

器械運動における身体軌跡の可視化の検討

櫻井大暉^{1,a)} 大井翔^{1,b)} 後藤壮史^{2,c)} 野間春生^{1,d)}

概要: 本研究では、跳び箱、マット運動などの器械運動における人の動作軌跡の可視化を行う。体育授業において、学習者が自身の動きを客観的に把握することは難しく、その課題に気づけないという場面も少なくはない。また、指導者側も細かな行動を観察することが必要になるが、瞬時に終わる動きのため原因を見つけることは難しい。そこで、体育授業における運動時の骨格座標を Open Pose を用いて可視化し、熟練者と生徒・児童と比較することで、どこに原因があるのかを分析する。その結果を、先生（指導者）や生徒にフィードバックして、自身の問題を意識づけさせることで、技術の向上を支援する。

キーワード: 器械体操, 可視化, フィードバックシステム, 深層学習

Study on Visualization of Behavior Trajectory during Physical Education

DAIKI SAKURAI^{†1,a)} SHO OOI^{†1,b)} TAKESHI GOTO^{†2,c)} HARUO NOMAI^{†1,d)}

Abstract: This study aims that we visualize a trajectory of behavior during physical education, such as mat exercises and vaulting boxes. In physical education, students cannot understand objectively his/her behavior, so they have difficulty understanding the right behaviors. Besides, teachers observe students during an exercise; however, their behavior is fast, so it is also difficult to find the cause of problems and to evaluate behavior quantitatively. Therefore, we visualize the skeletal information with Open Pose during exercise in school physical education, quantitatively analyze the reason why students cannot exercise well. The results are fed back to teachers and students to raise awareness of behavior problems and support the improvement of student skills.

Keywords: Physical Education, Visualization, Feedback System, Deep Learning

1. はじめに

平成 29 年告示小学校学習指導要領に記載されている小学校体育の目標および中学校学習指導要領に記載されている中学校保健体育の目標は、「身近な生活における健康・安全の理解と基本的な動きや技能を身に付ける」「運動や健康についての自己の課題を見付け、解決に向けて思考・判断する力を養う」「健康の保持増進と体力の向上」である[1, 2]。それぞれの体育教育ではいくつかの領域があり例えば「水泳運動」「器械運動」「体づくり運動」「陸上競技」などがある。特に、「器械運動」に着目すると、小学校学習指導要領に「器械運動は、「できる」、「できない」がはっきりした運動であることから、全ての児童が技を身に付ける楽しさや喜びを味わうことができるよう、自己やグループの課題を見付け、その課題の解決の仕方を考えたり、練習の場や段階を工夫したりすることができるようにすることが大切である。」「運動を楽しく行うために、一人一人が自己の課題

の解決のために積極的に取り組み、約束を守り助け合って運動をしたり、仲間の考えや取組を認めたり、場や器械・器具の安全に気を配ったりすることができるようにすること」と記載されている[1]。「器械運動」の領域では、小学校低学年は「マットや固定施設を用いた運動遊び」を行い、中学年から「マット運動」「跳び箱運動」など具体的な器械運動を実施していく。器械運動は、具体的な技の達成が明確であるため、達成時には喜びが大きいが、達成できない場合は意欲の低下も大きいことがわかっている[3]。つまり、小学生の段階で器械体操に苦手意識ができてしまうと、その後の器械運動の教育に対して意欲がなくなってしまう。

文部科学省の発行している「器械運動指導の手引き」では、表 1 のように記されている[4]。表 1 では、自分自身の行動を客観的に理解すること、他人の行動と自分自身の行動の違いを客観的に理解することが重要であると考えられる。しかしながら、器械運動の苦手な児童や生徒は、学習者が自身の動きを客観的に把握することは難しく、その課題に気づけないという場面も少なくはない。

一方、指導者である教員に着目すると、中学校の教員は教科別指導のため体育への指導はよいが、小学校教員は全科目を担当する都合、体育に対して苦手意識のある教員も一部いると推察される[5]。教員が模範となる実技を実施せずとも動画コンテンツを利用し、自らの課題を明確にする

1 立命館大学情報理工学部
Faculty of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University.

2 奈良県王寺町立王寺小学校
Oji Elementary School

a) dsakurai@mxdlab.net

b) SHO.OOI@outlook.jp

c) tk4goto074@gmail.com

d) hanoma@fc.ritsumei.ac.jp

表 1 器械運動系における「思考・判断」の系統性の整理[4]
Table 1 In order to system of “thinking and judgement” for gymnastics.

発達段階 (学年)	内容
小学校 1 年, 2 年 小学校 3 年, 4 年	器械・器具を使つての運動遊びの動き方を知り, 友達のよい動きを見付けること. 技の練習や仕方, 技の動き方やポイントを知り, 自分に合った練習方法や課題を選ぶこと.
中学校 1 年, 2 年	課題の応じた練習の場や段階を選ぶこと. 技をつなぐ方法を知り, 自分の力に合った技を組み合わせること.
中学校 3 年, 高等学校入学年次	技の合理的な動きのポイントを見付けたり, 目指す技や技の組み合わせ方を見付けたりすること. 仲間のよい動きと自己の動きの違いを指摘すること.
高等学校入学年次以降	自己や仲間の挑戦する課題を設定したり, 見直したりすること. 流れのある技の組み合わせを選ぶこと.

ことで, 学習効果はあるとされているが[6], 教師自身が技のポイントとなる動作を心得ていなければ, 児童や生徒がどのような原因で躓いているのかを把握することは困難であると考えられる.

そこで, 本研究では体育授業における運動時の骨格座標を Open Pose を用いて可視化し, 児童・生徒ができていない部分を模範映像の骨格情報と比較することで定量的に分析・可視化していく. また, それらの情報を児童・生徒自身や教員へフィードバックし, どこに問題があるのかを意識づけさせることで, 技術の向上を支援システムの開発を目指す.

2. 関連研究

器械体操の跳び箱に着目した研究として, 胡らは, マット運動に対する意識調査として, 教職志望の学生に対して実施しており, 教職志望の学生のマット運動に対する技能は初歩的な段階であり, 理解が十分でなく, 効率よく指導力のある教員を養成する必要があることを示唆している[7]. 西川は, 器械運動にたいして「めあて学習」を用いたグループ活動による体系を実施しており, 体育内における児童同士のコミュニケーションを通じて体育の楽しさなどを検討している[8]. 花井らは, 開脚飛びのできる大学生とできない学生をビデオで撮影し, 跳び箱運動の動作分析を行った[9]. この時, 大学生の 8 か所にマーカとなるが用紙を貼り付け, 得られた画像をプリントアウトし分度器を使って各骨格の角度などを計測している. 結果としては, 開脚飛びのできる学生とできない学生間に上肢の傾き. 最高到達点での体幹の傾き, 着地領域に違いがあることを示している. 小畑らは, 跳び箱運動の技術への理解を高め「どうすればもっと上手になるか」という課題を子ども自らが獲得するような授業づくりによって主体的な生日を生み出し, その効果を「運動有能感」の得点と変化によって検討している[10].

また, ICT (Information Communication Technology) を用

いた研究もあり, 武田は跳び箱運動における動画を効果的に使った指導法について検討しており, 児童自らが主体的に学習できることを示している[6, 11]. 三浦らは, iPad を用いて, 「助走」から「着地」までを, 場面ごとに視覚的に理解させポイントを整理した映像を見せ, 児童が実際に跳んだ映像を撮影し, 児童自ら iPad を用いてスロー再生などをして確認することで, 課題意識を向上させることができたとしている[12]. 武田は, 小学校 3 年生の跳び箱運動の授業において, タブレット端末を導入した. まず, 全体に手本となる動画を, プロジェクタを介して投影し, その後, タブレット端末上で児童がグループとなって確認する構成で取り組んでいる.

いずれの研究においても, ビデオを撮影し, そのビデオを各自で振り返ることにより課題などを発見する, もしくは手動にて体幹などの動作を分析していた. 本研究では, 深層学習である Open Pose を用いることで, 自動で体幹などの動作を分析することができ, また評価ポイントを既存のアドバイスコンテンツから作成することで, だれでも容易に振り返りのできるシステムの開発を目指す.

3. 提案手法

3.1 動作解析について

本研究では, 深層学習モデルである Open Pose[14, 15]を用いる. 通常, 骨格情報を取得するためには, Microsoft 社の Kinect や ASUS 社の Xtion などの特殊な 3 次元センサを用いて検出する方法と Open Pose などのような深層学習ベースの方法がある. 前者の特殊なセンサを用いる方法は, 比較的に高速で処理することができ, 精度も高く検出できる. しかしながら, 特殊なカメラを用いて撮影する必要がある. 一方, Open Pose を用いる方法では, GPU 処理が必要であり処理速度は遅い反面, 通常のカメラで撮影された映像に対しても適用することができる. 図 1 に Open Pose を適用した例を示す. 図 1 に示すように, 頭部から手足の先まで骨格を検出することができる. Open Pose では図 2 に



図 1 Open Pose を使用した結果

Figure 1 The result using Open Pose.

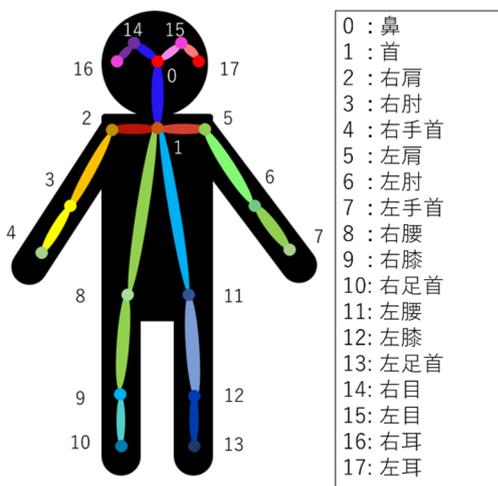


図 2 Open Pose で取得できる座標点

Figure 2 The points obtained by Open Pose

示すように 18 点の座標を取得することができ、図 1 の例のように一部が隠れている状態であっても比較的ロバストに検出することが可能である。

3.2 評価基準

本研究では、跳び箱運動における定量的な評価方法として、NHK が提供している「はりきり体育ノ介[16]」の映像内において、解説しているアドバイスに基づいて、評価ポイントを作成した。作成した評価ポイントを表 2 に示す。行動箇所については、図 3 に示す。表 2 で示した評価項目から、Open Pose で評価する方法を以下に示す。

○踏切

- ・勢いよく片足で踏み切る
- 踏切板との接触時にどちらかの足の座標が接触している (図 4 に示す四角の範囲に足の座標があるかどうかで判定)。
- ・踏切板を蹴る

表 2 開脚飛びにおける評価ポイント

Table 2 Evaluation index for the astride vault.

行動箇所	評価項目
踏切	<ul style="list-style-type: none"> ・勢いよく片足で踏み切る*1 ・踏切板を蹴る ・同時に腕を前に出す
跳躍	<ul style="list-style-type: none"> ・奥の方に手をつく*2 ・おしりを突き上げる*3 ・手の突き放しのタイミング*4
着地	<ul style="list-style-type: none"> ・両足で着地する*5 ・着地後静止する

*は今回対象とした動作

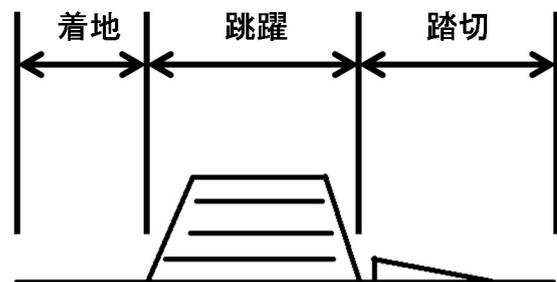


図 3 行動箇所の定義

Figure 3 The define of behavior area.

—本研究では、力方向を取得することが困難であるため今回は取り扱わない。

- ・同時に腕を前に出す

—踏切時に両手が並行であり、前に突き出している状態。左右の手と肩の座標から直線をそれぞれ引き並行かつ手の座標が肩の座標よりも左側の状態。今回は扱わない。

○跳躍

- ・奥の方に手をつく
- 跳躍時に、跳び箱の指定された場所に手がついているかどうか (図 5 に示す四角の範囲に両手の座標があるかどうかで判定)
- ・おしりを突き上げる
- 跳躍時に、頭の座標よりもおしりの座標が高い。
- ・手の突き放しのタイミング (図 6)
- 跳躍時に、足の座標が手の座標よりも左側にある (手を突き放すタイミングが遅い)。この動作は、NHK の「はりきり体育ノ介」では解説していないが、体育の研究では突き放しができないと、段数が上がった場合に飛べなくなるといふこと、実際の学校現場にシステムを導入することを考慮すると必要な動作である。

○着地

- ・両足で着地をする
- 着地点のマットに両足の座標があるかどうか (図 7



図 4 踏切時の判定範囲

Figure 4 The judgement area during take off.



図 7 着地時の判定範囲

Figure 7 The judgement area during landing.



図 5 跳躍時の判定範囲

Figure 5 The judgement area during jumping.



(a) 突き放し成功



(b) 突き放し失敗

図 6 突き放しの状態

に示す四角の範囲に両足の座標があるかどうかで判定。(片足の場合はできていないとする。)

・着地後静止する

一着地時に、きちんと静止する。座標点が変わらない時間がNフレームで判定する。今回は扱わない。

4. 実験

実験として、奈良県王寺町立王寺小学校の6年生の器械運動の授業内の「跳び箱一開脚飛び」の授業の1授業において、ビデオカメラを固定し、撮影を行い、図8に示すような映像が取得できるようにした。跳び箱の段数は8段であり、跳び箱を跳躍するところを撮影し、跳躍ごとに手動で動画をクリッピングした結果、対象とした児童は16名であり、動画数は45本であった。

本研究の実施にあたり、立命館大学における人を対象とする研究倫理審査委員会の審査に基づき実施した(衣笠人-2018-51)。

5. 結果と考察

その後、3章に示した評価指標を基に、各児童を評価した。その結果を、指導教諭に提示し、評価の妥当性について検証を行った。図9～図13に、表2に示した評価項目のうち「*」のある動作を可視化した結果を示す。それぞれ成功していれば「True(突き放しのみ失敗時にFalse)」を画面面上に出力することで、早い動作であっても、正しい動作をしていたのかを可視化している。今回、各項目を20点満点として、スコアリングしている。表2に16名(計45本の動画)に対して、評価をした結果を示す。このとき、(Good)や(Bad)では、児童が複数画面面上に写っているために誤認識している場合である(図14)。そのため、E、Fを除いて考察することとする。すべての児童が今回の8段の跳び箱に関して跳ぶことはできていた。しかしながら、評価項目*4「手の突き放しのタイミング」ができていない結果であった。つまり、今後跳び箱の段が上がると跳べなくなる可能性が高いことが分かった。また、児童C、児童F、児童G、児童H、児童I、児童J、児童K、児童Nに関しては、腰が上がっていない結果である。こちらも同様に、今後高い段になった場合に、成功することが困難になる傾向であることがわかる。

6. おわりに

本研究では、児童・生徒自身や教員へフィードバックし、



図 8 実験時の風景

Figure 8 The configuration of template file.



図 13 評価項目*4

Figure 13 The evaluation item *4.



図 9 評価項目*1

Figure 9 The evaluation item *1.



図 13 評価項目*5

Figure 13 The evaluation item *5.

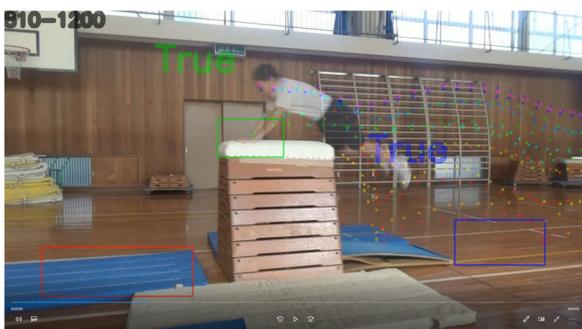


図 10 評価項目*2

Figure 10 The evaluation item *2.



図 14 認識失敗例

Figure 14 The example of failed recognition.



図 11 評価項目*3

Figure 11 The evaluation item *3.

どこに問題があるのかを意識づけさせることおよび器械運動の技術の向上のために、深層学習モデルである Open Pose を用いて、実際の体育授業における器械運動内の跳び箱運動の動作解析を行い、可視化を行った。評価基準としては、NHKの「はりきり体育ノ介」および実践現場の先生の意見から作成し、そのうち5つに対して可視化を行った。

その結果、今回対象とした16名の児童は8段の跳び箱は跳ぶことができていたが、動作解析した結果、8名が跳躍時に腰を上げておらず、すべての児童が跳躍時に跳び箱上に着いた手を離すのが遅れている結果であることを可視化できた。

今後の展望として、表2に示した他の評価を行うことと、

表 2 可視化結果 [4]

Table 2 The results of visualization and scores.

	*1	*2	*3	*4	*5	Score
A-1	Good	Good	Good	Bad	Good	80
A-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80
A-3	Good	Good	Good	Bad	Good	80
A-4	Good	Good	Good	Bad	Good	80
B-1	Good	Good	Good	Bad	Good	80
B-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80
B-3	Good	Good	Good	Bad	Good	80
C-1	Good	Good	Good	Bad	Good	80
C-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
C-3	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
E-1	Good	(Good)	Good	Bad	Good	80
E-2	Good	(Good)	Good	Bad	Good	80
E-3	Good	(Good)	Bad	Bad	Good	60
F-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
F-2	Good	(Bad)	Bad	Bad	Good	40
F-3	Good	(Bad)	Bad	Bad	Good	40
F-4	Good	(Bad)	Good	Bad	Good	60
G-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
G-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
G-3	Good	Good	Good	Bad	Good	80
H-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
H-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
H-3	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
I-1	Good	Good	Bad	—	—	40
I-2	Good	Good	Bad	—	—	40
I-3	Good	Good	Bad	—	—	40
J-1	Good	Good	Bad	Good	Good	80
J-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
J-3	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
K-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
K-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
K-3	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
L-1	Good	Good	Good	Bad	Good	80
L-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80
M-1	Good	Good	Bad	Good	Good	80
M-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80
M-3	Good	Good	Bad	Good	Good	80
M-4	Good	Good	Good	Bad	Good	80
N-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
N-2	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
O-1	Good	Good	Good	Bad	Good	80
O-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80
O-3	Good	Good	Good	Bad	Good	80
P-1	Good	Good	Bad	Bad	Good	60
P-2	Good	Good	Good	Bad	Good	80

体幹などの体の状態も取り入れることで、より詳細な状態を解析し、児童自身や指導教員にフィードバックできるようにし、授業指導のサポートができるシステムの開発を目指す。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 19K20750 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 文部科学省：平成 29 年改訂 小学校学習指導要領解説－体育編，2018.
- [2] 文部科学省：平成 29 年改訂 中学校学習指導要領解説－保健体育編，2018.
- [3] 松本格之祐：器械運動の教材づくり・授業づくり 高橋健夫・岡出美則・友添秀則・岩田靖（編）新版体育科教育学入門，大修館書店，pp.157-162，2010.
- [4] 文部科学省：学校体育実技指導資料 第 10 集 器械運動指導の手引，東洋館出版社，pp.165-179，2015.
- [5] 加登本仁，松田泰定，木原成一郎，岩田昌太郎，徳永隆治，林俊雄，村井潤，嘉数健吾：体育授業の悩み事に関する調査研究（その 1）－教職経験に伴う悩み事の際を中心として－，学校教育実践研究，Vol. 16，pp.85-93，2010.
- [6] 山本明弘，池田幸宏，清水康敬：体育「跳び箱運動」指導における動画コンテンツの活用効果，日本教育工学会論文誌，Vol.27，pp.153-156，2003.
- [7] 胡泰志，古谷嘉一郎：マット運動に対する意識に関する研究－教職志望学生を対象として－，比治山大学・比治山大学短期大学部教職課程研究，pp.36-41，2016.
- [8] 西川潔：児童が主体的に学ぶ体育学習の指導に関する実践的研究－器械運動を一例として－，人間環境学研究，Vol.12，No.2，pp.91-96，2014.
- [9] 花井裕梨，前野信久：跳び箱運動の動作分析，健康医療科学研究 Vol.4，pp.49-58，2014.
- [10] 小畑治，岡澤祥訓，石川元美，森本寿子：運動有能感を高めるマット運動の授業づくり－技能獲得に必要な技術認識を高める工夫を中核に－，奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要，Vol.20，pp.137-144，2011.
- [11] 小畑治・岡澤祥訓・井上寛崇・石川元美：運動有能感を高める跳び箱運動の授業づくり－子どもの主体的な学びの追求をもとに－，奈良教育大学教育実践開発研究センター研究紀要，Vol.22，pp.315-320，2013.
- [12] 三井一希：小学校の次週による授業時間で活用できる動画の開発と学習効果，日本教育工学会論文誌，VOL.39，pp.13-16，2015.
- [13] 武田芳彦：3 年 タブレット端末を活用した体育学習－跳び箱運動における動画を効果的に使った指導案を検証する－，視聴覚教育，pp.34-35，2016.
- [14] Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, and Yaser Sheikh : "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields," , IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017.
- [15] Shih-En Wei, Varun Ramakrishna, Takeo Kanade, and Yaser Sheikh: Convolutional pose machines, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [16] NHK for School 『はりきり体育ノ介』, <https://www.nhk.or.jp/taiiku/harikiri/>, (2020/01/15 閲覧).