

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

石田 克久[†] 北原 鉄朗[‡] 武田 正之[†]

[†] 東京理科大学大学院理工学研究科情報科学専攻

[‡] 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻

kdi@mt.is.noda.tus.ac.jp

kitahara@kuis.kyoto-u.ac.jp

takeda@is.noda.tus.ac.jp

あらまし 本稿では、即興演奏における旋律中の不自然な個所をリアルタイムに補正するシステムについて述べる。即興演奏は、楽器演奏と旋律創作を同時に行う高度な演奏形態であり、楽器演奏自体ができる人でも思い通りに行うことは難しい。本研究では、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を瞬時に判断できない人を対象とした、即興演奏支援システムを提案する。このようなシステムを実現するための主たる課題は、どのように補正が必要な音を検出するかである。本システムでは、旋律を N-gram でモデル化し、N-gram 確率の小さな音のみを補正対象とすることで、演奏者の表現の幅を狭めることのない旋律補正を実現した。本システムを用いた即興演奏実験の結果、本システムが即興演奏の支援システムとして有効であることが示された。

ism: An Improvisation Supporting System based on Realtime Melody Correction

Katsuhisa Ishida[†]

Tetsuro Kitahara[‡]

Masayuki Takeda[†]

[†]Dept. of Information Science, Tokyo University of Science

[‡]Dept. of Intelligence Science and Technology, Graduate School of Informatics, Kyoto University

Abstract In this paper, we describe a novel improvisation supporting system based on correcting musically unnatural melodies. Since improvisation is a musical performance style that involves creating melody while playing, it is not easy even for the people who can play musical instruments. However, previous studies have not dealt with improvisation support for the people who can play musical instruments but not improvise. In this study, to support such players' improvisation, we propose a novel improvisation supporting system, called *ism*, that corrects musically unnatural melodies automatically. The main issue in realizing this system is how to detect notes to be corrected (i.e., musically unnatural or inappropriate). We propose a method for detecting notes to be corrected based on the N-gram model. Experimental results show that the N-gram-based melody correction method improves the performance of melody correction and the proposed system is useful for supporting 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¹⁾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 RemoteGIG²⁾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同士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³⁾や、ウェアラブル型の電子楽器⁴⁾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、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

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」は多いと考えられる。このような人に対して、ジャムセッションを身近なものにするには、「どの音を出せばよいか」という判断の部分において、計算機が何らかの有効な支援をすることが重要である。

そこで本研究では、「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」を対象に、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 を実現する。本システムでは、楽器そのものに制限を加えるのではなく、演奏者が演奏した旋律に対して、こ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のみ、他の音に差し替えるというアプローチをとる。これにより、演奏者の持つ演奏技術が無駄にすることなく、即興演奏を支援することができる。また、不自然な旋律が軽減されることで演奏者の演奏ミスに対する恐怖心が軽減され、躊躇することなくジャムセッションに参加できるようになる。

本稿では、こ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 の実現方法について述べる。そして、4章で実装と評価実験について述べ、5章で本研究の応用について議論する。最後に6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、楽器演奏自体はできるが、即興演奏、すなわち、その場で旋律を創作できない人を対象とする。このような演奏者を対象とした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、旋律創作の部分に対してのみ支援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：

- 演奏者の演奏技術が無駄にならない

前述のように本研究が対象とする演奏者は、すでに演奏技術を持っている。そのため、演奏者が慣れ親しんだ楽器をそのまま用いることが望ましい。

- 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、そのような演奏者の即興演奏が全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。これまでいくつかの演奏支援研究^{5)~7)} 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 Piano⁵⁾ 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す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⁶⁾ は、楽器のインター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。そのため、演奏者がすでに持っている演奏技術を活用することができない。INSPIRATION⁷⁾ 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、アウト音が常に「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個所を N-gram に基づいて検出し、検出個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（図1）。本システムでは、楽器のインターフェースの部分は既存の MIDI 楽器をそのまま用いるため、演奏者は自分が慣れ親しんだ楽器を用いることができる。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。

- 聴取者には補正されていることがわからない
補正処理はリアルタイムに行われるため、聞いている側には、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わからない。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
本システム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

実際に、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。

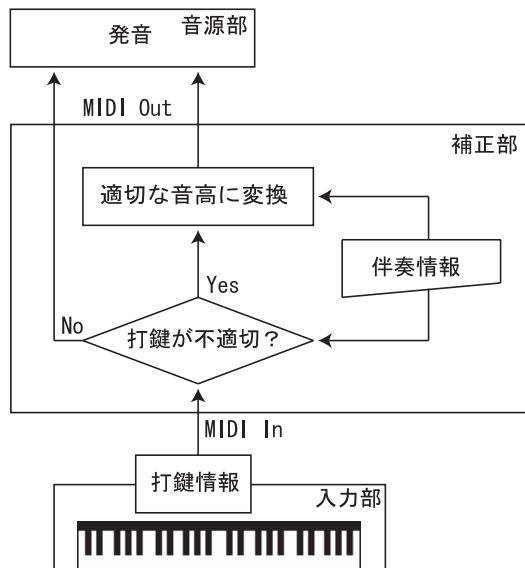


図1 提案するシステムの概要。演奏された旋律から不自然な音を検出して補正を行う。

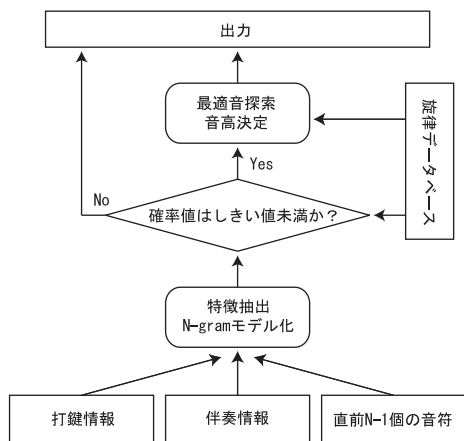


図2 補正内部処理。打鍵された音とすでに発音された音から N-gram 確率を算出し、確率値が小さい場合にのみ補正処理を行う。

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、本システム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 を実現する上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。この課題に対する一つの解決法として、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伴奏ときれいなハーモニーを形成しないわけではなく、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。従って、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ることにつな

表1 特徴ベクトルの各要素（括弧内は取りうる値）

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）

がる。

そこで本稿では、打鍵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2）。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補正すべきかを決定する。

3.1 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。本稿では、特に特徴ベクトル x で表される音を「音 x 」と表す。

3.2 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、

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

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。

3.3 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 が打鍵されたとき、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。

3.4 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 $P(x|X)$ を求め、この値が最大となる音高に補正する。

4. 実装・実験・評価

4.1 実装

ism のプロトタイプシステムを Windows 上で C 言語

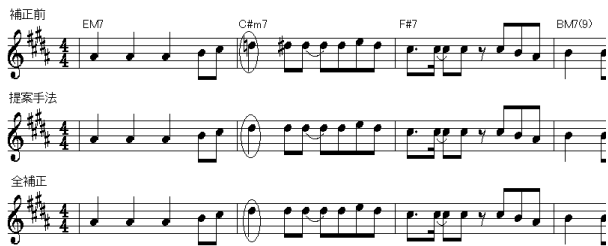


図3 不自然な音を補正した例．印のついた音が音楽的に不自然であると判断され、補正された．



図4 アウト音を許容した例．印のついた音はコード，調からは外れており，全補正では補正された．しかし，提案手法によれば不自然ではないと判断され，補正されなかった．

を用いて実装した．旋律データベースは，スタンダードジャズの楽譜集⁸⁾の全曲(208曲)のメロディ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2 (bi-gram)と3 (tri-gram)の両方で実装し，しきい値は0.10とした．

本システムでは，伴奏用のデータはあらかじめMIDIファイルとして用意する．ユーザは，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単音のみの即興演奏を行う．そうすると，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．

4.2 旋律補正例

補正前と補正後の旋律の一部を図3，図4に示す．これらの楽譜はそれぞれ，一番上が補正前の旋律，二番目が提案手法 tri-gram 補正，三番目が全補正で補正を行った旋律である．図3の印のついた音符はアウト音であり，実際に不自然な響きを生じるもので，補正さ

今回はMIDIキーボードを用いたが，本システムの対象はMIDIキーボードに限定していない．演奏者は，MIDIギターやMIDI大正琴など，自分が慣れ親しんだ楽器と同じ演奏方法のMIDIコントローラを自由に選ぶことができる．

表2 4.3の実験における被験者のラベルの詳細

	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

れるべき音である．この音に対しては全補正，提案手法とも正しく検出できた．また，図4の二つの旋律で印の付いた音符はアウト音であるが，実際には不自然な響きを生じるものではなく，補正されるべきではない．これらについて，全補正では補正されたが，提案手法では補正されなかった．このように，提案手法による補正は，演奏者の表現の幅を狭めることのない補正対象の決定がなされている．

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個所を手でラベル付けする(「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：

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

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

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

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．

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．

中級者の補正精度は，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ということを経験的に知ってい

表 3 要補正音検出実験結果

	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

	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

	Q1			Q2			Q3		
	全	bi	tri	全	bi	tri	全	bi	tri
被験者 A	5	4	6	5	4	7	4	5	5
被験者 B	5	7	6	1	4	6	6	6	7
被験者 C	3	4	7	2	2	4	5	5	5
平均	4.33	5.00	6.33	2.67	3.33	5.67	5.00	5.33	5.67

全：全補正，bi：提案手法 bi-gram，tri：提案手法 tri-gram

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、初心者は訳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よく検出できたと考えられる。

一方、上級者の補正精度は、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しなかっ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付けし、より詳細に評価していくことも必要である。

4.4 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 名である（表 4）。この 3 名の被験者に、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てもらう。その上で、以下の項目について 7 段階評価でアンケートに回答してもらう。

- 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ために、補正対象となった。このような現象は、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ることで、防ぐことができると思われる。ただし、この演奏を他の人にも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 年を越える楽器経験を持っている。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、強い違和感は感じないことを示している。

実際に本システムを用いて演奏した人の声を聞くと、「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わからないから良い」という意見が多かった。これらの意見は、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付けるものであり、提案システムが、即興演奏支援に有効であることを示すものである。

ただ「演奏中に突然音高が変わるのでとまどってしまふ」という意見もあった。いつ補正が起きるのか、どの音高に変わるのかを演奏者にフィードバックすることで、この点についても改善していくことが今後の課題としてあげられる。

5. 本研究の応用

本章では、本研究が今後どのような方向に応用・発展する可能性があるか議論する。

5.1 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（変換）するといった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 RemoteGIG²⁾ のような遠隔地同士のジャムセッションシステムに組み込むと、更に興味深いことが実現できる。遠隔地同士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旋律変換機能で自分好みに編曲しても構わないことになる。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。

5.2 計算機による即興演奏トレーニング

ism では「音楽的に不自然」と判定された音は、自動的に他の音に補正される。これを、自動的に他の音に補正するのではなく、演奏後に「音楽的に不自然」と判定された音を提示することで、即興演奏を習得するためのトレーニングシステムにすることができる。これまでも和声教育を目的とした教育支援システム⁹⁾などは存在したが、古典的な和声学に基づいており、即興演奏のトレーニングには適用できなかった。ism をこのような形に発展させるのも興味深い研究テーマである。

6. ま と め

本稿では、演奏技術はあるが即興演奏がうまく行えない人を対象とした即興演奏支援システムとして、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。即興演奏に必要な技術を演奏技術と即時的な旋律創作能力とに分けて考え、後者にのみ支援を行うことで、演奏者の演奏技術を無駄にしない演奏支援システムを実現した。

また、本研究では、旋律が自然か否かという音楽的判断を統計処理により実現した。この判断は、客観的なルールの抽出が難しく、自動化は困難とされていた。我々はこの問題に対して、自然言語の統計的モデル化でよく用いられる N-gram で旋律をモデル化することで、こうした音楽的判断を統計的に行うことを可能にした。本稿における実験で、このような統計的手法が、音楽に対しても有効に働くことを示せたと考えている。

今後は、より大規模なデータベースの整備や詳細な評価実験だけでなく、5 章で議論したような方向にも発展させていく予定である。

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、柳川貴央氏、渡辺義大氏をはじめ、本研究に御協力頂いた全ての方々に感謝する。なお、本研究は、ASTEM 学生ベンチャー奨励金制度による活動の一部である。

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，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.6，No.2，pp.69-78，2001。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 三浦雅展，平田健二，柳田益造：和声教育を支援する教育システムの構築についての検討，日本音響学会講演論文集（秋），pp.651-652，2002。