

運動学習初心者のための重心移動可視化システムの構築

Development of motion visualization system with center of gravity for novice learners of motor skills

川越 喬純^{*1}

曾我 真人^{*2}

瀧 寛和^{*2}

Takazumi Kawagoe^{*1}

Masato Soga^{*2}

Hirokazu Taki^{*2}

^{*1}和歌山大学大学院システム工学研究科 ^{*2}和歌山大学システム工学部

^{*1}Faculty of Systems Engineering, Wakayama University ^{*2}Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

To control the center of gravity of the body is one of the most important issues in motor skill learning, however, we cannot see the center of gravity of the body. It is difficult for learners to imagine it, and it takes long time to improve their motor skills. We thought that learning performance would be improved, if the learners could see their body movements and the center of gravity from any viewpoints. Therefore, we developed "Motion visualization system with the center of gravity for novice learners of motor skills". This system displays learners' movements and the center of gravity by 3D model. The learners' motion data are acquired with gyroscope type motion sensors. By experimenting, this system tends to be effective for understanding the relationship between the center of gravity and the movements of the learners.

1. はじめに

体を移動させることは、すなわち重心を移動させることであり、運動学習において重心が重要なのは明らかである。そのため、書籍での学習やコーチからの指導の際などは、重心へのアドバイスの機会が多くなる。しかし、重心への助言は体の動かし方を教えることで重心移動をさせる間接的なものであったり、ヘソや腹部に力を入れる、などのように曖昧な表現で成されたりすることが多く、学習者は理解しにくい。さらに、重心は不可視であるために、これをイメージするのは難しい。明確にイメージできないものを体現するのは困難であり、学習者は重心移動を意識的に行うことができない。その結果、運動学習の効率が低下してしまい上達に時間がかかる。

重心についての関連研究では、久保らによるものや、Wii Fit、Wii Fit Plus などの身体を頭上から見たときの身体重心の変化をリアルタイムで表示するフィットネスソフトウェアがある。運動学習についての関連研究は、曾我らのものがある[曾我 2003, 2008]。これらは、一定方向からのみの重心の可視化や、3D モデルを使った学習支援だが重心については言及していないものである。

本研究の目的は運動学習初心者の任意の運動学習効率の向上である。自由な視点から自身の動作とそれに追従する重心を見ることで、学習者は体の動きと重心の動きの関係性を理解しやすくなるため運動学習の効率が上がると考えた。

そこで本研究では、重心移動可視化システムを構築した。これは、学習者の身体重心と動作を 3DCG モデルで表示するシステムである。3DCG モデルは OpenGL で作成し、そのアニメーションはモーションキャプチャから取得したモーションデータから作成した。また、重心の視覚化によって学習者が上達できたか評価実験とシステム使用後のアンケートを行った。

2. 身体重心の求め方

人体の重心は、身体をパーツ分けし、そのパーツごとの重心を求めてから、それらの合成重心を求めることで算出される。パーツ分けした身体それぞれの重心を部分重心と呼ぶ。

部分重心を求めるには、各身体パーツの長さや質量が必

要である。長さはモーションキャプチャから取得できる。阿江らは、体格的に広範囲にわたる青年男女アスリートを対象として、身体を頭部、胴体(上胴と下胴)、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足の 15 箇所にパーツ分けし、それらの質量と質量中心位置、質量中心比を、数学モデルを使って推定している。本研究ではこれを用いた。

部分重心は、例えば頭部の x 成分を求める場合、式(1)のようになる。図 1 の端点 a, b は各身体パーツの端点を示す。端点の位置はモーションキャプチャで取得したデータから算出している。この計算を上記の 15 箇所について行い、さらに y 成分、x 成分も同様にして求める。

$$\text{部分重心}(x \text{ 成分}) = \text{端点 a の } x \text{ 成分} + \text{質量中心比} \\ \times (\text{端点 b の } x \text{ 成分} - \text{端点 a の } x \text{ 成分}) \dots (1)$$

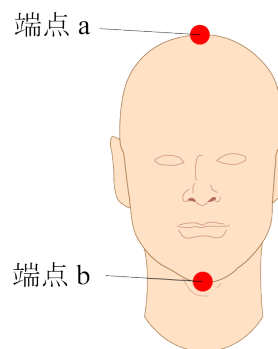


図 1 各身体パーツ例(頭部)

身体重心の x 成分を求める場合は、式(2)のようになる。同様にして y 成分、z 成分について求めることで 3 次元空間上の身体重心を算出できる。

$$\text{身体重心}(x \text{ 成分}) \\ = \frac{(\text{各身体パーツの質量} \times \text{部分重心の } x \text{ 成分}) \text{ の合計}}{\text{各身体パーツの質量の合計} (= \text{動作者の体重})} \dots (2)$$

連絡先:川越 喬純, 和歌山大学大学院システム工学研究科,
〒 640-8510 和歌山県和歌山市栄谷 930,
s125014@center.wakayama-u.ac.jp

3. 重心移動可視化システム

3.1 システム概要

本研究では、学習者の重心を可視化することで、自身の体の動きと重心の動きの関係性をイメージしやすくなり、運動学習の助けになるのではないかと考え、重心移動可視化システムを構築した。これはモーションキャプチャで取得したモーションデータを使用して動作者の 3D モデルと身体重心を表示するシステムである。学習を始める前には、学習したい模範動作となるモーションデータを予め取得しておく必要がある。モーションデータは、3 軸ジャイロセンサを 18 個搭載したウェアラブルのジャイロ式モーションキャプチャシステム (IGS-190) を使用して取得した。本システムは PCI 台とモーションキャプチャシステムで構成される。

3.2 システムの使用手順

以下にシステムの使用手順を示す。

1. 学習したい動作の模範となるモーションデータを取得する。このデータが学習の際に比較する模範となる。
2. 学習者のモーションデータを取得する。
3. 取得した 1 と 2 のモーションデータをシステムに読み込ませ、3D モデルと重心を表示させる。
4. 模範と自分の動作との違いを発見し、気づきを得る。
5. 4 で得た気づきを意識して動作を行う。必要ならば、ここでモーションデータを取得する。
6. 2~5 を学習者の納得がいくまで繰り返す。

3次元空間にモデルを表示しており、学習者は任意の視点から学習動作を確認することができる。視点の変更やズームイン/アウト、モーションの再生についての操作は、マウスとキーボードで行う。また、重心の軌跡を表示することで、より明確に重心移動を確認することができる。軌跡は、フレーム数が増えるにつれて青色から赤色に変化するので、直感的に時間の経過を読み取れるようになっている。図 2 にシステムの実行画面を示す。

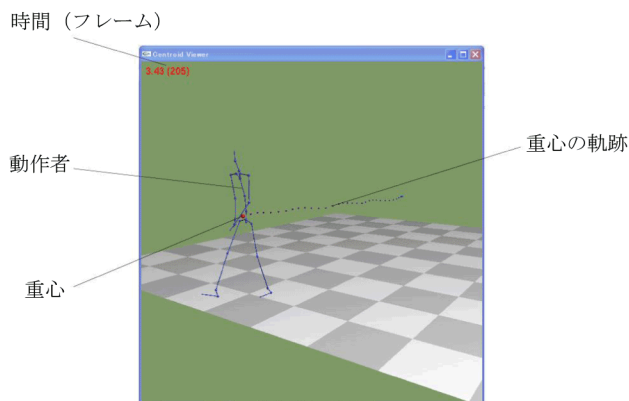


図 2 実行画面

4. 評価実験

4.1 実験の方法

システムの効果と有用性を検証するために評価実験を実施した。今回の実験ではバドミントンの基本的なショットであるロングハイサーブとハイクリアの 2 種類のフォームをテストドメインとして選んだ。これは、足を動かさずに全身を使う動作がシステムの特徴を生かせるという理由があるからである。被験者は 20 代男子学生 6 名である。システムをそのまま使用する実験群 (A~C) と、重心非表示でシステムを使用してもらう統制群 (D~F) とで

それぞれ 3 名ずつに分けて行なった。ロングハイサーブとはアンダーハンドストロークで自陣のサービスラインから、相手のコート奥深くに高く打つショットである。ハイクリアとはオーバーハンドストロークで、自陣のコートの後ろの方から相手コート奥深くに高い打点から高く深く打つショットのことである。また、実験後に被験者にシステムの使用感や有効性などを評価してもらうためのアンケートを実施した。

4.2 実験の流れ

まずロングハイサーブの基本的な打ち方とシャトルの軌道、狙う場所を口頭で伝える。その後、学習前の能力を測定するために、モーションキャプチャを装着した状態で、練習なしで 5 本打ってもらう。サーブはサービスラインから打ってもらう。この時、1 本ごとにモーションデータを取得し、シャトルの飛距離を測定する。ここで言う飛距離は、シャトルの落下地点からサービスラインまでの垂線の長さである。もしフレイムショットやシャトルがネットを越えなかった場合は、明らかに失敗なので 5 本のうちに含まない。フレイムショットとは、シャトルをラケットの縁で打ってしまうイレギュラーなショットである。

5 本打ち終えたら重心可視化システムで、取得した被験者のモーションデータと予め取得しておいた模範動作のモーションデータとを見比べて、自主的に学習してもらう。学習するときに、実験群は 3D モデルによる動作の比較と身体重心移動および重心の軌跡の比較をしてもらう。統制群は 3D モデルによる動作の比較のみで学習してもらう。

学習し終えたら、学習後の能力を測定するため、前の 5 本と同じ条件でまた 5 本のサーブを打ってもらう。被験者には学習の前後合わせて合計 10 本のサーブを打ってもらうことになる。

その後、ロングハイサーブと同様の手順でハイクリアの実験も行なった。ハイクリアの飛距離は、シャトルを打ったときの後ろ足踵の地点とシャトルの落下地点を結んだベクトルを、ネットに水平な成分と垂直な成分に分解したときの、垂直な成分の長さである。

4.3 実験結果

表 1 と表 2 にロングハイサーブの学習前後のシャトルの飛距離を示す。表 3 と表 4 にハイクリアの学習前後の飛距離を示す。飛距離は 1 の位で四捨五入している。非検査 A~C が実験群、D~F が統制群である。

表 1 ロングハイサーブ学習前結果 (cm)

		1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	平均
実験群	A	760	700	800	800	700	752
	B	780	730	870	770	810	792
	C	580	580	650	680	510	600
統制群	D	760	710	740	680	760	730
	E	330	500	590	460	490	474
	F	750	530	600	580	500	592

表 2 ロングハイサーブ学習後結果 (cm)

		6本目	7本目	8本目	9本目	10本目	平均
実験群	A	830	800	780	770	820	800
	B	850	950	910	830	780	864
	C	680	820	520	530	730	656
統制群	D	730	730	700	720	750	726
	E	590	490	660	380	600	544
	F	690	660	640	650	750	678

被験者の学習前後の平均の差を見ると、実験群の被験者全員の平均飛距離が伸びたことがわかる。統制群も被験者 D を除いては平均飛距離を伸ばしている。以上の結果からでは、重心表示の有無による学習効果を示すのは難しい。被験者の人数を増やすことが望ましい。

学習前後の最大飛距離同士の差、最小飛距離同士の差をそれぞれ最大差、最小差と呼ぶことにする。最大差を実験群と統制群で比較してみると、実験群のほうがこの値が大きくなっていることがわかる。つまり実験群は最大飛距離が比較的伸びたと言える。最小差では大きな差は見られなかった。この結果より、重心表示による学習で最大飛距離が伸びやすくなる傾向があるようである。

表3 ハイクリア学習前結果 (cm)

		6本目	7本目	8本目	9本目	10本目	平均
実験群	A	1050	1070	1160	1130	990	1080
	B	670	830	800	850	640	758
	C	920	920	860	1000	1030	946
統制群	D	1100	1160	890	1100	1040	1058
	E	920	670	1000	1030	940	912
	F	960	880	830	1000	840	902

表4 ハイクリア学習後結果 (cm)

		1本目	2本目	3本目	4本目	5本目	平均
実験群	A	910	1020	990	1050	1100	1014
	B	640	560	710	640	680	646
	C	960	970	830	1040	920	944
統制群	D	960	1100	960	1170	1140	1066
	E	1010	920	1070	1100	930	1006
	F	860	900	800	850	670	816

ハイクリアにおける学習前後の平均の差を見ると、実験群の A, B と統制群の F が大きく増加したのに対して、実験群の C, 統制群の D はほとんど変わらず、統制群 E は大きく減少した。したがって、実験群がやや増加傾向にあるようだが、明確な結論を得るには至らなかった。

最大差、最小差には個人差が激しく、システムを使った効果は見出せなかった。

4.4 アンケート結果

被験者 6 名にシステムの使用感や有効性などについてアンケート調査を実施した。被験者は全員が男性で平均年齢は 23.2 歳。評価は各項目について 5 段階で行ってもらった。点数が高いほど、肯定的である。また、使用後の感想・意見なども自由記述で回答してもらった。以下にアンケートの質問事項と回答結果を示す。質問事項の右にある数字は評点の平均である。アンケート番号 2. と 3. は実験群のみ、4. は統制群のみへの質問となっている。

1. システムの操作は快適だったか 3.0
2. 重心移動の学習法は効率的だったか (実験群) 3.7
3. 重心位置がわかったか (実験群) 4.0
4. 正しい体の動かし方がわかったか (統制群) 3.8
5. 将来システムを使用したいか (実験群) 4.0
5. 将来システムを使用したいか (統制群) 3.7

アンケート結果より、特に重心の位置の理解について高い評点がつけられており、身体動作と身体重心位置の関係性を理解する助けとして、本システムは有効だったと言える。

以下にシステム使用後の感想や意見の回答から抜粋したものを示す。

肯定的意見

- ・自分の動きの悪さを発見できた
- ・模範動作との重心の違いがよくわかった
- ・自由な視点から自身の動きを見られるのが嬉しい

否定的意見

- ・初心者には違いに気付いてもフォームの改善が難しい
- ・不必要な重心軌跡が表示されて邪魔だった
- ・重心と身体動作との対応付けが難しい。

回答結果を見ると、肯定的な意見では自身の動作、重心移動についての理解を深められたという意見が多く、身体重心可視化の効果は確認できた。否定的な意見では、画面の見づらさが挙げられていた。また、自身と模範動作との違いがわかったが、身体をどう動かせばいいのかわからなかったという意見が多かった。

5. おわりに

本研究では、今までは不可視であった身体重心を可視化できるシステムの構築を行い、システムを使用することで、身体と関係性を理解して通常の学習よりも高い学習効果を期待した。テストドメインとしてバドミントンの 2 種類のフォームを選び、評価実験を行った。実験結果より、部分的にはあるがシャトルの飛距離がやや増加する傾向にあるようであるが、明確な結論を得るまでには至らなかった。今回のテストドメインは、重心以外のファクターに、より重点があるかもしれないという意見も挙がっており、今後は本システムを使った他の動作での学習効果も検証していきたい。学習者が自身の動作、重心移動についての理解を深めることについて本システムは有効であった。自身の動作、重心移動と模範との違いという問題を気づくことはできたが、その解決法がわからない問題が新たに生まれた。この問題については、学習者と模範の動作の差異を診断する機能、またそこから具体的なアドバイスをする機能を実装することで解決できるのではないかと考えている。画面の見づらさ、操作の快適性の低さが挙げられており、GUI の再検討が必要である。

参考文献

- [久保 2006] 久保祐子, 山口光國, 大野範夫, 福井勉: 姿勢・動作分析における身体重心点の視覚的評価の検討, 理学療法学, 2006.
- [阿江 1992] 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志: 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定, バイオメカニズム, 1992
- [曾我 2008] 曾我麻佐子, 明神由佳: モーションデータをを用いた新体操ルール学習支援システムの試作と評価, 映像情報メディア, 2008
- [曾我 2003] 曾我麻佐子, 海野敏, 安田孝美: クラシックバレエの振付を支援する Web ベースのモーションアーカイブと 3DCG 振付シミュレーションシステム(データベースシステム), 情報処理, 2003
- [湯 1994] 湯海鵬, 阿江通良: バドミントンのスマッシュ動作の 3 次元動作解析: 腕とラケットの速度を中心に, バイオメカニズム, 1994
- [中村 1976] 中村隆一, 斉藤宏: 基礎運動学, 医歯薬出版, 東京, 1976