

# 舞台上への反射音の到来方向を考慮した ステージ音響指標の測定法に関する研究

03-190060 板垣 大稀

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

無響室や屋外などの反射音のない空間では、自分が出した音の反射が適度にある空間に比べて演奏が難しく、空間の反射音は演奏者の演奏行為を支援していると解釈できる。反射音が演奏者をサポートするというこの事実に着目し、演奏者の位置における直接音に対する反射音の量を利用して考案されたステージ音響指標として  $ST(\text{SUPPORT})$  が提案されている[1]。現在は初期反射音と後期反射音の成分に分解して、国際標準規格において規格化されている[2]。初期反射音は演奏者に直接音を明瞭にして演奏に手応えを与え、後期反射音は音楽の響きを豊かに聴こえさせ客席での聴こえ方をイメージさせることに貢献する。

### 1.2 研究の目的

$ST$ は反射音の時間情報のみに着目しているが、一方で、演奏者にとっての演奏のしやすさには反射音の時間情報だけでなく到来方向も関係することが指摘されている[3]。本研究では、方向特性を組み込んだステージ指標を構築し、その実測をすることで、舞台上の異なる位置および異なるホール間での反射音の到来方向の特性とその強さに関する特徴を調べることを目的とする。

## 2. ステージ音響指標の構築 方向別 $ST$

反射音の到来方向を考慮したステージ音響指標として既往研究において方向別反射音エネルギー比と方向別  $ST$ が提案されている[4]。本研究の目的を踏まえ、方向別  $ST$ を新たに式(1)および(2)の通り定義する。

$$ST_{j,\text{early}} = 10 \log_{10} \frac{\int_{0.020\text{ms}}^{100\text{ms}} p_j^2(t) dt}{\int_{0\text{ms}}^{0.010\text{ms}} p^2(t) dt} \quad (1)$$

$$ST_{j,\text{late}} = 10 \log_{10} \frac{\int_{0.100\text{ms}}^{1.000\text{ms}} p_j^2(t) dt}{\int_{0\text{ms}}^{0.010\text{ms}} p^2(t) dt} \quad (2)$$

ただし、時刻  $0\text{s}$  は直接音の到来時刻であり、 $j = \text{前, 後, 左, 右, 上, 下}$  とし、 $p$ は無指向性マイクロホンで測定したインパルス応答の音圧、 $p_j$ は方向 $j$ に向けたカージオイドマイクで測定したインパルス応答の音圧とする。

## 3. アンビソニックマイクを用いた測定システム

正四面体のすべての頂点方向にカージオイド特性のマイクを向けたマイクをアンビソニックマイクという。アンビソニックマイクの四つのカージオイドマイクで録音された信号から、無指向性マイクで録音した場合と等価な信号およびある方向にカージオイドマイクを向けて録音した場合と等価な信号が生成可能である。

アンビソニックマイクは立体的な映像作品の制作等

への需要から近年一般向けに安価で普及してきた。このマイクを音響測定でも活用することを考え、本研究でも利用する。

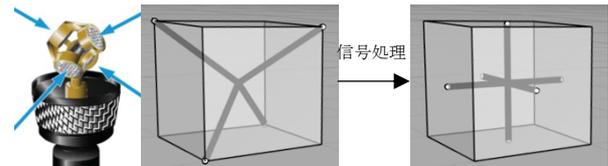


図 1 アンビソニックマイクでの録音の六方向への分解

## 4. 測定

スピーカがマイクより  $1\text{m}$  客席側になるように、スピーカおよびマイクを床面から  $1.5\text{m}$  の高さに設置した(図 2)。四つのコンサートホール A、B、C および D においてアンビソニックマイクで測定されたインパルス応答を用い分析を行った。A、B は  $500$  席程度の小ホールで、C、D は  $1000$  席程度の中ホールである(表 1)。舞台の対称性より、測定位置は舞台上手側(舞台から客席の方を向いて左側)のみとした(図 3)。



図 2 測定時の様子

表 1 各ホールの寸法

ステージ	座席数(席)	室容積(m <sup>3</sup> )	表面積(m <sup>2</sup> )	舞台間口(m)	舞台奥行(m)	舞台高さ(m)
A	500	5680	2740	15.5	9	7.4
B	421	4420	2070	16.5	10.5	8
C	1104	10225	3435	19	9	8
D	1033	11940	4380	20	10	10

## 5. 結果と考察

### 5.1 結果

小ホール A と中ホール D のステージでの方向別  $ST$  を示す(図 4 および図 5)。上下方向(図 4)は、 $ST_{\text{上,early}}$  と  $ST_{\text{下,early}}$  の差は A、D ともにほとんどの測定点で  $1\text{dB}$  程度だった。また D7D8、D9 で、 $ST_{\text{上,early}}$  と  $ST_{\text{下,early}}$  は D1 から D6 での値に比べ  $3\text{dB}$  程度大きくなった。

前後左右方向(図 5)は A2、A4、A5、A8 および D3、D5、D8 で  $ST_{\text{左,early}}$  が  $ST_{\text{右,early}}$  より  $3\text{dB}$  から  $6\text{dB}$  程度大

きくなった。その他の測定点では $ST_{左,early}$ と $ST_{右,early}$ の差は0~2dB程度であった。ステージDで、 $ST_{前,early}$ は他の三方向に比べて3~10dB程度小さくなった。

A、Dともに、任意の方向 $j$ に対して $ST_{j,late}$ はほぼ-22dBから-21dB程度でほぼ一定となった。

### 5.2 考察

方向別 $ST$ の上下間の差は、舞台上で床面が鏡面のようになって音が反射し、上下の寄与がほぼ等しくなるために小さくなると考えられる。ステージDでは、天井が舞台前方に向けて開かれていくような形状をしており、後方の測定点ほど天井と近く初期反射音が供給されやすいため、上下方向の方向別 $ST$ が大きくなると考えられる。

A2、A4、A5、A8とD3、D5、D8で、 $ST_{左,early}$ が $ST_{右,early}$ より大きくなるのは、近接する左側の側壁から初期反射音が多く供給されるためと考えられる。A1、A7、D1、D4、D7で $ST_{左,early}$ と $ST_{右,early}$ に偏りが見られないのは、これらの測定点が舞台中央に近く、左右両方の側壁からの初期反射音の供給量がほぼ同じだからだと考えられる。一方、A3、A6、D3、D6、D9は側壁に近いにもかかわらず $ST_{左,early}$ と $ST_{右,early}$ に偏りが見られないが、これらの点では最も近くの側壁で反射してマイクロホンに集音される音の行路長が小さいことが影響していると考えられる。直接音の到来時刻より20ms後から100ms後までの時間を初期反射音として $ST_{early}$ の分子の積分区間とするISOの規格では、側壁での反射音が直接音の到来時刻から20ms以内に到達した場合にそのエネルギーが計算されないため、 $ST_{左,early}$ が小さな値となっていると考えられる。また、Dで $ST_{前,early}$ が小さくなることについて、500席程度の小ホールAでは客席後方の壁がある程度近く、そこから初期反射音が前方から返ってくるが、1000席程度のホールでは、客席後方の壁が遠くもはや初期反射音が返ってこないためだと解釈できる。

$ST_{j,late}$ が方向に寄らずほぼ一定となったのは、後期反射音は十分に拡散して方向特性をほとんど失ったためだと考えられる。

### 6. おわりに

小ホールおよび中ホールにおいて、方向別 $ST$ を測定して考察した。初期反射音について、左右からの供給量は立ち位置で大きく変化し、また中ホールでは前方からの供給量が著しく減少することがわかった。一方で、後期反射音では方向のばらつきがほとんど見られないことも認められた。今後、心理実験を通して今回確認された方向分布と演奏者にとっての演奏のしやすさとの関連について検討し、ステージ上の演奏者にとって好ましい条件についての知見を深め、音響設計および音場制御の手法の改良に役立てたい。

### 7. 参考文献

- [1] A. C. Gade: Investigations of musician's room acoustics conditions in concert halls, Part II, Acta Acustica united with Acustica, vol.69, pp249-262, 1989.1
- [2] ISO 3382-1, Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance space, 2009.6
- [3] 中村俊一, 白砂昭一: “演奏者の感じる室の響きの方向性について”, 音響学会建築音響研究会資料, AA93-18(1993)
- [4] 飯塚亜希子, 林光一郎, 古谷浩, 藤本一壽: “ホールステー

ジにおける反射音方向特性の実測”, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要 第11号, pp137~142(2007)

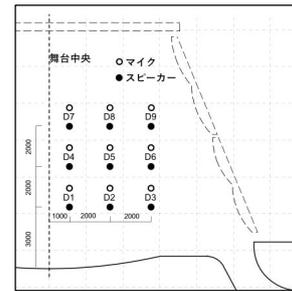
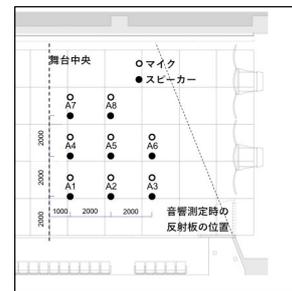


図3 舞台平面および測定位置 (上:ステージA, 下:ステージD)

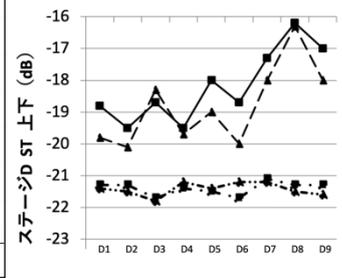
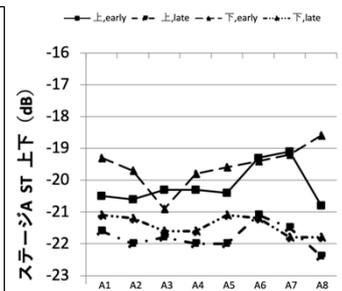


図4 上下方向の方向別ST (上:ステージA, 下:ステージD)

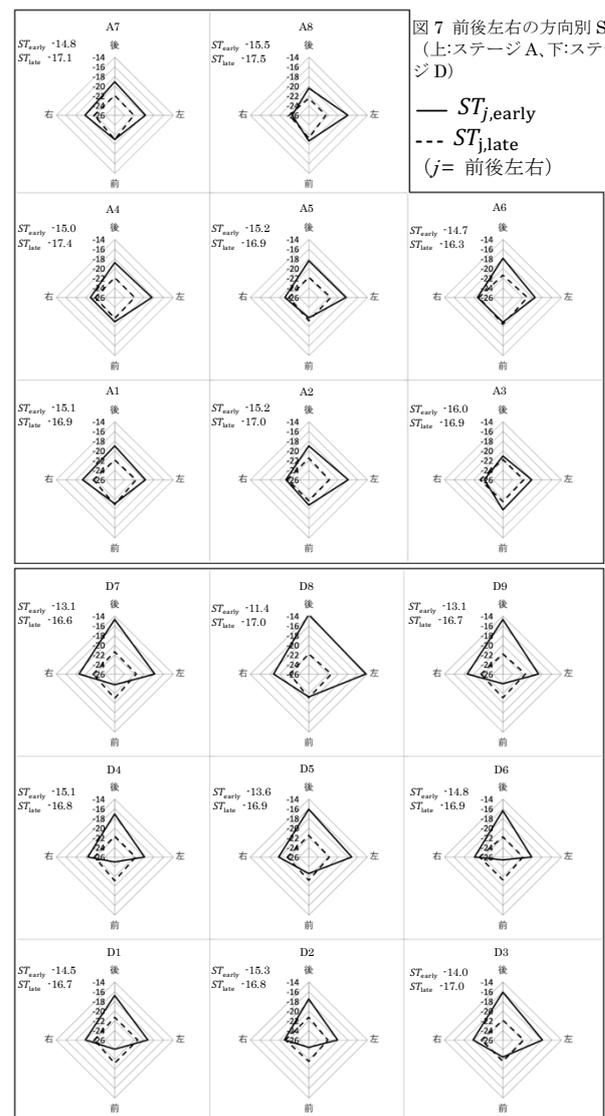


図7 前後左右の方向別ST (上:ステージA, 下:ステージD)