

## 二人の人間による演奏の収録と分析

### Recording Performances by Two Players and Its Analysis

堀内 靖雄                      三井 卓                      井宮 淳                      市川 薫  
Yasuo Horiuchi              Suguru Mitsui              Atsushi Imiya              Akira Ichikawa

千葉大学 工学部  
Chiba University

本論文では人間二人の演奏を収録、分析することにより、人間がリアルタイムで協調して演奏を行なう動作について考察する。演奏者はお互いに相手の音しか聞こえない条件でアンサンブル演奏を行ない、その演奏が収録された。リハーサル前後の演奏（初合わせの演奏と十分なリハーサル後の演奏）における時間的なタイミングのずれやテンポの変化について分析を行なった。結果として、リハーサルの前に比べて、リハーサル後の演奏の方がずれが減少した。また、収録したテープを演奏者に聞かせ、ずれを指摘させることにより、100[ms]程度以内のずれならば、ずれとして指摘されず、またフレーズの頭のずれに対しては敏感であるということが観察された。

Performances by two players were recorded under the condition where they can't see their partner each other. Analysing the performances, the total of time lag between two players performance was reduced after some rehearsal. Then players were asked to point out the part of the score where they had time lag. The results are (1) the time lag within 100[ms] were not perceived as time lag and (2) they were sensitive to the head of a phrase so that they could point out the time lag within 100[ms].

#### 1 はじめに

最近のコンピュータ音楽の世界では、コンピュータが人間と一緒にライブ形式で演奏を行なうインタラクティブ演奏が盛んに行なわれている。しかし、それらの多くは、人間の動作や演奏によるキューを用いてコンピュータの演奏を開始しているため、厳密な意味で人間の演奏といわゆるテンポを合わせているとは言えない。通常の西洋音楽を対象とした場合、そこには拍子やリズムが存在し、コンピュータが人間と演奏を行なうときには、お互いにテンポなどを合わせる必要がある。このような研究は伴奏システムと言われ、簡単な追従モデルはすでに実現されている（文献 [1] を参照）。

しかし、伴奏システムが人間とリアルタイムで

インタラクションを行ない、かつ、人間らしい自然な演奏を行なえるようにするためには、人間の演奏者が実際にどのように合わせているかを調べる必要がある。そのような研究の例として、例えば、人間一人の演奏の認知科学的な分析は数多く行なわれており、また最近では、計算機の自動演奏のために利用される表情付け規則の作成に関する研究なども盛んに行なわれている。

それに対して、二人あるいはそれ以上の人間による演奏の分析はほとんど行なわれていないのが実状のようである。そこで、本研究では人間二人による演奏を収録し、その演奏を分析することを目的とする。

## 2 人間二人による演奏の収録

人間同士によるアンサンブル演奏では、音響的な情報以外にも視線や動作などのさまざまな情報を利用してコミュニケーションを行ないながら演奏している。しかし、それらをすべて包括的に分析することは困難であるため、今回の収録ではコミュニケーションの手段として音響信号のみに限定する。

### 2.1 演奏曲目

今回の収録の対象曲として J. Massenet 作曲の「タイスの冥想曲」を用いた。これは四分の四拍子で、70 小節、約 3 分 30 秒の曲である。この曲は以下の理由で選択された。

- テンポが *Andante* となっており、比較的小さいため、テンポの揺らぎや演奏のずれが大きく生じると推測される。
- *rall.* → *a tempo* となる場所がいくつかあり、その部分のテンポ変化の仕方を分析することができる。
- 中間部が *più mosso agitato* となり、テンポが早くなる。
- 再現部で再び冒頭のメロディが登場するため、冒頭の部分との比較が可能である。
- 演奏会などで良くとりあげられる曲であるため、独奏、伴奏ともに曲を仕上げやすい。また、人によって、かなり演奏スタイルが異なることもありうる。

### 2.2 演奏者

演奏者は音楽大学ピアノ科の 4 年生二人であり、お互いに友人同士の関係にある。ともにこの曲について「器楽曲伴奏法」という講義でヴァイオリンの伴奏をした経験を有する。

### 2.3 収録室の詳細

演奏の収録には、千葉大学工学部情報工学科の音声実験室を利用した。この部屋は二つの防音室が隣接しており、それぞれの部屋からガラス越しに反対の部屋を見ることが可能である（今回の収録では演奏者は音響のみの情報しか用いないため、ガラス窓は塞いで実験を行なった<sup>1</sup>）。図 1 に実験室の様子を示す。

<sup>1</sup>将来的にはお互いにガラス越しに見える状況の収録も行ないたいと考えている。

### 2.3.1 演奏者の位置関係

演奏者は図 1 の一番上に書かれている位置関係で演奏を行なった。また、伴奏者は KAWAI の Digital Piano PW900、独奏者は KAWAI の 61 鍵のキーボード MIDI KEY II を用いて演奏を行なった。PW900 は独自の音源を内蔵しているが<sup>2</sup>、その音源は鳴らさずに、以下で述べる音源を利用した。

### 2.3.2 音響信号の流れ

今回の実験では、音響信号だけを利用してお互いにアンサンブルを行なうので、それらの音の同期を完全にとる必要がある。また、その演奏した MIDI 信号を計算機で収録する必要もあるため、図 1 の中央にあるような配線で音響信号を流した。

まず演奏者の演奏データは MIDI 信号として、それぞれの楽器から出力される（そのとき、各楽器の音は鳴らないようにしてある）。楽器から出力された MIDI 信号は RS232C に変換され、計算機へ入力される。計算機内部では演奏情報、時間情報を記録して、その同じ情報をそれぞれの音源 (Roland SOUND Canvas SC-88VL) に送り、音を発生させる。ただし、ここで音をそのまま鳴らすのではなく、一度 Mixer を通して、一つにまとめて、そのまとめた音を二部屋のスピーカーに同時に流す。このようにして再生するため、二部屋で鳴っている音は同期がとれていることになる<sup>2</sup>。

また、リハーサルにおいて、音声を利用したコミュニケーションを行なうため、演奏者が身に付けるヘッドセット型のマイクから拾った音も Mixer を通して、両方の部屋で同時に鳴らす。

これらの音響信号は 2 台の DAT で録音された。一台の DAT では音声情報も含めた情報を録音し、もう一台の DAT では二人の演奏情報のみを左右別々のチャンネルに録音した。

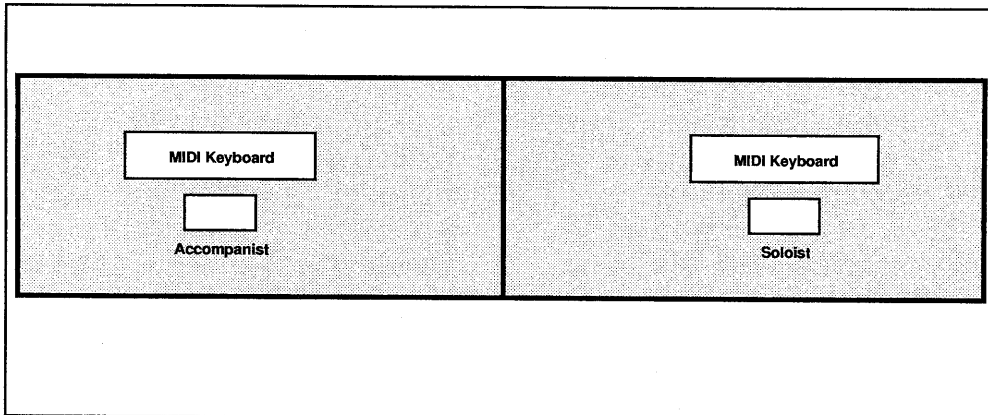
### 2.3.3 映像について

今回の演奏を映像としても記録するため、各部屋に 2 台ずつカメラを設置し、手の動き、および顔の動きを記録した<sup>3</sup>。これらの 4 つの画像は一つにまとめられ、一台の 8mm VTR で録画された（図 1 参照）。ビデオテープの音響部分には上述の音声情報を含めた音を録音した。

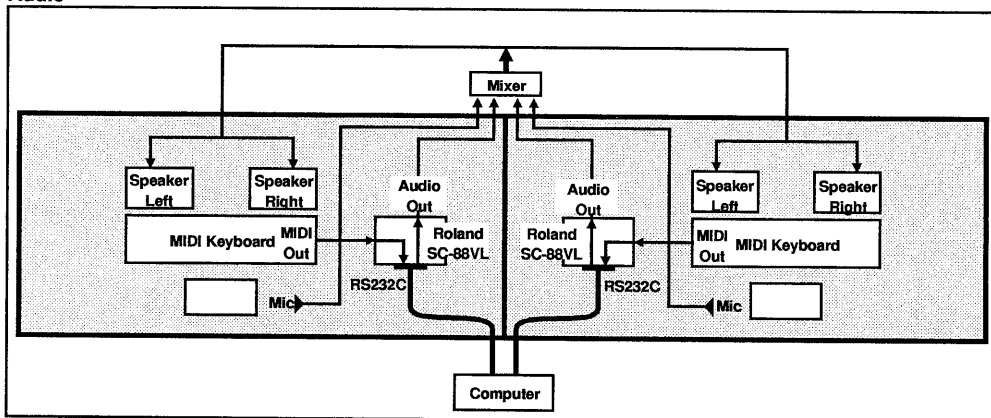
<sup>2</sup>厳密には、鍵盤を弾いたという信号は長いルートをたどるので、若干音の発音が遅れていることになる。

<sup>3</sup>これは将来的には相手の顔を見ながら行なうアンサンブル演奏収録を想定している。

Room



Audio



Video

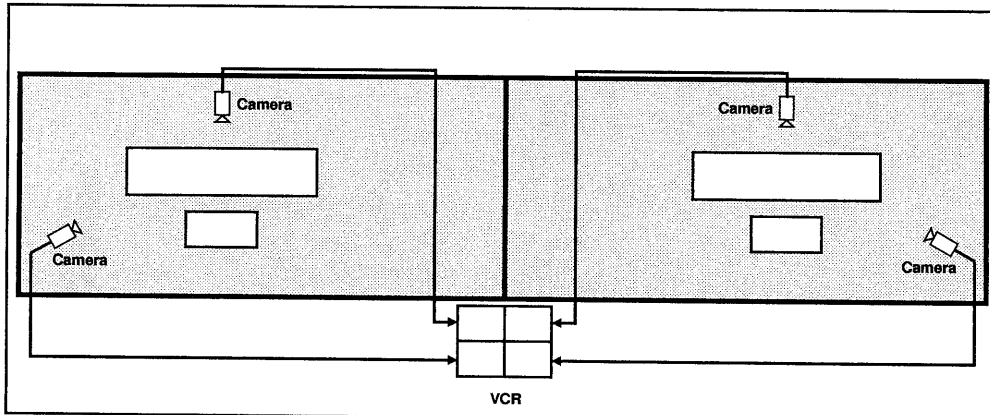


図 1: 実験室の詳細

## 2.4 収録手順

### 2.4.0 事前の譜読み

演奏者はあらかじめ楽譜を与えられ、事前に譜読みをしてから収録に参加した。楽譜は独奏者、伴奏者ともに、伴奏者用の楽譜（独奏パート、伴奏パートともに記述されている）が与えられた。その際、以下の二点の注意事項が指示された。

- お互いにこの曲について話さない。
- 相手の前でこの曲を練習／演奏しない。

### 2.4.1 自由練習

収録当日、まず電子楽器の演奏に慣れるため、演奏者には自由に練習する時間が与えられた。そのとき、お互いの演奏は聞こえない状況で行なわれた。

### 2.4.2 おのおの一人による演奏

独奏者、伴奏者別々に自分のパートを一人だけで演奏させた。そのとき、自分で表現したいように自由に演奏するように教示した。

### 2.4.3 二人で演奏

次に二人で一度、この曲を通して演奏してもらった。そのとき、もし間違えても途中で止まらないように教示した。

二人でこの曲を合わせるのはこの演奏が最初である。この演奏がリハーサル前の演奏として、分析の対象となる。

### 2.4.4 リハーサル

その後、お互いに納得するまでリハーサルを行なってもらった。リハーサルは音声で会話をしながら、部分的に演奏を行なうなどして進められ、約25分間で終了した。

### 2.4.5 最終演奏

満足のゆくまでリハーサルを行なったあと、最終演奏を行なってもらった。そのとき、もし間違えても途中で止まらないように教示した。この演奏がリハーサル後の演奏として、分析の対象となる。

### 2.4.6 一人ずつ演奏

最後に、もう一度、一人ずつ自分のパートを一人で演奏してもらった。そのとき、相手と合わせることも考慮に入れながら、自分で表現したいように自由に演奏するよう教示した。

### 2.4.7 ずれに関する質問

その後、リハーサル前の演奏とリハーサル後の演奏をテープで一人ずつ聞かせ、ずれたと思う箇所を指摘してもらった。

## 3 データの分析

### 3.1 分析の対象データ

上記のデータのうち、今回の分析に利用したのは、初めて二人で合わせた演奏とリハーサルを行なったのち、最後に行なった演奏である。

分析の対象とするデータとして、独奏者と伴奏者が楽譜上、同じ時刻に演奏すべき音符（八分音符以上の音価を持つもの）に関して、その音符の演奏時刻を記録した。このとき、伴奏者が和音を弾いたときには、最初に発音された音符の時刻をその音符の演奏時刻とした。また、演奏ミスで音符が演奏されなかったものについては、分析の対象外とした。

### 3.2 リハーサルの前後におけるずれ

上記の基準にしたがって、独奏者と伴奏者の演奏タイミングのずれを測定した。図2にリハーサル前後の演奏タイミングのずれを示す。また、図3にリハーサル前後の局所テンポの変化を示す。

テンポ変化で下に下がっている部分が *rall.* → *a tempo* の箇所であり、それぞれ、10, 20, 39, 47, 57 小節目である。また、33 小節目が *più mosso agitato* であり、約4小節目間づくため、その部分のテンポが若干早くなっている。

この図を見ると分かるように、リハーサル前には大きくずれるポイントがいくつか存在するが、リハーサル後にはそれらのずれが少なくなっていることが分かる。実際、リハーサル前の演奏では標準偏差が 72.0[ms] であったのに対して、リハーサル後は 43.8[ms] に減少した。そこで、次にずれの度数分布を求めた（図4）。

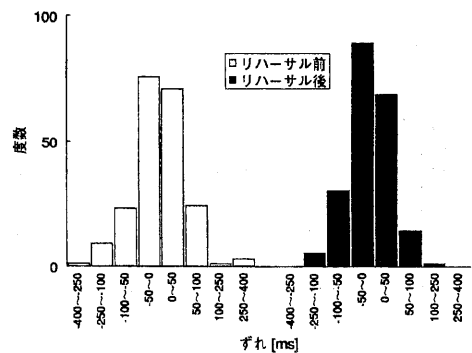


図4: リハーサル前後における演奏のずれの分布

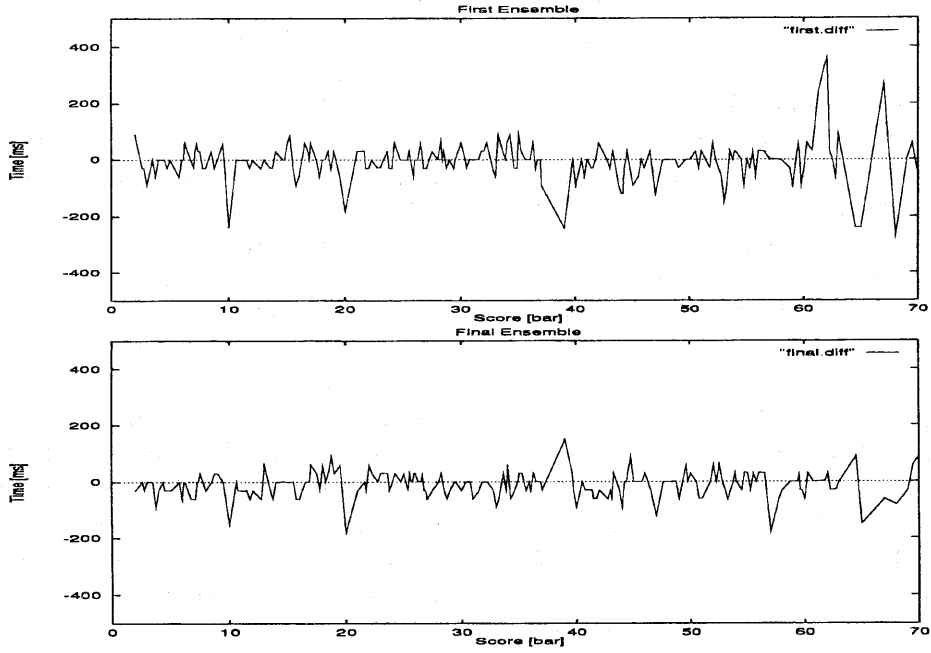


図 2: リハーサル前後の演奏のずれ (上がリハーサル前、下がリハーサル後)

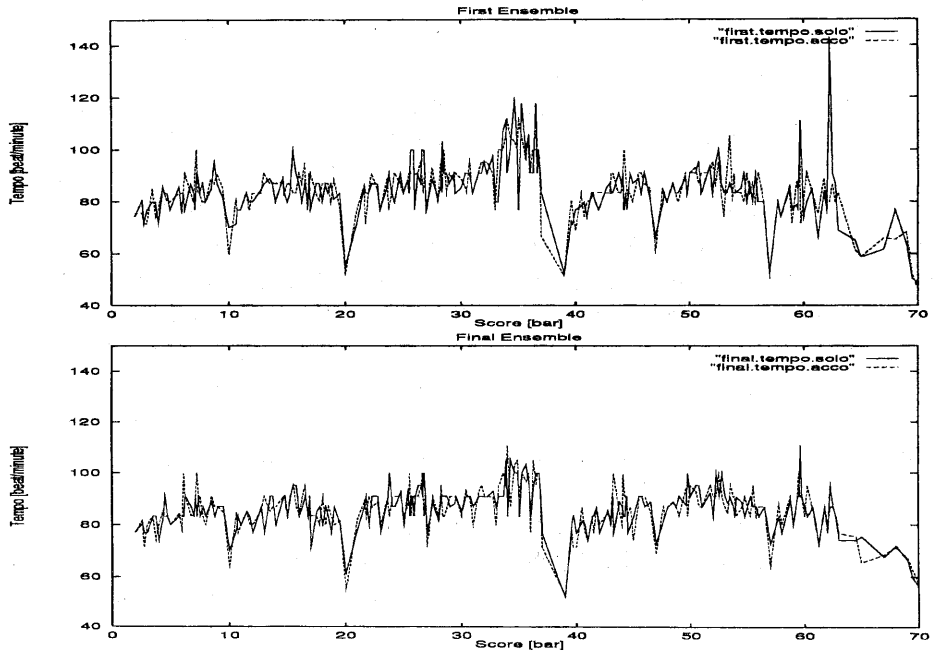


図 3: リハーサル前後の演奏テンポ (上がリハーサル前、下がリハーサル後)

この図から分かるように、リハーサル後には両者の演奏のずれのほとんどが±100[ms]の範囲におさまったことが分かる。

### 3.3 ずれに関する演奏者の判断

収録の最後で演奏者に指摘されたずれの箇所に関して、その傾向をみてみると、ほぼ 100[ms] 以内のずれに関しては指摘されないが、それ以上のずれについてはそのほとんどが独奏者、伴奏者によって共に指摘された。また、フレーズの頭に関しては 50[ms] ~ 100[ms] のずれでも指摘しているケースがいくつかあった。

### 3.4 結果

上記の結果より、今回収録した曲目および演奏者に関して、以下の事実が観察された。

- 初合わせでは大きなずれが生じるが、リハーサルを行なうことにより、ずれが減少する。
- 100[ms] 以内のずれのほとんどはずれたと指摘されない。
- ただし、フレーズの頭のずれに対しては敏感であり、100[ms] 以内でも指摘されたものが存在した。

### 3.5 問題点

今回の収録で生じたいくつかの問題点について述べる。まず、伴奏者の楽器は比較的ピアノに近いので、それほど苦労なく演奏を行なうことができたが、独奏者の楽器は MIDI Keyboard であり、独奏者がキーボードを演奏した経験がなかったため、楽器を自在に操ることができなかつた。そのため、演奏がごちなくなる時があった。

キーボードの演奏はピアノなどの鍵盤楽器の演奏とは大きく異なるため、その演奏法を修得するのに時間がかかる。そこで、今後はキーボードの演奏経験がある演奏者にお願いするか、ピアノに近い鍵盤楽器をもう一つ用意する必要があると考えられる。

また、防音室での収録ということにより、演奏者自身が緊張してしまった、という問題も生じた。これについても、スタジオなどで録音した経験があり、それほど緊張しない演奏者を用意する必要があるかとも思われる。

## 4 おわりに

伴奏システムの制御モデルを構築するという目的から、本論文では人間がリアルタイムでどのように演奏制御を行なっているかを調査した。その第一歩として、まず本研究では人間二人の演奏を収録し、そのデータを分析した。そのとき、演奏者はお互いに相手の音しか聞こえない条件でアンサンブル演奏を行なった。また、リハーサルを行なうことにより、その前後の演奏（初合わせの演奏と十分なリハーサル後の演奏）における時間的なタイミングのずれやテンポ変化の違いについて分析を行なった。結果として、リハーサルの前に比べて、リハーサル後の演奏の方がずれが減少した。また、収録したテープを演奏者に聞かせ、ずれた箇所を指摘させたところ、100[ms] 程度以内のずれならば、ずれとして指摘されなかった。また、フレーズの頭のずれに対しては敏感であり、100[ms] 以内のずれに関してもいくつか指摘された。

これらの観察結果から、伴奏システムを構築する際、通常のアンサンブルでは 100[ms] 程度の範囲内で合わせていればよく、また、フレーズの頭のような合わせるべきポイントに関しては注意深く合わせる必要があるということが示唆される。

また、このような結果が出たということから、伴奏システムを評価する場合にもずれが 100[ms] 以内程度におさまっていれば、まずまずの性能を有すると言うことができると考えられる。

今後は、今回収録したデータのより細かい分析（一人だけで行なった初めの演奏と最後の演奏との比較や二人で行なった演奏と一人だけで行なった演奏の比較など）を行なうのと同時に、相手の顔が見える状況、間の壁がない状況など、収録条件をいろいろ変化させたときのデータの収録も行ない、それらの合わせ方の変化を調べたいと考えている。

このようなアンサンブル演奏の基礎的なデータの収集が行なわれれば、今後さまざまな応用範囲があると確信している。

### 参考文献

- [1] 堀内靖雄, 橋本周司. 伴奏システム. 情報処理, Vol. 35, No. 9, pp. 815-821, September 1994.