

# 小さな空間における音の伝搬状況可視化

上田泰孝\*

単一音源が室内にある場合、直接音および2次音源となる反射音の視覚化を31chの球バッフルマイクアレーにより試みた。音源として無指向性、指向性および楽音（ベース）を用いた。無指向性音源（2kHz）の可視化は、幾何音響シミュレーションと対応をみることができた。しかし、楽音の場合はシミュレーション結果との整合性を見る事が出来なかった。その原因は、音源の指向性によるものと考えられた。

キーワード：反響反射点，シミュレーション，エコータイムパターン

## 1. はじめに

コンサートホールにおいて音源条件が大きく変化している。例えばステージの上部には、角度や高さを可変できる反射板が設置されることが多い。ステージは平土間として使われる場合より、ひな壇場を使用される場合の方が多い。オペラになればオーケストラピットで演奏され、更に演目によりピットの深さが変わり、ピット内の演奏者数も変わる。このように音源位置や数が変われば当然ステージから客席への伝達関数（反射音構造）は変化しており、聴感的な印象も変わる。条件によっては音響障害となるエコーが発生する場合もある。様々な条件毎に建築音響測定を行いあらかじめ不具合を想定できれば良いが現実的には難しい。そこで今回比較的小さな室内においてステージ上に設置したいろいろな音源からの直接音と反射音を視覚的に表現する試みを行った結果について報告する。

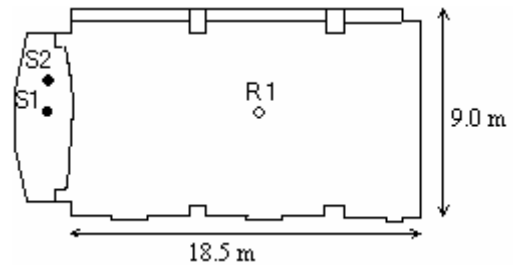


図-1 室形状および対象室 (R1 から S1 方向)

## 2. 実験概要

### 2.1 幾何音響シミュレーション概要

吉正電子㈱の幾何音響シミュレーションソフト (YMCAD) を用いた。音源はステージ上に 2 箇所 (S1 および 2)、受音点として室中央に 1 箇所 (R1) 設置して計算を行った。音源は無指向性とし、ステージから約 1m の高さ (楽器の音源位置を基準とした) とし、受音点は床から 1.2m の高さとした。

### 2.2 測定概要

室の音響性能としてエコータイムパターンと残響時間周波数特性を測定した。音源に 1 2 面体スピーカを用い、室内の 4 箇所において TEF アナライザーを用いて測定した。また可視化のための測定は、以下の条件で行った。32ch の球バッフルマイクアレーおよび収録装置は日東紡音響エンジニアリング製である。

表-1 Measurement outline .

Case	Sound source	Signal	Note
1	12 面体スピーカ	M 系列信号 トーンバースト	500Hz および 2000Hz
2	指向性スピーカ	M 系列信号 トーンバースト	
3	ベース <sup>※1</sup>	音楽 <sup>※2</sup>	ボーイングおよびフィンガーリング

※1 演奏者：根岸敦規、※2 ボーイング時の曲：ベートーベンの第九交響曲「合唱つき」から 4 楽章、フィンガーリング時：ブルース in C

\* 技術研究所

### 3. 結果

#### 3.1 残響時間の周波数特性

まず建築音響の基本性能として残響時間の周波数特性を示す。なおエコータイムパターンの結果には特に音響障害となるような反射音は検出されなかった。

Frequency (Hz)	Reverberation time (sec)
125	1.54
250	1.59
500	1.76
1000	1.88
2000	1.65
4000	1.29

図-2 残響時間の周波数特性.

#### 3.2 幾何音響シミュレーションと可視化結果の比較

図-3 に幾何音響シミュレーションと可視化の結果を合成したものを示す。幾何音響シミュレーションで得られた反射点を示す天空図と可視化の図を合成している。ケース 1 の 2kHz の可視化とシミュレーションにもっとも良い対応が見られた。

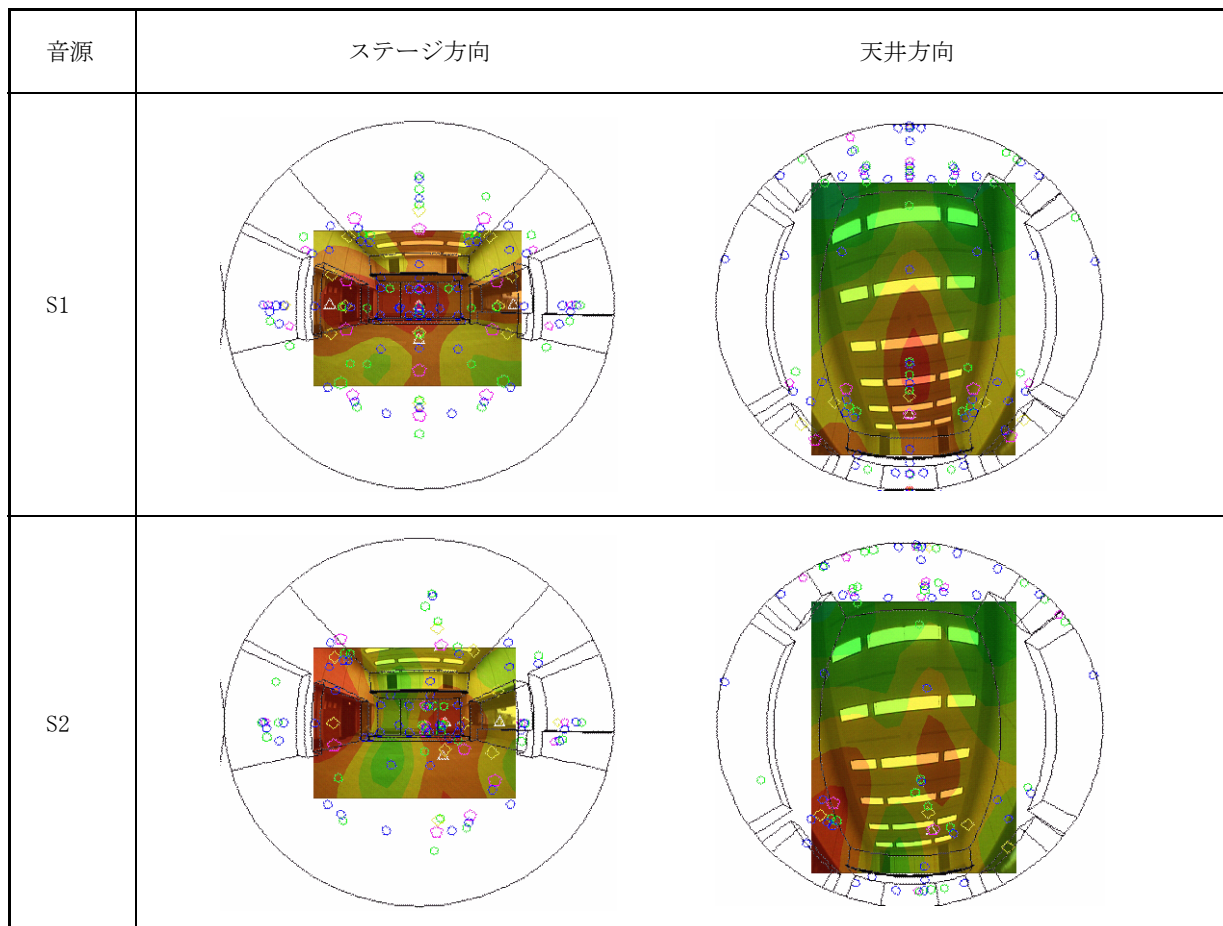
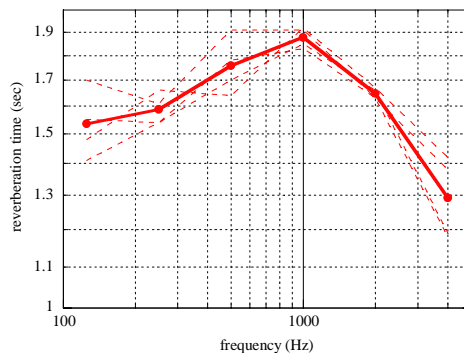


図-3 ケース 1 (M 系列信号、2kHz、白 : 1 次反射、黄 : 2 次、桃 : 3 次、緑 : 4 次、青 : 5 次)

### 3.3 楽器音の視覚化

図-5 に楽器音の可視化結果を示す。演奏方法により可視化結果が大きく異なり、幾何音響シミュレーション結果とも整合性が得られなかった。

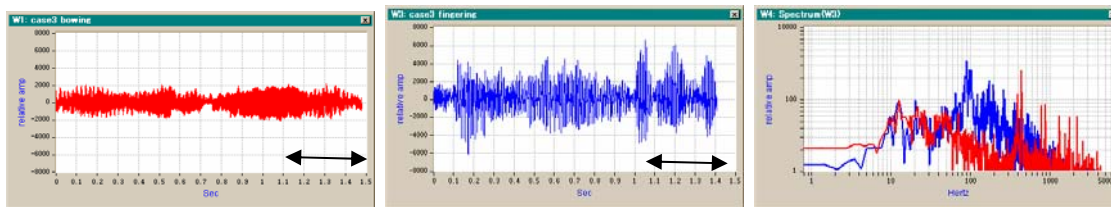


図-4 解析対象の波形およびその周波数特性 (赤; ボーイング, 青; フィンガーリング, ⇔; 可視化の解析部)

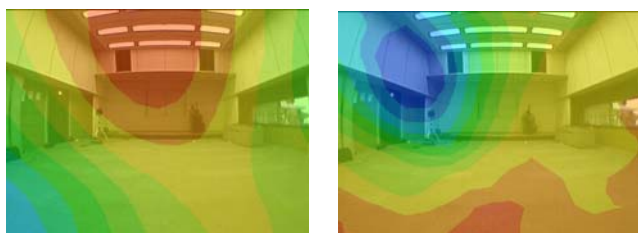


図-5 ケース 3; 音楽における可視化結果  
(左の演奏方法; ボーイング, 右; フィンガーリング)

### 4. 結 論

スピーカ音源の場合は、幾何音響シミュレーションと反射音の可視化結果に整合性が見られるケースがあった。楽器音の可視化は幾何音響シミュレーションと大きく異なった。これまでの報告[1, 2]から楽器の指向性が、大きく異なっていることが影響していると考えられる。

### 5. あとがき

ホールにおける反射音構造を視覚的に見る事が出来れば、いろいろな可能性が今後広がると考える。楽音の反射音は的確に捉えられなかったが、ラウドネス等にも通じる要素も感じられ引き続き調査を行いたい。また楽器の複雑な指向性を改めて感じる事ができた。最後に実験の計画および解析に助言を頂いた帝京平成大学の小川有子先生に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) Hideki Tachibana, Yoshito Hidaka. (1990). Visualization of sound power radiation from a violoncello. J.A.S.J. 46. pp864-866.
- 2) Zoroku Murata. (1980). Musical instruments(II)-stringed instruments. J.A.S.J. 36. pp414-418.

---

## Visualization of Reflected Sounds in a Small Room

Yasutaka UEDA

In a case with a single sound source in the room, direct sound and reflected sound (the secondary sound source) were visualized using a 32-channel sphere baffled microphone array. Non-directional, directional and musical sound (bass) sources were employed. The visualized non-directional sound source (2 kHz) was compatible with the result of geometric acoustic simulation. In the case of musical sound source, however, no compatibility was achieved with the simulation result, which was attributed to the directivity of the sound source.