

室内音響インパルスレスポンスの評価手法に関する研究\*  
 - 近接した座席で得られた応答の比較 -

福島徹彦, 藤田啓明, 尾本章, 藤原恭司 (九州芸工大)

はじめに 室内音響シミュレーションにおいてインパルスレスポンスを算出する場合, その精度や妥当性は実測した波形との比較によって判断されることが多い. 例えば2波形間の相互相関係数を算出したり, 各種物理指標を算出し比較する方法 [1] などが挙げられる. しかし比較に際して重要なのは, 2つのインパルスレスポンス波形が聴感的に似ているかどうかということであり, 物理量と聴感的印象との対応関係が明確にわかっていない現状では, 物理量をもとに数値シミュレーションの精度を判断する方法が妥当であるかどうかは議論の余地がある. またインパルスレスポンス波形がどの程度異なれば, 聴感的な印象が変わるのかも明らかではない.

コンサートホール等においてインパルスレスポンスを測定する際, 数センチの受音点の位置の変化によってその波形は変化すると言われる [2] が, 実際に聴こえる響きがその数センチの位置の違いによって, 大きく変化するとは考えにくい. どの程度聴取する位置が変われば, 聴感的な印象が変化するかを知ることは興味深いと思われる.

本報告では, その聴感的な変化とともに算出した相互相関係数や各種物理指標がどの様に変わっていくのかを調べることによって, その対応関係を考察した.

**比較対象としたインパルスレスポンス** 中規模の多目的ホールにおいて, TSP 信号を用いて測定を行った. このホールは残響可変装置と舞台反射板の有無により, 講演を目的とした型 (以下「講演型」と呼ぶ) と演奏を目的とした型 (以下「演奏型」と呼ぶ) に変化させることができる. それぞれの型で 11 個, 合計 22 個のインパルスレスポンス波形の測定を行った.

具体的な測定配置は Fig. 1 に示すように, スピーカをステージのほぼ中央で高さ 1.5m に配置し, そこから垂直に 12m 離れた場所に基準の受音点となる R1 を定めた. 受音点 R1 から横に一座席分に相当する 0.5m 間隔に R2 から R11 の 10 個の受音点を設定した.

**類似度判断実験** 聴感的な類似性に関して, 受音点 R1 に対してその他の受音点の響きの類似性を判断する一対比較実験を行った.

実験に用いた音源は「講演型」では, インパルスレスポンス波形をそのまま聴かせる場合と, 2種類

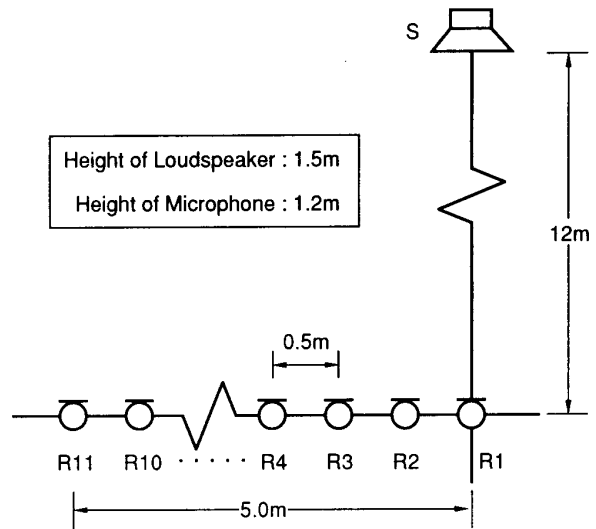


Fig. 1. Measuring points arrangement

のドライソース (Impact2 Japan Audio Society, 男声ナレーション, 女声ナレーション, いずれも約 15 秒) を畳み込んだ音を聴かせる 3 つの条件でそれぞれ実験を行った. また「演奏型」では, インパルスレスポンス波形をそのまま聴かせる場合と, ドライソース (DENON 70CO-2309, フィガロの結婚序曲の一節, 約 15 秒) を畳み込んだ音を聴かせるという 2 つの条件でそれぞれ実験を行った.

被験者はそれぞれの条件で 6 人から 10 人で, 提示される音の対を聴き比べ, 「どのくらい似ているか」を Fig. 2 示されるコンピュータのディスプレイ上に表示されたスライドをマウスで動かし評価する.

スライドには目盛を用意していないが, その位置に応じて 0 (全く似ていない) から 100 (よく似ている) までの 101 段階で評価している. 初期値は中心の 50 に設定した.

**音響物理指標の算出** 現在一般的に用いられている音響物理指標 [3] として, 各インパルスレスポンス波形から残響時間 (RT), 初期残響時間 (EDT), C 値, D 値を全域, 低域 (63, 125Hz オクターブバンド), 中域 (250, 500, 1kHz), 高域 (2k, 4k, 8kHz) のそれぞれの周波数帯域毎に算出した.

更に受音点 R1 のインパルスレスポンス波形に対する相互相関係数も算出した.

**結果と考察** まず, 上記の類似度判断実験から得られたデータを分散分析し, 受音点による類似度の差

\* Evaluation of room acoustic impulse responses : comparison between the response at adjacent seat  
 By Tetsuhiko Fukushima, Hiroaki Fujita, Akira Omoto and Kyoji Fujiwara (Kyushu Institute of Design)

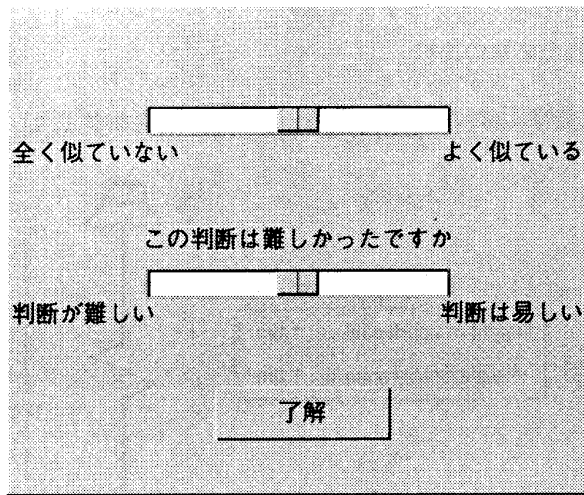


Fig. 2. Estimation scales on parent comparison experient screen

が有意であるかどうか確かめたところ、「講演型」のインパルスレスポンス波形に女声ナレーションを畳み込んだ条件において2.5%の危険率で有意な差があることが得られた。

そこで、この条件での受信点R1に対する聴感的類似性と算出した音響物理指標との順位相関係数を計算したところ、Table 1に示すように、相互相関係数(全域)で、 $r = 0.9152$ 、D値(全域)では、 $r = 0.9636$ という高い相関が得られた。

Table 1. Rank-correlation vs auditory similarity

聴感的類似度 vs		
音響物理指標	順位相関係数	
相互相関係数	全域	0.9152
	低域	0.8788
	中域	0.8909
	高域	0.9758
D 値	全域	0.9636
	低域	0.8182
	中域	0.8667
	高域	0.9758

Fig. 3に受信点R1に対するそれぞれの受信点での聴感的な類似度とインパルスレスポンス波形の相互相関係数を示す。ここで聴感的な類似度に関しては、データを1/100することによって基準化している。すなわち1に近いほど響きが似ていることを示している。

聴感的な類似度を見るとR8からR11では、0.5付近より低い値で評価されている。この結果は、類似度判断実験の際、先ほど述べたように初期値を50に設定していることから、似ていないと判断した被験者が多いという傾向を示している。

2 波形間の聴感的な類似度を相互相関係数のみで

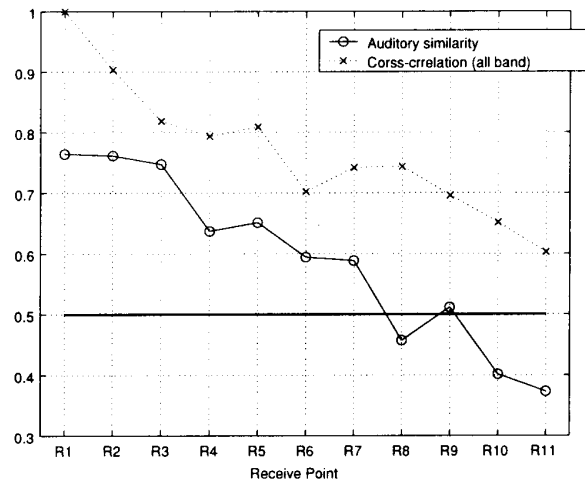


Fig. 3. Auditory similarity and cross-correlation (all band) vs R1

判断しようとするならば、聴感的に似ていないと判断されたR8は、R1との相互相関係数が $r = 0.74$ であることから、それより低い場合似ていないと判断できる可能性がある。また、R6、R7はR8にくらべ、同等もしくは低い相互相関係数であるにもかかわらず、似ているという方向に評価されているが、全体的には右肩下がりの傾向が見られる。

まとめ インパルスレスポンス波形に関して、その聴感的な類似性と相互相関係数、各種物理指標との対応関係を考察した。結果として女声ナレーションを畳み込んだ音源を用いた比較においては、聴感的な類似性と相互相関係数やD値との間に高い相関が認められた。今回の結果から、例えば数値シミュレーションと実測した波形との精度を評価する際、これらの指標を用いて評価することが、ある程度妥当な方法である可能性が示された。

また、女声ナレーションを畳み込んだ場合以外では、座席による聴感的な類似度に有意な差が認められなかったことから、畳み込んだドライソースによって聴感的な印象の変化に違いがあるということも明らかになった。更に多くのデータを収集、分析することで、より一般的な評価手法について検討を進めている。

### 参考文献

- [1] 例えば、坂本慎一 他、音講論集、pp785-786 (1999.3)
- [2] 例えば、K. Sekiguchi & S. Kimura, Calculation of Sound Field in a Room by Finite Sound Ray Integration Method, Applied Acoustics 32 (1991) 121-148
- [3] ISO 3382, Acoustics - Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters 1997.