

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03355

研究課題名（和文）超微小エアロゾルの革新的捕集法の開発と応用に基づく新粒子生成時の化学的動態解明

研究課題名（英文）Characterization of chemical dynamics of new particle formation based on the development and application of novel collection method for ultra-fine aerosols

研究代表者

松木 篤 (Matsuki, Atsushi)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授

研究者番号：90505728

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,300,000 円

研究成果の概要（和文）：ガスの凝縮や粒子同士の凝集により大気中で時々刻々と変化するナノ粒子を化学的に追跡するには、時間的にも粒径的にも高分解能な捕集装置をデザインし、さらに高感度な化学分析と組み合わせる必要がある。本研究では、ナノ粒子の凝縮成長と表面増強ラマン散乱（SERS）効果を組み合わせた全く新しい概念の粒子捕集、ならびに超高感度分析法を提案し、室内実験や野外観測を通じてその実用性を検証した。その結果、直径20nmという極めて小さい個々のナノ粒子から主成分である硫酸や有機物のピークを半定量的に同定することに成功した。これは、従来の個別エアロゾル分析の検出下限サイズを大幅に更新するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大気中の微量なガスが前駆物質となって粒子化する新粒子生成（NPF）は、最終的に雲凝結核の濃度を決定付け、地球の気候に影響を与える大気エアロゾルの重要な発生プロセスである。しかし、質量の極めて小さい新粒子（ナノ粒子）の検出に十分な感度を持った測定法がなかったために、プロセスに関する化学成分についての理解が進んでいない現状があった。以上の結果は、従来の分光学的な粒子分析の検出限界サイズを従来に比べ1桁近く大幅に更新する画期的な成果であり、今後、実大気エアロゾルへのさらなる応用を通じて、新粒子生成プロセスの解明、ならびに気候影響の評価に大きな貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：The chemical speciation of nanoparticles is technically challenging because of the minute particle mass. There is a constant need for more effective collection method and sensitive chemical analysis, which can detect and resolve the chemical evolution of the nanoparticles in the atmosphere. This study proposed a novel technique that employs the SERS (Surface Enhanced Raman Spectroscopy) substrate as the sampling substrate of a condensational growth tube (CGT) sampler. This new experimental setup ensures simultaneous inertial sampling and SERS pretreatment of individual nanoparticles. Based on the successful detection of the peaks corresponding to sulfate $\nu(\text{SO}_4^{2-})$ and organic $\nu(\text{C-H})$ modes, our proposed method showed sensitivity high enough for detecting major chemical components from individual nanoparticles as small as 20 nm. This can be a significant step forward in our pursuit of developing the more sensitive chemical analysis.

研究分野：大気環境科学

キーワード：大気エアロゾル 新粒子生成 ナノ粒子 雲凝結核

1. 研究開始当初の背景

PM_{2.5} に代表される大気中の微粒子、いわゆる「エアロゾル」はヒトの健康に悪影響を及ぼすのみならず、太陽光を散乱・吸収し、さらには水蒸気が凝結し雲が形成する際に不可欠な雲核(雲凝結核)としても働くため、気候の形成とも密接に関わっている。特にこの雲を介したエアロゾルの気候影響は依然として、温暖化予測上の最も大きな不確実性を生む要因として認識されている (IPCC 第 5 次評価報告書, 2013)。

エアロゾルには、発生当初から粒子(液体もしくは固体)の状態で大気に排出される一次粒子と、素となるガス状の物質が凝縮して粒子化する二次粒子が存在する。後者のエアロゾル発生プロセスは新粒子生成 (New Particle Formation: NPF) と呼ばれ、大気中のエアロゾル、ひいては雲凝結核の個数濃度を決定づける重要な粒子発生経路となっている。

従来は、大気中で硫酸化物から揮発性の極めて低い硫酸ガスが生成し、凝縮することによって新粒子が生成されると考えられてきた。しかし近年、有機化合物 (VOC) の酸化反応によっても極めて低揮発性の物質が生成することが指摘され、これまで見過ごされてきた有機化合物による NPF への寄与を明らかにする必要に迫られている。

ガス状物質から二次生成したばかりの新粒子は直径がせいぜい数 nm ~ 100nm 程度のナノ粒子であるため、その観測には極めて高度なナノ粒子の制御と分析の技術が求められる。従来、新粒子の観測的研究は、技術的な制約から主に物理的な計測が先行してきた経緯がある。例えば、現在では DMA (Differential Mobility Analyzer: DMA) と CPC (Condensation Particle Counter: CPC) を組み合わせた走査型移動度粒径測定器 (Scanning Mobility Particle Sizer: SMPS) が、ナノ領域の粒子個数をサイズ別に数えるための標準的な計測手法となっている。その一方で、ナノ粒子の質量の小ささに起因する捕集の難しさや、十分な感度を持った化学分析手法がなかったために、ナノ粒子の生成・成長にかかるプロセスの化学的な理解については大幅な遅れが指摘されてきた。

2. 研究の目的

本研究では、ナノサイズの大気エアロゾルを粒径ごとに細かく分級し、高効率で採集したのち、高感度で化学分析できる新しい概念の実験系を開発し、東アジアの様々な地域に起源を持つ空気塊が観測できる能登半島先端を観測フィールドとして、実際の大気中におけるナノ粒子の観測に応用することを目的とした。

3. 研究の方法

ガスの凝縮や粒子同士の凝集により大気中で時々刻々と変化するナノ粒子を化学的に追跡するには、時間的にも粒径的にも高分解能な捕集装置をデザインし、さらに高感度な化学分析と組み合わせる必要がある。また、最終的に実際の大気フィールド観測に応用するには、シンプルで信頼性が高く容易に実験室から持ち出すことができる装置系が望ましい。

本研究では、ナノ粒子の凝縮成長と表面増強ラマン散乱 (SERS) 効果を組み合わせた全く新しい概念のナノ粒子 (<100nm) 直接採集、ならびに超高感度分析法を提案し、室内実験や野外観測を通じてその実用性を検証した。ナノ粒子の捕集には、上述の CPC と同様の原理に基づく凝縮成長チューブ (Spot Sampler) を用いた。これは高い水蒸気過飽和度条件下でナノ粒子を水滴 (~ 3 μm) に凝縮成長させることで、慣性衝突によるナノ粒子の捕集を可能にする。本研究では、金属(銀)ナノ構造を持つ SERS 基板を直接凝縮成長チューブの捕集基板とすることで、従来困難とされていたナノ粒子の慣性捕集だけでなく、SERS の前処理(ラマン散乱を飛躍的に増幅させる)を同時に行うことを可能にした点が特徴として挙げられる。

室内実験で使用するモデル粒子には、無機物と有機物の代表として硫酸アンモニウムとレボグルコサンを用いた。それぞれ DMA により 20、50、100nm に分級したのち、凝縮成長チューブを通じ、毎分 1 リットルの流量で 1 分間捕集した (図 1)。実大気粒子は能登半島の気象観測拠点 (NOTO Ground-Based Research Observatory) にて 20、100nm に分級したものを 5 分間捕集した。粒子の採集後、速やかにラマン顕微鏡 (Nanofinder HE, Tokyo Instruments inc., レーザー波長 532nm) を用いて分析を行った。

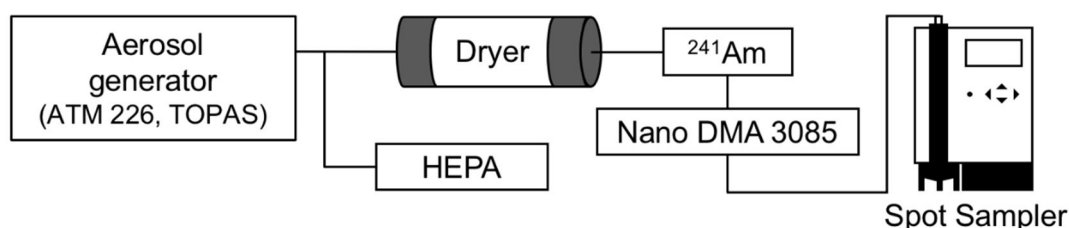


図 1. 実験室における単分散ナノ粒子の発生と捕集の概念図

4. 研究成果

実験室で発生させたモデル粒子を上述の方法で捕集した後、個々の粒子から得られた代表的なラマンスペクトルを図2に示す。965 cm^{-1} においては、硫酸アンモニウム粒子から有意に増幅された (SO_4^{2-})ピークが観察された。有機物に特徴的な 2950 cm^{-1} においては、レボグルコサン粒子からのみ (C-H)ピークを観察できた。さらに、どちらも粒径の増加に伴うピーク強度の増加が見られた。このように、本研究では、粒子の凝縮成長とSERSを組み合わせることで20nmという極めて小さい個別のナノ粒子から、硫酸 (SO_4^{2-})と有機物 (C-H)を半定量的に検出することに初めて成功した。これは、従来の分光学的な粒子分析の検出限界サイズ(150nm程度)を1桁近く大幅に更新する画期的な成果と言える。

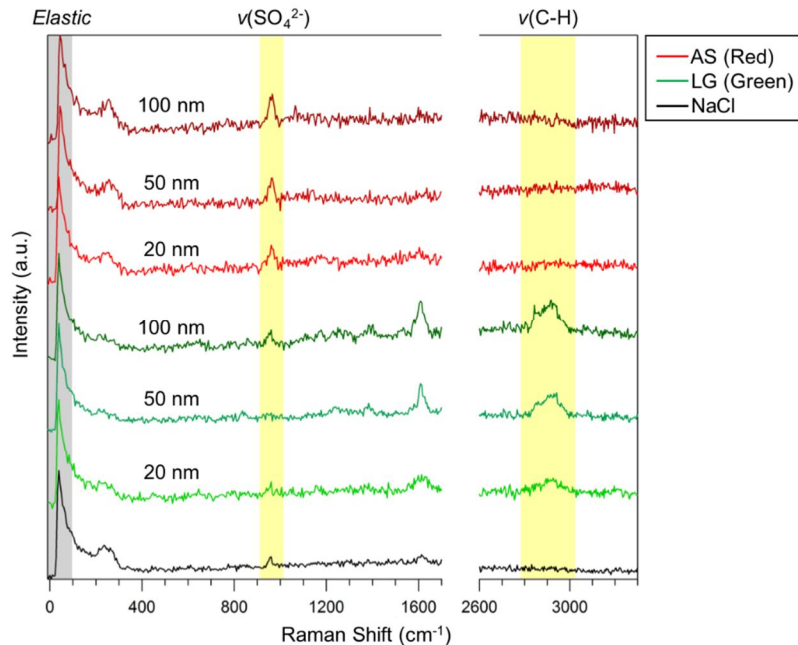


図2. 実験室で発生させた単分散(20nm, 50nm, 100nm)の硫酸アンモニウム(AS)とレボグルコサン(LG)の個別粒子から得られた代表的なラマンスペクトル。それぞれ965 cm^{-1} と2950 cm^{-1} 付近に特徴的なピークが見られる。

次に、能登半島における実大気エアロゾルを同様の方法で測定した結果得られたラマンスペクトルと、比較のために正規化したピーク強度を図3に示す。20nmの大気粒子のスペクトルには (SO_4^{2-})に対応する965 cm^{-1} 以外に目立ったピークが見られないことから、硫酸塩が主な構成物質であることが分かる。一方、100nmの大気粒子のスペクトルでは、(C-H)のピークが優位に検出されていることがわかる。さらに、1245 cm^{-1} 、1293 cm^{-1} 、1566 cm^{-1} 、1600 cm^{-1} 付近に観察されたピークは、 CH_2 rockモード、 $=\text{CH}$ rock、C=N伸縮、C=C振動にそれぞれ対応する可能性が高い。1000~1700 cm^{-1} の領域におけるピークは、官能基の一連の振動モードに対応することが知られている。この結果から、100nmの大気粒子は、硫酸塩ではなく有機物が支配的な粒子であることが示唆される。

このように、能登半島で観測されたナノ粒子は大きさによって硫酸塩と有機物の比が大きく異なっていることが分かった。特に100nm付近においては、能登の大気観測拠点で連続的に測られている粒子の吸湿性パラメータから間接的に予想される混合比とも整合的であった。通常、100nm付近では粒径が小さくなるほど硫酸塩が減り相対的に有機物の割合が増えるケースが多く報告されている。しかし、今回、20nmという従来計測できなかった大きさ、濃度範囲のナノ粒子を分析した結果、むしろ20nmのほうが100nmより硫酸塩に富むという興味深い結果が得られた。20nmの粒子が主に硫酸塩から構成されているという結果は、先ずシード粒子が主に硫酸によって形成し、その後の成長に有機物が関与するという理論的な主張(Ehn et al., *Nature*, 2014)をサポートしている。いずれにしても、この傾向が一般化できるものなのかについて、さらに実大気観測の事例を増やす必要がある。今後、NPFイベント時も含む実大気エアロゾルへのさらなる応用を通じて、ナノ粒子の生成・成長プロセスの解明、ならびにその健康、気候影響の評価に大きな貢献が期待される。

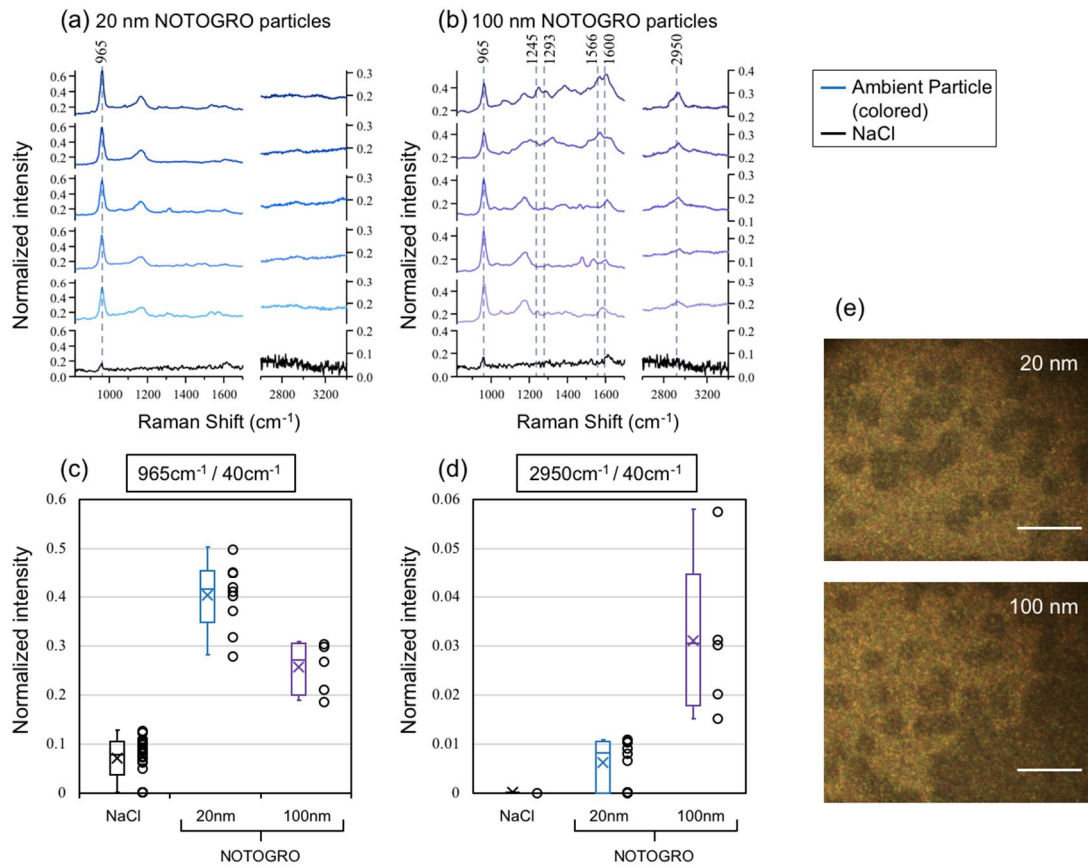


図3. 能登半島における実大気粒子の測定結果。20nm(a)と100nm(b)それぞれの単分散粒子の代表的なラマンスペクトル。粒子サイズごとの965cm⁻¹(c)と2950cm⁻¹(d)における正規化したピーク強度、およびSERS基板上に液滴下した粒子が沈着したことを示す光学顕微鏡画像(e)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Ono, K., Mizushima, Y., Furuya, M., Kunihisa, R., Tsuchiya, N., Fukuma, T., Iwata, A., Matsuki, A.	4. 巻 11
2. 論文標題 Direct measurement of adhesion force of individual aerosol particles by atomic force microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 489
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos11050489	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 El-Aal, M.A., Seto, T., Matsuki, A.	4. 巻 126
2. 論文標題 The effects of operating parameters on the morphology, and the SERS of Cu NPs prepared by spark discharge deposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl. Phys. A	6. 最初と最後の頁 572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00339-020-03762-5	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Choi, Y., Kanaya, Y., Takigawa, M., Zhu, C., Park, S.-M., Matsuki, A., Sadanaga, Y., Kim, S.-W., Pan, X., Pisso, I.	4. 巻 20
2. 論文標題 Investigation of the wet removal rate of black carbon in East Asia: validation of a below- and in-cloud wet removal scheme in FLEXible PARTICle (FLEXPART) model v10.4	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmos. Chem. Phys.	6. 最初と最後の頁 13655-13670
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/acp-20-13655-2020	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Yang, L., Zhang, L., Zhang, H., Zhou, Q., Zhang, X., Xing, W., Takami, A., Sato, K., Shimizu, A., Yoshino, A., Kaneyasu, N., Matsuki, A., Hayakawa, K., Toriba, A., Tang, N.	4. 巻 17
2. 論文標題 Comparative Analysis of PM2.5-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Nitro-PAHs (NPAHs), and Water-Soluble Inorganic Ions (WSIIs) at Two Background Sites in Japan.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. J. Environ. Res. Public Health	6. 最初と最後の頁 8224
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijerph17218224	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ryota Kunihisa, Ayumi Iwata, Masao Gen, Chak K. Chan, Atsushi Matsuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Application of SERS on the chemical speciation of individual Aitken mode particles after condensational growth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Aerosol Science and Technology	6. 最初と最後の頁 826-836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02786826.2020.1730298	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 松木篤, 岩田歩, 張代洲, 小島知子, 山田丸, 當房豊	4. 巻 35
2. 論文標題 黄砂の混合状態を持つ気候学的重要性 - 個別粒子観察の見地から -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 5-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.35.5	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Yongjoo Choi, Yugo Kanaya, Seung-Myung Park, Atsushi Matsuki, Yasuhiro Sadanaga, Sang-Woo Kim, Itsushi Uno, Xiaole Pan, Meehye Lee, Hyunjae Kim, Dong Hee Jung	4. 巻 20
2. 論文標題 Regional variability in black carbon and carbon monoxide ratio from long-term observations over East Asia: assessment of representativeness for black carbon (BC) and carbon monoxide (CO) emission inventories	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 83-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/acp-20-83-2020	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ayumi Iwata, Mayu Imura, Moeka Hama, Teruya Maki, Nozomu Tsuchiya, Ryota Kunihisa, Atsushi Matsuki	4. 巻 10
2. 論文標題 Release of highly active ice nucleating biological particles associated with rain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/atmos10100605	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Gen Masao, Kuniyoshi Ryota, Matsuki Atsushi, Chan Chak K.	4. 巻 53
2. 論文標題 Electrospray surface-enhanced Raman spectroscopy (ES-SERS) for studying organic coatings of atmospheric aerosol particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aerosol Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/02786826.2019.1597964	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Batdelger Byambaa, Lu Yang, Atsushi Matsuki, Edward G. Nagato, Khongor Gankhuyag, Byambatseren Chuluunpurev, Lkhagvajargal Banzragch, Sonomdagva Chonokhuu, Ning Tang, Kazuichi Hayakawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Sources and Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ambient Total Suspended Particles in Ulaanbaatar City, Mongolia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International journal of environmental research and public health	6. 最初と最後の頁 442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph16030442	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Sadanaga, Y., Ishiyama, A., Takaji, R., Matsuki, A., Kato, S., Sato, K., Osada, K., Bandow, H.	4. 巻 196
2. 論文標題 Behavior of total peroxy and total organic nitrate concentrations at Suzu on the Noto Peninsula, Japan: Long-range transport and local photochemical production	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 20-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.atmosenv.2018.10.003	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Lu Yang, Ning Tang, Atsushi Matsuki, Akinori Takami, Shiro Hatakeyama, Naoki Kaneyasu, Edward G Nagato, Kei Sato, Ayako Yoshino, Kazuichi Hayakawa	4. 巻 12(4)
2. 論文標題 A Comparison of Particulate-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Long-Range Transported from the Asian Continent to the Noto Peninsula and Fukue Island, Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asian Journal of Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 369-376
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5572/ajae.2018.12.4.369	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Wada, Y., Bowers, G. S., Enoto, T., Kamogawa, M., Nakamura, Y., Morimoto, T., Smith, D. M., Furuta, Y., Nakazawa, K., Yuasa, T., Matsuki, A., Kubo, M., Tamagawa, T., Makishima, K., Tsuchiya, H	4. 巻 45
2. 論文標題 Termination of electron acceleration in thundercloud by intracloud/intercloud discharge	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 2018GL077784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL077784	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

〔学会発表〕 計59件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Kubota, S., Nicosia, A., Iwamoto, Y., Kaneyasu, N., Iwata, A., Tsurumaru, H., Matsuki, A.
2. 発表標題 Long-term measurements of aerosol physical properties in the Noto Peninsula
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Choi, Y.-J., Kanaya, Y., Takigawa, M., Zhu, C., Park, S.-M., Matsuki, A., Sadanaga, Y., Kim, S.-W., Pan, X.
2. 発表標題 Investigation of wet removal rate of black carbon in East Asia: A perspective from air mass pathways
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kunihisa, R., Iwata, A., Gen, M., Chan, C. K., Matsuki, A.
2. 発表標題 Application of SERS on the chemical speciation of individual nanoparticles
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野耕平・水島悠希・古家正規・國久亮太・土屋 望・福岡剛士・岩田歩・松木篤
2. 発表標題 原子間力顕微鏡を用いた個別エアロゾル粒子の付着力直接測定法
3. 学会等名 第37 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋望・加藤祥生・松木篤・川崎一雄
2. 発表標題 大気エアロゾルの磁気特性と新たな大気汚染指標としての応用可能性
3. 学会等名 第37 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野耕平・水島悠希・古家正規・國久亮太・土屋望・福岡剛士・岩田歩・松木篤
2. 発表標題 原子間力顕微鏡を用いた個別エアロゾル粒子の付着力測定法の開発と大気エアロゾルへの応用
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田所耕平, 岩田歩, 伊藤康平, 水上知行, 松木篤
2. 発表標題 長石の鉱物学的特性と氷晶核能との関連性
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 矢田茂久・Hon-Lam-Hong Sandra・加藤俊吾・定永靖宗・松木篤
2. 発表標題 能登半島珠洲でのVOC長期測定
3. 学会等名 第25回大気化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kurihara, K., Iwata, A., Kiriya, M., Yoshino, A., Takami, A., Seto, T., Matsuki, A., Hayashi, M., Hara, K., Nishita, C., Funato, K., Inoue, K., Okuda, T.
2. 発表標題 Lung deposited surface area concentrations of atmospheric particles at three observatories in Japan
3. 学会等名 European Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kunihisa, K., Iwata, A., Gen, M., Chan, C. K., Matsuki, A.
2. 発表標題 Application of Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) on the atmospheric aerosol research
3. 学会等名 Seminar at School of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kunihisa, K., Kanai, R., Iwata, A., Gen, M., Chan, C. K., Matsuki, A.
2. 発表標題 Application of Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) on atmospheric aerosol research
3. 学会等名 The 8th Prince of Songkla University?Kanazawa University Joint Workshop (8th PSU-KZU-JWS) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保田誠史・表野宏之・岩本洋子・鶴丸央・アレッシア・ニコシア・松木篤
2. 発表標題 能登半島におけるエアロゾル粒径分布の経年変化
3. 学会等名 東京理科大学研究推進機構総合研究院大気科学研究部門 第5回成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野耕平・水島悠希・岩田歩・古家正規・土屋望・松木篤
2. 発表標題 原子間力顕微鏡を用いた個別エアロゾル粒子の付着力測定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuki, A., Hyono, H., Kinouchi, K., Furuya, M., Tsurumaru, H., Iwamoto, Y.
2. 発表標題 Linkage between nighttime new particle formation and winter monsoon: Based on the long-term observation in Noto region, western coast of Japan
3. 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryoko Fujioka, R., El-Aal, M. A., Lee, K.-Y., Matsuki, A., Seto, T.
2. 発表標題 Co-spray drying of silver nanocolloids and target molecules for surface-enhanced Raman spectroscopy
3. 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kunihisa, R., Ayumi Iwata, A., Matsuki, A.
2 . 発表標題 Application of SERS on the Chemical Analysis of Nanometer Sized Aerosol Particles
3 . 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kunihisa, R., Gen, M., Matsuki, A., Chan, C. K.
2 . 発表標題 Application of Electro spray Surface-Enhanced Raman Scattering (ES-SERS) Technique for the Characterization of Core-Shell Particles
3 . 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Iwata, A., Kiriya, M., Okuda, T., Yoshino, A., Takami, A., Chandra, I., Seto, T., Furuya, M., Matsuki, A., Hayashi, M., Nishita-Hara, C., Hara, K., Funato, K., Inoue, K.
2 . 発表標題 Observations of atmospheric particles surface area at several observatories in Japan
3 . 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nagai, Y., El-Aal, M. A., Matsuki, A., Seto, T.
2 . 発表標題 Surface enhanced Raman scattering of size-selected Si quantum dots
3 . 学会等名 Asian Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuki, A., Hyono, H., Kinouchi, K., Furuya, M., Tsurumaru, H., Iwamoto, Y.
2. 発表標題 Investigation on the Factors Controlling Atmospheric New Particle Formation: Based on the long-term observation in Noto peninsula, Japan
3. 学会等名 Kanazawa Day at Tsinghua (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuki, A., Yamada, R., Ikemori, F., Kinouchi, K., Iwamoto, Y., Kato, S., Kaneyasu, N., Watanabe, T., Kameda, T., Minami, M., Nakamura, T.
2. 発表標題 Isotopic source apportionment of carbonaceous aerosols observed in Noto Region, Japan: Impact of biomass burning on the East Asian outflow
3. 学会等名 East Asia Forum on Particulate Air Pollution, KIST (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihisa, R., Iwata, A., Gen, M., Chan, C. K., Matsuki, A.
2. 発表標題 Application of SERS on the Chemical Analysis of Individual Nanoparticles
3. 学会等名 AGU fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Choi, Y.-J., Kanaya, Y., Park, S.-M., Matsuki, A., Sadanaga, Y., Kim, S.-W., Uno, I., Pan, X., Lee, M.-H., Kim, H.-J., Jung D.-H.
2. 発表標題 Regional variability in black carbon and carbon monoxide ratio from long-term observations over East Asia: Assessment of representativeness for BC and CO emission inventories
3. 学会等名 AGU fall meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miyamoto, C., Matsuki, A., Itai T., Takahashi, Y.
2. 発表標題 Estimation of Emission Source of Sulfate Aerosol Collected in the Northwestern Region in Japan
3. 学会等名 Goldschmidt2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noda, J., Nishioka, K., Nakaya, T., Yumimoto, K., Hagiwara, K., Hoshino, B., Baba, K., Noguchi, I., Maki, T., Matuki, A., Nishita-Hara, C., Hayash, M., Davaanya, E., Munkjargal, E., Kawai, K., Kai, K.
2. 発表標題 Bioaerosol measurements in Mongolia, China, and Japan during the spring of 2015
3. 学会等名 European Aerosol Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野耕平・水島悠希・古家正規・土屋望・松木篤・岩田歩
2. 発表標題 原子間力顕微鏡を用いた個別エアロゾル粒子の付着力測定
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國久亮太・松木篤・岩田歩・玄大雄・Chak K. Chan
2. 発表標題 SERS を用いた実大気ナノ粒子の化学組成分析
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本淳・定永靖宗・松木篤
2. 発表標題 能登半島珠洲における粒子状有機硝酸エステル濃度の通年観測
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松木篤・表野宏之・木ノ内健人・古家正規・岩本洋子・鶴丸央
2. 発表標題 能登半島における新粒子生成の季節的特徴
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田紗也子・長田和雄・宋秦平・高見昭憲・中山智喜・松木篤・岩本洋子・足立光司
2. 発表標題 硫酸塩粒子の形態:大気エアロゾル粒子に観られる形態と室内実験による再現
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋望・加藤祥生・松木篤・川崎一雄
2. 発表標題 能登半島における大気エアロゾル粒子の磁気調査
3. 学会等名 第36 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 晶瑩・大河内博・光川彩夏・村上周平・勝見尚也・皆巳幸也・松木篤
2. 発表標題 大気中陰イオン界面活性物質の動態と起源推定(8)
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田歩・栗原一嘉・桐谷美穂・奥田知明・吉野彩子・高見昭憲・西田千春・原圭一郎・林政彦・瀬戸章文・松木篤・兼保直樹・船戸浩二・井上浩三
2. 発表標題 福岡・福江・能登における粒子表面積濃度の地域的特徴
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 光川彩夏・大河内博・勝見尚・松木篤
2. 発表標題 大気中フミン様物質の動態・起源・環境リスクに関する研究 (2)
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuchiya, N., Kawasaki, K., Kato, S., Matsuki, A.
2. 発表標題 Magnetic investigations of atmospheric aerosol particles in Noto region
3. 学会等名 Joint Usage/Joint Research Symposium on Integrated Environmental Studies, Kanazawa University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihisa, R., Iwata, A., Gen, M., Chan, C. K., Matsuki A.
2. 発表標題 Application of SERS on the chemical analysis of Aitken mode particles
3. 学会等名 Joint Usage/Joint Research Symposium on Integrated Environmental Studies, Kanazawa University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ono, K., Mizushima, Y., Matsuki, A., Iwata, A.
2. 発表標題 Measurement of adhesion force of individual aerosol particles by atomic force microscopy
3. 学会等名 Joint Usage/Joint Research Symposium on Integrated Environmental Studies, Kanazawa University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nicosia, A., Kubota, S., Ono, K., Kunihisa, R., Tsuchiya, N., Matsuki, A.
2. 発表標題 Long-term measurements of aerosol physical properties in the Noto Peninsula
3. 学会等名 Joint Usage/Joint Research Symposium on Integrated Environmental Studies, Kanazawa University (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國久亮太・岩田歩・松木篤
2. 発表標題 SERSによるナノサイズ大気エアロゾル粒子の組成分析法の開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋望・川崎一雄・加藤祥生・松木篤
2. 発表標題 能登地域における大気エアロゾル粒子の磁気測定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷部徳子・早坂怜・小坂明弓・松木篤
2. 発表標題 ジルコン リコイル年代測定に向けた取り組み
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部祥平・松木篤・亀崎和輝・吉田 尚弘
2. 発表標題 Seasonal variations of triple oxygen isotopes of atmospheric nitrate and sulfate at Noto Peninsula, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 落合伸也・長尾誠也・宮田佳樹・松木篤
2. 発表標題 Transport processes of earth surface materials and atmospheric radionuclides in reservoir-catchment system
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田歩・Wong Shu-Kuan・岩本洋子・古家正規・濱崎恒二・松木篤
2. 発表標題 石川県九十九湾における海表面マイクロ層起源エアロゾル粒子による氷晶形成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 表野宏之・木ノ内健人・鶴丸央・岩本洋子・古家正規・唐寧・松木篤
2. 発表標題 長期観測に基づく能登半島における新粒子生成イベントの発生要因
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松木篤・木ノ内健人・表野宏之・古家正規・鶴丸央・岩本洋子
2. 発表標題 能登半島で観測された大気エアロゾルの吸湿性に基づく粒径別化学組成
3. 学会等名 第35 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岩田歩・田所耕平・奥田知明・松木篤
2. 発表標題 個別粒子分析に基づく氷晶形成粒子の特性評価
3. 学会等名 第35 回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本千尋・松木篤・高橋嘉夫
2. 発表標題 能登半島で採取したエアロゾル試料中の硫酸塩化学種の解明
3. 学会等名 日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋望・川崎一雄・加藤祥生・松木篤
2. 発表標題 能登地域で捕集された大気エアロゾル粒子の磁気調査
3. 学会等名 第59回大気環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hyono, H., Kinouchi, K., Tsurumaru, H., Iwamoto, Y., Furuya, M., Matsuki, A.
2. 発表標題 Investigation on the factors controlling new particle formation by long term observation in Noto peninsula
3. 学会等名 15th IGAC conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miyamoto, C., Matsuki, A., Takahashi Y.
2. 発表標題 Analysis of sulfate species and trace elements in aerosols collected at Noto peninsula
3. 学会等名 15th IGAC conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Endo, M., Kita, K., Sadanaga, Y., Matsuki, A.
2. 発表標題 Decrease of Black Carbon Aerosol in air masses transported from China at Suzu, Noto Peninsula, Japan
3. 学会等名 15th IGAC conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Batdelger, B., Yang, L., Sonomdagva, Ch., Nagato, E.G., Matsuki, A., Tang, N., Hayakawa, K.
2. 発表標題 Seasonal Characteristics of Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Ulaanbaater city, Mongolia
3. 学会等名 15th IGAC conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matsuki, A., Yamada, R., Kinouchi, K., Iwamoto, Y., Ikemori, F., Minami, M., Nakamura, T.
2. 発表標題 Isotopic Source Apportionment of Carbonaceous Aerosols Observed in Noto Region, Japan: Impact of Biomass Burning on the East Asian Outflow
3. 学会等名 AASSA-FEB RAS International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮本健弘・笠原禎也・高田良宏・松平拓也・林正治・松木篤・上田望
2. 発表標題 リポジトリ用データ管理システムの構築
3. 学会等名 第23回情報知識学フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wada, Y., Bowers, G., Enoto, T., Kamogawa, M., Nakamura, Y., Morimoto, T., Smith, D. M., Furuta, Y., Nakazawa, K., Yuasa, T., Matsuki, A., Kubo, M., Tamagawa, T., Makishima, K., Tsuchiya, H.
2. 発表標題 Lightning-triggered termination of a gamma-ray glow in a Japanese winter thunderstorm
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matsuki, A., Hyono, H., Kinouchi, K., Furuya, M., Tsurumaru, H., Iwamoto, Y.
2. 発表標題 Linkage between nighttime new particle formation and winter monsoon: Insights from the long-term observation in Noto region, western coast of Japan
3. 学会等名 International Symposium "Research Frontiers of Transboundary Pollution" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井村まゆ・土屋望・國久亮太・岩田歩・松木篤
2. 発表標題 個別氷晶核粒子の特性評価
3. 学会等名 第12回大気バイオエアロゾルシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matuski, A.
2. 発表標題 Sources and characteristics of polycyclic aromatic hydrocabons in ambient total suspended particles in Ulaanbaatar city, Mongolia
3. 学会等名 1st Integrated Conference on Joint Research Program in Mongolia (ICJPM), Higher Engineering Education Development (M-JEED) Project (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 大気環境学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 464
3. 書名 大気環境の事典	

1. 著者名 Kazuichi Hayakawa, Seiya Nagao, Yayoi Inomata, Mutsuo Inoue, Atsushi Matsuki (Editors)	4. 発行年 2018年
2. 出版社 NOVA Science Publishers	5. 総ページ数 297
3. 書名 Trans-Boundary Pollution in North-East Asia	

〔産業財産権〕

〔その他〕

代表者の研究室webページ http://www.thecloudmaker.info/
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

米国	カリフォルニア工科大学	ADI社		
中国	香港城市大学			