

成人ピアノ初級者の演奏熟達における チャンク形成過程の分析

田村 速人^{1,a)} 竹川 佳成^{1,b)} 平田 圭二^{1,c)} 田柳 恵美子^{1,d)} 椿本 弥生^{1,e)}

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、熟達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、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。筆者らのこれまでの評価実験では、ピアノ初心者には未熟な段階において楽譜上の音符を個別に認識していたが、熟達するにつれ一連の複数の音符をまとまり（チャンク）として認識し演奏している様子が観測された。このチャンク形成過程を明らかにすれば、熟達度の推定や学習方略の提案など効率的な学習支援システムの構築に応用できよう。そこで、本研究ではピアノ演奏熟達におけるチャンク形成過程に着目した実験と分析を行った。チャンク形成過程を調査するため、成人ピアノ初級者を被験者として課題曲を1日30分間練習し、練習後に楽譜上に主観的チャンク（まとまりを感じる音符列）を記述してもらった。チャンク記述結果より、熟達するにつれチャンクの変容に一定の傾向があることが明らかになった。

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、テンポなど様々な技術が求められ、それらの修得には長期間の基礎的な練習を必要とする。そのため敷居の高さに習得を断念したり、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難関であり、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く長続きさせる秘訣であるといえる。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 [1], [2], [3], [4]。

これまでの先行研究において、ピアノ未経験者が練習を始めたばかりの演奏が未熟な段階においては個々の音符とそれに対応する鍵をその都度確認しながら演奏し楽譜上の

音符を個別に認識していたが、練習を続けて熟達するにつれ一連の複数の音符をまとまりとして認識し演奏している様子が観測された。演奏経験者は譜面上の和音をまとめて読み取り記憶するといったチャンク形成能力を活用していること [5] や、単純なボタン型キーボードの打鍵実験から、熟達が進むにつれてチャンクが形成され、認識速度や認識精度が高まって効率的にミスなく運指できるようになることなどが知られている [6]。なお、本研究におけるチャンクは、認知心理学や人工知能研究において一般的に使われるワーキングメモリ（短期記憶に関する容量限界）だけでなく、Ericsson らが主張する長期ワーキングメモリ [7] の概念を含む。したがって「チャンクの変容と熟達度はどのような関係があるのか」「チャンクの変化の原因は何なのか」「チャンクの境目は何を意味するのか」といったピアノ演奏熟達におけるチャンク形成過程を解明することで、被験者のチャンク認識結果をもとに熟達度を測定したり、学習者の学習方略の推定、チャンク単位による直観的なガイドなど、効率的な学習支援システムの構築に応用できる。このようにチャンク概念に注目することで、これまでのピアノ演奏支援システムとは違い、補助無しでは学習者がピアノを演奏できない状態から脱却し、補助がなくても演奏ができるようになるまでを支援する「補助からの離脱」と、学習者が練習の挫折を回避できることを目標としたピアノ学習支援システムの構築を目指す。

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

a) b1010182@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) hirata@fun.ac.jp

d) tayanagi@fun.ac.jp

e) mtsubaki@fun.ac.jp

そのため本研究では、ピアノ演奏熟達におけるチャンク形成過程に着目した実験と分析を行う。チャンク形成過程を調査するため成人ピアノ初級者を被験者とし、課題曲を1日30分間練習し、練習後に到達度テスト(課題曲を最初から最後まで通して弾いてもらうこと)を行う。全く演奏できない状態から誤打鍵なく演奏できる時まで観察を継続し、各実験日の練習後に楽譜上に主観的チャンク(まとまりを感じる音符列)を記述してもらうとともに、その根拠について言語報告を得る。また、被験者の視線情報や打鍵情報を常時記録し、量的データと質的データをもとにチャンクと熟達度の関連の調査・分析を行う。

以下に本論文の構成を示す。2章で関連研究としてピアノ演奏熟達化支援に関する先行研究や、ピアノ演奏中における視線の記録とチャンクに関する先行研究について述べる。3章で実験に用いたピアノ学習支援システムについて説明し、4章で評価実験の手順および結果を述べ、5章で実験の考察について述べる。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[9], [10], [11], [12], [13]や、演奏を自動的に評価し誤りやアドバイス文を譜面上に提示するシステム[14]がある。これらは打鍵ミス、打鍵強度などを主に打鍵情報から評価している。Piano Tutor[15]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、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[16], [17]として、テンポや強弱、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], [18], [19]がある。これらはいずれも打鍵情報から楽曲がより正しく演奏できているかを評価し学習目的に必要な情報を提示している。本研究では主観的チャンクに注目して被験者の楽曲への認知度の変化を観測している点や、これに視線データと打鍵データを並用して演奏の熟達度を評価している点で既存研究とは根本的に異なる。

竹川ら[4]は、本研究と同様に、学習支援システムの利用を想定し、打鍵情報や視線情報をもとに、熟達過程におけるシステム利用中の視線の遷移を調査しているが、チャンクには注目していない。また、1章で述べたようにWeaver[5]はピアノ熟達者の譜読みにおけるチャンク能力について調査しているが、本研究では成人ピアノ初級者を対象としている点、譜読みだけではなく演奏に注目し、チャンクの変容に注目している点で異なる。Sakaiら[6]はボタン型キーボードを利用し、視覚的な提示情報を見ながら打鍵操作を

行う場合における、チャンクの存在を明らかにした。ピアノ演奏では、視覚だけでなく、聴覚やフレーズといった音楽的知識もチャンク形成に寄与するため、より高次のレベルでの解析が求められる。

3. 実験環境

3.1 ピアノ学習支援システムの構成

実験で使用したピアノ学習支援システムの外観およびシステム構成を図1および図2にそれぞれ示す。このシステムでは鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に演奏補助情報を提示する。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、プロジェクタと同様に演奏補助情報を提示している。システムは、MIDI鍵盤によるMIDIデータ(打鍵位置や打鍵強度)および視線追跡装置による視線データ(ディスプレイ上における注視点の座標および記録時刻)を入力とする。演奏の様子を記録するためにビデオカメラを設置した。

映像生成および視線・MIDIデータ記録用のPCとしてTOSHIBA社のRX-2L/E7LEを使用した。また、MIDI鍵盤としてCASIO社のPrivia PX-110を使用した。視線追跡装置としてTobii社のTX-300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。

3.2 提示コンテンツ

ディスプレイと鍵盤上に表示されたコンテンツについて図3および図4を用いて述べる。各図中の番号は以下の箇条書き番号に対応している。

- (1) 既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する。
- (2) 現在の演奏位置を提示する。これにより、学習者は現在どこを演奏しているかを直感的に理解できる。正しい鍵を弾いた時のみ提示される演奏位置が進む。
- (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。ディスプレイには打鍵位置となる鍵の枠のみ表示されるが、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、直感性に欠ける。(2)の演奏位置提示とこの打鍵位置提示は、アイコンを投影した演奏に使用しない鍵の打鍵により切り替え

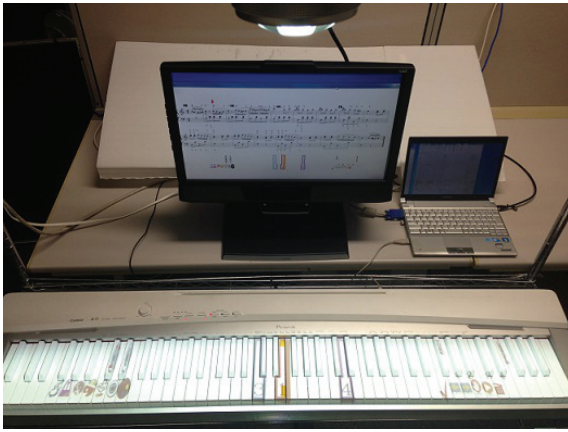


図 1 ピアノ学習支援システムの外観

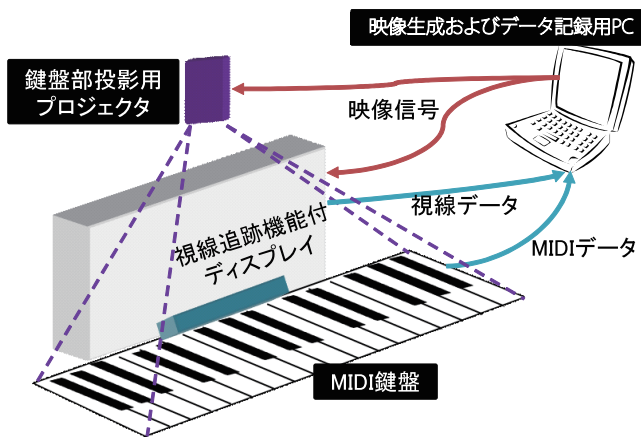


図 2 システム構成



図 3 ディスプレイに提示されたコンテンツ

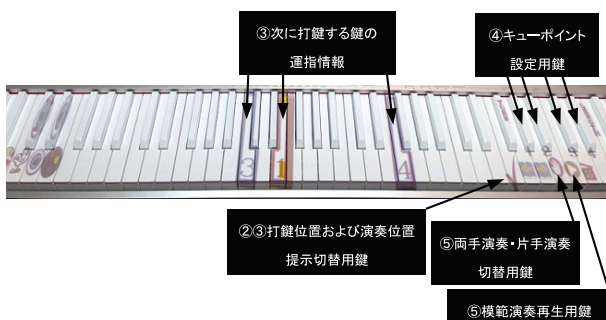


図 4 鍵盤に提示されたコンテンツ

が可能であり、演奏者は自分の演奏熟達度に合わせて情報提示の On/Off を切り替えることができる。

- (4) 楽譜上に表示される番号付きの黒塗りの四角形は、現在の演奏位置を変更するキューポイントである。演奏中にキューポイントの提示位置まで演奏位置を変更することができ、これは学習者が任意の箇所を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。打鍵位置提示および演奏位置提示と同じく、キューポイントも鍵盤上に設定した鍵を打鍵することでユーザが選択的に利用できる。
- (5) 学習者が演奏をする際、右手のみあるいは左手のみでの演奏が可能となるよう、当システムは片手演奏に対応した打鍵位置提示も可能となっており、片手のみ打鍵位置を提示している時は片手のみの演奏で演奏位置や打鍵位置の提示が進む。また、模範演奏を再生する機能を持ち、これらの機能も鍵盤上に設定した鍵の打鍵により利用できる。

4. 評価実験

評価実験では演奏初期段階（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する段階）におけるピアノ学習支援システムを用いた際の楽曲の習熟度とチャンク形成の関係を、被験者が楽譜上に記述したチャンクと内省報告、打鍵情報や視線情報をもとに分析する。

4.1 実験の手順

被験者 実験に参加した被験者は6名で、いずれも20代の成人である。うち、5年以上ピアノを習っていたピアノ経験者が3名（被験者 A, B, C）、残り3名（被験者 D, E, F）がピアノ初心者である。本実験ではチャンク形成過程を調査することが目的であるが、熟達時におけるチャンク形成結果の一貫性を調査するため、経験者も採用した。なお、被験者にはあらかじめピアノ学習支援システムの各機能の使い方を説明し、初心者には楽譜の読み方（楽譜上に記される音符や記号の意味）や演奏法も説明した。

課題曲 課題曲として、W. A. Mozart のピアノソナタ第11番第3楽章トルコ行進曲の冒頭部分（最初から17小節目まで）を練習してもらった。なお、課題曲については被験者全員が聴いたことはあるが演奏したことはない。

実験方法 トルコ行進曲を毎日30分かけて練習した後、到達度テストとしてピアノ学習支援システムの利用なしで最初から最後まで一通り演奏するという試行を毎回行った。到達度テストにおける誤打鍵数が0回となるまで実験を続けてもらったため、実験期間は表1に示すように被験者ごとに異なる。30分の練習については前述のピアノ学習支援システムを用い、到達度テストは学習支援システムを使わ

表 1 各被験者の実験実施日数

被験者名	ピアノ経験の有無（継続年数）	実験実施日数
被験者 A	有り（約 6 年間）	2 日
被験者 B	有り（約 10 年間）	2 日
被験者 C	有り（約 10 年間）	3 日
被験者 D	無し	5 日
被験者 E	無し	5 日
被験者 F	無し	6 日

ずに課題曲の譜面のみ提示した。実験中は、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、練習中で計測している打鍵データをもとに打鍵ミス数を計測した。また、誤打鍵（間違えて打鍵した場合）、未打鍵（打鍵しない場合）、余打鍵（余分に打鍵した場合）を打鍵ミスとみなした。さらにチャンク形成過程を記録するために到達度テスト終了後、被験者が認識しているチャンクを楽譜へ記入してもらうとともに、その根拠について報告を得た。

被験者への指示 30 分間の練習では「自然なテンポで楽譜を見ながらミスなく弾けることを意識して、機能を自由に使いながら 30 分間練習してください。このあと到達度テストを行います。到達度テストでは打鍵位置や演奏位置の情報などシステムからの補助情報がない状態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「今から到達度テストを行います。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構いませんし、これ以上演奏できなければ言うてください。ただしミスしてしまったり、止まってしまった場合でも最初に戻って演奏をやり直すことはせず、止まってしまった箇所から弾き直してください」と指示した。チャンク記入の際は「この楽譜に演奏中に自分が意識したチャンク、すなわち音やフレーズのまとまりであると考えた部分を丸で囲むように記入してください。あまり意識していなかった部分やわからない部分は記入せず、まとまりであると確信のある箇所のみ記入してください。よって、いずれのチャンクにも入らない音符や休符があっても良いです。また、1 つの音符のみのチャンク、大きなチャンクの中に小さなチャンクがある場合や片手の部分のみのチャンクも良しとします。両手にまたがるチャンクの場合、右手、左手それぞれの始端、終端が揃わなくても良いです」と指示した。

4.2 実験結果

4.2.1 練習中の様子

各被験者の到達度テストにおける打鍵ミス数と演奏時間の推移を図 5 に示す。経験者の場合、1 日目の練習を終え

た段階でほぼ課題曲を楽譜どおりに演奏できるレベルまで到達した。また、最終日の練習では楽譜どおりに演奏するだけではなく、楽譜に指示がなくとも音の強弱や演奏のテンポに変化を付けるといった高度な演奏をする様子がみられた。初心者の場合、実験 2 日目頃までは片手のみの練習を繰り返す様子がみられた。片手での演奏上達後、両手演奏の練習を試みたがスムーズに演奏できない状況が 4 日目頃まで続いた。実験最終日における両手演奏では、練習中における打鍵ミス数は減少した。また、到達度テストを想定して鍵盤上への打鍵位置提示機能を使わずに練習していた。難しい箇所にはさしかかると演奏を中断し正しい鍵盤を探す様子が観測された。したがって、楽曲全体を一定のテンポで演奏するのは難しい状況であった。

練習方法については被験者ごとに様々であった。ピアノ学習支援システムに関しては、機能に頼りきって練習する被験者や、機能を全く利用せず練習をする被験者、打鍵位置などの補助情報を表示しているもののそれに従わず独自に練習を進める被験者もいた。初心者はキューポイント機能を利用して難しい箇所などを反復練習しており、楽曲の習熟度が上がるにつれて課題曲全体を繰り返し練習するようになった。これに対し経験者は、キューポイント機能はあまり利用せず、実験初期段階から課題曲全体を通して練習する様子が見られた。その他にもメロディを口ずさみながら練習したり、模範演奏の再生に合わせて練習するといった独自の方法で練習をしたりする被験者もいた。なお、これらの被験者の行動は実験者の観察比較に基づくもので、被験者の心理状態など客観的に判断できない事象に関しては、実験終了後に被験者に口頭で確認している。

4.2.2 チャンク形成過程

図 6～図 11 に各被験者のチャンク記録結果を示す。図中ではそれぞれ上段が 1 日目の記録、下段が最終日の記録である。ただし、被験者 D は 2 日目まで前半のみあるいは片手のみの練習しかできなかったため上段が 3 日目の記録である。結果の考察を進める上で、被験者の内省報告とチャンクの性質よりチャンクを形成した根拠となる要素によって高難度チャンク、パターンチャンク、フレーズチャンクの 3 種類に分類した。しかし、パターンチャンクとフレーズチャンクは本実験で得られたデータだけでは判別しづらいため、パターンチャンクとフレーズチャンクは区別しない。被験者ごとの分類したチャンクの数を図 12 に示す。なお、図 6～図 11 中の緑色枠で囲まれたチャンクは高難度チャンク、青色枠で囲まれたチャンクはパターンチャンクあるいはフレーズチャンクである。

高難度チャンク 16 分音符が連なるなど 1 拍中に音価（音の長さ）の短い音符が密集している箇所や複雑な和音がある箇所、次打鍵位置までの距離が離れている箇所といった、

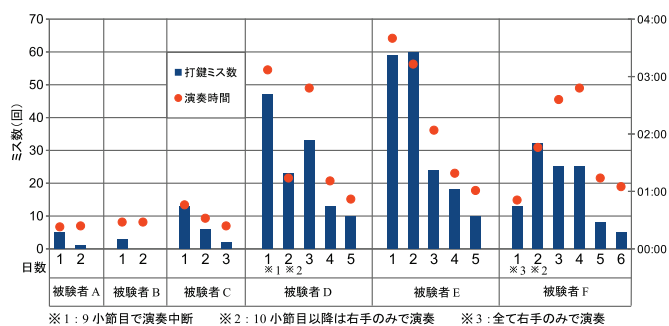


図 5 到達度テストにおける打鍵ミス数および演奏時間



図 9 被験者 D のチャンク形成過程



図 6 被験者 A のチャンク形成過程



図 10 被験者 E のチャンク形成過程



図 7 被験者 B のチャンク形成過程



図 11 被験者 F のチャンク形成過程

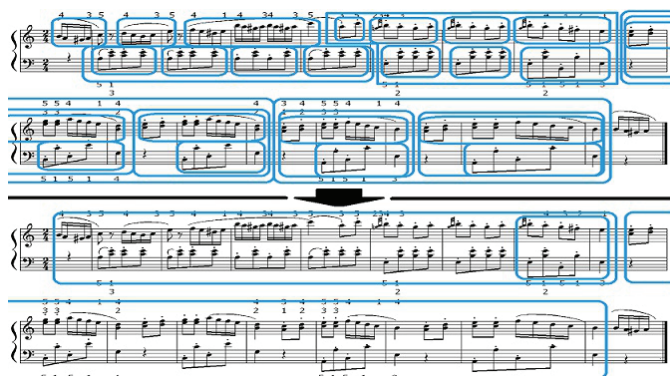


図 8 被験者 C のチャンク形成過程

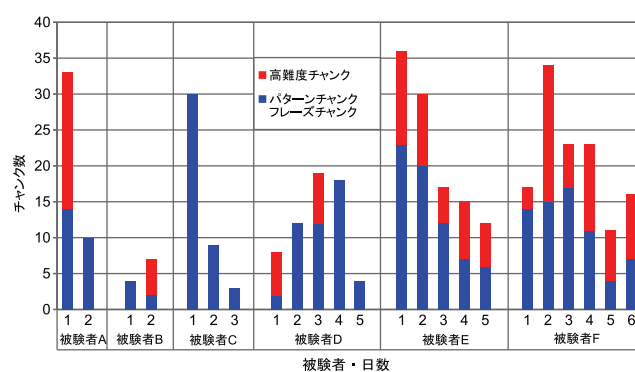


図 12 チャンク形成数の推移

演奏中において運指が難しい箇所で形成される。このように高難度チャンクは主に手指の運動（運指）に基づくチャンクである。また、必ずしも高難度というわけではないが、被験者が演奏中に特に意識しなければ演奏できないという理由により形成される場合もある。チャンクの大きさは1小節以下である。

パターンチャンク 同じリズムの音符が続いたり、同じ鍵盤の打鍵が続くといったある一定のパターンを被験者が見出すことで形成されるチャンクであり主に運動に基づくものであるが、演奏した際の聴覚的認知によってパターンを見出す被験者もいた。パターンチャンクは1小節以上の大きさに形成される。

フレーズチャンク 主に演奏した際の聴覚的な認知、あるいは楽譜を見た際の視覚的な認知に基づき認識する楽曲のフレーズのまとまりが要因となって形成されるチャンクである。チャンクの記録時の内省報告において被験者から「演奏した際に聴いたフレーズのまとまり感によってチャンクを認識した」という報告が得られたものをフレーズチャンクと定義した。フレーズチャンクは4小節あるいは8小節にわたる大きなチャンクとなる。

5. 考察

5.1 チャンクの種類別考察

高難度チャンク 被験者のうち初心者が高難度チャンクについて「ここは跳躍があり運指が難しいため、特に注目しており1つのチャンクとした」と述べている。初心者は「特に気をつけて弾かなければうまく演奏できない」といった理由から、ある程度習熟度が上がった段階である実験最終日でもこの種のチャンクは残っている場合が多い。特に次打鍵位置までの距離が離れている箇所での高難度チャンクは最終日まで残りやすい。これに対し経験者は実験最終日において高難度チャンクをほぼ形成しなくなるといった点で両者の特徴が現れた。

パターンチャンク 経験者、初心者ともに実験初期段階から形成しやすいが、経験者が実験初期段階から4小節以上の大きさを持ち、両手をまとめたチャンクを形成している一方、初心者は1小節程度かつ片手ずつといった比較的小さなチャンクをより多く形成しやすい傾向がみられた。この大きさの違いに関しては、1つのパターンで1チャンクとしている場合と、同一パターンの繰り返しをまとめている、すなわちパターンの集合体となっている場合によって異なるものである。

パターン化する要素に関して経験者と初心者と大きな差がみられた。経験者は演奏時の聴覚的認知や音楽構造などの知識を基にパターンを見出していることに対し、初心者

は「同じ鍵盤の打鍵が続く」「同じリズムパターンが続く」といった手指の運動に関するパターンを多く見出していた。このことから、初心者のピアノ熟達においては正確に演奏するためのパターンをいかに的確に見出すことができるかが重要なポイントであると考えられる。本研究での定義において形成したチャンクの正解や不正解は無いとしているが、演奏上あるいは効率よく熟達度を上げるためにある程度有効なチャンク形成も考えられる。

フレーズチャンク 初心者については実験初期段階でフレーズチャンクを形成する例はなく、日程の中盤以降である実験3日目や4日目でようやくパターンチャンクを形成する傾向であった。これに対し経験者は実験初日でもフレーズチャンクを形成している。

経験者に関しては演奏時の聴覚あるいは視覚的認知だけでなく、音楽構造や楽曲の形式（楽式）などの音楽的知識も加味した上で形成している。フレーズチャンクについて被験者からは「運指で特に気をつけている」といった理由ではなく、演奏しているときにイメージするフレーズの切れ目をもとに考えた」という報告が得られた。また、経験者は「チャンクごとに強弱やテンポの変化をつける」と述べている。まず楽譜通りに打鍵ミスなく演奏するというレベルから、アーティキュレーションにも気をつけるような音楽的に上達した演奏を目指す上ではフレーズチャンクに基づく楽曲の理解が必要になると考えられる。

5.2 楽曲習得度の向上とチャンク形成過程

多くの被験者に共通してみられた点として、本実験のように初見の楽曲を練習する際には高難度チャンクや小さなパターンチャンクが多数形成されるが、楽曲の習得が進むにつれて高難度チャンクが減り、パターンチャンクも1小節程度の小さなチャンクに代わって4小節程度の大きなチャンクが形成されるようになることである。高難度チャンクは主に手指の運動に基づくため、練習中においては特に重点的に練習すべき運指の難しい箇所（次の打鍵位置が離れている箇所、指くぐりや指またぎといった特別な技能が必要な箇所）で形成される場合が多い。よって初心者と経験者と比較した場合、初心者の方がより細かく、より多く高難度チャンクを形成していた。全日程での高難度チャンク数の平均値で比較すると、経験者が3.4個、未経験者が6.9個である。また、初心者は到達度テストでの打鍵ミス数が減少しても高難度チャンクが残っているが、経験者3名中2名において高難度チャンクはなかった。

5.3 実験最終日におけるフレーズチャンクの類似性

今回の実験結果で特徴的だった点は、図13に示すように各被験者の最終日におけるチャンク形成結果がよく似ていたことである。実験初期から中盤にかけてのチャンクの



図 13 全被験者の最終日の演奏におけるチャンク（被験者ごとに色別）

形成結果が被験者間でそれぞれ異なり、他の被験者と同一のチャンクを形成していたとしてもそれが同じ時期に出ることも限らない。しかし、最終的には似た特徴を持つチャンクとなる傾向がみられた。特に経験者の場合は高難度やパターンの小さなチャンクにおいて細かな違いがあるものの、フレーズチャンクの中でも最も大きなチャンク（最大チャンク）はすべて一致した。経験者同士で一致した最大チャンクは、課題曲の前半（1小節目～9小節目1拍目）で1チャンク、後半（9小節目2拍目～17小節目）で1チャンクという形成である。これは、課題曲のトルコ行進曲がロンド形式（図 14）の楽式をもつため現れた特徴であると考えられる。本実験で課題曲に指定したトルコ行進曲の冒頭部分をロンド形式に当てはめると、課題曲前半は図 14 における主部 A、後半が主部 B に対応する。経験者間で一致した最大チャンクは、前半部分がロンド形式における A の部分、後半部分が同じく B の部分と同一である。したがって被験者が認識した最終チャンク構造は、楽曲の楽式という音楽構造の知識に強く影響されているといえる。

5.4 到達度テストにおける視線データとチャンク形成との関係

到達度テストにおける各被験者の視線データ取得率を図 15 に示す。このデータは、被験者が演奏中に楽譜を注視していた時間の割合を示している。ピアノ経験者は楽曲の習熟度が上がるとともに楽譜を注視する割合が増加するが、ピアノ初心者は逆に習熟度が上がるとともに楽譜を注視する割合が下がる傾向が見られた。経験者は楽譜の音符から打鍵位置を想像しやすいため楽譜を利用しながら練習している。一方、初心者は譜読みの技術が高くないため、先述のようにパターンを発見した後は指と打鍵位置を記憶するために鍵盤を注視する。このように初心者が到達度テストにおいて打鍵ミス数が少なくなっても小チャンクが残るのは、ピアノ演奏において経験者のように楽譜を有効に活用することができていないためであると考えられる。また、到達度テストにおける視線データと運動に基づくチャンクに関して以下の 2 つの傾向が観測された。

現在の打鍵位置と次の打鍵位置に距離がある 2 つの音符
現在の打鍵位置から次の打鍵位置までおよそ 1 オクターブ

主部		中間部		主部		
A	B	A	C, D, ...	A	B	A

図 14 ロンド形式

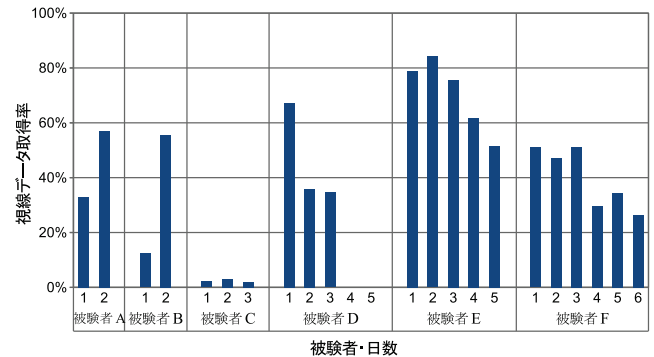


図 15 到達度テスト演奏中の視線データ取得率

ほど距離がある場合（課題曲においては 8 小節目以降の左手部分）。特に初心者は実際に打鍵位置を視覚的に確認する必要があるため、鍵盤の該当箇所を注視している。経験者においてもそれまで楽譜をほぼ注視して演奏を続けていたが、このような箇所では鍵盤の方へ視線を向けていた。

音符が密集するフレーズ 16 分音符のような音価の短い音符が 1 つのフレーズ内に密集している場合（課題曲においては 4 小節目の右手部分）、初心者経験者問わず楽譜を注視する傾向にあった。これは、運指が難しいが鍵盤の位置を視覚的に確認する必要はないため、鍵盤を注視することより楽譜を注視することを優先しているためと考えられる。しかし初心者において習熟度が上がった際でもこのような箇所では楽譜を注視しており、楽譜上の 1 つ 1 つの音符をはっきりと認知するため楽譜を確認する必要があるとも考えられる。

以上のように同じ高難度チャンクや運動に基づくパターンチャンクであっても、被験者の視線の振る舞いはそれぞれ異なる。また、上記の 2 つのパターン以外に、不規則的な旋律が含まれる場合や臨時記号が多用されている場合においては楽譜から各音符の情報の読み取りに集中する必要があり打鍵位置も複雑であるため、高難度チャンクや運動に基づくパターンチャンクが形成されやすい一方、聴覚、視覚に基づくパターンチャンクや音楽構造に基づくフレーズチャンクを形成しにくくなり、さらに楽譜および鍵盤の双方を注視しなければならないと考えられる。これに関しては、本実験の課題曲で該当箇所がなく検証できないため、このようなチャンクと視線の関連に関して今後詳細に調べていく必要がある。

6. まとめ

本研究では、ピアノ演奏者の日々のピアノ学習の継続的な記録や観察を通して、ピアノ演奏習熟に伴うチャンク形成過程を調査および分析した。実験結果より、聴覚あるいは視覚的な認知や運動、音楽構造が根拠となってチャンクが形成されることが明らかになった。記録したチャンクは大きく、運指の難しい箇所でも形成しやすい高難度チャンク、運動や聴覚的な認知によりパターンを見出すことで形成されるパターンチャンク、演奏時の聴覚や音楽構造によって認知するフレーズチャンクの3種類に分類される。ピアノ演奏の習熟過程においてはこれらが出現する数や種類が演奏者の楽曲習熟度によって大きく変化する。一般に、練習初期段階では高難度やパターンによる小さなチャンクが多数形成されやすいが、習熟度が上がるにつれ大きなパターンやフレーズのチャンクが少数形成されることで楽曲全体を理解できるようになる。また、最終的に形成されるチャンクは類似傾向にあることも明らかになった。以上のようなデータの分析を通じて、チャンク形成の変化は目の前の楽曲の習得・習熟度の指標のみならず、よりメタな認知や学習を伴う演奏技能の熟達度の指標として有効であることが示唆された。

今後の研究課題としては、他の課題曲におけるチャンク形成過程の調査、連桁の音符（複数の音符が繋がった状態で記載されている音符）の楽譜の利用など実験環境を変えたチャンク形成過程の調査、チャンク形成の知見を活用したピアノ学習支援システムの提案などがある。

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] Weaver, H. E.: Studies of Ocular Behavior in Music Reading, Psychological Monographs, 55(1), pp. 1-29, 1943.

- [6] Sakai, K., Kitaguchi, K., Hikosaka, O.: Chunking During Human Visuomotor Sequence Learning, Experimental brain research, 152, pp. 229-242, 2003.
- [7] Ericsson, K. A., & Kintsch, W.: Long-term working memory, Psychological Review, No. 102, Vol. 2, pp. 211-245 (1995).
- [8] 大澤智恵: 鍵盤楽器演奏技能の習得 -visuomotor 系列学習の側面から-, 新潟大学, 現代社会文化研究 38, pp.101-113 (2007 年).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] 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メッセージ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).
- [15] 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).
- [16] 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).
- [17] 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).
- [18] 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).
- [19] コナミ: キーボードマニア
<http://www.konami.jp/am/keyboard/>.