

Web3D における頭蓋骨癒合症手術

Web3D Craniosynostosis surgery

豊島 周
慶應義塾大学 環境情報学部

Shu Toyoshima

Faculty of Enviromental Information, Keio University, Japan

概要

本論文では、WWW(World Wide Web) ブラウザを用いた頭蓋骨癒合症の三次元 viewer を提案する。頭蓋骨癒合症手術は、非常に多種の症例があり、医師は豊富な経験を必要とする。また、医用の三次元 CG は非常にデータサイズの大きい精密なモデルを必要とする。そのため、一般的な PC 上では実行が困難である。そこで、本研究は、独自のモデルの簡略化を実行し、三次元 viewer を構築した。本システムでは、三次元 CG(Computer Graphics) 技術を用いることにより、従来困難であった術式の把握を容易にし、医学生を理解を助けた。また、本システムを WWW ブラウザ上で構築したことにより、一般的な PC 上での閲覧を可能にした。モデルを生成する際に、従来一様にしか実行できなかったモデルの簡略化を、医師の指導を受けながらデータの不要部位のみに実行し、精度を保ちながらデータを軽くし、システムの実行速度を高速化した。

1 はじめに

形成外科手術の一つに、頭蓋骨癒合症 [1] と呼ばれる症例の手術がある。頭蓋骨癒合症とは、頭蓋縫合が病的に早期癒合し、頭蓋内圧亢進、頭蓋変形などの症状を呈する一連の疾患群である。癒合する縫合は一つあるいは二つ以上で、それらの種類と組み合わせによって頭蓋の変形の形態はおおむね規定される。頭蓋骨癒合症手術は、全頭蓋の骨を切断し、矯正器具等を装着して頭蓋変形の矯正、または再建を図る。手術法は、一つの症例に対して様々な手法があり、盛んに研究がなされている。そのため、頭蓋骨癒合症手術は、長年の訓練による熟練した技術と最新の手術法により細心の注意をもって行われる。

術式を学ぶためには、医学生用に書かれた教科書の他にも、実際の手術を写真撮影、もしくはビデオカメラで撮影したものを、モニターを通して見る方法を取るのが一般的である。しかし、頭蓋骨癒合症の症例は、頭蓋の三次元的な変形を伴うため、二次元の写真、ビデオおよび図では理解しづらい。また、患者にとっても写真や図だけでは理解は困難である。

医用の三次元 CG モデルは、高い精度が要求される。精度が高いモデルはデータサイズが大きく、一般的な PC 上では動作が困難である。インタラクティブな動作が困難な三次元 CG モデルでは、三次元 CG の利点を活かしきれない。しかし、データを軽くするために簡略化を実行してしまうと、精度の高さの点で医用モデルとしての条件を満たせなくなる。

そこで、本論文では WWW ブラウザ上で実行できる、頭蓋骨癒合症の三次元 viewer システムを開発した。本システムは、時間軸に沿った四つの三次元モデルと、GUI から構成される。三次元モデルはユーザが自由に視点の角度を変えたり、モデルの大きさを変えることが可能である。三次元モデルを、時間軸に沿ってインタラクティブに参照することで、頭蓋骨癒合症術式の空間的及び、時間的把握が可能となる。本システムは、一般的な PC 上で WWW ブラウザを通して実行することができる。そのため、従来写真や図を用いていたインフォームド Consent を、診察室の PC 上でより簡単に行えるようになる。また、術式の知識および技術を、他の医師が容易に閲覧することができる。

三次元 CG モデルを生成する際、データを軽くするためにモデルの簡略化を実行した。その際、精度を保たせるために、頭蓋骨癒合症手術で精度が必要となる部位を除外して簡略化を実行した。このことにより、モデルの精度の高さとデータサイズの軽さを両立させることができた。

本システムによって、頭蓋骨癒合症の術式を勉強する医学生及び研究医のより良い理解を助けることができる。また、医師間で術式の頒布、交流を行うことができる。

本論文の構成は、以下の通りである。2 章では、まずシステムの構成を述べる。3 章では、CT データから三次元 CG モデルどのように生成したかを説明する。4 章では、システムの実行例をあげる。5 章では、結論と今後の展望を述べる。

2 システムの構成

本システムは、頭蓋骨癒合症手術の経過を追って生成された四つの三次元 CG モデル、と GUI からなる。三次元 CG モデルは XVL(eXtensible Virtual world description Language) 形式である。XVL モデルの WWW ブラウザ上での閲覧のため、プラグインソフトである Lattice Technology 社の XVL Player [3] を使用した。XVL Player によってアニメーションの閲覧のほか、マウスによる XVL モデルの移動、回転、拡大が可能である。XVL モデルのアニメーション制御は JavaScript によって行われる。HTML 内で記述されたボタンが押されると、JavaScript は動かすモデルと XVL ファイル内のフレームを指定する。その情報を XVL ファイルは受け取り、指定されたアニメーションを行う。図 1 にシステムの構成を示す。

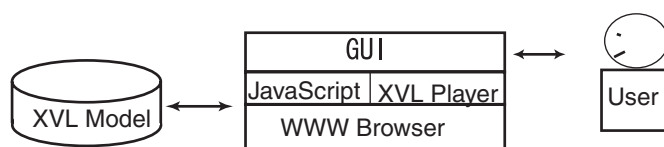


図 1: システム構成

3 モデルの生成

3.1 頭蓋骨癒合症

本システムを作成する際、データは実際の頭蓋骨癒合症患者の CT データを用いた。頭蓋骨癒合症とは、頭蓋縫合が病的に早期癒合し、頭蓋内圧亢進、頭蓋変形などの症状を呈する一連の疾患群である。癒合する縫合は一つあるいは二つ以上で、それらの種類と組み合わせによって頭蓋の変形の形態はおおむね規定される。頭蓋骨癒合症手術は、全頭蓋の骨を切断し、矯正器具等を装着して頭蓋変形の矯正、または再建を図る。本論文で使用したデータは、舟状頭 (scaphocephaly) [2] と呼ばれる症例の患者のもので、前頭部と後頭部が突出して明らかな前後径の延長を呈している。手術法には様々なものがあるが、本データは、頭蓋に切り込みを入れ、矯正器具を用いて頭蓋を広げる骨延長術 [2] と呼ばれる術式のものである。また、本システムで生成したモデルは四つあるが、それぞれ手術前、手術直後、手術一週間後、手術一ヶ月後の CT データから生成した。

3.2 モデル生成における問題

医用の三次元モデルは、高い精度が要求される。精度が高いモデルを生成すると、データサイズは非常に大きなものとなる。データサイズの大きい三次元モデルは、一般の PC での動作は困難である。インタラクティブな動作が困難な三次モデルでは、三次元 CG の利点を活かすことができない。そのため、データサイズを軽くする必要がある。データサイズを軽くするためにリダクションをかけると、精度の高さの点で医用モデルとしては条件を満たせなくなる。

本システムを作成する上で、以上の問題を解決するために必要部位のみを残してリダクションする手法をとった。頭蓋骨癒合症手術で精度が必要な部位とは、頭蓋骨上の幅 2mm 程の頭蓋縫合である。頭蓋縫合の部位を医師の指導を受けながら手動で抽出し、それ以外の部位にリダクションをかけた。

3.3 モデルの生成手順

モデルの生成は以下の手順で行う。まず、実際の頭蓋骨癒合症患者の CT データから、ARS(Automatic Reconstructive System from CT) [8] によって三次元再構成する。ARS とは、CT データを VRML 形式のポリゴンメッシュにして出力するソフトウェアである。ポリゴンメッシュのデータサイズが、モデル生成に使用する PC 上で扱うには大きすぎるため、ARS でモデルを頭部と顔部の半分ずつにして出力する。

次に、ポリゴンメッシュから、MeshToSS [4] によって ppd 形式にする。MeshToSS とは、VRML 形式のポリゴンメッシュを ppd 形式にして出力する、及び、その逆の操作も実行できるソフトウェアである。ppd 形式にしたモデルを ppdsigproc [5] によってスムージングをかける。ppdsigproc とは、スムージングを実行するソフトウェアである。

スムージング後のモデルを、MeshToSS によって VRML 形式に戻し、haniwa modeler [7] で読み込む。haniwa modeler とは、VRML 形式のポリゴンメッシュを XVL 形式のラティスにするソフトウェアである。本論文では、特徴線入力用にディスプレイタブレットインターフェースの利用及び、リダクション機能の拡張 [7] がなされた haniwa modeler を使用した。頭部モデルは haniwa modeler 上で、精度を保持するためにリダクションするべきではない部位の稜線にディスプレイタブレットを用いて QEM(Quadric Error Metrics) [?] の重み付けを行う。QEM とは Garland らが開発した、リダクションの際の評価値であり、任意の稜線 e を除去した場合のモデルに与える影響が大きいほど、QEM も大きい値をとる。本論文では、竹内ら [6] が拡張した手法を、齋藤ら [8] がさらに拡張を加えた手法を利用した。リダクションの最後の行程として、三角形格子から四角形格子へと変換する。

その後、Lattice Technology 社の XVLDesigner [3] で丸め操作を行う。最後に、Lattice Technology 社の XVLComposer [3] で頭部と顔部のモデルを結合させ一つのモデルに生成し直し、モデルの完成となる。本システムでは、以上の行程で生成されたモデルを四つ重ね合わせて表示させる。図 2 にモデル作成の流れを示す。

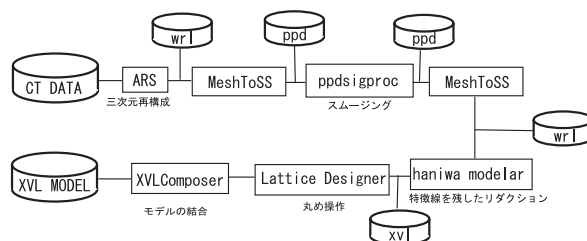


図 2: モデル作成の手順

3.4 アニメーションの作成

Lattice Technology 社の XVLDirector [3] を用いて、XVLPlayer のキーフレームアニメーション機能による、透明度が変化するアニメーションを作成した。このことによって、時間を追って手術の経過が理解できる。また、HTML 内にボタンとリストボックスを数個作成し、JavaScript が XVL モデルの透明度の変化を指定するようにした。ボタンは時間の経過を追う自動アニメーションを実行する。リストボックスは透明度をユーザが任意で指定して、任意の時間軸で比較できる。

4 実行例

図 3 に実行例を示す。システムには、ユーザ任意の移動、回転、スケーリング以外に視点変更のボタンを設けた。Top、Face、Angle のボタンを、それぞれ押すことによって、上、正面、斜めからと視点を切り替えることができる。視点変更ボタンの下に、手動のアニメーションの Man Anim ボタンを配置した。ボタンを一回押すごとに、モデルの透明度が変化していき、手術の経過をたどることができる。手動アニメーションの下に配置されているのが、自動で手術経過のアニメーションのを実行する Anim1-2、Anim2-3、Anim3-4 ボタンである。それぞれ、手術の経過をたどって作成されたモデルの透明度が変化していくアニメーションを実行する。一番下には、ユーザが任意でモデルの透明度を ON から OFF まで十段階で変更できる、リストボックスが四つ配置されている。ユーザは、時間軸にとらわれることなく自由に比較することができる。

図 3 はユーザが任意にリストボックスで透明度を変更し、手術前と手術直後のモデルを重ねて表示させたところである。手術直後のモデルの透明度を上げてあるため、内側に入り込んでいる手術前のモデルが透けて見える。手術により骨延長器を装着して頭蓋を広げたため、頭蓋内の容積も大きくなっているのが分かる。

図 4 に稜線を表示させたモデルを示す。精度が必要となる、切り込みを入れた部分の格子が細かく、それ以外の部分は粗い格子になっている。また、精度が不要な部分は四角形格子になっているのが分かる。

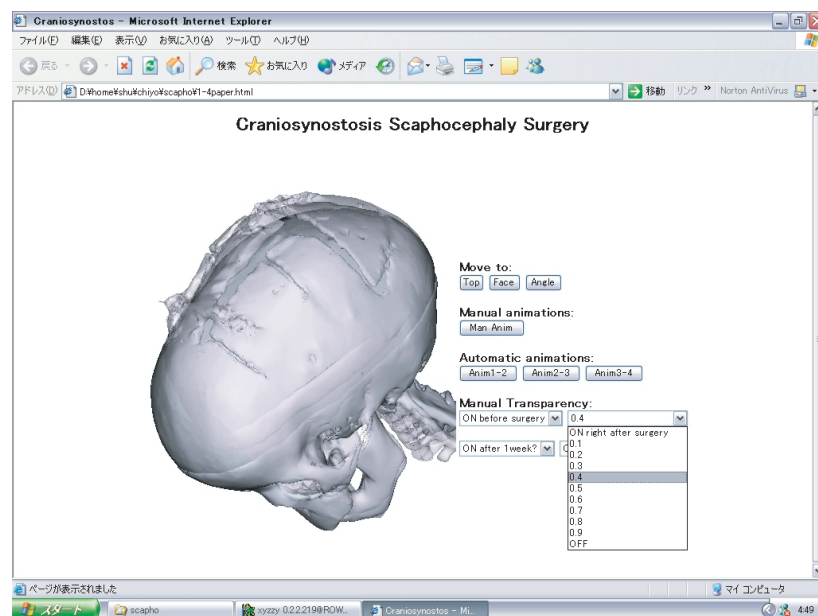


図 3: システムの実行例

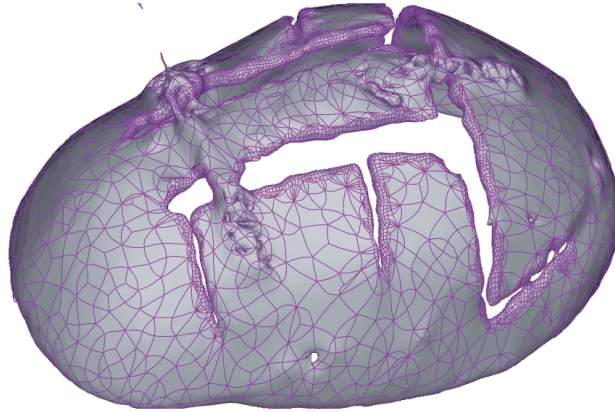


図 4: 稜線を表示させたモデル

5 結論

本論文では、WWW ブラウザ上での三次元頭蓋骨癒合症 viewer を提案した。本システムでは、三次元 CG モデルによって、ユーザが自由に視点の角度を変えたり、モデルの大きさを変えることが可能になった。また、WWW ブラウザを通して実行することができるので、インフォームドコンセントの実行、術式の頒布が容易になった。モデルを生成する際に、精度が必要な部位を除いてリダクションした。そのため小さいデータサイズながら、実際に医用に使用されているソフトウェアによって生成されたモデルと比べても遜色の無い精度を得られた。実際に医師の方に使用して頂き、三次元的な把握が容易なため、骨延長による頭蓋内の容積が広がっているのが分かりやすいとの評価を得た。本システムを用いることにより、頭蓋骨癒合症の術式を勉強する医学生及び研究医のより良い理解を助けることが可能になった。

今後の展望及び、課題としては、より軽いデータのモデルの生成である。モデルを四つ重ねて表示させているために、実行速度は問題の無いレベルであるが、読み込み時間の短縮が必要となる。また、より精度の高いモデルの生成も挙げられる。本論文のモデルでは、教育用としてのレベルとしては問題は無いが、実際に医療現場での使用は、信頼性の点でまだ至らない。

謝辞

日頃から御指導頂いている、慶應義塾大学環境情報学部の千代倉弘明教授に感謝致します。慶應義塾大学医療看護学部の小林正弘助教授には、医療現場に即した助言と、貴重なデータと頂き、貴重な研究の機会を与えて下さったことを感謝致します。慶應義塾大学環境情報学部の金井崇専任講師には、本システム開発におけるツールを提供して頂いた上、貴重な助言を頂き感謝致します。システム開発及び論文執筆に

において、御指導を下さった慶応義塾大学政策・メディア研究科博士課程の脇田玲氏、同研究科修士課程の武部佳文氏に心より感謝致します。また、両氏には本論文のシステム開発のツールをも提供して頂きました。最後に、本論文の基礎となるツールを提供して頂いた、齋藤満昭氏を始めとする千代倉研究室の皆様へ深く感謝すると共に、ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] David,D.J., Poswillo,D. and simpson,D., The Craniosynostosis, Springer-Verlag,(1982)
- [2] Leslie N.sutton, Scott P.Barlett, Ann-Christine Duhaime and Dorothea Markakis, Total Cranial Vault Reconstruction for the Older Child with Scaphocephaly, *Pediatr Neurosurg*,19:63-72,(1993)
- [3] Lattice Technology, <http://www.xvl3d.com>
- [4] Takashi kanai, MeshToSS: Converting subdiviwiion Surfaces form Dense Meshes, 6th International Fall Workshop on Vision, Modeling and Visualization 2001,(2001)
- [5] Gabriel Taubin, A Signal Processing Approach To Fair Surface Design, SIGGRAPH '95 Proceedings, (1995)
- [6] S.Takeuchi, T.Kanai, H.Suzuki, K.shimada and F.Kimura, subdivision Surface Fitting with QEM-based Mesh Simplification and Reconstruction of Approximated B-spline Surfaces, *Pacific Graphics* 2000, pp202-212, (2000)
- [7] 武部佳文, 脇田玲, 千代倉弘明, タブレットインターフェイスを用いたラティス構造のリモデリング, 第17回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, (2001)
- [8] 齋藤満昭, 林隆道, 脇田玲, 千代倉弘明, 医用曲面モデル生成システムの構築, 第17回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, (2001)