

3DCG によるバレエ振付のための体系的符号化と創作支援システム

曾我麻佐子, 海野 敏†, 安田孝美‡, 横井茂樹‡

名古屋大学大学院人間情報学研究科 † 東洋大学社会学部 ‡ 名古屋大学大学院情報科学研究科

Systematic Coding Method and Creation-Supporting System for Ballet Choreography Using 3DCG

Asako SOGA, Bin UMINO†, Takami YASUDA‡, Shigeki YOKOI‡

Graduate School of Human Informatics, Nagoya University

† Faculty of Sociology, Toyo University

‡ Graduate School of Information Science, Nagoya University

モーションキャプチャで取得したバレエの3次元モーションデータを利用し、バレエの振付をWeb環境で対話的に創作し、3次元アニメーションによってシミュレーションするシステム“Web3D Dance Composer (WDC)”の開発を進めてきた。バレエ教師が作成した振付をWeb上に蓄積し、それを生徒がダウンロードして再生し、復習や自主学習に利用することを想定している。本論文では、まず、WDCがバレエの実用的な教育支援システムとなるように、その機能を大幅に強化するため、バレエ動作の体系的符号化と、創作支援システムの開発を行った。次に、バレエ教師が舞踊の保存手段として利用できるように、バレエ用語に基づいたテキストベースの符号化手法を考案した。さらに、この体系的符号化に基づき、バレエ教師がレッスン用の振付を効率的に創作するための支援システムとして、動作連結の自動制御、ランダム選択機能、自動振付機能、蓄積・再利用機能を導入した。創作支援システムの有用性を評価する実験を行い、その結果を考察した。

1. はじめに

本研究の長期的な目的は、舞踊の3次元モーションデータを大量に蓄積してデータベース化し、それをネットワーク上で共有することで、芸術・教育などの文化的活動に広く活用することである。このための一つの取り組みとして、クラシックバレエ（以下、バレエ）の振付をWeb環境で対話的に創作し、3次元アニメーションによってシミュレーションするシステムの開発を進めてきた。

振付シミュレーションシステムの試作版と評価については既に報告している[1]。また、モーションデータの標準化およびバレエ動作の要素化と構造分析を行い、試作版を改良したシステム“Web3D Dance Composer”（以下、WDC）についても報告済みである[2]。本論文では、WDCの機能を大幅に強化し、バレエの実用的な教育支援システムとして完成させるため、バレエ動作の体系的符号化

と、創作支援システムの開発を行った。

従来のWDCは、Web上でバレエの振付を作成することはできるものの、振付をWeb上に保存し、公開する機能は備わっていなかった。WDCを実用的な教育支援システムとするには、バレエの教師や生徒がWeb上で振付を共有できるようにしなければならない。そのためには、バレエ動作を標準的に記述できるような体系的符号化の規則と、振付の蓄積・再利用機能の実装が必要である。

また、従来のWDCの振付作成手法では、ステップ一覧から目的のステップを逐次選択するため、振付に時間がかかる、振付として不可能または不自然な動作が生成されるなどの問題があった。しかし、バレエは基本的な姿勢と動作が厳格に体系化されているため、振付の手順をある程度自動化することが可能である。WDCを実用的な創作支援システムとするためには、自動振付機能の実装も必要である。

本研究では、これらの体系的符号化と創作支援システムを考案するために、バレエ教師とのディスカッションを行い、専門的な意見を取り入れることで、実用性を重視した開発を行った。

以下、第2章で関連研究と類似システムについて述べ、第3章で機能を強化したWDC最新版の概要を説明し、第4章でバレエ動作の体系的符号化について、第5章で自動振付機能と蓄積・再利用機能を含む新しい創作支援システムについて詳述する。第6章では、創作支援システムの評価実験とその結果を報告する。

2. 関連研究と類似システム

(1) 舞踊の記述手法

音楽に楽譜が存在するように、舞踊動作の保存・記録を目的とした既存の舞踊記譜法がいくつか存在する[3][4]。特にLabanotationは、欧米で広く利用されているが、国内の認知度は低く、一部の研究者の間でしか利用されていない。身体の部位単位で動作を記述するシステム[5][6]も存在するが、これらは汎用性が高い反面、バレエ動作の記述には効率が悪い。また、記述した符号はコンピュータが解読することを前提としているため、ユーザが元の動作を連想するのはむずかしい。本研究で提案する符号は、バレエ用語に基づいたテキストベースの記述により、国内外の一般的なバレエ教師が理解し、舞踊の保存手段として利用できる点に特徴がある。同時に、同じ符号をコンピュータが体系的に解読することで、自動振付などの創作支援システムにも活用している。

(2) 舞踊のマルチメディア教材

2次元の画像や映像を用いた舞踊の教材は、ビデオやDVD、Web上のコンテンツに多く存在する[7][8]。しかし、これらは基本動作の解説やレッスンの一例を収録したものがほとんどである。古典作品の振付を記録し、データベース化している例[9]もあるが、日常的なレッスンで利用できる振付を十分にアーカイブ化し、Web上で公開している例はない。また、3DCGを利用したものとして、マルチメディアを利用した教材システム[10][11]や、リアルタイムでの遠隔舞踊教育システム[12]なども存在するが、これらは振付を閲覧できるだけで、ユーザが振付を編集し、新たにアーカイブに追加することはできない。

(3) 舞踊の創作支援ツール

舞踊の創作支援ツールとして、コンピュータ上で生成された人体動作を、振付家が舞台用の振付に修正して実用した例[13]や、創作イメージを高めるための映像を収録したCD-ROM[14]が存在する。しかし、これらは直接に

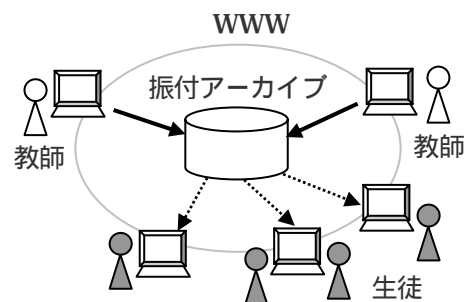


図1 振付蓄積・共有システムのイメージ

利用できる振付をコンピュータ上で創作するものではない。また、主に舞台作品の振付創作を目的としたものであり、本研究で対象としているレッスン用の振付創作とは目的が異なる。舞台作品の振付はオリジナリティを重視するのに対し、レッスン用の振付は身体負荷や動作難易度などの教育的要素を考慮する必要がある。舞踊を特定し、さらにレッスン用という限定した目的で、実用性のある創作支援システムは今のところ存在しない。

(4) 人体アニメーションの生成支援システム

近年、様々な人体アニメーションを容易に作成するための研究[15][16]が盛んに行われているが、これらはキーフレームの補間やモーションデータの融合などにより、新たなアニメーションを生成するものが主流である。我々の研究の目的は、基本動作として大量にアーカイブ化した短い人体動作の編集・再利用であり、アニメーション自体の生成ではない。本研究では、モーションキャプチャシステムで収録したアニメーションを利用し、振付は基本ステップの組合せで実現している。

3. Web3D Dance Composer の概要

3.1. WDC の利用目的

従来のWDCは、バレエ教師が、レッスン用の振付をWebブラウザを介して手軽に作成でき、さらにその場で振付の3DCGを見て確認、修正できるシステムとして構築したものである。加えて、本論文では、バレエ教師が作成した振付をWeb上に蓄積し、それを生徒がダウンロードして再生し、復習や自主学習に利用することを想定している(図1)。バレエのような身体動作の学習において、そのデータを3次元化し、学習者が視点を自由に変えて身体動作を観察できる利点は大きい。なぜなら日常的には実現できない視点から身体動作を眺めることによって、学習効果が向上するからである。

振付創作の対象は、従来通りバレエ教師を想定してい

るが、蓄積された振付の閲覧・再生は、バレエの学習者や一般ユーザも対象としている。作成できるのは、女性の初級クラスのレッスン用振付で、しかも「プティアレグロのセンターレッスンのための短い振付」（以下、初級プティアレグロ）に限定した。バレエのレッスン用振付は定型的なステップをつないで作り 8~16小節程度の長さが通常である。この定型的なステップの連鎖のことをバレエ用語で「アンシェヌマン」（enchainement）と呼ぶ。動作合成の要素単位には、バレエのレッスン用振付を創作することを前提に、バレエ固有の定型的な基本ステップ（脚の動き）を採用した。一つの要素単位は、下半身の動きに基づきつつも上半身の動きと移動情報を含むものとした。

3.2. WDC の全体構成

図2にWDCの全体構成を示す。大きく分けて、記述規則、モーションアーカイブ、シミュレーションシステムの3つで構成される。

(1) 記述規則

舞踊のモーションデータをアーカイブ化して活用するためには、コンピュータがモーションデータを加工、処理するためのデータ記述の標準化に加えて、人間が舞踊動作を記録、操作するための動作記述の標準化も不可欠であった。

従来のWDCでは、異なるモーションキャプチャシステムや異なるダンサーから収録したモーションデータを標準化して利用するために、舞踊モーションデータのための標準的な骨格構造、ダンサーの標準的な体型、アニメーション情報の標準的な記述規則を提案した。また、基本ステップのアーカイブを構築するために、舞踊モーションの基本ステップへの分割・要素化、基本ステップの階層的分類と詳しい動作分析を行っている。

本論文では、創作した振付を振付アーカイブに蓄積して共有するためと、自動振付などの創作支援システムでモーションデータを効率的に活用するために、基本ステップおよび振付の体系的な符号化規則を提案する。これは、ユーザが読解でき、かつシステムが直接利用できるテキストベースの符号を生成する規則である。

(2) モーションアーカイブ

モーションアーカイブには、基本ステップアーカイブと振付アーカイブがある。

基本ステップアーカイブには、記述規則に従って記述されたモーションデータが、基本ステップを単位として蓄積されている。モーションデータは、光学式および磁

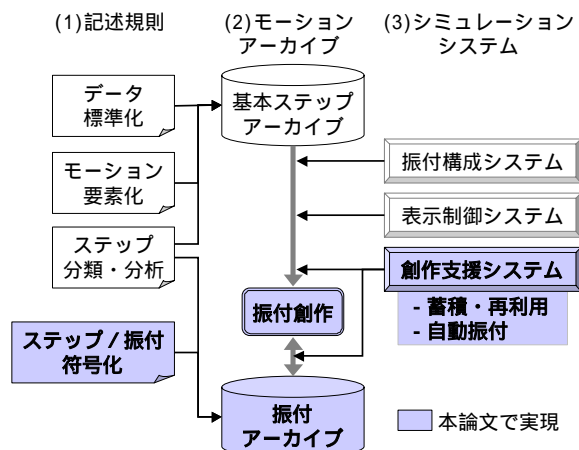


図2 WDCの全体構成

気式モーションキャプチャシステムを用い、プロのダンサー5名の実演により収集した。現在までに、約450個の基本ステップを収録済みである。

振付アーカイブは、一連の振付を保存するアーカイブとして、本論文で新たに構築した。これには、ユーザが創作した振付を保存・蓄積することができる。また、あらかじめバレエ教師が創作した20個のアンシェヌマンが、振付例として既に収録されている。

(3) シミュレーションシステム

シミュレーションシステムでは、基本ステップアーカイブに収録されたステップを組み合わせて振付を作成し、3DCGアニメーションで再生することができる。これまでに、プレビュー機能、速度変更機能、編集機能などを実装した振付構成システムと、人体モデルや背景の変更機能などを実装した表示制御システムを開発済みである。

本論文では新たに、蓄積・再利用機能や自動振付機能などを実装した創作支援システムを開発した。

3.3. 画面デザインと動作環境

図3は本システムの実行画面である。画面デザインは、VRMLによる3D表示ウィンドウと、Javaアプレットによる操作パネルを横に並べて同時に見られるように設計した。操作パネルには、モーションカタログ、表示制御、再生コントロール、タイムライン、蓄積・再利用の5つのパネルが含まれる。モーションカタログパネルと表示制御パネル、タイムラインパネルと蓄積・再利用パネルの2つの組は、それぞれ重なっていて、上端のタブで切り替えることができる。

動作環境としては、Windowsパソコンに一般的なWebブ

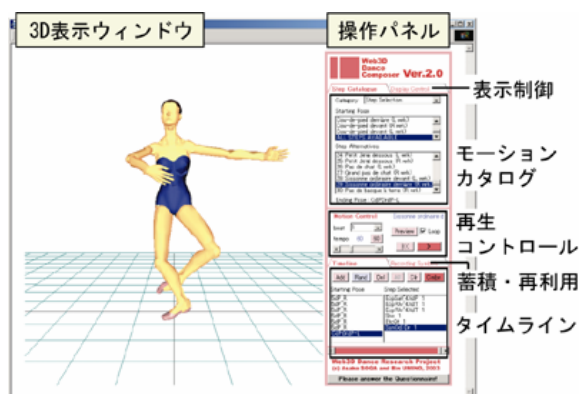


図3 システムの画面デザイン

ブラウザがインストールされており、さらに無償で配布されているVRMLプラグイン[17]を組み込んでいることを前提としている。JavaアプレットからVRMLを操作するためにはEAIを利用し、Web上で振付を保存するためにはCGIを利用している。

4. バレエステップの体系的符号化

創作した振付を振付アーカイブに蓄積して共有するためと、創作支援システムでモーションデータを効率的に活用するために、基本ステップおよび振付の体系的な符号化規則を考案した。本章ではまず、基本ステップの列挙と分類について述べ、次にそれぞれの基本ステップの符号化規則と、創作した振付を基本ステップの符号の並びとして記述する規則について述べる。

4.1. ステップの列挙と分類

バレエの用語辞書、教則本などは各国で多数刊行されているにもかかわらず、バレエの動作を網羅的に列挙、分類した文献は見当たらなかった。そこで、本研究ではバレエ教師4名の協力を得て、レッスンで利用される基本ステップを網羅的に列挙、分類した『バレエレッスン基本ステップ分類表』を独自に作成した[18]。

この分類表では基本ステップを3階層に分類し、それぞれの階層を第1分類、第2分類、第3分類と呼んでいる。第1分類では、基本ステップを大きく6つに区分した。第2分類では、その6つを、バレエの様式に従って類似するステップのグループへ区分した。第3分類では、バレエ固有の名称を持つステップの水準まで細かく区分した。

本システムでは、第1分類のカテゴリを創作支援システムの自動振付(5.3)で利用し、第3分類の項目は後述

のステップの符号化に利用している。第2分類は、システムでは利用していないが、一般的なバレエの用語辞書や教則本で用いられる分類であるため、ユーザが理解しやすいように設定した。

本研究の創作支援システムでは、これらの基本ステップのうち、初級プティアレグロで使われるもののみを選んで利用している。利用したのは、次に示すように第1分類の4カテゴリ、第3分類の37項目である。

<第1分類>	<第3分類の項目数と具体例>
アレグロ系	21 アッサンブレ、スーブルソー
回転系	4 ピケアンドウダン、シェネ
連結系	8 トンペパドブレ、シャッセ
要素動作	4 プリエ要素、デガジェ要素

第3分類の各項目は、基本ステップに相当する粒度 (granularity) であり、それぞれバレエの技法に固有の名称を持っている。そこで、第3分類の全項目に、ユーザが読解でき、かつシステムが直接利用できるテキストベースの符号を与えた。符号はフランス語と英語の綴りに基づき、アルファベット数文字からなる文字列のコードを与えた。例えば「アッサンブレ」(Assamble)は“Asm”，「トンペパドブレ」(Tombe pas de bouuree)は“TmbBre”とした。

4.2. 属性の設定と符号化

第3分類の各項目、すなわち一つの基本ステップは、さらに多数の動作パターンを含んでいる。これらを効率的に記述し、ステップを特定するために、ステップの構造分析を行い、『バレエレッスン基本ステップ分析表』を作成した[18]。

この分析表では、ステップごとに必要な属性を設定し、属性ごとに可能な属性値のセットを用意した。ステップの属性として、足運びまたは移動方向、回転角度または回転数、通過姿勢、および開始/終了姿勢を用意した。

バレエではこれらの属性も様式化されているが、実際のレッスンでは、ステップの実演と同時に指示されるため、全ての属性をバレエ用語で表現する方法は定められていない。しかし、振付を正確に記録するためには、全てのパターンを区別し、ステップを特定する必要がある。本研究では、特定のステップを記述するコードをステップコードと名づけ、ステップの属性と属性値を記述するための符号を与えた。

属性の記述には、次のような連結記号を定めた。これらは前置型の属性指示子であり、右に接する符号の属性を指示する機能を持っている。

足運びまたは移動方向 >
 回転角度または回転数 ^
 通過姿勢 ~
 開始姿勢 ;
 終了姿勢 :
 前方足の左右 -
 非軸足（動作足）の左右 -

属性値は、ステップの符号と同様に、フランス語と英語の綴りに基づき、アルファベットと数字からなる数文字の符号を定めた。

例えば、次のような属性値を持つ「アッサンブレ」(Assamble)を考える。

<属性>	<属性値>	<符号>
足運び	ドウシュー (dessus)	>Du
開始姿勢	5番ドウミプリエ左足前	;5dP_L
終了姿勢	5番ドウミプリエ右足前	:5dP_R

この場合のステップコードは次のようになる。

Asm >Du ;5dP_L :5dP_R

これらのコードは、バレエ教師であればもとの語が想起できる省略形となっている。

さらに、不要な属性値の組合せを排除することで、実際に出現する基本ステップのパターンを計数した。本研究の創作支援システムで用いる 37 項目の基本ステップは、これらの属性を含めると 215 個となる。

また、本研究で提案する記述法は、振付の表現方法として利用できるだけでなく、体系的に記述することで創作支援システムにも活用している。開始姿勢と終了姿勢は動作連結の自動制御(5.1)に利用するため、必須の属性とし、モーションデータの付加情報として格納した。開始姿勢と終了姿勢の属性値に関しては、初級ブティアレグロで出現可能な 104 種類の姿勢を網羅的に列挙、分類した上で、そのすべてに体系的な符号を与えた[18]。ただし、本研究の創作支援システムで用いる 215 個のステップに出現する姿勢は、33 種類であった。

4.3. 振付の記述

バレエの振付は基本ステップの順列・組合せで表現できるが、ステップの並びを振付として記述するためには、そのステップを行うタイミングを記述する必要がある。そこで、ステップコードに拍数と身体方向を追加して、時系列に記述したものを、振付コードとして提案した。拍数と身体方向をステップコードに含まなかった理由は、同じモーションデータを利用し、実行時に変更できるからである。

<ステップコード>		<拍数>		<方向>
ステップ名	開始姿勢			
Sbs		;5dP_R	:5dP_R	1
DmS		;5dP_R	:5S_R	1
TmbBre	>Fe	;5S_R	:4XdP_L	2
PrtDhr	^1	;4XdP_L	:5dP_R	2 R45
DmS		;5dP_R	:5S_R	1/2

開始 / 終了姿勢以外の属性 終了姿勢

図4 ステップコードと振付コードの記述例

拍数は、1, 1/2 など、整数または分数で記述した。この拍数は、収録時の速度とは無関係であり、振付創作時に自由に変更できる。なお、振付全体の再生速度は、拍数とは別に随時可変である。

身体方向は、基本的に正面向きから始まるように基本ステップアーカイブに収録し、つねに斜め方向で行うステップなど、正面方向で行う可能性のないステップについては、そのステップの方向をデフォルトにしてアーカイブ化した。身体方向の記述は、正面またはデフォルトの方向の場合は省略し、変更する場合は、垂直軸を回転軸として正面向きからの回転角を記述した。例えば、右に 45 度回転させる場合は“R45”，180 度回転させる場合は“180”と記述し、実行時に身体の座標系を回転させることで実現した。この身体方向の記述は、ステップごとに記述するものとし、次に続くステップには影響しないものとした。したがって、振付コードの途中から再生した場合、または一部のみを対象とした場合でも、振付を正しく再現できる。

図4にステップコードと振付コードの一例を示す。振付コードは、振付を創作し再生するたびに出力され、振付の保存・再現に利用される。

5. 創作支援システム

次に、創作支援システムについて説明する。本論文では、バレエ教師がレッスン用の振付を効率的に創作するために、動作連結の自動制御、ランダム選択、自動振付、蓄積・再利用の各機能を導入した。

5.1. 動作連結の自動制御

バレエの基本ステップは開始姿勢と終了姿勢が厳密に定められており、連結時の姿勢は全てパターン化することができる。したがって、基本ステップごとに可能な

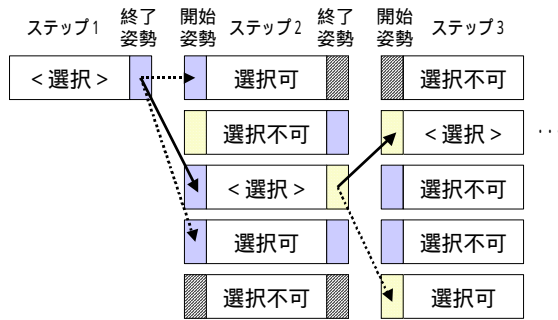


図5 不可能な動作連結の自動制御

開始姿勢と終了姿勢を列挙し、全てのパターンのモーションデータを用意すると、自然なバレエ動作を生成するためには、同一姿勢の場合のみに連結を許可するのが望ましい。そこで、本システムでは、ステップの連結は同一姿勢の場合のみに行われるものとし、各ステップが選択可能かどうかを自動的に判別する機能を実装した。すなわち、図5に示すように、前のステップの終了姿勢と同じ姿勢で始まるステップを選択可能とし、異なる姿勢で始まるステップの場合は選択不可能とした。選択可能かどうかの判別は、4.2で記述した開始姿勢と終了姿勢の符号をモーションデータの付加情報として格納しておき、創作過程で逐次照合することで実現した。

この機能は、現在のところ時間軸に沿ってステップを前から順に選択する場合にしか対応していないが、数百個あるバレエのステップから選択可能なものを数十個に絞り込むことができるため、十分有用である。バレエの姿勢は、重心の位置が両足の中心にあるか、完全に片足でバランスが取れる状態のどちらかであるため、この連結判定で選択可能と判定された動作は、人体動作としても可能な動作であり、実際にダンサーに再現してもらうこともできる。

5.2. ランダム選択機能

5.1の動作連結の自動制御により、あるステップを選択すると、次に選択可能なステップの候補をリスト化することができる。ユーザがこの中から1つのステップを手動で選択する代わりに、ランダムに選択する機能を追加した。これを連続して行うことで、人体動作として可能な振付を半自動的に生成することもできる。

ランダム選択機能を用いて振付を半自動的に生成し、バレエ教師2名による簡単な評価実験を行ったところ、過半数はレッスンで使用可能であることが確認された[19]。しかし、同じステップが連続する、身体負荷が高

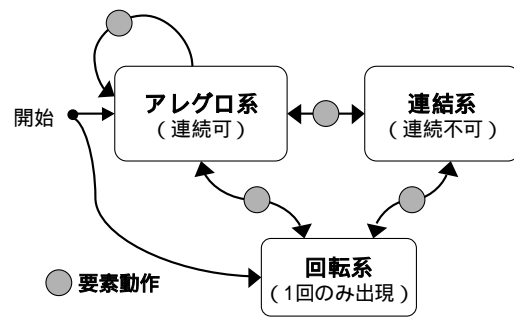


図6 連続回数の制限とカテゴリの遷移

い種類が多くて覚えられないなどの問題があるため、実際のレッスンではあまり望ましくないと判断された。一連の振付として実的なものを生成するためには、さらに詳細な条件の追加が必要であるが、舞台用の振付を試行錯誤したり、ステップの新しい組合せを発見するためには有用な機能である。

5.3. 自動振付機能

5.2のランダム選択機能を発展させ、レッスン用として妥当な振付を自動生成する機能を加えた。作成できるのは、16拍の初級プティアレグロのアンシェヌマンとし、レッスン用のバレエ動作として不自然なステップの連結と、初級では難しいステップの連結を制限するために、以下のようなアルゴリズムを組み込んだ。

(1) 種類数の限定

記憶容易度を高めるために、1回の振付で使用するステップの種類数を限定した。初級では、同一または同種ステップの出現頻度を高くし、ステップの連結パターンを制限する目的も兼ねている。今回限定したのは、プティアレグロの中心要素であるアレグロ系と回転系のステップである。バレエ教師のアドバイスにより、初級レッスンにおける種類数は、アレグロ系を3種以内に限定し、連結系は1回のみ出現可能とした。連結系のステップと要素動作は無制限とした。

(2) 連続回数の制限とカテゴリの遷移

同一ステップや同種ステップの連続を防ぐために、連続回数に以下のような制限を設けた。同一ステップとは属性まで含めた特定のステップを指し、同種ステップとは、第3分類で同じ項目に属するものを指している。

アレグロ系の同一ステップ	2
アレグロ系の同種ステップ	4
アレグロ系の異種ステップ	無制限
回転系のステップ	連続不可

連結系のステップ	連続不可
要素動作	2

回転系のステップの連続は、難易度が高いため初級では連続不可としたが、上級を対象とした場合は連続も可能である。要素動作は補助的な動作であるため、図6に示すように3つの系のステップ間に挿入できるようにし、他のカテゴリの連続回数は、要素動作が挿入されても連続とみなして計数するようにした。また、アンシェヌマンの開始条件として、要素動作または連結系のステップで開始しないという条件も加えた。終了条件は、第1分類のカテゴリとは無関係に、ステップの終了姿勢で制限した。終了できるのは、33種の終了姿勢のうち、一般的な終了姿勢に利用される10種に限定した。

(3) 身体負荷の数値化

ダンサーの身体への負担を考慮するため、ステップごとに身体負荷を予め見積もって数値化しておき、アンシェヌマン全体の身体負荷の総和が一定値を超えないような制約を加えた。各ステップの身体負荷は、バレエ教師のアドバイスにより以下のように設定した。

アレグロ系	4~6
回転系	10~
連結系	4
要素動作	1

今回対象とした初級プティアレグロのアンシェヌマン16拍の身体負荷和は30~50とし、範囲外のは排除した。しかし、前から順にステップを選択する振付生成手法では、身体負荷による制約は、最終的にできあがった振付にしか適応できないため、アンシェヌマンの身体負荷がなるべく範囲内に収まるように、第1分類のカテゴリの出現確率を以下のように設定した。

アレグロ系	0.4
連結系	0.2
要素動作	0.4

なお、回転系のステップは特定の姿勢から開始する必要があるため、その姿勢が選択された場合に優先的に選択するようにした。また、特定のステップの選出は、第1分類、第3分類、属性の3段階に分けて行った。すなわち、まずは第1分類のカテゴリをランダムに選出し、次に、そのカテゴリに属する第3分類の項目をランダムに選出する。最後に、属性まで含めた特定のステップをランダムに選出する。

以上の(1)~(3)のアルゴリズムは、プティアレグロというレッスンのジャンルに限定したものであり、他のジャンルを対象とした場合は、それぞれ別のアルゴリズムを考案する必要がある。また、同じプティアレグロとい

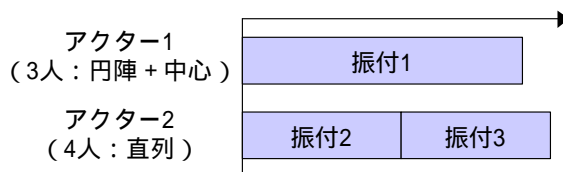


図7 シナリオの例

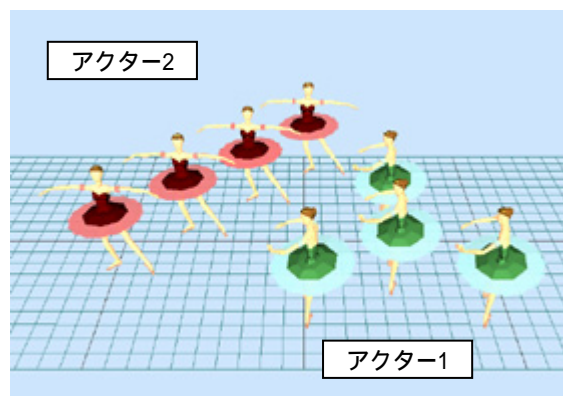


図8 複数アクターによる振付再生例

うジャンルで上級を対象とした場合は、対象とするステップは増加するものの、第1分類のカテゴリが増加することはないため、同じアルゴリズムを適用し、パラメータを変更するだけで実現できる。加えて、対象とするステップの数が同じ場合は、初級では使用不可でも上級なら使用可能なパターンも存在するため、上級への応用を考えた場合、これらの制限は軽くなると推定できる。

5.4. 蓄積・再利用機能

第4章で提案した振付コードに従い、振付をアーカイブに保存・蓄積し、再利用する機能を加えた。保存した振付は一つのシーケンスとして再生・編集することができる。さらに、これらのシーケンスを組み合わせることで長編の振付を作成することもできる。

また、複数のダンサーに異なる振付を割り当てる機能も加えた。同じ振付を同期して踊るダンサーの集団をアクターと名づけ、各アクターの振付をタイムラインに沿って割り当てることでシナリオを作成する。各アクターには、振付、ダンサーの人数、隊形、配置、キャラクタを割り当てることができる。アクターの隊形は、等間隔に直列、等間隔に円陣、等間隔に円陣とその中心の3パターンを可能にし、それぞれの間隔を変更できるようにした。複数のアクターを配置する場合には、アクター同

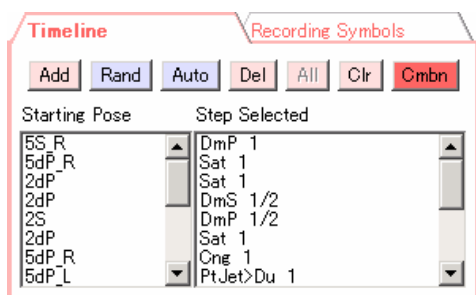


図9 タイムラインパネルの GUI

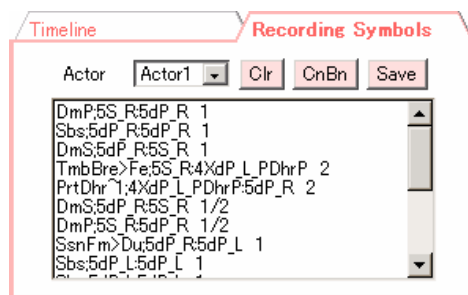


図10 蓄積・再利用パネルの GUI

士が衝突する問題も考えられるが、本システムでは各アクターの配置を対話的に修正することで対処している。このように複数アクターによる振付を同時に再生することで、レッスン用の振付の蓄積・再生だけでなく、舞台作品のシミュレーションへ応用することもできる[20]。図7にはシナリオの例、図8には図7に対応する再生例を示す。

5.5. 創作支援システムの GUI と操作手順

図9は創作支援機能を導入したタイムラインパネル、図10は振付コードが出力される蓄積・再利用パネルの GUI である。これらは図3で示した操作パネルの下部に位置し、上端のタブで切り替えることができる。各機能の操作手順は次の通りである。

(1) 振付の創作

モーションカタログパネルにある基本ステップ一覧表から目的のステップを選択し、タイムラインパネルの Add ボタンを押す。すると、Starting Pose の欄には選択したステップの終了姿勢の符号、すなわち次のステップの開始姿勢が表示される。Step Selected の欄には、選択したステップの振付コードから開始姿勢と終了姿勢を除いたコードが表示される。同時に、基本ステップ一覧表には、選択したステップの終了姿勢から始まるステップの一覧が、次の候補として表示される。これを繰り返して、同一姿勢で連結するステップを逐次選択してゆくことで、身体動作として可能な振付が容易に作成できる。

(2) ランダム選択・自動振付

(1)で Add ボタンの代わりに Rand ボタンを押すと 5.2 で述べたランダム選択機能により、コンピュータが選択可能なステップ一覧から、次のステップをランダムに選出する。また、モーションカタログパネルで開始姿勢を指定し、Auto ボタンを押すと、5.3 で述べた自動振付機能により、16 拍のアンシェヌマンを自動生成することができる。自動振付機能で生成されたアンシェヌマンは、

必要に応じて修正することができる。

(3) 振付の再生・閲覧

(1)または(2)の手順で振付を作成した後、CnBn (Combine) ボタンを押すと、ステップが連結され、VRML 空間の人体に、作成した振付のアニメーションがセットされる。振付を再生するには、再生コントロールパネルを利用する。

保存した振付や、あらかじめ登録された振付を再生する場合は、モーションカタログパネルにある振付リストから、目的の振付を選択し、タイムラインパネルの All ボタンを押す。すると、その振付を読み出すことができ、同じ要領で再生することができる。

(4) 振付の保存

(3)で CnBn ボタンを押すと、蓄積・再利用パネルに振付コードが出力される。作成した振付を Web 上の振付アーカイブに保存する場合は、Save ボタンを押す。するとモーションカタログパネルにある振付リストに、作成した振付が追加される。

(5) 振付の再利用

複数のアクターに振付を割り当てる場合は、蓄積・再利用パネルの Actor を切り替え、それぞれのアクターについて振付を作成する。各アクターの人数や隊形などは、表示制御パネルで変更することができる。

(1)～(5)の一連の振付創作は、バレエ知識が必要とされるため、基本的にバレエ教師を対象としているが、(3)の振付の再生・閲覧はバレエの学習者や一般ユーザが利用することも想定している。

6. 評価と考察

6.1. 評価実験

WDC の自動振付機能の実用性を評価するため、実験を行った。自動振付機能は、独自のステップ分類法(4.1)に基づき、動作連結の自動制御(5.1)、ランダム選択(5.2)

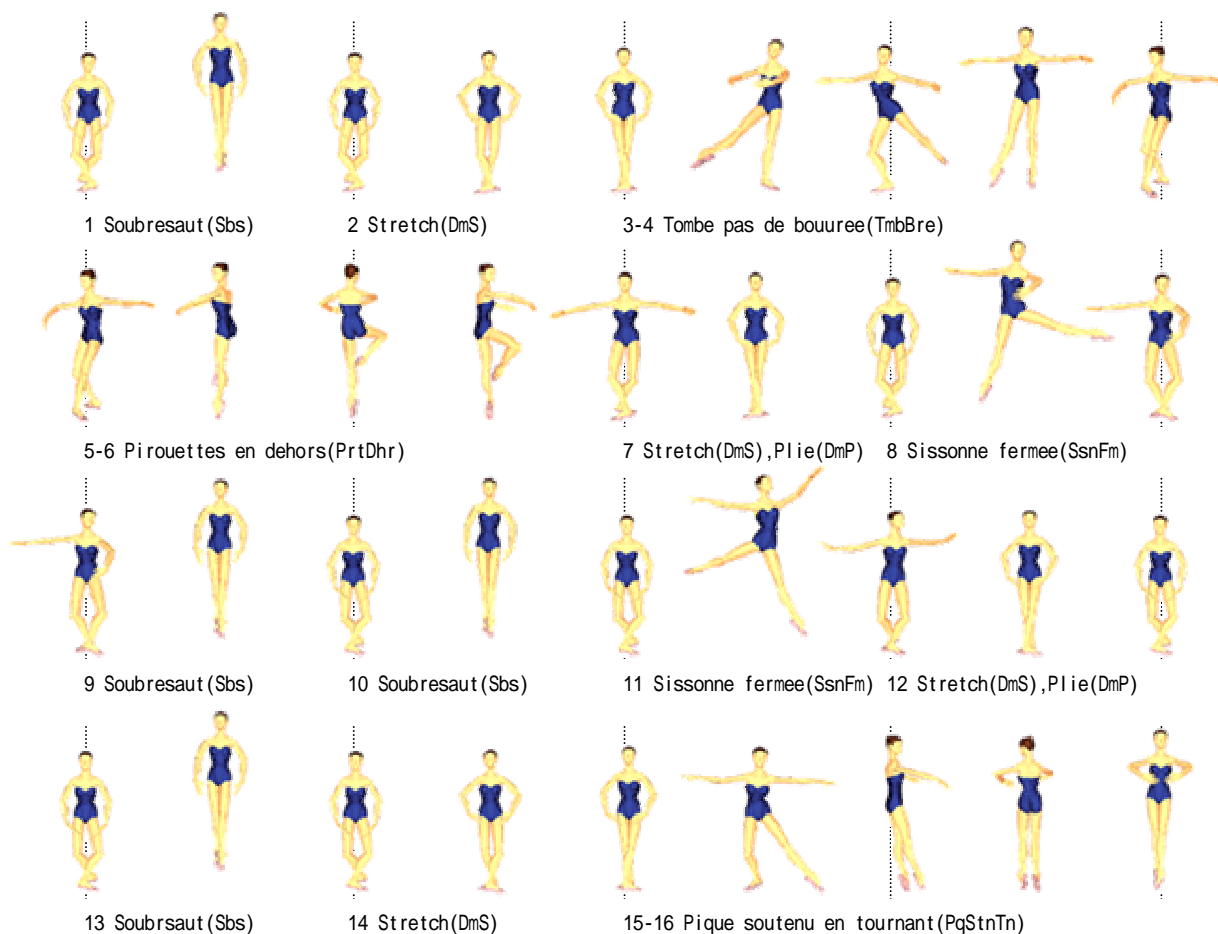


図 11 自動振付機能で作成したアンシェヌマンの例
 (数字：拍番号，アルファベット：第3分類のステップ名，括弧内：第3分類のステップの符号)

の両機能を用いて実現している。したがって、自動振付機能の評価は、ステップ分類法の評価、動作連結の自動制御・ランダム選択の機能の評価を含むものとなる。

まず、WDCの自動振付機能を用いてレッスン用アンシェヌマンの振付を20個作成、保存した(図11)。自動振付のアルゴリズムを全面的に評価するため、振付の中心要素であるアレグロ系、回転系の24項目のステップすべてが、20個の振付のいずれかに少なくとも1回は使用されているように作成した。

この20個それぞれを構成しているステップの延べ個数は、平均14.2個、最小10個、最大17個であった。数値化した身体負荷の振付ごとの和は、平均42.1、最小34、最大50であった。

以上の準備をした上で、WDCの自動振付機能が現実のバレエレッスンでどの程度実用的かを評価した。被験者は、東京在住の現役バレエ教師5名である。5名の教師

歴は平均16.8年、最短7年、最長25年であった。

評価実験の手順は次の通りである。まず作成した20個の振付をWDCのシミュレーション機能により3DCGで再生し、バレエ教師に提示した。次に振付それぞれについて、レッスンにおける実用性を{初級で使用可|無理すれば初級で使用可|上級で使用可|無理すれば上級で使用可|使用不可}の5段階で評価してもらった。

本論文では、初級レッスン用の振付創作を目的としているが、初級と上級のアンシェヌマンには連続性があり、上級アンシェヌマンは初級アンシェヌマンを包摂することから、「初級にどれくらい近づけたか」という5段階の評価方法を採用した。

また、レッスンでの実用性は多くの要因によって規定されるが、とりわけ重要な要因である「動作難易度」と「記憶容易度」の2点について、同じ5名に5段階で評価してもらった。動作難易度は{初級で踊れる|無理す

れば初級で踊れる | 上級で踊れる | 無理すれば上級で踊れる | 踊れない} の5段階, 記憶容易度は {とても覚えやすい | 覚えやすい | 普通 | 覚えにくい | とても覚えにくい} の5段階である。

さらに, 評価の低い振付については, どこに問題があるのかを, 口頭ないし記述によって具体的に説明してもらった。

なお, 本システムでは, 振付は全身の動作として再生されるが, 振付の要素単位を下半身の動作 (ステップ) としたため, 評価の対象は下半身のみとし, 上半身は考えないものとした。

6.2. 結果と考察

評価実験は, アンシェヌマン 20 個をバレエ教師 5 人が評価したので, 実用性, 動作難易度, 記憶容易度の項目ごとに 100 件の評価を得ることができた。実用性に関する 100 件の評価の内訳は次の通りである。

初級で使用可	4%
無理すれば初級で使用可	28%
上級で使用可	39%
無理すれば上級で使用可	17%
使用不可	12%

このように実用性に関しては, 初級・上級を問わなければ 88% が使用可能との評価である。また, 被験者の過半数 (3 名以上) が「使用不可」とした振付はなかった。20 個のうち, 初級で「使用可 / 無理すれば使用可」と 5 人全員が評価した振付はなかったが, 4 人が 2 個, 3 人が 5 個, 2 人が 2 個であった。一方, 上級で「使用可 / 無理すれば使用可」と 5 人が評価した振付は 3 個, 4 人が 3 個, 3 人が 5 個, 2 人が 6 個であった。

動作難易度に関して「踊れない」という評価は全くなかったが, 初級で「踊れる / 無理すれば踊れる」が 33% に対し, それ以外が 67% もあった。動作難易度の「初級で踊れる」から「踊れない」までを, 5 から 1 までに数値化して集計したところ, その平均値は 3.2 であり, 「無理すれば初級で踊れる」と「上級で踊れる」の間であった。記憶容易度に関しては, 「とても覚えやすい / 覚えやすい」が 36% に対し, 「覚えにくい / とても覚えにくい」が 21% であった。

以上より, 動作不可能な振付は作成しないこと, 作成する振付の約 9 割は実際のレッスンで何とか使えること, そのままレッスンで使える優良の振付が半数もあることが確認された。自動振付をバレエ教師の振付創作の支援機能と位置づけるならば, 作成した全ての振付をそのま

ま使う必要はないので, WDC の自動振付機能は十分に実用的であると評価できる。

しかし, 当初想定していた「初級レッスン用」という意図に反し, そのまま初級で使える振付は少ないこと, 上級ならばそのまま使える振付が 4 割もあること, 動作難易度を平均すると初級レベルを超えていることがわかった。

初級で使用可能な振付が少なかった原因を, 動作難易度および記憶容易度との関連性から分析するために, 三つの項目の評価を良い順に 5 から 1 までに数値化し, 実用性の値から各項目の値を引いた値を集計した。100 件の評価の内訳は次のとおりである。

	-3	-2	-1	0	1	2
動作難易度	1%	5%	23%	64%	6%	1%
記憶容易度	0%	3%	20%	45%	24%	8%

動作難易度と記憶容易度のどちらかと実用性の評価が等しかったものは 78% であり, これらの評価が実用性の評価に直接関連している場合が多かった。しかし, 動作難易度の方が実用性に比べて高い評価を得られたものが 29% に対し, 低いものは 7% であった。一方, 記憶容易度は, 実用性に比べて高い評価を得られたものが 23% に対し, 低いものは 32% であった。したがって, 動作難易度がそれほど高くないにも関わらず実用性が低い振付が 3 割近くもあること, 実用性よりも記憶容易度の評価の方が低いものが 3 割もあることが分かった。

さらに, 初級で使用可とは評価できなかった原因を, 被験者の具体的なコメントに基づいて詳しく分析したところ, その主な理由は, (1) 被験者が初級レッスンでは使わないと判断したステップが含まれている, (2) 初級で使うステップのみで構成されていても, 組合せによって動作難易度が上級レベルになっている, (3) 組合せが複雑で初級の生徒には記憶できないという 3 点であった。しかし, 被験者が初級では使わないと判断したステップは 5 人の被験者によって異なり, これらのステップ含む振付の数はそれぞれ 1 個, 9 個, 6 個, 0 個, 0 個であった。これらの 16 個についての評価を除くと 動作難易度に関して初級で「踊れる / 無理すれば踊れる」という評価は 35% と上昇するものの, 大きな変化は見られなかった。したがって, そのまま初級で使える振付が少なかった原因の多くは, ステップの組合せと記憶容易度による問題であると考えられる。

この分析から, WDC の自動振付機能を初級レッスンで実用性があるものに改良するためには, (1) 自動振付に使用するステップの範囲をユーザが選択できるような機能を追加する, (2) 動作難易度を適切な水準にするために,

個別のステップの身体負荷だけでなく、ステップの組合せによる難易度を考慮したアルゴリズムを考案する、(3)ステップの組合せによって記憶容易度が適切な水準以下にならないようなアルゴリズムを考案するなどの作業が必要であることがわかった。

また、「無理すれば使用可」と評価されたものが、なぜ無理をしないとレッスンで使用できないかも分析したところ、そのほとんどの理由は、自動振付機能で作成した振付に教育的意図が感じられないから、すなわちレッスンで教えても学習効果がないからとのことであった。

この分析から、バレエ教師がレッスン用振付を創作するにあたって、生徒の学習効果を上げるために、どのような専門知識を用いてどのような配慮をしているかを調査し、それを自動振付アルゴリズムに反映させる作業が必要であることがわかった。

7. まとめ

本論文では、WDC をバレエの実用的な教育支援システムとして完成させるため、バレエ動作の体系的符号化と、創作支援システムの開発を行った。バレエ教師が舞踊の保存手段として利用できるように、バレエ用語に基づいたテキストベースの符号化手法を考案した。さらに、この体系的符号化に基づき、バレエ教師がレッスン用の振付を効率的に創作するための支援システムとして、動作連結の自動制御、ランダム選択機能、自動振付機能、蓄積・再利用機能を導入した。これにより、バレエレッスン用の振付を効率的に創作することが可能になった。

バレエ教師の評価により、自動振付機能で生成した振付の9割以上は実際のレッスンで何とか使えることが確認され、創作支援システムとしては十分に実用的であることが確認された。しかし、自動生成した振付を実際のレッスンでそのまま利用するためには、さらなる改良が必要であることが確認された。

今後は、ステップの組合せによる難易度の考慮や、ユーザが選択したステップを含む振付の自動生成への対応などにより、自動振付のアルゴリズムの精度を更新するだけでなく、学習効果を上げるための専門知識を導入し、より実用性のある教育支援システムに改良してゆく予定である。

謝辞

モーションデータ収録、システム評価実験に協力いただいた方に謝意を表す。また、モーションデータの収録にあたっては、わらび座デジタルアートファクトリー、

立命館大学アトリサーチセンターをお借りした。

本研究の一部は(財)大幸財団、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)、井上円了記念研究助成金、科学技術融合財団、(財)中部電力基礎技術研究所「21世紀COEプログラム」社会情報基盤のための音声映像の知的統合」の助成による。

参考文献

- [1] 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美: “Web ベースの対話型バレエ振付シミュレーション・システムの試作と評価,” 芸術科学会論文誌, vol.1, no.1, pp.30-38, 2002.
- [2] 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美: “クラシックバレエの振付を支援する Web ベースのモーションアーカイブと 3DCG シミュレーションシステム,” 情報処理学会, vol.44, no.2, pp.227-234, 2003.
- [3] Hutchinson, A.: Labanotation, or, Kinetography Laban, 3rd rev. ed., Theatre Arts Books, New York, 1984.
- [4] Parker, M.: Benesh Movement Notation, Benesh Institute, London (1996).
- [5] 平松尚子, 八村広三郎: “身体動作の記述と表示のための実行制御環境の開発,” 情報処理学会論文誌, vol.40, no.3, pp.939-948, 1999.
- [6] 湯川崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫: “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] Business Works Inc.: Ballet is Fun; An Interactive CD-ROM Video Dictionary, 1996.
- [8] American Ballet Theater: Ballet Dictionary, <http://www.abt.org/library/dictionary/>
- [9] Laban Center: <http://www.laban.org/>
- [10] 中村美奈子, 山川誠, 八村広三郎: “舞踊記譜法 Labanotation とモーションキャプチャを用いた舞踊教育のためのマルチメディア教材の開発,” 情報処理学会, CH-50-5, pp.33-40, 2001.
- [11] わらび座デジタルアートファクトリー: “DVD で覚える NEW ソーラン節”, 2002. <http://www.warabi.or.jp/oboeru/>
- [12] Joslin, C. et al: “Sharing Attractions on the Net with VPARK,” IEEE Computer Graphics and Applications, pp.61-71, 2001.
- [13] Merce Cunningham: Cyber Dances with Life Forms, <http://www-personal.umich.edu/~marchant/XPoseDance/xpd.html>

- [14] Zentrum fur Kunst und Medientechnologie
Karlsruhe : William Forsythe Improvisation
Technologies; A Tool for the Analytical Dance
Eye , 1999 .
- [15] Lis, C. K. et al : " Synthesis of Complex Dynamic
Character From Simple Animation , " Proc.
SIGGRAPH2002 , pp.408-416 , 2002 .
- [16] Pullen, K. et al : " Motion Capture Assisted
Animation: Texturing and Synthesis , " Proc.
SIGGRAPH2002 , pp.501-508 , 2002 .
- [17] Parallel Graphics : Cortona VRML Client 3.1 ,
<http://www.parallelgraphics.com/>
- [18] 海野敏 : " 身体動作を対象とした情報組織化の理論
と実践 - バレエ基本ステップの 3 次元モーション
データベース開発 , " 東洋大学社会学部紀要 ,
vol.41 , no.1 , pp.131-168 , 2003 .
- [19] 曾我麻佐子 , 海野敏 , 安田孝美 , 横井茂樹 : " 3DCG
によるバレエ教育用振付の創作・蓄積・共有シス
テム , " 第 19 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集 ,
pp.111-116 , 2003 .
- [20] Soga, A. : Web3D Dance Composer : A Web-based Ballet
Performance Simulation System , " Proc. 11th
International Symposium on Electronic Art ,
pp.16-19 , 2002 .