

1 はじめに

近年、コンサートホールなどの大空間では国際規格 ISO3382[1]に記載されている音響物理指標を基に室内音響特性の分析が盛んに行われている。例えば、音響物理指標の値が室内でどのように分布するかを測定し、その測定結果をもとに室内での音響特性を測定するのに有用な受音点選定に関する検討[2]や、音場の「動的」な特性を表現できるようにするため、室インパルス応答の時間周波数特性に着目した物理量抽出法の提案[3]などがある。このように、音響物理指標を用いた室内音響特性の研究は盛んに行われているが、聴感印象と音響物理指標との関係を調べた研究は少なく、その関係は明確ではないといわれている[4]。

そこで、本研究では、大空間での聴感特徴と音響物理指標との関係について検討した。大空間における各席の聴感印象と室インパルス応答より求めた物理量を比較することにより、好みの席における音響特性の特徴を調査した。

2 研究手法

本研究の概要を図1に示す。測定は、身近な大空間である本学講堂で行った。好みの席を選定するためには、室インパルス応答にドライソースを畳み込み、聴取実験を行うことで、被験者に好みの席を選択させた。測定により得られた室インパルス応答

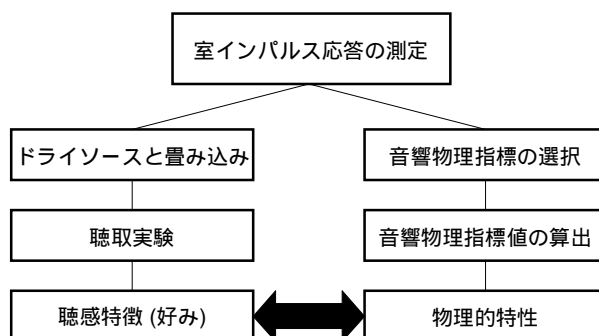


図1 本研究の概要

から種々の音響物理指標値を算出し、好みの席における物理的特性を検討した。聴取実験の結果と講堂内の各席における物理的特性との関係について検討し、好みの席における音響特性の特徴を調査する。

3 室内音場測定

図2に示すとおり、本学講堂内の全758席のうち、著者の内観により、物理的な音響特性が異なると思われる22席を選び、各座席において室インパルス応答の測定を行った。

スピーカーをステージ中心に設置し、マイクは人が座席に座った状態を想定し、床から高さ1.2mの位置に配置して室インパルス応答の測定を行った。測定のために使用したスピーカーは、自作8面体無指向性スピーカーである。本スピーカーは、2kHz以下でほぼ無指向性であることを確認している。測定は、チャイムや外部の騒音を考慮して、夜間に行った。ここで、測定環境を表1に示す。なお3時間の測定中、室

Selection of the favorite seat by listening tests and objective acoustic analysis on its seat in the large-scale space

by Yasuyoshi HAMAMURA ,Mitsuhiro NAKAGAWARA ,Mitsunori MIZUMACHI , Katsuyuki NIYADA(Kyushu Institute of Technology)

温はほぼ一定であった。

4 好みの席選定のための主観評価実験

本学講堂内 22 席について、好みの席を選定するための聴取実験を行った。

聴取実験で利用した刺激音は、本学講堂内の各席で測定した室インパルス応答にピアノ曲のドライソースを畳み込み、各席で聴こえる音をシミュレートしたものである。聴取実験の手順は、任意の2つの座席でのシミュレート音をヘッドホンを用いてそれぞれ提示し、被験者に好きな方を選択させる一対比較法である。被験者は、全 22 データのうち、同じデータ間の比較を除く 462 回の一対比較を行った。この中には、組合せは同じで提示順序の異なる比較も含まれており、各被験者は、同じ組合せに対して 2 回評価することになる。被験者が明確な判断基準により好みの席を選択しているのかを確認するために、同じ組合せで順序の違うものも提示した。被験者は正常な聴覚を有する本研究室メンバー 15 名(男性)である。15 名の聴取結果より、各被験者が好ましいと選択した割合を席ごとに算出した。被験者全員の結果を平均することにより、本学講堂における好ましい席を決定した。

聴取実験の結果を図 3 に示す。これは被験者 15 名の平均選択割合を席ごとに算出し、選択割合の高い方から順に並べたものである。これより、講堂内 22 席のうち好ましいと選択された席 3 席は、図 2 中の印で示した D-34、C-33、B-33、好ましくない席 3 席は、印で示した E-51、F-26、E-101 となった。好ましい席は、講堂内 22 席のうち 1 階席前列近くの席で、ステージからの距離も近いことが分かる。この 3 席の平均選択割合は、7 割以上であった。一方、好ましくない席はステージからの距離が遠い 2 階席で、客席入り口付近であることが分かる。この 3 席の平均選択割合は、3 割以下であった。よって、本研究では、この 6 席について物理量と聴感特徴の関係を検討する。

5 音響物理指標値の選択

本学講堂 22 席で得られた室インパルス

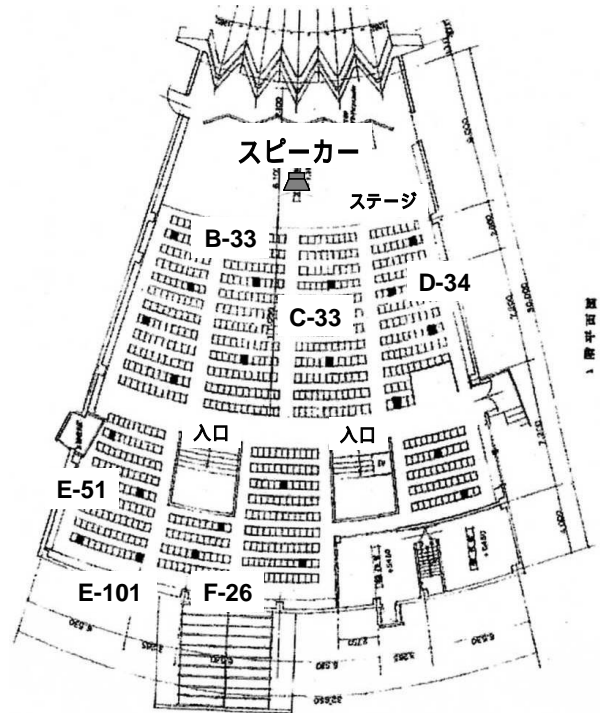


図 2 本学講堂内の好みの席の選定とその結果
印は好ましい 3 席、印は好ましくない 3 席、印はその他の 16 席を示している。

表 1 測定環境

サンプリング周波数 [Hz]	48000
測定信号	TSP
信号長	65536 (2^{16})
再生回数	10
同期加算回数	7
録音方式	モノラル
測定時の天候	晴れ
室温 []	11

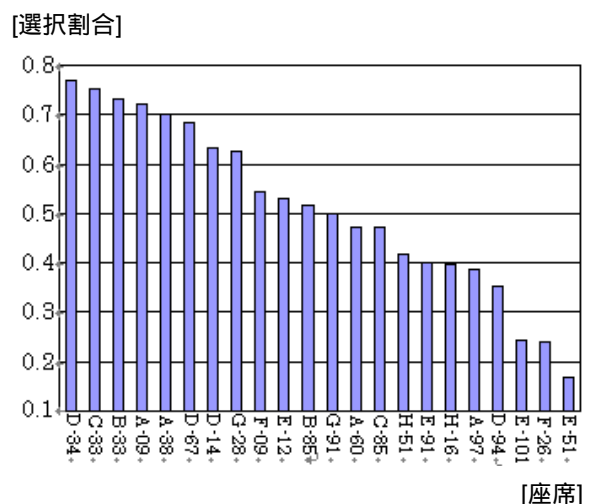


図 3 各座席における選択割合

応答より、ISO3382 に記載されている音響物理指標のうち、音圧レベル、残響時間、残響時間より残響感との相関の高いとさ

表2 選択した4席における物理指標値

		音圧レベル [dB]	残響時間 [s]	初期残響時間 [s]	DR比
好ましい	D-34	-2.88	0.98	1.12	1.01
	C-33	1.12	1.02	1.19	0.92
	B-33	0	0.99	1.28	0.93
好ましくない	E-51	-5.75	1.02	0.97	2.91
	F-26	-6.30	1.01	1.03	2.80
	E-101	-6.32	1.01	1.01	3.06

れる初期残響時間を各席で算出した。音圧計算は音源に一番近い席(B-33)を基準音圧とし、そこでの音圧が0 dBになるように正規化を行った。また、室インパルス応答における初期反射音と後続残響音のバランスを表す C_{80} を算出したところ、聴感上の好ましさと C_{80} 値との間には相関が見られなかった。そこで、本研究では、室インパルス応答における直接音と反射音のエネルギー比(以下 DR 比と呼ぶ)を算出することで、各席における直接音と反射音の比率の違いが、聴感特徴にどれだけ影響を与えるのかを検討した。以下にその DR 比の算出式を示す。

$$DR \text{ 比} = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} h^2(t) dt}{\int_0^{\varepsilon} h^2(t) dt}} \quad (1)$$

ここで $h(t)$ は室インパルス応答を表している。また、 ε は、直接音から第一反射音が到来するまでの時間として計算を行った。 ε は各席で異なる値を取り、本研究では室インパルス応答の目視により設定した。DR 比は残響のないデットな空間では0に近づくが、残響の豊かなコンサートホールなどでは正の大きな値を取る。つまり、値が大きいほど残響が多く、0に近いほど響きが少ないということになる。

6 聴感上の好ましさと物理量との関係 聴取実験の結果より選択された好まし

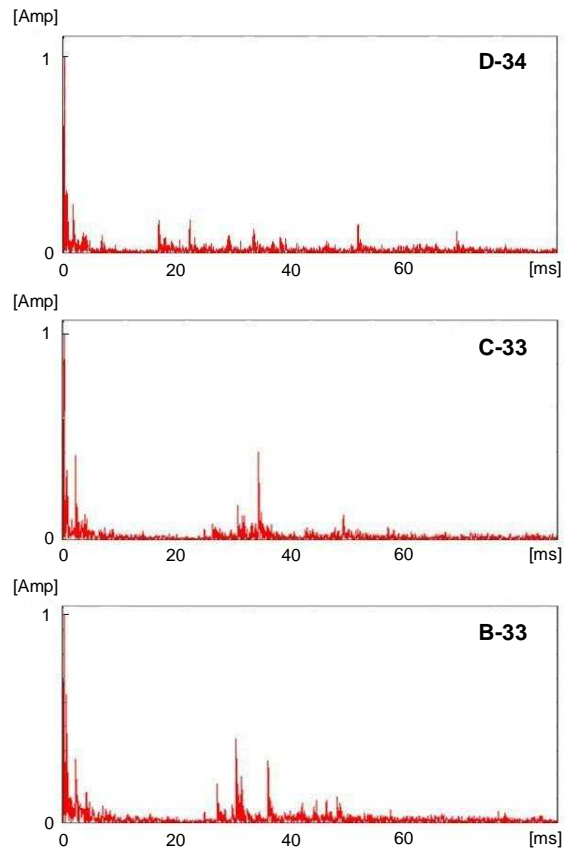


図4-(a) 好ましい3席でのインパルス応答の2乗値

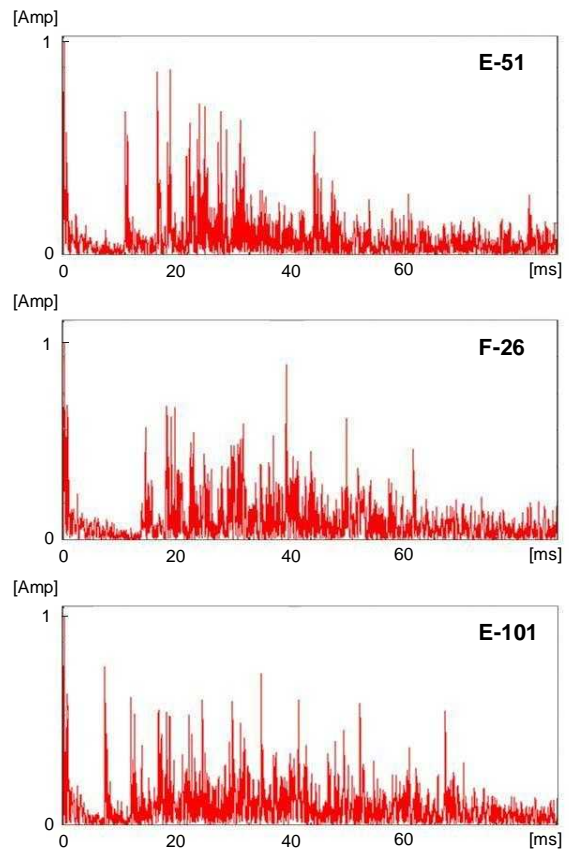


図4-(b) 好ましくない3席でのインパルス応答の2乗値

い席3つと好ましくない席3つについて、聴感上の好ましさや物理指標値との比較を行う。表2に物理量との関係を示す。表2より、好ましい席と好ましくない席とでは、音圧レベル、初期残響時間、DR比に差異が見られた。残響時間は空間に対して1つに定まる値であるため、好ましい席と好ましくない席に関係なく、ほぼ同じ値となっている。

音圧レベルを見ると、音圧が高い席のほうが、低い席より好まれる傾向にあることが分かる。

初期残響時間は、本学講堂において1.1秒を越えるものが聴感上好ましいと判断されている。これは、好ましい席では残響曲線の初期減衰が、好ましくない席に比べて緩やかであるためである。つまり好ましい席の選択基準としては、受音点近傍からの反射音などの初期残響が少ないことが挙げられる。

このことは、DR比を使っても確認できる。好ましい席のDR比は、好ましくない席のDR比に比べて小さい値である。ステージに近いD-34、C-33、B-33では反射音に比べて直接音の比率が高くなるため、DR比が小さく、非常に明瞭な音が聞こえると思われる。そして、ステージから離れるにつれて反射音の比率が大きくなり、次第に響きを多く含んだ音が聞こえるようになる。これは、室インパルス応答を見ても明らかである。図4に本研究で着目した6席での室インパルス応答の振幅値を2乗した結果を示す。図4は、直接音の到来時刻を基準とし、直接音から0.1秒以内の反射音までを拡大して載せている。ここで、図4-(a)は好ましい3席、図4-(b)は好ましくない3席の室インパルス応答である。好ましくない席では、ホール入り口付近の壁や講堂の側壁、後壁などからの複数の反射音が短い時間に集中して到達するため、残響感が増し、DR比も大きくなったと考えられる。

以上を総合すると、本学講堂の場合、聴感上の特徴をよく表す物理量は音圧レベル、初期残響時間、DR比であることが分かった。特に、初期反射音が聴感特徴に大きく影響することを確認した。

7 まとめと今後の課題

本研究では、大空間における好みの席の選定とその席における音響特性の特徴を調査した。その結果、初期反射音が少なく、直接音が明確なほど好ましい席と判断されることが分かった。よって、初期残響時間、DR比が、本学講堂における好ましい席を選択する際の基準となっていることが分かった。また、音圧レベルが高い席は、低い席に比べて好ましいと判断されていることも分かった。

今後の課題として、まず、「好み」という曖昧な表現ではなく、より具体的に室内音響特性を表現した評価基準として「響き具合」などの評価語を用いて座席の選定を行う必要がある。また、室インパルス応答測定の際、ステレオチャンネルで録音することで両耳聴を再現し、聴取実験を行うことが可能となる。この場合、両耳間相互相関関数 IACC[5]などの空間情報に着目した物理量の算出も可能となる。室の形状が変わった場合にどのような結果が得られるのかを調査するため、異なる大空間での検討も必要である。

謝辞

自作8面体スピーカーの指向特性の調査にあたり、ご協力いただきました九州大学芸術工学部の尾本章先生、ならびに山内源太様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] ISO3382 Second edition 1997-06-15, Acoustics (1997).
- [2] 赤間大恵子, 鈴木久晴, 尾本章, “音響物理指標算出のための受音点選定に関する研究,” 音講論(秋), pp.199-1002, 2007.
- [3] 西隆司, 田沖伸也, “同一音場内のインパルス応答分類,” 音講論(春), pp.857-858, 2007.
- [4] 羽入敏樹, 阪上公博, 坂本慎一, “室内音場の物理測定の課題と将来展望,” 日音誌, vol.61, no.1, pp.50-55, 2005.
- [5] Y. Ando, Concert Hall Acoustics (Springer-Verlag, Berlin, 1985).