

# 音源の指向性とオーディトリウムの室内音響特性

松尾 昌美

## 1. はじめに

コンサートホール音場は“客席中央付近は、ピアノの場合に音量感が乏しい”、“弦楽オーケストラの場合、2階席はとても澄んだ音がする”、“後方席では、金管の音が耳に付く”などの評価がなされる。これは、楽器や音声の指向性や周波数特性が異なることに起因していると考えられる。しかし、通常の音響設計は、設計段階における検討(シミュレーション、模型実験)においても、竣工後の検査や評価(音響測定)においても、実際に演奏される音源(楽器)を考慮せずに、音源を無指向性音源と想定して行われている。これは、音場の基本的な音響特性の把握には最良な手段であると思われるが、上に述べたようなホール音場の評価には結びつかない。

かつての“多目的ホール”とは異なる、“クラシック音楽専用ホール”などの質の高い音響空間が多数建設された現在、今後は“ピアノの音を重視したホール”、“室内楽専用ホール”など、楽器を特定したホールなど、さらに質の高いホールへの要求が高まってきている。

このような音源を特定した評価を行う場合は、個々の楽器の音響特性を考慮した音響設計が必要であると考えられる。

そこで本研究は、音源の指向性を考慮した音響設計手法について研究しようとするものである。

卒業論文では、弦楽四重奏の場合には、各楽器の指向性を考慮することによってホールの音響指標がより正しく予測できることを、コンピュータシミュレーションにより明らかにし、弦楽四重奏用の標準指向性を提案した。本修士論文では、第二ステップとして、実際の楽器(バイオリン、ピオラ)の指向性を測定し、得られたデータを基に実音場測定用の指向性音源スピーカを試作し、それを用いて実ホールの音響特性を測定して、音源の指向性がホールの音響物理指標に影響することを明らかにした。

## 2. 弦楽器の指向性

楽器の指向性を3次元的に把握するために、室内楽用音源であるバイオリンとピオラを対象に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できる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

点は、楽器の表板と駒との接点を中心とし等距離1mの球面上に設けた3平面(x-y平面, x-z平面, y-z平面)にそれぞれ15°間隔の計61点を設定した。測定ブロックダイヤグラムを図1に示す。

なお、各測定と同時に、楽器近傍に設けたモニター用マイクロフォンにより、演奏ごとのパワーレベルのばらつきを補正した。

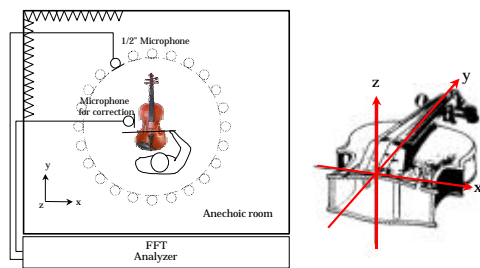


図1 指向性測定装置システム

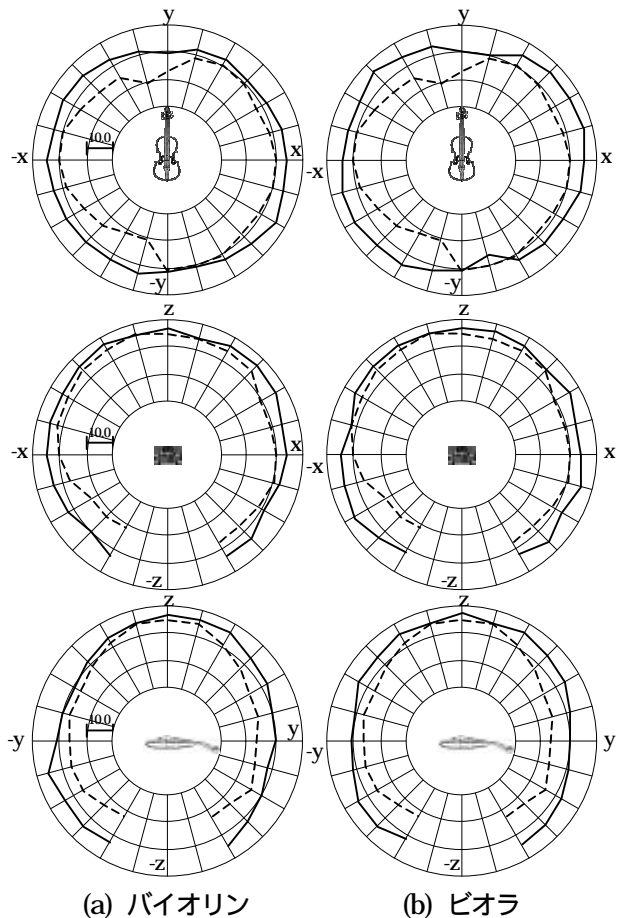


図2 指向特性 : 弦楽器の指向特性, ----: 指向性音源スピーカ指向特性

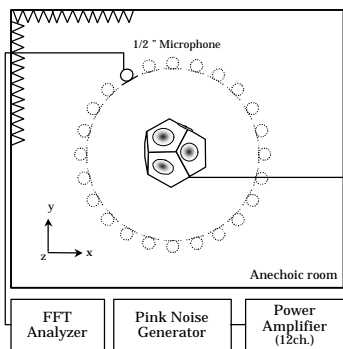


図3 測定装置システム

## 2.2 測定結果

演奏者(楽器)による指向性の差はほとんど認められなかった。バイオリン(4弦)およびピオラ(3弦)から得られた指向性の平均値を、主要帯域である1kHzについて図2に示す。測定を行ったバイオリン、ピオラともに、鉛直面内(x-z平面)の指向性、すなわち楽器の表側(f字孔側)への指向性が鋭い特性となっている。

## 3. 音場測定用指向性音源

指向性の測定によって得られた楽器の指向性を基に、音場測定用の音源スピーカを試作した。

### 3.1 音源スピーカ概要

音源スピーカの構成は、エンクロージャに一边14cmの正12面体の木製(合板製)箱を用い、口径10cmのフルレンジ型スピーカユニットを12個取り付けられたものとした。指向性の制御は、12個のスピーカユニットへの入力レベルを個別に調節することにより行った。指向性の測定は、ピンクノイズを音源とし前章の楽器の測定と同様の方法にて行った。測定ブロックダイアグラムを図3に示す。

### 3.2 音源スピーカ指向性

実音場測定用音源スピーカの指向性は、図2に示す指向性の実測結果に近づくように各スピーカユニットへの入力レベルを調節した。結果を、弦楽器の指向性とあわせて図2に示す。なお、同スピーカシステムは125Hzから2kHzまででほぼ無指向性であり、周波数特性も平坦であることを確認している。

## 4. 実音場における検証

開発した無指向性(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音場測定を行った。

### 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。ホールの諸元を表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、アダマール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(図2, z軸)は古屋らの提案した室内楽用標準音源の指向軸<sup>1)</sup>と一致させ

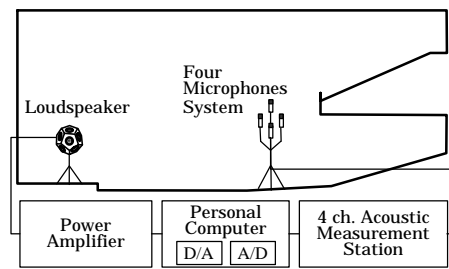


図4 実音場測定装置システム

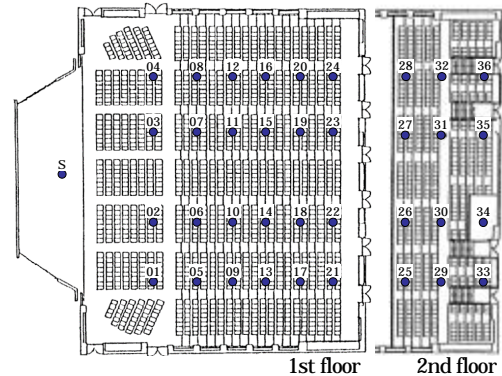


図5 測定点

表1 ホール諸元

Seats	V(m <sup>3</sup> )	V/S(m)	RT <sub>60</sub> <sup>*</sup>	—*
1522	12167	2.6	1.58	0.23

\* averaged over the four octave bands from 250 to 2kHz.

た。測定点は、場内一様に設けた36点とし、受音は4チャンネルマイクロフォンシステムを用いた。測定装置の概要並びに測定点を図4と図5に示す。

### 4.2 測定結果

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 $EDT$ 並びに時間重心 $T_s$ を算出した。また、インパルス応答の初期部分( $t=0\sim 300ms$ )から仮想音源の位置とレベルを解析<sup>2)</sup>し、初期反射音の方向情報 $LE$ 並びに $ER_L, ER_V, ER_C$ ( $0\sim 80ms$ の初期反射音エネルギーに対する横方向、鉛直方向、前後方向成分エネルギーの割合)<sup>3)</sup>を算出した。

### 4.3 室内音響一般指標

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図6に示す。測定点によっては両者の差が見られない点もあるが、全体的としてほとんどの測定点において差が認められ、特に2階席においては顕著である。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階席の各エリアでの平均値並びに無指向性音源の場合と指向性音源の場合の差 $\bar{\Delta}$ を算出した。これを表2に示す。ここで $\bar{\Delta}$ は、測定点ごとの両音源の差の絶対値を平均した値である。

まず、明瞭感に対する指標の $D_{50}, C_{80}$ について見る。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の値が小さくなっている。一方、2階席では逆

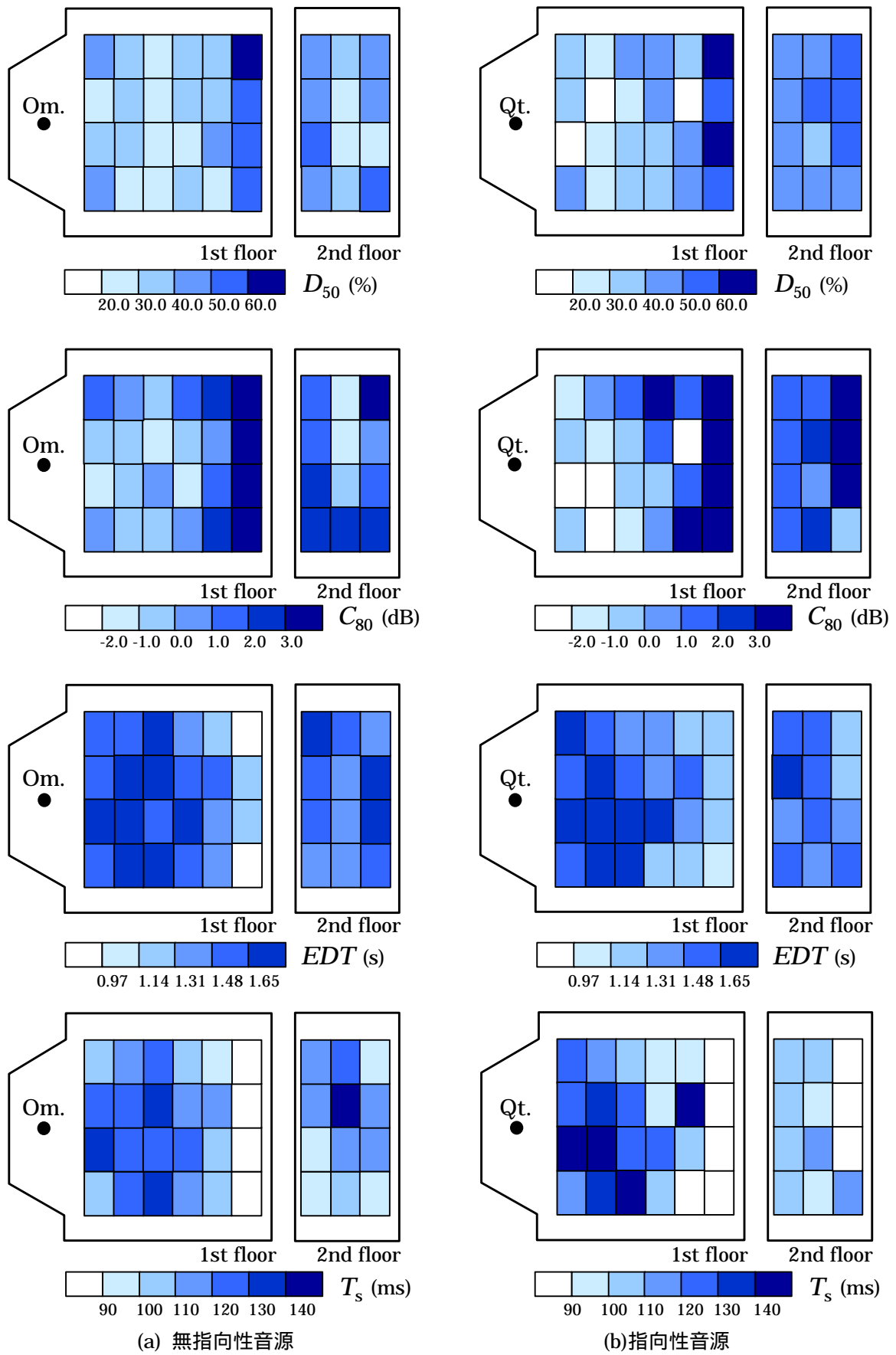


図6 空間分布特性 (1kHz)

表2 時間エネルギー特性に関する物理量のエリア平均値

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

表3 方向エネルギー特性に関する物理量のエリア平均値

Area	$LE$			$ER_L$			$ER_V$			$ER_G$		
	Om.	Qt.	—	Om.	Qt.	—	Om.	Qt.	—	Om.	Qt.	—
main floor	0.11	0.08	0.04	0.47	0.45	0.03	0.13	0.18	0.05	0.80	0.78	0.03
under balcony	0.12	0.11	0.03	0.35	0.36	0.03	0.20	0.20	0.02	0.83	0.83	0.02
2nd floor	0.14	0.08	0.06	0.35	0.32	0.03	0.34	0.39	0.05	0.79	0.80	0.02
all	0.12	0.09	0.04	0.39	0.38	0.03	0.23	0.26	0.04	0.81	0.80	0.03

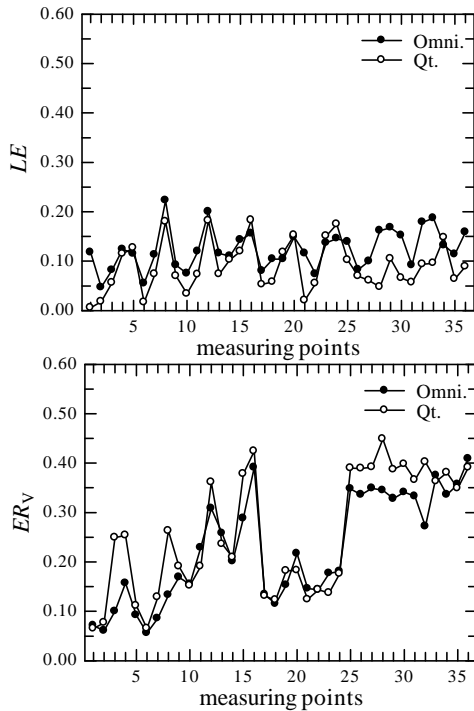


図7 方向特性に関する物理量

に $\bar{\quad}$ の値が  $D_{50}$  で 12%(最大で 30%),  $C_{80}$  で 1.6dB(最大で 3.6dB)と有意に大きくなっている。

残響感に対する  $EDT$  および  $T_s$  についても  $D_{50}, C_{80}$  の傾向と同様であり、指向性音源になると 2 階席では値が小さくなっていることが分かる。 $\bar{\quad}$ の値は、各々 0.18s, 18ms でありこれらも聴感上有意とされる値である。

以上の結果は、指向性音源の指向軸の向きが舞台から見て斜め上方、すなわち 2 階席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。

#### 4.4 初期反射音の方向特性

$LE$  並びに反射音の方向情報をより詳細に評価できる  $ER_L, ER_V, ER_G$  についての結果を図 7 と表 3 に示す。

まず、側方反射音の割合を表す  $LE, ER_L$  について見る。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あり、その差は最大で 11%と 7%であり、2 階席では  $\bar{\quad}$ の値が 6%, 3%と大きくなっている。

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逆に大きくなっており、最大で 13%の差がある(2 階席 = 5%)。

また、前後方向エネルギー比  $ER_G$  については、両音源による差は小さい。

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て増加したためであると推察される。

#### 5. まとめ

近年要求が高まっている“楽器を特定したホール”の音響設計には、その楽器の音響特性(特に指向特性)を考慮した音響設計が必要ではないかという観点から、本研究では楽器の指向特性を測定し、それに基づく実音場の測定から、楽器の指向性がホールの音響物理指標に及ぼす影響について検討した。

まず、バイオリンとピオラの3次元指向性を測定した。その結果、各楽器は  $f$  字孔側への指向性が鋭いことが分かった。そこで、測定した弦楽器の指向性を基に、実音場測定用の指向性音源スピーカを試作し、それを用いて、弦楽器の指向特性を考慮した場合と無指向性音源の場合の実際のホールの室内音響指標を測定し、比較検討した。その結果、初期反射音エネルギーは客席位置により有意な差が認められ、それは音源の指向軸の向きによることが分かった。

以上から、室内音響設計に音源の指向性を考慮することが必要であると結論した。

今後は、測定データを追加してさらに検討を行うとともに、音響指標の差が聴感に有意な違いとなるかについて明らかにしていく必要があると考える。

#### 参考文献

- 1) 松尾昌美, 古屋浩, 藤本一寿: 音源の指向性を考慮した室内音場評価法, 日本音響学会建築音響研究報告(1999.3)
- 2) 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)
- 3) 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パ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)