

< 研究課題 >

## 後面衝突事故時の頸部傷害リスクに及ぼす性差の影響に関する数値解析的研究

代表研究者 新潟大学工学部機械システム工学科 助教 プラムディタ ジョナス アディティヤ

### 【まとめ】

日本人成人女性の外形状、関節特性および慣性特性の公開データを用いて後面衝突時における乗員挙動を解析できる女性乗員マルチボディモデルを新たに構築した。また、女性被験者による後面衝突実験を再現し、女性乗員モデルの応答の妥当性を検証した。さらに、先行研究で開発した男性乗員モデルによる解析結果との比較を行い、後面衝突時における乗員挙動に及ぼす性差の影響を明らかにした。

### 1. 研究の目的

#### 1-1 研究背景

自動車事故による軽傷者数は負傷者数の90%以上を占めており、そのうちの59%は頸部傷害を負っている<sup>(1)</sup>。また、後面衝突事故による頸部傷害に関する調査研究では、女性乗員は男性乗員よりも頸部傷害を負う危険性が高く、その差は1.5倍から3倍に達していることが報告されている<sup>(2)</sup>。しかし、この差の原因は未だに不明である。後面衝突時における性差の影響を明らかにすることができれば、頸部保護技術の開発に新たな知見を与えることができると考えている。

頸部傷害の発生リスクを評価する方法として、衝突ダミーや被験者を用いた実験がよく行われてきた。しかし、このような実験はコストが高く、パラメータスタディへの応用は困難である。近年のコンピュータの性能向上により、人体デジタルモデルによる衝突解析が容易に行われるようになった。そこで、日本人成人男性の身体特性を有する乗員マルチボディモデルを開発し、後面衝突時における乗員挙動の解析に応用した<sup>(3)</sup>。しかし、性差の影響を調べるためには女性の身体特性を考慮した乗員マルチボディモデルを新たに構築する必要がある。

#### 1-2 研究目的

本研究では日本人成人女性の外形状、関節特性および慣性特性を用いて後面衝突事故解析のための女性乗員マルチボディモデルを構築し、後面衝突時における男性乗員モデルの応答

との違いを明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究方法と経過

#### 2-1 外形状

後面衝突事故解析では、シートとの接触の再現や外観挙動パラメータ抽出のための解剖学的特徴点の特定の正確さが重要であるため、女性乗員モデルに日本人成人女性の代表的な体形を反映させる必要がある。

そこで、乗員モデルの外形状として、AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003<sup>(4)</sup>の相同モデルデータを用いた。データベースの中から日本人成人女性の50<sup>th</sup>ileに近い被験者のモデルデータ(身長158.7 cm, 体重51.6 kg)を選定し、このモデルを頭部、頸部、胸部、腹部、腰部、上腕部、前腕部、大腿部、下腿部、手部および足部の17個の体節に分割した。各体節を連結するために16の関節(頭部-頸部、頸部-胸部、左右肩関節、左右肘関節、左右手関節、胸部-腹部、腹部-腰部、左右股関節、左右膝関節、左右足関節)を定義した。そして、HyperMesh (Altair Engineering Inc.)を用いてシートに座った姿勢になるように形状変化させ、このポリゴンモデルを女性乗員モデルの外形状(図1)とした。なお、各体節を剛体として定義した。

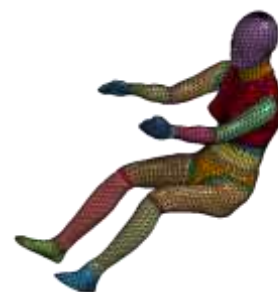


図1 女性乗員モデル

#### 2-2 関節特性

後面衝突を受けた乗員挙動を再現できる乗員モデルを得るためには、各関節における関節特性のモデル化が重要であると考えている。なお、本研究では、非常に速い現象を扱うため、

筋肉の働きによる能動的運動を無視できるものとし、関節の受動抵抗のみを考慮することとした。

各関節に矢状面上の回転のみを許すヒンジジョイントを設定した。人間特性データベース<sup>⑤</sup>の中から日本人成人女性の 50<sup>th</sup> percentile に近い被験者のデータを選定し、左右肩関節、左右肘関節、左右手関節、左右股関節、左右膝関節および左右足関節の受動抵抗と可動域のデータとして定義した。なお、頭部-頸部、頸部-胸部、胸部-腹部および腹部-腰部の関節の受動抵抗と可動域については、先行研究<sup>③</sup>を参考に設定を行った。さらに、関節の回転速度の変化に伴い受動抵抗も変化するため、先行研究<sup>③</sup>を参考に各関節の回転速度と減衰モーメントの関係を定めた。

### 2-3 慣性特性

乗員モデルの各体節は外形状のみを表現するシェル要素から構成されており、体内の筋肉や骨などがモデル化されていない。そのため、各体節の慣性特性を与える必要がある。

乗員モデルの慣性特性を推定するために、阿江らにより提案された回帰式<sup>⑥</sup>を活用した。各体節の部分長および体重を用いて質量中心位置、質量および慣性モーメントを算出し、乗員モデルの各体節に設定した。ただし、乗員モデルの体幹部の体節（頸部、胸部、腹部、腰部）の数が回帰式の数（上胴、下胴）よりも多いため、先行研究<sup>③</sup>を参考に体幹部の各体節の慣性特性を算出し、乗員モデルの体幹部の各体節に割り振った。

### 2-4 妥当性検証

乗員モデルの妥当性を検証するために、Carlsson らによる被験者実験<sup>⑦</sup>を再現し、実験結果と解析結果を比較した。この被験者実験では、スレッド試験装置に特殊なシートを取り付け、そのシートに座った女性被験者（8名、平均身長 166 cm、平均体重 60 kg）に後面衝突を模擬した衝撃を与えた。この実験から後面衝突時における女性乗員の代表的な頭部、頸部、体幹の相対運動を取得できた。

数値解析では、被験者実験で使用されたシート（シートバック部分を剛体パネルとウレタンフォームに変更した自動車シート）と同様の特性をもったシートモデルを構築し、このシートモデルに女性乗員モデルを座らせ（図 2）、被験者実験から得られた加速度波形（図 3）をシートモデルに与えることにより、被験者実験の再現解析を行った。シートモデルと乗員モデルとの接触定義は、先行研究<sup>③</sup>で使用した接触定義と同様である。

解析結果から T1（第一胸椎）に対する頭部の相対変位および T1 に対する頭部の相対回転角を算出し、被験者実験の結果と比較した。なお、本研究では有限要素解析ソルバーとして LS-DYNA Ver.971（LSTC Inc.）を用いた。



図 2 被験者実験の再現解析

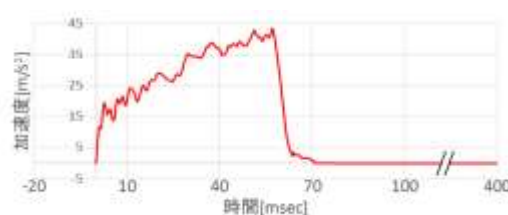


図 3 実験再現解析に用いた衝撃加速度

### 2-5 男性乗員モデルとの比較

後面衝突時における乗員挙動に及ぼす性差の影響を調べるために、同様の条件下において女性乗員モデルと男性乗員モデルによる後面衝突解析を行い、両モデルの応答を比較した。



図 4 男性乗員モデル<sup>③</sup>



図 5 自動車シート有限要素モデル

男性乗員モデル（図 4）は日本人成人男性の 50<sup>th</sup>ile（身長 171.4 cm, 体重 63.0 kg）の体形を有しており、女性乗員モデルと同様の方法で構築したモデルである<sup>(3)</sup>。衝撃条件は検証で用いた加速度波形（図 3）とし、シートモデルは米国 NCAC が公開した Ford Taurus のシート有限要素モデル（図 5）とした<sup>(8)</sup>。

### 3. 研究の成果

#### 3-1 女性乗員モデルの外観挙動

解析結果から得られた乗員モデルの外観挙動を図 6 に示す。0~50 msecの間では、シートバックの変形により目立った挙動がみられなかったが、50 msec 付近において頭部の屈曲が発生していることが確認できた。50~100 msecの間では、体幹の突き上げにより脊椎の直線化が発生していることが確認できた。また、このフェーズにおいて頭部の後退（後方平行移動）もみられた。100~150 msecの間では、頭頸部の伸展が発生しており、150 msec 付近において頭部がヘッドレストに衝突し、前方へリバウンドを開始していることが確認できた。

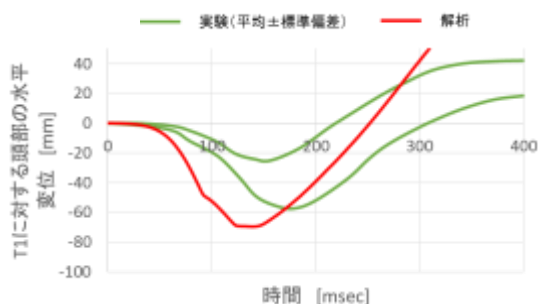
以上より、乗員モデルが後面衝突時における典型的な乗員挙動<sup>(3)</sup>を定性的に再現できることが示された。



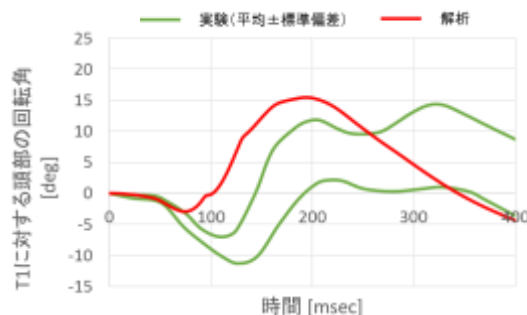
図 6 女性乗員モデルの外観挙動

#### 3-2 検証結果

図 7 に女性乗員モデルと女性被験者の T1 に対する頭部の相対変位および相対回転角の比較を示す。ピーク値とピーク時間に相違が見られたが、女性乗員モデルの挙動と女性被験者の挙動の傾向は概ね一致していることがわかった。つまり、女性乗員モデルは後面衝突に対する女性乗員の応答の予測に利用できると考えられる。女性乗員モデルと女性被験者との差は、女性乗員モデルの各体節が剛体であったことと並進運動を再現できないジョイントを用いたことによるものであると考えられる。また、女性乗員モデルと女性被験者の間における身長や体重の差も乗員挙動の違いの原因の一つであると考えられる。

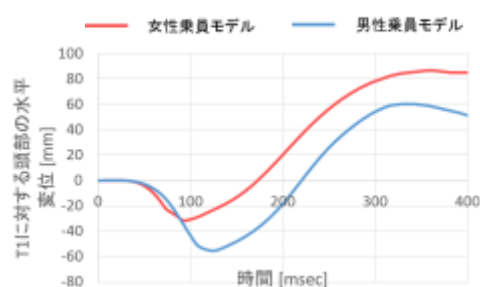


(a) T1 に対する頭部の水平変位

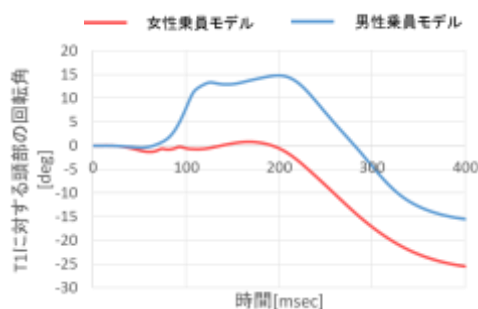


(b) T1 に対する頭部の回転角

図 7 女性乗員モデルと女性被験者の頭頸部挙動の比較



(a) T1 に対する頭部の水平変位



(b) T1 に対する頭部の回転角

図 8 女性乗員モデルと男性乗員モデルの頭頸部挙動の比較

#### 3-3 乗員挙動に及ぼす性差の影響

図 8 に女性乗員モデルと男性乗員モデルの T1 に対する頭部の相対変位および相対回転角の比較を示す。女性乗員モデルの応答は男性乗

員モデルよりもピークが早く発生し、その値も低いことがわかった。この傾向は被験者実験<sup>(7)</sup>から得られた結果とほぼ一致している。また、女性乗員モデルには頭部の回転運動がほとんど見られなかった。これは女性乗員モデルの方が男性乗員モデルよりもヘッドレストまでの距離が短い(図9)ためであると考えられる。

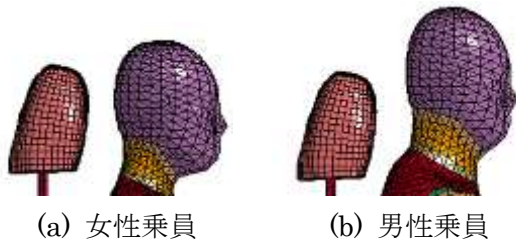


図9 ヘッドレストと頭部の位置関係

#### 4. 今後の課題

今後の課題として以下のことが挙げられる。

- 1) 女性乗員モデルの妥当性を検証するために、欧州の研究チームが公表した実験データを用いていた。乗員モデルと被験者の体型等が異なっているため、日本人成人女性の被験者による実験データに対して検証を行い、乗員モデルの信頼性を高める必要があると考えている。
- 2) 後面衝突解析では、被験者実験の加速度波形を使用していた。実際の事故時の衝撃条件に近づけるために、より高い衝突速度域での解析を行い、衝突速度の異なる条件下における性差の影響を調査する必要があると考えている。
- 3) 本研究は頭部、頸部、体幹の相対運動に着目しているが、頸部傷害の発生リスクを適切に評価するためには、傷害クライテリアや内部パラメータの比較も実施する必要があると考えている。

#### 5. 研究成果の公表方法

本研究の成果は、自動車衝突安全や傷害バイ

オメカニクスに関する国際会議で発表し、国際英文誌に投稿する予定である。

#### 6. 参考文献

- (1) 日本損害保険協会, 自動車保険データにみる交通事故の実態 - 提言と主な対策 - (2009年4月~2010年3月), 2011.
- (2) Linder, A., et al., "ADSEAT - Adaptive seat to reduce neck injuries for female and male occupants", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol.48 (2012), pp.1907-1922.
- (3) Pramudita, J.A., et al., "Development of an occupant multi-body model based on Japanese male characteristics data for rear impact analysis", *International Journal of Crashworthiness*, Vol.19, No.2 (2014), pp.182-195.
- (4) 河内まき子・持丸正明, 2006: AIST/HQL 人体寸法・形状データベース 2003, 産業技術総合研究所 H18PRO-503.
- (5) 製品評価技術基盤機構, 人間特性データベース, 2009.
- (6) 阿江通良・他2名, "日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定", *バイオメカニズム*, Vol.11 (1992), pp.23-33.
- (7) Carlsson, A., et al., "Female volunteer motion in rear impact sled tests in comparison to results from earlier male volunteer tests", *Proc. of 2008 IRCOBI Conference*, (2008), pp. 461-464.
- (8) Pramudita, J.A., et al., "Numerical analysis of vehicle occupant responses during rear impact using a human body model", *Applied Mechanics and Materials*, Vol.566 (2014), pp.480-485.

以上