

# 高齢者身体関節可動域を考慮した転倒動作のシミュレーション

趙 航<sup>†</sup>蔡 東生<sup>‡</sup>筑波大学理工学研究科<sup>†</sup>筑波大学電子情報工学系<sup>‡</sup>

## 1、はじめに

CGにおける人間のダイナミックで自然な動きの生成には、多くの手間と時間がかかる。より自然な動作の生成を自動化するためには、人間の体や関節の運動学的(関節可動範囲など)・力学的特性(質量、重心位置など)を取り込み、それらを考慮しなければならない。

本研究では、人体の転倒動作に着目し、高齢者と壮年者身体基本動態特性---特に関節可動域に注目して、動力学シミュレーションとPD制御を用いてヒューマンフィギュアを動作させ、外力を受けた場の転倒動作を自動生成する。

## 2、研究の背景

今まで応用された人間ダイナミック動作生成方法は大体3種類がある：キー・フレイミング、モーションキャプチャ、動力学に基づいてのシミュレーション。

動作生成の方法として、キー・フレイミングは、アニメーション中のあるキー・フレームで身体セグメントの位置を決めて、キー・フレームの間のフレームを自動的に改ざんすることにより、低レベルのコントロールすることを可能にする。しかしながら、実際には、生成動作が自然に見えるように相当な技術を要求される。

モーションキャプチャで得たデータを周波数解析を用いて特徴的な動きを抽出し、その動きを用いて動作のバリエーションを得る方法[1]や、キャプチャしたデータを信号処理を用いて加工する方法[2]が提案されている。元のモーションと、体格の違うフィギュアにモーションを適応す

る研究[3]などもある。

動力学を考慮したものでは、Hodginsらは、PD制御をもとにした制御系を実装し、走ったりプールに飛び込んだりといった様々な運動を行わせる研究もなされている[4,5]。また、それらのパラメータをSimulated Annealingを用いて自動的に修正し、力学的整合性を保ったまま体格の違うキャラクタに適応する研究[6]もなされている。また、中村らは二足歩行ロボットに人間らしい動きをさせる研究[7,8]を行っている。また、品川らはHillの筋肉モデルを考慮し、キックや歩行の動作を生成している[9,10]。

動力学においては、モーションキャプチャを動力学モデルに適応させ力学的整合性を保ちつつ動作を加工するというものと、自動で動きを獲得させるものと二つの流れがあり、後者の例として人工生命[11]の分野では、Terzopoulousらによって自ら行動を選択し、自律的に動くヒューマンフィギュアの研究[12]がなされている。



図1、Human figure

## 3、転倒動作のシミュレーション

本研究では、高齢者の転倒動作に着目している。転倒動作は危険で、モーションキャプチャを用いても目的の動作を得ることは難しい場合が

「Simulation of Falling Action for Old People by Considering the Movable Ranges of Body Joints」

<sup>†</sup>「Hang Zhao・Master's Program in Science and Engineering, University of Tsukuba」

<sup>‡</sup>「DongSheng Cai・Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba」

ある。また、人体モデルをより詳細なモデルにすれば、将来バリアフリー設備評価などに応用できる可能性があると考えられる。本研究でアニメーション生成の流れは図2のように示す。

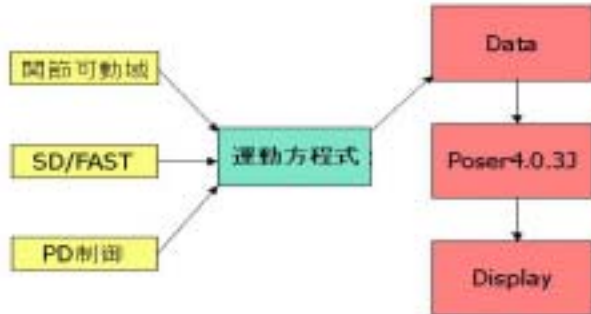


図2 動作生成の流れ[13]

### 3.1 ヒューマンフィギュアのモデル

本研究では、図1に示すような、15Segment、14Joint、21Dof (自由度)のヒューマンフィギュアを作成した。

腰と地面との間が、並進、回転それぞれ3自由度ずつの6自由度対偶でつながっているとしている。各関節の自由度と可動域は表1のように示す。ただし、リンク構造は、腰が他のSegmentの親となって派生したものとす。また、各Segmentの質量は解剖学に基づいた文献[5]によって表2のように設定した。

Joint Name	Dof	Movable Range	
		Old Man	Young Man
Neck(首)	3dof	X: -13.00 ~ 15.00	-40.37 ~ 42.43
		Y: -21.00 ~ 30.00	-53.57 ~ 73.61
		Z: -30.00 ~ 35.00	-63.63 ~ 64.91
Shoulder(肩)	2dof	Y: -109.00 ~ 4.00	-167.28 ~ 46.61
		Z: -1.00 ~ 109.00	-145.93 ~ 42.32
Elbow(肘)	1dof	Y: 28.00 ~ 110.00	-5.21 ~ 139.31
Wrist(手首)	1dof	X: -48.00 ~ 40.00	-85.85 ~ 78.99
Waist(腰)	2dof	Y: -13.00 ~ -1.00	-68.25 ~ 30.64
		Z: -6.00 ~ 7.00	-34.96 ~ 35.21
Hip(股関節)	2dof	X: -5.00 ~ 19.00	22.17 ~ -48.05
		Y: 4.00 ~ 70.00	-111.24 ~ 18.80
Knee(膝)	1dof	Y: -127.00 ~ -32.00	-151.85 ~ -2.57
Ankle(足首)	1dof	Y: -1.00 ~ 28.00	-59.13 ~ 26.18

表1: Human Figureの関節可動域 [14]

本研究で使った三種類の joint は図3のように表す。

Link	Mass	Moment of Inertia		
Trunk (胴)	29.27	0.32	0.73	0.63
Head (頭)	5.89	0.023	0.03	0.033
Pelvis (腰)	16.61	0.16	0.23	0.18
Thigh (太股)	8.35	0.025	0.15	0.16
Shank (脛)	4.16	0.007	0.055	0.056
Foot (足)	1.34	0.0018	0.007	0.0075
Arm (腕)	2.79	0.005	0.025	0.025
Forearm (前腕)	1.21	0.0012	0.005	0.0054
Hand (手)	0.55	0.0005	0.0016	0.002

表2: Human Figureの質量と慣性テンソル

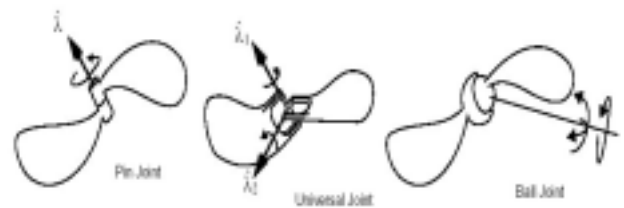


図3 Jointの種類

### 3.2 転倒動作のコントロール

人間の関節角度が可動範囲内の場合は、

$$\tau = -k_v \dot{\theta} \quad (\text{式1})$$

のような粘性摩擦を適応し、関節角度が可動範囲を超えた場合は、次のような復元トルクを発生させることで動力学計算に組み込んだ。

$$\tau = k_p (\theta_{lim} - \theta) - k_v \dot{\theta} \quad (\text{式2})$$

本研究においては、動力学計算はSD/FAST[15]を用いている。SD/FASTは動力学シミュレーションの汎用的なコード生成ツールであり、Kane's method及び4th order Runge Kutta time integratorを用いている。外力とトルクを与えれば、ヒューマンフィギュアの各Segment次のフレームの速度、加速度及び位置を計算できる。

また、各リンクに直方体のBounding boxを設定し、床との衝突を検出する。リンク同士の衝突は検出しない。

リンクが床と衝突した場合は、床の抗力

$$f = k_p (z_{lim} - z) - k_v \dot{z} \quad (\text{式3})$$

を与えるものとする。

ヒューマンフィギュアが、転倒時にとっさにあるポーズをとる、次のPD制御則に従って行う。

$$\tau = k_p(\theta_d - \theta) + k_v(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \quad (式4)$$

多関節システムは、ある動作のデータがあるとき、体の各関節における関節角度、角速度、角加速度、さらに体に加えている外力が得られれば、関節で発揮される力やトルクを計算することができる。この計算をインバースダイナミクスという。動力学方程式は次のようになる。

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) + J^T F \quad (式5)$$

#### 4、実行結果

前述のヒューマンフィギュアで関節可動域制御とPD制御を実装し、前方から両足の太股に打撃を与えた場合の結果を示す(図4)。実験の条件としては、打撃が太股の中心に0.1秒間、前方から1000Nである。人体の重心の垂直位置が図5のように変化したことを示す。壮年者より、高齢者は飛ばず距離が長い。図5から、関節可動域が人体の転倒動作に著しく影響を与えることが分かった。さらに、壮年者としては関節可動域が大きくて、衝撃を分散させることも分かった。

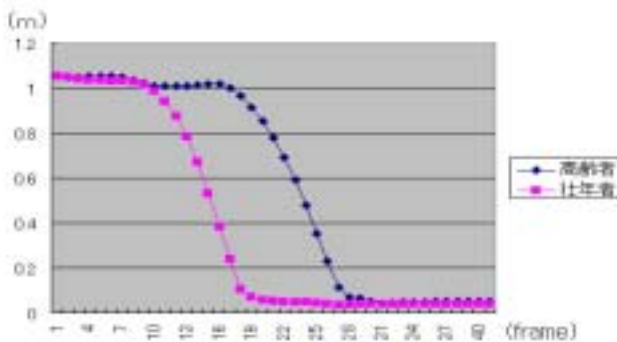


図5 重心位置の比較

#### 5、まとめと今後の課題

本研究で得られた結論は以下の通りである。

- ・ 15Segment、14Joint、21Dofの人体モデルを構築した。
- ・ 外力を受けた高齢者と壮年者の転倒動作を行った。関節可動域を制御し、著しく影響を与えることが分かった。

今後の課題として、人体モデルの自由度を上げ、力学モデルを導入するなど、より詳細なモデルにすることが上げられる。また、本研究では直感的なアイデアからアプリケーションを作成し、結果

を表示したが、実際の転倒動作のビデオなどを用いて比較し、転倒のケースを分類するなどして、より実際のケースと比較検討するべきである。

#### 参考文献：

- [1]Unuma.M, Andyo.K, and Ryozo Takeuchi : "Fourier Principle for Emotion-based Human Figure Animation", Proc. SIGGRAPH 95,pp.91-96(1995)
- [2]Bruderlin A, and Williams.L : "Motion Signal Processing", SIGGRAPH 95,pp.97-104(1995)
- [3]Michael Glecher , Retergetting Motion to New Character, SIGGRAPH 98 Computer Graphics Proceeding, 33-42,1998
- [4]J.K.Hodgins, W.L.Wooten, D.C.Brogan, and J.F.O'Brogan. Animating Human Athletics. In SIGGRAPH 95 Proceedings,Annual Conference Series, pages 71-78, ACM SIGGRAPH, August 1995
- [5]W.L.Wooten and J.K.Hodgins. Animation of Human Diving. Computer Graphics Forum, Vol.15, No1.pp.3-13,1996
- [6]J.K.Hodgins and Nancy Pollard, Adapting simulated behaviors for new characters. In Turner Whitted, editor, SIGGRAPH 97 Conference Proceeding, pages153-162, August 1997
- [7]山根 克,中村 仁彦,永嶋 史朗「構造可変なリンク系の動力学計算法とヒューマンフィギュアの運動計算」ロボティクス・メカトロニクス講演会 '98 講演論文集 (1998)
- [8]古本 勇記, 山根 克,中村 仁彦「人間の力学特性を考慮したヒューマンフィギュアのインタラクティブな動作生成」,2P2-74-095 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '00(ROBOMECH '00)(2000)
- [9]Taku Komura, Yoshihisa Shinagawa, Toshiyasu L. Kunii: "Creating and retargeting motion by the musculoskeletal human body model" The Visual Computer Vol.16 No.5 pp.254-270, 2000
- [10]Taku Komura, Yoshihisa Shinagawa, Toshiyasu L. Kunii: "An Inverse Kinematics Method Based on Muscle Dynamics": to appear in the proceedings of Computer Graphics International 2001
- [11]K.Sims, Evolving virtual creatures. In SIGGRAPH 94 Proceedings, Annual Conference Series, pages15-22. ACM SIGGRAPH, ACM Press July 1994
- [12]P.Faloutsos, M. van de Pannne,D.Terzopoulous, Composable Controllers for Physcs-based Character Animation, Computer Graphics(Siggraph 2001, pages 251-260,2001)
- [13]POSER4, Curious Labs Inc, Computer Program, 2001
- [14]「製品評価技術基盤機構」の人間特性データ . <http://www.meti.go.jp/policy/human-design/>
- [15]Dan Rosenthal, Michael Sherman: SD/FAST, Parametric Technology Corp.



☒ 4 A sequence of images from the simulated falling. The old man is on the first column, and the young man is on the second column.