

2.2. マイクロ飛沫の特性解明と実際の閉鎖的空間における 実態調査

○板野 泰之 (大阪市立環境科学研究センター)

【研究目的】

2019年12月頃より中国湖北省武漢市から全世界に拡大した新型コロナウイルス感染症は、日本においても感染拡大と収束を繰り返しながら長期に渡り社会のおよび経済的な活動を妨害し続けている。その感染経路として、咳、くしゃみ、会話に伴い発生する微小なエアロゾル「マイクロ飛沫」が注目されている。本研究ではマイクロ飛沫を粒径別、かつ、高い時間分解能で測定してその特性を解明するとともに、近年急速に普及してきた可搬型測定装置を活用し、実際の閉鎖的空間におけるマイクロ飛沫の実態を明らかにすることを目的とした。

【研究の必要性】

2019年12月頃より中国湖北省武漢市を中心として発生した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)は、2021年9月末時点で全世界の累計感染者数が2億人、死者4百万人を超えるパンデミックとなった[1]。日本においても2020年4月7日に緊急事態宣言が初めて発令されるなど全国に広がった。その後も日々の新規感染者数は3ヶ月程度の周期で増加と減少を繰り返しており、これまでに第5波と見られる感染拡大期に見舞われている(図1)。COVID-19の感染経路として、ウイルスが付着した表面を介する接触感染に加え、感染者の会話、咳、くしゃみに伴い発生する粒子に含まれるウイルスの吸引や粘膜への付着が考えられている[3]。

人の会話や咳の際に排出される飛沫の個数濃度は、粒径2 μ メートル前後および130マイクロメートル前後にピークを持つ二山型の分布となるとされている[4]。その中でも、

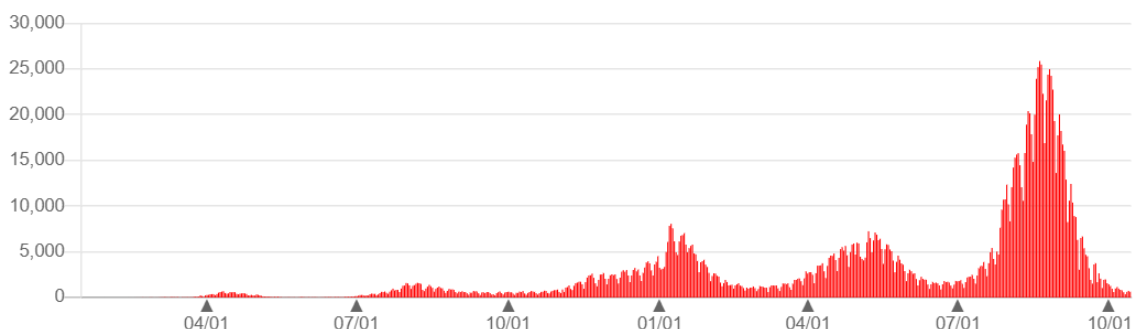


図1 日本国内のCOVID-19新規感染者数の推移 (出典:厚生労働省HP[2])

特に5マイクロメートル以下の飛沫（マイクロ飛沫）の挙動が注目されており、その予防措置として3つの密（密集、密閉、密接）を避けることが推奨されている。一方、最小限の移動や買い物など不要・不急の活動であっても閉鎖的空間の回避が困難な場合があり、そのような場における感染のリスクが重大な懸念事項となっている。近年、PM_{2.5}など大気中のエアロゾルを対象とした可搬型測定装置が利用できるようになり、これまでも局所的な高濃度場の調査研究に活用されてきた[5]。その感染拡大を防ぐためにも、これらの装置を用いてマイクロ飛沫の特性やその閉鎖的空間における実態を明らかにすることが重要である。

【研究計画】

本研究では、5段階の粒径区分でエアロゾル個数濃度を測定できる据置き型レーザーパーティクルカウンタを用いてマイクロ飛沫の特性を解明するとともに、2段階でエアロゾル個数濃度を測定できる可搬型レーザーパーティクルカウンタを用い、実際の閉鎖的空間内のマイクロ飛沫の挙動把握の可能性について評価する。

- ① マイクロ飛沫の特性解明： 粒径0.3 μ m、0.5 μ m、1 μ m、2 μ mおよび5 μ m以上の5段階でエアロゾル濃度を測定できるパーティクルカウンタ（RION社製KC-01D、当研究センターにて所有）を実験室内または1 m^3 程度のチャンバー（チャンバーの資材は本研究費により購入予定）に設置し、会話、咳などを意図的に行いマイクロ飛沫を発生させる。ネットブックPC（本研究費により購入）で制御することにより10秒程度の時間分解能で粒径ごとのエアロゾル濃度の時間変化を測定する。また、マイクロ飛沫発生源から測定地点までの距離を変化させる。このような実験を寒候期と暖候期に実施する（温湿度センサーは研究費にて購入する）。更に、扉の開閉による風速（風速計は本研究費により購入する）と濃度変化の関係を調べる。
- ② 実際の閉鎖的環境におけるマイクロ飛沫の実態解明： 粒径0.5 μ mおよび2.5 μ m以上の2段階でエアロゾル個数濃度を連続測定できる可搬型パーティクルカウンタ（DYLOS社製DC1700、当研究センターにて2台所有）にモバイルバッテリーおよび外部記憶装置を接続し、更に小型のキャリーバッグに据え付けることで移動測定できるよう改造する（資材は本研究費にて購入予定）。改造したパーティクルカウンタにて、実際の閉鎖的環境内でのエアロゾル濃度の変動を調査する。調査場所としては、自動車内、会議室内を想定し、可能な場合には2台のパーティクルカウンタを室内に設置し、時・空間変動を調べる。

【実施内容・結果】

- ① マイクロ飛沫の特性解明： 5段階の粒径別にエアロゾル個数濃度を測定できるKC-01D（RION社製）をモバイルPCから制御することで10秒毎に自動連続測定するシステムを構築した。そのインレット部に一辺が12cm程度（容積1.7L）、直径10cmの開口部を持つアルミ製チャンバーを取り付けた。開口部で発声することでマイクロ飛沫を発生させてエアロゾルの粒径プロピレングリコール

粒子を用いて測定した滞留時間（ここでは濃度が $1/e$ になるのに要する時間）は、 $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ の粒子で5秒、 $0.5 - 1.0 \mu\text{m}$ および $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ の粒子で10秒であった（ $5 \mu\text{m}$ 以上の粒子は発生量が不十分なため計測できなかった）。このようなチャンバーの開口部に向けて発声した際のエアロゾルの挙動を調べた。発声法として①咳、②英文の音読、③和文の音読、④半濁音（ぱ行音）、⑤濁音（が行音）、⑥静音（さ行音）とし、発声しない時の測定結果と比較した。図2に示すとおり、発声時には発生なしの場合と比べエアロゾルの個数濃度が増加しており、マイクロ飛沫が発生することが確認された。発声法別にみると、咳による発生が最も顕著となり、ついで半濁音、静音で発生量が多かった。一方、濁音に加え、和文や英文を音読した際にはエアロゾルの発生を検知すること

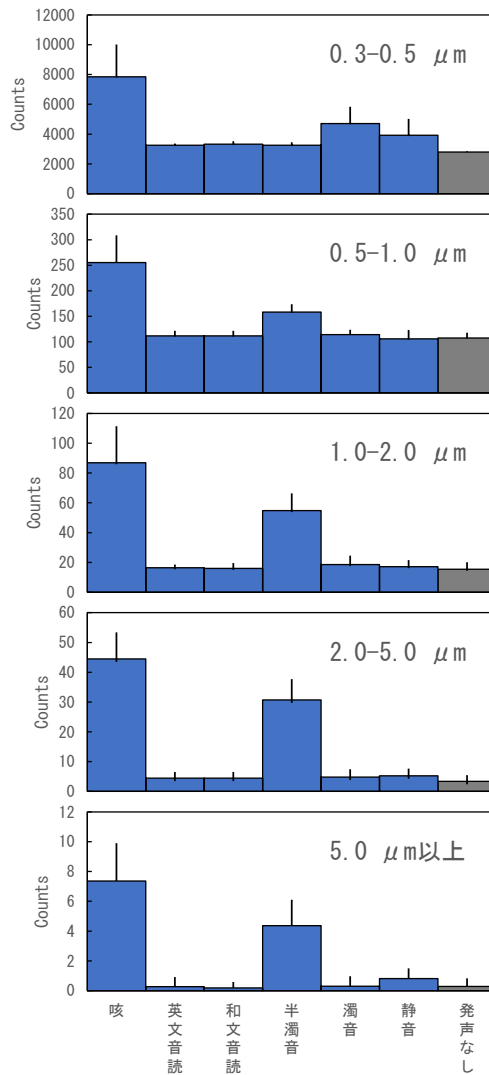


図2 発声により生じた粒径別エアロゾル個数濃度の发声法による比較.

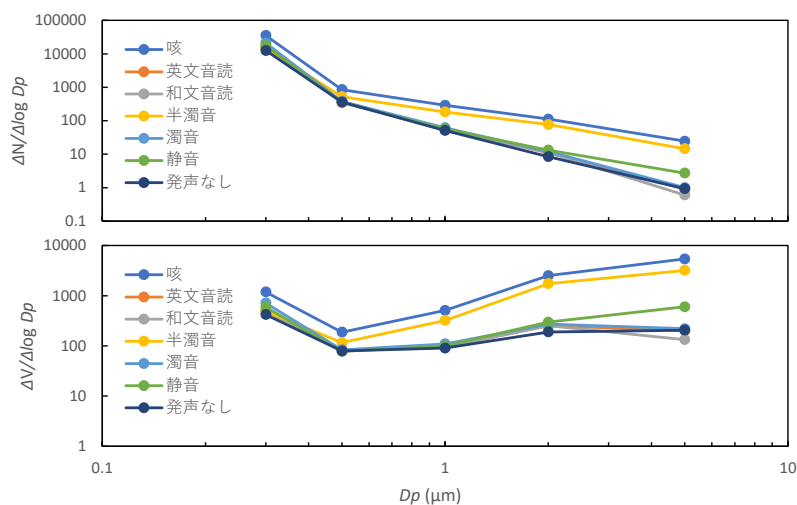


図3 発声により発生したエアロゾル個数濃度（上）と体積濃度（下）の粒径分布.

ができなかった。図3には発生したエアロゾルの粒径分布を示す。個数濃度としては粒径の小さいエアロゾルほど多く発生していたが、体積濃度としては大きい粒子の寄与が大きいことがわかった。

② 実際の閉鎖的環境におけるマイクロ

飛沫の実態解明： 0.5 μm および 2.5 μm 以上の2段階で粒径別エアロゾル濃度を測定可能な可搬型パーティクルカウンタ（DYLOS社製DC1700）に、モバイルバッテリーとシリアルデータの記録装置を取り付け長期自立測定可能なシステムを作成した。このシステムを、小学生4名が同乗する自家用車内、および、終日電話応対を実施している会議室内に設置し、マイクロ飛沫の状況把握を試みた。図4に測定結果を示す。車内ではマスク着用が義務付けられた時期であったが、車内の粒子濃度は乗車後に増加する傾向が認められた。また、窓を開け換気をするると粒子濃度の低下が認められたケースもあったが、その後増加したり、あるいはほとんど変化が認められないこともあった。ヒト由来のマイクロ飛沫ではなく、周囲の濃度変化を反映したものである可能性が示唆された。また、終日電話対応を実施していた会議室でも職員はマスクを着用していたが、室内の粒子濃度の顕著な変化は認められた。

同システムを50cm×33cm×30cmのスチック製チャンバー内に設置し、一面二面を開放した際のエアロゾル濃度の変化を比較することで、換気の効果調べた。図4に示すとおり、いずれの場合も粒子濃度は指数関数的に減少したが、チャンバーの一面のみを開放した場合に比べ、二面を開放した際には粒子の減衰速度は顕著に大きくなった。それぞれの場合の粒径0.5-2.5 μm と2.5 μm 以上の粒子の平均滞留時間（粒子個数濃度が1/eになるまでに要する時間）を求めた所、一面のみ開放の場合はそれぞれ9.7秒と19.2秒、二面開放した場合にはそれぞれ9.4秒と4.9秒となり、2箇所の窓を開放する換気法の有効性が確認された。

【考察と今後の課題】

COVID-19の感染経路として閉鎖空間におけるマイクロ飛沫を介した感染が注目されている。本研究では、咳に加え、半濁音や静音を発声した際にマイクロ飛沫の発生が

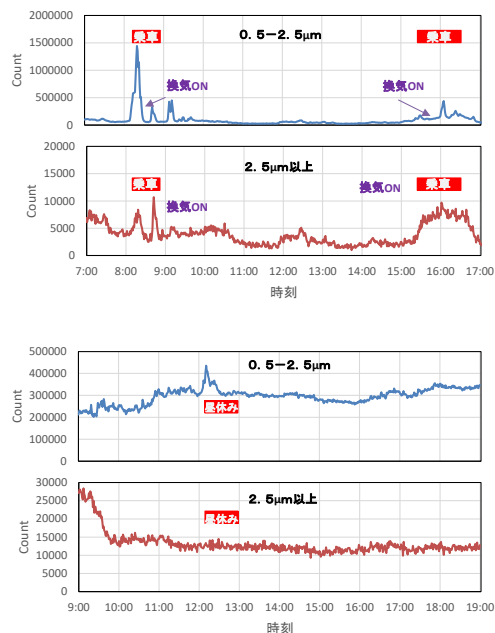


図4 小学生4人を乗せた乗用車(上)と、電話応対中の会議質内の粒子濃度の変化。

確認された。発生した粒子の個数濃度は小粒径の粒子ほど多い傾向があったが、体積濃度としては大粒径の粒子が多かった。これらの粒子の滞留時間は開口部を複数設置することで大幅に減少した。一方、可搬型の大気粒子濃度測定装置を用いることでマイクロ飛沫の実態把握を試みたが、今回用いた機種では十分な感度が得られなかった。大気中のPM2.5汚染に対する関心が高くなっている近年、小型で安価なセンサーが普及してきた[6]。これらセンサーはマイクロ飛沫の粒径範囲にも感度を有することから、その蓄積度合いを留意に検知する手法として期待される。

【参考文献】

- [1] World Health Organization 「WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard」 (<https://covid19.who.int/>)
- [2] 厚生労働省「新型コロナウイルス感染症について > 国内の発生状況など」 (https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html#h2_1)
- [3] World Health Organization 「Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?」 (<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>)
- [4] Johnson GR et al.: Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science*. 42: 839-851 (2011)
- [5] 篠原 直秀: 新型コロナウイルスの感染対策に有用な室内環境に関連する研究事例の紹介 (第一版). (<http://www.siej.org/sub/sarscov2v1.html>)

【経費使途明細】

使 途	金 額
ネットブック PC (KC-01D データロガーとして)	43,000 円
ポータブル電源 (電源を取れない場所での測定器稼働のため)	49,780 円
可搬型パーティクルカウンタ改造の資材	18,296 円
小型チャンバー資材	82,701 円
風速計 (温湿度センサー付き)	65,780 円
その他消耗品 (風向風速解析ソフトウェア)	40,700 円
合 計	300,257 円
大同生命厚生事業団助成金	300,000 円