

咳飛沫の室内輸送シミュレーション

尾崎 奈保 (指導教員: 河村 哲也)

1 はじめに

咳は結核、SARS、インフルエンザなどの呼吸器系の様々な病気の主な症状であり、医学を中心に様々な分野で研究がなされてきた。しかしながら、咳による物質輸送、すなわち呼出空気・唾液飛沫などがどのように空気中に放出され、どのように拡散するのかに関して詳しく検討された例はあまりない。本研究では、室内のような静穏密閉環境において、空調を考慮しながら、咳により呼出された唾液粒子の室内での移動や拡散の様子をシミュレーションにより検討する。

2 咳の非定常モデル

咳の速さを時間関数とし、咳の呼吸は図1のようなグラフで設定し、6秒で1サイクルとした。[1], [2] 人間の咳の速さを 45m/s として設定した。

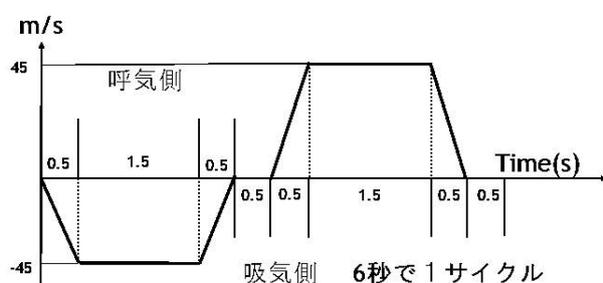


図 1: 咳の非定常モデル

3 格子生成

格子数が $50 \times 50 \times 50$ の直交等間隔格子を用いて計算した。部屋を $2\text{m} \times 2\text{m} \times 4\text{m}$ と設定し、室内に人間が二人いるとした。二人の距離は全体の 20 格子分とし、1.5m とした。空調は常に右上に設置し、二人は常に向き合っているものとした。これら流れに対する障害物は図2に表すようにマスク配列で表現した。

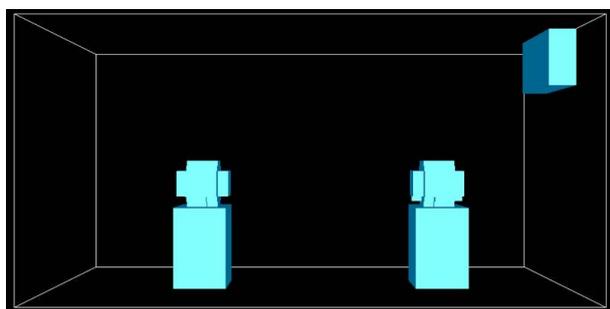


図 2: 部屋のモデル

4 計算方法

取り扱う流体の流れは非圧縮性流体の流れとみなせるので、連続の式 (1)、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式 (2)、空調を考慮したので熱に関する方程式 (3) を使用する。

$$\nabla \cdot v = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta v + \frac{Gr}{Re^2} T \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\nabla \cdot v)T = k \Delta T \quad (3)$$

v:速度 p:圧力 Re:レイノルズ数 T:温度
k:無次元拡散係数 Gr:グラフホフ数

この基礎方程式を連立させて、標準的なフラクショナルステップ法を用いて数値的に解いた。唾液粒子の速度は 4 つの格子点から補間して求めた。

5 計算パターン

以下の 4 パターンを設定した。

- 冷房がない場合かつ右側一人が咳
- 冷房がない場合かつ二人が同時に咳
- 右側に冷房があるときかつ右側一人が咳
- 右側に冷房があるときかつ左側一人が咳

パラメータは $\Delta t = 0.005$, $Re=100$, $Gr=0.005$ とし、室温は 28°C , エアコンの冷房温度を 15°C , エアコンの平均風速と同じ 4m/s とした。全て 160 秒間のデータで、空調で部屋の温度を上昇させ、送風の流れを計算後の 140 秒から 146 秒の間に咳をする。以下では全て、呼気の瞬間の $t=143.5$ 秒, 145.5 秒を比較したものである。

6 計算結果

粒子を唾液飛沫に見立てて、咳をする人の口元に配置し、その運動を追跡した。唾液粒子の速度は 4 つの格子点から補間し、格子点上の右側の人の唾液粒子の分布を青色で表示している。

6.1 冷房がない場合かつ右側一人が咳をする場合

以下が $t=143.5$ 秒, 145.5 秒のときの左が鉛直断面、右が水平断面である。

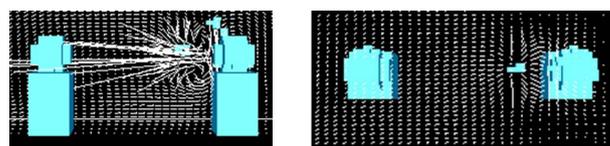


図 3: $t=143.5$ 秒

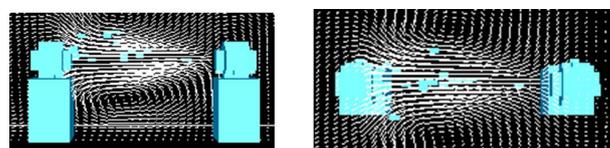


図 4: $t=145.5$ 秒

6.2 冷房がない場合かつ二人が同時に咳をする場合

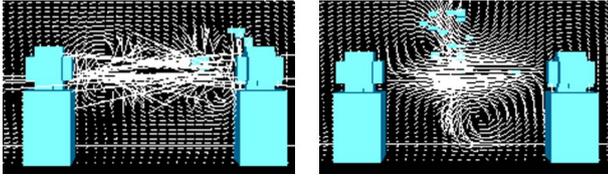


図 5: 左が $t=143.5$ 秒, 右が $t=145.5$ 秒

6.3 冷房があるときかつ右側一人が咳をする場合

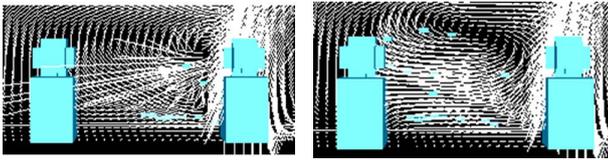


図 6: 左が $t=143.5$ 秒, 右が $t=145.5$ 秒

6.4 冷房があるときかつ左側一人が咳をする場合

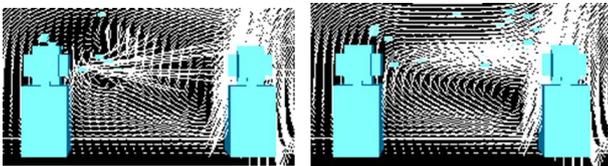


図 7: 左が $t=143.5$ 秒, 右が $t=145.5$ 秒

6.5 右側の人咳をする場合のエアコンがある場合とない場合の違い

以下が $t=143.5$ 秒, 145.5 秒のときの左が冷房がない場合で右が冷房がある場合の鉛直平面, 水平断面である。

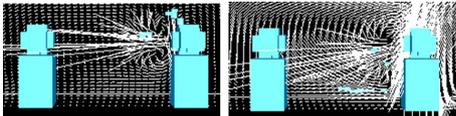


図 8: $t=143.5$ 秒 鉛直断面

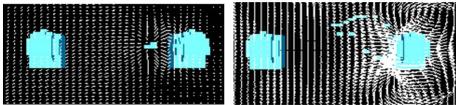


図 9: $t=143.5$ 秒 水平断面

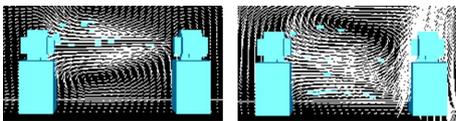


図 10: $t=145.5$ 秒 垂直断面

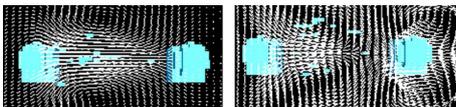


図 11: $t=145.5$ 秒 水平断面

上下左右に飛沫が拡散していて、冷房がない場合に比べて唾液飛沫の拡散が均等ではないことがわかる。

以下は青色で示した唾液粒子の位置を捉えて、グラフ化したものである。

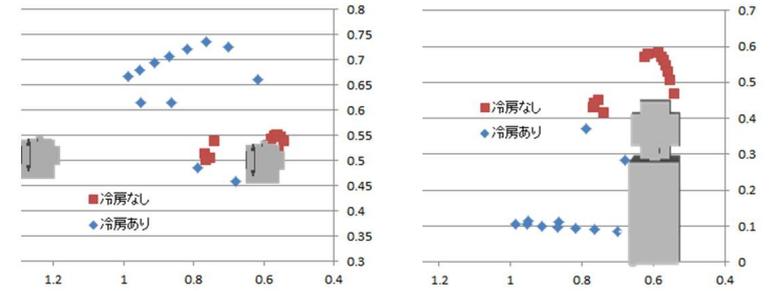


図 12: $t=143.5$ 秒

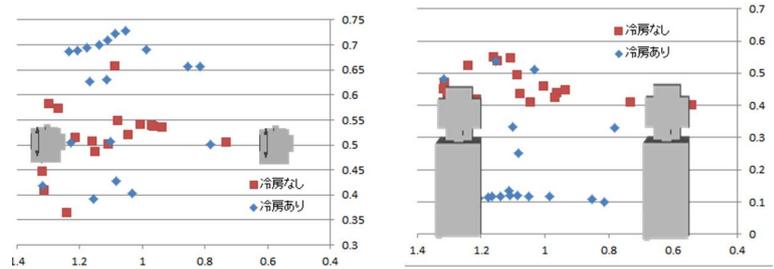


図 13: $t=145.5$ 秒

唾液粒子は冷房がない場合には上から見るとおよそ均等、横から見ると左側の人の頭より少し上寄りに拡散している。一方で冷房がある場合には上から見ると広範囲に均等ではなく、横から見ると送風の影響で下寄りの人の足元のほうへ拡散していることがわかる。

7 まとめと今後の課題

1. エアコンがない場合かつ二人が同時に咳をする場合には同じ勢いなので中心地点で唾液粒子同士が渦を巻くように接触し、上側に拡散している。
2. 冷房がある場合には右側の人であっても、左側の人であっても冷房の影響を受けている。
3. 唾液粒子の動きは冷房があってもなくても、上下左右均等ではない。

ことがわかった。今後の課題としてはより現実的に

- マスクや手で抑えたときはどうなるのか。
- エレベータ内での狭い空間ではどう拡散するのか。

などが挙げられる。また、本研究の様々な簡易モデルのシミュレーションによって得られた情報は、インフルエンザ等の咳に関する様々な病気の感染対策の検討に役立つと考えられる。

8 謝辞

本研究を行うに当たり、ご尽力いただいた河村先生、研究室の先輩方に深く、感謝いたします。

参考文献

- [1] 久保田澄香；お茶の水女子大学卒業研究発表会要旨集,pp59-60,(2007)
- [2] 加藤信介；咳飛沫の室内輸送状の検討、日本流体力学会誌”ながれ”第26巻第5号,pp331-339(2007)