

# N-gram による旋律の音楽的適否判定に基づいた 即興演奏支援システム

石田 克久<sup>†</sup> 北原 鉄朗<sup>††</sup> 武田 正之<sup>†††</sup>

本論文では、即興演奏未習得者のための演奏支援について述べる。我々の最終目標は、即興演奏未習得者が通常の楽器を用いて即興演奏を行えるようになることである。この目標を達成するために、我々は「即時的旋律創作能力の補助」と「即興演奏の練習環境の提供」の2つのアプローチで、即興演奏の未習得者をサポートする。「即時的旋律創作能力の補助」に対しては、旋律中の不適切な音を自動的に補正する演奏支援システム *ism* を開発した。これは、演奏された旋律中の不自然な箇所をリアルタイムに検出し、適切な音に変換することで、即時的な旋律創作を容易にするためのものである。「即興演奏の練習環境の提供」に対しては振動により不適切な音を指摘する学習支援システム *ism<sub>v</sub>* を構築した。このような支援システムを実現するうえでの中心となる課題は、どのように不適切な音を検出するかである。これに対し我々は、N-gram で旋律をモデル化し、その確率値が小さなもののみを不適切と判定する手法を提案する。実験の結果、提案手法により旋律中の不適切な箇所の検出精度を向上させることができ、*ism/ism<sub>v</sub>* が即興未習得者の演奏支援に有効であることが示された。

## Improvisation Supporting System Using N-gram-based Melody Appropriateness Determination

KATSUHISA ISHIDA,<sup>†</sup> TETSURO KITAHARA<sup>††</sup>  
and MASAYUKI TAKEDA<sup>†††</sup>

In this paper, we describe improvisation support for players who do not have sufficient experience in improvisation. The goal of our study is that such players learn the skill for improvisation and enjoy it. In order to reach this goal, we consider two approaches: assisting their skill for real-time melody creation and providing them with a self-education environment for improvisation. For the former approach, we developed a system that automatically corrects musically inappropriate notes in the melodies of their improvisation; for the latter approach, we developed a system that indicates musically inappropriate notes with vibrating corresponding keys. The main issue in developing these systems is how to detect musically inappropriate notes. We propose a method for detecting them based on the N-gram model. This method first calculates N-gram probabilities of played notes, and then judges notes with low probabilities to be inappropriate. Experimental results show that this N-gram-based method improves the accuracy of detecting musically inappropriate notes and our systems are effective in supporting unskilled players' improvisation.

### 1. はじめに

近年、計算機の発達により、ジャムセッションを楽

しむ機会が増えつつある。たとえば、ジャムセッションシステム<sup>1)</sup>は、計算機内に仮想ミュージシャンを構築することで、計算機とジャムセッションを楽しむ機会を与える。Open RemoteGIG<sup>2)</sup>は、インターネットなどの広域ネットワークを介した遠隔地どうしのジャムセッションを実現する。また、PDAを用いた持ち運びの容易な電子楽器<sup>3)</sup>や、ウェアラブル型の電子楽器<sup>4)</sup>も提案されている。

しかし、これらは、即興演奏の能力がある人に対して、より多様なジャムセッションを提供するものであり、ジャムセッションそのものを支援するものではない。ジャムセッションに必要な不可欠な即興演奏では、

<sup>†</sup> 東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻  
Department of Information Sciences, Graduate School  
of Sciences and Technology, Tokyo University of Science

<sup>††</sup> 京都大学大学院情報科学研究科知能情報学専攻  
Department of Intelligence Science and Technology,  
Graduate School of Informatics, Kyoto University

<sup>†††</sup> 東京理科大学理工学部情報科学科  
Department of Information Sciences, Faculty of Sci-  
ences and Technology, Tokyo University of Science  
現在、日本電気株式会社  
Presently with NEC Corporation

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、即興演奏は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。ジャムセッションをより身近なものにするには、計算機技術を活用して即興未習得者を適切にサポートすることが必要である。

本研究では、即興未習得者が通常の楽器で即興演奏を楽しめるようになることを最終目標とし、「即時的旋律創作能力の補助」「即興演奏の練習環境の提供」という2つのアプローチで、即興未習得者の即興演奏をサポートする。ここで、即時的旋律創作能力とは、演奏しながら旋律を創作する能力である。即興未習得者は、概して即興演奏に自信がないことが多く、せっかくジャムセッションをする機会があっても委縮してしまうことが少なくない。こういった場合、多少本来の形態と異なっても、まずは即興演奏の楽しさを実感することが重要である。そこで我々は、即興演奏における1番のボトルネックと考えられる、即時的旋律創作能力を計算機により補助する手法を検討する。これはちょうど、鉄棒などの体操競技でまずは補助付きで練習して成功体験を得ることと対応する。そして、次のステップとして、計算機の補助を借りずに即興演奏ができるようになりたいと考える人のために、即興演奏を1人で練習できる環境について検討する。

我々は、この2種類の即興演奏支援を実現するため、2つのシステムを構築した。「即時的旋律創作能力の補助」に対しては、即興演奏における不自然な個所を自動的に補正する演奏支援システム *ism* を構築した。本システムでは、演奏者が演奏した旋律に対して、そのまま発音されると不自然な音になるとシステムが判断した音を他の音に差し換える。これにより、不自然な旋律が聴取者に聴かれることを防ぐことができるので、演奏者の演奏ミスに対する恐怖心やジャムセッションへの参加のためらいを軽減する効果があると期待できる。「即興演奏の練習環境の提供」に対しては、即興演奏における不自然な個所を振動によりリアルタイムに教えてくれる即興演奏練習支援システム *ism<sub>v</sub>* を構築した。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は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。これら2つのシステムは、まず *ism* で演奏に慣れて

もらい、躊躇なく演奏できるようになったら *ism<sub>v</sub>* で学習を行ってもらうことで、即興未習得者の即興演奏を支援するものである。このように、即興演奏の練習を2段階に分けることにより、効率良く上達することができる。また、実際に演奏することは練習するうえで非常に重要なことであるが、練習が不十分な場合、演奏自体が困難である場合が多い。そのとき、学習時には *ism<sub>v</sub>* を用い、実際に演奏を行う際には *ism* を併用する、という形をとることで、技術的に不十分な状態でも学習意欲を持続できると期待できる。このように、2つのシステムを併用することで、飽きることなく練習を持続することができるようにと考えられる。本論文では、これら2つのシステムの設計方針・実現方法・評価実験について論ずる。

また本論文では、これらのシステムを実現するのに必要な、旋律の不自然な個所の検出について、新たな手法を提案する。本手法では、音の遷移のもっともらしさを N-gram でモデル化し、N-gram 確率をあらかじめ用意した旋律データベース(既存の楽曲の旋律、コード、調を多数収録したもの)から算出する。そして、この N-gram 確率に基づいて、旋律が不自然かどうか(補正・振動が必要かどうか)を決定する。

以下、2章で演奏支援のアプローチについて議論し、旋律補正に基づく即興演奏支援システム *ism* を提案する。3章では、*ism* を実現するための旋律適否判定法について述べたあと、4章で *ism* の実装と評価を行う。5章では即興演奏の練習支援について議論し、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<sub>v</sub>* を提案する。6章で本システムの応用について議論し、最後に7章でまとめを述べる。

## 2. *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

本研究では、即興演奏未習得者が、通常の楽器を用いて即興演奏ができるようになることを最終目標としている。この目標を達成するための即興演奏支援システムの設計においては、即興演奏に必要な技術を楽器演奏と旋律創作とに分けて考え、旋律創作部分についてのみ支援を行い、通常の楽器を演奏する感覚を失わないようにすることが望ましい。具体的には次の条件を満たすべきであると考えられる:

- 通常の楽器と同様の演奏方法を用いる  
通常の楽器を用いて即興演奏を行えるようになることが最終目標であるので、特殊な演奏方法の装置を用いることは好ましくない。通常の楽器でもシステムを用いたときと同様の演奏が行えるよう

になるために、その操作方法是通常の楽器と同様であるべきである。

- 計算機が必要以上に介入しない

即興演奏が十分に行えない演奏者であっても、その即興演奏はまったくでたらめというわけではなく、多くの部分は鑑賞に耐えうる自然な旋律である。このような自然な旋律に対しても計算機が何らかの処理を行うことは、演奏者の創造的表現を制限することになるため、避けるべきである。

これまでにいくつかの演奏支援研究<sup>7)~9)</sup>がなされてきたが、いずれも上記の条件を満たすシステムではなかった。Coloring-in Piano<sup>7)</sup>は、演奏したい曲の音高情報をあらかじめ計算機に入力しておくことで、間違った鍵盤を弾いても正しい音高の音を出ることができるシステムである。しかし、即興演奏ではあらかじめ楽譜を用意できないため、この方法を適用することはできない。音機能固定マッピング楽器<sup>8)</sup>は、楽器のインタフェースを従来の音高ではなく機能別に配置した新楽器である。これは、この楽器を用いて即興演奏をすることが最終目標であれば有用であるが、通常の楽器で即興演奏ができるようになることが最終目標であるときには有用とはいえない。INSPIRATION<sup>9)</sup>は、アヴェイラブルノートスケールから外れる音(アウト音と呼ぶ)をすべて補正することで即興演奏を支援するシステムである。しかし、後述するように、アウト音がつねに「音楽的に不自然」とは限らないため、アウト音をすべて補正するのは望ましくない。

そこで本研究では、演奏者の即興演奏の不自然な箇所を N-gram に基づいて検出し、検出箇所のみを自動的に補正する演奏支援システム ism を実現する。本システムでは、楽器のインタフェースの部分は既存の MIDI 楽器をそのまま用いるため、通常の楽器と同様の方法で演奏することができる。したがって、システムを用いて即興演奏に慣れた後、通常の楽器を演奏をする際にも、システムを使った際の経験を活かすことができる。また、補正対象音決定処理に用いるしきい値を適切に設定することで、演奏者は、計算機がどの程度自分の演奏に介入するかを自由に決めることができる。

また、ism には以下の特長もある。

実際、演奏歴 1 年未満の初心者 10 人と演奏歴 3~5 年程度の中級者 15 人(いずれも即興演奏の経験なし)に即興演奏をしてもらったところ、音楽的に不自然だった音の割合は、初心者で 12.03%、中級者で 8.22%だった。それぞれのコードに適した音で構成されるスケール。このスケール内の音を用いると、コードとよく響きあうとされる。

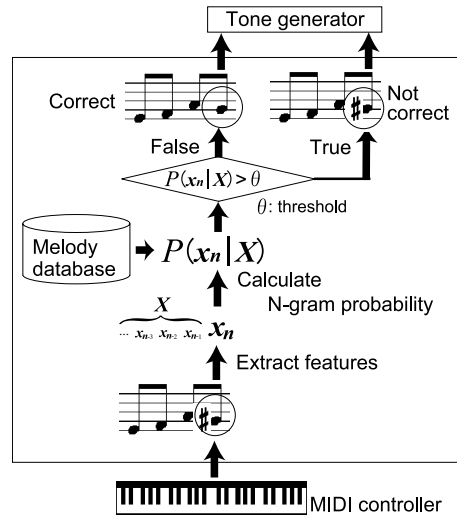


図 1 補正内部処理。打鍵された音とすでに発音された音から N-gram 確率を算出し、確率値が小さい場合にのみ補正を行う  
Fig.1 The overview of ism. The system first calculates N-gram probabilities of played notes, and then corrects only notes of which the probabilities are low.

- 聴取者には補正されていることが分からない  
補正処理はリアルタイムに行われるため、聴取者には、演奏者がいつミスをしたのか、いつ補正が行われたのかは分からない。これは、実際の応用においては重要な点である。
- 演奏者の演奏ミスに対する恐怖心が払拭される  
ism を使用することにより、演奏者が感じる演奏ミスに対する恐怖心や、次に出す音の迷いのある程度払拭することができる。そのため、演奏者は演奏に集中することができる。これにより、演奏のリズムや強弱が安定し、ism が直接対象としていない要素までもが改善されることが期待できる。

### 3. ism の実現方法

ism を実現するうえで中心となる課題は、補正すべき音(補正対象と呼ぶ)をどのように検出するかである。この課題に対する 1 つの解決法として、アウト音をすべて補正する(全補正と呼ぶ)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。したがって、すべてのアウト音を補正することは、演奏表現の幅を過度に狭めかねない。

そこで本論文では、演奏されたアウト音を補正すべきかを、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

表 1 特徴ベクトルの各要素 (括弧内はとりうる値)  
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)



図 2 特徴抽出の例. 第 1~第 4 要素はそれぞれ表 1 に対応する  
Fig. 2 Examples of feature extraction.

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補正すべきかを決定する.

3.1 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, 15 ms 以内に演奏された音を同時発音 (和音) と見なす. 和音の場合, 最高音を主旋律と見なして以下の処理を行う. 最高音以外は, 伴奏の一部と見なして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.

3.2 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. また, 特徴抽出した例を図 2 に示す. なお, これらの特徴量は, 打鍵直後に決定可能であり, 音高とリズムの両方をバランス良く抽出するという方針の下に選んだものである. そのため, 音価のように打鍵時に定まらないものについては特徴量から除外してある. 以下, 特徴ベクトル  $x$  で表される音を「音  $x$ 」と表す.

3.3 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  $P(x_n|X)$  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,

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

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. なお,  $x_{n-N+1}, \dots, x_{n-1}$  に補正された音が含まれている場合, 補正後の音に対応する特徴ベクトルを用いる.

3.4 旋律のモデルに基づく補正対象の決定

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,  $x_n$  を補正対象とする.

3.5 補正後の音高決定

アウト音  $x_n$  が補正対象となると, この  $x_n$  の音高を補正前の音高に対して長 2 度以内の範囲でさまざまな音高 (ただし非アウト音) に変更したときの  $P(x|X)$  が最大となる音高に補正する. このように, アヴェイラブルノートスケールとデータベース中の出現確率の両方に基づいて補正後の音を決定することにより, 補正後の旋律の適切さを考慮した補正が可能となる.

4. ism の実装と評価

4.1 ism の実装

ism のプロトタイプシステムを Windows 上で C 言語を用いて実装した. 旋律データベースは, 文献 10) に収録されている全 208 曲の旋律とコード名を入力して作成した. 総小節数は 6,836 小節, 総音符数は 18,897 音である.  $N$  の値は, 旋律データベースの規模を考え, 2 (bi-gram) および 3 (tri-gram) とした. また, しきい値は 0.10 とした.

本システムでは, 補正部のほかにスタンダード MIDI ファイル (SMF) 再生部を持つ. ユーザは, 伴奏用データをあらかじめ SMF として用意しておき, この伴奏用データ (コード情報含む) の再生に合わせ, MIDI キーボードを用いて即興演奏を行う. そうすると, 本システムの補正部が SMF 再生部から特徴抽出に必要なテンポやビート, 現在のコード名の情報を獲得しながら, 提案手法に基づいて旋律補正を行う. これにより, MIDI 音源からは提案手法に基づいて補正された音が発音される.

考慮すべき特徴ベクトル列の出現パターン数に対して学習データ数が十分ないと, スパースネス問題 (学習データにたまたま出現しなかった特徴ベクトル列の N-gram 確率が 0 になる問題) が多く発生し, 信頼ある N-gram 確率を学習できないことが知られている<sup>5),6)</sup>.  $N \geq 4$  では考慮すべき特徴ベクトル列の出現パターンは 100 万通りを超えてしまうため, 信頼ある N-gram 確率を学習できない.

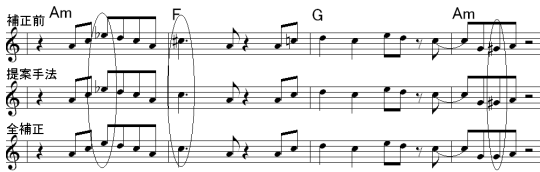


図3 旋律補正例．印は補正前の音がアウト音であることを示す．2つめのアウト音はどの手法でも補正されたのに対し，1つめ，3つめのアウト音は提案手法では不自然と判断されず，補正されなかった

Fig.3 An example of melody correction. The marks represent that the notes before correction in the marks are out of the available note scale. Whereas the second marked note was corrected by both methods, the first and third marked notes were not corrected by the proposed method because they were judged to be musically appropriate.

## 4.2 旋律補正例

補正前と補正後の旋律の一部を図3に示す．これらの楽譜は，1番上が補正前の旋律，2番目が提案手法 (tri-gram)，3番目が全補正で補正を行った旋律である．印は，補正前の音がアウト音であることを示しており，これら3つの音は，いずれも和音構成音と短2度の関係にある．一般に，和音構成音と短2度の関係にあっても，経過音やブルーノートであれば不自然な響きは生じないことが多い．実際，2つ目のアウト音 ( $C^\sharp$ ) は，経過音ともブルーノートともいえず，実際に不協和を生じているのに対し，1つ目のアウト音 ( $E^\flat$ ) はブルーノート，3つ目のアウト音 ( $G^\sharp$ ) は次に来る音 (A) への経過音であり，不自然な響きは生じていない．これらの音は，全補正ではすべてが補正されたのに対し，提案手法では，2つ目のアウト音だけが補正され，1つ目，3つ目のアウト音は補正されなかった．このように，実際の旋律から N-gram 確率を学習することにより，アウト音が音楽的に適切か判断できるようになったといえる．

## 4.3 補正対象決定処理に対する評価実験

### 4.3.1 実験方法

補正対象の決定が適切かどうかについて実験する．あらかじめ37人の被験者に即興演奏をしてもらい，その演奏データの補正すべき箇所を手でラベル付ける (「補正すべき」とラベル付けされた音を「要補正音」と呼ぶ)．そして，提案手法を適用して補正し，補正対象決定が適切になされたかを，再現率，適合率，F値の観点から評価する：

$$\text{再現率} = \frac{\text{補正された音のうち要補正音の個数}}{\text{要補正音の総数}},$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{補正された音のうち要補正音の個数}}{\text{補正された音の総数}},$$

表2 4.3節の実験における被験者のラベルの詳細

Table 2 Details of subjects and labels for the experiment in Section 4.3.

	人数	小節数	総音符数	要補正音
初心者	10人	64小節/人	3,108音	12.03%
中級者	15人	64小節/人	3,177音	8.22%
上級者	12人	64小節/人	2,660音	3.38%
全体	37人	64小節/人	8,945音	8.11%

初心者：演奏歴1年未満，即興演奏経験なし

中級者：演奏歴3～5年程度，即興演奏経験なし

上級者：演奏歴5年以上，または即興演奏経験あり

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

なお，補正は提案手法だけでなく，全補正でも行い，比較する．被験者とラベルの詳細を表2に示す．また，ラベルづけにおいては，演奏経験6年，即興演奏経験2年の演奏者が1人で行った．

### 4.3.2 実験結果

実験結果を表3に示す．全体で，提案手法のF値が，全補正に比べてbi-gramで0.1093，tri-gramで0.1080向上した．これにより，提案手法の補正対象決定処理は，全補正より適切といえる．

再現率，適合率で分けて考えると，提案手法は，全補正に比べて再現率が1～2%下がり，適合率が13%程度向上した (全体の場合)．これは，提案手法が，要補正音の取りこぼし (要補正音を補正しないこと) を最小限に抑えながら，過補正 (補正する必要のない音を補正すること) を考慮できたと考えられる．

中級者のF値は，全手法を通して高かった．中級者はアヴェイラブルノートスケール内の音を使えば一応自然な旋律ができることを経験的に知っている人が多い．そのため，打鍵ミスでアウト音を弾く人が少なからずいた (それに対して，上級者では狙って，初心者はわけも分からずアウト音を弾くことがあった)．あるいは，より高度な演奏を目指してアウト音を積極的に使おうとした結果，逆に不自然な旋律になってしまった人もいた．本手法では，このような明らかに不自然なアウト音を精度良く検出できたと考えられる．

一方，上級者のF値は，全手法を通してあまりよくなかった．これは，上級者の中にクラシック音楽の演奏経験者が多かったためと考えられる．すなわち，上級者の演奏がクラシック風の旋律になっており，本システムが持つ旋律データベースとは旋律の傾向が一致せず適合率が低下したからと考えられる．また，上級者の演奏には，補正すべきか迷うような音もいくつかあった．今後は，同一演奏を複数人でラベルづけし，より詳細に評価していくことも必要である．

表 3 要補正音検出実験結果

Table 3 Experimental results of detecting musically inappropriate notes.

	全 体			初 心 者			中 級 者			上 級 者		
	再現率	適合率	F 値	再現率	適合率	F 値	再現率	適合率	F 値	再現率	適合率	F 値
全 補 正	0.7822	0.3636	0.4964	0.7005	0.4242	0.5307	0.9123	0.5131	0.6568	0.7072	0.2012	0.3133
提案手法 (N = 2)	0.7737	0.4977	0.6057	0.6628	0.5066	0.5743	0.9099	0.6622	0.7665	0.7072	0.2985	0.4198
提案手法 (N = 3)	0.7682	0.4982	0.6044	0.6190	0.5078	0.5579	0.8969	0.6585	0.7594	0.7072	0.3032	0.4244

表 4 アンケート評価実験の被験者詳細

Table 4 Musical experience of the three subjects.

	楽器経験	作曲経験	即興演奏経験
被験者 A	ピアノ 12 年	あり	なし
被験者 B	エレクトーン 11 年	なし	なし
被験者 C	キーボード 6 年	あり	なし

表 5 システム評価実験結果

Table 5 Questionnaire results.

	Q1			Q2			Q3		
	全	bi	tri	全	bi	tri	全	bi	tri
A	5	4	6	5	4	7	4	5	5
B	5	7	6	1	4	6	6	6	7
C	3	4	7	2	2	4	5	5	5
平均	4.3	5.0	6.3	2.7	3.3	5.7	5.0	5.3	5.7

全: 全補正, bi: 提案手法 bi-gram, tri: 提案手法 tri-gram  
A, B, C は被験者を表す

#### 4.4 ism のアンケート評価

##### 4.4.1 評価方法

提案システムの主観評価をアンケート方式で行う。被験者は、楽器演奏経験はあるが即興演奏経験のほとんどない 3 人である (表 4)。この 3 人の被験者は、提案システム (bi-gram, tri-gram) と補正部を全補正に差し替えたシステムで即興演奏を行った後、自分の演奏について補正前、補正後の旋律を聞き比べる。そのうえで、以下の項目について 7 段階評価でアンケートに回答する。

- Q1 自分の演奏に対して補正は適切に行われたか。  
Q2 演奏中、強い違和感を覚えることはなかったか。  
Q3 演奏を楽しめたか。

なお、回答は、値が大きい方が良い評価となる。

##### 4.4.2 アンケート結果

アンケートの結果を表 5 に示す。3 人の被験者の回答の平均では、すべての質問で、bi-gram 補正, tri-gram 補正ともに全補正より良好な結果を示した。特に tri-gram 補正では、どの被験者も全補正より良好であると回答した。これにより、提案手法は、楽器経験はあるが、即興演奏経験がない演奏者に対して、より適切な補正を行っているといえる。

また、tri-gram 補正は、bi-gram 補正と比べてもおおむね良好な結果を示した。これは、tri-gram が、bi-gram に比べてより大局的な音の遷移をとらえているからと考えられる。

Q1 において、被験者 A の bi-gram 補正に対する評価が低かった。これは被験者 A が半音で駆け上がっていく旋律を多用する傾向にあり、これが補正されたからと考えられる。このような旋律は、不自然とは感じない場合が多いが、ジャズで使われることは少ない。そのため、このような現象を防ぐには、演奏者の得意とするジャンルごとに旋律データベースを構築し、演

奏者に応じて適切に使い分けの必要がある。ただし、この演奏を他の人に聴いてもらったところ「補正後の方が自然だ」という意見もあり、必ずしもこの補正が不適切というわけではない。

Q2 に着目すると、被験者 A, B は、tri-gram 補正に対する評価が特に高かった。この 2 人の被験者はともに 10 年を超える楽器経験を持っている。実験時に演奏された旋律を調べてみると、約 5% の補正が生じていた。このことは、十分に楽器経験のある人であっても、提案手法によって補正対象となった音であれば、弾いた鍵盤と発音される音が異なっても、強い違和感を感じないことを示している。

アンケートの自由回答欄に寄せられた意見をみると、「間違った音が正しく発音されるのが良い」、「聞いている人に間違ったことが分からないから良い」という意見が多かった。これらの意見は、提案手法による補正システムだけの利点ではないが、即興演奏を行う際の抵抗感を本システムが軽減できていることを裏づけるものであり、音楽的に不自然とシステムが判断した音を他の音に差し替えるというアプローチが、即興演奏支援に有効であることを示すものである。

##### 4.5 WISS2003 でのデモンストレーション

本システムのデモンストレーションを「第 11 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ」(WISS 2003) において行った。この際、試用して下さった方々に、4.4 節と同様のアンケートに回答してもらった。アンケートの結果を図 4 に示す。25 人の回答者のうち、Q1 で 17 人 (68%)、Q2 で 15 人 (60%)、Q3 で 22 人 (88%) が 5 以上の値を回答した。回答の平均値は、Q1 で 5.16、Q2 で 5.00、

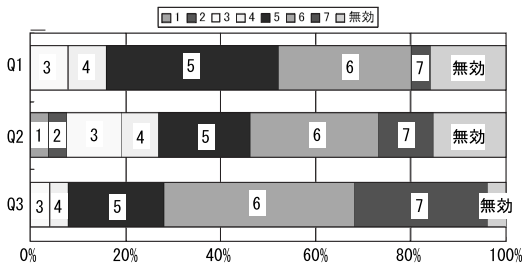


図4 WISS2003におけるアンケート結果  
Fig. 4 Questionnaire results in WISS 2003.

Q3で5.92, 標準偏差はQ1で1.24, Q2で1.63, Q3で1.36であった。

自由回答欄では,

- これを使ってもっと演奏してみたい,
  - 非常におもしろい. 考えずに弾いても「それらしく」聞こえるようになっている,
  - 下手な人にはうれしい,
  - 素人でも楽しめた,
- という肯定的な意見や,
- 他の楽器も楽しみたい,
  - 今の楽器と違う形のものを作っても面白そう,
  - 他の楽器もこのようにできると面白い,

というような今後の本研究の発展に期待する意見が多かった. 一方, 「鍵盤と異なる音が出たときに動揺した」という意見もあった. 鍵盤と異なる音が出るときに感じる違和感をどう軽減させるかは最も重要な課題の1つである.

##### 5. ism<sub>v</sub>: 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<sub>v</sub> を提案する.

2 ~ 4章で述べた旋律補正システム ism 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, 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のが望ましい.

本章で述べる ism<sub>v</sub> 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 11) 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, 3章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.

##### 5.1 全体像

ism<sub>v</sub> は, 基本的には, 2 ~ 4章で述べた 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」と呼ぶ)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つねに 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, ペルチエ素子で鍵盤を加熱する方法<sup>16)</sup>もあるが, 急速な温度変化が難しいという問題があった.

実際に試用したところ, 加熱を開始してから人が熱を感じるまで2秒程度要した.



図 5 鍵盤に埋め込まれた振動モータ

Fig. 5 A built-in vibrating motor in each key.

### 5.2 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 5)。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 50 mA 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・トランジスタレイ (TD62003AP) による電流増幅を行っている (図 6)。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)。したがって、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 上のアセンブラを用いて行った。

### 5.3 ism<sub>v</sub> のアンケート評価

#### 5.3.1 評価方法

ism<sub>v</sub> 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 人である。この 16 人の被験者を A~D の 4 つのグループに分け、グループ A、C には ism<sub>v</sub> を用いた練習を先に、グループ B、D には通常

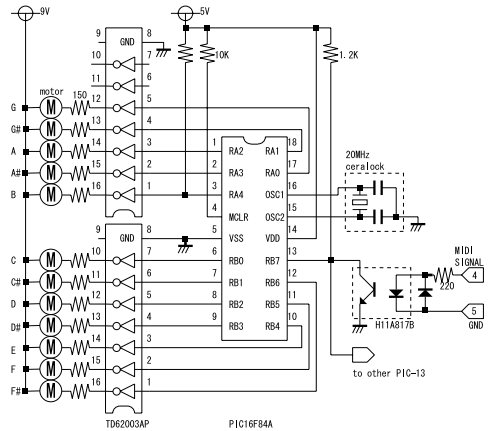


図 6 ぶるぶるくんの回路図 (1 オクターブ分)。MIDI 入力端子から受信した情報を PIC で解析し、振動モータを制御する

Fig. 6 The circuit diagram of *Buru-Buru-kun*. The PIC analyzes the signal received from the MIDI IN port, and controls built-in vibrating motors.

表 6 ism<sub>v</sub> 評価実験グループ分け

Table 6 Groups of subjects for evaluating ism<sub>v</sub>.

グループ	1 回目	2 回目
A	楽曲 1, ism <sub>v</sub> 使用	楽曲 2, 通常練習
B	楽曲 1, 通常練習	楽曲 2, ism <sub>v</sub> 使用
C	楽曲 2, ism <sub>v</sub> 使用	楽曲 1, 通常練習
D	楽曲 2, 通常練習	楽曲 1, ism <sub>v</sub> 使用

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 6 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。

#### 5.3.2 実験結果

実験結果を表 7 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 では全員が、ism<sub>v</sub> 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 8 に示す．この表のとおり，ism<sub>v</sub> 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 ism<sub>v</sub> が即興演奏の独習環境

として，楽しみながら効率良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，間違った個所が分からない，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うえで，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，通常練習では上達する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 ism<sub>v</sub> にも，リアルタイムに改善箇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．

表 7 ism<sub>v</sub> 評価実験結果

Table 7 Questionnaire results of ism<sub>v</sub> evaluation.

被験者	Q1		Q2		Q3		Q4	
	ism <sub>v</sub>	通常	ism <sub>v</sub>	通常	ism <sub>v</sub>	通常	ism <sub>v</sub>	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

ism<sub>v</sub> : 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

## 6. 議論

本章では，関連研究における本研究の位置づけ，本研究の今後の発展について議論する．

### 6.1 関連研究との比較

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モ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<sup>12)</sup> 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，MAESTRO<sup>13)</sup> がある．

表 8 実験終了後に得られた意見 (抜粋)

Table 8 The subjects' opinions after ism<sub>v</sub> evaluation.

ism <sub>v</sub> に対する意見	通常練習に対する意見
どこが悪いのかすぐに分かるのがよい．	間違った個所が分からないので練習に時間がかかる．
聞き直しができるのがよい．	どこが悪いか分からない，聞き直しをしたい．
鍵盤が震えるので，音が違った個所を認識しやすい．	自分の耳だけが頼りになるので，音感がなかったら非効率だと思う．
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．	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．
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．	弾きながら良い音を判断するのが難しい．
曲の流れに合わない音があると，確かに効率的だと思う．	間違いが分からないので上達は難しいと思う．
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．	弾いてみていい音を探しつかないで時間がかかる．
画期的で新鮮だと思う．1 人でやるより楽しい．	自分の中で外した音が分からない．
リアルタイムに改善箇所を指摘されても余裕がない．	素人にはきつい練習になる気がする．
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．	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．

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箇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、Pachet の Continuator<sup>14)</sup> 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って異なってくると考えられる。前者の場合（たとえば文献 9）、15) など）、楽器の自由度を犠牲にして楽器インタ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<sub>v</sub> 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<sub>v</sub> 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がある<sup>16)</sup>。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か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。

## 6.2 今後の発展

ここでは、考えられる本研究の発展のうち、旋律の

異なるジャンルへの編曲、中級以上の演奏者のための即興演奏の練習支援を取り上げる。

### 6.2.1 旋律の異なるジャンルへの編曲

本研究では、ジャズの名曲 208 曲の旋律から N-gram を構築することで、ジャズにおいてどのような音の遷移がよく用いられるのかをモデル化した。このモデルは、ジャズらしくない旋律をジャズらしく編曲するような処理にも応用できると考えられる。これは、演奏支援だけでなく、作曲・編曲支援などで有効である。

この旋律編曲機能を Open RemoteGIG<sup>2)</sup> のような遠隔地どうしのジャムセッションシステムに組み込むと、さらに興味深いことが実現できる。遠隔地どうしのジャムセッションでは、各演奏者が必ずしも同じ演奏を聴く必要はない。そのため、各演奏者が、他の演奏者の演奏を自分好みに編曲してもかまわないことになる。たとえば、ピアニストはギタリストの旋律をジャズ風に、ギタリストはピアニストの旋律をブルース風にリアルタイムに編曲しながら、同じジャムセッションに参加するということも可能となる。これは、Open RemoteGIG によって提唱された新たなジャムセッションの概念を、さらに一歩進めることになるであろう。

### 6.2.2 中級以上の演奏者のための即興演奏練習支援

本論文で実現した即興演奏の練習支援システムは、すでに即興演奏の技能を身につけた人がより幅広いスタイルの即興演奏を習得したいという場面においても利用できる可能性がある。即興演奏をある程度習得すると、少数の旋律を無意識のうちに多用してしまうことがよくある（「手癖」と呼ばれる）。そうすると、即興演奏の幅を広げようと使ったことのない旋律を試みようとしても、いつの間にか習得済みの旋律を多用してしまうことが少なくない。このとき、自分が未修得の旋律が多用された旋律のデータベースを用意して本システムを用いることで、即興演奏の幅を広げる練習ができる。たとえば、ブルースの得意な演奏者がジャズの旋律を習得しようというときには、ジャズの旋律データベースを用意して本システムを利用すれば（ブルースでは多用されても）ジャズでは多用されない旋律は鍵盤の振動により警告されるので、無意識のうちに自分の手癖に頼ることを防ぐことができる。こうした中級以上の演奏者のためのシステムを実際に構築するには、当該演奏者の現状を十分に調査して問題点を洗い出し、システム拡張を行う必要があるが、このような方向へ本システムを拡張していくことは、重要な課題の 1 つといえる。

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。

## 7. おわりに

本論文では、即興演奏の未経験者が即興演奏を楽しめるようになることを最終目標とし、これを支援する2つのシステム  $ism/ism_v$  を提案した。 $ism/ism_v$  は、ともに演奏者の弾いた旋律に対して音楽的に不適切な箇所をリアルタイムに検出する機能を持ち、 $ism$  は検出された音を他の音に置換し、 $ism_v$  は不適切音であることを鍵盤の振動により演奏者に伝える。音楽的に不自然な箇所の検出においては、既存の楽曲を N-gram でモデル化することで、検出のしすぎを大幅に削減した。実験の結果、これらのシステムを使うことで、即興演奏の経験のない人でも、即興演奏を楽しみながら体験・練習することができるようになることが示された。

これらのシステムは、基本的には、まず  $ism$  で即興演奏を体験し、その楽しさを実感した後、 $ism_v$  で演習することを想定している。しかし、両システムの使い分け方はこれだけにとどまらず、さまざまな可能性が考えられる。たとえば、普段  $ism_v$  で即興演奏を練習するユーザが、ときどき  $ism$  で即興演奏を楽しんだり人前で演奏することで意欲を高めることもできるであろう。今後は、システムのさらなる洗練を図るとともに、こうした  $ism$  と  $ism_v$  の効果的な連携方法について、長期的評価を通じて検討していく。さらに、6.2 節で議論した方向にも研究を進めていく予定である。

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) 青野裕司: ジャムセッションシステム, コンピュータと音楽の世界, 長島洋一他(編), pp.283-305, 共立出版(1999).
- 2) 後藤真孝, 根本 亮: Open RemoteGIG: 遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.43, No.2, pp.299-309 (2002).
- 3) 寺田 努, 塚本昌彦, 西尾章治郎: 2つのPDAを用いた携帯型エレキベースの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.2, pp.266-275 (2003).
- 4) 前川督夫, 西本一志, 多田幸生, 間瀬健二, 中津良平: ネットワーク型ウェアラブル音楽創奏システムと日常生活空間演出構想の提案, 日本パーソナルリアリティ学会論文誌, Vol.6, No.2, pp.69-78 (2001).
- 5) 北 研二, 中村 哲, 永田昌明: 音声言語処理—

- コーパスに基づくアプローチ, 森北出版(1996).
- 6) 鹿野清宏ほか: IT Text 音声認識システム, オーム社(2001).
  - 7) 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, 情報処理学会研究報告, 2001-MUS-42, pp.69-74 (2001).
  - 8) 西本一志, 渡邊 洋, 馬田一郎, 間瀬健二, 中津良平: 創造的音楽表現を可能とする音楽演奏支援手法の検討—音機能固定マッピング楽器の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1556-1567 (1998).
  - 9) 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).
  - 10) 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).
  - 11) 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, 情報処理学会研究報告, 2004-MUS-55, pp.39-44 (2004).
  - 12) 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, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J86-D-II, No.6, pp.755-763 (2003).
  - 13) 三浦雅展, 山田真司, 柳田益造: 四声体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).
  - 14) Pachet, F.: The Continuator: Musical Interaction with Style, *Proc. ICMC 2002*, pp.211-218 (2002).
  - 15) 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, 情報処理学会研究報告, 2003-HI-106, 2003-MUS-52, pp.15-20 (2003).
  - 16) 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, 情報処理学会研究報告, 2004-HI-110, pp.13-18 (2004).

(平成 16 年 10 月 20 日受付)

(平成 17 年 5 月 9 日採録)



石田 克久(学生会員)

2003年東京理科大学理工学部情報科学科卒業。2005年東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了。同年日本電気株式会社に入社し、現在に至る。音楽情報処理、ネットワークセキュリティに興味を持つ。



北原 鉄朗 (学生会員)

2002 年東京理科大学理工学部情報科学科卒業。2004 年京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻修士課程修了。現在、同大学大学院博士後期課程在学中。2005 年より日本

学術振興会特別研究員 (DC2)。音楽情報処理に興味を持つ。2003 年情報処理学会第 65 回全国大会学生奨励賞, 2004 年情報処理学会第 66 回全国大会学生奨励賞, 2004 年電気通信普及財団第 19 回テレコムシステム技術学生賞各受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本音響学会, 日本音楽知覚認知学会各学生会員。



武田 正之 (正会員)

1977 年東京理科大学理工学部電気工学科卒業。1982 年東京工業大学大学院博士課程 (電子物理学専攻) 修了。同年東京理科大学理工学部情報科学科助手となり, 現在同大

学教授。工学博士。著書 (共著) に『Prolog とその応用 2』, 総研出版 (1985 年) 等がある。プログラミング言語の意味論, 並列・分散システム, 知識情報処理に興味を持つ。昭和 57 年度情報処理学会論文賞受賞。電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, 人工知能学会, ACM 各会員。