

# 空気感染に関する最近の考え方について

結核研究所

副所長 慶長 直人

2022年11月の国際結核・肺疾患連合（ユニオン）世界会議では、空気感染に関する最近の考え方についても議論されていましたので（PL-02 It's time to rethink respiratory disease transmission and how to prevent it）、筆者の理解の範囲内でまとめて報告させていただきます。

## 考え方の背景

これまで風邪のウイルスなど呼吸器系病原体の多くは、感染者の咳やくしゃみによって発生する飛沫（droplet）を浴びたり、飛沫に汚染されたものの表面を触ることによって感染するものとされてきました。一方、空気感染（airborne transmission）は、従来、粒径5ミクロン以下の微小な感染性エアロゾルあるいは「飛沫核（droplet nuclei）」の吸入によるものと定義されており、このような感染経路は、結核など限られた疾患でのみ問題にすべきと考えられていました。

しかし、現在、多くの呼吸器系ウイルスにおいて、空気感染の可能性を裏付ける確固たる証拠があり、COVID-19を契機に、従来の飛沫感染を中心とする考え方の限界が明らかになってきました。すなわち、飛沫・接触による感染伝播だけでは、COVID-19のパンデミック時に観察された、一部の限られた感染者が密閉された部屋にいる多数の者に感染を広げる、いわゆるスーパー・スプレディング・イベントなど、屋内外の感染性の違いをうまく説明できませんでした<sup>1)</sup>。

## 考え方の変化

呼吸器系の飛沫やエアロゾルの大きさは、気道のどこからどのようなメカニズムで発生するかによって異なります。エアロゾルは、ヒトが呼吸をするときには、常に発生しうるもので、主に（1）通常の呼吸時にみられる細い気管支の収縮と拡張に伴う粘液薄膜の生成と分裂、（2）勢いよく気管内を空気が通る際の喉頭付近の空気の流れによる粘液の剥離、（3）大きな飛沫が発生する際の口腔内の振動、という三つの発生機構が考えられています<sup>2)</sup>。

エアロゾルと飛沫を区別するため、歴史的には、粒径5ミクロン（ $\mu\text{m}$ ）という基準が使用されてきました。しかし、現在、粒子の発生源として1.5mの（ヒトの口の）高さから5秒以上、空気中を浮遊し続けて、条件次第で1～2m離れた地点に到達しうるかの目安としては、粒径100ミクロンという基準を用いるべきではないかという考え方が生まれています。感染者が出すエアロゾルには感染性ウイルスが含まれている可能性があり、そのウイルスは5ミクロン以下の小さなエアロゾルに濃縮されていき、その浮遊時間や到達距離は、相対湿度、紫外線、気流、換気などの環境要因の影響を受けます。発生したエアロゾルがヒトの気道系に吸入されると、大きな粒子は上気道に付着して、小さな粒子は肺胞領域まで深く侵入するという現象は周知の通りです。

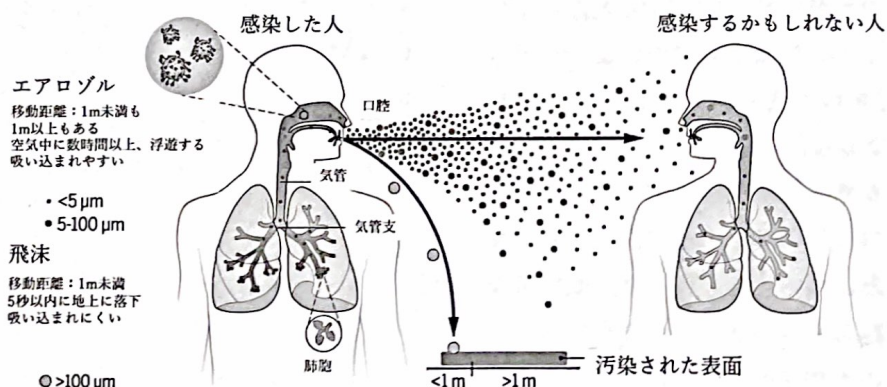


図. 呼吸器ウイルスの空気感染のモデル。ウイルスを含んだエアロゾル（100ミクロンを超えない）は、まず感染者の呼吸時に生成され、環境中に運ばれていきます。エアロゾルは、感染力が維持されていれば、周囲の人々が吸入して、新たな感染を引き起こす可能性があります。飛沫（100ミクロン以上の粒径）とは対照的に、エアロゾルは空気中に長時間も留まり、発生源から1～2m以上離れた場所に移動し、移動距離が短くても長くても新たな感染を引き起こす可能性があります（文献1より）。

上の定義によれば、粒径100ミクロン以上の大きな飛沫は数秒以内に地面や表面に落下しますが、エアロゾルは発生源から近距離では高濃度、遠距離では低濃度の状態で拡散することになり、COVID-19以外の呼吸器系ウイルスの感染拡大の際にも認められるものと推測されます(図)。

このような知見の蓄積によって、世界保健機関(WHO)および米国疾病対策センター(CDC)は、ウイルスを含んだエアロゾルの吸入がCOVID-19の主な感染様式であると公式に認めることとなりました(2021年)。

#### いくつかの問題

これまでの話を自然に理解できたとしても、いくつかの疑問が残ります。

ひとつめは、用語の問題です。一般で使われる「飛沫」という日本語は、液体が細かく飛び散ったもので、どちらかという横に飛ぶ、splashのようなイメージがありますが、dropletは小さなしずくで、下に落ちることが運命づけられている粒子のように感じられます。dropletが発生源の近くに落ちるなら、遠くに居さえすれば吸い込まないはずだ、しかし、そんなことはない、という観察が、今回の議論の根底にあるように思われます<sup>3)</sup>。

次に、カテゴリ区分の問題ですが、dropletを何ミクロン以上と定義しても、環境中の湿度や気流に影響され、よほど大きな液滴でない、発生源付近にすぐ落ちることなく、徐々に水分を失っていき、浮遊していくと考えられます。つまりdropletにもエアロゾルへの移行段階があるということです。これはマスクの着用の意義とも関連して、二分思考に陥ることを避けなければいけないポイントのように思われます。これはこれまで潜在性結核感染(latent infection)と活動性結核(active disease)の二つに分けられてきた結核病態の間に、incipientとかsubclinicalという移行段階の概念が出てきたことと似ているように感じられます。

それから空気感染というと、部屋のどこにいても感染するイメージがありますが、エアロゾルの発生源の

近くにいれば、粒子濃度は高いので感染する危険はより高く、遠ければ低い(ゼロではない)という点は看過できないように思われます。3密の「密接」を避けるという意義はここにもあるように思われます。

さらに、欧米では、瘴気(ミアズマ)説によって、古代から19世紀まで、多くの感染症は「悪い空気」がもたらすと考えられていましたが、病原体が次々と発見されて、感染症は一部の例外(結核など)を除いて接触や飛沫で起こるという考え方が支配的となって近年に至ったため、21世紀になっても空気感染という伝播様式を一般の感染症では認め難いという風潮があったのだと指摘されています<sup>4)</sup>。

#### 今後の展望

以上のように、空気感染の問題については、エアロゾルの空気中の挙動に関する理解や科学的な吟味が不十分であったため、これまで多くの感染症で正当に評価されていませんでした。空気感染は以前認識されていたよりもはるかに一般的に生じていることを認めざるを得ません。このような議論をきっかけに、COVID-19では、世界中で、換気、気流の動き、エアフィルター、紫外線消毒、隙間のないマスクの装着などに注意しながら、エアロゾル感染を軽減するための予防策を見直していく必要に迫られました。これらの対策は、現在のパンデミックを終わらせ、将来起こりうる新興感染症のアウトブレイクを防ぐために重要と思われます。以上、いまだに議論の多い話題ではありますが、昨年のユニオンの講演内容を中心に紹介させていただきました。ご参考になれば幸いです。

#### 参考文献:

- 1) Wang CC, et al. Airborne transmission of respiratory viruses. *Science*. 2021;373(6558): eabd9149.
- 2) Tang JW, et al. Dismantling myths on the airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *J Hosp Infect*. 2021;110:89-96.
- 3) Wei J, Li Y. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *Am J Infect Control*. 2016;44(9 Suppl):S102-8.
- 4) Jimenez JL, et al. What were the historical reasons for the resistance to recognizing airborne transmission during the COVID-19 pandemic? *Indoor Air*. 2022;32(8): e13070.