

舞踊動作における感性情報と上肢運動の解析

Sensitivity evaluation and three-dimensional motion analysis of arm motion in dance

神里 志穂子
Shihoko Kamisato

山田 孝治
Koji Yamada

玉城 史朗
Shiro Tamaki

琉球大学 工学部
Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

The purpose of this study is quantitative description of physical motions characteristics of dance classed by subjective impression. We measured the dancer who was judged "skillful" by previous research at 3-dimensional motion capture system of a magnetic formula and examined the relationship among motions and impulse response of the multivariate autoregressive model. The results of cumulative power contribution and impulse response showed that "skillful" high scores in subjective evaluation is defined as of wrist-rotation response from shoulder impulse.

1. はじめに

これまで、舞踊における感性情報の研究は、踊り手に対する観察者の印象から踊りの印象構造を探ることを目的とした研究や踊りの印象と身体運動との関連性を調べるための研究がなされてきた[Kamisato 2004]. 舞踊は、観察者の知識や経験による主観的な印象が大きく影響してくるため、主観的な印象評価による研究は、重要なものであるといえる。また、物理的な運動計測の面でも振りの特徴部分抽出とその定量化[吉村 2001]や動作特徴を周波数解析により抽出し、特定の印象を与える動作合成などについての研究[新垣 2002]もなされている。

先行研究では、舞踊動作において周期的な身体運動に着目し、観察者が運動パターンから受ける印象とヒトの動作の背後にある運動特性との関連性を明らかにすることを目的として、指先軌道の重心や軌道面積、各関節の時系列角度の平均や分散などを用いて動作の運動特性を定量的に抽出することを試みてきた[Kamisato 2004]. しかし、このような運動特性を作り出す上肢関節の組み合わせや関節動作の関連性に関しては、ほとんど検討がなされていない。

そこで、本研究では、主観的な印象によって分類された舞踊動作の上肢関節の相互関連性を明らかにすることを目的として、観察者の印象における踊りの分類をもとに「上手」と判断された舞踊動作の運動計測を行い、多変量自己回帰モデルを用いて、その関連性を明らかにすることを試みる。中里らが行なった、舞踊運動モデルにおける自由度と感性評価の関係に関する研究[中里 1996]では、上肢や下肢関節、体関節の回転運動や前後運動が印象を与える関節として重要であるとの報告がなされており、また、「躍動感」や「美しさ」を表現するためにはより多くの自由度が必要であると報告がなされている。本研究では、ヒトの上肢運動のみでも、細かい自由度の組み合わせが存在し、舞踊時の腕の動きにも様々な印象を生み出す自由度の組み合わせが存在していると考え、磁気式モーションキャプチャシステムを用いて、肩関節屈曲－伸展、肩関節内転－外転、肘関節屈曲－伸展、手首関節屈曲－伸展、手首関節内転－外転、手首関節回内－回外の 6 自由度に対し、3 次元計測を行い、舞踊時の各自由度間の関連性について検討を行なう。

本研究で、上肢運動のみに着目している理由として、上肢は、

自由度が多く関節動作の組み合わせによって、無数に動きを生み出すことができ、また、複雑な動きを生成することが可能である点あげられる。沖縄では、「上手に舞う人」のことを「ユー（舞）モーヤー」といい、これは、「手振り」の美しさを指して使われ、また、「巧に踊る」ことは、「ユー（踊）ウドウイン」といい、「面使い、体使い、足の運び」など踊る姿の美しさと「手振り・身振り・足どり」の調和がとれていることを意味する表現が存在する[金城 1991]. このことから、舞踊のような複雑な動作において、上肢運動は、その身体部位の動きのみで、観察者に上手や下手などの様々な印象を与えることができると考えたためである。

2. 実験方法

2.1 感性情報による動作パターンの抽出

本研究では、数多く存在する舞踊の中で、沖縄舞踊の一つであるカチャーシーを用いて感性評価を行い関連する運動特性の検討を行なっている。カチャーシーは、米寿や結婚式など祝いの席や大勢のヒトが集まる場所などで、手脚や身体を自由に動かし、その時の感情を表現するために踊られる[金城 1991]. また、自由に身体を動かすため、踊りに決まった型がなく踊るヒトの個性によって踊りが変わるという特徴を持つ。さらに、上肢の動きが中心で、ダイナミックレンジが大きく、運動が適度に周期的であるという特徴もある。運動の分類からみると、評価の対称としている舞踊動作のカチャーシーは、自由な形の踊りであるため、時間的な動作の流れでは、様々な運動のパターンを組み合わせる場合と一つの運動パターンを繰り返す周期的に踊る場合が存在する。ここでは、カチャーシーの踊りを一つの運動パターンを繰り返す周期的な運動として取り扱う。

予め、様々な踊りを集め、上肢運動が行なわれる領域の広さ、上肢運動が行なわれる位置、運動の方向性、速度、複雑さ 1 周期における停留回数、1 周期の長さなどの条件をもとに上肢の動作パターンが異なる 26 パターンの踊りを選出した。

今回、感性評価には、26 パターンの舞踊動作を 30 対の形容詞対を用いて、舞踊の知識を持つ被験者 20 人と舞踊の知識を持たない被験者 30 人に評価を行なうよう指示した。感性評価を行なった 30 対の形容詞対の中から「上手－下手」の印象を評価した結果の平均得点を求め、50 人の被験者が「上手」と評価した舞踊動作と「下手」と評価した舞踊動作の選出を行なった。

「上手」と評価された舞踊動作の指先、手首、肘の軌道と各 3 点を線結んで描画したものを図 1 に示す。次に、選出した舞踊パ

ターンに対して、それぞれどのような関節運動を行なっているか、検討を行なう。

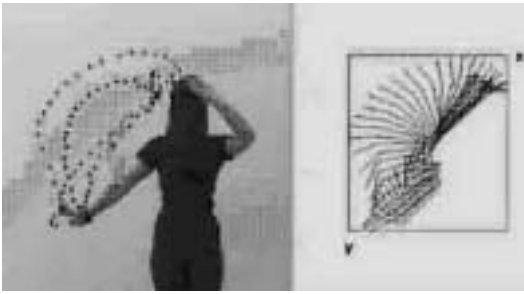
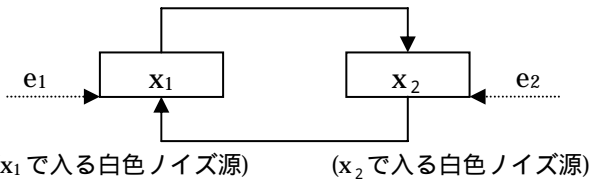


Fig.1. 上手と評価された踊りの軌道図

2.2 多変量自己回帰モデル

多変量自己回帰モデルは、生体内におけるフィードバック解析[和田 1997]や歩行の運動解析[鶴岡 2000]などに用いられている。そこで、各関節の時系列角度変化に対して、運動の相互関連性と時間随伴性は、多変量の自己回帰モデルを用いて周波数領域及び時間領域において調べた。

多変量自己回帰モデルは、図 2 に示すような x_1, x_2 の 2 変数からなる単純なフィードバック系のシステムを考え、 x_1 の変動は、 x_2 に、 x_2 の変動は、 x_1 に伝わるとする。



(x_1 で入る白色ノイズ源) (x_2 で入る白色ノイズ源)

Fig.2. x_1, x_2 の 2 変数から成る単純なフィードバック系

しかし、 x_1 と x_2 の変動状態だけを見ていると、どちらがどちらを動かしているかわからない。そこで、 x_1 と x_2 の過去の線形和だけでなく、それぞれの変数に固有の変動を起こす入力 e_1 と e_2 が有るとすると仮定する。このときの両変数のそれぞれに固有の変動を起こしている入力 e_1, e_2 を x_1 と x_2 から取り出す手段として 2 変量の自己回帰モデルは、式 (1) と式 (2) のように表せられる。これらの式は、本質的には、1 変量の自己回帰モデルと同じものである。

$$x_1(s) = \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^M a_{1j}(m) x_j(s-m) + e_1(s) \quad (1)$$

$$x_2(s) = \sum_{j=1}^2 \sum_{m=1}^M a_{2j}(m) x_j(s-m) + e_2(s) \quad (2)$$

そこで、式 (1) と式 (2) を K 変数の場合に拡張すると式 (3) のようになり、これを多変量の自己回帰モデルとなすことができる。

$$x_i(s) = \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^M a_{ij}(m) x_j(s-m) + e_i(s) \quad (3)$$

ここで、 $x_i(s)$ は、 i 番目の変数の s 時点の出力、 m は次数、 a_{ij} は自己回帰係数、 $e_i(s)$ は、残差である。式 (3) は、次式のように変形できる。

$$e_i(s) = x_i(s) - \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^M a_{ij}(m) x_j(s-m) \quad (4)$$

それゆえ、残差部分の分散、共分散は、次式のように表される。

$$\text{Re}_i e_j(n) = \sum_{l=0}^M \sum_{m=0}^M \sum_{r=1}^k \sum_{s=1}^k a_{ir}(l) a_{js}(m) R_{rs}(n-l+m) \quad (5)$$

残差についての最小二乗原理に従い、次式の Yule-Walker 方程式が求められる。

$$\sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^M a_{ij}(m) R_{jh}(s-m) = R_{ih}(s) \quad (6)$$

($i, h = 1, 2, \dots, k$)

この連立方程式を解くことにより、自己回帰係数 $a_{ij}(n)$ が求まる。最適な次数は、赤池の情報量基準(AIC)の最小値により決定する。

3. 上肢の運動解析

3.1 関節運動の計測

主観的な印象よって分類された舞踊動作の上肢関節の相互関連性を明らかにすることを目的として、観察者の印象における踊りの分類をもとに「上手」と判断された舞踊動作と「下手」と判断された舞踊動作の 3 次元運動計測をモーションキャプチャシステムを用いて行った。舞踊動作の計測には、両方の舞踊動作とも 1 人の踊り手により再現するよう指示を与え、十分に練習を行なってから計測を実施し、演者の違いによる舞踊動作の特徴の違いを無くすようにした。上肢関節の計測は、肩関節屈曲-伸展、肩関節内転-外転、肘関節屈曲-伸展、手首関節屈曲-伸展、手首関節内転-外転、手首関節回内-回外の 6 つの自由度に対して行なった。サンプリング周波数は、20[Hz]とし、15 秒間計測している。

関節角度の時系列変化の結果として、6 つの自由度のうち先行研究[Kamisato2004]において、2 関節間の位相差における運動特性が印象に与える影響が大きかった肩関節屈曲-伸展、肘関節屈曲-伸展、手首関節回内-回外の 3 つの自由度を示す。

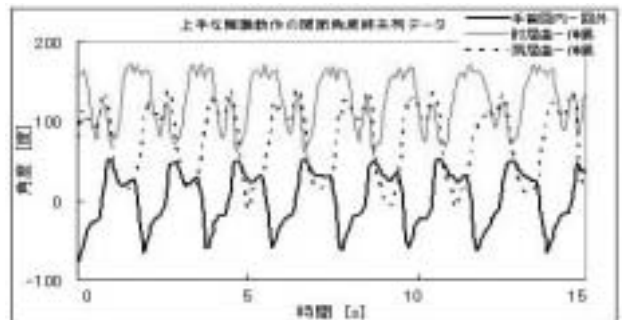


Fig.3. 上手な舞踊動作の関節角度時系列データ

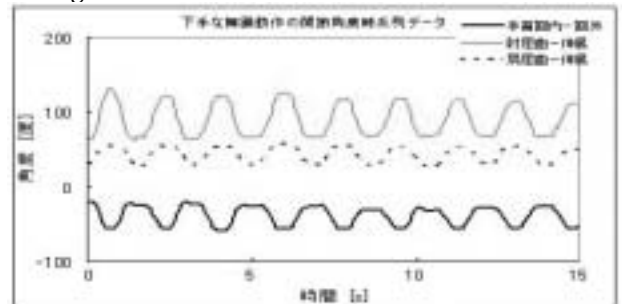


Fig.4. 下手な舞踊動作の関節角度時系列データ

関節角度の時系列変化を比較すると、上手いと評価された舞踊動作の関節時系列角度は、やや二峰生でかつ時間的に見ると位相差があるように見て取れる。下手と評価された舞踊動作の関節時系列角度は、角度変化は小さく角度のピークが揃っており、肩関節の屈曲-伸展と肘関節の屈曲-伸展は、正負の方向性も一致している。しかし、手首関節の回内-回外だけピークの正負方向が逆であるところが特徴として現れていた。

3.2 解析結果と考察

上手と評価された舞踊動作を多変量自己回帰モデルを用いて解析した結果を示す。それぞれの関節間の関連性を周波数領域で示したパワー寄与率の結果を図 5 に示す。同様に、下手と評価された舞踊動作に対しても同様の解析を行った結果を図 6 に示す。

図 5 と図 6 の結果を比較すると、上手と評価された舞踊動作の結果では、下手と評価された舞踊動作の結果に比べて、肘関節の屈曲-伸展の影響が少なく、手首関節の回内-回外の動きに関しては、上手と評価された舞踊動作の方がどの関節に対しても影響を与えていると示唆される。下手と評価された舞踊動作は、どの結果においても肘関節の屈曲-伸展の動作が最初

に大きく影響している結果が現れており、その後、肩関節の屈曲-伸展の動きが影響を与えている。周波数領域で舞踊動作の上手さを検討すると肩関節の屈曲-伸展動作に同調するように手首関節の回内-回外動作を動かし、肘関節の屈曲-伸展動作の影響が少ない方が良いことが示唆される。

次に多変量自己回帰モデルを時間領域から示した各関節へのインパルス入力に対するその他の関節の応答を見る。上手と評価されたインパルス応答の結果を図 7 に下手と評価されたインパルス応答の結果を図 8 に示す。上手な舞踊動作の結果と下手な舞踊動作の結果をそれぞれ比較すると、上手と評価された舞踊動作の方がピークの値は小さいが、手首関節の回内-回外運動と肘関節の屈曲-伸展動作に対するインパルス応答で、その他の2つの関節が時間のずれを生じながら振動している結果が得られた。また、上手と評価された動作の結果では、各結果で、動き始めに肩関節の屈曲-伸展動作と手首関節の回内-回外運動で同時に動作を行い始め、肘関節の屈曲-伸展動作は、その2つの関節とは、時間的な位相差がある動きの方が上手評価を得る動作であることが示唆される。また、下手と評価された舞踊動作では、この結果においても肘の動きだけが目立った結果が得られた。

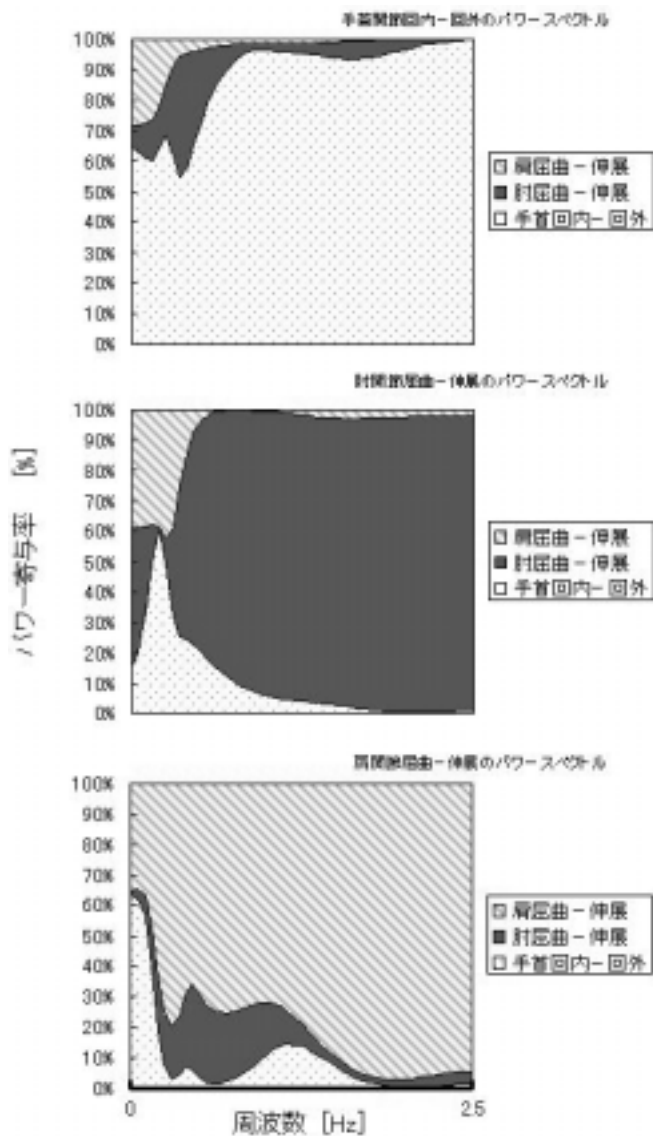


Fig.5. 上手な舞踊動作のパワー寄与率

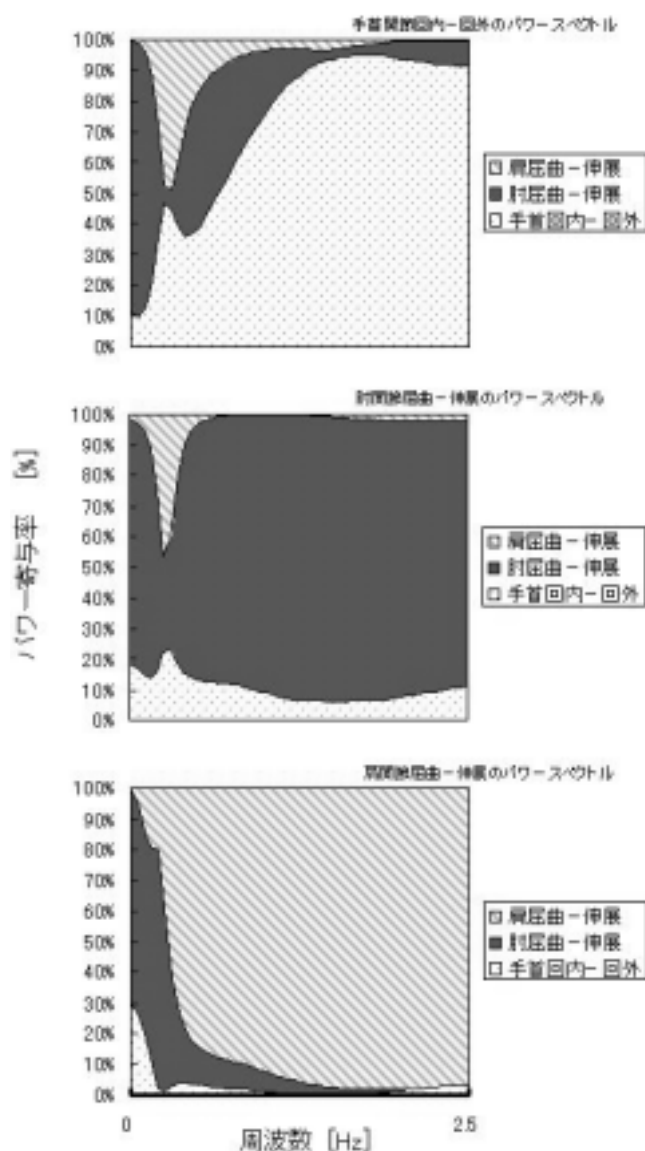


Fig.6. 下手な舞踊動作のパワー寄与率

4. まとめ

本研究では、主観的な印象によって分類された舞踊動作の四肢関節の相互関連性を明らかにすることを目的として、観察者の印象における踊りの分類をもとに「上手」と判断された舞踊動作の運動計測を行い、多変量自己回帰モデルを用いて、その関連性を明らかにすることを試みた。

その結果、上手と評価された舞踊動作において、多変量自己回帰モデルを周波数領域から見た結果では、肩関節の屈曲-伸展動作に対して、手首関節の回内-回外動作が同調して動作を行なうと良いと示唆された。さらに、多変量自己回帰モデルを時間領域から見た結果に関しては、肩関節の屈曲-伸展動作と手首関節の回内-回外動作は、動き始めに連動し、肘関節の屈曲-伸展動作は、時間的に位相差があると良いと示唆された。また、下手と評価された舞踊動作では、肘関節のみめだた動きをしていた。これらの結果から、舞踊動作の上手さには、上腕の動きと前腕の動きを連動させることが大切であることが示唆された。

参考文献

- [Kamisato 2004] Shihoko Kamisato, Satoru Odo, Kiyoshi Hoshino, Yoshino Ishikawa: Extraction of motion characteristics corresponding to sensitivity information using dance movement, JACIII, 2004.
- [吉村 2001] 吉村ミツ, 酒井由美子, 甲斐民子, 吉村功: 日本舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み, 電子情報通信学会論文誌, 2001.
- [新垣 2002] 新垣武士, 星野聖: 主観的印象の合成を目的としたCG舞踊動作の生成, 信学技報, 2002.
- [中里 1996] 中里央, 池浦良淳, 猪岡光: 舞踊動作モデルにおける自由度と感性評価との関係, 人間工学, 1996.
- [金城 1991] 金城光子: 琉球舞踊の世界, 琉球芸能文化学院, 1991.
- [和田 1997] 和田孝雄: 生体のゆらぎとリズム, 講談社, 1997.
- [鶴岡 2000] 鶴岡政子: 身体運動のスペクトル解析, 測量, 2000.

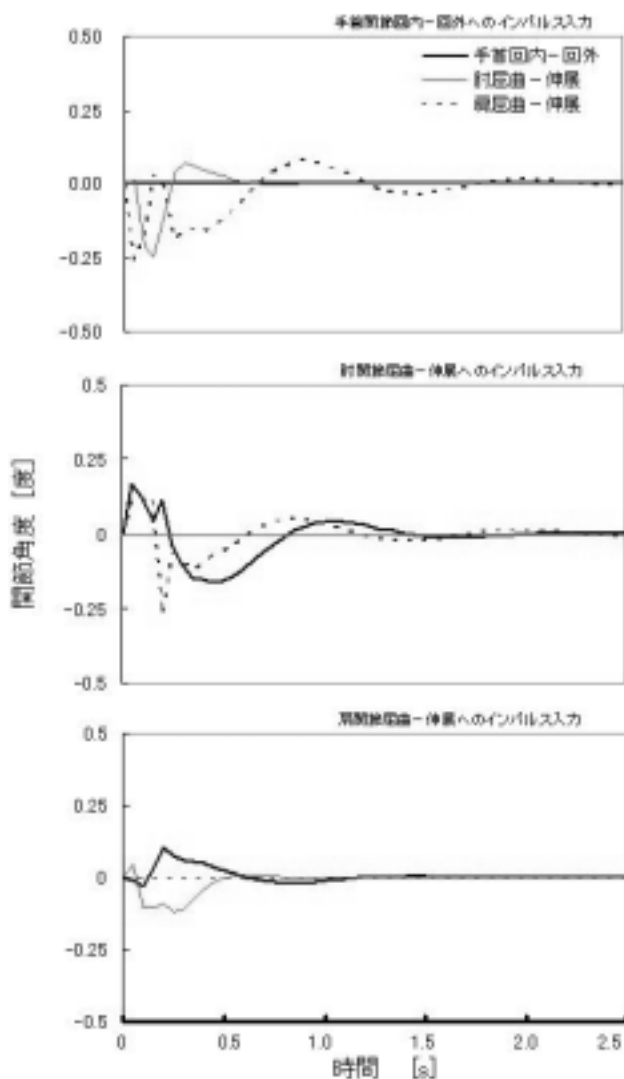


Fig.7. 上手な舞踊動作のインパルス応答

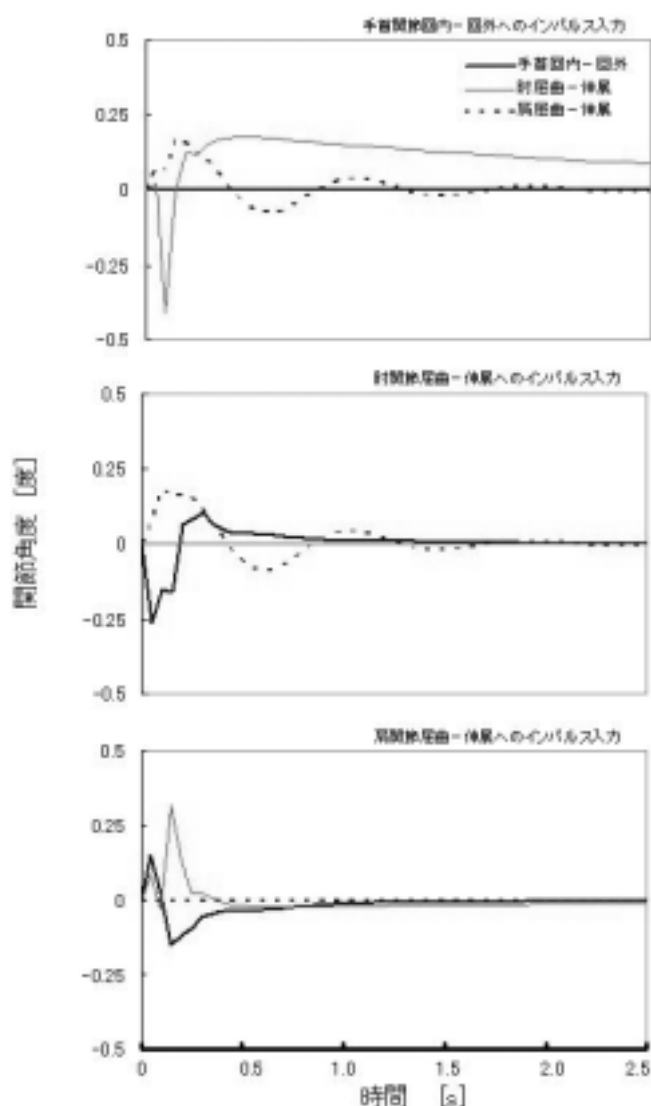


Fig.8. 下手な舞踊動作のインパルス応答