

令和 7 年 12 月 22 日

報道機関 各位

富山および横浜における大気中粗大粒子・微小粒子の
化学組成と細菌群集への影響を解明

■ ポイント

- ・富山（郊外）と横浜（都市）で、大気中の粗大粒子および微小粒子を比較しました。
- ・両地点とも、生態系への潜在的リスクが「重大なレベル」であることが分かり、特にアンチモン（Sb）が大きな要因でした。
- ・横浜のPM_{2.5}では、より複雑な「微生物と化学成分の関係」が観察されました。
- ・各地域で、土地利用の違いに応じた「微生物群集を左右する主要な化学成分」を特定しました。

■ 概要

富山大学大学院理工学研究科（博士後期課程）の劉娟氏と学術研究部理学系田中大祐教授らの研究グループは、広島大学 IDEC 国際連携機構の藤吉奏特任准教授（兼富山県立大学准教授）と丸山史人教授、立命館大学の遠里由佳子教授らと共同で、日本の富山と横浜における大気粒子の化学成分の違いと、それが細菌群集に与える影響を明らかにしました。この研究は「土地利用の違いが、大気中の微生物群集の組成をどのように左右するか」を示しています。

本研究成果は、「Journal of Hazardous Materials」に2025年12月1日（月）（日本時間）に掲載されました。

■ 研究の背景

大気中の粒子（PM）は、大気の水質や生態系、人体の健康に影響を与える重要な存在です。これらには、無機イオンや炭素成分、重金属、さらには微生物や花粉などが含まれます。粒径によって「粗大粒子（2.5～10μm）」と「微小粒子（2.5μm以下）」に分けられます。粗大粒子は土壌や海塩、花粉など自然由来が多く、微小粒子は交通や工業活動に由来し、肺の奥まで到達しやすい特徴があります。

粒径の違いは、発生源や化学組成だけでなく、付着する微生物群集の特徴にも大きな影響を与えます。これまでの研究では特定の地域や成分に焦点を当てることが多く、地域差・粒径差・化学的要因を総合的に評価した例は限られていました。

富山市と横浜市は、地理や気候、都市化の度合いが大きく異なるため、大気粒子と微生物群集の関係を調べる上で有用な比較対象です。

■研究の内容・成果

本研究では、富山（郊外）と横浜（都市）の2地点において、粗大粒子（SPM-PM_{2.5}^{※1}）と微小粒子（PM_{2.5}^{※1}）を同時に採取し、その化学成分と細菌群集を包括的に解析しました。分析の結果、横浜における粒子状物質の質量濃度は富山と比較して全体的に高く、粗大粒子および微小粒子の濃度はそれぞれ横浜で 5.6 µg/m³と 11.8 µg/m³、富山で 3.8 µg/m³と 9.4 µg/m³でした（図 1a）。いずれも日本の現行大気環境基準値を下回っていましたが、主要成分として水溶性無機イオン（WSII）と炭素成分（CS）が確認され、両者の合計は総質量の約 65.6～72.4%に達しました（図 1b, 1c）。

さらに、Hakanson の手法に基づく重金属の潜在的生態リスク評価を行ったところ、両地点の総合潜在生態リスク指数（RI）^{※2} はいずれも「深刻なリスク」レベルに分類されました（図 2）。特にアンチモン（Sb）が最大のリスク寄与元素であり、富山と横浜でそれぞれ 701.1 と 832.7 という高い値を示しました。この結果は、粒子濃度が規制値内であっても、粒子状物質に含まれる有毒金属が生態系に長期的な負荷を与える可能性を示唆しています。

微生物群集の解析では、両地点の粒子中細菌群集が明瞭な地域特性を示しました。富山では *Methylobacterium*（18.9%）や *Sphingomonas*（7.8%）など植生関連の細菌属が優占し、郊外環境における植生や土壌の寄与が大きいことが示されました。一方、横浜では *Corynebacterium*（9.5%）や *Streptococcus*（6.4%）などヒトや都市環境由来の細菌属が多く検出され、都市での活動の影響を強く反映していました（図 3）。

さらに、細菌と化学成分の関連性を調べるために共起ネットワーク解析を行ったところ、横浜の PM_{2.5}における細菌-化学成分ネットワークのモジュラリティ^{※3}は富山の約 2.8 倍であり、群集構造がより複雑であることが分かりました（図 4）。横浜ではヒ素（As）、鉛（Pb）など燃焼・工業起源元素や元素状炭素（EC）が主要な影響因子である一方、富山では鉄（Fe）、カリウム（K）、ルビジウム（Rb）など海塩・地殻起源元素の寄与が大きいことが冗長性分析（RDA）によって確認されました（図 5）。

これらの結果から、土地利用形態や汚染源特性といった環境背景が、大気粒子の化学組成とそれに付着する細菌群集の特徴を大きく規定していることが明らかになりました。本研究は、都市と郊外における大気環境の違いを理解し、生態リスクや健康影響の評価に新たな科学的根拠を提供するものです。

■今後の展開

本研究チームは、大気中の微生物がもたらす健康リスクの全容解明に向けて研究のさらなる発展を目指しています。そのために観測地域や期間を拡大し、日本各地で大気粒子とバイオエアロゾルの継続的なモニタリング網を構築します。さらに、健康影響の詳細な評価を目的に、対象を細菌に加えて真菌にも拡張し、より包括的な微生物群集動態の解明に取り組みます。将来的には、大気環境の早期警戒や健康リスクを事前に予測・警告できる科学基盤を確立し、より安全で持続可能な社会の実現に貢献することを目指します。

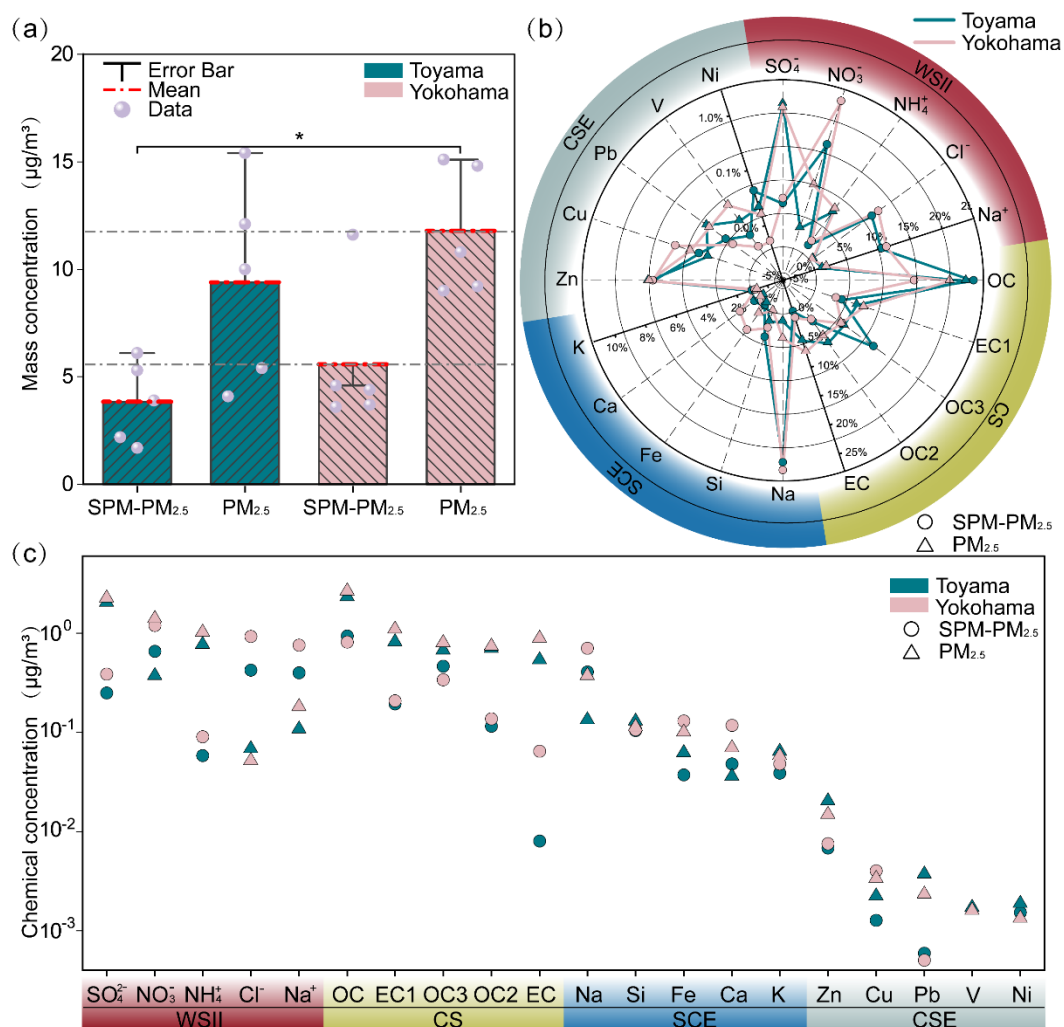


図 1. 富山および横浜における SPM-PM_{2.5} と PM_{2.5} の比較 : (a) 質量濃度 ($p < 0.05$), (b) 化学成分の質量比 (%), (c) 化学成分濃度の変動 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)。WSII : 水溶性無機イオン (Water-Soluble Inorganic Ions), CS : 炭素成分 (Carbonaceous Species), SCE : 海塩・地殻起源元素 (Sea Salt and Crustal Source Elements), CSE : 燃焼・工業起源元素 (Combustion and Industrial Source Elements)。

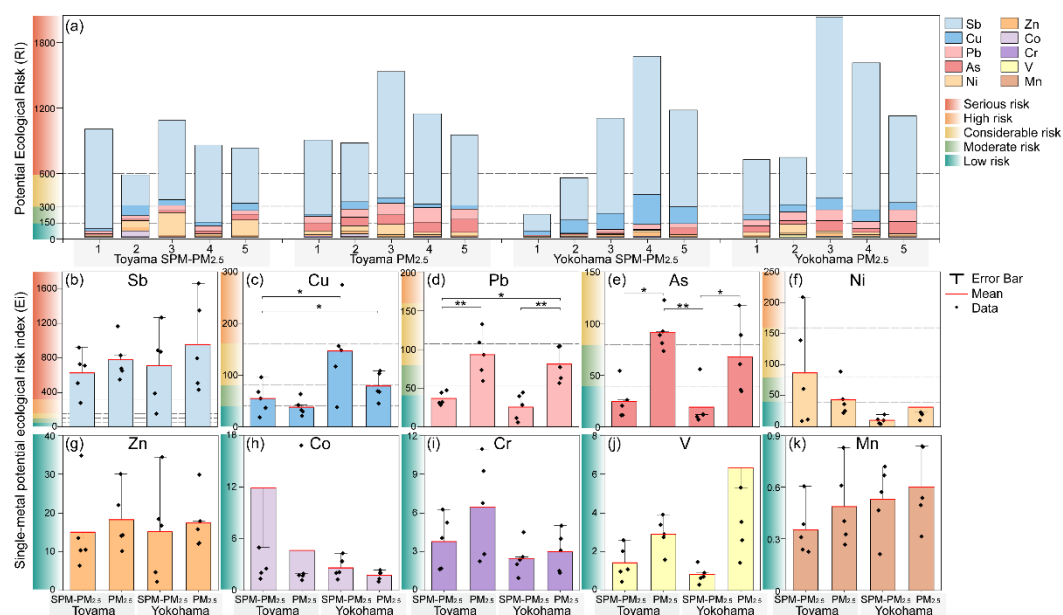


図 2. 富山および横浜における SPM-PM_{2.5} および PM_{2.5} 中の重金属の潜在的生態リスクの比較 ($p < 0.05^*$)。

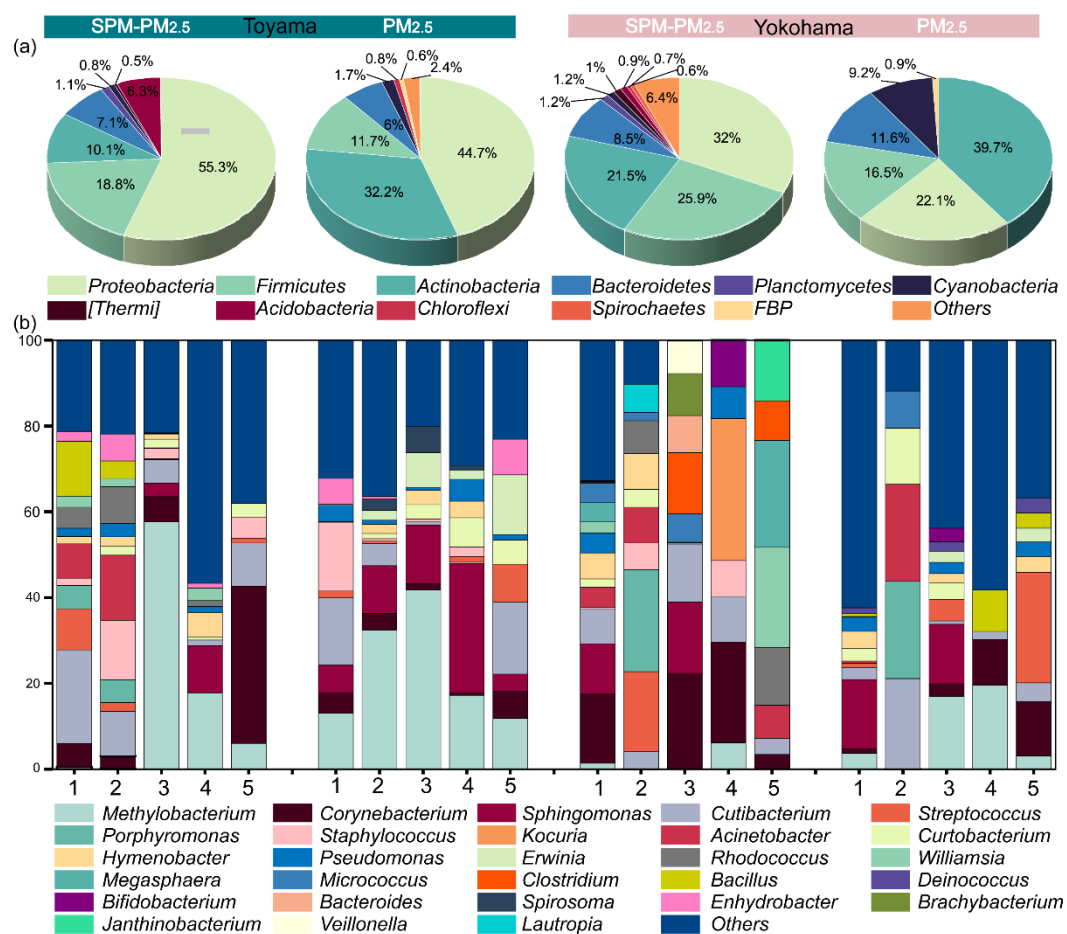


図 3. 富山および横浜で採取した SPM-PM_{2.5} および PM_{2.5} 中において、相対存在量が 1% を超えて優占する細菌属の相対存在量。

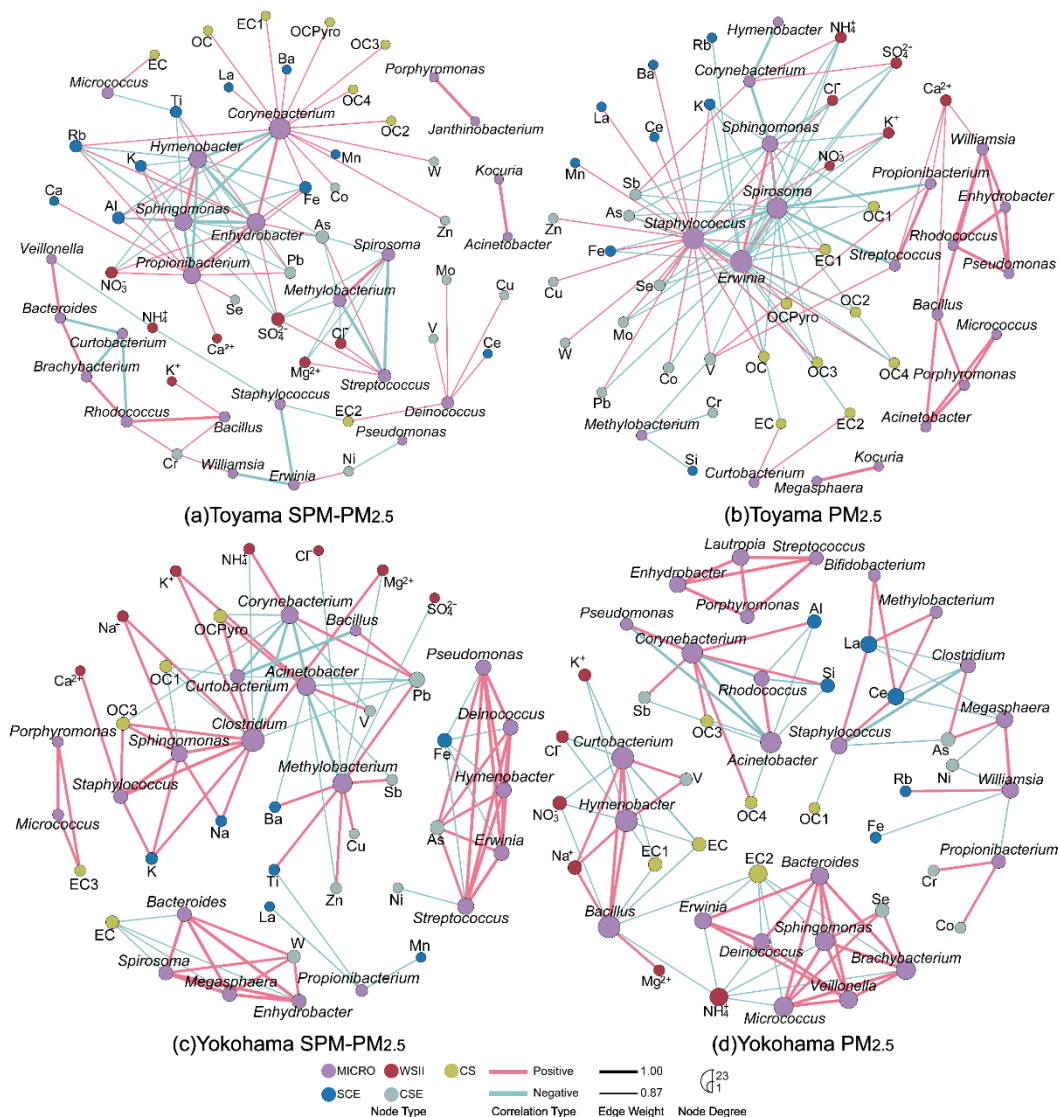


図 4. 化学成分と微生物とのネットワーク解析。(a) 富山 SPM-PM_{2.5}, (b) 富山 PM_{2.5}, (c) 横浜 SPM-PM_{2.5}, (d) 横浜 PM_{2.5}。ノード（点）の大きさは、各細菌属または化学成分ノードが持つエッジ（線）の数である次数を示し、エッジの太さはネットワークにおける結合の重みを示す。ノード同士はエッジで結ばれており、各エッジは Spearman の順位相関係数に基づく有意な相関 ($r > 0.8, p < 0.05$) を表す。

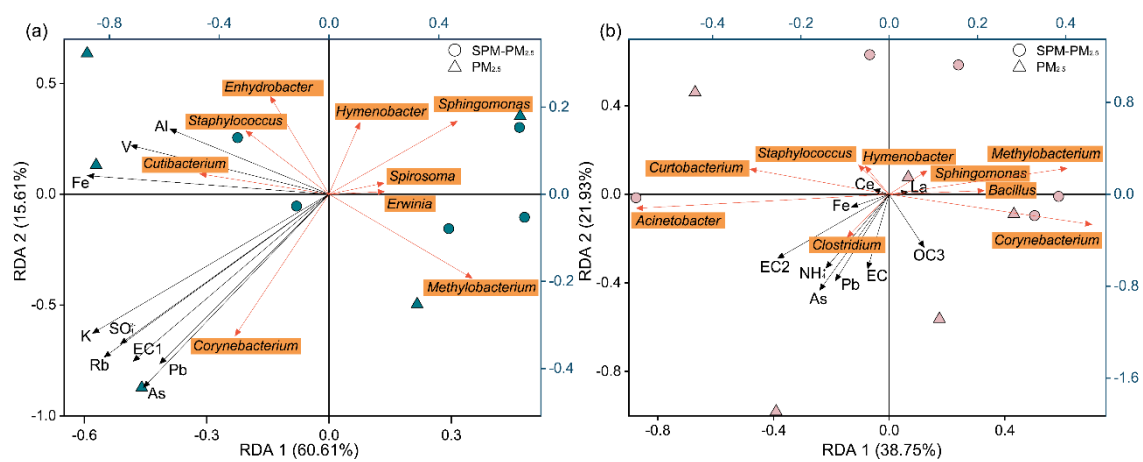


図 5. 化学成分と微生物との冗長性解析。(a) 富山, (b) 横浜。

【用語解説】

※ 1) PM_{2.5} / SPM-PM_{2.5}

PM_{2.5} は粒径 2.5 μm 以下の微小粒子で、肺の奥深くまで到達しやすいことから健康影響が懸念されている。SPM-PM_{2.5} は「浮遊粒子状物質 (SPM, Suspended Particulate Matter) から PM_{2.5} を差し引いた分画」を指し、粒径 2.5~10 μm の粗大粒子に相当する。

※ 2) 潜在生態リスク指数 (RI)

粒子中に含まれる複数の重金属について、毒性の強さと環境中の背景濃度を考慮して算出される指標。値が大きいほど生態系への潜在的なリスクが高いと判断され、「軽度」「中程度」「深刻」などの区分で評価される。

※ 3) モジュラリティ

モジュラリティ (modularity) とは、ネットワークがどれだけ明確な複数のモジュール (群) に分かれているかを示す指標で、値が高いほど構造が複雑で集団のまとまりが強いことを意味する。

【論文詳細】

論文名 :

Suburban-urban differences in coarse and fine atmospheric particulate matter with key chemical compositions influencing bacterial communities in Toyama and Yokohama, Japan

著者 :

Juan Liu, So Fujiyoshi, Fumito Maruyama, Yukako Tohsato, Shinichi Koyama, Xavier Rodó, Takamune Shimada, Makoto Seki, Akihiro Sakatoku, Shogo Nakamura, Daisuke Tanaka

劉 娟, 藤吉 奏, 丸山 史人, 遠里 由佳子, 小山 慎一, Xavier Rodó, 嶋田 崇志, 関 誠, 酒徳 昭宏, 中村 省吾, 田中 大祐

掲載誌 :

Journal of Hazardous Materials

DOI :

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.140678>

本件に関するお問い合わせ先

【研究に関すること】

富山大学学術研究部理学系 教授 田中 大祐

TEL : 076-445-6673 Email : tanakada@sci.u-toyama.ac.jp

【広報担当】

国立大学法人富山大学 総務部総務課 広報・基金室

TEL : 076-445-6028 Email : kouhou@u-toyama.ac.jp

広島大学

財務・総務室総務・広報部広報グループ

TEL : 082-424-3749 Email : koho@office.hiroshima-u.ac.jp

立命館大学 広報課

TEL : 075-813-8300 Email : r-koho@st.ritsumeit.ac.jp