

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00844

研究課題名（和文）マシンビジョンを活用した乳幼児の視触探査行動の定量化と保育環境評価手法の開発

研究課題名（英文）AI for Baby Touch

研究代表者

仲谷 正史（NAKATANI, Masashi）

慶應義塾大学・環境情報学部（藤沢）・准教授

研究者番号：90714965

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、身体動作を行っている人物をビデオカメラで撮像し、その身体動作の器用さや習熟度を評価する手法を研究した。乳児の運動発達に基づく身体つながりであるBody Organization（BO）を手がかりとして、3つの身体動作をビデオカメラで観察し、動画データ解析を通して身体動作の空間的位置の繰り返し精度を評価した。また、身体動作の熟達・非熟達者間で生じている身体動作の時間的要素の違いを明らかにした。また、身体動作を行う際の教示の仕方、内的な身体感覚の違いを生じさせる実験パラダイムを考案し、生じる差を検討した。以上の結果は、マシンビジョンによって身体動作が多面的に評価可能なことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、理学療法士であり舞踊家でもあったIrmgard Bartenieffが提案した基盤となる身体の動き6種類：Body Organization(BO)で身体動作の理解を試みた点が学術的意義として挙げられる。生後1年の間に表れてくる6種類の身体動作のうち、3つの身体動作に着目した。社会的意義として、人間の目を経ずに身体動作の器用さ定量評価を可能にした点を挙げる。運動能力を定量化することは、身体動作を行う人物を観察者が評価することで信憑性を担保してきた。しかし、この方法は人的コストや主観バイアスがかかる。マシンビジョンが同一の方法で身体動作の器用さを定量評価可能にしたことに意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we studied a method to evaluate the dexterity and proficiency of body movements by capturing video camera images of a person performing a body movement. Using Body Organization (BO), a body connection theory based on infant motor development, as a starting point, three body movements were selected and observed with a video camera. Through video data analysis, the repetition accuracy of the spatial position of the body movements was evaluated. We also clarified the differences in the temporal component of body movements occurring between skilled and unskilled performers of body movements. In addition, we devised an experimental paradigm in which differences in internal bodily sensation were generated by the way the body movements were instructed to be performed, and we studied the differences that were induced how body movement was described. These results demonstrated that machine vision could be a useful tool to evaluate body movements based on the body organization.

研究分野：触覚科学

キーワード：保育学 身体動作 Body Organization 自動定量 身体意識 Body Awareness 身体感覚の言語化 Op enPose

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

COVID-19 の感染拡大予防が広く社会に要請された現在において、テレワークを行いながら自宅で保育を行う家庭が急増した。保育環境が乳幼児の運動能力・感覚運動的知能発達を促しているのかを評価することは、保育経験者でも難しい課題であり、保育と在宅勤務の両立が必要な養育者に至っては大きな負担である。乳幼児を観察する時間を十分に長く取ることができれば、その発達の様子を時系列で気づくことができるが、実際問題として時間が不足している。また、各養育者が知識を得て運動能力の発達段階について考えることは、現実的ではない。

## 2. 研究の目的

本研究では、ビデオカメラで撮像し、乳幼児の視触覚を通じた探索行動を観測・パターン認識を実施するシステムの構築を企図する。そして、保育環境が乳幼児にもたらす運動能力・感覚運動的知能獲得の促進性を評価可能にするマシンビジョンシステムの開発を最終目標とした。この目標を達成するために、運動能力の定量化を目標とした研究を実施した。また、研究の容易さからまずは成人を対象とした以下の3つの研究を行った。

- 研究1：運動能力を推定するマシンビジョンシステムの開発
- 研究2：身体動作熟達者と非熟達者の差異の検討
- 研究3：身体動作の教示法が実際の身体動作発揮に与える影響の検討

## 3. 研究の方法

研究1：運動能力を推定するマシンビジョンシステムの開発

- (1) 身体動作の計測環境の構築
- (2) 計測環境で実施する身体動作の考案
- (3) (1), (2)を利用した身体動作データの取得を通じた概念の検証
- (4) (3)で取得した身体動作データのコンピュータビジョンによる動作解析と定量化

人間が発揮する身体動作を理解するために、Body Organization (B0)に基づく身体の動き6種類に着目して研究を行った。B0は、乳幼児の運動発達に基づく身体のつながりに着目を得ていて、理学療法士でかつ舞踊家でもあったIrmgard Bartenieffが提案したものである。

研究1では、生後1年の間に表れてくる6種類の身体動作のうち、後半に見られる3つの身体動作:Upper-Lower(上半身-下半身)、Body-Half(右半身-左半身)、Cross-Lateral/Diagonal(斜めクロス)を概念検証のために選定した。この3つの身体動作を構築した撮像環境で確かに記録してデータ解析できるかを検証するために、成人の実験参加者3名で実験を行った。

実験参加者は、参加者とカメラの中間地点に置かれた電子メトロノームが発する80bpmのテンポ音に合わせて上述の3つの身体動作を行い、その様子をデジタルカメラを利用して動画撮像した(Fig. 1)。この2次元撮像データを姿勢推定を行う画像解析ソフトウェアシステムOpenPoseを利用して解析し、身体の関節位置を検出した(Fig. 2b, d, f)。

3種類のB0それぞれの特徴的な動きが表れる身体部位として、左右の肘関節と膝関節の画像中の相対位置を選定して詳細なデータ解析を実施した。結果、テンポ音に合わせて規則的な身体動作を発揮している様子を捉えることができた(Fig. 3)。また、ダンス経験者とそうでない実験参加者の間では、繰り返しの位置精度や、発揮している運動の左右差も観察した。これは、身体動作の習熟度の指標としての利用可能性を示唆した。

研究2：身体動作熟達者と非熟達者の差異の検討

研究1では、身体動作の基盤となりうる6種類の基本形:Body Organization (B0)のうち、3種類を参照して身体動作の計測環境構築を実施した。この計測環境と解析アルゴリズムを援用し、研究2では、身体動作の器用さを定量化する方法論の開発に取り組んだ。



Fig. 2 3つの身体動作と画像解析

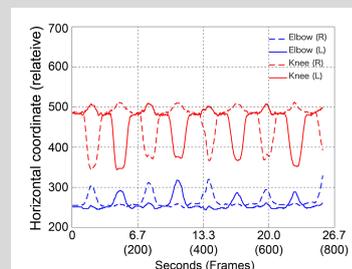


Fig. 3 ある実験参加者における動画中の関節位置(肘、膝)時系列データ

成人 20 名の実験参加者を対象に、指定した 5 種類のテンポ音(40, 60, 80, 100, 120BPM)に対して 3 つのタイミングでリズム的な身体動作を發揮するように依頼し、その様子をデジタルカメラを使って動画撮影した(Fig. 4)。実験タスクとして、リズムを取る身体動作には、右手で肘の内側と外側の空間上の任意の 2 点を折り返す身体動作を指示した(Fig. 4c)。この際、往復運動の折り返しのタイミングとして、3 つのタイミングを設定した。それらは、テンポ音に対して完全同期(オンタイム)した動作、少し早い動作(早取り)、少し遅い動作(遅取り)を指定した(Fig. 4a)。この時間差のある動作はストリートダンスで利用される遅取り動作(視覚的に重さを感じさせる)に着想を得て使用した。一般に、熟練したストリートダンス者は遅取り動作に習熟している。

20 名の実験参加者の内、10 名はダンス熟達者を実験に迎えた。データ解析においては、メトロノームのテンポ音と同じタイミングで往復運動を折り返した場合を位相ゼロ、遅れ時間 0 と定義した。熟達者・非熟達者が 3 つの身体動作タスクに対して示した代表的な位相差(80BPM 時)のヒストグラム分布を Fig. 5 上に示す。

遅取りの身体動作を位相角で見ると、非熟達者においてテンポ音が早くなる(100, 120BPM)につれて位相角の標準偏差が熟達者よりも大きくなる(身体動作が不安定になりばらつく)ことがわかった(Fig. 5 中)。オンタイムの身体動作においても、熟達者・非熟達者の違いは統計的に有意であった。しかし、早取りの身体動作においては熟達者・非熟達者の統計的有意差は認められなかった。

また、Fig. 5 上のヒストグラム分布から、同じ動きのリズム・テンポ・参加者の動作タイミングに関して、どれだけ位相角を安定的に保っているかを調べるために、円ヒストグラムの円周上のデータのばらつきの指標となる平均合成ベクトル長を求め、その統計量を熟達者・非熟達者の群でまとめた(Fig. 6)。この統計量を利用して分散分析を行った結果、位相角の標準偏差を統計量とした時と同様に、遅取りとオンタイムの身体動作の場合には、熟達者・非熟達者の間で統計的有意差が得られた。特に、遅取り動作の場合には熟達者・非熟達者の群と、5 つテンポ音の群の間で交互作用を認めた。テンポが速くなると、熟達者であっても遅取り動作のベクトル平均長が小さくなることは非熟達者と同じであり、かつ熟達者群の中でも分散が大きくなった。

この結果から、少なくとも成人において、身体動作の器用さを定量化するためには、異なるテンポ音に対して完全同期するように身体動作を促すような実験タスクを課すのではなく、テンポ音に対して遅取り動作をさせることが効果的であると結論づけられる。このような遅取り動作を乳幼児に指示して再現させることは即時には難しいが、例えば音楽のリズムに合わせて身体動作を促すような実験タスクを考え、身体動作のタイミングを音楽タイミングと少しずらす(遅取り)ことを教示するような実験パラダイムが考えられる。これにより、身体動作の器用さの定量に繋げたい。

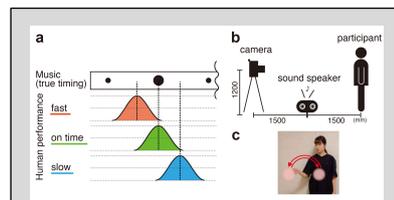


Fig. 4 研究 2 実験概要

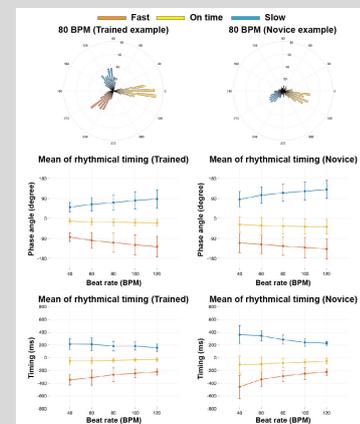


Fig. 5 動作熟達度合と実験データ

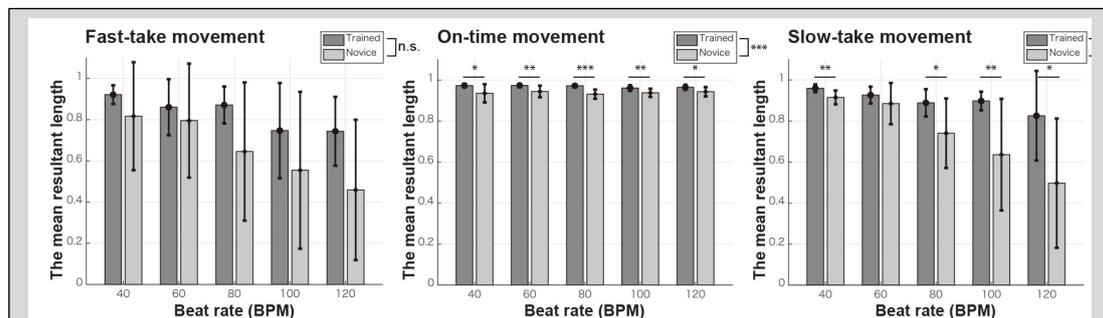


Fig. 6 平均合成ベクトル長による身体動作のばらつきの定量化。左:早取り、中:オンタイム、右:遅取り動作

### 研究3：身体動作の教示法が実際の身体動作発揮に与える影響の検討

(1)Body Organization (BO) のうち、身体半分をそれぞれに動かす基本動作 (Body-Half) を題材に、[i]動画による教示 [ii]関節部位の位置についての動作教示 [iii] 身体のつながりについての動作教示の3種類が教示された実験参加者の身体動作に与える影響を検討した。

一般的に、動画による教示は情報量が豊富で、教示方法として広く使用される。一方、身体動作を教示する場面では、動画中の何に注目をするかは視聴者に委ねられる。ゆえに、動作の動画提示だけでなく、意識すべき身体動作を言語で伝える必要がある。BO の考え方では個々の身体部位の空間的な配置よりも、身体を動かす際に身体のつながりを意識することが重要である。成人の実験参加者を迎えた実験の結果、定性 (内観報告) で上述3種類の教示法による差異を参加者は述べた。定量評価では、参加者の身体動作を撮影した動画をデータ解析した。結果、動作中の体幹位置の時間変動は、[iii]の教示法の場合に一貫した傾向を示すことがわかった。

期間中に行った3研究はいずれも成人を対象としてのものであった。この実験系を乳幼児に適用するためにはいくつかの障壁がある。(1)乳幼児は新規の環境に慣れるためには時間がかかる。また、ビデオカメラが複数台あるような撮像環境に対して、経験上、恐怖心を抱きやすい。このことから、ビデオカメラ自体が直接見えない、ビデオカメラに注意を引き付けられないなどの配慮が必要である(2)乳幼児を実験参加者に迎えた場合、実験タスクは可能な限り単純で、かつ短く終わる内容が望ましい。養育者に協力を得ながら単純化した実験手法の開発が必要である。(3)乳幼児の実験参加者では集中して実験タスクに取り組むことができる時間長は短い。また、目新しいタスクには興味を持つ一方で、同じタスクを繰り返し行うことには注意が持続しない(予備的に行った検討時に確認済)。このため、本研究が企図していた研究目的を達成するためには多くの実験参加者を募り、少ない試行数を実験参加者の数でカバーする必要がある。これらの課題については、科研費受給期間で解決することができなかった。今後の研究にて解決を目指したい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 木曾律子, 橋本有子, 仲谷正史
2. 発表標題 動作解析を利用したBody Organization を定量化する研究（第一報）
3. 学会等名 第22回システムインテグレーション部門講演会（SI2021）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ritsuko Kiso, Yuko Hashimoto, Masashi Nakatani
2. 発表標題 Measurement of Rhythmical Movements in Street Dance for Quantifying Movement Timing Skills.
3. 学会等名 IEEE World Haptics Conference (WHC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Momoka Sugaya, Masashi Nakatani
2. 発表標題 The Facecream Tactile Illusion
3. 学会等名 IEEE World Haptics Conference (WHC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yu Sasao, Masashi Nakatani
2. 発表標題 Haptic Phenomenon of Chewy Foods
3. 学会等名 IEEE World Haptics Conference (WHC) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本有子
2. 発表標題 「生まれ、動き、出会う：発達プロセスにみるソマティックの未来」分科会・指定討論者
3. 学会等名 日本ソマティック心理学協会第10回記念大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 橋本有子
2. 発表標題 『The Moving Child』にみるこどものからだ」話題提供者
3. 学会等名 JADTA日本ダンス・セラピー協会学術研究大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 仲谷正史、いしだななこ	4. 発行年 2021年
2. 出版社 福音館書店	5. 総ページ数 28
3. 書名 さわる たんけんたい	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>『カズレーザーと学ぶ。』これまで知られてこなかった「皮膚」の驚くべき機能とは！？  <a href="https://www.ntv.co.jp/kazu/articles/3115azh8d1ijlnu74qlo.html">https://www.ntv.co.jp/kazu/articles/3115azh8d1ijlnu74qlo.html</a>          触覚科学×保育。かがくのとも 『さわる たんけんたい』のワークショップを開催  <a href="https://www.doronko.jp/action/20230330a/">https://www.doronko.jp/action/20230330a/</a>          かがくのとも 2021年12月号 『さわる たんけんたい』をご恵贈いただきました  <a href="https://www.doronko.jp/action/20220317a/">https://www.doronko.jp/action/20220317a/</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	橋本 有子  (HASHIMOTO Yuko)  (50826972)	お茶の水女子大学・教学IR・教育開発・学修支援センター・ 講師    (12611)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関