

2006 年度 修 士 論 文

多チャンネル音場再現システムを用いた
音環境印象評価に関する研究
- 空間構造認知からみたシステムの再現性 -
Subjective Evaluation of Sound Environment Simulated
with Multichannel Reproduction Systems
- Effect of the Systems on Sound Image Localization -

上杉 崇
Uesugi, Takashi

東京大学大学院新領域創成科学研究科
環境学研究系 社会文化環境学専攻

目次

第一章 序論	1
1-1 本論文の概要	2
1-2 研究背景	2
1-3 研究目的	4
1-4 実験構成	4
第二章 6チャンネル再生システムの構築	6
2-1, 6チャンネル再生システムの概要	7
2-1-1, 6チャンネルシステムの特徴	7
2-1-2, 既往の研究	8
2-2, システム構成とスペック	9
2-3, 收音系	10
2-3-1 收音マイクロホンシステム	10
2-3-2 マイクロホンの個体差の把握	11
2-3-3 マイクロホンと6ch收音システムのイコライジング	12
2-3-4 モニタリングマイクに関する考察	13
2-3-5 收音ノイズと録音レンジに関する検討	15
2-4, 再生系	16
2-4-1 スピーカーイコライジング	16
2-4-2 スピーカーの配置	16
第三章 【実験1】方向定位に関する実験	19
3-1, 実験概要	20
3-2, 実験システム	20
3-3, 実験手順	21
3-4, 実験結果	22
第四章 【実験2】想定値に基づく音量の認知に関する実験	24
4-1, 実験概要	25
4-2, 実験システム	25
4-3, 再現対象	28
4-4, 実験手順	30
4-5, 結果と考察	33
4-6, まとめ	37
第五章 【実験3】距離感に関する実験	38
5-1, 実験概要	39
5-2, 実験システム	39
5-3, 再現対象	40
5-4, 実験手順	44
5-5, 結果と考察	49
5-6, まとめ	54
第六章 総括	55
参考文献	58
付録	60
・本論文 梗概	
・【実験2】呈示用紙	
謝辞	

一章

序論

1-1 本論文の概要

1-2 研究背景

1-3 研究目的

1-4 実験構成

1-1 本論文の概要

音環境の印象評価を行う際に実験室での音場再現は多用されている手法である。近年ではモノラル再生やステレオ再生といった再現手法だけではなく、多チャンネル再生によるより再現性の高いシステムも用いられるようになってきている。しかし、再生システムごとの再現性の比較を心理的な面から比較された研究は少ない。こういった状況においては、異なった再生システムを用いて行った印象評価は、その結果に差異が生じている可能性がある。そこで印象評価に対するシステムの依存性を明らかにする必要があると考えられる。

人が音の印象を評価する過程にはまず音を認知する段階があると考えられる。そこで本論文では、音の大きさや方向・距離といった音の基本的な認知に着目し、三種類の異なる再生システムを主観評価実験により比較することで、音の認知段階における再生システムの依存性を把握することを目的としている。またそのためのツールとして、本学環境学研究棟に6チャンネル音場再生システムを構築し、その再現性の把握を行う。

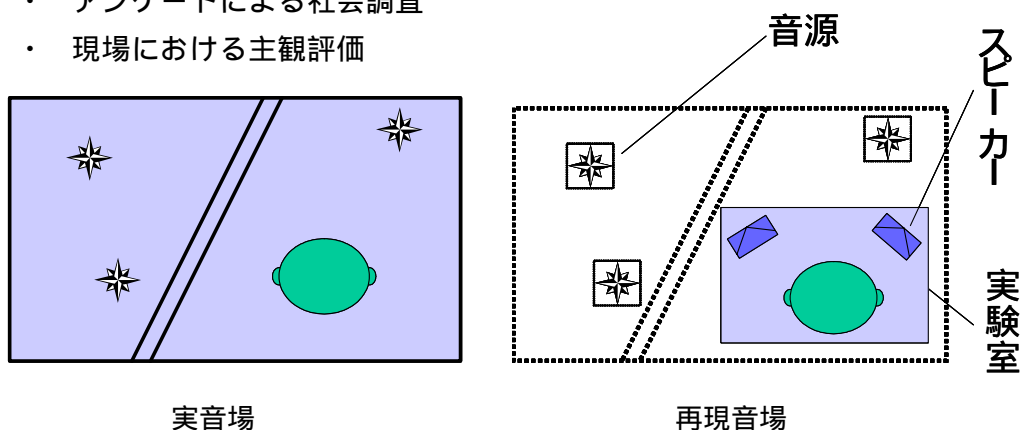
1-2 研究背景

・ 実験室における印象評価実験

騒音評価やホールの試聴、都市の音環境の評価をする際に、実験室における音場再現は多用されている手法である。その利点としては、実験条件の統制・調整が容易であること、シミュレートによって仮想的な音場を作成可能であること、異なる音場の比較が容易であること、また実音場に行く必要がないので被験者の負担が軽減されることなどが挙げられる。

また実験室実験以外での音環境に関する調査方法としては以下のものがあげられる。

- ・ アンケートによる社会調査
- ・ 現場における主観評価



・主観評価実験における再生システムの選択

本研究室での主観評価実験における再現対象音場の例として、古市ら[1]による室内空間における外部騒音としての交通音、高部ら[2]による室内空間における設備騒音、飯島ら[3]による室内空間における鉄道騒音があげられる。全ての場合においてモノラルマイクロホンでの録音を、簡易半無響室でのステレオ再生で行われている。

また東大生産研究所応用音響工学研究室における主観評価実験の例として、横山ら[4]による公共空間、伊豫田ら[5]による室内空間における空調騒音、石橋ら[6]による室内空間での交通音・空調音・ロック音楽透過音等、多数の実験があげられる。この場合は再生系として、全ての場合で全無響室内での6h再生システムが用いられている。

また横浜国立大学建築学科環境工学研究室での主観評価実験の例として、藤井ら[7]による室内空間における交通と鉄道の複合騒音、柿内ら[8]による室内空間における新幹線騒音があげられる。この場合はどちらもモノラルマイクロホンでの録音を、無響室ではなく通常居室と同様の実験室において再現がなされている。

このように各研究機関での再生システムの選択に関しては保持実験室・保持機材の拘束が大きく、再現する状況や音源に対する適正といった観点は薄い。こういった状況において、異なった再生システムを用いて行った印象評価は、その結果に差異が生じている可能性も考えられる。そこで音の印象評価に対する再現システムの依存性を明らかにする必要があると考えられる。

・音の印象評価と認知

本論文では各再生システムの再現性を比較する際に、音響インテンシティ等の物理的なアプローチではなく、音の認知という心理的なアプローチから行う。

音の印象評価と認知に関して梶原ら[9]は時空間的構造という観点から研究を行っている。そこでは人間の音環境に関する態度には「認知」と「評価・判断」の流れがあると述べられている。人が音を聞くと、まず音の意味と位置を「認知」し、その次のステップとして「評価」があるとしている。

印象評価に対する再生システムの依存性を明らかにする際に、評価というより高次の複合判断に着目することは難しい。そこでその前段階として、より低次で単純な判断である、音の認知に着目する必要があると考えられる。

そこで本論文では、音の最も基本的な認知である、大きさや方向・距離といった空間構造に着目し以下の三つの主観評価実験により再生システムを比較する。そして認知の段階における再生システムの依存性を検討する。

1-3 研究目的

以上のことを踏まえ、音の大きさや方向・距離といった音の基本的な認知に着目し、三種類の異なる再生システムを主観評価実験により比較する。そして音の認知段階における再生システムの依存性を検討することを目的としている。またそのためのツールとして、本学環境学研究棟無響室に6チャンネル音場再生システムを構築し、その再現性の把握を行う。

1-4 実験構成

音の認知に関して、音量、方向、距離の観点から以下の三つに示す実験を行う。

実験1 方向定位に関する実験

構築した6チャンネル再生システムにおいて、水平面内での方向定位の精度に関する検証をおこなう。1ch、2chでは不可能な方向においての再現性を把握することで、方向定位における、6chの明らかな優位性の確認を行う。

実験2 想定値に基づく音量の認知に関する実験

写真の呈示と各再生システムでの再生音によっていくつかの公共空間を再現し、その場所に対して人が想定する音量のレベル(想定値)を明らかにする。ここで1chと2ch、6chの比較を通して音量の認知に関するシステム依存性をさぐると共に、今後6ch再生システムを用いて印象評価を行っていく際の適切な音量設定を把握する。

実験3 距離感に関する実験

実環境にある音源の距離感に着目し、実音場での距離感をもとに各再生システムの再現性の比較する。これにより距離の認知に関するシステムの依存性を明らかにすると共に、単一音源が支配的な音場での6ch再生システムの再現性を把握する。

実験 1 と既往研究との対応

横山ら[10]によって構築された 6ch 再生システムについて、主観評価による方向定位の実験が行われており、このシステムでの高い方向定位精度が確認されている。

実験 2 と既往研究との対応

松井、大井ら[11][12][13]によって想定値という概念を導入した音環境印象評価に関する研究が 3 報にわたってなされている。そこでは実験室内に都市環境を再現して印象評価を行うために、実験室内での「心理的な再現性」に関する考察がなされている。1 報目では実験室内に映像とモノラル再生によって、都市の街路空間を再現し、映像から想定される音量のレベル(想定値)を明らかにする実験がおこなわれた。ここから、実験室内では「実音場での音量-9dB」で心理的に最も自然と感じられる知見が得られた。2 報目では再現対象地を大幅に広げ、場の属性と想定値の関係に関する知見を得た。そして 3 報目では実際に映像と想定値での音の呈示によって再現を行い、実際に都市の音環境に関して SD 法を用いて印象評価が行われた。

そこで本研究でも心理的な再現性を比較するという目的で、想定値という概念を用いる。そして想定値を用いて再生システムの再現性を比較し、音量の認知に関する再生システムの依存性を把握する。

実験 3 と既往研究との対応

距離知覚に関する先行研究では人間は 1.2m 付近の近距離ましか絶対的な距離判断ができないことがわかっている[14]。また距離の手がかりとして、音量・両耳時間差・音色・反射音・視覚が取り上げられている[15]。また佐藤ら[16]の研究では、室内音源と室外音源では、距離認知の判断要素が異なることが報告されている。それによると室内音源での距離の判断要素は音量に加えて初期反射音や残響等、屋外音源の判断要素は音量に加えて空気吸収による高温減衰、移動音源に関してはその時系列音量変化等があげられている。

本論文での再生システムを比較するという観点では、上記の判断要素は 1ch でも再現可能であるといえる。しかし 6ch では方向定位精度の向上によって距離の判断要素が追加されることが考えられる。室内音源では上記の判断要素に初期反射音や残響の到来方向、屋外音源では、移動音源のその動きが追加されることになる。そこで同じ音場を違ったシステムで再現し、距離感の違いを比較することで、再現システムの依存性を探ると共に、そういった判断要素の追加の効果を明らかにする。

第二章

6 チャンネル再生システムの構築

2-1, 6 チャンネル再生システムの概要

2-1-1, 6 チャンネルシステムの特徴

2-1-2, 既往の研究

2-2, システム構成とスペック

2-3, 收音系

2-3-1 收音マイクロホンシステム

2-3-2 マイクロホンの個体差の把握

2-3-3 マイクロホンと 6ch 收音システムのイコライジング

2-3-4 モニタリングマイクに関する考察

2-3-5 收音ノイズと録音レンジに関する検討

2-4, 再生系

2-4-1 スピーカーイコライジング

2-4-2 スピーカーの配置

2-1, 6ch システムの概要

2-1-1, 6ch 再生システムの特徴

千葉工大の橘・横山らによって考案・検討されたシステムであり、6本の単一指向性マイクロホンをX軸、Y軸、Z軸方向に組み合わせて収録を行い、無響室内に配置した6チャンネルのスピーカーを通して再生する原理的に極めて単純な方法である。しかしながらそのシミュレーション音場は自然な印象が得られる為、居室空間だけではなく、屋外や公共空間、ホール音場等の三次元音場での主観実験に用いる場合において適応可能性が高いことが分かっている。

またこのシステムは頭部伝達関数の測定や複雑な信号処理を必要としないことと、受聴時の姿勢についての制約が緩いことも重要な特徴である。

6ch 収録ユニットの収録の向きを図 2-1 に、単一指向性マイクロホンの指向特性（カージオイド曲線）を図 2-2 に、再生系を図 2-3 に示す。

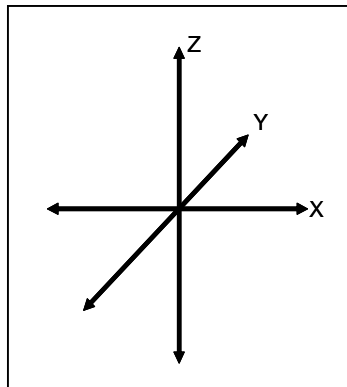


図 2-1 収録系の収録方向

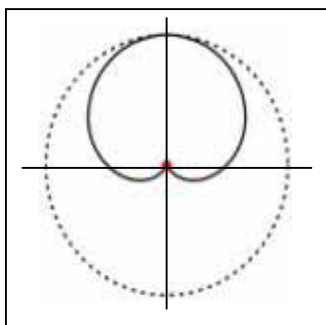


図 2-2 単一指向性マイクロホンのカージオイド曲線

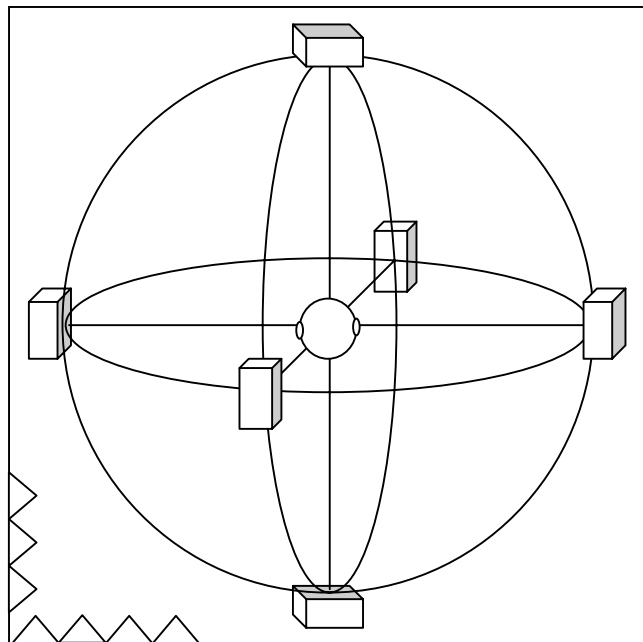


図 2-3 再生系

2-1-2, 6 チャンネル再生システムに関する既往の研究

システムの再現性に関する既往研究

6 チャンネル再生システムの再現性に関する基礎的な検討は、物理的な指標からの周波数特性や音響インテンシティ、また聴感印象からの方向定位といったもので行われている[10]。また上記の指標を元に、マイクの間隔や受聴エリアに関する考察も行われている[17]。

ホール音場等の室内音響に 6ch 再生システムを適用した際の再現性は、インパルス応答や残響時間、聴感物理量からアプローチされている。

数値シミュレーションをもとに計算された、仮想的な音場を可聴化する手段として用いられることもある[18]。

印象評価実験に 6ch 再生システムが用いられた例

喧噪感に関する検討や会話のしやすさに関する検討といった基礎的なもの[10]、アナウンス聴取[19]や居住空間での騒音評価[6]といったもの、また再生系だけを利用してステージ音響のシミュレーション[20]を行ったものなど多数ある。

上記で再現対象とされた音場には屋外公共空間や屋内公共空間、居室空間、音楽ホール空間となっており、様々な属性の音場に適用されている。

2-2, システム構成とスペック

システム構成を図 2-4 に、機材を表 2-1 に示す。上の四角の中が収録系となっており、全て AC 電源なしで駆動することができる。音の取り込みはオーディオインターフェースを使って行い、保存・編集・再生は通常の PC 上で行う。そしてインターフェースを介して再生系に出力を行う。ノートパソコン一台と、それよりも小さいインターフェースのみで再生ができる簡易システムになっており、無響室内外のどちらにいても再生コントロールをすることができる。

デジタル入力でのサンプリングは のレコーダーの 10kHz が最低値なので、再生周波数の上限はその値に依存する。また最低周波数帯域は のスピーカーに依存し 63Hz となっている。

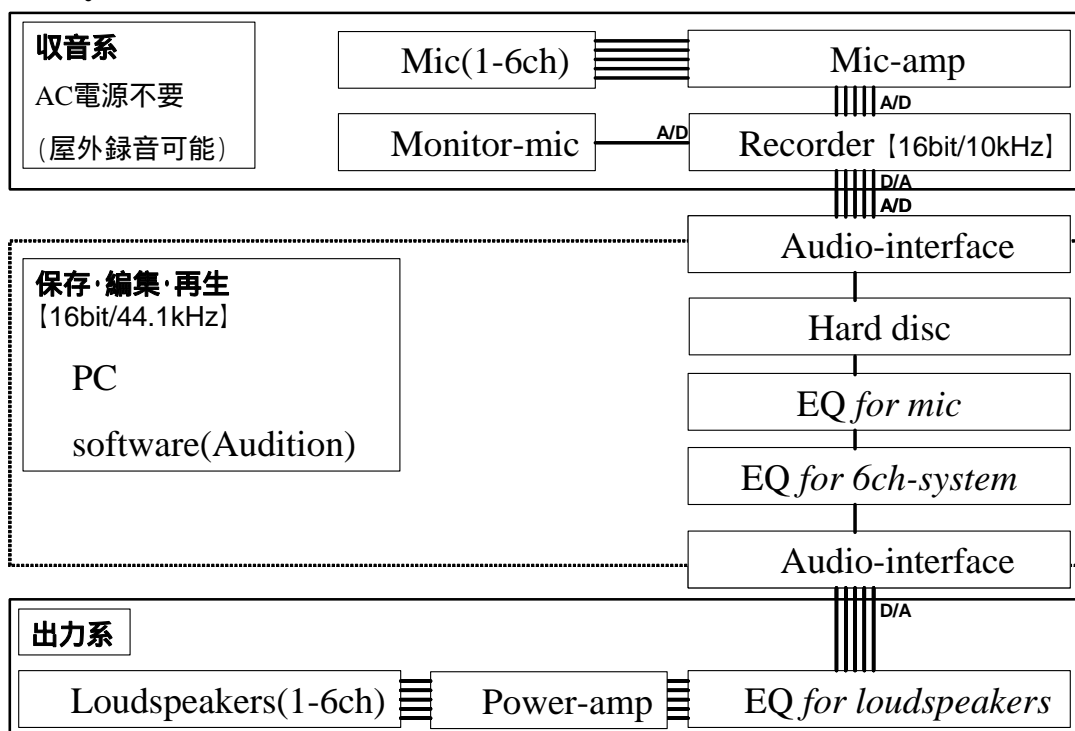


図 2-4 システム構成

表 2-1 用いた機材

	採用機材	メーカー	備考
Mic	C-48	SONY	単一指向性マイク
Monitor-mic	LA-1350	小野測器	精密騒音計マイク部
Mic-amp	QuadMic	RME	GAIN: +10dB ~ +60dB
Recorder	PC208	SONY	16bit/10kHz, 8ch同時録音
Audio-interface	UA-101	EDIROL	16bit/44.1kHz, 10in/10out
PC	INSPIRON6400	DELL	CPU: Intel(R) Core(2) 2GHz/ 1GB RAM
Software	Audition	Adobe	Audition1.0
EQ for loudspeakers	Q2031(x 2)	YAMAHA	1/3octband, 20Hz-20kHz
	SH-8075(x 1)	Technics	1/3octband, 20Hz-20kHz
Power-amp	F222ESJ	SONY	
Loudspeakers	NS-2HX	YAMAHA	再生周波数: 60Hz ~ 50kHz 2way, クロスオーバー周波数2.5kHz

2-3, 收音系

2-3-1.收音マイクロホンシステム

收音システムは図 2-5 に示すように構築した。中心位置での高さは 120cm で、マイク間隔は 11cm となっている。また中段の柱を外すことにより高さを 90cm に調節することも可能とした。

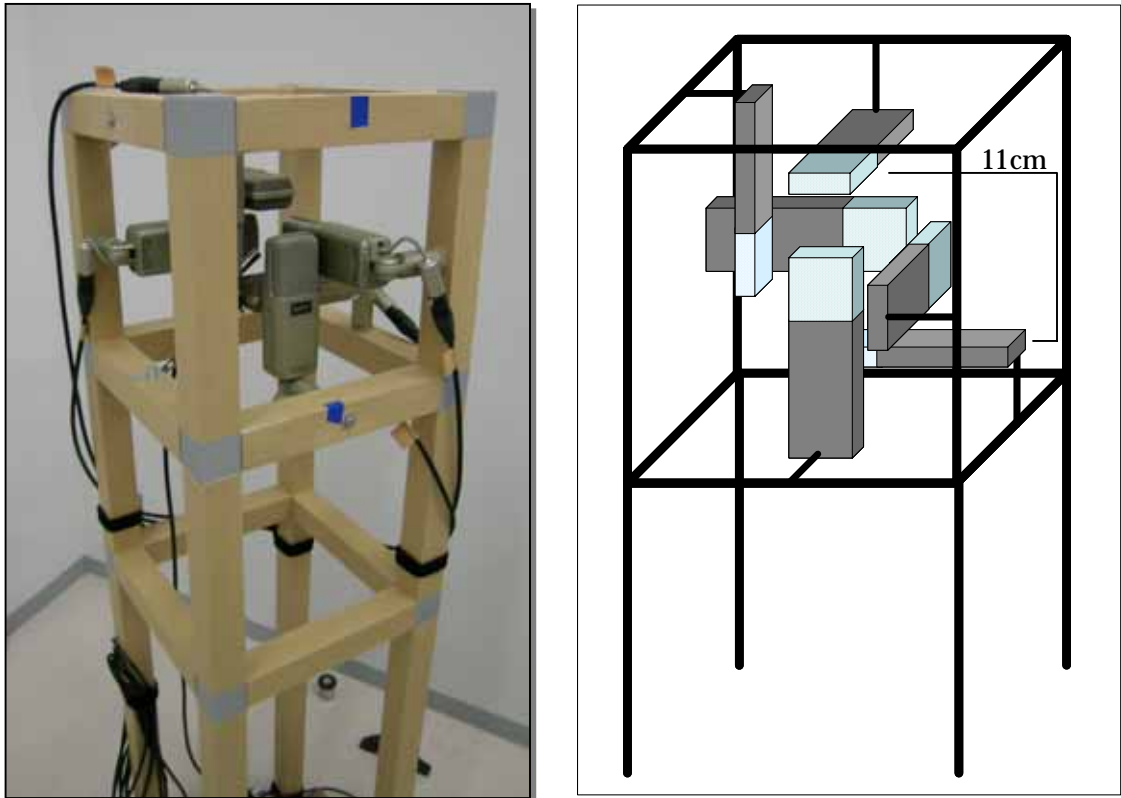


図 2-5 集音マイクロホンシステム

2-3-2 マイクロホンの個体差の把握

6本のSONY C-48の指向特性の個体差を把握する測定を行った。

・測定方法

無響室内で小型スピーカーによりピンクノイズを出力し、水平面方向15°毎にマイクロホン入力での1/3オクターブバンド音圧レベルを測定した。

・測定結果

正面感度を0dBとしたときの4つの周波数帯域の指向特性を図2-6に示す。s2001-s2006は固体番号である。個体差の程度は1kHz以上の帯域では2dB以内となっており、それ以下の帯域では個体差が大きくなり、100Hzで5dB以内となっている。

また1kHz以上の帯域では良好な指向特性が現れているが、100Hzのように低音域になるほどマイクロホンの指向特性が悪くなる。そこで6本のマイクロホンで同時に録音した信号を再生系6チャンネルから同時に出力した場合、指向性の強いマイクロホンで録音され再生される高音域と比べて、全てのマイクロホンで同様に録音され再生される低音域は中心の受聴地点において強くなる傾向が予測できる。そこで6ch收音システム特有のイコライジングが必要になる。イコライジングに関しては次項に記載する。

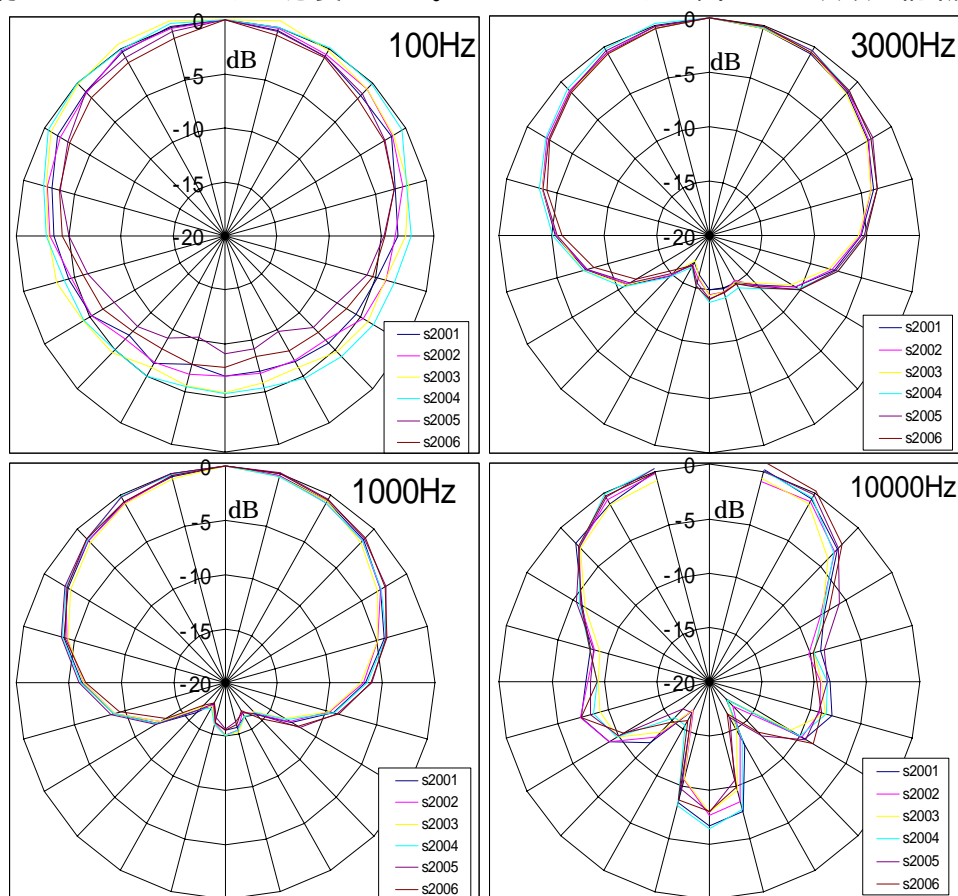


図 2-6 各マイクロホンの指向特性

2-3-3 マイクロホンと6ch 收音システムのイコライジング

6本のマイクロホン各々のイコライジングと、6ch 收音システムでのイコライジングを行った。

・個々のマイクロホンのイコライジング

個々のマイクロホンの指向特性を測定した際の正面感度の周波数特性をもとに、ソフトウェア「Audition」の中の1/3オクターブバンドでのイコライジング機能で補正を行った。この補正により個々マイクロホンの正面感度においては63Hz帯域から10kHz帯域まで1.5dB以内に補正した。

・6ch 收音システムイコライジング

特定の方向からの音の影響が小さくする為に残響室にて検討を行う。

図2-7のように三井住友建設技術研究所の残響室にてスピーカーからピンクノイズを出力し、6ch 收音システムで録音を行う。次に6ch 收音システムの中心位置と全く同じ地点と高さに設置した無指向性マイクを用いて同様の録音を行い、その場所での1/3オクターブバンド音圧レベルを記録する。その後6ch 收音システムでの録音から6ch システム再生を行い、再生系の中心位置での周波数特性を無指向性マイクでの録音の記録と同じ周波数特性となるように、ソフトウェア「Audition」の中の1/3オクターブバンドでのイコライジング機能を用いて、6つのマイクロホンに対して同様の補正を行う。これにより63Hzから10kHzにおいて3dB以内に補正した。

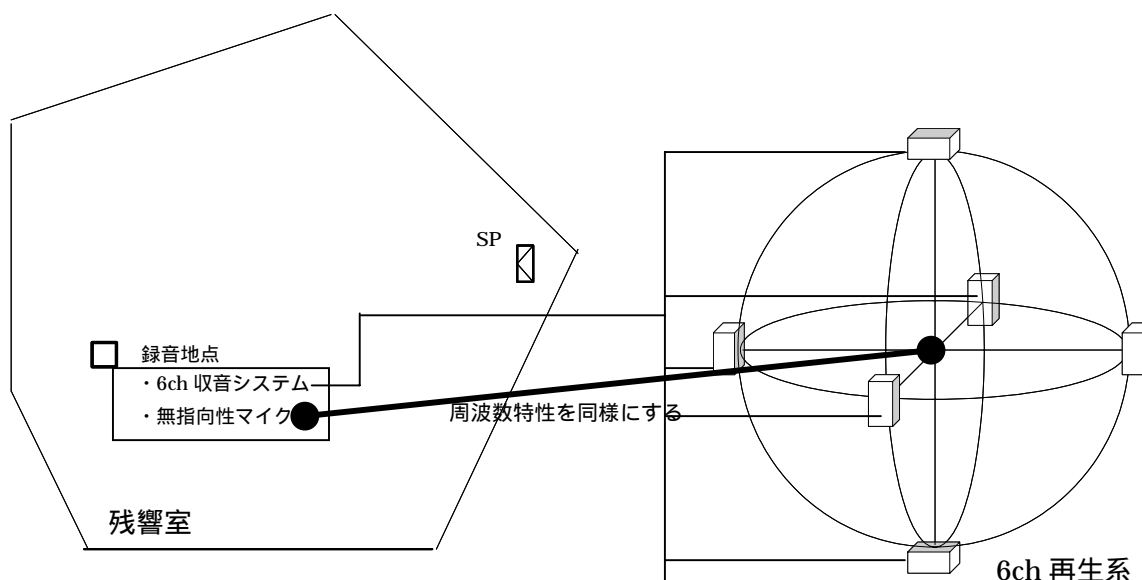


図 2-7 録音地点と再生システムの関係

2-3-4 モニタリングマイクに関する検討

6ch 再生システムの音量設定や、周波数特性の確認を行うには無指向性マイクロホンによるモニタリングが必要となる。そこでモニタリングの位置についての検討を行った。

6ch 再生システムの原理上中心はマイクの設定軸の中心ではあるが、この收音システムではマイク本体や枠による影が各方向に存在するので、その影響についての確認を行う。

・ 測定方法

特定の方向からの音の影響が小さくなるよう残響室内で実験を行う。残響室内でピンクノイズを出力し、それをモニタリングマイクで録音し、1/3 オクターブバンド音圧レベルを測定する。設定したモニタリングのマイクのパターンは図 2-8 に示すの 3 種類で全て同じ地点で録音を行い、三脚のみ 0-Type との比較を行う。なお一例として C-Type の写真も図 2-8 に示す。

・ 測定結果

0-Type との差を図 2-9 に示す。B-Type と C-Type は似たグラフが見られた。これは A-Type に対して B と C は床面からの高さが違うことが影響していると考えられる。また OVER ALL の値に関して、B-Type 以外は 0-Type に対する減衰はほとんどない結果となった。この結果により、原理的に中心で位置がずれることによる影響がなく、かつ OVER ALL の値に差が小さい A-Type を採用した。ただし、拡散音場に近い音場においても 3dB 近く減衰してしまう周波数帯域もあり、より指向性の強い音場になればその傾向は強くなる可能性もある為、基本的に OVERALL でのマスターレベルの設定以外の用途（録音地点の周波数分析等）には用いないこととした。

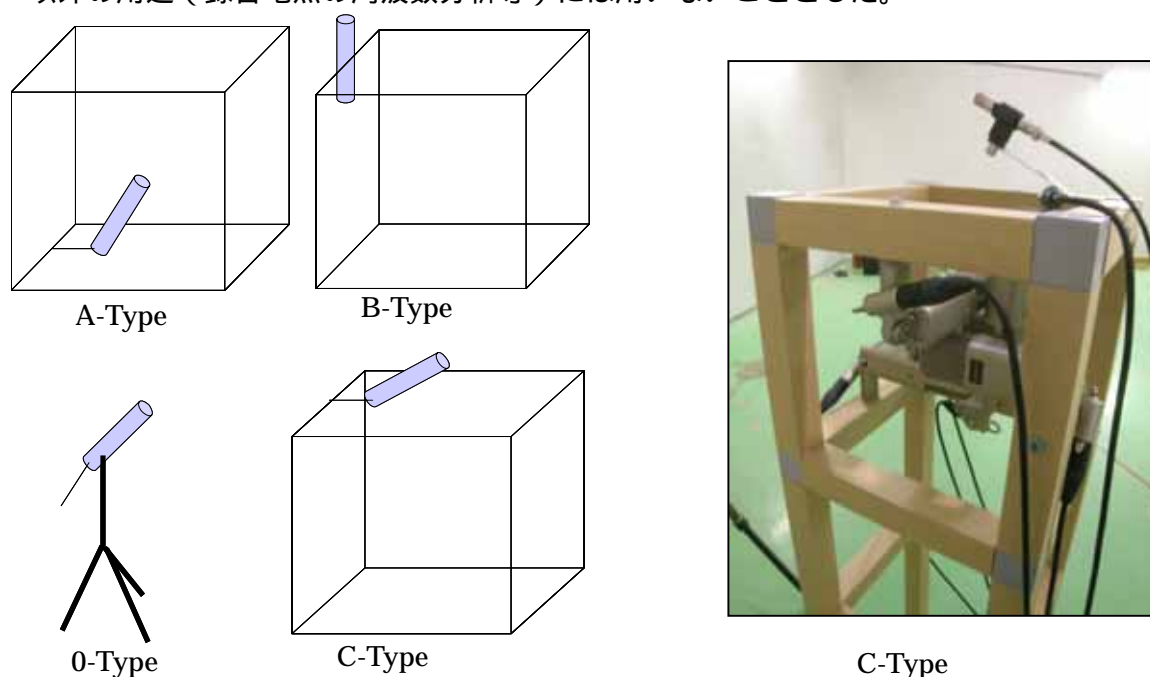


図 2-8 モニタリングマイクのタイプ

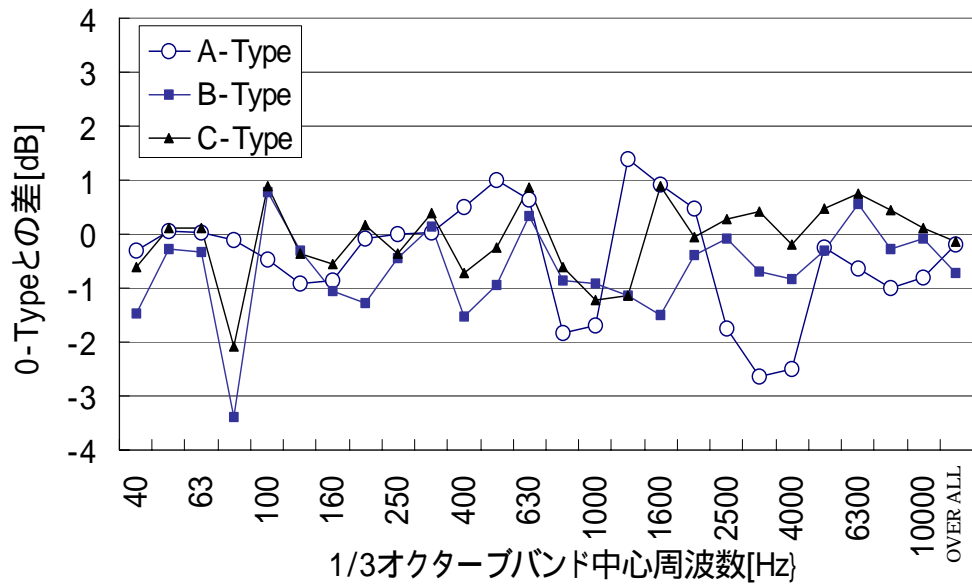


図 2-9 モニタリングマイクの測定結果

2-3-5 收音ノイズと録音レンジに関する検討

ここではマイクアンプとレコーダーの設定による、收音ノイズの最小化と最大入力レベルの確保について検討する。

今回用いたマイクアンプ QuadMic (RME)は録音レンジ設定+10dB ~ +60dB で段階的な設定ができない。また多チャンネルレコーダーの PC-208 (SONY) は録音レンジ設定 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 の 6 通りで設定が可能であり、数字が小さいほど感度がよい。

・收音ノイズと入力最大レベルの測定方法

マイクロホンとマイクアンプ、レコーダーを接続し、下の表に示す各設定の組み合わせにて無響室内で(音源を用いない)録音を行い、その後レコーダーから出力される信号のノイズの音量を測定する。ノイズは機器の内部ノイズに加えて無響室内の暗騒音、レコーダーの駆動音が含まれる。

次に無響室内で小型スピーカーからピンクノイズを録音し、各設定の組み合わせにおいて、レコーダーのピーク値になる音量を測定する。マイクアンプのレンジ設定は、固定することが可能な上限(+60dB)と下限(+10dB)に加えて、参考としておよそ+25dBの設定も用いた。

・測定結果

各設定の組み合わせの收音ノイズおよび最大入力レベルを表 2-3 に示す。入力が 95dB を越えない環境であれば、マイクアンプ+60、レコーダー20 の設定がノイズに対する入力レベルが大きい結果となった。そこで入力レベルが 95dB を超えない多くの音場では上記の設定を基本とし、超える可能性がある場合はマイクアンプを+10dB、レコーダーを 1 の設定で録音を行うこととした。

		レコーダーの設定					
		20	10	5	2	1	0.5
マイクアンプの設定	+10	62.6	56.6	51.9	43.9	39.1	36.8
		110以上	110以上	110以上	110以上	110以上	105.0
	+25	39.7	32.7	29.3	22.9	21.6	21.0
		110以上	107.0	100.0	92.0	94.0	79.0
	+60	21.3	20.4	20.4	20.3	20.4	20.8
		94.0	80.0	74.0	66.0	60.0	53.0

收音ノイズのレベル[dB(A)]
ピンクノイズによる最大入力レベル[dB(A)]

表 2-2 各組み合わせでの收音ノイズおよび最大入力レベル

2-4, 再生系

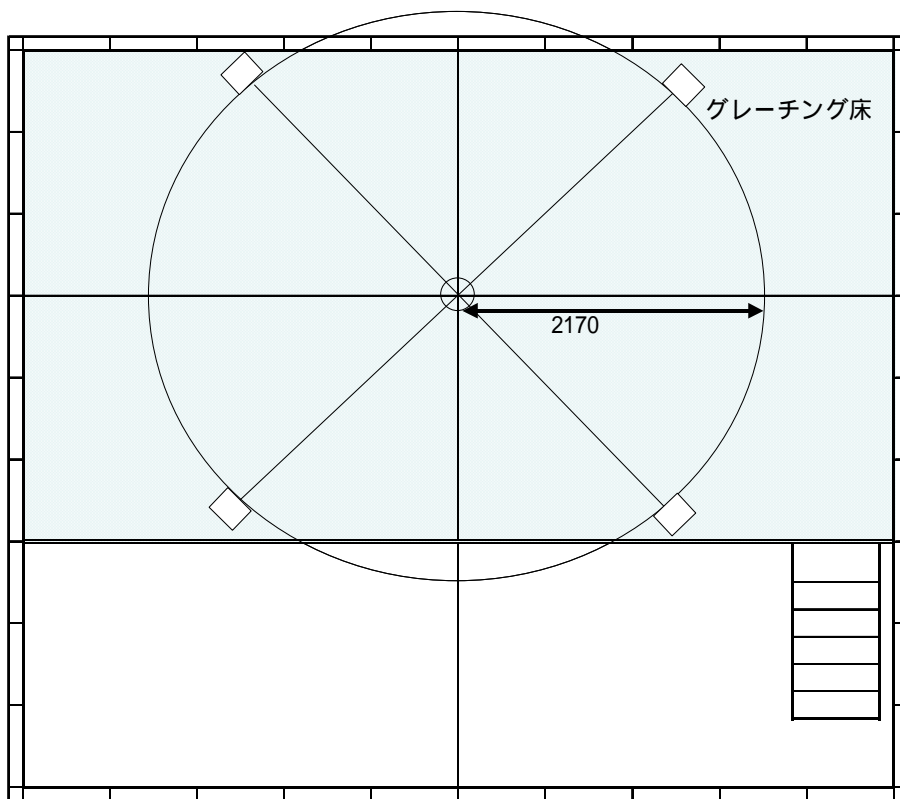
2-4-1 スピーカーイコライジング

スピーカー毎にピンクノイズを出力し、6ch 再生系の中心点の周波数特性をもとにイコライジングを行った。グラフィックイコライザーを用いて 1/3 オクターブバンドで 63Hz 帯域から 10kHz 帯域において 3dB 以内に補正した。また、シミュレーション音場の再現精度に対するスピーカーの再生帯域(63Hz ~ 50kHz)の影響をなくすために、再生帯域外である 50Hz 帯域以下の帯域に関しては出力を大幅に制限した。

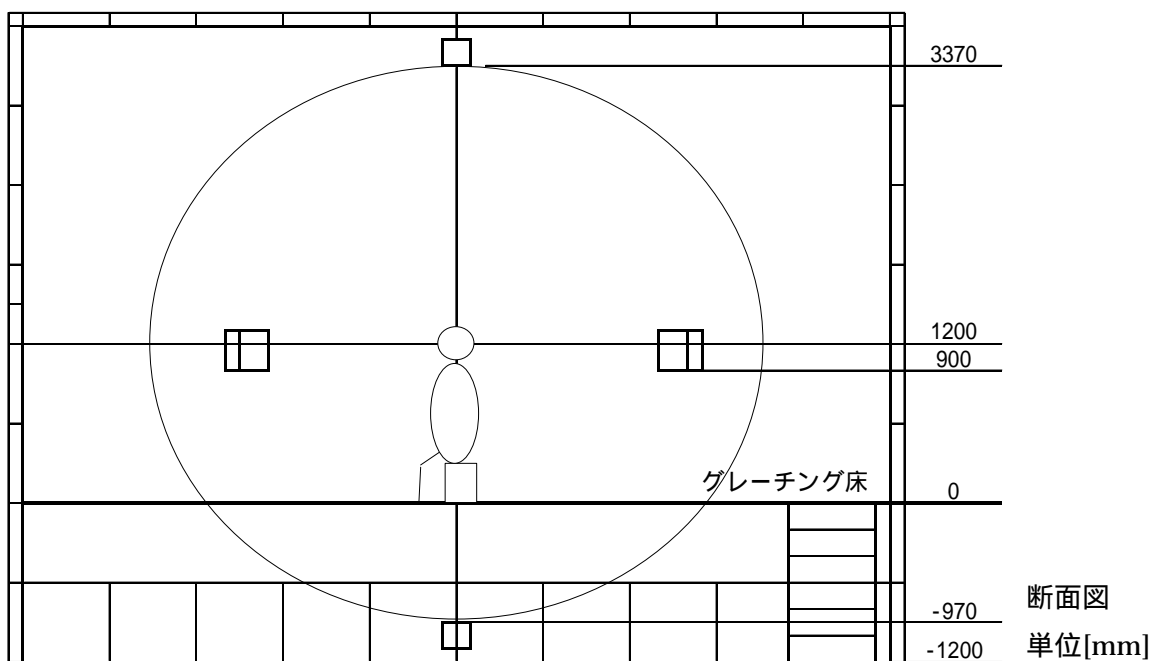
2-4-2 スピーカー配置

図 2 - 10 に実際の環境等無響室内でのスピーカー配置の平面図及び断面図を示す。6ch 再生系の中心位置はマイクロホン収音システムと同様に高さ 1200mm であり、椅子に座った状態で耳の位置に来るように設定した。なお用いたスピーカー NS- 2 HX (YAMAHA) は 2 WAY スピーカーなので、ツイーターの位置を 1200mm に合わせてある。

そしてその中心から最大限に図の円の半径をとり、スピーカーの位置は中心から各方向に 2170mm とした。また再生系のシステム概要図と写真を図 2 - 11 示す。被験者からスピーカーは十分に離れており、視覚的に圧迫感や囲まれた印象は受けにくいよう設計した。



平面図
単位[mm]



断面図
単位[mm]

図 2 - 10 環境学研究棟無響室での 6ch 再生系

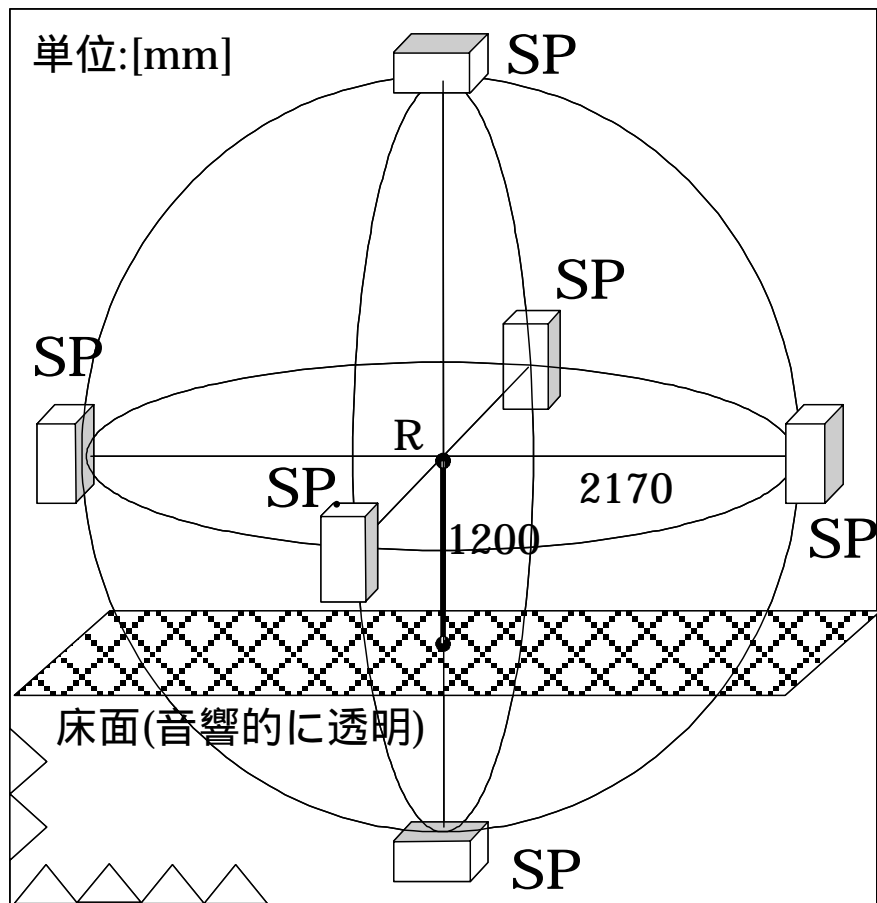


图 2-11 再生系概要と写真

第三章

【実験 1】方向定位実験に関する実験

3-1, 実験概要

3-2, 実験システム

3-3, 実験手順

3-4, 実験結果

3-1, 実験概要

構築した 6 チャンネル再生システムにおいて、水平面内での方向定位の精度に関する検証をおこなった。

3-2, 実験システム

音の到来方向を水平面内に限定した 2 次元的検討としたが、收音システム・再生システムともに 6ch で行った。

図 3-1 の通り無響室内にて收音システムと同じ高さの箱型スピーカー（YAMAHA NS-2HX）から出力したピンクノイズを、5m 離れた位置にて 6 チャンネル收音システムで録音を行った。録音方向は水平面方向で 30° 毎であり、その信号を用いて 6ch 再生を行うことで、受聴位置から 12 方向の音をシミュレートした。

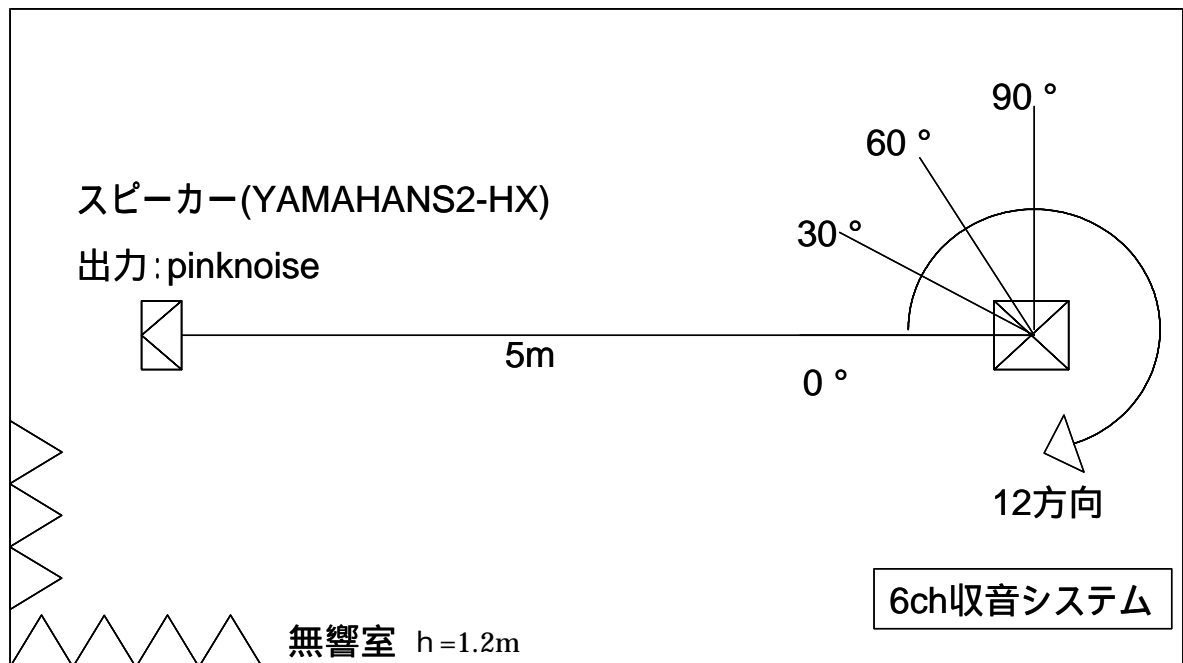


図 3-1 録音の概要

3-3, 実験手順

被験者は図 3-2 の矢印の方向を向いて座り、12 方向に配置してある番号札の中から音が聞こえてくる方向の番号を口頭で選択する。なおその際下半身は固定で体上半身と頭は自由に動かしてよいこととした。呈示音は一方向につき 2 秒間の音を数回呈示し、一人の被験者につき各方向 3 回呈示した。

視覚の影響を確認するため、スピーカーの中間を正面とする A 方向と、スピーカーを正面とする B 方向の 2 パターン行った（シミュレート方向は一切変えない）。

被験者は成人男女 7 人である（男 5 人、女 2 人）

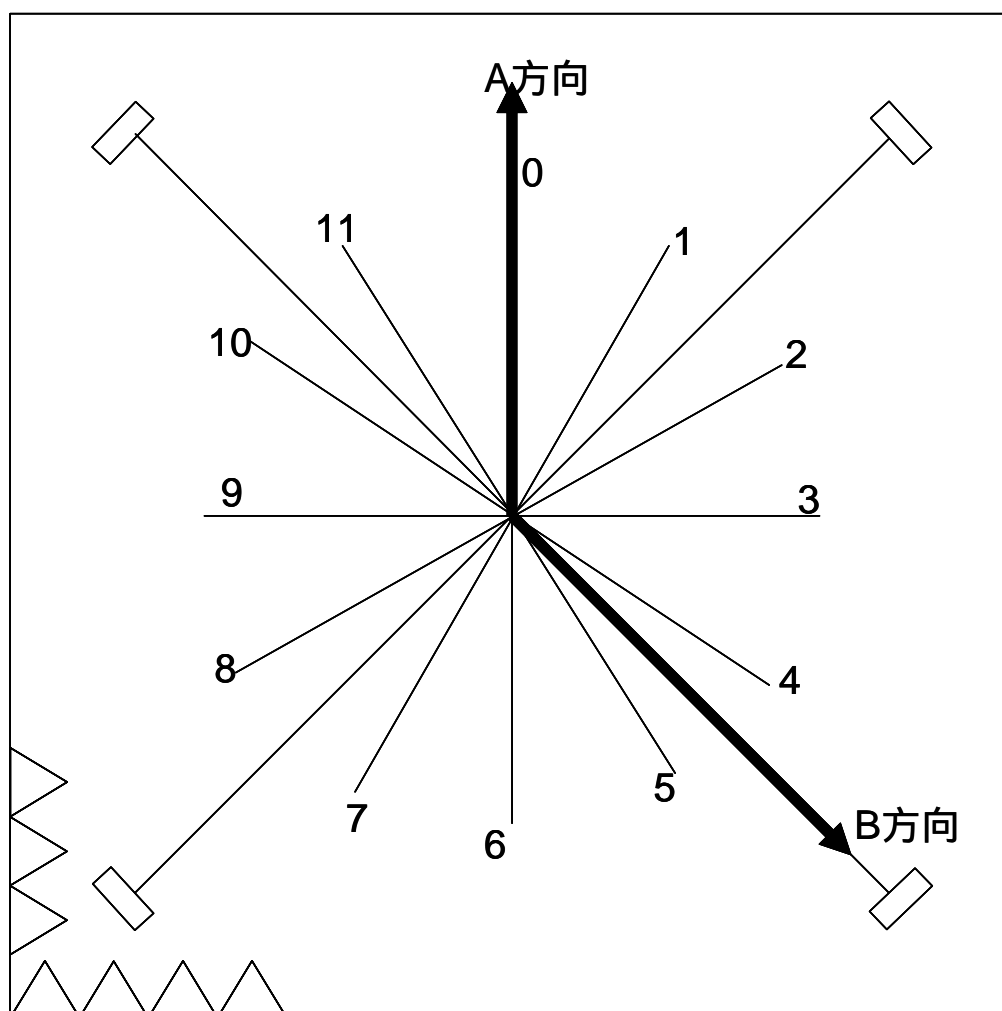


図 3-2 再現音場の概要

3-4, 実験結果

図 3-3 に、横軸にシミュレートした方向、縦軸に認知した方向（選択番号） 回答数を半径で示す。A 方向 B 方向ともにシミュレートした方向に対して認知方向がよく対応しており、 45° の線上にのっている。前後の誤判定も非常に少ない。

A 方向に関しては、番号で 1 ~ 5（体の右方向）では、シミュレートした方向に対してやや小さい数字を認知し、7 ~ 11（体の左方向）ではより大きい数字を認知する傾向が見られた。今回の実験では、下半身を固定して完全に後ろを向くことができない為、やや前よりの選択になってしまったと考えられる。

この実験から 6ch 再生システムの方向定位の精度を把握することができた。また方向の認知に関しては、そのスピーカー方向にしか音像が定位できない 1ch、2ch に対して、6ch の明らかな優位性の確認ができた。

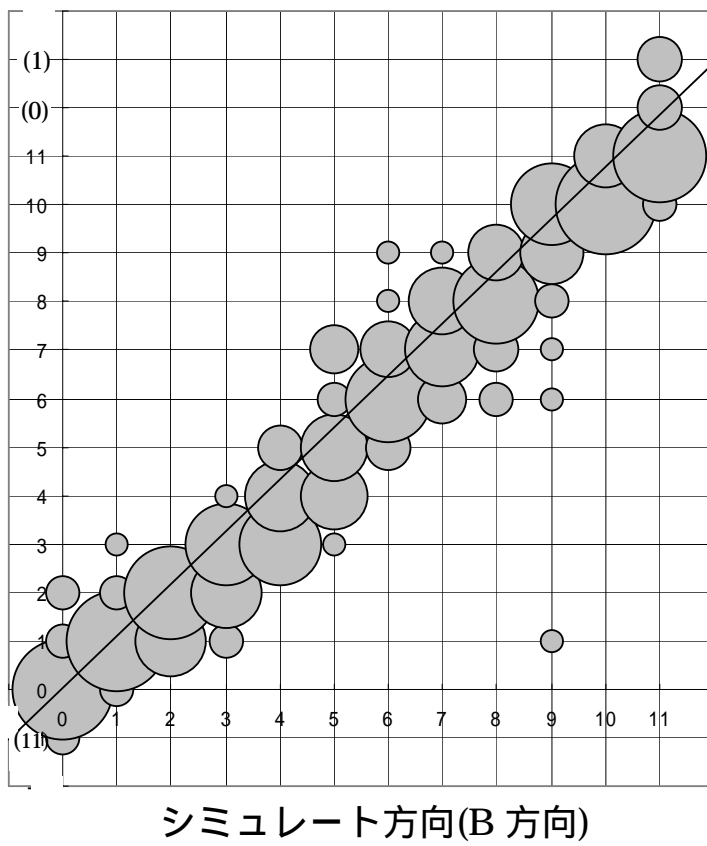
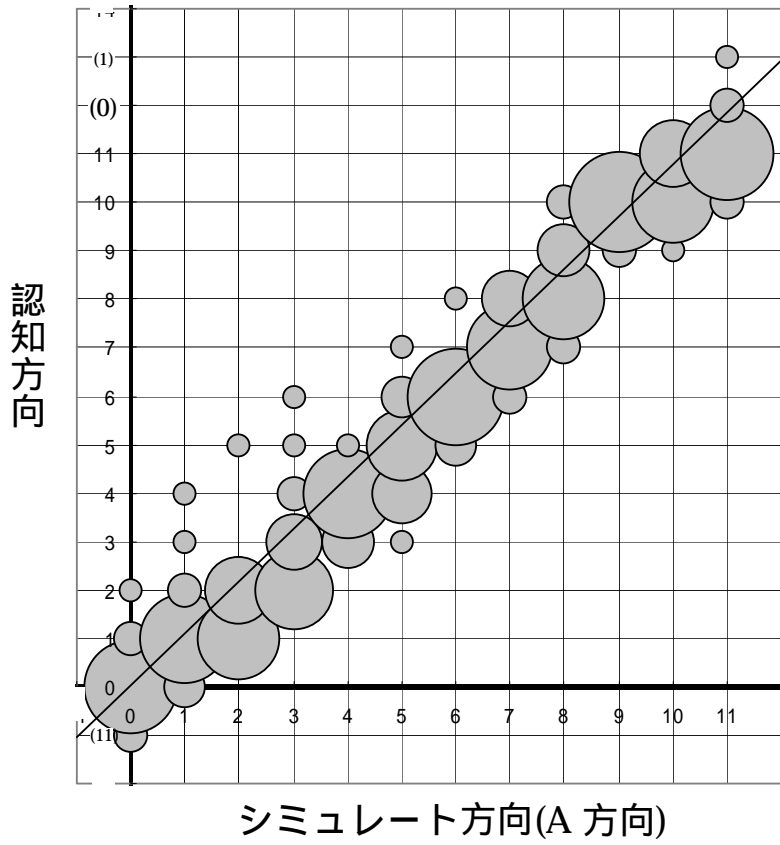


図 3-3 実験 1 結果

第四章

【実験 2】想定値に基づく音量の認知に関する実験

- 4-1, 実験概要
- 4-2, 実験システム
- 4-3, 再現対象
- 4-4, 実験手順
- 4-5, 結果と考察
- 4-6, まとめ

4-1, 実験概要

写真の呈示と各再生システムでの再生音によっていくつかの公共空間を再現し、その場所に対して人が想定する音量のレベル（想定値）を明らかにする。ここで 1ch と 2ch、6ch の比較を通して音量の認知に関するシステム依存性をさぐると共に、今後 6ch 再生システムを用いて印象評価を行っていく際の適切な音量設定を把握する。既往の研究との関係等に関しては一章に記した。

4-2, 実験システム

図 4-1 に示すとおりは無響室内に 1ch と 2ch、6ch のスピーカーを配置する。6ch で前面の二つのスピーカーを結ぶ線上に各システムが並ぶ設定としたので、各システムの受聴地点とスピーカーとの距離は異なる。

6ch システムは 2 章に記した通り、高さ 1.2m の收音システムを用いて録音し、各スピーカーから再生する。2ch システムに関しては、図 4-2 に示すとおり 6ch と同様に 1.2m の高さで無指向性マイクロホンを用いて録音を行う。またマイクの間隔は 20cm となっている。レコーダーに関しても 6ch と同様に SONY PC-208 を用いて録音する為、サンプリング周波数、量子化ビット数も同じである。1ch システムは 2ch システムの一方の信号を用いて再生を行う。

なおどの再生システムにおいても受聴位置における周波数特性は実音場と同じになるように調整した。

また再生システムを図 4-3 に示す。再生コントロールを行う PC に直接つながったマウスのホイールを回転させることにより、受聴位置にいながらにして被験者は音量を連続的に調節できる。なおマウスの回転による音量の変動は 1.1dB 刻みとなっている。

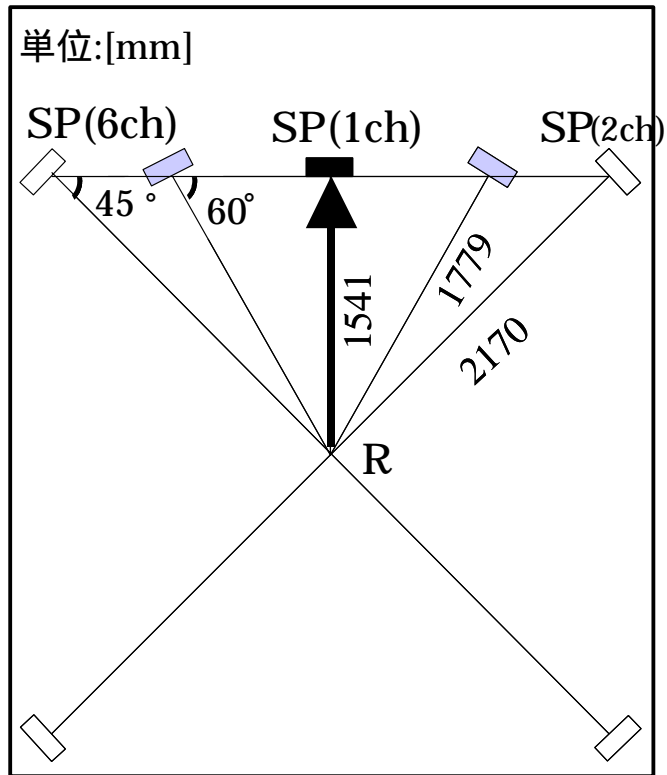


図 4-1 スピーカー配置



図 4-1 2ch 収録システム

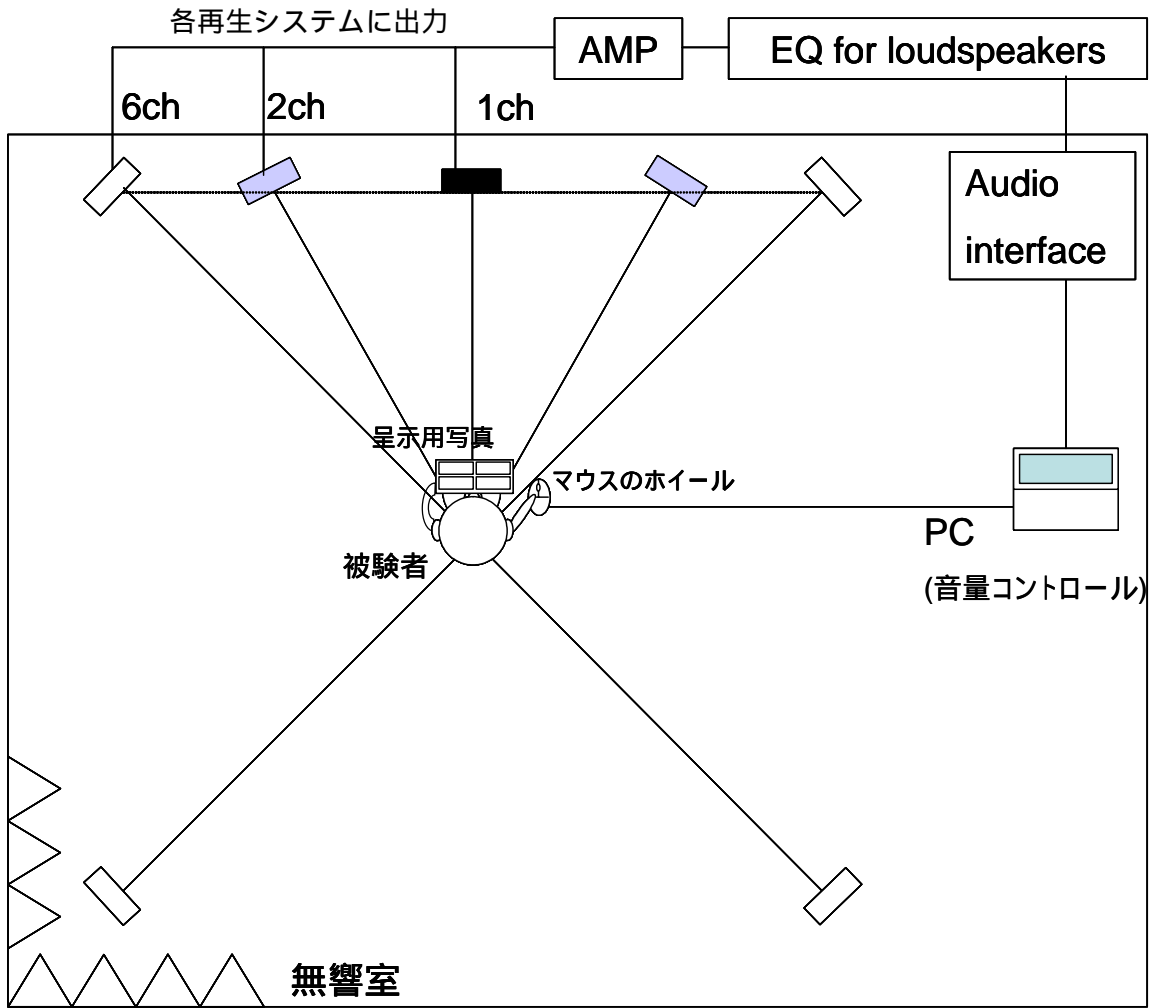


図 4-3 再生システム

4-3, 再現対象

特定の方向からの支配的な音がなく、各方向に立体的に音源が広がっている音場として公共空間を対象とした。

音量と音事象の種類、屋内と屋外などの視点から様々な場所で5分間の録音を行い、表4-1に示す公共空間8地点を再現対象として選定した。なお録音の様子を例として、D サンシャイン通り、G - 柏の葉キャンパス駅を図4-5に示す。

また各再現対象地の写真を図4-6に示す。

表4-1 再現対象地 (L_{Aeq} 順)

再現対象	5分間の L_{Aeq} [dB]	空間状況	主な音源・音事象
A 池袋駅中央改札	76.0	天井の低い屋内空間	人、アナウンス
B サンシャイン下交差点	73.4	車の通りが多い沿道	人、車
C 池袋東口地下通路	71.5	細い屋内通路	人
D サンシャイン通り	70.2	人通りの多い繁華街	人、BGM
E 池袋メトロポリタンプラザ	66.5	天井の高い屋内空間	人、アナウンス
F 池袋西口公園	59.6	駅前の広場	人、車
G 柏の葉キャンパス駅前	57.5	駅前のロータリー	人、BGM、アナウンス
H 柏の葉公園	51.2	自然の多い公園	人、鳥、飛行機



サンシャイン通り



柏の葉キャンパス駅前

図4-5 録音時の様子



A 池袋駅中央改札



B サンシャイン下交差点



C 池袋東口地下通路



D サンシャイン通り



E 池袋メトロポリタンプラザ



F 池袋西口公園



G 柏の葉キャンパス駅前



H 柏の葉公園

図 4-6 再現対象地

4-4, 実験手順

呈示音には録音から切り出した 30 秒間の音を用いる。30 秒間での L_{Aeq} および各騒音評価指標を表 4 - 2 に示す。呈示時間は 30 秒間の音を二回繰り返す約 1 分間である。

呈示する写真には、録音時に各地点から前後左右の 4 方向を撮影(カメラ,画角 35mm レンズ相当)したものを持ちいる。1 地点につき A4 の紙 1 枚で、その 1 枚に 4 方向の写真を配置した呈示用紙を作成した。呈示用紙の例として E 地点のものを次項に、教示用紙次々項に示す(その他の呈示用紙は付録に記載)。

被験者は呈示用写真を見ながら各システムでの再生音を聞き、その場所での音量を想像する。そして自らマウスのホイールを回転させながらその音量(想定値)に調節する。表に示す L_{Aeq} を基準値として、初期呈示音量として下降系列を「基準音+8dB」、上昇系列を「基準音-25dB」に設定し、各系列一回ずつ再生した。

被験者は成人男女 12 人である。

表 4 - 2 基準値と各騒音評価指標

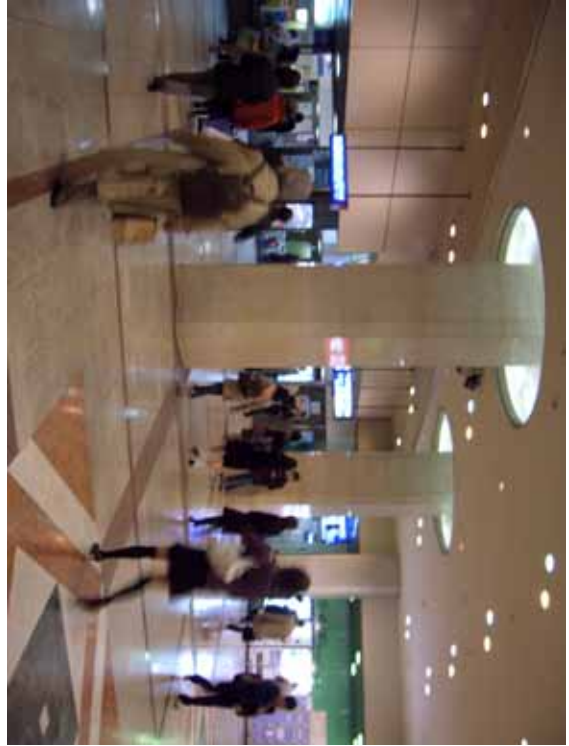
	L_{Aeq}	L_{eq}	L_{Amax}	L_{A05}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}	L_{A95}
A	76.7	78.8	84.9	80.4	78.9	75.5	74.0	73.5
B	74.9	82.3	83.1	78.8	77.8	73.9	70.7	70.2
C	71.0	75.5	80.1	76.2	74.3	69.0	66.2	65.7
D	70.9	74.3	78.3	73.4	72.5	70.2	69.1	68.8
E	66.4	69.4	69.9	68.8	68.2	65.9	64.4	63.9
F	60.8	70.0	69.6	63.9	62.6	59.9	58.6	58.3
G	57.5	66.5	65.1	59.9	59.4	57.0	54.6	53.9
H	50.4	69.5	59.8	53.8	52.5	49.3	47.0	46.6

基準値

呈示用紙例（E地点）



左方向



前方向



右方向



後ろ方向

想定音量実験

これから様々な場所の写真を見ていただきながら、その場所の音を再生いたします。写真とその音からその場所を想像して、「この場所はこの位だろう」と思われる音量をマウスのホイールを回転させて設定してください。

その場所の音量の想像は、写真の中のある特定の音源からではなく（写真中のある一つの音源までの距離からの想像等を行わず）、全体のイメージから行ってください。

地点は8地点あり、最初にアルファベットで場所を教えますので、そのページを開いてください。その後再生を始めます。

なお、音は約1分間続きます。

4-5, 結果と考察

被験者の調整値に関して、「系列」と「再生システム」、「再現対象」、「被験者」の4要因の主効果及び、その交互作用を要因とした4元配置分散分析を行った。なお3要因以上の交互作用は誤差に含めた。その結果を表4-3に示す。

4要因全てに主効果が見られたものの、被験者との交互作用以外の交互作用に優位性は見られない結果となった。

表4-3 分散分析結果 (**1%有意, *5%有意)

要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	
系列	1	1522.300	1522.300	220.311	<.0001	**
再生システム	2	412.178	206.089	29.826	<.0001	**
再現対象	7	25808.124	3686.875	533.574	<.0001	**
被験者	11	15757.660	1432.515	207.317	<.0001	**
系列×再生システム	2	1.637	0.819	0.118	0.888	
系列×再現対象	7	95.469	13.638	1.974	0.057	
系列×被験者	11	530.285	48.208	6.977	<.0001	**
再生システム×再現対象	14	91.080	6.506	0.942	0.514	
再生システム×被験者	22	1157.984	52.636	7.618	<.0001	**
再現対象×被験者	77	4300.203	55.847	8.082	<.0001	**
誤差	421	2909.017	6.910			
全体	575	52585.937				

・系列について

系列の要因には主効果が見られ、その平均値を計算したところ上昇系列に比べて下降系列は3dB大きい結果となっていた。これは想定値には許容幅があることを示唆すると共に、その上方の値と下方の値になったと考えられる。また標準偏差に大きな差は見られなかった。

表4-4 系列の平均値と標準偏差

	平均値	標準偏差
下降系列()	58.42	9.09
上昇系列()	55.17	9.76

・再生システムについて

再生システムの要因には主効果が見られたので、システムごとの差を確かめるために多重比較(Studentのt検定)を行った。その結果は2chと6chの平均値の差に有意性がみられ、その差は約2dBとなった。1chと6ch、2chと1chには優位性が見られなかった。

表4-5 再生システムの平均値と標準偏差

	平均値	標準偏差
6ch	57.60	9.41
2ch	55.62	9.47
1ch	57.15	9.73

* 系列の扱いについて

系列に関しては全てのパターンで下降系列が上昇系列より大きい値となっており、かつ標準偏差に関して再生システム、再現対象のどのパターンでも大きな差は見られなかった。よってここからは上昇系列と下降系列の dB 平均値をもって被験者の想定値とする。

・ 再現対象について

再現対象ごとの想定値の対応を図 4-7 に示す。基準値に対して全て再生システムにおいて非常に小さい値を調整する結果となった。

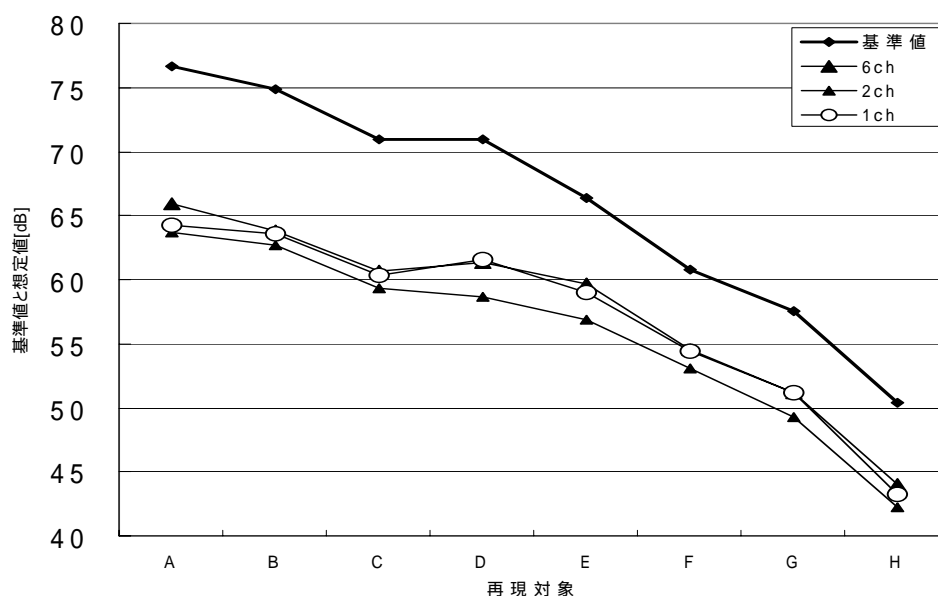


図 4-7 再現対象ごとの想定値

再現対象	基準値 L_{Aeq} [dB]	空間状況
A 池袋駅中央改札	76.7	天井の低い屋内空間
B サンシャイン下交差点	74.9	車の通りが多い沿道
C 池袋東口地下通路	71.0	細い屋内通路
D サンシャイン通り	70.9	人通りの多い繁華街
E 池袋メトロポリタンプラザ	66.4	天井の高い屋内空間
F 池袋西口公園	60.8	駅前の広場
G 柏の葉キャンパス駅前	57.5	駅前のロータリー
H 柏の葉公園	50.4	自然の多い公園

次に再現対象ごとの、基準音と想定値の差と標準偏差を図 4-8 に示す。標準偏差はどの再生システムでも大きな差はなかったものの、それぞれ約 6dB 程度となっており、想定値に関して個人差は非常に大きいといえる。また基準値と想定値との差は、基準値が大きい場所での想定値は-10dB 程度になっており、小さくなるにつれ-5dB 程度になっている結果となった。

これは多くの方は室内において基準値の大きい値(例えば 70dB)での経験がない為、無響室内での再現においても、そういった場所の音量の想定が難しく、より小さい値に調整したと考えられる。

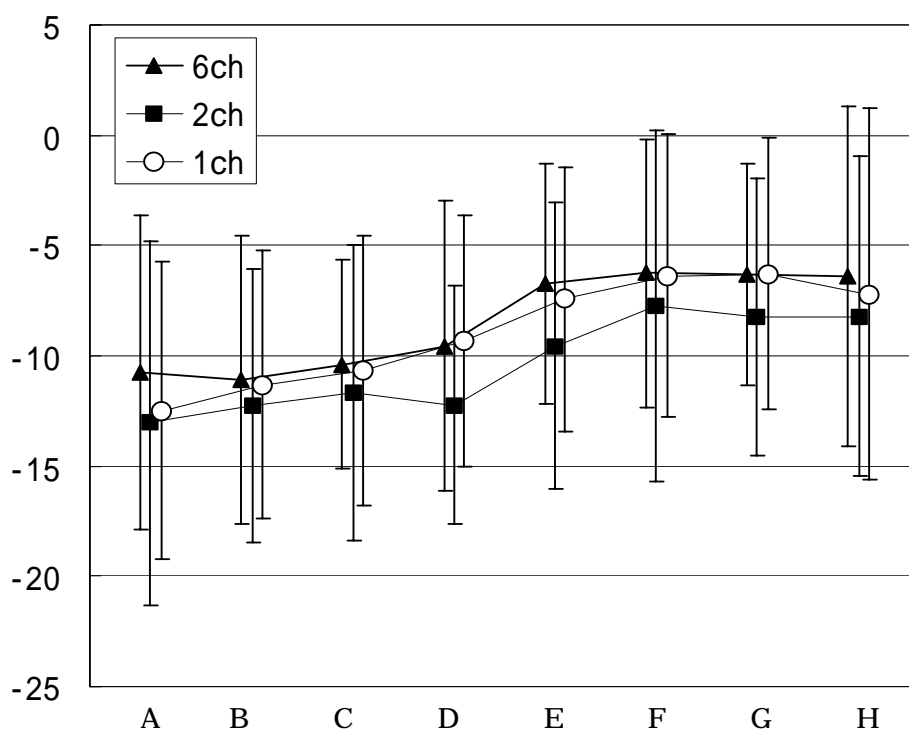


図 4-8 再現対象ごとの想定値と基準値の差と標準偏差

再現対象	基準値 L_{Aeq} [dB]	空間状況
A 池袋駅中央改札	76.7	天井の低い屋内空間
B サンシャイン下交差点	74.9	車の通りが多い沿道
C 池袋東口地下通路	71.0	細い屋内通路
D サンシャイン通り	70.9	人通りの多い繁華街
E 池袋メトロポリタンプラザ	66.4	天井の高い屋内空間
F 池袋西口公園	60.8	駅前の広場
G 柏の葉キャンパス駅前	57.5	駅前のロータリー
H 柏の葉公園	50.4	自然の多い公園

・基準値に対する想定値の回帰分析

分散分析により再生システムの主効果が確認できたため、基準値を説明変数、想定値を目的変数とする回帰分析を行った。散布図を図 4-9 に、回帰式を表 4-6 に示す。

決定係数の値も大きく、今回の再現対象である公共空間での 51dB から 76dB では、基準値に対してほぼ線形に想定値が定まる結果となった。また各再生システムの傾きはほぼ同じであり、2ch は 6ch に対して基準値に関わらず常に約-2dB となることが分かった。単純に 2ch は 6ch より約 2dB 大きく聞こえていると考えられる。

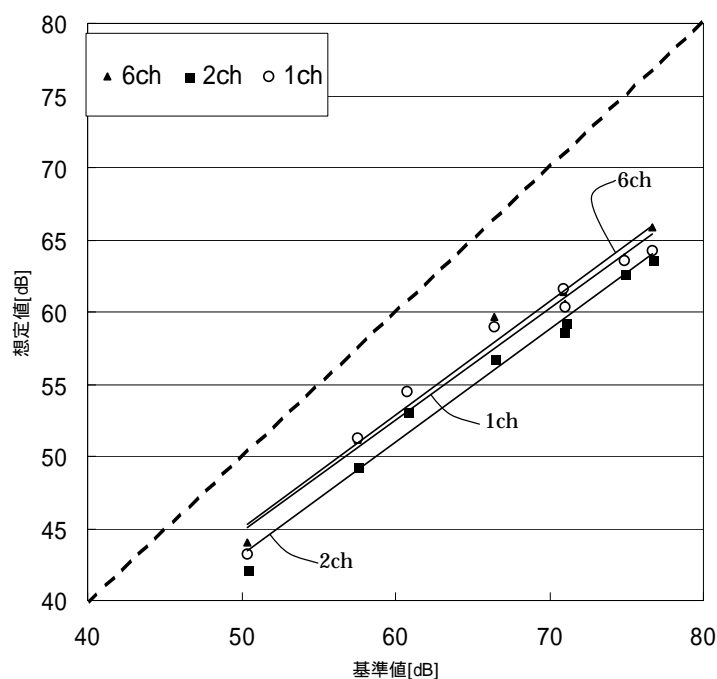


表 4-6 回帰分析結果

回帰式	決定係数(R ²)
$y=0.784x+5.880$	0.972
$y=0.773x+6.373$	0.969
$y=0.784x+3.965$	0.983

図 4-9 基準値に対する想定値

次に想定値を決める要因を検討するため、上記の想定値 (L_{Aeq}) と基準値 (L_{Aeq}) の回帰分析に加えて、想定値 (L_{Aeq}) を目的変数、表 4-2 に示す各騒音評価指標を説明変数とする回帰分析を行った結果を表 4-7 に示す。上段が回帰式、下段が決定係数である。

$LA90$ や $LA50$ に比べて $LA05$ や L_{Amax} の決定係数の方が大きい結果となった。音場で定常的に発生している音のレベルではなく、突発的に発生した音や特に大きい音による要因が強いといえる。この結果から、人はある程度はっきり聞き取れる音や大きい音、近くを通った人の声等のレベルによって想定音を決定していることが示唆された。

表 4-7 各騒音評価指標と想定値との回帰分析結果(上段：回帰式，下段：決定係数 R²)

	L_{eq}	L_{Amax}	$LA05$	$LA50$	$LA90$
6ch	$y=0.602x+20.829$	$y=0.767x+8.844$	$y=0.787x+6.433$	$y=0.785x+5.586$	$y=0.796x+4.368$
2ch	$y=0.639x+16.136$	$y=0.778x+6.045$	$y=0.790x+4.248$	$y=0.783x+3.780$	$y=0.788x+2.956$
1ch	$y=0.576x+22.438$	$y=0.755x+9.407$	$y=0.775x+6.963$	$y=0.774x+6.049$	$y=0.782x+4.970$
6ch	0.934	0.982	0.979	0.969	0.964
2ch	0.921	0.984	0.986	0.980	0.979
1ch	0.932	0.978	0.976	0.965	0.961

4-6, まとめ

- ・ 実験 2 を通して

再生システムや再現対象に関わらず、基準値に対して想定値が小さくなる結果となった。

また基準値が大きい再現対象(人通りが多い地下空間や繁華街、沿道等)ではおよそ 10dB の差がでることが分かった。これは既往研究[11]において、映像と 1ch 再生の組み合わせで繁華街や沿道、広場(60~80dB(A)程度の音場)を再現した時の想定値の結果「基準値-9dB」とも共通する。また、基準値が小さくなるほど想定値は基準値に近くなる傾向がみられた。そこで回帰分析をしたところ高い決定係数で基準音に対して想定音が線形に定まる結果となった。なお基準値が 50dB の場所での想定値は-5dB 程度となる。

次に各騒音評価指標と想定値との回帰分析では、 L_{A90} や L_{A50} に比べて L_{A05} や L_{Amax} の決定係数が高い結果となり、突発的に入力されるある程度大きな音によって人は音場の音量を想定していると考えられる。

また系列の比較によって、人が想定する音のレベルには幅があることが示唆された。

- ・ 想定値からみたシステムの依存性に関して

分散分析により、再生システムの要因の有意性が示される結果となった。特に 2ch は 6ch と比べて平均値が有意に異なり、2dB 程度小さく設定することがわかった。またこの傾向は再現対象や基準値によらずほぼ一定となり、単純に 2ch は 6ch より大きく感じる傾向が示された。

しかしながら再生システムごとの標準偏差には差が見られず、また再生システムと再現対象との交互作用もなく、上記の 2ch と 6ch の関係以外に再現システムの依存性はみられなかった。

第五章

【実験 3】距離感に関する実験

- 5-1, 実験概要
- 5-2, 実験システム
- 5-3, 再現対象
- 5-4, 実験手順
- 5-5, 結果と考察
- 5-6, まとめ

5-1, 実験概要

実環境にある音源の距離感に着目し、実音場での距離感をもとに各再生システムの再現性の比較する。これにより距離の認知に関するシステムの依存性を明らかにすると共に、単一音源が支配的な音場での 6ch 再生システムの再現性を把握する。既往の研究との関係等のついては一章に記した。

5-2, 実験システム

実験 2 と同様で図 4-1 に示すとおりに無響室内に 1ch と 2ch、6ch のスピーカーを配置する。6ch での前面の二つのスピーカーを結ぶ線上に各システムが並ぶ設定としたので、各システムの受聴地点とスピーカーとの距離は異なる。

6ch システムは 2 章に記した通り、高さ 1.2m の收音システムを用いて録音し、各スピーカーから再生する。2ch システムに関しては、図 4-2 に示すとおり 6ch と同様に 1.2 m の高さで無指向性マイクロホンを用いて録音を行う。またマイクの間隔は 20cm となっている。レコーダーに関しても 6ch と同様に SONY PC-208 を用いて録音する為、サンプリング周波数、量子化ビット数も同じである。1ch システムは 2ch システムの一方の信号を用いて再生を行う。

なおどの再生システムにおいても受聴位置における L_{Aeq} ・周波数特性は実音場と同じになるように調整した。

5-3, 再現対象

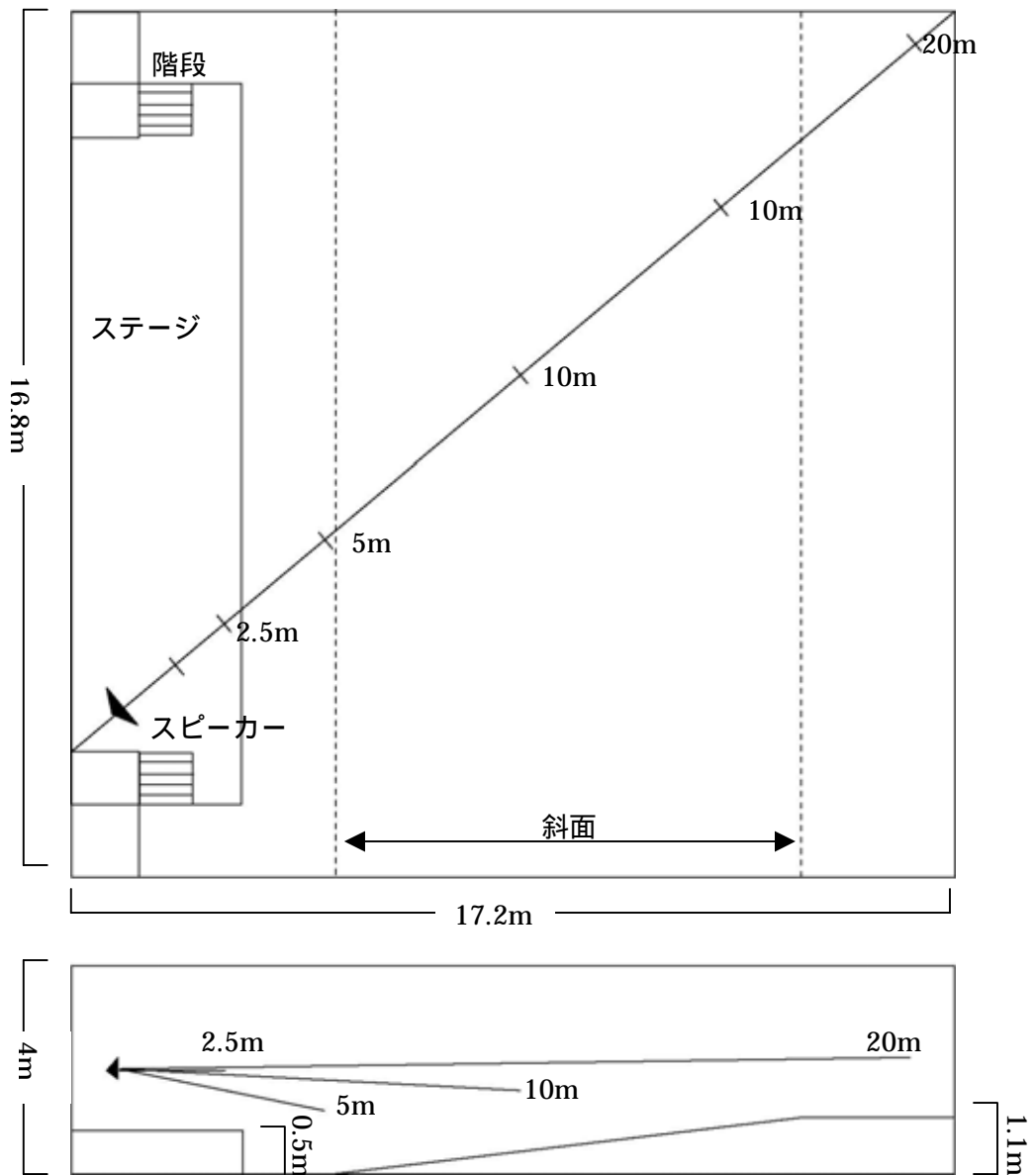
再現対象とする音場は室内空間として、女声アナウンスの拡声音を音源とする講演用ホールとした。また屋外空間として、自動車走行音を音源とする道路沿い空き地のとした。

講演用ホール（東京大学柏図書館メディアホール）のホールの全体写真と壁面・天井面の写真を図 5-1 に平面図・断面図と音響性能を図 5-2 に示す。

道路沿い空き地（東京大学柏キャンパス正門前の道路）の平面図と写真を図 5-2 に示す。



図 5-1 講演用ホールの全体写真と天井面、床面



容積[m ³]	表面積[m ²]
1059	850

暗騒音レベル (オクターブバンド周波数の値は A 特性)

AP(F)	AP(A)	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
48.9	28.2	34.7	28.2	24.3	19.8	15.5	11.2	11.5	13.1	15.2

残響時間[s]

AP(F)	31.5Hz	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
0.63	0.48	0.69	0.65	0.72	0.57	0.46	0.52	0.56	0.50

図 5-2 講演用ホールの各図面と音響性能

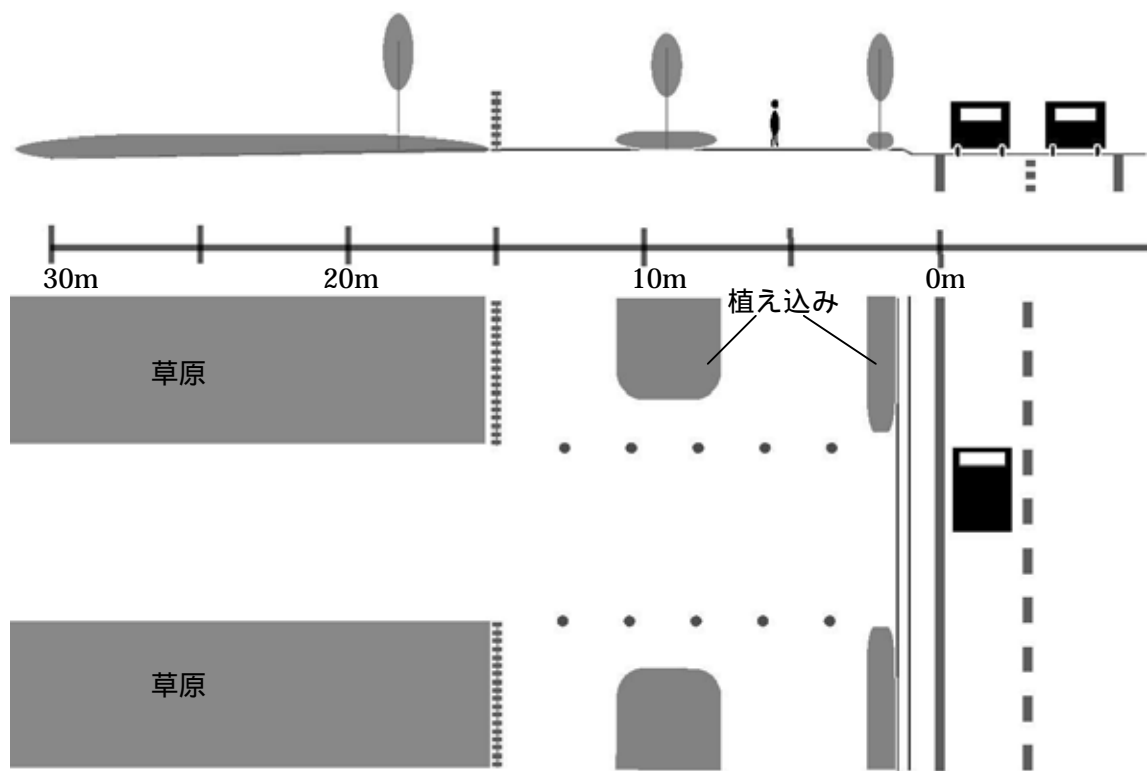


图 5-3 道路沿い空き地

・ 録音概要

2.5m、5m、10m、20mの地点にて各システムで録音を行う。講演用ホールでは図 5-2 に示すとおり傾斜があるため、平面図上の距離ではなく、スピーカーからの直線距離で録音地点を設定した。録音の様子を例を図 5-4 に示す。録音は 5 分間行い、実験ではその中から切り出した 30 秒間を用いる。屋外空間に関しては、自動車の走行数をもとに約 30 秒間を決定した。各地点での 30 秒間の L_{Aeq} および屋外空間での自動車の走行数を表 5-1 に示す。

表 5-1 30 秒間の L_{Aeq} 及び自動車の走行数

	室内空間 L_{Aeq} [dB]	屋外空間 L_{Aeq} [dB]	車の通行量	
			右方向	左方向
2.5m	71.5	72.2	4	6
5m	65.8	67.3	3	5
10m	62.1	65.3	5	4
20m	59.1	60.9	5	3



室内空間 10m 6ch



屋外空間 2.5m 6ch



室内空間 5m 2ch



屋外空間 10m 6ch

図 5-4 録音の様子

5-4, 実験手順

被験者は最初に表 5-2、図 5-5 に示す室内 5 地点、屋外 6 地点にて現場で目隠し状態で音を聞き、各地点の音の様子を記憶する。 から始めて（屋外では ）まで順に記憶を行い、その後近づく方向に各地点で二度目の記憶を行い の地点へと戻る。各地点での記憶時間は 2 分間とした。

続いて徒歩で無響室に向かい、3 分後に各再生システムでの音を聞き、表 5-3 の通り記憶した地点と最も近いと感じる地点の番号を口頭で回答する。また最遠方地点よりも明らかに遠く感じる場合は室内では、屋外では を回答する。なお記憶を行う時、再生音を聞いて回答も行う時、ともに被験者は教示の 2 ページ目の図を補助的に見ながら行った。次項に室内空間と屋外空間の教示用紙（計 4 ページ）を示す。

なお各再生音場では実音場に対して音量を 4 段階（0,-3,-6,-9dB）で変化させて、各々 30 秒間提示した。被験者は成人男女 11 人である。

表 5-2 録音地点と記憶を行う地点の L_{Aeq}

地点	図5-5中の軸上の距離[m]	録音地点	室内空間の記憶地点とその地点の L_{Aeq} [dB]	屋外空間の記憶地点とその地点の L_{Aeq} [dB]
	1.25	 	76.5	75.8
	2.5	 	71.5	72.2
	5	 	65.8	67.3
	10	 	62.1	65.3
	20	 	59.1	60.9
	40	 	 	58.1

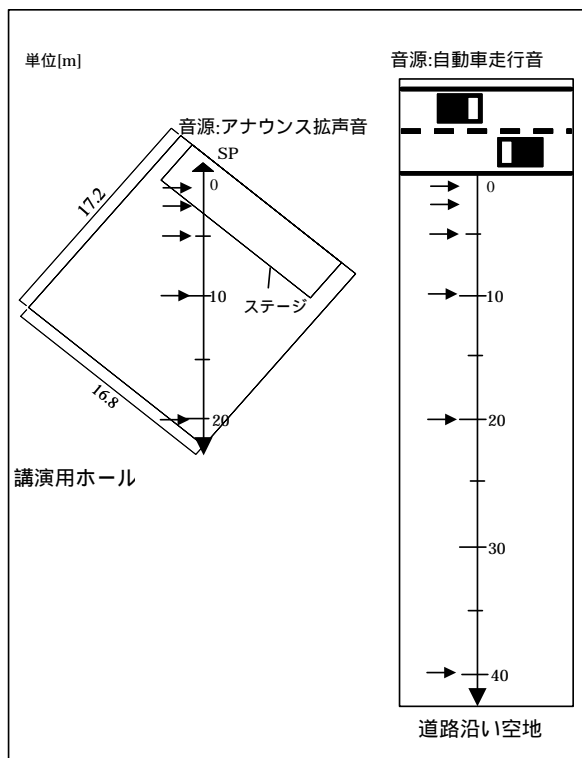


表 5-3 各選択肢の意味

選択肢の カテゴリー	室内空間での 選択肢の意味	屋外空間での 選択肢の意味
	1.25[m]地点に近い	1.25[m]地点に近い
	2.5[m]地点に近い	2.5[m]地点に近い
	5[m]地点に近い	5[m]地点に近い
	10[m]地点に近い	10[m]地点に近い
	20[m]地点に近い	20[m]地点に近い
	20[m]地点より 明らかに遠方	40[m]地点に近い
	 	40[m]地点より 明らかに遠方

図 5-5 記憶を行う地点

室内空間での教示用紙（1 ページ目）

以下の二つのステップで実験を行います

アナウンスの記憶

これからこの場所でのアナウンスの音声の様子を記憶していただきます。
次のページの図に示す 5 地点にて目隠しをしながら約 2 分間音を聞きます。それぞれの地点でのアナウンスの様子をスピーカーまでの距離（何m地点にいるか）と共に記憶してください。1.25m 地点から始め 20m 地点まで順に行い、その後は逆方向に 1.25m 地点まで戻ります。

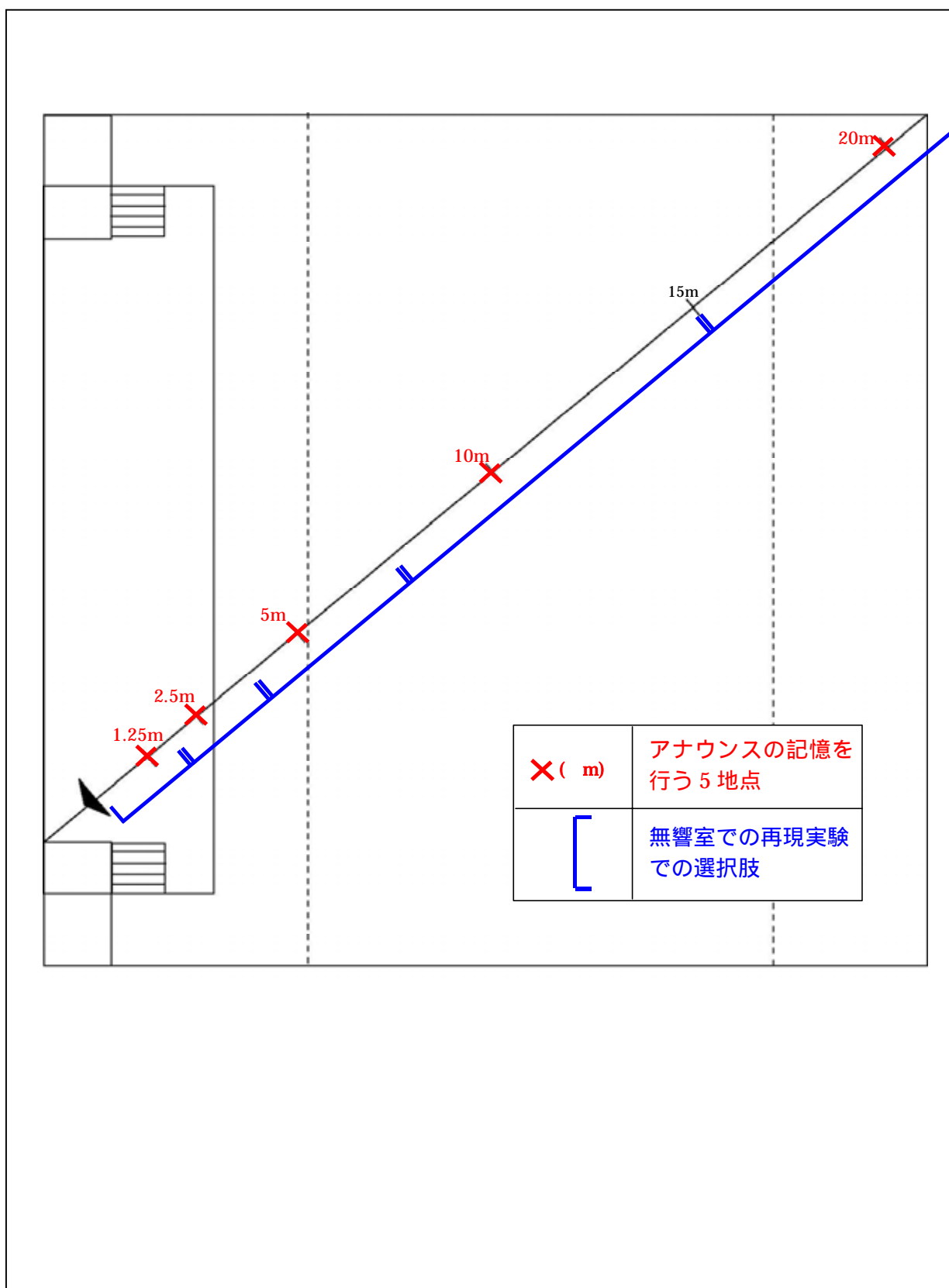
ここでの行動は以上で終わりです。その後無響室にすぐに移動していただきます。

無響室での再現実験

これから様々な再生方法により、先ほど記憶して頂いた場所の音を再現します。現場での記憶をもとに、図を見ながら自分がいると感じる場所を口答で選択してください。選択肢は図中にて範囲分けされている、 - の数字ですが、の場所より更に明らかに遠いと感じた場合は と答え頂いても構いません。また範囲の境目は正確に半分という意味ではありませんので、単純に記憶をした地点により近いと感じる数字を選択してください。

なお、音は約 30 秒程度続きます。

室内空間での教示用紙 (2 ページ目)



屋外空間での教示用紙（1 ページ目）

以下の二つのステップで実験を行います

交通音の記憶

これからこの場所での交通音を記憶していただきます。

次のページの図に示す 6 地点にて、椅子に座り目隠しをしながら約二分間音を聞きます。それぞれの地点での交通音の様子を道路までの距離（何m地点にいるか）と共に記憶してください。1,25m 地点から始め 40m 地点まで順に行い、その後は逆方向に 1.25m 地点まで戻ります。

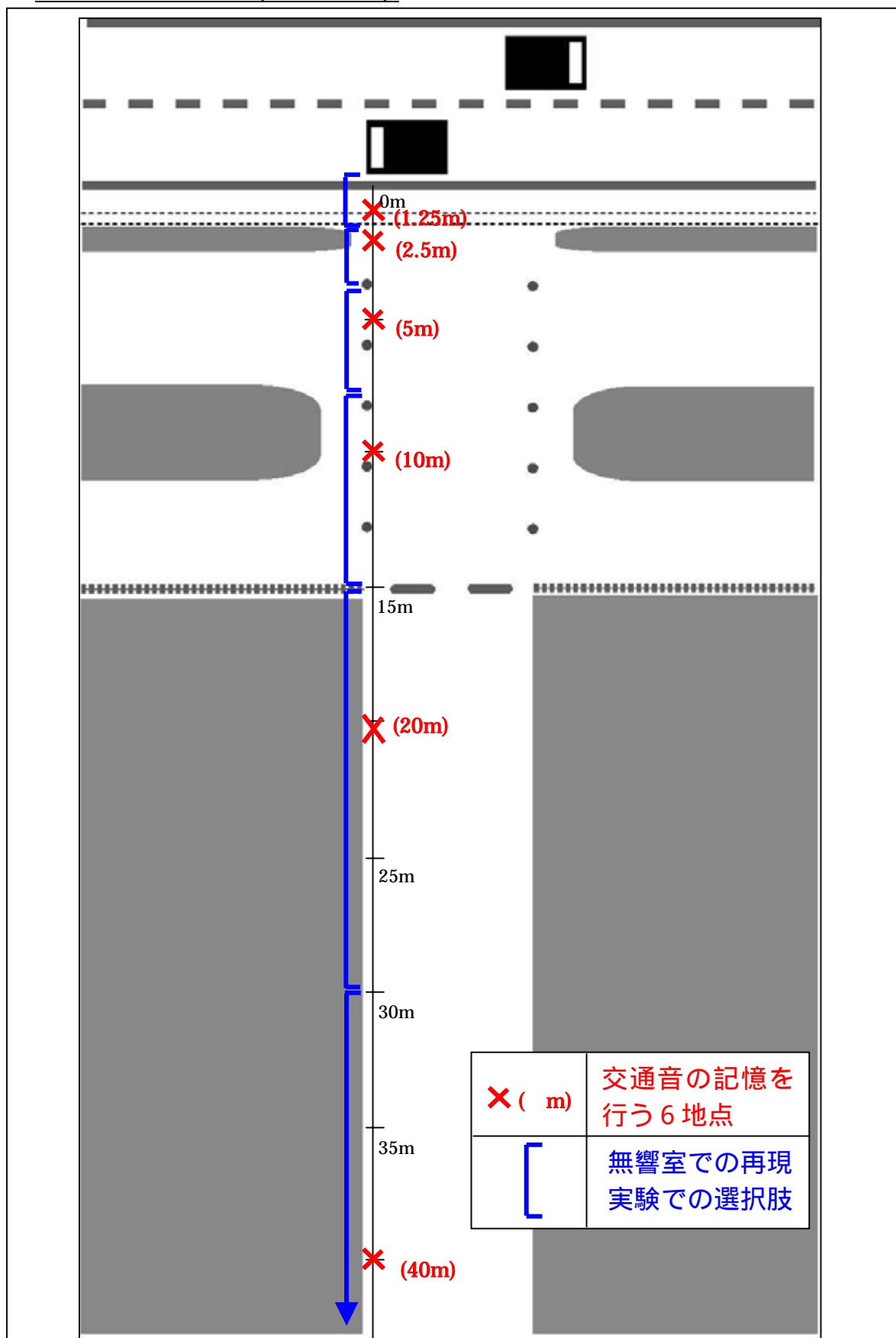
ここでの行動は以上で終わりです。その後無響室にすぐに移動していただきます。

無響室での再現実験

これから様々な再生方法により、先ほど記憶して頂いた場所の音を再現します。現場での記憶をもとに、図を見ながら自分がいると感じる場所を口答で選択してください。選択肢は図中にて範囲分けされている、 - の数字ですが、の場所より更に明らかに遠いと感じた場合は と答え頂いても構いません。また範囲の境目は正確に半分という意味ではありませんので、単純に記憶をした地点により近いと感じる数字を選択してください。

なお、音は約 30 秒程度続きます。

屋外空間での教示用紙 (2 ページ目)



5-5, 結果と考察

今回の室内 6 段階、屋外 7 段階の選択肢の数字をそのまま間隔尺度として扱い、再現対象ごとに「再生システム」、「音量設定」、「録音地点」、「被験者」の 4 要因の主効果およびその交互作用を要因とする 4 元配置分散分析をおこなった。なお 3 要因以上の交互作用は誤差に含めた。その結果を表 5-4 に示す（被験者との交互作用は表から除く）。また、分散分析の詳細を表 5-5 に示す。

表 5-4 再現対象別の分散分析結果（枠内数字は F 値,**1%有意,*5%有意）

要因	自由度	室内空間		屋外空間	
再生システム	2	6.0	**	15.2	**
音量設定	3	332.9	**	236.0	**
録音地点	3	711.3	**	389.4	**
被験者	10	60.0	**	8.2	**
再生システム×音量設定	6	0.7		1.1	
再生システム×録音地点	6	8.4	**	4.6	**
音量設定×録音地点	9	1.9	*	0.4	

室内空間、屋外空間とも全ての要因で主効果が見られた。「音量設定」や「録音地点」は実際に被験者が受聴する音量が変化するので当然であるが、受聴音量の変化がない「再生システム」についても主効果が見られたことで、距離の認知に対して再生システムの依存性が確認される結果となった。

まず F 値に関して室内空間と屋外空間の比較を行う。室内空間での「再生システム」の F 値はその他三要因に対して非常に小さく、「録音地点」や「音量設定」といった要因の F 値は大きい結果となった。屋外空間では「録音地点」や「音量設定」の F 値が大きい結果は同様だが、「再生システム」の F 値は「被験者」の F 値よりも大きい結果となり、またわずかではあるが「音量設定」や「録音地点」の F 値に近くなっている。相対的にみて室内空間より屋外空間の方が再生システムの依存性が大きいことが示唆された。

今回対象とした室内空間は残響時間も小さくなく、音源がスピーカー出力の点音源に近い状態であった。比較して屋外空間は自動車走行音という移動音源を対象としている。響きが少ない点音源に対しては音量が距離の認知に関する判断要素として大きくなった結果、「音量設定」と「録音地点」の F 値が大きくなり、実際受聴音量が変わらない「再生システム」の F 値が小さくなったと考えられる。移動音源に関しては、多チャンネル再生ほど実際の音源が移動の再現性が向上し、それが判断要素として追加されたため、再生システムの依存性が相対的に大きくなったことで、「音量設定」や「録音地点」の F 値が小さくなり、「再生システム」の F 値が大きくなったと考えられる。

・再生システムの主効果について

分散分析の結果から「再生システム」の要因に関して主効果が見られた。そこでシステムごとの多重比較（Student の t 検定）を行った。室内空間に関しては3つの再生システムの平均値に有意差がなく、屋外空間に関しては2ch と 6ch の関係にのみ有意差が見られ、平均値で約0.2小さくなる（近く感じる）結果となった。

この結果は実験2の結果（2ch は 6ch よりも音量が大きく感じる）と共通していると考えられる。今回の道路沿い空き地の場合においても、実験2での公共空間と同様に2ch は 6ch よりも音量を大きく感じ、その結果認知した地点がより近くなったのだと考えられる。

なお室内空間に関してはそういった傾向が見られなかった。

表 5-5 分散分析の詳細

室内空間

要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	
再生システム	2	3.004	1.502	6.010	0.003	**
音量設定	3	249.566	83.189	332.866	<.0001	**
録音距離	3	533.324	177.775	711.336	<.0001	**
被験者	10	150.015	15.002	60.026	<.0001	**
再生システム*音量設定	6	0.996	0.166	0.664	0.679	
再生システム*録音距離	6	12.602	2.100	8.404	<.0001	**
再生システム*被験者	20	14.871	0.744	2.975	<.0001	**
音量設定*録音距離	9	4.290	0.477	1.907	0.049	*
音量設定*被験者	30	9.955	0.332	1.328	0.119	
録音距離*被験者	30	15.864	0.529	2.116	0.001	**
誤差	408	101.966	0.250			
全体	527	1096.453				

屋外空間

要因	自由度	平方和	平均平方	F値	p値	
再生システム	2	11.299	5.650	15.207	<.0001	**
音量設定	3	263.021	87.674	235.981	<.0001	**
録音距離	3	434.036	144.679	389.416	<.0001	**
被験者	10	30.492	3.049	8.207	<.0001	**
再生システム*音量設定	6	2.428	0.405	1.089	0.368	
再生システム*録音距離	6	10.186	1.698	4.569	0.000	**
再生システム*被験者	20	23.451	1.173	3.156	<.0001	**
音量設定*録音距離	9	1.366	0.152	0.408	0.931	
被験者*音量設定	30	10.750	0.358	0.965	0.523	
被験者*録音距離	30	17.568	0.586	1.576	0.029	**
誤差	408	151.583	0.372			
全体	527	956.180				

・ 平均値について

分散分析と同様に、今回の室内 6 段階、屋外 7 段階の選択肢の数字をそのまま間隔尺度として扱い、「再現対象」と「再生システム」ごとに録音地点に対する認知した地点の対応を図 5-6 に示す。点が平均値であり、上下の線が標準偏差を示す。なお屋外空間では の回答は一度もなかったため、屋外空間での縦軸は までしか表示していない。また録音距離に対して認知した距離が等しくなった場合、図の点線の上ののることになる。

全ての「再現対象」と「再生システム」のパターンで、実音場と同じ音量 ($\pm 0\text{dB}$) では録音地点に対して認知した地点が近くなる結果となった。そして録音地点が同じでも、音量を下げるにつれて (-3dB , -6dB , -9dB)、認知した地点は遠ざかっていく結果となった。音源の距離の認知に関しては、音量が非常に大きな判断要素になっていることがわかる。

また今回の結果では全ての「再現対象」と「再生システム」において、音量設定を -3dB から -6dB 程度に設定すると、録音距離に対して認知した距離が対応する。音量の認知の観点では、実験 2 の結果では $60\text{dB} \sim 70\text{dB}$ の音場では -5dB から -10dB で自然な印象となる結果となっており、今回の結果と数値的に一致するわけではない。

・ 標準偏差について

図の 5-6 を見ると、(A-1)室内空間 6ch と(B-1)屋外空間 6ch の標準偏差の値が他の場合と比較して小さい値となっている。つまり 6ch は 2ch や 1ch と比較して認知した距離の被験者間のばらつきが小さくなった。そこでその標準偏差の違いの程度を見るために、(A-1,2,3 B-1,2,3)全てのパターンでの標準偏差の平均値を算出した結果を表 5-6 に示す。1ch と 2ch に大きな差はないものの、6ch は明らかに値が小さくなっていることがわかる。1ch、2ch に対する 6ch の優位性として個人差の縮小があげられる結果となった。

距離の判断要素として音量は非常に重要ではあるものの、実音場と比べて音量以外の判断要素が少ない 1ch や 2ch の再現音場においては、その音量と距離感の対応が人によってずれてしまうことが考えられる。しかし 6ch では音量以外の判断要素、例えば近距離での自動車の移動等の再現性によって、個人ごとのずれが小さくなり、ある程度の共通な距離の認知が可能になったと考えられる。

表 5-6 標準偏差の平均値

再生システム	室内空間	屋外空間
6ch	0.57	0.59
2ch	0.71	0.79
1ch	0.72	0.83

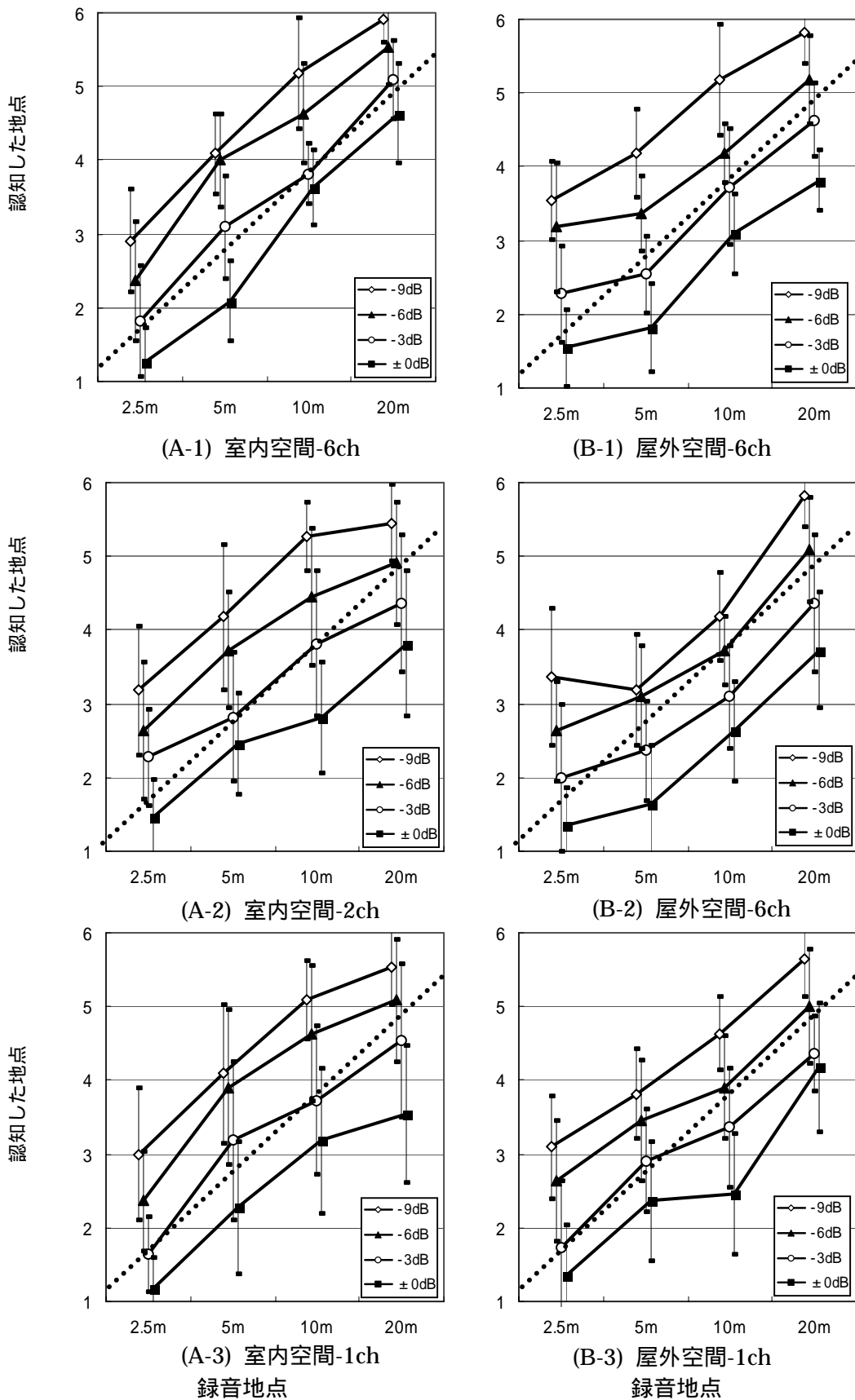


図 5-6 録音地点に対する認知した地点 (平均値と標準偏差)

・室内空間での遠方での傾向について

図 5-6 の室内空間(A-1,2,3)の場合に着目すると、1ch と 2ch では遠方になるほど認知距離が頭打ちになる傾向がみられた。なお 6ch ではその傾向はみられない。これは分散分析での「再生システム」と「録音距離」の交互作用の一つだと考えられる。そこでの、室内空間での録音距離 20mのみを取り出し、再生システムに関して多重比較(Student の t 検定)を行った。その結果 1ch と 2ch の平均値に対して 6ch の平均値は有意に異なり、その差は約 0.6 となった。

これは表 5-7 に示すとおり、遠方ほど呈示音の変化が小さくなるのに対応して、距離の認知をしたと考えられる。しかしながら 6ch では室内空間において遠方で音量変化が小さくなる場合においても、反射音の到来方向等の音量以外の判断要素の追加によって、距離の違いを判断できたと考えられる。

表 5-7 室内空間の呈示音とその差

	室内空間 L_{Aeq} [dB]	差
2.5m	71.5	
5m	65.8	5.7
10m	62.1	3.7
20m	59.1	3

5-6, まとめ

- ・ 実験 3 を通して

実音場と同じ音量設定で再現を行うと、再生システムや再現対象に関わらず、録音地点に対して認知した地点は近く感じる結果となった。また今回の再現対象の 2 音場では-3dB から-6dB 程度の調整すると録音地点と認知した地点が対応する結果となった。

また再生システムや再現対象に関わらず全ての場合において、同じ録音地点でも音量が小さくなるのに対応して認知する地点が遠ざかる結果となった。これにより再生システムにかかわらず、基本的には呈示音量で距離の判断要素として非常に大きいことが確認された。

- ・ 距離感からみたシステムの依存性に関して

分散分析により、距離感に関して「再生システム」の要因の有意性が示され、再生システムの依存性が確認される結果となった。特に屋外空間においては、2ch は 6ch と比べて平均値が有意に異なり、2ch は 6ch より近く感じる事が分かった。これは実験 2 の結果の一つである、2ch は 6ch に比べて 2dB 程度大きく感じることも似た傾向となっている。

また分散分析結果の F 値を再現対象ごとに比較することによって、屋外空間での自動車走行音は室内空間でのアナウンスに比べて、距離感に関する再生システムの依存性が高い結果がみられた。

標準偏差に着目すると、再現対象に関わらず 6ch は 1ch と 2ch よりも小さい値を示す結果となった。これは距離感に関して個人差を小さくすることが可能になったという点で、1ch と 2ch に対する 6ch の優位性が確認されたといえる。

また特に室内空間での音場において、遠方での音量の変化が小さくなる場合に、1ch や 2ch では呈示音量に対応して距離感が頭打ちになる傾向が見られた。しかし 6ch ではそういった場合においても、音量以外の要素の再現性の向上により、距離の違いを判断することが可能となったと考えられる。

第六章

総括

本研究では音の大きさや方向・距離といった空間構造の認知に着目して、1ch、2ch、6ch の各システムを三つの主観評価実験により比較することで、音の認知段階での再生システムの依存性を検討した。また 6 チャンネル再生システムを構築し、その再現精度を把握した。

実験 1 方向定位に関する実験

実験 2 想定値に基づく音量の認知に関する実験

実験 3 距離感に関する実験

- ・ 認知段階における再生システムの依存性

実験 1 での方向の認知に関しては、6ch での高い再現精度が把握できた。方向の認知といった観点からは、1ch、2ch に対して 6ch には優位性があると共に、再生システムの依存性は明確である。実験 2 での音量の認知に関しては、2ch は 6ch に対して有意に異なり、より大きく感じる点意外に明確なシステム依存性は見られなかった。また 6ch の優位性も確認することはできなかった。実験 3 での距離感に関しては、屋外空間の自動車走行音について 2ch は 6ch に対して有意に異なり、近い距離を認知する結果が見られた。これは実験 2 での音量に関する認知と似た傾向が現れている。また距離感に対する再生システムの依存性は室内空間より屋外空間を再現対象としたほうが大きくなる傾向がみられた。実験 2 では再生システムごとの想定値の標準偏差の差異は小さかったが、実験 3 においては 1ch、2ch に対して 6ch では明らかに小さい値を示す結果がみられた。ある特定音の距離感を再現する際に、6ch の明らかな優位性として、個人差を小さくする効果が確認できた。また室内空間での遠方といった特定の条件においては、距離感に関する再生システムの依存性と 6ch の優位性が強まる傾向が見られた。

このように三つの実験での共通性は少なかつたものの、各実験においては認知に関する再生システムの依存性と 6ch の優位性に関する知見を得ることができた。

- ・ 6チャンネル再生システムについて

本研究において本学環境学研究棟無響室に 6 チャンネル再生システムを構築し、いくつかの公共空間や室内空間等を再現し、主観評価による実験をした。これによって認知という心理的なプロセスから再生システムの方向や距離・音量に関する再現精度を把握することができ、今後 6 チャンネル再生システムを用いて印象評価を行うための基礎的な知見を得ることができた。また 1ch や 2ch に対する優位性も確認できた。しかしながら本研究では、例えば再現を行う際に最も基礎的な設定事項である音量設定に関しても、再現対象となる音場での音量や、室内・屋外といった場の特性、評価対象とする音源の特性等によって適当とされる設定値が異なる結果となった。今後は音量や波数特性等の物理的な再現精度に加えて、音場や音源の特性からくる心理的な影響も踏まえて再現精度を向上させ、実験室実験を行っていくことが望まれる。

参考文献

参考文献

- [1] 時間変動を伴う道路交通騒音の室内における主観評価に関する実験的研究,古市龍(東京大学修士論文,2003)
- [2] 時間変動を伴う純音性設備騒音の入眠時における主観評価に関する実験的検討,高部茂生(東京大学修士論文,2004)
- [3] 室内における環境騒音評価指標に関する実験的検討,飯島直樹(東京大学修士論文,2004)
- [4] 指向性 6 チャンネルの收音・再生方式を用いた公共空間の音環境評価 喧噪感・会話のしやすさに関する基礎実験 ,横山栄・矢野博夫(音講論集,1999 春,pp737-738)
- [5] 空調騒音の評価方法に関する研究,伊豫田裕 (東京大学論文)
- [6] 居住空間における音環境の心理的評価,石橋睦美(東京大学論文)
- [7]地域の特性と音環境の認知に関する研究,藤井将人(横浜国立大学修士論文,2003)
- [8]新幹線騒音の評価指標に関する研究,柿内暢昌(横浜国立大学卒業論文,2001)
- [9] 人間の音環境認知に基づいた音環境の字空間記述に関する研究,梶原泉(東京大学修士論文,2001)
- [10] 3 次元音場シミュレーションによる聴感実験に関する基礎的検討,横山栄(東京大学修士論文,1999)
- [11] 都市環境評価実験における映像と音量のバランス,大井尚行・河合敬二(建築学会梗概,1993 秋,pp907-908)
- [12] 場所の属性と環境音の想定レベル,大井尚行・松井幸一郎(建築学会梗概,1994 秋,pp1983-1984)
- [13] 環境音の想定レベルと主観評価,大井尚行・松井幸一郎(建築学会梗概,1994 秋,pp1985-1986)
- [14] 音像距離の相対知覚に関する一考察,金海永・高根昭一(音講論集,1997,pp439-440)
- [15] 音の距離定位について,森本正之(日本音響学会誌,1978,pp356-361)
- [16] 音環境が空間イメージに与える影響,佐藤宏(サウンドスケープ 3 巻,2001)
- [17] 6 チャンネル收音・再生システムによる音場シミュレーション - 聴感実験のための受聴エリアに関する検討 -,安田勝彦・池田将人(音講論集,2000 秋,pp789-798)
- [18]数値計算による多次元音場シミュレーション - 平面 4ch システムの試み -,坂本慎一(音講論集,2000 秋,799-800)
- [19] アナウンス聴取に対する道路交通騒音の影響,山本航介(東京大学卒業論文,2001)
- [20]6 チャンネルシステムによるステージ音場シミュレーション,上野佳奈子・橘秀樹(音講論集,2000 春,pp713-714)