

**キーフレームおよびそれらの間の連続軌道に基づく**

**コンピュータ内での身体運動の記述方法**

服部元史・高森年

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学 工学部 情報知能 CS-11

Tel. 078-803-6233, Fax. 078-803-6391

hattori@ms.cs.kobe-u.ac.jp <http://www.r.cs.kobe-u.ac.jp/~hattori>

個々の人間の詳細な身体運動データを生成できるシステムの開発を目的とする。現時点まで、(A) 動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できて、(B) 動作における **key frame** たちを設定でき、(C) **key frame** から **key frame** の間の速度分配を設定でき、(D) **key frame** から **key frame** の間の軌道の曲率を設定できる動作記述方法を実装したので、そのシステムに関して報告する。

キーワード：モーションキャプチャー、CG、行動、身体運動、舞踊譜ラバノーテーション

**The description of humanoids' movement in computer based on key frames  
and continuous paths between start key frame and goal key frame**

Motofumi HATTORI, Toshi TAKAMORI

Dept. of computer and systems engineering, Fac. of Engineering,

Kobe Univ., Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe 657-8501, Japan

Tel. +81-78-803-6233, Fax. +81-78-803-6391

hattori@ms.cs.kobe-u.ac.jp <http://www.r.cs.kobe-u.ac.jp/~hattori>

In order to simulate actions of humans and display those actions by CG animation, the authors are developing a software by which one can generate the detailed body movement data which express many emotions. In this report, that movement editing system by which (A) one can view the outline of an action, (B) one can set key frames of an action, (C) one can adjust speed between key frames, (D) one can adjust the curvature of the path between key frames.

Key words : motion capture, CG, action, body movement, Labanotation

## 1. 結論( key frame, 速度配分, 軌道の曲率を設定できる身体運動記述方法の必要性)

伝統舞踊や創作舞踊など、芸術的な身体の動きのデータをコンピュータに記録させたいという需要は、人文芸術系の研究において今後も益々高くなると思われる。そのような局面においては、Motion Capture のような高価で大掛かりな装置を利用できる場合は稀であり、伝統舞踊の師匠・搜索舞踊の振付師やそれらの舞踊を自身の身体で学んでいる人文芸術系の研究者の手によって、身体運動データを生成できるソフトが利用できる事が望まれる。

そのような身体運動データ生成システムに望まれる機能として、(A) 動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できること、(B) 動作における key frame たちを設定できること、(C) key frame から key frame の間の速度配分を設定できること、(D) key frame から key frame の間の軌道の曲率を設定できること、などが求められると筆者達は考えた。

(A) 動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できる動作記述方法として、20世紀半ばの歴史的な振付家 Rudolf Laban によって提案された Labanotation がある 1) 3)。これは音楽を五線譜上の音符で書き記すように、身体の動きを様々なシンボルの系列によって書き記すものであり、音楽における五線譜と同様に、動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できる。この Labanotation を提唱した Laban の関心は、

舞踊の振り付けを記述することだけでなく、工場労働者の運動も含めた日常の身体動作の解析まで及んでいた 2)。

(B) Computer Graphics で身体運動アニメーションを作成するにあたって、key となる時刻に key となる姿勢 (start key frame) を設定し、次の key となる時刻に key となる姿勢 (goal key frame) を設定して、その間の身体運動を補間計算によって作成して、それら key frame から key frame への個々の移動の系列をつなぎ合わせる方法が良く用いられる。Key frame の系列によって、動作が構成される。Labanotation も key frame の姿勢を様々なシンボルによって表し、時々刻々の key frame のシンボルの系列によって、動作が表される。

従って、Labanotation をコンピュータに実装すれば、有益な動作記述方法となるので、八村広三郎・中村美奈子たちの研究グループによって、コンピュータに入力された Labanotation から身体運動の VRML による CG animation を生成するソフトが開発されている 3) 4) 5)。

(C) (D) ところが、様々な感情を身体の動きによって表現するにあたっては、key frame の情報だけでは不十分であり、key frame から次の key frame を結ぶ軌道の、速さの配分や曲率のなどによって、動作にともなう感情が表現されていると考えられる 6) 7)。従って、様々な感情の動作の身体運動データを生成するためには、key frame 情報による Labanotation だけから

生成するだけでは十分ではなく、key frame から次の key frame を結ぶ軌道の、速さの配分や曲率のなども調整できるような動作記述方法をコンピュータに実装する必要がある。

そこで本研究において、コンピュータに Labanotation を実装するとともに、さらにの水平方向・垂直方向において姿勢がどの領域に属しているかの情報や、その領域内での水平方向・垂直方向の軌道の情報も付け加えたコンピュータ内での動作記述方法を開発し、それらの情報から身体運動データを計算するソフトを Java で開発することによって、上記 (A) (B) (C) (D) の機能を満たすシステムを開発した。身体運動データとしては、様々な CG ソフトによって animation 表示が可能である BVH 形式の身体運動データを採用した。

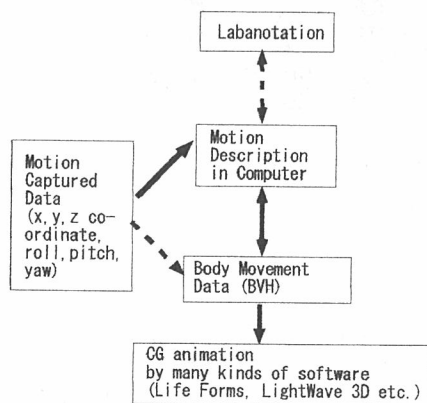


図1. コンピュータ内での身体運動の記述方法の概念図

## 2. Labanotation による key frame の入力

Labanotation の譜面の例を図2に示す。譜面を読む時は、列の下から上へ、左から右の列へと読み進む。真ん中の2列が左右の足のステップを表しており、左端と右端の列が左右の腕の動きを表している。真ん中から左右に向けて配置されている Support (足元)・Leg (脚)・Torso (胴)・Arm (腕)・Hand (手)・Head (頭) の身体各部位のコラムに、下から上に向けて時間の経過とともに変化する身体各部位の移動を図3や図4のような direction symbol によって記す。

key となる時刻に key となる姿勢 (start key frame) を設定し、次の key となる時刻に key となる姿勢 (goal key frame) を設定して、それら key frame から key frame への個々の移動の系列をつなぎ合わせる事で動作が表現されている。つまり開始時の姿勢 (start key frame) と終了時の姿勢 (goal key frame) で定まる移動が幾つもつなぎ合わさることによって、足・脚・胴・腕・手・頭などの身体各部位の動作が構成される。身体各部位の各移動の終了時の姿勢 (= 次の移動の開始時の姿勢) が水平方向については図3 (shape) のような垂直方向については図4 (pattern) のような記号 (goal となる姿勢を記すための direction symbol) を用いて記述され、その goal となる direction symbol が表す姿勢に、その direction symbol の下から上に向けての長さの時間だけかけて移動することを表している。例えば図5の場合には、「左腕を左真横 (Left-Middle) に伸ばした状態から、T1 時間かかって体の前方 (Forward-Middle) に移動させる」動作を表

している。このような個々の移動の goal となる姿勢の direction symbol が、時間の経過とともに下から上へと配置されることで、key frame の系列が記述されることになる。

コンピュータに入力された Labanotation から定まる key frame から key frame への軌道を線形補間によって計算して、BVH 形式の身体運動データを生成するソフトを、Java で開発した。これによって、(A) 動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できる機能と、(B) 動作を構成する key frame 達の時刻と姿勢を設定できる機能を有するソフトによって、BVH 形式の身体運動データを作成できる。

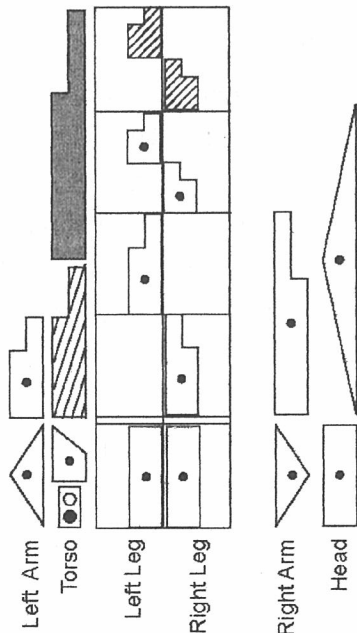


図 2. 舞踊譜 Labanotation の例

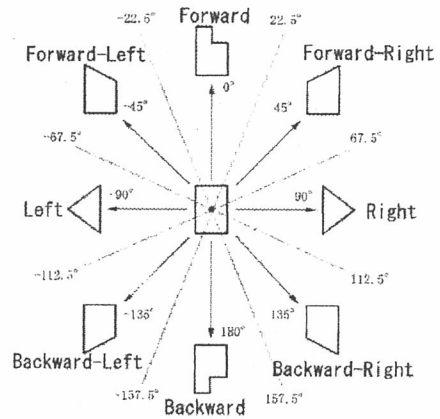


図 3. 水平方向の direction symbol (shape)

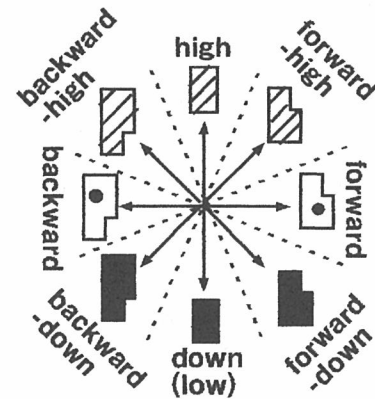


図 4. 垂直方向の direction symbol (pattern)

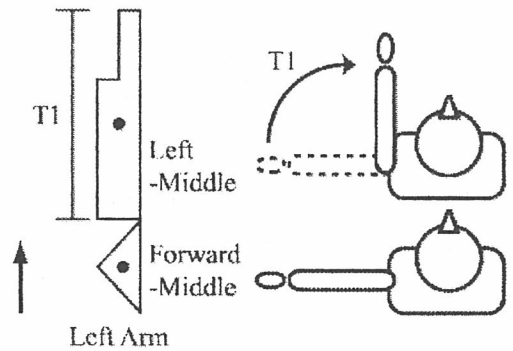


図 5. goal の姿勢を示す direction symbol

### 3. key frame から key frame への中の速度配分や曲率を加工するための Field Direction Symbol による Continuous Labanotation の身体運動記述方法

Labanotation は、幾つもの移動の系列によって身体運動を記述しており、その個々の移動の終点の身体の姿勢だけが記されて、時々刻々の身体の姿勢が陽には記されていない。従って一つの移動の間に生じている速度の配分や軌道の曲率などの情報は欠落している。そのため、工学者がこれを加工して動作の様々な感情を表す情報を付加するにあたっては不便である。

これは、音楽の五線譜においても、テンポや音の大きさなどの演奏情報を詳細には記すことができないことと似ている。コンピュータに音楽を演奏させるにあたっては、五線譜で記されるだけの情報では、機械的な単調な演奏しか期待できないので、さらに細かな演奏情報まで付加した MIDI が用いられる。コンピュータの音楽(Desk Top Music)における MIDI に相当する物を、身体運動の表現の分野でも開発し、Labanotation で入力された身体運動を加工して、様々な感情を表現する動作をデータとして作成し、CG アニメーションとして表示させることのできるソフトウェアを整える事が、筆者達が目指している所である。

そこでコンピュータ内で身体運動を記述するにあたっては、各時刻における身体各部の姿勢を、水平方向の方位(direction)については図 4 のような領域(field)で表

し、垂直方向の高さ(level)については図 5 のような領域(field)で表し、その領域内での細かな方位と位置を連続量によって表す。具体的には、図 7 や図 8 のように、垂直方向と水平方向それぞれについて、身体部位の姿勢がどのような領域(field)に属しているのかを図 4, 図 5 のような field を表す direction symbol によって示し、その Field Direction Symbol の基準線からどれだけの角度だけずれているのかを垂直方向・水平方向それぞれについて、連続量のグラフで示す。このような身体運動のコンピュータ内での記述方法を、Field Direction Symbol による Continuous Labanotation と呼ぶことにする。Rudolf Laban が考案した本来の Labanotation は、Goal Direction Symbol による Labanotation ということができる。

右腕を下(down)から真ん前(forward)まで上げて、そのまま真右(right)へ水平に円弧を描いて移動させる動作を、Rudolf Laban が考案した本来の Labanotation と、Field Direction Symbol による Continuous Labanotation(筆者達が提案している動作記述法)で記した例を、図 9 に示す。縦軸は下から上に時間が経過しており、個々の時刻において右手が down, forward-down, forward, forward-right, right の姿勢に在ることを示している。左側の本来の Labanotation が個々の時間の経過(縦軸 1 マス)の間に到達する最後の姿勢を direction symbol(goal direction symbol)で記しているのに対して、右側の筆者たちの動作記述方法では、各時刻に右腕がとっている姿勢がどの領域に属して

いるのかを direction symbol (field direction symbol) で表し、その direction symbol で表される領域の中で、さらに詳細な姿勢の情報を、水平方向・垂直方向の双方の連続量のグラフで表示している。

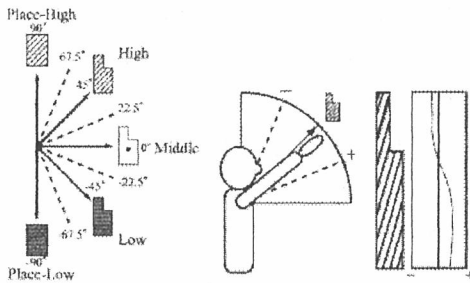


図 6. Field direction symbol と連続軌道 (垂直方向)

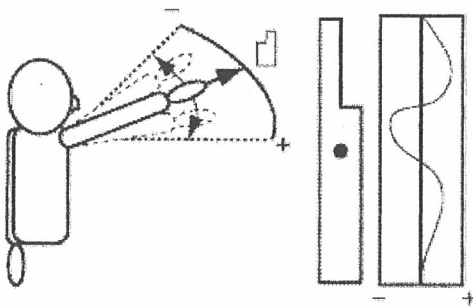


図 7. Field direction symbol と連続軌道 (水平方向)

例えば、「歩きながら右に曲がる」という動作を Field Direction Symbol による Continuous Labanotation で記すと、図 9 のようになる。

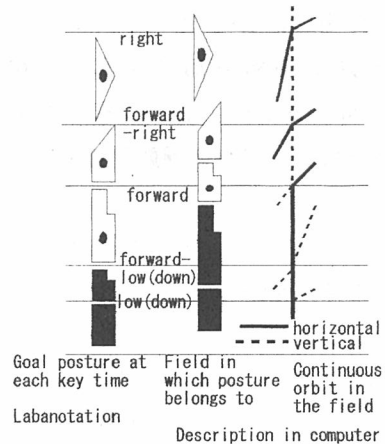


図 8. Labanotation と筆者たちのコンピュータ内での動作記述方法

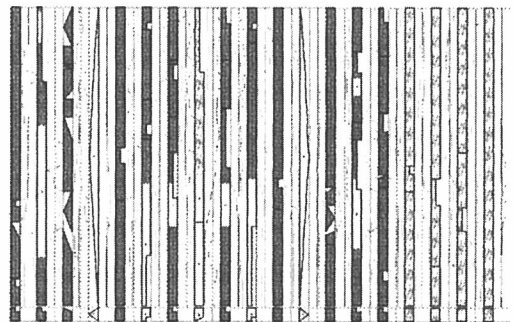


図 9. コンピュータ内での動作記述方法

#### 4. BVH 身体運動データと Field Direction Symbol による Continuous Labanotation との相互変換ソフト

図 10 のような BVH 形式の身体運動データは、様々な CG ソフトによってアニメーション表示されるし、また、そのようなアニメーションを VRML に変換することも容易である。そこで、BVH 形式の身体運動データから Field Direction Symbol による

Continuous Labanotation へと、また Field Direction Symbol による Continuous Labanotation から BVH 形式の身体運動データへと、相互に変換できるプログラムを Java で開発した。このソフトによって、Labanotation によって作成された BVH 形式の身体運動データを、Field Direction Symbol による Continuous Labanotation へ変換して、個々の field direction symbol の時間長を伸縮させたり、水平方向・垂直方向の連続量のグラフを調整したりして、様々な感情の表現を付け加えたいうえで、再び BVH 形式の身体運動データに変換し、それによって様々な感情の動作を CG アニメーションに表示する事ができる。

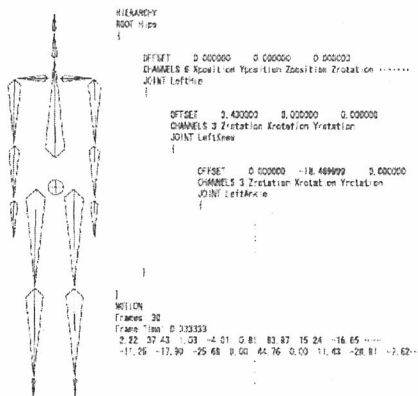


図 10. BVH 身体運動データ

BVH 形式の身体運動データから Field Direction Symbol による Continuous Labanotation へ変換する具体的な計算方法を以下に述べる。身体運動データから各時刻における各部位の姿勢を求め、そこから Continuous Labanotation への変換を行う。

まず BVH データの身体構造定義部から初期状態での正面の方向を求め、正面の方向と地面に垂直な方向とからなる基準の座標系を求める。

そして図 11 のように各時刻における各部位の姿勢を表す方向を求め、各部位の親の座標系に対して水平方向、垂直方向それぞれにおいて図 11 のどの範囲に入るかによって、Direction シンボルの Shape と Pattern を決める。基準の座標系に対して水平方向において図 3 のどの範囲(field)に入るか、垂直方向において図 4 のどの範囲 (field) に入るかによって、field direction symbol を決める。

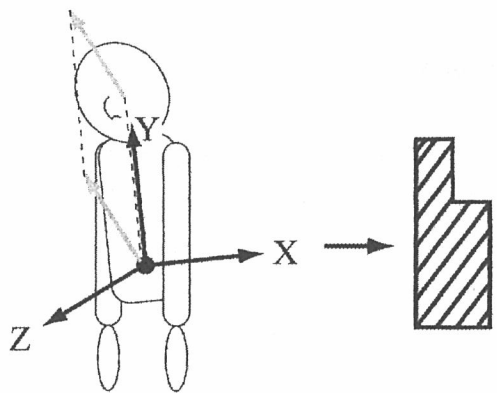


図 11. Field direction symbol を求める

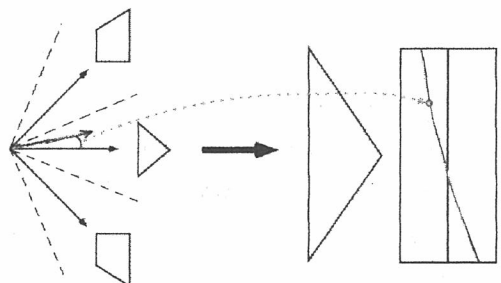


図 12. 水平方向の連続量

図 12 のように、各範囲に属している各部位の方向が、その範囲の基準から、水平方向においてどれだけの角度だけずれているかを水平成分の連続量として表し、垂直方向においてどれだけの角度だけずれているかを垂直成分の連続量とする。図 12 の例では、right の領域の基準から反時計回りにずれた角度が連続量として記録されている。

このような方法によって、「歩きながら右に曲がる」という動作の BVH 形式の身体運動データを Field Direction Symbol による Continuous Labanotation に変換した例が、図 9 に示されていた。

## 5. 結論

音楽の五線譜のように、動作の開始から終了の間の身体の動きの構造を一瞥で概観できて、key frame を設定できる Labanotation をコンピュータに入力することによって、BVH 形式の身体運動データを作成するソフトと、そのような BVH 形式の身体運動データと Field Direction Symbol による Continuous Labanotation とを相互に変換するソフトを、Java によって作成した。この事によって、Labanotation によって Key frame が設定された BVH 形式の身体運動データにおいて、key frame から key frame への速度の配分や軌道の曲率を調整して、様々な感情を表現する身体運動に加工することが可能となる。

## 参考文献

- 1) 森下はるみ「連載 舞踊の科学 1 記録法とその応用」体育の科学 42-4, pp. 283-287, 1992
- 2) 木村はるみ「ダンス運動の記述法について」体育原理研究第 2 4 号(平成 5 年度), pp. 53-56, 1993
- 3) 吉田康行・松岡洋介・八村広三郎「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」情報処理学会研究報告「人文科学とコンピュータ」38-6, pp. 61-68, 1998
- 4) 松本敏良・八村広三郎「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」情報処理学会シンポジウムシリーズ vol.2000, no.17・人文科学とコンピュータ・シンポジウム論文集 pp.17-24, 2000
- 5) 中村美奈子・八村広三郎「ラバノーション Labanotation とコンピュータテクノロジー」舞踊学, 第 2 4 号, pp. 17-22, 2001
- 6) 柴眞理子：みえと体感による舞踊運動の感情価の比較, ATR WORK on Virtual Communication Environments, pp.77-88 (1988)
- 7) 柴眞理子：舞踊運動とその表現性に関する研究  
-- Design と Time を中心に --,  
女子聖学院短期大学紀要, 第 1 0 号,  
pp. 125-148 (1978)

**謝辞** 本研究は北田晋一郎君(神戸大学自然科学研究科前期課程情報知能工学専攻)が作成したプログラムを改良して用いた。