

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02963

研究課題名（和文）離散雲の三次元分布、微物理・光学特性の観測と地上日射への三次元放射効果の実態解明

研究課題名（英文）Studies on the physical and optical properties, and the 3-D radiative effect of the broken clouds

研究代表者

工藤 玲 (KUDO, Rei)

気象庁気象研究所・気象観測研究部・主任研究官

研究者番号：00414508

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、離散雲の三次元放射効果を考慮した新しい雲の地上リモートセンシング手法を開発し、地上日射への三次元放射効果を解明することである。

全天の雲と輝度の分布を測定する新型全天カメラと校正手法を開発し、三次元放射伝達モデルを用いて雲の光学的厚さの分布を推定する手法を開発した。雲の集中観測を行い、他の地上・衛星リモートセンシング手法と比較した。その結果、本手法の整合性や優位性が示された。

観測とシミュレーションの結果を基に、地上日射への三次元放射効果を調べた。その結果、雲の太陽側の輝度を強化し、反対側を弱化する効果には、輝度の波長スペクトルを色鮮やかにする影響があることが新たに示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一次元放射伝達理論に基づく既存の雲のリモートセンシング手法では、三次元放射効果は全く考慮されない。このため、これまで離散的に分布した雲を観測対象とすることが出来なかった。本研究で開発した地上リモートセンシング手法は、この問題を解決する世界的にも類を見ない最先端の手法である。

既存の気象・気候モデルには、雲の三次元放射効果が含まれていない。これが、放射収支と気候変動、太陽光発電の評価・予測における誤差要因となっていた。本研究によって新しく得られるようになった雲分布と三次元放射効果の観測結果を蓄積し、三次元放射効果をパラメタライズすることで、気候変動や太陽光発電の評価・予測の向上につながる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a new ground-based remote sensing system for clouds to study the three dimensional radiative effect of heterogeneous clouds on the surface solar radiation. The remote sensing system consists of a new whole sky camera and new retrieval techniques to retrieve the cloud optical depth distribution based on the three dimensional radiative transfer model. The intercomparison of the cloud optical depth during the intensive observation experiment showed that the cloud optical depth retrieved by our remote sensing system was consistent with those of the other ground- and satellite-based remote sensing methods.

The three dimensional radiative effect was investigated by using the observation and simulation data. Newly, we showed that the illumination and shadowing effects of the cloud on the sun side and opposite side affect the spectral dependency of radiances, and the radiances become more colorful.

研究分野：大気放射

キーワード：雲 大気放射 リモートセンシング

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

離散的に分布した雲がもたらす多重散乱や影は、一次元大気放射伝達理論では説明することが出来ない地上日射の変動をもたらす。この三次元放射効果は、既存のリモートセンシング、気象・気候モデルでは全く考慮されていない。このことが、雲のリモートセンシングや、気象・気候モデルにおける大気放射場の再現において誤差要因となっている。そして、地球温暖化や太陽光発電の評価・予測に不確実性をもたらす一因となっている。

離散雲の大気放射場への影響は、三次元放射伝達モデルを用いることで調べることが可能である。しかし、離散雲の三次元分布、微物理・光学特性を観測によって定量化する手法がないため、現実的な条件で三次元放射効果を調べることは困難なままである。

### 2. 研究の目的

本研究では、これまで解析対象とすることが困難であった離散雲の光学特性を観測するための新しい地上リモートセンシング手法を開発し、離散雲の三次元放射効果が地上日射にもたらす影響を解明することを目的とする。そのために、全天を撮影するデジタルカメラによって雲分布と雲による散乱輝度の分布を測定する観測手法と、その観測データから三次元放射伝達理論に基づいて雲の光学的厚さの分布を推定する手法を開発する。そして、雲の集中観測を行い、典型的な積雲の事例について解析することで、地上日射への三次元放射効果の実態を明らかにすることを目標とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 離散雲の地上リモートセンシング手法

全天カメラで輝度分布を測定し、三次元放射伝達モデル MCARaTS (Iwabuchi and Okamura, 2017) を用いて、雲の光学的厚さの分布を推定する。本研究では、三次元放射伝達モデルの扱い方の異なる二通りの推定手法を構築した。

##### (a) 手法1 全天カメラ+進化戦略アルゴリズムによる推定

太陽光～青空の輝度の広いダイナミックレンジに対応した産業用 CMOS センサーに魚眼レンズを搭載した全天カメラを制作した。屋外での連続観測のため、カメラを耐候性の筐体に格納した。また、太陽直達光が引き起こす迷光を防ぐため、太陽追尾装置にカメラを載せて、太陽を遮った観測を行った。全天カメラの撮影データから、輝度の方位を特定し、物理量へ変換するために、入力光に対する出力感度の画素ごとのバラつき補正、周辺減光補正、内部パラメータの導出（光軸、焦点距離、歪み補正等）、外部パラメータの導出（画像センサーの姿勢）、階調値から輝度への変換係数の導出の一連の校正手法を開発した。これによって、図 1a のような画像データから、図 1b のような輝度分布が得られた。測定した輝度を、校正済みのスカイラジオメータで分光測定した輝度を用いて検証したところ、概ね 20% 内の誤差で一致することが確かめられた。

カメラが測定した輝度分布から、雲の光学的厚さの分布を推定する。まず、カメラの画像の RGB 情報から白～灰色の雲を判別し、雲の二次元分布を得る。次に、雲レーダとライダー観測から得られる雲底・雲頂高度を持った均質な雲分布を、仮想三次元空間内に構築する。そして、カメラで晴天と判別された画素の視線にある仮想三次元空間内の雲を削除する。これによって、仮想三次元空間内に、カメラで撮影された雲の分布を再現する雲の三次元分布が構築される。

仮想三次元空間における雲の光学的厚さ（鉛直積算値）の平面分布を推定するパラメータとして設定する。ランダムに選ばれた光学的厚さの平面分布に対して三次元放射伝達モデルを使ってカメラが測定する輝度分布をシミュレートする。そして、観測された輝度分布を最もよく再現

する光学的厚さの分布を最適解とする。解の探索には、進化戦略アルゴリズムの一つである CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation-Evolution Strategy) (Hansen et al., 1996) を用いた。この手法では、光学的厚さの平面分布の解像度を上げると、計算時間が推定パラメータの累乗で増していく。このため、粗く区切った領域を代表する光学的厚さを推定した。図 1c は、図 1b の輝度分布から推定した光学的厚さの分布の解析例である。

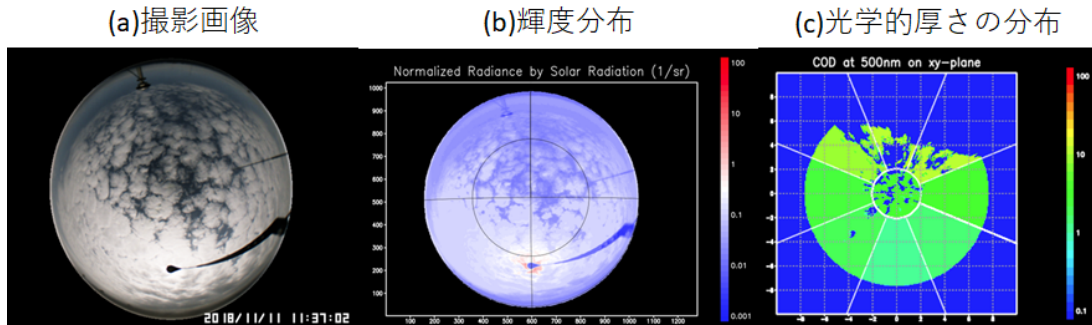


図 1 全天カメラによる輝度観測と雲の光学的厚さの解析例。(a) 全天カメラの撮影画像 (2018 年 11 月 11 日に千葉大学)、(b) 天頂輝度で規格化した波長 500nm の輝度分布、(c) 東西 20km 四方の領域で推定された光学的厚さの水平分布。白線は分割した推定領域を示している。

#### (b) 手法 2 全天カメラ+深層学習モデルによる推定

魚眼レンズを装着した市販デジタルカメラを用いた雲の分光観測手法および雲の光学的厚さの空間分布推定手法を開発した。カメラを測器として用いることが出来るようにするため、積分球や応答度測定装置等を用いた光学校正と入射角特性試験を行った。画像データは幾何補正処理を行い、空全体の放射輝度を測定できるようになった。

測定した放射輝度の天空分布画像から各画素の視線方向の雲光学的厚さを推定する深層学習モデルを構築した (Masuda et al., 2019)。高解像度のラージエディシミュレーションによる雲分布を用いて、雲や太陽方向、エアロゾル、地表面の条件を様々に与えて、三次元放射伝達モデルを用いたシミュレーションによりカメラ画像を 10 万事例以上作成した。これを訓練データとして畳み込みニューラルネットワークを用いた深層学習モデルを訓練した。深層学習モデルのアーキテクチャについては、コンピュータビジョンの問題で広く使われている U-Net に多重解像度で捉えた特徴量を融合する仕組みを取り入れた。入力する各チャンネルの放射輝度を入射放射照度で規格化し、赤チャンネルと青チャンネルの比、各画素に対応する散乱角および視天頂角・方位角を規格化して入力データとして加えた。図 2 は、解析例である。深層学習では雲の空間構造と三次元放射効果の両方が統計的にモデル化されており、一次元放射伝達モデルで推定するよりも格段に高精度になること、より遠方までの周辺画素の情報を取り入れるほど推定精度が上がる事が確かめられた。

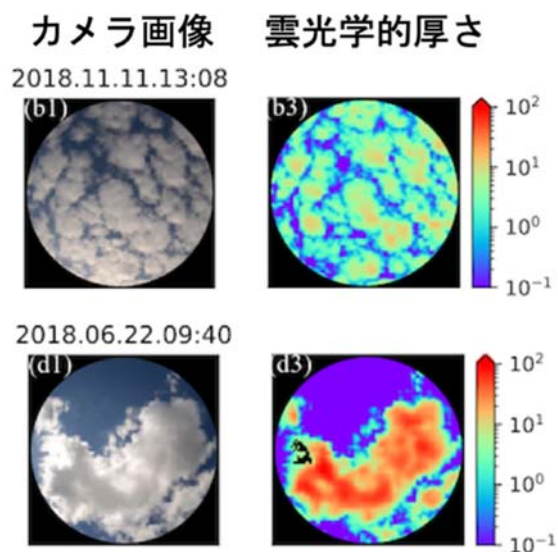


図 2。 深層学習モデルによる雲の光学的厚さの推定の例：(左) 観測されたカメラ画像、(右) 推定された雲の光学的厚さ。

## (2) 雲の集中観測

2018年と2019年の秋に千葉大学において行われた雲・エアロゾル・ガス・放射の集中観測に参加し、雲の地上リモートセンシング手法の検証と三次元放射効果の解析を行った。比較検証を行った雲のリモートセンシング手法は、全天カメラ+進化戦略（本研究の手法1）、全天カメラ+深層学習（本研究の手法2、Masuda et al., 2019）、日射計（Damiani et al., 2019）、スカイラジオメータ1（本研究で開発）、スカイラジオメータ2（Pradeep et al., 2019）、AHI/Himawari（Nakajima et al., 1995）、SGLI/GCOM（Nakajima et al., 1995）である。AHIとSGLIは、衛星測器である。全天カメラを使った手法以外は、一次元大気放射伝達モデルに基づいている。

全ての観測機器がそろった2018年11月11日を中心に比較検証と三次元放射効果の解析を行った。全天カメラの画像、雲レーダ、ライダーの観測から、この日の雲は、下層の浅い積雲が水平方向に広く分布した典型的な層積雲の事例であることが分かっている。これについて、雲の分布、光学的厚さと三次元放射効果を、一次元放射伝達モデルに基づいた他の手法と比較しながら解析した。

## 4. 研究成果

### (1) 雲の地上リモートセンシング手法の検証

図3は、集中観測期間中の2018年11月11日に、各測器・手法によって解析された下層の層積雲の光学的厚さの時系列である。これらの結果を相互比較することで、以下のことがわかった。

- ・いずれの解析結果も、振幅に差はあるものの、概ね整合的な時間変動を導き出しており、高い相関が得られた。

- ・解析における空間解像度が最も高い全天カメラ+深層学習による結果が、最も大きな振幅を持っていた。空間解像度が粗い全天カメラ+進化戦略による結果は、同じく解像度が粗く、また観測視野角に近い、日射計、AHI/Himawari、SGLI/GCOMと近い結果となった。スカイラジオメータによる2つの手法は、天頂の輝度を狭視野で測定するため、他と異なる結果を示すことが多かった。不一致の原因は、各機器の観測視野の違いや時空間的なずれ、各解析手法における雲の仮定に起因することが分かった。

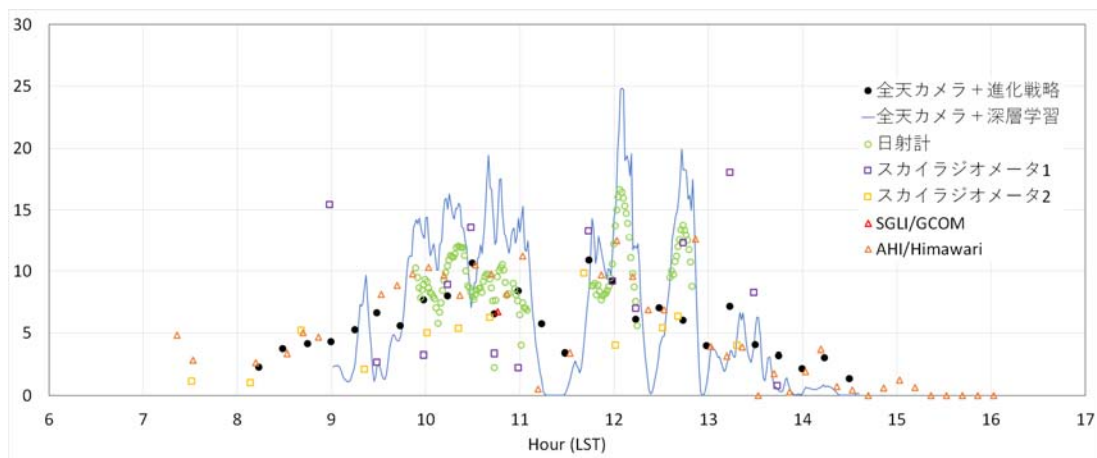


図3 2018年11月11日に行った雲の集中観測の結果。様々な地上・衛星機器、手法によって得られた雲の光学的厚さ。

### (3) 三次元放射効果の解析

シミュレーションデータと集中観測期間の解析により、以下のことが分かった。

・孤立した雲を想定して行ったシミュレーションにおいて、雲の太陽側で輝度が強化され、影になる反対側では輝度が弱くなった。このことは、良く知られているが、新たに、雲の太陽側ではより長い波長の輝度が卓越する効果があることを示された。このことは、リモートセンシングや、波長依存が発電性能に影響する太陽光発電において重要と考えられる。

・図3の事例解析において、最も多くみられた三次元放射効果は、雲の太陽側の輝度の強化であった。この効果は、地上に到達する散乱光を増加させる。散乱光の増加によって、一次元大気放射伝達モデルを使った解析手法では、光学的厚さが過小評価される。このため、空間を高解像度で解析し、輝度強化をよく表現していた全天カメラ+深層学習と比べて、他の手法は小さい光学的厚さを導出していた。

・雲量が少なくとも、太陽が雲で隠されていた場合、地上日射量は小さくなる。さらに、地上に到達する散乱光も小さくなる。この時、一次元放射伝達モデルを使った手法では、雲の光学的厚さは過大に推定されていた。一方、三次元放射伝達モデルを用いた手法は、太陽を隠す雲の分布を表現し、より適切な光学的厚さを推定していた。

・比較的均質性のある層積雲においても、上述の三次元放射効果によって、光学的厚さ±5程度の差が生まれることが分かった。光学的厚さ±5の差によって、太陽天頂角58度における瞬間的な地上日射量には、-50~90W/m<sup>2</sup>程度の差が生じる。

### (3) 今後の展望

本研究期間において解析できた事例数が少なかった。引き続き、事例解析を積み重ねていくことで、今後、雲の分布と光学特性—三次元放射効果—地上日射を結び付けたパラメタリゼーションの開発に貢献していく。

開発した全天カメラと雲の解析手法は、気象庁現業で行われている雲の目視観測を補助、または、代替する可能性がある。また、本研究では開発した深層学習による手法を現業の目視観測に応用することが可能である。これを目指して、現在、気象庁の官署での実地試験を進めている。

### <引用文献>

- 1) Iwabuchi, H., and Okamura, R., 2017, Multispectral Monte Carlo radiative transfer simulation by the maximum cross-section method, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 193, 40-46.
- 2) Hansen, N., and Ostermeier, A., 2001, Completely Derandomized self-adaptation in evolution strategies, *Evolutionary Computation*, 9, 159-195.
- 3) Masuda, R., et al., 2019, Retrieval of cloud optical thickness from sky-view camera image using a deep convolutional neural network based on three-dimensional radiative transfer, *Remote Sens.*, 11, 1962, doi:10.3390/rs11171962.
- 4) Damiani, A., et al., 2019, An intensive campaign-based intercomparison of cloud optical depth from ground and satellite instruments under overcast conditions, *SOLA*, 15, 198-204.
- 5) Khatri, P., et al., 2019, Retrieval of cloud properties from sky radiometer observed spectral zenith radiances, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi:10.5194/amt-2019-273.
- 6) Nakajima, T. Y., and T. Nakajima, 1995, Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions, *J. Atmos. Sci.*, 52, 4043-4059.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Kudo Rei, Aoyagi Toshinori, Nishizawa Tomoaki   | 4. 巻<br>11                  |
| 2. 論文標題<br>Characteristics of aerosol vertical profiles in Tsukuba, Japan, and their impacts on the evolution of the atmospheric boundary layer | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Atmospheric Measurement Techniques  | 6. 最初と最後の頁<br>3031 ~ 3046   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5194/amt-11-3031-2018  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Kudo Rei, Nishizawa Tomoaki, Higurashi Akiko, Oikawa Eiji   | 4. 巻<br>176                 |
| 2. 論文標題<br>Remote sensing of aerosols by synergy of caliop and modis  | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>EPJ Web of Conferences  | 6. 最初と最後の頁<br>08012 ~ 08012 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1051/epjconf/201817608012  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Ishimoto Hiroshi, Kudo Rei, Adachi Kouji  | 4. 巻<br>12                  |
| 2. 論文標題<br>A shape model of internally mixed soot particles derived from artificial surface tension   | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>Atmospheric Measurement Techniques  | 6. 最初と最後の頁<br>107 ~ 118     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5194/amt-12-107-2019   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Hara Yukari, Nishizawa Tomoaki, Sugimoto Nobuo, Osada Kazuo, Yumimoto Keiya, Uno Itsushi, Kudo Rei, Ishimoto Hiroshi                  | 4. 巻<br>10                  |
| 2. 論文標題<br>Retrieval of Aerosol Components Using Multi-Wavelength Mie-Raman Lidar and Comparison with Ground Aerosol Sampling                   | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Remote Sensing  | 6. 最初と最後の頁<br>937 ~ 937     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/rs10060937  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-                   |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>UCHIYAMA Akihiro, CHEN Bin, YAMAZAKI Akihiro, SHI Guangyu, KUDO Rei, NISHITA-HARA Chiharu, HAYASHI Masahiko, HABIB Ammara, MATSUNAGA Tsuneo                | 4. 巻<br>96              |
| 2. 論文標題<br>Aerosol Optical Characteristics in Fukuoka and Beijing Measured by Integrating Nephelometer and Aethalometer: Comparison of Source and Downstream Regions | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II  | 6. 最初と最後の頁<br>215 ~ 240 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2151/jmsj.2018-026  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-               |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Nishizawa Tomoaki, Sugimoto Nobuo, Shimizu Atsushi, Uno Itsushi, Hara Yukari, Kudo Rei                    | 4. 巻<br>176                 |
| 2. 論文標題<br>Aerosol observation using multi-wavelength Mie-Raman lidars of the Ad-Net and aerosol component analysis | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>EPJ Web of Conferences  | 6. 最初と最後の頁<br>09005 ~ 09005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1051/epjconf/201817609005  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-                   |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>KHATRI Pradeep, HAYASAKA Tadahiro, IWABUCHI Hironobu, TAKAMURA Tamio, IRIE Hitoshi, NAKAJIMA Takashi Y. | 4. 巻<br>96B             |
| 2. 論文標題<br>Validation of MODIS and AHI Observed Water Cloud Properties Using Surface Radiation Data               | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II   | 6. 最初と最後の頁<br>151 ~ 172 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2151/jmsj.2018-036   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-               |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Nakata Hiroyuki, Takahashi Akira, Takano Toshiaki, Saito Akinori, Sakanoi Takeshi | 4. 巻<br>5            |
| 2. 論文標題<br>Observation of equatorial plasma bubbles by the airglow imager on ISS-IMAP       | 5. 発行年<br>2018年      |
| 3. 雑誌名<br>Progress in Earth and Planetary Science   | 6. 最初と最後の頁<br>1 ~ 13 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>doi.org/10.1186/s40645-018-0227-0                               | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-            |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Shibata T., Shiraishi K., Shiobara M., Iwasaki S., Takano T.   | 4. 巻<br>123                   |
| 2. 論文標題<br>Seasonal Variations in High Arctic Free Tropospheric Aerosols Over Ny Ålesund, Svalbard, Observed by Ground Based Lidar | 5. 発行年<br>2018年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Geophysical Research: Atmospheres   | 6. 最初と最後の頁<br>12,353 ~ 12,367 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1029/2018JD028973   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-                     |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Kazuomi Morotomi, Taro Kashiwayanagi, Fumiaki Kobayashi, Tamio Takamura, Toshiaki Takano, Atushi Higuchi, and Hisato Iwashita | 4. 巻<br>1             |
| 2. 論文標題<br>Observation of Gust Front in Tokyo Urban Area by X-band Phased Array Weather Radar   | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>1st International Workshop on Wind-Related Disasters and Mitigation   | 6. 最初と最後の頁<br>11 ~ 14 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難  | 国際共著<br>-             |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, and E. Oikawa   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Remote sensing of aerosols by synergy of CALIOP and MODIS  | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>28th International Laser Radar Conference   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1051/epjconf/201817608012">https://doi.org/10.1051/epjconf/201817608012</a> | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Kudo Rei, Nishizawa Tomoaki, Aoyagi Toshinori, Fujiyoshi Yasushi, Higuchi Yuji, Hayashi Masahiko, Shimizu Atsushi, Aoki Kazuma   | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Remote sensing of aerosol optical properties and solar heating rate by the combination of sky radiometer and lidar measurements | 5. 発行年<br>2017年 |
| 3. 雑誌名<br>International Radiation Symposium  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://dx.doi.org/10.1063/1.4975518">http://dx.doi.org/10.1063/1.4975518</a>                          | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-       |



|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>UCHIYAMA Akihiro, CHEN Bin, YAMAZAKI Akihiro, SHI Guangyu, KUDO Rei, NISHITA-HARA Chiharu, HAYASHI Masahiko, HABIB Ammara, MATSUNAGA Tsuneo                | 4. 巻<br>96            |
| 2. 論文標題<br>Aerosol Optical Characteristics in Fukuoka and Beijing Measured by Integrating Nephelometer and Aethalometer: Comparison of Source and Downstream Regions | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>J. Meteorol. Soc. Jpn.   | 6. 最初と最後の頁<br>215-240 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2151/jmsj.2018-026  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-             |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 1. 著者名<br>Nishizawa, T., N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Uno, Y. Hara, and R. Kudo  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Aerosol observation using multi-wavelength Mie-Raman lidars of the Ad-Net and aerosol component analysis                 | 5. 発行年<br>2018年 |
| 3. 雑誌名<br>28th International Laser Radar Conference   | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1051/epjconf/201817609005">https://doi.org/10.1051/epjconf/201817609005</a> | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-       |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>Kajino, M., H. Ueda, Z. Han, R. Kudo, Y. Inomata, and H. Kaku  | 4. 巻<br>-       |
| 2. 論文標題<br>Energy between air pollution and urban meteorological changes through aerosol-radiation-diffusion feedback - A case study of Beijing in January | 5. 発行年<br>2017年 |
| 3. 雑誌名<br>Atmos. Environ.  | 6. 最初と最後の頁<br>- |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/atmosenv.2017.10.018   | 査読の有無<br>有      |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>-       |

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kudo, R.  |
| 2. 発表標題<br>Development of aerosol and cloud retrieval methods using the sky radiometer |
| 3. 学会等名<br>5th International SKYNET workshop (国際学会)                                    |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>工藤玲                              |
| 2. 発表標題<br>エアロゾルが地上日射に与える影響                 |
| 3. 学会等名<br>一般社団法人日本太陽エネルギー学会太陽光発電部会第25回セミナー |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>工藤玲, 岩淵弘信, 鷹野敬明, 居島修, 高野松美 |
| 2. 発表標題<br>日射の輝度分布測定のための全天カメラの開発      |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2018年度秋季大会           |
| 4. 発表年<br>2018年                       |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>工藤玲, 青柳暁典, 西澤智明           |
| 2. 発表標題<br>長距離輸送エアロゾルが大気境界層の発達に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>第36回レーザーセンシングシンポジウム       |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Kudo, R., T. Nishizawa, E. Oikawa, A. Higurashi, and M. Fujikawa                       |
| 2. 発表標題<br>Global 3D distributions of aerosol components retrieved by synergy of CALIOP and MODIS |
| 3. 学会等名<br>7th International EarthCARE science workshop (国際学会)                                    |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Iwabuchi, H   |
| 2. 発表標題<br>Deep-learning cloud retrieval based on three-dimensional radiative transfer |
| 3. 学会等名<br>Seminar at the Goddard Space Flight Center (招待講演) (国際学会)                    |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Iwabuchi, H., R. Masuda, and R. Kudo  |
| 2. 発表標題<br>Deep-learning cloud retrieval based on three-dimensional radiative transfer   |
| 3. 学会等名<br>1st International Workshop on Cloud Remote Sensing, Atmosphere Radiation and Renewal Energy Application (CARE-2018) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増田涼佑、岩淵弘信                    |
| 2. 発表標題<br>酸素吸収帯を利用した地上観測による雲物理量推定手法の開発 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2018年度春季大会             |
| 4. 発表年<br>2018年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増田涼佑、岩淵弘信、工藤玲                  |
| 2. 発表標題<br>深層学習とデジタルカメラを利用した雲光学的厚さ推定手法の開発 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2018年度秋季大会               |
| 4. 発表年<br>2018年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>増田 涼佑、岩淵 弘信, K. Sebastian Schmidt, 工藤 玲    |
| 2. 発表標題<br>畳込みニューラルネットワークを利用したデジタルカメラ画像からの雲物理量推定手法の開発 |
| 3. 学会等名<br>情報処理学会第81回全国大会                             |
| 4. 発表年<br>2018年                                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Aritsugu CHONAN, Hiroyuki NAKATA, Hiroyo OHYA, Toshiaki TAKANO, Ichiro TOMIZAWA, Michi NISHIOKA, Takuya TSUGAWA |
| 2. 発表標題<br>Ionospheric Disturbances Associated with Volcanic Eruptions Observed by GPS-TEC and HF Doppler Sounding         |
| 3. 学会等名<br>Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>TAKANO Toshiaki   |
| 2. 発表標題<br>Development of Monostatic Antenna System for W-Band Hi-Resolution Doppler Radar |
| 3. 学会等名<br>18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>TAKANO Toshiaki  |
| 2. 発表標題<br>Rapid Imaging Observations of Clouds and Precipitations with High-Resolution Millimeter-Wave Radar FLCON-I |
| 3. 学会等名<br>2018 International Conference on Vision, Image and Signal Processing (ICVISP 2018) (国際学会)                  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>五十嵐涼、宇野賢吾、瀬川亮、鷹野敏明、高村民雄、塩原匡貴               |
| 2. 発表標題<br>雲レーダ FALCON-I・FALCON-A 観測における大気輝度温度算出と減衰補正 |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会第97回研究発表会                          |
| 4. 発表年<br>2019年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>笛田亮、鷹野敏明、河村洋平、山本真之、川村誠治                |
| 2. 発表標題<br>雲レーダ FALCON-I とウインドプロファイラによる雲と風の相互作用解析 |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会第97回研究発表会                      |
| 4. 発表年<br>2019年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>森田日向、水田篤秀、小池康太、河村洋平、鷹野敏明、中田裕之、大矢浩代、高村民雄、小林文明 |
| 2. 発表標題<br>ミリ波レーダ FALCON-I による降雨開始時のドップラー解析             |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会第97回研究発表会                            |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>樋川恵祐、井浦太一、鷹野敏明、中田裕之、大矢浩代、河村洋平             |
| 2. 発表標題<br>雲レーダ FALCON-A FALCON-I におけるドップラー画像のdBZ 表示 |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会第97回研究発表会                         |
| 4. 発表年<br>2019年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>新井智大、関谷和樹、森大知、森川康平、齋藤洋也、河村与平、鷹野敏明            |
| 2. 発表標題<br>1 アンテナ式 FMCW 95GHz 気象レーダ FALCON-X の改良および観測評価 |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会第97回研究発表会                            |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>工藤玲, 入江仁士, 居島修, 高野松美, 竹村俊彦, 西澤智明, 青木一真, 日暮明子, 清水厚, 及川栄治, 山崎明宏, 石田春磨, 早坂忠裕 |
| 2. 発表標題<br>SKYNETデータによるエアロゾル組成のリモートセンシング   |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2017年度秋季大会  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>工藤玲, 西澤智明, 日暮明子, 及川栄治, 藤川雅大               |
| 2. 発表標題<br>CALIOPとMODISの複合解析によるエアロゾル組成の全球三次元プロダクトの開発 |
| 3. 学会等名<br>第35回レーザセンシングシンポジウム                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, and E. Oikawa       |
| 2. 発表標題<br>Remote sensing of aerosols by synergy of CALIOP and MODIS |
| 3. 学会等名<br>28th International Laser Radar Conference (国際学会)          |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>工藤玲, 藤吉康, 日口裕二, 林政彦, 清水厚, 青木一真          |
| 2. 発表標題<br>グライダー搭載OPCによるエアロゾル鉛直分布の地上リモートセンシング手法の検証 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2017年度春季大会                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hironobu Iwabuchi   |
| 2. 発表標題<br>Seasonal and interannual variations and decadal change of tropical high cloud |
| 3. 学会等名<br>Workshop on Atmospheric Radiation and Remote Sensing 2017 (国際学会)              |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>岩淵弘信, 岡村凜太郎, K. Sebastian Schmidt |
| 2. 発表標題<br>機械学習を用いた不均質雲の光学的厚さと雲粒有効半径の推定      |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2017年秋期大会                   |
| 4. 発表年<br>2017年                              |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>岩淵弘信, 岡村凜太郎                  |
| 2. 発表標題<br>モンテカルロ3次元放射伝達モデルによる多波長同時計算手法 |
| 3. 学会等名<br>日本気象学会2017年春季大会              |
| 4. 発表年<br>2017年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>TAKANO Toshiaki, KAWAMURA Yohei, MORIKAWA Kohei, SUZUKI Yasuki, MIZUTA Atsuhide, KOIKE Kouta, and NAKATA Hiroyuki |
| 2. 発表標題<br>Fine structures of clouds and precipitations observed with W-band Radars FALCON-I and FALCON-A                    |
| 3. 学会等名<br>38th International Conference on Radar Meteorology (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>TAKANO Toshiaki, KAWAMURA Yohei, NAKATA Hiroyuki                                  |
| 2. 発表標題<br>Performance of W-band FMCW Doppler Radar FALCON-I as Sensing System of Atmosphere |
| 3. 学会等名<br>7th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (国際学会)      |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>森田日向、鈴木康樹、小池康太、中森広太、鷹野敏明、河村洋平、中田裕之、大矢浩代、高村民雄、樋口篤志、小林文明、柏柳太郎、諸富和臣、岩下久人 |
| 2. 発表標題<br>ミリ波レーダ FALCON-I と Xバンドフェーズドアレイレーダによる 2016/08/02に千葉市で発生した積乱雲の観測        |
| 3. 学会等名<br>日本大気電気学会 第96回研究会  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                          | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                 | 備考 |
|-------|--|---------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 岩淵 弘信<br><br>(IWABUCHI Hironobu)<br><br>(80358754) | 東北大学・理学研究科・准教授<br><br><br><br>(11301) |    |



## 6. 研究組織（つづき）

|           | 氏名<br>(研究者番号)                                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                   | 備考 |
|-----------|--|---|----|
| 研究<br>分担者 | 鷹野 敏明<br><br>(TAKANO Toshiaki)<br><br>(40183058) | 千葉大学・大学院工学研究院・教授<br><br><br><br>(12501) |    |
| 研究<br>協力者 | 居島 修<br><br>(IJIMA Osamu)                        | 気象庁高層気象台・観測第二課・主任研究官                    |    |
| 研究<br>協力者 | 高野 松美<br><br>(TAKANO Matsumi)                    | 気象庁大阪管区気象台・観測課・技術専門官                    |    |