

演奏表情テンプレートを利用したピアノ演奏システム：sfp

片 寄 晴 弘^{†,††} 奥 平 啓 太[†] 橋 田 光 代^{††}

指 1 本の打鍵動作あるいは、手振りで、テンポ・音量など指揮的な演奏表現感覚を楽しむための演奏のためのインタフェース sfp について述べる。sfp では、情緒あふれる演奏をテンプレートとして利用し、また、予測制御によりスケジューリングを実施している。このことにより、sfp では、ピアニストの“手”を使って演奏を行う、あるいは、ピアニストを指揮しているような感覚を味わうことができる。本論文では、演奏表現とコントローラの間を整理したうえで、ユーザ意図と演奏家モデル（演奏データ）とのブレンド手法、指 1 本の打鍵操作によるテンポ変化と‘間’の弾き分けインタフェースについて述べる。演奏表情テンプレート使用の効果を検討したところ、システムの使い始めの段階では、出力される演奏は好ましいが、操作に違和感を感じるとする被験者が最も多かった。システムに習熟するに従って、演奏表情テンプレートの使用を総合的に支持する被験者が増えた。演奏表情テンプレート使用の効果が支持される結果が得られたと考えている。

sfp: A Piano Performance Interface Using Expressive Performance Template

HARUHIRO KATAYASE,^{†,††} KEITA OKUDAIRA[†]
and MITSUYO HASHIDA^{††}

This paper reports a performance interface: sfp, which enables us to enjoy music performances with one finger tap. sfp utilizes performance data that contain expressions, and schedules the notes with a PID control manner. It enables us to enjoy music performance like conducting a virtuoso, or using virtuosi hands to play the piano. This paper clarifies the relationship between the controller and the expression, and proposes a blending method between user's intention and the prescribed performance data. We investigated the effectiveness of using performance data. The number of subjects, who preferred utilizing the performance data for her/his intended expression and pointed out disagreeableness regarding control using performance data, was not small. The subjects gradually have become to prefer utilizing the performance data, as they learn how to play the system.

1. はじめに

音楽演奏においては、表現を行う前にまず、楽器の演奏法を習得する必要がある。「こんな演奏表現を行ってみたい」という意図を持っていたとしても、技術がともなわずできないということも少なくない。実際、小中高等学校の集団教育においても、技術の習得に大部分の時間が割かれ、表現に対する教育は必ずしも充実したものではなかった。この反省から、最近では、表現力や創造性を養成するための授業内容が検討され、コンピュータの利用も始まっている。

コンピュータを用いた演奏システムのデザインにお

いて、インタラクションをどのように設定するか、そのための演奏表現の操作対象と操作手段をどのように設計するかは、非常に根幹的な問題である。これらは、個々の計算機音楽の制作レベル^{1)~3)}や自動伴奏システム^{4),5)}の実装において意識されてきた事項であるが、一般ユーザを対象とした演奏システムの設計においては、あまり留意されることはなかった。

自動伴奏システムは、演奏者がどの部分の演奏を行っているかを監視し、それに基づき、伴奏データのスケジューリングを行う演奏システムである。Dannenbergh は、自動伴奏システムで解決すべき事項を整理し、演奏者のミスに対応するための手法を示した⁴⁾。

† 関西学院大学理工学部
School of Science and Technology, Kwansei Gakuin
University

†† 科学技術振興機構さきがけ研究 21
PRESTO, JST

もちろん、楽器演奏技能を身に付けたり、描画技術を高めたりすることは芸術の大きな楽しみの 1 つであり、その教育的価値は高い。情報処理技術により、多様な表現技術に触れることができるのであれば、教育の一選択として利用すべきという立場である。

堀内らは、システムが演奏表現のプランを持つことの重要性、追従性と使用感の関係などについて論じた⁶⁾。我々は、個々の音符そのものではなく、抽象化したレベルでの拍打や演奏意図の制御により、演奏を実施・支援するシステムの開発を進めてきた。本論文では、既存の演奏や音楽解釈モデルの出力結果を利用することにより、簡単な拍打操作で、名ピアニストの手を使って演奏表現感覚を味わったり、あるいは、名演奏家を指揮したりするような感覚が味わえるシステム：sfp (single finger piano) について述べる。

以下、演奏表現における表情の要素を含んだデータ記述形式である演奏表情テンプレートを示し(2章)、これを利用するシステムのデザイン(3章)、ユーザの意図と演奏表情テンプレートのブレンドによるスケジューリングの実際(4章)について述べ、5章で、演奏表情テンプレートにおける演奏の表情使用の有無によって、操作感、使用感がどのように変わるかについての評価を行う。

2. 演奏表現とデータ記述

この章では、システム設計の中心的な概念となる演奏表現の記述法と拍打に関する定義を与える。

2.1 演奏表情テンプレート

自然楽器の演奏制御パラメータはさまざまなものがあるが、ピアノを代表とする打鍵楽器における制御のパラメータは、各音の発音時刻、消音時刻、音量(MIDIでのvelocity値)に、簡約化される。

音楽的な演奏表現を行う際には、個々の音符レベル、拍節レベル、フレーズレベル、あるいは、スラーやテヌートなどの奏法を表す記号などに相当する表現が重ねあわせられ、それぞれの制御量が導かれる。演奏表現インタフェースを設計する際、コントローラに関するデザイン、すなわち、ユーザがどのレベルの表現を制御するかのデザインは、システム設計の根幹的な問題となる。

sfpの基本的なアイデアは、これらすべての表現レベルを、1) 拍節レベルのテンポと拍音量の表現、2) 拍節レベル以下の微細な演奏(以下、拍内表情とよぶ)の表現という2つの視点で整理して表情付けを行うことである。

拍節レベルのテンポと拍音量の表現では、基本的に、図1に示すように、印で囲んだ音符について、鍵盤の打鍵あるいは手振りを行う(以下、この動作を拍打とよぶ)。拍打によって、それぞれの発音のタイミ

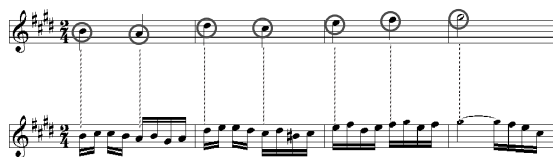


図1 拍打による演奏制御

Fig.1 Performed by tactus.

```

.....
.....
2,00 BPM 126.2 4
2,00 (0,00 E3 78 3,00 -0,11)
=-2
1,00 TACTUS 2 4
1,00 BPM 128.1 4
1,00 (0,00 C#4 76 0,75 -0,09) (0,04 E1 60 1,00 -0,13)
1,75 (0,10 D4 77 0,25 -0,14)
2,00 BPM 130,0 4
2,00 (0,00 B3 75 1,00 -0,03) (0,00 G#3 56 1,00 0,03)
3,00 BPM 127,7 4
3,00 (0,00 B3 72 1,00 0,00) (0,09 G#3 56 1,00 -0,12) (0,14 D3 57 1,00 -0,21)
=-3
1,00 TACTUS 1 4
1,00 BPM 127,6 4
1,00 (0,00 B3 77 2,00 -0,05) (0,00 G#3 47 2,00 -0,05) (-0,06 D4 57 2,00 -0,32)
3,00 BPM 129,7 4
3,00 (0,00 F#4 75 1,00 -0,15) (0,00 D4 54 1,00 0,03)
=-4
1,00 BPM 127,7 4
1,00 (0,00 D#4 73 0,75 -0,38) (0,02 C4 65 0,75 -0,08)
.....
.....

```

図2 演奏表情テンプレート

Fig.2 Data form.

ングと音量が与えられる。

拍打によってコントロールしきれない拍内表情の表現については、演奏表現における表情の要素を機械的な演奏に追記したデータを用意し、それを演奏表情テンプレートとして利用する(図2)。図2の太字で示されるものは、譜面上の基本的なデータであり、機械的演奏に相当する。左端の数字は各音符の発音時刻を、括弧で囲まれた範囲は1つの音符を表し「音名(ノートネーム)、持続時間」の組として記述される。細字で示されるものが、拍内表情に相当する。特に、括弧で囲まれた範囲内のデータは、各音符に与えられた拍内表情で、左から順に「発音時刻の deviation, 当該音符の音量, 持続時間の deviation」を表す。

拍打による拍節レベルとしてのテンポと、演奏表情テンプレートを利用する拍内表情としてのテンポについては、それぞれの場合に対応したデータを記述している(次節)。

2.2 テンポとタクトス

sfpにおけるテンポ表現には、1) 拍節レベルでユーザが拍打するものと、2) 拍内表情として演奏表情テンプレートを利用するものがある。

拍内表情としてのテンポ表現にはBPM記述子を利用する。BPMは1分間あたりの単位音符の数を表す。単位音符には、四分音符が割り当てられることが多いが、リズムの表現にあわせ、他の音符が用いられることもある。図2の演奏表情テンプレートでは、「BPM」が含まれる行として表される。左から順に「時

その拍節全体での音量の平均。

刻, “BPM”, テンポ値, 単位となる音符」として記述する。

一方, ユーザが拍打によって拍節レベルのテンポをコントロールする場合, テンポが一定のときでも, たとえば, ある区間においては, 八分音符レベルで拍打をしたり, あるいは, 小節レベルで拍打をしたいといった要請がある。ここでは, 規準拍(たとえば, 四分音符)に対して, 何回の拍打をするかを明示的に記述するタクス という概念を導入することにした。演奏表情テンプレートでは, “TACTUS” という記述子を用い, たとえば, 時刻 1.00 以降, 四分音符に対し, 2 回の拍打を対応させる場合,

1.00 TACTUS 2 4

のように記述する。すなわち, 八分音符レベルでの拍打ができるということを意味する。

3. システムのデザイン

3.1 演奏表情テンプレートの利用

sfp は, 拍打と拍内表情を分離して構成される演奏のためのインタフェースである。図 3 に示すように, ユーザは, キーボードの打鍵(あるいは手振り)による拍打によって, その間隔と velocity (振り幅) からテンポと拍音量を与え, 演奏表情テンプレートを利用しつつ演奏を行う。

実際に, 演奏表情テンプレートを用いる際には, 拍内表情だけではなく, テンポや拍音量の情報を用いるようにしている。微妙な操作感の設定に関連して, sfp では, 概念的には, 演奏の表情をテンポ, 拍音量, 拍内表情の 3 つの次元で, そのそれぞれに対し重みをかけて得られるベクトルを演奏表情ベクトルとし(図 4), ユーザが与えるテンポと拍音量(拍打のみで表現できない拍内表情の要素は 0 となる)のベクトルの加算によって, 演奏表情を算出するようにしている。たとえば, 重みを 0% にすることにより, 演奏表情テンプレート中の表情の効果をなくしたり, 120% とすることで, テンプレートの効果をより強調したりできるようになっている。

演奏表情テンプレートは, 音楽解釈システムの実演奏の解析⁷⁾, 出力結果⁸⁾などによって得られる。

3.2 スケジューリングの概要

インタラクティブに動作する音楽システムにおいては, 実時間で, 各音の具体的な時間配置を計算(“スケジューリング”とよぶ)していく必要がある。

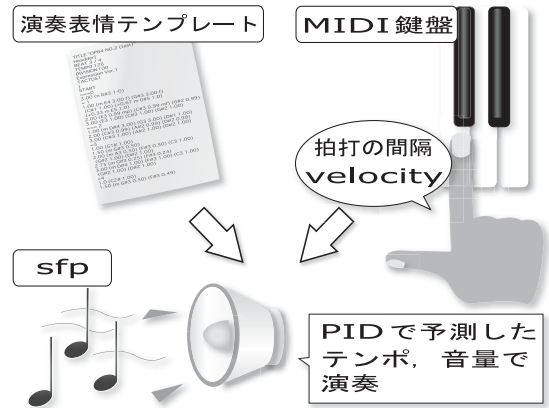


図 3 sfp の概要

Fig. 3 Compendium of sfp.

sfp では, 拍打が検出された段階で, 次拍での開始音の発音までの, 予測スケジューリングを行っている。予測制御によるスケジューリングを行う場合, 当該拍の検出とそれに相当する発音のスケジューリングが独立し, 必ずしも, タクスに相当する拍打を待つ必要はない。予測制御を行うメリットとしては, 1) 発音が遅れる楽器使用時の遅れ補償, 2) 指定した小節数を自走的に演奏を進める自走モードが簡単に組めるといったことがあげられる。

一方, 問題点としては, 実際の拍打とスケジューリングのズレが生じたとき, どのように対応するかという問題がある。この問題に対しては, 倍の拍打の許容(4.2 節), ユーザの拍打がスケジューリングされた時刻と異なったときの処理(4.3 節)によって対処している。

システムの振舞い(反応, 追従性)を決定するための重要な要素の 1 つは, 前章で示したように, テンポ, 拍音量, 拍内表情に対しての重み設定である。これに加え, ユーザの拍打傾向からのテンポと拍音量の推定アルゴリズム応答の仕方に関連する。

3.3 拍打と間の挿入に関するインタフェース

sfp では, 楽譜表情テンプレート上での TACTUS 記述, 予測制御, さらに, タクスの倍打ち検出(後述)を導入することにより, 任意のビートでの拍打を許容するようにしている。つまり, メロディーとしての音列のリズムに対応した拍打入力, あるいは, 任意の場所における拍打が可能となっている。

‘間’の挿入に関しては, 鍵盤を押してから離すまでの時間に関する情報を積極的に利用することで, ‘間’の挿入なのか, テンポ変化なのかを見分けることにした。sfp では, 拍打が確定し次第, 次の拍打までのス

楽典では, 腕の動きによって計量される時間の単位として定義される。その定義からすれば, ここでの定義は, 逆数的なものである。

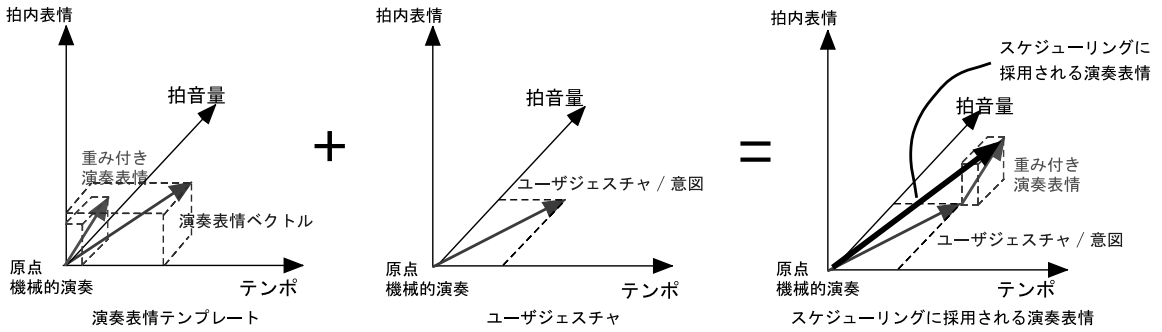


図 4 ユーザの意図と演奏表情テンプレートのブレンド
Fig. 4 Blend of user's plan and expression template.

ケジューリングを実施するが、押し込まれた鍵盤が解放されるまで、次の拍打に対応する音の発することは見送られる。もし、その鍵盤時点が、スケジューリングされた次拍の発音時刻より一定時間以上遅れた場合には、ユーザ意図による‘間’の挿入と判断し、その拍の占有時間をテンポ計算での計算から除外することで、一時的な‘間’への対応が可能となった。

4. スケジューリングの実際

4.1 テンポの計算と各音の時間配置

sfp は、人間とシステムで使用される演奏表情テンプレートとのインタラクションを扱うものであり、以下のようにテンポの計算を行っている。

ユーザの拍打の時間的な間隔より各拍のテンポを求め、テンポ履歴の平均を用いて、ユーザのテンポの流れを得る。また、過去 2 拍のテンポの変化を参照し、予測を行うことにより、ユーザの与えるテンポの局所的な変化に対応する。これらと、演奏表情テンプレート上の各拍ごとのテンポに重みを掛け、足しあわせることにより、テンポにおけるユーザの意図と演奏表情テンプレートのブレンドを行う。重みの設定については、PID 制御⁹⁾をアナロジーとしてとらえることができる。

BPM[bpm] と拍打の時間的な間隔(Inter Onset Interval): IOI[s] との関係は、

$$BPM = \frac{60}{IOI}$$

であり。演奏表情テンプレート上のテンポ、ユーザのテンポ履歴の平均、ユーザのテンポ変化の予測項のそれぞれの重みを E_P, E_I, E_D 。また、楽曲の平均テンポを $stdTempo$ [bpm]、演奏表情テンプレートのテンポを $Tempo_P$ [bpm]、ユーザのテンポ履歴の平均として参照する拍打数を α とすると、 n 回目の打鍵後のテンポ BPM_n [bpm] は、

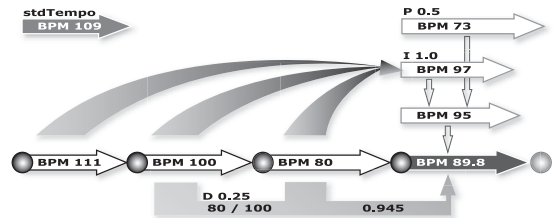


図 5 テンポの計算
Fig. 5 Calculation of tempo.

$$BPM_n = \left\{ \begin{aligned} &E_P \cdot (Tempo_P - stdTempo) \\ &+ E_I \cdot \left(\sum_{k=n-\alpha}^{n-1} BPM_k - stdTempo \right) \end{aligned} \right\} \times \frac{1}{E_P + E_I} \times \left(\frac{BPM_{n-1}}{BPM_{n-2}} \right)^{E_D}$$

として計算される。

図 5 は、演奏者の過去 3 個の拍打から計算されるテンポを用いて、次拍のテンポを推定する例である。拍打テンポ履歴の平均、演奏表情テンプレート上に記載されたテンポはそれぞれ、97, 73 である。楽曲の平均テンポ ($stdTempo$) 109 を基準として、ユーザテンポ、テンプレートテンポにどれだけ近づけたいかの重み (それぞれ、1.0, 0.5) をかけることで、97, 91 を得る。さらに、これらの重みの比率が 2 : 1 であるので、まずテンポ値 95 を得る。差分項については、0.8 (80/100) に対し、重み 0.25 乗した値を計算し、これと 95 を掛け合わせることにより、89.8 を得る。

演奏表情テンプレート上のテンポの重みを大きくとれば、演奏表情テンプレートを重視した演奏を行うので、ピアニストを指揮しているのに近い演奏感覚が得られる。ユーザのテンポ履歴の平均を重視すれば、自身の打鍵操作にゆっくりと追従する演奏感覚、テンポ変化の予測項を重視すれば、局所的な変化によく反応

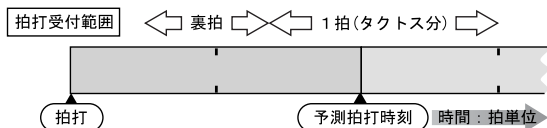


図 6 拍打受付範囲
Fig. 6 Time-span receiving tapping.

する操作感が得られる,これを大きくとりすぎた場合,演奏は発振してしまうので注意が必要である.

4.2 拍打の検出

sfp において実際の拍打の検出については,タクトスの倍打ち(裏拍打ち)まで検出するようにしている.裏拍打ちは,4分音符を基準とした場合,8分音符単位の拍打を行うことである.このメリットは,1)タクトスの詳細な指定の省力化,2)テンポ計算時の反応の向上,の2つである.sfpではテンポの計算を,固定拍長ではなく,拍打の個数に応じて計算をするようにしている.応答性をより高めたいときには,倍打ちを行うことで,テンポの更新を早めることができる.

指揮において,急にテンポを速くしたいという要求のある際には,その直前に,そのことを明示的に演奏者に伝える動作が行われる.sfpで同等のテンポ変化を行うには,ユーザのテンポ履歴の平均として参照する小節数を1とし,裏拍打ちを行うことで実現できる.

拍打の検出の様子を図6に示す.拍打は,前節のようにして設定されるテンポ(予想される1拍の長さ)を基準として検出がなされる.1/4の時刻までは,演奏ミスや他の鍵盤に指が触れた場合などの事態を想定し,拍打を受け付けられないものとする.1/4から2/3までは,裏拍打ちがなされたものとしての拍打を検出する.2/3から3/2までは,タクトスに対応する拍打がなされたものとして検出を行う.このように拍打受付範囲を設けることで,隣接拍間で最大で,テンポを3分の2まで遅くすることや2倍にまで速くすることが可能となっている.

4.3 予測制御におけるズレへの対応

予測制御を行う演奏システムにおいては,実際の拍打とスケジューリングのズレが生じたときの対応の問題がある.テンポ計算は,基本的に,ズレを修正する方向に機能するものであるが,ユーザの拍打に遅れずに,当該の拍の発音を行いたいときがある.sfpでは追従度と追従率を導入することにより,この部分の応答性を設定できるようにしている.図7にスケジューリングの様子を示す.ここで,横軸は実時間,縦軸はタクトスの区切りである.傾きはテンポを表し,傾きが大きいほどテンポは速くなる.

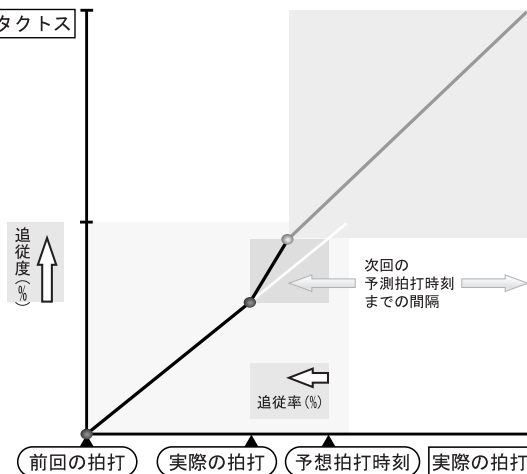


図 7 スケジューリングの様子
Fig. 7 Dimension of scheduling.

追従率は,予想拍打時刻前と演奏者が拍打にズレが生じた際に,拍打を行った拍と演奏のズレを修正する範囲を示す.追従度は,追従率分の演奏幅が,どれだけ割合で追い付くかを示した割合で,追従率,追従度とも,百分率で表している.追従率を100%に設定すると,予想拍打時刻より先に拍打が行われた場合,即時,その拍打に対応した音符の発音および消音がなされる.

追従度を AL , 追従率を AR とする.追従率が100より小さいとき,すべての拍がスケジューリングされた時刻より早く拍打された場合, $n-1$ 回目の拍打後の演奏分の残りの演奏を行うテンポ BPM_{An} [bpm] は,

$$BPM_{An} = \frac{AL}{100 - AR} BPM_{n-1}$$

で与えられる.追従率が100である場合は,追従度で定めた分の残りの演奏が瞬時に行われる(演奏には消音も含まれる).

$n-1$ 回目の拍打後の演奏がすべて実施される前に,次拍が拍打された場合, n 回目の拍打後に,追従率で定められる演奏を終えた後のテンポ BPM_n [bpm] は,

$$BPM_n = \frac{60}{(IOI_n + IOI_{odd} \cdot (100 - AL))}$$

として計算される.ここで, IOI_{odd} [s] は, $n-1$ 回目の拍打後の予想拍打時刻と実際に拍打された時刻との差である.

4.4 各音の発音(消音)時刻の計算

各音の発音(消音)時刻は,以上のようにして得られるテンポから IOI_n を導いて用い,拍打検出後から, pos [s] としてスケジューリングがなされる.

$$pos = IOI_n * (pos_{note} + dev_{note} * dev_i)$$

ここで、 pos_{note} は、表情なしの際の当該音符のスケジューリング時刻、 dev_{note} は、その *deviation* 項の値、 dev_i は、重みである。 $dev_i = 0$ のときは、機械的な演奏となる。

4.5 各音の音量 (Velocity) の計算

sfp での音量 (Velocity) の計算については、まず、拍音量を算出し、続いて、拍内の各音の音量の設定を行う。

拍音量 V_{beat} は、その拍の支配音量であり、表情がかかっていない音の基本音量 V_{std} を基準として、システムで使用される演奏表情テンプレート、ユーザのそれぞれが、どの程度大きくしたいか、あるいは、小さくしたいかの重み付き平均として算出する。

$$V_{beat} = V_{std} + \frac{(S_i - V_{std}) \cdot s_i + (U_i - V_{std}) \cdot u_i}{s_i + u_i}$$

ここで、 S_i は、演奏表情テンプレート中に記載された当該拍内での音量の平均、 U_i は、ユーザが入力する音量、 s_i と u_i は、それぞれ、 S_i と U_i に与えられる重みである。

拍内の各音のスケジューリング音量 V_{note} は、以下の式で導かれる。

$$V_{note} = V_{beat} + V_{beat} * S_p * s_p + V_{beat} * U_d * u_d$$

ここで、 S_p は、演奏表情テンプレートでの当該拍での相対的な音量バランス、

$$S_p = \frac{V_{score} - S_i}{S_i}$$

V_{score} は、演奏表情テンプレートに記載された各音の音量、 s_p は、 S_p にかかる重み、 U_d は、ユーザの与える前拍から当該拍での音量変化値、 u_d はその重みである。

5. 演奏表現システムとしての検討

5.1 インタフェース

sfp は、鍵盤の on, off で動作する演奏システムである。現在、入力インタフェースとしては、MIDI キーボードの鍵盤、あるいは、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を用意している。これを用いる場合、打鍵を行った時刻を拍打の時刻とし、MIDI キーボードは打鍵時の *velocity* 値を、パソコンのキー入力はキーの種類を、それぞれ音量に対応させる。

また、夢システム社のデジタルテルミンを利用した指揮型インタフェース (図 8) も用意した。デジタルテルミン は、電極から手までの距離を、一定の距離ま

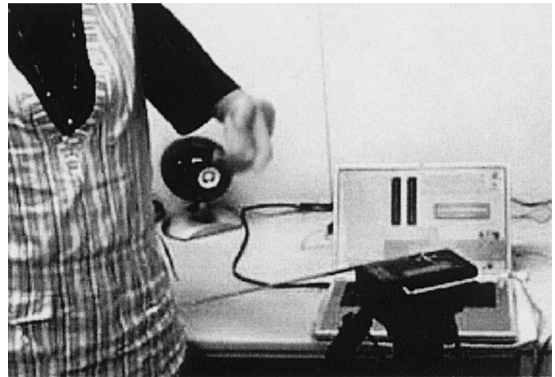


図 8 テルミンを利用した指揮的な入力インタフェース
Fig. 8 With a conducting interface using capacity transducer.

で 128 段階の MIDI データとして出力し、その位置を 11[ms] ごとに受ける。このうち 1 軸のセンサのみを用い、前回の拍打以降にセンサから手が最大に離れた位置 a を記憶し、距離が位置 b より近くで連続的に手がセンサに近づいた時刻を拍打の時刻とし、センサから位置 a までの距離を音量に対応させる。位置 c より手がセンサ側にとどまったまま予測拍打時刻を過ぎた場合は、間の表現を行ったと判断する。ここでセンサとそれぞれの位置の距離は $c < b$ および $c < a$ である。これにより、指揮的なジェスチャで演奏ができるようにした。

5.2 sfp の使用感の調査

sfp は、インタラクションの要素を持った演奏表現インタフェースである。演奏システムの良し悪しは、認識率や処理速度などの客観的な指標で測定できるものではない。我々は、特に、演奏表情テンプレートを用いる効果を確認することに焦点をあて、使用感の調査を実施することにした。

具体的には、「星に願いを」ピアノアレンジ版を演奏表情テンプレートとし、1) 音楽専門家 1 名に対しての最適パラメータの調整を含めた聞き取り調査、2) 40 名 (楽器演奏もしくは指揮経験 0 年 ~ 33 年) に対しての、演奏表情テンプレートを用いることによる使用感の調査を実施した。

5.2.1 音楽専門家の試行

sfp では、音楽経験の有無にかかわらず、演奏表現を楽しむことを支援するインタフェースである。パラメータを調整することにより、さまざまな応答性を設定することができるが、規範となるパラメータ設定を用意しておく方が、ユーザにとっては使いやすい。ここでは、音楽専門家 (専門は指揮・演奏解釈・高校音楽教諭を務めるかたわら各地で指揮活動と音楽教育活

人体と 2 軸の電極 (センサ) の静電容量を、音高と音量にマッピングした電子楽器であるテルミンを、MIDI 使用にした演奏コントローラである。

表 1 操作性に関するパラメータ群
Table 1 Parameters for controllability.

	追従性			テンポ		拍音量		拍内表情		予測項	
	追従度	追従率	参照拍打数	システム	ユーザ	システム	ユーザ	タイミング	音量	テンポ	音量
A	92%	92%	3	0.5	1.0	0.4	0.6	1.0	0.8	0.25	0.2
B	100%	100%	1	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C	95%	90%	3	0.5	1.0	0.7	1.0	0.5	0.5	0.3	0.2

動を行っている。教育学修士)に協力を依頼し、パラメータの設定とシステムの動作にかかわる初期的な調査を実施した。

実験の初期値としては、筆者(システム開発者ら)が最適値として設定したパラメータ群 A) と A) から、演奏表情テンプレート中の表情の要素を使わないようにしたパラメータ群 B)(表 1 参照)を用意し、MIDI キーボードを使用して、演奏を行ってもらった。A)、B) 3 回の試行後「A)の方が、B)に比べ、結果としての演奏表現が良い。ただし、A)は、勝手に動かれる感覚がある」とのコメントがあった。その後、30分ほど演奏を繰り返し、操作感覚がつかめてくるに従って、「B)では表現力の限界がある。A)の方が自分の感覚に近い」というコメントがあった。その後、パラメータ群 A)を基準として、一番、気持ち良く演奏できるよう、パラメータの調整を行っていった。その最終結果が表 1 中 C)に示す値である。最終的なパラメータを決めるにあたって、以下のような指摘があった。

- テンポ、velにかかわる演奏表情テンプレートの重みを下げると演奏として面白くない。逆に、大きくすると、意図しない演奏になりやすい。
- 元の演奏(演奏表情テンプレート)に表情が付きすぎている(個人的には)拍内表情に対する重みを下げることが好きな演奏で、自分の意図する演奏表現ができるようになった。
- 追従度、追従率に関しては、使い始めは、100%が良かったが、90~95%にした方が演奏がスムーズになった(指揮の感覚に近づいた)。

次に、C)のパラメータで、指揮型インタフェースを用いて演奏をしてもらった。この際のコメントを以下に示す。

- 非常に気持ちの良い演奏システムである。市販の指揮ゲームとは比べものにならない気持ち良さがある。
- 若干遅れて演奏がついてくる。オーケストラのタクト感覚に近い。拍打のタイミングをもう少し

「星に願いを」でチューニングした値である。演奏表情の傾向が大きく異なれば、違った値をとる可能性もある。オーケストラの指揮では、振り上げを意識しつつ拍のタイミン

表 2 操作感、演奏感に関しての比較

Table 2 Comparison feeling.

		操作感		計
		A(表情あり)	B(表情なし)	
演奏感	A	13	15	28
	B	0	12	12
計		13	27	40

早くとるようにすれば、一般の人にとってもより使いやすくなるだろう。

- 演奏表現教育用システムとして十分使える。

2番目のコメントは指揮型インタフェースでの拍打の検出を最下点にしたこと、データ取得と処理に、10~20msの時間を要していることによるものと思われる(腕の)振り下ろしのもう少し上の部分で、拍打検出を行うように設定すれば、この指摘への対処が可能である。

5.2.2 一般に対する操作感・演奏感の調査

40名(楽器演奏もしくは指揮経験0年~33年。7歳から50歳。うち、大学生が最も多く32名)の被験者に対し、表 1 中の A)、B)すなわち、演奏表情テンプレートを利用するもの、利用しないものの2つに対し、どちらが良い演奏ができると感じるか(以下、演奏感)、どちらが操作しやすいか(以下、操作感)、について聞き取り調査を行った。この試行では、初期的な演奏感を調べることを念頭に置き、10分以内で練習ならびに評定を完了してもらった。表 2 にその結果を示す。この表において図中の数字は、それぞれ、Aタイプ、Bタイプのうち、優れると判断した被験者の人数である。この結果からいえることは、初期的な操作感については、演奏表情テンプレートを使用しない方、良い演奏ができたかどうかについては、演奏表情テンプレートを使用する方が好まれるということである。音楽経験年数とこの実験結果の傾向に明確な相関関係を見いだすことはできなかった。

続いて、最も人数が多かった操作感については「表情なし」、演奏感については「表情あり」を好んだ被験

グをとる。そのため、指揮に対して演奏が遅れがちに見えることが多い。

者から任意に 5 名 を選抜し、練習をすることによって、どのように嗜好が変わるかについて調査を行った。その結果、5 名中 4 名が「表情あり」の方が、操作感、演奏感が良いと判断するようになった。断定はできないが、練習を通じて、自分が表現したい目標が明確化し、それを実現するには「表情あり」の方が適していると判断する被験者が増えるものと考えている。

5.3 応用性

我々は、sfp の前身として、予測スケジューリングを行わない拍打に基づく演奏インタフェースとして TFP (Two Fingers Piano) というシステムを実装し、高校での演奏表現教育、演奏ルールの学習システムのためのデータ入力ツールとして利用してきた¹⁰⁾。基本的に、sfp にも、同様の使用法が想定される。さらに、sfp は、予測スケジューリング、裏拍打ちの許容などにより、より指揮に近い操作感が得られるようになっている。初期的な指揮感覚の養成システムとしての使用が見込まれる。

sfp には、メロディ入力に対する簡易自動伴奏システムとしての使用法がある。遅れ時間を保証することで、発音より先だてて拍打のデータを送信する必要のある(アナログ型)自動ピアノや自然楽器によるメロディ入力 に対しても対応できる。

これらの用途とは若干異なるが、身体障害者の自己表現のためのインタフェース、ボケ防止のアミューズメントなど、福祉的な用途も広がっている。

5.4 類似システムとの比較

簡単な打鍵操作で、演奏を入力するシステムとしては、CiP と呼ばれるシステム¹¹⁾がある。CiP は、単旋律の演奏表現の教育を目的にしたシステムで、まずは、ピッチ入力を行い、次にリズムに留意し、メロディビートを任意のキーで打鍵するという修正するというシンプルなインタフェースで構成されている。キー入力の位置を気にしないという点では類似しているが、演奏のコントローラとして設計されていないこともあり、スケジューリングに関する工夫はほとんど行われていない。

機能面では、指揮システム^{1),12),13)}や自動伴奏システム^{4)~6)}が sfp の類似研究となる。演奏表情テンプレートの利用ということに関して、最も関連のある研究は、1989 年に Vercoe らによって提案されたシンセティックリハーサルである⁵⁾。このシステムでは、リハーサルを繰り返し、伴奏データのテンポを更新して

再利用していくことで、必ずしもユーザ(ソリスト)の意図に合わない自動伴奏システムの出力の改善がはかれるということが主張されている。これに対し、sfp では、用意した演奏表情テンプレートに記載される演奏表情を、ユーザの好みに基づき利用するという基本方針に基づいて設計を行ってきた。テンポ、拍音量、拍内表情の 3 つの次元に分け、それぞれに対して重み設定を行えるようにしている。さらに、「間」の表現インタフェース、任意の拍打による自走演奏の実装などが、既存類似システムとの差である。

6. おわりに

本論文では、指 1 本の打鍵動作あるいは手振りによって、演奏表現を行うインタフェース sfp について述べてきた。sfp では、演奏表情テンプレート、すなわち、情緒あふれる演奏をテンプレートとして利用し、また、予測制御によりスケジューリングを実施している。また、指 1 本の打鍵操作による「間」が挿入や、自由な拍打が許容できるように実装を行っている。

これらにより、1) 拍以下の微妙な演奏表現、2) さまざまな演奏応答性の設定ができるようになり、ピアニストの手を使っているような表現感覚、あるいは、名ピアニストを指揮しているような感覚が得られるようになった。

演奏表情テンプレート使用の有無に関する効果については、システムの使い始めでは「演奏感については演奏表情テンプレートがある方が良い。操作感については演奏表情テンプレートなしの方が良い」と答えた被験者が多かった。この被験者から 5 名を選び、システムを使い続けてもらった結果、4 名が「表情あり」の方が、総合的に良いと答えるようになった。基本的には、演奏表情テンプレート使用の効果が支持されたものと考えている。

今後は、演奏表情テンプレート使用の効果については、生理指標を用いた検証を試みていきたい。また、インタフェース面では、パラメータのリアルタイム制御、複数の演奏表情テンプレートのモーフィング機能を付加していく予定である。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構さきがけ研究 21「協調と制御」領域研究として実施された。研究にご協力いただきました竹内好宏氏、野池賢二氏に感謝します。

参考文献

- 1) Mathews, M.V.: *The Conductor Program and Mechanical Baton, Current Directions in*

演奏経験数は異なることよう留意した。

ピッチ情報を MIDI データに変換して使用する。その際、若干の遅れ時間が発生するので遅れ補償が必要である。

- Computer Music Research*, Cambridge, Massachusetts, pp.263–281, MIT Press (1983).
- 2) Rubine, D. and McAvinney: The video harp, *Proc. Intl. Computer Music Conf.*, pp.49–55 (1988).
 - 3) Trueman, D. and Cook, P.: Bossa (1999). <http://silvertone.princeton.edu/~dan/BoSSA/>
 - 4) Dannenberg, R.B.: An on-line algorithm for real-time accompaniment, *Proc. Intl. Computer Music Conf.*, pp.93–198 (1984).
 - 5) Vercoe, B. and Puckette, M.: Synthetic rehearsal training the synthetic performer, *Proc. International Computer Music Conference*, pp.275–278 (1985).
 - 6) 堀内靖雄, 田中穂積: 自主性を持つ伴奏システム, 人工知能学会論文誌, Vol.10, No.1, pp.72–79 (1995).
 - 7) 高見啓史, 片寄晴弘, 井口征士: ピアノ演奏における演奏情報の抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D2, No.6, pp.927–936 (1989).
 - 8) 石川 修, 片寄晴弘, 井口征士: 重回帰分析のイタレーションによる演奏ルールの抽出と解析, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.268–276 (2002).
 - 9) 須田信英: PID 制御 —システム制御情報ライブラリ, 朝倉書店 (1992).
 - 10) 片寄晴弘, 竹内好宏, 上符裕一, 井口征士: Tfp の改良と教育利用における評価, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 96-MUS-16, pp.21–25 (1996).
 - 11) 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, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 2001-MUS-42, pp.69–74 (2001).
 - 12) 宇佐聡史, 持田康典: Hmm とファジィを使った指揮認識システム, 情報処理学会音楽情報処理科学研究報告 97-MUS-21, pp.37–44 (1997).
 - 13) 株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント: ブラボーミュージック (2001).

(平成 15 年 4 月 10 日受付)

(平成 15 年 9 月 5 日採録)



片寄 晴弘 (正会員)

1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科制御工学分野修了。工学博士。1997 年より和歌山大学システム工学部助教授。2002 年より関西学院大学助教授。現在, 同教授。音楽情報処理, 感性情報処理, インタラクティブアート制作の研究に従事。1990 年情報処理学会学術奨励賞受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, ICMA 各会員。1998 年~2002 年情報処理学会論文誌編集委員。情報処理学会音楽情報科学研究会主査。科学技術振興機構さきがけ 21 研究員。



奥平 啓太 (学生会員)

関西学院大学理学部物理学科在学中。音楽情報処理研究に従事。



橋田 光代 (学生会員)

2001 年国立音楽大学大学院音楽研究科音楽学専攻音楽デザインコース修了。修士 (音楽)。1998 年 SIG-GRAPH'98 Television 部門入選, 1999 年国際コンピュータ音楽会議 (ICMC) 作品入選。2002 年より和歌山大学システム工学研究科博士課程, 科学技術振興機構さきがけ研究 21「協調と制御」領域片寄研究グループメンバー, 音楽情報処理研究に従事。ICMA 会員。