Vol.2020-MUS-127 No.12
Vol.2020-SLP-132 No.12
2020/6/6

異なる応答特性をもつ電子ピアノを用いたタッチ制御過程の観察

島日向子[1]　饗庭絵里子[1,2]

概要：本研究では，ピアニストが「音の粒を揃えること」をどのように追及するのかを実験的に検証し，タッチ制御がされるまでの過程の観察を目的とした．実験では，鍵盤の一部のベロシティを変化させた電子ピアノを用い，実験参加者に繰り返し音階を演奏してもらい実験を行った．その際，ベロシティの変化を徐々に大きくし，打鍵がどのように調整されていくかを観察した．その結果，実験参加者がベロシティの変化に気付いた段階から打鍵ベロシティを調整する様子が観察され，同一条件内で回数を重ねるほど演奏が安定する傾向にあることが明らかになった．

Observation of touch control process measured by hybrid piano with various response characteristics

HINAKO SHIMA[†1]　ERIKO AIBA[†1,2]

1. はじめに

ピアニストは，自分の楽器を持ち運ぶことができないため，演奏会やコンクール等の重要な場面で,演奏会場にあるピアノを演奏する必要に迫られる.しかしながら，ピアノはその個体によって特性が異なり，例えば低音部が出づらいにもかかわらず高音部が出やすく感じられるなど，弾きなれたピアノとは異なる打鍵圧と出力音量の関係(応答特性)を持つ楽器を演奏しなければならない場面に遭遇することも多い．そこで，熟達したピアニストは，演奏するピアノの応答特性に応じて，打鍵圧やタイミングなどを細かく制御，いわゆる精密なタッチ制御を行って，音量バランスを整え，美しい演奏を維持しているとされている．つまり，どのようなピアノ個体であっても美しい演奏を維持するためには，ピアノから出力される音を聴き，タッチの強弱を制御する能力が求められるのである．

これまでのタッチ制御に関する研究では音色のニュアンスごとのタッチ制御の特徴についてや，タッチの変化による音色の変化について[1, 2]など，音色との関係を追及したものが主だが，本研究ではタッチ制御の中でも特に打鍵ベロシティの調整能力を検証することとした．特に柔軟なタッチ制御によって「音の粒が揃った演奏 」をすることは，ピアノ演奏スキルの基本的技術として重要視されている．

そこで本研究においては,デジタル的に応答特性を様々に調整したハイブリッドピアノを用いてピアニストに演奏してもらい,「音の粒が揃った音階の演奏」を課題とすることでタッチ制御がどのような精度で行われているのかを観察することとした．また，本稿においては，特に制御が行われる過程に注目することとし，課題である音階を繰り返し演奏する中で，どのような変化が生じるのかを観察することとした．

2. 方法

2.1 実験参加者

プロピアニスト 8 名（うち男性 1 名，平均±標準偏差＝年齢 34.4±7.6 歳，ピアノ訓練期間 30.3±7.1 年）に参加してもらった．

2.2 実験機材

オーディオインターフェイス（UA-1010, Roland）を介して PC（20CL-A2P3JP, Lenovo）とハイブリッドピアノ（AvantGrand N2, YAMAHA）を接続し，応答特性を変化させた．具体的には，ハイブリッドピアノのベロシティに変化を加えるためにメディア向けビジュアルプログラミング言語（Max 8, Cycling ’74）を用いた制御を行った．また，MIDI データ・音波形データの計測にデジタルオーディオワークステーションソフト(cakewalk, BandLab)を使用した．

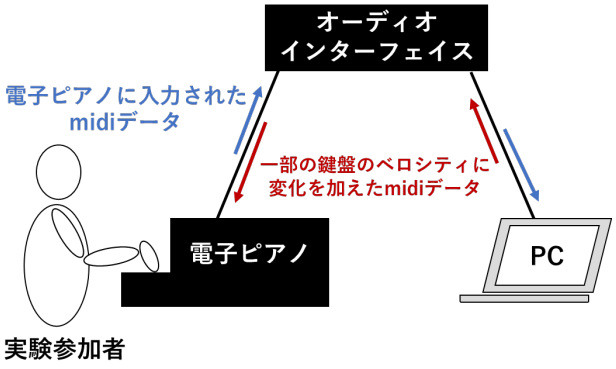


図 1. 実験機材の構成

1　電気通信大学情報理工研究科
2　電気通信大学技能情報学研究ステーション

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MUS-127 No.12
Vol.2020-SLP-132 No.12
2020/6/6

2.3 実験条件

ピアノの応答特性を変化させるため，ベロシティを 6 段階（±2，±4，±6，±8，±10，±12）でプラス（＋）あるいはマイナス（－）に変化させた．また，ベロシティ変化を施す音域は，演奏課題で使用する C3 音から C7 音の中心 11 鍵分である E4 音から A5 音の間の連続する 4 音についてランダムに変化させた．各実験参加者は 3 種類の音域で実験を行ったため，一人当たりの実験条件は計 36 条件となった．

本稿においては，ハイブリットピアノにおける応答特性の操作について「ベロシティ」あるいは「ベロシティ変化」と記述し，実験参加者の打鍵については「打鍵ベロシティ」と記述する．

意識してしまわないよう変化の内容は知らせなかった．そのため演奏順は，条件のベロシティの絶対値が小さいものから順に行い，同絶対値となる各 6 条件はランダムに並び替えて実験を行った．

各条件にて音の粒が揃うまで繰り返しスケールを演奏してもらい，自身が納得できたところで演奏を中断してもらった．なお，1 条件におけるスケール回数の目安は 5 回から 10 回とした．

加えて，条件終了ごとに，アンケートにて音の粒を揃えた演奏についての自己評価を 5 段階（1．満足していない～5．大いに満足）で回答してもらい，満足していない場合には，その理由について自由記述で回答してもらった．

3. 結果

図 1 に演奏されたスケールにおける各鍵打鍵時のベロシティを示す．縦軸が打鍵ベロシティ，横軸が音名である．破線の赤色は上行，青色は下行におけるデータを示し，実線はそれぞれの平均値，黒実線は 1 条件内全体の平均値を示した．ベロシティを変化させた範囲は背景を青色で示した．

3.1 ベロシティ変化なし(図 1a 参照)

全ての実験参加者において，音高が高くなるにつれ打鍵ベロシティも高くなる傾向が示された．上行と下行のいずれにおいても,同様の傾向であった．ただし，全体的に上行の打鍵ベロシティが高い人，上行下行の打鍵ベロシティが同程度の高さであった人等，ある程度の個人差は観察された．

また，ほとんどの実験参加者において，特定の音高で打鍵ベロシティが高くなり，ギザギザとした多数の揺らぎが示された．

3.2 ベロシティ変化あり(図 1b 参照)

ベロシティ変化±2,4,6 条件ではベロシティ変化なし条件での演奏とほぼ変わらなかった．ベロシティ変化±10, 12 では，変化させるベロシティが大きくなるほどその箇所を調整しようとする傾向が見られる.図 1b に+12 条件での結果を示す．

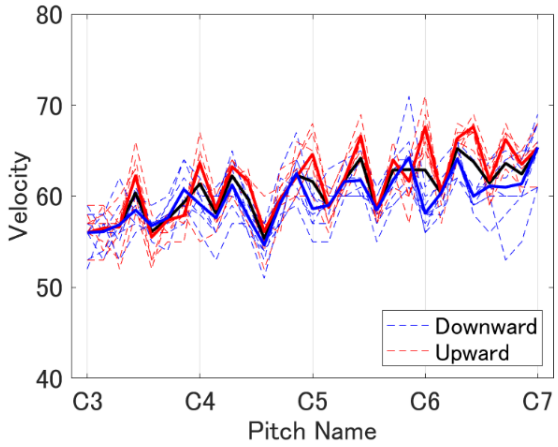
また，一部の音が出にくくなる（－）条件に比べて，出やすくなる（＋）条件において調整量が多い傾向が観察された．

加えて，ほとんどの実験参加者に共通して，各条件においてベロシティ変化を施した音域以外ではベロシティ変化なし鍵盤で見られたギザギザとした揺らぎが示された．

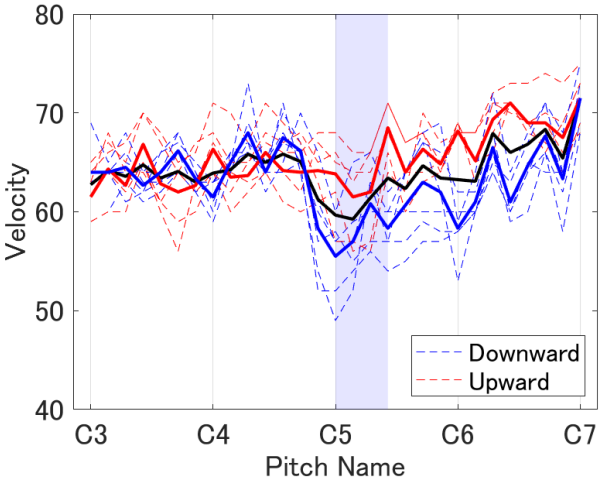
3.3 アンケート

実験参加者がベロシティ変化に気付くまでの段階として①気付かない，②違和感がある，③気付く，の 3 つがあることが読み取れた．

出力ベロシティとアンケートの回答を照らし合わせた結果，どの実験参加者もベロシティが 8 以上変化すると違和感を覚えているようであったが必ずしも打鍵ベロシティを調整しているわけではなかった．しかしながら，10 以上変化すると変化に明確に気付き，変化の大きさに応じて打鍵ベロシティを調整していた.ただし，その場合の満足度は決して高いわけではなく，調整に苦慮している可能性が示された．



a.　ベロシティ変化なし



b.　C5 から F5 までベロシティ+12

図 1. 各鍵盤の打鍵ベロシティ

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan

Vol.2020-MUS-127 No.12
Vol.2020-SLP-132 No.12
2020/6/6

3.4 指使い

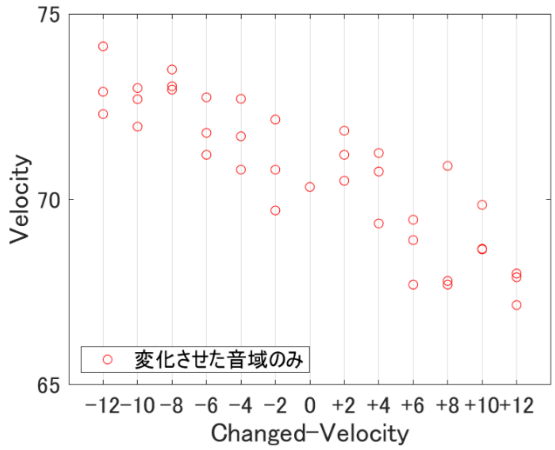
指使いに着目して打鍵ベロシティの大小を観察した結果，実験参加者間に共通した打鍵ベロシティの規則性は特に見られなかった．ただ，参加者によっては常に特定の音の打鍵ベロシティが大きくなったり小さくなったりといった固定の指使いがある様子が見られた．また，規則性はなくとも 1 音ごとに打鍵ベロシティが大小している様子も見られた．

ベロシティ変化ありとなしの条件で指使いを比べてみると，全体的に変化なしのときの特徴が変化ありのときにも継続して見られた．また，大きなマイナス方向のベロシティ変化によって打鍵ベロシティを大きく調整した直後の音は打鍵ベロシティが小さくなる様子が見られた．

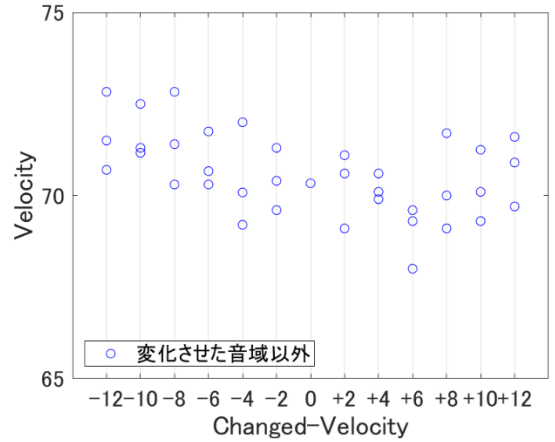
3.5 ベロシティ変化と打鍵ベロシティの関係

実験参加者ごとに，各ベロシティ条件においてベロシティ変化を施した音域とそれ以外の箇所で演奏の違いが見られるかを比較した．図 2 はある実験参加者について，各条件での打鍵ベロシティの平均値を，それぞれ音域ごとに分けて求めプロットしたものを示している．

各条件を比較すると，±ともにベロシティの変化が大きくなるほど打鍵ベロシティが調整されていく様子が見られた．またこの結果をアンケートと合わせると，3.3 で述べた③気付く段階に達したときのみにタッチ制御が見られた．この傾向はどの実験参加者にも共通して見られた．



a, ベロシティを変化させた音域



b, ベロシティを変化させていない音域

図 2, 音域ごとの打鍵ベロシティ

3.6 タッチ制御過程

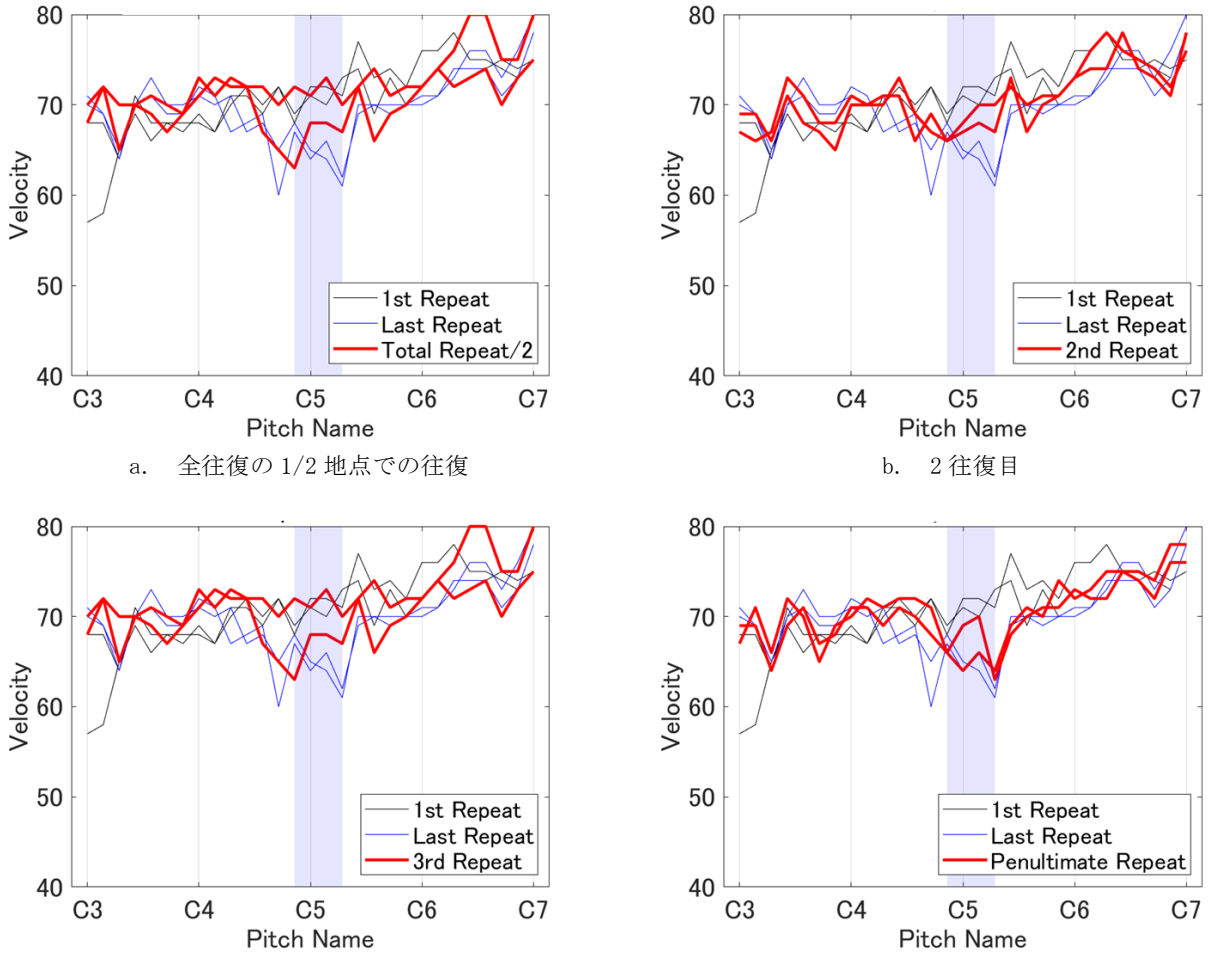
タッチ制御の過程を詳しく観察するために実験参加者ごとに各ベロシティ条件における最初の演奏（黒実線）と最後の演奏（青実線），ある繰り返し 1 往復分（赤太実線）の打鍵ベロシティをプロットして比較を行った(図 3). 例えば，図 3a は，最初と最後の往復に加えて，9 往復分演奏していた場合，5 往復目を一緒にプロットしている．往復回数が偶数の場合，例えば 8 往復の場合には 4 往復目の下行と 5 往復目の上行を合わせて 1 往復とみなした．図 3 および図 4 は 2 名の実験参加者のデータをそれぞれプロットしたもので，どちらも打鍵ベロシティに対し+12 となる条件での結果である．条件ごとの最初(黒色)と最後(青色)の演奏を比較すると，最初の演奏に比べて最後の演奏では打鍵ベロシティが調整されているのがわかる．まず 1/2 時点での演奏は特に最初の演奏にも最後の演奏にも特に似た形にならないことがわかる(図 3a 参照). より細かく観察するために，2 往復目， 3 往復目の演奏との比較を行う(図 3b,c 参照). 2 往復目の演奏は，全体的にやはり最初(1 往復目)の演奏と似た形をしているが，ベロシティに変化を加えた箇所の打鍵ベロシティが小さくなっているのがわかる．特に 3 往復目はより打鍵ベロシティが小さく制御されているように見える．反対に最後から 2 往復目と並べたグラフも示した(図 3d 参照). こちらもやはり最後の演奏に似た形をとっているが，他のグラフと比較すると 3 往復目とあまり変わらない形をしていることがわかる．

実験参加者 B の条件ごとの最初(黒色)と最後(青色)の演奏を比較すると，こちらも最初の演奏に比べて最後の演奏ではベロシティが変わる箇所を中心に，全体的に大きく打鍵ベロシティが調整されていることがわかる．各グラフを比較すると，2 往復目で既にかなり調整がされ，最後の演奏に近い制御されるが 3 往復目では制御が弱まり，まだ安定していない様子がうかがえる(図 4bc 参照). またこの参加者も最後から 2 番目の演奏は最後の演奏に近いグラフの形をしていることから，安定してきていることがわかる．この参加者は演奏においてはじめ F5 の音が隣の音と比べて大きく出るという特徴があったが，回数を重ねるにつれその特徴がなくなっていく様子も見られる．

4. 考察

「音の粒が揃った演奏」を課題とすることでタッチ制御がどのような精度で行われているのかを観察した結果，熟達したピアニストはベロシティの変化に対応して，打鍵ベ

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan



a. 全往復の 1/2 地点での往復　b. 2 往復目

c. 3 往復目　d. 最後から 2 番目の往復

図 3. 実験参加者 A の最初と最後の演奏との比較

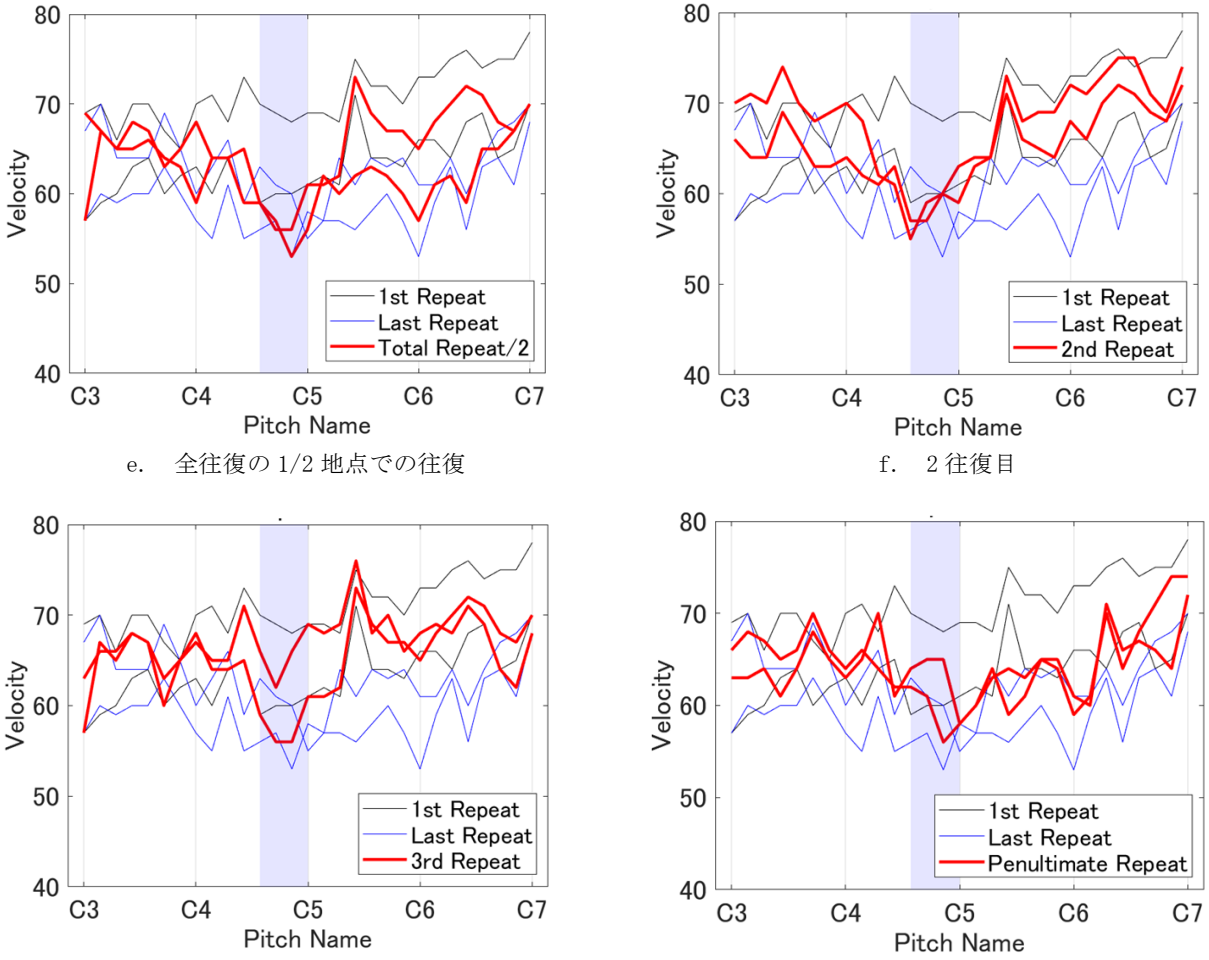
ロシティを調整していたことがわかった．ほとんどの実験参加者のデータにおいて，ベロシティ変化の有無にかかわらずギザギザとした多数の揺らぎが示されたが，この揺らぎは実験参加者間に共通した規則的なものではなかった．一方で，個人間では共通していることが多く，例えば親指で打鍵する際に必ずベロシティが他より高くなるなど，実験参加者内では共通していることから，個人の癖があらわれていると考えられる．同実験参加者の 1 条件内の制御過程を観察したところ，1 往復目の演奏から最後の演奏に向けて段々と制御がされていき打鍵ベロシティが安定していく様子が見られた．演奏始めは音の大きさ/小ささのため打鍵ベロシティが往復ごとに不安定になるものの，段々と順応していく様子が表れたのだと考えられる．また，ベロシティ変化あり条件での打鍵ベロシティが，ベロシティ変化なしの打鍵ベロシティと同じような概形になった点については，ピアノの応答特性が異なる鍵があっても，その他の箇所では通常と同じように演奏を行っていた可能性が示された．この点については，音階によって音の大きさが異なる可能性があるため，MIDI のベロシティデータだけではなく，同時に収録した音波形から音圧レベルがどれだけ維持されているかを計算することによって，より明確に考察できると考えている．

5. おわりに

本研究においてはピアニストがタッチ制御をしていく過程の観察を目的とし，鍵盤の一部のベロシティを変化させた電子ピアノを用いて「音の粒を揃えること」を課題として実験を行った，その結果，実験参加者がベロシティの変化に気付いた段階から打鍵ベロシティを調整する様子が観察され，同一条件内で回数を重ねるほど演奏が安定する傾向にあることが明らかになった．

今後は音圧レベルなど他の音響特徴量とタッチとの関係についても観察する.加えて，条件間の移行部においても，直前の条件で行った調整が 1 回目に何らかの影響を及ぼしていることも考えられる．音響特徴量と合わせて，さらに詳細な検討が可能な指標を用いることで，プロピアニストらの精緻な運動コントロールについて明らかにしていきたい．また，アマチュアピアニストとの比較も行いたいと考えている．

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan



e. 全往復の 1/2 地点での往復　　f. 2 往復目

g. 3 往復目　　h. 最後から 2 番目の往復

図 4. 実験参加者 B の最初と最後の演奏との比較

謝辞

本研究の実験に使用するプログラムについて，福知山公立大学に橋田光代准教授に指導いただいた．ここに感謝を表す．

本研究の一部は，この研究は「物質・デバイス領域共同研究拠点」における共同研究プログラムの助成を受けたものである．

参考文献

[1] 鈴木英男. (2017). ピアノ音響学の未解決問題. 日本音響学会誌, *73*(4), 257–258.

[2] Goebl, W., Bresin, R., & Galembo, A. (2004). Once again: The perception of piano touch and tone. Can touch audibly change piano sound independently of intensity. Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics, 332–335.

ⓒ2020 Information Processing Society of Japan