(様式7 終了時A)

研究プロフィールシート（終了時評価）

研究課題名：c4 放射収支の監視システムの高度化と気候変動要因解明に関する研究

（副課題1）気候変動（放射収支）・大気環境監視のための観測システムの構築

（副課題2）観測データから放射収支へ影響を与えている要素の評価と変動特性の解明

研究期間：平成26年度～平成30年度

研究代表者：大河原望（平成30年度）、山崎明宏（平成26～29年度）

研究担当者：

（副課題1）

[気候研究部] 山崎明宏、工藤玲（平成26～平成30年度）、内山明博（平成26年度）、石田春磨（平成27～29年度）、大河原望、長澤亮二（平成30年度）

[気象衛星・観測システム研究部] 石元裕史（平成26～平成30年度）

[併任：気象庁地球環境・海洋部] 湯浅大樹（平成28～29年度）

[客員研究員等] 内山明博（平成27～30年度）

（副課題2）

[気候研究部] 山崎明宏、工藤玲（平成26～平成30年度）、内山明博（平成26年度）、石田春磨（平成27～29年度）、大河原望、長澤亮二（平成30年度）

[併任：気象庁地球環境・海洋部] 湯浅大樹（平成28～29年度）

[客員研究員等] 内山明博（平成27～30年度）

1. 研究の背景・意義

地球温暖化が顕在化するなか、気候変動の監視と実態把握、気候変動予測の不確かさの軽減が望まれている。「地球観測の推進戦略」(平成16年12月27日、総合科学技術会議)において、推進すべき項目として地球温暖化分野の中のアジア・オセアニア域の包括的な観測で雲・エアロゾルに係わる観測を実施することが述べられている。また、「平成26年度における我が国における地球観測の実施方針」(平成25年7月29日、文部科学省)においても、気候変動メカニズム解明のために放射過程、雲物理・降水過程の解明の必要性が述べられており、衛星等の観測に加えて精密な地上観測の実施が必須である。また、その中で地球観測連携拠点(温暖化分野)の検討を踏まえ、放射収支メカニズム等の解明を

進めるために、放射観測の標準化、検定基準の確立の必要性が述べられている。気候モデルにおける温暖化予測を不確実にしている最大の要因の一つは、放射収支が正確に再現できていないことによる。このため、放射収支に影響を与えるエアロゾルが日射を直接反射・吸収する効果（直接効果）及び雲・氷晶核として働き雲の特性を変え間接的に放射収支に影響を与える効果（間接効果）の実態を監視し、正確に評価できるようにすることが切望されている。

気象庁は現業官署と言うこともあり、地球環境監視業務を長期間継続して実施可能である。気象庁では、地表面放射収支の変化を監視する精密日射放射観測を2010年3月より開始したが、気候変動をひき起こす変化は10年間で1~2W/m²程度と非常に小さく、全天日射量の監視だけでは大気要素（エアロゾルや雲）により変動する地表面日射量の変化を捉えることは難しい。大気要素毎の影響は異なる波長分布として現れるため、分光観測と大気要素の同時観測を実施していく必要がある。そのための基盤となる測器の開発、校正技術の確立、解析手法の開発を行う必要がある。また、現状では、放射収支を精度よく再現できている化学輸送モデル、気候モデルはなく、これらの改良のためにも放射及びそれに影響を与える大気要素の精密な観測は検証や同化で使うためのデータとして意義がある。

2. 研究の目的

（全体）気候変動を決定づける大気放射収支の変動とその主要因となる雲・エアロゾルの監視技術の高度化と気候変動への影響解明を目的とする。

3. 研究の目標

（全体）日射・放射のエネルギーとスペクトルデータの観測技術の開発、及び、雲・エアロゾルの推定技術の開発を行い、大気放射場の変動とその要因を監視することを可能にする。そして、大気放射場変動の要因を明らかにする。

（副課題1）大気放射収支とその変動要因を監視するために

① 日射・放射観測の高度化と連続観測システムの構築

② 雲・エアロゾルの推定技術の高度化

を実施する。

（副課題2）副課題1で開発された観測システムで得られたデータを元に、大気放射場の季節～年々変動とその要因を解明する。

4. 研究結果

（1）成果の概要

（副課題1）気候変動（放射収支）・大気環境監視のための観測システムの構

築

- 光学特性測定装置の測定値（多波長散乱・吸収係数）を補正し、一次散乱特性を推定する方法を論文にまとめ投稿し、掲載された。散乱係数に対する、角度打ち切り、光源分布のずれの補正を行い、一次散乱アルベド（SSA）が誤差 0.002 以下で推定できることなどを示した。
- 上記の方法で得られた体積粒径分布を用いて PM2.5 の推定する方法を開発した。値は、系統的に差があるが、相関は高かった（相関係数=0.96）。
- 開発中の分光日射計について、気体吸収の少ない 1225, 1627, 2200nm で通常の Langley 法と NIST ランプ、積分球による検定結果の比較を行った。NIST ランプでは Langley 法の値と -1.6, -2.7, -7.1% の差、積分球では Langley 法の値と 1.1, -3.4, -4.5% の差を確認した。NIST ランプと積分球の測定時のバラツキ、輝度の不安定性を考慮した不確定性は、NIST ランプで 2.6, 3.4, 7.4%、積分球で 4.8, 5.9, 25.8% であった。積分球を使った検定では、分光日射計の感度が低く、不確定性が大きい結果を得た。
- グレーティング方式の分光放射計による直達・散乱フラックスの観測値を計算するフォワードモデルを構築した。
- スカイラジオメータの 940nm チャンネルを用いた可降水量の推定方法について論文にまとめ投稿し、掲載された。
- スカイラジオメータの可視域レンズ交換後、検定定数の経年変化は小さく、新しいレンズは以前のレンズに比べ劣化が大きくないことを確認した。
- スカイラジオメータの波長 1225nm 干渉フィルター（半値全幅 10nm）の透過率測定を行った結果、ブロッキングに問題があり波長 675nm 程度まで透過していることが判明した。このままでは 1225nm 測定に問題があるため、干渉フィルターの交換を実施し、新しい干渉フィルターを使った連続観測を開始した。
- リモートセンシングに最適な水溶性と黒色炭素の内部混合粒子について、気象衛星観測システム研究部、環境・応用気象研究部の協力を得ながら調査を行った。その結果をもとに球状の内部混合の計算コード、データベースを構築した。さらに、非球形粒子のデータベースの作成を行った。
- 上記の最適な粒子のデータベースを用いて、スカイラジオメータによる日射の多波長・輝度分布観測から、エアロゾル組成の構成情報を推定する手法を開発した。これにより、水溶性、黒色炭素、ダスト、海塩の構成比に関する新しい情報を得ることが出来るようになった。また、開発したプログラムを現業利用を目的に地球環境・海洋部の環境気象管理官に提供した。
- スカイラジオメータとライダーの地上観測から、粒子の非球形性を考慮しながらエアロゾルの光学特性の鉛直分布を推定する手法を開発し、論文にまとめ投稿し、掲載された。
- スカイラジオメータの機器定数に係る検定定数の精度とセンサー出力

の温度依存性について調べた結果と立体視野角に関する誤差評価を行った結果を2本の論文にまとめ、掲載された。

- スカイラジオメータを月光観測による夜間観測が行えるように改良し、試験的な観測を行った。太陽・月センサーによる月の自動追尾については、満月から半月頃まで自動追尾できることを確認できた。
- 既存のスカイラジオメータの雲物理量推定手法では、局所解に陥りやすく、正しい解が得られない懸念があった。それを改善するため、大局的な解を得ることが出来る進化戦略アルゴリズムを導入した。これにより、正しい解が得られることが出来るようになった。
- 全天の輝度分布を測定するため、晴天～太陽からの光を飽和せずに記録できる広ダイナミックレンジの画像センサーを用いた全天カメラを開発した。また、輝度測定を行うため、センサーの感度ムラ、画像上の光軸や画素の縦横比、設置時のセンサーの姿勢、生データから輝度の物理値への変換係数等の各種校正手法を開発し、快晴、曇天、晴天積雲時の全天の輝度分布の連続観測に成功した。さらに、可視と赤外波長の2つのカメラを搭載した手のひらサイズの全天カメラも開発した。こちらはハードウェアを試作した段階であり、今後実用に耐えるか試験を重ねていく。
- 可視波長全天カメラ、赤外波長カメラの校正や解析のために、それぞれが観測する物理量を計算するフォーワードモデルを開発した。そして、赤外カメラ用のフォーワードモデルにより、実観測との比較を行い、良好な結果が得られた。また、雲底高度推定の可能性について調べた結果、空間一様性の高い雲であれば、十分に可能性がある事が分かった。
- 北海道滝川市で行ってきたライダーによるエアロゾルの鉛直分布観測の結果を比較材料にすることで、スカイラジオメータとライダーの地上観測からエアロゾルの鉛直分布を推定する手法を改良した。
- エアロゾルの全球3次元分布の観測を目的として、2018年度打ち上げ予定のEarthCARE衛星に搭載される高波長分解能ライダーと多波長イメージャーの観測から、エアロゾルの組成（水溶性、黒色炭素、ダスト、海塩）の鉛直分布を推定するアルゴリズムを開発した。そして、海上、陸上を想定した数値実験を行った結果、良好な推定結果を得ることが出来た。開発した手法による結果は、JAXAの研究プロダクトとして公開されることになる。
- EarthCARE衛星用に開発した上記アルゴリズムをCALIOP、MODIS用に修正し、アフリカのバイオマスバーニング、中東のダストの事例でテストした。結果は、良好で、それぞれの特徴をよく表すエアロゾル組成が得られた。そして、2010年のデータを解析し、エアロゾル組成（水溶性、光吸収性、ダスト、海塩）それぞれの全球三次元分布を導出した。NASAの衛星標準プロダクト、地上の分光放射観測との比較結果は良好であった。さらに、得られた結果から、エアロゾルの組成毎の放射強制力の見積り、組成毎の重量の導出と全球輸送モデルとの比較を行った。
- EarthCARE衛星のエアロゾル標準プロダクトの開発を進めており、

EarthCARE 搭載ライダーからエアロゾルと雲の光学特性を導出するアルゴリズム開発に着手した。通常行われる鉛直方向の平滑化に加え、水平方向の平滑化を加えることにより、より良い推定結果が得られることが分かった。また、標準プロダクトの処理には、20 分の制限時間がある。この時間内に処理を終えるため、コードの並列化を行い、成功した。

- 地上設置及び衛星搭載の放射計データからの雲物理量の推定法改良の一環として、地上測器や衛星観測の品質向上に必要となる雲スクリーニング手法の改良のため、機械学習による多変量解析手法を応用したアルゴリズムを開発した。また、アルゴリズムを実際の衛星データ (MODIS) に適用して雲スクリーニング出力結果を検証し、妥当な精度が得られることを確認した。なお、雲スクリーニング手法の開発は、ひまわり 8/9 号の雲種識別プロダクト改良作業の一環として、衛星センターと共同で実施している。更に、複数の機械学習アルゴリズムを組み合わせた識別手法を提案し、プログラムを作成した。試験事例として夜間低層雲の識別に使用し、妥当な識別結果が得られた。
- 現実的な大気場に対応した放射伝達計算コードの開発の一環として、三次元放射伝達計算手法の開発・改良を引き続き実施した。特に今年度は、広帯域フラックスの計算を可能にした。また、開発した計算コードを高解像度大気モデルの出力データに対して応用し、雲内部の微細な空間構造と放射エネルギー収支の関係を評価した。
- 2018 年度打ち上げ予定の EarthCARE 衛星に搭載される高波長分解能ライダー、レーダー、及び多波長イメージャーを活用した地球放射収支及び大気環境監視のため、これらのセンサーを複合利用した放射量推定プログラムの開発を引き続き実施した。特に今年度は、衛星模擬データによる試験解析によって改良すべき点を調査し、その結果に基づいてプログラムを修正した。

(副課題 2) 観測データから放射収支へ影響を与えている要素の評価と変動特性の解明

- 副課題 1 で開発したエアロゾル組成の構成情報を推定する方法をつくばの 2002 年～2013 年のデータに適用し、エアロゾル一次散乱特性のトレンドと気候値について論文にまとめ投稿し、掲載された。多くのエアロゾル光学特性が有意なトレンドがあることが示された。消散係数、吸収係数は減少、SSA は増加傾向にあること (大気中のエアロゾルが減り、吸収性エアロゾルの割合が減少)、吸収係数のオングストローム指数が増加傾向にある (吸収性エアロゾルのうち Fresh BC が減り、植物燃焼起源や二次生成有機エアロゾルの割合が相対的に増加) ことなどが示された。
- 北京と福岡で測定した光学特性データ (多波長散乱・吸収係数) のデータから一次散乱特性を推定し、両観測点の比較を行った。消散・散乱・吸収係数は、平均値で福岡が北京の約 5 分の 1 くらいである。SSA は、

両地点とも 0.8~0.95 であった。吸収係数のオンゲストローム指数が両地点とも明瞭な季節変化をしているが、北京の値がやや小さい。また、夏季に 1 より小さい値が頻繁に観測された。粗大粒子の割合は、北京では 1 年を通して多かった。福岡と北京の比較結果は論文にまとめ、掲載された。

- 1976~2008 年のエアロゾル光学特性の変動を入力とした一次元大気境界層モデルを用いて、エアロゾルが大気境界層へもたらす影響について、地表面状態が異なる場合に関して感度実験を行った。土壌が湿っている場合は、エアロゾルの長期変動は、日最大気温の増加傾向を作るが、土壌が乾燥している場合は、日最大気温を減少させる傾向を作った。日最低気温、平均気温に関しては、どちらの場合も、増加傾向をもたらした。エアロゾルが放射過程を通して大気境界層へ与える影響は、地表面の状態にも依存する可能性が示された。
- つくばのスカイラジオメータとライダーのデータを使ったエアロゾルの鉛直分布の季節変動を解析し、さらに、その結果を一次元大気境界層モデルに入力することで、大気境界層の発達に対するエアロゾルの影響評価を行った。その結果を論文にまとめ、投稿掲載された。
- 約 10 年分の SKYENT 観測網（日本、韓国、タイ）のスカイラジオメータのデータを解析し、エアロゾル組成を導出した。既存の知識の通り、大陸寄りになるほど、エアロゾルが増えていること、離島などで海塩粒子が多く出ることが示された。今後、季節、年々変動について解析していく。
- 約 10 年分の SKYNET と AD-Net の観測網（日本、韓国、タイ）のスカイラジオメータとライダーのデータを解析した。大気境界層内と自由大気の中のエアロゾル光学的厚さのトレンドを解析したところ、概ね、どちらの高度でもエアロゾルは減少傾向にある事が分かった。
- マウナロア観測所で検定したスカイラジオメータの基準器と観測点（福岡、宮古島、南鳥島）設置スカイラジオメータ及び気象庁環境気象大気混濁度観測業務で石垣島に設置したスカイラジオメータの比較検定観測を行い、検定定数を転写することで観測精度を維持した。
- 平成 29 年度から開始された気象庁環境気象大気混濁度観測業務においてスカイラジオメータによる現業観測が開始された。スカイラジオメータの連続観測に係る観測技術とデータ解析の技術協力（プログラムの提供）と、ハワイ島マウナロア観測所での検定観測に関わる技術指導を行った。また、晴天判別、スカイラジオメータの解析プログラムの提供と技術指導を行った。

（2）当初計画からの変更点（研究手法の変更点等）

特に変更はない。

(3) 成果の他の研究への波及状況

他省庁予算

- ・ 地球一括計上（地球環境保全試験研究費）「分光日射観測とデータ同化によるエアロゾル・雲の地表面放射収支に与える影響監視に関する研究」（サブ課題名：地上分光日射観測によるエアロゾル・雲の地表面放射収支への影響監視）において、開発中の波長域 $0.35\sim 2.5\mu\text{m}$ が測定可能な分光日射計、直達分光日射計及びスカイラジオメータの校正を NOAA マウナロア観測所で実施し、Langley 法により良好な検定データを取得することができた。

共同研究

- ・ JAXA 委託研究「EarthCARE 衛星搭載ライダー・イメージャーを用いたエアロゾル・雲の推定アルゴリズム開発（PI:国立環境研究所）」の枠組みにおいて、国立環境研究所の研究者と共同で、衛星観測からエアロゾルの組成の鉛直分布を推定する手法を開発した。
- ・ JAXA 共同研究契約「GCOM-C1 エアロゾル検証データ提供のための放射観測システムの高度化」において衛星センサー校正用の積分球を利用したスカイラジオメータと分光日射計の検定定数の決定を行った。波長が長い分光日射計の積分球による検定は、感度が弱く不確定性が大きいことを確認した。

科学研究費補助金

- ・ 科研費基盤 (A) 「エアロゾル地上リモートセンシング観測網による数値モデルの気候変動予測の高度化」の課題において、SKYNET、AD-Net 地上観測網のスカイラジオメータとライダーを使ったエアロゾルのデータの複合解析を行った
- ・ 科研費基盤 (B) 「マルチスケール大気放射モデルを用いた全球雲解像放射エネルギー収支の定量化」の課題において、放射伝達計算手法の開発・改良した。また、高解像度力学モデルにおける雲層内での微細な熱放射エネルギー収支の評価を可能にした。
- ・ 科研費基盤 (B) 「衛星搭載アクティブ・パッシブセンサーデータの複合利用による全球エアロゾル解析」の課題において、CALIOP（ライダー）と MODIS（分校放射計）を使ったエアロゾルの複合解析を行っている。
- ・ 科研費基盤 (B) 「瞠目的手法による大気境界層内の鉛直混合が雲・大気質・放射場に及ぼす影響解明」の課題において、地上ライダーとスカイラジオメータを使ったエアロゾルの複合解析を行った。
- ・ 科研費基盤 (B) 「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」の課題において、全天カメラの開発、

雲の地上リモートセンシング手法の開発を行った。

(4) 事前・中間評価の結果の研究への反映状況

気象庁の環境気象大気混濁度観測業務において、平成 29 年度よりサンフォトメータからスカイラジオメータへの使用測器の変更を実施した。スカイラジオメータの導入では、機器設置、連続観測の維持、機器校正とデータ解析に係る技術協力を行い、平成 31 年度以降に予定している新しいエアロゾル情報提供への準備を進めている。ひまわり 8/9 号から導出されるエアロゾルプロダクトは、本研究で開発した雲判定アルゴリズムが使用されており、これによりプロダクトの精度向上が図られることになる。雲エアロゾル放射ミッション (EarthCARE) プロジェクトでは、国立環境研究所と協力し衛星観測からエアロゾルの組成の鉛直分布を推定する手法を開発した。また、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき、いぶき-2」(GOSAT, GOSAT-2) と 気候変動観測衛星 (GCOM-C) プロジェクトにおいては、衛星の地上検証のためにスカイラジオメータのデータを提供している。このように所内外の雲・エアロゾル、衛星関連の研究者との情報交換や連携を強化して、研究を進めている。

(5) 今後の課題

- ・ 全天分光日射計の検定法の改良を進める。
- ・ 広ダイナミックレンジの全天カメラを使ったデータ解析手法の開発を引き続き行う。
- ・ 地上設置及び衛星搭載の放射計データからの雲物理量の推定法の開発・改良を引き続き行う。
- ・ EarthCARE 搭載ライダーと放射計を使ったエアロゾルの推定アルゴリズムの開発を引き続き行う。
- ・ ひまわりによるエアロゾル組成推定アルゴリズムの開発に着手する。
- ・ より現実的な大気場に対応した放射伝達計算コードの開発・改良を行う。
- ・ 地上観測点を維持するため外部資金を活用、外部機関との連携を図る。

5. 自己点検

(1) 到達目標に対する達成度

研究はほぼ当初計画のとおり実施されている。

(2) 到達目標の設定の妥当性

概ね妥当である。

(3) 研究の効率性（実施体制、研究手法等）について

(4) 成果の施策への活用・学術的意義

- ・ 地球環境・海洋部、環境気象管理官エアロゾル観測係は、平成 29 年度から強化したエアロゾルの観測（スカイラジオメータ観測）を開始した。スカイラジオメータの石垣島、札幌及び南鳥島設置について、機器設置に係る技術指導を行った。スカイラジオメータの検定と検定した基準器スカイラジオメータから他のスカイラジオメータへの検定値の転写に係る技術提供（プログラム提供）を行い、気象庁の基準器スカイラジオメータの検定及び石垣島、札幌及び南鳥島設置スカイラジオメータの比較検定が実施された。さらに、日射計を用いた晴天判別、スカイラジオメータの解析プログラムの提供と技術指導を行った。
- ・ 気象研で検定したスカイラジオメータを基準器として、産総研（太陽光発電、フラックスネット）、環境研（GOSAT 検証）、千葉大（SKYNET 他）、金沢工大、富山大などのスカイラジオメータを比較検定し、検定定数の転写を行い、それぞれの機関の研究推進に貢献した。また、比較検定されたスカイラジオメータは平成 28 年 12 月に打ち上げられた衛星 GCOM-C の地上検証で使用されている。
- ・ JAXA 委託研究「EarthCARE 衛星搭載ライダー・イメージャーを用いたエアロゾル・雲の推定アルゴリズム開発（PI:国立環境研究所）」の枠組みにおいて開発を進めている EarthCARE 衛星搭載ライダー単体解析アルゴリズム、ライダー・イメージャー複合解析アルゴリズムを用いたエアロゾル・雲のプロダクトは、それぞれ、JAXA 標準プロダクトレベル 2a「ATLID 単体雲・エアロゾルプロダクト」、研究プロダクトレベル 2b「ATLID-MSI 複合エアロゾル成分プロダクト」で使用され、EarthCARE 打ち上げ後にプロダクトが公開される。
- ・ JAXA 共同研究契約「GCOM-C1 エアロゾル検証データ提供のための放射観測システムの高度化」において、衛星データの地上検証としてスカイラジオメータの光学的厚さと全天カメラのデータの提供を行い、GCOM-C の地上検証で使われている。
- ・ ひまわり 8/9 号から導出されるエアロゾルプロダクトは、開発した雲判定アルゴリズムによって精度向上が図られる。

(5) 総合評価

研究はほぼ当初計画のとおり実施されている。

6. 参考資料

6.1 研究成果リスト

(1) 査読論文：24件

1. Uchiyama, A., T. Matsunaga, and A. Yamazaki, 2018: The instrument constant of sky radiometers (POM-02) - Part 2: Solid view angle . *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 5389-5402.
2. Uchiyama, A., T. Matsunaga, and A. Yamazaki, 2018: The instrument constant of sky radiometers (POM-02) - Part 1: Calibration constant . *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 5363-5388.
3. Jin Y., N. Sugimoto, A. Shimizu, T. Nishizawa, K. Kai, K. Kawai, A. Yamazaki, M. Sakurai, and H. Wille, 2018: Evaluation of ceilometer attenuated backscattering coefficients for aerosol profile measurement. *J. of Applied Remote Sensing*, 12.
4. H. Yonehara, R. Sekiguchi, T. Kanehama, K. Saitou, T. Kinami, A. Shimokobe, D. Hotta, R. Nagasawa, H. Sato, M. Ujiie, T. Kadowaki, S. Yabu, K. Yamada, M. Nakagawa, T. Tokuhiko, 2018: Upgrade of JMA's operational global NWP system. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO*, 48, 6-15.
5. Hara, Y., T. Nishizawa, N. Sugimoto, K. Osada, K. Yumimoto, I. Uno, R. Kudo and H. Ishimoto, 2018: Retrieval of Aerosol Components Using Multi-Wavelength Mie-Raman Lidar and Comparison with Ground Aerosol Sampling. *Remote Sensing*, 10, 937.
6. Kudo, R., T. Aoyagi, and T. Nishizawa, 2018: Characteristics of aerosol vertical profiles in Tsukuba, Japan, and their impacts on the evolution of the atmospheric boundary layer. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11, 3031-3046.
7. Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, and E. Oikawa, 2018: Remote sensing of aerosols by synergy of CALIOP and MODIS. *28th International Laser Radar Conference, Conference Proceeding*, doi:<https://doi.org/10.1051/epjconf/201817608012>.
8. Nishizawa, T., N. Sugimoto, A. Shimizu, I. Uno, Y. Hara, and R. Kudo, 2018: Aerosol observation using multi-wavelength Mie-Raman lidars of the Ad-Net and aerosol component analysis. *28th International Laser*

- Radar Conference, Conference Proceeding,
doi:<https://doi.org/10.1051/epjconf/201817609005>.
9. Uchiyama, A., B. Chen, A. Yamazaki, G. Shi, R. Kudo, C. Nishita-Hara, M. Hayashi, A. Habib, T. Matsunaga, 2018: Aerosol Optical Characteristics in Fukuoka and Beijing Measured by Integrating Nephelometer and Aethalometer: Comparison of Source and Downstream Regions. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 96, 215–240.
 10. Ishida, H., Y. Oishi, K. Morita, K. Moriwaki, and T. Y. Nakajima, 2018: Development of a support vector machine based cloud detection method for MODIS with the adjustability to various conditions. *Remote Sensing of Environment*, 205, 390.
 11. Oishi, Y., H. Ishida, T. Y. Nakajima, R. Nakamura and T. Matsunaga, 2017: The Impact of Different Support Vectors on GOSAT-2 CAI-2 L2 Cloud Discrimination. *Remote Sensing*, 9, 1236.
 12. Kudo, R., T. Nishizawa, T. Aoyagi, Y. Fujiyoshi, Y. Higuchi, M. Hayashi, A. Shimizu, and K. Aoki 2017: Remote sensing of aerosol optical properties and solar heating rate estimated by the combination of sky radiometer and lidar measurements, *International Radiation Symposium, AIP Conference Proceeding* 1810, 060002 (2017), doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4975518>.
 13. Kajino, M., H. Ueda, Z. Han, R. Kudo, Y. Inomata, and H. Kaku, 2017: Synergy between air pollution and urban meteorological changes through aerosol-radiation-diffusion feedback - A case study of Beijing in January, *Atmos. Environ.*, doi:10.1016/atmosenv.2017.10.018.
 14. Uchino, O., Sakai, T., Izumi, T., Nagai, T., Morino, I., Yamazaki, A., Deushi, M., Yumimoto, K., Maki, T., Tanaka, T. Y., Akaho, T., Okumura, H., Arai, K., Nakatsuru, T., Matsunaga, T., and Yokota, T., 2017: Lidar detection of high concentrations of ozone and aerosol transported from northeastern Asia over Saga, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 1865–1879.
 15. Kudo, R., T. Nishizawa, and T. Aoyagi, 2016: Vertical profiles of aerosol optical properties and the solar heating rate estimated by combining sky radiometer and lidar measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 9, 3223–3243.
 16. Nishizawa, T., N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, Y. Hara, U. Itsushi,

- K. Yasunaga, R. Kudo, and S. W. Kimo, 2016: Ground-based network observation using Mie-Raman lidars and multi-wavelength Raman lidars and algorithm to retrieve distributions of aerosol components, *J. Quant. Soectrosc. Radiat. Transfer.*, doi:10.1016/j.jqsrt, 2016.06.031.
17. Ohyama, H., Kawakami, S., Tanaka, T., Morino, I., Uchino, O., Inoue, M., Sakai, T., Nagai, T., Yamazaki, A., Uchiyama, A., Fukamachi, T., Sakashita, M., Kawasaki, T., Akaho, T., Arai, K., and H. Okumura, 2015: Observations of XCO₂ and XCH₄ with ground-based high-resolution FTS at Saga, Japan, and comparisons with GOSAT products. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, 5263-5276.
 18. Sugimoto, N., T. Nishizawa, A. Shimizu, I. Matsui, Y. Jin, A. Higurashi, I. Uno, Y. Hara, K. Yumimoyo, and R. Kudo, 2015: Continuous observations of atmospheric aerosols across East Asia. *SPIE Newsroom*, 10.1117/2.1201510.006178.
 19. Uchiyama, A., 2014: Method to retrieve single-scattering properties of aerosols using multi-wavelength scattering and absorption coefficient data measured by integrating nephelometer and absorption photometer.. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 92A, 71-91.
 20. Uchiyama, A., A. Yamazaki, R. Kudo, E. Kobayashi, H. Togawa, and D. Uesawa, 2014: Continuous Ground-Based Observation of Aerosol Optical Properties at Tsukuba, Japan (Trend and Climatology). *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 92A, 93-108.
 21. Uchiyama, A., A. Yamazaki, and R. Kudo, 2014: Column Water Vapor Retrievals from Sky-radiometer (POM-02) 940nm Data. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 92A, 195-203.
 22. Irie H., T. Nakayama, A. Shimizu, A. Yamazaki, T. Nagai, A. Uchiyama, Y. Zaizen, S. Kagamitani, and Y. Matsumi, 2015: Evaluation of MAX-DOAS aerosol retrievals by coincident observations using CRDS, lidar, and sky radiometer in Tsukuba, Japan. *Atmospheric Measurement Techniques*, 8, 2775-2788.
 23. 酒井哲, 内野修, 森野勇, 永井智広, 赤穂大河, 川崎健, 奥村浩, 新井康平, 内山明博, 山崎明宏, 松永恒雄, 横田達也, 2014: 佐賀のライダーとスカイラジオメータによって検出された桜島の火山灰の高度分布と光学特性. *日本リモートセンシング学会誌*, 34, 197-204.

24. 工藤玲, 2014: エアロゾルの光学特性と直接効果. 低温科学, 第 72 巻, 113-126.

(2) 査読論文以外の著作物 (翻訳、著書、解説)

1. 西澤智明, 杉本伸夫, 清水厚, 鶴野伊津志, 原由香里, 工藤玲, 2018: ラマンライダーデータを用いたエアロゾルコンポーネント解析, 日本工業出版, 光アライアンス, Vol. 29, No. 10, 1- 6.

(3) 学会等発表

ア. 口頭発表

・国際的な会議・学会等 : 4 件

1. Ishimoto, H., K. Masuda, Development of particle optical models for satellite remote sensing, CARE-2018, 2018 年 8 月, 中国, 北京
2. Kudo, R., T. Nishizawa, E. Oikawa, A. Higurashi, and M. Fujikawa, Global 3D distributions of aerosol components retrieved by synergy of CALIOP and MODIS, 7th International EarthCARE science workshop, 2018 年 6 月, Bonn, Germany.
3. Ishida, H., Y. Ota, M. Sekiguchi, and Y. Sato, Application of the deterministic scheme for estimating cloud inhomogeneity effects in a high-resolution numerical model, JpGU meeting 2017, 2017 年 5 月, 千葉県
4. Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, N. Sugimoto, and E. Oikawa, Development of ATLID-MSI synergy for retrieving the vertical profiles of aerosol components, EarthCARE Workshop 2014, 2014 年 9 月, 東京都

・国内の会議・学会等 : 24 件

1. 工藤玲, エアロゾルが地上日射に与える影響, 太陽光発電部会第 25 回セミナー, 2018 年 11 月, 東京都.
2. 内山明博, 塩原匡貴, 小林拓, 菱田晃介, 山崎明宏, 神慶孝, 西澤智明, 江井和則, 河井和弘, 渡部義明, 松永恒雄, 改造スカイラジオメーターによる月を光源としたエアロゾル光学的厚さの推定 (3), 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018 年 10 月, 宮城県仙台市
3. 工藤玲, 青柳暁典, 西澤智明, 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, 第 36 回レーザセンシングシンポジウム, 2018 年 9 月, 水戸市.

4. 内山明博, 塩原匡貴, 小林拓, 菱田晃介, 山崎明宏, 江井和則, 河井和弘, 渡部義明, 松永恒雄, 改造スカイラジオメーターによる月を光源としたエアロゾル光学的厚さの推定(2), 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018 年 5 月, 茨城県つくば市
5. 内山明博, 松永恒雄, 山崎明宏, スカイラジオメーター (POM02) の特性 (Part 2) (衛星推定エアロゾルプロダクト検証に向けて), 日本気象学会 2018 年度春季大会, 2018 年 5 月, 茨城県つくば市
6. 高島久洋, 原圭一郎, 白石浩一, 西田千春, 林政彦, 藤吉康志, 吉野彩子, 高見昭憲, 山崎明宏, 局地的な前線にともなう大気組成の短時間変動, 第 18 回大気環境学会九州支部研究発表会, 2017 年 12 月, 福岡県福岡市
7. 神慶孝, 杉本伸夫, 清水厚, 西澤智明, 山崎明宏, 河合慶, 甲斐憲次, シーロメタ CHM15k の重なり関数補正と信号再校正, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017 年 10 月, 北海道札幌市
8. 石田春磨, 丸山拓海, 大石優, 中島孝, 気象衛星による雲種識別における自己符号化器を応用した波長選択, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017 年 10 月, 北海道札幌市
9. 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, SKYNET データによるエアロゾル組成のリモートセンシング, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017 年 11 月, 札幌.
10. 工藤玲, 西澤智明, 日暮明子, 及川栄治, 藤川雅大, 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, 第 35 回レーザセンシングシンポジウム, 2017 年 8 月, 東京.
11. 山崎明宏, 福岡でのスカイラジオメータ観測, 2017 年度 福岡から診る大気環境研究所研究会, 2017 年 7 月, 福岡県福岡市
12. 内山明博, 松永恒雄, 山崎明宏, スカイラジオメーター (POM02) の特性 (衛星推定エアロゾルプロダクト検証に向けて), 日本気象学会 2017 年度春季大会, 2017 年 5 月, 東京都
13. 石田春磨, 太田芳文, 関口美保, 佐藤陽祐, 高解像度大気モテ?ルにおける広帯域赤外フラックスの 3 次元放射伝達計算, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月, 愛知県名古屋市
14. 山崎明宏, 分光型日射計による精密放射観測装置の開発について, 2016 年度福岡から診る大気環境研究所研究会, 2016 年 9 月, 福岡県福岡市
15. 山崎明宏, 石田春磨, 工藤玲, 内山明博, 居島修, 高野松美, 分光型日射計による精密放射観測装置の開発, 日本気象学会 2016 年度春季大会,

2016年5月，東京都渋谷区

16. 工藤玲，スカイラジオメータによる雲，エアロゾル，水蒸気，オゾンの推定，日本気象学会 2016 年度春季大会，2016 年 5 月，東京都渋谷区
17. 泉敏治，内野修，酒井哲，永井智広，森野勇，山崎明宏，弓本桂也，田中泰宙，眞木貴史，赤穂大河，奥村浩，新井康平，松永恒雄，横田達也，佐賀のライダーで高度 2 km 以下に観測された高濃度のオゾンとエアロゾル (2) ミーライダーの解析と全球エアロゾルモデルとの比較，日本気象学会 2015 年度秋季大会，2015 年 10 月，京都府京都市
18. 工藤玲，岩淵弘信，全天カメラによる日射の輝度分布測定，日本気象学会 2015 年度秋季大会，2015 年 10 月，京都府京都市
19. 工藤玲，青柳暁典，西澤智明，エアロゾルの鉛直分布が大気境界層へ与える影響，日本気象学会 2015 年度秋季大会，2015 年 10 月，京都府京都市
20. 工藤玲，西澤智明，能動・受動型センサーの複合利用によるエアロゾル光学特性のリモートセンシング，第 33 回レーザセンシングシンポジウム，2015 年 9 月，東京都
21. 泉敏治，内野修，酒井哲，永井智広，森野勇，山崎明宏，弓本桂也，田中泰宙，眞木貴史，赤穂大河，奥村浩，新井康平，松永恒雄，横田達也，佐賀の可搬型ライダーで高度 2 km 以下に観測された高濃度オゾンとエアロゾル(2)ミーライダーの解析と全球エアロゾルモデルとの比較，第 33 回レーザセンシングシンポジウム，2015 年 9 月，東京都大田区
22. 工藤玲，青柳暁典，西澤智明，ライダーとスカイラジオメータの複合解析によるエアゾルの鉛直分布の季節変動，日本気象学会 2015 年度春季大会，2015 年 5 月，茨城県つくば市
23. 工藤玲，西澤智明，日暮明子，杉本伸夫，及川栄治，EarthCARE の AT Lidar-MSI 複合エアロゾルプロダクトの開発，日本気象学会 2014 年度秋季大会，2014 年 10 月，福岡県福岡市
24. 内野修，森野勇，北島俊行，小木昭典，川波英里，酒井哲，永井智広，山崎明宏，内山明博，菊地信弘，吉田幸生，奥村浩，新井康平，松永恒雄，横田達也，GOSAT SWIR から導出されたエアロゾル光学特性と地上観測との比較，日本気象学会 2014 年度秋季大会，2014 年 5 月，神奈川県横浜市

イ. ポスター発表

・国際的な会議・学会等：7 件

1. Takashima H., K. Hara, C. Nishita, K. Shiraishi, M. Hayashi, Y.

- Fujiyoshi, A. Yoshino, A. Takami, A. Yamazaki, Short-term variations in atmospheric constituents associated with local front passage over Fukuoka, an urban area in Japan, observed by a 3-D coherent Doppler lidar and in-situ tracer measurements., 2018 joint 14th iCACGP Quadrennial Symposium and 15th IGAC Science Conference, 2018 年 9 月, 香川県高松市
2. Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, and E. Oikawa, 2017. 6. 17, Remote sensing of aerosols by synergy of CALIOP and MODIS, 28th International Laser Radar Conference, 2017 年 6 月, Bucharest, Romania
 3. Kudo, R., T. Nishizawa, and T. Aoyagi, Remote sensing of aerosol optical properties and solar heating rate estimated by the combination of sky radiometer and lidar measurements, International Radiation Symposium, 2016 年 4 月, Auckland, New Zealand.
 4. Oishi, Y., H. Ishida, and T. Y. Nakajima, The impact of the use of different satellite data as training data against GOSAT-2 CAI-2 L2 cloud discrimination, 2016 AGU Fall Meeting, 2016 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
 5. Ishida, H., Y. Ota, M. Sekiguchi, and Y. Sato, Incorporation of Three-dimensional Radiative Transfer into a Very High Resolution Simulation of Horizontally Inhomogeneous Clouds, 2016 AGU Fall Meeting, 2016 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
 6. Oishi, Y., H. Ishida, and T. Y. Nakajima, Verification of new cloud-discrimination algorithm using GOSAT TANSO-CAI in the Amazon, 2015 AGU Fall Meeting, 2015 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ
 7. Kudo, R., T. Nishizawa, A. Higurashi, N. Sugimoto, and E. Oikawa, Development of ATLID-MSI synergy for retrieving the vertical profiles of aerosol components, 2014 AGU Fall Meeting, 2014 年 12 月, アメリカ, サンフランシスコ

・国内の会議・学会等 : 14 件

1. 工藤玲, 岩淵弘信, 鷹野敏明, 居島修, 高野松美, 日射の輝度分布測定のための全天カメラの開発, 日本気象学会 2018 年度秋季大会, 2018 年 10 月, 宮城県仙台市.
2. 高島久洋, 原圭一郎, 白石浩一, 西田千春, 林政彦, 藤吉康志, 吉野彩子, 高見昭憲, 山崎明宏, 局地的な前線にともなう大気組成の短時間変動, 第 18 回大気環境学会九州支部研究発表会, 2017 年 12 月, 福岡市

3. 石田春磨, 丸山拓海, 大石優, 中島孝, 気象衛星による雲種識別における自己符号化器を応用した波長選択, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017 年 10 月, 北海道札幌市
4. 神慶孝, 杉本伸夫, 清水厚, 西澤智明, 山崎明宏, 河合慶, 甲斐憲次, シーロメタ CHM15k の重なり関数補正と信号再校正, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, 2017 年 10 月, 北海道札幌市
5. 山崎明宏, 福岡でのスカイラジオメータ観測, 2017 年度 福岡から診る大気環境研究所研究会, 2017 年 7 月, 福岡市
6. 内山明博, 松永恒雄, 山崎明宏, スカイラジオメーター (POM02) の特性 (衛星推定エアロゾルプロダクト検証に向けて), 日本気象学会 2017 年度春季大会, 2017 年 5 月, 東京
7. 工藤玲, 藤吉康, 日口裕二, 林政彦, 清水厚, 青木一真, 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, 日本気象学会 2017 年度春季大会, 2017 年 5 月, 東京
8. 工藤玲, 地上日射量の長期変動に対するエアロゾルの影響, 第 14 回環境研究シンポジウム, 2016 年 11 月, 東京都
9. 工藤玲, 西沢智明, 日暮明子, 及川栄治, 杉本信夫, CALIPSO-MODIS 複合解析によるエアロゾルプロダクトの開発, 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月, 愛知県名古屋市
10. 石田春磨, 太田芳文, 関口美保, 佐藤陽祐, 高解像度大気モデルにおける広帯域赤外フラックスの 3 次元放射伝達計算, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 2016 年 10 月, 愛知県名古屋市
11. 石田春磨, 大石優, 中島孝, SVM を応用した雲判定アルゴリズムにおける誤判定修正及び特徴量選択方法の構築, 日本気象学会 2016 年度春季大会, 2016 年 5 月, 東京都渋谷区
12. 石田春磨, 森田啓太郎, 大石優, 中島孝, 多変量解析手法を応用した多波長センサー用雲判定アルゴリズムの開発, 日本気象学会 2015 年度秋季大会, 2015 年 10 月, 京都府京都市
13. 内山明博, 山崎明宏, 工藤玲, 石廣玉, 陳彬, 地上でのエアロゾル光学特性の連続観測 2 (福岡と北京の比較), 日本気象学会 2015 年度春季大会, 2015 年 5 月, 茨城県つくば市
14. 工藤玲, 青柳暁典, 西澤智明, エアロゾルの長期変動が大気境界層へ与える影響, 日本気象学会 2014 年度春季大会, 2014 年 5 月, 神奈川県横浜市

6.2 報道・記事

6.3 その他（3.（3）「成果の他の研究への波及状況」関連）
受賞、一般向けの講演など