

古典舞踊における身体運動パターンの計算機内部表現

下尾由美 間野暢興
明星大学情報学部

概要

古典バレエには様々な型やルールがあることはよく知られている。本論文では、バレエの特徴に注目し、様々な身体運動パターンを計算機内で3次元的なモデルにより記述する方式を提案する。本方式ではバレエにおける「パ」という動作パターンを、複数の状態記述（関係の集まりにより表される）の集まりと、状態間にまたがる運動特性に関する情報により定義する。そして、これらの情報から身体各部位の時空間軌跡を計算により求める。

Computer Representation and Processing of Movement Patterns in Classical Ballet

Yumi SHIMOO and Nobuoki MANO
Meisei University, Faculty of Informatics

Abstract

It is well-known that there are various poses, positions and movement patterns in classical ballet. This paper proposes a method for describing physical movement in classical ballet by using 3D models in computers. This method defines movement patterns called "pas" in terms of plural state descriptions and movement characteristics spanning over these states, and based on these information, calculates the spatio-temporal loci of physical parts of dancer's body.

キーワード： バレエ、オブジェクト指向、関係、状態表現、身体の動き、知識ベース

1 はじめに

近年計算機の普及とともに、人間の身体動作の記述に関する研究と計算機上のシステム開発が盛んに行われるようになった。これらの研究には、アニメーション、コンピュータゲーム、バーチャルリアリティ、ロボティックス、手話、身振りやしぐさなどのマンマシンインターフェースにおける非言語コミュニケーションへの応用がある。人間の身体動作の場面としては、舞踊が取り上げられることが多い。

この分野における従来の研究のほとんどが、デジタル・アーカイブを舞踊に関するデータあるいはデータベースの観点から捉えるアプローチを採用している。モーションキャプチャシステムにより人間ダンサーの身体動作を観測し得られた3次元的数据からVRMLなどを用いて表示する研究がある[1],[2],[3]。また、身体各部の動きを2次元的に示す記法であるLabanotation[4]やBenesh Notation[5]を用いて、身体各部位の位置や方向などの(Benesh Notationでは運動軌跡の記述も含む)記述を与える方法も研究されている。これらの方法は、自然言語表現では困難と思われる具体的で詳細な記録に残すのに都合がよく、また実世界のデータを扱える利点がある。しかしこれらの方法は、従来から用いられている動きの名前のような抽象的専門的概念との結びつきが難しいこと、教師が生徒を指導する場合に自然言語に依らざるを得ないことが多いこと、2次元記法を用いる方法はそれらの表現から3次元構造を頭の中で再構成しなければならないこと、などの問題がある。また、デジタル・アーカイブの観点から見た場合、単にデータとしての集積を図るだけでなく、一般人と専門家によるその活用が可能な技術

であることが望まれる。そこで、我々は、2節に述べるようなバレエの特徴に注目し、オブジェクト指向モデルを用いて様々な身体運動パターンを計算機内に3次元的なモデルにより記述する方式を提案する。この方式は、バレエの踊りの時間的流れとプログラムにおける計算の流れとのアナロジーから、バレエの身体運動の記述表現するのにプログラムの言語（と理論）諸概念の適用を図るものである。本方式では、バレエにおける「パ」と呼ばれる動作パターンを、複数の状態の記述の集まりと運動特性に関する情報を基に定義する。各状態は、主にダンサーの姿勢をその身体各部位どうしの関係や環境（床、客席の方向）との関係の集まりにより表現する。そして、これらの状態と運動特性に関する情報から、身体各部位の時空間軌跡を計算により求める。本方式は、上に述べた従来の研究が持つ問題点を克服するために必要な表現力・記述性および操作性をその特徴とし、言語シンボル情報と数値情報の併用、言語が持つ概念との繋がりを利用した検索、様々な仕様下における身体運動の設計試行（制約条件の充足性チェックを含む）などが可能となる。

本論文の内容は次の通りである。第2節では、バレエ運動の特徴を説明する。第3節では、バレエの運動をオブジェクト指向分析の観点から捉え、バレエ運動に関する知識構造を解説する。第4節では、我々のバレエ動作に関する知識ベースの構成と応用分野を紹介し、評価機の働き、および、言語表現から時空間数値データ表現への変換方式について説明する。

2 身体運動としてのバレエの特徴と記述 [6]

数多くの古典・伝統芸能と同様、クラシックバレエを特徴づけるものの一つは、姿勢や動きに対する型やルールである。有名なものでは足の5つのポジション、ポーズとして代表的なものにはアラベスクなどがある（図1）。また、腕や足の取る位置や状態の殆どに名前がつけられているだけでなく、異なる状態間の経路にもルールがある。例えば腕を上げて下ろすだけの動きでも、ポジション間で大抵通るべき道筋が決められている。このことがバレエらしい動きや統一感をもたらしているのである。

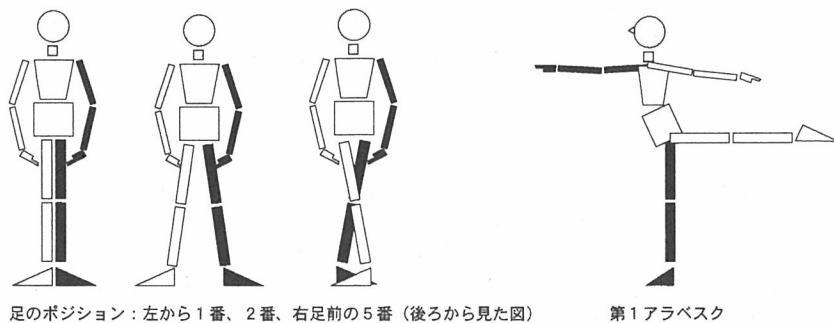


図1 バレエの代表的なポジションの例

脚（足）の動きは、足の取るポジション間をつないだ運動と言える。ポジションそのものの形成や、ポジション間の基本的な動きは、個々にバーレッスンにおいて行われることが多い。それら基本動作から成る様々な動きが、長い歴史の間に考案されて名前がつけられてきた（＝PAS, パ）。個々のパはあるポジションから始まって、あるポジションに終わる。その間に別のポジションを通過することもある。

パは、移動のためのパ、飛ぶパ、回るパ、打つパ、ポワントでのパなど様々な分類される。クラシックバレエでの一連の踊りは、全て名前のついたパの連続で表すことができると言っても過言ではない。

身体運動としてコンピュータ上でバレエを記述する観点から考えてみよう。腕や手と、足と、首や頭は、互いに独立に同時並列動作可能である。ポジションは身体の特定の部位同士の

相対的な関係を表し、

- (1) 隣接するセグメント同士の関係
- (2) 隣接していないセグメント同士の関係

の二つに大別できる。(1) はいわゆる関節の角度を指定するものである。上腕と下腕のように蝶番状の場合と、大腿付け根や首のように回転を伴う場合とがある。(2) の例では、上にも記した足の5つの基本ポジションがある。また、スユル・ル・ク・ド・ピエのように軸脚くるぶし部分と working leg の爪先部分との接触関係などが考えられる。軸脚膝部分と working leg の爪先が接触したポジションにはルティレがある。

さらに舞踊であれば、空間と身体について大きく分けて

- (1) 足と床との接触関係
- (2) 重心の舞台上での位置と方向、床からの高さ

という相対関係を考える必要があろう。

3 バレエ運動のオブジェクト指向モデル

前節に述べたような特徴を持つバレエは、オブジェクト指向によるモデル化を行うのに適している。図2は、バレエの運動モデルに関する知識構造の骨組みを、クラスの上位下位関係（左が上位クラス）により表わしたものである。

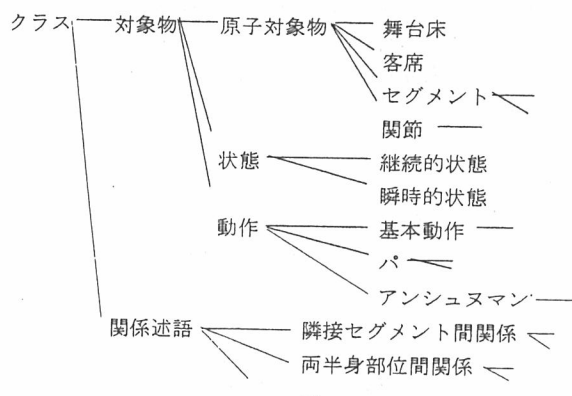


図2 バレエ運動に関するオブジェクト指向知識構造

3.1 原子対象物

原子対象物は、さらに、身体のセグメント（腿、下肢、足、胴体、上膊、前腕、手など）、関節（膝、踝、肩、肘、手首などで、可動範囲の情報を持つ）、床、客席、のクラスに分類される。左右両半身に対応するものを持つ部位は、別個の具体クラスを用いて（左肩クラスと右肩クラスのように）表現し、それらを抽象クラス（肩クラス）のサブクラスとする。実際に現われるオブジェクトは、別個の具体クラスのインスタンスである。一人の人間の身体は、セグメントのインスタンスの集まりと、隣接するセグメントインスタンスどうしをつなぐ関節インスタンスの集まりから構成されており、骨盤 (Pelvis) を中心とし（基準座標系を置く）手足を葉先とした木構造で表現されている。各セグメントのインスタンスには長さのデータが、各関節のインスタンスには関節座標系がそれぞれ付与されている [7]。隣接関節インスタンスどうしは双方向ポインタで結んでおくと、表示の際やインバース・キネマティックス（余弦定理などを利用した各座標系の位置・方向決定）を行う際に都合がよい。

3.2 関係

関係（述語）は、隣接セグメント間関係（相対的角度を属性とする）、両半身部位間関係（左半身の関節と右半身の関節の間の関係で、前後横を指定）、足裏と床の間の接触関係、ダンサーの身体（骨盤）の基準座標系と舞台座標系との位置方向関係、舞台座標系と客席座標系との関係、その他に分類される。隣接セグメント間関係は、さらに、腰・大腿、大腿・下肢、下肢・足などの関係（中心から末端へと指定）に分類され、それらの間の角度が指定できる。すなわち、それらセグメントの間の関節の角度は、その関節前後のセグメント間の角度関係として表現する。両半身部位間関係は、[1] 足・足（両足相対位置）関係（5通りの型に分類される）、[2] 踝・足関係（3通りのスル・ル・ク・ド・ピエなど）、[3] 膝・踝関係（3通りのルティレなど）に分類される。両半身部位間関係は、余弦定理などを用いて直接指定されない関節の位置が決定される。身体の基準座標系の舞台座標系に対する関係は、骨盤自体の位置（高さを含む）と方向により表現される。よく用いられる関係のリストはプロトタイプとして予め定義しておく。

因みに舞台座標系との関係である、骨盤の高さ・移動・回転の情報はダンサー固有の座標系の表現でパの定義に含まれる。計算機内部ではパの進行と同時に、舞台上でのダンサーの位置と方向を計算・生成し、制約条件（舞台のサイズなど）との整合性を常に評価するようにする。

3.3 状態

状態は、時間軸上でサンプリングされた幾つかの時点でのダンサーの姿勢を表現するためのクラスで、パとパをつなぐ状態と、パの途中に通過する瞬時状態とがある。各状態のインスタンスにおける身体の姿勢は、前述の関係のインスタンスの集合で表わされる。これを状態の関係表現と呼ぶ。たとえば、図1の右足前の5番ポジションを、関係表現を用いて記述すると図3のようになる。状態の関係表現は、第4節で述べるように、状態の座標系表現に、さらに状態の時空間数値表現へと変換される。

<右足前5番ポジション>

足・足 (r,5),	: 足同士の関係が右足前の5番であることを表す
大腿・下肢 (b,180)	: 両膝が伸びていることを表す

<右足前5番ポジションでのプリエ>

足・足 (r,5),	: 足同士の関係が右足前の5番であることを表す
大腿・下肢 (b,120),	: 両膝が曲がっていることを表す
下肢・足 (b,30)	: 両足首が曲がっていることを表す

図3 関係表現の例

3.4 動作

動作は、基本動作、パ、および、アンシェヌマン（下記参照）に分類される。パは、ひとまとまりの動作で、そのスタート状態から終了状態までの連続的な動きを言う。また、状態から状態への変化を表わす、パとして取り上げるだけの独立性はない単純な動作をここでは基本動作と呼ぶ。例えば各種バトマンや、ルティレの姿勢を作り出す動作などである。アンシェヌマンは、いくつかのパを一連の踊りらしい動きにつないだものである。

跳ぶパが踏切り足と着地の足の組み合わせで5種類に分類されるように、各パは更にクラス分けされ得る。この類別は、そのパが持つ特性、すなわち、動きの対称性や体重移動と身体の向きの変化によって決まる。各パは、図4にその動作定義生成規則を示すように、以下の二つの部分からなる、左右の半身どちらでも適用できる対称形のアルゴリズムである。

(a) 事前条件、事後条件、瞬時状態の集まり：

これらは、(カンマで区切られた) 関係の論理積により記述される。事前条件はそのパが指定された状態で実行できるための充足すべき条件、事後条件はそのパが実行されたときに新た

に作り出される状態の内容、瞬時状態はそのパの途中通過する代表的な身体の状態の記述、をそれぞれ表わす。

(b) 運動特性情報：

前述の状態間における基本動作とその性質を次に記す指定で与えるものである。

- ・基本動作の形態指定
- ・速度、加速度（重力の作用を含む）の指定

```

<パの定義リスト> ::= <パの定義>*
<パの定義> ::= operation A ( <左右指定> )
                    precondition <関係リスト>; <瞬時状態>* postcond <関係リスト>
                    [property <運動特性リスト>*];
<左右指定> ::= left | right
<瞬時状態> ::= intermediate_state <関係リスト>;
<関係リスト> ::= <関係> ( , <関係>)*
<関係> ::= <隣接セグメント関係> | <両半身関係> | ...
<隣接セグメント関係> ::= 上腕・前腕 (<>) | ...
<両半身関係> ::= 膝・足 (<left_or_right>) | ...
...
<運動特性リスト> ::= <基本動作の形状指定> <速度・加速度の指定>

```

図4 パを定義する文法の生成規則集合

以上を踏まえたパの記述例を図5に示す（アントルシャ・カトル）。両足のドゥミ・プリエ（踵を床につけたままで膝を曲げた中腰のポーズ）はプロトタイプ的一种として定義される。

```

事前条件：t=0,b-demi-plie,足・足(r,5)
瞬時状態：t=1,足・足(1),大腿・下肢(b,180),下肢・足(b,180),pelvis(h3)
瞬時状態：t=2,足・足(1,5),大腿・下肢(b,180),下肢・足(b,180),pelvis(h4)
瞬時状態：t=3,足・足(1),大腿・下肢(b,180),下肢・足(b,180),pelvis(h3)
事後条件：t=4,b-demi-plie,足・足(r,5)

```

図5 跳ぶパの例、アントルシャ・カトル：

tは時刻である。右足前の5番ポジションで両足ドゥミ・プリエからスタートし、空中で両膝・両爪先を伸ばした1番及び足を入れ替えた5番を通過して5番で着地するまでが書かれている。lは左、rは右、bは左右両方の指標であり、ジャンプした時の高さをh3,h4で表している。

コンピュータ上で考えれば、アンシェヌマンはダンサーの一連のパの列を指定するプログラムであり、すなわち、サブルーチンとしてのパを呼び出す逐次文と繰り返し文から構成されるプログラムとして表現することができる。繰り返し文では、その本体は指定された回数だけ繰り返し評価される。エシャップを4回繰り返す場合や、フェッテ・ロン・ドゥ・ジャンプ・アン・トゥールナンにおける32回転を表わすような場合に使われる。いわゆる「振付家」が設計する「振り付け」はアンシェヌマンを大規模にしたものと言える。アンシェヌマンプログラムとその画面表示の例は図8に示す。

4 知識ベースとその働き

4.1 知識ベースの応用

バレエの運動に関する知識ベースの働きを図6に示す。

知識ベース設計者は、スナップショットやビデオからの測定値を用いて、図4に示した関係表現による各パやポーズの定義をテキスト表現により予め知識ベースに登録しておく。

この知識ベースの代表的な応用としては、次の二つが挙げられる。

1. パに関する知識の検索、およびパの画面表示：一般ユーザのパやポーズの検索に対して、知識ベースの骨格となる知識構造（クラスの上位下位構造）を基に、テキストによる説明と画面表示で答えるものである。
2. アンシュヌマンの正しさの検証とその動画表示（図7）：初期状態とアンシュヌマンプログラムを与えると、解釈評価機はアンシュヌマンを構成するパの定義を順に知識ベースから取り出し、パの関係表現による事前条件が状態と整合の取れる場合には（整合の取れない場合にはその旨知らせる）、そのパの瞬時状態および事後状態の記述の適用により次々と状態変化を惹き起こして行く。この過程において同時に状態および補間状態の座標系表現の列を作り出す。時空間数値変換機は、この座標系表現の状態列をカメラ座標系から見た時空間数値データ表現へと変換し、動画として表示する。

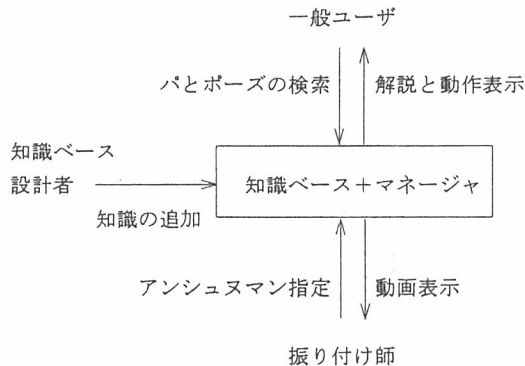


図6 知識ベースの応用形態

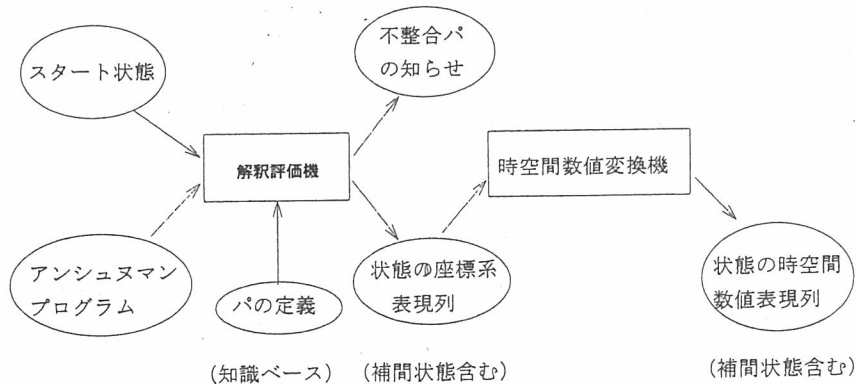


図7 言語表現から時空間数値データ表現への変換

4.2 解釈評価機の働き

解釈評価機は、状態の関係表現にアンシュヌマンプログラムにより指定されたパの適用を行う。指定されたパが適用可能であるためには、その状態においてその事前条件が満たされる必要が

ある。時間変数や空間的位置・方向変数の束縛が環境として作られ、これらの変数の値に関する制約も評価される。これが不整合の場合には、エラー情報が出力される。事前条件がカレント状態と整合する場合には、まずそのパの運動特性情報が取り出され、前述の環境下でそのパの瞬時状態と事後条件が評価され、新しい状態の関係表現が生成される。同時に、非隣接関係表現は余弦定理の利用などにより各関節の相対角度を定め、状態の座標系表現の生成も行う。さらに運動特性情報を利用することにより、回転などの運動の形態と基本動作の速度変化（加速度）の両方をも考慮に入れて、それらの状態間の補間状態の座標系表現の列を生成する。

4.3 時空間数値表現への変換

前節の方法で得られた、状態の座標系表現の各状態において、カメラ座標系→舞台座標系→座標系→（身体の中心となる）基準座標系→関節座標系→…、と座標系の本構造を辿ることにより、カメラ座標系から見た身体各関節の空間数値データを行列計算により求め、それらを画面に表示する。

図8に短いアンシェヌマンプログラムの例と、実行された場合のスナップショット表示を示す。

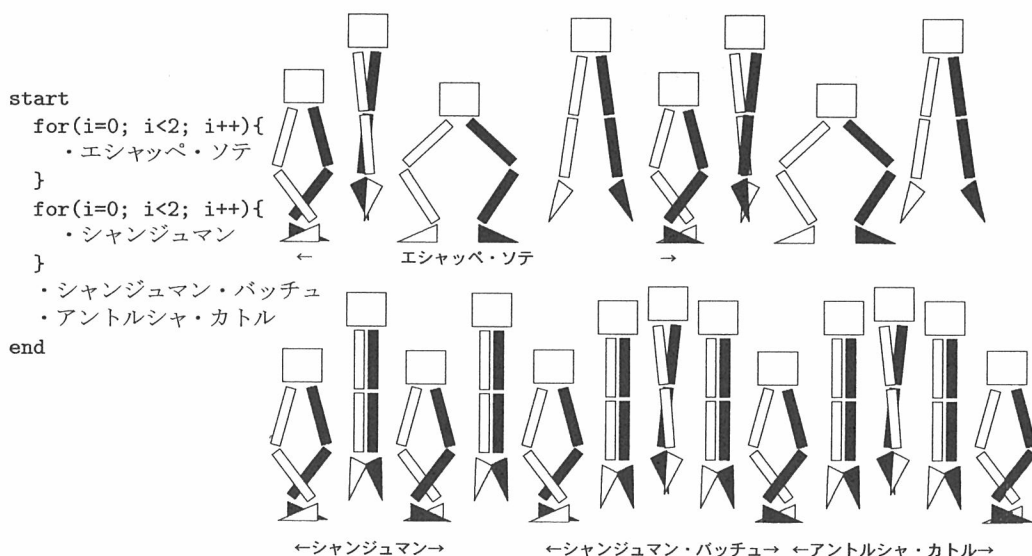


図8 短いアンシェヌマンプログラムの例とスナップショット

5 おわりに

古典舞踊における様々な身体運動を、言語表現による記述から時空間的データ表現に変換する方式を提案し、その具体的内容について述べた。本方式では、運動は最初はその各時点（状態）における身体各部位の位置と方向の言語的記述により表わされる。そして、その言語的記述から運動の時空間数値表現が導出される。本方式は、デジタル・アーカイブの技術へのプログラミングの観点の導入を意図したものである。これにより、舞踊の身体運動に関する情報は単に保存・蓄積されたデータとしてだけでなく一般ユーザや専門家の活用可能な知識として役立つことになり、デジタル・アーカイブの目的の一層の達成が可能となる。現在本方式に従うシステムの実装を Java 言語を用いて進めている。

今後の課題としては、より自然な人体表現による動画表示、ダンサーの空間的な衝突を防ぐアルゴリズムの実装、複数のダンサーの場合への本方式の拡張、本方式の他の舞踊や運動への適用可能性の検討などが挙げられる。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 湯川 崇、海賀孝明、長瀬一男、玉木英夫： 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).
- [3] 曾我麻佐子、遠藤 守、安田孝美、横井茂樹： Description and Editing System of Classic Ballet Animation Based on VRML, 第16回 NICOGRAPH/MULTIMEDIA 論文コンテスト論文集, pp.167-174 (2001).
- [4] Hutchinson, A.: "Labanotation " (Third Edition, Revised) Routledge/Theatre Arts Books (1991).
- [5] Cunliffe, L.: "Reading the RAD Major Examination Syllabus in Benesh Movement Notation" (1997), The Royal Academy of Dancing
- [6] 川路 明："バレエ入門"、土屋書店 (1982).
- [7] 伊藤宏司、伊藤正美："生体とロボットにおける運動制御"、コロナ社 (1991).