

# オーケストラ指揮におけるリハーサルの 過程に焦点を当てた指揮システム “VirtualPhilharmony”

馬場隆<sup>†</sup> 橋田光代<sup>††</sup> 片寄晴弘<sup>†</sup>

指揮システム“VirtualPhilharmony”は、実際にオーケストラを指揮する感覚に焦点を当てた指揮システムである。指揮経験者が有する、オーケストラ指揮に関するヒューリスティクスを導入することにより、従来のシステムでは得られなかった指揮感覚がプレイヤーに提供される。ヒューリスティックに構築されたオーケストラの演奏モデルとプレイヤー(指揮者)とのインタラクションにより、演奏を生成する。演奏は本番モードとリハーサルモードからなる。リハーサルによって指揮者とオーケストラとのコミュニケーションを図ることにより、よりプレイヤーの意図に即した演奏を提供する。

## “VirtualPhilharmony”:

### A conducting system focused on a process of a rehearsal in conducting an orchestra

Takashi Baba<sup>†</sup> Mitsuyo Hashida<sup>††</sup>  
and Haruhiro Katayose<sup>†</sup>

“VirtualPhilharmony” (V.P.) is a conducting system focused on a sensation of conducting a real orchestra. The sensation that previous conducting systems did not have is provided by incorporating heuristics about a conducting an orchestra. A performance is generated by interaction between the player (conductor) and the orchestra's performance model constructed heuristically. The performance consists of a public mode and a rehearsal mode. V.P. provides the player with a better performance based on his/her musical intentions because he/she and the orchestra communicate with each other by several rehearsals.

## 1. はじめに

オーケストラの指揮をシミュレートする指揮システムは、1980年代後半より、計算機音楽領域の作曲家や技術者らによって開発が行われてきた[1][2][3][4]。また、近年のジェスチャセンサの普及に伴い、一般向け指揮ゲームも登場し始めている[5]。

指揮システムの基本構造は、センサにより指揮動作から拍点(極小点)を抽出し、拍点より算出したテンポから次の拍のテンポを予測し、この予測テンポを基に音楽データ(テンプレート)の時間的配置(スケジューリング)を行うことで、指揮動作への楽曲の追従を実現する、というものである。従来の指揮システムは、この中で指揮動作のセンシング[2]、音響波形データの利用[3]などの工学的実現に焦点を当てて研究がなされてきた。しかし、その指揮動作に従ってどのように予測スケジューラを設計するかという点について、音楽的立場から詳細に研究された事例は、iFP[4]など、ごく一部に限られている。また、一般向けの指揮ゲーム[5]では、システム設計において、予測制御機構の単純化、想定外のセンサ情報に対するフェイルセーフ的処理などが行われた結果、誰でも簡単に指揮できる一方で、細かい制御ができなくなるという問題がある。

筆者は、「オーケストラを指揮する感覚」に焦点を当てた本物志向の指揮システム“VirtualPhilharmony”(以下 V.P.)の開発を進めている。指揮者とオーケストラのインタラクションによって演奏が生成されるという、実際の指揮と同じ機構を、指揮経験者である著者が持つオーケストラ指揮に関するヒューリスティクスを導入することで再現し、これにより従来の指揮システムでは得られなかった指揮感覚の提供を目指す。従来研究では軽視されがちであった予測スケジューラを徹底的に見直すとともに、実録音の解析結果に基づくパラメータ設定、指揮の専門家によるチューニング等を行う。また、従来の指揮システムには本番演奏しか存在しなかったが、V.P.ではリハーサルモードを搭載し、事前の練習時における指揮者とオーケストラとのコミュニケーションを再現することで、プレイヤーの演奏意図をより反映したオーケストラを実現した。

本物の指揮のエッセンスを取り入れた V.P.は、初等音楽教育や音楽療法など、様々な分野への応用や、ハイエンドの指揮ゲームへの転用も可能である。また、指揮の訓練などの専門分野への活用をも視野に入れている。

## 2. 関連研究と V.P.の狙い

### 2.1 関連研究

Radio Baton (Mathews, M., 1982)[1]は、指揮システムの先駆研究の一つである。これ

<sup>†</sup> 関西学院大学  
Kwansei Gakuin University  
<sup>††</sup> 相愛大学  
Soai University

は、両手に持ったバトンを平面センサ上で滑らしたり叩いたりすることで MIDI のコントロール信号を制御する演奏インタフェースである。プレイヤーは片方のバトンで拍打を与えつつ、もう片方のバトンで音高・音色を変化させて音楽の演奏を行う。このシステム自体は音楽演奏を目的としており、指揮の模倣を目的とはしていないものの、拍打によって楽曲のテンポを制御するという行為は結果的に指揮と同義である。

Conducting Simulator (宇佐ら, 1998)[2]では、隠れマルコフモデル(HMM)を用いることで、指揮動作の詳細な認知を実現している。拍点抽出の他、拍子や *staccato*(音を短く切る)や *espressivo*(表情豊かに)などのアーティキュレーション、ダイナミクス(強弱やアクセント)などを HMM により検出する他、指揮者の視線や呼吸にも言及している。

Personal Orchestra (Borchers ら, 1998)[3]は音響信号を対象とした指揮システムである。フェーズボコーダの技術を用いることで、ピッチの変化を抑えた音響信号の時間伸縮を実現している。演奏と同期して実写映像も伸縮するため、臨場感は非常に高い。

iFP (奥平ら, 2004)[4]は、ピアノの名演奏をデータ化した演奏表情テンプレート(以下テンプレート)を用い、打鍵や手振りなどの単純動作によって、ピアノ演奏を自在に表現しようという拍打型演奏インタフェースである。テンプレートには各音符の、楽譜に対する逸脱情報(音長・音量・テンポが楽譜からどれだけずれているか)が含まれており、これが音楽の表情を表している。このテンプレートを使用することにより、iFP では、実演のリアルな表現が演奏に加味することができた。また、テンポ・拍音量・拍内表情の3つに対して、テンプレート側・プレイヤー側双方の重みを設定することで、プレイヤーの意図がどの程度演奏に反映されるかを決定することができ、これにより、テンプレート(名演奏)とプレイヤーとの演奏上の駆け引きを行うことが可能となった。V.P.においてもテンプレートを導入し、演奏上の駆け引きを取り入れる。

Wii Music (任天堂, 2008)[5]は、家庭用ゲーム機 Wii 用ソフトウェアである。リモコン内蔵の加速度センサにより拍点検出と音量制御が行われ、さらに CG アニメ映像が指揮動作に連動する。簡単に操作できる一方、微細な音楽表現はできない。

## 2.2 指揮者とオーケストラの関係と V.P.の狙い

実際の指揮においては、指揮者はオーケストラと対峙している。オーケストラとは、それぞれ固有の音楽観を持った音楽家の集団であり、彼らの頭の中には、彼らの音楽性に基づく演奏モデルが形成されている。彼らは、指揮者が提示する音楽と演奏モデル、さらには楽譜などを総合的に参照しながら演奏を行う。その際、オーケストラは指揮者に完全に従うわけではなく、両者のインタラクションによって相補的に演奏が生成される。したがって、実際の指揮演奏を模倣するためには、指揮者とオーケストラ、双方の視点に立って指揮システムを設計する必要がある。中でもオーケストラ団員の頭の中にある演奏モデルの再現が必須である。

従来の指揮システムには、このオーケストラの演奏モデルという概念がなかったため、音楽が 100%プレイヤーに追随する、というものが殆どであった。iFP の場合は、前

述のように両者の駆け引きを再現していたが、演奏モデルにまでは言及していない。

実録音データは指揮者とオーケストラとのインタラクションの結果を収録したものであるから、その中にはオーケストラ側の意図、即ち演奏モデルが内在している。そこで、事前の実録音データに対して様々な分析にかけることで演奏モデルを一部抽出し、それを基にオーケストラ側の視点をヒューリスティックに再現し、指揮者とオーケストラとのインタラクションを実現する。この時にもたらされるインタラクション感こそが、「オーケストラを指揮する感覚」である、と本研究では定義する。

実際のオーケストラ演奏の場合には、インタラクションの補佐役としてコンサートマスター(首席第 1 バイオリン奏者)が指揮者とオーケストラの間を取り持っていることから、V.P.ではこの相補的演奏生成構造、中でも特にテンポに関わる部分をコンサートマスター機能(以下コンマス機能)と名付けた。

指揮者とオーケストラは演奏本番において初めて相対するわけではない。事前の練習時に、彼らは細かな演奏表現や演出を確認し合う。指揮者は、練習のさらに以前に、総譜に様々な指示を書き込み、練習時にそれを口頭で、或いは手振りでオーケストラに伝える。一方オーケストラ側も、指揮者の演奏意図を口頭で質問する。こうしたコミュニケーションにより、指揮者とオーケストラは一体となる[6]。従って、指揮システムにおいても、プレイヤーの演奏意図を汲み取り、それを本番演奏に反映させるような、練習モードの実装が必要である。V.P.ではこれをリハーサルモードと名付けた。

V.P.の狙いは、これら諸機能を実装することで、プレイヤーに本物の指揮感覚を提供することである。

## 3. コンマス機能、リハーサルモード

### 3.1 コンマス機能

コンマス機能は、オーケストラ指揮に関するヒューリスティクスや筆者の音楽感を基に、以下の7つの機能より構成される。

#### 3.1.1 次拍テンポ予測

オーケストラは演奏の際、指揮者の動きを見つつ、次の拍を常に予測している。従来の指揮システムでは、これに基づき拍単位でテンポを算出し、過去のテンポ履歴を基に移動平均や線形予測などを用いて次拍のテンポの予測を行ってきた。その際、予測係数や予測次数は常に固定であった。しかし、予測する拍のテンポが過去のどの拍の影響を強く受けているかは、楽曲の曲種や拍子等によって異なることが経験的に分かっているため、この方式では、シンプルに処理を構成できるという長所はあるものの、その前提は演奏家の音楽感にそぐうものではない。そこで、予測拍に対する過去の影響力を実録音の分析によって算出し、それぞれの楽曲に最も適したパラメータ(予測係数・予測次数)を個別に用意する必要がある。これによりオーケストラが曲種や拍子に

よってどのように次の拍を予測するのか、それについての演奏モデルを抽出する。

### 3.1.2 演奏表情テンプレートの補正

iFP では、前述のようにプレイヤーとテンプレート、双方の重みを調節することで、両者の駆け引きを体験することが可能であった。しかし、テンプレート自体は静的であったために、テンポの変化に対する柔軟性に欠き、特にプレイヤーの提示するテンポとテンプレートのテンポとの乖離が大きい場合に、プレイヤーにストレスを与えるという課題があった。そこで、プレイヤーのテンポによってテンプレートが逐次補正されるような、動的テンプレートを設計する必要がある。動的テンプレートは拍単位でのテンポ補正のみならず、特徴的なリズムパターンの演奏法等、音符単位の補正も併せて行う。これらは演奏モデルの一種であるから、実録音の分析を基に補正式を求める。

### 3.1.3 重み付け

iFP 同様、V.P.においても指揮者とオーケストラのインタラクション(駆け引き)の度合いを調整できるようにする。プレイヤー側の重みを上げればオーケストラは指揮者に追従し、逆にすればオーケストラは指揮者を無視し始める。指揮者とオーケストラの相性が、ここで決定される。ただし、無視とは言ってもテンプレートの補正は行われるので、iFP のようなストレスは生じない。

### 3.1.4 指揮動作の極大点を利用した予測拍補正

急な *ritardando* をかけた場合、予測が間に合わずに次の拍が先に出てしまうという現象が生じる。ここで、指揮動作の基本は放物線運動であるため、指揮動作の極大点は前後の拍点の時間的中間点に位置しており、さらにそれは *ritardando* 時も指揮動作の放物線運動が崩れることはない。そこで、指揮動作における極大点をセンサデバイスを用いて検出し、予測の補正に使用する。

### 3.1.5 急激なテンポ変化への対応

プレイヤーが急激にテンポを変えた場合には、曲想が変化(例 *Adagio*(遅く)から *Allegro*(速く)へ移行)している可能性が高く、そのような時に過去のテンポ履歴を基に次拍のテンポ予測を行ったのでは、テンポ変化前の値に引きずられる恐れがあるから、この場合は過去のテンポ履歴を抹消し、予測に過去の影響が入らないようにすべきである。この時テンプレートのテンポがプレイヤーのテンポと同じ動きをしているか否かで対応を変える必要がある。同じ動きをしている場合は速やかに新たなテンポへと変える必要があるが、プレイヤーの独断による場合(テンプレートは変化なし)はオーケストラの戸惑いを表現する意味で、移行は徐々に行った方が自然である。

### 3.1.6 拍内テンポ変化への対応

テンポの推移は実際には拍単位の離散的变化ではなく連続的に変化する。そこで積分型のスケジューラを構築し、連続的变化に対応する。ただし、正確な連続関数の導出は困難であるので、これを一次近似することで拍内テンポ変化を擬似的に再現する。

### 3.1.7 演奏の指揮動作に対する遅延の調整

実際の演奏において、音楽はしばしば指揮動作の拍点よりも遅れる。この遅延は、テンポによって変動し、一般に緩やかなテンポの場合に時差は長くなり、急速な場合に短くなる。これを踏まえ、遅延パラメータをヒューリスティックに設定する。

## 3.2 リハーサルモード

V.P.におけるリハーサルモードは、練習の前段階におけるプレイヤーによる楽譜への書き込み、練習段階におけるプレイヤーの演奏意図の反映の2つからなる。

### 3.2.1 楽譜への書き込み

実際の指揮者は、オーケストラとの練習の前に、演奏する楽曲の楽譜に様々な指示を書き込む。練習時にはそれを参考にしながら口頭或いは身振りでオーケストラに演奏意図を伝える。例えば *ritardando* などを行う場合、指揮者は途中から拍を分割し、倍拍で振ることがある。一方、場所によっては、通常振るべき部分を振らずに省略してしまうこともある(図1)。これらは事前に指揮者が楽譜に書き込むことも多い。

V.P.では、拍の分割や省略を事前にプレイヤーが楽譜に書き込むことができるようにした。この背景として、iFP における拍の分割は、予測テンポの半分程度の時間で次の拍が振られた際には、その点を次の拍とせず、現在の拍の裏拍とすることで実現されていたのだが、これは急激なテンポ変化に対応できない(テンポを急に倍にできない)という欠点を有していた。V.P.では、拍の分割・省略をプレイヤーが個別に設定することで、この欠点を改善する。

### 3.2.2 プレイヤーの演奏意図の反映

実際の演奏では、本番の前にリハーサルがあり、そこで何度か通し練習を行う中で、指揮者の演奏意図がオーケストラへと伝わる。口頭による指示も行われるが、通し練習による意思の疎通がリハーサルにおける最重要要素である。V.P.では、演奏を何度も繰り返すことにより、徐々にプレイヤーの演奏意図や癖をテンプレートに反映させる。

## 4. V.P.の実装

V.P.の概要を図2に示す。V.P.はCycling'74社のMax/MSP/Jitter上で実装されている。以下、ジェスチャセンシングデバイス、演奏表情テンプレート、コンマス機能、リハーサルモード、の4つの部分について説明する。

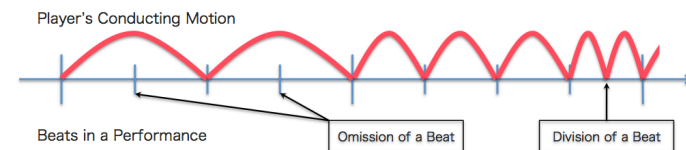


図1 拍の分割と省略

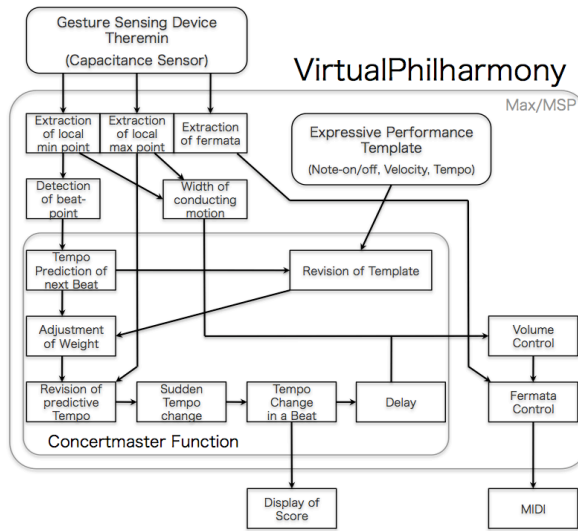


図 2 V.P.の概要

#### 4.1 ジェスチャセンシングデバイス

V.P.では、センサにテルミン(moog社製 Etherwave Theremin)を用いる。テルミンは腕とアンテナの間の静電容量の変化によって、出力正弦波の周波数(音高)や振幅(音量)を制御する電子楽器である。V.P.ではこれを測距センサとして利用し、指揮動作の極小・極大点を検出、それらから拍点検出(極小点)、予測拍補正(極大点)、音量制御(振り幅)、フェルマータ検知(一定時間静止)を行う。

テルミンをセンサとして用いた理由は、時間分解能、空間分解能における優位性に拠るものである。従来の指揮システムで使用されていた各センサに比べ、テルミンは時間分解能が高い。Wiiリモコンの10[ms]に対し、テルミンでは5[ms]である。これにより正確な拍点の認識が可能となる。また、加速度センサを用いた場合、回転情報に対する誤反応により、拍の誤検知や検知ミスが多くなるという欠点があり、この点で測距センサの方が優位である。測距センサの欠点として場所の制約があるが、V.P.で使用しているテルミンは計測範囲が広く(アンテナの上下70[cm])、ストレスは少ない。

#### 4.2 演奏表情テンプレート

楽譜に記述された各音符の演奏の際の逸脱度を、楽譜情報を表す MusicXML と、楽譜からの逸脱を表す DeviationInstanceXML によって記述する。逸脱情報は、各音における発音時刻・消音時刻のずれとダイナミクス、拍単位でのテンポ変化の4種である。テンプレートは、既存の生演奏の録音データから聴取作業によって逸脱情報を抽出し

た名演奏テンプレートと、Jitter を用いて実装されたエディタを使って自分で表情を付けた自作テンプレートの2つがある。

名演奏テンプレートに使用する実録音データは、1曲につき1~10種類を用意し、それぞれの録音から逸脱情報を抽出した個性演奏テンプレートと、すべての音の逸脱情報の平均をとった平均演奏テンプレートを用意する。個性演奏テンプレートを使用した場合、プレイヤーは、例えばカラヤン&ベルリン・フィルの演奏を指揮することができる。他方、平均演奏テンプレートを使用した場合、テンプレートの個性は消えているので、プレイヤーは素直に自分の個性を表出することができる。V.P.では、個性演奏テンプレートと平均演奏テンプレートとのモーフィング機能も実装されており、プレイヤーは、音長(発音・消音)、音量、テンポの3つのパラメータについて、それぞれ個別にの間を連続的にモーフィングを行うことができる。

自作テンプレートを作成するエディタは、Rencon 2011 のために実装したもので、現在は1トラック限定である。MusicXMLを読み込み、ピアノロール画面においてプレイヤーが楽曲の逸脱情報を自由に変更できる。マウスを用いて一音一音(或いは範囲指定)を操作できる他、楽譜にある各種音楽記号(強弱記号、速度記号、アーティキュレーション、アルペジオなど)のルールベースでの転写、メロディのみ、バスのみといった声部指定なども可能である。

#### 4.3 コンマス機能

ここではコンマス機能の7機能のうち、1)次拍テンポ予測、2)演奏表情テンプレートの補正について、実装法を述べる。

##### 4.3.1 次拍テンポ予測

次拍のテンポ予測には線形予測を用いる。予測テンポと観測テンポの二乗平均誤差平方根が最小となるように、予測次数(何拍前まで参照するか=LPC次数)と予測係数(各参照テンポの重み=LPC係数)を、曲種ごと拍子ごとに導出する。導出のための実録音分析は、ウィンナワルツ、*espressivo*(表情豊かに)の楽曲、アウフタクト(弱起)のフレーズを持つ楽曲、行進曲の4種について実施した。以下 *espressivo* の例を紹介する。

*espressivo* の楽曲においては、各拍のテンポは一定ではなく、激しいテンポの揺れとともに奏されることが多いため、一般に次拍の予測が困難である。分析使用楽曲は Tchaikovsky P.I.作曲の交響曲第6番『悲愴』第1楽章第2主題である。図3-1は予測拍が第1拍~第4拍の時のLPC次数  $N$  とLPC係数  $a_k$  の関係、図3-2は予測拍が第1拍~第4拍の時のLPC次数  $N$  と予測残差の関係を表している。図3-1からは、偶数拍前のLPC係数が高いことが確認できる。これは、4拍子は1拍目と3拍目が強拍であるということが影響している。これらを基に最適な  $N$  と  $a_k$  を求めた。

##### 4.3.2 演奏表情テンプレートの補正

###### a. 拍単位でのテンプレートテンポの補正

各小節の最終拍に至った時点で、次拍(次の小節の1拍目)の予測テンポ(指揮者側)

と、同じく次拍のテンプレートテンポとを見比べ、以降のテンプレートテンポを予測テンポに応じてすべて補正する。

**b. 付点リズムの補正**

付点のリズムパターンは、記譜通り演奏すれば演奏時間の比が 3:1 となる。しかし、この比は全体のテンポの影響も受けており、特に全体のテンポが速くなった時、比は 2:1 に近づくことが経験的に分かっている。V.P.では、実録音の分析に基づいて補正式を導出し、これを用いて予測テンポに応じてテンプレートの付点リズムの補正をリアルタイムに行う。ただし、補正されるのは付点のリズムを奏する部分のみである。

分析にはテンポの速い楽曲と遅い楽曲を用いる。速い楽曲は Shostakovich D.作曲交響曲第 11 番『1905 年』第 4 楽章第 1 主題(6~17 小節)、遅い楽曲は Dvorak A.作曲『ユモレスク』の主要主題(1~8 小節)である。それぞれの楽曲について、付点リズムにおける各音の所要時間を聴取作業により取得し、テンポとの関連性を調べる。

各拍の所要時間を  $t_4, t_5$ [ms], 1 拍の所要時間を  $t_D (= t_4+t_5)$ [ms]とする。また、1 小拍のテンポを  $x_D (=60000 / t_D)$ [BPM]とする。この時、長音の拍内における時間比率  $t_4/t_D$  とテンポ  $x_D$  の関係を示したのが図 3-3(ユモレスク),3-4(1905 年)である。テンポが速い楽曲においては、最小二乗近似により長音についての回帰式  $L_D$  を得た。

$$L_D = y_D = -0.0007x_D + 0.8183$$

この式は、テンポが速くなるほど付点リズム( $t_4/t_D=0.75$ )が 3 連符( $t_4/t_D=0.66$ )のように演奏されることを示している。一方、テンポが遅い楽曲においては、「溜め」を始め様々な音楽表現を付加することが可能であり、故に分散が大きくなる。この場合は記譜通り  $y_D=0.75$  で固定化する。V.P.では、次拍の予測テンポを回帰式  $L_D$  に従い、テンプレートの各音の発音位置が補正される。

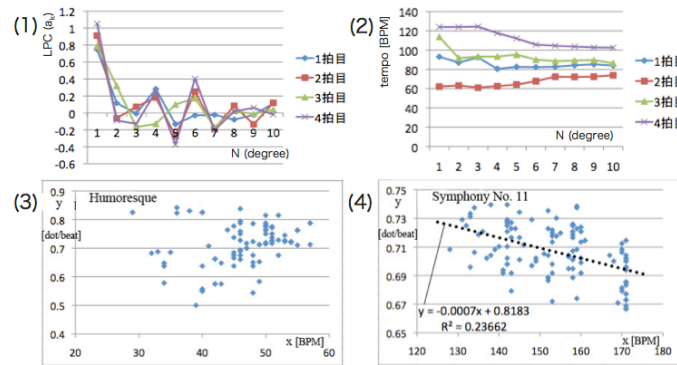


図 3 次拍テンポ予測と付点のリズム補正に関する分析結果

**4.4 リハーサルモード**

**4.4.1 楽譜への書き込み**

画面上に表示された楽譜に、プレイヤーはペンを使って分割したい拍に赤色の印を付ける。分割は 2 拍子系ならばデフォルトで 2 分割, 3 拍子系ならば 3 分割であるが、さらに細かく指定することもできる。これにより指定箇所のみ拍の分割を行う。また、省略したい拍に青色の印を付ける。これにより指定箇所のみ拍の省略を行う。

**4.4.2 プレイヤの演奏意図の反映**

演奏が終わるたびに、演奏結果における各音符の逸脱情報を取得し、既存のテンプレートの逸脱情報との平均値を新たなテンプレートの逸脱情報として更新する。これにより、演奏を繰り返すごとに、テンプレートはプレイヤーの意図するものへと近づく。

**5. 評価と考察**

V.P.の狙いはオーケストラを指揮する感覚の提供である。指揮者とオーケストラとのインタラクションによる指揮を実現するためにコンマス機能を実装した。このコンマス機能及び V.P.全体について、コンマス機能の 7 機能の定量的評価、指揮の専門家による V.P.全体の評価、諸学会における一般の評価の 3 通りの評価を行う。

**5.1 コンマス 7 機能の定量的評価**

コンマス 7 機能については、定量的評価が可能なものに関しては、各機能オンにした時とオフにした時とで比較し、定量的評価を行う。以下、例として次拍テンポ予測についての評価を述べる。

予測精度を評価するために、次拍予測テンポ(極大点による補正や重み付けは行わない)と実際の指揮動作における次拍テンポとの予測誤差  $e = |P_{n+1} - T_{n+1}|$ [ms]を、機能をオンにした時とオフにした時とで比較する。使用曲は Brahms J.作曲交響曲第 1 番第 4 楽章第 1 主題である。4 分の 4 拍子, 4 小節の 16 拍を、予測機能オンの状態で 5 回、オフの状態でも 5 回振った時の、各拍における予測誤差  $e$  を図 4-a に示す。さらにオンオフ時における計 80 拍の予測誤差  $e$  の平均と標準偏差を図 4-b に示す。また、オンの時の値とオフの時の値に対して t 検定を実施したところ、 $p < 0.001$ であった。これにより、予測機能がオンの時、予測誤差が減少し、予測精度が上がることを実証された。

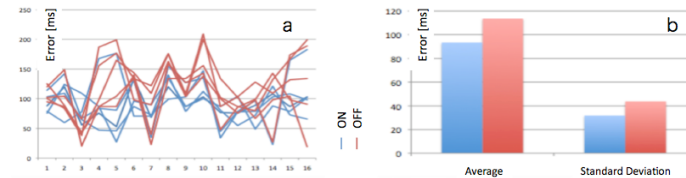


図 4 次拍テンポ予測機能の定量的評価

## 5.2 指揮の専門家による V.P.全体の主観的評価

V.P.全体に関しては定量的評価が不可能であるので、指揮の専門家に実際に V.P.を使用してもらうことで、V.P.の指揮感覚が本物と同じものであるか、コンマス機能が指揮感覚の提供に役に立っているかどうかについて、評価を行う。

保科洋氏(作曲家・指揮者)にコンマス機能がオンの状態とオフの状態(iFPと同じ)で試演してもらったところ、オンの場合の方が実際の指揮に近い感覚を得られるとのコメントを得た。また、センサから得る情報が拍点(指揮動作の極小点)だけでは不足であるとの指摘を受けた。コンマス機能の1つである指揮動作の極大点を利用した予測拍補正はこの指摘を基に実装したものであり、これにより予測誤差の軽減を達成した。

湯浅勇治氏(ウイーン国立音楽大学指揮科助教授)の指揮セミナーに参加し、湯浅氏、大河内雅彦氏(指揮者)をはじめ10数名の受講生の方々に評価を依頼した。指揮者とオーケストラのインタラクションと言っても、指揮者としてはやはり振りに対してセンシティブに反応しなければ指揮とは言えない、との厳しい評価をいただいた。その上で、指揮者とオーケストラのインタラクションによる指揮という構造自体は実際の同じであり、その点は高い評価を得た。さらに、手の僅かな動きによって音の微妙なニュアンスの違いを出す必要があるとの指摘を受けた。センサを複数組み合わせることにより、音量や音色のエンベロープを操作できるよう、今後改良を加える予定である。

## 5.3 諸学会における一般の評価

V.P.は、これまでに Rencon 2010 においてレンダリング賞を、ACE 2010 では Creative Showcase 部門の銀賞を受賞している。また、国内外の諸学会における口頭発表やデモ展示を通じ、数千人が V.P.を体験し、概ね好評を得ている。デモ展示の際に実施したアンケートでは、様々な意見が寄せられている。多かった回答として、以下に2つ挙げる。1つ目は CG キャラクターを指揮の動きに同期させるといった、ゲーム性の追求である。しかし、筆者は楽譜の表示こそ指揮者にとって最も必要な視覚的要素であると考えており、ゲーム性の追求は本研究とは方向性が異なる。もう1つは操作が難しいということである。V.P.は専門性を追求した結果、市販の指揮ゲームに比べて操作がやや難しくなっているのであるが、操作が難しいところがかえって本物らしくて良い、との意見もあり、ハイエンドの指揮ゲームのニーズの高さが確認された。

デモ展示の短所としては、長期使用が困難なことが挙げられる。デモ会場では、体験者は限られた時間の中で一期一会的な演奏しかできず、またテンプレートの細かい内容も知らないため、オーケストラとの駆け引きや、リハーサルモードによるプレイヤ意図の反映にまで気が回らないのである。しかし、演奏・教育・医療・ゲームといった、V.P.が本来目指している用途においては、むしろ長期使用こそ重要である。

## 5.4 考察と今後の展望

V.P.の最大の意義は、オーケストラの演奏モデルを再現し、演奏における指揮者と演奏モデルとのインタラクションという実際と同じ構造を再現したことにある。本稿

ではその一環として、オーケストラ式に関するヒューリスティクスに基づいて設計されたコンマス機能とリハーサルモードを取り上げた。これらにより「生きたオーケストラ」が指揮システムの中に組み込まれ、より本物に近い指揮を可能にした。しかし、ヒューリスティクスを用いたボトムアップ的な手法には限界があり、あらゆる状況に対応できる汎用性は得られないという欠点がある。

今後の展望として、HMM などの数学モデルを利用したトップダウン的な演奏モデル[7]を構築する必要がある。さらにはパラメータを無限化(NPB=ノンパラメトリックベイズの利用)することで、より包括的な演奏モデルの構築を目指す。一方で、指揮の専門家との連携を密にし、今まで以上に指揮のヒューリスティクスを導入する。これら、数学モデルを用いたトップダウン的手法と、ヒューリスティックモデルを用いたボトムアップ的手法とを統合する形で、最終的なオーケストラ演奏モデルを構築する。

## 6. まとめ

本稿では、オーケストラを指揮する感覚に焦点を当てた指揮システム V.P.の提案を行った。指揮感覚の提供のために指揮者とオーケストラとのインタラクションの再現を目指し、オーケストラ指揮のヒューリスティクスを盛り込んだコンマス機能やリハーサルモードを実装した。評価については、コンマス機能の7機能の定量的評価、V.P.全体の指揮の専門家による主観的評価、諸学会における一般の評価の3つを行い、それぞれについて高評価を得た。

今後も引き続き、様々な角度から V.P.の開発を行う予定である。そして、V.P.を外部へ持ち出すことも検討している。初等音楽教育や音楽療法、そして最終的には指揮の訓練へと、様々な分野への応用を検討している。

## 参考文献

- 1) Review of research in Computers and Music. ICMA Video Review, Vol. 1, 1991 (90 minutes).
- 2) Usa S., Mochida Y.: "A Multi-modal Conducting Simulator", In Proc. Int., Computer Music Conf. (ICMC'98), pp.25-32 (1998).
- 3) Borchers, J., Lee, E., Samming, W. and M?hlh?user, M. "Personal Orchestra: A real-time audio/video system for interactive conducting." ACM Multimedia Systems Journal Special Issue on Multimedia Software Engineering, 9(5): pp.458-465, (2004).
- 4) Katayose H., Okudaira K.: "iFP A Music Interface Using an Expressive Performance Template", Entertainment Computing 2004, Lecture Notes of Computer Science, Vol. 3166, pp.529-540 Springer (2004).
- 5) Wii Music (Nintendo) <http://www.nintendo.co.jp/wii/r64j/>
- 6) Vercoe, B., Puckette, M.: "Synthetic Rehearsal: Training the Synthetic", ICMC '85 Proceedings, pp.275-278, (1985).
- 7) 武田晴登: 音楽演奏の確率モデルに基づく自動採譜と自動伴奏に関する研究 PhD thesis, (2007).