

## 音の遅延条件がアンサンブル演奏に与える影響に関する検討\*

長尾翼<sup>†</sup>, 渡邊珠希<sup>‡</sup>, 池田雄介<sup>†</sup>, 上野佳奈子<sup>‡</sup>, 伊勢史郎<sup>†</sup>,

(†京大/JST・CREST, ‡明治大/JST・CREST)

## 1 はじめに

遠隔に設置された複数の演奏室をインターネットで接続することにより、複数の演奏家が三次元音場を共有しながらアンサンブル演奏を行うことを可能にするシステムの開発が進められている [1]。本研究は、このシステムの性能評価に向けた基礎的研究として、通信による音の遅延がアンサンブル演奏に与える影響を明らかにすることを目的としている。音声遅延に関する ITU-T においては、End-to-End 遅延が 150ms 以下であることが望ましいと勧告されている [2]、音楽演奏においては、より高い同時性が必要とされることが考えられる。本報では、バイオリン二重奏による主観評価実験及び演奏音分析の結果について報告する。

## 2 実験方法

## 2.1 実験システムの構成

二人の演奏家が所定の条件下でアンサンブル演奏を行う実験システムとして、入力に電子楽器を用い、実測インパルス応答の実時間たみ込みを行うバイノーラルシステムを構築した。システムの概要を Fig. 1 に示す。アンサンブル演奏を行う二人の演奏者と楽器の間のインパルス応答として、電子楽器  $i$  から演奏者  $i$  の耳元までのインパルス応答  $P_{i \rightarrow i}(t)$  と、電子楽器  $j$  から演奏者  $i$  の耳元までのインパルス応答  $P_{j \rightarrow i}(t)$  がある ( $i, j=A, B$ )。電子楽器  $i$  からの出力信号に  $P_{i \rightarrow i}(t)$  を、電子楽器  $j$  からの出力に  $P_{j \rightarrow i}(t)$  をそれぞれリアルタイムで畳み込み、これらを合わせてヘッドホン  $i$  から出力する。畳み込みに用いるインパルス応答は、九州大学の多次元デザイン実験棟内にある中央実験ホール (室容積 3800 m<sup>3</sup>, ステージ面積 31 m<sup>2</sup>, 残響時間 1.2 s) の舞台上で測定したものとす。舞台上の音源 (12 面体無指向性スピーカ) と受音 (ダミーヘッド) の関係を Fig. 2 に示す。

## 2.2 実験条件

上述のシステムを用いて、バイオリン二重奏による主観評価実験を行った。二人の演奏者のうち、一方のみを被験者とし、もう一方を実験者が担当した。被験者は 15 年以上の演奏経験を有するアマチュアのバイ

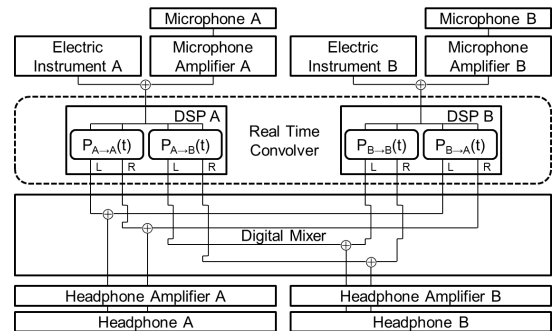


Fig. 1 実験システムの概要

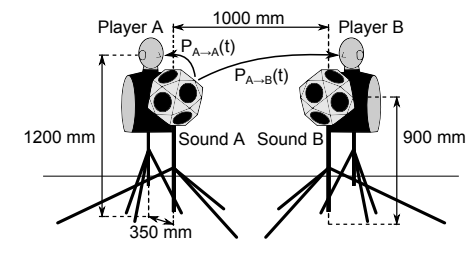


Fig. 2 ステージ上の音源と受音

オリン奏者 12 名とした。実験は二人の演奏者が互いに相手が見えない状態で行い、聴覚的な情報のみを手がかりにアンサンブル演奏を行うよう教示した。尚、演奏音の他に呼吸音も手がかりにできるよう、演奏者のヘッドホンにはマイクロホンの付いたヘッドセットを用いた。遅延条件は 0ms, 10ms, 20ms, 30ms, 40ms, 50ms の 6 条件とし、デジタルミキサーのエフェクト機能により、相手の演奏音及び呼吸音に付加した。演奏曲は、連続した 8 分音符を演奏者二人が同時に演奏するもの (Music A) と、ヴィヴァルディの 2 つのバイオリンのための協奏曲より 60 秒程度を抜粋したもの (Music B) とした。Music B は、様々な音価のユニゾンや、演奏者二人が異なるリズムを演奏する箇所など、遅延の感じ方が異なる可能性のあるいくつかの要素を含む曲であり、予備実験により遅延の影響を受けやすい曲として選定した。各遅延条件ではまず、練習演奏として Music B を 1 回演奏し、演奏者二人で演奏の仕方に関する打ち合わせを行った後、本番演奏として Music A 及び Music B を 3 回ずつ演奏した。演奏後、被験者は各遅延条件における印象をフリーコメントで回答し、「遅延を感じた程度」(Music A, B について)、「演奏への支障の程度」(Music B についてののみ) を 7 段階で評価した。

\*Study on the effect of sound delay conditions on ensemble performance. by NAGAO, Tsubasa<sup>†</sup>, WATANABE, Tamaki<sup>‡</sup>, IKEDA, Yusuke<sup>†</sup>, UENO, Kanako<sup>‡</sup> and ISE, Shiro<sup>†</sup>(†Kyoto univ./JST・CREST, ‡Meiji univ./JST・CREST)

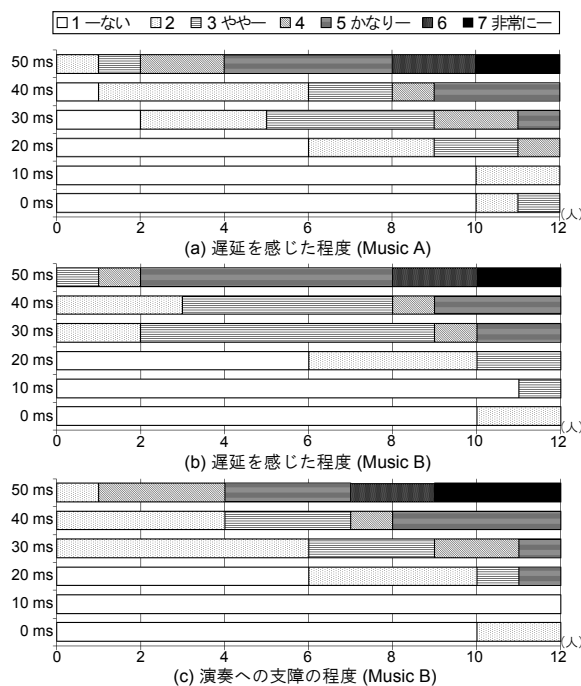


Fig. 3 段階評価結果

### 3 結果と考察

#### 3.1 主観評価

Fig. 3に「遅延を感じた程度」「演奏への支障の程度」の段階評価の結果を示す。遅延 10ms では殆どの被験者が、遅延 20ms では半数の被験者が遅延を感じないと回答した。しかし遅延を感じないと回答した被験者の中には、フリーコメントで遅延 0ms との違いを回答する被験者もいた。これは、遅延条件の違いを演奏上の表現や音の響き方の違いとして感じる被験者がいたものと考えられる。遅延 30ms 以上では殆どの被験者が遅延を感じると回答した。特に Music B では、遅延 30ms 以上で全ての被験者が遅延を感じ、演奏に支障があると回答した。

#### 3.2 演奏音分析

##### 3.2.1 テンポ

演奏曲毎に、分析範囲の最初の音の開始から最後の音の開始までの時間を求め、演奏者毎に各条件の偏差を求めた。Fig. 4 に 12 名の被験者の平均値を示す。さらに、遅延条件と被験者を要因とした二元配置分散分析（繰り返しあり）及び多重比較（Tukey 法）を行った。その結果、Music A, B 共に遅延条件の主効果は統計的に有意 ( $p < 0.01$ ) であり、全ての遅延条件の間に統計的に有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。すなわち、遅延時間の増加に伴いアンサンブル演奏のテンポが遅くなることが示された。また、遅延 20ms 以下では半数以上の被験者が遅延を感じないと回答していることから、この傾向は遅延の認知の有無に依らないことが示された。

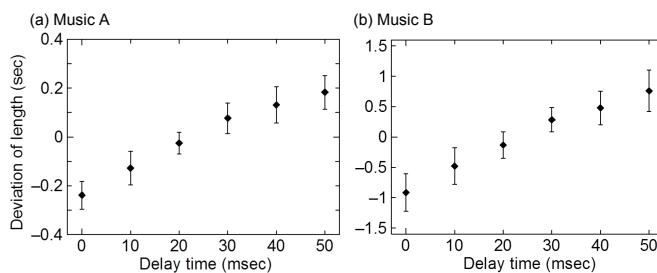


Fig. 4 テンポ（演奏時間）の分析

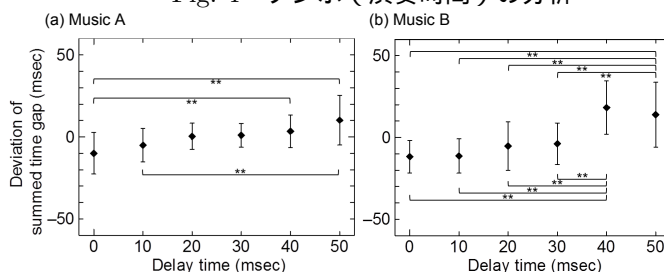


Fig. 5 同期性（時間的ずれ）の分析

#### 3.2.2 同期性

演奏曲毎に、演奏者間で同期すべき音の開始の時間的ずれを積算し、演奏者毎に各条件の偏差を求めた。Fig. 5 に 12 名の被験者の平均値を示す。さらに、遅延条件と被験者を要因とした二元配置分散分析（繰り返しあり）及び多重比較（Tukey 法）を行った。その結果、Music A, B 共に遅延条件の主効果は統計的に有意 ( $p < 0.01$ ) であり、遅延 0ms と遅延 40ms 及び 50ms の間に統計的に有意な差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。すなわち、遅延 40ms 以上で大きくアンサンブル演奏の同期性が損なわれることが示された。また、遅延 20ms 以上では半数以上の被験者が遅延を認知し演奏に支障を感じているが、遅延 30ms まではその支障に何らかの対処を行うことでアンサンブル演奏の同期性を維持することが可能であり、遅延 40ms 以上ではそれが難しくなることが示された。

### 4 まとめ

本報では、通信による音の遅延がアンサンブル演奏に与える影響を主観評価実験及び演奏音分析により検討した。その結果、遅延 20ms 以上で半数以上の被験者が遅延を認知することが示された。また、遅延時間の増加に伴いアンサンブル演奏のテンポが遅くなり、遅延 40ms 以上でアンサンブル演奏の同期性が大きく損なわれることが示唆された。

謝辞 本研究は科学技術振興機構 戦略的創造研究推進機構（CREST）の研究助成を受けた。

#### 参考文献

- [1] 伊勢, 音講論 (秋), 1205-1208, 2011.
- [2] ITU-T Recommendation G.114, "One-way transmission time," 2003.