

## 能の型付資料に基づく仕舞のアニメーション自動合成システム Automatic Synthesizing System for Noh Dance Animation Based on Katatsuke

岩月 正見<sup>†</sup> 尾下 真樹<sup>†</sup> 山中 玲子<sup>‡</sup> 中司 由起子<sup>‡</sup> 関 健志<sup>‡</sup>  
Masami Iwatsuki Masaki Oshita Reiko Yamanaka Yukiko Nakatsuka Takeshi Seki

### 概要

本論文では、型付と呼ばれる能の演出の核となる資料に基づいて、あらかじめ用意された所作単元の動作データを組み合わせることで、能の仕舞の CG アニメーションを忠実に再現できるようなシステムを提案する。まず、市販の CG アニメーションツールを用いて、型付資料に記述された情報から仕舞をどの程度まで忠実に再現できたかを説明する。また、その結果を踏まえて、能の学習者や研究者などアニメーション編集に関する専門知識のない利用者でも使えるようにするためには、アニメーションシステムにどのような機能が必要であるかを明らかにする。つぎに、これらの考察から得られた知見に基づいて開発した、能の仕舞のアニメーションの自動合成システムについて述べる。また、本システムが、市販のシステムと比べてはるかに簡便に、仕舞を合成できることを示す。

### 1. はじめに

室町時代に大成された能楽は、台本・演技・装束など、すべてに独自の様式を備えた日本の誇る舞台芸術であるとともに、現代に生きる世界の演劇の重要な一つである。能の舞は、型付と呼ばれる資料において、どのような所作単元(型となる短い動作)をどのような順番で行うかという記述により記録されている。技芸の伝承は口伝によることも多いが、音声や映像を記録できるようになるまで、実際にどう動くかという知識を綿々と伝えてきたのが、型付資料である。能の習得や学習において、型付資料から舞をイメージできれば非常に有用であるが、一般の学習者や研究者にとっては、単に所作単元の名前が列挙されただけの型付資料から、それがどのような舞になるかをイメージすることは困難である。とはいえ、現存のすべての舞の映像をアーカイブするのは、流儀による細かな差もあり、事実上不可能である。また、仕舞全体の映像やアニメーションを見ても、一連の舞がどの所作単元をどう繋いで生成されているかを理解するのは難しい。そこで本研究では、限られた数で舞を構成する所作単元に注目する。個々の所作単元に対応する動作データをあらかじめ用意しておき、型付資料に従って動作データを組み合わせて舞の動作を合成できれば、あらゆる舞を CG アニメーションとして視覚化して理解することが可能になる。また、このように所作単元を一つずつ確認しながら覚え、一連の舞へと積み上げていく方法は、実際に能役者や学習者が舞を習得する方法とも一致している。映画制作などに用いられる市販の CG アニメーションシステムを用いて、このように所作単元の動作データを組み合わせて舞のアニメーション作成を行うこともできるが、そのようなプロ向けのシステムを使いこなすた

めには、アニメーションに関する専門知識が必要であり、多くの作業時間を要する、という問題がある。以上のことから、能の舞の CG アニメーションを簡単に自動合成できるツールが提供されることの意義は大きいと考えられる。これにより、能を学ぶ初心者のみならず、新たに学校で能を学ぶことになった小中学生などが能の舞を作ってみることも、研究者が古い型付から今は演じられない舞を復元することも可能になると期待される。

また、能の研究者が上記のような仕舞の自動合成システムを用い、型付資料に記述された客観的な情報に基づいて、最大限本来の舞に近い動作を合成することができれば、合成された動作と演技者による本物の舞の動作との違いを比較・解析することにより、型付資料だけでは知ることができない、能役者の動きの本質を解明することができると期待される。将来的にこのような研究へ発展させるためにも、型付資料に記述された情報と所作単元の動作データから舞の動作を合成できるシステムが必要とされている。

そこで本研究では、能の一部を紋付袴姿で舞う略式上演形態である「仕舞」の多くが、しっかりとした形で型付資料として残されていることから、まず、この仕舞の CG アニメーションを自動合成できるようにすることを目的として、以下の2つの要件を満たすような仕舞のアニメーションシステムの開発を行った。

- 1) 能の学習者から研究者まで誰でも容易に扱えること。
- 2) 型付資料に記述された情報と所作単元の動作データから最大限忠実に仕舞のアニメーションを再現できること。

本研究は大きく分けて2つの部分からなる。前半では、本研究の第一段階として行った、市販の CG アニメーションツールを用いて、型付資料に記述された情報と所作単元の動作データから仕舞を再現するための試みについて述べる。この実験から、市販の CG アニメーションシステムでも仕舞のアニメーションを作成することは可能であるが、予想された通り、多くの作業が必要となり、それらの作業を行うためには、アニメーションに関する専門知識が必要であり、多くの作業時間を要することがわかった。また、その結果を考察することにより、本研究で開発するアニメーションシステムには、以下の3つの作業を自動化できる機能が必要となることを明らかにする。

- 1) 所作単元の最適な切り出し部分の判定
- 2) 前後の所作単元の開始位置・向きの決定と調節
- 3) 歩行(ハコビ)動作の生成

本論文の後半では、本研究の第二段階として、前段階で得られた知見に基づいて開発した、仕舞のアニメーション自動合成システムについて述べる。基本的には、尾下の提案手法 [1] により、前後の所作単元の間接続や向きの自動調節の機能は実現できる。しかしながら、能特有の動きに対応するために、既存の手法の改良を行った。具体的には、能特有のすり足での動きに対応するため、足が地面に

<sup>†</sup>九州工業大学 Kyushu Institute of Technology

<sup>‡</sup>法政大学 Hosei University

接している状態でも、足が体重を支えているかどうかを判定できるように手法を拡張した。また、歩行動作生成機能についても、能における歩行動作の軌道の入力に適したインターフェースの設計や、動作データに基づく歩行動作の生成機能の実装を行った。つぎに、第一段階で市販の CG アニメーションシステムを用いて作成したものと同一仕舞のアニメーションを、筆者らが開発したシステムを用いて作成し比較する。この結果、本システムが、市販のシステムと比べてはるかに簡便に、仕舞を合成できることを示す。また、現状のシステムの問題点についても言及する。

## 2. 関連研究

本研究を遂行するうえで最も基本的かつ重要な「所作単元」という概念は、横道により提唱され、所作単元の詳細で厳密な分類表が作成されている[2]。また、山中は、能の舞を「型」と呼ばれる所作単元の時系列的な組み合わせによって記録するスタイルが、すでに 16 世紀末成立の型付資料に見られることを明らかにしている[3]。しかしながら、能の初学者にとって、個々の所作はイメージできる場合でも、それらをつなげて一連の動きやその時の位置を思い描くには相当の経験が必要である。

能の仕舞を CG によって再現しようという試みとしては、チョエンサワットらが、所作をラバノーテーションと呼ばれる、各部位の移動方向を記述する舞踊譜で表現し、舞踊譜に対応するあらかじめ用意された各部位のキーフレーム動作データを組み合わせることでアニメーションを生成するシステムを提案している[4][5]。しかしながら、ラバノーテーションは西洋風のダンスを記述するために開発された舞踊譜であり、各部位の単純な移動方向のみしか記述できないため、舞踊譜に対応する動作の型をテンプレートとして用意しておき、使用する所作に応じて動的に差し替える、といった工夫が必要となっている。このシステムは、所作を記述の難しい舞踊譜に変換しなければならないため、利用には専門的な知識が必要となる。また、各部位のキーフレーム動作を組み合わせることで動作を作成することになるため、モーションキャプチャデータを利用した自然な動作を実現することができない。

ラバノーテーションの代わりに、民族舞踊で使われる各部位の動きを独自に舞踊譜として定義し、その舞踊譜を使ってダンスのアニメーションを生成できるシステムの試みもあるが[6]、適切な舞踊譜を定義が難しいという問題や、組み合わせによる自然な動作を生成することがむずかしいという問題がある。特に、能の所作における各部位の動きには多くの種類・変化があるため、このような舞踊譜を単純に定義することはむずかしい。

能以外の舞踊のアニメーション編集・自動生成システムの研究としては、バレエ [7]やコンテンポラリー・ダンス[8]などのアニメーションシステムが提案されている。これらのシステムはいずれも、キーフレーム動作やモーションキャプチャ動作を単純に連続再生することでアニメーションを生成しているため、不自然なアニメーションとなる。また、これらのダンスにおいては、指定された軌道に従って移動するような動作は必要ないため、そのような動作を生成する機能は実装されておらず、また、音楽に合わせて動作のタイミングを調節できるような機能も実現されていない。本研究では、能の仕舞を実現する上で必要とされる機

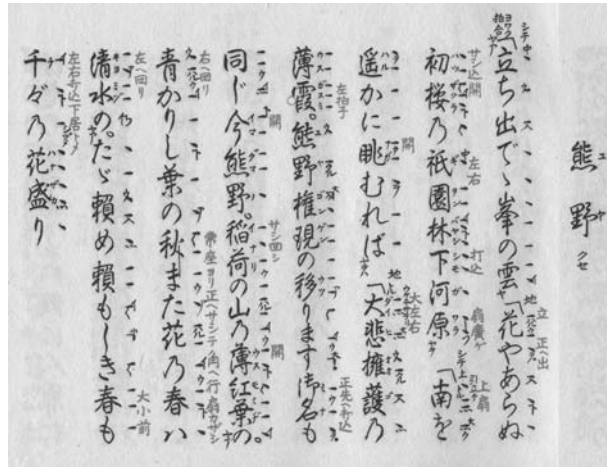


図 1 型付資料「熊野」(文献[10]より引用)

能を検討した上で、従来のシステムとは異なる、必要な機能を備えたシステムを開発した。

また、映画制作支援のための時代劇剣戟アクションを合成するシステムも提案しているが[9]、このシステムでは、一般のコンピュータゲームで用いられている手法を用いてあらかじめ用意した動作データが共通の姿勢で開始・終了するように動作データを編集しておくことで、前後の動作データがなめらかにつながるようにしている。このようなアプローチは、ゲームや殺陣のように限られた種類の動きを扱う用途にしか適用できない。能では、同じ所作であっても、前後に行われる所作によって、前後の所作との間の動作は変化するため、動作合成により動的に生成することが必要となる。

## 3. 型付に基づく仕舞の解釈

本節では、能アニメーション合成の基本情報となる型付資料を分析し、型付は、「型」と呼ばれる所作単元と能舞台上の位置と移動の方向を表す指示からなっていることを示す。また、モーションキャプチャによる所作単元データの収録方法についても述べる。

### 3.1 型付資料

能の所作の記述は、原則として、「型」と呼ばれる所作単元を、それが演じられる舞台上の場所や方向などと合わせて記すことによって行われる[3]。その最もわかりやすい形として、現行観世流の仕舞の型付がある。代表的な仕舞の 1 つである「熊野」の型付を図 1 に示す[10]。謡曲詞章の右に朱で記されている箇所が所作単元の指定であり、「立」「正へ出」「サシ込」「開」等の所作単元の時系列的な組み合わせからなっている。

### 3.2 能舞台

能の本舞台は、三間(約 6m)四方の正方形で、図 2 のように、縦横それぞれ 3 等分して 9 つのマスの区切りに立ち位置を捉え、それぞれの位置に名称が与えられている[11]。図 1 の型付の中にみられる「正先」や「常座」という記述が、この能舞台の位置を指定しており、「正へ」や「左へ」という記述が動く方向を指示している。

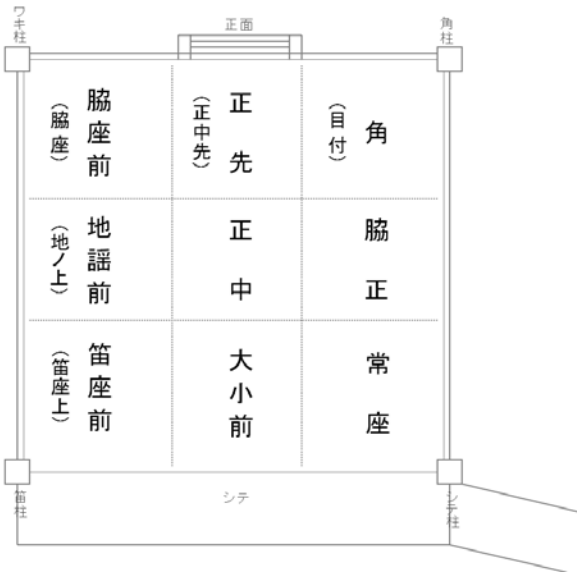


図 2 能舞台の各部名称

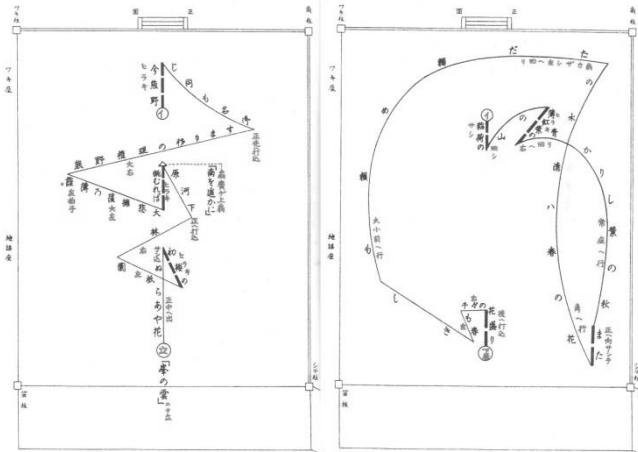


図 3 仕舞の「熊野」の軌跡 (文献[12]より引用)

### 3.3 仕舞の構成

図 1 に記された仕舞「熊野」は、下記のような所作単元の時系列からなっている。

立→正へ出→サシ込開→左右→打込→扇広ゲ→  
 「上扇→開→大左右→左拍子→正先へ打込」→開→  
 サシ回シ開→右へ回り→常座ヨリ正へサシテ→角へ行  
 →扇カザシ→左へ回り→大小前左右→打込下居トメ

ここで、下線が本舞台上の場所を、2重下線が動きの向きを指示している。仕舞は所作単元の時系列によって図式化できるのである。この記述に従って演じたときの舞台上の軌跡を前後半の2つに分割して描いたものを図 3 に示す [12]。

### 3.4 モーションキャプチャによる所作単元の収録

文献[2]において所作単元の詳細な分類を行った横道は、基本の身体所作と扇・袖の扱ただけでも 200 余種、太刀・杖等の持ち物を持った所作を含めれば 300 を優に超える所作単元を挙げている。ただし、これは流儀差や特殊演出まで含めた網羅的なものであり、同書の「主要所作単元名対



図 4 モーションキャプチャの様子

照表」では、52 種の所作単元名が記されている。また、文献[11]では、初歩的・基本的な仕舞を舞うのに習得が必要な所作単元として 80 種を挙げている。ごく一般的・代表的な所作単元は、分類の仕方にもよるが、およそ、50～100 程度と考えられる。今回は、こうした代表的な所作単元を中心に、各曲独自の所作も含め、83 種を収録した。大部分の所作単元について、女性の役など静かな曲の場合、鬼・神など強い演技を見せる場合等、数種類のバリエーションを収録することになる。まったく同じ所作がスピードや腕の広げ方などによって違った印象を与える場合もあるが、静かな演技と強い演技では同じ名称の所作であっても足の使い方や扇の扱いが大きく異なる場合もあるので、別のデータとして収録している。

以上のような所作単元は、観世流能楽師の馬野正基氏が舞ったものを 3 次元モーションキャプチャ VICON を用いて収録した。その様子を図 4 に示す。当初の収録時では、モーションキャプチャが有効な動作範囲が、図 4 中の床面に張られたテープの枠内に限定されており、2.5m×2.7m の面積しかなく、能舞台の 6m 四方の正方形と比較すると、面積比にして 1/5 に満たない。

VICON により取得されるモーションデータは、専用のボディースーツに張られた計測マーカ群の 3 次元的な軌跡すなわち体表面の動きとして取得される。ここでは、51 個の計測マーカを用いており、これらの 3 次元位置を C3D データとして保存する。このデータを、CG アニメーションとして復元できるボーンと呼ばれるリンク構造のデータに変換するため、市販の CG アニメーションシステムである Autodesk 社の MotionBuilder を用いて、初期姿勢などの余分な動作部分を取り除いた後、人体の関節角度データを格納するためのテキスト形式のファイルフォーマットである BVH データに変換する。ここでは、人体を、頭部、胸郭、骨盤、肩 (鎖骨)、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足部、爪先などの 19 個のセグメントに分け、所作単元データを BVH 形式で保存する。

### 4. 既存システムによる仕舞アニメーション合成

本節では、市販のアニメーションツールを用いて位置と方向の指示に従いながら動作の補正を行うことにより、所作単元のコア動作部分を時系列的に配置するだけで、仕舞の CG アニメーションをある程度忠実に再現できることを



示し、アニメーションシステムに取り込むべき機能を明確にする。

#### 4.1 所作単元のコア動作部の抽出

能の所作の多くは、それを単独で演ずる場合、腰に力を入れあごをひいた基本姿勢である「カマエ」で始まり再び「カマエ」で終わるため、収録したデータから前後の不要な部分を取り除き、どんな場合でも当該所作を演ずるときには必ず舞う部分を切り出す必要がある。切り出した部分は、後述するアニメーション合成を行いながら繰り返し検証し、最適な動作部を抽出している [13]。このような作業には専門的知識と時間がかかるうえ、仕舞によって切り出し部分が異なる可能性もあるため、自動的に選択されることが望ましい。

#### 4.2 連続する2つの所作単元の接続

所作単元の切り出し部分（以下、単に所作単位と呼ぶ）のモーションデータは、キャプチャ時の初期姿勢の位置から決定される原点を基準にして、絶対座標により動作が収録されているため、それぞれの所作単位によって始点と終点の位置が異なっている。そこで連続する2つの所作単元を自然につなぐためには、前の所作単元の終点と、後ろの所作単元の始点の位置を合わせる必要がある。アニメーションツールには、ピボットと呼ばれる2つのモーションの位置合わせの基点を指定することにより、異なる動作を滑らかにつなぐ機能がある。ここでは、この機能を用いて、前後の所作単元で、床に体重をかけている方の足首の関節をピボットに指定して位置合わせを行っている。また、各所作単元の開始位置・向きを適切に調節したとしても、前後の所作単元での姿勢が異なるため、姿勢が急激に変わって不自然になってしまうため、アニメーションシステム上で、指定した時刻間の姿勢をなめらかに変化させるブレンディングの機能を利用している。このように、前の所作単元の位置・向きによって後の所作単元の開始位置・向きを適切に調節し、2つの所作単元間の姿勢の変化を滑らかに補間する機能が必要となる。しかしながら、前後の所作単元の位置・向きを調節して接続していきただけでは、仕舞「熊野」の型付資料に基づいて、舞全体を合成しても、本来の舞の軌跡からはかけ離れたものになってしまうことがわかっている [14]。これは、所作単元を収録する際は、狭いキャプチャ動作範囲の中で、前後の所作や舞台の位置関係を意識せずに演じているため、1つ1つの所作単元の終了時の向きが少しずつずれていってしまったと考えられる。また、「常座」、「大小前」や「正へ」などの場所や方向が指示されている箇所をまったく考慮していないことも大きな原因になっている。

#### 4.3 所作単元の開始姿勢の向きの補正

前節で考察したように、前後の所作単元の接続のみによる合成では、所作単元の位置や方向を考慮していないため、実際の軌跡とは大きくずれてしまうことになる。能の仕舞は、舞台正面を常に意識して演じられており、特に1つ1つの所作単元の開始姿勢が舞全体の方向感を決定している。そこで、開始姿勢の方向性だけに着目して補正を行う。前節では、前後の所作単元の右足首を、位置・向きともに一致させるように位置合わせを行う例を示したが、ここでは、

位置のみを合わせ、前の所作単元の終了姿勢あるいは後の所作単元の開始姿勢の向きが舞台正面を向いていない場合は、正面を向くように配置する。このような変更に対してアニメーションツールの自動補間機能を利用すれば、2つ所作単元の間動作は、軸足周りに回転しているように自然な形で滑らかにつながる。しかしながら、この場合も、「常座」や「大小前」などの位置の指示を考慮しておらず、また、狭いキャプチャ動作範囲で収録したデータを使っているため、大きな移動を伴う「回ル」などの動きが不十分であることから、移動軌跡で大きなずれが生じてしまうことがわかっている [14]。したがって、このような大きな移動を伴う所作は、任意の軌道を生成できる歩行（ハコビ）動作で実現できるような機能が必要となる。

#### 4.4 考察

以上のような補正により、所作単元のコア動作部を時系列的に配置することで、一連の仕舞の3Dアニメーションを合成できる。これらの補正をできるだけ自動化して、ユーザが、型付資料の記述に従って所作単元を配置するだけで、自然な仕舞のアニメーションを自動合成できるようにするために、以下のような機能を実装する必要がある。

- 1) 所作単元の切り出し部分が、前後の所作単元やそれらのタイミングに基づいて自動的に判定され、切り出しの処理が行われる。また、切り出された前後の所作単元の間を滑らかにつなぐために、どの時刻からどの時刻の間でどのような姿勢ブレンディングを行うべきかが自動的に判定され、ブレンディングの処理が行われる。
- 2) 所作単元の開始姿勢の位置・向きを、前の所作単元の終了時点における位置・向きに一致するように、自動的に調節させられる。また、所作単元の開始姿勢の向きを、必要に応じて調節することができる。さらに、所作単元の開始位置の向きの補正に伴い、前後の所作単元の間を滑らかにつなぐことができる。
- 3) 指定された任意の目標位置・向きや軌道に従って歩行（ハコビ）の動作を自動的に生成・挿入できる。

上記1のような動作の切り出しとブレンディングの機能は、MotionBuilderのような市販のアニメーションツールにも実装されているが、どの範囲を切り出すべきか、どのようなブレンディングを行うべきか、といった自動的な判定の機能は実装されていない。このような判断は、アニメーションツールの利用者が自分で行う必要があり、そのためには、アニメーション編集に関する専門知識やセンスが要求される。また、十分な知識を持った利用者であっても、実際にこのような編集を行う際には、多くの操作や試行錯誤が必要になるため、作業には長い時間がかかる。上記2は、所作単元の開始位置・向きの調節自体は、アニメーションツールに一般的に実装されている機能であるが、前後の所作単元がつながるように開始位置・向きを自動的に調節するような機能は実装されていないため、利用者が自分で行う必要がある。上記の機能1と同様、素人がすぐに扱えるような処理ではなく、利用者の専門知識が必要になるという問題や、長時間の作業が必要になるという問題がある。また、上記3は、アニメーションツール上の基本機能では、1歩あるいは2歩の短い基本歩行動作を作成し、歩行軌道に合わせた歩行動作の変形や複製、ピボットによる



図 5 仕舞アニメーション自動合成システムの実行画面

位置合わせを行って、それらを1つ1つつなげていく必要があり、非常に手間のかかる作業となる。

以上のように、市販のアニメーションツールは時間をかければ、いくらでも微調整が可能で、品質の高いアニメーションが合成できるが、利用者はアニメーション編集やシステムの使用方法についての専門知識を持っている必要がある。また、作業には多くの時間がかかり、1つの仕舞を作成するのに、専門家でも数時間程度は必要となる。実際に、全体で3分程度の仕舞「熊野」の最終的なアニメーションを作成するまでに、合計5,6時間程度を要した。

## 5. 仕舞のアニメーション自動合成システム

前節では、市販のアニメーションツールを用いて、型付資料から仕舞を合成する方法について述べたが、能の研究者や一般の学習者が容易に仕舞を合成できるようにするには、市販のアニメーションツールでは不十分であり、独自のシステムを開発する必要がある。

そこで筆者らは、型付に記された所作単元モーションデータを順に選択していくだけで、仕舞をCGアニメーションとして復元できるシステムを開発した。本システムは、尾下が提案した「半自動動作合成システム」の手法を応用したものである[1]。本節では、本システムが4.4節で述べた満たすべき要求機能1~3を有していることを示し、実際に本システムを使用して仕舞を合成した結果を示す。

### 5.1 システムの概要

開発した仕舞アニメーション自動合成システムの実行画面を図5に示す。背景となる能舞台モデル、演技者となる袴姿のキャラクターモデル、所作単元の動作データなどは、あらかじめシステムに組み込まれており、利用者は自分でこれらのデータを用意する必要はなく、型付資料に従って所作単元を指定していくだけで、仕舞のアニメーションを合成できるようになっている。能舞台モデル・キャラクターモデルについては、プロのデザイナーに作成してもらったモデルデータを、本システムで利用できる形に変換して、システムに組み込んでいる。所作単元の動作データについては、3.4節で述べたBVH形式のファイルとして記録されたものをシステムから読み込むことができるようにしている。また、手の指の姿勢や動きについては、動作データの中には含まれていないため、手の姿勢の情報や手と扇の相対位



図 6 仕舞の開始位置・向きの調節

置・向きの情報を別途設定して使用している。したがって、手の指の動きや扇の持ち方の変化については、現在のシステムでは対応していない。

本システムの画面構成は、合成されたアニメーションを再生したり、キャラクターや動作の位置・向きを編集したりするための表示部分(画面上部)と、時間軸上での所作単元の配置を編集するタイムライン部分(画面下部)に分けられる。タイムライン部分には、所作単元を配置するための3本のラインとそれらを合成した結果を示す1本のラインがある。タイムラインは、左から右に向かって時間の流れを表している。利用者は、あらかじめ用意された所作単元の動作データ(BVH形式ファイル)を読み込み、タイムライン上に配置することができる。タイムライン上に置かれている各動作トラック(四角形)は、対応する所作単元が時間軸上のどの時刻からどの時刻の間で実行されるか、ということを表している。このタイムライン上で動作データの実行タイミングを変更したり、動作の開始時刻・終了時刻(速度)を調節したりできる。また、連続する所作単元を時間的に重複させて配置することもできる。タイムライン表示部分では、上部のスクロールバーを操作することで、必要に応じて、アニメーション全体のうちのどの時間範囲を表示するかを調節できる。

また、本システムでは、仕舞開始の最初の位置と向きを調節することができる。画面上部のメニューから「開始位置・向きの編集」機能を有効にすることで、キャラクターの初期位置・向きを表す四角形が画面上に表示され、これらを変更できるようになる。図6に示すように、制御点(足の長方形の中心部分)をクリックすると、制御点を平行移動・回転できるハンドル(青・赤・緑の線)が表示されるので、各ハンドルにマウスカーソルを合わせてドラッグすることで、平行移動・回転ができる。もしくは、制御点の中心をドラッグすることで、平行移動することができる。

さらに、本システムには、合成動作全体を俯瞰するための、合成動作全体の移動軌道を舞台の上に描画する機能や、合成動作全体を連続姿勢で描画する機能も実装している。また、仕舞のアニメーションを作成するために、音楽データを読み込んでアニメーションと同期させて再生する機能や、アニメーション・音楽をまとめて動画として出力し、標準的な動画プレイヤーで見られるようにする機能も実装している。



図 7 動作トラック

## 5.2 前後の所作単元の接続

尾下の提案手法 [1] は、時間軸上に複数の要素動作が並べられたときに、各要素動作のどこからどこまでの範囲を切り出して使用し、また、前後の要素動作間で、どこからどこまでの範囲でどのようなブレンドングを行って姿勢をなめらかに変化させるか、といったことを自動的に判定して、動作合成を行い、自動的に一つの合成動作を生成するものである。本手法を適用することで、4.4 節の要求機能 1 を実現できる。

尾下の手法の原理は、もとの要素動作における足と地面の間の拘束条件を保つように動作合成を行うことである。もとの要素動作において、左右いずれかの足が地面に接して足に体重がかかっている状態のときに、その足の動きを前後の要素動作と合成してしまうと、合成の結果、足が地面の上をすべるような物理的に不自然な動作になってしまう。そこで、本手法では、入力された各動作データの中で、足が地面に接している時間（区間）を自動的に解析し、その情報に基づいて、各区間でどのように動作を合成すればよいかを自動的に決定する。その結果に基づいて、各要素動作の切り出しや前後の要素動作間のブレンドングが自動的に行われ、一連の自然な合成動作が生成される。

今回開発したシステムでは、基本的に、本手法をそのまま用いている。ただし、要素動作（所作単元の動作データ）を解析し動作中の各時刻における足と地面の間の拘束条件を判定する処理については、能の動きに対応するための改良を行った。能の動きには、あまり足を床から上げずに動く（すり足）という特徴があるため、単純に足の高さを見るだけでは、足が地面に接して荷重がかかっているかどうかを判断できない。そこで、取得した能の動作データから足の移動速度を計算し、足が低い位置にあり、かつ移動速度が一定以下であれば、足に荷重がかかっていると判断するようにした。具体的には、足の移動速度が 0.4m/s 以上のときには、足が地面に接している場合でも、足は動いており、足には荷重がかかっていないと判定している。

本システムでは、タイムライン上の動作トラックに、システムが解析した足と地面の間の拘束条件の情報が可視化されるようになっている。図 7 に、一つの動作トラックを拡大表示した例を示す。BVH ファイル名の下に表示された 2 本のラインは、それぞれ左右の足の拘束状態を表している。ラインが途切れている部分は足に荷重がかかっておらず、足が床に拘束されていないことを示している。この情報は、あくまで参考のための表示であり、実際の動作合成処理は、この情報に基づきシステムが自動的に行うため、利用者は通常はこの情報を意識する必要はない。

## 5.3 所作単元の開始の位置・向き of 自動決定・調節

尾下の提案手法 [1] には、前の要素動作につながるように、後の要素動作の開始位置・向きを自動的に決定するための手法も含まれており、この手法を適用することで、4.4 節の要求機能 2 を実現できる。

5.1 節で述べた前後の要素動作間の合成方法を決定する段階で、左右のどちらの足を軸足として合成を行うかが決定されるため、前後の要素動作で軸足の位置が一致するように、要素動作の開始位置が自動的に決定される。開始向きについては、単純に腰の向きを基準として前後の要素動作の向きが一致するように開始向きを決定すると、腰が正面からややずれた向きで始まる要素動作を接続する際に、前後の動作の向きがおかしくなってしまう。そこで、要素動作全体の中で腰がどのように動いているかを解析することで要素動作の向きを判定し、その向きに応じて、前後の動作の向きが一致するように、要素動作の開始向きを決定する。ただし、必ずしも利用者の期待するような開始向きにならないときがあることや、舞によっては向きをずらしたいこともあることから、本システムでは、システムが自動決定した開始向きを、利用者が調節することのできる機能も追加している。

本システムでは、画面上部のメニューから「動作の向きの編集」の機能を有効にすることで、2 番目以降の各所作単元の開始向きを調節できる。タイムライン上で所作単元の動作トラックを選択すると、その動作の開始向きを表す四角形と、その向きを回転するためのハンドルが表示されるので、このハンドルにマウスカーソルを合わせてドラッグすることで、向きを調節できる。

## 5.4 歩行（ハコビ）動作の生成

歩行動作の自動生成については、コンピュータアニメーションの分野でさまざまな手法が研究されている [15][16]。今回開発したシステムでは、このような歩行動作生成手法を実装することで、4.4 節の要求機能 3 を実現した。

基本的な原理としては、あらかじめ歩行動作の 1 サイクル分の動作データを用意しておき、与えられた軌道に応じて動作データの変形・繰り返しを行うことで、歩行動作を生成する方法が一般的である [15][16]。実際に、市販のアニメーションツールでも、このような機能が組み込まれたものも存在している。

今回開発したシステムでも、このような手法に基づき、あらかじめモーションキャプチャにより取得した歩行（ハコビ）動作の動作データを使用して、入力された軌道に基づき歩行動作を生成する機能を実装した。歩行軌道が入力されると、もとの歩行動作データの軌道の長さをもとに、何歩分の歩行動作を行うかを最初に決定し、その分の回数各歩行動作データの移動距離や軌道を変形することで、全体の歩行動作を生成する。また、歩行動作の最初や最後におけるキャラクタの向きと、軌道の方向が異なる場合には、歩行動作の最初や最後に自動的に方向転換の動作を行って向きを合わせる動作を生成する機能も追加している。方向転換のための動作も、あらかじめモーションキャプチャにより取得した動作データを使って実現している。

本システムでは、メニューから「歩行動作の生成・追加」を選択することで、歩行動作を生成できる。この時点では、前方に一定距離だけ歩く初期の歩行動作が生成されるので、利用者は、生成された歩行動作に編集を加えることで、任意の軌道の歩行動作を生成できる。利用者の操作により、制御点を追加・削除したり、各制御点の水平位置・水平向きを編集したりすることができる。システムは、それらの制御点に従って、各制御点の位置・向きを満たすような



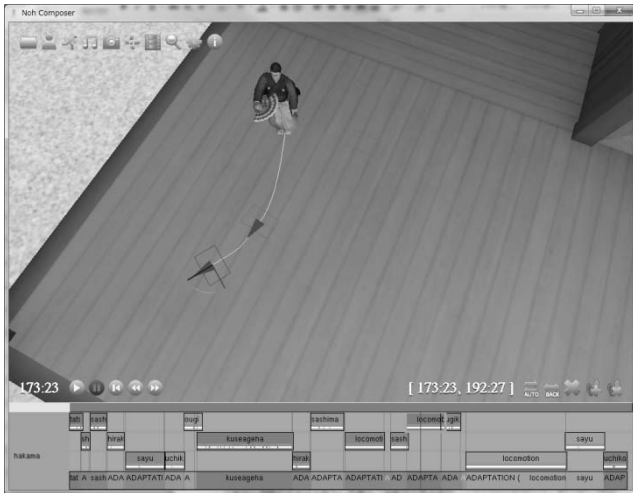


図 8 歩行動作の生成

めらかな曲線軌道と、その軌道に応じた歩行動作を生成する。タイムライン上で歩行動作が選択されていれば、選択した歩行動作を編集できる。図 8 に示すように、制御点（矢印を囲む長方形の中心部分）をクリックすると、制御点を平行移動・回転できるハンドル（青・赤・緑の線）が表示されるので、各ハンドルにマウスカーソルを合わせてドラッグすることで、平行移動・回転ができる。もしくは、制御点の中心をドラッグすることで、平行移動することができる。歩行の途中で方向転換を行いたい場合は、2つの歩行動作に分ける必要がある。

## 5.5 仕舞「熊野」の合成結果

本システムを用いて、仕舞「熊野」のアニメーションを作成する実験を行った。型付の中の「右へ回り」、「角へ行」、「左へ回り」などの大きな移動を伴う所作を、所作単元の動作データを使用せずに、歩行動作を生成して仕舞を合成したアニメーションを図 9 に示す。また、その移動軌跡を描画した結果を図 10 に示す。この図からわかるように、図 3 と同様の舞台を大きく使った軌跡を描いている。しかしながら、実際に合成した仕舞のアニメーションを見たところ、歩行動作の部分が不自然に感じられることがわかった。これは、本来のハコビでは、一定の速度で歩行を行うのではなく、最初はゆっくりと動き後から速くなる特有の緩急のついた歩行が行われるが、現在の歩行動作生成機能ではこのような歩行動作の速度制御は考慮されていないことが原因であると考えられる。この問題については、今後の課題として「ハコビ」に特化した歩行動作生成手法を開発することで、解決したいと考えている。

本来、型付の中の位置の指定（指定された場所への移動）には、歩行動作生成機能を使って対応することになっているが、現時点では、同機能により生成された歩行動作に不自然な箇所があるため、別の方法として、「角へ行」「左へ回り」など、対応する所作単元の動作データを使って実現を試みた。このように、位置の指定は無視して、指定される所作單元のみをつなげて仕舞「熊野」を合成したときの移動軌跡を描画した結果を図 11 に示す。この方法の場合、モーションキャプチャ時のキャプチャ範囲が狭く、動作デ

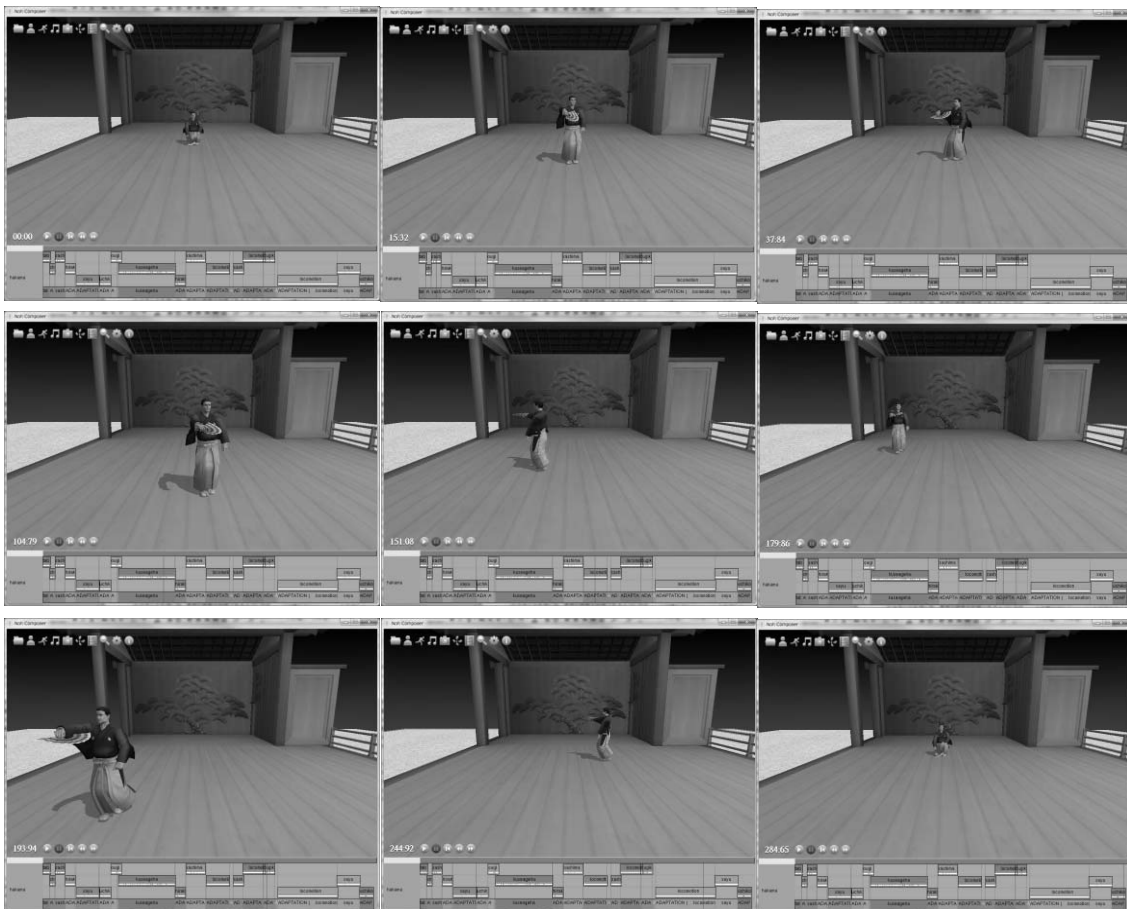


図 9 開発システムを用いて作成した仕舞「熊野」のアニメーション再生の様子



図 10 歩行動作を追加して合成した仕舞「熊野」の移動軌跡

一タの中の移動の距離が、本来の仕舞での移動距離と一致していない。図 3 のように舞台を大きく使って移動する本来の軌道を描いておらず、各所作単位が行われている舞台上での位置は本来の仕舞での位置とは異なっているが、個々の所作単元の動きや前後の所作単元のつながりは概ね自然で、仕舞全体のニュアンスを捉えるために十分有効な結果が得られたと考えている。しかし、研究目的である最大限忠実な仕舞の再現という観点からは不十分であり、歩行動作生成を用いた結果の方が望ましい。

仕舞「熊野」は、全体で 3 分程度の長さの仕舞であり、3.1 節で示した通り、14 個の所作と、3 個の移動から構成されている。システムの使用法に慣れた利用者であれば、所作単元の配置、各所作単元の開始向きの調節、歩行動作の軌道生成などを含めて、20 分程度で仕舞のアニメーションを作成することができた。4.4 節で述べた通り、同様の作業を既存のアニメーションシステムで行ったときには 5.6 時間かかったことと比較すると、今回開発したシステムでは非常に効率的にアニメーション作成ができたといえる。また、その再現の忠実さに関しても、既存のシステムと比較して遜色ないことがわかった。

## 6. おわりに

本論文では、型付資料のみに基づいて、能の舞の CG アニメーションを忠実に再現できるようなシステムを提案した。現状では、歩行動作に扇を広げる・閉じるなどのバリエーションを付加する機能はまだ実装していないが、今後は、下半身の移動の動作と上半身の所作単元の動作を独立して配置することで、より忠実に仕舞を再現できるようにしたいと考えている。また、型付に記された「正先」、「常座」や「大小前」などの能舞台上の位置を指定すれば、自動的にその場所へ行くような歩行動作が生成される機能の追加や、「シテ」と「ワキ」の二人の演者による舞の合成にも対応していきたい。さらに、専門家や初学者に実際に本システムを利用してもらい、客観的な評価を行うことも今後の課題として残されている。

### 謝辞

本研究の一部は、異分野融合による方法的革新を目指した人文・社会科学研究推進事業、科研費 (21652023) および



図 11 所作単位のみをつなげて合成した仕舞「熊野」の移動軌跡

JST 研究成果最適展開支援プログラムの助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Masaki Oshita: Smart Motion Synthesis, Computer Graphics Forum, Vol. 27, No 7, pp.1901-1918, Blackwell Publishing (2008)
- [2] 横道萬里雄: 講座能・狂言別巻『能楽図説』岩波書店 (1992)
- [3] 山中玲子: 能楽型付の記述ルールの研究 (1), 能楽研究所紀要第 34 号, pp.69-94 (2009)
- [4] チョエンサワット, 高橋, 中村, 崔, 八村: 様式化された伝統舞踊身体動作の Labanotation による記述と表示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.3, pp.379-388 (2010)
- [5] W. Choensawat, S.Takahashi, M. Nakamura and K. Hachimura: The Use of Labanotation for Choreographing a Noh-play, Proc. of International Conference on Culture and Computing 2011, pp. 167-168 (2011)
- [6] 湯川, 海賀, 長瀬, 玉本: 舞踊符による身体動作記述システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No.10, pp. 2873-2880 (2000)
- [7] A. Soga, B. Umino, T. Yasuda, and S. Yokoi: Automatic Composition and Simulation System for Ballet Sequences. The Visual Computer, vol. 23, no. 5, pp. 309-316 (2007)
- [8] A. Soga, B. Umino and M. Hirayama: Automatic Composition for Contemporary Dance using 3D Motion Clips: Experiment on Dance Training and System Evaluation. Proc. of International Conference on Cyberworlds 2009, pp. 171-176 (2009)
- [9] 天目, 岡本, 柴田, 田村: 時代劇剣戟アクションの基本動作への分解と組立 - 映画制作支援のための可視化技術 -, 情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, Vol. 2008, No. 15, pp. 223 - 228 (2008)
- [10] 観世左近: 観世流仕舞形付, 檜書店 (1951)
- [11] 野村四郎: 仕舞入門講座, 檜書店 (2010)
- [12] 観世左近: 観世流仕舞入門形附, 檜書店 (2003)
- [13] 中司由起子: 型付における「回る」— 能楽型付の記述ルールの研究 (2) —, 能楽研究所紀要第 34 号, pp.25-41 (2010)
- [14] 岩月, 山中, 大塚, 中司, 柳瀬: 能の型付資料に基づく所作単元の分析と舞の 3D アニメーション合成, 情報処理学会人文科学とコンピュータ研究報告, 91-5, pp.77-91 (2011)
- [15] S. I. Park, H. J. Shin and S. Y. Shin: On-line locomotion generation based on motion blending. Proc. of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002, pp. 105-111, (2002)
- [16] Masaki Oshita: Pen-to-mime: Pen-Based Interactive Control of a Human Figure. Computers & Graphics, Volume 29, Issue 6, pp. 931-945 (2005)