

リトミック中における子どもの歩行運動と模倣

Children's Walking Movement and Imitation Behavior During the Eurhythmics

早川博章¹ 吉崎美紗¹ 岡夏樹¹ 長井隆行² 大森隆司³

Hirofumi Hayakawa¹, Misa Yoshizaki¹, Natsuki Oka¹, Takayuki Nagai², and Takashi Omori³

¹ 京都工芸繊維大学

¹ Kyoto Institute of Technology

² 電気通信大学

² University of Electro-Communications

² 玉川大学

² Tamagawa University

Abstract: When we communicate with someone, we understand their mental state and intentions from a common behaviors such as line-of-sight and speech. In order to analyze the behaviors, it is necessary to form a model of the interaction partner. However, the details of such a model are not currently known. In this study, we construct computational “models of others”. To this end, we focused on imitation the behaviors of kindergarten children. We recorded the children’s behaviors (aged 2–5 years) with video cameras, tracked acceleration with Accelerometer, and measured position coordinates by infrared, during a Eurhythmics (Rythmique) exercise. We constructed a reproducible model of measurement data about the walking rhythms of children. In addition, from the model study, we found that quality of imitation changes as the age increases.

1. はじめに

他者とコミュニケーションを取ったり、円滑に共通の作業を行ったりする場合には、相手が何を考え動作や行動を行っているのか、相手の意図を推定する必要がある。相手の意図推定には言語やボディランゲージといった様々な情報が用いられており、これらの知覚された情報を入力にして自らの内にある他者モデルを用いて相手の心的状態の推定を行っていると考えられる。またこのような一連の心的状態推定は大人だけが持つ特別な能力ではなく、模倣という形で幼児期の頃からすでに発達し始めていると考えられている[1]。子どもの模倣行動は初めに対象を観察することからはじまり、2歳児頃から単純な模倣行動を行うようになる。その後、一連の段階を経て創造的な動きへと発展することが報告されている[2]。従って、幼児期の模倣行動の発達には他者モデルの発達として捉えることができる可能性がある。しかし他者モデルは自らの中に内在するモデルであるため、直接観測することは困難である。そこで本研究では幼児期における模倣行動を手がかりにして

他者モデルの発達を計算モデルとしてモデル化することが目的である。

本研究では研究対象として幼児期(2歳児~5歳児)のリトミック(リズム運動)中の模倣行動に着目した。リトミックは音楽に合わせて体を動かすことで心と身体の発達を育むことを目的として幼稚園などにおいて行われている。リトミック中の幼児の行動は音楽や保育士、周りの子どもたちの振る舞いを手がかりにした模倣行動である。本研究ではリトミックという統制された場において子どもたちの動きを計測することにより、模倣行動の発達と他者との関わりについて調べた。

2. 計測

本研究では、保育園の2歳児から5歳児までを調査対象とした(計測を2回に分けて2月と6月に実施したため、計測データは4つのグループに分けている。2歳児前半(6月計測)、2歳児後半(2月計測)、3歳児前半(6月計測)、5歳児後半(2月計測)。

なお2歳児後半と3歳児前半のグループは同じメンバーである)。リトミックは1セッション30分前後で、1クラス5～12名の園児と、1名のインストラクタ、及び1～2名の保育士が参加した。リトミック中の様子は、部屋を囲むように3台のビデオカメラを設置し様子を撮影した。各参加者には加速度計を内蔵したハーネスを身につけてもらい、活動中の3軸加速度を計測した。またレーザーレンジファインダを4台設置し、参加者の位置のトラッキングを行った。

3. リズム運動の解析

3.1 リトミック中の行動観察

リトミックは子どもたちの気分や状態に合わせて行われているため、各グループで異なる内容となっている。年齢による模倣の発達段階を客観的に評価するために、各グループにおいて共通で行われていた“音楽に合わせて歩く/走る”というリズム運動に着目し、行動観察と解析を行った。

行動観察の結果から、子どもたちは速いテンポの音楽(インターバル約 171ms～150ms [BPM:350～400])では走る行動を行い、遅いテンポの音楽(インターバル 577ms～470ms [BPM:103～127])では歩く行動を行っていることがわかった。遅いテンポと速いテンポにおいて正しく歩くまたは走る行動を選択できていた割合は図1であった。

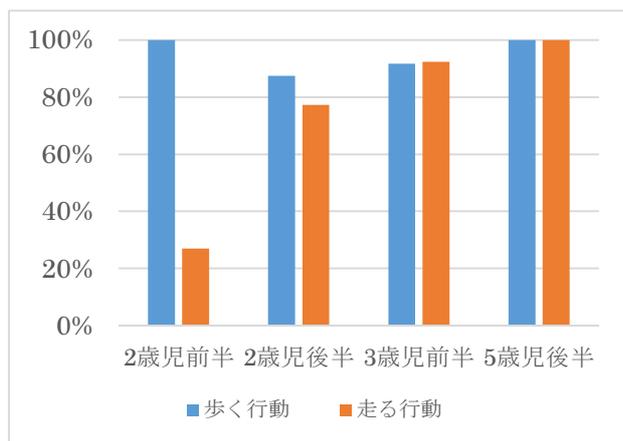


図1. 歩く行動と走る行動が正しく選択できた割合

図1より、歩く行動はすべての年齢でほぼ正しく選択できているにもかかわらず、2歳児前半での走る行動は27%の子どもが正しく選択することができ

ず、5歳児の頃には、100%の子どもが歩く行動と走る行動を正しく選択できていることがわかった。一方で走る運動と歩く運動をよく観察すると、走る行動は一定の速度で行われており、全力で走っている傾向がある。この結果は幼児にとって走る行動が難しいという先行研究と一致している[3]。一方で、歩行運動については音楽が鳴るテンポにあわせて速さを調節している傾向が見られた。そこで、ここからは歩行運動に着目し、歩行と音楽の関係について解析を行った。

3.2 歩行のリズム運動解析

歩行運動と音楽の関係を正しく評価するために、ビデオカメラで記録された音楽のテンポ抽出(音が鳴るタイミング)と、子どもの加速度から歩行検出(足が床に着くタイミング)を行った。得られた音楽が鳴るタイミングと歩行タイミングについて次の2つの指標により評価した。二つの解析した結果については図2～4に示す。

- A. 音が鳴るタイミングとの相対的なずれ
- B. 音楽のテンポとの差異

A. 音が鳴るタイミングとの相対的なずれ

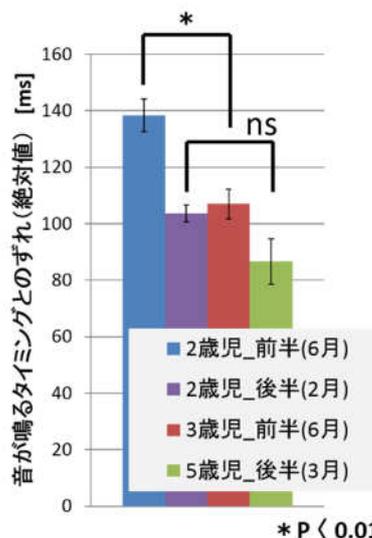
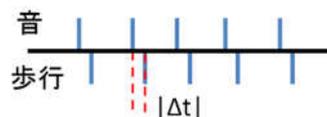


図2. 音が鳴るタイミングとのずれ (絶対値)

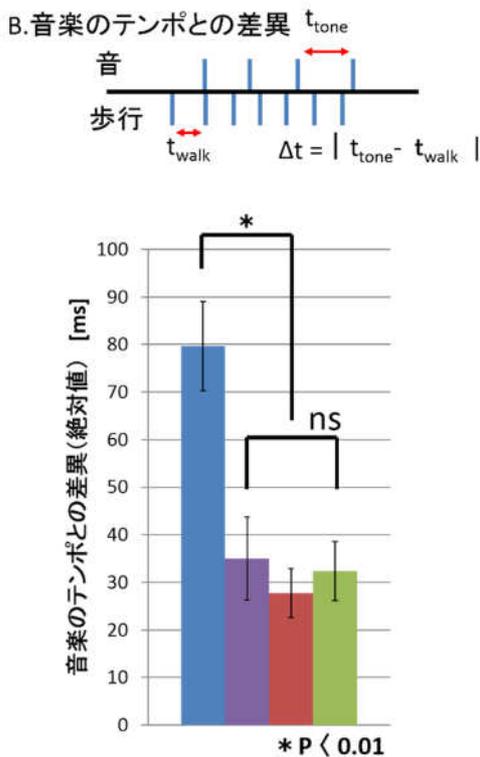


図 3. 音楽のテンポとの差異 (絶対値)

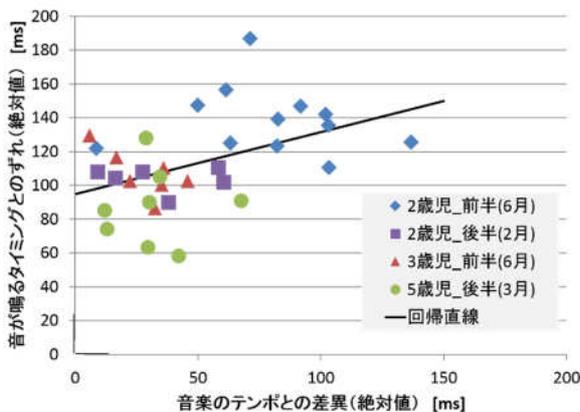


図 4. 音が鳴るタイミングとのずれと、音楽のテンポとの差異の個人ごとのプロット

図 2 より、2 歳児前半では音が鳴るタイミングに対して、平均して 138.3ms (SE=5.83, n=12 名)ずれる傾向があり、5 歳児後半では 86.6ms (SE=8.00, n=8 名)ずれる傾向があることが分かった。一方で音楽のテンポと歩行のテンポの差異を評価すると、2 歳児前半では平均して 79.6ms (SE=9.39, 12 名)ずれる傾向があり、5 歳児後半では 32.3ms (SE=6.20, 8 名)ずれる傾向があることが分かった(図 3)。また各個

人のデータについて縦軸に音が鳴るタイミングとのずれ、横軸に音楽のテンポとの差異をプロットすると図 4 のようになる。プロットしたデータについて相関分析を行った結果、音が鳴るタイミングとのずれと、音楽のテンポとの差異の間には正の相関が見られた ($r = 0.448$, $p < 0.01$)。

以上の解析結果より、リトミックにおいて行われる音楽に合わせて歩くという模倣行動(リズム歩行)は 2 歳児では音楽に合いにくく、5 歳児になる頃まで発達している可能性がある。また音が鳴るタイミングとのずれと音楽のテンポとの差異の間には正の相関が見られたことから個人差はあるものの、音のタイミングに合わせる能力と音楽のテンポと同じテンポで歩く能力が同時に発達していることを示している。

4. 歩行モデルによる状態推定

4.1 モデルの構築

歩行のデータ解析より、リトミック中のリズム歩行は年齢とともに発達していることを示した。ここでは今回得られた分布を再現可能な歩行生成モデルの構築を試みた。音楽のリズムと幼児の歩行の関係について調査した先行研究より [3]、幼児にとって合わせやすいテンポ (428ms : 2.33Hz) では歩行のタイミングが合いやすく、一方で速すぎるテンポ (88ms : 2.58Hz) では遅く反応し、遅すぎるテンポ (387ms : 1.46Hz) では早く反応する傾向がみられることが報告されている。しかし先行研究における調査は子ども一人ひとりに対して個別に行った調査であり、リトミックのように集団の中でのリズム形成がどのように行われているのかは分かっていない。今回調査したリトミックにおいて、集団の中でリズムに合わせる運動がどのように形成されているのか考えたときに、子どもたちの運動生成に与える環境情報について次のような仮定を考えた。

- A) 集団の誰からも影響されず自らのリズムで歩行する。
- B) 周囲の子どもの行動に強く影響を受けながら歩行する。
- C) 音楽から強く影響を受けながら歩行する。
- D) 音楽と周囲の子ども、どちらからも同程度の影響を受けながら歩行する。

また歩行運動など一定のリズムのある現象は振動子モデルによって再現可能なことが先行研究より報告されている [4]。そこでリトミック中における歩行運

動をモデル化するために蔵本モデル[5]を参考にして、子どもの歩行運動を非線形振動子としてモデル化した。従来の蔵本モデルでは全ての振動子が相互作用している状態を想定しているが、リトミックにおいてはお互いに全員を観察し合い、影響を及ぼし合っているとは考えにくい。そこで自らが観察可能な対象者は1人であると仮定し、その観察対象者はまた誰かを観察することによってネットワークを形成し相互作用している状況を想定した(状況を単純にするために一人に対して複数の子どもが観察するという状態は想定していない)。また子どもにとって合わせやすいリズムがあることから[3]、子ども一人ひとりが初期値として固有のリズム(固有振動数)を持っていると仮定した。一方で上記A~Dの状況を想定すると、自らの歩行リズムを調整するための情報は音楽からの影響が強いのか、周りの人からの影響が強いのかその影響度の偏りとその影響強度として評価することができると考えられる。また一般的に歩行可能となる年齢は1歳児頃であり、安定した歩行が完成するのは5歳児頃であることが報告されている[3]ことから、歩行の安定を示すパラメータが必要であると考えられる。したがって影響を受ける環境情報のうち音楽情報への偏った影響を示すパラメータ B_m 、影響強度を定めるパラメータ k 、歩行の不安定度に関するパラメータ α の3つのバランスによって歩行リズムが形成されていると仮定し、振動子モデル(蔵元モデル)を変形し以下のような歩行リズム生成モデルを定義した(図5)。

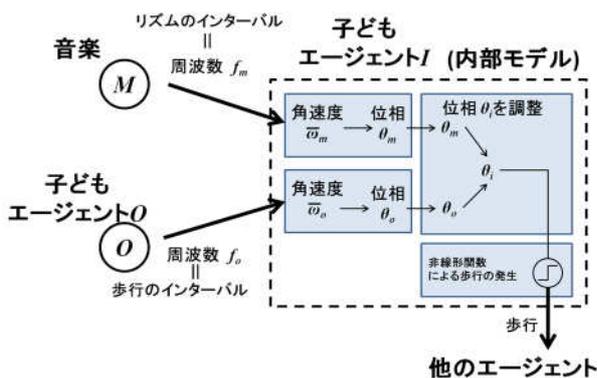


図5. 歩行生成モデルの概要

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + B_m k \sin(\theta_m - \theta_i) + (1 - B_m) k \sin(\theta_o - \theta_i) \quad \dots \text{式1}$$

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_m \quad \dots \text{式2}$$

$$\frac{d\theta_o}{dt} = \omega_o \quad \dots \text{式3}$$

ただし、以下の条件を満たす。

$$\omega_m \leftarrow 2\pi \overline{f_m}, \quad \omega_o \leftarrow 2\pi \overline{f_o}, \quad \omega_i \leftarrow 2\pi f_i$$

k : 影響度 ($0 \leq k$)

B_m : 影響度の偏り ($0 \leq B_m \leq 1$)

θ : 位相 ($0 \leq \theta < 2\pi$)

f_i : 振動数 ($0 < f_i$)

式1において影響度 k が小さければ歩行リズムの生成に外部から影響を受けにくいことを示している(上記の仮定Aに相当)。一方で影響度 k が大きく、音楽への影響度の偏り B_m が1に近ければ音楽からより強く受けており、0に近ければ周りの子どもからより影響を受けていることを示している(上記の仮定BまたはC)。また $B_m = 0.5$ であれば仮定Dに相当)。また歩行は位相 θ_i を用いて次のように生成した。

$$H(\theta_i - h) \quad \dots \text{式4}$$

h : 閾値 ($2\pi(1-\alpha) \leq h < 2\pi$)

α : 歩行の不安定度 ($0 \leq \alpha \leq 1$)

ただし、 h は歩行生成のたびに区間 $[2\pi(1-\alpha), 2\pi]$ の範囲でランダムに変更している。また $H(x)$ はヘヴィサイドの階段関数であり、 $H(x) = 1$ のとき歩行を生成している。

$$H(x) = \begin{cases} 1 & (x \geq 0) \\ 0 & (x < 0) \end{cases}$$

この式4において歩行の不安定度パラメータ α は θ から歩行への変換に関与している。このパラメータの値は子どもの歩行の不安定度を示し、 $\alpha \approx 0$ に近ければ安定した歩行であり、 $\alpha \approx 1$ であれば不完全な歩行を表現している。子どもエージェントモデルを10個作成し、それらがランダム結合している状態をシミュレーションした(状況を単純にするために一人の子どもエージェントに対して複数の子どもエージェントが結合するという状態は想定していない)。エージェントの固有振動数は幼児にとって合わせやすいテンポである 428ms (2.33Hz) $\pm 20\%$ に設定し、音楽のテンポは実際にリトミック中に使用されていたテンポを使用した。

4.2 シミュレーション結果

各年齢に対するデータフィッティングの結果より、“音が鳴るタイミングとのずれ(絶対値)”と“音楽のテンポとの差異(絶対値)”が測定値と最も一致するパラメータの組み合わせを得た(図6)。このパラメータを用いて歩行生成モデルにより歩行の生成を行うと以下のような結果となる(図7~9)。

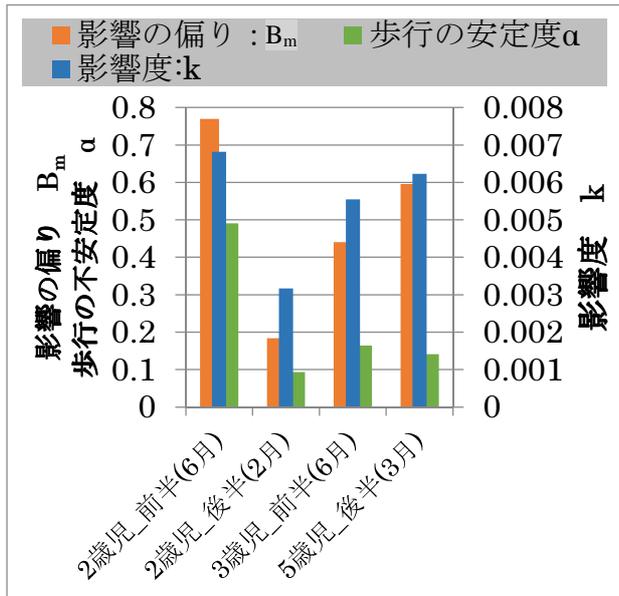


図 6. データフィッティングにより求めた計測値に最も一致するパラメータの値

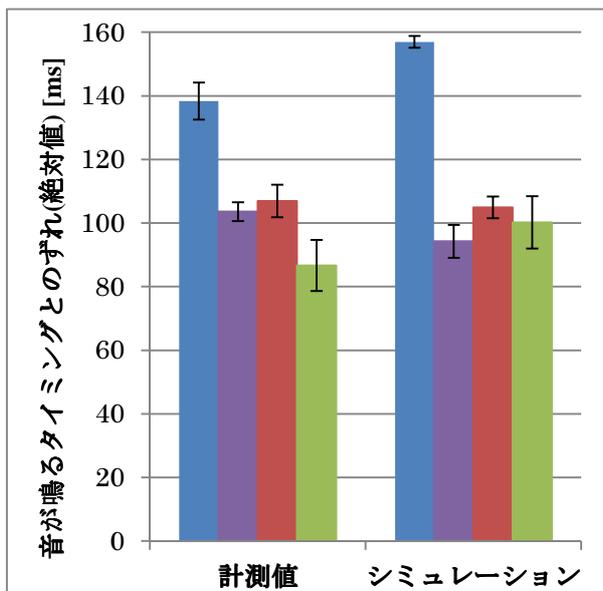


図 7. 音が鳴るタイミングとのずれ(絶対値)の比較
※左：計測値、右：シミュレート値。バーの色は図2と同様である。

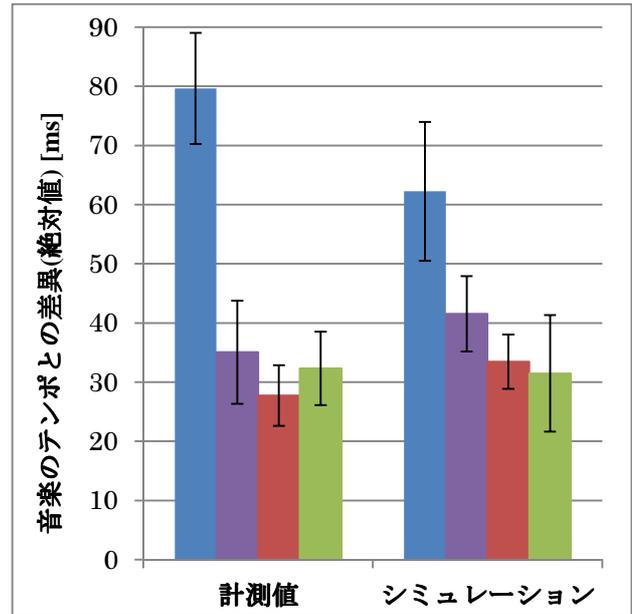


図 8. 音楽のテンポとの差異(絶対値)の比較
※左：計測値、右：シミュレート値。バーの色は図2と同様である。

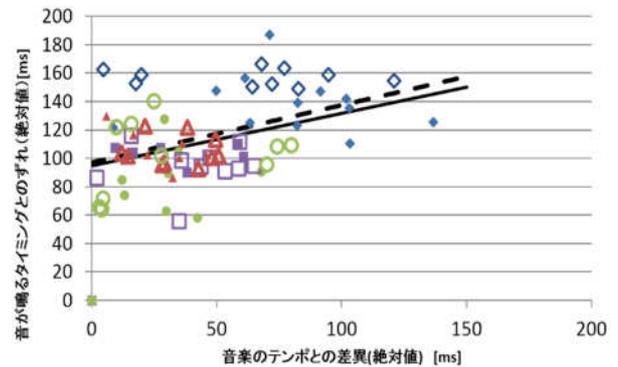


図 9. 音が鳴るタイミングとのずれと、音楽のテンポとの差異の個人ごとのプロットとシミュレーション結果の比較

※図中のシンボルは下記を示している。

- ◆ 2歳児_前半(6月)
- 2歳児_後半(2月)
- ▲ 3歳児_前半(6月)
- 5歳児_後半(3月)
- 回帰直線
- ◆ 2歳児_前半(6月)_model
- 2歳児_後半(2月)_model
- ▲ 3歳児_前半(6月)_model
- 5歳児_後半(3月)_model
- シミュレート値の回帰直線

音が鳴るタイミングとのずれ、音楽のテンポとの差異についてもおおむねリトミックの計測値と同様な値となっている。また音が鳴るタイミングとのずれと音楽のテンポとの差異の子どもエージェントごとの分布についてもリトミックの計測値と同様であり、シミュレート結果の回帰直線について測定値とあまり変わらない値となった。

5. まとめ

リトミック中の模倣行動の発達を評価するために、リズムに合わせて歩行する歩行運動に着目し、音楽と子どもの歩行運動における“音が鳴るタイミングとのずれ”と“音楽のテンポとの差異”を解析した。その結果、2歳児前半のグループでは音が鳴るタイミングとのずれと音楽のテンポとの差異が他のグループに比べ有意に大きい結果となった。また各個人のデータの分布について相関関係を調べたところ、“音が鳴るタイミングとのずれ”と“音楽のテンポとの差異”に正の相関が見られたことから、音のタイミングに合わせる能力と音楽のテンポと同じテンポで歩く能力が同時に発達している可能性を示した。

これらの結果をもとにリトミックの歩行運動中に子どもたちがどのような情報を用いて行動しているのか調べるために、振動子モデルを基にした歩行生成モデルを作成した。このモデルに対するデータフィッティングによるパラメータ推定の結果、概ねリトミック中の歩行リズムに近い分布を生成することが出来た(図7~9)。この時のパラメータは図6である。歩行の不安定度 α は2歳児前半のグループが最も高く安定した歩行ではないことを示しており、年齢が上がるごとに歩行は安定していると考えられる。また環境からの影響については2歳児前半を除けば、年齢が上がるごとに周りから受ける影響が強くなっており、5歳児では音楽と他の子どもから同程度の強い影響を受けていると考えられる。一方で、2歳児後半では音楽よりも、他の子どもから弱い影響を受けていることを示している。

2歳児前半において他の年齢の子どもより音楽の影響を強く受けているようなパラメータ値となっている。2歳児前半のリズム歩行運動中のビデオ映像をみると、音楽に合わせて一緒に行動している保育士に、子どもたちが寄り添うように行動していた。今回のシミュレーションはランダムにエージェント同士の結合を作っているため、模倣対象の人物(例：仲の良い友達、保育士の先生等)に偏りがある状態を想定していない。そのため今回の2歳児前半のグループの場合、音楽のリズム=先生のリズムであると仮

定すれば、音楽に合わせて歩行している保育士の先生を、大半の子どもが模倣しようとしているため、間接的に音楽のリズムに最も影響を受けているという状態が形成されていると考えられる。

謝辞

本研究は新学術領域「認知的インタラクシオンデザイン学」の助成による。またプロジェクトメンバーである中村友昭先生、岩田恵子先生、深田智先生、阿部香澄さん、Muhammad Attamimiさん、大塚朔さん、潮木玲奈先生に感謝いたします。また調査に協力していただいた保育園の職員のみなさま、および園児とその保護者の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] 杉村伸一郎, 浅川淳司, 岡花祈一郎, 牧亮太, 他, 「保育場面における幼児の模倣: 感覚・感情的側面からの検討」 広島大学学部・附属学校共同研究機構, No. 39, pp.303-8, (2011)
- [2] 古市久子, 横山勝彦, 「身体学習における『模倣』の構造」 大阪教育大学紀要 第IV部門, 第45巻, 第1号, pp. 59-72, (1996)
- [3] 小林輝子, 「幼児のリズム反応に関する研究: テンポに対する歩行、タッピングの適応能力について」 社会問題研究, No. 23(3・4), pp.18-42, (1974)
- [4] 丸山大樹, 岡部公輔, 溝口博, 平岡和幸, 重原孝臣, 田中勝, 三島健稔, 吉沢修治 「人とロボットの歩行同期に向けた 神経振動子の視覚刺激への引き込みシミュレーション」 第21回日本ロボット学会学術講演会, 2003
- [5] Kuramoto Y, : Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence, Springer, New York, (1984)