

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：32612

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K19856

研究課題名（和文）PM2.5の有害性の新たな指標としての粒子表面積の多角的解析

研究課題名（英文）Multidisciplinary Analysis of Airborne Particle Surface Area as a New Indicator of Adverse Health Effect of PM2.5

研究代表者

奥田 知明（Okuda, Tomoaki）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：30348809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：大気粒子の有害性を表す指標がどのような物理的・化学的粒子特性に依存するのかについての研究を進めた。特徴の異なる日本の2地点（神奈川県横浜市：都市圏、石川県珠洲市：非都市圏）において調査した。物理特性に関する室内実験においては、有害性の指標となるDTT酸化能と粒子表面積の間に明確な相関性が見られた。一方、実環境大気観測の結果からは、いずれの地点においても単位粒子量あたりのDTT酸化能は、粒子濃度に対する大気粒子表面積とは明確な相関を示さず、特定の化学成分との相関が高かった。このことは、実環境大気粒子のDTT酸化能は、概ね化学的特性によって説明可能であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実環境大気粒子の有害性が粒子の物理的特性・化学的特性のどちらに依存するのか、を知ることは重要であるため、本研究を進めた。特徴の異なる日本の2地点においてフィールド調査を行い、化学特性に関して、K, Mn, Pb, アンモニウムイオン、硫酸イオン、熱分解性有機炭素などの特定の化学成分とDTT酸化能との関連性が明らかになった。室内実験においてはDTT酸化能と粒子表面積の間に明確な相関性が見られた一方で、実環境大気観測の結果からは、実環境大気粒子のDTT酸化能は、物理的特性よりは概ね化学的特性によって説明可能であり、またその変動に寄与する化学成分の質量により推定可能であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to determine what physical and chemical particle characteristics are related to the index of toxicity of atmospheric particles. Field surveys were conducted at two sites in Japan with different features (Yokohama, Kanagawa Prefecture: urban area, and Suzu, Ishikawa Prefecture: non-urban area). In laboratory experiments, a clear correlation was found between DTT oxidation capacity and particle surface area. On the other hand, the results of the field observations showed that the DTT oxidation capacity per unit particle mass did not show a clear correlation with the surface area of atmospheric particles relative to particle concentration at any of the sites, but was highly correlated with several specific chemical components. This indicates that the DTT oxidation capacity of atmospheric particles can generally be explained by their chemical properties.

研究分野：環境化学、大気科学、エアロゾル工学

キーワード：環境分析 大気汚染防止・浄化 環境質定量化・予測 エアロゾル 粒子状物質 表面積 拡散荷電法 肺沈着表面積

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

大気中の微小粒子状物質である $\text{PM}_{2.5}$ (50%カットオフ空気動力学径が $2.5 \mu\text{m}$ である粒子) は、大規模な長期的・短期的疫学調査により人体に発がん・呼吸器疾患・循環器疾患等の様々な悪影響を及ぼすことが明らかとなっている。そのため日本を含め全世界的に $\text{PM}_{2.5}$ の規制が進んでいるが、現状ではその全てが質量基準の濃度で規定されている (例えば米国: $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、日本: $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、EU: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。これは環境汚染物質の初期段階の削減対策としては妥当であると考えられるが、一方で、 $\text{PM}_{2.5}$ の有害性をより科学的に解明しようとする際には、質量のみを基準としたアプローチでは不十分である。その理由は、化学成分や質量が同一であっても、その表面積が異なると、生体影響が異なるという事実が目向けられていないためである。例えば、異なる表面積を有する TiO_2 粒子を同量ラットに曝露した際には、表面積が大きい方が明らかに炎症活性が高いことが報告されている (Ferin *et al.*, 1992, *AJRCMB* 6, 535)。従って、粒子状物質の有害性の指標として、表面積を用いることが提唱され始めている。しかしながら、粒子表面積と有害性の関連については、主にナノ粒子を中心とした材料評価の分野では先行して多くの研究例があるものの、 $\text{PM}_{2.5}$ 等の実環境大気中の粒子状物質に関しては、大気粒子の生成・輸送・沈着機構が極めて複雑であるために、その表面積に関与する要因の理解が進んでいない。

2. 研究の目的

本研究では、実環境大気中 $\text{PM}_{2.5}$ の粒子表面積濃度の挙動を支配する要因を多角的に解析し、表面積濃度が質量濃度を代替もしくは補完する有用な新規指標となり得るか否かについて判断を行うために必要となる信頼性の高い基礎的知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 室内実験

代表粒径の異なる 3 種類の MnO_2 粒子を用いて、不溶性粒子の OP^{DTT} (ジチオスレイトール法による酸化能) への物性の寄与の可能性を検討した。サイズ分布の異なる MnO_2 粒子は、以下の手順で調製した。まず、粒子を純水 ($\rho = 1.00 \text{ g cm}^{-3}$, $\eta = 0.01 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$) に懸濁させ、超音波発生装置を用いて機械的に分散させた。その後、最大旋回半径 6.6 cm 、最小旋回半径 3.0 cm の高速遠心分離機 Microfuge 16 (Beckman Coulter Inc., IN, USA) を用いて、懸濁液中の粒子を遠心分級した。理論的に沈降する回転数と遠心分離時間から、Stokes 径 $< 1 \mu\text{m}$, $> 5 \mu\text{m}$, $> 10 \mu\text{m}$ の 3 つの粒径範囲に分類した。分級した粒子を乾燥・再懸濁した後、レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置 Partica (LA-960V2, HORIBA, Japan) を用いて 3 種類の MnO_2 粒子の粒度分布を測定した。粒度分布から得られた体積中央径 (Volume median diameter: VMD) は、 $1.51, 3.13, 7.15 \mu\text{m}$ であった。実際の粒度分布は理論的に計算された結果と異なるが、3 つの MnO_2 粒子は明確に異なる粒度分布を持っていた。理想的な球状粒子と仮定し、密度 ($\rho = 5.02 \text{ g cm}^{-3}$) と粒度分布から計算した比表面積は、 $0.846, 0.482, 0.164 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ であった。 MnO_2 粒子の種類ごとに $10, 20, 30, 40, 50 \mu\text{g mL}^{-1}$ の懸濁液を調製し、 OP^{DTT} を測定した。

(2) フィールド調査

フィールド観測とサンプリングは、横浜 (慶應義塾大学矢上キャンパス、 $35.56^\circ\text{N}, 139.66^\circ\text{E}$) および能登 (金沢大学 能登大気観測スーパーサイト: NOTOGRO、 $36.45^\circ\text{N}, 137.36^\circ\text{E}$) で実施した。これらの地点で、LDSA 濃度、質量濃度、Black carbon (BC) 濃度などの大気粒子の物理・化学パラメータを連続的に測定した。さらに、フィルターを用いた粒子サンプリングも行った。採取した試料は、 OP^{DTT} 測定と化学成分分析に使用した。横浜の観測地点は東京都市圏に位置している。横浜サイトは、日本最大の工業地帯の 1 つであり、したがって、周辺の工業、商業、道路交通に関連する人為的な排出源の影響を強く受けている。横浜での観測とサンプリングは、2020 年 9 月 28 日から 2021 年 6 月 12 日まで実施した。能登の観測所は能登半島の先端に位置し、交通排ガスを含む人為的活動の影響を最小限に抑えた特徴的な遠隔地である。夏を除いて、この遠隔地の上空は、大陸から太平洋に広がる季節的なモンスーンによって、アジア大陸周辺から流入する気塊の影響を著しく受ける。能登での観測は、2020 年 9 月 20 日から 2021 年 6 月 11 日までであった。本研究では、大気中エアロゾル粒子の OP^{DTT} を特徴付けるために、粒子量を反映した 2 種類の物理量、すなわち LDSA 濃度と質量濃度を測定した。

LDSA 濃度は、Nanoparticle surface area monitor (NSAM, Model 3550, TSI Inc, MN, USA) を用いて、拡散帯電 (Diffusion charging: DC) 法により測定した。この装置は、粒子に陽イオンを人工的に付着させ、その電荷から LDSA 濃度を取得する。電流検出の前に、粒子に付着していない余剰分のイオンは、印加電圧 100 V のイオントラップで除去された。また、測定精度を確保するために、標準的な手順で定期的に機器の校正を行った。DC 法で測定された電荷と LDSA 濃度は、粒子径 (D_p) の 1.13 乗と個数濃度の積 ($D_p^{1.13} \times n$) に比例する。大気中の典型的な粒度分布において、LDSA 濃度は、 $D_p^3 \times n$ に比例する質量濃度がよりも、基本的に微小粒子に対してより高い感度をもつ。これらの関係から、LDSA 濃度はナノ粒子の毒性を高感度にモニタリングするためのパラメータとして注目されている。

粒径 2.5 μm 以下の粒子 ($\text{PM}_{2.5}$) の質量濃度は、環境省大気汚染物質広域監視システム (Atmospheric environmental regional observation system: AEROS) から取得した。本研究では、最も近い観測所である神奈川県港北区総合庁舎 (横浜) および石川県珠洲 (能登) のデータを用いた。LDSA 濃度と質量濃度の比として定義される比 LDSA は、ほぼ代表直径の 2 乗に反比例する。したがって、この指標は、大気中の粒度分布の代表粒径の変動を連続的に捉えるために使用できる。また、比 LDSA は、代表粒径が微小粒子領域に移行したときに強く変動するため、微小粒子の卓越に対して高い感度を示す。本研究では、 $\text{PM}_{1.0}$ の質量データがないため、 $\text{PM}_{2.5}$ の質量濃度に対する $\text{PM}_{1.0}$ の LDSA 濃度の比を比 LDSA と定義した。

BC の質量濃度は、横浜では MicroAeth (Model AE51, AethLabs, CA, USA)、能登では Multi-angle absorption photometer (MAAP, Model 5012, Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA) を用いて連続観測を行った。また、補助的な観測データとして、両地点とも Scanning mobility particle analyzer (SMPS) による粒度分布測定を断続的に行った。横浜では NanoScan SMPS (Model 3910, TSI Inc., MA, USA) を、Condensation particle counter (CPC, Model 3776, TSI Inc., MA, USA) に接続した Differential mobility analyzer (DMA, Model 3080 + 3081, TSI Inc., MA, USA) を使用し、粒度分布を測定した。

上記の観測に加えて、気象庁の地域気象観測システム (Automated Meteorological Data Acquisition System: AmdDAS) から取得した 1 時間ごとの風速・風向データを解析した。これらの公共気象データは、観測地点に最も近い横浜と珠洲 (能登) から取得した。1 時間ごとの風速・風向データは、季節変動を捉えるために、1 日の分解能で平均化した。

両地点において、50%カットオフ径 1 μm のインパクトを通過した大気エアロゾル粒子を、47 mm ϕ の 2 種類のフィルター (Polycarbonate フィルターと石英繊維フィルター) に捕集した。大気は 16.7 L min^{-1} で吸引し、校正された臨界オリフィスを用いて制御した。1 サンプルあたりの捕集期間は、3 日から 1 週間であった。横浜では、慶應義塾大学矢上キャンパス 26 棟の 5 階ベランダから試料を採取した。横浜でのサンプリングは、2020 年 9 月から 2021 年 6 月までの観測期間中に 32 回実施した。能登では、NOTOGRO の屋上に設置した自作オートサンプラーを用いてサンプリングを行った。サンプラーには、都市でのサンプリングと同様に、流量制御や粒子分級などの機能を搭載した。また、サンプラーは電磁弁を PC で遠隔操作することにより、計 10 回分の試料採取が可能であった。能登では、観測期間中に 23 回の試料採取を行った。Polycarbonate フィルターで採取した試料は OP^{DTT} 測定と元素分析に使用し、石英繊維フィルターで採取した試料は水溶性無機イオンと EC/OC の分析に使用した。

4. 研究成果

(1) 室内実験

粒径分布の異なる 3 種の MnO_2 粒子における、懸濁液中の質量濃度 [$\mu\text{g mL}^{-1}$] と OP^{DTT} の関係を Fig. 1 (a) に示した。代表粒径である VMD が小さくなるにつれて OP^{DTT} が増加する傾向が見られた。すなわち、粒径や表面積という物理特性の寄与により、同一質量であっても OP^{DTT} が異なることが示された。この関係において、得られた粒径分布から球形仮定によって算出された比表面積を用いて、懸濁液中の表面積濃度 [$\text{mm}^2 \text{mL}^{-1}$] に対する OP^{DTT} の関係に直したものを Fig. 1 (b) に示した。ここから、特に、不溶性粒子の OP^{DTT} は、その表面積の増加に依存して上昇することが明らかであった。したがって、大気エアロゾル粒子においても、 OP^{DTT} に対する物理特性、特に表面積の寄与は存在していることが示された。

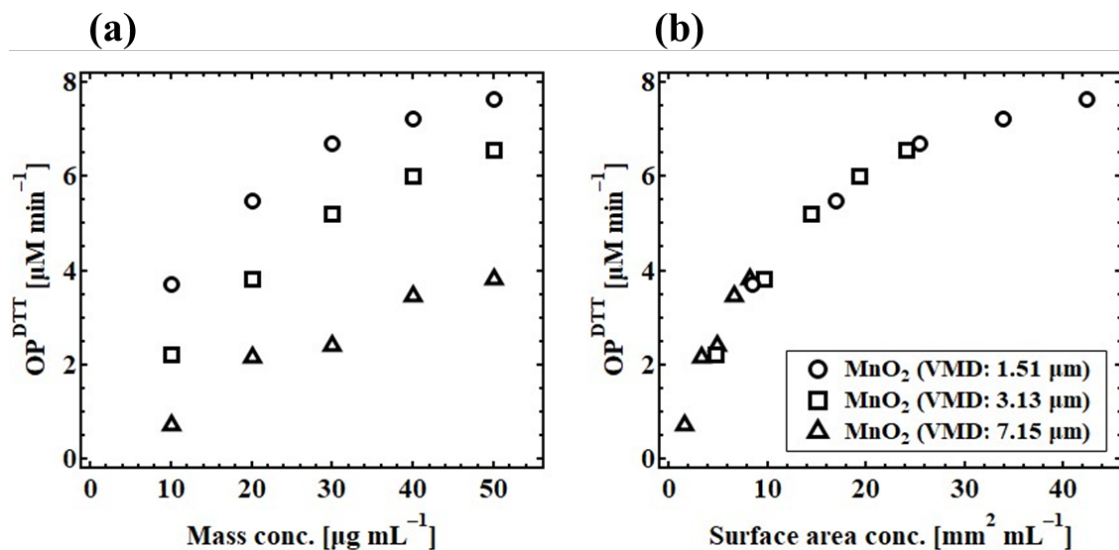


Fig. 1 DTT activity of MnO_2 particles: (a) plots of mass concentration versus OP^{DTT} ; (b) plots of surface area concentration versus OP^{DTT} of MnO_2 with different size distributions.

(2) フィールド調査

観測期間における $PM_{2.5}$ 質量濃度と LDSA 濃度の平均値は、横浜: $10.3 \pm 2.8 \mu\text{g m}^{-3}$, $3.36 \pm 0.94 \text{ mm}^2 \text{ m}^{-3}$; 能登: $5.6 \pm 3.2 \mu\text{g m}^{-3}$, $1.31 \pm 0.79 \text{ mm}^2 \text{ m}^{-3}$ であった。したがって、どちらの粒子濃度も横浜で高い値を示し、近隣の人為的排出の影響が考えられた。次に、LDSA 濃度と $PM_{2.5}$ 濃度の比によって定義された比 LDSA は、横浜で $0.35 \pm 0.12 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, 能登で $0.23 \pm 0.05 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ であった。すなわち、都市の横浜では、周囲の人為的な排出起源の影響を受けにくい能登に比べて、より微小な粒子の量が卓越する期間が頻出した。

単位捕集体積あたりの OP^{DTT} (OP_v^{DTT}) の平均値は、横浜と能登でそれぞれ 153 ± 74 , $119 \pm 96 \text{ pmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ であり、都市ではより高い粒子濃度に対応して、遠隔地よりも高い OP_v^{DTT} を示した。一方、単位質量当たりの OP^{DTT} (OP_m^{DTT}) の平均値は、横浜と能登でそれぞれ 14.9 ± 5.0 , $22.6 \pm 16.8 \text{ pmol min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ であり、遠隔地で 1.5 倍高い値を示した。また、2つの粒子濃度と OP_v^{DTT} の関係と比較すると、 OP_v^{DTT} は、 $PM_{2.5}$ 質量濃度によってより上手く説明された ($PM_{2.5}$ 質量: $R=0.62$, LDSA: $R=0.43$)。しかしながら、 OP^{DTT} は粒子の物理・化学特性の双方に潜在的には依存するため、これは様々な粒子がもたらした統合的な結果に過ぎない可能性がある。そこで、以下では OP^{DTT} の変動に対する化学特性と物理特性の寄与を調査した。

まず、 OP_v^{DTT} と化学成分濃度の相関関係に基づき、両地点における OP^{DTT} の変動要因を特徴付けた。 OP_v^{DTT} と強い相関を示した成分は、横浜で S ($R=0.79$), SO_4^{2-} (0.79), NH_4^+ (0.78), OC_{pyro} (0.72), Zn (0.71), Mn (0.69), K (0.66), Pb (0.65)、能登で OC_{pyro} (0.93), OC4 (0.91), Pb (0.89), OC3 (0.88), K (0.84), Mn (0.80), K^+ (0.78) であり、 OP_v^{DTT} と強い相関を有する化学成分は両地点において比較的類似していた (e.g., K, Mn, Pb, OC_{pyro})。つまり、 OP^{DTT} に対する限られた化学成分の重要性を明らかにした。

これらの成分と、それらの他成分との相互相関、および気象学データと地理的な関係に基づく、両地点において、ゴミ焼却、バイオマス燃焼、石炭燃焼などの人為的な燃焼源および鉄鋼業に関連する粒子によって OP^{DTT} が変動したことが示唆された。

次に、両地点における OP^{DTT} に対する粒径もしくは比表面積の寄与を特徴づけるため、比 LDSA と OP_m^{DTT} の関係を Fig. 2 に示した。比 LDSA は、その値の増加に伴って代表粒径は小さく、比表面積は大きくなる。しかしながら、両地点とも、比 LDSA の上昇による OP_m^{DTT} の増加は見られなかった。とりわけ、都市の超微小粒子が卓越する期間においても、 OP_m^{DTT} は上昇しなかった。むしろ、粗大粒子が卓越している遠隔地において、高い OP_m^{DTT} を有する期間がしばしば存在し、それらの高い OP_m^{DTT} は化学成分 (e.g., K や OC_{pyro} の割合) によって説明された。

実大気粒子においては、 OP^{DTT} に作用する要因の多様性、すなわち (a) 多様な化学成分による寄与、(b) 内部混合などによる存在状態の複雑さ、(c) 成分ごとに存在する粒径の範囲が発生源や輸送距離に依存してある程度固定されていること、(d) 水溶性粒子による寄与などにより、物理的寄与は相対的に小さくなり、特定の成分の量が OP^{DTT} の変動に大きく起因している可能性が示唆された。

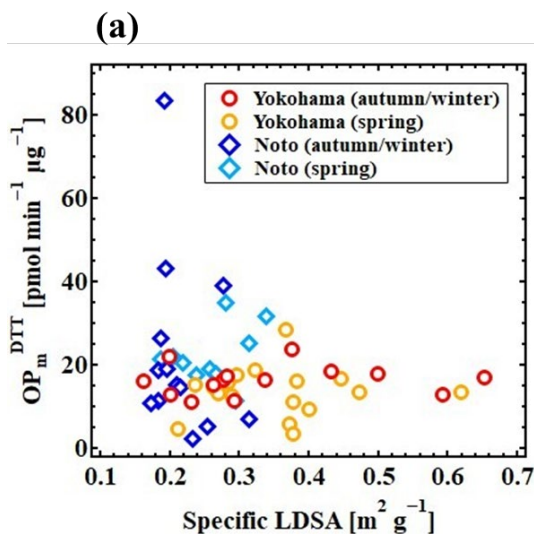


Fig. 2 Plots of mass-normalized OP^{DTT} (OP_m^{DTT}) against the specific LDSA at the two sites. Red and orange colors correspond to those of the urban Yokohama site in autumn/winter and in spring, while blue and light blue colors correspond to those of the rural Noto site in autumn/winter and in spring.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Jing Weidong, Saito Katsutomo, Okamoto Takuma, Saito Hibiki, Sugimoto Kazuki, Nishita-Hara Chiharu, Hara Keiichiro, Hayashi Masahiko, Hasegawa Shuichi, Okuda Tomoaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Characterization of Elemental Composition and Valence State of Cyclone-collected Aerosol Particles Using EDXRF and XAFS at Three Sites in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 27～45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5572/ajae.2021.137	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 Kurihara, K., Iwata, A., Murray Horwitz, S.G., Ogane, K., Sugioka, T., Matsuki, A., Okuda, T.	4. 巻 13 (2)
2. 論文標題 Contribution of physical and chemical properties to dithiothreitol-measured oxidative potentials of atmospheric aerosol particles at urban and rural sites in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Atmosphere	6. 最初と最後の頁 319
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/atmos13020319	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 Kurihara, K., Iwata, A., Kiriya, M., Yoshino, A., Takami, A., Matsuki, A., Nishita-Hara, C., Hara, K., Hayashi, M., Kaneyasu, N., Seto, T., Fujitani, Y., Funato, K., Inoue, K., Okuda, T.	4. 巻 262
2. 論文標題 Lung deposited surface area of atmospheric aerosol particles at three observatories in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 118597
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.atmosenv.2021.118597	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 Alimov Zikrilla Bobamuratovich, Kusakari Hikaru, Okuda Tomoaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Development of A Low-Cost Simultaneous Low Volume Air Sampler Controlled with Sonic Venturi	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asian Journal of Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 52～67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5572/ajae.2020.072	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9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 栗原一嘉、岩田歩、マレーホルウィッツサミュエルグレイ、松木篤、奥田知明
2. 発表標題 肺沈着表面積に基づいた実環境大気粒子の酸化能評価
3. 学会等名 第62回大気環境学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 マレーホルウィッツサミュエルグレイ、岩田歩、栗原一嘉、松木篤、奥田知明
2. 発表標題 都市域と遠隔地における粒子特性の違いがもたらす氷晶形成への影響
3. 学会等名 第38回エアロゾル科学・技術討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kurihara, K., Iwata, A., Yoshino, A., Takami, A., Seto, T., Matsuki, A., Hayashi, M., Hara, K., Nishita-Hara, 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 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ayumi Iwata, Miho Kiriya, Tomoaki Okuda, Ayako Yoshino, Akinori Takami, Indra Chandra, Takafumi Seto, Masaki Furuya, Atsushi Matsuki, Masahiko Hayashi, Chiharu Nishita-Hara, Keiichiro Hara, Koji Funato, Kozo Inoue
2. 発表標題 Observations of atmospheric particles surface area at several observatories in Japan
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (Hong Kong, China) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田歩, 桐谷美穂, 奥田知明
2. 発表標題 粒子表面積から見る粒子の変質とその影響
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術討論会、広島大学(広島県・東広島市)
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、東京農工大学(東京都・府中市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桐谷美穂, 岩田歩, 奥田知明, 船戸浩二, 井上浩三
2. 発表標題 拡散荷電法による有機物被覆前後の炭素粒子の表面積比較
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 Kiriya, M., Okuda, T., Yoshino, A., Takami, A., Chandra, I., Seto, T., Funato, K., Inoue, K.
2. 発表標題 The concentrations of aerosol surface area in Fukue Island, Japan, measured by diffusion charging method
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiriya, M., Yamazaki, H., Hatoya, K., Okuda, T., Kaneyasu, N., Uno, I., Nishita-Hara, C., Hara, K., Hayashi, M., Funato, K., Inoue, K., Yamamoto, S., Yoshino, A., Takami, A.
2. 発表標題 Investigation of the factors controlling the variation of aerosol surface area concentrations in Fukuoka, Japan
3. 学会等名 Joint International Symposium of 14th CACGP & 15th IGAC (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

慶應義塾大学 理工学部 応用化学科 環境化学研究室：粒子の表面積と氷晶核 https://www.applc.keio.ac.jp/~okuda/research/theme/surface_ice.html

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
研究分担者	岩田 歩 (Iwata Ayumi) (30827340)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・助教 (32612)	

	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
研究協力者	栗原 一嘉 (Kurihara Kazuki)		
研究協力者	桐谷 美穂 (Kiriya Miho)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	林 政彦 (Hayashi Masahiko) (50228590)	福岡大学・理学部・教授 (37111)	
研究協力者	松木 篤 (Matsuki Atsushi) (90505728)	金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授 (13301)	

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