

振動機能付鍵盤楽器「ぶるぶるくん」を用いた 即興演奏支援システム

北原 鉄朗[†] 石田 克久^{††} 武田 正之^{†††}

[†]京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻

^{††}東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻

^{†††}東京理科大学工学部情報科学科

kitahara@kuis.kyoto-u.ac.jp kdi@mt.is.noda.tus.ac.jp takeda@is.noda.tus.ac.jp

あらまし 本稿では、即興演奏の不自然な個所を鍵盤の振動で提示する即興演奏練習支援システム *ism_v* を提案する。我々は以前、即興演奏の不自然な旋律を自動的に補正するシステム *ism* を提案した。このシステムは、即興演奏の未経験者が簡単に即興演奏を楽しめるようになるという点で有用であったが、即興演奏の技能向上を支援するものではなかった。*ism_v* では、即興演奏中の不自然な音をリアルタイムに検出し、対応する鍵盤を振動させることでユーザに提示する。これにより、ユーザは旋律の音楽的な妥当性を効率的に学ぶことができる。実験の結果、本システムが即興未習得者の即興演奏練習支援に有効であることが示された。

An Improvisation Supporting System using a Vibrating Keyboard “Buru-Buru-kun”

Tetsuro Kitahara[†] Katsuhisa Ishida^{††} Masayuki Takeda^{†††}

[†]Dept. of Intelligence Science and Technology,

Graduate School of Informatics, Kyoto University

^{††}Dept. of Information Sciences, Graduate School of
Sciences and Technology, Tokyo University of Science

^{†††}Dept. of Information Sciences, Faculty of
Sciences and Technology, Tokyo University of Science

Abstract This paper describes an improvisation-practice supporting system, called *ism_v*, that points out musically unnatural notes in improvisation through key vibration. In our previous paper, we proposed a system, called *ism*, that corrects musically unnatural melodies in improvisation. This system was effective in that it allows inexperienced players to easily enjoy improvisation, but it was not able to support the improvement of users' ability for improvisation. *ism_v*, which we propose in this paper, detects musically unnatural notes and points them out through vibrating corresponding keys. It enables users to learn melody's musical appropriateness in an efficient way. Experimental results show that our system is effective for supporting unskilled players' improvisation practice.

1. はじめに

本研究の最終的な目標は、計算機技術を利用することで音楽を能動的に楽しむ人を増加させることである。音楽の能動的な楽しみ方とは、演奏や作曲などの「音楽を創り出す行為」によって音楽を楽しむことをさす。かつてのカラオケブームやバンドブームから示唆されるように、音楽を能動的に楽しみたいと潜在的に考えて

いる人は少なくないと考えられる。このような人たちに対して、音楽を能動的に楽しめる環境を提供することは、音楽情報科学における重要なテーマの1つである。

我々はこれまで、能動的な音楽の楽しみ方の1つとして即興演奏に着目し、これを計算機により支援するシステムについて検討してきた^{1)~3)}。即興演奏では、演奏者が、どの音を出せば自然な旋律になるか(たとえば伴奏と調和するか)をその場で考えながら演奏し

なければならない。そのため、楽器演奏自体ができる人であっても難しく、「楽器演奏自体はできるが、どの音を出せば自然な旋律になるかが瞬時に判断できない人」(以下、即興未習得者という)は多いと考えられる。我々は、このような演奏者に対して即興演奏を身近にするには「どの音を出せばよいか」という判断の部分において適切な支援をするべきであると考え、演奏時に音楽的に不自然(あるいは不適切)な音をリアルタイムに検出し、音楽的に自然(適切)な音に差し換える旋律補正システム *ism* を提案した^{1)~3)}。このシステムを用いることにより、音楽的に不自然な旋律が聴取者に聴かれるのを防ぐことができるので、音楽的スキルが不十分な演奏者でも、躊躇することなく即興演奏やジャムセッションに挑戦できるようになった。しかしながら、その一方、いずれは特別な支援なしに即興演奏ができるようになることを望む声も多く、即興演奏の技能向上(練習)に貢献するシステムの実現が望まれていた。

本稿では、このような即興演奏の技能向上を支援するため、演奏者の即興演奏の不自然な個所を、振動でリアルタイムに提示するシステム *ism_v* を提案する。このシステムでは、演奏者の即興演奏から不自然な音を検出すると、その音に対応する鍵盤を内蔵の振動モータにより振動させる。これにより、どのような場面でどの音を弾くと音楽的に妥当でないのかをダイレクトに知ることができるので、即興演奏の独習に貢献すると期待できる。

以下、2章では、鍵盤の振動により即興演奏の練習を支援するシステム *ism_v* を提案し、その実現法について述べる。3章では *ism_v* の評価実験を行う。4章で関連研究との違いについて議論し、5章でまとめをする。

2. *ism_v*: 即興演奏の不自然な旋律を振動で提示する即興演奏練習支援システム

本章では、即興演奏の音楽的に不自然な個所を検出し、それを振動で提示してくれるシステム *ism_v* を提案する。

我々が以前提案した旋律補正システム *ism*^{1)~3)} は多くの人に支持されたが、ある程度の音楽経験を持つ一部の演奏者は、鍵盤と異なる音が出たときの違和感を訴えた。これは、このシステムが、即興未習得者が手軽に即興演奏を楽しめることを目的としているからであり、この種の違和感は、音楽能力の向上という観点からはむしろ望ましいことである。このような演奏者に対しては、システムが旋律の不自然な個所を自動的に他の音に差し換えるのではなく、演奏者に提示することで即時的旋律創作能力の向上を促すことが望ましい。

本稿で提案する *ism_v* は、旋律の不自然な個所を鍵盤

の振動で提示することで、即興演奏の練習を支援するシステムである。これまでの楽器練習支援手法(たとえば、光るキーボードのメロディナビゲーション機能や文献4)など)は、演奏すべき旋律があらかじめ決められていない即興演奏には適用できなかった。ユーザが1人で即興演奏を練習できるようにするには、計算機がユーザの即興演奏の音楽的適否を判断して、アドバイスする必要がある。本システムでは、文献1)~3)で提案した確率的旋律適否判定法を用いて、ユーザの演奏が音楽的に適切かどうかを判定し、適切でない場合には、対応する鍵盤を振動させることで、音楽的に適切でない旋律を弾いたことをリアルタイムに指摘する。

2.1 全体像

ism_v は、基本的には、文献1)~3)で提案した *ism* の補正を鍵盤の振動に変更したものである。演奏者は、鍵盤のそれぞれに振動モータを取りつけた特殊な MIDI キーボード「ぶるぶるくん」⁵⁾ を使って演奏する。システムは、演奏者の旋律に対して、N-gram モデルを用いて音楽的に不適切な個所を検出したら、それを他の音に変えるのではなく、対応する鍵盤を振動させることで演奏者に伝える。演奏者は、演奏しながらリアルタイムに、どの音が音楽的に適切ではなかったかを知ることができる。これにより、演奏した旋律が適切なのか自分で判断できない初心者でも、効率的に即興演奏を学ぶことができる。また、演奏終了後に、自分の旋律をピアノロールで見ることができ、どこが不適切だったか、どの音が推奨されるのかを視覚的に確認することができる。これにより、さらに学習効果を高められる。

システムから演奏者に不適切な音であることを提示するのに、鍵盤の振動を採用したのは、次の理由によるものである。システムからの情報提示においては、まず聴覚や視覚に提示する方法が考えられる。しかし、聴覚に提示する(すなわち何らかの音を出す)ことは演奏の邪魔となり、また、視覚に提示する場合、演奏者が提示部を見ている必要がある。実際、市販の光るキーボードで試したところ、LED による提示を見逃さないように常に LED を見続けなければならず、演奏に集中できなくなることが多かった。それに対し、我々が採用した触覚に提示する方法は、鍵盤に触れていれば確実に気づくことができる。本システムでは、振動は必ず打鍵のタイミングで起こるため、鍵盤に必ず触れており、確実に伝達が可能である。なお、触覚に提示する方法としては、ペルチェ素子で鍵盤を加熱する方法⁶⁾ もあるが、急速な温度変化が難しいという問題があった。

2.2 不適切音検出手法

ism_v を実現する上で中心となる課題は、振動すべき音(音楽的に不自然・不適切な音)をどのように検出

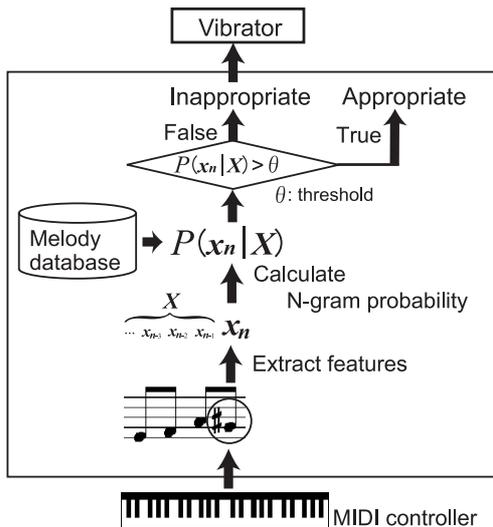


図 1 ismvにおける不適切音検出手法．打鍵された音とすでに発音された音から N-gram 確率を算出し，確率値が小さい場合にのみ振動を行う．

Fig. 1 A method of detecting musically inappropriate notes in ismv. It first calculates N-gram probabilities of played notes, and then vibrates keys only for notes whose probabilities are low.

するかである．この課題に対する 1 つの解決法として，アウト音をすべて振動対象音とする方法が考えられる．なぜなら，アウト音は，伴奏ときれいなハーモニーを形成しにくいとされているからである．しかし，すべてのアウト音が音楽的に不適切というわけではなく，むしろ演奏者が意図的にアウト音を演奏する場合も多い．

そこで本稿では，演奏されたアウト音を振動対象とすべきかどうかを，N-gram による旋律モデルに基づいて決定する手法を提案する（図 1）．まず，旋律を特徴抽出と N-gram によりモデル化する．そして，演奏された旋律に対応する N-gram 確率を，あらかじめ用意された旋律データベースから求め，この確率値に基づいて振動すべきかを決定する．

(1) 同時発音の判定

演奏された音が和音かどうかを判定する．ここでは，15ms 以内に演奏された音を同時発音（和音）とみなす．和音の場合，最高音を主旋律とみなして以下の処理を行う．最高音以外は，コードトーンでなければ最近傍のコードトーンに補正する．

(2) 特徴抽出

旋律の各音の特徴を特徴ベクトルとして表現する．現在の実装で用いている特徴ベクトルを表 1 に示す．以下，特徴ベクトル x で表される音を「音 x 」と表す．

(3) N-gram による旋律のモデル化

与えられた旋律の次にどのような音が用いられやすいかを数量的に表すため，旋律をモデル化する．このモデルは，旋律 $X = x_1 \cdots x_{n-1}$ の次に音 x_n が続く確率

表 1 特徴ベクトルの各要素（括弧内は取りうる値）

Table 1 The elements of feature vectors

対象音の種類（コード構成音，キー構成音，その他）
対象音と直前の音の音高差（短 2 度，長 2 度，短 3 度以上）
対象音の発音時刻が 8 分音符レベルで表か裏か（True, False）
対象音の直前に休符があるか（True, False）

$P(x_n|X)$ を与えるモデルと考えることができる．ここでは， x_n がその直前の $N-1$ 個の音 $x_{n-N+1} \cdots x_{n-1}$ に依存して決められると考え，

$$P(x_n|X) = \frac{P(x_n|x_{n-N+1} \cdots x_{n-1})}{P(x_{n-N+1} \cdots x_{n-1})}$$

と定義する．これは，さまざまな旋律の出現確率を N-gram を用いてモデル化したことに相当する．

(4) 旋律のモデルに基づく振動対象音の決定

即興演奏において旋律 X の後にアウト音 x_n が演奏されたとき，その音が自然かどうかは，旋律データベースから求めた N-gram 確率 $P(x_n|X)$ で表される．なぜなら，この値が高いということは，実在する旋律でも X の後に x_n が続くことがよくある，ということを示しているからである．そこで，この値がしきい値より低いとき， x_n を「音楽的に不適切」とみなす．

2.3 ぶるぶるくんの実装

ぶるぶるくんのハードウェアは Roland 社の MIDI キーボード PC-180 をベースに改良を行った．各鍵盤の内部には携帯電話に用いられている振動モータ（CM05M）を埋め込み，PIC マイコン（PIC16F84）により振動を制御する（図 2）．制御の方法は，MIDI キーボードに新たに MIDI 入力端子を増設し，受信した MIDI メッセージ（Note On/Note Off）に従って，対応する鍵盤の振動モータの ON/OFF を行う．Note On を受信すると振動を開始するが，対応する Note Off メッセージが受信されない場合でも，一定時間後に振動を停止できるように振動の持続時間を指定する MIDI メッセージの拡張も行っている．

振動モータの標準電流は 50mA であり，PIC だけの駆動では電流不足となるため，ダーリントン・トランジスタアレイ（TD62003AP）による電流増幅を行っている（図 3）．これにより，複数の鍵盤を同時に振動させることが可能になった．PIC16F84 は，13 の入出力ポートがあり，そのうち 1 ポートを MIDI 入力用に割り当てるため，12 の出力ポートを鍵盤制御に利用できる（すなわち 1 オクターブ分）．従って，4 個の PIC を用いて，合計 48 鍵盤を制御している．電源は MIDI キーボードの DC9V を流用し，振動モータへは 9V を，PIC へは 5V に変換して供給している．なお，PIC プログラミングは，MICROCHIP 社の MPLAB 上のア

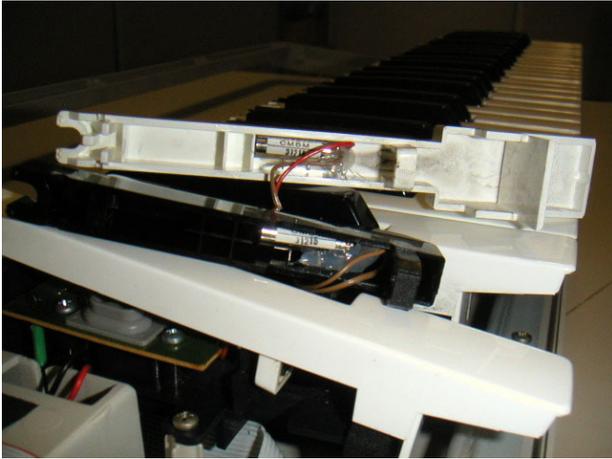


図2 鍵盤に埋め込まれた振動モータ。
Fig.2 A built-in vibrating motor in each key.

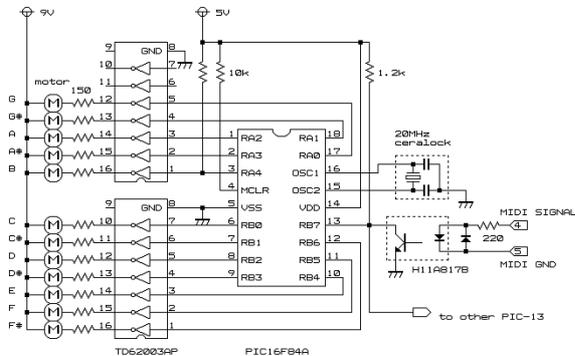


図3 ぶるぶるくんの回路図(1オクターブ分)。MIDI入力端子から受信した情報をPICで解析し、振動モータを制御する。
Fig.3 The circuit diagram of *Buru-Buru-kun*. The PIC analyzes the signal received from the MIDI IN port, and controls built-in vibrating motors.

センブラを用いて行った。

3. 評価実験

3.1 不適切音検出実験

提案手法による旋律妥当性判定の精度を評価する。37人の即興演奏の旋律(総小節数:2,368,総音符数:8,945)中の各音について、音楽的に不適切と思われる箇所を手でラベル付けする(「不適切音」と呼ぶ)。それらについて提案手法を適用し、不適切音が正確に検出されたかを、

$$\text{再現率} = \frac{\text{検出された音のうち不適切音の個数}}{\text{不適切音の総数}}$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{検出された音のうち不適切音の個数}}{\text{検出された音の総数}}$$

$$F \text{ 値} = \frac{2 \times \text{再現率} \times \text{適合率}}{\text{再現率} + \text{適合率}}$$

を用いて評価する。なお、旋律データベースは、スタ

表2 旋律妥当性判定実験結果

	再現率	適合率	F 値
単純法	0.7822	0.3636	0.4964
提案手法	0.7682	0.4982	0.6044

表3 ismv評価実験グループ分け

Table 3 Groups of subjects for evaluating *ismv*

グループ	1 回目	2 回目
A	楽曲 1, <i>ismv</i> 使用	楽曲 2, 通常練習
B	楽曲 1, 通常練習	楽曲 2, <i>ismv</i> 使用
C	楽曲 2, <i>ismv</i> 使用	楽曲 1, 通常練習
D	楽曲 2, 通常練習	楽曲 1, <i>ismv</i> 使用

ンダードジャズの楽譜集⁷⁾の全曲(208曲,総小節数:6,836,総音符数:18,897)を用いて作成した。また、N-gramとして trigramを用いた。比較のため、アウト音をすべて不適切と判定する手法(単純法)についても実験を行った。

実験結果を表2に示す。提案手法のF値が、単純法に比べて0.1080向上した。再現率,適合率で分けて考えると、再現率が1.4%下がり、適合率が13%向上した。すなわち、音楽的に不適切な音を適切と判定する誤りの増加を最小限に抑えながら、適切な音を不適切と判定する誤りを大幅に減らすことができた。

3.2 ismvのアンケート評価

3.2.1 評価方法

*ismv*を用いた練習と通常のキーボードを用いた練習との比較評価をアンケート形式で行う。被験者は、即興演奏の初心者16名である。この16名の被験者をA~Dの4つのグループに分け、グループA,Cには*ismv*を用いた練習を先に、グループB,Dには通常のキーボードを用いた練習を先に行ってもらおう。また、伴奏曲は、調やコード進行の異なる2曲を用意し、グループ間で楽曲と練習方法の順序が重ならないように割り当てる。具体的な実験順序を表3にまとめる。ここで、調やコード進行の異なる2曲を用意したのは、1回目の実験で即興演奏に慣れたことが、2回目の実験にできるだけ影響しないようにするためである。被験者は、それぞれの実験において1時間程度練習をした後、以下のアンケートに7段階で回答する。

- Q1 この練習方法でうまくなれそうか。
- Q2 この練習方法は効率的か。
- Q3 この練習方法は楽しいか。
- Q4 この練習方法は続けられそうか。

なお、回答は点数が大きい方が良い評価となる。

3.2.2 実験結果

実験結果を表4に示す。各被験者の回答の平均では、すべての設問で5.0を超え、通常の練習に対して1.7~3.5上回った。特に、Q1では16人中15人が、Q2で

表 4 ismv 評価実験結果

Table 4 Questionnaire results of ismv evaluation

被験者	Q1		Q2		Q3		Q4	
	ismv	通常	ismv	通常	ismv	通常	ismv	通常
A1	5	3	7	1	5	2	6	2
A2	5	3	4	2	5	6	3	4
A3	5	6	4	2	6	6	4	4
A4	5	3	7	1	7	6	5	4
B1	6	5	7	4	7	4	6	4
B2	6	5	5	2	7	2	5	3
B3	6	2	6	2	6	5	7	4
B4	6	5	6	2	4	5	6	6
C1	6	5	7	3	4	7	6	3
C2	4	3	5	2	6	6	5	5
C3	5	3	5	3	6	4	4	4
C4	5	1	7	1	7	1	6	1
D1	6	5	6	3	6	3	6	4
D2	6	3	6	3	4	1	7	1
D3	4	2	3	2	4	2	4	3
D4	6	4	6	2	4	7	3	5
Av.	5.4	3.6	5.7	2.2	5.5	3.8	5.2	3.3
SD	0.72	1.4	1.3	0.83	1.2	2.0	1.3	1.5

ismv: 提案システムを使用した練習方法

通常: 通常のキーボードを用いた練習方法

Av: 平均, SD: 標準偏差

は全員が, ismv を通常の練習より高く評価した。

これらの結果が有意であることを片側 t 検定で示す。各設問における平均の差を $d_i (i = 1, \dots, n)$ とすると, 検定統計量 t_0 は,

$$t_0 = \frac{|\bar{d}|}{\sqrt{\sum_i (d_i - \bar{d})^2 / n(n-1)}}$$

で与えられる。ここで, n は被験者数, \bar{d} は d_1, \dots, d_n の平均値である。各設問におけるこの検定量の値は Q1 で 5.653, Q2 で 9.299, Q3 で 2.546, Q4 で 3.564 で, 有意水準 5% (棄却域: $(1.753, \infty)$) で有意である。

実験終了後に得られた意見を表 5 に示す。この表の通り, ismv には, どこが悪いのか分かるのが良い, 間違ったことを認識しやすい, という学習効率の向上を示す意見とともに, 画期的で新鮮だ, 1人で練習するより楽しい, といった意見が非常に多く寄せられた。これは, 多くの人が ismv が即興演奏の独習環境として, 楽しみながら効率よく練習できるツールだと判断した結果である。対して, 通常練習には, 間違った個所がわかりにくい, 客観的な判断が難しい, というような学習効率の悪さを指摘する意見とともに, つまらない, すぐに飽きる, といった継続した練習が困難だという意見が多く寄せられた。楽器演奏を練習する上で, 長期間練習することは非常に重要なことであるが, これらの意見は, 通常練習では上達の前に練習をやめてしまいかねないことを表している。しかし ismv にも, リアルタイムに改善個所を提示されても余裕がない, 伴

奏と調和するフレーズは作れても, きれいなフレーズを創作する練習としては難しい, という意見もあった。これらは, 今後さらに改善すべき点である。

4. 関連研究

これまでの音楽初心者の楽器練習を支援する手法, たとえば市販の光るキーボードに搭載されているメロディナビゲーション機能やギター用タブ譜自動作成システム⁸⁾は, 基本的に, 楽譜を読むことに対する支援であった。多くの人にとって楽器練習の初期の段階で楽譜を読むことが大きな負担になっていることは事実であり, この負担の軽減を実現したことは画期的であるが, その次のステップといえる即興演奏を扱った研究はこれまでほとんどなかった。即興演奏を練習するには, 練習者が弾いた旋律が音楽的に望ましいかどうかを判断する必要がある。しかし, 初心者がこれを行うのは困難であり, 何らかの判断基準が望まれていた。

旋律が音楽的に望ましいかどうかを計算機が判断する問題を扱った研究として, MAESTRO⁹⁾がある。これは, 対象をバス課題に絞り, その美しさを測る評価基準を計算機上に実装したものである。この研究は旋律の美しさを工学的に扱う点で画期的であるが, バス課題のみを対象としており, ジャズなどの即興演奏への適用は困難であった。それに対し, 本研究では, 自然言語の統計的モデル化でよく用いられる N-gram で旋律をモデル化し, 大量のジャズの旋律を学習することで, 即興演奏に対して音楽的に望ましくない個所を検出することを実現した。

旋律のモデル化を扱った他の研究事例として, Pachat の Continuator¹⁰⁾がある。これは, 与えられた旋律に後続する旋律を生成するシステムであり, このシステムでは, 旋律を, 木構造を持つマルコフ連鎖によりモデル化している。学習フェーズにおいて旋律が与えられると, 音の遷移の「ありがちさ」は, マルコフ連鎖における状態遷移確率として学習される。この状態遷移確率を重みとしてランダムに木構造を探索することで, 後続旋律の生成を行う。この研究は, 音の遷移のありがちさを確率的に学習している点では本研究と共通であるが, 旋律を生成できるようにするために, 後から探索できるようにしている点で異なっている。それに対し, 本研究では与えられた音の遷移が音楽的に適切か否かの判定のみに焦点を当てており, より単純なモデルである N-gram モデルを採用した。

また, 楽器演奏支援の手法は, ユーザの目的が演奏そのものにあるのか演奏技能の向上にあるのかによ

与えられたバスの旋律にソプラノ, アルト, テノールの旋律を付与する課題。音楽大学などで行われる。

表 5 被験者から得られた意見 (抜粋)

Table 5 Opinions obtained from subjects (excerpt).

ism _v に対する意見	通常練習に対する意見
<p>どこが悪いのかすぐにわかるのがよい。 聞き直しができるのがよい。 鍵盤が震えるので、音が違った個所を認識しやすい。 間違えたとき、正しいところをすぐに提示してくれるのがよい。 自分の演奏と、システムが直したものを比べられるのがよい。 曲の流れに合わない音がわかると、確かに効率的だと思う。 電子楽器の機能として組み込めば、変わった楽しみ方ができると思う。 画期的で新鮮だと思う。1人でやるより楽しい。 リアルタイムに改善個所を指摘されても余裕がない。 伴奏と調和するフレーズは作れても、きれいなフレーズを作る練習としては難しい。</p>	<p>間違った個所がわからないので練習に時間がかかる。 どこが悪いかわからない、聞き直しをしたい。 自分の耳だけが頼りなので、音感がなかったら非効率的だと思う。 客観的なアドバイスがないので、いつか頭打ちになると思う。 弾きながら良い音を判断するのが難しい。 間違いがわからないので上達は難しいと思う。 弾いてみていい音を探すしかないで時間がかかる。 自分の中で外した音がわからない。 素人にはきつい練習になる気がする。 すぐに飽きる。同じことを繰り返すので、あまり楽しくない。</p>

て異なってくると考えられる。前者の場合(たとえば文献 11), 12) など), 楽器の自由度を犠牲にして楽器インターフェースを単純化するものが多く、高度な演奏に挑戦するには限界があった。本研究では, *ism* と *ism_v* という 2 つのシステムを用意することで, まずは演奏そのものを楽しんでもらい, その後, 演奏技能の向上に挑戦してもらうことを狙っている。

ism_v と目的が似た研究として, Thermoscore を用いた即興演奏支援システム⁶⁾がある。このシステムでは, アウト音に相当する鍵盤を加熱することで, どの鍵盤がアウト音かを判断できない初心者でも即興演奏を楽しめるようにしたものである。しかし, 前述のように加熱・冷却に時間がかかる, また, 不適切な響きを生じうるアウト音がどうかの提示は行わない, という点で本研究と異なっている。

5. おわりに

本稿では, 即興演奏の技能が十分でない人が技能向上を目指すためのシステムとして, 旋律の不自然な個所を振動で提示するシステム *ism_v* を提案した。このシステムでは, ユーザの演奏から音楽的に不自然と思われる音を検出すると, それに対応する鍵盤を振動させることでリアルタイムにユーザに提示する。これにより, ユーザはどのような場面でどのような音を使うと音楽的に不自然になるのかをリアルタイムに知ることができるので, 効率的に, また楽しみながら即興演奏の練習をすることが可能になる。アンケートによる評価実験の結果, 本システムが即興演奏の練習支援に有効であることが示された。

本稿で提案した即興演奏支援の枠組みは, 他の楽器にも応用することが可能である。たとえば, ベースは調性とハーモニーの基礎となる重要なパートであり, ベースの旋律を効果的に習得できるシステムの実現は重要な課題である。今後は, こうした鍵盤楽器以外の

楽器に対する演奏支援について検討するとともに, *ism* と *ism_v* とをどのように組み合わせるとより効果の高い即興演奏練習支援ができるのかについても, 長期的評価も含めて検討していきたい。

謝辞 有益なご助言をくださった後藤真孝氏(産業技術総合研究所)に感謝する。また, 中村優作氏, 仁科章史氏をはじめ, 本研究にご協力いただいたすべての方々に感謝する。

参考文献

- 1) 石田 克久, 北原 鉄朗, 武田 正之: *ism*: 即興演奏支援のためのリアルタイム旋律補正システム, 情処研報, 2003-HI-106-2, 2003-MUS-52-2, pp.9-15 (2003).
- 2) 石田 克久, 北原 鉄朗, 武田 正之: *ism*: 即興演奏の不自然な旋律を補正する演奏支援システム, *Proc. WISS 2003*, pp.19-24 (2003).
- 3) 石田 克久, 北原 鉄朗, 武田 正之: 統計モデルに基づく旋律妥当性判定手法を用いた即興演奏支援, 日本音響学会 2004 年秋季研究発表会 講演論文集, 2-6-8 (2004).
- 4) 尾崎昭剛, 原尾政輝, 平田耕一: 間違いの認識による演奏習得支援システムの構築, 情処研報, 2004-MUS-55, pp.39-44 (2004).
- 5) 石田 克久, 北原 鉄朗, 武田 正之: 演奏者に振動で情報提示する鍵盤楽器「ぶるぶるくん」, *Proc. WISS 2004*, pp.59-64 (2004).
- 6) 宮下芳明, 西本一志: 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, 情処研報, 2004-HI-110, pp.13-18 (2004).
- 7) 伊藤伸吾: ザ・プロフェッショナルスタンダード・ジャズハンドブック, 中央アート出版社 (1992).
- 8) 三浦雅展, 廣田 勲, 浜 将彦, 柳田益造: 単旋律ギター演奏における最適押弦位置決定システムの構築, 信学論, Vol.J86-D-II, No.6, pp.755-763 (2003).
- 9) 三浦雅展, 山田真司, 柳田益造: 四声体と和声の音楽美を評価するシステム “MAESTRO”, 日本音響学会誌, Vol.59, No.3, pp.131-140 (2003).
- 10) F. Pachet: The Continuator: Musical Interaction with Style, *Proc. ICMC 2002*, pp.211-2189 (2002).
- 11) 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).
- 12) 赤澤堅造, 奥野竜平: 高齢者も演奏可能な新しいサイバー楽器の開発を目指して, 情処研報, 2003-HI-106, 2003-MUS-52, pp.15-20 (2003).