

眼球運動を手掛かりとした楽器演奏の認知過程の検討

Understanding Cognitive Processes during Music Performance by means of Eye Movement Analysis

藤井 翼^{*1}
Tsubasa Fujii

小堀 聡^{*2}
Satoshi Kobori

^{*1} 龍谷大学大学院理工学研究科電子情報学専攻 ^{*2} 龍谷大学理工学部電子情報学科
Division of Electronics and Informatics Department of Electronics and Informatics
Graduate School, Ryukoku University Ryukoku University

Human music performance should involve various cognitive processes. The purpose of this study is to clarify the cognitive processes during music performance from the viewpoint of interaction between perception and motor, by means of eye movement analysis. Two kinds of music performance experiments have been conducted. In the memorizing experiment, subjects were required to play after memorizing the musical score, also in the sight reading experiment, subjects were required to play during reading the musical score. We have analyzed both eye movement data and performance data, and calculated the fixation rate, the recall rate and the preview time. We have examined the difference among subjects, the difference among music pieces, and learning processes.

1. はじめに

人間の楽器演奏という行為には、感覚・知覚、運動、記憶、学習、注意、情動など、様々な認知過程が複雑に関わっている。楽器演奏に限らず、わたしたち人間が何かの運動をする際には、ある状況に対する知覚のもとでそれに協応する運動を行い、学習していくが、そうした運動の制御や学習における感覚・知覚系と運動系との関係に関わる認知機能を知覚運動協応 (perceptual motor coordination) と呼ぶ[阪口 2002]。楽器の演奏においても、そうした知覚運動協応を必要とする。

記譜された音楽作品を演奏するには、少なくとも、楽譜に記されている情報を読み取ること、読み取った情報を演奏のための指などの運動指令に変換すること、そして、運動プログラムどおりに正確に指などを動かすために運動を制御すること、の3つの過程を経なければならない[大浦 1987]。これらの過程をさらに分析すると、記憶系との連携が重要であることが分かる。すなわち、第1の過程において読み取った楽譜の情報をまず短期的に保持しなければならないし、第2の過程において運動指令に変換するためには楽譜の情報の意味の理解が不可欠であり、そのためには長期的な記憶との照合が必要であり、さらに、第3の過程において正確な運動制御を行うためには、運動技能が記憶・学習により獲得されていることが前提となる。このように音楽演奏においては、記憶系も大変重要な役割を果たしているといえる。

さて、演奏に関する研究は、音楽に関する認知心理学の一分野として、欧米では以前より行われているが[Sloboda 1985], [Gabrielsson 1999], それらの研究の視点や手法はさまざまである。日本国内でも、これまでに楽器の演奏を対象とした研究としては、ピアノ[大浦 1987]やヴァイオリン[渋谷 2004]に関する例がいくつかあるものの、運指法やボーイングなど動作を中心とした解析がほとんどであり、楽譜の読みと演奏の関係については、ピアノ視奏時の眼球運動を手がかりにした研究例[三浦

1988], [Miura 1989]が見られるぐらいである。また、音楽と記憶に関する研究はあるものの、それらは聴覚を通して旋律を記憶した場合についてであり、演奏のために楽譜の情報を読み取り記憶する過程を眼球運動の測定により研究した例は見られない。

そこで、本研究では、眼球運動を手掛かりにして、感覚・知覚と運動の相互作用という観点から、人間が楽器を演奏する認知過程を検討することを目的とする。すなわち、楽器の演奏においてどのように楽譜の情報を読み取り記憶しているのか、また、記憶した情報をもとにどのように演奏しているのかを検討する。ここで、眼球運動に着目するのは、視線測定は、人間の高次認知機能を観察し、解析するのに適していると考えられるからである[大野 2002]。

演奏実験としては、楽譜を記憶してから演奏する場合(記憶実験)と楽譜を見ながら演奏する場合(視奏実験)について実験を行った[小堀 2009], [小堀 2006], [kobori 2008]。記憶実験では、楽譜を記憶する過程と楽器を演奏する過程を分離し、眼球運動測定装置を用いて楽譜を記憶する際の眼球運動を測定するとともに、楽器の演奏を記録した。一方、視奏実験では、初見およびその後の数回での演奏において、眼球運動と楽器の演奏を同時に記録した。いずれの実験においても、試行を繰り返して学習が進むことにより、視線データおよび演奏データがどのように変化していくかを分析する。

楽器はピアノ(鍵盤楽器)を対象とし、初級から中級レベルの者を被験者とした。まず、被験者実験のために、楽譜の提示と同期させて眼球運動の測定を開始し、楽器の演奏を記録するシステムを構築した。次に、被験者実験を行い、視線データから推定した停留点から楽譜に対する読みを解析するとともに、演奏データにより演奏を評価し、注視率、再現率、先読み時間などの評価値を算出する。そして、それらの評価値から、被験者による差異、課題曲による差異、試行に伴う変化などについて考察する。

2. 方法

2.1 実験システム

実験システムは2つの演奏実験に共通しており、図1に示したように演奏測定システムと眼球運動測定システムから構成され

ている。演奏測定システムから送信される信号により、眼球運動測定システムの測定を開始するシステムを構築した。このシステムにより、演奏データと視線データが同期して記録される。

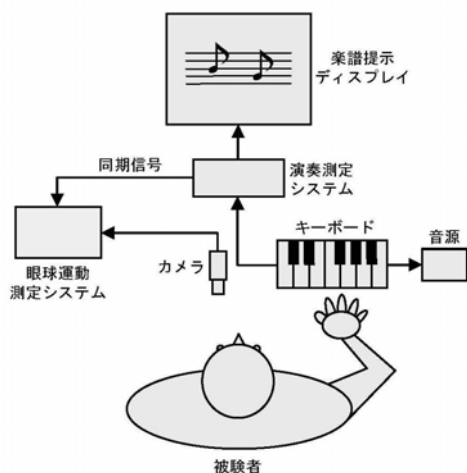


図1 実験システムの構成

(1) 演奏測定システム

演奏測定システムは、市販のパーソナルコンピュータと周辺機器を中心に構成されている。楽譜提示ソフトウェアは、楽譜を一定時間提示すること、また、MIDI対応の楽器からの演奏データを60Hzのクロック信号とともに受信すること、さらに、同期信号を眼球運動測定システムに送信することができる。

(2) 眼球運動測定システム

眼球運動測定システムは、眼球運動測定装置 EMR-8BNL (ナックイメージテクノロジー)を中心に構成されている。眼球データ解析ソフトウェアには、眼球データを実時間でコンピュータに取り込む機能が含まれており、視線データとして楽譜提示用ディスプレイの座標値(x軸方向およびy軸方向、単位は画素数)がサンプリング周波数60Hzで得られる。視距離は66cmである。

2.2 記憶実験

(1) 実験課題

被験者の課題は、コンピュータの画面上に一定時間表示される楽譜を見て旋律を記憶し、楽譜の表示が消えたあと記憶した旋律を演奏することである。この測定を1曲につき5回繰り返し、最後に楽譜を見ながら演奏を行う。

課題曲は難易度A(単純な曲)3曲と難易度B(やや複雑な曲)3曲の合計6曲である。いずれもハ長調、4分の4拍子、8小節である。

(2) 被験者

ピアノ学習経験のある18歳から22歳までの12名の大学生を被験者とした。ピアノの経験年数によりは6~16年である。経験年数によりA群(初級)7名とB群(中級)5名の被験者群に分けた。

(3) 実験条件

記憶時間は15秒、30秒、45秒のいずれかであり、難易度Aと難易度Bのそれぞれの曲に均等に割り当て、特定の組み合わせ

せが生じないようにする。また、被験者ごとに実施順序を変えて、順序効果を相殺するようにする。

(4) 解析方法

(a) 注視率

眼球運動の特徴を表す評価値として、視線データから、注視率を以下の手順で算出する。

- (1) 前処理として、まばたきなどによるエラーの区間と、楽譜の提示領域から外れたデータを異常値として除去して線形補間を施す。
- (2) 修正された視線データから、一定の空間的および時間的条件に当てはまるデータを停留点とする。
- (3) 停留点の座標値が楽譜の領域にある場合は、対応している小節を推定し、小節ごとにその停留時間を合計して注視時間とし、記憶時間で割った商を注視率(%)とする。

(b) 再現率

被験者の楽譜に対する記憶を評価する評価値として、再現率を以下の手順により1回の試行ごとに算出する。

- (1) まず、元の演奏データ(MIDI形式)から演奏時刻、音高、音価、音長、音量を算出したデータに変換する。
- (2) 一方、楽譜の音高と音価の情報に基づき、演奏に対応した楽譜データを生成する。
- (3) 各時刻における演奏データと楽譜データの音高の誤差の絶対値を積算したものをEとし、各時刻における楽譜データの音高を積算したものをMとすると、再現率R(%)は以下のように算出される。

$$R = (M - E) / M \times 100$$

また、注視率および再現率について、被験者群(A群、B群)を被験者間の要因、課題曲(A、B)、記憶時間(15秒、30秒、45秒)、試行番号(1~5)、小節番号(1~8)を被験者内の要因とした2×2×3×5×8の分散分析を行う。

2.3 視奏実験

(1) 実験課題

被験者の課題は、コンピュータの画面上に表示される楽譜を見てピアノを演奏することである。

課題曲は以下の通りである。

既知の曲:「夕焼け小焼け」(草川信 作曲)

未知の曲:ソルフェージュ曲集より選択、編曲

中級の曲:ソルフェージュ曲集より選択、編曲

既知の曲は広く一般に旋律が知られている曲として上記のものを選んだ。また未知の曲は既知の曲と同程度の難易度であると想定している。中級の曲は、既知の曲や未知の曲と比べて、臨時記号がある、音符が多い、音型が複雑(弱起や付点が含まれる)など、演奏がより難しい曲である。

(2) 被験者

初級レベルの者から経験年数20年までの9名(男性2名、女性7名)を被験者とした。経験年数により9名の被験者をA群(初級)4名、B群(中級以上)5名の被験者群に分けた。

(3) 実験条件

既知の曲、未知の曲、中級の曲、それぞれ5回ずつ演奏させる。

(4) 実験手順

まず、眼球運動測定装置の個人別校正を行ってから、練習試行を行い、実験を実施する。曲順は、既知の曲、未知の曲、中級の曲とした。

(5) 解析の方法

(a) 演奏データの解析

演奏情報のデータとともに受信されるクロック信号を計数することにより、ノートオンの時刻を算出し、これを打鍵時刻とする。

(b) 停留点の算出

眼球運動測定システムから得た視線データから以下のように停留点データを推定する。まず、視線データにまばたきなどのエラー値が含まれている場合は、その区間を線形補間により補正する。次に、その補正した視線データから、停留条件として停留範囲の直径(画素)と停留時間(msec)を設定して停留点データを推定する。

(c) 先読み時間の算出

1つの音符について、対応する打鍵時刻と注視時刻から先読み時間を算出する。注視時刻は停留点を線形補間した際の視線が音符を横切るときとした。

先読み時間は以下のように定義した。

先読み時間 = 打鍵時刻 - 注視時刻

(単位は msec)

また、先読み時間について、被験者群(A群, B群)を被験者間の要因、課題曲(既知, 未知, 中級), 試行番号(1~5)を被験者内の要因とした2×3×5の分散分析を行う。

3. 結果と考察

3.1 記憶実験

(1) 被験者による差異

注視率と再現率のどちらにおいても、被験者群についての有意な主効果は認められず、被験者のレベルによる差異は見られなかった。

(2) 難易度の影響

注視率においては、難易度が低い曲の方が難易度が高い曲よりも高い傾向があるが(図2)、課題曲についての主効果は認められなかった。

再現率においては、難易度が低い曲の方が難易度が高い曲よりも高い傾向があり(図3)、課題曲についての主効果が認められた。このことは、難易度が低い曲の方が記憶し、再現しやすいことから当然の結果といえる。

(3) 記憶時間の影響

注視率と再現率のどちらにおいても、いずれも記憶時間についての有意な主効果は認められなかった。

(4) 試行に伴う変化

注視率と再現率のどちらにおいても、試行に伴って高くなる傾向があり、いずれも試行番号についての主効果が認められ、また、小節番号についても主効果があった。試行を繰り返すことで楽譜が記憶され、再現されやすくなったことを示すが、注視され、記憶される小節も変わっていくことが分かった。

3.2 視奏実験

(1) 被験者による差異

被験者群を比較すると、A群(初級)の方がB群(中級以上)よりも先読み時間が長い傾向が見られたが、被験者群については有意な主効果は認められなかった。

(2) 課題曲による差異

課題曲別に比較した場合、既知の曲、未知の曲、中級の曲の順に先読み時間が短くなる傾向が見られたが、課題曲による有意な主効果は認められなかった。

(3) 試行に伴う変化

試行番号ごとに見ていくと、1回目の先読み時間が長く、2回目以降に減少するという明確な傾向が見られ(図4)、試行番号についての有意な主効果が認められた。

(4) 総合的な考察

今回の実験での被験者と課題曲の範囲では、先読み時間についての統計的に有意な差異は見られなかったのは、被験者

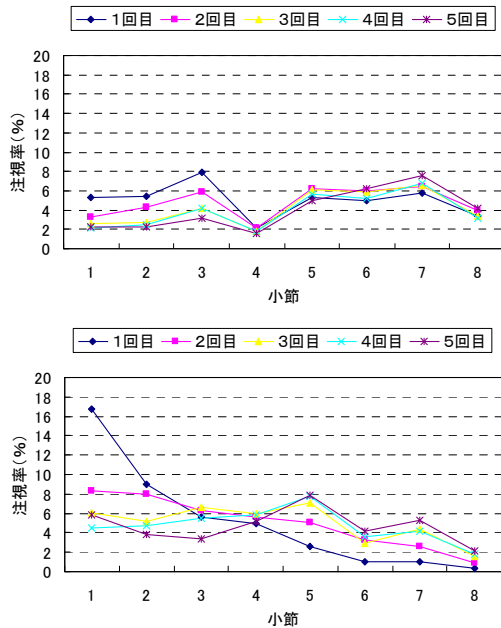


図2 難易度別の注視率の変化(上:難易度A, 下:難易度B)

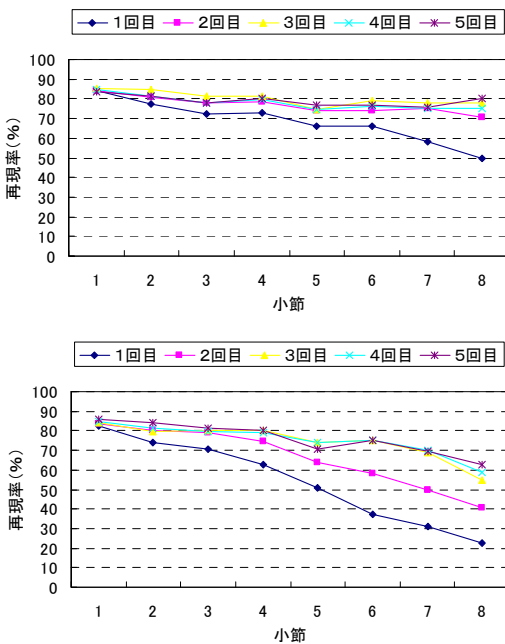


図3 難易度別の再現率の変化(上:難易度A, 下:難易度B)

の演奏レベルや課題曲の難易度に大きな違いがなかったことが原因である可能性がある。一方、試行に伴って先読み時間が短くなることは確かめられたが、このことは曲に慣れるに従って先読みをする必要がなくなることを意味すると考えられる。

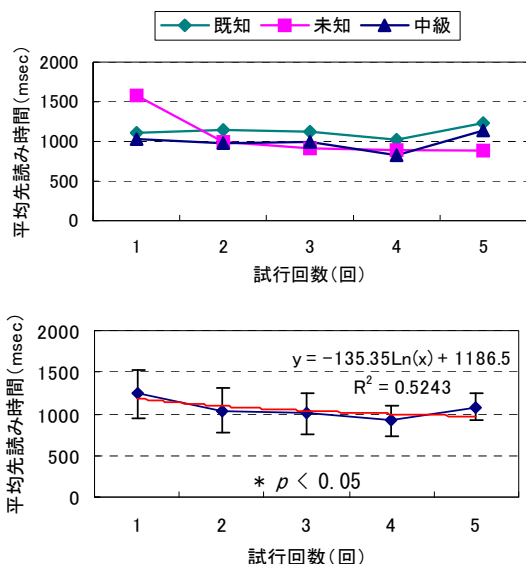


図4 試行に伴う変化(上:課題曲別, 下:全体)

4. おわりに

本研究では、記憶実験と視奏実験の2つの演奏実験を実施し、眼球運動の測定・解析を行うことで、注視率、再現率、先読み時間を算出し、それらの評価値から、被験者による差異、課題曲による差異、試行に伴う変化などについて考察することができた。

記憶実験においては、停留点に着目し、どの小節を注視しているかを注視率で表し、それが曲の再現とどのように関係しているかを調べることができた。一方、演奏実験においても、停留点に着目することで、音符単位での先読み時間を算出し、試行とともに変化していくことが確認できた。

今後は、課題曲の設定、被験者の選定など実験条件について検討し、そのうえで、被験者実験を実施し、多くのデータを収集、解析していく必要がある。

なお、すでにギターを対象とした記憶実験を実施しており、今後はピアノの場合と比較していく予定である。

参考文献

[Gabrielsson 1999] A. Gabrielsson : The performance of music, Diana Deutsch (Ed.): The Psychology of Music, second edition, pp.501-602, 1999.

[小堀 2006] 小堀 聡, 高橋 勝則:ギター視奏での先読み時間に影響を及ぼす要因, FIT2006 第5回情報科学技術フォーラム論文集, pp.357-360, 2006.

[Kobori 2008] S. Kobori, K. Takahashi : Cognitive processes during piano and guitar performance: An eye movement study, The 10th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC10), Proceedings, pp.748-751, 2008.

[小堀 2009] 小堀 聡:楽譜記憶過程に影響を及ぼす要因について, 日本音楽知覚認知学会平成 21 年秋季研究発表会資料, pp.93-98, 2009.

[三浦 1988] 三浦 利章, 高山 典子, 三木 睦子:ピアノ視奏時の情報獲得・処理一曲の難易度と技能水準を中心として, 音楽研究(大阪音楽大学音楽研究所年報), Vol.6, pp.9-40, 1988.

[Miura 1989] T. Miura : Information processing in piano playing: An eye movement study, the first International Conference of Music Perception and Cognition, Proceedings, pp.295-298, 1989.

[大野 2002] 大野 健彦:視線から何がわかるかー視線測定に基づく高次認知処理の解明, 認知科学, Vol.9, No.4, pp.565-579, 2002.

[大浦 1987] 大浦 容子:演奏に含まれる認知過程ーピアノの場合ー, 波多野 誼余夫編:音楽と認知, pp.69-95, 東京大学出版会, 1987.

[阪口 2002] 阪口 豊:知覚・運動協応, 日本認知科学会編:認知科学辞典, p.541, 共立出版, 2002.

[渋谷 2004] 渋谷 恒司, 深津 紘志, 小松 重紀:バイオリン・ボーイング動作における音色表現語の右腕動作に与える影響, バイオメカニズム学会誌, Vol.28, No.3, pp.146-154, 2004.

[Sloboda 1985] J. A. Sloboda : The performance of music, The Musical Mind: the cognitive psychology of music, pp.67-101, 1985.