

令和4年度卒業論文

演奏者を対象としたホール再現音場の評価実験による
ホールステージ上での「演奏のしやすさ」に関する考察

関西大学環境都市工学部建築学科

建築環境工学第Ⅰ研究室

学籍番号 建 19-0029

氏名 川口菜々子

指導教員 豊田政弘

目次

第一章 序論

1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2

第二章 実験

2.1 実験対象	4
2.2 再生音場の作成	6
2.3 使用した機材	8
2.4 再生ソフトウェア	11
2.5 実験方法・実験風景・機材配置図	11

第三章 結果

3.1 アンケート各項目の結果及びそれらの相関関係	15
3.2 アンケート各項目と物理量の対応	26
3.3 自由回答	31
3.4 考察	37

第四章 結論

38

参考文献

39

第一章 序論

1.1 本研究の背景

コンサートホールの設計とは建築家と音響設計家が協力して一つの「コンサートホール」という楽器を作っていく仕事である。その設計には様々な事項が考慮されるが、特に重きが置かれているのはその室の形と材料である。室の形には代表的な形として矩形の箱型のシューボックス型 (ex. 京都コンサートホール)、ブドウ畑のように客席が段々となっているヴィンヤード型 (ex. サントリーホール) の2種が挙げられる。また、現在では扇形のコンサートホール (ex. 東京芸術劇場) もよくみられる。

これまでのコンサートホールの音響設計では「聴衆にとって良い音が届けられるかどうか」が最重要視されてきた。どの客席に座っても聴いていて心地が良いホール、それが所謂素晴らしいホールなのだという認識は世間一般にも広がっている。しかし、聴衆が聴いていて心地の良いホールが本当に素晴らしいホールであるというわけではない。コンサートホールは聴衆にとって非現実を楽しむための空間であり、特別な場所である。しかし、演奏会には聴衆ともう一つのカテゴリーに属した人物が存在する—それは演奏者である。演奏者にとってコンサートホールは聴衆に音楽を届けるための場所、即ち仕事場である。

聴衆にとってどんなに素晴らしいホールだとしても、演奏者がそこでベストなパフォーマンスができなかったら感動するような音楽体験にはならない。つまり、コンサートホールの音響設計においては、聴衆にとって良い音環境であることだけではなく、演奏者にとってもベストを尽くせる音環境であることが重要である。演奏のしやすい音環境を設計するにあたって「演奏のしやすさ」という指標を物理量で示せば今後のホール設計において有用であると考え、本研究を開始した。

1.2 本研究の目的

まず、既往研究に触れる。始めに、酒井らによる「演奏のしやすいステージ音場に関する考察—ホルン奏者による評価実験—」[1]を紹介する。これは演奏者の「演奏のしやすさ」を数値化するためにステージ音場の反射音分布に着目し、後方に指向性を持つホルン奏者を対象として行われた研究である。この研究では模擬音場を用いてホルン奏者に「演奏のしやすさ」を評価させ、結果として楽器の持つ指向性とは異なる方向からの反射音を「演奏のしやすさ」を判断するのに用いている可能性がある」と指摘している。

次に紹介するのは六反田らによる「室内楽演奏のしやすさに関する演奏家のホール音場評価の分析」[2]である。こちらは室内楽演奏を行う際の演奏家のホール音場の評価と初期反射音や後期反射音、残響時間などの音響条件を結びつけ、「演奏のしやすさ」には何が重要であるかを調べた研究で、弦楽器奏者2人で行う室内楽演奏の場合「音の聴きやすさ」と「音の融合」が重要な項目であると結論づけている。

最後に、小池らによる「舞台の基本形状の違いが“演奏のしやすさ”に与える影響について—演奏者による実験的演奏体験を通じた舞台内音場の評価の基礎的検討その2—」[3]を挙げる。こちらはアンサンブルを目的とした舞台の基本形状が「演奏のしやすさ」に与える影響について検討するため、模擬音場を用いて実験を行い、結果として建築空間の違いによって「演奏のしやすさ」が変わってくること、また「演奏のしやすさ」と室形状、演奏する曲のテンポや種類は相互に関連することなどを示している。

これらの既往研究はいずれも「演奏のしやすさ」と音響条件を結び付けて「演奏のしやすさ」を具体化していることが共通点として挙げられるが、実験に用いた楽器の種類が限定されており、そこで求められた「演奏のしやすさ」には偏りがあると考えられる。

そこで、本論文では既往研究と同様に模擬音場での演奏者による評価実験を、楽器の種類を限定することなく行うことで既往研究の問題点である偏りを解決し、多くの楽器に共通する「演奏のしやすさ」を示すことを目的とする。

なお、本論文では次のように楽器の略語表記を定めることとする。

ヴァイオリン……………Vn
チェロ……………Vc
フルート……………Fl
オーボエ……………Ob
クラリネット……………Cl

ホルン.....Hr

トランペット.....Tp

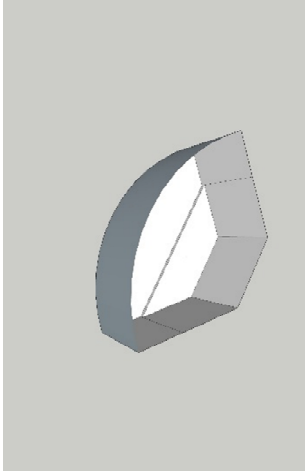
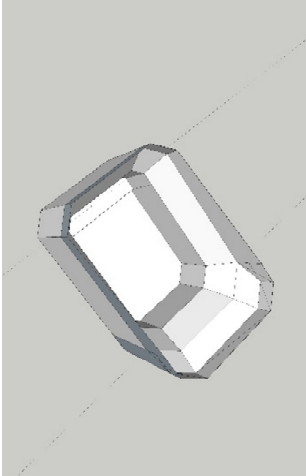
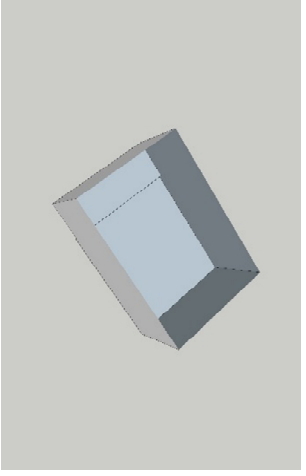
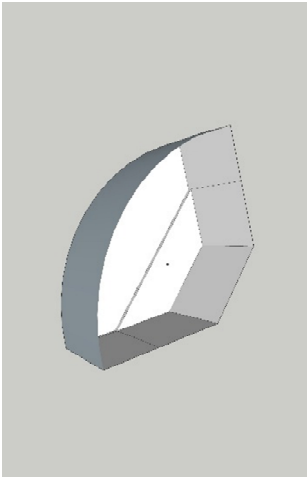
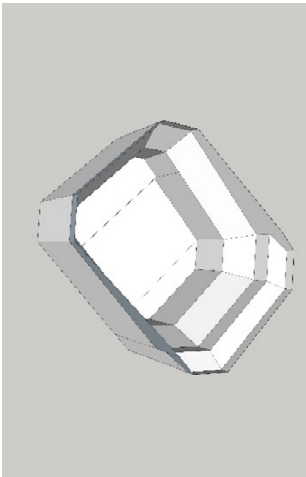
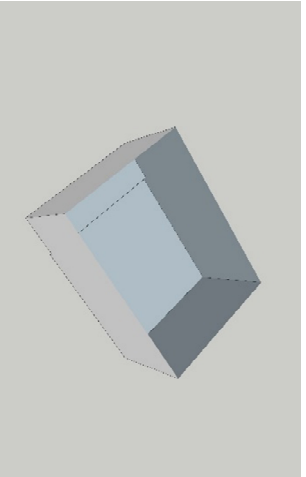
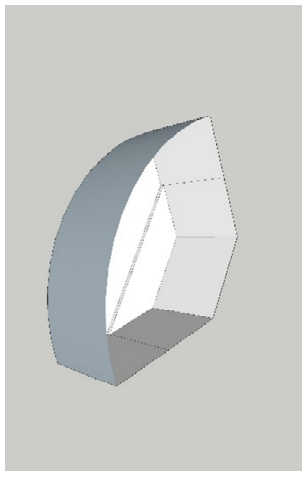
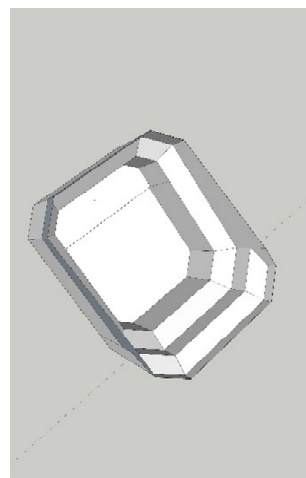
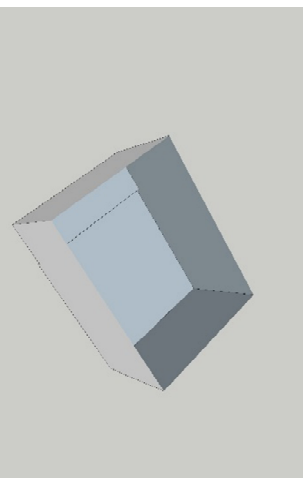
トロンボーン.....Tb

第二章 実験

2.1 実験対象

本研究における実験対象は表 1 のような形状・大きさの異なる 9 種類のコンサートホールとする。形状はシューボックス型、ヴィンヤード型、扇形の 3 種類、大きさは体積が約 15000 m³、20000 m³、25000 m³ の 3 種類である。

表1 コンサートホールの種類

扇形	ポスターヤング	スクエア	15000 m ³
			
			20000 m ³
			25000 m ³

2.2 再生音場の作成

ここでは、再生音場の作成方法について説明する。再生音場は 3D モデリングソフト「Sketchup2017」で表 1 の 9 種類のコンサートホールを作成した後、音源位置をステージ上に定め、受音点をその 30 cm 後方に定め、各形状において体積が 20000 m^3 、500 Hz の時に残響時間が 2 秒付近になるように吸音率を設定し（表 2, 3, 4）、各ホールのインパルス応答を計算した。

インパルス応答の計算は、Vorländer によるバックトレース法[4]と呼ばれる方法を豊田、坂吉が改良したもの[5]をベースとしたプログラムを使用した。図 1 にその計算手順を示す。バックトレース法とは幾何音響理論における代表的な解析手法である音線法と虚像法を組み合わせたものであり、音線法のデメリットである誤差、虚像法のデメリットである計算効率の悪さ、両者を補うために開発されたものである。

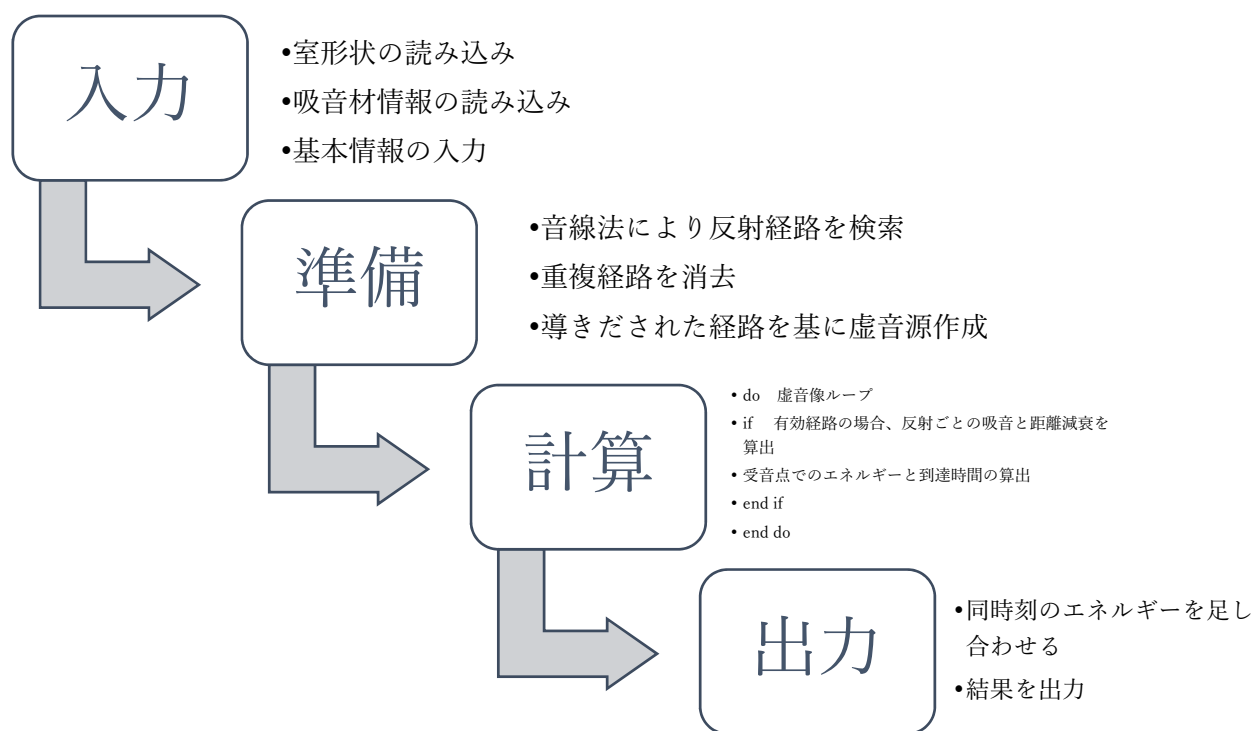


図1 バックトレース法の手順[6]

表2 シューボックス型の吸音率

シューボックス型	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1 舞台床	0.45	0.36	0.3	0.24	0.24	0.24
2 舞台後壁	0.6	0.39	0.3	0.21	0.21	0.21
3 舞台側壁	0.12	0.12	0.09	0.09	0.09	0.06
4 客席床	0.12	0.12	0.21	0.18	0.18	0.21
5 客席後壁	0.03	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06
6 客席側壁	0.54	0.39	0.24	0.18	0.18	0.18
7 天井	0.54	0.39	0.24	0.18	0.18	0.18

表3 扇形の吸音率

扇形	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1 舞台床	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07
2 舞台後壁	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
3 舞台側壁	0.07	0.16	0.33	0.21	0.18	0.17
4 客席床	0.11	0.37	0.64	0.87	0.87	0.92
5 客席後壁	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
6 客席側壁	0.2	0.92	0.57	0.42	0.3	0.3
7 天井	0.3	0.11	0.08	0.06	0.06	0.06

表4 ヴィンヤード型の吸音率

ヴィンヤード型	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
1 舞台床	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07
2 舞台側壁小	0.07	0.16	0.33	0.21	0.18	0.17
3 舞台後壁	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25
4 舞台側壁大	0.05	0.1	0.4	0.7	0.85	0.9
5 1階客席床	0.11	0.37	0.64	0.87	0.87	0.92
6 1階客席側壁	0.5	0.3	0.15	0.15	0.15	0.15
7 2階客席	0.15	0.25	0.45	0.65	0.75	0.8
8 3階客席	0.18	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05
9 2,3階客席周壁	0.2	0.92	0.57	0.42	0.3	0.3
10 天井	0.3	0.11	0.08	0.06	0.06	0.06

2.3 使用した機材

実験に使用した機材を以下に示す。

- ・マイク

AKG C414B (図2)



図2 マイク

(https://www.akg.com/on/demandware.static/-/Sites-masterCatalog_Harman/default/dw20403e97/AKG_c414_xls_back.png より引用)

- ・ オーディオインターフェイス
RME Babyface Pro fs (図 3)



図 3 オーディオインターフェイス

(https://synthax.jp/system/html/AG_RME_Babyface_Pro_FS_Top-1d81400e.png より引用)

- ・ アンプ
YAMAHA POWERAMPLIFIER XP1000 (図 4)



図 4 アンプ

(https://jp.yamaha.com/files/XP1000_front_d5bd765765ffbfce945064d4ca587ec6.jpg?impolicy=resize&imwid=2000&imhei=368 より引用)

- ・スピーカー

JBL CONTROL MONITOR model 4312D (図5)



図5 スピーカー

(https://jp.jbl.com/dw/image/v2/AAUJ_PRD/on/demandware.static/-/Sites-masterCatalog_Harman/default/dw1e2235fd/JBL_4312g_0_pair-1605x1605px.png?sw=537&sfrm=png より引用)

2.4 再生ソフトウェア

音場を再生するために使用した再生ソフトウェアは、Steinburg 社から発売されている音楽制作ソフトウェア「Cubase 12 Pro」の VST プラグインである「REVerence」である。「REVerence」は入力した音源に室内音響効果（リバーブ）を適用することを目的としている。これを使用した理由は、作成したインパルス応答を入力するだけで容易にリアルタイムの畳み込み処理を実現することができるからである。

2.5 実験方法・実験風景・機材配置図

ここでは具体的な実験の方法について述べる。実験は無響室内にて図 6 のように実験機材を配置し、9 種類の音場を再現できるようにした後、被験者にマイクの前で実際に演奏させ（図 7, 8, 9）、自身の演奏音と前方にある 2 つのスピーカーから発せられる再現音を併せて聴かせた。ここで再現音とは、インパルス応答から直接音と機器の遅延を考慮した 5 ms 分を削除し、REVerence でリアルタイム畳み込みを行ったものである。音量については、一人目の被験者に演奏させる際、実験者がその出力を聴きながらアンプで適宜調整し、その後は一定値を保った。演奏後、実験に関する各項目についてアンケート調査（図 10）を行った。

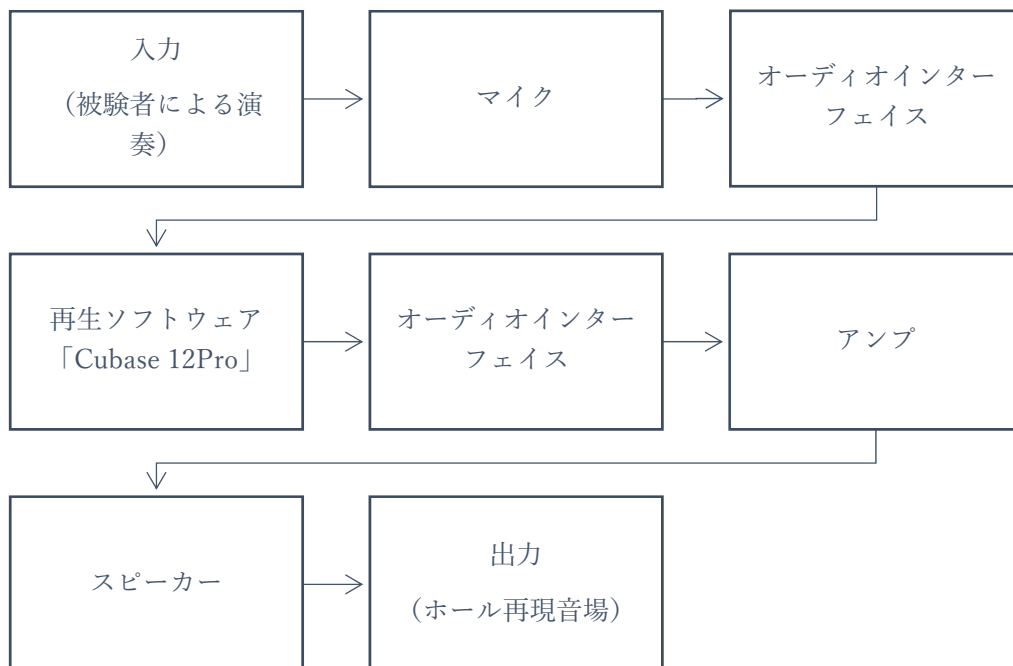


図 6 実験システム

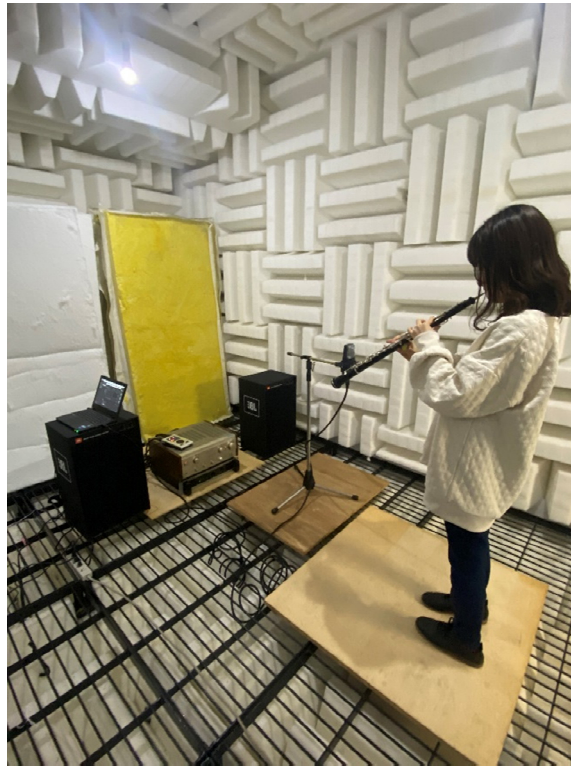


図 7 実験風景 1

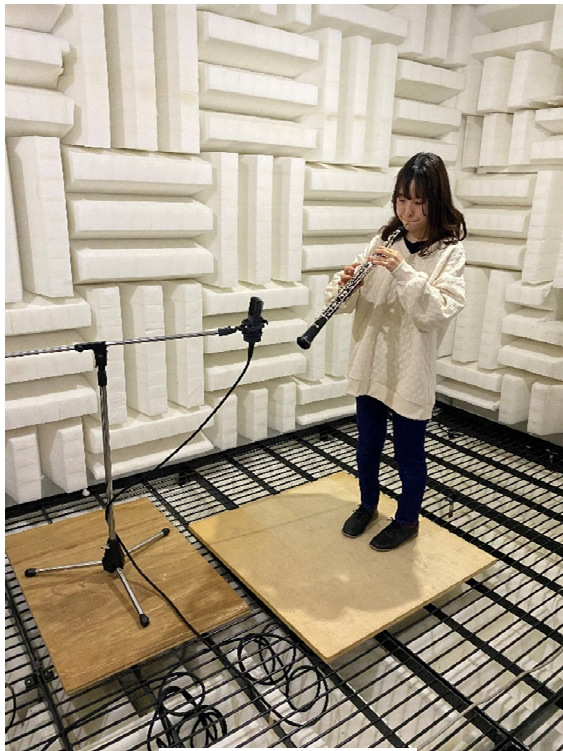


図 8 実験風景 2



図 9 実験風景 3

アンケート調査

各ホールの音について、以下の項目に評価をつけてください。

名前 () 楽器()

1. 響きの長さについて

5	4	3	2	1
長い				短い

2. 明瞭さについて

5	4	3	2	1
はっきり				ぼんやり

3. 響きの大きさについて

5	4	3	2	1
大きい				小さい

4. 弾いていて心地が良いか

5	4	3	2	1
良い				悪い

5. ホールの大きさはどれくらいか

5	4	3	2	1
大きい				小さい

6. 演奏のしやすさについて(総合評価)

5	4	3	2	1
弾きやすい				弾きにくい

7. 自由回答欄

音に対する印象を自由に記述してください。

13

被験者は関西大学交響楽団の団員のうち、演奏する楽器の演奏経験が 3 年以上の演奏者に限定して募集を行った。結果として Vn 奏者 3 名、Vc 奏者 1 名、Fl 奏者 1 名、Ob 奏者 1 名、Cl 奏者 2 名、Hr 奏者 1 名、Tp 奏者 1 名、Tb 奏者 1 名の計 11 名が集まった。演奏した曲は次のとおりである。

- ・ Vn……………「愛の喜び」/フリッツ・クライスラー
- ・ Vc……………「チェロとコントラバスのための二重奏曲」/ジョアキーノ・アントニーオ・ロッシーニ
- ・ Fl……………「交響曲第 2 番」3・4 楽章より抜粋/セルゲイ・ラフマニノフ
- ・ Ob……………「風笛～あすかのテーマ～」/大島ミチル
- ・ Cl……………「アルセナール」/ ヤン・ヴァン・デル・ロースト
- ・ Hr……………「ホルン協奏曲第 3 番」1 楽章より抜粋/ヴォルフガング・アマデウス・モーツァルト
- ・ Tp……………アーバン金管教則本より「ビューティフルスノウ」/アーバン、ジョゼフ・ジャン＝パブティスト
- ・ Tb……………「交響曲第 4 番」4 楽章よりコラール/ヨハネス・ブラームス

また、この他にも音出しを自由にさせ、音場の評価に反映させた。評価は「響きの長さ」「明瞭さ」「響きの大きさ」「弾いていて心地が良いか」「ホール大きさ」「演奏のしやすさ（総合評価）」の 6 項目（5 段階評価）に加え、ホールの印象を自由回答欄にて答えさせた。

第三章 結果

3.1 アンケート各項目の結果及びそれらの相関関係

以下にアンケート調査の各項目の結果を示す。以下ではシューボックス型の 15000 m³のホールを「shoebox15000」、20000 m³のホールを「shoebox20000」、25000 m³のホールを「shoebox25000」と称し、ヴィンヤード型、扇形についても同様とする。

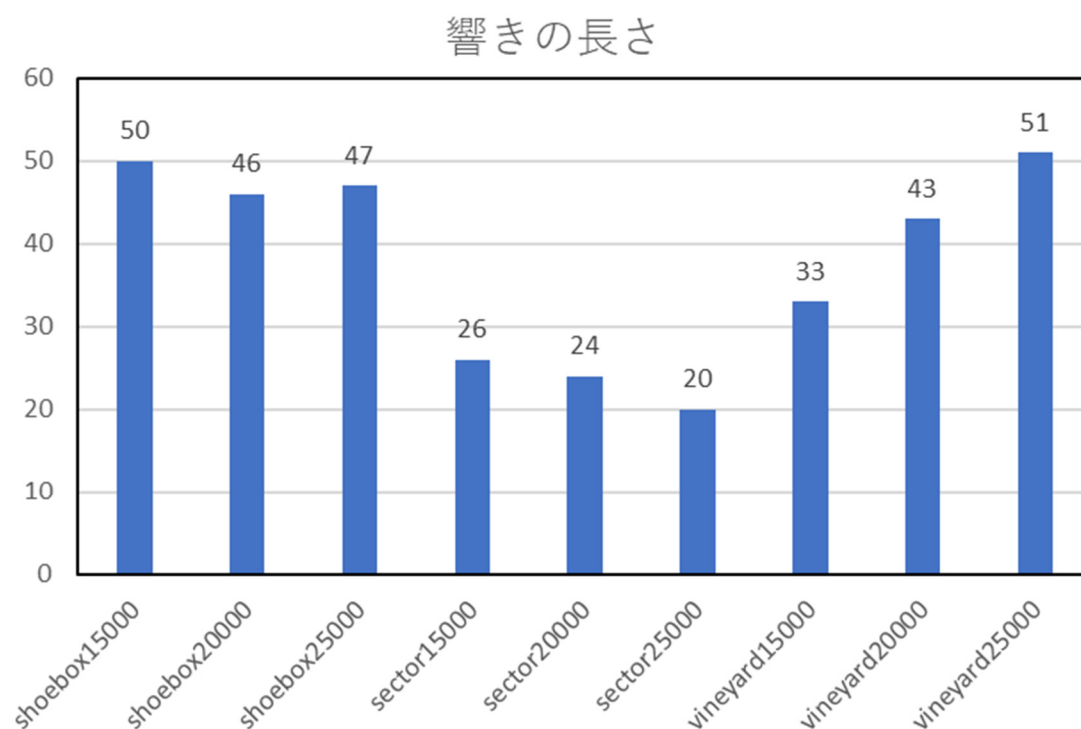


図 11 響きの長さの合計点

図 11 に「響きの長さ」に関する結果を示す。一番点数が高かったのは vineyard25000 であった。しかしながら、ヴィンヤード型は体積が小さくなるにつれ点数が下がるといった結果となった。シューボックス型はどの体積でもあまり点数が変わらず、合計点や全員が 5 段階中の 3 以上の評価をつけていたことから響きが長いと感じていた被験者が多いことが読み取れる。扇形についてはどの体積においても合計点が低く、全体的に響きが短く感じられていたと考えられる。

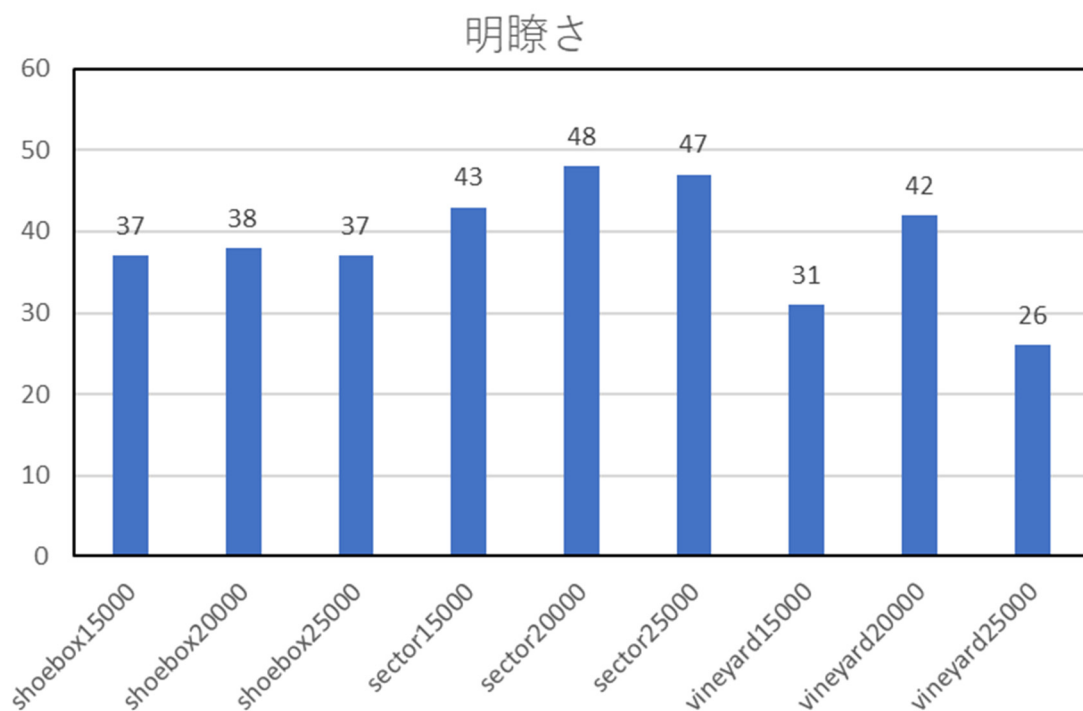


図 12 明瞭さの合計点

図 12 に「明瞭さ」に関する結果を示す。一番点数が高かったのは sector20000 であった。全体的に扇形の点数が高くなっていること、また先ほどの「響きの長さ」の項目において点数が低かったことから、扇形のホールは響きがあまりなく、音がはっきりと聴こえやすい形状であることが推測される。比較的ヴィンヤード型の方が合計点は低めであるが、シューボックス型、ヴィンヤード型の両者においては合計点があまり変わらない結果となった。しかし、vineyard20000 については扇形に次いで点数が高く、「響きの長さ」をある程度持ちつつも音の「明瞭さ」もしっかりと感じられるホールであると考えられる。また、「3.3 自由回答」も参考にされたいが、vineyard20000 は被験者から「一番響きが良かった」との声が多かったホールであり、それが数値としても現れている。

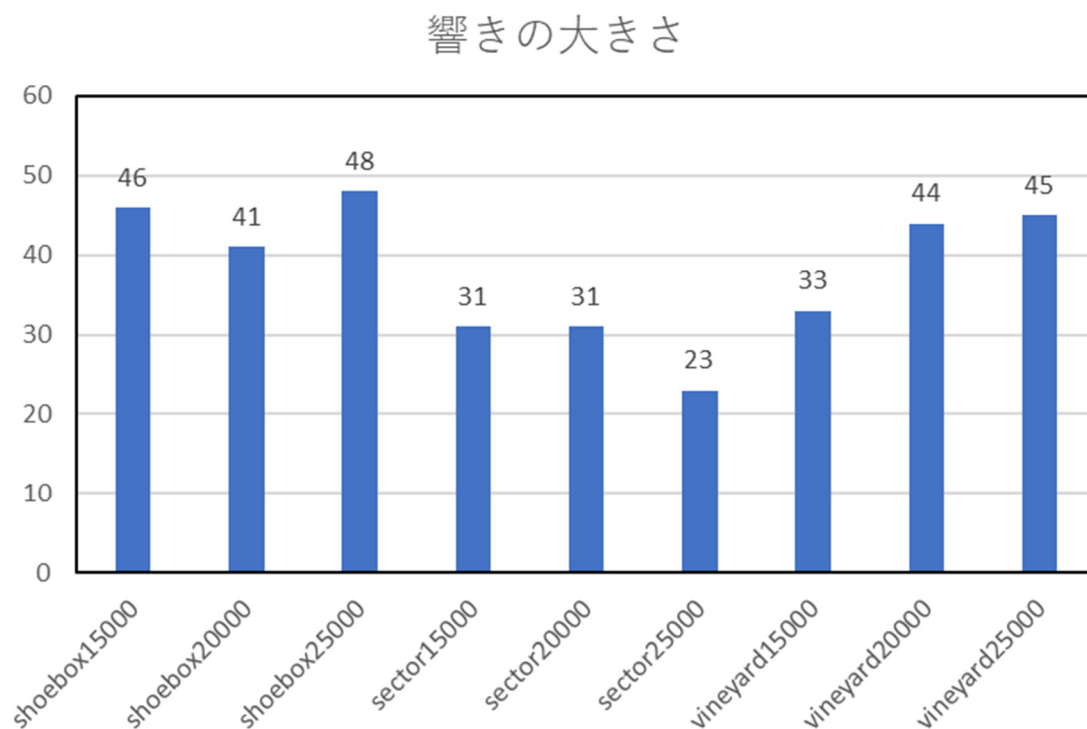


図 13 響きの大きさの合計点

図 13 に「響きの大きさ」に関する結果を示す。「響きの大きさ」は「響きの長さ」と評価がほぼ同じ順番であった。一番評価が高かったのは shoebox25000 で、シューボックス型の数値が比較的高く、ヴィンヤード型は体積の増加に比例、扇形は全体的に数値が低くなった。また順位がほぼ同じであったことから「響きの長さ」と「響きの大きさ」の相関係数を計算したところ、0.959 と非常に高い数値であった。これは実験時の定義を明確にしておらず被験者個人の感覚に任せたため、人によっては両者を混同してしまったと推測される。

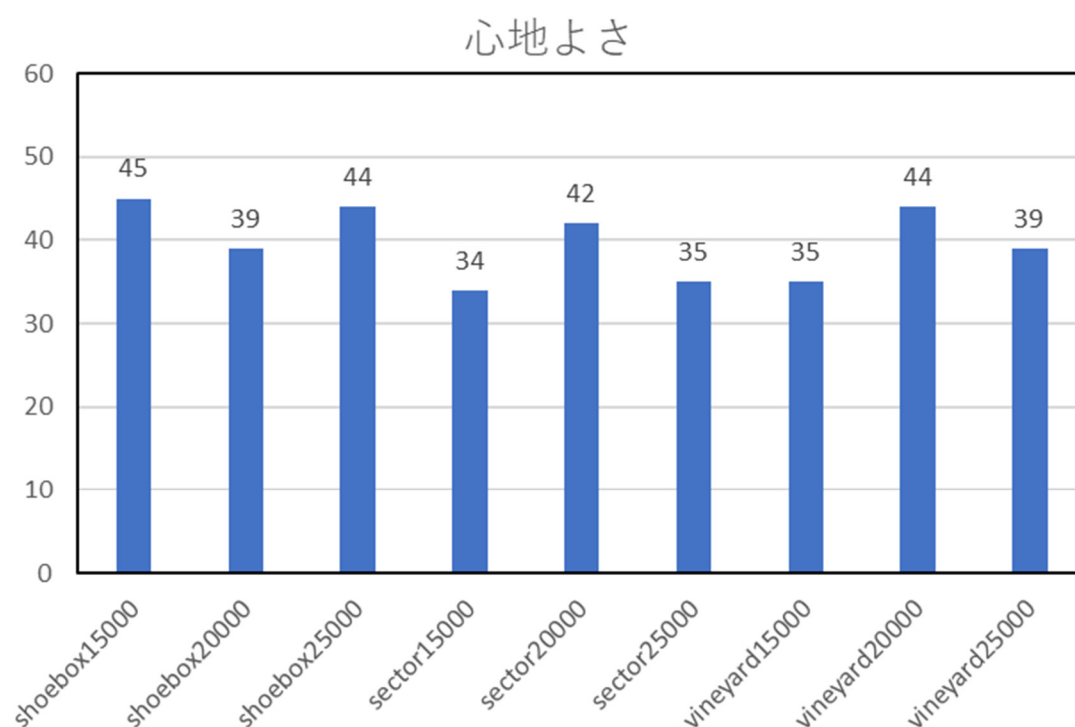


図 14 心地よさの合計点

図 14 に「心地よさ」に関する結果を示す。「心地よさ」については、あまり形状や体積ごとの傾向は読み取れなかった。一番評価が高かったのは shoebox15000、次いで shoebox25000、vineyard20000 となった。「心地よさ」は個人の趣味に基づくところが大きいため、アンケート結果を見ると個人の傾向は読み取れるが、全体として「こういったホールは心地が良いと感じやすい」などといった傾向はこの「心地よさ」の結果だけでは判断できない。

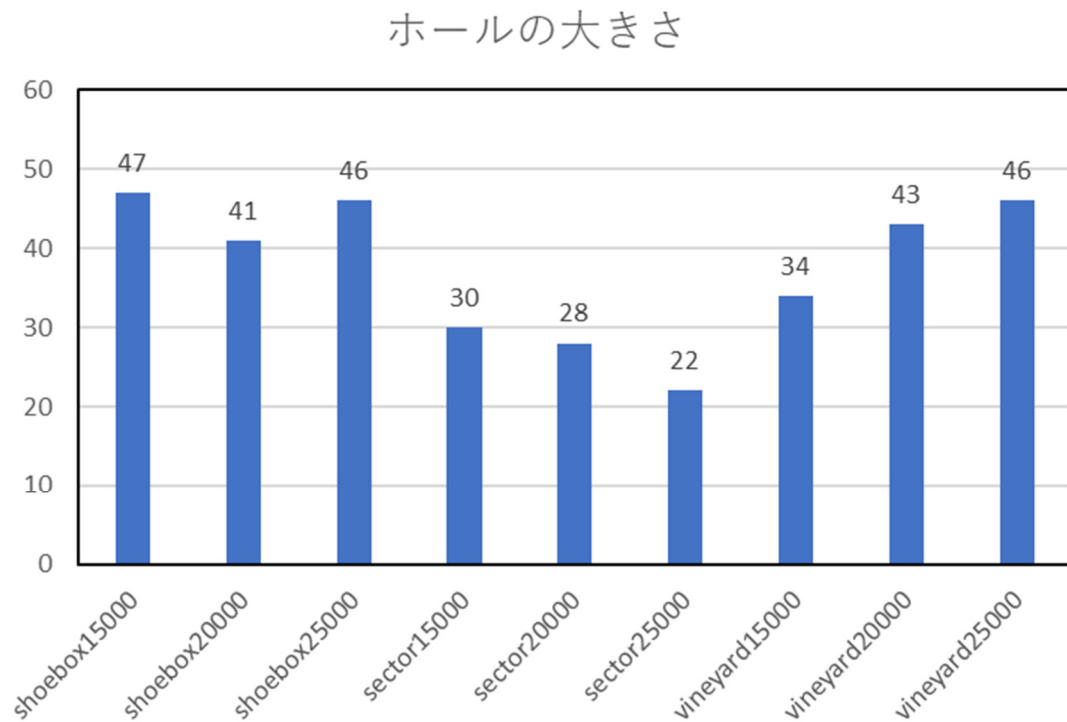


図 15 ホールの大きさの合計点

図 15 に「ホールの大きさ」に関する結果を示す。この項目は実際のホールの大きさと被験者が演奏してみて体感するホールの大きさにどれだけ違いがあるのかを調べるために設定した項目である。結果を見てみると、「響きの長さ」や「響きの大きさ」に非常に似た傾向がみられ、「響きの長さ」と「ホールの大きさ」の相関係数は 0.984、「響きの大きさ」と「ホールの大きさ」の相関係数は 0.778 と強い正の相関がみられた。このことから被験者は「ホールの大きさ」を「響きの長さ」や「響きの大きさ」から判断していたと推測される。

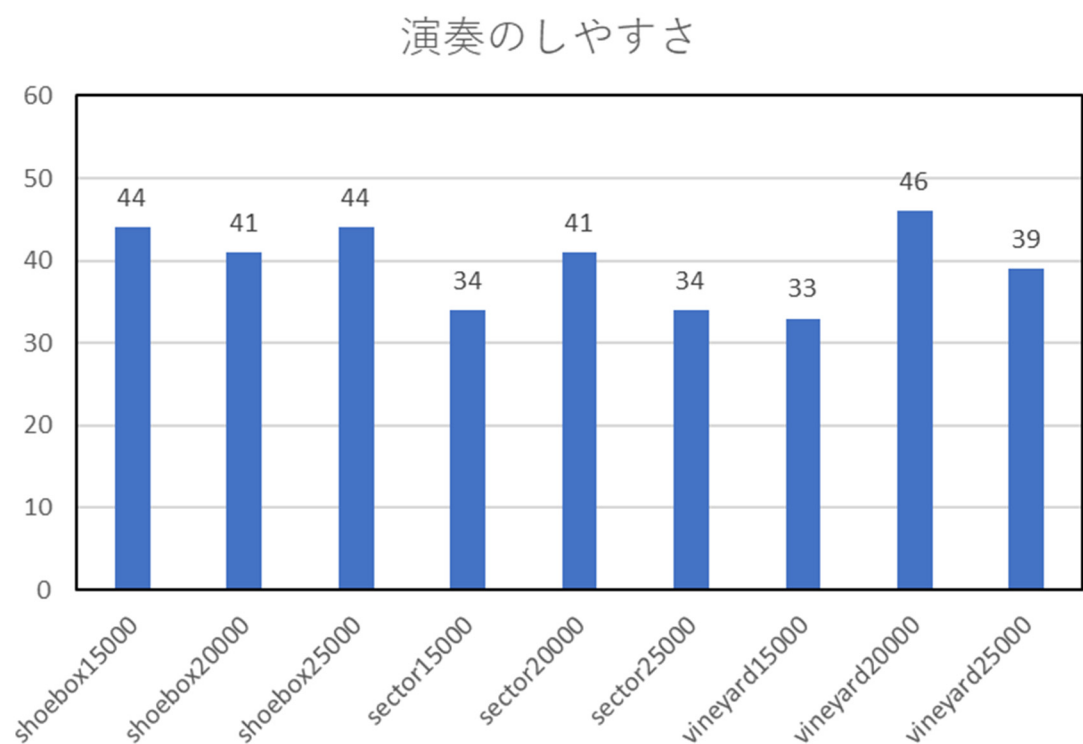


図 16 演奏のしやすさの合計点

図 16 に「演奏のしやすさ」に関する結果を示す。先に述べた「心地よさ」と非常に似た傾向がみられた。両者の相関係数は 0.964 と非常に高い数値であり、強い正の相関がみられた。こちらも「心地よさ」と同様に被験者の感覚に判断を委ねたため、個人それぞれの趣向が出た結果となっている。しかしながら一番評価が高かったのは「明瞭さ」でも触れた vineyard20000 であり、興味深い結果となった。

図 17 に「響きの長さ」と「演奏のしやすさ」の関係性を示す。両者の相関係数は 0.659 であった。このことから「響きの長さ」と「演奏のしやすさ」にはやや強い正の相関があることがわかった。

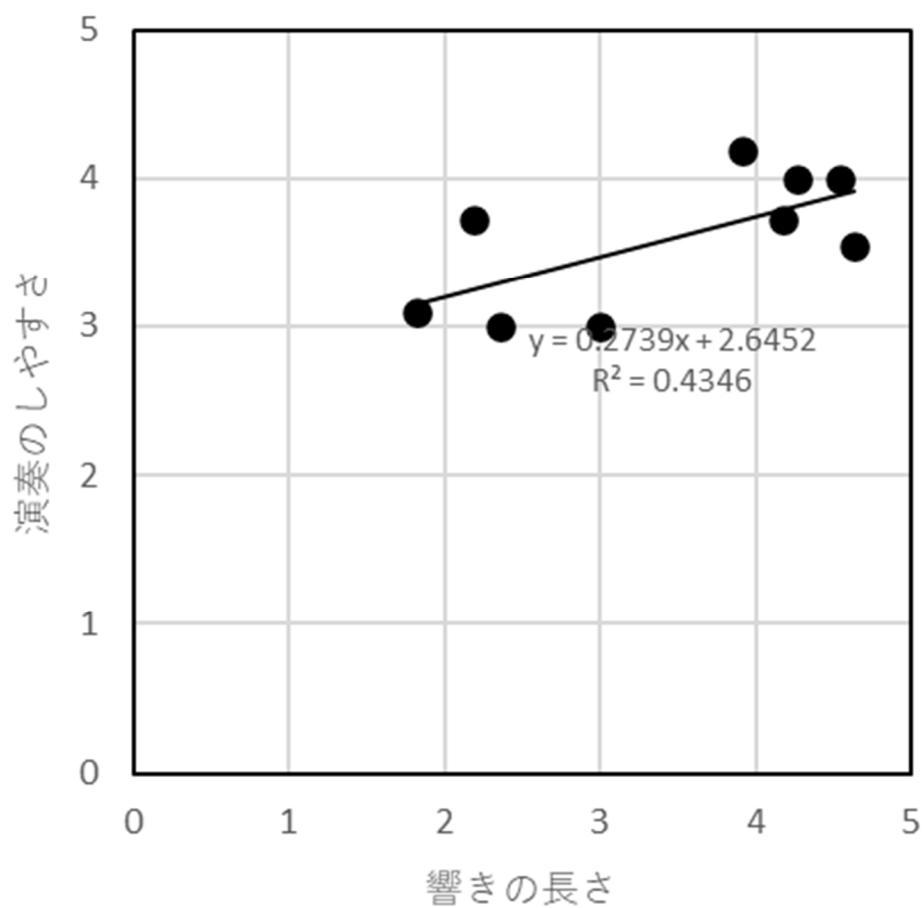


図 17 「響きの長さ」と「演奏のしやすさ」の関係

図 18 に「明瞭さ」と「演奏のしやすさ」の関係を示す。相関関係は 0.00655 であった。したがって、「明瞭さ」と「演奏のしやすさ」には相関関係は見られなかった。

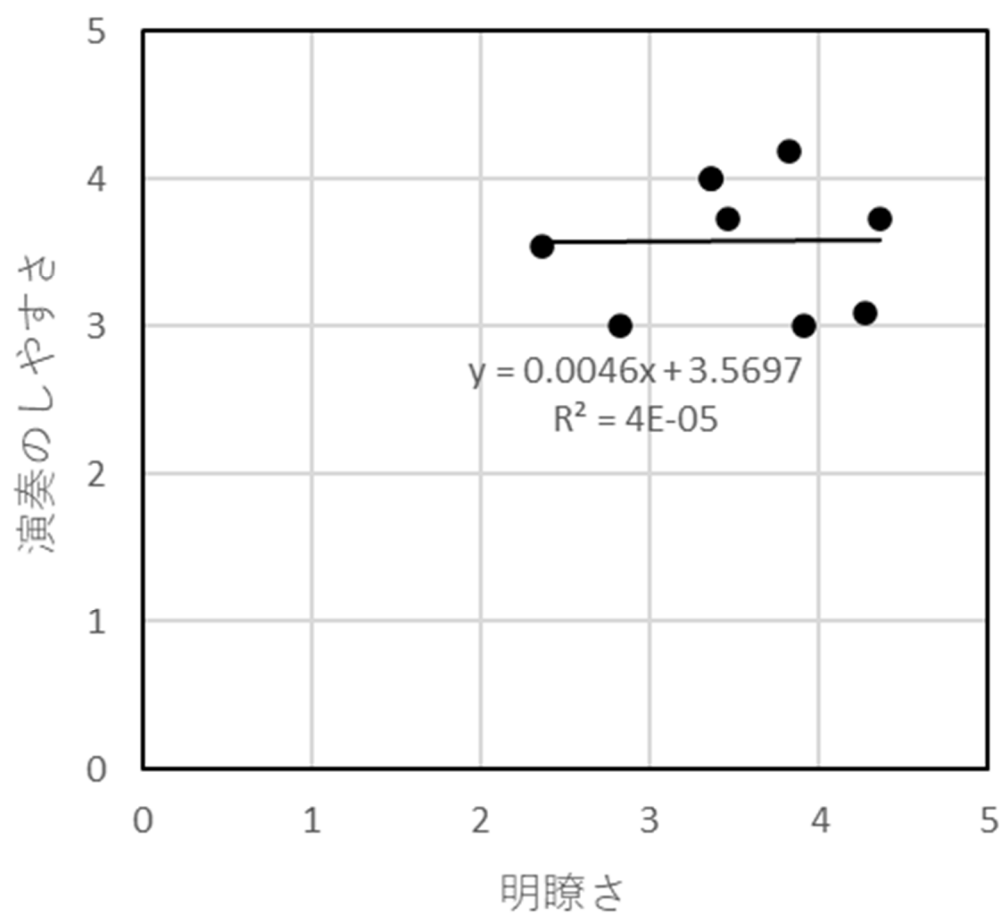


図 18 「明瞭さ」と「演奏のしやすさ」の関係

図 19 に「響きの大きさ」と「演奏のしやすさ」の関係性を示す。相関係数は 0.774 であった。両者の間には強い正の相関が見られた。

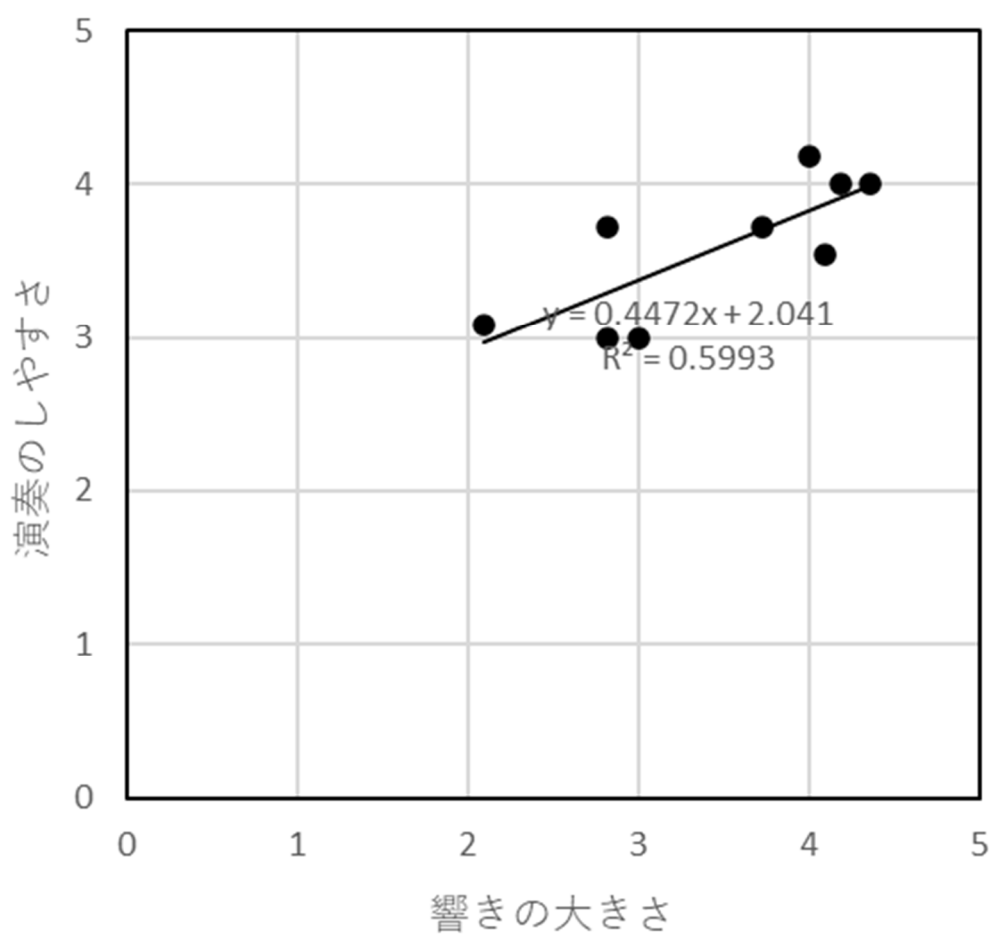


図 19 「響きの大きさ」と「演奏のしやすさ」の関係

図 20 に「心地よさ」と「演奏のしやすさ」の関係性を示す。相関係数は 0.972 であった。両者には非常に強い正の相関が見られた。両者はともに被験者一人一人の感覚に任せて評価をさせたため、この相関係数の値の大きさから被験者は「心地よさ」と「演奏のしやすさ」を混同していたように推測される。

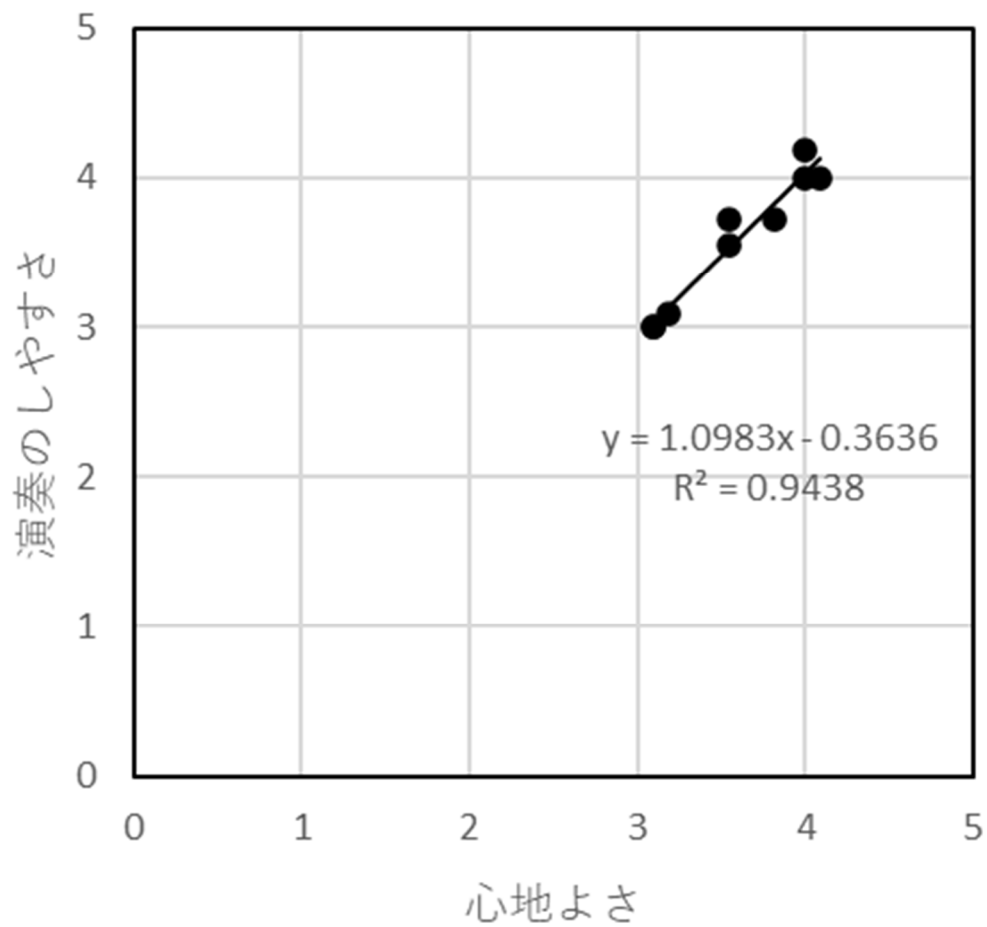


図 20 「心地よさ」と「演奏のしやすさ」の関係

図 21 に「ホール大きさ」と「演奏のしやすさ」の関係性を示す。相関係数は 0.689 であった。両者には強い正の相関が見られた。

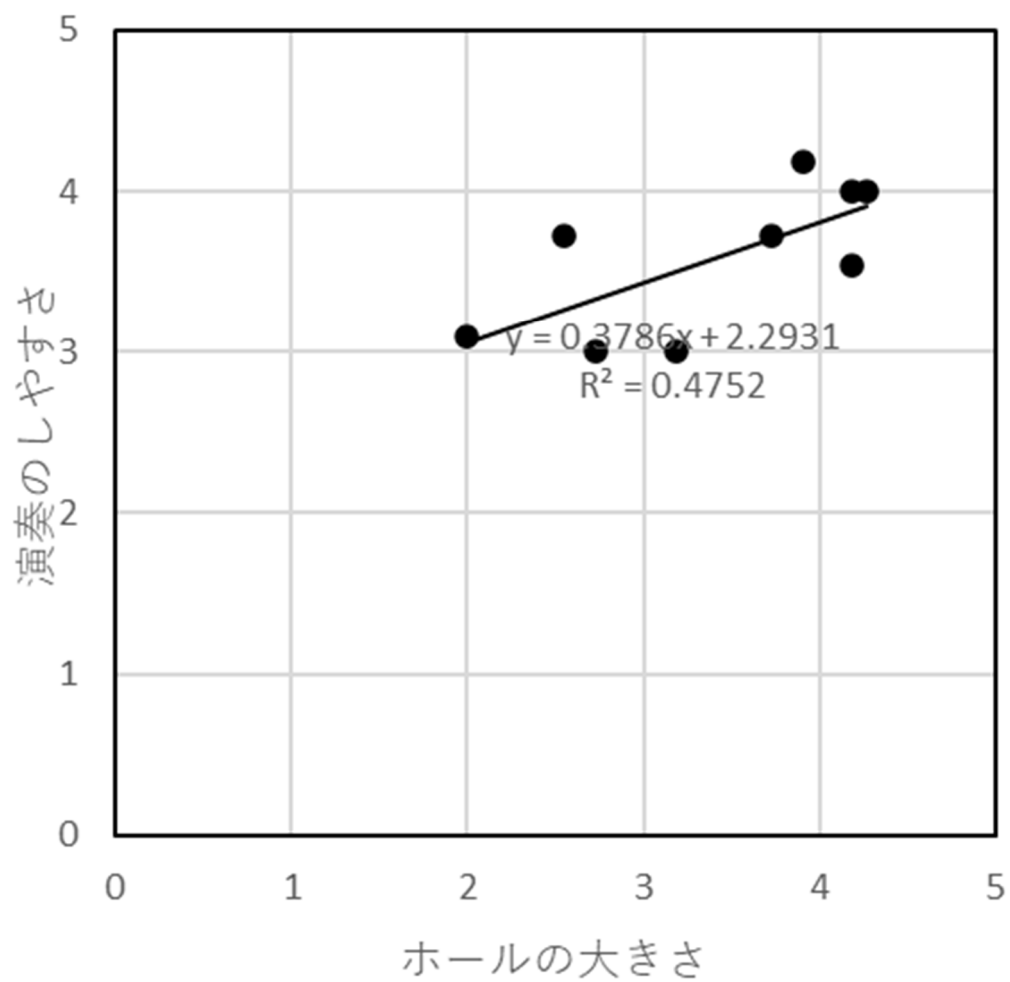


図 21 「ホール大きさ」と「演奏のしやすさ」の関係

3.2 アンケート各項目と物理量の対応

ここでは、アンケート各項目と物理量の関係性を示す。「響きの長さ」は残響時間、「明瞭さ」は Clarity、「響きの大きさ」は Strength、「ホールの大きさ」はホールの体積と対応させた。

図 22 に残響時間と「響きの長さ」の関係を示す。実験以前の推測として「響きの長さ」の評価と残響時間の長さは比例すると考えていたが、結果としては相関係数が-0.713 と強い負の相関がみられた。これは残響時間が長ければ長いほど「響きの長さ」の評価は低くなる、即ち響きを短いと感じることを示す。これは既存の研究結果と反する結果であるが、こうなった要因の一つとして、ホールの形状の違いによる音響エネルギー密度の減衰の推移の違いが挙げられる。図 23, 24, 25 に各ホール 20000m³における音響エネルギー密度の推移を示した。これらを見ると、一番残響時間の長い扇形はシェーボックス型、ヴィンヤード型に比べて 0 秒付近の減衰が大きく、その後の推移はなだらかである。実際被験者からは扇形について「音がはっきりしている」「響きが少ない」等の声が多かった。このことから被験者は 0 秒付近の減衰を響きの長さの判断に用いる重要な要素として感じていると推測される。そのため、響きの長さに対応する物理量は残響時間ではなく、初期残響時間(残響減衰の初期の 10dB 部分の減衰傾斜から求められた残響時間)であったのではないかと考えられる。

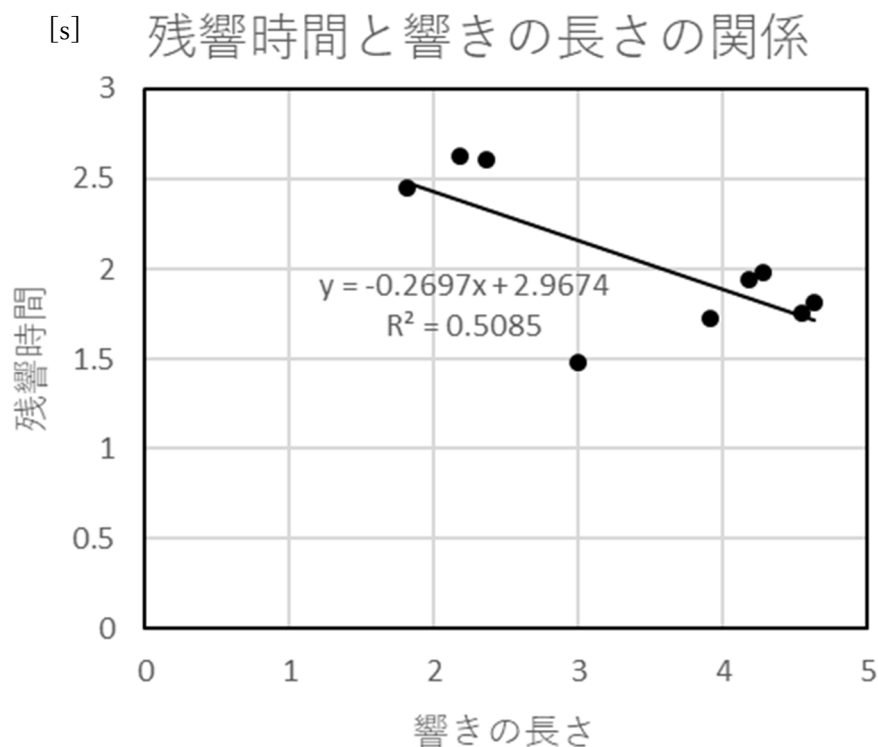


図 22 残響時間と「響きの長さ」の関係

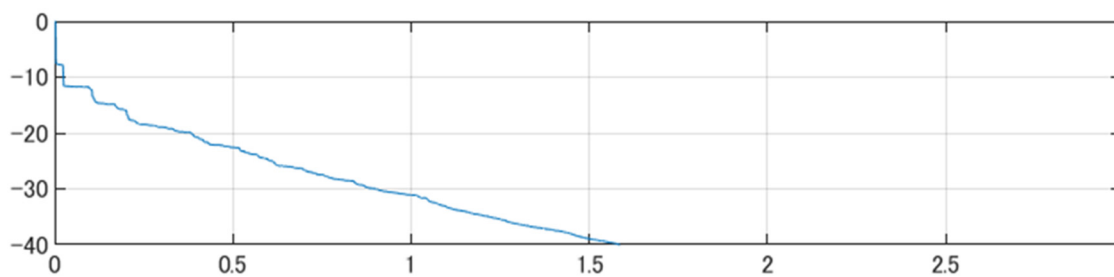


図 23 sector20000 における音響エネルギー密度の推移

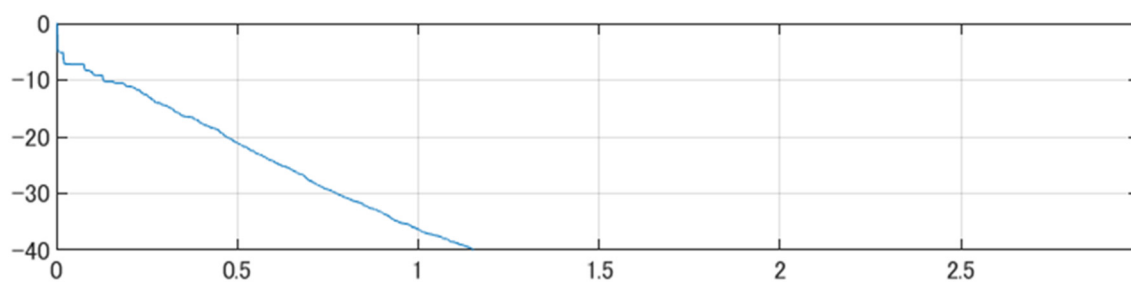


図 24 shoebox20000 における音響エネルギー密度の推移

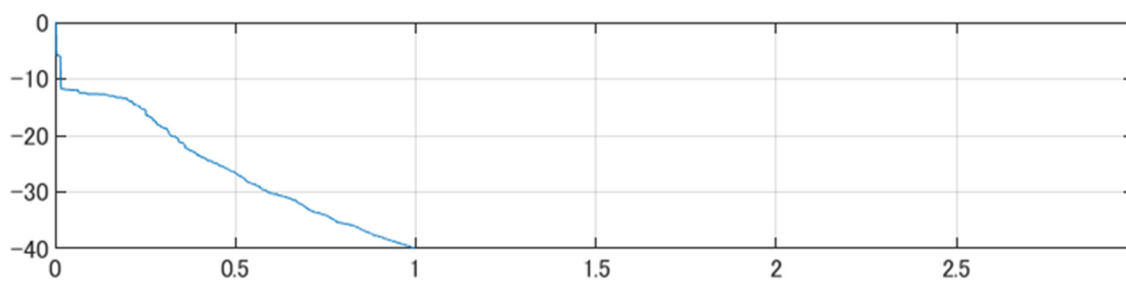


図 25 vineyard20000 における音響エネルギー密度の推移

図 26 に Clarity と「明瞭さ」の関係を示す。相関係数は 0.304 と弱い正の相関がみられた。このことから Clarity と明瞭さはあまり相関関係がないことが分かる。

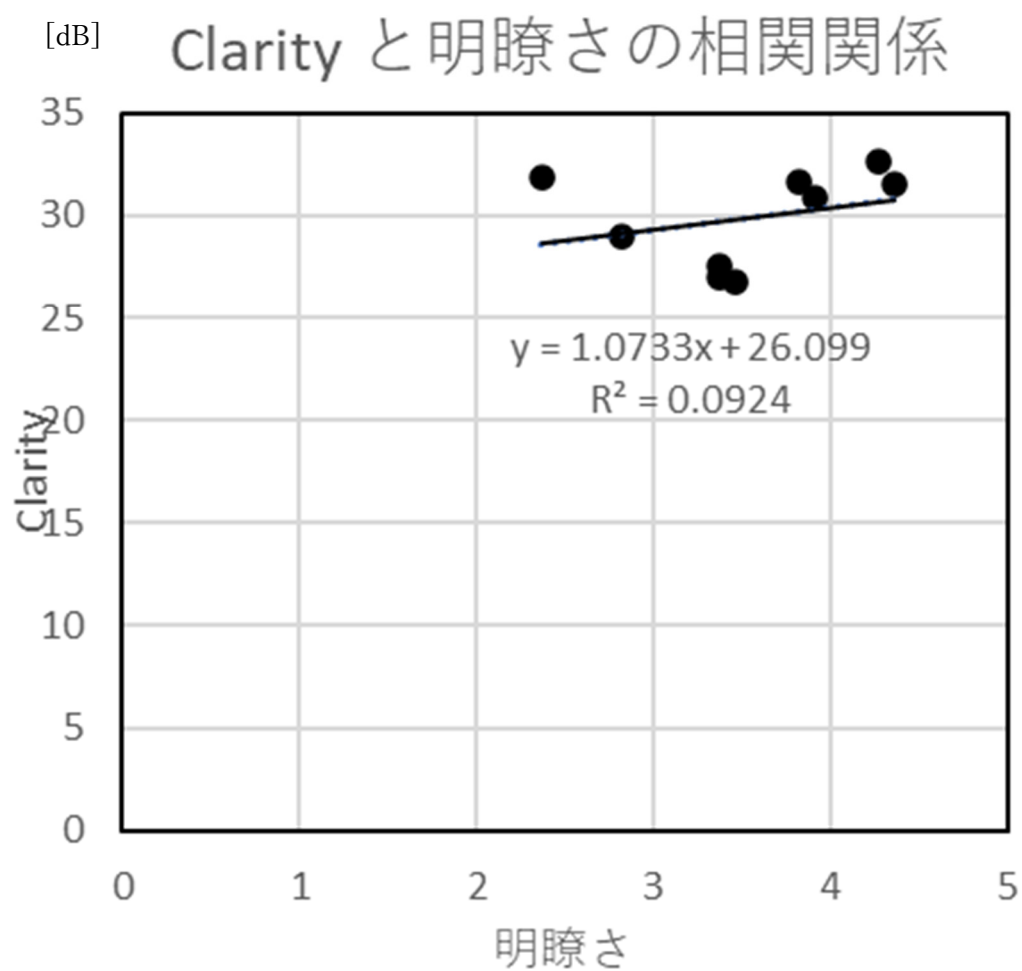


図 26 Clarity と「明瞭さ」の関係

図 27 に Strength と「響きの大きさ」の関係を示す。相関係数は-0.225 と弱い負の相関がみられた。このことから Strength と「響きの大きさ」はあまり強い関係性がないことが伺える。また、一つだけ外れ値があること、ならびに、相関係数が-0.225 と非常に小さいことから今回の実験では「響きの大きさ」が Strength で説明できないことが伺える。

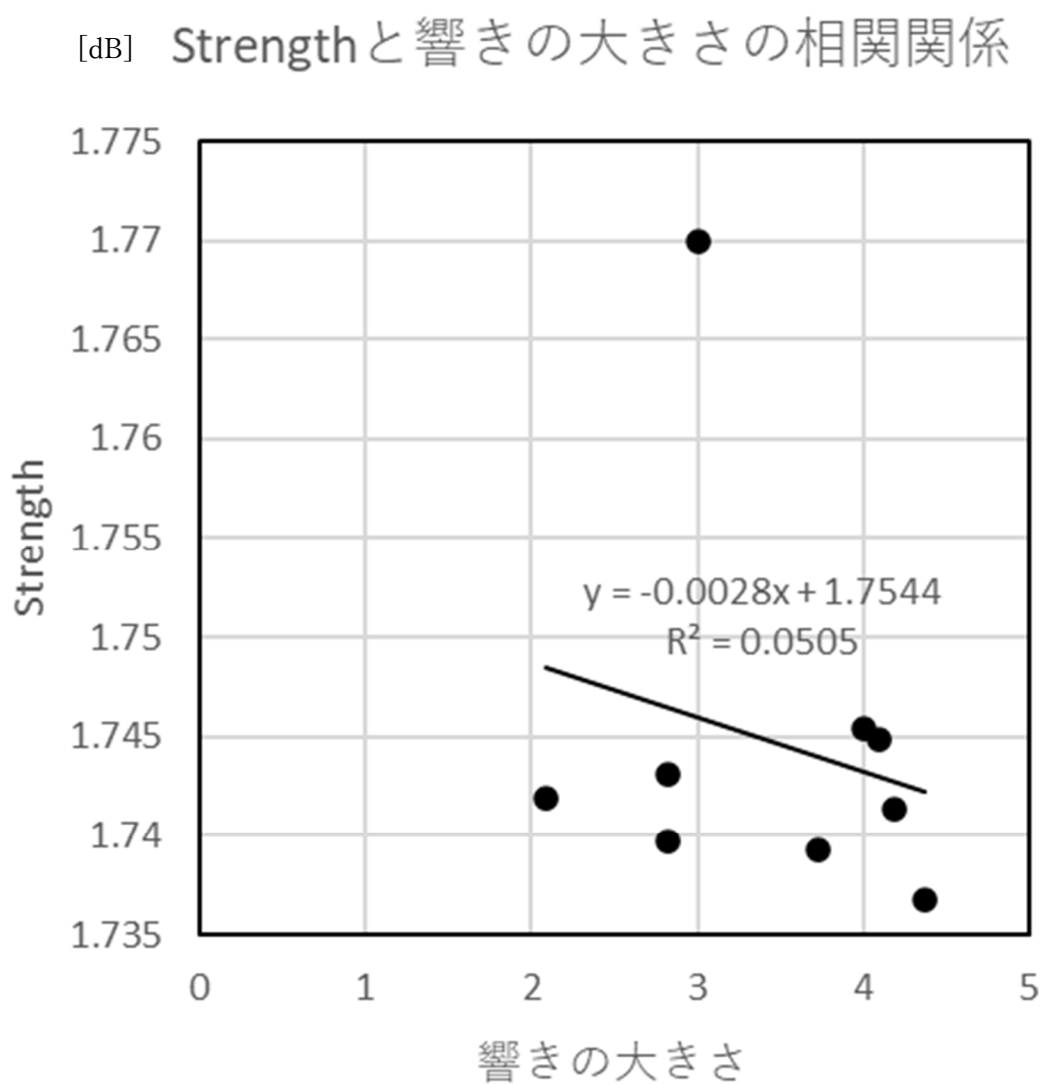


図 27 Strength と「響きの大きさ」の関係

図 28 にホールの体積と「ホールの大きさ」の関係を示す。相関係数は-0.0785 と非常に弱い負の相関がみられた。相関係数が-0.0785 と非常に小さく、また、値が非常に分散していることが分かる。このことから体感でのホールの体積と実際の体積には差異があることが推測される。

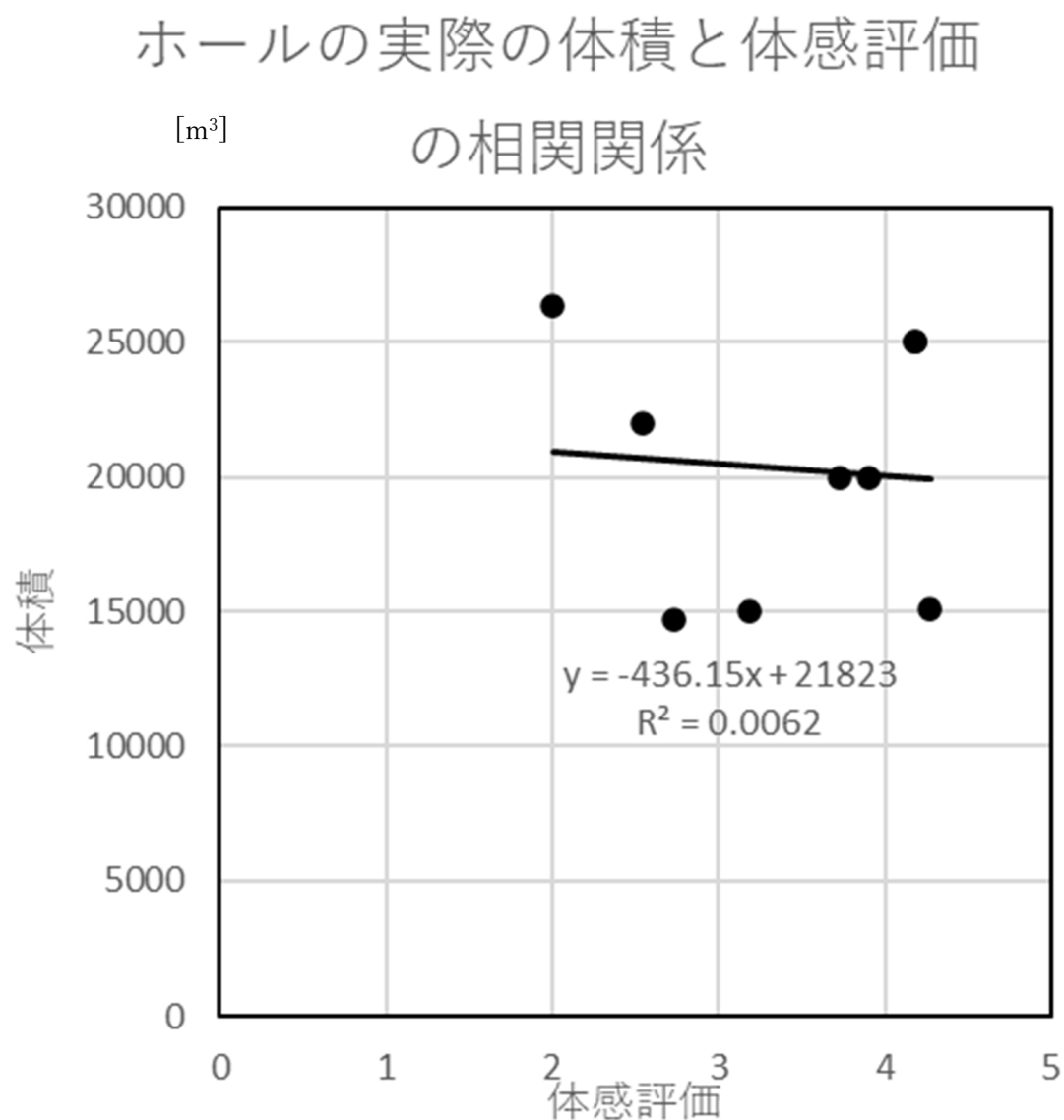


図 28 実際のホールの体積と「ホールの大きさ」の関係

3.3 自由回答

以下にそれぞれのホールについての自由回答を示す。

shoebox15000

- ・ 反響は長く、「ねっとり」とした音が鳴る感覚。(Vn)
- ・ 突き抜けるような響き方でとてもクリア。ただ少し響きは長め。やわらかさよりかたさを感じたけれど、弾きにくくはなかった。(Vn)
- ・ 伸びすぎてぼやけるが、楽に大きくなる印象。(Hr)
- ・ トンネルのような奥行き感があって、響いて吹きやすかった。(Fl)
- ・ 響きが今までで1番よく、演奏しやすかった。(Vn)
- ・ 響きが大きく残響時間も長めだったので少し間延びした感じがした。(Tb)
- ・ 高音は響きが細く残る感じ、中音は普通、低音は音が太く残る感じと響きの終わりで音域によって差があった。響きの長さなどはちょうどよかった。この音源は本当にホールで演奏しているみたいだった。
- ・ 国際会議場のホールと似ていた。とても響きが大きくて少し大きい音を吹くだけで第3倍音までしっかり鳴るため少人数の団体がこのホールで演奏すると倍音で人数をカバーしてくれていいのではないと思う。(Tp)
- ・ 音が柔らかで丸みを帯びたような響きな感じがした。長さも大きさも程度が強くて弾いていて気持ちよかったし、きつい響き方でもなかったので心地よかった。(Vc)
- ・ 響きの残り方に一番違和感がなかった。小さい音がもう少し響くともう少し心地良かったように感じる。(Cl)

shoebox20000

- ・ 音源4より響きが長く、より秋篠音楽堂に似ていて好き。(Vn)
- ・ 余韻が残る感じの響き方で柔らかい性質は割と好感だが、響きが長すぎて少し弾きにくかった。カラオケのエコーを入れすぎた感じ。高音の響き方が澄んでいてパイプオルガンみたいに感じた。(Vn)
- ・ 直線的に伸びる感じ(Hr)
- ・ 小ホールで演奏しているような感覚。強いて言えば高音が少しだけ響きやすかった気がするが、全音域同じくらいの響き方だった。(Fl)
- ・ 限りなく普通。(Vn)
- ・ 音を出したときに前に出した音の響きが残っているように感じた。(Tb)

- ・ 自分が吹いた音程だけでなく、音色や音質も響きに加わっていた。よく響いていたが、あまり邪魔にならなかった。しかし音のすぐあとにある響きが細かい音符を吹いたときに少し邪魔になった。(Cl)
- ・ ある程度大きい音でないと響いてくれないのでエネルギー消費しやすい。住道駅にある区民ホールと似ていた。これぐらいの方が大きい団での演奏をしたときにお客さんが聴いていて心地よい音の大きさになるのではないかと思った。(Tp)
- ・ それなりに響くので弾いていて心地良いけれど優しい響きよりかは実音感の方が強くて音がはっきりしている印象。(Vc)
- ・ 吹き終わって2〜3秒響きが残った。吹いているときはあまり響きを感じなかったためあまり吹きやすくなかった。(Ob)
- ・ 換気扇の下ほど遠くで響いている感じはしないが余韻が長いので少しだけ気になる。(Cl)

shoebox25000

- ・ 音の響きが長く、かつ音の明瞭さもよく音がクリアだった気がする。(Vn)
- ・ はっきりくっきりした音でクリアな印象。響きが長すぎなくて弾きやすさはある。低音も反響がきちんとかえってくる感じは好感が持てる。(Vn)
- ・ 自分の音が少しきれいになって伸びる感じ。(Hr)
- ・ 響きが長く、奥行きのある大きいホールの感じがあった。響きの大きさも程よく、吹きやすかった。(Fl)
- ・ メイシアター中ホールのような感じ。(Vn)
- ・ 残響音が音として判別できるような感じがした。(Tb)
- ・ 響きはサラっとしていたが響きが長く残りすぎて吹きにくかった。音が散っていた感じがした。(Cl)
- ・ 細かい音が響きに埋もれているので不安になった。響きが長い分休みが全然ない曲を吹くときに長い音符で響きに任せやすいと思った。小さい音でも響きやすかった。(Tp)
- ・ 響きが大きくて長くて気持ち良かった。強めなところはパワフルに、優しいところも余韻が優しく消えて好き。(Vc)
- ・ 吹いている間も響いているから音はぼんやりしている。中音〜高音が良く響いてくれるので吹いていて楽しかった。(Ob)
- ・ ホールで弾いている感覚に近い。(Cl)

sector15000

- ・ 響きと長さが短い。ホールが助けてくれるような感覚はなく、ホールマジックは起きない気がした。好きではない。(Vn)

- ・ 響きは長すぎないが、音を増幅させる感じの響き方で非常に弾きやすい。短音の響き方が個人的に好み。(Vn)
- ・ 広がりすぎずはっきりしている。(Hr)
- ・ 全音域全く響かなかった。防音の練習場くらいの感覚。(Fl)
- ・ (音源 1,2 に比べて)響きが少し長めのように感じた。(Vn)
- ・ 響き方が本来のホールに近い感じがした。(Tb)
- ・ 響いてはいるが、全ての音が小さく響いていた。速い音符は吹きやすかったが、ゆったりとしたメロディの部分でもう少し響いてほしかった。音の上澄みだけが響いている感じ。(Cl)
- ・ 小さい音、細かい音でもよく響くので吹きやすかった。縦にも横にも広いホールか、山で吹いているような感じ。こだま返しみたいに聞こえる部分もあった。小さい音は譜面に隠さないと響き過ぎてしまうかもしれないため、このようなホールで演奏する場合は工夫が必要となる。(Tp)
- ・ 音のはっきりしていて粒が立つ感じで弾きやすかった。響きで音が長くなるというよりは一つ一つの音が大きくしっかりする気がしてよかった。(Vc)
- ・ 響いている!!!という感じはないけれど全体的に吹きやすかった。音がいつもより鳴っている感じ。KU シンフォニーホールで吹くのと似ている。(Ob)
- ・ とても狭い部屋で吹いている感覚。意識すると音の余韻がある気がするが自分の楽器から出ている音と判別がつかない。(Cl)

sector20000

- ・ 音の反響はさほど大きくないように感じた。(Vn)
- ・ 堅実に音が発音されるけれど響きは少なめな所感。小さめのホールで弾いている感じがした。(Vn)
- ・ 楽に響いてくれる。(Hr)
- ・ 低音は響いた。建物と建物の間で吹いているような感じがした。(Fl)
- ・ 明瞭さを極めた感じ。(Vn)
- ・ 残響時間は長めだが、音の明瞭性はちょうど良かったので演奏しやすかった。(Tb)
- ・ 自分の音の響きとはまた別の響きが出てくるような感じだった。固い音で吹いても響きが柔らかく残ってしまう。高音が響きにくく、低音が響きやすかった。(Cl)
- ・ はっきり音の粒が聞こえたため吹きやすかった。一方で長い音では響きが保ちにくいため「もうちょっと響きが欲しい」と思う場面が何回かあった。ホールの大きさははっきり粒が聞こえるため小さい部屋のように思われたが、その割には響きがあったように感じられた。(Tp)

- ・ 低い弦がよく響く印象。響きの長さがあまり長なくて(変に音が伸びたりしなくて)一番ナチュラルな響きの感じがとてもよかった。(Vc)
- ・ そこまで響きは感じないけれど吹きにくさはなかった。大きくも小さくもない防音の練習室で吹く感覚に近いと思った。(Ob)
- ・ 響きの方に意識が向かなくて違和感がないように感じた。防音室で弾いている感じだから心地良い悪いはない。室内楽とかならともかく、本番の響きがこれは少し嫌かも。(Cl)

sector25000

- ・ 響きが短く、反響しているという感覚は少ない。長めの反響が好きなので弾きやすさは正直感じなかった。(Vn)
- ・ 響きは感じられなかった。音ははっきり発音されるように感じる。少し広めの玄関ホールで弾いている感じ。(Vn)
- ・ 自分の音がそのまま少し伸びる感じ。(Hr)
- ・ 高音があまり響かなかった。低音はちょうどいいくらいの響き。バンドが練習で使うスタジオくらい感覚。(Fl)
- ・ 音源1と違いが分からなかった。(Vn)
- ・ 音の響きが長すぎず短すぎないように感じた。(Tb)
- ・ 響き過ぎず、細かい音符は演奏しやすかったが、最後の音など余韻を残したいところで残らなかった。いつも練習室で吹いているときよりちょっとだけ響いていたというイメージ。(Cl)
- ・ 壁に向かって吹いたときの音にちょっと響きがついたような感覚。普段からタンギングを聞くために壁に向きながら練習するためとても似ていたように感じる。心地よさは練習だととてもいいが本番の舞台でとなるともうちょっと響きが欲しい。(Tp)
- ・ 響きがあるけど大きすぎずだったため、本番じゃなくて練習の時にこの環境なら嬉しいと思った。自分の生音感が少し強い。(Vc)
- ・ 響きをあまり感じられなかった。自分の下手な部分がいつもよりはっきり聴こえて吹きにくかった。なんとなく吹き心地が重い感じがした。(Ob)
- ・ 気持ち余韻が残る感じだが、意識していなければ狭い練習室とほぼ同じように感じる。(Cl)

vineyard15000

- ・ 普通のホールといった印象。(Vn)
- ・ 音の発音が若干浮つくような感じ。響きは可もなく不可もなく。(Vn)
- ・ 広がりのある音で頑張らなくても響く(Hr)

- ・ 小さめのホールのような演奏感。ちょうどいいくらいの響き。(Fl)
- ・ あまり響かないような印象。(Vn)
- ・ 響きの長さが短く感じた。(Tb)
- ・ 広いホールで吹いているようだったが、音が間延びして良い余韻があまり残らなかった。次の音を吹くまでに前の音の余韻が邪魔になった。ピアノのペダルをずっと踏みながら演奏しているようだった。(Cl)
- ・ 部屋は狭くて天井が高いホールで吹いている感じがした。響きがすぐ消えるので不安になる。オペレッタに入って吹いている感覚。(Tp)
- ・ 重音のときに音がすごく響いて聴こえたので音価の加減が少し難しそうな気がした。(Vc)
- ・ 吹いたあとの余韻は多少あるかなという感じ。発音とかは自分の音が良く聴こえた。大ホールのような音が響きわたって楽しい感覚はなかった。(Ob)
- ・ 音が残る感じが強い。次のフレーズに行くときに気になる。(Cl)

vineyard20000

- ・ 音の反響も十分にあり、それでいて少し乾いた音がするような感覚も覚えた。大きめのホールのように感じた。(Vn)
- ・ 上品な性質の響き。大きさはとても大きいわけではないけれど、きちんと増幅してくれている感じがして、繊細な音色の余韻が個人的にとっても好み。(Vn)
- ・ 長すぎず、よく響く。ダイナミクスの表現がつけやすい気がした。(Hr)
- ・ 少し響きが小さいため吹きづらさを感じた。スタジオの響きと同じくらい。(Fl)
- ・ 目をつぶると尚良く弾きやすかった。(Vn)
- ・ 残響がはっきり聞こえてきたという感じがした。(Tb)
- ・ 間延びせず、短すぎず、ちょうど良かった。音域による響きの違いもなかった。(Cl)
- ・ とても吹きやすかった。あまり力を入れなくても勝手にホールが響いてくれるし、倍音もよく聞こえた。ちょっとした細かい音の変化でもそのまま遠くへ伝えていくため、表現もしやすいホールだった。これ以上響きが大きいと逆に吹きにくいので、本当に適度な響きのホールだったように感じる。(Tp)
- ・ よく響いて気持ちよかった。パワフルに響く印象。音が分散してはっきりとは少し違ったので、その響きを意識して弾かなければならないと思った。(Vc)
- ・ 3階まであるホールの感覚に近い。近くではあまり響いていないけれど遠くの方にかすかにいる。吹いててもあまり感じないけれど観客からは綺麗に聴こえそう。(Ob)
- ・ 大きい音は響くが小さい音はあまり響かない。小ホールで演奏している感覚。(Cl)

vineyard25000

- ・ 秋篠音楽堂に似てる感じがして好き。(Vn)
- ・ 高音の響きの長さがとても長い。細かい音のはっきりさもきちんとあって非常に弾きやすかった。(Vn)
- ・ 音が長すぎて扱いづらい。(Hr)
- ・ 中音域が特に鳴りやすかった。体育館などのホールではないが響くところで吹いている感じ。(Fl)
- ・ 低音が響くイメージ。(Vn)
- ・ 人がいないホールで演奏したような感じがした。(Tb)
- ・ 低音が響きにくく、高音が響きやすかった。純粋な音よりも響きの大きさのほうが大きかったように感じた。学校の階段で吹いているようだった。(Cl)
- ・ 細かい音がほぼすべて響きで埋められてしまったのでゆったりとした曲をするなら吹きやすいが、それ以外だと吹きにくい。迫力ある曲でも響きが大きすぎる分「迫力がある」より「うるさい」と捉える人も出てくると思う。上の方に響くなとも思った。べた乗りだときついかもしれない。(Tp)
- ・ 響きが大きく長くてとても気持ちよかった。pp で弾かなければならない箇所や音の末尾が良い感じに響いてくれたため生音みたいに音が貧しくならなくて好き。和音だと響きが広がってすごく良さそう(Vc)
- ・ 次の音を吹くときにまだ前の音の響きが残ってた。良く響く大ホールで吹いてる感じ。オーボエはこれくらいの響きがあると粗が目立たなくて助かる。(Ob)
- ・ トンネルの中で吹いている感覚。あるいは換気扇の下で吹いている感じ。響いているのはわかるが遠くで鳴っているように感じた。(Cl)

3.4 考察

アンケートの各項目の結果及びそれらの関係性を見ると、「響きの長さ」と「響きの大きさ」や「心地よさ」と「演奏のしやすさ」においてはそれぞれの言葉の定義を明確に提示せず被験者の感覚に委ねたため、両者を混同してしまったと見受けられる結果が得られた。特に「心地よさ」については個人の趣向が強く出る傾向にあった。「演奏のしやすさ」に強く相関関係が出た項目は「響きの長さ」「響きの大きさ」であり、本研究では物理量との対応として「響きの長さ」に残響時間を、「響きの大きさ」に Strength を対応させていたため、各項目と物理量の関係性をみたが、今回の実験では残響時間が短ければ短いほど「響きの長さ」が長く感じられるということが分かり、また Strength と「響きの大きさ」はあまり相関関係が見られず Strength が「響きの大きさ」に対応する物理量として相応しくないという可能性が示唆された。しかしながら、「響きの長さ」に対応する物理量は残響時間よりも初期残響時間の方が相応しいという可能性も示唆された。

また、「演奏のしやすさ」という項目で一番評価が高く、被験者からも「良かった」という声が多かったのは vineyard20000 のホールであった。vineyard20000 のホールは残響時間が中音域において 2 秒になるように設定したホールである。実際に計算によって求められた残響時間は 1.72 秒と少し短めになったものの評価が高く、世間で知られている「最適残響時間は 2 秒」という考え方に異論を唱える結果となった。「ホールの大きさ」については、今回の結果によると被験者は演奏してみた感覚だけではホールの大きさの判断はしづらい可能性が高い。

第四章 結論

本研究では多くの楽器に共通する「演奏のしやすさ」を示すことを目的としていたが、一部のアンケート項目と物理量の対応がうまくいかなかったため結果として具体的な「演奏のしやすさ」を示すことはできなかった。しかしながら、本研究では「演奏のしやすさ」に「響きの長さ」や「響きの大きさ」が大きく関係してくることが確認された。今後は「響きの長さ」「響きの大きさ」、この2つの項目と関係する物理量を検討していくことで多くの楽器に共通する「演奏のしやすさ」を物理量で示せるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 酒井伸明, 上田麻里, 藤本一寿, “演奏のしやすいステージ音場に関する考察—ホルン奏者による評価実験—”, 日本建築学会学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, 325-326, 2010-07-20.
- [2] 六反田素子, 上野佳奈子, 小島隆矢, 金森敬子, 橘秀樹, “室内楽演奏のしやすさに関する演奏家のホール音場評価の分析”, 日本音響学会研究発表会講演論文集, 895-896, 2003-09-17.
- [3] 小池宏寿, 木村翔, 橋本修, 杉野潔, “舞台の基本形状の違いが”演奏のしやすさ”に与える影響について—演奏者による実験的演奏体験を通じた舞台内音場の評価の基礎的検討その2—”, 日本建築学会学術講演梗概集. D, 環境工学, 1731-1732, 1994-07-25.
- [4] Michael Vorländer, “Simulation of transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracking/image-source algorithm”, J. Acoust. Soc. Am. 86(1), 172-178, 1989.
- [5] Masahiro Toyoda, Yuta Sakayoshi, “Filter and correction for a hybrid sound field analysis of geometrical and wave-based acoustics”, Acoust. Sci. & Tech. 42(4), 170-180, 2021.
- [6] 小林愛佳, “幾何音響理論の改善”, 関西大学卒業論文, 2019.

謝辞

本研究の遂行にあたり指導教官として終始多大なるご指導を賜った、関西大学環境都市工学部建築学科の豊田政弘教授、また実験に協力してくださった関西大学交響楽団の団員の皆様に厚く御礼申し上げます。