

# 音楽音響信号を対象とした指揮演奏システムの開発

橋本 祐輔<sup>†</sup> 橋田 光代<sup>† †</sup> 片寄 晴弘<sup>† †</sup>

<sup>†</sup> 関西学院大学大学院理工学研究科

<sup>††</sup> 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CrestMuse プロジェクト

ビデオゲームのジャンルの1つとして音楽ゲームがある。1996年以降「リズムアクションゲーム」が音楽ゲームの代表的存在であったが、ここ1,2年の間で、作曲機能を持ったものや演奏時のアドリブを許容するものの発売が相次いでいる。その中で、簡単な操作で、テンポや音量の制御によって演奏表現を楽しむことを目指した拍打型演奏インタフェースが注目を集めている。拍打型演奏インタフェースにおいて制御の対象となる音楽信号は、MIDI ベースのものと音響信号に大別される。音響信号を用いるものには、好きな任意の音源を用いて演奏表現を楽しむことができるというメリットがある一方で、テヌート時の音質の確保とアラインメントの実施という特有の課題がある。本稿では、音楽ゲームのサーベイランスを実施した上で、テヌート時の音質の確保とスケジューラに工夫を施した指揮演奏システム AiiM について述べる。

## Development of a conducting system for audio signal

Yusuke Hashimoto<sup>†</sup> Mitsuyo Hashida<sup>† †</sup> Haruhiro Katayose<sup>† †</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

<sup>††</sup> CrestMuse Project, CREST, JST

Music is one of the most significant targets of video games, and a genre called “Rhythm action” has been a mainstream for this last decade. But in this couple of years, music games that enable users to compose or play music have been successfully released, and beat-oriented music performance interfaces have been drawing consumers’ attention. Present beat-oriented music performance interfaces are divided into controllers of MIDI and acoustic signal. The latter has an advantage as it allows a user to play tunes that s/he often listens to. In this paper, we discuss “entertainability” of music video games and introduce our music conducting system for acoustic signal, called AiiM, to which we implemented an improvement regarding sound quality at the user’s *tenuto* directions and a scheduler for ensuring naturalness to the user’s tempo controls.

### 1 はじめに

音楽ゲームは、ビデオゲームにおける主要ジャンルの一つである。音楽ゲームの代名詞とも言える「リズムアクションゲーム」の人気は高く、「beatmania」, 「太鼓の達人」(図1)は、ゲームの売り上げランキング全体の中でも上位を占めている<sup>1</sup>。

これまで、音楽ゲームというと、「リズムアクションゲーム」をさすことが多かった。ところが、2004

年に発売された「大合奏バンドブラザーズ」や、2008年に発売された「WiiMusic」などのように、単純に「リズムアクションゲーム」とは呼べない音楽ゲームが相次いで発売され、「リズムアクションゲーム」が音楽ゲームの代名詞とは言えなくなってきた。

音楽とは、本質的に、エンタテインメントの要素を有している。計算機、もしくは、ゲーム機を用いることで、従来の音楽の楽しみをより発展させたり、あるいは、今までに無かったような音楽の楽しみ方を提供できる可能性が高いが、これまで、そのことを系統的に整理・考察するというこ

<sup>1</sup> 「太鼓の達人」シリーズの国内累計販売数も、シリーズ14作(※2008年12月に発売されたWii「太鼓の達人Wii」は除く)で400万本を達成ゲーム全ジャンルの中でも、最上位の売り上げを誇る



図1 太鼓の達人

とはほとんど行われてこなかった<sup>1)</sup>。

本稿では、最近話題になっている音楽ゲームをとりあげて、従来から存在する音楽エンターテインメントを含めて、楽しさの要因、ユーザの関わり方の視点により、分類学的な考察を実施する。その中でも、より簡単に演奏表現を行なうための拍打型演奏インタフェースに焦点を当て、従来どのような研究が行われてきたかについて系統的に紹介する。続いて、筆者らが開発を進めてきた音響信号を対象とした指揮システム AiiM について述べ、最後に、今後の音楽系ゲームの動向について展望する。



図2 パラッパラッパー

## 2 エンターテインメントとしての音楽

### 2.1 音楽ゲームの歴史

音楽にはそれ自体にゲームの要素があり、最も古い音楽ゲームが何であるかを探ることは困難であるが、「サイモン (Simon)」(1978) は初期のものとしてあげられる。「サイモン」はコンピュータの演奏を記憶し、プレイヤーがそれを再現できればクリアというルールを採用しており、リズムの忠実な再現は必要なかった。1983年のファミコンゲーム時代から音楽を単なるBGMとして用いるのではなく、ゲームの根幹の要素として取り上げる数々の試みがなされてきた。しかしながら、当時の家庭用ゲーム機のCPUパワーでは音とキー入力との同期が難しかったため、ヒット作と呼べるものは登場せず、音楽はあくまでゲームを引き立てる一要素にしかならなかった。

家庭用ゲーム機 PlayStation 用ソフトとして1996年に登場した「パラッパラッパー」(図2)は累計販売本数148万本を記録し<sup>2)</sup>、その後続く音楽ゲームの爆発的なブームの火付け役となった。「パラッパラッパー」はリズムに合わせてコントロールパッドを操作することで、キャラクタを操作し、リズム感の正確さによってステージをクリアしていくというコンセプトで制作された。このようにリズムに合わせてキー入力を成功させることで高得点を目指すゲームは「リズムアクションゲーム」と呼ばれ、1997年以降、「パラッパラッパー」の流れを汲む「リズムアクションゲーム」は「beatmania」を皮切りに次々に発売され、リズムに合わせてキーを正確に入力するというコンセプトはそのままに、ギターを模したものなど様々なタイプのものが登場した。多少の違いはあれども、これらの「リズムアクションゲーム」は音楽ゲームの看板的な存在としてこれまで普及してきた。

最近では「大合奏バンドブラザーズ」(2004)のように演奏だけでなく作曲も楽しめるものや、必ずしも正しいリズム感が必要というわけではなく、アドリブも許容するような「WiiMusic」(2008)というゲームも登場してきており、音楽ゲームは「リズムアクションゲーム」にとどまらないものとなってきた。

次節ではリズムアクションゲームや最近登場し

<sup>2)</sup> 2009年1月21日までは音楽ゲーム歴代1位(「2008CESA ゲーム白書」より)

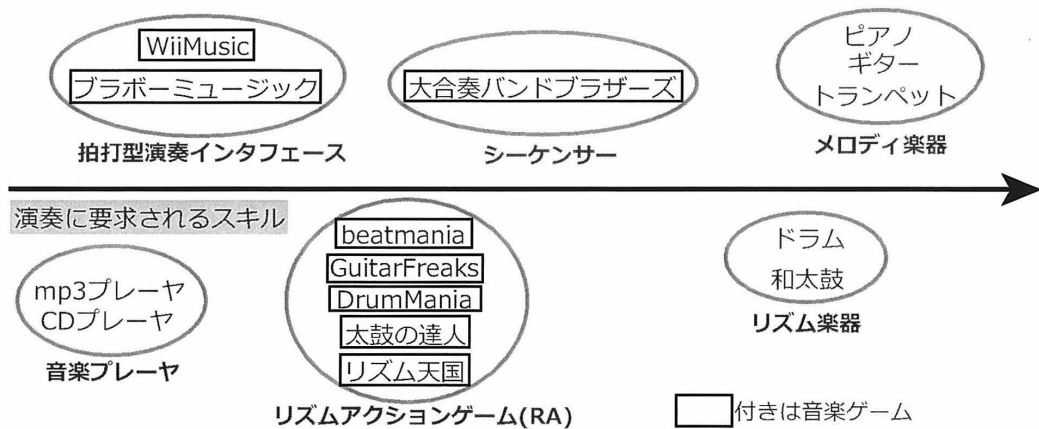


図3 演奏に要求されるスキルによる分類

てきた音楽ゲームをスキル、自由度の視点より分類し、あわせて音楽の楽しさの視点から議論を行なう。

## 2.2 音楽インタフェースの分類

ユーザが演奏を実現するために要求されるスキルという視点で音楽インタフェースを整理すると、図3のようになる。この中で音楽プレーヤは収録された演奏をただ再生するだけに過ぎないため、演奏スキルは全く必要ない。音楽ゲームは収録された演奏を正しく再生するためには限られたキーを入力するのみなので、ほとんど演奏スキルは必要ない。メロディ楽器やリズム楽器などの自然楽器は、楽曲を演奏するためには高度なスキルを要する。

図3をさらに、音楽ゲームや自然楽器などの特徴を演奏自由度と音の配置の自由度という2軸でマッピングを行なうと、図4のようになる。図4の中で最も原点に近いものとして音楽鑑賞を目的とした音楽プレーヤがある。一般的な音楽プレーヤは演奏表現の自由度や音の組み合わせの自由度は存在しない。「beatmania」「太鼓の達人」「リズム天国」などのRA（リズムアクションゲーム）はあらかじめ用意された譜面をなぞるという形をとっているため、ただ音楽を聴くだけに比べて演奏表現という点では自由度が高いと言える。従来の自然楽器は音の組み合わせの可否という観点でメロディ楽器とリズム楽器に分けることができる。自然楽器には演奏技能さえあれば演奏表現の幅は「リズムアクションゲーム」に比べて圧倒的に広い。「リ

ズムアクションゲーム」においては譜面からの逸脱はミスとして扱われるが、逸脱をアドリブとして許容する音楽ゲームとして「ブラボーミュージック」や「WiiMusic」がある。「WiiMusic」については、あくまで譜面を元にした演奏を行なうものの、元譜面以上の音符情報を含むことによってアドリブを許容しているためである。

## 2.3 音楽の楽しみからの考察

音楽インタフェースおよびそれらを用いることによって得られる行為にはそれぞれ楽しみがある。図3において演奏に必要なスキルが低いものは、音楽そのものに対する希求、すなわち、聴くことが楽しみとなる。一方で、演奏に必要なスキルが高いものは、技術獲得に対する希求、すなわち、演奏がうまくなること自体が楽しみとなる。

音楽の楽しみは耳で聴くことによる音楽鑑賞と演奏スキルを向上させることによる自己満足獲得を楽しみとする自己表現と他人に誇示することを楽しみとする自己主張とがあげられる。他人に誇示する演奏を行なうためには必然的に高いスキルが必要であるが、音楽ゲームでは楽曲の演奏の視点から見た場合は他人への誇示のための要求スキルはそれほど高くない。しかし、音楽ゲームの種類によっては演奏動作自体には高いスキルが必要になる場合がある。

他人への誇示による楽しみの軸は図3の範囲の外に位置することになる。他人への誇示の具体例としては、カラオケや動画共有サイトへの投稿な

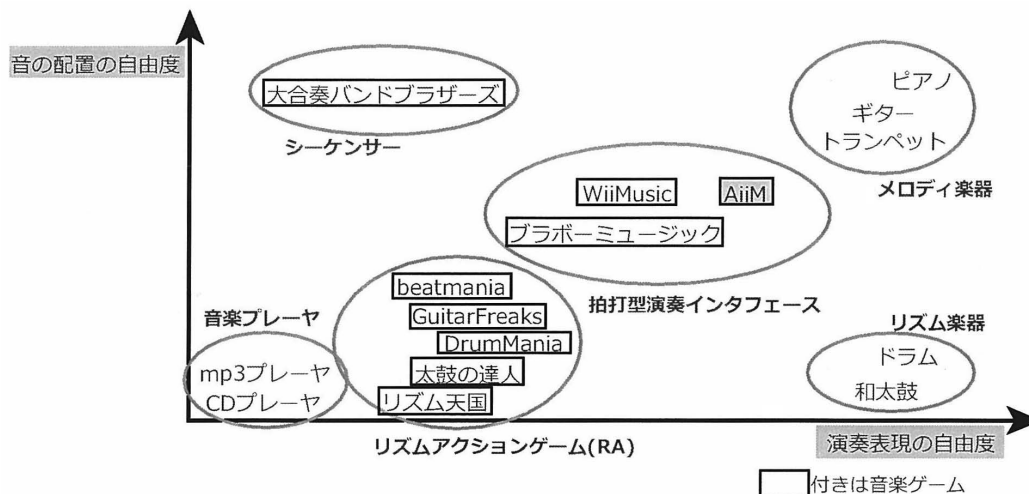


図4 音の配置, 演奏表現の自由度から見た音楽ゲームと音楽インタフェースの位置付け

どがある。他人に誇示する楽しみを図3に取り入れることにより、エンターテインメントとしての音楽の未開拓部分が見えるようになる。

演奏表現を行なうにあたって、「リズムアクションゲーム」よりもさらに低いスキルでも音楽演奏に対して表情がつけられるものとして、拍打によって演奏を実現することのできる拍打型演奏インタフェースがある。

### 3 拍打型演奏インタフェース

拍打型演奏インタフェースはユーザが自然楽器などを演奏するスキルをほとんど持っていなくても、楽曲の演奏を実現することのできるインタフェースである。演奏を容易に実現するという点において、広義には自動伴奏システムも拍打型インタフェースに分類することができる。

1983年にMIDIが制定されて以来、拍打型演奏インタフェースの研究が多く行なわれた。拍打型演奏インタフェースには、指揮者の動作を模倣することで演奏を実現するものや簡単なキー入力により演奏を実現するものがある。

MIDIを用いて指揮演奏を表現したものとして1991年のMax Mathewsによる「Radio Baton<sup>2)</sup>」がある。これはラジオ波を発する棒を、盤面に配置されたアンテナに近づけたり遠ざけたりすることによってMIDIの楽曲のテンポなどをコント

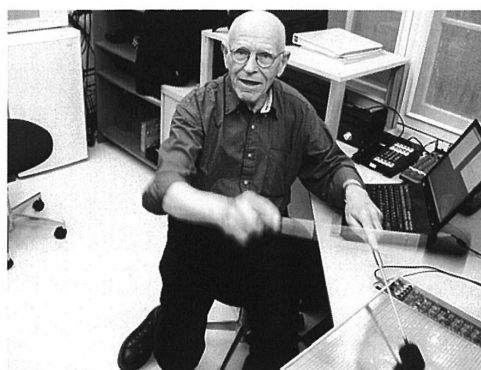


図5 Radio Baton

ロールすることができるものである。2000年の上田らによる「TFP:Two Finger Piano<sup>3)</sup>」は両手指1本ずつで楽曲のテンポや音の強弱の制御を行なうことのできる演奏システムである。2001年の大島らによる「Coloring-in Piano<sup>4)</sup>」は打鍵ミスを補正することにより、ミスを気にすることなく演奏表現のみに注力できる演奏システムである。

多彩な入力装置を用いたものとしては、1998年の宇佐らによる「マルチモーダル指揮シミュレータ<sup>5)</sup>」がある。これは入力装置に加速度センサ、呼吸センサ、視線センサを用い、加速度センサから得られるユーザのジェスチャデータの処理に隠れマ



ルコフモデルを利用している。これにより指揮法に則った指揮動作の認識を詳細に行なっており、指揮のシミュレーションを実現している。特殊な入力装置を用いたもう一つの例として2002年のTeresa Nakraらによる「Conductor's Jacket<sup>6)</sup>」がある。これは表面筋電位センサや心拍計などの多数のセンサを搭載したジャケットを用いて、装着者の上半身の動作を指揮に反映させることが出来る。これら2つの研究は、指揮者の動作をより正確に再現するために行なわれたものであるが、正確ではなくより簡単な操作でできるものとして2003年の奥平らによる「音楽演奏インタフェース:iFP<sup>7)</sup>」がある。これはMIDIキーボードの打鍵およびパソコンのキー入力による鍵盤楽器的なインタフェースと夢システム社のデジタルテルミン<sup>3)</sup>の2つの入力方式を備え、簡単な動作で演奏を行なうことができるシステムである。



図6 マルチモーダル指揮シミュレータ

近年計算機の処理能力があがってきたことにより、音響信号を実時間で操作することが容易になった。そのため、拍打型演奏インタフェースにMIDIではなく音響信号を利用したものも登場するようになってきた。指揮演奏システムに音響信号を用いたものの1つとしては、2004年のKolesnikらによる「Analysis and Performance with Expressive Conducting Gestures<sup>9)</sup>」がある。これはカメラで自身を映し、実時間でジェスチャの認識および楽曲のテンポや音量を制御するシステムである。2007年の鈴木らによる「音楽音響と映像信号を対象としたジェスチャによる指揮システム<sup>10)</sup>」は加速度

<sup>3)</sup> 人体と2軸の電極(センサ)の静電容量を、ピッチと音量にマッピングした電子楽器であるテルミンをMIDI仕様にした演奏コントローラ

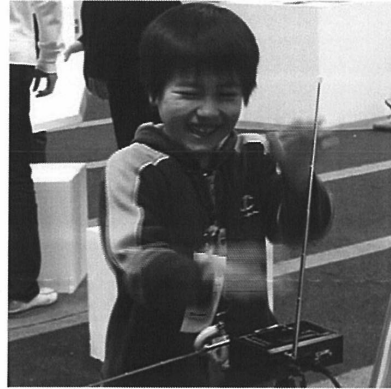


図7 音楽演奏インタフェース:iFP

センサを搭載したセンサグローブを用いた指揮動作によって、オーケストラなどの演奏映像を用いて映像の再生制御と音響制御を同時に行なうことで、より臨場感の高い演奏制御の実現を目指した。

最近では、上記のような拍打型演奏インタフェースを採用した音楽ゲームが増えてきている。2001年の「プラボーミュージック」では拍打部分をコントロールパッドで操作することにより楽曲のテンポをコントロールすることが出来る。また、2008年の「WiiMusic<sup>8)</sup>」はミニゲームの一つ「なりきりオーケストラ」においてWiiリモコンを指揮棒と見立てて振ることにより、楽曲のテンポと音量をコントロールすることが可能である。



図8 WiiMusic「なりきりオーケストラ」

指揮演奏システムにおいて音響信号を対象とするメリットは、ありふれたCDなどの楽曲をそのまま利用できることにある。MIDIの場合は専用の楽譜情報としてあらかじめ用意する必要があるが、

音響信号にはその必要がない。しかしながら、音響信号を対象とした指揮演奏システムでは、解決されていない2つの課題がある。1つ目はテヌートやフェルマータ時における音質低下の問題である。MIDI データを扱う場合と異なり、波形を伸縮する必要があり、それに伴って音質が低下する可能性がある。特に、打楽器音を含む楽曲においてテンポを極端に落とした場合、切り出してきた短時間の波形をループさせることにより、ノイズが発生してしまう。2つ目は指揮動作と音響信号データのアラインメントの問題である。波形の伸縮率を決定するには1拍の長さがわからなければならない。そのため、拍打ごとに次の拍打の時刻を予測し、そこから1拍の長さを計算してスケジューリングする必要がある。

#### 4 指揮演奏システム AiiM

本章では、我々が開発した音響信号を対象とした指揮演奏システム AiiM について述べる。

AiiM では前述の2つの課題の解決を目的としている。課題1に対しては、短波形のループによるノイズが主に非周期音（打楽器音）に起因していることに着目し、打楽器音を抑制することで、ノイズを低減させる。打楽器音の抑制には、宮本らの調波成分と非調波成分の分離手法<sup>11)</sup>を用いる。課題2に対しては、iFP で採用されている予測型スケジューラ<sup>7)</sup>を用いる。このスケジューラでは、一定のテンポの維持とユーザ操作への追従のどちらを優先させるかを重みづけによって変えることができる。

また、誰でも容易に利用することができるように、図4の位置付けになるような設計を行なった。

##### 4.1 処理の概要

AiiM における処理の流れを図9に示す。まず音楽音響をバッファに読み込み、加えて音響信号のテンポ制御に必要な拍点時刻データ（テンポデータ）を読み込む。バッファに読み込まれた音響信号に対して Phase vocoder による処理を行ない、ピッチを変えずに音響信号を伸縮できるようにする。また、あらかじめ使用楽曲の打楽器音を抑制したデータを別のバッファに読み込んでおき、フェルマータ状態になった場合に通常出力と切り替えて用いる。

指揮動作の認識は Wii リモコンを用いて行なう。Wii リモコンから得られる加速度情報に対してノ

イズ除去を行ない、ユーザによる拍打の抽出と音量制御のための強度計測に用いる。抽出された拍打情報に対して iFP<sup>7)</sup> における予測型スケジューリングを適用し、予測された拍を利用してテンポ制御を行なう。

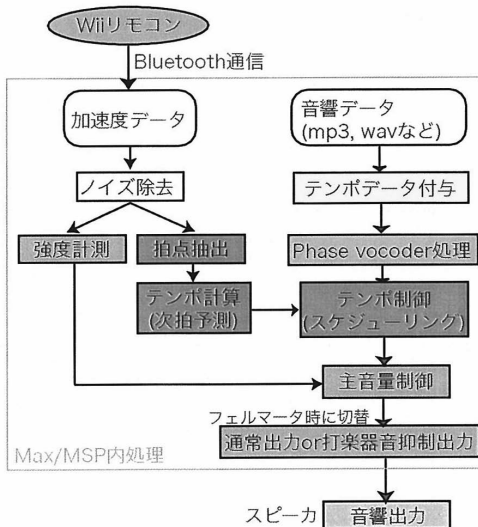


図9 AiiM の処理の流れ

##### 4.2 アラインメントのためのビート時刻データの作成と利用

本システムでは簡単のため、ビート時刻をタッピングにより人手で付与したデータをあらかじめ用意し、それを読み込んで利用する。このビート時刻データを指揮動作と音響信号のアラインメントに用いる。

##### 4.3 ユーザのモーションデータの取得

Wii リモコンに内蔵されている加速度センサが逐一取得する加速度データを Bluetooth 通信によって取得する。手の震えなどによる誤動作を避けるため、移動平均（過去 10 フレーム分を使用）によって平滑化を行なう。

次に、平滑化した鉛直方向および水平方向の加速度データの絶対値を足し合わせた数値を用いて、一定以上の力が働いたときにユーザの指揮動作による拍打が行われたとみなす。

#### 4.4 予測型スケジューリングに基づく次拍予測

音響信号の伸縮率を決めるため、拍打が検出される度に次の拍時刻を予測し、テンポを決定する。テンポの決定においては、

- (1) 直前の  $\alpha$  回の拍打履歴における平均テンポ、
- (2) 直前の 2 拍のテンポの変化率から予測されるテンポ、
- (3) 楽曲の本来の (3.2 節のビート時刻データから算出される) テンポに重みづけをして足し合わせて最終的なテンポが決定される。

#### 4.5 Phase vocoder による音響信号の伸縮

音響信号を指揮演奏システムで用いるにあたって、テンポの変化などによる楽曲の伸縮を再現する必要がある。音響信号を時間軸で引き伸ばしたり縮めたりすると、ピッチも変化する。この問題を回避するために Phase vocoder<sup>12)</sup> を用いることによってピッチを変化させずに音響信号の伸縮を行っている。

#### 4.6 楽曲の音量制御

楽曲の音量は、再生速度制御における拍点抽出位置情報を用いて、Wii リモコンの鉛直および水平方向加速度を用いて検出された拍点前後でのしきい値間の積分によって求められる面積によって決定する。また、楽曲に本来存在する音量変化を平滑化し、指揮動作によって描く図形の面積で一意に定まるようにした。

#### 4.7 フェルマータ検出および打楽器音抑制

Wii リモコンを水平状態で一定時間静止させた状態をフェルマータとする。再生速度が 100% を下回ったとき、宮本らの手法<sup>11)</sup> を用いて打楽器音を抑制する。現在の実装では、宮本らの手法を適用して打楽器音を抑制した音響信号をあらかじめ別で作成しておき、フェルマータ検出時に通常の音響信号と打楽器音を抑制した音響信号とでクロスフェードすることにより実現している。

#### 4.8 AiiM の実装

システムの実装には、Max/MSP・Jitter(Cycling'74) を使用した。本システムで Wii リモコンを使うにあたって、Max/MSP 上で Wii リモコンから送信されるデータを受信する必要があるため、Max/MSP の external object であ

る aka.wiiremote<sup>13)</sup> を用いて加速度データの受信を行なった。フェルマータ時における打楽器音の抑制はリアルタイムに処理するのではなく、あらかじめ処理したものをバッファに取り込む、それをフェルマータ状態と非フェルマータ状態とで通常出力用のバッファと切り替えて用いている。

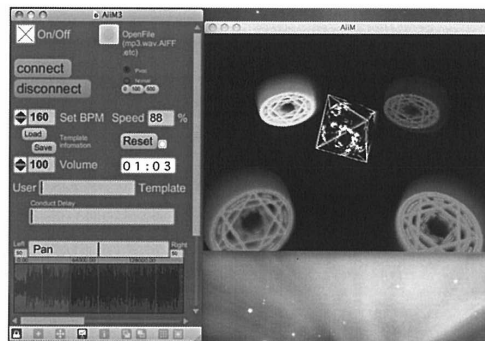


図 10 AiiM の GUI

## 5 検討

### 5.1 AiiM と WiiMusic との違い

入力装置の視点で見ると、ユーザが指揮演奏を実現するために入力装置として Wii リモコンを使用する点では全く同じである。一方、使用する楽曲の形式という点で見た場合、WiiMusic は楽譜情報、AiiM は音響信号を使っている点で異なる。楽譜情報は特殊な形式となっているため、一般的なユーザは新たな楽譜情報を持って来ることはできない。事実、WiiMusic における指揮演奏システムでは、あらかじめ用意された 5 曲のみしか選択することが出来ない。音響信号を対象としている AiiM はありふれた CD などそのまま楽曲として用いることができる。

### 5.2 音楽ゲームの展望

1996 年の音楽ゲームブーム以来、「リズムアクションゲーム」が音楽ゲームの代名詞となっていた。しかしながら、「リズムアクションゲーム」のスティックさがどんどんエスカレートする方向に向かってしまい、演奏する楽しみを手軽に味わうことができなくなった。そのため、コアなファン以外は「リズムアクションゲーム」に徐々に触れなくなっていき、音楽ゲームの間口が狭まってしまったといえる。このような状況の中で、一般ユー



ザに対する間口の広い音楽ゲームはどのようなスタンスを取っていくことになるのだろうか。取りうる一つのスタンスとして、聴くだけではない音楽の楽しみ方への広い入り口としての役割が考えられる。従来の音楽の楽しみは一部の演奏者を除いて演奏スキルがないと、聴くことでしか楽しめないというものであったが、音楽ゲームによって、演奏スキルが低くてもある程度の演奏表現が可能になった。具体的な例をあげると、「大合奏バンドブラザーズ」で創作した楽曲を動画共有サイトに投稿するという一連の流れは、従来の作曲から公開までの流れよりもはるかに敷居が低い。このように音楽ゲームから演奏表現の楽しさを得て、それを元にスキルアップするという道筋を示すことが出来るようになれば、音楽人口の増加に貢献できるようになる。

## 6 おわりに

本稿では、音楽ゲームの現在までの変遷を調査し、近年における音楽ゲームの動向について述べた。その上で音楽ゲームを含めた音楽の楽しさを形作る要素についてどのようなものがあるかをあげた。さらに、演奏表現をより簡単に実現できる拍打型演奏インタフェースに着目し、その中で指揮演奏システムの従来研究について述べた。さらに音響信号を用いた指揮演奏システムとしての問題点をあげ、その解決を目指して開発したAiiMの実装について述べた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって、打楽器音抑制に関する素材を提供して頂いた、角尾 衣未留氏、嵯峨山 茂樹教授(東京大)に感謝する。

## 参考文献

- 1) 片寄 晴弘, “音楽とエンタテインメント”, 日本バーチャルリアリティ学会誌第9巻1号2004年3月, pp.10-14.
- 2) Mathews, Max V. “The Radio Baton and Conductor Program, or: Pitch, the Most Important and Least Expressive Part of Music.” *Computer Music Journal*, xv/4 (1991) pp. 37-46.
- 3) 上田健太郎, 平井重行, 片寄晴弘, 井口征士, “Two Finger Pianoの改良”, インタラクシオン 2000 論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2000, No.4, (2000).
- 4) 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志, “Coloring-in Piano: 表情付けに専念できるピアノの提案”, 情報処理学会研究報告, Vol.2001, No.103, pp.69-74, (2001).
- 5) 宇佐 聡史, 持田 康典, “マルチモーダル指揮シミュレータ”, 日本ファジィ学会誌 Vol.10, No.4, pp.707-716 (1998).
- 6) Teresa Marrin Nakra. Synthesizing expressive music through the language of conducting. *Journal of New Music Research*, Vol. 31, No. 1, pp. 11-26, (2002).
- 7) 奥平 啓太, 片寄 晴弘, 橋田 光代, “音楽演奏インタフェース iFP : 演奏表情のリアルタイム操作とビジュアライゼーション”, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] Vol.2003, No.82, pp. 13-18, (2003).
- 8) WiiMusic  
<http://www.nintendo.co.jp/wii/r64j/index.html>  
(2008)
- 9) Kolesnik, P. and Wanderley, M. Recognition, “Analysis and Performance with Expressive Conducting Gestures”. In *Proceedings of the 2004 International Computer Music Conference (ICMC'2004)*, Miami, Fl., (2004).
- 10) 鈴木 健嗣, 金 尚泰, 小尾 正和, 橋本 周司, “音楽音響と映像信号を対象としたジェスチャによる指揮システム”, インタラクシオン 2007, (2007).
- 11) 宮本 賢一, 亀岡 弘和, 小野 順貴, 嵯峨山 茂樹, “スペクトログラムの滑らかさの異方性に基づく調波音・打楽器音の分離”, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 2-5-8, Mar. 2008, (2008).
- 12) Mark Dolson, “The Phase Vocoder: A Tutorial”, *Computer Music Journal*, Vol.10, No.4, pp.14-27, (1986).
- 13) aka.objects  
<http://www.iamas.ac.jp/~aka/max/>