

ピアニストの演奏解釈を記述した 演奏表情データベースの構築

橋田 光代^{1,a)} 兼口 敦音² 中村 栄太³ 古屋 晋一⁴ 小川 容子⁵ 片寄 晴弘²

概要: 音楽学における系譜や特徴分析, 音楽情報処理研究におけるベンチマーク用途として音楽データベースの果たす役割は極めて大きい。我々は, バッハ, モーツァルト, ベートーヴェン, ショパンを中心としたクラシック音楽のピアノ曲を対象に, 演奏表情を扱った演奏表情データベース CrestMusePEDB の構築を進めてきた。2007年11月のプロジェクト開始当初からこれまでに, 音響信号からの採譜による既存名演奏の演奏表情データを集積し, 拍単位のテンポ推移とダイナミクス, 個々の音の発音時刻・持続時間・音の強さに関する MIDI レベルでの分解能に応じた特徴を XML に準拠した形で記述・配付を行ってきた。これまでに述べ50以上の研究機関に配布され, 演奏表情付け, 音楽情報検索等の研究における学習データとして利用されている。2016年より, データベース拡充の要請を受けて, 第2版として新たに3年間のプロジェクトを開始した。演奏データの増強に加えて, ピアニスト自身の演奏解釈によるフレーズ構造の集積を行っている。本稿では, PEDB 第2版の制作概要について述べる。

1. はじめに

音楽学における系譜や特徴分析, 音楽情報処理研究におけるベンチマーク用途として音楽データベースの果たす役割は極めて大きい。2000年以降, いくつかの大規模音楽データベースが作成され, グローバルな研究分野に大きな影響を与えてきた [1], [2], [3], [4]。作曲家や演奏家氏名などのメタテキスト情報は, 大規模なデジタルデータベースに集積され, 音楽情報検索分野のソーシャルフィルタリングの観点から, 音楽様式, 構造, 演奏表現の分析に使用されている。

演奏表現データは, 音楽の印象を定式化する上で重要な役割を果たす [5], [6], [7], [8]。特に楽譜通りの演奏からの逸脱を記述する音楽演奏表情をデータベースとして提供することは, 音楽情報処理分野全般に貢献することができる。民俗音楽の研究においては, 音高や音量の推移に関するデータベース化を進め, 統計処理に基づいて伝播や分化

を議論する [9] ものが少なくない。ところが, いわゆるクラシックの演奏の分析研究においては, 解析者の主観的な分析に基づいて演奏表現を論じたものが多く, データを集積し定量的な分析を行ったもの [10], [11] はかえって少数である。演奏表現にかかわるデータ集積と分析に関する代表的な研究としては, Widmer らによるホロヴィッツのピアノ演奏におけるテンポとダイナミクスの偏移の分析 [12] や, ショパンのマズルカ全曲を対象に過去130年分の残存する演奏データを集積した Sapp らの Mazurka プロジェクト [13] などがあげられる。

我々は, バッハ, モーツァルト, ベートーヴェン, ショパンを中心としたクラシック音楽のピアノ曲を対象に, 演奏表情を扱った演奏表情データベース CrestMusePEDB^{*1} の制作と一般公開を推進してきた [14], [15], [16], [17]。2007年11月のプロジェクト開始当初からこれまでに ver.1.0 から 3.1 までのリリースを行い, 世界各国でのべ50以上の研究機関に配布され, 特に演奏生成システムの研究における学習データとして利用されてきた [18], [19]。

本DBは, 拍単位のテンポやダイナミクスに加えて, 個々の音符の発音時間のずれや継続時間など, 表現力豊かな演奏の詳細なデータセットを提供する点でユニークなものである。たとえば, Mazurka プロジェクト [13] で提供されている演奏データでは, 拍節単位の局所テンポとダイナミクスは扱うものの, 個々の音符に対する演奏表情は扱って

¹ 相愛大学音楽学部
Soai University, 4-1-23 Honmachi, Chuo-ku, Osaka-shi, Osaka 541-0053, Japan

² 関西学院大学理工学部
Kwansei Gakuin University

³ 京都大学大学院情報学研究所
Kyoto University

⁴ ソニーコンピューターサイエンス研究所
Sony CSL, Inc.

⁵ 岡山大学大学院教育学研究科
Okayama University

a) hashida@soai.ac.jp

^{*1} <http://crestmuse.jp/pedb/>

ないという課題が残されている。MAPS データベース [20] は、和音推移の分析や自動採譜への利用に向けて整備されているが、演奏データには楽譜からの時間的なずれが含まれていないため、音楽的表現を分析するという観点では実用的な演奏データとは言えない。このような詳細な演奏表現情報は、表情付けシステムや、より人間らしい演奏の分析・転写モデルを構築するのに必要不可欠なものである。

CrestMusePEDB は、情報科学分野における最近の他のデータベースと比較すると、大規模とは言えなくなっている。近年、特に機械学習技術を用いた音楽情報処理研究においてはデータベースの需要が増しており、演奏者が意図する演奏と音楽構造との間の関係を明示的に記述するデータが必要とされている*2。これらの需要に応えるため、我々は、旧来の CrestMusePEDB を第 1 版として、あらためて演奏表情データベースを増強する目的で、2016 年より 3 年間のプロジェクトとして第 2 版の構築を開始した。

2. CrestMusePEDB (第 1 版)

CrestMusePEDB (第 1 版) は、クラシック音楽、特に、ピアノの名演奏を対象とした演奏表情データベースである。音響信号として残存する名演奏、音楽構造に対応した新録音演奏を分析し、拍節レベルのテンポ推移とダイナミクス、個々の音の微細な時間とダイナミクスに関する MIDI レベルの偏移を、XML に準拠した形式にて記述している。

楽曲に関しては、バッハ、モーツァルト、ベートーヴェン、ショパンのピアノ曲を中心に、著作権上の保護期間が終了した 20 世紀初頭までのクラシック音楽 51 作品を扱っている。各楽曲に対応する演奏としては、世界中の著名なピアニストらの CD 演奏 121 曲分と、国内で演奏活動を行う日本人ピアニスト 10 名によるオリジナル録音 121 曲分の計 242 曲を集積している。

所収するデータ形式は以下の 5 種類で構成される。

PEDB-SCR 収録楽曲の楽譜情報。MusicXML ファイルと、演奏表情のない標準 MIDI ファイル (SMF) が用意される。

PEDB-DEV 各演奏の演奏表情の特徴量 (機械的演奏からの変移) を抽出した演奏表情データ。ひとつの演奏に対し、演奏表情データ作成時に用いる複数の使用音源分の演奏データが用意される。CrestMuseXML (CMX) [21] のうち、楽曲の演奏における deviation 情報 (楽譜からのずれ) を扱う DeviationInstanceXML 形式で記述される。

PEDB-IDX PEDB-DEV の元となる CD の収録情報。アルバム名、演奏者名、レーベル、CD 番号、発行年等を記載したテキストの一覧が用意される。

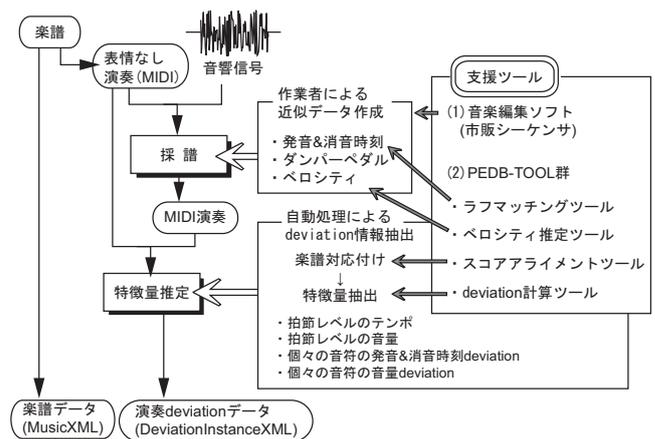


図 1 PEDB-DEV データ作成手順 (CrestMusePEDB 第 1 版)

PEDB-STR PEDB-DEV の各演奏に対応する音楽構造情報 (階層的なフレーズ構造、頂点) のデータ。CMX に準拠した形式で記述される。基本的に、ひとつの演奏に付与される構造情報は 1 データであるが、専門家の間で妥当と判断された場合に限り、複数の構造情報データが提供される。

PEDB-REC PEDB-STR に基づいて独自に録音した演奏。ひとつの楽曲につき複数の演奏解釈に基づいて弾き分けを実施したプロ奏者演奏の音響信号と MIDI 演奏が提供される。

第 1 版における主要データは SCR と DEV のファイル群である。PEDB-REC を除き、WAV 形式を始めとする音響信号は含まれず、代わりに収録音源の CD 所収情報を提供する形が採られた。

図 1 に PEDB-DEV の処理過程を示す。第 1 版を構築する上では、演奏の音響信号を MIDI レベルのデータに変換する採譜処理が最も中核的な課題であった。この処理については、ある程度自動でマッチング処理を行ったのち、最終的には複数の音楽専門家が市販の音楽編集ソフトウェアと独自開発のアライメントツールを用いて幾度にもわたる聴取を繰り返し、手動で補正作業を施すことで、高い採譜精度を担保した。

3. PEDB 第 2 版

第 1 版は、特に音楽情報処理分野における演奏表情付け研究に貢献してきた。近年の演奏生成システムは、演奏表情パラメータを取得するのに既存の演奏データを参照するものが主流となっている。とりわけ、機械学習を取り入れたシステムにおいては、大規模なコーパスを必要とする。この点において、第 1 版は、自然言語処理や音声認識研究に向けて公開された近年の他のデータベースに比べて小規模であることから、データベースの強化に対する需要が増している。

著名な名演奏は音響信号の形で残されているが、演奏者

*2 多くの場合、フレーズの頂点 (最も重要なもの) は演奏者によって選択され、演奏者自身の解釈に基づいてフレーズ構造が分析される場合がある。

が意図した表現とそれに対応するフレーズ構造との関係を示す情報を得るのは、しばしば困難を伴う。既存演奏を利用する場合、録音された演奏から、演奏者の意図を第三者が推定する手法が採られることになり、その妥当性についての検証や議論を要するためである。

以上の要請に応えるものとして、我々は、データサイズの拡充とフレーズ構造情報の提供を目的に、2016年より新たに3年間のデータベース構築プロジェクト（PEDB第2版）を開始した。

第1版の制作時における課題の1つは、音響信号による既存演奏からほぼ手動で行ってきた採譜処理の膨大な作業量であった。第2版では、ピアノコンクール受賞歴のある熟練したピアニストの協力を得て、YAMAHA Disklavierを用いて演奏データを新しく収録し、さらにピアニストへの直接の聞き取り調査を経てフレーズ構造情報の集積も行う。これにより、音楽演奏制御データ（MIDI）と音響信号、ならびにそれらに対応するフレーズ構造情報を一気に取得することが可能となる。演奏データに含まれる各音符は、楽譜上の音符との対応関係が明示されなければならない。これについては、元の楽譜と演奏データとのアライメントツールを通じてマッチングファイルを生成する。

2017年7月に PEDB 第2版のβ版の配布を開始した。β版には、データ形式やデータ配布方法に関する利用者の要望を整理するため、100曲分の演奏データが含まれる。1曲につき、録音されたMIDIファイル、楽譜MIDIファイル、MusicXML形式のスコアファイル、フレーズ構造データ、およびマッチングファイルを所収し、WAV形式による音響信号データも参考資料として含まれている。フレーズ構造データとしては、ピアニストへの聞き取りを経て得られたフレーズとサブフレーズ、各フレーズにおける「頂点」音がPDF形式の五線譜にマーキングした形で収録している。頂点音とは、演奏者の立場から、各フレーズにおいて表現上最も重要な音符を指す。フレーズ構造データおよび楽譜からの逸脱情報（deviation）のデータフォーマットについては、β版の利用者グループとの議論を経て策定する予定である。

4. 制作手順

4.1 概要

第2版の制作目的は、演奏データを増強し、演奏データと組になるフレーズ構造情報を提供することである。データベース生成の概要を図2に示す。

演奏収録に先立ち、ピアニストには、まず指定された楽譜に対し最も自然な解釈を演奏するよう依頼した。その上で、いくつかの作品については、記述の異なる別の版の楽譜を用いての表現、指揮者の解釈に基づく表現、ピアニスト自身の解釈を誇張した表現など、追加の演奏を準備してもらった。さらに、それら複数の解釈が反映されるフレー

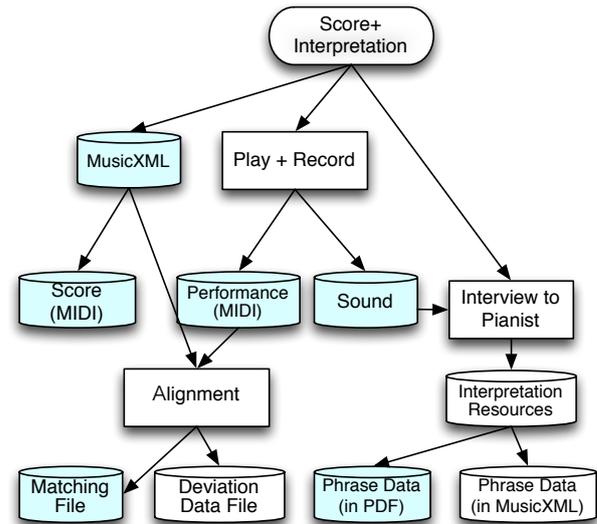


図2 PEDB第2版の制作手順。青色で示されたものがβ版に含まれる。

ズ構造の違いについて明確にしておくよう求めた。収録後、ピアニストとともに録音された演奏を聴きながら、意図したフレーズ構造を表現した方法について聞き取り調査を行った。

上記の手順を経て、データベースとしてはまず演奏情報（MIDI演奏ならびに音響信号）を取得する。次に、演奏情報は、楽譜との対応関係をあらわす分析情報に変換される。この段階の主な処理は、楽譜と演奏に対する音符のマッチングである。演奏中のいくつかの音は、演奏ミスとして扱われるものであったり、またトリルやトレモロなど装飾的に演奏された音符については、その音符数が楽曲や奏者によって常に一様とは限らない。このような状況に対応するために、我々は隠れマルコフモデル（HMM）[22]に基づくオリジナルの楽譜-演奏アライメントツールを開発した。

以下、その記録手順とアライメントツールの概要について述べる。

4.2 収録

PEDB第2版の構築における重要な特徴は、ピアニストとの直接の対話を通じて演奏データが得られる点にある。収録に先立ち、ピアニストとは事前の打ち合わせを行い、弾いた演奏はその楽曲に対する演奏解釈として、フレーズ構造（フレーズまたはサブフレーズ）とその頂点音がどこに当たるかを明確にすべきであることを申し合わせた。

ピアニストは、(1) すべての作品について独自の解釈に基づいて演奏し、(2) 一部の作品では(1)を誇張した表現で演奏するように求められる。さらに一部の作品においては、(3) 独奏者または踊り手の存在を意識して演奏してもらう場合もある。1つの作品に対する解釈や楽譜の版が複数ある場合は、両方の演奏を収録する。例えば、ベートー

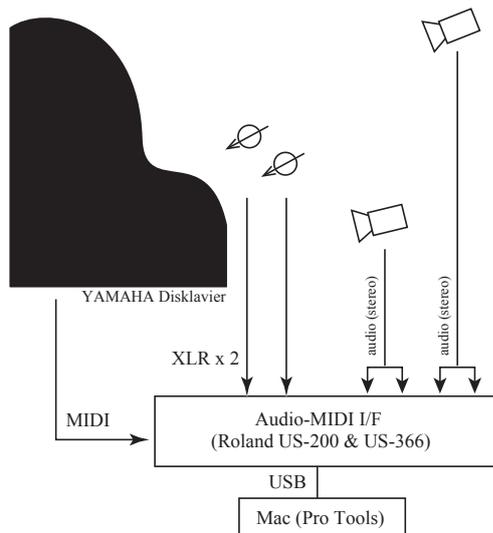


図 3 演奏収録時の録音セットアップ

ヴェンのピアノソナタ「悲愴」第2楽章や、モーツァルトのピアノソナタ K. 331 第1楽章冒頭などがこれに該当する。

録音作業は、ピアノ実機を設置する複数の大学の研究室で行った。図 3 に示すように、YAMAHA Disklavier による演奏は、ProTools を介して、音響信号とペダルのコントロールを含む MIDI データの両方が記録された。録音後の聞き取り調査における参照用としてビデオ撮影も行った。

4.3 アライメントツール

演奏収録後、各 MIDI 信号は対応する楽譜に対応付けられる。処理効率を向上させるため、対応付けは自動アライメント処理と可視化ツールを用いた補正処理の2段階で行われる。自動アライメント処理では、シンボリックな楽譜に対して最も高精度かつ高速なアライメント手法の一つである HMM に基づくアルゴリズム [22] を使用して、MIDI 演奏を分析する。音高誤りや、余分に弾かれた、あるいは欠落した音符を検出する処理もこの段階で行う。

続く補正処理では、アライメントエディタと呼ばれる可視化ツールを用いて手順を簡略化する(図 4)。エディタでは、楽譜と MIDI 演奏がそれぞれピアノロールとして表され、アライメント情報は、対応する楽譜音と演奏音をつなぐ直線として、音高誤り等の演奏エラーの兆候があるものについては背景色のハイライトとして描画される。画面下部に示される演奏譜において、各音符には参照する楽譜音の ID も提示される。作業者は ID を編集してアライメントを修正することができる。アライメント情報を保存すると、エディタは自動的にアライメント処理を再実行し、その結果表示を更新する。

5. β版の公開

2017年7月より、2名のプロ奏者による42作品100演

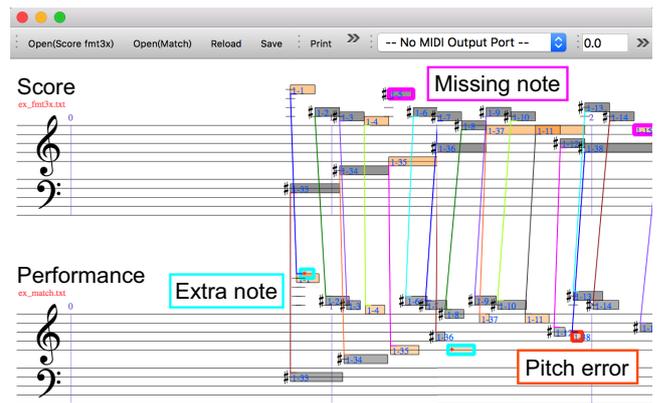


図 4 アライメントエディタ画面における楽譜-演奏の対応関係



図 5 フレーズ構造の記述例 (W. A. モーツァルト作曲ピアノソナタ K. 331, 第1楽章, ペータース版)。赤ブラケットはフレーズ構造, 赤丸は各フレーズの頂点音を示す。

奏からなる PEDB 第2版のβ版をリリースした。表 1 にβ版に含まれる演奏リストを示す。

所収しているのは、(1) 録音ファイル (WAV と MIDI), (2) スコアファイル (MusicXML と MIDI), (3) フレーズ構造と頂点音を書き記した五線譜 (PDF, 図 5), (4) 楽譜アライメント情報 (独自形式のマッチングファイル, 図 2 参照) である。

マッチングファイル形式では、録音された MIDI 演奏はピアノロール形式にしたがって記述される。各音符について、発音時間、消音(離鍵)時刻、音高、オンセットベロシティ、およびオフセットベロシティが提示される。さらに、演奏に対応する楽譜上の音符 (ID)、拍節タイミング、および演奏エラーに関する情報が演奏音ごとに提供される。演奏エラー情報を表すために、各演奏音は、楽譜-演奏間のアライメント処理の結果に従って、正しい音符、音高誤り、または余分・欠落した音符として分類される。余分な音符の場合、対応する楽譜音は付与されない。このファイルには、楽譜上存在するものの演奏されることなく欠落した音符のリストも記載される。

表 1 PEDB 第 2 版 (β 版) に含まれる楽曲リスト. *self*: ピアニストによる演奏解釈 *over*: *self* に対する誇張表現, *accomp.*: 独奏・独唱における伴奏としての表現, *waltz*: 舞曲らしさに焦点を当てた表現, *Hoshina*: 保科演奏解釈理論に基づいた表現 *Henle* および *Peters*: ヘンレ版およびペータース版に基づく表現, *neutral*: *self* を抑制した表現.

No.	Composer	Title	Performances	
			Player 1	Player 2
			# interpretation	# interpretation
1	J. S. Bach	Invention No. 1	2 self / over	2 self / over
2	J. S. Bach	Invention No. 2	2 self / over	1 self
3	J. S. Bach	Invention No. 8	- -	1 self
4	J. S. Bach	Invention No. 15	2 self / over	1 self
5	J. S. Bach	Wohltemperierte Klavier I-I, prelude	2 self / accomp.	-
6	L. V. Beethoven	Für Elise	1 self	2 self / over
7	L. V. Beethoven	Piano Sonata No. 8 Mov. 1	1 self	1 self
8	L. V. Beethoven	Piano Sonata No. 8 Mov. 2	2 self / Hoshina	2 self / Hoshina
9	L. V. Beethoven	Piano Sonata No. 8 Mov. 3	1 self	1 self
10	L. V. Beethoven	Piano Sonata No. 14 Mov. 1	2 self / over	1 self
11	F. Chopin	Etude No. 3	2 self / over	1 self
12	F. Chopin	Fantaisie-Impromptu, Op. 66	2 self / over	1 self
13	F. Chopin	Mazurka No. 5	1 self	-
14	F. Chopin	Mazurka No. 13	2 self / over	-
15	F. Chopin	Mazurka No. 19	2 self / over	-
16	F. Chopin	Nocturne No. 2	2 self / over	1 self
17	F. Chopin	Prelude No. 1	2 self / over	-
18	F. Chopin	Prelude No. 4	1 self	1 self
19	F. Chopin	Prelude No. 7	1 self	1 self
20	F. Chopin	Prelude No. 15	1 self	1 self
21	F. Chopin	Prelude No. 20	1 self	-
22	F. Chopin	Waltz No. 1	2 self / waltz	2 self / waltz
23	F. Chopin	Waltz No. 3	2 self / over	1 self
24	F. Chopin	Waltz No. 7	2 self / waltz	2 self / waltz
25	F. Chopin	Waltz No. 9	2 self / over	1 self
26	F. Chopin	Waltz No. 10	1 self	1 self
27	C. Debussy	La fille aux cheveux de lin	2 self / over	-
28	C. Debussy	Rêverie	1 self	-
29	E. Elgar	Salut d'amour Op. 12	2 self / accomp.	-
30	G. Händel	Largo / Ombra mai fù	2 self / accomp.	-
31	Japanese folk song	Makiba-no-asa	2 exp1 / exp2	-
32	F. Liszt	Liebesträume	1 self	-
33	F. Monpou	Impresiones intimas No. 5 "Pajaro triste"	1 self	-
34	W. A. Mozart	Piano Sonata K. 331 Mov. 1	3 self / Henle / Peters	2 Henle / Peters
35	W. A. Mozart	Twelve Variations on "Ah vous dirai-je, Maman"	2 self / over	-
36	T. Okano	Furusato	2 self / accomp.	2 self / accomp
37	T. Okano	Oboro-zuki-yo	2 self / accomp.	-
38	S. Rachmaninov	Prelude Op. 3, No. 2	2 self / neutral	-
39	M. Ravel	Pavane pour une infante défunte	1 self	-
40	E. Satie	Gymnopédies No. 2	2 self / neutral	-
41	R. Schumann	Kinderszenen No. 7 "Träumerei"	2 self / neutral	1 self
42	P. I. Tchaikovsky	The Seasons Op. 37b No. 6 "June: Barcarolle"	2 self / over	-
Total:			70	30

図 4 に示すように、演奏される音符の持続時間は、通常、ダンパーペダルが踏み込まれているところでは短く演奏される。ダンパーペダルを踏むと、ペダルが離されるまで該当音符の発音を持続させる。すなわち、消音時刻には、該当音符の離鍵（ノートオフイベント）の時刻と、ペダルのリリース時刻の 2 種類が存在することを意味する。マッチングファイル形式では、離鍵時刻を消音時刻として採用した。なお、ペダル情報は録音された MIDI ファイルに含まれている。

PEDB 第 2 版 (β 版) は Web ページ*3 から入手申込ができる。

*3 http://crestmuse.jp/pedb_edition2/

6. まとめ

本稿では、演奏表情データベース PEDB の増強に向けた最新の試みを紹介した。データ活用における利用者のリクエストを探るための β 版について概要を述べた。現在、β 版として 100 演奏分のデータ収録を終え、今後のデータ集積におけるワークフローが整理された段階である。今後数年間は、第 1 版のデータ形式との互換性を考慮しつつ、以前のデータ形式に新しいデータを追加することで、演奏データ数を 500 以上に増やす予定である。

音楽構造記述に焦点を当てた、コンピュータに可読な演奏表情データベースは他に見られない。データベースを音

楽演奏に関連した多くの研究分野の研究に活用できることを期待する。今後の展望として、データフォーマット設計に加えて、本データベースを用いたアプリケーションの開発を計画している。情報技術に精通していない研究者がデータベースを使用できる環境の整備を目指す。

謝辞 有益な議論をして頂いた古屋絵里氏と村尾忠廣氏に感謝する。本研究の一部は科学研究費補助金(16H02917, 15K16054, 16J05486, 15K02126)による支援を受けて行われた。第3著者の中村は、日本学術振興会の特別研究員(PD)制度より支援を受けた。

参考文献

- [1] RWC 研究用音楽データベース : <http://staff.aist.go.jp/m.goto/RWC-MDB/> (2012 (last update)).
- [2] Downie, J. S.: The Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX), *D-Lib Magazine*, p. Vol.12 No.12 (2006).
- [3] McEnnis, D., McKay, C. and Fujinaga, I.: Overview of OMEN, *Proc. ISMIR*, Victoria, pp. 7–12 (2006).
- [4] Schaffrath, H.: <http://essen.themefinder.org/> (2000 (last update)).
- [5] Senju, M. and Ohgushi, K.: How Are the Player's Ideas Conveyed to the Audience?, *Music Perception*, Vol. 4, No. 4, pp. 311–323 (1987).
- [6] 保科 洋: 生きた音楽表現へのアプローチ: エネルギー思考に基づく演奏解釈法, 音楽之友社 (1998).
- [7] Kenyon, N.: *Simon Rattle: From Birmingham to Berlin*, Faber ¥ & Faber (2003).
- [8] Stockhausen, K.: シュトックハウゼン音楽論集, 現代思潮社 (1999).
- [9] Bel, B.: Symbolic and sonic representations of sound-object structures, *Understanding Music with AI*, The AAAI Press (1992).
- [10] Seashore, C. E.: *Psychology of Music*, McGraw-Hill (1938).
- [11] Clynes, M.: A Composing Program Incorporating Microstructure, *Proc. ICMC*, pp. 225–232 (1984).
- [12] Widmer, G., Dixson, S., Goebel, S., Pampalk, E. and Tobudic, A.: In Research of the Horowitz Factor, *AI Magazine*, Vol. 24, No. 3, pp. 111–130 (online), available from <https://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/1722/1620> (2003).
- [13] Sapp, C.: Comparative Analysis of Multiple Musical Performances, *Proc. ISMIR*, Vienna, pp. 497–500 (2007).
- [14] Hashida, M., Matsui, T. and Katayose, H.: A New Music Database Describing Deviation Information of Performance Expressions, *Proc. ISMIR*, Kobe, pp. 489–494 (2008).
- [15] 橋田光代, 松井淑恵, 北原鉄朗, 片寄晴弘: ピアノ名演奏の演奏表現情報と音楽構造情報を対象とした音楽演奏表情データベース CrestMusePEDB の構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 3, pp. 1090–1099 (2009).
- [16] 橋田光代, 松井淑恵, 北原鉄朗, 片寄晴弘: 音楽演奏表情データベース CrestMusePEDB ver. 2.4 の概要とフレーズ構造に基づく演奏データ収録状況, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-MUS-85, No. 6, pp. 1–7 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007997407/>) (2010).
- [17] 橋田光代, 松井淑恵, 馬場 隆, 北原鉄朗, 片寄晴弘: 音楽演奏表情データベース CrestMusePEDB 3.0: 収録演奏の公開とフレーズ構造記述について, 情報処理学会研究報告, Vol. 2011-MUS-89, No. 12, pp. 1–6 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007986256/>) (2011).
- [18] Hashida, M., Hirata, K. and Katayose, H.: Rencon Workshop 2011 (SMC-Rencon): Performance Rendering Contest for Computer Systems, *Proc. SMC*, Padova (2011).
- [19] Katayose, H., Hashida, M., De.Poli, G. and Hirata, K.: On Evaluating Systems for Generating Expressive Music Performance: the Rencon Experience, *J. New Music Research*, Vol. 41, No. 4, pp. 299–310 (2012).
- [20] Emiya, V., Badeau, R. and David, B.: Multipitch Estimation of Piano Sounds Using a New Probabilistic Spectral Smoothness Principle, *IEEE TASLP*, Vol. 18, No. 6, pp. 1643–1654 (2010).
- [21] Kitahara, T. and Katayose, H.: CrestMuse Toolkit: A Java-based frame-work for signal and symbolic music processing, *Proc. Signal Processing (ICSP)*, Beijing (2014).
- [22] Nakamura, E., Ono, N., Sagayama, S. and Watanabe, K.: A Stochastic Temporal Model of Polyphonic MIDI Performance with Ornaments, *J. New Music Research*, Vol. 44, No. 4, pp. 287–304 (2015).