

東海大学大学院令和3年度博士論文

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) による大気汚染に関する
環境教育的研究

指導 関 根 嘉 香 教授

東海大学大学院

地球環境科学研究科 地球環境科学専攻

孫 旭

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) による大気汚染に関する 環境教育的研究

目次

第1章 序論

1.1 研究背景

1.2 研究目的

1.3 本論文の構成

参考文献

第2章 中国における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) による環境問題とシチズンサイエンス

2.1 緒言

2.2 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) とは

2.2.1 発生源および生成機構

2.2.2 粒径分布

2.2.3 化学組成

2.3 PM_{2.5} の健康影響と許容曝露基準

2.4 中国における PM_{2.5} による大気汚染

2.5 中国における PM_{2.5} 対策の現状と問題点

2.5.1 中国の PM_{2.5} 対策

2.5.2 中国における環境モニタリングの問題点

2.6 シチズンサイエンスによる PM_{2.5} 対策

2.6.1 「シチズンサイエンス」とは何か

2.6.2 中国におけるシチズンサイエンス活動の構想

参考文献

第3章 理系高校生との協働による PM_{2.5} の観測研究

3.1 緒言

3.2 方法

3.2.1 PM_{2.5} および水溶性イオンの長期定点観測

3.2.1.1 PM_{2.5} の測定

3.2.1.2 水溶性イオン濃度の測定

3.2.1.3 PMF 法による発生源寄与率の推定

3.2.2 PM_{2.5}の活性酸素産生能の測定

3.2.2.1 PM_{2.5}濃度の測定

3.2.2.2 活性酸素産生能の測定

3.3 結果および考察

3.3.1 PM_{2.5}および水溶性イオンの長期定点観測

3.3.2 PM_{2.5}の活性酸素産生能の評価

3.4 結論

参考文献

第4章 スマートフォン空気質モニターのシチズンサイエンスへの利用可能性

4.1 緒言

4.2 方法

4.2.1 フィールド調査地点

4.2.2 測定方法

4.3 結果

4.4 考察

4.4.1 汚染状況の認識におけるギャップ

4.4.2 汚染メカニズムへの懸念

4.4.3 「科学的背景」に関するさらなる学習

4.5 結論

参考文献

第5章 新型コロナウイルス感染症流行による瀋陽市民の生活習慣および環境意識の変化

5.1 緒言

5.2 方法

5.2.1 遼寧省における COVID-19 の流行状況

5.2.2 アンケート調査

5.2.3 解析方法

5.3 結果と考察

5.3.1 対象者の特徴

5.3.2 生活習慣の変化

5.3.3 環境意識の変化

5.3.4 本研究の限界

5.4 結論

参考文献

第6章 ICTリテラシーを有する高齢者を対象とした環境教育プログラムの開発

6.1 緒言

6.2 方法

6.2.1 環境教育プログラムのデザイン

6.2.2 授業実践

6.2.2.1 実施概要

6.2.2.2 実施内容

6.2.2.3 評価

6.3 結果

6.3.1 アンケート（量的評価）

6.3.2 インタビュー（質的評価）

6.4 考察

6.5 結論

第7章 総論

7.1 本研究で明らかになったこと

7.2 今後の課題

研究業績

謝辞

第 1 章

序論

1.1 研究背景

大気汚染とは、大気中の微粒子や気体成分が増加し、人の健康や環境に悪影響をもたらすことである。英国ロンドンのスモッグ事件は、史上最も甚大な大気汚染災害として知られており、1952年12月、ロンドンで二酸化硫黄を多く含んだ濃いスモッグが5日間にわたって停滞し、約4000人の死者を出した。この間に測定された総浮遊粉じんおよび二酸化硫黄の濃度と一日当たりの死亡者数は強く相関し、大気汚染物質がヒトの生命に影響することが明らかになった^{1.1)}。一方、現在でも大気汚染は公衆衛生上の重要課題となっている。2020年3月に発表されたマックスプランク研究所の推計^{1.2)}によれば、大気汚染物質に対する長期曝露に起因する世界の早期死亡者数は年間880万人を超え、喫煙による早期死亡者数(年間720万人)よりも多く、その主たる原因は微小粒子状物質(Particulate Matter 2.5、以下PM_{2.5}と略記する)と報告されている。PM_{2.5}は、空気中に浮遊する固体または液体のうち、粒径2.5 μ mの粒子を50%除去する装置を通過した粒子を指す。呼吸に伴って吸入されると細気管支や肺胞に沈着し、さらにその一部の成分は血液に移行して循環し、全身または局所に酸化ストレスを与えると考えられている^{1.3)}。PM_{2.5}による大気汚染は、東アジア、特に中華人民共和国(以下、中国)において深刻な状況にある。アメリカ連邦宇宙局が発表したPM_{2.5}の観測データ^{1.4)}によると、中国北東部はPM_{2.5}濃度が世界中で最も高い地域であることが示唆されている。また関根ら^{1.5)}は、中国全域におけるPM_{2.5}濃度分布および人口分布を重ね合わせ、PM_{2.5}の長期曝露による早期死亡者数を推計した結果、年齢30歳以上の人口グループにおいて年間115万人に達すると報告している。さらに、PM_{2.5}に対する長期曝露は、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)による死亡率を増加させる可能性も指摘されている^{1.6)}。現在、中国の大都市では、かつてのロンドンのように視程障害を伴う深刻な大気汚染が頻発し(図1.1)、市民の間では「大気保護法は十分か」「環境教育が必要ではないか」などの意見が出るようになった。日本でも2012年冬頃から中国北東部における大気汚染の発生および越境汚染の可能性が連日報道され、PM_{2.5}が流行語になるほどの国民的関心事となった。

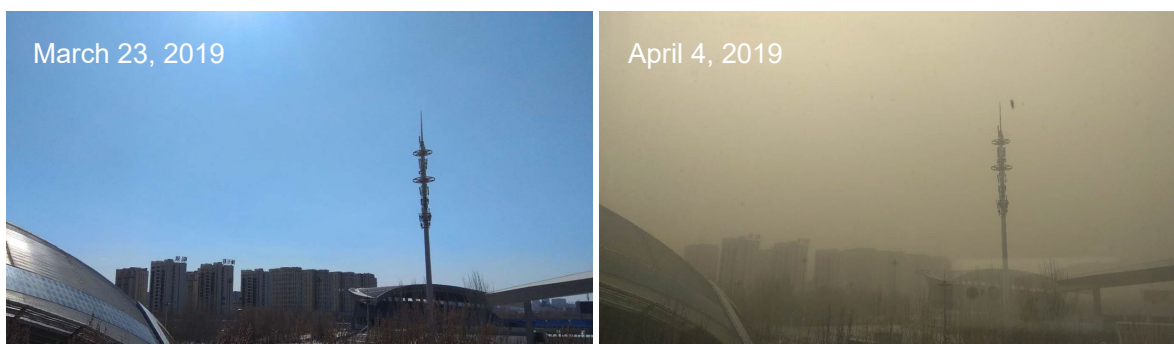


図 1.1 中国遼寧省瀋陽市内における大気汚染の状況
(左：晴天時、右：PM_{2.5}高濃度時、著者撮影)

大気汚染問題が例示するように環境問題は人類の生存と緊密な関係があり、地球環境と人類社会の「持続可能性 (Sustainability)」は 21 世紀における最重要課題の一つとなっている。1997 年 12 月にギリシアのテサロニキで開催された国連教育科学文化機関 (UNESCO) およびギリシア政府主催の国際会議^{1.7)}において、持続可能性を実現するには教育と公衆の意識啓発 (Public Awareness) が極めて重要であることが強調され、これに向けて環境教育が担うべき役割を考えるべきとの方向性が示された。また、1992 年 6 月にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された国連環境開発会議 (地球サミット) では、環境と開発に関するリオ宣言が合意された。この第 10 原則において、「環境問題は関心のあるすべての市民が参加することにより最も適切に扱われる。国内レベルでは、各個人が、有害物質や地域社会における活動の情報を含め公共機関が有している環境関連情報を適切に入手し、そして意思決定過程に参加する機会を有しなければならない。」と述べられ、持続可能な社会構築のために、環境問題に関心のある全ての市民の参加が必要とされた。2000 年代以降、各国では環境 NGO・NPO や市民団体などが組織され、市民による環境教育活動が進展した。中国では、政府が「豊かな自然は金銀ほどの価値がある」という論断^{1.8)}を提起して以降、様々な場面で環境保護活動が展開され、市民の環境保護意欲も高まった。上海交通大学世論調査研究センターが行った調査^{1.9)}によれば、環境問題が自身の健康に影響していると考える人は 4 割を超え、環境保護関連活動に参加したい人は 8 割を超えた。一方で、人々の環境問題の解決に対する「意欲」と「行為」が一致しない状況が現れているとの指摘がある^{1.10)}。また、適切な環境情報が入手でない場合、市民の関心は科学的事象を離れ、発生源である工場や自動車等を過度に社会悪とみなす傾向を助長しかねない^{1.11)}。

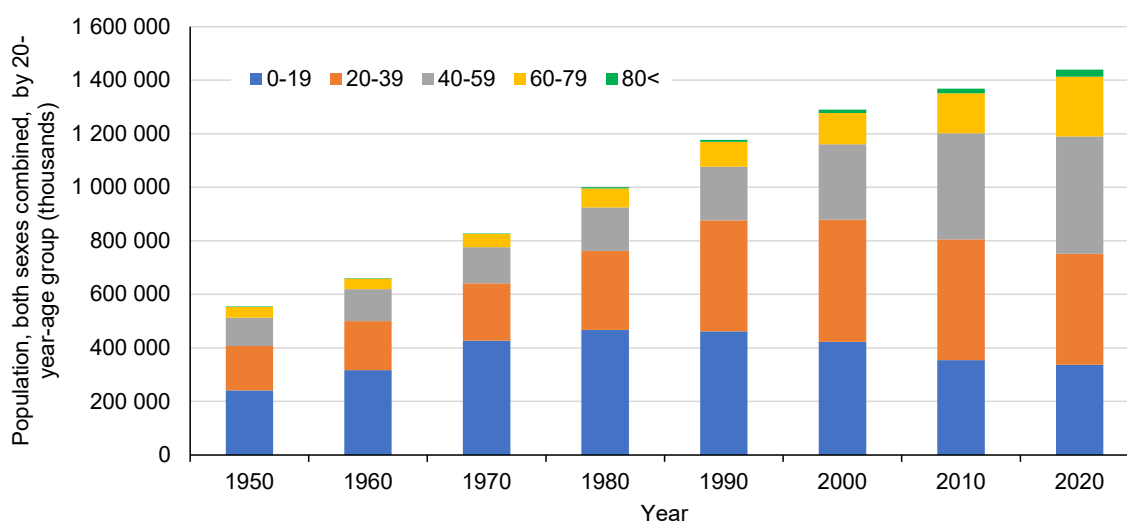


図 1.2 中国の人口およびその年齢構成の推移
(World Population Prospects 2019^{1.12)}のデータを元に著者作成)

持続可能な社会を実現するには、環境問題に対する科学技術および政策の知識や経験を有し、環境配慮の考え方を多くの分野に浸透できる中核的人材（環境リーダー）の育成が必要とされる^{1.13}。しかしながら、中国における学校単位での環境教育や幼児を対象とする自然体験教室では、「人材育成」の観点が欠けているとの指摘^{1.14}がある。そこで、本研究では高齢者に着目した。多くの国と同様、中国社会も高齢化しつつあり、2020年において、人口の12.4%は60歳以上の高齢者である。しかしながら高齢者であっても活気があることは中国都市部住民の特徴と言え、高齢者の社会に対する貢献意欲は高く^{1.15}、またインターネットやスマートフォンなども使いこなすなど情報通信技術（Information and Communication Technology, ICT）リテラシーも有している人が多い。また、経済能力があり、かつ時間に余裕のある高齢者は、ボランティア活動に参加する意欲が高い傾向にあり^{1.16}、地域における環境リーダー的存在になり得ると考えられた。

1.2 研究目的

本研究の目的は、中国都市部のICTリテラシーを有する高齢者を対象とする環境教育プログラムを設計・実践し、中国におけるPM_{2.5}による大気汚染問題の解決に寄与することである。

PM_{2.5}による大気汚染を改善するには、技術的な側面（モニタリング、発生源対策、曝露緩和策、医療技術など）だけでなく、社会的側面（法律、経済、教育など）からのアプローチも必要である。しかしながら、現在の中国社会では環境問題に対する関心は有するが、個人あるいはコミュニティレベルで何ができるのかを考えるための基礎的な知識・技能が不足しており、PM_{2.5}問題に関するシチズンサイエンス（市民科学）の普及が必要と考えた。シチズンサイエンスとは、職業科学者ではない一般の市民によって行われる科学的活動を指す^{1.17}。中国においてPM_{2.5}問題の解決を意図したシチズンサイエンスを実施するには、まず「研究者によるPM_{2.5}に対する科学的理解」を基礎とする「市民向けの環境教育プログラムの開発」が必要である。そこで本研究では、以下の項目について実施した。

1. 大気中PM_{2.5}の観測研究（水溶性成分の長期定点観測、活性酸素産生能の評価）
2. 専門的知識を持たない一般の市民でも利用できるPM_{2.5}測定方法の探索
3. 中国のICTリテラシーを有する高齢者に適した環境教育プログラムの設計・実践・評価

尚、環境教育プログラムの開発は、中国東北部の最大都市・遼寧省瀋陽市の市民を対象に行った。遼寧省瀋陽市は中国東北地方の最大規模の都市であり、人口は825万人、東北地方の経済・文化・交通および商業の中心地である。1990年代、瀋陽市は金属精錬、機械加工、化学工業などが盛んであり、例えば大気中のヒ素吸入による発がんリスクは、中国の他の都市と比べても高水準であった^{1.18}。一方、脱硫装置の普及などにより石炭燃焼排

出物由来の二酸化硫黄濃度は減少傾向を示したが、2000年代以降は急速な都市化、冬季の暖房使用および自動車の普及、さらには他地域からの大気汚染物質の輸送^{1.19)}などにより、PM_{2.5}に起因する深刻な大気および室内空気汚染が発生しており^{1.20-23)}、市民のPM_{2.5}に対する関心が高いことから、本地域の対象地域として適当であると判断した。



図 1.3 中国遼寧省瀋陽市

1.3 本論文の構成

本論文は7章構成となっており、全体の構成を図 1.2 に示す。

第1章では、本研究の背景・目的および全体の構成を示した。

第2章では、本研究の背景となる微小粒子状物質 PM_{2.5} の物理的・化学的性質、ヒトへの健康影響、中国の環境汚染対策の実態、シチズンサイエンスの概念などを整理し、本研究の位置づけを明確にした。

第3章では、「研究者による PM_{2.5} に対する科学的理解」を深めることを目的とし、東海大学関根嘉香研究室が理系高校生向けに実践している環境観測プロジェクトの一環として、大気中 PM_{2.5} の観測研究に参画した。東京都渋谷区の PM_{2.5} 濃度は過去7年間で明確な増減傾向は認められないが、硫酸イオン濃度は減少傾向にあることを明らかにした。また神奈川県平塚市、島根県松江市および大韓民国ソウル市で捕集した PM_{2.5} 試料の活性酸素産生能は、PM_{2.5} 濃度と有意な相関関係があることを明らかにした。

第4章～第6章は、「市民向け環境教育プログラムの開発」に関するものである。第4章では、専門的科学知識を持たない一般の市民でも利用できる PM_{2.5} 測定方法の探索を目的とし、スマートフォン空気質モニターを用いて瀋陽市内で個人曝露濃度のフィールド測定を実施し、環境教育用教材として利用できることを明らかにした。

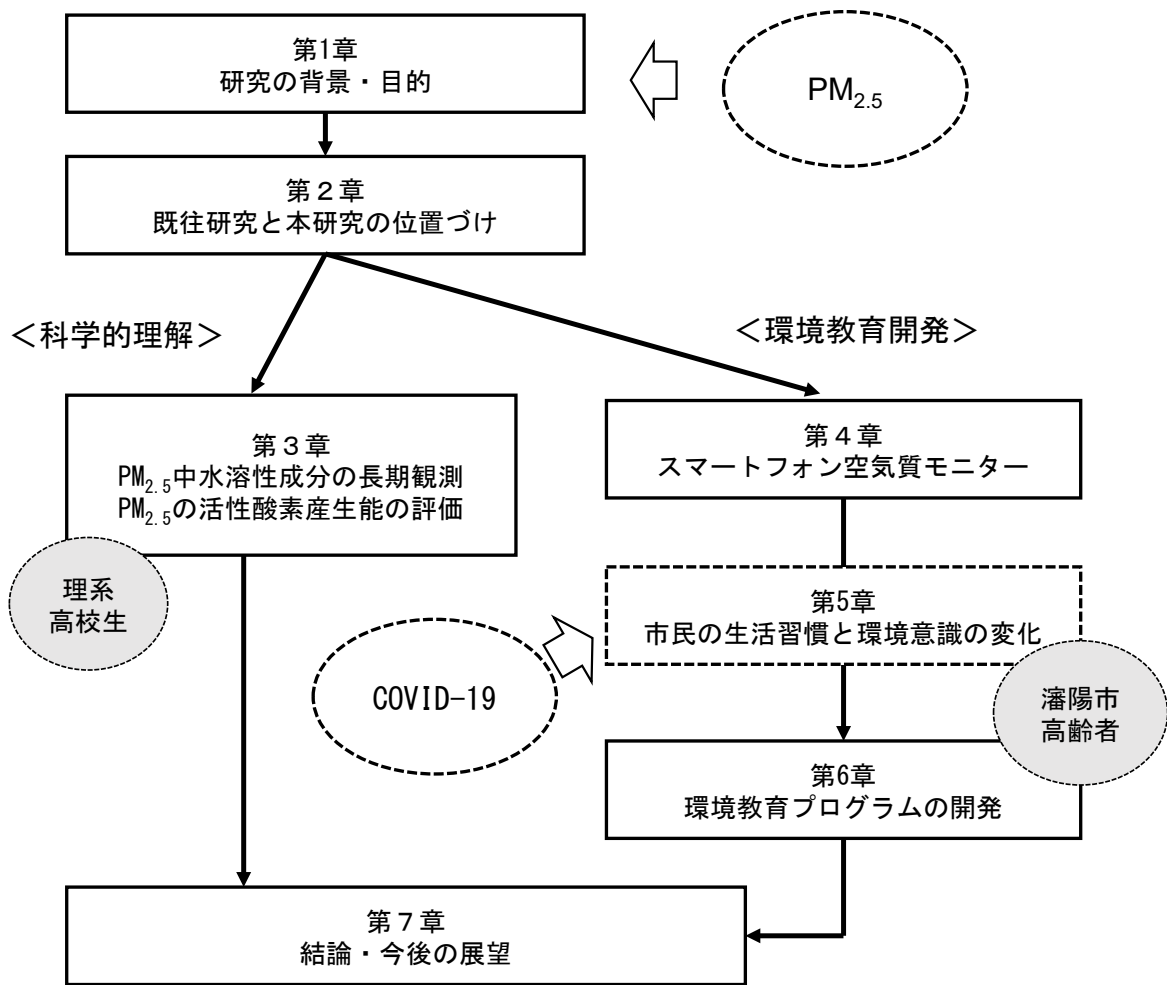


図 1.4 本論文の構成

本研究を遂行する過程で、2020年初頭から新型コロナウイルス感染症が世界的に流行し、当初の研究計画についても変更を余儀なくされた。一方で、新型コロナウイルス感染症は瀋陽市民の生活習慣や環境意識に少なからず影響を与えた可能性がある。そこで、第5章では、環境教育プログラムを考案するための基礎資料とするために2020年1月に実施したアンケートを援用し、2020年7月、2021年1月にも同一対象者100名に対してアンケートを実施し、市民の生活習慣および環境意識の変容の実態を明らかにした。

第6章では、第4章および第5章の検討結果を基に、ICTリテラシーを有する高齢者を対象とする環境教育プログラムを開発して実践した内容を記した。環境教育プログラムは、2021年1月、瀋陽市に在住する高齢者37人を対象に遠隔授業の方式でPM_{2.5}について講義した後、スマートフォン空気質モニターによるPM_{2.5}の現地測定を行い、アンケートおよびインタビューによる評価を実施した。その結果、「PM_{2.5}を認識する」「PM_{2.5}の発生源を理解する」および「PM_{2.5}は自分で測定できる」の3項目において明らかな

効果が現れ、本プログラムの有効性が示された。

第7章では、以上の内容を総括して結論を述べ、今後の展望を記した。

参考文献

- 1.1 Wilkins: Air pollution aspects of the London fog of december 1952, *royal meteorological society*, 344(80), pp267-271(1954).
- 1.2 Lelieveld J, Pozzer A, Pöschl U, Fnais M, Haines A, Münzel T, Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective, *Cardiovasc Res.* (2020) doi: 10.1093/cvr/cvaa025
- 1.3 Brook R.D., Rajagopalan S., Pope III C.A., Brook J.R., Bhatnagar A., Diez-Roux A.V., Holguin F., Hong Y., Luepker R.V., Mittleman M.A., Peters A., Siscovick D., Smith S.C. Jr, Whitsel L., Kaufman J.D., Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association, *Circulation*, 121(21),2331-78(2010).
- 1.4 Aaron van Donkelaar and Randall Martin of NASA: Environmental Health Perspectives (2009).
- 1.5 関根嘉香, 吉武淳二, 平湯直子, 太田栞: 中国のエネルギー転換による閑居保全分析, *ブイツーソリューション*, 東京, pp161-163(2018).
- 1.6 Conticini E., Frediani B., Caro D.: Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?, *Environ. Pollut.*, 261, 114465(2020).
- 1.7 UNESCO: Thessaloniki Declaration (1997)
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000117772> (2021年8月5日検索).
- 1.8 中国国務院: 中国第十九回人民代表大会報告(2017)
- 1.9 上海交通大学世論調査研究センター: 中国都市部住民環境意識調査報告(2019).
- 1.10 廖小平: 二型社会の建設と公民環境教育, *広東社会科学*, 3, 84-90 (2011).
- 1.11 関根嘉香, 及川義道, 山本敬太: 考える環境教育の実践—簡易測定法による大気中NOx濃度測定を通じて, *東海大学教育研究所研究資料集*, 16, 199-209(2009).
- 1.12 United Nations, Department of Economic and Social Affairs: World Population Prospects (2019 Revision)
<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- 1.13 山下廣順, 岡谷重雄: 科学技術振興調整費による国際環境リーダーの育成, *環境技術*, 38 (10), 682-686 (2009.)
- 1.14 陳飛星: 環境関連論文からみる中国環境教育の問題, *環境科学学報*, 20(5), 631-635(2000).
- 1.15 謝立黎: 中国の高齢者の社会貢献パターンと影響要素, *人口研究*, 3, 17-23(2019).
- 1.16 Pillemer K.: Engaging Older Adults in Environmental Volunteerism: The Retirees in Service to

- the Environment Program, *The Gerontologist*, 57(2), 367-375(2017).
- 1.17 日本学術会議：提言「シチズンサイエンスを推進する社会システムの構築を目指して」のポイント。
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t297-2-abstract.html>(2021年8月5日検索)
- 1.18 小島朋之編：中国の環境問題-研究と実践の日中関係，慶應義塾大学出版会，東京，pp.97-120（2000）
- 1.19 Zhao H., Che H., Zhang L., Gui K., Ma Y., Wang Y., Wang H., Zheng Y., Zhang X.: How aerosol transport from the North China plain contributes to air quality in northeast China, *Sci. Total Environ.*, 738, 395551(2020).
- 1.20 Ma Y., Wang M., Wang S., Wang Y., Feng L., Wu K.: Air pollutant emission characteristics and HYSPLIT model analysis during heating period in Shenyang, China, *Environ. Monit. Assess.*, 193, 9 (2021).
- 1.21 Tian J., Fang C., Qiu J. and Wang J.: Analysis of Pollution Characteristics and Influencing Factors of Main Pollutants in the Atmosphere of Shenyang City, *Atmosphere*, 11(7), 766 (2020).
- 1.22 Li L., Zhao Z., Wang H., Wang Y., Liu N., Li X., Ma Y.: Concentrations of four major air pollutants among ecological functional zones in Shenyang, Northeast China, *Atmosphere*, 11(10), 1070 (2020).
- 1.23 Li C., Yuan Z., Wu Y., Ban W., Li D., Ji, C., Gao, W.: Analysis of persistence and intensification mechanism of a heavy haze event in Shenyang, *Res. Environ. Sci.*, 30, 349–358 (2017).

第2章

中国における微小粒子状物質（PM_{2.5}）による環境問

題と

シチズンサイエンス

2.1 緒言

本章では、本研究の背景となる微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の物理的・化学的性質、ヒトへの健康影響、中国の環境汚染対策の実態などを整理し、さらにシチズンサイエンスの概念と本研究が目指す環境保全活動のあり方について記す。

2.2 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) とは

大気に浮遊する粒子状物質 (Particulate Matter) は、様々な発生源に由来する固体または液滴の混合物であり、その大気中濃度、物理・化学的性状および有害性等は、各発生源からの影響度合いによって複雑かつ多様に変化する。本項では、大気中 PM_{2.5} の発生源、粒径分布、化学組成および粒子形態について物理・化学的側面から述べる。

2.2.1 発生源および生成機構 2.1, 2.2)

PM_{2.5} などの粒子状物質は、発生源によって自然発生源と人為的発生源に、生成過程の違いによって一次粒子と二次粒子に分けることができる。図 2.1 に大気中微粒子の主な発生源および生成機構による分類を示す。

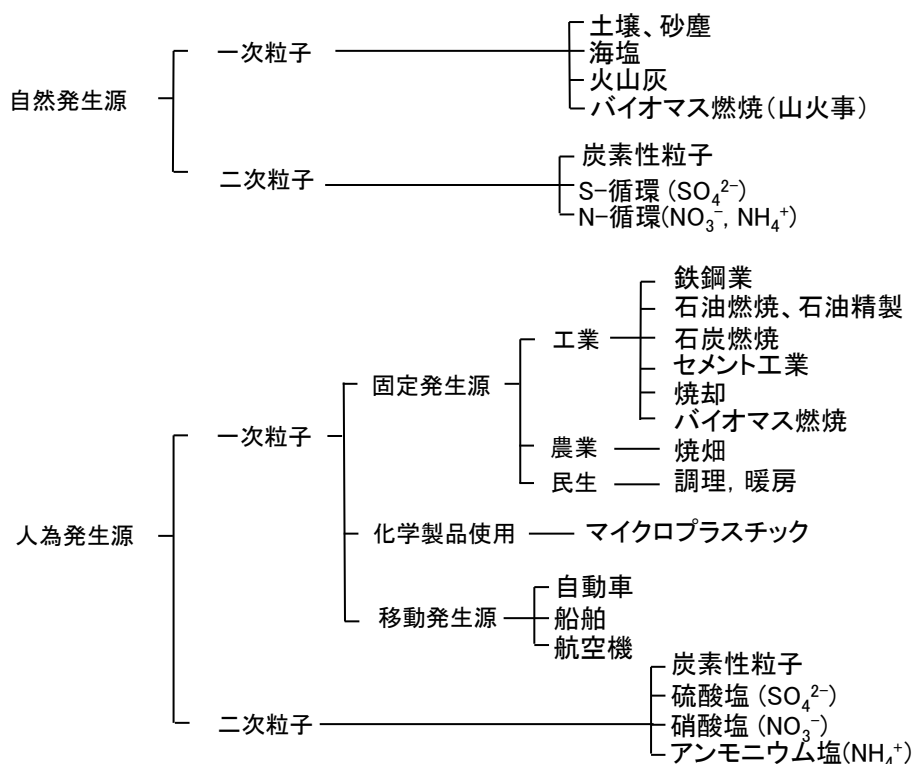
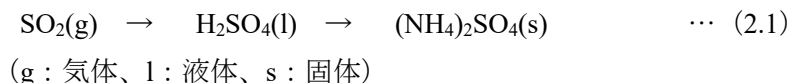


図 2.1 大気中微粒子の主な発生源および生成機構による分類

一次粒子とは、発生源から粒子として直接大気に放出され分散した粒子である。自然起

源としては、土壌粒子、海塩粒子および火山灰などがある。中国北部によく現れる「黄砂」（中国では「飛沙」）は、砂漠地帯の土壌粒子である。また、近年では粒子状物質の形態観察技術が進歩し、新たな大気汚染物質としてマイクロプラスチック（microplastics）の存在が見いだされた。マイクロプラスチックによる海洋汚染および海洋生物への影響が大きな関心を集めているが、大気中にもポリエチレン、ポリプロピレンおよびポリスチレンの繊維、発泡体、断片、フィルム等が認められている。

二次粒子とは、船舶や自動車、工場などでの産業活動から、硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）などガス状物質として排出されたものが、大気中の化学反応により粒子に変化したものであり、このような生成機構をガス→粒子転換（Gas-to-particle conversion）という。例えば、二酸化硫黄（SO₂）は空気中で酸化され硫酸（H₂SO₄）の液滴となり、アンモニア（NH₃）との酸・塩基反応により硫酸アンモニウム（(NH₄)₂SO₄）となる。



2.2.2 粒径分布

PM_{2.5}とは大気中を浮遊する粒子状物質のうち、粒径 2.5 μm 以下の粒子を 50%除去する装置を通過して捕集された粒子の総称である。図 2.2 に示すように、測定対象とする粒径範囲によって TSP（総浮遊粒子状物質）、PM₁₀、SPM、PM_{2.5}などのように呼称が異なる。

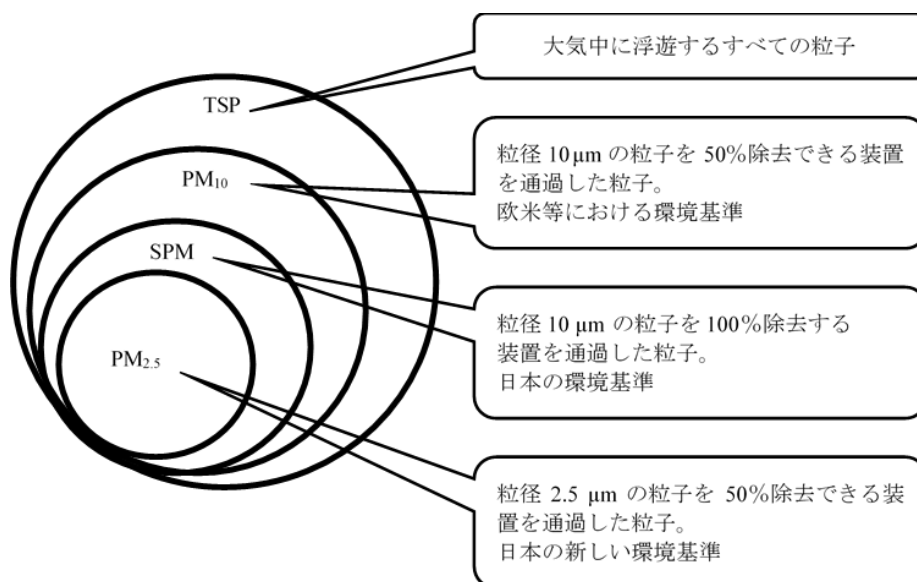


図 2.2 大気中微粒子の粒径別分類とその呼称^{2.3)}

大気中微粒子の粒径に着目すると、一般に都市大気中で観測される微粒子の粒径分布には3つのピークが存在する^{2.4)}。図2.3に示すように、主に破碎過程において生成され、5～30 μm にピークを持つ粗大粒子領域、主に凝縮や凝集（粒子同士の衝突合体）によって形成され、0.15～0.5 μm にピークを持つ蓄積領域、主に燃焼過程から発生する粒子で、0.015～0.04 μm にピークを持つ核形成領域がある。

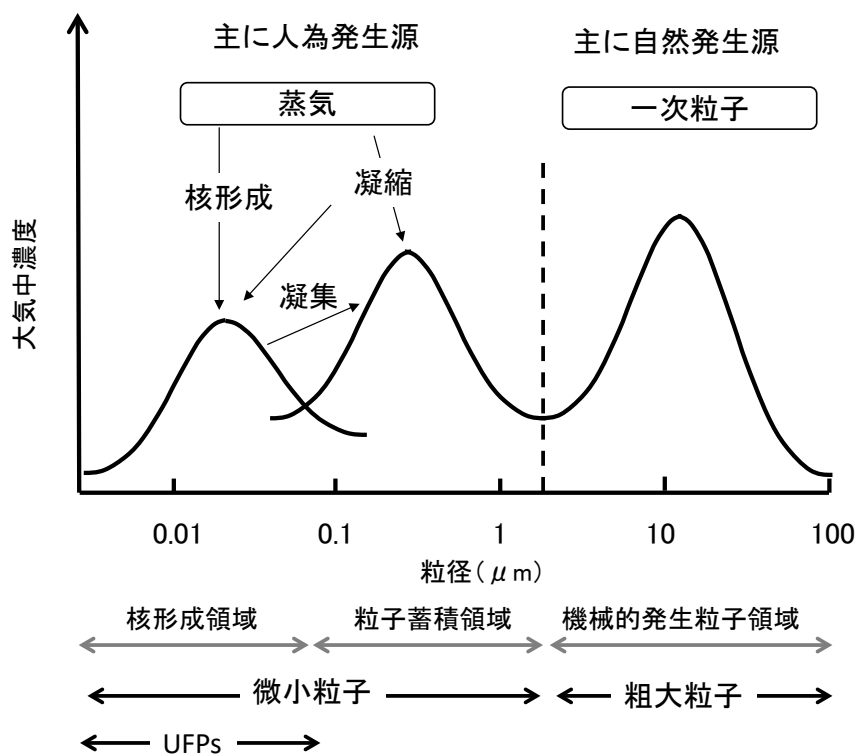


図 2.3 環境大気中粒子状物質の粒径分布（概念図）

微粒子の大気中濃度の表し方には、個数濃度（個/m³）、表面積濃度（m²/m³）、質量濃度（μg/m³）、体積濃度（m³/m³）などがある。単位によって粒径分布も変化し、大気中微粒子を個数濃度で表した場合は核形成領域、表面積濃度で表した場合は粒子蓄積領域が圧倒的に高くなる。一方、大気中微粒子を質量濃度で表した場合は、粒子蓄積領域および機械的発生粒子領域の粒子が多く、一般に粒径分布は粒径 2 μm を境に二山型を示す。粒径 2 μm よりも大きな粒子は粗大粒子（coarse particle）と呼ばれ、主に自然起源の粒子がこの領域を占める。粒径 2 μm よりも小さな粒子は微小粒子（fine particle）と呼ばれ、燃焼、高温処理、大気反応などによって生成した粒子がこの領域を占める。さらに小さい粒子の定義は研究領域により異なるが、大気環境に関する分野では、粒径が 0.1 μm 以下の粒子を超微小粒子（ultrafine particles, UFPs）と呼んでいる。

一例として、筆者が東京都文京区根津（東京福祉大学大学院児童環境保健教育研究所）において測定した大気中粒子状物質の粒径分布を図 2.4 に示した^{2.5)}。観測は、2016 年 5 月から 2017 年 6 月まで 2 週間単位でローボリウムエアサンプラーを接続したアンダーセンエアサンプラー（柴田科学社製，AN-200，9 段階分級捕集）を用いて行い、大気中濃度が質量濃度で示した。粒径分布の年平均値では、粒径 0.43 μm 以下の微小粒子の濃度が最も高かった。一方、2017 年 5 月 2 日からの 2 週間は、黄砂飛来の影響により粒径分布が年平均と比べて大きく変化し、自然由来の粗大粒子の影響により、主に粒径 2 μm 以上の粗大粒子の質量濃度が増加した。

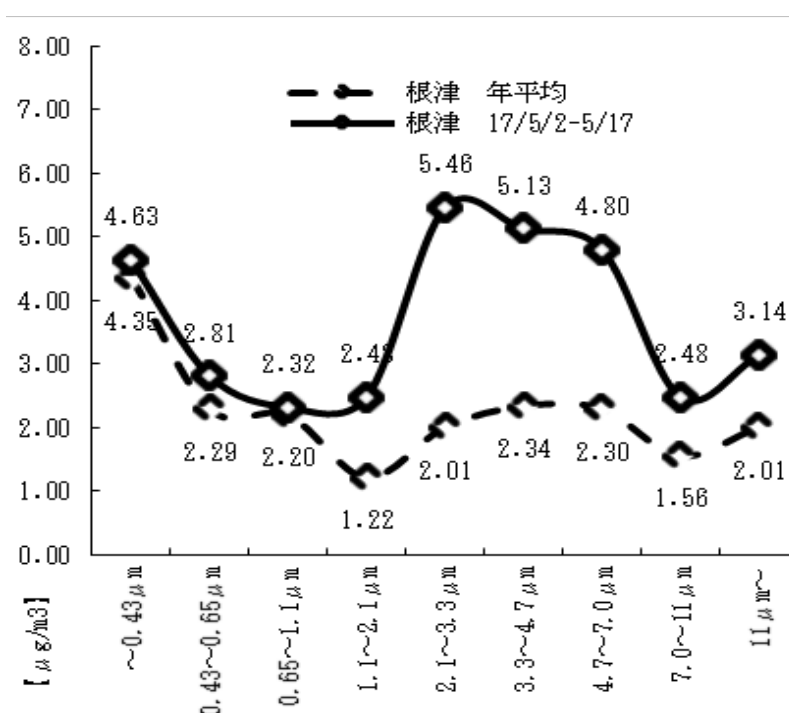


図 2.4 東京都文京区根津における大気中粒子状物質の粒径分布の観測結果：
黄砂飛来時期と年平均値の質量濃度の比較^{2.5)}

2.2.3 化学組成

PM_{2.5}は単一の化学物質ではなく、発生源粒子を構成する化学成分の混合物である。大気環境中に存在する粒子状物質の化学組成は、大きく炭素成分、水溶性塩、金属成分などに分類される。

炭素成分には、元素状炭素 (Elemental Carbon, EC)、有機炭素 (Organic carbon, OC) および炭酸塩炭素 (Carbonate Carbon, CC) がある。元素状炭素と炭酸塩炭素は無機炭素である。元素状炭素は、燃料の不完全燃焼の過程から発生するグラファイト様物質であり、ヒトの目には黒く見えることから黒色炭素 (Black carbon) とも呼ばれる。またタイヤやブレーキの

摩耗粉塵にも含まれる。一方、有機炭素は燃焼起源の一次有機エアロゾル、ガス状炭化水素から生成する二次有機エアロゾルから成る。また、これら有機炭素には、多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, PAH)、鎖状炭化水素、カルボン酸、芳香族カルボン酸などが含まれる。

水溶性塩の主たる構成イオンは、硫酸イオン (SO_4^{2-})、硝酸イオン (NO_3^-) およびアンモニウムイオン (NH_4^+) であり、これら水溶性塩の多くはガス-粒子転換によって生じた二次粒子である。一方、ナトリウムイオン (Na^+) および塩化物イオン (Cl^-) は主に海塩粒子に由来する。海塩粒子は、海面から波飛沫等が上がる際に大気中に放出された液滴が乾燥した粒子のことである。

金属成分には、アルミニウム(Al)、ナトリウム(Na)、鉄(Fe)、カリウム(K)、銅(Cu)、鉛(Pb)、亜鉛(Zn)、バナジウム(V)及びマンガン(Mn)等がある。このうち、アルミニウムは土壌粒子、ナトリウムは海塩粒子、マンガンは鉄鋼工場、カリウムは廃棄物焼却及び植物燃焼、バナジウムは石油燃焼を主な由来とする元素として知られており、亜鉛は潤滑油の添加物に由来するとされている。

図 2.5 に $\text{PM}_{2.5}$ の構成成分の一例を示す。炭素成分は、 $\text{PM}_{2.5}$ 全体の 29% を占めており、その中における構成比率は有機炭素が 6%、元素状炭素が 23% 程度である。水溶性塩は、全体の 40% を占めており、その中で最も高い割合を示すのは SO_4^{2-} である。

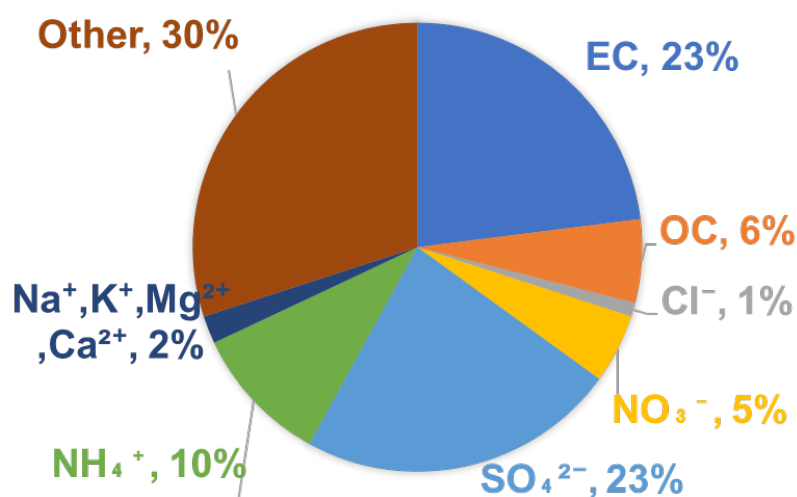


図 2.5 $\text{PM}_{2.5}$ 化学組成 (質量%) (2016 年度日本全国一般環境 116 地点平均値) ^{2.6)}

このように $\text{PM}_{2.5}$ には様々な化学成分が含まれているが、質量として最も影響するのは水溶性塩である。一方、ヒトの健康に関わる主な毒性成分は元素状炭素や有機炭素であると考えられている。これらは、 $\text{PM}_{2.5}$ による大気汚染対策を考慮する時に注目すべき点である。

2.3 PM_{2.5}の健康影響と許容曝露基準

空気中のPM_{2.5}は、呼吸器系を通じて体内に取り込まれる。呼吸器系は上気道（鼻、咽頭、喉頭）、下気道（気管、気管支）および肺から構成され、粒子状物質は慣性衝突、重量による沈降、遮り、ブラウン運動により沈着する。沈着する部位および沈着量は、粒子状物質の物理的性状（粒径、形状、表面性状、密度など）や化学的性状（吸湿性や水溶性など）、気道内の気流の状態や呼吸のパターンによって異なる^{2.7)}。図2.6に示すように、粒径約2 μm以下の粒子の30~60%は、肺空間の最深部である細気管支や肺胞に沈着する^{2.8)}。この沈着現象に関する男女間差は明確ではないが、小児と成人では小児の方が健康リスクは高いと考えられる。

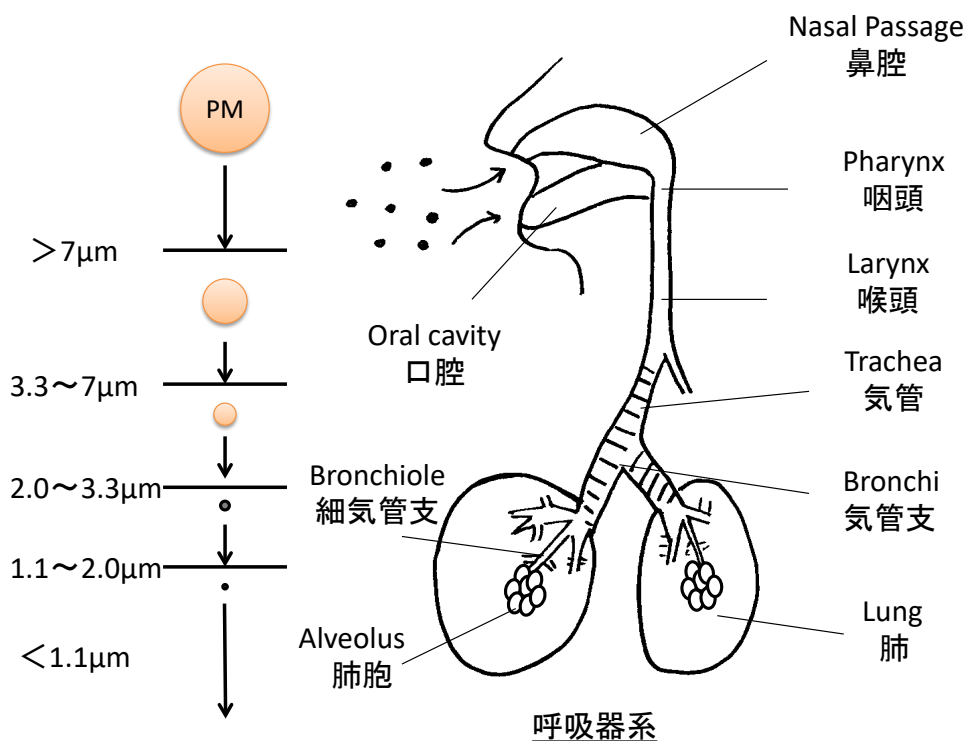


図 2.6 粒子状物質の粒径と呼吸器系への沈着部位^{2.7,2.8)}

気道に沈着した粒子は、気道の防御機能（加湿効果、気道クリアランス、液性免疫、くしゃみ反射、咳反射）により排除されるが、肺胞に沈着した粒子は排除されにくく、比較的長く留まり、マクロファージによる貪食を受けることや、気道分泌液等に溶解して、血液やリンパ液に移行すると考えられる。

すなわち、肺に沈着あるいは血中へ移行した成分が、種々の有害な生体反応を引き起こすと考えられ、特に PAH キノン類などの酸化還元活性物質は、細胞内で活性酸素（Reactive Oxygen Species）の生成を助長し、この活性酸素によって酸化ストレスが引き起こされると考えられている^{2.9)}。

活性酸素は、酸素分子($^3\text{O}_2$)が活性化され、反応性がより高くなった状態の化合物を総称であり、一般的にヒドロキシラジカル($\cdot\text{OH}$)、スーパーオキシドアニオンラジカル($\text{O}_2^{\cdot-}$)、過酸化水素(H_2O_2)、一重項酸素($^1\text{O}_2$)を指す。活性酸素は細胞膜や DNA を損傷し、老化、動脈硬化、ガンなどの疾患をもたらす原因となる。また、 $\text{PM}_{2.5}$ 中の酸化還元活性物質 (PAH キノン類等) によって産生される過剰の活性酸素が、酸化ストレス (酸化反応を伴うストレス刺激) をもたらすと考えられている。

米国環境保護庁 (U.S.EPA) では、北米を中心とする疫学的知見および毒性学的知見を総合して $\text{PM}_{2.5}$ の曝露と健康影響について表 2.1 のように総括した^{2.10)}。大気中 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と死亡、呼吸器系症状および循環器系症状の間には明確な関連が認められている。日本では欧米での調査結果とは異なり、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と総死亡および循環器系症状の間には関連は見られず、肺がんなどの呼吸器系症状とのみ関連性が認められている^{2.11,2.12)}。

$\text{PM}_{2.5}$ は粒径によって定義したものに過ぎず、特定の化学物質を指すものではないため、ヒトへの健康影響を評価する場合には、その濃度レベルの大小関係だけでなく、 $\text{PM}_{2.5}$ の物性 (発生源、化学組成等)、曝露の状況 (生活様式、住居構造等に関係)、体の状態 (疾病構造、身体・生理状態) なども考慮する必要がある^{2.13)}。また、たばこ煙や線香の煙、調理時のオイルミストや水蒸気にも $\text{PM}_{2.5}$ に相当する粒子状物質が存在するが、大気中の $\text{PM}_{2.5}$ とは質的な違いがあると考えられ、同一に扱うには科学的根拠が不足している。

$\text{PM}_{2.5}$ による健康被害を予防するには、許容曝露基準を設置し、地域の大気環境濃度をモニタリングしながら基準値を超えないような対策をとるのが一般的である^{2.14)}。現在、 $\text{PM}_{2.5}$ の許容曝露基準については、米国、WHO、EU、日本および中国では表 2.2 のように定められている。

表 2.1 PM_{2.5}曝露と健康影響の因果関係の評価

曝露期間	U.S.EPAによる評価		日本・環境省の評価		
	影響判定点	因果関係	影響判定点	評価	摘要
短期曝露 (数時間から数日の曝露)	死亡	明確	総死亡	△	死亡リスクがわずかに増加
			循環器系死亡	×	当日～5日前のPM _{2.5} 濃度と関連なし
			呼吸器系死亡	○	3日前のPM _{2.5} 濃度上昇により有意に増加
	循環器系症状	明確	循環器系症状	×	関連なし
	呼吸器系症状	ほぼ明確	呼吸器系症状	○	喘息児の肺機能に影響
	中枢神経系症状	不十分	—	—	—
長期曝露 (数か月から数年以上)	死亡	明確	総死亡	×	関連なし
			循環器系死亡	×	負の関連あり
			呼吸器系死亡	△	女性でSO ₂ , NO ₂ と有意な関連 (SPMは関連なし)
	循環器系症状	明確	—	—	—
	呼吸器系症状	ほぼ明確	肺がん	○	喫煙等のリスク因子調整後、SPM濃度と正の相関
	生殖・発達	示唆	—	—	—
発がん、変異原性、遺伝毒性	示唆	—	—	—	

○: PM_{2.5}またはSPMの影響あり △: 関連は示唆されるが明らかとはいえない
 ×: PM_{2.5}またはSPMの影響なし

表 2.2 各国・機関が設定した PM_{2.5}に対する許容曝露基準

国・機関	許容曝露基準	設定年	平均時間	基準値	備考
米国	National Ambient Air Quality Standard	2012 (改訂)	年(primary)	12 µg/m ³	公衆衛生保護を目的とし、高感受性群も対象に含む
			年(secondary)	15 µg/m ³	公共福祉保護を目的とし、視程障害、動植物、建物の保護を含む
			24時間	35 µg/m ³	
WHO	Air Quality Guidelines	2006	年	10 µg/m ³	
			24時間	25 µg/m ³	
EU	Air Quality Standard (limit value)	2008	年	25 µg/m ³	2014年まではtarget value
	Average Exposure Indicator	2008	3年移動平均	20 µg/m ³	2015年から
日本	大気環境基準	2009	年	15 µg/m ³	
			24時間	35 µg/m ³	
中国	環境大気質基準(濃度上限)	2012	年(一級)	15 µg/m ³	都市部に適用
			24時間(一級)	35 µg/m ³	
			年(二級)	35 µg/m ³	半農半牧畜の地域に適用
			24時間(二級)	70 µg/m ³	

2.4 中国における PM_{2.5} による大気汚染

PM_{2.5} の世界全体地域分布を図 2.7 に示す。これはアメリカ連邦宇宙局 NASA が発表した PM_{2.5} の観測データで、2001～2006 年 5 年間の平均値を示す衛星図である^{2.15)}。アフリカ北部から東アジアにかけて乾燥地帯が広がる領域で比較的高い値を示しており、砂漠土壌に由来する土壌粒子も PM_{2.5} 濃度に寄与していることがわかる。しかしながら、その影響を考慮してもなお、中国北東部は著しく濃度が高いホットスポットとなっていることがわかる。

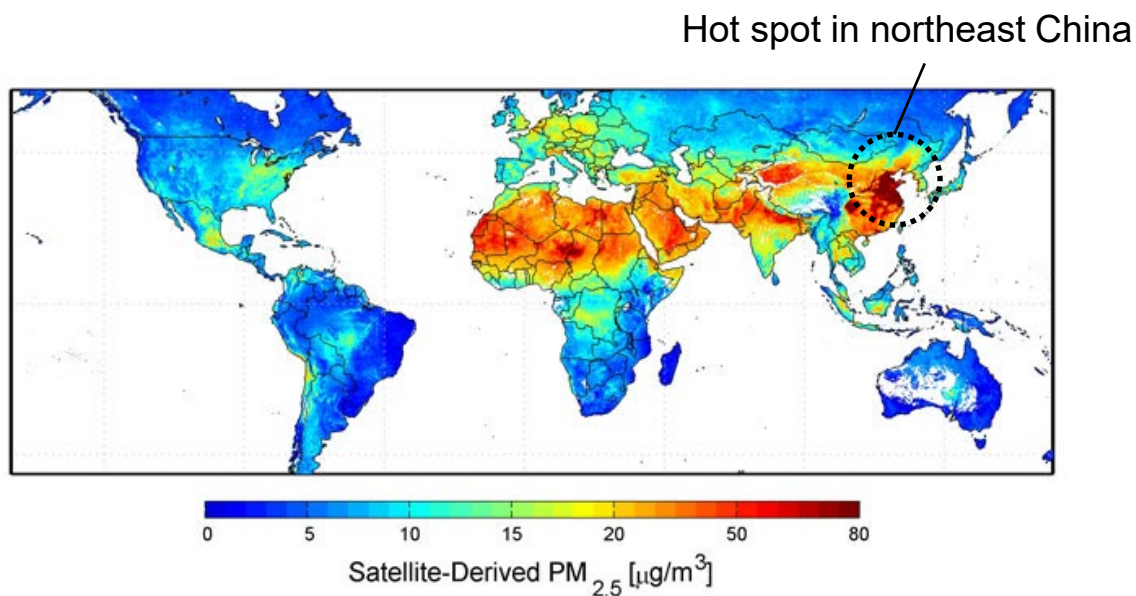


図 2.7 PM_{2.5} の地域別濃度分布^{2.15)}

世界保健機関 (WHO) の調査によると、大気汚染による中国の死亡者数 (推定値) は世界上位に位置している^{2.16)}。図 2.8 は人口 100 万人当たりの大気汚染による死者数の分布であり、図 2.7 に示す PM_{2.5} 濃度の分布に概ね相関する。

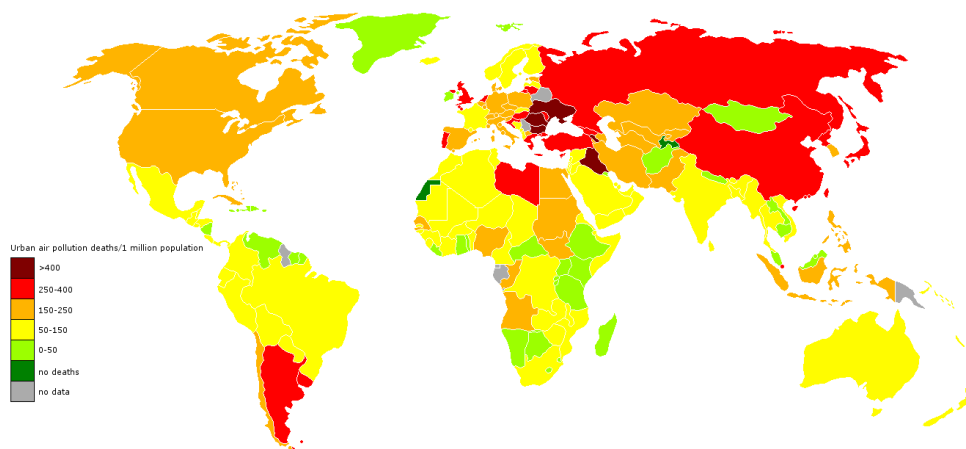


図 2.8 大気汚染による死者数 (100 万人ごとに)^{2.16)}

中国ではPM_{2.5}の疫学研究は限られた都市でのデータしかなく、米国や日本のような評価(表 2.1)は定まっていない。しかしながら、高濃度のPM_{2.5}への短期的な曝露により呼吸器疾患や循環器疾患を発症し、医療機関へ救急受診・入院する患者が増加するという報告はいくつか存在する。例えば、2014年11月1日、遼寧省瀋陽市人民病院など5つの病院のデータを見ると、厳しい大気汚染が発生した日の翌日、呼吸科の患者数は前日より15%増え、その内訳は、呼吸器系の既往症を有する患者が10%、既往症を有せず、単にPM_{2.5}による刺激により発症した患者が5%であった^{2.17)}。一方、Shangら^{2.18)}は、上海市、北京市、広州市および西安市の疫学データについてメタアナリシス¹⁾を実施し、PM_{2.5}の短期曝露が、総死亡、循環器系死亡および呼吸器系死亡に関係すると述べている。また、Maら^{2.19)}は、瀋陽市において詳細な調査を行い、日平均PM_{2.5}濃度が10μg/m³増加すると、総死亡が0.49%増加、循環器系死亡が0.53%増加、呼吸器系死亡が0.97%増加すると報告している。老人や女性の集団においてこの傾向は顕著に表れ、また季節によっても影響の度合いが異なり、夏季に顕著な増加が認められると述べている。瀋陽は冬季に厳寒となり、人々の屋外での活動は制限される。それに対して夏季では屋外の滞在時間が長くなるため、PM_{2.5}に対する曝露頻度が高くなり、健康影響がより顕著に表れると考えられる。

2020年、PM_{2.5}による大気汚染問題はさらに注目された。2019年12月、中国湖北省武漢市において当時未知とされた新型コロナウイルス(COVID-19)による重篤な肺炎患者の発生が報告され、感染が急速に拡大するアウトブレイクに発展した。このような状況下、新型コロナウイルスの感染経路として、エアロゾル感染(空気感染)の可能性が指摘された(図 2.9)。2020年2月8日、上海市衛生健康委員会は「エアロゾルによる感染への対応が必要」と警告^{2.20)}、またWHOも「主に屋内で、混雑し換気が不十分な場所で新型コロナウイルスが空気を介して伝染することは無視できない」という見解を示した^{2.21)}。ウイルスは空気中の粒子状物質の表面に直接または間接的に存在することができ、北イタリアにおけるCOVID-19の異常な感染拡大には大気中粒子状物質が関与した可能性が指摘されている^{2.22)}。



図 2.9 新型コロナウイルスの感染経路(概念図)

¹⁾ メタアナリシス：過去に独立して行われた複数の臨床研究のデータを収集・統合し、統計的方法を用いて解析した系統的総説のこと。

2.5 中国における PM_{2.5} 対策の現状と問題点

2.5.1 中国の PM_{2.5} 対策

全国規模の PM_{2.5} 濃度のモニタリングは 2010 年に計画がスタートし、2011 年 1 月 1 日に「環境空気 PM₁₀ と PM_{2.5} の測定重量法」が発表され、中国におけるモニタリング活動の規範が提示された。2012 年 5 月、中国環境観測総部は PM_{2.5} の測定方法を決め、2013 年 1 月 1 日には、中国環境保護部は正式に PM_{2.5} を大気観測指標の項目の中に組み込んだ。それ以来、全国 138 箇所のスポットにおける観測が正式に始まり、そのデータはリアルタイムに発表されている。

一方、1990 年代から継続されている砂漠地域での植林活動は、自然発生源への対応として一定の効果を示している。また、人為的発生源については、都市近郊からの工場等の移転や自動車の交通規制により、一部の工業都市において PM_{2.5} 年平均値は低減し、環境基準を満たすようになった。

環境教育に関して中国は現在模索の過程にあり、これまでにおよそ 4 つの段階を経験している。まず 1973 年からの 10 年間に、中国環境教育の萌芽が見られた。1983 年には、「環境保護」は基本的国策と認定され、環境教育も小・中学校の授業内容に組み込まれるようになった。1992 年にはリオ協定に応じ、中国政府は「中国環境と発展の十大対策」を発表し、「公民の環境意識の向上」と「環境教育によるサステナブル発展の実現」が重視されるようになった。さらに、2003 年以降、環境教育は学校教育のカリキュラムに完全に取り入れられるようになった。環境保護に関する民間団体も急速に増加し、中国で活躍する環境 NPO は 2006 年の時点で 600 団体) を超えている。

しかし、中国の学校教育はまだ不十分で、実際の問題の解決にはほとんど寄与していない^{2.23)}。まず、環境教育の論理的な体系はまだ形成されていない。「環境教育」という概念がはっきりしていないため、各地方の教育活動に統括できる指導思想がない。また、環境教育の体系的な研究が足りない。特に国際的な環境教育の共同性と中国の環境教育の独自性に関する研究が足りない。さらに、学校の環境教育は、学校カリキュラムにおいて不安定に位置にある。中国教育部が公表した指導思想は学校環境教育の推進に意見を出したが、明白な規定がないので、強制性がない。また、環境に関する知識は進学と関係ないので、よく重視されない。実際に、中国の 127 個中・小学校で実施したアンケート調査により、89%の学校は週 1 回ごとの環境教育課程を実施していなかった。校外活動もほぼ形式上のものになっている^{2.23)}。したがって、学校教育以外の環境教育を展開する方法が必要と考えられる。

2.5.2 中国における環境モニタリングの問題点

中国における環境モニタリングの問題点は主に二つに分けられる。

一つ目の問題点は、観測スポットの設置場所の偏りと、その数の不足である。中国は約

960 万 km² の国土と約 14 億の人口を抱える大国であり、自然環境も多様性に富んでいるが、観測スポットの大半は経済が発展した大都市に設置されており、膨大な人口を抱える地方都市と農村部までは網羅できておらず、このように都市部に偏った既存のデータでは、全国の状況を把握できないと思われる。また、観測スポットが設置された大都市でも、観測スポットの数は不十分と言える。例えば、図 2.10 に示すように、3495km² の面積を持つ瀋陽市でも観測スポットは 8 か所のみである。この現状では、市民は地域の全体的な状況を大まかに知ることはできても、自分の身の周りの状況、つまり「個人曝露」の実態を把握することは困難である。



図 2.10 瀋陽市における PM_{2.5} の観測スポット

表 2.3 中国における AQI レベル分別表

AQI	対応レベル
0-50	良好
51-100	中
101-150	アレルギー反応発生しやすい
151-200	不健康
201-300	とっても不健康
300-500	有毒

問題点のもう一つは、公表される観測データが直接的ではないことである。中国環境保護局がリアルタイムで公表する値は、大気中濃度を Air Quality Index (AQI, 空気質指数)

に変換したものである。AQIは、各汚染物質（粒子状物質、CO、SO₂、NO₂、O₃）について、それぞれの基準に基づいてAQIに変換し、観測時に最も高いAQIのみが表示される。表2.3に中国のAQIレベル分別表を示した。市民はAQIで空気質を判断する。市民はここに示した「おすすめの対応」に沿って、健康な生活はできると予測できても、実態に即して臨機応変に行動することは難しい。市民は発生源について誤った理解をし、特定の発生源を過度に敵視してしまう可能性がある。

2.6 シチズンサイエンスによるPM_{2.5}対策

2.6.1 「シチズンサイエンス」とは何か

シチズンサイエンス、もしくは市民科学とは、全面的もしくは部分的にアマチュア科学者によって行われる科学研究を指す^{2.24)}。社会学者であったアーウィン^{2.25)}は市民科学を「科学における市民の役割に関する発展途上の概念で、特に科学研究や科学政策のプロセスを市民に開放する必要性を言ったもの」と定義した^{2.25)}。シチズンサイエンスは20世紀後半に台頭し、大半の状況下で、程度の差こそあれ、大学、研究機関および産業研究所と緊密に連携する市民らによって実践されてきた。そして21世紀においては、市民がかつてないほど科学研究に深く関与する機会の拡大を享受しつつある。同時に、研究者も市民科学者の協力を得ることで、個人や研究グループでは収集できないような大量なデータが入手できる可能性があり、研究者と市民の「win-win」の関係とも言える^{2.26)}。

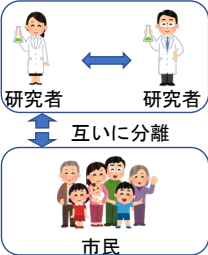
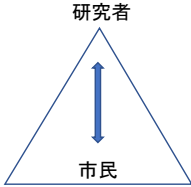

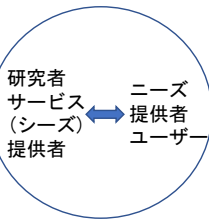
分類	従来型サイエンス	典型的なシチズンサイエンスの場合	「集合知の活用」を目指した場合	「共創の場の構築」を目指した場合
主体と構造	研究者  研究者 研究者 互いに分離 市民	研究者 アウトリーチ型  研究者 市民	市民・研究者 関係はフラット  研究者 市民	参加者-研究者 関係はフラット(共創)  研究者 サービス(シーズ) 提供者 ニーズ提供者 ユーザー
アウトプットとそのインパクト	論文 ↓ 科学的インパクト	論文(対科学者) 学びや楽しみ(対参加者) ↓ 科学的インパクトが中心になりやすい	論文、楽しみの共有 新しい行動 ↓ 科学的、社会的インパクト どちらも中心になりうる	社会変革(新サービスの創出、コミュニティ形成、場づくり、共通善の達成) ↓ 社会的インパクトが中心になりやすい
顕在化する分野	既存の全ての科学分野	科学者以外にファン、セミプロのいる分野 参加しやすく、特殊技能が不要な、広範のデータ収集が必要な分野	社会的関心が高い生活に密着する分野 (町づくり、環境科学 人文社会学など)	情報科学、芸術、建築を中心としつつ多様な分野

図 2.11 シチズンサイエンスを起点とした多様な研究の形
 (文献^{2.27)}から引用し、著者が一部改変)

図 2.11 は、シチズンサイエンスを起点とした多様な研究の形^{2.27)}を例示したものである。従来型サイエンスでは、研究者と市民は互いに分離した独立の関係にあり、研究者が主体となって科学的インパクトを目指して活動がなされる。それに対して、典型的なシチズンサイエンスでは、研究者が市民と協働して、科学的インパクトのあるデータを目指すものであり、市民参加者は学びや楽しみを享受することができる。一方、シチズンサイエンスを起点とし、さらに研究者と市民がフラットな関係性でそれぞれの「知」を持ち寄り、科学的インパクトだけでなく社会的インパクトも目指す形、あるいは参加者がすべて研究者という立場になり（職業科学者とは限らない）、新サービスの創出、コミュニティ形成、場づくり、共通善の達成などの社会変革を意図する形もあり、いくつかの分野ではすでに顕在化している^{2.27)}。そこで筆者は、中国のPM_{2.5}による大気汚染問題をシチズンサイエンスによって解決できないかと考えた。

2.6.2 中国におけるシチズンサイエンス活動の構想

中国のPM_{2.5}に起因する大気汚染問題をシチズンサイエンスによって解決するため、筆者が構想したフレームワークを図 2.12 に示す。第1段階は、研究者と市民の協働によるPM_{2.5}の観測研究または体験を通じて、環境リーダー（Environmental leader）の育成を目指すものである（アウトリーチ型）。持続可能な社会を実現するには、環境問題に対する科学技術および政策の知識や経験を有し、環境配慮の考え方を多くの分野に浸透できる中核的人材（環境リーダー）の育成が必要とされる^{2.28)}。第2段階では、このような環境リーダーがそれぞれ地域において他の参加者とともによりコミュニティを形成し、PM_{2.5}に関わる問題を自ら発見し、これの解決を目指すものである（共創型）。

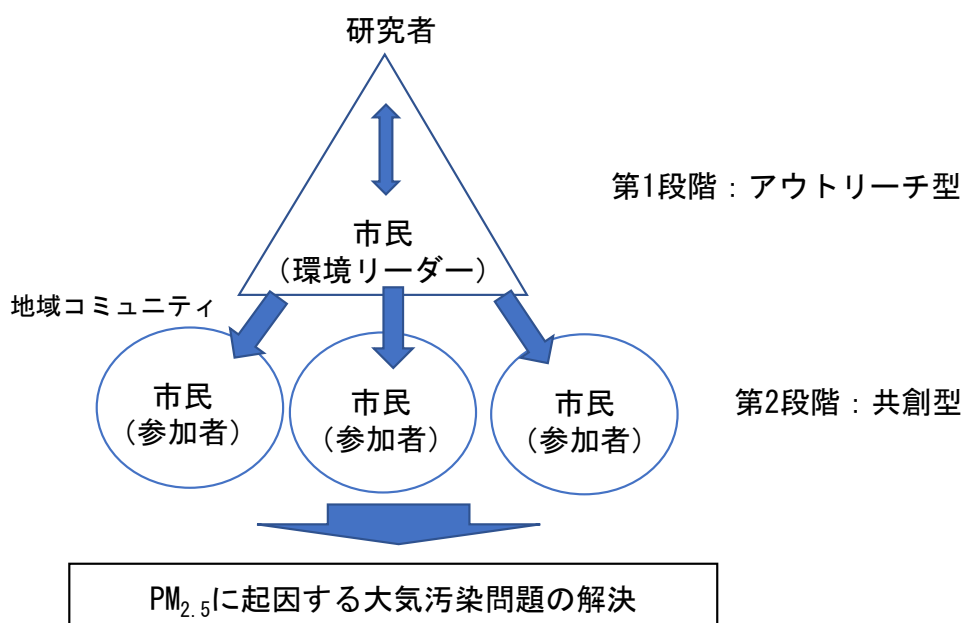


図 2.12 中国におけるシチズンサイエンス活動の構想

この構想を実現するためには、まず第1段階に着手する必要がある、「研究者によるPM_{2.5}に対する科学的理解」を基礎とする環境リーダーを育成するための「市民（向けの環境教育プログラムの開発）」が必要である。前者に関しては、筆者が研究者に該当することから、本論文第3章に記すようにPM_{2.5}に関する先端的観測研究に参画した。一方、後者を実行するにあたり検討すべきは、対象者、用いる教材、環境教育の実施方法である。

対象者に関して、現在中国では急速に経済が発展し、中国都市部に暮らす人々は急激な変化に追いつくのに必死であり、シチズンサイエンス（あるいは環境保護活動）に参加する余力があるかどうか疑わしい。そこで、本研究では高齢者に着目した。多くの国と同様、中国社会も高齢化しつつあり、2020年において、人口の12.4%は60歳以上の高齢者である。しかしながら高齢者であっても活気があることは中国都市部住民の特徴と言え、経済能力があり、かつ時間に余裕のある高齢者の社会に対する貢献意欲は高いため、地域における環境リーダー的存在になり得ると考えた。

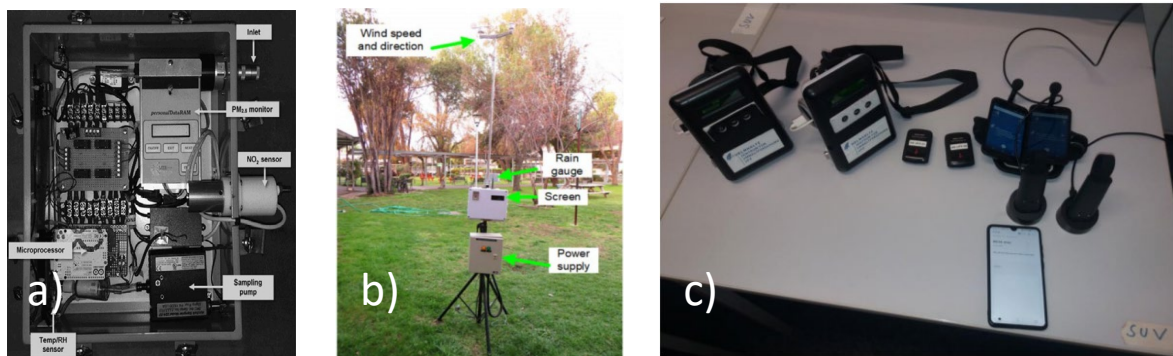


図 2.13 各国のシチズンサイエンス活動に使った測定機器

- a) Amanda ら [2.29](#) がアメリカでの活動用に開発した市民科学空気質モニター（CSAM, Citizen Science Air Monitor）。機能は高いが、一般市民にとって複雑で扱いにくい
- a) Ernesto ら [2.30](#) がチリでの活動に使った測定機器。屋外設置型であり、高層マンションが多い中国ではには適さない。また個人曝露の測定には向かない
- b) Robert ら [2.31](#) がナイジェリアでの活動に使った測定機器。可搬型ではあるが、高齢者が持ち歩きながら個人曝露濃度を測定するには小型化が必要

シチズンサイエンスにより大気環境を観測する活動はいくつか事例がある。図 2.13 は、既往研究において使用された測定機器の例である。対象者を高齢者の中から選定する場合、彼らに相応しい測定器具を厳選する必要がある。その時の条件として、①個人曝露濃度を把握するために可搬型であること、②持ち歩きが容易なように小形であること、③測定結果が容易に表示されるものであること、④操作およびメンテナンスが容易であるこ

と、などがあげられる。既往研究で用いられた測定機器は、必ずしもすべての条件を満たしていない。そこで、市販のPM_{2.5}モニターを探索した結果、Ishigakiら^{2.32)}が開発したスマートフォン空気質モニター（ポケットPM_{2.5}センサー）が好適である可能性が見いだされた。そこで、本モニターの有効性を第4章で検討した。

一方、新型コロナウイルス感染症の流行により、感染防止を図るために対面式授業が大きく制限される事態となり、遠隔授業が急速に普及した。本研究で企図した環境教育プログラムは、当初対面で実施する予定であったが、筆者が日本に在住しているためインターネットを介した遠隔形式で実施せざるをえなくなった。しかしながら、中国の高齢者はインターネットやスマートフォンなども使いこなすなど情報通信技術（Information and Communication Technology, ICT）のリテラシーを有している人が多い。中国ではインターネットをはじめとする通信技術の普及は目覚ましく、特に新型コロナウイルス感染症が発生して以来、ネット通販、QRコードによる決済（図2.14）、「健康コード」と呼ばれる電子通行証などの利用が以前より盛んになった。さらに、スマートフォンの使用に慣れない高齢者のために、各地方政府は高校と連携して教室を開講している。このような社会背景から、インターネットによる遠隔授業にも容易に対応することが可能であった。

以上のことから、中国のICTリテラシーを有する高齢者を対象とし、スマートフォン空気質モニターを用いた環境教育プログラムを開発することとした。



図 2.14 QRコードによる決済の常態化

参考文献

- 2.1 三澤 和洋: 光触媒反応による微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の無害化に関する研究(2020).
- 2.2 環境省: 中央環境審議会大気環境部会, 微小粒子状物質環境基準専門委員会報告書 (2009).
- 2.3 大気環境学会環境基準研究会: 大気環境基準のあり方に関する調査・研究, 大気環境学会誌, 44, 特別号(一部変更) (2009).
- 2.4 Brimblecombe P.: Air Composition & chemistry, 2nd Ed., Cambridge University Press, UK, p61 (1996).
- 2.5 孫 旭: 中国の大気汚染とその対策に関する環境教育学的研究 —浮遊粒子状物質による汚染の現状と健康影響に視点をおいて—(2017).
- 2.6 環境省: 大気汚染の状況, 資料編, 46-48(2017)
- 2.7 Parkes W., Aerosols: their deposition and clearance. Occupational Lung Disorders (3rd edition), Butterworth-Heinemann Ltd., 38(1994).
- 2.8 Hatch T. F.: *Bacteriological Reviews*, 25, 237-240(2004).
- 2.9 Brook R.D., Rajagopalan S., Pope III C.A., Brook J.R., Bhatnagar A., Diez-Roux A.V., Holguin F., Hong Y., Luepker R.V., Mittleman M.A., Peters A., Siscovick D., Smith S.C. Jr, Whitsel L., Kaufman J.D.: Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease, An Update to the Scientific Statement From the American Heart Association, *Circulation*, 121(21),2331-78(2010).
- 2.10 U.S. EPA: Integrated Science Assessment for Particulate Matter, Research Triangle Park, EPA/600/R-08/139F (2009).
- 2.11 環境省: 微小粒子状物質曝露影響調査報告書 (2007) .
- 2.12 島正之: 知っておきたい PM_{2.5} の基礎知識, 一般財団法人日本環境衛生センター, 神奈川, p39 (2013) .
- 2.13 関根嘉香: 微小粒子状物質の健康影響について, 室内環境, 16(1),19-35(2014).
- 2.14 武林亨: PM_{2.5} の健康影響 総論, 医学のあゆみ, 247(8),662-666(2013).
- 2.15 NASA: New Map Offers a Global View of Health-Sapping Air Pollution.(2010).
<https://www.nasa.gov/topics/earth/features/health-sapping.html>(2021年5月29日検索)
- 2.16 CAI-Asia: Air Quality in Asia:Status and Trends 2010 Edition(2010).
- 2.17 首都児童研究所: 我が国の児童喘息病率 10年間 50%増(2013).
- 2.18 Shang Y., Sun Z.W., Cao J.J., Wang X.M., Zhong L.J., Bi X.H., Li H., Liu W.X., Zhu T., Huang W.: Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality, *Environ. Intern.*, 54, 100-111(2013).
- 2.19 Ma Y., Chen R., Pan G., Xu X., Song W., Chen B., Kan H.: Fine particulate air pollution and daily mortality in Shenyang, China, *Science of the Total Environment*, 409, 2473-2477(2011).
- 2.20 Tencent ネットニュース <https://new.qq.com/rain/a/20200923A0ITBA> (2020年1月14日閲覧) .

- 2.21 World Health Organization: Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations, WHO reference number: WHO/2019-nCoV/Sci_Brief/Transmission_modes/2020.2
- 2.22 Conticini, E., Frediani, B., Caro, D.: Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?, *Environ. Pollut.*, 261, 114465 (2020).
- 2.23 田友誼: 中国環境教育 40 年 - 経歴、困難と対策 - (2016).
- 2.24 横尾淑子: 欧米における市民科学 (シチズンサイエンス) 支援の動き(2017).
- 2.25 Riesch, H., Potter C.: Citizen science as seen by scientists: Methodological, epistemological and ethical dimensions. *Public Understanding of Sci.*, 23(1): 107–120. (2014).
- 2.26 G サイエンス学術会議共同声明: インターネット時代のシチズンサイエンス
- 2.27 古谷美和, 住本研一, 林和弘: シチズンサイエンスを超えた共創型研究の兆しと可能性—Japan Open Science Summit のシチズンサイエンスセッションと事前アンケートの報告—, *STI ホライズン*, 4(3), 36-41(2018).
- 2.28 山下廣順・岡谷重雄: 科学技術振興調整費による国際環境リーダーの育成, *環境技術*, 38 (10) , pp682-686.(2009).
- 2.29 Amanda K., Williams R., Timothy B., et al. : A Citizen Science and Government Collaboration: Developing Tools to Facilitate Community Air Monitoring, *Environ. Justice*.10(2),pp51-61.(2017)
- 2.30 Ernesto G., Luis M., Marcelo B., et al. : Citizens' Surveillance Micro-network for the Mapping of PM_{2.5} in the City of Concón, Chile, *Aerosol Air Qual.*,20(2),pp358-368.(2020)
- 2.31 Robert L. and Ibrahim S.Z. : Citizen Science for Transformative Air Quality Policy in Germany and Niger. *Sustainability* ,13, 3973.(2021)
- 2.32 Ishigaki, Y., Tanaka K., Matsumoto Y., Maruo Y. Y. and Pradana H.A.: Citizen sensing for environmental risk communication, action research on PM2.5 air quality monitoring in East Asia, *Proc. of Cyber 2017, The 2nd Int. Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems*, Wilmington, IARIA, 11–12(2017).

第3章

理系高校生との協働による PM_{2.5} の観測研究

*本章の研究内容より以下の文献を共同執筆した。本章の文章および図表等は以下の文献の内容の一部に準ずる。

- ・ 山内克也, 蘓原滉稀, 孫 旭, 関根嘉香, 池田四郎, 韓汶廷, 田中薫:大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の酸化能に及ぼす多環芳香族炭化水素の影響, *臨床環境医学*,29(2),60-69(2020)
- ・ Yamauchi K., Sun X., Sohara K., Takemasa A., Kaneyoshi K., Sekine Y.: Long-term observation of PM_{2.5} and water-soluble inorganic ions at central Tokyo, Japan, *Proc. Sch. Sci. TOKAI UHIV*, 56, 34-42 (2021)

3.1 緒言

第1章で述べたように、中国においてPM_{2.5}問題の解決を意図したシチズンサイエンスを実施するには、まず「研究者によるPM_{2.5}に対する科学的理解」を基礎とする「市民向けの環境教育プログラムの開発」が必要である。そこで、研究者（筆者）によるPM_{2.5}に対する科学的理解を深めることを目的とし、東海大学関根嘉香研究室が理系高校生向けに実践している二つの環境観測プロジェクトに参画し、PM_{2.5}の観測研究を行った。

一つ目は、東海大学附属望星高等学校科学部（武政晃弘教諭）との協働による東京都渋谷区におけるPM_{2.5}および水溶性イオンの長期定点観測プロジェクトである。本プロジェクトは、2013年から開始され、渋谷区におけるPM_{2.5}および水溶性イオン濃度の長期観測により、大気汚染状況の経年変化および発生源の解明を目的としており、研究成果は論文^{3.1.3.2}、学会発表、動画配信等により公表している（2021年6月24日、丹羽秀樹文部科学副大臣が観測状況の視察に訪れた）。筆者は、2019年4月から本プロジェクトに参画し、水溶性イオンの分析およびPositive Matrix Factorization（PMF）法による発生源の推定を担当した。

二つ目は、科学技術振興機構日本・アジア青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプラン）^{3.3}の助成を受け、高大連携科学体験プログラムとして、東海大学（神奈川県平塚市、関根嘉香研究室）、開星中学校・高等学校（島根県松江市、田中薫教諭）およびソウル大学校師範大学附設高等学校（大韓民国ソウル市、韓汝廷教諭）で開始した3都市におけるPM_{2.5}の観測プロジェクトである。本プロジェクトでは、3都市間のPM_{2.5}濃度および化学成分濃度の比較に基づき、大気汚染の発生メカニズムおよびその対策法について考察することを目的としており、研究成果は論文^{3.4}および学会発表等により公表している。筆者は本プロジェクトの中で、PM_{2.5}の活性酸素産生能の評価を担当した。

本章では、これらのプロジェクトにおける研究成果について述べる。

3.2 方法

3.2.1 PM_{2.5}および水溶性イオンの長期定点観測^{3.1.3.2}

3.2.1.1 PM_{2.5}の測定

東京都渋谷区に所在する東海大学附属望星高等学校において、PM_{2.5}サンプラー（Thermo社製, Partisol-FRM Model 2000）を用い、石英繊維製フィルター（Whatman製, QMA, 47 mmφ）に流量16.7 L/minで7日間空気をろ過し、PM_{2.5}試料を捕集した。捕集前後の石英繊維製フィルターは、硝酸カルシウム（関東化学社製、特級）の飽和水溶液を調湿剤とした恒温恒湿槽内（温度：20℃、相対湿度50±5%）に24時間静置して恒量化させた後、電子天秤を用いて重量差を測定し、PM_{2.5}重量を求めた。この重量を通気流量で除してPM_{2.5}濃度（μg/m³）を求めた（3.1式）。

$$\text{PM}_{2.5} \text{濃度} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \text{PM}_{2.5} \text{重量} (\mu\text{g}) / \text{通気流量} (\text{m}^3) \quad \dots (3.1)$$

図 3.1 に PM_{2.5} サンプラーおよび PM_{2.5} 試料の外観を示す。尚、PM_{2.5} の捕集および濃度の算出は高校生が行った。



図 3.1 東京都渋谷区に設置した PM_{2.5} サンプラーおよび典型的な PM_{2.5} 試料

3.2.1.2 水溶性イオン濃度の測定

捕集後の各 PM_{2.5} 試料の一部 (14 mm φ × 2) を容量 50 mL の遠沈管に入れ、10 mL の超純水 (Milli Q) で 60 分間振とう抽出した後、孔径 0.20 μm のフィルターでろ過して抽出液とした。

陽イオンの分析：抽出液に含まれる陽イオン (Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) は、陽イオンクロマトグラフィーにより定量した。分析条件を表 3.1 に示す。検量線用標準溶液は、NaCl (富士フィルム和光純薬社製、特級)、NH₄Cl (関東化学社製、特級)、KCl (富士フィルム和光純薬社製、一級)、MgCl₂·6H₂O (富士フィルム和光純薬社製、特級)、CaCl₂ (関東化学社製、特級) を超純水で希釈したものを用いた。

表 3.1 陽イオンクロマトグラフィーの装置構成および分析条件

ポンプ	島津製作所社製 LC-20AD
記録計	島津製作所社製 C-R8A
カラムオープン	島津製作所社製 CTO-10AVP
検出器	島津製作所社製 COD-10AVP
オートサンプラー	島津製作所社製 SIL-10Ai
システムコントローラー	島津製作所社製 SCL-10AVP
分離カラム	昭和電工製 Shodex IC YS-50 (4.6 mmΦ×125 mm)
カラム温度	40℃
溶離液	2.5 mM シュウ酸溶液
流量	1.0 mL/min
注入量	20 μL

陰イオンの分析：抽出液に含まれる陰イオン (Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-}) は、陰イオンイオンクロマトグラフィーにより定量した。分析条件を表 3.2 に示す。検量線用標準溶液は、NaCl（富士フィルム和光純薬社製，特級）、 NaNO_3 （関東化学社製，特級）、 Na_2SO_4 （富士フィルム和光純薬社製，一級）を超純水で希釈したものを用いた。尚、各試薬は調製前に 110℃ に設定した乾燥機にて、60 分間乾燥させた。

表 3.2 陰イオンクロマトグラフィーの装置構成および分析条件

ポンプ	Thermo 社製 AQUION
検出器	Thermo 社製 AS-AP
ガードカラム	Thermo 社製 IonPack AS-9-HC Guard (4 mmΦ×50 mm)
分離カラム	Thermo 社製 IonPack AS-9-HC Analytical (4 mmΦ×50 mm)
カラム温度	40℃
溶離液	5.0 mM 炭酸ナトリウム溶液
再生液	1.5 mM 硫酸溶液
流量	1.0 mL/min
注入量	25 μL

3.2.1.3 PMF 法による発生源寄与率の推定

PM_{2.5} は各発生源に由来する微粒子の混合物であり、各発生源からの影響を定量的に推定する方法には、大別してソースモデルとレセプターモデルがある。ソースモデルは、発生源（ソース）の排出強度と拡散・輸送モデルを用いて測定点における濃度を推定する方法であり、化学輸送モデルとも言われる。一方、レセプターモデルは、測定点（レセプター）において実際に得られた試料に含まれる化学成分濃度を手掛かりに、各発生源の影響を見積もる方法であり、ケミカルマスバランス（Chemical Mass Balance, CMB）法と多変量解析法に大別できる。

Positive Matrix Factorization（PMF）法^{1.5-1.7)} は、多変量解析法である因子分析の一種であり、分類された因子得点（発生源寄与濃度）が負にならないことを前提に、測定点における化学成分濃度の実測値から統計的に意味がある共通因子を抽出する方法である。計算精度を高めるためには、PM_{2.5} 中の化学成分濃度に関する多数の時系列データが必要であるが、発生源プロフィールを必要としないので、CMB 法に比べて適用しやすく、また未知の発生源を見つけることも可能である。

大気中水溶性イオンの成分濃度は、(3.2) 式に示す因子寄与と因子プロフィールに分解される。

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^n g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad \dots (3.2)$$

ここで、 x_{ij} は、 n 個の PM_{2.5} 試料 i における水溶性イオン j の濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 g_{ik} は因子 k の試料 i への寄与 (-)、 f_{kj} は因子 k のプロフィールにおける水溶性イオン j の濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)、 e_{ij} は試料 j の実測値とモデル化された計算値の残差である。

本研究では、PMF 解析ソフトに米国環境保護庁が Web 上で公開している EPA PMF 5.0 を用いた。PMF 法を使うにあたって、ソフトに入力するデータは、観測点の PM_{2.5} データ、不確実性データ (Unc) を自分で計算し、さらに因子数の設定が必要になる。不確実性データは (3.3) 式で求めた。

$$Unc = \sqrt{(\text{error fraction} \times \text{concentration})^2} + \sqrt{(0.5 + MDL)} \quad \dots (3.3)$$

ここで、error fraction は 20% とし、concentration は実測値、MDL は手法検出下限値⁵⁵⁾ であり、イオンクロマトグラフィーにおける各成分の検出下限値を用いた。因子数は、 $Q(\text{True}) = Q(\text{Robust}) = Q(\text{Theory})$ となるように、error fraction と因子数を試行錯誤しながら組み合わせて決定する。Q (True) とは、モデルに投入した全ての観測データから計算される値であり、Q (Robust) は不確実性スケール化残差が 4 以上の場合を除いたものである。Q (Theory) は、(3.3) 式により計算される。

$$Q(\text{Theory})=nm-p(n+m) \quad \dots (3.4)$$

ここで、 n は試料数、 m は成分数、 p は因子数である。error fraction を上げ、因子数 p を多くすると、 $Q(\text{True}) = Q(\text{Robust}) = Q(\text{Theory})$ に近づいてくる。今回は、誤差フラクションを 20%、因子数を 6 に設定して解析した。

3.2.2 PM_{2.5}の活性酸素産生能の測定^{3.4)}

3.2.2.1 PM_{2.5}濃度の測定

本研究に用いた PM_{2.5} 試料は、2019 年 8 月-11 月に神奈川県平塚市に所在する東海大学湘南キャンパス 17 号館屋上にて 11 試料、2019 年 8 月-10 月に島根県松江市に所在する開星高等学校校舎屋上にて 8 試料、2019 年 7 月-11 月に大韓民国ソウル市に所在するソウル大学校師範大学附設高等学校オープンスペースにて 9 試料をそれぞれ捕集した。各捕集地点がある都市の位置を図 3.2 に示す。

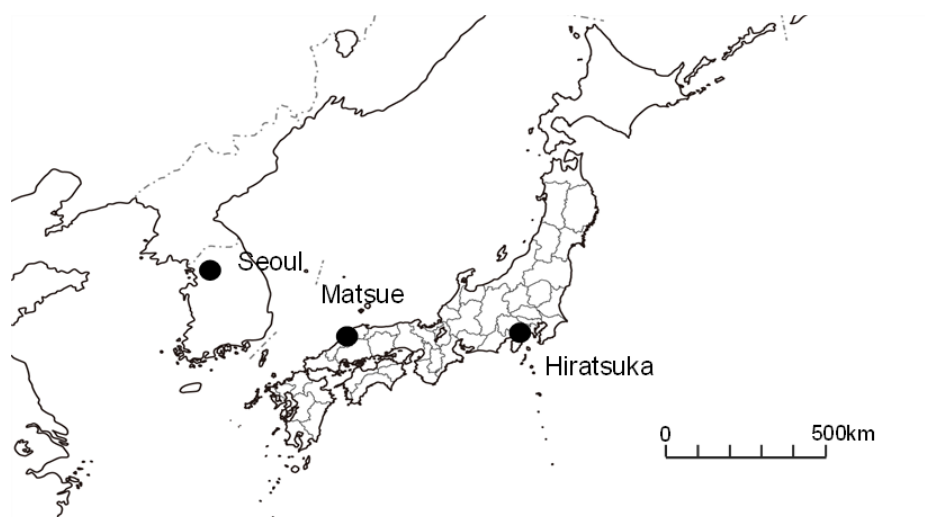


図 3.2 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の捕集地点の地理的ビュー (ソウル：北緯 37 度、東経 126 度、松江：北緯 35 度、東経 133 度、平塚：北緯 35 度、東経 135 度)

大気中 PM_{2.5} を PM_{2.5} 分粒装置付きハイボリウムエアサンプラー (柴田科学社製, HV-500R) を用いて石英繊維製フィルター (アドバンテック東洋社製, QR-100, 110 mm φ) 上に流量 500 L/min で 24 時間捕集した。PM_{2.5} 濃度は、3.2.2.1 と同様に求めた。図 3.3 に捕集の様子を示す。



図 3.3 ハイボリュームエアサンプラーによる PM_{2.5} の捕集 (左：平塚市、右：ソウル市)

ハイボリュームエアサンプラー (図 3.4) は、設定可能な流量が 100~800 L/min と大きく、短時間で大量の試料を捕集することが出来るため化学分析用に用いられることが多い。捕集フィルターには 110 mmφ または 200×250 mm のろ紙を用いる場合が多く、フィルターは PM_{2.5} 分粒装置とともに直接装置にセットされる。

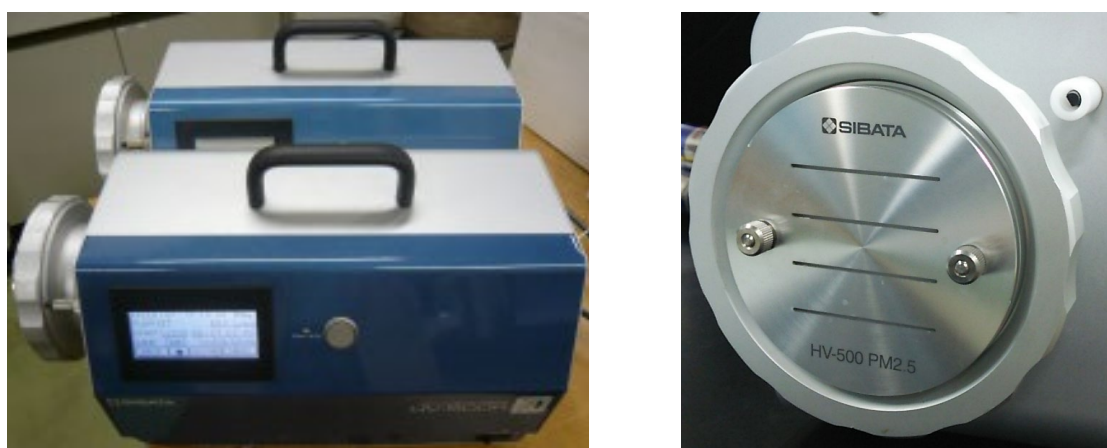


図 3.4 ハイボリュームエアサンプラー(柴田科学社:HV-500R)および PM_{2.5} 分粒装置(柴田科学社: HV-500 PM_{2.5})

3.2.2.2 活性酸素産生能の測定

PM_{2.5} 試料の活性酸素産生能 (Oxidative potential, OP) の測定には、フローインジェクション分析 (Flow Injection Analysis, FIA) と組み合わせて簡易迅速化した FIA-DTT アッセイ^{3.8, 3.9)} を用いた。ジチオトレイトール (DTT) に PM_{2.5} 中の酸化還元活性物質 (PAH キノン類等) を作用させると、DTT は消費されてジスルフィドとなり、三重項酸素 (³O₂) からはスーパーオキシドアニオンラジカル (O₂^{•-}) が生成する (図 3.5)。この酸化還元活性物質により DTT はジスルフィドへと還元される。本法は、この時の DTT の消費速度はその触媒活性に比例することを利用し、残留 DTT を測定することで PM_{2.5} の活性酸素産生能を評価するものである。FIA は、キャリア溶液の連続した流れの中に試料溶液を注入して目的成分を検出する「流れ分析法」であり、キャリア溶液中で DTT と発色試薬を反応させ、残留 DTT を定量する。

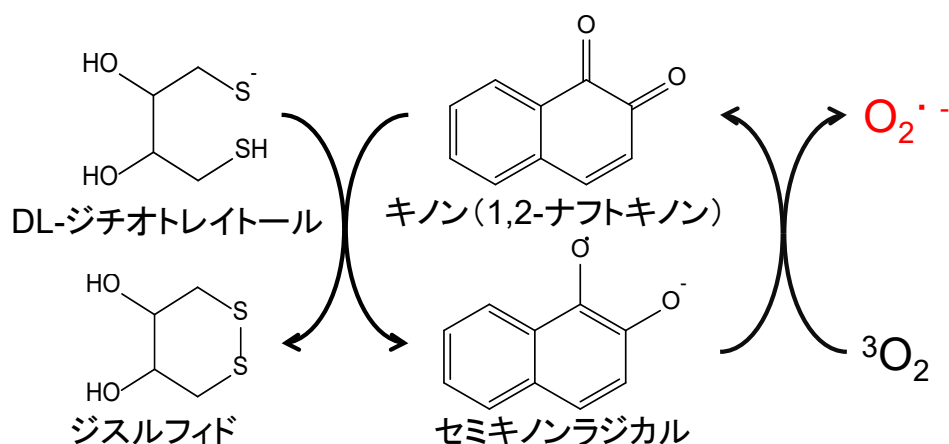


図 3.5 PAH キノン類の活性酸素産生に伴う DTT の消費

FIA-DTT アッセイシステムの構成を図 3.6 および表 3.3 に示す。また分析フローチャートを図 3.7 に示す。PM_{2.5} を捕集した石英繊維製フィルターを 25 mmφ にくり抜き、うち 2 枚を 10 mL の超純水で 30 分間超音波抽出後、PM_{2.5} 抽出溶液 0.50 mL に対して 100 μM-DTT 溶液 3.0 mL を加え、37°C にて反応させた。反応開始直後、15 分後、30 分後、45 分後および 60 分後に反応溶液 20 μL をインジェクション部から注入し、経路内で残留 DTT を 5,5'-ジチオビス(2-ニトロ安息香酸) (5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid), 以下 DTNB, Ellman's reagent と呼ばれる) と反応させ、生成した 2-ニトロ-5-メルカプト安息香酸 (2-nitro-5-thiobenzoic acid, 以下 TNB) の波長 412 nm における吸光度を測定した。キャリア溶液は 4°C に冷却してベースラインの上昇を抑制し、流速 1.0 mL/min で送液した。

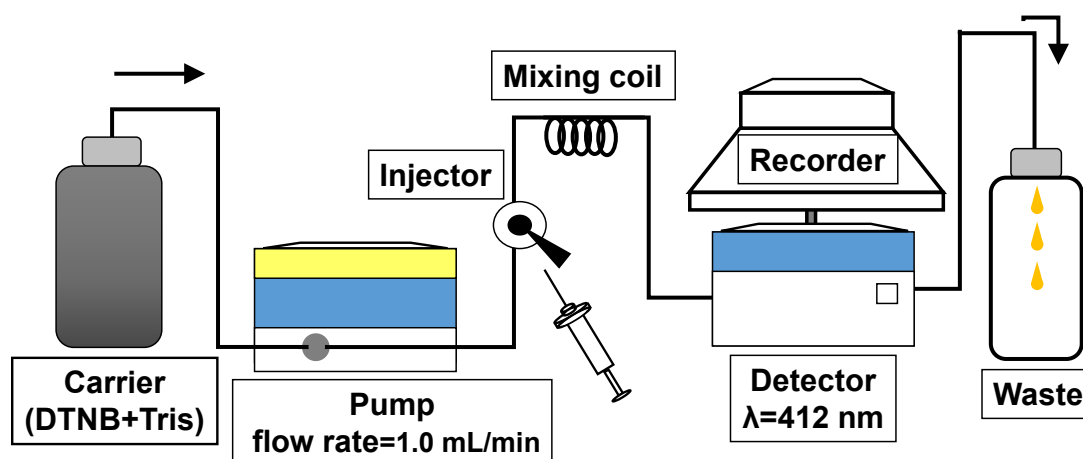


図 3.6 DTT アッセイの簡易迅速化に用いた FIA の装置図

表 3.3 フローインジェクションシステムの装置構成および分析条件

ポンプ	日立製作所製 L-6000
検出器	日立製作所製 L-4000
記録計	島津製作所製 C-R8A
キャリア溶液	10 mM-DTNB と 0.4 M-Tris の混合溶液
流量	1.0 mL/min
注入量	20 μ L
検出波長	412nm

PM_{2.5} 試料の活性酸素産生能は、DTT 濃度の経時変化の傾きから消費速度 (nmol/min) を求め、これを通気流量 (m³) で除して算出した。

$$\text{活性酸素産生能 (nmol/min)} = \text{DTT 消費速度 (nmol/min)} / \text{通気流量 (m}^3\text{)} \quad \dots (3.5)$$

本法で用いる各試薬は次のように調製した。DTT 溶液については、DL-DTT(東京化成工業社製)を 0.1 M-リン酸緩衝溶液(pH=7.4)に溶解し、100 μ M に調製した。0.1 M-リン酸緩衝溶液は、0.1 M-リン酸二水素カリウム水溶液と 0.1 M-リン酸水素二カリウム水溶液を混合して調製した。キャリア溶液に使用する DTNB 溶液については、10 mM-DTNB 溶液 2.5 mL を 0.4 M-Tris 緩衝溶液 100 mL に加えて調製した。10 mM-DTNB 溶液は、DTNB (東京化成工業社製)を 0.1M-リン酸緩衝溶液(pH=7.4)に溶解して調製した。また 0.4 M-Tris 緩衝溶液は、トリス(ヒドロキシメチル)アミノメタン(東京化成工業社製)を超純水に溶解後、希塩酸を加えて pH=8.9 とした。検量線用溶液については、超純水 0.50 mL と 10、25、50 および 100 μ M の DTT 溶液 3.0 mL を混合して調製した。

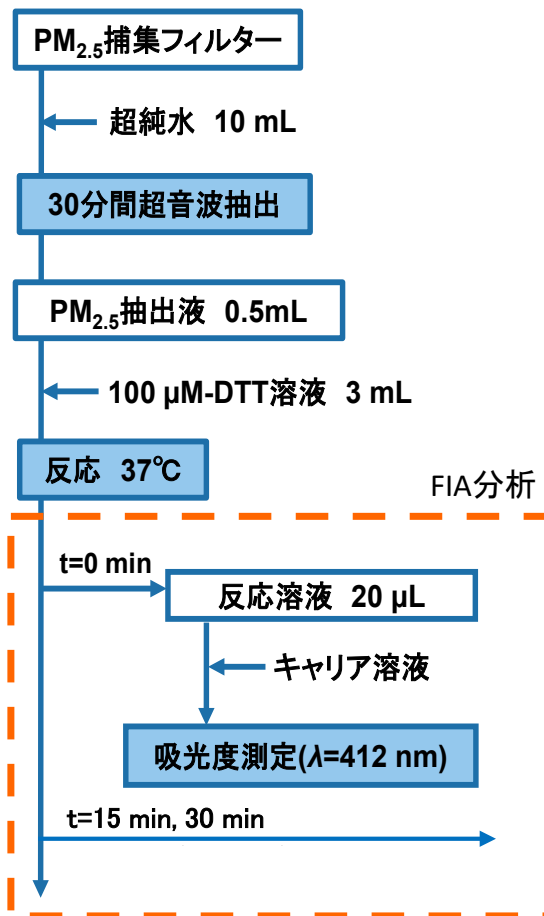


図 3.7 DTT-FIA アッセイのフローチャート

3.3 結果および考察

3.3.1 PM_{2.5} および水溶性イオンの長期定点観測

図 3.8 に 2013 年 7 月から 2019 年 11 月までの渋谷区における大気中 PM_{2.5} および水溶性イオン濃度の変化を示す。PM_{2.5} の 7 日間平均濃度は、2.4 - 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲となり、算術平均値±標準偏差は 12±5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($n=132$)であった。全データのうち、46%は WHO の年平均ガイドライン (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を下回っており、捕集地点の PM_{2.5} による大気汚染は深刻な状況にはないことが示唆された。しかしながら、図 3.7 中に示すように、WHO の日平均ガイドライン (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を超過する高濃度エピソード (#1-#5) も観測された。このうち、#1-#4 は春季の黄砂期に観測されたものであり、アジア大陸からの長距離輸送の影響と考えられる。一方、7 年間の観測期間において、渋谷区における PM_{2.5} 濃度には、明確な増加または減少傾向は認められなかった。

PM_{2.5} を構成する水溶性イオンの各濃度の大小関係は、全試料 ($n=132$) において $\text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^-$ の順であった。 SO_4^{2-} は最も卓越した構成イオンであり、PM_{2.5} の高濃度エピソード #1- #3 においても顕著に高値を示した。しかしながら、PM_{2.5} の高濃度エピソード #4 および #5 では顕著な寄与は示さず、7 年間の観測期間において減少傾向が見られた。中国都市部では、 SO_4^{2-} の前駆物質である二酸化硫黄 (SO_2) の排出抑制対策が進められており^{3.10}、アジア大陸からの SO_4^{2-} (または SO_2) の輸送量が減少した可能性が考えられる。

これら水溶性イオンの時系列データに対して PMF 法を適用し、発生源の推定を試みた。図 3.9 に結果を示す。計算時に設定した 6 個の因子に対する各成分寄与濃度 (棒グラフ、 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) および相対寄与率 (■, %) から、各因子の意味づけを行った。

因子 1 には、 SO_4^{2-} と NH_4^+ の寄与濃度および相対寄与率が高く、アンモニアと硫酸の気相反応によって二次的に生成する硫酸アンモニウムの挙動が反映されていると考えられる。またこの因子では、 Mg^{2+} および Ca^{2+} も高い寄与濃度を示しており、これらは砂漠土壌において塩類集積効果によって濃縮されやすい成分である。すなわち因子 1 は、アジア大陸から長距離輸送によって PM_{2.5} 濃度を増加させる成分による影響と考えられた。

因子 2 は、 Na^+ によって特徴づけられ、これは捕集地点から約 5 km 離れている東京湾等からの海塩粒子に由来するものと考えられる。

因子 3 は、 Mg^{2+} および Ca^{2+} の相対寄与率が顕著に高いが、 SO_4^{2-} の相対寄与率は低いため、ローカルな巻き上げ土壌を含む自然発生由来粒子の影響と考えられる。

因子 4 は、 NO_3^- の相対寄与率が圧倒的に高く、工場などの二次生成硝酸エアロゾルに由来すると思われる。ただし NH_4^+ の相対比は顕著ではないため、必ずしも NH_4NO_3 や NH_4Cl といった単純な化学形態ではないことも示唆された。

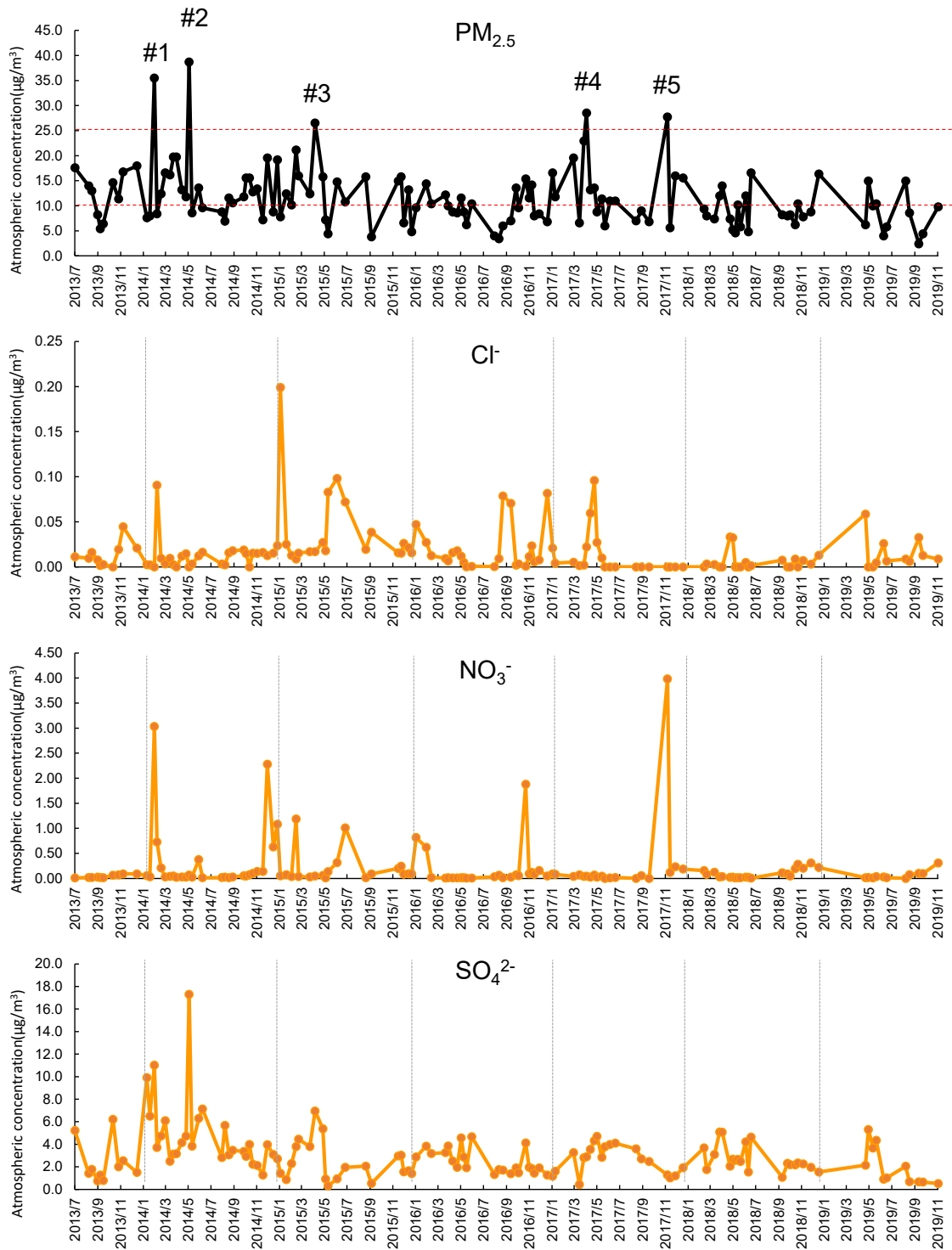


図 3.8 東京都渋谷区における PM_{2.5} および水溶性イオン濃度の観測結果

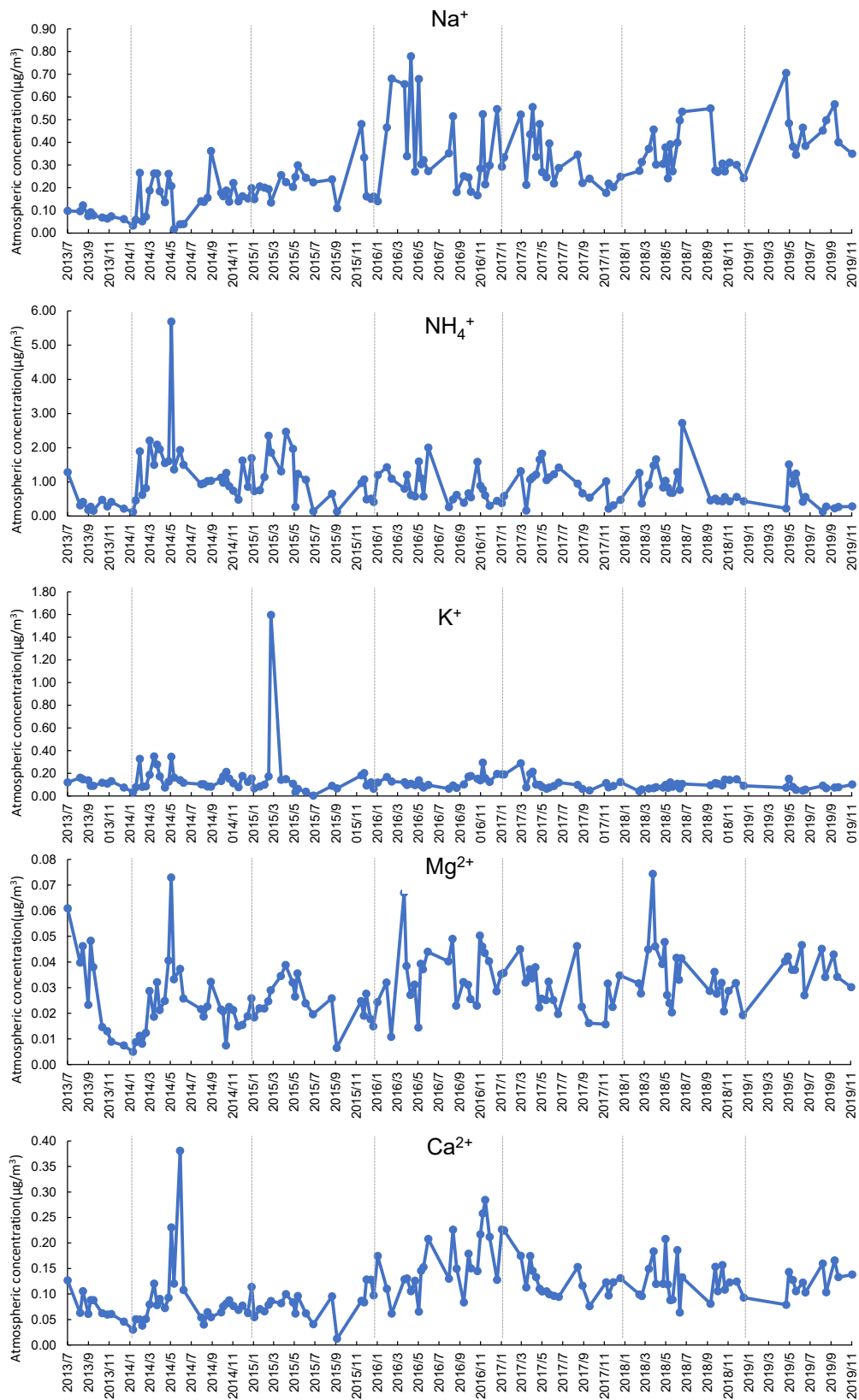


図 3.8 東京都渋谷区における PM_{2.5} および水溶性イオン濃度の観測結果(続き)

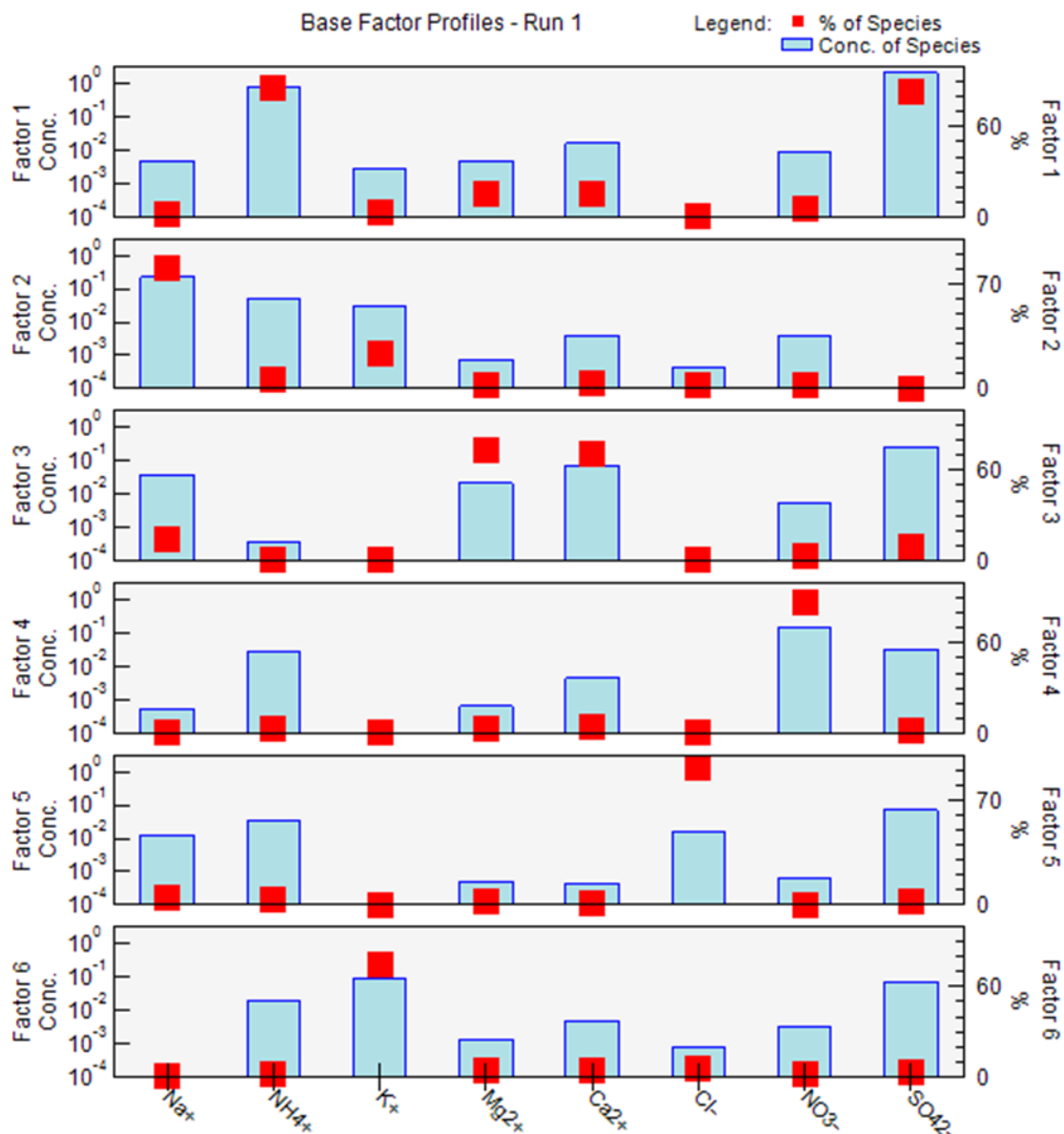
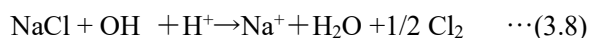
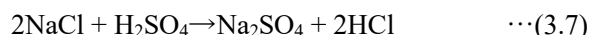
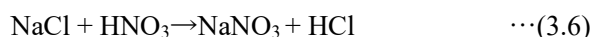


図 3.9 PMF 法による解析結果

因子 5 は、Cl⁻の相対寄与率が圧倒的に高かった。Cl⁻もまた海塩粒子の主成分であるが、クロリンロス現象によって Na⁺で特徴づけられる因子 2 と分裂したものと考えられる。海塩粒子は、海面から波飛沫等が上がる際に大気中に放出された液滴が乾燥した粒子であり、発生初期段階において海水の塩分組成に近いが、大気中の硝酸 (HNO₃)、硫酸 (H₂SO₄)、OH ラジカル等と反応してガス状の塩化水素 (HCl) や塩素 (Cl₂) を放出することからガス状塩素種の発生源になる^{3.11, 3.12}。この海塩粒子中の塩素 (Cl) が損失する現象はクロリンロスと呼ばれ、都市大気の影響が大きいほど顕著に表れる。



因子 6 は、 K^+ で特徴づけられ、野焼きなどのバイオマス燃焼に由来すると考えられる。

図 3.10 は、渋谷区の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度に占める各水溶性イオンの濃度の割合、さらには PMF 法によって推定された各発生源粒子による濃度の割合に置き換えたものを示す。因子 1 の硫酸二次粒子は、アジア大陸からの長距離輸送の影響が反映されており、 $\text{PM}_{2.5}$ による大気汚染問題は 1 国の問題ではなく、東アジアで共通して取り組むべき課題であることがわかる。一方、これら水溶性イオンは $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の約 40% に寄与するのみであり、他の成分、特にヒトの健康に有害な影響を与える炭素成分や重金属についても検討する必要がある。

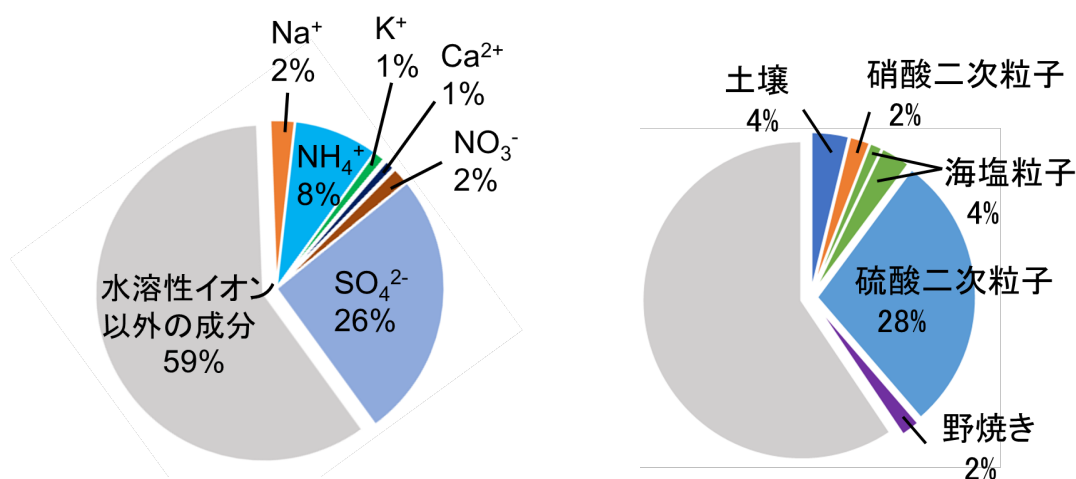


図 3.10 渋谷区の $\text{PM}_{2.5}$ に占める水溶性イオン (左) および PMF 法により推定された発生源粒子の割合 (右) ($n=132$)

3.3.2 $\text{PM}_{2.5}$ の活性酸素産生能の評価

2019 年夏季から秋季にかけて神奈川県平塚市、島根県松江市および韓国ソウル市において測定した大気中 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と FIA-DTT アッセイによる活性酸素産生能の経時変化を図 3.11 に示す。平塚市における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は $7.8\text{--}22 \mu\text{g m}^{-3}$ (平均 $13 \pm 4.7 \mu\text{g m}^{-3}$, $n=11$)、活性酸素産生能は $0.10\text{--}0.38 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ (平均 $0.20 \pm 0.10 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$, $n=11$)、松江市における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は $6.7\text{--}26 \mu\text{g m}^{-3}$ (平均 $13 \pm 7.8 \mu\text{g m}^{-3}$, $n=8$)、活性酸素産生能は $0.043\text{--}0.41 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ (平均 $0.18 \pm 0.12 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$, $n=8$) であり、両都市の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度および活性酸素産生能のレベルは同程度あった。一方、ソウル市における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は $13\text{--}118 \mu\text{g m}^{-3}$ (平均 $49 \pm 41 \mu\text{g m}^{-3}$, $n=9$)、活性酸素産生能は $0.023\text{--}0.55 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$ (平均 $0.28 \pm 0.17 \text{ nmol min}^{-1} \text{ m}^{-3}$, $n=9$) であり、捕集地点が都市部に所在していたこともあり、平塚市や松江市と比較し

て高値であった。

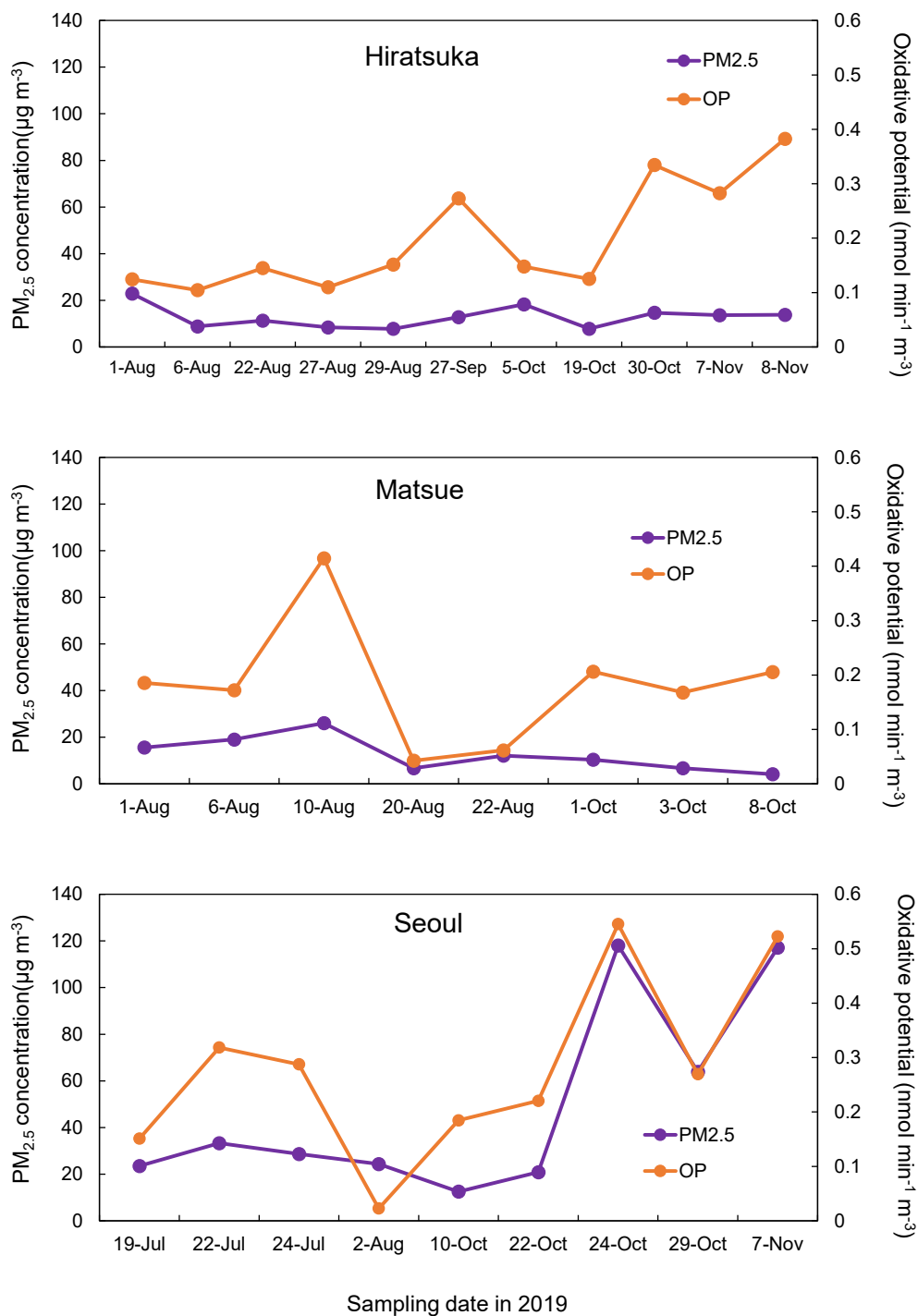


図 3.11 平塚市，松江市およびソウル市における大気中 PM_{2.5} 濃度および活性酸素産生能の測定結果

図 3.11 において、いずれの都市においても PM_{2.5} 濃度と活性酸素産生能は類似の経時変化を示した。平塚市においては、2016 年 10 月からのデータが蓄積されていることから、今回の測定値と合わせて、全 70 試料を対象に PM_{2.5} 濃度と活性酸素産生能の関係を調べた。図 3.12 に散布図を示す。PM_{2.5} 濃度の増加に伴い活性酸素産生能が増加する傾向が見られた。そこで、PM_{2.5} 濃度および酸化能の経時変化の類似性を Pearson の相関係数 r を求めて検討した。相関分析は、大気汚染物質間あるいは空気質に影響を与える他の因子との関係を特定する有効な統計手法であり、大気汚染物質の発生源の同定や汚染メカニズムの推定などに広く利用されている。計算には IBM SPSS® Statistics ver.23 を用いた。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \dots (3.9)$$

ここで、 x_i および y_i は観測日 i における大気汚染指標 (PM_{2.5} 濃度および酸化能)、 \bar{x} および \bar{y} は観測期間における平均値である。

その結果、両変数の間には $r=0.91$ ($p<0.0001$) と有意な強い相関がみられた。尚、松江市は $r=0.65$ 、ソウル市では $r=0.86$ となったが、試料数が少ないため参考にとどめる。

PM_{2.5} は粒子径で規定された微粒子の混合物であり、PM_{2.5} を構成する化学成分によって有害性が異なる可能性がある。しかしながら、少なくとも酸化ストレス仮説に基づく場合、活性酸素産生能は PM_{2.5} 濃度に強く相関したことから、PM_{2.5} 濃度に対して許容曝露基準を設け、これをモニタリングすることは妥当と考えられる。すなわち、市民を対象とした環境教育において、第 4 章に記す PM_{2.5} の個人曝露濃度をモニタリングすることは、PM_{2.5} の有害影響に関する認識を深化させることに有効と考えられる。

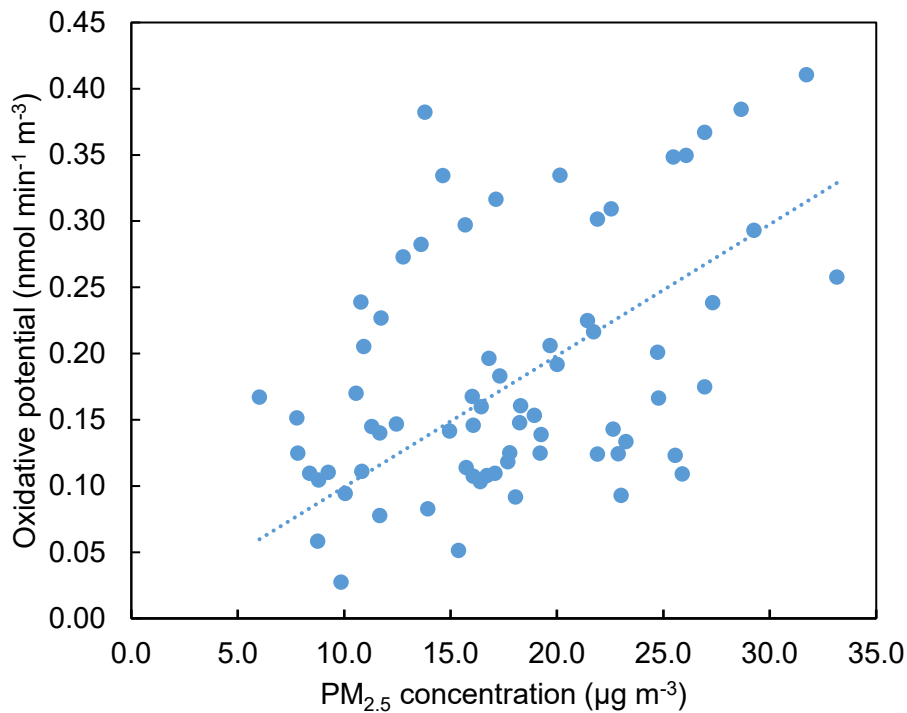


図 3.12 平塚市における PM_{2.5} 濃度と活性酸素産生能の関係 (n=70)

3.4 結論

東海大学関根嘉香研究室が理系高校生向けに実践している二つの環境観測プロジェクトに参画し、PM_{2.5}の観測研究を行った結果、次のことがわかった。

- ① 東京都渋谷区の PM_{2.5} 濃度は過去 7 年間で明確な増減傾向は認められないが、アジア大陸からの長距離輸送の影響がある硫酸イオン濃度は減少傾向にあることがわかった。
- ② 神奈川県平塚市で捕集した PM_{2.5} 試料の活性酸素産生能は、PM_{2.5} 濃度と有意な相関関係があることがわかった。

これらのことから、

- 1) PM_{2.5} による大気汚染問題は 1 国の問題ではなく、東アジアで共通して取り組むべき課題であること。
- 2) PM_{2.5} の個人曝露濃度をモニタリングすることは、PM_{2.5} の有害影響に関する認識を深化させることに有効であること。

が示唆され、市民向け環境教育プログラムの設計に反映することとした。

参考文献

- 3.1 Ota S., Hanasaki J., Toki K., Horigome T., Takemasa A., Ohkoshi Y., Takahashi N., Sekine Y.: Measurement of PM_{2.5} and water-Soluble ions at Central Tokyo, Japan and source apportionment, *Global Environ. Eng.*, 2(2), 21-28(2015).
- 3.2 Yamauchi K., Sun X., Sohara K., Takemasa A., Kaneyoshi K., Sekine Y.: Long-term observation of PM_{2.5} and water-soluble inorganic ions at central Tokyo, Japan, *Proc. Sch. Sci. TOKAI UHIV.*, 56, 34-42(2021)
- 3.3 関根嘉香：科学技術振興機構『さくらサイエンスプラン』友情と感激，文教ニュース，2615号，40-41（2020）。
- 3.4 山内克也， 蘓原滉稀， 孫旭， 関根嘉香， 池田四郎， 韓汶廷， 田中薫:大気中微小粒子状物質（PM_{2.5}）の酸化能に及ぼす多環芳香族炭化水素の影響，臨床環境医学,29(2),60-69 (2020)。
- 3.5 Paatero P., Tapper U.: Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values, *Environmetrics*, 5, 111-126 (1994).
- 3.6 Paatero P.: Least squares formulation of robust non-negative factor analysis, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 37, 23-35(1997).
- 3.7 船坂邦弘,酒井 護,加田平賢史,浅川大地,古市裕子,奥 勇一郎:PMF 法による大阪市内における PM_{2.5} 発生源因子の解析大阪市立環科研報告,平成 26 年度第 77 集,65~70(2015).
- 3.8 関根嘉香， 熊井夕貴， 太田栞：フローインジェクション分析を用いた DTT アッセイによる微小粒子状物質(PM_{2.5})の酸化能の測定，室内環境, 21(1), 33-40（2018）。
- 3.9 三澤和洋， 蘓原滉稀， 熊井夕貴， 久須窪雄希， 関根嘉香：光触媒反応による微小粒子上物質(PM_{2.5})の活性酸素産生能の低減，室内環境,22(1),15-22(2019).
- 3.10 関根嘉香， 吉武淳二， 平湯直子， 太田栞：中国のエネルギー転換による閑居保全分析，ブイツーソリューション，東京， pp20-52(2018).
- 3.11 Martens C.S., Wesolowski J.J., Harris R.C, Karfer R.: Chlorine loss from Puerto Rican and San Francisco Bay area marine aerosols, *J. Geophys. Res.*, 78(36), 8778-8792 (1973).
- 3.12 Pio C.A., Lopes D.A.: Chlorine loss from marine aerosol in a coastal, *J. Geophys. Res.*, 103(D19), 25263-25272 (1998).

Appendix 3.1 神奈川県平塚市における PM_{2.5} および水溶性イオン濃度の観測結果

(単位：μg/m³)

試料番号	捕集日	PM _{2.5}	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
1	2013/7/26	17.6	0.10	1.28	0.12	0.06	0.13	0.01	0.01	5.2
2	2013/9/1	14.0	0.10	0.31	0.16	0.04	0.06	0.01	0.02	1.4
3	2013/9/9	13.0	0.12	0.41	0.15	0.05	0.11	0.02	0.02	1.8
4	2013/9/25	8.2	0.07	0.18	0.14	0.02	0.06	0.01	0.03	0.8
5	2013/10/2	5.4	0.09	0.27	0.09	0.05	0.09	0.00	0.02	1.3
6	2013/10/10	6.4	0.08	0.16	0.09	0.04	0.09	0.00	0.01	0.8
7	2013/11/5	14.6	0.07	0.47	0.12	0.01	0.06	0.00	0.06	6.2
8	2013/11/20	11.4	0.06	0.29	0.11	0.01	0.06	0.02	0.07	2.0
9	2013/12/2	16.8	0.07	0.41	0.13	0.01	0.06	0.04	0.09	2.5
10	2014/1/8	17.9	0.06	0.22	0.07	0.01	0.05	0.02	0.09	1.5
11	2014/2/4	7.6	0.03	0.12	0.03	0.01	0.03	0.00	0.06	9.9
12	2014/2/12	8.0	0.06	0.46	0.08	0.01	0.05	0.00	0.03	6.5
13	2014/2/24	35.5	0.27	1.89	0.33	0.01	0.05	0.00	3.03	11.0
14	2014/3/3	8.4	0.05	0.62	0.08	0.01	0.04	0.09	0.73	3.7
15	2014/3/14	12.4	0.07	0.82	0.09	0.01	0.05	0.01	0.21	4.7
16	2014/3/25	16.6	0.19	2.21	0.19	0.03	0.08	0.00	0.03	6.1
17	2014/4/7	16.2	0.26	1.50	0.35	0.02	0.12	0.01	0.04	2.5
18	2014/4/16	19.7	0.26	2.09	0.28	0.03	0.08	0.00	0.05	3.1
19	2014/4/24	19.7	0.18	1.95	0.17	0.02	0.09	0.00	0.02	3.2
20	2014/5/9	13.2	0.14	1.55	0.07	0.02	0.07	0.01	0.03	4.1
21	2014/5/20	11.8	0.26	1.61	0.13	0.04	0.09	0.01	0.02	4.7
22	2014/5/28	38.7	0.21	5.69	0.35	0.07	0.23	0.00	0.07	17.3
23	2014/6/5	8.6	0.02	1.37	0.16	0.03	0.12	0.00	0.03	3.8
24	2014/6/23	13.6	0.04	1.93	0.14	0.04	0.38	0.01	0.37	6.3
25	2014/7/3	9.6	0.04	1.50	0.12	0.03	0.11	0.02	0.01	7.1
26	2014/8/24	8.8	0.14	0.93	0.10	0.02	0.05	0.00	0.02	2.8
27	2014/9/1	6.9	0.14	0.96	0.10	0.02	0.04	0.00	0.02	5.7
28	2014/9/12	11.6	0.16	1.02	0.08	0.02	0.06	0.02	0.01	3.1
29	2014/9/22	10.6	0.36	1.03	0.08	0.03	0.05	0.02	0.03	3.5
30	2014/10/22	11.8	0.18	1.13	0.13	0.02	0.06	0.02	0.05	3.4
31	2014/10/28	15.6	0.16	0.98	0.17	0.02	0.08	0.01	0.05	2.9

32	2014/11/6	15.6	0.19	1.27	0.21	0.01	0.08	0.00	0.07	4.0
33	2014/11/15	12.8	0.14	0.87	0.15	0.02	0.09	0.02	0.10	2.2
34	2014/11/27	13.4	0.22	0.74	0.11	0.02	0.08	0.02	0.14	2.1
35	2014/12/12	7.2	0.14	0.48	0.08	0.01	0.07	0.02	0.14	1.3
36	2014/12/24	19.5	0.16	1.63	0.18	0.02	0.08	0.01	2.28	4.0
37	2015/1/9	8.8	0.15	0.86	0.12	0.02	0.06	0.02	0.63	3.1
38	2015/1/20	19.1	0.20	1.69	0.15	0.03	0.11	0.02	1.08	2.7
39	2015/1/28	7.8	0.15	0.73	0.07	0.02	0.05	0.20	0.05	1.4
40	2015/2/13	12.4	0.21	0.76	0.08	0.02	0.07	0.03	0.07	0.9
41	2015/2/27	10.2	0.20	1.14	0.10	0.02	0.07	0.01	0.04	2.3
42	2015/3/11	21.1	0.19	2.35	0.17	0.02	0.08	0.01	1.19	3.8
43	2015/3/18	16.0	0.13	1.86	1.60	0.03	0.09	0.02	0.04	4.4
44	2015/4/17	12.4	0.26	1.31	0.14	0.03	0.08	0.02	0.03	3.8
46	2015/5/1	26.5	0.22	2.47	0.15	0.04	0.10	0.02	0.05	7.0
47	2015/5/22	15.8	0.20	1.97	0.11	0.03	0.08	0.03	0.06	5.4
48	2015/5/29	7.2	0.25	0.27	0.03	0.03	0.06	0.02	0.01	0.9
49	2015/6/5	4.4	0.30	1.24	0.06	0.04	0.10	0.08	0.14	0.3
50	2015/6/29	14.8	0.24	1.06	0.04	0.02	0.06	0.10	0.32	0.9
51	2015/7/21	10.8	0.22	0.14	0.00	0.02	0.04	0.07	1.01	1.9
52	2015/9/14	15.7	0.24	0.65	0.09	0.03	0.10	0.02	0.01	2.1
53	2015/9/29	3.8	0.11	0.13	0.07	0.01	0.01	0.04	0.09	0.5
55	2015/12/10	15.0	0.48	0.97	0.18	0.02	0.09	0.02	0.20	3.0
56	2015/12/18	15.7	0.33	1.07	0.20	0.02	0.08	0.02	0.24	3.0
57	2015/12/25	6.6	0.16	0.49	0.09	0.03	0.13	0.03	0.09	1.5
58	2016/1/7	13.2	0.15	0.51	0.12	0.02	0.13	0.02	0.09	1.7
59	2016/1/15	4.8	0.16	0.42	0.06	0.01	0.10	0.02	0.09	1.4
60	2016/1/27	9.6	0.14	1.20	0.12	0.02	0.17	0.05	0.81	2.9
61	2016/2/23	14.4	0.47	1.43	0.17	0.03	0.11	0.03	0.62	3.8
62	2016/3/8	10.4	0.68	1.09	0.13	0.01	0.06	0.01	0.02	3.2
64	2016/4/15	12.2	0.66	0.80	0.12	0.07	0.13	0.01	0.01	3.3
65	2016/4/22	10.0	0.34	1.21	0.10	0.04	0.13	0.01	0.01	3.8
66	2016/5/4	8.8	0.78	0.61	0.11	0.03	0.11	0.02	0.01	2.5
67	2016/5/16	8.6	0.27	0.57	0.10	0.03	0.13	0.02	0.01	2.0
68	2016/5/27	11.6	0.68	1.60	0.14	0.01	0.07	0.01	0.02	4.6

69	2016/6/3	8.8	0.30	1.10	0.09	0.04	0.15	0.01	0.01	2.9
70	2016/6/10	6.2	0.32	0.58	0.07	0.04	0.15	0.00	0.01	1.9
71	2016/6/24	10.4	0.27	2.00	0.10	0.04	0.21	0.00	0.01	4.7
72	2016/8/24	4.0	0.35	0.26	0.06	0.04	0.13	0.00	0.03	1.3
73	2016/9/5	3.4	0.51	0.49	0.09	0.05	0.23	0.01	0.06	1.7
74	2016/9/16	6.0	0.18	0.62	0.07	0.02	0.15	0.08	0.01	1.7
75	2016/10/7	7.0	0.25	0.39	0.10	0.03	0.08	0.07	0.03	1.4
76	2016/10/21	13.6	0.24	0.67	0.17	0.03	0.18	0.00	0.07	1.9
77	2016/10/28	9.6	0.18	0.55	0.18	0.03	0.15	0.00	0.06	1.5
78	2016/11/16	15.4	0.17	1.59	0.15	0.02	0.14	0.00	1.88	4.1
79	2016/11/25	11.6	0.28	0.89	0.14	0.05	0.22	0.01	0.09	1.9
80	2016/12/2	14.2	0.52	0.78	0.29	0.05	0.26	0.02	0.12	1.8
81	2016/12/9	8.0	0.21	0.61	0.16	0.04	0.28	0.01	0.08	1.4
82	2016/12/22	8.4	0.30	0.30	0.12	0.04	0.21	0.01	0.16	1.9
83	2017/1/13	6.8	0.55	0.45	0.19	0.03	0.13	0.08	0.05	1.3
84	2017/1/27	16.6	0.29	0.38	0.19	0.04	0.23	0.02	0.09	1.2
85	2017/2/3	11.8	0.33	0.58	0.19	0.04	0.22	0.00	0.08	1.6
86	2017/3/24	19.5	0.52	1.32	0.29	0.05	0.17	0.01	0.04	3.3
87	2017/4/9	6.6	0.21	0.16	0.08	0.03	0.11	0.00	0.07	0.4
88	2017/4/21	22.9	0.43	1.07	0.20	0.04	0.17	0.00	0.04	2.8
89	2017/4/28	28.5	0.56	1.14	0.21	0.03	0.15	0.02	0.04	2.9
90	2017/5/8	13.2	0.34	1.21	0.10	0.04	0.13	0.06	0.03	3.5
91	2017/5/19	13.6	0.48	1.66	0.10	0.02	0.11	0.10	0.07	4.3
92	2017/5/26	8.8	0.27	1.83	0.08	0.03	0.11	0.03	0.03	4.7
93	2017/6/8	11.4	0.25	1.05	0.06	0.03	0.11	0.01	0.04	2.8
94	2017/6/16	6.0	0.39	1.13	0.07	0.03	0.10	0.00	0.00	3.8
95	2017/6/30	11.0	0.22	1.22	0.09	0.03	0.10	0.00	0.01	4.0
96	2017/7/14	11.0	0.29	1.42	0.12	0.02	0.09	0.00	0.02	4.1
98	2017/9/8	7.0	0.35	0.95	0.10	0.05	0.15	0.00	0.00	3.6
99	2017/9/22	9.0	0.22	0.66	0.06	0.02	0.12	0.00	0.06	2.7
100	2017/10/13	6.8	0.24	0.54	0.05	0.02	0.08	0.00	0.00	2.5
104	2017/12/1	27.7	0.18	1.02	0.11	0.02	0.12	0.00	3.98	1.3
105	2017/12/8	5.6	0.22	0.22	0.08	0.03	0.10	0.00	0.12	1.0
106	2017/12/22	16.0	0.20	0.32	0.09	0.02	0.12	0.00	0.23	1.2

107	2018/1/12	15.6	0.25	0.48	0.12	0.03	0.13	0.00	0.19	1.9
108	2018/3/9	9.4	0.27	1.26	0.04	0.03	0.10	0.00	0.16	3.7
109	2018/3/16	8.0	0.31	0.37	0.06	0.03	0.10	0.00	0.08	1.8
110	2018/4/6	7.4	0.37	0.91	0.07	0.04	0.15	0.00	0.12	3.1
111	2018/4/20	12.0	0.46	1.48	0.07	0.07	0.18	0.00	0.03	5.1
112	2018/4/27	14.0	0.30	1.66	0.08	0.05	0.12	0.00	0.04	5.1
113	2018/5/18	7.4	0.30	0.84	0.07	0.04	0.12	0.03	0.02	2.1
114	2018/5/25	5.2	0.38	1.03	0.10	0.05	0.21	0.03	0.03	2.7
115	2018/6/1	4.6	0.24	0.83	0.07	0.03	0.12	0.00	0.01	2.6
116	2018/6/8	10.2	0.39	0.68	0.12	0.02	0.09	0.00	0.01	2.7
117	2018/6/15	5.8	0.27	0.68	0.08	0.02	0.09	0.00	0.01	2.5
119	2018/6/29	12.0	0.40	1.28	0.11	0.04	0.19	0.00	0.02	4.2
120	2018/7/6	4.8	0.50	0.77	0.07	0.03	0.06	0.00	0.02	1.5
121	2018/7/13	16.5	0.53	2.72	0.11	0.04	0.13	0.00	0.01	4.6
122	2018/10/5	8.2	0.55	0.46	0.09	0.03	0.08	0.01	0.11	1.1
123	2018/10/19	8.0	0.28	0.51	0.11	0.04	0.15	0.00	0.09	2.3
124	2018/10/26	8.2	0.27	0.45	0.11	0.03	0.11	0.00	0.05	2.2
125	2018/11/9	6.2	0.31	0.43	0.09	0.03	0.16	0.01	0.20	2.2
126	2018/11/16	10.4	0.27	0.56	0.14	0.02	0.11	0.00	0.28	2.3
127	2018/11/30	7.8	0.31	0.43	0.14	0.03	0.12	0.01	0.20	2.3
130	2018/12/21	8.8	0.30	0.56	0.15	0.03	0.12	0.00	0.31	2.0
131	2019/1/11	16.3	0.24	0.44	0.09	0.02	0.09	0.01	0.22	1.5
133	2019/5/16	6.2	0.71	0.22	0.07	0.04	0.08	0.06	0.01	2.1
134	2019/5/24	15.0	0.48	1.51	0.15	0.04	0.14	0.00	0.02	5.3
135	2019/6/5	10.0	0.38	0.95	0.08	0.04	0.13	0.00	0.01	3.7
136	2019/6/14	10.4	0.34	1.24	0.05	0.04	0.11	0.00	0.04	4.4
137	2019/7/4	4.0	0.46	0.42	0.05	0.05	0.12	0.03	0.03	0.9
138	2019/7/12	5.8	0.38	0.56	0.06	0.03	0.10	0.01	0.01	1.0
139	2019/9/1	15.0	0.45	0.13	0.09	0.05	0.16	0.01	0.00	2.1
140	2019/9/11	8.6	0.50	0.28	0.07	0.03	0.10	0.01	0.07	0.7
141	2019/10/6	2.4	0.57	0.23	0.07	0.04	0.17	0.03	0.10	0.7
142	2019/10/17	4.4	0.40	0.27	0.08	0.03	0.13	0.01	0.09	0.6
144	2019/11/27	9.8	0.35	0.28	0.10	0.03	0.14	0.01	0.31	0.5

Appendix 3.2 神奈川県平塚市、島根県松江市および大韓民国ソウル市で観測した PM_{2.5} 濃度および活性酸素産生能

試料番号	捕集日	PM _{2.5} 濃度(μg/m ³)	活性酸素産生能 (nmol/min/m ³)
平塚			
1	2016.10.10	9.9	0.03
2	2016.10.11	15.4	0.05
3	2016.10.20	23.2	0.13
4	2016.10.24	17.8	0.13
5	2016.11.16	19.2	0.12
6	2016.11.17	15.7	0.11
7	2016.11.28	16.4	0.10
8	2016.12.6	18.1	0.09
9	2016.12.7	21.9	0.12
10	2016.12.8	17.1	0.11
11	2016.12.12	24.7	0.20
12	2016.12.19	18.9	0.15
13	2016.12.20	24.8	0.17
14	2017.1.16	8.8	0.06
15	2017.1.18	16.8	0.20
16	2017.1.23	10.8	0.11
17	2017.1.24	16.7	0.11
18	2017.1.25	18.3	0.16
19	2017.1.31	19.3	0.14
20	2017.2.1	21.7	0.22
21	2017.2.7	16.0	0.17
22	2017.2.13	11.7	0.23
23	2017.2.21	16.1	0.15
24	2017.2.27	11.7	0.14
25	2017.2.28	29.3	0.29
26	2017.3.7	19.7	0.21
27	2017.3.13	25.5	0.35
28	2017.3.16	10.8	0.24
29	2017.3.19	31.7	0.41

30	2017.3.22	22.5	0.31
31	2017.3.29	28.7	0.38
32	2017.4.4	22.6	0.14
33	2017.4.5	20.0	0.19
34	2017.4.19	25.9	0.11
35	2017.4.24	12.5	0.15
36	2017.5.10	26.9	0.17
37	2017.5.16	17.7	0.12
38	2017.5.22	23.0	0.09
39	2017.5.29	25.6	0.12
40	2017.5.30	33.2	0.26
41	2017.6.5	11.7	0.08
42	2017.6.15	16.1	0.11
43	2017.6.19	21.4	0.23
44	2017.6.26	15.7	0.30
45	2017.7.3	27.3	0.24
46	2017.7.10	6.0	0.17
47	2017.7.19	10.0	0.09
48	2017.7.20	9.3	0.11
49	2017.7.27	15.0	0.14
50	2017.8.3	13.9	0.08
51	2017.8.9	21.9	0.30
52	2017.8.23	26.9	0.37
53	2017.8.24	26.1	0.35
54	2017.8.29	17.3	0.18
55	2017.9.5	16.4	0.16
56	2017.9.9	10.9	0.21
57	2017.9.13	17.1	0.32
58	2017.9.21	20.1	0.33
59	2017.9.23	10.6	0.17
60	2019.8.1	22.9	0.12
61	2019.8.6	8.8	0.10
62	2019.8.22	11.3	0.14
63	2019.8.27	8.4	0.11

64	2019.8.29	7.8	0.15
65	2019.9.27	12.8	0.27
66	2019.10.5	18.2	0.15
67	2019.10.19	7.8	0.12
68	2019.10.30	14.6	0.33
69	2019.11.7	13.6	0.28
70	2019.11.8	13.8	0.38
松江			
1	2019.8.1	16	0.19
2	2019.8.6	19	0.17
3	2019.8.10	26	0.41
4	2019.8.20	7	0.04
5	2019.8.22	12	0.06
6	2019.10.1	10	0.21
7	2019.10.3	7	0.17
8	2019.10.8	4	0.21
ソウル			
1	2018.12.11	27	0.4
2	2018.12.17	32	0.4
3	2018.12.19	36	0.3
4	2018.12.26	24	0.1
5	2019.7.19	23	0.2
6	2019.7.22	33	0.3
7	2019.7.24	29	0.3
8	2019.8.2	24	0.0
9	2019.10.10	13	0.2
10	2019.10.22	21	0.2
11	2019.10.24	118	0.5
12	2019.10.29	64	0.3
13	2019.11.7	117	0.5

第4章

スマートフォン空気質モニターのシチズン サイエンスへの利用可能性

*本章の研究内容より以下の論文を執筆した。本章の文章および図表等は、以下の文献の内容の一部もしくは全部に準ずる。

- Sun X., Yamauchi K., Sekine Y., Suzuki M.: A fundamental study on the use of a smartphone air quality monitor for cultivating public environmental awareness, *Indoor Environment*, 23 (3), 231-239 (2020)

4.1 緒言

過去数年間、中国政府にとって環境保護はますます重要な使命となり、PM_{2.5}の公式モニタリング体制も整備されてきた^{4.1)}。Air Quality Index (AQI) と組み合わせたPM_{2.5}データは、現在インターネット経由で簡単に入手できる。ただし、固定監視ステーションからのデータは、個人の実際の曝露状況を表すものではない。特に中国・瀋陽市などの高緯度の都市では、冬季の屋外における平均気温が0°C未満である^{4.2)}ため、市民たちは屋内環境で過ごすことが多く、公式データは個人曝露の実態を反映していない。

環境教育は、環境の基本的価値についての共通の理解を深めるために重要であり^{4.3)}、個人の環境に対する意識は、環境を改善するための最初のステップである^{4.4)}。大気質への認識を深めることにより、人々は予防措置を実施する可能性が高まる^{4.5)}。ただし、大気質と人々の認識との関連は、汚染レベルと、年齢、居住地域、健康状況などの個人的要因に依存するため、依然として議論の余地がある^{4.6, 4.7)}。したがって、大気質は科学的手段によって客観的に評価されるのが望ましい。

固定監視ステーションで収集された公式データは、一般市民の環境意識を高める可能性がある。しかし、データが一方的な価値観に基づいて提示される場合、あるいは環境基準との単純な比較で提供される場合、市民は工場や自動車などの大気汚染源を過度に非難する傾向がある^{4.8)}。したがって、市民が実際の曝露状況を把握するための簡易な測定器具が必要と考えられる。

従来研究では、PM_{2.5}およびPM₁₀への個人曝露量を評価するため、サンプリング装置を用いて大気汚染物質を捕集した後、専門機関の研究者による化学分析が必要であった^{4.9, 4.10, 4.11)}。一方、環境教育のために使う器具は低コストであり、専門家ではないユーザーにとっても使いやすいものでなければならない。石垣らは^{4.12)}、PM_{2.5}とPM₁₀を測定するためのスマートフォン空気質モニターを開発した。これは、スマートフォンを使用してデータの記録とリアルタイム表示を行う測定器具であり、PocketPM_{2.5}センサーと呼ばれる。このモニターは、ミャンマーのヤンゴンにある7つのタウンシップでリアルタイムのPM_{2.5}レベルを監視し、個人の曝露濃度を評価する研究にも使用されている^{4.13)}。このモニターは、一般市民の環境意識を高めるために有効と考えられるが、環境教育的な観点からの潜在的な能力については議論されていない。

本章では、2019年11月に中国遼寧省瀋陽市の市内でスマートフォン空気質モニターを使用し、PM_{2.5}およびPM₁₀の個人曝露濃度を実測した。本章研究の目的は、環境教育活動におけるスマートフォン空気質モニターによる観測データの作用と意義を引き出すことであり、この方法は市民の環境教育に有用であることを明らかにする。

4.2 方法

4.2.1 フィールド調査地点

瀋陽市内におけるPM_{2.5}およびPM₁₀の個人曝露濃度のモニタリングは、2019年11月19

日と20日に実施された。前述のように、瀋陽市民は11月には屋内で過ごす時間が長く、暖房の使用や鍋を食べるなど、さまざまな方法で暖をとる傾向がある。そのような行動は、個人曝露に影響を与える可能性がある。両日とも晴天で無風に近く、初日の気温は-1~8℃、2日目は6~0℃であった。図4.1に本調査のモニタリングサイトおよびルートを示した。

モニタリングは11のサイトまたはルートで実施された：①メトロ（室内）、②歩行者ゾーン（商店街）、③レストラン#1（室内、魚の蒸し料理）、④公共バス（室内）、⑤化石燃料発電所近くの道路、⑥幹線道路、⑦中国工業博物館（室内）、⑧高速道路、⑨森林公園、⑩住宅街、⑪レストラン#2（室内、中国のなべ料理）。初日に①~④のモニタリング、その他は2日目に実施された。

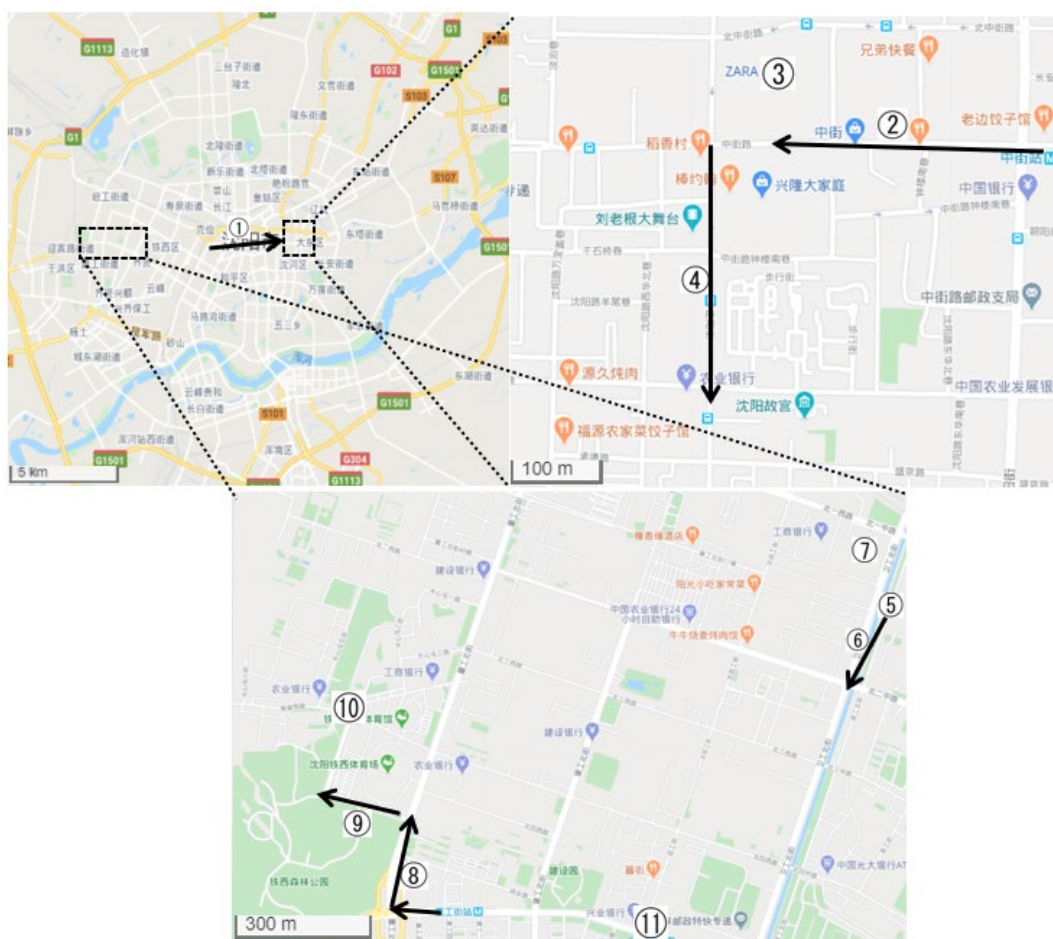


図4.1 瀋陽市におけるモニタリングサイトとルート (google map,2020)

4.2.2 測定方法

PM_{2.5} と PM₁₀ の個人曝露濃度は、レーザー光散乱法を採用したスマートフォン空気質モニター（ヤグチ電機社製、PocketPM_{2.5} センサー）を使用して測定した。モニターは、Androidタイプのスマートフォンに接続されたレーザー発光ダイオード、フォトダイオードセンサ

一、ファン、アンプ、USB エンコーダーで構成されている 4.14)。スマートフォンのディスプレイ上で $PM_{2.5}$ および PM_{10} の濃度を $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でリアルタイムで表示し、PM レベルの増加に伴い、背景画面の色が青、黄、赤、紫、黒へと順次変化する。また同時に GPS データを含む Google Keyhole Markup Language 形式のコマ区切り値のログデータを生成する。本モニターの濃度測定レンジは $0.0\sim 999.9\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、使用環境温度は $-20\sim 60^\circ\text{C}$ 、応答時間は 1 秒、測定誤差は最大 $\pm 15\%$ および $\pm 10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (25°C , RH50%) である。モニターは、アイデック社（東京）から購入し、瀋陽市で使用した。尚、本モニターを中国に持ち出す際、メーカーに対してリスト規制（輸出貿易管理令別表第一の 1 項～15 項）に「非該当」であることを確認し、非該当証明書を手に入れた。

フィールド調査において、モニターはボランティア（非専門家）の呼吸ゾーンの近くに設置された（図 4.2）。モニターを持ったボランティアは、一般的な瀋陽市民として行動し、各モニタリングエリアで $PM_{2.5}$ および PM_{10} の濃度を 1 秒単位で約 8～20 分間モニタリングした。濃度、測定時間、位置データなどはスマートフォンに自動的に記録された。個人曝露データの分析には Microsoft Excel を使用した。また、この研究は、ヘルシンキ宣言を遵守し、東海大学湘南校舎「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認（No.19183）を得て実施した。

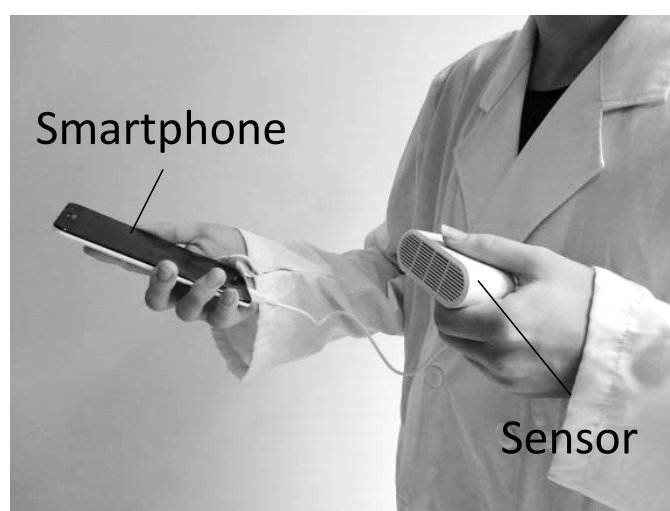


図 4.2 スマートフォン空気質モニターを用いた個人曝露測定の様子

4.3 結果

スマートフォン空気質モニターを用いて、ボランティアの個人曝露濃度を測定した。図 4.3 に代表的な結果を示す。メトロ内のモニタリング（図 4.3a）については、 $PM_{2.5}$ および PM_{10} の濃度変化において繰り返されるパターンが見られた。各濃度レベルは、駅に到着する前に徐々に減少し、乗客が電車に出入りする時に増加した。これはおそらく、列車内での乗客の動きに由来する粒子が再飛散したためと考えられる。一方、交通量の多い幹線道路を

経由し、中国工業博物館に入ると、PM_{2.5}およびPM₁₀の濃度が著しく減少した（図 4.3b）。平日に来館者が少ないため、室内の濃度レベルは外より低いと考えられる。

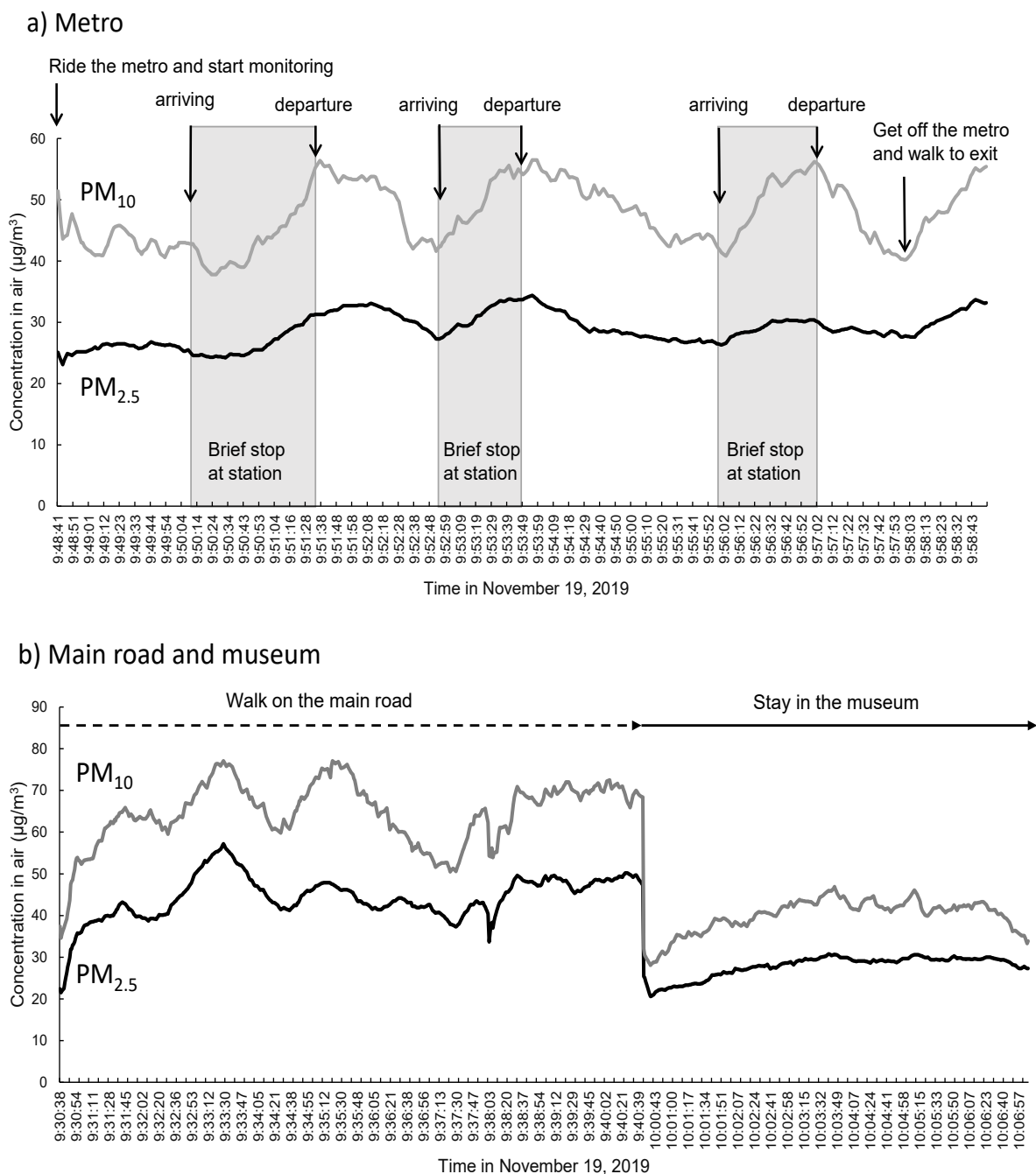


図 4.3 瀋陽市における代表的な測定結果

a) メトロ（測定中に三つの駅で一時停車した）

b) 幹線道路と中国工業博物（ボランティアはラッシュアワーの幹線道路を歩き、博物館内部に入った）

図 4.4 に、11 のモニタリングイベント中の PM_{2.5} および PM₁₀ の個人曝露濃度のヒストグラムを示す。スマートフォン空気質モニターが 1 秒ごとに濃度を記録したため、この研究プロジェクトの合計モニタリング時間は 119.38 分になった。世界保健機関（WHO）による PM_{2.5} のガイドライン値は 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （24 時間）であり、ガイドライン値レベルに適合したのは全体の 34%のみであった。この測定期間中、PM_{2.5} の個人曝露レベルは、いくらか健康上の懸念があることを意味する。尚、PM₁₀ のガイドライン値は 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （24 時間）、今回はデータの約 61%が適合した。

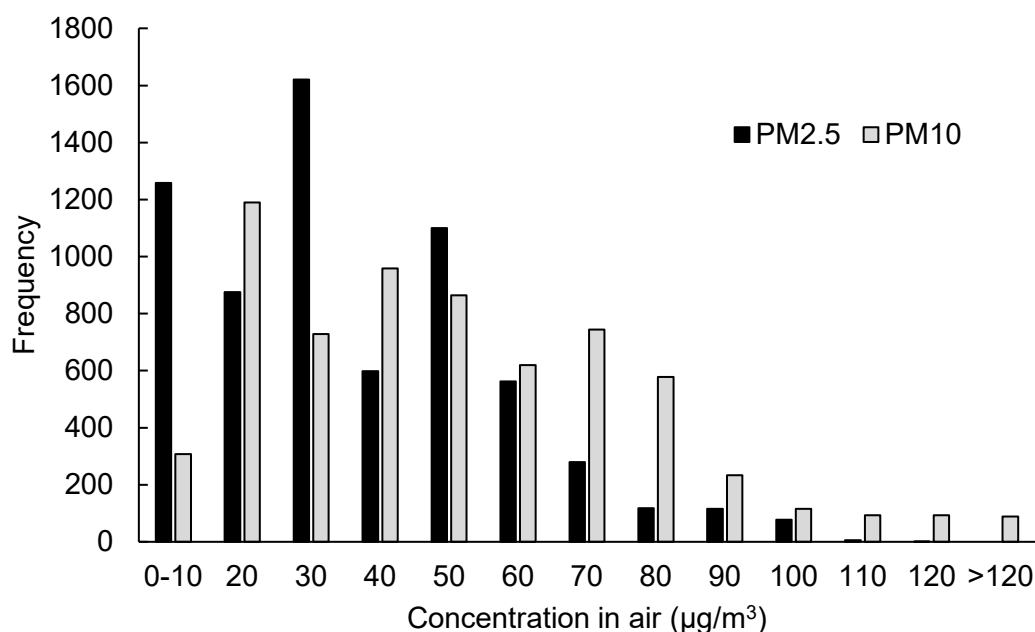


図 4.4 PM_{2.5} と PM₁₀ の個人曝露濃度のヒストグラム

Frequency（頻度）はデータ全体の中に各範囲のデータが出現した回数を意味する

表 4.1 は、各モニタリングイベントにおける PM_{2.5} および PM₁₀ の個人曝露濃度を算術平均値±標準偏差で示した。PM_{2.5} の平均濃度は、メトロで 28.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、歩行者ゾーンで 8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、レストラン #1 で 10.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、公共バスで 5.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、発電所の近くで 50.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、幹線道路で 44.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、博物館内で 27.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、高速道路で 34.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、森林公園で 28.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、住宅地で 17.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、そしてレストラン #2 では 61.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ になる。最も高い濃度レベルはレストラン #2 の室内環境で見つかった。そこでは、ボランティアがスパイシーな油スープにビーフ、豆腐、麺、野菜を入れた鍋料理を食しており、換気状態が良くない中で、オイルミストや水蒸気が PM_{2.5} として検出されたものと考えられる。一方、最も低値を示したのは公共バスの車内であり、このバスは液化天然ガスを燃料とし、また空

調システムにより内部温度は 18°C に保たれていた。

PM₁₀ の平均濃度は、メトロで 47.3µg/m³、歩行者ゾーンで 17.9µg/m³、レストラン #1 で 10.4µg/m³、公共バスで 15.7µg/m³、発電所近くで 61.5µg/m³、幹線道路で 64.6µg/m³、博物館で 40.0µg/m³、高速道路で 42.3µg/m³、森林公園で 35.5µg/m³、住宅地で 21.5µg/m³、そしてレストラン #2 で 85.7µg/m³ であった。PM₁₀ には PM_{2.5} が含まれているため、PM₁₀ の濃度はすべてのモニタリングイベントで PM_{2.5} の濃度より有意に高かった ($p < 0.01$)。

表 4.1 瀋陽市における PM_{2.5} および PM₁₀ の個人暴露濃度の比較

測定地点	PM _{2.5}	PM ₁₀	t-test
	a. mean ± SD	a. mean ± SD	
メトロ	28.8±2.6	47.3±5.2	$p < 0.01$
歩行者ゾーン	8.1±1.1	10.4±1.5	$p < 0.01$
レストラン #1	10.4±1.3	17.9±2.8	$p < 0.01$
バス	5.2±1.5	15.7±5.4	$p < 0.01$
発電所近く	50.8±6.7	61.5±7.9	$p < 0.01$
幹線道路	44.4±5.3	64.6±7.6	$p < 0.01$
博物館内部	27.8±2.5	40.0±4.0	$p < 0.01$
高速道路	34.9±12.9	42.3±13	$p < 0.01$
森林公園	28.2±1.2	35.5±3.5	$p < 0.01$
住宅地	17.2±1.3	21.5±2.4	$p < 0.01$
レストラン #2	61.3±15.1	85.7±18.2	$p < 0.01$

4.4 考察

「環境意識」は、まず身近の環境状況に気づくことから始まる。しかし、通常人々は、大気質に対する認識が曖昧であるため、人間の健康を害したり、生態系を侵食したり、地球の気候に予期しない影響を与えるまで、大気質の悪化にほとんど注意を払わないことがよくある^{4.15)}。この調査で使用したスマートフォン空気質モニターは、市民の日常生活における PM_{2.5} および PM₁₀ のリアルタイムの曝露濃度を示し、次の 3 つの視点を提供することで、一般の人々の大気質に対する意識を高めるに役立つと考えられる。

4.4.1 汚染状況の認識におけるギャップ

第一の視点は、「認識のギャップ」に関することである。たとえば、図 4.5 は、11 月 20 日の 15:00 から 15:04 までの PM_{2.5} 濃度の変化を示した。測定地点の近くには、公式の固定監視ステーションが設置されている高速道路がある。当時、公式サイトでは、1 時間ごとの PM_{2.5} 濃度が「32 µg/m³」と表示され、15:00 に更新された (図 4.5 の点線)。スマートフォンのディスプレイには、リアルタイムで PM_{2.5} 濃度は約 30 µg/m³ と表示されてお

り、公式値に近かった。しかし、図 4.5 の実線に示したように、古いディーゼルエンジントラックが通過すると、実際の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は即時 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えて、大幅に増加した。その時点で、市民が $\text{PM}_{2.5}$ 濃度を「 $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 」と認識していれば、この瞬間的な、しかし驚異的と言える数値の変化を意識しなかったかもしれない。ポータブルモニターを使用して $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の劇的な変化を認識することにより、一般の人々は現在呼吸している空気が（この場合はディーゼルエンジントラック）影響しているのかをすぐに認識でき、望ましくない曝露のレベルから身を守る方法を考え始めるきっかけとなり得る。このようなリアルタイムの個人曝露濃度のモニタリングは、公式データが利用可能な場合でも、 $\text{PM}_{2.5}$ および PM_{10} に対する市民の認識と実際の状況との間のギャップを埋めることができる。

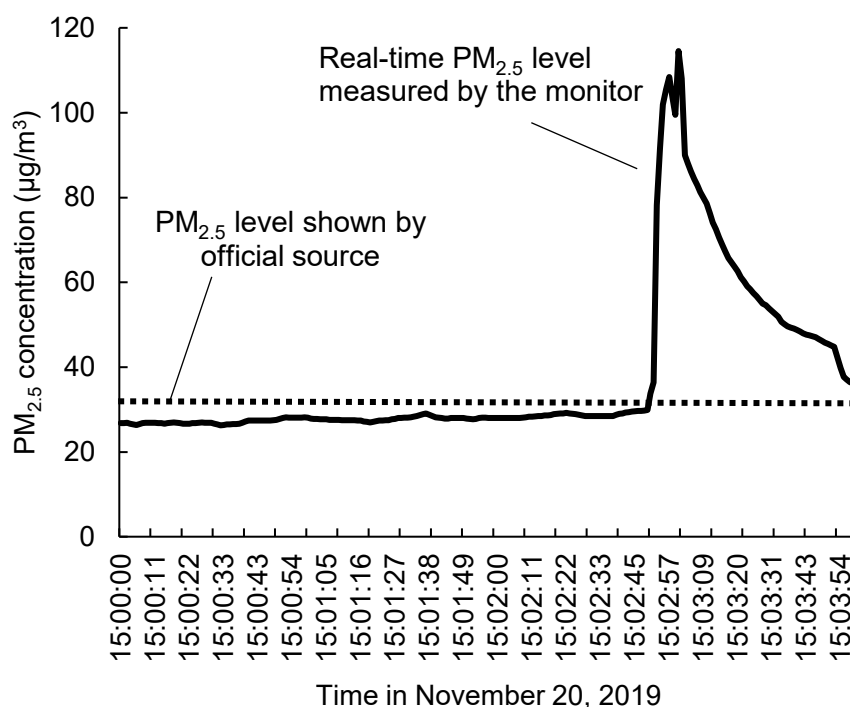


図 4.5 スマートフォン空気質モニターによるデータと公式データの比較

4.4.2 汚染メカニズムへの懸念

第二の視点は、「発生源の寄与」に関するものである。スマートフォン空気質モニターを使用することで、 $\text{PM}_{2.5}$ および PM_{10} の両方の濃度を同時に取得できる。粒子状物質が単一の発生源から放出される場合、または空気濃度が単一の主要な輸送プロセスによって決定される場合、 $\text{PM}_{2.5}$ および PM_{10} の濃度比はほぼ一定になり、両者の経時変化には有意な相関関係が見られるであろう（第 3 章参照）。本研究では、全体として $\text{PM}_{2.5}$ と PM_{10} の濃度の間には正の相関関係が見られた。たとえば、図 4.6a には、メトロで取得されたモニタリングデータの相関関係を示した。この測定地点で $\text{PM}_{2.5}$ および PM_{10} の濃度変化には有意

な相関 ($r=0.84$) が表れた。一方、図 4.6b に示すように、ボランティアが化石燃料発電所の近くを歩いたときに得られたデータの散布図には、2つの線形関係が共存した。この違いを認識すると、一般の人々は、同じ場所であっても、PM_{2.5}およびPM₁₀の複数の汚染メカニズムが存在する可能性があることに気付くことができる。

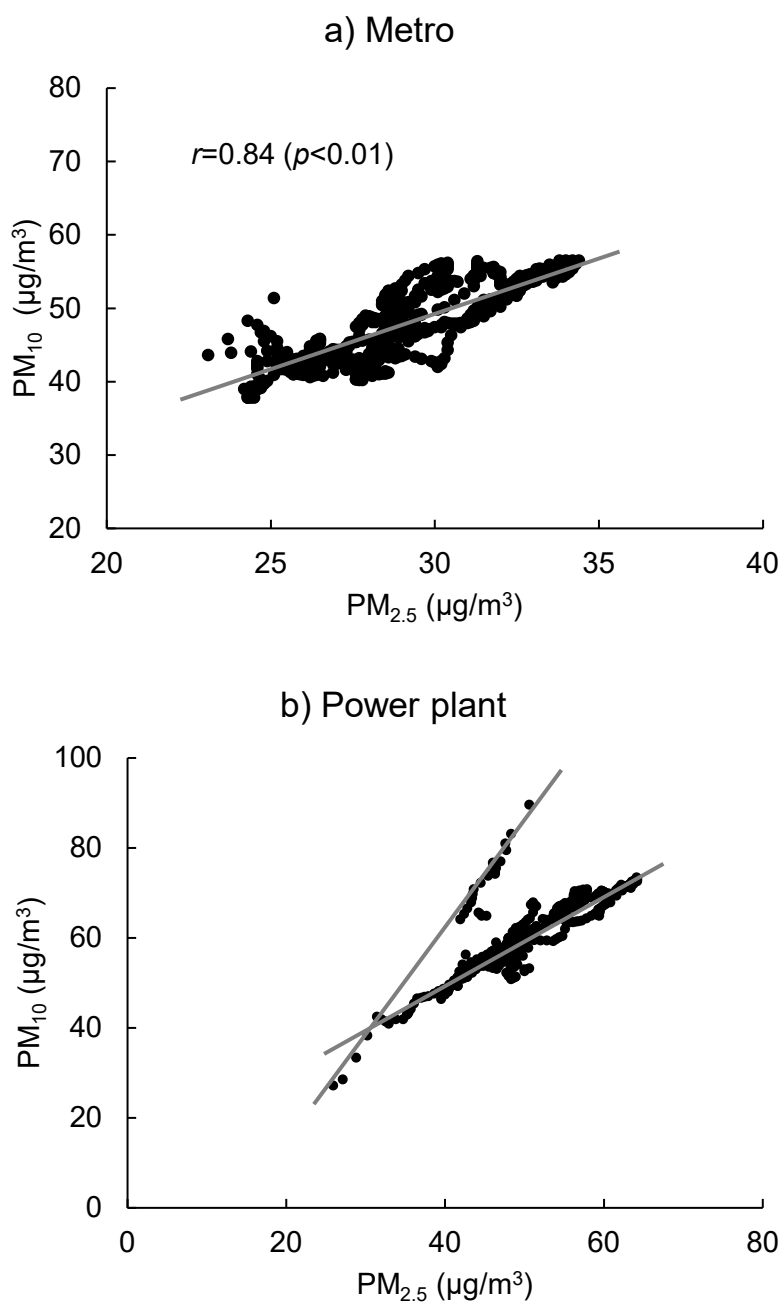


図 4.6 PM_{2.5}濃度とPM₁₀濃度の相関関係
a) メトロ b) 発電所近く

4.4.3 「科学的背景」に関するさらなる学習

第三の視点は「科学的背景」に関することである。スマートフォン空気質モニターによるモニタリングは、ほぼどこでも問題なく実施でき、異なる測定地点の間のPM_{2.5}濃度レベルの比較をすることで大気質の状態を直接かつ簡単に理解することができる。ただし、データについて十分に考察せず、直感的に理解しようとするれば、誤った理解につながりかねない。たとえば、表 4.1 に示すように、PM_{2.5}の最高濃度はレストラン#2の室内環境で見つかった。その濃度は、化石燃料発電所の近くで測定された濃度よりも高かった。ほとんどの非科学専門家の市民、およびこの研究に参加したボランティアは、通常の鍋料理によって生成されるオイルミストや水蒸気は一般に健康への悪影響を引き起こさないと感じているため、この結果は混乱を招く可能性がある。この場合、第2章2.6で示した意味での「研究者」（環境教育の担い手）の役割が重要になる。すなわち、研究者はこのボランティアの「気づき」を契機に、レーザー光散乱法はオイルミストや水蒸気に対しても応答することを説明することができ、PM_{2.5}やPM₁₀という混合粒子の気中濃度を用いた環境基準の設定の妥当性を問う、あるいはPM_{2.5}の物理的および化学的性質に関するさらなる関心を引き出すことが可能になるであろう。さらに、空気質は自分たちの生活習慣に影響されていることを教えることができる。スマートフォン空気質モニターの背景にある科学を認識することで、一般の人々はモニタリングデータを理解することができ、研究者の力を借りて環境の科学的側面について学ぶことに、より一層の興味が生じるかもしれない。これは環境教育の重要な要素であり、環境リテラシーを向上させるために役に立つ^{4.15)}。

以上のことから、スマートフォン空気質モニターを用いた環境教育は、市民の環境意識を育むことに適していると考えられる。

4.5 結論

本章では、中国遼寧省瀋陽市内でスマートフォン空気質モニターを使用して、PM_{2.5}およびPM₁₀の個人曝露濃度を測定し、環境教育活動における観測データの作用と意義を引き出すことを目的とした。その結果、本観測で得られたデータは、市民の環境意識の向上に資する建設的な意義を有することがわかった。すなわち、観測データの考察により、空気汚染状況に関する認識ギャップ、PM_{2.5}およびPM₁₀による汚染メカニズム、および本モニタリングの科学的背景に関する視点を提示することがわかった。本モニターは携帯可能、操作が容易、表示が明瞭であり、市民の環境教育における補助的教材として利用可能である。

参考文献

- 4.1 Bauer J.J., Yu X.Y., Cary R., Laulainen N. and Berkowitz C.: Characterization of the sunset semi-continuous carbon Aerosol analyzer, *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 59,7, 826–833(2009).
- 4.2 Li G.J.: Get over the tough battle of environment protection based on Xi's method <http://theory.people.com.cn/n1/2018/1127/c40531-30427862.html>(2020.7.5 検索)
- 4.3 China Weather: the introduction of Shenyang <http://www.weather.com.cn/cityintro/101070101.shtml> (2020.8.5 検索)
- 4.4 Wang, X.-P. and Sekine, Y.: Policy coordination beyond borders: Japan-China environmental policy practices in Shenyang and Chengdu, China. In: Human Insecurity in East Asia, Umegaki, M., Thiesmeyer, L, Watabe, A. ed, United Nations University Press, New York, 144-163(2009)
- 4.5 World Health Organization: Air pollution infographics, <https://www.who.int/airpollution/infographics/en/> (2020.6.20 検索)
- 4.6 Pantavou K., Lykoudis S. and Psiloglou B.: Air quality perception of pedestrians in an urban outdoor Mediterranean environment: a field survey approach, *Sci. Tot. Environ.*, 574, 663-670 (2017).
- 4.7 Engel M.S., Paas B., Schneider C., Pfaffenbach C. and Fels, J.: Perceptual studies on air quality and sound through urban walks, *Cities*, 83, 173-185(2018).
- 4.8 Paas B., Schmidt T., Markova S., Mars I., Ziefle M. and Schneider C.: Small-scale variability of particulate matter and perception of air quality in an inner-city recreational area in Aachen, Germany, *Met. Zeit.*, 25,3, 305-317(2016).
- 4.9 関根嘉香, 及川義道, 山本敬太: 考える環境教育の実践—簡易測定法による大気中 NOx 濃度測定を通じて, 東海大学教育研究所研究資料集, 16,199-209 (2009).
- 4.10 Clayton C.A., Perritt R.L., Pellizzari E.D., Thomas K.W., Whitmore R.W., Wallace L.A., Ozkaynak H. and Spengler J.D.: Particle Total Exposure Assessment Methodology (PTEAM) study: distributions of aerosol and elemental concentrations in personal, indoor, and outdoor air samples in a southern California community. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 3, 227–250(1993).
- 4.11 Sekine Y., Ota S., Sato H., Noguchi M., Nakai S., and Yanagisawa Y.: Detection of exposure events to environmental tobacco smoke employing portable semiconductor monitors, *Indoor Environment*, 19,1, 49-57(2016).
- 4.12 Steinle S., Reis S., Sabel C.E., Semple S., Twigg M.M., Braban C.F., Leeson S.R., Heal M.R., Harrison D., Lin C. and Wu H.: Personal exposure monitoring of PM_{2.5} in indoor and outdoor microenvironments, *Sci. Total Environ.*, 508, 383-394(2015).
- 4.13 Ishigaki, Y., Tanaka K., Matsumoto Y., Maruo Y. Y. and Pradana H.A.: Citizen sensing for environmental risk communication, action research on PM_{2.5} air quality monitoring in East Asia, *Proc. of Cyber 2017, The 2nd Int. Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems, Wilmington, IARIA*, 11–12(2017).

- 4.14 Ei Ei Pan Nu Yi, Nay Chi Nway, Win Yu Aung, Thant Z., Thet Hnin Wai, Kyu Kyu Hlaing, Maung C., Yagishita M., Ishigaki Y., Tin-Tin Win-Shwe, Nakajima D. and Ohn Mar: Preliminary monitoring of concentration of particulate matter (PM_{2.5}) in seven townships of Yangon City, Myanmar, *Environ. Health Prevent. Med.*, 23,53,1-8 (2018).
- 4.15 Goldman D., Assaraf O. and Shaharabani D.: Influence of a Non-formal Environmental Education Programme on Junior High-School Students' Environmental Literacy, *International Journal of Science Education*,35, 515-545(2013).

Appendix 4.1 現地測定の様子



写真1 測定地点：レストラン#1，煮込み料理



写真2 測定地点：石炭火力発電所

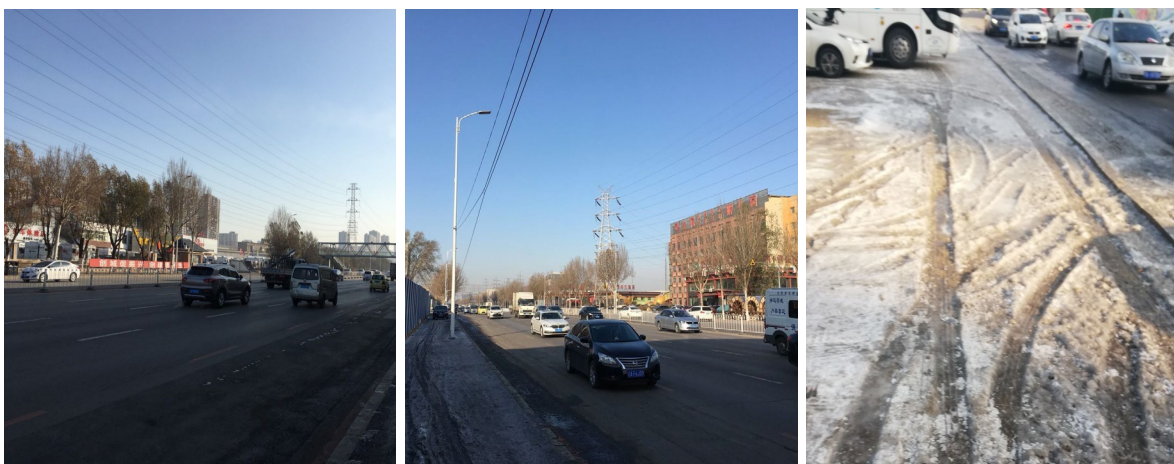


写真3 測定地点：幹線道路

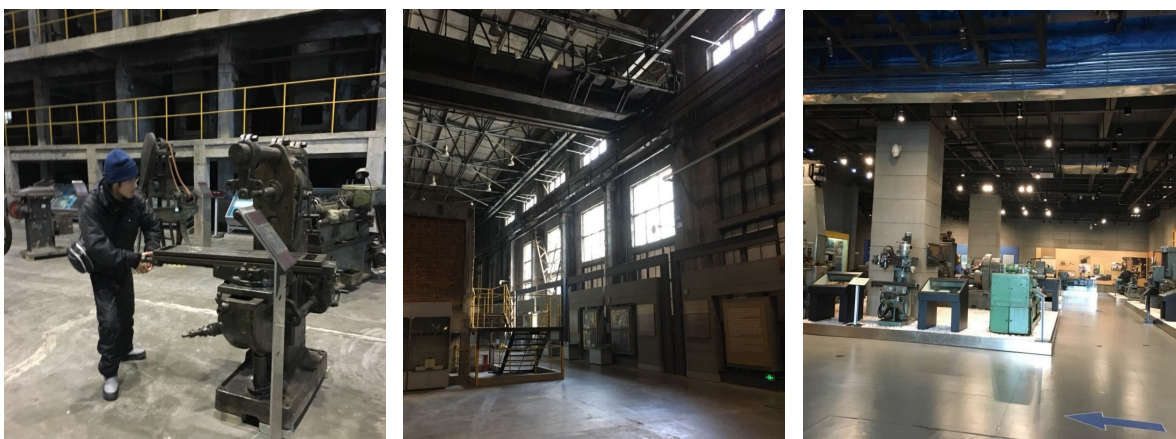


写真4 測定地点：博物館内部

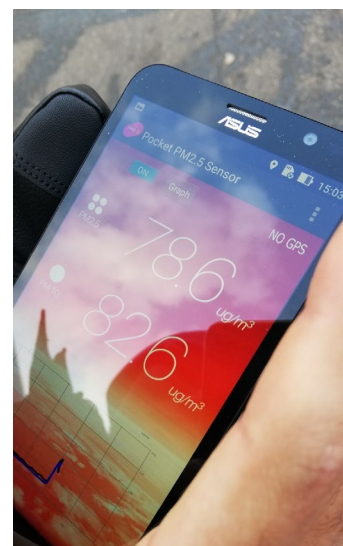


写真5 高速道路付近および個人曝露濃度測定



写真6 測定地点：レストラン#2，火鍋料理

第5章

新型コロナウイルス感染症流行による瀋陽市民の 生活習慣および環境意識の変化

*本章の研究内容より以下の論文を執筆した。本章の文章および図表等は、以下の文献の内容の一部もしくは全部に準ずる。

- ・孫 旭，関根嘉香，鈴木路子：新型コロナウイルス感染症流行による中国瀋陽市民の生活習慣および環境意識の変化，室内環境，2021年（印刷中）

5.1 緒言

2019年12月、中国湖北省武漢市において未知のウイルスによる重篤な肺炎患者の発生が報告され、感染が急速に拡大するアウトブレイクに発展した。武漢市を含む複数都市で都市封鎖がなされたが、人々の移動に伴い中国国内のみならず国外へと感染が広がり、短期間のうちに世界中で流行するパンデミックとなった。2020年1月30日に世界保健機関(WHO)は、「国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態に該当する」と宣言し、2019年新型コロナウイルス感染症 (Coronavirus disease 2019, COVID-19)と命名した^{5.1)}。2021年7月時点において、世界の累計感染者は1億8,000万人を超え、死亡者数は約400万人に達している。

筆者らは瀋陽市において喫緊の課題である微小粒子状物質 (Particulate Matter 2.5, PM_{2.5}) による空気汚染問題^{5.1-5.5)}に関して、市民に対する環境教育のあり方を探求するための基礎資料を得るため、2020年1月、遼寧省瀋陽市の市民を対象に生活習慣および環境意識に関するアンケート調査を行った。しかしながら、アンケートを実施した時期から、瀋陽市においても新型コロナウイルス感染症患者が発生し、市民たちは生活様式の変化を余儀なくされるようになった。また、感染経路として飛沫感染、接触感染に加えてエアロゾル感染 (空気感染)が着目され、エアロゾル粒子であるPM_{2.5}との関連も報告されるようになった^{5.6,5.7)}。このような状況から、新型コロナウイルス感染症の流行は、瀋陽市民の空気環境に対する意識にも少なからず影響を与えた可能性がある。

本章研究の目的は、新型コロナウイルス感染症の流行により、市民の生活習慣や環境意識がどのように変化したかを明らかにすることである。そこで、2020年1月のアンケート調査結果を援用し、半年後の2020年7月、1年後の2021年1月に、同一対象者100名に対して調査を行った。

5.2 方法

5.2.1 遼寧省における COVID-19 の流行状況

遼寧省瀋陽市と湖北省武漢市との直線距離は約1488km、飛行機で約2.5時間、両都市間の人の往来は多い。瀋陽市民が新たな感染症を認識し始めたのは2020年1月からであり、伝染病の権威である鐘南山医師が武漢市に向かうという報道^{5.8)}によって、多くの市民が緊急事態であることを理解しはじめた。さらに「春運」と呼ばれる旧暦新年の大規模な帰省が始まり、人々の移動とともに瀋陽市にも感染者が発生した。

図5.1に、遼寧省における新型コロナウイルス感染症の新規および累積確定症例数の推移を示す。日本の症例数に比べると桁違いに少ないが、2020年1月～2月、7月、12月～2021年1月に小規模ながら感染拡大の波があった。瀋陽市政府は、武漢市のような都市封鎖は実行しなかったが、団地ごとに「守望亭」という観測スポットを設け、団地への出入管理、住民の体温測定、症状発見時の緊急連絡などを徹底し、感染拡大の防止に努めた。

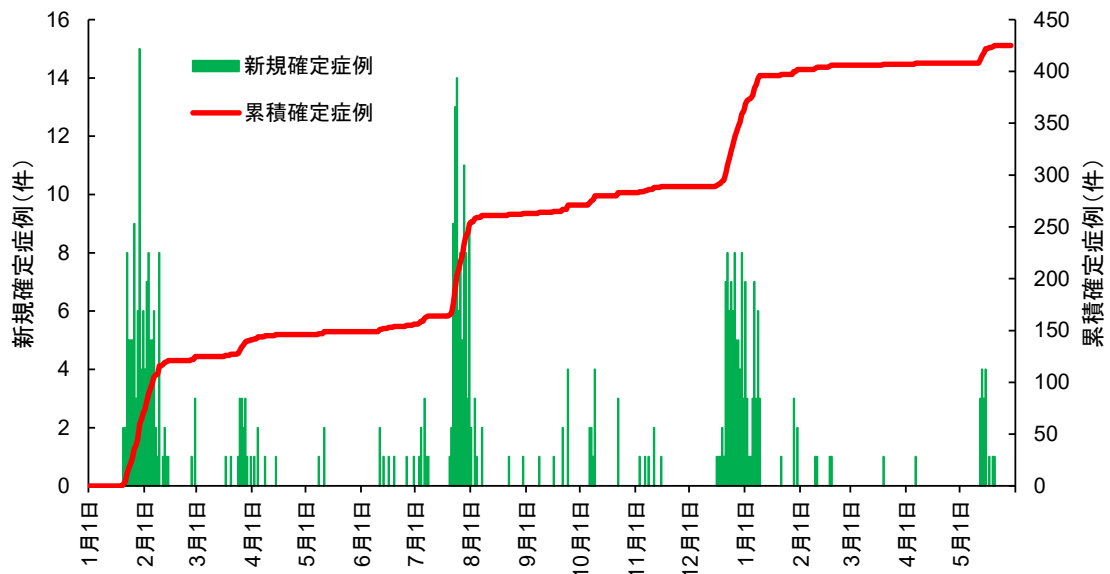


図 5.1 中国遼寧省における新型コロナウイルス感染症新規確定症例および累積確定症例の推移（遼寧省省衛生健康委員会の発表に基づき著者作成。確定症例数は、国内症例および輸入症例の和であり、無症状感染者は含まない）

5.2.2 アンケート調査

瀋陽市民を対象にしたアンケート調査は、2020年1月21日、2020年7月22日および2021年1月21日に実施した。対象者はSNSを通じて公募し、100人に到達した時点で応募を締め切り、2回目以降は同一の対象者に対して実施した。

対象者は無記名でwjsxアンケートシステムから調査に参加し、すべての設問に対してインターネットを介して回答した。アンケートは、表1に示すように①基本情報、②生活習慣、③環境意識の3部構成とし、全部で17問設けた。

5.2.3 解析方法

wjsxアンケートシステムにより回収したアンケート結果は、Microsoft社Excel[®]にて集計した。統計解析にはIBM社SPSS[®] Statisticsバージョン25を用いた。「環境問題が発生する原因は何か」および「環境教育はどこが担うべきだと思うか」という問いに関しては、各選択肢に対する総合得点 S を①式により算出した。

$$S = \frac{\sum f_i y_i}{n} \quad \dots \text{①}$$

ここで、 f_i は順位 i に選ばれた回数（度数）、 y_i は重みづけ係数（順位数－順位 i ）であり、順位数が8位までである場合、1位は7、2位は6、3位は5、…、8位は0となり、 n は回答者数である。

表 5.1 瀋陽市民を対象にしたアンケート調査の質問項目

基本情報	<p>1. 年齢 2. 性別 3. 婚姻の有無 4. 子供の有無 5. 職業 6. 疾病の有無</p>
生活習慣	<p>1. 通勤や外出の際に最も多く利用する交通手段は何ですか 2. 上述の交通手段を選ぶ理由を簡潔に述べてください 3. 普段の飲食は主にどのようにしていますか ①自炊 ②飲食店で外食 ③出前を取る 4. 自分で料理をする際にマスクを着用しますか 5. 生活で出るごみを分別処理していますか</p>
環境意識	<p>1. 近頃、環境問題に関する報道に関心を寄せていますか 2. 大気環境の状況を知る主な方法は何ですか ①テレビニュース ②スマホアプリ ③新聞 ④目測（見た目） ⑤その他（ ） ⑥興味がない 3. 近頃、室内空気の改善や大気汚染がもたらす呼吸器疾患等の予防・治療に費やした金額はいくらですか（中国元） ①1000 元未満 ②1000-3000 元未満 ③3000-5000 元未満 ④5000-10000 元未満 ⑤10000 元以上 4. 居住地域の大气環境状況に対する満足度をお答えください ①とても満足 ②満足 ③普通 ④不満 ⑤とても不満 5. 環境問題が発生する原因は何だと思えますか。次の 8 項目について 1～8 位まで順位をつけてください。 ①環境保護への民衆の参加不足 ②環境政策と法律が不完全 ③環境改善の科学技術の未発達 ④環境に関する教育の不足 ⑤資源の開発と経済活動の副作用 ⑥自然環境の影響（砂、荒れ野など） ⑦地域外、外国からの越境汚染 ⑧その他 6. 環境教育はどこが担うべきだと思いますか。学校教育、家庭教育、市民活動、政府主導宣伝のうち、重要と思われる順に 1～4 位まで順位を付けてください。</p>

5.3 結果と考察

5.3.1 対象者の特徴

対象者 100 名は 3 回の調査ともに同一であり、男性 48 名、女性 52 名、既婚者は 91 名（未回答 2 名）、子供を有する人は 87 名（未回答 2 名）であった。図 5.2 に対象者の年齢構成をヒストグラムで示す。今回インターネットを介した公募・調査であったが、50 歳以上は 74 名、60 歳以上も 8 名となり、50 歳以上の中老年人（日本語の「中高年」から「高齢者」の間に相当）が多数を占めた。尚、中国の定年退職年齢は、男性：満 60 歳、女性幹部：55 歳、女性工人：50 歳となっている（工人の定義は必ずしも明確ではないが、組織における管理職以外の職種を指すと思われる）。今回の対象者の職業は、会社員 41 名、定年退職者 26 名、教師 6 名、自由業者（個人経営者）6 名、エンジニア 4 名、公務員 2 名、医師 1 名、その他 14 名となり、経済的かつ時間的に余力のある人が多かった。中国におけるこのような階層の人たちは、社会に対する貢献意欲が高いことが知られている^{5.9)}。

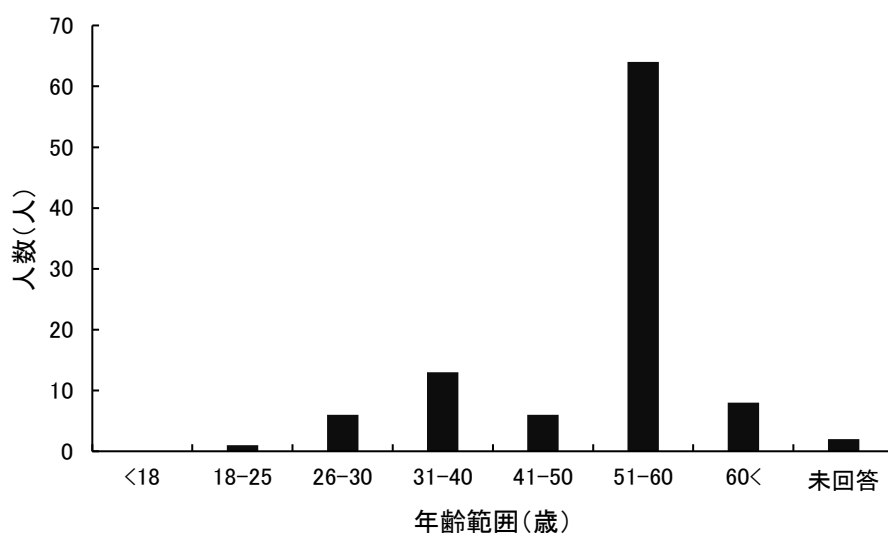


図 5.2 アンケート調査対象者の年齢構成

一方、中国ではインターネットをはじめとする通信技術が急速に普及し、インターネット利用者のうち 99.2% はスマートフォンを利用している^{5.10)}。さらにネット通販、QR コードによる決済、「健康コード」と呼ばれる電子通行証などが日常的に利用されるようになったことから、情報通信技術（ICT）リテラシーを有する高齢者が増加している。すなわち、本調査の主な対象者は、ICT リテラシーを有し、社会への貢献活動に意欲を持った 50 歳以上の中老年人であり、現代中国社会の特徴が反映されていると考えられる。

5.3.2 生活習慣の変化

瀋陽市民の生活習慣に関わる質問に対する回答において、「通勤・外出の際に利用する交通手段」は1年間で顕著に変化した。図 5.3 に結果を示す。クロス集計表に基づく回答に及ぼす調査時期の効果は有意であった（Pearson の χ^2 検定, $p < 0.001$ ）。地下鉄、市内バスおよび電車などの公共交通機関の利用は顕著に減少し、自転車および自家用車の利用は増加した。通勤・外出手段の選択理由は、2020年1月は「安い」「便利」が主たるものであったが、2・3回目の調査では「健康のため」と回答する対象者が20名に増加し、新型コロナウイルス感染症の感染防止を図るための行動変容が反映された。尚、通勤・外出手段の選択理由として「環境にやさしい」を挙げた人は各回ともに10名以下であった。

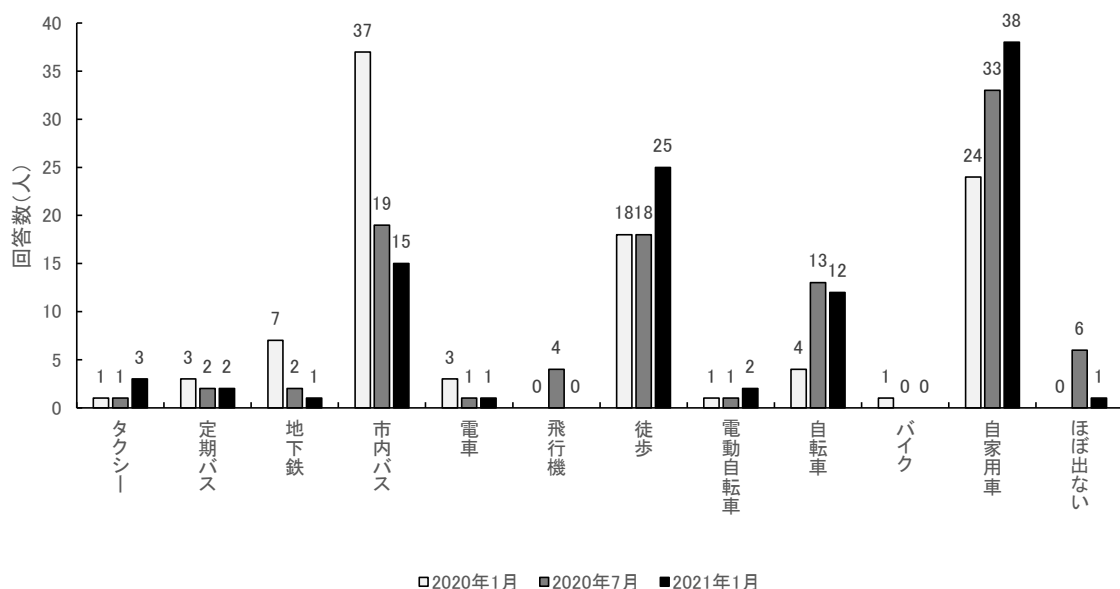


図 5.3 通勤・外出の際に最も利用する交通手段についての質問に対する回答
(χ^2 検定, $p < 0.001$)

普段の飲食習慣に関しては、自炊が 90%、その他（外食など）は 10%となり、3 回の調査を通じて変化はなかった。しかし、自分が料理するときにマスクをすると回答した人は、1 回目は 4 名、2 回目は 13 名、3 回目は 11 名となり、感染症流行以後に増加する傾向が見られた。

瀋陽市では 2019 年以來、ゴミの分別処理に関する政策を施行したが、ゴミの分別処理を行うと回答した人は 1 回目が 54 名、2 回目が 57 名に留まった。この状況下、2021 年 1 月 11 日に瀋陽市内で新たに発生した新型コロナウイルスの感染は、ゴミ処理の不徹底がその原因であることが報道された^{5.11)}。感染源者は海外からの帰国者であり、病院内に隔離されていたが、飲料摂取に用いたペットボトルを規則に反して病棟内のゴミ箱に捨ててしまい、これを回収・分別した清掃員が感染、この清掃員が触った手すりを介して看護師が感染し、

さらに他の入院患者に伝染した。この報道が、対象者のゴミ分別行動に影響する可能性が考えられたが、3回目の調査でもゴミの分別処理を行うと回答した人は53名に留まった。これは対象者が必ずしもこの報道に触れていなかったこと、病院内のゴミ処理という特殊事例であったことが考えられる。

5.3.3 環境意識の変化

瀋陽市民の環境意識に関わる質問に対する回答において、「環境問題に関する報道に関心がある」と回答した人は、1回目は86人、2回目は87人であったのに対して3回目は77人と減少した。大気環境の状況を知る主な手段を複数回答方式で聞いたところ、テレビニュース：66人、スマホアプリ：66人、新聞：11人、目測：19人、その他：9人、興味ない：3人となり、テレビ、インターネット（スマホ）および新聞による報道が主要な情報ソースであることがわかる。図5.4に現在の居住地域の大気環境状況に対する満足度の回答結果を示す。クロス集計表に基づく回答に及ぼす調査時期の効果は有意であった（Pearsonの χ^2 検定、 $p < 0.005$ ）。1回目と比べて2・3回目では「とても不満」が減少し、「満足」が増加する結果となった。新型コロナウイルス感染症が発生して以来、中国は各地で封鎖政策を実施し、経済活動は大幅に減少したものの、一方で環境汚染、特にPM_{2.5}による視程障害を伴う大気汚染は一時的に改善された。例えば、瀋陽市米国総領事館におけるPM_{2.5}のモニタリング結果^{5.12)}によれば、2020年1月にPM_{2.5}に起因するAir Quality Index（AQI）の24時間平均値がvery unhealthy（きわめて健康に良くない）レベルを記録した日数は9日、hazardous（危険）レベルを記録した日が1日であったのに対し、2021年1月ではvery unhealthyレベルは1日、hazardousレベルは記録されなかった。これは感染症流行による副次効果といえ、大気汚染の改善に伴い、環境問題を取りあげた報道への関心もやや薄れた可能性が考えられる。

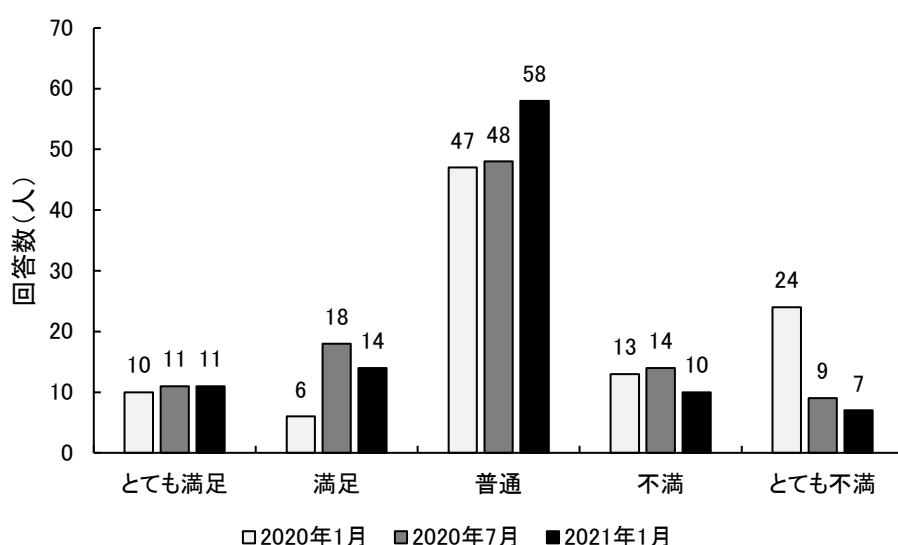


図 5.4 現在の居住地域の大気環境状況に対する満足度に関する回答（ χ^2 検定、 $p < 0.005$ ）

図 5.5 は、「近頃、室内空気の改善や大気汚染がもたらす呼吸器疾患等の予防・治療に費やした金額はいくらですか」という問いに対する回答である。金額の単位は中国元であり、1000 元は日本円で約 15000 円である。尚、2 回目以降の「近頃」は、前回調査以降の半年間を指す。いずれの調査においても 1000 元未満が 60-70%を占め、全体的な傾向に顕著な変化は見られなかった。

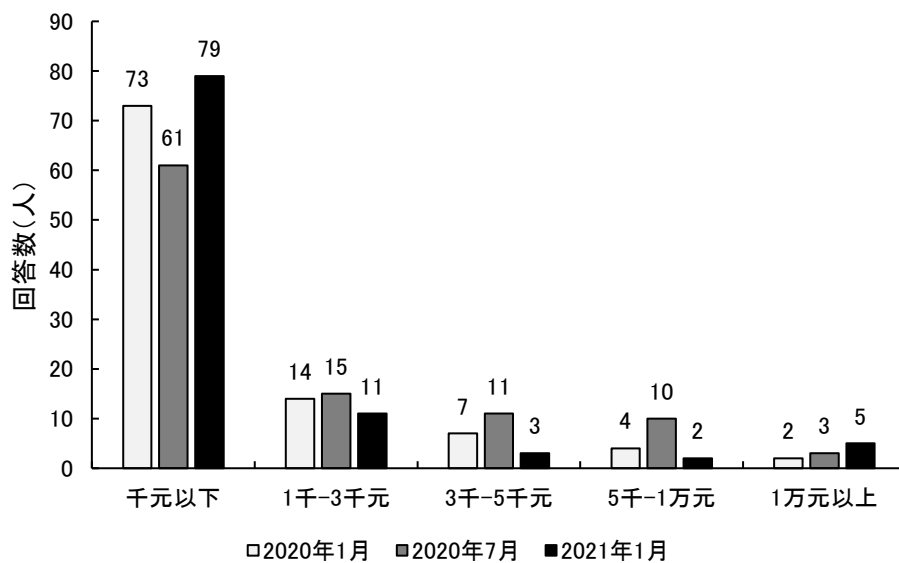


図 5.5 室内空気の改善や大気汚染がもたらす呼吸器疾患等の予防・治療に費やした費用に関する回答

表 5.2 は「環境問題が発生する原因は何か」という問いに対して複数回答方式で回答してもらい、総合得点を計算して示したものである。1 回目に比べて、2・3 回目では「環境保護への民衆の参加不足」、「環境に関する教育の不足」および「自然環境の影響」の総合得点が増加する傾向が見られた。一方で「環境政策と法律が不完全」の総合得点は減少する傾向が見られた。この回答結果は、「環境教育はどこが担うべきか」の設問に対する回答にも関連している。

表 5.2 環境問題が発生する原因に関する回答結果（総合得点 S による評価）

選択肢	2020年1月	2020年7月	2021年1月
①環境保護への民衆の参加不足	3.9	4.0	4.1
②環境政策と法律が不完全	3.6	3.0	3.0
③環境改善の科学技術の未発達	3.5	2.9	3.4
④環境に関する教育の不足	2.9	3.3	3.5
⑤資源の開発と経済活動の副作用	2.8	2.7	2.8
⑥自然環境の影響（砂、荒れ野など）	0.6	1.2	1.2
⑦地域外、外国からの越境汚染	0.3	0.3	0.8
⑧その他	0.3	0.5	0.7

表 5.3 において、3 回の調査ともに学校教育が担うべきとする回答が最も高い点を示したが、市民活動が増加、政府主導宣伝が減少する傾向にあった。中国政府が第十九回人民代表大会報告(2017)において「豊かな自然は金銀ほどの価値がある」という論断を提起して以来、様々な場面で環境保護活動が展開され、市民の環境保護意欲も高まった。上海交通大学世論調査研究センターが行った調査^{5.13)}によれば、環境問題が自身の健康に影響していると考える人は4割を超え、環境保護関連活動への参加を希望する人は8割を超えた。しかしながら今回の調査結果では、環境保護に関する市民の意識が未だ不十分であるとの認識が浮き彫りにされ、市民レベルでの環境教育の必要性が見いだされた。

表 5.3 環境教育はどこが担うべきかに関する回答結果（総合得点 S による評価）

選択肢	2020年1月	2020年7月	2021年1月
学校教育	3.1	3.0	3.2
家庭教育	2.4	2.3	2.3
市民活動	2.2	2.5	2.4
政府主導宣伝	2.1	2.0	1.9

5.3.4 本研究の限界

本調査は、もともと瀋陽市民に対する PM_{2.5} に関する環境教育プログラムを開発するための基礎資料を得るために実施したものであり、環境保全活動に対して少なからず意欲を有し、かつインターネットによる調査に対するリテラシーを有する人を対象としているため、瀋陽市民全般の行動・意識を代表するものではない。ただし、持続可能な社会を実現するには、環境問題に対する科学技術および政策の知識や経験を有し、環境配慮の考え方を多くの分野に浸透できる中核的人材（環境リーダー）の育成が必要とされる^{5.14)}。経済

能力があり、かつ時間に余裕のある高齢者は、ボランティア活動に参加する意欲が高い傾向にあり、本調査の対象者の多くは、地域における環境リーダー的存在になる可能性がある。

5.4 結論

新型コロナウイルス感染症の流行により、市民の生活習慣や環境意識が変化したかを明らかにするため、瀋陽市に居住する同一対象者 100 名に対して半年置きに 3 回のアンケート調査を実施し、以下の結論を得た。尚、本調査に応募して参加した対象者は、ICT リテラシーを有し、社会への貢献活動に意欲を持った 50 歳以上の人が主体であった。

- ① 生活習慣に関して、「通勤・外出の際に利用する交通手段」は 1 年間で顕著に変化し、地下鉄、市内バスおよび電車などの公共交通機関の利用は顕著に減少し、自転車および自家用車の利用が増加した。また自分で料理する時にマスクを着用する人が増え、感染防止対策が瀋陽市民の生活習慣の一部に影響を与えていた。
- ② 環境意識に関して、新型コロナウイルス感染症流行に伴う経済活動等の縮小によって大気環境が改善され、居住地の大気環境状況に対して「とても不満」が減少し、「満足」が増加する結果となった。
- ③ 新型コロナウイルス感染症流行後、環境汚染の原因として「環境保護への民衆の参加不足」や「環境に関する教育の不足」を指摘する人が増え、環境保護に対する市民の意識が未だ不十分であるとの認識が浮き彫りにされた。

参考文献

- 5.1 WHO: Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it Geneva, WHO (2020).
- 5.2 Ma Y., Wang M., Wang S., Wang Y., Feng L., Wu K.: Air pollutant emission characteristics and HYSPLIT model analysis during heating period in Shenyang, China, *Environ. Monit. Assess.*, 193, 9 (2021).
- 5.3 Tian J., Fang C., Qiu J. and Wang J.: Analysis of Pollution Characteristics and Influencing Factors of Main Pollutants in the Atmosphere of Shenyang City, *Atmosphere*, 11(7), 766 (2020)
- 5.4 Li L., Zhao Z., Wang H., Wang Y., Liu N., Li X., Ma Y.: Concentrations of four major air pollutants among ecological functional zones in Shenyang, Northeast China, *Atmosphere*, 11(10), 1070 (2020).
- 5.5 Li C., Yuan Z., Wu Y., Ban W., Li D., Ji, C., Gao, W.: Analysis of persistence and intensification mechanism of a heavy haze event in Shenyang, *Res. Environ. Sci.*, 30, 349–358 (2017).
- 5.6 Conticini E., Frediani B., Caro D.: Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?, *Environ. Pollut.*, 261, 114465(2020).
- 5.7 Ram K., Thakur R. C., Singh D. K., Kawamura K., Shimouchi A., Sekine Y., Nishimura H., Singh S. K., Pavuluri C. M., Singh R. S., Tripathi S. N.: Why airborne transmission hasn't been conclusive in case of COVID-19? An atmospheric science perspective, *Sci. Total Environ.*, 773, 45525(2021).
- 5.8 Netease ネットニュース: <https://news.163.com/20/0208/15/F4SE5KME0001899O.html> (2020年2月8日閲覧)
- 5.9 謝立黎: 中国の高齢者の社会貢献パターンと影響要素 , 人口研究 ,3, 17-23(2019).
- 5.10 China Internet Network Information Center (CNNIC) : 第46回中国インターネット発展状況統計報告, pp.17-18 (2020) (中国語)
- 5.11 Ifeng ネットニュース: <http://ln.ifeng.com/c/82wYBjH9uyP> (2021年7月21日閲覧)
- 5.12 World Air Quality Index Project: 瀋陽米国総領事館の大気汚染,リアルタイム大気汚染指数 (AQI) : <https://aqicn.org/city/shenyang/usconsulate/jp/> (2021年7月21日閲覧)
- 5.13 上海交通大学世論調査研究センター:中国都市部住民環境意識調査報告(2019). (中国語)
- 5.14 山下廣順, 岡谷重雄 :科学技術振興調整費による国際環境リーダーの育成, 環境技術, 38 (10) , 682-686 (2009) .

Appendix 5.1 アンケート：基本情報

No.	職業	疾患	性別	年齢層	婚姻の有無	子供の有無
1	学生	無	1	3	2	2
2	会社員	無	1	6	1	1
3	研究員	無	1	3	2	2
4	会社員	無	1	6	1	1
5	(空)	(空)	2	6	1	1
6	定年退職	高血圧	2	6	1	1
7	会社員	無	1	6	1	1
8	会社員	(空)	2	7	1	1
9	定年退職	無	1	7	1	1
10	定年退職	無	2	6	1	1
11	教師	無	1	4	1	1
12	(空)	(空)	1	-2	-2	-2
13	公務員	無	2	5	1	1
14	定年退職	無	2	6	1	2
15	会社員	無	1	6	1	1
16	自由業者	無	1	5	1	1
17	財務総監	無	1	4	1	1
18	定年退職	無	2	6	1	1
19	農民	無	2	6	1	1
20	会社員	無	2	4	1	1
21	教師	無	2	4	1	1
22	会社員	無	2	6	1	1
23	会社員	無	1	6	1	1
24	定年退職	無	2	6	1	1
25	自由業者	無	1	6	1	1
26	会社員	無	1	4	1	2
27	会社員	無	2	5	1	1
28	定年退職	無	2	6	1	1
29	会社員	無	1	6	1	1
30	定年退職	無	2	6	1	1
31	会社員	無	1	6	1	2
32	エンジニア	無	2	4	1	1
33	会社員	無	2	4	1	2

34	(空)	無	2	6	1	1
35	教師	無	2	6	1	1
36	エンジニア	無	1	4	1	1
37	会社員	(空)	2	6	1	1
38	無職	無	1	6	2	1
39	会社員	無	1	4	1	1
40	教師	無	2	4	1	1
41	会社員	無	2	7	1	1
42	会社員	(空)	1	6	1	1
43	定年退職	高血圧	1	7	1	1
44	会社員	無	2	7	1	1
45	公務員	無	1	6	1	1
46	(空)	(空)	1	-2	-2	-2
47	会社員	糖尿病	1	6	1	1
48	会社員	無	2	6	1	1
49	定年退職	無	2	7	1	1
50	会社員	無	2	5	1	1
51	会社員	無	1	6	1	1
52	医者	無	2	6	1	1
53	会社員	無	1	6	1	1
54	定年退職	無	2	6	1	1
55	会社員	無	2	4	1	1
56	会社員	無	1	6	1	1
57	会社員	高血圧、糖尿病	1	6	1	1
58	会社員	無	2	5	1	1
59	会社員	無	2	5	1	1
60	教師	無	1	6	1	1
61	定年退職	無	2	7	1	1
62	会社員	(空)	2	6	1	1
63	会社員	無	2	6	1	1
64	自由業者	無	1	6	1	1
65	定年退職	高血圧	1	6	1	1
66	定年退職	無	2	6	1	1
67	会社員	(空)	2	6	1	1
68	会社員	無	1	6	1	1

69	学生	無	1	2	2	2
70	会社員	無	1	6	1	1
71	教師	無	2	6	1	1
72	会社員	無	1	3	2	2
73	会社法人	無	2	6	1	1
74	定年退職	無	2	6	1	1
75	会社員	無	1	6	1	1
76	会社員	高血圧	1	6	1	1
77	自由業者	無	1	4	1	1
78	会社員	無	1	6	1	1
79	無職	無	1	3	2	2
80	定年退職	心臓病	1	7	1	1
81	会社員	無	1	3	1	1
82	定年退職	無	2	6	1	1
83	定年退職	無	2	6	1	1
84	定年退職	無	2	6	1	1
85	エンジニア	無	2	6	1	1
86	エンジニア	無	1	6	1	1
87	自由業者	無	1	6	1	1
88	定年退職	無	2	6	1	1
89	会社員	無	1	6	1	1
90	会社員	無	2	6	1	1
91	定年退職	無	1	6	1	1
92	定年退職	無	2	6	1	1
93	定年退職	無	2	6	1	1
94	定年退職	無	2	6	1	1
95	定年退職	無	2	6	1	1
96	個人経営者	無	2	6	1	1
97	会社員	無	2	3	2	2
98	学生	無	1	4	1	2
99	定年退職	無	2	6	1	1
100	警備員	無	1	6	1	1

性別：1=男性、2=女性

年齢層：1=18歳未満，2=18-25歳，3=26-30歳，4=31-40歳，5：41-50歳，6=51-60歳，
7=60歳以上

婚姻の有無：1=有、2=無， 子供の有無：1=有、2=無

Appendix 5.2 アンケート：生活習慣

第1回 2020年1月21日

No.	通勤・外出方法	通勤・外出方法の選ぶ理由	飲食習慣	料理を作る時にマスク着用	ゴミ分別をしますか
1	電車	便利、安い	1	いいえ	はい
2	バス・歩行	環境にやさしい	1	いいえ	はい
3	バス	便利	0	いいえ	はい
4	バス	便利	1	いいえ	いいえ
5	バス	便利	1	いいえ	いいえ
6	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
7	ドライブ	速い	0	いいえ	はい
8	バス	安い	1	いいえ	はい
9	バス・歩行	安い	1	いいえ	いいえ
10	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
11	歩行	安全	1	いいえ	いいえ
12	歩行	筋トレ	0	いいえ	いいえ
13	バス	便利	1	いいえ	はい
14	地下鉄・歩行	便利	1	いいえ	はい
15	ドライブ	車があるから	1	いいえ	いいえ
16	歩行	安い	1	いいえ	はい
17	ドライブ	仕事場への距離が遠い	1	いいえ	いいえ
18	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
19	歩行	安全	1	いいえ	いいえ
20	歩行	環境にやさしい	1	いいえ	はい
21	歩行	仕事場への距離が近い	1	いいえ	はい
22	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
23	ドライブ	仕事場への距離が遠い	1	いいえ	いいえ
24	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
25	ドライブ	速い	1	いいえ	いいえ
26	ドライブ	速い	0	いいえ	いいえ
27	バス・地下鉄	安い	1	いいえ	いいえ
28	バス・歩行	環境にやさしい	1	いいえ	はい
29	ドライブ	自由	1	いいえ	はい
30	バス・歩行	環境にやさしい	1	いいえ	はい

31	(空)	(空)	1	いいえ	いいえ
32	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
33	ドライブ	便利	0	いいえ	いいえ
34	地下鉄	時間が固定される	1	いいえ	はい
35	バス	便利	1	いいえ	いいえ
36	歩行	仕事場への距離が遠い	0	いいえ	いいえ
37	バス	安い	1	いいえ	いいえ
38	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
39	バス	便利	1	いいえ	いいえ
40	ドライブ	仕事場に定期バスがない	1	いいえ	はい
41	バス	便利	1	いいえ	いいえ
42	自転車	仕事場への距離が近い	1	いいえ	いいえ
43	自転車	筋トレ	1	いいえ	はい
44	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
45	バス	環境にやさしい	1	いいえ	いいえ
46	バス	環境にやさしい	0	いいえ	
47	地下鉄	便利	1	いいえ	いいえ
48	自転車	筋トレ	1	いいえ	はい
49	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
50	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
51	ドライブ	便利	0	いいえ	いいえ
52	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
53	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
54	バス	安い	1	いいえ	はい
55	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
56	バス	便利	1	いいえ	はい
57	バス	便利	1	いいえ	はい
58	ドライブ	仕事場に定期バスがない	1	いいえ	いいえ
59	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
60	定期バス	仕事場の規定	1	いいえ	はい
61	自転車	筋トレ	1	いいえ	はい
62	地下鉄	速い	1	いいえ	はい
63	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
64	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
65	バス	便利	1	いいえ	いいえ

66	バス	便利	1	いいえ	はい
67	地下鉄	速い	1	いいえ	はい
68	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
69	電車	速い	1	いいえ	はい
70	タクシー	便利	1	いいえ	いいえ
71	ドライブ	仕事場への距離が遠い	1	いいえ	いいえ
72	地下鉄	便利	0	いいえ	はい
73	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
74	バス	安い	1	いいえ	いいえ
75	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
76	バイク	便利	1	いいえ	いいえ
77	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
78	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
79	ドライブ	便利	0	いいえ	いいえ
80	電動自転車	便利、自転車より運転容易	1	いいえ	はい
81	定期バス	安い	1	いいえ	はい
82	バス	便利	1	いいえ	はい
83	定期バス	仕事場の規定	1	いいえ	いいえ
84	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
85	バス・歩行	環境にやさしい	1	いいえ	はい
86	バス	筋トレ	1	いいえ	はい
87	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
88	バス	車がないから	1	いいえ	はい
89	ドライブ	車があるから	1	いいえ	いいえ
90	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
91	バス	安全	1	いいえ	いいえ
92	バス	便利	1	いいえ	はい
93	歩行	環境にやさしい	1	はい	はい
94	バス	安い	1	いいえ	はい
95	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
96	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
97	地下鉄	便利	1	いいえ	いいえ
98	電車	便利	1	いいえ	はい
99	バス	便利	1	いいえ	はい
100	バス	環境にやさしい	1	はい	はい

第2回 2020年7月22日

No.	通勤・外出方法	通勤・外出方法の選ぶ理由	飲食習慣	料理を作る時にマスク着用	ゴミ分別をしますか
1	歩行	環境にやさしい	1	いいえ	いいえ
2	バス	便利	1	いいえ	はい
3	ほぼ出ない	コロナウイルス	1	いいえ	いいえ
4	ドライブ	車があるから	1	いいえ	はい
5	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
6	バス	安い	1	いいえ	いいえ
7	ドライブ	速い	0	いいえ	いいえ
8	自転車	仕事のため	1	いいえ	はい
9	自転車	環境にやさしい	0	いいえ	はい
10	ドライブ	速い	1	いいえ	いいえ
11	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
12	自転車	速い	1	いいえ	いいえ
13	ドライブ	速い	1	いいえ	はい
14	歩行	環境にやさしい	0	いいえ	はい
15	ドライブ	仕事のため	1	いいえ	いいえ
16	ドライブ	速い	1	いいえ	はい
17	定期バス	環境にやさしい	1	いいえ	いいえ
18	飛行機	速い	1	はい	はい
19	飛行機	旅行のため	1	いいえ	はい
20	電車	旅行のため	1	いいえ	はい
21	ドライブ	便利	1	はい	はい
22	ドライブ	他人との接触を避ける	1	はい	はい
23	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
24	ドライブ	他人との接触を避ける	1	はい	はい
25	ドライブ	他人との接触を避ける	1	はい	はい
26	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
27	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
28	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
29	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
30	歩行	安全	1	いいえ	いいえ
31	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
32	電動自転車	仕事のため	1	いいえ	はい

33	ドライブ	自由, 方便	1	いいえ	はい
34	自転車	便利	1	いいえ	はい
35	バス	筋トレ	1	いいえ	はい
36	ほぼ出ない	コロナウイルス	1	いいえ	はい
37	歩行	便利	1	いいえ	はい
38	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
39	バス	環境にやさしい	1	いいえ	はい
40	自転車	便利	1	いいえ	いいえ
41	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
42	バス	(空)	1	いいえ	はい
43	ドライブ	慣れてきた	1	いいえ	いいえ
44	地下鉄	速い	0	いいえ	いいえ
45	バス	(空)	1	いいえ	はい
46	自転車	筋トレ	1	いいえ	はい
47	自転車	筋トレ	1	いいえ	はい
48	歩行	筋トレ	1	いいえ	はい
49	バス	(空)	1	いいえ	いいえ
50	バス・自転車	便利・筋トレ	1	いいえ	はい
51	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
52	ドライブ	安全	1	いいえ	いいえ
53	ドライブ	自由, 方便	1	いいえ	はい
54	ドライブ	他人との接触を避ける	1	いいえ	いいえ
55	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
56	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
57	バス	便利	1	いいえ	はい
58	バス	(空)	1	いいえ	はい
59	電車・飛行機	旅行のため	1	いいえ	いいえ
60	バス	便利	1	いいえ	はい
61	歩行	仕事が少ない	1	いいえ	いいえ
62	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
63	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
64	自転車	(空)	1	いいえ	はい
65	ドライブ	(空)	1	いいえ	いいえ
66	公交车	安い	1	いいえ	いいえ
67	ドライブ	(空)	0	いいえ	いいえ

68	ほぼ出ない	コロナウイルス	1	いいえ	はい
69	ほぼ出ない	(空)	0	いいえ	
70	バス	(空)	1	いいえ	はい
71	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
72	飛行機	旅行のため	1	いいえ	はい
73	定期バス	便利	1	いいえ	はい
74	バス	便利	1	はい	はい
75	歩行	便利	1	いいえ	はい
76	歩行	便利	1	いいえ	はい
77	歩行	(空)	1	はい	いいえ
78	歩行	筋トレ	1	いいえ	いいえ
79	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
80	自転車	便利	1	いいえ	はい
81	ドライブ	速い	1	いいえ	
82	地下鉄	便利	1	はい	はい
83	ドライブ	他人との接触を避ける	0		
84	自転車	便利	1	いいえ	いいえ
85	バス	車がないから	1	いいえ	いいえ
86	歩行	(空)	1	いいえ	いいえ
87	ドライブ	便利	1	いいえ	はい
88	バス	便利	1	いいえ	はい
89	歩行	仕事場への距離が近い	1	いいえ	いいえ
90	ほぼ出ない	コロナウイルス	1	いいえ	はい
91	バス	便利	1	いいえ	はい
92	タクシー	便利	0	いいえ	いいえ
93	バス	便利	0	いいえ	いいえ
94	ほぼ出ない	コロナウイルス	0	いいえ	はい
95	バス	環境にやさしい	1	いいえ	いいえ
96	自転車	環境にやさしい	1	はい	はい
97	ドライブ	仕事のため	1	はい	はい
98	歩行	仕事場への距離が近い	1	いいえ	はい
99	ドライブ	便利	1	いいえ	いいえ
100	自転車	便利	1	いいえ	はい

第3回 2021年1月21日

No	通勤・外出方法	通勤・外出方法の選ぶ理由	飲食習慣	料理を作る時にマスク着用	ゴミ分別をしますか
1	歩行	环保安全	1	2	2
2	歩行	环保	1	2	2
3	自驾	安全	1	2	1
4	公交	(空)	1	2	1
5	公交	(空)	1	2	1
6	私家车	方便	1	2	2
7	歩行	节能、环保、锻炼身体、防病!	1	2	1
8	徒步	锻炼	1	2	2
9	走	省钱	1	1	1
10	自驾	可疫防新冠	1	2	1
11	公交车	环保	1	1	1
12	自驾	方便	1	2	2
13	自驾	方便	1	2	2
14	歩行	公司距离与居住地近	0	2	2
15	歩行	锻炼身体	1	2	1
16	开车	安全	1	2	1
17	开车	(空)	1	2	1
18	开车	出行相对方便	1	2	2
19	自驾	工作单位远	1	2	1
20	公交	必须	1	2	2
21	自驾	公共交通不便	1	2	2
22	自行车	经济环保, 锻炼身体	1	2	1
23	坐公交	方便	1	2	2
24	公交车	省心	1	2	2
25	歩行	减少病毒感染	1	2	1
26	歩行	(空)	0	1	2
27	公交	方便	1	2	2
28	的士	方便	1	2	1
29	公交	省心	1	2	2
30	驾车	上班路远	1	2	1
31	开车	疫情期间安全	1	2	2
32	公交	必须	1	2	2
33	自驾车	省时	1	2	1

34	开车	开车方便	1	2	1
35	走路	一是安全，二是锻炼	1	2	2
36	通勤车	上班	1	2	1
37	开车	路远	1	2	2
38	开车	方便	1	2	1
39	电车	便利	1	2	1
40	开车	有车	1	2	2
41	驾车	方便	1	2	2
42	自驾	方便	1	2	2
43	步行	健康	1	2	1
44	汽车	方便	1	2	2
45	自驾	方便	1	2	2
46	私家车	公交不方便	1	2	2
47	步行	休闲	1	2	1
48	乘车	自家车方便	1	2	1
49	单车	役情	1	2	2
50	单车	疫情	1	2	2
51	走路	能走的地方就	1	2	2
52	开车	方便	0	1	1
53	骑电动车	(空)	1	2	1
54	骑电动车	骑电动车	1	1	1
55	自驾	方便自由	1	2	2
56	步行	不敢出远门…	1	2	1
57	地铁	无购车资格	1	2	1
58	通勤车	环保	1	2	1
59	步行	锻炼	1	2	2
60	步行	锻炼	1	2	2
61	步行	(空)	0	1	2
62	走	省钱	1	1	1
63	骑车	环保	1	1	1
64	公共交通工具	方便，安全。	1	2	1
65	公交车	方便	1	2	1
66	驾车	防疫	1	2	1
67	自驾	方便	1	2	1
68	自行车	锻炼，环保	1	2	1

69	公交车	(空)	1	2	1
70	在家待着 没出门	走路	1	2	1
71	驾车	快捷	1	2	1
72	开车	安全	1	2	1
73	步行	锻炼身体	1	2	1
74	步行	(空)	1	1	2
75	私家车	安全	1	2	2
76	自行车	方便	1	2	2
77	公交车	远道作公交车,近道步行,当锻炼。	1	2	1
78	开车	方便	0	2	2
79	步行	锻炼	1	2	1
80	开车	方便	1	2	1
81	出租	没车,	1	2	2
82	步行	锻炼身体	1	2	2
83	自驾	安全便利	1	2	1
84	走步	健身	1	2	2
85	私家车	方便	0	2	2
86	自驾	(空)	1	2	1
87	公交	方便	1	2	2
88	开车	方便	1	2	2
89	走步	(空)	1	1	2
90	出租车	快捷	1	1	2
91	自驾	方便	1	2	2
92	公共交通	上班	1	2	2
93	自驾	上班	1	2	1
94	走	方便	1	2	1
95	自驾	自驾	1	2	1
96	步行	步行	1	2	1
97	步行	步行	1	2	1
98	步行	单位离家近	1	2	2
99	自驾	方便	1	2	1
100	公交	经济实惠,绿色环保	1	2	1

Appendix 5.3 アンケート：環境意識

第1回 2020年1月21日

No.	環境報道への 関心	大気環境状況を知る方法						費用（中国 元）	所在地の大気環境への 満足度
		テレ ビ	スマホア プリ	新聞 紙	目で確 認	その 他	興味な い		
1	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	ととても満足
2	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
3	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	満足
4	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	ととても不満
5	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても満足
6	いいえ	0	0	0	0	0	1	10000 以上	ととても不満
7	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
8	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
9	はい	0	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
10	はい	1	1	1	1	0	0	1000 以下	普通
11	はい	0	0	0	0	1	0	1000 以下	普通
12		0	0	0	0	0	0		
13	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても満足
14	はい	1	1	0	1	0	0	3000～5000	普通
15	はい	0	0	0	0	0	1	1000 以下	普通
16	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	ととても満足
17	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
18	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
19	はい	1	0	0	1	0	0	1000 以下	普通
20	はい	1	1	1	1	0	0	1000 以下	普通
21	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
22	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	不満
23	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
24	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
25	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
26	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
27	いいえ	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
28	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
29	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	ととても不満
30	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通

31	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
32	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
33	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
34	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
35	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	とっても不満
36	はい	1	1	1	1	0	0		満足
37	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
38	はい	1	0	0	0	0	0	3000～5000	とっても不満
39	いいえ	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
40	はい	1	1	0	0	0	0	5000～10000	普通
41	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
42	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
43	はい	1	1	0	0	0	0	3000～5000	とっても不満
44	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
45	はい	1	0	0	0	0	0	3000～5000	普通
46		0	0	0	0	0	0		
47	はい	1	1	1	1	1	0	1000 以下	とっても不満
48	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
49	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
50	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	普通
51	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
52	はい	1	1	1	1	1	0	1000 以下	普通
53	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	満足
54	はい	1	1	1	0	0	0	1000～3000	とっても満足
55	はい	1	0	0	1	0	0	1000 以下	とっても不満
56	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	満足
57	はい	1	1	1	0	0	0	1000～3000	普通
58	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
59	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
60	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	満足
61	はい	1	0	0	0	0	0	3000～5000	とっても不満
62	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	不満
63	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
64	はい	1	0	0	0	0	0	5000～10000	不満
65	はい	1	1	0	0	1	0	5000～10000	普通

66	はい	1	1	1	0	0	0	1000 以下	普通
67	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
68	はい	1	1	0	0	1	0	1000 以下	とっても不満
69	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
70	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
71	はい	1	1	0	0	0	0	3000～5000	とっても不満
72	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
73	はい	1	0	1	0	0	0	3000～5000	不満
74	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
75	はい	1	0	0	1	0	0	1000 以下	不満
76	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
77	はい	1	1	1	0	0	0	1000 以下	普通
78	はい	1	0	0	0	0	0	1000～3000	普通
79	いいえ	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
80	はい	0	1	0	0	0	0	3000～5000	普通
81	はい	1	1	1	0	0	0	1000～3000	普通
82	はい	1	1	0	0	0	0		不満
83	はい	1	0	0	0	1	0	1000 以下	普通
84	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	普通
85	はい	0	0	0	1	1	0	1000～3000	普通
86	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
87	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
88	いいえ	0	0	0	0	0	1	1000 以下	とっても満足
89	はい	1	1	0	0	1	0	10000 以上	普通
90	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
91	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
92	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
93	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
94	はい	1	0	0	0	0	0	1000～3000	普通
95	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
96	はい	1	0	0	1	1	0	5000～10000	普通
97	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
98	はい	0	0	0	0	1	0	1000 以下	不満
99	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通

10									
0	はい	1	0	1	0	1	0	1000 以下	満足

No	環境問題が発生する原因は何か								環境教育の担い手は			
	自然環境の影響	環境政策と法律が不完全	環境改善の科学技術の未発達	地域外、外国からの越境汚染	環境に関する教育の不足	資源の開発と経済活動の副作用	環境保護への民衆の参加不足	その他	学校教育	家庭教育	市民活動	政府主導宣伝
1	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	4	1	2	3
2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	-2	1	2	3	4
3	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	3	4	1	2
4	-2	-2	1	-2	-2	2	3	-2	1	2	3	4
5	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	2	4
6	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
7	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	3	4	1	2
8	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	-2	4	3	1	2
9	-2	1	-2	-2	4	2	3	-2	1	2	3	4
10	-2	-2	3	-2	1	-2	2	-2	1	2	3	4
11	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	4	3	2	1
12	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
13	-2	1	-2	-2	-2	3	2	-2	4	2	1	3
14	-2	2	3	-2	-2	1	-2	-2	2	1	4	3
15	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	2	4	1	3
16	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	2	3	4
17	-2	3	2	-2	-2	-2	1	-2	1	2	3	4
18	-2	1	-2	-2	2	3	4	-2	2	3	4	1
19	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4	1	2	3	4
20	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	1	2	3	4
21	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
22	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	3	4	1	2
23	-2	-2	-2	-2	2	1	3	-2	1	4	3	2
24	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	2	1	3	4
25	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	3	4
26	-2	1	2	-2	3	4	-2	-2	2	4	1	3
27	-2	4	1	-2	-2	3	2	-2	4	3	1	2

28	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	4	2
29	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	2	1	3	4
30	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	2	1	4	3
31	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
32	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	1	3	4	2
33	-2	1	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	2	3	4
34	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	2	1	4	3
35	1	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	1	2
36	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	-2	1	2	3	4
37	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	4	2	3
38	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	4	3	2
39	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	3	4	2
40	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	3	2	4	1
41	-2	1	3	-2	4	2	-2	-2	1	4	3	2
42	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
43	-2	1	2	-2	-2	-2	3	-2	1	4	3	2
44	-2	7	5	4	2	3	1	6	2	1	3	4
45	-2	4	3	-2	5	1	2	-2	1	2	3	4
46	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
47	-2	-2	1	-2	-2	2	3	-2	2	1	4	3
48	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	4	3	1	2
49	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	2	3	1	4
50	-2	2	3	-2	-2	-2	1	-2	1	3	4	2
51	-2	-2	3	-2	-2	1	2	-2	1	2	4	3
52	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	-2	1	3	4	2
53	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
54	-2	1	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	2	3	4
55	-2	-2	3	-2	-2	-2	1	2	4	3	1	2
56	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	-2	3	1	2	4
57	-2	-2	1	-2	-2	2	3	-2	1	4	3	2
58	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	3	2	4
59	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	2	1	3	4
60	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
61	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	1	2	3	4
62	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	1	2	3	4

63	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	1	4	3
64	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	-2	3	4	2	1
65	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	2	3	4
66	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	4	3	2	1
67	-2	-2	1	-2	3	2	-2	-2	1	2	3	4
68	1	3	2	4	5	6	7	8	3	2	4	1
69	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	3	4	2
70	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	4	3	2
71	-2	6	1	2	4	3	5	-2	1	2	3	4
72	-2	3	-2	2	-2	1	-2	-2	3	4	2	1
73	-2	2	-2	-2	1	-2	3	-2	2	3	4	1
74	1	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	2	1
75	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	4	3	2	1
76	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	4	3	2
77	-2	-2	1	-2	2	3	-2	-2	3	4	1	2
78	-2	1	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	2	3	4
79	1	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	4	2
80	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	1	2	3	4
81	-2	-2	-2	-2	1	2	3	-2	1	2	3	4
82	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	1	4	2	3
83	-2	2	-2	-2	3	1	4	-2	1	3	4	2
84	-2	-2	2	-2	1	-2	-2	-2	1	3	4	2
85	-2	4	-2	-2	1	3	2	-2	3	1	2	4
86	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	3	3	4	2	1
87	-2	1	-2	-2	2	3	4	-2	2	4	3	1
88	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	2	4	3
89	-2	1	-2	-2	3	-2	2	-2	1	2	3	4
90	-2	1	2	-2	3	-2	4	-2	2	1	3	4
91	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	3	2	1	4
92	-2	-2	2	-2	1	-2	3	-2	2	3	4	1
93	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	4	3	2
94	-2	-2	1	-2	2	-2	-2	-2	2	3	4	1
95	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	3	4	1
96	8	4	5	7	2	3	1	6	3	1	2	4
97	-2	2	3	-2	4	1	-2	-2	2	1	4	3

98	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	3	4	2	1
99	1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	4	2	3
100	-2	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	1	4	2	3

第2回 2020年7月22日

No.	環境報道への 関心	大気環境状況を知る方法						費用（中国 元）	所在地の大気環境への 満足度
		テレ ビ	スマホア プ リ	新聞 紙	目で確 認	その 他	興味な い		
1	はい	1	1	0	0	0	0	1000以下	普通
2	はい	1	0	0	0	0	0	1000以下	不満
3	はい	1	1	0	0	0	0	10000以上	とっても満足
4	はい	1	0	0	0	0	0	1000以下	満足
5	いいえ	0	0	0	1	0	0	1000以下	普通
6	はい	1	0	0	1	1	0	1000以下	不満
7	はい	1	0	0	1	1	0	1000～3000	不満
8	はい	1	0	0	1	1	0	3000～5000	普通
9	はい	1	0	0	1	1	0	1000以下	普通
10	はい	1	1	0	0	0	0	1000以下	満足
11	はい	1	0	1	1	1	0	1000～3000	満足
12	はい	0	0	0	1	0	0	1000以下	不満
13	はい	1	1	1	1	1	0	3000～5000	満足
14	はい	1	0	0	1	1	0	1000～3000	普通
15	はい	1	0	0	1	1	0	1000～3000	満足
16	はい	1	0	1	1	1	0	3000～5000	満足
17	はい	1	1	1	1	1	0	1000～3000	満足
18	はい	1	1	1	1	0	0	3000～5000	不満
19	はい	1	1	0	0	0	0	1000以下	とっても満足
20	はい	1	1	0	1	0	0	1000以下	普通
21	はい	1	1	1	1	0	0	3000～5000	不満
22	はい	1	0	0	0	0	0	1000以下	普通
23	はい	1	0	0	0	0	0	1000以下	普通
24	はい	1	1	0	0	1	0	1000以下	満足
25	はい	1	1	0	0	1	0	1000以下	満足

26	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
27	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
28	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	満足
29	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	普通
30	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	満足
31	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
32	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
33	はい	0	0	0	0	1	0	1000 以下	不満
34	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
35	はい	1	1	1	1	0	0	1000 以下	普通
36	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	不満
37	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	普通
38	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
39	はい	0	1	0	0	0	0		とっても満足
40	はい	1	1	0	0	1	0	1000～3000	普通
41	はい	1	1	1	0	0	0	1000～3000	普通
42		0	1	0	0	0	0		
43	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	とっても満足
44	はい	0	0	0	1	0	0	1000 以下	普通
45	はい	1	0	0	0	0	0		とっても不満
46	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
47	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	不満
48	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	満足
49	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	普通
50	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	不満
51	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
52	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても不満
53	はい	0	1	0	0	0	0	1000～3000	満足
54	はい	0	1	0	0	0	0	3000～5000	普通
55	はい	1	0	0	0	0	0		普通
56	はい	0	1	0	0	0	0	5000～ 10000	普通
57	はい	0	1	0	0	0	0	10000 以上	不満
58	はい	1	0	0	0	0	0		とっても不満
59	はい	1	1	0	0	0	0	1000～3000	普通

60	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
61	はい	1	0	0	0	0	0	3000～5000	普通
62	はい	1	0	0	0	0	0	3000～5000	満足
63	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
64	はい	1	0	0	0	0	0	1000～3000	
65	いいえ	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
66	いいえ	0	0	0	0	0	1	1000 以下	
67		0	0	0	0	1	0		
68	はい	1	0	0	0	0	0		とっても不満
69	いいえ	0	0	0	1	0	0		
70	はい	1	0	0	0	0	0		とっても不満
71	はい	1	1	0	1	0	0	1000 以下	普通
72	はい	0	1	0	1	0	0	1000 以下	とっても満足
73	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
74	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
75	いいえ	0	0	0	0	1	0	1000 以下	とっても不満
76	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	満足
77	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
78	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
79	はい	1	1	1	0	0	0	1000 以下	とっても満足
80	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
81	はい	0	1	0	0	0	0	10000 以上	満足
82	はい	1	0	1	1	0	0	1000～3000	とっても不満
83	はい	0	0	0	1	0	0		
84	はい	1	1	0	0	1	0	1000 以下	普通
85	はい	0	0	0	0	1	0	1000 以下	普通
86	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	満足
87	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	とっても満足
88	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
89	はい	0	1	0	0	0	0	3000～5000	とっても満足
90	はい	1	1	0	1	1	0	3000～5000	普通
91	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	満足
92	はい	0	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
93	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
94	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通

95	はい	1	0	0	0	1	0	1000 以下	普通
96	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通
97	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	不満
98	いいえ	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
99	はい	1	1	0	0	0	0	1000 以下	普通
100	はい	1	0	0	0	0	0	1000 以下	普通

No	環境問題が発生する原因は何か							環境教育の担い手は				
	自然環境 の影響	環境政策 と法律が 不完全	環境改善 の科学技 術の未発 達	地域外、 外国から の越境汚 染	環境に関 する教育 の不足	資源の開 発と経済 活動の副 作用	環境保護 への民衆 の参加不 足	そ の 他	学 校 教 育	家 庭 教 育	市 民 活 動	政府 主導 宣伝
1	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	3	4	1	2
2	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	4	2	3
3	-2	2	3	4	5	6	-2	1	2	1	3	4
4	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	4	3	1	2
5	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	3	2	4
6	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2
7	-2	-2	1	-2	2	-2	3	-2	3	4	2	1
8	-2	2	1	-2	3	5	4	-2	2	1	3	4
9	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	2	4	1	3
10	-2	3	1	-2	-2	2	-2	-2	1	3	4	2
11	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2
12	-2	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	1	3	2	4
13	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2
14	1	-2	-2	-2	2	3	4	-2	3	4	1	2
15	1	2	3	-2	4	5	6	-2	3	4	1	2
16	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	2	4	1	3
17	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	4	3	1	2
18	-2	4	-2	-2	1	2	3	-2	3	4	2	1
19	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	3	4	1	2
20	-2	1	2	-2	-2	4	3	-2	3	4	2	1
21	-2	5	4	-2	3	1	2	-2	2	4	1	3
22	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	2	4	3	1
23	-2	-2	2	-2	1	-2	-2	-2	4	3	1	2

24	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	3	4	2	1
25	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	4	3	2	1
26	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	2	4	1	3
27	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	3	4
28	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	4	3
29	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	4	3	2
30	1	-2	2	-2	3	-2	4	-2	1	2	4	3
31	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
32	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	3	2	4
33	-2	-2	2	-2	-2	1	3	4	1	2	3	4
34	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	2	1	3	4
35	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	2	3	4
36	-2	2	3	-2	-2	1	-2	-2	1	2	3	4
37	-2	3	1	-2	-2	-2	2	-2	2	1	4	3
38	1	2	3	4	5	6	7	-2	1	2	3	4
39	-2	-2	1	-2	2	-2	-2	-2	4	3	1	2
40	-2	4	3	-2	1	-2	2	-2	2	1	4	3
41	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	4	1	2	3
42	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	2	4
43	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	3	4
44	2	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	3	4	1
45	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	3	4	1
46	-2	-2	1	-2	3	-2	2	-2	1	2	3	4
47	-2	1	3	-2	2	-2	-2	-2	1	2	3	4
48	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	3	4
49	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	1	4	3	2
50	-2	1	2	-2	3	-2	-2	-2	1	2	3	4
51	1	2	3	-2	-2	-2	4	-2	4	3	1	2
52	-2	1	-2	2	-2	-2	3	-2	1	3	2	4
53	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	4	3
54	-2	-2	1	-2	2	-2	-2	-2	1	2	4	3
55	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	2	3	4
56	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	2	3	4
57	-2	-2	2	-2	1	-2	-2	-2	1	2	3	4
58	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4

59	-2	1	3	-2	2	-2	4	-2	1	2	4	3
60	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	2	3	1	4
61	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	1	2
62	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	3	2	4
63	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	1	3	4
64	-2	4	1	-2	2	3	-2	-2	3	4	2	1
65	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	2	3	4
66	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	3	4	1	2
67	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
68	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	2	1
69	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
70	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
71	-2	1	2	-2	4	-2	3	-2	2	3	4	1
72	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	4	3	2	1
73	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	4	2	3
74	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	4	2	1
75	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
76	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
77	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	-2	1	2	3	4
78	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	2	3	1	4
79	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	1	4	2	3
80	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	3	4
81	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	3	4	2
82	6	1	-2	5	3	2	4	-2	3	1	2	4
83	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
84	-2	-2	-2	-2	1	2	3	-2	1	3	4	2
85	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	1	4	2	3
86	-2	-2	1	-2	-2	2	-2	-2	3	1	2	4
87	-2	3	1	-2	-2	2	-2	-2	2	1	4	3
88	-2	-2	1	-2	2	3	-2	-2	1	2	4	3
89	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	3	1	2	4
90	-2	-2	1	-2	2	3	4	-2	4	1	2	3
91	-2	1	2	-2	-2	3	-2	-2	1	2	4	3
92	-2	-2	-2	-2	1	3	2	-2	2	1	3	4
93	2	-2	-2	-2	-2	1	3	-2	3	4	1	2

94	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	2	1	3	4
95	-2	1	-2	-2	2	-2	3	4	2	4	1	3
96	1	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	3	4
97	-2	3	-2	-2	1	-2	2	-2	2	1	3	4
98	-2	1	2	-2	3	-2	-2	-2	1	2	3	4
99	-2	1	2	5	3	6	4	-2	1	2	3	4
100	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	2	3	4

第3回 2021年1月21日

No.	環境報道への 関心	大気環境状況を知る方法						費用（中国 元）	所在地の大気環境への 満足度
		テレ ビ	スマホア プリ	新聞 紙	目で確 認	その 他	興味な い		
1	はい	1	0	0	1	0	0	1000未満	満足
2	はい	1	0	0	0	0	0	1000未満	満足
3	はい	1	0	0	1	0	0	1000～3000	普通
4	いいえ	1	0	0	1	0	0	-1000～ 3000	満足
5	はい	0	0	1	1	0	0	1000未満	とっても不満
6	いいえ	1	0	1	0	0	1	1000未満	普通
7	はい	1	0	1	0	0	0	1000未満	普通
8	はい	1	0	1	1	0	0	1000未満	普通
9	はい	1	0	1	1	0	0	1000未満	不満
10	はい	1	0	0	1	0	0	(空)	不満
11	はい	1	1	1	0	1	0	1000未満	普通
12	はい	0	0	1	0	0	0	1000未満	普通
13	はい	1	1	1	1	0	0	1000未満	不満
14	はい	1	0	1	1	0	0	1000未満	満足

15	はい	1	0	1	0	0	1	1000~3000	普通
16	はい	1	1	1	0	0	0	1000~3000	普通
17	いいえ	1	1	1	0	0	0	1000 未満	普通
18	はい	1	1	1	1	0	0	1000 未満	とっても不満
19	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	不満
20	はい	1	0	1	1	0	0	1000 未満	不満
21	はい	1	1	1	1	0	0	1000 未満	満足
22	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
23	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
24	いいえ	1	0	0	1	0	0	1000 未満	不満
25	はい	1	0	0	1	0	0	1000~3000	普通
26	はい	1	0	0	1	0	0	(空)	-不満
27	いいえ	0	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
28	はい	1	0	0	0	0	0	(空)	普通
29	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
30	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	満足
31	いいえ	1	0	1	0	0	0	1000~3000	普通
32	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	不満
33	いいえ	0	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
34	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
35	はい	1	1	1	1	0	0	1000 未満	普通
36	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	-不満
37	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
38	はい	0	0	0	0	0	0	5000~ 10000	普通
39	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
40	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
41	はい	1	1	0	1	0	0	1000 未満	満足
42	いいえ	0	0	0	1	0	0	1000 未満	満足
43	はい	1	0	1	1	0	0	1000 未満	普通
44	はい	0	0	1	1	0	0	1000 未満	とっても満足
45	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
46	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	不満
47	はい	1	0	0	1	1	0	1000 未満	満足
48	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通

49	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	満足
50	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
51	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
52	はい	1	0	0	1	1	0	1000 未満	普通
53	はい	0	0	0	1	0	0	(空)	-不満
54	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	とつても不満
55	はい	1	0	0	0	0	0	1000~3000	不満
56	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	とつても満足
57	はい	0	0	0	1	0	0	3	普通
58	はい	1	0	0	0	0	0	3	とつても不満
59	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
60	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
61	はい	1	0	0	0	0	0	(空)	-不満
62	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	とつても不満
63	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	不満
64	はい	1	0	0	0	0	0	(空)	満足
65	はい	0	0	0	1	1	0	1000 未満	とつても不満
66	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
67	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	満足
68	はい	1	0	0	1	1	0	1000 未満	普通
69	はい	0	0	1	1	0	0	1000 未満	普通
70	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
71	はい	1	0	1	1	0	0	1000 未満	普通
72	はい	0	0	1	1	0	0	1000 未満	普通
73	はい	0	0	0	0	0	0	1000 未満	とつても満足
74	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
75	はい	0	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
76	いいえ	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
77	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	とつても満足
78	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
79	いいえ	1	1	0	1	0	0	1000 未満	普通
80	はい	0	0	0	1	0	0	4	普通
81	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	とつても満足
82	はい	1	1	1	1	0	0	1000 未満	とつても満足
83	はい	0	0	1	0	1	0	1000~3000	普通

84	はい	1	0	0	1	0	0	1000~3000	とっても満足
85	はい	0	0	0	0	1	0	1000 未満	-不満
86	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
87	はい	0	0	0	1	0	0	(空)	普通
88	はい	0	0	0	0	0	1	1000 未満	とっても不満
89	はい	0	0	0	1	1	0	(空)	普通
90	はい	1	0	1	1	0	0	1000~3000	普通
91	はい	0	0	0	1	0	0	3	普通
92	はい	0	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
93	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	普通
94	はい	1	0	0	0	0	0	1000~3000	普通
95	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	とっても満足
96	はい	1	0	0	0	1	0	1000 未満	とっても満足
97	はい	1	0	0	1	0	0	1000 未満	とっても満足
98	はい	1	0	0	0	1	0	1000 未満	普通
99	はい	1	0	0	0	0	0	1000 未満	普通
100	はい	1	0	0	0	1	0	1000~3000	普通

No	環境問題が発生する原因は何か							環境教育の担い手は				
	自然環境 の影響	環境政策 と法律が 不完全	環境改善 の科学技 術の未発 達	地域外、 外国から の越境汚 染	環境に関 する教育 の不足	資源の開 発と経済 活動の副 作用	環境保護 への民衆 の参加不 足	そ の 他	学 校 教 育	家 庭 教 育	市 民 活 動	政府 主導 宣伝
1	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	2	3	1	4
2	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	1	4	2	3
3	-2	2	3	4	5	6	-2	1	2	1	3	4
4	-2	2	-2	-2	-2	-2	1	-2	4	3	1	2
5	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	3	2	4
6	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2
7	-2	-2	1	-2	2	-2	3	-2	3	4	2	1
8	-2	2	1	-2	3	5	4	-2	2	1	3	4
9	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	2	4	1	3
10	-2	3	1	-2	-2	2	-2	-2	1	3	4	2
11	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2

12	-2	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	1	3	2	4
13	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	3	4	1	2
14	1	-2	-2	-2	2	3	4	-2	3	4	1	2
15	1	2	3	-2	4	5	6	-2	3	4	1	2
16	-2	1	2	-2	3	4	5	-2	2	4	1	3
17	-2	1	-2	-2	2	-2	3	-2	4	3	1	2
18	-2	4	-2	-2	1	2	3	-2	3	4	2	1
19	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	3	4	1	2
20	-2	1	2	-2	-2	4	3	-2	3	4	2	1
21	-2	5	4	-2	3	1	2	-2	2	4	1	3
22	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	2	4	3	1
23	-2	-2	2	-2	1	-2	-2	-2	4	3	1	2
24	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	3	4	2	1
25	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	4	3	2	1
26	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	2	4	1	3
27	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	3	4
28	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	4	3
29	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	4	3	2
30	1	-2	2	-2	3	-2	4	-2	1	2	4	3
31	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
32	1	-2	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	3	2	4
33	-2	-2	2	-2	-2	1	3	4	1	2	3	4
34	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	2	1	3	4
35	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	2	3	4
36	-2	2	3	-2	-2	1	-2	-2	1	2	3	4
37	-2	3	1	-2	-2	-2	2	-2	2	1	4	3
38	1	2	3	4	5	6	7	-2	1	2	3	4
39	-2	-2	1	-2	2	-2	-2	-2	4	3	1	2
40	-2	4	3	-2	1	-2	2	-2	2	1	4	3
41	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	4	1	2	3
42	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	2	4
43	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	3	4
44	2	-2	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	3	4	1
45	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	3	4	1
46	-2	-2	1	-2	3	-2	2	-2	1	2	3	4

47	-2	1	3	-2	2	-2	-2	-2	1	2	3	4
48	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	3	4
49	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	-2	1	4	3	2
50	-2	1	2	-2	3	-2	-2	-2	1	2	3	4
51	1	2	3	-2	-2	-2	4	-2	4	3	1	2
52	-2	1	-2	2	-2	-2	3	-2	1	3	2	4
53	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	2	4	3
54	-2	-2	1	-2	2	-2	-2	-2	1	2	4	3
55	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	2	3	4
56	-2	-2	-2	-2	1	-2	2	-2	1	2	3	4
57	-2	-2	2	-2	1	-2	-2	-2	1	2	3	4
58	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
59	-2	1	3	-2	2	-2	4	-2	1	2	4	3
60	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	2	3	1	4
61	-2	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	1	2
62	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	1	3	2	4
63	-2	2	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	1	3	4
64	-2	4	1	-2	2	3	-2	-2	3	4	2	1
65	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	2	3	4
66	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	3	4	1	2
67	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
68	1	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	3	4	2	1
69	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
70	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
71	-2	1	2	-2	4	-2	3	-2	2	3	4	1
72	-2	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	4	3	2	1
73	-2	1	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	4	2	3
74	2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	4	2	1
75	-2	2	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	3	4
76	-2	-2	1	-2	-2	-2	2	-2	1	2	3	4
77	2	-2	-2	-2	-2	-2	1	-2	1	2	3	4
78	1	-2	-2	-2	-2	-2	2	-2	2	3	1	4
79	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	1	4	2	3
80	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	-2	1	2	3	4
81	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	3	4	2

82	6	1	-2	5	3	2	4	-2	3	1	2	4
83	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
84	-2	-2	-2	-2	1	2	3	-2	1	3	4	2
85	-2	-2	2	-2	-2	-2	1	-2	1	4	2	3
86	-2	-2	1	-2	-2	2	-2	-2	3	1	2	4
87	-2	3	1	-2	-2	2	-2	-2	2	1	4	3
88	-2	-2	1	-2	2	3	-2	-2	1	2	4	3
89	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	-2	3	1	2	4
90	-2	-2	1	-2	2	3	4	-2	4	1	2	3
91	-2	1	2	-2	-2	3	-2	-2	1	2	4	3
92	-2	-2	-2	-2	1	3	2	-2	2	1	3	4
93	2	-2	-2	-2	-2	1	3	-2	3	4	1	2
94	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	2	2	1	3	4
95	-2	1	-2	-2	2	-2	3	4	2	4	1	3
96	1	-2	2	-2	-2	-2	-2	-2	2	1	3	4
97	-2	3	-2	-2	1	-2	2	-2	2	1	3	4
98	-2	1	2	-2	3	-2	-2	-2	1	2	3	4
99	-2	1	2	5	3	6	4	-2	1	2	3	4
100	-2	-2	-2	-2	2	-2	1	-2	1	2	3	4

第6章

ICT リテラシーを有する高齢者を対象とした 環境教育プログラムの開発

*本章の研究内容より以下の論文を執筆した。本章の文章および図表等は、以下の文献の内容の一部もしくは全部に準ずる。

- ・孫 旭，関根嘉香，鈴木路子：ICT リテラシーを有する高齢者を対象とした環境教育の開発と試行ー中国瀋陽市における PM_{2.5} の測定と認識ー，東京福祉大学・大学院紀要，2021 年（印刷中）

6.1 緒言

大気汚染物質の長期曝露に起因する世界の早期死亡者数は年間 880 万人を超え、喫煙による影響よりも大きく、その主たる原因は PM_{2.5} であると報告されている^{6.1)}。特に、経済発展が著しい中国における PM_{2.5} 問題は世界中の注目を集めており、中国政府は国際世論への対応および国民の生活の質と健康への影響を改善するため、PM_{2.5} による大気汚染対策を推進している^{6.2)}。しかしながら、PM_{2.5} に対する長期曝露は、新型コロナウイルス感染症による死亡率の増加に寄与する可能性が指摘されており^{6.23)}、中国の大気汚染問題は公衆衛生上、依然として大きな課題となっている。

第 5 章に記したように、筆者らは PM_{2.5} に関する環境教育プログラムの方向性を探索するため 2020 年 1 月に瀋陽市市民を対象にアンケート調査を実施した。ただし、瀋陽市でも春節以降（1 月下旬）、新型コロナウイルス感染症患者が発生し、感染経路として飛沫感染、接触感染に加えてエアロゾル感染（空気感染）が着目され、エアロゾル粒子である PM_{2.5} との関連にも関心が集まった。このことから、2020 年 7 月、2021 年 1 月にも同一回答者 100 名に対して、同じアンケートを実施し、新型コロナウイルス感染症の発生前後における市民の環境意識の変化を調査した。その結果、「環境教育はだれが担うべきか」の設問に対して、学校教育を挙げる人が最も多く半数以上を占めたが、市民活動を挙げる人の割合は増加し、「環境問題が発生する原因は何か」という問いに対して、2020 年 1 月は「民衆の環境保護への参加が不足」、「環境政策と法律が不完全」、「環境改善の科学技術が発達していない」が上位 3 位であったのに対し、コロナ後の 7 月では「環境教育が不足」が第 2 位となった。新型コロナウイルス感染症の拡大は、市民の環境問題に対する意識を変容させ、特に環境教育に対する需要をさらに喚起することとなったといえる。

本章研究の目的は、ICT リテラシーを有する高齢者を対象とする環境教育プログラムの開発であり、市民の PM_{2.5} に対する認識の向上を図ることを意図し、瀋陽市に在住する高齢ボランティアに対して遠隔講義およびスマートフォン空気質モニターを用いた現地測定を実施した。

6.2 方法

6.2.1 環境教育プログラムのデザイン

瀋陽市に在住する ICT リテラシーを有する高齢者を対象とし、教育目標を①PM_{2.5} による大気汚染問題を理解できる、②参加者自身で PM_{2.5} の個人曝露濃度を測定できる、③環境意識を高めて生活習慣に注意することができることとした（表 6.1）。またこのプログラムを通じて、環境保全活動への参加意欲の向上を図った。

表 6.1 環境教育プログラムの全体的な構成

項目	形式	目標
遠隔授業（1.5 時間）	PowerPoint を用いた授業	大気汚染物質を認識する
		健康影響を認識する
		測定方法を身につける
現地測定（数回）	スマートフォン空気質モニター で PM _{2.5} 濃度測定	測定を自力で完結する
		身近の大気環境の状況を理解する
報告と討論（1 時間）	口頭発表	情報交換で環境意識を高める

プログラムの内容は、参加する高齢者の理解力と体力などを考慮し、①講師による「遠隔講義」、②参加者自身による「現地測定」、③講師および参加者による「報告と討論」の3段階に分け、順次実施することとした。

PM_{2.5} の個人曝露濃度を測定するには、測定器具が必要である。筆者らは PM_{2.5} の測定方法を種々検討し、第4章で記したようにスマートフォン空気質モニター（ヤグチ電子工業株式会社製ポケット PM_{2.5} センサー）が好適であることを見出した。図 6.1 に筆者らが作成した操作説明書（日本語訳）を示す。



図 6.1 スマートフォン空気質モニターおよびその操作説明書

このモニターは、レーザー光散乱センサー方式の $PM_{2.5}/PM_{10}$ 検出部およびスマートフォンから構成され、ディスプレイ上に $PM_{2.5}$ および PM_{10} 濃度を 1 秒毎にリアルタイムで表示し、同時に記録する機能を有する (6.4.6.5)。本モニターは携帯可能であり、操作が容易、表示が明瞭などの特徴があり、市民の環境教育おける教材に適していると判断した。

6.2.2 授業実践

6.2.2.1 実施概要

先行研究のアンケート調査に参加した高齢者に参加を呼びかけたところ 41 名の応募があり、実際には 37 名が参加した。内訳は、男性 20 名、女性 17 名、年齢は 48~63 歳 (平均 54 歳) であった。

プログラムは、2021 年 1 月 20 日~23 日に実施した。講師は日本に在住していることから、dingding オンラインミーティングシステム (中国・Tencent 社の類 zoom 式ソフトウェア) を利用して参加者を招待した。また、スマートフォン空気質モニターは、事前に日本から瀋陽市内の研究協力者に送付して、参加者に貸与した。尚、本モニターを中国に輸出する際、メーカーに対してリスト規制 (輸出貿易管理令別表第一の 1 項~15 項) に「非該当」であることを確認し、非該当証明書を入手した。

6.2.2.2 実施内容

(1) 遠隔講義

はじめに、講師は Microsoft 社 PowerPoint®を用いて $PM_{2.5}$ の定義、物理・化学性状、発生源 (工業・民生)、健康影響などを説明し、個人曝露による健康影響について注意を喚起した。次に、スマートフォン空気質モニターによる $PM_{2.5}$ の個人曝露濃度の測定方法を指導した。



図 6.2 講師 (筆者) による遠隔授業の様子

(東海大学湘南キャンパスから瀋陽市に在住する参加者への発信)

(2) 現地測定

現地測定は、参加者自ら測定地点を選択し、その地点における PM_{2.5} の個人曝露濃度を開始直後、2 分後、4 分後、6 分後、8 分後および 10 分後の計 6 回測定して、記録した。測定は複数の地点で実施した。尚、参加者の一部は表計算ソフトウェアに習熟していなかったもので、結果のまとめは手書きにした。

(3) 報告と討論

オンラインシステムにおいて、参加者は自由に発言し、現地測定で発見したこと、理解したこと、さらには市民として出来ることを報告し、互いに討論した。講師はファシリテーターとして進行役を務め、また参加者たちの発言を整理した。

6.2.2.3 評価

本プログラムの効果を測定するため、wjx アンケートシステムを用いてアンケートを行った。アンケートは、評価スケールを用いた単一回答方式とし、参加者は以下の 6 項目、「PM_{2.5} を認識する」「PM_{2.5} の発生源を理解する」「PM_{2.5} の健康影響を理解する」「PM_{2.5} は自分で測定できる」「身近の大気環境状況を理解する」「今後のやるべきことを理解する」に対して、1：そう思わない、2：やや思う、3：そう思うの 3 段階で回答した。回答者は 37 名（回答率 100%）であった。また、このプログラムに対する参加者の評価をヒアリングするため、承諾の得られた 15 名（回答率 41%）を対象に非構造化インタビューを実施した。

6.3 結果

6.3.1 アンケート（量的評価）

本プログラムの教育目標の達成度を測定するため、参加者に対してアンケートを行った。表 6.2 に、各質問項目に対する回答の平均値±標準偏差を示す。実施前の各質問項目に対する平均値は 1.5～2.0 の範囲であったのに対して、実施後の平均値は 2.0～2.9 となった。ただし、実施前後の変化は質問項目間で異なり、「PM_{2.5} を認識する」「PM_{2.5} の発生源を理解する」および「PM_{2.5} は自分で測定できる」の 3 項目は、実施後に有意に得点が増加した（Paired-samples t-test）。今回用いたスマートフォン空気質モニターは、参加者たちが初めて目にするものであり、高い好奇心を喚起した。遠隔講義において使い方の指導を受け、全員が実際に測定を行い、手書きで記録を作成した。さらに、報告と討論において、参加者は実際の測定時の様子（図 6.3）や測定結果（図 6.4 に例示）について自発的に語りあっていた。すなわち、簡易な測定器具の導入によって参加者たちは PM_{2.5} を実感することが出来たと考えられ、自ら測定するという経験を通じて PM_{2.5} 問題に対する理解を深化させたと考えられる。

表 6.2 アンケートに対する回答の集計結果（得点の平均値±標準偏差）

質問項目	実施前	実施後	<i>p</i> 値
1.PM _{2.5} を認識する	1.5 ± 0.73	2.3 ± 0.82	2.7E-04
2.PM _{2.5} の健康影響を理解する	1.9 ± 0.66	2.1 ± 0.49	0.41
3.PM _{2.5} の発生源を理解する	1.8 ± 0.64	2.7 ± 0.57	6.3E-08
4.PM _{2.5} は自分で測定できる	1.0 ± 0.16	2.9 ± 0.28	4.6E-30
5.身近の大気環境状況を理解する	2.0 ± 0.55	2.0 ± 0.24	0.77
6.今後のやるべきことを理解する	2.0 ± 0.69	2.1 ± 0.74	0.61



図 6.3 参加者が PM_{2.5} 個人曝露濃度を実測している様子

日期	天気 検測 時間	起止 時間	地点	濃度					备注	
				开始値	25分	45分	65分	85分		
2020 12.21	曇り 12:27 12:37	8:27 ~ 8:37	2-5-1階 居間 (12℃)	22.5	22.2	31.4	33.7	33.5	35.5	熱湯釜 窓を未開吸吐機 なし。
：	：	9:52 ~ 10:02	2階北7畳 大机 (10℃)	61.9	70.1	72.9	73.7	81.5	80.3	往南走(市内方向)霧霾 漸大。
：	：	10:20 ~ 10:30	2階南5畳 机 (10℃)	64.5	81.1	93.9	57.8	53.1	150	机机1为本菜区 机机2.3为杯 机机4.5为辣菜区。 机机6为热汤油区。 机机7为炒打开了窗子。机机8为汤 区窗子。机机9为热汤窗子。
：	：	11:23 ~ 11:33	2-5-1階 封阳台 (12℃)	45.1	42.9	52.9	63.1	71.5	45	同上 雾霾渐散。
：	：	11:34 ~ 11:44	2-5-1階 居間 (12℃)	38.9	42.9	45.9	63.	70.2	42.5	同上 雾霾渐散。
：	晴天 11:58 ~ 12:08	11:58 ~ 12:08	2-5-1階 客厅 (22℃)	35.7	38	37.9	41.4	56.1	40.8	同上 雾霾渐散。
：	晴天 12:32 ~ 12:42	12:32 ~ 12:42	2-5-1階 居間 (21℃)	29.1	36	42.1	48.2	67.8	55.3	炒菜 全程打开了吸吐 机因机。

日期	天気 検測 時間	起止 時間	地点	濃度					备注	
				开始値	25分	45分	65分	85分		
2020 12.21	曇り 12:27 ~ 12:37	8:27 ~ 8:37	2-5-1階 居間 (12℃)	22.5	22.2	31.4	33.7	33.5	35.5	熱湯釜 窓を未開吸吐機 なし。
：	：	9:52 ~ 10:02	2階北7畳 大机 (10℃)	61.9	70.1	72.9	73.7	81.5	80.3	往南走(市内方向)霧霾 漸大。
：	：	10:20 ~ 10:30	2階南5畳 机 (10℃)	64.5	81.1	93.9	57.8	53.1	150	机机1为本菜区 机机2.3为杯 机机4.5为辣菜区。 机机6为热汤油区。 机机7为炒打开了窗子。机机8为汤 区窗子。机机9为热汤窗子。
：	：	11:23 ~ 11:33	2-5-1階 封阳台 (12℃)	45.1	42.9	52.9	63.1	71.5	45	同上 雾霾渐散。
：	：	11:34 ~ 11:44	2-5-1階 居間 (12℃)	38.9	42.9	45.9	63.	70.2	42.5	同上 雾霾渐散。
：	晴天 11:58 ~ 12:08	11:58 ~ 12:08	2-5-1階 客厅 (22℃)	35.7	38	37.9	41.4	56.1	40.8	同上 雾霾渐散。
：	晴天 12:32 ~ 12:42	12:32 ~ 12:42	2-5-1階 居間 (21℃)	29.1	36	42.1	48.2	67.8	55.3	炒菜 全程打开了吸吐 机因机。

図 6.4 参加者が作成した測定記録

(具体的に測定時間、天気、場所、PM_{2.5}濃度を記録し、さらに特別な状況と感ずることも記録)

一方、「PM_{2.5}の健康影響を理解する」「身の周りの大気環境状況を理解する」「今後のやるべきことを理解する」については、実施前後で有意な得点の変化はなかった。これら3項目は、実施前から点数が高かった項目であり、特に「PM_{2.5}の健康影響を理解する」と「身の周りの大気環境状況を理解する」に関しては、既存の情報ソースからも得られる内容であったためと考えられた。一方、図 6.5 には報告と討論において、参加者が PM_{2.5}問題に対して「私ができること」として述べたことを示す。

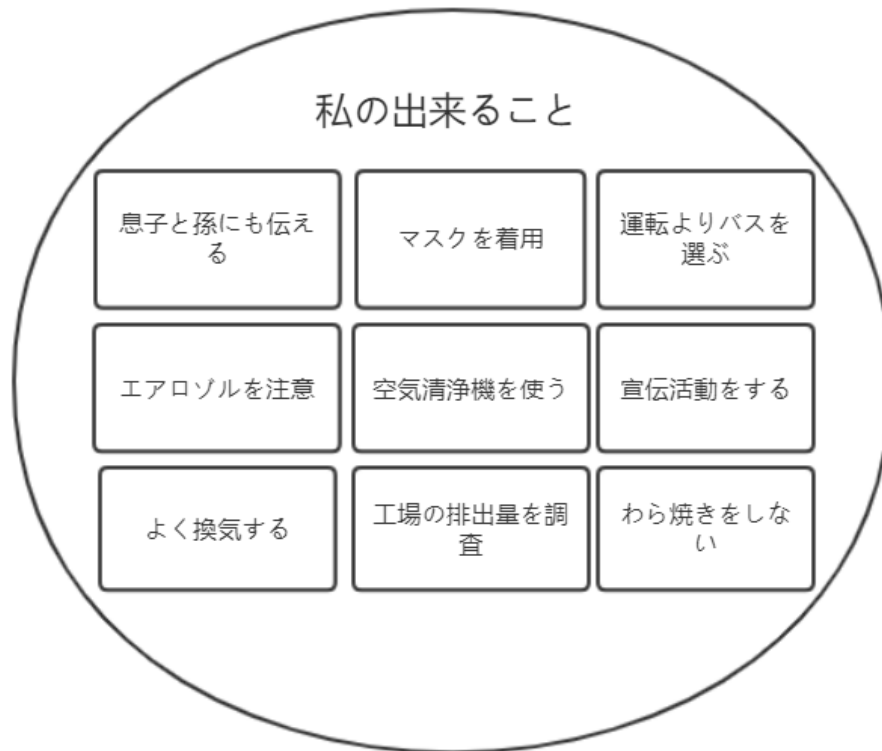


図 6.5 参加者たちが上げた「私の出来ること」の回答例

重複した意見を集約すると、9つの内容に分類することが出来た。マスクの生産枚数および空気清浄機の出荷台数は、パンデミックインフルエンザやPM_{2.5}問題などを契機に鋭敏に反応し、市場規模が急拡大することが知られている^{6.6)}。図 6.4 における「マスクの着用」や「空気清浄機の使用」などの対策は、瀋陽市においても既に励行されていたと考えられ、意見としては表出されるが、プログラム実施の効果とは言い難い。また、「工場の排出量を調査する」「わら焼きをしない」「自家用車よりもバスを選ぶ」などは、参加者が定年退職する前の職場での経験に照らし合わせて提示されたものであり、今後やるべきこととして「再認識」した内容と考えられる。一方、「息子と孫にも伝える」「宣伝活動をする」は、家庭教育への波及およびコミュニティにおける長期的展開に寄与する内容であり、必ずしも本プログラムの効果とは言えないが、本研究で意図する地域における環境リーダーの人材育成に期待を抱かせるものであった。

以上のことから、教育目標の①PM_{2.5}による大気汚染問題を理解できる、②参加者自身でPM_{2.5}の個人曝露濃度を測定できる、は概ね達成できたが、③環境意識を高めて生活習慣に注意することができるに関しては、さらに工夫が必要であると考えられる。

6.3.2 インタビュー（質的評価）

教育評価において数量化できない質的な評価も重要である（中村, 2016）。そこで、実践

活動後、参加者 15 名に対してインタビューし、プログラムへの評価と感想を記録した。回答中に表れるキーワードをコード化し、カテゴリーを作成した結果、大きく「PM_{2.5}」に関するものと、「プログラム」に関するものに分類することができた（表 3）。PM_{2.5}に関する言説を例示すると、「なるほど、PM_{2.5}は危険だ」「PM_{2.5}について、今いろいろとわかった」などのように、このプログラムを通じて参加者たちが PM_{2.5} を認識し始めたことがわかり、アンケートの結果を支持するものであった。さらに、「PM_{2.5}はよくニュースとかで聞くが、黄砂や自動車排気だけが関係があると思っていた。まさか日常生活にも、自宅でも PM_{2.5}があるなんて」「わら焼きの時、200 以上の数字を測定器からみた。驚いた。焼き肉の店でも同じくらいの数字が出た。さらに驚いた。」など、測定地点による濃度の違い、室内環境における PM_{2.5} 汚染の実態を知ることの驚きが出された。またスマートフォン空気質モニターに関しては、「面白い」「簡単」「わかりやすい」など、好意的に受け入れられていた。

表 6.3 インタビューにおける回答の整理

大カテゴリー	小カテゴリー	コード（回答数）
PM _{2.5}	実態	黄砂、自動車排気、わら焼き、焼き肉（5）
		測定地点による違い（3）
		室内環境（2）
	測定	面白い（3）
		簡単、わかりやすい（4）
プログラム（活動）	意義	社会的貢献（2）
		興味喚起（2）
		高齢者 便利（2）

一方、プログラム自体に対する発言も多かった。「日常の簡単な測定で社会に貢献できることはとてもいい。」「私は町の清掃員です。もしこのような活動で、みんなはもっと私たちの仕事を重視すればいいですね。」など、プログラムの内容だけでなく、このような環境教育活動が持つ社会的意義を重視し、肯定的な意見を示す人が多かった。また今回のようなインターネットを介した遠隔形式は「高齢者にとって便利」などの意見もあった。

以上のことから、遠隔形式で行った今回のプログラムは、ICT リテラシーを有する高齢者にとって興味を喚起される魅力的なものであり、かつ社会的意義が認められるものであったと考えられる。

6.4 考察

環境教育に環境測定を取り入れるメリットとして、横浜国立大学教育人間科学部環境教育研究会によって次の点が指摘されている^{6.7)}。

- ① 自ら測定を行うことによって、環境に関する客観的なデータを得ることができる。

- ② 測定を通じて環境の変化を感じることができる。
- ③ 文献やインターネットのホームページに記載されている数値データを鵜呑みにしなくなる。
- ④ データが得られた経緯、精度や観測方法にも関心を持つことができる。
- ⑤ データの分析には、広い自然科学の知識が要求され、さらに環境についての関心や問題意識を喚起することになる。

アンケート（量的評価）およびインタビュー（質的評価）の結果をまとめて見ると、今回のプログラムは PM_{2.5} の認識、発生源や測定方法を理解する点で一定の効果が認められたが、健康影響や大気環境状況の理解、さらに今後やるべきことに関しては、必ずしもプログラムの効果が見られなかった。このことは、スマートフォン空気質モニターを用いた実態の把握は、PM_{2.5} 問題の理解に有効であったといえるが、もともと有していた知識や経験に基づく認識に関しては影響が小さかったといえる。科学教育は技術により問題に解決を目指す方法であるのに対して、環境教育は自然や環境に配慮した考え方や行動を導くための方法^{6.8)}という視点に照らした時、「今後のやるべきこと理解する」に関しては十分な効果が得られておらず、今後の課題である。

一方、インターネットを介した遠隔形式は、ICT リテラシーを有する高齢者の環境教育に有効であることがわかった。遠隔教育の利点の一つに、場所に縛られずに実施できる点があげられる。今回のプログラムは、もともと講師が瀋陽市に赴き、対面で行う予定であった。しかしながら、新型コロナウイルス感染症対策のため、日本と中国瀋陽市をインターネットで繋いで実施することになり、それでも参加者はスマートフォン空気モニターの使用方法を理解し、測定を実施することが出来た。このことは、ICT リテラシーを有する高齢者は、居住地に限定されない環境リーダーとして活躍できることを示唆しており、環境教育の可能性を拓げることに寄与する。

本研究の限界について述べる。今回のプログラムの参加者は SNS により公募したため、もともと環境意識が高い人たちであったと考えられる。環境意識が低い、あるいは全く関心のない層に対しての効果については言及することが出来ない。また、今回は日本製モニターを瀋陽市に送付して使用したが、中国国内では購入することが出来ない。このプログラムを地域で実施する場合、利用可能な測定機器の確保が必要である。

6.5 結論

本論文では、2021 年 1 月に実施した遠隔環境教育活動の仕組み、実践、そして評価結果について述べた。高齢の参加者たちが楽しく PM_{2.5} に関する環境問題について学べた活動であったことがわかった。参加者たちは測定能力を身につけて、PM_{2.5} による大気汚染問題をより深く認識し、今後の日常生活においてさらに関心を寄せていこうとする姿勢が見られた。このような活動の効果が一時的なものではなく、持続的なものにするために今後も継続して遠隔環境教育活動を実施し、参加者の環境意識の変化への影響を明らかにすると同時

に、高齢者たちが地域の環境保護も考えつつ地域活性化へ貢献できる人材となるよう育成していきたい。

参考文献

- 6.1 Lelieveld J, Pozzer A, Pöschl U, Fnais M, Haines A, Münzel T: Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective, *Cardiovasc Res.* 116, 1910-1917 (2020).
- 6.2 朱美華, 山下研, 青木正澄 : ポストコロナ時代中国の大気汚染対策が抱える新課題, *環境経済・政策研究*, 14(1), 24-28(2021).
- 6.3 Wu X., Nethery R.C., Sabath B.M., Braun D., Dominici F.: Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study, *Science Advances*, 6(45), eabd4049(2020).
- 6.4 Ishigaki, Y., Tanaka K., Matsumoto Y., Maruo Y. Y. and Pradana H.A.: Citizen sensing for environmental risk communication, action research on PM2.5 air quality monitoring in East Asia, *Proc. of Cyber 2017, The 2nd Int. Conference on Cyber-Technologies and Cyber-Systems*, Wilmington, IARIA, 11-12(2017).
- 6.5 Ei Ei Pan Nu Yi, Nay Chi Nway, Win Yu Aung, Thant Z., Thet Hnin Wai, Kyu Kyu Hlaing, Maung C., Yagishita M., Ishigaki Y., Tin-Tin Win-Shwe, Nakajima D. and Ohn Mar: Preliminary monitoring of concentration of particulate matter (PM_{2.5}) in seven townships of Yangon City, Myanmar, *Environ. Health Prevent. Med.*, 23,53,1-8 (2018).
- 6.6 関根嘉香, 太田栞 : 微小粒子状物質による大気汚染と最新対策技術, *Material Stage*, 14(9), 6-9 (2014)
- 6.7 横浜国立大学教育人間科学部環境教育研究会編 : 環境教育－基礎と実践－, 共立出版, 東京、p.171 (2007) .
- 6.8 宮本佳範 : 環境教育と科学教育および環境倫理の関係に関する考察, *環境共生*, 16, 36-43 (2009) .

Appendix アンケートに対する回答の集計結果

質問項目	実施前			実施後		
	1	2	3	1	2	3
1.PM _{2.5} を認識する	22	10	5	8	9	20
2.PM _{2.5} の健康影響を理解する	9	21	7	3	28	6
3.PM _{2.5} の発生源を理解する	13	20	4	2	7	28
4.PM _{2.5} は自分で測定できる	36	1	0	0	3	34
5.身近の大気環境状況を理解する	5	24	6	1	35	1
6.今後のやるべきことを理解する	8	19	10	8	17	12

第 7 章

総論

7.1 本研究で明らかになったこと

本研究は環境教育的な視点から、中国のPM_{2.5}による大気汚染の現状を改善する道を探索した。環境教育、特にシチズンサイエンスに着目し、他の環境教育活動より中国の社会実情に合う、実行しやすい、潜在的な参加者が多く環境教育活動を探究した。そこで、中国都市部のICTリテラシーを有する高齢者を対象とする環境教育プログラムを設計・実践し、中国におけるPM_{2.5}による大気汚染問題の解決に寄与することを目的として、三つの項目を実施した。

1. 大気中PM_{2.5}の観測研究

理系高校生との協働により、大気中水溶性成分の長期定点観測および活性酸素産生能の評価を行い、以下の知見を得ることができた。

①東京都渋谷区のPM_{2.5}濃度は過去7年間で明確な増減傾向は認められないが、アジア大陸からの長距離輸送の影響がある硫酸イオン濃度は減少傾向にあることがわかった。

②神奈川県平塚市で捕集したPM_{2.5}試料の活性酸素産生能は、PM_{2.5}濃度と有意な相関関係があることがわかった。

これらのことから、PM_{2.5}による大気汚染問題は1国の問題ではなく、東アジアで共通して取り組むべき課題であること、PM_{2.5}の個人曝露濃度をモニタリングすることは、PM_{2.5}の有害影響に関する認識を深化させることに有効であることがわかり、市民向け環境教育プログラムの設計に反映することとした。

2. 専門的科学的知識を持たない一般の市民で利用できるPM_{2.5}測定方法の探索

スマートフォン空気質モニターは、大気質に関する一般の環境意識の育成にプラスの効果をもたらした。モニタリングデータに基づく考察は、汚染状況の認識におけるギャップ、汚染メカニズムへの懸念、および科学的背景に関するさらなる学習という3つの視点を提供し、環境教育プログラムの開発に新たな方向を示した。本観測で得られたデータは、市民の環境意識の向上に資する建設的な意義を有することがわかった。すなわち、観測データの考察により、空気汚染状況に関する認識ギャップ、PM_{2.5}およびPM₁₀による汚染メカニズム、および本モニタリングの科学的背景に関する視点を提示できることがわかった。本モニターは携帯可能、操作が容易、表示が明瞭であり、市民の環境教育における補助的教材として利用可能であると判断した。

3. 中国のICTリテラシーを有する高齢者に適した環境教育プログラムの設計・実践・評価

中国遼寧省瀋陽市に在住するICTリテラシーを有する高齢者を対象に、アンケート調査および遠隔環境教育プログラムを実践し、高齢の参加者たちが楽しくPM_{2.5}に関する環境問題について学べた活動であったことがわかった。参加者たちは測定能力を身につけて、PM_{2.5}

による大気汚染問題をより深く認識し、今後の日常生活においてさらに関心を寄せていこうとする姿勢が見られた。このような活動の効果が一時的なものではなく、持続的なものにするために今後も継続して遠隔環境教育活動を実施し、参加者の環境意識の変化への影響を明らかにすると同時に、高齢者たちが地域の環境保護も考えつつ地域活性化へ貢献できる人材となるよう育成していきたい。

7.2 今後の課題

①本研究は中国における研究であるが、新型コロナウイルス感染症によりパンデミックの影響により、中国にて捕集した PM_{2.5} 試料を用いることが出来なかった。今後は中国で捕集した試料を用い、中国都市における PM_{2.5} の濃度と活性酸素産生能の関係を確認したい。

②本研究で使ったスマートフォン空気質モニターは日本製品で、ボランティアに郵送使用されたものである。今後の活動の展開のため、中国現地で製品を探す、実証実験をする、また新たな器具の開発が必要と考えられる。

③環境教育プログラムについて、アンケート調査などを行ったが、一回の実践活動による変化では意識の改変を議論するのは難しく、期間を空けて再活動と追跡調査をする必要がある。また、パンデミックの収束後、現場にて対面形式でも実践し、遠隔教育との教育効果の比較を試みたい。

これらの問題にさらに取り組むことで、中国、またはアジアにおける大気汚染問題の解決に貢献したいと考えている。

研究業績

査読付き原著論文

1. 孫 旭, 神宮直人, 鈴木路子: 中国の大気汚染の現状とその対策に関する対日比較研究—大気汚染の人体影響に関する研究の歴史的考察—, 東京福祉大学・大学院紀要, 8(2), 179-18(2018)
2. Sun X., Yamauchi K., Sekine Y., Suzuki M.: A fundamental study on the use of a smartphone air quality monitor for cultivating public environmental awareness, *Indoor Environment*, 23 (3), 231-239(2020)
3. 山内克也, 蘓原滉稀, 孫 旭, 関根嘉香, 池田四郎, 韓汶廷, 田中薫: 大気中微小粒子状物質(PM_{2.5})の酸化能に及ぼす多環芳香族炭化水素の影響, *臨床環境医学*, 29(2), 60-6(2020)
4. Yamauchi K., Sun X., Sohara K., Takemasa A., Kaneyoshi K., Sekine Y.: Long-term observation of PM_{2.5} and water-soluble inorganic ions at central Tokyo, Japan, *Proc. Sch. Sci. Tokai Univ.*, 56, 34-42(2021)
5. Sohara K., Yamauchi K., Sun X., Misawa K., Sekine Y.: Photocatalytic degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in fine particulate matter (PM_{2.5}) collected on TiO₂-supporting quartz fibre filters, *Catalysis*, 11, 400 (2021) <https://doi.org/10.3390/catal11030400>
6. 孫 旭, 関根嘉香, 鈴木路子: ICT リテラシーを有する高齢者を対象とした環境教育プログラムの開発, 東京福祉大学・大学院紀要, 12 (2021) (印刷中)
7. 孫 旭, 関根嘉香, 鈴木路子: 新型コロナウイルス感染症流行による中国瀋陽市民の生活習慣および環境意識の変化, *室内環境*, (2021) (審査中)

総説・解説

1. 関根嘉香, 山内克也, 蘓原滉稀, 孫 旭: 微小粒子状物質(PM_{2.5})の活性酸素産生能の測定と無害化, *Aroma Research*, 22(1), 22-28 (2021)
2. 孫 旭, 関根嘉香: 中国瀋陽市における新型コロナウイルス感染症流行による生活習慣と環境意識の変化, *クリーンテクノロジー*, 31(6), 45-48 (2021)

謝 辞

本研究を行うに当たり、東海大学大学院地球環境科学研究科の関根嘉香教授に3年間にわたるご指導を賜りました。先生の指導により研究を進めることができました。また、研究以外の場でも多くの経験をさせていただきました。本紙面を借りて深く感謝の意を表します。

実験材料や機器などの使用に際して、企業、大学の皆様のお世話になりました。試料や測定器のご提供を頂いただけでなく、貴重なアドバイスやコメントを頂きました。以下に記して感謝申し上げます。

- ・株式会社ガステック
池田四郎様
- ・AIREX 株式会社
戸高惣史様
- ・ヤグチ電子工業株式会社
- ・Green Blue 株式会社
神宮直人様
- ・ソウル大学校師範大学附設高等学校
韓汝廷様、高校生の皆様
- ・東海大学付属望星高校
武政晃弘様、高校生の皆様

3年間に渡る大学院の研究において、事務的な面でお世話になった秘書の石川まな氏、および研究活動の様々な場面でお世話になった先輩方・同輩・後輩達研究室のメンバーに感謝いたします。

三澤和洋氏、蘓原滉稀氏、森本紗永子氏、内山汐里氏、山内克也氏、福嶋和真氏、佐藤佳蓮氏、佐藤千裕氏、山本匠氏、山崎大地氏、武田昂樹氏、高野紘気氏

日本に留学し始めた以来、東京福祉大学教育学部長の鈴木路子先生、東京福祉大学教育学部教授の山本静雄先生、城西国際大学の目時修先生にご指導を賜りました。多くの場合にお世話になって

おりました。本紙面を借りて深く感謝の意を表します。

本研究のアンケート調査、インタビュー、または教育実践活動に参加した中国遼寧省瀋陽市に在住する方々に深く感謝の意を表します。

日本語の精進に私を支援した北京第二外国語大学の先生方に感謝いたします。また、秦野市赤十字病院胃腸科の医者、看護師たちに最高の敬意を表します。

最後に、日本への留学をあらゆる面で支えてくれた父と母に感謝いたします。

2021年 10月

孫 旭