

旧東京音楽学校奏楽堂における室内音響特性の分析 —建築的特徴及び改修の影響について—

Analysis of acoustical characteristics of the old Sogakudo, Tokyo Music School: Effects of architectural factors and renovation

学籍番号 076858
氏名 萬木 智子 (Yurugi, Tomoko)
指導教員 佐久間 哲哉 准教授

1. はじめに

旧東京音楽学校奏楽堂(旧奏楽堂)は、東京芸術大学音楽学部の前身であった東京音楽学校の校舎施設として1890(明治23)年に建造された日本初の音楽ホールである。1980年まで同学部内唯一の演奏会場として使用されてきており[1]、著名な音楽家たちの多くがこの旧奏楽堂から巣立っていった。そのため、日本の西洋音楽教育・演奏史においてとても重要な建造物であるといえる。また、国の重要文化財に指定されているが現役のコンサートホールとして使われており、クラシック音楽をはじめ各種演奏会に利用されている。

旧奏楽堂は、およそ120年の歴史の中で数回の改修及び移築を経ており、その過程で舞台形状や内装が変化してきた。また、音響に影響を与えていると考えられる建築的特徴を有しており、現在多数存在する一般的なコンサートホールとは大きく異なる形状をしているが、旧奏楽堂の音響を好ましいとする意見は多く、利用希望者は後を絶たないという。この生きた文化財である旧奏楽堂の歴史的・文化的価値を建築音響学の視点から考察し、歴史的変遷を明確にすることは重要であると考えられる。また、旧奏楽堂の持つ建築的特徴が、音響に及ぼしている影響を明確に位置付けることができれば、今後のコンサートホールの音響設計にも寄与するものが大きいと考えられる。

本研究では、歴史的変遷に伴う音響特性の変化

と建築的特徴が音響特性に与える影響の2点を軸として旧奏楽堂を考察する。また、音響測定により旧奏楽堂の現状の音響特性を把握し、数値解析結果や利用者の評判と対応させながら考察する。

2. 旧奏楽堂の概要

現在の旧奏楽堂について、断面図・平面図をFig. 1 [2] に示す。木造であり、特徴として、床の階段状の傾斜、低い天井+ヴォールト型天井、舞台を含む箱形状、多数の窓とカーテン(舞台横含む)などが挙げられる。舞台正面にオルガンが、側壁上部に化粧方杖が設置されている。客席は現在338席で、椅子は薄い布張りである。

改修は舞台まわりの拡張を中心として、Fig. 2 [2] に示すように8回行われた。これ以後の大きな改修は移築時に行われたのみであり、その際に昭和7年改修時(6回目)の舞台形状に戻された。

3. 幾何音響解析における検討

3.1. 検討方法

商用幾何音響解析ソフトCATT-Acoustic v8を用いて解析を行った。解析モデルの例をFig. 3に示す。図面[2]を基に座標の位置出しを行った。モデル化については文献[3, 4]等を参考にし、細かい凹凸を無視、客席部の階段状の床を斜面とする、客席形状を無視し床面に吸音率・乱反射率を与える、浮き梁・舞台への小階段を無視、等の簡略化を行った。吸音率については、Eyring-Knudsenの残響式による値が文献実測値(移築前)[5]と概ね

合致するよう、文献 [1, 6] 等を参考に決定した。点音源は高さ 1.5 m とし、水平位置は舞台中央の舞台端部から奥行方向に 2 m (Table 1 の Case 2 のみ 8 m) とした (Fig. 2)。室形状は左右対称であるため、受音点は舞台・客席を含め、室の半分に 2×2 m の格子状に 60~65 点を設けた (高さ 1.2 m)。

3.2. 移築・改修における音響特性の変化

建造当初 (Case 0: サイクロラマあり), 移築直前 (Case 1), 現在 (Case 2: 昭和 7 年改修時と同様) を比較する。条件の違いを Table 1 に示す。

結果と考察

以下では代表して 500Hz 帯域の値を示す。

残響時間 理論値 (Eyring-Knudsen) と解析値 (T_{30}) を Fig. 4 に示す。全体的に解析値が理論値より大きいものの、ケース間の関係は類似している。体積が大きく吸音材料が少ない Case 0 が最も大きく、建設当初は後年ほど残響時間が短くなかったと考えられる。

C_{80} Fig. 5 に C_{80} (明瞭度に関する指標) を示す (以下の図では適宜 Barron's revised theory による理論値を付記する)。Case 0 では理論値に比べ全体的に値が大きく、特に客席中央部では音源位置が客席に近い Case 1, 2 に比べても大きい。これはサイクロラマによる音波の集中に起因していると考えられる。

G Fig. 6 に G (音量感に関する指標) を示す。いずれのケースも理論値を概ね下回っているが、Case 0 では理論値自体が大きく、 C_{80} 同様客席中央部で Case 1, 2 より大きな値となっている。

以上の結果より、旧奏楽堂は、当初は残響時間

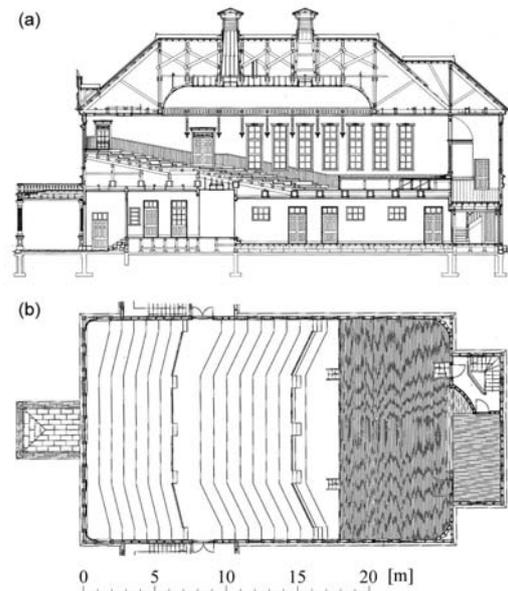


Fig. 1: (a) Cross section and (b) plan [2].

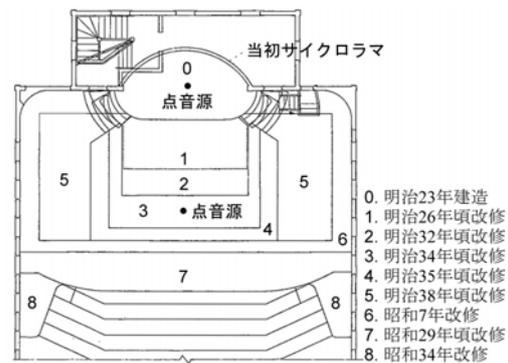


Fig. 2: Changes of the stage shape with renovation

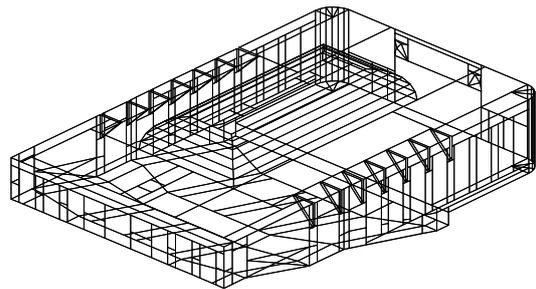


Fig. 3: An analysis model of the old Sogakudo (Case 2).

Table 1: Difference of conditions among cases (renovative factors).

| Case | 0 | 1 | 2 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| 舞台形状 (Fig. 2) | 当初 | 8 回目改修 | 6 回目改修 |
| 舞台後壁 | サイクロラマ | オルガン | オルガン |
| 舞台隅部 | 漆喰 | カーテン | カーテン |
| 客席後部天井 | 漆喰 | 吸音テックス | 漆喰 |
| 体積 V [m ³] | 2,138 | 1,969 | 2,005 |
| 表面積 S [m ²] | 1,307 | 1,264 | 1,270 |

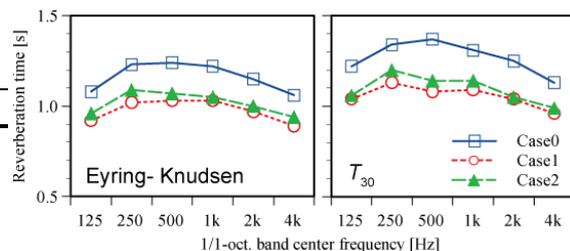


Fig. 4: Reverberation time obtained by the Eyring-Knudsen formula and a geometrical acoustic program.

が現在ほど短くなく、その一方で明瞭度や音量感
は大きかったことが示唆された。

3.3. 建築的特徴が音響特性に与える影響

ヴォールト無しで天井高さを変化させたもの
(low_c, mid_c, high_c), 舞台側壁角度を変化さ
せたもの, (10deg, 30deg), 化粧方
杖の無いもの (NoDiff), 窓の無いも
の (NoWin) を基本形状 (Case 2) と比
較する. 条件の違いを Table 2 に示
す.

結果と考察

天井の違いによる影響 天井高を
変化させた場合の C_{80} を Fig. 7 に示
す. 体積がほぼ同じである Case 2 と
mid_c では, 残響時間はほぼ等しい
一方 C_{80} は Case 2 の値が客席位置
によらず大きい. これは「最近の音楽
ホールにはない明瞭な音色を体験
できる」[1]という評価と対応している.
一方, Case 2 と low_c では, 残響時
間は low_c の方が短いにもかかわらず,
 C_{80} の値はほぼ等しい. このこと
から, C_{80} はヴォールト部の有無によ
らず, その他の天井高に概ね依存し
ていると考えられる. G を Fig. 9 に示
す. ヴォールト部が無い場合では,
天井高によらず G が客席中央部で
小さくなり, 客席位置による値のばら
つきが減っている. このことから, ヴ
ォールト部により客席中央で音
が強まっていると考えられる.

舞台側壁角度による影響 舞
台上での G は, 舞台側壁に角
度をつけると理論値とよく一致
する (結果省略) のに対し,
Case 2 では理論値より著しく大
きくなっている (Fig. 8). 平行な

舞台側壁が舞台上の音を強めていると考えられ,
「舞台上で音がよく響く」「極めて演奏しやすい」[5]
という評判と対応している可能性がある.

化粧方杖・窓の有無による影響 方杖無しでは客
席中央部で LF (見かけの音源の幅に関係) の値が

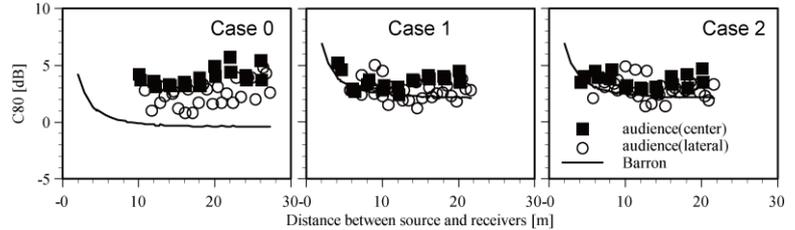


Fig. 5: Effect of the renovation on C_{80} for 500-Hz octave band obtained by Barron's revised theory and a geometrical acoustic program.

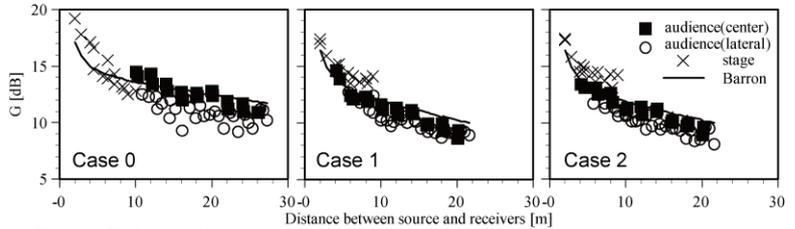


Fig. 6: Effect of the renovation on G for 500-Hz octave band obtained by Barron's revised theory and a geometrical acoustic program.

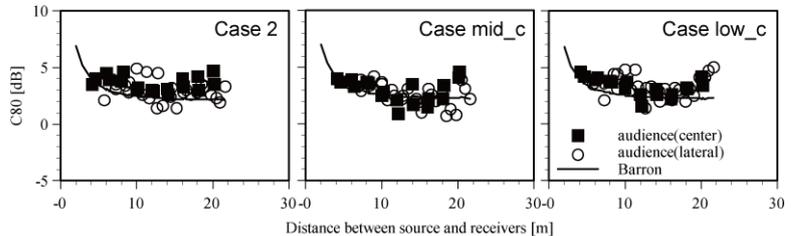


Fig. 7: Effect of the ceiling height on C_{80} for 500-Hz octave band obtained by Barron's revised theory and a geometrical acoustic program.

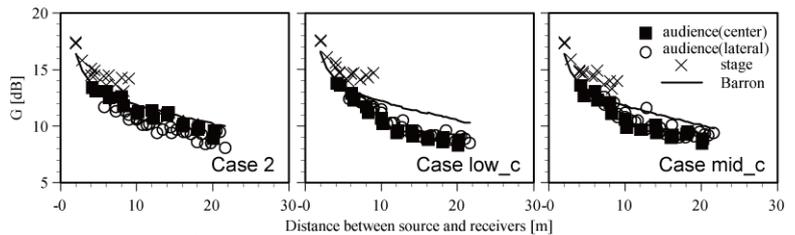


Fig. 8: Effect of the ceiling height on G for 500-Hz octave band obtained by Barron's revised theory and a geometrical acoustic program.

Table 2: Difference of conditions among cases (Architectural factors).

| Case | 2 | high_c | mid_c | low_c | 10deg | 30deg | NoDiff | NoWin |
|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 天井高 [m] | 5.45 | 7.45 | 5.88 | 5.45 | - | - | - | - |
| ヴォールト | 有 | 無 | 無 | 無 | - | - | - | - |
| 舞台側壁角度 | 0° | - | - | - | 10° | 30° | - | - |
| 化粧方杖 | 有 | - | - | - | - | - | 無 | - |
| 窓 | 有 | - | - | - | - | - | - | 無 |
| 体積 V [m ³] | 2,005 | 2,631 | 1,986 | 1,786 | 1,957 | 1,860 | 2,005 | 2,005 |
| 表面積 S [m ²] | 1,270 | 1,390 | 1,259 | 1,223 | 1,246 | 1,181 | 1,240 | 1,270 |

大きくなった。方杖が壁付近での拡散に影響していると考えられる。 C_{80} , G は大きな変化はなかった。窓無しの場合は、吸音率の変化が影響したと考えられる結果になった。

4. 音響測定による現状の把握・分析

音源・測定点の位置を Fig. 9 に示す。音源点・受音点高さはそれぞれ 1.5 m, 1.2 m である。

4.1. 結果と考察

残響時間 周波数特性(受音点代表点での算術平均値)を幾何音響解析値と共に Fig. 10 に示す。周波数特性は高域になるに従い短くなっており、125Hz 帯域を除き解析値とよく対応していた。

C_{80} 500, 8kHz 帯域の値を Fig. 11 に示す。幾何音響解析値(Fig. 5, Case 2)は理論値に比べ全体的に値が大きい傾向であったが、500Hz 帯域での測定値は理論値と同程度である。8kHz 帯域においては幾何音響解析結果と類似しており、客席中央部の値が側方付近より大きく、理論値より大きい傾向が見られる。

G 500, 8kHz 帯域の値を Fig. 12 に示す。8kHz ではばらつきが減少しているが、理論値からの乖離は大きく、特に音源からの距離が大きいほど顕著であ

った。客席中央付近の値が側方より大きめである点は幾何音響解析における G (Fig. 6, Case 2) と対応している。音源からの距離 20 m の付近において値がばらつき上昇しているが、これは後壁からの反射の影響と考えられる。

5. まとめ

本研究により、旧奏楽堂の建設当初の音響特性を推定することができ、また、建築的特徴が旧奏楽堂の音響特性に影響を与えていることが確認できた。また、音響測定を行い、幾何音響解析結果との傾向の類似をある程度確認することができた。

参考文献 [1] L. L. ベラネク他, コンサートホールとオペラハウス, 音楽と空間の響きと建築, シュプリンガー・フェアラーク東京, 2005. [2] 東京都台東区, 旧東京音楽学校奏楽堂 移築修理工事報告書, 1987. [3] User's Manual of CATT-Acoustic v8.0, Sweden, 2002. [4] X. Zeng, *et al.*, *Applied Acoustics* **67**, 771-786, 2006. [5] 中村他, 音響技術 **41**, 51-55, 1983. [6] 日本騒音制御工学会編, 騒音制御工学ハンドブック, 技報堂, 2001.

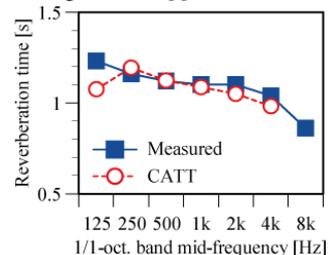


Fig. 10: Reverberation time obtained by measurement and a geometrical acoustic program.

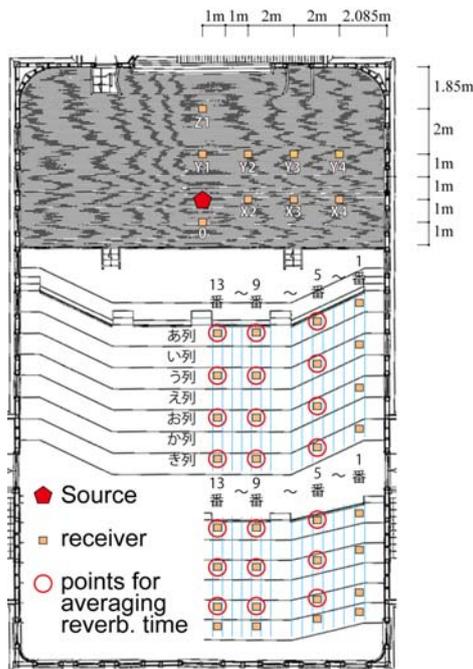


Fig. 9: Position of a source and receiving points.

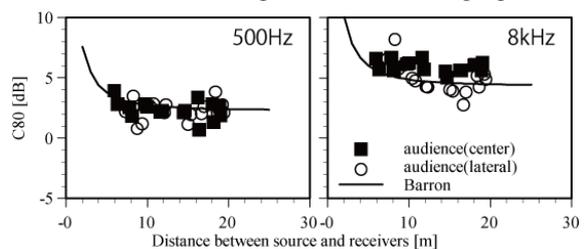


Fig. 11: C_{80} for 1/1-oct. bands obtained by Barron's revised theory and measurement.

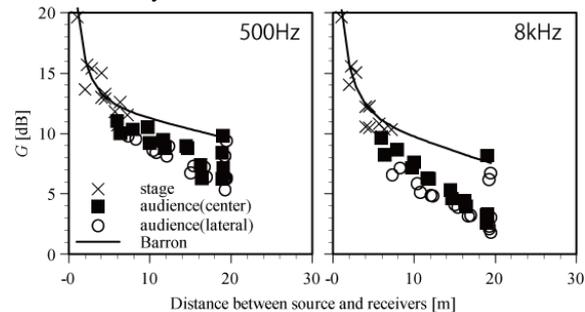


Fig. 12: G for 1/1-oct. bands obtained by Barron's revised theory and measurement.