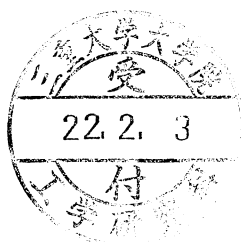


平成 21 年度

修士論文

ステージ上の残響特性が指揮者の  
客席部音場イメージに及ぼす影響



指導教員 寺島 貴根 准教授

三重大学大学院工学研究科  
建築学専攻

田中 健悟

## 目次

### 第1章 序論

1.1	研究背景	…2
1.2	既往の研究	…3
1.3	研究目的	…5
1.4	研究概要	…6

### 第2章 これまでの研究

2.1	実験概要	…9
2.2	実験手順	…11
2.3	実験条件	…12
2.4	主観評価回答項目	…15
2.5	実験結果	…16
2.6	まとめ	…21

### 第3章 ホール情報が想像行為に与える影響

(音場刺激により詳細なホール情報を付加した実験)

3.1	実験概要	…23
3.2	実験手順	…25
3.3	実験条件	…27
3.4	主観評価回答項目	…28
3.5	実験結果	…29
3.6	まとめ	…38

### 第4章 演奏行為中に音場刺激が想像行為に与える影響

(演奏行為を伴う際に音場刺激を付加した実験)

4.1	実験概要	…40
4.2	実験手順	…42
4.3	実験条件	…43
4.4	主観評価回答項目	…44
4.5	実験結果	…45
4.6	まとめ	…58



第5章 ステージ音場刺激が想像する客席部残響時間に与える影響  
(音場刺激を付加し、想像した残響時間を同定した実験)

5.1	実験概要	…60
5.2	予備実験	
5.2.1	実験概要	…62
5.2.2	実験手順	…63
5.2.3	実験条件	…64
5.2.4	実験結果	…65
5.2.5	予備実験のまとめ	…77
5.2	本実験	
5.3.1	実験概要	…78
5.3.2	実験手順	…79
5.3.3	実験条件	…80
5.3.4	実験結果	…81
5.3.5	本実験のまとめ	…96
5.4	実験システムの違いによる比較	…97
5.5	まとめ	…99

第6章 結語

6.1	各章のまとめ	…101
6.2	総括	…102

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 研究背景

Sabine が室内における残響理論を確立してからおよそ 100 年が経過し現在に至る。この間の音楽空間を対象とした建築音響設計は、客席の音響条件を整備すること、すなわち聴衆側の要求を満たすことに対して主眼が注がれてきた。

一方、ステージ音響設計とは、舞台上の音響条件を整備することによって演奏者に快適なステージ音響条件を提供し、演奏者のパフォーマンスを十分に引き出すことを目的とした音響設計手法である。ステージ音響設計は、建築音響の一研究分野として確立され、現在も継続して研究が行われているものの、現実の音響設計の現場にはほとんど研究結果が反映されていないのが現状である。これは、近年まで客席側の音響設計手法の確立が急務であったために、ステージ音響設計に関しては主眼が注がれなかったこと、また客席側の音響条件が満たされていればそれでよし、という考えが存在していたことから、結果としてステージ音響設計の研究成果は数少なく、実務設計に反映できる研究資料が十分に整備されていないことに起因する。現在では客席側の音響設計手法がほぼ確立し、聴衆の要求を満足させる音響設計が可能となった。

今後の新たな設計目標として、客席側とステージ側、すなわち聴取と演奏者の双方の要求を同時に満足させる音響設計手法を確立させることが考えられる。ステージ音響設計の資料が未だ数少ない現状においては、まずステージ音響設計に関する研究を進め、演奏者側の要求を満たす音響条件を明らかにし、演奏環境を整備することが重要である。

ここで、ステージの音響条件を最適とする際に対象となるのがオーケストラである。しかし、オーケストラは多数の音源によって構成されており、個々の演奏者に対して最適な音響環境を提供するのは困難である。一方、指揮者はオーケストラの統括制御を行う存在である。そこで、ステージ音響設計の研究対象を指揮者におく。

これまでのステージ音響設計に関する研究は、ソロ演奏者や独唱者、アンサンブル演奏を対象として実験が行われてきており、指揮者を対象とした実験室実験は全くといって良いほど行われていない。

指揮者は、オーケストラを中心とした大編成で演奏される音楽において非常に特殊かつ重要な存在である。演奏する曲目の解釈やテンポ設定、オーケストラのバランスコントロールなど、指揮者の担う役割はきわめて大きい。聴衆はホールにおいて、その指揮者が納得のいくように作り上げた音楽空間を聴覚、視覚を通じて体験することを目的とするのである。したがって、指揮者の満足する音響条件を実現することは、聴衆を満足させることにつながると考える。

## 1.2 既往の研究

コンサートホールを代表とする音楽空間における音響設計は、これまで客席の音響条件を整備すること、すなわち聴衆の要求を満たすことに対してのみに主眼が注がれてきたが、近年ではステージ音響が一研究分野として確立し、舞台上の演奏者に対する反射音構造や最適音響条件に関する研究も行われてきている。ここではステージ音響分野における既往の研究をまとめ、本研究の位置づけを明確にする。

演奏者のための舞台音響設計の分野については、先駆者に Khudsen が 1931 年に「演奏のしやすさ」の要因として、舞台周りの反射音の構成を挙げている。その後、Barron、Marshall、Gade、中山、中村らによって実際の演奏会場を用いたり、合成音場による無響室内における実験により、演奏者に関係する室内音響要因を求めるために、直接音、反射音、残響音、の構造について基礎的な研究が進められた。中村は 1999 年にステージ音響設計における音響物理量の一つの指標として半値時刻を復唱している。

また、Gade は、指揮者、歌手、オーケストラ団員などの演奏家にインタビュー調査を行っている。演奏家のホールに対する評価項目として、響き (Reverberance、音の切れ目や変わり目に感じられる)、自分の音の聞きやすさ (Support)、音色 (Timble)、ダイナミクス (Dynamics、演奏意図にホールが追従するか)、互いの音の聴きやすさ (Hearing each other)、バランス (Balance、楽器間の音量または、違った楽器によるお互いの音が重なったときの音量)、音色 (Timble) が挙げられている。

橘、上野らはシミュレーション音場を用いてソロ演奏者に対する初期反射音及び後期反射音の効果を調べている。聴衆にとっては避けるべきとされている後期反射音は、適切な遅れ間とレベルであれば演奏者にとっては有益なものとなることを明らかにしている。また、アンサンブル演奏のしやすさについても実験を行ってきており、演奏者を対象としたステージ音響設計に関する研究は、ソロ演奏者を対象とした実験から複数の演奏者を対象とした実験に研究対象が広がりつつある。

安藤は主観的拡がり感に関連が大きい IACC (両耳間相互相関度) を提唱し、また個人のプリファレンスは空間的要素と時間的要素によって説明がなされることを明らかにしている。また、IACC を指標とした場合の演奏者に対する最適音響条件に対しても言及している。

Meyer は各楽器間の音響出力特性の相違のために、指揮者の位置と客席におけるオーケストラからの直接音と初期反射音のレベル差について差があることと、指揮者にとって水平面内からの初期反射音が音場評価に対して影響があることを言及している。

三重大の岩田は指揮者を対象とした模擬的指揮行為を伴った音場評価実験を行い、好まし

い反射音到来方向や初期反射音レベルについて実験を行っている。

三重大の徳永は指揮者を対象としてコンサートホールにおけるステージを含めた総合的音響設計に関する基礎的研究の中で、「指揮行為におけるホール客席部の響きの推定に関する研究」を行っている。この中で、指揮者にとって望ましいステージ音響条件の一つとして客席部の音響状態を推定が容易であることを挙げており、また、客席部の音響状態の推定行為のメカニズムを明らかにするための実験を行っている。

三重大の山口は指揮者を対象として、「ホール客席部音場に対するオーケストラ指揮者の想像行為に関する基礎的研究」を行っている。この中で、指揮者が客席部音場を想像する際のステージ上の音場や聴覚以外から得られる刺激の影響を明らかにするための実験を行い、指揮者による客席部音場想像行為が行われていることを確認し、ステージ音場の音響的な特徴が指揮者の想像する客席部音場に影響を与えていることを確認した。またステージ音場の音響的な特徴に比べて視覚から得られるホール情報が指揮者の想像する客席部音場に影響が少ないという結果も得られている。

既往の研究から、ステージ音響に関する研究における主な研究対象は、ソロ演奏やアンサンブル演奏者であった。また指揮者を対象とした実験は行われているものの、指揮者の演奏しやすいステージ音響に関してはいまだ明らかになっていないところがあり、ステージ音響設計に反映できる研究成果は少ない。またステージ音響設計と従来の客席側音響設計を総合的にとりまとめる設計手法に関する研究も未着手の状態であることがわかる。

### 1.3 研究目的

本研究においては指揮者に対して適切な音響状態を提供するために、指揮者位置における音響条件や聴覚以外から得られるホールの様々な情報が、指揮者の客席部音場の想像行為に対して与える影響を明らかにすることを目的とする。

これまでに行ったプロ指揮者を対象としたヒアリング調査、アンケート調査からは「指揮者位置から客席部の音響状態を把握しやすいホールが望ましい」、「ステージ上では感じられなかったが、ホール客席部では金管と打楽器群の音が大きすぎるものがよくある。指揮者はこれに注意しなければならない」というコメントが得られている。このことから、指揮者にとって望ましいステージ音響条件の一つとして、『指揮者がステージ上指揮者位置において客席部の音響状態を把握しやすい環境を提供すること』が考えられ、「指揮のしやすさ」との関連性が深いと思われる。指揮者は、客席部の音響状態を把握するために、ステージ上における音響条件や聴覚以外から得られるホールの様々な情報などから客席部の音響状態の推定を行っている。すなわち、指揮者の客席部における音響状態の推定メカニズムを明らかにすることは、演奏環境の整備に繋がると考える。

## 1.4 研究概要

本研究は、指揮者である被験者に対してホール指揮者位置におけるステージ音場やホール情報を提示し、被験者はそれらの情報を元に客席部音場の想像を行い、主観評価回答や音を作ることによって想像先の客席部音場を表現する。その際に、複数のステージ音場やホール情報を設けることで、それらの情報が客席部音場の想像行為に対して与える影響を明らかにする。

本論文は全6章から構成される。以下に本論文の構成を示す。

第1章では、序論として本研究の背景、目的、既往の研究及び研究概要を述べる。

第2章では、本論文の基礎となる研究について述べる。

第3章では、被験者により詳細なホール情報を提示するために実際のホールで行われた実験の内容について述べ、ホール情報が想像行為に与える影響を再確認する。

第4章では、演奏行為を伴う被験者に対して指揮者位置音場を提示した実験の内容について述べ、音場情報が想像行為に与える影響を明らかにする。

第5章では、被験者が指揮者位置音場から想像した客席部における残響時間を明らかにする実験の内容について述べ、ステージ上の残響特性と指揮者の想像する客席部における残響時間との関係を明らかにする。

第6章では、結語として実験によって得られた結果から、指揮者の客席部音場の想像行為に対する考察を述べ、本研究の総括を行う。

## 第 2 章

### これまでの研究成果



本研究は筆者が関わった三重大の山口の研究を引き継いだ研究として位置づけられる。本章では三重大の山口が行った研究の実験や実験結果から明らかになった指揮者の想像行為のメカニズムについてまとめる。

三重大の山口は指揮者の推定行為の基礎の部分に着目し、指揮者が客席部の音響状態をイメージできているか、またそのイメージに対して指揮者位置の音響条件や聴覚以外から得られるその他の情報はどのような影響を与えているのかを明確にすることが必要であると考えた。指揮者がステージ上などで得ることの出来る様々な情報から客席部の音響状態の想像行為を行わせ、想像した客席部音場を主観評価させる3種類の実験を行い、指揮者による客席部音場想像行為の有無やその際のステージ音場やホール情報の影響を確認した。指揮者に与えた情報は大きく3つに分かれ、指揮者位置での音情報として「時系列情報」及び「立体情報」、また聴覚以外から得られる「ホール情報」としていた。筆者らが行った指揮者へのヒアリング調査によると、指揮者が演奏を行う前にステージ部で手を叩くなどして客席部の音響状態を想像することが確認されている。そこで、指揮者に対して最も基本的な音情報であるインパルス応答を提示することで、演奏前の想像行為に対する指揮者位置における音響条件やホールの様々な情報の影響をより明確にし、指揮者の想像行為の最も基礎的な部分を明らかにした。

- 実験1. 音場刺激の時系列情報が想像行為に与える影響
- 実験2. 音場刺激の立体情報が想像行為に与える影響
- 実験3. ホール情報が想像行為に与える影響

実験1では指揮者位置での音情報としてインパルス応答をモノラル信号で被験者に提示し、想像する客席部音場に関する主観評価実験を行い、時系列情報の影響を確認している。実験2では指揮者位置でのインパルス応答をステレオ信号で被験者に提示して、音に立体情報を付加した際の同様の実験を行うことで音の立体情報が想像する客席部音場に与える影響を確認している。実験3では映像によりホールの内観写真や平面図、断面図、客席数を提示した後、指揮者位置でのインパルス応答をステレオ信号で提示し、想像する客席部音場に関する主観評価実験を行い、ホール情報を提示していない時の主観評価の結果と比べることでホール情報が想像する客席部音場に与える影響を確認している。

## 2.1 実験概要

指揮者である被験者に対して、実験室において仕様の異なる複数のホールにおける指揮者位置での音場刺激（ステージ上の正規化インパルス応答）やホール情報（ホール内観写真、平面・断面図、面積、客席数など）を提示し、客席部の音響状態の想像を行わせ、刺激から想起されるホールの形状や大きさに対する印象やホール客席部における音響状態に関するいくつかの主観評価回答項目に「-3～+3」及び「0～6」の範囲における7段階のカテゴリー尺度や選択肢で回答させた。

実験1では、提示音場刺激に最も情報量の少ないモノラル信号のインパルス応答を使用することで、被験者が残響時間などの基本パラメータについて想像行為を行えているどうかを確認することを目的としている。また、インパルス応答を使用する目的として以下の2つが挙げられる。1つ目は、指揮者が演奏前にステージ上で手を叩くなどしてホールの客席部の音響状態を想像する状況を想定しているためであり、演奏行為を伴わない状況での想像行為を取り扱っているといえる。またもう1つの目的として、楽曲を使用した際に音の畳み込みが起こり正確な音響状態を把握しにくくなってしまうのを防ぐためである。以上の意味から、「モノラル刺激信号を用いた実験」は、指揮者の客席部音場の想像行為を確認するための最も基礎的な実験であるといえる。

実験2では、提示刺激音場にステレオ信号を用いることで、音の立体的主観である「音の拡がり感」に対する評価などのモノラル信号との違いを明確にし、それに伴う客席部音場の想像行為に対する影響を確認することを目的としている。

実験3では、実験1および実験2で行われた音情報のみを提示した実験の結果を踏まえた上で、音情報にホール情報を付加することによる客席部音場の想像行為に対する影響を確認することを目的としている。また、同一の指揮者位置音場に対して異なったホール情報を組み合わせ提示することで、客席部音場の想像行為に対して音情報とホール情報のどちらの影響が大きいかについても確認する。

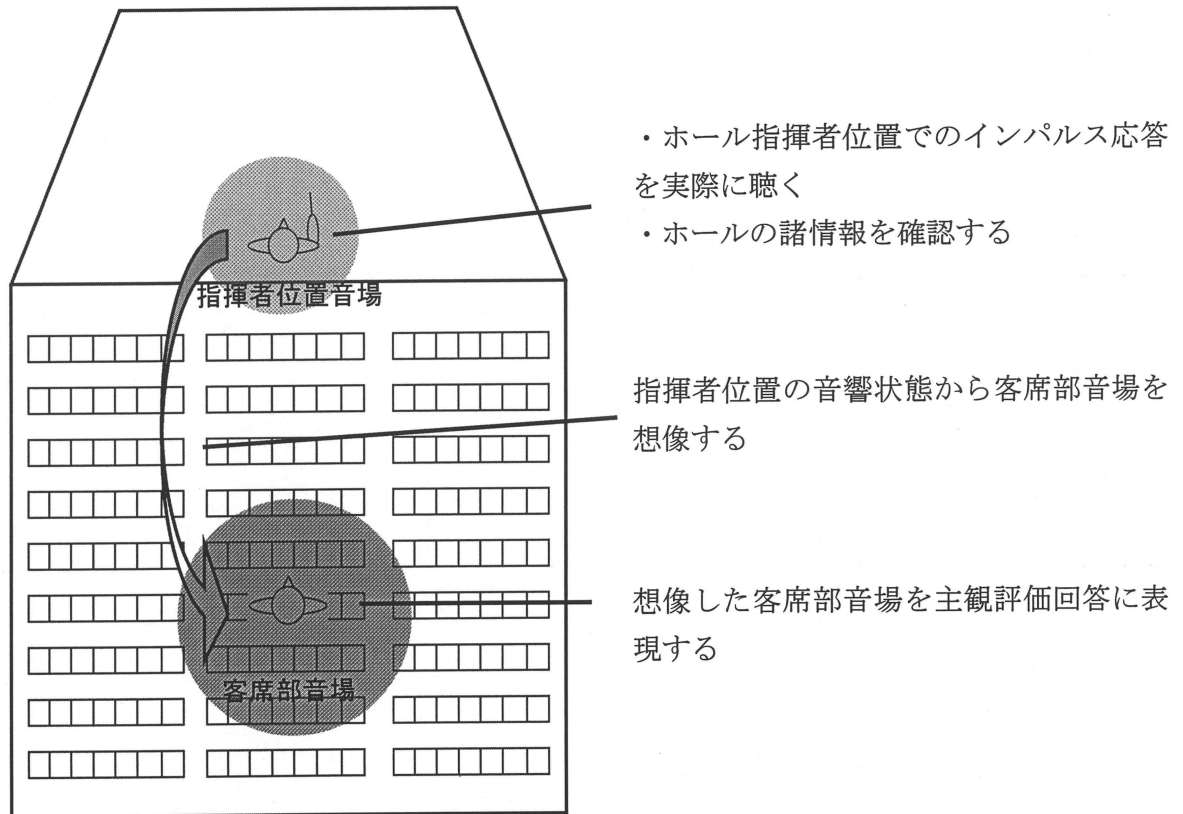


図 2-1-1 実験のイメージ図

## 2.2 実験手順

実験は以下の手順で行われる。

1. 被験者（指揮者）にホール情報を提示し、これから提示するインパルス応答は提示したホール情報における指揮者位置の音響状態であると教示する。（実験 3 のみ）
2. 被験者（指揮者）に指揮者位置でのインパルス応答（実験 1 ではモノラル刺激信号の形式、実験 2 および実験 3 ではステレオ刺激信号）を提示する。
3. 指揮者位置での音響条件から客席部の音響状態の想像を行わせる。
4. 想像した音及びホールについて主観評価回答項目に表現させる。
5. 主観評価回答項目に表現した回答についてヒアリングを行う。

※実験の際に、被験者には、刺激に対する評価を行うのではなく刺激によって想起された客席部音場に対して評価を行う旨を十分に教示した。

また、図 2-2-1 に実験の様子を示す。

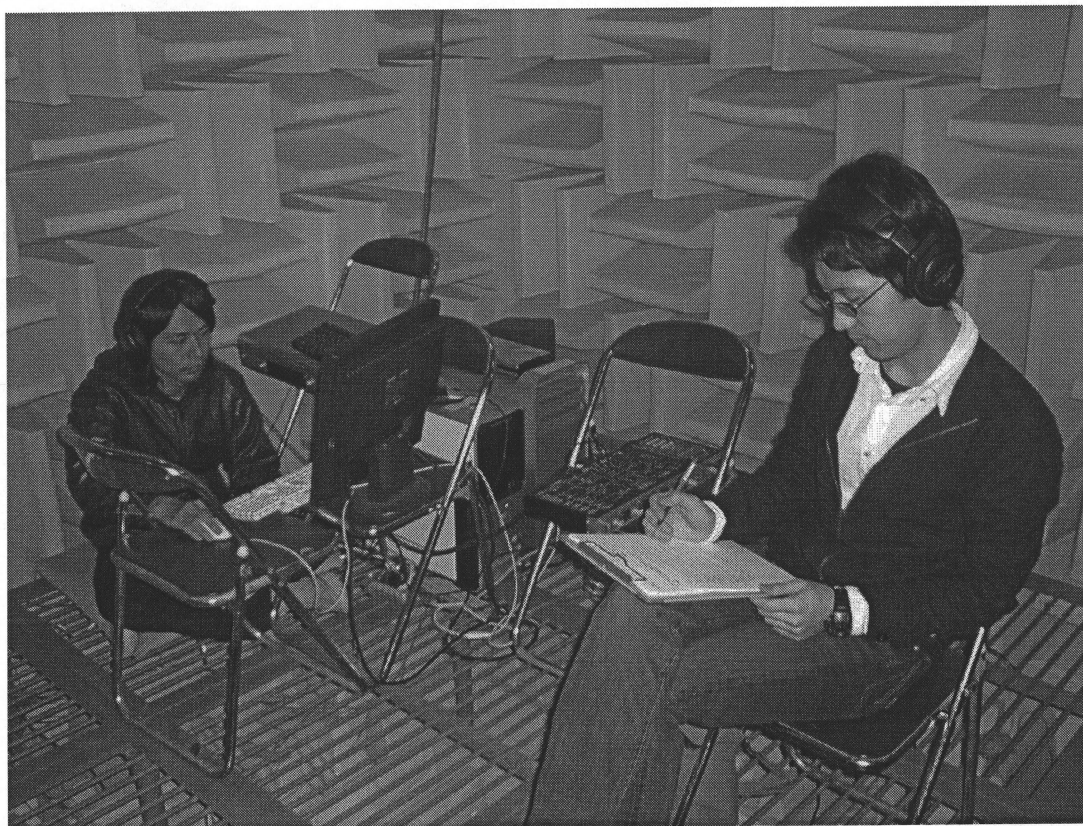


図 2-2-1 実験の様子

## 2.3 実験条件

実験に先立ち、残響時間 (RT)、初期減衰時間 (EDT)、明瞭性 (C80) 等の観点から比較的違いが判別し易いと思われる 4 種類の音場刺激(実在ホール A～D のステージ上指揮者位置におけるインパルス応答) を用意した。またホール情報としてそれらホールの内観映像および平面・断面図を用意した。表 2-3-1 に刺激音場の音響的特徴を示す。また実験によって音場刺激はモノラルまたはステレオの形式で提示されている。被験者は 3 名(指揮者経験のある大学生)であった。各被験者には実験によって 4 種類のうち 3 つのインパルス応答がランダムな順番に提示され、想像される客席音場に対する主観評価の試行が行われた。各実験における刺激と試行回数について表 2-3-2 にまとめる。実験 3 における音場刺激とホール情報の組み合わせを表 2-3-3 に示す。客席部音場の想像行為に対する音情報とホール情報の影響の大きさを確認するため、音場刺激とホール情報の正規の組み合わせ以外に、ホール D の音場刺激に対してホール B、C のホール情報を組み合わせた条件を設けた。表 4-3-2 に実験条件の組み合わせを示す。刺激の提示の際には音場刺激に先立ちホール情報を提示している。実験時に提示したホール情報は、ホール平面図、ホール内観写真、客席数などからなり、実際に使用したものを以下の図 2-3-1～2-3-3 に示す。

表 2-3-1 音場刺激の音響的特徴

音場刺激		RT [s]	EDT [s]	C80 [dB]	IACC
ホール	A	1.020	0.664	7.94	—
	B	1.392	1.364	1.04	0.12
	C	1.892	1.571	5.48	0.7
	D	1.588	1.360	5.26	0.52

表 2-3-2 各実験の刺激と試行回数

実験	刺激	刺激信号の形式	被験者一人当たりの試行回数
1	A～C(音場のみ)	モノラル	3×3
2	B～D(音場のみ)	ステレオ	3×3
3	B～D(音場+ホール)	ステレオ	5×3

表 2-3-3 実験 3 の実験条件の組み合わせ

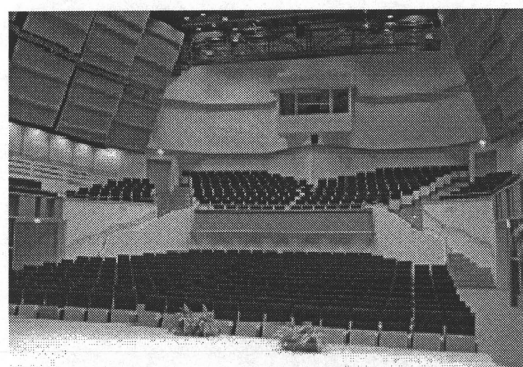
	音場刺激	ホール情報
①	ホール B	ホール B
②	ホール C	ホール C
③	ホール D	ホール D
④	ホール D	ホール B
⑤	ホール D	ホール C

高さ 8.0m



一度に入れるオーケストラ人数:120~130人

図 4-3-1 ホール B のホール情報



客席数 632席(1階席 212席、2階席 420席)

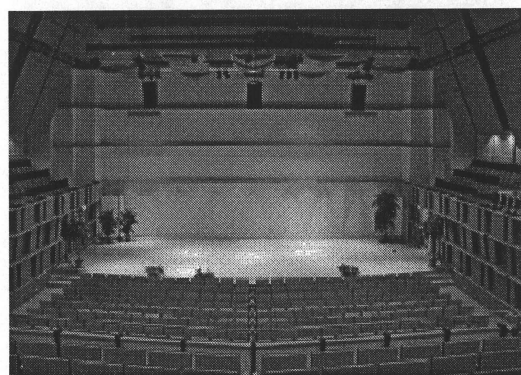
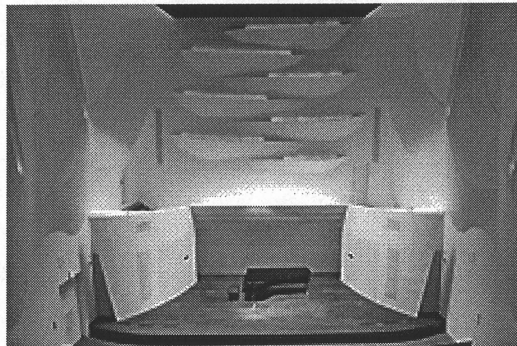
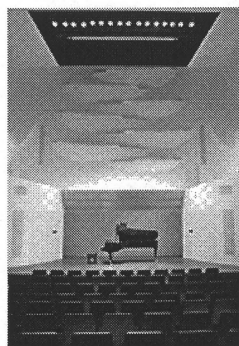
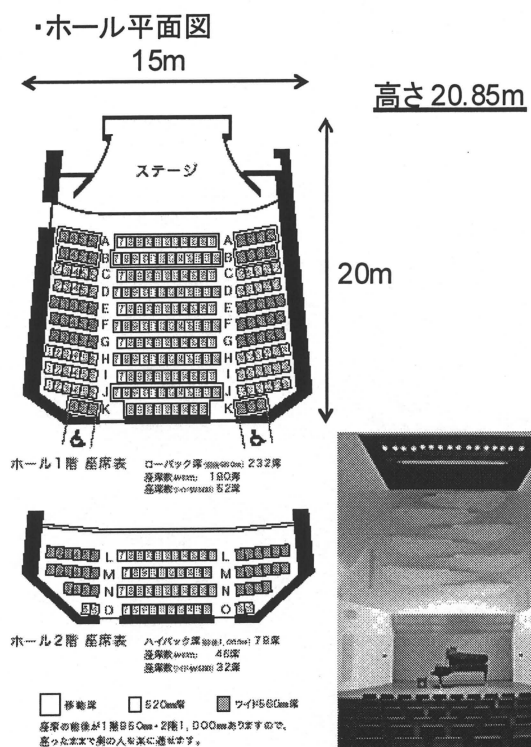


図 4-3-2 ホール C のホール情報





客席数 310席 (1階席 232席、2階席 78席)

図 4-3-3 ホール D のホール情報

## 2.4 主観評価回答項目

実験において、被験者の想像した客席部音場などを表現させるための主観評価回答項目を設けた。主観評価回答項目は、刺激に対して想起されたホールに関する印象と客席部音場に関する印象の二つに大別され、選択肢から回答する項目と7段階のカテゴリー尺度で回答する項目を設けた。これらの回答項目は既往の研究を参考にし、想像した客席部音場などを表現するという行為を踏まえた上で、さらに検討を加え選定された。それぞれの項目内容を表2-4-1及び2-4-2に示す。実験3においてはホール情報を提示しているため想像した音場に対する回答項目にのみ回答させた。

表 2-4-1 ホールの形状等に関する主観評価回答項目

項目		選択肢・スケール等
形状		・シューボックス ・ファンシェイプ（扇型）・円形、楕円形 ・その他（自由記述）・判断できない
形式		・エンドステージ（プロセニウム有・無）・アリーナ ・その他（自由記述）・判断できない
収容人数		500 人以下～1000 人程度～2000 人以上
客席部	天井	高い（+3）←→ 低い（-3）
	奥行き	ある（+3）←→ ない（-3）
	横幅	広い（+3）←→ 狭い（-3）
ステージ部	天井	高い（+3）←→ 低い（-3）
	奥行き	ある（+3）←→ ない（-3）
	横幅	広い（+3）←→ 狭い（-3）
平面形等		紙面に自由描画、音源点と客席代表点を示す。

表 2-4-2 客席部音場に関する主観評価回答項目

項目	スケール
残響時間	長い（+3）←→ 短い（-3）
音量	大きい（+3）←→ 小さい（-3）
明瞭性	はっきり（+3）←→ ぼんやり（-3）
減衰過程	響きが保たれる（+3）←→ 響きが保たれない（-3）
音の拡がり感	音源が広い（6）←→ 音源が狭い（0）
	音に包まれる（6）←→ 音に包まれない（0）
音のバランス	保たれる（+3）←→ 保たれない（-3）
エコーの影響	ある（6）←→ ない（0）



## 2.5 実験結果

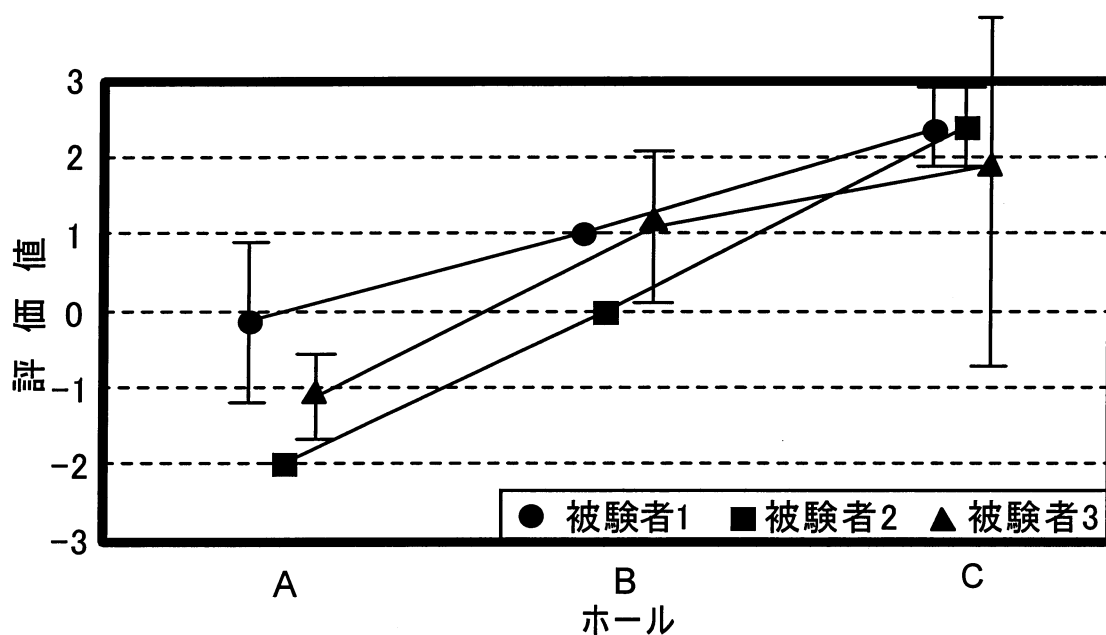


図 2-5-1 実験1「残響時間が長い」に対する回答結果

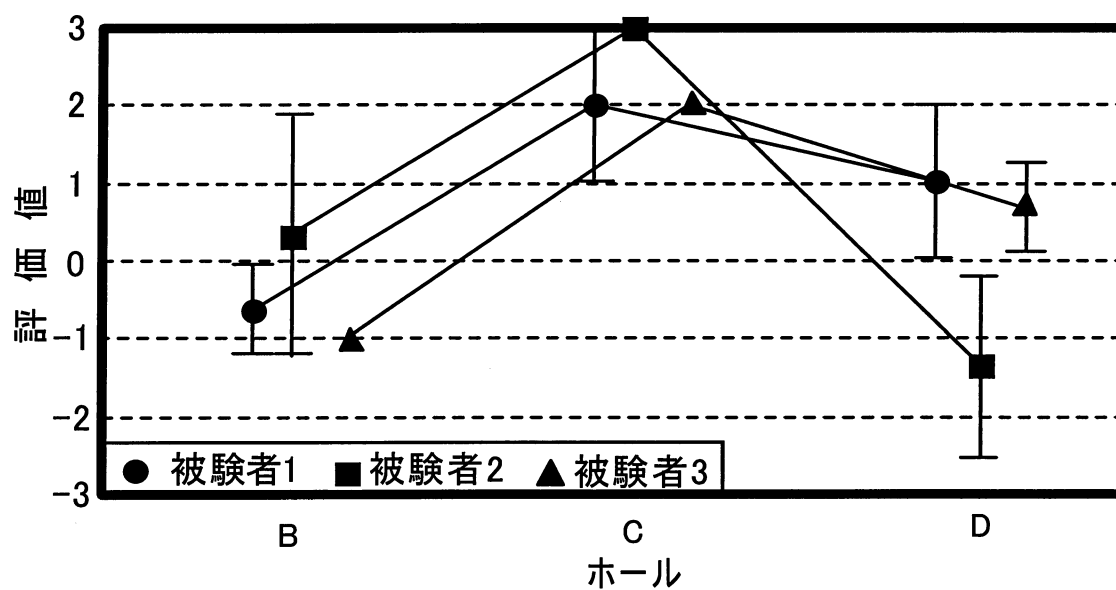


図 2-5-2 実験2「残響時間が長い」に対する回答結果

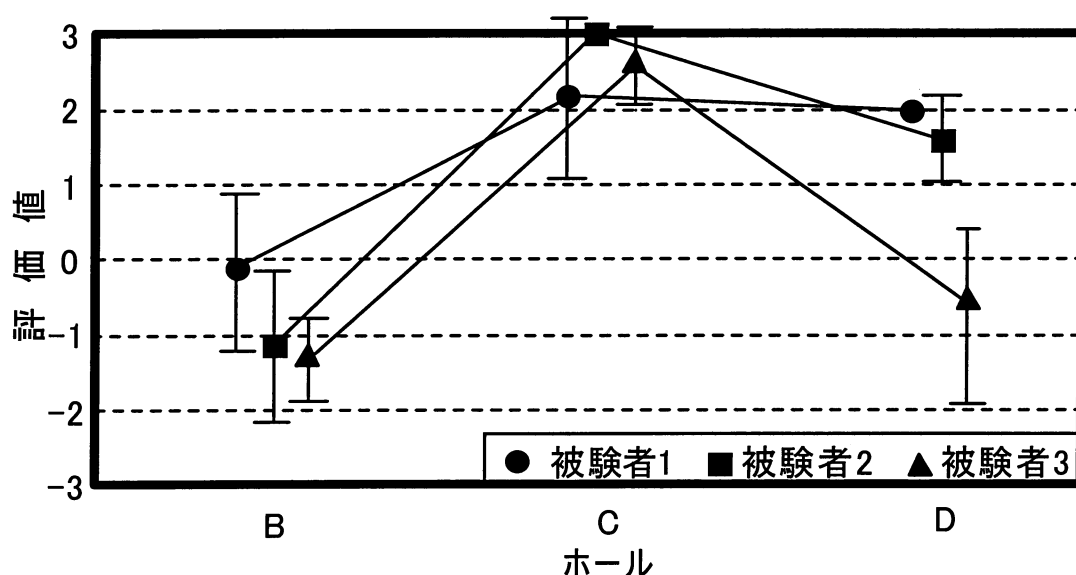


図 2-5-3 実験 3「残響時間が長い」に対する回答結果

図 2-5-1～2-5-3 はそれぞれ実験 1～3 における項目「残響時間が長い」に対する各被験者の評価値の分布を示す。各図において、黒点は 3 回試行の評価平均値、短横線はそれらの標準偏差の範囲を示す。一部を除き各刺激に対して試行間のばらつきが少なく、また刺激の平均値間には有意差が見られるものが多い。当然ながら、実際に残響時間の値が大きい刺激音場（ステージ上のインパルス応答）ほど、想起される客席部の残響時間回答結果の主観評価値も高い。また、各刺激に対して、被験者の評価値の試行間平均値はおおよそ近い値となっており、被験者らはほぼ同程度の音場に対するイメージを描いていることがうかがえる。また、刺激の性状（モノラル信号・ステレオ信号およびホール情報付加）が異なる実験間において大きな差は見られず、残響に関するイメージは基本的な音情報のみで想像がある程度確定されているように思われる。項目「響きが保たれる」、「はっきりしている」においても「残響時間が長い」と同様の結果が得られ、減衰過程や明瞭性に関しても基本的な音情報のみで想像が有る程度確定されているように思われる。一方、「音に包まれる感」や「音量感」については、やや異なる傾向が見られる。

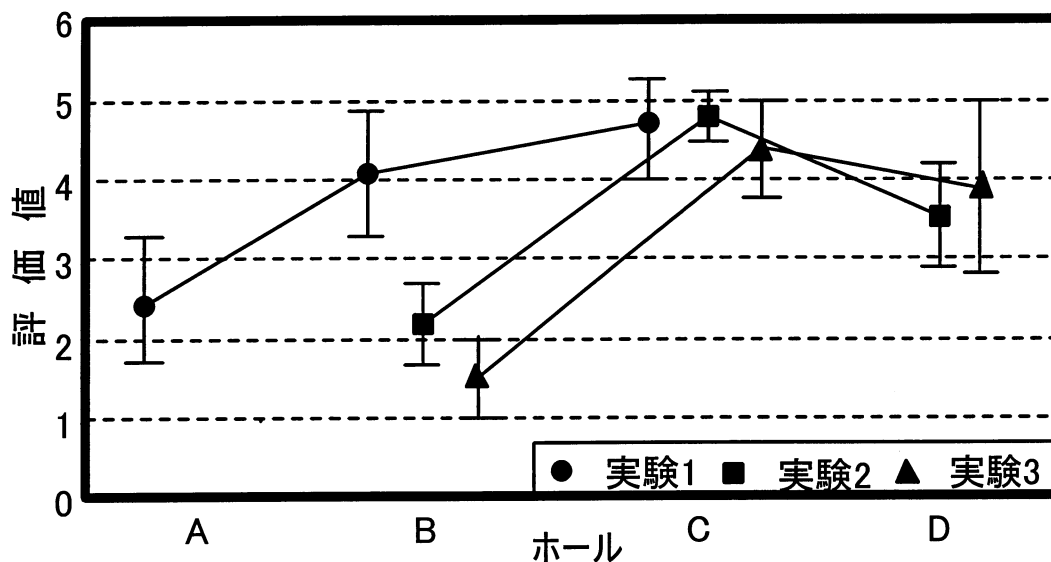


図 2-5-4 「音に包まれる」に対する回答結果

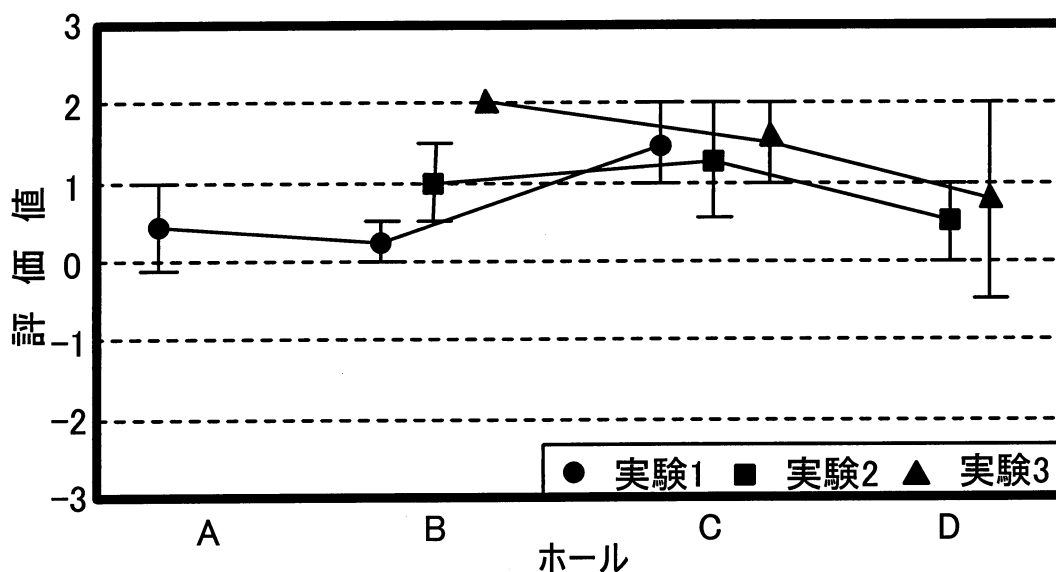


図 2-5-5 「音量が大きい」に対する回答結果

図 2-5-4 および図 2-5-5 は各実験における全被験者の項目「音に包まれる」および「音量が大きい」に対する評価値の分布をホール毎にまとめている。黒点は 3 回試行の評価平均値、短横線はそれらの標準偏差の範囲を示す。図 2-5-4 において、実験 1 では刺激の評価平均値間の差は少ないのに対し、実験 2 と 3 では、B と C の刺激間に大きな評価平均値の差が生じており、また試行間のばらつきも少ない。同様の傾向は、項目「ステージ・客席部の横幅の広さ」や「音源が広い」に関する回答結果においても見られた。音場刺激がモノラルからステレオ信号に変わり、音の立体的情報(反射音の到来方向など)が付加されることにより、明確に客席部音場をイメージできるようになったと思われる。図 2-5-5 においては、いずれの実験においても、刺激の評価平均値間の差が少なく、被験者のイメージにほとんど変化が現れなかった。刺激に用いたインパルス応答の音響エネルギー量は一定であるため、当然の結果とも言えるが、残響感やホール情報などにより影響を受けることはなかったと思われる。

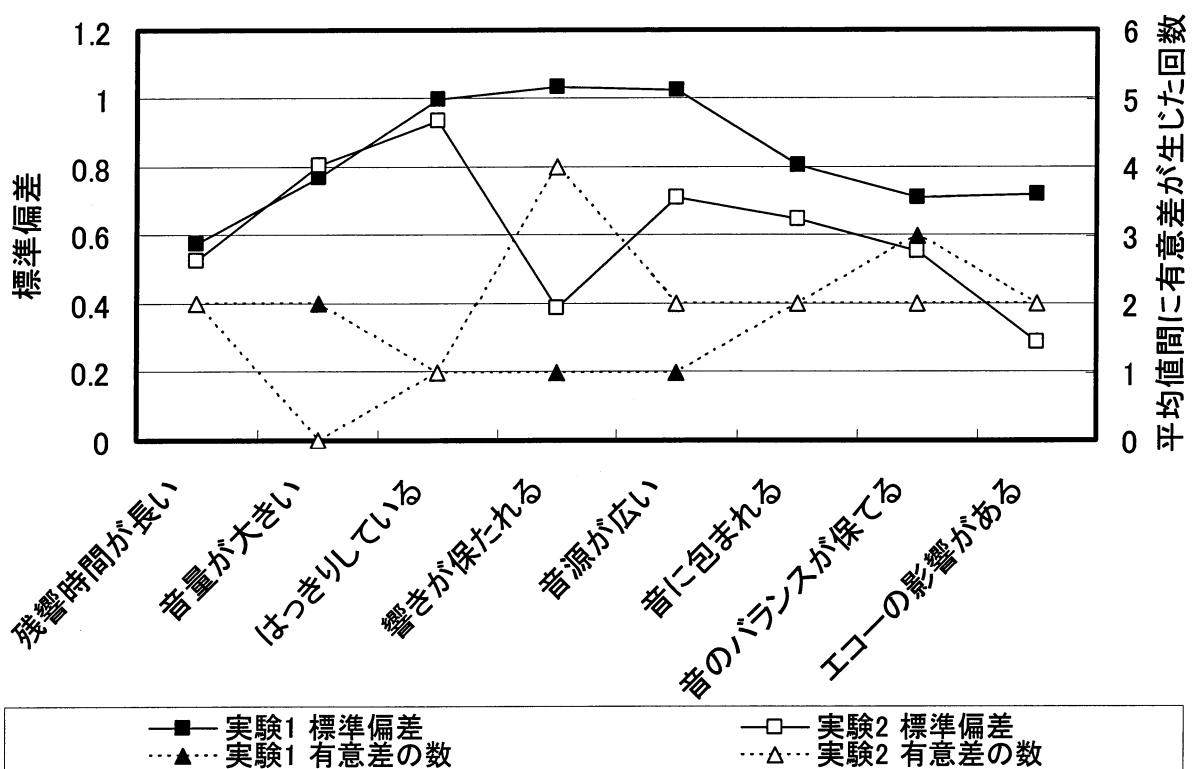


図 2-5-6 実験 1 と 2 における標準偏差および有意差判定の比較

図 2-5-6 は実験 1 および 2 における全被験者に対する評価値分布の標準偏差の平均値と、各刺激の評価の平均値間に有意差が生じた回数を示している。一部の項目を除き実験 1 に比べ 2 の方が標準偏差は小さくなっており、また実験 1 より 2 の方が刺激の平均値間に有意差が多く生じていることから、客席部の想像音場がより確定的になったと思われる。このことは、音場刺激がモノラル信号からステレオ信号に変わり、音の立体情報が付加されたことによるものと考えられる。

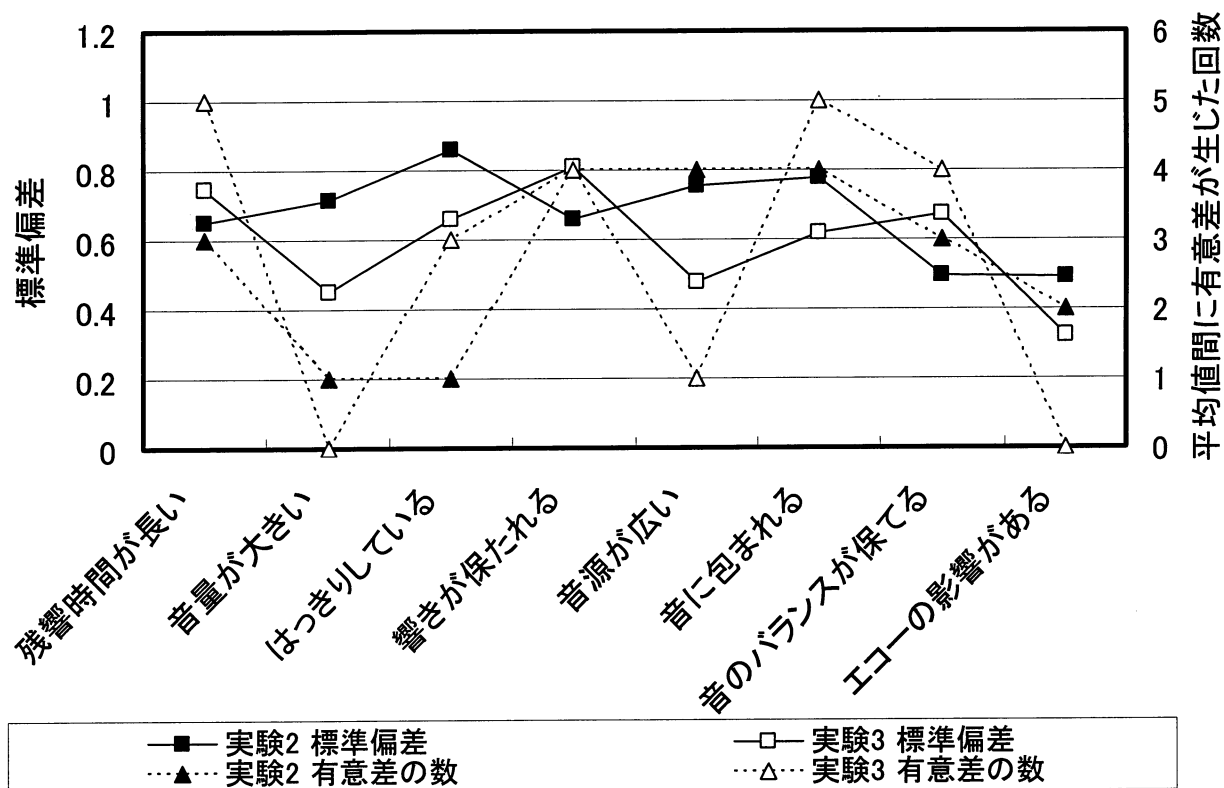


図 2-5-7 実験 2 と 3 における標準偏差および有意差判定の比較

図 2-5-7 は実験 2 および 3 における全被験者に対する評価値分布の標準偏差の平均値と、各刺激の評価の平均値間に有意差が生じた数を示している。全体として両実験のプロファイル間に大きな差が生じているとは言えない。音場刺激に加えてホール情報を与えることによって被験者のイメージがより確定的になると予想したが、ホール情報の有無による影響はほとんど見られなかった。また同一の音場刺激に対して異なるホール情報を提示した場合、結果に有意な変動が生じなかった。音場刺激とホール情報の同時提示の場合、客席部音場のイメージに対してホール情報の影響は小さく、音場刺激が優位であると思われる。

## 2.6 まとめ

本研究は筆者が関わった三重大の山口の研究を引き継いだ研究として位置づけられるため、本章では筆者も関わった三重大の山口が行った研究の実験および実験結果についてまとめた。

ホールのステージ音場やホール情報が指揮者の客席部音場に対する想像行為に与える影響を確認するため、ステージ上指揮者位置でのインパルス応答を刺激音場として被験者に対する主観評価実験 1～3 を行った。

実験 1 の結果として、モノラル刺激信号から想起される客席部音場に関して、被験者は「残響時間の長さ」や「響きが保たれる」、「はっきりしている」などの『残響感』、『明瞭性』に関する時系列主観に対しては比較的確定的にイメージできていると思われる。一方で、『音量感』や立体的主観が関係してくる『音の広がり感』などに関しては、モノラル刺激信号ではイメージが難しかったと思われる。

実験 2 の結果として、被験者は「残響時間の長さ」や「響きが保たれる」、「はっきりしている」などの『残響感』、『明瞭性』に関する時系列主観に対してはモノラル信号の場合と変わらず比較的確定的にイメージできていると思われる。また、『音量感』に関してはモノラル信号と同様にイメージが難しかったといえるが、「音源が広い」や「音に包まれる」などの『音の広がり感』に関する立体的主観に関してはイメージがより確定的になっている。

実験 3 の結果として、音場刺激にホール情報を付加した場合には、客席部音場のイメージがより確定的になるという結果は得られなかった。また、同一の音場刺激に対して異なるホール情報を提示した場合に、ホール情報の変化に対して大きな影響は受けずほぼ一定の客席部音場を想像しているため、客席部音場の想像行為をする際には音情報の影響の方が大きいことがうかがえる。

## 第 3 章

ホール情報が想像行為に与える影響の確認  
(音場刺激により詳細なホール情報を付加した実験)

### 3.1 実験概要

指揮者である被験者に対して、実験室と実際のホール（三重大学三翠ホール）において仕様の異なる複数のホールにおける指揮者位置での音場刺激（ステージ上の正規化インパルス応答）をヘッドフォン提示し、客席部の音響状態の想像を行わせ、刺激から想起されるホール客席部における音響状態に関するいくつかの主観評価回答項目に「-3～+3」及び「0～6」の範囲における7段階のカテゴリー尺度で回答させた。

これまでの実験では、ステージにおけるインパルス応答やホールの内観写真および平面・断面図等のホール情報を提示した時の想像する客席部音場に対する主観評価実験を行った。その結果、音場刺激のみを提示した時、異なる音場刺激から異なる客席部音場を確定的に想像しており、指揮者が客席部を想像する際に音場刺激の影響が有ることが確認された。しかし、提示刺激としてホール情報を加えた場合にはホール情報の提示により指揮者の想像する客席部音場の主観評価に影響が見られると思ったが音場刺激のみを提示した時の客席部音場のイメージと変化が現れなかった。このことから想像行為をする際にホール情報よりステージ音響条件の影響が強いと考えられるが、指揮者にとってホールの平面図や断面図などは馴染みのないものであり想像する客席部音場に影響が表れなかった可能性が挙げられる。またホール内観写真や客席数を示されただけではホールのボリューム感などがイメージしづかった可能性も考えられる。また音場刺激のみを提示した実験とホール情報を加えて提示した実験は一カ月間の日数が空けられていた。ホール情報の提示により主観評価に影響が有るかを確認するためには音場刺激のみを提示する実験とホール情報を加えて提示する実験を出来る限り時間を空けないで行うことが望ましい。そのため先に述べた問題点を解消する実験方法でもう一度ホール情報の影響を再確認することが必要であると考えた。

本実験では、ステージ音場刺激から想像する客席部音場に対する主観評価実験を実験室及び実際のホールで行い結果を比較することで、聴覚以外から得られるより詳細なホール情報が指揮者の客席部音場の想像行為に与える影響を確認することを目的としている。実験室でまず音場刺激のみを提示して指揮者に音場刺激から想像した客席部音場を主観評価させ、その後実際のホールに移動して実際のホールステージ部において音場刺激を提示して指揮者に音場刺激から想像した客席部音場を主観評価させるという実験である。実験室においてどのようにホールの情報を指揮者に提示するかが問題となったがホールのボリューム感や形状、材質等のどのホール情報がどのように指揮者の想像行為に影響するか分からないということや臨場感までは再現できないということから実際のホールに移動して音場刺激を提示することとした。



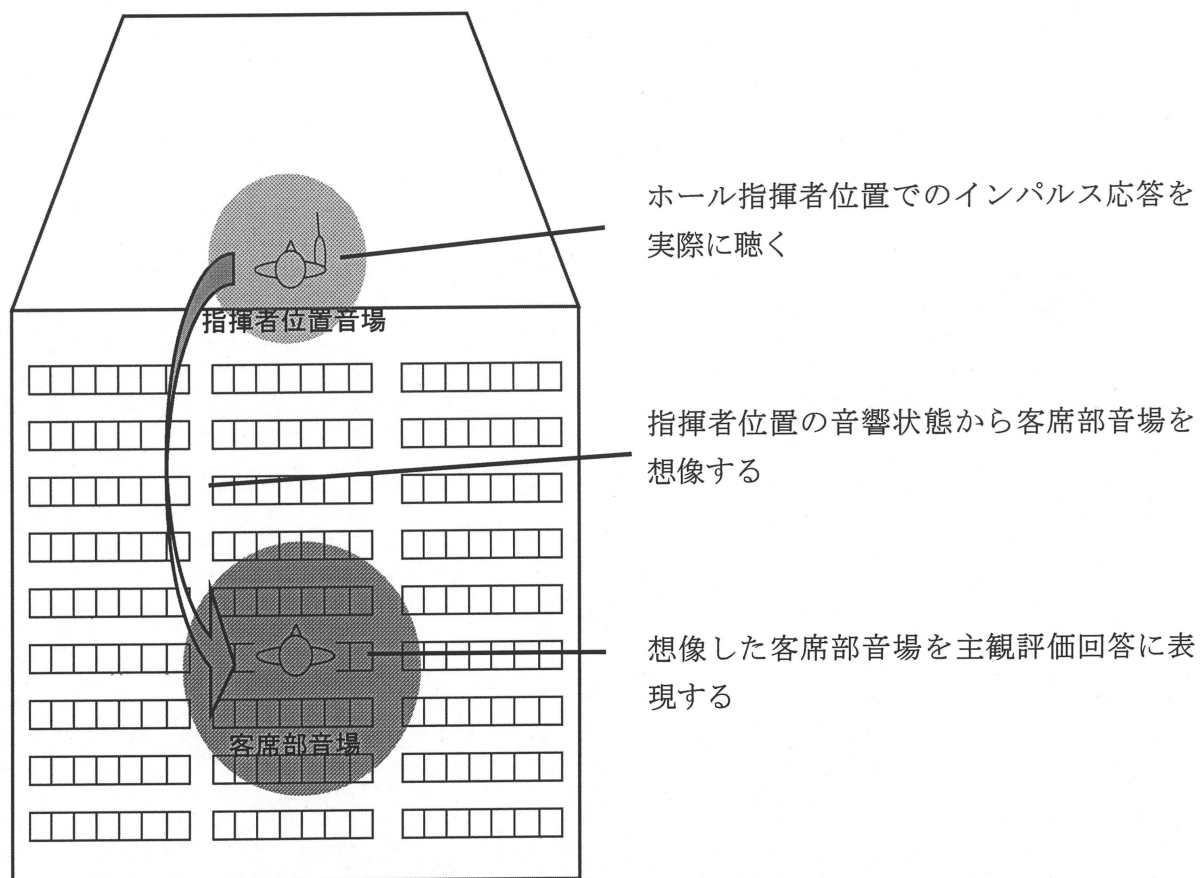


図 3-1-1 実験のイメージ図

### 3.2 実験手順

実験は実験室及びホールにおいて以下の手順で進められ、先に実験室で行い、続いてホールに移動して行った。また、実際の室の響き方が影響しないように配慮するために、実験に先立ち、実験の説明は実験室やホールとは別の部屋で行い、被験者にはヘッドフォンを着用させてから入室をさせた。実験中は質問などがあれば筆談のみとした。

1. 被験者（指揮者）に指揮者位置でのインパルス応答を提示する。
2. 指揮者位置での音響条件から客席部の音響状態の想像を行わせる。
3. 想像した音について主観評価回答項目に表現させる。

※実験の際に、被験者には、刺激に対する評価を行うのではなく刺激によって想起された客席部音場に対して評価を行う旨を十分に教示した。

また、図 3-2-1～3 にホールにおける実験の様子を示す。



図 3-2-1 実験の様子（ステージから客席を見る）



図 3-2-2 実験の様子（客席部からステージを見る[近景]）

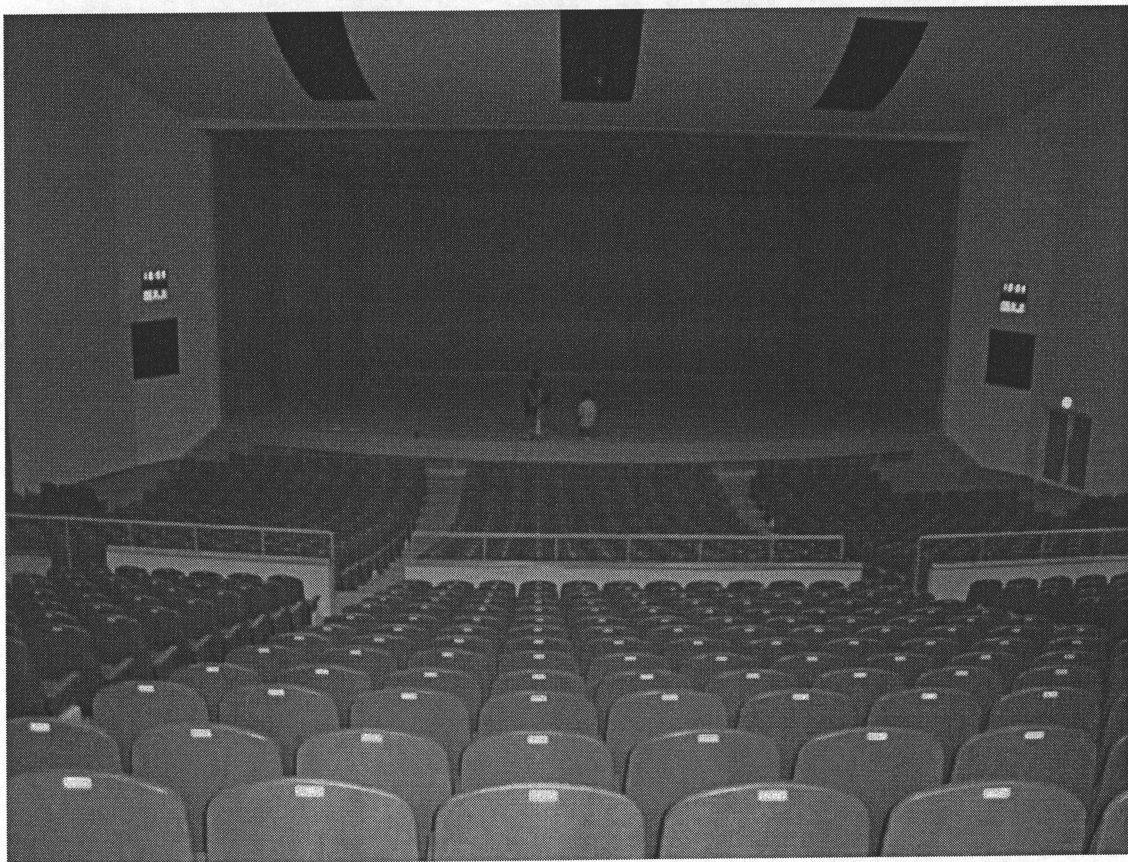


図 3-2-3 実験の様子（客席部からステージを見る[遠景]）

### 3.3 実験条件

実験に先立ち、残響時間 (RT)、初期減衰時間 (EDT)、明瞭性 (C80) などの観点から比較的違いが判別しやすいと思われる 3 種類の音場刺激を用意した。これらの音場刺激は実在のホール A、B、C のステージ上指揮者位置におけるインパルス応答である。今回の実験においては、すべてのインパルス応答を自分たちで測定したものとした。表 3-3-1 に刺激音場の音響的特徴を示す。

被験者は 3 名であり指揮者経験のある大学生とした。各被験者には、3 種類のインパルス応答がランダムな順番に 3 回ずつ提示され、 $3 \times 3$  の計 9 回の想像される客席部音場に対する主観評価の試行が行われた。さらに、実験室とホールでそれぞれ同様の実験が行われ、試行は  $9 \times 2$  の計 18 回である。

表 3-3-1 音場刺激の音響的特徴

音場刺激	RT[s]	EDT[s]	C80[dB]	IACC
A	1.806	2.02	0.64	0.62
B	0.694	0.765	-1.24	0.59
C	1.284	1.36	-0.99	0.48

### 3.4 主観評価回答項目

実験において、被験者の想像した客席部音場を表現させるための主観評価回答項目を設けた。主観評価回答項目には 7 段階のカテゴリー尺度で回答させ、それぞれの項目内容を表 3-4-1 に示す。これらの回答項目は既往の研究を参考にし、想像した客席部音場などを表現するという行為を踏まえた上で、さらに検討を加え選定された。今回の実験においては、Intimacy（音の親密さ）や Warmth（音の温かみ）といった指揮者にとって感覚的な回答項目を加えることで、想像された客席部音場に対してより細かく表現させることを目的としている。

表 3-4-1 客席部音場に関する主観評価回答項目

項目	スケール
残響時間	長い (+3) ←→ 短い (-3)
音量	大きい (+3) ←→ 小さい (-3)
明瞭性	はっきり (+3) ←→ ぼんやり (-3)
減衰過程	響きが保たれる (+3) ←→ 響きが保たれない (-3)
音の拡がり感	音源が広い (6) ←→ 音源が狭い (0)
	音に包まれる (6) ←→ 音に包まれない (0)
音源が近い	近い (+3) ←→ 遠い (-3)
音の温かみ	ある (+3) ←→ ない (-3)
音のバランス	保たれる (+3) ←→ 保たれない (-3)

### 3.5 実験結果

表 3-5-1 被験者 1 の客席部音場に関する主観評価

被験者 1	A		B		C	
	実験室	ホール	実験室	ホール	実験室	ホール
残響時間が長い	2	3	-2	-2	2	2
	3	1	-2	-2	2	2
	3	2	1	0	2	2
音量が大きい	2	1	0	0	0	1
	-1	1	1	0	0	1
	0	2	1	0	0	0
はっきりしている	-2	-1	3	2	-2	-1
	-1	-1	2	2	0	0
	-2	-1	2	2	-1	-1
響きが保たれる	0	2	-2	-2	2	2
	2	1	-2	-2	1	1
	2	2	-1	-1	0	1
音源が大きい	5	4	1	2	3	5
	5	4	1	1	3	3
	5	4	1	1	3	3
音に包まれる	3	5	1	1	5	4
	5	4	2	1	3	3
	5	5	3	1	4	3
音源が近く感じる	0	0	-1	0	1	0
	-1	0	1	0	0	1
	0	1	1	1	0	0
音に温かみがある	1	1	1	-2	-1	1
	0	1	-1	-1	0	0
	2	1	-2	-1	0	1
音のバランスが保てる	-1	-2	1	1	0	-2
	-1	-1	1	1	1	-1
	-1	-1	1	1	-1	-1

表 3-5-1 は被験者 1 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。

表 3-5-2 被験者 2 の客席部音場に関する主観評価

被験者 2	A		B		C	
	実験室	ホール	実験室	ホール	実験室	ホール
残響時間が長い	2	2	-2	-2	1	1
	2	2	-2	-2	0	2
	2	1	-1	-2	2	1
音量が大きい	1	1	0	0	0	0
	1	1	0	1	0	1
	1	0	0	1	1	0
はっきりしている	1	-1	1	2	-1	0
	0	1	1	1	1	1
	-1	1	0	2	1	1
響きが保たれる	1	2	-2	-2	1	1
	2	2	-1	-2	1	1
	2	2	-1	-2	1	1
音源の幅が広い	3	3	3	2	4	3
	4	3	3	2	3	4
	4	3	2	1	3	4
音に包まれる	4	4	1	2	4	4
	5	4	2	1	4	4
	5	4	1	1	4	4
音源が近く感じる	0	-1	0	0	0	0
	0	-1	1	2	0	0
	-1	-1	0	2	1	0
音に温かみがある	1	0	-1	1	1	-1
	0	0	1	1	2	-1
	-1	0	1	1	-1	0
音のバランスが保てる	1	-2	2	1	0	1
	-2	-1	1	2	0	0
	-1	-2	1	2	0	-1

表 3-5-2 は被験者 2 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。

表 3-5-3 被験者 3 の客席部音場に関する主観評価

被験者 3	A		B		C	
	実験室	ホール	実験室	ホール	実験室	ホール
残響時間が長い	2	1	-2	-1	1	1
	2	1	-2	-1	0	0
	1	0	-2	-1	1	2
音量が大きい	1	1	-1	1	1	1
	1	1	1	-2	2	1
	2	2	1	-1	-1	1
はっきりしている	-1	0	-1	1	1	1
	0	1	0	1	1	0
	1	2	1	-1	-2	0
響きが保たれる	2	1	-2	-1	1	1
	2	1	-1	-2	0	-1
	1	0	-2	0	1	2
音源が大きい	1	1	0	0	1	1
	0	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	1
音に包まれる	1	1	0	0	1	1
	1	1	0	0	0	0
	1	0	0	1	1	1
音源が近く感じる	0	1	0	1	1	0
	-1	0	-1	-2	1	1
	2	1	-1	-2	-1	-1
音に温かみがある	0	-1	0	1	1	1
	-1	1	1	-2	1	2
	-2	1	0	1	0	-1
音のバランスが保てる	-1	0	1	1	1	1
	-2	1	-1	0	0	2
	-2	1	1	-1	-1	-1

表 3-5-3 は被験者 3 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。



## ○主観評価値への影響

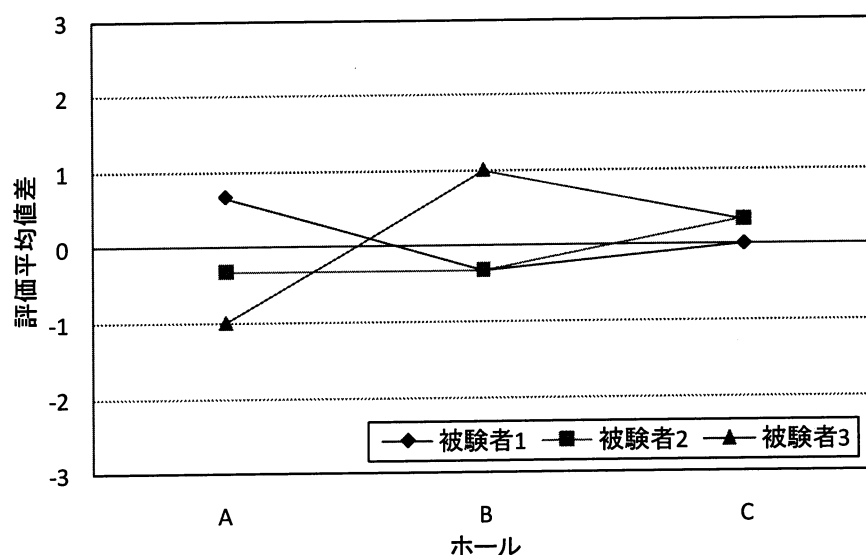


図 3-5-1 項目「残響時間が長い」に対する回答結果

図 3-5-1 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「残響時間」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「残響時間」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における残響時間の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の残響時間に関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

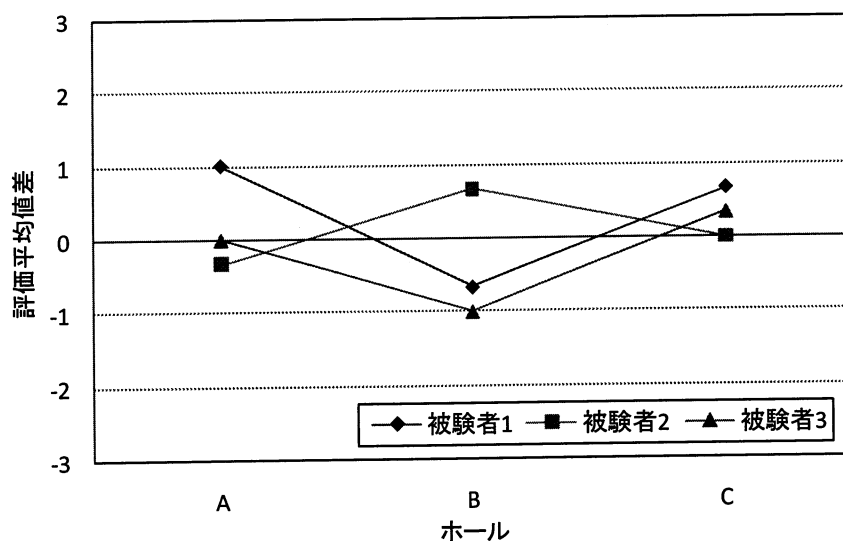


図 3-5-2 項目「音量が大きい」に対する回答結果

図 3-5-2 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音量」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音量」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音量に関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

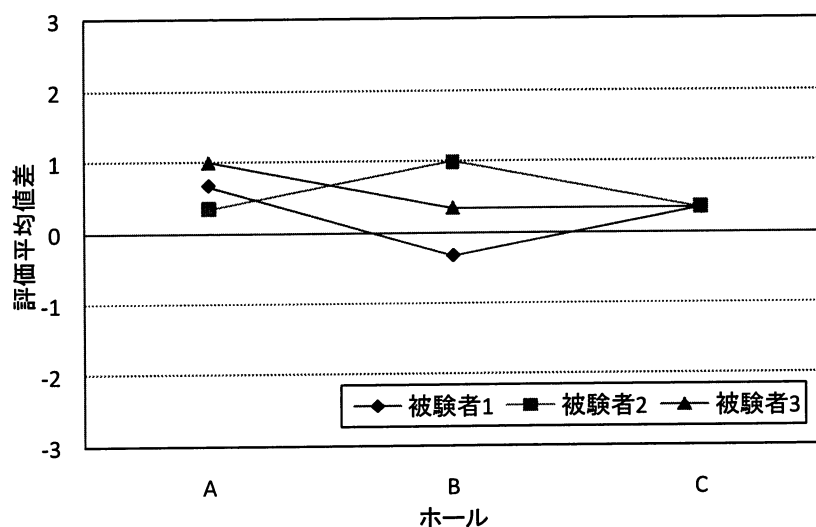


図 3-5-3 項目「明瞭性・はっきりしている」に対する回答結果

図 3-5-3 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「明瞭性」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「明瞭性」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかったがその分布をみると正の値に分布している。想像する客席部の明瞭性に関しては音場刺激以外のホール情報の影響が少しあるのではないかと考えられる。

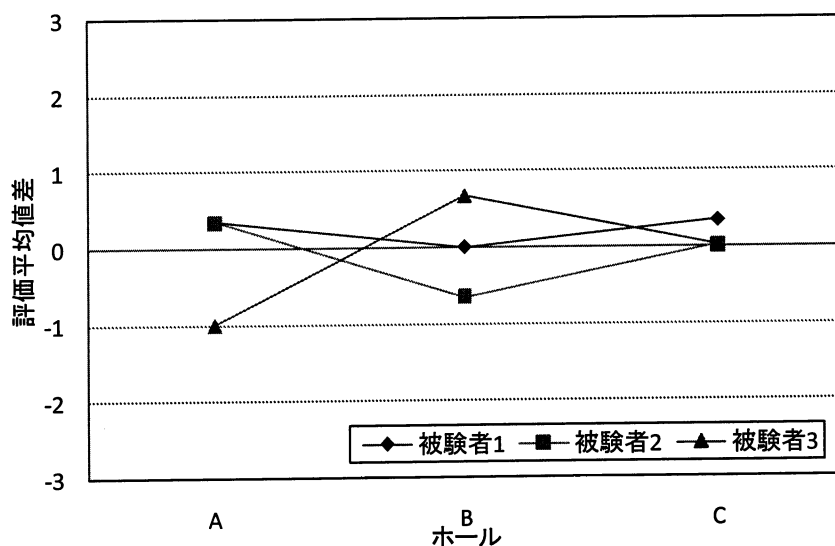


図 3-5-4 項目「減衰過程・響きが保たれる」に対する回答結果

図 3-5-4 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「減衰過程」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「減衰過程」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の減衰過程に関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

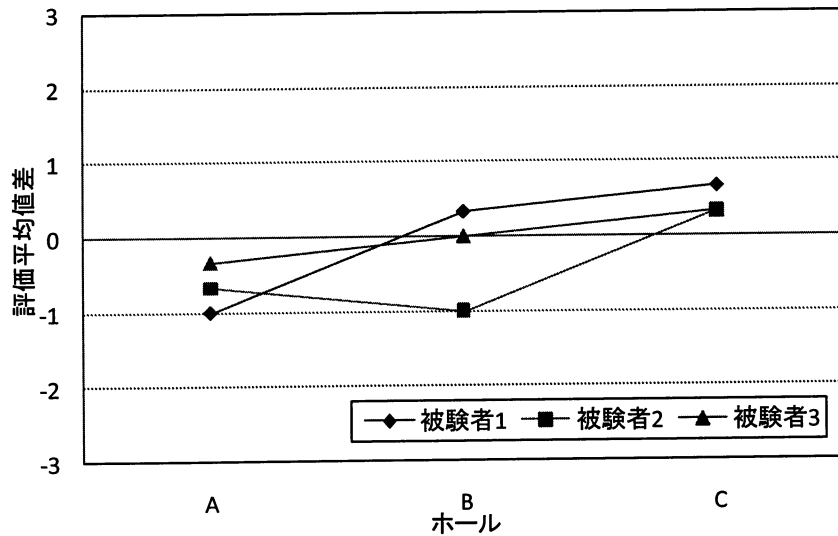


図 3-5-5 項目「音の拡がり感・音源が広い」に対する回答結果

図 3-5-5 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音源の広さ」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音源の広さ」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音源の広さに関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

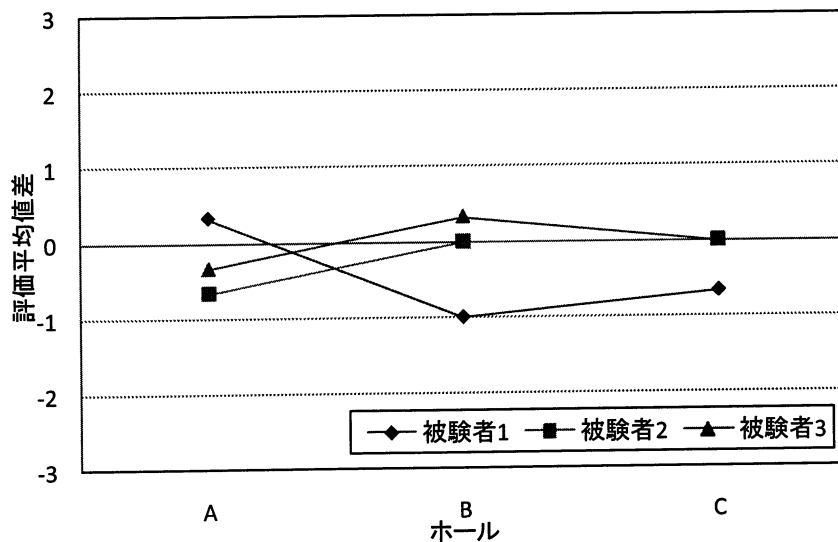


図 3-5-6 項目「音の拡がり感・音に包まれる」に対する回答結果

図 3-5-6 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音に包まれる」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音に包まれる」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音に包まれる感に関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

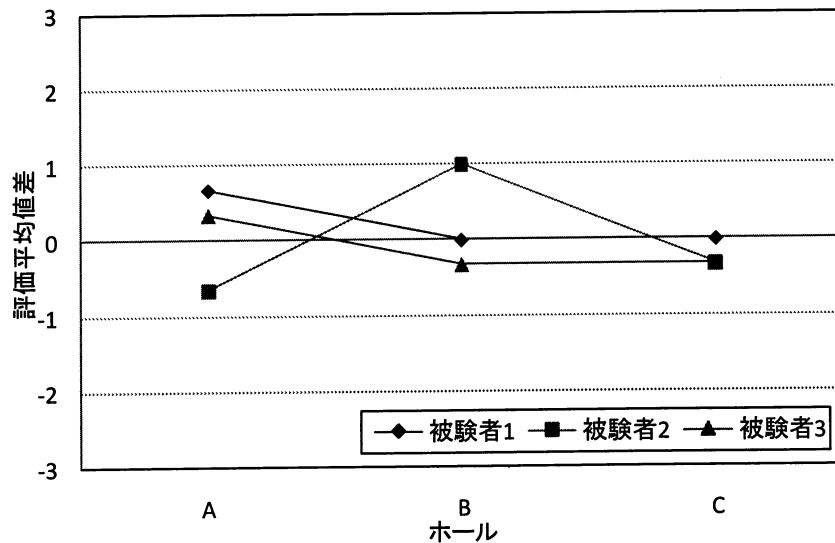


図 3-5-7 項目「音が近くで鳴っているように感じる」に対する回答結果

図 3-5-7 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音の親密さ」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音の親密さ」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音の親密さに関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

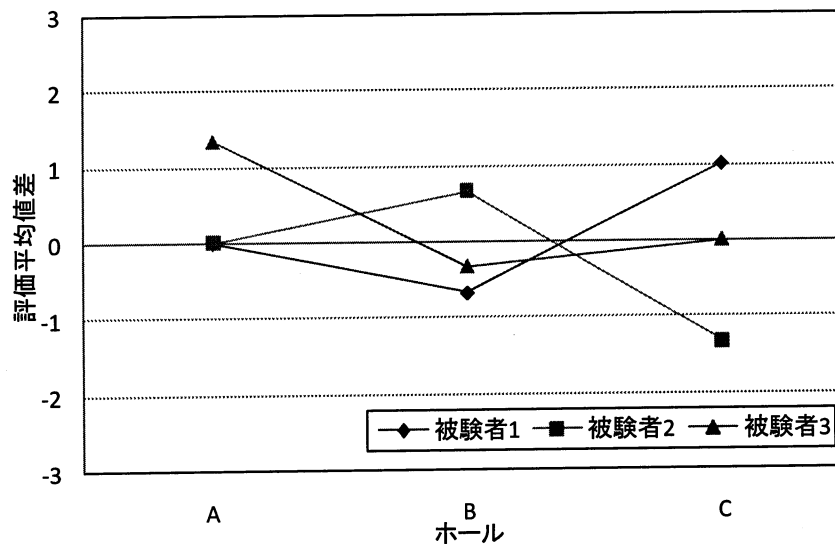


図 3-5-8 項目「音に温かみがある（低音が強い）」に対する回答結果

図 3-5-8 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音の温かみ」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音の温かみ」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音の温かみに関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

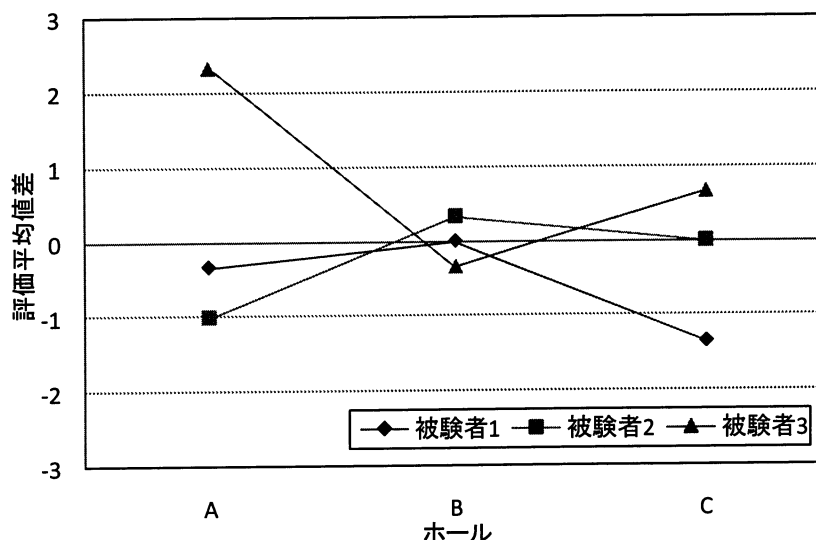


図 3-5-9 項目「ステージと客席部で音のバランスが保たれる」に対する回答結果

図 3-5-9 は各被験者の音場刺激のみを提示した際の想像した客席部音場の「音のバランス」に対する主観評価値の平均値と、実際のホールにおいて音場刺激を提示した際の想像した客席部音場の「音のバランス」に対する主観評価値の平均値の差を音場刺激ごとに示している。実験室とホールで行った実験において想像した客席部における音量の評価平均値間に有意な差は見られなかった。想像する客席部の音のバランスに関しては音場刺激以外のホール情報の影響は小さいと考えられる。

図 3-5-1～図 3-5-9 において全被験者に全ての項目に関して実験室とホールで行った実験において想像した客席部における主観評価の平均値間に有意な差は見られなかった。音場刺激を実際のホールのステージ上において聞くことによって聴覚以外から得られる刺激の影響を受けて想像する客席部音場のイメージに変化が現れると考えたが、音場刺激をホールで聞いたからといって想像した客席部音場に対する主観評価は変わらない結果となった。「音量」、「音の温かみ」、「音源の近さ」、「バランス」に関する主観評価はホールの大きさや形状、材質、ステージと客席の位置関係等のホール情報を元に想像値に変化が見られると考えたがそれも確認することが出来なかった。ただ「明瞭性」に関する項目においては、実験室とホールで行った実験において想像した客席部における主観評価の平均値間に有意な差は見られなかったものの、全体的に評価平均値差が正の値を示している。今回実験を行ったホールにおいては全被験者が明瞭性のあるホールだと判断し、「明瞭性」を高く評価した可能性が考えられる。同様の実験を他の実際のホールで行うことにより、サンプルを増やすことで今回の結果から考えられる可能性を確認する必要がある。三重大の山口が行った実験と同様に「残響時間」、「減衰過程」、「明瞭性」、「音の拡がり感」に関する項目の主観評価の分布をみると異なる音場刺激から異なる客席部音場を想像しているが、「音量」、「音の温かみ」、「音源の近さ」、「バランス」に関する項目の主観評価の分布をみると異なる音場刺激から同程度のイメージをしている。ホール情報の影響が無いとまでは言えないが、音情報の影響に比べるとホール情報の影響は少ないのではないかと考えられる。

# ○標準偏差への影響

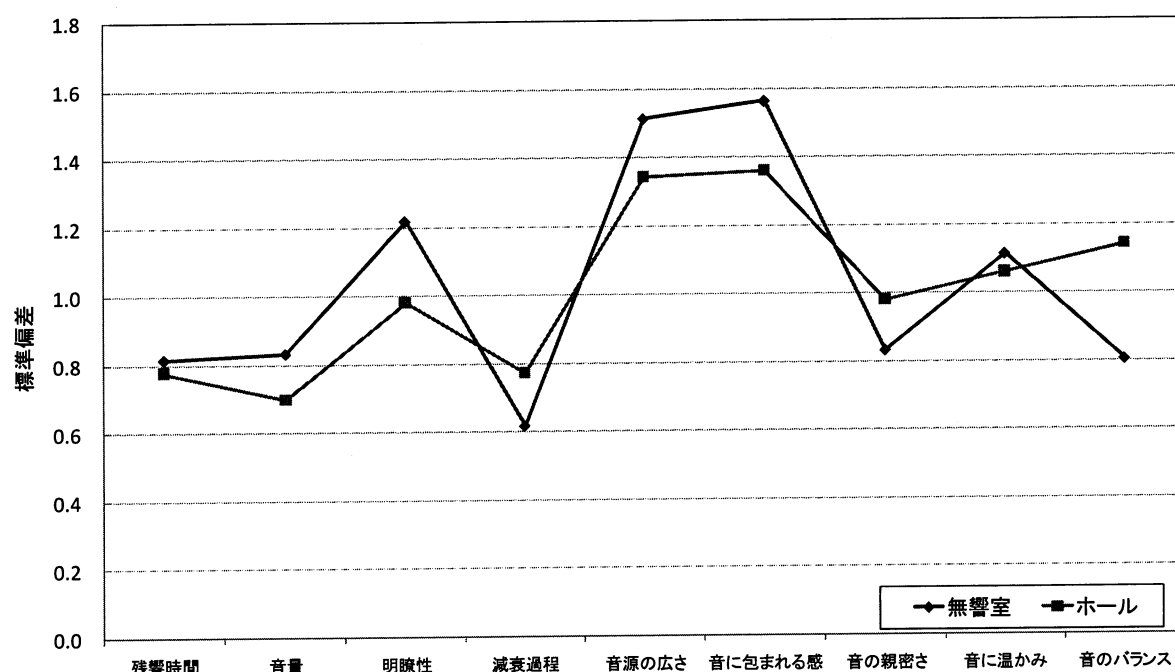


図 3-5-10 両実験における標準偏差の比較

図 3-5-10 は実験室とホールで行った実験において想像した客席部における主観評価の各被験者の標準偏差の平均値を回答項目ごとに示している。全体として両実験のプロファイル間に大きな差が生じているとは言えない。音場刺激に加えてホール情報を与えることによって被験者のイメージがより確定的になる、すなわち標準偏差が減少すると予想したが、ホール情報の有無による影響はほとんど見られなかった。客席部音場のイメージ形成に対してホール情報の影響は小さく、音場刺激の影響が優位であると思われる。

表 3-5-4 は項目ごとの主観評価の標準偏差を示している。

表 3-5-4 項目ごとの標準偏差

	被験者 1		被験者 2		被験者 3		全被験者	
	実験室	ホール	実験室	ホール	実験室	ホール	実験室	ホール
残響時間	0.385	0.526	0.770	0.718	0.526	0.385	0.816	0.778
音量	1.087	0.702	0.702	0.385	0.192	0.577	0.834	0.700
明瞭性	1.244	0.911	0.718	0.192	0.911	0.770	1.219	0.983
減衰過程	0.577	1.035	0.911	0.577	0.385	0.000	0.618	0.773
音源の広さ	0.526	0.385	0.000	0.577	0.577	0.385	1.513	1.345
音に包まれる	0.192	0.577	1.052	0.385	0.385	0.192	1.563	1.361
音の親密さ	1.087	1.103	0.770	0.577	0.577	0.385	0.834	0.983
音に温かみ	0.718	1.471	1.035	0.385	1.227	0.192	1.114	1.061
音のバランス	0.911	1.035	0.333	0.385	0.702	0.718	0.806	1.144

### 3.6 まとめ

聴覚以外から得られるホールの様々な情報が指揮者の客席部音場の想像行為に与える影響を明らかにするため、実験室とホールのステージにおいてステージ上指揮者位置でのインパルス応答を刺激音場として被験者に対する主観評価実験を行った。その結果、今回の実験では想像される客席部音場に関して、実験室とホールで行った実験の結果間には評価値にも標準偏差にも有意な差は見られなかった。指揮者が客席部音場を想像する際にはステージ上での音響条件が大きく影響し、聴覚以外から得られる情報の影響は微小であると考えられる。しかし「明瞭性」に関しては影響が見られる可能性を残す結果が得られ、また今回の実験では一つのホールにおいてのみ行われた実験であるため、今後他のホールにおいても同様の実験をしてサンプル数を増やし、今回の実験から得られた知見を確認する必要がある。今回の実験ではホール情報の影響が見られなかったが、この原因としては被験者が経験不足であるということが挙げられるかもしれない。今回の被験者は学生指揮者であったため、様々なホールの音響的な特徴とホール情報の組み合わせの経験が少ないことが挙げられる。つまりステージにおける音場がこのホールではどのように聞こえるか想像もつかなかった、もしくは自信が持てなかったため、ステージ音場にのみ集中して客席部音場を想像した可能性も挙げられるのである。経験値の多いプロの被験者においては様々なホールの音響的な特徴とホール情報の組み合わせの経験があるため、ホール情報の影響が見られるのではないだろうかと考えられる。しかし今回の実験ではホール情報の影響がより出やすくなるように、学生指揮者にとってより身近な三重大学内にある三翠ホールにおいて実験を行ったことを述べておきたい。今回実験に協力していただいた3名の学生指揮者はいずれも同ホールにおいて複数回の演奏経験があり、ホールの音響的な特徴を把握していると思われる。指揮者がこれまでに演奏してきた様々なホールの音響的な特徴とホールの大きさ、形状、材質等の組み合わせからホール情報がどのように想像する客席部音場に影響してくるかが変わってくると思われる。指揮者はこの経験値とステージ音場を総合して客席部での音場を想像することが考えられる。つまり同ホールにおける音響的な特徴を把握している被験者は主観評価値にホール情報の影響が出やすいと考えられるのである。これらのことからやはりホール情報の影響はステージ音場の影響に比べ小さいと考えられる。しかし小さいとはいえ、ホール情報の影響がないとは言えない。これまでの実験では主観評価によって指揮者の想像した客席部音場を被験者の頭から引き出す手法を取っているが、ホール情報の影響が小さい場合主観評価では表現しきれないからである。主観評価以外の方法で指揮者の想像する客席部音場を被験者の頭の中から引き出す実験手法、出来ることなら音響的なパラメーターなど数値で定量的に判断することが可能な実験手法を確立する必要性を感じた。

## 第4章

演奏行為中に音場刺激が想像行為に与える影響の確認  
(演奏行為を伴う際に音場刺激を付加した実験)



## 4.1 実験概要

図 4-1-1 に示すように、指揮者（被験者）および演奏者 2 名による最小単位のオーケストラを構成し、仮想音場下において演奏を行わせた。指揮者である被験者に対して、電子楽器からの演奏音は仕様の異なる複数のホールにおける指揮者位置での音響効果（ステージ上の正規化インパルス応答の実時間畳み込みによる）を付加してヘッドフォン提示し、被験者は演奏を行うとともに客席部の音場をイメージし、想起されるホールの形状や大きさに対する印象やホール客席部における音響状態に関するいくつかの主観評価回答項目に「-3～+3」及び「0～6」の範囲における 7 段階のカテゴリー尺度で回答させた。

ステージ音響条件やホールの様々な情報が指揮者の客席部音場の想像行為に与える影響を確認するため、これまでに様々なステージ音響条件におけるインパルス応答を提示し、指揮者が想像する客席部音場に対する主観評価実験を行った。その結果、インパルス応答による音場刺激のみを提示した時、比較的確定的に客席部音場がイメージできていることが分かった。また提示刺激として音場刺激にホール情報を加えた場合の同様の実験結果において変化がなかったため、ホール情報よりステージ音響条件の影響が強いと思われた。本実験では、インパルス応答を音場刺激として提示するのではなく、仮想音場下で指揮行為および演奏行為を伴う際の指揮者が想像する客席部音場のイメージに対する音響条件の影響および特徴を実験によって明らかにすることを目的としている。

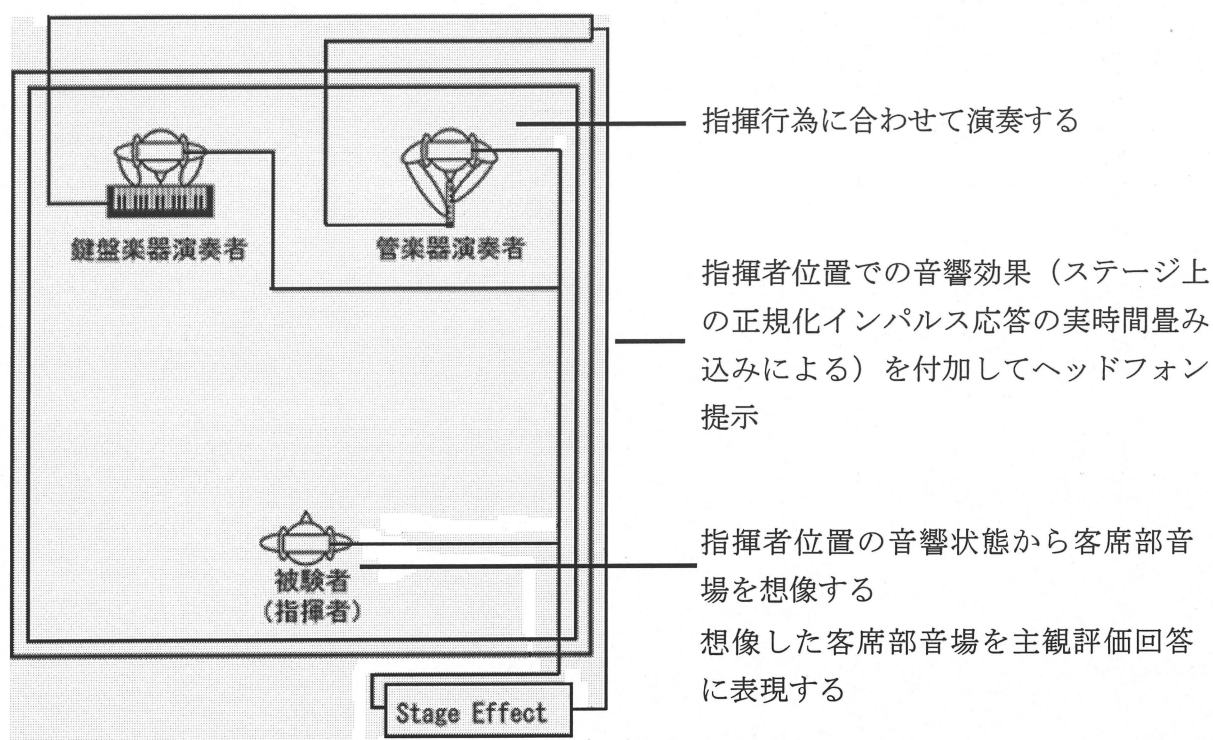
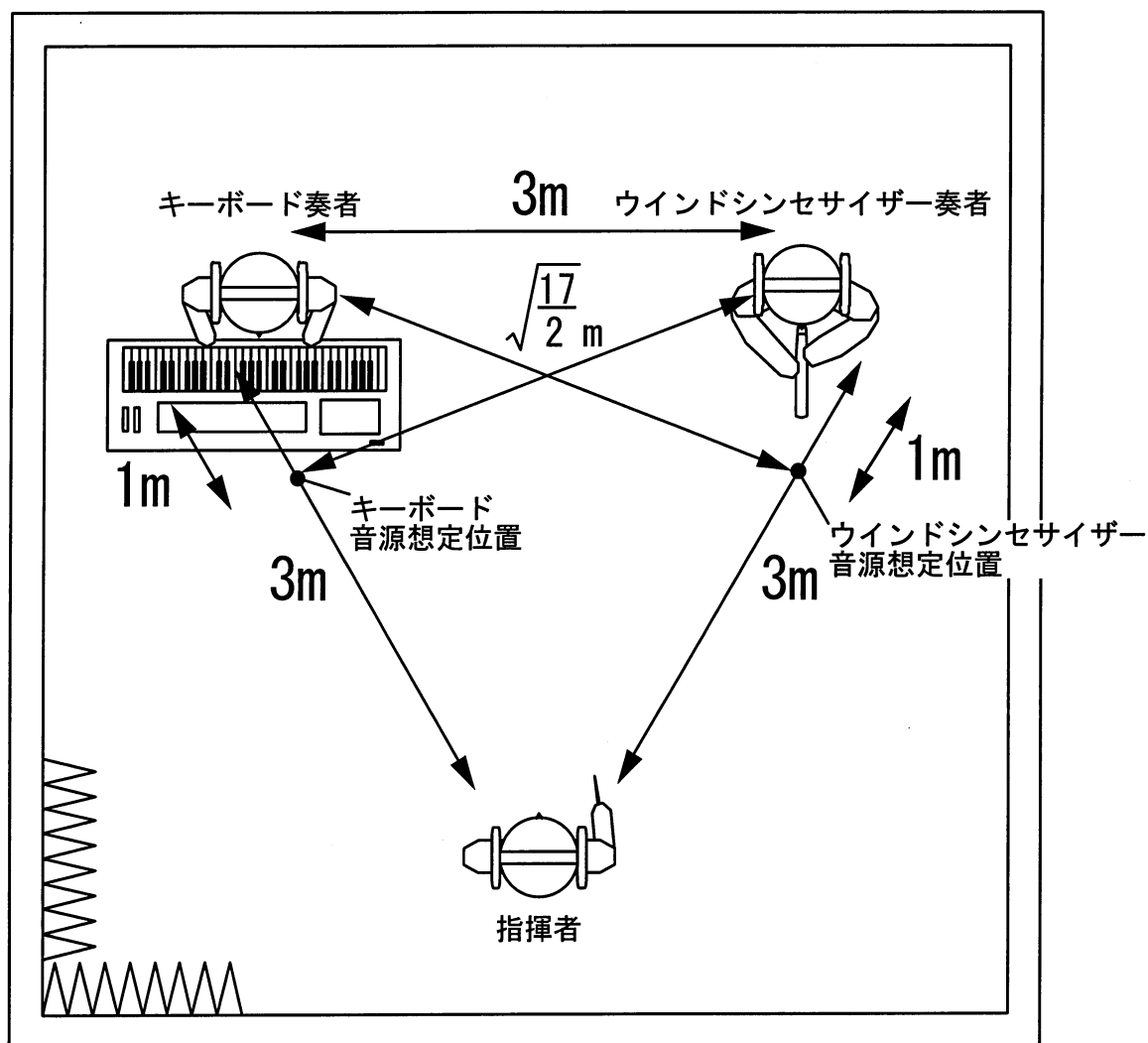


図 4-1-1 実験のイメージ図

直接音は実際に演奏している時に聞こえる位置関係の影響を構築するために、指揮者から右側に位置する演奏者の演奏音は指揮者に右寄りに聞こえ、同様に左側に位置する演奏者の演奏音は指揮者に左寄りに聞こえるように設定する。演奏者が聞く音も、横に並ぶ演奏者の位置に近い側の耳からよく聞こえるように設定する。このとき、指揮者と演奏者の距離関係と直接音の減衰量は図 4-1-2 のように設定した。音源の音圧レベルはキーボードが約 100dB、ウィンドシンセサイザーが 90B とした。なお、ステージ上を完全拡散音場と仮定し、各被験者には同一の反射音を返している。



演奏者から指揮者への距離減衰量は、 $10\log_{10}\left(\frac{1/4 I_1}{I_0}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) - 6$  より、6.0dB

演奏者から演奏者への距離減衰量は、 $10\log_{10}\left(\frac{2/17 I_1}{I_0}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{I_1}{I_0}\right) - 9.3$  より、9.3dB

ただし、 $I_1$ ：演奏者の音源の強さ  $I_0$ ：基準音の強さ

図 4-1-2 直接音の減衰量

## 4.2 実験手順

実験は以下の手順で行われる。

1. 被験者（指揮者および演奏者）に演奏行為をさせる。
2. 被験者（指揮者）に指揮者位置でのインパルス応答（ステレオ刺激信号の形式）を音響効果として付加した音場刺激を提示する。
3. 指揮者位置での音響条件から客席部の音響状態の想像を行わせる。
4. 想像した音及びホールについて主観評価回答項目に表現させる。
5. 主観評価回答項目に表現した回答についてヒアリングを行う。

※実験の際に、被験者には、刺激に対する評価を行うのではなく刺激によって想起された客席部音場に対して評価を行う旨を十分に教示した。

### 4.3 実験条件

実験に先立ち、残響時間 (RT)、初期減衰時間 (EDT)、明瞭性 (C80) などの観点から比較的違いが判別しやすいと思われる 3 種類の音場刺激を用意した。これらの音場刺激は実在のホール B～D のステージ上指揮者位置におけるインパルス応答であり、ホール B 及び C については第 2 章の「モノラル刺激信号を用いた実験」で用いられたものをモノラル形式に変換することなくステレオ形式のまま使用している。表 4-3-1 に刺激音場の音響的特徴を示す。

表 4-3-1 音場刺激の音響的特徴

音場刺激		RT[s]	EDT[s]	C80[dB]	IACC
ホール	A	1.588	1.360	5.26	0.52
	B	1.392	1.364	1.04	0.12
	C	1.892	1.571	5.48	0.70

被験者は第 2 章の実験と同様の 3 名であり指揮者経験のある大学生とした。各被験者には、3 種類のインパルス応答がランダムな順番に 3 回ずつ提示され、3×3 の計 9 回の想像される客席部音場に対する主観評価の試行が行われた。

演奏者は 2 名であり、管楽器演奏者と鍵盤楽器演奏者であった。

#### 4.4 主観評価回答項目

実験において、被験者の想像した客席部音場を表現させるための主観評価回答項目を設けた。主観評価回答項目は、刺激に対して想起された客席部音場に関する印象を7段階のカテゴリー尺度で評価させる。これらの回答項目は既往の研究を参考にし、想像した客席部音場を表現するという行為を踏まえた上で、さらに検討を加え選定された。項目内容を表 4-4-1 に示す。

表 4-4-1 客席部音場に関する主観評価回答項目

項目	スケール
残響時間	長い (+3) ←→ 短い (-3)
音量	大きい (+3) ←→ 小さい (-3)
明瞭性	はっきり (+3) ←→ ぼんやり (-3)
減衰過程	保たれる (+3) ←→ 保たれない (-3)
音の広がり感	音源が広い (6) ←→ 音源が狭い (0)
	音に包まれる (6) ←→ 包まれない (0)
音源の近さ	近い (+3) ←→ 遠い (-3)
音の温かみ	温かみがある (+3) ←→ 温かみがない (-3)
楽器のバランス	保たれる (+3) ←→ 保たれない (-3)

## 4.5 実験結果

表 4-5-1 被験者 1 の客席部音場に関する主観評価

被験者 1	A	B	C
残響時間が長い	0	3	2
	2	0	2
	1	2	1
音量が大きい	1	-2	0
	2	2	0
	0	1	-1
はっきりしている	1	-2	-2
	1	1	-1
	1	0	-1
響きが保たれる	0	2	1
	2	0	1
	0	1	1
音源が広い	2	3	4
	4	3	4
	3	5	2
音に包まれる	2	5	4
	4	3	4
	4	3	2
音源が近い	1	-2	0
	1	1	0
	0	0	-1
音に温かみがある	0	-1	-1
	-1	-1	0
	1	1	0
音のバランスが保てる	1	-2	-1
	1	1	-1
	-1	0	0

表 4-5-1 は被験者 1 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。

表 4-5-2 被験者 2 の客席部音場に関する主観評価

被験者 2	A	B	C
残響時間が長い	-1	2	1
	0	2	1
	-1	2	2
音量が大きい	0	2	1
	2	2	1
	2	1	1
はっきりしている	2	1	-1
	2	0	2
	2	0	1
響きが保たれる	-1	2	1
	0	2	1
	-2	1	1
音源が広い	1	4	4
	2	5	2
	2	3	4
音に包まれる	2	5	4
	2	5	4
	1	5	4
音源が近い	2	0	-1
	1	0	1
	2	0	0
音に温かみがある	-1	1	0
	-1	3	-1
	-1	1	2
音のバランスが保てる	2	2	1
	1	2	0
	0	1	2

表 4-5-2 は被験者 2 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。

表 4-5-3 被験者 3 の客席部音場に関する主観評価

被験者 3	A	B	C
残響時間が長い	-1	2	0
	-1	0	0
	-1	2	-1
音量が大きい	-1	2	1
	0	1	0
	-1	1	0
はっきりしている	-1	-2	1
	1	-1	1
	0	1	2
響きが保たれる	0	2	0
	-1	-1	-1
	0	1	0
音源が広い	0	3	2
	1	1	0
	2	3	1
音に包まれる	1	3	2
	1	0	1
	1	3	1
音源が近い	-1	0	0
	1	1	1
	1	1	0
音に温かみがある	1	1	-1
	-2	-1	-2
	-1	0	-2
音のバランスが保てる	1	-1	-1
	-1	-2	-1
	1	1	0

表 4-5-3 は被験者 3 の想像した客席部音場に対する主観評価の回答結果を示している。



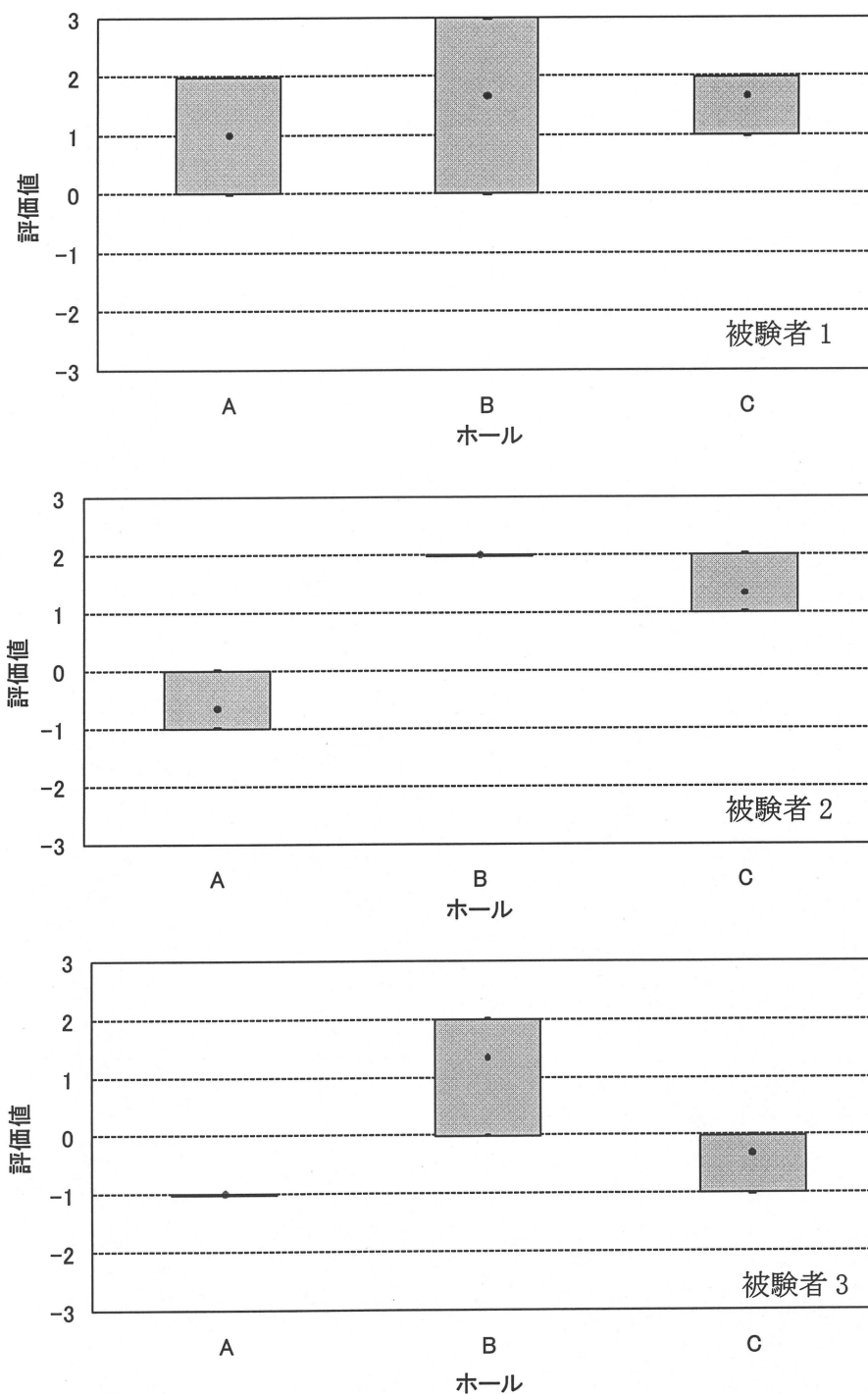


図 4-5-1 項目「残響時間が長い」に対する回答結果

図 4-5-1 および表 4-5-4 は、各被験者の回答項目「残響時間が長い」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られず、付加した残響時間の影響が見られない。

表 4-5-4 項目「残響時間が長い」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

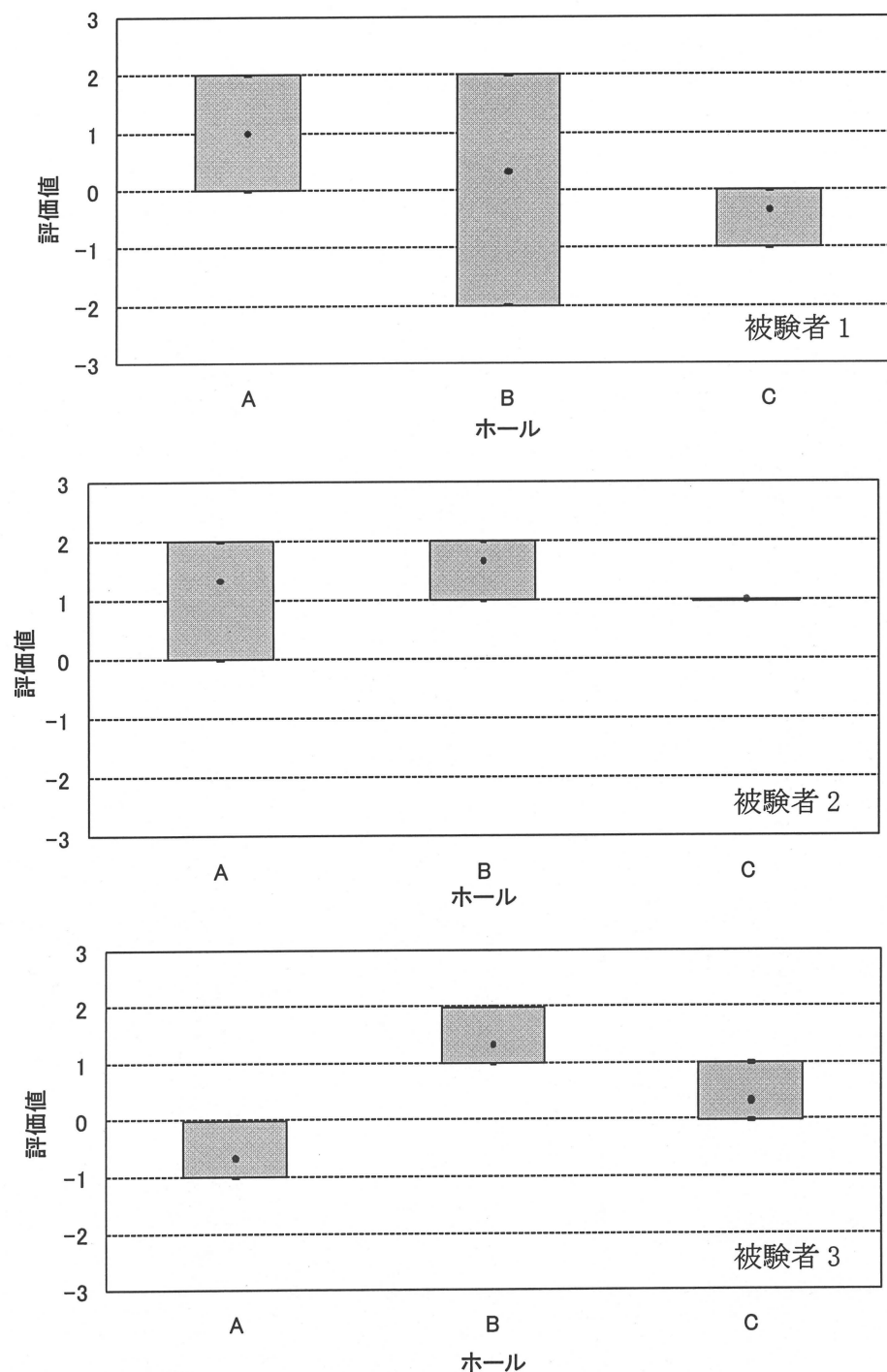


図 4-5-2 項目「音量が大きい」に対する回答結果

図 4-5-2 および表 4-5-5 は、各被験者の回答項目「音量が大きい」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際も評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-5 項目「音量が大きい」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[ ]	[ ]

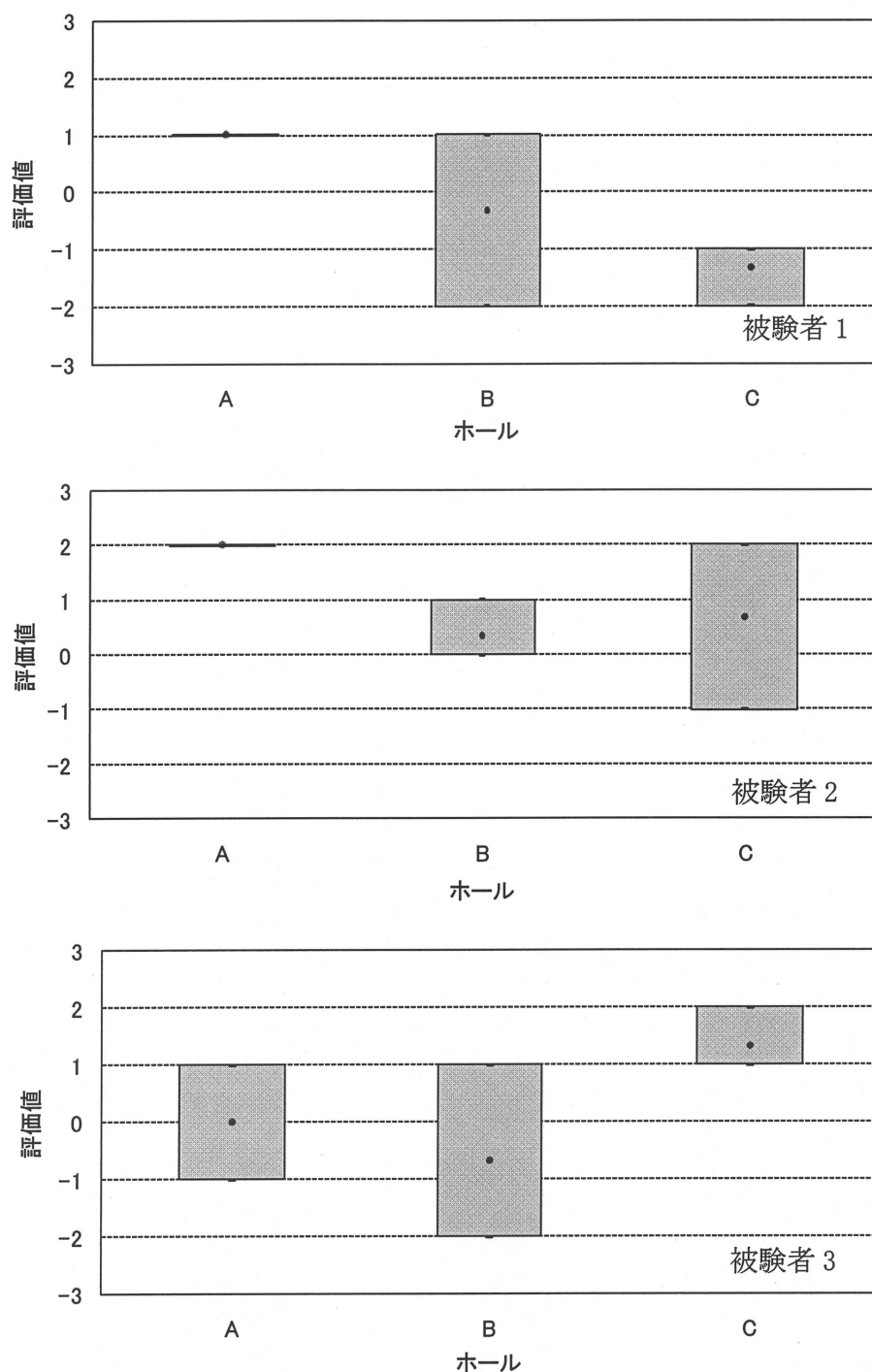


図 4-5-3 項目「明瞭性・はっきりしている」に対する回答結果

図 4-5-3 および表 4-5-6 は、各被験者の回答項目「はっきりしている」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-6 項目「はっきりしている」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

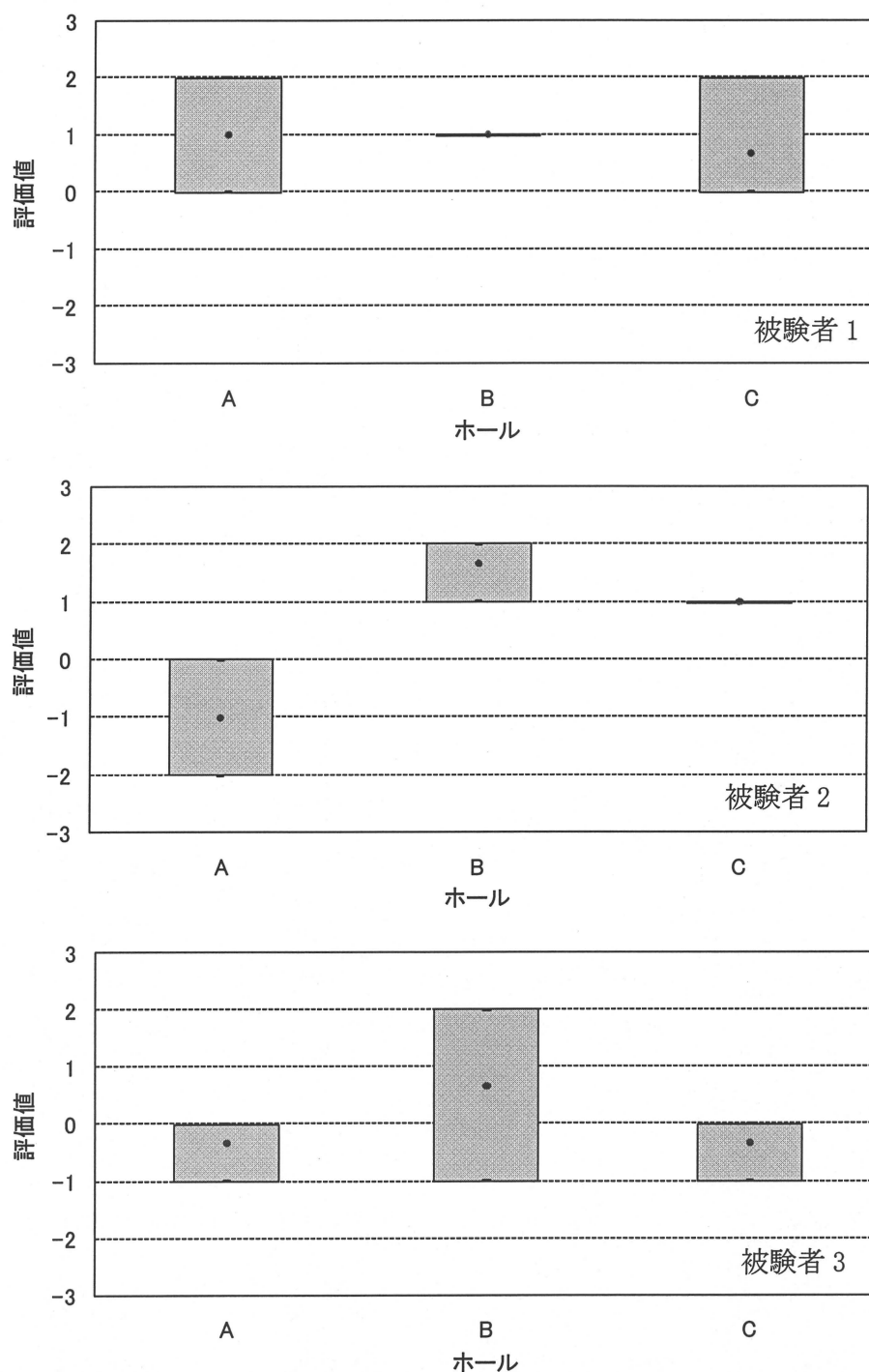


図 4-5-4 項目「減衰過程・響きが保たれる」に対する回答結果

図 4-5-4 および表 4-5-7 は、各被験者の回答項目「響きが保たれる」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-7 項目「響きが保たれる」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

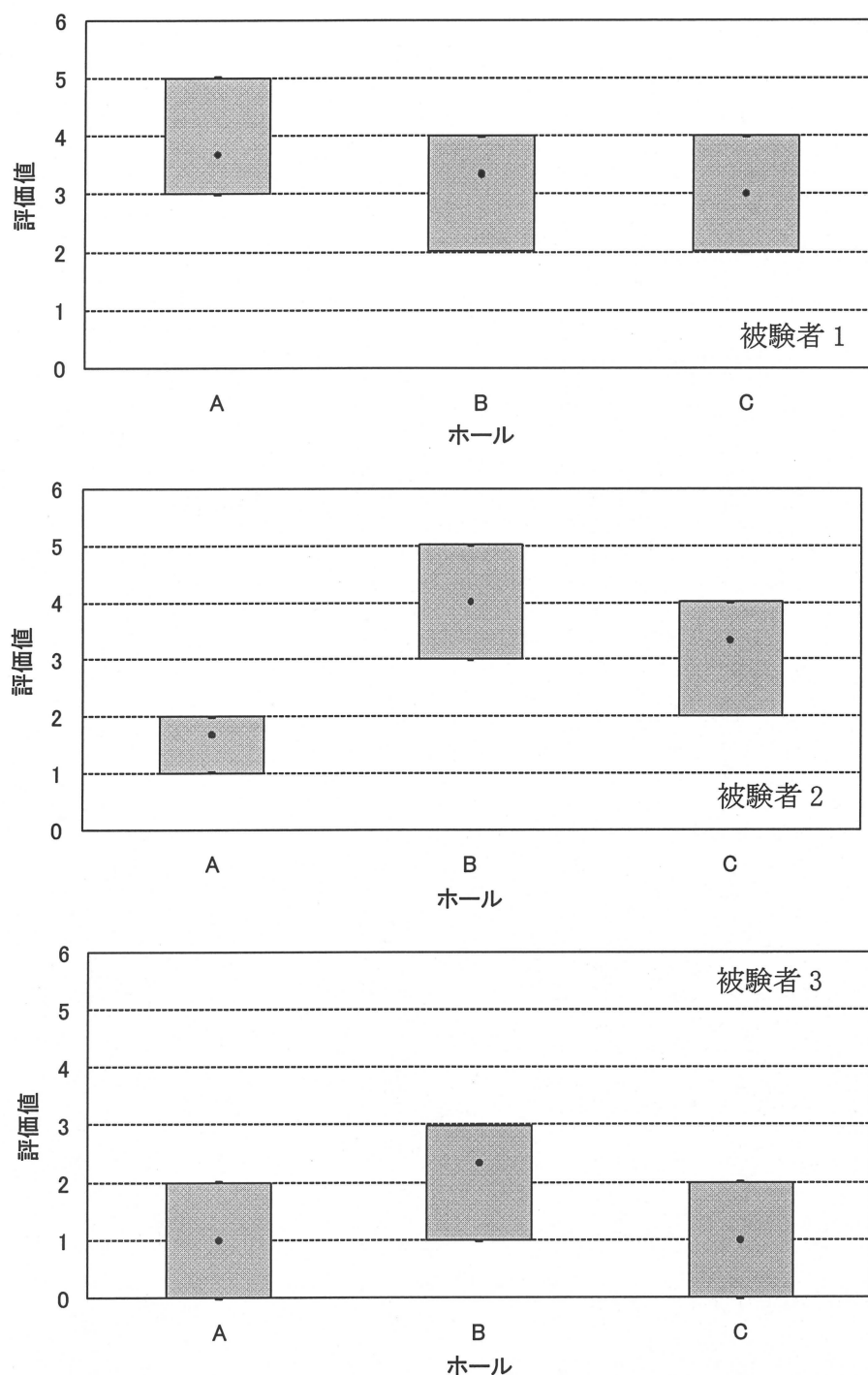


図 4-5-5 項目「音の拡がり感・音源が広い」に対する回答結果

図 4-5-5 および表 4-5-8 は、各被験者の回答項目「音源が広い」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-8 項目「音源が広い」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

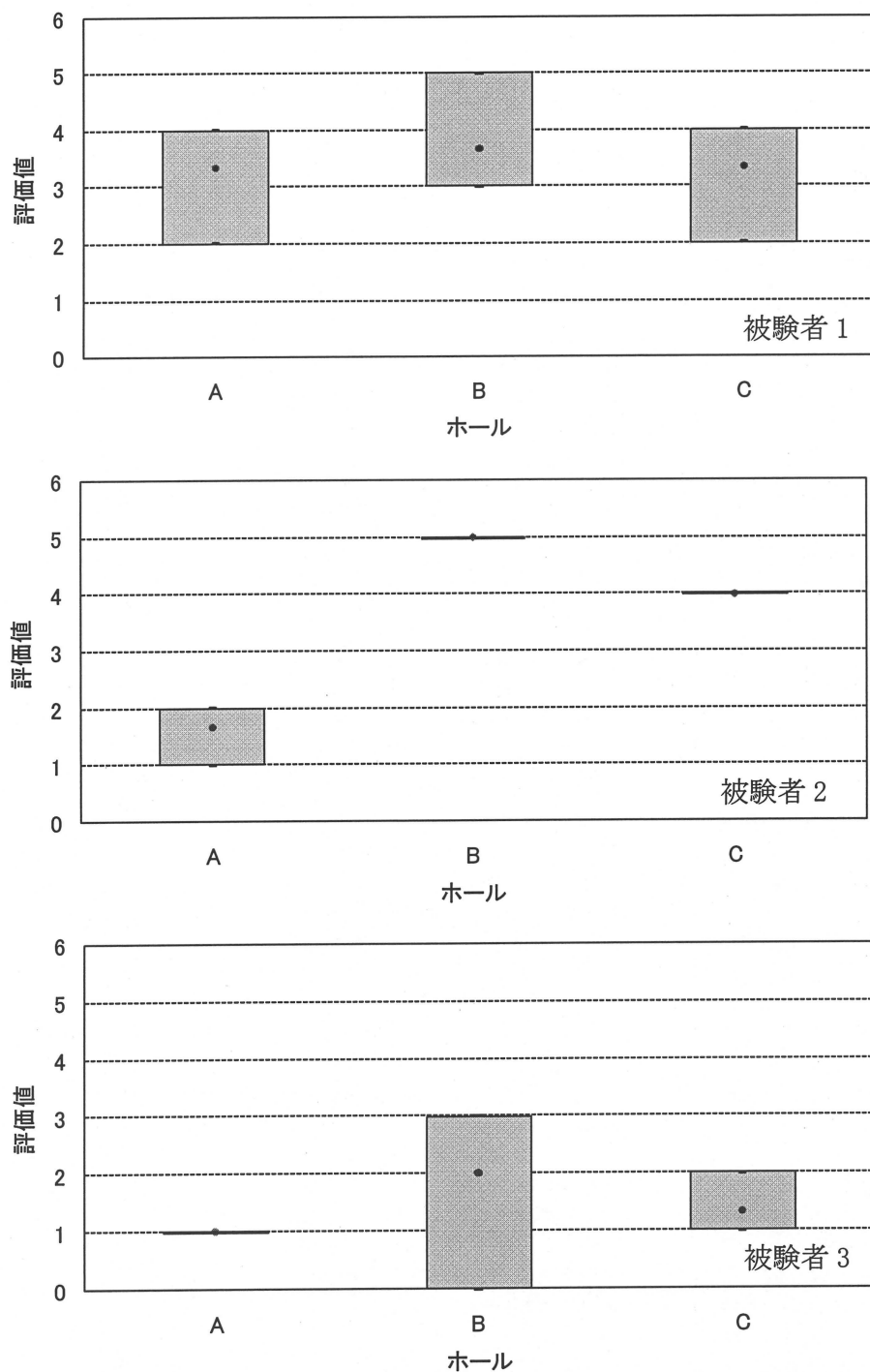


図 4-5-6 項目「音の拡がり感・音に包まれる」に対する回答結果

図 4-5-6 および表 4-5-9 は、各被験者の回答項目「音に包まれる」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、被験者 1、3 には評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-9 項目「音に包まれる」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[**]	[*]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]

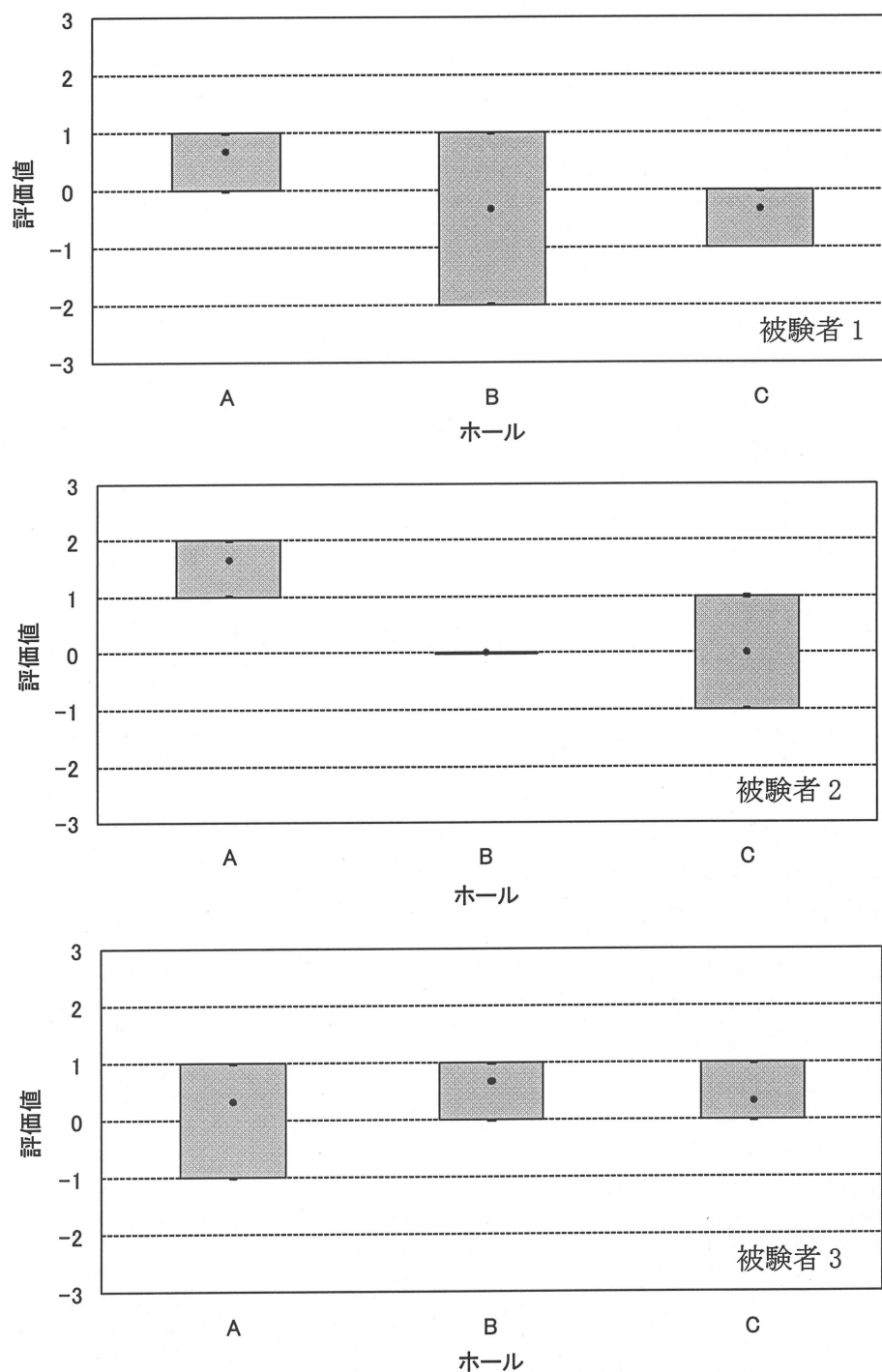


図 4-5-7 項目「音が近くで鳴っているように感じる」に対する回答結果

図 4-5-7 および表 4-5-10 は、各被験者の回答項目「音源の近さ」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-10 項目「音源の近さ」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[*]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

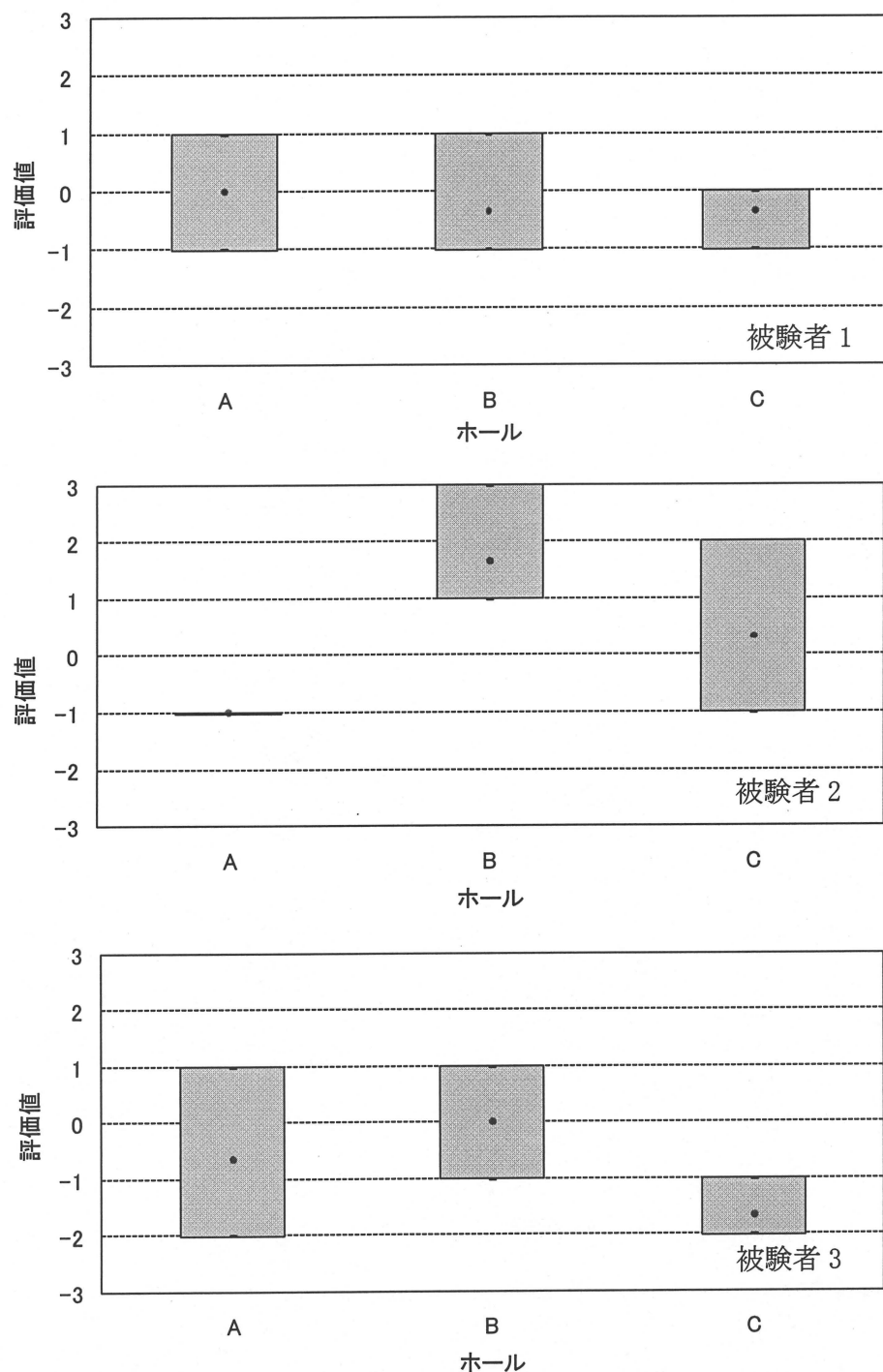


図 4-5-8 項目「音に温かみがある（低音が強い）」に対する回答結果

図 4-5-8 および表 4-5-11 は、各被験者の回答項目「音の温かみ」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-11 項目「音の温かみ」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]



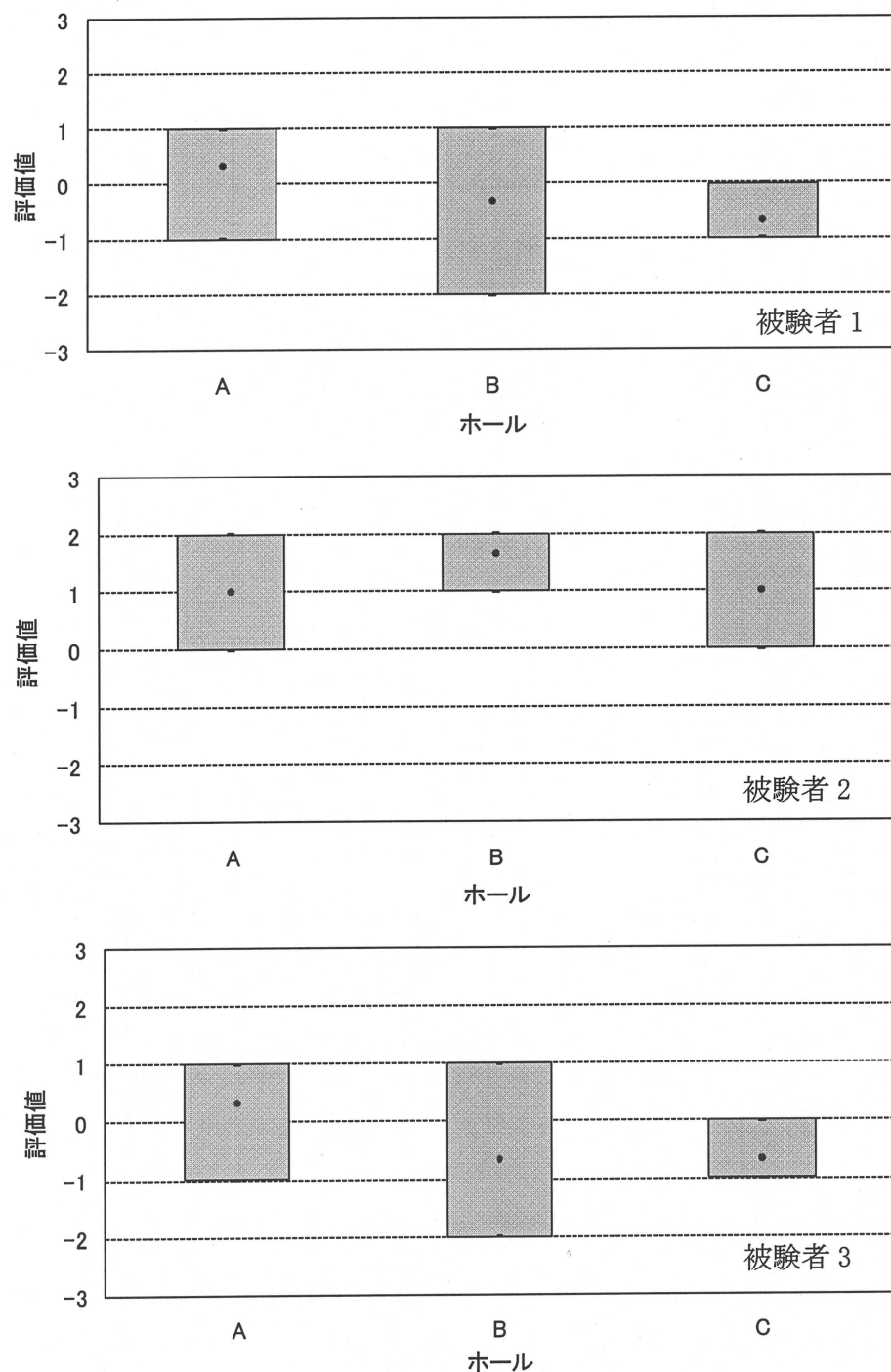


図 4-5-9 項目「ステージと客席部で音のバランスが保たれる」に対する回答結果

図 4-5-9 および表 4-5-12 は、各被験者の回答項目「音のバランス」に対する主観評価の分布および母平均の差の検定における有意差判定 (\* 有意水準 1%、\*\* 有意水準 5%) の結果を示している。黒点は 3 回試行の平均値、四角はそれらの標準偏差の範囲を示す。演奏音を刺激とした際も、評価平均値差に有意性が見られない。

表 4-5-12 項目「音のバランス」母平均の差の検定

被験者 1			被験者 2			被験者 3		
A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C	A-B	A-C	B-C
[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

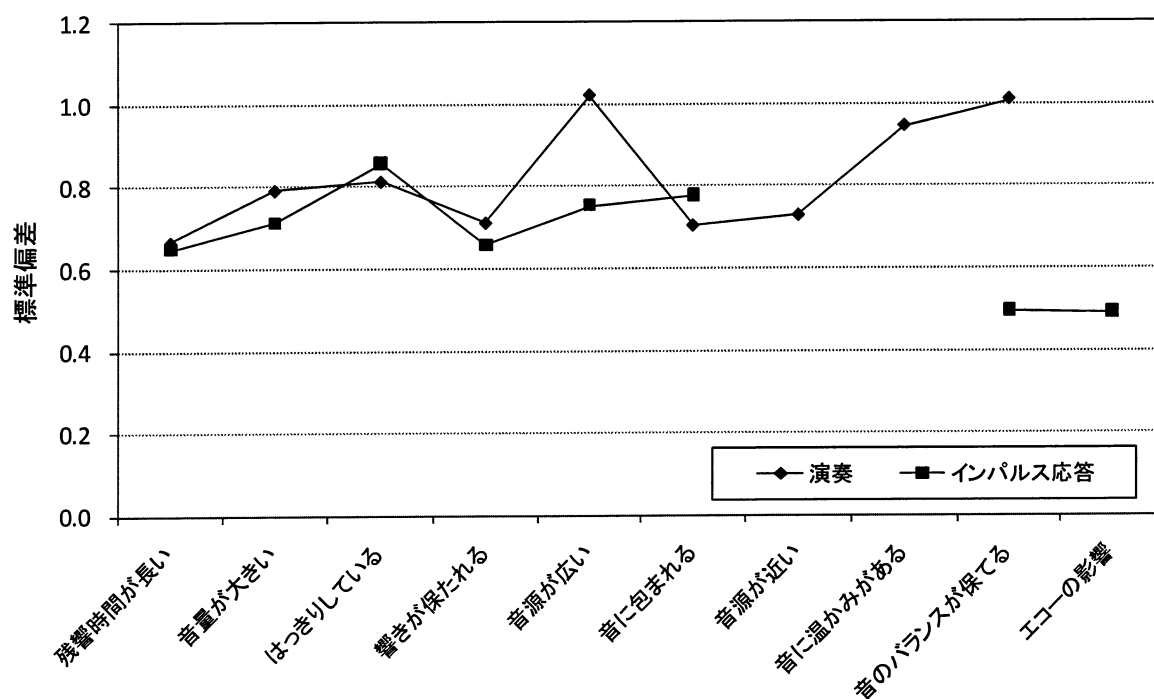


図 4-5-10 項目毎の標準偏差比較(演奏-インパルス応答)

図 4-5-10 および表 4-5-12 は演奏を刺激とした今回の実験およびインパルス応答を刺激とした過去の実験における各被験者の主観評価の標準偏差の平均値を示している。過去の実験においては無かった回答項目や、今回の実験では無くなっている回答項目があるが、刺激が演奏音になり指揮行為が伴うからといって標準偏差においては有意な変化が現れることはなかった。しかし、有意な差は見られなかったものの、標準偏差が大きくなっている傾向が見受けられる。

表 4-5-13 項目毎の標準偏差 (演奏-インパルス応答)

	演奏	インパルス応答
残響時間が長い	0.666	0.649
音量が大きい	0.791	0.713
はっきりしている	0.813	0.858
響きが保たれる	0.713	0.658
音源が広い	1.022	0.754
音に包まれる	0.706	0.777
音源が近い	0.730	—
音に温かみがある	0.947	—
音のバランスが保てる	1.011	0.496
エコーの影響	—	0.490

### 3.6 まとめ

ホールのステージ音場が指揮者の客席部音場に対する想像行為に与える影響を確認するため、被験者に指揮行為・演奏行為をさせ、ステージ上指揮者位置でのインパルス応答を畳み込んだ演奏音を刺激音場として被験者に対する主観評価実験を行った。本実験では、提示刺激を演奏音としており指揮行為を伴う際のステージ上での演奏音が客席部音場の想像行為へ与える影響を確認することを目的とした。

図 4-5-1～図 4-5-9 および表 4-5-4～表 4-5-12 から刺激がインパルス応答のときは異なるステージ音場から異なる客席部音場を確定的に想像出来ていたのが、刺激が演奏音になることで異なるステージ音場から異なる客席部音場を確定的にイメージ出来ていない結果となっていた。また図 4-5-10 および表 4-5-13 の結果から、刺激が残響特性全体を把握できるインパルス応答から、全体を把握することが難しい演奏音になることで想像する客席部音場のイメージにばらつきが見られるようになっていた。要因としては刺激が演奏音になるとステージ上の残響特性の内、特に後部の残響特性が、続いてくる演奏音にマスクされることで全体を把握することが出来なくなっていることが挙げられる。「残響時間の長さ」などはステージ音場の残響特性全体がはっきりと把握出来た方が客席部での想像がしやすいことが考えられる。しかし演奏中は指揮行為にも集中しなくてはならないし、後部残響時間は続く演奏音にマスクされ把握することが難しい。これらのことから指揮行為をしながら演奏音を聞いて、的確に客席部における音場を想像することが難しいことが分かる。やはり比較的演奏中においても、続く演奏音にマスクされにくく指揮者が把握しやすい初期の減衰から計算される EDT の値を残響時間と同程度にすることで少しでも客席部での音場を想像しやすくすることが出来るのではないだろうかと考えられる。また演奏を行う前に、ステージ上で手を叩くなどしてステージ上の音響状態をあらかじめ把握しておくことが重要ではないだろうか。

今回の実験では数名の演奏経験者に協力をして頂き、実験をすることが出来たが被験者・演奏者のスケジュール等の点から各被験者に対して同じ演奏者を用意することが出来なかった。演奏の質もプロではないため毎回同じ質の演奏が出来ていたかという問題も挙げられる。また初対面の演奏者に対し指揮者が指揮行為をして演奏させる実験であるため、指揮者・演奏者ともに不安な心理状態での実験であった可能性も挙げられる。こういった点が実験結果に何らかの影響を与えているかもしれない。

## 第 5 章

音場刺激の残響時間と想像した残響時間の関係の確認  
(音場刺激を付加し、想像した残響時間を同定した実験)

## 5.1 実験概要

この実験は指揮者にステージ音場を提示して客席部音場を想像させ、想像した客席部音場における残響時間を音として再現させる実験である。ステージ上の残響特性が想像する客席部音場の残響時間の長さに与える影響を定量的に明らかにすることを目的としている。今回の実験では予備実験を行うことで改良点を検討し、実験方法を改良した本実験を行って指揮者が想像する客席部残響時間を同定する実験方法を確立することも目的としている。予備実験に関しては5.2で、本実験に関しては5.3で述べる。

これまでステージ上の指揮者が客席部音場を想像する際にステージ上の音響条件や聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響を主観評価実験によって確認してきた。実験結果からステージ上の音響条件は想像する客席部音場に影響を与えることが確認され、聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響は見られなかった。聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響が見られなかった要因としては、指揮者である被験者が学生指揮者であり、被験者の指揮者としての経験年数が少ないため聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）が客席部音場にどれほど影響するか検討できず、結果として音響条件のみに頼って客席部音場を想像した可能性がひとつ挙げられる。もう一つは聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響は音響条件の与える影響に比べて僅かなものであり、7段階のカテゴリー尺度による主観評価では想像した客席部音場を評価した時に音響条件のみを提示された時と同じ評価値を示した可能性がある。よって聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）は指揮者による客席部音場の想像行為に影響しないと結論付けるのはまだ早いといえる。一つ目の問題である被験者の指揮者としての経験であるが、プロ指揮者を被験者として聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響を確認する実験を行えば同刺激の影響が見られるかもしれないが、コンサートホールはプロ指揮者のみが演奏するわけではなくアマチュア指揮者も演奏する場である。多くの指揮者にとって客席部音場を想像しやすいステージ音場にするには、想像行為がより未熟であるアマチュアの指揮者の客席部音場を想像する際のメカニズムも反映させるべきであると考ええる。もう一つの問題である7段階のカテゴリー尺度による主観評価では想像した客席部音場を評価した時に音響条件のみを提示された時と同じ評価値を示した可能性についてだが、この可能性は十分考えられるため他の方法により想像した客席部音場を被験者から引き出して聴覚以外から得られる刺激（視覚情報やホール情報等）の影響を確認する必要がある。また指揮者による客席部音場の想像行為のメカニズムをステージ音響設計に生かすためにはステージ上の音響条件とそこから想像する客席部音場の各音響パラメータの詳細な関係性を明らかにする必要があり、この点においても主観評価実験以外で被験者の想像した客席部音場を被験者の頭の中から引き出す別の方法を確立する必要があった。

実験方法を模索した結果、言葉や評価軸では表現に限界があるため考えられる中で最も有用な方法は想像した客席部音場を「音」として再現させる実験方法であると判断した。「音」で再現させたものを音響分析することで想像した客席部音場を各音響パラメータで定量的に見ることができるようになり、ステージ音響条件との関連や聴覚以外から得られる刺激の

影響の有無も確認できるようになるからである。しかしこれまでも研究室で想像した客席部音場を同定する実験は行われてきたが、なかなか被験者が納得する「音」を作り出すことが出来ず時間が掛かり、被験者が諦めて適当な「音」を再現してしまう可能性があるという問題があった。過去の同定実験においてなかなか頭の中の「音」を再現出来ない要因としては、まず「音」を評価する軸が複数あるという問題点がある。主観評価実験の回答項目においてもそうであるが、音を評価する際には残響時間の長さ、音量の大きさ、明瞭性、減衰過程、音の拡がり感、音の温かみ、音源の近さといった項目などにまでおよび複雑である。これら全ての項目において被験者の納得する「音」を作り出すのは困難であることが考えられる。また過去の同定実験においては実験者が被験者に質問しながら音を調整していく方法をとっているが、実験者が被験者の意図するように「音」を調整できていたかという点が問題である。音の研究者にとっては音を表現する一定の決まりがあるが、被験者はその決まりを知らないからである。例えば被験者が残響時間をもう少し長くしたくて「響きはもう少し保たれる」と言った際、実験者は残響時間ではなく減衰過程が緩やかになるように音を調整してしまう。逆に被験者が意図することを表現する方法も様々であり、それを実験者が的確に汲み取り音を調整することが出来るかも疑問である。実験の前に被験者との間で「音」を調整する際の決まりを作っていたとしても難しいのである。最後に「音」を調整するソフトウェアの問題である。過去において様々なソフトウェアを使用した同定実験がなされてきたが、どのソフトウェアにおいても自由度が少ないという問題が挙げられてきた。例えば被験者が「もう少し残響時間を長くしたい」という要望があった時にソフトウェア上で最大まで残響時間を長くしていた場合それ以上残響時間を長くすることが出来ないのである。また「音」の各パラメーターは独立しているものではなく連動しているという問題である。ある項目について同定が終わった後、別の項目を調整している間にさっき同定したはずの項目のパラメーターも変化してしまうのである。このような問題から研究室において指揮者の想像した客席部音場を同定する実験は難しいとされてきた。

そこで指揮者の想像する客席部音場の音全体を再現するのではなく、想像した客席部音場の残響時間についてのみ同定する実験を行うことにした。複数の項目について同定するのではなく、一つの項目についてのみ同定を行うことで被験者の頭の中から確かな情報を引き出すことが可能になると思われる。残響時間についてのみ同定するので他のパラメーターの変化による影響もなく、単純な同定作業になるからである。さらに同定作業に実験者が加わることで被験者の想像した残響時間に影響が出ないよう被験者自身に同定作業を行わせることとした。主観評価実験の結果からステージ上の指揮者が客席部音場の残響時間を想像する際に、主としてステージ上で聴く残響の長さを根拠としていると思われる結果が得られている。本実験では、さらにステージ上の残響時間に対して指揮者が想像・推定する客席部音場の残響時間の関係性を定量的に明らかにする実験を行った。ステージ上の残響時間と指揮者の想像する客席部音場の残響時間の関連性が明らかになれば、指揮者が想像しやすいステージ上の音響設計に有用なものになるのではないかと考える。

### 5.2.1 予備実験

図 5-2-1-1 に実験システムの概要を示す。無響室内に設置されたマイク 1 および 2 の入力  
は、それぞれ DSP (YAMAHA SPX990) およびパソコン上に構築した実時間畳み込み演算シス  
テム (Apple Mac Pro、Logic + Space Designer) を通り、ともにミキサー・アンプおよび切り  
替えスイッチを通りスピーカーから出力される。被験者が手を叩く等した音は、マイク 1 で  
集音され、ホールステージ上の指揮者位置でのインパルス応答(音源はステージ中央に位置)  
に畳み込まれ、被験者前方のスピーカーから再生される。このようにして被験者に音場刺激  
としてのステージ上の音響状態を確認させ、客席部での音響状態を想像させる。次にスイ  
ッチを切り替えると、被験者がマイク 2 に向かって手を叩く等した音は DSP を通して指数関数  
的減衰を付加され、客席部で聴く音として被験者前方のスピーカーから再生される。被験者  
はスピーカーから出力される音の残響時間を DSP のダイヤルを回すことによって変化させる  
ことができ、音場刺激から想像した客席部での残響時間と等価に感じる残響時間となるよう  
に調整を行わせ、最終的な調整値を残響時間の同定値とみなした。

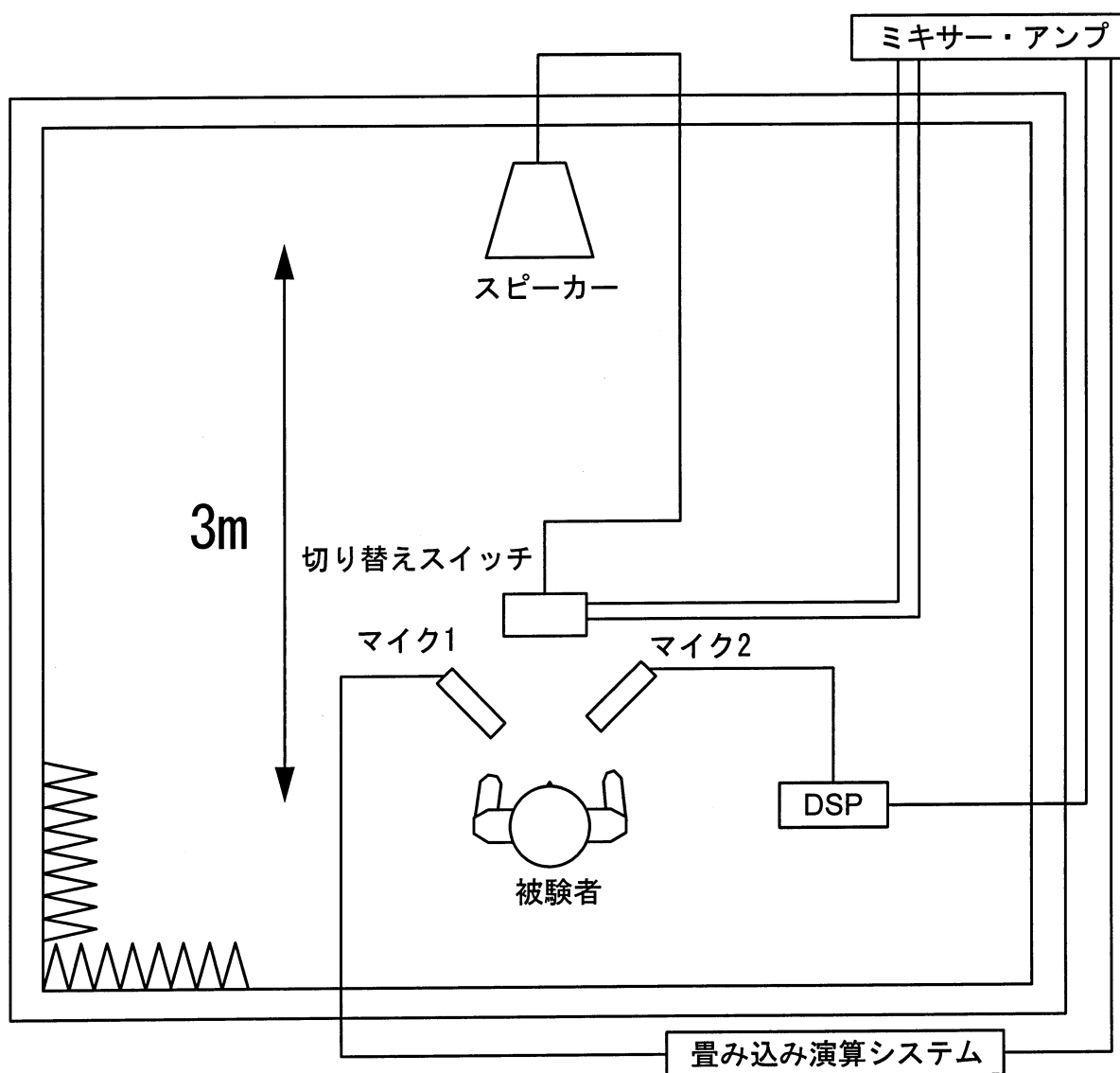


図 5-2-1-1 実験のシステム図

### 5.2.2 実験手順

実験は以下の手順で行われる。

1. 被験者にマイク 1 に向かって手を叩かせ、前方にあるスピーカーからステージ上で手を叩いた時に聞こえる音を確認させ、その音から客席部音場を想像させる。
2. 目の前にある切り替えスイッチを押して「客席部」にさせる。
3. 被験者にマイク 2 に向かって手を叩かせ、ステージ上で手を叩いた音が客席部で聞こえる音として前方にあるスピーカーから確認させながら、DSP のダイヤルを回して調整させて想像した客席部での残響時間の長さを再現させる。
4. 目の前にある切り替えスイッチを押して「ステージ」にさせる。
5. 1～4 を繰り返しながら想像した客席部での残響時間の長さを再現させ、最終的な DSP の設定値を残響時間とみなした。

※実験の際に、被験者には、刺激に対する評価を行うのではなく刺激によって想起された客席部音場に対して調整を行う旨を十分に教示した。

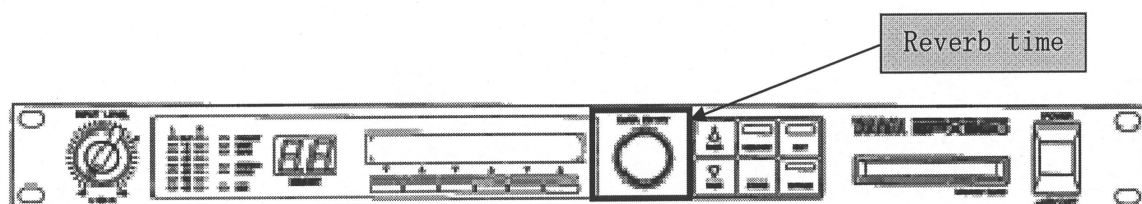


図 5-2-2-1 被験者が調整する際に用いる DSP

図 5-2-2-1 は手順 3 において残響時間を調整する際に使用した DSP の図である。この DSP 上において Reverb time の設定値を変化させることで手を叩いた音の残響時間を変化させることができる (0.3 秒～480.0 秒)。被験者にはこの DSP において Reverb time の設定値が表示させる画面を隠して同定作業をさせる。



提示される音場刺激は5つの実在ホールのステージ上の音源による同一ステージの指揮者位置におけるインパルス応答で表わされるA～Eの5種類である。表5-2-3-1に刺激音場の音響的特徴を示す。各被験者には5種類の刺激を各6回ずつ計30回ランダムな順番に提示してそれぞれの試行において残響時間の同定作業を行わせた。また、調整が行われる残響時間の初期値は、ステージ上の残響時間と同じ、±0.5秒の3つの値を設定し、初期値の影響も実験要因に含めている。なお本実験では両耳効果は測定対象としていないため音場刺激は単一スピーカーのモノラルで提示される。被験者は7名であり、指揮経験のある大学生2名の他、指揮経験のない大学生5名が含まれている。指揮経験のない被験者を被験者1～5とし、指揮経験のある被験者を被験者6および被験者7とする。音場推定行為が指揮者特有の行動であるか不明であるため、指揮経験のない者も被験者に含めた。表5-2-3-2および表5-2-3-3に被験者の属性および指揮経験のある被験者の経験年数を示す。

音場刺激	RT[s]	EDT[s]	C80[dB]
A	1.48	1.80	3.3
B	1.51	1.52	1.6
C	1.61	1.86	1.4
D	1.63	1.59	-1.2
E	1.88	1.89	2.1

	音楽経験のある被験者数	音楽経験のない被験者数
指揮経験のある被験者数	2 名	0 名
指揮経験のない被験者数	3 名	2 名

	指揮経験年数および音楽経験年数
指揮経験のある被験者 6	指揮者 10 年・演奏者 20 年
指揮経験のある被験者 7	指揮者 4 年・演奏者 18 年

#### 5.2.4 実験結果

全被験者が各ステージ音場刺激から想像した客席部残響時間の同定値を指揮経験の有無により表 5-2-4-1 および表 5-2-4-2 に分けて示す。また全被験者および指揮経験の有無ごとに各刺激の同定値の平均値、中央値、標準偏差を表 5-2-4-3、表 5-2-4-4、表 5-2-4-5 に示す。

表 5-2-4-1 指揮経験のない被験者の想像した客席部残響時間同定値

	各ステージ音場刺激に対する同定値(s)				
	A	B	C	D	E
被験者 1	1.9	1.2	1.7	1.1	1.4
	1.8	0.7	1.1	1.2	2
	1.5	1.1	1.3	1.2	1.5
	1.8	1.4	1.5	1.4	2.2
	1.7	1.4	1.5	1.3	1.9
	1.5	1.2	1.2	1	1.7
被験者 2	1.9	1.4	1.5	1.4	2.1
	2	1.6	1.4	1.3	2.3
	2	1.6	1.4	1.4	2.3
	1.9	1.2	1.3	1.2	2.1
	2.1	1.2	1.5	1.2	2.3
	1.8	1.5	1.4	1.3	2.1
被験者 3	1.6	2.3	2.2	2.6	2.1
	1.5	1.2	1.7	1.6	1.8
	1.8	1.3	1.1	1.4	1.4
	2.6	2	2.1	2.2	1.9
	2.1	1.6	2.1	1.8	2.6
	1.9	2.1	2.1	1.6	2.4
被験者 4	1.7	1.1	1.6	1.4	1.3
	1.9	1.5	1.5	1.5	1.6
	2.2	1.2	1.9	1.4	2.4
	2.8	1.3	1.4	1.5	1.9
	1.9	2	1.4	1.5	1.8
	2.1	1.6	1.5	1.6	1.3
被験者 5	2.5	1.9	1.7	1.6	2.7
	2.5	1.8	1.8	1.3	2.5
	2.3	1.6	1.5	1.7	2.6
	2.6	1.8	2	1.5	2.8
	2.2	1.5	1.8	1.4	2.7
	2.6	1.8	1.4	1.6	2.5

表 5-2-4-2 指揮経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	各ステージ音場刺激に対する同定値(s)				
	A	B	C	D	E
被験者 6	2.9	1.9	2.6	2.1	3
	2.7	1.8	2.3	2.2	2.6
	2.6	2.1	1.9	2.2	3
	2.4	2.3	2.2	2	3.3
	2.9	2	1.9	1.9	2.7
	2.8	2	2.4	1.9	2.6
被験者 7	2.4	1.8	2.9	1.6	3.1
	2.5	1.4	2.1	1.7	2.6
	2.2	1.8	2.1	2.2	2.3
	3.2	1.7	2.4	1.7	2.4
	2.2	1.7	2.1	1.8	3.4
	3.2	1.7	2.2	1.9	2.9

表 5-2-4-3 全被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.2	1.6	1.8	1.6	2.3
中央値	2.2	1.6	1.7	1.6	2.3
標準偏差	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5

表 5-2-4-4 指揮経験のない被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.0	1.5	1.6	2.1	1.5
中央値	1.9	1.5	1.5	2.1	1.4
標準偏差	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3

表 5-2-4-5 指揮経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.7	1.9	2.3	2.8	1.9
中央値	2.7	1.8	2.2	2.8	1.9
標準偏差	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2

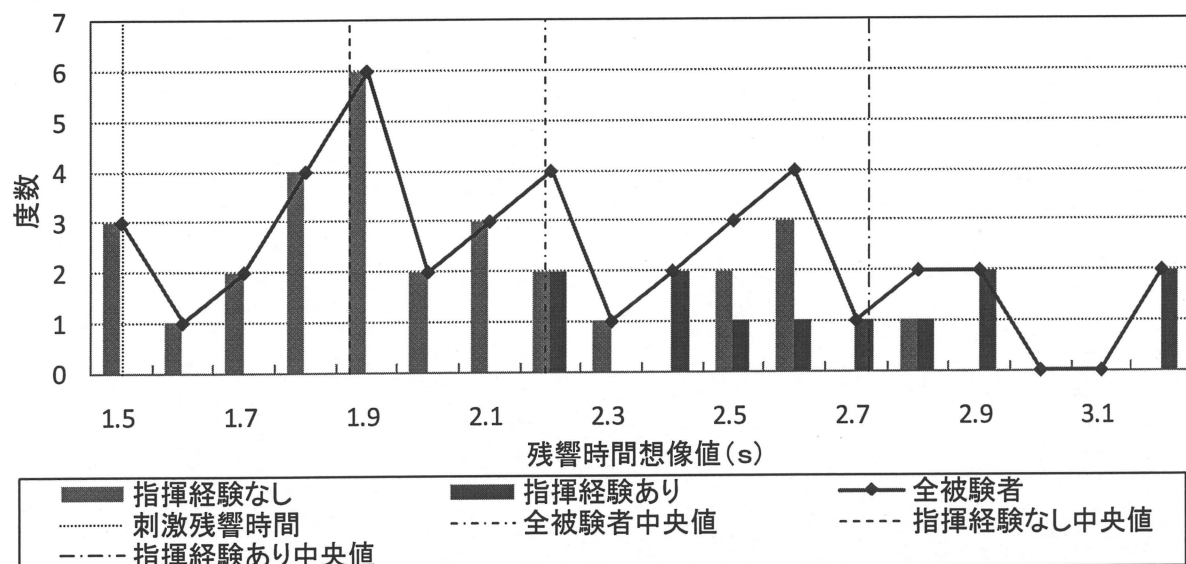


図 5-2-4-1 刺激 A から想像した客席部残響時間

図 5-2-4-1 はステージ音場刺激 A から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしたものである。ステージ音場刺激 A の残響時間は 1.48 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.2 秒であり、刺激の残響時間より 0.7 秒長くなっている。指揮経験のない被験者の中央値は 1.9 秒とステージ上の残響時間より 0.4 秒長い値になっているが、指揮経験のある被験者の中央値はさらに長く 2.7 秒となり 1.2 秒も長い値となっている。全体の分布をみると、指揮経験のない被験者の分布に比べて指揮経験者は長い値のほうにまとまって分布している。

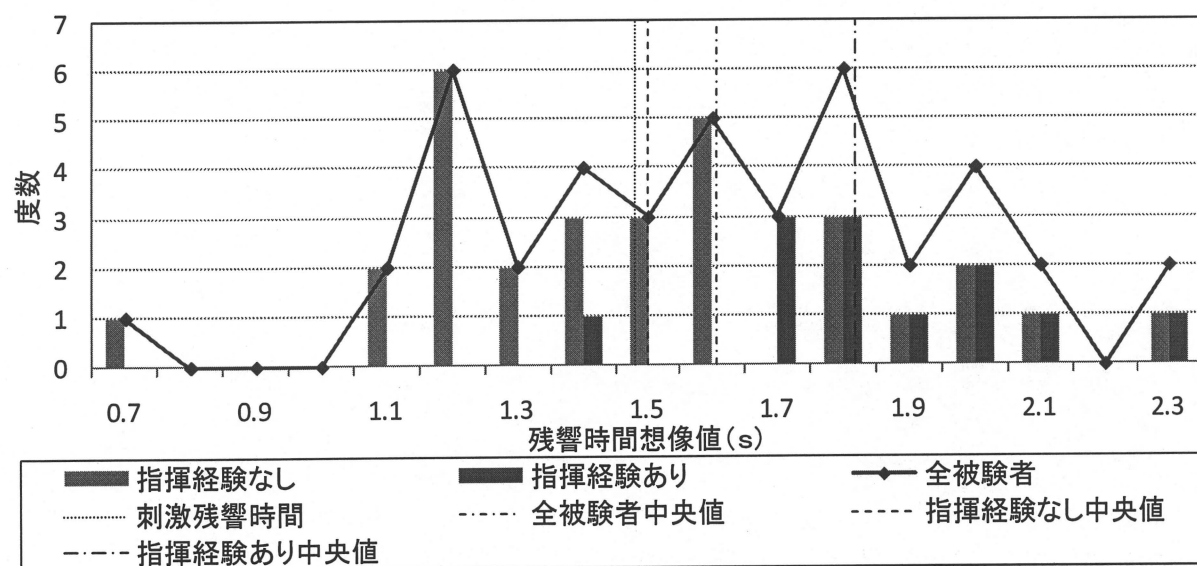


図 5-2-4-2 刺激 B から想像した客席部残響時間

図 5-2-4-2 はステージ音場刺激 B から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布で表わしたものである。ステージ音場刺激 B の残響時間は 1.51 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 1.6 秒であり、刺激の残響時間より 0.1 秒長くなっている。また指揮経験のない被験者の中央値は 1.5 秒とステージ上の残響時間とほぼ同じ値になっているのに対し、指揮経験のある被験者の中央値は 1.8 であり 0.3 秒長くなっている。全体の分布をみると、指揮経験のない被験者の分布に比べて指揮経験者は長い値のほうにまとまって分布している。

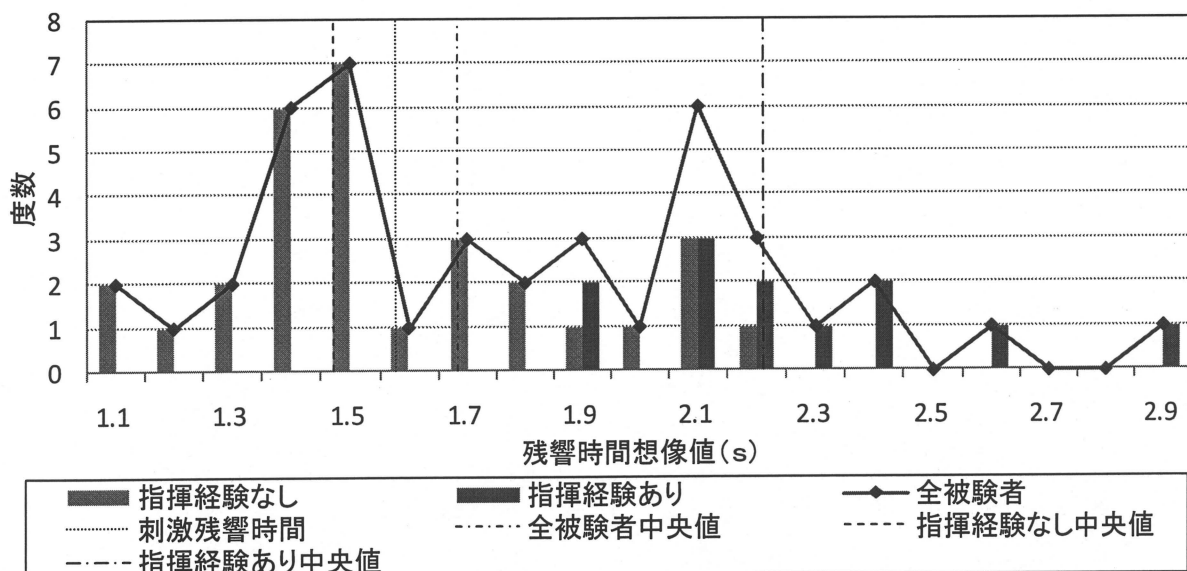


図 5-2-4-3 刺激 C から想像した客席部残響時間

図 5-2-4-3 はステージ音場刺激 C から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしたものである。ステージ音場刺激 C の残響時間は 1.61 秒で、被験者全体の残響時間同定値の中央値は 1.7 秒であり刺激の残響時間より 0.1 秒長くなっている。また指揮経験のない被験者の中央値は 1.5 秒でステージ上の残響時間より 0.2 秒短い値になっているのに対し、指揮経験のある被験者の中央値は 2.2 秒となり 0.6 秒長くなっている。全体の分布をみると、指揮経験のない被験者の分布に比べて指揮経験者は長い値のほうにまとまって分布している。

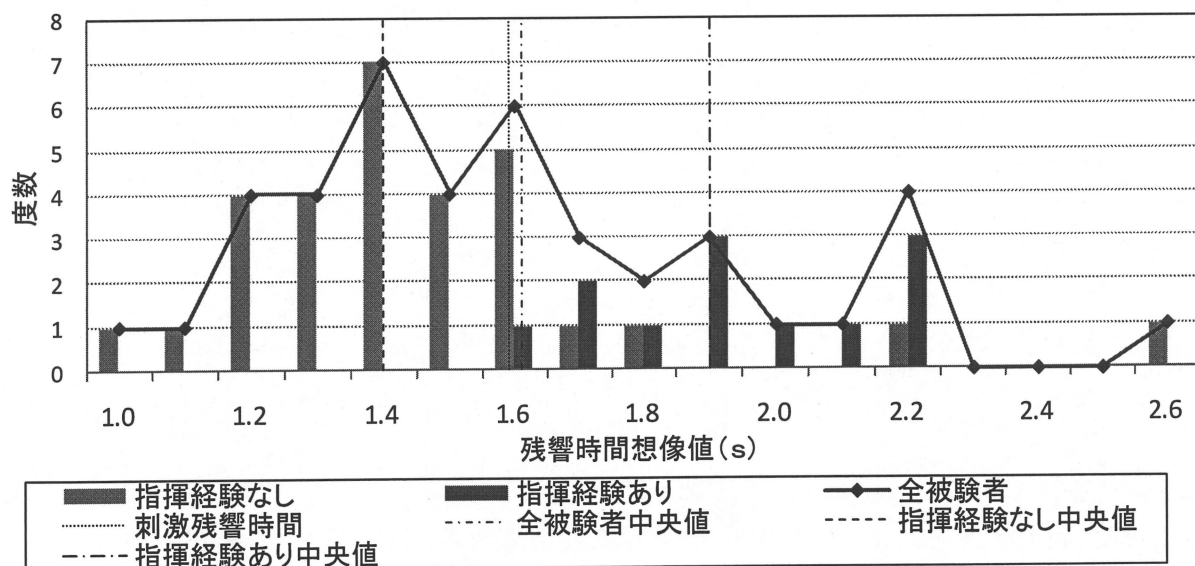


図 5-2-4-4 刺激 D から想像した客席部残響時間

図 5-2-4-4 はステージ音場刺激 D から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしたものである。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 1.6 秒であり、刺激の残響時間とほぼ同じになっている。また指揮経験のない被験者の中央値はステージ上の残響時間より 0.2 秒短い値になっているのに対し、指揮経験のある被験者の中央値は 0.3 秒長くなっている。全体の分布をみると、指揮経験のない被験者の分布に比べて指揮経験者は長い値のほうにまとまって分布している。

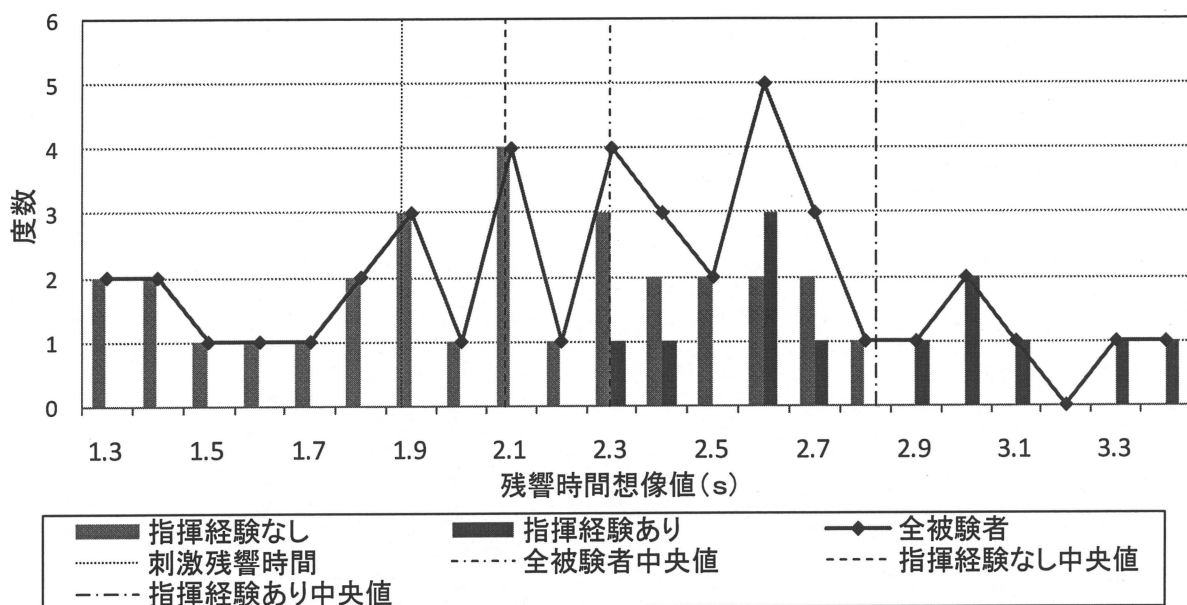


図 5-2-4-5 刺激 E から想像した客席部残響時間

図 5-2-4-5 はステージ音場刺激 E から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしたものである。ステージ音場刺激 E の残響時間は 1.88 秒で、被験者全体の残響時間同定値の中央値は、刺激の残響時間より 0.4 秒長くなっている。また指揮経験のない被験者の中央値はステージ上の残響時間より 0.2 秒長い値になっているのに対し、指揮経験のある被験者の中央値は 0.9 秒長くなっている。全体の分布をみると、指揮経験のない被験者の分布に比べて指揮経験者は長い値のほうにまとまって分布している。

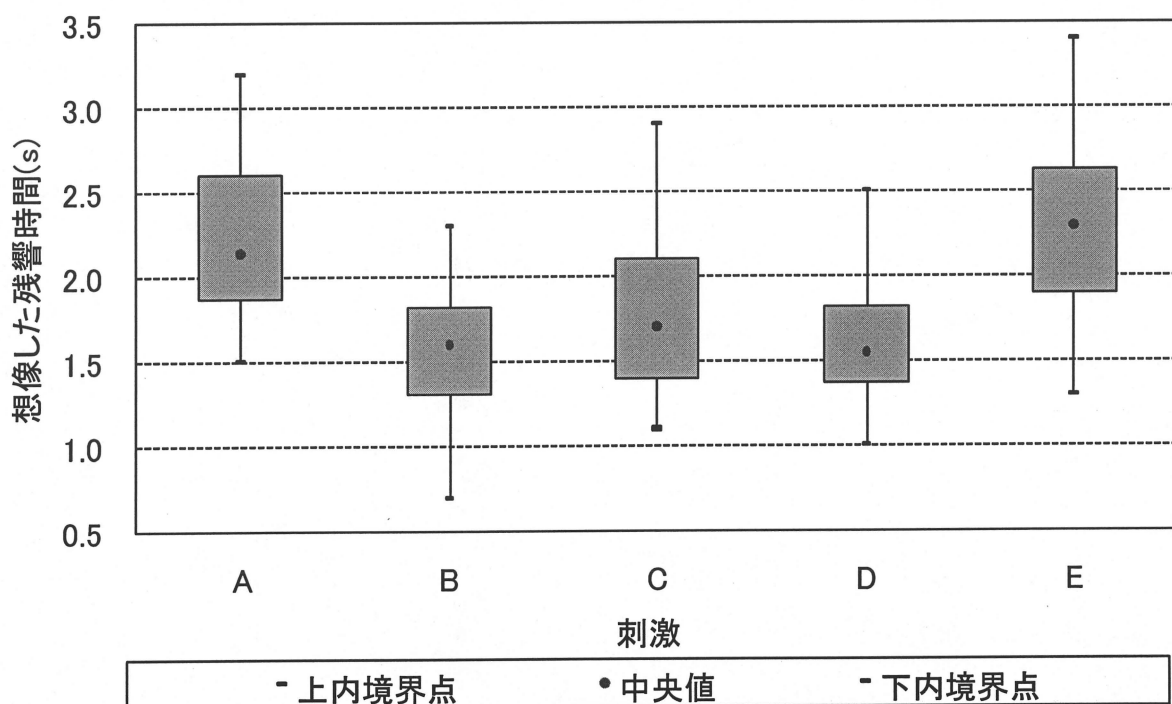


図 5-2-4-6 全被験者における各刺激の残響時間想像値の分布

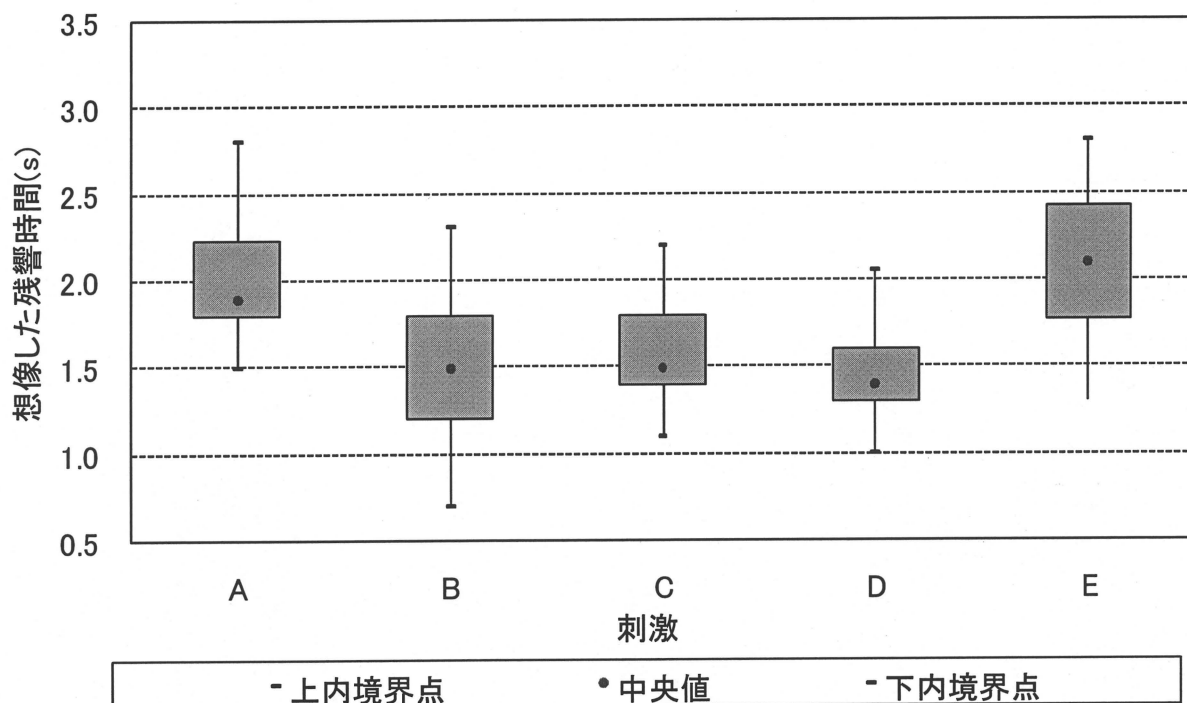


図 5-2-4-7 指揮経験のない被験者における各刺激の残響時間想像値の分布

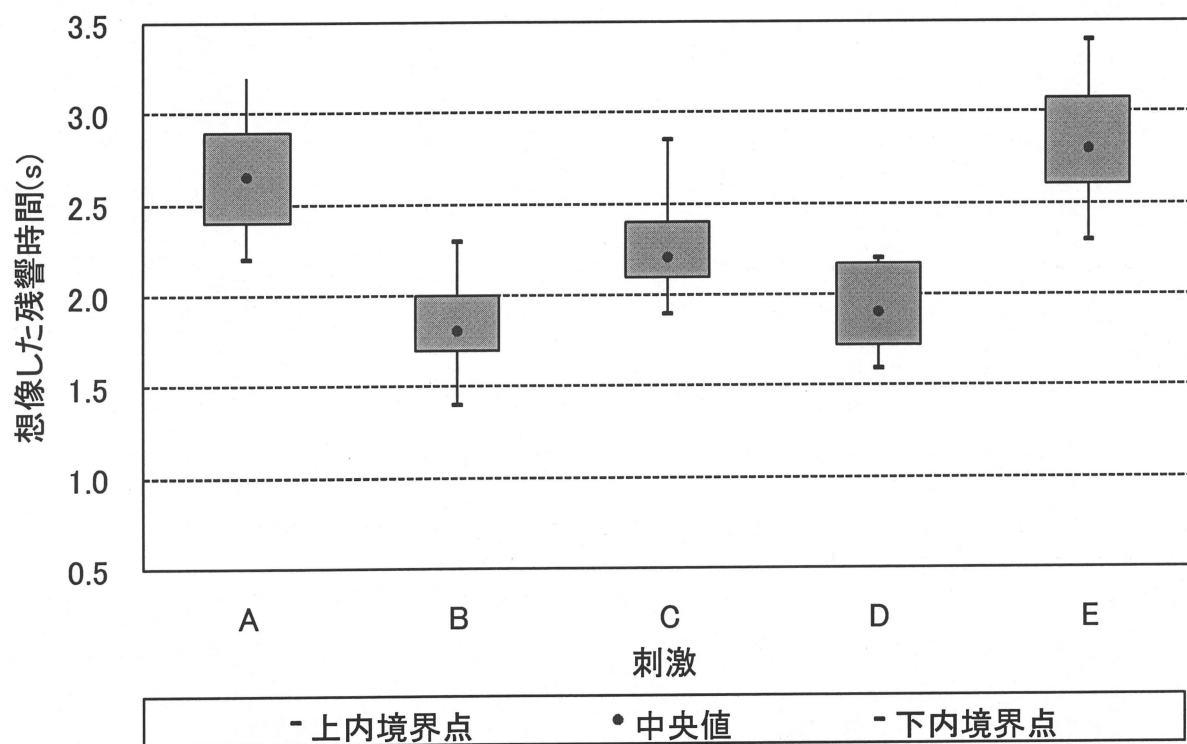


図 5-2-4-8 指揮経験のある被験者における各刺激の残響時間想像値の分布

図 5-2-4-6～図 5-2-4-8 は刺激ごとの各残響時間想像値の分布を示している。図 5-2-4-7、図 5-2-4-8 を見ると指揮経験の有無により同じ刺激から想像した客席部残響時間の分布に違いが生じていることが分かる。明らかに指揮経験のある被験者の方が指揮経験のない被験者に比べて客席部での残響時間を長く想像していることが分かる。各図において□で囲まれた範囲は標準偏差を示しているが、指揮経験の有無による違いは見られない。

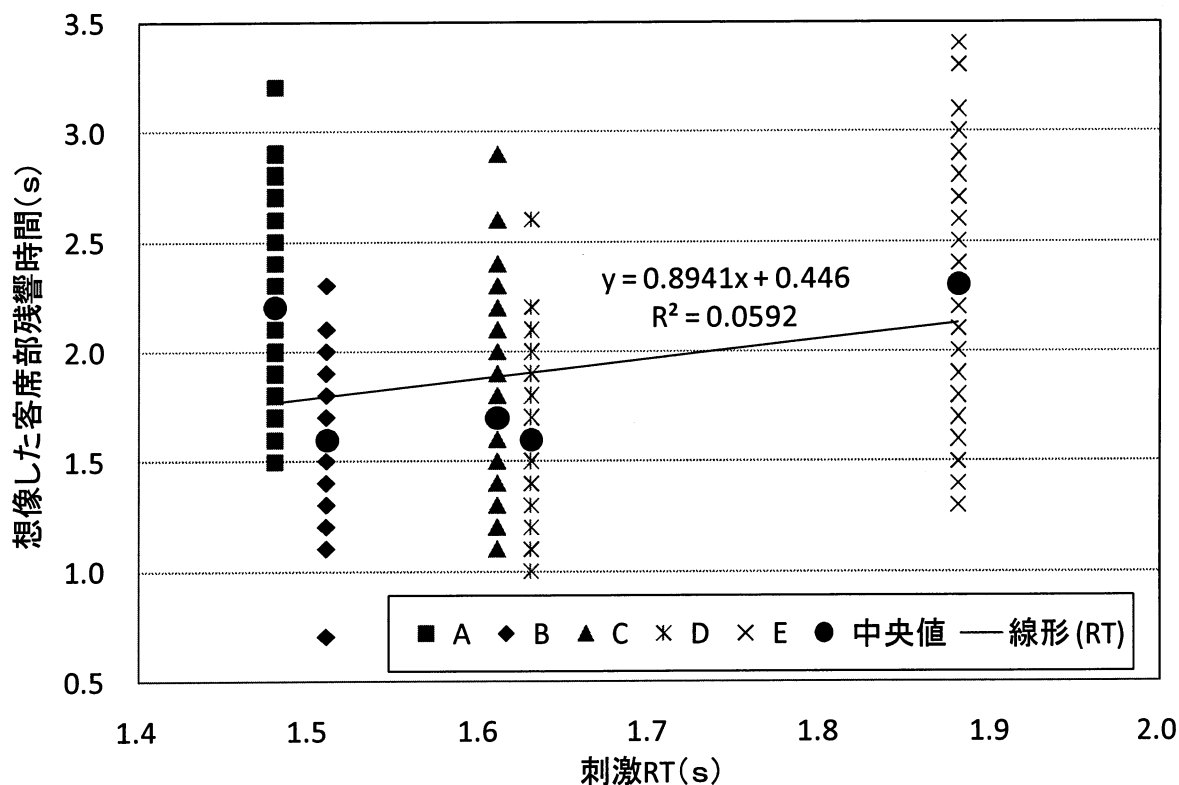
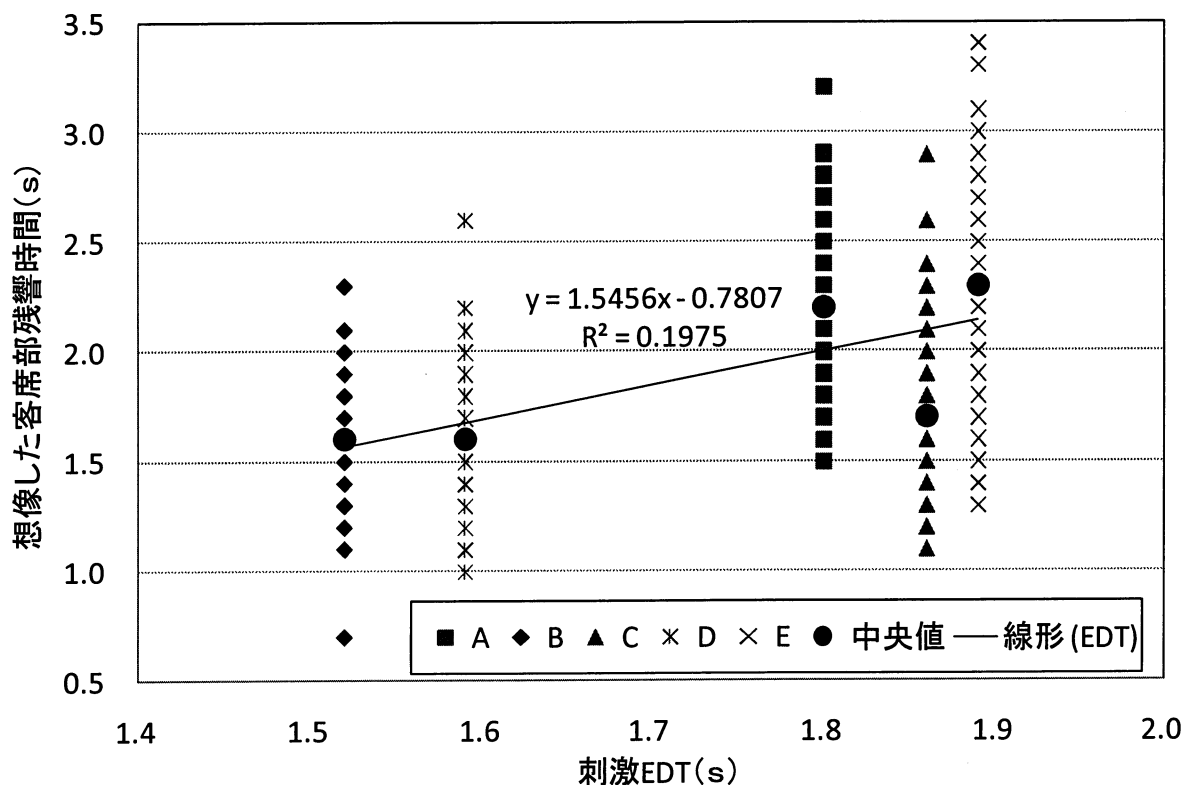


図 5-2-4-9 各刺激 RT (s)－想像値 (s)

図 5-2-4-9 は全被験者における各刺激の残響時間と同定された客席部での残響時間の対応を示している。図 5-2-4-9 において残響時間同定値は刺激残響時間に対して長い場合もあれば短い場合もあり一貫性が見られなく、図中の回帰直線の決定係数は大きくない。特に刺激 A から想像した客席部における残響時間は刺激の残響時間の長さとは比べてかなり長い値に分布している。刺激の残響時間が長くなるほど同定値も長くなると予想されるが、刺激 A と B のように同程度のステージ上の残響時間であっても想像する客席部での残響時間の長さは異なっている。過去の主観評価の実験結果から指揮者がステージ上において客席部での残響時間の長さを想像する際にはステージ上の残響時間の長さが大きく影響し、ほぼそれだけで決定されると考えていたがステージ上の音響条件の中で残響時間以外の音響パラメーターの影響も考えられる結果となった。特に刺激 A の音響パラメーターの残響時間の値は 1.48 秒と短いですが、EDT の値は 1.80 秒と長い値をとっているため、この EDT の値が客席部残響時間の想像値に影響して刺激 A から想像した客席部残響時間を長く想像しているのではないかと考えられる。





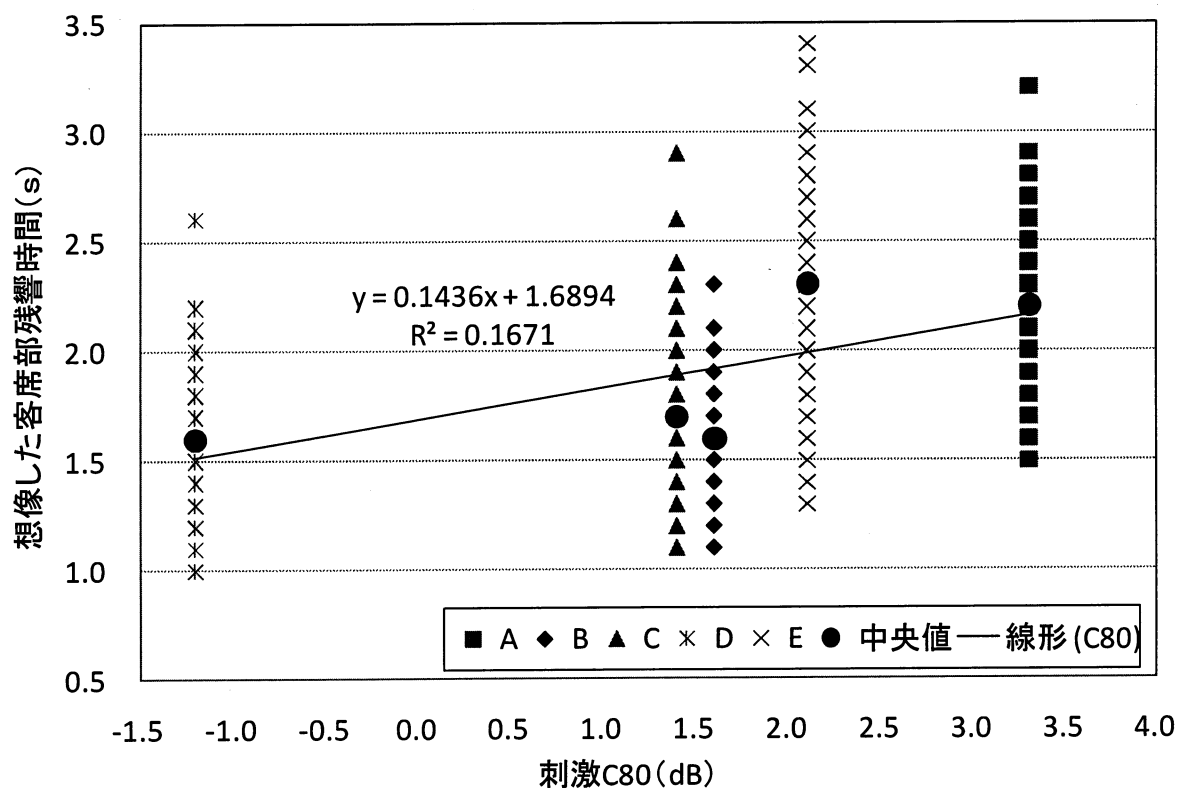


図 5-2-4-11 各刺激 C80 (dB) — 想像値 (s)

図 5-2-4-11 は全被験者における各刺激の C80 と同定された客席部での残響時間の対応を示している。図 5-2-4-9 において指揮者がステージ上において客席部での残響時間の長さを想像する際にステージ上の音響条件の中で残響時間以外の音響パラメーターの影響も考えられる結果となったため、想像した客席部残響時間と刺激 C80 との対応もみたところ、図 5-2-4-11 において残響時間の想像値は C80 の値によって変動していると思われる結果となった。図中の回帰直線の決定係数は大きくないものの図 5-2-4-9 に比べ右上がりの傾向を示している。ステージ音響条件の C80 の値も被験者が行う想像行為に対しても影響がみられた。

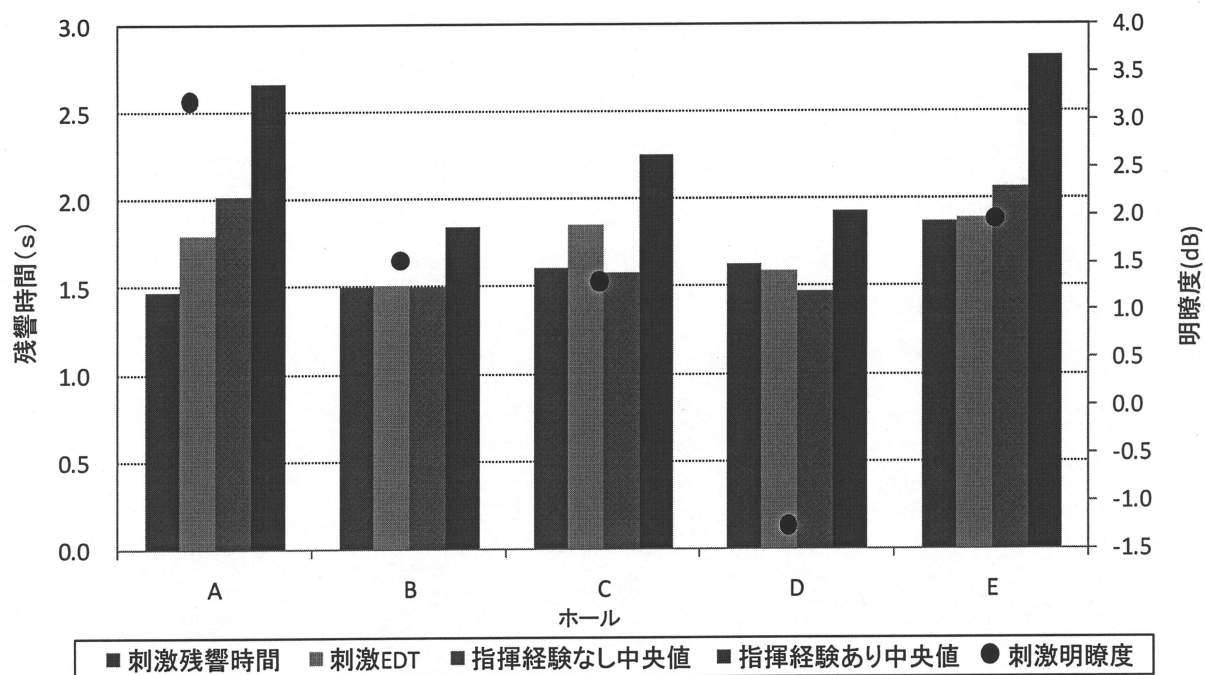


図 5-2-4-12 各刺激音響パラメーターおよび想像値の中央値

図 5-2-4-12 は各刺激の音響パラメーターと想像値の中央値を示している。この図をみても想像値が刺激残響時間にのみ影響されているわけではないことが分かる。また指揮経験のある被験者の想像値が全ての刺激において刺激残響時間より長くなっており、指揮経験のない被験者とは異なる客席部での残響時間を想像していることが分かる。

図 5-2-4-9～図 5-2-4-12 に示す実験結果からステージ上の音響条件から客席部における残響時間を想像する際に、ステージ音響条件の残響時間の影響はみられず、EDT や C80 の値の影響がみられた。しかしこの結果からステージ残響時間の影響が無いとはいえない。図 5-2-4-9 において刺激 A を除けば刺激残響時間が長くなると、想像値も長くなっているからである。刺激 A のように残響時間が短くても EDT の値が大きく、初期の響きが長く保たれるようなステージでは客席部での残響時間を長く想像するのかもしれない。客席部における残響時間を想像する際、ステージ残響時間の影響が大きく影響することが予想されたがステージ残響時間だけでなく EDT や C80 の値も影響している可能性があることが分かった。

表 5-2-4-6 音場刺激のホール客席部における音響的特徴

刺激	RT[s]	EDT[s]	C80[dB]
A	1.74	1.64	0.1
B	1.43	1.53	1.7
C	1.85	1.96	-2.6
D	1.71	1.62	-1.4
E	2.08	1.77	1.2

表 5-2-4-6 にステージ音場刺激 A～E の実際のホール客席部における音響的特徴を示す。ステージ音響条件では刺激 A から E にかけて残響時間は長くなるが、実際の客席部においては B、D、C、A、E の順で残響時間が長くなっている。刺激 B と比べて刺激 A の残響時間が短いものにもよらず被験者は客席部での残響時間を刺激 B より長く予想していたが実際のホール A においても客席部残響時間はホール B より長くなっている。表 5-2-4-7 は各刺激のステージ上および客席部における残響時間と全被験者と指揮経験の有無とで分けたときの想像値の中央値を示している。

表 5-2-4-7 ホール残響時間および全被験者の想像値における中央値

刺激	ステージ(s)	客席部(s)	全被験者(s)	指揮経験なし(s)	指揮経験あり(s)
A	1.48	1.74	2.2	2.0	2.7
B	1.51	1.43	1.6	1.5	1.9
C	1.61	1.86	1.7	1.6	2.3
D	1.63	1.71	1.6	1.5	1.9
E	1.88	2.10	2.3	2.1	2.8

表 5-2-4-8 実際のホール客席部と想像値の差

刺激	客席部 RT(s)	全体(s)	指揮経験なし(s)	指揮経験あり(s)
A	1.74	0.41	0.29	0.93
B	1.43	0.17	0.07	0.42
C	1.85	-0.15	-0.27	0.40
D	1.71	-0.16	-0.24	0.22
E	2.08	0.22	-0.01	0.75
平均		0.10	-0.03	0.54

表 5-2-4-8 は実際のホール客席部における残響時間と被験者が想像した客席部残響時間の中央値との差を示している。被験者全体でみると実際の客席部における残響時間との差は平均して+0.10 秒となり、実際の残響時間にかなり近い値を想像しているが、指揮経験ありの被験者に限定すると+0.54 秒も実際ホール客席部より長い残響時間を想像していることになる。これらのことから、ホールの客席部音場を想像する行為は指揮経験の有無にかかわらず行うことができると思われるが、その想像値においては経験者と非経験者の間に大きな差がみられる可能性を示した。

表 5-2-4-9 実験後のヒアリング結果

	客席部残響時間		
	ステージより長い	ステージと同じ	ステージより短い
回答者数	4 名	2 名	1 名

表 5-2-4-9 に実験後に行ったヒアリングによる残響時間の印象評価の結果を示す。実験後に行ったヒアリングによる残響時間の印象評価の結果では指揮経験・音楽経験とももない 2 名の被験者は客席部での残響時間はステージ上の残響時間と変わらないと回答した。また指揮経験はないが音楽経験のある被験者は客席部とステージ上の残響時間は同じではないと回答した。一方指揮経験者は 2 名とも経験的な判断から一般的に客席部での残響時間はステージ上より長いと考えていたようである。さらに客席部での残響時間がステージより長いと考えた 4 名の被験者からは、音場刺激であるステージ上の響きの後期部分に対して意識を集中させて聴き、後期残響音が長いほど客席部での残響時間はより長いと想像したというコメントが得られた。

### 5.2.5 予備実験のまとめ

ホールのステージ音場の残響時間とそこから指揮者が想像する客席部音場における残響時間の関連性を定量的に明らかにするため、手を叩いた音に音響効果(ステージ上指揮者位置でのインパルス応答)を付加したものを被験者に対して音場刺激として与え、そこから想像される客席部音場の残響時間を同定する予備実験を行った。指揮経験のある被験者だけではなく指揮経験のない被験者に対しても同様の実験を行い、指揮経験者と非指揮経験者の違いも明らかにすることを目的とした。

結果として、今回の実験により刺激から想像される客席部での残響時間を定量的に明らかにすることが出来た。そのことにより主観評価による結果ではステージ残響時間が大きく影響すると予想されていたが、ステージ上の EDT や C80 も想像する客席部残響時間に影響する可能性があることが明らかになった。つまりステージ上と想像する客席部における残響時間の関連性のみを調べて、それに対応するだけでは指揮者が想像しやすいステージ音響になるというわけではないということである。ステージ上の残響時間、EDT、C80 がそれぞれ想像する客席部残響時間に影響していると想定して調べていく必要がある。

また指揮経験者と非指揮経験を被験者として実験を行ったが、やはり指揮経験の有無により想像した客席部音場に違いがあることが明らかになった。普段そんな経験のない指揮経験のない被験者は客席部での聞こえ方など検討も付かずバラバラな想像値になることが予想され、やはり実験中は指揮経験者に比べ指揮経験のない被験者は困惑している様子であった。しかし実験結果を分析してみると今回の実験結果からは指揮経験の有無によらず客席部音場の想像が出来ることが分かった。しかし指揮経験のある被験者は指揮経験のない被験者に比べて客席部での残響時間を長く想像することが分かった。これは指揮経験のない被験者は客席部での音場を想像することが出来ないため、まず同定値を刺激残響時間と同程度に体感する設定値にした後で少し長く、もしくは短くした可能性が挙げられる。そのため指揮経験のない被験者の想像値の中央値をみると刺激音場の残響時間や EDT に近い値をとっているのではないだろうか。

想像した客席部残響時間を同定した予備実験であるが、実験方法を確立するには改善した方が良くと考えられる点がいくつか見られた。一つは音質の問題である。ステージ音場の音響効果を付加される音と、想像した客席部残響時間を同定するために DSP によって指数関数的減衰を付加された音は違う回路を通して被験者に提示されるため音の高さが違って聞こえるため多くの被験者が困惑しているようであった。もう一つは DSP によって変化させることが出来る残響時間は 0.1 秒刻みであるため正確に被験者が想像した残響時間を同定することが出来なかった可能性が挙げられる。また被験者の音楽経験の有無によっても想像する客席部残響時間に変化がある可能性がみられた。5.3 本実験では音質の違いを解消するため手を叩いた音にステージ音場の音響効果を付加するソフトウェアと、想像した客席部残響時間を同定するために残響時間を変化させることができる音響効果を付加するソフトウェアを同じものにした。また本実験において残響時間を変化させるために使用するソフトウェアは設定値では 0.01 秒刻みで変化させることが出来るためより細かく残響時間を変化させることが出来る。本実験においては被験者の属性において音楽経験の有無にも着目する。

### 5.3.1 本実験

図 5-3-1-1 に実験システムの概要を示す。無響室内に設置されたマイクの入力は、パソコン上に構築した実時間畳み込み演算システム（Apple Mac Pro、Logic + Space Designer）を通り、ミキサー・アンプおよび切り替えスイッチを通りスピーカーから出力される。被験者が手を叩く等した音は、マイクで集音され、ホールステージ上の指揮者位置でのインパルス応答（音源はステージ中央に位置）に畳み込まれ、被験者前方のスピーカーから再生される。このようにして被験者に音場刺激としてのステージ上の音響状態を確認させ、客席部での音響状態を想像させる。次にスイッチを切り替えると、被験者がマイクに向かって手を叩く等した音はホール客席部におけるインパルス応答に畳み込まれ、客席部で聴く音として被験者前方のスピーカーから再生される。被験者は残響時間を手元にあるマウスのホイールを回すことによって変化させることができ、音場刺激から想像した客席部での残響時間と等価に感じる残響時間となるように調整を行わせ、最終的に調整された音の実時間畳み込み演算システムにおける設定値を実験者が記録しておく。実験終了後に実験者が各被験者によって最終的に調整された全ての音を再現し、音響分析ソフトで計算する。音響分析ソフトで計算された音響パラメーターを被験者が想像した客席部における残響時間の同定値とみなした。

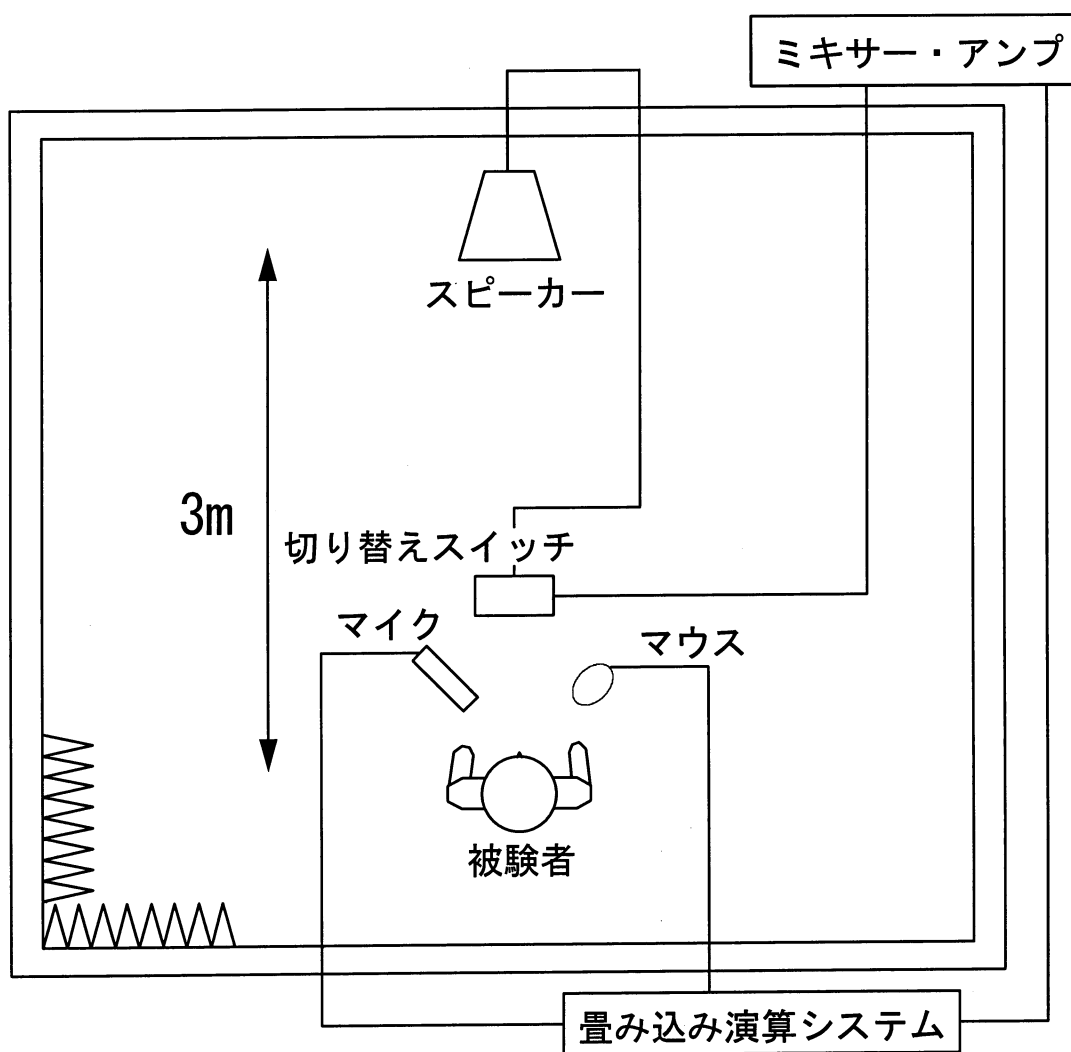


図 5-3-1-1 実験のシステム図

### 5.3.2 実験手順

実験は以下の手順で行われる。

1. 被験者にマイクに向かって手を叩かせ、前方にあるスピーカーからステージ上で手を叩いた時に聞こえる音を確認させ、その音から客席部音場を想像させる。
2. 目の前にある切り替えスイッチを押して「客席部」にさせる。
3. 被験者にマイクに向かって手を叩かせ、ステージ上で手を叩いた音が客席部で聞こえる音として前方にあるスピーカーから確認させながら、マウスのホイールを回して調整させて想像した客席部での残響時間の長さを再現させる。
4. 目の前にある切り替えスイッチを押して「ステージ」にさせる。
5. 1～4を繰り返しながら想像した客席部での残響時間の長さを再現させ、最終的な実時間畳み込み演算システム上の設定値を実験者が記録する。
6. 実験終了後に最終的に調整された音を再現し、音響分析ソフトで計算する。音響分析ソフトで計算された音響パラメーターを被験者が想像した客席部における残響時間の同定値とみなした。

※実験の際に、被験者には、刺激に対する評価を行うのではなく刺激によって想起された客席部音場に対して調整を行う旨を十分に教示した。

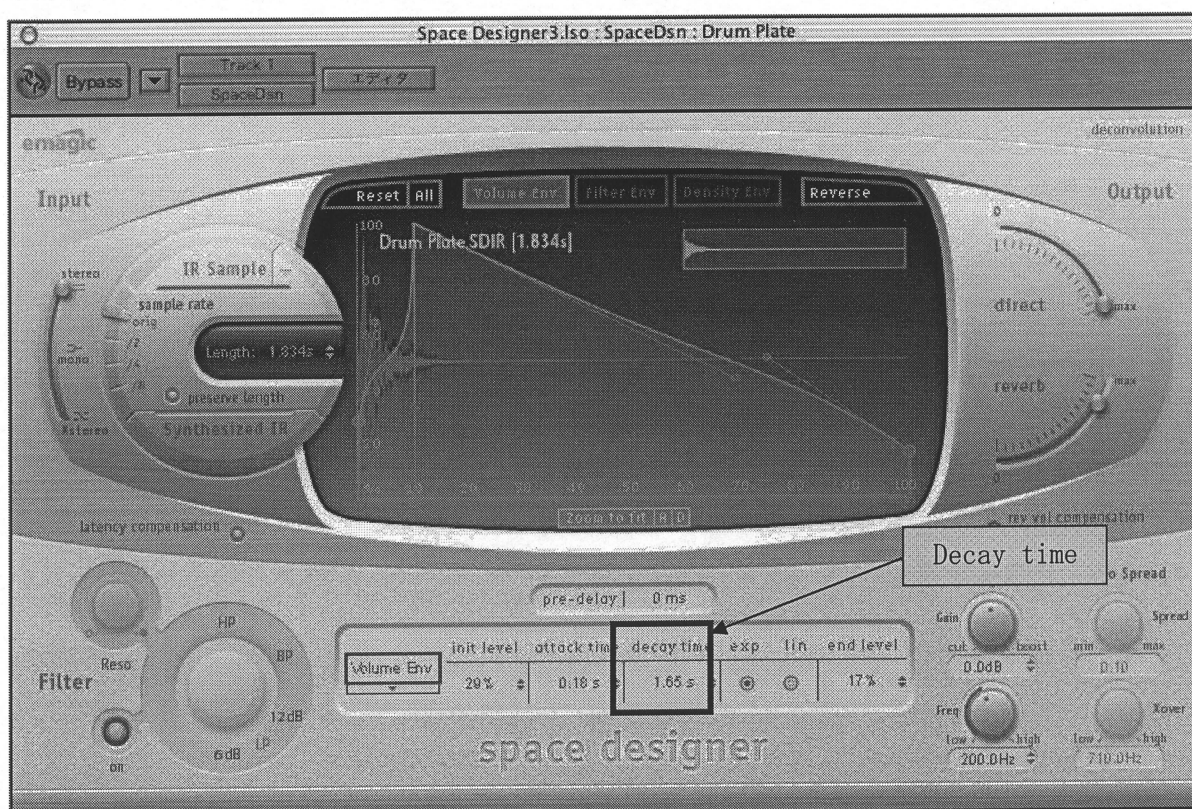


図 5-3-2-1 被験者が残響時間を調整する際に用いるソフトウェアの画面

図5-3-2-1は手順3において残響時間を調整する際に使用したソフトウェアの画面である。このソフトウェア上において被験者はマウスのホイールを動かすことでDecay timeの設定値を変化させることで手を叩いた音に畳み込まれるインパルス応答の波形を変化させることができ、残響時間の調整ができる。被験者にはこのソフトウェア画面は見ないで同定作業をする。



### 5.3.3 実験条件

提示される音場刺激は5つの実在ホールのステージ上の音源による同一ステージの指揮者位置におけるインパルス応答で表わされるA～Eの5種類である。表5-3-3-1に刺激音場の音響的特徴を示す。各被験者には5種類の刺激を各6回ずつ計30回ランダムな順番に提示してそれぞれの試行において残響時間の同定作業を行わせた。調整はソフトウェア上におけるDecay timeの設定値を変化させることで残響時間を変化させることが出来る。また、調整が行われるDecay timeの初期値は、ステージ上の残響時間と同じ、±0.5秒の3つの値を設定し、初期値の影響も実験要因に含めている。なお本実験では両耳効果は測定対象としていないため音場刺激は単一スピーカーのモノラルで提示される。被験者は11名であり、指揮経験のある大学生3名の他、指揮経験のない大学生8名（音楽経験のない大学生4名、音楽経験のある被験者4名）が含まれている。これは予備実験において、指揮経験の有無だけでなく、音楽経験の有無によって想像する客席部残響時間に変化がある可能性を示す結果が得られたためである。被験者1～11とし、指揮経験のない被験者のうち、音楽経験のない被験者を被験者1～4、音楽経験のある被験者を被験者5～8、指揮経験のある被験者を被験者9～11とする。表5-3-3-2および表5-3-3-3に被験者の属性および指揮経験のある被験者の経験年数を示す。

表 5-3-3-1 音場刺激の音響的特徴

音場刺激	RT[s]	EDT[s]	C80[dB]
A	1.48	1.80	3.3
B	1.51	1.52	1.6
C	1.61	1.86	1.4
D	1.63	1.59	-1.2
E	1.88	1.89	2.1

表 5-3-3-2 被験者の属性

	音楽経験のある被験者数	音楽経験のない被験者数
指揮経験のある被験者数	3名	0名
指揮経験のない被験者数	4名	4名

表 5-3-3-3 指揮経験のある被験者の経験年数

	指揮経験年数および音楽経験年数
指揮経験のある被験者 9	指揮者 10 年・演奏者 20 年
指揮経験のある被験者 10	指揮者 4 年・演奏者 11 年
指揮経験のある被験者 11	指揮者 4 年・演奏者 18 年

### 5.3.4 実験結果

表 5-3-4-1～5-4-3-3 は各被験者が想像した客席部残響時間を同定した音の畳み込み演算システム上の設定値と、音響分析ソフトで計算された残響時間の対応を示している。被験者がマウスのホイールで調整できる設定値は Decay time であるが、被験者によって納得いかない、または想像している音がうまく作れないという際には実験者が Attack time の値を変化させたため Attack time の設定値は 0.10 (s)、0.16 (s)、0.43 (s) がある。表 5-3-4-1～5-4-3-3 の対応表はそれぞれ Attack time の設定値 0.10 (s)、0.16 (s)、0.43 (s) ごとに分けて示している。Attack time の設定値を短く変化させることで音が減衰し始める時間を早くすることができ、被験者がもっと短くしたいが Decay time が限界まで短くなっている場合に実験者が変化させた。

表 5-3-4-1 畳み込み演算システム上の設定値と残響時間の対応表 (Attack Time 0.10)

Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)
0.63	1.191	1.18	1.982	1.49	2.241	1.93	2.380
0.64	1.199	1.19	1.991	1.50	2.246	1.96	2.392
0.69	1.287	1.20	1.993	1.52	2.254	2.00	2.400
0.78	1.457	1.21	2.006	1.53	2.261	2.02	2.412
0.82	1.522	1.22	2.016	1.57	2.274	2.07	2.419
0.89	1.617	1.23	2.031	1.59	2.284	2.15	2.425
0.92	1.654	1.25	2.052	1.62	2.299	2.19	2.434
0.93	1.668	1.26	2.056	1.63	2.305	2.27	2.446
0.98	1.737	1.27	2.070	1.66	2.316	2.30	2.452
1.01	1.776	1.30	2.097	1.67	2.321	2.32	2.453
1.06	1.837	1.31	2.110	1.70	2.330	2.33	2.455
1.07	1.851	1.32	2.126	1.71	2.333	2.43	2.464
1.08	1.866	1.33	2.136	1.77	2.350	2.51	2.469
1.10	1.883	1.35	2.144	1.79	2.357	2.53	2.470
1.11	1.897	1.38	2.163	1.86	2.375	2.59	2.473
1.13	1.916	1.41	2.192	1.88	2.377	3.02	2.499
1.14	1.927	1.42	2.198	1.90	2.379		
1.16	1.954	1.44	2.211	1.91	2.379		

表 5-3-4-2 畳み込み演算システム上の設定値と残響時間の対応表 (Attack Time 0.16)

Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)
0.90	1.711	1.09	1.724	1.26	1.882
1.08	1.717	1.23	1.847	1.27	1.882

表 5-3-4-3 畳み込み演算システム上の設定値と残響時間の対応表 (Attack Time 0.43)

Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)	Decay Time(s)	残響時間 (s)
0.29	1.109	0.96	2.064	1.37	2.311	1.89	2.638
0.32	1.169	0.97	2.076	1.40	2.324	1.90	2.643
0.45	1.363	0.99	2.089	1.41	2.327	1.91	2.645
0.50	1.455	1.00	2.092	1.42	2.328	1.93	2.668
0.54	1.504	1.01	2.106	1.43	2.334	1.95	2.673
0.56	1.535	1.02	2.116	1.44	2.338	1.96	2.678
0.58	1.564	1.03	2.119	1.45	2.340	1.97	2.683
0.62	1.616	1.04	2.124	1.46	2.347	1.99	2.688
0.63	1.628	1.06	2.133	1.47	2.353	2.00	2.680
0.65	1.664	1.07	2.141	1.48	2.409	2.01	2.685
0.67	1.709	1.09	2.159	1.50	2.417	2.02	2.690
0.68	1.710	1.10	2.161	1.52	2.432	2.03	2.691
0.69	1.717	1.11	2.170	1.53	2.426	2.05	2.698
0.70	1.740	1.12	2.174	1.54	2.454	2.08	2.723
0.71	1.760	1.14	2.185	1.57	2.484	2.11	2.734
0.72	1.776	1.15	2.191	1.60	2.499	2.12	2.726
0.74	1.795	1.16	2.202	1.61	2.493	2.17	2.754
0.75	1.814	1.17	2.212	1.62	2.500	2.18	2.759
0.77	1.847	1.18	2.214	1.65	2.527	2.21	2.767
0.78	1.866	1.20	2.226	1.66	2.534	2.22	2.772
0.79	1.881	1.21	2.236	1.67	2.541	2.30	2.785
0.80	1.889	1.23	2.243	1.68	2.546	2.31	2.802
0.81	1.894	1.24	2.250	1.69	2.550	2.32	2.806
0.82	1.917	1.25	2.259	1.70	2.544	2.40	2.830
0.83	1.935	1.26	2.262	1.73	2.557	2.41	2.833
0.84	1.942	1.27	2.268	1.74	2.561	2.45	2.831
0.85	1.960	1.28	2.270	1.76	2.588	2.46	2.835
0.88	1.986	1.29	2.272	1.80	2.607	2.48	2.857
0.90	2.006	1.30	2.277	1.81	2.607	2.51	2.865
0.91	2.015	1.31	2.281	1.82	2.609	2.54	2.873
0.92	2.028	1.32	2.286	1.83	2.627	2.60	2.878
0.93	2.033	1.33	2.288	1.85	2.636	2.64	2.904
0.94	2.049	1.35	2.299	1.86	2.641		
0.95	2.063	1.36	2.304	1.88	2.646		

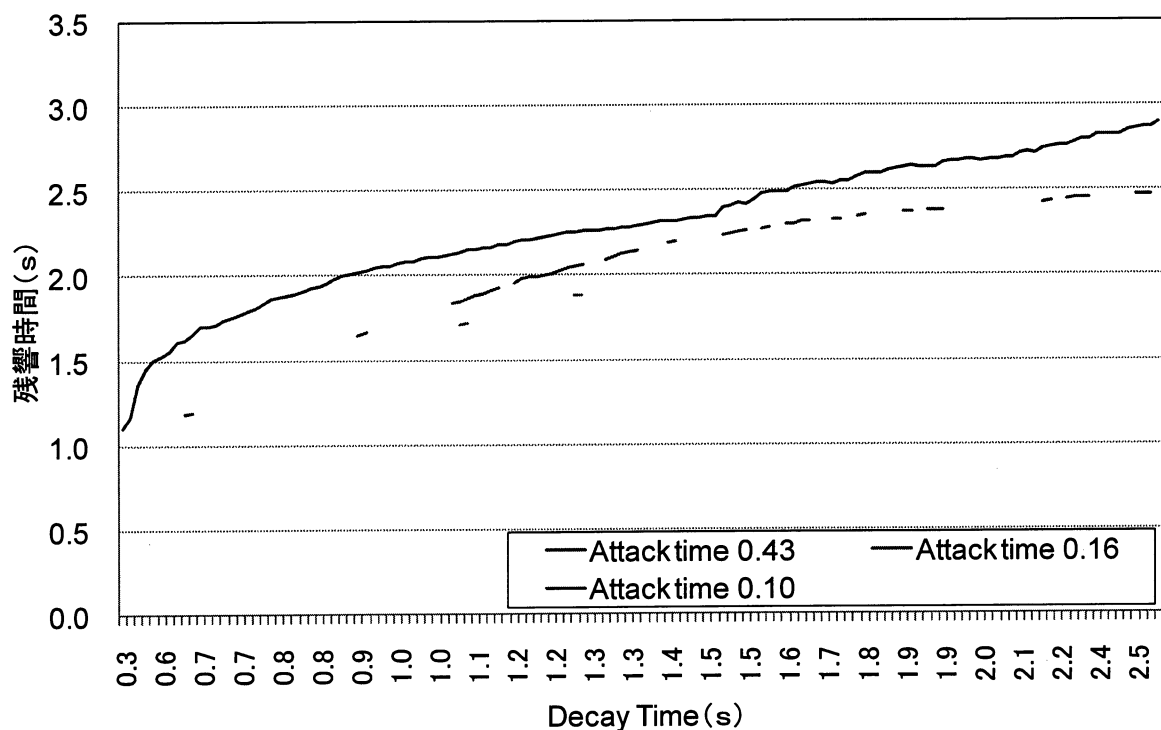


図 5-3-4-1 畳みこみ演算システム上の設定値と残響時間の対応

図5-3-4-1は表5-3-4-1～5-4-3-3に示す各被験者が想像した客席部残響時間を同定した音の畳み込み演算システム上の設定値と、音響分析ソフトで計算された残響時間の対応を図で示している。被験者がマウスのホイールで調整できる設定値は Decay time であるが、被験者が Decay time の設定値を長くすると音響分析ソフトで計算される残響時間の値も長くなっている。また Attack time の値を変化させると同じ程度の Decay time においても残響時間は違っている。

本実験の実験結果は表5-3-4-1～5-4-3-3および図5-3-4-1に示す各被験者が想像した客席部残響時間を同定した音の畳み込み演算システム上の設定値と、音響分析ソフトで計算された残響時間の対応をもとに各被験者が想像した客席部残響時間を求め、分析を行った。

全被験者が各ステージ音場刺激から想像した客席部残響時間の同定値および同定値の平均値、中央値、標準偏差を音楽経験および指揮経験の有無により表 5-3-4-4～表 5-3-4-9 に分けて示す。全被験者における各刺激の同定値の平均値、中央値、標準偏差を表 5-3-4-10 に示す。

表 5-3-4-4 音楽経験のない被験者の想像した客席部残響時間同定値

	各ステージ音場刺激に対する同定値(s)				
	A	B	C	D	E
被験者 1	2.865	2.159	2.161	2.638	2.873
	2.328	1.723	2.191	2.191	2.643
	2.159	1.894	2.691	2.691	2.340
	2.541	2.243	2.116	2.116	2.835
	2.159	2.493	2.214	2.214	2.347
	2.680	1.986	2.546	2.546	2.680
被験者 2	2.802	1.709	1.795	2.685	2.904
	2.454	1.169	2.527	2.603	2.668
	2.092	1.709	2.767	2.015	2.561
	2.557	2.064	1.847	2.641	2.878
	2.185	2.550	2.288	1.535	2.250
	2.698	1.717	2.691	1.564	2.690
被験者 3	2.588	1.776	2.561	2.561	2.723
	2.484	2.170	2.754	2.561	2.698
	2.311	2.226	2.544	2.281	1.740
	2.499	2.106	2.116	2.588	2.806
	2.202	2.607	2.272	2.064	2.161
	2.534	2.106	2.636	2.202	2.668
被験者 4	2.006	1.814	1.363	2.092	1.664
	2.028	2.174	2.202	1.866	2.064
	2.124	2.092	2.212	1.740	1.628
	2.259	1.564	1.960	2.236	2.690
	1.960	2.185	2.185	1.776	2.006
	2.076	1.504	2.133	1.616	2.286

表 5-3-4-5 音楽経験のない被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.358	1.989	2.282	2.209	2.450
中央値	2.320	2.078	2.213	2.208	2.656
標準偏差	0.206	0.326	0.307	0.313	0.323



表 5-3-4-6 音楽経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	各ステージ音場刺激に対する同定値(s)				
	A	B	C	D	E
被験者 5	2.683	2.324	2.049	1.664	2.833
	2.417	2.185	2.185	2.006	2.772
	2.347	2.089	2.470	1.998	2.726
	2.645	2.064	1.917	2.328	2.830
	2.426	2.688	2.015	2.049	2.857
	2.680	2.327	2.680	2.033	2.772
被験者 6	2.304	1.191	1.457	2.379	2.412
	2.305	1.916	1.287	1.617	2.379
	2.274	1.199	1.866	1.837	2.016
	2.274	1.522	1.837	1.993	2.453
	2.144	2.097	1.851	1.668	2.299
	2.350	1.776	1.897	1.982	2.378
被験者 7	2.685	1.942	1.986	1.942	2.833
	2.417	1.986	2.033	2.119	2.688
	2.262	1.866	2.089	1.986	2.636
	2.417	2.064	2.161	2.214	2.685
	2.353	2.124	2.063	2.015	2.607
	2.759	1.986	2.033	1.847	2.680
被験者 8	2.646	1.871	1.737	2.052	2.425
	2.284	2.031	1.927	1.954	2.379
	2.330	2.006	2.192	1.883	2.246
	2.246	2.144	1.654	2.211	2.434
	2.400	2.144	1.871	2.031	2.357
	2.316	2.006	2.006	2.056	2.321

表 5-3-4-7 音楽経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.415	1.981	1.969	1.994	2.542
中央値	2.352	2.019	1.996	2.002	2.530
標準偏差	0.141	0.200	0.202	0.182	0.089

表 5-3-4-8 音楽経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	各ステージ音場刺激に対する同定値(s)				
	A	B	C	D	E
被験者 9	2.638	2.124	1.881	2.185	2.831
	2.627	2.607	2.353	2.092	2.678
	2.277	2.015	2.288	1.664	2.607
	2.636	2.417	2.432	2.212	2.785
	2.409	2.281	2.338	2.161	2.636
	2.500	2.226	2.588	1.710	2.734
被験者 10	2.286	1.109	1.881	1.711	2.668
	2.270	2.202	2.174	1.717	2.493
	2.159	1.455	1.814	1.724	2.673
	2.334	2.299	1.760	1.882	2.759
	2.124	1.894	2.268	1.847	2.299
	2.288	1.935	1.847	2.056	2.609
被験者 11	2.381	2.254	2.130	1.991	2.470
	2.446	2.241	2.198	2.070	2.446
	2.469	1.737	2.333	2.097	2.455
	2.375	2.392	2.261	2.126	2.499
	2.434	2.350	2.464	2.110	2.473
	2.452	2.110	2.420	2.163	2.452

表 5-3-4-9 指揮経験のある被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.395	2.092	2.191	1.973	2.587
中央値	2.395	2.214	2.265	2.063	2.608
標準偏差	0.090	0.301	0.192	0.148	0.090

表 5-3-4-10 全被験者の想像した客席部残響時間同定値

	ステージ音場刺激				
	A	B	C	D	E
平均	2.389	2.014	2.143	2.067	2.521
中央値	2.364	2.077	2.161	2.054	2.608
標準偏差	0.151	0.274	0.237	0.220	0.175



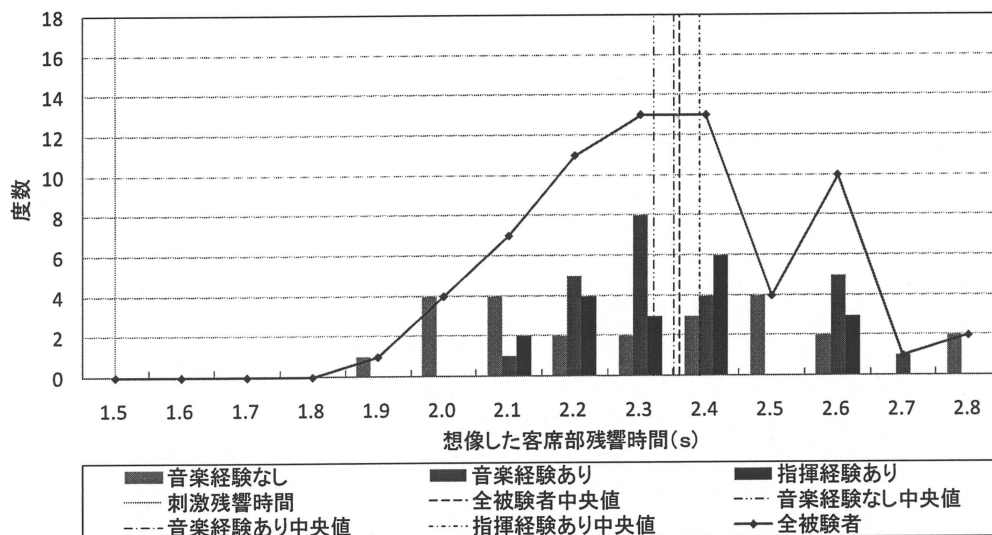


図 5-3-4-2 刺激 A から想像した客席部残響時間

図 5-3-4-2 はステージ音場刺激 A から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしている。ステージ音場刺激 A の残響時間は 1.477 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.364 秒であり、刺激の残響時間より 0.887 秒、音楽経験のない被験者の中央値は 2.320 秒と 0.843 秒、音楽経験のある被験者の中央値は 2.352 秒と 0.875 秒、指揮経験のある被験者の中央値は 2.395 秒と 0.918 秒長い値となっている。中央値は近い値をとっているが、音楽経験のない被験者の分布は他の被験者の分布と比べてばらついている。

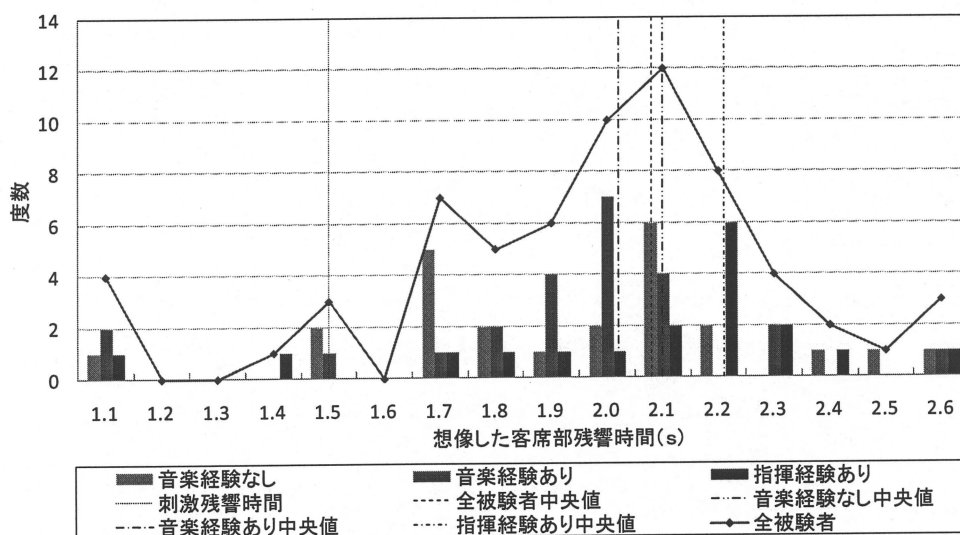


図 5-3-4-3 刺激 B から想像した客席部残響時間

図 5-3-4-3 はステージ音場刺激 B から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布で表わしている。ステージ音場刺激 B の残響時間は 1.509 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.077 秒と刺激の残響時間より 0.568 秒、音楽経験のない被験者の中央値は 2.078 秒と 0.569 秒、音楽経験のある被験者の中央値は 2.019 秒と 0.510 秒、指揮経験のある被験者の中央値は 2.214 秒と 0.705 秒長い値となっている。しかし分布をみると、刺激残響時間より短く同定しているものも見られる。

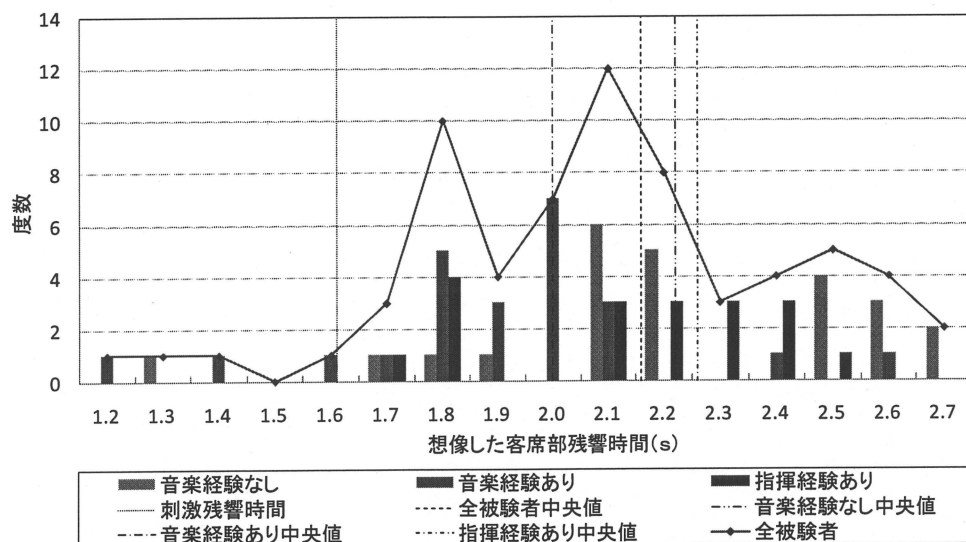


図 5-3-4-4 刺激 C から想像した客席部残響時間

図 5-3-4-4 はステージ音場刺激 C から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしている。刺激 C の残響時間は 1.614 秒で、被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.161 秒であり刺激の残響時間より 0.547 秒、音楽経験のない被験者の中央値は 2.213 秒と 0.599 秒、音楽経験のある被験者の中央値は 1.996 秒と 0.382 秒、指揮経験のある被験者の中央値は 2.265 秒と 0.651 秒長い値となっている。分布をみると刺激残響時間より短く同定しているものも見られる。音楽経験のない被験者は他の被験者の分布よりばらついている。

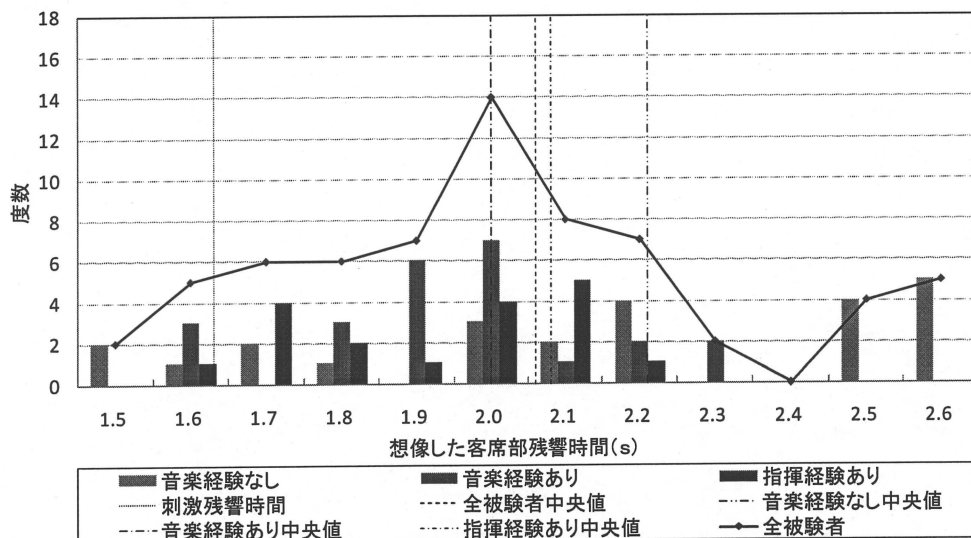


図 5-3-4-5 刺激 D から想像した客席部残響時間

図 5-3-4-5 はステージ音場刺激 D から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしたものである。ステージ音場刺激 B の残響時間は 1.628 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.054 秒であり刺激の残響時間より 0.426 秒、音楽経験のない被験者の中央値は 2.208 秒と 0.580 秒、音楽経験のある被験者の中央値は 2.002 秒と 0.374 秒、指揮経験のある被験者の中央値は 2.063 秒と 0.435 秒長い値となっている。分布をみると刺激残響時間より短く同定しているものも見られる。音楽経験のない被験者は他の被験者の分布よりばらついている。

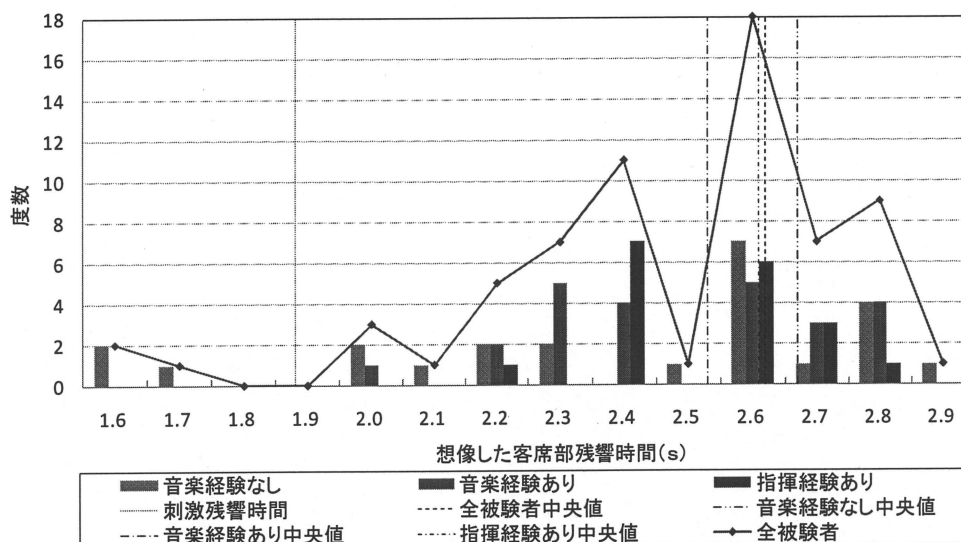


図 5-3-4-6 刺激 E から想像した客席部残響時間

図 5-3-4-6 はステージ音場刺激 E から得られた客席部残響時間の同定値を度数分布として表わしている。ステージ音場刺激 E の残響時間は 1.875 秒である。被験者全体の残響時間同定値の中央値は 2.608 秒であり刺激の残響時間より 0.781 秒、音楽経験のない被験者の中央値は 2.656 秒と 0.580 秒、音楽経験のある被験者の中央値は 2.530 秒と 0.655 秒、指揮経験のある被験者の中央値は 2.608 秒と 0.733 秒長い値となっている。分布をみると音楽経験のない被験者は刺激残響時間より短く同定しているものも見られ、他の被験者の分布よりばらついている。音楽経験者および指揮経験者は比較的まとまって分布している。

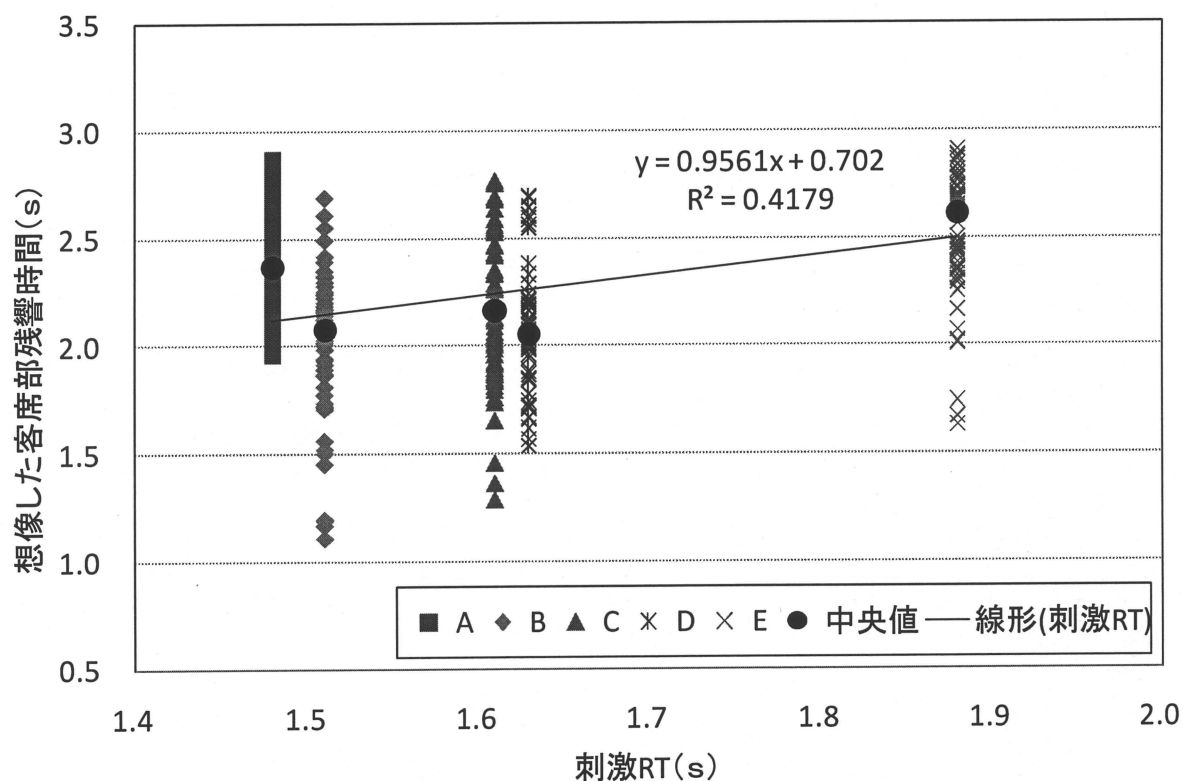


図 5-3-4-7 各刺激 RT(s)－想像値(s)

図 5-3-4-7 は全被験者における各刺激の残響時間と同定された客席部での残響時間の対応を示している。図 5-3-4-7 において刺激 A から想像した客席部における残響時間は刺激の残響時間の長さと比べてかなり長い値に分布している。刺激の残響時間が長くなるほど同定値も長くなると予想されるが、刺激 A と B のように同程度のステージ上の残響時間であっても想像する客席部での残響時間の長さは異なっている。過去の主観評価の実験結果から指揮者がステージ上において客席部での残響時間の長さを想像する際にはステージ上の残響時間の長さが大きく影響し、ほぼそれだけで決定され则认为していたがステージ上の音響条件の中で残響時間以外の音響パラメーターの影響も考えられる結果となった。特に刺激 A の音響パラメーターの残響時間の値は 1.48 秒と短い、EDT の値は 1.80 秒と長い値をとっているため、この EDT の値が客席部残響時間の想像値に影響して刺激 A から想像した客席部残響時間を長く想像しているのではないかと考えられる。

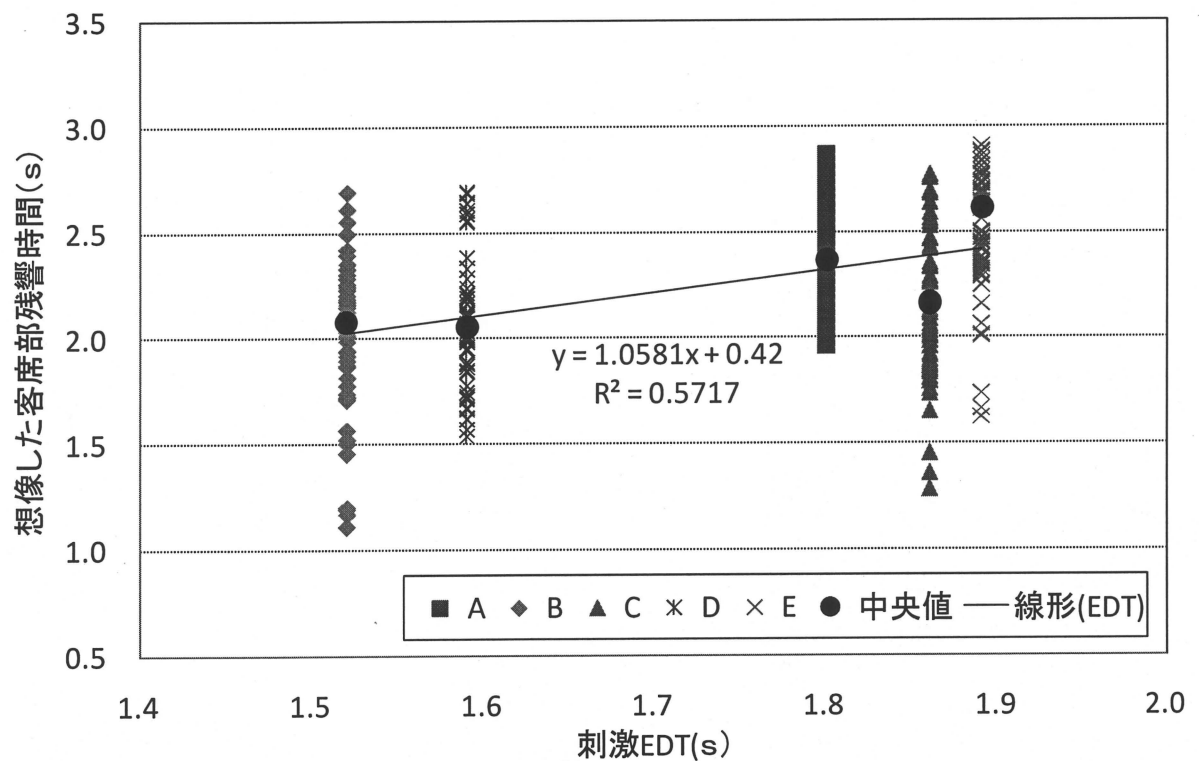


図 5-3-4-8 各刺激 EDT (s) - 想像値 (s)

図 5-3-4-8 は全被験者における各刺激の EDT と同定された客席部での残響時間の対応を示している。図 5-3-4-7 において指揮者がステージ上において客席部での残響時間の長さを想像する際にステージ上の音響条件の中で残響時間以外の音響パラメーターの影響も考えられる結果となったため、想像した客席部残響時間と刺激 EDT との対応もみたところ、図 5-3-4-8 において残響時間の想像値は EDT の値によって変動していると思われる結果となった。図中の回帰直線の決定係数は大きくないものの図 5-3-4-7 に比べ右上がりの傾向を示している。残響感に関連すると言われる EDT は被験者が行う想像行為に対しても影響がみられた。

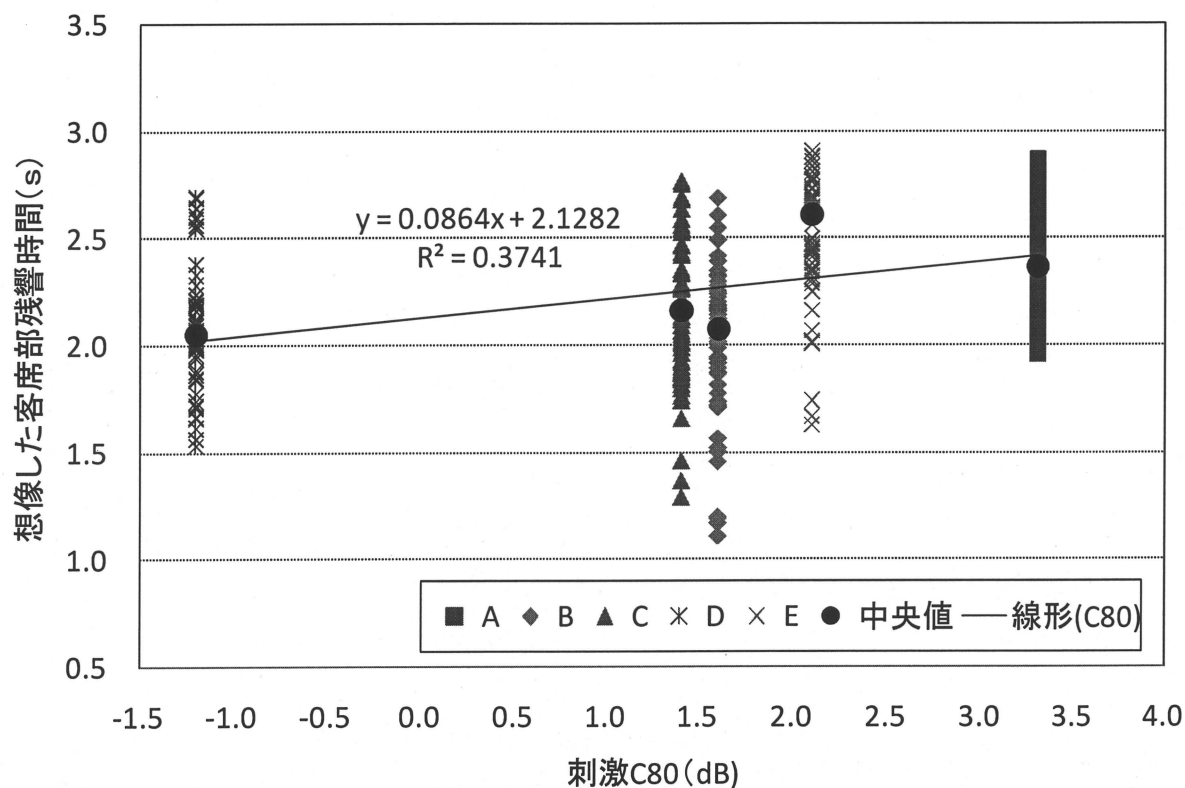


図 5-3-4-9 各刺激 C80 (dB) — 想像値 (s)

図 5-3-4-9 は全被験者における各刺激の C80 と同定された客席部での残響時間の対応を示している。図 5-3-4-7 において指揮者がステージ上において客席部での残響時間の長さを想像する際にステージ上の音響条件の中で残響時間以外の音響パラメーターの影響も考えられる結果となったため、想像した客席部残響時間と刺激 C80 との対応もみたところ、図 5-3-4-9 において残響時間の想像値は C80 の値によっても変動していると思われる結果となった。ステージ音響条件の C80 の値も被験者が行う想像行為に対しても影響がみられた。

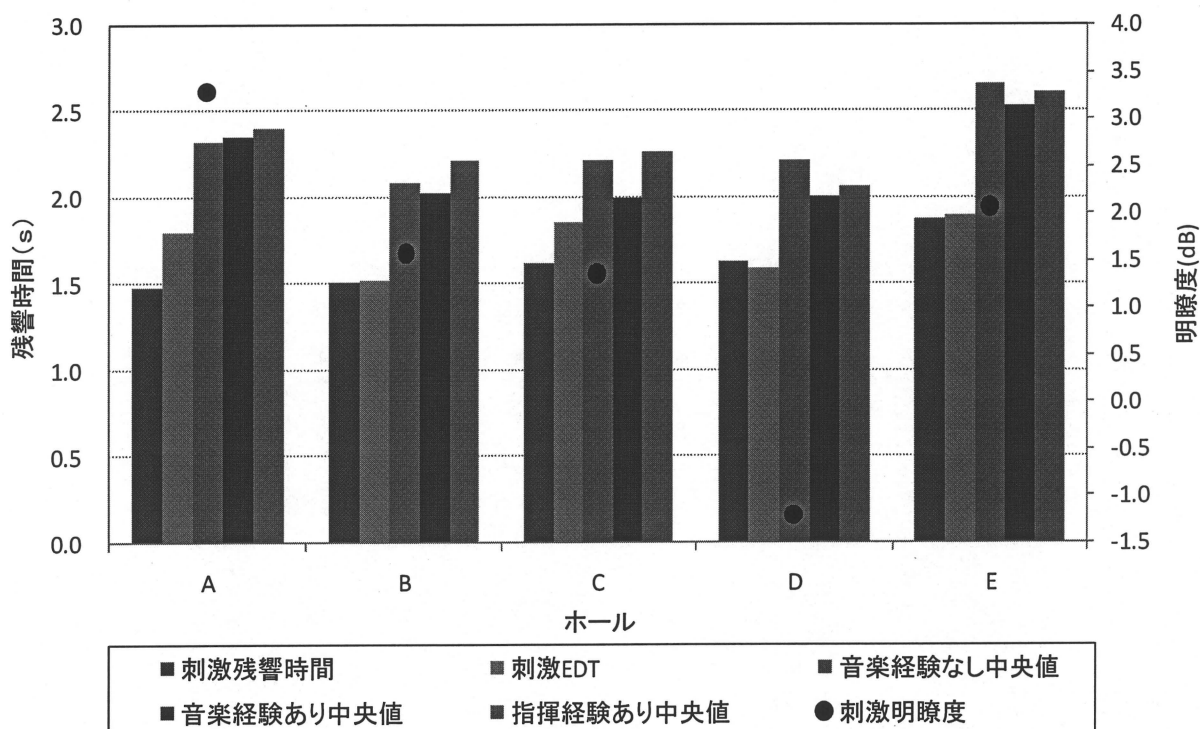


図 5-3-4-10 各刺激音響パラメーターおよび想像値の中央値

図 5-3-4-10 は各刺激の音響パラメーターと想像値の中央値を示している。この図をみても想像値が刺激残響時間にのみ影響されているわけではないことが分かる。また指揮経験のある被験者の想像値が多くの刺激において刺激残響時間より長くなっている。

図 5-3-4-7～図 5-2-4-10 に示す実験結果からステージ上の音響条件から客席部における残響時間を想像する際に、ステージ音響条件の残響時間の影響だけでなく、EDT や C80 の値の影響がみられた。しかしこの結果からステージ残響時間の影響が無いとはいえない。図 5-2-4-7 において刺激 A を除けば刺激残響時間が長くなると、想像値も長くなっているからである。刺激 A のように残響時間が短くても EDT の値が大きく、初期の響きが長く保たれるようなステージでは客席部での残響時間を長く想像するのかもしれない。客席部における残響時間を想像する際、ステージ残響時間の影響が大きく影響することが予想されたがステージ残響時間だけでなく EDT や C80 の値も影響している可能性があることが分かった。

表 5-3-4-11 音場刺激のホール客席部における音響的特徴

刺激	RT[s]	EDT[s]	C80[dB]
A	1.74	1.64	0.1
B	1.43	1.53	1.7
C	1.85	1.96	-2.6
D	1.71	1.62	-1.4
E	2.08	1.77	1.2

表 5-3-4-11 にステージ音場刺激 A～E の実際のホール客席部における音響的特徴を示す。ステージ音響条件では刺激 A から E にかけて残響時間は長くなるが、実際の客席部においては B、D、C、A、E の順で残響時間が長くなっている。刺激 B と比べて刺激 A の残響時間が短いにもかかわらず被験者は客席部での残響時間を刺激 B より長く予想していたが実際のホール A においても客席部残響時間はホール B より長くなっている。表 5-3-4-12 は各刺激のステージ上および客席部における残響時間と全被験者と指揮経験の有無とで分けたときの想像値の中央値を示している。被験者の属性の違いによって中央値に大きな変化は見られず、同程度の客席部残響時間を想像している結果となった。

表 5-3-4-12 ホール残響時間および想像値における中央値

刺激	ステージ(s)	客席部(s)	全体(s)	音楽経験無(s)	音楽経験有(s)	指揮経験有(s)
A	1.477	1.737	2.364	2.320	2.352	2.395
B	1.509	1.434	2.077	2.078	2.019	2.214
C	1.614	1.854	2.161	2.213	1.996	2.265
D	1.628	1.714	2.054	2.208	2.002	2.063
E	1.875	2.080	2.608	2.656	2.530	2.608

表 5-3-4-13 実際のホール客席部と想像値の差

刺激	客席部 RT(s)	全体(s)	音楽経験無(s)	音楽経験有(s)	指揮経験有(s)
A	1.737	0.627	0.583	0.615	0.658
B	1.434	0.643	0.644	0.585	0.780
C	1.854	0.307	0.359	0.142	0.411
D	1.714	0.340	0.494	0.288	0.349
E	2.080	0.528	0.576	0.450	0.528
平均		0.489	0.531	0.416	0.545

表 5-3-4-13 は実際のホール客席部における残響時間と被験者が想像した客席部残響時間の中央値との差を示している。被験者全体でみると実際の客席部における残響時間との差は平均して+0.489 秒となり、実際ホール客席部より長い残響時間を想像していることになる。音楽経験および指揮経験の有無による想像した客席残響時間の平均値には大きな違いが見られず+0.50 秒に近い値を取っている。これらのことから、ホールの客席部音場を想像する行為は音楽経験・指揮経験の有無に関わらず行うことができると思われる。



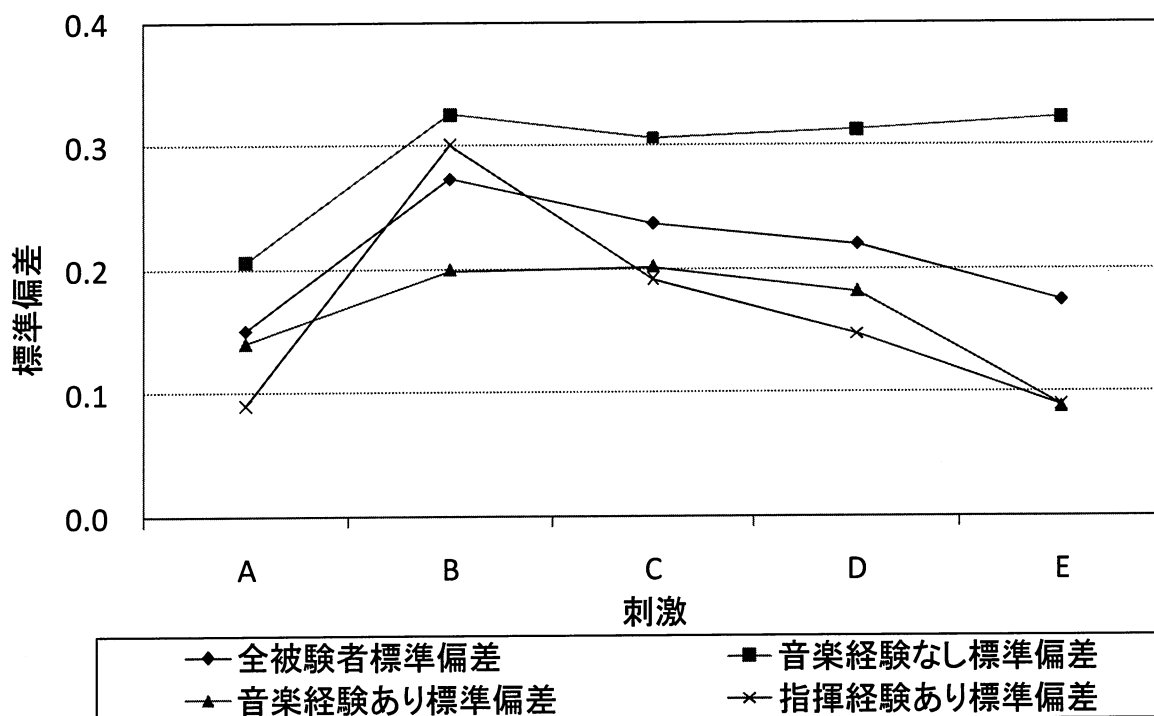


図 5-3-4-11 被験者の属性ごとの標準偏差の比較

図 5-3-4-11 は各刺激から被験者の同定した残響時間の標準偏差平均値を被験者の指揮経験の有無および音楽経験有無によって分けて示している。表 5-3-4-12 および表 5-3-4-13 において被験者の属性の違いによって想像した客席部残響時間の中央値に大きな変化は見られず、同程度の客席部残響時間を想像している結果となっているが、図 5-3-4-11 をみると指揮経験のある被験者や音楽経験のある被験者に比べて音楽経験のない被験者は想像した客席部残響時間にばらつきがみられる結果となっている。音楽経験のない人に比べて音楽経験のある人は確定的に客席部残響時間を想像し、表現できる結果となっている。

表 5-3-4-14 実験後のヒアリング結果

	客席部残響時間		
	ステージより長い	ステージと同じ	ステージより短い
回答者数	9 名	2 名	0 名

表 5-3-4-14 に実験後に行ったヒアリングによる残響時間の印象評価の結果を示す。実験後に行ったヒアリングによる残響時間の印象評価の結果では指揮経験・音楽経験ともいない 2 名の被験者は客席部での残響時間はステージ上の残響時間と変わらないと回答し、他 2 名はステージ上の残響時間より長いと回答した。また指揮経験はないが音楽経験のある被験者および指揮経験のある被験者は全員が客席部での残響時間はステージ上の残響時間より長いだろうと回答した。多くの被験者からは、音場刺激であるステージ上の響きの後期部分に対して意識を集中させて聴き、後期残響音が長いほど客席部での残響時間はより長いと想像したというコメントが得られた。

### 5.3.5 本実験のまとめ

ホールのステージ音場の残響時間とそこから指揮者が想像する客席部音場における残響時間の関連性を定量的に明らかにするため、手を叩いた音に音響効果(ステージ上指揮者位置でのインパルス応答)を付加したものを被験者に対して音場刺激として与え、そこから想像される客席部音場の残響時間を同定する予備実験を行った。指揮経験のある被験者だけではなく指揮経験がなく音楽経験がある被験者および指揮経験がなく音楽経験のない被験者に対しても同様の実験を行い、指揮経験の有無による違いおよび音楽経験の有無による違いも明らかにすることを目的とした。

結果として、本実験では刺激から想像される客席部での残響時間を予備実験より細かい数値で定量的に明らかにすることが出来た。予備実験同様にステージ上の残響時間だけでなくEDTやC80も想像する客席部残響時間に影響する可能性があることが明らかになった。やはりステージ上と想像する客席部における残響時間の関連性のみを調べて、それに対応するだけでは指揮者が想像しやすいステージ音響になるというわけではないのではないだろうか。

また指揮経験者と非指揮経験者および音楽経験者と非音楽経験者を被験者として実験を行った。実験結果を分析してみると予備実験においてみられた指揮経験の有無による想像した客席部残響時間の中央値にあまり違いが見られなかった。予備実験においては指揮経験のある被験者は指揮経験のない被験者に比べて客席部での残響時間を長く想像していたが、本実験においては想像した客席部残響時間の中央値は被験者の属性によらず同程度のイメージをしている。これは表5-3-4-14に示す実験後に被験者に対して行ったヒアリングの結果にあるように、指揮経験のない被験者の中で客席部における残響時間はステージより短い、ステージと同等だと考える被験者が相対的に減少しているためではないだろうか。しかし、標準偏差をみると音楽経験の有無による違いがみられた。音楽経験のある被験者に比べて音楽経験のない被験者は各刺激から想像する客席部残響時間のばらつきがみられた。今回の実験結果からも予備実験と同様に指揮経験・音楽経験の有無によらず客席部音場の想像が出来ることが分かったが、やはり指揮経験・音楽経験のある人の方が音楽経験のない人よりも確定的に客席部における残響時間を想像し、表現できるようである。

予備実験を改善した本実験であるが、実験方法を確立するには改善した方が良いと考えられる点がいくつか見られた。一つは音質の問題である。ステージ音場と残響時間を調整する音を同じソフトウェアを使用して音響効果を付加することで予備実験より音質の違いをかなり少なくすることが出来たが、畳みこみに使用するインパルス応答が違うため全く同じ音質にすることは出来なかった。もう一つはソフトウェアの問題である。今回の実験でソフトウェア上においてDecay timeの設定値のみで同定するはずだったが実験中にもっと短くしたいという被験者の意見が出たためAttack timeの設定値も変化させることとなった。もう少し自由にかつ簡単に被験者が調整できる実験方法にした方が良いと考えられる。もう一つは手を叩いて確認するということである。筆者は刺激の提示方法として実際の行動を伴う方が想像行為をしやすいと考えて手を叩くことにした。実験の前に被験者に説明して留意させたが、手を叩く強さによって聞こえる音の長さは変わってしまい、全く同じ強さで手を叩き続ける事は難しく、被験者の負担が大きい。そのため一定の音量で提示する方が良いと考えられる。

## 5.4 実験システムの違いによる比較

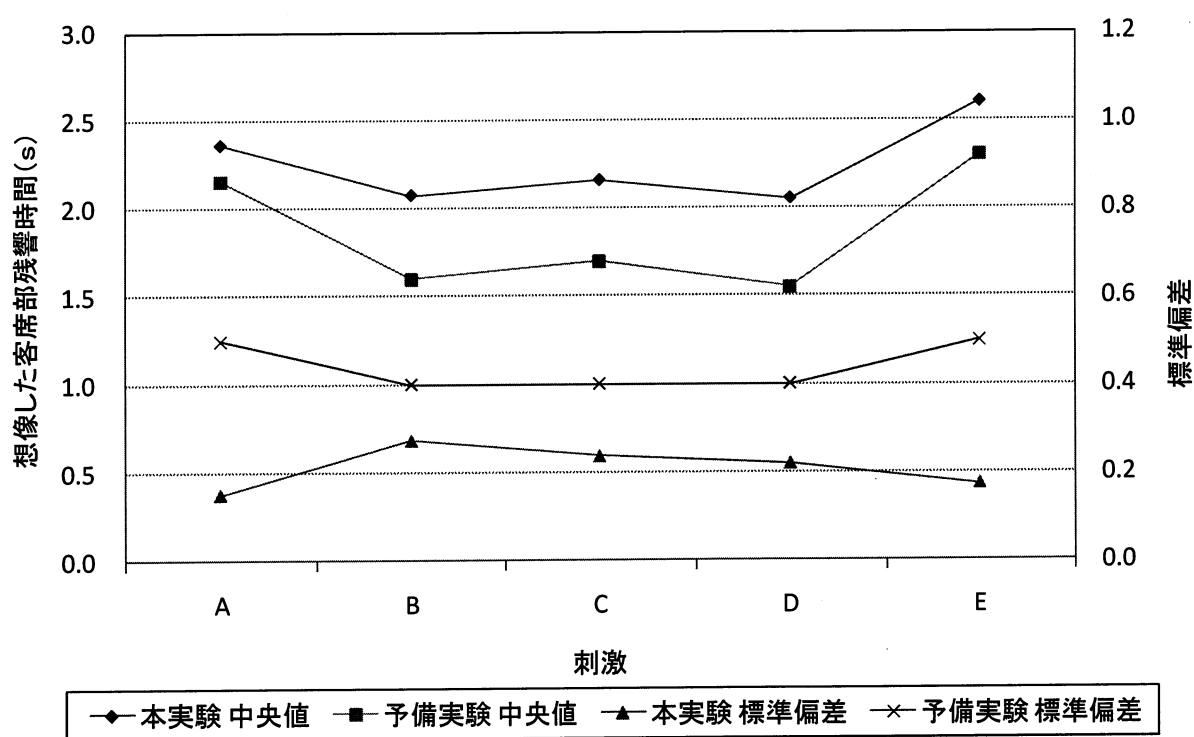


図 5-4-1 予備実験および本実験における全被験者の客席部残響時間想像値と標準偏差

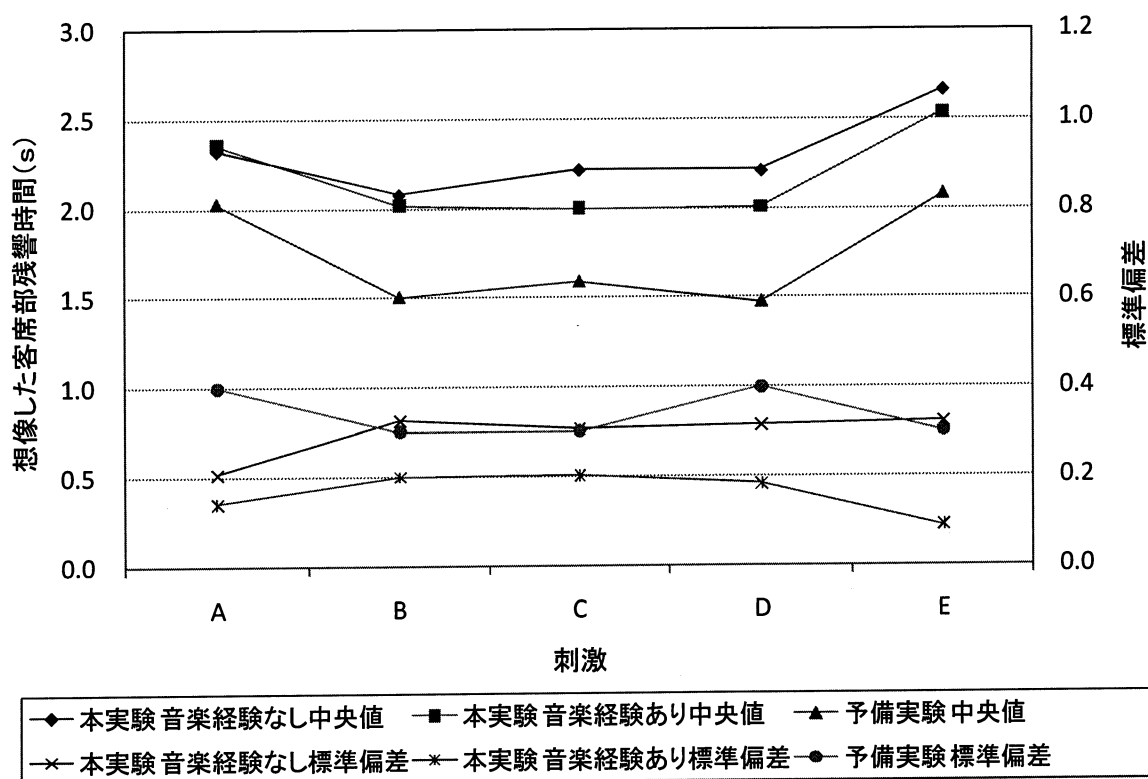


図 5-4-2 予備実験および本実験における指揮経験のない被験者の客席部残響時間想像値と標準偏差

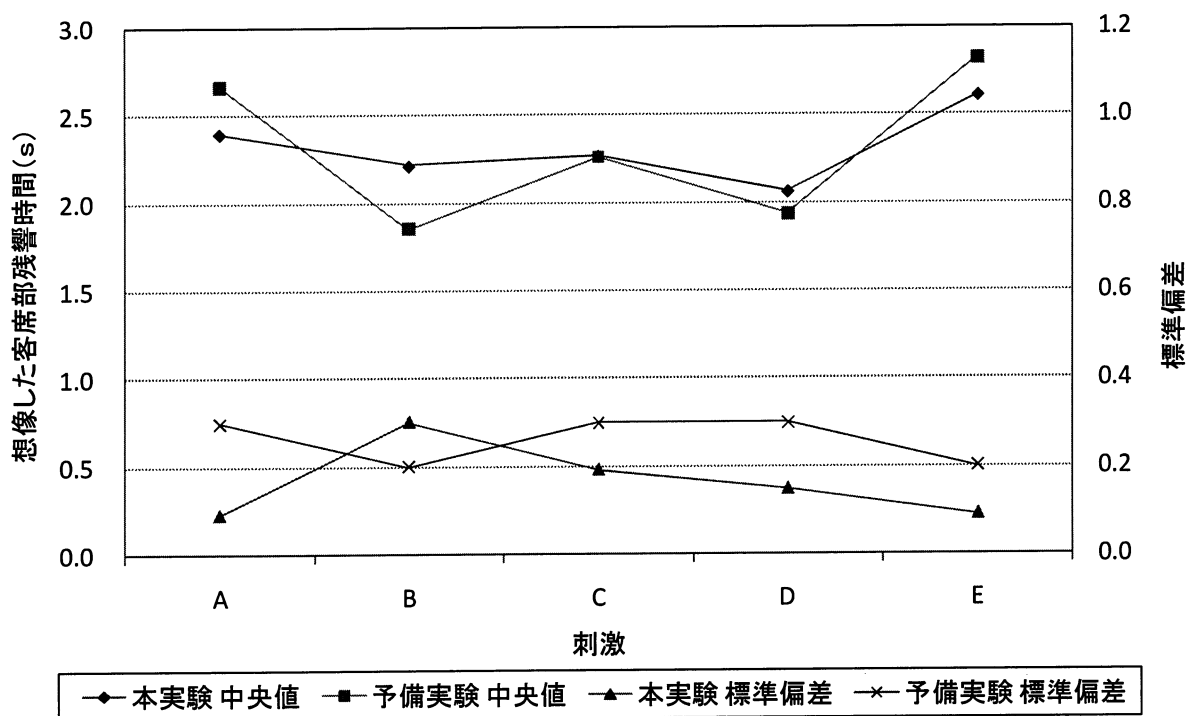


図 5-4-3 予備実験および本実験における指揮経験のある被験者の客席部残響時間想像値と標準偏差

図 5-4-1～図 5-4-3 は予備実験および本実験における被験者が各刺激から想像した客席部における残響時間の中央値とその標準偏差を全被験者、指揮経験のない被験者、指揮経験のある被験者に分けて示している。指揮経験のない被験者は予備実験より本実験の方が客席部における残響時間を長く想像している。これは実験システムの違いによるものではなく、図 5-3-4-14 (5.3) 示す実験後に被験者に対して行ったヒアリングの結果にあるように、指揮経験のない被験者の中で客席部における残響時間はステージより短い、ステージと同等だと考える被験者が相対的に減少しているためであると考えられる。図 5-4-3 をみると指揮経験のある被験者の想像した客席部における残響時間においては予備実験も本実験も同程度の中央値をとっている。指揮経験のある被験者は予備実験同様に本実験においても客席部における残響時間はステージより長いと全員が回答しているからであると考えられる。また指揮経験・音楽経験の有無に関わらず、本実験では予備実験と比べて刺激の違いによる想像した客席部残響時間の中央値の変化が少なくなり、ばらつきが小さくなっている。これは想像した客席部残響時間を 0.1 秒刻みでしか調整できない予備実験に比べて、本実験ではソフトウェア上の設定値において 0.01 秒刻みで(音響分析ソフトによる計算される残響時間ではさらに細かく)調整できるため、より正確な想像する残響時間を同定できたと考えられる。本実験においてはかなり細かく調整が出来るため、マウスのホイールを動かすことで実際には残響時間はそこまで変化していないが、被験者は変化させたと認識してしまったためばらつきがみられなくなったという可能性もあるかもしれない。しかし、調整する際のソフトウェア上の設定値の初期値は毎回大きく変化させているため、同定値のばらつきが小さくなっていることからやはり細かく調整できる本実験ではより想像する客席部残響時間を正確に同定できるようになっているのではないだろうか。

## 5.5 まとめ

ステージ上の残響特性が想像する客席部音場の残響時間の長さに与える影響を定量的に明らかにするため、手を叩いた音に音響効果(ステージ上指揮者位置でのインパルス応答)を付加したものを被験者に対して音場刺激として与え、そこから想像される客席部音場の残響時間を同定する実験を行った。予備実験を行うことで改良点を検討し、実験方法を改良した本実験を行って指揮者が想像する客席部残響時間を同定する実験方法を確立することも目的としている。また指揮経験のある被験者だけではなく指揮経験・音楽経験のない被験者に対しても同様の実験を行い、指揮経験・音楽経験の有無による違いも明らかにすることを目的とした。

結果として、予備実験および本実験において刺激から想像される客席部での残響時間を定量的に明らかにすることができ、ステージ上の残響時間だけでなく EDT や C80 も想像する客席部残響時間に影響する可能性があることが明らかになった。やはりステージ上と想像する客席部における残響時間の関連性のみを調べて、それに対応するだけでは指揮者が想像しやすいステージ音響になるというわけではない可能性があることが確認出来た。また視覚情報など聴覚以外から得られる情報の影響が想像行為に与える影響を主観評価実験では確認することが出来なかったが、本実験による実験方法では想像した残響時間を細かく定量的に表現し、分析することが出来るので、同実験方法により視覚情報など聴覚以外から得られる情報が想像する客席部残響時間に与える影響を確認できる可能性も確認できた。

予備実験の結果からは指揮経験のある被験者は指揮経験のない被験者に比べて客席部における残響時間を長く想像する傾向がみられたが、それは本実験の結果から、指揮経験の有無によるものではないことが確認された。しかし音楽経験のある被験者と音楽経験のない被験者の想像する客席部における残響時間の間には、その中央値には大きな違いはみられなかったが、想像値のばらつきに違いがみられた。音楽経験のある人の方が音楽経験のない人より確定的に客席部における残響時間を想像し、表現できることが確認された。

被験者が想像する客席部残響時間を同定する実験方法を確立することが目的であったが、予備実験を行い、改善して本実験をすることでより正確に被験者の想像する客席部残響時間を同定することが出来る実験方法になったと考えられる。評価軸が多く、想像するものを同定することが難しい「音」に対して、「残響時間の長さ」の一つの評価軸に対してのみ表現させることで比較的容易に同定することが出来た。しかし予備実験を改善した本実験であるが、実験方法を確立するには改善した方が良いと考えられる点がいくつか見られたため、よりよい実験方法にする必要がある。

## 第 6 章

### 結語

## 6.1 各章のまとめ

第2章では、本研究の基礎となる研究において行われた実験について述べ、そこから明らかになった事柄についてまとめた。基礎となる研究においては指揮者が客席部音場を想像する際にステージ上の残響特性やホール情報の影響があるのかを基礎的な実験によって確認している。ステージ上における残響特性をインパルス応答によって指揮者に確認させ、客席部における音場を想像させて想像した客席部音場に対する主観評価をさせた実験の結果から、

「残響時間の長さ」「響きが保たれる」などの『残響感』に関してはステージ上の残響特性の違いによって異なる客席部音場の評価をしたため、ステージ残響特性の残響時間の長さが大きく影響していると考えられる。さらにステージ上における残響特性に立体情報が付加した実験結果から、「音源が広い」や「音に包まれる」などの『音の拡がり感』に関してもステージ上の残響特性の違いによって異なる客席部音場の評価をしたため、ステージ上の残響時間の特性が影響すると考えられる。一方で『音量感』に関してはステージ上の残響特性の影響は見られなかった。またステージ上の残響特性にホール情報を付加した実験結果から全ての主観評価項目においてステージ上の残響特性のみから想像した客席部音場に対する主観評価値と大きな違いがみられず、ホール情報の影響は小さいと考えられる。

第3章ではホール情報が想像行為に与える影響を再度確認するために音場刺激により詳細なホール情報を付加した実験を行ったが、想像される客席部音場に対する主観評価に関して実験室とホールで行った実験の結果間には有意な差は見られなかった。指揮者が客席部音場を想像する際にはステージ上での音響条件が大きく影響し、聴覚以外から得られる情報の影響は微小であると考えられる。

第4章では指揮者に演奏者に対して指揮行為をさせ、ステージ上の残響特性を演奏音によって確認させ、想像される客席部音場に対する主観評価させる実験を行った。インパルス応答によってステージ上の残響特性を確認させた実験と比べると、全ての項目において各ステージ上の残響特性から想像された客席部音場の評価値の違いに有意な差がみられずステージ上の残響特性の影響が少なくなった。演奏音ではステージ上の残響特性がはっきりと確認できないため、ステージ上の残響特性の違いによる想像した客席部音場に対する主観評価に影響がみられなかったと考えられる。演奏しながらステージ上の残響特性を把握し、客席部音場を想像するのが難しい事が確認された。

第5章では、ステージ上の残響特性から指揮者が想像する客席部音場における残響時間を同定する実験を行った。実験方法にまだ改善する必要があるが、主観評価実験では確認することが出来なかったステージ上の残響特性が想像する客席部音場に与える影響を定量的に確認することができ、ステージ上の残響特性の内、残響時間だけでなく初期の減衰や明瞭性の影響も大きく影響する可能性があることが確認された。指揮経験・音楽経験の違いによって想像する客席部音場におけるステージ上の残響特性の影響の違いを確認することもでき、指揮経験・音楽経験の有無によらず客席部の残響時間を想像することはできるが音楽経験がある方が確定的にイメージできることが確認された。

## 6.2 総括

本研究は、ステージ上の指揮者に対する適切な音響状態として「客席部における音場を想像しやすいステージ音場」を挙げ、ステージ上の残響特性やホール情報が指揮者の想像する客席部音場のイメージに与える影響を明らかにすることを目的としている。

これまでにステージ上の残響特性をインパルス応答や演奏音によって、ホール情報を映像や実際のホールによってそれぞれ指揮者に確認させ、客席部音場を想像させた後に、刺激から想像した客席部音場に対して主観評価させる実験が行われてきた。数種類のステージ上の残響特性やホール情報を指揮者に提示しており、ステージ上の残響特性やホール情報の違いによって指揮者の想像した客席部音場の主観評価値に違いがみられるかを確認することでステージ上の残響特性やホール情報が指揮者の想像する客席部音場のイメージに与える影響を確認した。また手を叩いた音にステージ上の残響特性を畳み込み、ステージ上の残響特性を被験者に確認させ、刺激から想像される客席部音場の残響時間の長さを同定する実験を行った。数種類のステージ上の残響特性を被験者に提示しており、ステージ上の残響特性が被験者の想像する客席部音場の残響時間のイメージに与える影響を確認した。

ステージ上の残響特性のみをインパルス応答によって指揮者に確認させ、そこから想起される客席部音場に対する主観評価実験の結果から、「残響時間の長さ」「響きが保たれる」「はっきりしている」など『残響感』に関する回答項目に関してはステージ上の残響特性の違いによって主観評価値に変化がみられ、ステージ上の残響特性のRT(s)の値が大きいほど想像する客席部における「残響時間の長さ」「響きが保たれる」に関する評価値が大きくなり、「はっきりしている」に関する評価値は小さくなっていた。『残響感』に関する項目についてはステージ上の残響特性の時系列的な情報が影響を与えていることが確認された。さらにステージ上の残響特性をステレオ信号によって指揮者に確認させた実験結果から音の到来方向などの立体情報が加わることで「音源が大きい」「音に包まれる感」など『音の拡がり感』に関する回答項目に関してステージ上の残響特性の違いによる主観評価値の変化がみられた。『音の拡がり感』を想像する際には残響時間の長さや明瞭性よりも音の立体的な情報が影響を与えていることが確認された。ホール情報を指揮者に確認させた後にステージ上の残響特性を確認させた実験においては、ステージ上の残響特性のみから想像した客席部に関する主観評価値との間に有意な差はみられず、またイメージのぼらつきが小さくなるという事もなくホール情報の影響は主観評価による実験では確認することができなかった。ステージ上の残響特性に比べるとホール情報の影響が与える影響は小さい事が確認された。しかし、小さいとはいえどのような影響があるのか明らかにしていく必要があると考えられる。また主観評価実験においてステージ上の残響特性の残響の程度やホール情報などからホールの音響エネルギー保持力を連想して客席部の音量感を想像できると考えていたが、「音量の大きさ」「音の親密さ」「音の温かみ」に対してはステージ上の残響特性やホール情報の違いから、異なるイメージを描けておらず、『音量感』に関しては評価が難しいと思われる。

演奏者に指揮行為をする指揮者に対して、演奏音によってステージ上の残響特性を確認さ



せた実験においては、インパルス応答によってステージ上の残響特性を確認させた実験の結果とは違い、異なるステージ上の残響特性から想像した客席部音場に関する主観評価に有意な差がみられなかった。これは指揮者が演奏者に対して指揮行為をしなくてはならないため、ステージ上において演奏音だけに集中する事ができないことやインパルス応答ではステージ上の残響特性が全体的に把握できるが、演奏音では続く音にマスクされることでステージ上の残響特性が全体的に把握しにくい状態となっているためであると考えられる。指揮者にとって重要な行為である客席部音場の想像はステージ上における残響特性が把握しにくいと難しいことが確認された。演奏音であってもステージ上の残響特性をどれだけ確認しやすくするかが重要である。残響時間に関しては演奏音であっても比較的確認しやすい初期の減衰から計算される EDT の値を残響時間と同程度にすることでステージ上の残響時間を把握しやすくすることが可能なのではないだろうかと考えられる。

ステージ上の残響特性を、手を叩く音によって被験者に確認させ、想像される客席部における残響時間の長さを同定させた実験から、まず指揮経験のある被験者と指揮経験のない被験者の想像する残響時間の長さには大きな違いは見られないことが確認された。ただし音楽経験のある被験者に比べ、音楽経験のない被験者はイメージする残響時間の長さにばらつきがみられ、音楽経験のある人の方がステージ上の残響特性をしっかりと把握し、そこから想像されるイメージも確定的であるようである。ステージ上の残響特性のパラメーターと想像される客席部における残響時間をみると、想像する客席部における残響時間はステージ上の残響時間の長さのみによって確定されるわけではなく、EDT や C80 といった減衰過程や明瞭性の影響も受けている可能性があることが確認された。中でも最も EDT の値の影響が大きいことが考えられる。ステージ上の残響時間の長さと想像する客席部における残響時間の対応を調べるだけでなく、RT に加え EDT や C80 の値との対応を調べていく必要性が確認された。また想像された残響時間の長さは実際のホール客席部における残響時間とは大きく異なっており、実際の残響時間の長さより非常に長い残響時間の長さを想像する傾向がみられた。しかし今回の実験においては学生指揮者を対象としており、プロ指揮者においては異なる傾向がみられる可能性がある。そのためより多くの指揮者に対しても同様の実験を行い確認していく必要があると考えられる。また主観評価実験において、演奏音によってステージ上の残響特性を確認する際はステージ上の残響特性の想像する客席部音場に与える影響が少なくなることが確認されている。演奏によってステージ上の残響特性を確認する同様の実験を行い、想像する客席部における残響時間の長さを確認する必要があると考えられる。さらに本研究において残された課題としては、想像する客席部における残響時間を被験者に「音」で表現させることにより主観評価では確認することが出来なかったステージ音場の影響を確認する事ができるようになったので、ステージ上の残響特性を演奏によって提示する実験だけでなく、ホール情報をステージ上の残響特性に加える同様の実験を行い、主観評価ではみられなかったホール情報の想像する残響時間に与える影響を確認する事が必要である。また実験方法を改善し、「残響時間の長さ」だけでなく、さらに多くの項目に関して指揮者が想像する音場を「音」として再現させる方法を確立することが必要である。

## 参考文献

- 1) 徳永泰伸、寺島貴根：指揮者のホール客席部における音響状態の推定メカニズム、日本音響学会建築音響研究会資料（AA2006-7, Feb. 2006）
- 2) 徳永泰伸、寺島貴根：指揮者のホール客席部における音響状態の推定に関する研究、日本音響学会春季研究発表会講演論文集（pp-845-846, Mar. 2006.）
- 3) 徳永泰伸、寺島貴根：指揮者位置における音響構造が客席部の音響状態の推定行為に対して与える影響、日本音響学会秋季研究発表会講演論文集（pp. 785-786, Sept. 2006）

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、丁寧なご指導を賜りました寺島貴根准教授に深謝いたします。そして、本論文の副査として熱心にご指導を頂きました石川幸雄教授、永井久也准教授に深く御礼を申し上げます。また、本研究の実験において協力していただいた被験者の皆様に深く御礼を申し上げます。

本論文を執筆するにあたり、環境設備系研究室の仲間には数多くの励ましの言葉を頂きました。彼らの支えなしには期限内に本論文を完成させることはできなかったと考えています。改めて感謝の意を表します。

附録.1 第3章および第4章で行った実験における主観評価回答用紙

回答用紙 一客席部での聴こえ方

実験条件 No.

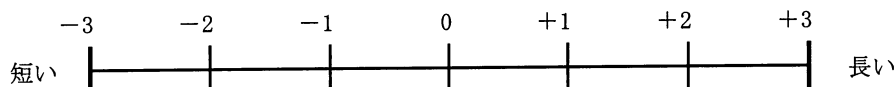
実験日時 平成 年 月 日 時

被験者 No.

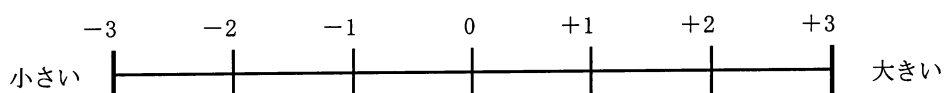
提示された指揮者位置の音を聴いて想像した客席部音場についてお答え下さい。(但し、今までの演奏経験などから絶対的な評価をしてください。)

Q-1 想像した客席部の音響状態の以下の項目についてお答え下さい。

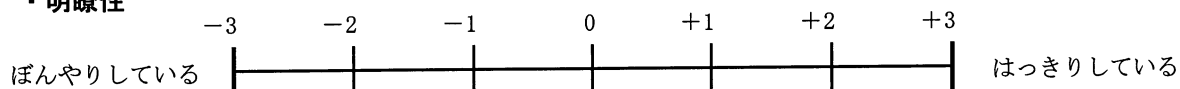
・残響



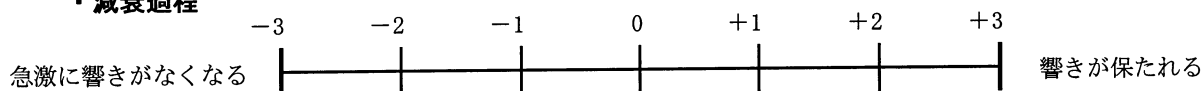
・音量



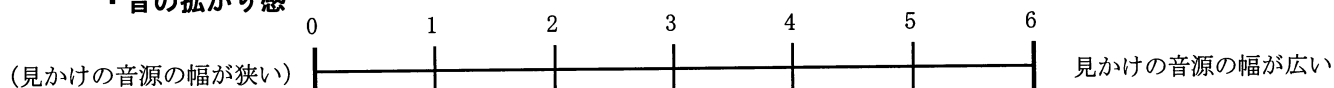
・明瞭性



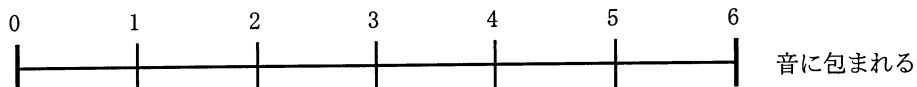
・減衰過程



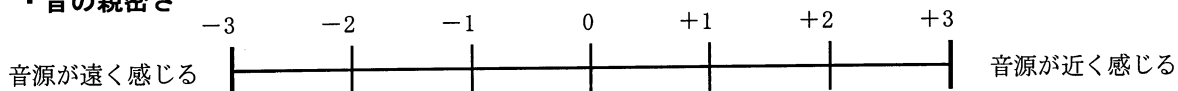
・音の拡がり感



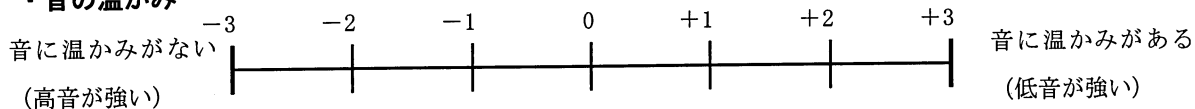
(音に包まれない)



・音の親密さ



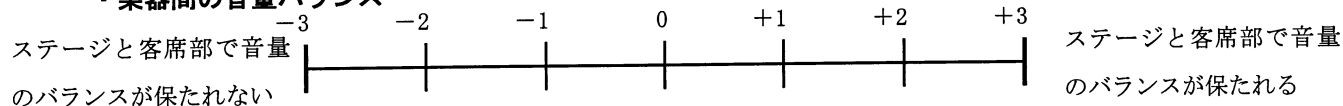
・音の温かみ



(高音が強い)

(低音が強い)

・楽器間の音量バランス



Q-2 上の項目以外で、想像した音について他の表現があればお書き下さい。

## 附録.2 第5章で行った実験における調整値記入例

実験結果記入用紙

2009 年 月 日

被験者 No. 氏名

被験者属性

年齢 歳

性別 男・女

職業

指揮経験 あり・なし

ステージに立った経験 ある・ない

音楽経験

全体的に想像できたか できた・なんとなくできた・できない

想像する際に何を頼りに(何を基準に)想像したか

客席部の残響時間はステージ上の残響時間と比べて 長い・同じくらい・短い

### 実験結果

ホール名	初期値	同定値	済	ホール名	初期値	同定値	済
宗次(+0.5s)	2.0			三翠(±0s)	1.5		
三翠(±0s)	1.5			Finland (+0.5s)	2.4		
ハーモニー(-0.5s)	1.1			Todd (+0.5s)	2.1		
Finland(+0.5s)	2.4			宗次(±0s)	1.5		
三翠(+0.5s)	2.0			Finland (-0.5s)	1.4		
Todd(+0.5s)	2.1			Todd (±0s)	1.6		
Finland (±0s)	1.9			宗次(-0.5s)	1.0		
宗次(±0s)	1.5			宗次(+0.5s)	2.0		
ハーモニー(±0s)	1.6			ハーモニー(-0.5s)	1.1		
Finland (-0.5s)	1.4			三翠(+0.5s)	2.0		
三翠(-0.5s)	1.0			Finland (±0s)	1.9		
Todd (±0s)	1.6			ハーモニー(±0s)	1.6		
ハーモニー(+0.5s)	2.1			三翠(-0.5s)	1.0		
宗次(-0.5s)	1.0			ハーモニー(+0.5s)	2.1		
Todd (-0.5s)	1.1			Todd (-0.5s)	1.1		

### 附録.3 実験で使用されたインパルス応答

本研究で使用されたインパルス応答は、実際に筆者らが測定したインパルス応答とインターネット上でダウンロードしたインパルス応答である。インパルス応答の実際のホール名及びデータの出典を以下に示す。

○三重大学三翠ホール（三重県津市）

第2章刺激A、第3章刺激B、第5章刺激Bとして使用。

○Todd-A0 Scoring Stage (CBS Radford, Studio City California)

第2章刺激B、第4章刺激B、第5章刺激Dとして使用。

[[http://www.musetex.co.jp/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1331&Itemid=346](http://www.musetex.co.jp/index.php?option=com_content&task=view&id=1331&Itemid=346)]

○Promenadikeskus concert hall (Pori, Finland)

第2章刺激C、第4章刺激C、第5章刺激Eとして使用。

[<http://www.acoustics.hut.fi/projects/poririrs/>]

○宗次ホール（愛知県名古屋市）

第2章刺激D、第3章刺激C、第4章刺激A、第5章刺激Aとして使用。

○ハーモニーホール（三重県津市）

第3章刺激A、第5章刺激Cとして使用。