

# 室内気流の数値シミュレーション

理学専攻・情報科学コース 下山 茉理絵

## 1 はじめに

近年、「快適な室内空間」が話題になることが多くなったが、それを簡単に実現することは難しい。快適な室内空間を模索するには様々な状況や条件について比較検討する必要がある。しかし実際にその状況・条件を設定し、実験を行うということは時間とコスト面においてかなり非現実的な手法であると言える。そこで数値シミュレーションを用いて解析することが有用であると考えた。室内の環境を決める要因として空調・音・光・臭い・埃などが考えられる。本研究では、その中の空調に注目し、目に見えない室内の空気の流れを可視化することで、快適な室内空間を提案する。空調を決める要因としては温度、湿度、風速が挙げられる。冬の寒い日にエアコン稼働する室内は乾燥し、のどの不快感、インフルエンザウイルスの活発化、肌荒れ等を引き起こすため、室内での加湿器の効果と最適な設置場所を調べた。

## 2 モデル化

横幅 3.6m、奥行き 3.6m、高さ 2.3m の 8 畳の部屋を考える。室内の初期条件は、冬を想定して室温 15℃、暖房設定温度 23℃とする。また窓は外気と同じ温度とするため東京 1 月の平均気温 5℃、加湿器から出る水蒸気の温度は東京 1 月の水道水の平均温度 7℃より少し高い 10℃とした。エアコンは 90° にスイングしながら送風し、風速は 2m/s、加湿器は上方向に水蒸気を出し、風速は 0.02m/s、風量 0.31/h とした。この 0.31/h の加湿器というのは洋室 8 畳用の風量である。熱源としてパソコン、テレビ、窓を設置し、それぞれ 35℃、30℃、5℃とし、それ以外の家具としてベッド、机、いす、本棚、チェスト、テレビ台、ミニテーブルを配置した。家具や埃の表現方法として、0 と 1 の値をもつ 3 次元配列 MSK(j,k,l) を用意し生成した。家具を 0、空間部分を 1 として各時間ステップごとに家具がない場合の計算結果に MSK をかけあわせる。その結果、空間部分はそのままの値、家具の部分の圧力と速度は 0 になり、家具の影響を計算に取り入れることができる。加湿器を置かなかった場合、ミニテーブル、チェスト、本棚の上に置いた場合の 4 通り計算した。

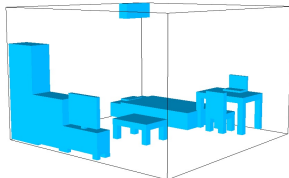


図 1: 室内の様子.

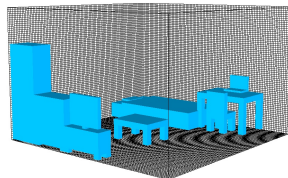


図 2: 格子生成.

## 3 格子生成

直交等間隔格子を用いた。格子数は横幅 X 方向に 100、奥行き Y 方向に 100、高さ Z 方向に 65 とした。

## 4 計算方法

### 4.1 基礎方程式

室内の気流は非圧縮性流体の遅い流れとみなすことができるので、質量保存を表す連続の方程式 (1) と、運動量保存を表す非圧縮性ナビエ-ストークス方程式 (2) を支配方程式として解析できる。ただしブジネスク近似を用いている。さらに熱に関する移流拡散方程式 (3)、水蒸気に関する移流拡散方程式 (4) を基礎方程式として加えて計算を行う。これらの方程式を無次元化して計算することにより、室内の温度と湿度分布の変化を時間発展的に求めた。計算は 250,000 ステップ行った。

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

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\nabla P + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{V} + \frac{Gr}{Re^2} \mathbf{T} \mathbf{k} \quad (2)$$

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

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) C = \frac{1}{Re Sc} \Delta C - aw \quad (4)$$

$\mathbf{V}$ :速度ベクトル、 $P$ :圧力、 $T$ :温度、 $C$ :水蒸気量、 $t$ :時間、 $Re$ :レイノルズ数、 $Pr$ :プラントル数、 $Gr$ :グラスホフ数、 $Sc$ :シュミット数、 $k, w$ :鉛直方向単位ベクトルと速度、 $a$ :適当な定数

本研究では、実際の動粘性係数から求めた  $Re = 11904$  で計算した。これらの方程式を FS(フラクショナル・ステップ)法を用いて計算した。FS法とは、まず (2) 式の圧力項を除いた式を速度について 3 次精度の上流差分で近似し、時間微分項から  $\delta t$  秒後の仮の速度ベクトル  $\mathbf{V}^*$  を求める。圧力は仮の速度を使ってポアソン方程式  $\Delta P = \frac{\nabla \cdot \mathbf{V}^*}{\delta t}$  から計算する。さらに、求めた仮の速度と圧力を用いて次の時間ステップの速度、温度、水蒸気量を求める。これを時間的に繰り返して計算をおこなっていく。

### 4.2 湿度の計算

湿度は以下の 3 式を使用して求めた。  
飽和水蒸気圧  $E(hPa) = 6.11 \times 10^{\frac{7.5T}{T+237.3}}$   
飽和水蒸気量  $A(g/m^3) = \frac{217E}{T+273.15}$

$$\text{湿度 } H(\%) = \frac{C}{A}$$

### 4.3 境界条件

壁は速度に関して、すべりなし条件  $(u, v, w) = (0, 0, 0)$  とする。またドアがあると仮定した箇所の下 3cm は自由流出としてひとつ内側の格子点の値と等しく取った。すなわち、 $(u_i, v_i, w_i) = (u_{i-1}, v_{i-1}, w_{i-1})$  とした。温度と水蒸気量に関しては断熱条件 (垂直方向微分が 0) とする。

## 5 結果

### 5.1 エアコンの効果

まず、加湿器がない状態で、エアコンのみの影響による温度変化を見ることでエアコンの効果を確認した。エアコンがある断面での0分後、2分後、60分後の温度分布を図3に示す。黒い線はエアコンの送風による速度ベクトルである。60分後には暖房設定温度の23℃付近の温度になっており、エアコンの効果が確認できた。

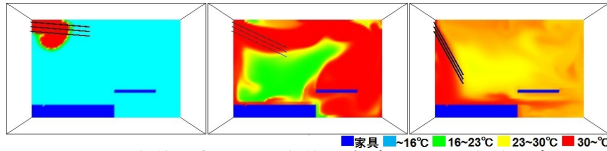


図 3: 0分後 (左)、2分後 (中央)、60分後 (右)。

### 5.2 湿度分布

エアコンが稼働する室内で

1. 加湿器がないとき
2. 加湿器をミニテーブルの上に置いたとき
3. 加湿器をチェストの上に置いたとき
4. 加湿器を本棚の上に置いたとき

の湿度分布を3次元で表した。図4はエアコンと加湿器を同時に稼働して60分後の様子である。窓と加湿器の周りは湿度が高く、エアコン付近は湿度が低くなった。また、加湿器から出る水蒸気は冷たく下に向かって拡散されるため、下方の湿度が上昇した。

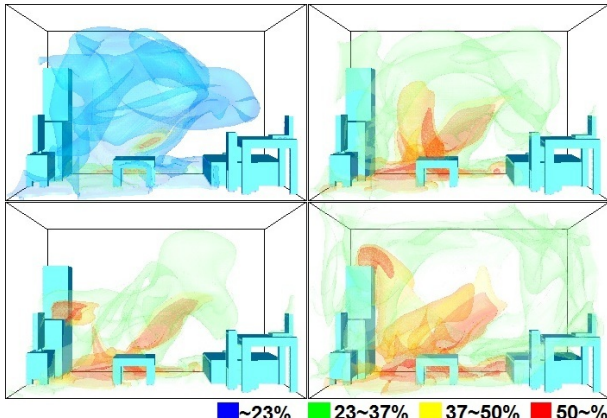


図 4: エアコンと加湿器を同時に稼働してから60分後の湿度分布。1. 加湿器なし (左上)、2. ミニテーブルの上 (右上)、3. チェストの上 (左下)、4. 本棚の上 (右下)。

## 6 考察

高さ0.6m~1.5mを呼吸区域と定め、呼吸区域内の温度と湿度の時間変化をグラフにした(図5)。横軸が時間でフルスケールは60分、グラフが波うっているのはエアコンのスイングの影響である。最初15℃であった室温が、加湿器の有無に関わらず22℃付近まで温度上昇が確認できた。一方、36%あった湿度が、加湿器が無い場合は60分後に21.1%まで下がった。加湿器をつけることにより、つけなかったときと比べ11.9%~16.1%の湿度の違いはみられるが、エアコンによる温度上昇の影響が強すぎるため最初の湿度36%から著しい湿度変化は見られなかった。

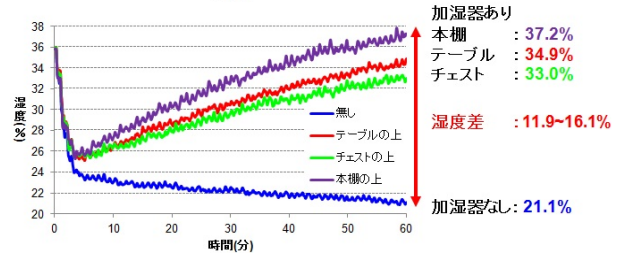
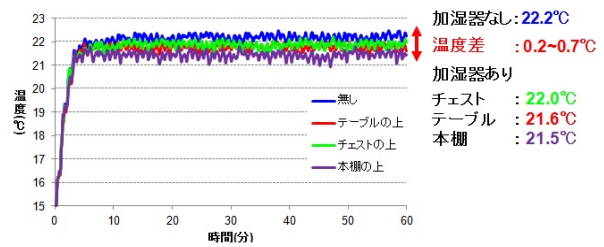


図 5: 設定温度23度のエアコンが稼働する室内での呼吸区域内の温度変化(上)と湿度変化(下)。

## 7 結論

設定温度23℃のエアコンが稼働する室内と停止している室内で、それぞれ1. 加湿器がないとき、2. ミニテーブルの上、3. チェストの上、4. 本棚の上に加湿器を置いたときの4通りで60分後の温度と湿度を図6に示す。

	エアコン設定23℃のとき		エアコン停止のとき	
	温度℃	湿度%	温度℃	湿度%
0.加湿器なし	15℃→22.2℃	35.8%→21.1%	15℃→14.0℃	35.8%→35.0%
1.ミニテーブルの上	21.6℃	34.9%	13.9℃	49.8%
2.チェストの上	22.0℃	33.0%	13.7℃	49.3%
3.本棚の上	21.5℃	37.2%	13.8℃	48.4%

図 6: エアコンの有無による温度と湿度の変化。

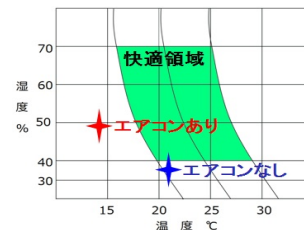


図 7: 快適領域。

エアコンが稼働しているときは本棚の上、停止しているときはミニテーブルの上に加湿器を置く最も湿度の上昇がみられた。この結果から、室内の空気の流れが強い(エアコンが稼働している)ときは流れの影響が強い場所(今回は上方の本棚)、室内の空気の流れが弱い(エアコンが停止している)ときは呼吸領域の中心付近に加湿器を設置するのがよいと考えられる。また、人が快適に過ごせる快適領域は図7の緑色の部分である。横軸は温度、縦軸は湿度である。今回のパターンをこの図にあてはめると、エアコンが稼働しているときは赤い印、停止しているときに青い印の位置になり、どちらの場合も快適領域内に入らないという結果になった。今回参考にしたモデルは8畳用の0.31/hの加湿器だが、室内の湿度と温度を快適に保つためにはより加湿量の大きい加湿器を使用する必要があることが分かった。

## 参考文献

- [1] 河村哲也：流体解析、朝倉書店、2006
- [2] 河村哲也、渡辺好夫、高橋聡志、岡野覚：流体解析、朝倉書店、2002