

Title	独自型サイクロン装置によるインドと中国のエアロゾルの大量捕集とその生体有害性評価
Sub Title	High-volume collection of aerosols in India and China using the originally developed cyclone sampler and evaluation of their health impacts
Author	奥田, 知明(Okuda, Tomoaki) 岩田, 歩(Iwata, Ayumi) 完戸, 大輝(Shishido, Daiki) 照井, 凱大(Terui, Yoshihiro) 陳, 嘉欣(Chen, Jiaxin) 香取, 拓也(Katori, Takuya) 齋藤, 克知(Saitō, Katsutomo) 杉本, 和貴(Sugimoto, Kazuki) 孫, 菲雅(Sun, Feiya) 清水, 彩花(Shimizu, Ayaka)
Publisher	
Publication year	2020
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2019.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究では、申請者が独自に開発したサイクロン式大気粒子状物質大量採取装置を、インド国立物理学研究所 (ニューデリー)、西安交通大学 (西安)、および横浜に設置し、得られた粒子の分析を行った。期間中に得られた粒子状物質試料数は、インド28、中国8、日本23であった。生体有害性評価の観点から、粒子中の細菌由来毒素であるエンドトキシン (Lipopolysaccharide, LPS) 含有量を調べた。その結果、インド11 ± 11 (n=23)、中国28 ± 22 (n=8)、日本23 ± 27 (n=22) (算術平均値$\pm$標準偏差、単位EU/mg) となり、3都市で大きな違いはなく、また季節的な変動も見られなかった。 We installed the high-volume samplers using real impactor and cyclone for collecting aerosol particles in powder form without using a filter to three sites, National Physical Institute, India (New Delhi), Xi'an Jiaotong University (China), and Yokohama, Japan. The number of collected samples were 28 in India, 8 in China, and 23 in Japan. Endotoxin (Lipopolysaccharide, LPS) in the aerosol particles were analyzed, and their concentrations were 11 ± 11 in India, 28 ± 22 in China, and 23 ± 27 in Japan (Mean$\pm$SD; unit in EU/mg). The endotoxin concentrations did not differ among three cities, and no clear seasonal trend of the endotoxin concentrations were observed.
Notes	研究種目：基盤研究 (B) (海外学術調査) 研究期間：2017～2019 課題番号：17H04480 研究分野：環境化学、大気科学、微粒子工学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_17H04480seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04480

研究課題名 (和文) 独自型サイクロン装置によるインドと中国のエアロゾルの大量捕集とその生体有害性評価

研究課題名 (英文) High-Volume Collection of Aerosols in India and China using the Originally Developed Cyclone Sampler and Evaluation of Their Health Impacts

研究代表者

奥田 知明 (Okuda, Tomoaki)

慶應義塾大学・理工学部 (矢上) ・准教授

研究者番号：30348809

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 12,900,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究では、申請者が独自に開発したサイクロン式大気粒子状物質大量採取装置を、インド国立物理学研究所 (ニューデリー)、西安交通大学 (西安)、および横浜に設置し、得られた粒子の分析を行った。期間中に得られた粒子状物質試料数は、インド28、中国8、日本23であった。生体有害性評価の観点から、粒子中の細菌由来毒素であるエンドトキシン (Lipopolysaccharide, LPS) 含有量を調べた。その結果、インド 11 ± 11 (n=23)、中国 28 ± 22 (n=8)、日本 23 ± 27 (n=22) (算術平均値 $\pm$ 標準偏差、単位EU/mg) となり、3都市で大きな違いはなく、また季節的な変動も見られなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近い将来、人間の早期死亡をもたらす最大の環境要因は大気汚染、特に粒子状物質が最も深刻となることが予測されている。本研究の遂行により、東アジアの複数地点において、フィルターを用いずに粉体として大気粒子状物質を得る体制を構築することができた。さらに、得られた粒子状物質の化学成分と生物由来成分の特徴を明らかにした。今後、得られた粒子を用いて細胞・動物への曝露実験を行うことが可能となった。本研究の成果は、人間の生活の質に直結する呼吸器系や免疫系に対する粒子状物質のリスクの解明に係る研究に資することができる。

研究成果の概要 (英文) : We installed the high-volume samplers using real impactor and cyclone for collecting aerosol particles in powder form without using a filter to three sites, National Physical Institute, India (New Delhi), Xi'an Jiaotong University (China), and Yokohama, Japan. The number of collected samples were 28 in India, 8 in China, and 23 in Japan. Endotoxin (Lipopolysaccharide, LPS) in the aerosol particles were analyzed, and their concentrations were 11 ± 11 in India, 28 ± 22 in China, and 23 ± 27 in Japan (Mean $\pm$ SD; unit in EU/mg). The endotoxin concentrations did not differ among three cities, and no clear seasonal trend of the endotoxin concentrations were observed.

研究分野：環境化学、大気科学、微粒子工学

キーワード：エアロゾル サイクロン 有害性評価 環境分析 大気汚染防止・浄化 環境質定量化・予測 PM2.5 酸化能

※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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

PM_{2.5}（50%カットオフ径 2.5 μm 以下の微小粒子状物質）に代表される大気粒子状物質は、呼吸によって生体内に入り込み健康に悪影響を及ぼすことから、世界的に懸念が高まっている。OECD によれば、2050 年の時点において、人間の早期死亡をもたらす最大の環境要因は大気汚染となり、その中でも特に粒子状物質によるものが最も深刻となることが予測されている¹⁾。具体的には、2050 年までに粒子状物質による早期死亡者数は世界全体で 2010 年時点の 2 倍以上に増加して年間 360 万人に達する見込みであり、その大半はインドと中国において占めるとされている。粒子状物質の有害性はその物理化学的特性に強く依存すると考えられるため、粒子状物質の有害性が実際に発現するメカニズムの解明のためには、質量のみならず成分組成の相違に着目した健康影響評価を行うことが喫緊の課題である。特に、我が国のみならずインドや中国を含むアジア地域の全体的な大気環境対策を進めるために、人間の生活の質に直結する呼吸器系（気管支喘息等）や免疫系（アレルギー等）に対する粒子状物質のリスクに係る信頼性の高い科学的知見を蓄積する必要がある。さらに人間の呼吸器系や免疫系は粒子状物質に対して高感受性・脆弱性を示すことから、リスクの早期発見・予防・軽減のための研究が特に求められている。しかし現状では、実環境大気中の粒子状物質全体（粒子そのもの）を曝露して健康影響を直接評価できる手法はない。その理由として、粒子状物質は一般的にはフィルターを用いて採取されるが、その方法では曝露実験に必要な量の粒子をフィルターから取り出すことが困難なためである。また、フィルター法では、サンプリング中に捕集された粒子とガス状成分の反応により粒子の変質が起こったり、得られた粒子を細胞曝露実験等に利用する際にフィルターの素材そのものが混入するなど、正しい評価実験が行えなくなる可能性がある。この問題を解決すべく、研究代表者の奥田はインパクターとサイクロンを組み合わせた大気粒子状物質の新規採取装置（独自型サイクロンサンプラー）の開発を行ってきた²⁾³⁾。本装置は、フィルターを用いずにサイクロンにより大気粒子状物質を採取するもので、得られた粒子状物質を細胞・動物曝露実験に利用することが可能である。

2. 研究の目的

本研究では、フィルターを用いずに粒子状物質を採取するために、独自に開発したインパクターとサイクロンを組み合わせた大流量粒子サンプラーを、インド・中国・日本にそれぞれ設置し、得られた粒子状物質の分析を行い、三国間における結果を相互に比較することで、各地域特有の粒子状物質による生体有害性の評価を行う体制を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

粒子状物質試料の採取：インド国立物理研究所（ニューデリー）、西安交通大学（西安）、および慶應義塾大学理工学部（横浜）に、それぞれ独自型サイクロンサンプラーを設置した。大気吸引流量は 1,200 L/min とした。1 試料あたりのサンプリング期間は、インドでは 1 日、中国では約 1 週間、日本では約 3 週間とした。採取された大気エアロゾル粉体の水溶性イオン成分、元素成分、炭素成分濃度は、それぞれイオンクロマトグラフィー（Shimadzu LC-10ATvp series）、エネルギー分散型蛍光 X 線分析（EDXRF, Rigaku EDXL300）、熱分離・光学補正法（Sunset EC/OC analyzer）によって測定した。DTT Assay は、まず 30 mL の 0.1 M リン酸緩衝溶液（pH 7.4）に、試料を 3 mg を加え 0.1 mg/mL の懸濁液を作成した。これを 15 分間超音波抽出し、DTT 濃度が 100 μM となるように DTT 溶液を添加した。15 分間約 37 °C の温浴につけた後、遠心分離し、上澄み液 4 mL に 10.0 mM の DTNB 溶液を 50 μL 添加し、414 nm での吸光度を吸光度計で測定した。既知濃度の DTT に関しても同様の操作を行い検量線を作成し、各吸光度の値から試料の DTT 消費量（酸化能）を求めた。エンドトキシン（Lipopolysaccharide, LPS）測定は、まずエンドトキシンの標準試料を 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125 EU/mL の 7 つの濃度に調製した標準溶液を準備し、この標準溶液もしくは実試料の抽出液をマイクロプレートに添加した。調製したライセート試液（LAL）を添加し、マイクロプレートに蓋を被せ、マイクロプレートを攪拌し、混合した。マイクロプレートを 37 °C のホットプレートで 25 分間インキュベートした。インキュベート終了後、色安定剤 #1（反応停止）〜3 を順番に添加し、回転させてよく混合した。マイクロプレートリーダーを用いて 545 nm の吸光度を測定した。

4. 研究成果

期間中に得られた粒子状物質試料数は、インド 28、中国 8、日本 23 であり、1 試料あたりの採取量は、それぞれ平均して、インド 145 mg（最大 1,039 mg）、中国 3,365 mg（最大 5,185 mg）、日本 198 mg（最大 678 mg）であった。インドおよび中国における各成分濃度間の相関係数を Table 1, 2 に示す。中国においては、粒子状物質中の金属同士の相関が高かった。また、粒子の DTT 酸化能と Mn, S, Ni との間に比較的強い正の相関（ $r > 0.69$ ）が見られた。一方インドでは DTT 酸化能と金属の間の相関は高くなかった。

Table 1 中国においてサイクロンにより採取された粒子状物質中の各成分濃度間の相関係数

	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cl-	NO3	SO4 ²⁻	Na ⁺	NH4 ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	OC1	OC2	OC3	OC4	EC1	EC2	EC3	酸化度
Mg	1.00	0.98	0.94	0.94	0.89	0.47	0.94	0.97	0.95	0.71	0.90	0.94	0.90	0.94	0.88	0.85	0.91	-0.47	0.18	0.76	-0.30	0.26	0.49	0.67	0.55	-0.14	-0.06	0.21	0.26	0.16	0.22	0.18	0.67
Al	0.98	1.00	0.96	0.95	0.84	0.39	0.91	0.97	0.95	0.69	0.86	0.95	0.90	0.91	0.82	0.78	0.87	-0.57	0.04	0.68	-0.40	0.13	0.34	0.64	0.56	-0.23	-0.16	0.13	0.31	0.14	0.34	0.22	0.68
Si	0.94	0.96	1.00	0.99	0.69	0.29	0.92	0.94	0.96	0.78	0.79	0.90	0.93	0.90	0.82	0.84	0.76	-0.65	-0.14	0.51	-0.32	-0.06	0.23	0.73	0.45	-0.36	-0.24	0.16	0.46	0.15	0.43	0.28	0.54
P	0.94	0.95	0.99	1.00	0.77	0.67	0.97	0.96	0.97	0.82	0.88	0.90	0.96	0.91	0.86	0.77	0.85	-0.72	-0.08	0.61	-0.46	0.02	0.29	0.61	0.33	-0.37	-0.18	0.40	0.49	0.01	0.48	0.29	0.48
S	0.89	0.84	0.69	0.77	1.00	0.68	0.81	0.85	0.79	0.53	0.91	0.84	0.73	0.83	0.81	0.70	0.97	-0.15	0.57	0.96	-0.30	0.65	0.72	0.40	0.51	0.21	0.22	0.31	0.02	0.10	-0.07	0.04	0.73
Cl	0.47	0.39	0.29	0.67	0.68	1.00	0.59	0.54	0.47	0.38	0.77	0.38	0.47	0.50	0.70	0.37	0.71	0.36	0.71	0.68	-0.32	0.72	0.61	-0.04	-0.14	0.71	0.84	0.85	0.26	0.14	-0.02	0.39	0.23
K	0.94	0.91	0.92	0.97	0.81	0.59	1.00	0.97	0.98	0.87	0.93	0.90	0.97	0.96	0.95	0.87	0.90	-0.40	0.18	0.67	-0.34	0.23	0.44	0.55	0.26	-0.09	0.10	0.46	0.42	0.08	0.23	0.24	0.51
Ca	0.97	0.97	0.94	0.96	0.85	0.54	0.97	1.00	0.99	0.79	0.94	0.95	0.96	0.97	0.93	0.84	0.92	-0.44	0.12	0.69	-0.41	0.20	0.39	0.57	0.39	-0.09	0.02	0.36	0.43	0.20	0.30	0.31	0.66
Ti	0.95	0.95	0.96	0.97	0.79	0.47	0.98	0.99	1.00	0.87	0.90	0.95	0.99	0.98	0.92	0.86	0.88	-0.50	0.06	0.62	-0.39	0.13	0.34	0.57	0.32	-0.20	-0.04	0.36	0.44	0.12	0.28	0.23	0.60
V	0.71	0.69	0.78	0.82	0.53	0.38	0.87	0.79	0.87	1.00	0.73	0.79	0.93	0.87	0.80	0.76	0.70	-0.45	-0.02	0.37	-0.37	0.00	0.18	0.31	-0.08	-0.28	-0.01	0.49	0.48	-0.10	0.17	0.08	0.38
Cr	0.90	0.86	0.79	0.88	0.91	0.77	0.93	0.94	0.90	0.73	1.00	0.87	0.88	0.92	0.96	0.78	0.97	-0.15	0.41	0.80	-0.40	0.47	0.57	0.39	0.26	0.23	0.34	0.58	0.37	0.24	0.13	0.33	0.65
Mn	0.94	0.95	0.90	0.90	0.84	0.38	0.90	0.95	0.95	0.79	0.87	1.00	0.93	0.96	0.84	0.79	0.90	-0.52	0.10	0.69	-0.44	0.19	0.34	0.49	0.45	-0.22	-0.15	0.19	0.25	0.10	0.17	0.08	0.79
Fe	0.90	0.90	0.93	0.96	0.73	0.47	0.97	0.96	0.99	0.93	0.88	0.93	1.00	0.97	0.90	0.82	0.85	-0.51	0.02	0.55	-0.46	0.08	0.26	0.47	0.19	-0.22	-0.02	0.42	0.49	0.04	0.30	0.22	0.55
Ni	0.94	0.91	0.90	0.91	0.83	0.50	0.96	0.97	0.98	0.87	0.92	0.96	0.97	1.00	0.94	0.90	0.92	-0.39	0.18	0.70	-0.31	0.25	0.45	0.54	0.35	-0.12	0.01	0.37	0.34	0.16	0.11	0.14	0.69
Cu	0.88	0.82	0.82	0.86	0.81	0.70	0.95	0.93	0.92	0.80	0.96	0.84	0.90	0.94	1.00	0.89	0.89	-0.14	0.30	0.70	-0.23	0.36	0.54	0.50	0.23	0.15	0.30	0.60	0.46	0.33	0.11	0.35	0.58
Zn	0.85	0.78	0.84	0.77	0.70	0.37	0.87	0.84	0.86	0.76	0.78	0.79	0.82	0.90	0.89	1.00	0.74	-0.27	0.17	0.62	0.11	0.22	0.57	0.76	0.45	-0.13	-0.02	0.28	0.27	0.34	-0.03	0.10	0.56
Pb	0.91	0.87	0.76	0.85	0.97	0.71	0.90	0.92	0.88	0.70	0.97	0.90	0.85	0.92	0.89	0.74	1.00	-0.21	0.47	0.89	-0.42	0.54	0.61	0.35	0.36	0.17	0.24	0.44	0.17	0.10	0.03	0.13	0.73
Cl-	-0.47	-0.57	-0.36	-0.37	-0.15	0.36	-0.40	-0.44	-0.50	-0.45	-0.15	-0.52	-0.51	-0.39	-0.14	-0.27	-0.21	1.00	0.62	0.04	0.42	0.57	0.34	-0.43	-0.31	0.84	0.76	0.38	-0.24	0.34	-0.60	0.04	-0.20
NO3	0.18	0.04	-0.14	-0.08	0.57	0.71	0.18	0.12	0.06	-0.02	0.41	0.10	0.02	0.18	0.30	0.17	0.47	0.62	1.00	0.74	0.13	0.99	0.85	-0.17	0.08	0.74	0.71	0.42	-0.46	-0.01	-0.64	-0.23	0.23
SO4 ²⁻	0.76	0.68	0.51	0.61	0.96	0.68	0.67	0.69	0.62	0.37	0.80	0.69	0.55	0.70	0.70	0.62	0.89	0.04	0.74	1.00	-0.11	0.81	0.86	0.34	0.53	0.34	0.32	0.27	-0.23	0.09	-0.28	-0.10	0.67
Na ⁺	-0.30	-0.40	-0.32	-0.46	-0.30	-0.32	-0.34	-0.41	-0.39	-0.37	-0.40	-0.44	-0.46	-0.31	-0.23	0.11	-0.42	0.42	0.13	-0.11	1.00	0.09	0.33	0.35	0.25	0.05	-0.04	-0.30	-0.41	0.31	-0.56	-0.31	-0.25
NH4 ⁺	0.26	0.13	-0.06	0.02	0.65	0.72	0.23	0.20	0.13	0.00	0.47	0.19	0.08	0.25	0.36	0.22	0.54	0.57	0.99	0.81	0.09	1.00	0.87	-0.11	0.18	0.73	0.67	0.39	-0.45	0.05	-0.61	-0.20	0.34
K ⁺	0.49	0.34	0.23	0.29	0.72	0.61	0.44	0.39	0.34	0.18	0.57	0.34	0.26	0.45	0.54	0.57	0.61	0.34	0.85	0.86	0.33	0.87	1.00	0.36	0.44	0.50	0.46	0.29	-0.35	0.20	-0.52	-0.17	0.41
Mg ²⁺	0.67	0.64	0.73	0.61	0.40	-0.04	0.55	0.57	0.57	0.31	0.39	0.49	0.47	0.54	0.50	0.76	0.35	-0.43	-0.17	0.34	0.35	-0.11	0.36	1.00	0.73	-0.35	-0.36	-0.21	0.18	0.41	0.22	0.17	0.32
Ca ²⁺	0.55	0.56	0.45	0.33	0.51	-0.14	0.26	0.39	0.32	-0.08	0.26	0.45	0.19	0.35	0.23	0.45	0.36	-0.31	0.08	0.53	0.25	0.18	0.44	0.73	1.00	-0.20	-0.43	-0.55	0.33	0.34	-0.05	-0.12	0.61
OC1	-0.14	-0.23	-0.36	-0.37	0.21	0.71	-0.09	-0.09	-0.20	-0.28	0.23	-0.22	-0.22	-0.12	0.15	-0.13	0.17	0.84	0.74	0.34	0.05	0.73	0.50	-0.35	-0.20	1.00	0.92	0.61	-0.02	0.37	-0.29	0.34	0.04
OC2	-0.06	-0.16	-0.24	-0.18	0.22	0.84	0.10	0.02	-0.04	-0.01	0.34	-0.15	-0.02	0.01	0.30	0.02	0.24	0.76	0.71	0.32	-0.04	0.67	0.46	-0.36	-0.43	0.92	1.00	0.83	0.15	0.20	-0.22	0.36	-0.12
OC3	0.21	0.13	0.16	0.40	0.31	0.85	0.46	0.36	0.36	0.49	0.58	0.19	0.42	0.37	0.60	0.28	0.44	0.38	0.42	0.27	-0.30	0.39	0.29	-0.21	-0.55	0.61	0.83	1.00	0.54	0.14	0.06	0.49	-0.02
OC4	0.26	0.31	0.46	0.49	-0.02	0.26	0.42	0.43	0.44	0.48	0.37	0.25	0.49	0.34	0.46	0.27	0.17	-0.24	-0.46	-0.23	-0.41	-0.45	-0.35	0.18	-0.33	-0.02	0.15	0.54	1.00	0.37	0.75	0.65	-0.02
EC1	0.16	0.14	0.15	0.01	0.10	0.14	0.08	0.20	0.12	-0.10	0.24	0.10	0.04	0.16	0.33	0.34	0.10	0.34	-0.01	0.09	0.31	0.05	0.20	0.41	0.34	0.37	0.20	0.14	0.37	1.00	0.06	0.60	0.39
EC2	0.22	0.34	0.43	0.48	-0.07	0.02	0.23	0.30	0.28	0.17	0.13	0.17	0.30	0.11	0.11	0.33	0.03	-0.60	-0.64	-0.28	-0.56	-0.61	-0.52	0.22	-0.05	-0.29	-0.22	0.06	0.75	0.06	1.00	0.71	-0.10
EC3	0.18	0.22	0.28	0.29	0.04	0.39	0.24	0.31	0.23	0.08	0.33	0.08	0.22	0.14	0.35	0.10	0.13	0.04	-0.23	-0.10	-0.31	-0.20	-0.17	0.17	-0.12	0.34	0.36	0.49	0.85	0.60	0.71	1.00	0.02
酸化度	0.67	0.68	0.54	0.48	0.73	0.23	0.51	0.66	0.60	0.38	0.65	0.79	0.55	0.69	0.58	0.56	0.73	-0.20	0.23	0.67	-0.25	0.34	0.41	0.32	0.61	0.04	-0.12	-0.02	-0.02	0.39	-0.10	0.02	1.00

Table 2 インドにおいてサイクロンにより採取された粒子状物質中の各成分濃度間の相関係数

	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Cl	NO3	SO4	Na+	NH4+	K+	Mg2+	Ca2+	OC1	OC2	OC3	OC4	EC1	EC2	EC3	酸化度
Mg	1.00	0.77	0.87	0.82	-0.25	-0.25	0.66	0.85	0.77	0.78	0.60	0.19	0.75	0.22	-0.31	-0.45	-0.66	-0.67	-0.52	-0.38	0.43	-0.75	-0.12	0.56	-0.12	0.02	-0.63	-0.72	-0.79	-0.15	0.12	-0.85	0.01
Al	0.77	1.00	0.89	0.87	0.03	0.38	0.66	0.86	0.68	0.68	0.58	0.22	0.66	0.22	-0.31	-0.47	-0.27	-0.34	-0.43	0.14	-0.47	-0.15	0.53	-0.17	-0.47	-0.68	-0.79	-0.26	-0.48	-0.68	-0.08	-0.08	
Si	0.87	0.89	1.00	0.93	-0.24	-0.18	0.92	0.87	0.96	0.96	0.85	0.46	0.86	0.49	-0.23	-0.36	-0.51	-0.67	-0.44	-0.30	0.44	-0.79	-0.19	0.74	-0.11	-0.81	0.18	0.16	0.07	0.89	-0.71	-0.16	-0.07
P	0.82	0.87	0.93	1.00	-0.13	-0.28	0.88	0.91	0.91	0.90	0.88	0.62	0.90	0.62	-0.08	0.36	-0.49	-0.67	-0.40	-0.20	0.37	-0.74	-0.23	0.60	-0.06	-0.97	0.39	0.49	0.43	0.98	-0.95	0.10	-0.01
S	-0.25	0.03	-0.24	-0.13	1.00	0.37	-0.18	-0.15	-0.24	-0.19	-0.08	-0.15	-0.20	-0.22	0.32	0.70	-0.57	0.41	0.25	0.71	-0.09	0.41	-0.83	-0.20	0.71	-1.00	0.78	0.74	0.66	-0.88	0.90	-0.05	
Cl	-0.25	0.38	-0.18	-0.28	0.37	1.00	0.03	-0.19	-0.17	-0.15	-0.18	-0.06	-0.13	-0.08	0.31	0.59	0.42	0.42	0.42	-0.05	-0.25	0.26	0.01	-0.13	-0.10	-0.21	-0.81	0.78	0.78	0.14	-0.68	0.96	0.00
K	0.66	0.56	0.82	0.88	-0.18	0.03	1.00	0.90	0.91	0.92	0.83	0.55	0.82	0.56	-0.26	-0.21	-0.45	-0.67	-0.29	-0.19	0.41	-0.75	-0.16	0.69	-0.14	-1.00	0.70	0.68	0.60	0.97	-0.88	0.43	0.00
Ca	0.85	0.66	0.97	0.91	-0.15	-0.18	0.90	1.00	0.95	0.97	0.88	0.58	0.96	0.41	-0.24	-0.24	-0.42	-0.61	-0.42	-0.19	0.49	-0.75	-0.19	0.78	0.04	-0.85	0.31	0.23	0.12	1.00	-0.87	0.04	0.02
Ti	0.77	0.65	0.96	0.91	-0.24	-0.17	0.91	0.95	1.00	0.96	0.89	0.57	0.89	0.60	-0.35	-0.33	-0.45	-0.58	-0.33	-0.34	0.36	-0.67	-0.12	0.84	-0.12	-0.88	0.23	0.29	0.21	0.97	-0.84	-0.09	0.10
V	0.78	0.68	0.96	0.90	-0.19	-0.15	0.92	0.87	0.98	1.00	0.91	0.47	0.98	0.49	-0.30	-0.29	-0.44	-0.58	-0.35	-0.30	0.40	-0.69	-0.15	0.82	-0.11	-0.88	0.34	0.30	0.20	1.00	-0.75	0.00	-0.03
Cr	0.60	0.58	0.85	0.88	-0.08	-0.18	0.83	0.88	0.89	0.91	1.00	0.51	0.90	0.50	-0.28	-0.23	-0.34	-0.45	-0.27	-0.31	0.27	-0.51	-0.13	0.76	-0.09	-0.99	0.85	0.59	0.49	0.96	-0.81	0.35	0.03
Mn	0.19	0.22	0.46	0.62	-0.15	-0.06	0.55	0.39	0.57	0.47	0.51	1.00	0.54	0.39	-0.21	-0.38	-0.36	-0.36	-0.17	-0.27	-0.30	-0.37	-0.34	0.22	-0.33	-0.80	0.29	0.60	0.64	0.82	-0.62	0.25	0.10
Fe	0.75	0.66	0.95	0.90	-0.20	-0.13	0.92	0.86	0.98	0.98	0.90	0.54	1.00	0.56	-0.37	-0.27	-0.41	-0.55	-0.31	-0.32	0.38	-0.64	-0.12	0.86	-0.09	-0.90	0.32	0.33	0.25	0.99	-0.83	-0.01	-0.15
Ni	0.23	0.22	0.49	0.62	-0.22	-0.08	0.56	0.41	0.60	0.49	0.50	0.59	0.56	1.00	-0.24	-0.41	-0.37	-0.38	-0.18	-0.30	-0.26	-0.39	-0.32	0.27	-0.35	-0.84	0.20	0.53	0.57	0.97	-0.80	0.16	0.14
Cl	-0.31	-0.33	-0.23	-0.08	0.32	-0.31	-0.26	-0.24	-0.35	-0.30	-0.26	-0.21	-0.37	-0.24	1.00	0.10	0.19	0.13	0.03	0.63	0.10	0.04	0.01	-0.47	0.36	0.94	-0.30	-0.41	-0.35	-0.96	0.82	-0.01	-0.34
Zn	-0.45	-0.51	-0.36	-0.36	0.70	0.59	-0.21	-0.24	-0.33	-0.29	-0.23	-0.38	-0.27	-0.41	0.10	1.00	0.76	0.47	0.55	0.51	0.21	0.46	0.39	-0.17	0.48	-0.18	-0.32	-0.54	-0.64	0.12	0.11	-0.57	0.14
Pb	-0.66	-0.27	-0.51	-0.49	0.57	0.42	-0.45	-0.42	-0.45	-0.44	-0.34	-0.36	-0.41	-0.37	0.19	0.76	1.00	0.79	0.70	0.43	-0.03	0.75	0.28	-0.14	0.44	-0.21	-0.28	-0.51	-0.61	0.33	0.11	-0.54	0.14
Cl	-0.67	-0.27	-0.67	-0.67	0.41	0.42	-0.67	-0.61	-0.58	-0.58	-0.45	-0.36	-0.55	-0.38	-0.13	0.47	0.79	1.00	0.65	0.10	-0.38	0.83	0.21	-0.16	0.19	0.98	-0.01	-0.30	-0.31	-0.72	0.81	0.13	0.17
NO3	-0.52	-0.34	-0.44	-0.40	0.25	0.28	-0.29	-0.42	-0.33	-0.35	-0.27	-0.17	-0.31	-0.16	0.03	0.55	0.70	0.65	1.00	0.24	0.04	0.66	0.62	-0.05	0.12	-0.63	0.00	-0.11	-0.21	0.99	-0.45	-0.34	0.33
SO4	-0.38	-0.43	-0.30	-0.20	0.71	-0.05	-0.19	-0.18	-0.34	-0.30	-0.31	-0.27	-0.32	-0.30	0.63	0.51	0.43	0.10	0.24	1.00	0.23	0.24	0.12	-0.34	0.00	1.00	-0.56	-0.67	-0.62	-1.00	0.99	-0.31	0.01
Na	0.43	0.14	0.44	0.37	-0.09	-0.25	0.41	0.49	0.36	0.40	0.27	0.30	-0.38	-0.26	0.10	0.21	-0.03	-0.38	0.04	0.23	1.00	-0.39	0.45	0.39	0.35	-0.06	-0.37	-0.61	-0.70	-0.79	0.25	-0.59	0.20
NH4	-0.75	-0.47	-0.79	-0.74	0.41	0.26	-0.75	-0.70	-0.67	-0.69	-0.51	-0.37	-0.64	-0.39	0.04	0.46	0.75	0.82	0.66	0.24	-0.39	1.00	0.26	-0.25	0.23	-0.85	0.87	0.96	0.94	0.96	-0.87	0.76	0.29
K	-0.12	-0.15	-0.19	-0.23	-0.03	0.03	-0.16	-0.19	-0.12	-0.15	-0.13	-0.34	-0.12	-0.32	0.01	0.39	0.28	0.21	0.62	0.12	0.45	0.28	1.00	0.10	0.23	0.18	-0.47	-0.73	-0.81	-0.95	-0.46	-0.63	0.34
Mg2	0.56	0.53	0.74	0.60	-0.20	-0.13	0.69	0.78	0.94	0.82	0.76	0.22	0.86	0.27	-0.47	-0.17	-0.14	-0.16	-0.05	-0.34	0.39	-0.25	1.00	0.00	-1.00	-1.00	-0.70	-0.31	-0.47	1.00	-0.54	-1.00	-0.25
Ca2	-0.12	-0.17	-0.11	-0.06	0.71	-0.10	-0.14	-0.04	-0.12	-0.11	-0.09	-0.33	-0.09	-0.35	0.36	0.48	0.44	0.19	0.12	0.80	0.35	0.23	0.23	0.00	1.00	0.49	-0.65	-0.88	-0.92	-1.00	0.97	-0.72	0.15
OC1	0.02	-0.47	-0.81	-0.97	-1.00	-0.21	-1.00	-0.85	-0.88	-0.88	-0.90	-0.80	-0.90	-0.84	0.94	-0.18	-0.21	0.98	-0.43	1.00	-0.06	-0.85	-0.18	-1.00	-1.00	-0.77	-0.71	-0.63	-1.00	0.99	-0.48	-0.77	
OC2	-0.43	-0.15	0.18	0.39	0.76	0.81	0.70	0.31	0.23	0.34	0.65	0.29	0.32	0.20	-0.32	-0.28	-0.32	-0.00	-0.56	-0.37	0.87	-0.47	-0.70	-0.65	0.77	1.00	0.93	0.90	0.87	-0.55	0.94	0.03	
OC3	-0.72	-0.29	0.16	0.49	0.74	0.76	0.68	0.23	0.29	0.30	0.59	0.60	0.33	0.53	-0.41	-0.54	-0.51	-0.30	-0.11	-0.67	-0.61	0.96	-0.73	-0.31	-0.88	-0.71	0.82	1.00	0.99	0.87	-0.71	0.90	0.10
OC4	-0.79	-0.40	0.02	0.43	0.66	0.78	0.60	0.12	0.21	0.20	0.49	0.64	0.25	0.57	-0.35	-0.64	-0.61	-0.31	-0.21	-0.62	-0.70	0.94	-0.81	-0.47	-0.92	-0.63	0.90	0.99	1.00	-0.88	-0.90	0.03	
EC1	-0.15	0.88	0.99	0.96	0.96	0.94	0.87	1.00	0.87	1.00	0.86	0.82	0.89	0.77	-0.06	0.12	0.33	-0.72	0.88	-1.00	-0.79	0.96	-0.95	1.00	-1.00	0.87	0.87	0.86	1.00	-0.99	0.48	0.89	
EC2	0.12	-0.26	-0.71	-0.95	-0.88	-0.98	-0.88	-0.67	-0.84	-0.75	-0.81	-0.82	-0.83	-0.80	0.82	0.13	0.11	0.81	-0.43	0.99	0.25	-0.87	0.46	-0.54	0.67	0.99	-0.55	-0.71	-0.68	-0.99	1.00	-0.35	-0.75
EC3	-0.85	-0.48	-0.16	0.10	0.14	0.96	0.43	-0.04	-0.09	0.00	0.35	0.25	-0.01	0.16	-0.01	-0.57	-0.54	0.13	-0.34	-0.31	-0.59	0.78	-0.63	-1.00	-0.72	-0.48	0.94	0.90	0.90	-0.48	-0.35	1.00	-0.29
酸化度	0.03	-0.98	-0.07	-0.01	-0.05	0.00	0.00	0.02	0.15	-0.03	0.03	0.10	0.15	0.14	-0.34	0.16	0.14	0.17	0.33	0.01	0.20	0.29	0.34	0.25	0.15	-0.77	0.03	0.10	0.03	0.89	0.75	-0.29	0.17

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Chowdhury Pratiti H., Honda Akiko, Ito Sho, Okano Hitoshi, Onishi Toshinori, Higashihara Makoto, Okuda Tomoaki, Tanaka Toshio, Hirai Seitarou, Takano Hirohisa	4. 巻 19
2. 論文標題 Effects of Ambient PM2.5 Collected Using Cyclonic Separator from Asian Cities on Human Airway Epithelial Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aerosol and Air Quality Research	6. 最初と最後の頁 1808～1819
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4209/aaqr.2019.01.0016	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 齋藤 克知、奥田 知明、長谷川 就一、西田 千春、原 圭一郎、林 政彦	4. 巻 55
2. 論文標題 サイクロン法で採取された粒子状物質中CrのXAFSによる化学状態解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 大気環境学会誌	6. 最初と最後の頁 27～33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11298/taiki.55.27	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 Okuda, T., Shishido, D., Terui, Y., Fujioka, K., Isobe, R., Iwaki, Y., Funato, K., Inoue, K.	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of a high-volume simultaneous sampler for fine and coarse particles using virtual impactor and cyclone techniques	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Asian Journal of Atmospheric Environment	6. 最初と最後の頁 78-86
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5572/ajae.2018.12.1.078	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 —

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 4件／うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Okuda, T., Goto, T., Takano, H., Honda, A., Onishi, T., Tanaka, M., Hasegawa, S., Kameda, T., Tohno, S., Hayashi, M., Hara, K., Nishita-Hara, C., Inoue, K.	
2. 発表標題 Factors responsible for the biological responses of exposure to atmospheric fine and coarse particles collected by cyclone in three Japanese cities	
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 Katori, T., Shishido, D., Okuda, T.
2. 発表標題 Comparison of PM2.5 chemical composition collected with cyclone and filter
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 Jiaxin Chen, Tomoaki Okuda
2. 発表標題 Chemical Analysis and DTT Assay of Powder Form of Atmospheric Particulate Matter Collected by Cyclone in India and 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 Saito, K., Okuda, T.
2. 発表標題 Chemical speciation of chromium in atmospheric particulate matter collected with filter and cyclone by XAFS method
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 Tomoaki Okuda, Takaaki Goto, Hirohisa Takano, Akiko Honda, Toshinori Onishi, Michitaka Tanaka, Shuichi Hasegawa, Takayuki Kameda, Susumu Tohno, Chiharu Nishita-Hara, Keiichiro Hara, Masahiko Hayashi, Kozo Inoue
2. 発表標題 CYCLEX: Cyclone Collection of Particulate Matter Followed by Exposure Experiments
3. 学会等名 American Association for Aerosol Research 37th Annual Conference (Portland, Oregon, USA)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Katori, Ayumi Iwata, Daiki Shishido, Yoshihiro Terui, Tomoaki Okuda
2. 発表標題 Improvement of Cyclone Sampler and Its Performance for Chemical Composition and Toxicity Measurement
3. 学会等名 American Association for Aerosol Research 37th Annual Conference (Portland, Oregon, USA)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 陳嘉欣, 照井凱大, 奥田知明, Shankar G. Aggarwal
2. 発表標題 インドと日本におけるエアロゾルの大流量捕集と粒子のDTT 酸化能の測定
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 香取拓也, 岩田歩, 完戸大輝, 照井凱大, 奥田知明
2. 発表標題 小型サイクロンによる大気中微小粒子状物質の捕集と有害性評価
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 齋藤克知, 奥田知明, 長谷川就一, 西田千春, 原圭一郎, 林政彦
2. 発表標題 神奈川・埼玉・福岡でサイクロン採取された粒子状物質中 Cr の XAFS による化学状態解析
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 Terui, Y., Shishido, D., Kanemaru, A., Sato, T., Okuda, T.
2. 発表標題 Chemical analysis and DTT assay of powder form of atmospheric particles collected by cyclone
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference, St. Louis, USA (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Chen, J., Okuda, T., Aggarwal, S.G.
2. 発表標題 Characteristics of PM2.5 in India collected by high-volume PM2.5 particle sampler
3. 学会等名 Joint International Symposium of 14th CACGP & 15th IGAC, Takamatsu, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katori, T., Okuda, T.
2. 発表標題 Development of a small-sized cyclone to collect ultrafine particles in the air
3. 学会等名 Joint International Symposium of 14th CACGP & 15th IGAC, Takamatsu, Japan (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okuda, T., Takano, H., Honda, A., Hasegawa, S., Kameda, T., Tohno, S., Onishi, T., Tanaka, M., Hayashi, M., Hara, K., Nishita-Hara, C., Shishido, D., Terui, Y., Sato, T., Inoue, K.
2. 発表標題 Factors responsible for the health effects of atmospheric fine and coarse particles by cyclone collection and exposure experiments
3. 学会等名 China-Japan-Korea Joint International Symposium on Continuously Improvement of Air Quality, 2018 Annual Meeting of AAE-CSES, Qingdao, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陳嘉欣, 奥田知明, Aggarwal, S.G.
2. 発表標題 インドにおけるPM2.5の大流量捕集と粒子の特徴
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会、名古屋大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 照井凱大, 完戸大輝, 佐藤摘歩実, 奥田知明, 船戸浩二, 井上浩三
2. 発表標題 サイクロン法により採取された大気エアロゾル粉体のDTT Assayによる酸化能測定
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会、名古屋大学
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okuda, T.
2. 発表標題 Development of measurement techniques of physical and chemical characteristics of atmospheric aerosols related to their adverse health effect
3. 学会等名 Frontiers of Atmospheric Aerosol Studies: Toward the Understanding of Their Health and Climatic Effects (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Okuda, T.
2. 発表標題 Measurement of physical and chemical characteristics of atmospheric aerosols related to their adverse health effect
3. 学会等名 International Symposium on Continuously Improvement of Air Quality: Science, Technology and Policy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Aggarwal, S.G., Patel, P., Tsai, C.J., Soni, D., Singh, K., Okuda, T., Kotnala, R.K., Ojha, V.N., Aswal, D.K.
2. 発表標題 Need of a high-volume PM2.5 sampler for performing better gravimetric measurements and chemical analyses
3. 学会等名 10th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Okuda, T., Shishido, D, Terui, Y., Funato, K., Inoue, K.
2. 発表標題 Development of the high volume simultaneous sampler for fine and coarse aerosol particles using a combination of virtual impactor and multi-cyclone
3. 学会等名 10th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 奥田 知明
2. 発表標題 PM2.5を集めて測る ～捕集と特性解明の技術～
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ (招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://www.applc.keio.ac.jp/~okuda/>

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
研究協力者	岩田 歩 (Iwata Ayumi) (30827340)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・助教 (32612)	
研究協力者	完戸 大輝 (Shishido Daiki)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	照井 凱大 (Terui Yoshihiro)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	陳 嘉欣 (Chen Jiabin)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	香取 拓也 (Katori Takuya)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	齋藤 克知 (Saito Katsutomo)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	杉本 和貴 (Sugimoto Kazuki)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	
研究協力者	孫 菲雅 (Sun Feiya)	慶應義塾大学・理工学部（矢上）・大学院生 (32612)	

