

統合演奏視覚化システム

平賀 瑠美[†] 五十嵐 滋^{††} 松浦 陽平^{†††}

計算機による音楽的に表情豊かな演奏を自動生成するための支援環境として、演奏視覚化統合システムを設計、開発した。これは、演奏データ生成を目的とした音楽エディタと見なすこともできる。演奏の解析と生成、および視覚化においては、演奏表情に影響を与える楽曲構造を基本に考えた。演奏の生成に関する音楽エディタとしては、シーケンス・ソフトが広く普及しているが、ここでは楽曲の解釈や音楽的な表情をつけるための道具は不足している。また、楽曲の構造を考慮した演奏データ生成方式は多く存在するが、解釈から生成に至るまでを演奏データの視覚化によりサポートした環境はない。このシステムを用いて演奏解析を行うと、楽曲構造を採り入れたことにより、解析に一貫性と客観性を与えること、また視覚化したことにより、解析判断に確信を与え、演奏表情の定量化を可能にするという利点をあげることができる。演奏の生成においては、対話的に演奏の編集をする際に楽曲構造に基づいた音楽性を与えるためのツールや、演奏の変更において音楽性を保持する機能により、演奏データを扱うユーザの負担の軽減を試みた。システムの評価は、音楽的な演奏生成に役立つかという点を中心に行い、音楽エディタに特化した機能については評価を得たが、ユーザビリティにおいて、いくつかの改善点を指摘された。

An Integrated Musical Performance Visualization System

RUMI HIRAGA,[†] SHIGERU IGARASHI^{††} and YOHEI MATSUURA^{†††}

An integrated musical performance visualization system has been designed and implemented in order to analyze and synthesize musically expressive performance data. The analysis and synthesis are based on music structure, which is a group of consecutive notes who has some meanings on music interpretation. In the area of musical performance generation, many researches adopt the concept of music structure in some sense. Although sequencer is a widely pervaded software for generating musical performance, it is not the most suitable software for music rendition especially for classical music, because it does not pay much attention to music interpretation or the generating process from a score to its performance. The performance analysis on our system can be given uniformity and objectivity in terms of music structure, in addition to confirmative and quantitative description by performance visualization. The system allows users to edit performance data interactively. Here some tools based on music structure and some limitation functions are provided in order to prevent the edit of data from destroying musically plausible performance, or even positively to give data musically impressive or artistic expression. The edited data are performed during the display of a visualized figure. The system is evaluated on the basis whether it is usable to generate musical performance data. It has received so far good evaluation for special functions as a music editor, while some problems on usability have been pointed out.

1. はじめに

計算機音楽プロジェクト Psyche では、サブプロジェ

クトの1つとして、計算機による演奏データの解析と生成のために、演奏視覚化統合システムを設計、開発してきた。これは、演奏データ編集のための音楽エディタと呼ぶこともできる。Psyche では、楽譜上で音楽的な意味を持つ音符の集まりである楽曲構造に基づいて演奏の解析、演奏ルールの導入、および演奏データ生成の研究を行っており、それらの支援環境として、視覚化も楽曲構造に基づいている。楽曲構造を採り入れたことにより、楽譜と演奏の関係を一貫性と客観性を持たせて明らかにできるようになった。演奏を視覚化することは、楽曲構造に基づいた演奏ルールの導入に

[†] 筑波大学工学研究科

Doctoral Program in Engineering, University of Tsukuba

^{††} 筑波大学電子・情報工学系

Institute of Information Sciences, University of Tsukuba

^{†††} 三菱電機株式会社情報技術総合研究所

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

確信を与え、定性的な演奏表現の定量化に役立つ。このようにして解析された演奏の特徴は、ルール・ベースとしてまとめられる。ルールを用いた演奏の生成および編集は、視覚化された演奏を対話的に処理することで可能になっている。楽曲構造に基づいて演奏データの生成を行うと生成された演奏データの根拠が分かりやすくなる。視覚と聴覚は、情報処理において互いに補う機能を持つ⁵⁾ので、聴覚が情報処理の中心をなしていると思われる音楽演奏の情報処理においても、演奏の視覚化の利用価値は高い。

クラシック音楽に処理の対象を限った場合、音楽性のある演奏データの生成に関しては、Widmer²²⁾をはじめとし、文献(6), (13), (21)など、多くの研究がある。これらにおいて、具体的な方法は各研究により大いに異なるが、楽譜を単なる時間軸上に展開されるメロディの連続したものの記述と見なさず、音符を意味のあるまとまりごとに構造化することにより、演奏データに音楽性を付加するという方針はいずれにも共通している。特にWidmerの方法は、音楽の構造との関係で述べることでできる演奏方法を抽出し、演奏データを生成するという点でPsycheの演奏データ生成と取組み方の方針は同じであるが、音楽エディタによる演奏データ生成支援環境はない。

音楽エディタは、Roads¹⁹⁾が紹介しているように、商用、研究用とも数多く存在している。現在、演奏データに関する音楽エディタは、シーケンス・ソフトと呼ばれるものが中心になっているが、音楽学における構造という概念は採り入れられていない。音楽の構造が演奏に影響を与えるクラシック音楽の演奏データ編集のための音楽エディタについては、楽譜から演奏を生み出すに至る演奏プラン獲得のプロセスが明らかにできることが望ましい。Psycheプロジェクトの音楽エディタは、楽曲構造を考慮した演奏データの視覚化を特徴とし、そのうえで演奏データの解析と生成を目的としている。

2章では、音楽エディタと楽曲構造に基づいた演奏データ生成について現在の研究を概観し、演奏データ生成のために楽曲構造に基づいたデータの視覚化とその編集システムを提案する。3章では、作成した音楽エディタを紹介する。4章では、音楽性のある演奏データ生成という点から本システムを評価し、5章にまとめを述べる。

2. 楽曲構造に基づいた演奏の視覚化

2.1 音楽エディタ

音楽に関するソフトウェアには、GUIの整ったもの

が多いが、システムの目的と出力に応じて表現や使用形態は異なってくる。Roadsは、作譜や演奏生成などいくつかの目的に音楽エディタを分類している¹⁹⁾。本稿で述べる音楽エディタは、シーケンス・ソフトに分類されるものである。シーケンス・ソフトは、MIDI情報を基にした演奏情報の表示と生成を目的としているが、その対象とする音楽は主にポピュラー音楽である。ポピュラー音楽の演奏においては、テンポのゆらぎであるagogicsはほとんど考慮されない点をはじめとし、音楽の解釈や演奏方法自体がクラシック音楽とは大きく異なっている。シーケンス・ソフトは、表情曲線のような演奏表情指定のためのツールを提供しているが、楽曲構造という概念はなく、演奏表情の動機を明らかにできなかつたり、楽譜と生成された演奏の関係があいまいなままになってしまうことが多い。したがって、クラシック音楽の楽曲を既存のシーケンス・ソフトで作るためには、演奏の表情を最初から最後まで指定していくことになる。これでは楽曲全体を統一した演奏構想で作り上げるのは難しい。また、局所的な情報操作のみでは、かえって演奏の音楽性を損なうという問題も生ずる。

演奏生成の研究において演奏を表示したシステムにはChafeら⁶⁾のものがある。これは、五線譜表記を用いて、演奏された音符の大きさと長さをそれぞれ符頭の大きさ、音符間の距離により表す。2つの演奏の比較は容易であり、既存の複数(n)個の演奏から同一の曲についての新たな(第 $n+1$ 番目の)演奏を生成するには役に立つが、他の曲の演奏に適用することはできない。LerdahlとJackendoffの理論¹⁷⁾に基づき、リズムに関する構造を視覚化した音楽エディタには、Degazio⁷⁾のものがあるが、表情のある演奏を生成することを目的としているのかどうかは不明である。

現状では、演奏生成のための研究と、演奏生成をサポートする環境(音楽エディタ)は独立しているが、ユーザビリティの良いソフトウェア環境が研究を活性化することは、音楽の研究に限らずプログラミングやソフトウェア一般に当てはまることである。そこで、プロジェクトPsycheでは、演奏データ生成の研究のための音楽エディタを提案し、それを実装した。

2.2 楽曲構造に基づいた演奏の解析と生成

楽譜上の音符の集まり(occurrence)に音楽的な意味が存在する場合、それが楽曲構造である。音の速さのゆらぎ(agogics)や音の大きさ(dynamics)の変化は楽曲構造に基づいて存在し、それらにより、演奏された音楽は、人間になにかを訴えうるものとなる。演奏者は、楽譜上の発想記号を演奏に取り込むこと以

外にも、具体的な音の列に依存しない (context free) が、楽曲構造や occurrence 間の関係に依存する演奏ルールを当てはめて、演奏を生成していく。context free な演奏ルールの存在は、Sloboda の研究²⁰⁾や演奏者⁹⁾により指摘されており、それが楽曲構造に依存していることを Widmer²²⁾や Balaban^{3),4)} は述べている。音楽の階層構造において、上位構造が下位構造に演奏上の影響を与えることも知られている^{2),4),8)}。これらのことから、Psycho は、後述の演奏視覚化システムを用いて以下のように演奏の解析と生成を行う¹⁶⁾。

演奏解析 複数の演奏者による複数の曲に対し演奏解析を行い、楽曲構造に基づく context free な演奏ルールを抽出する。これは、一般的なルールで、任意の曲に適用できる。

演奏生成 演奏データ生成の対象となる曲について、その楽曲構造を解析し、それに対して、演奏ルールを適用することで演奏データを生成する。

このルール適用による演奏データ生成の特徴は、楽曲構造は階層構造を形成することから、同じレベルの構造間の関係を活用して音楽の流れを自然なものにしていること、および、上位構造の演奏プランの影響を下位構造が引き継ぐことを実現することにより、表情の深みをつけようとしていることにある。また、ルールは定性的に述べられているが、演奏データを得るための定量化のために、属性文法¹⁾を用いて楽曲の階層構造上で演奏パラメータ値 (音の長さや大きさ) を計算して MIDI 形式に準じた演奏データを得る^{10),15)}。このような演奏生成の研究のための環境を音楽エディタとして設計、作成した。

3. 音楽エディタの開発

3.1 設計方針

演奏生成の研究のための環境としての音楽エディタに、視覚化、演奏の解析、および、演奏の生成に関して以下のことを満たすことを目指した。

演奏視覚化

- 演奏される各音は、お互いの関係のうえで生かされ、断続的なものではないので、視覚化により、時間的な流れおよび音と音や音の群の間の関係を表現できる。
- 演奏の聴覚による理解を補助するために、演奏表情がどこでどのように現れるのかを明確にできる。

演奏解析 楽曲構造が演奏に与える影響を客観的、定性的かつ定量的に解析できるようにするためには、以下のものをエディタに含める。

- 演奏の多様な視覚化。
 - 複数の演奏の比較。
- 演奏生成** 演奏データを生成するために、編集機能として次のものを提供する。
- 用意された楽譜データと楽曲構造データを指定して、それらに演奏ルールを適用することで、演奏データの第 1 バージョンを作成する機能。
 - 演奏に統一性を持つ第 1 バージョンをさらに洗練させるためのチューニング機能。このとき、演奏データの部分的な変更が全体の音楽性を損なわないようにしなければならない。
 - 編集結果を視覚と聴覚により確認できる機能。
- これらにより、楽曲構造に基づいた演奏データを視覚化を通じて生成しやすくし、また、生成されたデータをより受け入れられるものにしようと試みた。

3.2 エディタの機能

譜例として Chopin の Mazurka, No.7, Op.2 の導入部後の 16 小節 (第 9 小節のはじめから第 24 小節の最後まで) を用い、先に記した設計方針を具体的に示した機能について述べる。この部分は、8 小節ずつ 2 つのセンテンスから構成される楽曲構造を持つ。2 つのセンテンスはリズム、メロディ、および音高において類似関係にある。各センテンスは、約 2 小節ずつのモチーフから構成されている。ここで各センテンス中、第 2 と第 3 のモチーフは、第 1 のモチーフとリズムとメロディにおいて類似関係にある。第 3 のモチーフは、音高も第 1 のモチーフに一致するが、第 2 のモチーフは、4 度高いと見なされる (図 1)。

図 2 に、本エディタによる譜例部分の楽曲構造に基づいた演奏表示 (右手部分のみ) を示す。演奏は、Marc Laforet である (ヤマハピアノプレーヤ用ソフト、Marc Laforet, Chopin Recital YPA-1069 より)。最左の扇型より演奏表示が始まり、時計回りに進む (半円が水平軸より下にある場合は反時計回り)。扇型は拍に、半円はモチーフに対応している。後に続くモチーフが位相を異にして表されるのは、音楽の継続性を表現するためである。ここでは、扇型の半径に各拍の平均音長を表しているが、別のモードとして各拍の平均音量を表すこともできる。各音ではなく、拍ごとの情報を表示するのは、楽曲構造単位で演奏を視覚化したときの、occurrence 間の演奏の関係など、マクロな特徴を引き出すのが目的だからである。この図により、2 つのセンテンスの演奏と、第 1 と第 3 モチーフの演奏がそれぞれ似ていることが分かり、類似関係にある occurrence の演奏は似ているという context free な演

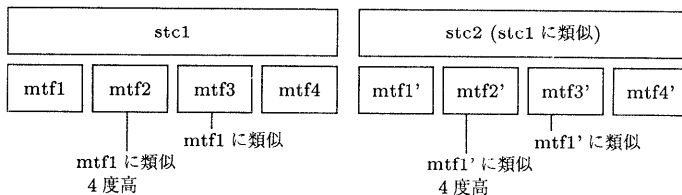


図1 譜例の楽曲構造 (階層構造と occurrence 間の関係)
 Fig. 1 Music structure (hierarchical structure and relationships among occurrences).

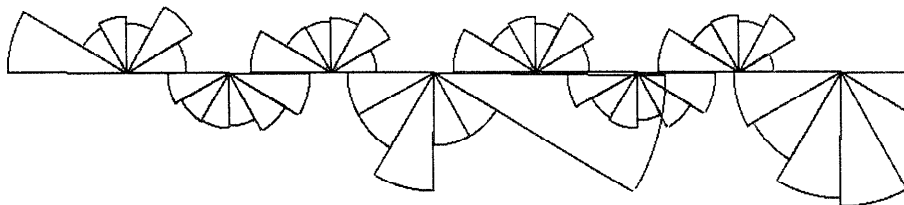


図2 Marc Laforet による譜例演奏の表示 (半径は拍長)
 Fig. 2 Visualization of performance by Marc Laforet (performed beat length for a radius).



図3 シーケンス・ソフトによる譜例の演奏表示
 Fig. 3 Visualization of performance by Marc Laforet on Recompiler.

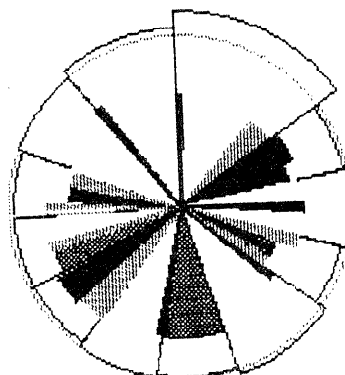


図4 譜例の別の方法による演奏表示
 Fig. 4 Another visualization for the performance of the sample score (four measures).

奏ルール の存在をよく表している。第1と第2モチーフは類似関係にあるが、最初と最後の拍の演奏に違いが見られるのは、モチーフの上位階層であるフレーズ(2モチーフより構成される)の演奏方法(最初と最後の拍は長めに演奏する)の影響が引き継がれたためであり、上位階層の音楽解釈が下位の構造に影響を与えていることを視覚化により確認することができる。

図3に、広く普及しているシーケンス・ソフトの1つ(レコンポーザ¹⁸⁾)を用いて図2と同じ演奏(第9小節から第12小節までの両手)を表示したものを示す。棒の幅が各音の長さ、高さが大きさを表す。楽曲構造という概念がないため、演奏は時間軸上に流れて

いるものとし読みとることができない。

演奏解析に役立つ多様な視覚化とは、様々な図形表示や数値表示を提供することで、それにより、演奏に関して異なる視点からの理解が可能となる。音符ごとや音符間の関係という、よりミクロな演奏情報を得るためには、図4のような表示もできる。図4では、譜例のはじめの1フレーズ(4小節)の演奏が表示されている。演奏は正午の位置から始まり、時計回りに進む。ここでは、各音高に色が割り当てられ、色のついた扇型が、各音を表す。その半径は音量を、角度は音長を表している。図4では、レガートやスタッカートの弾き方を図2よりも明確に見出すことができる。一方、楽曲構造間の関係から生ずる演奏表情について

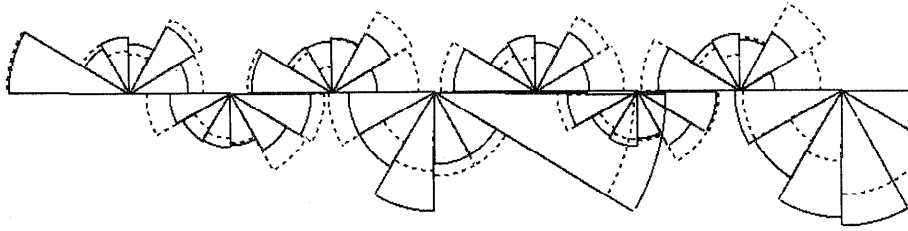


図5 譜例の2人の演奏者による演奏の比較
Fig. 5 Comparison of the performance by two pianists.

は、図4からは理解することはできない。

演奏の比較には、ある楽曲の異なる部分の同一演奏者による演奏を比較する場合と、ある楽曲の特定部分を異なる演奏者の演奏で比較する場合とがある。前者は、たとえば主題の繰返しや変形による出現が人間の演奏家ではどう演奏されるのかを知るため、後者は、演奏の context free な特徴を知るためである。図5に図2を基にした、2人の演奏家による譜例の演奏比較を示す。実線が Marc Laforet、破線は他のピアニストによる演奏である。

演奏データの編集方法としては、図2上の扇型の半径をマウスにより直接変える方法と以下のような機能やツールを利用する方法がある。

- 楽譜データと楽曲構造データに演奏ルールを適用して演奏データを生成する機能。
- agogics に関する表情曲線¹⁴⁾を、occurrence 上に適用するツール。
- 音楽的に意味のある範囲での演奏変更を許す制約機能。たとえば、演奏パラメータ値を大きくした場合でも、一定値以上の変更は受け付けない。
- 全体の音楽性を保持するために、変更された部分に関係のある楽曲構造の occurrence へ自動的に普及させる機能。
- 表示とともに指定部分の演奏を実行させる機能。

システムはオブジェクト指向でデザインされ、PC/AT 互換機の Free BSD 上で gcc と X/Motif を用いて実装されている^{11),12),15)}。

4. システム評価

ここでは、作成した音楽エディタが音楽的に納得のいく演奏を生成することを目的とした場合に有用であるかどうかを評価する。被験者に本エディタを使用してもらい、生成に至るまでの使いやすさ、使いにくさを用意した質問票に答えることと、自由コメントにより、評価してもらった。

4.1 実験方法

Psyche プロジェクトに携わる学生4名に音楽エディタを使用してもらった。その4名で、音楽（特にクラシック）をよく知っている/あまり知らない、シーケンス・ソフトの使用経験がある/ないという2因子4通りの知識および経験を代表すると見なす。そのうちの2人は、Psyche プロジェクトにおいて、特に演奏データ生成の研究に従事している。

譜例の楽譜データと楽曲構造データをルール・システムの入力として、そこで生成された演奏データの図2による形式の演奏表示を被験者は提示される。譜例は、Psyche プロジェクトで頻繁に使用され、4人ともどのような曲かは知っている。次に被験者は音楽エディタの機能と使い方の説明を受け、演奏データ生成の過程を音楽エディタ上で体験する。時間に制限は設けない。

4.2 実験結果

使用后、あらかじめ用意した質問に対し、5段階（5が強いYES、1が強いNO）で評価してもらった。表1に質問と回答（平均）を示す。括弧内の数字は、演奏データの生成の研究に従事している被験者だけの回答である。演奏生成の研究をしている被験者の方が良い評価をしていることが分かる。特に興味深いのは、演奏データの生成に従事する学生とそうでない学生の意見がデータ編集で制約を設けることに関して両極にあったことである。演奏データ生成に従事する学生は制約機能が役に立つと答えたのに対し、そうでない学生は役に立たないと回答した。

さらに、シーケンス・ソフト（レコンポーザ¹⁸⁾）使用経験を持つ2人には、これらの質問に対し、比較コメントを書いてもらった。シーケンス・ソフトとの比較では、特に、音の長さや大きさを同時に表示することの是非が言及され、同時の表示が便利であるという意見と、楽曲の構造を考慮するときには1つの情報でも十分であるという意見の両方があった。現在、図2の表示においては色を使用していないので、色で演奏

表1 質問とその回答

Table 1 Questionnaire and Answers.

質問		評価
図2の表示の方法	演奏の表示として見やすいか.	3.5 (4)
	長さか音量かいずれの情報しか表示されないことは不便か.	2.5 (2)
解析のための道具立て	他の演奏データ表示方法として図4を採り入れたことは役に立つか.	3.3 (3.5)
	2人の演奏者による演奏を重ね合わせて比較表示(図5)するのは見やすいか.	3.0 (4.0)
演奏データ生成に至るまでの方法	表情曲線のツールや、編集に役に立つか.	3.3 (3.5)
	表示されているデータを演奏させることは、編集に役に立つか.	4.8 (4.5)
	マウスの左ボタンの操作が中心だが、それは使いやすいか.	4.3 (4.5)
	データ編集で制約を設けることは役に立つか.	3.3 (4.5)

5 4 3 2 1
 強いYES ← neutral → 強いNO

情報の1つを表してはどうかという提案もあった。

以下に自由コメントのうち、特に要求されたものを要約する。

ユーザビリティ

- 選択の範囲. 現在は、扇型の選択に限られているが、楽曲構造ごとの選択など、他の単位でも範囲を指定したい。
- カット & パースト機能があれば楽曲構造的に関係のない部分へも変更を波及させることが容易になる。
- マウスによる変更だけではなく、MIDIデータと対応させて絶対値や相対値による変更を数で入力したい。変更された値も絶対値や相対値で知りたい。
- 図上にスケール表示があると便利である。

演奏編集のための機能

- 音楽的に滑らかな変化(次第にゆっくりなど)を範囲や変化値を指定してデータに反映させたい。
- 長さを拍単位で変更すると、その中にたとえばスタッカートが存在すると、変更後の演奏が不適切なものになる可能性がある。そのような場合のために、拍内部の変更手段も必要である。

4.3 考察

図2の表示形式は、楽曲構造と演奏の対応がつけやすいことから見やすいという評価が得られた。また、特に演奏データの解析と生成において、複数の演奏の比較表示は有用であるという意見が多かった。楽曲構造に基づいた演奏表示方法を通しての演奏解析と生成のためには、使用価値があると判断できる。しかし、特にユーザビリティについては、Roads¹⁹⁾が示したよ

うな音楽エディタに必要な編集機能も参考にして改善することが必要であることが分かった。

さらにより良い演奏データ生成を目指して、たとえば、現在は旋律部の楽曲構造のみに注目しているが、声部間のバランスのために、伴奏部の楽曲構造も考慮することが考えられる。その視覚化においては、総譜のように複数声部の演奏を同時に表示できるようにすることが必要となろう。

5. おわりに

表情のある演奏データを楽曲構造に基づいて自動生成するための環境として、演奏データの視覚化を採り入れた音楽エディタを構築した。演奏データは、複数の表示形式で視覚化される。音楽エディタ上では、対話的に演奏データを編集することもでき、そのために楽曲構造と演奏の関係を考慮した編集機能を付加した。視覚化表現、および演奏解析と生成のための音楽エディタとしては良い評価が得られた。今後はユーザビリティの改良や、演奏生成研究の発展にともなう機能の付加などを行い、より充実した音楽エディタにしていく予定である。

参考文献

- 1) Aho, A.V., Sethi, R. and Ullman, J.D.: *Compilers - Principles, Techniques, and Tools*, Addison-Wesley (1986).
- 2) Barbar, K., Desainte-Catherine, M. and Miniussi, A.: The Semantics of Musical Hierarchies, *Computer Music Journal*, Vol.17, No.4, pp.30-37 (1993).
- 3) Balaban, M.: Music Structures - Interleaving the Temporal and Hierarchical Aspects in Music, *Understanding Music with AI*, Balaban,

- M., Ebcioglu, K. and Laske, O. (Eds.), pp.110-139, The MIT Press (1992Z).
- 4) Balaban, M.: The Music Structures Approach to Knowledge Representation for Music Processing, *Computer Music Journal*, Vol.20, No.2, pp.96-111 (1996).
 - 5) Brewster, S., Wright, P. and Edwards, A.: The Design and Evaluation of an Auditory-Enhanced ScrollBar, *CHI'94 Conf. Proc.*, pp.173-179 (1994).
 - 6) Chafe, C. and O'Modhrain, S.: Musical Muscle Memory and the Haptic Display of Performance Nuance, *Proc. Int. Comput. Music. Conf.*, pp.428-431 (1996).
 - 7) Degazio, B.: A Computer-based Editor for Lerdahl and Jackendoff's Rhythmic Structures, *Proc. Int. Comput. Music. Conf.*, pp.396-397 (1996).
 - 8) Deutch, D.: 音楽における記憶と注意, 音楽と脳, M. クリッチェリー, R.A. ヘンスン (編), 拓殖秀臣, 梅本亮夫, 桜林 仁 (訳), 心理学叢書 15, pp.131-170, サイエンス社 (1987).
 - 9) 藤原義章: リズムはゆらぐ—自然リズムの演奏法, 白水社 (1995).
 - 10) 平賀瑠美, 五十嵐 滋, 彌富あかね: 属性文法による構造的音楽処理, 第13回ソフトウェア科学会全国大会論文集, pp.245-258 (1996).
 - 11) Hiraga, R., Igarashi, S. and Matsuura, Y.: Visualized Music Expression in an Object-Oriented Environment, *Proc. Int. Comp. Music Conf.*, pp.483-486 (1996).
 - 12) 平賀瑠美, 五十嵐 滋, 松浦陽平: オブジェクト指向による演奏視覚化システム, コンピュータ・ソフトウェア, Vol.14, No.1, pp.50-54 (1997).
 - 13) Hoshishiba, T., Horiguchi, S. and Fujinaka, I.: Computer Performance of Piano Music with Normative Data, *Proc. Int. Comput. Music. Conf.*, Poster Presentation (1996).
 - 14) 五十嵐 滋, 辻 尚史, 千葉大春, 松下昌弘, 小川大典, 彌富あかね, 清野桂子: 演奏表情の表現と重奏システムへの応用, 第36回プログラミングシンポジウム報告集, pp.47-56 (1995).
 - 15) Igarashi, S., Hiraga, R., Iyatomi, A. and Matsuura, Y.: Visualization of Music Interpretation Based on its Structure, *Proc. ICCMMS*, pp.21-26 (1996).
 - 16) 彌富あかね, 五十嵐 滋: 音楽構造に基づくピアノ演奏の芸術的な表情付けの試み, 第9回人工知能学会全国大会論文集, pp.621-622 (1995).
 - 17) Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press (1983).
 - 18) Recomposer ver2.5f: Come On Music.
 - 19) Roads, C.: *The Computer Music Tutorial*,

MIT Press (1996).

- 20) Sloboda, J.A.: Music Performance, *The Psychology of Music*, Deutch, D. (Ed.), pp.479-496, Academic Press (1982).
- 21) Taguti, T.: A structural language for computer performance of piano music, *J. Acoust. Soc. Jpn. (E)*, Vol.9, No.6, pp.275-286 (1988).
- 22) Widmer, G.: Understanding and Learning Musical Expression, *Proc. Int. Comput. Music. Conf.*, pp. 268-275 (1993).

(平成9年3月17日受付)

(平成9年9月10日採録)



平賀 瑠美 (正会員)

東京大学理学部情報科学科卒業。筑波大学修士課程理工学研究科修了。日本アイ・ビー・エム(株)東京基礎研究所, IBM 研究部門アルマデン研究所勤務を経て, 現在, 筑波技術短期大学非常勤講師, 筑波大学大学院博士課程工学研究科在学。日本ソフトウェア科学会, ACM 各会員。音楽情報処理, ヒューマン・コンピュータ・インタラクション, コンピュータの音楽療法への応用などに興味を持つ。



五十嵐 滋 (正会員)

東京大学工学博士, 筑波大学教授, 計算機科学(プログラム理論, 人工知能論, 計算機音楽), IFIP プログラミング概念形式的記述 WG 正員, Tensor 誌エディタ。元京都大学数理解析研究所助教授, スタンフォード大学計算機科学科, 同大学人工知能研客員, 世界計算機会議情報処理理論的基礎部門議長, 同招待講演者, TCS, Fundamenta Inf. 各誌エディタ。1992年米ABIマンオフザイヤー。「プログラムの理論」(訳, 日本コンピュータ協会), 「演奏の科学」(予定)。



松浦 陽平 (正会員)

1972年生。1995年筑波大学第三学群情報学類卒業。1997年筑波大学大学院工学研究科博士課程前期(電子情報工学専攻)修了。計算機による音楽解析, 特に奏者の演奏表現を視覚化する手法に関する研究に従事。現在, 三菱電機(株)情報技術総合研究所勤務。