Vol.2017-CE-142 No.20
Vol.2017-CLE-23 No.20
2017/12/9

ピアノ初心者における演奏熟達度と読譜・演奏時視行動変化の関係分析

長井 貴也[1,a)]　中平 勝子[1,b)]　北島 宗雄[1,c)]

概要：本稿では，ピアノ初心者を対象に，ピアノの演奏熟達度と読譜および演奏時の視行動変化の関係を分析することで，初心者のピアノ演奏技能獲得への労力負担の軽減や練習意欲の減退抑止や向上に資する．演奏熟達度は，被験者に対して一般的なピアノ初心者向け楽曲を呈示し，短い練習時間の後に読譜・演奏活動を行う練習メニューを日を変えて 4 回行わせ，演奏の円滑さを複数名で評価した．視行動変化は練習メニュー内の読譜，および演奏活動時に視線計測データを取得し，その時系列変化を演奏熟達度と関係づけてそれぞれの特徴を示す．

キーワード：ピアノ，熟達化，学習支援，

Analysis of the relationships between the proficiency levels of piano playing and the changes in visual behaviors while reading score and performing piano

Takaya Nagai[1,a)]　Katsuko T. Nakahira[1,b)]　Muneo Kitajima[1,c)]

1. はじめに

ピアノ演奏は，楽譜を読み (視覚)，鍵盤やペダルの操作を行い (運動)，その結果，発声音が楽譜通りであるか否かを確認をする (聴覚-視覚) ，というプロセスを経て行われる．ピアノ初心者はこの一連のプロセスを習得するために，多くの練習と労力を必要とする．

上田ら [1] は，身近に熟達者の居ない環境では，学習者は自分の不得手要素や練習毎の成長・変化に気付くことが難しく，効率の悪い練習をしがちであるため，学習者は練習に多くの時間を割いているにも関わらず，それに見合った熟達効果を得る事ができず練習意欲を減退させてしまうことを示唆し，こうした悪循環を防ぐために，学習者の打鍵情報や視線情報を基にピアノ練習状況を可視化するシステムを構築した．彼らのシステムは，練習状況を可視化することで，練習のメタ分析を行うことを可能とした．これにより，次回の練習方略を練りやすくなり，演奏熟達の効率化が期待されるとしている．また，竹川ら [2] は，打鍵を記録するシステムを構築し，そこで収集されたデータに基づいて，演奏熟達過程の考察を行なっている．

笠原ら [3], [4] は，上記の研究で対象とされていた打鍵行動を生み出す視聴覚–運動系ばかりではなく，それらの間に位置する認知過程にも着目し，演奏技能が熟達する過程を考察している．彼らは，初見楽譜に対する熟達者の読譜視行動を対象として，楽曲の難易度が視行動に及ぼす影響をピアノ演奏技能における視聴覚–運動系およびそれらの認知プロセスの観点から分析した．その結果，ピアノ演奏において視覚-聴覚-運動系とそれらの認知プロセスが円滑に連動することにより，(1) ピアノ演奏がなされること，(2) 演奏者の演奏技能による認知プロセスや情報処理過程の違いが読譜時の視行動に現れること，(3) 被験者内において熟達過程で視行動が変化する，ということを見出した．

[1] 長岡技術科学大学
Nagaoka Uniersity of Technology, Nagaoka, Niigata, 940-2188
[a)] s131077@stn.nagaokaut.ac.jp
[b)] katsuko@vos.nagaokaut.ac.jp
[c)] mkitajima@kjs.nagaokaut.ac.jp

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-CE-142 No.20
Vol.2017-CLE-23 No.20
2017/12/9

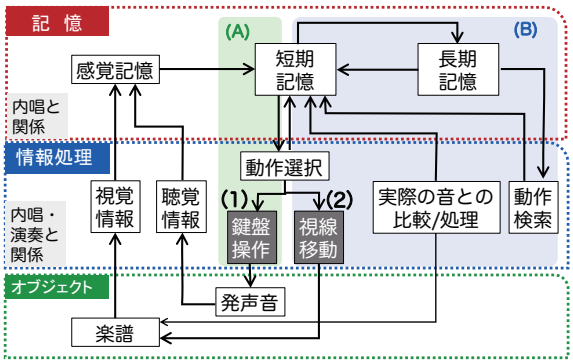


図 1　ピアノ演奏における知覚・認知・行動過程

本稿では，笠原ら [3], [4] の研究で得られた知見を “ピアノ初心者” に適用し，ピアノ初心者が練習を積み重ねるにしたがって習熟して行く過程の分析を，読譜・演奏時視行動変化の関係に着目して行う．

2. ピアノ演奏における知覚・認知・行動過程

図 1 に，笠原が提唱したピアノ演奏における知覚・認知・行動過程のモデルを示す．

まず，外界から楽譜の情報が入る．その中から楽譜の順序通りに音/休符を読みとる．その際に視覚情報として取り込まれた音/休符はシンボルとして感覚記憶へと一時的に格納される．次に，視覚情報として取得したシンボルに対応する音階を長期記憶から検索し，シンボルと対応させワーキングメモリへと一時的に保持される．この時の，シンボルと音階は 1 対 1 で対応付けされており，これを意味記憶として扱う．次に，ワーキングメモリに保存されている音符に対応する鍵盤の選択を行う．選択は，ワーキングメモリからの情報と長期記憶からの情報をもとに，身体記憶から適切な操作を選択する．その後，実際の操作を行い，それによって発せられた音に対する評価を行う．まずは，実際に鳴った音を聞き取り，それを聴覚情報として，感覚記憶へと一時的に保存する．次に，視覚情報でワーキングメモリへに保存されている音階に対応する音を長期記憶から検索を行いワーキングメモリへと保存する．保存された音と感覚記憶に保持されている実際の音との比較を行う．比較した結果，合致する場合は次の音符へ，合致しない場合は同じ音符で再び操作を行う．一連の操作を楽譜が終了するまで繰り返す．その後，ワーキングメモリ内の音符の情報，それに対応した音は，長期記憶へと保存される．この時，ワーキングメモリ内に同時に存在していた情報はそれぞれに対してリンクが生成され，長期記憶内で結合された状態で表現される．

図 1 に基づくと，ピアノ初学者の演奏が円滑に行われてない原因として以下のことが考えられる．

運指訓練不足 (図中，(A))：音符情報をもとに対応する動作の検索を行い鍵盤へ手を移動させる．ここで，音符情報と鍵盤の指の位置の間の対応付けが弱い場合，楽譜から音符情報と手の位置の情報を読み取り，対応付けられている情報を検索するという行為が何度も行われ，手の位置を決めるのに時間を要する．指の動き方を長期記憶から検索し動作の選択を行い打鍵をするが，誤った指の動きを検索してしまうことによる打鍵間違い，誤ったリズム認識による演奏，といった演奏ミスが外化する．

不適切な読譜 (図中，(B))：楽譜から音符や休符などの情報は知覚情報として読み取られ，感覚記憶から短期記憶に転送される．短期記憶に格納されたシンボルを長期記憶から検索するが，初学者の場合，(1) 長期記憶にそもそも対応する音符をはじめとする各種記号情報が存在しない，または，(2) 視覚から得られたシンボル情報と，長期記憶に存在する知識との間の結合強度が弱いため，長期記憶の検索に時間を要する，(3) 知覚された音楽情報がどのような意味を持つのか理解できていない場合である．

ピアノ初心者にとって，これらが視覚・運動・聴覚の 3 つの機能の協調を阻害する原因だと考えられる．しかし，練習の積み重ねで，長期記憶に格納されている音符情報に対応した音高や動作の情報へのアクセスを頻繁に行うことを通じて，情報の検索を早くさせることが可能である．その結果，楽譜に対する適切な情報処理を行うことができると考えられる．

以上の 2 項目に対して，運指訓練不足は図中 (1) に，不適切な読譜は図中 (2) として外化される．そこで，読譜時については視線移動計測を，演奏時については視線移動計測に加え，鍵盤操作（=音源や映像データ）を用い，繰り返し練習を行うことによる演奏技能の熟達度を記録し，技能と記録されたデータの間にどの様な関係が存在するかの分析を行う．

3. 実験

本稿では，経験者を「ピアノ演奏の専門教育（私的レッスン等を含む）を少なくとも 1 年以上受けていた者」，初心者を「小・中学校の学校の授業で鍵盤楽器を使って演奏した程度でピアノレッスンを個別に受講するなど専門的な教育を受けていない人物を対象とする」と定め，初めて触れる課題曲楽譜に対し，次の様な手順で読譜・演奏を行わせ，記録をとる予備実験を行なった．実験諸元は次の通りである．

被験者：年齢 21–24 歳の大学生と大学院生を含むピアノ初心者 4 名を被験者とした．実際にピアノを弾いてもらうため，事前にピアノの弾き方，楽譜の読み方などピアノ演奏に関することを指導した．

課題曲：ピアノ初学者でも数日で習得できるような難易度であり，両手で演奏する必要があるバイエル教則本 15 番のうち序盤 8 小節を使用した．図 2 に原稿用に再編した楽譜情報を示す．この楽曲において強弱記号は存在しない．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-CE-142 No.20
Vol.2017-CLE-23 No.20
2017/12/9

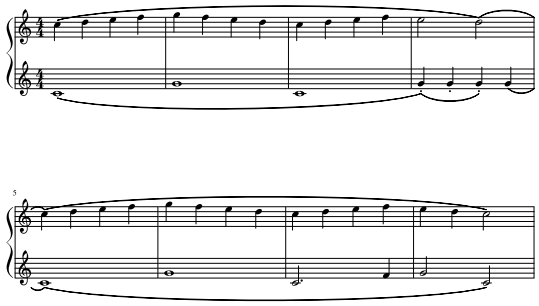


図 2 バイエル教則本 15 番 (ペトルリッチ楽譜ライブラリーをもとに再編



図 3 実験風景

使用機材：楽譜提示用ディスプレイ（解像度 1920 × 1080px），Tobii のアイトラッカー（Tobii X2-60，サンプリング周波数 60Hz）を用い，Tobii Studio によって制御を行った．ピアノ演奏は，電子ピアノで行い，その様子をビデオカメラ（sony FDR-AX100）で収録した．

実験手順：始めに被験者に実験の意義，趣旨について説明を行った．演奏熟達時における演奏状態と視行動の変化を調べるために，1 日に 1 回，計 3 日間実験を行った．図 3 に実験の様子を示す．実験の手順は以下のように行った．

- 被験者に課題曲の楽譜を提示し，15 分間課題曲について練習を行う．
- 課題曲をディスプレイに表示し，1 分間読譜を行ってもらう．その後，演奏を行う．
- 演奏での苦手な箇所，課題曲の練習方略についてのアンケート，インタビューを行う．

課題曲の練習では，15 分間の課題曲練習を課した．練習では，課題曲の演奏の音声データや演奏動画は使用せず，ピアノの弾き方に関する資料，課題曲の楽譜．電子ピアノのみを使用するという条件で練習を行ってもらった．資料については楽譜の読み方，打鍵の仕方，リズムのとり方などピアノを弾く上での情報が記載されている本を使用した．課題曲に対する練習方法については設定せず被験者に任せた．15 分間経過後，資料と課題曲の楽譜を回収した．練習風景をビデオカメラで撮影した．その後，ディスプレイに課題曲の楽譜を表示し，楽譜の 1 分間の視線計測を行った．

次に，練習後の演奏熟達度を判定するために，到達度テストとして課題曲の演奏を行ってもらった．演奏中の条件は以下の通り教示した．

- 制限時間を 2 分間とします．2 分間たっても演奏が続いている場合，演奏をやめてください．
- テンポ 75 くらいを目安にして弾いてください．
- できるだけミスをしないように弾いてください．
- ミスをしたと自分で判断したら，ミスをした直前から弾いてください．
- 演奏を弾き終わったと思ったら「終わりました」といってください．

課題曲の演奏時には視線計測とビデオカメラでの演奏の撮影を行った．視線計測については楽譜提示から被験者の演奏終了の宣言まで計測を行った．

演奏終了後，被験者に実験に対するアンケート，インタビューを行った．アンケートでは，課題曲について苦手な部分を指摘してもらい，その部分のどのような箇所が苦手であったのか，難しかったのか，また，15 分間の課題曲練習で苦手な部分に対してどのように練習を行ったのかを記述してもらった．被験者に記入してもらったアンケートを元に再度，苦手な部分の理由，練習方法，読譜時にどのように読んだかをインタビューを行った．

また，初回のみ，被験者の課題曲に対する演奏技能を調査するために，練習前に 1 分間の課題曲の視線計測と課題曲の演奏を行った．初回の演奏技能調査を合わせ，計 4 回の視線計測を行った．

4. 演奏の熟達と読譜時/演奏時視行動の関係分析

以上の過程で得られたデータに対し，読譜時/演奏時視行動の関係分析を行う．なお，本来の “読譜” は，楽譜から読み取るべきものは記号のみならず表現，感情までも含まれるが，本稿における読譜は “シンボル (=音符，休符) から音高 · 音価 (楽譜上，その音が保持される時間) を認識すること” とした．

4.1 測定データ処理

分析に使うデータは次の様に扱った．読譜時の分析にはアイトラッカーで計測した視行動のデータ，演奏時においてはアイトラッカーで計測した視行動データに加え，ビデオカメラで取得された音源データも使用する．それぞれは次の様に扱った．

(1) 読譜時計測データ

読譜時 (アイトラッカー計測) のデータ分析は次の様に行う．視線移動には，Fixation（停留），Saccade（視線移動），unclassified（判定不能），の 3 状態があり，基本的には，ある時刻 t_i にける楽譜内の視線の位置をスクリーンに対する x, y 座標で記録する．これらの視線計測結果に対して，t_i における視行動がどの状態であるかはアイトラッ

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

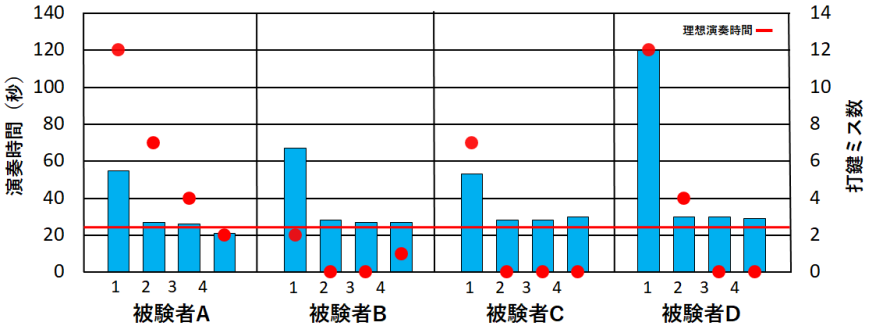


図 4　各被験者の演奏時間と打鍵ミス数

カー専用のソフトウェア内にある判定アルゴリズムによって自動的に判定され，本稿ではその結果を用いる．なお，本稿では大譜表に記載される楽譜を対象としており，改段があるため，1 段の幅にあたる 400px 以上の視線移動は，改段のために起こったと考え，分析からは除外している．

(2) 演奏時計測データ

演奏時計測データは，読譜時計測データにおいて示したアイトラッカーのデータ分析に加え，演奏時に収録したビデオカメラに記録された映像データと音源データをそれぞれ次の様に処理した．映像データは，アイトラッカー計測時に録画される視線移動記録映像と演奏時映像データが同時に見える様，合成を行なった．演奏音源データは，各小節を演奏し始める時間を手動で記録した．

(3) 演奏音源に対する熟達判定

演奏音源に対する分析は，ピアノ指導歴 10 年の経験を有するものを中心に，複数名で客観的に判定した．判定項目は，リズムおよび音高の正確さとし，これらを表す演奏行為として，演奏時間と打鍵ミスを採用した．打鍵ミスの判定については，竹川ら [2] の項目を参考に，誤打鍵（楽譜とは違う音程を弾いてしまう），未打鍵（本来弾く箇所で弾かない），余打鍵（楽譜で指定されている音より多く奏する）の 3 種とした．演奏時間については，ディスプレイに楽譜が表示されてから，被験者が「演奏終わりました」と宣言するまでとした．課題曲の理論上の演奏時間 T_{th} は 25 秒で，打鍵ミスが多いほど実際の演奏時間は伸びると考える．本稿では，演奏時間と打鍵ミスの 2 種を熟達判定に用い，演奏を重ねることに演奏時間が短くなる，あるいは T_{th} で安定し，打鍵ミスがなくなるほど演奏技能が向上する，すなわち熟達するとした．

4.2　演奏時間と打鍵ミスの関係

被験者ごと演奏時間と打鍵ミスの結果を図 4 に示す．青のバーが演奏時間を表し，赤の点が打鍵ミスの回数を表している．1 回目は被験者 D のみ，弾き直しや演奏ミスがあり制限時間 2 分で弾くことができなかった．各被験者とも 4 回目にはミスが演奏時間と打鍵ミスが減少する傾向が見られた．また，演奏の円滑さについては複数人で評価したところ，演奏が円滑にできていると判断され，各被験者とも課題曲を円滑に演奏でき熟達していると判断された．

以上のことから，すべての被験者において，1 回目の演奏より 4 回目の演奏の方が熟達度が向上しているとみなすことができる．従って，課題曲の演奏練習を行う前の 1 回目のデータを「熟達前」，4 回目のデータを「熟達後」と定義し，演奏熟達における視行動の変化の関係分析を行う．

4.3　熟達と読譜時視行動の関係

ここでは，熟達と読譜時の視行動に変化について述べる．分析対象とするデータは実験において，1 分間の読譜時視線データとする．笠原ら [3], [4] によると，ピアノ演奏者の経験年や熟達度によって読譜時の視行動，特に停留行動に違いが現れることを報告している．このことから，楽曲に対して十分な演奏技能を有しない場合は，楽曲を記述する楽譜に対する認知・情報処理が適切に行われないと考えられる．その場合，停留点に着目して考えると，停留点移動が進んだり戻ったりを繰り返すと考えられる．一方，楽曲に対して十分な演奏技能を有する場合，楽譜に対する認知・情報処理の時間が短縮され，その結果，停留点の移動距離が大きくなることや停留点が戻ることが少なくなると考えられる．これらのことから，読譜時視行動の分析を時系列で行うことで，演奏技能の熟達状況を推定することができると考えた．

そこで，停留点の移動角度を元にした停留点の移動特性，水平成分の移動距離を元に各被験者の停留点間の移動について分析を行う．

停留点の移動角度に以下のように求めた．視行動データから得られた停留点 $P_i(i = 1, 2, \cdots, n_F)$ に対して，i 番目の停留点の座標ベクトルと $i+1$ 番目の停留点の座標ベクトルから $\overrightarrow{P_{i+1}P_i}$ を計算する $(i = 1, \cdots, n_F - 1)$．ベクトルから停留点間の移動角度 $\tan\theta_i$ を算出し，どちらの角度に移動したかを分類する．本稿では，-45° を開始点とし，θ_{th} の n_d 倍 $(n_d = 1 \sim 4)$ で移動方向を離散化することとする．ここでは θ_{th} は 90° とした．n_d の値によって，移動方向は以下のように分類した．

- $n_d = 1$：x 軸正方向へ移動

Vol.2017-CE-142 No.20
Vol.2017-CLE-23 No.20
2017/12/9

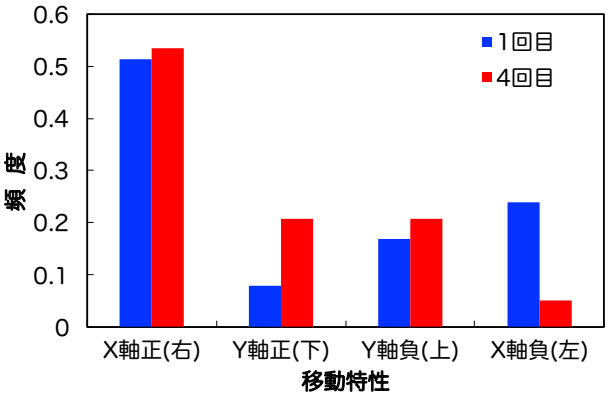


図 5　停留点の移動特性

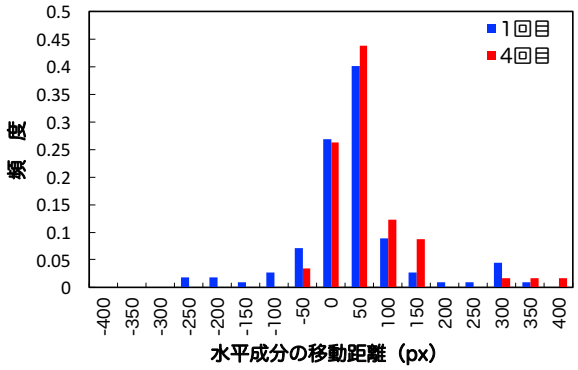


図 6　停留点の移動距離

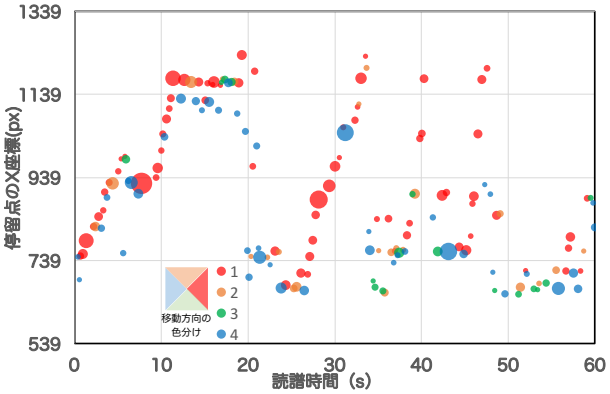


図 7　熟達前の停留点の時系列変化

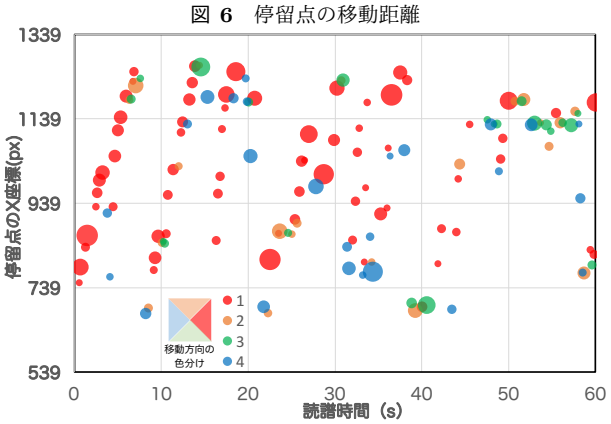


図 8　熟達後の停留点の時系列変化

- $n_d = 2$：y 軸正方向へ移動
- $n_d = 3$：y 軸負方向へ移動
- $n_d = 4$：x 軸負方向へ移動（戻る）

以上の停留点間の水平成分の移動距離，また停留点の移動角度より分類される移動特性を元に読譜時における演奏熟達度と視行動の関係分析を行う．

図 5〜図 8 は，その分析結果の例を示したものである．図 5 は $n_d\theta_{th}$ における n_d の頻度を，図 6 は，水平方向の移動距離の頻度を，図 7 と 8 は，停留点の移動を時系列順に示した図となっている．図 7 および 8 における色の違いは，凡例に対応する番号が $n_d\theta_{th}$ の n_d を，円の大きさは停留時間の長さを示している．以下，被験者 A を例として演奏開始後 T_{th} までの分析例を示す．

図 5 より，x 軸正方向，すなわち，楽譜を順番通りに読み進めている頻度は変化はなく，x 軸負方向，読み戻る頻度が熟達後には減少している傾向が見られた．また，図 6 より，x 軸負方向の移動距離の頻度の減少している傾向が見られる．また，x 軸正方向の移動距離は熟達前と比較すると熟達後の方が 100〜200px の移動が増加していることが見られる．熟達前（図 7）後（図 8）間の停留点移動特性については，次の様に読み取る．熟達前は，10 秒 ~20 秒にかけてほとんど停留点の移動が見られず，繰り返し 4 小節目前後に停留点が多いこと傾向が見られた．熟達後においては，5 秒以上長く同じところに停留している箇所は見当たらなかった．また，停留点間に線形的な傾向が見られた．

表 1　読譜時における各被験者の特徴

被験者 ID	移動距離	移動特性	内唱行動の傾向
A	正方向に増加	x 軸負方向の減少	有
B	変化なし	x 軸負方向の減少	有
C	変化なし	変化なし	有
D	正方向に増加	x 軸負方向の減少	有

熟達前後と比較すると，熟達後の x 方向の移動距離が長くなっている傾向が見られる．100px が一小節分であるため，熟達前よりも短期記憶に格納できる情報量が増えていると考えられる．また，楽曲練習時に楽譜に必要な情報を取得するために長期記憶から頻繁に検索されることから，長期記憶への情報検索時間が減少すると考えられる．その結果，適切に楽譜から読み取ることができ，読み戻る頻度が減少しているのではないかと考えられる．図 8 では停留点間の線形性が見られる．中平ら [5] によると，弾いている音符に対して内唱できることができているとこのような傾向がみられることから，内唱に関しては円滑に情報処理ができていると考えられる．

表 1 は以上のような分析を各被験者ごとに行い，特徴を示した．100px~200px への頻度が増加し，移動距離が増加した傾向を示したのは被験者 A，D の 2 名であった．また，被験者 B，C にはあまり移動距離に変化は見られなかった．

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

Vol.2017-CE-142 No.20
Vol.2017-CLE-23 No.20
2017/12/9

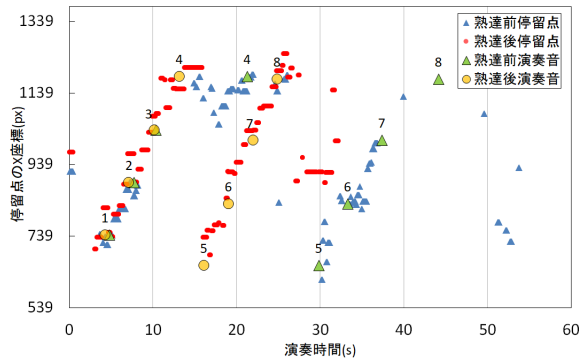


図 9　演奏時における視行動

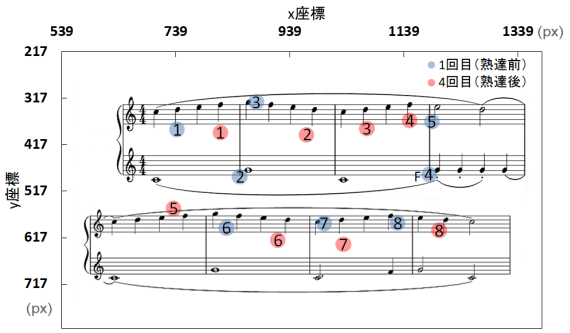


図 10　演奏音に対する熟達前後の視行動

表 2　演奏時の各被験者の特徴

被験者 ID	演奏行動	先読み傾向
A	鍵盤を主に見ながら演奏	なし
B	基本楽譜を見ながら演奏	部分的にあり
C	楽譜のみを見ながら演奏	あり
D	基本楽譜を見ながら演奏	部分的にあり

被験者 A，B，D において x 軸負方向の減少，つまり読み戻ることが減った傾向が見られた．すべての被験者において停留点移動の線形性が見られた．演奏熟達と読譜時の視行動の関係において，熟達後において内唱できることを示す傾向が見られた．

4.4　熟達と演奏時視行動の関係

最後に，熟達と読譜時の視行動に変化について述べる．図 9 は演奏時の停留点の移動と演奏音を表したものである．縦軸は停留点の x 座標，横軸は経過時間を表している．また，点の縦幅は停留時間の長さを表している．上から三角の点は熟達前，円は熟達後の停留点の座標を表している．大きい三角と大きい円は，それぞれ熟達前，熟達後の演奏時おける各小節の一音目の演奏音を表している．停留点の時系列と演奏音を表記することによって演奏中の視行動を表記することができる．

図 10 は演奏中楽譜上の各小節の一音目を発声しているときに，どこに停留していたを表した図である．また．各小節の一音目を弾いている時に画面内を見ていない場合，手元を見ていた場合も存在するので，その場合は直前の停留点の座標を与えた．代表的な例として被験者 C を分析例として以下に示す．

図 9 より熟達前は，4 小節目を弾く前，15〜20 秒付近において停留が複数見られる．図 10 において，熟達前は弾いている音と同じことを見ている．また 4 小節目で間違った音を弾いてしまう，動画データより左手と右手がずれてしまうなどのミスが多かった楽譜から情報をとり，鍵盤操作をするというプロセスにおいて，短期記憶と長期記憶の情報の検索に手間取ってしまっている，またうまく引き出せたが運動処理が追いつかずうまく情報を処理しきれなかったと考えられる．熟達後においては 4 小節目以外，弾いている各小節 1 音目より 1~2 音先に停留していることが分かった．つまり，演奏している発生音に対して先読みを行っていたことが分かる．

表 2 は各被験者ごとの熟達後の特徴を示した図である．視線データの画面内と画面外の割合やビデオデータを考慮して，被験者の熟達後の演奏行動を分類した．被験者 A は演奏時に手元を主に見る傾向が見られた．被験者 B，D は基本的を楽譜を見ながら演奏を行っていた．また，数か所において楽譜から手元に視線を移し，手元をながら演奏する傾向が見られた．また，部分的ではあるが手元を見ていた被験者 A を除いて，演奏している発生音より楽譜の 1〜2 音先を見る先読みの傾向があった．このことから，熟達するにつれ，処理できる情報量や短期記憶に格納できる情報量が増加し，長期記憶への検索時間が減少すると考えられる．結果，情報処理を適切に行うことが可能となり，円滑なピアノ演奏が行うことができたと考えられる．

5.　まとめと今後の課題

熟達前後において読譜・演奏時視行動変化について関係の分析を行った．読譜時において，移動距離の頻度分布，また停留点間の角度による移動特性による分類を行うことによって変化を可視化することができた．また，視行動を時系列に分析することによって内唱行動を行っているかどうかの判別をすることが可能ではないかと考えられる．演奏時においては熟達前と熟達後での視行動の変化を分析することができた．熟達後には，演奏している音に対して先読みしていることが示された．今後の課題は，先読みを定量的に分析することや被験者数を多くして，定量的に分析することが必要であると考えられる．

参考文献

[1]　上田健太郎，竹川佳成，平田圭二：ピアノ練習状況の可視化および気づきのアノテーション機能を持つ学習支援システムの設計と実装，情報処理学会論文誌，Vol. 57, No. 12,

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan

pp. 2617–2625 (2016).
[2] 竹川佳成，平田圭二，田柳恵美子，椿本弥生：鍵盤上への演奏補助情報投影機能を持つピアノ学習支援システムを用いた熟達過程の評価分析，情報処理学会論文誌，Vol. 58, No. 5, pp. 1093–1100 (2017).
[3] 笠原翔平，中平勝子，北島宗雄：J-002 視線計測データに基づく習熟度別ピアノ演奏者の読譜方略の特徴抽出 (J 分野: ヒューマンコミュニケーション& インタラクション, 一般論文)，情報科学技術フォーラム講演論文集，Vol. 14, No. 3, pp. 307–310 (2015).
[4] 笠原翔平，中平勝子，北島宗雄：読譜時の視行動時空間軌跡パターンとピアノ演奏技能の関係，第 78 回全国大会講演論文集，Vol. 2016, No. 1, pp. 381–382 (2016).
[5] Nakahira, K. and Kitajima, M.: Understanding differences of eye movements patterns while reading musical scores between instructors and learners to design learner-centered teaching strategies, pp. 101–106 (2014).

ⓒ 2017 Information Processing Society of Japan