

## 演奏 deviation データベースの作成と公開

豊田 健一<sup>†</sup> 野池 賢二<sup>†††</sup> 片寄 晴弘<sup>††,†††</sup>

演奏分析・音楽解釈を根本的に発展させるものとして、情緒あふれる演奏がどのような逸脱 (deviation) を持っているかを記述した演奏データベースに対する期待は大きい。本論文では、MIDI 入力された演奏データから効率的に deviation データを作成する手法について述べると共に、作成したデータベースの概要とその関連ツールについて述べる。

### Constructing and Disclosing Database of Performance Deviation

KEN'ICHI TOYODA, KENZI NOIKE and HARUHIRO KATAYOSE

Database which contains deviations from the normalized notes are indispensable for the study of performance analysis and rendering. This paper describes a procedure to produce a deviation data efficiently, overview of the database, and relevant tools to utilize it.

#### 1. はじめに

近年の音楽情報処理研究の主要研究領域に、Performance Rendering (情緒あふれる演奏の自動生成) がある<sup>1)2)3)</sup>。現在の Performance Rendering の研究の興味の中心は、学習型や自律型のシステムに移りつつあるが、学習システムにデータを与えるにしても、あるいは、人間が分析を行うにしても、情緒を含んだ演奏の deviation 記述 (正規化された演奏をリファレンスとして演奏特徴を記述) したデータの用意は、研究を進めていく上での前提条件となる。

我々は以前、実演奏を記録した MIDI 情報から効率的に deviation 情報を抽出する手法を提案した<sup>4)</sup>。その後、手法の改良を行うと共に、deviation データベースの拡充を行い、今回、データベースの一般公開に至った。

演奏 deviation データベースに関しては、Widmer らが、テンポと音量に関して 100 曲以上のデータを保有しており、このデータベースを利用した研究を報告している<sup>5)</sup>。しかし、個々の音についての deviation を抽出するには至っていない。我々が作成したデータベースは、テンポのみならず、個々の音の velocity や、発音時刻および継続時間の deviation も扱っている。

本稿では、DP と HMM を用いて deviation データ

を効率的に作成する方法を示すと共に、データベース活用のための各種ツールについて述べる。

#### 2. 演奏表現とデータ記述

##### 2.1 演奏表現の記述

自然楽器の演奏制御対象とそのレベルにはさまざまなものがあり、信号レベルでそのすべてを制御することはきわめて困難である。その中で、ピアノを代表とする打鍵楽器における制御対象は、各音の発音時刻、消音時刻、音の強さ (MIDI での velocity 値) に、ほぼ簡約される。一方、音楽的な演奏表現については、スラーやテヌート等の表意記号に関する表現、演奏者によって意識下あるいは無意識下で理解される個々の音符レベル、拍節レベル、フレーズレベルの表現が量積され、その結果が、それぞれの制御対象に投影されている。ここでは、人間の運動制御の特定数の視点から、拍打 (およびそれ以上) レベルでの表現とそれ以下のレベルでの表現 (拍内表情) に分離して、データ記述方式 (note 形式) を設計することにした。

##### 2.2 note 形式

note 形式によるデータの記述例を図 1 に示す。この図において、基本的な演奏データ (機械的演奏に相当する) は太字で示されるものであり、「各音符の発音時刻、音高 (ノートネーム)、継続時間」の組として記述される。それ以外の細字で示されたものが、演奏

実際には velocity による音量制御には限界がある。また、ペダル操作についても考慮する必要がある。厳密にいうと、近似的な簡約である

<sup>†</sup> 関西学院大学大学院理工学研究科, Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin Univ.

<sup>††</sup> 関西学院大学, Kwansei Gakuin Univ.

<sup>†††</sup> さきがけ研究 21, PRESTO, JST.

```

.....
2.00 BEATTIME 475.436 4
2.00 (0.00 E3 78 3.00 -0.11)
=2
1.00 BEATTIME 468.384 4
1.00 (0.00 C#4 76 0.75 -0.09) (0.04 E1 60 1.00 -0.13)
1.75 (0.10 D4 77 0.25 -0.14)
2.00 BEATTIME 461.538 4
2.00 (0.00 B3 75 1.00 -0.03) (0.00 G#3 56 1.00 0.03)
3.00 BEATTIME 469.851 4
3.00 (0.00 B3 72 1.00 0.00) (0.09 G#3 56 1.00 -0.12) (0.14 D3 57 1.00 -0.21)
=3
1.00 BEATTIME 470.219 4
1.00 (0.00 B3 77 2.00 -0.05) (0.00 G#3 47 2.00 -0.05) (-0.06 D4 57 2.00 -0.32)
2.00 BEATTIME 470.219 4
3.00 BEATTIME 462.606 4
3.00 (0.00 F#4 75 1.00 -0.15) (0.00 D4 54 1.00 0.03)
=4
1.00 BEATTIME 469.851 4
1.00 (0.00 D#4 73 0.75 -0.38) (0.02 C4 65 0.75 -0.08)
.....

```

図 1 演奏表情の記述

表情に関わる deviation 項である。テンポに関わる情報は、「時刻, BEATTIME, テンポ値, 単位となる音価」の組として記述される。各音の拍内表情に関するデータとしては、括弧中に、発音時刻の deviation, 当該音符の velocity 値, 継続時間の deviation として記述される。

### 3. deviation データ抽出の概要

情緒あふれるデータを, 上記に示すような deviation 項を持つデータ記述表現におきかえるためには, 拍の量子化を行う必要がある。この作業を手作業で実施するのは非常に煩雑である。この作業を支援するものとして, 正規化された楽譜情報をガイドとして利用する DP マッチングを用いた自動化の研究等が報告されてきた。例えば, 高見らの研究<sup>6)</sup> においては, 楽譜となる情報をガイドとして与え, 音響信号から, 2 段の DP マッチングにより演奏表情を抽出する方法が報告されている。DP マッチングを用いる方法は, エラーフリーのデータを得るものとして有効であるが, 楽譜情報を用意すること自体が非常に煩雑であるため, 大量の deviation データを作成する場合には多大な労力が必要となり, 非効率である。

一方, 楽譜情報を用いず, 自動採譜処理により拍の量子化を行う方法が考えられる。実演奏に対しその拍を推定する, 拍の量子化(クオンタイズ)は, 音楽に関連するパターン認識の主要テーマであり<sup>7)8)</sup>, 最近でも活発に研究が行われている<sup>9)10)11)</sup>。拍の量子化に関する研究は, ささまざまな工夫により認識率の向上に大きく貢献したが, テンポの揺らぎの大きな演奏データに対しては, 認識率が著しく低下する場合があり, 精度の面で問題がある。

そこで我々は, ガイドとなる必要最小限の楽譜情報のみを与え, 自動採譜処理と組み合わせることにより,

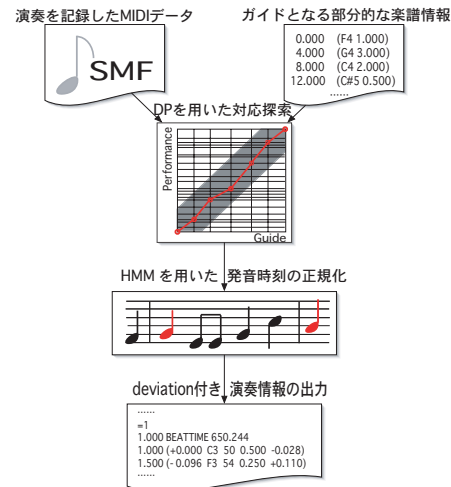


図 2 処理の流れ

効率的に deviation 項を持つデータ列を作成することにした。ガイド情報により部分的に拍節情報が既知となることで局所的なテンポが分かるため, テンポが未知である場合に比べ, 発音時刻の量子化が高精度となることが期待される。

処理の流れを図 2 に示す。

処理の第一段階として, ユーザは, 例えばメロディあるいはメロディの一部をガイド情報として与え, このデータと表情付きの演奏データ (SMF) とを DP マッチングにより対応付ける。ここで, ガイドとなる楽譜情報は, deviation 項を含まない note 形式である。テキストエディタで容易に作成できるほか, 一般のシーケンサや記譜ソフト上で作成したデータを用意して, 変換ツールを使って得ることもできる。

次に, ガイドに存在しない音に関して, HMM を用いた量子化処理により, 正規化された発音時刻を与える。この際, 拍位置と velocity の関係や, 隣接する音符の長さが有理数比になりやすいといったヒューリスティクスを用いた。また, 同時発音を HMM の状態の自己遷移で表すことにより, 和音の識別処理も同時に行う。

処理の最終段階として, 指定した音価毎にテンポを計算し, 算出したテンポに基づいて, 発音時刻の deviation, 継続時間の deviation を計算し, さらに, velocity を割り当てて, 演奏表情を含んだ note 形式のデータを得る。

以下の章では, DP を用いた対応探索, HMM を利

テンポ値は, 単位音価あたりの所要時間とする。次元は [ms/beat]。

テンポの計算間隔は「1 小節ごと」「強拍ごと」「各和音ごと」「ガイド音ごと」のいずれかをユーザが指定するよう実装を行った。

用した量子化処理について具体的に述べる。

#### 4. DP を用いた演奏音と楽譜情報との対応付け

図2の中央図は、DPを用いた演奏情報と楽譜情報の対応探索を行う格子平面を表している。縦軸には演奏情報、横軸にはガイドとなる楽譜情報の系列が実時間に沿って並んでおり、各行および列がそれぞれ一つの音を表している。この平面を用いて、両者の最も尤もらしい対応を求める。

##### 4.1 DP マッチング

格子平面上の各点は演奏情報と楽譜情報の対応を表す。ある点  $Q(k, l)$  に対してその親候補点を  $P(i, j)$  とし、始点から  $Q(k, l)$  に至るまでの対応の類似度の最大値  $S(k, l)$  を次の式で求める。

$$S(k, l) = \max(\text{sim}(i, j, k, l) + S(i, j)) \quad (1)$$

$\text{sim}(i, j, k, l)$  は、 $P(i, j)$  から  $Q(k, l)$  までの類似度である。各格子点について  $S(k, l)$  を最大にするような親  $P(i, j)$  を求めてゆき、最終的に曲の末尾を表す点(図2中央図の右上端の点)から順に親をたどることによって一つの経路(図2中央図の折れ線)ができ、演奏情報と楽譜情報の最も尤もらしい対応が得られる。ここで、演奏情報と楽譜情報とで音高が異なるような対応は候補から除外した。

##### 4.2 類似度を決める要素

式(1)における類似度  $\text{sim}(i, j, k, l)$  は、次の3つのパラメータからなる。

- $s_1$ : ガイド間のテンポと曲全体の平均テンポとの類似度
- $s_2$ : ガイドの仮発音時刻と演奏の実発音時刻との類似度
- $s_3$ : 拍位置に対する velocity の尤度

これら  $s_n (n = 1, 2, 3)$  はそれぞれ0から1の値をとる。そして、各  $s_n$  に対する重み係数を  $w_n$  とし、

$$\text{sim}(i, j, k, l) = \sum_{n=1}^3 w_n s_n$$

とした。ここで、 $w_1 > w_2 > w_3$  とした。

#### 5. HMM を利用した発音時刻正規化処理

DP マッチングにより実演奏とガイド情報との対応を取った後、ガイド情報に存在しない音について、HMMを用いて発音時刻の正規化を行う。本研究での手法は、大槻らの示した演奏情報の発音時刻の間隔 (IOI: Inter

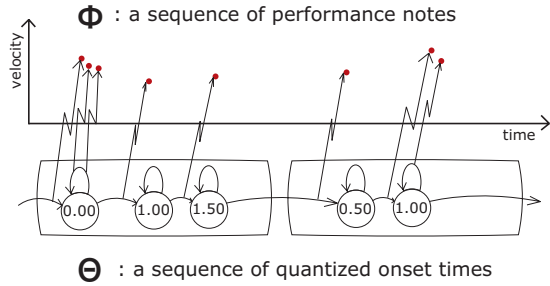


図3 正規化された発音時刻を隠れ状態とし、出力を演奏音とするHMM(上図の各点は、演奏音を持つ情報のうち、発音時刻とvelocityを表したものである。)

Onset Interval) からHMMを用いて意図された音価列を推定する手法<sup>9)</sup>を基本としている。大槻らの手法との相違点として、我々の手法では個々の音のIOIのみならず、隣接音とのIOIの比や、拍とvelocityの関係といった要素もモデルに組み込んでいることが挙げられる。また、閾値により同時発音を識別するのではなく、HMMの状態の自己遷移を用いているという点でも異なっている。

##### 5.1 演奏音生成の確率モデル

正規化された発音時刻系列  $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_T)$  を意図して演奏した結果、演奏音の系列  $\Phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_T)$  が観測される確率は、 $P(\Phi|\Theta)$  で表される。逆に、観測された演奏系列  $\Phi$  が  $\Theta$  を意図した結果である確率  $P(\Theta|\Phi)$  は、Bayesの定理より

$$P(\Theta|\Phi) = \frac{P(\Phi|\Theta)P(\Theta)}{P(\Phi)} \quad (2)$$

となる。ここで  $P(\Phi)$  は  $\Theta$  に依らない。よって式(2)の分子が最大となるような  $\Theta$  を求めることで、最も尤度の高い系列  $\Theta^*$  を推定できる。すなわち、

$$\Theta^* = \arg \max_{\Theta} P(\Phi|\Theta)P(\Theta) \quad (3)$$

である。

我々は、短いひとまとまりの発音時刻系列を単語(以下を「リズム単語」と呼ぶ)として扱うことにし、楽曲の発音時刻列はこの単語の連鎖からなるとした。各単語は、単語内での発音時刻を状態として持つ。これを用いると、正規化された発音時刻系列  $\Theta$  は、リズム単語の連鎖で表され、 $\Theta^*$  を求めることは、最もふさわしいリズム単語系列を求めることに相当する。

さらに、正規化された発音時刻を表す状態  $\theta_t$  が出現する確率は、その前状態  $\theta_{t-1}$  のみに依存するもの

和音の楽譜情報が入力された場合は、和音中で最も音高が高い音を代表とする。  
ガイドの拍単位の発音時刻を実時間に換算したもの

大槻らの報告<sup>9)</sup>で用いられる「リズム単語」は、音価を状態として持つものとしている。

表 1 発音時刻正規化実験の結果 (数字は 10 曲の正解率の平均値・与えたガイドは和音でなく、単音の系列である。また、ガイドの量について、例えば「1 小節ごと」は、各小節の最初の 1 音をガイドとして与えたことを表す)

ガイドの量	開始音と終了音	2 小節ごと	1 小節ごと	強拍ごと	全発音時刻
Threshold	13.1	69.2	83.5	97.2	99.6
HMM	61.7	85.0	92.4	98.2	99.6

とし、 $\theta_{t-1}$  から  $\theta_t$  への遷移確率を  $a_{\theta_{t-1}\theta_t}$  とする。また、状態  $\theta_t$  から演奏音  $\phi_t$  が生成する確率を  $b_{\theta_t}(\phi_t)$ 、起こり得るリズム単語の連鎖系列全体の集合を  $G_W$  とすると、式 (3) は以下ようになる。

$$\Theta^* = \arg \max_{\Theta \in G_W} \prod_{t=1}^T a_{\theta_{t-1}\theta_t} b_{\theta_t}(\phi_t) \quad (4)$$

このことを図 3 で表す。

状態遷移確率  $a_{\theta_{t-1}\theta_t}$  は、 $t = 0$  のとき単語の生起確率を表し、 $\theta_{t-1}$  と  $\theta_t$  が単語境界のときは単語の連鎖確率を表す。また、 $\theta_{t-1} = \theta_t$  すなわち状態の自己遷移は同時発音を表し、その遷移確率は、状態の停留時間と停留回数に依存するものとした。

同時発音の識別のため、前処理として、発音時刻がある閾値以内にある演奏音をまとめて 1 つの和音とする方法もあるが、提案手法はそのような前処理を必要とせず、同時発音を状態の自己遷移で表すことで、和音の同定も HMM による量子化処理で行うことができる。

本研究で作成したシステムでは、式 (4) に基づいて Viterbi アルゴリズムにより最尤発音時刻列  $\Theta^*$  を求め、発音時刻の量子化を行っている。また  $G_W$  は 77 曲分の学習データから得られた 2 拍長のリズム単語 132 種類、3 拍長のリズム単語 105 種類 の組み合わせで得られる系列の全体集合とし、そのうちガイドとなる楽譜情報と発音時刻が矛盾しないものを候補  $\Theta$  として採用した。

## 5.2 演奏音の生成確率を決める要素

正規化された発音時刻  $\theta_t$  から揺らぎを持つ演奏音  $\phi_t$  が生じる確率  $b_{\theta_t}(\phi_t)$  を決める要素には、様々なものが考えられる。我々は特に「IOI」「隣接 IOI の比」「拍位置と velocity の関係」という要素に注目した。そして、これらの要素の変動を表す確率値を、以下のように仮定した。

### (1) IOI の変動

正規化された IOI  $q_\theta$  [beat] が、実演奏で  $q_\phi$  [beat] となる確率  $b_q$  は、 $q_\theta$  を平均とする正規分布

曲中で両者の同時使用は行わない。

実演奏の beat 単位の IOI は、DP マッチングで得られる局所的なテンポを元に算出する。

に従うとする。

### (2) 隣接音の IOI 比の変動

(同時発音でない) 隣接音の正規化された IOI  $q_{\theta_{t-1}}$  と  $q_{\theta_t}$  との比を  $r_{\theta_t}$ 、それに対応する実演奏の IOI の比を  $r_{\phi_t}$  としたとき、 $r_{\theta_t}$  が実演奏で  $r_{\phi_t}$  となる確率  $b_r$  は、 $r_{\theta_t}$  を平均とする正規分布に従うとする。

### (3) 拍位置と velocity の関係

ある実演奏が強拍に相当する場合、その velocity 値が  $v_\phi$  となる確率  $b_v$  は、前後数音の velocity 値の最大値  $v_{max}$  を平均とする正規分布に従うとする。また強拍に相当しない場合は、 $b_v$  は一定値であるとする。

以上の確率値  $b_q, b_r, b_v$  に対し、それぞれの重みを表す定数を  $\beta_q, \beta_r, \beta_v$  とし、

$$b_{\theta_t}(\phi_t) \approx (b_q)^{\beta_q} \cdot (b_r)^{\beta_r} \cdot (b_v)^{\beta_v}$$

とした。各確率値の計算に用いる正規分布の平均および分散の学習には、あらかじめ作成した 45 曲分の deviation データを用いた。また、重みを表す各定数は、実験的に定めた。

## 6. 実験と評価

ガイドとなる楽譜情報の量と、発音時刻正規化の精度との相関を調べるため、クラシック曲 10 曲の MIDI データを対象に、楽譜情報の量を様々に変えたときの発音時刻正規化の正解率を求めた。なお、HMM の各種パラメータの学習に用いるデータには実験対象曲を含めず、open 評価とした。また、対照実験とするために、16 分音符を最小単位とした閾値処理によるクオンタイズを比較対象とした。正解率は、正解となる楽譜に対し、

- $N$  : 正解楽譜中にある音のうち、実演奏中で弾かれた音の数
- $n_{sub}$  :  $N$  個の音のうち、発音時刻が正解楽譜とは異なるものに置き換わった数

を用いて、

$$\frac{N - n_{sub}}{N} \times 100[\%]$$

とした。ただし、トリルや装飾音は発音時刻が一意に

定まらないため、正解楽譜中には含めていない。

実験結果を表 1 に示す。閾値処理によるクオンタイズの場合でも、小数のガイドがあることで飛躍的に正解率が向上している。これは、局所的なテンポが既知となることによるものである。また、HMM を用いた手法は、閾値処理に比べて正解率が向上しており、1 小節に 1 音のガイドを与えるのみで正解率は 92.4% に達した。

実験では和音のうち最も音高が高い音をガイドとして用いたため、曲中の近接する箇所では同一音高が連続するような場合には、DP によるマッチング処理で誤推定が生じ、正解率の低下につながった。ゆえに、そのような箇所においては意図的に特異な音高を与えるか、あるいはガイド量を部分的に増やすことで DP マッチングの誤推定が削減でき、発音時刻の正解率はさらに向上する可能性がある。

## 7. deviation データベース関連ツール

deviation データベースは、それが活用されてこそ価値がある。ここでは、データベース活用のために用意した基礎的なツール類を紹介する。ここで紹介するツールは、すでに Web 上で公開しており<sup>12)</sup>、ダウンロードして自由に利用できる。

### 7.1 演奏ツール flower

flower は、deviation データを演奏するためのツールである。deviation 情報の演奏への反映度合いを制御する機能を備えており、

- 発音時刻および継続時間の deviation 情報の反映度を指定
- テンポ情報を反映するか否かを指定

することが可能である。例えば、すべての反映度を 0 に指定すると deviation の無い演奏となり、機械的な演奏と情緒ある演奏とを聴き比べることができる。

そのほかに、指定声部だけを演奏したり、velocity 値のデフォルト値を指定する機能も備えており、deviation 制御を伴う基本的な演奏は、flower によって行うことができる。

### 7.2 可視化ツール nov

nov は、deviation 情報をピアノロール状に表示する可視化ツールである。これにより、情緒あふれる演奏が持つ“ずれ”の様子が一望できる。nov による可視化の例を図 4、図 5 に示す。

図 4、図 5 は、モーツァルトの K.331 の Henle 版、

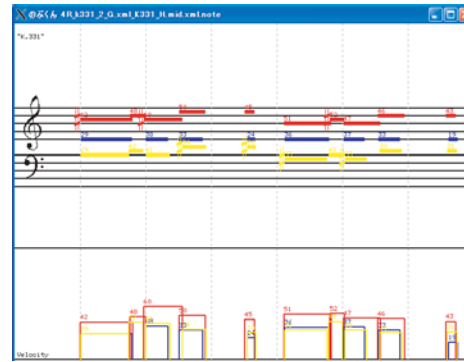


図 4 K.331 Henle 版演奏の可視化

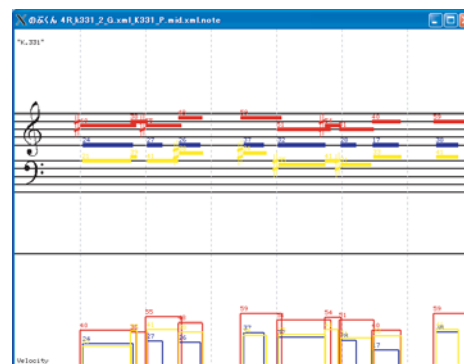


図 5 K.331 Peters 版演奏の可視化

Peters 版の典型的な演奏を nov によって可視化したものである。個々の演奏情報が声部ごとに異なる色でピアノロール表示されている。それぞれの音の velocity 値は、図の下部で数値と階段グラフで表示されている。これを見ると、間の空け方、強弱のつけ方などの演奏表現上の違いが一見して分かる。

この図は、deviation 情報を含めた演奏情報表示であるが、nov には、

- deviation 情報を別の色で色分け表示する機能
- deviation 情報を取り除いた正規化楽譜情報だけを表示する機能

もあり、その有無による違いを視認しやすくしてある。

### 7.3 各種形式変換ツール

deviation データベースを一般に普及しているファイル形式に変換することは、データベースの利便性を高め、普及を促進することにつながる。そこで、現在、次の変換ツールを準備している。

- SMF への変換ツール note2smf
- MusicXML(4R)<sup>14)</sup> への変換ツール note2xml

note2smf には、flower と同等の deviation 情報制御の機能を持たせてあり、多様な deviation 制御を施した SMF に変換可能である。SMF に変換すると、

10 曲中、DP マッチングの誤りにより正解率が著しく低かった 1 曲を除けば、平均正解率は 95.0% となる。

BEATTIME 情報 (BPM 情報) 以外の deviation 情報が正規化楽譜情報に併合され, 区別できなくなってしまうが, 多くのソフトウェアに読み込めるようになるという利便性が得られることは大きい。

note2xml によって変換生成される MusicXML(4R) とは, Rencon WG<sup>15)</sup> が演奏生成システムの学習・評価用データセット配布のために設計した, Recordare MusicXML をベースとしたデータ形式である。このデータ形式は, deviation 情報の記述に配慮してあるので, これに変換することで deviation 情報が失われることはない。Recordare MusicXML は, XML 形式の楽譜情報記述形式の中では比較的普及しているデータ形式であり, これをベースとした MusicXML(4R) に変換することはデータベースの普及に役立つ。

現在, note2smf, note2xml は, 動作テスト中であり, 近日公開予定である。

## 8. おわりに

本稿では, DP と HMM のハイブリッド処理により, 情緒を含んだ演奏を記録した MIDI データから, 効率的かつ高精度に deviation 情報を抽出する手法を述べた。また, データベースを活用するための各種ツールを紹介した。

本稿で示した手法により作成したデータベース<sup>12)</sup> には, ショパンの「ソナチネアルバム」中の約 40 曲のデータに加え, 「エリーゼのために」「トルコ行進曲」といった代表的なクラシック曲約 20 曲が含まれている。これらは「velocity」「発音時刻の deviation」「局所テンポ」の情報を取り出したデータである。「継続時間の deviation」についても考慮したより精緻なデータを必要とするユーザのために, 上記のクラシック曲約 20 曲については, 曲中の全音の楽譜情報を用いて作成したデータも用意した。また, ショパンの「K.331」については, 1 曲に対し複数の演奏表現の deviation データを作成した。

情緒を含んだ演奏の deviation データベースは, パフォーマンスレンダリング, 音楽認知・知覚に関する研究領域において, その作成が強く求められてきたが, 今回我々が公開するデータベースが, これらの研究の発展に大きな助けとなることを期待する。

今後は提案手法を用いてさらにデータベースの拡充を図ると共に, データ解析のための各種ツールも充実させていきたい。

## 参考文献

- 1) 平賀, 平田, 片寄: 蓮根, 目指せ世界一のピアニスト, 情報処理, Vol. 43, No. 2. pp. 136-141 (2002).
- 2) <http://shouchan.ei.tuat.ac.jp/~Rencon/>
- 3) 片寄, 平賀, 平田, 野池, 橋田: ICAD-Rencon - 報告と課題 -, 情報処理学会音楽情報科学研究報告, No.47-14, pp. 79-83 (2002).
- 4) 豊田, 片寄, 野池: 音楽解釈研究のための演奏 deviation データベースの作成, 情報処理学会音楽情報科学研究報告, No. 51, pp. 65-70, (2003).
- 5) G. Widmer, S. Dixon, W. Goebel, E. Pampalk, and A. Tobudic: In Research of the Horowitz Factor, AI Magazine, FALL 2003, pp. 111-130 (2003).
- 6) 高見, 片寄, 井口: ピアノ演奏における演奏情報の抽出, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J72-D2 No. 6, pp. 917-926 (1989).
- 7) P. Desain and H. Honing: "The Quantization of Musical Time: A Connectionist Approach", MIT press, Computer Music Journal, Vol. 13, No. 3 pp. 56-66 (1989).
- 8) 片寄, 井口: 知的採譜システム, 人工知能学会誌, Vol. 5, No. 1, pp. 59-66 (1990).
- 9) 大槻, 中井, 下平, 嵯峨山: 隠れマルコフモデルによる音楽リズムの認識, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp. 245-255, (2002).
- 10) 浜中, 後藤, 麻生, 大津: 発音時刻の楽譜情報の位置を確率モデルにより推定するクオンタイズ手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 2, pp. 234-244, (2002).
- 11) 武田, 西本, 嵯峨山: リズム語彙を用いた HMM による MIDI 演奏のリズムとテンポ推定, 情報処理学会音楽情報科学研究報告, No. 54, pp. 51-56, (2004).
- 12) 片寄研究室 Download ページ:  
<http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~katayose/Download/frameset.html>
- 13) 片寄研究室 NOTE 形式仕様書:  
<http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~katayose/Download/Document/>
- 14) Keiji Hirata, Kenzi Noike, and Haruhiro Katayose, Proposal for a Performance Data Format, In Working Notes of IJCAI-03 Workshop on methods for automatic music performance and their applications in a public rendering contest, 2003.
- 15) 片寄, 平賀, 平田, 野池: 蓮根 (Performance Rendering Concours for Piano) について— System WG の活動を中心として —, 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告, 2002-MUS-44-4, pp. 19 - 24 (2002).

---

BEATTIME 情報 (BPM 情報) は, テンポイベントに変換されるので, テンポマップとしてみる事ができる。