

循環器系生体力学シミュレーションのための統合システム

早坂 智明[!], 船曳 淳[@], 松本 昌昭[@], 森 大祐[#], 山口 隆美[#]

[!] 理化学研究所 情報環境室

埼玉県和光市広沢 2-1

e-mail: hayasaka@postman.riken.go.jp

[@] 三菱総合研究所

東京都千代田区大手町 2-3-6

e-mail: funabiki@mri.co.jp, matsumot@mri.co.jp

[#] 東北大学大学院 工学研究科

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 01

e-mail: daisuke@pfs1.mech.tohoku.ac.jp, takami@pfs1.mech.tohoku.ac.jp

我々は、各種の血管疾患の病因の解明、治療の計画や評価、医用機器の設計のために、主として大動脈弓部を中心とする大血管の計算生体力学シミュレーションの研究を進めてきた。その中で、計算生体力学シミュレーションを臨床に応用するために必須の、効率的な形状モデリング手法を開発した。またこれまでの研究成果を踏まえ、計算生体力学シミュレーションにもとづいた血行力学的な解析と各種のリスクの評価を行うための統合システムを開発している。このシステムの狙いは、可能な限りモデリング作業と計算を回避し、リスク評価に要する時間を劇的に短縮することである。

1. Background

計算生体力学シミュレーションは、各種の血管疾患の病因の解明、治療の計画や評価、医用機器の設計のツールとなることが期待されている。しかしながら、計算モデル作成に複雑で慎重な作業が要求されること、計算量が大きいため計算機への莫大な投資が必要であること、既存のソフトウェアは汎用であろうとするあまりシミュレーションの専門家にしか使えないユーザーインターフェイスを持つことなどの問題から、計算生体力学シミュレーションは広く利用されているとは言い難い。特に臨床の場での利用は皆無に近いと考えられる。これらの問題点を踏まえ、計算生体力学シミュレーションを一部の専門家の研究のみならず広く臨床に応用するために、我々は、人間の

空間認知力を活用しモデル作成作業を効率化するプログラム `malmodeler` を開発した。またさらに臨床現場でのモデリングおよび計算を可能な限り回避することを基本として、短時間で各種の血管病のリスク評価を行うための統合システム『CREAM (Computational Risk Estimation And Management)』を開発している。

2. `malmodeler`

`malmodeler` は、CT や MRI など得られた医用画像から形状モデルをインタラクティブに作成するためのプログラムである [1]。医用画像をポリリュームイメージとして、作成中の形状モデルと重ね合わせて表示する機能を持つ。最近の廉価で強力なグラフィックスハードウェアを利用し、『普通の』 PC でも実用的な速度で動作する。ウィンドウパラメータの調整 (ブライツネス、コントラスト、スレッシュヨルドなど)、投影オペレータ (over、MIP など) の変更などがインタラクティブに可能であり、空間的な血管走行や形状が分かりやすく提示された環境下で、人間の空間認知力を活用した直感的なモデリングが可能である。任意のトポロジーのポリゴンメッシュ、サブディビジョンサーフェイスにもとづいた複数編集解像度のメッシュ、センターラインとその直交断面での形状で表現された管状のメッシュ、などを編集対象のモデルとして扱うことができる (図 1,2)。

3. CREAM

モデリングの時間は、`malmodeler` で短縮されたとは言え、大動脈弓部で十分から一時間は必要である。また計算に要する時間は短縮できていないなど、臨床応用の場で日常的に利用するための環境は依然として整っていない。そこで我々は、現場でのモデリングおよび計算を可能な限り回避することを基本として、短時間で各種の血管病のリスク評価を行うための統合システム『CREAM (Computational Risk Estimation And Management)』を開発することにした。

『CREAM』の主要な要件は以下の通りである。

- 計算モデルと計算結果を格納するデータベースを備える。様々な血管走行、形状に対応した計算モデルをあらかじめ作成し、計算も行っておく。
- 新たな患者の血管画像から血管分岐のトポロジーや幾何的な特徴を抽出することができる。抽出されたパラメータにもとづいて類似モデルと計算結果をデータベ

ースから検索し、可視化を行うことができる。

- 必要な場合は新たな形状モデルを作成し、計算格子を生成、計算を行うことができる。モデルの作成には、患者個別の画像から半自動生成されたプロトタイプを利用できる。
- 画像のインポートからトポロジー抽出、トポロジーにもとづいたモデル検索、モデル作成、メッシュ生成、計算、結果可視化までの一連のワークフローを支援する一貫したユーザーインターフェイスを備える。
- CT や MRI など既存のモダリティと、DICOM を通じて連携する。

現時点ですでに概略設計はほぼ終了し、上で述べた要件のうちいくつかについては実装テストを開始している (図 3,4,5)。

4. References

[1] Tomoaki Hayasaka, Ryutaro Himeno, Hao Liu, Takami Yamaguchi, Development of Interactive Modeling System for the Computational Biomechanics Simulation using Medical Imaging Data, Clinical Application of Computational Mechanics to the Cardiovascular System, T. YAMAGUCHI (Ed.), Springer-Verlag, Tokyo, pp.39-42, 2000.

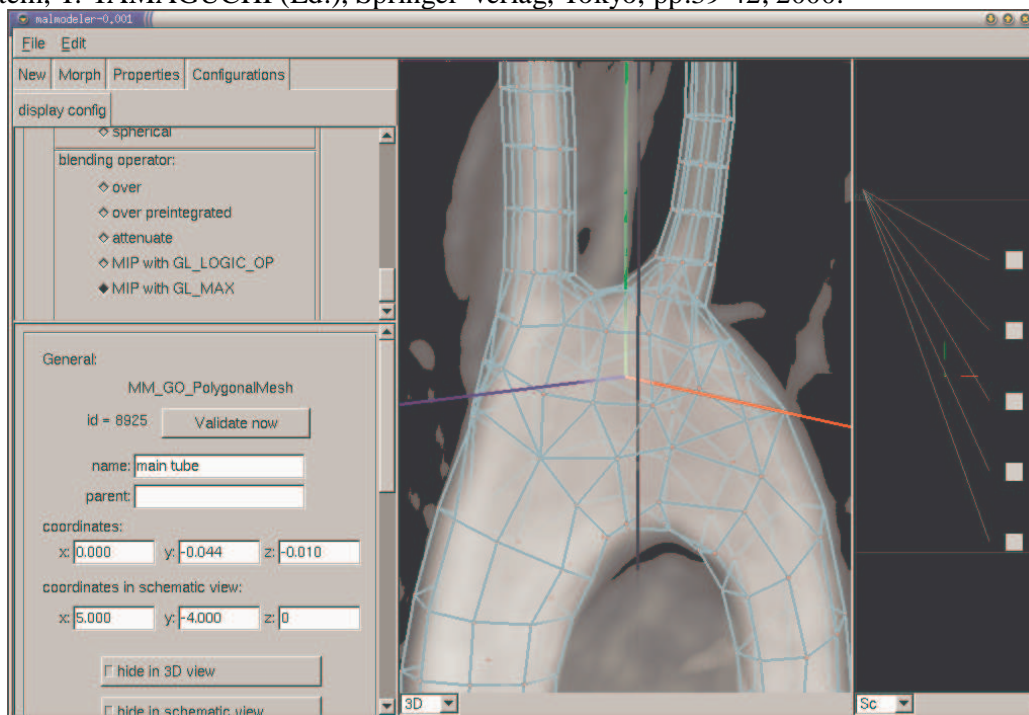


図 1 ポリゴンメッシュによる形状モデル表現と編集操作

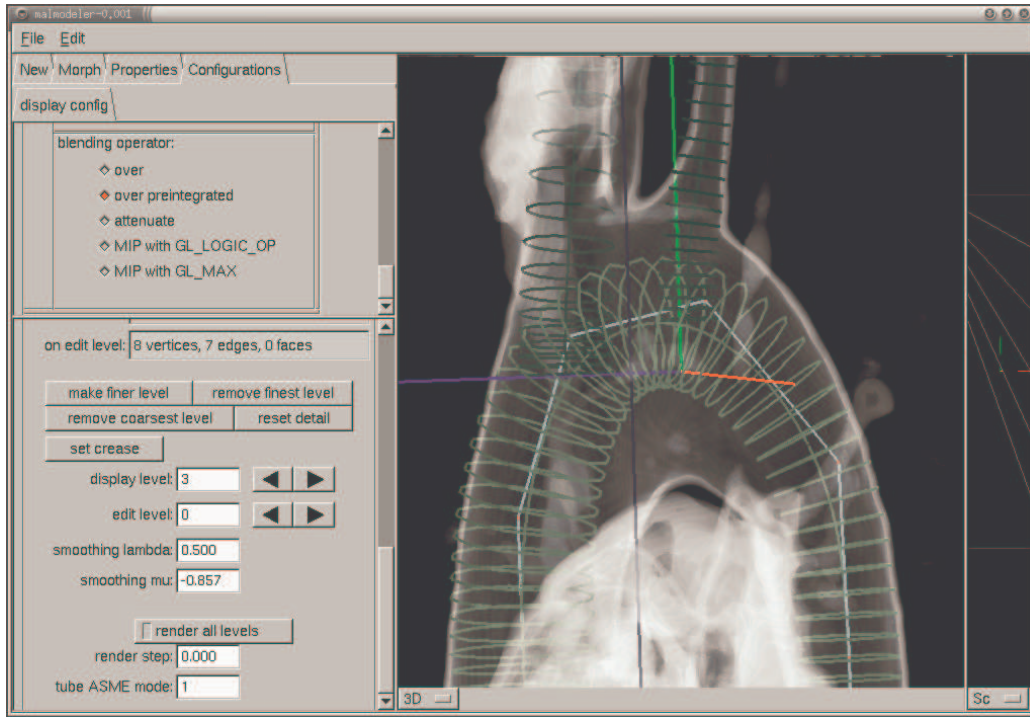


図 2 複数解像度のセンターラインによるモデル表現と編集操作

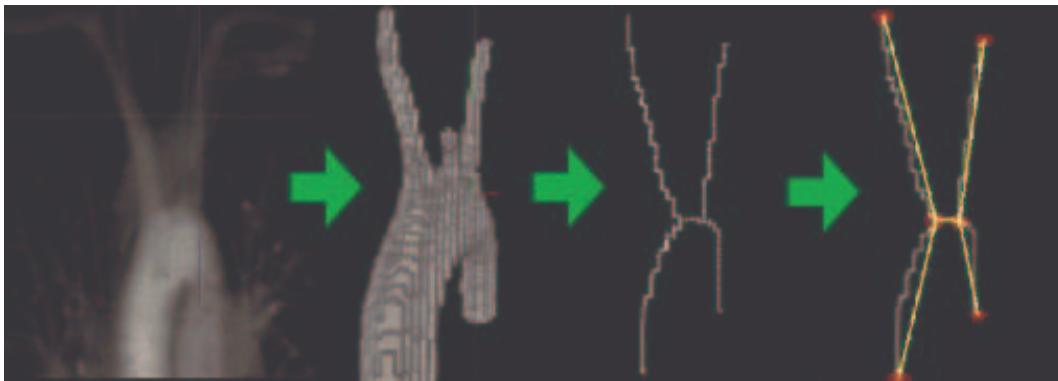


図 3 画像処理による大血管のグラフ化

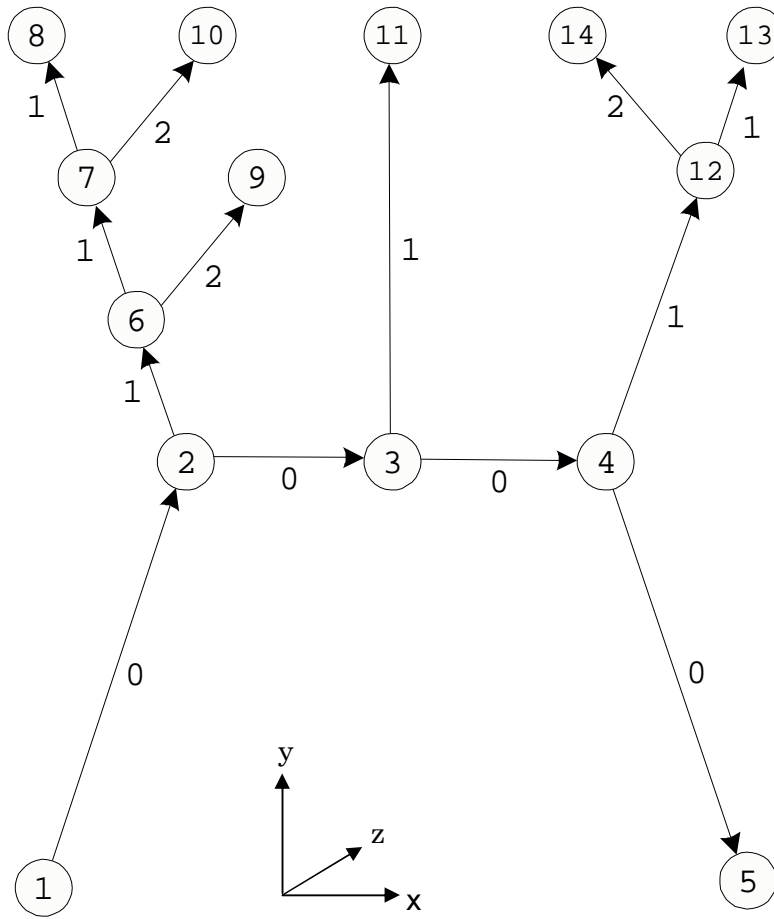


図 4 血管の分岐の有向グラフ表現

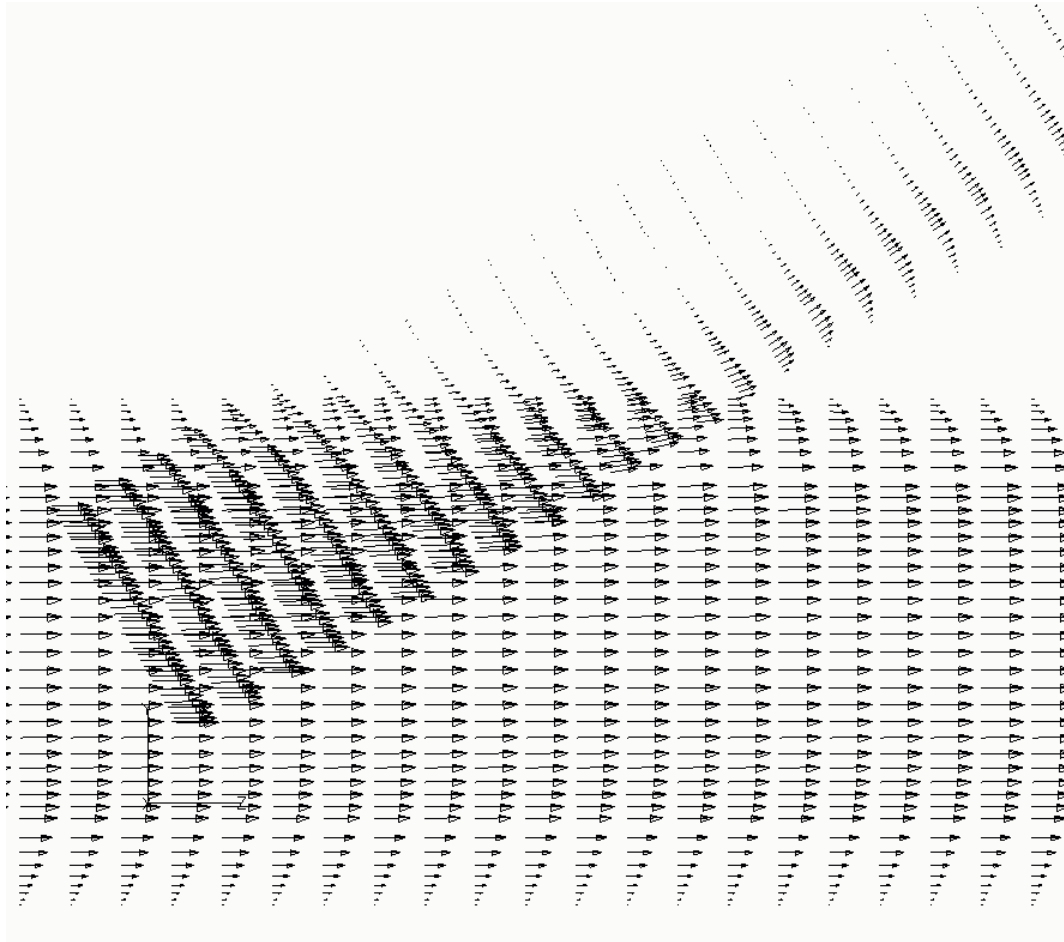


図5 三次元オーバーセットメッシュを用いた有限要素法数値流体シミュレーション