

大気化学研究

Archives of Atmospheric Chemistry Research

第 51 号

日本大気化学会

Japan Society of Atmospheric Chemistry

目次

総説

Article No.

—トピックス:「大気の能動型リモートセンシング」—

大気中 CO ₂ 濃度の高精度測定に向けたライダー技術の展望	柴田 泰邦, 阿保 真	051A01
高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル濃度の鉛直プロファイル計測
.....	神 慶孝, 青木 誠	051A02
衛星搭載雲・降水レーダの最新動向	金丸 佳矢	051A03

会員からのお知らせ

Taiwan-Japan Workshop on Atmospheric Physics and Chemistry (台日大気物理・化学 ワークショップ)参加報告	猪俣 敏, 佐藤 圭, 坂本 陽介	051N01
書評『雲の物理とエアロゾル 物理と化学の基礎から学ぶ』	持田 陸宏	051N02

学会からのお知らせ

第 29 回大気化学討論会のお知らせ	
.....	山地 一代, 定永 靖宗, 河野 七瀬, 坂本 陽介, 八代 尚,池田 恒平, 中島 英彰, 関谷 高志, 竹谷 文一, 中山 智喜,	持田 陸宏, 角皆 潤, 内田 里沙, 齋藤 尚子	051N03
2024 年度日本大気化学会奨励賞	日本大気化学会 運営委員会	051N04	
第 2 回日本大気化学会論文賞の選考結果について.....	日本大気化学会 運営委員会	051N05	
JpGU2024「大気化学」セッション開催報告	
.....	入江 仁土, 中山 智喜, 石戸谷 重之, 江波 進一	051N06	
日本大気化学会会員集会プログラム	日本大気化学会 運営委員会	051N07	
第 35, 36 回日本大気化学会運営委員会議事録	日本大気化学会 運営委員会	051N08	

記事のご投稿について

論文や記事のご投稿をご検討されている方は、事前に本誌編集委員または日本大気化学会運営委員までご相談下さい。

大気化学研究編集委員:

大畑祥(共同編集長), 坂本陽介(共同編集長), 上田紗也子, 佐伯田鶴, 染谷有

日本大気化学会運営委員(第13期, 2023年7月1日から):

金谷有剛(海洋研究開発機構), 岩本洋子(広島大学), 石島健太郎(気象研究所),
石戸谷重之(産業技術総合研究所), 入江仁士(千葉大学), 江口菜穂(九州大学),
江波進一(筑波大学), 大畑祥(名古屋大学), 坂本陽介(国立環境研究所),
竹谷文一(海洋研究開発機構), 中山智喜(長崎大学), 町田敏暢(国立環境研究所),
宮崎雄三(北海道大学)

大気中 CO₂ 濃度の高精度測定に向けたライダー技術の展望

Lidar technology for high-precision measurement of atmospheric CO₂ concentration

柴田泰邦^{1*}, 阿保真¹

地球温暖化と気候変動に関与する温室効果ガスの CO₂ 濃度の変動を理解し、その削減効果を把握するためには、正確な観測手法が不可欠である。本解説では、ライダー手法の一つである差分吸収ライダー (DIAL) を用いた高精度な CO₂ 濃度計測方法とその原理について説明する。また、CO₂ 濃度計測時に気温との同時観測が重要であることに触れ、3 波長の DIAL を用いることで CO₂ 濃度と気温の同時観測が実現可能であること述べる。さらに観測事例を紹介し、気温同時測定が行われなかった場合との CO₂ 混合比の違いについて議論する。

1. はじめに

地球温暖化及び気候変動は、現代社会における最大の課題の一つであり、その原因の一つとして二酸化炭素 (CO₂)、メタン、水蒸気などの温室効果ガスが挙げられる。これらの気体は地球表面から放射されるエネルギーの一部を吸収し、地表付近の大気を暖める役割を果たしており、特に CO₂ は気候システムに対して最大の放射強制力を持つ。そのソース (発生源) とシンク (吸収源) の空間分布と時間変化を正確に把握することが、地球温暖化の予測精度向上と効果的な温暖化対策に不可欠である。現在、この CO₂ フラックス (ソース・シンク) を推定するためにインバース法が提案されているが [Gurney et al., 2002], 初期値である CO₂ 濃度の時空間計測データ数の不足が、推定精度の向上を妨げている。

CO₂ は赤外スペクトル領域に強い吸収を示し、様々な吸収分光法を利用した濃度計測が行われている。非分散型赤外線吸収方式 (NDIR: Non-Dispersive InfraRed) センサや差分吸収分光法

(DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy), フーリエ変換分光器 (FTS: Fourier-Transform Spectroscopy) などの地上観測手法が利用されている [Martin et al., 2017; Zhu et al., 2012; Edner et al., 1993; Yoshii et al., 2003; Ohyama et al., 2009]。これらの手法を多点配置することにより空間代表性を持つデータを取得することが可能である。しかしながら、地上設置では 2 次元情報に限られ高度分布が得られない。また、航空機に搭載することで高度情報を提供できるが、時間的な連続性が不足する。また、JAXA の温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT-2 (Greenhouse gases Observing Satellite 2) や NASA の軌道上炭素観測衛星 OCO-3 (Orbiting Carbon Observatory 3) による CO₂ 濃度の計測でも、高さ分布が得られず、連続して同じ地点のデータを取得するのが困難である [Imasu et al., 2023; Suto et al., 2021; Roten et al., 2022]。今後、都市域における排出量や森林域における固定量をより正確に計測するためには、広域かつ時間的に連続した高解像度の観測手

法の確立が必要である。既存の地上観測手法も一定の時空間代表性を持つが、高さ情報を含む時間的に連続性を持つデータ取得が難しい。さらなる高精度なデータ取得を目指すためには、より包括的で持続的な観測が求められている。

このような課題を解決するために、ライダー (LIDAR: LIght Detection And Ranging) 技術が注目される。ライダーは、パルスレーザー光を大気に照射し、大気中の散乱光を計測することで、大気密度やエアロゾル・雲の空間分布情報を高い精度で取得することができる。差分吸収ライダー (DIAL: Differential Absorption Lidar) は、大気中の特定分子の濃度分布を高い空間分解能で観測することができ、CO₂ 濃度の詳細な分布データを提供することが期待されている [Koch et al., 2008; Gibert et al., 2008; Sakaizawa et al., 2009; Shibata et al., 2017; Shibata et al., 2018]。本解説記事では、DIAL による CO₂ 濃度分布の計測方法を紹介し、我々の研究チームが開発したライダーシステムの観測結果についても議論する。

2. 差分吸収ライダーによる気体濃度計測

微量気体の濃度を測定する手法として、現在は光吸収を使った吸収分光法が広く用いられている。気体には各分子固有の分子振動・回転吸収スペクトルが主に赤外領域にあり、紫外領域では電子遷移に関連する吸収スペクトルが見られる。これらの吸収波長における光吸収量を測定することで、各気体濃度の計測が可能である。DOAS 法は光吸収スペクトルを

有するガス状物質をランベルト・ベールの法則に基づき、送受信 2 点間の光路大気中における気体の平均濃度を計測する手法である。DIAL は DOAS 法を、距離分解能をもつライダーに適用した気体濃度分布の計測手法である。図 1 に DIAL の基本原理図を示す。吸収の大きな波長 (λ_{on}) と小さな波長 (λ_{off}) のレーザー光を大気に照射する [Shibata et al., 2017; Shibata et al., 2018]。距離 R における気体分子密度 $N(R)$ は式(1)を用いて導出される。

$$N(R) = \frac{1}{2\Delta\sigma(T, p)\Delta R} \ln \left[\frac{P_{on}(R_1)P_{off}(R_2)}{P_{off}(R_1)P_{on}(R_2)} \right] \quad (1)$$

ここで、 $\Delta\sigma$ は λ_{on} と λ_{off} の吸収断面積の差、 R_1 と R_2 は差分をとる距離、 $\Delta R = |R_1 - R_2|$ 、 $P_{on}(R)$ と $P_{off}(R)$ は λ_{on} と λ_{off} における受信信号強度を示す。また、 T と p は測定対象域での気温と気圧で、多くの場合、観測点近傍のラジオゾンデ観測値や客観解析データを時間的・空間的に補間して推定している。

3. 3 波長 DIAL による CO₂ 濃度の高精度計測

1%以下の測定精度が要求される CO₂ 密度を高精度観測するためには、受信信号の信号雑音比を向上させるほか、確度の高い気温・気圧を与えて $\Delta\sigma$ をより高い精度で決定する必要がある [Rayner et al., 2001]。さらに、他の計測装置では CO₂ 密度と大気密度の比である混合比が用いられるため、大気密度を正確に求めるためにも気温・気圧を正確に知る必要がある。気象観測データや全球 3 次元数値モデルから導かれた気象庁のメソ数値予報モデル (MSM: MesoScale Model) や米国大気環境予測センター (NCEP: The National Centers for Environmental Prediction) の NCEP-FNL (Final) は、全球を対象として気象に関する物理量を提供し

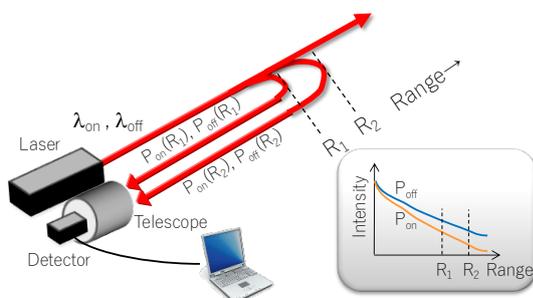


図 1 差分吸収ライダー(DIAL)の基本原理図。距離 R_1 , R_2 からの散乱光の光吸収量の差から、区間 $R_1 \sim R_2$ における対象気体の平均密度を計測する。

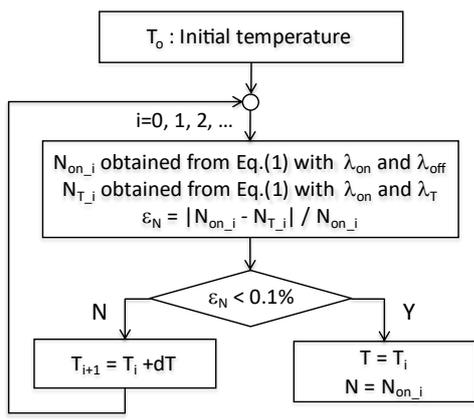


図 2 3 波長 DIAL による気温 T と CO_2 密度 N の導出アルゴリズム

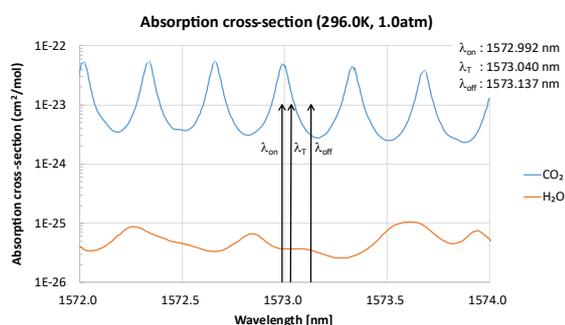


図 3 波長 1.57 μm 付近の CO_2 および水蒸気の吸収断面積と CO_2 DIAL に用いている各波長の関係図

ている。これらの気圧高度情報は 1 hPa 以下の精度で正確である。しかし気温情報は高度分解能が十分でなく、3 時間ないし 6 時間毎の時間分解能であるため、寒気・暖気の流入や夜間の放射冷却などで発生する逆転層のような狭い高度範囲で生じる現象を正確には反映できていない。

そこで、我々は吸収断面積の温度依存性に着目し、第 3 の波長 λ_T を追加することで CO_2 密度と気温を同時計測する方法を提案した [Shibata et al., 2020a, 2020b]。図 2 に CO_2 濃度と気温の解析アルゴリズムを示す。 λ_{on} と λ_{off} の組と、 λ_{on} と λ_T の組の 2 つの DIAL を構成し、気温の初期値からそれぞれ CO_2 密度を求める。両者の密度差が閾値 (0.1%) 以下になるよう気温に関する反復計算を施すことにより CO_2 密度と気温を決定する。なお、気圧高度分布は MSM の指定気圧面のジオポテンシャル高度を用いている。

表 1 OPG を用いた 3 波長 DIAL システムの諸元

Wavelength	λ_{on}	1572.992 nm
	λ_T	1573.040 nm
	λ_{off}	1573.137 nm
Pulse energy		4 mJ/pulse
Repetition rate	λ_{on} :	250 Hz
	λ_T, λ_{off} :	125 Hz
Telescope diameter		20 cm
Quantum efficiency		8.0 %
Field of view (FOV)		1.0 mrad
Interference filter (IF)		1.0 nm FWHM

吸収分光計測において、測定対象外のガスによる吸収を考慮する必要がある。図 3 に HITRAN 2016 データベースより計算した波長 1.57 μm 付近の地上における CO_2 と水蒸気 (H_2O) の吸収断面積を示す。我々は大気中水蒸気による光吸収の波長依存性の影響を抑えるため、DIAL 観測に用いる 3 波長での水蒸気吸収断面積の差が小さい中心波長 1572.992 nm の CO_2 吸収スペクトルを DIAL に利用している。この波長帯の水蒸気によ

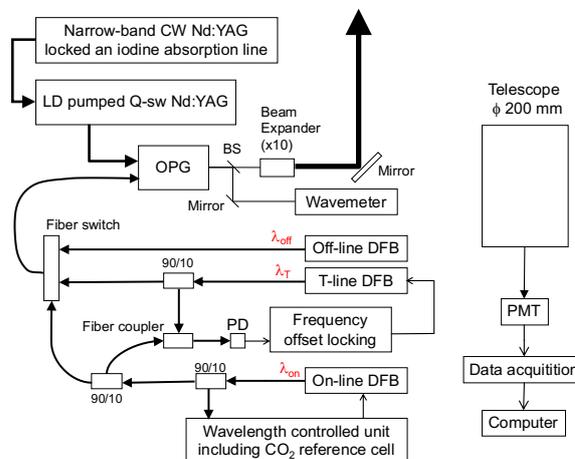


図 4 OPG を用いた 3 波長 DIAL システムのブロック図 (PD: フォトダイオード, PMT: 光電子増倍管)

る吸収は、 CO_2 による吸収より十分小さく、また各波長での水蒸気による吸収は同程度であるため、 CO_2 密度及び気温観測への影響は無視できるほど小さい。

図 4 に 3 波長 DIAL のシステム構成のブロック図を、表 1 にその諸元を示す。送信光源は、擬似

位相整合デバイスを用い、共振器構造を有しない光パラメトリック発生器 (OPG: Optical Parametric Generator) を用いている。DIAL において送信レーザー波長の同調精度は主要な誤差要因となる。そこで、Nd:YAG レーザの第 2 高調波 (波長 532 nm) 近傍のヨウ素吸収線を利用して波長安定化した連続光 Nd:YAG レーザをパルス Nd:YAG レーザに注入することで OPG 励起光源の波長を安定化させている。さらに、CO₂ セルを使って吸収スペクトルのピーク波長 (λ_{on} に相当) に同調した分布帰還型 (DFB: Distributed FeedBack) レーザ、そのピーク波長から λ_T へ正確に波長シフトさせた DFB レーザ、さらに λ_{off} に合わせた DFB レーザを交互に OPG に注入することにより、発振波長の安定化と発振スペクトルの狭帯域化を実現した。吸収の強い λ_{on} における信号雑音比を向上させるため、パルス繰返しは λ_{off} , λ_T の 2 倍の 250 Hz としている。

我々のグループで開発した旧世代型 DIAL では、リング状共振器で構成された光パラメトリック共振器 (OPO: Optical Parametric Oscillator) を光源に用いていた [Sakaizawa et al., 2009]。レーザー波長を λ_{on} と λ_{off} に同調させるため、OPO の共振器長をピエゾ素子を取り付けたミラーによって制御したが、高速での波長切替が難しく、5 秒ごとに λ_{on} と λ_{off} を切り替えざるを得ず、雲やエアロゾルの時間的な変動への対応が困難であった。新たに共振器を持たない OPG を用い、光ファイバスイッチにより高速切替された各波長の DFB

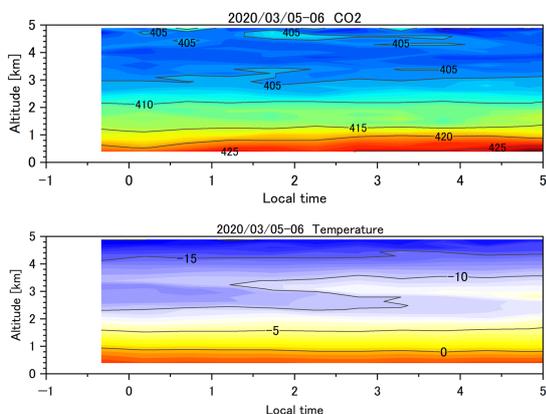


図 5 3 波長 DIAL による CO₂ 混合比 [ppm] (上) と気温 [°C] (下) の同時観測例 (時間高度断面図)

出力を OPG に注入することで、1 ショット (2 ms) ごとに波長を切り替えることが可能となり、雲やエアロゾルの時間的な変動に伴う散乱信号強度の変化が抑制された。DIAL システムに起因する測定誤差は、CO₂ 濃度、気温とも 0.1% 以下 (混合比で 0.4 ppm 以下、0.3°C 以下) に抑えられている。

望遠鏡で集光された散乱光は、光電子増倍管 (H10330-75: HAMAMATSU) と光子計数処理装置並びに AD 変換器 (Transient recorder TR20-80: LICEL) により処理される。さらに半値全幅 1.0 nm の干渉フィルタを使うことにより太陽による背景光ノイズを大幅に削減し、昼間の観測も可能である。受信信号のダイナミックレンジを広げるために高度 1.5 km より上空は光子計数 (フォトンカウント) モード、それ以下の高度はアナログモードで信号処理をしている。

4. CO₂ および気温分布の観測例

図 5 に東京都立大学日野キャンパス (東京都日野市) における、DIAL による CO₂ 混合比 [ppm] と気温 [°C] の同時観測例 (2020 年 3 月 5-6 日) を時間高度断面図で示す。時間分解能は 30 分、高度分解能は 300 m (生データは 7.5 m 分解能) である。混合比の基準となる大気密度は、MSM の気圧と DIAL で得られた気温から求めた。観測時間中 (夜間) の CO₂ 混

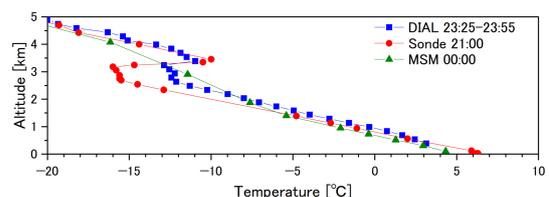


図 6 DIAL 観測で得られた気温分布と DIAL 観測時間前後のラジオゾンデ (館野) および MSM の気温分布

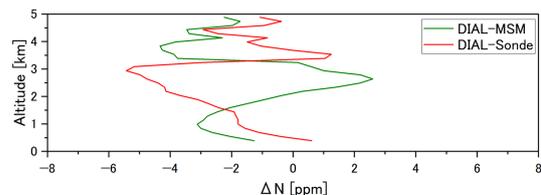


図 7 図 6 の DIAL 観測で得られた気温とラジオゾンデ観測で得られた気温を用いて求めた CO₂ 混合比の差 (赤線) および、DIAL 観測で得られた気温と MSM から得た気温を用いて求めた CO₂ 混合比の差 (緑線)

合比の高度分布は安定しており、高度 1 km 以下に 420 ppm 以上の濃い CO₂ が溜まっているのが分かる。一方、気温は高度 3 km 付近の逆転層が 120 m/h で下降している様子が観測され、CO₂ 混合比の時間変動とは様相が異なっていた。

図 6 に 3 月 5 日 23:25-23:55 に DIAL で観測された気温分布と 3 月 5 日 21 時に茨城県館野で打ち上げられたラジオゾンデの気温分布、および、3 月 6 日 0 時の都立大近傍の MSM 気温分布をそれぞれ示す。ラジオゾンデでも高度 3 km 付近に逆転層が見えていたが、DIAL 観測に比べ 1~2°C 低く、逆転層付近では 4°C 程低くなっていた。時間が 3 時間程ずれ、距離が 90 km ほど離れていることが影響していると考えられる。一方、MSM は DIAL に比べて高さ分解能が粗く 3 km の逆転層が見えていない。

図 7 に、DIAL 観測信号と図 6 の気温観測データを用いて解析した CO₂ 混合比の差 ΔN を示す。ここで、ラジオゾンデと MSM の気温分布は DIAL の分解能と合わせるように平滑化した。高度 3 km 付近において CO₂ 混合比の差はラジオゾンデに対し -5.4 ppm (-1.3%)、MSM に対し +2.6 ppm (+0.6%) となり、ライダー信号の信号雑音比から得る統計誤差 (1.8 ppm @ 3 km) 以上の差が生じた。また、DIAL 気温に比べ、ラジオゾンデと MSM の気温が全体的に低いため、混合比差においても -1~ -2 ppm 程度のオフセットが見られた。以上の結果から、CO₂ 混合比の議論を 1% (4 ppm) の精度で行うためには、気温を同時に測定することが極めて重要であることがわかる。

5. まとめ

本解説では、我々のグループが開発した CO₂ 濃度の鉛直分布を観測可能な DIAL 技術を紹介した。DIAL を使用した CO₂ 濃度の高精度な導出には、以下の 2 つの主要な課題がある。まず、DIAL で得られるのは CO₂ 分子の密度であり、これを混合比に変換するには観測時の大気密度を必要とする。従来の手法では、観測点の気温と気圧の高度

分布を客観解析データなどから推定することで混合比への変換処理が行われてきた。しかし、CO₂ 観測において 1% の精度が要求される現在、我々が開発した技術により、気温を同時に観測することで CO₂ 計測精度を向上させた。この技術により、より正確な CO₂ 濃度の測定が可能となった。さらに、DIAL では波長分離が難しい近接した複数波長を使用するため、複数波長の同時観測が困難である。そのため、大気の散乱体であるエアロゾルや大気分子の時間変動の影響を無視するためには、波長のできるだけ速い切り替えが必要である。我々は 1 ショット (2 ms) ごとの波長切り替えを実現し、3 波長がほとんど同じ大気を観測できるようにした。

CO₂ DIAL は、まだ開発途上にあり解決すべき課題が多く残っているが、濃度分布の時間的推移を連続して観測することや CO₂ 排出源の近傍の空間的分布の観測など、従来の手法では困難だった観測データの取得が可能である。これらのデータは、地球温暖化の予測精度を向上させるために重要であり、さらに気候モデルの改善や環境政策の策定においても有用である。

参考文献

- Edner, H., Ragnarson, P., Spännare, S., & Svanberg, S. (1993). Differential optical absorption spectroscopy (DOAS) system for urban atmospheric pollution monitoring. *Appl. Opt.*, 32(3), 327-333. <https://doi.org/10.1364/AO.32.000327>
- Gibert, F., Flamant, P. H., Cuesta, J., & Bruneau, D. (2008). Vertical 2- μ m Heterodyne Differential Absorption Lidar Measurements of Mean CO₂ Mixing Ratio in the Troposphere. *J. Atmos. Ocean. Techn.*, 25(9), 1477-1497. <https://doi.org/10.1175/2008JTECHA1070.1>
- Gurney, K. R., Law, R. M., Denning, A. S., Rayner, P. J., Baker, D., Bousquet, P., et al. (2002). Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric

- transport models. *Nature*, 415(6872), 626–630. <https://doi.org/10.1038/415626a>
- Imasu, R., Matsunaga, T., Nakajima, M., Yoshida, Y., Shiomi, K., Morino, I., et al. (2023). Greenhouse gases Observing SATellite 2 (GOSAT-2): mission overview. *Progress in Earth and Planetary Science*, 10(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s40645-023-00562-2>
- Koch, G. J., Beyon, J. Y., Gibert, F., Barnes, B. W., Ismail, S., Petros, M., et al. (2008). Side-line tunable laser transmitter for differential absorption lidar measurements of CO₂: design and application to atmospheric measurements. *Appl. Opt.*, 47(7), 944–956. <https://doi.org/10.1364/AO.47.000944>
- Martin, C. R., Zeng, N., Karion, A., Dickerson, R. R., Ren, X., Turpie, B. N., & Weber, K. J. (2017). Evaluation and environmental correction of ambient CO₂ measurements from a low-cost NDIR sensor. *Atmos. Meas. Techn.*, 10(7), 2383–2395. <https://doi.org/10.5194/amt-10-2383-2017>
- Ohyama, H., Morino, I., Nagahama, T., Machida, T., Suto, H., Oguma, H., et al. (2009). Column-averaged volume mixing ratio of CO₂ measured with ground-based Fourier transform spectrometer at Tsukuba. *J. Geophys. Res.: Atmos.*, 114(D18). <https://doi.org/10.1029/2008JD011465>
- Rayner, P. J., & O'Brien, D. M. (2001). The utility of remotely sensed CO₂ concentration data in surface source inversions. *Geophys. Res. Lett.*, 28(1), 175–178. <https://doi.org/10.1029/2000GL011912>
- Roten, D., Lin, J. C., Kunik, L., Mallia, D., Wu, D., Oda, T., & Kort, E. A. (2022). The Information Content of Dense Carbon Dioxide Measurements from Space: A High-Resolution Inversion Approach with Synthetic Data from the OCO-3 Instrument. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2022, 1–43. <https://doi.org/10.5194/acp-2022-315>
- Sakaizawa, D., Nagasawa, C., Nagai, T., Abo, M., Shibata, Y., Nakazato, M., & Sakai, T. (2009). Development of a 1.6 μm differential absorption lidar with a quasi-phase-matching optical parametric oscillator and photon-counting detector for the vertical CO₂ profile. *Appl. Opt.*, 48(4), 748–757. <https://doi.org/10.1364/AO.48.000748>
- Shibata, Y., Nagasawa, C., & Abo, M. (2017). Development of 1.6 μm DIAL using an OPG/OPA transmitter for measuring atmospheric CO₂ concentration profiles. *Appl. Opt.*, 56(4), 1194–1201. <https://doi.org/10.1364/AO.56.001194>
- Shibata, Y., Nagasawa, C., Abo, M., Inoue, M., Morino, I., & Uchino, O. (2018). Comparison of CO₂ Vertical Profiles in the Lower Troposphere between 1.6 μm Differential Absorption Lidar and Aircraft Measurements Over Tsukuba. *Sensors*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/s18114064>
- Shibata, Y., Nagasawa, C., & Abo, M. (2020a). Diurnal Variations of CO₂ Mixing Ratio in the Lower Atmosphere by Three Wavelength DIAL. *EPJ Web Conf.*, 237, 03011. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202023703011>
- Shibata, Y., Nagasawa, C., & Abo, M. (2020b). Observations of The Lower-Tropospheric Temperature Profiles Using Three Wavelength CO₂-DIAL. *EPJ Web Conf.*, 237, 03021. <https://doi.org/10.1051/epjconf/202023703021>
- Suto, H., Kataoka, F., Kikuchi, N., Knuteson, R. O., Butz, A., Haun, M., et al. (2021). Thermal and near-infrared sensor for carbon observation Fourier transform spectrometer-2 (TANSO-FTS-2) on the Greenhouse gases Observing SATellite-2 (GOSAT-2) during its first year in orbit. *Atmos. Meas. Techn.*, 14(3), 2013–2039. <https://doi.org/10.5194/amt-14-2013-2021>
- Yoshii, Y., Kuze, H., & Takeuchi, N. (2003). Long-path measurement of atmospheric NO₂ with an obstruction flashlight and a charge-coupled-device spectrometer. *Appl. Opt.*, 42(21), 4362–4368. <https://doi.org/10.1364/AO.42.004362>
- Zhu, Z., Xu, Y., & Jiang, B. (2012). A One ppm NDIR Methane Gas Sensor with Single Frequency Filter Denoising Algorithm. *Sensors*, 12(9), 12729–12740. <https://doi.org/10.3390/s120912729>

原稿受領日: 2024 年 5 月 15 日

掲載受理日: 2024 年 6 月 3 日

著者所属:

1. 東京都立大学 システムデザイン学部

*** 責任著者:**

Yasukuni Shibata <sibata@tmu.ac.jp>

高スペクトル分解ライダーによるエアロゾル濃度の鉛直 プロファイル計測

Measurement of vertical profiles of aerosol concentrations using high-spectral-resolution lidar

神慶孝^{1*}, 青木誠²

ライダーはエアロゾルの鉛直分布を計測できるリモートセンシング手法であるが、種々のエアロゾル濃度を推定するためには後方散乱光強度に加えて偏光解消度や消散係数/後方散乱係数比(ライダー比)を多波長で測定することが重要である。ライダー比を測定する方法としてラマン散乱ライダー手法と高スペクトル分解ライダー(HSRL)手法があるが、日中でも高感度で測定できる HSRL 手法が今後のエアロゾルライダーとして有望である。しかし、HSRL は高コストで安定性に欠けるのが長年の課題であった。筆者らは、マルチモードレーザーを用いた低コストでシンプルな HSRL システムを開発し、エアロゾル濃度の鉛直プロファイルの連続的な観測に成功した。将来的には次世代のエアロゾルライダーネットワーク用のライダーとして展開することを目指している。

1. はじめに

東アジアでは、乾燥地域で発生する砂塵嵐(黄砂)や大都市における大気汚染エアロゾル、シベリアの森林火災起源のバイオマス燃焼スモークなど、様々な大気エアロゾルが発生・輸送され、大気環境に影響を与えている。国立環境研究所では、東アジアにおけるエアロゾルの空間分布を把握するため、国内外に約 20 地点のライダー観測ネットワーク(Asian dust and aerosols lidar observation network: AD-Net)を構築し、エアロゾルの鉛直分布を連続的にモニタリングしている[Shimizu et al., 2016]。図 1 に示すように、ライダーはパルスレーザーを大気中に照射し、エアロゾルや大気分子からの後方散乱光を望遠鏡で集光する。受信光は光検出器(光電子増倍管等)によって電気信号に変換され、高速 A/D 変換器でデジタル化された後 PC 等に記録される。光の往復の時間(Time of flight)から観測高度がわかるため、ライダー

信号の時間応答から高度毎の後方散乱光強度を測定することができる。また、レーザーの偏光方向に対する水平・垂直成分を分離して測定することで、非球形エアロゾル(主に黄砂)は垂直偏光成分が大きくなるため、黄砂の検出が可能となる。

上記のような一般的なエアロゾルライダーの説明をしても、結局ライダーではエアロゾルの何を測定できるのか分からないという質問をされることが多い。ライダーでは消散係数などの光学的なパラメータは測定できるが、重量濃度や粒径分布など一般的に知られているエアロゾルの物理パラメータを直接測定することはできない。よって、測定される光学パラメータからエアロゾルの重量濃度に変換する必要があり、そのためのアルゴリズム開発およびライダー開発が現在でも活発に行われている。本稿では、まずライダー信号からどのようにエアロゾル濃度を推定するのかにつ

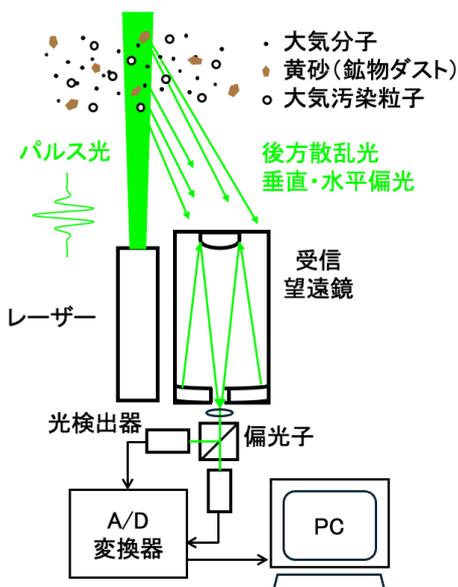


図 1 エアロゾル計測ライダーシステム

いて説明し、種々のエアロゾル濃度の推定で重要となるラマン散乱ライダー手法と高スペクトル分解ライダー (High-spectral-resolution lidar: HSRL) 手法について解説する。また、筆者らが推進している次世代ライダーネットワーク用低コスト HSRL システムの開発について紹介し、エアロゾル濃度の観測例を示す。

2. ライダーによるエアロゾル濃度の計測

図 1 で示したライダーで測定可能なエアロゾルの光学パラメータは後方散乱係数と消散係数、偏光解消度 (垂直偏光 / 水平偏光比) である。実際のライダー信号には、様々な種類の大気エアロゾル粒子を含むバルクからの後方散乱光が含まれている。エアロゾルの粒径分布や粒子形状、複素屈折率によって後方散乱光の強度が異なるため、ライダー信号から大気エアロゾルの化学組成や粒径の情報を直接抽出するのは不可能である。しかし、大気エアロゾルの粒子タイプ毎 (鉱物ダスト、海塩粒子、ブラックカーボン、硫酸塩エアロゾルなどの大気汚染粒子など) によって光学特性や微物理特性が異なることを利用し、偏光解消度や後方散乱波長比 (カラー比)、光吸収性を測定することによって粒子タイプを光学的に分離する

ことは可能である。

ライダーで測定されるバルク消散係数を粒子タイプ別に分離する手法は、2000 年代から国立環境研究所のライダーグループで開発された。Sugimoto *et al.* [2003] は鉱物ダストと球形エアロゾルの外部混合モデルを仮定し、偏光解消度を使って鉱物ダストの混合比を推定することで、両成分の消散係数を分離する手法を開発した。本手法を用いて AD-Net の全地点において 2 成分の消散係数を抽出し、標準プロダクトとして準リアルタイムで公開している (<https://www-lidar.nies.go.jp/AD-Net/>)。また、鉱物ダストの消散係数を質量濃度に変換するため、サンプリング測定との比較によって変換係数を推定する研究も行われている [Sugimoto *et al.*, 2011; Shimizu *et al.*, 2011; Kai *et al.*, 2023]。

消散係数と後方散乱係数の比であるライダー比は光吸収性の大きいエアロゾル (ブラックカーボン) に対しては大きく (60 ~ 100 sr)、光吸収性の小さいエアロゾル (海塩など) は小さい (~20 sr) ことがわかっているため [Burton *et al.*, 2012]、光吸収性の観点から粒子を分離することが可能である [Nishizawa *et al.*, 2008, 2017]。ライダー比を得るためには、エアロゾルの消散係数と後方散乱係数を独立的に抽出する必要がある。ミー散乱ライダー信号を表すライダー方程式には、大気分子とエアロゾルの後方散乱係数と消散係数が含まれている。このうち大気分子成分は大気密度から計算することができるため、大気分子の後方散乱係数と消散係数は既知とすることができる。一方、エアロゾルの後方散乱係数と消散係数は未知数であるため、ミー散乱信号から両者を独立的に抽出することができない。そこで、エアロゾルからの後方散乱光を光学的なフィルタリングで除去し、大気分子からの後方散乱光のみを受信すれば、未知数を一つ (エアロゾル消散係数のみ) に減らすことができる。以上のことから、消散係数と後方散乱係数を独立的に抽出するためには、ミー散乱ライダー信号とは別に大気分子散乱信号の測定が必要となる。大気分子散乱

信号の測定手法としては、ラマン散乱ライダー手法と高スペクトル分解ライダー (HSRL) 手法が挙げられる。

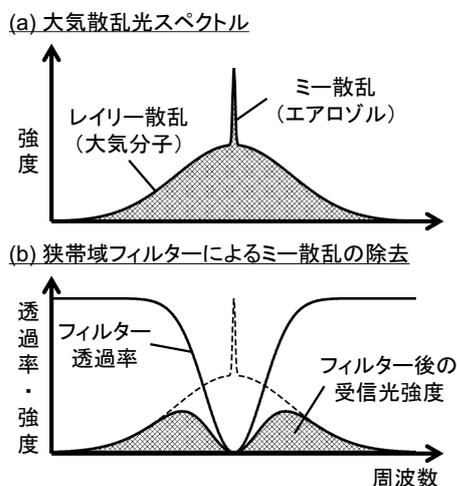


図 2 高スペクトル分解ライダー手法の概念図

3. ラマン散乱ライダー手法と HSRL 手法

ラマン散乱ライダーは、通常は窒素分子による振動ラマン散乱が使われる[Ansmann et al., 1990]。窒素分子の振動ラマン散乱によるラマン周波数シフト量は 2330 cm^{-1} であり、送信レーザーの波長 (励起波長) が 355 と 532 nm の場合ラマンシフトされた波長は 387 と 607 nm である。これらの波長はエアロゾルからのミー散乱の波長から離れているため、受信部において波長別に光を分離する光学素子 (ダイクロイックビームスプリッター) を使うことで容易に分離可能である。しかし、ラマン散乱光は極めて微弱であるため、日中は背景光に埋もれて測定が難しくなる。一方で分光が容易であるためロバストなシステムとなる。AD-Net では3地点において多波長ラマン散乱ライダーが設置され、連続的に運用されている[Nishizawa et al., 2017; Hara et al., 2018]。欧州では可搬型の多波長システムが開発されており[Engelmann et al., 2016]、欧州だけでなく中央アジアなど遠隔地での観測にも導入されている[Hofer et al., 2020]。また、振動ラマン散乱の代わりに回転ラマン散乱を用いる手法も開発されている[Veselovskii et al., 2015]。振動ラマン散乱と

比べて約1桁信号が大きくなるが、それでもレイリー散乱と比べると 1 桁小さい。また、回転ラマン散乱による周波数シフトは小さいため (0.5~5 nm)、エアロゾルからのミー散乱を除去するための高価な光学フィルターが必要となる。

高スペクトル分解ライダー手法では、大気分子散乱としてレイリー散乱を用いるため、昼間でも高感度で消散係数を測定できる。図 2 に高スペクトル分解ライダー手法の概念図を示す。通常の高スペクトル分解ライダーでは、レーザーの周波数モードが一つである単一モードレーザーが送信部で使用される。ミー散乱とレイリー散乱は中心周波数がほぼ同じであるが、スペクトル幅が異なる。大気分子はエアロゾルに比べて高速で運動しているため、レイリー散乱の方がドップラー拡がりが大きくなる。ミー散乱とレイリー散乱を分離して測定するためには、ミー散乱を除去し、レイリー散乱を透過するような狭帯域の光学フィルターが受信部で必要となる。狭帯域フィルターとして、ヨウ素フィルターなどの蒸気吸収フィルターや[Piiironen & Eloranta, 1994; Hair et al., 2008; Hayman & Spuler, 2017]、エタロンやマイケルソン干渉計などの干渉計が使われる[Grund & Eloranta, 1991; Imaki & Kobayashi, 2005; Liu et al., 2012]。狭帯域フィルターを用いてミー散乱を除去するためには、ミー散乱と狭帯域フィルターの波長を合わせる必要がある。そのため、レーザー波長ないしは干渉計の波長制御が必要となる。よって、ラマン散乱ライダーと比べると複雑であり、且つ単一モードレーザーが必要であることから高コストである。多波長化となれば、波長毎に狭帯域フィルターが必要となり、波長制御も複雑化する。そのような背景から、高スペクトル分解ライダーを市販で調達することは、現在に至るまで困難となっている。しかし、近年では衛星搭載ライダーに HSRL が導入されており[Wehr et al., 2023; Dai et al., 2024]、次世代のエアロゾルライダーとして有望である。HSRL 手法のレビューについては神[2020]にまとめているため参照されたい。

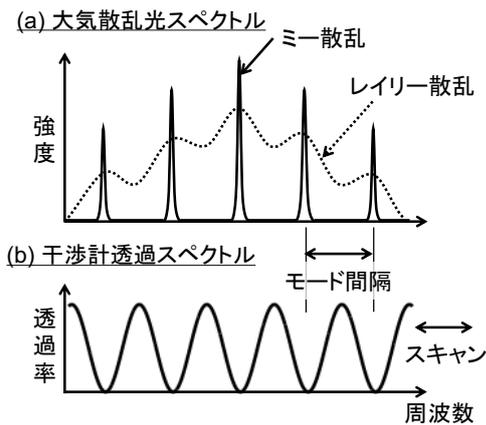


図 3 マルチモードレーザーを用いた高スペクトル分解ライダー手法の概念図

4. マルチモード HSRL システムの開発

エアロゾル消散係数を昼夜連続で測定するためには HSRL 手法の導入が必須であるが、単一モードレーザーが高価であることや波長制御が複雑で安定性に欠けることが課題であった。そこで、低コストでシンプルな HSRL システムを実現するため、*Jin et al.*[2017]ではマルチモードレーザーを用いた HSRL 手法(マルチモード HSRL)を開発した。図 3 にマルチモード HSRL 手法の概念図を示す。図 2 で示した大気散乱スペクトルとは異なり、マルチモードレーザーを用いるためミー散乱は複数の周波数モードを持つ。ミー散乱とレイリー散乱を分離して測定するため、ミー散乱のモード間隔に一致する周波数スペクトルを持つ干渉計を高分解能分光素子として用いる。干渉計の周期的な透過スペクトルによってミー散乱の各モードを除去し、レイリー散乱を抽出することができる。さらに、干渉計を 1 フリンジ分だけ周期的に掃引することで、複雑な波長制御が不要なシステムとした。

マルチモードレーザーは、単一モードレーザーと比べて約 1/2 のコストで入手可能であるため、本手法によって低コスト化が可能となる。また、掃引型干渉計を用いた手法は波長制御が不要であるため安定的で長期運用可能なシステムとなる[*Jin et al.*, 2020]。さらに、従来手法のように波長毎に高分解能分光素

子を必要とするのではなく、一つの掃引型干渉計で多波長化が可能である[*Jin et al.*, 2022]。*Jin et al.*[2017]では、市販のマルチモードレーザーを光源として日中のエアロゾル消散係数の鉛直プロファイルの計測に成功している。しかし、市販のマルチモードレーザーは通常長い共振器を使用している(*Jin et al.*[2017]のケースでは約 60 cm)。干渉計の透過スペクトルの周期をマルチモードレーザーのモード間隔に一致させるためには、干渉計もレーザー共振器長に合わせる必要がある。光路差の大きい干渉計を使う場合、ミー散乱の除去効率が下がることに加えてライダーの受信視野を狭くする必要があるため、通常の HSRL と比べて測定効率が悪くなる(すなわち、信号対雑音比が低くなる)。同じ出力を持つ単一モードレーザーと比べた場合、エアロゾル消散係数の測定誤差は約 1 桁大きかった[*Jin et al.*, 2018]。

上記の問題を解決するため、*Jin & Aoki*[2023]では HSRL に適したマルチモードレーザーを用いたシステムを開発した。HSRL に適したマルチモードレーザーとは、モード間隔が適度に大きく(共振器長が短く)、スペクトル幅が狭い(パルス幅が長い)レーザーである。ミー散乱とレイリー散乱を効率良く分離し、且つ測定バイアスが小さくなるような干渉計の自由スペクトル領域は約 1.5 GHz である(すなわち約 20 cm の光路差)[*Jin et al.*, 2022]。この干渉計の透過スペクトルのモード間隔に一致するレーザーの共振器長は約 10 cm である。また、スペクトル幅を狭くする(パルス幅を長くする)ため、レーザー出力鏡の反射率を市販のレーザーよりも高くしている。反射率を上げることでレーザーの高出力化が難しくなる。そこで、レーザー発振器の出力を増幅するための増幅器を導入し、高品質で理想的なスペクトルを持つレーザーの高出力を図った。HSRL に適したレーザーの導入によって、単一モードレーザーを用いた HSRL と同レベルの測定誤差を持つシステムの開発に成功した。

図 4 につくばでマルチモード HSRL によって測定された 4 種のエアロゾル(ブラックカーボン、海塩粒子、

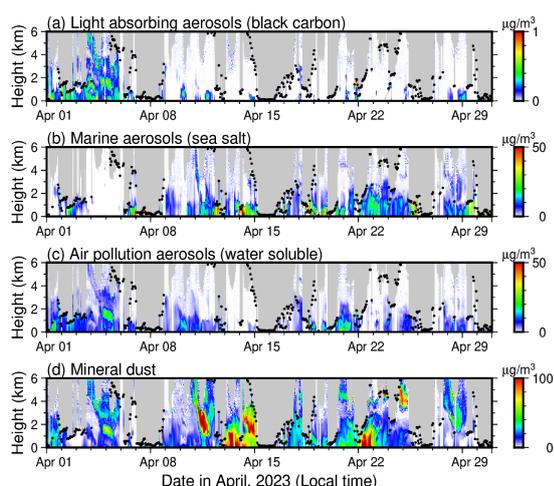


図 4 マルチモード HSRL で測定された(a)ブラックカーボン、(b)海塩粒子、(c)大気汚染粒子、(d)鉱物ダストの重量濃度の時間高度断面図(黒ドットは雲底または降水、灰色部分は雲やノイズにより測定不可の領域を示す)

大気汚染粒子、鉱物ダスト)の重量濃度について、2023年4月の1ヶ月間の時間高度断面図を示す。4種のエアロゾル濃度は波長 532 nm の消散係数から変換されたものであり、各種類の混合比は偏光解消度、ライダー比、後方散乱カラー比から決定された。4月13日と22日の黄砂イベントでは約 0.1 mg/m^3 の濃度が観測された。4月29日には海塩粒子が卓越していた。この日はつくばにおいて強い南風が吹いており、太平洋から海塩粒子が輸送されてきた可能性がある。観測期間中はブラックカーボンの高濃度イベントがなかったが、4月3日から5日の黄砂イベント時に大気汚染粒子やブラックカーボンなどの微小粒子と黄砂が混合して飛来してきたことを示唆している。これまではラマン散乱ライダーで夜間のデータのみ解析されていたが、HSRL の導入によって昼夜にわたってエアロゾル濃度の鉛直分布を観測できるようになったのは大きな進歩である。

5. まとめと今後の展望

本稿では、ライダー観測データからエアロゾルのタイプを光学的に分離する手法について紹介し、分離するために必要なラマン散乱ライダー手法と高スペク

トル分解ライダー(HSRL)手法について解説した。さらに、マルチモードレーザーを用いたHSRLシステムの最新の開発状況について紹介し、測定された種類別エアロゾルの濃度の高度分布を示した。マルチモードHSRLは試作段階であり、ユーザーフレンドリーなものにするためにはレーザーの制御やデータ取得ソフトウェアをよりシンプルにする必要がある。さらに、主に光ファイバーの接続部で損失が大きく、光学素子の交換によって受信信号を約1桁大きくできると見込まれる。

ライダー信号から推定された種々のエアロゾル濃度がどれだけ正しいのか、サンプリング観測との比較による検証が今後の課題となる。*Hara et al.*[2018]ではラマン散乱ライダーから得られたエアロゾル濃度を大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置やブラックカーボン濃度計と比較している。また、多波長HSRL観測データからエアロゾルの複素屈折率や粒径分布などの光学・微物理特性を推定すること[Müller et al., 2019]についても今後の課題となっている。

謝辞

本研究は、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20205R01)により実施した。

参考文献

- Ansmann A., Riebesell M., & Weitkamp C. (1990), Measurement of atmospheric aerosol extinction profiles with a Raman lidar, *Opt. Lett.*, 15(3), 746-748.
- Burton S. P. et al. (2012), Aerosol classification using airborne High Spectral Resolution Lidar measurements – methodology and examples, *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 73-98.
- Dai G. et al. (2024), Aerosol and cloud data processing and optical property retrieval algorithms for the spaceborne ACDDL/DQ-1, *Atmos. Meas. Tech.*, 17, 1879-1890.
- Engelmann et al. (2016), The automated multiwavelength

- Raman polarization and water-vapor lidar Polly^{XT}: the neXT generation, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 1767-1784.
- Grund C. J., & Eloranta E. W. (1991), University of Wisconsin High Spectral Resolution Lidar, *Opt. Eng.*, 30(1), 6-12.
- Hair J. W. et al. (2008), Airborne High Spectral Resolution Lidar for profiling aerosol optical properties, *Appl. Opt.*, 47(36), 6734-6752.
- Hara Y. et al. (2018), Retrieval of Aerosol Components Using Multi-Wavelength Mie-Raman Lidar and Comparison with Ground Aerosol Sampling, *Remote Sens.*, 10, 937.
- Hayman M., & Spuler S. (2017), Demonstration of a diode-laser-based high spectral resolution lidar (HSRL) for quantitative profiling of clouds and aerosols, *Opt. Express*, 25(24), A1096-A1110.
- Hofer et al. (2020), Optical properties of Central Asian aerosol relevant for spaceborne lidar applications and aerosol typing at 355 and 532 nm, *Atmos. Meas. Tech.*, 20, 9265-9280.
- Imaki M. & Kobayashi T. (2005), Ultraviolet high-spectral-resolution Doppler lidar for measuring wind field and aerosol optical properties, *Appl. Opt.*, 44(28), 6023-6030.
- Jin Y. et al. (2017), Measurement method of high spectral resolution lidar with a multimode laser and a scanning Mach-Zehnder interferometer, *Appl. Opt.*, 56(21), 5990-5995.
- Jin Y., Sugimoto N., Nishizawa T., & Okamoto H. (2018), Aerosol profile measurement by a high-spectral-resolution lidar with a scanning interferometer, *Proceedings of 19th Coherent Laser Radar Conference*, Mo14, 100-103.
- 神慶孝 (2020), 高スペクトル分解ライダー手法による大気エアロゾル計測, *レーザー研究*, 48(11), 585-590.
- Jin Y. et al. (2020), Development of a 355-nm high-spectral-resolution lidar using a scanning Michelson interferometer for aerosol profile measurement, *Opt. Express*, 28(16), 23209-23222.
- Jin Y. et al. (2022), Demonstration of aerosol profile measurement with a dual-wavelength high-spectral-resolution lidar using a scanning interferometer, *Appl. Opt.*, 61(13), 3523-3532.
- Jin Y. & Aoki M. (2023), Development of Low-Cost High Spectral Resolution Lidar Using Compact Multimode Laser for Air Quality Measurement, *Proceedings of the 30th International Laser Radar Conference*, 1, 85-90.
- Kai et al. (2023), Mass-Extinction Conversion Factor (MECF) over the Gobi Desert by a Tethered-balloon-based OPC and a Ceilometer, *SOLA*, 19, 269-273.
- Liu D., Hostetler C., Miller I., Cook A., & Hair J. (2012), System analysis of a tilted field-widened Michelson interferometer for high spectral resolution lidar, *Opt. Express*, 20(2), 1406-1420.
- Müller D. et al. (2019), Automated, unsupervised inversion of multiwavelength lidar data with TiARA: assessment of retrieval performance of microphysical parameters using simulated data, *Appl. Opt.*, 58, 4981-5008.
- Nishizawa T. et al. (2008), Algorithm to retrieve aerosol optical properties from high-spectral-resolution lidar and polarization Mie-scattering lidar measurements, *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 46, 4094-4103.
- Nishizawa T. et al. (2017), Ground-based network observation using Mie-Raman lidars and multi-wavelength Raman lidars and algorithm to retrieve distributions of aerosol components, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf.*, 188, 79-93.
- Piironen P., & Eloranta E. W. (1994), Demonstration of a high-spectral-resolution lidar based on an iodine absorption filter, *Opt. Lett.*, 19(3), 234-236.
- Shimizu et al. (2011), Relationship between Lidar-derived Dust Extinction Coefficients and Mass Concentrations in Japan, *SOLA*, 74, 1-4.
- Shimizu et al. (2016), Evolution of a lidar network for tropospheric aerosol detection in East Asia, *Opt. Eng.*, 56, 031219.
- Sugimoto N. et al. (2003), Record heavy Asian dust in Beijing in 2002: Observations and model analysis of recent events,

Geophys. Res. Lett., 30, 1640.

Sugimoto N. et al. (2011), Comparison of Surface Observations and a Regional Dust Transport Model Assimilated with Lidar Network Data in Asian Dust Event of March 29 to April 2, 2007, *SOLA*, 74, 13-16.

Veselovskii I., Whiteman D. N., Korenskiy M., & Pérez-Ramírez (2015), Use of rotational Raman measurements in multiwavelength aerosol lidar for evaluation of particle backscattering and extinction, *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 4111-4122.

Wehr T. et al. (2023), The EarthCARE mission – science and system overview, *Atmos. Meas. Tech.*, 16, 3581-3608.

原稿受領日: 2024 年 5 月 21 日

掲載受理日: 2024 年 6 月 10 日

著者所属:

1. 国立環境研究所地球システム領域
2. 情報通信研究機構電磁波研究所

*** 責任著者:**

Yoshitaka Jin <jin.yoshitaka@nies.go.jp >

衛星搭載雲・降水レーダの最新動向

Recent trends of spaceborne cloud and precipitation radar

金丸佳矢^{1*}

私たちはその場に行かずに雨や雲の情報が把握できる世の中が当たり前となった。その実現に一役買っているのは、リモートセンシング技術である。本稿では、能動型リモートセンシングとしてレーダによる雲や降水観測の基本的仕組みを説明する。また、リモートセンシング技術の最たる例である、宇宙からのリモートセンシングとして雲や降水観測を実現する衛星搭載雲・降水レーダの最新の動向を紹介する。

1. はじめに

宇宙から見ると漆黒の闇の中に青く輝く地球は水の惑星ともよばれる。しかし地球上に存在する水のほとんどは海水で、私たちが利用しやすい水資源は湖や河川のごく限られた表層の淡水でしかない。その供給源のほとんどは陸上に降り注ぐ雨と雪(合わせて降水と呼ぶ)なので、降水が少なければ水不足になるし、多ければ水災害が起きてしまう。そのため、水資源を適切に利用するには降水の地域分布を監視することが欠かせない。また、降水現象は、地表付近に多く分布する水蒸気が風によって上空に持ち上げられ、凝結核をもとに水蒸気が凝結し雲粒が雨粒に成長あるいは昇華して発生した氷晶が雪片に成長し落下する現象で、相変化を伴いつつエネルギーを鉛直方向に輸送する役割を持つ。降水量は潜熱量として地球のエネルギー収支を理解する上で重要な要素の側面も持つ。

これらの背景もあり、降水量を正確に把握する試みが長年続けられてきた。一番簡単かつ正確なのは、観測したい場所に雨量計を設置することである。しかし、降水の時空間変動は大きく、ある程度の広さの分布を把握することを地上の雨量計だけで達成するのは容易ではない。世界中に配置された雨量計を一箇

所にまとめるとその面積はサッカーコートの半分ほどしかなく、雨量計 1 個が数 km 程度の空間代表性を持っていたとしても地球表面に対する被覆率は 1%ほどに過ぎない[Kidd et al., 2017]。自然環境や紛争地域などによって人が立ち入ることが難しい場所もあるため、現地の観測だけでは限界がある。

こうした課題に応える計測手法として、遠くにある対象物の情報を把握するリモートセンシング技術がある。その最たる例として宇宙からのリモートセンシングが挙げられる。人工衛星に搭載された測器からの観測の場合、地球表面を均質に繰り返し観測することができるほぼ唯一の観測手段となる。

筆者は宇宙から雨を把握する衛星搭載降水レーダに関連する研究にこれまで取り組んできた。本稿では、レーダ観測の基本的な仕組みとして降水強度の推定方法を簡単に説明する。そして、衛星搭載降水レーダに加えて衛星搭載雲レーダの最近の動向について紹介する。衛星ミッションにありがちであるが、ミッション名、センサー名、機関名の略語が大量に発生するため、略語一覧を最後にまとめている。

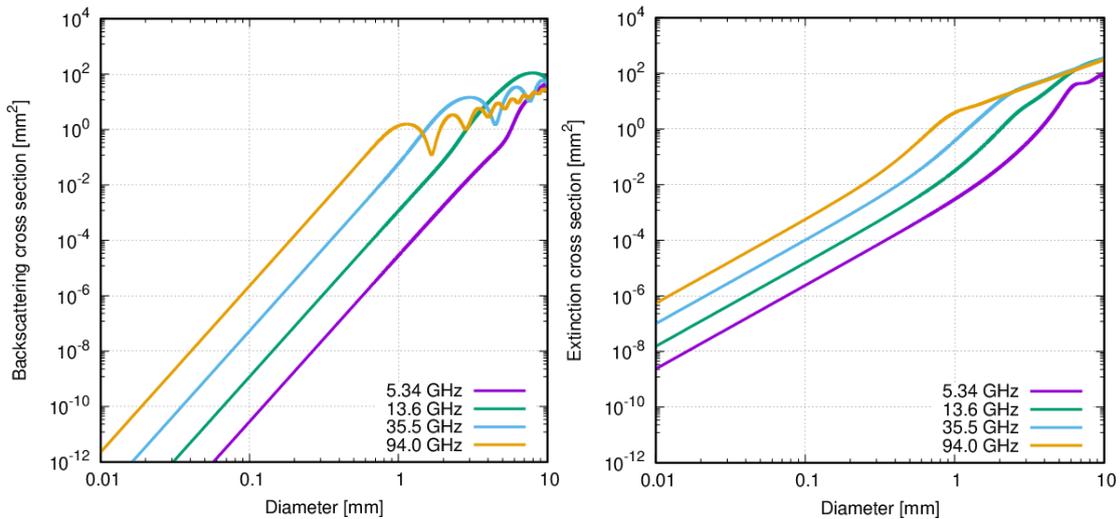


図 1 左) 球形の降水粒子(温度 10°C)を仮定したときの粒径(mm)に対する後方散乱断面積(mm²)。周波数 5.34 GHz(波長 56 mm)は紫線, 13.6 GHz(波長 22 mm)は緑線, 周波数 35.5 GHz(波長 8.4 mm)は青線, 94.0 GHz(波長 3.2 mm)は橙色, をそれぞれ示す。右) 左)と同じだが, 消散断面積(mm²)。

2. レーダによる雲・降水の観測

レーダ(RADAR)は RADio Detecting And Ranging の略語であり, 電波を使って遠方にある対象物を探知および測距する装置のことを指す。レーダは自ら電波を照射し, その電波が対象物に衝突して発生する散乱の一部(後方散乱)の強度を測る。電波は空气中を光速で進むので, 電波の送信した時刻から受信した信号強度の遅延時間がその対象物までの距離に換算することが出来る。また, ドップラー効果を利用して対象物の動きを測ることも出来る。

2.1 雲と降水に対する電波の性質

レーダを用いて雲や降水観測をする場合, 実際に観測する測定量は目的とする変数(例えば, 雲水量や降水強度)ではない。図 1 左は Mie 理論から計算した球形の降水粒子の大きさに対する後方散乱の強さ(後方散乱断面積 σ_{bk})を示す。地上設置の気象レーダとしてよく利用されている電波の周波数(波長)として 5.34 GHz(56 mm), 衛星搭載降水レーダとして用いられている 13.6 GHz(22 mm)と 35.5 GHz(8.4 mm), 衛星搭載雲レーダとして用いられる 94 GHz(3.2 mm)の場合を示す。電波の波長に対して降水粒子が十分に小さい場合, 後方散乱断面積は粒径の 6 乗と周波数の 4 乗に比例する。そのため, 雲粒

のような小さな粒子を観測するためには, 電波の性質として後方散乱断面積が大きくなる高い周波数を利用することが好まれる(ただし, 測器開発の難易度もあがる)。一方で, 降水粒子と電波の波長の大きさが同程度となると, 後方散乱断面積は粒径に対して大きく変動する。雨の大きさは数 mm 程度なので, その粒径に対して後方散乱断面積が単純に変動する方が得られる情報の解釈が容易なので, 雨の観測には低い周波数の利用が好まれる。また, 伝わる電波の強さは対象物までの伝搬経路中の媒質(雲や雨の量)によって減衰する。図 1 右は降水粒子の大きさに対する減衰の大きさ(消散断面積 σ_{ext})を示す。電波の波長に対して降水粒子が十分に小さい場合, 消散断面積は粒径の 3 乗に比例し, 周波数が高くなるほど大きくなる。そのため, 周波数の高い電波を用いると近くにある雲や降水を把握できても, その遠方にある雲や降水の信号が減衰してしまい把握することが難しくなってしまう。これらの理由によって, 降水(雲)を把握する場合は低い(高い)周波数の電波が利用されている。逆に言えば, 電波の波長によって降水粒子の粒径に対する応答が異なるため, 複数の波長を用いた観測をし, 測定値の違いから降水粒子の粒径に関する情報を推定し, 雲や降水に関する物理量の推定精度を向上させることも可能である。

GPMCore DPR precipRateNearSurface (2014/03–2024/02)

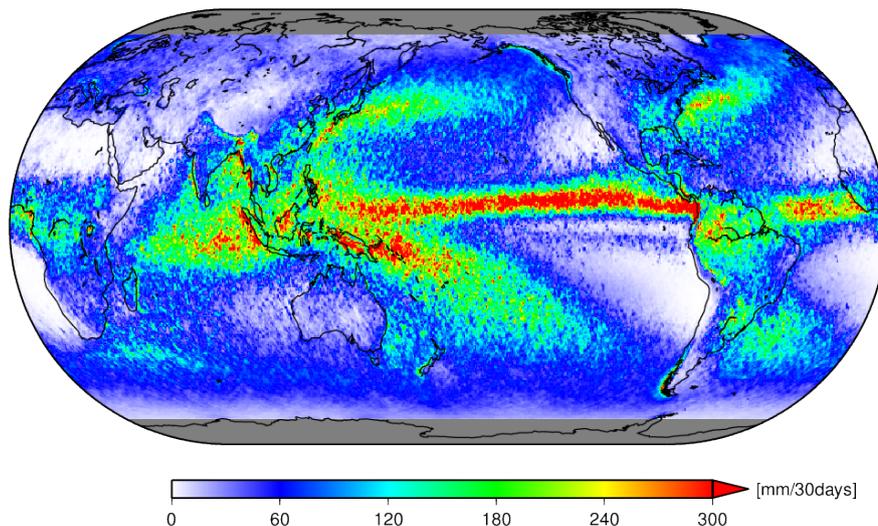


図 2 全球降水観測計画 GPM の主衛星に搭載された二周波降水レーダ DPR が観測した 10 年間(2014 年 3 月から 2024 年 2 月)の地表面(観測可能な最低高度)降水量の分布(mm/30 日)。

2.2 雲や降水の定量的推定

レーダで雨や雲のように無数に存在する降水粒子を観測する場合、その測定値はレーダの性能で決まる観測体積中の後方散乱断面積の総和として表すことが出来て、(ここでは伝搬経路上にある雲や降水による減衰は無視し)等価レーダ反射因子 Z_e と呼ぶ:

$$Z_e = \frac{\lambda^4}{\pi^5 |K_w(\lambda)|^2} \sum_{i=1}^{N_t} \sigma_{bk,i} \quad (1)$$

このとき λ は電波の波長、 π は円周率、 $|K_w(\lambda)|^2 = |(n_w - 1)/(n_w^2 + 2)|^2$ で n_w は水の複素誘電率、 N_t は雲や降水の総粒子数である。後方散乱断面積は粒子の形状によっても大きさが変わる。ここでは簡略化し、降水粒子は液相の球形粒子とし、電波の波長が降水粒子の粒径に対して十分大きいレーリー散乱を考える。その場合、先に述べた通り後方散乱断面積は粒径の 6 乗に比例する。レーダ反射因子 Z は

$$Z = \sum_{i=1}^{N_t} D_i^6 \quad (2)$$

と定義される。 D は降水粒子の直径である。一方で、

降水強度 R (本稿では雨だけを考える)は

$$R = \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^{N_t} D_i^3 (V_{t,i} - w) \quad (3)$$

と表される。ここで V_t は降水粒子の終端落下速度、 w は大気鉛直速度である。雨の終端落下速度は近似的に粒径の 0.67 乗に比例するので[Atlas & Ulbrich, 1977], 大気鉛直速度をゼロとすると式

(3)は

$$R \sim \frac{a_v \pi}{6} \sum_{i=1}^{N_t} D_i^{3.67} \quad (4)$$

と近似することが出来る。 a_v は比例係数である。

以上のことから、レーダから得られる情報から降水強度を求めるには、降水粒子の大きさや個数に関する情報(粒径分布)が必要となる。粒径分布の表現方法は様々な式が提案されているが、ここでは修正ガンマ分布を使って表現する:

$$N(D) = N_0 D^\mu \exp(-\Lambda D) \quad (5)$$

N_0 , Λ , μ は粒径分布を特徴づけるパラメータである。粒径分布を仮定することで、その n 次のモーメント m_n はガンマ関数 Γ を用いて

$$m_n = \int_0^\infty D^n N(D) dD = N_0 \frac{\Gamma(n+\mu+1)}{\Lambda^{n+\mu+1}} \quad (6)$$

として表すことが出来る。レーダ反射因子は 6 次のモーメント, 降水強度は 3.67 次のモーメントに対応するので両者は

$$m_6 = N_0^{1-\frac{\mu+7}{\mu+4.67}} \frac{\Gamma(\mu+7)}{\Gamma(\mu+4.67)^{\frac{\mu+7}{\mu+4.67}}} (m_{3.67})^{\frac{\mu+7}{\mu+4.67}} \quad (7)$$

と関連付けることが出来る。係数を簡便にすることで

$$Z = aR^b \quad (8)$$

が得られる。最後に, 粒径分布のパラメータを現地観測などから求めることで Z-R 関係の係数が求まり, レーダから得られる(等価)レーダ反射因子から降水強度を求めることが可能となる。雲水量や雨水量は 3 次のモーメントに該当するので, 同じような手続きを繰り返すことで推定が出来る。実際に推定を行うためには今回無視した伝搬経路中の雲や降水に伴う減衰の補正誤差や非レーリー散乱や複雑な粒子形状などを考慮する必要があり, 様々な不確実性が存在する。

レーダの観測値から雲や降水に関する量を把握することが可能となるが, 地球規模でそれらを定量的に把握するとすると, 粒径分布を特徴づけるパラメータの地域依存性を把握する必要がある。現在運用中の衛星搭載降水レーダ(GPM 主衛星搭載の DPR)は, 図 1 のように降水粒子の粒径と後方散乱断面積・消散断面積の関係が電波の波長に依存することなどを利用し, 降水の粒径分布の情報を推定しながら降水量を推定している[Seto et al. 2021]。図 2 は GPM 主衛星に搭載された DPR が観測した 10 年間の地表面(観測可能な最低高度)観測の降水量を示す。DPR は GPM 主衛星の軌道によって, 緯度 65 度程度までの範囲(地球表面の約 9 割)を観測している。レーダの性能には限界があるため, 高緯度で卓越する降雪の多くの事例を DPR で観測することは難しいが[Skofronick-Jackson et al., 2019], 地球規模で正確な降水量分布を把握することが可能となった。

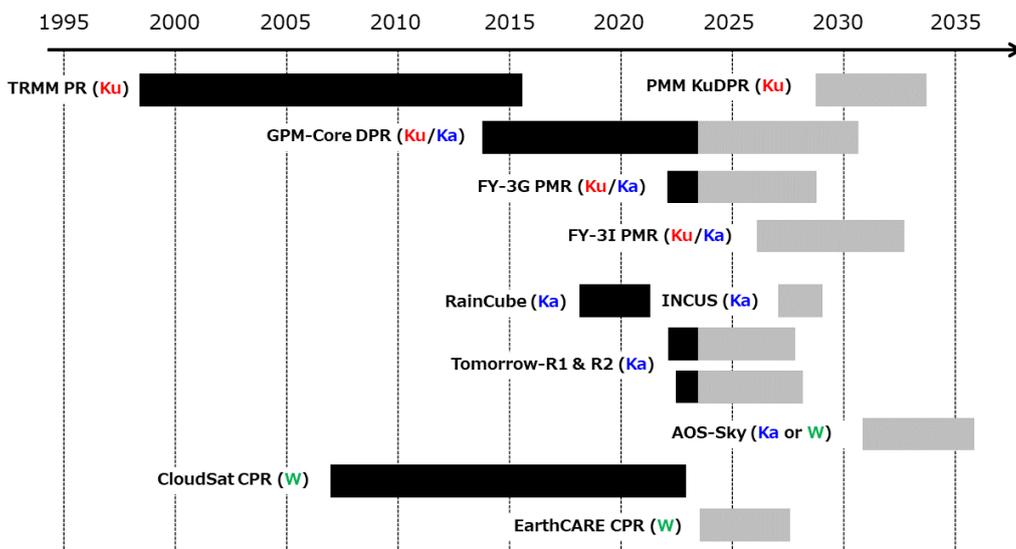


図 3 衛星搭載雲・降水レーダが関係する衛星ミッションの年表。OSCAR(Observing Systems Capability Analysis and Review Tool, <https://space.oscar.wmo.int/>)を参考にした。なお, 将来計画については, 変更があり得る。カッコの中に示しているアルファベットは, Ku は 14 GHz 付近の周波数, Ka は 35 GHz 付近の周波数, W は 94 GHz 付近の周波数の電波を使っていることを示している。

3. 最新の動向

宇宙からの雲や降水のレーダ観測によって得られた科学的成果やその応用研究は多岐にわたる。限られた紙面や筆者の力で解説することは難しいので、詳細は *Battaglia et al. [2020]* や *Nakamura [2021]* などをご参照いただきたい。本稿では技術寄りとなるが、岡本[2019]による解説から情報を更新しつつ、衛星搭載雲・降水レーダの最新の動向について「高機能化」と「多様化」の視点から紹介する。

3.1 高機能化

図 3 は衛星搭載雲・降水レーダが関係する衛星ミッションの年表を示す。もともと、日本はレーダ開発における技術に強みがあり、日米共同ミッションとして始まった熱帯降雨観測衛星 TRMM は、今の JAXA と NICT が共同開発した降雨レーダ PR を TRMM 衛星に搭載することで、世界で初めての宇宙からのレーダによる定量的な降水観測を実現した。TRMM の成功が、全球降水観測計画 GPM につながり、図 2 で説明したように二周波降水レーダ DPR による高精度な地球規模の降水観測の実現につながっている。全

球での雲とエアロゾルの観測は地球温暖化予測の不確定性を減少させるためにもその重要性が指摘されてきており、より高い周波数の電波を用いたレーダによる宇宙からの雲観測の実現を目指す機運が高まった。結果的に、世界初のレーダによる宇宙からの雲観測は NASA が開発した CloudSat 衛星搭載の雲プロファイリングレーダ CPR と米国とフランスの共同ミッションである CALIPSO 衛星に搭載されたライダー CALIOP によって実現された[*Stephens et al., 2018*]が、その後継とも言える衛星計画が今まさに始まろうとしている。それは、JAXA と ESA の日欧共同ミッションとして開発が進める雲エアロゾル放射ミッション EarthCARE [*Illingworth et al., 2015; 菊池ら, 2019*]である。EarthCARE 衛星に搭載される CPR は JAXA と NICT により共同開発され、CloudSat 衛星搭載の CPR よりも高感度に雲の検出が可能となる。また、EarthCARE 衛星搭載の CPR は宇宙からの雲・降水観測としては世界初となるドップラー速度計測機能をもつ。CPR は宇宙から地表面に向けて鉛直下向きで観測を行うので、雲や雨の鉛直速度を測定することが可能となる。落下速度の違いから両者を識別し、雲粒の大きさや雨量などの推定にも役立つことが期待されている。EarthCARE 衛星には大気ライダー ATLID も搭載されていて、同時に搭載される他のセンサーのデータと合わせて解析することで、地球温暖化の予測精度向上につながることも期待されている。記事執筆時においては、EarthCARE 衛星は 2024 年 5 月に打ち上げられ、軌道上でセンサーの機能確認が行われている。

衛星搭載雲レーダによる雲のドップラー速度計測は EarthCARE によって実現される。衛星搭載降水レーダによる降水のドップラー速度計測も 2029 年ごろの実現に向けた動きが具体化している。日本国内では、2023 年 6 月に降水レーダ衛星ミッション PMM が JAXA でプロジェクト化された。PMM 衛星に搭載される予定の KuDPR は、DPR の性能限界によって見逃しが多かった高緯度の降雪も十分に検出が出来るよ

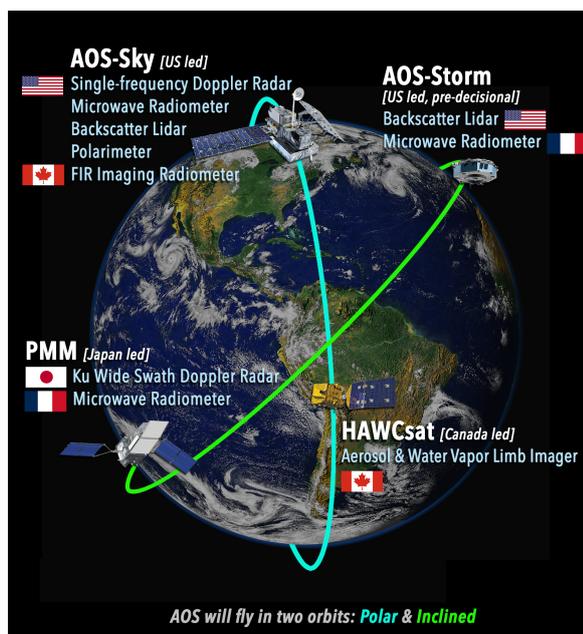


図 4 AOS ミッションにおける観測測器と参加機関について (<https://aos.gsfc.nasa.gov/> 2024/05/20 閲覧)。

うに高感度化される。また、KuDPR は衛星搭載降水レーダとしては初めてのドップラー速度計測機能を持ち、CPR では観測が難しい多量な雨をもたらす降水雲内の雨と雪の区別や大気鉛直速度の測定を目指している。図 4 にあるように、PMM は米国が 2030 年代に実現を目指して検討されている国際的な衛星ミッション AOS に参画する前提で開発が進められている。AOS-Sky 衛星に搭載されるレーダもドップラー速度計測機能を持つ予定であり、雲観測をターゲットとしているが、使用する周波数はまだ決まっていない。

3.2 多様化

レーダ開発は高い技術力を必要とするため、衛星搭載降水レーダの運用は世界に一台のみの期間が長らく続いた。ここに来て、そのような時代が終わりを告げた。ひとつは、中国が進める衛星搭載の二周波降水レーダ PMR を搭載した衛星 FY-3G が、2023 年 4 月に打ち上げられたこと[Zhang *et al.*, 2023]である。PMR は DPR とほぼ同じ(あるいは少し向上した)性能をもつ。これまで、PR/DPR は JAXA や NASA といった宇宙開発機関が主導する TRMM/GPM の衛星に搭載されてきた。一方で、FY-3G は中国の気象現業機関である CMA と宇宙開発機関 NRSCC によって開発された。したがって、これまで技術実証を含めた研究開発要素の高かった衛星搭載降水レーダが、他国ではあるものの現業機関で運用されることになった点は興味深い事例と言える。

また、地球観測分野で世界的潮流となっている小型衛星利用のひとつとして降水レーダを搭載する開発が米国を中心として民間企業も巻き込みながら進められている。昨今、技術革新が著しい小型衛星の開発スピードとレーダ開発を連動させることで、大型衛星および高機能レーダを開発する衛星ミッションでは難しいアジャイルな開発が可能となった。NASA は 2018 年に総重量約 10 kg の小型衛星搭載の降水レーダ RainCube によって、宇宙からの降水観測を技術実証した[Peral *et al.*, 2018]。この開発経験を生かし

つつ、INCUS と呼ばれる衛星ミッションが米国で立ち上がった[Haddad *et al.*, 2022]。INCUS では 100 kg 程度の小型衛星に降水レーダを搭載し、数十秒の時間差をもって 3 機のフォーメーションフライトを行う。そして、レーダ観測値の時間変化から対流活動に伴う質量フラックスを求めることを目的としている。また、宇宙産業化の取り組みのひとつとして、米国民間気象会社 Tomorrow.io が政府系機関から資金調達しながら小型衛星搭載降水レーダの開発を進めている[Roy *et al.*, 2023]。2023 年の 4 月と 6 月に実証機として Tomorrow-R1 & R2 が打ち上げられた。計画によると今後 2 年の間に 8 機の追加が予定されている。

4. まとめ

本稿では、能動型リモートセンシングとしてレーダによる雲や降水観測の基本的仕組みを説明した。雲や降水に対してレーダが測定する量は把握したい量(例えば、雲水量や降水強度)を直接観測するわけではない。粒径分布の情報を介することで、把握したい量の推定が可能となる。また、宇宙からの雲や降水観測を実現する衛星搭載雲・降水レーダの最新の動向について、高機能化と多様化の視点で紹介した。

筆者の研究活動は TRMM/GPM といった国際的な衛星ミッションによって実現した成果を享受する形で実施してきた。最近 PMM 立ち上げや EarthCARE に関わり始めており、息の長い衛星ミッションの進展と自身の研究者人生が連動しながら進む、そんな幻想をつい最近まで持っていた。小型衛星の開発にも触れたように、衛星ミッションの研究開発の進む速度が増している。小型衛星に搭載された降水レーダが PR/DPR の観測を継続するのは性能として現時点では難しい。しかし、少数の高性能大型レーダと性能が限られるが多数ある小型レーダは二者択一ではなく、観測頻度や品質補正などの点で相補的な関係性をもつ。これら多様性を活かした研究開発が今後重要になってゆくだろう。

謝辞

本稿をまとめるにあたり, JAXA 降水観測ミッション (PMM) 分科会 後継ミッション検討グループ報告書「将来の降水観測ミッションへの提案」を参考にした。また, DPR の降水量データは JAXA 地球観測衛星データ提供システム (<https://gportal.jaxa.jp/gpr/>) から入手した。

略語一覧

AOS: Atmosphere Observing System

ATLID: Atmospheric Lidar

CMA: Chinese Meteorological Administration

CALOPSO: Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations

CALIOP: Cloud–Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization

CPR: Cloud Profiling Radar

DPR: Dual-frequency Precipitation Radar

EarthCARE: Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer

ESA: European Space Agency

GPM: Global Precipitation Measurement

INCUS: INvestigation of Convective Updrafts

JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency

KuDPR: Ku-band Doppler Precipitation Radar

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NRSCC: National Remote Sensing Center of China

NICT: National Institute of Information and Communications Technology

PMM: Precipitation Measuring Mission

PMR: Precipitation Measurement Radar

PR: Precipitation Radar

RainCube: Radar in a CubeSat

TRMM: Tropical Rainfall Measuring Mission

参考文献

- Atlas, D., & Ulbrich, C. W. (1977), Path- and Area-Integrated Rainfall Measurement by Microwave Attenuation in the 1–3 cm Band, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 16(12), 1322-1331., [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1977\)016<1322:PAAIRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1977)016<1322:PAAIRM>2.0.CO;2)
- Battaglia, A. et al. (2020), Spaceborne cloud and precipitation radars: Status, challenges, and ways forward, *Reviews of Geophysics*, 58, <https://doi.org/10.1029/2019RG000686>
- Haddad Z.S. et al. (2022), Observation Strategy of the Incus Mission: Retrieving Vertical Mass Flux in Convective Updrafts from Low-Earth-Orbit Convoys of Miniaturized Microwave Instruments, *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Kuala Lumpur, Malaysia, 6448-6451, <https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9884264>
- Illingworth, A. J. et al. (2015), The EarthCARE Satellite: The Next Step Forward in Global Measurements of Clouds, Aerosols, Precipitation, and Radiation, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(8), 1311-1332. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00227.1>
- Kidd, C. et al. (2017), So, How Much of the Earth’s Surface Is Covered by Rain Gauges?, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 69–78, doi: 10.1175/BAMS-D-14-00283.1.
- 菊池 麻紀 ら (2019), 雲エアロゾル放射ミッション「EarthCARE」, 日本リモートセンシング学会誌, 39 巻, 3 号, p. 181-196, <https://doi.org/10.11440/rssj.39.181>
- Nakamura, K. (2021), Progress from TRMM to GPM, *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 99(3), p. 697-729, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-035>
- 岡本 謙一 (2019), 衛星搭載降雨レーダ, 日本リモートセンシング学会誌, 39 巻, 3 号, p. 171-180, <https://doi.org/10.11440/rssj.39.171>
- Peral E. et al. (2018), Radar Technologies for Earth Remote Sensing From CubeSat Platforms, *Proceedings of the IEEE*, 106(3), 404-418, <https://doi.org/>

10.1109/JPROC.2018.2793179

Roy, R. J., J. Carswell, M. Sanchez-Barbety, T. Maese & J. Springmann (2023), The Tomorrow.io Pathfinder Mission: Software-Defined Ka-band Precipitation Radar in Space, *2023 IEEE Radar Conference (RadarConf23)*, San Antonio, TX, USA, 1-6, <https://doi.org/10.1109/RadarConf2351548.2023.10149672>

Seto, S. et al. (2021), The Precipitation Rate Retrieval Algorithms for the GPM Dual-frequency Precipitation Radar, *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 99(2), 205-237, <https://doi.org/10.2151/jmsj.2021-011>

Skofronick-Jackson et al. (2019). Satellite Estimation of Falling Snow: A Global Precipitation Measurement (GPM) Core Observatory Perspective. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(7), 1429-1448. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0124.1>

Stephens, G. et al. (2018), CloudSat and CALIPSO within the A-Train: Ten Years of Actively Observing the Earth System. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 99, 569-581, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0324.1>.

Zhang, P. et al. (2023), FY-3G Satellite Instruments and Precipitation Products: First Report of China's Fengyun Rainfall Mission In-Orbit, *J Remote Sens.*, 3, <https://doi.org/10.34133/remotesensing.0097>.

原稿受領日: 2024 年 5 月 22 日

掲載受理日: 2024 年 6 月 12 日

著者所属:

1. 情報通信研究機構 電磁波研究所 電磁波伝搬
研究センター リモートセンシング研究室

*** 責任著者**

Kaya Kanemaru <kanemaru@nict.go.jp>

Taiwan–Japan Workshop on Atmospheric Physics and Chemistry (台日大気物理・化学ワークショップ)

参加報告

猪俣 敏^{1*}, 佐藤 圭¹, 坂本陽介¹

2024年5月16日(木)・17日(金)の2日間、台湾台北市の中央研究院原子・分子科学研究所 (Institute of Atomic and Molecular Sciences (IAMS), Academia Sinica) 内において、中央研究院と IAMS 主催の Taiwan-Japan Workshop on Atmospheric Physics and Chemistry (TJWAPC 2024, 台日大気物理・化学ワークショップ) が開催された。本ワークショップが対象とする研究テーマは以下の3つである。①一般的な大気物理・化学(ラボ実験, フィールド観測, チャンバー実験, モデルシミュレーションなど), ②多相プロセス(二次有機エアロゾル(SOA)等の粒子生成及び成長における化学的作用など), ③気相化学物理(気相での化学反応性, 反応速度, 反応機構など)。日本から14名の研究者と博士課程の学生が招待講演者として参加した。全体では台湾側と併せて、参加者は約30人であった。

本ワークショップ開催のきっかけは、2023年1月に遡る。秋元肇先生(国立環境研究所名誉研究員)が IAMS の外部評価委員として呼ばれた際、Jim Jr-Min LIN 博士(IAMS 副所長兼国立台湾大学化学科教授)から SOA に関する日本での研究を学びたいとの申し出があった。そして、2023年4月22日から27日にかけて、LIN 博士が博士課程の学生(Yen-Hsiu LIN 氏)とともに来日し、国立環境研究所と横浜市立大学を訪問した。国立環境研究所では、佐藤からスモッグチャンバー装置やチャンバーを用いた研究内容の紹介、猪俣からエアロゾル-放射-雲相互作用に関する研究の紹介を行った。関連して気象庁気象

研究所の雲生成チャンバーの見学も行った。横浜市立大学では、関本奏子准教授の研究室を訪問し、MS/MSを用いた SOA 成分の特定に関する研究を紹介した。そして、その際の話し合いで、LIN 博士から日本の研究者を台湾に招待してワークショップを開催したいとの申し出があり、それが実現して今回の開催となった。

日本からの参加者(招待講演者)の人選は日本側世話人に任された。大気エアロゾルに関する研究で、なるべく幅広い分野の研究が紹介できるように配慮し、また今後の研究交流も重要になると考え、若手研究者の参加も考慮した。日本からの参加者のうち、シニア研究者は、秋元先生と我々日本側世話人の3名に加え、フィールド観測・健康影響の分野から、奥田知明博士(慶応義塾大学・教授)、藤谷雄二博士(国立環境研究所・主幹研究員)、エアロゾル分析の分野から、河野七瀬博士(近畿大学・講師)、飯沼賢輝博士(沖縄科学技術大学院大学・コアファシリテイスペシャリスト)、多相プロセス研究の分野から、江波進一博士(筑波大学・教授)、玄大雄博士(中央大学・准教授)、モデルシミュレーションの分野から、森野悠博士(国立環境研究所・室長)の計11名の参加となった。学生・ポスドクとして、茅場聡子博士(筑波大学・梶野研で学位を2024年3月に取得。現在、国立環境研究所でJSPS特別研究員)、福山大輔氏(横浜市立大学・関本研 D3)、山本慎尋氏(北海道大学・廣川研 D2)の3名が参加した。

ワークショップ初日は、セッション A として、IAMS

所長の Ching-Ming WEI 博士による開会のあいさつ
の後、1986 年のノーベル化学賞受賞者の Yuan-Tseh
LEE 先生の講演が予定されていたが、交通渋滞に巻
き込まれ到着が遅れるハプニングがあり、先に秋元
先生が「Foci of Recent Atmospheric Chemistry and
Physics Research」というタイトルの基調講演を行った。
秋元先生の講演の最中に LEE 先生が到着され、秋
元先生の講演に続いて、LEE 先生が講演された。
LEE 先生は気候変動の危機に関して、今がまさにタ
ーニングポイントであることを強調された。その後、
奥田博士のエアロゾルの毒性等に関する講演があり、
最初のセッションが終了した。コーヒブレークの際
に、記念撮影を行った(写真 1)。

続くセッション B では、藤谷博士からエアロゾルの
エイジングの毒性に関する講演および LIN 博士と山
本氏からクリーギー中間体に関わる反応についての
講演があった。昼食後のセッション C では、Pei-Ling

LUO 博士(IAMS・アシスタント研究員)による新規手
法によるラジカル反応の速度定数の決定手法に関す
る講演と、坂本によるペルオキシラジカルとエアロゾ
ルへの取り込みに関する講演があった。セッション D
では、Mao-Chang LIANG 博士(中央研究院地球科学
研究所・研究員)による三酸素同位体を利用した
オゾンとエアロゾルの不均一反応の研究、江波博士
による水溶液の不均一性に関する講演があった。セ
ッション E では、Chia-Cen WANG 博士(国立中山
大学・教授)から、VUV 光電子分光を用いたエアロゾ
ル表面の特徴の探索の研究について、玄博士より、
エアロゾルのイオン強度の重要性や表面張力の研究
についての講演があり、一日目を終了した。

二日目のセッション F は、河野博士のエアロゾル中
の OH ラジカル前駆物質の量を見積もる手法の紹介、
Li-Hao YOUNG 博士(中国医科大学・准教授)による
MCM を用いたボックスモデルと観測データとの比較



写真 1 TjwAPC 2024 参加者のグループ写真。最前列左から Jim Jr-Min LIN 博士 (IAMS 副所長), Pei-Ling LUO 博士 (台湾側世話人代表), Ching-Ming WEI 博士 (IAMS 所長), 秋元肇博士, Yuan-Tseh LEE 博士, 猪俣敏博士 (日本側世話人代表), Jer-Lai KUO 博士 (IAMS 副所長)。

についての講演があった。セッション G では、Charles C.-K. CHOU 博士(中央研究院環境変遷研究センター・研究員)による台湾での大気汚染物質の状況についての講演があり、続いて、猪俣から酸性既存粒子存在下での SOA 収率の増大について、福山氏から酸化生成物の官能基の研究についての講演があった。

午後に入り、セッション H では、佐藤より、国立環境研究所のスモッグチャンバーを用いた芳香族炭化水素の光酸化反応による環の開裂反応に関する研究について、森野博士より、モデルシミュレーションからの光化学オゾンや PM2.5 研究へのアプローチについて講演があった。セッション I では、飯沼博士による、沖縄で台風通過後に BVOC の放出が増え、光化学オゾンや PM2.5 も増える現象に関する考察について、Hui-Ming HUNG 博士(国立台湾大学・教授)からは、可搬型の大気汚染物質計測機器の紹介および SO₂ 存在下での二次有機エアロゾル生成の影響に関しての講演があった。

最後のセッション J では、講演を予定していた Ta-Chih HSIAO 博士(国立台湾大学・教授)が体調不良で講演がキャンセルになり、時間ができたため、国立台湾大学の校史館の見学となった。国立台湾大学は、1928 年(昭和 3 年)に帝国大学の 7 番目として開校されたものであり、キャンパス内では至るところでその歴史を感じられた。しばしの“小旅行”の後、茅場博士による 2050 年の将来予測に関する研究、Yu-Chieh TING 博士(国立台湾大学・助教)による光吸収性エアロゾルに関する研究の講演で、本ワークショップは終了した。

講演時間は、シニア研究者が 25 分発表+15 分質疑の合計 40 分、学生・ポスドクが 20 分発表+10 分質疑の合計 30 分で、丁寧な説明ができる発表時間と議論を深めることができる十分な質疑時間が確保された時間割が組まれた。また、会場の雰囲気もお互いの研究を理解しようという姿勢での聴講、質疑が行われ、十分に有意義なワークショップとなった。

さらに、感銘をうけたのは台湾側のもてなしであった。ワークショップ前夜は、日本料理店での歓迎会を開いてもらい、そこでは、IAMS で育てたぶどうを用いた果実酒がふるまわれ、皆が堪能した。ワークショップ一日目の夜は、台湾の伝統料理店に案内され、台湾料理を堪能した。ワークショップ二日目の夜は、大学内の部屋で、家庭料理をふるまっていた。部屋の中の至るところで小さなグループができ、日本と台湾の研究者同士の交流が親密に行われた場になった。

今後は、個別の共同研究や、台湾の学生・ポスドクの日本側の受け入れや、逆に日本の学生・ポスドクの台湾への留学・派遣などで、より一層研究交流が深まり、関係性が強固になっていくことを期待している。

謝辞

本ワークショップの台湾側の実行委員の皆さん、サポートしていただいたスタッフ・学生の皆さん全員に感謝を申し上げたい。特に、その中に日本人の高橋開斗博士(IAMS・研究員、写真 1 の二列目の左から 3 人目)がいらっしやったのは非常に心強かった。

著者所属:

1. 国立研究開発法人国立環境研究所

* 責任著者:

Satoshi Inomata <ino@nies.go.jp>

書評

『雲の物理とエアロゾル 物理と化学の基礎から学ぶ』

持田 陸宏^{1*}

書籍名:雲の物理とエアロゾル 物理と化学の基礎から学ぶ

近藤 豊・小池 真 著

ISBN978-4-13-062731-3

東京大学出版会

定価:本体価格 4,500 円+税

近藤豊先生・小池真先生による上記の新刊が出版された。本書は、大気エアロゾルと雲・降水粒子を支配する過程や、それを記述する物理や化学について体系的に解説している。大気化学の視点に基づくエアロゾル研究の目的・背景の多くには、エアロゾルの気候影響が関係しているであろう。本書は、エアロゾル、雲・降水粒子のそれぞれの理解のみならず、気候影響にも関係の深いエアロゾルと雲・降水を結び付ける理解を養う構成になっている。私を含め、両者の関係を理解してエアロゾル研究に取り組みたい諸氏にとって、大いに助けになる一冊が登場した。

本書の前半は、大気の構造などの導入的な説明の後、エアロゾルの運動や粒径分布、また、その種別や生成過程、特性等について解説している。分子運動や核生成、吸湿特性といった熱力学が関わる諸々のテーマを扱っており、物理化学に馴染みの少ない初学者にとっては、耳学問や論文読みだけではエアロゾルの理解に達し得ないという強いメッセージを受け取るかもしれない。高次の含酸素有機化合物の核生成への関わりなど、新規性のあるテーマにも触れており、大気エアロゾルについて過去に教科書で学んだ者にとっても、最新のエアロゾル研究を理解するための要点を確かめることができる。雲の物理を

扱う後半は、雲凝結核・氷晶核といったエアロゾルのテーマから、水雲・氷雲の成長・降水過程まで取り上げている。本書評の著者にとって不勉強のテーマも少なくないが、エアロゾルへの興味を出発点として、雲・降水粒子の理解に進み易い印象を持った。

本書の専門性や分量は、大学の研究室に加わった卒研究生や大学院生が、大気エアロゾルや、エアロゾルと雲の関係を研究テーマとするにあたり、その基礎となる知識を得る上で丁度良いと思われる。また、一方で、本書の内容に関わる先端的テーマに取り組む研究者にとっても、自身の専門的知識を確認し、また周辺分野の理解を深める上で、頼りになる解説書である。個人的には、担当している大気エアロゾル科学の授業の内容と共通点が多いことから、当授業の参考資料のひとつとして活用したいと思う。

大気エアロゾルと雲・降水過程を繋ぐ知見は今なお限られており、この解決の重要性が広く受け入れられることに疑いは無い。しかし、エアロゾルの放射影響に関する研究が進む一方で、雲・降水の形成を通じた水循環・気象現象への影響を理解するための分野間連携は活発とは言い難い。本書には著者らの主張が前面に出ている訳ではないが、現役・次世代の研究者に対して、これらの連携を後押しするメッセージも本書に込められていると私は受け止めている。

著者所属:

1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所

* 責任著者:

Michihiro Mochida <mochida@isee.nagoya-u.ac.jp>

第 29 回大気化学討論会のお知らせ

山地一代^{1*}, 定永靖宗², 河野七瀬³, 坂本陽介⁴, 八代尚⁴, 池田恒平⁴, 中島英彰⁴, 関谷高志⁵, 竹谷文一⁵, 中山智喜⁶, 持田陸宏⁷, 角皆潤⁷, 内田里沙⁸, 齋藤尚子⁹

第 29 回大気化学討論会を 2024 年 10 月 9 日～11 日に兵庫県神戸市で開催いたします。対面での口頭発表およびポスター発表を実施予定です。また、10 月 10 日午後には、富岳見学会や懇親会などを計画中です。「港町・神戸」にて、日頃の研究成果のご発表や活発な議論を行って頂けますよう、準備を進めています。皆様のご参加をお待ちしております。

主催：日本大気化学会、名古屋大学宇宙地球環境研究所 (ISEE)

共催：神戸大学大学院海事科学研究科

会場：神戸大学 統合研究拠点コンベンションホール(兵庫県神戸市ポートアイランド内)

日程：2024 年 10 月 9 日(水)午後(12:30 頃)から 11 日(金)午後(16:00 頃)までの予定

開催形式：対面開催の予定(対面で活発な議論を行っていただくために原則現地でのみの開催を予定していますが、やむを得ない事情で現地参加ができない方のために口頭発表のみのリアルタイム映像配信を検討しています。)

懇親会：10 月 10 日(木)夕方に神戸市中心部(三ノ宮駅周辺)にて開催予定です。

保育支援：討論会開催期間中に保育支援を実施します。

宿泊・交通：各自で手配頂けますよう、お願いします。お早めの宿泊・交通(航空券等)の確保をご検討下さい。

「富岳」見学(オプション)：10 月 10 日(木)午後には、討論会会場に隣接する理化学研究所計算科学研究センターにて、スーパーコンピュータ「富岳」の見学ツアーを予定しています。研究所



緑豊かな六甲の山々と穏やかな瀬戸内海に抱かれた「港町・神戸」を感じながら、熱い議論や自由な研究交流ができる機会となればと考えています。

への入構手続きが必要なため、事前に参加希望者を募らせて頂く予定です。

詳細は以下の第 29 回大気化学討論会 Web サイトでご確認ください。

https://jpsac.org/symposium/29th_touronkai_2024/

開催までのスケジュール予定

申込方法・参加費の詳細公開：7 月上旬

講演・参加申込受付開始：7 月上旬

講演申込および予稿原稿送付〆切：8 月中旬

参加申込・参加費振込〆切：9 月中旬

講演プログラム公開：9 月中旬

講演および参加の申込は第 29 回大気化学討論会 Web サイトで受け付ける予定です。7 月以降に WEB サイトで内容をご確認の上、講演申込、参加登録および振込をお願いします。

*1 講演発表は会員のみ可能です。

*2 当日参加の申し込みはございません。期日までに参加申込・振込をよろしくをお願いします。

問合せ先: 〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5 丁目 1-1 神戸大学大学院海事科学研究科 第 29 回大気化学討論会事務局 <meeting2024-jpsac@jpsac.org>

大会実行委員会(LOC): 山地一代(代表, 神戸大学)・定永靖宗(大阪公立大学)・河野七瀬(近畿大学)・坂本陽介・八代尚・池田恒平・中島英彰(国立環境研究所)・関谷高志・竹谷文一(海洋研究開発機構)・中山智喜(長崎大学)・持田陸宏・角皆潤(名古屋大学)・内田里沙(日本自動車研究所)・齋藤尚子(千葉大学)

プログラム委員: 中山智喜(主担当, 長崎大学)・石戸谷重之(産業技術総合研究所)・入江仁士(千葉大学)・江波進一(筑波大学)

著者所属:

1. 神戸大学
2. 大阪公立大学
3. 近畿大学
4. 国立環境研究所
5. 海洋研究開発機構
6. 長崎大学
7. 名古屋大学
8. 日本自動車研究所
9. 千葉大学

*** 責任著者:**

Kazuyo Yamaji <kazuyo@maritime.kobe-u.ac.jp>

2024 年度日本大気化学会奨励賞

日本大気化学会では日本の大気化学分野の発展を担う若手研究者を奨励するため、奨励賞を授与しています。第20回(2024年度)奨励賞は2024年5月27日より受賞候補者の募集を行い、7月12日に募集を締め切りました。

ただいま選考作業が進められておりますが、8月中旬に受賞者を決定し、10月9日より神戸で開催される第29回大気化学討論会において授与式ならびに記念講演を行う予定です。

過去の受賞者および大気化学会奨励賞に関する細則については、日本大気化学会HP:

<https://jpsac.org/activity/prize/jpsac-incentive-award/>

<https://jpsac.org/about/rule/>

をご参照ください。

日本大気化学会
表彰推薦委員長

(日本大気化学会運営委員会)

第2回日本大気化学会論文賞の選考結果について

受賞論文: Degradation of PAHs during long range transport based on simultaneous measurements at Tuoji Island, China, and at Fukue Island and Cape Hedo, Japan, *Environmental Pollution*, 260, 113906, doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113906, 2020.

著者: Shimada, K., Nohchi, M., Yang, X. (責任著者), Sugiyama, T., Miura, K., Takami, A., Sato, K., Chen, X., Kato, S., Kajii, Y., Meng, F., and Hatakeyama, S.

受賞理由: 多環芳香族炭化水素 (PAHs) は、微小粒子状物質 PM_{2.5} の中でも毒性が高いと考えられている。しかしながら、中国から日本に越境輸送される PAHs の起源に対する議論は分かれており、輸送に伴う分解過程も含めた理解が必要である。本論文では中国砒磯 (Tuoji) 島、長崎福江島、沖縄辺戸岬の3か所において PAHs の同時観測を行い、数値モデル SPRINTARS およびバックトラジェクトリーを用いて、これら3か所に共通する空気塊を特定することで、中国から長距離輸送される空気塊中の PAHs の分解過程を定量化した。その結果、PAHs の一種であるベンゾ[a]ピレンの寿命は、大気中でのオゾンによる分解から予想される寿命よりもはるかに長いことを見出した。またこのことを、PAHs が二次有機エアロゾル (SOA) によってコーティングされ、気体オゾンとの接触が妨げられて分解反応が遅くなったことで説明した。さらに、PAHs をコーティングしている SOA の発生源について、Tuoji 島では自動車排出ガスが大きく寄与するのに対して、辺戸岬では石炭燃焼の寄与が大きいことを、多変量解析 PMF を通して明らかにした。この解析から自動車排出ガス起源に比べて石炭燃焼起源の SOA の粘性が高いことが示唆され、結果としてオゾンによる分解から PAHs を保護し、PAHs の寿命を

長くしていることを示した。

このように本論文の研究は、通常の観測結果だけでは得られない科学的知見を PAHs の分解過程に対して導いている点で、オリジナリティ、クオリティともに高い研究であると判断できる。本論文の PAHs 研究成果を基に、都市域においてオゾン濃度の増加にもかかわらず、PAHs の分解が促進されない理由を SOA コーティングから説明したさらなる研究成果も得られている (Shimada et al. 2022)。PAHs の分解過程を SOA コーティングと関係づけ、さらに SOA の発生源の違いが PAHs の分解寿命に影響するという重要な知見を独自の観測・解析などから見出したことは、広く大気科学へインパクトを与え、国際評価も高い国際共著論文であると評価できる。これらの高い評価は被引用数の多さからも裏付けられている。また、PM_{2.5} の健康影響の観点からも、毒性が懸念される PAHs の発生源対策等に本論文の成果が寄与することも期待できる。以上の理由により、日本大気化学会は本論文に同賞を授与する。

(日本大気化学会運営委員会)

JpGU 2024 「大気化学」セッション開催報告

入江仁士^{1*}, 中山智喜², 石戸谷重之³, 江波進一⁴

日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2024 年大会 (JpGU- Meeting 2024) は, 2024 年 5 月 26 日から 5 月 31 日に昨年と同じくハイブリッド形式(幕張メッセ会場+オンライン)での開催となりました。大気化学セッションには, 45 件の投稿(口頭 25 件(うち招待講演 2 件), ポスター 20 件)があり, 5 月 27 日に口頭セッション 4 コマ(1 コマ 90 分; ポスターフラッシュトーク含む)とポスターセッションを 1 コマ実施しました。

口頭発表セッションの現地会場では 40~50 名, オンライン会場には 20 名以上の参加があり, 活発な議論が繰り広げられました。大気化学セッションでは, 大気化学の周辺・境界領域や近年特に注目されている分野の研究者による招待講演を設けています。今回は, 精力的に研究を進められている 2 名の研究者による招待講演を実施しました。荒木健太郎博士(気象庁気象研究所)には, 「気象庁地上マイクロ波放射計観測網による気象監視・予測技術高度化の研究」, 鈴木香寿恵博士(明治大学)には, 「極域におけるデータ駆動型大気中微量物質輸送モデルの構築」というタイトルでご講演頂きました。

口頭発表セッション終了後には別会場でポスター発表が行われ, こちらも参加者が多く, 非常に活発な議論が繰り広げられました。

今回の JpGU はハイブリッド形式での開催ではありませんでしたが, 口頭発表・ポスターフラッシュトークともに, 全員が現地で発表を行いました。日本大気化学会の原動力のひとつである研究者間の熱気のある議論を欲する姿勢の表れではないかと感じました。

当セッションにご参加頂いた皆様, 開催にご協力頂いた皆様に深く感謝申し上げます。来年度の大気化学セッションにも是非ご投稿頂き, 一層盛り上げていただけますよう, よろしく願い申し上げます。



図 1 現地での口頭発表の様子

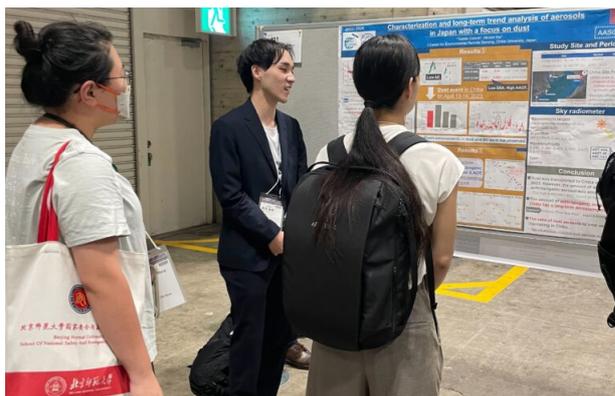


図 2 現地でのポスター発表の様子

著者所属:

1. 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター
2. 長崎大学 環境科学部
3. 産業技術総合研究所 環境創生研究部門
4. 筑波大学 数理物質系化学域

* 責任著者:

Hitoshi Irie

<hitoshi.irie@chiba-u.jp>

日本大気化学会会員集会プログラム

日時：2024年5月27日（月）12:30–13:00

場所：幕張メッセ

- 1) 金谷会長より挨拶
 - 2) 会計・会員報告
 - 3) 賛助会員のご紹介
 - 4) JpGU2024 での大気化学セッションの開催状況
 - 5) 日本大気化学会奨励賞の募集
 - 6) 学会誌「大気化学研究」について
 - 7) 男女共同参画・人材育成委員会の活動
 - 8) 第29回大気化学討論会の準備状況
 - 9) 学会役員選挙の制度改善に向けた選挙制度の一部変更について
- 日本大気化学会論文賞授与式

（日本大気化学会 運営委員会）

第 35, 36 回日本大気化学会運営委員会議事録

第 35 回日本大気化学会運営委員会

日時:2024 年 2 月 6 日(木)09:30-12:35

場所:WEB 会議による開催

出席者:石島健太郎, 石戸谷重之, 岩本洋子, 江波進一, 大畑祥, 金谷有剛, 坂本陽介, 竹谷文一, 中山智喜, 町田敏暢, 宮崎雄三 (以上, 運営委員), 山地一代(第 29 回討論会 LOC, 運営委員外)

欠席者:入江仁士, 江口菜穂

(敬称略, 50 音順)

1) 議事録確認

第 34 回運営委員会の議事録について確認がなされた。

2) 会計・会員報告

会計・会員幹事の竹谷委員より会員の入退会および会費未納者の状況について報告がなされた。

能登半島地震への対応として, 被災した会員の年会費免除について周知を行った。災害対応の継続的な実施については規約の改正を伴うため継続審議とする。

3) 大気化学研究誌について

編集担当の大畑委員より, 「大気化学研究」第 50 号の発行について報告がなされた。今号より学会ウェブサイトに掲載されている PDF の目次から, 各記事にリンク貼られることになった。学会ウェブサイトからも記事タイトルが見えると良いという意見があった。学会誌の校閲については, 準委員が増加したこともあり, 外部委託はせずに委員会内で実施している旨, 報告された。

4) JpGU2024 準備状況

プログラム担当の石戸谷委員より, JpGU2024 における大気化学セッションへの投稿状況と招待講演者の確定について報告がなされた。会員集会は大気化学セッション開催日(5/27)の昼休憩中に実施する予

定である。

5) 学会ウェブサイトの管理について

情報広報担当の江波委員より, 学会ウェブサイトの管理について報告があった。次年度のウェブサイト運営については, 契約料は増額するものの現業者に継続委託することが了承された。

直近に発生したウェブサイトの不具合(HP を閲覧できない事象)について報告された。ウェブサイトの不具合が起きた場合の迅速な通知を業者側に要求することが提案され, リスク管理について議論がなされた。

6) 論文賞の選定について

表彰担当の町田委員より, 論文賞の選考結果について報告がなされた。運営委員会で諮った結果, 選考委員会で選ばれた論文に論文賞を授与することが決定した。

7) JpGU2024 における若手支援企画について

男女共同参画人材育成担当の中山委員より, JpGU2024 会期中の若手支援企画について報告がなされた。大気化学セッションが開催される 5/27 の夜に懇親会を開催予定である。

JpGU 会場での学会ブース設置は人の常駐の観点から困難であるため, パンフレットの設置についてプログラム委員・広報委員と連携しすすめる。

8) 選挙制度の改善について

選挙制度担当の宮崎委員より, JpSAC 役員選挙制度の改善案について説明がなされた。2019 年実施の選挙方法に関する web アンケートの結果および前期からの引継ぎ資料を元に, 1)「立候補・推薦制度」の導入, 2)役員名簿記載順の変更, 3)選挙結果の情報開示, 4)電子化後の投票率低下, について改善案が提示された。提示された改善案に関して運営委員会内で反対意見は無かったが, 2 月末まで意見収集期間を設けることとした。今後は, 2024 年春頃

に会員への説明を行い、2024 夏までに会員アンケートを実施する予定である。その後、2024 年 8 月頃の運営委員会で決議、2024 年末までを目処に選挙システムに変更を反映する。

9) 2024 年度第 29 回大気化学討論会について

討論会 LOC の山地会員より、会場の決定について報告がなされた。2024 秋は大気化学関連の様々な国際会議が開催されるため、主要な会議を避けるような日程を 2 月末までに決定し、会員にアナウンスを実施することが提案了承された。保育施設の確保が困難になるため、土曜日を含めない日程とする。

10) iCACGP-IGAC2024 (マレーシア) への若手発表参加者への参加登録費サポートについて

金谷会長より、学生会員を対象とした参加登録費サポートの提案があった。申請から採用までのルールを明確化した後に会員に周知することが了承された。要旨の投稿締切は現時点では 4 月末となっている。

11) その他

なし

以上

第 36 回日本大気化学会運営委員会

日時:2024 年 5 月 17 日(木)09:30-12:10

場所:WEB 会議による開催

出席者:石島健太郎, 石戸谷重之, 岩本洋子, 江口菜穂, 大畑祥, 金谷有剛, 竹谷文一, 中山智喜, 町田敏暢, 宮崎雄三 (以上, 運営委員), 山地一代(第 29 回討論会 LOC, 運営委員外)

欠席者:入江仁士, 江波進一, 坂本陽介
(敬称略, 50 音順)

1) 議事録確認

第 35 回運営委員会の議事録について確認がなされた。

2) 会計・会員の状況

会計・会員幹事の竹谷委員より会員の入退会および会費未納者の状況について報告がなされた。

4/16 に会計監査を実施し、2023 年度の収支報告について問題が無かったことが報告された。能登半島地震被災会員の支援については 3/31 時点で申し込みが無かった旨が報告された。

3) 大気化学研究誌について

編集担当の大畑委員より、「大気化学研究」第 51 号の編集状況について報告がなされた。

4) 選挙制度の改善について

選挙制度担当の宮崎委員より、JpSAC 役員選挙制度の改善に向けた今後の進め方について提案があった。JpGU 期間中の会員集会にて告知を行い、ML にて改善案の詳細を説明した後、7 月中旬を目処に会員アンケートにより意見収集することが了承された。アンケートの結果を受けて、次回の運営委員会で改善案の再検討と決議を行う予定である。

5) 男女共同参画・人材育成委員会の活動について

男女共同参画人材育成担当の江口委員より、討論会における若手支援について提案があった。進学のモチベーションに繋がるような支援策であれば良いという意見があった。具体的な支援策については継続審議とした。

JpGU 会場で配布予定の学会パンフレットの準備状況について確認がなされた。

6) 2024 年度第 29 回大気化学討論会について

討論会 LOC の山地会員より、第 29 回大気化学討論会を 10/9-11 に神戸大学統合研究拠点コンベンションホールホールで開催することが報告された。6 月上旬に討論会ウェブサイトを開設し、7 月上旬発表申し込みを開始する予定である。発表申し込み締め切りは 8 月中旬、参加申し込み締め切りは 9 月中旬、参加費は例年通りの予定である。江口委員より、討論会中の女性会員集会について提案があった。要旨集について、PDF 版を参加者に配布し、印刷物の配布は希望者のみとすることが提案された。

7) JpGU2024 準備状況

プログラム担当の中山委員より, JpGU2024 における大気化学セッションの準備状況について報告があった。発表件数は 45 件で, 4 コマの口頭セッションとポスターセッションがある。会場での LAN の接続方法について確認がなされた。

8) 会員集会の資料案について

副会長の岩本委員より, JpGU2024 会期中の会員集会および論文賞表彰式で用いるスライド資料について, 各委員会より資料を提出して欲しい旨が伝えられた。会員集会のオンライン配信はせず, 後日資料の PDF 版をパスワード付きで会員に配布することが了承された。

9) その他

金谷会長より, 日本学術振興会の育志賞について説明があった。今年は会員から応募がないため学会から推薦できなかったが, 活動として重要なので今後も続けていきたい。iCACGP-IGAC2024 大会は約 520 件の要旨投稿があったことが報告された。オンライン参加も可能なので, 是非 iCACGP-IGAC2024 大会に参加してほしい。

以上

(日本大気化学会 運営委員会)

編集後記

今号では、トピックスとして「大気の能動型リモートセンシング」をテーマに CO₂ ライダー、エアロゾルライダー、雲・降水ライダーに関する 3 編の総説記事を掲載しました。大気の構成成分であるガスや粒子を対象に赤外、可視、マイクロ波を用いた能動型観測について、最新の知見を交えて解説していただきました。執筆、並びにレビューを引き受けていただいた皆様に感謝いたします。対象、波長帯の観点からも上記テーマの記事としてバランスの良い構成になったと思っています。先日打ち上げが成功した EarthCARE に関連したトピックでもあります。日本語で分量も多くないので、ぜひ、これまでリモートセンシングに馴染みのなかった方やこれらを研究対象にしてこなかった方にも手に取ってもらい、これらのデータにも興味を持ってもらえればと思います。(YS)

大気化学研究 第51号 (2024年7月23日 発行)

編集兼発行：日本大気化学会

編集委員：大畑祥(共同編集長)、坂本陽介(共同編集長)、上田紗也子、佐伯田鶴、染谷有

連絡先：〒162-0801 東京都新宿区山吹町358-5 アカデミーセンター 日本大気化学会事務局

電話：03-5389-6237

FAX：03-3368-2822

電子メール：jpsac-post@as.bunken.co.jp

ホームページ：<https://jpsac.org/publications/aacr/>

《本誌掲載著作物の転載を希望される方へ》

本誌に掲載された著作物を転載される場合は、上記までご連絡ください。無断での二次使用や勝手な加工はお控えください。