

# 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

学籍番号 56818  
氏名 上杉 崇(Uesugi, Takashi)  
指導教官 佐久間 哲哉 助教授

## 1. 研究の背景・目的

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(1ch)やステレオ(2ch)再生のものから、多チャンネル再生での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る可能性があり、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必要がある。

人が音の印象を評価する過程に、まず音を認知する段階があると考えられる。そこで本研究では音の大きさや方向・距離の認知の再現性に着目し、6チャンネル再生システム(6ch)と2ch、1chの各システムを主観評価実験により比較することで、音の認知段階での再生システムの依存性を検討する。また本学環境学研究棟無響室に6chを構築し、その再現精度を把握する。

## 2. 6チャンネル再生システムの構築

**2.1 システム概要** 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收音を行い、無響室内に配置した6個のスピーカーからそれぞれの信号を再生する方法である。頭部伝達関数の測定や複雑な信号処理を必要とせず、受聴時の姿勢についての制約が緩いことが特徴である。

**2.2 收音系** 收音系マイクロホンシステム及び、使用したマイクロホン(SONY C-48)の指向特性を図1に示す。マイクロホンの指向性が外側を向くように組み合わせ、間隔は110mmである。6本のマイクロホン個々の周波数特性について、またそれぞれ信号を再生系から同時に出力した時の受聴位置での周

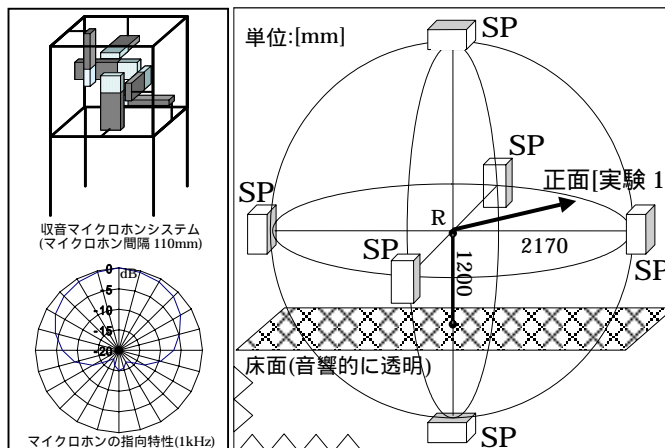


図1 收音系

図2 再生系

波数特性についてイコライジングを行い、63Hz帯域から10kHz帯域において3dB以内に補正した。また録音に関して、ノイズはA特性で21dBに対して94dBの入力まで可能である。

**2.2 再生系** スピーカー配置を図2に示す。各スピーカーに関して、受聴位置での周波数特性にてイコライジングを行い、63Hz帯域から12kHz帯域について3dB以内に補正した。

## 3. 実験の内容と流れ

以下の三通りの主観評価実験を行う

- ・[実験1]方向定位に関する実験(6ch)

6chに関して、1chや2chでは再現できない音源方向の認知の精度を把握する。

- ・[実験2]環境音の想定値に関する実験(1ch,2ch,6ch)

写真提示と各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(想定値)を明らかにする。各再生システムの比較を通して音量の認知に関するシステム依存性を探ると共に、6chで最も自然と感じることができるとする音量設定値を把握する。

- ・[実験3]距離感に関する実験(1ch,2ch,6ch)

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を比較することで、距離の認知に関するシステム依存性を把握する。

#### 4. [実験1]方向定位に関する実験

4.1 実験システム 無響室内でスピーカー出力によるピンクノイズを水平面方向で 30° 毎に 6ch 收音システムを用いて録音を行い、6ch 再生をすることで 12 方向の音をシミュレートした。

4.2 実験手順 被験者は図 2 の正面を向いて座り、頭と上半身を動かしながら 12 方向の選択肢から音が聞こえる方向を選択する。呈示音は 1 方向につき 2 秒の音を数回繰り返し、1 人につき各方向 3 回行う。

4.3 結果 正面を 0° とし、回答数を円の半径に表した結果を図 3 に示す。前後誤判定はなく音の設定方向と認知方向が 45 度線にのっている。これにより 6ch の方向定位精度の把握ができた。

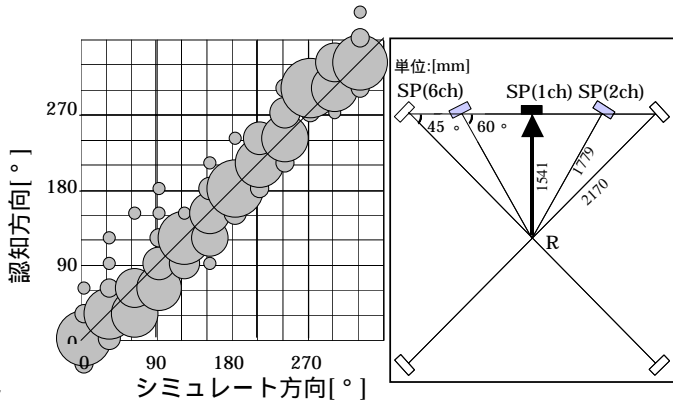


図 3 6ch 方向定位実験結果 図 4 スピーカー配置(平面図)

表 1 実験 2 の対象地 (基準値順)

再現対象	基準値 $L_{Aeq}$ [dB]	空間状況	主な音源・音事象
A 池袋駅中央改札	76.7	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	74.9	車の通りが多い沿道	人、車
C 池袋東口地下通路	71.0	細い屋内通路	人
D サンシャイン通り	70.9	人通りの多い繁華街	人、BGM
E 池袋メトロポリタンプラザ	66.4	天井の高い屋内空間	人、アナウンス
F 池袋西口公園	60.8	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	50.4	自然の多い公園	人、鳥、飛行機

#### 5. [実験2]環境音の想定値に関する実験

5.1 実験システム 図 4 の通り無響室内に 1ch・2ch・6ch のシステムのスピーカーを配置した。1ch・2ch では收音系に無指向性マイクロホンを用い、2ch でのマイク間隔は 20cm (水平面内) とした。再生系では各システムとも受聴位置での周波数特性が実音場と一致するように調整をした。被験者は音量調節を行う 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、受聴位置において再生音量を調節する。なお回転による音量の変動は 1.1dB 刻みである。

5.2 再現対象 公共空間から表 1 に示す 8 地点を選び、各收音システムによって録音した環境音から切り出した約 30 秒間を呈示音とした。呈示用の写真は録音時に各地点から前後左右の 4 方向をカメラ (画角 35mm レンズ相当) で撮影したもので、1 地点につき A4 の用紙 1 枚の中に各方向の写真 4 枚を配置した。

5.3 実験手順 被験者は写真を見ながら各システムでの再生音を聞き、その場所の音量を想定し手元のマウスのホイールでその音量 (想定値) に調整する。呈示時間は録音から切り出した約 30 秒間を 1 回繰り返す約 1 分間である。表に示す各地点での 30 秒間での  $L_{Aeq}$  を基準値とし、初期呈示音量として下降系列「基準値+8dB」、上昇系列「基準値-25dB」に設定し、各系列一回ずつ再生した。

5.4 結果と考察 想定値に関して、表 2 に全要因の主効果およ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結果を示す (被験者との交互作用は表から除く)。それぞれの主効果は見られたものの、被験者との交互作用以外の交互作用は見られなかった。

表 2 の通り再生システムに関して有意差が見られ、想定値に対する再生システムの依存性が確認された。そこで再生システムに関して多重比較 (Tukey の HSD 検定) を行ったところ、2ch と 6ch の関係にのみ平均値に有意差が見られ、その差は約 2dB となった。再生システムと再現対象に交互作用がなかったことから、音場の空間状況と再生システムの組み合わせによる効果は今回見られない結果となった。また系列の違いには有意差があり、上昇系列に比べて下降系列の平均値は約 3dB 大きかった。これは想定する音量に

表 2 実験 2 の分散分析結果 (\*\*1%有意,\*5%有意)

要因	自由度	F値	
系列	1	220.3	**
再生システム	2	29.8	**
再現対象	7	533.6	**
被験者	11	207.3	**
系列 × 再生システム	2	0.1	
系列 × 再現対象	7	2.0	
再生システム × 再現対象	14	0.9	

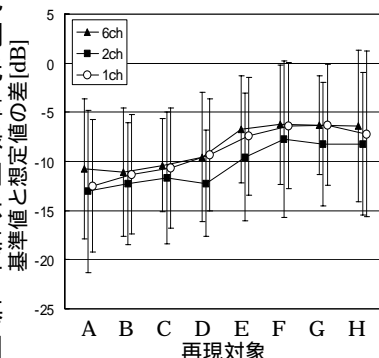


図 5 基準値と想定値の差と標準偏差

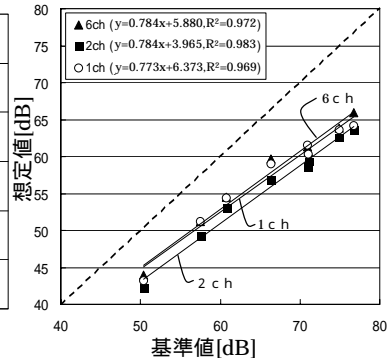


図 6 基準値と想定値の対応と回帰分析結果

は幅があり、その上方の値と下方の値を選択した結果だと考えられる。ここで下降系列は上昇系列より常に大きく、また標準偏差の差に大きなものは見られなかったため、以降は各系列の dB 平均値を被験者の想定値として分析を行う。

基準値と想定値の差と、標準偏差を対象地ごとに図 5 に示す。標準偏差は 3 つの再生システム共通して約 6dB となった。また実音場での音量が小さい対象地ほど、想定値が基準値に近くなる結果となっている。分散分析により表 2 各要因が説明変数として有効であることが確認できたので、基準値に対する想定値と、回帰分析を行った結果を図 6 に示す。ここでは基準値に対して線形に想定値が決まると共に、6ch と 2ch の回帰直線は基準値によらずほぼ平行で -2dB になる結果となった。

### 5.5 まとめ

- ・ 2ch は 6ch より想定値が 2dB 程度小さい点以外で、想定値に対する再生システムの依存性は見られない。
- ・ 標準偏差が 6dB 程度と幅があるものの、想定値の平均値は実音場での音量によってほぼ線形に定まる。

## 6. [実験 3] 距離感に関する実験

6.1 実験システム 図 4 に示すとおり[実験 2]と同じスピーカー配置とした。

6.2 再現対象 再現対象とする実音場は図 7 の通り室内空間として講演用ホール、屋外空間として道路沿い空地の 2 カ所とし、各音源はアナウンス拡声音と自動車走行音とした。録音地点は表 3 の通り各 4 点とし、各地点での  $L_{Aeq}$  も表 4 に示す。なお再生音場では実音場に対して音量を 3 段階 (0, -3, -6dB) に変化させ、各々 30 秒間呈示した。

6.3 実験手順 被験者は最初に現場にて目隠し状態で音を聞き、各地点の様子を記憶する。記憶地点は表 3、図 7 に示す通り室内 5 点、屋外 6 点、各地点への滞在は 2 分間を 2 回ずつとした。続いて 3 分後無響室にて再生音を聞き、表 4 の通り各地点と様子が最も近いと感じる地点の

表 3 録音を行う地点と記憶を行う地点の  $L_{Aeq}$

地点	図 3 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

番号を選択する。なお、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。

6.4 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、表 5 に主要因の主効果およ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結果を示す (被験者との交互作用は表から除く)。また録音地点に対して、認知した地点の数字の平均値および標準偏差を算出した結果を、再現対象と再生システムごとに図 8 に示す。屋外空間では の回答は一度もなかった。なお録音地点に対して、等しい地点を認知した場合は図 8 中の点線の上に乗る。また再現対象と再生システムごとの標準偏差の平均値を表 6 に示す。

表 5 から室内空間・屋外空間共に、音量の変化が生じる「音量設定」と「録音地点」だけでなく、「再生システム」を含めた全ての主効果に有意性が見られた。F 値は小さいものの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。

図 8 の平均値に着目すると、実音場と同じ音量 ( $\pm 0$  dB) では再現対象や再生システムに関わらず全てのパターンで認知した地点は録音した地点より近い結果となり、また音量設定が小さくなる (-3dB, -6dB) ほど認知した地点は遠くなる。今回の再現対象の 2 音場では -3dB から -6dB 程度に設定すると、録音地点と認知した地点が対応する結果となった。次に標準偏差に着目すると、図 8 と表 6 の通り 1ch, 2ch と比べて 6ch は小さくなる結果となった。これは実空間に比べて音量以外の判断要素が少ない 1ch と 2ch では、音量と距離

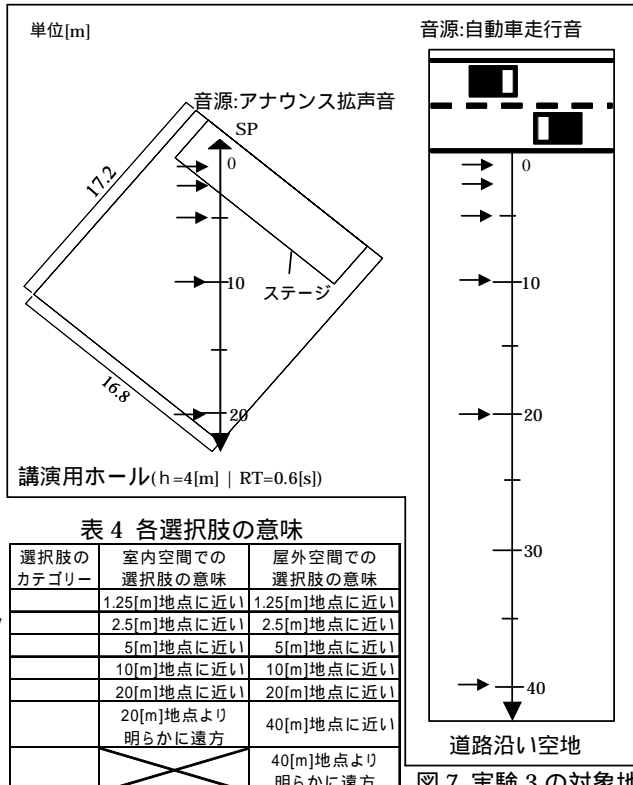


表 4 各選択肢の意味

選択肢のカテゴリ	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 7 実験 3 の対象地

離感の対応に個人差が生じてしまうが、6ch では音源の移動や反射音の到来方向等の判断要素の追加によって、その個人差が小さくなるからだと考えられる。

図 8 の室内空間のグラフ(A-1,A-2,A-3)に着目すると、1ch や 2ch では遠方になるほど認知した地点の距離が頭打ちになる傾向が見られた。これは「再生システム」と「録音地点」の相互作用だと考えられる。そこで録音地点 20m の場合だけ取り出して再生システムに関する多重比較(Tukey の HSD 検定)を行ったところ、1ch と 2ch に対して 6ch は有意に異なり、平均値が大きい結果となった。1ch と 2ch は表 3 に示す通り、遠方ほど変化が小さくなる呈示音量に対応して距離を判断したと考えられる。しかし 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でも、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。

### 6.5 まとめ

- ・再現対象の音場や再生システムに関わらず、実音場と同じ音量設定では録音地点に対して認知した地点の距離は近くなる。
- ・6ch は 1ch、2ch と比べて認知した地点に関する被験者間のばらつきが小さくなる。
- ・室内空間での音場において 6ch は 1ch、2ch とは違い遠方で音量の変化が小さい場合でも距離の違いを判断できる。

### 7. むすび

今回の 3 つの実験により音の大きさや方向、距離の認知という面から 6ch の基本的な再現精度が把握できた。また 3 つの実験結果に共通性は少なかったものの、それぞれの結果においては音の認知に対する再生システムの依存性と、1ch、2ch に対する 6ch の再現性の向上に関する知見を得ることができた。

表 5 実験 3 の分散分析結果

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

(枠内数字は F 値、\*\*1%有意、\*5%有意)

表 6 標準偏差の平均値

	室内空間	屋外空間
6ch	0.57	0.59
2ch	0.71	0.79
1ch	0.72	0.83

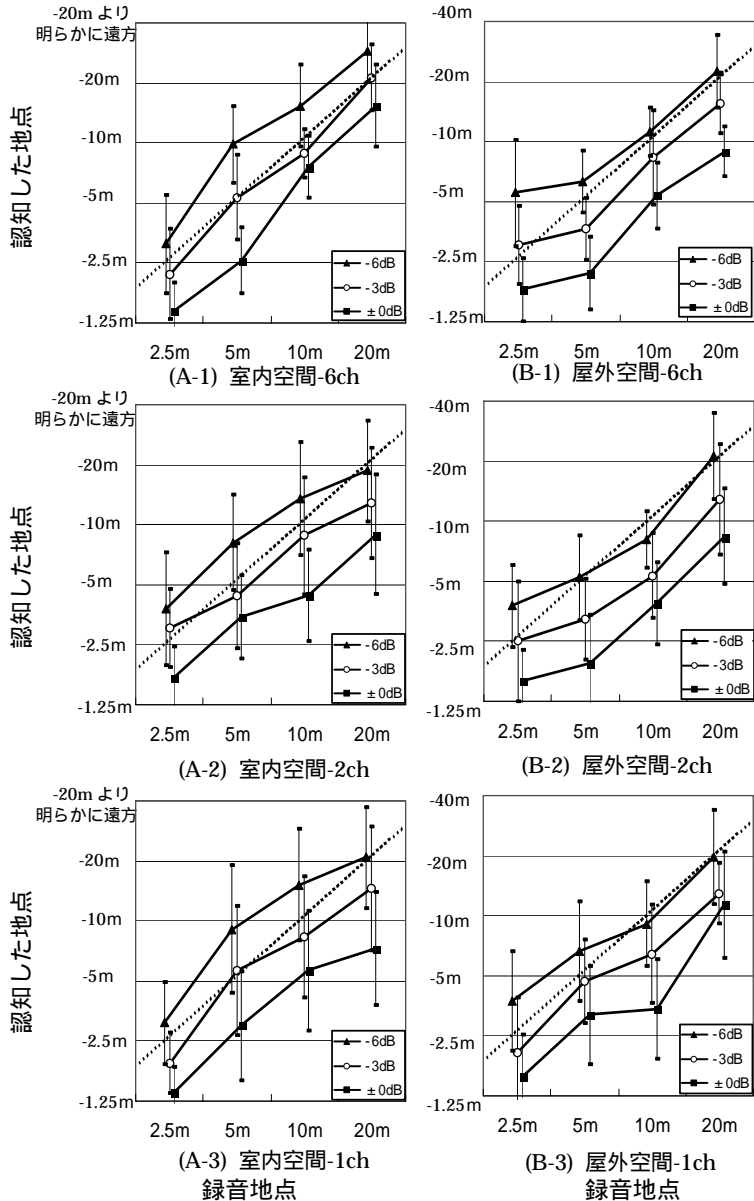


図 8 録音地点に対する認知した地点の平均値と標準偏差

【謝辞】 6ch 再生システムの構築にあたり、多大なご指導、協力を頂きました千葉工業大学の横山栄氏に深く感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- [1]横山,上野,橘;「6チャンネルの指向性マイクロホンを用いた収音・再生法による音場シミュレーション」音講論集pp883-884(1998 春)
- [2]大井,安岡他;「場所の属性と環境音の想定レベル」建築学会梗概集 pp1983-1984,(1994 秋)
- [3]佐藤;「音環境が空間イメージに与える影響」サウンドスケープ3巻 (2001)