

ピアノ初級者のための独習支援システムにおける 戦略的練習計画の提示

松原 正樹 遠山 紀子 齋藤 博昭

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、初級者のためのピアノ独習支援システムにおける練習計画の提示を提案する。また提案システムの位置付けを明確にする。従来のピアノ学習支援では、演奏の前段階における支援、演奏中の逐次支援、演奏後の評価・分析結果の提示と大きく3つに分けられるシステムが提案されてきた。しかし、初級者がピアノを独習する際、目標とする楽曲について支援を受けるだけでは、効率的な練習を重ねることができない。また、基礎練習のために教則本を入手したところで、目標楽曲に到達するために効果的な練習曲を判断することは困難である。そこで本提案システムは、演奏履歴の分析や、目標楽曲に応じた練習計画の提示により、独習において学習者に適切な示唆を与えることを目指す。

Proposing Strategic Training Plan with A Computer-Assisted Learning System for Piano Novice

Masaki Matsubara, Noriko Toyama, and Hiroaki Saito

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. This paper is focused on discussing how to present the road map to the learners. We can divide existing piano training systems into three groups. Some of the systems set examples or make the notes easier 'before' learner will play. Some guide keys or notes must be played next 'while' learner is playing. The others analyze the performance, and value it or give some advices 'after' learner plays. In this paper, we clarify the positioning of our system and discuss about the adequacy of the output.

1 はじめに

近年、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から国内におけるピアノ学習者の多様化が進んでいる。そのため高年齢層の人々が初めてピアノを学び始めるケースや、ブランクを経て再度ピアノの演奏に挑戦したいと望むケースが増加している。しかし、そのような学

習者には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、といった制約のある傾向が高い。そのためレッスンに通い続けることが難しく、自宅での独習が多く望まれている。ところが、ピアノ初級者にとって演奏技術を独学で向上させることは非常に困難であり、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、上達につながらないという問題点を抱えているからである。

このような需要に対し、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 社からは楽譜表示・演奏評価付キーボードが販売されており [1], KAWAI 社の「ピアノマスター」[2], YAMAHA 社の「ファミリー・ピアニスト 独奏中」[3] 等の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も多数発表されている。しかしこれらのシステムは、一曲あるいは一回毎の演奏の評価にとどまっており、評価後の長期的な練習計画については学習者の判断にゆだねられている。

そこで我々は、ピアノ初級者の独習にあたり、学習者による目標楽曲の演奏を分析し、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った [4]。本稿では、練習曲の提示だけでなく目標曲に合わせた全体の練習計画の提示を提案した。

2 本稿の位置付け

本稿は、提案システムにおける練習計画の提示に焦点を当てて考察を行うものである。先立って、既存のピアノ学習支援システムや関連研究をまとめ、本稿の位置付けを明確にする。図 1 にピアノ学習を支援するシステムの全体像および本稿の位置付けを示す。ピアノ学習支援のタイミングには練習における演奏前、演奏中、演奏後と、様々なアプローチが存在し、それぞれのアプローチについてソフトウェアやシステムの開発や研究が行われている。

a. 演奏前段階における支援

演奏の前段階として、演奏の手本を事前に見せる・聴かせる、また事前に運指を割り振ったり楽譜をピアノロールの形に変換することで楽譜の読解を助ける、などのアプローチがある。

KAWAI 社の「ピアノマスター」[2] は、楽譜の表示を通常とピアノロールの 2 種類から選択可能としていることに加え、練習箇所を区切ることにより、学習者を挫折させない、退屈させないことを目指している。YAMAHA 社

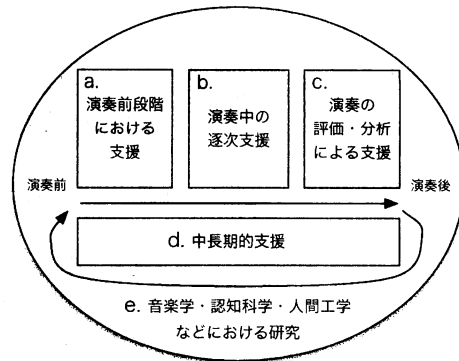


図 1: ピアノ学習支援の全体像と本稿の位置付け

の「ファミリー・ピアニスト 独奏中」[3] は、学習者が自分に合ったテンポで演奏することができる機能や、打鍵に使用する指の指定などを個別で設定できるようにしている。

他にも、練習曲の自動生成や、曲の難易度を調節するための自動編曲などの技術が期待されている。

b. 演奏中の逐次支援

演奏中の学習者に、次に押すべき鍵盤やその運指を提示する。

前述のメーカー各社からは、鍵盤を光らせることにより、学習者に次の打鍵を示すハードウェアが販売されている [5]。また、研究分野においても様々な提案が成されている。樋川らによる「The Phantom of the Piano」[6] は、学習者の自学自習を妨げないよう、キーボードの上から影を投影する形で支援を行うシステムを提案している。

大和田による「ピアノ演奏・学習支援ソフト」[7] は、ユーザの演奏に合わせて、それ以外の音符を補うシステムを提案している。ユーザの入力に合わせて得られる情報を最大限伴奏部の再生に用いることで、ユーザがより自由に演奏を楽しむことを実現している。

c. 演奏の評価・分析による支援

学習者の演奏が演奏を終えた後、その演奏を分析し、評価やアドバイスを与える。

Roland 社の「デジスコア」[1]は、演奏全体の採点や、間違っただ所の提示を行う。木村らによる独習システム[8]の研究ではピアノ演奏の基礎技術を向上させるために、基礎練習の演奏を対象として、打鍵のタイミング誤差と各音のデュレーションを分析する支援システムを提案している。

d. 中長期的支援

目標楽曲への到達を中長期的に見据え、練習計画の自動生成を行い、練習曲を効果的に提示していくことで、学習者の技術向上を図る。本稿をここに位置付ける。

e. 音楽学・認知科学・人間工学などによる研究

以上4項目に分けて、情報処理技術を用いたピアノ学習支援のアプローチを概観したが、他分野における研究を無視することはできない。

城戸らによる、ピアノ・エチュードの体系的な研究「バイエル」の研究(2)[9]は、代表的練習曲集であるバイエルの各曲の体系的な研究によって、難易度を明確にしている。これは、今後より多くの楽曲に対しても望まれる研究である。大島らによる、ピアノ演奏における離鍵速度の重要性と特性に関する考察[10]は、離鍵動作を表す鍵盤を元に戻す速さが、演奏において細かい抑揚やフレーズのまとまりを表すためのアーティキュレーションの技法により値が変動することを示唆している。

このように、古くから個人教授によって進められてきたピアノ指導に対して、学習者の需要に合わせたシステムやソフトウェアの開発、あるいはより効果的な指導・学習に向けて多くの研究がなされている。

本稿では、中長期的な支援が必要であるとの見地に立っているが、これは、この視点のみで成り立つものではなく、様々な見方からの研究の発展や協力があってこそ、より有用なシステムになっていくと考える。

3 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
- 学習履歴表示
- 練習計画提示

提案システムの構成図を図2に示す。本提案シス

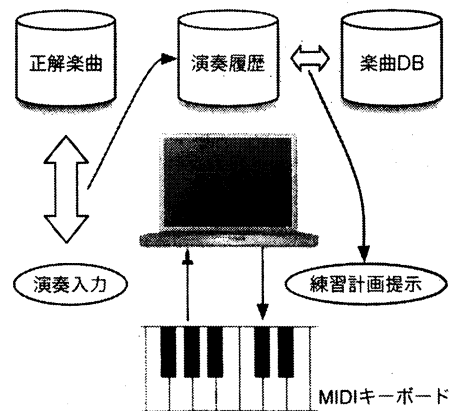


図2: 提案システムの構成

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、学習者は目標楽曲の設定を行い、それに適した練習計画および練習用楽曲の提示を受けることができる。

3.1 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。

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、練習の際に

仮定 1: 入力最初の数音は間違えない。

仮定 2: 楽譜通りの音符を入力しようとする。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 $Data_{MIDI}$ を用いて音長を正規化したデータ $Data_{Normalized}$ 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 $R_N = 2^{\lceil \log_2 R_R \rceil}$ 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な DP マッチングを用いた [11]。

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。

3.2 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、目標楽曲に適した練習計画および練習用楽曲の提示する。練習計画の生成に関しては次章で詳しく説明する。

鍵盤間距離

従来手法では 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、白鍵と黒鍵を考慮した鍵盤の垂直方向の距離から求める。

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

4 戦略的な練習計画の提示

ピアノ学習を含む音楽の分野で目標曲までの練習計画の提示をしている研究は他に見当たらない。練習計画の提示を可能にするために、学習者の学習状況の把握および学習履歴の分析、到達目標に応じた問題の提示が必要となる。これらの課題は e-Learning の分野で現在も個々に研究されている。

4.1 関連研究

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-Learning の 1 つと考えることができる。個人適応型 e-Learning では、学習者のレベルの評価に際し、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、難易度が明らかである問題に対して、学習者がどのように正解・不正解を出すかを元に、能力値を推定する理論である。しかし第 2 章で述べた通り、音楽分野においては、城戸らによるバイエルの体系的な研究 [9] の他には、楽曲毎の難易度が制定されていない。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できない。そこで本提案システムは、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。

また近年、様々な分野に対し、データの利用やインターフェースを考慮した e-Learning システムの研究が多く成されている。玉城らは教師の支援のために生徒の学習状況把握システムを構築した [12]。これに対し、柏原らは学習状況把握を個別適応型に応用し、学習者の集団から得られる学習履歴をデータマイニングすることにより、学習の道筋を示すナビゲーションガイドを構築した [13]。どちらのシステムも問題解決に至るまでの思考時間を特徴量としている。一方、宮地ら [14]、三田ら [15] は数学の分野において、学習履歴を分析して適切な問題を提示するシステムを、佐々木らは到達目標を考慮した外国語学習システムを構築した [16]。今回は、ロードマップの提示部を柏原ら、到達目標の提示を佐々木らの研究にならう。

4.2 練習計画の提示

図 3 に練習計画の提示イメージを示す。

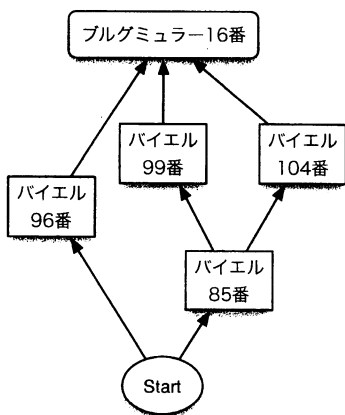


図 3: 練習計画の提示イメージ

練習計画の算出は以下のように行う。目標曲 $G = O$ 、習得済技術 L 、未習得技術 O_n 、楽曲 M_i の特徴量および最大ステップ数 D 、最大練習計画数 W 、尤度 ε における練習計画 T 、練習計画のノード P_x (ス

テップ数 x) を深さ優先探索 (LIFO 型スタック S) で求める。

1. $O_0 = G, P_0 = L$ とする。
2. スタック S に P_0 を追加
3. スタック S から取り出したものを P_{xy} とする。 T の末尾に P_{xy} を追加
4. $O_x \leq P_{xy}$ ならば、 T を T_n とし T の末尾を削除 P_{xy} を過去に探索している、あるいは $D \leq x$ ならば、 T の末尾を削除
それ以外の場合は、 $O_{x+1} = O_x - P_{xy}$
 $P_{x+1y} = \{M_i : O_{x+1} - M_i < \varepsilon\}$
 P_{x+1y} を S に追加する。
5. S が空でなければ 3. に戻る
6. 求めた T_n を $n \leq W$ になるまで、 $|G - T_n|$ の大きいものから削減する。

4.3 考察

初期状態での楽曲提示と、システムを利用した後の楽曲提示を比較し、以下の結果を得た。この

表 2: 楽曲提示精度の比較 (25 曲中)

特徴量	1 位と 1 位～5 位	1 位～5 位同士
鍵盤間距離	12 曲	18 曲
MIDI	3 曲	14 曲

表から、鍵盤間距離を使用することで、従来の手法より良い効果を得た。また、改良前と比べ、より人間の教授者に近い練習曲の提示が可能となった。

本提案システムの位置づけについて考察を行うと、まず、到達目標を考慮した中長期支援を初めて提案したという点で、新規性が主張できる。ピアノ学習は、目標となる楽曲の練習のみでも、練習曲の練習のみでも、効率的に目標楽曲の演奏にたどり着くことができない。目標となる楽曲の練習に、適宜練習曲を織り交ぜることが、実際は不可欠である。本提案システムは、既存のシステムを今後応用することを含め、理想的な支援システムに向けて新たな視点を提案したと考える。

しかしながら、現時点での出力では、提示された曲を弾いたからといって、目標楽曲を弾きこなすことができるとは限らない。この問題に対する 3 つの原因を考察する。1 つ目に、データ量が足りないために、目標楽曲に到達するために必要な練習曲を十分提示することができていない。著作権等

の問題も絡むが、多くのデータを用いることで、より有用なシステムになると考えられる。2つ目に、現在用いている鍵盤間距離だけでは、演奏や楽曲の特徴量を十分に反映できていない。運指、難易度等、複数の特徴量組み込むことで、よりの確な提示が可能になるだろう。3つ目に、インターフェースの充実が必要不可欠である。ピアノの演奏支援に用いるためには、まず、樋川らが“The Phantom of the Piano”の提案で主張するように、学習者の自学自習を妨げない形態が大切と考えるべきであり、本提案システムにおいては、経路表示の最適化や、画面上での配置など、練習計画提示の工夫が必要である。

本提案システムは、練習計画を複数提示するため、学習者が好みの計画を選択することが可能であり、これが独習におけるモチベーションアップにつながると考えられる。しかし、現段階では練習計画や練習用楽曲の提示に関して何の根拠も提示されていないため、学習者に不安感や不信感を与えないとも言えない。再掲になるが、多岐に渡る特徴量を利用することで、よりの確な絞ったフィードバックを与えることのできるシステムへと改良していくべきと言える。

5 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ける、練習用楽曲の提示による支援の必要性を述べ、我々が提案するピアノ独習支援システムの位置付けを明確にすると共に、楽曲提示部の改良を提案した。

既存のピアノ学習支援システムおよび関連研究は、既存のシステムを大きく3つに分け、関連研究がそれらを取り囲むように位置付けられる。我々の提案する中長期的な支援システムは、図1に示したように、既存のシステムのベースとして、時間軸を包括して考えることができる。

新たに加えた練習計画提示部では、候補となる練習曲の組み合わせを深さ優先探索を用いてリストアップし、その中から条件に合うものを抽出することで、効果的な練習計画の提示を行った。

今後の展望として、目標楽曲および練習楽曲のデータベースの充実、演奏や楽曲の分析に用いる特徴量の追加、インターフェースの改良によって、

個人個人に対してよりの確な練習計画を提示することのできるシステムへと発展させていきたい。

参考文献

- [1] Roland: デジスコア,
<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] 松原 正樹, 遠山 紀子, 斎藤 博昭: ピアノ初級者のための独習支援システムの提案, 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2006-MUS-64-14, Vol.2006, No.19, pp.79-84, 2006
- [5] CASIO: 光ナビゲーションキーボード,
<http://www.casio.co.jp/emi/>
- [6] 樋川 直人, 大島 千佳, 西本 一志, 苗村 昌秀: The Phantom of the Piano: 自学自習をさまたげないピアノ学習支援システムの提案, インタラクション 2006 論文集, pp.69-70, 2006
- [7] 大和田 茂: ピアノ演奏・学習支援ソフト, IPA 末路ソフトウェア報告会, 2003
- [8] 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
- [9] 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研究 バイエルの研究 (2), 愛媛大学教育学部紀要, Vol.50, No.1, pp.119-138, 2003
- [10] 大島 千佳, 西本 一志, 阿部 明典: ピアノ演奏における離鍵速度の重要性と特性に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.5, pp.1546-1557, 2006
- [11] 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
- [12] 玉城 幹介, 桑原 恒夫, 山田 光一, 程子 学: 学習状況把握支援システム, 情報処理学会論文誌 Vol.41, No.8, 2000
- [13] 柏原 昭博, 中谷 充敏, 太田 光一: ハイパー空間における学習履歴マイニングに基づくナビゲーションガイド, 人工知能学会全国大会 (第20回) 論文集, 2006
- [14] 宮地 功, 板谷 鮎美, 中嶋 愛, 増地 志保, 州脇 史朗: 理解度に対応した二次方程式の学習支援システム 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.368, pp.7-12, 2003
- [15] 三田 泰正, 藤岡 健史, 荻野 哲男, 高田 秀志, 上林 彌彦: 学習履歴を利用した動的な問題提示を行う学習支援システムの提案, 電子情報通信学会第15回データ工学ワークショップ, DEWS2004 2-A-03, 2004
- [16] 佐々木朋美, 佐々木史織, 清木康: 意味的情報フィルタリング機能を有する目的指向型外国語学習システムの実現, 電子情報通信学会第17回データ工学ワークショップ, DEWS2006 6-C-14, 2006