI, Sachiko<sup>2</sup>; KUSAKA, Hiroyuki<sup>3</sup>; KIMURA, Fujio<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Hiroshi<sup>5</sup>; MA, Xieyao<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 埼玉県環境科学国際センター, <sup>2</sup> 独立行政法人理化学研究所 計算科学研究機構, <sup>3</sup> 筑波大学 計算科学研究センター, <sup>4</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>5</sup> 首都大学東京

<sup>1</sup>Center for Environmental Science in Saitama, <sup>2</sup>Advanced Institute for Computational Science, RIKEN, <sup>3</sup>Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, <sup>4</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Tokyo Metropolitan University

Urban canopy process is essential to investigate thermal environment in the near future, because surface air temperature (SAT) increase due to urban heat island is comparable to the one due to the global warming in the near future over major metropolitan areas in Japan. During the past 100 years, annual mean surface air temperature (SAT) increased about 2 °C in Nagoya, while the world mean SAT increased only 0.66 °C. The difference in the SAT is mostly caused by the effect of the urban heat island (UHI). This study investigates the uncertainty in the near future thermal environmental projection of Nagoya metropolitan area which is third largest metropolitan area in Japan. The present climate simulation is conducted using a high-resolution numerical climate model, the Weather Research and Forecasting (WRF) model, including an urban canopy sub-model. A future climate run is conducted using the pseudo-global-warming method, assuming the boundary conditions in the 2050s estimated by CMIP5 GCMs under the RCP scenarios.

キーワード: 都市気候, 都市ヒートアイランド, 気候予測, 力学的ダウンスケーリング, 領域気候モデリング

Keywords: urban climate, urban heat island, climate projection, dynamical downscaling, regional climate modeling

## 街区・建物微気象 LES モデルの開発 Development of Urban Meteorological LES Model for thermal environment at city scale

池田 亮作<sup>1\*</sup>; 日下 博幸<sup>1</sup>

IKEDA, Ryosaku<sup>1\*</sup>; KUSAKA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学計算科学研究センター

<sup>1</sup> Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

ヒートアイランド緩和策や温暖化に対する測定環境の変化の評価など、局所的な微気象、熱環境への関心が高まっている。本研究では、これらの効果を計算できる街区・建物周辺微気象 LES モデルの開発を行い、建物、公園、街路樹等が局所的な気温分布に与える影響を調べた。

本研究で開発した LES モデルは、気象モデルベースのものであり、気象の物理モデル等が導入されていることに加え、建物解像かつ街路樹が反映可能であり、建物・街路樹の影の計算及び、多重反射が考慮可能である。街区内の暑熱環境の計算においては、街区内の放射環境が重要な要素の1つであるため、本モデルでは、長波放射・短波放射ともにラジオシティ法を用い、多重反射を考慮している。街路樹に対しては、樹木は枝や幹はなく葉のみであるとし、樹木を格子に分割し、各々の格子に含まれる葉群を1枚の葉で表現している。この葉が樹木の葉による放射の遮蔽・透過・反射の効果を表現するものとする。葉面間及び樹木建物間の多重反射は、建物間と同じくラジオシティ法により計算を行う。

開発したモデルを用いて、多治見市と名古屋市の中心街を対象に、街路樹やドライミストが局所的な気温に及ぼす影響を評価した。今後、計算結果を用いて、多治見市に対し暑熱環境緩和策の提言（効果的な街路樹・ドライミストの設置場所等の提案）を行っていく予定である。

キーワード: Large Eddy Simulation, 都市熱環境

Keywords: Large Eddy Simulation, Urban Thermal Environment

## 乱流構造に基づく SGS モデルを用いた微気象場の数値計算手法の開発 Development of computational method for micrometeorological field using SGS model based on turbulence structures

井上 実<sup>1\*</sup>

INOUE, Minoru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> DPRI, Kyoto University

熱対流や温度成層中の乱れによる熱や物質の拡散現象は、局地的な集中豪雨や大気汚染物質の高濃度化に係わる重要な現象の一つである。例えば、急速に発達する積乱雲の下で発生する集中豪雨は、その周りで活発に熱や水蒸気の交換が行われていると考えられるし、ヒートアイランド現象にともなう都市上空の循環流が大気汚染の高濃度化を招くとも言われている。したがって、非等温場における拡散現象の挙動や乱流構造を理解することは、集中豪雨の早期予測や大気汚染の緩和に役立つものと考えられる。また、近年、増加傾向にある集中豪雨は数 km 程度の範囲で 1 時間程度の中に発生しており、台風や前線の通過に伴う豪雨と比べて空間的にも時間的にもスケールの小さな現象である。このような現象を解析する有効な手段の一つとして、非等温場での乱流構造を捉えることができる LES (Large Eddy Simulation) が挙げられる。

そこで、本研究では微気象場における熱輸送や水蒸気輸送に対する LES に向けた数値計算手法を開発した。支配方程式は連続の式とナビエ・ストークス方程式、熱、水蒸気および雲水の輸送方程式であり、併せて雲水の生成、消滅を考慮するため凝結過程を導入した。本計算手法では複雑地形を扱えるように、これらの支配方程式を一般曲線座標系上で有限体積法によって離散化した。サブグリッドスケール (SGS) の乱流モデルには Kobayashi (2005) が提案した乱流構造に基づく CSM (Coherent-structure Smagorinsky Model) を適用した。この乱流モデルはある時間や場所ごとの乱流構造に応じてモデル係数を自動的に与えることができ、数値的な安定性にも優れるという特徴を持つ。

まず、乱流モデルの妥当性を調べるため、等温場でのチャンネル乱流およびバックステップ乱流の問題に適用し、実験値や他の乱流モデルの結果と比較した。次いで、本手法の熱輸送に対する妥当性を検証するため、レイリー・ベナール対流の数値実験を行い、レイリー数により熱伝達の機構が変化することを確認した。最後に、水蒸気輸送に対する妥当性を検証するため、Siebesma et al. (2003) が行った境界層積雲に対する LES の結果と比較した。この結果、いずれの場合も概ね妥当な結果が得られており、本手法の熱輸送や水蒸気輸送の解析に対する可能性が示された。

キーワード: 微気象, LES, SGS モデル, 乱流熱輸送, 集中豪雨, 大気汚染

Keywords: micrometeorology, LES, SGS model, turbulent transport of heat, local heavy rain, air pollution

## みなとみらい21地区におけるシミュレーションと観測による熱環境の理解に向けて District scale thermal environment simulations and observations

杉山 徹<sup>1\*</sup>; 曾我 勇太<sup>2</sup>; 佐土原 聡<sup>2</sup>; 田中 貴宏<sup>3</sup>; 後藤 浩二<sup>1</sup>; 高橋 桂子<sup>1</sup>  
SUGIYAMA, Tooru<sup>1\*</sup>; SOGA, Yuuta<sup>2</sup>; SADOHARA, Satoru<sup>2</sup>; TANAKA, Takahiro<sup>3</sup>; GOTOU, Kouji<sup>1</sup>;  
TAKAHASHI, Keiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地球情報基盤センター, <sup>2</sup> 横浜国立大学 都市イノベーション研究院, <sup>3</sup> 広島大学大学院工学研究科  
<sup>1</sup>JAMSTEC, CEIST, <sup>2</sup>Yokohama National University, Institute of Urban Innovation, <sup>3</sup>Hiroshima University, Graduated School of Engineering

The understanding of these air-thermal and wind conditions in the streets of the well-matured district gets more important because the conditions get worse especially in summer. The reasons for the uncomfortable wind are the complex shape of the building in the districts. The others in the thermal conditions are mainly by the heat-island effects and the global warming in climate change. Indeed, the average temperature in Yokohama-City increases more than that of the global warming. The temperature increase, for example, tends to increase the frequency of a thermal attack to people in the street. The local government officers now try to improve the environment to reduce / decline some kinds of the thermal attacks, then, they demand the information about these thermal and wind conditions.

Here we have performed detailed numerical simulations and observations in order to understand these thermal and wind condition in the streets. The site is Minato-Mirai 21 district (MM21) in Yokohama bay area. The resolutions are 5 meter in space, below 1 second in time. The heat emissions from these air-conditioners, factories, plants, cars, and so on. The land use conditions are also spatially resolved in the calculations. The results are compared with observation results to understand what kinds of the physical processes work there. The pseudo-particle analysis is also performed, then it is frequently observed that the cool air parcels are penetrated into the center of MM21.

These results could bring very useful information to both the local government officers and the stakeholders to improve and design the street environments.

キーワード: 熱環境シミュレーション, 粒子解析  
Keywords: Heat environment simulation, particle analysis

## 岐阜県多治見市周辺における猛暑のメカニズム解明に向けた観測調査 Multiscale factors causing climatological high temperature in Tajimi, the 'hottest city' in Japan

高根 雄也<sup>1\*</sup>; 日下 博幸<sup>2</sup>; 近藤 裕昭<sup>1</sup>; 岡田 牧<sup>3</sup>; 阿部 紫織<sup>3</sup>; 高木 美彩<sup>3</sup>; 宮本 賢二<sup>4</sup>;

富士 友紀乃<sup>4</sup>; 永井 徹<sup>4</sup>

TAKANE, Yuya<sup>1\*</sup>; KUSAKA, Hiroyuki<sup>2</sup>; KONDO, Hiroaki<sup>1</sup>; OKADA, Maki<sup>3</sup>; ABE, Shiori<sup>3</sup>; TAKAKI, Midori<sup>3</sup>;

MIYAMOTO, Kenji<sup>4</sup>; FUJI, Yukino<sup>4</sup>; NAGAI, Toru<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 筑波大学計算科学研究センター, <sup>3</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科, <sup>4</sup> 多治見市役所

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>2</sup>Center for Computational Sciences, University of Tsukuba,

<sup>3</sup>Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>4</sup>Tajimi City Government

岐阜県多治見市は、夏季の高温が著しい地域の一つである。過去の調査・研究等により、多治見の高温の仮説として、様々なスケールに渡る以下の7つが示唆されている。すなわち、(1) 特定の気圧配置、(2) 北西/西側の山からの気流、(3) 名古屋都市域からの熱の輸送、(4) 盆地効果、(5) 多治見市のヒートアイランド、(6) 土壌の乾燥化、(7) 多治見アメダス周辺の熱環境の問題である。本研究では、上記7つの仮説について、過去23年間の気象観測データおよび、独自に3年間実施した気象観測により得られたデータを用いて、様々なスケールの視点に立ち、気候学的に検証した。その結果、多治見市の気候学的な高温には、(1) 特定の気圧配置である鯨の尾型の出現と(5) 都市化というバックグラウンドの環境場に、(2) 西/北西側の山からの気流が重なり、かつ(7) 多治見市内では高温が観測されやすい街区内に AMeDAS 観測地点が設置されていることが寄与していることが示唆された。

キーワード: 猛暑, 気圧配置, フェーン, アメダス, 多治見

Keywords: Extreme high temperature, Pressure pattern, Foehn, AMeDAS, Tajimi

## 都市大気遠隔稠密観測用ライダーの開発 Lidar development for hyper-dense remote observation of urban atmosphere

阿保 真<sup>1\*</sup>; 菊田 達也<sup>1</sup>; 有賀 幸輝<sup>1</sup>; Pham Le Hoai Phong<sup>1</sup>  
ABO, Makoto<sup>1\*</sup>; KIKUTA, Tatsuya<sup>1</sup>; ARUGA, Kouki<sup>1</sup>; PHAM LE HOAI, Phong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 首都大学東京

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University

気圧、気温、湿度（水蒸気密度）、風及び降水量はもっとも基本的な気象情報であり、これらの地表面付近の水平分布情報は気象観測網で、鉛直分布情報はラジオゾンデにより世界中で集められ、モデル計算との組み合わせにより天気予報等に利用されている。更に、広域の水平分布情報は衛星観測、風についてはドップラーレーダー（ウィンドプロファイラ）、降水については降雨レーダーによる立体的な観測も行われている。

一方、都市における大気汚染予測、ヒートアイランド現象の解明、局地的大雨予測などの研究には、サブ・キロメートルの分解能を持った気温、水蒸気及び風の3次元情報が有用である。風についてはドップラーライダーが実用化されているが、気温および水蒸気については実用的な観測機器が無いのが現状である。

我々は、都市域でも利用可能な小型で実用的な気温および水蒸気分布の遠隔観測をめざし、水蒸気を観測する手法としては差分吸収ライダー (DIAL) を、気温観測用にはファラデーフィルタを用いた高分解能スペクトルライダーの開発を行っている。どちらも昼間の観測、水平並びに鉛直分布の連続観測が可能で、スキャン観測を行えば3次元観測が可能なシステムを目指している。本講演ではその開発状況について紹介する。

キーワード: 緻密観測, ライダー, 気温分布, 水蒸気密度, 遠隔観測

Keywords: hyper-dense observation, lidar, atmospheric temperature, water vapor density, remote sensing

## 東京都区部における夏季晴天日の地表面熱放射量とその低減施策 Geographical distribution of outgoing thermal radiation intensity in downtown Tokyo on hot days and mitigation measures

常松 展充<sup>1\*</sup>; 横山 仁<sup>1</sup>; 本條 毅<sup>2</sup>; 市橋 新<sup>1</sup>; 安藤 晴夫<sup>1</sup>; 松本 太<sup>1</sup>; 瀬戸 芳一<sup>3</sup>; 執行 宣彦<sup>2</sup>  
TSUNEMATSU, Nobumitsu<sup>1\*</sup>; YOKOYAMA, Hitoshi<sup>1</sup>; HONJO, Tsuyoshi<sup>2</sup>; ICHIHASHI, Arata<sup>1</sup>; ANDO, Haruo<sup>1</sup>; MATSUMOTO, Futoshi<sup>1</sup>; SETO, Yoshihito<sup>3</sup>; SHIGYO, Nobuhiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京都環境科学研究所, <sup>2</sup> 千葉大学, <sup>3</sup> 東京都環境科学研究所/首都大学東京

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection, <sup>2</sup>Chiba University, <sup>3</sup>Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection/Tokyo Metropolitan University

Annual mean air temperatures in downtown Tokyo have increased about 3 degrees Celsius in the past 100 years due to global warming and urban heat island (UHI) (Japan Meteorological Agency, 2014). Also, the frequency of heat stroke outbreaks tends to increase. These promote implementation of measures for summer heat in Tokyo. We have investigated the impacts of UHI mitigation and adaptation strategies such as making highly reflective pavements, creating green and water spaces, etc.

As part of the investigations, we analyzed data from thermal infrared (TIR) remote sensing in downtown Tokyo on four different extremely hot days: Aug. 7, 2007, Aug. 10, 2007, Aug. 19, 2013, and Aug. 19, 2014. The TIR measurements were carried out in the daytime (12-13 local time: LT) and the nighttime (around 21 LT) (except for Aug. 10, 2007) under similar weather conditions, using a long-wave infrared (8-14 um wavelength) camera (NEC Avio; TS7302) installed on a helicopter. The helicopter was flying at Flight Level 20 (2,000 ft, i.e., 610 m). The lower flight level allows horizontal spatial resolution of data from the thermal imaging camera to be significantly high (approximately 2 m) in spite of airborne TIR measurements. Although sea breezes prevailed over downtown Tokyo, daily maximum air temperatures on those days reached around 34 degrees Celsius.

Areas for the airborne measurements on Aug. 19, 2013 and Aug. 7, 2007 include "Ochanomizu", "Marunouchi", "Otemachi", and "Ginza". To verify impacts of recent UHI mitigation and adaptation strategies in those cities, we analyzed changes in the surface infrared radiation intensities (outgoing longwave thermal radiation intensities) between 2007 and 2013. Surface infrared radiation intensity is one of the important factors that strongly affect sensible temperatures. Compared with other factors affecting sensible temperatures, surface infrared radiation can be easily controlled by UHI mitigation and adaptation strategies for lowering surface temperatures without the negative influences on other places, i.e., no trade-off relationship between changes in the radiation intensities (surface temperatures) at a specific place and another place.

The results show that daytime surface infrared radiation intensities in 2013 are relatively high in the greater part of the area, compared with the ones in 2007, owing to extremely hot weather conditions in 2013, nevertheless, lower intensities of surface infrared radiation can be recognized in some redevelopment areas where several new buildings were constructed between 2007 and 2013. This appears to be due to green and water spaces created in the redevelopment areas through the UHI mitigation and adaptation strategies. Incidentally, surface infrared radiation intensity changes between 2007 and 2014 in the "Shinjuku" city and the neighboring areas will also be analyzed.

By using the TIR remote sensing data, we picked out hot spots where mitigation and adaptation strategies for lowering surface temperatures should be required. For instance, the daytime TIR images superimposed on GIS (geographic information system) applications showed higher infrared radiation intensities (higher temperatures) on surfaces of intersections and the northern parts of streets running from east to west. To clarify the causes of those hot spots, we investigate relationships among surface infrared radiation intensities (surface temperatures), sky view factors, etc. Also, we analyze thermal environment around venues of the 2020 Summer Olympic and Paralympic Games.

Acknowledgements: We are grateful to Ms. Masami Hori, Bureau of Environment of Tokyo Metropolitan Government. She provided us with helpful data as to the UHI mitigation and adaptation strategies.

Keywords: urban heat island, downtown Tokyo, surface infrared radiation intensity, mitigation and adaptation strategies, airborne remote sensing, GIS applications

浅い雲の雲被覆率に対する積雲の広がり と 積雲間距離の影響  
The horizontal distance of each cumulus and broadening distance of stratiform clouds  
determines shallow cloud cover

佐藤 陽祐<sup>1\*</sup>; 西澤 誠也<sup>1</sup>; 八代 尚<sup>1</sup>; 宮本 佳明<sup>1</sup>; 梶川 義幸<sup>1</sup>; 吉田 龍二<sup>1</sup>; 山浦 剛<sup>1</sup>; 富田 浩文<sup>1</sup>  
SATO, Yousuke<sup>1\*</sup>; NISHIZAWA, Seiya<sup>1</sup>; YASHIRO, Hisashi<sup>1</sup>; MIYAMOTO, Yoshiaki<sup>1</sup>; KAJIKAWA, Yoshiyuki<sup>1</sup>;  
YOSHIDA, Ryuji<sup>1</sup>; YAMAURA, Tsuyoshi<sup>1</sup>; TOMITA, Hirofumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 理化学研究所計算科学研究機構

<sup>1</sup>RIKEN, Advanced Institute for Computational Science

Shallow cloud cover below sharp inversion is determined by the relationship between two scales. One is the horizontal distance of each cumulus and the other is the horizontal broadening distance of the stratiform clouds at the top of the boundary layer. We indicated it through the numerical experiments of a transition from cumulus under stratocumulus to the shallow cumulus off the west coast of California. The experiments were conducted with an extremely wide domain (i.e. 300 km × 28 km) using a large eddy simulation model with fine grid resolution (i.e. dx = dy = 50m, dz = 5m). The results show that cloud cover is high with large broadening distance of the stratiform clouds and a short distance between each cumulus. In contrast, low cloud cover occurs when the broadening distance is smaller than the distance of each cumulus. The contrast of the two distances is generated by the difference in aerosol the amount and the strength of surface heat flux. The small broadening distance of the stratiform clouds occurs when the surface heat flux (the aerosol amount) is strong (small), and vice versa. The effects of the surface heat flux are larger than that of aerosol amount.

The relationship between two distances can be applied for estimating the cloud cover below the sharp inversion. Hence, it is of help for improving the better expression of shallow clouds in global scale model.

キーワード: ラージ・ディー・シミュレーション, 層積雲, 積雲, 雲被覆率  
Keywords: Large Eddy Simulation, Stratocumulus, Cumulus, Cloud Cover

直接数値シミュレーションに基づいた積雲での乱流クラスタリングによる粒子性  
Bragg 散乱の解析  
Analysis of particulate Bragg scattering due to turbulent clustering in cumuli based on  
direct numerical simulations

松田 景吾<sup>1\*</sup>; 大西 領<sup>1</sup>; 高橋 桂子<sup>1</sup>  
MATSUDA, Keigo<sup>1\*</sup>; ONISHI, Ryo<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Keiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>JAMSTEC

Radar observation is one of powerful tools to obtain data regarding the cloud physics. The radar observation data are analyzed based on the relation between the radar reflectivity factor and the cloud physical properties. In most cases, the relation derived assuming homogeneity and randomness of particle distributions is used. However, spatial correlations of cloud droplets cause particulate Bragg scattering, which increases the reflected microwave intensity in radar observations. The particulate Bragg scattering is assumed to be insignificant in clouds for a long time. However, the particulate Bragg scattering can be significant due to cloud turbulence. One of the turbulence effects in clouds is turbulent droplet clustering: cloud turbulence generates microscale clusters of cloud droplets due to centrifugal effects. The authors' group performed a three-dimensional direct numerical simulation (DNS) of particle-laden isotropic turbulence and revealed that the influence of turbulent clustering can be a cause of significant error in radar observation of clouds (Matsuda et al., J. Atmos. Sci., 2014). The DNS was performed under the conditions with monodispersed droplets: all droplets in a domain have the same size. This study aims to investigate the influence of turbulent clustering on the radar reflectivity factor for the case of polydispersed cloud droplets; i.e., droplet size distribution in cumulus clouds are considered in the DNS. In the DNS, an isotropic turbulence is generated by solving the Navier-Stokes equation without any turbulence model and a large number of droplet motions are tracked by the Lagrangian method. The clustering data are used to calculate the intensity of scattering microwave considering particulate Bragg scattering. The radar reflectivity factor is calculated from the scattering intensity. We will show the results of the radar reflectivity factor analysis comparing with the factor based on the turbulent clustering data for monodispersed droplets, and discuss the influence of turbulent clustering on radar cloud observations.

キーワード: 直接数値シミュレーション, 乱流クラスタリング, レーダ反射因子  
Keywords: direct numerical simulation, turbulent clustering, radar reflectivity factor

## C帯気象ドップラー・レーダーの高性能化研究 Development of the C-band radar system with the good temporal and spatial resolutions

古本 淳一<sup>1\*</sup>; 松田 知也<sup>2</sup>; 柿元 生也<sup>2</sup>; 東 邦昭<sup>1</sup>

FURUMOTO, Jun-ichi<sup>1\*</sup>; MATSUDA, Tomoya<sup>2</sup>; KAKIMOTO, Ikuya<sup>2</sup>; HIGASHI, Kuniaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 三菱電機株式会社

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>2</sup>Mitsubishi Electric Corporation

C帯レーダーは降雨減衰の影響が小さく100km以上の長距離の観測が可能な利点がある。近年、X帯気象ドップラー・レーダーでは電子的にレーダービーム方向を走査する「フェイズドアレイ」型気象レーダーが開発され時間分解能を1分以下に向上することに成功している。しかし、C帯レーダーでのフェイズドアレイ化には大きな開口のアンテナが必要となり、フラットアンテナ面を回転駆動させる負荷が大きく困難が生じる。こうした問題を解決しC帯レーダーにおいて高時間・空間分解能観測を行うための技術的課題とその実現を目指した取り組みを紹介する。イメージング技術などの超分解能技術についても議論する。

キーワード: Cバンドレーダー, イメージング, 高時間・空間分解能観測

Keywords: C-band weather radar, radar imaging, high temporal and spatial resolutions

## KaバンドおよびXバンドレーダによって観測された積乱雲の発達過程に関する数値実験

### Numerical Simulation on Development Process of a Cb in the Early Developing Stage observed by Ka-band and X-band radars

櫻井 南海子<sup>1\*</sup>; 清水 慎吾<sup>1</sup>; 三隅 良平<sup>1</sup>; 岩波 越<sup>1</sup>

SAKURAI, Namiko<sup>1\*</sup>; SHIMIZU, Shingo<sup>1</sup>; MISUMI, Ryohei<sup>1</sup>; IWANAMI, Koyuru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED

Millimeter-wavelength radar is a useful tool for observing the initiation and early developing stage (DS) of cumulonimbi because it has higher sensitivity and higher spatial resolution than those of conventional weather radars (S-, C-, and X-band radars; centimeter-wavelength radars). The National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) of Japan has a Ka-band Doppler radar (KaDR) with mobile capability (Iwanami et al., 2001) and performed intensive observation of cumulonimbi with the KaDR and an X-band polarimetric Doppler radar (MP-X) in the western Kanto region, Japan during the summer of 2011-2013. Sakurai et al. (2012) successfully observed a cloud from initiation to the DS using the KaDR and from the DS to the dissipation stage using the MP-X on 18 August 2011, and revealed that the echo top height which developed stepwise corresponded to the height of three stable layers in the atmosphere. It is considered that the following convective activity broke through the stable layers in the DS, and echo top height finally reached 12 km ASL.

To clarify the development mechanism of the cumulonimbi, we performed numerical simulations using a CReSS, which is a 3D non-hydrostatic model developed by the Hydrospheric Atmospheric Research Center (HyARC) of Nagoya University, Japan (Tsuboki and Sakakibara, 2002). We used sounding data at Tateno at 09 JST (JST = UTC + 9 hr) on 18 August 2011 for the initial and lateral boundary conditions. We ran an experiment that positive perturbation (about 2 K) was added intermittently with an interval of 15 minutes as a buoyancy forcing at a height of 500 m around initiation region of the convection observed by the KaDR. The numerical simulation successfully reproduced the stepwise development of the cumulonimbus. In the beginning of the DS, convection was shallow for about an hour and the convection developed gradually. The development of the convection was suppressed around stable layers. The latter convection developed deeper than the former one, which was also consistent with observational result. From the investigation on temporal variation of RH profiles in the numerical simulation, preceding convection could not break through the low-level stable layers, however it moistened the lower troposphere. It is considered that the following convection could break through the stable layers because it could possess positive buoyancy enough to break through the stable layers due to low entrainment rate in the moistened lower troposphere.

キーワード: 積乱雲, 数値実験, Kaバンドレーダー

Keywords: Cumulonimbus(Cb), Numerical Simulation, Ka-band radar

## 宇宙・天文観測技術を応用した大気熱力学場観測装置 A novel measurement system for thermodynamic environment by using radio astronomy technology

田島 治<sup>1\*</sup>; 長崎 岳人<sup>1</sup>; 小南 欽一郎<sup>2</sup>; 荒木 健太郎<sup>3</sup>

TAJIMA, Osamu<sup>1\*</sup>; NAGASAKI, Taketo<sup>1</sup>; KOMINAMI, Kinichiro<sup>2</sup>; ARAKI, Kentaro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所, <sup>2</sup> 野村証券株式会社・金融公共公益法人部・公共公益法人課, <sup>3</sup> 気象研究所予報研究部

<sup>1</sup>High Energy Accelerator Research Organization, Institute of Particle and Nuclear Studies, <sup>2</sup>Nomura Securities Co., Ltd.,

<sup>3</sup>Meteorological Research Institute, Forecast research department

近年頻発する局地的な大雨や積乱雲下で生じる竜巻、大雪などに代表されるように、自然災害への対策が強く求められている。これらの被害を最小限にとどめるためには、高精度な予報・ナウキャストの情報を生かした適切な災害対策の実施が必要不可欠であり、急激に変化する大気の大気熱力学場や雲の特性を高頻度・高精度に観測・解析することが必要である。

現在、電波天文観測技術を応用した大気場観測装置の開発を行っている。大気中に存在する水分子輝線 (20 - 30 GHz 帯) ならびに酸素分子輝線 (50 - 60 GHz 帯) のマルチバンド受信システムによって、大気の大気熱力学場や雲物理量の推定を数分以内で行う。これにより、激しい大気現象が発生する前の大気熱力学場の急激な不安定化や、雲物理量の変化を高頻度に解析することができる。これは激しい大気現象の発生前環境場の短時間変動の解明だけでなく、観測輝度温度データとの比較解析による現象の予測精度向上をもたらす。また、広域な全天観測を短時間で繰り返し行うためには高感度受信機の採用が必要不可欠である。機械式冷凍機を用いた冷却受信機を採用して、高感度化 (熱雑音低減) を達成する。宇宙・天文観測用に開発した技術を転用することで、既存のシステムと比較してスキャンニング時間の大幅な短縮を実現する。

本講演では、システムの概要ならびに試作機である 22 GHz 帯冷却受信機の評価試験の現状を報告する。さらに、複数台での三角観測等による三次元マッピングから正確な水蒸気分布の観測プランや、90・150 GHz 帯の放射観測による水蒸気量の推定の計画などについても言及する。

なお、本研究は文部科学省・大学発新産業創出拠点プロジェクト「START」(<http://www.jst.go.jp/start/>) に平成 26 年度より採択され、その援助のもとに開発を行っている。

キーワード: 大気水蒸気量, 電波放射計, 大気熱力学場

Keywords: atmospheric water vapor, radiometer, thermodynamic environment

## 関東地方におけるマイクロ波放射計ネットワーク観測による水蒸気の稠密観測 Microwave Radiometer Network (Micro-NET) in Kanto region for high-temporal monitoring of vapor

清水 慎吾<sup>1\*</sup>; 岩波 越<sup>1</sup>; 前坂 剛<sup>1</sup>; 木枝 香織<sup>1</sup>; 中井 専人<sup>1</sup>; 本田 明治<sup>2</sup>  
SHIMIZU, Shingo<sup>1\*</sup>; IWANAMI, Koyuru<sup>1</sup>; MAESAKA, Takeshi<sup>1</sup>; KIEDA, Kaori<sup>1</sup>; NAKAI, Sento<sup>1</sup>;  
HONDA, Meiji<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科研, <sup>2</sup> 新潟大 理学部

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>Niigata univ.

防災科学技術研究所(防災科研)では、2014年に関東地方に10台のマイクロ波放射計(ドイツRPG社製HATPRO G4)を設置し、水蒸気、気温、および雲水量についての高時間分解能観測を行うネットワークの構築を行ってきた。これらのデータを使ったデータ同化手法の開発を進め、発達初期の積乱雲の予測に資するデータの取得をめざしている。また、新潟地方にも、3台のマイクロ波放射計(米国Radiometrics社製MP-3000A)を導入し、主に冬季の雪雲をターゲットとした、降雪粒子の含水量推定のための気温プロファイルの推定を目指している。

本発表では、初期解析として、1)つくばサイトにおける、高時間分解能での水蒸気可降水量の時間変化とゾンデデータとの比較、2)新潟地方における高時間分解能ゾンデ集中観測との比較を報告する。

キーワード: マイクロ波放射計, 水蒸気

Keywords: Microwave radiometer, vapor

## 2014年6月13日に東京都府中市付近に降雹をもたらした降水システムの3DVAR解析 Doppler radar and lidar analysis for 13 June 2014 Fuchu City hailstorm using a 3DVAR

下瀬 健一<sup>1\*</sup>; 清水 慎吾<sup>1</sup>; 鈴木 真一<sup>1</sup>; 出世 ゆかり<sup>1</sup>; 前坂 剛<sup>1</sup>; 木枝 香織<sup>1</sup>; 岩波 越<sup>1</sup>  
SHIMOSE, Kenichi<sup>1\*</sup>; SHIMIZU, Shingo<sup>1</sup>; SUZUKI, Shin-ichi<sup>1</sup>; SHUSSE, Yukari<sup>1</sup>; MAESAKA, Takeshi<sup>1</sup>;  
KIEDA, Kaori<sup>1</sup>; IWANAMI, Koyuru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

### 1. はじめに

2014年6月13日1200JSTごろ、発達した積乱雲により東京都府中市を中心に降雹(最大直径3cm程度)と強風が報告された。この降雹・強風をもたらした降水システムは、複数のXバンドマルチパラメータドップラーレーダー(以後、X-MPレーダー)とドップラーライダーによって観測されており、降水システム内の構造と降水システムに流入する下層の気流が詳細に捉えられていた。本研究では、これらのX-MPレーダーとドップラーライダーデータを用いて下層風の3DVAR解析を行った。

### 2. 観測データ

X-MPレーダーに関しては、国交省が設置している3台のレーダー(新横浜, 船橋, 八斗島)の動径風速を用いている。最大観測範囲80km, 距離分解能150m, 方位角分解能1.2度, 12仰角のPPIスキャンで、1ボリュームスキャンに5分を要す。ドップラーライダーに関しては、防災科学技術研究所が2014年度から関東に設置している3台のうち、東京工業大学大岡山キャンパスに設置しているライダー(以後、LDOP)の動径風速を用いている。LDOPは、最大観測範囲30km, 距離分解能150m, 方位角分解能1度, 仰角2度のPPIスキャンで、1スキャンに2分を要す。

3DVARに用いた背景場は、2014年6月13日0900JSTのMSMを初期値としてCReSS ver.4.3.2によって計算された。水平解像度は1kmで鉛直50層のストレッチンググリッドとなっている(最下層で $\Delta z=100$ m)。計算領域は200km×200kmとなっている。3DVARにはCReSS VAR ver.2.1.0を用いた。

### 3. 結果

本事例は北日本上空に寒冷渦があり関東付近に弱い気圧の谷が通過している状況で発生した。降雹をもたらした降水システムは1000JSTごろ奥多摩付近で発生し、セルの世代交代を経験しながら東南東へと伝播していき、1330JSTごろ羽田沖で消滅した。

防災科研が木更津に設置しているレーダーによる降雹が観測された1220JSTの降水粒子の判別では、府中市付近で雹が判別されており、偏波間位相差が大きくなっている( $\sim 8$  degree  $\text{km}^{-1}$ )ところで強い下降流( $\sim 5$  m  $\text{s}^{-1}$  at  $z=1$  km)が観測された。降雹に伴う下降流により強風が観測されたと推察される。

X-MPレーダーとLDOPによって捉えられた同時刻の降水と気流構造は、降水システムの北側ではX-MPレーダーからの水平風速場を解析すると北～北東の風が吹いている一方で、降水システムの南側ではLDOPの動径風から南～南東風が吹いていた。降水システムはこの2つの気流が収束しているところで発達していた。

高度500mにおける水平風速場の3DVAR解析では、LDOPの観測範囲で降水システムに流入する水平風速場が大きく改善されていた。また、X-MPレーダーにより降水システムから流出する水平風速場も改善されており、3DVAR解析によって流入風と流出風の境界がよりシャープに解析されていた。

今後はこれらの解析された場を用いて降水システムの予測実験を行う予定である。

謝辞

国交省X-MPレーダーデータについては、国交省「XバンドMPレーダーに関する技術開発コンソーシアム」よりデータの提供を受けた。

キーワード: ドップラーレーダー, ドップラーライダー, 雹, データ同化

Keywords: Doppler radar, Doppler lidar, hail, data assimilation

## 水平解像度 100m の NHM を用いた 30 秒サイクルデータ同化実験 30-second-update ensemble Kalman filter experiments using JMA-NHM at a 100-m resolution

国井 勝<sup>1\*</sup>; ルイズ フアン<sup>2</sup>; リエン グオユエン<sup>3</sup>; 牛尾 知雄<sup>4</sup>; 佐藤 晋介<sup>5</sup>; 別所 康太郎<sup>6</sup>; 瀬古 弘<sup>1</sup>;  
三好 建正<sup>3</sup>  
KUNII, Masaru<sup>1\*</sup>; RUIZ, Juan<sup>2</sup>; LIEN, Guo-yuan<sup>3</sup>; USHIO, Tomoo<sup>4</sup>; SATOH, Shinsuke<sup>5</sup>; BESSHO, Kotaro<sup>6</sup>;  
SEKO, Hiromu<sup>1</sup>; MIYOSHI, Takemasa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> ブエノスアイレス大学, <sup>3</sup> 理化学研究所計算科学研究機構, <sup>4</sup> 大阪大学, <sup>5</sup> 情報通信研究機構, <sup>6</sup> 気象衛星センター

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>University of Buenos Aires, <sup>3</sup>RIKEN Advanced Institute for Computational Science, <sup>4</sup>Osaka University, <sup>5</sup>National Institute of Information and Communications Technology, <sup>6</sup>Meteorological Satellite Center

Local severe rainstorms may cause serious damage such as flooding and landslide, but its precise simulation is difficult mainly due to limited spatial and temporal resolutions of numerical weather prediction (NWP). To tackle this challenge, a 100-m-resolution NWP system is designed, so that the forecasts are updated every 30 seconds by assimilating observational data from the phased array weather radars (PAWR) at Osaka and Kobe. In addition, the next-generation geostationary satellite Himawari-8 will have a 30-second scanning mode for a limited domain, and using the Himawari-8 data is within the scope. An observation operator and quality control algorithm are developed for PAWR, and data assimilation experiments using the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) are performed for the local heavy rainfall case that caused a disaster in Kyoto on 13 July 2013. In this presentation, a brief introduction to the experiments and the results will be presented.

Keywords: data assimilation, ensemble Kalman filter, phased array weather radar

## 2014年2月14~15日に関東甲信地方で発生した大雪の数値シミュレーションと氷晶核が降雪に及ぼす影響 Numerical Simulation of Heavy Snowfall and the Potential Role of Ice Nuclei in Cloud Formation and Precipitation

荒木 健太郎<sup>1\*</sup>; 村上 正隆<sup>1</sup>; 田尻 拓也<sup>1</sup>; 齋藤 篤思<sup>1</sup>; 小司 禎教<sup>1</sup>  
ARAKI, Kentaro<sup>1\*</sup>; MURAKAMI, Masataka<sup>1</sup>; TAJIRI, Takuya<sup>1</sup>; SAITO, Atsushi<sup>1</sup>; SHOJI, Yoshinori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, JMA

A heavy snowfall event occurred in the Kanto and Koshin regions from 14 to 15 February 2014, when a winter extratropical cyclone rapidly developed along the south coast of Japan. The snow cover exceeded the historical record in these regions. In order to examine the characteristics of cloud microphysics during the event, we performed a numerical simulation with a horizontal grid spacing 1.5 km and a model domain covering the Kanto and Koshin regions by the JMA Non Hydrostatic Model (JMA-NHM) with bulk-type cloud microphysics. The initial and boundary conditions were provided from 3-hourly JMA mesoscale analyses. The precipitating clouds and atmospheric conditions were simulated for 33 hours from 03 Japan Standard Time (JST) on 14 February 2014.

From the result of high-dense snow cover observations, the total snowfall exceeded 1 m in the areas along the mountains in the Yamagashi, Gunma, and Tochigi prefectures during the event. The numerical simulation successfully reproduced the distribution of total snowfall. By comparing the result of the simulation with the surface observations of automatic weather stations in Tokyo metropolitan, temporal variations of simulated surface atmospheric temperature and relative humidity were consistent. In order to evaluate the reproducibility of cloud microphysics in simulated precipitating clouds, the ground-based microwave radiometer (MWR) operated in the Ome city in Tokyo metropolitan was used in this study. Liquid water path (LWP), which is retrieved from radiometric observations by a statistic inversion method, is compared with simulated LWP during the event. The data including errors due to rain was excluded from the comparison, so that there is large difference between precipitable water vapor (PWV) retrieved by radiometric observations and PWV derived from the global positioning system. As the result, temporal variation of simulated LWP was similar to that of retrieved LWP.

Clouds composed of cloud ice were simulated at the altitude 8-12 and 2-4 km above the Ome city, and the latter cloud was formed on the boundary of a coastal front. Mixing ratio of snow was large below the altitude of 6 km, and number concentration of snow was large at the altitude of 4-10 and 1-3 km. In this case, there were two layers of ice clouds and the heavy snowfall would be increased due to the seeder-feeder effect. Total precipitation by graupel reached 30 mm in some parts of the Kanto region, which was formed by riming process during the passage of the extratropical cyclone in the Kanto plain, where sufficient water vapor flux and super-cooled cloud water existed in low-level troposphere.

In order to investigate the effect of ice nuclei on snowfall, sensitivity experiments were performed by changing coefficients of 0.1 (IN01) and 10 (IN10) times in the formulas of ice nucleation (Meyers 1992) and freezing (Bigg 1955) in JMA-NHM. As the result, there were differences of total precipitation by snow of -5 mm in IN01 and +2-+5 mm in IN10 from the control experiment in the areas with large amount of total snowfall. This difference would be caused by the change of snow due to the change of ice number concentration where there was sufficient water vapor flux below the altitude about 5 km. The total precipitation by rain increased more than 15 mm in IN01, and also decreased less than 20 mm in IN10 in the Kanto plain. On the other hand, total precipitation by graupel decreased about 5 mm in IN01 and increased over 10 mm in IN10 in the areas including the Tokyo metropolitan and Saitama prefecture. Since there were sufficient middle-level snow, low-level water vapor flux, and super-cooled cloud water in the windward side of these regions, snow falling from the upper ice cloud was converted to graupel in the low troposphere in IN10. These results suggest that there are uncertainties related to the aerosol indirect effects in cloud microphysics modeling of bulk method in JMA-NHM.

キーワード: 大雪, 数値実験, 雲物理, 氷晶核

Keywords: heavy snowfall, numerical simulation, cloud microphysics, ice nuclei

## 海風前線近傍に出現した非降水エコーの挙動と気流構造についての解析 The analysis of the relation between non-precipitation echoes and wind structure of sea breeze

南雲 信宏<sup>1\*</sup>; 加藤 輝之<sup>1</sup>  
NAGUMO, Nobuhiro<sup>1\*</sup>; KATO, Teruyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

夏季の関東平野では、晴れた日中に孤立積乱雲が発生し局地的に大雨となることがある。平野部における積乱雲の発生要因の一つには海風前線などの局地循環が挙げられるが、局地循環の構造はレーダーでは捉えることは出来ず、またアメダスの通常の地上観測だけでは解像度が粗く海風の全体像をとらえることは困難である。しかし現業気象レーダーは、時折、晴天時や降水域周辺の非降水域において非降水エコーを観測することがある。2013年7月23日に東京都心部で発生した積乱雲事例では、積乱雲発生に先立って数時間前から羽田空港に設置された空港ドップラーレーダー (DRAW: 観測半径 60km) が非降水エコーを捉え、しかも沿岸部で帯状に集中し、時間と共に徐々に内陸へ侵入する様子をとらえた。そしてこの事例では平野部で発生した積乱雲は非降水エコー集中帯の周辺で発生していた。観測された非降水エコー集中帯がその発生時間や進入の特徴から海風に対応していることはわかるが、非降水エコーとの詳細な位置関係、その形成メカニズムについてはほとんど調べられていない。そこで、我々は羽田空港に設置された DRAW と周辺の気流構造を捉えられることができる東京工業大学 (大岡山キャンパス) のドップラーライダー (観測半径 6km)、さらに地上に展開する気象観測データを含む、複数の観測測器で構築した稠密観測網データを用い非降水エコーと海風の関係について調査した。また気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) の解像度 250 m の計算を実施し、再現された気流構造の解析から非降水エコーの発生の要因と挙動のメカニズムについて考察を行った。

ドップラーライダーの観測では内陸方向に進入する下層の流れとそれより上の反流構造をもつ厚さ約 1500m の詳細な海風構造を捉えることが出来た。ドップラーライダーが観測した海風は、2つの凸部とその間の細い楔状の隙間の凹部、いわゆる Lobes and Cleft 構造を表現していた。一方、DRAW が観測した非降水エコーはその海風前線の数キロ風上で生じ、上下に蛇行する構造と次第に海風前線に接近する様子を見せた。両方の分布を重ね合わせると、非降水エコーの分布と海風の構造に対応関係がみられ、Lobe 構造の後方では高度 200m 程度の低い高度に非降水エコーが分布し、Lobe 構造の前面で主に高高度 (約 800m) に分布していた。そして、その前方の細い Cleft 構造の下で再び低高度の分布傾向を示した。また非降水エコーが多く集中し帯状構造を形成していた場所は、Cleft 構造周辺の狭い領域 (Cleft~Lobe 前面) であった。

JMA-NHM の解像度 250m で行った数値計算結果は、海風発生後の内陸進入時の上述の観測の特徴をよく表す風分布であった。海風の進行方向に沿った鉛直断面図を解析したところ、非降水エコーの集中帯がみられた Cleft 構造付近では地上の風の収束が見られた。そのすぐ後面の Lobe 構造は前面で上昇流、後面で下降流を形成していた。そして Lobe 構造全体の風が循環に近い構造を示していた。そこで発表においては、高解像度シミュレーションの解析から明らかになる海風内の非降水エコーの挙動の要因について、温度場や力学場の観点で考察した結果を報告する。

キーワード: 局地循環, 稠密観測 (ドップラーレーダー・ドップラーライダー), 数値シミュレーション  
Keywords: Local circulation, Dense observation (Radar/Lidar), Numerical Simulation

## 高分解能気象予報モデルを用いた比良おろしメカニズムの解明 Elucidation of the mechanism of the downstream gust wind using high resolution weather model

東 邦昭<sup>1\*</sup>; 古本 淳一<sup>1</sup>; 阪本 洋人<sup>1</sup>  
HIGASHI, Kuniaki<sup>1\*</sup>; FURUMOTO, Jun-ichi<sup>1</sup>; SAKAMOTO, Hiroto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

比良おろしは空間スケールが数 100m~1km 程度で、琵琶湖西岸の比良山地山麓の約 10km の区間に発生するおろし風である。このおろし風は事例により発生する場所や継続時間が異なることが観測から明らかであるが、詳細なメカニズムは空間スケールが小さいことや時間変動が大きいこと、背景にある複雑地形の存在などにより明らかにされていない。本研究では比良おろしが頻繁に発生する 2013 年 10 月~2014 年 3 月までの半年間にわたり、10m 分解能の地形、高分解能湖水温データを気象予報モデルに入力しシミュレーションを行った。比良おろし発生事例と非発生事例の大気構造を比較しつつ比良おろしの発生メカニズムの解明を図る。

キーワード: おろし風, 突風, ミクروسケール気象, 大気境界層, 大気シミュレーション

Keywords: downslope wind, gust wind, microscale weather, atmospheric boundary layer, weather simulation

## 層状性降水時の地上マイクロ波放射計による Off-Zenith 観測の検証 Verification of Off-Zenith Observations by Ground-Based Microwave Radiometer under Stratiform Precipitation Conditions

荒木 健太郎<sup>1\*</sup>; 村上 正隆<sup>1</sup>; 石元 裕史<sup>1</sup>; 田尻 拓也<sup>1</sup>; 小司 禎教<sup>1</sup>; 齋藤 篤思<sup>1</sup>  
ARAKI, Kentaro<sup>1\*</sup>; MURAKAMI, Masataka<sup>1</sup>; ISHIMOTO, Hiroshi<sup>1</sup>; TAJIRI, Takuya<sup>1</sup>; SHOJI, Yoshinori<sup>1</sup>; SAITO, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, JMA

The radiometric observation by ground-based microwave radiometer (MWR) has been used for the retrieval of precipitable water vapor (PWV) and liquid water path (LWP) for many decades. However, raindrops cause mainly two critical errors in radiometry; the first is the effect that raindrops wet the radome, which produces absorption losses. The second is the effect of absorption/emission and scattering by large raindrops in the air.

To solve especially the first issue, the effectivity of off-zenith radiometric observations by MWR under the stratiform precipitation conditions in all seasons is investigated. Stratiform precipitation periods were extracted by using the criteria of rainfall rate (RR) observed by an optical disdrometer and LWP retrieved from off-zenith observations at the elevation angle of 15 degrees. By comparing PWVs derived from radiometric observations at the elevation angle of 15 degrees with PWVs derived from global positioning system, it's found that the reliable PWVs are obtained under the stratiform precipitation conditions with RR less than  $10 \text{ mm h}^{-1}$ . The precipitation particles are mostly classified into snow and graupel at RR over  $7 \text{ mm h}^{-1}$ , and the particle type of rain is found at small RR. A case study shows that microwave radiometry can be conducted with small errors under the stratiform snow conditions even with RR over  $10 \text{ mm h}^{-1}$ . By solving a simplified radiative transfer equation applied to the typical stratiform rain cases with small RRs, it's found that the observations at the elevation angles over 30 degrees are affected by the effect of the wetness on the radome. From the result of the fundamental experiments which estimates the errors quantitatively, the errors in zenith observations in the cases are comparable to the error due to the wetness on the radome. The off-zenith observations at low elevation angle are valuable under the stratiform precipitation conditions when the Rayleigh approximation assumed in the retrieval method is appropriate.

キーワード: マイクロ波放射計, 層状性降水, 可降水量, 積算雲水量, リトリーブ

Keywords: microwave radiometer, stratiform precipitation, precipitable water vapor, liquid water path, retrieval

## 転倒ます型雨量計の比較観測 Comparison of Tipping-Bucket Rain Gauges in Natural Rainfall Conditions

永瀬 司<sup>1\*</sup>; 林 泰一<sup>2</sup>; 小松 亮介<sup>3</sup>; 渡邊 好弘<sup>1</sup>; 橋波 伸治<sup>1</sup>; 山本 哲<sup>4</sup>  
NAGASE, Tsukasa<sup>1\*</sup>; HAYASHI, Taiichi<sup>2</sup>; KOMATSU, Ryosuke<sup>3</sup>; WATANABE, Yoshihiro<sup>1</sup>;  
HASHINAMI, Shinji<sup>1</sup>; YAMAMOTO, Akira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 気象情報通信株式会社, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 株式会社小松製作所, <sup>4</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Weather Information & Communications Service LTD., <sup>2</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, <sup>3</sup> Komatsu Factory Co. LTD., <sup>4</sup> Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

近年、局地的な豪雨による災害が多く発生している。例えば、2014年8月に広島市で発生した豪雨では、線状降水帯が数時間停滞し、3時間に200mmを超える大雨となった。この豪雨により山崩れや土石流が発生し災害をもたらした。このような豪雨において、実際の降水量を正確に観測することは、現象の解明および将来の防災対策においても有用であり、その必要性は高くなっている。

日本国内の雨量観測は、雨量0.5mm相当で1回転倒する転倒ます型雨量計が広く採用されている。一方、雨量の少ない地域、特に海外では、雨量0.2mm相当で1回転倒する雨量計を採用する国も多い。このタイプの雨量計が、南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所でも使用されている場合がある。今回、降水強度と転倒ます型雨量計の精度の関係を調査し、激しい降水現象が発生する場所で、正確な雨量観測が保証されるかどうかを検証することにした。転倒ますの容量が、0.2mm計、0.5mm計、1.0mm計の3台の転倒ます型雨量計を野外に設置し、比較観測を実施した。

比較観測は、日本(潮岬:京都大学防災研究所潮岬風力実験所露場)と、日本よりさらに激しい降水現象が発生し、世界有数の多雨地点である、インド北東部メガラヤ州のチェラプンジの2か所で行った。

観測期間は、潮岬は、2013年6月16日から11月7日まで、チェラプンジは2014年4月28日から9月6日までの約4~5か月間である。比較観測で使用した雨量計は、潮岬、チェラプンジとも同じものである。

観測期間の1.0mm計、0.5mm計、0.2mm計の積算降水量は順に、潮岬は、1258.0mm、1244.5mm、1209.4mmであった。またチェラプンジは8643.0mm、8379.5mm、8154.0mmであった。観測期間は異なるものの、チェラプンジの積算降水量は、潮岬の6倍以上であった。1.0mm計の積算降水量を基準とした0.5mm計、0.2mm計の積算降水量の割合を見ると、潮岬では99%、96%、チェラプンジは97%、94%で、ますの大きさが小さくなると積算降水量も少なくなることが確認できた。

1.0mm計の転倒の時間間隔から、観測雨量1.0mm(1転倒)毎の降水強度を求めた。0.2mm計の測定限界である80mm/h(製造者仕様)超の降水現象が、潮岬では、72例(全体の5%)で、チェラプンジは1249例(同14%)発生している。また、200mm/hを超える猛烈な降水現象についても、潮岬では3例(最大降水強度は225mm/h)、チェラプンジでは15例(同300mm/h)観測された。

1.0mm計が1転倒する時間内に発生した、0.2mm計の転倒回数と降水強度の関係を調査した。その結果、潮岬、チェラプンジ共に、0.2mm計の測定範囲内である80mm/h以下の降水強度では、転倒回数5回を中心に±2回の範囲におおむね収まっていることがわかった。しかし、降水強度が80mm/hを超えると、転倒回数が5回よりも少ない場合が多いことがわかった。その傾向は、チェラプンジではより顕著である。同様に1.0mm計の1転倒に対する、0.5mm計の転倒回数も、降水強度が200mm/hを超えると、転倒回数が少なくなる傾向が見られた。

まとめとして、今回の比較観測では、最大300mm/hに達する事例をはじめ、激しい降水強度での比較観測が実施できた。

その結果、1.0mm計と比べて0.2mm計は降水強度が80mm/hを超えると追従できていない現象を確認した。

また、0.5mm計についても、十分追従できていない限界があることが分かった。

南アジアや東南アジアなどの激しい降水現象が発生する所については、その地域で想定される降水強度にあった雨量計を使用することが適切である。

キーワード: 転倒ます雨量計, 局地性豪雨, 気象観測, インド

Keywords: tipping-bucket rain gauges, local heavy rain, meteorological observation, India

## 地上稠密観測 POTEKA で観測した2014年8月22日のダウンバースト Surface Pressure Distributions of Downburst captured by High Dense Ground Observation Network "POTEKA" on 22 August 2014

佐藤 香枝<sup>1\*</sup>; 矢田 拓也<sup>1</sup>; 呉 宏堯<sup>1</sup>; 小林 文明<sup>2</sup>  
SATO, Kae<sup>1\*</sup>; YADA, Takuya<sup>1</sup>; KURE, Hiroataka<sup>1</sup>; KOBAYASHI, Humiaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 明星電気株式会社, <sup>2</sup> 防衛大学校  
<sup>1</sup> Meisei Electric Co. Ltd., <sup>2</sup> National Defense Academy

明星電気株式会社は、小型気象計 POTEKA Sta.(ポテカ: Point Tenki Kansoku、以下 POTEKA)を開発し、2013年度から群馬県を中心に地上稠密気象観測を実施している。2014年度は、POTEKA を改良し新たに風向風速と雨量を観測可能とした。また、既存の観測網を拡大し小学校を中心に約 2km 間隔で 93 カ所に追加設置を行い、計 145 ヶ所で 1 分毎の地上観測網を構築した。本稿では、2014年8月22日に発生したダウンバーストの観測結果について紹介する。

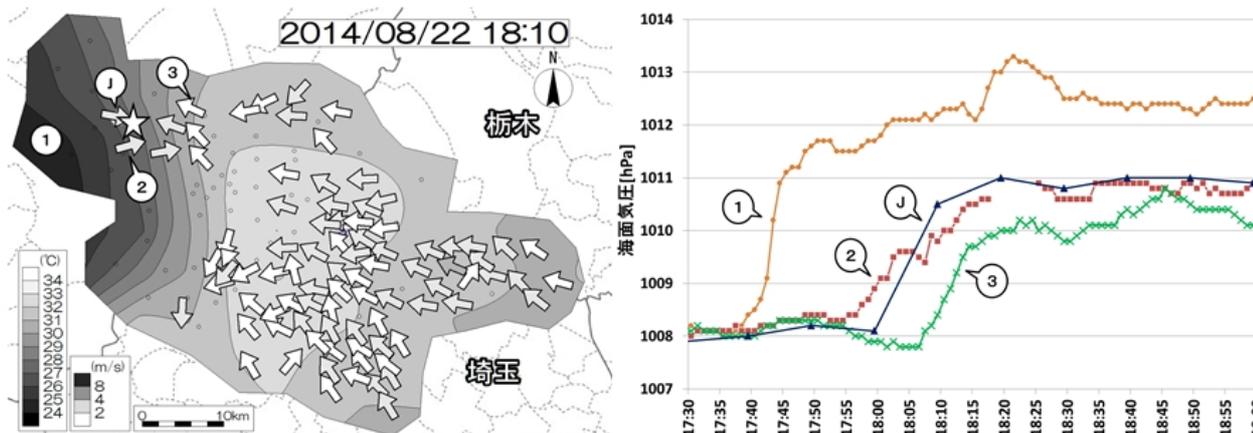
ダウンバーストは活発な積乱雲が通過したことによるもので、18時10分ごろに高崎市から前橋市にかけて発生した。気温に着目すると、17時45分頃から気温の急低下が見られ、平均で $-0.47\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の気温減率を観測した。気象庁の現地調査結果との比較では、気温低下地域の拡大方向・時刻は一致した。また、最初の気温低下は被害発生時刻の約25分前に確認した。気圧は気温急低下とほぼ同時に急上昇を観測し、平均で $+0.34\text{hPa}/\text{分}$ であった。この気圧の急上昇は活発な積乱雲の下で観測されていたため、冷気の下降流を捉えたものと考えられる。

2013年8月11日に発生したダウンバーストの観測結果(佐藤ほか, 2013・野呂瀬ほか, 2013)と今回の観測結果を比較した。気温減率を見ると、2013年度は平均 $-1.15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{分}$ であり、低下率は約2倍であった。また、2つの観測事例とも被害発生時刻より前に気温の急低下を観測できた。気圧は $1\sim 2\text{hPa}$ 程度の一時的な上昇がみられる点は両者とも一致しているが、2014年度は上昇後の顕著な気圧低下はなく、ダウンバースト発生前よりも気圧が高い状態を維持していた。突風発生要因は両者とも活発な積乱雲通過によるものであったが、2014年度の方が相対的に大きな積乱雲が確認でき、この積乱雲によるダウンバーストが継続的に発生した結果、高圧状態が維持されたものと推測される。今後は風向風速や湿度など他の要素を用いて、突風発生時の地上気象変化についてより詳しく解析していく。

### 参考文献

- 佐藤香枝, 呉宏堯, 矢田拓也, 小島慎也, 森田敏明, 岩崎博之. 2013. 地上稠密観測 POTEKA で観測した2013年8月11日のダウンバースト(1). 日本気象学会春季大会予稿集, 105, 223pp
- 野呂瀬敬子, 小林文明, 呉宏堯, 森田敏明. 2013. 地上稠密観測 POTEKA で観測した2013年8月11日のダウンバースト(2). 日本気象学会春季大会予稿集, 105, 224pp

キーワード: 稠密観測, ダウンバースト  
Keywords: High Dence observation network, Downburst



## 比良おろし予報システムの開発に関する研究 A Study on the development of forecast system for the downstream wind by Hira Oroshi

阪本 洋人<sup>1\*</sup>; 東 邦昭<sup>1</sup>; 古本 淳一<sup>1</sup>; 橋口 浩之<sup>1</sup>  
SAKAMOTO, Hiroto<sup>1\*</sup>; HIGASHI, Kuniaki<sup>1</sup>; FURUMOTO, Jun-ichi<sup>1</sup>; HASHIGUCHI, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

本研究では、比良山地から琵琶湖に向かって強風が吹き降りる比良おろしの予報システムの開発を目指し、従来の50%の適中率を約80%にまで向上させた。

比良おろしは、比良山地の麓の幅約10km区間にのみ見られるおろし風である。本研究では、比良おろしを「風向が北西よりで最大瞬間風速が20 m/sをこえる強風」と定義する。

まず、比良おろし域に約20点の超稠密地上観測網を構築し比良おろしの動態を観測的に捉えることに成功した。それをもとに比良おろし域で、データ品質に優れ、比良おろし域での風速場を代表できる4観測点を抽出した。

200m水平分解能の気象シミュレーションを行った。非静力学予報モデルWRF (Weather Research and Forecast) をA-KDKに導入し、気象庁等から配信される客観解析を初期・境界値として12時間の予報システムを構築した。2013年10月1日?2014年3月31日の期間で6時間毎のシミュレーションを行った。この期間で従来の気圧配置による予測で比良おろしが発生しやすい気圧配置となったのは31事例だがそのうち実際に発生したのは17事例だった。また気圧配置による予測の見逃しが3事例存在した。

実際に観測で比良おろしが発生したときのみ、数値シミュレーション結果に現れる特徴的な構造を発見した。まず山脈に垂直な細長い複数の強風域が琵琶湖上から陸地側に延び、その後陸上に達し強風が見られるようになる。逆に終了時には突風域が徐々に陸地から離れてゆく。

この特徴を用いて、数値予報での比良おろし発生の判定方法を開発した。数値シミュレーションが領域・時間平均の風況を示していることを考慮し、本研究では風速閾値を14 m/sと定めた。シミュレーション上で筋状の強風域が近づき湖岸での風速が14m/s以上の期間を比良おろし発生期間とした。この手法で適中率を評価した結果、スレットスコアは約80%に大幅に向上した。さらに、3時間毎時系列予報での精度を調べたところ、実際に突風が吹いた期間より予報は長期間の突風を予測していた。予報閾値がより安全よりであることを示し、閾値改良により正確な発生時間予測が期待される。

本システムは、気象状況予測の汎用技術を技術的基礎とし経験則は用いていないため、世界各地に散在する局地的な突風の予測に有効と期待される。

キーワード: 突風, メソ数値予報モデル, 稠密観測, 接地境界層

Keywords: gust wind, MesoScale Model, dense observation, boundary layer

## 高性能・低価格コヒーレント・ドップラー・ライダーの開発 Development of high performance and low cost coherent doppler lidar.

矢野 謙也<sup>1\*</sup>; 古本 淳一<sup>1</sup>; 東 邦昭<sup>1</sup>; 矢吹 正教<sup>1</sup>; 橋口 浩之<sup>1</sup>  
YANO, Kenya<sup>1\*</sup>; FURUMOTO, Jun-ichi<sup>1</sup>; HIGASHI, Kuniaki<sup>1</sup>; YABUKI, Masanori<sup>1</sup>; HASHIGUCHI, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University.

近年、夏期の局地的豪雨による災害が頻繁に発生している。こうした豪雨の発生要因を解明するためには、大気境界層の水蒸気収束動態が重要であるとされている。局地豪雨の監視のため高性能な降雨観測用気象レーダーの開発が進められている。しかし、気象レーダーで得られた降雨エコーは地上落下直前のエコーが見えているため、気象レーダーのみで事前予測を行うことは難しい。

コヒーレント・ドップラー・ライダー (CDL) は境界層内部の風速場を捉えることができるため、風の収束強度を知ることが出来る。本研究では、CDL の観測範囲の向上を図りつつも汎用光学部品を用いることで、高性能・低価格な実用用途に耐えうる CDL の開発を進める。エアロゾルの粒径情報を同時観測出来る多重偏波、多周波化機能を実装する。

キーワード: ドップラーライダー, 極端気象, 多重偏波, 多周波, エアロゾル

Keywords: Coherent Doppler Lidar, severe weather, Dual polarization, multi-frequency, aerosol

## 多波長分光検出器を用いた回転ラマンライダーによる気温計測 Temperature profiling with a rotational Raman lidar using a multispectral detector

岡谷 良和<sup>1\*</sup>; 吉川 賢一<sup>1</sup>; 矢吹 正教<sup>1</sup>; 塚本 誠<sup>2</sup>; 長谷川 壽一<sup>2</sup>; 津田 敏隆<sup>1</sup>  
OKATANI, Yoshikazu<sup>1\*</sup>; YOSHIKAWA, Kenichi<sup>1</sup>; YABUKI, Masanori<sup>1</sup>; TSUKAMOTO, Makoto<sup>2</sup>;  
HASEGAWA, Toshikazu<sup>2</sup>; TSUDA, Toshitaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所, <sup>2</sup> 英弘精機株式会社

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, <sup>2</sup>EKO INSTRUMENTS CO., LTD.

大気境界層の気温鉛直分布の情報は、水蒸気や風と並び気象予報の向上やヒートアイランド現象や大気汚染の要因となる大気の安定度の理解のための必須の情報となる。本研究グループでは、空気分子による回転ラマン散乱光の検出から気温鉛直分布を計測するラマンライダーの開発を行ってきた。従来の気温を測定するライダーは、スペクトル幅が狭い回転ラマン散乱光を使用するため、高精度の狭帯域干渉フィルタと発振波長の安定したレーザーが必要であり、その分光系は複雑でシステム全体のサイズも大型になりがちであった。本研究では、回転ラマン散乱成分の検出に多波長分光検出器を取り入れることで、小型でより汎用性の高い気温ライダーの構築を目指す。多波長分光検出器は、光を波長ごとに分解する分光器、光から電流への変換を行うアレイ型光電子増倍管、および電流のパルス数を計測するパルスカウンタの3つの装置から構成される。従来の干渉フィルタを用いる気温ライダーは、特定の温度依存を示す2波長の回転ラマン散乱光強度を、各々の波長に対して干渉フィルタと検出器を設けて検出し、それら強度の比から気温を推定する。一方、多波長検出器を用いる気温ライダーでは、分光器と一体化された複数波長を同時に計測する光子検出器により、回転ラマン散乱スペクトルの形状を取得することができる。そのため、観測値を良く説明する回転ラマン散乱スペクトルを理論的に計算することで、スペクトル形状を決定する温度の推定が可能となる。

新たに構築したライダーの光源には波長 355 nm を用いて、口径 35 cm の望遠鏡により大気分子からの散乱光を受光した。散乱光は、多波長分光検出器により波長分解能 0.34 nm ごとに光子数を計測され、スペクトルの形状を求めた。散乱光に含まれる弾性散乱成分を取り除くために、弾性散乱・ラマン散乱の偏光特性の違いを利用した除去方法と、弾性散乱光が入射するアレイ型光電子増倍管の特定チャンネルを遮蔽する方法を組み合わせた。京都大学生存圏研究所・信楽 MU 観測所にて、2015 年 1~2 月にかけてライダーとラジオゾンデとの同期観測を実施し、開発したライダーの検証および性能評価観測を実施した。本稿では、数値シミュレーションならびにラジオゾンデ観測より算出した校正係数の検証、計測精度および気温推定精度の評価など、初期解析結果を基とした気温ライダーシステムの性能評価について述べる。

キーワード: 気温ライダー, 多波長分光検出器  
Keywords: temperature lidar, multispectral detector