

## 周波数解析による踊り動作のデータ圧縮方法の検討

服部清 横山清子 吉村ミツ  
名古屋市立大学芸術工学部

**概要:**近年、人間の動作を記述・再現する方法の一つとして、MotionCaptureSystem が使用されるようになった。しかし、その時間に伴う大容量のデータをどう扱うかが重要となっている。我々は MotionAnalysis 社の EvaSystem で、ストリートダンスと日本舞踊の「新曲浦島」を測定した。得られた 31 マーカーの 3D 時系列データに対し、フーリエ変換による圧縮方法適用の可能性を検討した。窓幅、窓の移動方法、データの間引き方法を、データ再現の誤差、および、データ圧縮率により評価した。また、ワイヤフレームによる可視化の際の再現性の良さを評価基準として検討した。その結果、比較的動作が不規則な日本舞踊に関しても、誤差率 5% で、約 12% のデータ圧縮率を得ることができた。

**キーワード:** 舞踊、データ圧縮、周波数解析、3次元動作測定

### Examination of applying frequency analysis method for data reduction of human dancing motion.

Kiyoshi hattori, Kiyoko yokoyama, Mitsu Yoshimura  
Nagoya City University

**Summary:** Recently, Motion capture system has been used to characterize or reconstruct human motion. It is one of the important problems to process such huge time series data. We targeted to reconstruct dancing motion, which street dance and Japanese dance "Shinkyoku Urashima". The optical motion capture system (EVA System: MotionAnalysis Co.) was used. We applied Fast Fourier Transform for data reduction of motion capture data derived from 31 markers. The window size applied Fourier Transform, method of window shift and frequency component reduction were examined. Error rate and data reduction rate were used as evaluation parameters. And, we evaluated standard of quality through a performance of reconstruction at visualizing by wire frame model. In the result, it is able to reduce motion capture data about 12% reduction rate at error rate 5% in case Japanese dance.

**Keywords:** Japanese dance, data reduction, Fourier transform, motion capture data

#### 1. はじめに

近年 CG 技術の向上は目覚しく、スタンドアロンのコンピュータ上のみならず、ネットワーク環境も含め、様々な場面で CG による動画表示が行われるようになった。従って、コンピュータ上の動画の表現方法や動画データの保存方法など多数の研究が行われている。例えば人間を対象としたアニメーションでは、MotionCaptureSystem が使用されるようになり、より自然な動きを表現できるようになった。人物の動作を記述・再現するためには体

の各関節の角度情報、または位置情報を用いる。身体全体の動きを捉えるためには 30 前後の部位の情報を毎秒 60~120 データ測定する必要がある、その時間に伴う大容量のデータをどう扱うかが問題となっている。このような大量のデータを圧縮保存するための研究例としては B-スプライン曲線を使用する方法[1]などが報告されている。

一方、伝統文化の保存事業の一環として、伝統的な踊りのデジタルアーカイブに対する関心も高まっており、その動作データに適した保存方法、動作データから得られる特徴指標の設定の模索[2]がなされている。

本研究では、踊り動作を対象とし、動作データを保存するためのデータ圧縮の方法の検討を目的とする。方法としてフーリエ変換を用いる

対象とした踊りは、リズム感のあるストリートダンスと、ゆったりとした動きの日本舞踊である。関節につけた 30 数個のマーカー位置の時系列から得られる動作データにフーリエ変換を適用する。フーリエ変換適用時の窓幅、データ圧縮の方法、窓の移動方法による動作の再現精度とデータ圧縮率を解析する。

## 2. 実験方法

身体の 31 箇所に取り付けられたマーカーの X Y Z 座標の 3 次元位置情報を MotionAnalysis 社の EvaSystem により 1 秒間に 120 フレームで測定した。解析はそこから得られる毎秒 60 フレームのデータを対象とした。

踊りは、数十秒間のストリートダンス、日本舞踊「新曲浦島」全曲 15 分を 12 の部分に分割したものを対象とした。各マーカーの XYZ 座標位置の時系列に対してフーリエ変換を行い、最適なデータ圧縮方法をその誤差率と圧縮率、可視化の際の再現性の良さを評価基準として検討する。

## 3. 解析方法

離散的フーリエ変換は(1)式で表すことができる。

$$F(k)=\sum_{n=0}^{N-1} f(n)\exp(-j2\pi kn/N) \quad (1)$$

ここで、 $f(n)$ は座標の時系列、 $j$ は虚数単位、 $k$ は周波数、 $N$ は時系列のデータ数である。また、評価に用いた誤差率は(2)式とした。

$$E=\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} |f(n)'-f(n)|/f(n) \quad (2)$$

ただし  $f'(n)$ は圧縮データから復元した座標の時系列、 $N$ は時系列のデータ数である。

## 4. ストリートダンスを対象とした解析結果

リズム感のあるストリートダンスは動作が周期的であり、フーリエ変換を用いたデータ圧縮に適していると考えられる。そこで、踊り動作のデータ圧縮に対するフーリエ変換適用の可能性を確認するために、ストリートダンス開始直後 2.04 秒間(4 小節)のデータ解析を試みた。図 1 の (a) は肘部の、(b) は手首の Y 座標位置の変化を示す。右図はパワ

ースペクトルである。両グラフとも、色の薄い方が圧縮前を表す。(a) (b) いずれも座標時系列は、正弦波状の変動を示している。(a) の座標時系列は基線が直線で、図中に約3周期現れる規則変動のみ持つと考えられる。パワースペクトルでは2Hz付近に顕著なピークとその周辺に値を持つのみであることから確認できる。(b) の座標の変動はグラフ中一周期の低周波成分と約3周期のやや高い成分の合成と考えられる。スペクトルはピークが2箇所みられ、パワーの広がり(a)よりも大きいことが分かる。そこで、パワーの小さい順に周波数帯をカットし、(a)では5点(b)では9点を残して、そこからの逆変換を試みた。(a)の誤差率は約0.3%(b)の誤差率は約1.0%であり、再現性は良好だった。両端のデータでの誤差が大きいため、この部分でのフーリエ変換の適用方法を工夫すれば、さらに再現の精度は向上すると考えられる。データ圧縮率については、(a)3.9%(b)7.0%であった。以上から、リズムカルで動作に含まれる周期成分の割合が高いストリートダンスを対象とした例ではあるが、踊り動作のデータ圧縮にフーリエ変換を適用できる可能性は確認できたと考えられる。

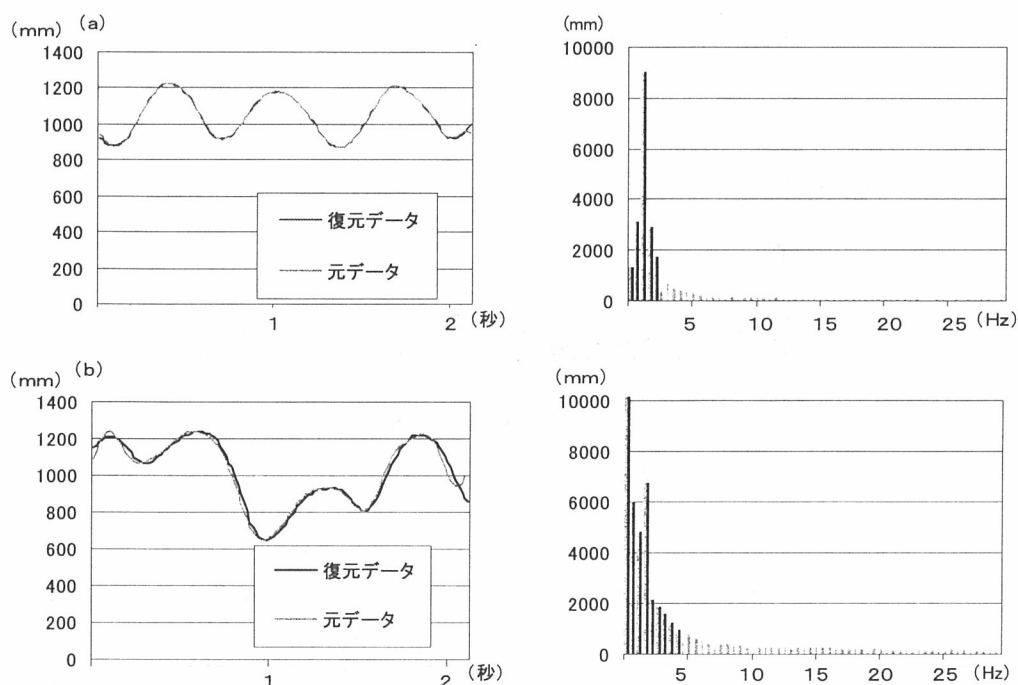


図1：ストリートダンス時の(a)肘部と(b)手首の上下変動の座標とそのパワースペクトル

## 5. 日本舞踊を対象とした解析結果

次に日本の伝統芸能の代表的なものの一つである日本舞踊の踊り動作を対象として解析を試みた。動作がゆったりとしておりテンポも不規則である。「新曲浦島」の一部である、「沖つ波」を解析した。高速フーリエ変換(FFT法)を適用した。フーリエ変換の適用方法の相違によるデータ圧縮率と誤差率を評価した。変換のサイズとしては、使用され得るデータの大きさを考慮して決定した。また、フーリエ変換を適用する窓は連続的に繋げていく場合と、窓の一部を重ねていく方法を試みた。周波数領域でデータの間引きを行う場合

には、パワースペクトルの大きい順に残していく方法と、周波数の低いデータから残していく方法とを試みた。それらのパターンを組み合わせることで誤差率を求め、誤差率一定とした条件での圧縮率を適用方法比較のための評価基準とした。

### 5.1 データ圧縮へのFFT適用の可能性の検討

本方法のネットワーク環境での適用などを考慮すると、データ圧縮及び復元のための処理速度が早いほうが望ましい。そのため高速フーリエ変換を用いた。従って窓幅は2のべき乗のサイズである必要があるため128点を対象とした。間引きの方法としては、いったん周波数パワースペクトルを求め、その低いほうから順に残していった。図2は「沖つ波」全体の踊り動作に対して窓幅128点とした時の、周波数の間引き数とその誤差率の変化を示す。31個のマーカのX,Y,Zすべての座標を対象としている。グラフでは128点の窓を時間軸方向に128点ずつずらして得られた誤差率の平均値の変化を示している。

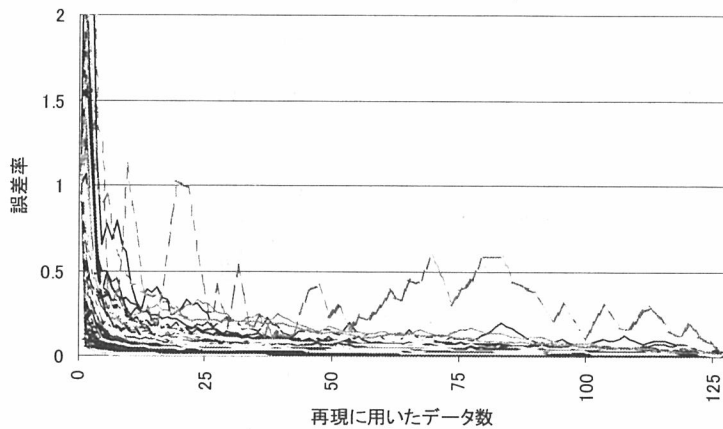


図2：パワーの値の低いほうから間引きした場合の再現に用いたデータ数と誤差率の変化

部位により誤差率の変化に差はあるが、残すデータが増えていくにつれ、誤差率は低下している。しかし例外的に間引き数が減少しても誤差の増加する部位も見られる場合もあり、これについては後で詳しく解析する。全体的には10点程までで誤差率は大きく低下していきその後少しずつ減少していつている。全てのマーカの誤差率を0.1以下とした場合の圧縮率の平均は0.04であった。従って規則性の少ない動作で構成される日本舞踊に関しても、踊り動作のデータ圧縮にFFTを適用できると考えられる。

### 5.2 窓幅の検討

FFT適用の窓幅とデータ圧縮率及び再現精度との関連を検討する。窓幅は128点と1024点とした。対象データサイズは約2800程である。また1024点のグラフでは128点との比較のため、8点毎の128個の誤差を表示した。またその時、周波数帯の4分の3を間引きしたデータとの誤差のグラフを図3に示す。それぞれの軸ごとに比較できるように、X, Y, Zの順に並べて表示した。Y軸方向の誤差はかなり少なくなっていることがわかるが、こ

これは Y 方向には踊り手の移動に伴う低周波の変動がないためと考えられる。1024 点のデータは幾分誤差が小さくなっている部分が多いことがわかる。

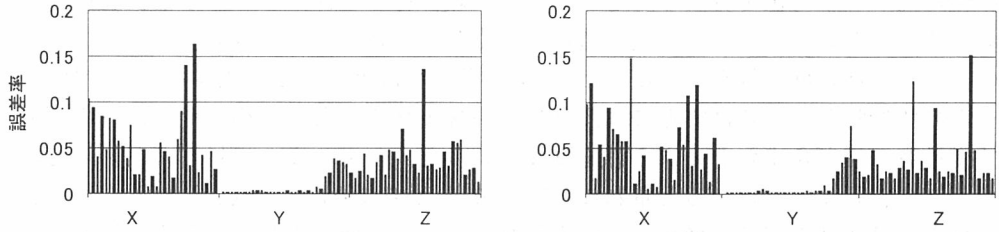


図 3：間引き数一定での各座標軸ごとの全マーカー誤差率 (左)128 点(右)1024 点

次に、時間領域で誤差の大きい時刻を特定するため、図 4 (a) では一つのマーカーに対して元のデータと復元後の時系列データを示している。(b) では各時刻における全マーカーに対し誤差率の平均を時刻に対して棒グラフで示している。使用データは「沖つ波」の右手マーカーの X 軸方向の動きである。

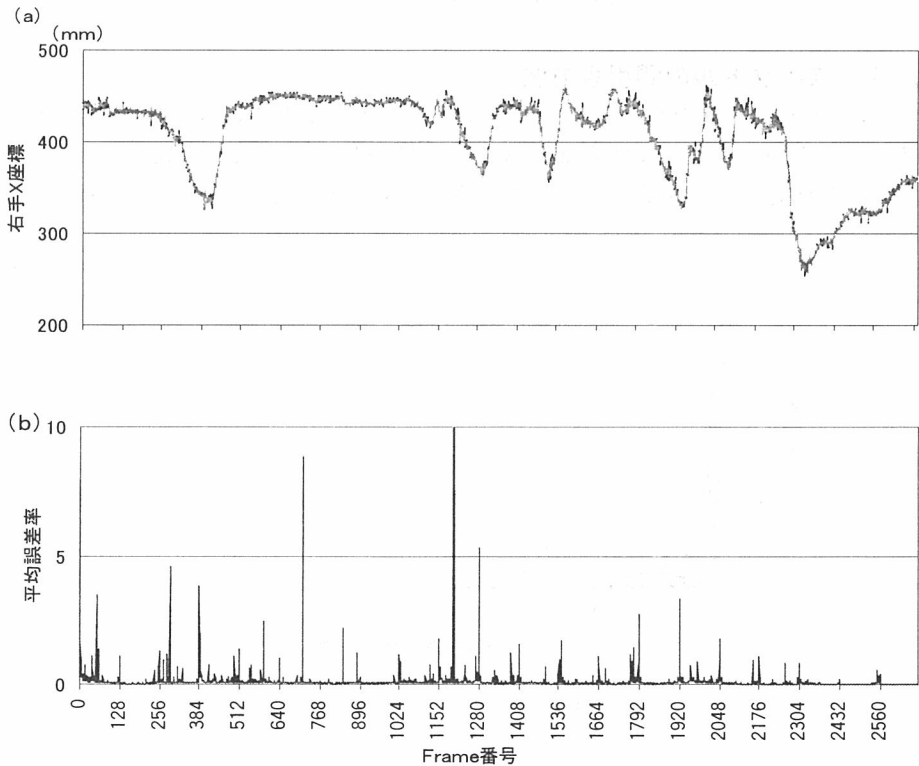


図 4：継ぎ目のある場合の時系列データでの比較(上段)フレーム毎の誤差率の平均(下段)

(a)は 42.7 秒(2562 フレーム)を対象に 128 点の窓を用いて FFT 処理を行いパワーの大きい周波数から 32 点(窓幅の 1/4)を対象として圧縮した場合の復元データを元データと重ね

合わせたものである。窓の継ぎ目にあたる 128 フレームごとに元データからのずれを生じている部分があることがわかる。(b)は同一データに関してフレームごとに全マーカーの誤差の絶対値での平均値を算出し対応するフレームに対して棒グラフで示す。変換の継ぎ目にあたる 128 フレームごとに誤差の値が大きくなっている部分が多い。そこで、図 5 の右図のように変換の継ぎ目を重ねることで、より滑らかにデータを再現することを検討した。データの開始時と終了時は実際には踊り動作が含まれていないため、それ以外の部分において変換窓の端が含まれないよう窓を重ねていった。全マーカーに対して同様の方法を試みたところ、誤差率で比べると重ねない時の 0.05 から 0.04 へと減少した。しかし、圧縮率の点からは変換の回数が増えるため不利な点もあり、要求される誤差率と圧縮率のバランスを考える必要がある。

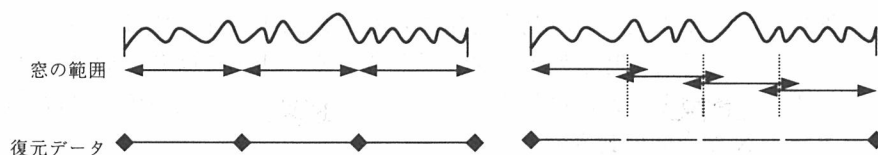


図 5：変換窓が連続する場合(左)と、重ねた場合(右)の模式図

### 5.3 スペクトルの間引き方法

つぎに、データ圧縮のためのスペクトルを間引きする方法についての検討結果を述べる。パワーの大きいスペクトルから順に残す方法にかわって、低周波数のスペクトルから順に残す方法を検討した。図 6 は、その間引き数に対する誤差率のグラフである。

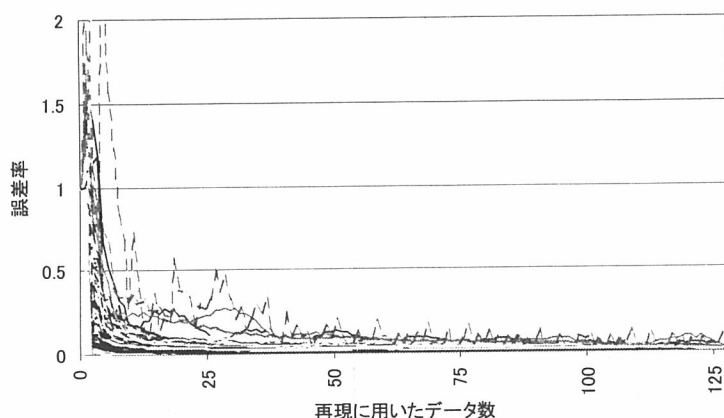


図 6：高周波成分から間引きした際の誤差率の変化

復元に使用するデータ数が増加するにつれて誤差率が減少していつている。スペクトルの最大値から順に利用する方法と比べると安定しているといえる。これはデータ中に含まれるノイズが高周波数の部分に多く含まれるためと考えられる。スペクトルの値による間引きを行った場合、高周波帯域での振幅の大きいノイズが多く残ってしまい、誤差率が低下しなかったと考えられる。また、全マーカーの誤差率を 0.1 以下とした場合の圧縮率は

スペクトルの値による場合は 0.04 であり、高周波帯域からデータを間引きしていった方法では圧縮率 0.03 と、より優れていることがわかった。

#### 5. 4 各方法の圧縮率の比較

ここまでの方法に対して誤差率を一定としたときの圧縮率を求め、比較したものを表 1 に示す。誤差率の欄は目標とした誤差率の条件を示し、間隔の欄は窓のシフト方法、間引きの欄にはデータ間引きの際に、パワースペクトルの値を用いたか、周波数の高さを用いたかを示す。窓幅は 128 点と 1024 点の場合を示す。また図 7 では表に示した誤差率を棒グラフで表した。

表 1：FFT 適用方法に対する圧縮率の比較

No.	誤差率	窓配置	間引き	窓幅	
				128	1024
1	0.1	重ね	パワー	0.0731	0.0486
2	0.1	連続	パワー	0.114	0.0568
3	0.1	連続	周波数	0.0738	0.0429
4	0.1	重ね	周波数	0.0477	0.0352
5	0.05	重ね	パワー	0.195	0.177
6	0.05	重ね	周波数	0.120	0.119

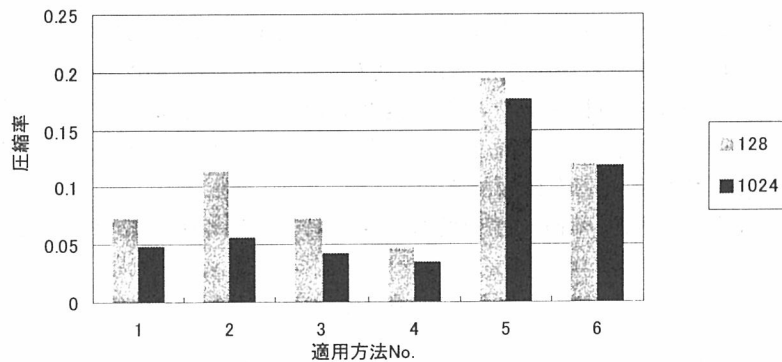


図 7：FFT 適用方法に対する圧縮率の比較

窓幅については、1024 点の方がいずれの方法でも圧縮率が高いことがわかる。誤差率を 10% とすると窓の端をやや重ねて移動させ、低周波帯域のデータを保存する方法の圧縮率が最大となり、約 0.035 であった。同様の方法で誤差率を 0.05 とすると圧縮率は 0.12 となった。この場合の窓幅の相違はあまり顕著ではなかった。

同一適用方法における誤差率の影響を検討するために条件 No. 4 と No. 6 を比べると、誤差率を小さく抑える場合では、窓幅による方法による圧縮率の違いが小さくなっているこ

とがわかった。これは誤差率が低く要求される場合では、パワーによる場合でも周波数による場合でも復元に必要な周波数データ数が多くなり、データ総数にあまり違いがなくなっているためと思われる。

## 6. 復元データの可視化による比較

誤差率 0.1 以下とし、最も圧縮率の高かった条件(No.4 窓幅 1024)でデータの圧縮を行った。その復元データをワイヤフレーム表示し、目視により元データの動作との比較を行った。比較に用いた表示画面の様子を図 8 に示す。全体を通じて、圧縮を行った方は、元データに含まれるノイズが除去されワイヤフレームモデルの震えるような動きがなくなり、動作が滑らかとなり特徴が捉えられやすくなった。ビデオ映像を参考として比較したところ、踊り動作に相違が認められる部分はなく、誤差率 0.1 は動作の可視化の観点で妥当な値といえる。



図 8：ワイヤフレームでの表示例。左から X-Y 平面、Y-Z 平面、X-Z 平面

## 7. むすび

本論文ではストリートダンスと日本舞踊の「新曲浦島」の踊り動作の 3D 時系列データに対し、フーリエ変換による圧縮方法適用の可能性について述べた。窓幅、窓の移動方法、及びデータ間引き方法を調整することで、誤差率 5% での条件において約 12% のデータ圧縮率を得ることができた。また、復元データをワイヤフレームモデルで可視化したところ、再現性が良好であることを確認できた。

本研究は、文部科学省科学研究費補助金萌芽的研究(13878064)の一部で行われたものである。

### ◇参考文献◇

[1] Jean-Francis Balaguer and Enrico Gobbetti. Sketching 3D Animations, Computer Graphics Forum, 14(3), Blackwell Publishers. Edited by Frits Post and Martin Gobel pp.241-258 (1995).

[2] 甲斐民子、酒井由美子、服部清、吉村ミツ、他：“踊りの「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み”、情報処理学会、人文科学とコンピュータシンポジウム論文集、pp1-8. 2000