

遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察

西堀佑 多田幸生 曾根卓朗

(ヤマハ株式会社 アドバンストシステム開発センター ND プロジェクト)

nishibori@beat.yamaha.co.jp, tada@beat.yamaha.co.jp, sone@beat.yamaha.co.jp

被験者に発音タイミングの異なる2つの音を提示し、どちらの音が早く発音されたかを回答させることで、どれくらいの音の遅延を認識できるのかを調査した。その結果得られた最も弁別し易い音(スネアドラムとピアノ)を用いて、楽曲中に遅延を発生させ、演奏にどのような影響をもたらすのかを分析した所、30ms以上の遅延だと認知され、50ms以上の遅延だと演奏が困難になることが分かった。また、遅延時間の提示方法により弁別能力が変化することが分かった。これらの結果を元に、遅延のある演奏系でのリアルタイムセッションの可能性について検討した。

Study and Experiment of Recognition of the Delay in Musical Performance with Delay

Yu Nishibori Yukio Tada Takuro Sone

(ND Project, Advanced System Development Center, Yamaha Corporation)

nishibori@beat.yamaha.co.jp, tada@beat.yamaha.co.jp, sone@beat.yamaha.co.jp

We searched how short that human can recognize the sound delay. By having 2 sounds generated with different timing, we let the listener answer which sound was generated earlier. As a result, we found that the combination of Snare Drum and Piano was the easiest pair to recognize the delay. Then by using those sounds as musical performance, we searched how the delay affected in terms of the players performance. Experimental result showed that 30ms delay could be recognized and over 50ms delay could cause difficulty to play. It also showed that the difference of the way of giving delay time cause the recognition ability. With these results, we considered some possibility about the real-time session in musical performance with delay.

1. はじめに

インターネットが一般に普及し始めたおよそ10年ほど前から、TCP/IPを用いたネットワークにおける音楽セッションのシステムが提案[1]されてきた。これは、演奏者の演奏情報をMIDI信号で表現し、そのMIDI信号をタイムスタンプ付きのケットとして離れた場所に転送・再生するものであり、離れた場所にいる複数の演奏者が一緒に音楽を楽しむという、新しい音楽の楽しみ方を提案するシステムである。

しかし、本来、非同期シリアルラインにおいて情報の伝達を行うことを前提としたMIDI信号を、TCP/IPという異なる伝送路上に流すには様々な問題や困難が伴う。特に、シリアル転送では発生し得ない(もしくはシリアル転送では無視できる範囲の)インターネットの通信遅延の問題は、特に同時性を重視する音楽セッションの世界では、避けることのできない大きな課題となっている。

通信遅延の対処法としては、後藤らが提唱するOpen RemoteGIG[2]や長嶋らが提唱するGDSM[3]のように、その遅延を不可避なものとして捉え、離れた相手の演奏のあるアルゴリズムに従って遅らせることでセッションを可能にするような方法も考えられている。しかしや

はり、音楽セッションにおいて重要な、複数の演奏者間での同時性を獲得するものではなく、実際に同じ場所でセッションを行う楽しさと同じものを得られるわけではない。

さて、近年、インターネットのブロードバンド化が進み、高速な通信手段を低コストで手に入れることができるようになってきた。特に、Bフレッツ[4]などのサービス名で知られる、FTTH接続によるインターネット環境では、離れた2地点間のRTT(Round Trip Time:一つのケットが相手の端末に届いてから自端末に戻ってくるまでの時間)が20ms以下という報告も得られている。また、日本・アメリカ間での同時性の実現に関する実験[5]もされている。これは片方の地点に配置された指揮者の映像を相手側に送り、指揮者のいる地点では指揮者を見ながら、相手側ではその映像を見ながら演奏をするというもので、結果、問題なく演奏が出来たという。このような事例からも希望の持てる環境が整いつつあると言える。

本論文では、このFTTH接続によってもたらされるRTT 20msという数値を念頭に置き、ネットワーク上で生じる遅延時間がどれくらいの範囲に収まっていれば、演奏者が違和感なくリアルタイムセッションができる

のかについて考察する。

まず、人間は、タイミングのずれた2つの音をほぼ同時に聞いた場合、そのずれがどれくらいの大きさならずれをずれとして認識できるのかについて実験を行った。例えば仮に、30ms 離れて発音された2つの音に関して、被験者がその2音のずれを認識できなかった場合、通信遅延の20ms は十分に無視できる数値であると考えて良いはずである。

次に、上記の実験の結果をふまえた上で、遅延のある演奏系を被験者に与え、どれくらいの遅延までならば問題なく伴奏に合わせた演奏を行うことができるのかを実験した。遅延のある演奏系としては、叩いてから、ある決められた遅延が経過した後に発音するようなドラムパッドを用意し、このドラムパッドを伴奏に合わせて演奏することができるかどうかを調査した。

2. 発音タイミングのずれの認識に関する実験

2-1. 概要

本論文の目的は、遅延のある演奏系において、果たしてどれくらいの遅延であれば問題なくセッションできるかどうかを明らかにすることであるが、まずその前段階として、そもそも人間はどれくらいの発音タイミングのずれを認識できるのかについて実験を行った。発音タイミングの異なる、ほぼ同時に提示された2つの音を聞き分ける実験については、過去、Plompら[6]による、白色ノイズを用いた実験が報告されている。この報告によると、2~3msのずれがあれば、2つの音は異なったタイミングで発音されていることを認識できるという結果が得られている。今回我々がターゲットとしているネットワークセッションの世界では、演奏データの送受信は、オーディオ信号ではなくMIDI信号の送受信によって行われるであろうことから、MIDI信号のレンダリングシステムであるMIDI音源が出力する音を用いて、同様の実験を行った。

具体的には、被験者に対し、同時に発音された2音と発音タイミングをずらして発音された2音を交互に提示し、どちらに遅延が含まれているかを回答させた。試行は発音タイミングのずれを増減させながら繰り返し行い、それぞれについて被験者からの回答を得た。この回答の正答率を、提示した資料に含まれている2音の発音タイミングのずれとつきあわせることで、被験者が正しく遅延を認識できる遅延時間はどれくらいなのかを知ることができる。

また、実際のセッションの環境においては、自らの意志で発音した音に対する遅延を認識することになる。この場合、単に、不意なタイミングで発音される2つの音を聞いた場合と、自分が何らかのアクションを起こし、その結果として発音された2つの音については、被験者の音に対する認知能力の度合いが変化することも十分考えられる。実験では、任意のタイミングで提示される2音の弁別能力を測定する実験に加えて、被験者がアクションを起こした(キーボードのキーを叩いた)タイミングで提示される2音の弁別能力を測定する実験も行った。

2-2. 実験に使用した装置

以下に、実験に使用した装置の構成を示す。

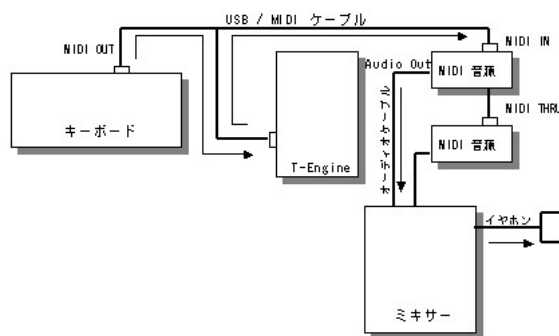


図1. 実験装置の構成

2音の発音タイミングの制御は、T-Engine[7]を用いて行った。T-Engineから2台のMIDI音源(ヤマハ製MU-1000)に対してMIDI信号が送られ、送られたMIDI信号に従って音源が発音を行い、被験者に2つの音が提示される。

また、キーボードを弾いたタイミングで2音を提示する実験においては、キーボードから出力されるMIDI信号を一旦T-Engineで受信し、直後にMIDI音源に対して発音の指示を行うようになっている。

この実験では、被験者に対し、発音タイミングを微妙にずらしながら2つの音を提示する必要があり、その精度にはmsの単位が要求される。1msの精度で発音タイミングをずらすというシステムを構築するために、プラットフォームとしてT-Engineを選択した。T-EngineはOSとしてリアルタイム制御に優れたμITRONを使用しており、実際に実験の前にMIDI音源から出力される波形をオシロスコープでチェックしたところ、期待通りの遅延を含んだタイミングで、提示すべき音が発音されていることが確認できた。

被験者に提示する音を発音するためのMIDI音源は2台用意し、それぞれの出力をミキシングして被験者に提示するようにした。1台の音源でタイミングの微妙に異なる2音を発音させると、遅延の有無によって音そのものの波形が変化してしまう可能性があり、被験者が遅延そのものでなく音の「鳴り」によって回答を導いてしまう可能性があるためである。

ミキサーから出力された音を被験者に提示するにあたっては、スピーカーではなく、インナーイヤー型のヘッドホン(ER-4S[8])を使用した。これは、実験に影響を与える可能性のある、空気による音の遅延を可能な限り排除しようとしたためである。

2-3. 実験方法

被験者に対して「発音タイミングのずれている2音」と「同時に再生された2音」を提示し、どちらがずれているかを回答させた。

音を提示するタイミングは、被験者が待っている状態で任意のタイミングで発音する方法と、被験者がキーボードのキーを叩いたタイミングで発音する方法の2種類を実験した。

提示する音は、音色によって認知能力が変わる可能性があることを考慮し、以下の組み合わせを用いた。(前者が先に発音する音色、後者が発音タイミングを遅らせて発音する音色である。)

- ・ピアノ → ストリングス
- ・ストリングス → ピアノ

- ・ピアノ → スネアドラム
- ・スネアドラム → ピアノ

タイミングをずらして後から発音される音に付加する遅延時間は、予備実験の結果をもとに、4、8、12、16、20、30、40、80 (ms) とした。

2-4. 被験者

59才男性、35才男性、27才男性、26才男性、33才女性の5名を被験者とした。ちなみに、5名とも特筆すべきほどの音楽経験はない。

2-5. 実験結果

以下に、実験で得られた、2音の発音タイミングのずれと被験者の回答の正答率(%)を示す。

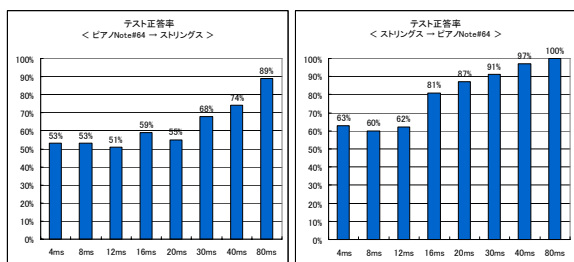


図2. ピアノ → ストリングス

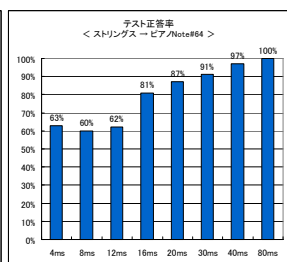


図3. ストリングス → ピアノ

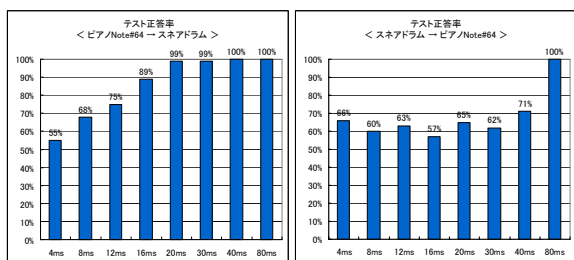


図4. ピアノ → スネアドラム

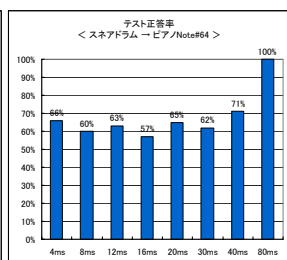


図5. スネアドラム → ピアノ

また、それぞれの結果(正答率)をもとに、有意水準0.1%における検知域(遅延を認識できていると判断できる値)は、

- ピアノ → ストリングス: 30 ms
- ストリングス → ピアノ: 16 ms
- ピアノ → スネアドラム: 8 ms
- スネアドラム → ピアノ: 不明

ピアノとストリングスの組み合わせにおいても、ピアノとスネアドラムの組み合わせにおいても、音の立ち上がり(アタック)が強く、音圧の強い音を先に提示した場合に、被験者の検知域が下がる(より2音のずれを認識しにくくなる)ことを、データから読みとることができる。これは、先に発音された音が、後から発音された音をマスクしてしまい、後から発音される音の発音タイミングを認識することが困難になるためだと思われる。

ただ、スネアドラム → ピアノ時の正答率は、4ms時に66%で、これは有意水準0.1%の基準値を超えている。その一方16ms時には、57%と下がっていることから、4ms時の検知にはギャップ以外の要因(例えば音の鳴りなど)があったのではないかと考えることができる。

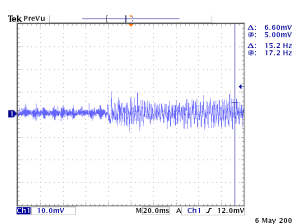


図6. ピアノの波形

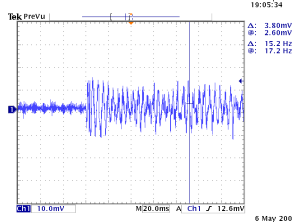


図7. スネアドラムの波形

また、発音タイミングの提示の仕方による、実験結果の違いを以下に示す。

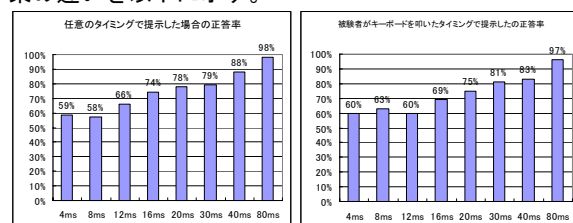


図8. 任意のタイミングで提示した場合の正答率

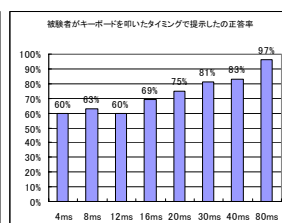


図9. 被験者がキーボードを叩いたタイミングで提示した場合の正答率

それぞれの検知域は、12ms、16msであり、被験者がキーボードを叩いたタイミングで音を提示した場合の方が若干認識しにくくなっている。被験者に対して行ったアンケートでは、ただ聞くだけの方が試行に集中できたという意見があり、「キーボードを叩く」という行為によって、音を聞くための注意力が低下した可能性がある。

3. 遅延のある演奏系での演奏追従に関する実験

3-1. 概要

前章の実験では、MIDI音源から出力される音について、単純な2音間の遅延の認知について調査を行ったが、楽曲の演奏中にどの程度の遅延が生じると演奏に支障をもたらすのかということまでははっきりしない。今回我々が目指すのは、遅延のある演奏系において、その遅延の量と演奏の際に生じる違和感との関係を明らかにすることであり、限られた状況における一音のみの遅延認知実験でその結果を判断するのは不十分である。

実際のネットワークセッションにおいては、全ての演奏者による演奏を同期させる必要がある。このため、自分の演奏した演奏データを直ちに音として出力することはできず、自分の演奏データをネットワークのRTTに従って遅延させようとして、他の演奏者の演奏データとミキシングして出力する必要がある。この、自分の楽器を演奏するタイミングと、自分の楽器から実際に音が出力されるタイミングとのずれが、演奏中に演奏者が感じる遅延ということになる。

ここでは、一連の演奏の中で演奏者がどれくらいの

遅延を認識できるのかを調べるため、被験者に演奏動作と実際の発音との間に遅延が生じる(演奏した後、決められたインターバルの後に発音する)楽器を与え、その楽器を使用してセッションができるかどうかを調べる実験を行った。この状況は、先に述べたネットワークセッションの状況を、ネットワークを使用せずに擬似的に再現したものにも他ならない。

具体的には、ある伴奏と、その伴奏に付随するお手本パターン(教師データ)を被験者に提示し、遅延の生じる楽器を用いて、そのお手本パターンと同じタイミングで演奏を行うことができるかどうかを調査した。

遅延の大きさが演奏に与える影響を調べるために、被験者が使用する楽器の遅延時間を段階的に変化させ、それぞれの場合で演奏の正確性を客観的に測定した。同時に、演奏者が遅延に気がついたかどうかをインタビューし、被験者の自己申告をもとに、正確に演奏できたと感じているかどうかの主観評価を行った。

3-2. 実験に使用した装置

以下に、実験に使用した装置の構成を示す。

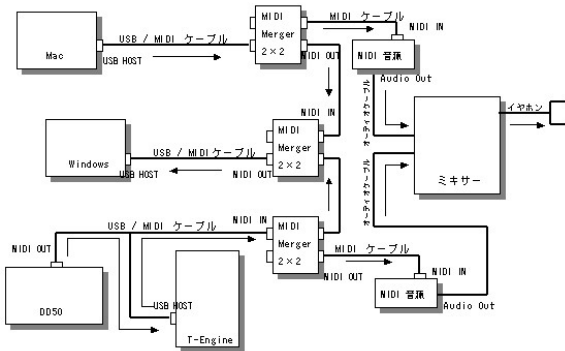


図9. 実験装置の構成

被験者には、楽器としてドラムパッド(ヤマハ製DD-50)が与えられる。ドラムパッドのMIDI出力は一旦T-Engineに入力され、ここで信号の遅延処理が行われた後、再びT-Engineから出力される。どれだけの時間遅延させるかはT-Engineを操作することで、任意に設定可能である。T-Engineから出力されたMIDI信号は、MIDI音源を通して再生され、被験者にその音を提示すると共に、記録用のWindows PCに入力され、Windows PC上のシーケンサでその演奏が記録される。

被験者が演奏を行う際に同時に演奏される伴奏、及び被験者が演奏すべきリズムパターンを示した教師データは、別に用意したMacintosh上のシーケンサによって出力される。この伴奏データは、解析のために演奏データと同じくWindows PC上のシーケンサで記録される。

Macintoshからの伴奏と、被験者による演奏は、前章の実験と同じくインナーイヤー型のヘッドホンによって被験者に聞かせるようにした。

3-3. 実験方法

以下の試行を、被験者が使用する楽器の遅延時間を変更しながら複数回行い、各試行についてその演奏の正確性を計測した。

1回の試行は、80小節からなる。まず、被験者は、テンポを確認するため、クリック音を1小節聞き、その後、ピアノによる伴奏とスネアドラムによるお手本パターンが同時に演奏されているものを2小節聞き、直後の2小節で、お手本パターンと同じパターンを演奏する。この時、ピアノによる伴奏は直前の2小節と同じものが流れるが、スネアドラムによるお手本パターンは再生されない。

この作業を連続して16回(80小節)繰り返すことで、1回の試行となる。なお、1回の試行中は、楽器の遅延時間は変更されない。

試行ごとに変化させる楽器の遅延時間は、0、15、30、40、45、50、55、60、80(ms)とした。この時間は被験者には知らせないため、被験者は今自分が演奏している楽器の発音タイミングに遅延が含まれているかどうかはわからない。

また、演奏の正確性を計測すると同時に、試行ごとに、被験者に遅延が認知できたかどうか、演奏が容易だったか否かについてのインタビューを行った。遅延が認知できたかどうかについては、被験者自らがその試行で演奏した楽器に遅延が含まれていたかどうかを、遅延があった・遅延がなかった・わからないの3値で申告してもらった。また、演奏が容易だったかどうかについては、同様に演奏が可能・演奏が困難・演奏が不可能の3値で申告してもらった。

3-4. 被験者

35才男性、27才男性、26才男性、33才女性の4名を被験者とした。ちなみに、4名とも特筆すべきほどの音楽経験はない。

3-5. 実験結果

3-5-1. 演奏の正確性に関する結果

シーケンサによって記録された被験者の演奏データを解析し、どれだけ教師データ(お手本パターン)に近いパターンで演奏できているかをまとめたのが以下のグラフである。

横軸は楽器に含まれる遅延時間、縦軸は教師データとのずれである。縦軸は、発音すべきタイミングと実際の発音タイミングとのずれを自乗し、全ての発音(音符)についてその平均をとったものである。

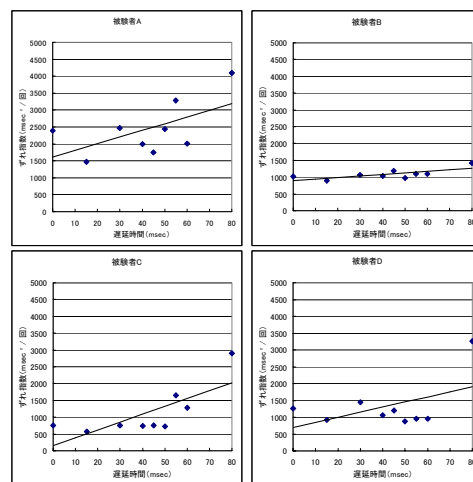


図10. 各被験者の各遅延時における演奏と教師データとのズレ(3日分の平均)

およそいずれの被験者も、遅延時間が 0-50ms の範囲では、教師データとのずれが、0ms と同じ値で推移している。また、遅延が 80ms を超えると、著しくずれが大きくなっていることが分かる。すなわち、遅延が 50ms 程度までであれば、遅延がない時と同じくらいの正確さで演奏を行うことができていると考えられる。

ただし、ここで注意すべきは、単に教師データとのずれを分析するだけでは、演奏の正確性を論じるには不十分であるということである。例えば、演奏時の癖として常に「前ノリ」気味で演奏を行うような被験者の場合、仮に楽器の遅延が大きくなるにつれて演奏が遅れるような現象が生じると、結果として遅延のある演奏系の方が正確な演奏ができるという結論になってしまう。

こうした現象を排除するために、次に、遅延 0 の演奏系で被験者が演奏したデータを正しく演奏できたデータ(教師データ)として扱い、遅延が増えていった時に、それぞれの被験者の演奏タイミングがどのように変化したかについて分析を行った。すなわち、被験者の演奏した音符一つ一つについて、遅延 0 の演奏系で演奏したタイミングとのずれを計算し、その平均を求めた。

言い換えるなら、先にグラフを提示した教師データとのずれは、その演奏の正確性を演奏者の外から客観的に評価した値であり、この後で提示する遅延 0 の演奏系における演奏データとのずれは、その演奏の正確性を演奏者自らの基準に照らし合わせて評価した値である。

以下に、遅延 0 の時の演奏データとのずれをまとめたグラフを示す。

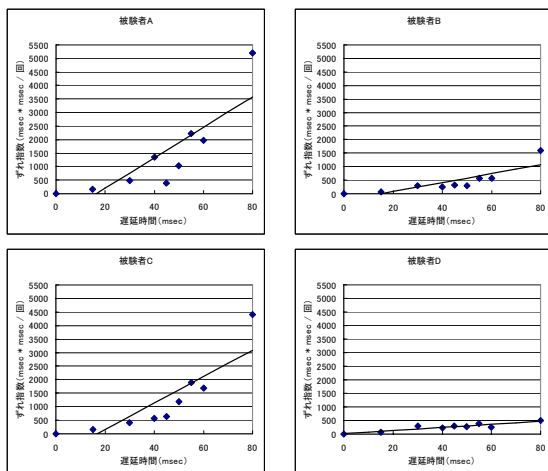


図 11 遅延 0 の時の演奏データとのずれ

これら 4 つのグラフを見るとわかる通り、遅延時間が増えると、右肩上がりの傾きで演奏のずれが増えていることがわかる。

先に述べた教師データとのずれについては、50ms までの遅延の場合はずれに関して右肩上がりの傾向は見られなかったが、今回の遅延 0 の時の演奏データとのずれに関しては、50ms 以下の遅延においても右肩上がりの傾向が見られる。

これは、遅延が 50ms よりも小さい場合でも遅延が

演奏に影響を与えているということであり、外から見た場合には問題なく演奏できていたとしても、本人の演奏の癖や、個性といったものについては遅延の影響を受ける可能性があると考えられる。

3-5-2. 遅延の認知に関するインタビュー結果

実際の試行においては、その時に被験者が演奏している楽器に遅延が含まれているかどうかは被験者には知らせず、被験者がその楽器に遅延が含まれていることを認識できたかどうか、試行の度にインタビューを行った。

3 日間の実験におけるインタビュー結果を以下に示す。

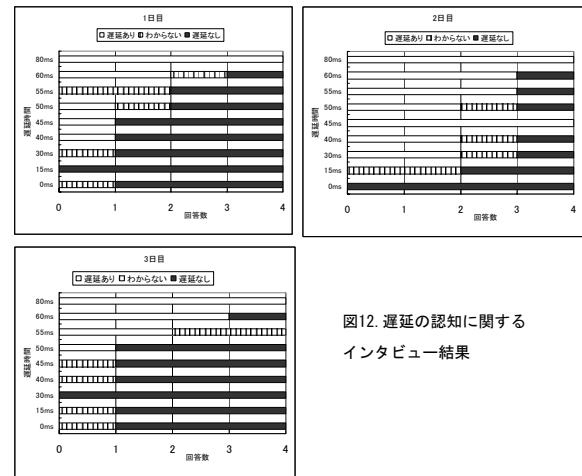


図 12. 遅延の認知に関するインタビュー結果

1 日目と 3 日目では、55ms 付近まで遅延を認知できていないのに対し、2 日目では、30ms 付近で既に遅延を認知できている。

これは、1・3 日目と 2 日目では、試行時の遅延の提示方法に違いがあったためだと思われる。

1・3 日目では、遅延を 80ms から 0ms にかけて徐々に下げながら試行を行い、逆に 2 日目では、遅延を 0ms から 80ms に増やしながらか試行を行った。

1・3 日目の実験において、被験者は、遅延時間の大きい試行から開始しているため、遅延に慣れてしまっていることが考えられる。すなわち、それ以前の試行において、演奏すべき時点よりも早めにドラムを叩き、出力される音のタイミングを合わせることで、遅延を感じないようにしている。逆に 2 日目は、直前に、より遅延の少ない試行を行っているため、遅延に敏感になっていると考えられる。

以下のグラフは、2 日目と 3 日目のある被験者の演奏データの一部である。どちらも遅延時間などの条件は同じである。縦軸は ms を表し、0ms から横軸に伸びている太線は教師データのタイミングを示し、それよりも上の場合は早く演奏していることを、下の場合は遅れて演奏していることを示す。

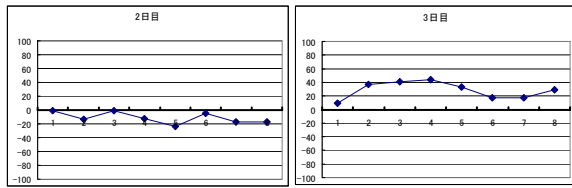


図13. 2日目と3日目の教師データとのずれ

この図より、2日目は、本来演奏される時点よりも遅れて演奏していることが、3日目は早めに演奏していることがわかる。

これは、無意識のうちに遅延に慣れている3日目の方が、やはり無意識のうちに早めに演奏しようとしていることを示していると考えられる。この傾向は、他の被験者についても同様であった。

3-5-3. 演奏の容易さに関するインタビュー結果

演奏が容易だったかどうかに関する被験者へのインタビュー結果を、以下に示す。

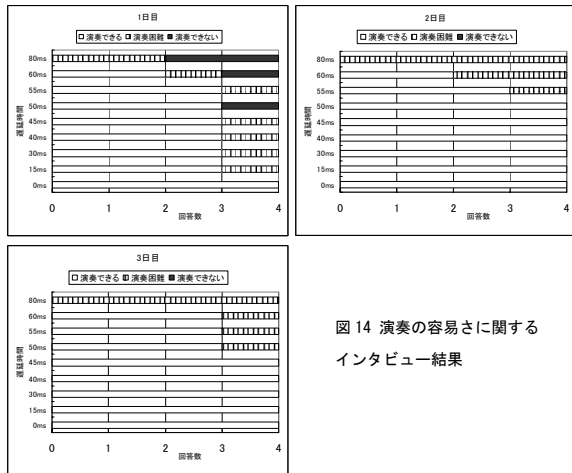


図 14 演奏の容易さに関するインタビュー結果

1日目から3日目を通して、50ms 付近から演奏が困難になってきており、80ms ではほぼ演奏は不可能と回答していることがわかる。

この結果から見る限り、演奏が可能かどうかについては、前節のような遅延の提示の仕方による影響はなく、遅延を感じていても、遅延を感じていなくても、遅延が 50ms 以内であれば演奏は可能であると考えられる。

4. まとめ

本論文では、ネットワークを用いた音楽セッションの実現可能性を論じるために、遅延のある演奏系における遅延の認知と、演奏可能性に関する実験を行った。

まず、単純にタイミングの異なる2音を被験者に提示して、遅延が含まれているか否かを回答させる実験では、最も敏感に認識できたピアノとパーカッションの組み合わせで、8ms の遅延を認識することができた。

次に、実際のネットワークセッションの環境を、演奏から発音までの間に遅延が発生する楽器を用いることでシミュレートし、その遅延の時間がどれくらいまでならば演奏可能であるかについて調査した。

客観的に判断した場合、およそ 50ms 程度までの遅

延であれば正しく演奏を行うことが可能であった。また、自らの楽器の遅延を認知しているかどうかに関しては、0ms から 80ms にかけて遅延提示をすると 30ms くらいから遅延を認知し、80ms から 0ms にかけて提示すると 55ms 付近から遅延を認知することがわかった。

これらの結果をまとめると、およそ 30ms 以内の遅延においては、演奏者は遅延があることすら認識せず、かつ、演奏も正常に行うことができ、30ms から 50ms 程度の遅延であれば、遅延があることは認識しているが、それでも演奏は可能であるということが言える。

また、遅延を 30ms 以内に抑えられた場合でも、遅延の揺らぎの幅はできるだけ少なくした方が良い。例えば、遅延認知のインタビューにおいて、遅延時間を短い方から提示した(2日目)場合、遅延時間が 30ms であっても、1・3日目よりも遅延の認知度が高くなっている。このことから、遅延時間 30ms で演奏している最中に、急激に遅延時間が下がり 10ms や 15ms になると、次に 30ms の遅延に戻った際に遅延を感じ易くなる可能性があるからである。

以上、実験結果をまとめると、安定して RTT を 30ms に押さえることのできるネットワーク環境を用意することができれば、演奏者はその距離を意識することなくセッションを行うことが可能であるということであり、現状の通信インフラを考えると、既にネットワークセッションが実用の領域に入ってきたと考えて良いだろう。

インターネットを使った MIDI の転送には、遅延の他にも、例えばパケットロスに伴う MIDI メッセージの喪失などの様々な問題が存在する。こうした問題を一つずつ解決し、適切な通信インフラと組み合わせることで、誰にでも気軽に使うことのできる、ネットワークセッションシステムを構築したいと考えている。

参考文献

- [1] 後藤真孝、他：MIDI 制御のための分散協調システム- 遠隔地間の合奏を目指して：情報処理学会研究報告 Vol. 93, No. 109, 情報処理学会, pp. 1-8, (1993)
- [2] 後藤真孝、根山亮：Open RemoteGIG - 遅延を考慮した不特定多数による遠隔セッションシステム：情報処理学会論文誌 Vol. 43, No. 2, 情報処理学会, pp. 299-309, (2002)
- [3] Yoichi Nagashima, Takahiro Hara, Toshihiro Kimura, Yu Nishibori：GDS (global delayed session) Music - new improvisational music with network latency：Proceedings of 2003 International Computer Music Conference, ICMA, pp 291-294, (2003)
- [4] NTT B フレッツ
<http://fleets.com/opt/index.html>
- [5] 茂木俊一、他：広帯域ネットワークを用いた遠隔同時音楽演奏の実験：情報処理学会研究報告「マルチメディア通信と分散処理」Vol. 2003, No. 108-009, 情報処理学会, (2003)
- [6] R.Plomp：Rate of decay of auditory sensation. J. Acoust. Soc. Am. 36, 277-282, (1964)
- [7] T-Engine Forum
<http://www.t-engine.org/>
- [8] ER-4S
<http://www.aedio.co.jp/new/html/pr-er4.htm>