

モーションキャプチャデータによる太極拳の動作分析 —「雲手」の動作について—

Three-Dimensional Kinematic Analysis of Tai Chi Chuan
by Use of Motion Capture System

蛭田秀一* 島岡みどり* 張成忠**
小野昌子*** 紫谷陽佑****

Shuichi HIRUTA* Midori SIMAOKA* Chengzhong ZHANG**
Masako ONO*** Yosuke KASUYA****

ABSTRACT

Tai Chi Chuan is one of difficult exercises to learn and teach because of its complicated forms. The objective of this study was to analyze the motion of body during the 24-form Tai Chi Chuan by three dimensions. A male expert and a female beginner participated in this study. The body motion was measured during the tenth form "Yun-shou" of Tai Chi Chuan at sampling rate of 100 Hz by using 6 D-MotionMonitor™ system, which was able to take 3-D position and orientation data of magnetic sensors attached to body segments and to play back the motion as computer graphic images. Differences in the body motion between the participants were unclear in the front view. In the top view, however, the peak rotation angles of "shoulders-line" (a line connecting both shoulder joints) and that of "hips-line" (a line connecting both hip joints) on the horizontal plane were clearly larger in the experts than those in the beginner ("shoulders-line" 97° v. 21°; "hips-line" 107° v. 22°). The results indicate that the experts could make his torso rotate more widely around its long axis. Three-dimensional images made from motion capture data would help learners of Tai Chi Chuan to take notice of their unskilled motion.

Keywords: Tai Chi Chuan, three-dimensional analysis, motion capture

はじめに

スポーツを初め、武道や舞踊、さらには労働作業も含めて、およそ運動や動作を学習・習得しようとする者にとって、自分の動作の現状が目標とする動作にどの程度近づいているかは最大の関心事である。それを確認する手段として、指導者から助言を受けたり、写真、鏡像、ビデオなどを利用したりすることができるが、これらの方法は必ずしもすべての運動学習者を納

得・満足させるものではない。例えば、指導者による一方的な助言や手取り足取りの矯正を受けて動作が改善し結果としてうまくいくようになんでも、学習者自らが問題を発見し解決するといった主体性に基づく満足感は得られにくい。この背景の一つとして、その運動についての指導者と学習者の間に存在する大きな情報格差の問題が考えられ、よほど指導者側がこの格差を意識した上で適切で客観的な情報提示や説明をしないと、学習者は黙って従わざるをえない状況となる。

* 名古屋大学総合保健体育センター

** 有限会社 桜華、名古屋大学非常勤講師

*** 有限会社 桜華

**** 名古屋大学大学院人間情報学研究科

* Research Center of Health, Physical Fitness, and Sports, Nagoya University

** Ohka Corporation, External Lecture of Nagoya University

*** Ohka Corporation

**** Graduate School of Human Informatics, Nagoya University



写真1 「雲手」における動作の分解写真²⁰⁾

一方、指導者がいない場合、自分の動作を鏡に映したり写真やビデオで記録・再現すれば動作の現状を確認できるが、これらの画像や映像は平面（2次元）であるためその利用には注意を要する。すなわち、一般的に身体運動は「3次元」運動であるため、回転によって注目点が裏にまわって見えなくなったり、画像平面に垂直な方向で行われる運動（例：前後運動）では距離感をつかみにくいなどの問題がある。熟練者にとっては、これらの情報の欠落やゆがみがあっても、それらは既知のものとして処理され特に問題視されることは少ないと考えられるが、入門者や初心者にとっては、2次元画像と3次元実像の間の関係についての不正確な情報から誤解を受けかねない。したがって、3次元動作の場合、複数方向の視点からの平面画像を併用しないと、正確な情報が学習者に伝わりにくい。

運動学習者にとってこのような正確情報の不足問題に対応できる方策として、計測：情報技術の進歩によって、動いている人体をまるごと3次元的にデジタルデータとしてコンピュータに取り込むこと（モーションキャプチャ）が可能になってきた。モーションキャプチャには、主に光学式、磁気式、機械式があり、それぞれ長所短所があるが¹²⁾、いずれの方式も取り込まれた動作データは任意の視点からの画像として再現可能となる。これにより、対象とする動作の様子が最もわかりやすい視点の画像を選択的に得ることができる。

このモーションキャプチャの利点を生かす題材として本研究では太極拳を取り上げた。その理由は、太極拳の動作は比較的ゆっくりとはしているが、身体各部の回転運動が多用された3次元的特徴の強い動きなので、従来の写真やビデオのような2次元画像からは動作の細部を読み取りにくく、動作分析に関する研究報告¹⁶⁾も少ないからである。

本研究は、モーションキャプチャ（磁気式）によって取り込まれた太極拳動作についての熟練者と初心者の事例データに基づいて、指導または学習上のポイントを検討しようとするものである。

方法

分析対象動作：簡化24式太極拳のうち第10段「雲手」における動作を研究対象とし、分析範囲は前段（9段）「単鞭」終了時の姿勢から、雲手における3回目の右足引き寄せ完了までとした（写真1）²⁰⁾。

被検者：熟練者1名（男性42歳、身長163cm、体重58kg）と初心者1名（女性20歳、身長149cm、体重45kg）を被検者とした。熟練者は、中国武術の競技者お

よび指導者として30年の経験をもち、職業コーチとして太極拳を含む中国武術を指導している者である。初心者は、週1回の大学の正規授業（90分）において太極拳の動作練習を3ヶ月間継続して実施し、授業終了時には簡化24式太極拳の動作を見本なしに通じて演じられるようになった者で、その4ヶ月後に今回の動作測定を受けた。

モーションキャプチャ：身体の位置情報を得るために、ハードウェアとして MotionStar[®] (Assension Technology Corporation, USA) を、ソフトウェアを含むシステムとして 6 D-MotionMonitorTM System (Innovative Sports Training, Inc, USA) を使用し、身体の14ヶ所（表1）に装着した磁気センサ（大きさ：縦2.5 cm×横2.5 cm×高2.0 cm、重量20 g）からの6自由度の位置角度データ（X、Y、Z座標、オイラー角3種）をサンプリング周期10ミリ秒でコンピュータに取り込んだ。なお、このシステムでは人体の各関節点に直接センサを装着しないが、事前に基準立位姿勢時の各関節位置データを別の磁気センサによって取り込ませることによって、各装着センサ間の相対的位置関係から常に各関節の位置データを求められるようになっている。また、センサを装着した人体各部については、ソフトウェアによってその部位におけるセンサ装着個所以外の位置情報（例：頭部の重心点）も得られる。

動作分析：上記のモーションキャプチャシステムにも、身体各部および各関節の位置・角度情報を表示する機能が標準装備されているが、情報の表示や加工について制約があるため、動作分析については動作解析ソフトウェア Frame-DIAS II V 3（ディケイエイチ社製）を使用した。すなわち、6 D-MotionMonitorTM System で取得・加工したデータのうち、分析に必要な関節点等のデータを Frame-DIAS II V 3 に送った。動作分析のために用いた身体ポイントは頭部、胸部、両肩、両肘、両手首、両股関節、両膝、両踝、両足（甲部）の16点とし、座標軸の方向は動作

表1 センサ装着部位（14か所）

1	後頭部	8	右前腕
2	胸椎	9	左大腿
3	腰椎	10	右大腿
4	骨盤	11	左下腿
5	左上腕	12	右下腿
6	右上腕	13	左足
7	左前腕	14	右足

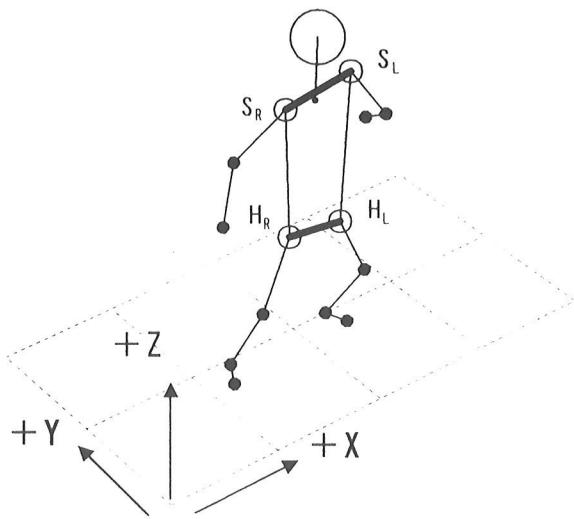


図1 分析に用いた身体ポイント（16点）とスティックピクチャおよび座標軸の方向。SLは左肩関節、SRは右肩関節、HLは左股関節、HRは右股関節のポイントをそれぞれ示す。

進行方向（被検者にとって左方向）を+X、背面方向を+Y、上方向を+Z（床面基準）とした（図1）。分析項目については、モーションキャプチャの利点を生かすため、特に以下の項目に注目して分析をおこなった。

(1) 真上からの視点による両肩関節点結線（以下、肩線；図1の線分 $SR-SL$ ）と両股関節点結線（以下、股線；図1の線分 $HL-HR$ ）の変位に注目し、それぞれの線がX軸となす角のXY平面上での角度変化を計測した。角度の符号は、進行方向に対して軀体前面が開いた位置関係のときプラス、閉じている（=軀体背面が向いている）ときマイナスとした。

(2) 時系列でみた軀体と手足の動きの相互関係を調べるために、上記角度と両手首の変位(X、Z成分)および両踝間の距離(X成分)をグラフ化した(図2、図3)。

結果

(1) 動作時間

分析対象範囲での動作時間は初心者が12.5秒、熟練者が16.5秒と初心者が熟練者より24%短かった。

(2) 上肢の動作

図4は、正面（-Y方向）から見た際の左手首の軌跡（XZ平面上への投射図）を示している。初心者と熟練者の左手首の軌跡は両者とも3回の円運動を描きながら左へ移動しており、それを水平、垂直方向の成

分に分解すると（図2a・b、図3a・b）、その時系列変位パターンは初心者と熟練者とでよく似ていた。詳細に見ると、図4から進行方向における円の重なり具合が熟練者の方が大きいこと、図2、図3から上下方向の振幅について、初心者では左手首が、熟練者では右手首がそれぞれ他方よりやや大きな範囲を動いていることが読み取れた。

(3) 軀体の動作

図5は、真上（+Z方向）から見た際の肩線の変位（XY平面上への投射図）を示している。図2c、図3cによれば、肩線、股線とも熟練者では進行方向に対して±50度程度の範囲で比較的大きな往復回転運動（最大振幅で肩線97度、腰線107度）が見られるが、初心者は0～+30度程度の範囲での小さな回転にすぎなかった（最大振幅で肩線21度、腰線22度）。このことから、熟練者は進行方向に軀体背面を向くことがあるが、初心者にはそれがないことが指摘できた（図5も参照）。熟練者において、「単鞭」からの最初の反転動作を除いて、肩線と股線のそれぞれの回転角変位間に明確な角度差や位相のずれがみられなかつことから、雲手における軀体の回転の際にはその上部と下部との間に顕著な「ねじれ」は生じておらず骨盤を含めた軀体全体の向きの変化としてとらえることができた。

(4) 下肢の動作

雲手の場合、右足を進行方向に引き寄せることで足を閉じ（ただし完全に閉じきるわけではない）、左足を進行方向に踏み出すことで足を開くことになる。両踝間の距離（X成分）から、進行方向に沿った直線上での足の開閉状況を見ると、初心者、熟練者双方とも互いに類似した開閉パターンを示した（図2d、図3d）。詳細に比較すると、熟練者では両足が一定時間（2秒弱）閉じたままになっているが、初心者では右足を閉じた直後に左足が開き始めることが違いとして指摘できた。

(5) 足の運びと上肢・軀体動作との関係(図2、図3)

足の開閉と手首位置の関係については、初心者、熟練者双方とも開足時が左手下、閉足時が右手下となっていたり類似していた。しかし、足の運びと軀体の向きの関係は初心者と熟練者では異なっていた。すなわち、初心者では軀体の向きが進行方向に開く時に左足も開き、軀体の向きが正面まで戻る時に右足を引き寄せている（図2c・dの時間範囲5～9秒参照）。それに対し、熟練者は、軀体の向きが正面から進行方向に最大に開くまでの間に右足を引き寄せ始め、足を閉じた時は軀体の向きは再び正面まで戻っている。そして、軀体の向きが正面から進行方向に対し逆向きに最

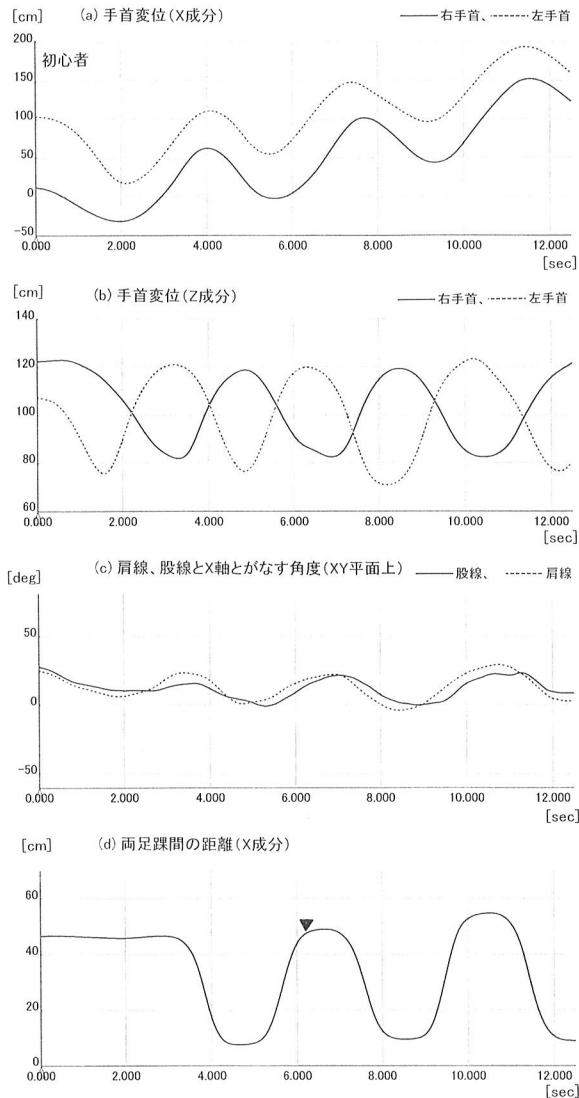


図2 初心者における時系列グラフ。(a) 両手首変位[X成分]、(b) 両手首変位[Z成分]、(c) 肩線と腰線がそれぞれX軸となす角度変位[XY平面上]、(d) 両踝間の距離[X成分]

大に開く（=軀体の向きを進行方向に対して最大に開じる）までの間に左足を開き始め、足が開いた時には軀体の向きは再び正面まで戻っている（図3c・dの時間範囲3～9秒参照）。すなわち、軀体の向きまたは足の運びについてほぼ同じ局面でも初心者と熟練者で全身のフォームとしては大きく異なる時点が存在していた（図6参照；左足を開ききる直前のフォーム）。

考察

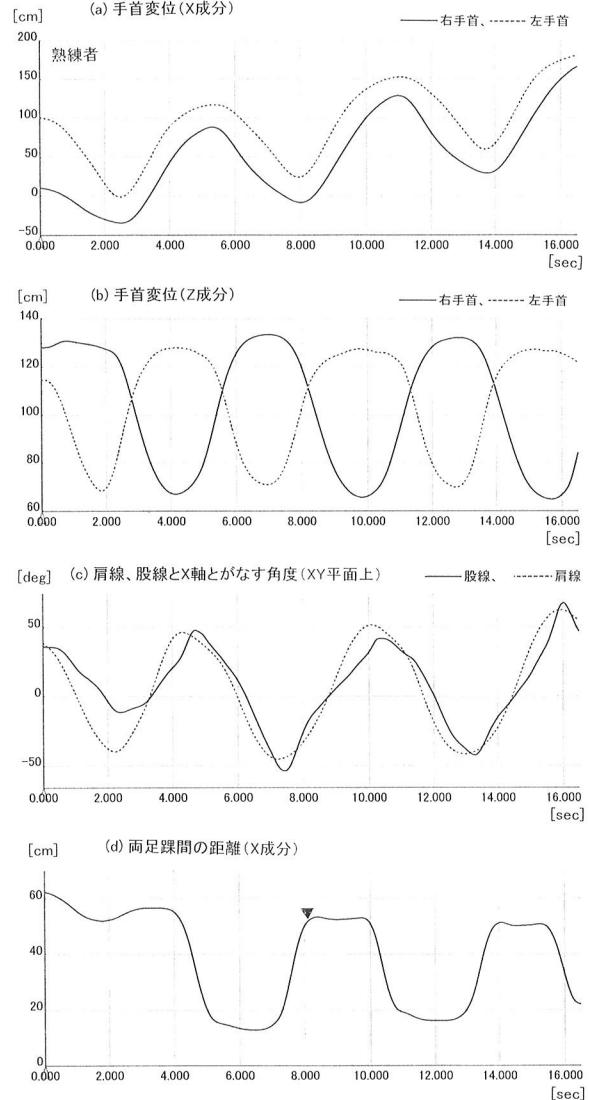


図3 熟練者における時系列グラフ。(a) 両手首変位[X成分]、(b) 両手首変位[Z成分]、(c) 肩線と腰線がそれぞれX軸となす角度変位[XY平面上]、(d) 両踝間の距離[X成分]

太極拳は元は中国発祥の武術の一つであるが、現在では医療体育、健身法、生涯体育といった健康増進目的の全身運動としての側面を拡大させ、わが国を含め世界的に普及しつつあるスポーツである¹³⁾。普及について、スポーツ科学関連分野での研究報告^{6,7,8,10,14,16,17)}も増えてきたが、動作分析を含むもの¹⁸⁾は稀である。

太極拳を構成する動作は比較的緩慢で一見すると簡単そうに思われるが、実際に学習者が正確な動作を習得しようとする場合、難しいと感じることも少なくなる。

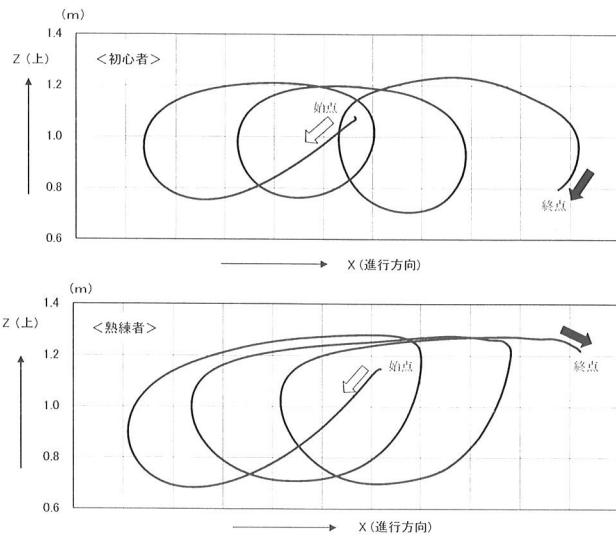


図4 正面 ($-Y$ 方向) から見た左手首の軌跡 (XZ 平面上への投射図)。格子 1 マスの大きさは縦横それぞれ 0.2 m

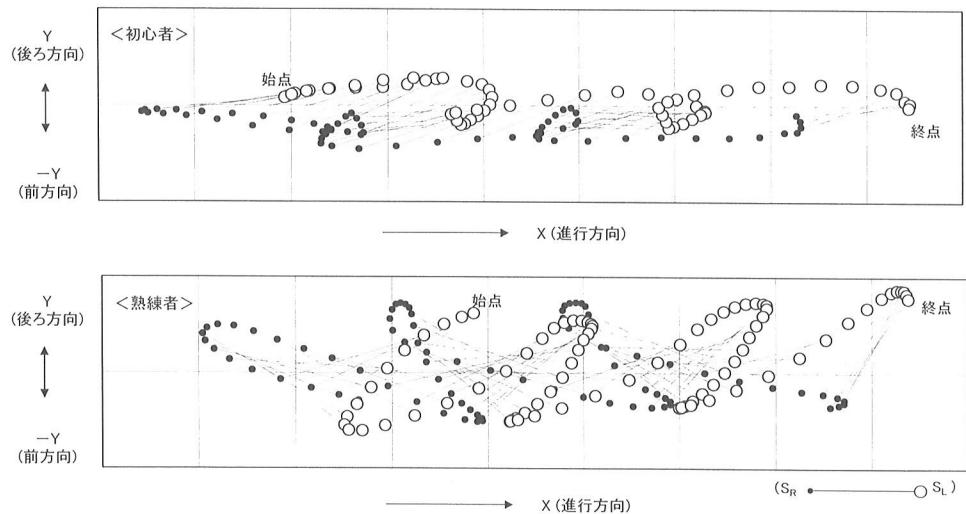


図5 真上 ($+Z$ 方向) から見た肩線の変位 (XY 平面上への投射図)。
描画時間間隔は 200 ミリ秒。格子 1 マスの大きさは縦横それぞれ 0.2 m。

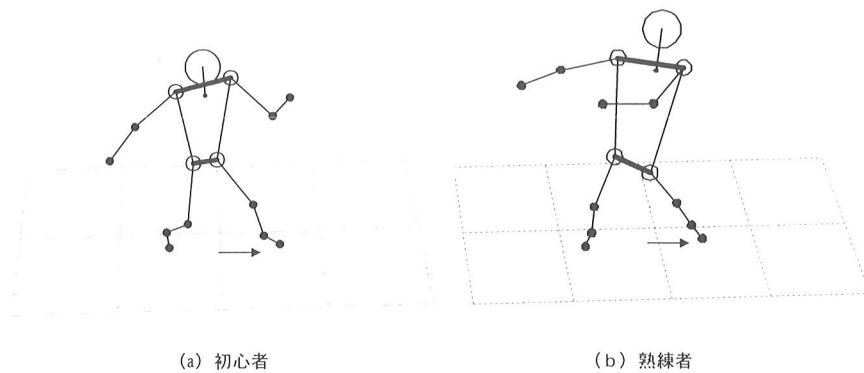


図6 左足を開ききる直前のスティックピクチャ (それぞれ図 2d と図 3d のグラフの▼印の時点での描画)。
進行方向に対する軸体の向きは、初心者では開いてしまっているのに対し、熟練者ではまだ閉じている。
(写真 1 の⑧または⑬を参照)

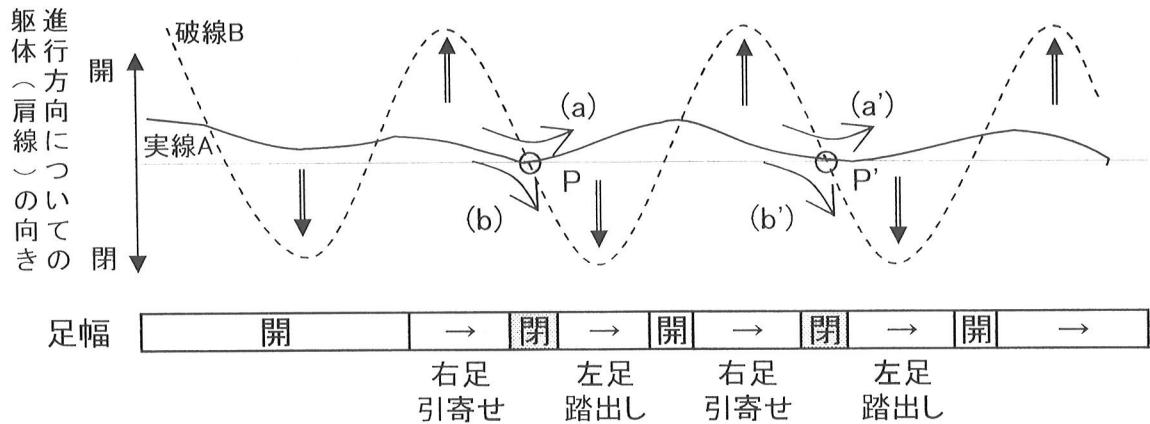


図7 解説用模式図（肩線の角度変位による転体の向きについて）。

実線Aは初心者の事例、破線Bは熟練者の事例を参考に描画。

い。その理由のうち、太極拳の動作特性に由来する問題点に限って指摘すると、以下のように例示できる。

1. 回転動作の多用：一般的に動作を学習する際、観察に基づく模倣は基本的かつ重要な行為である。しかし、太極拳では回転動作が多用されるため、見本の動作における注目すべき部位が陰に隠されたり、自分自身の回転のために注目点を見分けられないということが起きやすく、模倣のための正しい情報を観察からは得られにくい。

2. 抽象的な説明：指導書においても、動作の説明には抽象的・質的な表現が多く、身体各部の具体的・量的な位置（変位）や角度についての情報が少ない。

3. 全身性と常動性：全身的に身体各部位が円運動や往復運動を基調に常に動き続けるという特徴があり、全体的に調和のある動作になりにくい。言い換えれば、同時に何と何がどう動いているのかについての情報が少ない。

上記は、いずれも学習者にとっての情報不足の問題を指摘したものであるが、本研究では、モーションキャプチャシステムを用いることでこれら情報不足を補うことを試みた。その結果、今回の事例では、初心者の手足の動作は比較的熟練者のものと類似していたが、転体についてはその回転の大きさや足の運びとの時間的関係がそれぞれ熟練者とは大きく異なっていた。この結果から、初心者への指導ポイントを考えると、この初心者は足を閉じたときには転体も（閉じながら）正面を向いていること（P点、P'点）が熟練者と同様であったので、この共通部分を生かして、「右足を閉じる（転体も閉じながら正面に戻す）ときに、その後すぐに左足を開く（転体も開く [図7矢印(a)(a')]）」のではなく、転体の向きは正面を通り越して

引き続き閉じる方向に（=進行方向とは逆に向くよう）ゆっくりと回転させながら [図7矢印(b)(b')] その途中で左足を進行方向へ開き始めるようになる。」「それがうまくいくようになったら、動作はゆっくりでいいから、転体の回転角度を進行方向、逆方向ともに50度くらいまで大きくする。」というような助言を、図を示しながらすることができる。

とはいって、この程度の指導ポイントであれば、今回のような測定データを用いなくとも多くの指導者はその点を指摘し矯正することができるかもしれない。また、モーションキャプチャによって正確な動作データが得られ、それを手本に類似した動作ができるようになったとしても、全体としては似て非なる運動になってしまい可能性もある。すなわち、モーションキャプチャによって得られるデータは外的的なものに限定されるので、運動を生起させる人体内部の機構¹¹⁾についての情報は与えないからである。しかし、学習者の立場からすると、客観的な動作データに基づいて指導を受けられれば、動作に対する理解もより深まり、指導者や指導内容に対する信頼感もより高まると考えられる。また、今後普及すると予想される通信機器を利用した遠隔学習の際にも、直接指導を受けられないデメリットを補える情報が必要である。さらに、指導者がいない場合は学習者自身で問題を発見し有効な対策を考える手がかりとなるデータは不可欠である。一方、指導者側にとっても、本研究で扱ったような動作データは自分の指導内容に根拠を与え、ポイントを押さえた指導を行うための支援材料として役立つと考えられる。いずれにしても、モーションキャプチャによる動作データは、指導者と学習者の間の情報格差を縮め、より多くの人に対して運動やスポーツについての理解

を深めることに有効であると考えられる。

モーションキャプチャは人体（全身または部分）の動きをまるごと記録再生できるため、様々な分野で活用されている。例えばゲーム・アニメーション・テレビ・映画などの映像製作分野ではコンピュータグラフィックス上でキャラクターを動かすためのデータ取得に用いられている¹²⁾。また、研究対象としては、基本動作（立つ¹⁾、歩く等^{2,15)}）、各種スポーツ⁵⁾、リハビリテーション⁹⁾、舞踊³⁾、楽器演奏¹⁹⁾、労働作業⁴⁾などにおける身体動作について、モーションキャプチャを利用した報告がなされている。このように、モーションキャプチャは身体運動を扱うすべての分野で人体の動きへの理解を深めるために不可欠なツールと考えられるが、現在ではまだシステムが高価（数百万円から数千万円）であるため気軽に使用できるというわけにはいかない。しかし、今後、価格低下や普及の促進によって、スポーツの入門者や初心者のためにも常時使用できる状況になることを期待したい。

文 献

- 1) 江原義弘、山本澄子：立ち上がり動作の分析：医歯薬出版、2001
- 2) 江原義弘、山本澄子：歩きはじめと歩行の分析：医歯薬出版、2002
- 3) 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46(8), 490-497, 2002
- 4) 蛭田秀一、島岡みどり、山本薫、他：各種上方移動介助における作業姿勢と作業負担の比較：平成15年度日本産業衛生学会東海地方会学会講演集、32, 2003
- 5) 池上康男：写真撮影による運動の3次元的解析法：Jap J Sports Science 2, 163-170, 1983
- 6) 今福一寿、佐久間祐司、鈴木孝雄、他：中高年者における「簡化二十四式太極拳」の運動強度に関する研究：明星大学紀要 35, 61-78, 1999
- 7) 石村宇佐一、郭海燕、古章子：太極拳の習熟過程における脳波の変化：金沢大学教育学部紀要 51, 27-37, 2002
- 8) 金昌龍、渡部和彦：太極拳実践が中・高齢者の静的および動的バランス機能に及ぼす影響：体力科学 52, 369-380, 2003
- 9) 幸村琢、黒田篤：モーションキャプチャ、筋骨格系モデルによる遠隔リハビリシステム：情報処理振興事業協会平成13年度成果報告集第二版, 2002
- 10) 届国鋒：健康拳法太極拳、体育の科学 53(4), 274-279, 2003
- 11) 中村隆一、齋藤宏：基礎運動学第5版：医歯薬出版、2001
- 12) 日経CG（編）：最新CGソフト購入ガイド2000年版：日経BP出版センター、1999
- 13) 日本武術太極拳連盟：太極拳指導教本：日本財團図書館 (<http://nippon.zaidan.info.seikabutsu/2001/00646/mokuji.htm>), 2001
- 14) 丹羽昇：太極拳が生体に及ぼす影響：東京学芸大学紀要 32, 219-225, 1983
- 15) 長船大毅、大隈健史、森野岳宏、他：モーションキャプチャデータを用いた歩行動作の分析と制御：第17回日本人工知能学会論文集 (2C 3-04), 2003
- 16) 劉雲発、趙蔓、花妙林、舛屋剛、三村寛一：中年女性の太極拳におけるトレーニング効果：大阪教育大学紀要 47(2), 505-517, 1999
- 17) 島岡みどり、蛭田秀一：太極拳熟練者の体力特性、東洋医学研究財团、1986
- 18) Shimaoka M., Hiruta S., Wada M., Kazuto Y., Zhang C. and Ono M.: Three-dimensional kinematic analysis of Tai Chi Chuan: Abstract of 2002 ASPES INTERNATIONAL CONFERENCE TAIPEI, 68, 2002
- 19) 植野研、古川康一：熟練者のチェロ演奏動作の分析～近位と遠位の協調動作の観点から～：第10回日本運動学習研究会、33-38, 2000
- 20) 張成忠（訳著）：簡化24式太極拳：朝日新聞名古屋本社編集制作センター、2001

(2003年12月12日受付)