

モーションキャプチャによる芸能の定量比較研究

廣田 律子／海賀 孝明／岡本 浩一

はじめに

「人類文化研究のための非文字資料の体系化」の中で身体技法と感性をテーマに研究をするにあたり、芸能を扱う事とした。芸能に見られる身体表現は、文字よりも伝達力に優れる面があり、非文字を扱うのに欠かせないと考えたからである。芸能において舞踊は重要な要素である。舞踊は、歩く、座る、立つ、走る、背負う、といった日常生活動作ではなく、祭祀儀礼と結びつきましたそこから変遷を遂げ舞台上上がった非日常的な動作である。舞踊は、身体表現の中でも最も多彩である。人体は複雑な構造をしているので、手一つにしる、十本の指の関節、手首、ひじ、腕の付け根の関節によって種々な動きが可能である。足も手と同様で、頭は頸とそして胴体も腰を中心に組み合わされ、日常生活の動きとは全く違う表現が実現できる。

ただしマルセル・モースの「身体技法」論からみれば、立つ、座るといった基本的な姿勢でさえ、それぞれの民俗文化に伝承される技術に他ならないのである。野村雅一の『しぐさの世界—身体表現の民族学』⁽¹⁾には「人間の活動の環境は自然に与えられるものではなく、むしろ人間が作り出すものである」とあり、睡眠という生理現象でさえ、また立つ、しゃがむ、座るといった日常生活の動作全般にわたって、自然的環境への人間の働きかけによって生じた技術といえ、社会的、文化的現象であるとされる。とはいえ、舞踊の動作は、長い年月を掛け、それぞれの集団の中で意識的に育まれた技術文化の結晶といえる。

宮尾慈良は紀元5世紀頃のギリシャ人の宇宙論に遡り、⁽²⁾「人間は幼い時から自然現象が放つリズムと

同調し、そして成長するに従って、次第に社会が創り出す文化リズムと同調するようになった」とし、「身体を唯一の表現とする舞踊は、そうした宇宙と同調する世界を顕現しているといえる。舞踊の流れるリズムカルな動きは、まさに宇宙のリズムの動きである。—中略—こうして舞踊は私達の中に潜むコスミカルな精神を顕わす表現として、古来より宗教的な儀式のなかで神と出会う手段であった」と舞踊動作について説明する。三隅治雄⁽³⁾は舞いについて、

「舞」が、言語表現と一体となって成長した揺籃の場は、祭りの場に立った巫者の、神招きから神懸かり→託宣に至る一連の所作の中に見出される。巫者が旋回するうち、恍惚の境に入り、神の託宣を行なう儀礼である。

この託宣は、本来、真実神懸かりした者が、夢うつつの中で、靈感の湧き起こるままに、その場限りの言辞を宣るものであったが、祭式が年々繰り返されるうちに、様式化するようになった。すなわち、神懸かりを生じさせるための回歩が、四方を何回めぐるとか、右、左順逆旋回するとかの形を取るようになった。また、託宣が、神の来歴と靈威を説いて相手を祝福する一定文句の呪詞に変化した。

前段の回歩、つまり、「まわる」が「まい(舞)」に、それに引き出される後段の「託宣」が、神の来歴や業績を語る叙事的な「もの(語り)」に変化したのである。

と舞踊動作の起源を説明する。

吉川周平⁽⁴⁾は祭祀演劇をぬけ舞台上で洗練された能までも憑依型舞踊と考え、「ながながと演じられるそれに至る部分が、シテの人物に舞踊のウゴキを引きおこせるものであり、憑依型舞踊でウゴキの動機

づけをするための、言葉や音楽の要素に対応するものと見ることができるのではないだろうか」とその宗教性を指摘している。

このように舞踊のはじまりは神との交信にあるとされるが、川村邦光⁽⁵⁾、「(巫女は)自分の身体をカミの憑依する器として訓練し、カミの憑依もしくは特異な心身状態を統御・機制して馴致させようとしている」としている。神と一体となる憑依も習得され、意図的に特異な心身感覚を引き起こすことができるようにコントロールされる技術と捉えることができる⁽⁶⁾とされる。

以上の論から、宇宙を体感し神と通信することもまた人間による恣意的な自然への働きかけであり、そこに舞踊の動作が生み出されたといえる。舞踊の一つ一つの動作が何を表現するものであるかは、民俗芸能の場合ほとんど忘れ去られたまま伝承されている。しかし舞踊動作は、文化的に規定され、無意識に制約を加えられている傾向性、モースのいうハビトゥス(型)が反映した動作といえる。

芸能としての舞踊は文化の総体といえるので、舞踊学・演劇学のみならず文学・民族学・民俗学・歴史学・心理学・社会学・文化人類学・教育学・運動学や音楽学等、種々な研究分野からの取り組みが可能であるため、碩学によって研究成果が積み重ねられてきた。本研究を進めるにあたり参考とした一部を紹介する。

ご承知の通り、能の所作については横道萬里雄⁽⁶⁾の丹念な解説があり、花祭りの所作については、早川孝太郎によるこれも図入りの詳細な解説がある⁽⁷⁾。この外にもそれに続く分析成果が続々と世に問われている。

学校教育に民俗舞踊を取り入れる場合の指導法について、西郷由布子は⁽⁸⁾、動きを整理しながら分析的に教えるとイメージを膨らませる、この2つの柱があるとする。

また民俗芸能の伝習について早池峰神楽を例に取り⁽⁹⁾、動作のパターンである「手ごと」の習得の重要性を指摘している。神楽の舞は「手ごと」の組み合わせで構成されており、「手ごと」自体より小さなパターンの積み重ねで出来ており、入れ籠的構造

を示している。「手ごと」は演目間で共有されるものがあり、これにより舞の類型性が見られる。演者は「手ごと」を身体に刻む事で、舞の演目に応じて引き出してくるとする。

折口信夫⁽¹⁰⁾は「をどりは飛び上がる動作で、まひは旋回運動である」とする。また三隅治雄⁽¹¹⁾は日本人の稲作農耕民としての舞踊特性について、足の運びから分析しているが、上下に飛び跳ね、うきうきと躍動する「踊」は、朝鮮のものであり、水田稲作農耕民族である日本人には本来無いものとする。そして日本人は、

騎乗生活を日常している者とは全く異なる、土に密着して、だから、とんだり跳ねたりも少なく、歩行のメリハリもなく、ゆったりと、右・左と、ガニ股スタイルで行動する農民の姿が浮かんでくる。

ぐっと土を睨み据え、内に思いを籠め、無表情に、外からは、静とも鈍とも取れる動作を示す、頑固で頼もしき日本の農民像である。そして、その姿にオーバーラップして、腰をじっくりと落として、舞台を歩きまわり、要所要所で足を踏む、神楽や能や幸若舞など「舞」と呼ばれる舞踊のさまざまな姿が、見えてくる。

とする。

水村真由美は、東洋と西洋の舞踊を比べた場合、「身体重心を低く取る姿勢が多い為に、足の動きへの誓約は大きい、東洋の舞踊において、足の表現が軽視されるかといえば、必ずしもそうとは限らない」としている⁽¹²⁾。

吉川周平は跳躍の動作の有無でオドリを二分し、トビアガルオドリとトビアガラナイオドリとし、その核動作について、トビアガラナイオドリは大分県姫島の盆踊りの足の動かし方のボンアシを例にし、「オドリは跳躍という上下動のウゴキを本来と考えられているが、ボンアシはオドリの動作の原形と見られる跳躍するフミカエアシの垂直動作を、水平動作に直訳したようなウゴキである」と説明している⁽¹³⁾。

「日本の古典芸能にみられる呼吸技法」⁽¹⁴⁾の中で森田ゆい、佐々木玲子は、呼吸に着目し、狂言役者五名と歌舞伎役者一名を被験者とし、舞いの基本的所

作について役柄の違いによる呼吸頻度を測定し、動作と呼吸の対応関係を科学的方法で調べ、日本の古典芸能の独特の呼吸技法を確認している。

種々な研究が行なわれているとはいえ、工学からの研究対象としての取り組みはまだまだ遅れている。研究対象として資料化するためには、身体動作を記録することが前提となる。従来文章により個々に差のある主観的な表現がとられてきた。この表現を客観的な記述にする取り組みとして、ルドルフ・ラバンが提唱したラバノーションをはじめとする舞踊採譜が次々と考案されてきた。さらにこの身体動作の記譜を三次元映像として可視化する取り組みには、工学的な手法が不可欠であった。⁽¹⁵⁾

そこに開発されたのが、モーションキャプチャ技術を応用した舞踊の記録法である。モーションキャプチャは主にゲームコンテンツやCGアニメーションの作成などに用いられる技術である。今回磁気センサを用いての空間の位置と方向を捉える磁気式を用いた。最大の特徴は角度変化のデータが直接取得できる点である。人体の動きを記録する事は、各関節の相対角度の変化を記録する事と言い換える事ができ、これによって身体技法の定量化が可能になるのである。より科学的な手法による舞踊動作の解析が可能となり、動作特性を客観的に把握することに繋がるといえる。

芸能の記述の限界について大道等は⁽¹⁶⁾「動作記述における伝達内容の劣化」で舞踊空間の次元数について「本という手段、紙という手段でコミュニケーションを企る以上、一元二次の次元に陥らざるを得ない」とし、「演を記録すれば、それが如何なる新しいメディアによってでも、臨場した場合よりも情報は確実に劣化していく」とする。大道によれば、さらに、

鑑賞者と表現者の間に交わされる情報の伝達を、客観的物理量によって記述する分量・頻度が多すぎると、写真・図の重畳などによって遮断や混乱・錯誤が起き易く、短所ともなる。

- ①画像選択は哲学・舞踊観に依存する。
- ②客観的軌跡(事実)よりも主観的軌跡(真実)のほうが、実演者の間では伝達の力に優れて

いると考える。

- ③色・鮮明度の情報は減少・劣化しても、身体運動への審美眼はそれを補正する。
- ④力・加速度・速度・変位のバイオメカニクス実測よりも、演舞者の意識の中心にある点、が主観的にどのような変化・速度・力で運動しているかの、心象図(イメージ画像)を記述することが重要である。

とし、ビデオや写真よりも、画家によるデフォルメされた画の方が真実を伝達すると結論づけている。大道の提起した記述の限界は、モーションキャプチャ技術を応用することで解決可能となることをモーションキャプチャの可能性で論じたい。

本研究ではアジアの種々な芸能において、身体表現が伝達しようとする心情や事柄と動作の間に普遍的に共通するものがあるかどうかを見出すことを目的とし、まずモーションキャプチャ技術を応用し芸能を記録しデータ化することから始め、更に身体技法を定量的に比較する試みを行った。

今回収録できた芸能は、日本の伝統芸能の代表として能、日本の民俗芸能の代表として奥三河の花祭り、そして中国を代表する民俗芸能として江西省石郵村の儺舞である。まずなぜ伝統芸能と民俗芸能の両面を扱うのかといえば日本の伝統芸能の代表である能楽では、心・技・体が三位一体とされて修行が行われるとされる。中でも技の修行で目指されるのは、謡や舞や演技の「型」の修得である。舞台の上では、非日常的なフィクションの世界が表現されるので、非日常的な動作・発声等といった身体表現が必要となる。この非日常的な動作や発声の体得には、物真似が基本的な方法とされる。東アジアの伝統芸能は、伝承されてきた「型」を徹底して真似る事で修得し、役者自身が生涯をかけて研鑽錬磨を続ける中で、ついにはその奥に潜む心を見出そうとする。

先に先学の論を引き述べたように、古代から人々にとって「舞う」とは、くるくると旋回し、目に見えない神霊とコミュニケーションを交わす呪術的な意味合いの強い行為であった。また「仮装」は人が神に変身し、神が人と一体化する事を意味し、神が直接人々に語りかけ、災いを祓い清め福を招くため

に現れてくれたと考えられた。本来神霊が訪れ人々と交流する祭儀の行われる神聖な空間において、舞や謡や演技が行われたのである。この流れが民俗芸能には生きている。

「型」によって身体表現が定型化・様式化された伝統芸能は、上演の場として舞台を意識しているが、他方いわゆる民俗芸能は、祭儀の場を上演の場としている。祭儀の場では、神と人が一体となり、人々の希求する祓い清めや招福を意図した跳躍や、旋回の舞踊が繰り返される。民俗芸能の身体表現には、舞踊の基本となる動作はもとより人びとの精神文化が顕現されている。そこで伝統芸能と民俗芸能の両方のデータを取る必要を感じ、以下の方々に協力をお願いし、収録を行った。

中国江西省南豊県石郵村の儺舞は20年あまり演じている叶根明氏（1967年生）と15年あまり演じている唐賢仔氏（1968年生）のデータを収録した。収録演目は『開山』『紙銭』『雷公』『儺公儺婆』『醉酒・酒壺仔』『跳檣』『雙伯郎』『関公祭刀』の8演目全てを収録した。

能楽は、観世流シテ方で、2歳で「老松」で初舞台を踏み、すでに芸歴46年になり、第26回松尾芸能賞を受賞した関根祥人氏（1959年生）のデータを収録した。収録した演目は『遊行柳』『百萬』『養老』『敦盛』『猩々（乱レ）』『熊坂』『石橋』で、これらの演目は、関根氏と相談の上、シテの人体による分類から老人、鬼、神、男、女を演能技法番組から序舞物、修羅物、切能物、四番目物、脇能物を網羅し収録を行った。

奥三河花祭りは、5歳の時「花の舞」を務めすでに65年以上も演じ、長として花祭りの継承に寄与している伊藤勝文氏（1935年生）のデータを収録した。収録した内容は、『榊鬼』『湯囃子』『翁の舞』『剣の舞』『おつるひゃら』、そして基本動作として「ちふひ」「ためな」「かぶり」「はんや」「いりまい」「いもこじ」「つうふ」「こびき」「ざがわり」を収録した。

データは収録すること自体文化財保護の観点からも意義があるが、さらにここから新たな展開をする必要がある。目論見としては、モーションキャプチ

表1 DVD収録演目リスト

能のデータ	
演者：関根祥人	
演目	
1	遊行柳
2	百萬
3	養老
4	敦盛
5	猩々（乱レ）
6	熊坂
7	石橋
花祭りのデータ	
演者：伊藤勝文	
演目	
1	榊鬼（五方を脱む）
2	榊鬼（反問）
3	榊鬼（天地中央）
4	榊鬼（三三九度）
5	湯ばやし舞
6	翁の舞
7	扇の舞
8	剣の舞
9	基本の舞（ちふひ・ためな・かぶり）
10	基本の舞（はんや・いりまい・いもこじ）
11	基本の舞（つうふ・こびき・ざがわり）
12	おつるひゃら
儺舞のデータ	
演目	
1	開山—唐賢仔
2	雷公—唐賢仔
3	関公—唐賢仔
4	開山—叶根明
5	紙銭—叶根明
6	雷公—叶根明
7	関公祭刀—叶根明
8	雙伯郎（一郎）—叶根明
9	儺公儺婆（儺公）—叶根明
10	醉酒（小鬼）—叶根明
11	跳檣（鐘馗）—叶根明

ャ技術で得られたデータを活用することで、東アジアの芸能の特徴を明らかにするための芸能間を比較する方法の開発を目指した。

まず舞踊動作データを14個の関節をもつ人体モデルの形式に当てはめた映像の解析を進めた。各演目の舞踊動作データから平均値をとり、その値を与えた人体モデル図を作製し視覚的考察を行った。また平均姿勢での各関節の角度に注目し、この角度の演目間における数値比較を試みた。

さらに統計学処理を行うことによって動作特徴の抽出を試みた。人体モデルの関節の回転角度データを三次元ベクトルによって記述する等価角軸変換によって記述し、そのデータを変数として扱って因子

分析を行った。変数は、関節1つにつき3つの変数となり、人体モデルは14の関節で構成されるため、変数の総数は(3×14=42)42となる。この因子分析によって、「同時に動かす関節の組み合わせ」という協応関係を抽出することができた。因子を視覚的に捉えるために、平均姿勢に正弦波を用いて因子を与えた因子動作を制作した。このような統計学の発想によって、舞踊を構成する要素を抽出した結果を分析することで複数の舞踊の定量的な比較が可能となるかどうか検証を進めた。

さらに除災と招福を意図した動きに東アジアの身体表現の共通性が窺えるのではないかと考え、呪術性の強いステップと回転と跳躍の分析に取り組んだ。マジカルなステップとして花祭りの^{へんぱい}反閨のステ

ップの分析を行ったが、モーションキャプチャデータの全方向から観察できる利点を活用したものである。回転跳躍に関しては、波形データを用いて観察を行った。以下にそれぞれの分析結果を示すが、理系と文系がお互いに知恵と技術を出し合い、試行錯誤を重ねた成果である。これが芸能研究の新しい方向性を示すことに繋がればと考える。

なお今回モーションキャプチャデータのうち、キャラクターが動く映像を正面からの固定映像に限り、プリレンダリング映像に出力したデータをDVDにして付したので参考にして頂きたい。なお、このCGキャラクターはわらび座が制作したものを借用している。収められた演目は表1に示す。

(廣田律子)

I 回転と跳躍の分析

三隅治雄⁽¹⁷⁾は『踊の宇宙—日本の民俗芸能』でブータンのシャナ踊を解説して、

回転を左に右にと交互に繰り返すのは、巫者の神がかり儀礼によく見られるパタンで、眩暈を誘いやすい。また、左への回転は水平に、右への回転は、身体をねじりながらの上下としているのは、天地四方の宇宙空間全てを掌握する事の表徴であるらしい。そして回転ごとに大地を踏みつけるのは、地下の悪霊悪鬼を踏み鎮める呪法、踏んだ後の跳躍は天との交感と受け取れる。—中略—全員で円形に巡り巡りするうち、宇宙とみずからが一体化し、宇宙の心理を体現する仏そのものに化する意味をもつ。

とする。

またイザイホーの鎮魂儀礼も例にし、⁽¹⁸⁾

回歩と踊躍と。それは、足の動作としては異なるものでありながら、興奮・恍惚・脱魂を誘発させる力を持つ点で、同じ目的の宗教儀礼に活用せられた。

神仏の霊をわが身に憑依させ、また、その霊をしかるべき対象に付着させるといった、神秘超絶の呪術が、跳躍と、回転・回歩双方の身体

行動が創り出す感情の炎の渦巻きを利用して、行なわれたのであった。

とする。

回転と跳躍は、神と一体化しようという思考の表現と考えられ、自然現象では、竜巻のように天に向かって昇ってゆくイメージであり、特徴的な動きといえる。

そこでモーションキャプチャの波形データを用いて時計回りの順回転、逆回転そして回転を伴わない跳躍、回転を伴う跳躍について、儼舞の『雷公』と『開山』、能の『石橋』と『熊坂』のデータから比較分析を試みた。

1 順回転(時計回り、右回転)跳躍の比較⁽¹⁹⁾

『雷公』の跳躍は、跳躍前の準備段階で腰をかがめた時の高さや跳躍後の着地した時の腰の高さとを比べると差が少なく、跳躍する前後で腰の高さにあまり変化がないことが分かる。『石橋』では跳躍前の腰の高さと跳躍後の腰の高さを比べると跳躍後の腰の高さがかなり低い。これは膝を曲げたまま着地することに起因している。着地時の姿勢は右膝を地面につけた片膝立ちの姿勢である(図1)。

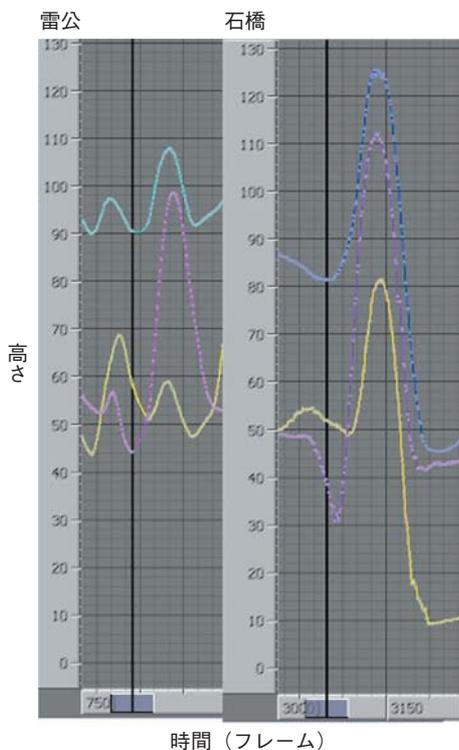


図1 順回転跳躍グラフ図
 ※青：腰 黄：右膝 紫：左膝

2つの演目の共通点は右足を軸に左の膝を曲げ、腿を上げた状態で回転跳躍を行う点である。この跳躍の仕方は実際に跳び上がった高さよりも高く跳んだように見える視覚的効果があると考えられる。一日で何回も舞う『雷公』においては最少の労力で最大の効果をあげることは重要なことであり、そのためにこの視覚効果を使っていると思われる。『石橋』では膝を曲げたまま着地することでさらに視覚効果を増している。明らかにバレエに見られる実際に跳んだ高さにこだわる跳躍とは異なる。従来いわれてきたことだがアジアの特徴を備えていることがデータからもあらためて証明されたといえる。視覚的に高く跳躍するように見せようとする、滞空時間を保とうとすることは、天と繋がりとう試みる感性の現れといえる。ただし、引き続き様々なアジアの演目を収録し、事例を増した上で分析していく必要性を感じる。

2 跳躍の回転方向の比較⁽¹⁹⁾

『雷公』、『石橋』の各演技中に現れる全跳躍をカウントし、その回転方向を比較してみた(表2)。

その結果は『雷公』の回転跳躍は時計の回転方向を順として、回転方向が逆・順・順というパターン

表2 雷公石橋全跳躍

no.	軸足	回転方向	パターン
1	右	なし	開始
2	左	逆	
3	左	なし	
4	右	順	
5	右	なし	A1
6	左	逆	
7	左	なし	
8	右	順	
9	左	なし	A2
10	右	順	
11	右	なし	
12	左	逆	
13	左	なし	A3
14	右	順	
15	左	なし	
16	右	順	
17	右	なし	A4
18	左	逆	
19	左	なし	
20	右	順	
21	左	なし	B1
22	右	順	
23	右	なし	
24	左	逆	
25	左	なし	B2
26	右	順	
27	左	なし	
28	右	順	
29	右	なし	終了
30	左	逆	
31	左	なし	
32	右	順	
33	左	なし	終了
34	右	順	
35	右	なし	
36	左	逆	
37	左	なし	終了
38	右	順	
39	左	なし	
40	右	順	
41	右	なし	終了
42	左	逆	
43	左	逆	
44	両足	なし	

雷公全跳躍

no.	軸足	回転方向
1	右	順
2	左	逆
3	右	順
4	右	順
5	右	順
6	両足	なし
7	両足	なし
8	右	順
9	右	順
10	両足	なし
11	両足	なし

石橋全跳躍

で繰り返されていることが分かった。パターンAとパターンBではパターン中に行われる動きに違いがあるが、回転方向は共通している(表2)。逆・順・順の繰り返しは、日本の神楽の巫女舞にも見られ、神と交流するのに不可欠な動きであり、比較研究においてもとても重要なデータといえる。

『石橋』は舞全体にはっきりとしたパターンの繰り返しを把握できず、回転方向においてもパターンが見られない。舞全体で7回も行われる回転跳躍のうち、1度だけ逆回転で跳躍しているのが特徴的で

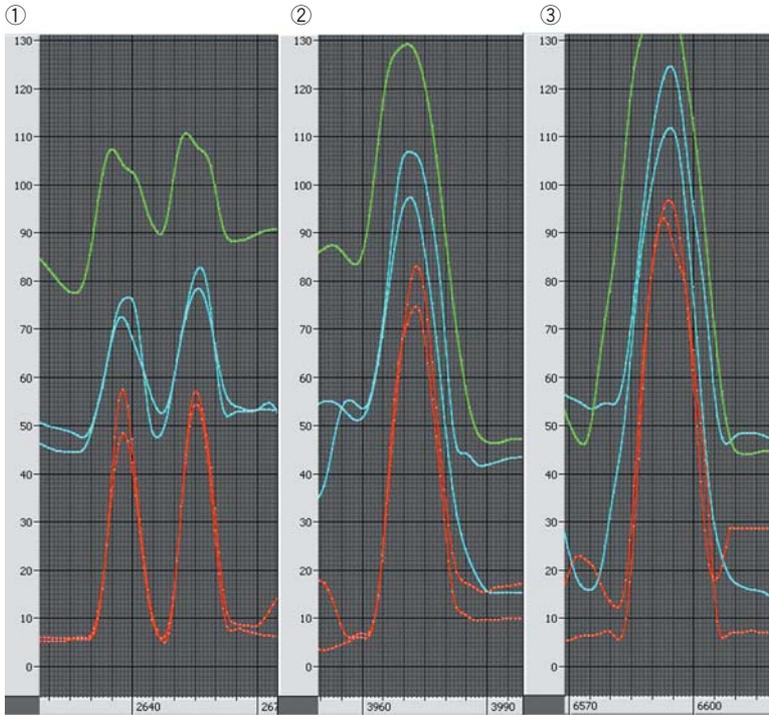


図2 熊坂の回転を伴わない跳躍グラフ ※緑：腰 青：膝 赤：かかと

ある。能の動きは他と比べ非常に複雑に動作が組み合わせられ連続していると実感している。この能の複雑さに関しては、すでにCOE年報⁽¹⁹⁾で述べた。

横道万里雄が解説するように「能の所作は、所作単元の集積である。所作單元には名称があり、形付ケと称する所作譜は、その名称を連ねて出来ている」ので、所作單元から動作を区切ることが出来る。一演目全体からパターンを見つけるために、あえてこの所作單元にとらわれず区切りをつけて観察してみた。

すると、パターンの繰り返しからなる『雷公』と比べ、『石橋』はパターンの繰り返しが少なく、基本的にグラフが同じ波形を示しているも、足が左右逆であったり、左右対称の動作となっていたり、身体の向きが違う同方向の回転となっていたりと単純に同じ動作を繰り返すことはなかった。

3 跳躍の分析

前項で『石橋』と『雷公』の跳躍を比較してみたが、さらに能の中から『熊坂』、中国の儺舞の中から『開山』を加え、事例を増やして跳躍の分析を行った。

分析には下半身の動きに注目するため、腰・膝・かかとの高さグラフを用いた。グラフの緑線は腰の

高さ、青線は膝の高さ、赤線はかかとの高さを示す。

3-1 回転を伴わない跳躍の分析

まず『熊坂』『石橋』『開山』『雷公』の演目中にあらわれる回転を伴わない跳躍を抽出し、グラフに表示させて分析を行った。

熊坂だが、回転を伴わない3回の跳躍を記録した。①のグラフは2度連続して行う跳躍である。②のグラフは飛び始めは腰の位置が高く、着地時に腰を落とす跳躍である。③のグラフは腰を落としてから跳び上がり、また腰を落として着地する跳躍である。全ての跳躍が違う動きを示していると言える（図2）。

石橋だが、回転を伴わない4回の跳躍を記録した。

①と③のグラフの跳躍がほぼ同じ跳躍に見える。4つの跳躍は、各グラフ線の頂点付近を見ると青線と赤線が接近する傾向にあることが分かる。特に②の跳躍は青線と赤線の間隔が非常に狭い。これは膝とかかとが垂直方向においてかなり近い位置にあったことを意味する。この条件を満たす人体の姿勢は、膝を曲げずに足を投げ出す格好で床に座るような姿勢か、もしくは正座の姿勢の2つが考えられるが、実際には後者であった。また、②のグラフは腰を落として飛び上がり、着地時に腰を落とす跳躍である。④のグラフは飛び始めは腰の位置が高く、着地時に腰を落とす跳躍である（図3）。

開山だが、回転を伴わない14回の跳躍を収録した。同じ波形のグラフで種類分けすると、11種になった。つまりほとんど同じ跳躍がないことになる。大まかに、特徴的なものをあげると4つになる。①のグラフは2度続けて行う跳躍である。2度目の跳躍は踵の高さが左右異なる動きを示す。②のグラフは動きの小さい跳躍である。ほとんど膝を曲げずに跳んでいる。③のグラフは片膝を高く上げる跳躍である。④のグラフは演技終了の跳躍で、腰・膝・かかとの高さが頂点になる時点が揃っていないことが分かる（図4）。

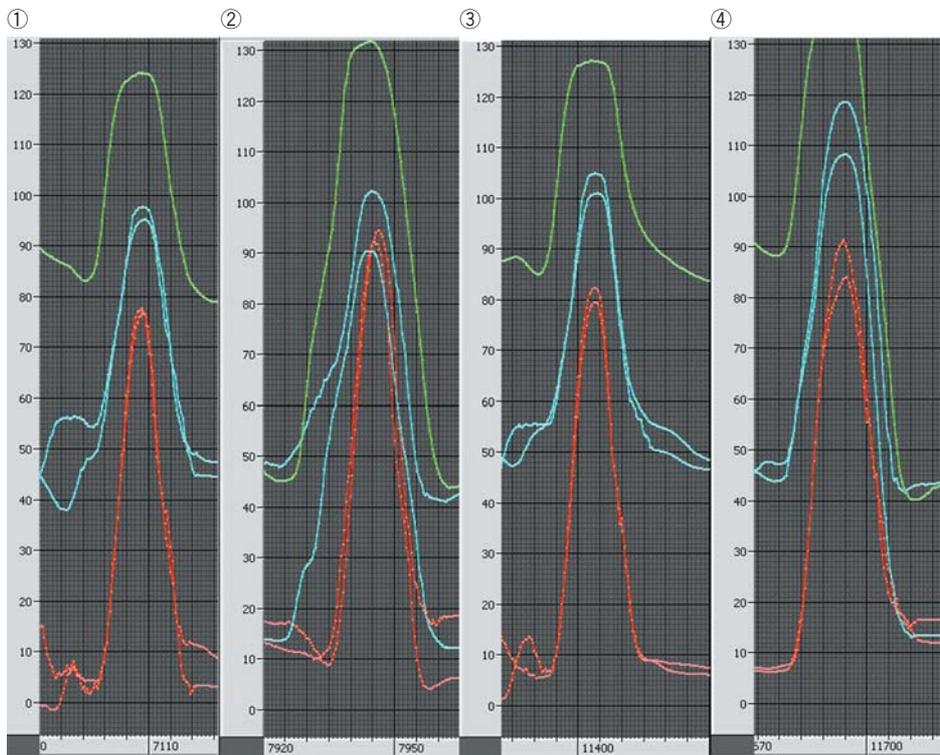


図3 石橋の回転を伴わない跳躍グラフ

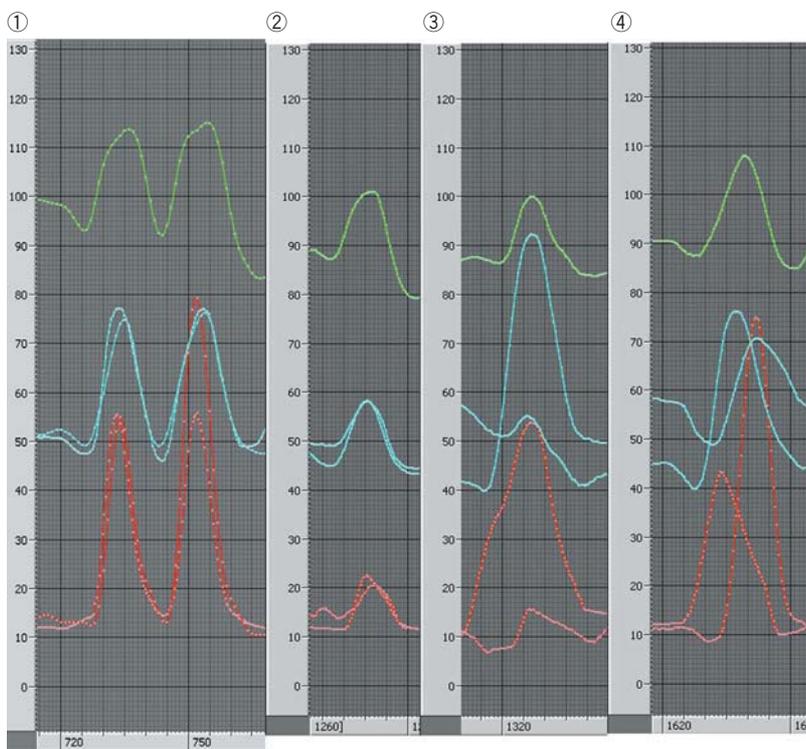


図4 開山の回転を伴わない跳躍グラフ

雷公だが回転を伴わない22回の跳躍を収録した。膝が高く上がる跳躍が定期的に繰り返されている事が見えた。この跳躍グラフから同じ動きと思われるものを削ると4種の跳躍に絞る事が出来た。①と②のグラフは似ているが、①のグラフは腰の高さが飛び始めが低く、着地時が高い、②のグラフははその逆である。また①のグラフは膝の高さが腰の高さを上回ることがないが、②のグラフはそれがある。③

のグラフは腰の高さの上下幅が小さい跳躍である。①～③のグラフは腰・膝・かかとの高さが頂点になる時点が1つの水直線上に並ぶ傾向にあるのに対し、④のグラフは時点が揃わない跳躍である (図5)。

3-2 別演目間で似通ったグラフを示す回転を伴わない跳躍

別演目間で回転を伴わない跳躍の波形を比べてみることにする。

1組目は、能の『熊坂』と『石橋』の跳躍である。腰の高さが跳び始めでは高く、着地時には低くなる跳躍である。跳躍中に両膝、両かかどが高く上がり、片膝は着地時に地面近くまで下

がる (図6)。

2組目は能の『熊坂』と舞の『開山』の跳躍である。2度続けて行う跳躍であり、熊坂の腰の高さが全体的に右上がりなのに対し、開山は右下がりのグラフを示す。開山の2度目の跳躍時に片方のかかどが膝よりも高く上がっていることが分かる (図7)。

3組目は舞の『開山』と『雷公』の跳躍である。腰・膝・かかとのグラフ線の作る山の頂点が時間軸

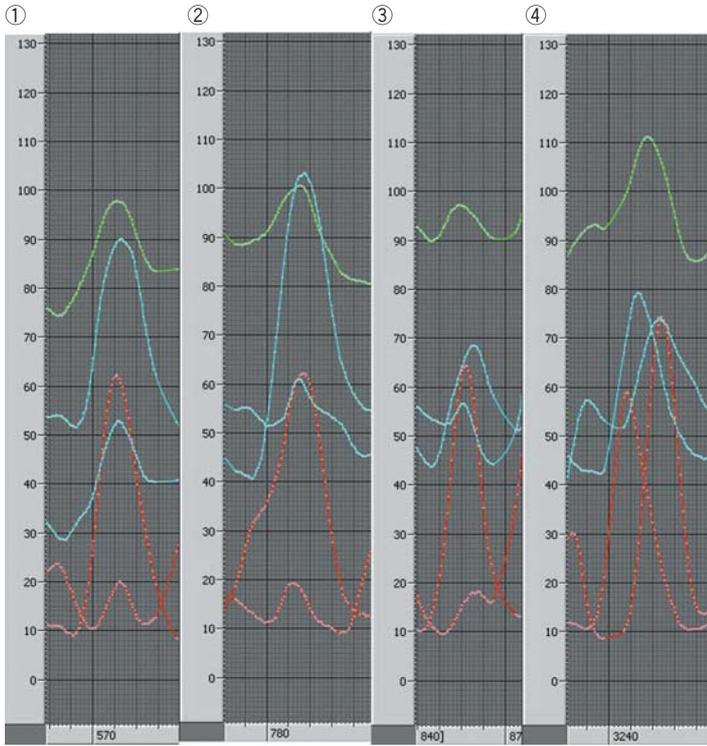


図5 雷公の回転を伴わない跳躍グラフ

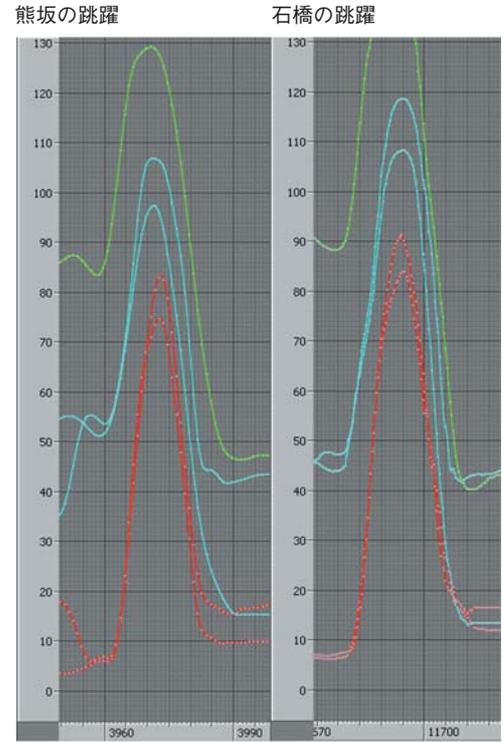


図6 別演目で似通った跳躍グラフ 1/3

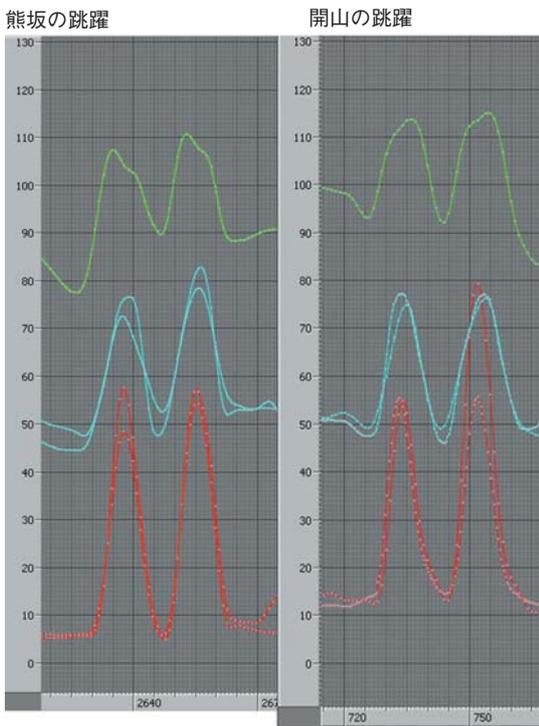


図7 別演目間で似通った跳躍グラフ 2/3

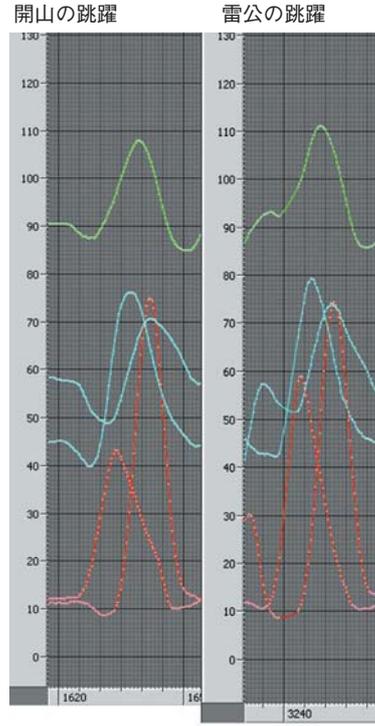


図8 別演目で似通った跳躍グラフ 3/3

において揃わない跳躍である (図8)。

3-3 順回転 (時計回り、右回転) 跳躍の分析

回転を伴わない跳躍と同様に順回転する跳躍の分析を行った。グラフの緑線は腰の高さ、青線は膝の高さ、赤線はかかとの高さを示す。

『熊坂』だが、順回転の2回の跳躍を記録した。2

回共跳び始めの腰の高さが高く、着地時に低くなる跳躍である。ほぼ同じ形を示すが、若干、左の跳躍の方が全体的に高さが高い (図9)。

『石橋』だが、順回転の6回の跳躍を記録した。6回とも跳び始めの腰の高さが高く、着地時に低くなる跳躍である。6回ともほぼ同じ波形をしている (図10)。

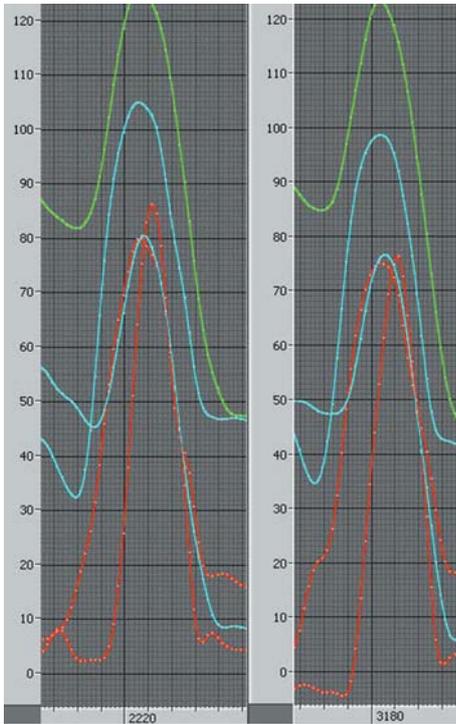


図9 熊坂の順回転跳躍グラフ

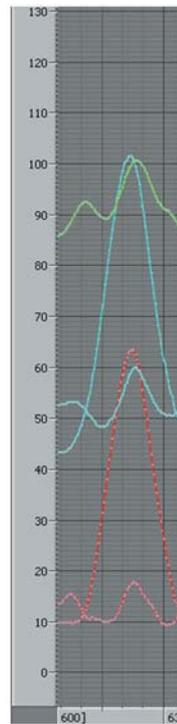


図11 開山の順回転跳躍グラフ

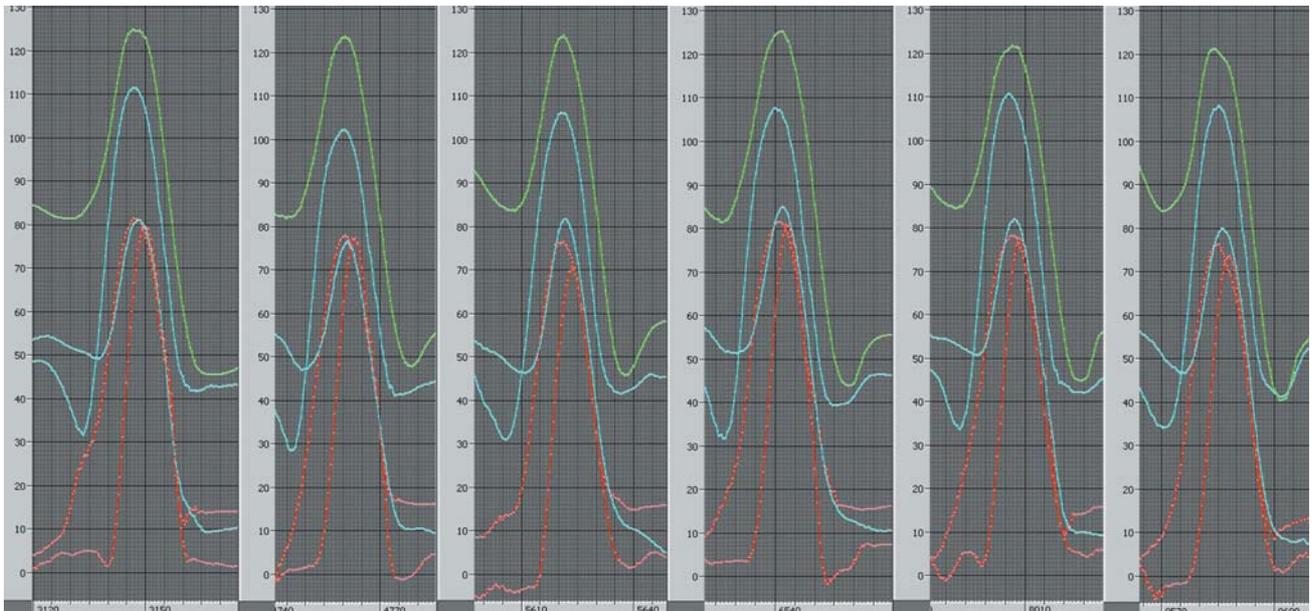


図10 石橋の順回転跳躍グラフ

『開山』だが順回転の1回の跳躍を記録した。膝が腰と同じ高さまで上がる跳躍である。波形から片足のみ上げていることが分かる（図11）。

『雷公』だが順回転の12回の跳躍を記録した。AとBの波形に分けられ、AとA'の跳躍では片方の膝の高さが異なるがそれ以外はほぼ同じ跳躍である。BとB'の跳躍はB'の腰のグラフ線が作る山が3つなのに対し、Bは3つ目の山が小さい、あるいはほとんど山を形作っていないように見える。また、膝・かかともにおいても若干の違いが見られる（図12）。

3-4 別演目間で似通ったグラフを示す順回転跳躍
別演目間で順回転の跳躍の波形を比べてみることにする。

能の『熊坂』と『石橋』の跳躍に見られる。飛び始めの腰の高さが高く、着地時に低くなる跳躍である。『石橋』の方が若干膝の高さが高いが、ほぼ同じ波形を示す（図13）。

3-5 逆回転（反時計回り、左回転）跳躍の分析
回転を伴わない跳躍と同様に逆回転する跳躍の分

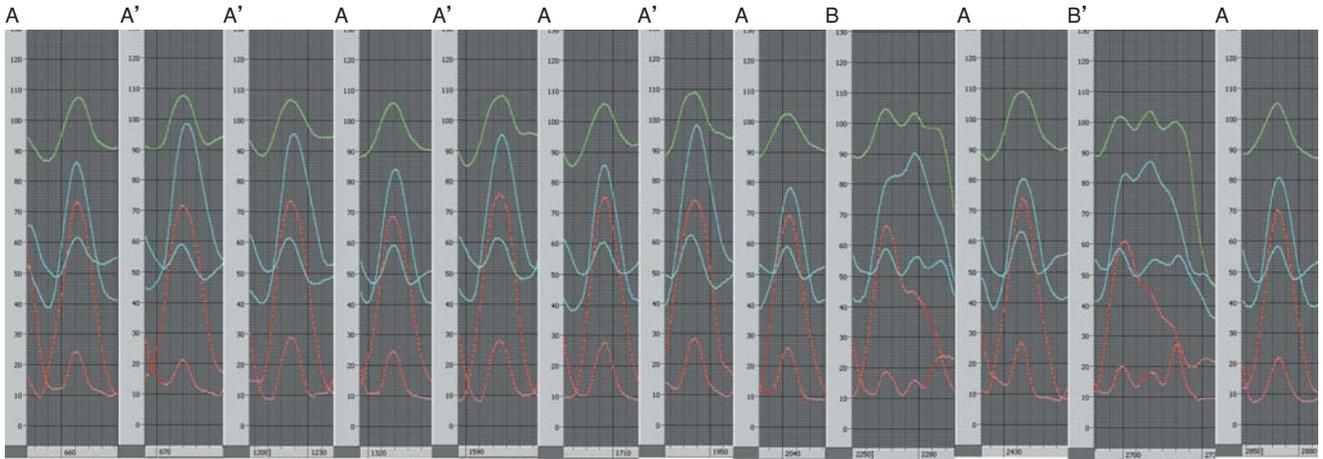


図12 雷公の順回転跳躍グラフ

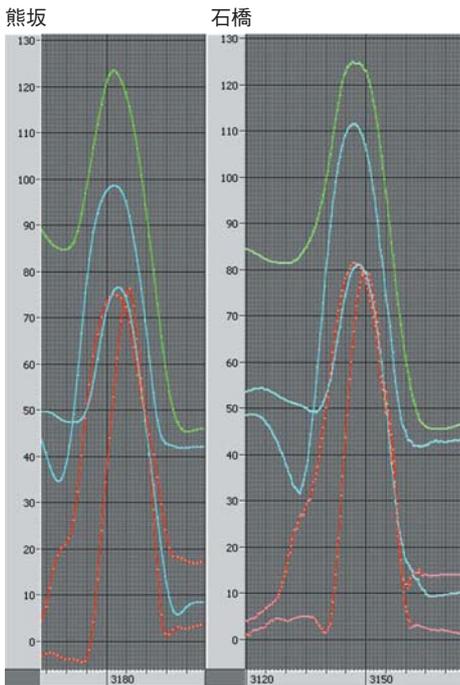


図13 別演目間で似通った順回転跳躍グラフ

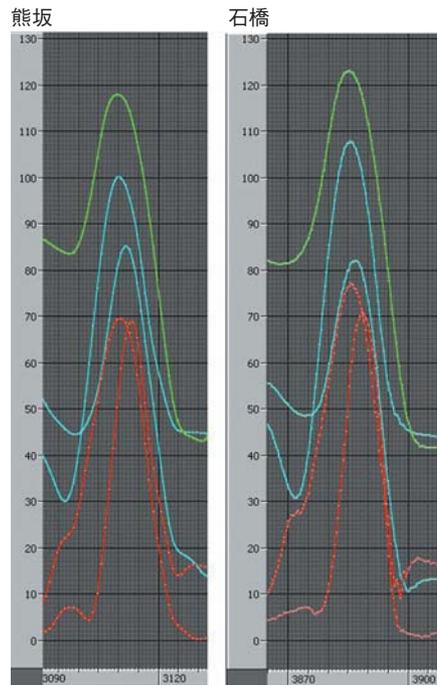


図14 逆回転跳躍グラフ

析を行った。グラフの緑線は腰の高さ、青線は膝の高さ、赤線はかかとの高さを示す。

『熊坂』『石橋』だが、それぞれ逆回転の跳躍を1回記録した。跳び始めの腰の位置が高く、着地時に低くなるおなじみの跳躍である。別演目だが、ほとんど同じ波形を示す (図14)。

『開山』だが逆回転の4回の跳躍を記録した。AとBの波形に分けられ、AとA'は腰と上げた膝の高さの接近具合が若干異なる。Bは連続した2度のジャンプで、複雑な波形を示している (図15)。

『雷公』だが、逆回転の9回の跳躍を記録した。跳び始めの腰の高さが低く、着地時に高い跳躍である。膝の高さ、踵の高さでばらつきがあるがほぼ同じ波形を示している (図16)。

3-6 別演目間で似通ったグラフを示す逆回転跳躍

別演目間で逆回転の跳躍の波形を比べてみることにする。能の『熊坂』と『石橋』については先に示した (図14)。

『開山』と『雷公』の跳躍にも見られる。膝やかかとの上がり具合に若干違いがあるものの、波形としてはほぼ同じ形をしている (図17)。

3-7 回転を伴う跳躍と回転を伴わない跳躍で似通ったグラフを示す跳躍

跳躍間で順回転をする跳躍と回転を伴わない跳躍について比較する。

『開山』『雷公』に見られ、雷公の回転を伴わない跳躍に腰の高さまで膝を上げる跳躍が登場したが、

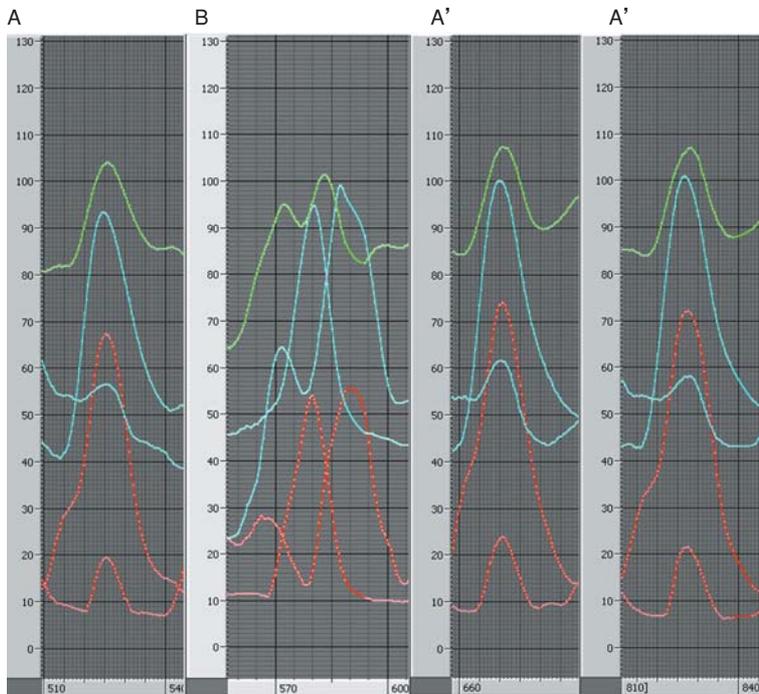


図15 開山の逆回転跳躍グラフ

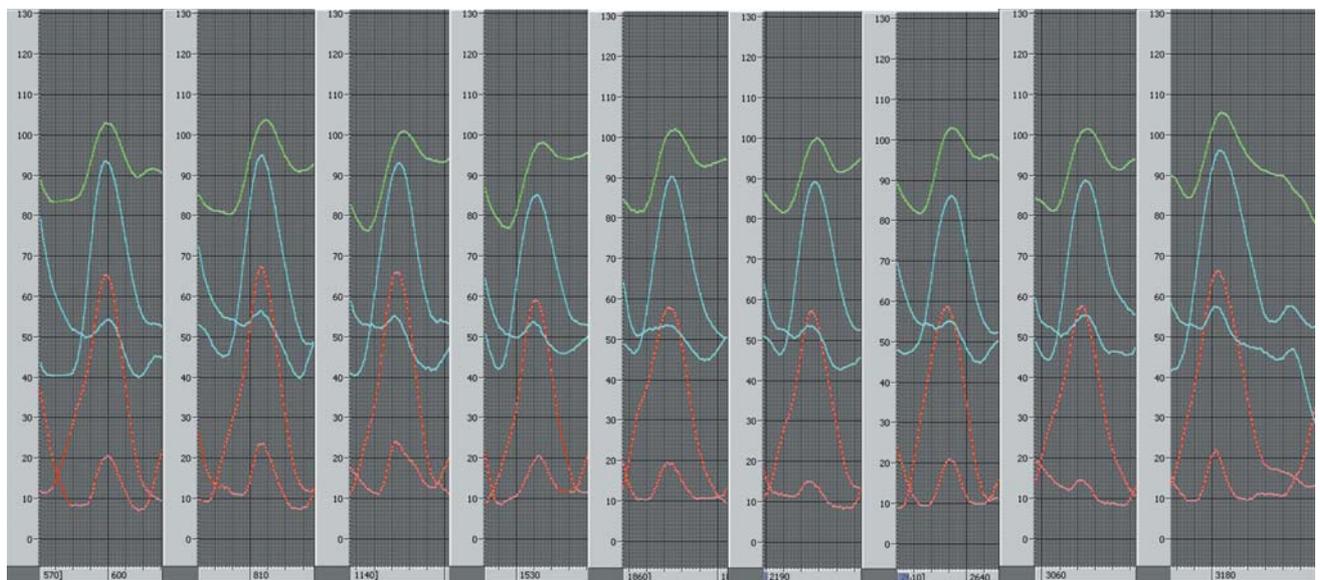


図16 雷公の逆回転跳躍グラフ

回転がないことに加えて低い方の膝の動きが若干異なっている。そのほかの点では『開山』の順回転跳躍と非常に似通っている（図18）。

3-8 『熊坂』と『石橋』に繰り返される似通った跳躍

能の回転を伴わない跳躍と順回転跳躍と逆回転跳躍を並べて観察してみる。跳び始めの腰の位置が高く、着地時に低い跳躍である。回転の有無による差は回転なしの場合両膝とも頂点が比較的高いことが挙げられるものの、それ以外には見つけることができないほどよく似ている。ほぼ狂いのない所作と

いえる（図19）。

まとめ

回転と跳躍について、波形データを用いて分析を試みたが、能においても儺舞においても、また回転を伴わない跳躍、順回転跳躍、逆回転跳躍においても、全体的に見て規則的な波形を示すことが分かった。回転と跳躍は、能と儺舞それぞれにおいて、文化的に規定され、無意識に制約を加えられている傾向性をもつ、いわゆるモースのいうハビトゥスが反映している動作であると理解できる。

東アジアに共通する神と対話しようとする、天と

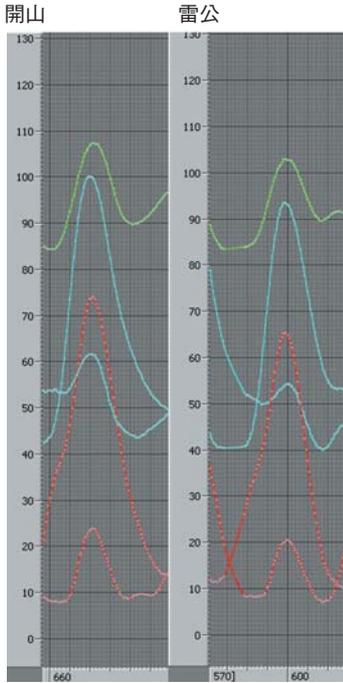


図17 別演目間で似通った逆回転跳躍

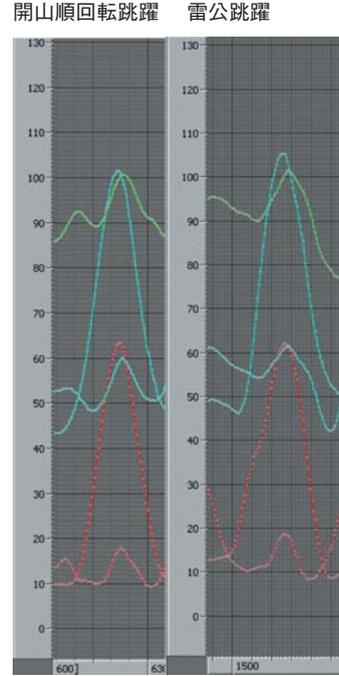


図18 回転を伴う跳躍と伴わない跳躍で似通ったグラフ

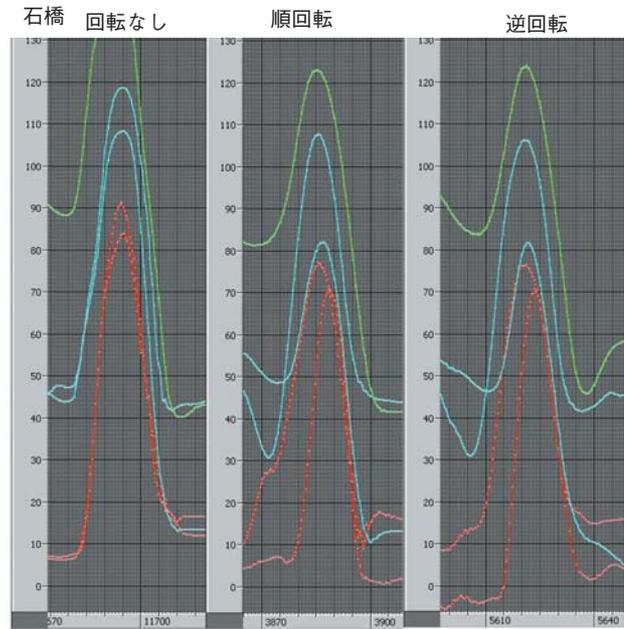
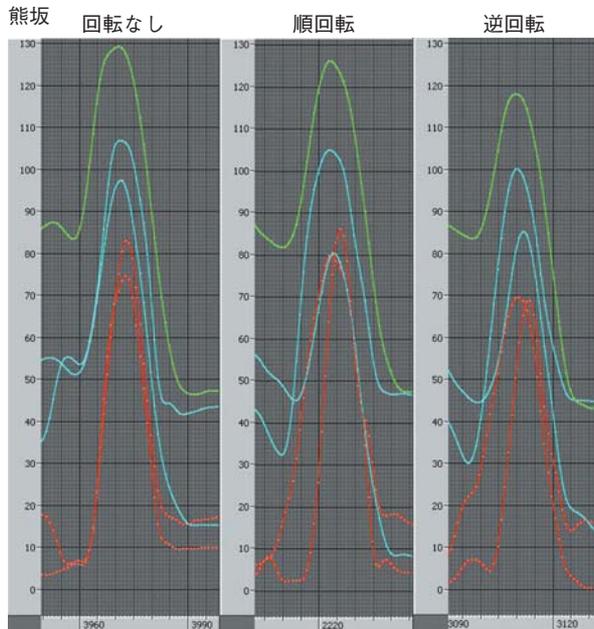


図19 熊坂と石橋の跳躍グラフ

繋がろうと試みる感性と回転と跳躍の動きは、モーションキャプチャで記録することで波形によって定量的に示されているといえるのではないかと考える。

今後更にデータを増して検証する必要がある。

(廣田律子・岡本浩一)

II 花祭りのステップ

愛知県東栄町古戸（旧振草村大字古戸）において行われる花祭りを収録した。

モーションキャプチャデータをもとに制作された

キャラクターCG映像は、観察する角度を自在に変更することが可能である。この特性を用れば、従来の映像記録方法では見ることの難しい角度から動作

表3 反問分析表

番号	セット番号	パターン番号	フレーム数	踏み足	相対的 位置	ポーズ向き/ 踏み込み方向	腰高さ	備考
1	1	1	373.54	右		南東	96.63	基本ポーズ
2			412.47	右	中後	東	95.94	軽く踏み込み
3			450.59	右		南東	97.70	基本ポーズ
4			474.15	右	後	東	96.08	軽く踏み込み
5			498.18	右		南東	97.46	基本ポーズ
6			572.01	右	中前	東	76.96	踏み込み
7			611.49	右		南東	98.58	基本ポーズ
8			677.22	右	前	東	83.89	向き変え 左足かかとを尻に付くように上げる
9			833.58	左		南東	97.98	基本ポーズ
10	2	1	904.08	左	後	南	82.45	踏み込み
11			962.75	左		南東	97.70	基本ポーズ
12			1013.73	左	前	南	85.23	向き変え 右足かかとを尻に付くように上げる
13	3	1	1175.78	右		南東	97.11	基本ポーズ
14			1233.90	右	前外	東	86.18	踏み込み
15			1284.55	右		南東	96.84	基本ポーズ
16			1333.53	右	後	東	79.58	踏み込み
17			1379.47	右		南東	97.41	基本ポーズ
18			1437.33	右	前内	東	89.09	向き変え 踏み込みが弱い
19	4	2	1610.89	右		南西	97.25	基本ポーズ
20			1668.30	右	中	南	78.33	踏み込み
21			1724.20	右		南西	97.98	基本ポーズ
22			1774.08	右	後	南	74.37	踏み込み
23			1823.91	右		南西	97.31	ポーズ
24			1891.59	右	前	南	86.69	向き変え
25			1998.41	左		南西	97.59	基本ポーズ
26			2055.66	左	中内	西	82.99	踏み込み
27	2093.59	左		南西	98.32	基本ポーズ 停止時間が短い		
28	5	2	2124.63	左	後	西	87.82	踏み込み
29			2160.51	左		南西	96.67	基本ポーズ
30			2221.47	左	中外	西	83.17	踏み込み
31			2266.41	左		南西	96.62	ポーズ
32			2322.48	左	前	西	78.75	向き変え 右足かかとを尻に付くように上げる
33			2487.60	右		南西	98.21	基本ポーズ
34	6	2	2559.36	右	後	南	82.67	踏み込み
35			2612.30	右		南西	97.66	基本ポーズ
36			2672.94	右	中	南	83.74	踏み込み
37			2718.33	右		南西	97.56	基本ポーズ
38			2777.43	右	前	南	85.26	向き変え
39			2933.30	右		北西	97.47	基本ポーズ
40	7	3	3003.15	右	後	西	80.10	踏み込み
41			3048.08	右		北西	97.75	基本ポーズ
42			3115.32	右	中	西	81.69	踏み込み
43			3151.85	右		北西	97.33	基本ポーズ
44			3214.95	右	前	西	88.21	向き変え
45			3354.88	左		北西	96.70	基本ポーズ
46	8	3	3456.08	左	後	北	83.13	踏み込み
47			3499.08	左		北西	98.31	基本ポーズ
48			3570.08	左	中	北	88.26	踏み込み
49			3616.48	左		北西	96.61	基本ポーズ
50			3668.52	左	前	北	77.19	向き変え 右足かかとを尻に付くように上げる
51			3832.08	右		北西	97.66	基本ポーズ
52	9	3	3900.18	右	後	西	87.43	踏み込み
53			3942.08	右		北西	98.77	基本ポーズ
54			4010.25	右	中	西	82.88	踏み込み
55			4046.13	右		北西	97.44	基本ポーズ
56			4114.41	右	前	西	88.68	向き変え
57			4282.74	右		北東	96.79	基本ポーズ
58	10	4	4343.28	右	後	北	84.17	踏み込み
59			4386.48	右		北東	98.01	基本ポーズ
60			4449.51	右	前外	北	79.53	踏み込み

61	10	4	4498.62	右		北東	98.01	基本ポーズ	
62			4563.09	右	前内	北	89.38	向き変え	
63	11		4739.09	左		北東	97.91	基本ポーズ	
64			4792.65	左	後	東	87.28	踏み込み	
65			4845.24	左		北東	98.61	基本ポーズ	
66			4904.08	左	中	東	88.19	踏み込み	
67			4953.54	左		北東	97.57	基本ポーズ	
68			5004.45	左	前	東	84.42	向き変え 右足かかとを尻に付くように上げる	
69			12	5176.17	右		北東	98.64	基本ポーズ
70	5239.23			右	後	北	90.78	踏み込み	
71	5284.86			右		北東	98.81	基本ポーズ	
72	5345.82			右	中	北	83.57	踏み込み	
73	5389.02			右		北東	98.29	基本ポーズ	
74	5451.72			右	前	北	93.17	向き変え	
75	13		5	5644.08	右		南東	98.37	くずれた基本ポーズ
76				5690.01	右	中	東	88.31	踏み込み
77				5736.69	右		南東	98.74	基本ポーズ
78				5805.30	右	後	東	80.49	踏み込み
79				5861.04	右		南東	98.49	基本ポーズ
80	5908.08			右	前	東	79.86	向き変え 左足かかとを尻に付くように上げる	
81	14			6082.08	左		南東	98.51	基本ポーズ
82				6142.86	左	後	南	84.80	踏み込み
83				6195.45	左		南東	98.17	基本ポーズ
84				6256.41	左	中	南	79.18	踏み込み
85		6300.30		左		南東	97.18	基本ポーズ	
86		6360.93		左	前	南	80.55	向き変え 右足かかとを尻に付くように上げる	
87	15	6526.74		右		南東	96.49	基本ポーズ	
88		6593.28		右	後	東	91.07	踏み込み	
89		6631.08		右		南東	97.60	基本ポーズ	
90		6699.51		右	中	東	83.69	踏み込み	
91		6747.60		右		南東	97.31	基本ポーズ	
92		6811.68		右	前	東	90.03	踏み込み	
93		6853.08		右		南東	97.47	基本ポーズ	

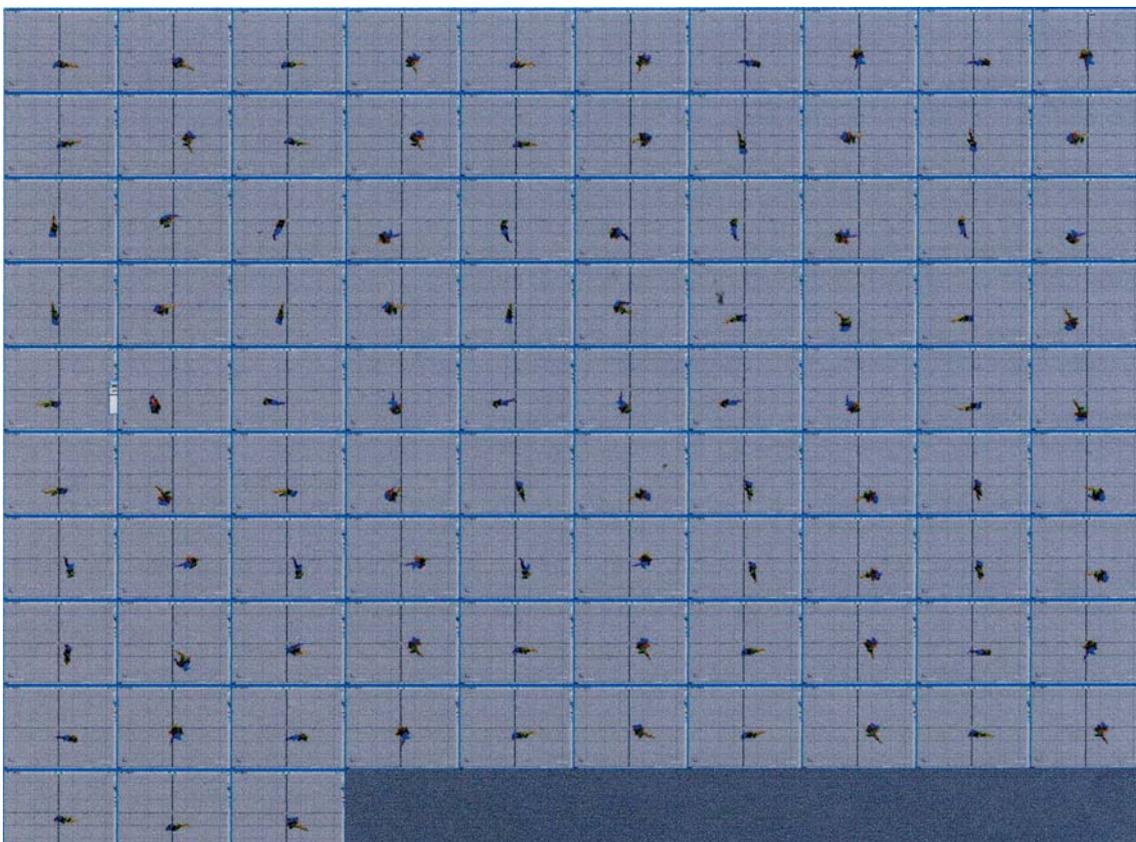


図20 93回のステップ

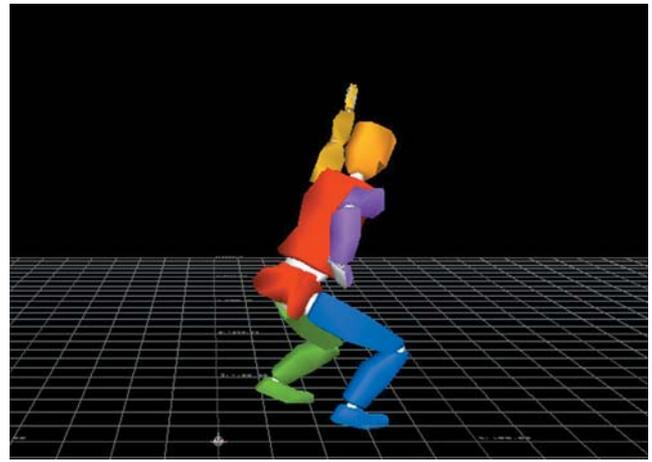
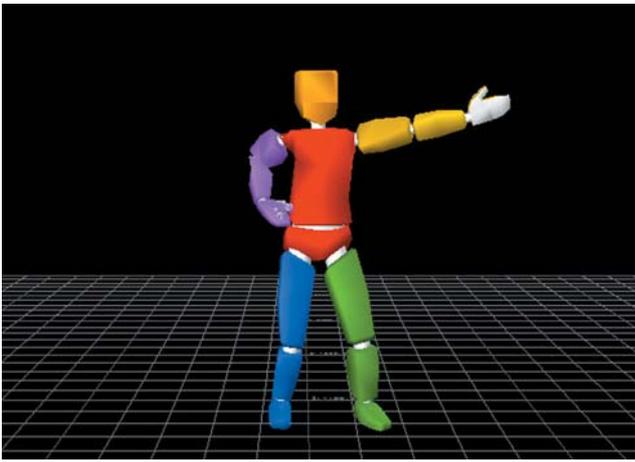


図21 反閃のポーズ（左） 反閃踏み込みポーズ（右）

を観察することが出来る。これを活かす事のできる演目は地面を踏みしめる動きが動作の中心となっている榊鬼の反閃であると考えた。キャラクターCG映像ならば、踏み込んだ足の位置、また踏み込む順番を正確に見る事ができる。観察方向はキャラクターの真下、地中から見た映像とした。

反閃は花祭りの中で祭りの場を祓い清め、大地をしずめるために行われる。

早川孝太郎によれば、反閃の形式は大別して大入系（三沢・下黒川系）、上黒川系、振草系の三通りあるとしている。⁽²¹⁾これに従うと収録した反閃は地域的に振草系に属す。

1 モーションキャプチャによるCGを用いて反閃を分析する

収録した反閃は

- 1.基本ポーズ
- 2.踏み込み
- 3.向き変え

の3つの要素で構成されていた。1と2を数回繰り返した後、3を行い、また1と2を繰り返す。1→2→1→2→1→2→3→1→2…のような具合だ。3の前後を1つのまとまりと考えてセットにすると、データ全体で15個のセットに分けることができた。

踏み込む足の左右に注目すると、同じセットの間で踏み込む足が入れ替わることはなく、右足で始まればセット終了まで右足のまま変化しない。15個のセット全て見ていくと踏み込み足は、セット1右足・セット2左足・セット3右足・セット4右足・

セット5左足・セット6右足…となっており、右左右、右左右と連続していくことが分かる。この右左右の3個のセットを1つのパターンとしてまとめると、全15個のセットであるので5つのパターンが表れる（表3・図20）。

3つの各要素を順に説明する。

1-1 基本ポーズ（図21）

踏み出す足の左右反対の手に鉞を持ち、杖のように石突を地面につけ、空いている手はひじを張るように曲げ掌は腰につける。膝をかるく曲げた状態からピッと伸ばすような動作をすることもある。手の位置を無視すれば、いわゆる“気をつけ”の姿勢に近い。背筋を伸ばし、胸を張り、全身をわずかに緊張させている様子だ。

1-2 踏み込み（図21）

基本ポーズから膝を高く上げ、体重をのせて地面を踏み込む。この時、残る足を軸に踏み込み足の左右反対に、身体を1/4～半廻転させる。したがって踏み込み位置は基本ポーズから見て正面前方ではなく、斜め前方になる。次に身体を1/4～半廻転（踏み込み時の逆回転）させながら踏み込んだ足を引く。

1-3 向き変え

踏み込むまでは1-2踏み込みと同じ動作。向き変えでは、踏み込んだその足を引かずに軸足だった足のかかとを上げて尻に付けた後すぐに下ろす。この

動作は腿をほとんど上げずに膝より下の部位だけを動かして行なう。かかとを上げる動作は省かれることもある。次に、腰に付けていた手を鉞に添え両手で鉞を持ち、身体ごと廻転する。腕は鉞を水平に持ち、廻転し終わると同時に鉞を立てる。回転の後、軸足が変わる場合と、基本ポーズの身体の向きが変わる場合とがある。軸足が変わる場合、両手で鉞を持つ手の位置（斧頭の直下と柄の半ばより下）が左右入れ替わる。パターンの最終セットにあたる向き変えは基本ポーズの身体の向きが変わる動作になる。腕の動作も若干変化し、鉞を横にして振り切った後、同じ軌道で逆回転に振ってから立てる。

1-4 踏み込み位置

セット1中の右足の位置と順番を図にした（図22）。

1、3、5、7は基本ポーズ時の右足の位置、2、4、6、8は踏み込み時の右足位置を示している。基本ポーズの身体の向きは基本ポーズのつま先の方向を見れば判断できる。

踏み込み位置同士の関係を考えるため2、4、6、8を見ると、伝統的に用いられている「左右」でいえば中左・左・中右・右の順となるが、ここでは足

の向きを考えて、中後・後・中前・前と表現する。前後の差がほとんどない場合、軸足に近い方を内、遠い方を外として区別した。

セット2は後・前、セット3は前外・後・前内の順。15個のセットについて同じように見ていても規則性は見つからない。ただ、後・中・前の順が8回あり、半数を超えている。後・中・前が基本形なのかもしれない。しかし、足跡と足跡の離れ具合は若干ずれる程度でほとんど同じ位置であったり、大きく離れていたりして決まった形を持たないように思える。

2 従来の資料とモーションキャプチャ

2-1 文字資料とモーションキャプチャ

ここで、榊鬼の振草系反閃に関する文献資料と、収録データを照らし合わせてみる。

早川孝太郎は振草系の反閃を

一足ごとに、体備えを改め足を高く上げて、一方に三回ずつ、山形に左右左の順で九回繰り返し（中略）五方に行なうのである。

と記述している⁽²²⁾。「一足ごとに、体備えを改め」とは基本ポーズ、踏み込み、基本ポーズの一連の動作を表していると考えられ、収録したデータと一致する動作である。次の「一方に三回ずつ、山形に左右左の順で九回繰り返し」は、左に3回踏み、右に3回踏み、左に3回踏んで計9回行くと読み取れる。これは収録したデータと大きく異なる。同じ足で左右に踏み分けながら、連続して9回踏み込む動作はまったく表れなかった。この説明を1つのセットの動作の記述ではなく、1つのパターンの動作を記述していると考えた場合、1つのセット中の踏み込む回数を3に固定し、左足で3回、右足で3回、左足で3回の計9回踏むと理解すると収録データに近くなる。しかしまだ左右の記述がデータとは逆である。さらに言葉を継ぎ足して考えると次のようになる。右足で演者から見て左の位置に3回踏み込み、次に左足で右の位置に3回踏み込み、最後に右足で左の位置に3回踏み込むの計9

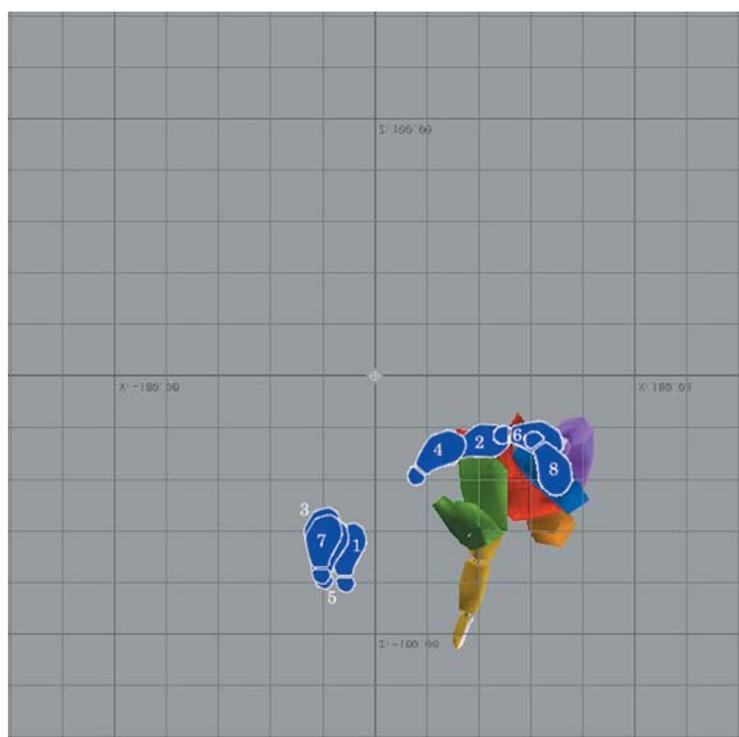


図22 セット1 右足（青）の位置と順番



図23 パターン1 右足（青）と左足（緑）の位置と順番

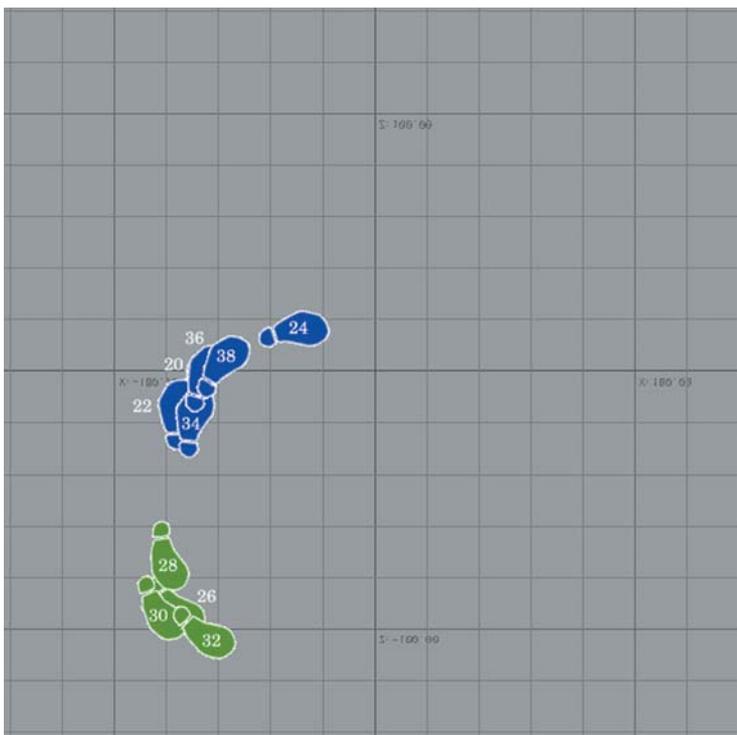


図24 パターン2 右足（青）と左足（緑）の位置と順番

回と理解するとようやく齟齬がなくなる。

右足で左の位置に踏み込むということを詳しく説明すると次のようになる。右足で踏み込むので、回転方向は逆の左回転になる。左足を軸にして1/4～半左回転するので、踏み込む位置は基本ポーズをとっている演技者から見て左斜め前方になる。したがって右足左足右足という踏み込み足の順番の場

合、踏み込んだ足跡の位置は左右左となる。

早川による動作説明は、同じ足の踏み分けによる足跡位置の左右なのか、足自体の左右なのか、足を変えながらの足跡位置の左右なのかははっきりせず、誤解の生じる可能性を排除しきれていない。解釈に幅があり、一意にならない記述であると言える。

曖昧な部分はまだある。「山形に」という記述である。山そのものの形状を指していると考えるのが自然だが、具体的にどう踏むと山形になるのかイメージしづらい。山の字形なのか、台形なのか、三角形なのか判然としない。3足で形を成すのか、9足用いるのかも分からない。収録データから作った図からは、一本の線を描くこともあれば、重なったり、縦に伸びたり、横にずれたり、様々である。これを一言で形容するのは不可能ではないかと思う。

残りの「五方に行なう」という記述は、動作を5方向（東西南北中央）において行うと読み取れ、1つのパターンを5方向において行うということであれば、収録データは5パターン存在し、踏み込み方向は東・南・西・北・東の順の5方向（重複した東を中央として扱う）を示しており、記述と一致する。

文献資料とデータをもとに得られた情報を照らし合わせて見てみると、今回の例は極端であるかもしれないが、身体動作を言語を用いて説明する事がいかに困難であるかということは理解できよう。説明する語を吟味し、こと細かく言葉を費やさなければ、動作の説明は十分に伝わらない（図23・図24）。

2-2 ビデオ撮影とモーションキャプチャ

“見れば分かる”という発想で言えば、ビデオ撮影による記録方法がすでに存在し、わざわざモーシ

ョンキャプチャを選択する理由はないように思える。ここで従来の映像撮影方法とモーションキャプチャを比べて考えてみよう。

まず、両者を単純に同じ映像資料として扱って考えると、コストの面においてモーションキャプチャは圧倒的に不利である。収録自体に高額な費用がかかり、映像にするにもまた時間的・金銭的コストがかかる。しかし、今回のように撮影対象が反閤の足跡位置の撮影ということになると、透明な床張りで、しかも床の下に撮影機器を仕込む事ができるようなかなり大がかりな舞台を用意しなくてはならないだろう。こういった特殊な撮影になれば、ビデオ撮影といえどもそれなりに費用はかかる。ビデオ撮影はモーションキャプチャに比べて費用が安く済むとは一概にはいえない。

次に、ビデオ撮影は、収録時のカメラの設定が全てで収録後に変更することはできない。撮影後に多少の拡大はできたとしても映像がぼけるであろうし、カメラの視野角度を変更することはまず不可能だ。モーションキャプチャデータから出力する映像であれば、拡大縮小、視野角度の変更など収録後であっても自由に行うことが出来る。このことを反閤の例で具体的に考えてみると、ビデオ撮影の場合、複数台の撮影機器を用意して四方から撮影したとしても、反閤の踏み込み位置を映像で確認することは不可能とは言えないが難しいと思われる。足の左右や身体の回転方向等は分かっても、正確な踏み込み位置を四方からの映像のみで判断するのは困難だろう。四方から撮影していればまだしも1方向や2方

向からの映像しかないとなればもう絶望的であろう。この点にビデオ撮影の大きな弱点がある。つまり、ビデオ撮影は見たいものと撮る方法が合致していなくてはならないということである。撮影方向や被写体の拡大縮小に限って言えばモーションキャプチャはこの弱点をもたない。収録時目的とは別の観点で収録後に再収録することなく詳細に見ることができる。

まとめ

モーションキャプチャデータは費用が割高なもの、様々な目的に対応することのできる可能性もっている。将来、収録した者とは別の研究者が別の意図や視点で研究を行おうとする際に、再収録をせずとも既存のデータでその要望を賄える可能性がある。今回扱った反閤の例で考えてみても、文章資料は遣われている語が曖昧だったり、重要な要素が抜け落ちていたり、完全な形で収録されているとは限らない。また、映像資料は目的と撮影方法が一对一の関係で、目的ごとに撮り直さなくてはならない。

また、モーションキャプチャデータは映像として出力した資料以外にも本来的な資料であるところの位置情報と回転角度情報という数値情報も持っている。この数値情報は数学を応用することによって新たな事実を発見する可能性が大いに期待できる。

他の記録媒体に比べてモーションキャプチャデータは将来にわたって保存する資料として非常に優れたものだということができる。

(岡本浩一)

Ⅲ 能のモーションキャプチャの動作データを用いた解析

本研究において、日本の伝統芸能の代表として能、日本の民俗芸能の代表として奥三河の花祭り、そして中国を代表する民俗芸能として江西省石郵村の儺舞、の3つの芸能を選択しモーションキャプチャによる収録を行っている。モーションキャプチャは身体動作を計測する技術であり、主にゲームコンテンツやCGアニメーションの人の動作を必要とする際

に用いられている。収録には、磁気式のモーションキャプチャシステム（Ascension Technology社製 MotionStar Wireless™）を用いており、演者に取り付けた磁気センサーの位置情報、角度情報の三次元における数値データが時系列で記録される。この記録された数値データに対し、統計学処理を行うことによって舞踊動作の特徴抽出を試みる。

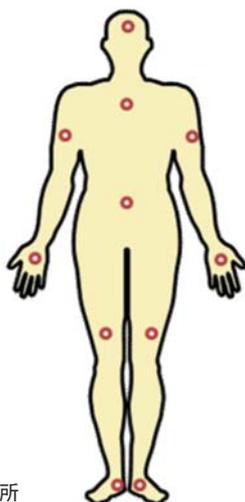


図25 磁気センサー装着箇所

モーションキャプチャで収録された動作データは解析の条件を揃えるために、同一の人体モデルに置き換える。人体モデルは、14個の関節を持つ構成を用いることにする。人体モデルの関節の回転角度データについては、三次元ベクトルを用いた等価角軸変換によって記述し、そのデータを変数として扱い、平均値や分散値の導出、および因子分析を行う。変数は関節1つにつき3つあり、そのため変数の総数は $3 \times 14 = 42$ 個となり、これらの統計量の導出によって、舞踊動作の空間的特徴の定量的な比較が可能となるかどうか検証を進める。

1 動作解析の準備

1-1 動作解析のデータ

モーションキャプチャの通常の収録では、磁気セ



図26 収録の様子（演者は関根祥人氏）

ンサーは最大15カ所まで取り付けるが、本研究では演技のしやすさを考慮して図25の通り11カ所とした。15カ所の場合は図25の箇所のほかに、左右の前腕および脛に取り付ける。したがって、収録した動作には手の指や足先などは含まれていない。また、収録エリアはシステム要件の上限となる約 $4\text{m} \times 4\text{m}$ の範囲となっている。そのため、演目によっては収録エリアに収まるように、実際より狭い範囲で演じている場合もある。モーションキャプチャシステムでの収録の様子を図26に示す。

動作解析の対象として、収録した3つの分類の中から「型」が決まっている能を選んだ。能のモーションキャプチャでは7演目収録しているが、演者は全ての演目とも関根祥人氏46歳（以下年齢は収録時点）である。そのうち解析に選択したデータは、

表4 動作解析対象の演目一覧 (a) 能

演目名	演者	解析開始フレーム	解析終了フレーム	解析対象フレーム	解析対象秒数
遊行柳	関根 祥人氏	500	25,930	25,431	14分8秒
百萬	関根 祥人氏	680	12,020	11,341	6分18秒
養老	関根 祥人氏	660	7,600	6,941	3分52秒
敦盛	関根 祥人氏	1,120	5,200	4,081	2分16秒
狸々(乱)	関根 祥人氏	620	14,060	13,441	7分28秒
石橋	関根 祥人氏	580	13,620	13,041	7分15秒

(b) 儺舞

演目名	演者	解析開始フレーム	解析終了フレーム	解析対象フレーム	解析対象秒数
雷公(1回目)	唐 賢仔氏	355	5,700	5,346	2分59秒
雷公(2回目)	唐 賢仔氏	380	3,040	2,661	1分29秒
雷公(3回目)	叶 根明氏	570	3,590	3,021	1分41秒
雷公(4回目)	叶 根明氏	430	3,260	2,831	1分35秒

サンプリング周波数：30Hz

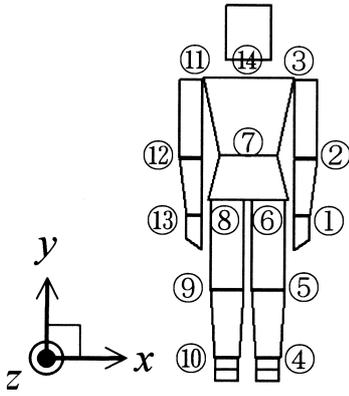


図27 骨格構造人体モデル

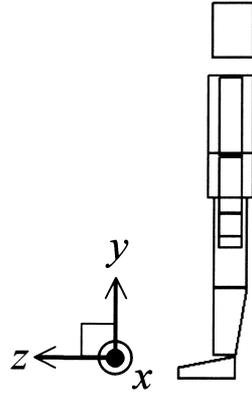
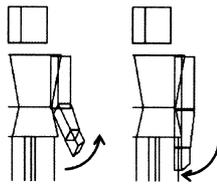
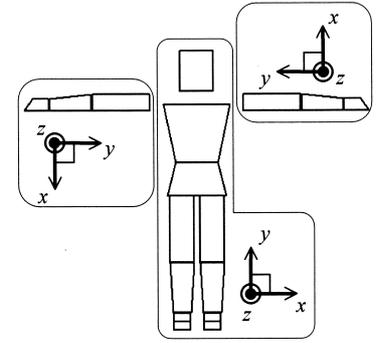
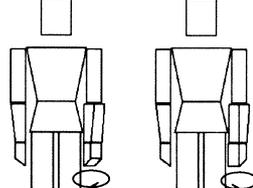


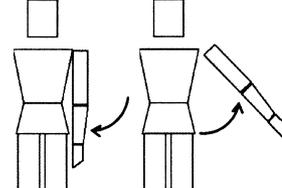
図28 基準姿勢の調整



(a) 屈曲／伸展： $n_x\phi$



(b) 回内／回外： $n_y\phi$



(c) 内転／外転： $n_z\phi$

図29 ジョイントの動作と回転軸

表4 (a) のとおりの6演目となっている。舞の時間が長かったために収録途中で区切った『熊坂』を除いている。これらの演目は、モーシヨンキャプチャ収録のために構成しているので、本質的な動作は同じであるが舞台上での実際の演目とは多少異なっている。また、演目の前後には解析に不必要なデータが入っているため、解析対象とするフレームを表に示している。この能の演目との比較のために、舞のうちの『雷公』を選択した。演者は唐賢仔氏35歳、および叶根明氏36歳で、ともに同じ演目を2回ずつ演じている。その詳細を、表4 (b) に示す。唐氏の1回目が他の演目より解析対象秒数が2倍ほど長いのは、慣れていない踊りで思い出しながら踊ったため、演目自体が間延びしているからである。

収録時のサンプリング周波数は80Hz前後あるが、30Hzに揃えた。これは、一般の動画は30Hzで扱うことと、解析における計算量の軽減を考慮したためである。また、モーシヨンキャプチャで収録した動作データには磁気センサー特有のノイズが入っているため、解析に差し支えない程度に手動でノイズを除去している。

1-2 骨格構造人体モデル^[1]

モーシヨンキャプチャで収録された動作データに

は、各演者の体型や、磁気センサー装着箇所による違いなどの情報も記録されている。そこで解析の条件を揃えるために、同一の人体モデルに置き換える。本研究では、各部位の骨格を剛体セグメントで構成した図27の人体モデルを用いる。このモデルは、15個のセグメントおよびそれらを接続する14個のジョイント（関節）によって構成されている。ここでは、2個のセグメントにはさまれたジョイントの回転角度情報として、上位セグメントを基準とした下位セグメントの姿勢を示す数値データを与える。

ジョイントの回転角度の記述法はいくつかあるが、動作解析に適している等価角軸変換を採用した。等価角軸変換は、任意の回転軸の方向を示す単位ベクトルとその軸を回る回転角度を用いる方法である。ここでは、回転軸ベクトルと回転角度の積の形で $n\phi = [n_x\phi \ n_y\phi \ n_z\phi]^T$ としてその成分の3変数を用いる。変数の数が自由度の数と同じ3になるが、角度記述に伴う不連続点が1個だけ残る。これについては、人体の関節可動範囲を考慮して、不連続点が可動範囲外になるような各ジョイントの回転角度を0と規定する基準姿勢を設定する。この条件を満たすように、図28のような両腕を広げたTポーズを基準姿勢とする。このとき、上腕部・前腕部・手部のセグメントに関しては、これらのセグメントの両端

のジョイントを結ぶ線分と座標軸の間の相対的な位置関係が立位を基準とした場合と同一になるように、基準姿勢に対応するローカル基準座標系を設定する。

人体のジョイント動作には、図29のように屈曲／伸展、回内／回外および内転／外転の3種類がある。図28の座標系の座標軸と図29におけるジョイントの各動作を対応させると、屈曲／伸展、回内／回外、内転／外転はそれぞれx軸、y軸、z軸を回転軸とした動作になる。

ここで扱っている骨格構造人体モデルは腰のセグメントを最上位階層としたジョイントの回転角度情報のみで記述され、位置情報は含まれていない。そのため、舞台空間における演者の移動量や方向といった情報は省かれており、腰のセグメントを基準とした人体モデルの姿勢情報での評価となる。基準となる腰のセグメントは、常に水平、垂直になるように表示している。

2 平均値と分散値による舞踊動作の評価

2-1 平均値および分散値の導出による舞踊動作の空間的特徴の抽出法^[1]

等価角軸変換によって記述された各ジョイントの回転角度データを、離散化された時間軸上の各サンプリング時刻におけるフレームごとに測定して、舞踊動作の時系列データを取得した場合を考える。本研究で用いている図27のモデルではジョイント数が14個であり、各々のジョイントの回転角度が3次元ベクトル $n\phi$ によって記述されるので、変数の総数は $3 \times 14 = 42$ 個となる。よって、舞踊動作データは、ベクトル $u = [u_1 u_2 \dots u_{42}]^T$ の時系列データによって表5のようなデータサンプル群として構成されることになる。

これらのデータは比率尺度であるので、その代表値として、全フレームに対する時系列データの平均値を用いることができる。また、変数の散布度を示す分散を使うことも可能になる。特に、今回用いるデータは、各々のデータサンプルが42変数で表される多変量データであるので、平均値は次式のような42次元の平均ベクトルとなる。

$$\bar{u} = [\bar{u}_1 \bar{u}_2 \dots \bar{u}_{42}]^T \quad (1)$$

ただし、

$$\bar{u}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_j(i)$$

であり、 $u_j(i)$ は第 i フレームにおける第 j 変数、 N は解析対象フレーム数である。また、分散値 s^2 に関しては次式のように与えられる。

$$s_j^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{u_j(i) - \bar{u}_j\}^2 \quad (2)$$

式(1)のようにして得られる平均ベクトルは、全身の姿勢を記述したベクトル u に関して、全フレームのサンプルデータに対する重心の座標を与える。結果として、舞踊全体の動作を通してその中心位置を占める姿勢を構成する各部位の空間的な配置が示されていることになる。このことを本研究では、舞踊動作の平均姿勢と呼ぶことにする。

また、式(2)で得られる分散値は、各々のジョイントの等価角軸変換ベクトル $n\phi$ の3成分それぞれの変動の大きさを与える。3成分は図29のように各方向のジョイント動作に対応していることから、結局各々のジョイントがどの方向へ頻りに動くかという空間的な動作情報がまとめられていることになる。各々のジョイントの分散値による動作範囲は、平均姿勢が中心となっている。

上記のように、舞踊動作データに対する統計処理によって得られる平均値や分散値は、対象とした舞踊動作に関する空間的な特徴を定量的に示している。また、テンポなどの時間的な概念は省かれるため、無伴奏で収録したようなテンポが異なる演目同士でも同条件での評価が可能となる。

表5 舞踊動作データ

フレーム数	ジョイント 1			ジョイント 2			...
	$n_x\phi$	$n_y\phi$	$n_z\phi$	$n_x\phi$	$n_y\phi$	$n_z\phi$	
1	20.1	32.8	16.3	...	...	...	3.2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	17.4	20.1	8.4	...	...	...	15.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
N	11.3	16.1	15.1	...	...	...	11.3

2-2 平均値による能の平均姿勢の評価

モーションキャプチャで収録された動作データを骨格構造人体モデルに置き換え、2-1節の式(1)により平均値を求めた。表6には能の各ジョイントにおける回転角度の平均値を、表7には同じく儺舞・雷公の平均値の計算結果を示す。回転角度の数値データは最大で±180度の範囲となり、回転軸に対して右回り方向が正の値、左回り方向が負の値となる。表6と表7中のジョイント欄に記載の丸囲み数字は、図27で示している関節箇所丸囲み数字と対応している。また、表7中の「唐1」は、「唐(1回目)」を省略して記述している。同様に「唐2」、「叶1」、「叶2」も省略している。以後、表や図中に同様に記載している。

図30には表6の回転角度をもとに、正面からみた能の平均姿勢を人体モデルで示す。図31には表7の回転角度をもとに、正面からみた儺舞・雷公の平均姿勢を人体モデルで示す。図32には表6と表7での各演目の回転角度の平均値をもとに、能と儺舞・雷公における平均姿勢の平均をとった3面図を示す。図33には表6の回転角度をもとに、能の各演目の平均姿勢の3面図を、図34には同じく表7の回転角度をもとに、儺舞・雷公での平均姿勢の3面図を示す。3面図とは、3次元の立体物を3方向から見て、それぞれを2次元に表し組にした図である。ここでは、左下の図は人体モデルを正面から見た姿勢、右下の図は左手方向から見た姿勢、左上の図は上から見た姿勢となっている。

図30の正面から見た能の平均姿勢を見てみる。6演目とも右腕が左腕よりも上がり気味でかつ腋が開き気味という共通点がみられる。この特徴は、図30(g)の6演目の平均をとった平均姿勢にも表れているが、能の基本的な姿勢である「腋を少し開き手は自然に下げ、ひざを僅かに曲げて腰を落とす」という姿勢によく似ている。平均姿勢と、基本姿勢の違いを挙げるとすれば、両足は強い曲調のものでなければ揃えるべきであり、両腕の開き具合も左右揃えるのが普通であるし、少々開きすぎの感もある。これは歩くという両脚の動作、右腕による、サス、打ツ、カザス等の動作、両腕で行う開きの動作が平

均姿勢に表れていると考えられる。6演目の中でも『石橋』の平均姿勢は両腋の開き具合も大きく、膝もかなり曲げた姿勢となっているが、仕舞の中で両腋を広く開け、片膝を地につけたしゃがんだ姿勢を取ることが多いためであると考えられる。

次に、横から見た能の平均姿勢を、図33の3面図から追ってみる。『遊行柳』や『百萬』に関しては、腰に対して胸を起す傾向が強いことが分かる。このことは、表6中の腰のジョイントx軸回りの値がマイナスになっていることから分かる。x軸回りの値がプラスの場合は、腰に対して胸が前傾した姿勢となる。『遊行柳』ではマイナス9.9°、『百萬』はマイナス9.0°となっており、腰に対して胸を起している。それに対し、『養老』は9.9°、『敦盛』は13.6°、『猩々』は4.6°、『石橋』においては22.1°となっており、前傾した姿勢となっている。なお、『遊行柳』『百萬』の人体モデルは上体を後方に反らせているように見えるが、腰のセグメントを水平、垂直に表示しているため、本来の姿勢は胸を起して腰を入れていると考えられる。上から見た平均姿勢を、同じく図33の3面図から追ってみる。いずれの演目も、右肩を左肩より後方に引く傾向がみられる。表6中の腰のジョイントy軸回りの値がその姿勢を決めているが、すべてマイナスの値となっている。値はマイナス5.0°～マイナス12.5°の範囲で、平均ではマイナス8.5°なので、腰に対して右肩を8.5°後方に引いていることになる。

儺舞・雷公の平均姿勢を図34から見てみる。演者は2人だが、同じ演目のため、能の各演目同士よりは比較的似たような平均姿勢となっている。よく観察してみると、演者によって平均姿勢が多少異なっているが、演者の演目同士では相違はあまり認められない。特に、唐氏の1回目と2回目では解析対象フレームは2倍近く差があるにもかかわらず図34(a)と(b)での平均姿勢はほぼ同じとなっている。演者同士の平均姿勢の比較では、右腕の上げ具合や、体の傾きが異なる傾向が見受けられるが、演者のクセが現れていると推察できる。共通した点では、左方向に顔を向ける傾向が認められる。表7中の首のジョイントy軸回りの値が16.4°～19.6°で、平均値

表6 能の平均姿勢でのジョイント回転角度

ジョイント	軸	遊行柳	百萬	養老	敦盛	狸々	石橋	平均値
①左手首	x	-6.7°	-15.7°	-16.6°	-13.8°	-13.5°	-18.5°	-14.1°
	y	13.3°	12.5°	31.7°	31.9°	23.6°	25.9°	23.1°
	z	8.2°	6.9°	-8.9°	-3.0°	3.4°	-3.1°	0.6°
②左肘	x	-34.8°	-28.7°	-22.0°	-28.3°	-21.5°	-15.0°	-25.0°
	y	-16.6°	-18.9°	-14.6°	-12.6°	-15.2°	-11.0°	-14.8°
	z	6.6°	2.8°	7.6°	9.6°	6.9°	10.7°	7.4°
③左肩	x	-31.1°	-29.0°	-36.2°	-42.3°	-35.8°	-35.4°	-35.0°
	y	-14.8°	-29.5°	-18.1°	-15.2°	-12.2°	-0.0°	-15.0°
	z	-58.9°	-52.9°	-40.4°	-37.0°	-36.4°	-18.7°	-40.7°
④左足首	x	-22.2°	-24.7°	-21.5°	-24.7°	-9.9°	-14.7°	-19.6°
	y	-10.3°	-8.0°	-3.4°	-3.2°	-4.2°	1.1°	-4.7°
	z	-5.4°	-5.7°	-11.3°	-6.5°	-6.5°	-11.7°	-7.9°
⑤左膝	x	44.2°	49.3°	53.9°	65.3°	40.1°	81.5°	55.7°
	y	1.9°	2.4°	1.1°	1.9°	2.9°	2.6°	2.1°
	z	-3.8°	-5.6°	-3.0°	-10.6°	-8.5°	-22.9°	-9.1°
⑥左股関節	x	-32.4°	-29.2°	-25.1°	-38.7°	-31.3°	-49.1°	-34.3°
	y	1.9°	2.7°	3.3°	15.1°	4.5°	13.6°	6.8°
	z	3.5°	1.8°	4.6°	10.9°	3.0°	18.4°	7.0°
⑦腰	x	-9.9°	-9.0°	9.9°	13.6°	4.6°	22.1°	5.2°
	y	-6.4°	-5.0°	-12.5°	-8.2°	-8.4°	-10.2°	-8.5°
	z	-0.8°	-5.0°	-3.0°	-5.0°	-0.9°	-3.8°	-3.1°
⑧右股関節	x	-33.3°	-32.0°	-28.1°	-37.5°	-36.7°	-40.4°	-34.7°
	y	-6.4°	-4.8°	-25.5°	-18.2°	-10.5°	-22.2°	-14.6°
	z	2.8°	1.9°	-5.3°	-6.6°	-1.4°	-11.4°	-3.3°
⑨右膝	x	45.6°	51.8°	59.5°	70.8°	50.1°	87.4°	60.9°
	y	0.9°	2.7°	1.7°	0.7°	1.3°	1.2°	1.4°
	z	-2.4°	-7.3°	-5.8°	-6.3°	-4.6°	-9.0°	-5.9°
⑩右足首	x	-26.0°	-27.3°	-30.4°	-29.7°	-19.9°	-20.3°	-25.6°
	y	5.7°	5.7°	13.0°	11.3°	-9.4°	-14.3°	9.9°
	z	1.6°	6.1°	3.3°	5.7°	4.3°	11.9°	5.5°
⑪右肩	x	-43.3°	-42.5°	-48.1°	-46.2°	-46.2°	-44.8°	-45.2°
	y	11.5°	5.1°	-14.9°	-18.6°	-9.6°	-15.1°	-6.9°
	z	42.8°	40.0°	20.2°	26.0°	23.5°	9.8°	27.1°
⑫右肘	x	-31.9°	-25.9°	-17.8°	-24.0°	-18.4°	-15.1°	-22.2°
	y	20.6°	20.5°	24.8°	21.7°	28.2°	26.5°	23.7°
	z	-1.9°	-2.2°	1.5°	-1.9°	4.7°	2.8°	0.5°
⑬右手首	x	-2.7°	0.3°	-7.6°	-2.5°	-2.8°	-13.9°	-4.9°
	y	-7.8°	-30.9°	-28.8°	-36.0°	-19.4°	-9.0°	-22.0°
	z	-10.9°	4.8°	4.1°	-3.4°	-4.9°	-5.1°	-2.6°
⑭首	x	-7.5°	-5.3°	-12.3°	-23.3°	-17.1°	-32.4°	-16.3°
	y	0.6°	0.2°	1.8°	-0.3°	2.7°	-4.1°	0.2°
	z	2.4°	5.2°	2.7°	4.9°	0.6°	1.6°	2.9°

表7 儼舞・雷公の平均姿勢でのジョイント回転角度

ジョイント	軸	唐1	唐2	叶1	叶2	平均値	能平均値
①左手首	x	2.4°	-2.7°	-5.3°	1.6°	-1.0°	-14.1°
	y	20.5°	6.5°	17.7°	15.8°	15.1°	23.1°
	z	0.6°	10.3°	28.5°	17.6°	14.3°	0.6°
②左肘	x	-52.3°	-49.1°	-49.3°	-47.4°	-49.5°	-25.0°
	y	-9.6°	-9.7°	-22.8°	-23.4°	-16.4°	-14.8°
	z	15.9°	15.3°	-4.3°	-4.5°	5.6°	7.4°
③左肩	x	-27.1°	-29.5°	-34.2°	-31.0°	-30.5°	-35.0°
	y	21.4°	23.6°	39.0°	41.9°	31.5°	-15.0°
	z	-29.4°	-26.0°	-36.6°	-34.8°	-31.7°	-40.7°
④左足首	x	-39.3°	-41.2°	-29.2°	-30.9°	-35.1°	-19.6°
	y	-15.2°	-10.3°	-0.7°	6.7°	-4.8°	-4.7°
	z	5.2°	0.6°	0.2°	-3.4°	0.6°	-7.9°
⑤左膝	x	76.3°	78.5°	68.9°	69.5°	73.3°	55.7°
	y	0.9°	0.8°	-2.5°	-3.6°	-1.1°	2.1°
	z	-7.8°	-6.8°	9.0°	15.4°	2.4°	-9.1°
⑥左股関節	x	-16.2°	-15.1°	-26.4°	-26.9°	-21.1°	-34.3°
	y	11.6°	10.8°	14.5°	25.7°	15.7°	6.8°
	z	5.1°	6.3°	2.3°	3.7°	4.4°	7.0°
⑦腰	x	20.7°	22.6°	12.9°	14.1°	17.6°	5.2°
	y	3.5°	3.0°	-0.4°	0.4°	1.6°	-8.5°
	z	-2.7°	-2.7°	7.8°	9.6°	3.0°	-3.1°
⑧右股関節	x	-27.7°	-30.0°	-32.3°	-34.0°	-31.0°	-34.7°
	y	-3.5°	-0.3°	-8.5°	-11.7°	-6.0°	-14.6°
	z	-8.2°	-8.0°	4.3°	9.0°	-0.7°	-3.3°
⑨右膝	x	79.7°	82.0°	76.9°	78.1°	79.2°	60.9°
	y	-1.3°	-1.3°	0.8°	2.0°	0.0°	1.4°
	z	9.9°	11.2°	-0.8°	-7.8°	3.1°	-5.9°
⑩右足首	x	-29.1°	-38.1°	-24.5°	-25.7°	-29.3°	-25.6°
	y	-9.2°	7.7°	2.2°	-5.5°	-1.2°	9.9°
	z	11.0°	1.9°	1.2°	7.1°	5.3°	5.5°
⑪右肩	x	-39.4°	-39.5°	-38.1°	-40.2°	-39.3°	-45.2°
	y	-22.8°	-28.2°	-37.2°	-36.1°	-31.1°	-6.9°
	z	24.0°	24.4°	11.1°	14.4°	18.5°	27.1°
⑫右肘	x	-63.2°	-61.8°	-64.7°	-56.1°	-61.5°	-22.2°
	y	10.6°	10.6°	16.1°	15.3°	13.2°	23.7°
	z	-17.4°	-16.5°	-5.8°	-8.1°	-12.0°	0.5°
⑬右手首	x	-1.0°	4.5°	6.6°	-5.7°	1.1°	-4.9°
	y	-3.5°	0.2°	-21.9°	-6.9°	-8.0°	-22.0°
	z	-23.9°	-24.3°	-40.4°	-38.4°	-31.7°	-2.6°
⑭首	x	-10.2°	-6.5°	-5.1°	1.7°	-5.0°	-16.3°
	y	18.7°	19.6°	16.4°	17.9°	18.1°	0.2°
	z	0.9°	2.4°	-0.5°	-6.0°	-0.8°	2.9°

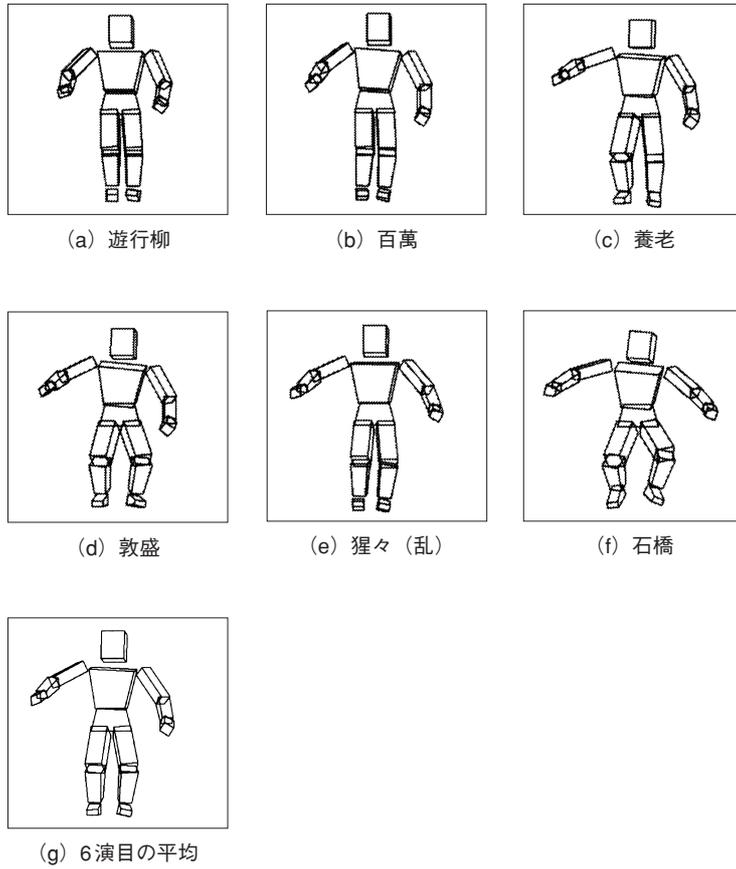


図30 正面からみた能の平均姿勢

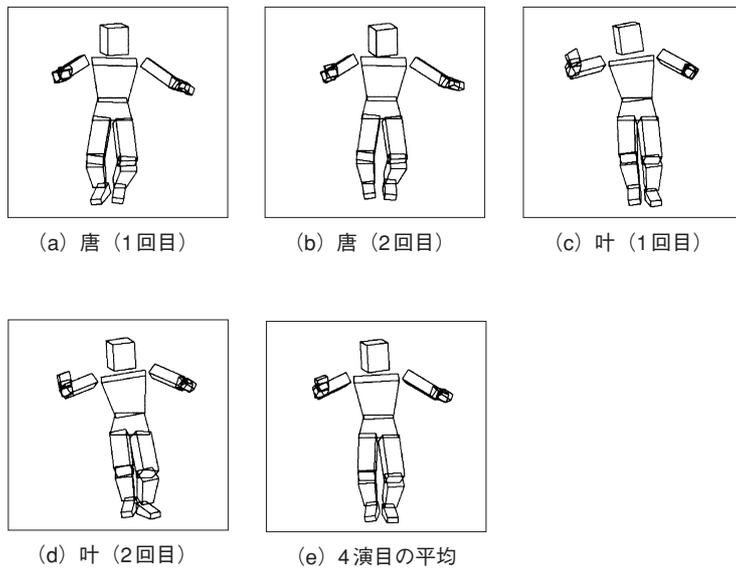
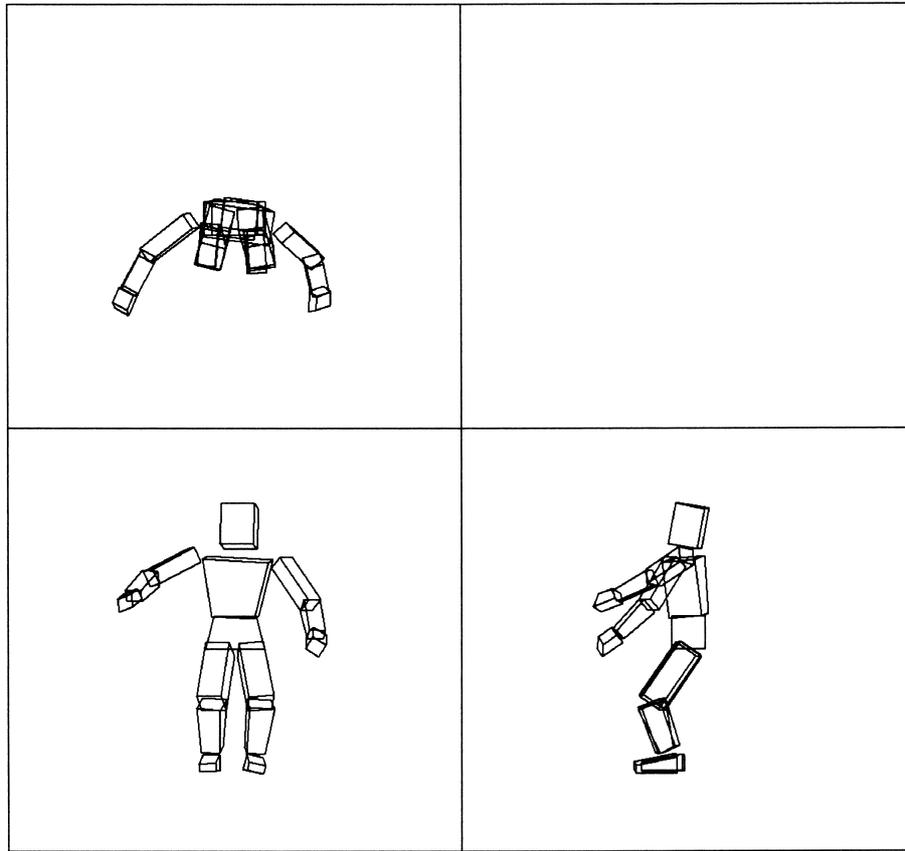
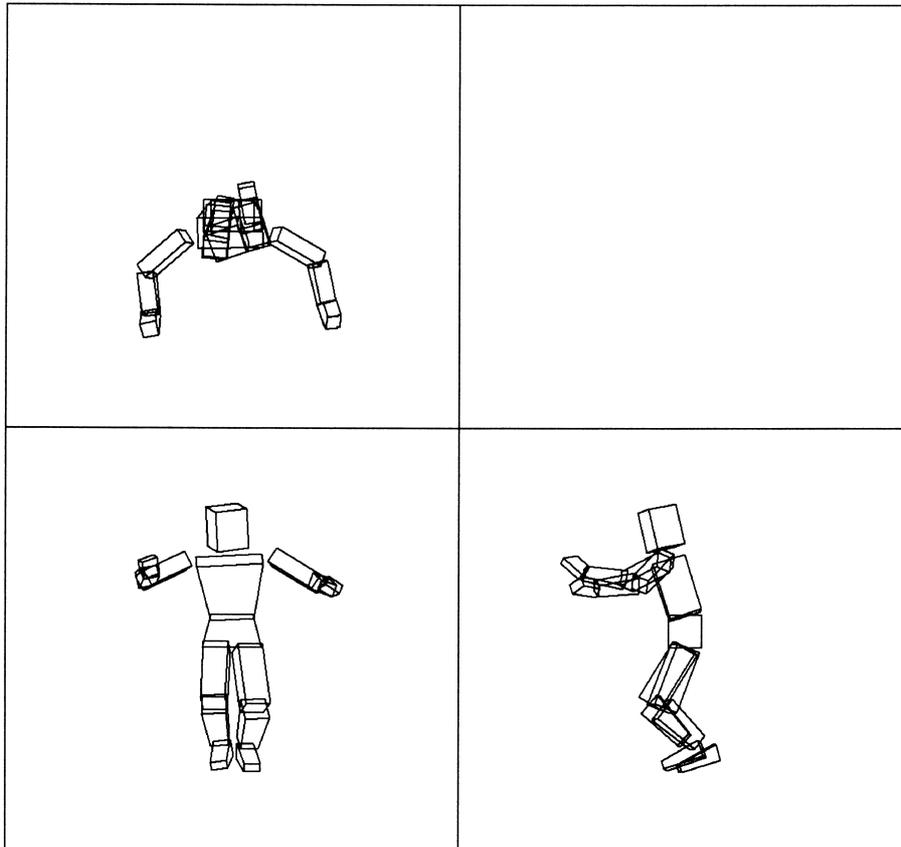


図31 正面からみた儺舞・雷公の平均姿勢

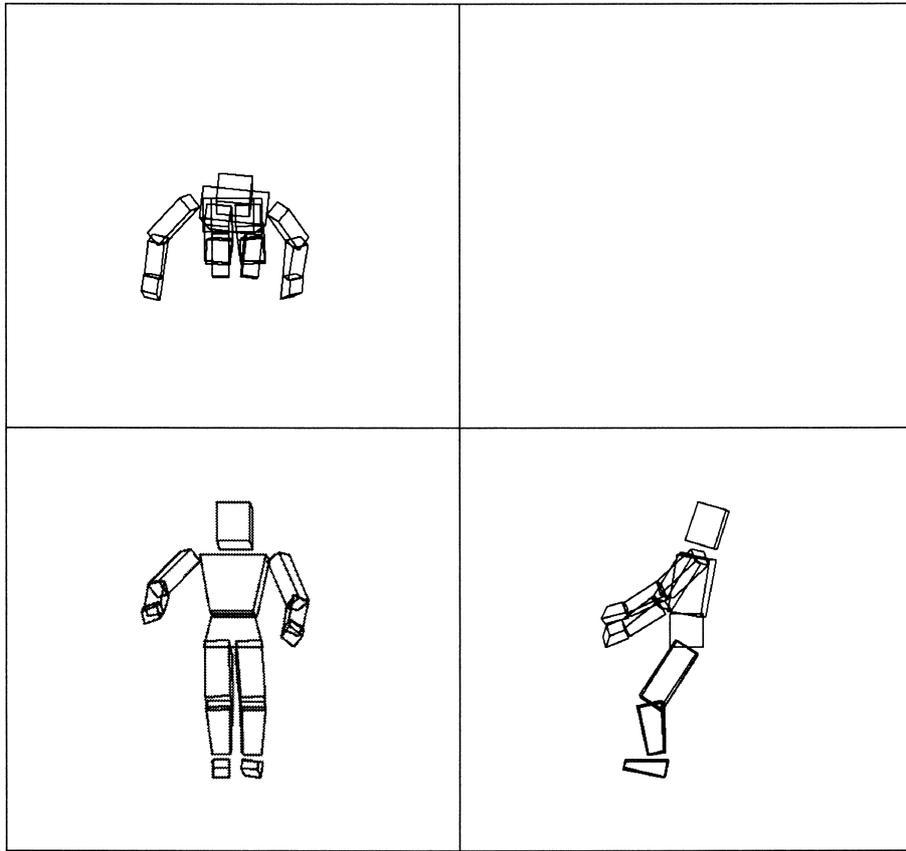


(a) 能

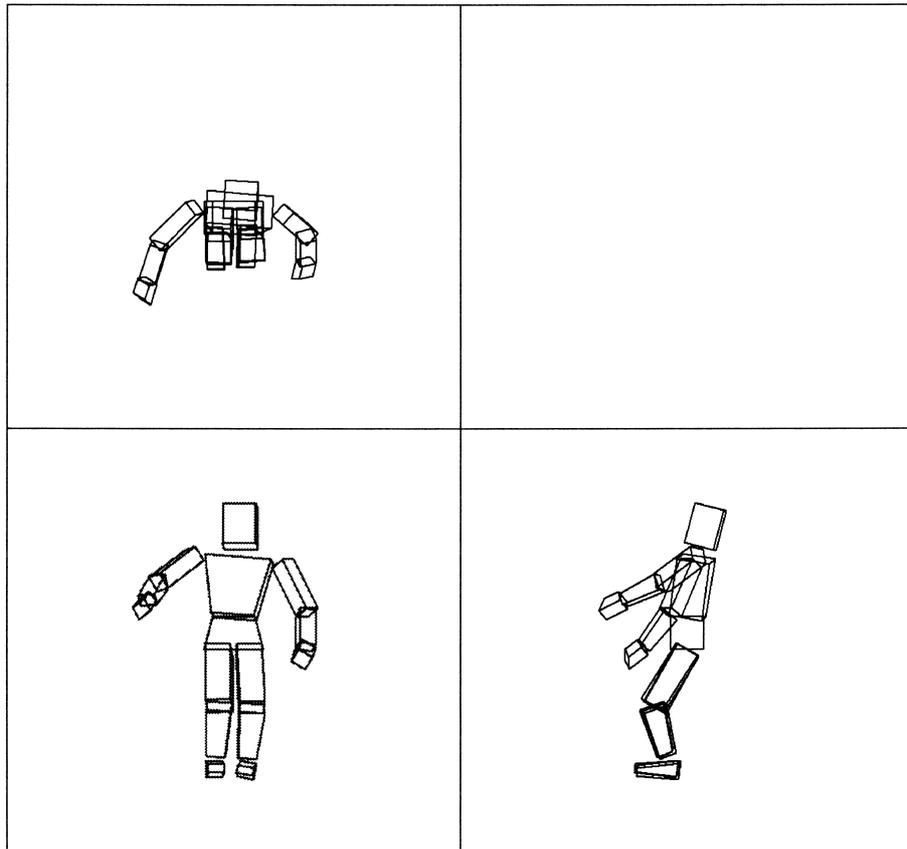


(b) 儺舞・雷公

図32 平均姿勢の平均の3面図

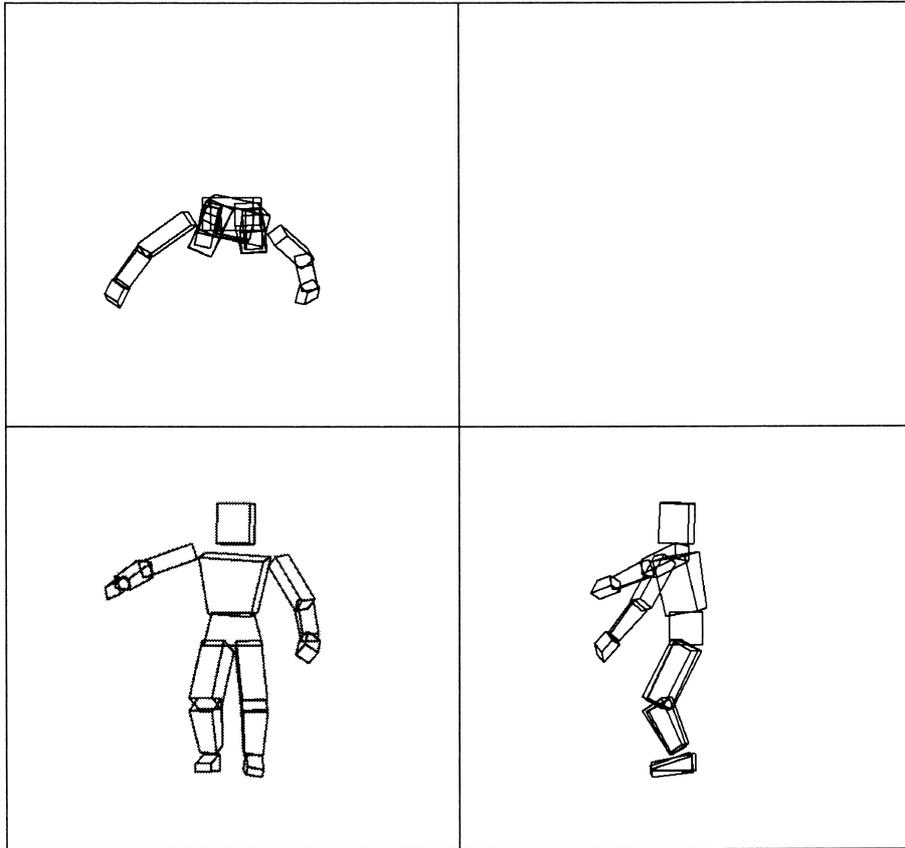


(a) 遊行柳

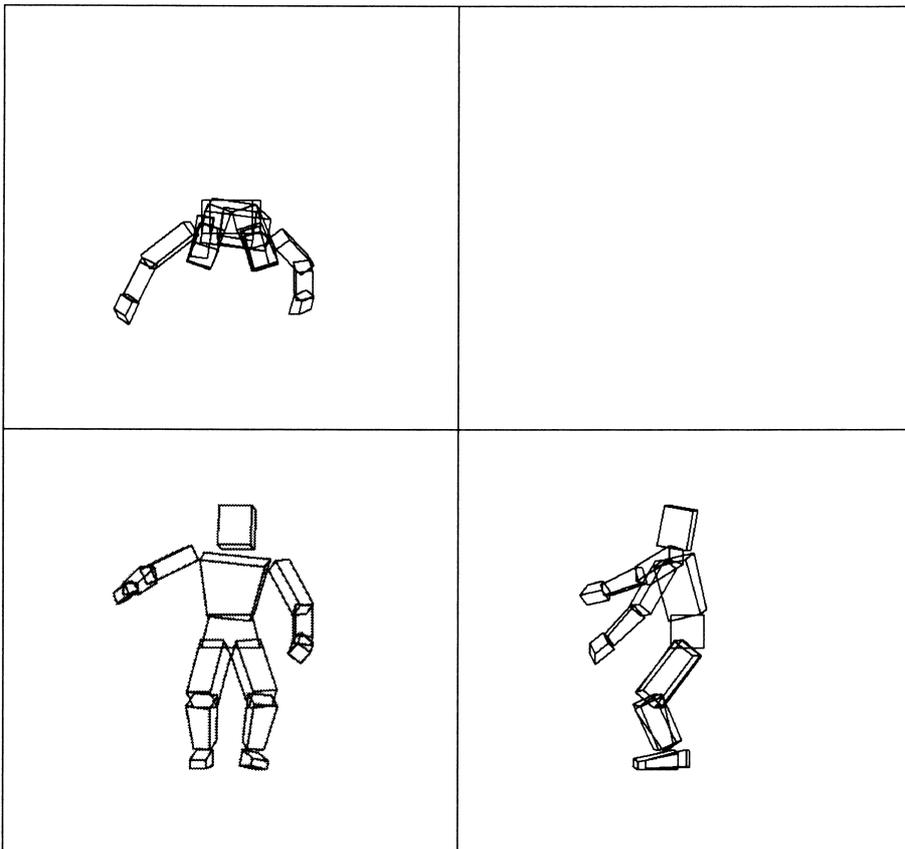


(b) 百萬

図33 能の平均姿勢の3面図 (1/3)

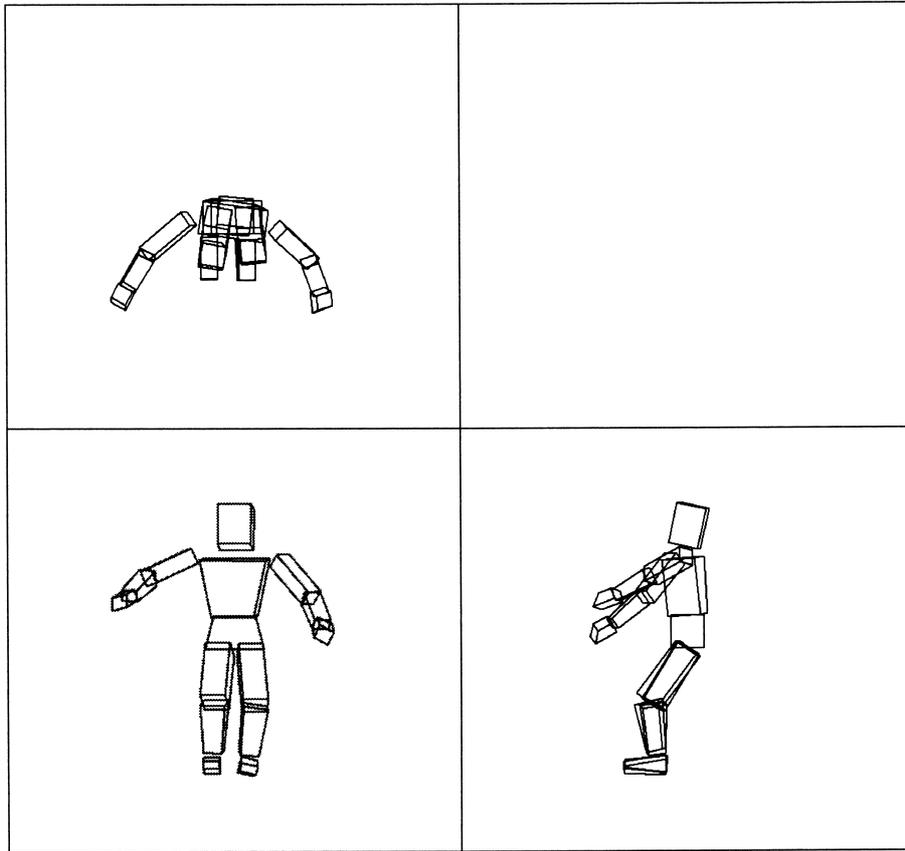


(c) 養老

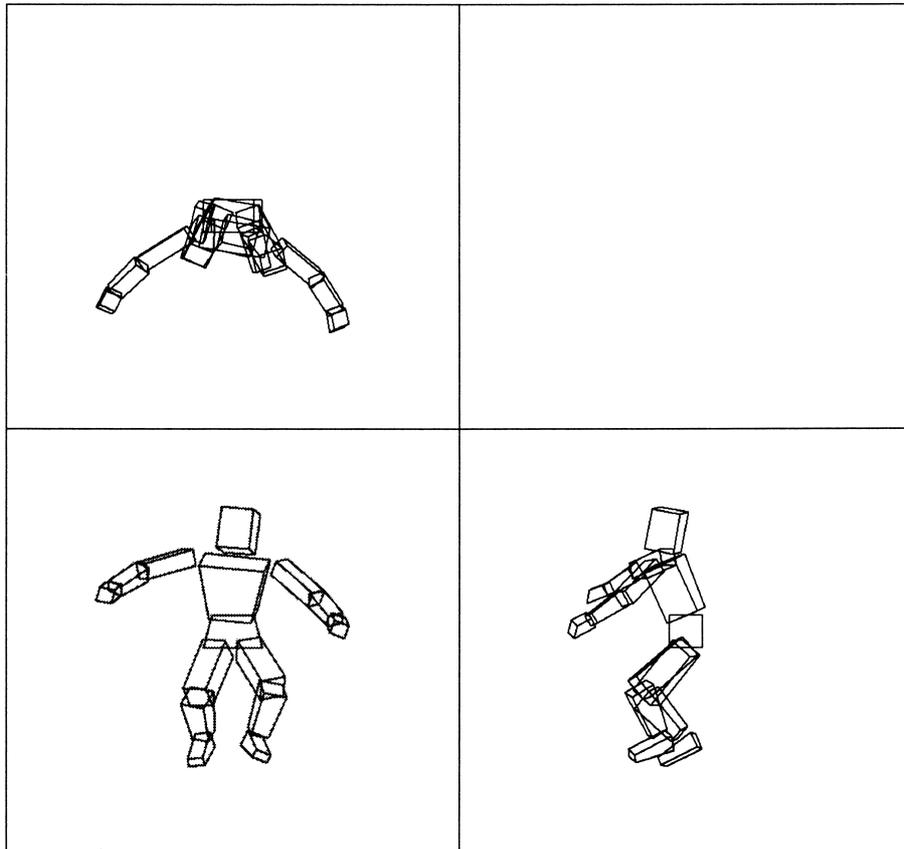


(d) 敦盛

図33 能の平均姿勢の3面図 (2/3)

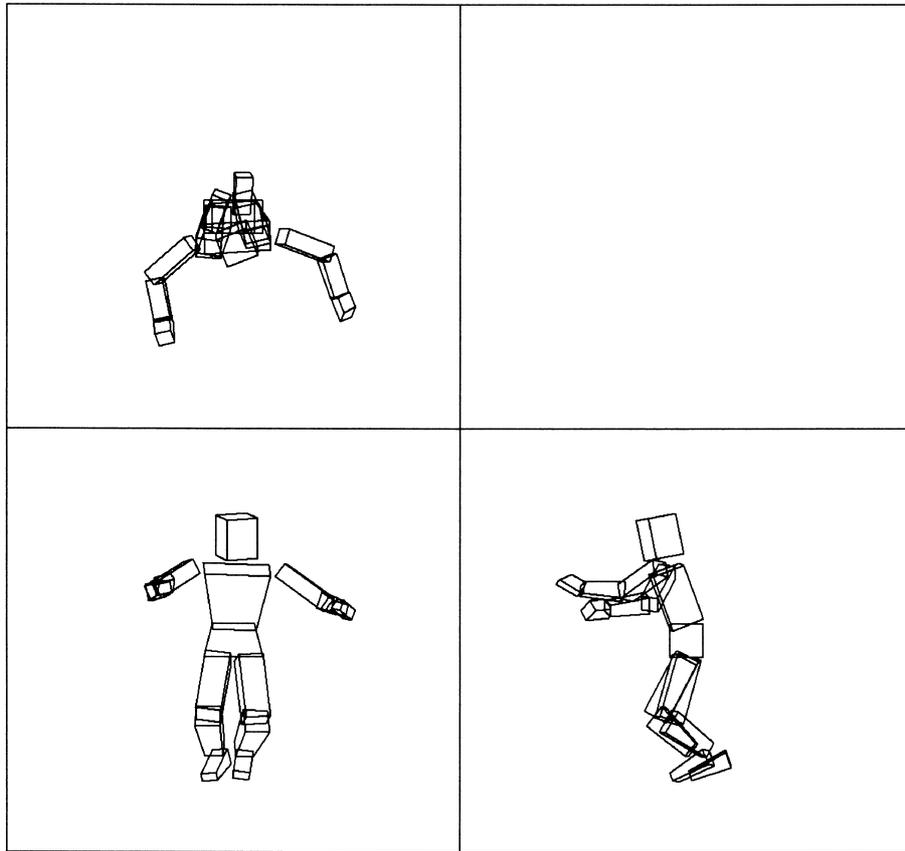


(e) 猩々 (乱)

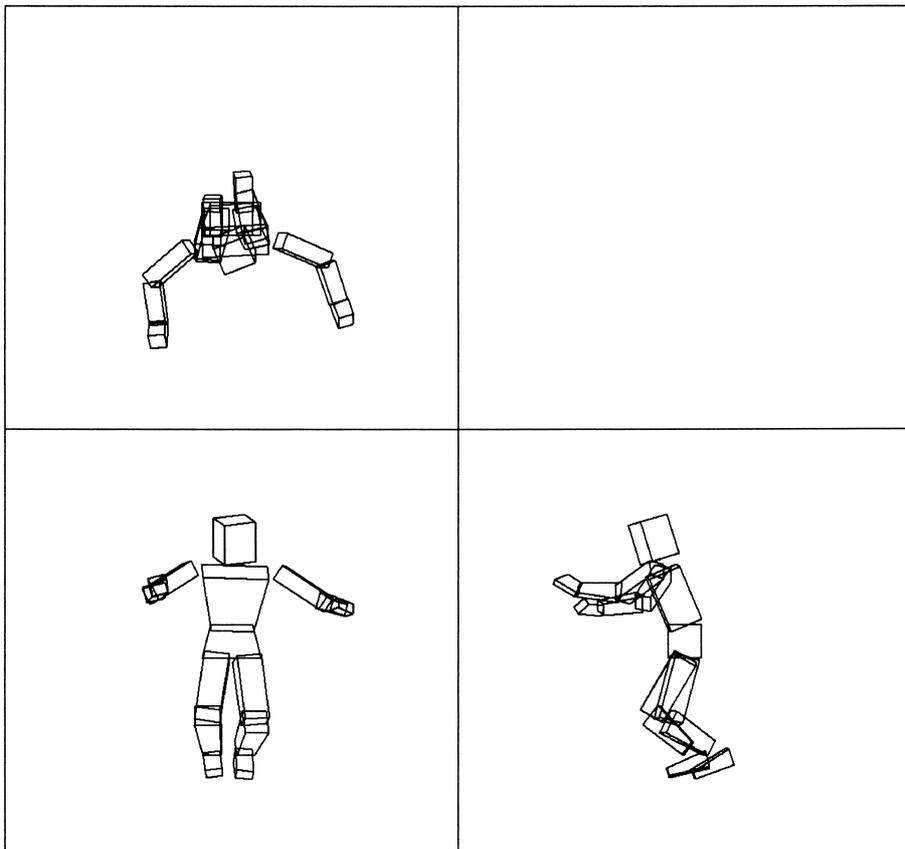


(f) 石橋

図33 能の平均姿勢の3面図 (3/3)

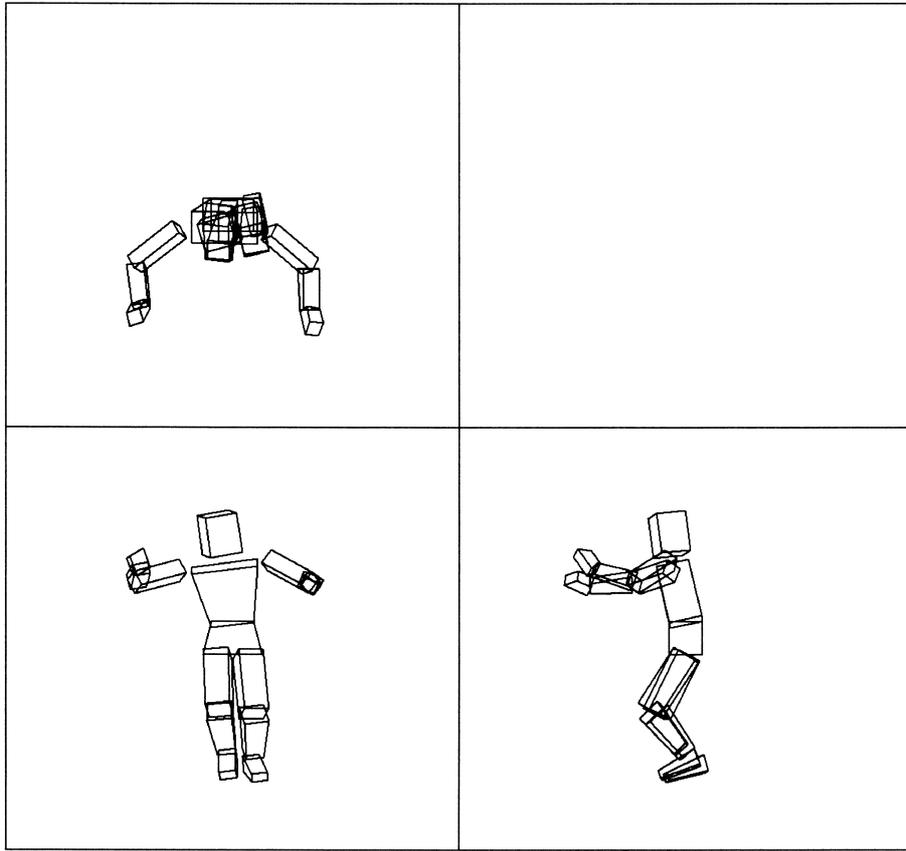


(a) 唐 (1回目)

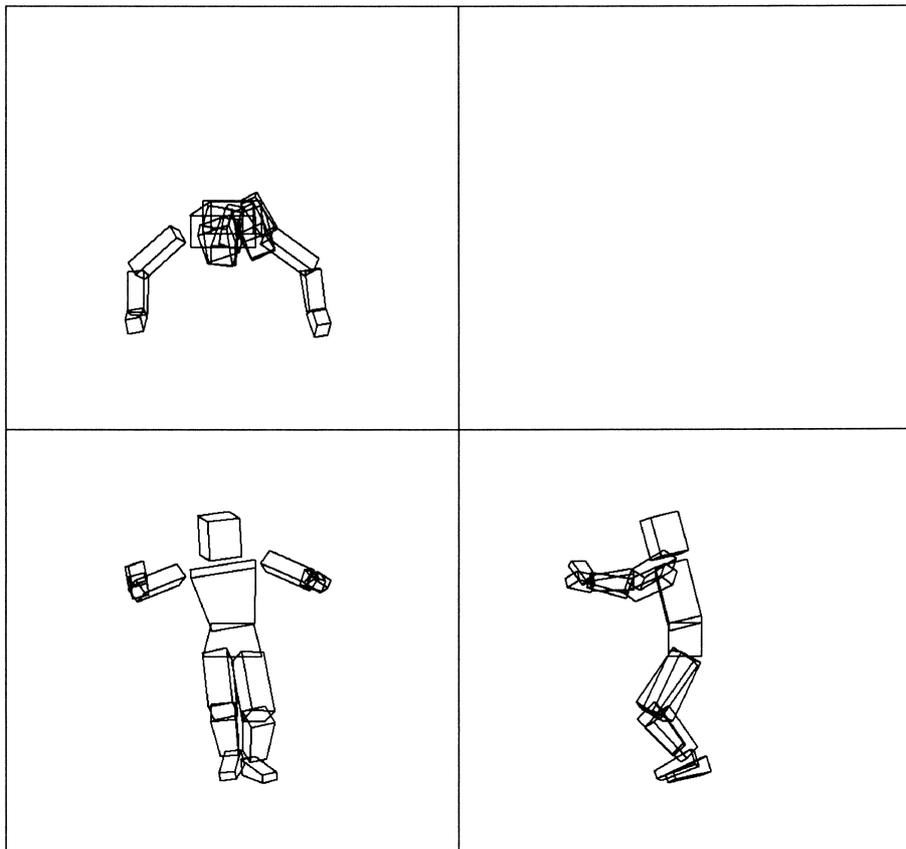


(b) 唐 (2回目)

図34 儼舞・雷公の平均姿勢の3面図 (1/2)



(c) 叶 (1回目)



(d) 叶 (2回目)

図34 儼舞・雷公の平均姿勢の3面図 (2/2)

は18.1°となっており、能における平均値0.2°とは大きく異なる。これは左廻りで円を描くように舞台を歩く動作が多く、その時自然と顔が進行方向を向くためと思われる。また、その場で廻転する動きも、逆順逆（左・右・左）と左廻転が多いため、これも要因になるとと思われる。

2-3 分散値による能の動作範囲の評価

平均姿勢の評価と同様に、モーションキャプチャで収録された動作データを骨格構造人体モデルに置き換え、2-1節の式(2)により分散値を求めた。表8には能の各ジョイントにおける分散値を、表9には同じく儺舞・雷公における分散値の計算結果を示す。表8と表9中のジョイント欄に記載の丸囲み数字は、図27で示している関節箇所の丸囲み数字と対応している。図35は表8の能の分散値をx軸回りの屈曲／伸展、y軸回りの回内／回外、z軸回りの内転／外転、のジョイント動作ごとに分けグラフ化している。図36は同じく儺舞・雷公における表9の分散値をジョイント動作ごとに分けグラフ化している。図35と図36の縦軸は分散値、横軸は人体モデルの各ジョイントで、腰を中央に配置し各ジョイントをそれぞれ左右に分けて並べている。また、グラフ中の米印は、能の各ジョイントにおける分散値の平均値を比較のためにプロットしている。2-1節で述べたように、それぞれのジョイントの分散値による動作範囲は、2-2節における平均姿勢が中心となっている。ジョイントの分散値が小さいということは、平均姿勢からの動作範囲が狭く、分散値が大きいということは動作範囲が広いことを意味している。

表8および図35の能の分散値を見てみる。能の分散値の平均値を見てみると、全体の傾向として屈曲／伸展での分散値が、回内／回外、内転／外転の値よりも大きいことが分かる。表9および図36での儺舞・雷公の分散値でも同様な傾向が認められるが、『雷公』のほうが能の演目より全体的に分散値が大きいことが分かる。この3種類のジョイント動作、屈曲／伸展、回内／回外および内転／外転のそれぞれに着目し、ジョイント動作ごとに評価してみ

る。

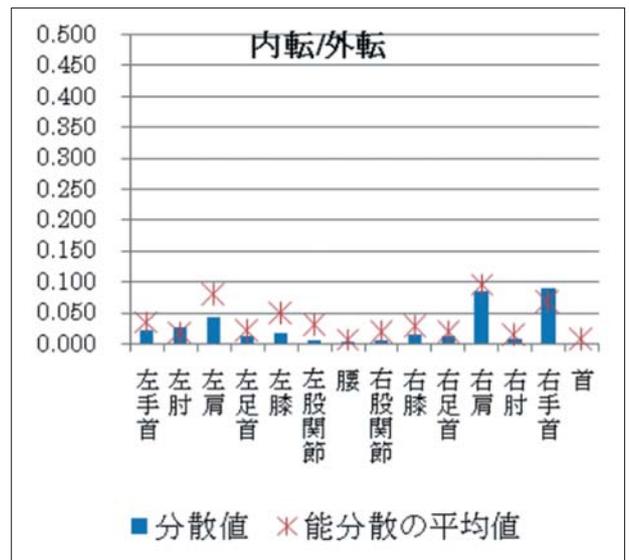
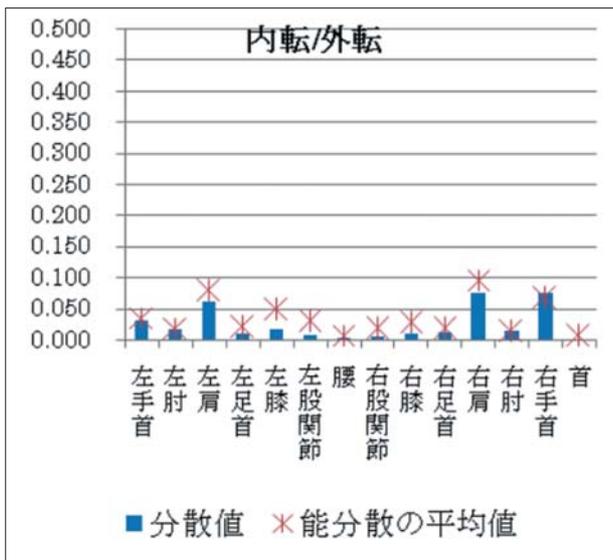
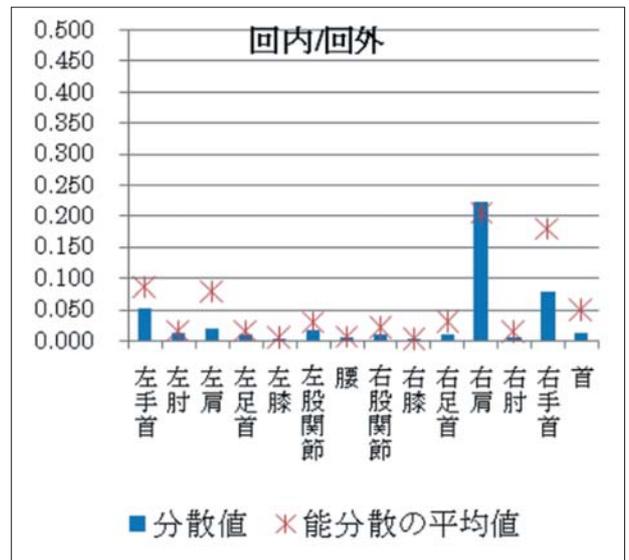
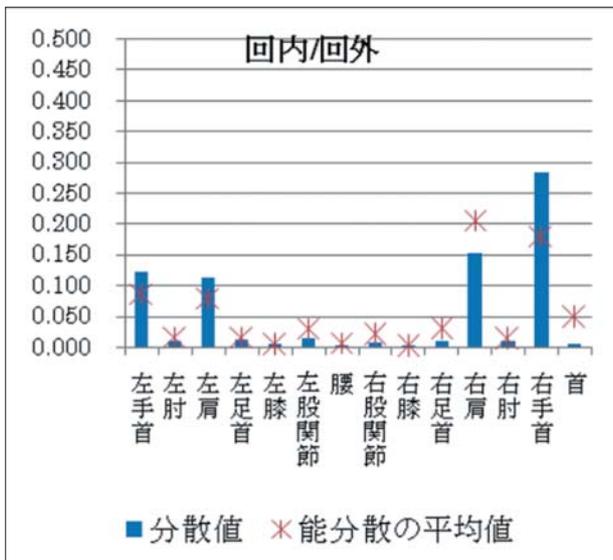
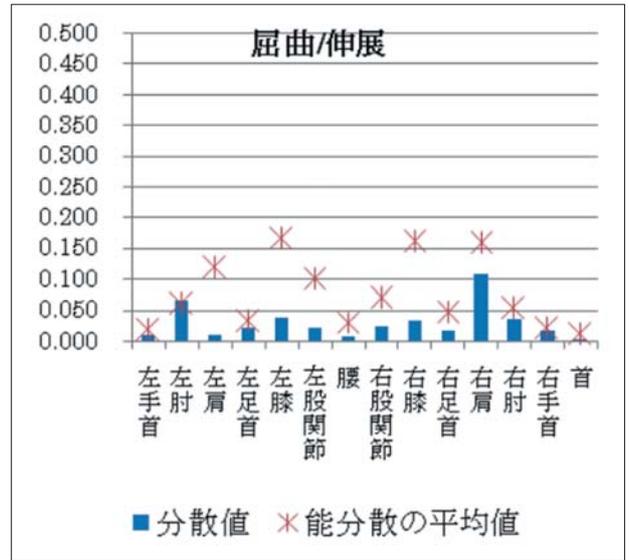
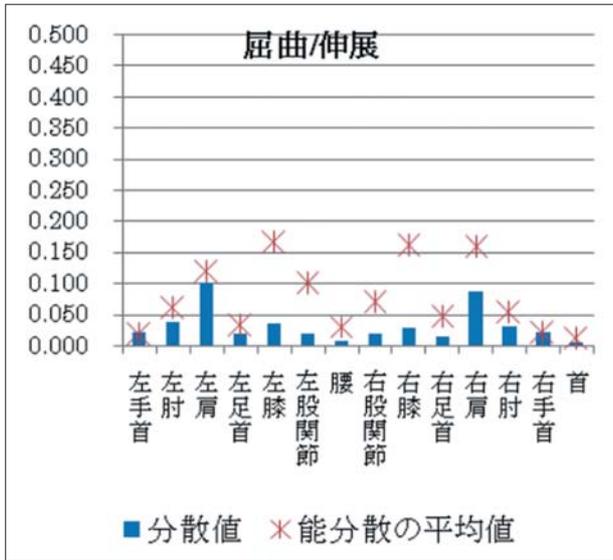
はじめに、屈曲／伸展を見てみる。能全体の傾向を分散値の平均値でみた場合、左右の両膝、および左右の両肩の値が大きく、これらのジョイントの動作範囲が他のジョイントよりも広いことが分かる。表8よりこれらの値はそれぞれ、左膝0.165、右膝0.161、左肩0.119、右肩0.159となっている。ただ、すべての演目で同様にこの4つのジョイントの値が大きいというわけではなく、例えば『遊行柳』の上位4位までの値は、左肩0.102、右肩0.087、左肘0.038、左膝0.037となっているように、分散値の大きさもジョイントも異なっている。一方、『雷公』では能のどの演目とも明らかに傾向が異なる。分散値の平均値が0.100を超えるジョイント数は、能の5つ（ジョイント③、⑤、⑥、⑨、⑪）に対して、『雷公』の9つ（ジョイント②、③、⑤、⑥、⑧、⑨、⑪、⑫、⑬）で、これらの分散値の範囲は、能の左股関節0.100～左膝0.165に対して、『雷公』の右手首0.131～左膝0.285となっており、『雷公』の屈曲／伸展は能の演目もよりかなり大きいことが分かる。

次に、回内／回外を見てみる。屈曲／伸展と同様に能全体の傾向を分散値の平均値でみた場合、左右の両肩、および左右の両手首の値が大きく、腕部ジョイントの動作範囲が広いことが分かる。表8よりこれらの値はそれぞれ、左肩0.080、右肩0.206、左手首0.087、右手首0.181となっている。どの演目においても、右側の肩や手首の値が左側より大きいという共通点があり、右腕の回内／回外は左腕より大きいということがいえる。なお、右肩0.206の値は、42個あるジョイント動作の中で最大値である。『石橋』は、他の演目と比べ特殊で、首の分散値が高い。これは左右に首を振る動作が多いことが反映していると考えられる。『雷公』の分散値の平均値では、左手首0.563、右手首0.439、首0.151のジョイントの値が能よりかなり大きくなっており、全体の傾向は能のどの演目とも異なっている。

最後に、内転／外転を見てみる。前述と同様に能全体の傾向を分散値の平均値でみた場合、左右の両肩、および右手首の値が大きい。表8よりこれらの

表8 能の分散値

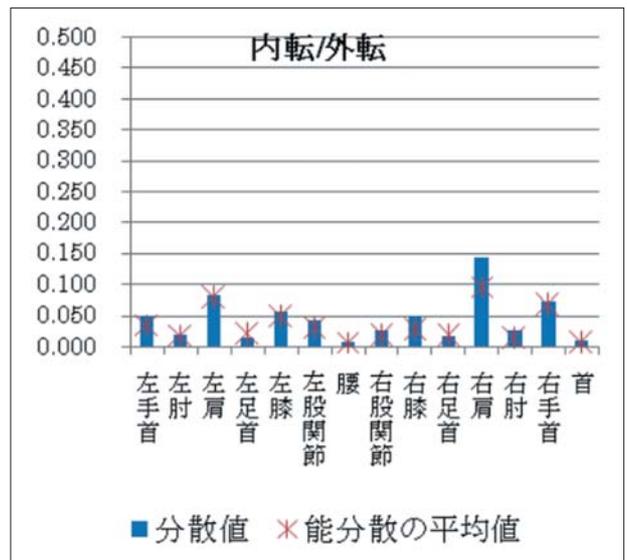
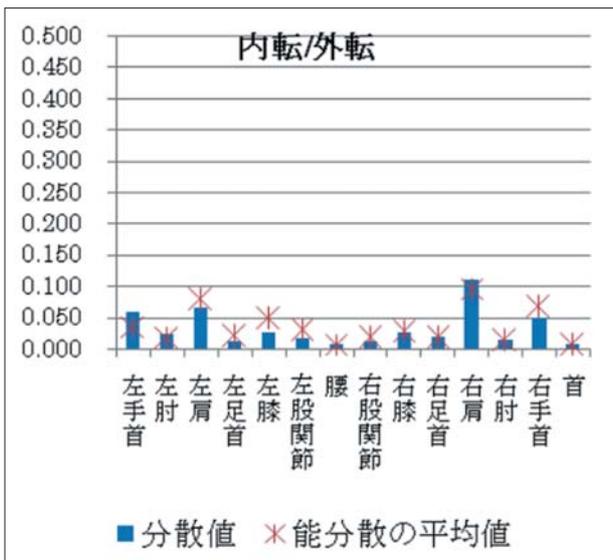
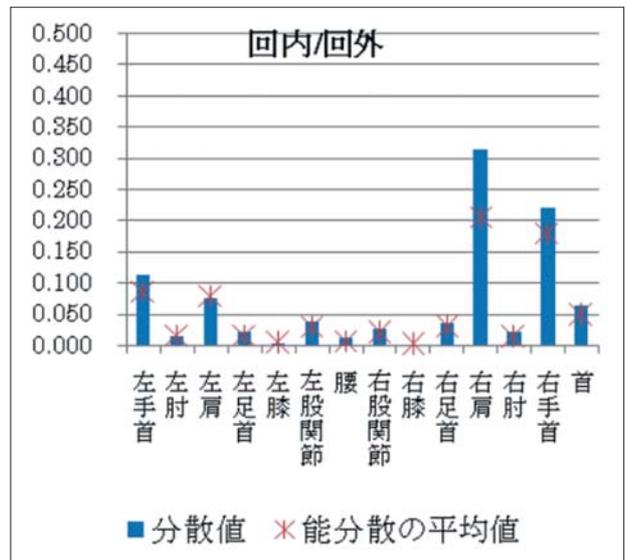
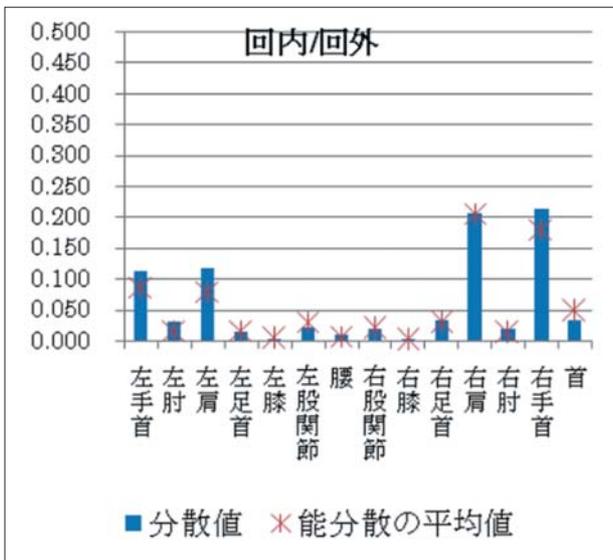
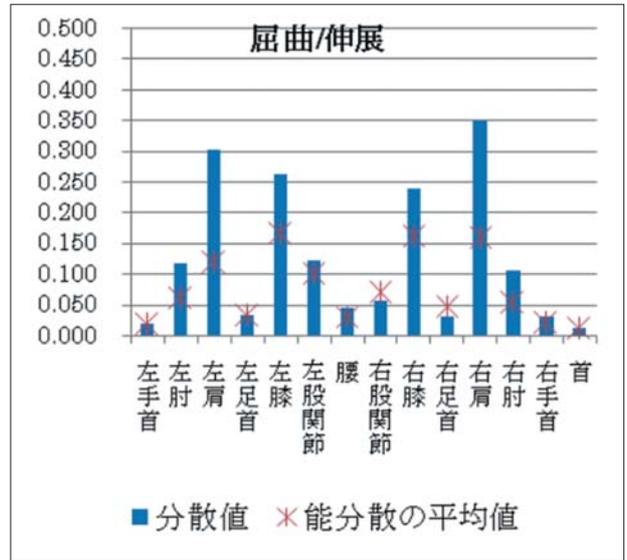
ジョイント	軸	遊行柳	百萬	養老	敦盛	狸々	石橋	平均値
①左手首	x	0.021	0.010	0.028	0.019	0.014	0.016	0.018
	y	0.124	0.052	0.113	0.113	0.071	0.050	0.087
	z	0.031	0.023	0.058	0.049	0.021	0.031	0.036
②左肘	x	0.038	0.066	0.054	0.118	0.045	0.040	0.060
	y	0.011	0.014	0.032	0.016	0.015	0.014	0.017
	z	0.017	0.026	0.024	0.021	0.014	0.013	0.019
③左肩	x	0.102	0.009	0.108	0.303	0.091	0.097	0.119
	y	0.112	0.020	0.117	0.076	0.089	0.062	0.080
	z	0.062	0.042	0.067	0.083	0.139	0.079	0.079
④左足首	v	0.021	0.022	0.023	0.035	0.066	0.030	0.033
	y	0.013	0.011	0.015	0.022	0.014	0.026	0.017
	z	0.011	0.014	0.014	0.014	0.037	0.029	0.020
⑤左膝	x	0.037	0.039	0.061	0.263	0.200	0.391	0.165
	y	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005	0.003	0.004
	z	0.018	0.018	0.027	0.058	0.061	0.111	0.049
⑥左股関節	x	0.021	0.022	0.050	0.123	0.129	0.254	0.100
	y	0.015	0.016	0.022	0.038	0.034	0.059	0.031
	z	0.008	0.006	0.018	0.043	0.021	0.079	0.029
⑦腰	x	0.008	0.008	0.018	0.045	0.047	0.060	0.031
	y	0.003	0.005	0.011	0.012	0.004	0.012	0.008
	z	0.002	0.003	0.008	0.007	0.010	0.014	0.007
⑧右股関節	x	0.020	0.024	0.053	0.058	0.114	0.148	0.069
	y	0.009	0.010	0.020	0.026	0.022	0.037	0.021
	z	0.006	0.005	0.013	0.027	0.018	0.035	0.017
⑨右膝	x	0.030	0.033	0.053	0.239	0.218	0.395	0.161
	y	0.002	0.002	0.003	0.001	0.003	0.002	0.002
	z	0.011	0.014	0.026	0.050	0.015	0.046	0.027
⑩右足首	x	0.015	0.017	0.030	0.031	0.088	0.097	0.046
	y	0.010	0.011	0.035	0.036	0.027	0.062	0.030
	z	0.013	0.012	0.021	0.017	0.019	0.026	0.018
⑪右肩	x	0.087	0.108	0.183	0.350	0.116	0.110	0.159
	y	0.153	0.224	0.206	0.315	0.242	0.096	0.206
	z	0.076	0.085	0.110	0.144	0.113	0.049	0.096
⑫右肘	x	0.032	0.037	0.053	0.106	0.044	0.048	0.053
	y	0.010	0.006	0.021	0.021	0.012	0.010	0.013
	z	0.014	0.007	0.015	0.026	0.007	0.007	0.013
⑬右手首	x	0.022	0.017	0.025	0.032	0.021	0.009	0.021
	y	0.284	0.077	0.214	0.221	0.218	0.071	0.181
	z	0.077	0.091	0.049	0.074	0.091	0.019	0.067
⑭首	x	0.006	0.004	0.008	0.013	0.015	0.021	0.011
	y	0.006	0.012	0.034	0.065	0.043	0.133	0.049
	z	0.002	0.002	0.007	0.009	0.005	0.011	0.006
演目の平均値		0.037	0.029	0.049	0.079	0.061	0.069	0.054



(a) 遊行柳

(b) 百萬

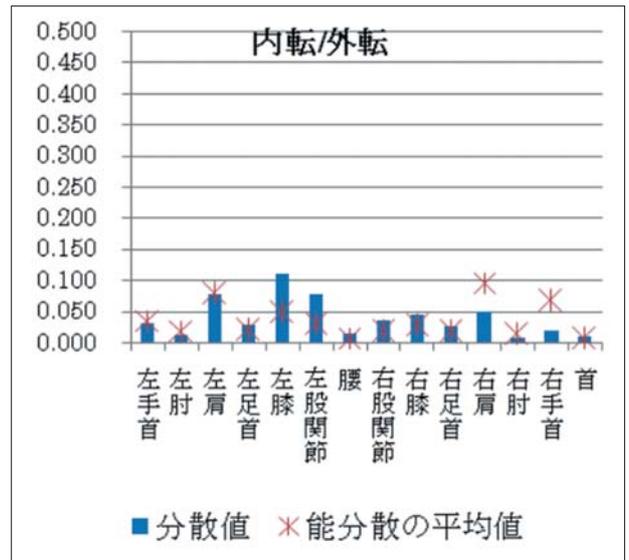
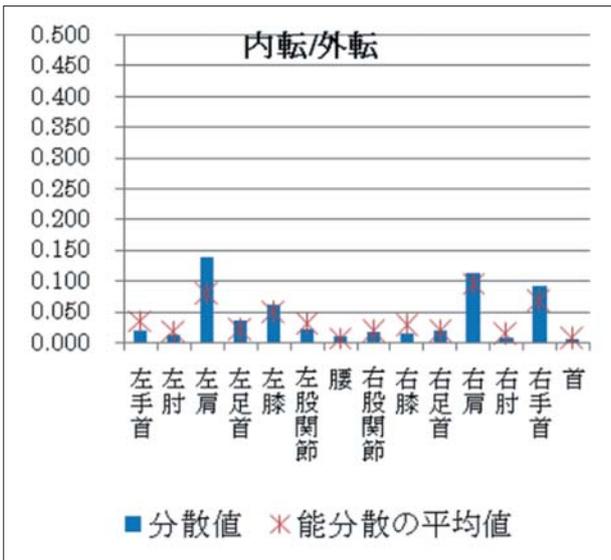
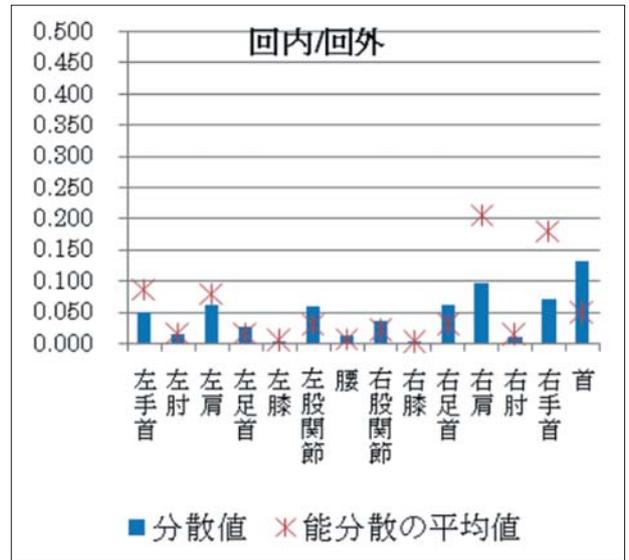
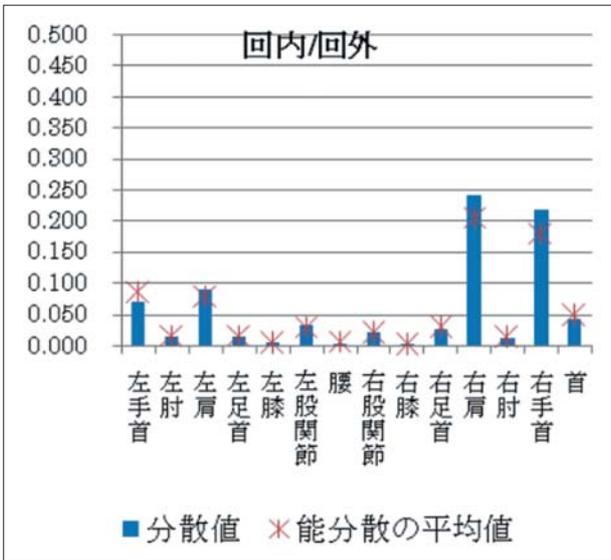
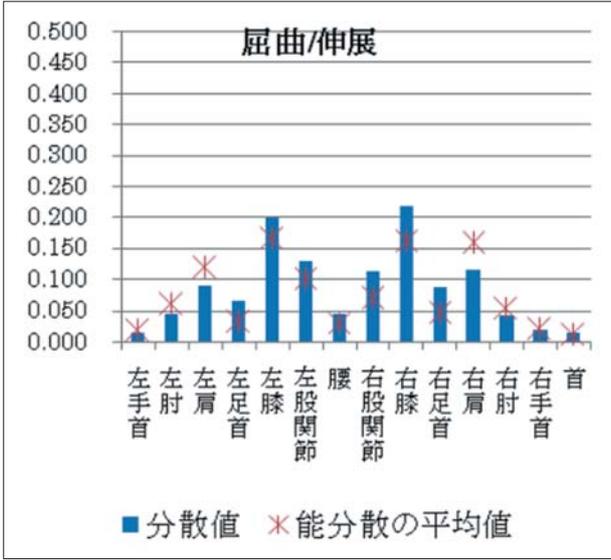
図35 能の分散値 (1/3)



(c) 養老

(d) 敦盛

図35 能の分散値 (2/3)



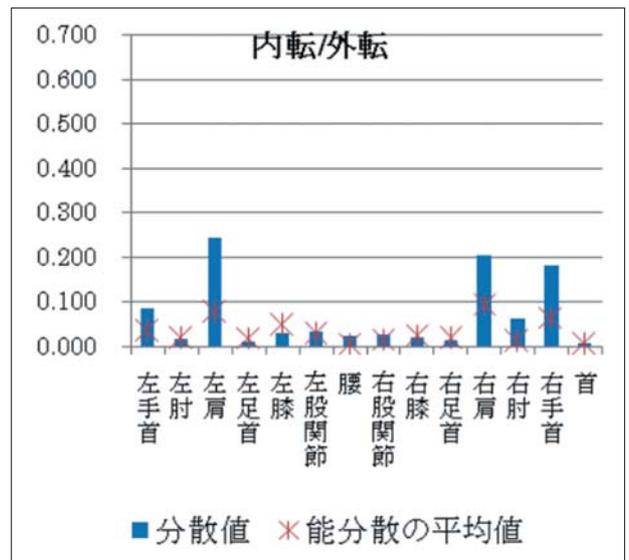
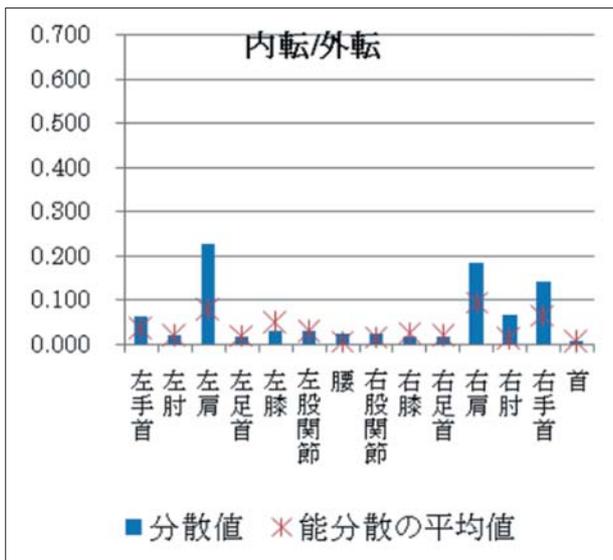
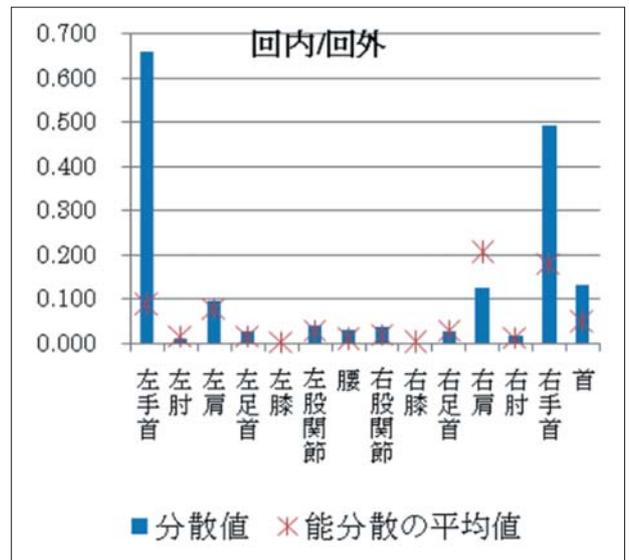
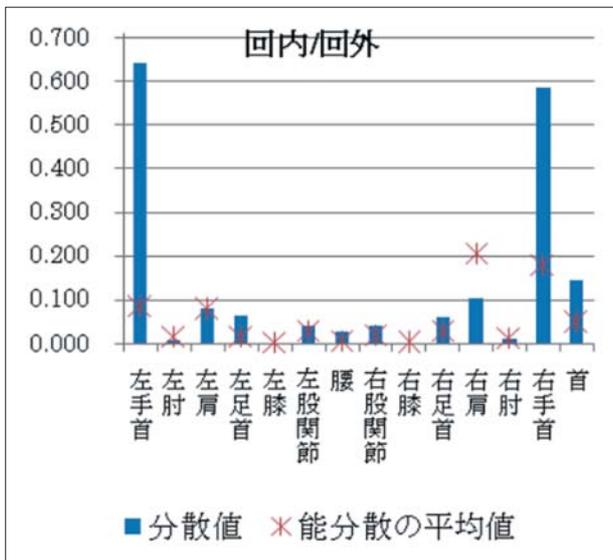
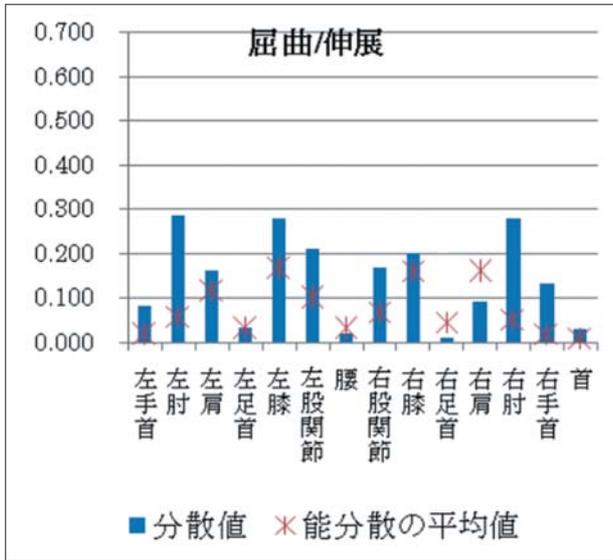
(e) 猿々 (乱)

(f) 石橋

図35 能の分散値 (3/3)

表9 儼舞・雷公の分散値

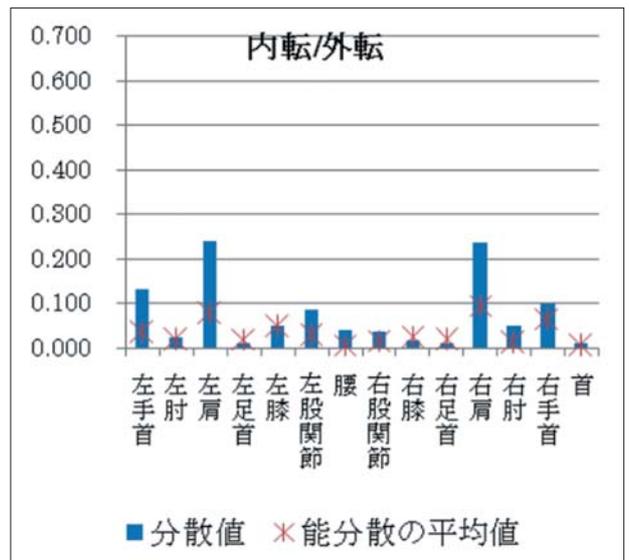
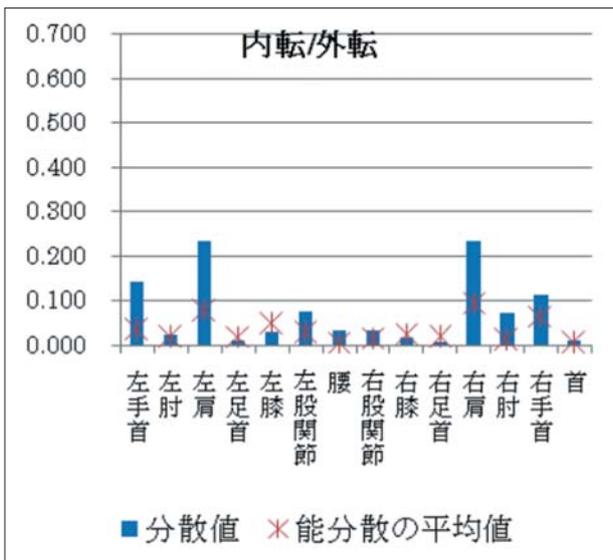
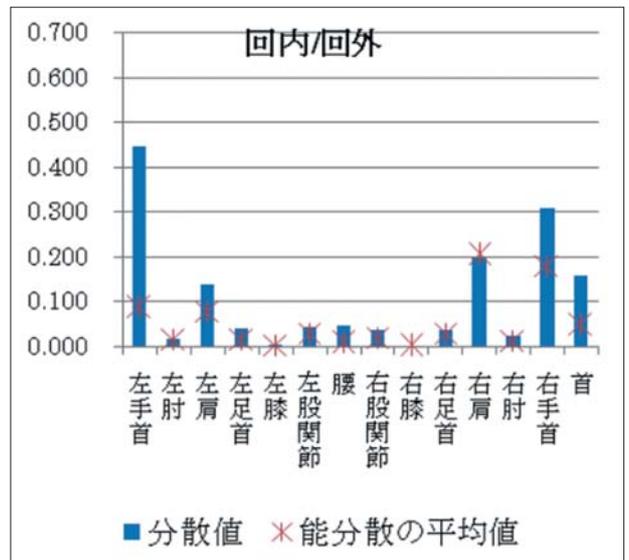
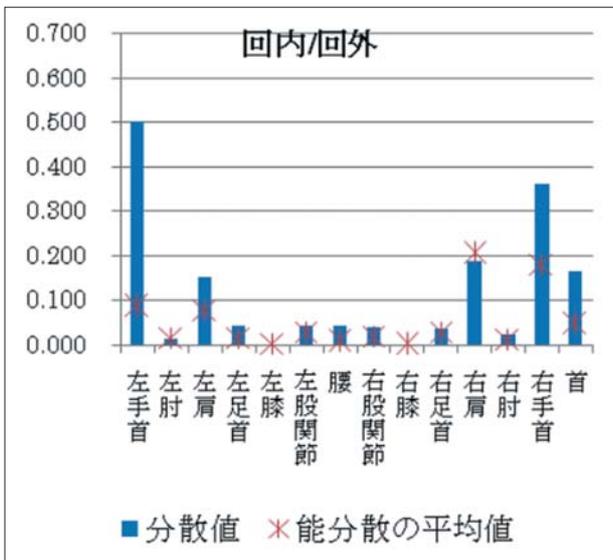
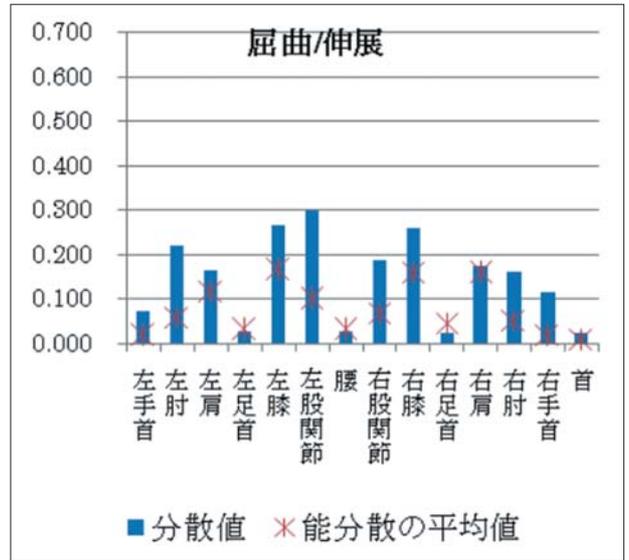
ジョイント	軸	唐1	唐2	叶1	叶2	平均値	能平均値
①左手首	x	0.085	0.096	0.089	0.073	0.086	0.018
	y	0.642	0.659	0.503	0.447	0.563	0.087
	z	0.064	0.085	0.142	0.133	0.106	0.036
②左肘	x	0.287	0.264	0.236	0.221	0.252	0.060
	y	0.009	0.010	0.016	0.016	0.013	0.017
	z	0.020	0.019	0.024	0.024	0.022	0.019
③左肩	x	0.162	0.199	0.182	0.166	0.177	0.119
	y	0.082	0.096	0.154	0.138	0.118	0.080
	z	0.228	0.244	0.233	0.240	0.236	0.079
④左足首	x	0.033	0.041	0.026	0.026	0.032	0.033
	y	0.066	0.028	0.045	0.042	0.045	0.017
	z	0.018	0.013	0.011	0.011	0.013	0.020
⑤左膝	x	0.279	0.306	0.289	0.267	0.285	0.165
	y	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.004
	z	0.032	0.029	0.032	0.051	0.036	0.049
⑥左股関節	x	0.211	0.217	0.310	0.298	0.259	0.100
	y	0.040	0.040	0.043	0.042	0.041	0.031
	z	0.029	0.034	0.078	0.085	0.057	0.029
⑦腰	x	0.020	0.017	0.029	0.027	0.023	0.031
	y	0.029	0.031	0.045	0.046	0.038	0.008
	z	0.025	0.023	0.033	0.042	0.031	0.007
⑧右股関節	x	0.169	0.195	0.219	0.187	0.192	0.069
	y	0.040	0.037	0.040	0.037	0.039	0.021
	z	0.023	0.026	0.033	0.036	0.030	0.017
⑨右膝	x	0.201	0.220	0.264	0.261	0.237	0.161
	y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
	z	0.017	0.021	0.017	0.017	0.018	0.027
⑩右足首	x	0.011	0.017	0.022	0.024	0.018	0.046
	y	0.060	0.028	0.039	0.038	0.041	0.030
	z	0.019	0.013	0.008	0.011	0.013	0.018
⑪右肩	x	0.094	0.123	0.179	0.176	0.143	0.159
	y	0.105	0.125	0.189	0.198	0.154	0.206
	z	0.186	0.204	0.236	0.237	0.216	0.096
⑫右肘	x	0.279	0.297	0.177	0.161	0.228	0.053
	y	0.012	0.018	0.025	0.024	0.020	0.013
	z	0.068	0.064	0.074	0.049	0.064	0.013
⑬右手首	x	0.133	0.141	0.137	0.115	0.131	0.021
	y	0.588	0.494	0.363	0.310	0.439	0.181
	z	0.143	0.180	0.111	0.100	0.134	0.067
⑭首	x	0.030	0.028	0.030	0.025	0.028	0.011
	y	0.144	0.134	0.166	0.157	0.151	0.049
	z	0.006	0.007	0.010	0.013	0.009	0.006
演目の平均値		0.112	0.115	0.116	0.109	0.113	0.054



(a) 唐 (1回目)

(b) 唐 (2回目)

図36 儺舞・雷公の分散値 (1/2)



(c) 叶 (1回目)

(d) 叶 (2回目)

図36 儼舞・雷公の分散値 (2/2)

値はそれぞれ、左肩0.079、右肩0.096、右手首0.067になっているが、屈曲／伸展や回内／回外よりも全体的に値が小さい。ここでも『石橋』は他の演目と比べ傾向が異なり、分散値の大きい順に左膝0.111、左股関節0.079、左肩0.079となっている。『雷公』の分散値の平均値では、左肩0.236、右肩0.216、右手首0.134が大きく、能の傾向と似ているが、値は能より大きくそれぞれ2倍以上となっている。

3 因子分析による舞踊動作の評価

3-1 因子分析による舞踊動作の空間的特徴の抽出法^[1]

統計学における多変量解析の手法のひとつである因子分析を行うと、常に同時に動く変量群が1つの共通因子にまとめられることから、それぞれの共通因子が1つの基本動作を生成していると考えられることができる。2-1節と同様に、等価角軸変換によって

表10 因子分析結果一覧

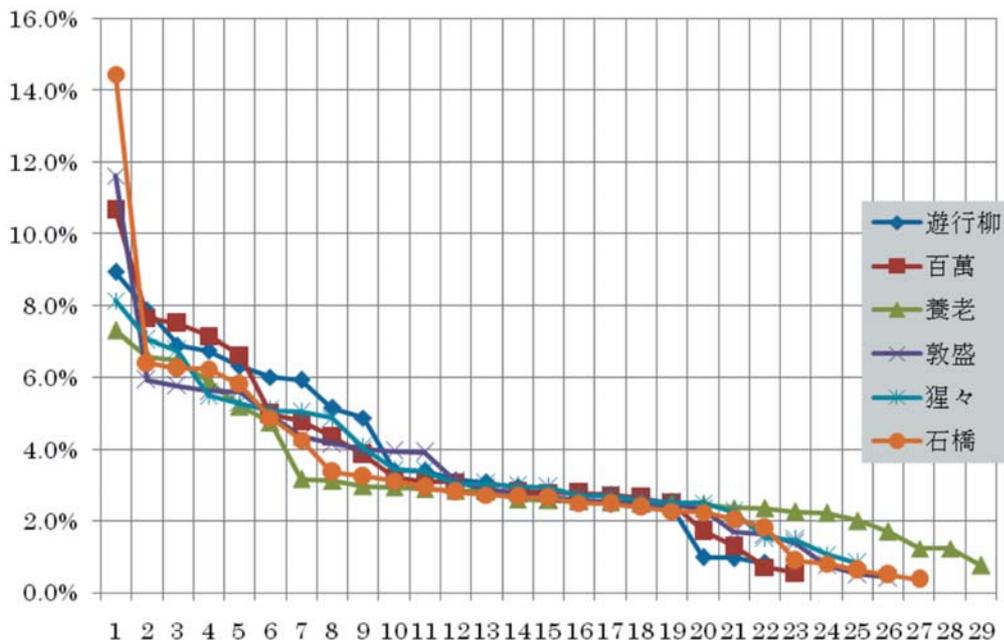
演目名	累積寄与率90%以上となる共通因子数	最大寄与率	寄与率3%以上の共通因子数	寄与率3%以上の因子での累積寄与率	累積寄与率50%を超える共通因子数
遊行柳	22	8.9%	13	71.8%	8
百萬	23	10.7%	12	67.0%	8
養老	29	7.3%	9	45.5%	11
敦盛	26	11.6%	12	63.1%	9
狸々(乱)	25	8.1%	14	67.7%	9
石橋	27	14.5%	10	58.1%	8
唐1	28	9.1%	10	53.1%	9
唐2	29	7.0%	10	50.5%	10
叶1	30	6.1%	10	45.0%	12
叶2	30	6.1%	9	42.9%	12

表11 能の寄与率

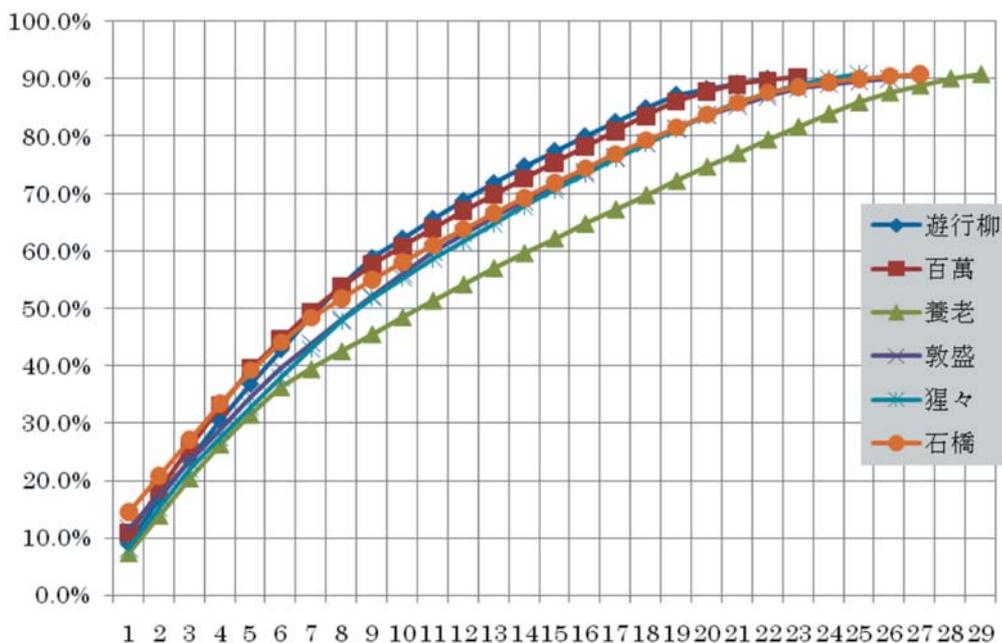
	遊行柳	百萬	養老	敦盛	狸々	石橋
因子1	8.9%	10.7%	7.3%	11.6%	8.1%	14.5%
因子2	7.9%	7.7%	6.6%	5.9%	7.1%	6.4%
因子3	6.9%	7.5%	6.5%	5.8%	6.7%	6.3%
因子4	6.8%	7.2%	5.9%	5.6%	5.5%	6.3%
因子5	6.3%	6.6%	5.2%	5.6%	5.3%	5.8%
因子6	6.0%	5.0%	4.7%	5.0%	5.1%	4.9%
因子7	5.9%	4.8%	3.2%	4.4%	5.0%	4.3%
因子8	5.2%	4.4%	3.1%	4.2%	4.9%	3.4%
因子9	4.9%	3.9%	3.0%	4.0%	4.0%	3.2%
因子10	3.4%	3.2%	2.9%	3.9%	3.4%	3.1%
因子11	3.4%	3.1%	2.9%	3.9%	3.4%	2.9%
因子12	3.2%	3.1%	2.8%	3.1%	3.0%	2.8%
因子13	3.1%	2.9%	2.8%	2.9%	3.0%	2.7%
因子14	2.9%	2.8%	2.6%	2.8%	3.0%	2.7%
因子15	2.7%	2.8%	2.6%	2.6%	2.9%	2.5%
因子16	2.6%	2.8%	2.5%	2.6%	2.7%	2.5%
因子17	2.5%	2.7%	2.5%	2.5%	2.7%	2.5%
因子18	2.4%	2.6%	2.5%	2.5%	2.6%	2.4%
因子19	2.3%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.3%
因子20	1.0%	1.7%	2.5%	2.3%	2.5%	2.2%
因子21	1.0%	1.3%	2.4%	1.7%	2.3%	2.0%
因子22	0.8%	0.7%	2.4%	1.6%	1.5%	1.8%
因子23		0.6%	2.3%	1.4%	1.5%	0.9%
因子24			2.2%	0.8%	1.1%	0.8%
因子25			2.0%	0.5%	0.8%	0.6%
因子26			1.7%	0.4%		0.5%
因子27			1.2%			0.4%
因子28			1.2%			
因子29			0.8%			

表12 儺舞・雷公の寄与率

	唐1	唐2	叶1	叶2
因子1	9.1%	7.0%	6.1%	6.1%
因子2	7.8%	6.3%	5.7%	5.9%
因子3	6.8%	6.0%	5.3%	5.4%
因子4	6.2%	5.5%	5.2%	5.4%
因子5	5.2%	5.4%	5.1%	5.4%
因子6	4.6%	4.7%	4.1%	4.2%
因子7	4.3%	4.4%	4.1%	4.1%
因子8	3.3%	3.8%	3.6%	3.4%
因子9	3.0%	3.8%	3.1%	3.1%
因子10	3.0%	3.6%	3.0%	2.8%
因子11	2.9%	2.9%	2.8%	2.7%
因子12	2.9%	2.9%	2.8%	2.7%
因子13	2.8%	2.7%	2.6%	2.6%
因子14	2.7%	2.7%	2.6%	2.6%
因子15	2.6%	2.7%	2.6%	2.6%
因子16	2.5%	2.7%	2.6%	2.6%
因子17	2.5%	2.6%	2.6%	2.5%
因子18	2.4%	2.5%	2.5%	2.5%
因子19	2.4%	2.5%	2.5%	2.5%
因子20	2.3%	2.5%	2.5%	2.5%
因子21	2.3%	2.5%	2.5%	2.5%
因子22	2.0%	2.4%	2.5%	2.5%
因子23	1.9%	2.4%	2.4%	2.5%
因子24	1.8%	1.9%	2.4%	2.5%
因子25	0.9%	1.3%	2.3%	2.2%
因子26	0.8%	1.2%	2.2%	2.1%
因子27	0.8%	0.6%	1.9%	2.1%
因子28	0.5%	0.4%	1.2%	1.4%
因子29		0.4%	1.1%	0.9%
因子30			0.9%	0.6%



(a) 6演目の寄与率



(b) 6演目の累積寄与率

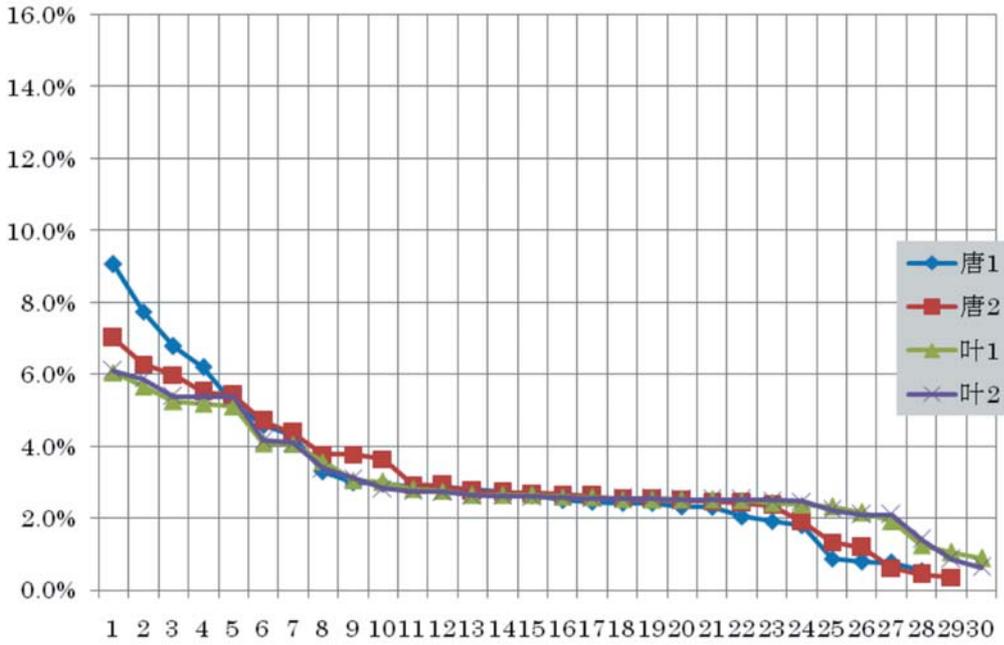
図37 能の寄与率

記述された各ジョイントの回転角度データを、離散化された時間軸上の各サンプリング時刻におけるフレームごとに測定して、舞踊動作の時系列データを取得した場合を考える。舞踊動作データは、ベクトル $\mathbf{u} = [u_1, u_2, \dots, u_{42}]^T$ の時系列データで、解析対象フレーム数 N となっている。ここでは、 $u_1 \sim u_{42}$ を平均0で分散1に標準化した $u_1^* \sim u_{42}^*$ を観測変数とし、各フレームのデータを個々のデータサンプルと見なして N 個のデータサンプルを用い因子分析を行

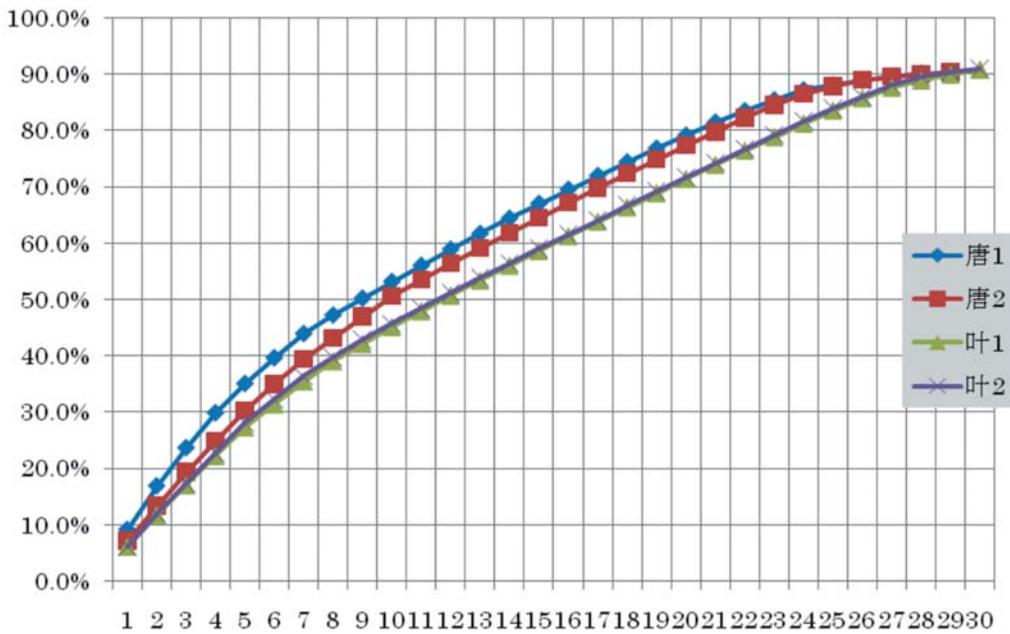
う。因子分析によって次のような関係を引き出すことができる。

$$\begin{bmatrix} u_1^* \\ u_2^* \\ \vdots \\ u_{42}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1l} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{421} & a_{422} & \cdots & a_{42l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{42} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式 (3) の $a_{11} \sim a_{42l}$ は因子負荷量、 $f_1 \sim f_l$ は共通因子、 l ($l < 42$) は共通因子数、 $e_1 \sim e_{42}$ は独自因子である。因子分析法としては、主因子法および基準バ



(a) 4演目の寄与率



(b) 4演目の累積寄与率

図38 儼舞・雷公の寄与率

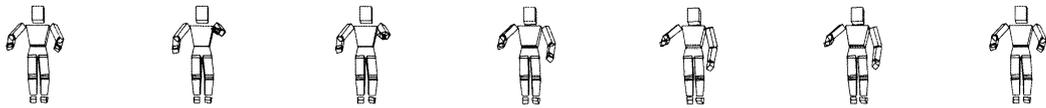
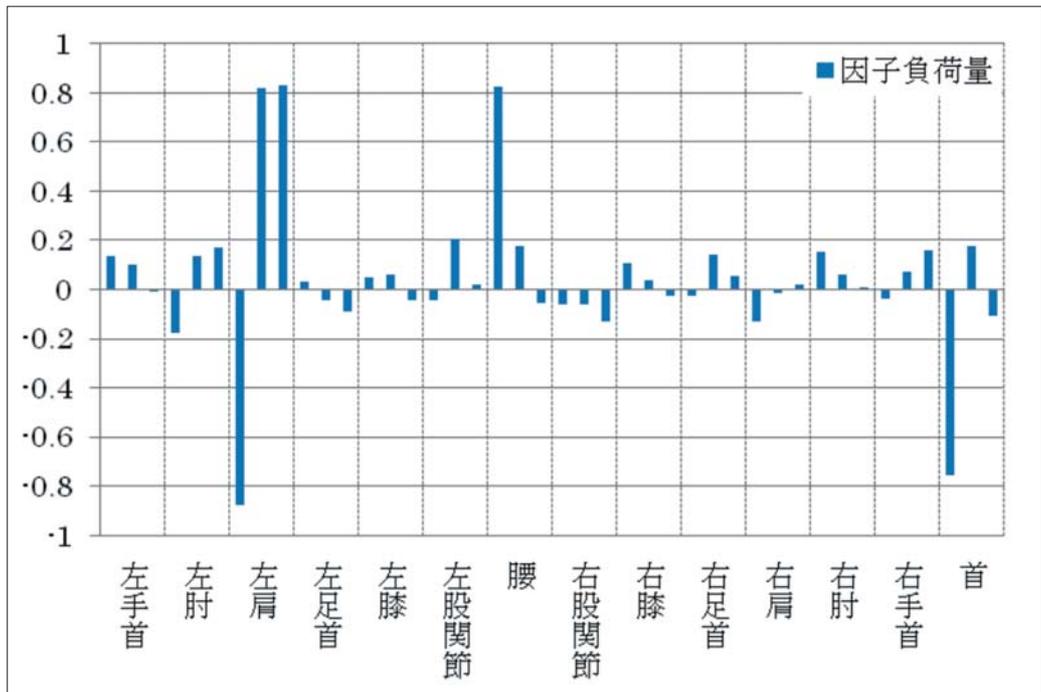
リマックス回転を用いた。

2-1節の平均値および分散値の導出と同様に、対象とした舞踊動作に関する空間的な特徴を定量的に示している。ここではさらに、演目における各関節の特徴的な協応関係などを抽出できることを期待している。

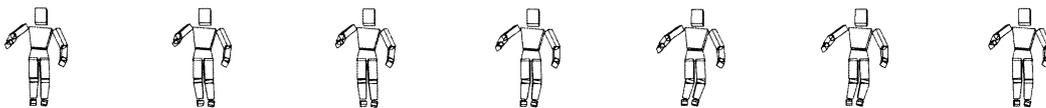
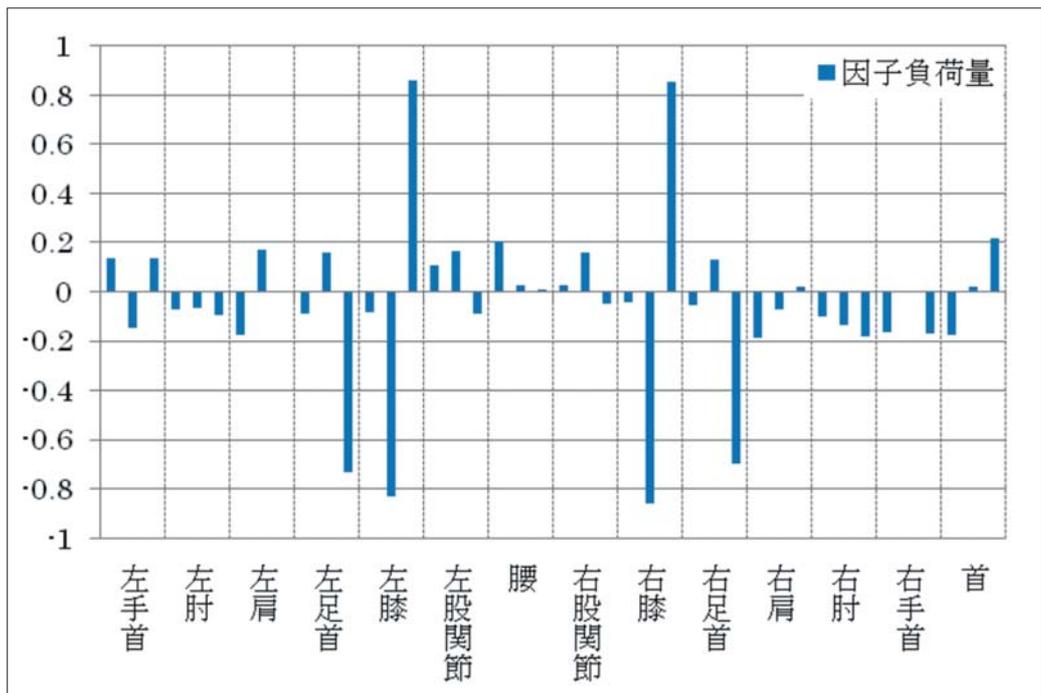
3-2 因子分析による能の動作要素の評価

モーションキャプチャで収録された動作データを

骨格構造人体モデルに置き換え、累積寄与率が90%以上となる共通因子数を求めるという基準を設けて、3-1節の式(3)により因子分析を行った。因子分析結果をまとめた一覧を表10に示す。表11には能の因子分析結果を共通因子の寄与率の高い順に並べた一覧を示す。表12には同じく儼舞・雷公における因子分析結果を示す。図37は表11の能の寄与率を、図38は同じく儼舞・雷公における表12の寄与率をグラフ化している。

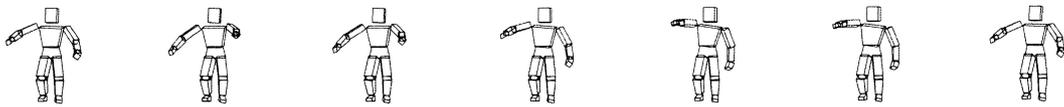
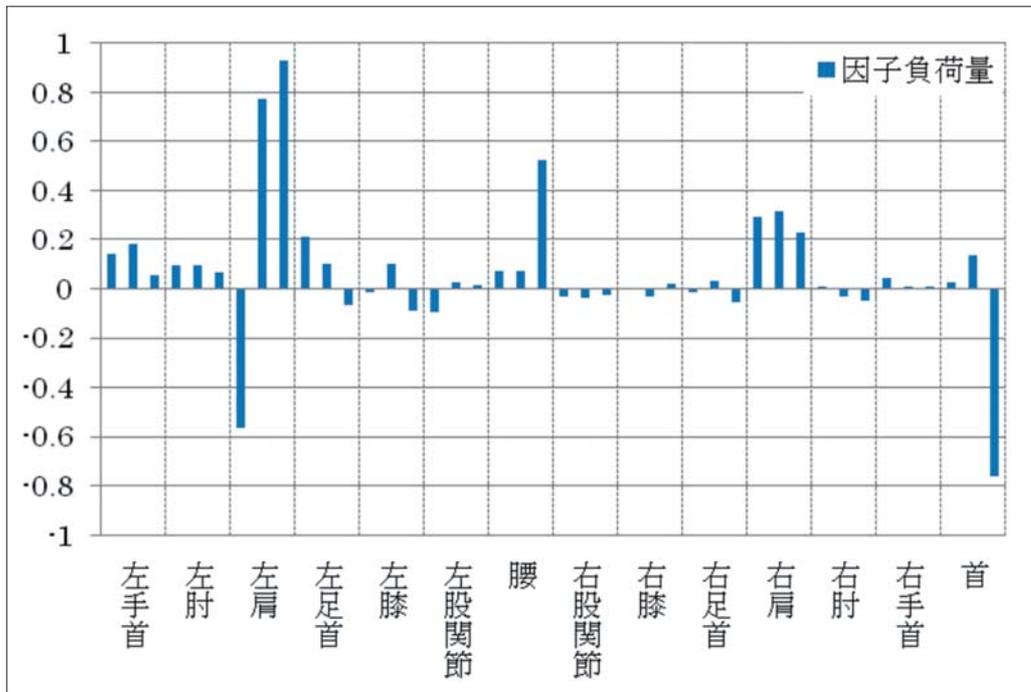


(a) 遊行柳

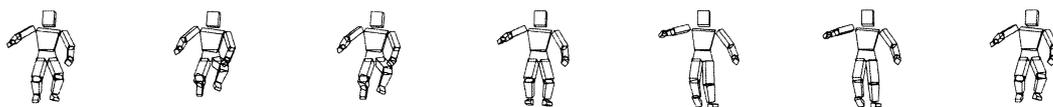
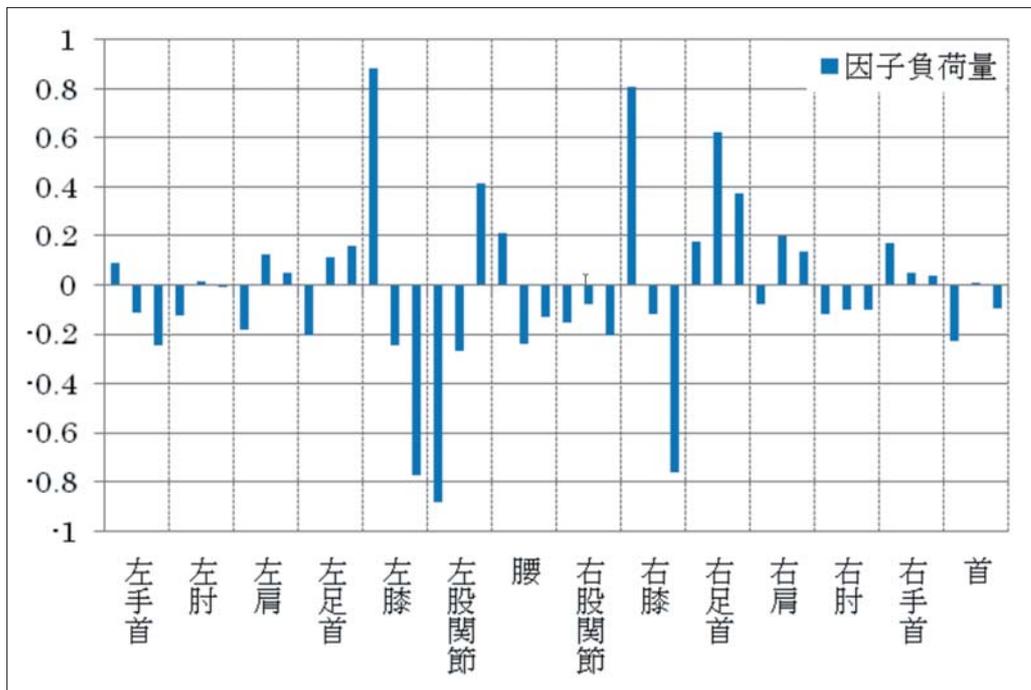


(b) 百萬

図39 能の最大寄与率をもつ因子の因子負荷量とその動作要素 (1/3)

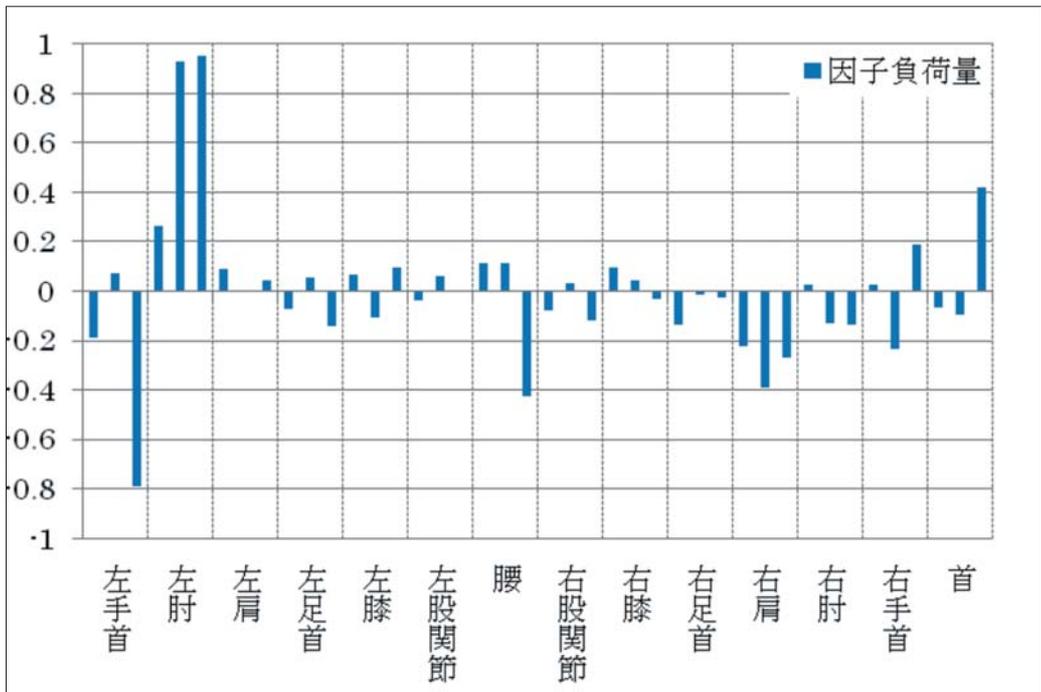


(c) 養老

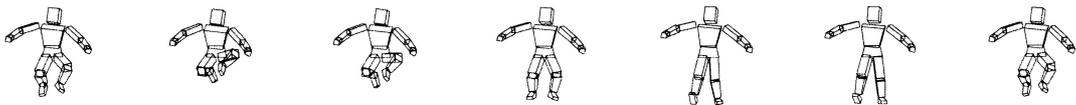
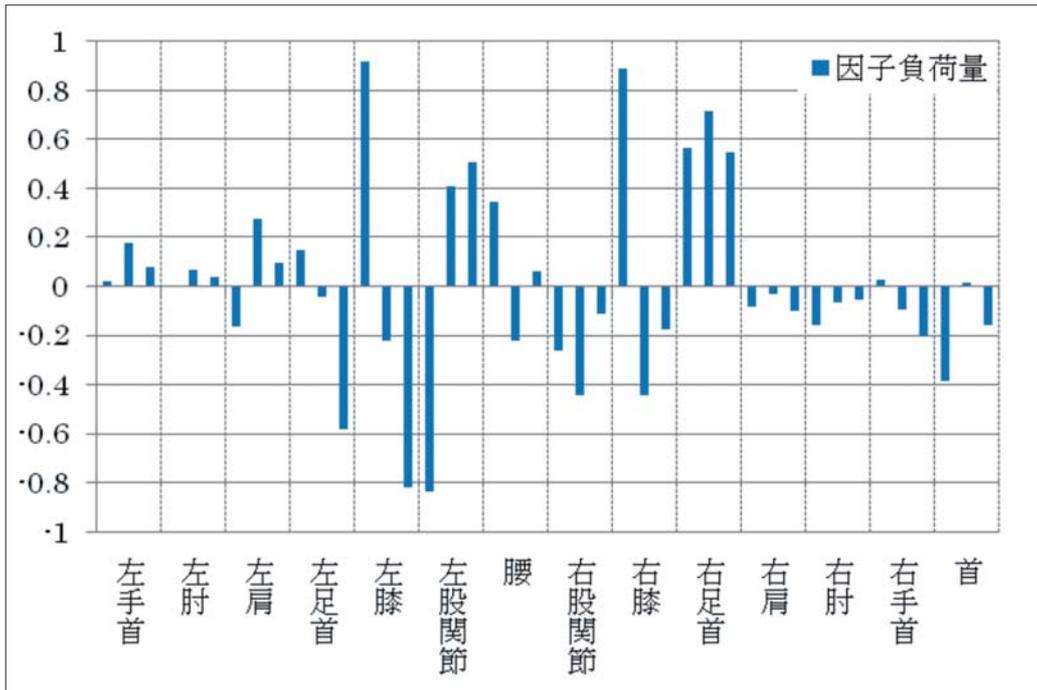


(d) 敦盛

図39 能の最大寄与率をもつ因子の因子負荷量とその動作要素 (2/3)

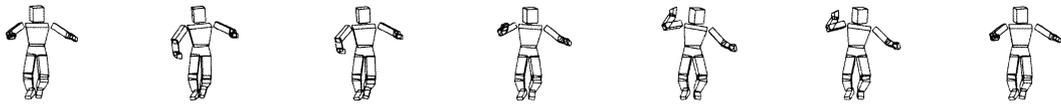


(e) 猿々 (乱)

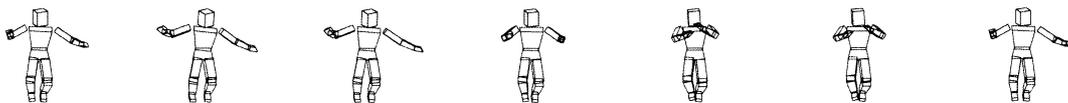
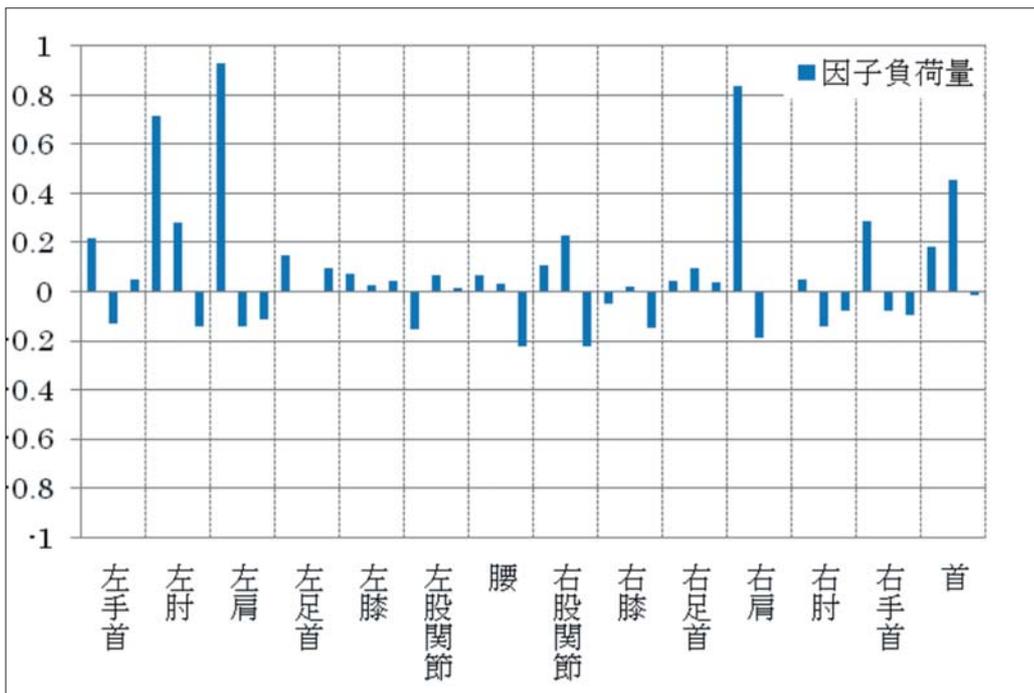


(f) 石橋

図39 能の最大寄与率をもつ因子の因子負荷量とその動作要素 (3/3)

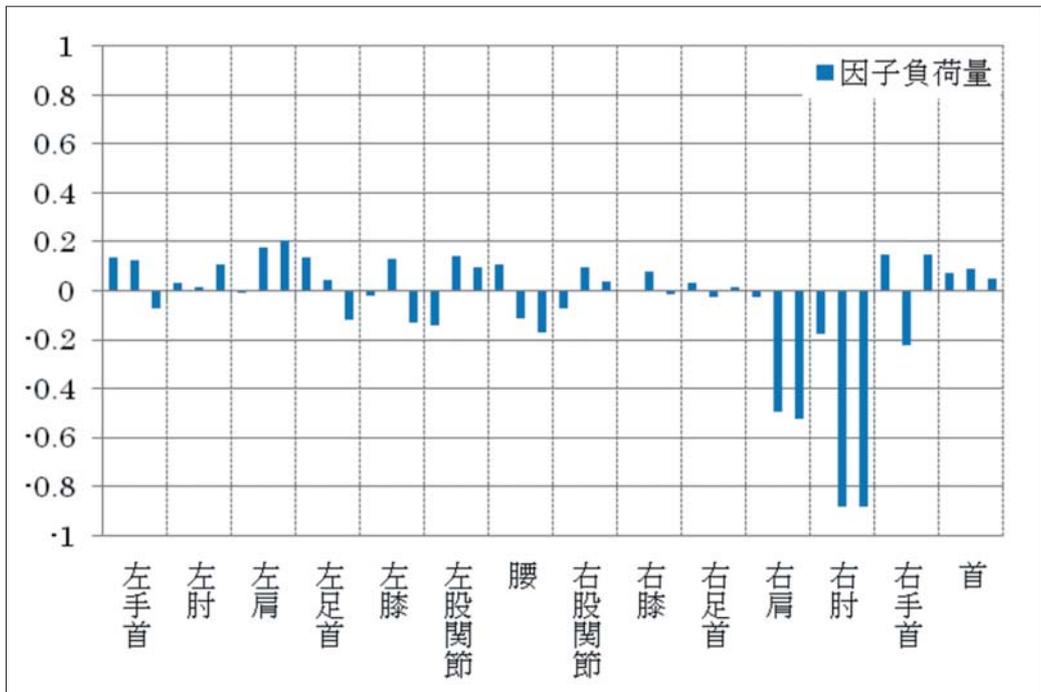


(a) 唐 (1回目)

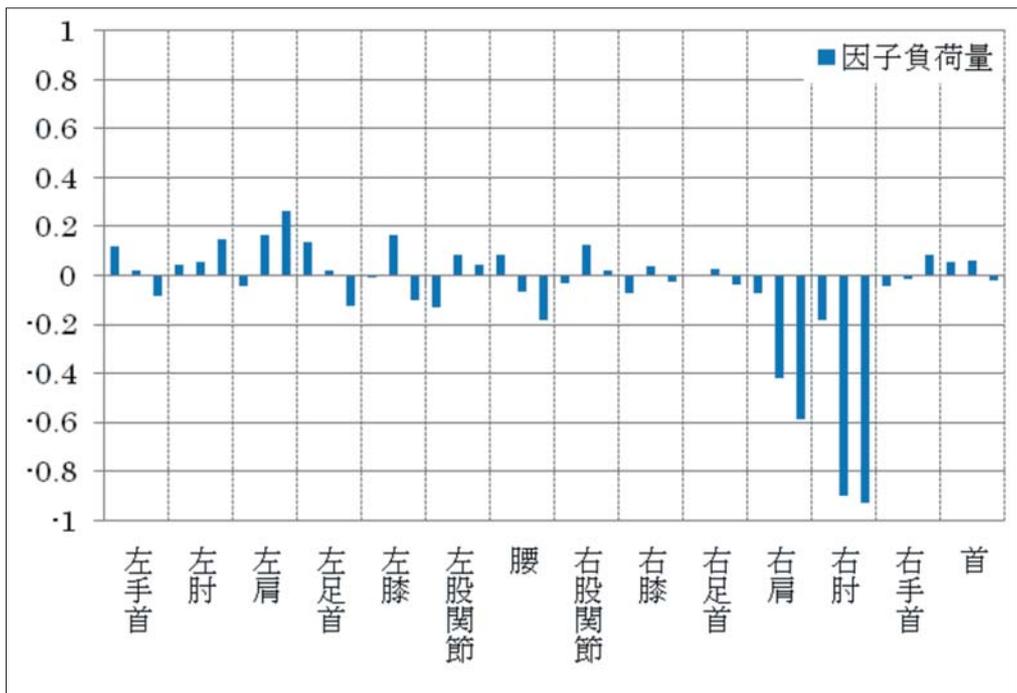


(b) 唐 (2回目)

図40 儺舞・雷公の最大寄与率をもつ因子の因子負荷量とその動作要素 (1/2)



(c) 叶 (1回目)



(d) 叶 (2回目)

図40 儼舞・雷公の最大寄与率をもつ因子の因子負荷量とその動作要素 (2/2)

因子1 寄与率 11.6%	
因子2 寄与率 5.9%	
因子3 寄与率 5.8%	
因子4 寄与率 5.6%	
因子5 寄与率 5.6%	
因子6 寄与率 5.0%	
因子7 寄与率 4.4%	
因子8 寄与率 4.2%	
因子9 寄与率 4.0%	
因子10 寄与率 3.9%	
因子11 寄与率 3.9%	

図41 敦盛の動作要素 (1/3)

因子 12 寄与率 3.1%	      
因子 13 寄与率 2.9%	      
因子 14 寄与率 2.8%	      
因子 15 寄与率 2.6%	      
因子 16 寄与率 2.6%	      
因子 17 寄与率 2.5%	      
因子 18 寄与率 2.5%	      
因子 19 寄与率 2.5%	      
因子 20 寄与率 2.3%	      
因子 21 寄与率 1.7%	      
因子 22 寄与率 1.6%	      

図41 敦盛の動作要素 (2/3)

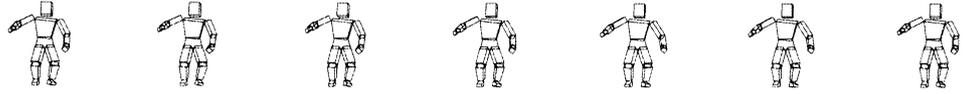
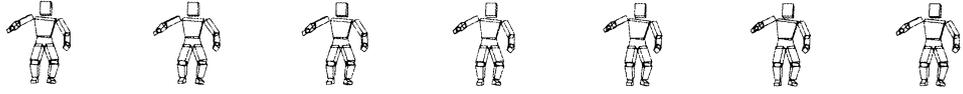
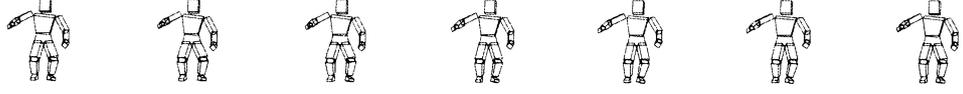
因子 23 寄与率 1.4%	
因子 24 寄与率 0.8%	
因子 25 寄与率 0.5%	
因子 26 寄与率 0.4%	

図41 敦盛の動作要素 (3 / 3)

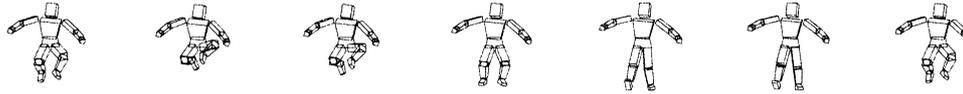
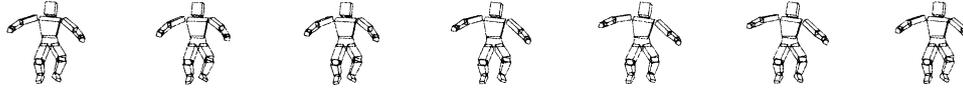
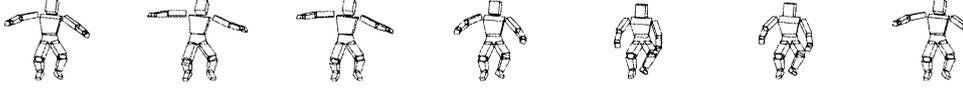
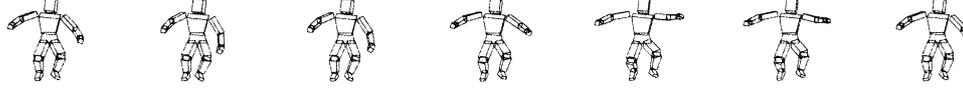
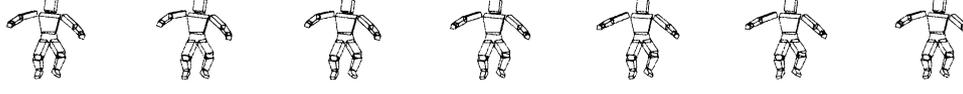
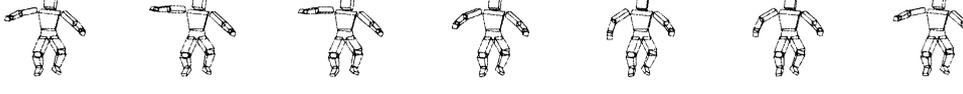
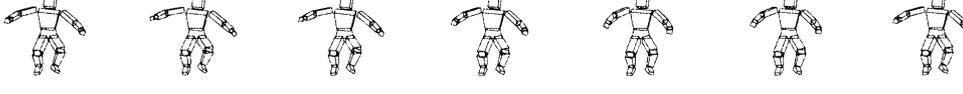
因子 1 寄与率 14.5%	
因子 2 寄与率 6.4%	
因子 3 寄与率 6.3%	
因子 4 寄与率 6.3%	
因子 5 寄与率 5.8%	
因子 6 寄与率 4.9%	
因子 7 寄与率 4.3%	

図42 石橋の動作要素 (1 / 3)

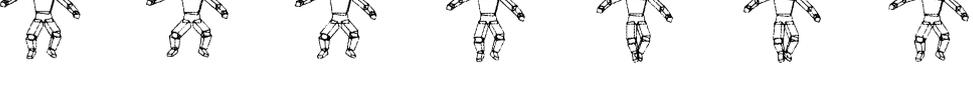
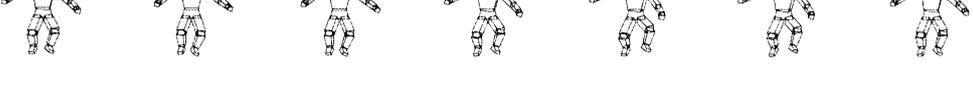
因子 8 寄与率 3.4%	
因子 9 寄与率 3.2%	
因子 10 寄与率 3.1%	
因子 11 寄与率 2.9%	
因子 12 寄与率 2.8%	
因子 13 寄与率 2.7%	
因子 14 寄与率 2.7%	
因子 15 寄与率 2.7%	
因子 16 寄与率 2.5%	
因子 17 寄与率 2.5%	
因子 18 寄与率 2.4%	

図42 石橋の動作要素 (2/3)

因子 19 寄与率 2.3%	
因子 20 寄与率 2.3%	
因子 21 寄与率 2.0%	
因子 22 寄与率 1.8%	
因子 23 寄与率 0.9%	
因子 24 寄与率 0.8%	
因子 25 寄与率 0.6%	
因子 26 寄与率 0.5%	
因子 27 寄与率 0.4%	

図42 石橋の動作要素 (3/3)

図39には、能の各演目において最大寄与率をもつ共通因子の因子負荷量とその動作要素を示す。図40には同じく儼舞・雷公におけるデータを示す。因子負荷量は数値をグラフ化しており、縦軸は因子負荷量、横軸は分散値のグラフと同様、人体モデルの各ジョイントを並べている。各々のジョイントにおける因子負荷量の3つの値は、各ジョイントの等価角軸変換ベクトル $n\theta$ の3成分それぞれの x 成分、

y 成分、 z 成分に対する因子負荷量の値をそれぞれ左から順に並べている。なお、動作要素は、視覚的に確認するために、共通因子の値を正弦波状に時間変化させてフレームごとの回転角度を得た人体モデルを並べている。正弦波を与えて得た動作要素は、2-2節における各々の演目の平均姿勢からの変化となっており、ジョイントの因子負荷量大きいもの同士が協応して同時に動くこととなる。参考に、図

41には敦盛すべての共通因子の動作要素を、図42には石橋すべての共通因子の動作要素を人体モデルで示す。

表10の因子分析結果の通り、能での累積寄与率が90%以上となる共通因子数は、最小の『遊行柳』22から最大の『養老』29となった。演目毎の最大寄与率は、最少の『猩々』8.1%から最大の『石橋』14.5%となった。儺舞・雷公では、同様に共通因子数は28～30で、最大寄与率は6.1%～9.1%となった。図37のグラフで、能の寄与率の傾向を見てみると、寄与率が3.0%を下回る因子は、累積寄与率が90%を超えるための数合わせになっているように見える。また、寄与率の高い順に共通因子が10程度あれば、累積寄与率は50%を超える。図38の儺舞・雷公でも、能と同様な傾向が見られる。

能での協応動作の特徴を、図39の最大寄与率をもつ共通因子の動作要素から確認する。2-2節の平均姿勢、2-3節の動作範囲とは異なり、各演目間の共通点はほとんど見られない。『遊行柳』では、図39(a)を確認すると、左肩、腰、首のジョイントが協応し同時に動いていることが分かる。因子負荷量は、左肩では屈曲／伸展、回内／回外、内転／外転のすべてのジョイント動作の成分が、腰では屈曲／伸展の成分が、首では腰と逆方向の屈曲／伸展の成分が大きい。他の演目では、次のような組み合わせでジョイントが協応している。

『百萬』は、左右の両膝と左右の両足首。

『養老』は、左右の両肩、腰と首。

『敦盛』は、左の股関節と膝、および右の膝と足首。

『猩々』は、左の肘と手首、および右肩。

『石橋』は、腰と左右の両足部。

一方、『雷公』では、同じ演目にもかかわらず、表12より最大寄与率は唐1の9.1%、唐2の7.0%、叶1と叶2の6.1%と異なった。ただ、叶1と叶2の最大寄与率は同値であり、図40(c)と(d)の動作要

素も全体的に似ている。動作要素は、右肩および右肘のジョイントが協応しているのが顕著に現れている。また、能と比較した場合、どの演目とも異なっていることが分かる。

まとめ

本研究では、モーションキャプチャで記録された動作データを骨格構造人体モデルに置き換え、人体モデルの関節角度に対して平均、分散、因子分析の統計処理を施し、舞踊動作に関する空間的特徴の評価を行った。評価対象として、能の『遊行柳』『百萬』『養老』『敦盛』『猩々(乱)』『石橋』を、比較対象として儺舞から『雷公』を選択した。評価の結果、舞踊動作の空間的特徴の定量的な比較が可能であることが分かった。得られた結果をまとめると、以下ようになる。

(1) 舞踊動作の平均値の導出により、平均姿勢を求めることが可能になる。能の評価では、右腕が左腕よりも上がり気味でかつ腋が開き気味という共通点がある、などの特徴が得られた。

(2) 舞踊動作の分散値の導出により、動作範囲を求めることが可能になる。能の評価では、右肩、右手首の回内／回外、左右の膝、左右の肩の屈曲／伸展における動作範囲が広い、などの特徴が得られた。

(3) 舞踊動作の因子分析により、各関節の協応関係を求めることが可能になる。能の評価では、累積寄与率が90%以上となる共通因子数は22～29となり、最大寄与率をもつ共通因子の動作要素の特徴は各演目で異なっている、などの特徴が得られた。

今回の評価では演目全体に対して解析を行ったが、基本動作単位や、部位ごと(上下半身、左右半身、腕部、足部)など、解析対象を絞ることで目的に応じた評価が可能になると考えられる。また、このような数値解析を進めることで、動作や演目間の類似度などの評価も可能になってくると考える。

(海賀孝明)

Ⅳ モーションキャプチャによる3DCG映像の可能性

モーションキャプチャ技術を応用し、芸能を記録することの有効性について考えてみる。実在する演者の動作を非現実空間に作り出すことが出来ること、モーションキャプチャの最大の特徴であり、目的であるといえる。

モーションキャプチャは伝承に役立つかどうかについて考えてみるにあたって演者の考えを見てみたい。関根祥人は、⁽²³⁾ 演者としての視点から伝承について『祥』の中で述べているが、

伝え方には、書いたもので伝えるという方法もある。これならば、この世に同時に生を受けていない人からも教わることが出来る。「形附」などはその典型だ。能にはその曲ごとに舞い方、歌い方が細かく決まっており、やたらに変える事はできない。その舞い方を記したものが「形附」でこれだと故人からも教わることが出来る。しかしこの時、気をつけなければならないことがある。その型を考えられた先人は、型に対して何らかの思い入れがあったはずである。それを後世に伝えるために、形附として書き残す。能の型は、抽象的なものも多く、ともするとその意味を理解せずに舞ってしまいがちだ。「形附」に書いてある型を、ただ真似をして舞うのではなく、作者の心を感じて舞わないと、それこそ先程の「心に浮かぶ〜」とお叱りを受けてしまうであろう。能は料理に似ている。曲という食材を、調理して舞台上で演じ、お客様に提供するわけである。しかしその「形附」を熟読し、その作者と心を合わせなければ、何十年、或いは何百年前の冷凍食品を、解凍せずに、ガリガリ食べさせることになってしまう。よく読み解いて、その心が分かったとき、それこそ観阿弥や世阿弥と、話ができることもあるのである。

と伝承について語っている。

また能の動きのタイミングについて、⁽²⁴⁾

特に道成寺の乱拍子はこの連続だが、それらの特殊なものだけではなく、仏倒レにしてもサ

シ込ミヒラキにしても、或いは橋掛りを歩み出すときにしても、頭で計算するのではなく、その「気」になった時に、その「機」が来たときに自然に動き出すのでなくてはならない。それが「タメ」であろう。本当に動きたくなるまでのタメ。動き出す前が肝要、後は何も考えずとも自然に体が動く…はずなのだが、なかなかなかなか…

世阿弥の教えに、歌い出す時の心構え「一調二機三声」という言葉がある。先ず調子を定め、やがて機が熟し、それから初めて声を出す、という意味で、安直に謡い出すことを戒めて居られる。だいぶ以前の事になるが、父との会話の中で、恐れながらその言葉を拝借し、動き出す時の心構え「一速二機三動」という言葉が生まれた。しかしながら言うは易し、の感じきりである。

とし、動きのタイミングがどのように体現され伝承が確認されるか語っている。

福島真人は、⁽²⁵⁾ 芸能の伝承においての秘伝に関して「芸道の徒弟制の政治学」の章で、

芸能組織とは、儀礼的行為がそうであるような、パターン化された形式的行為を厳密に反復する事を主眼としている訳ではなく、それなりの洗練と変化を一種の建前としている。——中略——

そこで体得される技能は、決して単純な技術の反復ではない。興味深い事に、この点で技能の「積極的秘匿」はいわばその技能の最終到達点を意図的に隠蔽する事によって、そのレベルでの完全な模倣を不可能にし、その結果中心に向かえば向かうほど何が中心かよく分からないという構造をもたざるを得なくなるのである。言い換えれば、そこには強要された「革新」が制度的に内在していると言えよう。

としている。

また藤田隆則は、⁽²⁶⁾ 「秘伝である」という言葉によ

って本来適切に疑似体験できたはずの舞いも、神秘的度合いを高め、さらに「秘伝をあばく」動きが共同体の中に誕生してくるとする。

福島・藤田の論はいずれも卓越しているといえ、秘伝とは単純に伝えることができないのが秘伝なのであり、先に示した演者の関根のいうように、作者の心を感じる事ができるかどうか、頭で計算するのではなくその「気」になりその「機」が来て自然に動くということに尽きるのではないだろうか。モーションキャプチャは表面的な動作の記録なので、この見えない部分を捉えることができているかどうかは今後の分析にかかっている。

伝習用としての有効性については、モーションキャプチャによる学習だけでは玄人として通用するには不足である。完璧に真似るためには下地が必要であり、師匠によって伝承された内容が正しいかどうかの確認が不可欠である。ただし素人が趣味として学習するには、パソコンの前で安価な学習ができ有効であり、しいては普及に役立つと期待できる。ビデオ映像よりくわしく水平360度及び垂直360度の角度からも見られ、個人の要望や思考に合わせた学修ができ、覚えやすいという利点がある。博物館展示用としては有用といえる。以下にモーションキャプチャデータの博物館展示およびデータの公開に関する可能性と課題について検証を試みる。

1 バーチャル博物館のコンテンツ

1-1 映像コンテンツ

芸能を舞う人間の動きをモーションキャプチャによって測定し、そのデータをもとにコンピュータの作り出した三次元仮想空間においてコンピューターグラフィックのキャラクターが演者と同様に舞う映像を制作し、この映像をバーチャル博物館に展示する。

モーションキャプチャをもとに制作した映像も含めて、3DCG映像にはプリレンダリング映像とリアルタイムレンダリング映像の2種類があり、それぞれ異なった特性を持つ。

プリレンダリング映像とは、3DCGキャラクター映像はモーションキャプチャによる動作データをもとに一枚一枚の画像を描画（レンダリング）し、それ

を連続させ繋げて出力した映像の事である。この映像は、映像として出力する前は観察方向や観察対象の拡大縮小等の設定を自由に行うことが可能だが、映像出力後に設定を変更することはできない。

この事はビデオカメラでの撮影に置き換えて考えると分かりやすい。ビデオカメラによって撮影された映像は、撮影している段階では、カメラを動かして観察方向を変えたり、レンズ操作してズームしたりすることが可能であるが、撮影後において拡大縮小はともかく観察方向の変更は不可能である。プリレンダリング映像もこれと同様である。

一方、リアルタイムレンダリング映像とは、モーションキャプチャによる動作データをもとに一枚一枚の画像の描画をするが、映像再生と同時にこれを行う映像の事である。描画と再生が同時であるため、描画設定を変更すると随時、再生映像にその変更が反映される。つまり、映像として観ながら観察方向を変えたり、拡大縮小したりすることが可能であるという特徴を持つ。どちらがバーチャル博物館のコンテンツとして相応しいのかという問題がここで浮上する。

プリレンダリング映像はビデオ映像を取り扱うのと同様であるため、端末（閲覧に使用するコンピュータ）に映像再生用ソフトウェアが搭載されていれば閲覧が可能である。そして、映像再生ソフトウェアは一般的な端末であればあらかじめ搭載されていることがほとんどである。それゆえ著作権の問題等を除けば現状において公開に際し障害となる事項は殆どない。その点において優れていると考えられる。

一方、リアルタイムレンダリング映像は専用の再生ソフトウェアが必要で、一般的な端末にはほとんど搭載されていないため、仮にデータを公開したとしても閲覧できる端末は極端に少ない。広く一般に向けて公開するという目的においては致命的な欠点である。また現状においてリアルタイムレンダリング映像を公開するには、モーションキャプチャデータ、キャラクターデータ等の著作権に関わるデータの閲覧者の端末へのダウンロードを許可しなくてはならない。しかし、データ自体の公開はデータの営利目的利用を防ぐため、対象を研究機関及び研究者

に限定する立場であるため、これを許可せずに閲覧可能なものにする必要があり、既存のソフトウェアでは条件を満たすことが出来ない。

様々な問題の存在するリアルタイムレンダリング映像ではあるが、閲覧者の観察したい箇所を詳しく観察する事は伝習教材として捉えるならば、観察視点変更の利かないプリレンダリング映像に比べ非常に優れており、より適していると考えられる。

とはいえ、2種類の映像を観比べた学習者へのアンケート調査や、プリレンダリング映像を観た者、リアルタイムレンダリング映像を観た者、両方の映像を観た者の3タイプの学習者を用意し、学習時間による習熟度の差異を実際に観て覚えた舞踊を舞わせる事で観察を行う等の検証を行う必要があるだろう。

1-2 研究者間でのデータ共有を目的としたデータベース

一般向けに映像として無形文化遺産を公開すると共に、研究者向けにモーショントラッキングデータ自体の公開を行う。研究対象として捉えた場合、映像はもちろん重要であるが、測定データの分析もまた重要なためである。このデータベースの利用は対象を研究機関及び研究者に限定する。

バーチャル博物館の1つのコンテンツとしてデータベースを構築し、それぞれ独自にデータを収録しているアジア各国も含む他機関へギブアンドテイクの形でデータの提供を依頼する。様々な機関の所蔵するデータがこのデータベースに集約する事になれば、データを相互利用する事の出来る環境が整い、演技の比較研究を飛躍的に進める事になると考える。また、提供元機関の同意を得るという条件付きではあるが、他機関の収録したデータをもとに映像コンテンツを制作し、バーチャル博物館の展示内容を拡充する事も可能となる。

2 映像コンテンツの公開に向けて

プリレンダリング映像の公開については、現状充分に実現可能なため、あえて言及はしない。リアルタイムレンダリング映像の公開は、既存の再生ソフ

トウェアでは実現不可能なため、ソフトウェアを新たに開発しなくてはならない。開発されるソフトウェアは、モーショントラッキングデータ自体の公開を必要としないものでなくてはならない。また、端末操作に不慣れな閲覧者、バーチャル博物館に使用する言語以外の言語が母国語の閲覧者を想定し、直感的に操作を理解できるような、できるだけ簡単な操作方法にするのが望ましい。

以上の点を踏まえた上で、現状考えられる選択を2つ挙げる。

2-1 選択肢1

①目標

目標はWindows、MacOS等、閲覧に使用される端末（パソコン）に搭載されているOS（基本ソフト）や他のソフトウェアに左右されず、その全てに対応し閲覧できる環境を構築する事。

②実現に必要な事

マルチプラットフォーム（OSの種類を問わない）プログラム言語を用いて、新しい閲覧用ソフトウェアを作製するか、もしくは各OSごとにソフトウェアを作製する必要がある。

作製するソフトウェアはサーバ側に実装されていれば各端末に実装されていなくても実行可能なものにしておく必要がある。

作製したソフトウェアは本稼働前に稼働試験を行う必要がある。稼働試験自体はどんなソフトウェアであっても行うものではあるが、特に選択肢1は多種多様な環境上で実行可能なソフトウェアを目標として掲げているため、念入りな試験が必要。バーチャル博物館を試験的に一般公開して、閲覧者から不具合を報告してもらう事で試験を行う。複数回行うことで、ソフトウェアの完成度が高まる。

③メリット

閲覧者の環境に依存しないため、閲覧に関わる障害が最も少ない。期待できる閲覧者数は最多である。

搭載されているコンピュータの処理能力如何ではあるが、携帯電話等の端末からでも閲覧することの出来る可能性がある。

④デメリット

OSの種類を問わないソフトウェアの開発は非常に高度な技術が要求されるため、開発費が膨らむ可能性がある。

多種多様な環境の端末を使用した利用者が閲覧に訪れる事から本稼働後も非常に多くのトラブルが発生することが予想され、公開を継続する限り対策費用が必要になる。

2-2 選択肢2

①目標

目標は端末に搭載されているOS（基本ソフト）に左右されないが、閲覧するためのソフトウェアを閲覧者がダウンロードし、端末にインストールすることで閲覧できる環境を構築する事。

②実現に必要な事

選択肢1と同じ

③メリット

選択肢1に比べてソフトウェア開発が容易になることが予想され、開発に係る費用を抑えられる可能性がある。

各端末の環境によってはインストールしても正常に実行できない、またはインストールしたために不具合が起こるといようなトラブルの発生する可能性が考えられるが、選択肢1のトラブル発生リスクと比較すればかなり低い。

④デメリット

インターネット上のソフトウェアを端末にダウンロードし、インストールすることができない者は閲覧不可能のため、期待できる閲覧者数が選択肢1と比べて大きく後退することが予想される。

単純にインストールに関する操作が分からないという状況と、閲覧者にソフトウェアをインストールする権限が与えられておらず実行できない状況の二通り想定できるが、後者の理由による期待閲覧者数の減少の影響が大きい。学校や企業等の管理された端末を使用する場合、インストールの権限が与えられていないことが多く、大量の閲覧不可能者を発生させることになる。

今後モーションキャプチャデータ利用公開に向け、更なる検証を加える必要がある。

(岡本浩一)

V データ編集段階での問題点

モーションキャプチャデータを編集する作業を行う中で、いくつもの問題が生じ、その都度解決法を考え取り組んできたが、その内容を以下に記録に留める。今後の作業に資すればと考えるからである。

今回の研究に用いたモーションキャプチャ技術は演技者の動作を完全に記録できるほどの精度はもっておらず、ノイズを生じさせたり、遠心力、慣性力などの物理的影響を受けたりしたデータを記録してしまう。このデータをそのままの状態キャラクタに当てはめ3Dアニメとして動きを確認すると、腕がねじ曲がったり、背中が奇妙に歪んだり、様々な不具合が起きることが分かる。

システムによって客観的に記録されたデータは本来、人間の手によって主観的に修正を加えるべきではない。しかし、明らかに不自然なデータをそのま

ま真実として受け入れることはできない。こういった場合通常は、不自然なデータを無視して研究対象から外す、もしくは再度収録し直すといった手段が考えられるが、どちらの手段もとられなかった。

まず、不自然なデータをもつ演目を研究対象から外してしまうと、全ての演目が該当してしまい、研究対象が無くなってしまう。とはいえ、不自然なデータは演目中の全領域にわたって存在するわけではなく、あくまで部分的に存在しているにすぎない。したがってその該当部分だけを削除してしまえばよさそうなものではあるが、そうしてしまうと演目構成が変化することになり、演目全体としての正当性を失ってしまう。加えて、部分削除を行ったデータを映像として観察すると、ある動作の途中で突然別の動作に繋がっているような、かえって不自然さを

増した映像になってしまう。修正作業によって動作と動作の繋ぎ目を比較的自然的に動くように創作してしまうことも可能だが、いうまでもなく本末転倒である。

次に再収録については、演技者の負担を考えると安易には実行出来ず、また収録費用も嵩むため見送った。

こういった状況のため、ノイズや不自然な記録を含んだモーションキャプチャーデータは編集者によって主観的に自然な状態に修正された。データの編集にはMotionBuilderPro7.0を使用した。このソフトを使用する上での注意事項に関するメモを以下に記す。同じソフトを使用してデータ編集を行う際の参考となれば幸いである。

1 編集者心得

ノイズや不自然なデータを単に消す、またはフィルタを用いて修正することは簡単だが、そうすることで人間らしい動きが消えてしまうことがある。できるだけ、元のデータの傾向に従って修正を行うことが重要となる。

2 アクター付け注意点

Tスタイル時の左腕のマーカが他の腕・手マーカに比べ上にずれていることが多い。とりあえずマーカの位置は無視して腕が水平になるようにアクター付けを行ない、その後、ビデオ映像と照らし合わせながらアクターの腕パーツを直接位置移動させて調整する（バグかどうか分からないが調整を受け付けられない時がある。タイミング、原因、対処法不明）。他のアクターパーツも映像にあわせて調整する。データを修正してパーツ位置を正しくするより時間効率が圧倒的によい。またデータを無闇に改竄してしまうことも防げる。

3 センサーデータの修正

3-1 下肢の不具合

歩くや走る動作の時に足とひざがかみ合わないという不都合が起こることがよくある。例えばひざが先行して足がついていかない、逆に足が先行して、

ひざが遅れるといった具合だ。また、踏み込む動作の際も踏み込み速度が速い時はひざと足の移動がかみ合わないことが多い。ひざが先行している場合は当然ひざを修正するが、このとき見誤って足の方を修正してしまうと修正した部分では綺麗に動いても、そのシーンの前後の動作で辻褄が合わなくなり破綻をきたす。破綻しているにもかかわらずその部分まで強引に辻褄合わせを行なうともはや演目全部のデータを修正する羽目に陥り、大幅な時間のロスとなる。不自然に記録されたセンサを修正する前に見抜かなくてはならないが、これが大変難しい。ひざでも足でもなく、腰が原因の場合もある。後述するキャラクターコントロールのPull設定により、各センサ位置は相関関係の状態になる。アクターにはその影響が現れないが、キャラクタには大きな影響を与える。そのため、キャラクタの不自然な動きの原因は直近のセンサのみとは限らず、遠く離れたセンサの影響が伝わって不自然な動きという結果を返すこともある。

3-2 原因の特定

原因の特定はTrajectoriesを用いて、足の移動軌跡を見ると分かりやすい。フルトラック分の軌跡が表示されると軌跡線が重なり過ぎて視認できないため、使用する際は修正したいフレームの前後150フレーム程度にトラックの長さを調整する。Trajectoriesのラインは、これを直接編集（ラインを引っぱったり、つまんだり、押したりして移動を調整）できると作業効率が上がると思われるが、そういう機能はなく単に移動軌跡を視認するためだけのものである。

3-3 レイアを用いた修正

レイアを用いた修正はノイズ等の原因で記録されたギザギザになったカーブのデータを修正する用途には向かないが、既存の動きを大きくしたり、逆に小さくしたりする修正に威力を発揮する。Fcurveウィンドウでデータを直接修正して同じ作業を行うこともできるが、そのためには6つのデータ（TranslationのXYZ、RotationのXYZ）すべてを一つ一つ修正し

なくてはならないため非常に困難である（キーを打つのは一度に出来るが打っただけではそのフレームのみ修正されるので、前後のデータを打ったキーに合わせる作業を一つ一つしなくてはならない）が、レイア修正の場合一回で6つのデータ全てに変更を加えることが出来る。レイアはPhotoshop等で使われている独立した領域を重ねて上から見るという概念とは異なり、ベースとなるデータにどの程度の強さで変化を与えるかという概念で作られている。変化を与える範囲をあらかじめ決めておき、位置・方向についてセンサを修正しキーフレームを作成すると、ベースデータからの変化量がレイアに記録され、範囲の開始点から終了点までカーブが形成される。開始点、終了点は変化0のため、キーフレーム位置が頂点のカーブとなる。このカーブはキーについてのハンドルで傾きを変更できる。キーフレームを増やすこともできる。

レイアを用いた修正において注意しなくてはならないことは、3つある。

1は、修正範囲をあまり大きくしないこと。大きくしすぎれば当然余計な部分まで変化を与えてしまうことも起きやすくなる。そして範囲が大きくなればなるほど、ある時点では変化が足りなくなったり、また別の時点では変化が多すぎたりして、それを調整するためにキーを打つことから、キーが増える傾向にある。キーが増えれば増えるほどカーブ制御は難しくなる。

2は、センサを修正してキーを打った結果、プラスのキーとマイナスのキーが隣接するような場合には、ベースのデータにノイズがあることが多い。レイアはノイズの修正には不向きのため、レイア修正を行う前にノイズ箇所を直接修正する必要がある。

3は、コントロールリグを使った修正にレイアを用いる場合の注意であるが、後述する。

4 スケルトンデータの修正

センサーデータの直接編集から、スケルトンデータの編集への移行はタイミングが難しい。それぞれ向き不向きがある上、スケルトンデータ編集をした後にセンサーデータ編集を加えることは出来ない。

厳密に言えば出来ないことはないが、その場合、スケルトンデータに施した編集は全て破棄される事になる。したがってスケルトンデータの編集はセンサーデータの編集が完了した後に行うのが理想的であるが、決断が難しい。スケルトンで編集した方が綺麗に直せると考えて残しておいた不自然な動きが、実際にやってみると直せないこともよくある。スケルトン編集をし始めてすぐに気がつけば問題ないが、しばらく続けた後に発見するとそれまで行ったスケルトン編集はすべて無駄になる。スケルトンデータは時間軸上で切り貼りすることができるので、編集し終わった部分を切り出して保存しておき、後に合成するという方法も可能ではある。

スケルトンデータはセンサーデータからアクタを介して出力されるデータであり、またリアルタイム出力ではない。ある時点でのセンサーデータをもとに出力されたデータで、その後センサーデータが修正された場合、その修正箇所は既出力スケルトンデータには当然反映されない。反映させるためには、もう一度出力し直す必要がある。また、スケルトンデータに施した修正箇所は遡ってセンサーデータに反映されるということもない。したがって既出力のスケルトンデータを修正した後、センサーデータを修正すると、センサーデータの修正箇所は既出力のスケルトンデータには反映されず、反映させるために再出力を行うと、修正を施したスケルトンデータは全て上書きされるため、スケルトンデータに施した修正はすべて消失する。

4-1 スケルトンデータ編集が向いている不自然な動き

腕や足の1カ所だけが回転する、または震えるように回転する場合、多くはセンサのRotationデータに問題はない。センサのRotationデータに問題がないのになぜ回転してしまうのか。スケルトンの関節と関節の間の距離は固定されており、その長さ以上にはならない仕様であるが、センサのTranslationデータをスケルトンに当てはめた結果、この関節間の長さが既定よりも長い事になってしまった場合、矛盾が発生して、関節と関節をつないでいるボーン

が回転する。スケルトンデータはRotationデータのみで動作を表現しているため、関節間の位置の不具合を回転によって辻褃を合わせようとした結果、ボーンがぐるぐると回転してしまうのである。

センサのTranslationデータの不具合なのだからセンサを修正した方が話が早いように感じるが、微妙な位置のズレを数百フレーム単位で修正するよりも、異常回転してしまう数フレームのスケルトンデータを修正してしまった方が簡単なのである。異常のあるRotationデータは視覚的にも見分けやすい。

注意点としては、上腕や太ももなどの部分的回転の場合、異常回転しているデータだけを修正すると、今度はそれに繋がっている腕や脛が異常回転してしまうことがある。異常回転しているボーンのRotationデータと真逆方向の回転データがそれに繋がっているボーンに記録されていることがあるためだ。これをカウンターデータと呼ぶ。カウンターデータがある場合、両方とも修正する必要がある。

4-2 スケルトンデータ編集が向かない不自然な動き

2本の背骨がくの字型になり、その曲がった部分が細かく前後して震える場合がある。2本それぞれのデータを修正することはそれほど難しくないが、肩、上腕・腕・手・頭にカウンターデータが記録されていることがあり、その全てを修正するのは非効率的といえる。不具合の原因となっているセンサを特定し、そのセンサを修正する方が適している。

5 コントロールリグを用いての修正

コントロールリグでの修正は、各部位の修正ではなく、腕全体、足全体、全身のように複数の部位への修正を同時に行う（影響の範囲は任意に設定可能）。IKやFKによって、例えば手を引っぱるとそれにつられて腕・肩・背中・頭が動くという具合だ。影響範囲をうまく設定することによって、直感的に姿勢を創作することが出来る。

コントロールリグを用いての修正はデータを直接修正するよりは、レイヤを用いて修正し、こまめにマージ（適用）していく方法がよい。

コントロールリグとレイヤを用いて修正を行う場合、一度のキー打ちでIKやFKの影響で他の複数のリグにもキーが作成される。マージする際は、選択しているリグのレイヤだけでなく、キーが作成されたレイヤ全てをマージしなくてはならない。キーが打たれたレイヤは全てマージしておかないと、キーとキーの間を自動で勝手に補完してしまうため例えば、20-300フレームでの修正を行ったとして、この修正マージをし忘れて同じレイヤの1800-2100フレームを修正してしまうと、300-1800の間を自動的に補完され、修正の必要のない区間に補完された変化量がベースデータに与えられてしまう。

キーを削除する場合も同様に注意が必要である。見ているリグのキーだけ削除しても同時に打たれた他のリグのキーはなぜか一緒には削除されないため、不自然な動きの原因になる。キーを打ち間違えた時は全身のリグを選択し、TranslationとRotationを選択すれば、全てのキーが表示されるので、この状態で不必要なキーを削除する。影響範囲のリグだけ選択する方が効率的のように思われるが、全身を選択するのは一度のクリックで済むためこちらの方が速いのである。

レイヤごと削除する場合もSceneを選んで他のリグのレイヤも同時に全てRemoveしないと余計な変更データが残ることになるため注意が必要。

6 キャラクターコントロールについて

キャラクターコントロールはキャラクターの様々な設定を行なうためのものである。この設定を変更することで、同じモーションデータでも、固い角張った動きにしたり、逆にやわらかいなめらかな動きにしたりすることがある程度できる。

身体の中心から遠い部分（手足）はリーチTR・Pullともに100%、中心に近い部分（ひじ・ひざ）はリーチTR50%がよいことが多かった。腕や脚の角度がアクタとキャラクターで異なる場合、この処理によって修正できる可能性が高い。またHips Offset Tで腰の高さを調整した方がよい場合がある。データにより最適な割合は異なるため、そのつど微調整が必要となる。

6-1 Pull設定について

Pull設定を実例から極めて簡単に説明すると次のようになる。

歩行時などに、足がすべるような動きになってしまいうため、足のpullを100%に設定した。これによりすべる感じは薄れたが、足が足首からはずれぬようなセンサーデータになっている箇所では、足自体はFloor contactの設定によって地面の下に潜ってしまうことはないが、キャラクターの身体全体が足に引っぱられるように姿勢が下がってしまうようになった。

足のPull設定を100%にする前は、足のセンサの位置は軽視され、他のセンサ部分が優先されている。各部位のヒエラルキーがあらかじめ足が下位になるように設定されているからだ。その状態でキャラクターを動かすと様々なセンサーデータの不都合の辻褃合わせの結果、足にそのしわ寄せがくることになる。そのため、足のセンサ位置とはかなり異なった、足がすべっているような歩行になってしまうのである。キャラクターの足の位置を足センサ位置に文字通り引っぱる設定をすることで、しわ寄せを無視してキャラクターの足の位置が足センサ位置に重なるようになる。しかし、足センサ位置を愚直にトレースするため、足センサ位置自体に不自然な記録があると、その影響がそのまま出てしまう上に、無視したしわ寄せのツケを他の部位が支払うかのように足センサの異常が身体全体に影響してしまうこともある。

7 修正の困難な動作

回転運動の編集（特に腰、胸）中、アクタの動きを目で調整しながらキーを打っていくとTranslationのX、Z軸データが上下にふらつくようなデータにしてしまうことがある。言うまでもなく不自然なデータなのでそうならないように注意する。回転運動の移動データを作成するのは非常に困難である。足つま先を軸にしたピボット回転も同様に難しい。センサがかかるとに付いているため、回転データだけではつま先のピボット回転にならない。コントローリグを使うと比較的にピボット回転をさせることができる。

8 DeleteとCutの違い

Deleteは選択したキーだけを削除する。Cutは選択したキーとおなじフレームにあるキーはすべて削除される。しかしTranslationとRotationの領域を越えて削除されることはない。また範囲指定して複数のキーを選択した状態でCutすると、範囲指定した分の時間的長さが詰められる。他の部分との動きとずれてしまうため、範囲指定でCutは行わない方が無難である。

9 バグ関係その他

編集集中に発生したバグや不具合を列挙していく。

▽MotionBuilder 7 Professionalでセーブしたデータをロードすると黄色のセンサが画面に表示されない。schematic画面上には存在するのでデータ自体は残っている。このためアクタ付けまでの作業をセーブ無しで一度に行わなければならない。(MotionBuilder 7.5も同様)

▽セーブの際にセンサーデータ、アクターデータ、キャラクターデータの他に背景映像もまとめてひとつのfbxファイルに内蔵してセーブすることを選択できるが、そのようにセーブされたデータは二度とロードすることが出来ない。ロードするとMotionBuilderがハングアップする。

▽Viewer画面を分割表示させる時に使うショートカットキーのCtrl+数字キーは、まれに画面分割とともに表示形式（ワイヤーフレーム表示、平面表示、3D表示）も変更される。この場合マウスカーソルで画面内のオブジェクトを選択することができなくなるバグも併発する。Viewer画面の表示形式の切り替えは本来CapsLock+数字キーで行う。

▽背景映像が途中でブラックアウトし、再生されなくなる。原因不明のため対処法も不明である。

▽アンドゥが効かない事がある。致命的な編集ミスの場合最後にセーブしたデータをロードし直すことになり、かなりの時間ロスとなる。

▽カメラ移動などでマウスドラッグしている最中にカーソルがアクタやキャラクターなどのオブジェクトに接触すると、オブジェクトを選択したことになる。

る。マークの選択はSchematic画面でしか視覚的に選択できないため、このバグが発生すると、いちいち画面を切り替えて選択し直さなくてはならず、集中力を乱される。

▽キーの移動、キーのハンドル調整で固まることがある。マウス操作の結果が反映されるのに数秒かかることがある。待ち時間が発生し、テンポを乱され、非常にストレスを感じる。マシンスペックが足りないのかもしれない。

▽コントロールリグの回転データはデータを直接修正しても動きに反映されないことがある。データにない動きをするが、原因データが不明なため、不自然な動きは不自然なまま修正不能である。

(岡本浩一)

おわりに

モーションキャプチャデータを活用し、舞踊の身体技法を定量化して解析するいくつかの取り組みを行ったが、研究途上であり、今回の報告は充分とはいえない。今後更なる成果が期待できると考えるが、そのためには国内外の研究者との連繋が不可欠である。手はじめとして、収録データについてはリアルタイムレンダリング映像での公開を目指し、国内外の研究者間での情報の共有化を積極的に進め、相互に収録データを利用できる環境を整える必要があると考える。

最後に、データ収録に協力して下さるばかりでなく、定量的な解析に理解を示して下さった、関根祥人氏、伊藤勝文氏、叶根明氏、唐賢仔氏に心より感謝の意を表したい。

【注】

- (1) 野村雅一『しぐさの世界—身体表現の民族学』NHKブックス429 pp.95 1983年 日本放送出版協会
- (2) 宮尾慈良『比較芸能論—思考する身体—』 pp.78-79 2006年 彩流社
- (3) 三隅治雄『踊の宇宙—日本の民俗芸能』 pp.200-201 2002年 吉川弘文館
- (4) 吉川周平「日本舞踊の理論—舞踊の要素、構造、動作の分析」『日本の音楽・アジアの音楽』第5巻 p.183 1994年 岩波書店
- (5) 川村邦光「巫女の信心と憑依の技法」『東アジアの身体技法』 pp.188-189 2000年 勉誠出版
- (6) 横道万里雄『能・狂言—能の構造と技法—』 1987年 岩波書店
- (7) 早川孝太郎『早川孝太郎全集』第1巻 1978年 未来社
- (8) 西郷由布子「芸能を身につける—山伏神楽の習得過程」『身体の構築学—社会的学習過程としての身体技法』 p.131 1995年 ひつじ書房
- (9) 西郷由布子前掲書 pp.124-130
- (10) 折口信夫「戯曲・舞踊詞曲の見渡し」『古代研究』第二部国文学篇 p.280 1929年 大岡山書店
- (11) 三隅治雄 前掲書 pp.164-165
- (12) 水村真由美・瀬田亜耶子「舞踊動作にみられる手足の動きの表現性」『JJBSE』9 (2) pp.125 2005年
- (13) 吉川周平 前掲書 p.172
- (14) 森田ゆい・佐々木玲子「日本の古典芸能に見られる呼吸技法」『JJBSE』9 (2) pp.138-145 2005年
- (15) 「モーションキャプチャを使った芸能比較研究の試み」『年報人類文化研究のための非文字資料の体系化』第3号 pp.188-212 2006年 で研究動向についてまとめた。
- (16) 大道等「動作記述における伝達内容の劣化」『体育の科学』Vol.47 8月号 pp.621-622 1997年
- (17) 三隅治雄 前掲書 p.30
- (18) 三隅治雄 前掲書 p.143
- (19) 「モーションキャプチャを使った芸能比較研究の試み」『年報人類文化研究のための非文字資料の体系化』第3号 pp.188-212 2006年 ですすでに報告済みだがあらためて記述する。
- (20) 横道万里雄 前掲書 pp.261-279
- (21) 早川孝太郎 前掲書 p.220
- (22) 早川孝太郎 前掲書 p.221
- (23) 関根祥人『祥』No.17 pp.6-7 2003年
- (24) 関根祥人『祥』No.26 p.7 2007年
- (25) 福島真人「序文身体を社会的に構築する」『身体の構築学—社会的学習過程としての身体技法』 pp.41 1995年 ひつじ書房
- (26) 藤田隆則「歌舞が儀式的なものとなる機構—西浦田楽に見られる離脱と放置」『身体資源の共有』 pp.184 2007年 弘文堂

【参考文献】

- [I] 三浦武,水戸部一孝,湯川崇,海賀孝明,谷口敏幸,吉村昇「骨格構造人体モデルの等価角軸変換データを用いた舞踊動作の特徴抽出」『情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム』 pp.381-387 2007年
- [II] T. Miura, K. Mitobe, T. Kaiga, T. Yukawa, T. Taniguchi and N. Yoshimura:"Evaluation of Similarity of Motion in Dancing Using Information of Correlation Relationship in Motion Characteristics", ACM SIGGRAPH 2007 Poster F15, (2007)

【成果の発表】

1. 廣田律子 「日本传统戏曲与中国民俗艺能之继承关系与应用立体坐标法解释 (中文)」戯曲教育的回顧與展望國際學術檢討會議發表 (国立台湾師範大学) 2006年
2. 廣田律子「モーションキャプチャの芸能比較への応用」「モーションキャプチャ・シンポジウムパート「Mocap活用の北の拠点より」秋田大学主催 研究会発表 2006年
3. 廣田律子「デジタル技術による東アジア芸能比較研究試論」18世紀東アジアの公演文化発表 (韓国高麗大学) 2006年
4. 廣田律子・岡本浩一 「モーションキャプチャーを使った日中芸能比較研究の試み」『比較日本学研究センター研究年報』第2号 お茶の水女子大学比較日本学研究センター pp.83-90 2006年
5. 廣田律子・長瀬一男・海賀孝明・岡本浩一 「モーションキャプチャーを使った芸能比較研究の試み」神奈川大学21世紀COEプログラム『年報 人類文化研究のための非文字資料の体系化』3号 pp.188-212 2006年
6. 廣田律子 「モーションキャプチャーを使った芸能記録化及比較研究の試み」韓・中・日無形文化遺産フォーラム発表 (韓国江陵端午節) 2006年
7. 廣田律子「充分利用三次元動態録像推進中日演技比較 (中文)」国際舞文化芸術研究会発表 (中国江西省) 2005年
8. 廣田律子「モーションキャプチャーを使った日中芸能比較の試み」お茶の水女子大学比較日本学研究センター 第七回 国際日本学シンポジウム『比較日本学の試み』 発表 2005年
9. 廣田律子 「中国石郵村の追儺行事に登場する鬼と翁の身体技法に関する調査」神奈川大学COE 年報『人類文化研究のための非文字資料の体系化』1 pp.46-54 2004年