

グラウンデッド・セオリー・アプローチ的方法による ピアノ演奏習得におけるチャンク形成要因の予備分析

石垣 愛美^{1,a)} 竹川 佳成^{2,b)} 平田 圭二^{2,c)} 富永 敦子^{2,d)}

概要：ピアノ演奏では、譜読み、正確な打鍵、リズム感覚など、さまざまな技術が求められる。そのため、学習コスト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。これらの問題を解決するために、竹川らはピアノ初心者を対象とした、鍵盤上に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た。田村らは竹川らのピアノ学習支援システムを用いて実験を行った。その結果、このピアノ学習支援システムを利用した学習者は、課題曲をうまく弾けるようになるにつれて、一連の複数の音符をまとまりとして認識するチャンクを形成することを明らかにした。しかし、客観的ではなく主観でチャンクを形成している。そこで本研究では、GTA(Grounded Theory Approach) に準じた統計的手法による、チャンクの変容およびその要因を明らかにすることを目的とする。我々は被験者間で、チャンク形成の変化に傾向があることを発見した。

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が必要とされる。そのため、敷居の高さに練習を諦めたり、習熟効率の低さからピアノ演奏の技術習得に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、竹川ら [1] [2] [3] [4] は、鍵盤上に設置したプロジェクトを用いて、鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵位置などの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た。

また、このピアノ学習支援システムを利用した学習者は、課題曲をうまく弾けるようになるにつれて一連の複数の音符をまとまりとして認識するチャンク^{*1}を形成することが示唆された [7]。チャンク形成過程を調査するため、成人ピアノ初心者を被験者とし、課題曲を1日30分間練習し、練習後に、課題曲を最初から最後まで通して弾いてもらう

到達度テストを実施した。全く演奏できない状態から打鍵ミスがなく、演奏できる時まで観察を継続し、各実験日の練習後に、楽譜上にまとまりを感じる音符列である主観的チャンク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た。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・分析を行った。その結果、演奏が技術的に難しい箇所でも形成される難度チャンク、フレーズや類似パターンで形成される音楽的チャンクの2種類に分類されることが示唆された。

しかし、言語報告にもとづくチャンクの種類は実験者の主観に依存していた。従って、例えば、音楽的チャンクにおいて、あるチャンクがフレーズあるいはパターンに所属するか明確に区別できなかった。また、形成理由について言語報告を得たチャンクは一部で大局的な傾向をつかむだけにとどまっていた。

そこで本研究では、主観的かつ質的なデータに対して、客観的かつ量的に分析可能な GTA (Grounded Theory Approach) [8] に準じてチャンク形成要因を明らかにすることが目的である。

本研究では、先行研究の実験方法を基本的に踏襲するが、チャンクの形成要因を正確に把握するために、全ての形成チャンクにおける根拠について言語情報を得る。また、分析を深めるために課題曲を演奏せずに視聴する比較手法を導入する。

¹ 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
システム情報科学専攻 知能情報科学領域

² 公立はこだて未来大学

a) g2117005@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) hirata@fun.ac.jp

d) tominaga@fun.ac.jp

*1 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、短期記憶に関する容量限界であるワーキングメモリ [5] だけでなく、Ericsson らが主張する長期ワーキングメモリ [6] の概念を含む。

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] 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 [12] 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 [13] 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 [14] [15] 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。上記の研究は、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で、既存研究とは根本的に異なる。認知度の変化を観測している点では、脳波から認知的負荷を測定し、学習者の習熟度に応じて課題曲の難易度を変更するシステム [16] がある。本研究とは、チャンクではなく、脳波から直接測定する点で異なる。

また、チャンクに関する研究も行われている。Weaver [17] 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た。調査の結果から、ピアノ熟達者は、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を明らかにした。しかし、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 et al. [18] は、視覚的な提示情報を見ながら、ボタン型キーボードを利用した打鍵実験を実施した。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を明らかにした。しかし、ピアノ演奏では視覚だけでなく、聴覚、ベース音やメロディーなどの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

1章で述べたように、本研究では打鍵行為がある被験者と打鍵行為がない被験者が形成するチャンクを比較する。各被験者群が実験で使用する実験システムをそれぞれ説明する。

3.1 打鍵支援システム

3.1.1 システム構成

実験で使用した打鍵支援システム [7] のシステム構成を

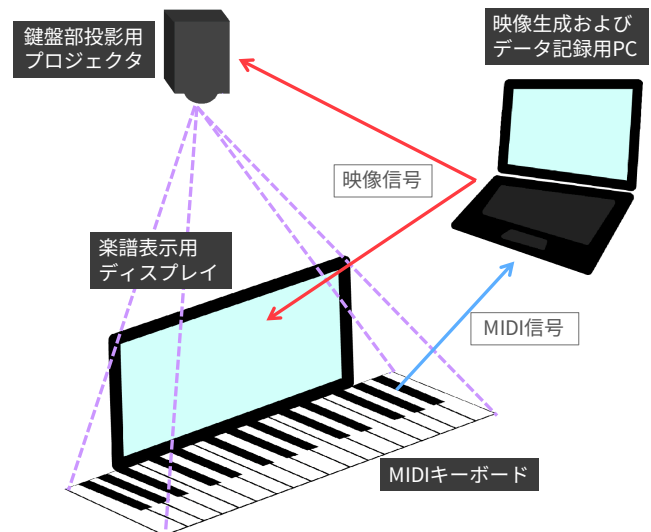


図1 システム構成

図1に示す。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、次に打鍵する鍵盤の位置や運指情報を提示する。また、演奏者の前方にディスプレイを配置し、楽譜や現在の演奏位置を提示する。打鍵位置や打鍵強度はMIDIデータとして入力される。

被験者の実験中の様子を記録するためのビデオカメラを設置した。映像生成・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、プロジェクタとしてBenQ社のMP776 STを使用した。MIDI鍵盤としてCASIO社のPrivia PX-110を使用した。プロジェクタの投影領域は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装した。PC上のソフトウェアの開発は、Windows7上でMicrosoft社のVisual C++2012を用いて実施した。

3.1.2 提示コンテンツ

図2、図3に示すように、本システムはディスプレイ上と鍵盤上の両方に以下のようなコンテンツおよび補助情報を提示する。以下は図2および図3の数字に対応している。

- (1) 現在演奏者がどこを演奏しているのかを明示するために、楽譜上に赤い矢印で現在の演奏位置を提示する。
- (2) 次の打鍵位置、運指を演奏者に提示する。運指情報は運指番号(親指から順番に1から5の番号がそれぞれ割り振られている)ごとに対応している輪郭の色と運指番号によって示す。
- (3) 演奏位置、打鍵位置および運指情報の提示を切り替える。
- (4) 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。演奏者が繰り返し集中的に練習したい場合や弾き直したい場合に演奏開始位置を切り替えることができる。
- (5) 両手が難しく片手ずつ練習したい場合、また片手が弾けるようになり両手で練習したい場合に切り替えるこ

とができる。

(6) 模範演奏を再生できる。

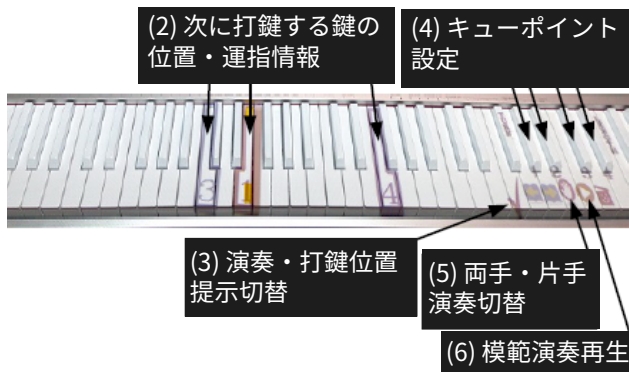


図 2 鍵盤提示コンテンツ

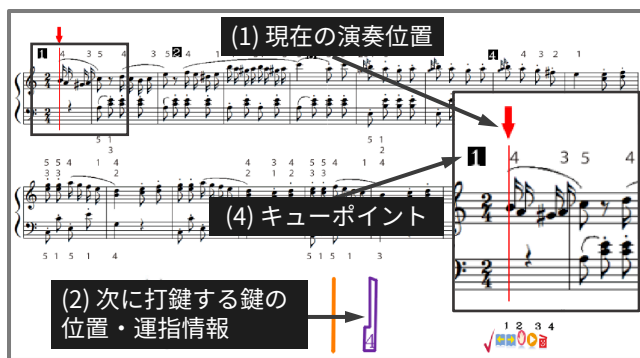


図 3 ディスプレイ提示コンテンツ

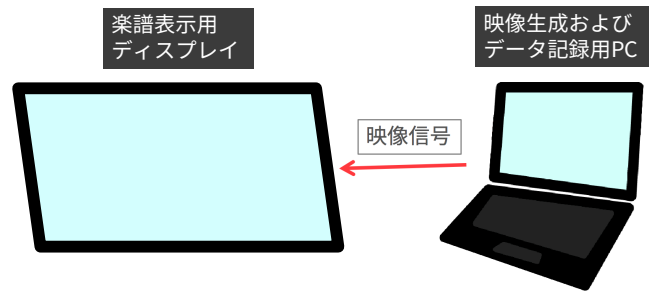


図 4 システム構成



図 5 ディスプレイ提示コンテンツ

3.2 視聴支援システム

3.2.1 システム構成

実験で使用した視聴支援システムのシステム構成を図4に示す。演奏者の前方にディスプレイを配置し、楽譜や現在の演奏位置を提示する。

被験者の実験中の様子を記録するためのビデオカメラを設置した。映像生成用のPCとしてTOSHIBA社のRX-2L/E7LEを使用した。

3.2.2 提示コンテンツ

図5に示すように、本システムはディスプレイ上に、現在課題曲のどこが流れているのかを明示するために、楽譜上に赤い矢印で現在の視聴位置を提示する。

4. 評価実験の手続き

ピアノ演奏の習得におけるチャンク形成要因を分析するため、ピアノ学習支援システム[7]を用いて実験を実施した。実験は課題曲を演奏してもらおう打鍵行為あり、課題曲を視聴してもらおう打鍵行為なしの2つの条件に分類した。なお、この実験は田村ら[7]の研究成果をもとにチャンクに関する調査の深化を目的としているため、実験内容は同条件で実施するものとする。

4.1 被験者

被験者は大学生計15名で、いずれも20代の成人である。打鍵行為なしは初心者6名(被験者A, B, C, D, E, F)、経験者2名(G, H)、打鍵行為ありは初心者5名(I, J, K, L, M)、経験者2名(N, O)を対象とした。ピアノ初心者は小・中・高等学校の音楽の授業などで聴いた経験があり、メロディを口ずさめる程度、ピアノ経験者は8年以上ピアノを習っている人を対象とした。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。

4.1.1 課題曲

課題曲は、基礎的な技能を評価するため、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8小節とした。図6は課題曲の楽譜である。

4.2 実験方法

4.2.1 打鍵行為あり被験者

被験者に3.1節で述べた打鍵支援システムを用いて、課題曲を1日に20分間練習してもらった。練習後、最初から最後まで課題曲を一通り演奏する到達度テストを、システムの機能を使用せず、課題曲の譜面のみを提示し、実施した。到達度テスト終了後、被験者の主観に沿ってチャンクを記入してもらい、その後チャンクの形成理由について、Think Aloud法(思考発話法)にもとづきインタビューした。これら一連の流れを1試行とした。打鍵ミスがなくな

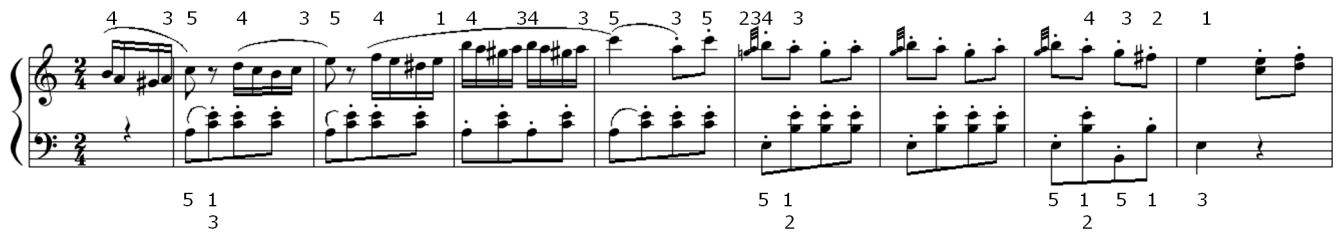


図 6 W. A. Mozart のピアノソナタ第 11 番第 3 楽章トルコ行進曲の冒頭 8 小節

【正しい演奏】



【実際の演奏】

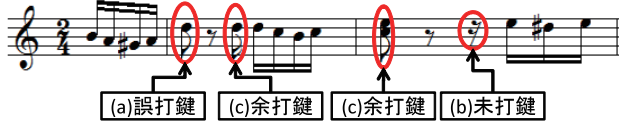


図 7 打鍵ミス例

るまで実験を続けてもらったため、実験期間は被験者によって異なる。ここでいう打鍵ミスとは、(a) 間違えて打鍵する誤打鍵、(b) 打鍵しない未打鍵、(c) 余分に打鍵する余打鍵を指す。図 7 は、打鍵ミスの例を示したものである。実験中は、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、打鍵データをもとに打鍵ミス数を計測した。

4.2.2 打鍵行為なし被験者

はじめに、被験者に 3.2 節で述べた視聴支援システムを用いて、課題曲を 5 分間、冒頭 8 小節を最初から最後まで繰り返し譜面を見ながら聴いてもらった。譜面上には現在位置が示されているため、譜面を読むことができない初心者にも対応している。視聴が終わった後、被験者の主観に沿ってチャンクを記入してもらい、その後チャンクの形成理由について、Think Aloud 法 (思考発話法) にもとづきインタビューした。これら一連の流れを 1 試行とした。最新の試行と前試行を比べてチャンクが変容しなくなるまで実験を続けてもらったため、実験期間は被験者によって異なる。実験中は、視聴中の様子をビデオカメラで記録した。

4.3 被験者への教示

4.3.1 打鍵行為あり被験者

初心者は楽譜が読めないため、練習開始前に楽譜について、ト音記号やヘ音記号、拍子、音符の読みかた、スラーやスタッカート、装飾音符など基本的な構造について説明した。

20 分間の練習では、「自分が弾けるテンポで、楽譜を見ながらミスなく弾けること、楽譜と打鍵位置を対応して覚えることを意識して、システムの機能を自由に使いながら 20 分間練習してください。20 分間の練習の終了後、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を使用せずに弾いてもらいます。到達度テスト後にはチャンクを記入してもらいます。なにか質問があれば実験中でも構わないので聞いてください。」と指示した。

指示後、システムの機能について、3.1.2 節でも述べているように、現在の演奏位置や次に演奏する打鍵位置や運指番号などを一通り説明した。

また、到達度テストでは、「今から到達度テストを行います。制限時間は 5 分間です。システムの機能を使用せず、最初から最後まで一通り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。ミスしてしまったり、演奏が止まってしまった場合でも、前に戻って弾き直したりせず、止まった箇所から弾き直してください。分からないところがあれば飛ばしてもらって構いません。また、これ以上演奏できなければ言うてください。」と指示した。

チャンク記入の際は、「楽譜が書いてある用紙に、演奏中に自分が意識したチャンク、つまり連続した音のまとまりであると考えた部分を囲むように記入してください。記入後にチャンクの形成理由をひとつひとつ聞いていくので、なぜこのまとまりで囲ったかを考えながら記入するようにしてください。無理に全ての音符や休符をチャンクとして囲う必要はなく、まとまりであると確信している箇所のみ記入してください。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、片手のみのチャンク、両手にまたがるチャンク、隣り合ったチャンクにまたがるチャンクなど、自由に記述してください。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構いません」と指示した。チャンクの説明をする際は、課題曲とは異なる曲で、チャンクが記入された例を用いて説明した。

4.3.2 打鍵行為なし被験者

初心者は楽譜が読めないため、視聴開始前に楽譜について、ト音記号やヘ音記号、拍子、音符の読みかた、スラーやスタッカート、装飾音符など基本的な構造について説明した。

5 分間の視聴では、「楽譜と視聴位置を対応させることを意識して、5 分間繰り返し課題曲を視聴してください。5 分間の視聴後、チャンクを記入してもらいます。なにか質問があれば実験中でも構わないので聞いてください。」と

表 4 大カテゴリおよび小カテゴリ一覧

| 大カテゴリ | 小カテゴリ |
|----------|--|
| 譜面チャンク | フレーズ モチーフ タイミング 休符 音価 類似した音 リズム 音符ごと 音の高さ 装飾音符 アーティキュレーション 下降音階 形 音の簡約化 音の密度 小節 取束 アウフタクト 強拍 連符 終止形 |
| 演奏チャンク | 練習 手の意識 難度 指使い 手の位置 音の強さ |
| 音楽知識チャンク | コード 曲調 ベース音 メロディー 和声 |

者 J のコメントに GTA によって分析した結果である。被験者 J は形成したチャンクの理由として同じ指回しを挙げていた。このため、表 5.1 におけるデータ項目には、同じ指回しを付与した。また、プロパティにおけるまとまりの目安は同じ指回し、チャンクの大きさは図 9 の形成チャンクから 2 拍、チャンクの個数は 2 個、手は右手に形成されているため右手となった。ラベル名はデータの要約なので同じ指回し、カテゴリ名は、同じ指回しのほかに指の速さなども形成理由に挙げられていたことから、まとめて指使いとした。

5.2 カテゴリ化

5.1 節の分類方法を適用して得られたカテゴリを、本研究では小カテゴリと呼ぶ。表 4 に示すように、32 個の小カテゴリに分類できた。チャンクの形成要因を俯瞰するために、小カテゴリを大きく分類できないか検討し、以下の 3 つを大カテゴリとして分類した。

- 譜面上の音楽記号によるチャンクの判断：譜面チャンク
- 演奏によるチャンクの判断：演奏チャンク
- 音楽知識の運用によるチャンクの判断：音楽知識チャンク

譜面チャンクは休符やフレーズ、スラーやスタッカートなどの音楽記号等、譜面上の情報から成る。演奏チャンクは指使いや練習など演奏を想定、または実際に演奏した際のまとまりから成る。音楽知識チャンクはメロディーやベース音など高度な音楽知識と経験から成る。

表 4 に大カテゴリおよび構成する小カテゴリを示す。

5.3 群間の比較

各被験者において、チャンクの個数を度数とし、5.1 節、5.2 節で分類したカテゴリを、回数ごとに度数を測定した。各被験者の度数が異なるため、打鍵行為ありにおける初心者、経験者、打鍵行為なしにおける初心者、経験者の各群で、それぞれのカテゴリの全体の度数から初回と最終回の度を標準化した。今回は被験者が少ないため、統計的な検定は実施しなかった。

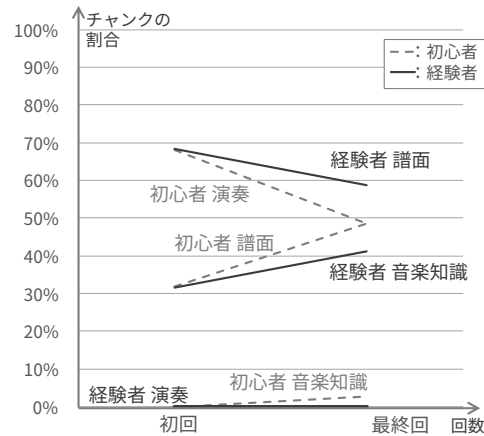


図 10 打鍵行為ありにおける初心者および経験者間の比較

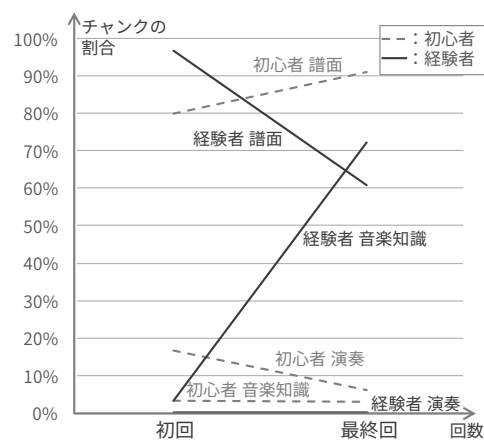


図 11 打鍵行為なしにおける初心者および経験者間の比較

5.3.1 打鍵行為ありにおける初心者および経験者間の比較

打鍵行為ありの初心者および経験者における大カテゴリの比較を図 10 に示す。横軸は、実験初回および実験最終回を示している。図 10 から以下の 3 点がいえる。

- 初心者の演奏チャンクの割合が初回から最終回にかけて低くなり、譜面チャンクの割合が高くなっていることが分かる。このことから、初心者の演奏チャンクと譜面チャンクに交互作用があることが示唆された。
- 経験者の譜面チャンクの割合が初回から最終回にかけて低くなり、音楽知識チャンクの割合が高くなっていることが分かる。このことから、経験者の譜面チャンクと音楽知識チャンクに交互作用があることが示唆された。
- 初心者の演奏チャンクの割合が初回から最終回にかけて低くなり、経験者の音楽知識チャンクの割合が高くなっていることが分かる。

このことから、初心者の演奏チャンクと経験者の音楽知識チャンクに交互作用*2があることが示唆された。

*2 交互作用とは、1 つの処理の諸水準の差が、他の処理の 2 つまたはそれ以上の水準において異なることを意味する [19]。

5.3.2 打鍵行為なしにおける初心者および経験者間の比較

打鍵行為なしの初心者および経験者における大カテゴリの比較を図 11 に示す。図 11 から、次の 2 点がいえる。

- 初心者の演奏チャンクの割合は、初回 16.7%、最終回 6.1%と少なく、経験者の演奏チャンクの割合は 0%であった。このことから、初心者の演奏チャンクと経験者の演奏チャンクに交互作用があることが示唆された。
- 初心者の演奏チャンクの割合が初回 16.7%、最終回 6.1%と初回から最終回にかけて低くなり、経験者のチャンクの割合 0%であることが分かる。このことから、初心者の演奏チャンクと経験者の演奏チャンクに交互作用があることが示唆された。

5.3.3 初心者および経験者間の比較

図 10 および図 11 を比較してみると、以下の 3 点がいえる。

- 経験者は初回から最終回まで演奏チャンクを形成しないことが示唆された。
- 初心者は音楽知識チャンクを、打鍵行為ありは初回 0%、最終回 2.7%、打鍵行為なしは初回 3.3%、最終回 3%と、打鍵行為の有無を問わず、初回から最終回を通して数%しか形成していない。経験者の音楽知識チャンクの割合は、初回は打鍵行為なしは 3.3%、打鍵行為ありは 31.6%とあまり高くないものの、最終回では、打鍵行為なしは 72.1%、打鍵行為ありは 41.2%と割合が増えている。このことから、初心者にとって経験者の音楽知識チャンクの割合が高いことが示唆された。
- 打鍵行為あり、なし双方の初心者の譜面チャンクの割合が初回から最終回にかけて高くなり、経験者の譜面チャンクの割合が初回から最終回にかけて低くなっていることが分かった。このことから、初心者、経験者の譜面チャンクに交互作用があることが示唆された。また、打鍵行為あり、打鍵行為なしともに、初回と最終回に差があることが示唆された。

6. 考察

考察では特に興味深い結果に焦点を当てた。はじめから上達することとチャンクの形成過程との関連や、カテゴリ同士の差の比較について考察する。

6.1 打鍵行為ありにおける初心者および経験者間の比較

5.3.1 節で述べたように、初心者に関しては、譜面チャンクと演奏チャンクに交互作用があり、譜面チャンクの割合が高くなるかわりに演奏の割合が低くなる理由として、初心者の演奏技術の低さが考えられる。初心者は楽譜がスムーズに読めず、システムの機能である鍵盤に投影された打鍵位置や運指情報などの補助情報を見ながら打鍵位置を理解するため、運動に影響する演奏チャンクを実験初回では形成しやすくなる。また、上達するにつれて無意識に正

しい打鍵位置で弾けるようになることで、運動に関する意識は低くなる一方、譜面に注目するようになり、譜面チャンクが増加すると推察される。

6.2 打鍵行為なしにおける初心者および経験者間の比較

5.3.2 節で述べたように、初心者の演奏チャンクと経験者の演奏チャンクに交互作用があり、初心者は自分が実際に弾いたことを想定してチャンクを形成をしているため、打鍵行為をしなくても演奏チャンクが形成されると推察される。また、初心者の演奏チャンクと経験者の演奏チャンクに交互作用があり、初心者が最終回にかけて割合が低くなることと、経験者は演奏チャンクを形成しないことから、初心者も多く経験と年数を積み演奏チャンクを形成する可能性があることが推察される。

6.3 初心者および経験者間の比較

5.3.3 節で述べたように、打鍵行為の有無を問わず、経験者は初回から最終回まで演奏チャンクを形成しなかった。特に打鍵行為あり初心者は、打鍵行為なし初心者と比べて演奏チャンクの割合が高い。以上のことから、初心者は演奏に集中する一方、経験者は演奏チャンクに苦戦しないために、演奏チャンクを形成しないのではないかと推察される。

また、初心者にとって経験者の音楽知識チャンクの割合が高い。初心者は打鍵行為の有無を問わず、初回から最終回を通して音楽知識チャンクを数%しか形成していない。一方、経験者の音楽知識チャンクの割合は、初回より最終回の割合が増えている。以上のことから、経験者は実演中に何度も演奏したり視聴することにより、これまでに蓄積した音楽知識を適用でき、楽譜に内在するさまざまな音楽的表現や機能に気づくことができると推察される。

6.4 Gagné の認知モデルとの比較

本研究におけるチャンク形成要因の分析結果は、Gagné の学習成果の 5 分類 [20] を利用して説明できる。Gagné の学習成果の 5 分類は簡単に述べると、学習目標を体系的にまとめたもので、言語情報、知的技能、認知的方略、運動技能、態度の 5 つの観点から構成される。本研究においては、譜面チャンクは、一般的な情報であるスタッカートや休符などの音楽記号にあたることから言語情報、演奏チャンクは、指使いをコントロールするなど運動の方法にあたる運動技能、音楽知識の運用は、高度な音楽知識を応用できる、ルールなどを使いこなすことにあたる知的技能にあてはまると考えられる。言語情報は基本的なもので知的技能は応用的なものに相当する。本研究におけるチャンク形成要因の分析結果は、Gagné の学習成果の 5 分類を利用して、本分析結果を理論的に補強する可能性がある。

7. まとめと今後の課題

本研究で、GTA に準じてピアノ演奏におけるチャンク形成要因を分析した。形成要因を分析するために、課題を演奏または聴取してもらいチャンクの形成要因についてインタビューを行った。このインタビューデータを GTA により分析した。その結果、チャンクを、譜面上の音楽記号によるチャンクの判断、演奏によるチャンクの判断、音楽知識の運用によるチャンクの判断の3つに分類することができた。さらに、この3つは、Gagné の学習成果の5分類を利用して説明できることが示された。

今後の課題として、被験者数を増やした評価実験の実施、既存の認知的メカニズムとの関連性の調査分析、本研究成果を応用したアプリケーションの構築などが挙げられる。

謝辞 本研究を進めるにあたり寺井あすか准教授より、多くの助言をいただいた。平田・竹川研究室卒業生の田村速人さんより、関連研究や評価実験に関する貴重な情報を提供していただいた。また、本研究の一部は JSPS 科研費 16K12560 および 15K00279 の助成を受けたものである。

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).
- [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).
- [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).
- [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).
- [5] 箱田裕司, 都築誉史, 川畑秀明, 荻原滋: 認知心理学 Psychology: Brain, Modeling and Evidence, 有斐閣 (2012).
- [6] Ericsson, K. A., and Kintsch, W.: Long-Term Working Memory, Psychological Review, No. 102, Vol. 2, pp. 211-245 (1995).
- [7] 田村速人, 竹川佳成, 平田圭二: 成人ピアノ初心者の演奏熟達におけるチャンク形成過程の分析, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-MUS-102, pp.1-8 (2014).
- [8] 戈木クレイグヒル滋子: 質的研究法ゼミナール グラウンデッド・セオリー・アプローチを学ぶ, 医学書院, (2015).
- [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, Vol. 2007-MUS-71, No. 81, pp.185-190 (2007).
- [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 Sys-

- tem for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 258-262 (2006).
- [12] 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ー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).
- [13] 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).
- [14] 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).
- [15] 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).
- [16] Yukusel, B. F., Oleson, K. B., Harrison, L., Peck, E. M., Afergan, D., Chang, R., and Jacob, R. J., "Learn Piano with BACH: An Adaptive Learning Interface that Adjusts Task Difficulty based on Brain State", ACM-CHI2016, pp.5372-5384 (2016).
- [17] Weaver, H.E., "Studies of Ocular Behavior in Music Reading", Psychological Mono-graphs, 55(1), pp. 1-29 (1943).
- [18] Sakai, K., Kitaguchi, K. and Hikosaka, O., "Chunking During Human Visuomotor Sequence Learning", Experimental brain research, 152, pp.229-242 (2003).
- [19] 山内光哉: 心理・教育のための統計法, サイエンス社 (2015).
- [20] Gagné, R. M., Golas, K. C., and Keller, J. M.: インストラクショナルデザインの原理, 北大路書房 (2007).