

# 学習方略の物語化に着目した ピアノ学習支援システムの構築に向けて

竹川佳成<sup>1,a)</sup> 平田圭二<sup>1,b)</sup> 田柳恵美子<sup>1,c)</sup> 椿本弥生<sup>1,d)</sup>

**概要：**楽器の演奏技術の向上には多大な時間や労力を必要とするため、敷居の高さに利用を断念したり、習熟効率の低さから挫折してしまう演奏者が多い。この問題を解決するために、筆者らの研究グループは、鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵位置情報など演奏補助情報を投影するピアノ学習支援システムを構築してきた。評価実験から、学習者の多くは自身の成功体験に基づく学習方略をもっており、使用する学習支援システムと被験者の学習方略がうまく適合した場合に学習効果が高まることが明らかになった。しかし、成人の学習者は各々成功体験を持ちそれに固執する傾向があるため、より自己に適した学習方略を気付かせることは難しいといった問題や、学習方略そのものを意識できていないといった問題が浮き彫りになった。そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、学習者が自身の学習方略や練習中に得られた気付きを物語として記述することで、学習方略への意識の高まりや、学習方略の省察およびメタ認知が促進されるという仮説のもと、学習方略の物語化に着目したピアノ学習支援システムの構築をめざす。実際にピアノ学習支援システムを利用しながら物語を記述してもらうという予備実験から得られた知見をもとに、学習方略などを直観的に物語として記述・編集・閲覧できる機能について検討した。

## 1. はじめに

ピアノ演奏では、譜読み、指示されている鍵への正確な打鍵、適切な運指（指使い）、リズム感覚、打鍵の強弱、テンポなど、さまざまな技術が求められ、それらの修得には長期間の基礎的な練習を必要とする。ピアノ演奏には多大な時間と労力を必要とするため、敷居の高さに利用を断念したり、習熟効率の低さから挫折してしまう演奏者が後を絶たない。特に初心者にとって、譜面上の音符および運指を見て、音符から鍵盤上の打鍵位置をイメージし、指示された運指で弾くという一連のプロセスは最初に立ちはだかる難関で、このプロセスに対する労力や精神的負荷の軽減が楽器演奏を楽しめ長続きさせる秘訣であるといえる。演奏初期段階（ピアノ初心者が初見の楽曲に対して運指や打鍵位置を覚えるために練習している段階）における敷居を下げるために、筆者らの研究グループは、図1に示すような鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵位置情報など演奏補助情報を投影するピアノ

学習支援システムを構築してきた [1], [2], [3], [4]。提案したピアノ学習支援システムを用いた評価実験 [4] では、成人ピアノ初心者の特徴として、「ピアノ学習方略は、他分野での経験を通じた学習者の成功体験（例えば、タッチタイピングの習得や、歌唱の習得など）で得られたノウハウや知見に依存する傾向にある」、「前日の練習感覚と今日の練習感覚を比較したり、数日前の学習方略から現在の学習方略を決定するなど、様々な対象やレベルで比較することにより、学習方略が変容・進化すること」が明らかになった。さらに学習方略には個人差があり、実験結果は、使用する学習支援システムと被験者の学習方略がうまく適合した場合に学習効果が高まるとを示唆した。このように学習方略は学習効果に深く影響しているため、学習方略への意識や学習方略の試行錯誤は重要である。しかし、成人の学習者は各々成功体験を持ちそれに固執する傾向があるため、より自己に適した学習方略を気付かせることは難しいといった新たな問題が浮き彫りになった。また、被験者の中には自身もつ学習方略を意識せず練習している者もいた。

Dewey [5] は、学習において自己の経験に照らして学ぶこと（自己省察）の重要性を主張した。近年 Schön [6] は、行為の中の省察や暗黙知の重要性を主張し、人は一人称的な省察と三人称的なメタ認知の両輪により熟達していくとい

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate

a) yoshi@fun.ac.jp

b) hirata@fun.ac.jp

c) tayanagi@fun.ac.jp

d) mtsubaki@fun.ac.jp



図 1 提示コンテンツ

う学習モデルが、教育実践でも主流の理論となっている。諏訪 [7] は、これらの考え方に立脚し、スポーツ等の身体スキルの獲得過程における言語化に着目している。練習中の気付きや知見を学習者自らが言語化することで、新たな気付きやメタ認知が促され、身体動作へとフィードバックされる。中島 [8] は、評価に人の価値観が関わるような研究テーマにおける研究成果の表現法として、一人称の立場から他者を志向した記述（物語）が効果的であると主張している。

したがって、ピアノの練習においても、学習者が自身の学習方略や練習中に得られた気付きを物語として記述することで、学習方略への意識の高まりや、学習方略の省察およびメタ認知の促進が期待できる。

そこで本研究では、これらの問題を解決するために、学習方略の物語化に着目したピアノ学習支援システムの構築をめざす。

実際にピアノ学習支援システムを利用しながら物語を記述してもらうという予備実験から得られた知見をもとに、学習方略などを物語として描写・編集・閲覧できる機能や、一連の描写した物語をポートフォリオとしてまとめるオーサリング機能を提供する。

以下、2章で関連研究について説明し、3章でシステムの設計方針について述べる。4章で予備実験について説明し、5章で設計について述べる。最後に6章で本研究のまとめを行う。

## 2. 関連研究

これまでピアノ学習の支援につながる試みはいくつか行われている。蓄積した演奏データから演奏者の苦手な奏法を割り出し集中的にトレーニングするシステム [11], [12], [13], [14], [15] や、演奏を自動的に評価しアドバース文や誤りを譜面上に提示 [16] するシステムがある。また、Piano Tutor [17] は演奏追従認識による自動譜めくり機能や、ビデオや音声による模範演奏の提示や、演奏者の演奏データを解析し改善点をテキストなどで指示する機能

などをもつ。先生と生徒のレッスン支援 [18], [19] として、音量の変化やテンポ、スタッカートやレガートといったアーティキュレーションの具合等を示すシステムが提案されている。打鍵すべき鍵、運指、手本映像を表示するキーボードやソフトウェア [1], [2], [9], [10], [20], [21], [22] がある。これらはいずれも打鍵情報から演奏を評価し学習目的に必要な情報を提示しており、学習効果の向上という目的は同じであるが、学習方略の省察やメタ認知の促進には着目していない。

## 3. 設計方針

筆者らの研究グループが提案するピアノ学習支援システムは、成人ピアノ初心者を対象としており、五線譜やシステムが生成する補助情報を活用しながら学習者はある楽曲を一から練習し、できるだけ速く習熟し、最終的にシステムの補助なしで演奏できるようになることをめざしている。また、目の前の課題曲を演奏できるようになるだけではなく、ピアノ演奏そのものの熟達化支援の実現に向けて、1章で述べたように、学習方略への意識や学習方略そのものの質を向上できるシステムの構築をめざす。このためのシステムの要件として以下があげられる。

**打鍵位置情報の提示** 演奏者は演奏したい楽曲があった場合、とにかくその楽曲を弾けるようになりたいという思いが強い。しかし、ピアノ初心者は、楽譜の音符と、その音符に該当する鍵盤の対応付けをとることが困難であるため、五線譜とピアノしか利用しない旧来のピアノ学習方法では、学習者はまず譜読みの勉強から開始する必要がある。最終的に目標とする楽曲を演奏できるようになるまでに時間がかかっていた。また、筆者らの研究グループは、これまでにピアノ初心者のための学習支援システムを構築しており、評価実験の結果より、光る鍵盤のように次の打鍵位置を鍵盤上に提示することは、演奏の敷居を下げ、打鍵位置を理解する効果的な方法であることが証明されている。したがって、本システムにおいても光る鍵盤のような打鍵

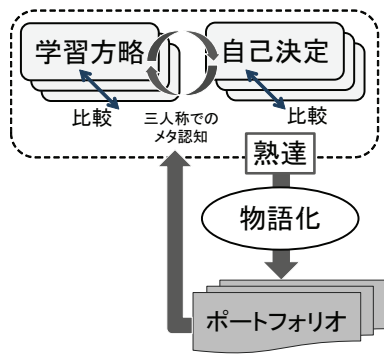


図 2 学習方略の物語化

位置の提示を採用する。

**学習方略の物語化** 成人の学習者は各々成功体験を持ちそれに固執する傾向があったり、よく間違える箇所など目の前の問題の解決に執着してしまったり、闇雲に繰り返し練習し学習方略への思考が停止してしまうなど、自己に適した学習方略に気付かせることは難しい。学習者自身の学習方略と学習支援方法との相性は、学習効率に影響することが先行研究でわかっている。また、システムの学習支援方法に対して、強制的に、学習者の学習方略を合わせてもらった場合、学習意欲が低下してしまう。このため、システムが複数の学習方法をもち、ユーザが学習方法を選択的に利用できるようにシステムを設計する必要がある。また、図 2 に示すように、学習者に自己の学習方略を意識させ、システムの特性を理解した上での学習方略の変容および自己決定を促す必要がある。そこで、本研究では練習中あるいは練習後に、学習者自身の学習方略や気づきを一人称視点からの説明として描写してもらう。物語の一例として、「いつも打鍵ミスをしていた右手のこの音符は、直前の左手の和音を聴くことでミスしなくなった」といった内容である。この段階では、自分自身でもまだ何をやっているか分からない状況の不完全な描写で良く、必要以上に客観的な分析をする必要はない。身体と思考をつなぐ一人称的な模索や試行錯誤の自己表出こそが重要であり、習熟が進むにつれてこれらの継続的な集積からやがて三人称的なメタ認知がなされていくその過程そのものに、熟達の本質が潜んでいると考えられるからである。なお、本研究では、このような自己省察作業を物語化と呼ぶ。また、一定期間に渡る物語の変遷をポートフォリオとして記録する。ポートフォリオに記録された「昨日や 1 週間前の学習方略」と「現在の学習方略」を比較することで、三人称的なメタ認知の促進も期待される。

#### 4. 予備実験

予備実験では、楽曲習得の初期段階（初見の楽曲に対して運指や打鍵位置を覚えるために練習している段階）にあるピアノ初心者が提案システムを用いた学習を通じて記述

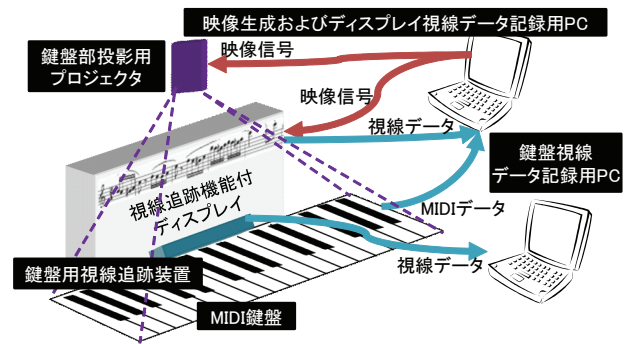


図 3 システム構成

された物語やその過程をもとに、学習方略の物語化を実現するための機能について分析する。

#### 4.1 実験システム

実験で使用した学習支援システムのシステム構成を図 3 に示す。鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に打鍵位置情報を提示する。また、演奏者の前方に視線追跡機能付ディスプレイを配置し、演奏補助情報を提示している。システムは、MIDI データ（打鍵位置や打鍵強度）を入力とする。さらに、鍵盤部の視線を追跡するために鍵盤上部に視線追跡装置を設置し、演奏の様子を記録するためにビデオカメラを設置した。

映像生成およびディスプレイ視線データ記録用の PC として SONY 社の VGN-SR94VS を使用し、鍵盤部視線データ記録用の PC として SONY 社の VPCSA を使用した。また、MIDI 鍵盤として CASIO 社の Privia PX-110 を使用した。鍵盤部の視線追跡装置として Tobii 社の X1 ライトを使用し、ディスプレイ部の視線追跡装置として Tobii 社の T60 を使用した。プロジェクタとして BenQ 社の MP776 ST を使用した。プロジェクタの鍵盤投影領域は 6 オクターブ（72 鍵）で、プロジェクタの映像がよく見えるように黒鍵を白く塗った。PC 上のソフトウェアの開発は、Windows 7 上で Microsoft 社の Visual C++ 2010 を用いて行った。

#### 4.2 提示コンテンツ

図 1 を用いてシステムが提示する補助情報のコンテンツについて説明する。図中の番号は、以下の箇条書き番号に対応している。

- (1) 前面ディスプレイに既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する。
- (2) 譜面上には現在の演奏位置を示すカーソルを提示する。これにより、学習者は現在どこを演奏しているか直観的に理解できる。正しい鍵を弾いたときのみカーソルは進むようになる。
- (3) 次に演奏する鍵上に色付枠を提示する。運指情報は、運指番号（親指から小指にかけて 1 から 5 の番号がそ

【正しい演奏】



【実際の演奏】

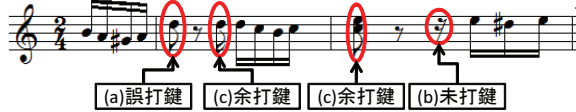


図 4 打鍵ミスの計測方法

それぞれ割り当てられている) ごとに対応している輪郭の色や、鍵盤上に運指番号を提示することで示す。これにより学習者は容易に打鍵位置や運指を把握できる。また、ディスプレイにも鍵盤と同様の打鍵位置情報や運指情報を提示する。ディスプレイには鍵盤の枠しか提示されないため、鍵盤上に提示された情報と比較して得られる情報は少なく、直観性に欠ける。

- (4) 楽譜上に表示されている番号付きの黒地白抜き四角形は、現在位置をマニュアルで変更できるキューポイントである。これは、学習者が集中的に練習したい場合や、途中から演奏したい場合に有効である。キューポイントを切り替えるアイコンを、演奏で使用しない鍵盤の鍵盤上に投影し、その鍵盤を打鍵することでユーザが選択的に利用できるようにする。これをキューポイント設定機能と呼ぶ。
- (5) 提案システムは打鍵位置および運指情報を提示するかどうかを切り替える機能(打鍵位置提示 ON-OFF 機能)をもち、この機能を操作するアイコンを演奏で使用しない鍵盤の鍵盤上に投影する。打鍵位置提示 ON-OFF は、割り当てられた鍵盤を押すごとにトグル式で切り替わる。また、提案システムは模範演奏を再生する機能(模範演奏再生機能)をもち、同様に演奏で使用しない鍵盤の鍵盤上に模範演奏再生機能に対応するアイコンを投影する。学習者が模範演奏再生機能に割り当てられた鍵盤を押下すると模範演奏の再生が始まり、再生中にその鍵盤を再度押下すると模範演奏を途中で止められる。

### 4.3 実験の手順

実験の手順を以下に示す。

**被験者** 実験に参加した被験者は3名で、いずれもピアノをはじめ楽器の専門教育を受けた経験はない。うち1名が独学でギターが弾ける程度である。

**課題曲** 課題曲として W. A. Mozart のトルコ行進曲(最初から17小節目まで両手)を練習してもらった。

**実験方法** 実験では、「課題曲(トルコ行進曲)を30分かけて練習し、到達度テストとしてシステム補助なしでの通し演奏(最初から最後まで一通り演奏すること)を行い、

図5左に示す物語シートにその日の学習方略や学習ポイントを記述してもらおう」という試行を1日1回行った。これを到達度テストにおいて打鍵ミスがなくなるまで繰り返した。なお、物語シートは実験日ごとに新しいシートに記述してもらった。また、実験最終日は、記録映像および記述した物語シートを利用して、実験全体における物語を記述してもらった。

練習中および到達度テスト中は、視線計測装置が生成する視線データ、MIDI 鍵盤が生成する打鍵データをシステムに記録し、演奏中の様子をビデオカメラで記録した。

到達度テストでは、前面にある楽譜のみ(現在の演奏位置を示すカーソルも提示しない)提示し、打鍵ミス数および演奏時間を計測した。また、誤打鍵(間違えて打鍵した場合図4-(a))、未打鍵(打鍵しない場合図4-(b))、余打鍵(余分に打鍵した場合図4-(c))を打鍵ミスとみなした。

**被験者への指示** 30分間の練習では「自然なテンポで譜面をみながらミスなく弾けることを意識して、機能を自由に使ってもらって30分間練習してください。また、この後、到達度テストを行います。到達度テストは打鍵位置の情報などシステムからの補助情報がない状態で最初から最後まで弾いてもらいます。実験中に質問があれば何でも聞いてください」と指示した。また、到達度テストでは「今からテストを行います。最初から最後まで模範演奏にできるだけ近いテンポでミスなく弾いてください。制限時間は5分間です。わからないところがあれば飛ばしてもらってもかまいませんし、これ以上演奏できなければ言ってください。たとえ間違っても弾き直しをしないようにしてください」と指示した。なお、実験期間中に難しすぎて練習を放棄した被験者はいなかった。実験初日に限り、物語シートの記述の参考として図5右に示すサンプルを見せながら説明した。

### 4.4 実験結果と考察

到達度テストにおける打鍵ミス結果より、各被験者の習熟速度は異なるものの、課題曲を打鍵ミスなく演奏できるようになっていった。

2名の被験者が実験初日に記述した物語シートおよび、実験最終日に記述した物語のまとめを図6に示す。記述された物語を読むことで被験者がどのような学習方略のもとで課題曲に取り組んでいたかわかる。「実験初日の物語」と「物語のまとめ」を比較した場合、被験者Aは「物語のまとめ」において「上達のポイントは、身体への負荷をへらすことです」と記述しており、実験初日の「1. 片手ずつゆっくり弾いて、指を楽器に慣らす 2. ミスしても良いので、曲全体を通して弾く 3. リズムと運指はあまり気にしない」という知見を発展させたメタな知見を獲得している。また、被験者Bの実験初日の物語は全体的に確信度の

今日の学習を振り返って、気づいたことや工夫した学習方略など下記の項目について、楽譜を利用しながら自由に記述してください。

今日の目標とそれのための学習方略、達成度。  
 明日の目標とその学習方略、達成度。  
 うまく弾けない箇所、だからどうした。  
 昨日までうまくできなかったが出来るようになった箇所、なぜできるようになったか。  
 その他気づいたこと など

氏名: 実験日: 2013/ /

目標・学習方略・達成度:

今日の学習を振り返って、気づいたことや工夫した学習方略など下記の項目について、楽譜を利用しながら自由に記述してください。

今日の目標とそれのための学習方略、達成度。  
 明日の目標とその学習方略、達成度。  
 うまく弾けない箇所、だからどうした。  
 昨日までうまくできなかったが出来るようになった箇所、なぜできるようになったか。  
 その他気づいたこと など

氏名: 未来 太郎 実験日: 2013/12/02

目標・学習方略・達成度: 今日課題曲全体を弾けるようになるために、課題曲を最初から最後まで繰り返し練習した。しかし、練習を開始してから20分を過ぎると7小節目の左手の跳躍がうまく演奏できないことがわかり、その箇所を重点的に練習した。システムの補助がないと到達度テストでは、3小節目の先頭の音符と鍵の対応がわからなくなったため、明日はその箇所を重点的に繰り返し練習したい。明日は課題曲前半を到達度テストでミスなく演奏できるようにしたい。

この3音はうまく弾けなかったが〇〇に気づくことでうまくできるようになった。この音をいつも間気づくことに気づいた。

ついで譜面を読むため手が止まってしまう。このため、打鍵位置を覚えるために繰り返し練習をしたが、まだうまくできない。

休符を意識するようになった。

左右のタイミングを合わせるのが難しい

同じフレーズ(音符列)であることに気づいた

これらの音が聞こえてくるように強くと焦らずにひけることがわかった。ここは右手を練習してから左手を練習しよう

図 5 物語シート

目標・学習方略・達成度: 今日楽器に慣れること、曲に慣れることを目標とした。そのため学習方略は、①片手ずつゆっくり弾いて、指を楽器に慣らす②ミスしても良いので、曲全体を通して弾く③リズムと運指はあまり気にしない、の3つだった。明日はリズムを一定に保ちながら弾くことを目標とする。そのため学習方略は、①音の強弱は意識せず、正しい音を弾くことを重視する。②できるだけ楽譜を見るの2つとした。上手く弾けなかったところは、楽譜内の①、②の部分だった。①は装飾音が自分で思っていた音と異なっていたため、それを修正するのに苦労した。②はいずれも音の跳躍があり、視線がぶれて何度もミスした。これらへの対処として、細かなミスは許容して気持ちにゆとりを持たせて練習を進めた。

被験者Aの実験初日の物語

目標・学習方略・達成度: 今日、全体の目標(完璧に演奏すること)を頭に少し浮かべながら、さわってみることを意識して練習を行った。1度には右手と左手を使うのは困難であると考え片手ずつ練習した。人差し指と、薬指など、普段一緒に動かさない動きは特に難しいと感じた。また、鍵盤どの位置が楽譜のどの位置に対応しているのか全くなかった。現在は鍵盤だけでなく楽譜を見ただけで演奏する必要があるため、どう学習しているか考え中である。とりえず、右手から演奏できるようにするために練習していく予定。

全体的に右手と左手の位置がわからない、どうやって弾くのか...

これがかなりあることはなんとなく理解できる。

右手と左手の位置は練習が必要になりそう。

出た際の指の位置がわかればいけそうなきがる。

どんなままとまりか思い出せない...

被験者Bの実験初日の物語

目標・学習方略・達成度: 上達のポイントは、身体への負担を減らすことです。そのために、①最初から両手で強く②運指を気にしない③暗譜する、という3点を意識して練習してください。①を挙げた理由は、身体への負担を減らすことで曲をスムーズに弾くためには、最初から両手で弾いて左右の手のリズムを同期させて、曲を直線的に処理する必要があると感じたからです。片手ずつ練習してしまうと、考えることが増えて身体が付いてこなくなります。③を挙げた理由は、暗譜して手元だけに集中できるようにして、身体への負担を減らすためです。暗譜のコツは、四角で囲んだグループの最初の音だけ覚えて、それ以降は音形などの曲の法則性(1)の音形や、(2)のオクターブの連続&3度上昇など)を利用して、音名を記憶できるようにすることです。

ここから始まる5音の音形と2-5度上昇を交互に繰り返す。

2度上昇 2度上昇 5度上昇

右手は跳躍がなく一度ずつ動くだけなので上昇と下降のポイントを覚えるだけでよい。

Amの繰り返し

同音

B2とB3で同じ音のオクターブ違い

同音

Cコード

G3 G4 E3 E4とっており、オクターブと2度上昇と覚えるだけでよい。

Amコード

被験者Aの物語のまとめ

目標・学習方略・達成度: (A)練習を始める前に、見本を何度も聞くこと、完成のイメージを頭にたたきつける。(B)まずは、右手の練習で全体のリズムをつかむ、右手の動かし方、始める位置、指の動きを初めに覚えていく、自分は右手が不完全な状態で左手の練習に取り掛かったが、右手を完璧にしてからのほうが良かったかもしれない。(C)右手-両手、右手の楽譜に対応させて左手の位置と動きを覚えていく。(D)大きな構造は3つ、練習していくうちにパターンが見えてくるのが恐ろしい。

①の左手はずっと同じ位置だ。②の左手の最初の音は場所をどうやって暗記するかがpoint自分で目印を見つけて暗記すべし。

③の初めの中指と、②の終わりの薬指は同じ位置を弾く!

ここは見本をよく聞いて真似るべし。

②の右手を確実に覚えてから左手の位置を探していく。

2回づつ同じ内容が続くのが案外忘れがち。

(1)-(4)は見失うことが多い、自分で目印をつけて暗記すべし。

被験者Bの物語のまとめ

図 6 記述された物語

低い表現で、手探りの状態であることが物語から判断できる。一方、「物語のまとめ」においては、高い確信度で、楽曲全体を俯瞰した表現で記述している。被験者Aのようにメタな知見の獲得までには至っていないものの、着実に学習方略の習熟は観測され、目の前の課題曲の習得や習熟に留まらない、演奏技能そのものの熟達につながる兆しが見られる。

被験者が記述した物語・実験者の観察報告・被験者への

ヒアリングから物語記述において以下の要求や問題点が明らかになった。

時々刻々と発生する気づきを書き留めたい 各実験日の最後に物語を記述してもらおうという特性上、実験全体を通しての振り返りや、その日の実験で印象に残っていることは記述されやすい一方、一回性の強い稀少なできごとや些末な気づきは、打鍵位置の理解や譜読など他に集中すべき

ことがある状況では忘却されやすく物語として外化されない。後者のような、結果的に記憶に残らない情報は不要であるという見方もあるが、このような小さい気づきや現象が、新たな着眼点を生むきっかけになったり、物語として外化された内容を補完することもある。

また、演奏中は両手を鍵盤上に置いていることが多く、初心者であればあるほど、演奏を中断し手を鍵盤上から離してしまったときに再度元の位置に手を戻すために時間がかかってしまう。物語を記述するたびに、演奏再開までに時間がかかってしまうと、練習の妨げになってしまう。したがって、物語記述と演奏をシームレスに行える機能が求められる。

**物語記述の表現に限界がある** 本実験では、課題曲の楽譜が印刷されている用紙に気づきや学習方略を記述してもらったが、楽譜と文章だけではうまく表現できない場合が多々あった。ピアノ演奏では鍵盤を利用し、提案システムはさまざまな演奏補助情報を提示しており、視覚情報だけでなく楽音のフィードバックもある。また、手指は複雑な動きを行い、視線も楽譜と鍵盤を頻繁に移動する。さらに、楽譜上には音符・休符・小節線などさまざまな情報がある。

このように複雑な動きを行い多彩な知覚情報とメディアを利用する学習環境において、予備実験のようにボールペンで紙に記述するという方式では時間と労力を要するため、学習環境の特性に適した物語記述のためのメディアやツールが求められる。

**熟達の変化点に気づきにくい** ピアノ学習において実験初期段階においては、さまざまな気づきや学習方略の試行錯誤が観察されるが、補助情報を利用しながら一通り演奏できるようになる実験中期から後期にかけては、課題曲を繰り返し練習して少しずつ演奏に慣れていく段階で、難しい箇所でも打鍵ミスが生じるものの、全般的に打鍵ミスは少なくなる。熟達には、打鍵ミス数・適切な運指・テンポの速さ・打鍵位置情報への依存度などさまざまな指標があるが、各指標の自己判定のしやすさにはばらつきがある。例えば、被験者の1人は、あるフレーズ(連続する3小節)において「鍵盤上の補助情報に頼りながらの演奏」から「補助に頼らず楽譜を見ながらの演奏」への自身の学習方略の変化に、実験者が指摘するまで気づかなかった。

学習者がこれらの熟達指標を意識したり、演奏から着目している熟達指標の達成度を判断できるようになれば、学習方略へのゆらぎや、新たな気づきを与えられる。

**編集に手間がかかる** 本実験では、個人差があるものの課題曲を習得するまでに5日間から9日間必要とした。実験最終日に記録映像や物語シートを利用しながら、実験全体にわたる物語を記述してもらったが、例えば、あるフレーズにおける熟達を比較したり、重要なシーンを見返すため

に、数日間にわたる記録映像を最初から最後まで閲覧することは時間的に難しく、記憶を頼りに手動で探索することは煩雑な作業であった。

長期にわたる練習データに対して、必要な箇所を直観的に検索できたり、検索結果をタイル状に配列するなど閲覧性を高めることで、編集の手間を軽減できる。

## 5. 設計

予備実験で得られた知見をもとにシステムを設計する。

### 5.1 システム構成

提案するシステム構成を図7に示す。鍵盤上部にプロジェクタを設置し、演奏者の前方に演奏補助情報を提示するためのスクリーンを設置する。

鍵盤部およびスクリーン上の視線を計測するために、視線計測装置を設置する。また、検出した視線はデータとして記録するだけでなく、見ている箇所をリアルタイムに鍵盤上およびスクリーン上に提示する。プロジェクタが投影している映像は記録される。

手の動きを記録するために鍵盤上部にカメラを、演奏の様子を記録するために鍵盤や学習者から離れた位置にカメラを設置する。さらに、学習者は小型カメラを装着し、学習者自身が見ている一人称視点の映像を記録する。

システムは、MIDIデータ(打鍵位置や打鍵強度)・学習者が装着している咽喉マイクの音声・PC用キーボード・マウスを入力とする。また、演奏中に鳴った楽音および音声も、物語記述のコンテンツとして利用されることがあるため記録する。

### 5.2 物語描写支援機能

4章で述べた実験システムを拡張し、以下に示す物語描写を支援する機能や、描写した物語をポートフォリオとしてまとめるオーサリング機能を提案する。

**多メディア多視点による練習の記録** 提案システムは、練習中の様子を詳細に記録するために、複数カメラ・マイク・視線計測装置をもつ。また、楽譜における現在の演奏位置を打鍵データや楽譜データなどからリアルタイムに認識することで、打鍵情報・視線情報・音声・映像・PCキーボードによる書込といった各種データに対して、同期をとるために、タイムスタンプおよび演奏位置スタンプを付与する。

これらのデータを物語描写の素材として利用することで、物語描写の表現力を高められる。

**多様な物語描写方式** 4.4節で述べたように、演奏の合間や演奏中といった状況では、発見した気づきや学習方略の修正点などを、手短かに書き留める必要がある。特に、演奏中は両手が使えないためハンズフリーで記述しなければな

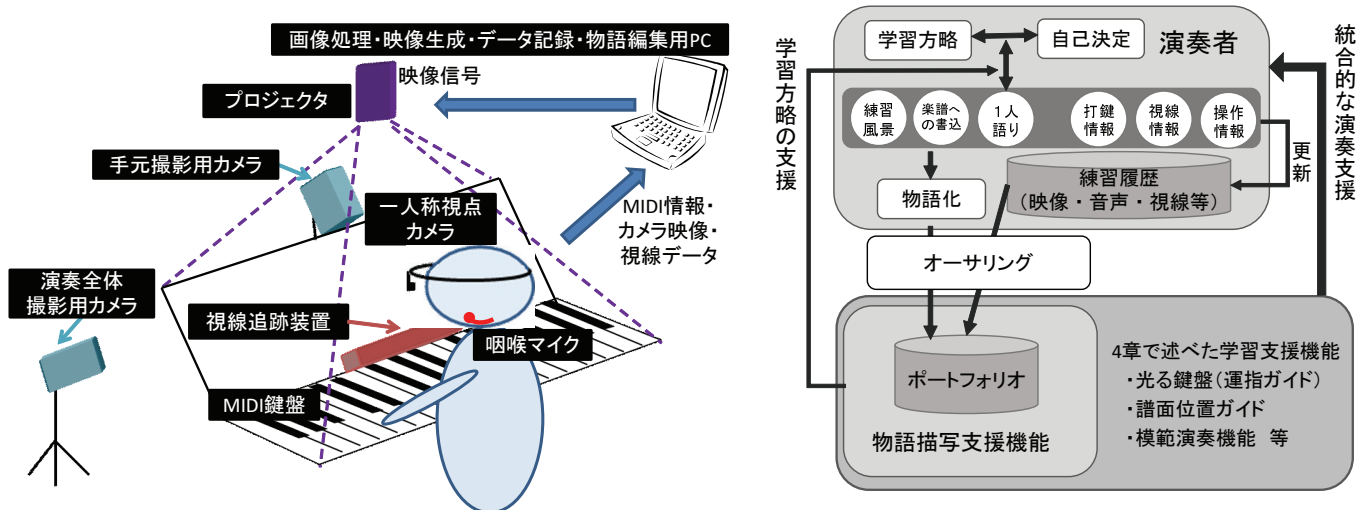


図 7 物語描写を考慮したシステム構成

らない。一方、練習終了後は物語描写に十分時間をかけられる。本研究では、要求仕様が異なる「演奏の合間」・「演奏中」・「練習終了後」の3つの状況における物語描写方式を提案する。

「演奏の合間」における物語描写においては、スクリーンに投影されている楽譜・キーボードの任意の位置に物語を挿入できる。操作方法としては、マウスやペンタブレットで物語挿入位置を指定し、PC キーボード・ペンタブレット・マウス・咽喉マイクなどを利用してテキストや図を挿入する。また、物語の挿入位置をマウスでペンタブレットで指定する以外に、複数台カメラが設置されている環境という利点や、ピアノ練習中で手指の動作が限定しているという特性を活用し、学習者が「人差し指で物を指すポーズ」を行ったときに、画像認識によりその動作を認識し、人差し指が指している点を物語挿入位置とすることもできる。描画方法は上記と同様であるが、特に咽喉マイクの音声認識によるテキスト入力と組み合わせることで、演奏の合間に、物語を素早く残せる。

「練習終了後」に関しては、記録した動画データに対して既存の動画編集ソフトと同様の方法で、テロップ形式などで物語を挿入できるようにする。

「演奏中」では、咽喉マイクの音声により物語を挿入する。あらかじめ物語を挿入する前に、音声コマンドを入力することで、独り言のような無意識的つぶやきと、物語挿入のための意識的つぶやきを区別する。

このように各状況を考慮した物語描写方式を提供することで、4.4 節に記述した要件「時々刻々と発生する気付きを書き留めたい」を満たし、問題「物語記述の表現に限界がある」を解決できる。

**熟達の変化点の自動検出** 提案システムは、演奏データ（打鍵位置や打鍵強度）や視覚データなど数値解析可能なデータを記録していると同時に、これらは「タイムスタンプ」

と「演奏位置スタンプ」が付与されている。演奏データによる打鍵ミス傾向の分析、演奏テンポの測定、視線データに基づく補助情報の依存度などを音符単位・練習日単位・ループ（最初から最後まで課題曲を演奏すること）単位で可視化することで、練習者に新たな気付きを与えられる。

**タグ付け** 挿入した各種物語に対して、「カテゴリ（学習方略・学習ポイント（難度）・学習ポイント（パターン）・学習ポイント（その他）・感想・変化点・その他）」と「確信度（高・中・低）」をメタデータとしてもタグを付けられるようにする。例えば、後日、描写した物語や学習方略の省察のために記録データを閲覧するときに、タグを利用することで、検索効率を向上させられる。また、上述した熟達変化点においても、システムは自動的に変化点タグを付与する。

このようにタグ付けを行うことで物語描写に必要なコンテンツの探索を支援でき、4.4 節で述べた「編集の手間」を軽減できる。

## 6. まとめ

本研究では、学習方略の物語化に着目したピアノ学習支援システムの構築を行った。予備実験で観測された被験者の行動の観察記録やインタビューから、映像・音声・視線結果などさまざまなデータを利用した物語生成や、物語生成を支援するための入力方式など直観的かつ表現豊かに物語を描写しポートフォリオとしてまとめる機能について検討した。

今後の研究課題として、システムを実装し、ピアノ初心者を対象とした提案システムを利用した評価実験を行い、物語描写の直観性、学習方略の省察など物語描写の効果について議論する。

## 謝辞

本研究の一部は、一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917-927 (2011年).
- [2] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1383-1392 (2013年).
- [3] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol. 30, No. 4, pp. 51-60 (2013年).
- [4] 竹川佳成, 椿本弥生, 田柳恵美子, 平田圭二: 鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスに関する調査, インタラクティブシステムとソフトウェア XXI: 日本ソフトウェア科学会 WISS2013, pp. 55-60 (2013年).
- [5] J. Dewey: Experience And Education, Free Press (1997).
- [6] D. A. Schon: The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action, Basic Books (1983).
- [7] 諏訪正樹, 寛 康明, 矢島佳澄, 仰木裕嗣: ライフスキルの学習支援ツールの開発-身体と意識の共創様態の探究方法論-, 信学誌特集号「人間を理解するためのICT 技術-人間を対象としたセンシング・情報処理からその応用まで-」, Vol. 24, No. 5, pp. 377-384 (2012年).
- [8] 中島秀之: 客観的研究と主観的物語, 人工知能学会誌, Vol. 28, No. 5, pp. 738-744 (2013年).
- [9] CASIO: 光ナビゲーションキーボード:  
[http://casio.jp/emi/key\\_lighting/](http://casio.jp/emi/key_lighting/).
- [10] ヤマハ株式会社: 光る鍵盤 EZ-J210:  
<http://www.yamaha.co.jp/product/piano-keyboard/ez-j210/index.html>.
- [11] 大島千佳, 井ノ上直己: 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会 2007-MUS-71), Vol. 2007, No. 81, pp. 185-190 (2007年).
- [12] M. Mukai, N. Emura, M. Miura, and M. Yanagida: Generation of Suitable Phrases for Basic Training to Overcome Weak Points in Playing the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-018 (2007).
- [13] T. Kitamura and M. Miura: Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 258-262 (2006).
- [14] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and Masuzo Yanagida: An Algorithm to Evaluate the Appropriateness for Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-005 (2007).
- [15] S. Akinaga, M. Miura, N. Emura, and Masuzo Yanagida: Toward Realizing Automatic Evaluation of Playing Scales on the Piano, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 1843-1847 (2006).
- [16] 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴子, 柳田益造: 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援, 日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会, pp. 933-934 (2008年).
- [17] R. B. Dannenberg, M. Sanchez, A. Joseph, P. Capell, R. Joseph, and R. Saul: A Computer-Based Multi-Media Tutor for Beginning Piano Students, Journal of New Music Research, 19 (2-3), pp. 155-173, 1990.
- [18] S. Smoliar, J. Waterworth, and P. Kellock: pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy, Proceedings of the Third ACM International Conference on Multimedia, pp. 457-465 (1995).
- [19] 大島千佳, 西本一志, 鈴木雅実: 創造的演奏教育支援に向けた生徒の音楽的理解と技術習得の分析, 日本創造学会論文誌, Vol. 8, pp. 21-35 (2004年).
- [20] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀: The Phantom of the Piano: 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol. 2006, No. 4, pp. 69-70 (2006年).
- [21] コナミ: キーボードマニア  
<http://www.konami.jp/am/keyboard/>.
- [22] 河合楽器製作所: ピアノマスター:  
<http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>.