

モーションキャプチャ・プロジェクト — 舞踊のデジタルアーカイブ —

八村 広三郎

立命館大学 理工学研究科

1 はじめに

「モーションキャプチャ・プロジェクト」では、無形文化財の保存と解析を主たる研究テーマにおき、光学式モーションキャプチャ・システムを利用した舞踊のデジタルアーカイブ化とデータ解析の研究を行っている。本稿では、本プロジェクトの 2002 年度、2003 年度の研究成果をまとめて報告する。

2 舞踊とモーションキャプチャ

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 次元座標の時系列データを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ことへの期待が高まっている [1, 2]。

われわれは、アート・リサーチセンターにシステムを導入後、舞踊のアーカイブのためのツールとして利用してきている。システムの運用には、相当の経験と熟練が必要となるが、すでに、能楽、舞楽、現代舞踊、バレエ、ジャワ舞踊など世界各地の民族舞踊などの舞踊のキャプチャを行ってきており、さまざまな観点から、デジタルアーカイブへのその可能性を探っている。

現在のモーションキャプチャ技術で、能や日本舞踊などの伝統芸能を記録すること自体に問題がないわけではない。すなわち、身体各部の 3 次元位置を正確に記録するという目的のため、ほとんど裸に近い状態での計測を余儀なくされるので、それが、演技に影響を与える可能性がある。また、身体の動きだけがすべてではなく、着衣や化粧の状態も重要であるにもかかわらず、これらはモーションキャプチャだけでは記録できない。しかし、このような課題を含みながらも、モーションキャプチャにより、舞踊等の無形文化財における身体運動の定量的な解析が可能になるとともに、従来の定性的な評価との関連づけることにより、その芸

術の源を探ることができるのではと期待される。

伝統芸能(能)の伝承者(家元級)から得たモーションキャプチャについての評価は、上述したような問題を含んでいることを認めながらも、このような客観的データの計測と CG による表示は自己の演技の分析に有効であり、特に、加齢などによる演技の変化を観察するのに今後も引き続き利用したいということであった [1]。モーションキャプチャが、無形文化財の記録・保存および分析に一定の有用性を持っていることが示唆されたものと理解している。

現在、モーションキャプチャデータ、同時に収録したビデオデータ、また、対応する関連データなどを連携して管理するための身体運動データの管理システムを構築している [3]。現時点では基本的な管理機能のみが実現されているが、今後、後述の動作データの類似検索の機能を組み込み、さらに将来は、権利関係の整理されたものについては、Web 等で公開していくことを考えている。

3 舞踊譜 Labanotation の利用

舞踊の分野では、体の動きを記述する方法が古くから検討されており、なかでも Labanotation と呼ばれる舞踊記述法はアメリカの舞踊界を中心に広く利用されている [4]。これは、音楽における楽譜のように、人間の動作を図形的な記号で記述するものである。

映像技術やモーションキャプチャ技術が進歩した現在、Labanotation の記譜法は必ずしも万能ではない。しかし、音楽の楽譜と同じように、この手法は舞踊の記録としては基礎となるものであり、しかも、現在なお舞踊界で利用され、またよく研究されているという点が重要である。舞踊の、ある意味でのエッセンスを記述したもの、あるいはアブストラクトとみなすこともでき、また、教育・啓蒙のための組織や活動が存在していることも含め、「システム」としての Labanotation の重要性は揺るがないものと考えている。このような

観点から、われわれは、Labanotation に基づいた、コンピュータによる身体運動の入力・記述とアーカイブ化を試みている [5, 6] .

まず、モーションキャプチャによって得られる身体動作データから、Labanotation を生成することを研究している [7] . この目的とするところは、多くの無形文化財の舞踊や民族舞踊などの身体運動をモーションキャプチャにより正確に計測するとともに、このデータから Labanotation を自動生成することにより、これを振り付けや舞踊教育の現場で応用することにある .

また、Labanotation の譜面を、マウスを用いたインタラクティブなグラフィック操作で入力・編集を可能にするエディタシステム LabanEditor を開発している [8, 9] . 作成・編集した譜面を印刷出力できるだけでなく、このデータをファイルとして保存し、さらにこれを Web 上での 3DCG モデリングのための標準的な言語である VRML に変換して出力でき、これを利用してディスプレイ上で CG モデルによる身体運動として表示することができる [9] .

また、文献 [10] では、Labanotation のマルチメディア教材についての研究を行っている .

4 モーション・データの活用

モーションキャプチャによりデジタル化された舞踊のデータを利用して、CG によるアニメーションやマルチメディア教材を作成することも重要な課題である .

文献 [11] は、モーションキャプチャによる民俗舞踊の身体動作データを身体各部の基本的な動作プリミティブに分類し、これを音楽の音符に相当するような「舞踊符」として登録し、これを組み合わせて新しい舞踊動作を作成することを行っている . また、文献 [12] では、モーションキャプチャによって取得したバレエの単位動作データを対話的に合成し、振付のシミュレーションが行われている .

一方、われわれは、現在、観世流片山家の協力を得て、能楽の幾つかの演目の CG 化と、能楽に関するマルチメディア教材の作成を行っている [13] . 図 1 は、能の演目「大会（だいえ）」の仕舞をモーションキャプチャしたデータをもとにして作成した 3 次元 CG アニメーションの 1 コマである .

能は抽象性の高い総合芸術であり、そのストーリーや背景に関する前提知識を持っていないと、たとえ大人であってもこの芸術の理解は困難である . この CG は、能のストーリーの児童教育用としての利用を考えて作成したものである .



図 1: 作成した CG の例

モーションデータからの 3 次元 CG の作成は、すでに、市販の CG ソフトを活用することにより可能であるので、ここには研究的要素は少ないが、CG 作品のオーサリングには、多くの経験とノウハウ、また芸術的センスも必要である . このため、本プロジェクトでは、アーカイブ化されたモーションデータの活用の観点から、CG コンテンツの作成にも精力を注いでいる . キャプチャデータを CG モデルに割り当てる段階やカメラワーク、アニメーションの構成などで、専門の能楽師と協同しながら作業を行っている .

さらに、たとえば、マルチアングルビデオ映像、静止画像、音楽、テキスト（文字）情報や、舞踊譜などの各種の関連するマルチメディアデータを連携させて保存し再生できるようなコンテンツの作成と利用が望まれる . 現在このような目的のために、マルチメディア記述言語 SMIL を利用したマルチメディア教材の開発とそのためのツール開発を行っている [14] . 図 2 は、能楽のビデオ映像と謡本を同期して表示する教材の例である .

5 身体動作データの類似検索

モーションキャプチャ・システムを利用し、さまざまな舞踊をキャプチャしてきているが、今後、データが増え続けていくと、これらのデータの管理が課題となる . 現在、モーションキャプチャデータの管理システム [3] を構築中であるが、この際、文字データによる管理情報からだけでなく、身体運動の類似性に基づく、動作データの「内容検索」についても実現できることが要求される . また、モーションキャプチャを用いた舞踊の定量的研究では、舞踊を特徴付ける特徴量の抽出、異なる舞踊間の比較、類似性の判定などがあるが、このためには、対象の舞踊の中から基本となる動作を抽出することが要求される [15, 16, 17] .



図 2: SMIL によるマルチメディア教材

このような観点から、モーションキャプチャによる舞踊の身体運動データの類似検索の研究を行っている [18] .

類似検索のためには、身体動作データ間での類似度を求める必要がある。どのような基準で身体運動の類似性を定義するかについては考慮すべき点がある。たとえば、同じ「歩く」動作であっても、右足から踏み出す場合もあれば、左足から踏み出す場合もある。また、歩く速度にもばらつきがあり、立つ位置や向きもさまざまである。これらは同じ「歩く」という動作で、類似動作とみなすことができるが、モーションキャプチャのデータは全く異なったデータである。また、舞踊の表現には、全体的には同じ身体動作であっても、その一部分での動作速度が演技者により変化するようなものも見られるのが通例である。これらの差異や体型（サイズ）の差異を吸収した類似動作の検索を可能にする必要がある。

本研究では、身体動作データのマッチングのために、音声認識や手書き文字認識などで長さの異なるデータ系列間でのマッチングに広く用いられている DP マッチング法を使用する。これで、動作速度の差異を吸収することができる。

動作の類似性は、人体モデルの対応するジョイント間の距離を求めることで判定する。2つの身体姿勢が与えられたとき、対応するジョイント間の距離の総和で身体姿勢間の距離を定義する。一連の身体姿勢の系列、すなわち身体動作データ間については、フレーム数にわたる身体姿勢間の距離の総和を求め、これを身体動作データ間の距離とする。

本研究では、現在のところ、世界座標系における身体方向、および、空間内の身体の移動については考慮しないことにしている。このため、DP マッチングを行なう前に、身体位置と方向についての正規化をおこなう。

以上で述べたような身体動作データ間の類似性に基づき、DP マッチングによる類似動作の検索を行うシステムを作成した。このシステムでは、まず、対象とする身体動作データと、その中から抽出すべき身体動作データ（以下、質問データと呼ぶ）を指定する。

検索にあたっては、全身の仮想ジョイント同士で比較し距離を求めるのを基本としている。しかし、舞踊の比較研究においては、手の動き、足の動きだけに注目したいこともある。このため、体の各部位、たとえば、右手の動作だけを対象とした検索もできるようにしている。

ここでは、日本舞踊の「振り」に見られる基礎動作である「オクリ」の動作を対象とした検索の例を示す。「オクリ」とは、「進行方向の足を斜め前に出し、次に逆の足を入れ込み、再び進行方向の足を出して舞台の上手または下手に3歩歩く」動作のことで、胸や肩の動作を伴って、しっとりとした女性的な印象を表出する場面などで利用される。

図3は、okuri48 と名づけられたオクリ動作データの中から一部を抽出したものである。これを用いて okuri48 とは異なる okuri48a のデータ (okuri48 に同じ動作とその前後の動作を含む動作に対して別にキャプチャしたデータ) を検索対象として検索を行なったときの結果のひとつが、図4である。類似の動作が検索されているのが分かる。なお、この場合は全身のジョイントを対象として検索を行なっている。

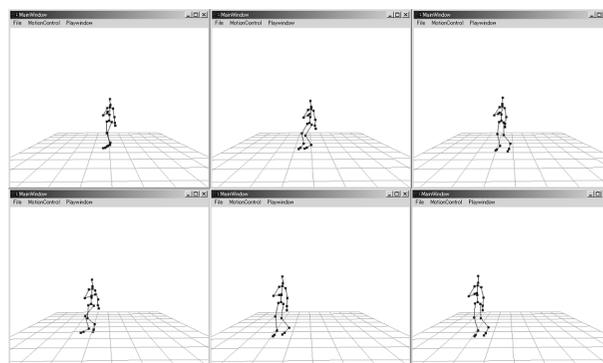


図 3: 質問データ (okuri48)

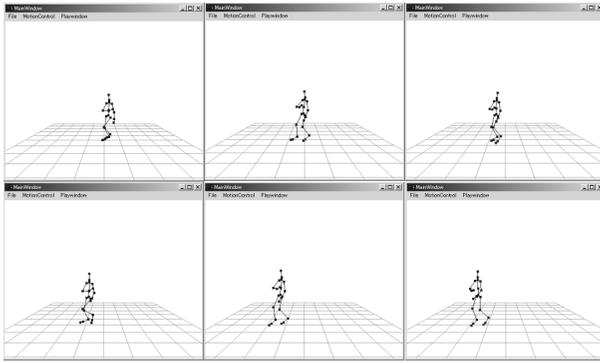


図 4: 検索結果 (okuri48a の 569-738 フレーム)

6 特徴的フレーム抽出

舞踊は時間芸術であり、時間の経過により表現されるものであるが、ある瞬間瞬間のポーズにより、表現される部分も多い。このような観点から、一連の舞踊のモーションキャプチャデータの中から、その舞踊を適切に表す、いくつかの特徴的で代表的な身体ポーズを抽出する基礎的な手法について研究している。舞踊における「見せ場」はどのような特徴をもっているか、また、それは、見る人にどのような印象を与えるか、などがおもな課題となる。文献 [19] ではビデオ映像のシルエット像を対象にしている。

われわれは、モーションキャプチャデータを対象として、動作全体を概観するマクロな視点から、一連の舞踊動作の中から、特徴的なフレーム（姿勢）や音楽の「サビ」のような主要な部分を抽出する研究を行っている [20]。これでは、各時点での、踊り手の体全体を包み込む最小凸多面体（凸包という）の体積を求め、この値の時間的変化（図 5）をもとに、特徴的なポーズを求めている。図 6 に結果の一例を示す。

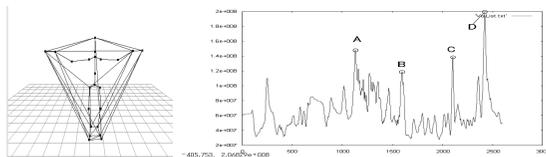


図 5: 身体モデルとその凸包 (a) 凸包の体積の変化 (b)

7 舞踊の定量評価

舞踊動作の解析の話題としては、たとえば、熟練者と非熟練者の身体動作を比較し、これらの相違を定量的に明らかにすることや、ある舞踊と類似した身体動作

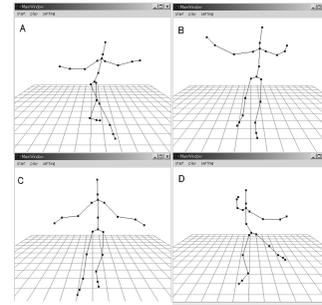


図 6: 抽出した特徴的フレーム

を他の舞踊の中から見つけ出すことなどが考えられる。

舞踊の上手下手、表現力の豊かさなどはどのような身体姿勢や運動によって形成されるのかを、モーションキャプチャデータの定量的な解析によって行う。これは、もちろん対象とする舞踊の種類により、注目すべき部位や特徴量が異なるが、たとえば、腰の部分の動き、手の先の動きなどから特徴抽出を行い、これに基づいて、定量評価の可能性を探る。

文献 [21] では、日本舞踊の「振り」を構成する基本動作について、モーションキャプチャデータにおいて、「構え」「重心」「腰」「内輪」という空間的特性に関する指標を定義し、これらが熟達者と初心者とでどのように異なるかを分析している。また、舞踊の種類によるマーカ軌跡の周波数特性の違いを実験により明らかにしている。文献 [22] は、この研究をさらに発展させたもので、身体の移動量に関する指標とガボール変換を利用したスペクトル成分に関する指標を用いている。これらの指標が上達度や性による差異を表現していることを確かめた。

舞踊の熟練・非熟練の定量解析などを行うためには、まず、どの身体部位の動きに着目すべきかを明らかにする必要がある。これは舞踊の種類によっても異なるであろうし、着眼点も舞踊家それぞれで異なるであろう。現時点では、さまざまな個別的な試みが行われている段階であるが、いずれこれらの成果を統合することにより、一般化できるようになることを期待される。

文献 [23, 24, 25] は、主に定性的な観点から行われた舞踊研究者による体系的な日本舞踊の研究成果にもとづき、これをモーションキャプチャによる物理的・定量的データ解析により裏付けようというものである。文献 [23] では「オクリ」という基礎技術の中の、女性的表現のために使われるものに着目し、しっとりとした女性らしい印象を与える動きを定量的に分析し、さらにオクリが段階を追って習得されることを定量的に確認した。また、文献 [24, 25] では、説明的動作とし

て分類されるオクリ動作について同様の解析を行った。説明的動作のオクリでは、手の動作が足の動作を誘導することなどが分かった。これらの研究は、まだ初歩的な段階であるが、舞踊の解析においては、このような、舞踊家または舞踊研究者による視点に立脚した共同研究が重要であると考えている。また、上述のように、これらの研究においても、より多くの演者、演目によるデータに基づく統計的な分析による一般化が今後の課題である。

8 舞踊の感性評価

舞踊とは、人間の身体運動に他ならないが、舞踊を見る人は、身体の動作からさまざまな感性的な印象を受ける。身体と感性の関連については、顔の表情に対する研究は多く行われているが、身体動作に対する感性研究は、まだ、あまり行われていない。しかし、舞踊の解析という観点からは、これは重要で興味ある課題である。

文献 [26, 19] は、舞踊の身体動作と、動作から受ける印象との関係を明らかにしようとしている。この際、運動の物理量としては、演技者の正面から撮影したビデオ映像におけるシルエット画像を解析して抽出しており、舞踊動作の3次元情報は失われているのが問題と考えられる。一方、文献 [27] では、モーションキャプチャによる3次元身体運動情報と印象との関連性を、下肢の各部位間の角度情報を用いて明らかにしようとしている。

われわれは、舞踊の身体動作とそれを観察したときに受ける感性との関連について、まずは、ビデオ映像を用いた心理実験に基づく基礎的研究 [28] を行った。この結果をふまえて、モーションキャプチャデータから得られるいくつかの物理的特徴量との関連で同様の検討を行っている [29, 30]。

9 おわりに

ここでは、われわれのプロジェクトで行っている、モーションキャプチャによる舞踊のデジタルアーカイブ化とそのデータに基づく舞踊研究についての活動の紹介を行った。上で述べたものの他に、これらに関連する研究として、単眼のビデオ映像から人体の3次元動作を抽出するもの [31, 32]、民俗舞踊の動作分析 [33]、仮想現実感技術の発展形である複合現実感技術を用いた舞踊の訓練支援システムの開発 [34] なども行っ

ている。

謝辞 本稿は、モーションキャプチャプロジェクトの全体成果の報告であり、それぞれの論文等は、文学研究科赤間亮教授、社会学研究科遠藤保子教授、および、COE 推進機構の吉村ミツ教授、中村美奈子客員研究員、阪田真己子客員研究員、小島一成ポスドク研究員ら、プロジェクトメンバーによるものを含んでいる。日頃討論いただくメンバー各位に感謝する。

また、能楽については、片山能楽保存財団の片山清司先生に日頃ご指導をいただいている。ここに、心より感謝の意を表す。日本舞踊の動作については、日本大学の丸茂美恵子先生にご教授いただき、また、実際にご自身の演技をキャプチャしてデータを利用させていただいた。ご指導ご協力について深く感謝する次第である。

参考文献

- [1] 八村広三郎: モーションキャプチャー技術による身体動作の分析・比較研究 - 3次元動画のデータベース化の研究開発 -, 科学研究費補助金 (地域連携推進研究) 研究成果報告書, 2002.
- [2] 中村明生, 庭山知之, 村上智一, 田端聡, 久野義徳: 舞踊動作の解析と応用システムの開発, 情報処理学会研究報告, CVIM-137, pp.85-92, 2003.
- [3] 小島一成: 身体動作データベースについて、「モーションキャプチャ技術と身体動作処理」シンポジウム論文集, pp.25-28, 2003.
- [4] 中村美奈子: 舞踊の記録・分析・保存 - 舞踊記譜法 (Labanotation) による舞踊研究試論 -, 神奈川大学経営学部「国際経営論集」, No.19, pp.109-126, 2000.
- [5] 八村広三郎: 無形文化財のデジタルアーカイブ、画像電子学会第30回年次大会予稿集, pp.29-36, 2002.
- [6] 八村広三郎: 舞踊のデジタル化 - モーションキャプチャと Labanotation の利用、システム/制御/情報、Vol.46, No.8, pp.490-497, 2002.
- [7] Kozaburo Hachimura and Minako Nakamura: Method of Generating Coded Description of Human Body Motion from Motion-captured Data, Proc. IEEE ROMAN 2001 Workshop, pp.122-127, 2001.
- [8] 岡本賢一, 八村広三郎, 中村美奈子: 舞踊譜 Labanotation に基づく身体運動データ入力・編集・表示システムの開発, 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, pp.73-80, 2001.
- [9] Kazuya Kojima, Kozaburo Hachimura and Minako Nakamura: LabanEditor: Graphical Editor for Dance Notation, Proc. IEEE ROMAN 2002 Workshop, pp.59-64, 2002.

- [10] Minako Nakamura, Kozaburo Hachimura: Development of Multimedia Teaching Material for Labanotation, ICKL(International Council of Kinetography Laban)Proceedings of the Twenty-second Biennial Conference, pp.150-160, 2002.
- [11] 湯川崇, 海賀孝明, 長瀬一男, 玉本英夫: 舞踊符による身体動作記述システム, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.10, pp.2873-2880, 2000 .
- [12] 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美: パレエ創作を支援する Web ベースの振りシミュレーションシステム, 信学技報, MVE2002-116, pp.71-74, 2003.
- [13] 赤間亮, 小島一成: 関西都市と芸能を科学する, 電子情報通信学会誌, Vol.86, No.10, pp.747-751, 2003.
- [14] 小島一成, 稲葉光行, 金子貴昭, 赤間亮, 八村広三郎, 瀬尾訓生, 長村玄: SMIL 技術を用いた伝統芸能コンテンツの制作, 情報処理学会「人文科学とコンピュータ」研究会資料, 2003-CH-60, pp.57-64, 2003 .
- [15] 大崎竜太, 上原邦昭: DTW を用いた身体動作における基本動作の抽出, 情報処理学会研究報告, データベースシステム 119, pp.279-284, 1999.
- [16] 川嶋幸治, 尺長健: 相関による類似動作抽出に基づく舞踊動作の解析, 情報処理学会研究報告, CVIM-137, pp.77-84, 2003.
- [17] 矢部武志, 田中克己: 身体動作データのマルチストリーム性を考慮した類似・非類似検索, 情報処理学会研究報告, データベースシステム 119, pp.285-290, 1999.
- [18] 高橋信晴, 八村広三郎, 吉村ミツ: モーションキャプチャを利用した舞踊身体動作の類似検索とその評価, 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, pp.31-38, 2003 .
- [19] A. Camurri, P. Coletta, B. Mazzarino, R. Trocca, and G. Volpe: Improving the man-machine interface through the analysis of expressiveness in human movement, Proc. 2002 IEEE ROMAN conf., pp.417-421, 2002.
- [20] 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, 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, pp.305-308, 2002 .
- [21] 吉村ミツ, 酒井由美子, 甲斐民子, 吉村功: 日本舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-DII, No.12, pp.2644-2653, 2001 .
- [22] 吉村ミツ, 甲斐民子, 黒宮明, 横山清子, 八村広三郎: 赤外線追跡装置による日本舞踊動作の解析, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-D-II, No.3, pp.779-788, 2004.
- [23] 丸茂祐佳, 吉村ミツ, 小島一成, 八村広三郎: 日本舞踊の基礎動作「オクリ」に現れる娘形技法の特徴, 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, pp.39-46, 2003.
- [24] 吉村ミツ, 中村佳史, 八村広三郎, 丸茂祐佳: 日本舞踊における基礎動作「オクリ」の基本形の特徴, 情報処理学会研究報告, 2004-CH-61, pp.41-48, 2004.
- [25] 中村佳史, 吉村ミツ, 丸茂祐佳, 八村広三郎: 日本舞踊における基礎動作「オクリ」の解析, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 (CD-ROM), D-12-46, 2004.
- [26] 井上正之, 岩館祐一, 鈴木良太郎, 柴真理子, 夢沼真: ダンスにおける身体動作表現に関わる物理量と印象との関係, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.25, No.35, pp.61-66, 2001.
- [27] 石川美乃, 神里志穂子, 星野聖: 舞踊における身体運動の特徴抽出と印象との関連性 - 下肢運動に関する検討 -, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.25, No.29, pp.79-84, 2001.
- [28] 阪田真己子, 八村広三郎, 丸茂祐佳: 日本舞踊における身体動作からの感性情報の抽出 ビデオ映像を用いた評価実験, 情報処理学会研究報告「人文科学とコンピュータ」, 2003-CH-60, pp.65-72, 2003.
- [29] 阪田真己子, 丸茂祐佳, 八村広三郎, 小島一成, 吉村ミツ: 日本舞踊における身体動作の感性情報処理の試み - motion capture システムを利用した計測と分析 -, 情報処理学会研究報告, 2004-CH-61, pp.49-56, 2004.
- [30] 柿本篤史, 吉村ミツ, 丸茂祐佳, 阪田真己子, 八村広三郎: 日本舞踊における身体動作と感性の関連性の抽出, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 (CD-ROM), D-12-45, 2004.
- [31] Kazuya Kojima, Kozaburo Hachimura: A Tool for Reproducing 3D body motion from Recorded Image Sequence of Traditional Dance, Proc. 2002 IEEE International Conference on Infomation Technology & Application, CD-ROM, Bathurst, Australia, November 2002.
- [32] 八木敬, 八村広三郎: 単眼ビデオ映像からの3次元身体運動抽出, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 (CD-ROM), D-12-122, 2004.
- [33] 高橋京子, 遠藤保子, 小島一成, 八村広三郎: 動作分析にみる鹿児島県奄美群島の表現特性, 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, pp.71-78, 2003.
- [34] 加藤広務, 八村広三郎, 田村秀行: モーションキャプチャと複合現実感技術を用いた舞踊の教育支援システムの試み, 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, pp.79-86, 2003.