

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：21510006

研究課題名（和文）都市大気境界層におけるエアロゾルと雲の複合的リモートセンシング計測

研究課題名（英文）Comprehensive remote sensing of aerosols and clouds in urban atmospheric boundary layer

研究代表者：久世 宏明（KUZE HIROAKI）

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授

研究者番号：0016997

研究成果の概要（和文）：ライダー計測手法による地上近傍からの計測と人工光や太陽光を利用した長光路差分吸収分光法を複合的に活用し、大気汚染気体からエアロゾル、そしてエアロゾルから雲粒への変化を動的に捉えるための研究を行った。千葉都市域での主要な大気汚染成分である二酸化窒素およびエアロゾルの同時計測データを長期間にわたり収集でき、また、ライダーによるエアロゾルと雲計測の定量化についても今後の研究に道筋を付けることができた。

研究成果の概要（英文）：This research project has been conducted for the purpose of elucidating the interactions between the pollution gases and aerosol as well as between aerosols and cloud particles. The techniques of backscattering and imaging lidars were employed in combination with differential optical absorption spectroscopy using artificial (pulsed flashlamp) and natural (direct and scattered solar radiation) light sources. The DOAS approach has enabled the long-term measurement of major urban pollutants of NO₂ and aerosol, while the lidar technique has been proven to be useful for quantitative study of aerosol-cloud interaction.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：エアロゾル、雲、ライダー、天空光スペクトル、長光路差分吸収分光法、都市大気汚染

1. 研究開始当初の背景

都市域におけるエアロゾルは、人為的に排出される微小なすす粒子のほか、気体が粒子化した微小粒子が多く存在し、環境中に広く存在する海塩・土壌粒子といった自然起源のエアロゾルとあいまって複雑な構成を示しており、その空間的・時間的な変化も激し

い。とくに、地上に近い大気境界層内のエアロゾルの量や光学的特性を知ることは、地球の放射収支や温暖化の将来予測とも絡んで重要な問題となっている。大気エアロゾルが太陽放射を散乱・吸収する効果（直接効果）と、エアロゾル粒子を核として生成される雲の放射特性を変化させる効果（間接効果）は、

気候変動因子の一つとされている。近年、精力的にエアロゾルと雲に関する研究が行われているが、人為起源エアロゾルの直接・間接効果における放射強制力の見積もりは、未だ 100%以上の誤差を含んでおり課題も多い (IPCC2007)。これは、エアロゾル粒子の粒径分布、形状、散乱吸収特性が、発生源により大きく異なるために定量的な計測が難しく、各エアロゾル粒子が雲粒形成に及ぼす影響の評価にも不確定な要素を多く含んでいるためである。

本研究では、都市大気境界層におけるエアロゾルをその中心的なターゲットとし、その多くが人間活動に由来する NO₂ などの大気汚染気体が gas-to-particle conversion を通じて微小粒子エアロゾルに転換する過程と、都市域における高濃度のエアロゾルが凝結核として生じる雲について計測を行う。これによって、従来は難しかったエアロゾルに関する複合的な計測を可能とするアプローチである。

2. 研究の目的

日本の都市域における代表的な汚染気体は、燃焼プロセスに由来する二酸化窒素 NO₂ である。我々のグループがこれまで開発を行ってきた航空障害灯などパルス白色光源を用いた DOAS 法 (Si et al., 2005) は、NO₂ およびエアロゾルについて数 km の距離における平均的な濃度の同時測定を可能とする。また、ライダーは大気中の浮遊液体・固体粒子であるエアロゾルや、それよりも粒径の大きな水滴または氷粒である雲の計測に欠かせない測定器である。太陽光を利用するサンフォトメータや日射計など受動型の装置と異なり、パルスレーザー光を大気中に送光して散乱体の分布を直接求めることができる。本研究課題は、DOAS 法と、新しい望遠鏡を活用したイメージングライダー (Kuze et al., 2008)、および連続的にデータが取得できる可搬型自動計測ライダーの手法 (Bagtasa et al., 2007) を複合的に利用し、大気境界層内の汚染気体・エアロゾル・雲の挙動を高精度に観測する手法について研究することを主要な目的として実施した。

3. 研究の方法

地上付近のエアロゾルの高精度観測は、従来の観測手法ではしばしば困難に直面する。すなわち、通常ライダー観測では、望遠鏡視野とレーザー光が重なる高度が数 100m であり、地上付近の高精度観測は困難である。一方、都市域の大気境界層においては、気温の接地逆転層や都市の複雑な地上被覆 (都市キャノピー) の影響など、複雑な大気現象が起こっており、エアロゾルの挙動を正確に把握する上から、また、大気汚染の研究の観

点からも、地上から高度 2 km 程度までの大気境界層のより直接的な高精度計測の必要性は高い。そこで、本研究においては、低層大気中で最も汚染物質の濃度が高い領域での平均的な濃度分布計測を可能とする DOAS 法と、2 次元的に対象物を捉えられるイメージング (撮像) ライダーの計測手法とを複合的に組み合わせ、人間生活に密着した大気境界層内の微量気体、エアロゾル、およびエアロゾルが比較的多く分布して雲の凝結核として作用する高度 2-3 km 以下の雲を主要なターゲットとして計測を実施した。

4. 研究成果

本研究を通じて、次のような点において従来の研究では困難であった計測法について詳しく調べることができた。

第一に、DOAS 法では低層でほぼ水平に光路を確保することによって汚染気体 (主として NO₂) やエアロゾルの平均的な濃度が計測可能である。長光路にわたる平均値が取得できることは、都市域において集中的に行われている地上サンプリング計測と相補的なデータの提供が可能であることを意味している。また、地上付近の計測が一般に困難であるが、視線方向の分布が計測可能なライダーとも相補的な関係にある。ライダーと比較すると、DOAS 法では可視光の全域にわたっての計測が可能で、水蒸気も含めた複数の成分が計測可能であるという利点もある。しかし、エアロゾルをキーワードとして DOAS とライダーによる観測を同時に行う研究はこれまで殆ど報告されていない状況であった。今回のプロジェクトを通じて、実際に千葉地域で取得した長期間の DOAS データの解析を行って、gas-to-particle conversion によると推測されるケースを含め、DOAS 法の有効性を確認することができた。また、これら DOAS 計測は可視スペクトル領域を中心として行ったが、このスペクトル領域を紫外域に拡大することによりイオウを含む大気汚染気体である SO₂ が、また、近赤外域に拡大することによって重要な温暖化気体である CO₂ が計測可能であることを実証することができた。

第二に、大気中のエアロゾル計測手法として、DOAS 法と同様に可視域の広帯域スペクトル計測を行える小型の分光放射計を用いた計測手法の有効性を示したことが挙げられる。この方法については、プロジェクトを進める中で新しい着想として取り組んだものであり、DOAS が人工光源であるパルスキセノンランプ光源を用いるのにたいして、直達太陽光および散乱太陽光 (天空光) を利用してエアロゾルの光学的特性、すなわち、波長依存性を含めた光学的厚さ、散乱と吸収の比率を表す単散乱アルベド、粒径情報を与える散乱非対称性因子などを安定的に導出できる

ことが明らかになった。この方法はアルゴリズムとしては順方向の放射伝達解析を利用しており、雲の影響が少ない観測条件において、安定した推定値を取得することができる。このため、とくに可視域衛星データとの同時計測に適合した手法となっている。

第三に、雲とエアロゾルをターゲットとして、後方散乱ライダーおよびイメージングライダーによるエアロゾル観測を実施した。その結果、地上付近からのエアロゾルデータ取得が実際に可能であり、また、地上における積分型ネフエロメータ、Optical Particle Counter その他の測器との直接的なデータの突合せは、解の安定的な導出にとくに有効性が高いことが明らかとなった。気象学的に、あるいは地球の放射収支を考える上でとくに重要性の高いエアロゾルと雲の相互作用をライダー観測によって調べる場合、雲が存在すると遠方を開始点とする解析法(Fernald法)を用いることができない。つまり、厚い雲が存在するとその下にあるエアロゾル層の解析が不可能になるという矛盾があった。しかし、本研究で明らかとなったように、地上測器を用いて、いわば地上からの積み上げ計測を行うことによって、この困難を克服することができる。本プロジェクトを通じて得られた知見を生かし、環境リモートセンシング研究センターでは老朽化した大型ライダーシステムの更新を行って、上記のような積み上げ計測が実行可能なシステムを構想・設計し、導入することができた。今後、DOAS, 小型携帯型分光計、および新多波長ライダーシステムを利用した計測を実施し、東京湾沿岸という千葉大学の地の利を生かした都市大気の計測を進展させていきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

1. Differential optical absorption spectroscopy (DOAS) measurement of CO₂ using a nanosecond white light continuum, Toshihiro Somekawa, Naohiro Manago, Hiroaki Kuze, and Masayuki Fujita, *Optics Letters*, Vol. 36(24), pp. 4782-4784 (2011) <http://dx.doi.org/10.1364/OL.36.004782>
査読有

2. Seasonal variation of tropospheric aerosol properties by direct and scattered solar radiation spectroscopy, Naohiro Manago, Shuji Miyazawa, Bannu, Hiroaki Kuze, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol.

112, pp. 285-291 (2011) doi:10.1016/j.jqsrt.2010.06.015
査読有

3. Pulsed differential optical absorption spectroscopy applied to air pollution measurement in urban troposphere, Kenji Kuriyama, Yasuto Kaba, Yotsumi Yoshii, Syuji Miyazawa, Naohiro Manago, Ippei Harada, Hiroaki Kuze, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, Vol. 112, pp. 277 - 284 (2011) doi:10.1016/j.jqsrt.2010.06.010
査読有

4. Determination of tropospheric aerosol characteristics by spectral measurements of solar radiation using a compact, stand-alone spectroradiometer, Naohiro Manago and Hiroaki Kuze, *Applied Optics*, Vol. 49, Issue 8, pp. 1446-1458 (2010) doi:10.1364/AO.49.001446
査読有

[学会発表] (国際会議 11 件、国内学会 10 件、計 21 件)

1. Kenji Kuriyama, Hayato Saito, Yusaku Mabuchi, Naohiro Manago, Ippei Harada and Hiroaki Kuze, Measurement of trace gases in the lower troposphere using visible and near-infrared light sources, The 17th CERES International Symposium, Chiba University, 1 March 2012

2. I. Harada, Y. Kaba, S. Miyazawa, and H. Kuze, Measurement of volcanic gas in Miyakejima using differential optical absorption spectroscopy (DOAS) with a Xenon light source, DOAS workshop Mainz 13-15 July 2011, Mainz, Germany.

3. Gerry Bagtasa, Nobuo Takeuchi, Hiroaki Kuze, Wavelet denoising applied to cloud base height determination from portable automated lidar data, CLEO/Pacific Rim 2011, 2700-P0-49, Sydney, 29 August 2011

4. Hiroaki Kuze, Naohiro Manago, Shuji Miyazawa, Kenji Kuriyama, Shang-Qian Wu, Retrieval of aerosol properties from direct and scattered solar radiation measurements and their application to atmospheric correction of MODIS data, 1st workshop on the MAX-DOAS network observation over East Asia and Russia, JAMSTEC Yokohama, 8-9 February 2010.

5. Kenji Kuriyama, Yasuto Kaba, Hayato Saitoh, Bannu, Naohiro Manago, Yohei Harayama, Kohei Osa, Masaya Yamamoto, Hiroaki Kuze, Visible and near-infrared differential optical absorption spectroscopy (DOAS) for the measurement of nitrogen dioxide, carbon dioxide and water vapor, The 4th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium (IJSS), Bali, Indonesia, September 29- October 1, 2010.

6. Naohiro Manago, Shuji Miyazawa, Kenji Kuriyama, Hiroaki Kuze, Aerosol optical properties derived from solar spectrum measurements and their application to atmospheric correction of satellite data, SPIE Asia Pacific Remote Sensing, Incheon, Korea, 10-15 October 2010.

7. (Invited Talk) Hiroaki Kuze, Observation of atmospheric aerosols and trace gases by means of natural, conventional, and laser light sources, International Meeting of the Spectroscopical Society of Japan, Kyoto University, November 18-19, 2010

8. Naohiro Manago, Masanori Yabuki, Shuji Miyazawa, and Hiroaki Kuze, Optical characteristics of tropospheric aerosols retrieved from spectral measurements of direct and scattered solar radiation, International Symposium on Atmospheric Light Scattering and Remote Sensing, 1P1-2, Xi'an University of Technology, July 13-17, 2009.

9. Hiroaki Kuze, Ippei Harada, Daisuke Kataoka, Kuriyama Kenji, and Naohiro Manago, Measurement of urban air pollution and volcanic gas emission using differential optical absorption spectroscopy (DOAS), International Symposium on Atmospheric Light Scattering and Remote Sensing, 4A1-2, Xi'an University of Technology, July 13-17, 2009.

10. Naohiro Manago, Kenji Kuriyama, Yasuto Kaba, Shuji Miyazawa, and Hiroaki Kuze, Analysis of skylight spectra for aerosol characterization and its application to multi axis differential optical absorption spectroscopy, Proceeding of 15th CEReS International Symposium on Remote Sensing, 152-155, Chiba Univ. Dec.15-16, 2009.

11. Kenji Kuriyama, Naohiro Manago, Yasuto Kaba, Syuuji Miyazawa, Ippei Harada, and Hiroaki Kuze, Development of a spectro-radiometer system for observing UV-VIS-NIR skylight, Proceeding of 15th CEReS International Symposium on Remote Sensing, 102-107, Chiba Univ. Dec.15-16, 2009.

<国内学会>

1. 久世宏明、大気エアロゾルと微量気体の統合的光学計測、2012年春第59回応用物理学関係連合講演会(早稲田大、2012年3月18日)

2. 馬淵佑作、眞子直弘、齊藤隼人、Gerry Bagtasa、竹内延夫、椎名達雄、久世宏明、対流圏エアロゾルのPPI装置による水平分布観測、第19回SICEリモートセンシングフォーラム(東京農大、2012年3月5日)

3. 栗山健二、蒲靖人、齊藤隼人、バンヌ、眞子直弘、原山洋平、長康平、山本雅也、久世宏明、長光路吸収分光法をもちいた近赤外における二酸化炭素(CO₂)の吸収計測、春第58回応用物理学関係連合講演会、25p-KT-16(神奈川工大、2011年3月24-27日)

4. 久世宏明、眞子直弘、栗山健二、自然光および人工光源を利用した大気エアロゾルと気体成分の連続計測、第36回SICEリモートセンシングシンポジウム、予稿集pp.11-14、(横須賀市、防衛大学校、2010年11月4-5日)

5. 目時洋平、蒲靖人、宮澤周司、齊藤隼人、眞子直弘、久世宏明、レーザー光のイメージング計測によるエアロゾルと雲の特性評価、第28回レーザーセンシングシンポジウム、予稿集 pp.76-77(大津市、2010年9月9-10日)

6. 眞子直弘、齊藤隼人、馬淵佑作、太田章馬、小山護哲、中郷敦、野口由太郎、竹内延夫、椎名達雄、久世宏明、多波長ライダーと地上計測装置による対流圏のエアロゾル計測、第28回レーザーセンシングシンポジウム、予稿集 pp.76-77(大津市、2010年9月9-10日)

7. 原田一平、片岡大祐、栗山健二、久世宏明、一ノ瀬俊明、DOAS法を利用した山風が大気汚染の軽減効果に及ぼす影響に関する研究、第35回リモートセンシングシンポジウム、(日本大学文理学部オーバルホール(東京都世田谷区)、2009年11月5-6日)

8. 栗山健二、眞子直弘、蒲靖人、宮澤周司、原田一平、久世宏明、UV-VIS-NIR波長域

における天空光同時観測システムの開発、第70回応用物理学会学術講演会、10a-G-11、(富山大学五福キャンパス、2009年9月8-11日)

9. 蒲 靖人、栗山健二、由井四海、眞子直弘、呉 尚謙、久世宏明、DOASとMAX-DOASにおける微量気体とエアロゾル測定感度の向上に関する研究、第70回応用物理学会学術講演会、10a-G-9(富山大学五福キャンパス、2009年9月8-11日)

10. 久世宏明、眞子直弘、太陽光の分光観測による対流圏エアロゾルの特性評価、日本リモートセンシング学会第46回(H21年度春季)学術講演会、B06(東大生産技研、2009年5月21-22日)

[図書] (計1件)

1. Multi-wavelength and multi-direction remote sensing of atmospheric aerosols and clouds, Hiroaki Kuze, in "Remote Sensing/Book 2", Boris Escalante, ed., InTech Publication (2012) ISBN 979-953-307-876-1, 16P

[産業財産権]

○出願状況(計0件):該当なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

○取得状況(計0件):該当なし

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www.cr.chiba-u.jp/~kuze-lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久世 宏明 (KUZE HIROAKI)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・教授

研究者番号: 00169997

(2) 研究分担者

該当なし

研究者番号:

(3) 連携研究者

椎名 達雄 (SHINA TATSUO)

千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授

研究者番号: 80304187