

課題名 (タイトル) :

ヒト上気道の気流計算

利用者氏名 : 世良 俊博

所属 : 和光研究所 基幹研究所 先端計算科学研究領域
システム計算生物学研究グループ 生体力学シミュレーション研究チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

上気道は呼吸によるガス交換流路の一部を担っている部位で、上、中、下鼻道、およびそれらをつなぐ総鼻道（鼻腔）や声帯などから構成される複雑な 3 次元形状を特徴とする。特に鼻腔については、近年では CT や MRI などの医療画像から 3 次元実形状が再構築され、鼻腔の持つ嗅覚機能、温度や湿度の調節機能、異物除去フィルター機能などに関連して、鼻腔流れの気流シミュレーションが行われている。従来の鼻腔の複雑形状を対象とした気流シミュレーションは、すべて非構造格子および境界適合格子で構成されたモデルを用いたものであり、その格子生成には高度なノウハウ、多大な労力や時間が必要であった。そのため、呼吸往復流を模擬した非定常流の計算は比較的困難となっているのが現状である。

本研究では、画像自体が持つボクセルを計算格子として、ヒト上気道の気流シミュレーションを行う。この方法では、特別な計算メッシュを作成する必要がなく、直接医療画像を扱うことができる。本研究は、次世代スーパーコンピュータ、臓器全身スケール研究開発チームの呼吸班の一部を担当したものであり、生体力学シミュレーション研究チームで取得した人体データを用いる。

2. 具体的な利用内容、計算方法

計算モデルには、生体力学シミュレーション研究チームで取得・セグメンテーションを行った上気道のモデルを用いる。計算モデルは、頭部から鼻腔や咽頭などの空気が流れる部分を取り除いた部分である。計算空間を上述の鼻腔・副鼻腔から声帯だけでなく、鼻から流出入する気流も計算できるように頭部前方を含めた、十分広い空間を設定する（約 $800 \times 800 \times 800$ ボクセル、図 1）。また、気流シミュレーションには、理研 VCAD チームで開発している V-sphere をベ-

スにしたボクセル法を用いる。入り口条件として喉部位に呼吸を模擬した振動流（最大流量：250 ml/s、1 周期：5 秒）を与える。

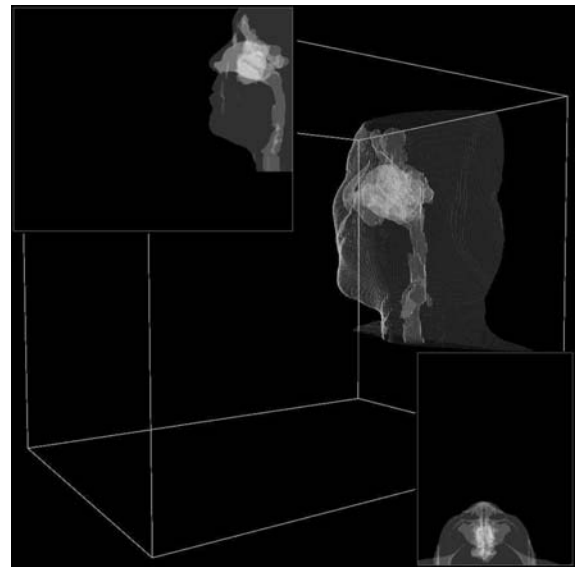


図 1 計算領域

3. 結果

図 2 と 3 に最大吸気流速時と最大呼気流速時の流速結果を示す。鼻腔内での流速は約 4 m/s であるのに対し、最も断面積が小さくなる声帯部分では、約 10 m/s と流速が大きい。今回の計算条件は、安静呼吸を想定しているが、呼気時において鼻から出る流体（鼻息）がまるで噴流のようで、外部計算領域に対する影響が大きく計算領域を広くする必要がある。外部計算境界の条件は流入、流出や周期境界条件などの設定が可能であるが、流体側の条件が振動流であるため上記の境界条件の設定が難しく、本計算ではトラクションフリーを設定している。この場合、流体が外部計算領域と干渉しないことが望ましいが、予想以上に鼻息の影響が大きく、本計算領域では最大呼気終了後に計算が発散してしまう。今後は計算空間を広げて計算を行う必要があるが、計算コストも必要となる。念のため、計算空間を広げた計算も行って見たが、計算途中に発散

することがわかった。これは、コードを見直し早急に解決しなければならない。また、現在は計算空間を均一のボクセルで埋めているが、計算に影響のない部分は大きいボクセルにするなどしてボクセル数を減らし計算コストを減らす必要がある。

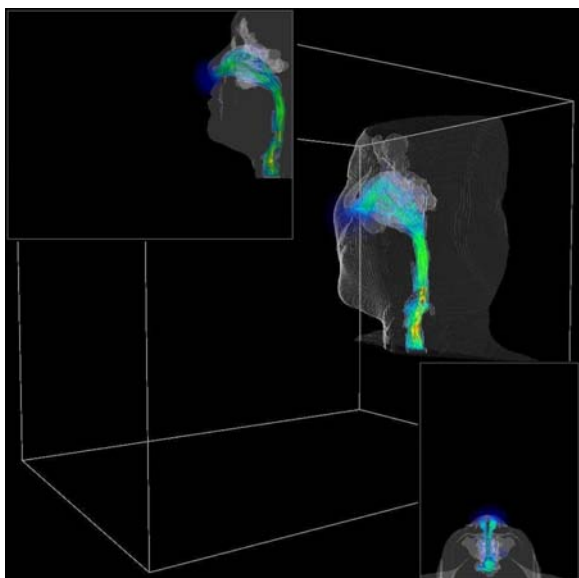


図2 最大吸気時の気流の様子

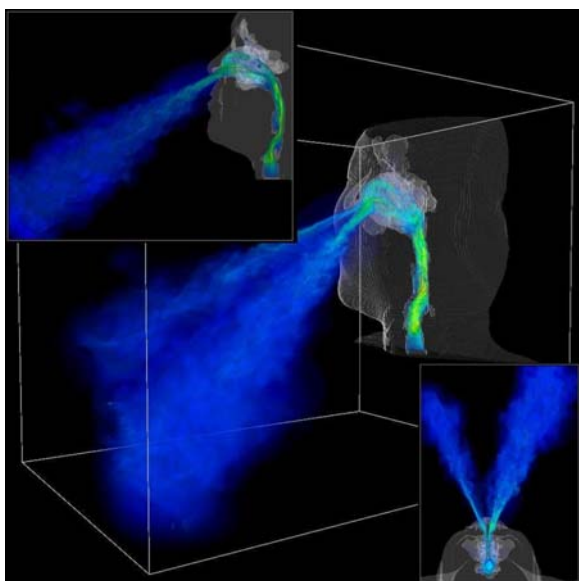


図3 最大呼気時の気流の様子

4. まとめ

複雑な形状である鼻腔内の気流計算をボクセル法を用いてシミュレーションを行った。安静呼吸時においても予想以上に呼気の流量（鼻息）が大きく、広い計算空間が必要ある。

5. 今後の計画・展望

コードを確認して、広い計算空間で安定して計算を

行えるか確認を行う。同時に、均一なボクセルだけでなく AMR 法などの局所的にボクセルの大きさを変える方法を採用する必要がある。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

現在、計算空間を均一なボクセルを埋めた場合でも呼吸 1 周期安定して計算が出来ていない。吸気時の計算は出来ているが（図 2）、呼気時（特に最大呼気流速を超えたあたり）の計算ができていない。呼気時は、計算空間を広げても図 3 以降に計算が発散する。まず、計算コードを確認して、計算空間を均一なボクセルで埋めた場合の吸気・呼気の計算を行う必要がある。その後、計算コストを小さくするような方法を検討する。

7. 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

上記のように呼吸 1 周期分の計算が終了しておらず、十分安定した解を得ることができてない。そのため、コードの確認を行っているため。

8. 利用研究成果が無かった場合の理由

上記のように呼吸 1 周期分の計算が終了していないため、十分安定した解を得ることができてないため。ただし、来年度 8 月に開催される国際会議にはエントリー予定。