

動作軸の位相・振幅要素に注目した文楽人形の演技動作の解析

服部元史、古田智、田所諭、高森年（神戸大学工学部）
山田和人（同志社大学文学部）

CG上で人間型の身体の動きを確認しながら、様々な情緒の動作を設計するための方法を求めて、日本の伝統芸能である文楽人形の動きを解析した。人形の動きを、軸の動きという主要な部分と、軸に対する相対運動という副次的な部分に分解して、表現したい様々な情緒に応じてプロの人形遣いが軸の動きを、どのように使い分けているのかを解析すると、局所的な時間的な伸縮やフレーズごとの振幅の大きさといった簡単な概念によって、かなりのレベルまで説明できた。この知見に基づいて、容易に様々な情緒の動作を設計する方法を提案した。

An analysis of the Bunraku puppet's actions based on the phase and amplitude factors of the puppet's motion axes Motofumi Hattori, Satoshi Furuta, Satoshi Tadokoro, Toshi Takamori (Kobe Univ., Fac. of Eng.) and Kazuhito Yamada (Doshisha Univ., Dept. of Literature)

In order to design emotional actions of CG characters, the authors analysed the actions of a Bunraku puppet which is manipulated by an expert of puppet manipulation. The puppet's action is decomposed into a main part which is the motion of the puppet's axis and the accompaniment which is the relative motion with respect to the motion of the axis. The emotional actions of the puppet are explained by the phase factor and the amplitude factor of the motion of the puppet's axis. Based on this analysis, a simple method to design emotional actions are obtained.

Key Words : computer graphics, human motion, human action, emotion, amusement robot, humanoid

1 はじめに

人間の形をした人工物に生き生きとした情緒豊かな動作を生成させたいという願いは、自動人形のような物を考案し続けてきた昔から人間にとって根強い夢であったため、人間の形をしたアミューズメント・ロボットやエンターテインメント・ロボットが盛んに製作されている。このような人間型のアミューズメント・ロボットたちが生き生きとした動きの情緒豊かな表情を見せるためには、身体動作の設計方法を体系的に整える必要がある。つまり、「身体の物理的な動き」と、「それを他者が見て感じる情緒（精神効果）」との関係を明らかにし、見通しの良い理論を整理して、動作設計者が望む情緒を実現する身体の動きを容易に設計できる手法を確立する必要がある。

そのような理論・設計技法を確立し、CG (computer graphics) で確認しながら身体の動きを設計できるシステムを作成するために、日本の伝統芸能である文楽人形の動きを、筆者らは解析している。文楽人形の動きでは、長年に渡って修行を積んだ人形遣いによって、日本の伝統的な情緒が典型的に示されている。本来 無生物である人形が、人形遣いによって操られた動きだけで、あたかも生きていくかのように見える。このような特別な芸の力で操られた文楽人形の動きを解析すれば、無生物である人間型ロボットやCGキャラクターに、情緒豊かな生き生きとした動作を生成させる方法が得られるものと期待される。

文楽人形の動きを記録して解析する研究においては、吉永孝雄や大西重孝といった演劇の研究者たちによる先駆的な仕事がある [1] [2]。これらの

研究においては、実演されている文楽人形の動作が、豊富な言葉や絵によって記録されており、ビデオ撮影や motion capture による動作の記録が可能になった今日においても、文楽人形の動きを考察するにあたって、貴重な資料となっている。特に文楽という伝統芸能の具体的な演目を上演するために伝承されている人形の動きの様々な型を、記録・記述・解析するためには、上記の研究から学ぶことが多大であるが、筆者らは工学者としての立場から、文楽人形の動きを motion capture を用いて、客観的に正確な信号として記録し、力学解析や信号処理などの工学的な手法に基づいて解析を試みた。上記のような文楽の具体的な演目において上演される文楽人形の複雑な演技動作を解析するための準備として、より基本的で単純な演技動作を解析する。

身体の動きによって表現されている情緒的な精神的な意図を解析するにあたって、身体の頭・胴・腕・脚などの各部位の位置と姿勢という motion capture で記録された膨大な量の数値が本質的なではなく、それらからもっと簡略化された動作の本質的な情報を表現できる記述方法を究明すべきであると考える。

そこで本稿では、身体の動きを大雑把に代表するものとして慣性主軸（慣性主軸については、下記に説明する）に注目して、表現したい情緒に応じて人形の慣性主軸を人形遣いがどのように使い分けているのかを解析し、それに基づく身体の動きの設計方法を提案する。

また、「身体の物理的な運動」と「それを他者が見て感じる情緒（精神効果）」との関係を説明する、見通しの良い理論を構築するためには、舞踊研究から学ぶところが多大であると考え、舞踊研究者たちが舞踊の振り付けを記録するために用いている舞踊譜（Labanotation）[3][4]で文楽人形の動きを記述して、慣性主軸の動きに基づく解析結果と比較検討を進めているので、それに関しても簡単に述べる。詳細な記述は次の機会に譲ることにする。

2 文楽人形の演技動作とその測定

motion capture で動きを測定するにあたっては、女の文楽人形を製作して使用した。人形は、「かしら」と呼ばれる頭部、「肩板」と「胴輪」を布で繋げた胴体からなり、肩板から下は着物で被われている。主遣い・左遣い・足遣いの3人の人形遣いによって文楽人形は操られ、人形の頭・肩（胴体）・右腕・右手を主遣いが操り、左腕・左手を左遣いが操る。女の人形には両脚はなく、あたかも脚があるかのように、着物の形を足遣いが作っている。人形を動かすにあたって、主導権を握っているの

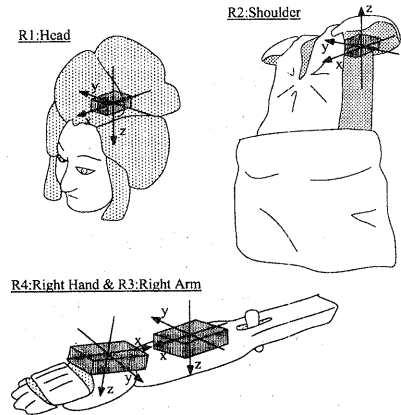


Fig. 1: Observing motions of the Bunraku puppet.

は主遣いであり、左遣い・足遣いは主遣いに従って操作を行う。従って、文楽人形の各部位のうち、主遣いが操作する頭・肩（胴体）・右腕・右手の位置と姿勢を測定すれば、人形の動きは一応決定されることになる。そこで図1のように人形の頭・肩・右腕・右手に磁気センサを取り付けて、Polhemus社のFastrakというmotion captureを用いて、それぞれの部位の各時刻の位置と姿勢を計測して、人形の動きを記録した。3自由度の位置と3自由度の姿勢の合計6自由度のデータが、頭・肩・腕・手の4ヶ所で時々刻々と測定されるので、 $6 \times 4 = 24$ 自由度の動作時系列が得られることになる。

文楽は演劇であり、人間が行う日常の動作が人形によって演じられる。しかし「嘘をまことしやかに演じるのが芸である」[5]と言われるように、日常動作をそのまま演じるのではなく、人形の役柄が持つ感情や精神が観客に印象深く伝わるように、人形遣いによって芸術的に練り上げられた動きが演じられる。本稿では最も基本的で単純な動きから扱うので、文楽人形の、日常動作的な側面を機能と呼び、役柄の持つ精神的側面を情緒と呼んで、機能と情緒の2つの要素を人形の動きが有していると考え。そこで、国立文楽劇場の人形遣い吉田玉女氏に依頼して、文楽人形に様々な「機能」（挨拶する・お茶を渡す）、様々な「情緒」（感情を込めずに・好意を持って・敵意を持って）の動作を生成してもらい、上記のmotion captureで測定した。同じ機能・同じ情緒の動作それぞれにつき、5回ずつ全く同じ動作を繰り返して測定を行った。

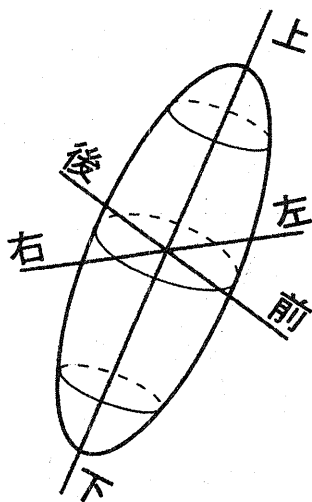


Fig. 2: The principal axes of inertia.



Fig. 3: Motion axes of the Bunraku puppet.

3 人形の動作の主要部を表す動作軸 (慣性主軸)

前節において、文楽人形の動作を表す時系列を得た。測定された動作時系列は、一つの動作につ

き $6 \times 4 = 24$ の自由度を持つ。これら 24 自由度それぞれに対し解析を行なうことは非常に見通しが悪い。また、人間型ロボットや CG キャラクターの動作を設計するという立場からも、頭・肩・腕・手などの身体の各部位の位置と姿勢からなる多自由度を同時に考慮して動作を設計することは、見通しが悪く困難である。そこで多自由度の動作を、低自由度の主要な部分と、それでは表現しきれない副次的な部分に分解し、動作の主要な部分を優先的に解析し、その設計手法を整える事を以下で考える。文楽人形の操作者(人形遣い)は演技時に動作の「軸」を意識しながら操作をしている。この動作の軸は動作を代表して表すものであり、動作の本質的な情報を含んだものであると考えられる。そこで、このような動作軸を工学的に計算することを試みる。以下に示す動作軸によって、

$$(\text{人形の動き}) = (\text{軸の動き}) + (\text{相対動作}) \quad (1)$$

という形で、人形の動作を、(1) 動作軸の動きと (2) 軸に対する相対運動の 2 つに分解して、動作の主要な部分である (1) 軸の動きを、本論文で解析し、動作の主要な部分の設計方法を考察する。動作軸としては、図 3 のような、人形の慣性主軸を採用した。

図 2, 3 のように人形の重心を通過して、上下・左右・前後に人形全体を平均的に貫く 3 本の軸が慣性主軸である。上下の軸が最も長く、左右の軸がそれに次ぐ長さで、前後の軸が最も短い。慣性主軸の動きは、重心の位置を示す x 座標・y 座標・z 座標の 3 自由度と、上下の軸の方向を表すベクトルの 2 自由度と、前後の軸が上下の軸を中心に回転した角度の 1 自由度という合計 6 自由度の信号になる。従って以下の図で、慣性主軸の動きは、6 個のグラフで表される。人形の各部位の動きの総体が 24 自由度と比較すると、動作軸の動きの 6 自由度は、かなり低次元化されている。これが、式 (1) 右辺第 1 項の (軸の動き) である。この慣性主軸の動きによって動作を代表させる事で、人形の手や頭などの細かい動きをとりあえず無視した、身体全体としての大雑把な動きを捉えることを目標とした

慣性主軸の z 軸 (人形から見て上下の軸)・x 軸 (人形から見て前後の軸)・y 軸 (人形から見て左右の軸) を座標軸とし、人形の重心を原点として、人形の動きを座標表示したものが、式 (1) 右辺第 2 項の (相対動作) である。

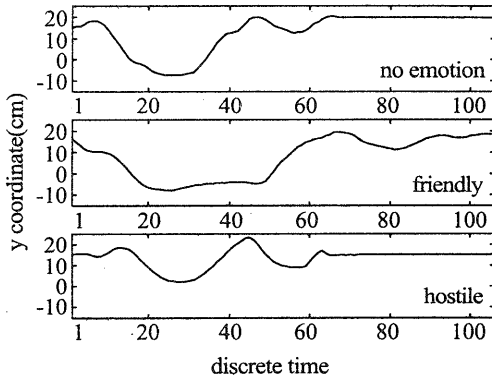


Fig. 4: Motion axis data(serving tea).

4 軸の動きの時間伸縮による感情表現

「お茶を差し出す」という同一の機能の動作を、お茶を差し出す相手を「感情なし」・「好き」・「嫌い」の3つの感情で人形遣いが使い分けた動作の慣性主軸の動きのグラフを図4に示す。3つのグラフとも大きな谷（相手にお茶を渡す動作に対応）と小さな谷（お茶を渡し終わってから相手に会釈する動作に対応）から構成されている点では同じであるが、谷の時間の長さや振幅の深さが感情によって異なっている。そこで、「お茶を相手に渡して、それから相手に会釈する」という本来同一の機能の動作が、「感情なし」・「好き」・「嫌い」の3つの感情に応じて、時間伸縮されたり振幅が増幅・減衰されたりして、動作の違いが人形遣いによって表現されたと考えた。

つまり（動作）= { 要素1, 要素2, ..., 要素N } というように、N個の要素が次々と順番に発生して、「お茶を差し出す」という一つの機能の動作が成立している場合に、各要素が発生する時刻と実現する振幅値が変化することで、感情の違いが表現されていると考えた。逆に表現される感情が異なっているとしても、同一の機能の動作の間には、共通の要素達が存在すると考えているのであり、それぞれの要素の発生時刻と実現値の変化だけで、感情の違いが表現されていることになる。

すると、異なる感情の動作の間で、同一とみなせる要素を対応付けることが問題となる。「感情なし」の動作と「好き」の感情の動作の間で、同一の要素を対応付ける様子を図5に示す。一番上が「感情なし」の軸の動きであり、真ん中が「好き」の軸の動きである。ここでは、異なる感情の慣性主軸の動きのグラフの間で、局所的な形の最も似ている時刻どうしを、同一の要素を表しているとみ

なして対応付けることにした。特定の時刻のグラフの局所的な形は、その時刻における wavelet 係数で表されると考えられるので、wavelet 係数が最も近い時刻どうしを、同一の要素を表しているとみなして、対応付けることになる。具体的な手法に関しては、文献 [6] [7] で述べているが、概略は以下のような方法である。

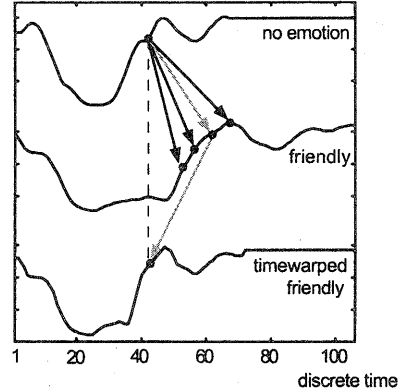


Fig. 5: To find the same elements between 2 actions.

スケール

$$c_1 > c_2 > \dots > c_L \quad (2)$$

に対して、情緒なしの軸の動き $X_{ref}(t)$ ($t = 0, 1, 2, \dots, T$) の時刻 t における wavelet 係数たちを

$$d_{ref}(t, c_l) \quad (l = 1, 2, \dots, L) \quad (3)$$

とし、好きという情緒の軸の動き $X_{smp}(t)$ ($t = 0, 1, 2, \dots, T$) の時刻 t における wavelet 係数たちを

$$d_{smp}(t, c_l) \quad (l = 1, 2, \dots, L) \quad (4)$$

とする。

情緒なしの動作軸 $X_{ref}(t)$ の任意の時刻 $t = t_{ref}$ に対応する好きという情緒の動作軸 $X_{smp}(t)$ の時刻 $t = t_{smp}$ を、それぞれの時刻の周辺における wavelet 係数たちの差

$$\sum_{s=-\tau}^{\tau} \sum_{l=1}^L |d_{ref}(t_{ref} + s, c_l) - d_{smp}(t_{smp} + s, c_l)|^2 \quad (5)$$

が最小になるように選ぶ。

このようにして対応付けられた時刻を図6に示す。このグラフ上の点は、「感情なし」の動作と「好

き」の感情の動作の間で、同一の要素を表しており、横軸の「感情なし」の時刻と縦軸の「好き」の時刻が、同一の要素を表していることを示す。

図 6 に示されている時刻対応にしたがって、「好き」の軸の動きの要素の時刻を対応する「感情なし」の要素の時刻に修正して、振幅値をそのままにしたグラフを、図 5 の一番下に示す。

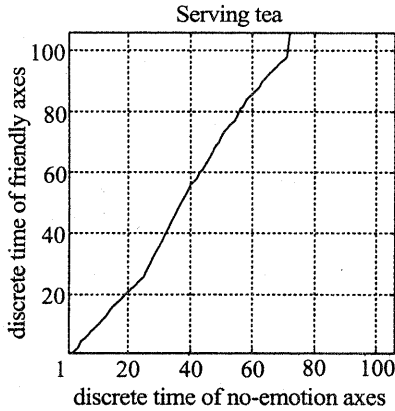


Fig. 6: Correspondent times between 2 emotions.

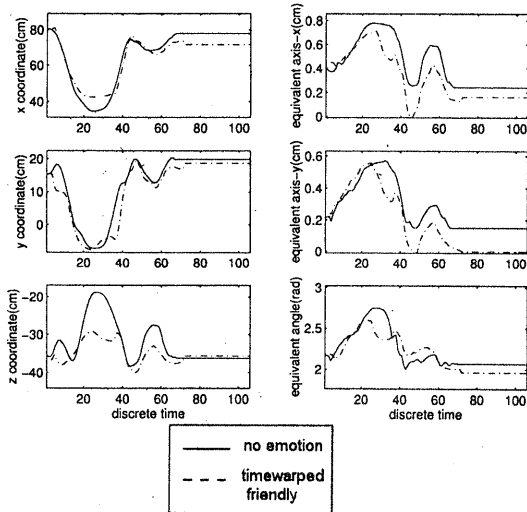


Fig. 7: The motion axes with no emotion and the timewarped motion axes with friendly emotion.

5 軸の動きの振幅値の増幅・減衰による感情表現

「感情なし」の軸の動きと、それに合わせて時刻を修正した「好き」の軸の動きとを比較したグラフを、図 7 に改めて示す。2つの間で、動作の各要素の発生時刻は、ほぼ等しくなっているが、それらの実現する振幅値に違いのあることが分かる。そこで図 8 に示すように、第 1 フレーズ (1st phrase) と第 2 フレーズ (2nd phrase) の 2つの部分に分解して、それぞれのフレーズごとに「感情なし」のグラフの振幅と「好き」のグラフの振幅の比を求めた。(具体的な計算方法は後で詳しく述べる。)

そのようにして求めた、それぞれのフレーズごとの比を用いて、「好き」のグラフを「感情なし」のグラフに近づけた結果は、図 9 のようになる。時刻と振幅を修正された「好き」の軸の動きが、「感情なし」の軸の動きにかなり近づくことが分かる。

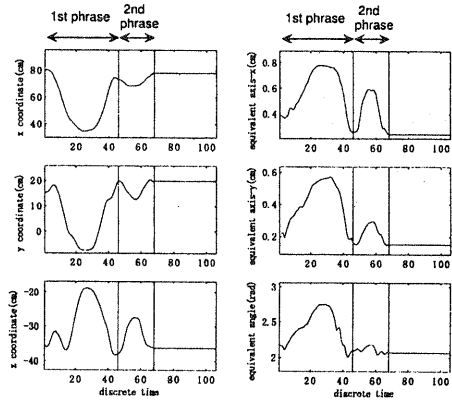


Fig. 8: To segment one action to some phrases.

「感情なし」の軸の動きと「好き」の軸の動き、各フレーズごとの比を求めるには、それぞれのフレーズの中で軸の動きをフーリエ級数に展開する。

各フレーズの軸の動き $X(t)$ は、フレーズの時間長さを T とすると、次のようにフーリエ級数の直流成分と第 1 次高調波成分を用いて近似できる。

「感情なし」の軸の動きは、

$$X^{no}(t) = A_0^{no} + A_1^{no} \cos \left(2\pi \frac{t}{T} - \theta_1^{no} \right) \quad (6)$$

と近似され、時刻を修正された「好き」の軸の動きは

$$X^{em}(t) = A_0^{em} + A_1^{em} \cos \left(2\pi \frac{t}{T} - \theta_1^{em} \right) \quad (7)$$

と近似される。

ここで、「感情なし」の軸の動きの振幅に対する「好き」の軸の動きの振幅の、直流成分でのゲイン・第1次高調波のゲインをそれぞれ

$$g_0 = A_0^{no} / A_0^{em}, \quad g_1 = A_1^{no} / A_1^{em} \quad (8)$$

で定義する。

これらのゲインを、時刻を修正された「好き」という情緒の動作軸に施して得られる動作軸は

$$X_{生成}^{no}(t) = g_0 A_0^{em} + g_1 A_1^{em} \cos\left(2\pi \frac{t}{T} - \theta_1^{em}\right) \quad (9)$$

で与えられる。これは、「好き」という情緒を伴う動作軸を情緒を伴わない「感情なし」の動作軸に近づけた物である。

このように、それぞれのフレーズごとの比を用いて、「好き」のグラフを「感情なし」のグラフに近づけた結果を、図9に示す。時刻と振幅を修正された「好き」の軸の動きが、「感情なし」の軸の動きにかなり近づくことが分かる。

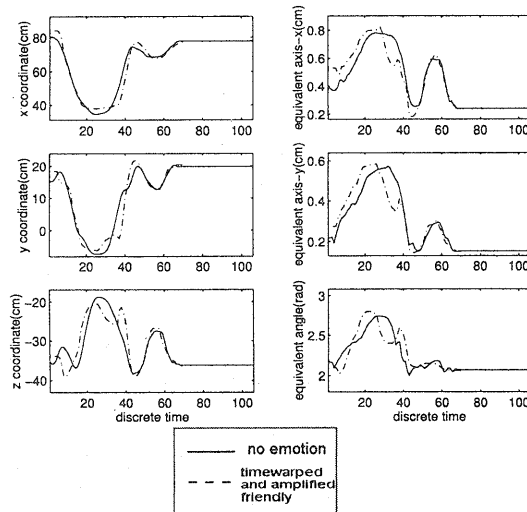


Fig. 9: The motion axes with no emotion and the amplified motion axes with friendly emotion.

以上のような知見から、局所的な時間を伸縮させたり、フレーズごとの振幅を増幅・減衰させることによって、文楽人形の軸の動きを人形遣いは使い分けて、感情の違いを表現していると考えられる。

6 軸の動きの局所的な時間伸縮と振幅の増幅・減衰による動作設計

前節までで得られた知見により、軸に対する身体の相対的な動きを加工することなく、身体の本軸の動きを局所的に時間伸縮させたり、フレーズごとの振幅を増幅・減衰させて加工するだけでも、かなり様々な情緒の身体の動きをCG上に設計できると期待される。時間伸縮を加工するには、図6のような時間対応の簡単なグラフを設計するだけで良いし、振幅に増幅・減衰の加工を行うにはフレーズごとに比を定める定数を指定すれば良いので、身体の各部位の動きをばらばらに設計する苦勞に比べれば、はるかに低い労力で身体の動きを加工できることになる。

「感情なしでお茶を渡す」動作の軸の動きを、時間伸縮とフレーズごとの振幅を加工するだけで、人形遣いが操作した「好意を持ってお茶を渡す」動作の軸の動きに、どこまで近づけられるのかを示したものが図10である。簡単な加工方法でも、人形遣いが操作した軸の動きに近いものを設計できることがわかる。軸に対する身体の相対運動には手を付けずに、「感情なしでお茶を渡す」動作の軸の動きから上記のように加工されて設計された動作を、CG上に生成してみると、身体の各部位の動きの整合が取れた動作が生成されていることが確認できた。

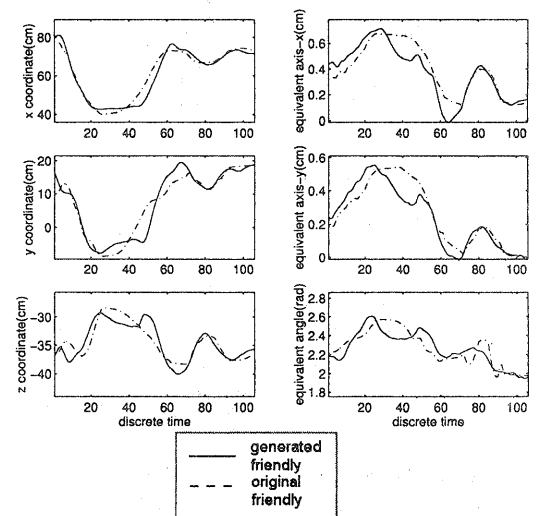


Fig. 10: Designed friendly action.

そして、この設計された身体の動きを、人形遣いが操作した「好意を持ってお茶を渡す」動作とCG上で比較した。身体全体の動きとしては、かなり似ているが、目線や手の細やかな動きに違いのあることが確認された。

従って、軸の動きを加工することによって、身体の動きを大雑把に設計しておいたうえで、目線や手などの細かな動き、つまり軸に対する身体の相対運動を微調整する必要があることが分かった。軸に対する相対運動を、より低い労力で加工し、様々な情緒の身体の動きを設計する方法を、今後開拓する必要があるのは、是非取り組む所存である。

7 舞踊譜(Labanotation)による動作の記述

「身体の物理的な運動」と「それを他者が見て感じる精神効果」との関係、実証的・理論的に論じた舞踊研究の成果に学ぶために、また本研究の成果を舞踊研究者たちに紹介するために、舞踊研究者たちが舞踊の振り付けの記述に用いている舞踊譜 Labanotation [3] [4] で文楽人形の動きを記述して、身体の軸の動きの時間伸縮などに関して得られた前節の知見を検討し直している。

Rudolf Laban によって身体の動きを記述するために考案された Labanotation とは、足・脚・胴・腕・手・頭などの身体の各部位が、(1) どれだけの時間をかけて、(2) どこまで移動するかを、図 11 のような direction symbol を用いて記す方法である。感情なし・好意・敵意でお茶を渡す文楽人形の動きを、Labanotation で記すと図 12 のようになる。縦の各コラムが左から順に、重心・胴・腕・頭・手の動きを記述している。下から上へ向けて時間が経過しており、個々の direction symbol の縦方向の長さが移動に要する時間を表しており、direction symbol の種類が、移動の結果として到達する身体各部位の方向・高さを表している。

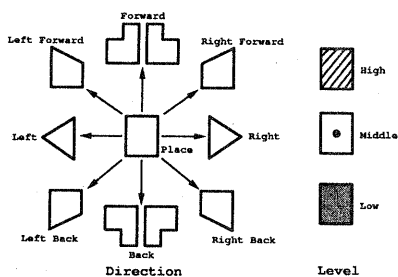


Fig. 11: Direction symbols of Labanotation.

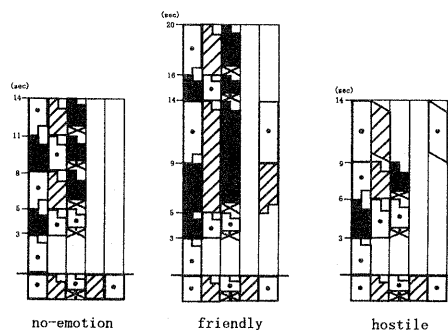


Fig. 12: To describe actions with no-emotion, friendly emotion and hostile emotion by Labanotation.

本稿の読者として想定される工学者が Labanotation に関心を持たれた場合は、Labanotation・CG・motion capture のデータの相互変換において先駆的な研究を行っている八村広三郎（立命館大学理工学部情報学科）の論文から読まれるのが得策だと思われる [3]。もし本格的に Labanotation を学ぼうと思われる方は、東京で開催されている Labanotation 研究会で学ぶことができる。この研究会における今までの講習の記録は、幹事の中村美奈子によってホームページ [4] において公開されている。

「感情なし」・「好き」の気持ちでお茶を渡す文楽人形の重心の位置の移動を、Labanotation を用いて表すと、図 13 のようになる。「感情なし」・「好き」の軸の動きの間の時間対応を表す図 6 と比べると、ほぼ一致した対応が確認できる。

このように身体の動きの数値データを用いなくても、Labanotation の direction symbol の配列のパターンだけでも、身体の動きの情緒を、かなりのレベルまで説明できるのではないかと期待して研究を続けており、CG 上の身体の動きの有効な設計方法へ発展させたいと考えているので、その成果を今後の機会に報告する所存である。

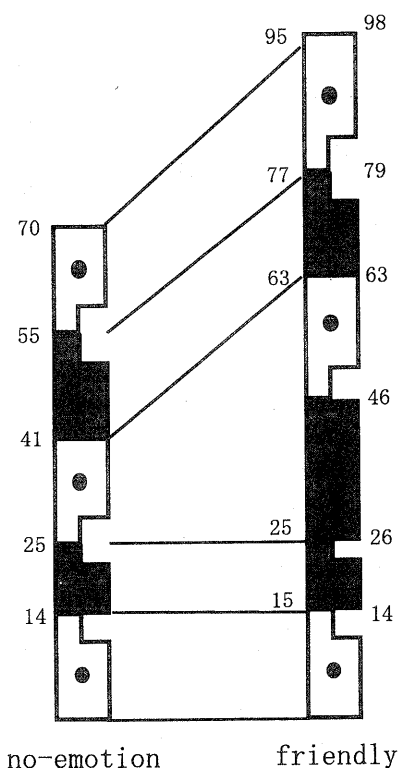


Fig. 13: To describe the support's movements with no emotion and friendly emotion by Labanotation.

8 おわりに

人間型ロボットやCGキャラクターの情緒豊かな動作を設計する手法を求めて、国立文楽劇場の人形遣いによって操られる文楽人形の動作を解析した。表現したい情緒に応じて人形遣いによって違い分けられた文楽人形の動きが、人形の慣性主軸の動きという大雑把な情報によっても、動きの時間伸縮や振幅の増幅・減衰などの概念によって、かなりのレベルまで説明できることを指摘した。

この知見に基づき、身体の軸の動きを加工することで、様々な情緒の動きを容易に設計する手法を提案した。図6のような簡単な時刻対応のグラフを設計するだけで、軸の動きの時間伸縮は調整できるし、各フレーズごとにゲインとなる定数を定めるだけで、振幅の調整を行うことができるので、軸の動きを設計することで身体の動きを設計すれば、容易に様々な情緒の動きを創ることができる。目線や手の細かい動きなど、軸に対する身体の相対運動の解析・設計に関しては、引き続き

研究する。

舞踊研究者たちが舞踊の振り付けの記述に用いている舞踊譜 Labanotation を用いて、文楽人形の動きを記述し、上記の身体の軸の動きに関する知見と比較を始めた研究に関しても、言及した。

身体の軸・Labanotation を含めて、身体の動きを見通し良く記述できる様々な手法を開拓し、基盤となる精神効果から身体の動きを説明できる理論を整えて、身体の動きの合理的な設計方法を提案できるように、研究を続ける所存である。

謝辞

御親切に相談に乗ってくださり、文楽人形の様々な動作を生成してくださった

吉田玉女氏(文楽協会)に改めて感謝いたします。また身体表現の記述・解析・分類に関して、今後

に研究すべきテーマを示唆してくださった、八村広三郎先生(立命館大学理工学部・情報学科)

と Labanotation 研究会の

中村美奈子先生・木村はるみ先生に深謝いたします。

参考文献

- [1] 青木繁・山田和人構成、園田学園女子大学近松研究所編集：“吉永孝雄の私説昭和の文楽”、和泉書院(1995)
- [2] 大西重孝：“文楽人形の演出”、大西重孝著作刊行会発行、中尾松泉発売(1974)
- [3] 吉田康行、松岡洋介、八村広三郎、“舞踊譜 Labanotation に基づく身体運動の処理-譜面読取り LabanReader と譜面エディタ LabanEditor-”、情報処理学会「人文科学とコンピュータ」研究報告、38-6, pp.61-68, 1988
- [4] Labanotation 研究会幹事 中村美奈子のホームページ <http://www.mars.dti.ne.jp/~mon-ako/labani/index.html>
- [5] 竹本住大夫・豊澤富助、“文楽カセット 文楽入門”、週間カセット出版(1986)
- [6] 服部元史、中坊保則、田所諭、高森年、山田和人、“文楽人形演技動作の動作軸の位相要素の解析”、日本機械学会論文集 C 編、66巻644号、pp.1243-1249(2000年4月号)
- [7] 服部元史、北川智広、田所諭、高森年、山田和人“Wavelet 係数を用いた時系列の標準化手法-文楽人形の演技動作時系列の標準化への応用-”、日本機械学会論文集 C 編、掲載予定