

モーションキャプチャデータからの 基本身体動作の抽出

松本 敏良 八村 広三郎
立命館大学 理工学部

近年、モーションキャプチャ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。しかし、モーションキャプチャデータから「腕を上げる」などの意味のある身体運動を認識するのは難しい。我々は、モーションキャプチャデータから舞踊譜 Labanotation に基づいた基本身体動作を抽出することを試みている。本論文では、基本動作抽出システム Motion2Laban について報告する。Motion2Laban はモーションキャプチャデータを入力すると、舞踊譜 Labanotation に基づいた基本身体動作を抽出する。

Generating Motion Description based-on Labanotation from Motion-captured Data

Toshiro Matsumoto Kozaburo Hachimura
Department of Computer Science, Ritsumeikan University

Nowadays motion capture system has been widely used for measuring human body motion. We can obtain accurate three dimensional position data of physical motion by using motion capture system. But it is still difficult to recognize fundamental unit of physical motion like the one expressed as “raising arms” from the motion captured data. We try to extract fundamental unit of physical motion based on dance notion called Labanotation from motion capture data. This paper describes Motion2Laban to extract fundamental unit of physical motion. Motion2Laban system extracts fundamental unit of physical motion based on Labanotation from motion capture data.

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。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。

このような、モーションキャプチャデータから、たとえば「腕を上げる」などの基本身体動作を抽出し、適切な方法で記述できれば、全体の身体動作を把握しやすくなる。また、この基本動作記述を利用することで動作の編集・加工や検索・表示が容易になる。

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沖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な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、既に開発している 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。

- **モーションキャプチャデータ (原データ) の取得**: 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**: 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 座標値であるため, 身体の骨格を表現するデータではない。そのため, モーションキャプチャデータを基に, 図2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。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。

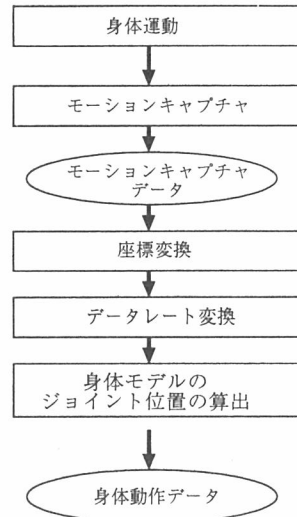


図1: 身体動作データ導出過程

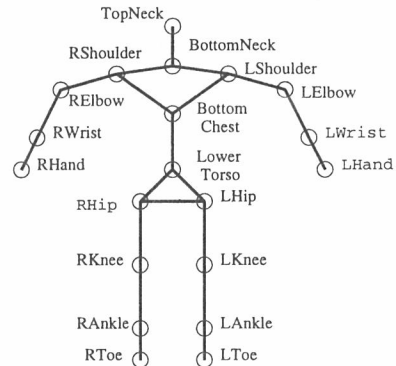


図2: 身体モデルとジョイント

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3に示す [3]. Labanotation は, 図4のように3本の縦線にはさまれたコラムからなる。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5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5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5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6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, 舞踊を採譜の対象とするため, 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, ユニットの形成する。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, このユニットの分割の仕方により「リズム」が決まる。

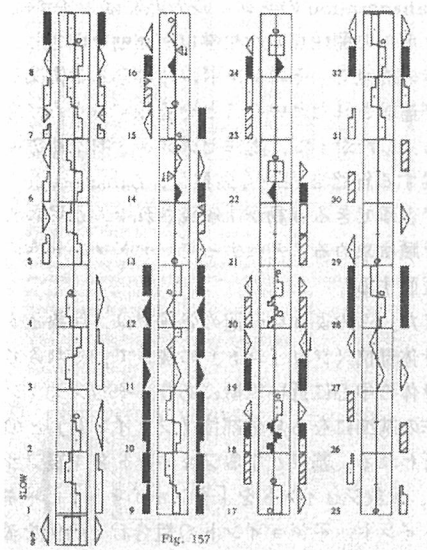


図 3: Labanotation の譜面の例

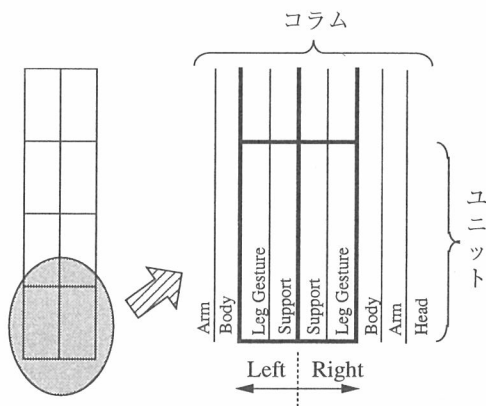


図 4: Labanotation のコラムの構成

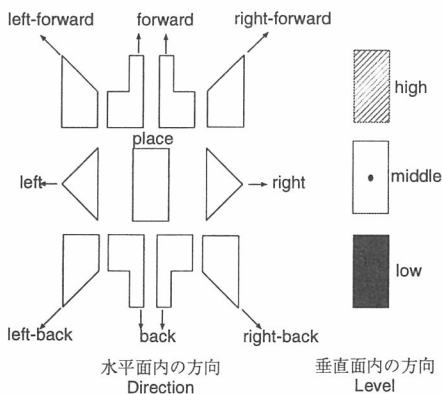


図 5: Direction シンボル

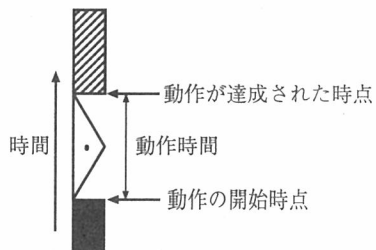


図 6: シンボルのサイズと動作の達成時点

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 7 に LND のデータ形式を記す.

```
#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 7: LND のデータ形式

#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を記述する。

- #unit は最初から何ユニット目であるかを示す。
- #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 7 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、表示の際に舞踊譜 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。

- ・ 身体部位は身体部位 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 8 に示す。

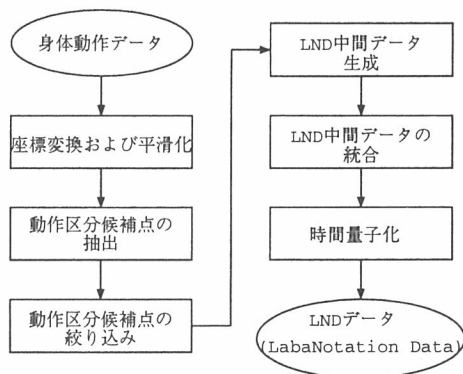


図 8: LND 生成までのプロセス

Labanotation のように、図形シンボルで身体動作を表現する際には、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」と呼び、その両端の点を「動作区分点」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る。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になる身体部位 (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。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。

以下に一連の処理について述べる。

表 1: 親ジョイントと子ジョイントの組み合わせの例

	親ジョイント	子ジョイント
右腕	RShoulder	RWrist
左腕	LShoulder	LWrist
右足	RHip	Rankle
左足	LHip	Lankle

4.2 座標変換および平滑化

図 2 の LHip から RHip へのベクトルの水平方向成分の向きが、z 軸の正方向のベクトル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 動作区分候補点の抽出

ここでは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、極小値をとる時点は、動作の区切り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。

右腕を動かした時の RWrist の運動の候補点の抽出例を図 9 に示す。この図で、横軸は時刻 (フレール

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. 図中の丸印が求めた区分候補点である. また, この場合, しきい値 v_0 は 10(mm/フレーム) としている.

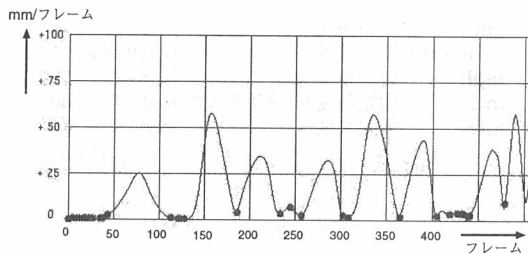


図 9: 動作区分候補点の抽出

4.4 動作区分候補点の絞り込み

モーションキャプチャシステムは感度が高く, 身体の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, 各区分候補点に対応する時点 (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, それ以外のものは削除する.

図 9 の区分候補点にこの処理を行った結果を図 10 に示す. ここでは d_t を 5cm としている.

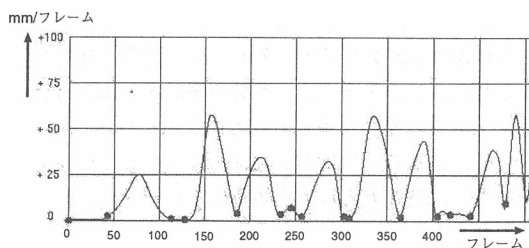


図 10: 動作区分候補点の絞り込み

このようにして, 一連の動作の中から, 運動の開始 (動き始め) から終了 (停止) までの, 動作区間 (「動作セグメント」と呼ぶ) を抽出することができる.

4.5 LND 中間データ生成

4.5.1 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.

3.1 節で述べたように, 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のが基本となる. 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.

4.5.2 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での距離が, 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

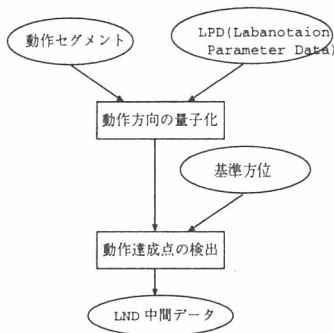


図 11: LND 中間データ生成の流れ

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。

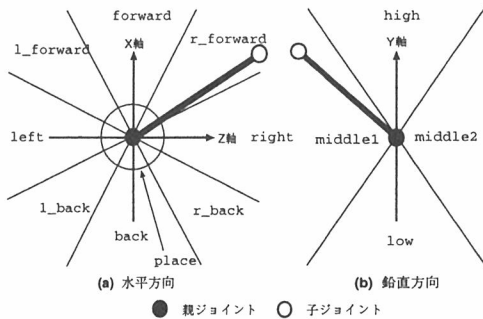


図 12: 動作方向の量子化

この時, ”right”, ”left” など, それぞれの方向のとる範囲は, テキスト形式のデータ LPD(Labanotaion Parameter Data) として記述して与えておく。LPD 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。

4.5.3 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フレーム群を「ラン」と呼ぶ。

各ランの解析により, 「LND 中間データ」と呼ぶ

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	mid	60 240
low	開始角度	low	300

(a)書式

(b)記述例

図 13: LPD データ形式

データを生成する。この手順を以下に示す。

- 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° となる。

水平方向の要素が place の場合は, 標準的な方位として設定できないので, 基準点を設定する。

- 動作セグメントの末尾のランの場合には, 末尾フレームを, 末尾ランの動作達成点とする。

4.6 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 Labanotaion 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。

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, LDD(Labanotaion 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 14 に示す。

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 のエント

#rule_start		#rule_start#
[LID] direction height	L	_forward mid
[LID] direction height	L	_forward low
:	:	:
:	:	:
#rule_end	L	place low
	L	right low
	L	right mid
		#rule_end#

(a)書式

(b)記述例

図 14: LDD のデータ形式

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 14(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.

最後に, 今まで述べた処理の例として, 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 LND 中間データに変換するまでの過程, を図 15 に示す.

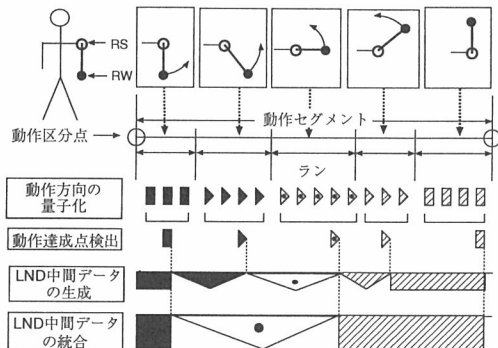


図 15: LND 中間データの生成と統合過程

4.7 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 Motion2Laban

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. ここでは Motion2Laban の概要と実験結果について述べる.

5.1 Motion2Laban の概要

図 16 は Motion2Laban のメインウィンドウ (a) と LND 変換ウィンドウ (b) を示している. メインウィンドウからは, LPD や LDD の編集や, 身体動作データを再生するウィンドウを開くことができる. LND 変換ウィンドウでは, リズムや各身体部位ごとの LPD ファイル, LDD ファイルを指定し「convert」ボタンを押すことで, 身体動作データから LND 生成への一連の処理が実行される.

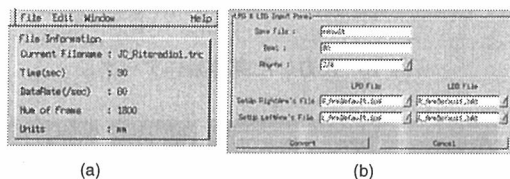


図 16: LND 変換システム Motion2Laban

5.2 処理結果

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. ここでは両腕の部分のデータだけを処理対象とした. Motion2Laban から出力された LND データを, 本研究室で既に開発されている舞踊譜エディタ LabanEditor[4] を用いて舞踊譜面として表示した (図 17) とおり, 両腕の基本身体動作を記述できていることが確認できた. さらに, この LabanEditor の舞踊譜面から 3 次元 CG モデルにより, 身体動作を再現したものを図 19 に示す.

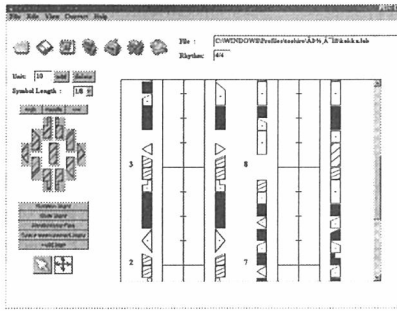


図 17: LabanEditor による舞踊譜面の出力

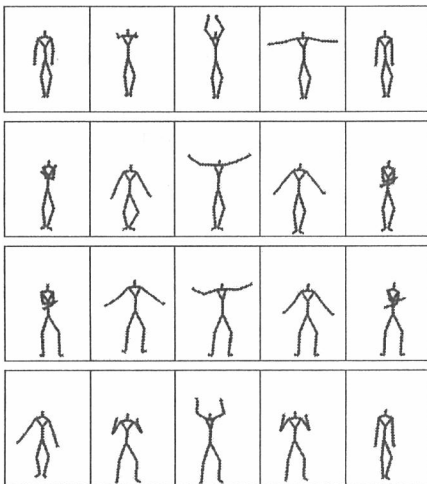


図 18: 入力した身体動作データ

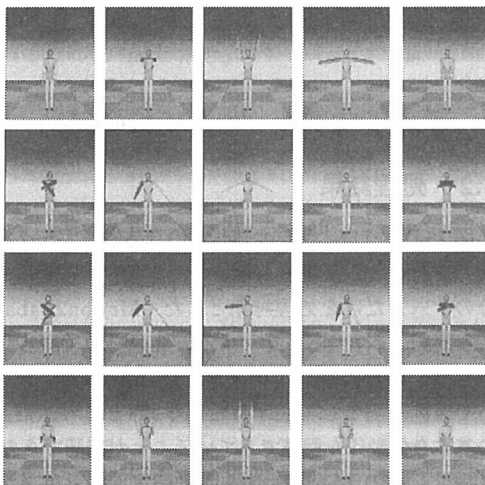


図 19: 3次元 CG モデルによる身体動作の再現

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 に基づいて基本身体動作を記述する方法を述べた。まず舞踊譜 Labanotation の情報を記録する手法として、Labanotation データ LND について述べ、続いてモーションキャプチャデータから生成される身体動作データを入力データとし、LND による記述を出力するための方法と、実装したシステム Motion2Laban について報告した。本システムによって、身体運動のモーションキャプチャデータから舞踊譜 Labanotation のデータを出力することができる。

出力した Labanotation の動作は、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。

最後に、Labanotation について親切に教えていただいた、東京外大の中村美奈子先生、山梨大の木村はるみ先生、モーションキャプチャシステムの使用にあたって多大な協力をいただいた立命館大学の倉科健吾氏、京都高度技術研究所の杉本俊宏次長に心から感謝する。

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ー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