

## 負荷評価のための脊柱構造に着目した人体モデルの構築

伊藤 秀一<sup>†</sup> 清水 英臣<sup>†</sup> 野村 明美<sup>†‡</sup> 佐藤 貴子<sup>‡‡</sup> 有澤 博<sup>‡‡</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>‡</sup> 横浜市立大学医学部看護学科 〒236-0027 横浜市金沢区福浦 3-9

<sup>‡‡</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: {shuichi,shimizu,anomura,sugar}@arislabs.ynu.ac.jp, arisawa@ynu.ac.jp

**あらまし** 本論文では人体の動きを正しく表現でき、かつ定量的な評価を行うことが出来る人体モデルを提案する。一般的によく用いられる剛体リンクモデルでは、体幹を一つの剛体として扱い肩関節中心の移動などを考慮していないため、正確な姿勢・動作の定量的な評価を行うことが出来ない。しかし、介護動作や荷物を持つ動作などでは体幹の姿勢は重要であり、姿勢の解析および力学解析に大きな影響を与える。そこで本研究では脊柱の湾曲や特徴点といった医学的な知識に着目して人体をモデル化し、提案したモデルによる評価システムの構築のために体格や姿勢に関する情報をどのように形式化すべきかについて考え、提案するデータ構造に基づいてモデリングを行った。また、提案したシステムについて、看護師や学生等の介助動作データを用いて検証し有用性を確かめた

**キーワード** 人体モデル、情報人間工学、介護

## Construction of the human body model that paid attention to structure of spine for load evaluation

Shuichi ITO<sup>†</sup> Hideo SHIMIZU<sup>†</sup> Akemi NOMURA<sup>†‡</sup> Takako SATO<sup>‡‡</sup> and Hiroshi ARISAWA<sup>‡‡</sup>

<sup>†</sup> Department of Information Media and Environment Sciences, Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

<sup>†‡</sup> College of Nursing in the School of Medicine, Yokohama City University

3-9 Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama 236-0027 Japan

<sup>‡‡</sup> Faculty of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501 Japan

E-mail: {shuichi,shimizu,anomura,sugar}@arislabs.ynu.ac.jp, arisawa@ynu.ac.jp

**Abstract** This paper proposes a human-body model which represents precise motions of each body-component, and enables us a quantitative evaluation. The traditional human-body model uses a solid body-trunk model, as a result, it cannot represent the curve of the spine and the shift of central point in shoulder rotation. However, for instance, in body-assistance situation for patients, the posture of body-trunk plays an essential role. For this purpose, we propose a new human-body model on which we can define the precise posture by using several characteristic values based on the medical knowledge. We designed a prototype system and made an evaluation on it from the viewpoint of adaptability. Several experimental results are also included.

**Keyword** Three dimension human body model, Information-ergonomics, Nursing

### 1. はじめに

人間がよりよい生活を営むために物や環境を人が自然な動きや状態で使えるように設計する、もしくは、人の物理的な形状や動作、生理的な反応や変化などを研究して実際にデザインに活かすものを人間工学というものがある。

我々は人間工学の分野で行われてきたことを、情報

工学を用いて拡張して行う”Info-Ergonomics(情報人間工学)”分野を提案してきた。これは計算機上に人体を詳細にモデル化することで、そのモデルを用いて人体に関する様々なシミュレーション・評価を行う手法である。これによって実際に人体に負担をかけることなく、計算機上で何度も環境を変えてシミュレーションを行うといったことが可能となる。個人の体格に合わ

せた人体モデルを生成し、人体モデルに関節可動域等の個人の体のさまざまな特性を反映させることが出来れば、介護分野やスポーツの分野等において負荷評価・解析を行うことの有用性は計りしれない。

近年、医学分野が抱える問題を情報工学分野の技術で解決しようとする取り組みは広くなされていて、本研究では介護動作時に対する介護者と患者の体にかかる負荷を計測、推定し介護動作の良し悪しを定量的に評価するという目的で人体モデルの構築（モデル化及び、データ形式化）及び、この人体モデルを用いた評価システムについて研究を行った。

介護の分野で動作解析は、重心動揺評価や人間工学に基づいたアンケートなどによる定性的な調査や力学評価の研究が行われている。特に力学評価の研究は動作を2次元とみなしているものが多いため動作そのものを正確に表現できていない、あるいは人体の特性を考慮して評価されていないという問題がある。

さらに従来よく用いられている剛体リンクモデルでは体幹を1つの剛体として表現しているため、正確な姿勢・動作の定量的評価を行うことができない。しかし、動作時における体幹の脊椎1つ1つの動きを取得することは難しい。

そこで、本研究では特に脊柱の湾曲や特徴点といった医学的構造に着目し、少ないパラメータ数で人体の動きを正しく表現することができ、かつ定量的評価が行える3次元人体モデルを提案する。そして、提案するモデルによる評価システムの構築のために体格や姿勢に関する情報をどのように形式化すべきかについて考え、提案するデータ構造に基づいてモデリングを行った。

以降2章では計算機を用いた解析・評価について述べ、3章では脊椎のモデル化及び動作時における脊椎の位置推定、4章では本研究における人体のモデリングについて述べ、5章では提案するモデルを用いた評価の有用性を示すための負荷評価システムの検証について述べ、さらに、6章ではまとめを述べる。

## 2. 人体の解析・評価

人間とその周りの環境や、人間と人間が使う道具・機械との関わり合い、さらに人間の動きそのもの、といった人間の作業に関する研究が昔から盛んに行われてきた。その中でも人間工学は作業時における人体の姿勢や動き、さらに作業時間などの測定や、力学的な近似による定式化により、人体動作に対する評価を行うものである。しかし、人間工学が対象としている分野は非常に広いため、生じる問題やその解決の手法がケースバイケースになってしまうことが多い。また、アンケート調査による基準の設定も行われているが、「苦痛」や「快適でない」といった主観的な評価に留

まるものもあり、それらの原因まで踏み込んだ定量的な評価が行われていないという問題があった。[1]

介護分野においても、立ち上がり時における重心動揺やアンケート調査による主観的かつ定性的な評価、簡易な力学評価が行われている。

特に力学評価の研究は動作を2次元とみなしているものが多く、さらに評価する部分も局所的であるため、人体の特性を十分に考慮しているとは言いがたいという問題があげられる。[2]

そこで我々は人体の動作を十分に表現できる3次元人体モデルを用いた負荷評価、動作解析を目指し、今までも介護動作における腰部の負荷評価等、積極的に取り組んでいる。[3,4]

## 3. 人体モデルを用いた負荷評価システム

我々が考える負荷評価システムは大きくモーションデータ統合取得システム、人体モデルによる解析・評価システム、可視化システムの3要素から成っている。

### 3.1. モーションデータ統合取得システム

人体の動作を計算機に取り込むための要素技術であるモーションキャプチャと、人体から発せられる様々なデータを測定するための測定装置から成るシステムである。

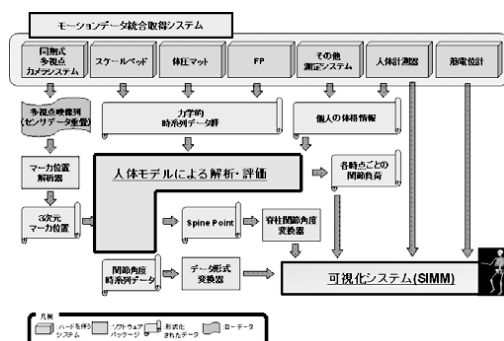


図1. 負荷評価システムの全体図

我々は HelenHayes のマーカーセット[5]を拡張したものをを用いて光学式モーションキャプチャを行っているので、カメラとその他の機器の時間的な同期取得を行うことによってデータの統合化を実現している。

### 3.2. 人体モデルによる解析

計算機上に医学的な知識などに基づき、人体内部の構造や特性をモデリングすることで、人体内部の構造まで踏み込んで、なぜ負荷がかかるのか、その値はどのくらいかといった解析が可能となる。例えば、力学計算を用いることで各関節にかかる力やトルクを各時点について求めるといった定量的な解析が可能となる。

人体モデルの構築については4章で詳しく述べる。

### 3.3. 可視化システム

取得したデータから現実世界を再構築、及び、人体モデルによって解析、評価された結果を入力とすることで、結果をユーザに現実感豊かに提供する部分である。

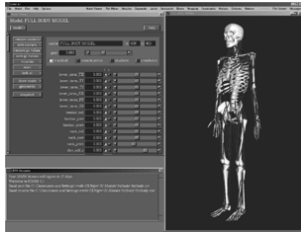


図 2 SIMM

本システムでは結果を SIMM(Musculographics,Inc)を用いて表示している。

### 4. 脊椎のモデル化

従来よく用いられている剛体リンクモデルでは体幹を 1 つの剛体として扱い、肩などの関節中心の移動などを考慮していないため性格な姿勢・動作の定量的評価を行うことが出来ない。しかしながら、動作時における体幹の脊椎 1 つ 1 つの動きを取得することは現実的には難しく、関節自由度の総数が非常に多いことから全関節に対し、時系列的に角度を定義することは非常に多くの労力を要する。

そこで、現実的な手法で脊椎の動作を表現する新たなモデルの提案のために、脊椎の構造を医学的・解剖学的な観点から考察し、脊椎のモデル化を行った。

#### 4.1. 脊椎の構造

脊椎は頸椎 7 個(C1-C7)、胸椎 12 個(T1-T12)、腰椎 5 個(L1-L5)から構成されており、脊椎全体の特徴として湾曲というものがある。直立姿勢における脊椎湾曲と骨盤が理想の状態にある姿勢を基準姿勢と呼んでいる。

次に[基準姿勢]、[前屈、後屈]、[側屈]、[ひねり]時に脊柱がどのような特徴を持つのかについて述べる。[6]

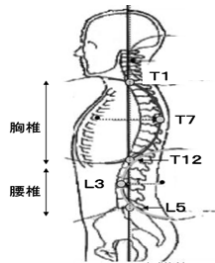


図 3. 立位姿勢時の脊椎 (側面)

- 立位姿勢 (基準姿勢)

第 3 腰椎(L3)は腰椎の中心で、立位の重心位置上にあり、腰部湾曲の最大点である。

第 7 胸椎(T7)は胸椎の中心で、胸部湾曲の最大点で胸椎は T7 を軸に 20 代男性は半径 32~33cm の円のカーブを持つ。

第 1 2 胸椎(T12)は腰椎の湾曲と胸椎の湾曲間の中間点をなし、ねじれの中心といわれている。

また、胸椎と腰椎は水平方向から約 20 度で接しており、腰椎と骨盤との接点は約 30~35 度の角度を持っている。

- 前屈、後屈

- ① L5 と T12 を結んだ x 軸の回転角度が正の方向に基準姿勢から 60 度の時、L3 と T12 の位置は基準姿勢から 60 度の直線上にある。
- ② L5 と T1 を結んだ x 軸の回転角度が負の方向基準姿勢から 60 度の時、T1 と T12 の位置は基準姿勢から 60 度の直線上にある。

- 側屈

- ① L5 と T12 の y 軸の回転角度が基準姿勢から 20 度の時、L5 と L3 の位置は、ほとんど変化せず L1 の位置は基準姿勢から 20 度の直線上にある。
- ② L5 と T1 の y 軸の回転角度が基準姿勢から 40 度の時、T1 の位置は基準姿勢から 40 度の直線上にある。

- ひねり

胸椎、腰椎は独立して回旋させることが難しいため、2 つをまとめた回旋角度で計算させる。腰椎総軸回旋は 5 度、胸椎総軸回旋は 37 度である。

以上のような医学的根拠を踏まえて、本研究ではパラメータとして、第 1 胸椎、第 7 胸椎、第 1 2 胸椎、第 3 腰椎、第 5 腰椎の位置が求めれば姿勢が表現できると考えた。

#### 4.2. 脊椎の位置推定

基準姿勢におけるパラメータとして指定した 5 つの位置は David Kabada の関節中心推定法[3]により求めることができる。

- L5:(x,y,z)は左右骨盤および、臀部マーカーの重心位置
- L3:(x,y)は股関節中心と同じ座標。Z 座標は[身長(mm)\*0.1-75.6](回帰式)より求める。
- T12:(x,y)は L5 と同じ座標。Z 座標は(L3.z-L5.z)\*2 より求める。
- T1:(x,y)は L5 と同じ座標。Z 座標は首を屈曲したとき、一番出っ張る部分の位置とする。
- T7:z 座標は首を屈曲したとき、一番出っ張る部分の位置とする。(x,y)座標を T12,T1 が通る半径約 32cm の円として推定。

また、残りの脊椎の位置はマッパーアルゴリズムを



体格などの被験者間の個人差を反映した静的パラメータと、動作毎によって異なる動的パラメータを階層構造で表現することで、個人特性を反映した動作を表現することが出来る。

### 5.3. 人体モデルの可視化

先ほど示した階層構造に従ったデータを入力とし、SIMM に対応したファイルに変換することで表示を可能にしている。

### 6. システムの評価と考察

今回の提案モデルを用いた評価システムを介護の未経験者(男A:165cm: 55kg)、看護学科の学生(女A:165cm :60kg)、介護歴 6年の経験者(男B:180cm: 80kg)の移乗介助動作の動作データを用いて検証を行った。

被験者には 29 点のマーカーをつけて、床反力計 (2 枚) の上で動作してもらった。

検証には起き上がり動作を行ってもらい、得られたデータを元にモデルを構築し、システムから出力された図 5 のようなデータを動作可視化ソフトに対応したファイルに変換し、表示させた。

図 6 に女 A の介助動作の表示結果、図 7 にそのときの L3,T12,T7,T1 それぞれの前傾(黒)、側屈(灰)、回旋(白)における回旋角の結果を示した。



図 6.介助動作の表示結果(女 A)

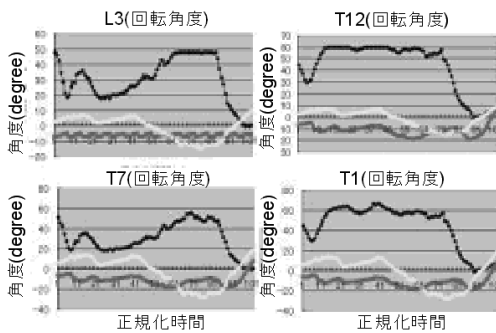


図 7.脊柱の回旋角度(女 A)

同様に図 8 に男 A の表示結果、図 9 に回旋角度を示す。

結果より、経験者(女 A)の方が未経験者(男 A)

に比べ、前傾の角度の最大値が大きく、グラフの波形が一定な間隔が多い(値の変動が少ない)。また、回旋の角度が大きいことがわかった。ボディメカにクスの観点からも介助を行う際に患者に近い位置で体全体を使いながら行うことが重要であり、結果からも同様なことが推測出来た。



図 8.介助動作の表示結果(男 A)

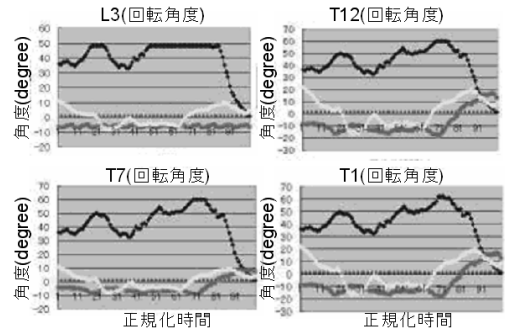


図 9.脊柱の回旋角度(男 A)

このような結果から体幹全体ではなく、各脊椎の状態から姿勢の解析を行うことが出来るようになったといえる。

今後は被験者数を増やしてこのモデルの妥当性及び精度の検証を行うと同時に、筋肉や形状などのモデリング、精度の高い動作取得方法の提案を行っていく必要がある。

### 7. まとめ

脊柱の医学的・解剖学的な構造を用いることで、少ないパラメータで人体の動きを正しく表現でき、かつ定量的な評価が行える 3 次元人体モデルを実現するための動作取得の提案とモデルの要件、すなわち体格や姿勢に関する情報をどのように形式化すべきかについて決定し、それに基づきモデリングを行った。

さらに可視化システムも合わせて、評価実験を行い、システムの有用性を確かめ、今回提案したシステムにより介護動作の定量的な評価実現の可能性を示すことが出来た。

今後は姿勢のみによる評価だけでなく、動作における仕事量やセグメントの時間に対する移動量等を考え

ることで、より多彩な評価方法の確立を行うことで、最適な動作の設計に役立てたいと考えている。

さらに、動作解析において筋肉評価は求められるニーズであるため、筋肉・形状を付加したモデルの構築を行うことが必要である。筋骨格レベルでの詳細な負荷評価・シミュレーションを行うために、自由にカスタマイズ可能な詳細人体モデルのスキームを決定し、実装を行う必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究は横浜市立大学医学部看護学科野村准教授、塚本准教授にご協力いただいた。ここに謹んで敬意を表する。

## 文 献

- [1] 長町三生, 三上行生, 福場良之, 伊藤宏司, 長谷川徹也, 畝正二, 辻敏夫, 西野達夫, 神代雅晴”現代の人間工学”朝倉書店 長町三生 編
- [2] 長谷和徳”介助作業負担の事前評価を目指した身体動作のシミュレーション”バイオメカニズム学会誌 Vol22, No.3(19980801) pp.115-120
- [3] 野村明美, 塚本尚子, 船木由香, 高山弘, 有澤博 “起き上がり援助動作における介護者の腰部負荷評価—経験者と未経験者の比較—” 日本人間工学会, 日本人間工学会第49回大会公演 June 2008.
- [4] 高山弘, 大山英, 佐藤貴子, 有澤博 “3次元人体モデルを用いた介護動作力学解析データベースシステムの構築” 情報処理学会研究報告. データベースシステム研究会報告 IPSJ SIG Notes Vol2007.No.65(20070702) pp.73-78
- [5] Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K., Wootten, M. E. “Measurement of Lower Extremity Kinematics During Level Walking” Journal of Orthopaedic Research Vol 8 383-392.
- [6] 萩島秀男, 嶋田智明”カバンディ 関節の生理学Ⅲ 体幹・脊柱”医師薬出版株式会社
- [7] 佐藤貴子, 坂本和則, 有澤博 “筋骨格レベルの人体記述に基づく動作評価・シミュレーションシステムの構築”情報処理学会論文誌 vol.46 No.3