

室内音響インパルスレスポンスの聴感的類似度に関する研究

70063 五十嵐 冬人

1) 背景と目的

室内音響において模型実験や計算機シミュレーション等により得られたインパルスレスポンス (IR) の妥当性を判断するため IR 間の類似度を評価する方法の確立が求められている。現状では実測値との相関係数により判断する方法等が行われているが、相関係数が聴感的類似度とよい対応を示すかは疑問である。さらに残響時間 (RT), C 値等の聴感に関わる指標は IR から算出可能であるが、聴感的類似度との対応は不明である。本研究では、残響感の指標である残響時間, 明瞭度の指標である C 値, さらに初期反射音構造 (ER) に着目し, それらの値が聴感的類似度とどのような関係にあるのかを調べることを目的とする。

2) 方法

実験に使用する IR の作成 残響時間, 初期反射音構造, C 値を変化させた計 17 種類の IR を使用し, 3 種類の聴感実験を行った (表 1)。IR は以下の流れに従って作成した。
[室条件の設定]

室容積 $V = 12,000 [m^3]$, 室表面積 $S = 3,400 [m^2]$

音源 - 受音点間距離 $D = 10 [m]$, 音速 $c = 340 [m/s]$

[過程 1] 残響音部分 (80ms 以降) について, 室容積 V あたり 1 個の密度のランダムな仮想音源分布を 3 種類 (RT=1.5s, 2.0s, 2.5s) 作成する。

[過程 2] 初期反射音部分 (80ms 以前) の仮想音源分布を 3 種類 (Type A, B, C) 作成する。Type A ~ C は, 時間軸上の分布がそれぞれ異なっている (図 1)。

[過程 3] Eyring の残響理論より導かれる式(1)に基づき, 過程 1 及び 2 の音源から受音点に入射する音圧を算出する。

$$p(t) = p_0(1 - \alpha)^{0.5 \frac{t}{4V}} \quad (1)$$

p : 音圧 p_0 : 仮想音源からの直接音圧

[過程 4] 初期反射音部分及び残響音部分に補正係数 a, b をかけることにより, C 値を -3, 0, 3 [dB] の 3 段階に補正し, 同時に対直接音エネルギー比を補正する。 a, b は式(2, 3)の連立方程式を解いて求める。

$$10 \log_{10} \frac{E_d + a E_e}{b E_r} = C \quad (2)$$

$$\frac{E_d}{a E_e + b E_r} = \frac{S \alpha}{16 \pi D^2 (1 - \alpha)} \quad (3)$$

E_d : 直接音のエネルギー, E_e : 初期反射音のエネルギー,

E_r : 残響音のエネルギー, C : C 値

以上により表 1 に示した 17 種類の IR が作成される。

類似度判断実験 作成した IR 自体及び IR にオーケストラのドライソース (フィガロの結婚) 約 15 秒間を畳み込

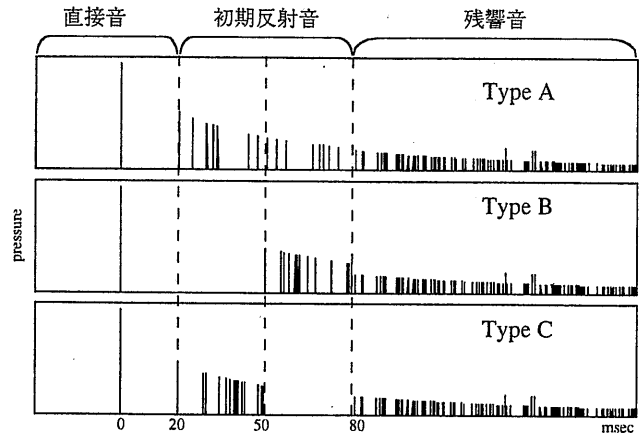


図 1 作成した初期反射音の種類

表 1 各実験で使った IR の種類

RT	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	
ER	A	B	B	C	C	A	A	A	B	B	B	C	C	C	A	B	C
C 値	0	0	3	0	3	-3	0	3	-3	0	3	-3	0	3	0	0	0
実験 1						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
実験 2	○	○		○											○	○	○
実験 3		○	○	○	○						○	○					

表 2 実験概要

	変化パラメータ	IR 総数	音源	方法	被験者
実験 1	ER, C	9	IR, オーケストラ	一対比較	男性 6, 女性 3
実験 2	RT, ER	9	IR, オーケストラ	一対比較	男性 7, 女性 2
実験 3	RT, ER, C	8	IR, オーケストラ	一対比較	男性 6, 女性 3

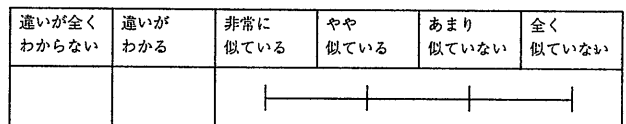


図 2 実験で使った評価尺度

んだもの (以下 OS) を使用し, 被験者 9 人に対し一対比較による聴感的類似度の評価実験を行った。被験者は提示される音の対を聴き比べた後, 図 2 の尺度で評価する。まず聴き比べた 2 つの音の違いがわかるかどうかを 2 段階評価し, (違いがわかる) 場合にのみ 2 つの音の類似度について 4 段階評価する。実験概要を表 2 に示す。

3) 結果と考察

分析にあたり, 評価を (違いが全くわからない) (非常に似ている) (やや似ている) (あまり似ていない) (全く似ていない) の 5 段階評価とみなし, 順に 0 ~ 4 の点数を与えこれを音の対の非類似度の評価値とした。今回の分析においては個人差を考えず, 被験者 9 人の平均をとって分析を行った。

IR 間相関係数と聴感的非類似度との対応

目的変数を聴感的非類似度, 説明変数を IR 間の相関係数として回帰分析をおこなった (図 3)。いずれもよい対応が認められない。

指導教官 佐久間 哲哉 助教授

初期反射音, C 値, 残響時間の聴感的非類似度への寄与 (初期反射音構造の違い) (C 値の違い) (残響時間の違い) がそれぞれ聴感的非類似度に与える影響の大きさを数量化 1 類の方法で分析した(図 4)。IR を直接聴く実験では OS の場合に比べて (C 値の違い) の寄与が低い値を示している。
空間的構造の分析

被験者による聴感的非類似度の判定値が距離のアフィン変換であるという仮定の元で, 計量的多次元尺度法で空間布置を求めた。

実験 1-OS(図 5-a): 2 軸がやや C 値に対応している。A-B-C 三角形が, C 値の変化に伴いゆるやかな回転を示す。例えば B0 については, パラメータが近い B3 あるいは C0 に比べてパラメータがより遠い C-3 の方が似ていると判断されている。従って初期反射音構造あるいは C 値のどちらか一方では, 聴感的類似度は全く判断できないことがわかる。

実験 1-IR(図 5-b): C 値軸は不明確で, 初期反射音軸は明確である。主に初期反射音構造によって聴感的類似度が判断されたことを示す。これは数量化 1 類による分析結果と一致する。

実験 2-OS(図 5-c): 主成分軸ではないが, 残響時間軸も初期反射音構造軸も存在する。

実験 2-IR (図 5-d): 2 軸に残響時間, 1 軸に初期反射音構造が明確に対応している。この実験 2 では, OS と IR の判断軸は似ているといえる。

実験 3-OS(図 5-e): 1 軸は残響時間, 2 軸は初期反射音構造とも C 値ともとれるが, 不明確である。

実験 3-IR(図 5-f): 1 軸が残響時間, 2 軸が初期反射音構造に明確に対応している。C 値は判断にほとんど影響していない。

4) まとめ

残響時間, 初期反射音構造, C 値と, 聴感的類似度との対応を実験によって調べたところ以下の結論が得られた。

1. IR 間相関係数と実際の聴感との間には確かな対応が認められなかった。
2. 聴感的 (非) 類似度の判断に影響を及ぼす因子の種類及び影響の大小は音源依存性がある。今回の場合, 初期反射音構造と残響時間はオーケストラ, IR 共に非類似度判断に影響を及ぼしたのに対し, C 値は IR にはほとんど影響を及ぼさなかった。
3. C 値, 初期反射音構造に関しては, 値が近いペアよりも値が離れているペアの方が似ていると判断される例がみられるなど, どちらか一方で聴感的類似度を判断することはできない。残響時間についてはそのような逆転が見られず, 残響時間の異なる音同士は, ある程度似ていない (非類似度が大きい) と判断して差し支えないと思われる。

今後の課題として, 音源依存性の詳細, 判断軸の意味の分析などを行い, 総合的な聴感的類似度の評価指標を定める必要がある。

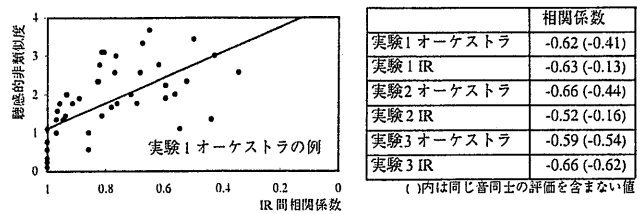


図 3 IR 間相関係数と聴感的非類似度との対応

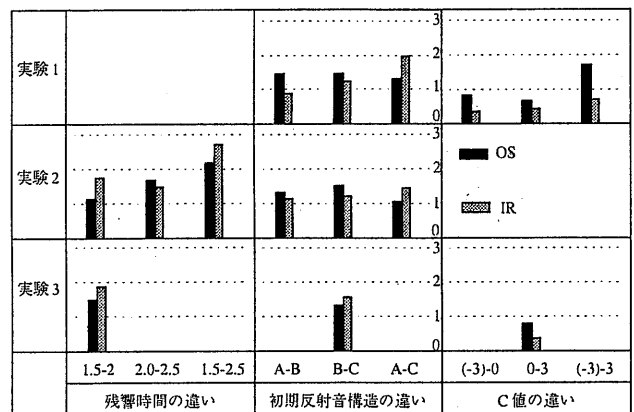


図 4 聴感的非類似度への寄与

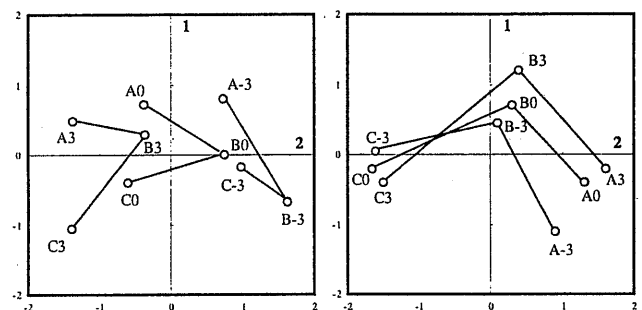


図 5-a. 実験 1 OS

図 5-b. 実験 1 IR

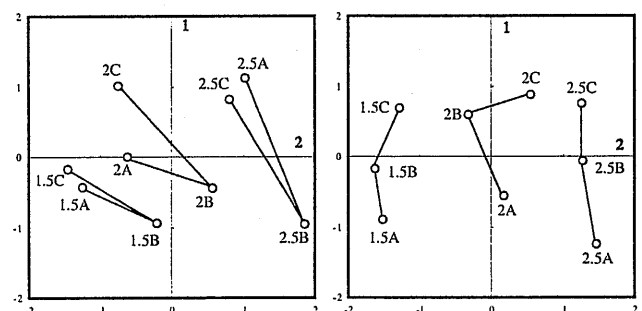


図 5-c. 実験 2 OS

図 5-d. 実験 2 IR

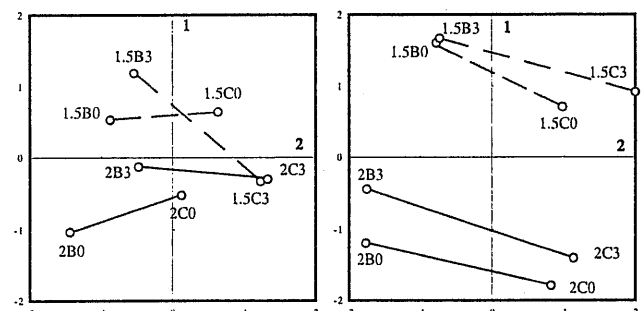


図 5-e. 実験 3 OS

図 5-f. 実験 3 IR

図 5. MDS による空間布置