

PSYCHE から：フレーズ表情の多角形、 音楽構造に基づく表情付け、自動連弾システム

五十嵐 滋 彌富あかね 小川大典 清野桂子
筑波大学電子・情報工学系

我々は10年以上にわたって PSYCHE と呼ぶ音楽情報処理研究を行ってきた。PSYCHE プロジェクトの一つの大きな目標は、計算機によるアコースティック楽器での表情豊かな美しい演奏の実現である。以下に述べる研究は、この目標に向けたさまざまなアプローチである。

はじめに、幾何学的な図形を用いた演奏表情表現について述べる。演奏表情を多角形や扇状図形で表現することにより、フレーズ演奏の表情付けの把握が容易になった。次に述べる音楽構造に基づく表情付けの研究では、言語発声時の音量変化から仮説をたて、それを演奏に適用して、ある程度満足のいく演奏を得ることができた。最後に、制御系に遅れが生じることが避けられないピアノプレーヤーを用いて人間と計算機との連弾を実現する、自動連弾システムについて述べる。

From PSYCHE: Figurative Representations of Phrase Expressions, Expression based on Musical Analyses and a Computerized Four-Hand Duet System

Shigeru Igarashi, Akane Iyatomi, Daisuke Ogawa, Keiko Seino
Inst. of Inf. Sci., Univ. of Tsukuba

This paper is to report some accomplishments by "PSYCHE Project", whose main aim is to realize the artistic or expressive musical performance of acoustic instruments controlled or produced, by computers.

The first one is to represent phrase expressions during piano performances using geometrical figures. Expressions are grasped by polygonal and sectoral representations so as to be used in the analyses of phrase performances. The next one is based on analyses of musical structures. Some hypotheses concerning the relationships between the musical structure and the actual performance are made and applied to piano playing. Finally a computerized four-hand play system is explained. This system is to play a grand piano with a person in duet through a control unit having the inevitable half second delay.

1 はじめに

PSYCHE は、ピアノなどのアコースティック楽器による表情豊かな美しい演奏を目指した音楽情報処理研究プロジェクトである。

PSYCHE プロジェクトにおけるソフトウェアとデータの関係を図1に示す。この図において、

長方形はプログラム、楕円はデータを表す。EUROPA は楽譜記述言語で、MIDI形式あるいはUNI形式のデータに変換される。UNI形式とは当研究グループで開発された、MIDI形式を扱い易くかつ情報付加可能にしたデータ形式である。

本稿ではPSYCHEプロジェクトの研究のいくつかについて報告する。

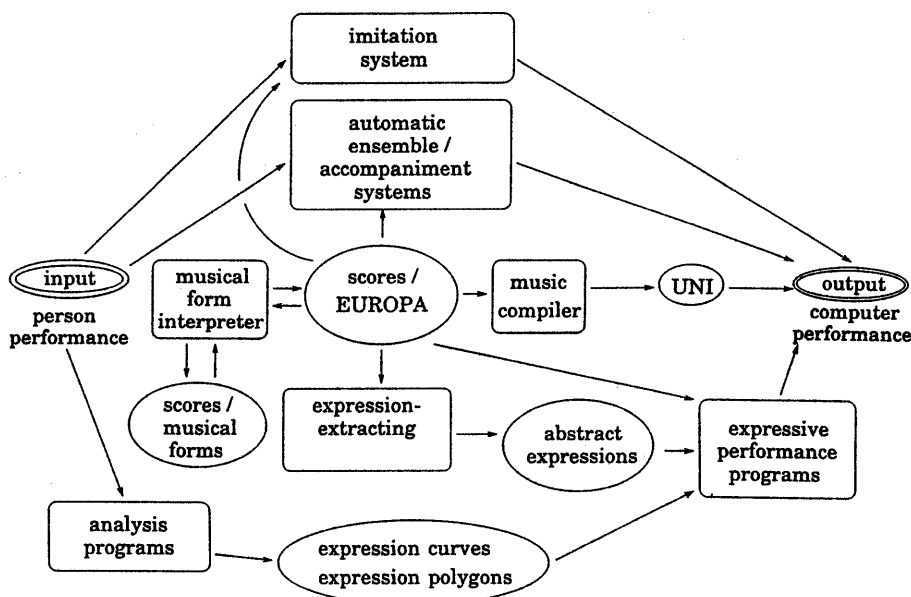


図 1: PSYCHE

2 演奏表情の図形的表現

音楽における表情付けは一般にフレーズ単位で行われる。計算機による演奏に表情を持たせることを考えるとき、人間の演奏表情を解析することが不可欠になってくるが、本研究ではその一つの手法として、演奏表情をフレーズ単位で図形的に表現する。これにより、演奏作法や演奏者の個性などが容易に確認できるようになった。

2.1 多角形表現

演奏表現を決定する第一の要素として速度変化がある。はじめにこの速度変化に注目し、1個のフレーズの速度変化の様子を1個の多角形で表現する。

1拍分にかかる時間を多角形の中心から頂点までの長さで表すと、例えば2拍子4小節のフレーズは8角形で表される。速度が一定の演奏であれば正多角形になり、全体に速度が速ければ多角形は小さく、遅ければ大きくなる。拍は中心の垂直真上の頂点から右回りに進行することとする。

また、多角形の重心の位置はフレーズの揺らぎのパターンを識別するうえで有効なパラメータであるので、多角形の重心・中心を併せて表示する。重心と中心の位置関係を明確にするため、中心から重心までの距離を3倍にし、その中点を中心に据えた。

2.2 実験 1

はじめに、モーツァルト作曲ピアノソナタ第11番イ短調 KV331をブーニンが演奏したものの中から、Andante grazioso(楽譜1)、Var. I~Var. Vを4小節を1フレーズとして表した。この曲は本来は $\frac{3}{8}$ 拍子であるが、8分音符3つ分を1拍分として2拍子で解析した。

次に Andante grazioso の演奏表情を複数の演奏者について表し、比較した(図2)。市川敦子氏の図形を他の演奏者の図形に重ね合わせた図3を見ると、その変化の様子がより明らかである。

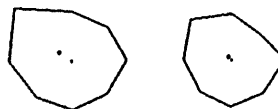


図 2: KV331 Andante grazioso 第3フレーズの2拍子での解析。ブーニン(左)、市川敦子氏(右)

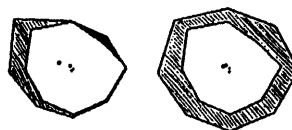


図 3: KV331 Andante grazioso 第3フレーズの2拍子での解析。ブーニンと市川氏(左)、筆者と市川氏(右)の重ね合わせ

また、本来の $\frac{6}{8}$ 拍子での図形化も行った(図4)。その結果、ブーニンの特徴的な表情付けや二部形

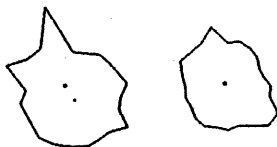


図4: KV331 Andante grazioso 第3フレーズの6拍子での解析. ブーニン(左)、市川敦子氏(右)

式の演奏作法などが明らかになった。また、重心のずれはすべて左上方向であったことから、実験対象とした曲のフレーズは、後半部にかけて速度が遅くなる傾向があることが分かった。

2.3 扇状図形による表現

次に、速度の変化に加え、音量の変化の様子も図形に表現することを考える。また、音量は、旋律(音名)の動きに対応して変化することが多いため、音名も同時に表現する。次のように対応させた。

速度(打鍵から離鍵までの時間)	内角の大きさ
音量(打鍵強度)	半径
音名	色

上のように対応させると、1音が1個の扇形で表され、1個のフレーズは、中心から右回りにこの扇形が配置された図形で表される。

2.4 実験2

2.3の表現方法を用いて、ピアニストに一つの曲を異なる表情付けで演奏してもらったものについての演奏表情を表し、比較した。図5、図6はメンデルスゾーン 無言歌集 Volkslied の第1フレーズについての実験結果である。

表拍は裏拍より強く演奏されることが確かめられ、フレーズの最後の音はその他のフレーズ構成音よりかなり弱くなっていることなどが分かる。また、2.2でフレーズの最終拍が長くなったのは、



図5: 市川敦子氏による Volkslied 第1フレーズ

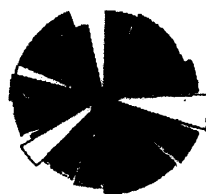


図6: 富永一代氏による Volkslied 第1フレーズ

カデンツ(終止感)を表す「間(ま)」であったことも明らかになった。

この表現方法は、1フレーズにかかる時間がすべて360度という一定値で表されるため、全体的なテンポは把握しにくい、一方では、異なる小節数のフレーズであっても類似した旋律を持つフレーズが発見しやすいという長所も持っている。

2.5 考察

演奏表情における速度の変化、音量の変化を図形的に表現することで、総合的な表情分析を行うことができた。2.3については、速度、音量、音名の別の対応も考えられ、例えば音名を半径に、打鍵間隔を中心角に割り当てれば、類似した旋律は類似した図形で表されるだろう。

今後はいくつかの図形表現による実験を進めつつ、それを媒介とする自動演奏への応用を目指す予定である。

3 音楽構造に基づく表情付け

演奏者は普通、直感及び理論によって音楽構造を分析し、それを反映した演奏を行う。これは、作曲家の音楽的主張の真意を歪めることなく演奏を行うことに必要である。またそのために、人間

によるピアノ演奏には普通、音量の大小、速さの緩急などの「表情」がつけられる。

ところで、音楽は世界共通の言語である、といわれる。実際、音楽と言語は、同じ様に構造、音の高さ、速さの緩急、音量の大小をもっている。また、我々は音楽を鑑賞する際のよりどころのひとつとして、言葉と音の原初的体験を持っている[1]。

このことから、楽曲の構造を反映した、演奏に対する表情付けのよりどころとして、言葉の発音を用いるという考え方は不自然ではないと思われる。

われわれは、次のように実験を行った。

1. 仮説に従いルールを作る。
2. ルールを、プログラムとして記述する。
3. 楽譜情報を人間が解析する。
4. 上の解析結果と、楽譜情報、モチーフ演奏の表情データをプログラムに入力して、演奏情報を出力する。

3.1 音楽構造を反映した表情付けのルール

ルールとして、本研究では以下のような簡単なものを採用した。

1. 同じmotif、phrase、又はsentenceが続けて出現した場合、
 - (a) 平均音高が後ろのものの方が高い場合、音量は上がる
 - (b) 平均音高が後ろのものの方が低い場合、音量は下がる
 - (c) 平均音高が同じ場合、音量は下がる

この仮説は、日常会話で同じ様な言葉を二回または三回繰り返す時の、音高と音量の関係から導いた。これについてはプロのピアニストによっても、この傾向が承認されている。音高が同じ場合については、後ろの方がいわゆる「エコー」だという見方によっている。

2. sentenceのはじめと終わりでは、速さを遅くする。

3.2 音楽構造記述言語による構造記述

上のようなルールを適用するためには、人間が解釈した楽譜の構造を、プログラムに引渡す必要がある。そのために、楽譜の構造を音楽構造記述言語によって表現する[9]。

3.2.1 単位

ここでは以下のような単位概念を使用する[3]。

motif 日本語でいう”動機”。楽曲を構成する最少の単位。様々な変化を伴って反復される。原則として2小節のまとまりを持つ。

phrase 日本語でいう”楽句”あるいは”小楽節”。旋律の自然な区切り。原則として4小節よりなり、2個のmotifを含む形である。

sentence 日本語でいう”楽段”あるいは”大楽節”。原則として8小節よりなり、2個のphraseを含む。

「原則として」とあるのは、これにあてはまらない楽曲も数多くあるからである。この場合、一小節が演奏される時間などに照らして解析するものとする。

3.2.2 構造表現の実例

構造記述言語を用いて、F. Chopin の Mazurkas, Op. 7, No. 3 の一部分の構造を表現する。

図7は、同曲の一部分である。

この楽譜の構造を音楽構造記述言語により、下式のように表す。

$$\begin{aligned} A &= motif1(f) \\ B &= motif1(b) \\ C &= motif1(f) \\ D &= motif1(c)modified \\ \{A, B, C, D\} &= sentence1(f) \\ E &= sentence1(f) \end{aligned}$$

3.3 演奏情報への適用

構造記述言語によって記述した構造と、表情付けのルールに基づいて、ChopinのMazurka No.7の演奏に表情付けを行った。

まだ、楽式の最少単位であるモチーフの演奏の表情データまで自動的に生成するのは、方法が微妙であるため、困難である。そのため、モチーフの演奏の表情データは人間のピアニストの演奏データを用いた。

これにより聴衆に音楽の構造を感じさせる、従来の自動演奏と比較して美しい演奏を得ることに成功し、本アプローチが有望であることが実証できたと考える。

3.4 今後の展望

本稿で用いたルールだけでは、構造情報の一部しか反映できない。今後、コードや、より複雑な構造などの反映が必要であり、言語を含め開発中である。

4 自動連弾システム

当研究室の研究成果の一つに、人間が演奏する主旋律に合わせて実時間で伴奏を付加する自動伴奏システムがある。このシステムの演奏装置はシンセサイザーであるが、MIDI対応グランドピアノを演奏装置として用いると演奏の芸術性がさらに高まると思われる。しかし、グランドピアノを制御するピアノプレーヤーのハードウェアが計算機からの制御データを受信してから0.5sec後に制御を行うように設計されているため、リアルタイムが信条である自動伴奏システムの実現は不可能である。そこで、制御系に遅れのあるピアノプレーヤーを使って人間と計算機との連弾を実現するシステムを考案した。

以下、人間が演奏するパートを第1パート、計算機が演奏するパートを第2パートと呼ぶことにする。もし第1パートの音符の打鍵時刻をあらかじめ予想することができれば、その0.5sec前に同時に打鍵されるべき第2パートの音符の演奏データを転送することによって打鍵のタイミングが揃う。しかし音符ごとの打鍵時刻を合わせるの困難であるので、小節単位でタイミングを合わせる

ことを試みた。つまり、計算機に送られてくる人間の演奏情報から人間が現在弾いている小節の長さを予測することで計算機は次の小節の先頭の音の打鍵時刻を予想し、その0.5sec前に第2パートの先頭の音符の演奏データをピアノプレーヤーに転送すれば良い。

このシステムを実装する前に、人間の実際の演奏データが入力されたとき計算機が第2パートの各小節の長さをどのように予測するかシミュレーションを行い、人間が実際に弾いた小節の長さと比較してみた。シミュレーションに用いた曲は、シューベルト作曲『白鳥の歌』の中の「セレナーデ」(図8)を吉田洋氏がピアノ連弾用に編曲したものである。

シミュレーションの結果、予測値と実測値との差が0.5sec以内にほとんど収まり、今まで問題であった人間と計算機との演奏間に生じる時間差が低減できることがわかった。

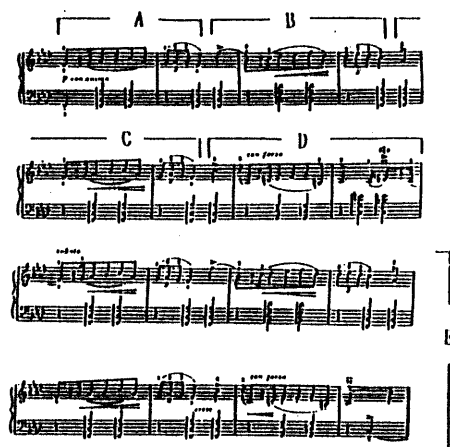


図 7: F. Chopin, Mazurkas, Op. 7, No. 3



図 8: シューベルト作曲「セレナーデ」

5 おわりに

以上 PSYCHE プロジェクトのうち、演奏表情の表現に関するもの、自動演奏への表情付けに関するもの、連弾システムに関するものについてそれぞれ1例を示した。他に、アコーディオンやドラムを用いたシステムも開発中である。今後はこれらの楽器なども取り入れながら研究を進めていく予定である。

最後に、日頃ゼミナールにご参加いただき、この発表の機会を与えていただいた図書館情報大学の平賀譲氏に謝意を表する。

参考文献

- [1] ヘルマン・ケラー著 植村耕三・福田達夫 共訳: 「フレージングとアーティキュレーション—生きた演奏のための基礎文法—」, 音楽之友社, 1969.
- [2] Alan Walker: 音楽分析入門, 早川正昭 (監修), 三浦洋司, 吉富功修 (訳), 音楽之友社, 1979.
- [3] 下中弘 (編): 音楽大辞典, 平凡社, 1982.
- [4] 白川貴浩: 演奏データベースを用いたピアノ自動演奏の研究, 筑波大学工学研究科修士論文, 1988.

- [5] 五十嵐 滋: “コンピュータ音楽と美”, 数理科学 No.307, サイエンス社, pp. 65-59, 1989.
- [6] 片寄晴弘, 才脇直樹, 井口征士: 音楽鑑賞モデルにおける感性量の取り扱い, 1989年度人工知能学会全国大会 (第3回) 論文集, pp. 453-456, 1989.
- [7] Tomoyasu TAGUTI: Modeling and Analysis of Musical Performance on the Piano, International Symposium on Music and Information Science, pp. 71-78, 1989.
- [8] Shigeru IGARASHI, Takashi TSUJI, Tet-suya MIZUTANI and Tsuyoshi HARAGUCHI: Experiments on Computerized Piano Accompaniment, International Computer Music Conference, pp. 415-417, 1993.
- [9] 瀬富あかね, 五十嵐 滋: 音楽構造を表現する言語とそのピアノ演奏の芸術的な表情付けへの応用, 1994年度応用数学合同研究会報告集, pp. 8-1 - 8-4, 1994.
- [10] 五十嵐 滋, 辻 尚史, 千葉大春, 松下昌弘, 小川大典, 瀬富あかね, 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.