



## 画像・センサ・音声情報を用いた幼児音楽指導の支援手法

著者	新谷 公朗, 豊田 実香, 渋谷 真人, 清水 宏章, 森本 訓貴, 金田 重郎
雑誌名	同志社政策科学研究
巻	6
ページ	15-31
発行年	2004-12-17
権利	同志社大学大学院総合政策科学会
URL	<a href="http://doi.org/10.14988/pa.2017.0000004782">http://doi.org/10.14988/pa.2017.0000004782</a>

## 画像・センサ・音声情報を用いた幼児音楽指導の支援手法

新谷 公朗・豊田 実香・渋谷 真人  
清水 宏章・森本 訓貴・金田 重郎

### あらまし

保育者は、幼稚園・保育所における音楽指導において、子ども一人ひとりを注意深く観察せねばならない。子どもの発達段階を考慮しながら「音楽を子どもがどのように感じ取り、表現しているか」を把握し、個々の子どもに応じた保育を行う必要があるからである。しかし、ピアノを弾きながら多数の子どもを観察し、一人ひとりの発達段階に応じた指導を行なうことは、経験の浅い保育者にとっては至難の技である。この対策として、ビデオカメラの利用が考えられるが、大量に蓄積されたビデオテープから、対象となるシーンを抽出し分析することは容易ではない。また、ビデオ画像では、その場の臨場感を感じ取ることが難しく、初学者にとっては、「できた」「できない」、「上手」「下手」等の動き（動作）のみの観察に陥る恐れもある。そこで、本論文では、音楽活動における子どもの運動（行為）を観察する支援手法としてLED（発光ダイオード）によるマーカートラッキング、加速度センサ、音声を利用し、子どもの運動（行為）を時間軸方向にグラフ化する手法を提案する。そして、画像のみからでは得られない情報を提供することが、経験の浅い保育者や幼児教育科学生の、子どもの観察の支援たり得るかを検証する。実験では、楽器演奏の準備段階として、子どもにタクト（測定器具）を持たせ、データの抽出を試みた。実際の保育現場に導入して評価した結果、タクトの座標（縦方向座標値）を時間軸方向にグラフ化することにより、視察やビデオ画像からは得られない、子どもの客観的な様子を読み取り得ることを確認した。また、加速度センサを併用することにより、画像では得られない詳細な子どもの動

き（動作）の差異を、子どもの発達段階を踏まえた質的な表現として抽出できた。今後は、提案手法の現場での適用性を向上させ、中長期の発達の観測をとおして検証を行なう必要がある。

### 1. 緒言

保育所・幼稚園では、子どもの活動に音楽が欠かせないものとなっている。音楽は、子どもの生活・活動の環境として整えるべき重要な構成要素であるが、子どもの感性や創造性を育み、表現力を養う上でも重要であると考えられている。音楽の指導については、保育所保育指針では、5歳児の「表現」に、「音楽に親しみ、みんなと一緒に聴いたり、歌ったり、踊ったり、楽器を弾いたりして、音色の美しさやリズムの楽しさを味わう。」とある。また、幼稚園教育要領では、保育内容の「表現」の領域に「音楽に親しみ、歌を歌ったり、簡単なリズム楽器を使ったりする楽しさを味わう。」と記載されている。

従って、子どもが、音楽活動をとおして「自分なりに表現する」「表現する楽しさ」を理解し、自己表現を楽しめるように工夫することが、保育者には求められる。子どもの個性や発達段階を把握し、それぞれの子どものに適した環境と援助を行わなければならない。

一方、幼稚園・保育所は、子どもに社会性を身に付けさせる場であり、年長の子どもの保育活動は、集団（クラス単位）で行うことが多い。そのため、保育者が、集団で行動する個々の子どもが「自分なりに」自由に表現している姿を、一人ひとりについて注意深く観察することは、熟練の保育者を持ってしても困難な作業であると考え

えられる。また、音楽指導現場では、保育者はピアノを弾きながら子どもを指導する場面も多く、経験の浅い保育者は、観察した子どものイメージだけで、子どもの「できた」「できなかった」といった評価をしてしまう危険性もある。

このような課題を解決する方法として、ビデオによる観察方法が考えられる。実際、ビデオカメラによる観察方法は、保育方法の指導や分析などに取り入れられてはいる。しかし、保育現場で、大量に蓄積されたビデオテープの中から、必要なシーンのみを抽出・分析することは、多大な時間と労力を要するために現実的とは言いがたい。また、動画の情報だけでは、幼児教育科の学生や初学者などは、すぐに消えてしまう動画からの断片的なイメージから、前述したような評価する危険性もある。これでは、子どもの運動(行為)の本質を捉えることは難しい。

そこで、本論文では、動画像処理、加速度センサ、そして、音声情報を統合的に用いて、幼児の音楽指導を支援する手法を提案する。音楽活動の場面での子どもの行動をビデオ撮影し、マーカートラッキングにより子どもの運動(行為)を追跡し、時間軸上でグラフ化する。これにより、視察やビデオ画像からでは得られない子どもの様子を観察できる。しかし、ピクセル数の限定されたカメラ画像から読み取れる情報量には限界がある。そこで、本提案手法では、動画像処理に加えて加速度センサを併用し、それら情報と音声情報を時間軸上に情報統合することによって、子どもの動きの分析を試みた。

実験では、子どもが音楽に合わせてタクト(マーカーと加速度センサを内蔵した測定器具)を振る活動を設定し、動画から得られる子どもの様子と加速度センサから得られる腕の動かし方を分析・グラフ化することによって、質的な情報が得られることを確認した。

以下、2章では、幼児音楽教育について述べ、3章では、音楽指導支援システムを提案する。4章では、提案システムを用いた実験とその評価について述べる、5章は、まとめと今後の課題である。

## 2. 幼児音楽教育

### 2.1 幼児音楽教育

幼稚園・保育所において、音楽は、子どもの日常生活の様々な場面に取り入れられている。音楽を幼児の身体運動に取り入れることによって、運動学習効果が上がるという研究事例も報告されている。その他にも保育活動に音楽を用いた事例、研究が盛んに行われている。このことから幼児教育における音楽の果たす役割の重要性が伺える。

「音楽」そのものは、保育所保育指針、幼稚園教育要領では共に保育内容の表現として捉えられている。幼稚園教育要領では、「感じたことや考えたことを自分なりに表現することを通して、豊かな感性や表現する力を養い、創造性を豊かにする」ことを目的として、「音楽に親しみ、歌を歌ったり、簡単なりズム楽器を使ったりする楽しさを味わう」ことを保育の内容として盛り込んでいる。また、指導上の留意事項として1. 幼児の自己表現は素朴な形で行われることが多いので、教師はそのような表現を受容し、幼児自身の表現しようとする意欲を受け止めて、幼児が生活の中で幼児らしい様々な表現を楽しむことができるようにすること。2. 生活経験や発達に応じ、自ら様々な表現を楽しみ、表現する意欲を十分に発揮させることができるような遊具や用具などを整え、自己表現を楽しめるように工夫することとしている。

一方、保育所保育指針では、6ヶ月未満から5歳児までの保育内容がそれぞれ年齢別に示されている。5、6歳児の保育内容では、「表現」の中で、音楽は、「音楽に親しみ、みんなと一緒に聴いたり、歌ったり、踊ったり、楽器を弾いたりして、音色の美しさやリズムの楽しさを味わう」となっている。また、配慮すべき事項として、「子どもの気持ちを温かく受容し、保育所生活の様々な場面で、子どもが安定し、かつ自己を十分に発揮して活動できるように配慮する」、「表現しようとする気持ちを大切に、生活や経験と遊離した特定の技能の修得に偏らないように配慮する」と記載されている。

以上のことから幼稚園・保育所におけるの音楽活動としては、1)音楽に親しみ、音楽を楽し

む、2)リズムを感じ、楽しむ、3)楽器の演奏を楽しむ、ことを子どもが自ら表現し、自己表現を楽しめるように配慮しながら身に付けさせることが、大きな目標ではないかと考える。そのプロセスとして、一定のリズムやテンポを意識し、それを楽しみながら自己表現する事が、一つの課題と言える。但し、教え込むのではなくリズムを感じ楽しみながら表現できるようにすることが重要である。そのためには、保育者が、雰囲気に合わせて、子どもの興味を常に惹くように、曲のテンポを変えたり、メリハリをつけてアレンジしたりすることで、子どもが楽しみながら表現しようとする意欲を持たせることも必要である。

このような子どもの音楽活動を保育者、あるいは音楽指導者が、音楽活動の場で個々の子どもを指導しながら観察することは、難しい作業である。例えば、指導者が見本を示した場合、多くの子どもは、模倣を試みる。しかし、見た目上、模倣ができたからと言って「できた」という判断が正しいとは限らない。子どもの行動を発達段階から理解し運動の質的な分析と表現としての結果を見据え、子どもの行動を認識することが必要である。子どもは、大人とは違い(身体能力など)未発達な部分を残している。子どもが「表現したもの」とその表現をさせたもの(要因)という2つの側面を観察し分析せねばならない。つまり、子どもの運動(行動)が音楽性をもって表現されたものか、直感的・本能的に表現されたものかを客観的に観察し、定量的に判断することも必要である。

## 2.2 音楽指導の現場

支援手法を検討するにあたって、実際の音楽指導の現場で、指導者が幼児のどのような部分に注目して指導しているのかをフィールドリサーチした。ベテランの幼児音楽教育の指導者にヒアリングを行なった結果は、以下の通りである。

1. ピアノ・オルガンを使用した音楽指導では、幼児全体の様子を見ながら指導している場合が多く、それぞれの場面で幼児

一人ひとりを細かく観察することは、ベテラン指導者でも難しい。

2. 音楽や体育などの身体表現を伴うものは、その場限りであり、指導後に幼児が課題をどれだけ達成できたかは、指導者の観察と記憶に頼るほかない。
3. 指導者の指導方法が妥当であったか否かについての検証も困難である。

以上の結果からみる限り、指導者の視点を補う観察方法として、客観的な要素が強く、かつ記録性を有するビデオ記録は有効な方法のように思われる。しかし、ビデオ画像を観察記録として用いた場合、視覚データだけに頼ってしまい、「できた」「できなかった」というような単純な評価になりがちである。ビデオを観察に用いる場合には、画像から読み取ることのできる情報を明確にし、読み取った情報の信頼度を高めるデータ分析、表示方法についても検討が必要である。このような観点から、以下のような情報の抽出とその活用方法を考える必要がある。

1. 幼児が音楽により刺激を受けどのような表現(行動)をしたか
2. 幼児の表現活動を刺激する音楽、リズムやテンポをどのように選べばよいか
3. 幼児の発達段階を踏まえた表現の分析と理解
4. 音楽によって幼児が、指導者の意図した表現・行動(ねらい)を行っているか
5. 指導者が、指導中に気付かなかった幼児の個々の動きを分析することが、きめ細やかな指導の支援足りえるか

これらを追跡するには、幼児の表現(行動)を何らかの形で定量化・グラフ化する必要がある。

## 2.3 音楽指導支援の予備実験

以上の観点から、本論文では、楽器の演奏(打楽器による合奏)を想定した音楽活動における子どもの表現(運動)の分析を試みた<sup>1</sup>。具体的には、打楽器を演奏する手の動きをピアノの音

<sup>1</sup> 実験を行った幼稚園では、楽器による合奏を音楽活動の目標としており、音楽指導で、音楽に合わせて手足を動かす、リズムに合わせて手拍子や足拍子をする等を活動に取り入れている。



図1：予備実験の様子

楽に合わせて行うのであるが、「遊び」として楽しめるよう、また、手の動きを撮影し易くするために「タクト」を振るという活動を設定した。また、前述した、「一定のリズムを体で表現する」に相当すると考えたからでもある。

予備実験として、タクトにマーカーをつけ、その様子をビデオカメラで撮影し、分析した[1]。子どもにピンポン球大のマーカーの付いたタクトを持たせ、それをカメラ(30fps<sup>2</sup>)の市販ビデオカメラで撮影した後、市販マーカートラッキングソフトで解析した。図1は測定風景である。

マーカートラッキングでは、初期のタクト位置を原点とし、そこからの上下方向(Y変移量)を追跡した。ただし、このY座標を時間軸方向にグラフ化しても、拍に合っているかどうかは分からない。そこで、タクト上下方向(Y軸)における極小値から次の極小値までの時間間隔を求め曲自体が持っている1拍の平均的長さとの差を計算した。

図2は、このようにして得た、ベテラン指導者のタクトのデータである。縦軸が時間差の大きさ、横軸が曲の進行(拍数)を表している。ベテラン指導者のタクトは一定の周期で振られている。本来の1拍との長さの差は僅少であり、正確にリズムに合ったタクトである。

次に、3名の幼児に着目した。ここでは、子どもA、子どもB、子どもCとしておく。この3人の子どものタクトを振る画像データ(ビデオカメラによる撮影記録)だけを観察すると初学者(著者ら)は、以下のような印象を受けた。

1. 子どもA(トラッキングデータは図3)「自

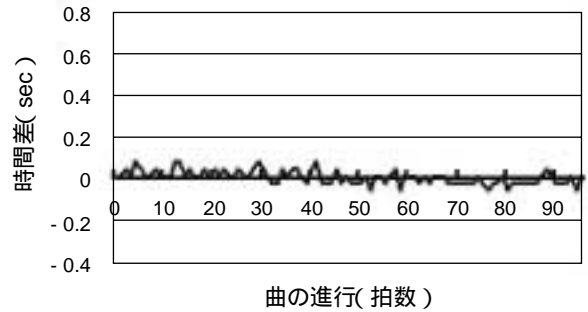


図2：指導者のタクトの時間差グラフ

分のリズムで振っている、指導者の見本とは違う」

2. 子どもB(トラッキングデータは図4)「腕の振りが大きく、指導者との比較より、元気が良いと言う印象が強い」
3. 子どもC(トラッキングデータは図5)「指導者の見本に近く、リズムに合っている」

しかし、マーカートラッキングを実行すると、その印象は大きく変化した。図3～5は子どもA, B, Cに対するタクトの拍長と、曲自体の拍長の時間差である。縦軸が時間差の大きさ、横軸が曲の進行(拍数)を表している。これらグラフからは、以下のことが分かる。

1. 子どもAは、著者らは「自分のリズムで振っている、指導者の見本と違う」という印象を受けた子どもである。しかし、子どもAの測定結果(図3)を見ると、一部乱れたところはあるが、後述のリズムに合っていると感じた子どもCのグラフに近い。実際に、ベテラン指導者は、この子どもAについて、「そんなにピアノの演奏のリズムからズレていない」との印象を表明していた。グラフ化により、ベテラン指導者に近い印象を容易に得られた例である。
2. 子どもB(図4)は、初学者である著者らが、「腕の振りが大きく、元気が良い」との印象を受けた子どもである。しかし、グラフを見てみると、前半の誤差は非常に規則的であり、後半はどんどんそれが変

<sup>2</sup> frame per second (枚秒のコマ数)

化して一定に近いものとなる。特に、後半は全体的に負に収束している。これは、おそらく、「バットの素振り」のように、(音楽とはやや無関係に)子どもBが腕を振っており、単純作業の繰り返しに飽きたか、あるいは後半は疲れて、テンポが鈍ってきていると思われる。つまり、ぱっとみた印象では「元気で頑張っている」と思ってしまった子どもが、実は、たしかに

元気ではあったが、素振り練習に近かった例であり、カメラ画像の印象が問題を含んでいた例である。

3. これに対して、子どもC(図5)を見ると、指導者のデータに比べると時間差が大きいが、ゆらぎながらも曲の開始から終了まで一定した動きをしている。たしかに、この子については、リズムに合っているとしてもよい。カメラの印象と同一

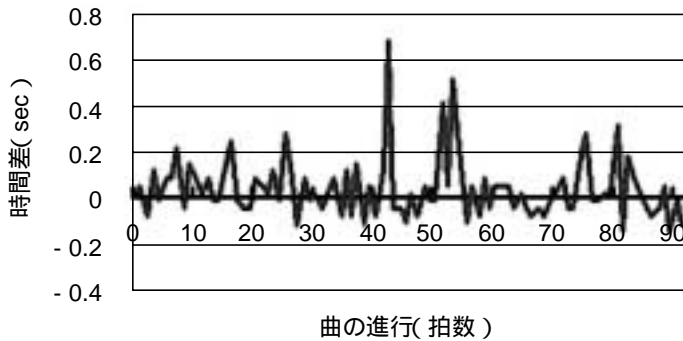


図3：子どもAのタクトの時間差グラフ

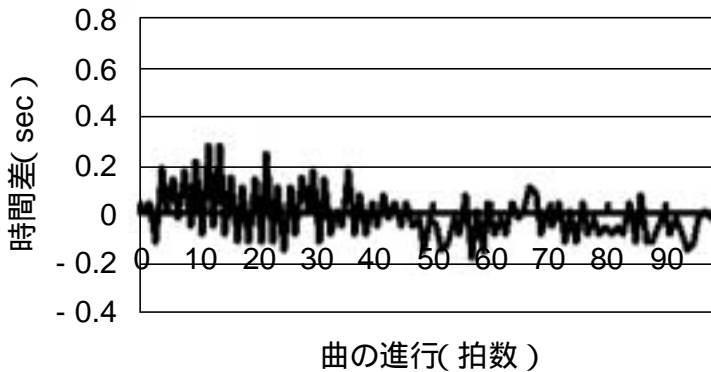


図4：子どもBのタクトの時間差グラフ

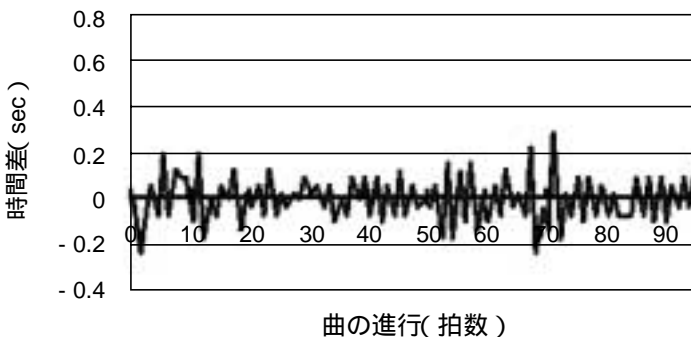


図5：子どもCのタクトの時間差グラフ

印象である。ただし、前述の指導者のタクトに比べれば時間的ズレが大きい、これはやむ終えない。

上記のように、マーカートラッキング結果を時間軸方向にグラフ化することにより、現場での視察や撮影されたビデオカメラ画像からは、初学者には識別困難である情報を読み取りえた。これは、目視であれ、ビデオカメラであれ、画像が時間的につぎつぎと変化して消え去ることに起因すると思われる。画像のみでは、長時間にわたる子どもの動きでなく、タクトの振り始めの部分など、特定の箇所の印象のみが残り、全体を見渡すことが難しい。

言い換えれば、マーカートラッキングを用いれば、ベテラン保育者(指導者)でないと見落としがちな、中長期に渡る観察の必要な、子どもの性格や成長過程を初学者でも認識できる可能性がある。

しかし、以下のような技術的課題も指摘された。

1. 自らは発光しないピンポン球マーカーでは、照明条件や周囲の色の影響から、完全な自動トラッキングは不可能であり、手操作によるトラッキングが不可欠であった。
2. 30fpsの市販デジタルビデオカメラでは残像が残り、トラッキングが難しい。
3. テンポが一定として計算により拍の長さを求めているので、テンポが変化する場合には対応不可である。

30fpsの市販デジタルビデオカメラでは残像が残り、トラッキング困難という問題は、フレームレートの問題で、カメラ仕様の問題である。ハイビジョンカメラ等を用いてフレームレートを上げる必要がある。

### 3. 音楽指導支援システム

#### 3.1 音楽指導支援システムの概要

本章では、予備実験における問題点を改善した支援システム構成を提案する。システム構成を図6に示す。提案システムでは、マーカートラッキング用には、運用の容易化を考慮して、民生用ハイビジョン(HD)カメラ<sup>3</sup>の525p(60fps)を用いた。さらに、画像データよりも幼児の細やかな動きが観察できると考え、加速度センサを導入した。そして、画像、加速度センサ、及び音声統合した分析を試みた。但し、3つのデータを同期させるためには、タイムスタンプ信号が必要となる。図7は、幼稚園現場の実験の様子である。

システムの構成は以下の通りである。

1. マーカーとして赤色のLED(発光ダイオード)<sup>4</sup>を用い、赤色フィルター<sup>5</sup>を装着した民生用ハイビジョンHDカメラで撮影(子ども達の様子は、別のビデオカメラで撮影)。
2. テレビ画像と加速度センサのデータとの同期をとるために、10秒に1回程度点滅するタイムスタンプマーカーを製作。この点滅信号は、同時に、加速度センサのデータとともにロギングされる。タイムスタンプマーカーは、LEDの照射角を確保するため、2個のLEDを用いたものを製作。
3. 加速度センサは2軸あり、測定値はPCカードスロット用ADコンバーターボードに送られるが、長距離伝送を考慮して、逆位の差動伝送となっている。
4. 音声については、ピアノ音から自動的に拍の頭を検出。このため、マイクによりピアノ音を録音。

なお、音声もタイムスタンプが必要な場合には、音声信号用のADコンバーターボードにこのタイムスタンプ信号を入力する。

<sup>3</sup> ビクターHD01

<sup>4</sup> 発光LEDは一般に照射角が狭い。できるだけ照射角の広いものとして日亜化学製のフルカラー3色LEDを採用した

<sup>5</sup> ケンコー製R64:照明条件に左右されない手法としては、マーカーとしては赤・赤外線通過のフィルターを用いた手法が一般的である。赤外線フィルターとナイトショットモードの併用が前提となる。しかし、これは「盗撮カメラ」と等価であり、保育者が夏場には水着で行動する幼稚園・保育所の労働環境を考慮した

# System Design

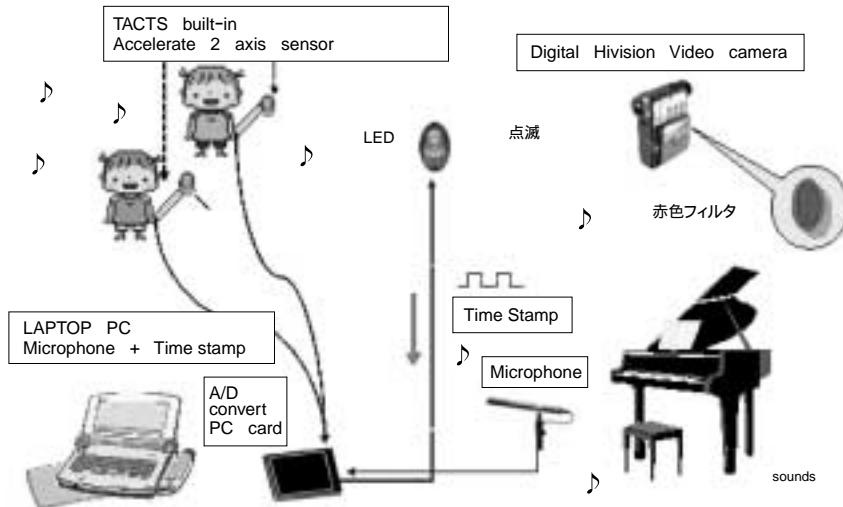


図6：システムの概念図



図7：幼稚園での実験の様子

## 3.2 マーカー-tracking (画像処理)

予備実験では、以下のような理由で、マーカーの自動追跡ができず、手作業でのtrackingが必要であった。1) フレームレートが低いため、マーカー(前回の研究ではオレンジ色のピンポン球)の残像が残り、マーカーがロストする、2) 照明条件により、マーカーの色が異なって映

像に映るためtrackingができなくなる、3) 背景の色がマーカーの色とかぶってしまい、誤ってtrackingを行ってしまう。

そこで、提案システムでは、カメラとして、民生用のハイビジョンカメラ(HD)(525p)の60fpsを用いた。マーカーはマーカー自体が発光するLEDを用いた。照明条件にかかわらずマーカーtrackingできると考えたからである。図7は、LEDとして青色を利用した際の実験の様子である。





図8：青色LEDによるマーカートラッキング結果

図8は、青色LEDを筒状にした棒の中に入れてたものをタクトとして、子どもが振ったものをビデオで撮影し、画像からLEDをマーカーにしてトラッキングした結果である。市販のトラッキングソフトでトラッキングを行うと、図8からも分かるように以下のような問題が生じる。

青色LEDが、ビデオ画像では飽和してしまい色が「白色」( $RGB=(255,255,255)$ )に映ってしまう。

幼児の服の色(図8から分かるように)やその他の白色の物体(名札など)とLEDの色がかぶってしまい、マーカーがロストする。また、隣の子どもにタクトが隠れてしまいマーカーがトラッキングできないという現象もある。

そこで、LEDの色を赤色に変更し、さらに雑音除去の目的で赤色フィルタ(KENKO-R64)を採用した。赤色フィルタと赤色LEDの組み合わせを用いたのは、LEDマーカーの強調を目的としている。

赤フィルタ(R64)とLEDの画像を処理した後の画像を図9に示す。マーカーが抽出されているのが分かる。図9の縦軸が時刻、横軸は位置座標である。実験結果から、赤フィルタR64と赤色

LEDを用いた画像処理によるマーカートラッキングが有効であった。

### 3.3 加速度センサ

幼児の細やかな動きを観測するために、本提案手法では、加速度センサをデータ計測に取り入れている。加速度センサは以下の点で、マーカートラッキングより優れている。

60fpsのビデオカメラでも、シャノンの定理により、たかだか周波数レスポンスは30Hzである。これに対して、加速度センサは、その10倍程度の周波数レンジを有しており、より、細かい情報を得ることができる。

統制された環境ではない、実際の現場において撮影をする場合、動画像処理の解像度はあまり高いものではない<sup>6</sup>。したがって、動画像処理から得られた結果では、精度の面でも不十分な恐れがある。

図10は実際に作成したタクトの写真(LED赤色の場合)である。タクトの先端には、5個のLEDが装着されている。このLEDは、日亜化学

<sup>6</sup> アニメーション作成のマーカートラッキングのように、高精細のカメラで、対象オブジェクトのみをアップして撮影するようなことはできない。

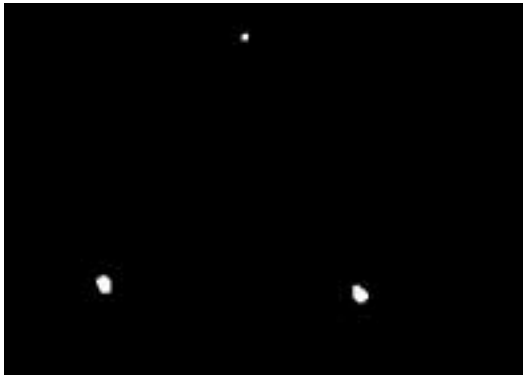


図9：R64フィルタと赤色LEDによる画像処理後のマーカーの図

の3色フルカラーLEDを利用している。この日亜化学のLEDは、照射角が広く、60度中心からずれた段階でも50%程度の輝度を有している。しかし、それでも、タクト用には照射角が不十分であり、図10に見られるように、90度づつ異なる方向をもつ5個のLEDによって、照射角を確保している。

また、図10では見えないが、タクトの内部には、加速度センサを取り付けた。タクトの長手方向に直角で、かつ直交した2つの軸(X, Y)に対して、センサを取り付けている。サンプリングレートは125 samples/s, 2Gまで計測可能なセンサ<sup>7</sup>である。センサの出力は、オペアンプにより平衡伝送信号化されて、パソコンのインタフェースボードへとケーブルで送られている。また、このケーブルはLEDやオペアンプに電力を供給する役割を持っている。

### 3.4 拍抽出について

残された大きな課題として、拍の抽出がある。これは予備実験の際には、曲が「手のひらを太陽に」であったために、インテンポであり、拍の長さが一定であったのに対して、一般的に考えて音楽の拍の長さが曲中に変動することも予想されるからである。したがって、できることなら、正しい拍の長さは、例えば、伴奏用のピアノ音のような、現場での基準となる楽器から取得する



図10：タクト先端のLED部

ことが望ましい。

ここで、一般的な楽譜の拍とピアノ演奏(生演奏)の拍について考えてみる。楽譜とは、演奏者が演奏をする際に、どの音譜を打鍵しなければならないかおよび音の高さ、音の大きさ、演奏曲の枠組みに関する情報を明示している。演奏曲の枠組みとは具体的に、フレーズ、小節、拍子である。幼稚園や保育所では、ピアノを演奏する際に、保育者が、子どもの様子を見て、その時々に合わせて、テンポを変えたり演奏をアレンジするのが普通である。

ピアノの生演奏から拍の自動抽出を行う場合、以下の課題がある。

1. 音響信号中の特徴とビートが直接対応しない。ビートは音楽に対して人間が知覚する概念であり、音響信号がないところにビートが存在する場合がある[7][8]。
2. プロのピアノ演奏者と異なり、演奏中にピアノ演奏者のテンポがずれる可能性がある。また拍の強弱がプロに比して、初学者では明確に出ない可能性が高い。
3. 演奏者が弾き誤る可能性も予想される。
4. 環境によるノイズが存在する。

そこで、図11のフローチャートに従って、拍の抽出を試みた。まず、wave形式で保存された音声データファイルを読み込み、入力された曲の総拍数をデータとして読み込む。次に、すでの

<sup>7</sup> 米国アナログデバイス社の製品を利用

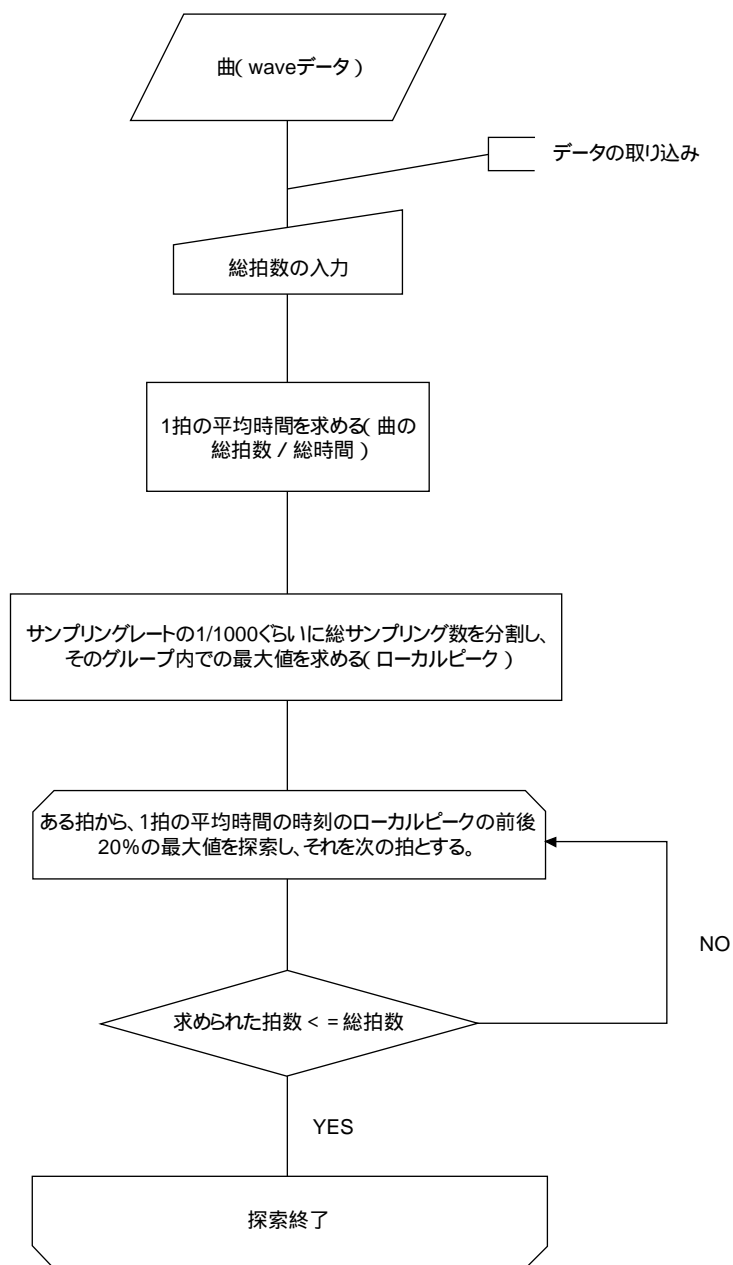


図 11：拍抽出のフローチャート

サンプリングデータを時間的に前から10msecづつグループに分け、各グループ(区間)の中での最大値を求める。それを全グループ(区間)で行う(各グループでの最大値なので、以降それらをローカルピークと呼ぶ)。

次に、全ローカルピーク数を与えられた曲の

総拍数で割り、その値を1区間とする。その1区間が平均の拍の周期となるので、実演奏の拍は、この平均周期の前後にあると予測できる。そこで本システムでは、まず、曲の始まりから平均周期の前後20%のローカルピークの最大値を探索しそれを(次の)新たな拍とし、次の拍(3拍目)

は、2拍目から前後20%のローカルピークの最大値を探索し、それを新たな拍とする。これを全拍数が求まるまで処理を繰り返した。

## 4. システムの評価

タクト及び付随するシステムを開発し、常磐会短期大学附属常磐会幼稚園において音楽指導の時間(5歳児)に現場評価実験を行なった。指導者のピアノあるいは、歌に合せて3人の子どもが実験用タクトを振る様子をビデオカメラで撮影した。ピアノの音はDATに小型マイクを接続し、ピアノ内部に入れて録音した。予備実験と同様に指導者の「ねらい」は、楽器を演奏する準備として、1)リズムを感じて表現すること。2)楽器演奏に必要な腕の動きを学習することである。以下に実験結果を示す。

### 4.1 加速度センサと画像

図12と図14は、動画からマーカートラッキングによって得たデータと加速度センサから得たデータをグラフ化した結果である。各グラフとも上部がマーカートラッキングのデータ(横軸が時刻、縦軸が位置座標)下部が加速度センサのデータ(横軸が時刻、縦軸が電圧値)をグラフ化した。画像データのグラフを比較すると指導者と子どものグラフには若干のばらつきがあるものの大差は見られない。しかし、加速度センサのデータを見比べると、両者の運動の違いが見て取れる。図12の指導者のセンサデータのグラフは、きれいに整った鋭いピークが現れ、周期もほぼ等しい波形となっている。一方、図14の子どものグラフは、データがばらつき、ピーク、周期ともばらついている。

また、センサデータからは、両者のタクトの振り方の違いを見て取れる。まず、指導者と子どもの振り方を比較すると、指導者は、タクトを図13のように「V字」を描くように振り、タクトの描く軌跡の最下点で力をいれてリズムを取っている。一方、子どもは、図15のようにタクトが振れる軌跡の水平方向の振幅でリズムを取っている場合が多く、軌跡も「U字型」のようである。打楽器を演奏する腕の動きとしては、指導者の

ような「V字」の運動が望ましい。

以上の結果を踏まえて、子ども同士の比較を行うと以下のような興味深い結果が得られた。図16(横軸が時刻、縦軸が位置座標)と図18(横軸が時刻、縦軸が位置座標)は、子どもBと子どもCの画像によるトラッキング結果である。図16と図18だけを見ると、子どもBのY軸の座標のピーク値にあまりばらつきがなく、一定に振っていることが分かる。一方子どもCのY軸の座標のピーク値にばらつきが見られる。このことから、一見子どもBの方が、子どもCよりもピアノのリズムには合っているように思える。しかし、図17(横軸が時刻、縦軸が電圧値)と図19(横軸が時刻、縦軸が電圧値)のセンサデータを見るとそのようなことが簡単に言い難い。つまり、センサデータを見ると子どもBのデータはかなりばらついており、ある一地点を目指して腕を強くふったというようなデータのピークはない。一方、子どもCは、若干のばらつきはあるもののピークが周期的に現れている。よって、指導者のセンサデータの結果と比較すると、子どもCのタクトの振り方は、指導者を上手く模倣しているといえる。

2人の子どもはピアノに合わせてそれぞれ指導者の見本を模倣しながらタクトを振って表現した。1人は、リズムに合わせて振ることができた。もう1人は、「V字」を描いて振るという動作を模倣できた。この表現を質的に評価し結果を指導に活かすとするならば、子どもBには、「V字」に振ってみようと言うことになり、子どもCには、ピアノのリズムに合わせて見ようという指導が可能となる。

今回の実験では、2軸の加速度センサを利用したが、軸の方向はタクトの持ち方によって変化するため、必ずしもカメラ画像との対応は単純ではない。センサの軸の固定方法、タクトの小型軽量化、ワイヤレス化等は、今後の課題である。しかし、前述したように、単に音楽のリズムがとれているかどうかだけでなく、タクトの振り方について、その場の目視やビデオ画像では、見極める事が難しい表現(運動)の質的評価を抽出できた。加速度センサには、多様な角度から客観的に子どもの表現(運動)を質的評価できるツールとしての可能性を感じることができた。

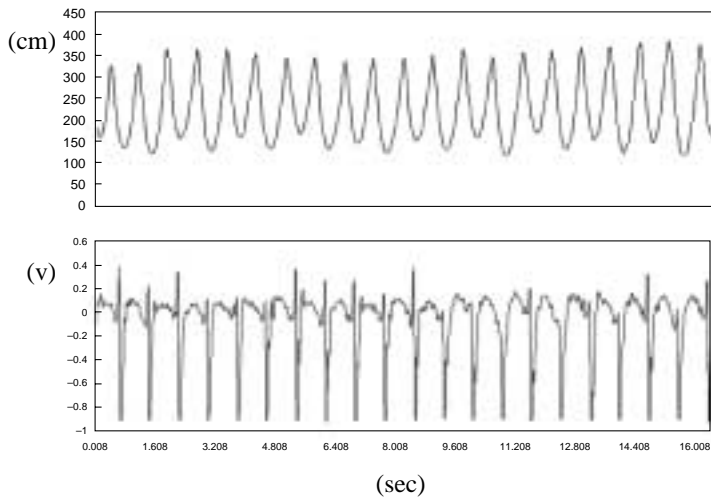


図 12：タクトの画像とセンサデータのグラフ（指導者）



図 13：タクト画像（指導者）

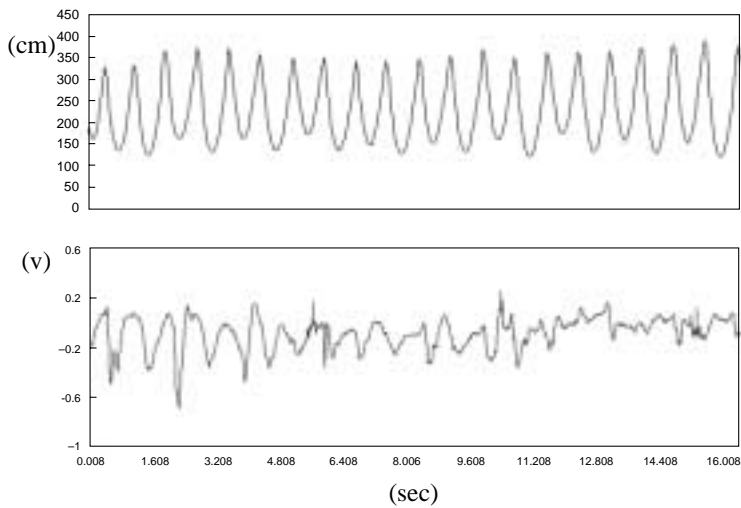


図 14：タクトの画像とセンサデータのグラフ（子ども）



図 15：タクト画像（子ども）

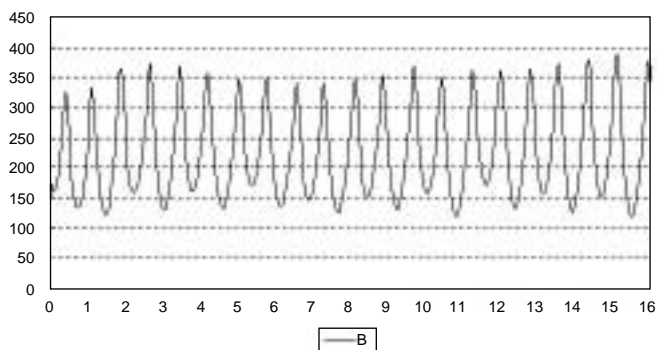


図 16：リズムが取れている子ども B の画像

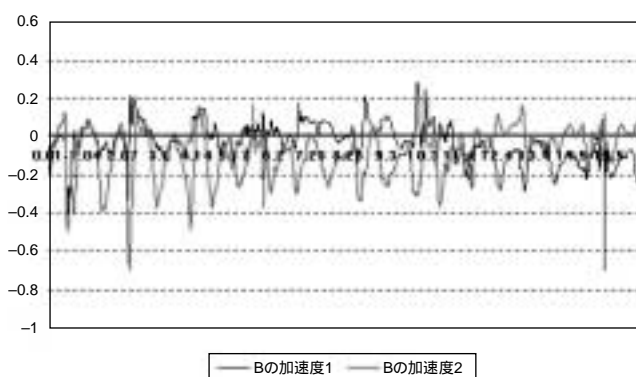


図 17：リズムが取れている子ども B のセンサ

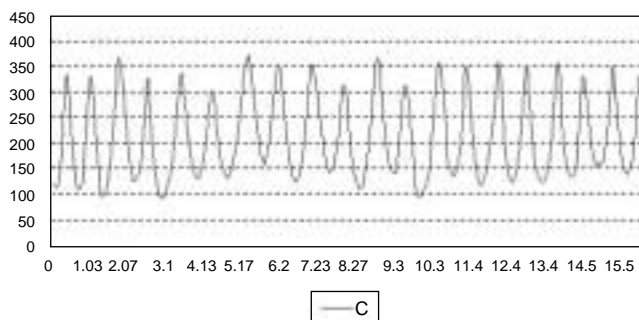


図 18：振り方が上手な子ども C の画像

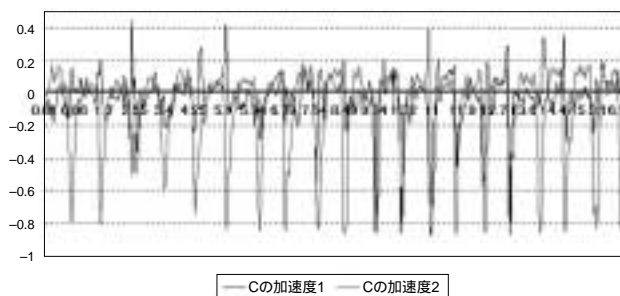


図 19：振り方が上手な子ども C のセンサ

## 4.2 ピアノの演奏拍との情報統合

### ピアノの演奏拍とプログラムの実行結果

実際に拍の音声からの抽出を行なった結果(図20と図21)を示す。曲は、「畑のボルカ」である。表示は、横軸が拍の番号(時系列)、縦がその拍を打ち始めた時間と正解拍時間の差(譜面拍時刻 - 正解拍時刻)(単位はsec)とのズレを示している。なお、グラフのマイナス表示は、譜面拍からどれだけ早くピアノを弾き始めているかを示している。

結果から、音の伝達速度の影響を考え、1/100以下のズレを無視できるとすると、このシステムではピアノによる実験1(図20)では、34/36(94%)、ピアノによる実験2(図21)では、21/36(58%)の正解を得ている。だが、完全な拍の抽出には成功していない。抽出に失敗した要因としては、1)周囲のノイズが多い、2)ピアノ練習(ピアノの中にマイクを入れたため、反響してしまいマイクがサチレーションを起こしてしまっている。と考えられる。伴奏の多い曲でも精度が落ちることが予想される。完全なトラッキングを行うためには、これらの課題を改善する必要がある。

### ピアノの演奏と譜面上の拍

次に、ピアノの生演奏と譜面上の拍との比較結果を以下に示す。図22(横軸が拍数、縦軸が演奏 - 譜面拍時間(秒))では、ピアノの演奏と譜面上の拍との間隔(周期)の差を示した。ピアノの演奏は必ずしも、メトロノームのように一定であるとは言えない。これは、ベテラン音楽指導者は、必ずしも譜面どおりに一定の拍で演奏しているのではなく、子ども達の歌の様子を伺いながら、その時々に合わせて、抑揚をつけたり、テンポを早くしたり、遅くしたり変化をつけて、子ども達が楽しく自然に学べるように調整しているためである。

### 子どものタクトとピアノ演奏

図23は、子どものタクトの拍とピアノの拍の演奏時間における推移を表したグラフである。演奏から抽出した1拍の平均は、0.8秒であったが、曲の前半では、ピアノは若干テンポアップしている。子どもは揺らぎながらもテンポアップ

を感じとり、速く振っているのが判る。また、センサデータから子どもは、腕の水平方向の振幅でリズムを取りタクトを振っていると述べたが、図23の拍の間隔からは、遅い、速いを、ほぼ交互に繰り返しているのが判る。これは、腕を外側にふる運動能力が未発達であるために生じていると考えられる。

## 4.3 タイムスタンプ

システム全体の時間同期の合わせ方は、以下のような方法で解決している。LEDを(10secに1度程度)点滅させ、この信号を同時にセンサデータとともにロギングさせる。こうすることで、ビデオ映像と加速度センサデータとの両方のデータにタイムスタンプが挿入され、ミリ秒単位での同期をあわせることができる。図24がタイムスタンプ計算の結果である。図の上半分が画像によるマーカートラッキングの結果である。フレームレートは30fpsである。図の下半分が2軸の加速度センサのデータである。

## 4.4 残された課題

今回の実験からは、以下の課題が残されている。

タクトにつけた加速度センサは重力加速度の影響を受ける。このため、タクトを長手方向を軸として回転させて握りなおすとその測定値は変化する。同じ子どもでもデータに正確な再現性がなく、結果として、子ども相互での比較も難しい。従って、加速度センサを評価尺度として採用する場合は、タクトに親指をあてるくぼみを作るなどのアプローチを併用して、タクトを常に同じ方向で持てるように配慮する必要がある。また、重力の影響を受ける加速度センサではなく、タクトの動きのみを直接的に検出できる角速度センサの利用も検討すべきである。実験に使用したタクトは、タクトのLED、センサへの電源の供給、データの送信のために数本のケーブルが繋がっていること、またこのケーブルのために握る部分も太く

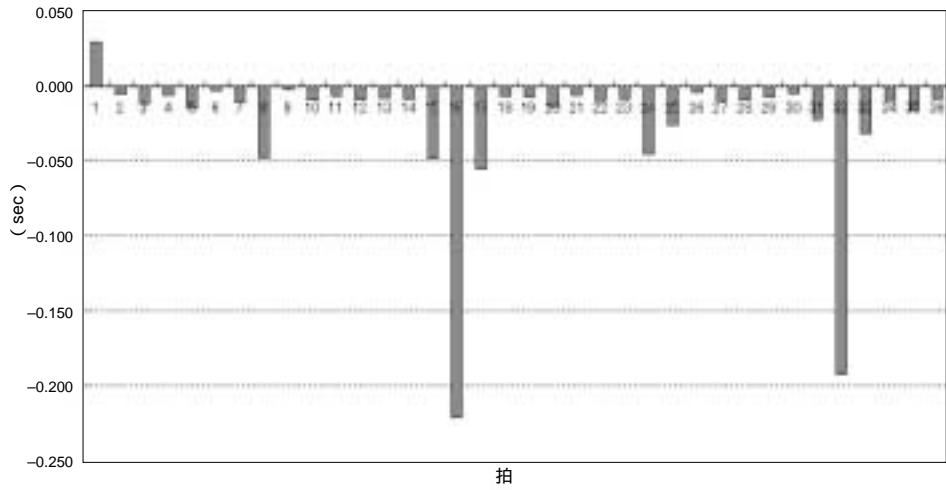


図 20：ピアノによる実験 1 の実行結果

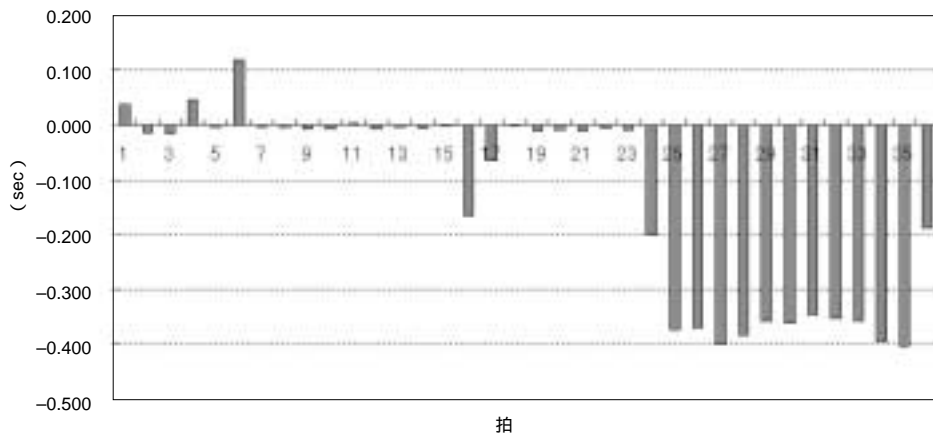


図 21：ピアノによる実験 2 の実行結果

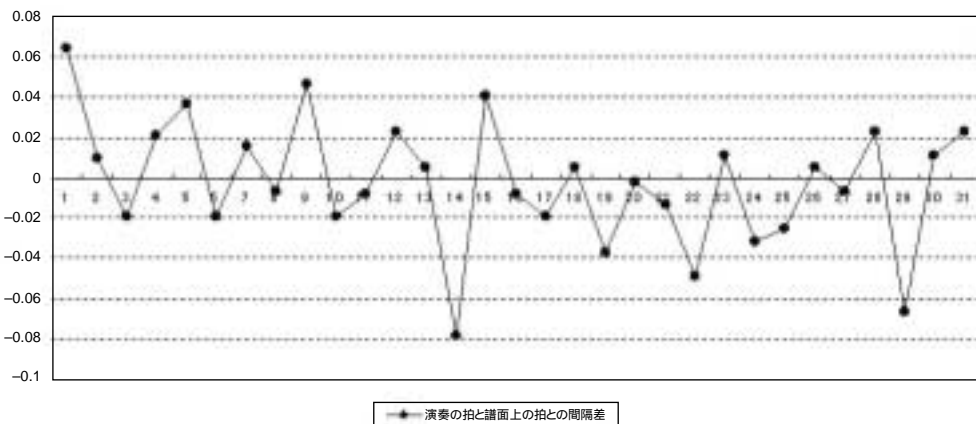


図 22：ピアノの演奏と譜面上の拍との間隔（周期）の差



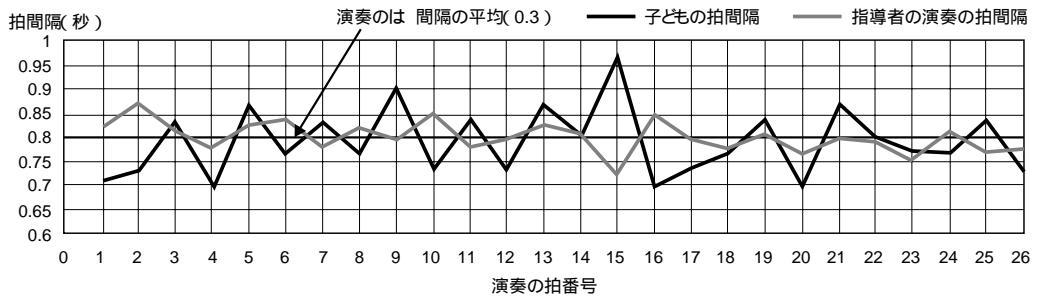


図 23 : 子どものタクトの拍とピアノの拍

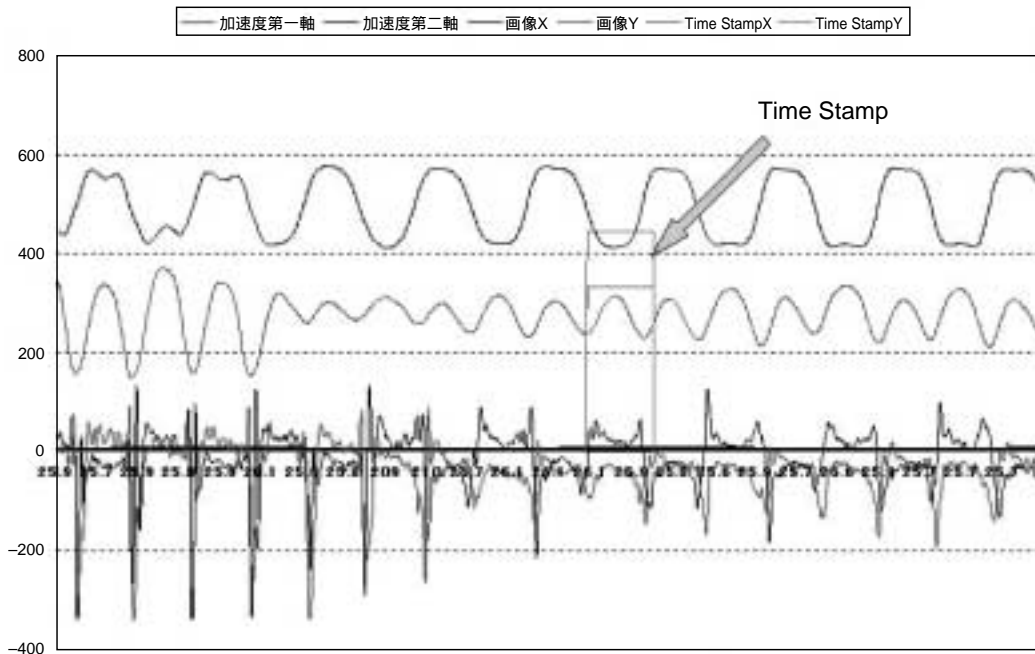


図 24 : タイムスタンプ照合結果の例

なっている。今後は、電源を電池に変更し、データをタクト内部に装着したメモリーに蓄積できるよう改良が必要である。また、子どもが持ちやすいよう、タクトの重量や形状についても吟味が必要であると考えている。

マーカートラッキングについては、LEDマーカーと同色の輝度の大きな画像（例えば、カーテン穴からの外光の入射など）が存在する場合や隣の子どもでマーカーが隠れてしまう場合にはトラッキングができなくなる。マーカーが隠れた部分を、加速度セン

サ/角速度センサなどにより補完する手法が望まれる。

拍の抽出方法については、今回は譜面拍（一定周期に現れる拍）ではなく、ピアノの実演奏の拍を抽出することを目指し、それを音楽指導の評価基準の目安とした。しかし、前述したように演奏拍というのは、指導者が意図的にテンポを変えたり、また引き誤ったりすることから、この「演奏拍」を基準に評価をするのが適当かどうか疑問が残る。以上が今回の実験で明らかとなった今後の検討課題である。

## 5. 結論

本論文では、保育現場において、経験の浅い保育士もしくは幼児教育科の学生が、複数の子どもを同時に観察する際の音楽支援手法を提案した。その結果、動画像と加速度センサの利用することによって、経験の浅い指導者が見落としがちな、子ども達の小さな特徴や行動も、グラフから容易に読み取り得ることを確認できた。これらの結果から、本手法によれば、子どもの成長に合わせた保育の提案が容易になると共に、経験の浅い保育士や幼児教育科の学生の技術の向上も期待される。

また、本論文では、時間方向の客観的評価基準として「演奏者の拍」を利用した。しかし、今回の実験で明らかになったように、演奏のアレンジが曲中で行われることから、子どもがこの曲のリズムに「1拍ずつ」もれなく合わせてタクトを振っているというのは考えづらいことも明らかとなった。今後の課題としては、評価基準としてのリズム(=拍)を見直すこと。また、全自動のトラッキングを目指す上で、現場では、隣の子どものタクトと交差したり、タクトが隠れたりした場合、データを補完できることが望ましい。

本研究の最終的な狙いは、幼児教育科の学生が、子ども達一人ひとりの成長や個性をどのように把握するか、あるいは長期観測したときに発達をどのように見いだすかを支援することにある。今後は、保育者を目指す学生も交えて分析データを精査し、子どもを長期に観測して波形の変化を観測する必要がある。なお、今回用いたケーブルが繋がったタクトでは子ども達の自由な活動を制約するため、無線で加速度センサの情報を伝送できるより実践的なタクトを開発したい。

## 謝辞

本研究を進めるあたり協力をいただいた、常磐会短期大学・安谷屋武人教授、ならびに、常磐会短期大学付属常磐会幼稚園・植田明園長に深謝いたします。本研究の一部は、学術フロンティア『知能情報処理とその応用』(主査:同志社大学工学部・三木光範)によります。

## 参考文献

- [1] 渋谷真人、新谷公朗、坂東敏博、金田重郎、柳田益造：“幼児を対象としたマーカー追跡による音楽指導支援” FIT2003、講演番号 LN-002、2003年9月
- [2] IT用語辞典 e-words: <http://e-words.jp/w/LED.html>
- [3] 豊田実香、永田章二、柳田益造、芳賀博英、金田重郎、新谷公朗：“音声・センサ・画像の情報統合による音楽指導の支援手法”、情報処理学会第66回全国大会講演論文集 2C-4、2004年3月
- [4] 豊田実香：“画像・センサ・音声を用いた情報統合による音楽支援手法の提案”、同志社大学工学部、知識工学科、情報システム学研究室、卒業論文、2004年3月
- [5] 清水宏章：“動画像処理による移動体の位置情報取得に関する研究”、同志社大学工学部、知識工学科、情報システム学研究室、卒業論文、2004年3月
- [6] 下田和男：“やさしくひける子どもの歌”昭和54年2月10日初版発行
- [7] 後藤真孝、村岡洋一：“音響信号に対するリアルビートトラッキングシステム - 打楽器音を含まない音楽に対するビートトラッキング - ”、情報研報、音楽情報科学 96-MUS-16-3、Vol.96、No.75、pp.13-20(1996)
- [8] 後藤真孝、村岡洋一：“音楽音響信号に対するビートトラッキングシステム”、音楽情報科学 7-8(1994)
- [9] 小嶋輝美(徳島文理大学短期大学部)「音楽表現の実践と保育計画」- 2歳児クラスの実践を通して -、日本保育学会第53回大会発表論文集 pp510-511
- [10] 三森桂子(竹早教員保育士養成所):教育現場における音楽的表現活動の実態 - 自己表現活動をめぐって -、日本保育学会第53回大会発表論文集 pp512-513