

〔様式第4号の1〕

令和5年3月31日

令和4年度 学生自主研究成果報告書

教 育 本 部 長 様

学生自主研究グループ名	Music Hall Reverberation	
研究課題名	音楽と室内残響の切っても切れない関係を探る	
研究代表者（学生）	学籍番号	B24C041
	氏 名	綿井 遥
指導教員	学 科	建築環境システム学科
	氏 名	松本 真一

学生自主研究の報告書を別紙のとおり提出します。

音楽と室内残響の切っても切れない関係を探る

システム科学技術学部 建築環境システム学科

1年 綿井 遥

1年 福田 芽生

システム科学技術学部 知能メカトロニクス学科

1年 阿部 豊聖雅

指導教員 システム科学技術学部 建築環境システム学科

教授 松本 真一

助教 大塚 亜希子

システム科学技術学部 情報工学科

助教 安部 幸治

1. はじめに

楽器演奏の経験よりかねてから残響が音楽演奏や聴感に影響すること、残響は建築空間によって生み出され、その造りによって響き方が異なることにも興味を持っていた。また「残響をコンピュータで計測計算し設計する」という概念を指導教員から教わり、科学技術としての興味も持った。

2. 研究目的

室内音響の残響設計を簡単に演奏と視聴から学び、残響の存在が音楽に不可欠なものであるか、音楽の種類によって好ましい残響特性が異なるかどうかを明らかにする。

3. 実験方法

今回は3パターンの建築空間における音の響きの評価を行う。「楽音」「仮想音」「音声」の3種の音源を計6つ用意した。各音源にコンピュータを使用したたたみ込み演算を行い、ホール音響を再現したシミュレーションを行う。

3-1. 「楽音」によるシミュレーション

無響室に設置した録音機器⁰に向けてフルートとアコースティックギターをソロでそれぞれ1フレーズ程演奏し、響きを含まない音源信号(ドライソース)を収録する。図2にその様子を示す。

各音源を順に「W1」「A1」「M1」と呼ぶことにする。録音されたフルートソロ、ギターソロ(2種)の音源信号に対して後処理をAudacityで行い、ドライソースを求めた。

この音源についてCubaseによりたたみ込みを行い以下の3つの建築空間で演奏された音源信号を作成した。



図1 録音機(TASCAM)



図2 無響室にて収録

・中規模音楽ホール (Carnegie M Hall¹) (残響時間 1.417s)(以降, M と示す)

・大規模音楽ホール (Musikverein Großer Saal²) (残響時間 2.549s)(以降, L と示す)

・スタジオ (LA Recording Studio) (残響時間 1.119s) (以降, S と示す)

上記のインパルス応答はエラー! 参照元が見つかりません。-5 である。

以降, 各音源を「〇〇L」, 「〇〇M」, 「〇〇S」と叫奏した場合のシミュレーション音源は「W1M」である。

3-2. 「仮想音」によるシミュレーション

Cubase で室内演奏音源 (Johann Pachelbel: Kanon) と小規模オーケストラ音源 (Delius: Two Aquarelles-□) を作成し, 「M2」, 「M3」と呼ぶことにする。3-1 と同様にたたみ込み演算により上記 3 つの建築空間における音の響きをシミュレーションする。

3-3. 「音声」によるシミュレーション

音声は短文読み上げを「音素バランスデータ CD-ROM 広帯域版」(NTT アドバンステクノロジー)より, 時事単語が入っていない文構造がはっきりしている文を使用する。「M4」と呼ぶことにする。

女性が収録した以下の短文である。

・細い道ぞいに, 昔の道しるべが残っている。

3-4. 音響シミュレーションについて

インパルス応答とは, ある系に継続時間の非常に短い信号(インパルス)を入力したときの, 系からの出力のことである。インパルスは継続時間の非常に短い信号のため, 図 6 に示すように, 音響伝搬経路に反射物体があるような場合を想定すると, 直達音(受音点に直接到達する音)に対応するインパルスに続けて, 反射音に対応するインパルスが遅れ時間に合わせて現れることになる。さらに複数の反射経路が存在すれば, 経路の数だけ継続して振幅を変化させながら現れる。このように, 入力したインパルスが時間的にどのように時間と振幅を変えて出力に現れるかを見たのがインパルス応答である(図 7)。



図 3 中規模音楽ホール



図 4 大規模音楽ホール



図 5 スタジオ

¹ コンサートホール(アメリカ ニューヨーク)

² コンサートホール(オーストリア ウィーン)

また、インパルス信号には全ての周波数成分が含まれるため、インパルス応答は角周波数成分が伝搬系によってどのように変化したかの情報を含むデータと捉えることができ、インパルス応答のフーリエ変換は周波数応答関数、伝達関数と呼ばれる。

以上のことは、伝搬系インパルス応答データがあれば、その系に任意の信号が入力されたときの出力が計算により求められることを示す。具体的には、入力信号に反射波の振幅をかけ遅れ時間分ずらして元の信号に足し合わせればよい。経路が複数の場合は経路数分足し合わせを繰り返す。このような計算のことをたたみ込み演算と呼び、式(1)で示される。

$$g(t) = \int_{-\infty}^t f(\xi)w(t - \xi)d\xi \quad (1)$$

インパルス応答は、実際のホール・模型ホールで測定したものや電氣的に合成したもの、設計図面からコンピュータシミュレーションで計算したものなどが使用できる。ドライソースにインパルス応答に含まれるホールの響きの情報を合成することによって、そのホールで音楽を演奏したらどのように聞こえるか等のシミュレーションが行える(図 8)。

本実験で使用した Cubase には様々な建築のインパルス応答が内蔵されており、ドライソースに reverb を付けることで音響シミュレーションを行った。

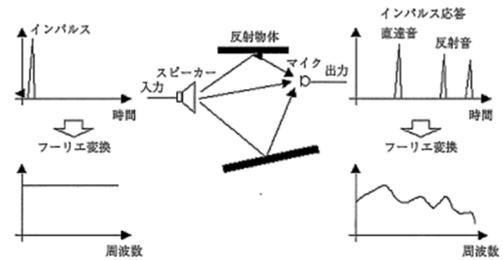


図 6 インパルス応答

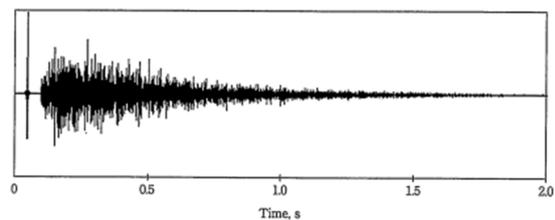


図 7 人工残響(残響時間 3.0 秒)のインパルス応答(500-1 kHz 2 オクターブバンド)

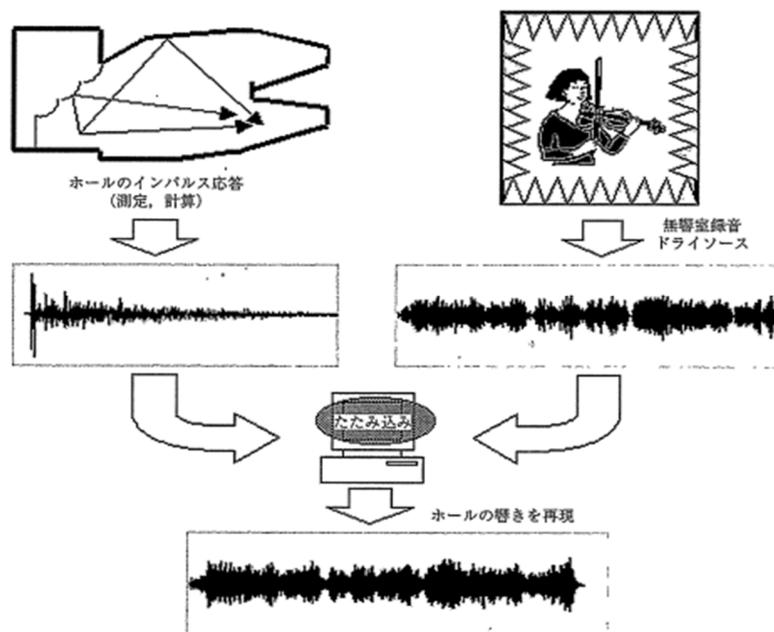


図 8 ホール音響のシミュレーション

4. 実験結果

本実験の結果を以下の表1に示す。

表1 各音源の評価

	L(大規模音楽ホール)	M(中規模音楽ホール)	S(スタジオ)	DS(ドライソース)
W1(フルートソロ)	△	◎	○	□
A1(ギターソロ)	△	○	◎	□
M1(ギターソロ)	△	◎	○	□
M2(室内楽奏)	○	◎	△	□
M3(小規模オーケストラ)	◎	○	△	□
M4(音声)	□	△	◎	◎

◎…特に良い ○…良い △…良くない □…特に良くない

5. 考察

各音源の評価結果から、単音の音すなわち楽器のソロと音声は残響時間の大きいホールでは心地悪く感じられた。これらの共通項は、前の音の残響が次の音まで被さることで音が混ざり合うことで音そのものが聞きづらいことである。M4Lでは音の重なりが顕著に表れており言葉が聞き取りにくいことがはっきりとわかる。また、音声は残響が小さくなるほど聞き取りやすく感じたことから、講義や談義等を行うような空間は残響の小さな建築空間にすべきであると考えられる。

複数の音が重なり合ったM2とM3では、最も残響の大きいLホールでも良い音に感じられた。これらはSスタジオのような空間ではハーモニーが感じられなかったことから、音の重なりが心地よく感じるポイントになっていると考えられる。M2はM3と比較してテンポが早く音の長さも短いフレーズが多いことからLホールでは残響が混ざり合う場面もあり非常に良いとは言えなかった。これらのことから、残響は曲調や音の数、楽器数等によって良い悪いがあると考えられる。

楽器音であるM4以外の音源はドライソースだと音に深みを感じられず音楽の良い部分がないように受け取れた。また、M2,M3では個々の音が鳴るのみであり合奏として成立していないと言える。

以上のことから、音楽には残響が不可欠であること、アナウンスや講義などの音声は残響が極力ない建築空間で行われることが望ましいといえる。

加えて、楽器演奏した音と仮想音について言及する。DTMで作成した仮想音は実際の演奏音と比較しても遜色ない音である。

6. 結論

本実験から、残響は音楽に不可欠であること、音楽もソロと合奏等異なった構成では好ましい残響特性が違うということが明らかになった。また、同じ楽器でも曲調やテンポ、リズム等によって残響特性が異なることも分かった。

音楽によって残響特性が異なることがわかったため、特定の建築空間で演奏されることが想定された曲が存在すると考えられる。対して、任意の建築空間では演奏されるのに好ましいとされる音楽が存在するとも推察される。今後研究する機会があれば行い、調査したい。