

# モーションキャプチャデータの統計解析による キーポーズの抽出

## Keypose Extraction by Statistical Analysis of Motion Capture Data

○近藤秀光\*, 三浦武\*, 松尾健史\*, 田島克文\*

○Hidemitsu Kondo\*, Takeshi Miura\*, Kenshi Matsuo\*, Katsubumi Tajima\*

\*秋田大学

\*Akita University

キーワード：モーションキャプチャ (motion capture), 統計解析 (statistical analysis), 一般化分散 (generalized variance), キーポーズ (keypose)

連絡先：〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院 理工学研究科  
三浦 武, Tel.: (018)889-2329, Fax.: (018)837-0406, E-mail: miura@mail.ee.akita-u.ac.jp

### 1. はじめに

モーションキャプチャシステムとは、被験者の 3 次元空間における身体動作を数値化する際に用いられる測定装置である<sup>1)</sup>。近年では、アニメーション等でキャラクタの動きを実際の人間の動きに近づけることなどを目的として、モーションキャプチャデータが活用されている<sup>2)</sup>。

しかし、モーションキャプチャデータの取り扱いについては、その大規模なデータ量および高次元性が問題視されてきた<sup>3)</sup>。このことによりデータ内容を簡潔に把握することが難しいことはよく知られている。この問題を解決する方法の 1 つとして、動作中の主要な姿勢を示すキーポーズを表示して動作全体を簡潔に示すというアプローチがある（ここで言うキーポーズとは、動作データ量の削減のために用いられるキーフレームではなく、動作を要約して示すため

に用いられる代表的なポーズ群のことである）。

キーポーズを抽出する方法として、文献 4)では Curve Simplification 法、文献 5)ではクラスタリング法が提案されてきたが、これらの手法は抽出の際、動作データごとに抽出アルゴリズムにおいて用いるパラメータの調整を行う必要があった<sup>3)</sup>。文献 6)においては、身体を包む外接空間であるキネスフィアを用いることで身体の広がり具合を考慮し、その体積の時間変化において極値の生じる瞬間の姿勢をキーポーズと見なしている。一方で、キーポーズ抽出法とは異なるが、文献 7)では、身体の広がり具合に関してその特徴量を、関節座標値の分散共分散行列を用いて高精度に抽出可能であることを示した。

本研究では、文献 7)で用いられている手法を応用し、関節座標値の分散共分散行列から導出した一般化分散<sup>8)</sup>による統計解析を用いたキー

ポーズ抽出の可能性について検討する。また、文献 6)では、キネスフィアの体積の時間変化における極値全てをキーポーズとしていたが、極大値のみ、または極小値のみからキーポーズを抽出した場合との抽出精度の比較は十分に行われていないため、本研究ではその比較も行う。

## 2. キーポーズ抽出

### 2.1 関節座標値の一般化分散導出

運動学においては一般的に、3次元空間で行われる被験者の動作は、図 1 に示すような互いに直交する3軸（前額軸、垂直軸、矢状軸）および軸により形成される3面（前額面、矢状面、水平面）を用いて解析される<sup>9)</sup>。一方で、関節座標系は  $x, y$  および  $z$  軸で構成され、各軸はそれぞれ前額軸、垂直軸および矢状軸に対応しており、前額面は  $xy$  平面、矢状面は  $yz$  平面、水平面は  $zx$  平面に対応している。また、関節座標系の原点は骨盤に固定されている。

本研究では、人体モデルの全関節の中で図 1 に示した主要な 16 関節（頭、首、両肩、両肘、両手首、両指、両膝、両足首、両足指）の座標を考慮している。関節座標値の各フレームにおける分散共分散行列は(1)式によって示される<sup>7)</sup>。

$$\sum(n) = \begin{bmatrix} \sigma_{xx}(n) & \sigma_{xy}(n) & \sigma_{xz}(n) \\ \sigma_{yx}(n) & \sigma_{yy}(n) & \sigma_{yz}(n) \\ \sigma_{zx}(n) & \sigma_{zy}(n) & \sigma_{zz}(n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\sigma_{\alpha\beta}(n) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \{p_{\alpha j}(n) - \bar{p}_{\alpha}(n)\} \{p_{\beta j}(n) - \bar{p}_{\beta}(n)\}$$

$$\bar{p}_{\alpha}(n) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J p_{\alpha j}(n)$$

ここで、 $p_{\alpha j}(n)$ は各関節の座標、 $n$ はフレーム番号、 $j$ は関節番号、 $J$ は全関節数、 $\alpha$ および $\beta$ は  $x, y$  または  $z$  である。

(1)式により各フレームにおける分散共分散行

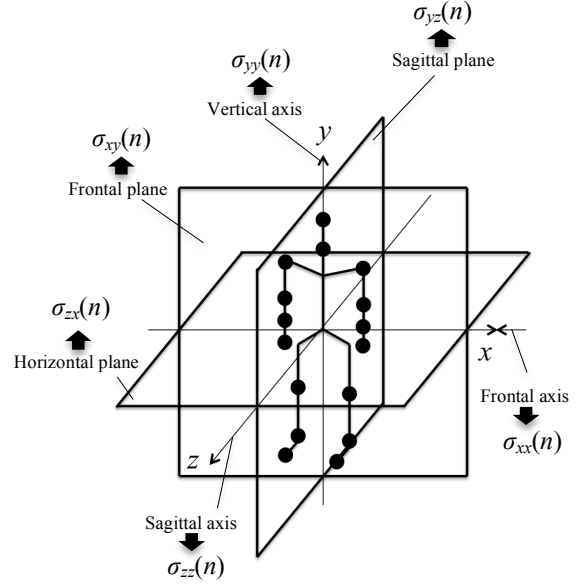


図 1 人体モデル

Fig. 1 Human body model

列が求められるが、本研究では、関節の広がり具合の変化を時間軸上で示し、その極値を得る必要がある。よって、分散共分散行列を単一の値とするために(1)式より一般化分散を導出する。

$$\begin{aligned} |\sum(n)| &= \begin{vmatrix} \sigma_{xx}(n) & \sigma_{xy}(n) & \sigma_{xz}(n) \\ \sigma_{yx}(n) & \sigma_{yy}(n) & \sigma_{yz}(n) \\ \sigma_{zx}(n) & \sigma_{zy}(n) & \sigma_{zz}(n) \end{vmatrix} \quad (2) \\ &= \sigma_{xx}(n)\sigma_{yy}(n)\sigma_{zz}(n) + \sigma_{xy}(n)\sigma_{yz}(n)\sigma_{zx}(n) \\ &\quad + \sigma_{xz}(n)\sigma_{yx}(n)\sigma_{zy}(n) - \sigma_{xx}(n)\sigma_{yz}(n)\sigma_{zy}(n) \\ &\quad - \sigma_{xy}(n)\sigma_{yx}(n)\sigma_{zz}(n) - \sigma_{xz}(n)\sigma_{zy}(n)\sigma_{zx}(n) \end{aligned}$$

(2)式により、空間における関節の広がり具合の時間変化が得られる。

### 2.2 一般化分散の時間変化における極値からのキーポーズ抽出法

第 2.1 節の手法によりモーションキャプチャデータにおける一般化分散の値の時間変化が得られる。一般化分散の時間変化における極小値および極大値は、動作において静止した瞬間を示している。また、一般化分散の時系列データ

は身体の広がり具合の時間変化を示すため、文献 6)と同様、極値の生じる瞬間の姿勢はキーポーズになりうる。

ただし、第 1 章で述べたように、文献 6)では、身体を包む外接空間の体積の時間変化において、極小値および極大値の生じる瞬間の姿勢をキーポーズとすることを提案しているが、極大値のみまたは極小値のみからキーポーズを抽出した場合との比較は十分に行われていないため、検討の必要がある。ゆえに本研究では、一般化分散の時間変化において生じた極値からのキーポーズ抽出を i) 極小値のみ, ii) 極大値のみ, iii) 極小値および極大値の 3 パターンに分けて行う。

### 3. 検証

#### 3.1 キーポーズ抽出法の妥当性検証

本研究で用いたキーポーズ抽出法の妥当性を検証する。検証に用いたデータは Carnegie Mellon Mocap データベース<sup>10)</sup>からダウンロードされた、7 種の動作に関するモーションキャプチャデータである。動作の周期性がキーポーズ抽出に与える影響を調べるため、周期性が高い動作 (Walk, Run, Punch Sequence および Charleston) および低い動作 (Soccer - Kick ball, Baseball - Pitch および Play Violin) それぞれを含むよう、用いるデータを決定した。各データの情報を表 1 に示す。

キーポーズ抽出の評価のため各データにおいて全フレームの姿勢を目視し、Walk および Run では運動学に、Soccer - Kick ball および Baseball - pitch では一連の動きの中で重要な姿勢を示した図に、Charleston および Play Violin では、動画を用いた動作解説に基づき ground-truth キーポーズを決定した。動作ごとの決定基準をまとめ、表 2 に示す。なお、抽出の評価に  $F_{\text{measure}}$ <sup>16)</sup>を用いる。ただし、抽出されたキーポーズと ground-truth キー

表 1 検証において使用されたモーションキャプチャデータ

Table 1 Motion capture data used in the verification.

Motion Category	Index	Number of frames	Number of keyposes
Walk	07_01	316	4
	07_02	329	5
	07_03	415	5
Run	09_01	148	4
	09_02	130	4
	09_03	362	4
Punch Sequence	144_13	1,946	44
	144_14	2,055	44
	144_20	2,270	58
Charleston	93_03	442	8
	93_04	506	10
	93_05	556	12
Soccer - Kick ball	10_05	476	5
	10_06	573	5
Baseball - Pitch	124_01	643	5
	124_02	1319	10
Play Violin	79_17	804	34

All data : Frame rate is 120[fps], Downloaded from Carnegie Mellon Mocap Database<sup>10)</sup>

表 2 Ground-truth キーポーズの決定基準

Table 2 Criteria to determinethe ground-truth keyposes

Motion category	Ground-truth keypose
Walk	Moment of heel strike <sup>11)</sup> .
Run	Moment of heel strike <sup>11)</sup> .
Punch Sequence	Arm-extention pose and drawing-back pose <sup>3)</sup> .
Charleston	Foot-Up pose, foot-forward pose (including crossed pose), foot-backward pose and kick <sup>12)</sup> .
Soccer - Kick ball	Upright posture, steps for kick , kick and follow-through <sup>13)</sup> .
Baseball - Pitch	Upright posture, completion of leg-flexion, leg-extended position, stride leg-planted and follow-through <sup>14)</sup> .
Play Violin	Stopped moment of up bow and down bow <sup>15)</sup> .

ーポーズの時間差がキーポーズの間隔の 1/4 より短い場合、両者が一致したものと見なしている<sup>3)</sup>。

#### 3.2 検証結果

検証を行ったデータの例として、図 2 には Charleston (93\_03) の、図 3 には Soccer - Kick Ball (10\_05) の一般化分散の時間変化、抽出されたキーポーズおよび ground-truth キーポーズを示す。また、上記 2 つのデータのキーポーズ抽出評価を表 3 に示す。なお、Charleston は、ダンスの 1 種で、細かい前後のステップを繰り返す踏み動作

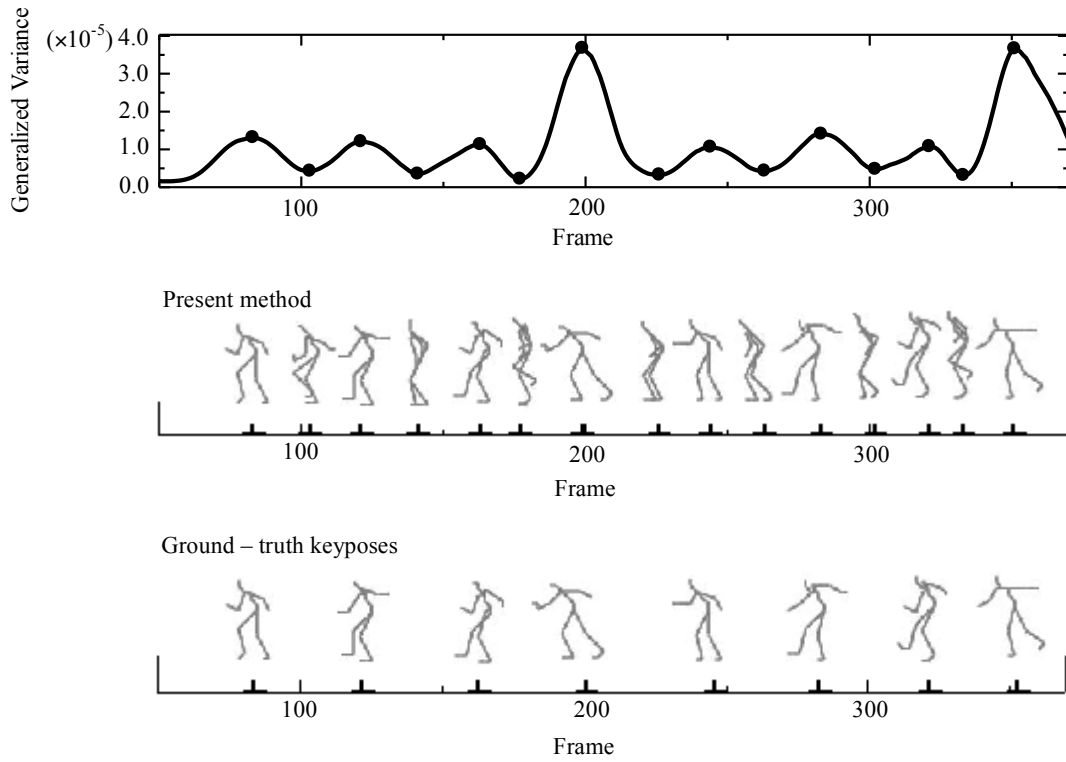


図2 一般化分散の時間変化および抽出されたキーポーズ (Charleston, 93\_03)  
 Fig.2 Temporal variation of generalized variance and extracted keyposes (Charleston, 93\_03)

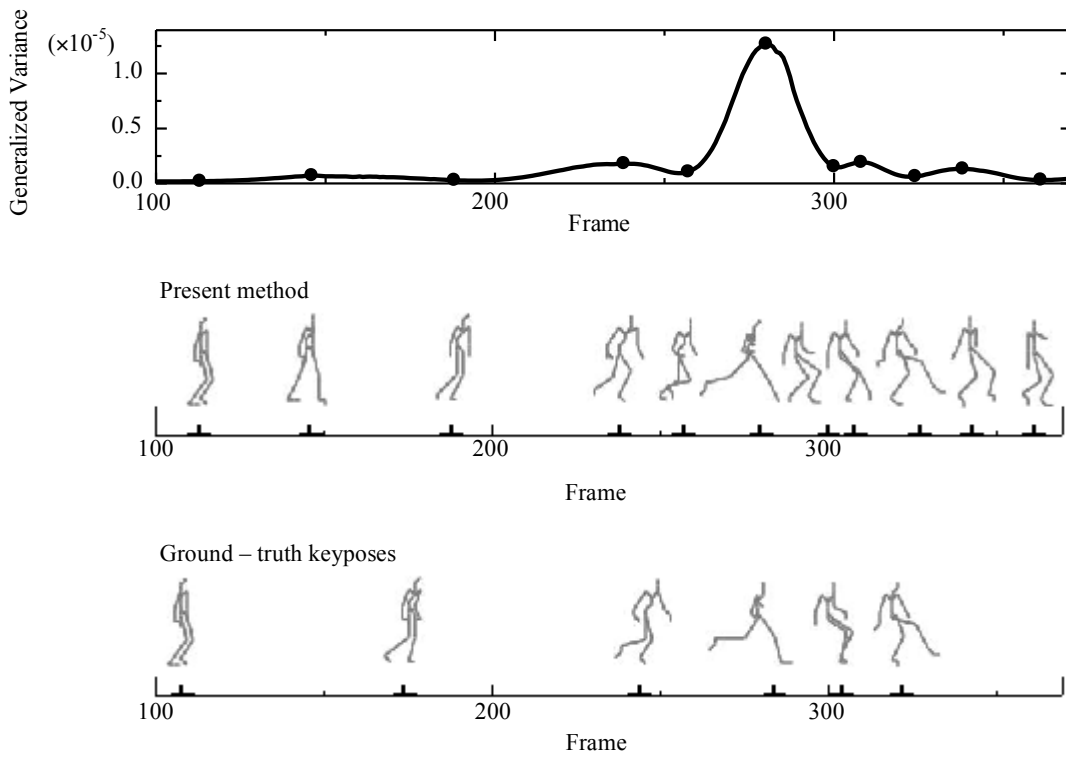


図3 一般化分散の時間変化および抽出されたキーポーズ (Soccer - Kick ball, 10\_05)  
 Fig.3 Temporal variation of generalized variance and extracted keyposes (Soccer - Kick ball, 10\_05)

表 3 抽出されたキーポーズの評価  
Table 3 Evaluation of extracted keyposes

(a) Charleston, 93_03.bvh			
Keypose	Precision	Recall	$F_{measure}$
Local minimum	0.091	0.143	0.111
Local maximum	0.800	0.800	0.889
Local minimum + Local maximum	0.451	0.800	0.621
(b) Soccer - Kick ball, 10_01.bvh			
Keypose	Precision	Recall	$F_{measure}$
Local minimum	0.500	0.500	0.500
Local maximum	0.500	0.600	0.545
Local minimum + Local maximum	0.500	1.000	0.667

であり, Soccer - Kick ball は直立状態から 3 歩踏み出しボールを蹴る動作である.

表 3 (a) に示されているように, 周期性の高い動作である Charleston においては, 極大値のみからキーポーズを抽出した場合における  $F_{measure}$  が 0.889 と特に高い値となり, 極小値のみの場合は低い値となった. 一方で, 周期性の低い Soccer - Kick ball では, 表 3 (b) のように 3 つの抽出法の間には Charleston ほどの大きな差はなかったが, 極値全てのキーポーズを抽出した場合に 0.667 と最も高い値が得られた.

各データにおいて同様の評価を行った結果を図 4 に示す. 周期性が高い動作 (Walk, Run, Punch Sequence および Charleston) においては,  $F_{measure}$  の値が高くなった一方で, 周期性の低い動作 (Soccer - Kick ball, Baseball - Pitch および Play Violin) では,  $F_{measure}$  が低い値を示した.

上記では動作ごとの周期性に基づいて結果を分析したが, 以降では 3 種類のキーポーズ抽出パターンごとにそれぞれの傾向を分析する. 各動作種別ごとに, まず抽出パターンごとの  $F_{measure}$  の平均を導出し, その全動作種別の平均を求め, 比較を行なった. 極小値のみでキーポーズを抽出した場合の平均値は 0.295, 極大値の

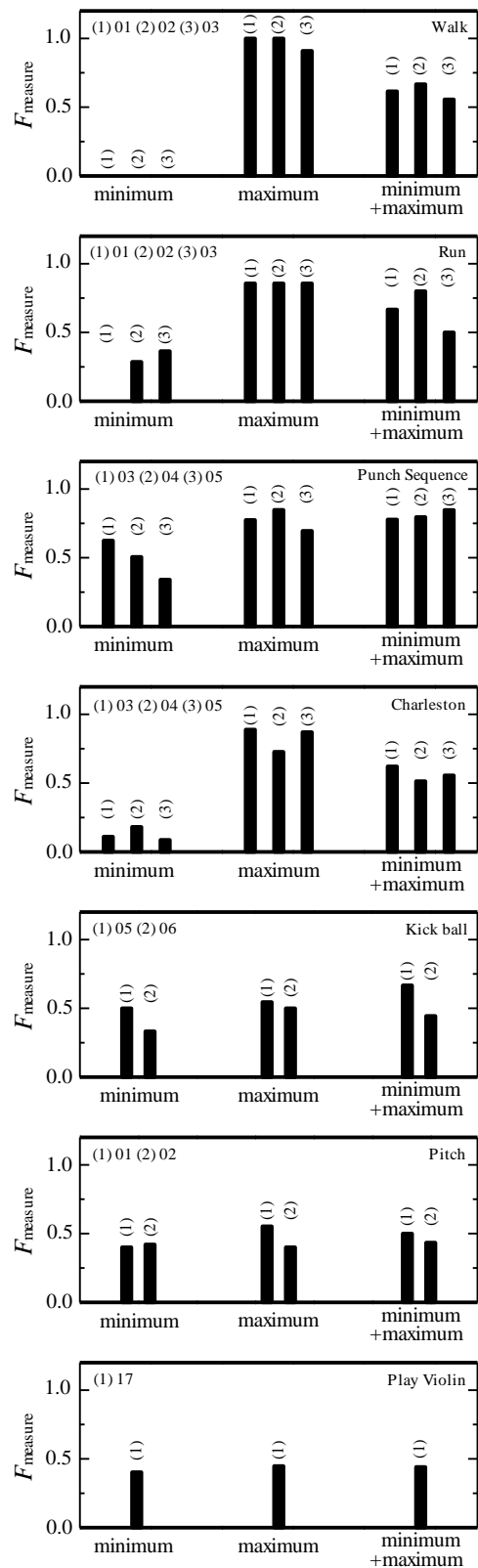


図 4 抽出されたキーポーズの  $F_{measure}$

Fig. 4  $F_{measure}$  of extracted keyposes

みで抽出した場合は 0.649, 極大値および極小値双方から抽出した場合は 0.587 となり, 極大値の

みからキーポーズを抽出した場合の平均値が最も高い値となった。

### 3.3 考察

本研究で用いたキーポーズ抽出法では、動作の周期性が抽出に影響を与えた。周期性の低い動作では、図4の下部3つに示したように、i) 極小値のみ、ii) 極大値のみ、iii) 極小値および極大値の双方、のいずれの抽出パターンにおいても  $F_{\text{measure}}$  の値が低いため、動作の周期性が低い場合の抽出法に改善が必要と考えられる。

一方で、3つの抽出パターンごとの  $F_{\text{measure}}$  の平均に関して、極大値のみからキーポーズを抽出した場合に  $F_{\text{measure}}$  の平均値が最も高い値を示したのに対して、極小値のみから抽出した場合の平均値は他の2つの1/2程度の値となったことから、極小値のみからキーポーズを抽出することは有効ではないと考えられる。また、残る2つのパターンを比較した場合、周期性の高い動作において  $F_{\text{measure}}$  は高い値を示し、周期性の低い動作でも極値全てから抽出したパターンと同程度の値を得たことから、極大値のみからキーポーズを抽出することが有効であると考えられる。ただし、その場合でも得られた  $F_{\text{measure}}$  の値は0.649と十分に高い値とは言えないため、やはり周期性の低い動作における抽出について何らかの改善が必要である。

## 4. おわりに

本研究では、関節座標値の分散共分散行列から導出した一般化分散による統計解析を用いたキーポーズ抽出、および一般化分散の時間変化における極値からの抽出について検討を行った。その結果、周期性の高い動作においては ground-truth キーポーズとの一致の度合いは比較的高かったが、周期性の低い動作では異なるキーポーズが多く抽出された。また、i) 極小値の

み、ii) 極大値のみ、iii) 極小値および極大値の3パターンに分けた極値からの抽出方法においては、極大値のみからキーポーズを抽出した場合に  $F_{\text{measure}}$  の平均値が最も高い値となり、よって有効性は高いと考えられるが、周期性の低い動作からの抽出では十分な結果は得られなかった。

今後は周期性の低い動作におけるキーポーズ抽出の改善、および同じく身体の広がり具合の時間変化からキーポーズを決定した従来法<sup>9)</sup>との比較が課題である。

## 参考文献

- 1) A.Menache : Understanding Motion Capture for Computer Animation, 1/40, Morgan Kaufmann (2011)
- 2) 中澤篤志 : 知っておきたいキーワードモーションキャプチャ, 映像情報メディア学会誌, **63-9**, 1224/1227 (2009)
- 3) T.Miura, T.Kaiga, T.Shibata, H.Katsura, K.Tajima and H.Tamamoto : Adaptive Keypose Extraction from Motion Capture Data, Journal of Information Processing, **22-1**, 67/75 (2014)
- 4) I.S.Lim and D.Thalman : Key-Posture Extraction Out of Human Motion Data by Curve Simplification, Proceedings of 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, **2**, 1167/1169 (2001)
- 5) F.Liu, Y.Zhuang, F.Wu and Y.Pan : 3D Motion Retrieval with Motion Index Tree, Computer Vision and Image Understanding - Special Issue on Video Retrieval and Summarization, **92**, 265/284 (2003)
- 6) 八村広三郎 : モーションキャプチャデータからの特徴フレームの抽出, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, **2002-13**, 305/308 (2002)
- 7) T.Miura, N.Matsumoto, T.Kaiga, H.Katsura, K.Tajima and H.Tamamoto : Indexing of Motion Capture Data Using Feature Vectors Derived from Posture Variation, Journal of Information

- Processing, **21-2**, 358/361 (2013)
- 8) R.A.Johnson and D.W.Wichern : Applied Multi-variate Statistical Analysis, 122/124, Pearson (2007)
  - 9) 明石謙 : リハビリテーション医学全書 4 運動学, 2/4, 医歯薬出版株式会社 (1987)
  - 10) Carnegie Mellon Mocap Database : <http://mocap.cs.smu.edu>
  - 11) J.Perry and J.Burnfield: Gait Analysis : Normal and Pathological Function, 2/19, Slack Inc (1992)
  - 12) How to the Charleston Step | Swing Dance : <http://www.youtube.com/watch?v=fQSY-2VtBvg>
  - 13) J.R.Olson and G.R.Hunter : Anatomic and Biomechanical Analyses of the Soccer Style Free Kick, National Strength and Conditioning Association Journal, **7-6**, 4/10 (1985)
  - 14) P.Jacobs : The Overhand Baseball Pitch : A Kinesiological analysis and Related Strength Conditioning Program, National Strength and Conditioning Association Journal, **9-1**, 5/9 (1987)
  - 15) The Violin : <http://www.the-violin.com/up-and-down-bow/>
  - 16) 松原希, 縄田和満, 中井検裕 : 統計学入門, 269/273, 東京大学出版会 (1991)