

コンサートホールの音響設計について

A Note on Acoustical Design of Concert Hall

森 本 政 之⁽¹⁾

Masayuki Morimoto



要 旨

最近のコンサートホールの音響設計において、縮尺模型のホールおよびダミーヘッドとデジタル技術を応用し、設計の段階で完成後の音を予め聴くことができるようになってきた。もちろん完全に同じ音が聴けるわけではないが、音響設計の有効な道具としてよく使われている。しかし、このことは音場評価の研究に従事している者にとって残念なことではあるが、音は聴いてみなければ分からないという一面を表している。すなわち、Sabineが残響時間を提唱してから約50年たった今も、音場の心理評価のための物理指標が確立されていないことを意味している。数多くの音場の心理評価に関する研究を見ることができし、多くの物理指標が提案されているにもかかわらずである。本論文では、本当に役に立つ物理指標は無いのだろうか、何が不十分なのだろうか、探ってみた。

Recently we can listen to a sound in a concert hall under design, by using scale models of a concert hall and a dummy head, and applying digital technique. This means "Hearing is believing" to architectural acousticians' regret. In other words, this means that physical measures for acoustical design of concert hall have not yet established, though many papers on concert hall acoustics have been published and many physical measures have been proposed since W.C.Sabine. This paper discusses problems on the past papers and physical measures.

(1) 神戸大学工学部環境音響学研究室助教授

1. はじめに

最近わが国では、コンサートホールが次々と建設されている。建築・音響両学会における報告を見ただけでも1年に10や20は建設されているようである。約20年前にもそのような時期があったが、当時は多目的ホールが主流であった。したがって、当時の音響設計の主目的は大きな音響障害（例えば、空調騒音やエコー障害）の除去に加えて、残響時間を設計する程度であったように思われる。

それに対し、最近のホールはクラシック音楽専用であり、その音響に対する要求も非常に高くなっている。そのため、建築設計家、音響設計家共に何とか良いホールを設計しようと努力している。にもかかわらず、「このホールは素晴らしい」とか「あのホールは悪い」とか、さまざまな評判が新聞誌上まで賑わしていることは周知のことである。

建築設計家、音響設計家のみならず、音楽愛好家のだれもが世界に誇れるコンサートホールの出現を期待する。そのようなコンサートホールはどのようにすればできるのだろうか。心理評価の本質や研究の現状から、探してみる。

2. シューボックス型（直方体型）が絶対か

かつて一時期、わが国では、最も安易な方法として、世界的に評判の高いホールを模倣することが行なわれたことがある。このような場合、なぜか、日本ではウィーンの楽友協会大ホールがよく模倣の対象になってきた。こったものでは、シャンデリアのデザインまで同じものがある。しかし幸か不幸か、なかなか同じ音は実現できなかった。たとえ実現できたとしても、世界に誇れるかとな

ると大いに疑問である。むしろ恥ずべき行為であろう。

最近日本で完成したホールや計画されているホールの多くが、シューボックス型と呼ばれる直方体をしているのも、世界三大有名ホールと呼ばれているウィーン楽友協会大ホール、アムステルダムコンセルトヘボウ、ボストンシンフォニーホールが同じ形をしているからだと思われる。しかし、これら3つのホールの間でもお互いにかなり異った音がすることはなかば常識である。また、同じホールの中でも席によってその音はかなり違う。このように、形が同じだからと言って、必ずしも評判の高いホールができる保証はどこにもない。

一般的にシューボックス型の場合、扇型（かつての多目的ホールがこの型）と比較して、図-1に示すように、横方向からの反射音が豊富になり、その結果、音の広がり感が増すことが知られている。この効果を狙ったのであれば、誠に結構である。しかし、横からの反射音を増すだけでは、他の形でも工夫によって可能であることから、音響上の必然性は明らかではない。

3. 好ましさと批判

ここで、基本的な問題として、「好ましさ」とか「良さ」とか「評判」でコンサートホールの評

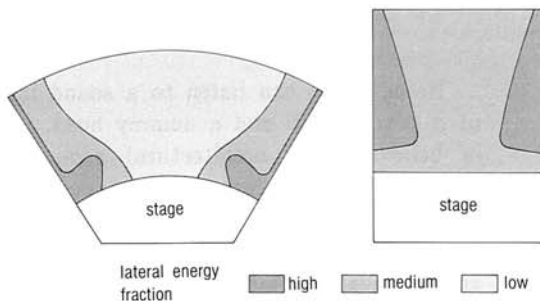


図-1 Fan-Shape と Shoe-Box ホールの側方エネルギーの比較

価ができるのかどうか考えてみよう。

この点について興味ある結果を次に示す。神戸大学と東京大学と早稲田大学が共同で、ヨーロッパの著名な7つのコンサートホールの音響調査を実施した。それらのホールの中には世界的に評判の高いホールも低いホールも含まれていた。図-2は、特殊な方法を使って各ホールの音をそのまま実験室に再現し、約100人の学生に「好ましさ」について評価させた結果である。7つのホールの間に全く差がないことが分る。

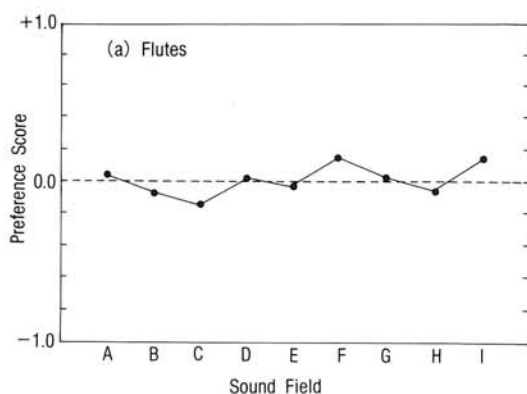


図-2 全被験者のデータを用いて計算した好ましさ

ところがこれらのデータをさらに詳細な分析をすると、図-3に示すように、被験者は、「好ましさ」について、傾向が明らかに異なるいくつかのグループに分れた。

また、最近次のようなことを経験した。関西のIホールは前方の席と後方の席では極端に異った音がする。著者は前方の方が「良い」と判断したが、研究仲間の1人は後方の方が「良い」と主張している。

すなわち、音の評価においても「好ましさ」とか「良さ」は個人の嗜好によるところが大きく、一概にどんな音（ホール）が良いとか好ましいとかは言えないことが分る。もちろん「評判」など論外であろう。

4. 音響心理評価のプロセス

結局、ホールの音響設計や評価において重要なことは、そのホールではどんな性質の音がするかということである。ここで、あらためて、受聴者がホールにおいて音を聴き心理評価を下すプロセスについて考えてみよう。

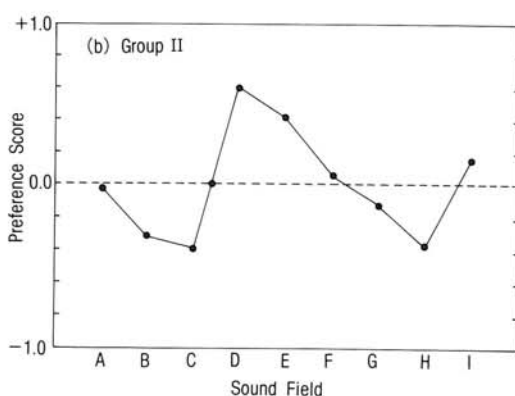
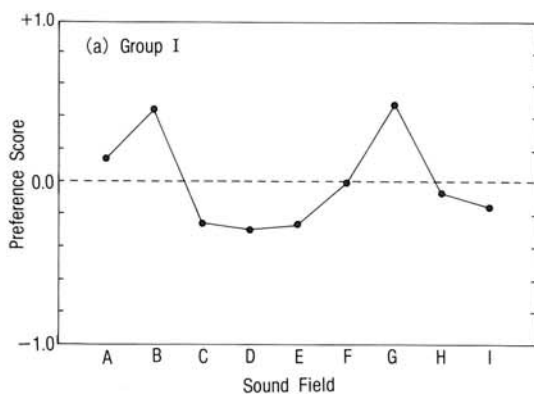


図-3 グループ別の好ましさ

ある空間において音源から放射された音波を入力とし、その音波が作り出す音場にたいする受聴者の総合主観評価を出力とする評価システムは図-4のように考えられる〔1〕。

物理空間において、音源から放射された音波は、境界面（壁や天井）による反射や散乱や回折等空間伝達関数で示される伝送路を経て受聴者の位置に到達する。到達した音波は、頭部伝達関数で示される受聴者の頭部（耳介）の影響を受け両耳に到達し、心理空間への入力である音刺激となる。この時、音刺激すなわち物理空間と心理空間の接点としては、物理測定が容易なことから、外耳道入口が一般に考えられている。

心理空間において、受聴者は音刺激をまず心理的事象である音像として知覚する。この時、次に示す3つの性質に大別できる各種の要素感覚を知覚する。

- (1) 時間的性質：残響感、リズム感、持続感等
- (2) 空間的性質：方向感、距離感、広がり感等
- (3) 質的性質：大きさ、高さ、音色等

次に、受聴者は個々の要素感覚に対して彼の好みに照らして主観的な判断を下す。さらに、個々の要素感覚に対する主観評価を受聴者個々の重みを付けて総合的な主観評価（良さ、好ましき等）を下す。

ここで問題は、要素感覚に対する主観評価と総合的な主観評価には個人差が存在することである。すなわち、物理的に同じ音場であっても、それらは異なったものとなり、普遍性がない。これについては、図-2、3の結果が如実に示している。す

なわち、「好ましき」とか「良さ」は個人によって異ってしかるべきものであり、コンサートホールの普遍的な評価には使えない。

一方、要素感覚の知覚レベルでは、問題となる個人差は存在しない。もちろん、心理学的連続体上での分布という意味での個人差は存在するが、「好ましき」とか「良さ」のように逆転するようなことはない。

このことを、分かりやすいようにコーヒーの味覚を例にして説明する。2個の角砂糖入りのコーヒーとブラックコーヒーのどちらが好ましいかと尋ねれば、答えが2つに分かれるだろう。しかし、どちらが甘い（味の一つの性質）か尋ねると、おそらく全員が2個の角砂糖入りの方が甘いと答えることは容易に想像できる。

以上のことから明らかなように、音場（コンサートホール）の評価は、総合主観評価ではなく、個々の要素感覚の程度について評価すべきである。言い換えれば、コンサートホールの音響設計とは、とりもなおさず個々の要素感覚を設計することに他ならない。それらをどの程度に設計するかは、音響設計家や施主の主張や好みに依存することである。

5. 設計と評価のための物理指標

要素感覚について、古くから多くの研究者によって、様々な物理指標が報告されている。この50年についてみただけでもざっと30はある〔2〕〔3〕。だからといって、これだけの指標を測定しなければならないことはない。実在のホールについて測定した結果をみると、これら相互間の独立性については全く保証の限りでなく、3～4つのグループにまとめられる〔3-5〕。また、実在のホール

を対象に行なわれた心理実験の結果からも、心理空間（要素感覚）は3～4軸で構成されていることがしばしば報告されている〔6-9〕。

これらの結果は、研究者によって提案している物理指標に若干の違いはあるものの、それらの間の相関を考慮すれば、ほとんど次のようにまとめられる。主たる因子は、木村らの表現語によれば、a)量的因子（音量感とか響きの量）、b)質的因子（響きの質）、c)空間因子（広がり感など）である。また、それらに対応する物理指標は a)音圧レベル、b)残響時間もしくは時間重心など、c)両耳間相関度、RR、LEなどである。

6. 可聴型音場シミュレータ

建築業界のみならず、オーディオ業界も含めて今や可聴型音場シミュレータは花盛りである。今

夏、この問題だけに絞った国際シンポジウムがデンマークとスウェーデンで開かれたほどである。

原理的には大きく次の3種類に分類できる（図-4参照）。

a) 音場シミュレーション

原音場の受聴者の頭の中心に相当する位置における音場を再現する。

b) 両耳信号シミュレーション

原音場における受聴者の両耳に生じる音響信号を再現する。

c) 音像シミュレーション

原音場と物理的には異っても、原音場で知覚される音像と同じ音像を再現する。

国内を問わず、ほとんどの機関で研究されているのは、a)、もしくは b) の方法である。

c) の方法については、おそらく著者のグループだけであろう〔10〕。

音場シミュレーションでよく問題になるのは、後期残響成分の再現方法である。最も初歩的な方法としては、残響付加装置を利用する方法であるが、この場合、どうしても音色の変化が避けられない。一方最近では、デジタル機器の発達により、全反射音を機械（実時間コンボルバ）により作りだそうとする試みがなされている。しかしながら、いずれにしても、例えばスピーカの個数には限りがあるように、常に誤差を生じる要因がある。

オーディオ業界の取組み方についてここではとやかく言うつもりはない。なにしろ、その目的が建築業界のそれとは著しく異っているからである。音楽を楽しく快く聴くことができるシステムを提供できれば彼らの目的は達成されているのである。しかし、聞くところによれば、設計図の段階で完

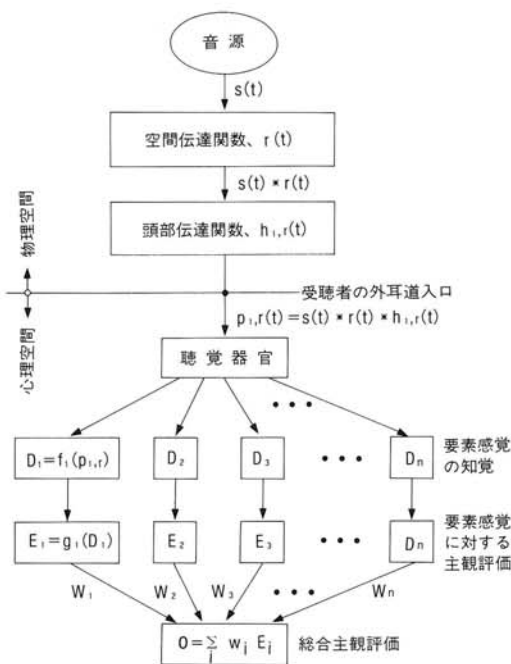


図-4 音響心理評価システム

成後の音が聴けることをセールスポイントにして、ホールの設計建設を受注しようとする建設会社が既にあるらしい。となれば、自社のシミュレータの精度がどれだけのものか、明らかにしておく責任があるのではないだろうか。残念ながら、その種の研究発表を目にしたことがない。

7. あとがき：設計法は確立されているか

以上、実在のホールを使って実施した研究では、誰が行ってもほとんど同じ結果が得られている。おそらく今後も新たな結果は期待できないであろう。それだけ再現性のある結果が得られるのである。したがって、ホールの音響設計法は確立されているはずである。しかし、ホールの音響設計法が未だに確立されていない（と思われる）のは何故だろう。

著者は、コンサートホールの評価を「好ましさ」とか「良さ」とか「評判」ですることが諸悪の根源であると考えている。何度も述べるが、それらには個人差の影響が大きく普遍性に欠けるものである。それらにこだわっている限り、ホール音響に関する研究は不滅であろう。なお、対象とする受聴者を限ったり、個人を相手とした「好ましさ」とか「良さ」とか「評判」に関する研究は意義のあるものであることを断っておく。

また、要素感覚と物理指標との関係が明らかでも、いくら値にすれば良いのか分からないと言うのも一つの原因であろう。この疑問については、「好ましさ」とか「良さ」に関係することなので、前述のように施主あるいは設計者の意図が反映されるべきである。

以上のようにみれば、ホールの音響設計法は確立されているようであるが、著者にはそうは思え

ない。なぜなら、ほとんどの結果が実在するホールを対象として得られたものである。従って、それ以上のものはできないと考えるのが普通であろう。これまでとは異った特徴を持ったホールを作るには、より幅の広い研究を進める必要があると考えている。例えば著者の場合、ホールの音響評価の中、最も重要な心理的要因の一つと考えられる空間音響について、客観的に評価できる“ものさし”を確立すべく詳細な実験を行なっている〔11-16〕。

参考文献

- [1] 中山,三浦, “音質の総合評価” 日本音響学会誌,22 (1966) 319
- [2] D.Gottlob, “Vergleich Objektiver Akustischer Parameter mit Ergebnissen Subjektiver Untersuchungen an Konzertza-len,” Dissertation (1973)
- [3] 関口, “室内音響特性の評価,” 日本音響学会誌,38 (1982) 694
- [4] 月本, “ヨーロッパのコンサートホールの音響特性,” 神戸大学卒論 (1988)
- [5] 青木, 佐藤, 矢野, 橘, “インパルス応答に着目したホールの聴感評価諸量の測定,” 日本音響学会講演論文集 (1991,Oct.) 743
- [6] R.M.Edwards, “A subjective assesment of concert hall acoustics,” ACUSTICA30 (1974) 187
- [7] K.Yamaguchi, “Multiple analysis of subjective and physical measures of hall acoustics,” J.A.S.A.52 (1972) 1271
- [8] R.J.Hawks and H.Douglas, “Subjective acoustics experrience in concert

auditoria," ACUSTICA 24 (1971) 235

[9] 木村,関口, "室内音響の主観評価による室内音響設計指針の検討," 日本音響学会誌, 32 (1976) 606

[10] 飯田,森本, "両耳聴信号処理モデルに基づいた音場再生の基礎的検討," 日本音響学会電気音響研究会資料 EA 91-54 (1991)

[11] M.Morimoto and Z.Maekawa, "Auditory spaciousness and envelopment," 13th ICA (Belgrade,1989) 215-218 and "Discrimination between auditory source width and envelopment," J. Acoust. Soc. Jpn., 6 (1990) 449-457 (in Japanese)

[12] M.Morimoto and Z.Maekawa, "Effects of low frequency components on auditory spaciousness," ACUSTICA 66 (1988) 190-195

[13] M.Morimoto and Ch.Posselt, "Contribution of reverberation to auditory spaciousness in concert halls," J. Acoust. Soc. Jpn. (E)

[14] M.Morimoto and K.Iida, "Relation between auditory source width and the law of the first wave front," Trans. of Tech. Comm. of Acoust. Soc. Jpn., AA 91-07 (1991)

[15] K.Iida and M.Morimoto, "Relation between auditory processed interaural crosscorrelation and auditory source width", Proc. Meeting of Acoust. Soc. Jpn. (March,1991) 605-606

[16] 森本,木山,上田,前川, "みかけの音源の幅の予測に関する基礎的検討," 日本音響学会聴覚研究会資料 H89-52 (1989)