

# コンピュータマネキンを用いた高齢者の歩行時における 転倒動作のシミュレーション

梅野 譲      福井 幸男      三谷 純      西原 清一

筑波大学大学院システム情報工学研究科

## 1 はじめに

65 歳以上の高齢者において、転倒の年間発生率は 10～20 % であり、そのうちの約 10 % は骨折に至ると報告されている。転倒を経験した高齢者は、たとえ軽傷で済んでも心理面に強い影響を受け、引きこもって不活動の生活に陥り易く、様々な健康障害を招くことが知られている。運悪く大腿骨頸部骨折に至った場合は、その後の治療期間が長く続くため、不活動による廃用症候群が加速され、寝たきりになることも珍しくない。このように高齢期の転倒は、生活の質 (QOL) が低下した高齢者の増加につながる恐れがあり、転倒・骨折の予防はこれからますます重要な社会的課題となっていくであろう。

転倒・骨折を誘発する諸因子は多種多様であるが、その主なものは身体的要因と環境的要因に大別される。身体的要因としては、姿勢と歩行運動に関わる筋骨格系、感覚器系、神経系、循環器系の機能が加齢に伴って低下し、相互に影響して転倒のリスクを高めると考えられている。加齢に伴って生じるバランス能力と下肢筋力の低下により転倒のリスクが増加し、骨折は骨量が減少している骨部位に過剰な負荷がかかって発生するといえる。

そこで、本研究の目的は、高齢者の転倒動作に焦点を当て、この動作を理解しやすいツールを作成することである。そのためにコンピュータマネキンを用いて、高齢者の歩行動作時における転倒動作のシミュレーションを行うシステムを構築する。

## 2 モデル構造

アニメーションの分野において、身体の骨関節構造をモデル化したスケルトンモデルが一般的に扱われて

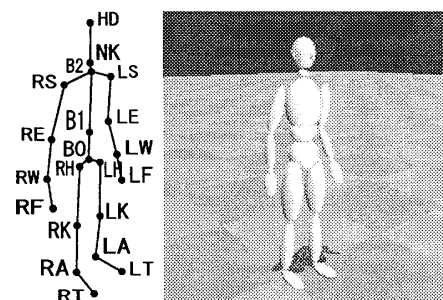


図 1: スケルトンモデル (左)、マネキンモデル (右)

いる。従い本研究では、腰 (B0) を root に階層構造化されたスケルトンモデル (図 1 左) とし、総関節数 21、総自由度 63 の身体モデルを利用する。

各関節 (図 1 左の B0, B1, B2...) は、自身の親関節・子関節の階層構造情報と、親関節からの位置 (オフセット)、リンクサイズ、初期角度等のデータを保有している。初期設定におけるモデルのオフセット、サイズは、成年男子の統計値を用いている。(図 1 右)[1]

高齢者モデルは、統計値 [1] をもとに初期間接角度を変更、間接可動域の制限をすることにより実装している。また、システム実行中にデータ値を変更可能であるので、インタラクティブに個人体型・姿勢に調整することができる。[2][3]

## 3 システム概要

本システムでは、重力・重心等の力学的要素を取り入れ組み込むことで、歩行動作中の外部からの力学的な干渉に対して自律的にバランスを維持する、もしくは転倒するという動作を実現する。また、転倒動作中には傷害が最小となる制御も行う。

システムへの入力は 2 つあり、高齢者マネキンモデルの身体パラメータ (身長・体重・体幹部の傾斜・関節可動域等)、環境パラメータ (種類・高さ・幅) である。出力結果として、両方のパラメータに応じた歩行・転倒動作アニメーションを提示する。

Falling down simulation of an elderly person during walking with a computer mannequin

Joe UMENO, Yukio FUKUI, Jun MITANI and Seiichi NISHIHARA

Department of Computer Science, University of Tsukuba

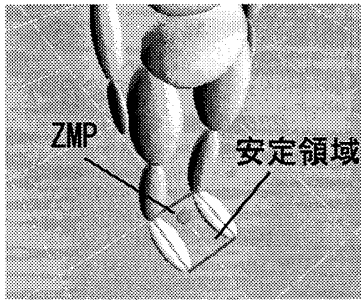


図 2: ZMP と安定領域

### 3.1 バランスと歩行

ZMP を用いることにより、バランス制御と歩行動作を実現している。ZMP (Zero Moment Point) とは、重心に作用する重力と慣性力との合力がゼロになる路面上の点である。つまり、重心位置から真下に伸びた線(合力の作用線)と地面との交点が ZMP となる。(図 2) 安定領域は、地面と接する関節点群によって囲まれる領域であり、安定領域に ZMP が収まっていると動的に力に釣り合いがとれているため、バランスは安定し転倒をすることはなくなる。

外力が加わった時の動作生成の処理を、転倒・立て直し・姿勢変更・踏み出しの 4 つに細分化し、それらを組み合わせることにより、バランスが崩れても立て直す動作、歩行動作といった多様な状況に対応・推移可能な動作生成を行う。転倒については次節で詳しく説明を行う。立て直しは、全身を垂直に立て直す動作であり、重力やモデルが踏ん張る力によって変化する全身の傾き度合いを計算する処理である。姿勢変更と踏み出しは、どちらも崩れたバランスを安定化させるための処理で、実際にバランスを立て直そうとする動作を生成する。

### 3.2 転倒動作

マネキンモデルは、外力を加えられた直後はバランスを崩して倒れそうになるが、ある時点で転倒が避けられないと判断し、目標動作を歩行継続・バランス維持から転倒動作へ切り替える。その判断基準は人体重心の回転速度である。すなわち、身体全体が前後に回転していると判断した時点で転倒動作に移行するというものである。実際の人間が外力を加えられた時に、立位維持を諦めて転倒する場合の判断基準に近いと考えられる。ここでは、回転速度の大きさが下記のとおり転倒動作をすると定める。[4]

前方に回転する場合：

$$\text{加速度} \quad \ddot{c} < 0.1m/sec^2$$

$$\text{速度} \quad \dot{c} < 0.3m/sec$$

後方に回転する場合：

$$\text{加速度} \quad \ddot{c} < 0.01m/sec^2$$

$$\text{速度} \quad \dot{c} < 0.05m/sec$$

この回転速度を超えた時点で、転倒不可避であるとされている。またこのとき、同時に回転速度のどの成分が最大であるかを調べて転倒方向を判断、その方向に基づいて目標転倒動作を選択する。また、転倒動作時には各部位のダメージが小さくなるように制御する。例えば、頭のほうが手よりダメージが大きいとする。この条件のとき、頭から転倒している場合、頭よりダメージの少ない手から転倒していくように動作を生成するというものである。(受身の動作)

## 4 まとめ

コンピュータマネキンを用いて、高齢者の歩行動作時における転倒動作のシミュレーションを行うシステムを提案した。転倒動作を任意の角度から確認することが可能なため、ユーザが危険な転倒動作に対しての理解が深まると考えられる。しかし、本システムでの高齢者モデルの動作は、一般的な動作に制限を加えたものとなっており、正確に高齢者モデルを再現しているとはいえない。よって、高齢者の行動を分析する必要がある。また、転倒動作も直感的なアイデアのもとで作成している部分が多いので、実際のビデオ等を用いて、転倒のパターンの分類が必要である。

## 参考文献

- [1] 独立行政法人 製品評価技術基盤機構, 人間特性データベース, <http://www.tech.nite.go.jp/human/index.html>
- [2] 竹村浩志、陶山恒、南城康之、福井幸男、西原清一「コンピュータマネキンの動作生成と固有空間表現」, 筑波大学システム情報学研究科修士論文, 2006
- [3] 陶山恒、南城康之、福井幸男、西原清一「重心位置制御によるバランス・歩行動作の生成」, 筑波大学システム情報学研究科修士論文, 2005
- [4] P. Faloutsos, M. van de Panne, and D. Terzopoulos. Composable controllers for physics-based character animation. In Proc. SIGGRAPH '01, pp. 251.260. ACM Press, New York, 2001.