

音源の指向性がホールの室内音響特性に及ぼす影響

太田 隆成

1. はじめに

従来、ホールの音響設計を行う場合、無指向性音源を想定した音響シミュレーションに基づいて各音響指標が算出され、これが設計上の指針となっている。また、実際のホールにおいても、同様に無指向性音源を用いた測定が行われ、ホールの特性が定義されている。しかし、実際にステージ上で演奏される楽器には指向特性があり、無指向性音源を用いた音場評価では必ずしも聴感上有為な特性が示されているか明らかでない。

本研究室では、これまで¹⁾²⁾³⁾⁴⁾音源(楽器や音声)の性質を指向性の鋭さ、向きおよび舞台上の位置の3点からモデル化して得られる物理指標の値と、従来の無指向性音源を仮定して求められる値との差について幾何音響シミュレーションを用いて比較検討し、 C_{80} や LE 等の値に聴感上有意とされる差が生じること、また弦楽器のように比較的指向性の鋭い音源を対象とする場合は、想定する指向性の違いが最適形状設計に大きく影響する可能性のあることを示した。さらに、複数の音源を対象とした音場の予測を行うためのケーススタディとして室内楽を取り上げ、従来の無指向性音源に替わる標準音源を提案した。

本研究では、実際のホールを対象に、楽器の指向性を考慮した音源を用いた各音響指標の測定を行い、無指向性音源による測定とど

のような違いが生じるかを検討した。すなわち、まず実際の楽器の指向性を把握するために弦楽器の指向性を測定し、得られたデータを基に測定用の指向性音源スピーカを試作した。そして、既存のホールにおいて無指向性音源と指向性音源による音場測定を実施し、両音源による室内音響物理量の差について比較検討した。

2. 楽器の指向性

実音場においてモデルとすべき音源の指向特性を得るため、室内楽用音源であるバイオリンとピオラを対象にし、指向性の測定を行った。

2.1. 測定方法

無響室内において、架台に固定した楽器を、アマチュア演奏家に行きだけ定常的な音となるように演奏してもらい(開放弦、down-bowによる)、各測定点における $1/3$ オクターブバンド音圧レベル(2s間のエネルギー平均)を測定した。測定は、バイオリン2本、ピオラ1本について行った。測定ブロックをFig.1(a)に示す。測定点は、楽器の中心(駒)から等距離(1m)の球面上に、 x - y 平面、 x - z 平面、 y - z 平面それぞれ 15° ステップの計61点を設定した。

なお、各測定点における測定と同時に、楽器に近接して設置した基準マイクロフォンによる測定を行い、演奏ごとのパワーレベルのばらつきを補正した。

2.2. 測定結果

低周波数域では無指向性であるが、バイオリンとピオラの主要帯域である1kHzでは指向性が認められた(Fig.2)。バイオリン、ピオラともに、 z 軸の正の方向、すなわち楽器の表板方向への指向性が鋭いことが明らかとなった。

3. 音場測定用指向性音源

実際の音場において弦楽器の指向性をモデリングした音源を再現するため、指向性音源スピーカを試作した。

3.1. 音源スピーカの試作

音源スピーカの構成は、正12面体の木製エンクロージャー(容積約20l)に12個のフルレンジ型スピーカユニット(100mm)を組み込んだものとした。

3.2. スピーカの指向特性

各スピーカユニットへのアンプからの入力レベルを個別に調節することにより前述した弦楽器の指向性に近づくように指向性を制御した。測定は、ピンクノイズを用い楽器と同様の方法で行った。測定ブロックをFig.1(b)に示す。結果を、弦楽器の指向性とあわせてFig.2に示す。また、同スピーカシステムは125Hz~2kHzの範囲でほぼ無指向性であり、周波数特性も概ね平坦(125Hz~1kHzで ± 2 dB以下(1kHz

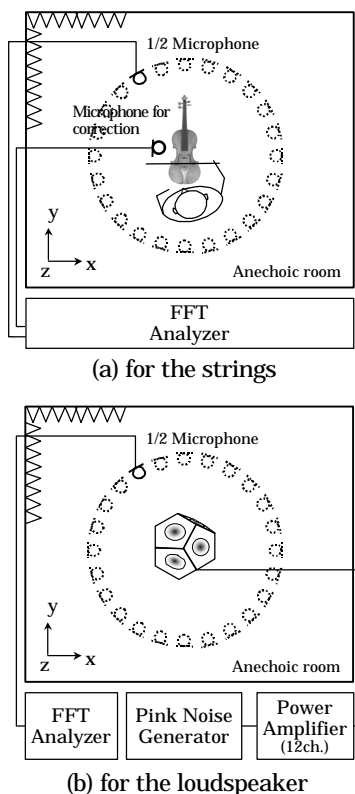


Fig.1 Block diagram of measurement of directional characteristics.

±1dB), 2kHzで±3dB)である。

4. 実音場における測定

試作した無指向性(Om)並びに指向性(Qt.)音源スピーカを用い、既存のホールにおいて各音響指標の測定を行った。

4.1. 測定の概要

測定は、舞台反射板を有する一般的な多目的ホールにて行った。ホールの諸元を **Table 1** に示す。

舞台中央に設置した12面体スピーカからM系列ノイズを発生し、アダプタ変換を利用した相互相関法によりインパルス応答を測定した。指向性音源の指向軸(**Fig.2**, z軸)は、古屋ら³が提案した室内楽用標準音源の指向軸($\theta = 60^\circ$, $\phi = 75^\circ$: 舞台から見て右手上方の方向)と一致させた。測定点は、場内一様に36点とし、受音は4チャンネルマイクロホンシステムを用いた。測定装置の概要を**Fig.3**に、ホール平面図(測定点を**Fig.4**に示す。

得られたインパルス応答から、一般的な室内音響量である明瞭度指標 D_{50} , C_{80} , 初期残響時間 EDT , および時間重心 T_s を算出した。また、インパルス応答の初期部分($t = 0 \sim 300\text{ms}$)から仮想音源の位置とレベルを解析し⁵⁾, 初期反射音の方向情報を抽出した。

4.2. 時間エネルギー特性

各指標の空間分布特性を、無指向性音源と指向性音源の場合を比較して**Fig.5**に示す。測定点によっては両音源による差が見られない

点もあるが、全体として、ほとんどの測定点において差が認められ、特に2階席において顕著である。これらの結果をより詳細に見るために、1階席前方部、1階席バルコニー下、2階席の各エリアごとの平均値、並びに無指向性の場合と指向性の場合の差を **Table 2** に示す。ここで、は測定点ごとの両者の差の絶対値を平均した値である。

まず、 D_{50} と C_{80} について見てみる。いずれも1階席前方部では、無指向性音源の場合に比べ指向性音源では値が小さくなっているが、逆に2階席では大きくなっているのが分かる。すなわち2階席におけるの値は D_{50} で12%(最大で30%), C_{80} で1.6dB(最大で3.6dB)と有意に大きい。

EDT および T_s についても、これと同様の傾向が見られる。すなわち、指向性音源になると、2階席では値が小さくなっているのが分かる。の値は、各々0.18s, 18msでありこれらも弁別限以上である。

以上の結果は、指向性音源の指向軸が舞台から見て斜め上方、すなわち2階席方向を向いていることから、2階席においては初期に到来する直接音成分エネルギーが増大することに起因していると考えられる。

Table 1 Outline of hall.

Seats	V(m ³)	V/S(m)	RT ₆₀ [*]	— [*]
1522	12167	2.6	1.58	0.23

^{*}averaged over the four octave bands from 250 to 2k Hz.

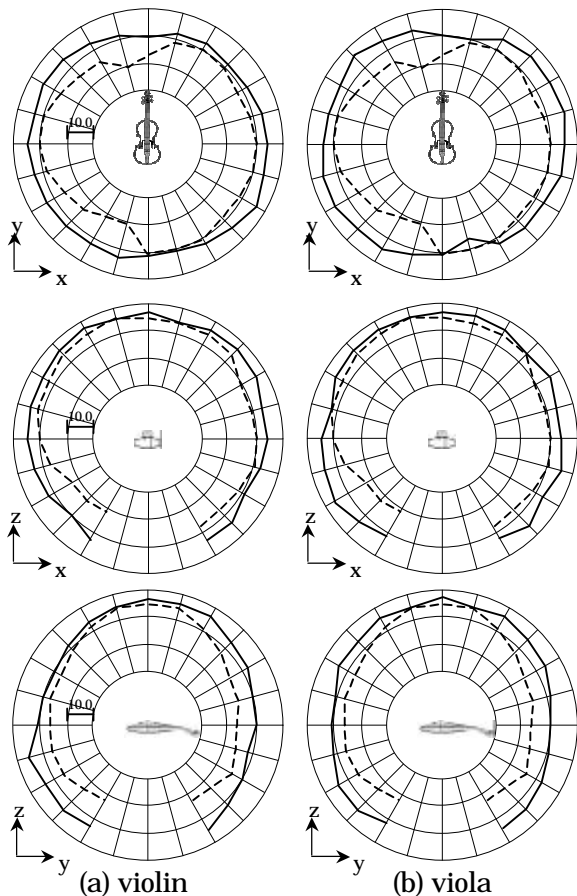


Fig.2 Directional characteristics: — : the strings, ---- : the directional loudspeaker.

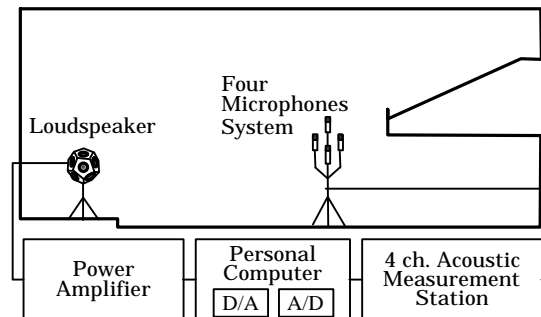


Fig.3 Block diagram of hall measurement.

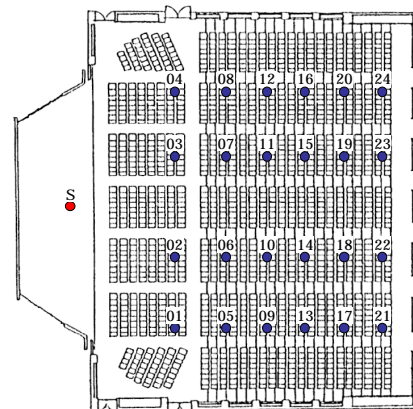


Fig.4 Plan of surveyed hall and measuring points.

4.3. 初期反射音の方向特性

仮想音源の位置とレベルから 2 階席における LE 並びに ER_L, ER_V, ER_G (0~80ms の初期エネルギーに対する横方向鉛直方向, 前後方向成分の割合)を算出した。結果を Fig.6 と Table 3 に示す。

まず, LE, ER_L について見てみる。ほとんどの測定点において指向性音源の場合の方が値は小さくなっており, その差は最大で 11%, の値で 3~6%と大きい。逆に, 鉛直方向エネルギー比である ER_V については, 指向性音源の場合の方が顕著に値は大きくなっており, 最大で 13%の差がある(=5%)。また, 前後方向エネルギー比 ER_G については, 両音源による差はほとんど認められない。

これらの結果は, 指向性音源の指向軸が上方を向いていることから, 天井方向からの初期反射音エネルギーが, 無指向性音源の場合に比べ

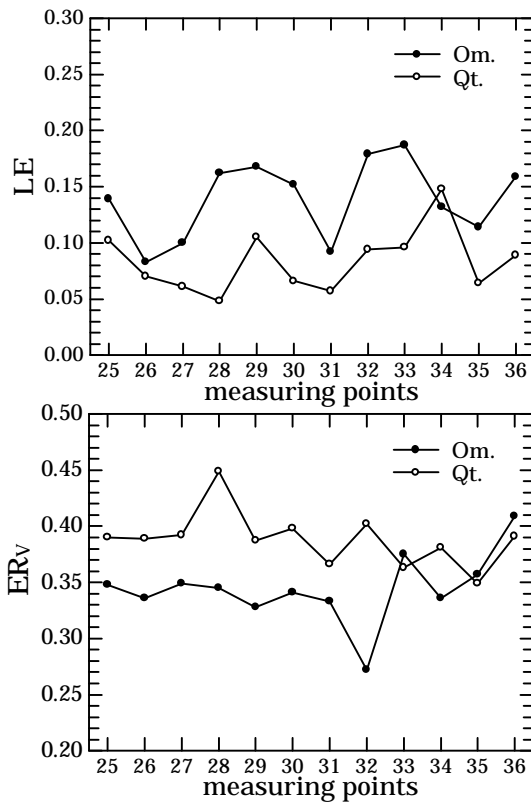


Fig.6 Measured values of LE and ER_V .

Table 2 Comparison of averaged values of acoustical indices between omni-directional (Om.) and directional (Qt.) sound sources.

Area	$D_{50}(\%)$		$C_{80}(\text{dB})$		$EDT(\text{s})$			$T_s(\text{ms})$				
	Om.	Qt.	Om.	Qt.	Om.	Qt.	Om.	Qt.				
main floor	31.4	29.9	8.6	-0.2	-1.2	1.3	1.65	1.67	0.09	124	129	12
under balcony	42.4	45.5	10.2	2.2	2.1	1.4	1.33	1.31	0.14	97	92	12
2nd floor	39.6	48.9	12.1	1.1	2.0	1.6	1.58	1.50	0.18	111	97	18
all	37.8	41.4	10.3	1.0	1.0	1.5	1.50	1.50	0.14	111	106	14

Table 3 Comparison of averaged values of directional indices between omni-directional (Om.) and directional (Qt.) sound sources.

Area	LE		ER_L		ER_V		ER_G					
	Om.	Qt.	Om.	Qt.	Om.	Qt.	Om.	Qt.				
2nd floor	0.14	0.08	0.06	0.35	0.32	0.03	0.34	0.39	0.05	0.80	0.80	0.02

て増加したためであると推察される。

5. まとめ

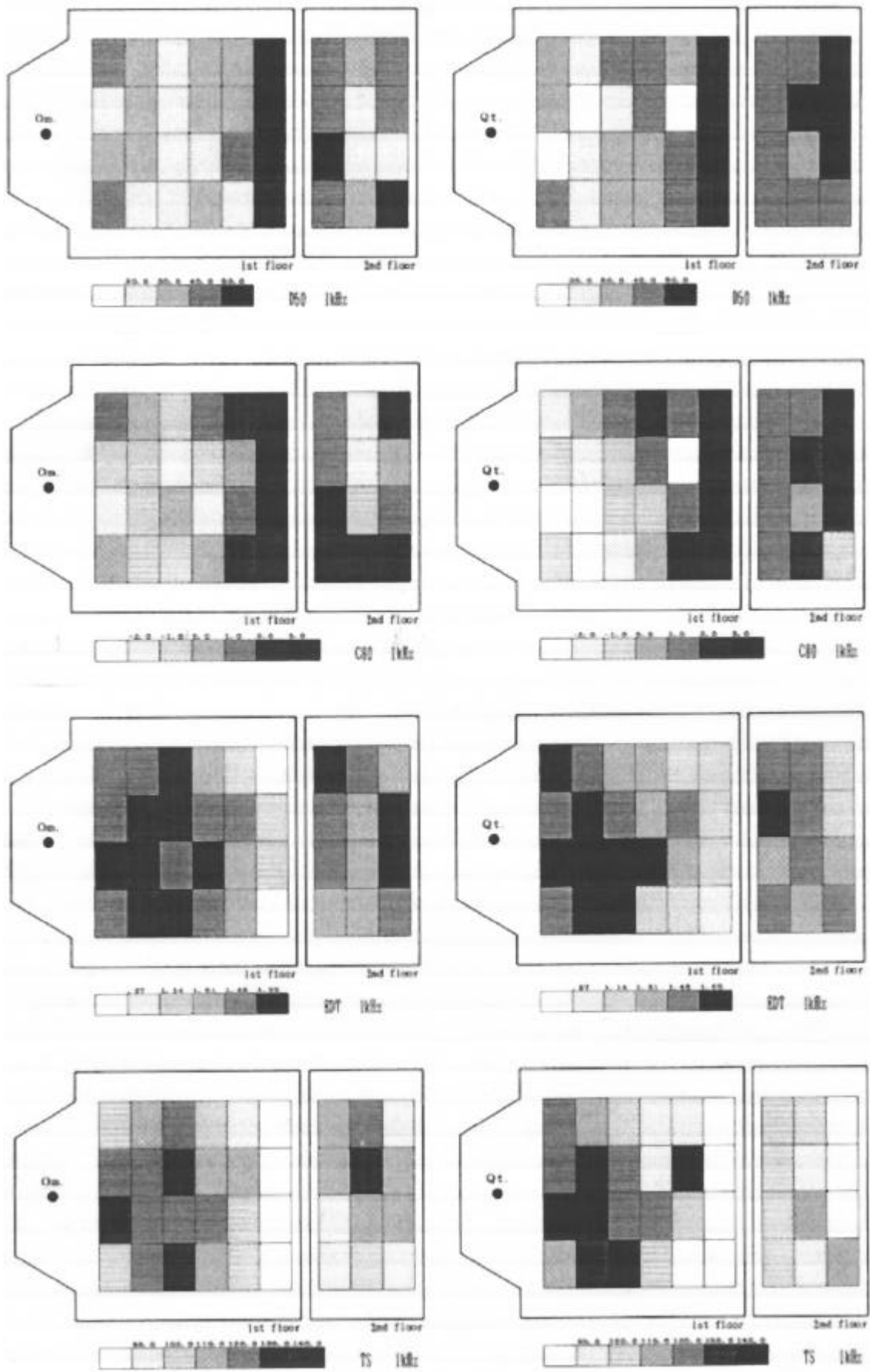
ホールの音響設計には楽器の指向性を考慮する必要があるのではないかという観点から, 実際のホールを対象に, 楽器の指向性を考慮した音源を用いた各音響指標の測定を行い, 無指向性音源による測定とどのような違いが生じるか検討した。

まず, 楽器の指向性を把握するためバイオリンとピアノについて指向性の測定を行った。測定の結果, バイオリン, ピアノともに表板方向に指向性を持つことが示された。さらに, 得られた指向性を再現するため, 音源用スピーカを試作した。それを用いて, 実際の音場で無指向性音源と弦楽器の指向性を考慮した指向性音源による測定を行い, 各種音響指標を算出した。解析の結果, 無指向性音源を用いた場合と指向性音源を用いた場合では, 各指標に有意な差が認められた。

以上のことより, 建築の音響設計に用いる音源に指向性を考慮することが必要であると結論した。今後聴感上との対応も明らかにしていくがある。

参考文献

- 1) 古屋浩: 室内音場評価における音源の指向性の影響(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集(1996.9)
- 2) 古屋浩: 室内音場評価における音源の指向性の影響(その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(1997.9)
- 3) 松尾昌美, 古屋浩: 室内音場評価における音源の指向性の影響(その 3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(1998.9)
- 4) 松尾昌美, 古屋浩, 藤本一寿: 室内音場評価における音源の指向性の影響(その 4), 日本建築学会大会学術講演梗概集(1999.9)
- 5) 関口克明, 木村翔, 羽生敏樹, 松本英一朗: 4 チャンネルマイクロフォンを用いた正四面体頂点法による室内音場の解析, 日本建築学会計画系論文報告集 (1990.8)
- 6) 古屋浩, 藤本一寿, 竹島義人, 豊村敦, 中村洋: オーディトリウムのバルコニー形態と初期反射音特性, 日本建築学会計画系論文集 (1997.8)



Omni-directional sound source

Directional sound source

Fig.5 Spatial distribution of acoustical indices (1kHz).