

## 離散的情報と連続的情報の分離による音楽演奏表現の支援\*

5B-04

西本一志†

大島千佳 宮川洋平 白崎隆史‡

北陸先端科学技術大学院大学§

北陸先端科学技術大学院大学§

科技団 さきがけ研究 21 「情報と知」領域¶

## 要旨

音楽演奏は、離散的情報である音高および音価と、連続的情報である音の強弱や時間的変動などで構成され、それらすべてを有機的に統合することによりまとまった演奏表現が形成される。通常の楽器などではこの両者を同時制御するが、本稿では、これらを分離制御することにより、音楽演奏表現を容易にする手法について議論する。

## 1. はじめに

音楽は、代表的な時間軸上の再現芸術である。楽曲は、指定された順序に従って多数の「音」が逐次発音されることによって構成される。個々の音は、音色、音高、音の発音時間(以下、音長と呼ぶ)、音の強弱(以下、音強と呼ぶ)を属性として持つ。楽譜は、これらの音の属性と音の演奏順序を指定したスクリプトであり(音色については楽器の割り当てによって指定している)、演奏者は基本的にこのスクリプトに従って指定された音を順次発音し、楽曲を実際の音として再現する。

本来これらの属性は、すべて連続的な値をとる。ただし音色については、個々の楽器の出せる音色が楽器の物理的特性に依存してそもそも離散的であったため、実際に連続的に音色を変化させることは、近年のシンセサイザーの実用化や Sound Morphing [1] の技術などによってようやく可能となった。一方、残る三つの属性については、太古の昔はすべて連続的に扱われていたかもしれないが、音楽の歴史の中で音高と音長の二つについては離散化(ないしは量子化)が行われてきた。

西洋音楽では、音高については、基本的に C, C#,

D, ..., A, A#, B の 12 種類の周波数の音のみを用いるように離散化された<sup>1</sup>。また音長については、四拍分の長さを全音符一つで表現し、これを順に半分の長さに分割した長さ(二分音符, 四分音符, など)を基本とし、複雑な長さの音もこれらの基本的な音長(これを「音価」と呼ぶ)の組み合わせで表現するようにした。このような離散化によって、作曲家は「楽曲の骨格」を比較的容易かつ正確に楽譜として記述することが可能となった。特にクラシック音楽などの場合、演奏者はこの楽譜に記述された骨格を忠実に再現することが求められる。

しかしながら、音楽を音楽らしくするために重要な「表情付け」については、その多様さと曖昧さゆえに量子化が難しく記述困難である。19 世紀以降、いわゆる発想記号や発想標語によって表情付けの指定がなされるようになったが、それを実際にどう演奏するかは、きわめて不確定的である。もともと単純そうな音強について見ても、*p* (ピアノ: 弱く) や *ff* (フォルテシモ: 非常に強く) などの記号によって一見量子化されているかに思えるが、たとえば同じ *p* の記号が使われていても、そこで発音すべき音の音量に絶対的基準はない。あくまで「相対的に小さな音」で演奏することが指定されているにすぎない。また、クレッシェンドなどについても、音強の単位時間(あるいは単位拍)あたりの増分は具体的に定められてはいない。さらに、たとえば *maestoso*<sup>2</sup> などの発想標語による、より高度で複雑な表情指定になると、複数の属性を同時に有機的に関連付けながら制御する必要があり、具体的にどうすればいいかを説明することすら困難である。

また、記譜上では離散化されている音価や音高も、実際の演奏においては基準値を中心としつつも微妙に揺れ動く。たとえば、音価の変動により連続する 2

\* Supporting expressions in musical performances by dividing discrete attributes and indiscrete attributes.

† Kazushi Nishimoto

‡ Chika Oshima, Yohei Miyagawa, Takashi Shirosaki

§ Japan Advanced Institute of Science and Technology

¶ PRESTO, JST

<sup>1</sup> これに加えて、オクターブの概念によって周波数領域の区分も行われている。

<sup>2</sup> 「荘厳に」という意味のイタリア語。

音の間に無音の空隙が生じたり、逆に連続する2音が一部重畳したりする。また、音高の変動は、ビブラートなどの表情付けを生み出す。さらに、楽曲全体のテンポも一定ではなく、常に変動する。この結果、同じ音価を持つ音に対して割り当てられる実際の奏鳴時間が変動する。

結局、このような属性値の連続的な変動によって、いわゆる「音楽らしさ」が醸し出される。また、演奏者個々の個性も、これらの要素をどのように変動させるかによって表出される。すなわち、ある楽曲のアイデンティティは離散的に記述された骨格によって表現される一方、個々の演奏家ならではの演奏表現は、連続的な値の変動による表情付けで表現されることになる。つまり極言すれば、作曲家の第一義的な音楽行為は離散的な属性によって楽曲の骨格を構築することにあり、演奏家の第一義的な音楽行為は、連続的な属性値の制御によって、楽曲の骨格に独自の演奏表現を付加することにあると言えるだろう。

楽曲の骨格は必ず遵守されなければならないものであるため、演奏家が違っても基本的に差は生じないし、差があってはならない。したがって、楽曲の骨格の再現には演奏家の個性は発揮されえない。しかしながら、現在一般に利用されている(伝統的)楽器では、演奏表現を行うに先立って、楽曲の骨格の再現のための操作を避けて通れない。このため、演奏家にとって第一義的な音楽行為であるはずの演奏表現に直接的に取り組むことができないという問題が生じる。これは、楽器演奏を始めたばかりの初心者にとっては非常に大きな障壁となり、演奏表現に到る以前の段階でとどまることを余儀なくされる。また、熟達者においても、特に難曲を演奏する際には、骨格再現のための認知的負荷は無視できないものとなると思われる。

そこで本稿では、楽曲の骨格にあたる情報、換言すれば離散的な属性値を楽器の中に埋め込んでしまうことにより、演奏者が表情付けに直接取り組むことを可能とする楽器、換言すれば連続的な属性値の制御に直接取り組むことを可能とする楽器を提案する。さらに、この考え方に基づき構築したプロトタイプシステムとその2種類の応用例について示すとともに、それらを用いた被験者実験に基づき、この考え方の有効性を検討する。

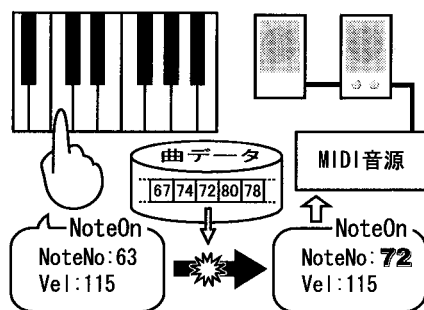


図1 Coloring-in Pianoの構成

## 2. プロトタイプシステム: Coloring-in Piano

前節で述べた考え方に基づき、Coloring-in Piano (CiP)と呼ぶプロトタイプシステムを構築した[2]。図1にCiPの構成を示す。実験で使用したピアノはYAMAHA Silent Grand Piano C5であり、MIDI Note on/off とペダルの操作に関するメッセージが出力される。演奏中に出力されるMIDIメッセージは、すべてSGI Indyワークステーションに入力される。Indyには、あらかじめ演奏したい曲の音高列データを入力しておき、演奏中Indyに入力されるNote on/off メッセージのNoteナンバーのみを、この音高列データ中の音高値で順に差し換えて出力し、音源に入力する。この結果、どの鍵盤を押してもあらかじめ設定されている曲を演奏することができ、しかも鍵盤操作で入力されるアゴギク(速度法)、デュナーミク(強弱法)などの演奏表現はすべて保存される。現在CiPは単旋律のみ扱える。また打鍵から50msec以内に行われた打鍵には反応しないようにして、ミスタッチに対応している。

したがって、CiPでは演奏したい曲の音高列データをIndyに入力することによって、楽器に楽曲の骨格情報を埋め込むことができる。ただし、現在は音価に関する情報の埋め込みはできず、音高とその順序に関するのみ入力可能である。このため、演奏者はCiPを用いて演奏を行う場合、楽曲の骨格のうち音高については再現操作を行う必要はないが、音価については再現操作を行わねばならない。

## 3. Coloring-in Pianoの応用例

本節では、Coloring-in Pianoを用いた応用例を二つ示す。

### 3.1. ピアノレッスンにおける模範演奏支援

ピアノ演奏について先生が生徒に伝えたい内容には、言葉や記号では説明しきれない「暗黙知」[3] の部分がある。したがって、多くの場合先生は演奏表現する過程で働く「知」が反映されたインスタンスとしての模範演奏や比喻、あるいは「わざ言語」[4] などの手がかりによって、持てる知を間接的に生徒に提示することになる。中でも模範演奏は、直接的に先生の演奏表現を提示している、大事な手がかりの一つと言える[5]。しかし時として、先生が練習をせずには模範演奏できないような、技巧の高度な作品を生徒が学習することもある。この場合、多くの先生はそれを演奏するにあたって必要な知は備えており、生徒に提示したいことが沢山あるにもかかわらず、模範演奏でそれを提示することが難しいという問題がある。

このような場合にCiPを利用することが有効であると思われる。すなわち、CiPを利用すれば、音高とその順序の再現に必要な技巧の習得や再現操作に伴う認知負荷の問題を回避できる。この結果、先生の内部に存在している演奏表現に関する「知」の表出を直接に行うことが可能となり、先生によるアゴーギク、デュナーミク、アーティキュレーションといった演奏技法をほとんどそのままに生徒に示すことができるようになる。

筆者らは、これまでに被験者実験によって、

- CiPによって、通常のピアノに比して遜色ない演奏を実現できるか
- CiPによって、通常のピアノでは演奏困難な楽曲を、十分な演奏表現を伴って演奏できるか

についての評価を行った。実験では、CiPを指1本、2本、5本で弾いた場合と、通常のピアノで弾いた場合の演奏を、音楽性、類似性の二つの観点から比較した(実験の詳細については、文献[2]を参照されたい)。この実験により、以下の結果を得た。

- 1本だけ指を用いてCiPを演奏した場合は、明らかに音楽的な質が劣った演奏となる。
- 2本ないし5本の指を用いてCiPを演奏した場合の演奏は、通常のピアノによる演奏と比べて音楽的に遜色ない。
- 5本の指を用いたCiPの演奏は、通常のピアノによる演奏に比較的類似したものとなるが、2本指

によるCiPの演奏は、音楽的ではあるが通常のピアノによる演奏とは異質のものとなる。

- 通常のピアノでは音高列の再現すら十分にできない楽曲でも、CiP(2本指以上)を用いれば、音高列の再現はもちろん、十分に音楽的な表現も可能となる。

以上から、練習が不十分なし過去に弾いたことがないような楽曲であっても、CiP(指2本以上)を用いることで、十分に音楽的な表情を持つ演奏表現を容易に行うことが可能となることがわかった。

1本指のみでCiPを弾いた場合に音楽的に劣った演奏となる理由は単純で、連続する音の間に必ず無音の空隙が入るため、レガート(なめらか)な演奏表現が一切できないことによる。また、言うまでも無く速いフレーズには対応できないことも問題である。指を2本以上用いた場合、このような問題は解決される。しかし、指2本だけでCiPを弾いた場合には、5本指すべてを使用する場合と運指の方法、ひいては演奏時の身体動作が大きく異なるものとなる。このことが、2本指でCiPを弾いた場合と、通常のピアノを弾いた場合の演奏の差として現れたものと考えられる。

### 3.2. 2ステップ打ち込み：MIDIシーケンスデータ作成支援

近年、計算機の普及に伴いDTM (Desk Top Music) システムが多数開発されたことで、楽器演奏の経験のない人でも自分なりのイメージを演奏表現することが可能になってきた。演奏データを計算機に入力する方法には、大きく分けてリアルタイム入力とステップ入力の2種類がある。

リアルタイム入力は、MIDIデータの出力機能を持った楽器を用いた通常の演奏による演奏情報をそのまま記録する方法である。しかし、音楽演奏初心者は楽曲の骨格を再現することに精一杯で、同時に表情付けを実現することができない。すなわち、リアルタイム入力は利用できる人が楽器を演奏できる人に限られる。一方ステップ入力では、実際に楽器の演奏をすることなく、表計算ソフトに数値を入力するかのようになり、音楽的要素をばらばらに入力するため、楽器未経験者でも比較的入門が容易である。しかし表情付けの段階では、パラメータを個々に入力するため、パラメー

夕間のバランスをとることが難しく、やはりイメージ通りの表情付けを行うことは非常に困難であり、かつ膨大な時間を要する作業となる。このため、多くの場合、ステップ入力で作成された演奏は、機械的な、音楽的表現に乏しい貧弱なものとなりがちである。

そこで筆者らは、CiPを用いた2ステップ打ち込みを提案している[6]。2ステップ打ち込みとは、第1ステップで従来のステップ入力と同様の方法によって音高列を入力(この際、音強や音価、アゴーギク、デュナーミクなどの要素については一切考慮しない)した後、第2ステップでは第1ステップで作成した音高列データを埋め込んだCiPを用いて演奏を行い、その結果をシーケンスソフトを用いて記録することによりMIDIシーケンスデータを作成する方法である。

2ステップ打ち込み方法は、従来の2種類のMIDIシーケンスデータ作成方法の両方の利点を受け継いでいる。すなわち、音高列データの作成が簡単であるため、楽曲の骨格の再現に労力を要しないというステップ入力の利点と、さまざまな表情付けの要素を有機的に関連させつつ同時的かつ実時間的に入力することができるため、バランスのとれた表情付けを容易に入力できるというリアルタイム入力の利点である。このため、2ステップ打ち込みは多くの人々(特に楽器未習熟者)にとって有効なMIDIシーケンスデータ作成方法となると思われる。

筆者らは、被験者実験によって2ステップ打ち込みの有効性を検証した。被験者は18名であり、鍵盤楽器演奏経験がある者と無い者がほぼ半分ずつの内訳であった。実験では、各被験者に2ステップ打ち込み、ステップ入力、リアルタイム入力の3つのMIDIシーケンスデータ作成方法を用いて、同じ楽曲(山田耕作作曲「赤とんぼ」)のMIDIシーケンスデータを作成してもらい、各方法におけるデータ作成の容易さと、できあがったデータに対する満足度とを評価してもらった(実験の詳細については、文献[6]を参照されたい)。

この実験により、以下の結果を得た。

- 鍵盤楽器の演奏経験の無い者については、
  - ▶ シーケンスデータの作成の容易さについては、2ステップ打ち込みが他の2つの入力方法よりも明らかに有意に容易である。

- ▶ できあがったデータに対する満足度については、2ステップ打ち込みが他の2つの入力方法よりもやや満足度が高い。

- 鍵盤楽器演奏経験のある者については、
  - ▶ シーケンスデータの作成の容易さ、できあがったデータへの満足度とも、2ステップ打ち込みが他の2つに比べてわずかに高いが、有意な差は認められない。

以上から、2ステップ打ち込みは誰にとっても十分に利用可能なMIDIシーケンスデータ作成方法であり、特に鍵盤楽器未経験者にとってはきわめて有用性の高い方法であることがわかった。

今回の実験で入力を求めた楽曲「赤とんぼ」は、鍵盤楽器経験者にとっては演奏することが比較的容易な楽曲であったことが、鍵盤楽器経験者においていずれの方法にも大きな差がでなかった要因であると思われる。しかしながら、3.1の結果から、より難度の高い楽曲の入力を行えば、鍵盤楽器経験者においても2ステップ入力が、他の入力方法に比べて使いやすいという結果が得られることが期待される。

#### 4. 関連研究・システムならびに考察

我々の目的は、演奏表現に容易かつ直接的に取り組むことのできる「楽器」を構築することにある。音楽演奏は、各種属性の時間的変化を制御することによって為されるが、それらの属性には、演奏表現において重要な属性と重要ではない属性があることに着目し、重要ではない属性の制御を楽器(すなわち計算機)に任せ、重要な属性のみを人間が制御することにより、前記の目的が達成可能であると考え、プロトタイプシステムを構築し、実験を試みた。その結果、この考え方は期待通りうまく機能し、より幅広い人々が思い通りの音楽演奏表現を楽しむことができることを確認した。このことから、我々はこの考え方に基づき構築されたシステム(CiPなど)は、「楽器」と呼ぶにふさわしいものであると考えている。

CiPと類似したシステムとして、カシオのキーボードLKシリーズに搭載されている、「光ナビゲーション&3ステップレッスン」機能[7]があげられる。この3ステップレッスン機能の第1ステップでは、CiP同様、あらかじめ演奏したい楽曲の音高列データが埋め込まれており、キーボードの任意の鍵を押すことで埋め込まれ

ている音高列から音が順に出力・再生される。この点では CiP と全く同一であるが、最大の差異は、カシオ LK シリーズでは、出力される音強 (MIDI のペロシティ値) が、打鍵強さに関わらず常に一定である点である。このため、この機能を用いる限り、演奏者は基本的に音強に関わる演奏表現 (デュナーミクなど) を一切行えない。

LK シリーズがこのような仕様を採用しているのは、3 ステップレッスン機能が初心者の運指練習支援を主目的としており、その状況では打鍵強度の意図しない大きな揺らぎが発生するため、音強を固定したほうがまだしも音楽として聞きやすいものになると判断したためと推測される。一方、我々の目的は「音楽表現を行う」ことにあるので、演奏時の音強変化 (および一切の演奏表現に関わるパラメタ) は、そのまま出力される演奏結果に反映される必要がある。このように、LK シリーズと CiP との差異は、機構的にはごくわずかなものであるが、その目的と思想は大きく異なっている。

Two Finger Piano (TFP)[8] やブラボーミュージック [9] においても、楽器内に演奏される楽曲情報があらかじめ埋め込まれており、ユーザの操作によってこれを順次出力する点では CiP と類似している。しかし、その制御手段が CiP と根本的に異なっている。TFP は、両手それぞれ 1 本の指を用いてキーボードの鍵盤を打鍵することにより、拍あたりのテンポと音量を制御するシステムである。ブラボーミュージックは Play Station 2 (PS2) 用の音楽ゲームソフトであり、PS2 のコントロールパッドを押すタイミングと強さで、TFP 同様拍あたりのテンポと音量を制御する。

これらのシステムは、指揮的な演奏表現感覚を楽しむことを目的として構築されている。しかしながら、このような拍単位での演奏表現の制御は、現実には非常に難しい。たとえば、ジャズで多用される 3 連符の個々の音の微妙な揺らぎは、拍単位では制御不能である。また指揮者がオーケストラを用いて演奏表現することができるのは、オーケストラを構成する演奏者が個々に自律的なエージェントとして音符単位の演奏表現を行っているからこそである。たとえば、指揮者が身振りを大きくして演奏の盛り上がりを持したとしても、すべてのパートが一様にクレッシェンド

するようなことはむしろ稀であり、その指揮者の指示への反応は、個々のパート (さらには演奏者) ごとに異なることが普通である。このように、現段階における拍単位での制御による音楽演奏表現生成システムは、トイシステムの域を出ないものであると言える。

一方 CiP は、音符単位での制御が可能であるため、伝統的な楽器と基本的に同等な演奏表現力を持つと考えられる。しかも、伝統楽器より容易かつ直接的に演奏表現に取り組むことが可能である。この意味で、CiP は計算機技術を用いて実現された、楽器の新たな形態であるといえるだろう。

## 5. おわりに

音楽演奏は、離散的情報と連続的情報とで構成され、それらすべてを有機的に統合することによりまとまった演奏表現が形成される。このうち、音楽演奏行為においては連続的な情報の制御がより重要であり、離散的情報の制御はあまり重要でないことに着目し、離散的情報の制御を楽器に埋め込み、人間は連続的な情報の制御にのみ専念することができる楽器を提案した。この考え方に基づくプロトタイプシステム CiP を構築し、被験者実験を行った結果、この考え方の正しさが確認された。

従来楽器では、楽曲の骨格の再現に伴う初期障壁があるために、たとえ演奏者が心の中にすばらしい演奏を鳴り響かせていたとしても、それをそのままに表出化することが容易ではなかった。しかしながら、我々が提案した考え方に基つき構築した楽器では、このような初期障壁を回避し、より思い通りに「内なる音楽」を表出化することが可能となると思われる。我々は、このような楽器を WYEWIP-instrument (What You want to Express Is What You Perform instrument) と呼んでいる。今後はより使いやすく、より忠実に内なる音楽の表出化を実現できる WYEWIP-instrument の実現を目指したい。その一環として、今回は楽器への埋め込みを見送った離散的属性である「音価」の埋め込みについて、検討を進めたい。また、CiP では伝統的鍵盤楽器のインタフェースをそのまま流用したが、これは無用の誤解を招くもとなる可能性があるため、WYEWIP-instrument 専用の演奏インタフェースデザインも試みたい。

## 参考文献

- [1] 小坂直敏: Sinusoidal model による音色補間, 情処研報 音楽情報科学 1995-MUS-13, pp. 45-50, 1995.
- [2] 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, 情処研報 音楽情報科学 2001-MUS-42, Vol.2001, No.103, pp. 69-74, 2001.
- [3] マイケル・ポラニー: 暗黙知の次元, 紀伊国屋書店, 1980.
- [4] 生田久美子: 「わざ」から知る, 認知科学選書14, 東京大学出版会, 1987.
- [5] 大島千佳: 音楽知を高めるピアノ・レッスンの研究, 修士論文, 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科, 2001.  
<http://www.jaist.ac.jp/~cooshi/OshimaMThesis.pdf>
- [6] 宮川洋平, 白崎隆史, 大島千佳, 西本一志: Coloring-in Piano による2ステップ打ち込みの提案, 情報処理学会研究報告 音楽情報科学 2001-MUS-43, Vol.2001, No.125, pp.21-26, 2001.
- [7] [http://www.casio.co.jp/emi/key\\_lighting/](http://www.casio.co.jp/emi/key_lighting/)
- [8] 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.
- [9] <http://www.scej.jp/bravoes>