

3次元多方向視点と動画連動型指導記録DBを用いた 身体運動用eラーニング教育の有効性の検証

Verification of Physical Exercise e-Learning using 3D Multiple Viewpoint Capture and Teaching Comment Movie Database

三橋 郁, 慎 祥揆, 橋本 洋志

Kaoru Mitsuhashi, Sanggyu Shin and Hiroshi Hashimoto

The physical exercise has internal and visual problems for the teacher. The internal problems are subjective estimation and tacit knowledge, the visual problems are single viewpoint and occlusion. In this paper, we suggest and verify the effectiveness of the e-learning system for solving problems. It has 3D body motion capture from multiple view function and the movie image linked teaching comments recording database. 3D body motion capture for visual problems uses Microsoft Kinect, which has 3D skeleton model rendering and multiple viewer function using Kinect Studio. The teaching comment movie database for internal problem accumulates the wrong images, correcting comments, and objective estimations. After that, we experiment the physical exercise in swimming and karate motion using the e-learning system for investing its effectiveness. In this result, the teaching comments from multiple viewpoints and recorded database are found for solving internal and visual problems.

Keywords: teacher and learner, 3D skeleton model, 3D viewer comment, nonstructure web database, comment table, comment tag

1. はじめに

身体運動教育は人間の健全な発達や生活を送ることに寄与すると共に、スポーツ活動、生産活動、および文化活動の基礎を築くために重要である。ゆえに、筋力の維持・強化や健康保持のための基本的な身体運動だけでなく、技能を発揮できるような複雑な動きを修得できるだけの運動能力を養うことも重要である。複雑な動きができるようになるには、基本的な動きを段階的に習得しなければならない。すなわち、基本的な身体運動教育とは、複雑な動きができるようになるための必要な基本的動作を養成するものである。

指導者は複数の部位を同時に観察できず、なおかつ視点が限定されているという事実がある。このことに起因した主観的評価、暗黙知が問題とされる。学習者の問題として、指導を理解しようとする認知と自分自身で正確に確認できない身体の動きが異なるという認知との身体の不一致性が挙げられる。さらに、これらの問題が複合して学習継続の維持が図られないという問題がある^{[1]・[2]・[3]}。人間の生体が起因して人間の内容に影響することから、これを内面的問題と総称する。さらに、指導者が学習者と1対1に向き合って指導するとき、指導者の視点は学習者の運動を一方向のみであるため、視野範囲が

限定的であり、身体部位の重なり合った裏側が見えないというオクルージョン問題がある^[4]。さらに、人間のワーキングメモリは瞬時の情報を数個しか認識できないことから、身体の多数関節が同時に視野に入っても認識できないというワーキングメモリ問題^{[5]・[6]}、意識して見ている部位だけに注意を払い、それ以外の部位は視野に入っても認識できないという注意の錯覚問題がある^[7]。これらの問題は、いずれも視覚として認識できないことから視認問題と総称する。教育現場において、身体運動教育の指導者が1人であることが多く、内面的問題と視認問題が生じたとき、これらを1人で解決することは難しい。そのため、指導に矛盾や誤認が生じて、指導意欲や学習意欲に悪影響を与え、身体運動教育の有効性が低減することがある。そこで、1人の指導者で対処できることを支援するeラーニングシステムを提供できれば、身体運動教育の効率化と普及に貢献できると考える。

身体運動教育の効率化や普及する手段として、Microsoft Kinectを用いたスポーツ指導の研究は数多く存在するが^{[19]・[20]}、これらの研究は学習者視点の内容が多く、指導者視点の内容が少ない。指導者が学習者の過去の身体動作を振り返って見ることはなく、指導者は学習者に対するコメントを出しても、そのコメント自体を忘れていくことが多い。その一方で、学習者と指導者の行

動を分析した研究は存在するが^{[21], [22]}, 学習における指導者側の内面的問題の解決までには至っていない。さらに、位置・速度・関節角度を見ても、指導者側・学習者側の双方にフィードバックされているとは限らず、数値データが指導に影響を与えているとは言えない。

そこで、本論文では、指導者側の視点を中心に、内面的問題・視認問題の解決アプローチを主眼とする。本論文は、その方策として、3次元身体動作の任意視点と動画連動型指導記録 Data Base (DB) を導入し、効果的な身体運動教育ができる e ラーニングシステムを提案する。本システムは3次元身体動作のヒューマンモーションキャプチャは Kinect^[8] を使用し、ライブラリは Kinect Studio^[9] の 3D Viewer 機能^[10] を用いる。これは、学習者の深度データおよびスケルトンモデルの観察に3次元任意視点機能を有するものである。さらに、本システムは参照型 DB を導入し、指導者の指導内容を動画に連動して記録する。3D Viewer, 学習者の動作動画、および指導内容を効果的に組み合わせ、指導方法の蓄積と改善が効果的にできるようにすることにより、内面的問題・視認問題の解決を図る。

その後、提案した e ラーニングシステムの有効性を検証するため、1ヶ月間の実証実験を行った。この結果、内面的問題および視認問題について、幾つか有効に対処できることが判明したので、これについて報告する。

2. 身体運動教育問題の設定

指導者と学習者が向き合っている身体運動教育が行われるとき、内面的問題と視認問題が発生する。本章ではそれらの事例や原因、および従来の身体運動教育の問題点を指導者と学習者の観点から述べ、それらの問題点を解決する考え方を示す。

始めに、指導者の観点の問題点を述べる。人間は約 200 個の骨と骨を支える部位があり、関節の可動域と骨のサイズは人により異なるという解剖学的特徴がある^[11]。人間の視覚能力には限界があり、動いている多数の部位を同時かつ正確に観測することができない。人間には同時に多数のタスクを脳内で処理できないというワーキングメモリの制約があるため、一度に多数の部位の動きを客観的に評価できない。学習者が動いているとき、指導者の視野は固定され、限られた範囲だけであることから、隠れた部位の動きを見ることはできない。このため、指導者は学習者の身体運動の一部しか観察できない、あるいは学習者の動きを推定して評価をすることになる。以上より、指導者は主観的評価を示してしまうことがある。さらに、身体細部を見ることができなくても、経験値に基づく心的イメージや運動作法の知識に基づいた指導者個々が有する暗黙知が、無意識に客観的評価を与えてしまうことがある。指導者が持つ主観的評価と暗黙知の内面的問題は、評価の客観性を損ない、安定した評価を示すことができない。ゆえに、学習者は、指導者の客観的評価を正確に知ることができず、学習の迷いや目標に到

達できないことへの不安感を抱くという問題がある。

次に、学習者の観点からの問題点を述べる。身体的特徴に加えて、感覚器に基づく体性感覚は人により異なるため、自分の感覚では良い動きをしていると認知しても、この認知が誤りであり、複数の部位が誤った動きを示すことがある。そのため、学習を理解して動作しようとする認知と実際の身体動作の間で不一致が生じる。学習過程において、学習者が指導者の指示を理解して動いていると思っても、勘違いによる動作をしてしまうことが多い。この不一致により、なぜ学習者は指示通りに動かないのだろうかという疑念を指導者が感じてしまう。さらに、学習者は指示通りに動いているつもりであっても、違うと言われて混乱する。認知と身体的不一致、および両者の認知の違いが指導効率向上の妨げとなる。

以上の問題点が生じると、学習の効率性が低減し、学習者だけでなく指導者もストレスや不安が高まる。学習ゴールへ到達できないかもしれないという気持ちを抱くと、学習の継続性が失われることになり、学習そのものが成り立たなくなる可能性がある。上記で述べた内面的問題において、指導者の問題を解決するには、動いている学習者の全ての部位を定量的に記録でき、オフラインで全ての部位を見ることができ、および曖昧さを排除するために心的イメージを形式知化にて評価することである。次に、学習者の問題を解決するには、認知と身体的不一致の軽減を図るために、自らの身体の動きを多方向視点観察下で再現し、ある動きのシーンにおける感覚を言語で記録することである。さらに、動作の記録が長期間であれば、過去の自分の挙動と比較することができ、成長した達成感を得ることができる。これは、教育学において“振り返り”と呼ばれる教授法であり、自分の発達の確認は自己満足、達成感などの良い感情を学習者に与えて、学習継続性に良い効果を与えることが知られている^{[12], [13], [14]}。

上記の内面的問題と視認問題を解決する具体的な方法は幾つか考えられるが、高精度な数値データによる分析のみでは効果が低い。そこで、本論文は普及しやすさ、携帯・持ち運びが可能であることを考慮して、Kinect を用いた3次元身体動作の任意視点と動画連動型指導記録 DB を導入した身体運動教育を行える e ラーニングシステムを提案する。

3. e ラーニングシステム

本章では、3次元身体動作の多方向視点と動画連動型指導記録 DB の機能を説明する。3次元身体動作の多方向視点は、Kinect の 3D Viewer を用いて実現され、オフラインで人間のスケルトンモデルの動画を多方向視点で観察でき、各関節の角度を定量的に測ることができる。動画連動型指導記録 DB における動画は、3D Viewer だけでなく、通常のビデオも記録して、どちらも注目したいシーンの静止面を抽出して、それに対するコメント、うまく動作できない原因と対策をドキュメントで記録でき

る。これらの機能を複合して用いることにより、前章にて述べた問題に対応できる。

3.1. 3次元身体動作の任意視点

Kinect は一般人でも入手がしやすく、そのモーションキャプチャは人間の動作から、取得する関節座標の全ての軌跡を保存できる。これにより、関節の座標、軌跡、角度、速度を求めることができ、指導者にとって有効な情報となり、定量的な指導方法が確立できる。Kinect を用いたモーションキャプチャ実施のシーンを図 1 に示す。この図に示す配置より、室内でのモーションキャプチャが可能である。Kinect は RGB ビデオも同時に撮影できる。3D Viewer は、Kinect が計測する深度データを見るためのライブラリである。図 2 において、人体の表面は白色の深度データで表現されている。スケルトンモデルは赤色の棒と白色の関節で表現されている。トラッキング可能な人体の関節数は 25 個であり、関節位置は Kinect により推定されている。図 2 に示すように、シーン内の 3 次元空間において、マウス操作することにより視点を任意の位置に設定して、人体とスケルトンモデルを見ることが出来る。スケルトンモデルだけでは、手の甲の方向、腕の捻じれ角がわからない。そのため、図 2 のように人体表面とスケルトンモデルの合成描画を用いて部位の面の向きを知ることができる。ただし、3D Viewer からは関節角度を直接知ることができない。そのため、Kinect が約 0.02 秒毎にトラッキングする関節の位置データを利用する。別に開発したプログラムを用いて、図 3 のように各関節角度を示す。関節角度は関節座標および接続する近隣の関節座標により容易に計算することが可能である。

しかしながら、人体部位や道具によって関節が見えないオクルージョン問題が発生する場合がある。例えば、テニスラケットや野球のバットを持ちながらの素振りである。これらの動作では、Kinect を 2 台以上用意して、複数の方向から撮影した後、それらの映像を重ね合わせることで、オクルージョン問題を対処するものとする。

3.2. 動画連動型指導記録方法

動作を伴う身体運動教育では、身体の動きを時系列的に把握できる動画と、悪い点を指摘かつ指導できる静止

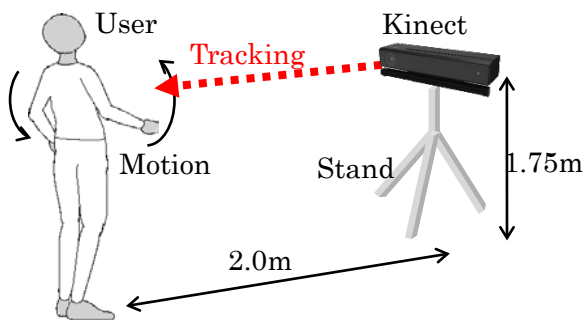


図 1 モーションキャプチャの使用環境

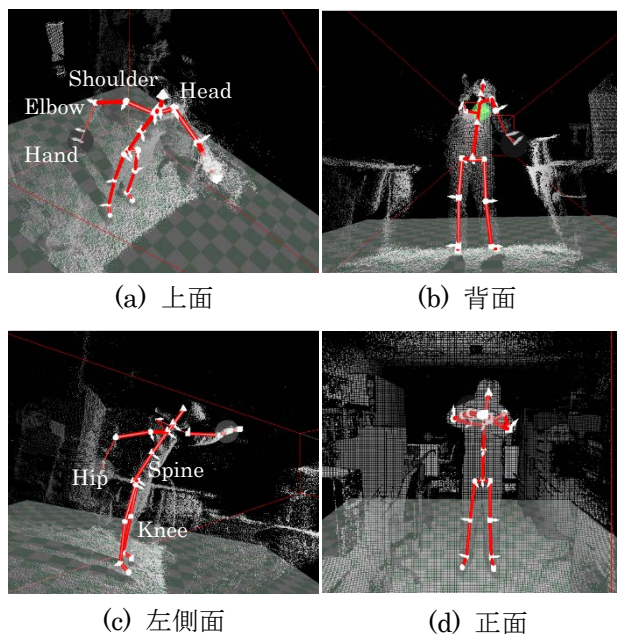


図 2 3D Viewer の任意視点

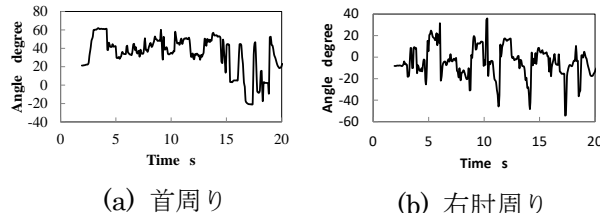


図 3 スケルトン関節角度

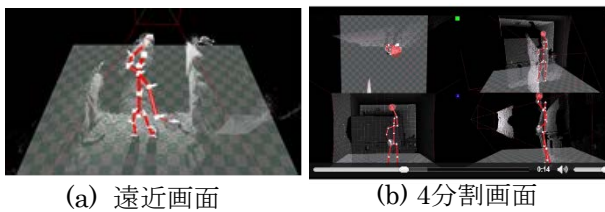
画を用いた教育コンテンツが必要不可欠であると考え、指導者は動画を見ながら、悪い箇所を抽出し、悪い箇所に対する指導を記録して、後に指導記録を参照できることが望ましい。そこで、動画に連動して指導記録を幾つもの項目に分けてドキュメントおよび画像の形式で記録し、それらを参照できる動画連動型指導記録 DB を提案する。以下に、動画連動型指導記録 DB を用いた問題解決方法と効果について説明する。

図 4 は開発した動画連動型指導記録 DB を用いて、学習者の身体運動シーンを web から操作している画面である。学習者の身体運動の画像（ビデオとスケルトンモデルの動画）がアップされている。ただし、図 5 より、身体運動シーン動画（図 4 の図中(i)）は図 4 (iii)内のクリックにより、3D viewer 画面である上面、正面、側面、遠近図、および 4 つ全てを表示する画面の切り替えが可能である。指導者はビデオ映像またはスケルトンモデルの動画（図 4 の(i)）を見て、気になるシーンで(ii)のボタン「気になる」をクリックし、コメント欄フィールド(iv)画面の中にある 9 個のラベル名のフィールドには以下のように記録または記入ができる。

- ① 時間：クリックした時間が記録される
- ② コメント：気になったコメントを記入する。
例えば、「右手が低い」。コメントを短くする理由は、実時間で観察している場合、指導者が発する言葉が



図4 動画連動型指導記録DBのweb画面



(a) 遠近画面 (b) 4分割画面

図5 web画面の切り替え動画

短く、短い言葉でも学習者が理解できるようにするためである。

- ③ 発言者：記述した人の名前を記入する。
- ④ 何が悪い：このコメントが発せられた理由，すなわち，何が悪いかを理由を 256 文字以内で詳細に書くことができる。短いコメントのみでは理解できない場合は有効である。例えば、「右肘が下がり，そして，右手のこぶしが鼻の前に来ている。こぶしは，左耳の横 10cm 位の位置にすべき」。
- ⑤ 改善案：その改善を行うための指導方法を 256 文字以内で記述できる。例えば、「この学習者は肩が固いので，右肘を上げるのに，少し腰をひねった方が肘は上がりやすく，そうすることで，右手のこぶしが左耳の後ろに持ってきやすい」。
- ⑥ スキル評価：4 段階のスキル評価，「まだまだ」，「もう少し」，「できました」，「よくできました」を選択する。この 4 段階の言葉による評価にした理由は，筆者らが幾つかの技術系企業の技能者のスキル評価を参考にして，この方法が身体運動スキルの評価をしやすいという知見を得たためである^[22]。この例では，「まだまだ」と評価されている。
- ⑦ 備考：上記以外で記述したいことを記入する。
- ⑧ 静止画：クリックした時間の静止画が保存される。この画像はダウンロードして，画像中の身体の悪い個所に矢印や丸印の記号やコメントを書き込んで，図的に見やすく加工できる。
- ⑨ 教師メモ：学習者に知らせたくない内容を記述する。

上記 9 個のフィールドに記録したドキュメントからキ

ーワードを抽出し，後にデータベースとして参照する。ただし，9 個のフィールドは全て使われる必要は無く，教育現場の条件や指導者の方針に従って，あるフィールドは未入力，または新フィールドを追加できるような Web ページと DB が対応できる設計となっている。

指導者はビデオを見ることで，通常の視覚で認識できる体の動作の様子が観察できる。オクルージョンで見えない部位は 3D Viewer に切り替えて，多方向視点で観察できる。関節角度はスケルトンモデルから算出でき，そのときの静止画像に指導法のドキュメントを記述できる。すなわち，画像，姿勢に関する角度，ドキュメントが関連付けられ，なおかつ指導の記録が蓄積され，幾つもの事例を客観的に振り返りができることにより，指導のセルフアセスメントが行いやすく，指導者の主観的評価や暗黙知による評価を大幅に低減できると考える。

学習者は自分自身の動作姿勢が定量的に表現でき，なおかつ身体の隅々まで多方向視点で見ることができ，自分自身の体性感覚と身体の不一致に気付くことができる。指導に基づいた動作の修正を図り，正しい動作のときに指導者から良い評価を得ることにより，体性感覚と身体の不一致の解消に役立つ。さらに，過去の自分自身の動作と評価を見ることができ，現在の自分の動作がどれだけ上達したかを明確に認識できる。本手法を用いて，定量的評価により達成感を得ることができ，学習の継続性の維持に貢献できる。

3.3. 指導記録データベース

データベース (DB) の重要な役割は，学習ケースを積み重ねて，その指導記録を蓄積することにより，学習者の悪い動作の傾向を抽出し，適切な指導のキーを抽出することにある。指導者が新たな学習者を指導して，ある傾向に基づく悪い動作を見たとき，本 DB を利用することにより，過去の事例とそれに対する指導法を直ちに参照して，迅速かつ常時不変の指導ができる。これにより，教育の効率化と高い再現性を図ることができる。この DB の仕様と特徴を説明する。ユーザー (指導者と学習者) は web ページから入出力を容易にできることを前提として，反応型 web サイトに対応できるデータベースを構築した。本 web サイトは HTML5, CSS3, および jQuery 等の技術を用いて，利用者の要求に動的に反応できる。そのため，DB の設計は従来の関係 DB システムと NoSQL 技術である MongoDB の両方で構築した。構築した関係 DB の構造の一部を図 6 に示す。図 6 において，Video は

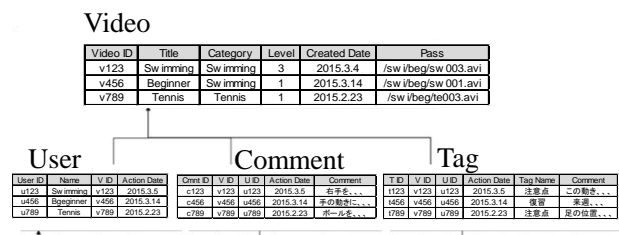


図 6 関係データベース設計の一部

図 4 の(i)と(iii), User は図 4 の(iv)の③, Comment は実際には幾つかに派生して図 4 の(iv)の②, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑨に相当する. 実際の運用において, 図 4 のフィールド全てが使用されることがない場合もある. 使用条件によって, フィールドの変更や追加がありうるため, DB 運用後でデータ構造の変更が生じても DB 設計の再構築をしなくても良いような設計構造にする必要がある. そこで, 関係 DB の設計と共に, ユーザのニーズに対するシステム機能の追加によるデータ構造の変化に柔軟な対応ができる MongoDB を導入した. MongoDB は非構造型 DB 系であり, 各利用者によって異なるデータを効率的に対応できる特徴を有する^{[15], [16], [17]}. さらに, 取り扱うデータはドキュメント系が多いため, NoSQL 記述の中でもドキュメント指向データ処理が得意である特徴を利用した.

本 DB の学習者データの蓄積において, Video (図 6 のビデオテーブル) に対する利用者の学習データ (User テーブルの Action Data) は, 学習日時, 時間帯等のデータを蓄積する. さらに, 各学習ビデオに対する学習に必要なコメント (またはコメントテーブル) が蓄積される. タグ (またはタグテーブル) がコメントと異なる理由は, 利用者の必要に応じて, 動的に追加される属性であり, 予め提供側から用意されるコメントとは異なり, 利用者によって動的に対応する必要があるためである. この属性が図 4 のフィールドに対応する. 図 4 のフィールドは, 構築開始当初は①~⑤までの用意であったが, 指導者側との相談により⑥~⑨が追加された. これにより, 学習指導の途中であっても, テーブルを追加することが容易であり, 即座に対応ができる. このように, 後に追加されるデータに対しても柔軟に対応できるように設計されている. すなわち, 予め用意されている DB のテーブルの相当する属性に蓄積される関係 DB と異なり, 必要な属性をその場で追加できることが特徴であり, DB 構築後に発生するデータ属性の追加要求に対しても柔軟に対応できる^[18].

4. 身体運動指導実験

開発した e ラーニングシステムを用いて, 身体全体を使った動作に対して指導者の視認性を確認する必要がある. そこで, 大きなモーションの 1 つである水泳のクロールと空手の受け動作を選定し, 本 e ラーニングシステムの有効性を調べた.

4.1. 水泳のクロールモーション

始めに, 本 e ラーニングシステムを水泳のクロールモーション (上半身のみ) にて調査した. 学習者は 20 歳代 6 名の男性である. 指導者は水泳歴 15 年, 指導歴 5 年かつ県内大会出場経験者であり, 学習者は全員水泳歴 5 年以下である. 図 7 (a) に示すように, 学習者は指導者から身体の動作方法を比喻表現やジェスチャー表現を交えた説明を受けた後, 図 7 (b) のようなクロールモーション

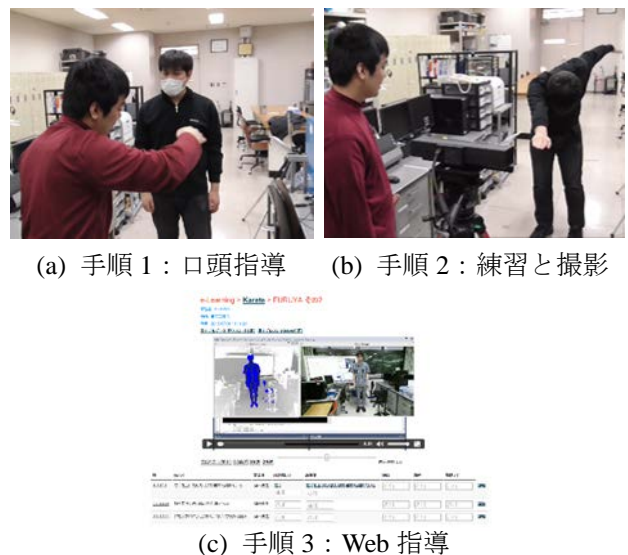


図 7 水泳の指導者と学習者との実験一連作業

表 1 水泳における改善を指摘された部位と改善内容 (ただし括弧内は視点方向)

(a) 被験者①			(b) 被験者②		
	1st	2nd		1st	2nd
肘	-	-	肘	傾き (右面)	-
腕	位置 (左面)	傾き (正面)	腕	位置 (左面)	-
手	位置 (左面)	-	手	-	動き (上面)
顔	-	傾き (正面)	顔	-	-

(c) 被験者③			(d) 被験者④		
	1st	2nd		1st	2nd
肘	-	-	肘	-	-
腕	-	タイミング (正面)	腕	-	動き (正面)
手	動き (上面)	-	手	位置 (右面) 傾き (正面)	動き (上面)
顔	傾き (正面)	-	顔	-	-

ンを実施させ, Kinect を用いてその動作を撮影した. その後, 指導者が図 7 (c) に示す学習者の web 動画を見ながら, 改善点を見出し, web 上の DB にコメントを加えた. 学習者はこのコメントを見て, 動作の改善を図る. この一連の作業を 2 回繰り返した.

指導者が改善を指摘した部位を表した結果を表 1 に示す. 水泳のクロール動作では, 指導者は肘・腕・手・顔の部分に着目していた. web コメントより, 指摘内容は関節の位置, 傾き, タイミング, 動作 (位置と時間の組み合わせ) に分類した. そこで, 指導者が 3 次元 Viewer で見て発見したときの視点方向も記している. 6 名の被験者の中で, 代表的な傾向は主に 2 通りであった (4 名

分は省略した). 表 1 より, ビデオでも発見可能な正面視点での発見が多かったが, ビデオの 2 次元投影画像や正面視点だけでは見つけることができない上面視点や側面視点での改善箇所も存在した. このため, 任意視点機能を利用することで, 指導者は効率的に改善指導を行うことができた. ただし, 繰り返し回数が 2 回程度では, 運動学習や 3 次元 Viewer の効果が不明瞭である.

4.2. 空手の受け動作

そこで, 指導と演習の繰り返し回数を増やすことを目的に, 空手の受け動作の指導にて調査した. 学習者は 20 歳代 5 名の男性である. 指導者は空手歴 5 年, 指導歴 2 年かつ市内大会出場経験者であり, 学習者は全員未経験者である. 4.1 節の実験と同様に一連の作業を 1 週間毎に 4 回繰り返した. 図 8 に一連の指導の様子を示す. 空手の受け動作は, 両肘の使い方, 手の位置など複数のスキルがあり, 学習者の修得スキルレベルに従い, 段階的に高度なスキルを指導する. すなわち, 学習者が指導された改善を達成されるまで同じ指導が繰り返され, 改善を達成したときは新しい指導内容が提示される. 1 回の練習時間は 10 分前後としたため, 次のスキルレベルに移行できない場合がある. したがって, 学習者の学習能力に従い, 修得スキルレベルは異なる.

4 回目の終了後に, 1 回目と 4 回目の動作映像を比較して学習効果を調べた. 学習能力の基準は, 修正を指摘された部位の個数と, 指導者の最終的な上達評価を総合した. その結果, 学習者 5 名の中で学習能力が最も高い学習者と最も低い学習者の結果を表 2 に示す. この両者に対して, 指導者が改善を指摘した身体部位と改善内容, および視点方向を示している. 表 2 より, ビデオ映像でも発見可能な正面視点での発見が多かったが, ビデオ映像の 2 次元投影画像や正面視点だけでは見つけることができない上面視点や側面視点での改善箇所も存在した. そのため, 4.1 節の実験と同様に, 任意視点機能を利用することで, 指導者は効率的に改善指導を行うことができた. 指導の前半回数 (1 回目, 2 回目) では肘, 腕, 拳という部位が注目されることが多かったが, 後半回数 (3 回目, 4 回目) では腰や肩を含めた身体全体が注目されるようになった. これは, 学習者が少し上達すると, 指導者が全身を観察したいという要求が発生するためである. 残り 3 名の学習者は両者の何れかに近い結果であった. この点でもオフラインの任意視点で全身を見ることができたことは, 指導者の要求を満たし, 満足度を高める結果となった.

表 3 には学習者の感想と指導者の感想を示す. 1 回目を除いた理由は, 全員が基本学習に終始して特に感想がなく, 感想に違いが現れたのが 2 回目以降であったからである. 学習者は, 前半 (2 回目) では反省点を述べる事が多かったが, 後半 (3 回目, 4 回目) では達成点や満足点を述べる事が多かった. 一方, 指導者の感想では, 動作の位置やタイミングの上達を多く述べる傾向があった. 腕の位置, 体の捻り, 肩の位置を指摘できたと



(a) 手順1: 口頭指導 (b) 手順2: Web指導

図8 空手の指導者と学習者との実験一連作業

表 2 改善を指摘された部位と改善内容 (ただし, 括弧内は視点方向)

(a) 学習能力が高い学習者

	1回目	2回目	3回目	4回目
肘	位置 (正面)	位置 (正面)	-	-
腕	位置 (上面)	傾き (正面)	-	-
拳	-	位置 (右面)	位置 (右面)	-
腰	-	-	-	-
肩	-	-	-	-

(b) 学習能力が低い学習者

	1回目	2回目	3回目	4回目
肘	位置, 傾き (正面)	位置 (正面)	位置 (正面, 右面)	位置 (正面)
腕	位置 (上面, 正面)	傾き タイミング (正面)	タイミング (正面)	位置 (右面) タイミング (正面)
拳	-	位置 (左面)	-	-
腰	-	-	傾き (正面)	-
肩	-	-	-	位置 (正面)

述べている. これは, 表 2 と照らし合わせて, 3D Viewer の効果があったことを示している.

4.3. 内面的問題と視認問題の解決効果

表 4 に指導者から見たビデオと 3D Viewer を使用したときの感想を示す. 表 4 より, 指導者は, ビデオは 2 次元投影画像であるが, 視覚と同じであるため, 手のひらや手の甲, 肘の向き等の詳細な部分が見やすいと述べている. また, 前提として有している身体イメージや動きに関する知識により全体の動きを見やすいと述べているが, 見えない部位の存在や関節角度がわかりづらいと述べている. 3D Viewer は 3 次元のスケルトンモデルを側面や上面から眺めることができることと, 関節の位置や角度を可視化できること, 振り返りにより目視の改善の再確認ができること (複数の視野方向から何度も見ることが可能), 肩の骨格がわかりやすいことを述べている. しかし, 部位のひねりやねじりがわかりにくいという欠点も指摘した.

表 3 学習者と指導者の感想

(a) 学習能力が高い学習者

	学習者			指導者 4回目
	2回目	3回目	4回目	
悪い感想	腕の使い方が悪い	-	-	
良い感想	-	上腕のブレが改善された	腕の防御と払いができるようになった	・動作にキレがある ・顔の外側に十分に腕が出ている

(b) 学習能力が低い学習者

	学習者			指導者 4回目
	2回目	3回目	4回目	
悪い感想	動きが悪い	-	-	
良い感想	-	腕の動きが良くなった	正しい動きになった	・体の捻りがなくなり、真っ直ぐに保てている ・肩の位置が良い

表 4 指導者から見たビデオと 3D Viewer を使用したときの感想

ビデオ	3D Viewer
<ul style="list-style-type: none"> ・詳細に部位が見やすい (手の平や甲, 肘の向き等) ・全体の動きを見やすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・横や上から眺めることができる (視点が任意である) ・関節の位置や角度を可視化できる ・振り返りにより目視の改善の再確認ができる ・肩の骨格がわかりやすい ・捻じりがわかりにくい

表 5 DB を使用した指導者の感想

1	ある特定の動作では、複数の学習者が誤る傾向がある場合、DBを参照して、その傾向を特定し、その改善策を直ちに見ることができるため、安定して客観的な指導を迅速に行える
2	蓄積された動作の動画・静止画をスケルトンモデルおよび任意視点で見ることができ、尚且つ、悪い操作に対する指導法を参照できるので、暗黙知に依ることが少なくなったと感じる
3	学習者に初期の下手な動作の動画記録を見せることで、学習者自身が上達を実感でき、やる気が出てくることを実感した。このため、学習継続の維持に役立つ
4	一連の動作をシーンで細かく分割してみ、各シーン毎に細かく正確に指導しやすい
5	指導者が自分で発した言葉がキチンと相手に伝わったということが確認でき、安堵感と安心感を得た

以上より、何れの動画（ビデオ、3D Viewer）でも指導者の振り返りを確認することは可能であり、それぞれに一長一短がある。そのため、ビデオと組み合わせて3次元スケルトンモデルの動画を活用することで、多くの改善箇所を見つけやすく、かつ、定量的な改善が指導でき、指導者の指導負担を軽減できることがわかった。さらに、指導者に対して DB を使用した感想のインタビューで、表 5 に示す回答があった。

図 9 に映像視点方向からの空手と水泳の動作改善指摘回数を示す。図 9 より、正面からの改善指摘が最も多かったが、上面や側面からの改善指摘もあった。これにより、視野が一方のみかつ固定的な訓練観察を回避できた。さらに、多方向の映像を見ることと web 動画 DB で繰り返し見るにより、身体の数関節が同時に視野に入っても認識できないワーキングメモリ問題を解決することができた。意識して見ている部位だけに注意を払い、それ以外の部位は視野に入っても認識できない注意の錯覚問題があったが、視点箇所が側面や上面も使用す

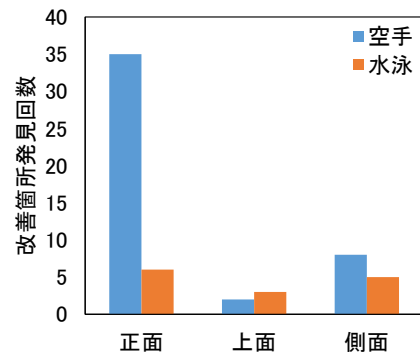
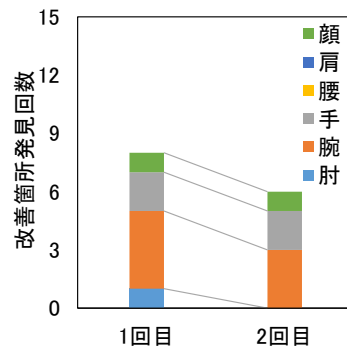
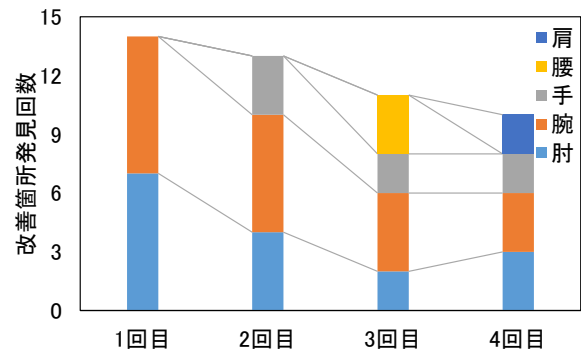


図 9 映像視点方向からの動作改善指摘回数



(a) 水泳指導



(b) 空手指導

図 10 動作改善指摘箇所の部位の推移

ることにより、錯覚問題の解決に貢献できた。以上より、3次元視点を持つことによる視認問題の解決に貢献できていると言える。

図 10 に動作改善指摘箇所の部位の推移を示す。ただし、空手の受けは 5 名 4 回の合計データ、水泳のクロールは 4 名 2 回の学習合計データである。図 10(a)および(b)の指導者は、共に手と腕の動作を指摘することが基本であり、手および腕の動作が正しいと判断した後に、次の身体部位に着目していた。図 10 より、学習回数ごとに指摘発見箇所数が減少し、指摘箇所の部位が変化していることがわかる。指摘部位が変化することにより、指導者は主観的価値や暗黙知に依存してしまうことがなく、受講者は指導を理解しようとする認知と自分自身で正確に確認できない身体の動きが異なるという認知との身体の不一致性を減少することができた。指摘部位が変化するという

ことは、受講者自身の課題を解決することを意味し、受講者の学習意欲と向上心を維持し続けていると言える。

表1~5の結果と図9, 10より, 1章で述べた内面的問題, および, 視認問題の低減化に, 開発したeラーニングシステムは貢献できたと考える。また, 表5の5番目の回答は, 指導者の満足感につながり, 指導者自身の指導のやる気を維持できる成果を得たと考える。動画DBと3次元視点の組み合わせを用いて, 改善部位変化が変化することにより, 内面的問題の解決に貢献できていると言える。

5. まとめ

本論文は, 始めに従来の身体運動教育の問題点を人間が生来有する機能である内面的問題と視認問題に限定して考察した。これらの問題を解決する手段として, 3次元身体動作の任意視点と動画連動型指導記録DBを用いた身体運動教育用eラーニングシステムを提案し, 複数回の実証実験を通して, その有効性を検証した。この検証は, 指導者と学習者へのインタビューだけでなく, 指導者と学習者の本システムの操作を観察することにより, どの指導者にとっても使いやすく, 有効な学習方法の1つであると言える。実証実験の結果, 従来のビデオと3次元スケルトンを用いた3D Viewerを組み合わせ, および動画連動型指導記録を蓄積したDBを用いることで, 内面的問題と視認問題を改善できることがわかった。本システムがこの2つの問題を完全に解決できたとは考えてはいない。特に, 1章で述べたように後天的に発生する人間関係や社会的背景に起因する問題に対して本システムの有効性の検証は未解決である。しかしながら, システム無しの場合と比較して, 客観性, web 記入による指導教育方法の容易性, 振り返りによる達成感など, 多くの利点が認められたことに本システムの有用性があると考えられる。本システムは, Kinect が一般に入手しやすく, DB システムのサーバーは安価な費用でレンタルできるため, 一般に普及しやすいものと言える。そのため, 今後は, 他の分野での適用を検討することと, 本システムを大規模データでの再評価することである。

謝辞

本研究の一部は, JST RISTEX 問題解決型サービス科学研究開発プログラムの援助を受けたものである。

参考文献

- [1] 中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩, “基礎運動学”, 医歯薬出版, 2003
- [2] 樋口 貴広, 森岡 周, “身体運動学—知覚・認知からのメッセージ”, 三輪書店, 2008
- [3] Alan C. Lacy, “Measurement and Evaluation in Physical Education and Exercise Science” Pearson Education Inc., 2014
- [4] David Marr, “Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information”, The MIT Press, 2010
- [5] Christos Constantinidis and Xiao-Jing Wang, “A neural circuit basis for spatial working memory”, *Neuroscientist*, Vol.10, No.6, pp.553-565, 2004
- [6] Susanne M. Jaeggi, Martin Buschkuhl, John Jonides, and Walter J. Perrig, “Improving fluid intelligence with training on working memory”, *PNAS*, Vol.105, No.19, pp.6829-6833, 2008
- [7] Christopher Chabris, Daniel Simons, “The Invisible Gorilla”, HarperCollins, 2011
- [8] Kinect for windows SDK, <https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/default.aspx>, 参照日: 2015/08/23
- [9] Kinect Studio <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/hh855389.aspx>, 参照日: 2015/08/23
- [10] 3D viewer window [Kinect Studio] <https://msdn.microsoft.com/ja-jp/library/hh855401.aspx>, 参照日: 2015/08/23
- [11] I. A. Kapandji, “The Physiology of the Joints”, Churchill Livingstone, 1983
- [12] Jennifer A. Moon, “Reflection in Learning and Professional Development: Theory and Practice”, Routledge, 2000
- [13] Richard Arends, “Learning to Teach”, McGraw-Hill Education, 2014
- [14] 和栗百恵, “「ふりかえり」と学習”, 国立教育政策研究所紀要, vol.139, pp.85-100, 2010
- [15] Dennis Kundisch, Philipp Herrmann, Michael Whittaker, Jürgen Neumann, Johannes Magenheimer, Wolfgang Reinhardt, Marc Beutner, Andrea Zoyke, “Designing a Web-Based Classroom Response System”, 8th International Conference, DESRIST 2013, pp.425-431, 2013
- [16] Kanade, A., Gopal, A., Kanade, S., “A study of normalization and embedding in MongoDB”, *Advance Computing Conference (IACC)*, 2014 IEEE International, pp.416-421, 2014
- [17] Hongxia Xia, Sheng Zhou, Youngjian Liu, “Application and evaluation of NoSQL in course group system”, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, Vol. 51, pp.197-203, 2014
- [18] Sanggyu Shin, Hiroshi Hashimoto, “A SYSTEM FOR THE AUTOMATIC ASSEMBLY OF TEST QUESTIONS USING A NO-SQL DATABASE”, 8th International Conference on e-Learning 2014, pp.421-423, 2014
- [19] Chen, Hua-Tsung, et al. “Computer-assisted self-training system for sports exercise using kinects.” *Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*, 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013.A
- [20] Zhang, Lichao, et al. “A kinect based golf swing score and grade system using gmm and svm.” *Image and Signal Processing (CISP)*, 2012 5th International Congress on. IEEE, 2012.
- [21] 黄宏軒, et al. “仮想社交ダンスインストラクターの構築.” *人工知能学会論文誌* 28.2 (2013): 187-196.
- [22] 稲葉洋, et al. “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." 芸術科学会論文誌 2.3
(2003): 94-100.

(原稿受付 2019/10/18, 受理 2019/12/24)

*三橋 郁, 博士 (工学)

職業能力開発総合大学校, 能力開発院, 〒187-0035 東京都小平市小川西町 2-32-1

Kaoru Mitsuhashi, Faculty of Human Resources Development,
Polytechnic University of Japan, 2-32-1 Ogawa-Nishi-Machi,
Kodaira, Tokyo 187-0035.

Email: k-mitsuhashi@uitech.ac.jp

*慎 祥揆, 博士 (工学)

産業技術大学院大学, 〒140-0011 東京都品川区東大井 1-10-40
Sanggyu Shin, Advanced Institute of Industrial, Tokyo, Master

Program of Innovation for Design and Engineering

Email: shin@aiit.ac.jp

*橋本 洋志, 工学博士

産業技術大学院大学, 〒140-0011 東京都品川区東大井 1-10-40
Hiroshi Hashimoto, Advanced Institute of Industrial, Tokyo, Master

Program of Innovation for Design and Engineering

Email: hashimoto@aiit.ac.jp

