

## 温度で制約を緩やかに提示するシステム Thermoscore を用いた即興演奏支援

宮下芳明 西本一志

北陸先端科学技術大学院大学  
{homei, knishi} @jaist.ac.jp

本稿では、温度を媒介として打鍵後に助言を行う即興演奏支援システムを開発した。従来の即興演奏支援システムとは異なり、楽器の基本機能を変更しない点が特徴である。システムの効果を検証するため、典型的な即興演奏支援システムとの比較実験を行った。その結果、即興演奏未経験者にとって、従来の即興演奏支援システムのほうがより楽しいと評価されたが、本システムは即興演奏の支援にとどまらず、即興演奏に対する学習を促す効果を持っていることが示された。

### Improvisation Support Using "Thermoscore" that Gradually Displays Musical Constraints for Thermal Sensation

Homei MIYASHITA and Kazushi NISHIMOTO

Japan Advanced Institute of Science and Technology

In this paper, we propose an improvisation support system that makes advice after a player hits the key via thermal sensation. Differ from conventional improvisation support systems, it does not change the essential function of a musical instrument itself. To examine effectiveness of the system, we carried out an experiment and compared it with a typical improvisation support system and the instrument with no support. Though the traditional improvisation support system was rated more enjoyable by novice subjects, our system certainly supported them and facilitated learning the harmony, namely, fostered their music ability.

#### 1. はじめに

楽器を演奏できても即興演奏ができない人々を支援するシステムは今日まで数多くつくられてきている。CASIO CT-647 キーボードに搭載されている adlib-musician 機能や、谷井らによるシステム INSPIRATION[1]は、入力された音を音楽理論的に正しい音に自動補正する。石田らによる ism システムもまた、N-gram モデルに基づいて音を補正する。これらのシステムは、初心者が楽しく即興演奏を体験できるという意味では成功しているが、いくつかの問題が残っている。第1は、それが実際は許容される程度だったと

しても、システムが不正と認識した音を演奏することができない点である。この結果、本来 1 オクターブ中に含まれる 12 個の音のうち、いくつかの音（通常 5 個程度）が使用できなくなるので、旋律創作の自由度が大きく制限されてしまう。第2は、ある操作（例えばあるひとつの鍵盤を叩く動作）を行った際に、システムが出力する音を予測することが難しい（あるいは不可能な）ことである。このため、ユーザーは意図的に旋律を作り出すことができない。

本稿の第2著者は、音を和声的機能に基づいて配置するシステム RhyMe[3]を開発した。この

システムの場合、すべての音を意図的に演奏することが可能であるため上記の問題は解決されている。しかし、RhyMe はインターフェースとしては古典的なピアノ鍵盤を使用しているものの、実質的には独自の音高順列による「新楽器」とよぶべきものである。もし、「伝統的な楽器を支援システムなしで即興演奏する」ことがユーザーの最終目的である場合、どのシステムもその技術獲得の障害となる可能性すらある。支援は、楽器の基本構造を変化させることなく行われるべきなのである。

即興の本質は、Schoen のいうところの "reflection-in-action [4]" にあると考えられる。つまり、演奏者が音を出し、全体の響きを聞き、そして次の音を決定するというプロセスである。即興演奏の初心者が特に困難としているのはこの全体の響きを聞いて理解する過程であり、次の音を自信をもって決定できる判断材料を見いだすににくいところにある。その判断の一助として、音楽理論が利用できる。つまり、もしそれぞれの音が音楽理論的に適合しているかどうかをシステムが提示すれば、演奏者にとって有益となる可能性がある。しかし、ここで注意すべきは、音楽理論とは絶対の規則ではなく、経験に基づくひとつの指針にすぎないということである。たとえば、ジャズや軽音楽で一般に用いられている和声理論であるバークリー理論は、和声進行の分析に基づき、各時点における 12 個の各音の「協和度」を求めるものである。この結果、楽曲中の各時点における協和度が高い音を並べたものがアベイラブル・ノート・スケールと呼ばれる。多くの場合、このスケールに含まれる音は「使って良い音」、含まれない音は「使ってはいけない（使わないほうが良い）音」と考えられているが、これはアベイラブル・ノート・スケールに関する正確な理解ではない。むしろ、このスケールに含まれる音を使用すれば「協和な響き」が得られ、スケール外の音を使用すれば「不協和な響き」が得られると考えるべきである。つまり、音楽表現上不協和な響きを必要とする場合には、このスケール外の音を

使えば良いということを示しているのであり、「使ってはいけない」という理解とは正反対の意味である。必要ならば、スケール外音をためらうことなく用いてよいのである。例えば、本稿の第 2 著者は、プロのジャズ奏者がその即興演奏のなかでかなりのアウト音を用いていることを示している [3]。

我々は、温度感覚を用いて演奏者に音楽情報を提示する出力機器として「Thermoscore」なるシステムを構築している [5]。これはペルチェ素子を鍵盤楽器の鍵盤に配置し、演奏者と楽器のまさに接点において、情報を提示するものである。本稿で述べる即興演奏支援システムでは、この Thermoscore システムを用いて、楽曲中の各時点での和声におけるアベイラブル・ノート・スケール以外の鍵盤を加熱することによって不協和度の高い音を演奏者に提示する。演奏者は、鍵盤に触れたときのみその温度を知覚するため、結果としてこのシステムはその音に関する情報だけを選択的に、そして打鍵直後に伝達するメディアとなっている。

このシステムは、鍵盤楽器の本質的機能を変更せずに、そこに情報を提示する温度ディスプレイを付加したものであるということが出来る。演奏者に対して打鍵前に制約を与えることもなく、ただ打鍵直後に緩やかに助言を行うわけである。また本システムを用いた演奏に対して新たに習得しなければならない技術は特になく、楽器演奏の学習を阻害しない。

## 2. システム

### 2.1 Thermoscore システム

上述のように、演奏者と楽器の接点での温度制御を行うために、システムはペルチェ素子を用いている。これは主に冷却装置などに用いられている半導体素子であり、ヒート・ポンプとして機能する。2 枚のセラミック板の片面から反対側の面へと熱を移動させるため、極性を入れ替えることで冷却・加熱を切り替えることができる（ただし本システムでは加熱のみ行って

いる)。最も一般的・汎用的な楽器として我々は鍵盤楽器を選択し、その鍵盤にこれらを配置した。

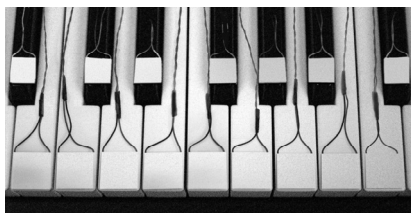


図1 Thermoscore システムの鍵盤

システムは MIDI 信号で制御される。MIDI-to-Temperature コンバーターが MIDI ノート・オン・メッセージを受信すると、該当するペルチェ素子に電流が流れる。MIDI を用いると、既存のスタンダード MIDI ファイルを用いることや、他の MIDI システムとの同期をとることが容易である。原則的に、このシステムは楽器からのフィードバックを行うわけではないことに注意されたい。信号は一方向的に流れ、Thermoscore システムは単に出力機器として機能しているのである。

## 2.2 レイテンシー

図2は、ペルチェ素子表面の温度変化と、その知覚までの遅延を測定したものである。横軸はペルチェ素子に電流を流してから時間経過をあらわし、縦軸はその温度を示している（非接触温度計で測定）。演奏者の知覚までには約2秒の遅延が存在し、50℃を越えると、大概の人はもはや鍵盤を押していられなくなる。

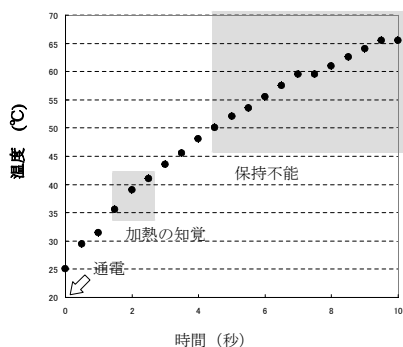


図2. Thermoscore のレイテンシー

誰も熱い物に長時間触れることはできない。極度に熱い場合は、反射行動として手を引っ込めるであろう。つまり鍵盤の温度を変化させることは、即興演奏における一種の制約として機能する。ある鍵盤を加熱すると、その鍵盤を長時間押し続けることが困難となりデュレーションが短くなるため、結果としてこの音は他の音に向かう経過音になるわけである。なお、このような反射行動を引き起こすほど加熱することは、Thermoscore を用いた特殊な音楽演奏表現のために用いられる可能性があるが、本稿で示す即興演奏支援としての用途の場合は、情報を伝達することが主目的なので、反射行動を引き起こすほど加熱する必要はない。

## 3. 実験

### 3.1 コード進行

実験を行うに当たり、図3(a)のようなコード進行を用いた。これはジャズやフュージョンで使用される典型的な循環コードである。この場合8小節を1ループとして循環する。パークリー理論に基づいたアベイラブル・ノート・スケールは、図3(b)に示されるように C#アイオニアン-A#エオリアン-D#ドリアン-G#ミクソリディアンとなる。即興演奏がこれらの音のみで構成される場合（アボイドノートを除く）、協和的な響きが得られる。

C#Δ7	A#m7	D#m7	G#7

図3(a) 実験に用いたコード進行

C#アイオニアン	D#ドリアン
G#ミクソリディアン	A#エオリアン

図3(b) 対応するアベイラブル・ノート・スケール。括弧内はアボイド・ノート。



なお、図 6 においてシステム B では入力音の頻度をカウントしている。補正された出力音のカウントする場合は、この値は全て 0 %になる。

表 1 は、それぞれのシステム A, B, C に対する評価である。アンケートにより 10 段階で評価してもらった。(1:非常に悪い、10:非常に良い)

	A	B	C
被験者 1	5	7	2
被験者 2	7	7	2
被験者 3	1	3	1
被験者 4 (ピアノ経験1年)	9	3	6
被験者 5 (E.B経験3年)	1	8	5
被験者 6 (ピアノ経験2年)	5	4	6
被験者 7 (E.B経験3ヶ月)	1	7	5

表 1. 各システムに対する評価

## 5. 考察

図 6 に見られるように、システム A の場合、被験者 2 と 7 はアウト音を非常に高い頻度（約 80%）で打鍵している。またシステム B の場合は被験者 2 と 7 に加えて 3 と 5 もアウト音を高い頻度で打鍵している。記録された MIDI データを調べると、この被験者は、白鍵を打鍵しがちな傾向をもつことがわかった。本実験でのアベイラブル・ノート・スケールは多くの黒鍵を含んでいるため、ランダムに白鍵のみを演奏してした場合、その音がアウト音となる確率は 75% である。同様に、黒鍵・白鍵に関わりなくランダムに演奏が行われた場合は、上記確率は 50% となる（これらの確率は、基準線として図 6 に加えた）。

さて、我々は今回の実験の場合、アウト音の打鍵頻度の降下が、即興演奏の質の向上を示す指標になりうると考えた。たしかに 1 章で述べたとおり、音楽表現上不協和な響きを必要とする場合には、アウト音を積極的に用いるべきである。しかし、今回は即興演奏の初心者（未経験者）ばかりが被験者であり、まだ不協和をう

まく使うような高度な表現にいたるレベルではない。加えて、アンケート結果をみると、被験者の印象としてはアウト音を多用した場合に自己評価が下がっていることから、彼らが演奏しようとしていた旋律は、アベイラブル・ノート・スケールからなる協和的なものであると推測できるわけである。ここにおいて、アウト音は「旋律創作に際して被験者が意図しない音」であるのとらえることができ、その頻度は被験者が思い通りの演奏ができたかを示す指針とみなしうるわけである。

システム A での即興演奏についてしてみると、アウト音の頻度は曲の進行とともに減少する傾向にある。この傾向は、例外なく全ての被験者についてみることができる。これは、即興演奏の未経験者であっても、和声と自分の演奏との協和度のある程度は聴感的に把握し、どのような音はその調性感を崩すのかを経験を通して学習することができるということを示している。ピアノ経験者は特に、他者よりアウト音の使用頻度が低い。加えて、このシステムに対するピアノ経験者の評価も相対的に高くなっている。

しかし、システム B に切り替わったとたんにほとんどの被験者についてアウト音の頻度は上昇し、システム A よりも高くなっている。さらに、システム B を使っている間に頻度がさらに上昇した被験者も 3 名いた。システム B はアウト音をアベイラブル・ノートへと自動的に補正するため、言い換えるなら「どのキーを打鍵してもそれらしい音が出る」ものである。打鍵している音がアベイラブル・ノートか否かを考える必要はない。したがって、たとえピアノ経験者であってもより多くアウト音に相当する鍵盤を打鍵するようになってしまっている。アンケートによると、ピアノ未経験者はこのシステムを最も楽しいシステムであったとしており、図 7 での音数の上昇もこれと関連があると思われる。興味深いのは、これに対してピアノ経験者はこのシステムを最も不快なものと評価している点である。彼らが言うには、このシステムの場合、出力される音が限られていて退屈であり、思い

通りの音を出せないのが評価を下げる原因であった。

ところで、システムBにおけるアウト音の頻度は、まさに入力音と出力音が対応しない頻度を示している。アウト音は必ず、それとは異なるアベイラブル・ノートに変換されるからである。よって、例えば被験者2のアウト音の頻度は70%だが、これはつまり打鍵している音とは違う音が7割も出ているということであり、音感に対する学習を阻害する可能性がある。

最後に、被験者がシステムC（提案システム）を用いて即興演奏を行っている箇所をみると、アウト音の頻度は劇的に減っており、その値はシステムAの後半部よりも下回っている。さらに、システムの使用に伴ってこの値はさらに減少している。この傾向は、全ての被験者にわたっていえることである。繰り返すが、このシステムCの場合、鍵盤の温度を知ることができるのは打鍵後である。打鍵してみるまで、その音がアベイラブル・ノートに該当するのかわからないのである。にもかかわらず減少がみられたということは、演奏しようとしているキーがアベイラブル・ノートか否かを予測できているということであり、これはすなわち、被験者が何かを学んだということである。

## 6. 結論

本稿では、楽器本来の機能を変更することなく、打鍵後に温度を媒介として助言を行う即興演奏支援システムを提案した。即興演奏未経験者にとって、従来の即興演奏支援システムのほうがより楽しいと評価されたが、本システムは即興演奏の支援にとどまらず、即興演奏に対する学習を促す効果を持っていることが示された。

今後は、この即興演奏支援システムがもたらす学習効果を検証するためのより長期の実験を計画している。また、Thermoscoreシステムの他の応用として、演奏者を触発し、作曲家や観客とのコミュニケーションメディアとして機能するアプリケーションも開発する予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、平成16年度科学研究費補助金・基盤研究(C)(2)(課題番号:16500580)、ならびに中山隼雄科学技術文化財団の補助を受けた。

## 参考文献

- [1] 谷井章夫,片寄晴弘:音楽知識と技能を補うピアノ演奏システム INSPIRATION, 情報処理学会論文誌 Vol. 43, No. 2, pp. 256-259, 2002.
- [2] Katsuhisa Ishida, Tetsuro Kitahara, Masayuki Takeda. Improvisation Supporting System based on Melody Correction, Proc. Int'l Conf. New Interfaces for Musical Expression (NIME 04), pp.177-180, 2004.
- [3] Kazushi Nishimoto and Chika Ooshima. Computer Facilitated Creation in Musical Performance, Proc. Scuola Superiore G. Reiss Tomoli (SSGRR-2001: CD-ROM proceedings), L'Aquila, Italy, Aug.6-12, 2001.
- [4] Schoen, D. A. The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books, NY, 1983.
- [5] Homei Miyashita and Kazushi Nishimoto. Thermoscore: A New-type Musical Score with Temperature Sensation, International Conference on New Interface for Musical Expression (NIME04), pp.104-107, 2004.