

# ピアノ初級者のための独習支援システムの提案

松原 正樹<sup>†</sup> 遠山 紀子<sup>†</sup> 齋藤 博昭<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 慶應義塾大学大学院 理工学研究科

〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1

E-mail: {masaki, noriko, hxs}@nak.ics.keio.ac.jp

あらまし 本稿では、近年国内において多様化するピアノ学習者のうち、ピアノ初級者を対象にした独習支援システムを提案する。従来の独習支援システムは、一回毎の演奏について評価を行い、ユーザは間違えた箇所を認識し、演奏の評価を得ることができた。しかし、初級者は、間違えた箇所を認識することが出来ても、なぜ間違えたのか、今後どのように練習してよいか、といった練習方針を自分自身で判断するのは困難であり、初心者はなかなか技術の上達を見込めないという問題点があった。そこで本提案システムでは、個人の演奏履歴の分析と、目標楽曲に適した練習用楽曲の提示により、学習者に適切な練習を示唆することを目指す。楽曲の特徴量を楽曲中における鍵盤間距離の等しい音列の出現頻度とし、演奏履歴との類似度を計算することによって練習用楽曲を提示する。目標楽曲集をブルグミュラー「25の練習曲」、練習用楽曲集をバイエル「ピアノ教則本」としてシステムを実装し、実験を行った結果、一部の目標楽曲に対して人間のピアノ教授者と同等の示唆を示した。

## A Computer-Assisted Learning System for Piano Novice

Masaki Matsubara<sup>†</sup>, Noriko Toyama<sup>†</sup>, and Hiroaki Saito<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Computer Science, Keio University

Hiyoshi 3-14-1, Kouhoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8522 Japan

**Abstract** We present a computer-assisted learning system for piano novice. The system calculates the distance between keys, estimates the performance and suggests adequate etudes. Using *Twenty-Five Easy and Progressive Studies for Pianoforte* by Burgmuller, as target music, and *Piano Textbook* by Beyer, as etudes, the system suggests appropriate etudes just like piano tutors.

## 1 はじめに

近年、国内におけるピアノ学習者の多様化が進んでいる。デジタルピアノの普及などによって幅広い年齢層の間で手軽にピアノ演奏を楽しむことができるようになったことが主な背景として挙げられる。そのため高年齢層の人々が新たにピアノに挑戦したいというケースや、幼い頃習っていたが何らかの理由でやめ、再度ピアノを演奏したいというケースが増加している。

しかし、仕事が忙しくて定期的に時間をとるこ

とができない、身近にピアノの先生を見つけることができない、といった制約などからピアノレッスンに通い続けることが難しく、自宅での独習をするという状況が多い。このようなピアノ初級者にとってピアノの演奏技術を独学で向上させることは非常に困難なことであり、その過程で断念してしまう人も少なくない。それは自分の演奏のどこが間違っているか、どのように間違っているかを自分で判断することができず、なかなか上達することが出来ないという問題点があるからである。

従来ではこのような問題点を克服するのが困難であったのに対し、昨今では演奏を評価できるシステムやソフトウェアが提案されている。Roland 社とYAMAHA 社から楽譜表示・演奏評価付キーボードが販売されており [1]、YAMAHA 社の「ファミリー・ピアニスト 独奏中」[3] KAWAI 社の「ピアニノマスター」[2] のように、ピアノ初級者がパソコンを用いて気軽に楽曲を習得できるピアノ独習ソフトウェアが多数販売され、支持を得ている。しかしこれらのシステムは、一曲ごとあるいは一回毎の演奏の評価にとどまっておらず、評価後の長期的な練習方法については学習者の判断にゆだねられている。すなわち、どこが間違っている、どのように間違っているかがわかっているにもかかわらず、なぜ間違ってしまうのかがわからなければその先の上達が難しいという問題点が生じる。

そこで本稿では、ピアノ初級者が独習をする際に、演奏を分析し個人の技術にあった練習曲を提示することによって、独習支援をするシステムの提案を行う。

## 2 本稿の位置付け

ピアノ初級者の独習支援システムは、前述の各社から発表されているシステムの他に、大和田による「ピアノ演奏・学習支援ソフト」[4] や、木村らによる「ピアノ演奏の基礎技術を向上させるための独習システム」[5] 等の研究が発表されている。大和田の研究は、ユーザの演奏に対して入力以外の楽曲データを補ってシステムが発音することにより、ユーザが自由に演奏を楽しむことが出来ることを目的としており、完成度の高いシステムを実装している。木村らは、ピアノの基礎練習に着目し、ピアノ独集者が基礎的演奏力を効率よく向上させるためのピアノ独習システムを提案している。しかし、いずれの研究やシステムも、学習者がある曲を弾きたいと思って練習を始めた場合、どのような練習を経ていけば目標の曲を弾けるようになるか、といった実質的な示唆は成されていない。そこで本研究では、学習者に対し、目標曲を演奏するために必要な練習用楽曲を提示することによって、独習においても効率的な練習を積んでいくことを可能とするシステムを提案する。

提案システムは楽曲提示部と演奏履歴生成部の大きく2部から構成される。

楽曲提示部では学習履歴をもとに目標達成に必要なと考えられる適切な練習曲を提示する。これは、個人適応型 e-ラーニングの1つと考えることが出来る。個人適応型 e-ラーニングでは、学習者のレベルの評価に主として項目反応理論が用いられている。項目反応理論とは、問題1問1問の難易度を数値的に算出し、学習者がどの程度の難易度の問題にどのように正解・不正解しているかを基に能力値を推定する理論である。TOEIC等の試験システムにも応用されている評価手法であるが、それぞれの問題に対して難易度が明らかである必要がある。しかし音楽分野においては、城戸らによって体系的に練習曲の難易度を示そうという試みがなされてはいる [6] が、一般的に楽曲毎の難易度は制定されていない。よって、現在の段階では音楽に項目反応理論を応用することが出来ない。そこで本稿では、学習者が演奏内で成功した音列と失敗した音列の遷移を記録することで、学習者の習熟度を評価することとした。

演奏履歴生成部では、上記のようにそれぞれの音列に対して遷移の習熟が成されたか否かを記録する。そもそも、ピアノ演奏において何故弾き間違いが生じるかについて、ピアノ学習歴5年以上の演奏者にアンケートを取って調べたところ、以下のような要因が挙げられた。

1. 動かそうと思った指と違う指を動かしてしまう
2. 鍵盤距離の目測を誤り違うキーを弾いてしまう
3. 譜面を読み間違える
4. 譜面を音に変換する処理能力がテンポについていけなくなる
5. フレーズに対して適切な運指を割り振れず、指が回らなくなる

1,2は運動能力、3,4は読譜能力、5は運指に関わる問題である。読譜能力については、1章で触れた市販デバイスで、楽譜にガイドをつける等の対処が成されている。運指に関しては、いくつかの研究が行われているが、白鍵と黒鍵の扱いや重音の扱いが難しく、手法が確立していない。そこで本稿では、1,2の運動能力に着目し、鍵盤間の距離を用いて、学習者の履歴を生成することとした。

### 3 提案システム

#### 3.1 システム概要

本研究で提案するシステムは以下のような機能を持つ。

- 楽譜表示
- 目標曲設定
- 練習用楽曲提示
- 演奏録音
- 再生
- 演奏評価
- 履歴表示

提案システムの構成図を以下に示す。

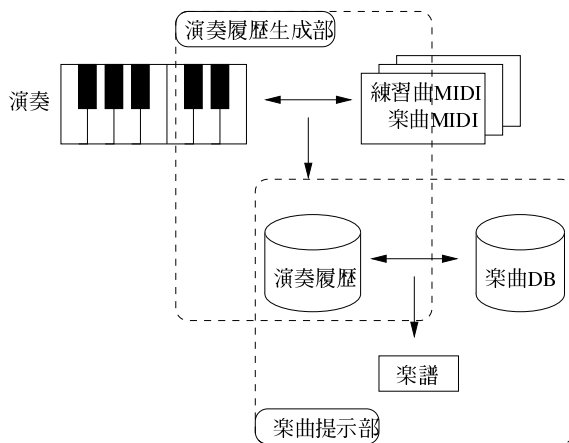


図 1: 提案システムの構成

本提案システムは大きく演奏履歴生成部と楽曲提示部の 2 部から構成される。

本システムを利用するにあたり、学習者は目標曲の設定を行い、それに適した練習用楽曲の提示を受けることができる。キーボードからの演奏の録音とそれに対する評価によって、間違い部分や自分の苦手とする技術を認識することができる。また学習履歴に応じた練習用楽曲の提示や現在の技術で演奏することのできる楽曲の提示を受けることができる。

#### 3.2 演奏履歴生成部

演奏履歴生成部では、学習者の演奏と正解を比較する。初級者は標準のテンポで演奏するとは限

らないため入力された音列と正解の音列の同期を取るためにテンポ同定を行う。

#### 入力部

入力は MIDI キーボードを使用した。現在は音響情報から音高を完全に推定することが難しいため、取り入れてれないが、将来的には従来のピアノにも対応させたいと考えている。

#### テンポ同定

テンポの同定はメトロノームを用いる手法や音楽構造を解析しテンポを同定する手法があるが、今回は正解との比較であるので、基準となる音符の長さを利用することができる。本提案システムでは、練習の際

仮定 1: 入力の最初の方は間違えない。

仮定 2: 楽譜通りの音符を入力しようとする。この 2 つの仮定のもと、入力されたデータ  $Data_{Raw}$  に対し、正解データ  $Data_{MIDI}$  を用いて音長が正規化されたデータ  $Data_{Normalized}$  を生成することにより、テンポ同定を実現した。手法を以下に示す。

1.  $D_M$  において最初に出現する四分音符を基準となる音符  $Base_M$  とする。(四分音符がない場合は一番短い音符を基準とする。)
2. 仮定 1 より  $B_M = B_R$  となるような  $D_R$  中の音符  $Base_R$  を見つける。
3.  $D_R$  で最も短い音を  $Min_R$  とする。基準音に対する入力された音符列の細かさ  $Ratio_R$  を  $R_R = D_R \div Min_R$  とする。
4. 仮定 2 より入力される音符同士の比は  $1 : 2^n$  であるため、細かさ  $Ratio_N$  は  $R_N = 2^{\log_2[R_R]}$  とする。
5.  $D_R$  中の音符の長さ  $Length_R$  に対して  $L_N = \lfloor \frac{L_R \times R_N}{R_R} \rfloor \div R_N$  という変換をすることで正規化された長さ  $Length_N$  を得ることができる。この音符列を  $D_N$  とする。

#### 音符の対応づけ

演奏で入力された音列と正解 MIDI データ音列の比較はテンポ同定を行い時間正規化をした後、音の高さと長さやタイミングを比較することにより、対応づけが可能である。その際、誤って多くまたは少なく入力した場合にも頑健に対応づけが可能で DP マッチングを用いた [7]。

## 演奏履歴の生成

演奏中で間違えた部分に対応する正解音  $Note_i$  と、その直前の楽音  $Note_{i-1}$  の 2 音列の鍵盤間距離の頻度と変化率を演奏履歴として記録していく。同様に対応部分前後の運指情報を抽出し、出現頻度とその変化率を演奏履歴として記録していく。

### 3.3 楽曲提示部

楽曲提示部では、演奏履歴と楽曲 DB を比較することにより、以下のような楽曲を提示する。

1. 目標とする楽曲に対し、習得必要な楽曲  
演奏履歴から各鍵盤間距離の間違い度合を読み込み、取り組んでいる楽曲の各鍵盤間距離との差分を取った後、楽曲 DB において鍵盤間距離の包括度合が高い楽曲を提示する。
2. 習得済の技術で演奏可能な楽曲  
演奏履歴から各鍵盤間距離の間違い度合を読み込み、楽曲 DB において鍵盤間距離の包括度合が高い楽曲を提示する。

#### 鍵盤間距離

従来では MIDI の NoteNo. の距離を音列の特徴量としていたが、提案システムでは鍵盤間距離を音列の特徴量として用いる。鍵盤間距離は表 1 に示すような微妙な幅の差異を考慮した鍵盤の水平方向の距離と、白鍵を“w”、黒鍵を“b”とラベル付けし考慮した鍵盤の垂直方向の距離から求める。例えば C(ド) から D#(レ#) の鍵盤間距離は“10wb”であり、これと等しい鍵盤間距離を持つ音列は G(ソ) から B(シ) である。例として図 2 にブルグミュラー 3 番「牧歌」における鍵盤間距離の出現頻度を、図 3 にブルグミュラー 3 番との類似度が一番高かったバイエル 76 番と一番低かったバイエル 82 番における楽曲間の鍵盤間距離の出現確率の比較を示す。

#### 楽曲 DB の構築

楽曲提示部で使用する楽曲 DB をあらかじめ以下の手順で作成しておく。正解 MIDI データの各音列に対し鍵盤間距離を求め、楽曲中における各

表 1: 鍵盤距離対応表 (1 オクターブを 42 とした)

音名	鍵盤距離
C	0
C#	2
D	6
D#	10
E	12
F	18
F#	20
G	24
G#	27
A	30
B	34
H	36

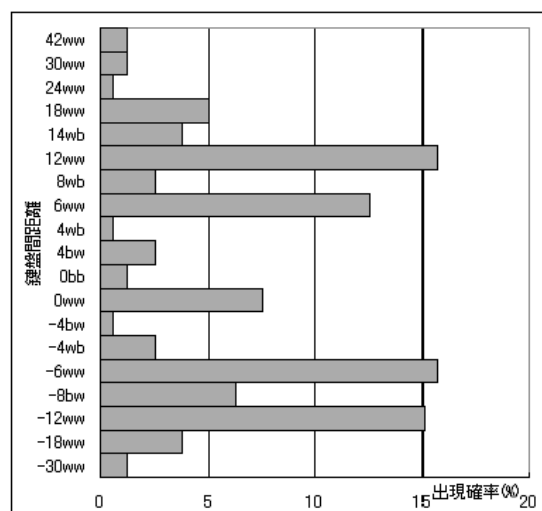


図 2: 楽曲における鍵盤間距離出現頻度の例

鍵盤間距離の出現頻度を求める。全体における出現頻度の割合を計算し各鍵盤間距離の出現確率を楽曲の特徴量とする。

## 4 実験および評価

提案システムについて暫定的な評価を行うため、本稿において提案した部分について実装を行い、実験を行った。

### 4.1 楽曲提示部の評価

一般的に初級者のレッスンで使用されているということを考慮し、練習用楽曲に「バイエルピアノ教則本」[8] を、目標楽曲に「ブルグミュラー 25

表 2: 楽曲提示部の正解との比較

番号	正解楽曲					提示楽曲				
	1位	2位	3位	4位	5位	1位	2位	3位	4位	5位
1	36	35	29	41	47	61	38	65	56	24
2	62	60	91	93	87	36	55	34	56	18
3	76	74	78	72	66	<b>76</b>	73	<b>72</b>	<b>78</b>	101
4	70	68	90	67	71	<b>90</b>	95	<b>68</b>	97	<b>67</b>
5	102	96	88	100	101	25	<b>102</b>	48	9	99
6	65	83	101	76	86	<b>76</b>	73	72	77	36
7	74	67	56	53	73	<b>67</b>	55	36	34	57
8	104	96	99	91	87	<b>104</b>	102	67	<b>96</b>	72
9	90	67	66	100	101	55	36	56	34	<b>101</b>
10	76	75	74	79	70	<b>79</b>	<b>75</b>	78	93	91
11	97	93	56	55	98	<b>56</b>	<b>55</b>	34	57	36
12	74	60	73	85	92	55	36	34	101	56
13	73	77	90	85	76	74	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>73</b>	67
14	80	76	79	81	82	<b>76</b>	88	78	74	73
15	100	90	95	97	92	<b>92</b>	63	67	21	10
16	96	102	99	93	85	104	<b>85</b>	<b>96</b>	<b>99</b>	55
17	90	95	70	89	52	96	104	77	74	92
18	102	53	80	96	100	88	15	87	51	70
19	90	84	67	79	76	72	<b>76</b>	34	55	36
20	78	91	93	46	76	<b>76</b>	<b>78</b>	73	72	77
21	74	83	104	85	92	75	78	56	77	73
22	99	98	96	77	75	<b>99</b>	104	18	85	94
23	95	90	78	67	99	92	96	104	106	8
24	74	76	72	101	97	70	84	<b>97</b>	68	15
25	95	77	94	66	88	<b>77</b>	74	96	72	36

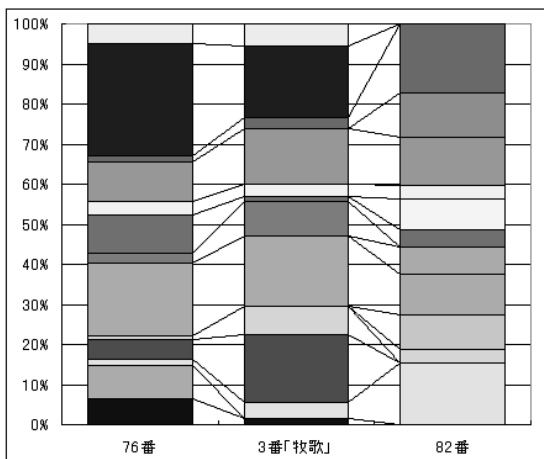


図 3: 楽曲における特徴量の比較

のやさしい練習曲」[9]を用いた。各目標楽曲に対して適切と考えられる練習用楽曲の上位5つを実際のピアノ教授者に提示してもらい、これを正解楽曲とした。演奏履歴が何もない初期状態において楽曲提示部で提示された楽曲を正解楽曲と比較した結果を表2に示す。表2において、提示楽曲のうち正解楽曲に含まれている楽曲を太字で示した。システムが提示した楽曲は目標とする楽曲全25曲中12曲は人間のピアノ教授者が提示する上位5曲

中に入るといことがわかる。また鍵盤間距離を考慮した練習曲提示が有効である楽曲と有効ではない楽曲があるということがわかる。例えば3, 4, 13, 16番に関する提示楽曲のうち3曲以上が正解楽曲と一致している。それに対して、1, 2, 12, 17, 18, 21, 23番は1曲も一致していない。それぞれの提示楽曲を検証すると、システムは鍵盤間距離を用いているため、目標楽曲と似た音遷移の曲や同じ調性の曲を提案しやすいのに対して、人間のピアノ教授者は、右手に和音の動きがある、左手が3連符で伴奏をしている、3拍子の曲である等、システムより複合的で尤度の高い検索を行っていることがわかる。しかし、曲によっては人間のピアノ教授者があまり適切とは思えない選曲をしている場合がある。これは、人によって目標曲の捕らえ方が違うという理由の他に選択肢として用意されている楽曲が多すぎるため、全体を把握出来ず、目に入った限りの中で曲を選択してしまった可能性が考えられる。こういった面では、システムは基準に沿って膨大なデータを処理することが出来るので、バイエルに限らずもっと多くの練習曲を候補とした場合、より有用性が出て来ると考えられる。

## 5 システム評価

システム全体を評価するため、初級者3人と、5年以上の学習歴をもつが最近ピアノを弾いていないという2人に実際にシステムを利用してもらった。結果、以下のような意見を得た。

- いろんな楽曲に触れることにより、飽きずに練習に取り組むことが出来る
- 簡単すぎる曲が提示された
- 1曲弾くことが出来たら、急に難しい問題を提示された
- 妥当な曲が提示された
- 迷わずに練習を進めていける
- どこが間違えたかわかって提示されても、どういう理由で間違えたかわからない
- 提示の根拠がわからない

提示曲が難しすぎる、簡単すぎる、という点は、曲の難易度を反映させたいところだが、前述の通り音楽の難易度は基準とされるものがなく、組み込むことが出来ない。今後、楽曲難易度の策定が重要と考えられる。

どういう理由で間違えたかわからない、という点は、本提案システムで今後研究を進めなければならない点である。運指の正誤の認識や、多数の実験を行いデータを集めることで間違い原因を解析するなど、今後の課題として挙げられる。

## 6 おわりに

本稿では近年増加しているピアノ初級者の独習において、練習用楽曲を提示し支援することの重要性について述べ、鍵盤間距離を用いた独習支援システムを提案した。

今回は目標設定のための楽曲集と提示のための練習用楽曲集を分けることにより目標よりも難しい楽曲の提示は避けられた。しかし、現段階では楽曲の難易度を考慮することができないので、学習履歴のない初期段階における楽曲の提示において目標よりも難しい楽曲の提示をしてしまう可能性がある。バイエルにおいては体系的な研究がなされているが、その他の楽曲に対し楽曲難易度の評価方法の策定が重要であると考えられる。もしあらゆる楽曲の難易度の評価が可能になれば、2章で述べたように項目反応理論を用いることによって、

演奏者のレベルに合った楽曲の提示をすることができる。

ピアノ技術の向上を支援するという大きな意味で考えれば、本研究のように独習の支援をするシステムの他にピアノ教育現場における教育支援システムや練習曲自動生成など様々な方法が考えられる。また演奏追従による自動伴奏や難易度を下げようとする自動編曲をすることによって練習意欲を継続させるといったアプローチも考えられる。いずれの場合においてもピアノを弾けるということはどういった要因によるものなのかを学習履歴から分析することによって、フィードバックを得ることができる。

今後の展望としては、特徴量を求める音列の組合せを増やし、長い音列や重音を考慮できるようにする。また鍵盤間距離だけでなく運指や拍子等の情報を用いることによってより正確に間違いの原因を探り、個々に適した楽曲提示をするシステムの構築を目指す。

## 参考文献

- [1] Roland:「デジスコアピアノ」,  
<http://www.roland.co.jp/PIANO/>
- [2] KAWAI:「ピアノ練習用ソフト・ピアノマスター」, 2002
- [3] YAMAHA:「ファミリー・ピアニスト 独奏中」, 2001
- [4] 大和田 茂:ピアノ演奏・学習支援ソフト, IPA 未踏ソフトウェア報告会, 2003
- [5] 木村 真規子, 江村 伯夫, 三浦 雅展, 柳田益造:ピアノ演奏の基礎技術を向上させるための独習システム, 音楽音響研究会, 2004
- [6] 城戸 透, 森山 伸, 岸 啓子, 横山 詔八:ピアノ・エチュードの体系的な研究 バイエルの研究 (2), 愛媛大学教育学部紀要, Vo.50, No.1, pp.119-138, 2003
- [7] Roger B. Dannenberg:An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment, *the 1984 International Computer Music Conference, Computer Music Association, (June 1985)*, 193-198, 1985
- [8] バイエルピアノ教則本, 全音楽譜出版社
- [9] ブルグミュラー 25 のやさしい練習曲, 音楽之友社
- [10] Chika Oshima, Yohei Miyagawa and Kazushi Nishimoto:Coloring-in Piano:A Piano That Allows A Performer to Concentrate on Musical Expression, *Proc. the 7th International Conference on Music Perception and Cognition*, Paper No.707, 2002