

## 演奏分析資料としてのピアノロール

鷲野 彰子\*・Craig Stuart Sapp\*\*

**要約** 本論文では、ピアノロールを演奏分析資料として用いる際の各種資料の関係性について演奏速度の点から検討した。また、これらの差異がどれほどのものであるのかを知る上での参考として、同一演奏者が同一曲を複数回演奏した場合の差異、そして異なる演奏者が同一曲を演奏した場合の差異についても分析した。

その結果、次のことが明らかとなった。(1) ピアノロールのデータとその再生演奏の間には、ピアノロールが巻き取られる際の半径の増加による加速の差異が存在する。(2) 音源からデータを聴取する際に生じる誤差範囲は約0.005秒であり、それを基準とすると、複数のMIDI間のデータの差異(再生速度を一定に調整した場合)はその約2倍、自動演奏ピアノによる再生演奏間の差異(再生速度を一定に調整した場合)は約4倍、同一演奏者が同一曲を複数回演奏する際の差異は約8倍、異なる演奏者が同一曲を演奏する場合の差異は約32倍であった。

**キーワード** 自動演奏ピアノ ピアノロール 再生演奏 MIDI 録音 差異

### 目次

0. はじめに
1. 資料と検討方法
2. 比較検討
3. まとめ

### 0. はじめに

ピアノロールは、20世紀初期の約30年間にヨーロッパ、次いでアメリカで普及した自動演奏ピアノのための記録媒体である。つまり、カ

セットテープやレコード、あるいはCDといったもの同様、そこには当時の演奏家による演奏の記録が残されている。ただ、ピアノロールに残された記録が他と大きく異なるのは、空間の中で実際に鳴らされた音が記録されているのではなく、録音時に楽器が受け取った記録を元に、再生時に録音時の状況が復元されるよう編集し、作成されていることにある。

だが、その再生演奏は、再生方法によって時には大きく異なる。それというのも、既に音の強弱やペダルを含め、演奏の方法はピアノロー

\*福岡県立大学人間社会学部・准教授

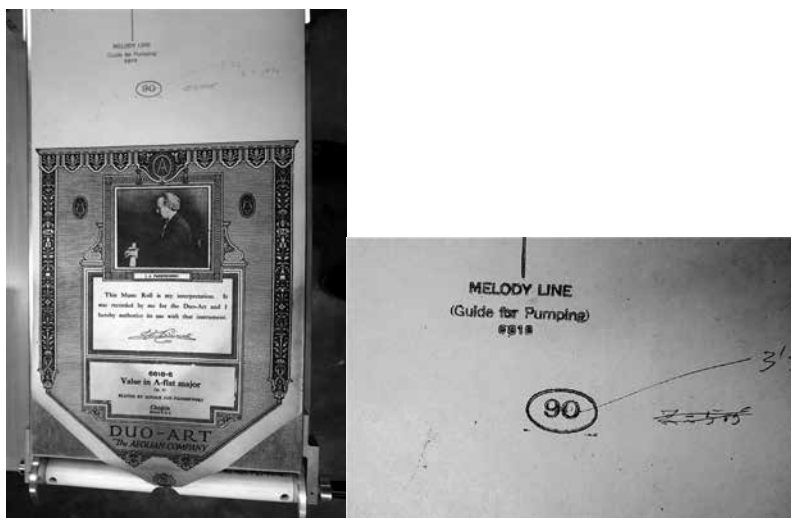
\*\*Adjunct Professor, Stanford University

ルのデータとして全て決定されており、それに沿って演奏が行われるため、再生時の楽器の特徴いかんでその演奏は変化してしまうためである。さらに演奏速度も、可変的なものである。ピアノロールには再生する速度が表示されているが（【写真1】）、ピアノに付けられた速度調節のつまみ（【写真2】）を見てもわかるように、厳密な速度で再生できるようなものではない。

こうした、ピアノロールのデータそのものが演奏記録時の演奏と単純に一致するわけではない、という特徴から、ピアノロールを演奏分析のための資料として用いるためには、注意が必要となる。

本論文では、ピアノロールを演奏分析資料として用いる際に、注意が必要となるであろう箇所とその度合い、について検討するが、ここでは、ピアノロールのデータと各種再生演奏の関係性について、演奏のタイミング、つまり演奏速度の面から明らかにしたい。その際、ピアノロールのデータを演奏分析資料として用いる上での最適な媒体といえるMIDIについても、ピアノロールのデータ、そして再生演奏との関係性を明らかにしたい。

併せて、これらの差異がどれほどのものであるのかを知る上での参考として、同一演奏者が同一曲を複数回演奏した場合の差異、そして異



【写真1】ピアノロール上に示された速度表示：このピアノロールのテンポ表示は「90」



【写真2】自動演奏ピアノの速度調節つまみ

なる演奏者が同一曲を演奏した場合の差異についても分析し、比較の対象として用いたい。その際、ピアノロールのデータとの関係性を探る上で必要となる全ての資料を用意できたパデレフスキ (Ignacy Jan Paderewski, 1860-1941) によるショパン《ワルツOp.42》の演奏を用いることとする。ただし、彼はオーディオ録音 (当時スタジオで収録された録音) もピアノロールへの記録もそれぞれ1つずつの演奏のみしか残していないことから、同一演奏者が同一曲を複数回演奏した場合の差異については、同時代の演奏家である、ローゼンタール (Moritz Rosenthal<sup>1)</sup>, 1862-1946) によって残された、ショパン《ワルツOp.42》の5つのオーディオ録音 (スタジオ録音) の演奏を比較することとする。ローゼンタールの演奏については、ピアノロールの再生録音も1つのみであるが、入手できたため、これら5つのオーディオ録音 (スタジオ録音) とピアノロールの再生録音の比較についても併せて示すこととする。

上記のような、資料間関係性、つまり資料間の差異を数値化することで、これまで伝聞的に語られたり、憶測で評価されてきた資料の特性をより明確にすることが、本論文の主たる目的である。

## 1. 資料と検討方法

本論文で検討するのは、実際に音として鳴らされる前のデータであるピアノロールのデータとそれを再生した場合の関係性、また、ピアノロールのデータからMIDI変換された資料との関係性である。また、それに加えて、上記の2点の差異の値が、同じ演奏家によって同じ作品が演奏される際の差異、また、異なる演奏家が

同じ作品を演奏する際の差異の値と比較してどれほどの大きさの値であるのか、である。

それゆえ、ここではそれぞれの場合において、下記の【表1】から【表3】に示した、A1からA8、B1からB6、C1からC9の資料を用いて、それらの関係性を求めることとした。資料にはそれぞれ整理番号と名称を付した<sup>2)</sup>。

各種資料の内容は、次のようなものである。資料A1から資料A8は、いずれもパデレフスキによるショパン《ワルツOp.42》の演奏が記録されたデュオ=アート社製のピアノロール (Duo-Art, No.6618) から作成されたものである。

まず、資料A1「MIDI\_ScanImage」はピアノロールをスキャナ (【写真3】) で読み込み、そのデータに何の操作も加えないまま、MIDI変換させたもの (【写真4】) であり、資料A2の「MIDI\_MS」は、演奏の速度は実際の演奏に近いものとなるよう、テンポの調節がなされた上で、MIDI変換されたものである (エクスプレッション付きMIDI【写真5】)。これら資料A1と資料A2は、いずれもMichael Swansonによって作成されたファイルであるが、彼はこれらの資料を作成する際、Warren Trachtmanのプログラムを用いている<sup>3)</sup>。

資料A3「MIDI\_PP」はPeter Phillipsによって作成されたエクスプレッション付きMIDIであるが、彼はピアノロールをスキャンせずにMIDIを作成する、彼オリジナルの方法を用いてMIDIを作成している。

資料A4「mp3\_PP」は、Peter Phillipsが、彼自身によって作成された資料A3のMIDIファイル (MIDI\_PP) を「ヤマハ製グランドピアノCFX」に設定したシンセサイザーで再生・録音し、それをmp3ファイルに変換したもの

【表1】パデレフスキによるショパン《ワルツOp.42》のピアノロール（D-6618）のデータとそれらのMIDI及び再生音源資料

	ピアノロール (ScanImageMIDI)	MIDI (エクスプレッション付きMIDI)		再生演奏 (シンセサイザー)	再生演奏 (自動演奏ピアノ)
1	A1: MIDI_ScanImage	A2: MIDI_MS	A3: MIDI_PP	A4: mp3_PP	A5: CD_Condon_collection
2					A6: CD_Pianola_institute
3					A7: CD_Nimbus
4					A8: CD_Essential

【表2】ローゼンタールによるショパン《ワルツOp.42》のピアノロール（A-64123H）の再生演奏とスタジオ録音

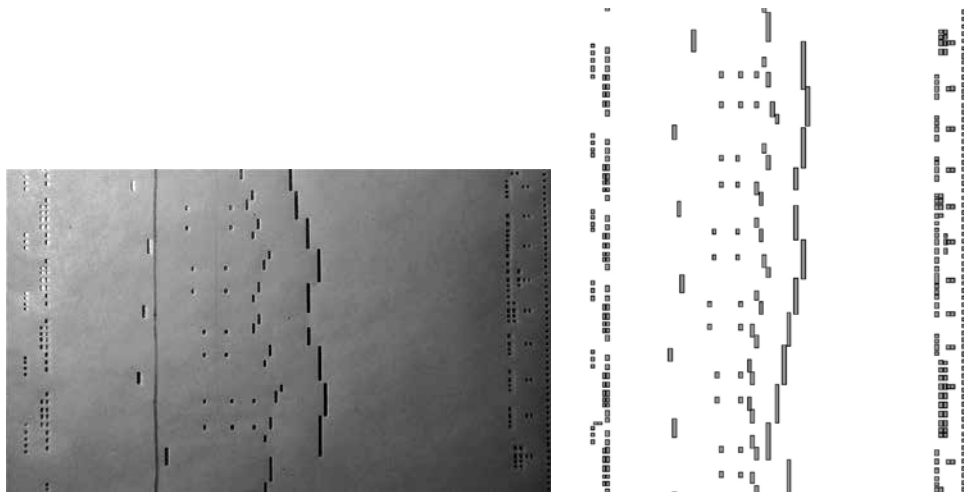
	再生演奏(自動演奏ピアノ)	オーディオ録音(スタジオ録音)
1	B1: ZOOM_Strauss	
2		B2: 1929(1)
3		B3: 1929(2)
4		B4: 1934(1)
5		B5: 1934(2)
6		B6: 1935

【表3】9名の演奏家によるショパン《ワルツOp.42》のピアノロールから作成された各資料（✓は入手できたデータ）

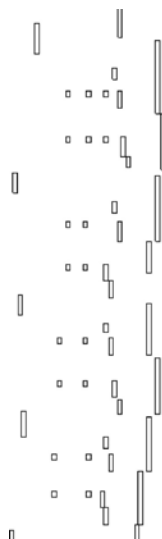
演奏者	メーカー	番号	scanimage	MIDI		再生演奏	
				MIDI_MS	MIDI_PP	シンセサイザー	自動演奏ピアノ
Katherine Bacon	Welte	6789	✓	✓	✓ C1: Bacon_MIDI_PP	✓	
Harold Bauer	Duo-Art	5635	✓	✓	✓ C2: Bauer_MIDI_PP	✓	
Augusta Cottlow	Duo-Art	63599	✓	✓	✓ C3: Cottlow_MIDI_PP	✓	
Leopold Godowsky	Ampico	51554J	✓	✓	✓ C4: Godowsky_MIDI_PP	✓	✓(1種類)
Josef Hofmann	Duo-Art	6401	✓	✓	✓ C5: Hofmann_MIDI_PP	✓	✓(1種類)
Jan Ignacy Paderewski	Duo-Art	6618-6	✓	✓	✓ C6: Paderewski_MIDI_PP	✓	✓(4種類)
Moriz Rosenthal	Ampico	64123H	✓	✓	✓ C7: Rosenthal_MIDI_PP	✓	✓(1種類)
Xaver Scharwenka	Welte	245			✓ C8: Scharwenka_MIDI_PP	✓	
Marguerite Volavy	Ampico	51294F	✓	✓	✓ C9: Volavy_MIDI_PP	✓	✓(1種類)



【写真3】Michael Swansonの使用したピアノロール用スキャナ



【写真4】主要旋律冒頭部分（ピアノロールの写真とMIDI\_ScanImage）



【写真5】【写真4】と同一部分のエクスペッション付きMIDI（MIDI\_MS）

である<sup>4)</sup>。

資料A5から資料A8はいずれも、デュオ＝アート製のピアノロール（No.6618）を再生し、録音・収録されたCDから得たオーディオ音源であり、これらは程度の差こそあれ、いずれも再生時間が異なる。

資料B1「ZOOM\_Strauss」は、ローゼンタールによるショパン《ワルツOp.42》が記録され

たAmpico社製のピアノロール（No.64123H）の再生録音である。この録音は執筆者らがPhilip Strauss宅で録音したものであり、再生する際には彼の所有するピアノロールを用いた。

資料B2から資料B6は、同じくローゼンタールによるショパン《ワルツOp.42》の演奏であるが、これらは1929年から1935年にかけてス

タジオで収録された演奏である<sup>5)</sup>。

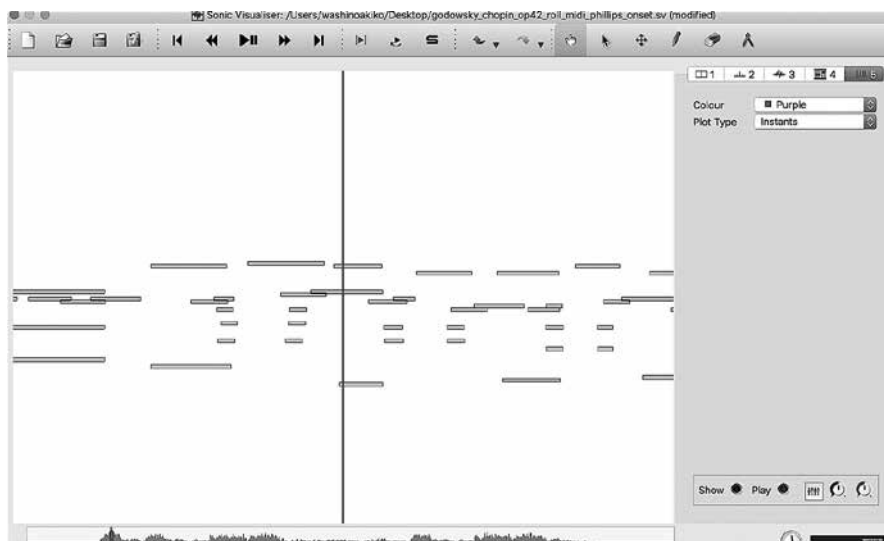
資料C1から資料C9は、パデレフスキ及びローゼンタールを含む、9名の演奏家によるショパン《ワルツOp.42》の演奏が記録されたピアノロールから作成された資料であり、Peter PhillipsによってMIDI（エクスプレッション付きMIDI）に変換されたものである<sup>6)</sup>。

本論文では、以上の資料を用いて、各演奏における各小節の開始時間を検出し、そこから各小節の演奏所要時間を求め、演奏時間の比較を行った。本論文の資料として用いるのは全てショパン《ワルツOp.42》の演奏であるが、この作品は前奏8小節を含む289小節から成る。ここでは、この前奏部分8小節を除いた281小節を比較の対象とする。

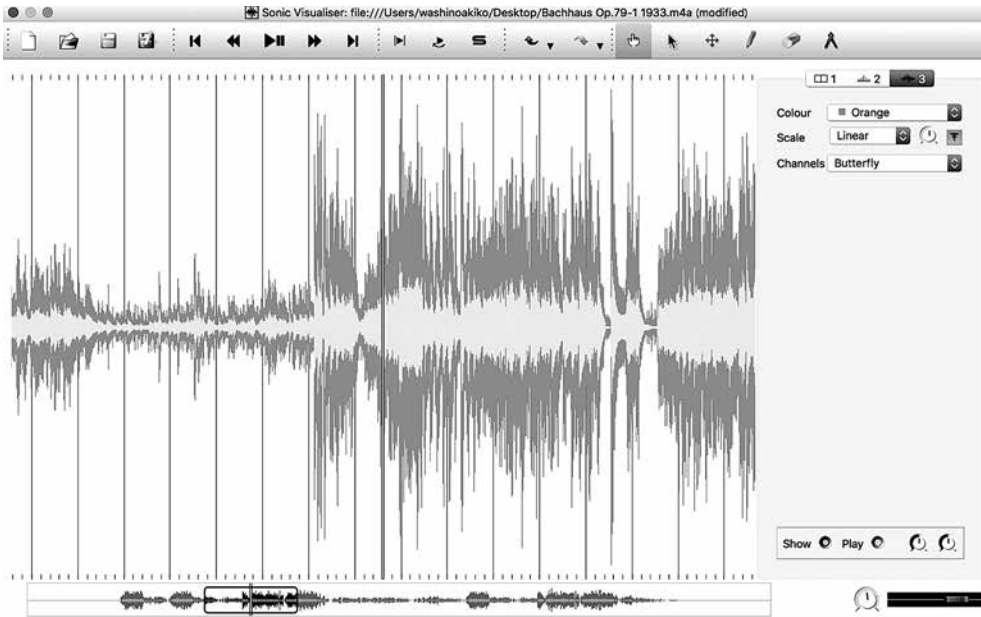
データの検出には、いずれの場合においてもフリーのソフトウェアであるSonic Visualiserを用いたが（【写真6】及び【写真7】）、各小節の開始時間を検出する際、データの種類により、2種類の異なる方法を用いた。ピアノロールのデータ及びMIDI（資料A1-A3、B1、

C1-C9）には、Craig Stuart Sappによって作成された、ピアノロールのスキャン・データをMIDI変換する際のファイルから、音の「入り」のタイミングのみを検出するプログラム<sup>7)</sup>を用い、そこから得られたデータから、必要なデータのみを選出した。他方、CDに収められた音源及び、ピアノロールを再生した音源双方を含むオーディオ音源（資料A4-A8、B2-B6）については、Sonic VisualiserにMazurka Project Pluginの一部であるSpectral Reflux toolを組み込んだものを用いた。その際、0.01秒単位の感度で音の入りを検出させ、それを参考として耳で必要な音の入りのタイミングを聴取し、検出した（【写真8】）。

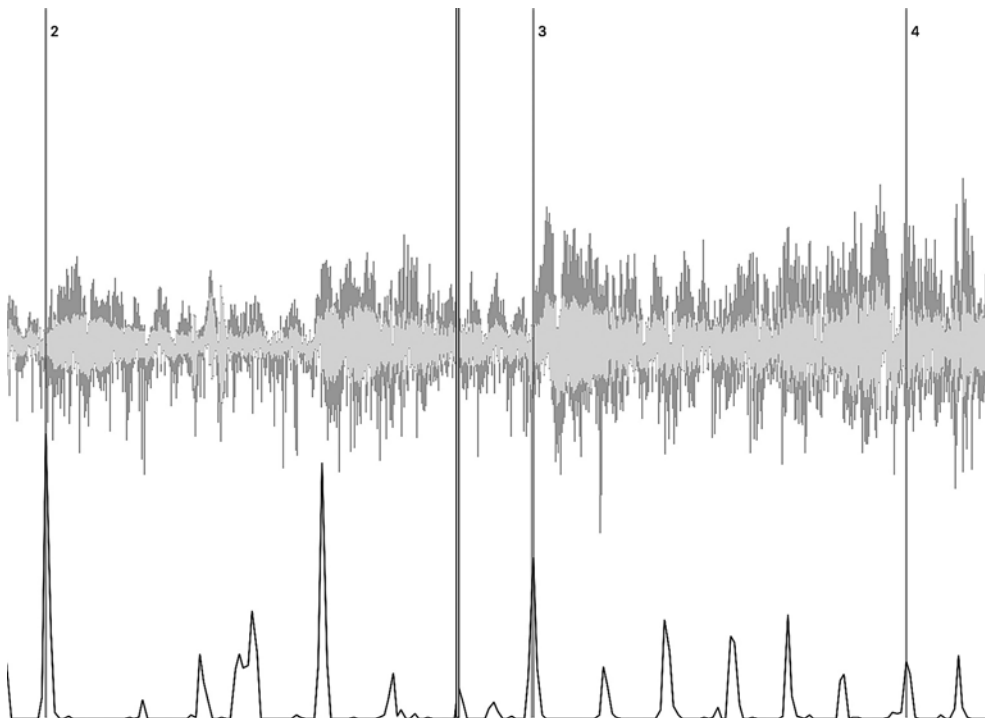
これらの方法で得られたデータを用い、次の要領で資料の比較を行った。まず、ピアノロールから派生した各資料の関係性について、①ピアノロールのデータとエクスプレッション付きMIDIの関係性（資料A1と資料A2）、②複数のMIDIの相違（資料A2と資料A3）、③MIDIデータとシンセサイザーにおける再生演奏の相違



【写真6】 Sonic Visualiser上のピアノロールのMIDIデータ



【写真7】Sonic Visualiser上のオーディオ録音のデータ



【写真8】写真下部がSonic Visualiserに組み込まれたSpectral Reflux toolにより得られた波形：この波形を指標として耳で聴取して各小節の開始時間を検出（数字付きの縦線）

(資料A3と資料A4)、④各種再生録音の相違(資料A5から資料A8)、⑤シンセサイザーによる再生演奏を含む各種再生録音の相違(資料A4から資料A8)、⑥完全に同一のピアノロールだが、再生方法の異なる録音間(シンセサイザーと自動演奏ピアノ)の相違(資料A4と資料A5)、の6種類について、それぞれ検討した。それにより、ピアノロールのデータそれ自体と再生された音源の関係性、また演奏分析に用いるMIDIと再生された音源資料のデータの関係性を明らかにした。

次に、ピアノロールの再生演奏と他の音源資料の比較については、複数の同一曲のオーディオ録音(ライブ録音)を残した演奏家、ローゼンタールによるショパン《ワルツOp.42》の5つのオーディオ録音に残された演奏を比較し(資料B2から資料B6)、その後、それら資料と自動演奏ピアノによるピアノロールの再生演奏との比較を行った。

最後に、ショパン《ワルツOp.42》をピアノロールに録音した9名の演奏家による演奏の比較を行った。

## 2. 比較検討

### 2-1 ピアノロールのデータとMIDI及びピアノロール再生演奏との関係性

ここではパデレフスキのピアノロール(Duo-Art, No.6618)から作成された資料間の差異について、順に検討した。それぞれの秒数と知覚の関係については、次の数値が参考となるだろう。ヒトがほぼ同時に鳴らされた音についてはっきりと知覚及び認識できる差異の値は0.02秒以上の場合であり<sup>8)</sup>、また、急速で演奏される十六分音符や装飾音などの音の入りの差異は

おおよそ0.1秒である<sup>9)</sup>。

#### ① ピアノロールのスキャンされたデータとエクスプレッション付きMIDIの関係性(資料A1と資料A2)

はじめに、ピアノロールのスキャンされたデータと、エクスプレッション付きMIDIとの関係性について確認しておきたい。これらの比較については、ピアノロールをスキャンしたのち、演奏速度やエクスプレッション(ダイナミクスやアクセントなど)の要素を加味しないまま作成されたMIDI(ScanImageMIDI)と、それらを加味して作成されたMIDI(エクスプレッション付きMIDI)を比較した。ここで用いているデータは、いずれもMichael Swansonによって作成されたデータであり、既に述べたように、彼はスキャンしたデータを加工する際、Warren Trachtmanによって作成されたプログラムを用いている。

【図1】は、これら2つの資料から、各小節の第1拍目の鳴らされるタイミングを計測して比較したものである。前奏部分(第1小節目から8小節目)を除いた第9小節目から289小節目を計測しており<sup>10)</sup>、これは今後、比較検討する何れの資料についても同様である。

この図からは、小節が進むにつれて、徐々に2つのデータに差異が拡大していることが確認できる。すなわち資料A1のデータは、資料A2のデータと比較すると徐々に数値が大きくなっていることが読み取れる。ただしこの図では、資料A1は、スキャンされたロールがそのままMIDI変換されているため、縦軸の単位が「長さ」であるのに対し、資料A2の縦軸の単位が「時間」であることに注意が必要である。

この、徐々に差異が拡大するのは、資料A2のエクスプレッション付きMIDIが、ピアノ



ロールが再生される際の、次のような傾向を加味して作成されたことによるものである。巻き取る側のロール、つまり巻軸（take-up spool、【写真9】）は、再生される際、常に同じ速度で回転する。それゆえ、演奏が進行し、巻軸に巻き取られたピアノロールの半径が増すにつれて、1周する間の巻き取られるピアノロールの長さが増す。その結果、同じピアノロールの長さを演奏するのに要する演奏時間は短くなり、ピアノロールの演奏速度は加速する<sup>11)</sup>（【写真10】）。

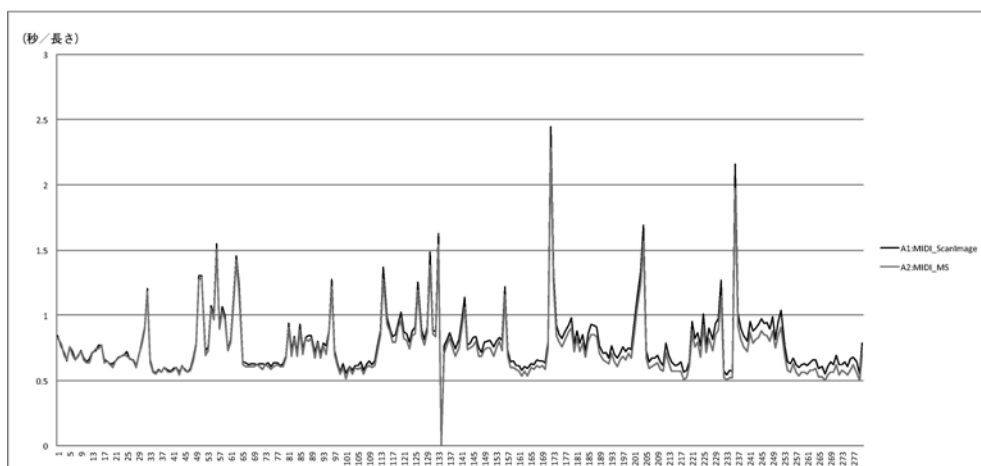
それゆえ、既に述べたように、ScanImageとエクスペッション付きMIDIは同じスキャンファイルから作成されたものであるが、ScanImageは速度変化分の変更が加えられていないのに対し、エクスペッション付きMIDIはそれが加味され、演奏の速度は実際の演奏に近いものとなっている。演奏分析において、ピアノロールそのものをスキャンしたデータを扱う際には、演奏が進行するにつれて、再生される演奏はスキャンされたデータとの間に数値の乖離が大きくなることを念頭にしておく必要がある<sup>12)</sup>。

## ② 同一のロールから作成された複数のエクスペッション付きMIDIの差異（資料A2及び資料A3）

ここでは、異なる方法で作成されたMIDIの差異がどれほどのものであるのかを確認しておきたい。一方は、前項で用いたMichael Swansonによって作成されたMIDIであり、他方は、独自の方法でピアノロールからMIDIを作成しているPeter Phillipsによるものである。ここでは、それぞれを「MIDI\_MS」、「MIDI\_PP」とよぶこととする。

これら2つのMIDIの第9小節目の1拍目から最終小節目の1拍目までの演奏時間には4.075秒の差異があり、MIDI\_PPの演奏時間が長い。それゆえ、これらを比較する際、演奏時間を統一した上でその差異を比較する<sup>13)</sup>。これらの調整は、ピアノロールを再生する際に、速度を自由に变化させることができる、という特質に伴うものである。同様の調整は、本節で行う、自動演奏ピアノを再生した録音の比較の際にも行う。

さて、【図2】は、2つのMIDI（MIDI\_MSとMIDI\_PP）を、全体の演奏時間を統一した



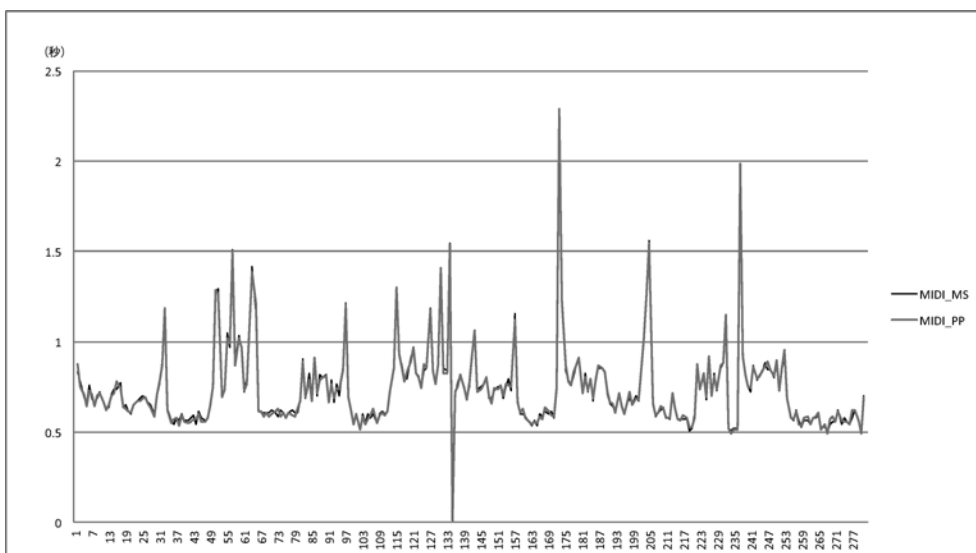
【図1】資料A1と資料A2の関係性（ScanImageとエクスペッション付きMIDIの比較）



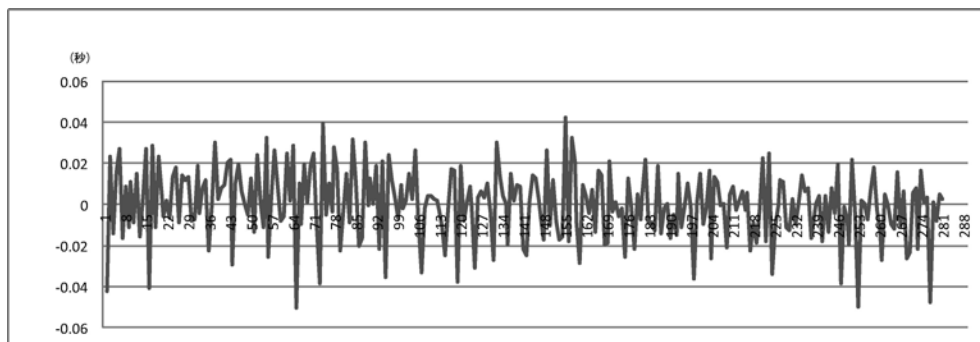
【写真9】手前から順に巻軸（take-up spool）、トラッカー・バー、ピアノロールの差し込み口



【写真10】演奏が進行するにつれて右側の巻軸側の半径が大きくなる



【図2】資料A2と資料A3の関係性  
(MIDI\_MSとMIDI\_PPの演奏時間を統一した上での差異)



【図3】 MIDI\_MSとMIDI\_PPの差異

上で、前奏を除いた281小節目（第9小節目から第289小節目）それぞれの、1小節あたりに要する時間（秒）を比較したものである。

【図2】からは、これらの差異は非常にわずかであることがわかる。次の【図3】は、この差異をより詳細に読み取るため、各データ間における各小節の差異を示したものである。

【図3】からは、MIDI\_MSとMIDI\_PPの差異が0.02秒を超えることは比較的限定的であることがわかる。これら2つのMIDIの、1小節あたりの差異の最大値は0.051秒、平均値が0.013秒、標準偏差は0.010秒であり、この数値からも、これらの差異が非常に小さいことがわかる。

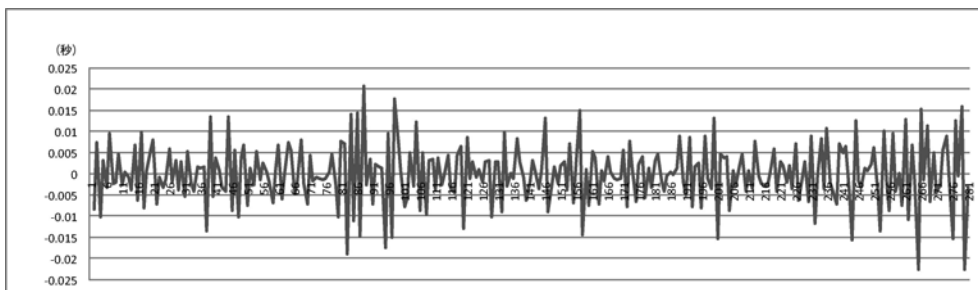
### ③ MIDIデータとシンセサイザーにおける再生演奏（資料A3と資料A4）

オーディオ録音の演奏分析を行う際には、MIDIデータとは異なり、音の入りのタイミングが非常に明確に示された資料ではないため、Sonic VisualiserとMazurka Project Pluginのような補助ソフトを用いるものの、そのタイミングを聴取により検出する必要がある。それゆえ、MIDIデータと、音波をもとに聴取して得られたデータの資料における差異について、確認しておきたい。

ここでは同一の作成者によって作られた次の

2つの資料を用いてデータ比較を行った。すなわち、Peter Phillipsによって作成されたMIDI（MIDI\_PP）と再生録音資料（mp3\_PP）を用いることとした。既に述べたように、mp3\_PPは、彼によって作成されたMIDIファイル（MIDI\_PP）を「ヤマハ製グランドピアノCFX」に設定したシンセサイザーで再生・録音し、その録音をmp3ファイルに変換したものである。つまり、これらは同一のMIDIファイルをMIDIのまま表示したものと音波によって表示したものといえる。これら2つのファイルの冒頭小節の第1拍目から最終小節の第1拍目までの演奏時間の差異は0.00007秒であり<sup>14)</sup>、極めて小さいものであるが、前項同様、この演奏時間全体の差異を統一した上で、これら2つのファイルの各小節に見られる差異を比較したものが【図4】である。

この【図4】における差異は、これまでと比較した2つのMIDIの差異よりも小さく、0.02秒以上の差異がある箇所は3箇所のみである。1小節あたりの差異の最大値は0.023秒、平均値は0.005秒<sup>15)</sup>、標準偏差は0.004秒である。ここで比較した2つの資料MIDI\_PPとmp3\_PPは、同一のMIDIデータから得られたMIDIデータそのものと、それをシンセサイザーで再生した資料であるため、論理的には完全に同じデー



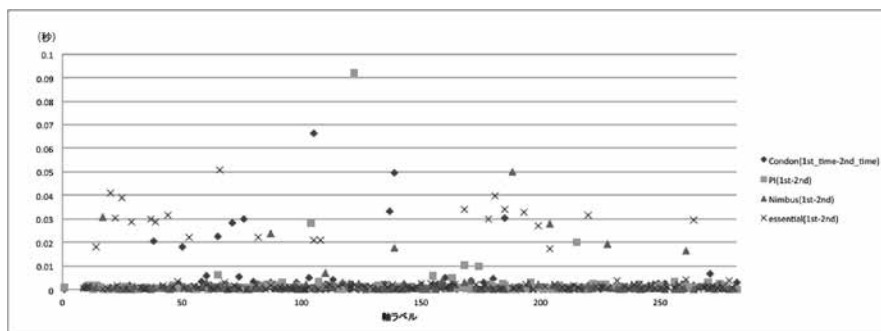
【図4】MIDI\_PPとmp3\_PPの差異

タが得られるはずである。また、MIDIのデータがコンピューターによりデータが自動検出されたことを考えると、ここで生じた差異は、資料A4を耳で聴取しながら検出する際に生じた差異であると考えられる。

聴取によって検出する際の差異、つまり毎回の計測ごとにどれほどの差異が生じるかについて、より詳細に確認するため、次のようなDouble-data entry<sup>16)</sup>の実験を行った。つまり、次項で取り扱う資料A5から資料A8までの4つの再生録音資料を、いずれも2回ずつ聴取に

よりデータ検出し、1回目と2回目に得られたデータの差異を求めた。【図5】は、これら2回間に生じた差異をまとめたものである。横軸は小節番号、縦軸は差異(秒)を示している。

その結果、これらの2回間の1小節あたりの差異の最大値は0.092秒、平均値は0.003秒、標準偏差は0.009秒であった。これら2回の計測を行う際に差異が生じた部分の多くは、音源中のノイズにより聴取が困難な箇所や、右手と左手が同時に演奏されていない部分であった。



【図5】4つの再生演奏を対象としたDouble-data entryのテスト

【表4】4つの再生録音間の演奏時間の差異

	演奏時間	演奏時間の差異 (資料A5を基準とした場合)	演奏時間の比率 (資料A5を基準とした場合)
A5: CD_Condon_collection	227.00秒		1倍
A6: CD_Pianola_institute	226.48秒	-0.52秒	0.998倍
A7: CD_Nimbus	217.71秒	-9.29秒	0.959倍
A8: CD_Essential	220.83秒	-6.17秒	0.973倍

#### ④ 各種再生録音の相違（資料A5から資料A8）

この項では、ピアノロールを再生した4つの異なる録音資料を用いて、ピアノロールの再生状況による演奏の差異を比較した。それぞれの録音における演奏時間の差異は次のようなものである。

これら4つの自動演奏ピアノによる再生録音における、冒頭小節第1拍目から最終小節第1拍目の演奏時間は、最短のものが217.71秒、最長のもの227.00秒であり、最大で9.29秒の時間差がある（【表4】）。その主な原因は、再生速度が異なることによるものと考えられる。それゆえ、4つの演奏時間を同一の演奏時間になるよう換算した上で、4つのデータ間の差異を求めた（【図6】）。

さらに、全体の演奏時間を統一した上でのデータ間の差異について、より詳しく見た

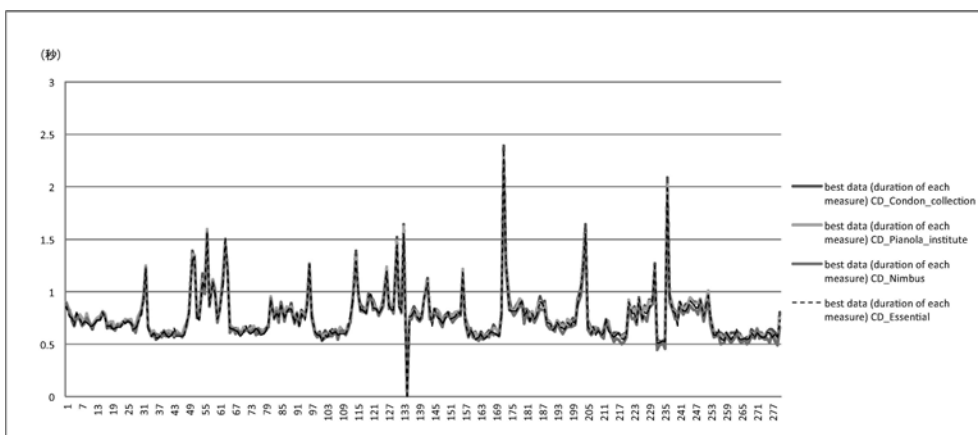
め、4つの演奏の全てのパターン（【表5】）の差異の絶対値（ABS）を求め、そこから全てのパターンにおける最大値、平均値、そして標準偏差を求めた。

その結果、1小節あたりの差異の最大値は0.169秒、平均値は0.032秒、標準偏差は0.025秒であった。これらの差異が生じた大きな要因は、再生に用いた楽器の差異、そして録音の精度や質が原因で聴取の困難な箇所が存在したことによるものと考えられる。

#### ⑤ シンセサイザーによる再生演奏を含む各種再生録音の相違（資料A4から資料A8）

次に、④の4つの再生録音に加え、mp3\_PPを加えた場合の差異を比較した。その際、mp3\_PPの演奏時間<sup>17)</sup>についても、他の資料同様、全体時間を統一した上で比較する。

1小節あたりの差異の最大値は0.169秒、平



【図6】 4つの再生録音を同一の演奏時間に統一した上での各小節の演奏時間（秒）

【表5】 4つの演奏から2つの演奏を取り出す際の全てのパターン（✓のついた箇所）

	A5	A6	A7	A8
A5				
A6	✓			
A7	✓	✓		
A8	✓	✓	✓	

均値は0.030秒、標準偏差は0.024秒であり、④と比較すると、ほぼ値に変化はない。

実際のピアノの場合、鍵盤を押える速度によってダイナミクスが変化するが、シンセサイザーの場合は、そのような時間が除かれたまま瞬間的に音が鳴る、という点において差異が発生するが、この比較結果からは、そうした差異が微々たるものであることがわかる。

#### ⑥ 完全に同一のピアノロールの異なる再生録音間の相違（資料A4と資料A5）

より詳しく、シンセサイザーによる再生録音と自動演奏ピアノによる再生録音の比較を行うため、ここでは⑤の一部にあたる資料A4（mp3\_PP）と資料A5（CD: Condon Collection）の比較を行った。これらの資料は、全く同じピアノロール<sup>18)</sup>から作成された再生録音であるが、資料A4はシンセサイザーによる再生であるのに対し、資料A5は自動演奏ピアノ（プッシュアップ・ピアノ）を用いて再生されたものである。この比較を行うことにより、シンセサイザーと自動演奏ピアノの演奏間の差異がどのようなものであるかについて、⑤の場合よりも、より厳密に確認することができる。

【図7】は、これらの資料の全体の再生演奏時間を統一したのち、各小節の演奏所要時間の差異を比較したものである。

その結果、これらの資料間の1小節あたりの

差異の最大値は0.099秒、平均は0.018秒、標準偏差は0.024秒であり、これらの値は④や⑤の項で確認した際の値とほぼ相違ないことがわかる。最大値のみ、⑤の場合は0.114秒であったのに対し、0.099秒となっており、ここでは比較的大きな数値の減少がみられる。

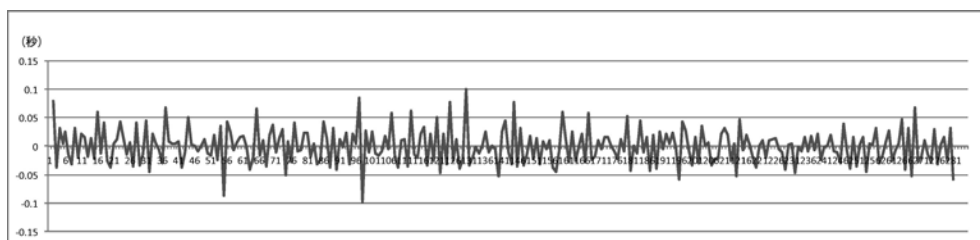
#### 2-2 ピアノロールの再生演奏と他の音源資料との関係性

前節ではパデレフスキのピアノロールを比較してきたが、この節では、同一曲の複数回の演奏録音を残したローゼンタールの演奏を比較した。ローゼンタールは1929年から1935年にかけて、5回の演奏録音を残している。はじめに、これらの録音から、前節と同様の方法で各小節にかかる演奏所要時間を求め、これらの差異を比較した。尚、これらB群の資料は、それぞれ演奏が異なることから、A群の資料の場合とは異なり、全体の演奏時間を先に統一してから差異を求めることはしない。

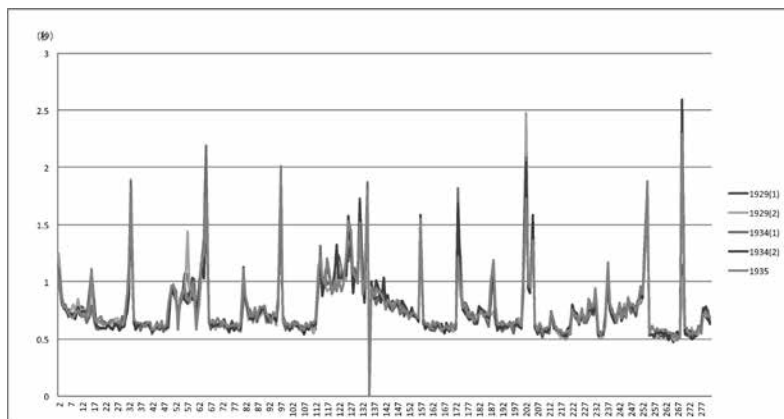
#### ① 同一演奏者による5つのオーディオ録音の比較（資料B2から資料B6）

ローゼンタールによる1929年から1935年にかけて録音された5つの資料をもとに、各小節を演奏するのにかかる所要時間を示したのが【図8】である。

これら5つの資料間の差異は、前節で行ったピアノロールの各種データの比較の場合とは異



【図7】資料A4と資料A5の差異の比較



【図8】ローゼンタールによる5つの録音間における演奏所要時間比較

なり、すべて異なる演奏であるにもかかわらず非常に類似した推移を見せていることが、この図から読み取ることができる。これら5つの資料における各小節の演奏所要時間から、【表6】にチェックのつけられた10パターンそれぞれにおけるデータの差異を求め、その差異の傾向について確認した。

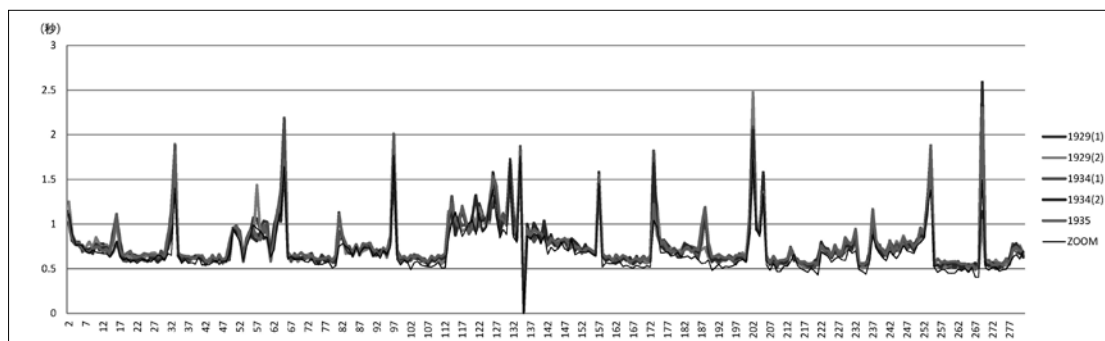
これらすべてのパターンにおける1小節あたりの差異の最大値は1.550秒、平均値は0.049秒、標準偏差は0.087秒であり、これらの最大値、平均値、標準偏差の値は、前節で得られた何れのデータにおける差異の値よりも大きいものであるといえる。

## ② 同一演奏者によるピアノロールの再生演奏録音を加えたオーディオ録音の比較（資料B1から資料B6）

5つのオーディオ録音にZOOM\_Straussの録音資料を加えた場合の、1小節あたりの差異の最大値は1.550秒、平均は0.060秒、標準偏差は0.090秒であり、オーディオ録音のみの場合と比較するとやや数値が大きくなるものの、際立って数値が増大するわけではない。

## 2-3 異なる演奏者による同一曲のピアノロールのデータ（MIDI）の比較

さて、これまでの節では、すべて同一演奏者の場合における演奏時間の比較を確認してきたが、ここでは演奏者が異なる場合の数値につい



【図9】【図8】にZOOM\_Straussの録音資料を加えた場合の演奏所要時間比較

【表6】5つの演奏から2つの演奏を取り出す際の全てのパターン（✓のついた箇所）

	B2	B3	B4	B5	B6
B2					
B3	✓				
B4	✓	✓			
B5	✓	✓	✓		
B6	✓	✓	✓	✓	

でも確認しておきたい。はじめに、これまで検討してきた資料と同様、ショパン《ワルツ Op.42》を演奏したピアノロールのMIDIデータを用いて、演奏者間についての比較を行いたい①。このうち、ホフマンの資料C5については、演奏傾向にやや特異性が見られる<sup>19)</sup>ことから、これを含めた場合と除いた場合の数値の差異の変化についても確認しておきたい②。

#### ① 9名の演奏間における演奏の差異の比較（資料C1から資料C9）

はじめに、9名の演奏家による、ショパン《ワルツ Op.42》のピアノロールからそれぞれ作成されたMIDIデータ（MIDI\_PP）を用いて、演奏時間を比較した。

この図からは、これまで確認してきた何れの図と比較しても、各グラフの波形に大きな差異

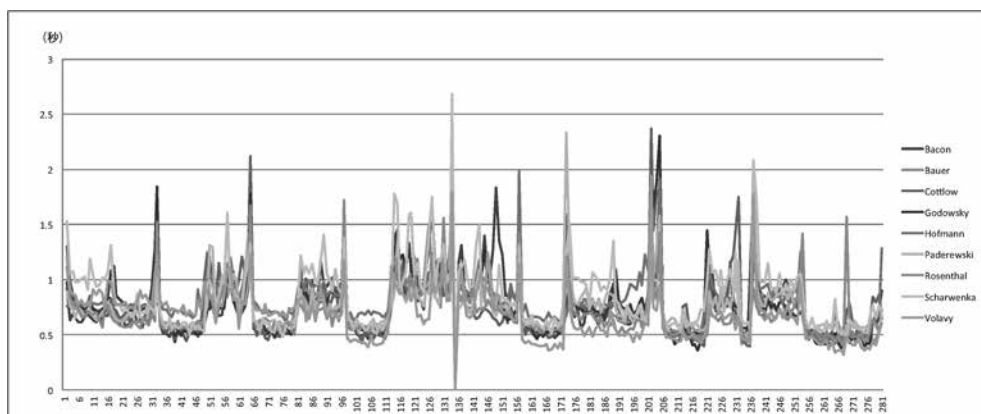
があることは一目瞭然であろう。

これらの演奏間の差異の傾向をより詳細に検討するため、【表7】においてチェックがつけられた全てのパターンにおける、1小節あたりの差異の最大値、平均値、標準偏差を求めた。

1小節あたりの差異の最大値は1.660秒、平均値は0.145秒、標準偏差は0.158秒であり、これらの値は、これまで検討を行ってきた差異の値と比較すると極めて大きいものであるといえる。

#### ② ホフマンを除いた8名の演奏の差異の比較（資料C1から資料C4、資料C6から資料C9）

この項では、特異な要素が含まれるホフマンの演奏を除き、前項と同じ要領で行った場合の差異を確認しておきたい。ここでは、【表8】にチェックをつけた全てのパターンについて差異の値を求めることとした。



【図10】資料C1から資料C9の演奏における各小節にかかる演奏所要時間比較



【表7】9つの演奏資料から2つの演奏資料を取り出す際の全てのパターン（✓のついた箇所）

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1									
C2	✓								
C3	✓	✓							
C4	✓	✓	✓						
C5	✓	✓	✓	✓					
C6	✓	✓	✓	✓	✓				
C7	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
C8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
C9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

【表8】ホフマン（資料C5）を除く8つの演奏資料から2つの演奏資料を取り出す際の全てのパターン（✓のついた箇所）

	C1	C2	C3	C4	C6	C7	C8	C9
C1								
C2	✓							
C3	✓	✓						
C4	✓	✓	✓					
C6	✓	✓	✓	✓				
C7	✓	✓	✓	✓	✓			
C8	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
C9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

これら各パターンにおける、1小節あたりの差異の最大値は1.620秒、平均値は0.145秒、標準偏差は0.161秒であり、これらの数値はホフマンを含む際の差異と比較するとほとんど差はない。

### 3. まとめ

これまで、ピアノロールを、演奏のタイミングを検討する際の演奏分析資料として用いる上で、どのような点にどれほど注意が必要か、を明らかにするため、ピアノロールのデータと各種再生演奏の関係性について検討してきた。また、その際、それぞれの差異の度合いを見極めるため、同一演奏者が同一曲を複数回演奏した

場合の差異、そして異なる演奏者が同一曲を演奏した場合の差異についても検討してきた。

これまで検討してきた差異を総合的に俯瞰することにより、それら各種の差異が演奏分析においてどれほど勘案する必要があるかをまとめておきたい。

【表9】は、これまで順に検討したそれぞれの比較における、1小節あたりの差異を整理したものである。左から順に、検討してきた節と項、比較に使用した資料名、比較する際の速度調整の有無、データを得る際にMIDIと波形の何れを使用したか、そして、それらの比較資料の1小節あたりの差異の最大値、平均値、標準偏差を示した。

また、データ検出の際、波形をもとに聴取に

よりデータ検出を行ったものについて、波形使用時の平均誤差範囲（0.005秒）を差し引いた数値を下記の【表10】にまとめた。MIDIデータから検出したものについては、平均値そのま

まの値を残留させた（そのままの値を残留させた場合には、その値を表中に括弧で示した）。

これらの表から、これまで行ってきた比較について、次のように整理をすることができるで

【表9】各資料における1小節あたりの差異の最大値、平均値、標準偏差

節	項	比較資料	速度調整	MIDI/波形	最大値	平均値	標準偏差	資料の示す内容
2-1	②	MIDI_MS & MIDI_PP	有	MIDI	0.051	0.013	0.010	複数のMIDI間の差異
2-1	③	MIDI_PP& mp3_PP	有	MIDI/波形	0.023	0.005	0.004	波形を用いた場合に発生する誤差の大きさ
2-1	③	4replayed record.	無	波形	0.092	0.003	0.009	Double-data entry
2-1	④	4replayed record.	有	波形	0.114	0.024	0.019	複数の再生録音間の差異
2-1	⑤	4replayed record.+ mp3_PP	有	波形	0.114	0.024	0.019	「2-1④」にシンセサイザーによる再生録音加わった場合の差異
2-1	⑥	mp3 & condon	有	波形	0.099	0.024	0.018	完全に同一のロールのシンセサイザー再生と自動演奏再生の差異
2-2	①	5audio	無	波形	1.550	0.049	0.087	同一演奏者による複数の同一曲の演奏間の差異
2-2	②	5audio+ZOOM_Strauss	無	波形	1.550	0.060	0.090	同一演奏者による複数の同一曲の演奏間の差異（ピアノロール再生演奏含む）
2-3	①	9performers	無	MIDI	1.660	0.145	0.158	複数の演奏者による同一曲の演奏の差異
2-3	②	9performers (-Hofmann)	無	MIDI	1.620	0.145	0.161	「2-3①」から Hofmann の演奏を除いた場合の差異

【表10】データ検出の際の波形使用時の誤差（「2-1③」）を引いた値

節	項	比較資料	MIDI/波形	平均値	平均値- 波形使用時の 誤差	差異の程度 (網掛けの値を 基準 とした場合)
2-1	②	MIDI_MS & MIDI_PP	MIDI	0.013	(0.013)	×2
2-1	③	MIDI_PP& mp3_PP	MIDI/波形	0.005	0	
2-1	④	4replayed (reproducing pianos)	波形	0.024	0.019	×4
2-1	⑤	4replayed + mp3_PP	波形	0.024	0.019	×4
2-1	⑥	mp3_PP & condon	波形	0.024	0.019	×4
2-2	①	5audio	波形	0.049	0.044	×8
2-2	②	5audio+ZOOM_strauss	波形	0.060	0.055	×8
2-3	①	9performers	MIDI	0.145	(0.145)	×32
2-3	②	9performers(-Hofmann)	MIDI	0.145	(0.145)	×32

あろう。

すなわち、Sonic VisualiserにMazurka Project Pluginの一部であるSpectral Reflux toolを組み込んだものを用いたとしても、音の入り波形のみから聴取する際には、おおよそ各小節あたり約0.005秒の誤差が生じる。これは2-1③で行ったDouble-data entryの実験を行った際の結果（平均値が0.003秒）からも確認できる。それゆえ、演奏分析をする際に、MIDIではなく、オーディオの音源を用いて波形からデータを得る際には、0.005秒程度の誤差が生じることを認識しておく必要がある。以降、この0.005秒を基準として、他のデータの差異範囲を確認していきたい。

まず、異なる方法で作成された複数のMIDI間の差異については、次のことがいえるだろう。これらのMIDIは、一方がWarren Trachtmanのプログラム、他方はPeter Phillipsによるものであり、いずれもMIDI作成の方法は異なるが、実際に再生演奏をする場合を模して精巧に作成されたMIDIとされるものである。これらのMIDIのデータ間の差異は、各小節あたり平均0.013秒であり、この値は、基準となる0.005秒の約2倍の差異といえる。これはヒトが差異を認識できる基準とされる0.020秒を下回る数値であり、非常にわずかな差異といえる。

自動演奏ピアノを再生した録音演奏間については次のようなことがいえるだろう。今回比較した4つの録音の全体の演奏時間には最大で6.17秒の差異があった。これらの演奏時間を一定にして比較した場合においても、これら4つのピアノロール間のデータには、1小節あたり平均0.019秒（0.024秒から基準の0.005秒を引いた値）程度の誤差が生じており、これは基準値

のおおよそ4倍の誤差である。この誤差が生じた主な原因は、再生に用いた楽器や録音環境によるものと考えられる。

これら4つの自動演奏ピアノによる再生録音に、シンセサイザーで再生した演奏を加えて比較した場合、また自動演奏ピアノによる再生録音一つとシンセサイザーで再生した演奏を比較した場合のいずれにおいても、平均値及び標準偏差の値は4つの自動演奏ピアノによる再生録音を比較した場合とほとんど変化はみられなかった。

さらに、上記のピアノロール資料各種の関係をより明確にするための参考として行った比較については、次のことがいえるだろう。すなわち、同一演奏者によって同一曲が複数回演奏される場合における演奏間の差異について調べた、ローゼンタールによる1929年から1935年にかけての5つの演奏録音の比較については、これらの演奏間の差異は基準値である0.005秒を差し引いた場合、各小節あたりの差異の平均値は0.044秒であり、この値は基準値のおおよそ8倍程度である。

これら5つのスタジオ録音の演奏に加えて、同じくローゼンタールによってショパン《ワルツOp.42》が記録されたピアノロールの再生演奏を加えた場合、これら6種類の演奏における各小節あたりの差異の平均値から基準値である0.005秒を差し引いた値は0.055秒であり、スタジオ録音のみの場合と比較すると、その数は若干大きくなるものの、それほど大きな差とはいえない。

最後に、9名の異なる演奏者によって同一曲が演奏された場合の差異については、Peter Phillipsによって作成されたMIDIの比較を行ったが、これらの差異は1小節あたり平均

0.145秒の差異が確認された。この値は基準値のおおよそ32倍にあたり、同一演奏者が演奏した場合の差異と比較すると約4倍の値といえる。

また、これら9名の演奏者のうち、ホフマンによる演奏については、彼のピアノロールには大きな編集の形跡があったことから、彼のピアノロールを除外した8名の演奏者のみの差異の比較も行ったが、彼のピアノロールを含めた場合も、除外した場合も、ほとんど数値には変化がみられなかった。

本論文で行った各種比較を要約すると、次のことがいえる。つまり、ピアノロールのデータとその再生演奏の間には、ピアノロールが巻き取られる際の半径の増加による加速が存在する。また、ピアノロールの各種再生データにおいては、再生速度を統一すると、(少なくともここで取り上げた Warren Trachtman と Peter Phillips によって作成されたプログラムで作成されたエクスプレッション付きMIDIに関しては) エクスプレッション付きMIDIは、耳による聴取時の差異の約2倍程度の誤差が生じる一方、シンセサイザーによる再生演奏、自動演奏ピアノによる再生演奏は約4倍程度の誤差が生じることが明らかとなった。これらの差異は、同一演奏者が同一曲を複数回演奏する差異と比較すると小さいものといえ、同一演奏者が同一曲を複数回演奏する際に生じた差異は、今回のローゼンタールによる演奏資料からは、聴取時の差異の8倍程度存在することが明らかとなった。だが、同一演奏者が同一曲を複数回演奏する際の差異(8倍)は、異なる演奏者が同一曲を演奏する場合の差異(32倍)と比較すると、格段に小さいものといえる。

本論文では、ピアノロールのロールに刻まれ

たデータそのものから、それが再生された音源に至るまでの、演奏分析資料として用いる可能性のある各種資料の関係性を明らかにした。これらの関係性を明らかにしたことで、ピアノロールとオーディオ録音双方について、それらを併用しながら、あるいは比較しながら、演奏分析資料として用いることが可能となるだろう。また分析の内容に応じて適切な資料を選ぶことが可能となるだろう。つまり、これまで、ピアノロールそのものではなくMIDIを演奏分析資料として使う際のMIDI資料の信ぴょう性や、再生によって変化が生じることに由来する、再生録音を分析資料として用いることへの懐疑性を払拭し、それら資料を用いる際の注意点をここで明らかにできたと考えている。本論文に示した結果が、今後これら各種資料を用いた演奏分析を行う際の、ひとつの指標として用いられることを期待している。

## 注

- 1) 『ニュー・グローヴ世界音楽大事典』では、Moriz Rosenthalと表記されている。(Moore, Jerrold Northrop, 伊東一郎, 1995, 「ローゼンタリ, モリツ」『ニュー・グローヴ世界音楽大事典』第20巻, 東京: 講談社, 333.)
- 2) 例えば、「A1: MS\_ScanImage」は資料の整理番号が「A1」、資料の名称が「MS\_ScanImage」であることを指す。以降、各データの名称には、これらの名称を用いることとする。各名称の詳細については、後述の本文中に示すこととする。
- 3) 詳細については下記のURLを参照のこと。<http://www.trachtman.org/rollscans/scanningbackground.html>
- 4) 執筆者らはこれらのMIDIファイル及びmp3ファイ

ルをPeter Phillips本人から受け取ったが、送られてきたMIDI\_PP及びmp3\_PPファイルには、次のようなメモが添えられていた。「これら (mp3) のファイルは、MIDIファイルを、Gary Garritanによってサンプルの取られたYamaha CFXの音を用いて再生し、作成したものである。この再生音を選んだのは、ピアノの自然な音に近似しているためである。仮想ピアノの音量を示す曲線は、実際のピアノの曲線と比較・調整されたものである。全てのファイルは、録音後、何の加工も加えていない。MIDIファイルについても編集は加えていない。(These have been produced by rendering each MIDI file through a virtual Yamaha CFX grand piano, sampled by Gary Garritan (<https://www.garritan.com/>). I prefer this instrument to others because of its neutral tone. The velocity curve for the virtual piano was adjusted by comparing the waveform the software produced to that of a live piano. All files are as recorded and no edits or changes have been made. The MIDI files have not been edited.)」

- 5) 資料B2と資料B3は1929年に録音されたものであり、APR(7503)のCDに収められている。それぞれN-756-A、N-756-BのMatrix番号をもつ。資料B4と資料B5は1934年2月9日に録音されたGramophoneのテスト・プレス(2B6007-1と2B6007-2)であり、これらの録音はイェール大学のHistorical Sound Recordingsで入手した。資料B6は1935年11月21日に録音されたものであるが、HMV(DB-2772)のCDに収められており、2EA-2561-1のMatrix番号をもつ。
- 6) A4とC6は同一のMIDIファイル。
- 7) <https://github.com/craigsapp/midifile/blob/master/src-programs/miditime.cpp>
- 8) [http://www.ofai.at/~werner.goebel/papers/goebel\\_parncutt\\_smpc2001.pdf](http://www.ofai.at/~werner.goebel/papers/goebel_parncutt_smpc2001.pdf)

9) Justin London, 2012, 2<sup>nd</sup> edition, *Hearing in Time: Psychological Aspects of Musical Meter*, Oxford University Press, 35.

10) それゆえ、グラフ中の横軸における「1」は「第9小節目」であることを示しており、最終小節にあたる「281」は「第289小節目」にあたる。ただし、ここでは演奏所要時間を示していることから、「281」の値は0となっている。

11) 例えば、ロールが1周する際に巻き取るロールの長さが10cmであるのと11cmであるのとでは、速度に1.1倍の差異が生じることとなる(11cm÷10cm=1.1)

12) 例えば、MIDI\_MSのこのMIDIファイルの場合、MIDIに書かれた情報を確認すると次のことが表示されている。ScanImageは、「テンポ84」で開始し、最後まで「テンポ84」のまま保たれているが、エクスプレッション付きMIDIは、「テンポ84」で開始するものの、最後は「テンポ97」へと変化している。

13) その際、以下のような方法を用いて分析に必要な資料の速度を一般化させる。つまり、分析対象の演奏のいずれか一つを基準として設定し、そのMIDIの演奏時間の合計を、他のMIDIの演奏時間の合計で割ることで、各演奏の全体の演奏時間を統一する。

Scaled time (縮尺後の各小節の開始時間)

$$= (T-T_0)D_r/D+T_0$$

T=Current time (各小節の開始時間)

T<sub>0</sub>=Start Time (演奏全体の開始時間)

D<sub>r</sub>=Duration of the Reference (基準とするMIDI全体の演奏時間)

D=Duration of MIDI file (MIDI全体の演奏時間)

14) この差異は、Sonic Visualiserのソフトウェアに取り込まれる際に発生した差異と考えられる。

15) もしSonic Visualiser及びSpectral Reflux toolを用いないで聴取する場合、おおよそ0.023秒から0.025秒の差異が生じるとされていることから、その4倍から5倍の精度でデータを得られているといえる。

- 16) このテストはTwo pass verificationとも呼ばれる。
- 17) mp3\_PPの冒頭小節の第1拍目から最終小節の第1拍目までの演奏時間は219.22秒であった。
- 18) このピアノロールは、現在スタンフォード大学に保管されているCondon Collectionのものである。
- 19) ホフマンのこのピアノロールを詳細に検討した際、ピアノロールの一部についてはあるが、大きな編集の後が確認された。

\* 本研究は、科学研究費補助金・若手研究(B)「ピアノロールの計量的解析によるワルツ作品の演奏分析」(15K16642)と一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団(平成28年度音楽振興部門研究助成金)の助成を受けて行われたものである。