社団法人 情報処理学会 研究報告
IPSJ SIG Technical Report

2004－MUS－56 (3)
2004／8／2

ピアノ演奏における音楽表情と離鍵速度の関係に関する考察 ～低離鍵速度個所の特徴に関する予備的検討～

大島 千佳† 西本 一志†‡ 鈴木 雅実†

ピアノ奏者に，離鍵速度の適切な調整を気づかせるためのシステムの構築を目指して，基礎的な分析を行った．スペクトログラムで離鍵速度の違いが示され，聴取実験でも明らかに違いが判定されていることから，離鍵速度が重要な要素であり演奏表現に影響をもたらしていることがわかった．また，打鍵速度との特性の違いを示した．さらに，離鍵速度値が小さい個所に注目し，演奏間の一致率を測ることで，奏者の習熟具合を示す指標になることが示唆された．

Effects of Key-release Velocity in Piano Performance -Basic Analyses on Features of Low Key-release Velocity Points-

Chika Oshima†, Kazushi Nishimoto†‡, and Masami Suzuki†

We aim at construct an education support system that allows piano performers to be aware of an inappropritate control on key-release velocity. In this paper, we show importance and effects of controlling key-release velocity based on their transitions and frequency distributions. Moreover, we show differences between key-touch velocity and key-release velocity based on transitions and frequency distributions. Finally, we analyzed points where low key-release velocities were detected. It is suggested that degree of proficiency can be measured from coincident-ratio of the low key-release velocity points between performances.

1 はじめに

ピアノの離鍵速度とは，打鍵して下におりた鍵盤が元の位置に戻るときの速さであり，離鍵と同時にダンパー（弦の響きを押さえるもの）が下がる．ダンパー・ペダルの使用状態による音の減衰や他弦の共鳴についても既に論じられており [1]，ピアノ演奏法でも，打鍵した後にすぐに脱力する必要性や，打鍵した指が鍵盤から離れるときに，下がった鍵盤が自然に元に戻る「反作用」を意識する必要性が言われている [2]．熟達者が非熟達者よりも速く離鍵できることも示されているが [3]，離鍵速度の特性に関する詳細な分析はまだ行われていない．

そこで本稿では，離鍵速度を表すMIDI（Musical Instrument Digital Interface）データの中のNote off velocity（鍵盤が元の位置に戻る速さ）に焦点をあてて，演奏表現における離鍵速度の調整の重要性を示し，基礎的な分析を行う．まず離鍵速度の違いをスペクトログラムで，ノイズや周波数成分のパワーの減衰差により示す．さらに，離鍵速度のみ違う演奏を，音楽系大学生に聴いて比較してもらうことで，離鍵速度が演奏表現に影響をもたらしていることを示す．次に，打鍵速度（Note on velocity）と離鍵速度を推移や度数分布により比較することで，離鍵速度の特性について議論する．最後に離鍵速度値が小さい個所の再現性や異奏者間の一致具合について示し，奏者の習熟具合を明らかにできる可能性を示す．最後に，今後の研究への予備実験として，筆者が自分の演奏データにおける低離鍵速度個所の特性について考察する．

† ATR メディア情報学研究所
ATR Media Information Science Laboratories
‡ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology, Hokuriku
E-mail:{chika-o, knishi, msuzuki}@atr.jp

2 離鍵速度の効果

2.1 スペクトログラムに見られる離鍵速度の差異

本稿で演奏データを取得するために使用したYAMAHA SILENT ENSEMBLE プロフェッショナルモデルシリーズのグランドピアノでは，鍵盤の下に非接触式の光によるキーセンサーが4個所あり，音を止めるタイミングや離鍵速度のMIDIデータとしての出力が可能である [4]．実験で使用するピアノについて調べたところ，鍵が4.7ミリ～5.5ミリ（10回計測）おりた個所（レットオフに相当する位置より上）で離鍵メッセージが出力された．

図1に，離鍵速度の変化による周波数の様子の違いを，スペクトログラムにより示す．まず，C4,D4,E4,D4,C4を，MIDIデータの入出力が可能なピアノにて奏でる．出力されたデータの離鍵速度の値をそれぞれ，127と25の2種類に変更する．これらのデータをピアノに入力し，実際にハンマーで打弦させて出力した音から，それぞれサンプリング周波数44.1kHz，分解能16bitで記録した音響データを用いて，スペクトログラムを作成した．

図 1 の上の段は離鍵速度を 25 に変更した E4 (331.1Hz) と D4 (295.0Hz), 下の段は離鍵速度を 127 に変更した E4 と D4 のスペクトログラムである. 横軸が時間, 縦軸が周波数であり, 周波数の強さが時間的に変化する様子を示している. 図中, 消音メッセージ発行時刻以後の周波数成分の変化を比較すると, 以下の 2 点の差異が明らかである.

1. 離鍵速度が 127 の場合, E4 と D4 の離鍵開始直後に, それまでに存在しなかった周波数成分の音が出現している. これは, 速い離鍵によって鍵のアクション機構が高速に元に戻る際に生じるノイズではないかと思われる.

2. 離鍵速度が 127 の場合, 離鍵速度が 25 の場合と比較して離鍵の開始からいずれの帯域についてもパワーの減衰が速いが, 特に高周波成分の減衰が著しい.

これらのノイズや周波数成分のパワーによる減衰の差は, 音の消滅時間の違いとしてもみならず, 音色の差としても知覚されるはずである.

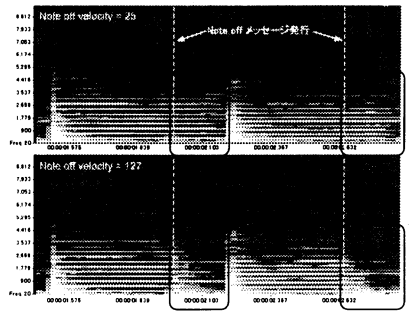


図 1: 離鍵速度の違いによる周波数の様子

2.2 聴覚による離鍵速度の差異

スペクトログラムの結果を受けて, 離鍵速度の差異が聴覚ではどのように違いを感じるのかを調べるために, ピアノを専攻する学生 3 名によるショパン作曲「エチュード Op.10-3」1-8 小節の主旋律の演奏データを採取した. 各々のデータの離鍵速度を次に示す 6 通りの方法 (*Lo,Hi,Av,Ex,Ct,Rn-method*) で変更し, 音楽を専攻する大学生にオリジナルのデータと比較してもらい, 自由記述により回答をしてもらった.

Lo-method: 離鍵速度の値をすべて 25 に統一した. よってどの音も鍵盤がゆっくりと上がってくる.

Hi-method: 離鍵速度の値をすべて 100 に統一した. よってどの音も鍵盤が速く上がってくる.

Av-method: 離鍵速度の値をすべて平均値に統一した.

Ex-method: 離鍵速度の値を次式により算出した.

$$V_i^{(mod)} = (V_i - V_{av}) * 1.5 + V_{av} \qquad (1)$$

$V_i^{(mod)}$ は i 番目の消音メッセージの算出された離鍵速度の値である. V_i は i 番目の元の離鍵速度の値である. V_{av} はすべての離鍵速度の平均値である.

Ct-method: 離鍵速度の値を次式により算出した.

$$V_i^{(mod)} = (V_{av} - V_i) + V_{av} \qquad (2)$$

この計算式により, 離鍵速度の値は平均値を中心として推移は反転することになる.

Rn-method: 離鍵速度の値を次式により算出した.

$$V_i^{(mod)} = V_{av} + (Rnd * 25) \qquad (3)$$

Rnd は-1.0 から 1.0 までの間のランダムな数である. この計算式により, ランダムな離鍵速度値が算出される.

回答から, *Lo-method* では,「テヌート (音を保持して) ぎみ」「レガートのかかりすぎ」等, アーティキュレーションが重くなっていることが指摘された. *Hi-method* では,「固さがある」という音色の変化が指摘されている. 一方で前の 2 つの方法と同じく, 離鍵速度値が一定であっても, 平均値である *Av-method* では,「自然な感じ」という意見があったことが興味深いが「ルバートの仕方が違う」という意見もあった. *Ex-method* では,「感情の込め方がある」「ルバートの仕方が自然」「音がきれい」等, 全体の中で評価が最も良かった. *Ct-method* では,「同音の連続がつながったように感じられた」という意見があったが, これは離鍵速度が反転したならではの指摘である. 離鍵速度がランダムな値であった *Rn-method* では,「音楽性があまりない」「自分の予想と違う」という意見があった. これは, 離鍵速度が演奏表現の上で, 蔑ろにできない音楽要素であることを示している (詳細は文献 [5]).

聴取評価により, 離鍵速度の差異は, 減衰時の周波数の違いとなって表れるだけでなく, 人間が聴取しても音楽表情の違いとして充分に聴き分けることができると言える.

3 打鍵速度との特性の違い

3.1 打鍵速度と離鍵速度の推移の違い

図 2 は 2.2 節で使用した 3 人の演奏の打鍵速度の推移を示しており, 図 3 は離鍵速度の推移を示している. 1 つの演奏の中での各音の推移を比較するために, それぞれの演奏の平均値を 0 とした

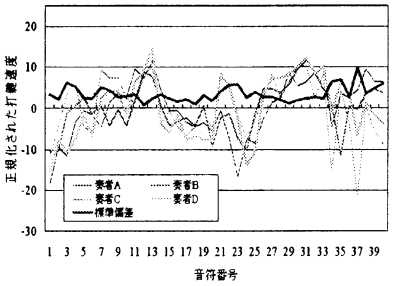


図 2: 3 つの演奏における打鍵速度の推移

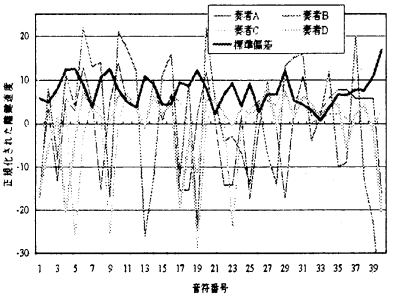


図 3: 3 つの演奏における離鍵速度の推移

正規化を行った．あわせて各音における標準偏差を示した．

図 2 と図 3 からは，同じ演奏であっても，打鍵速度の推移と離鍵速度の推移が全く違うことがわかる．打鍵速度の推移は比較してなだらかであり，分散が小さいが，離鍵速度の推移は，ところどころで大きく低い値を記録し分散が大きい．2 つの速度の推移の特性を比較するために，まず打鍵速度および離鍵速度のそれぞれについて速度差 $\Delta v_i = v_i - v_{i-1}$ を求めた．ここに v_i は楽譜上の i 番目の音符の打鍵速度あるいは離鍵速度である．ついで，打鍵速度および離鍵速度のそれぞれについて Δv_i の分散を求め，両者に違いがあるかどうかを F 検定によって検定したところ，演奏 A（$F(38,38)=5.91$, $p < .01$），演奏 B（$F(38,38)=15.54$, $p < .01$），演奏 C（$F(38,38)=2.10$, $p < .05$）すべてにおいて有意差が認められた．このことから打鍵速度の推移と離鍵速度の推移は同様でないことがわかる．

次に演奏 A，演奏 B，演奏 C の打鍵速度の推移の関係を見るために，それぞれの演奏を平均値を 0 として正規化したデータをもとに，相関係数を算出した．結果を表 1 に表す．表 1 によると，演奏 A と演奏 B，及び演奏 B と演奏 C の打鍵速度には比較的強い相関が見られ，演奏 A と演奏 C には弱い相関が見られる．表 2 は演奏 A，演奏 B，演奏 C の正規化した離鍵速度の推移をもとに算出した相関係数であり，演奏 A と演奏 B の離鍵速度には弱い相関があるが，ほかの組には相関がないことがわかる．ここから，打鍵速度の推移は，いずれの奏者についてもおおむね同じ傾向が見られたが，離鍵速度の推移に関しては奏者によって違うことがわかった．

表 1: 打鍵速度の推移における相関

	演奏 A	演奏 B	演奏 C
演奏 A			
演奏 B	0.68**		
演奏 C	0.34*	0.42**	

** は 1%水準で有意．* は 5%水準で有意．

表 2: 離鍵速度の推移における相関

	演奏 A	演奏 B	演奏 C
演奏 A			
演奏 B	0.34*		
演奏 C	-0.00	0.24	

* は 5%水準で有意．

次に，各演奏の打鍵速度の推移（図 2）にどのような特徴があるかを見るために，課題曲の楽譜と照らし合わせたところ，どの演奏も，クレッシェンド（だんだん強く）の記号の後や，アクセント（その音を強く）の記号のついた音で値が高くなっていた．一方，離鍵速度の推移（図 3）では，演奏 A は音高の進行方向が変わる直前の音（その音を境に上っていた音高列が下がる等）で値が小さくなり（鍵盤が上がるのが遅くなり），演奏 B は同じ音高が 2 回連続する最初の音や長く伸ばす音で値が小さくなっていた．また長く伸ばした音の次の音の打鍵速度は，より小さい値になっている（図 2）．演奏 C は四分音符で値が低くなった．これらの結果から，奏者間における離鍵速度の推移は違っていたが（表 2），個人内では奏者によって，楽曲構造と密接な関係をもつ首尾一貫した変化をつけている可能性が示唆された（詳細は文献 [5]）．

また，離鍵速度の推移は，なだらかなではなく，ところどころで極小値を記録していることから，ある値よりも小さい値を記録する個所の集合と，大きい値を記録する個所の集合に分布していることが予測できる．

3.2 速度の度数分布

本節では，複数の奏者に曲全体を演奏してもらい，そのデータから打鍵速度と離鍵速度の度数分布を比較する．

奏者 5 人（奏者ア～オ）全員が音楽系大学の学生や卒業生である．今回の分析では，奏者が高いモチヴェーションをもって練習した後の演奏をデータとして使用することが望ましかったために，各々の奏者が卒業試験やコンサート等に向けて練習した曲を用いることにした．そのため，同一曲目による比較ができないので，参考に筆者（奏者オ）が一部の奏者と同じ曲を同じ期間練習し，演奏データを採取した．奏者は各々の曲を 3 回連続

して演奏した．奏者アと奏者オのピアノソナタ第8番3楽章は，1ヶ月挟んで2度に渡り3回ずつデータを採取した．

得られたすべての演奏データから各音における打鍵速度と離鍵速度の値を取り出し，度数分布を求めた．なお，グラフの形状の差を把握しやすくするために，グラフを3次の荷重移動平均によって平滑化した．

図4は奏者アのソナタ8番3楽章，図5は奏者エのノクターン20番の打鍵速度と離鍵速度の度数分布を示している[1]．表3は，すべての演奏曲目のグラフの形状を示すために，各収録の3回目の演奏データの歪度と尖度を求めた結果である．

打鍵速度の分布は，歪度の結果からわかるように多少右に傾いた分布であるが，尖度の結果からわかるように扁平な分布に近い．離鍵速度の分布は打鍵速度の分布よりも狭い範囲の値で分布し，離鍵速度60前後を頂点とした先の尖った分布をしている．さらに離鍵速度30前後を頂点とした山が，大きさは様々であるがどの演奏にも見られ，双峰形になっていることがわかった．奏者エと奏者オのショパンの演奏以外の離鍵速度の歪度はマイナス1以下の値となっており，大きく右に偏って分布していることが明らかである．奏者エと奏者オのショパンの演奏については，図5からもわかるように，強い双峰形の分布になっているため，偏りが打ち消された．同じように，奏者アのドビュッシー，奏者エ，奏者オのショパンの演奏において尖度が打鍵速度よりも離鍵速度の方が小さい値になったのは，分布が強い双峰形であったためである．

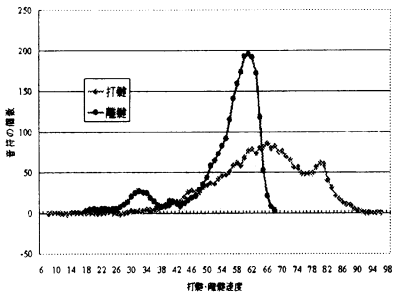


図4: 奏者アによるベートーヴェンのソナタ8番3楽章の速度の度数分布

4 低離鍵速度個所

3.2節で求めた荷重移動平均値をもとに，各々の演奏の離鍵速度60前後のピークから0に向かって最初の底値を閾値とし，その閾値よりも低い離鍵速度値の個所を「低離鍵速度個所」とする．本節では，低離鍵速度個所に該当する楽譜上の音符

[1]紙面の都合上他の奏者の度数分布のグラフは割愛する．

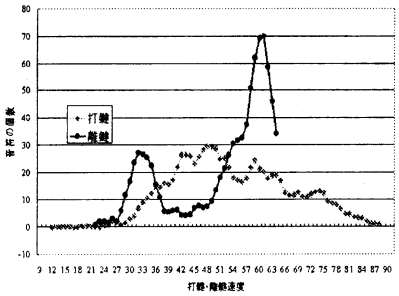


図5: 奏者エによるショパンのノクターン20番の速度の度数分布

の位置を求め，同一奏者内や異奏者間での低離鍵速度個所の一致度合いについて検証する．

4.1 低離鍵速度個所の一致度合い

分析に使用した演奏データは，奏者アの「ソナタ8番3楽章」の2度の収録による全6演奏と「アルページョのための」の全3演奏，奏者エの「ノクターン第20番」の全3演奏，そして奏者オの「ソナタ8番3楽章」の2度の収録による全6演奏である．

演奏間における低離鍵速度個所の一致率を次式で定義する．

$$R_a = \frac{c}{a+b+c} \tag{4}$$

R_a は $i-1$ 番目の演奏と i 番目の演奏における，低離鍵速度個所の集合の一致率を示している．a は $i-1$ 番目の演奏 P_{i-1} で低離鍵速度個所に含まれたが，i 番目の演奏では低離鍵速度個所に含まれなかった個所の総数である．b は i 番目の演奏 P_i で低離鍵速度個所に含まれたが，$i-1$ 番目の演奏では低離鍵速度個所に含まれなかった個所の総数である．c は $i-1$ 番目の演奏と i 番目の演奏の両方で低離鍵速度個所に含まれた個所の総数である．一致率 R_a は $a=b=0$ の場合に1.0となって完全一致を示し，$c=0$ の場合には0.0となって完全不一致を示す．なお，異奏者間の一致率を求める際には，$i-1$ 番目の演奏と i 番目の演奏をそれぞれの奏者の演奏に置き換えて計算した．

次に演奏間における低離鍵速度個所の変化度を次式で定義する．

$$R_c = 10log\frac{b+c+1}{a+c+1} \tag{5}$$

R_c は $i-1$ 番目の演奏から i 番目の演奏に向かって，低離鍵速度の不一致個所の変化を示している．$a=b=0$ の場合に $R_c=0$ となる．

表4は3人の奏者による演奏の一致率と変化率を示している．1度の収録で3回ずつ演奏を行っ

表 3: 打鍵速度と離鍵速度の分布の歪度と尖度

				打鍵速度		離鍵速度	
奏者	所属	作曲者	曲目	歪度	尖度	歪度	尖度
ア	修士 1 年	ベートーヴェン	ソナタ第 8 番第 3 楽章 *	-0.574	3.896	-1.608	4.959
		ドビュッシー	アルベージョのための	-0.513	4.318	-1.183	3.375
イ	修士 1 年	ショパン	ポロネーズ第 6 番	-0.805	3.721	-2.345	8.893
ウ	学部 4 年	ショパン	ポロネーズ第 7 番	-0.184	2.353	-1.355	3.895
エ	音楽教員	ショパン	ノクターン第 20 番	0.263	2.394	-0.864	2.331
オ	筆者	ベートーヴェン	ソナタ第 8 番第 3 楽章 *	-0.520	3.035	-2.527	10.125
		ショパン	ノクターン第 20 番	0.123	2.608	-0.787	2.344

* 練習開始 1ヶ月半後と 2ヶ月半後の 2 度にわたって収録が行われた.

表 4: 同一奏者による演奏間の一致率と変化度

奏者	曲目		No.1/2	No.2/3	No.1/3
ア	ソナタ (I)	R_a	0.452	0.489	0.427
		R_c	0.154	0.183	0.337
	ソナタ (II)	R_a	0.445	0.439	0.461
		R_c	0.817	-0.594	0.223
オ	ソナタ (I)	R_a	0.378	0.401	0.360
		R_c	0.845	-0.274	0.571
	ソナタ (II)	R_a	0.444	0.424	0.406
		R_c	0.474	0.090	0.383
ア	アルページョ	R_a	0.438	0.446	0.408
		R_c	-0.0216	-0.153	-0.175
エ	ノクターン	R_a	0.577	0.553	0.582
		R_c	-0.039	0.268	0.229

ており，一致率と変化度は各々の組み合わせにより求めている.「I」は第 1 回の収録を示し,「No.1」はその収録での最初の演奏を示している．表 5 は奏者アと奏者オの第 1 回収録の 3 度目の演奏と，第 2 回の収録の 3 度目の演奏の一致率と変化度，および最右項では，奏者アの第 2 回収録の 3 度目の演奏と，奏者オの第 2 回収録の 3 度目の演奏の異奏者間での一致率を示している．

同一奏者による同一曲の同一収録日での一致率（表 4）は平均 0.452（STDV 0.061）であり，低離鍵速度個所の比較的高い一致が認められた．しかし，1ヶ月を経た同一奏者の演奏間の一致率（R_a）は 0.34 台と比較的低く（表 5），演奏に変化があったことがわかる．さらに異奏者間では同一曲でも 0.173 とかなり低い値になったことから（表 5），3.1 節で示唆されたように，低離鍵速度個所には奏者に依存した特性が示されていると言える．一方で同一奏者による同一曲の同一収録日での変化度（表 4）は平均 0.326(STDV 0.245) であったが，1ヶ月を経た奏者アの演奏間の変化度（R_c）は-1.117 であった（表 5）．しかし一致率が 0.345 であることからも考えられるように，1ヶ月後の演奏では，1ヶ月前よりも低離鍵速度の不一致個所が減り，奏者による特性が反映された低離鍵速度個所に絞られてきたことがわかる．

これらの結果から，打鍵速度では推移の収束具合が習熟を表したように [6]，離鍵速度では低離鍵速度の一致率や変化度が，各奏者の習熟具合を表していると考えられる．

4.2 低離鍵速度個所の特徴

本節では低離鍵速度箇所を楽譜と照らし合わせて抽出し，簡単なカテゴリーを作成する．

表 5: 1ヶ月経過した演奏間の比較と異奏者の演奏間の比較

奏者		I-No.3 と II-No.3	アとオ (II-No.3)
ア	R_a	0.345	R_a (一致率) 1.733
	R_c	-1.117	
オ	R_a	0.343	
	R_c	0.245	

表 6 は，奏者アのベートーヴェンのソナタ 8 番 3 楽章の演奏における低離鍵速度個所の，楽譜上の音価ごとの割合をまとめたものである．そもそも奏者は音価分の長さをきっちりと伸ばしているわけではないため適切な分析とは言い難いが，音長（duration）と離鍵速度に相関がある（R=0.54）ことはわかっており [5]，表 6 の結果でも，付点のつく音符以外は，音価と比例して低離鍵速度個所の割合が増えていることは明らかである．

しかし，音価との関係だけでは低離鍵速度個所の特性をすべて示しているとは言えない．そこで，今後の分析に向けた予備実験として，筆者が自分の演奏データをもとに各低離鍵速度個所について適切かどうかの評価を行い，その理由を明らかにし，それらをもとに簡単なカテゴリーを作成する．

表 7 は，奏者オ（筆者）の第 1 回，第 2 回の収録の No.3 の演奏データをもとに低離鍵速度箇所を抽出し，各箇所について適切かどうかの評価を行い，低離鍵速度による効果や理由をまとめたものである．この際，演奏データの聴取は一切行っていない．表したい音楽表情を得るためには，打鍵速度や音長等の他の音楽要素との相互の調整が必要であるが，その中での低離鍵速度の役割はその音の残響を調整することであろう（2.1 節）．ピアノの演奏法では，音を響かせるために，打鍵してすぐに手や腕を脱力できるように訓練するが [2]，弾いてすぐ脱力した和音では，脱力しないままの和音よりも，無意識に離鍵速度が約 16 遅くなり，スペクトログラムでもその違いが離鍵時刻以降に表れている[2].

「不適切」として評価したものは，作品解釈による理想的な表現とは異なったと予想された個所であり，今回はすべて，指の特徴が原因であった．片手の指は 5 本しかないために「かぶせる」「くぐらせる」という奏法が出てくるが，軸になる親指が自発的に鍵盤から速く出ようとしない限り，他

[2]北陸先端科学技術大学院大学の修士課程の学生の副テーマ研究として行われた実験である．脱力については筋電位を取ることで証明している．

表 6: 奏者アのソナタ 8 番 3 楽章における音価ごとの低離鍵速度個所の割合 (%)

音符	I-No.1	I-No.2	I-No.3	II-No.1	II-No.2	II-No.3	平均	標準偏差
十六分音符	0.0	0.0	0.0	2.2	1.4	1.4	0.8	0.9
八分音符	2.9	2.0	2.2	3.0	3.2	4.2	2.9	0.7
四分音符	4.3	4.8	5.2	11.6	9.3	11.8	7.8	3.2
二分音符	18.6	22.5	17.8	22.5	18.6	13.2	18.9	3.2
全音符	25.0	18.2	31.8	34.1	34.1	45.5	31.4	8.4
付点四分音符	46.7	40.0	13.3	26.7	33.3	13.3	28.9	12.6
付点二分音符	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1

注：タイの場合には合計した音価に分類し，全音符にさらにタイがついている場合は，「全音符」に含めた．

表 7: 奏者オのソナタ 8 番 3 楽章における低離鍵速度個所の評価

	効果	具体的な個所	理由
適切	プツ切れを防ぐ	和音，低音	余韻を残したい
		スラー，メッツォスタッカート，音価の変化	音の間をつなげたい
		フレーズの終わり	落ち着かせたい（終着感）
	溜めを表現	フレーズの始まり	始まりを際立たせたい
		和声の変化	変化を明示したい
不適切	重たい音になるのでは？	かぶせる指遣いの軸となる親指	親指が他の指にかぶさるため
		4 つ連なる八分音符の 4 つめの親指	次の音が小指のため

の指がかぶさることで低速になってしまう．また今回の楽曲では，左手の分散和音の多くが「小指，中指，人指し指，親指」が順番に繰り返されたが，そのうちの親指が低離鍵速度になっていた．つまり，親指で演奏される音と次の小指で演奏される音の音程が狭いため，親指が鍵盤に置いたままになっていても次の音を弾くことができる．よって，親指の機能的な特徴（動き）も要因となって，自発的に鍵盤から速く出ようとしない限り，低速の離鍵になる．これらの箇所はある意味，人間らしい癖であると言えるが，演奏家はこれらの癖が要因になる表現が，自身の作品解釈に適さないと判断した場合には，癖を改善できるように練習を積む．よって，このような奏者自身が不適切であると評価する癖を客観的に表示するシステムがあれば，有効に使用できるであろう．一方で「適切」として評価した箇所が常時適切とは限らない．前後の音高列や和音の上下関係等や頻度等の条件も考慮しなければならないであろう．

5 おわりに

本研究では，不適切な離鍵速度と推定される個所を奏者に提示することで，奏者の意図に反する表現を改善できるようになることを目的としたシステム等の開発を目指している[3]．システムを構築するには，多くの奏者の演奏データを収集し，熟達したピアニストや教育者による評価を照らし合わせることで，楽曲の個々の音符の特性に応じた適切な離鍵速度を抽出する方法が考えられる．しかし前節までに論じてきたように，演奏には奏者に依存した表現があり，それが一般的に他の奏者には見られない表現だからといって，「悪い」と判定することはできない．よってシステムは万人に受け入れられるルールを取り入れると共に，奏者の個性や癖に応じて評価できるように変化していく機能を持つことが望ましい．今後は高離鍵速度個所の分析も加えながら，奏者の演奏意図を練習過程やレトロスペクティブ・プロトコル分析により抽出し，離鍵速度の状況を適切に表示する方法を模索していく．

[3]離鍵速度によって響きを変える「キー・オフ・レゾナンス」が搭載されたデジタルピアノ [7] も発売されているため，アコースティック・ピアノのユーザー以外にも適用できる支援システムとして期待できる．

謝辞 実験にご参加くださった金沢大学，大学院の学生の皆様，高校の音楽科の先生に心より感謝致します．また，実験にご協力いただいた，北陸先端科学技術大学院大学の宮下芳明氏と増渕俊行氏にお礼申し上げます．この研究は情報通信研究機構 (NICT) の研究委託により実施したものです．

参考文献

[1] 田口友康:ピアノ演奏における運動感の表現，モーツァルトのピアノソナタ K.311 による定量的研究，情報処理学会，研究報告，MUS-45-12, pp.67-72, 2002.

[2] C. ソアレス:演奏と指導のハンドブック，ヤマハミュージックメディア，1995.

[3] 下道郁子，ピアノ奏法にみられる非熟達者と熟達者の相違 -MIDI データと画像観察による比較-，http://www.yamaha-mf.or.jp/，財団法人ヤマハ音楽振興会，1999.

[4] ヤマハ:ヤマハグランドピアノ，http://www.yamaha.co.jp/product/pi/prd/grp/sso/.

[5] K. Nishimoto and C. Oshima:Basic Analyses on Effects of Key-release Velocity in a Piano Performance, *Proc. The IJCAI-03 workshop on methods for automatic music performance and their applications in a public rendering contest*, pp.76-77, 2003.

[6] L. H. Shaffer: Performance of Chopin, Bach, and Bartok: Studies in Motor Programming, *Cognitive Psychology*, vol.13, pp.326-376, 1981.

[7] ローランド:デジタルピアノ HP-107, http://www.roland.co.jp/products/ck/HP-107.html.