

咳飛沫の室内輸送シミュレーション

久保田 澄香 (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、医学を中心に公衆衛生学などの様々な分野で研究がなされてきた。本研究では、室内のような静穏環境において、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伝播の様子をシミュレーションにより検討する。

2 モデル

2.1 呼吸の非定常モデル

呼吸は鼻呼吸とした。方向を鼻から垂直より 15° の角度として、大きさは Fig.1 の時間関数として与える。1分間で 10 サイクルの呼吸を行うと設定する。

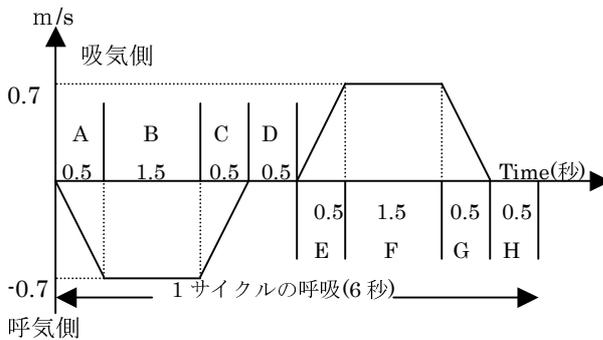


Fig.1 : 呼吸の非定常モデル

2.2 咳の非定常モデル

咳の大きさは 11.2m/s で 0.15 秒とした。

これらのモデルを使って、咳の吐出気流の拡散過程を再現し、咳による空気や飛沫の伝播特性を検討する。

3 格子生成

格子は、直交等間隔格子とする。格子数は、120×60×80 である。部屋のサイズは 3m×1.5m×2m とする。人が 2 人向かい合っていて、左側の人が咳をするとした。2 人の距離は 125 cm である。

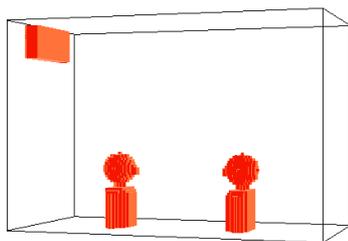


Fig.2 : 暖房左のモデル

4 計算方法

取り扱う流体は、非圧縮性と仮定できるために、基礎方程式として連続の式(1)、非圧縮性 Navier-Stokes 方程式(2)を用いた。さらに熱に関する方程式(3)を加えた。

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla p + \frac{1}{\text{Re}} \Delta \mathbf{V} + \mathbf{F} \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\nabla \cdot \mathbf{V}) T = \frac{1}{\text{RePr}} \Delta T \quad (3)$$

\mathbf{V} :速度ベクトル p :圧力 t :時間 T :温度

Re :レイノルズ数 Pr :プラントル数

$\mathbf{F}=(0,0,\alpha T)$:浮力

これらの方程式を連立させて非圧縮性の流れの標準的な解法である MAC 法を用いて数値的に解いた。初期条件で室内気流は静止しているとした。

5 計算パターン

以下のパターンを想定した。

- ・エアコンなし：エアコンがない場合
- ・暖房左：暖房が左側(咳をする人の頭上)にある場合
- ・暖房右：暖房が右側(呼吸をする人の頭上)にある場合
- ・冷房左：冷房が左側(咳をする人の頭上)にある場合
- ・冷房右：冷房が右側(呼吸をする人の頭上)にある場合

ここで、 $\Delta t=0.001$ 、 $\text{Re}=200$ 、 $\text{Pr}=0.7$ として、 $t=7$ (秒)まで計算し、 $t=6$ (秒)で左側の人が咳をするとした。室温を 25°C とし、暖房は 32°C、冷房は 18°C で、エアコンの噴出速度を 2m/秒として、床に平行な送風を一様に送った。

6 計算結果

6.1 咳

エアコンなしの $t=6.04$ 、6.18(秒)の計算結果を次に示す。

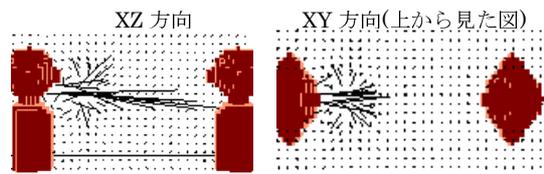


Fig.3 : エアコンなし、 $t=6.04$ (秒)

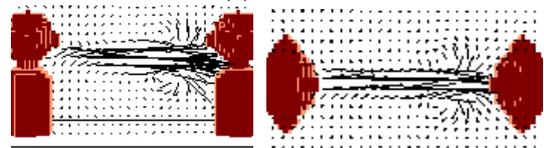
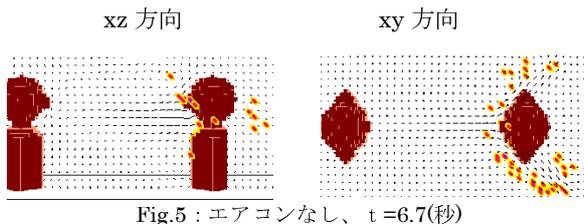


Fig.4 : エアコンなし、 $t=6.18$ (秒)

6.2 唾液粒子

粒子を咳飛沫に見立てて、咳をする人の口元に配置し、その運動を追跡した。唾液粒子は主に粒子であるため、壁面や人に衝突する際に、弾性で跳ね返ることがありえないと考えられるため、壁面や人に衝突する際は付着するように設定した。それぞれの格子点に粒子がいくつあるかを数え、粒子の分布を表現するようにした。結果を以下に示す。

① エアコンなし



② 暖房

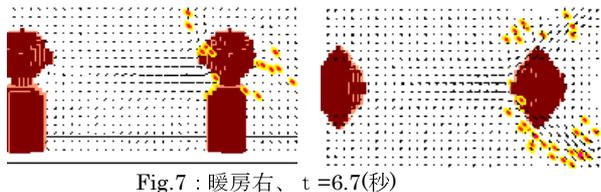
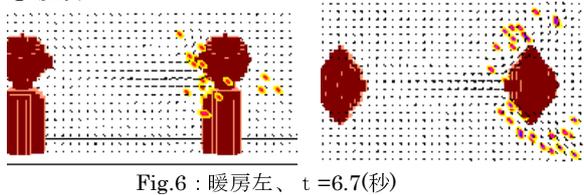


Fig.5,6,7 より、暖房は、咳の軌道および唾液粒子の輸送にはあまり影響を及ぼさないことが分かった。

③ 冷房

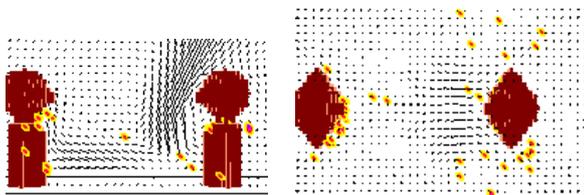
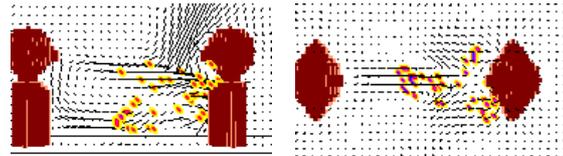
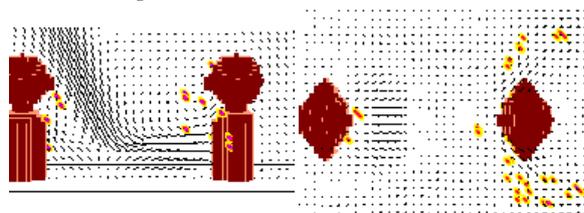
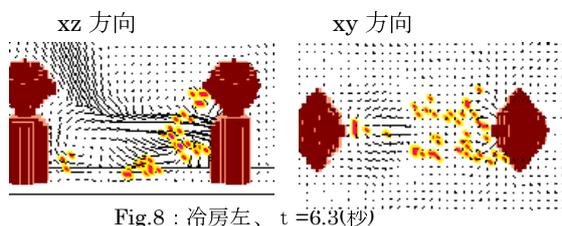


Fig.5,9,11 より、冷房は、咳の軌道および唾液粒子の輸送に影響を及ぼすことが分かった。Fig.8,9,10,11 を比較すると、冷房が左にある場合は、咳をする人の前方に右下向きに風が吹き、唾液粒子の一部は下に下がっている。また、冷房が右側にあると、咳の軌道と反対方向の風が吹き、唾液粒子が右側の人に到達しにくくなり、唾液粒子は咳をする人に付着した。

7 まとめと今後の課題

咳自体の風速が大きいので、咳をしている間の咳の軌道はエアコンの影響をあまり受けなかった。

咳をした後の唾液粒子は、暖房の影響はなかったが、冷房の影響は大きかった。これは、暖気は上昇し、冷気は下降するため、冷気のほうが咳の軌道に影響を与えるからである。

今後の課題として、

- ・ 格子数及び粒子数を増やす
 - ・ 複数の人が咳をする
 - ・ 唾液粒子の拡散過程で発生する衝突、分裂、水分の蒸発などを考慮する
- などが挙げられる。

8 謝辞

本研究を行うにあたり、ご尽力くださいました指導教員の河村先生、研究室の先輩方に深く、感謝いたします。

参考文献

- [1]河村哲也『数値シミュレーション入門』(サイエンス社 2006)、ISBN4-7819-1134-X
- [2]加藤信介、咳飛沫の室内輸送性状の検討、流れ第26巻第5号、pp.331-339、2007
- [3]加藤信介、『人体吸気勢力範囲の解析』
<http://venus.iis.u-tokyo.ac.jp/field/>