

## 身体動作3次元CGアニメーションを用いた スポーツ技術学習支援モデルの提案

宮西智久

A Biomechanical Support Model for Motor Learning of Sport Skills using a 3D Computer Graphics Animation of Human Body Motion

MIYANISHI Tomohisa

The purpose of this study was to develop a three-dimensional (3D) computer graphics (CG) animation with visualization of mechanical parameters for the baseball pitching (human body) motion using three different kinds of geometry models, which are a stick figure (SK), a wire frame (WR), and a solid figure (SD) model respectively, in order to assist the motor learning of sport skills. Fastball pitches made by five right-handed male varsity pitchers were videotaped using 3D DLT procedures. The 3D coordinate data of the 23 body landmarks and the ball center were obtained for the fastest pitch of each subject. The mechanical parameters calculated included the velocity and acceleration of the ball, etc. The reconstruction of the geometry model for the human body segments used a modified version of three 3D drawing subroutine programs, respectively called "STKSPOT" for the SK, "GRAFATH" for the WR, and "SOLFIG" for the SD, originally developed by the Biomechanics Laboratory at Indiana University. We conducted some questionnaires to collegiate students (n=178) who majored in physical education in order to investigate the visual effect of the 3D CG animation for the human body motion. Most of the students (92%) affirmatively answered that they would make use of the 3D CG animation as a supporting tool for the motor learning of sport skills. This result suggested that 3D CG animation could be very useful for more effective assistance in the motor learning of sport skills. In the future, it would be strongly expected that 3D motion analysis systems with 3D CG animation will be introduced into schools, sport centers and other sport facilities.

Key words : 3D CG animation, geometry modeling, visualization, 3D motion picture analysis, support model

### I 問題提起

学校体育などを中心としたスポーツの場では、指導者が学習者に対してスポーツの技術（動作）指導を行う際に「言語指示」をしたり、「示範動作」を実演したりする方法を採ることが多い（岸野，1970；松田，1979）。これらの指導形態そのものは、身体を用いたスポーツ技術学習の特性（岸野，1970）を考慮すれば、スポーツの技術指導における中核的な方法であると言える。しかし一方、これらの指導方法は、例えば、「言語指示による効果は学習者の言語理解の程度に

依存する」（松田，1979）、「学習者が際立つ動き（例、球技でのボール）や示範者の表情等を見てしまい、学習すべき示範者の動きそのものを見ていない」（杉原・石井，1993）などといった指摘がなされるように、効果的でなく効率的でない場合があるのも否めない事実であろう。このようなことから、「言語指示」や「示範動作の実演」に加え、それを補助する目的で映画やVTR、写真、スライド等の「視覚的機器」を用いてスポーツの技術学習をより一層効果的にする取り組みや工夫が行われてきた（吉原，1970；四宮・黒田，1970）。なかでも、映画や

VTRによる実写映像は、他の視覚機器よりも撮影された示範動作を繰り返しみるなどして身体動作を詳細に観察できる点で優れている（岸野，1970）。このように、現在において、これらの実写映像は、学習者のスポーツ技術学習をより一層効果的にするために有効な手段となっている。

しかしながら、これらの実写映像は、①通常一方向のみからの映像であるため他の方向からの身体動作の観察が不可能、②平面的で立体感に欠けるためとりわけ回転やひねりなどの動作の見極めが困難、③動作そのものの観察を妨げる付加的な情報（表情、衣服、周辺環境等）が多い、④動作を深く理解・洞察するための力学変量の観察が不可能、⑤映像検索に時間がかかる（アナログ映像の場合）、などの点で大きな問題が残る。とりわけ①、②および③は、学習者本人へ当該のスポーツ動作（視覚情報）の正確なイメージ（和田，1979）を付与する上で極めて重大な障害となる要因そのものである。つまり、これらの要因によって、学習者が誤った動作イメージを獲得して学習の妨げとなったり、あるいは学習者の運動パフォーマンス（記録・成績）が低下したりすることさえあるものと考えられる。先に述べたように、実写映像は、現在のところ、スポーツの技術学習を効果的にするために有効な手段であると考えられているが、しかし厳密に言えば、これらの極めて重大な問題を内在していると言えるだろう。

近年、自然科学やCAD/CAMは言うまでもなく、教育、医学、芸術など様々な分野においてコンピュータグラフィックス（CG：図形処理を施す等コンピュータを用いて映像を生成する技術）が利用されている（ロジャース・アダムス，1976；磯田，1989；中前・西田，1990；大野，2001）。最近では、コンピュータゲームや映画などの分野を中心に3次元（3D）CGを用いて作成された高精細な人体モデルやキャラクターの登場するゲームソフト・映画等が開発・制作され始めている。このように、近年発達の著

しい3次元CG技術を用いれば、スポーツの技術学習上における実写映像特有の重大な問題点（前述）がほぼすべて解決できるものと期待される。つまり、3次元CG映像は実写映像よりも優れた視覚的教具であると考えられ、「視覚化すれば子どもはよりよく真似られる」という平野（2000）の指摘にもみられるように、これまで以上にスポーツの技術学習を支援し、あるいは技術それ自体の理解度を高める上で極めて有効な手段となる可能性があると考えられる。ただし、3次元CG映像を使ってスポーツの技術学習を効果的に行うためには、われわれ人間の身体（人体）を映画などに登場するキャラクターのように商業ベースの虚構的なモデルにするのではなく、あくまで適切な人体形状モデルを使って忠実にコンピュータ上に再現できるかが極めて重大な鍵を握っている（宮西，2005）。

体育・スポーツとその関連分野において、これまでCGを用いて身体動作の3次元運動解析システムを構築したり（岩田，1982；山田ほか，1987；伊藤・黒瀬，1987）、またスポーツ・運動学習支援システムを構築して実際にその効果を検討したりする（石井，1991）などの試みが散見される。しかしながら、これらの研究の大きな問題点は、人体形状モデルにおいて最も簡略化されたスティックフィギュア（邦訳：スティックピクチャ）モデルのみだけを使用したものであり、ワイヤーフレームあるいはソリッドフィギュアモデルなどのより高度の形状モデルを用いて作成されたものではないということである。したがって、これらのCG研究は、前述の実写映像と同様に依然②や④の問題が残るため、スポーツの運動学習支援システムの開発において極めて不完全なものに留まっているに過ぎない。

本研究の目的は、スポーツにおける技術学習をより一層効果的に支援するために、3次元視覚化／可視化<sup>註1)</sup>CGアニメーションを用いてスポーツにおける身体動作をコンピュータ上に再現することである。この試みとして、本研究で

は、野球のピッチングに着目して、3種の人体形状モデル、すなわち従来から多用されてきたスティックフィギュアモデルに加え、新たにワイヤフレームとソリッドフィギュアの2つのモデルを計算機上に構築するとともに、さらに各種力学変量をも可視化して、身体動作3次元CGアニメーションを開発・作成する。そして、これらの身体動作3次元CGアニメーションを用いたスポーツ技術学習の有効性を検討し、その支援モデルを提示して、今後の展望と課題について考察する。

## II 研究方法

### 1. 3次元動作撮影およびデータ収集・解析

被験者は、体育系大学硬式野球部に所属する右投げ投手5名（身長：1.78 ± 0.02m，身体質量：75.2 ± 4.8kg，野球競技歴：11 ± 2年）であった。なお、これらの被験者は、当バイオメカニクス研究室で行われた別の研究実験に参加した者であった（Miyanishi and Mukai, 2001）。実験に先立ち、被験者には研究の目的や方法、実験の危険性等を十分に説明し同意を得た。

ピッチング動作の撮影（速度：250fps）は、2台の高速度ビデオカメラ（HSV-500C<sup>3</sup>，nac社）を用いて行った。球速の測定のために、捕手の後方2mの地点にスピードガン（PSK-DSP，Decatur Electronics社）を設置した（宮西ほか，2000）。本研究では、捕手によってストライクとみなされ、かつ最もボールスピードの大きかった一試技を解析した。身体計測点・ボール中心点（計24点）の座標値は、ビデオ動作解析システム（Frame-DIAS，DKH社）により手動で読み取った。身体計測点は、以下の23点である：頭頂点、両下顎角点中点、胸骨柄点、両側肩・肘・手関節中心点と第3中手骨頭点、両側股・膝・足関節中心点と踵骨点および第2足指先端点、右前腕部遠位橈尺関節への装着小ポール両端点（宮西ほか，1996）。計測間隔は、

1/250秒とした。計測区間は、踏み出し足（左足）のつま先離地時からボールリリース時後0.104秒（26frames）までとした。計測点の3次元座標値の算出は、DLT法（direct linear transformation method）（池上，1983）を用いて行った。コントロールポイントの実空間座標値と計算座標値との平均最大誤差は、6.5mm以下であった。3次元座標の平滑化および微分演算は、計測点の座標成分毎に最適遮断周波数（範囲：5 - 17Hz）を決定し（Wells and Winter, 1980）、5次スプライン関数を適合させて行った（Woltring, 1986）。力学変量は、ボールの速度・加速度等を算出した。

### 2. 人体モデルの構築と身体動作3次元CGアニメーション

#### (1) 3次元人体形状モデルの構築

本研究では、3次元人体図形描画サブルーチンプログラム（開発元：Biomechanics Laboratory at Indiana University）に基づき、3種の幾何学的人体形状モデル、すなわちスティックフィギュア（以下、SKと略す）、ワイヤフレーム（WR）およびソリッドフィギュア（SD）の各モデルを用いて身体動作をコンピュータ上に再構築した。ここで、SKモデルは隣り合う身体各関節点を一本の線分で結線した線画モデル、WRは身体各部分を陰線・陰面処理を施さない複数の線分を用いて表した線画モデル、SDは陰面処理を施すとともに各部分を種々な立方体で表現したカラー表示の多面体モデルを示すものである（磯田，1989；中前・西田，1990）。

以下、本研究で用いた3次元人体図形描画サブルーチンプログラムについて具体的に説明する。このプログラムはFORTRANを用いて記述されており、“STKSPOT”、“GRAFATH”および“SOLFIG”の3つがある。“STKSPOT”はSKを、“GRAFATH”はWRを、“SOLFIG”はSDの各モデルを生成する。このうち“GRAFATH”および“SOLFIG”は、いずれも球体、円柱、円錐、多角錐等の基本立体を生成する。具体的に記すと、WRとSDの各モデ

ルにおいて、頭蓋・顔面部の基本立体は不規則多面体からなる3/4球体、頸部は角柱、上腕・前腕・手・大腿・下腿部は頭を切った円錐（ただし右手は扁平円錐形）、足部は不規則多面体、体幹部は不規則多面体からなる骨盤と臀部を連結した円錐（6個）、関節部は球体（股関節除く）を用いている。なお、これらの基本立体は、米国男子走高跳選手（14名）における身体各部位28カ所の形態学的パラメータに基づいて（Dapena, 1993）、それを本研究の被験者のパラメータへ補正（被験者の身長と体重を使用して生成されている。ここで、身体各部位28カ所の形態学的パラメータは、以下のものを示す：頭頂-下顎角中点距離、頸直径、近位上腕直径、肘/手関節直径、手部直径、近位大腿前後/左右直径、膝/足関節直径、踵高、手部長、下腿筋腹直径/相対位置、胸部厚、体幹厚7カ所、臀部半径、腰幅、股関節-大腿面前面距離、臀部下大腿部相対位置/直径/断面中心、体幹部のアーチは、股関節-胸骨柄と股関節-膝関節とのなす角度値とした。

本研究では、さらに人体形状モデルの構築に際して、野球のピッチングに特有な動作の特徴を視覚化するために各プログラムを修正して行った。例えば、投球腕遠位橈尺関節へ装着した小ポールの両端計測点（宮西ほか、1996）を利用して前腕の回旋（回内外）運動と手部の向きを視覚化したこと、各種力学変量を動作空間へ可視化したことなどを行った。ただし、手の指は、指先や指節間関節を計測することが極めて困難であるため、モデルに含めず描画しなかった。

## (2) 視覚化ソフトウェアによる身体動作3次元CGアニメーション

計算機上に再構築されたピッチング動作を視覚化するにあたって、SKおよびWRの各モデルは映像再生ソフトQuickTime Player (Apple社) を、SDモデルは対話式3次元視覚化ソフトGeomview (開発元: Geometry Center at University of Minnesota, <http://www.geomview.org/>) を用いて行った。力学変量は動作空間にスケーリングし、矢印等を用いてピッチング動作CGアニメーションとともに可視化した。なお、データ収集を除く、すべての力学変量の算出および身体動作・力学変量の視覚・可視化作業はApple Macintosh (Mac OS X) を用いて行った。

3. アンケート調査

### 3. アンケート調査

ピッチング動作3次元CGアニメーションへの学習者の反応を把握するために、体育系大学生178名（1年生）を対象にして、基本的な事項を説明し、コンピュータ上に再構築したピッチング動作および力学変量の3次元視覚・可視化CGアニメーションを鑑賞させた後、自由記述の簡単なアンケート調査を実施した。なお、基本的事項の説明とは、CGや人体形状モデル、各種力学変量などの基礎的知識を示すものである。

## III 結果

### 1. 身体動作3次元CGアニメーション

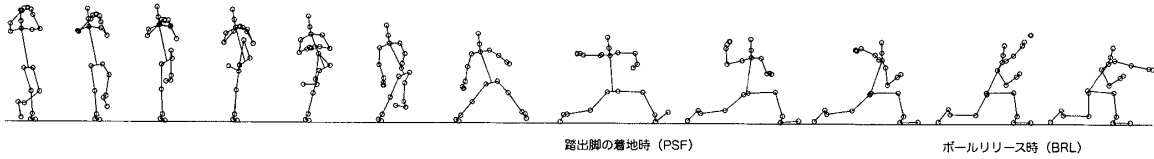
図1は、それぞれSK（上段）、WR（中段）およびSD（下段）の各人体形状モデルを用いたピッチング動作を右側方（三塁側）から例示したものである。SDモデルには野球ユニフォームや帽子を描画し、また実際のディメンジョンをもつピッチャーマウンド等を描画した。図2は、SDモデルを用いてボールの速度・加速度ベクトルを可視化したものである。各ベクトルは矢印の長さで大きさを、その向きで方向を示している。図3にWRモデルと同期して示したボールの速度・加速度グラフを示す。

### 2. アンケート調査

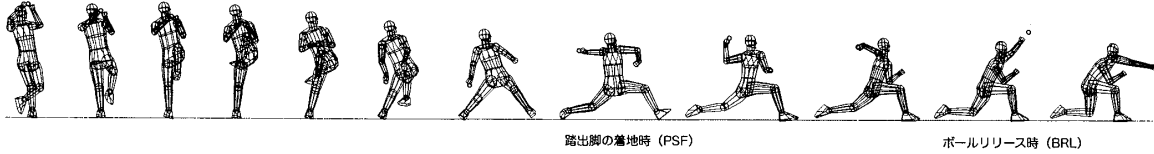
アンケート調査において、「身体動作3次元CGアニメーションはスポーツにおける技術学習を支援するための教材として役立つと思うか」という質問に対して、92%（178名中164名）の学生が「そう思う」と回答した。また、「そう思う」と回答した92%の学生に対して、「①SK、

身体動作3次元CGアニメーションを用いたスポーツ技術学習支援モデルの提案

1. stick figure



2. wire frame



3. solid figure



図1 3種の人体形状モデルを用いた身体動作3次元CGアニメーションによるピッチング動作の視覚化例  
1:スティックフィギュア, 2:ワイヤーフレーム, 3:ソリッドフィギュア

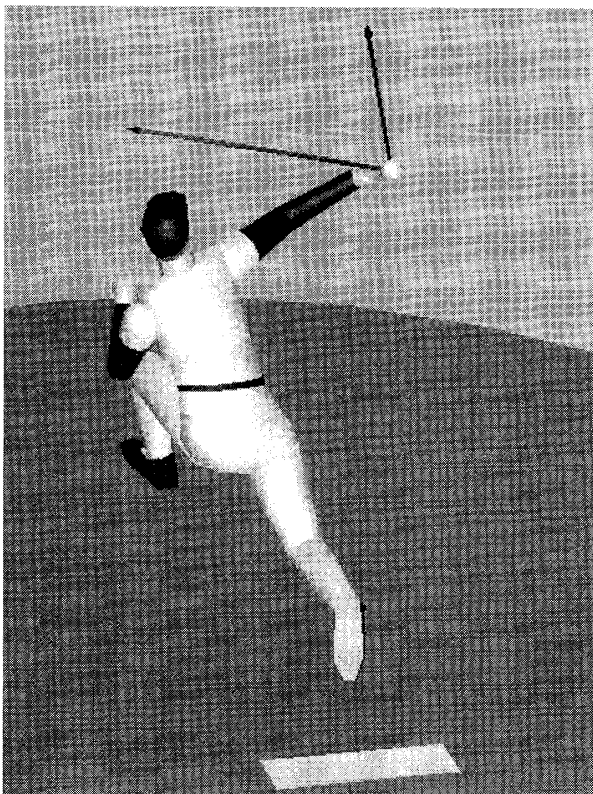


図2 ボールの速度(右矢印)および加速度(左矢印)ベクトルの可視化例

Velocity & Acceleration for Ball  
(in m/s & m/s<sup>2</sup>)

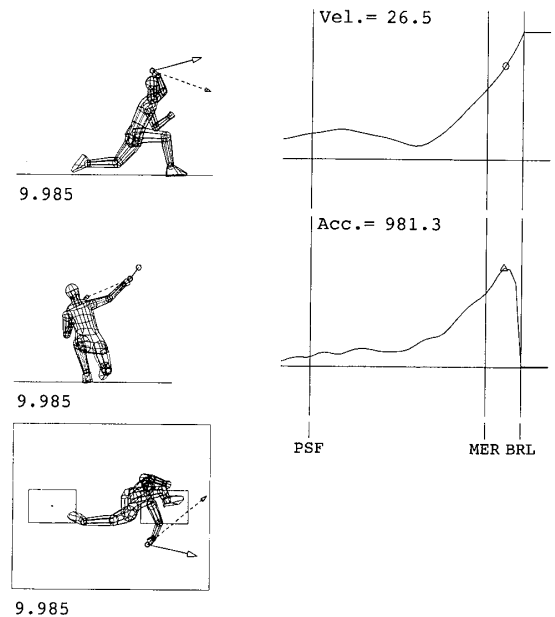


図3 ワイヤーフレームCGアニメーション(左)と同期して示したボールの速度および加速度の変化グラフ(右)例

左図のワイヤーフレームモデルにおいて、上段は側方(三塁方向)、中段は後方(二塁方向)、下段は上方から示したものである。各図において、実線の矢印はボールの速度ベクトル、破線は加速度ベクトルを示す。なお、下段の囲い込みは計測範囲と2台のフォースプレート位置を示したものである。

右図において、上段はボール速度(○)、下段は加速度(△)の変化曲線を示したものである。図中の縦線は左から踏出脚着地時(PSF)、肩最大外旋位時(MER)およびボールリリース時(BRL:時刻10.000秒)である。

②WR, ③SDではどのモデルが学習者へ提示するモデルとして優れていると思うか、その優先順位を示して下さい」という質問を行った。その結果、③②①順を挙げた者は24% (164名中39名)であり、以下、③①②:20% (33名), ①②③:17% (28名), ①③②:16% (26名), ②③①:9% (15名), ②①③:8% (14名), 無回答:6% (9名)であった。

## IV 考 察

### 1. 身体動作3次元CGアニメーション

本研究では、SKに加え、さらにわれわれ人間の形態に近似した高精度なWRおよびSDによる人体形状モデルを用いて、野球のピッチングによる身体動作3次元CGアニメーション(図1)を開発・作成し、同時に各種力学変量を可視化した(図2)。このように、3次元画像解析法等を用いて身体動作を3次元解析し、本研究の方法により身体動作3次元CGアニメーションを作成すれば、視覚化ソフトウェアを用いて、スロー再生・一時停止・コマ送りはもちろん、座標変換により視点を変えて様々な角度から立体的に動作を観察したり、任意にCG映像を拡大して細部の動きを確認したりする(逆も然り)ことなどがリアルタイムで可能となる。また、図2に示したように身体動作3次元CGアニメーションとともに力学変量を動作空間に可視化したことによって、動作と力学変量の変化を時間・空間的に対応づけて捉えることができる。

また、身体動作の力学的情報を詳細に検討したいとき、一般にその時系列数値データを折れ線グラフ等で表示する。例えば、図3右上段に示したように投球時のボール速度変化を時間-速度グラフで表示するといった方法を採用している。しかし、この表示方法では、ボール速度変化と身体動作を関係づけて理解することは極めて困難である。そこで、本アニメーションでは、図3に示すように、こうした速度変化グラフを動作(SKおよびWR)と同期させて提示する

ことによって力学変量の変化を動作と関係づけて詳細に検討することも可能である。

このように、本研究における身体動作(ピッチング)3次元CGアニメーションは、問題提起に指摘した実写映像における問題点がほぼすべて解決されているものと考えられ、VTR等を用いた方法(吉原, 1970; 四宮・黒田, 1970)や従来研究方法(岩田, 1982; 山田ほか, 1987; 伊藤・黒瀬, 1987; 石井, 1991)に比べ、スポーツにおける技術学習をより一層効果的に支援し、また技術それ自体の理解度を高める上で極めて有効な手段であると考えられる。

### 2. 人体形状モデルと視覚的イメージ

本研究で作成した人体形状モデルのうち、一般にSK(図1上段)およびWR(図1中段)の両モデルは、面積や体積の概念をもたない線分の情報のみしかないため、身体イメージが抽象的になりやすい(中前・西田, 1990)。特にSKは身体を描画するための最低限の線分のみしか使っていないのでWRよりも抽象度が高い。この点、SD(図1下段)は体積や面積の概念をもつカラー表示の多面体で表現されるため(中前・西田, 1990)、より具体的な身体イメージに結びつくと考えられる。したがって、人体の形状モデルとしては①SK→②WR→③SDの順により高度でリアルなモデルを表現したものであると考えられるので、学習者へ提示する形状モデルとしてはその逆順すなわち③②①の順に優れているものと予期される。

しかしながら、アンケート調査から、③②①順を挙げた者は24%に留まり、それを強く支持するものではなかった。その理由は、SDは「実際の現物に近づき、カラー表示で動作をイメージしやすいのでよい」というものの、逆に「リアル過ぎてよくない」とか、SKの方が「単純で関節の動きがよく分かるのでよい」という意見もあった。このことは、スポーツ技術の理解度を高める上で一概に形状モデルが「具体的にリアル」というだけではCGを使った動作の提示モデルの甲乙は付け難いことを意味してい

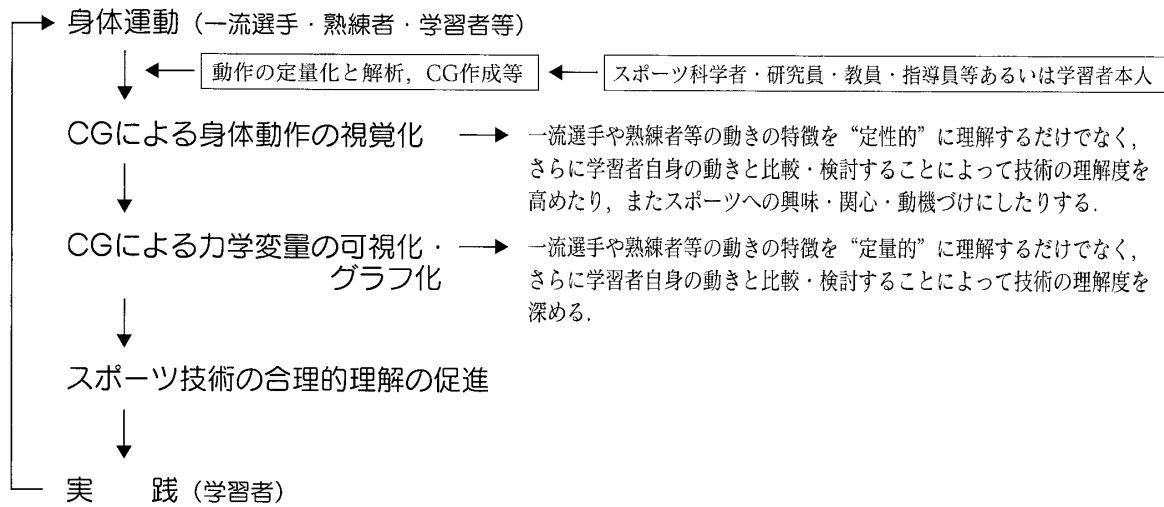


図4 身体動作3次元CGアニメーションを用いたスポーツ技術学習支援モデル

る。実際に、無回答者において、「どれが優れているとは一概に言えない」といった意見もみられた。これらのことから考えると、例えば、身体全体や部分の3次元の動きの探索等であれば、ひねり（回旋）や向きも観て取れるSDやWRが、一方、身体動作の全体的な姿勢や形、関節角の注視、動作と力学変量との共示等であれば、単純化されたSKがより適切な提示モデルであったものと考えられる。

「身体動作3次元CGアニメーションはスポーツにおける技術学習を支援するための教材として役立つと思うか」という質問に対して、ほとんどの学生（92%）が「そう思う」と肯定的な回答を示した。その理由は、「言葉で説明されるよりも視覚的に分かるので動きのイメージが作りやすい」「実写映像ではみることのできない動きが立体的に分かる」「力の働く方向やタイミングが分かる」「フォームの改善に役立つ」「上達が早くなる」等であった。またなかには、「興味・関心がある・沸く」「ベクトル量を実感した」という私的な理由もみられた。

以上のことから、本研究における身体動作3次元CGアニメーションは、アンケートによる調査結果からも、スポーツの技術学習を支援するためにより一層効果的な手段となるだけでな

く、さらに学習者に対して身体運動やスポーツへの興味・関心を持たせたり、スポーツを行う動機づけとしたりする効果も期待されるものと考えられる。

なお、実際の使用に際して、本アニメーションを用いてスポーツ技術学習を効果的にさせるためには、どの人体形状モデルが最も適切な提示モデルなのかを、上述したように3種の人体形状モデルが学習者へ与える視覚的影響を考慮して、その都度選定する必要があるだろう。

### 3. スポーツ技術学習支援モデル

ここで、具体的に、本研究において開発・作成された身体動作3次元CGアニメーションを用いた一般的なスポーツ技術学習支援モデルを提案する。

図4は、その学習支援モデルを示したものである。図に示すように、まずはじめに、体育・スポーツにおける科学者や研究者あるいは教師や指導者（コーチ）等が3次元動作計測装置を用いて示範とすべき一流選手や熟練者等の実際の身体動作を定量し、身体動作3次元CGアニメーション（図1）を作成する。そして、CGにより視覚化された熟練者などの身体動作を学習者本人へ提示する。ここでのねらいは、教師やコーチの指導を得ながら学習者が一流選手や

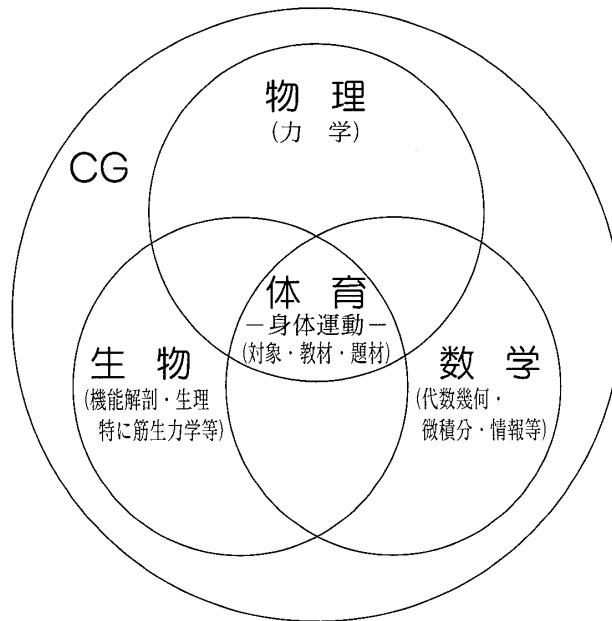


図5 身体動作3次元CGアニメーションを用いたスポーツ技術学習支援を効果的に推進させるための体育と理数系教育との関わり

熟練者等の動きの特徴（姿勢やフォーム、関節角度等）を“定性的に”理解することである。なお、この段階の動作の視覚化は、特に初心者に対してスポーツへの興味・関心を持たせたり、動機づけにしたりする効果もあるものと考えられる。次に、学習者がCGにより動作を定性的により良く理解すれば、さらに運動を引き起こす原因となる力学変量（地面や用具など身体の外側へ表出される変量や関節力・トルク・パワーなどの身体内部変量）の観察へと進む。したがって、ここでは、例えば、学習者は熟練者がどのようにボールへ力を働きかけているのかをCG（図2）やグラフ（図3）を観察することにより、力の入れるタイミングやその大きさ・方向などを“定量的に”確認し理解することがねらいとなる。このようにして、教師やコーチが学習者に対してスポーツ技術の合理的理解を促して実践へと導くという支援である。

ところで、このようなスポーツ技術学習支援モデルの流れ（図4：身体運動から実践まで）は、視覚系を通して中枢神経系に働き掛けを行う、言わば“大脳”で身体運動を客観的に理解する過程であると言える。しかしながら、体

育・スポーツでは、当然のことながら、スポーツや運動現象を客観的に理解した状態に留めていたのでは一向に評価されることはない。すなわち、スポーツや運動をより良く実践できてはじめて評価されるのである。そこで、さらに図4に示す実践から身体運動へ戻り、再度実践へと向かう流れは、学習者自身が身体運動を客観的に理解するだけでなく、運動を実践して理解（体得）するための流れ（サイクル）を意味している。つまり、このサイクルでは、学習者がCG映像化された自らの動作と熟練者等の動作とを比較検討し、技術の達成度を自己分析するのである。このサイクルを繰り返すことによって、学習者自身がスポーツの技術を客観的に理解するだけでなく、より良く実践できるようにもなることが期待される。

今後の課題として、本学習支援モデルの有効性の有無を検証する実証的研究を実施する必要がある。

#### 4. 今後の展望と課題－「総合的スポーツ技術学習支援システム」の実現に向けて

前節で提案されたスポーツ技術学習支援モデルは、スポーツ技術の習得・向上をより一層効



果的にすることにその主たるねらいがある。したがって、この支援は、言うまでもなく、学校体育を中心とした教育現場の中で実施されるべき性格のものであろう。しかしながら、この支援が十分機能し、より効果的なものとなるためには、先の力学的用語（速度、加速度等）の使用にみられるように、学習者自身があらかじめ他教科の知識、とりわけ物理や生物、数学などの関連知識を学習しておくことが望ましいと考えられる。言い換えれば、体育のみだけでこの支援を行うのだとすれば、より一層の学習効果を期待できないことが示唆される。したがって、こうしたことを踏まえると、この学習支援は、図5に概念的に示すように、体育と理数系教科（物理／生物／数学／情報等）との共同作業によって実現することが望ましい形態であると言えよう。なお、その実現の可否はともかく、現行の学校カリキュラムでは、平成14年度から教科の枠を超えた「総合的な学習の時間」（小・中学校は平成14年度、高校は平成15年度から文部科学省通達で実施）が開設され実施されているので、こうした「総合学習」時間を利用してこの学習支援（図4・5）を実現できる可能性が示唆される。

将来、教育現場（学校・スポーツセンター他）において、こうした言わば「総合的スポーツ技術学習支援システム」の実現が各方面から求められていくだろうが、そのためには解決すべき課題が山積している。例えば、スポーツ施設を含め、リアルタイム3次元動作解析システム<sup>注2)</sup>（Oxford Metrics社製VICON他）導入による環境整備を図るといったハードウェア面の課題である。また、こうしたハードウェア面の課題に加え、3DCGを含む動作解析ソフトの活用それ自体がスポーツ科学、とりわけバイオメカニクスに関する高度の専門的知識や技術、経験が必要とされるため、これらの知識を習得し技術に習熟した人材（体育教師他）を育成するといったソフトウェア面の課題である。

## V 結 論

本研究の目的は、スポーツ技術学習をより一層効果的に支援するために、野球のピッチング動作に着目して3種の異なる人体形状モデルを用いた身体動作3次元CGアニメーションを開発・作成するとともに、スポーツ技術学習への有効性を検討して、その支援モデルを提示することであった。主な結果は、以下の通りである。

- ① 本研究における身体動作3次元CGアニメーションは、従来の映画やVTR等を使った実写映像よりも視覚的教材として優れており、よってスポーツにおける技術学習をより一層効果的に支援し、また技術（動作）それ自体の理解度を高めるために極めて有効な手段となる可能性がある。
- ② 本研究における身体動作3次元CGアニメーションを用いてスポーツ技術学習を効果的にさせるためには、各種3次元人体形状モデルが学習者へ与える視覚的影響を考慮して、指導すべき、あるいは学習させるべきポイントを明確にして最も適切なモデルを選定する必要がある。
- ③ 本研究における身体動作3次元CGアニメーションを用いたスポーツ技術学習支援モデルは、学校教育、とりわけ身近なスポーツ運動を実践する体育と理数系教育（物理／生物／数学／情報等）との連携が進むことによってより一層の学習効果が期待される。こうした「総合的スポーツ技術学習支援システム」を教育現場において実現するためには、ハードウェア面では3次元動作解析システムの導入、ソフトウェア面ではスポーツ科学に関する高度の専門的知識・技術を習得した優れた人材を育成し輩出することなどが、今後解決すべき課題として挙げられるだろう。

## 注

注1) 「視覚化」および「可視化」は「visualization」の邦訳である。本研究では両者を区別する。すな

わち、「視覚化」は例えば身体動作など肉眼で直接観察できるもの（実体のあるもの）、一方、「可視化」は力学変量など肉眼で直接観察できないもの（実体のないもの）をコンピュータ上に再現し見ることができるようにするという意味で用いる。

注2) 近年では、モーションキャプチャ (motion capture) システムと呼ばれている。

## 謝 辞

身体動作3次元CGアニメーションの作成に当たり、インディアナ大学健康・身体教育・レクリエーション学校身体運動科学部（キネシオロジー学部）バイオメカニクス研究室（Jesús Dapena 博士）学兄に謝意を表す。

本研究の一部は、第54回日本体育学会(2003)において発表した。

## 文 献

- Dapena, J. (1993) Calculation of the true value of a high jump using a computer graphics model. In: Proceedings of the 17th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, University of Iowa: Iowa City, IA, pp. 147-148.
- 平野裕一 (2000) 学校という場の再生をかけたーバイオメカニクスの視点からー. 日本体育学会第50回記念大会特別委員会編, 21世紀と体育・スポーツ科学の発展第3巻～日本体育学会第50回記念大会誌～, 杏林書院: 東京, pp. 8-13.
- 池上康男(1983) 写真撮影による運動の3次元解析法. J. J. Sports Sci. 2: 163-170.
- 石井政弘 (1991) スポーツ・運動学習へのコンピュータおよび情報機器の利用ーリアルタイム映像分析による視覚的フィードバックー. 経営情報科学 4: 43-54.
- 磯田 浩 (1989) CG ハンドブック. 日本図学会編, 森北出版株式会社: 東京.
- 伊藤宏司・黒瀬靖郎 (1987) 3次元身体運動動的解析支援システム. デサントスポーツ科学 8: 185-193.
- 岩田一明 (1982) 人体の運動動作解析と作業機能評価に関する研究. 神戸大学工学部生産機械工学科報告書.
- 岸野雄三 (1970) 示範とはなにかー視聴覚教育との関連においてー. 体育の科学 20: 209-211.
- 松田岩男 (1979) 運動技能の指導と言語指示や示範. 体育の科学 29: 444-446.
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究. 体育学研究 41: 23-37.
- 宮西智久・向井正剛・川口鉄二・関岡康雄 (2000) スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較. 仙台大学紀要 31: 72-77.
- Miyanishi, T., and M.Mukai (2001) A three-dimensional dynamic analysis for lower extremity during fastball baseball pitch. In: Blackwell, J.R. (Ed.), Proceedings of the XIX International Symposium on Biomechanics in Sports: San Francisco, pp. 108-111.
- 宮西智久 (2005) 3DCGアニメーションを用いたバイオメカニクス情報の視覚化とトレーニングへのアイデア. 第18回日本バイオメカニクス学会大会論集. [印刷中]
- 中前栄八郎・西田友是 (1990) 3次元コンピュータグラフィックス. 昭晃堂: 東京.
- 大野義夫編 (2001) 入門コンピュータグラフィックスー入門編CGー. 入門コンピュータグラフィックス編集委員会, 画像情報教育振興協会: 東京.
- ロジャース・アダムス: 山口富士夫訳 (1979) コンピュータグラフィックス. 日刊工業新聞社: 東京.
- 四宮 馨・黒田 浩 (1970) 大学一般体育におけるVTRの利用. 体育の科学 20: 233-235.
- 杉原 隆・石井美子 (1993) 示範 (モデル呈示) はどのように行えば効果的か. 学校体育 7: 68-71.
- 和田 尚 (1979) 運動技能の指導と視覚情報. 体育の科学 29: 456-460.
- Wells, R.P., and D.A. Winter (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: Proceedings of the First Congress of the Canadian Society of Biomechanics, Human Locomotion I: Canada, pp. 92-93.
- Woltring, H.J. (1986) A FORTRAN package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation. Advances in Engineering Software 8: 104-113.
- 山田憲政・関岡康雄・小林一敏・宮下 憲・金子靖仙 (1987) コンピュータを用いた3次元運動解析に関する基礎的研究. 筑波大学体育科学系紀要 10: 167-175.
- 吉原博之 (1970) 運動学習におけるVTRの活用. 体育の科学 20: 227-232.

(平成17年1月25日受付, 平成17年2月1日受理)