

スポーツ動作分析の支援を目的とした 人体センシング情報の可視化提示法

稲葉洋*1 瀧剛志*2 宮崎慎也*2 長谷川純一*2
肥田満裕*3 山本英弘*4 北川薫*3

*1 中京大学大学院情報科学研究科 *2 中京大学情報科学部
*3 中京大学体育学部 *4 朝日大学法学部

本論文では、スポーツ動作分析の支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法とその応用例について述べる。スポーツにおける打撃動作や投球動作の分析では、動作中に得られた筋電位などの運動機能情報を、対応する動作フォーム映像と比較しながら行うことが多い。この作業を支援するため、本方法は、動作中の人物の各要所部位で計測した筋電位値とその変化を、その人物の人体骨格を表す 3D モデル上の対応する部位に色の差異として表示し、それを動画アニメーションとして提示する。これにより、利用者は、動作フォームの変化に伴う各筋肉の負荷状態とその時間変化を、視覚的かつ直感的に理解することが可能となる。本方法を、実際にゴルフスウィング動作とボーリング投球動作に適用し、とくに異なる人物の動作特徴の比較評価が効果的に行えることを示す。

Visualization of Human Body Sensing for Supporting Sports Motion Analysis

Hiroshi Inaba*1 Tsuyoshi Taki*2 Shin-ya Miyazaki*2 Jun-ichi Hasegawa*2
Mitsuhiro Koeda*3 Hidehiro Yamamoto*4 and Kaoru Kitagawa*3

*1 Graduate School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University
*2 School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo University
*3 School of Physical Education, Chukyo University
*4 School of Law, Asahi University

This paper realizes visualization of human body sensing for supporting sports motion analysis. In sports motion analysis such as hitting or throwing a ball, kinesiological information such as myoelectric potential values are checked corresponding to form actions in video images. To support this process, the kinesiological information is mapped onto a human body skeleton model and displayed with a variation of colors. The animation enables us to observe transition of the kinesiological information according to time spent during the actual action forms. This method is applied in practical use to golf swings and bowling, and its effectiveness to distinguish differences among players is sighted.

1. はじめに

3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)は、3次元的な情報を自然な映像で提示する技術として、エンターテインメントの分野をはじめ産業や医療の分野でも、その応用が活発に試みられている。とくに、数値のままでは理解ができない、あるいは困難な情報を、適当な仮想オブジェクト上に形の変化や色の違いとして表現することによって、人間がより理解しやすい形に可視化できる点は、3DCGの応用が今もなお多くの分野で試みられている理由の一つ

であろう。また最近では、グラフィックスハードウェアの低価格化が進み、3DCG技術がより手軽に利用できるようになった背景もある。

本研究が対象とするスポーツ分野[1]もそのような3DCG技術の実用的な応用分野の一つである。とくに、スポーツ動作分析の領域では、映像情報から得られるフォーム動作の軌跡情報はもとより、筋肉への力の入れ具合に相当する筋電位情報や足圧情報といった運動機能情報など、計測しうる様々な情報が被験者(プレーヤ)の運動機能の解析に利用されている。しかしながら、実際の現場では、それらの情

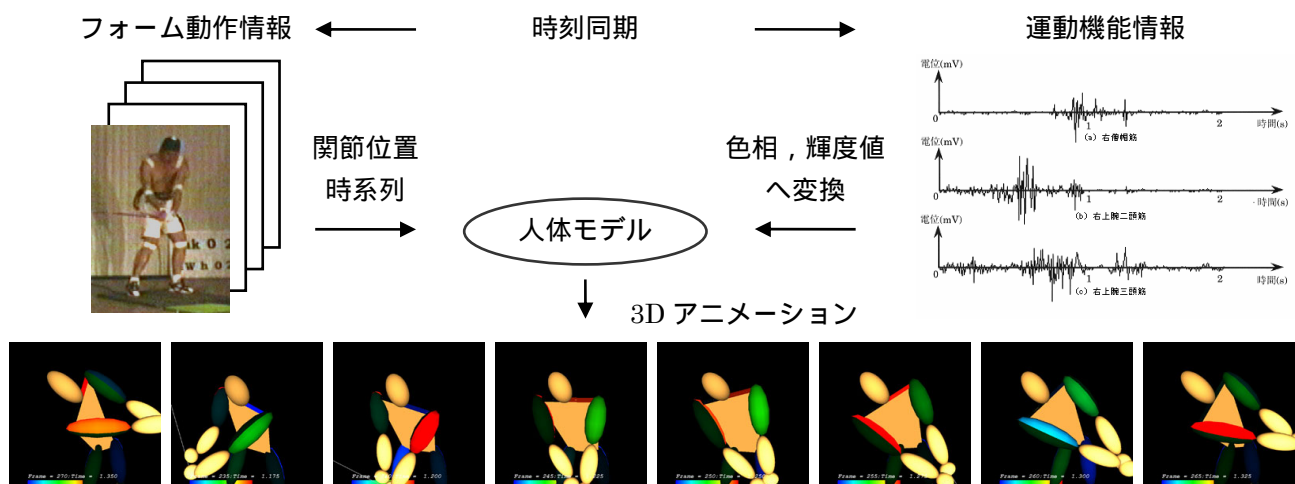


図 1 処理手順概要

報がそれぞれ個別の形式で表示され利用されているのが普通であり、それらを比較しながら解析を行うことは容易ではなかった。また、グラフなどを用いた運動機能情報のみの提示では、フォーム動作との時間的整合の把握が困難であり、専門家からは運動解析をする上での大きな障害のひとつとして指摘されていた。

そこで本研究では、スポーツ動作分析の支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法として、フォーム動作中に筋電位情報や足圧情報などの運動機能情報を同時に計測し、フォーム動作と筋電位等の運動機能情報を同時に観察できる CG アニメーションの生成を試みる[2]。このアニメーションでは、プレーヤーの体の要所部位で計測した筋電位値を、人体骨格を表す 3D モデル上に色の分布として表示するため、利用者はフォーム動作に対する筋電位の遷移状態を詳細に理解することが可能となる。本文では、アニメーションの生成方法を述べた後、それを実際にゴルフとボーリングの動作に適用した結果について述べる。

2. アニメーション生成

2.1 処理手順概要

アニメーション生成の処理の流れを図 1 に示す。2 台のカメラにより撮影されたビデオ映像と、同時に記録された 1 次元の時系列情報として表される運動機能情報を入力とし、3 次元アニメーションとして出力を得る。具体的な処理を以下に示す。

- a) あるフレームに対して 3 次元人体モデルの生成に用いる人体節点の抽出を行う。

- b) a)より得られる人体節点を用いて、3 次元人体モデルを生成する。
 c) 運動機能情報に対して前処理を行う。
 d) 運動機能情報の強度変化を色相の変化に置き換え、3 次元人体モデルの対応する部位を着色する。
 e) すべてのフレームに対して上記処理を行い、アニメーションを生成する。

次節以降それぞれの処理を詳しく述べる。なお、説明を容易にするため、映像情報としてゴルフのスウィング映像を、運動機能情報として筋電位情報、足圧情報を与えた場合について説明する。

2.2 運動機能情報

今回、運動機能情報の代表例として筋電位情報、足圧情報を用いた。

筋電位情報（筋電図）は、筋肉に差し込んだ針電極、また微小電極を用いて筋線維の膜面に発生した活動電位を記録したものである。一般には、筋の活動状態を知るために利用される。今回は、対応する部位の表面筋電を計測する方法をとった。

足圧情報（床反力）はフォースプレートと呼ばれる圧力計を人体の足下に置き、床から得られる反力を記録したものである。一般には、人体の体重や重心の移動を知るために利用される。それぞれ記録される情報は 1 次元の時系列情報で示される。

なお、これらの情報以外にも、動作中に計測できるものであれば、基本的に可視化の対象になる。

2.3 人体節点の抽出

まず、カメラ画像より人体動作を特徴づける肘、膝などの関節点、および、ゴルフのスウィング動作

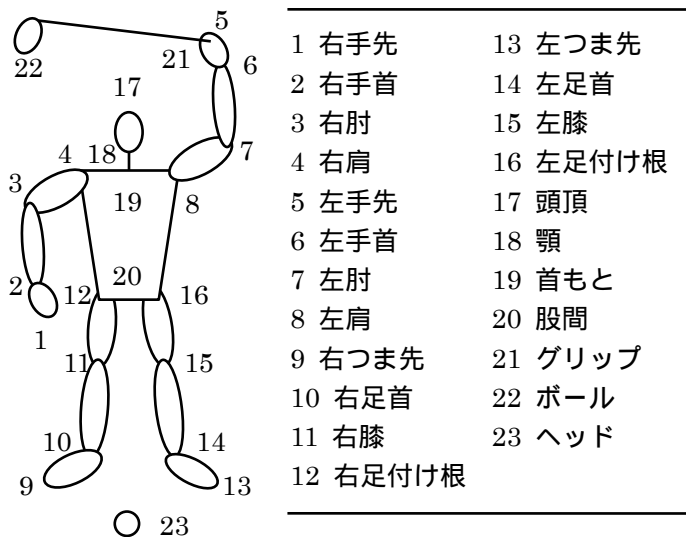


図2 抽出した節点とその名称

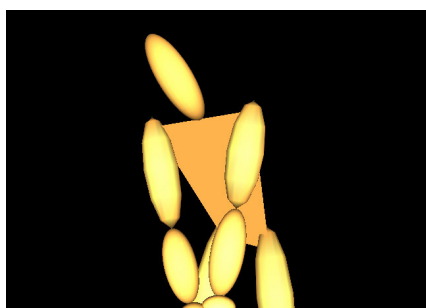


図3 生成された人体モデル

を特徴づけるクラブヘッド，ボールの位置を抽出する．抽出した節点の位置について図2に示す．次に，対応する節点の座標対を元に節点の3次元位置を算出する．3次元座標の算出にはDLT法[3]を用いた．

本研究では人体節点の抽出を手入力で行った．画像に含まれる特徴点の自動抽出は画像処理分野においては主要なテーマであり，人物の姿勢推定やスポーツ解析の研究で多数述べられているが，まだ発展途上の段階である[4]．また，最近ではこのような3次元位置を獲得するためのモーションキャプチャ装置が普及しつつあり，高価ではあるがこれを利用すれば入力是比较的容易に行われる．

2.4 3次元人体モデルの生成

人体節点の位置情報を元に，対応する節点どうしを結び3次元スティックモデルを生成する．生成された人体モデルの例を図3に示す．スティックの基本形状は楕円体とし，長軸方向と節点間を結ぶ方向が一致するように配置する．胴の部分は，スティックモデルを用いて生成した場合，ひねり動作を立体

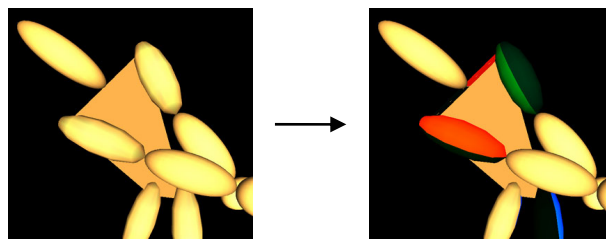
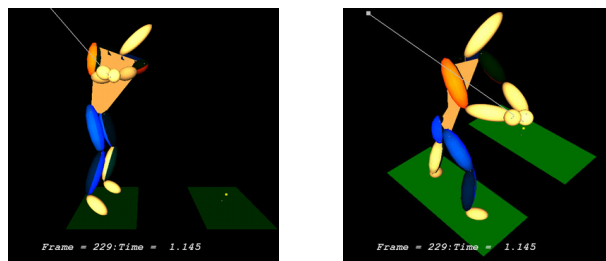


図4 情報のマッピング



図5 色相の変化



a) 側面

b) 上方

図6 任意視点からの観察

的に表現することが困難であるため，左右の肩，左右の足の付け根を結ぶ平面で構成している．なお，ゴルフクラブやボールなど人体とは別の部位についても線，球などでモデルの生成を行う．

2.5 運動機能情報のマッピング

生成された人体モデルの各部位に筋電位情報を付加する．本研究では，筋活動状態の直感的な把握のしやすさ(力を出している=筋は発熱している，力を出していない=筋は発熱していない)や，複数の情報が近い場所で計測されることを考慮し活動状態の変化を色の变化に置き換えて提示する．具体的には，各筋の対応する部位にあたる人体モデルの楕円体を，筋放電量に応じた色相で着色する(この処理を情報のマッピングと呼ぶ)．情報のマッピングを行った3次元人体モデルを図4に示す．腕の前後に筋肉が配置されている場合などは，楕円球を2つの半球の組み合わせとして考え，それぞれ別々の色で着色する．

色相は筋電位強度が小さい時は青色，大きい時は赤色とし，その間はなめらかに変化するような色相の値で内挿する(図5)．現在は，強度の相対的大きさを比較するために，すべての筋電位情報中の最小値を青，最大値を赤とした色相を用いて着色を行う方法と，絶対的大きさを比較するために0を最小の青，

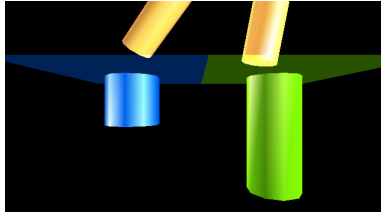


図7 足圧情報(床反力)の表示

表1 実験試料

カメラ映像(秒 200 コマ)	
画像形式	SunRaster 形式
画像サイズ	640 × 480(pixel)
濃淡レベル数	8bit/pixel
フレーム数	380(frame)
筋電位情報(秒 1000 点)	
計測点数	1900(点)

表2 筋電を計測した部位

体左側	体右側
1 僧帽筋	7 僧帽筋
2 上腕二頭筋	8 上腕二頭筋
3 上腕三頭筋	9 上腕三頭筋
4 大腿直筋	10 大腿直筋
5 大腿二頭筋	11 大腿二頭筋
6 前脛骨筋	12 前脛骨筋
	13 外側腓骨筋

適当な値を最大の赤とした色相を用いて着色する方法の2つを行っている。例えば、図1のアニメーションでは、最初は左腕の筋肉で高い筋電位を示したのち、右腕に電位の高い部分に移っていく様子が見てとれる。また、図6のように任意視点からの可視も可能である。

足圧情報はモデルの足下にそれぞれ2本の円柱を表示し、円柱の長さや色の濃淡により強度の変化を表す(図7)。

3. 実験

実験は、提案手法をゴルフのスウィング動作とボーリングの投球動作に適用した。今回は運動機能情報として筋電位情報を用いた。

3.1 実験条件

フォーム動作のビデオ撮影には、ゴルフについて



a) カメラ1



b) カメラ2

図8 入力画像

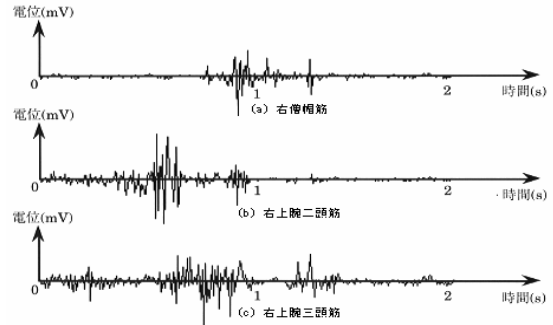


図9 入力情報の一例(筋電位情報)

はクラブヘッドの高速な動きを捉えるため、高速度カメラ(秒間 200 コマ)を用いた。ボーリングについては、動きがそれほど高速でないことから市販のDVカメラを使用した。また、同時に筋電位情報(秒間 1000 点)を計測した。なお、筋電位情報に対する前処理として、入力に用いられる映像情報と運動機能情報は、計測間隔が異なるため、映像情報のフレーム数を基準に運動機能情報の間引きしフレームの整合を行った。ゴルフ動作における実験条件を表1に、筋電位を計測した部位を表2に示す。また、実験に用いた動作映像の一例を図8に、筋電位情報の一例を図9に示す。なお、実験の被験者は、ゴルフ動作、ボーリング動作とも2名で、ゴルフは両名プロ選手、ボーリングはプロとアマチュアである。実験には SGI 製グラフィックワークステーション Indigo2 Impact(R10000 195MHz)を用いた。

3.2 実験結果

ゴルフスウィング動作における筋電位の変化のアニメーションを図10に示す。次に、ボーリング投球動作における選手の動作を観察する様子を図11に示す。本手法では、各筋の筋電位強度を3次元人体モデル上に色相の変化としてマッピングした。これにより、視覚的、直感的把握が可能となり、複数の筋の活動状態の同時観察を容易にしている。また、計算機内に3次元人体モデルを生成したことにより、カメラ映像では観察することのできない視点からの

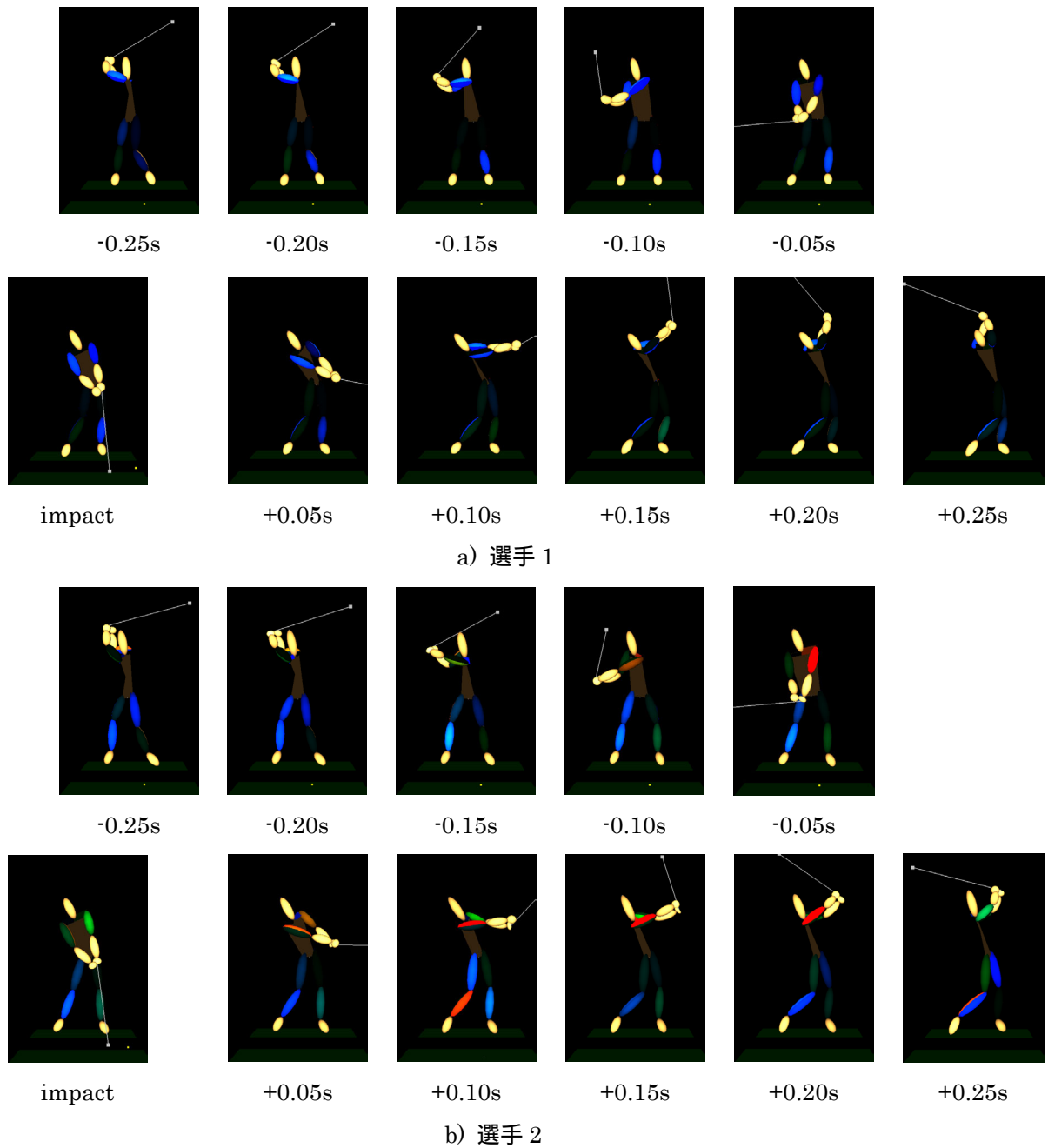


図10 ゴルフスイング，インパクト時における筋電位分布

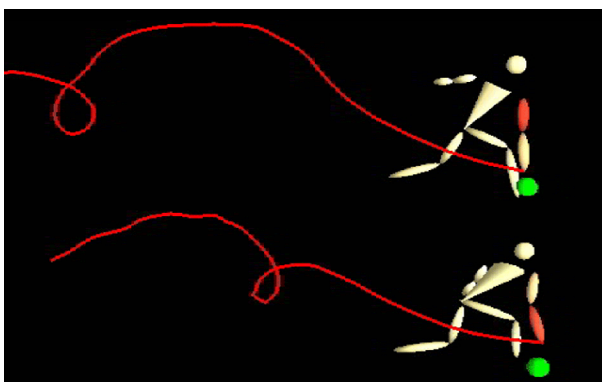


図11 ボーリング投球におけるボールリリース時の筋電位分布．プロ選手（上）とアマチュア（下）

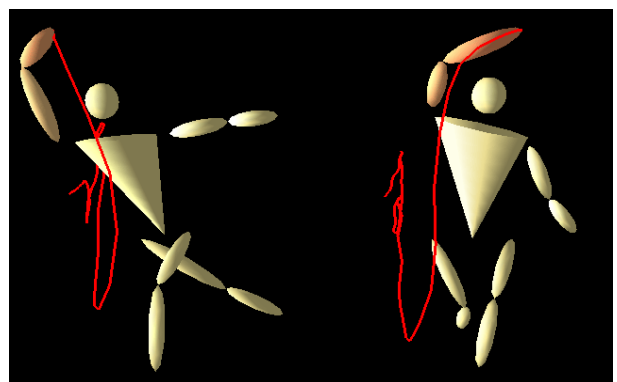


図12 ボーリング投球動作の最終状態．プロ選手（左）とアマチュア（右）

観察も可能としている。この際、観察したい筋電位データのみを選択し表示することも可能である。

[ゴルフ] 図 10 は、2 選手のゴルフスウィング動作を時系列をそろえて示したものである。クラブヘッドがボールにあたるインパクトが生じたフレームを基準とし前後 0.25 秒の 0.5 秒間を 0.05 秒刻みで示した。この例では、選手 1 はインパクト時の下肢の筋に若干高い電位(緑)が見られるものの全体的に筋電位は低い(実際には、正面から確認できない大腿二頭筋の筋電位は高い)。これに対して、選手 2 はダウンスウィングからインパクトにかけては上肢の筋の筋電位が高く、インパクトからフォロースルーにかけては下肢の筋の筋電位が高いのが確認できる。

[ボーリング] 図 11, 12 はプロとアマチュアの投球フォームを示したものである。この例では、ボールのリリース時においてプロは上腕の筋電位が高いのに対して、アマチュアでは下腕の方が高いことが観察できる(図 11)。また、ボールの軌跡表示も、フォーム動作の問題点を見つける上で重要な情報を与えることができる(図 11, 12)。

3.3 考察

本システムを、実際に運動生理学の専門家やゴルフ・ボーリングの指導者に評価してもらったところ、複数の筋の状態や体重移動が一度に観察できる、自由な方向から観察できる、異なる人物の動作の比較が容易である、などの特徴から、本システムは (a) 筋の連携状態や動作特徴の把握、および (b) 動作改善指導の効果の確認などを行う上で有用であるという評価を得た。一方、3 次元人体モデルは人体節点の位置情報を元に生成するため、人体部位の角度は考慮していない。このため、動作における筋の位置と人体モデル上に付加した情報の位置が一致しない場合がある。また、部位をひねるといった動作を行った場合の表示法や胴に配置される筋の表示法については考慮していない。これらは今後の課題である。

4. むすび

本論文では、統合的に扱われることの少ない動作映像情報と運動機能情報の 2 つを用い、フォーム動作時における機能情報の観察を支援するための可視化提示手法を提案した。本手法は、筋電位情報や足圧情報などの運動機能情報を、同時刻に得られた動作映像情報を元に生成された 3 次元人体モデルの対応する部位に張り付けることにより、機能情報と形

態情報を統合的に可視化することができる。また、本手法を実際のゴルフのスウィング動作とボーリング投球動作に対して適用し、その有効性を確認した。

本手法の応用としては、スポーツ分野における指導者と選手とのコミュニケーションツールとしての利用のほか、医療やリハビリテーション分野におけるインフォームドコンセントのツールとしての利用など、人体の運動機能の解析を必要とするさまざまな分野において利用可能である。また、本手法は、現実に行っている動作に対して情報を付加する、一種の強調現実と考えられ、現在注目されている VR への応用なども考えられる。

今後の課題として、3 次元人体モデルの生成で用いる人体節点の自動抽出、よりリアルな人体モデルの利用、可視化表示法の改善、また、人体モデル上への情報の付加とともに原映像そのものへの情報の付加、さらに、さまざまな分野での本手法の利用の検討などがあげられる。

謝辞 本研究に運動生理学的見地から御意見を頂く本学運動生理学研究室諸氏、ならびに日頃熱心に御討論頂く本学長谷川研究室諸氏に感謝する。なお、本研究の一部は文部省私立大学ハイテク・リサーチ・センター補助金によった。また、実験には本学 CG ラボを利用した。

参考文献

- [1]小林寛道: "スポーツ動作に基づいたトレーニング機器の開発", 日本 ME 学会雑誌 BME, Vol.16, No.11, pp.28-41, 2002
- [2]稲葉洋, 瀧剛志, 宮崎慎也, 長谷川純一, 肥田満裕, 山本英弘, 北川薫: "スポーツトレーニングの支援を目的とした人体センシング情報の可視化提示法", 第 2 回 NICOGRAPH 春季大会論文&アート部門コンテスト予稿集, pp.89-90, 2003/5
- [3]池上康男, 桜井伸二, 矢部京之助: "DLT 法", Jpn.J.SPORTS SCI., pp.191-195, 10-3, 1991
- [4]大垣健一, 岩井儀雄, 谷内田正彦: "動きと形状モデルによる人物の姿勢推定", 信学論, Vol.J82-D-II No.10, 1999/10