

# 高齢者の頭部構造を再現したシミュレーションモデルの構築

西本 哲也

日大工・機械

## 【はじめに】

近年高齢化に伴い高齢者による交通事故が増加している。警察庁交通局<sup>(1)</sup>の報告では交通事故による死亡者の 52.7%を 65 歳以上の高齢者が占めており、高齢者の死亡率は例年増加傾向にある。また交通事故総合分析センター<sup>(2)</sup>の報告では交通事故死亡要因において頭部外傷が最も多く、全体の 46.6%を占めている。これまで日本人の若年者頭部形状を使用したシミュレーションモデルによる衝撃解析<sup>(3)</sup>は行われているが、若年者と高齢者の頭部構造の違いに着目した研究は行われておらず、その傷害発生メカニズムの差異はいまだ明らかになっていない。

本研究では頭部の回転衝撃解析を目的とした有限要素モデルの構築を行った。まず若年男性の頭部 CT 画像を用いて衝撃解析のための若年者頭部モデルを構築し、それを基に修正を行い 58.6 歳の変化した頭部構造を再現することで高齢者頭部モデルの構築を行った<sup>(4)</sup>。本稿ではさらに高齢となった場合として、79.5 歳の脳萎縮率を再現した高齢者モデルの構築を行い 20 代の若年者モデルとの比較を行った。

## 1. 若年者頭部モデルの構築

### 【ボクセルモデル】

モデル構築には画像を積層するボクセル法を用いた。ボクセル法は断層画像のピクセルに厚みを持たせ 3 次元のボクセルへと変換することで、モデルを構築する。ボクセル法は個体差のある身体形状など、CAD 設計図のない複雑な形状のものでも再現が可能であるという利点がある。

### 【画像条件】

ボクセル法によるモデル構築は断層画像が必要となるため、本研究では渡邊ら<sup>(3)</sup>の研究におい

て用いられた若年者頭部 CT 画像データを使用した。画像は 20 代男性の頭部を X 線 CT により水平方向に撮影したもので、解像度は 512×512pixel、撮影間隔は 0.6mm、撮影枚数は 433 枚の DICOM ファイル形式の CT 画像データである。

### 【頭部組織の分類】

モデルを構築する際、力学的特性の異なる頭部組織を区別する必要がある。今回は図 1 に示すように頭部を皮膚、脂肪、眼球、頭蓋骨、硬膜、大脳鎌、小脳テント、脳脊髄液、脳組織、脳室の 11 種類に分類を行った。

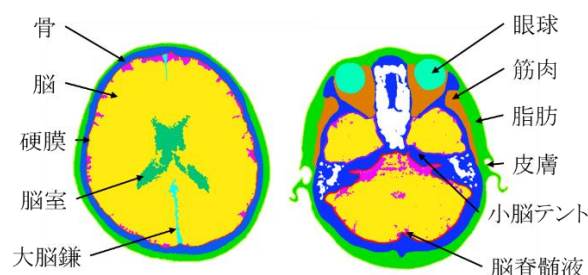


図 1 頭部組織分類

### 【画像処理】

CT 画像は皮膚や筋肉など頭蓋外部の組織は鮮明に写るが、頭蓋内部の脳組織は判別し難いという特徴がある。本研究では CT 画像のみを用いて頭部組織を判別するため画像の明暗であるグレースケールの補正を行った。図 2 に画像処理の工程を示す。頭蓋外部の組織は画像のグレースケールを広域化し、頭蓋内部の組織はグレースケールを狭域化することで組織の判別を可能とした。補正を行った画像において画像処理ソフトにより鮮明化された組織の着色を行った。同一組織を単色で着色することでモデル化を行う際に組織の区別とともに適した材料特性値を設定することが可能となる。着色を行った画像を合成すること

でモデル構築に用いる画像の作成を行った。

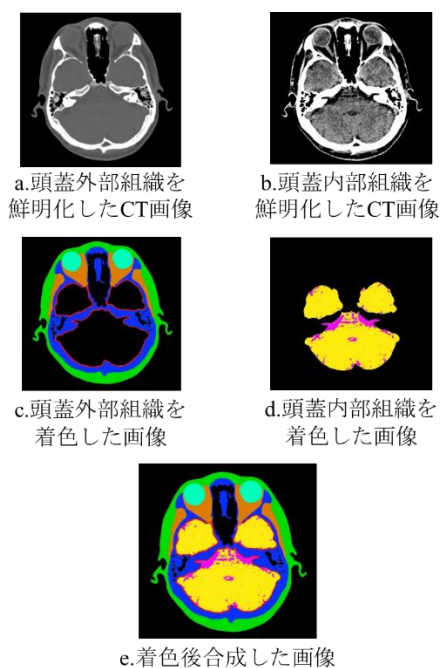


図2 画像処理工程

## 2.高齢者頭部モデルの構築

### 【高齢者頭部特性】

高齢者の頭部特性として加齢による脳の萎縮を用いた。ヒトの脳は誕生と共に著しい成長を遂げ20歳代で形態的に完成形となり、30歳から70歳代までわずかずつ体積減少を示し、80歳を過ぎると急激に体積減少を示すことが確認されている<sup>5)</sup>。図3の頭部矢状断面の模式図に示すように高齢者の頭部は加齢と共に脳の萎縮が進行し、脳脊髄液で満たされた硬膜下腔と脳室が拡大することが確認されている。頭蓋内部には脳と硬膜とを結ぶ架橋静脈が通っており、頭部衝撃時にこの静脈が破綻することで急性硬膜下血腫を発症する。出血が硬膜下腔に溜まり血腫となり、脳を圧迫することで死に至る危険性がある。加齢により脳が萎縮し可動域が拡大することで静脈にかかる負荷が増大し、重度の急性硬膜下血腫を形成する危険性が高まるとされている<sup>6)</sup>。このことから高齢者の加齢による頭部構造の変化が頭部傷害の程度に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

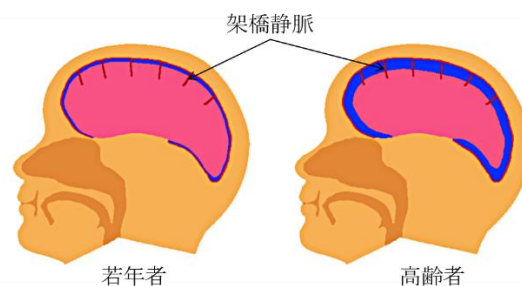


図3 脳萎縮を表した頭部矢状断面の模式図

### 【脳萎縮指標】

高齢者頭部モデルは若年者頭部モデルの組織形状を変化させることで構築する。脳萎縮を表す指標として脳萎縮指数BAI(Brain Atrophy Index)と脳室面積指数VAI(Ventricular Area Index)<sup>7)</sup>を用いた。BAIは頭蓋内面積に対する頭蓋内腔面積を表し、脳萎縮が進行することで増加する。VAIは脳組織面積に対する脳室面積を表し、脳室拡大が進行することで増加する。これらは頭部水平断面画像における硬膜下腔、脳室、脳組織の3つの組織の面積を式(1)、(2)で計算することにより得ることができる。図4に側脳室体部の高さの水平断面画像と算出に用いる組織を示す。

$$BAI = \frac{B}{B + V + S} \quad (1)$$

$$VAI = \frac{V}{B + V} \quad (2)$$

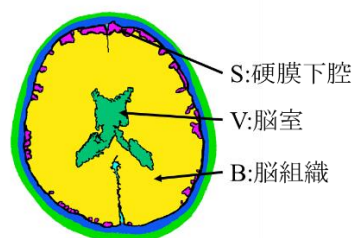


図4 脳萎縮率算出に用いる組織

### 【脳萎縮率の算出】

若年者モデルの構築が像から各組織の面積を測定し、式(1)、(2)からBAI、VAIを計算した。計算によって得た若年者のBAI、VAIと、恒屋ら<sup>7)</sup>の文献より用いた平均年齢79.5歳のBAI、VAIを表1に示す。BAIは大きいほど脳萎縮の進行を表

し、VAIは大きいほど脳室拡大の進行を表す。それぞれの値を比較するとBAIは若年者が9.4%、高齢者が14.3%であり、若年者に比べ高齢者の値が増加しており脳萎縮が進行していることがわかる。VAIは若年者が7.0%、高齢者が12.7%であり、同様に若年者に比べ高齢者の値が増加しており、脳室の拡大も進行していることがわかる。

表1 脳萎縮率

|        | 若年者頭部 | 高齢者頭部 |
|--------|-------|-------|
| 年齢     | 20歳代  | 79.5歳 |
| BAI(%) | 9.4   | 14.3  |
| VAI(%) | 7.0   | 12.7  |

#### 【画像処理】

高齢者の脳萎縮率から、式(1)、(2)を用いて逆計算することにより、脳萎縮が進行している組織の面積を求めた。次に若年者モデルの断面画像において、画像処理により硬膜下腔と脳室を拡大し脳組織を縮小することで図5のように高齢者のBAI、VAIの再現を行った。高齢者は脳室が拡大することで脳が内部から大きく萎縮していることが見て取れる。また硬膜下腔は脳室ほどに大きな変化は表れていないが、脳の外縁部がわずかに萎縮することにより硬膜と密接していた脳組織に間に硬膜下腔が生じた。これにより頭蓋内部での脳の可動性が高まったと考えられる。

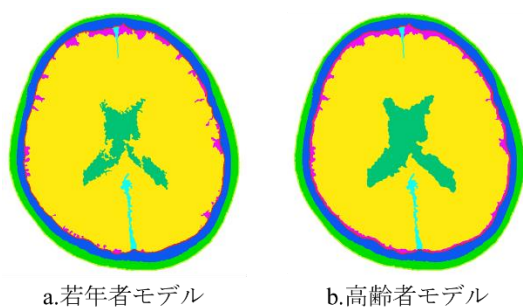


図5 脳萎縮率を再現した頭部水平断面画像

#### 【結論】

本稿では高齢者と若年者の頭部傷害発生の差異を明らかにするための衝撃解析を目的とした頭部モデルの構築について述べた。本モデルでは若年者の頭部の外部形状を保ったまま脳組織の形状のみを変化させているため、頭部衝撃時における脳萎縮の影響を比較することが可能である。脳萎縮と脳室拡大を再現したことで脳の可動性が増大し、急性硬膜下血腫が生じる可能性が高い頭部構造を再現できたと考えられる。現在のモデルは頭蓋内部の脳組織の形状のみを変化させているが、加齢による材料物性値の変化も検討する必要がある。今後は頭部に回転衝撃を与えるシミュレーション解析を行うことで頭部衝撃時における若年者と高齢者の頭蓋内応力の比較を行う。

#### 参考文献

- (1) 警察庁交通局, 平成25年中の交通事故死者数について
- (2) 交通事故総合分析センター, 交通統計
- (3) 渡邊大他, ボクセル法による衝撃解析用人体頭部有限要素モデルの開発と局所性脳損傷の評価シミュレーション, 日本機械学会論文集(A編), Vol.74, No.740, pp.137-146, (2008)
- (4) 鈴木光他, 交通事故傷害解析のための高齢者頭部モデルの構築, 自動車技術会関東支部2014年度学術研究講演会前刷集, D3-5, (2015)
- (5) 大極進他, 加齢に伴う終脳外套の体積の変化, 昭和医学会誌, Vol.57, No.2, pp125-131, (1985)
- (6) 刈部博他, 高齢者頭部外傷の特徴と問題点, 脳神経外科ジャーナル, Vol.3, No.12, pp.965-972, (2014)
- (7) 恒屋昌一他, 高齢者の頭部CTの二次元計測による脳の加齢変化と直立時重心動揺, 埼玉学療法会誌, Vol.4, pp14-19, (1996)