

# モーションキャプチャデータから 舞踊譜 Labanotation の生成

八村 広三郎

中村 美奈子

立命館大学 理工学部 情報学科

立命館大学 アートリサーチセンター

モーションキャプチャシステムの登場により、人間の身体運動を正確に計測できるようになった。これにより、舞踊や芸能などの無形文化財を正確に計測しデータとして後世に伝承するとともに、このデータを教育や後継者の指導にも利用する可能性が高まっている。しかしながら、このデータは、高精度であるがゆえに、大容量であり、また、このままでは抽象度が低く利用しにくい面もある。一方、舞踊の分野では、音楽の楽譜に相当する「舞踊譜」が教育や振り付けで利用されている。わが国ではあまり知られていないものの、欧米ではこの舞踊譜に基づく教育カリキュラムも確立している。舞踊譜は、正確さでは劣るが、抽象度が高く、楽譜がそうであるように、舞踊の骨子を記録するにはむしろふさわしい。本報告では、舞踊の身体動作を計測したモーションキャプチャデータから、これに対応する舞踊譜 Labanotation を生成する手法と実験結果について述べる。

## Generation of Labanotation Dance Score from Motion-captured Data

Kozaburo Hachimura

Department of Computer Science  
Ritsumeikan University

Minako Nakamura

Art Research Center  
Ritsumeikan University

Motion capture systems have been widely used for measuring human body motion. We can obtain accurate three dimensional position data of physical motion by using motion capture system. Because the measurement accuracy of the system is high, volume of the data is usually very large. Compact and abstracted description of the motion is also required. In the field of dance, the dance notation, which corresponds to the music score, has been used for choreography as well as dance education. The dance notation is not necessarily accurate enough, but it is suitable for describing the overall body motion. This paper describes a method and some experimental results of generating dance notation called Labanotation from the data obtained by the motion capture system.

### 1 はじめに

近年、モーションキャプチャシステムの出現により人間の身体運動の3次元座標データを時系列に取得することが可能となった。これにより、舞踊や芸能などの無形文化財を正確に計測しデータとして

後世に伝承するとともに、このデータを教育や後継者の指導にも利用する可能性が高まっている。モーションキャプチャデータは正確で詳細な数値データであるが、データ容量は膨大であり、その数値データを見ただけでは、どのような身体動作かを理解することができない。また、このままでは抽象度が低

く利用しにくい面もある。

モーションキャプチャデータを利用した身体運動情報の処理については、多変量回帰モデルにより縄舞踊の運動解析を行ったもの [1]，データのクラスタリングにより基本動作の抽出を行ったもの [2] などがある。しかし、これらは、物理データとしてのモーションキャプチャデータを取り扱うのが主眼であり、モーションキャプチャデータをより簡単に抽象度の高い表現方法で記述することを意図したものではない。

本研究では、欧米で広く用いられている舞踊の記述法である舞踊譜 Labanotation [3] を基本動作の記述手法として用い、モーションキャプチャデータから舞踊譜 Labanotation を生成する。

生成された舞踊譜のデータは、既に関係している LabanEditor [4] により読み込み、3次元CGモデルの身体動作として再現できる。

## 2 モーションキャプチャデータ

モーションキャプチャデータから、後述する処理に使用する身体動作データを生成するために、前処理として図1に示す処理を行う。これはモーションキャプチャシステムおよびシステム付属のソフトウェアで行う。

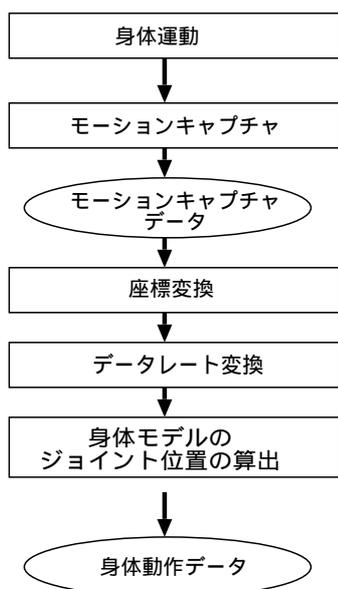


図1: 身体動作データ導出過程

- モーションキャプチャデータ (原データ) の取得: 図2に示すように、被験者の身体各部につけた約30個のマーカのXYZ座標値 (mm単位) を、光学式モーションキャプチャシステムにより時系列データとして取得する。これが原データとなる。
- 座標変換: 水平平面をxz平面、鉛直方向をy軸となるように座標変換する。
- データレート変換: 使用したモーションキャプチャシステムでは100フレーム/秒以上のレートで、各マーカの座標値を取得できる。しかし、後述する処理にはこれほどの時間分解能は必要としないので、60フレーム/秒のデータに削減する。
- 身体モデルジョイントの位置データ算出: 元のモーションキャプチャデータは身体表面につけられたマーカのXYZ座標値であり、身体の骨格を表現するものではない。モーションキャプチャデータを基に、図3に示すような身体の骨格を表現する身体モデルの20のジョイントの位置座標値を求める。以後、この身体モデルのジョイントのXYZ座標値を身体動作データとして使用する。



図2: モーションキャプチャ

## 3 Labanotation に基づく基本動作の記述

### 3.1 舞踊譜 Labanotation

Labanotation の譜面の例を図4に示す [3]。Labanotation は、図5のように3本の縦線にはさまれ

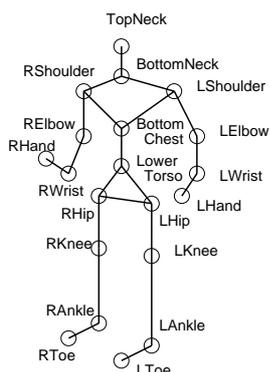


図 3: 身体モデルとジョイント

たコラムからなる．各コラムは人間身体の各部位に対応しており，身体各部の単位となる動作を図 6 に示すような図形シンボルで記述していく．譜面は下から上へ，左から右へと読んでいく．

各部位の動作はその水平方向，および鉛直方向の動作方向について記述する．水平方向については図 6 に示すような “right” や “forward” など，8 方向に量子化され，シンボルで表現される．図 6 の “place” は「その場所」，つまり対象部位が基準位置にあり，水平方向には動かないことを意味している．

鉛直方向の動作は “high”，“middle”，“low” の 3 段階に，シンボル内部の塗り潰しパターンにより表現される．

シンボルのサイズは，図 7 に示すように，動作の開始時点から動作を達成し終える時点までの時間の長さに対応している．

また，Labanotation では，音楽のリズムに相当する概念がある．すなわち，音楽の小節線に相当する横線でコラムを区切り，ユニットを形成する．一般にシンボルはユニット内にきっちり収まるように置かれ，また，このユニット内での分割の仕方により「リズム」が決まる．

### 3.2 LND(LabaNotation Data)

我々はこの舞踊譜 Labanotation の情報を，LND(LabaNotation Data) と呼ぶテキスト形式のデータで表現し，記録している [4]．図 8 に LND のデータ形式を記す．

# に続く文字列は舞踊譜 Labanotation としての基本情報であり，// で始まる行はコメント行である．direction で始まる行は身体各部位の動作の方向を

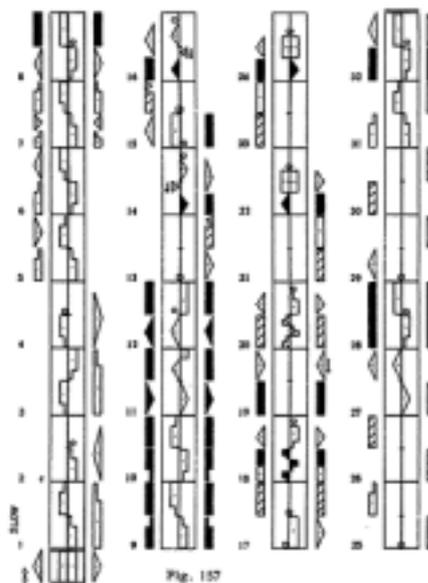


図 4: Labanotation の譜面の例 [3]

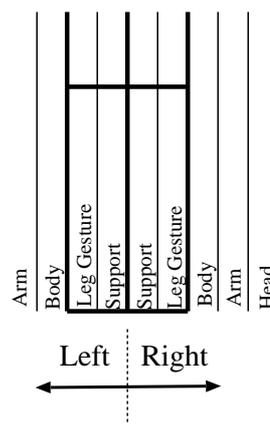


図 5: Labanotation のコラムの構成

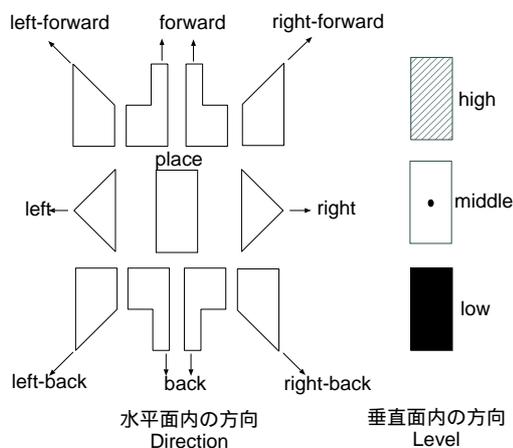


図 6: Direction シンボル

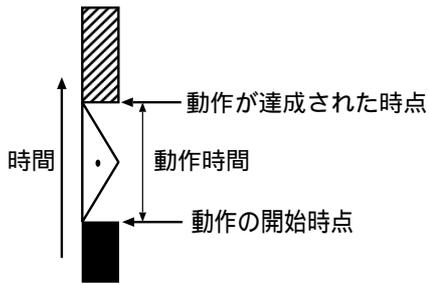


図 7: シンボルのサイズと動作の達成時点

```
#speed=80
#rhythm 4/4
#unit_per_line 5
#unit_total 10
#unit1
//direction 身体部位 方向 高さ 開始時刻 終了時刻
direction l_arm left mid 0.0 1.0
direction r_arm right high 1.5 2.5
      ⋮
```

図 8: LND のデータ形式

記述する。

- ・ #unit はユニット番号を示す。
- ・ #rhythm はユニットの分割の仕方であり、(ユニット内での基本単位リズムの数)/(基本単位リズム)と記述する。基本単位リズムは、音楽のリズムの基本となる4分音符や8分音符などに相当する。図8では、音楽の4分音符に相当する基本単位リズムが1ユニット内に4つあることを示す。
- ・ #speed は身体動作の速さを表すためのもので、1分あたりの基本単位リズム数の値を示す。
- ・ #unit\_per\_line は、舞踊譜を表示する際に、1列を何ユニットで表示するかを示す。
- ・ #unit\_total は譜面全体のユニット数を示す。
- ・ 身体部位は r\_arm(右腕) や l\_arm(左腕) などの名称で表現する。
- ・ 方向は、水平方向の方向を “place” や “right” など9方向で表現する。
- ・ 高さは、鉛直方向の方向を “high”, “mid”, “low” の3段階で表現する。
- ・ 開始時刻および終了時刻は、各ユニット内における動作の開始・終了時を示す。時刻は基本単位リズムを単位(1.0)として表現する。

## 4 身体動作データからの LND 生成

### 4.1 概要

身体動作データから LND 生成までの流れを図9に示す。

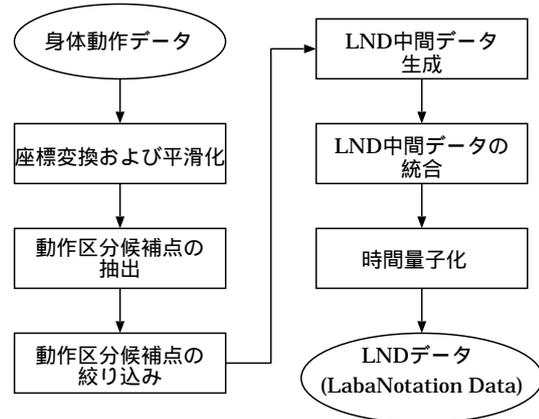


図 9: LND 生成までのプロセス

Labanotation のように、図形シンボルで身体動作を表現するには、まず、対象部位の身体動作を、まとまりのある部分へ分割(セグメンテーション)する必要がある。このような身体動作の分割を行う際に、最も基本的な考えかたは、動作が停止している点を抽出することである。停止した姿勢の時点から、動作をはじめ再び停止した時点までがひとつの大きな区切りになる。この動作開始から停止までの区間を「動作セグメント」と呼ぶ。

動作セグメントが抽出されても、その間の身体部位の運動はさまざまな経路を取る可能性があり、この間の運動を Labanotation の記法に従って適切に記述することが次の目標になる。

Labanotation のシンボルの記法は、基本的には、シンボルの開始点で対象部位が運動を開始し、シンボルの終点で、そのシンボルに対応する方向への運動が達成されたということを意味するようになっていく。したがって、動作セグメント内で対象部位が通過する経路を細かく観察し、Labanotation の記号で表現できる運動が「達成された」と思われる時点を順次求めることによって、セグメント内の動作を区画する。

また、このような一連の処理では、対象とするある身体部位(ジョイント)に関して、それより、よ

り身体を中心に近い位置にあり，そのジョイントの動作の基準となる身体部位（ジョイント）との関係で行われる．基準となるジョイントを「親ジョイント」，対象ジョイントを「子ジョイント」と呼ぶ．各コラムの処理に際しての，親ジョイント，子ジョイントの組み合わせの例を表 1 に示す．

表 1: 親ジョイントと子ジョイント

コラム	親ジョイント	子ジョイント
RightArm	RShoulder	RWrist
LeftArm	LShoulder	LWrist
RightLeg	RHip	Rankle
LeftLeg	LHip	Lankle

## 4.2 座標変換および平滑化

図 3 の LHip から RHip へのベクトルの水平方向成分の向きが， $z$  軸の正方向と同一になるように各ジョイント位置を回転移動した後，親ジョイントを原点とする子ジョイントの座標変換を行う．その後，移動平均によるデータ平滑化を行う．

## 4.3 動作セグメントの抽出

動作セグメントの切り出しを行うため，身体運動の静止状態を抽出する．

子ジョイントの速度の絶対値  $v$  が，あるしきい値  $v_0$  以下で，極小値をとる点を，動作の区切り点として考えることができる．これを動作区分候補点（以下，区分候補点と呼ぶ）として抽出する．

モーションキャプチャシステムは感度が高く，身体わずかな振れも検出する．また，画像系のノイズなどのため，上の処理により，区分候補点が多数抽出される結果となる．このため，以下の処理で区分候補点を絞り込む．

すなわち，各区分候補点对応する時点（フレーム）でのジョイント位置を求め，これがある距離  $d_t$  の範囲内に収まる候補点群の中で，時間的に最初と最後に相当する候補点だけを残し，それ以外のは削除する．

右腕を動かした時の RWrist の運動の動作セグメントの抽出例を図 10 に示す．この図で，横軸は時刻（フレーム），縦軸は子ジョイントの速度の絶対値（mm/フレーム）を表している．図中の丸印が求

まった区分点である．また，この場合，しきい値  $v_0$  は 10(mm/フレーム)， $d_t$  は 5cm としている．

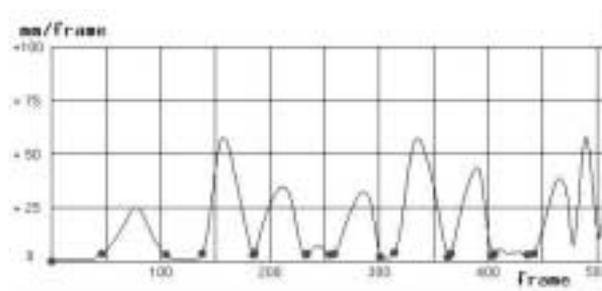


図 10: 動作セグメントの抽出

## 4.4 LND 中間データ生成

### 4.4.1 概要

次に，この各動作セグメント内の身体動作を Labanotation で用いるシンボルの系列に置き換える．これには，この動作セグメントの区間内の各フレームで，対象とする部位（子ジョイント）が，親ジョイントから見て空間内のどの方位を取るかを調べればよい．

前述したように，Labanotation では，水平方向を 9 方向（“place”を含む），鉛直方向を 3 方向に分割してこれらの組み合わせで運動の達成された時の身体部位の方位を表現する．したがって，基準となる親ジョイントを中心として，空間を  $3 \times 9 = 27$  とおりの区画に分割し，子ジョイントがその中のどの区画に入っているかを調べることが基本となる．ここでは，これを「動作方向の量子化」と呼んでいる．

さて，各動作セグメント内で，身体部位の取る経路はさまざまな場合があり，どのような経路をとるかによって，その動作セグメントをどのような Labanotation のシンボルの系列で表現すればよいかは異なってくる．

最も単純な場合は，この一つの動作セグメントは一つの Labanotation シンボルで表現できる．しかしながら，たとえば，「右手を，真下におろして体に密着した姿勢から，頭上に真っ直ぐにあげて停止するまでの動作」を，途中で停止せずになめらかに行った場合，このセグメントの動作は，いくつかのシンボルの系列を用いて表現する必要がある．また，右手の通る経路によってもシンボルの系列は異なったものになる．

以下では、動作セグメントの開始時点から終了時点までの、対象部位の（親ジョイントを基準とした）動作方向を、LND の記法により表現したものの系列を得る手法について述べる。ここでは、これを「LND 中間データ」と呼ぶ。LND 中間データ生成までの流れを図 11 に示す。

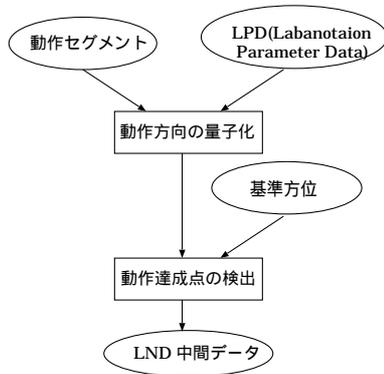


図 11: LND 中間データ生成の流れ

#### 4.4.2 動作方向の量子化

動作方向の量子化は、水平方向と鉛直方向について行われる。水平方向の量子化の際、図 12 に示すように、親ジョイントと子ジョイントの水平面内の距離が、あるしきい値以下ならば、子ジョイントは“place”の位置にあるとし、そうでなければ親ジョイントから見た子ジョイントの水平面内の方位により“right”, “left”などの8方向に量子化する。

鉛直方向の動作の方向も親ジョイントから見た子ジョイントの方位により、“high”, “middle”, “low”の3段階に量子化する。

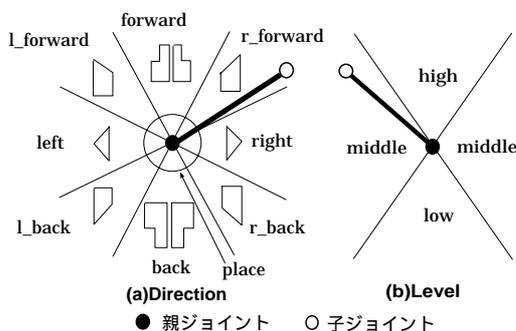


図 12: 動作方向の量子化

この時、“right”, “left”など、それぞれの方向の範囲は、テキスト形式のデータとして記述して

与えておく。このデータ形式は図 13 のとおりである。たとえば、“r\_forward”の範囲は、22.5 度から 67.5 度までとなる。

place	半径(mm)	place	250
forward	開始角度	forward	67.5
r_forward	開始角度	r_forward	22.5
right	開始角度	right	337.5
r_back	開始角度	r_back	292.5
back	開始角度	back	247.5
l_back	開始角度	l_back	202.5
left	開始角度	left	157.5
l_forward	開始角度	l_forward	112.5
high	開始角度	high	120
mid	開始角度1	開始角度2	60 240
low	開始角度	low	300

(a)書式

(b)記述例

図 13: 方向角度データの形式

#### 4.4.3 動作達成点の検出

子ジョイントの動作方向の量子化は各フレームにおいて独立に行われるので、連続する複数のフレームにわたって同一の方向が連続する場合がある。これをまとめて、ひとつの方向の動作とする。

同じ方位が連続する一連のフレーム群を「ラン(run)」と呼ぶ。

各ランの解析により、「LND 中間データ」と呼ぶデータを生成する。この手順を以下に示す。

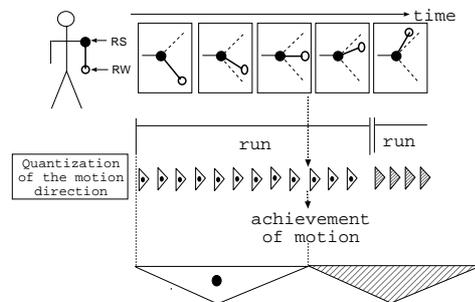


図 14: 動作達成点の抽出

ラン内の各フレームにおいて、ラン内の方位の基準方位に最も接近する方位のフレームをこの動作の動作達成点とする。また、同時にこの次のフレームを次の動作の開始フレームとする。

ここで「基準方位」とは動作方向の量子化の際に用いられた各 direction, height に対応する角度範囲内で最も代表的と考えられる方向を角度で表したものである。たとえば、r\_forward の基準方位は 45° としている。

“place”については、方位として設定できないので、基準位置を設定する。

動作セグメントの末尾のランに対しては、末尾フレームを、末尾ランの動作達成点とする。

#### 4.5 LND 中間データの統合

前節までの処理で、一般に、動作セグメントは多数の細かな LND 中間データデータの要素に分割されるため、このままでは、多数の細かな Labanotation シンボルの系列が生じることになる。したがって、ここでは、Labanotation の採譜において一般的と考えられる規則にしたがって、データの統合を行う。図 15 に統合の例を示す。

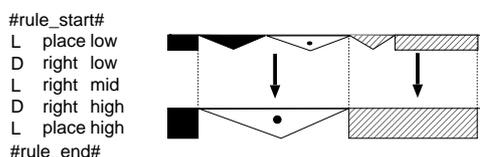


図 15: LND の統合

与えられた LND 中間データの系列に対して、この一部を削除して統合するためのルールを、LD-D(Labanotation Delete Data) と呼ぶテキスト形式のデータで表現する。LDD のデータ形式を図 16 に示す。

```
#rule_start          #rule_start#
[L|D] direction height L l_forward mid
[L|D] direction height L l_forward low
:                   :   D forward low
#rule_end            L place low
                    L right low
                    L right mid
                    #rule_end#
```

(a)書式

(b)記述例

図 16: LDD のデータ形式

各行の 2 番目と 3 番目の桁は LND 中間データの direction と height を表している。LDD のエンタリー内の連続する行の右側 2, 3 行の桁の direction と height の系列が対象データ内に出現したら、第 1 桁目に記されたアクションをとる。図 16(a) で [L | D] はとるべきアクションを示す。すなわち L ならばその LND 中間データは残し、D ならば削除する。

右側に書かれた条件部分に適合する中間データがなくなるまで、この処理を繰り返す。

#### 4.6 時間量子化

一般に Labanotation では、ひとつまたは複数のシンボルが 1 ユニットにきっちり収まるように記述され、また、シンボルの最小の長さが、1 ユニットの整数分の 1 になるように、指定される。これは、音楽の楽譜における、1 小節とリズムに類似しており、音楽の伴奏で演じられる舞踊を記述する際には重要な概念である。

ここでのコンピュータ化した Labanotation では、必ずしもこの約束に従う必要はなく、シンボルの長さは任意に取ることも可能であり、また、1 ユニットに収まるようにシンボルの長さをとる必要もない。しかし、ここでは、便宜上、各シンボルの長さが単位時間の整数倍になるように、また、この単位時間を 1 ユニットの整数分の 1 に取るようにしており、上で求めた各 LND 中間データの長さ（フレーム数）が単位時間の整数倍になるように調整する。この処理をここでは「時間量子化」と呼ぶ。

### 5 処理結果

以上で述べた処理を、身体動作データから LND への変換システム “Motion2Laban” として実装した。

また、すでに開発している LabanEditor と呼ぶシステム [4] で、Labanotation の譜面の入力と編集ができる。LabanEditor では、作成編集したデータは LND 形式で保存できる。さらに、LabanEditor で読み込まれた Labanotation で記述された動作は 3 次元 CG モデルにより動作表示できる。

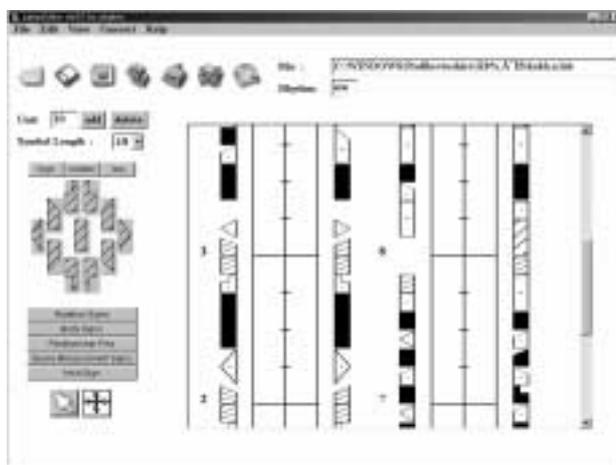


図 17: LabanEditor

図 18のような「ラジオ体操」の身体動作データを入力データとして実験を行った。Motion2Labanから出力された LND データを、舞踊譜エディタ LabanEditor[4] を用いて舞踊譜面として出力したものを、図 19に示す。さらに、この舞踊譜面に対応する LND データから、3次元 CG モデルにより、身体動作を再現したものを図 20に示す。

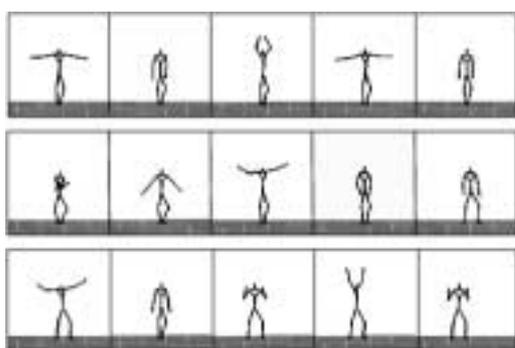


図 18: 入力した身体動作データ

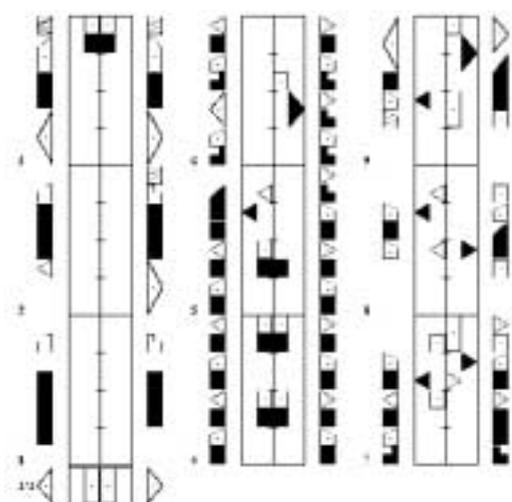


図 19: 生成された Labanotation 譜面

## 6 おわりに

本報告では、モーションキャプチャデータから、舞踊譜 Labanotation を生成する方法を述べた。

出力した Labanotation に対応する動作は、人体モデルによる 3次元グラフィックスとして、表示することもできる。現状では両腕と両脚の単純な動作のみを対象としているが、今後は他の部位の身体動作



図 20: 3次元 CG モデルによる身体動作の再現

や、ひねりなどの複雑な動作にも対応していくことを検討している。

本システムにより生成される LND データは、モーションキャプチャデータの検索にもある種のインデックスとして利用できると考えている。すなわち、LND に対して動作の検索を行うと、それに対応するモーションキャプチャデータが取得できる。このようにすると、モーションキャプチャによる詳細な動作記述と Labanotation による大まかな動作記述のそれぞれの長所を生かした利用が可能になる。

本研究は、一部、科学研究費補助金（地域連携推進研究費）の補助によって行われた。最後に、モーションキャプチャにあたって協力していただいている立命館大学の倉科健吾氏に心から感謝する。

## 参考文献

- [1] 平賀, 神里, 星野: 多変量 AR モデルを用いた沖縄舞踊の運動解析, 信学技報, HIP99-40, pp.43-47, 1999
- [2] 大崎, 嶋田, 上原: 速度に基づく切り出しとクラスタリングによる基本動作の抽出, 人工知能学会誌 15-4, 2000
- [3] Ann Hutchinson: Labanotation, Theatre Arts Books, 1977
- [4] 吉田, 松岡, 八村: 舞踊譜 Labanotation に基づく身体運動の処理-譜面読取り LabanReader と譜面エディタ LabanEditor-, 情報研報「人文科学とコンピュータ」38-6, pp61-68, 1998