

令和 2 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00393

研究課題名(和文) 舞踊動作を規範とした「優美さ」特徴のモデル化 -動きとフォルムの両側面から迫る-

研究課題名(英文) Modeling of "grace" characteristics based on dance motion -Motion and Form-

研究代表者

上田 悦子 (UEDA, Etsuko)

大阪工業大学・ロボティクス&amp;デザイン工学部・教授

研究者番号：90379529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：動きの「優美さ」特徴を舞踊動作から抽出し、ロボットに実装することで好印象の誘起を目指している。研究期間中には、(1)腕が空間中を作る曲面の曲率変化をガウス写像を用いて特徴抽出する手法を提案した。(2)「見え」と「動き」の双方を考慮した解析を行った。見えの印象は「四肢の動き」に影響を受ける。このことから舞踊動作から四肢動作を抽出し、四肢の動きによるS字軌道のみを解析する手法を提案した。また、「動き」と「見え」を同時に取り扱うために、動きを時空間ボリュームで表現する手法を提案した。この手法を用いることで、トレッドミル上歩行のような単純な動きであれば、解析ができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の動作をもとにしたロボット動作生成の研究分野において、芸術領域・美学分野にまたがり「優美さ」に着目し、その優美さを定量化しモデル化する手法を提案する研究は他に例がなく、これまでにない独創的なアプローチとなる。優美さをモデル化することができれば、ロボット動作生成などの、コミュニケーションへの応用だけでなく、一般的な動作の評価基準として使用することが可能となり、リハビリの効果測定などへの応用も期待でき、人間のQOLの向上にも役立つ。

研究成果の概要(英文)：We aim at inducing a good impression by extracting the "graceful" features from the dance movements and implementing them in a robot. During the research period, the following two points were made: (1) We proposed an extraction method of the curvature change of the surface created by the arm in space. We characterized it using a Gaussian map. (2) We performed an analysis considering both "form" and "motion". The impression is influenced by the movement of the limbs. We have developed a method to extract limb movements from the dance movements and analyze the S-shaped trajectory only using limb movements. In addition, in order to handle "motion" and "form" at the same time, we have developed a method of representing motion as a spatio-temporal volume. By using this method, we can analyze simple motion.

研究分野：ロボット工学

キーワード：優美な動作 モーションキャプチャ 動作解析 古典舞踊

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

人間の生活空間内で使用されるサービスロボットの導入が増え、人間との密な相互作用が必要となるに従って「人間がロボットに対して好印象を持つ」ための研究も増えており、その対象は、ロボット動作生成手法や発話内容の検討から、人間との関わり方まで幅広い。本研究では特に「ロボットの動作」に着目していく。好印象を与えるロボット動作実現のために、「人間らしい」動作をロボットに実装するための研究が、人間動作のロボットへの写像や、人間らしい動きの定量化など、様々なアプローチで進められている。しかし「人間らしい」動作とは、受け手にとって「見慣れた・違和感のない」動作であること以外には、明確な定義はなされておらず、これまでの研究でも実装した動作が「どのくらい人間らしいのか?」「人間に好印象を持ってもらえるのか」を定量化するための基準は、実験協力者の主観評価との一致度を持って行う以外の決定的な手法はまだ見つかっていない。

### 2. 研究の目的

美しさのカテゴリの一つで「人間の動作」に使われる形容詞として「優美さ」がある。哲学や美学、スポーツ運動学等の分野でこれまでに「優美さ」が議論されてきた。Friedrich von Schiller は「優美は、人間に固有な意思の選択による動きにのみふさわしいものでありうる」と述べ、天分として与えられる構成美と個人の技量によって得られる優美を分けている。また、Kurt Meinel は「動きの優美さには自然な優美さと、意識された優美さがある」と述べている。これは、意識して生成する動作に優美さを与えることが可能であると捉えることができる。また、Théophile Gautier は「踊りとは優美なポーズのもとに美しいフォルムを示し、視覚に快い身体の線を展開する以外の目的を持たない」と主張した。これらの議論より研究代表者は、ロボット上に意識して「優美さ」を実現することで、人間らしさを表現することが可能であること。また、舞踊からフォルムとその展開方法を取り出すことができれば、視覚の快楽としての心地よさを実現できると考え、「優美さのモデル化とそのロボットへの実装」という着想に至った。

本研究は人間動作に対して用いられる「優美さ」をロボットに実装する手法を提案し、ロボットを優美に動かすことで人間らしさの実現と好印象の誘起を目指し、これを規範とした動作評価方法の確立を目指すものであり、

- (1) 芸術家や美学者が定性的に定義してきた「優美さ」の、人間動作からの計測・抽出による定量化とモデル化手法の確立。
- (2) ロボット動作に「優美さ」を付与する手法の確立による、ロボットの人間社会への受け入れ実現。

という、2つを最終ゴールとして取り組んでいく。

### 3. 研究の方法

我々の研究チームでは、これまで手先を点と捉え、その動きによって作られる3次元曲線の解析により優美さの評価を行ってきた。これを腕による線分が動くことで構成される曲面の解析に拡張し、曲面を用いて身体フォルムの変形時における優美さ特徴抽出手法の提案へとつなぐ。ことを本研究のメイン目的とする。また「形状」だけでなく「速度」の観点からも特徴抽出を試みる。これらを以下の項目にそって、検討していく。

- (1) 動作中の腕によって構成される曲面からの優美さ特徴の解析：

これまで空間中で手先が作る曲線に着目して解析していた舞踊動作を、腕が構成する曲面形状から、William Hogarth や F. J. J. Buijtendijk が定性的に定義した形状に関する「優美さ」特徴の抽出を試みる。曲面形状解析は、ガウス曲率などの微分幾何を用いたアプローチを試みる。動作中における曲率分布などを特徴量として定量化する。この解析の際は、曲面形状の可視化が不可欠であるため、最初のフェーズでは一定の時間毎や移動量毎に動作分割しながら解析を進める。

- (2) 動作時の見えの、S字状曲線特徴にターゲットを絞った解析：

観客の視点から見た舞踊動作者の身体が作る形状に対して、S字状曲線特徴を抽出する方法を検討する。動作時のシルエットから得られるエッジ、またシルエットの細線化によって得られる身体中心線、それぞれに含まれるS字状特徴の計測手法を検討する。

- (3) 優美さ特徴が明確になれば、ロボット動作生成に優美さ特徴を付与する試みを始める：

本研究の最終ゴールは、優美さの単なるモデル化ではなく、優美な動作をロボットに実装する事である。そのためモデル化してきた優美さを表す動作特徴特徴を、ロボット動作として実現するための取り組みを始める

#### 4. 研究成果

##### (1) 舞踊動作時の腕が作る曲面解析：

曲面上の法線ベクトルの始点を原点に平行移動させ、そのベクトルの終点を単位球面上に対応付けるような写像をガウス写像という。ガウス写像を用いると曲率変化を視覚化することが可能となる。このガウス写像を舞踊動作における前腕が作る曲面に適用する。計算はモーションキャプチャシステムで取得したフレーム毎の腕の位置を用いる。図1に示すように、肘から手先へのベクトルと、肘から次の時刻の肘位置へのベクトル（青のベクトル）を用い、外積（橙、緑のベクトル）を求めて正規化し、単位球の原点へ平行移動させることで、図2のように面上の代表点1点として写像する。これを動作中の全フレームにおいて行う。

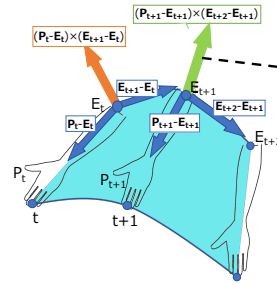
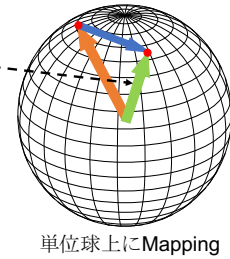


図1 腕が構成する曲面



単位球上にMapping

図2 ガウス写像

複数の舞踊の腕動作に対して計算した写像結果を図3に示す。日本舞踊は図3左上のように単位球上を一周するようなプロットや、図3右上のように一本の軌道に沿って上から下へ移動するようなものがあり、他の舞踊よりも点がまとまった位置にプロットされ、急に点の位置が変わるようなことが少ない。これは、日本舞踊は激しい動作が少なく、少しずつ面の向きを変えながら移動するような動作が多いことを示している。図3左下のジャワ舞踊は単位球上全体に散らばったプロットになっており、プロットが急な移動をしている箇所も見受けられる。ジャワ舞踊は日本舞踊とは逆に動作の速度が速く、大きく面の向きを変えるような動作が多いことを示している。図3右下のインド舞踊は、単位球面上の右側や上に帯状にプロットされている。インド舞踊はいくつかの動きのパターンを繰り返していることが示されている。

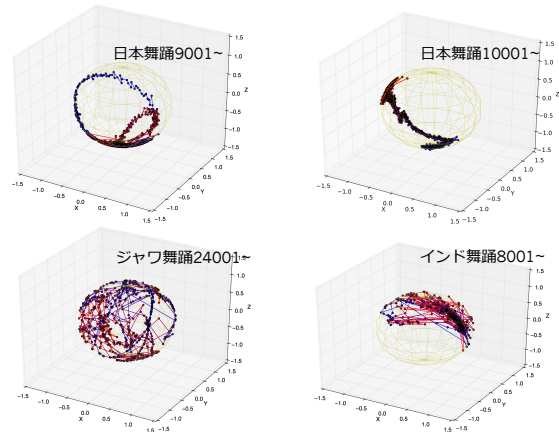
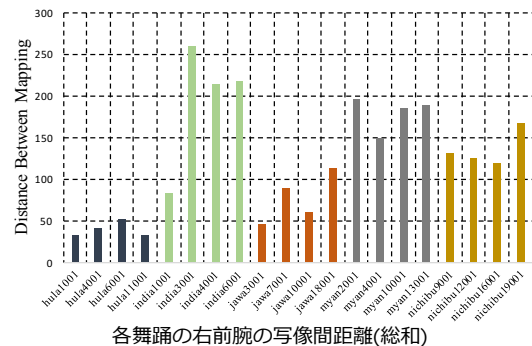


図3 様々な舞踊の腕動作のガウス写像例

これらの「少しずつ」「激しい」などの特徴を定量的に取り扱うために、曲面の向きと曲率の変化に着目した。曲面の向きとは即ち、前腕の移動方向のことである。曲面の向きが同じである時間が長ければ長いほど前腕の移動方向が同じままの状態の時間が長く、前腕の法線ベクトルの向きが変わるような動作を行っていないということを意味している。また、曲率の変化とは写像間の距離で表される。写像間の距離とは単位球面上に平行移動させた単位法線ベクトルの終点同士とのユークリッド距離を計算することで求める。図4に5種の舞踊の腕のガウス写像間距離を示す（それぞれの舞踊1000フレームごとのデータ）。この写像間距離を特徴として主観評価との検証を行った結果、手先だけの評価時よりも主観評価との相関が強くなった。



各舞踊の右前腕の写像間距離(総和)

図4 舞踊ごとの写像間距離  
(曲率変化と曲面の向きを表現)

##### (2) 動作時の見えの、S字状曲線特徴にターゲットを絞った解析：

###### ① 四肢によるS字状動作特徴の抽出と解析

動作時における手先の軌道は、四肢（主に腕と手）の動きと姿勢・位置の変化の組み合わせで構成される。そのうち四肢の動きは、観客からも認識しやすく主観に与える影響は大きいことがわかっている。このことより、本研究プロジェクト以前の解析で行われていた単純な手先の軌道解析に、四肢の動きと位置・姿勢を分離しての手先軌道の優美さ評価を行った。図5に舞踊動作から、位置・姿勢データを取り除いて、四肢の動きだけに変換した結果を示す。この四肢の動きの情報から、手先が一定量以上動いている箇所を取り出して、S字状特徴を計算しこれまで我々が行っていた「優美さ」定量化式を適用して、主観評価との相関を計算した。図6にこれまでの結果と今回提案した四肢の動きだけからの特徴量抽出の結果を示す。これより四肢の動きのみから特徴量を抽出することで、主観評価と強い相関を得られる特徴量を抽出することが可能となった。

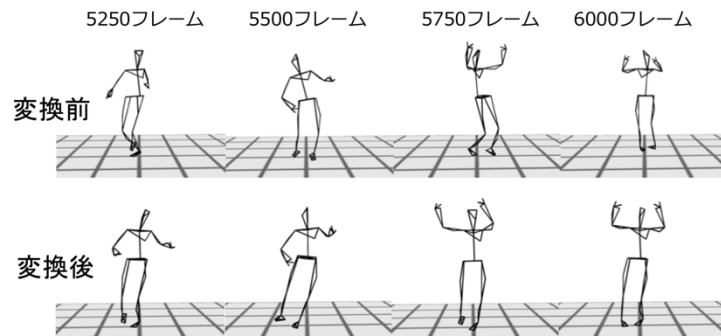
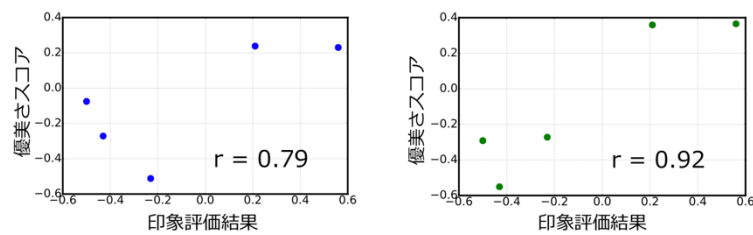


図5 舞踊動作からの位置姿勢情報の除去（腕が動いである手先軌道を抽出可能）



(a) 軌道全体

(b) 腕が動いているフレーム

図6 主観評価との相関の検証結果

### ② 動作時の見えの可視化と特徴抽出

人の動作の見えを定量的に評価するために、見えを3次元形状として表現し、その上で解析的に定量化する検討を行った。実験協力者を背面から単眼カメラで撮影した動画を入力とする。このようにすることで実験協力者のプライバシーも守られ、動画という計測方法としては簡便になる。入力動画の各フレームにおいて、人物領域をシルエット化しエッジ抽出を行う。エッジを4次 B-spline で近似することで、図7に示すように人物領域を X, Y 平面上のパラメトリック曲線として表現できるようになる。この処理を、動画すべてのフレームに行い輪郭線群を得る。得られた輪郭線群を、図8のようにフレーム数を Z 軸として 3 次元空間中に積層し、Ruled Surface (線織面) として構成する。図9を動作の時空間ボリューム表現と呼ぶ。時空間ボリュームを用いることで、曲面上の任意の点を数式で表すことができ、その位置の曲率なども解析的に求めることが可能となった。

研究期間中には、S 字状特徴を抽出することまでは至らなかったが、時空間ボリュームを用いて、トレッドミル上を歩行するモデルと一般男性の動きと見えの差異を定量化することが可能となった。踊りは位置と姿勢を変えながら動くため、この表現方法を拡張する必要があるが、フレームを細かく分割することで、舞踊動作の解析もできる準備は整ったと言える。

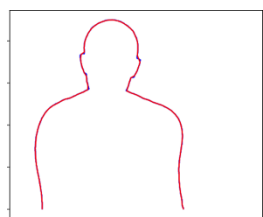


図7 人物輪郭 B-spline 近似例

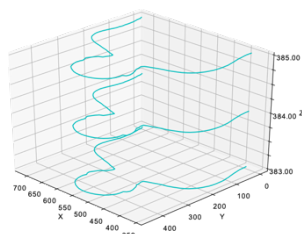


図8 B-spline の時間方向積層

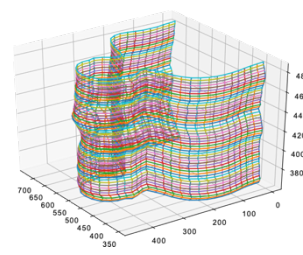


図9 時空間ボリューム表現 (Ruled Surface による)

### ③ 小型ヒューマノイドロボットへの動作実装

②で得られた優美さ特徴を小型ヒューマノイドロボット **Premaid-AI** に実装するためのシステム開発と、簡単な動作を用いての印象評価を行った、S 字状腕軌道軌道の実装例を図10に示す。

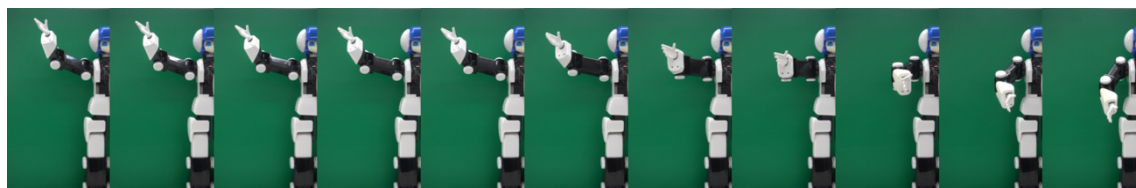


図10 小型ヒューマノイドロボットへの S 字状腕軌道の実装例

この実装では、**Premaid-AI** と **Pepper** というように見た目の違うロボットにおなじ S 字状手先軌道を実装した時の印象評価も行い、見た目の違いが印象に影響を及ぼすことを確認した。一方で、自由度の少ないロボットで提案する優美な S 字状軌道を違和感なく表現するまでは至らなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 畠中亮太, 上田悦子, 竹村憲太郎, 小枝正直, 飯田賢一, 中村恭之
2. 発表標題 古典舞踊動作が作る曲面形状の「複雑さ」が印象評価に及ぼす影響
3. 学会等名 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Nakamura, Kenichi Iida, Etsuko Ueda
2. 発表標題 Quantification of gracefulness from hand trajectory in classical dance motion
3. 学会等名 ACM IUI '19 Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲津侑希, 上田悦子
2. 発表標題 モーションキャプチャデータの分離に基づく動作の優美さ特徴抽出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Inazu, Yuya Tsukigata, Etsuko Ueda, Kenichi Iida, Kentaro Takemura, Takayuki Nakamura, Masanao Koeda
2. 発表標題 Extraction of the Graceful Feature from Classical Dance Motion focused on Dancer's Perspective
3. 学会等名 HCI International 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 畠中亮太, 上田悦子, 竹村憲太郎, 小枝正直, 飯田賢一, 中村恭之
2. 発表標題 古典舞踊動作の腕軌道が作る曲面形状に着目した優美さ特徴抽出
3. 学会等名 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲津侑希, 上田悦子
2. 発表標題 手先軌道のS字状特徴に基づく動作の優美さ定量化
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神戸健太, 八原廉, 上田悦子
2. 発表標題 見えの美しさに着目した歩行動作評価の基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	小枝 正直  (KOEDA Masanao)  (10411232)	大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授    (34412)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	竹村 憲太郎 (TAKEMURA Kentaro) (30435440)	東海大学・情報理工学部・准教授  (32644)	
研究分担者	中村 恭之 (NAKAMURA Takayuki) (50291969)	和歌山大学・システム工学部・教授  (14701)	
研究分担者	飯田 賢一 (IIDA Kenichi) (70290773)	奈良工業高等専門学校・電子制御工学科・教授  (54601)	