

## 重回帰分析を用いた演奏の表情付け —従来のシステムの発展と演奏プランの考慮—

†石川 修      ‡片寄 晴弘      †井口 征士

†大阪大学基礎工学部研究科システム人間系

‡(財)イメージ情報科学研究所

E-mail : ishikawa@inolab.sys.es.osaka-u.ac.jp

これまで我々は音楽演奏における表情付けの研究として、重回帰分析を用いた演奏表現法の学習について研究を行ってきた。重回帰分析は演奏表現法のようなバリエーション情報を引き出すには非常に有効な方法である。しかし実際にそれらの情報を用いて未知曲に適用する際、説明変数どうしの影響などのためフィッティングがうまくいかないという問題点も存在する。

そこで本稿では(1)説明変数の再考、(2)グループ別重回帰分析を提案し、従来の解法との比較を行うことで本システムの有効性を述べる。また、システムに演奏プラン(演奏者別の表現の違い)が要求された時のそれぞれの演奏差についての考察を行う。

## Generation of musical performance expression using multiple regression analysis

- Development of old system and Consideration of musical performance plan -

† Osamu Ishikawa

‡ Haruhiro Katayose

† Seiji Inokuchi

† Faculty of Engineering Science, Osaka University

‡ Laboratories of Image Information Science and Technology

As for researches of musical performance generation, we have been working on the learning of the method of expression in performance using multiple regression analysis. This analysis is very effective in extracting "value information" like the method of expression in performance. But there are some problems in its utilization. For instance, when these informations are applied to unknown scores, explanatory valuable in systems has bad influence on the result of fitting.

In this paper, first, we propose the following two approaches - (1) reconsideration of explanatory valuable (2) multiple regression analysis considering group structures, and we then describe the effectiveness of this system, comparing with old system. Second, we discuss musical performance plan - differences of expression in performance corresponding with different performers.

## 1.はじめに

演奏の表情付けに関する自動演奏(音楽解釈)システムは、与えられた譜面を演奏家のように感情を込めた演奏を行うために、発音のタイミングをずらしたり、音量に強弱をつけたりするシステムである。現在、この音楽解釈をとり扱った研究は多岐にわたる。しかしながら、実際このようなシステムを構築する際に機械が人の「感性」のタスクの領域を扱うことから、様々な問題が指摘されている<sup>[1]</sup>。以下この問題について簡単に整理してみる。

### 1)根拠情報の不足に対する問題

ルールベースシステムでは、条件節にマッチする根拠情報(音符列の表現, 明示的に楽譜上に書かれた演奏記号の表現, フレーズ(グループ)の表現などの表現の根拠となる情報)がなければ、その部分の演奏法の抽出, また、情緒ある演奏の生成は不可能であるという問題がある。

### 2)線形性, 単調増加性の問題

根本的な問題として、根拠情報と演奏パラメータの関係に線形性や単調増加性を仮定して良いのかという問題がある。音楽解釈システムでは暗黙のうちに線形性や単調増加性を仮定してきたが、その可否についてはほとんど議論されてこなかった。まずは、仮定を明らかにすることと、矛盾点を最小限にするための工夫が必要である。

我々の提案している重回帰分析を用いた手法<sup>[2]</sup>は、線形性の仮定のためアンド条件を扱うことは出来なかった。そこで、説明変数の論理積を新たな説明変数として追加して、イタレーションを行うことにより、非線形な対象にも適用できるような工夫を行った。その点で2)はクリアしているといえる。1)に関して従来手法では、根拠情報として楽譜上の記号、拍節構造、Lerdahl&Jackendoffの理論<sup>[3]</sup>、または心理学的視点からゲシュタルト情報なども取り入れている。しかし、これだけで根拠情報をすべて考慮しているとは言い難い。その反面、説明変数の増加に伴い、説明変数どうしの相互作用のためフィッティングに悪影響を与えるという問題もある。

また、最近では異なる表情付け(演奏プラン)が要求された時の演奏差についての解析や曲印象分

類を考慮したシステムも構築されてきている。重回帰分析手法は、条件節となる説明変数と学習例となる目的変数の関係をバリュウ情報で表すことができる点で、演奏ルールの抽出に非常に有効な方法であるといえる。そこで、演奏プランが実際の演奏ではどのように表現されるのかをバリュウ情報から考察することも可能である。

本稿では、次の2つのアプローチ(1)根拠情報となる説明変数の再考、(2)グループ別重回帰分析を提案することで、未知曲への適用の柔軟性を考慮した工夫を従来システムに付加する。また、演奏プランを考慮に入れた考察を行う。以後簡単に重回帰分析を用いたシステムの説明を行う。

## 2.システム概要

システムの構成を図1に示す。最初に、実際の人の演奏と楽譜から演奏者の演奏パラメータ(テンポ・ベロシティ・アーティキュレーション)を抽出する。次に演奏パラメータと各条件との関係を重回帰分析を用いることでルール抽出を行う。最後に、未知曲の楽譜データに演奏ルールを適用することで未知曲の演奏パラメータを求める。以後、各部の説明を行う。

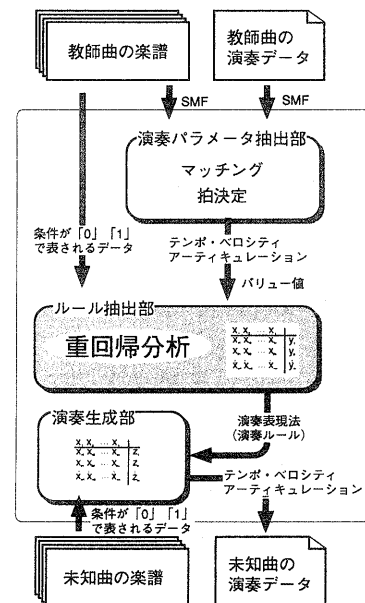


図1 システム構成

### 3.各部の説明

#### 3.1演奏パラメータの抽出<sup>[4]</sup>

演奏者が演奏を行う際に行っている制御としてまず考えられるのはテンポ、ベロシティであろう。また演奏者はノリを出すために音長を変化させたり、タメを作るために発音を遅らせたりしていると考えられる。そこで演奏パラメータとしてアーティキュレーションを扱うこととした。ここでいうアーティキュレーションとは音長(Gatetime)、発音位置での揺らぎ(Onset Deviation)と定義する。次にこれらのパラメータを抽出するプロセスを説明する。

まず実際の演奏者の演奏データと楽譜データとのマッチングをとる。これらデータの対応を取るためStandard MIDI File形式を扱うものとする。マッチングにより演奏データ上の音の小節位置や拍位置が分かるようになる。拍位置に関しては左手の伴奏パートを基準に決定している。この時楽譜上の拍位置に単音しかない場合はその音の時刻を拍位置とし、和音の場合はベロシティ値の一番大きな音の時刻を拍位置としている。これらの情報をもとに以下のようにしてテンポ、ベロシティ、音長、発音位置の揺らぎを抽出する。

#### ●テンポ

テンポは1分間の拍の数(Beat per Minutes)である。よって拍と拍の間の時間(sec)を60(sec)で割ることで得られる。

#### ●ベロシティ

マッチングをとることで楽譜上の各音符が実際のどのくらいのベロシティで弾かれたのかが分かる。

#### ●音長

音長L(sec)を拍と拍の間の時間(sec)で割ることで、拍単位の音長が得られる。(図2a)

#### ●発音位置での揺らぎ

拍の位置とメロディ部のズレD(sec)を、拍と拍の間の時間B(sec)で割ることで拍単位のズレが得られる。拍上にはない音符は拍位置から推測して求めている。(図2b)

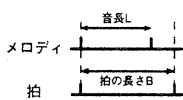


図2a 音長

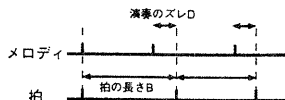


図2b 拍位置のズレ

#### 3.2演奏ルールの抽出

重回帰分析とは、原因となる数値(説明変数)と結果として生じる数値(目的変数)との間の関係を分析し、その因果関係を数式で表現する多変量解析の一手法である<sup>[5]</sup>。これを用いることにより

「(1)説明変数の目的変数に及ぼす影響度」

「(2)各説明変数の、説明変数中での重要度」

が明らかになる。実際、説明変数を図3のように一次結合で表すとき、目的変数との誤差の自乗和が最小になるような結合係数を求めることでパラメータフィッティングを行う。結果として、その結合係数から(1)、(2)が明らかになる。

我々の手法では各条件節の有無を説明変数において「0」「1」で表すことで、どの条件がどのくらい対象となる演奏パラメータを変化させるのかを、結合係数において演奏ルールとして求めることができる。

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

説明変数                      結合係数                      誤差                      目的変数

$\epsilon^T \epsilon \rightarrow \min$

図3 重回帰分析

この基本的な演奏ルール抽出手法に加え、従来の研究において以下のような工夫が施されている。

#### ●差分処理

#### ●局所情報のマルチ化

#### ●AND処理

差分処理とはテンポ・ベロシティに関して一度差分処理を行い重回帰分析を行うことで、滑らかな変化に対応している。

局所情報のマルチ化とは、説明変数における局所的な条件(例えば、アクセント、 $p$ 、 $f$ )に関してON、OFFの2列の説明変数を用意することで演奏の山形の変化、ステップ上の変化などに対応している。

AND処理とは説明変数間において論理的ANDをとり、新たな説明変数を付け加える処理である。これにより同じ説明変数が与えられている場所で、違う表現がされるような場合に対応できる。

次に2つのアプローチを行い、さらなる工夫を付加する。

## 4.2つのアプローチ

### 4.1説明変数の再考

重回帰分析において問題となるのは説明変数を選ぶかである。本研究では楽譜を入力データとして扱っているため、やみくもに説明変数を選び、増やすのはナンセンスである。伝統的な西洋音楽を扱う基本としては、音符列の表現、明示的に楽譜上に書かれた演奏記号の表現、フレーズ(グループ)の表現が存在している。これら根拠情報を用いた条件節の選択が必要となる。また、人間の処理機構を考えると音楽心理学の利用なども考えられる。以上をふまえた上で図4のような条件節を説明変数として考えた。

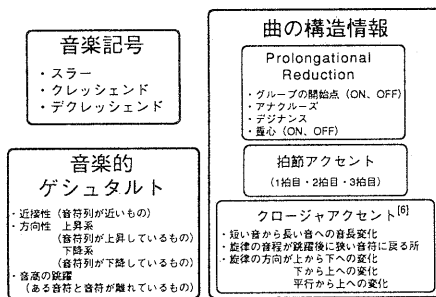


図4 楽譜から得られる説明変数

また、重回帰分析の特徴として説明変数の個数が増加するにつれ、その重相関は単調に増加するという性質がある。そのため説明変数の個数の増加によって、予測の程度を見かけ上は高めることができる。だが実際、各条件節間の相互作用による影響のため、未知曲の適用結果に悪影響を及ぼすという問題もあらわれる。そこでこの問題を解決するため「変数減少法(backward elimination)」を取り入れた<sup>[5]</sup>。この方法はすべての説明変数を用いた分析から回帰に寄与しない変数を1つずつ減らしていく方法である。この除外する説明変数の選択は、まず説明変数間のすべての組み合わせの相関を求め、最も高い相関を持つ2列の条件節を抽出する。次にその2列の結合係数を比較し、値の小さい条件節すなわち説明変数中での重要度の低い条件節を除外する。そして再び本システムの処理を行いフィッティング度を算出する。これらを繰り返し行い最大のフィッティング度を与える説明変数を学習曲の説明変数として採用する。(図5参照)

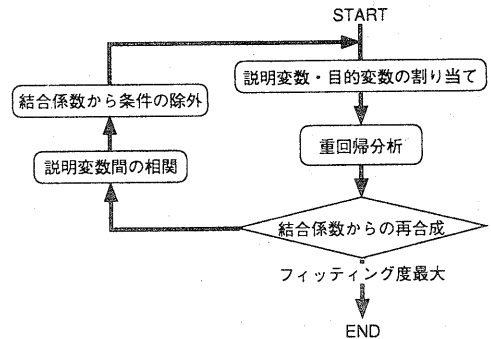


図5 変数減少法による処理

実際、最後に残る説明変数は学習する曲によって異なる。そのため、この方法により曲ごとに最適な変数を選びだすことができる点で、曲に対する柔軟性があるといえる。

### 4.2グループ別重回帰分析

未知曲への柔軟性を考える上で問題がもう一つ考えられる。それは重回帰分析を行う際に、従来のように一度に楽譜全体の演奏ルールを求めると、テンポ・ベロシティの演奏パラメータに関して差分処理を行っているため適用時にその誤差が蓄積されフィッティング度が落ちることが多い。また、演奏者は楽譜全体を通して同じルールで演奏を行っているとは限らない。表現豊かな演奏には「演奏の流れ」が存在しているといえる。すなわち曲の弾き始め、中間部、曲の終わり等では同じ演奏家でも弾いている表現すなわち演奏ルールは違うと考えられる。

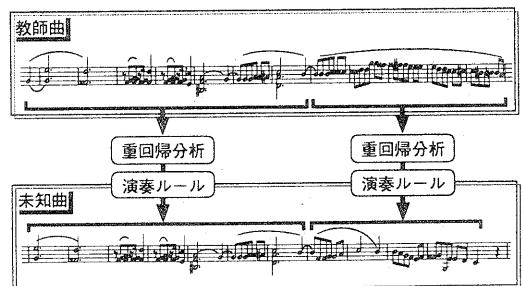


図6 グループ別重回帰分析

そこで、部分ごとに弾いている演奏ルールが異なるという仮定のもとで、楽譜の楽曲構造を用いて曲をある単位にグルーピングした上で重回帰分

析を行い、グループごとの演奏ルールを導き出す。その各々の演奏ルールを未知曲のグループに適用することで、誤差の蓄積といった問題も解決でき、また流れを考慮した表情付けを行わせることが可能となる。(図6参照)

## 5.実験と結果

ショパンの「ワルツ作品64の2」を対象に教師曲をその前半部、未知曲をその後半部とし実験を行った。また、フィッティングの評価はシステムの結果と実演奏データとの相関値とする。

### 5.1説明変数の再考

変数減少法適用により教師曲と未知曲のフィッティング度がどのように変化するか予備実験を行った。結果は図7に示す。説明変数の相互作用の影響がフィッティング度に悪影響を与えていたことが分かる。また教師曲のフィッティングの最大値部分で演奏ルールを抽出することで、未知曲にも対応できることが分かる。

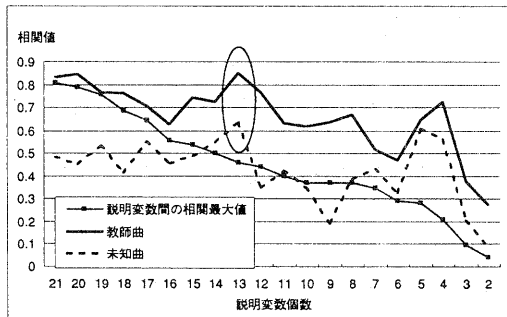


図7 説明変数の再考によるフィッティング

### 5.2グループ別重回帰分析

今回は専門家の構造解析をもとに教師曲、未知曲ともに2つのグループに分け、グループ1はグループ1に、グループ2はグループ2に適用することとした。グループ別重回帰分析を適用した時と適用しなかった時の未知曲のフィッティング度の違いを表1に示す(ベロシティ値)。グループ1、グループ2どうしを比べると大きな差は見られない。しかし全体を比較すると適用しない方が明らかフィッティング度が悪い。これが誤差の蓄積による影響と思われる。つまり適用することでグループ1からグループ2に移り変わる所で一種の補正がなさ

れ、流れを崩すことなく適用できることが分かる。

表1 グループ別重回帰分析の評価(Velocity)

	適用した時	適用しない時
グループ1	0.897	0.816
グループ2	0.660	0.688
曲全体	0.814	0.407

### 5.3従来の研究との比較

上記で行った予備実験をふまえた上で、2つのアプローチを組み入れ、教師曲を未知曲に適用する実験を行った。ここで結果の評価として実演奏との相関とは別に抑揚度 $m$ を次の式(1)で定義する。

$$m = \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i, y_i) / n - 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$f(x_i, y_i) = \begin{cases} 1 & ((x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i) \geq 0) \\ 0 & ((x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i) < 0) \end{cases} \quad (1)$$

この式で得られる値はベロシティ、テンポに関してのみの評価値であり、システムと実演奏を比較し隣り合う音符との差の増減の一致度を表す。結果は表2に示す。この結果から比較すると明らかに本手法は未知曲の適用に優れていることが分かる。

表2 従来の研究との比較

	システム	相関値	抑揚度
Velocity	new	0.854	0.739
	old	0.483	0.636
Tempo	new	0.826	0.720
	old	0.325	0.533
Gatetime	new	0.637	
	old	0.540	
Onset Deviation	new	0.955	
	old	0.312	

### 5.4演奏プラン

続いて教師曲の演奏データとして演奏プランが要求された時のシステムの演奏差についての実験

を行う。今回は分かりやすく演奏者別の演奏表現の違いを演奏プランとして取り上げた。3人の演奏者に教師曲を弾いてもらい、その演奏パラメータをもとに演奏ルールを求めた。その結果を表3, 4に示す。

表3 演奏ルール結果(Velocity)

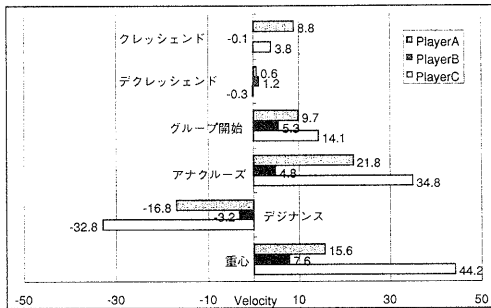
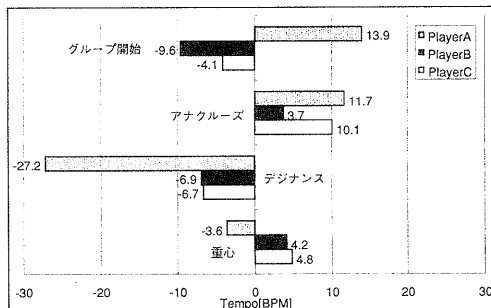


表4 演奏ルール結果(Tempo)



## 6. 考察

音楽学におけるフレージングルールとして竹内の定義している「フレーズの頂点やグループの重心に向かって(アナクルーズ)、音量、テンポは次第に増加し、それ以後(デジナンス)は次第に減少する」「フレーズやグループの開始は強勢によって明確に表現される」といったルール<sup>[7]</sup>が表3, 4において抽出されていることが分かる。また演奏者によってそれぞれ演奏ルールに違いがあり、その演奏者ごとの特徴が表れていることも分かる。このように演奏プラン(演奏者別による演奏表現法)をシステムに蓄積することで音楽解釈システムの性能を高めることが可能となる。また、このように客観的で明解なバリュー値で演奏ルールを表現できることから、音楽学で得られている知見の検証や音楽教育への応用が可能となる。しかし、今回取り上げた条件の中にはフレージングルール

に反したルールや、明らかにエラーと見られるルールも抽出された。この問題を改善するためにも根拠情報のさらなる再考が必要であろう。また演奏者によって楽曲構造の解釈の違いがあることが、演奏ルール抽出に大きな問題をもたらしていると考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、2つのアプローチ(1)説明変数の再考、(2)グループ別重回帰分析を提案することで、未知曲への適用の柔軟性を考慮した工夫を従来のシステムに付加した。また、演奏プランが要求された時の演奏ルールの抽出を行った。

今後、音楽解釈システムを扱う上で必要となってくるのは音楽構造解析のコンピュータシミュレーションモデルの実現であろう。現在コーパスベースの音楽構造解析モデルが報告されている<sup>[8]</sup>。さらに人の環境・文化・個人差などの影響までも含めた音楽構造解析モデルの検討を始めている。

## 参考文献

- [1]片寄他:音楽認知の計算モデル-二つのアプローチ-,情報処理学会研究報告,98-MUS-25,pp.51-58 (1998)
- [2]青野他:重回帰分析を用いた演奏表現法の抽出,情報処理学会論文誌, Vol.38, No.7, pp.1473-1481 (1997)
- [3]Lerdahl and Jackendoff :A Generative Theory of Tonal Music, MIT Press (1983)
- [4]上符他:演奏ルールの抽出について,情報処理学会研究報告, 96-MUS-15, pp.79-84 (1996)
- [5]柳井他:多変量解析ハンドブック,現代数学社 (1993)
- [6]村尾:クロージャの客観的測定に基づく構造音の抽出について,音楽情報科学研究会夏のシンポジウム'92, pp. 67-72 (1992)
- [7]竹内:認知的視点による演奏解釈の研究,兵庫教育大学大学院修士学位論文(1994)
- [8]Uwabu, et al.:A Structural Analysis Tool for Expressive Performance,Proc.ICMC,pp.121-124 (1997)