オーケストラ演奏家の評価に基づくホール舞台の 主要な音響設計条件

ホール舞台の音響設計に関する研究 その1

IMPORTANT FACTORS IN ACOUSTIC DESIGN OF HALL STAGE BASED ON ORCHESTRA MEMBERS' IMPRESSION

Study on acoustic design of hall stages Part 1

菅 眞一郎*, 高久勝彦**

Shin-ichiro KAN and Katsuhiko TAKAKU

This report concerns the following up study synthetically based on the respective results of the questionnaires given by the members of American, German and Japanese orchestra at thirty Japanese halls during their concert tour. Focusing on the relationship between the acoustical impression on a stage and the specifications of a hall, it is needed to evaluate the degree of the inclination of the upper and the side walls of the orchestra shell which usually slant somewhat towards the audience. Such a stage in a multi-purpose hall is called the proscenium-type stage. The following became clear after the investigation. 1) A poor rating will be given for small sized stages. The stage volume should be not less than 1000 cubic meters for the orchestra performance. 2) The acoustical impression is good if the inclination is small, the reverse is also true. 3) Even in the case of larger value of the inclination, a remarkable improvement in the acoustical impression can be obtained if sound scattering objects are put on the inner surface of the shell.

Keywords: hall, on-stage acoustics, subjective impression, stage design

ホール, 舞台音響, 主観評価, 舞台設計

1. はじめに

我が国におけるホールの建設はこの20年で急速に進み、今や、オーケストラの演奏会場として相応な規模と設備を持ったホールが全国各地に見られるようになった。その間のホールの音響設計に対する考え方は、聴衆に対していかに良い音響状態を造り出すかが主であり、その趣旨に沿って多くの研究や実際の設計がなされた。ただし、良い演奏空間を造り出すことは良い演奏を引き出すことにも繋がるので、一部には演奏家に対する舞台音響設計の重要性が認識されてはいた。

この分野については、先駆的にKnudsenが1931年に「演奏のし易さ」の要因の一つとして舞台周りの反射面の構成をあげている¹⁾。その後、Beranekが世界の著名な会場について演奏家側からの評価も豊富に収集した²⁾。近年では、Barron³⁾, Marshall⁴⁾, Mayer⁵⁾, Gade⁶⁾,

中山⁷⁾, 中村⁸⁾らによって実際の演奏会場を用いたり、合成音場による実験室実験により、演奏者に関係する室内音響要因を求めるために、直接音、反射音、残響音の構造について基礎的な研究が進められた。しかし、舞台音響設計の実務のためにはまだまだ多くの課題が残されている。特に我国の多目的ホールに多く導入されているオーケストラシェルについては、山本らによるNHK交響楽団員の評価^{9), 10)}, および舞台音響反射板についての実験的検討^{11)~16)}が散見されるのみで、舞台反射板の役割と設計の考え方について参考となる具体的な設計資料は極めて不足している。

この問題に対しては、筆者らは次のような諸視点からのバランスのとれた調査、研究が必要と考えている。

1)演奏家による主観評価

a)実舞台音場での主観評価調査

* 鹿島建設(株)技術研究所 主管研究員

** 鹿島建設(株)技術研究所 主任研究員・工務

Chief Research Eng., Kajima Technical Research Institute

Research Eng., Kajima Technical Research Institute, M. Eng.

b) 合成音場実験室での主観評価実験

2) 舞台音場の音響物理量の調査

a) 実舞台での音場の実態調査

b) 模型舞台を用いた実験調査

上記のような調査研究項目の中でも、特に経験ある音楽家の意見をどのように引き出し、設計に反映させるための情報とするかは非常に重要な項目である。

筆者らは演奏家による主観評価を得るためのアンケート調査を実施する機会を得たことから始め、上記のような検討を行ってきた。1)a)については、オーケストラ、オペラ、室内オーケストラなど10団体の演奏家に対して主観評価調査を行った。その結果については、文献17)～22)の如く報告している。また2)a)についても、主観評価調査を行った7ホールと他の3ホールについて、音場調査を行ってきた。その結果については、文献23)～25)の如く報告している。さらに2)b)については、ホール模型を用いて舞台音響反射板の有無や、その形状と拡散性、演奏者の有無などについて、舞台上の音場の変化の調査を行ってきており、その結果については文献26)～29)の如く報告している。

これらの調査結果、とくに主観評価調査に関するものには、演奏家からの貴重な情報が多く含まれている。そこで今回は、1985年10月30日から1987年5月26日にかけて行った3つの楽団に対する主観評価調査結果を横断的に見て、ホールの諸元、特に舞台における音響的要因との関係に絞って検討した。本報ではその結果について報告する。

2. 検討に用いた資料の概要

今回の考察に用いた資料は、次のような主観評価調査によって得られたものである。

2.1 調査概要

2.1.1 調査対象

調査対象者は次の3楽団の演奏家達である。

- 1) ボストン交響楽団(アメリカ)(以下ボストンと称す)
- 2) ライプツィヒ・ゲバントハウス管弦楽団(ドイツ)(以下ライプツィヒと称す)
- 3) 新日本フィルハーモニー交響楽団(日本)(以下新日フィルと称す)

演奏家の内訳については、弦楽器奏者 4～5 人、木管楽器奏者 2人、金管楽器奏者 2人、打楽器奏者 1人の希望人数を提示し、オーケストラ側に人選を依頼した。その結果、表1に示すようなパート割りとなった。延べ人数は34人である。

調査対象とした公演は、ボストンについては、1986年2月13日～3月1日の日本各地における14公演の内の13公演、ライプツィヒについては、1987年5月10日～5月26日の15公演の内の14公演、さらに新日フィルについて

表1 調査対象者の楽器パート表

楽器	Vn	Va	Vc	Ch	Fl	Ob	Cl	Fg	Hr	Tp	Trb	Tub	Pc	計(人)
ボストン	2	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	10
ライプツィヒ	3	1	1	1	0	1	1	0	0	1	2	0	1	12
新日フィル	1	2	0	1	2	1	0	0	1	1	0	1	2	12
計	6	4	2	3	3	2	1	1	1	3	3	1	4	34

表2 主観評価調査票

1) ボストン

NAME OF THE HALL : _____ DATE : _____

SUBJECTIVE ACOUSTICAL EVALUATION OF THE HALL

Please mark the appropriate answers and fill in the blanks. If you have any additional remarks, please write them in as well.

I Part and position of observer :

1 Part: a) conductor b) violin c) viola d) cello e) double bass
 f) flute g) oboe h) clarinet i) bassoon
 j) horn k) trumpet l) trombone m) tuba
 n) timpani or percussion instruments
 o) piano p) harp q) other ()

2 Position: section of stage
 a) front b) middle c) back
 d) left e) center f) right (as seen from the audience)

II General impression of the hall :
 good fairly good ordinary fairly bad bad

III Impression of the hall-size :
 large fairly large adequate fairly small small

IV General impression of the acoustics compared with Boston Symphony Hall:
 much better better same worse much worse

V Acoustical properties :

1 General impression of the acoustics good fairly good ordinary fairly bad bad

2 Difficulty of performance easy fairly easy ordinary fairly difficult difficult

3 Quantity of reverberation perfect less than perfect adequate less than poor adequate

4 Quality of reverberation good fairly good ordinary fairly bad bad

5 Hearing other performers easy fairly easy ordinary fairly difficult difficult

5 What sounds were difficult to hear? a) all b) certain instruments ()
 c) other sounds ()

6 Hearing your own performance easy fairly easy ordinary fairly difficult difficult

VI Further remarks :

2) 新日フィル

I 1 あなたの担当パート
 2 あなたの位置

II 今回の演奏会場のステージ上での印象についてお答え下さい。

1 音響に関する総合的印象をお書きします。 良い 5 4 3 2 1 悪い

2 音響的に特に印象に残った項目について
 それが「良い印象であったか」「悪い印象であったか」「強く印象に残っているか」良いとも悪いとも言えない」について該当欄に○印をつけてください。

1) 響きの量 良い 悪い どちらでもない [多い, 少ない]
 2) 響きの質 良い 悪い どちらでもない
 3) 自分の音の出し易さ 良い 悪い どちらでもない
 4) 自分の音の聴き取り易さ 良い 悪い どちらでもない
 5) 他の演奏の聴き取り易さ 良い 悪い どちらでもない

音量不足 時間おくれ その他 ()
 全体 特定楽器 ()

6) 音の鳴りの手ごたえ 良い 悪い どちらでもない [過大, 過当, 過小]
 7) 弱音(pp)の伸び 良い 悪い どちらでもない
 8) 音の通り 良い 悪い どちらでもない

3 演奏のし易さについて (ホームホールに比べて)
 とてもし易い し易い ほぼ同じ し難い とてもし難い

4 ステージとの音響的な印象について (ホームホールに比べて)
 似ている 似ていない 何ともいえない

5 今回のホールに似た日本のホールをあげて下さい。

III 以上のこと又は他のことで何かお気づきの点があれば自由に書いて下さい。

IV 日本の演奏会場でステージで演奏して気に入っているホールがあれば記入して下さい。

は、1985年10月30日～11月21日の定期公演を含めた11公演の計38公演である。公演時の演奏曲目は、主に古典派からロマン派までの音楽である。^{注1)}

2.1.2 調査方法

調査票は各々の公演旅行の前に、全ての公演分を演奏家各人に配布し、一つの公演が終わった後に記入してもらい、全公演終了後に回収した。

2.1.3 調査項目

調査票を表2に示す。調査項目については、ボストン

表3 調査対象ホールの諸元一覧表

ホール No.	竣工年	収容人員 N(人)	室容積 V(m3)	V/N	舞台形式		一体	舞 台			残響時間(sec)		アンケート対象楽団		
					プロセニウム 通常 拡散			容積 Vs(m3)	床面積 Ss(m2)	開き度 K	500Hz 空席 満席	ボストン	ライブ ツイヒ	新日 フィル	
6	1982	1,200	10,727	8.9	○			1,410	187	0.22	2.14	1.78			○
7	1961	2,339	17,300	7.4	○(側反)			2,312	216	0.39	2.1	1.6	○	○	○
9	1977	1,216	8,390	6.9	○			994	152	0.23	1.4	(推)1.2			○
10	1971	936	5,340	5.7	○			442	94	0.21	1.73	(推)1.4			○
11	1982	1,207	9,050	7.5	○			990	152	0.25	1.7	(推)1.45			○
13	1982	1,230	10,740	8.8	○			1,123	176	0.23	1.5	1.3			○
14	1966	1,394	8,800	5.5	○			833	131	0.25	1.67	1.22			○
15	1981	1,878	15,780	8.4	○			1,294	183	0.23	1.8	1.4			○
16	1982	1,702	17,870	10.5			○	-	260	-	2.5	2.0		○	○
17	1972	2,311	22,850	9.9		○		1,679	194	0.31	1.90	1.5		○	
19	1971	2,300	19,000	8.3	○			1,666	191	0.40	2.0	1.6		○	
21	1980	2,000	15,460	7.7	○			1,721	217	0.24	1.71	1.41	○		
22	1975	2,450	16,000	6.5		○(側反)		1,295	168	0.35	1.66	1.5	○	○	
23	1967	1,800	14,000	7.8	○			1,282	149	0.35	2.00	1.6	○		
24	1980	2,378	19,400	8.2	○			1,230	174	0.28	2.1	1.8	○	○	
25	1982	2,000	17,090	8.6	○			1,236	158	0.34	1.9	1.5	○		
26	1978	1,968	17,109	8.7		○(側反)		1,690	219	0.26	1.9	1.65	○		
27	1973	3,667	25,194	6.9		○(側反)		1,568	192	0.27	1.92	1.6	○		
28	1985	2,001	15,750	7.9	○			1,582	189	0.32	1.9	1.6	○	○	
29	1973	2,073	15,180	7.3	○			1,532	219	0.28	2.0	1.6	○		
30	1960	2,398	20,600	8.6	○			1,461	172	0.44	1.75	1.5	○		
31	1982	1,820	16,880	9.3		○		1,474	192	0.29	1.9	1.65	○		
32	1958	2,796	17,300	6.2	○			1,850	221	0.35	1.9	1.7	○		
35	1984	638	-	-	○			656	98	0.19	1.8	-		○	
36	1966	1,514	9,300	6.1	○			1,194	170	0.18	1.65	1.4		○	
37	1965	1,605	13,700	8.5	○			1,338	190	0.26	1.5	(推)1.33		○	
38	1972	1,200	(推)9,150	7.6	○			1,011	153	0.28	1.0	(推)0.91		○	
39	1972	1,998	16,800	8.4		○(側反)		1,742	167	0.38	2.2	1.7		○	
40	1984	1,370	11,410	8.3	○			1,417	190	0.27	1.50	1.4		○	
41	1986	2,006	21,000	10.5			○	-	246	-	2.7	2.05		○	

の場合は、ワーキンググループ^(注2)の素案に対して寄せられたベラネク博士（ボストン交響楽団の当時の理事長）の助言をとり入れて作成し、さらに楽団関係者に音楽家の立場から検討してもらった。その結果、調査用語の一部が手直しされ表2-1)となった。ライブツイヒについては、ボストンの調査項目と同じもので、ドイツ人音楽家の助言を得てドイツ語版としたものである。

新日フィルについては、国内外の調査票（文献6), 9), 10))を参考とした筆者らの素案をもとに、楽団有志とのディスカッションを重ねて作成した。

3楽団に共通な調査項目は、「演奏パート」、「演奏位置」、「ホームホールと比べた音響的な印象」、「音響的な総合印象」、「演奏のし易さ」、「響きの量」、「響きの質」、「他の（パートの）演奏（音）の聴き易さ」、「自分の演奏（音）の聴き易さ」の9項目であるが、今回の検討には後者の5項目を用いている。更に、各々の楽団に対して自由なコメントも求めた。

2.1.4 調査対象ホール

調査対象としたホールは、各楽団の公演に使用された30のホールである。この調査の時点においては各地域を代表するホールと言える。これらのホールの諸元一覧を

表3に示す。調査時点で竣工後25年経過したものから竣工直後のものまでである。調査当時は舞台と客席が一体空間となったホールが登場し始めたばかりの頃であり、調査対象としてはプロセニウム型のホールが圧倒的に多く28ホールを占めている。ホールの規模は、2つを除いて1200人を越えており、中規模以上である。舞台面積の小さいNo. 10は演奏会時に舞台を拡張している。No. 35は小編成の演奏会であった。

各楽団の調査対象となったホールは、ボストンが13、ライブツイヒが14、新日フィルが9ホールである。

2.2 調査結果

2.2.1 回答の集計方法

集計は楽団別、ホール別に行った。各ホールにおいて調査項目毎に演奏家の評点を平均し、その値をホールの評価の代表値とした。

ボストン、ライブツイヒの場合は調査項目全てについて5段階評価（「良い」が5、「悪い」が1）である。しかし新日フィルの場合は「響きの量」、「響きの質」、「他の演奏の聴き易さ」、「自分の演奏の聴き易さ」については3段階評価なので、「良い」を5、「どちらでもない」を3、「悪い」を1として5段階評価に

表4 各楽団の評価一覧表

ボストン		ライプツィヒ		新日フィル	
音響的 総合印象		音響的 総合印象		音響的 総合印象	
良い 4 良くも悪くもない 2 悪い		良い 4 良くも悪くもない 2 悪い		良い 4 良くも悪くもない 2 悪い	
演奏の 難易		演奏の 難易		演奏の 難易	
易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい	
体響きの量		体響きの量		体響きの量	
多い 4 中庸 2 少ない		多い 4 中庸 2 少ない		多い 4 中庸 2 少ない	
的響きの質		的響きの質		的響きの質	
良い 4 良くも悪くもない 2 悪い		良い 4 良くも悪くもない 2 悪い		良い 4 良くも悪くもない 2 悪い	
他音の 聴き易さ		他音の 聴き易さ		他音の 聴き易さ	
易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい	
自音の 聴き易さ		自音の 聴き易さ		自音の 聴き易さ	
易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい		易しい 4 どちらでもない 2 難しい	

読み替えている。

2.2.2 各楽団の評価結果

調査項目毎の評価結果を楽団別に表4に示す。表中の数字はホール番号である。

調査対象は、オーケストラ公演を行えるその地域を代表するようなホールであるが、評価にはかなりのバラツキがみられる。このことから、ホールおよび舞台音響設計に関係する音響条件と評価との関連が抽出できることが期待される。

因みに、外国の二つのオーケストラの評価では、他の調査項目に比べ「響きの量」が少なく指摘されたホールが多い。それに対し日本のオーケストラの評価では、他の調査項目に比べ「演奏がしづらい」という指摘が目立っている。さらに、「自分の演奏の聴き易さ」の評価値は、どの楽団の場合も他の調査項目に比べ評価値が高く、バラツキが少ない傾向を示している。

2.2.3 評価のバラツキ

1) 個人の評価のバラツキについて

ホール毎に個々の演奏家の評価のバラツキの程度をみる。例として「音響的総合印象」の評価値について、個人の評価の範囲、 $\pm 1\sigma$ の範囲、平均値を楽団別に図1に示す。評価が「良い」から「悪い」まで広くバラツいているホールもあれば、逆に評価が集中しているホールもある。 $\pm 1\sigma$ の範囲は0.37~1.32である。

2) ホール評価の代表値のバラツキについて

ホール評価の代表値とは、個々の演奏家の評価を調査項目毎に平均したものである。この代表値の分布の程度を調査項目毎にみる。ホール評価代表値の範囲、 $\pm 1\sigma$ の範囲、平均値を楽団別に図2に示す。 $\pm 1\sigma$ の範囲は0.44~1.21である。

3) 異なった楽団による同じホールの評価のバラツキ

同じホールを複数楽団で評価している場合について比較する。表3に示すようにライプツィヒを軸とすると、ボストンとはNo. 7, 22, 24, 28 の4ホール、新日フィルとはNo. 7, 16 の2ホールにおいて同じホールを評価している。

図1 個人の評価のバラツキ

図3にボストンとライプツィヒとの評価の比較を示す。同じホールでも評価が同じ傾向になるとは限らない。特にNo. 7, 28 では、ライプツィヒの評価が各調査項目に亘ってまとまっているのに対し、ボストンの評価は大きく別れている。特に「響きの量」についてはボストンの方が厳しく反応していることがわかる。

図2 ホール評価代表値のバラツキ

図3 同じホールの評価の比較
ポストン-ライブツィヒ 図4 同じホールの評価の比較
新日フィル-ライブツィヒ

図4に新日フィルとライブツィヒとの評価の比較を示す。新日フィルでは特に「演奏のし易さ」、「他の演奏の聴き易さ」の評価値が低い。この理由として、No.16は当時まだ珍しい音楽専用で、残響時間の長い舞台と客席が一体空間となったホールであり、新日フィル団員にとって経験の少ない会場条件であったことが指摘できる。その点について演奏家自らもコメント欄に書いている。これらのことから楽団としての評価の仕方に個性があることがわかる。しかし、このことについて十分に議論するだけの調査資料はないので、今回の検討では、集計上の配慮は特に行っていない。ホール毎に纏めることをせず、独立の調査例として扱っている。

3. 検討に用いた音響要因

3.1 諸元

まず慣例的な項目として、ホール全体としては、収容人員(N)、室容積(V)、一人当りの容積(V/N)、残響時間(RT)、舞台関係としては、舞台容積(Vs)、舞台床面積(Ss)を音響的要因として取り上げた。さらに舞台の音響要因として、舞台形式(後述)、舞台音響反射板の開き度(K)(後述)を加えた。

図5 残響時間と室容積の関係

対象とした全ホールにおける諸元の分布範囲は以下の如くである。収容人員：638～3667人、室容積：5340～25194 m³、一人当りの容積：5.5～10.5 m³/人、残響時間(満席)：0.91～2.05sec、舞台容積：442～2312 m³、舞台床面積：94～260 m²、舞台音響反射板の開き度：0.18～0.44。

これらの関係を図5(残響時間と室容積の関係)、図6(一人当りの容積と室容積の関係)、図7(舞台音

図6 一人当たりの容積と室容積の関係

響反射板の開き度と舞台容積の関係)に示す。図5には音楽ホールの最適残響時間の推奨値(音楽に対する平均)も示す。推奨値より短めのホールが多い。

3.2 舞台形式

ホールの舞台形式を次のように分類する。

1) 一体型舞台

- a) エンドステージ型
- b) アリーナ型

2) プロセニウム型舞台

- a) 通常型
- b) 拡散型

1)は舞台と客席が一体空間となっているホールの舞台を言う。これらをさらに舞台後部に客席のないエンドステージ型と客席が舞台を取り囲んでいるアリーナ型に分ける。これらはいわゆる音楽専用ホールに多い形式である。今回の調査対象には1)a)は含まれていない。2)は舞台と客席の間にプロセニウムのあるホールの舞台を言う。わが国のホールの大半を占める多目的ホールはこの形式である。この場合オーケストラ公演では、通常、舞台空間には側壁、後壁、天井の3部位から構成される音響反射板即ちオーケストラシェルが設置される。このプロセニウム型舞台を音響反射板の様式によって、更に通常型と拡散型に分類することとした。通常型とは、反射板が縦型か横型の大きな単位の平面か曲面の反射面となっている一般的なものである。拡散型とは、この反射面に更に細かい凹凸を付け、散乱性を持たせたものである。例を写真1に示す。これらは1970年代を中心に建設されたものが多く、最近のホールではあまり見られない。

3.3 舞台音響反射板の開き度(K)

予備的な検討から、オーケストラシェルの客席向への開き具合が、評価と関連があることがわかった。そこで「舞台音響反射板の開き度」を下式のように定義し、舞台音響に影響する要因の一つとした(図8参照)。

図7 舞台反射板の開き度と舞台容積の関係

写真1 拡散型舞台音響反射板の例

図8 舞台音響反射板の開き度の算定図

$$K = \tan \alpha = \left(\sqrt{S / \pi} - \sqrt{s / \pi} \right) / D$$

$$= \left(\sqrt{W \cdot H / \pi} - \sqrt{w \cdot h / \pi} \right) / D$$

ここに、K：開き度

S：プロセニウム開口面積(=W・H)

s：後壁反射板面積(=w・h)

D：後壁反射板とプロセニウム開口間の距離

W：プロセニウム開口幅

H：プロセニウム開口高

w：後壁反射板幅

h：後壁反射板高

図9 音響的総合印象評価と残響時間の関係

図10 音響的総合印象評価と開き度の関係(1)

図11 音響的総合印象評価と開き度の関係(2)

4 評価と音響要因の関係についての検討

4.1 残響時間

今回の調査対象としたホールの中で、「音響的総合印象」の評価と満席の残響時間がそろっている29ホール(No. 35を除く)について、「音響的総合印象」の評価値(ホールの代表値)を縦軸に、満席の残響時間を横軸にして付置したのが図9である。

全体的にみて残響時間の長い方が「音響的総合印象」の評点が高い傾向にある。中でもオープン型舞台の2つの音楽専用ホール(No. 16, 41)は、残響時間がとくに長く2秒以上となっており、評点が高い。

しかし、音響要因としての残響時間は、ホールの音響設計の流れからすると、聴衆側の立場から決ってくる要因である。

プロセニアム型舞台で調査例の集中している残響時間が1.4～1.8秒の領域に絞ってみると、「音響的総合印象」の評価値が3ランクにも互バラツいている。その中で評点が4以上の評価の良いホールは、ほとんど拡散型舞台であることが指摘できる。そこで拡散型舞台と通常型舞台を分けて検討してみる。

4.2 舞台音響反射板の開き度(K)

プロセニアム型舞台のホールの「音響的総合印象」評

図12 通常型舞台のみのときの各調査項目評価値とホール諸元、音響要因間の説明率と全セニアム型舞台のときの各調査項目評価値とホール諸元、音響要因間の説明率の関係

価値とKの関係をみたのが、図10、11である。図10に示すようにプロセニアム型舞台のホール全体でみると、「音響的総合印象」評価値とKとの相関は非常に低い、拡散型舞台を除く通常型舞台のホールのみとすると、明らかに相関係数の増加がみられる($r=0.38$)。更に、通常型舞台のホールで、通常のオーケストラ公演には狭いホール(舞台容積1000 m³以下のNo. 9, 10, 11, 14, 35)を除いたのが図11である。相関係数値rは0.61に達する。即ち、舞台容積が1000 m³以上の規模で、通常型の舞台音響反射板をもったホールでは、舞台音響反射板の開き度が小さいとき評価が良く、大きいと評価が悪くなる。舞台音響反射板の開き度が舞台内の音場評価に少なからず影響していることがわかる。

4.3 音響要因の寄与度について

プロセニウム型舞台の28ホールについて、調査6項目とホール諸元、音響要因との関係の全てについて見たのが図12である。諸元として、室容積(V)、一人当りの容積(V/N)、残響時間(RT)、舞台容積(Vs)、舞台床面積(Ss)、音響要因として、舞台音響反射板の開き度(K)を取り上げた。Kについては、28ホール全ての場合をK(1)、舞台容積1000 m³以下を除いた23ホールの場合をK(2)とした。

図12は、縦軸に拡散型舞台を除いた通常型舞台のホールのみの場合の各調査項目評価値とホール諸元、音響要因との関係の説明率(%、 $= (\text{相関係数})^2 \times 100$)を、横軸にプロセニウム型舞台全ホールの場合の同じ関係の説明率をとり、付置したものである。この図に説明率の強さのランクによって9つの領域を示す。縦軸と横軸の差が大きい程、拡散型舞台のホールの影響が大きいことになり、①、⑨の領域がこれに当たる。例えば①の領域にあるものは、拡散型舞台を除いて通常型舞台のホールのみとしたときにこの相関関係が大きくなることを示している。前述した開き度Kは、「音響的総合印象」との関係だけでなく、その他の調査項目との関係も①の領域に集中している。Kが通常型舞台のホールを説明する音響要因として注目されるものであると言える。

4.4 舞台音響反射板の拡散性

図10でみるように、通常型舞台のホールに比べ拡散型舞台のホールの方が評価が良いのは明らかである。舞台容積が1000 m³以上の通常型舞台のホールでは、Kの値が0.26~0.4のとき、「音響的総合印象」の評価値は、2.3~3.8程度である。しかし拡散型舞台では、同じKの値のとき、3.8~4.8に位置している。即ち、通常型舞台を拡散型舞台とすることにより、評価が1.5ランク程度上昇することになる。建築的理由から開き度を大きくしなければならない場合には、拡散型舞台とすることで舞台音場を救済することができる。ことがわかる。

5 結 論

今回の調査を基にして言えることは、舞台音場に寄与する要因としてホールの残響時間もあるが、ホール舞台の音響設計という観点からは、次の3点について考慮すべきである。

1) 舞台の大きさ

舞台音場の評価と関係がある。フルオーケストラの場合には少なくとも1000m³以上の舞台容積がほしい。

2) 舞台音響反射板の開き度

プロセニウム型舞台で通常型舞台音響反射板をもっ

たホールでは、舞台音響反射板の開き度が小さい方が音響的に良い評価が得られ易い。K ≤ 0.3 が望ましい。

3) 舞台音響反射板の拡散性

プロセニウム型舞台のホールの場合、舞台音響反射板が拡散型のとき音響的に良い評価が得られ易い。通常型舞台を拡散型舞台とすることにより、舞台上の音響の評価のランクを上げることが可能である。

6 おわりに

演奏家に対する主観評価調査結果から、ホール舞台の音響設計に関係する音響要因を絞り込んだ。

結論の3)については、今後、拡散体としてどのような形、寸法が実用的なものか、またそれによって舞台音場や演奏家による評価がどのように変化するのかについて実証し、設計法としてまとめたい。

1970年代以降には実施例が少なくなっている拡散型舞台音響反射板を見直す必要があると思われる。

謝 辞

本研究の端緒より常に貴重な御指導、御助言を頂いた中村俊一博士に心より御礼申し上げます。また、研究遂行に協力頂いた鹿島建設技術研究所の古賀研究員をはじめ研究員諸氏にここに記して謝意を表します。さらに、我々の調査に快く協力いただいた演奏家の方々に心より御礼申し上げます。

注

1) 演奏曲目

- ボストン
- ハイドン：交響曲第95番ハ短調
- モーツァルト：交響曲第35番ニ長調 K.385「ハフナー」
- ベートーベン：交響曲第5番ハ短調作品67「運命」、
交響曲第3番変ホ長調作品55「英雄」
- シューベルト：交響曲第8番ロ短調 D.759「未完成」
- ブラームス：交響曲第1番ハ短調作品68
- ワーグナー：楽劇「神神のたそがれ」
- ブルックナー：交響曲第7番ホ長調
- マーラー：交響曲第3番ニ短調、交響曲第5番嬰ハ短調
- R. シュトラウス：交響詩「ツァラトゥストラはかく語りき」
作品30
- チャイコフスキー：交響曲第6番ロ短調作品74「悲愴」
- プロコフィエフ：組曲「ロメオとジュリエット」
- ラベル：組曲「ラ・メール・ロワ」
- バルトーク：弦楽器、打楽器、チェレスタのための音楽
ライブツィヒ
- ベートーベン：交響曲第5番ハ短調作品67「運命」
- シューベルト：交響曲第8番ロ短調 D.759「未完成」
- ウエーバー：序曲「オベロン」
- メンデルスゾーン：序曲「ルイ・プラス」作品95
- シューマン：交響曲第2番ハ長調作品61
- ブラームス：ピアノ協奏曲第1番ニ短調作品15
- ブルックナー：交響曲第4番変ホ長調「ロマンティック」

- チャイコフスキー：交響曲第5番ホ短調作品64
 マットゥス：ティンパニー協奏曲「森」
 新日フィル
 モーツァルト：序曲「魔笛」、ピアノ協奏曲第23番
 ベートーベン：序曲「レオノーレ」第3番
 ワーグナー：序曲「タンホイザー」
 リヒャルトStrauss：最後の4つの歌
 チャイコフスキー：交響曲第6番ロ短調作品74「悲愴」
 グリンカ：序曲「ルスランとリュドミラ」
 ベルリオーズ：幻想交響曲
 サンサーンス：バイオリン協奏曲第3番
 ドビッシェ：小組曲
 武満徹：ノベンパーステップス
 吉松隆：朱鷺によせる哀歌
- 2) ボストン交響楽団の調査のためにはワーキンググループが編成され、
 (財)鹿島学術振興財団からの援助を得て、次のメンバーで運営された。
- 長友宗重 東北大学(現、鹿島建設)
 前川純一 神戸大学(現、前川純一環境音響研究所)
 永田 穂 永田音響設計
 中村俊一 東京芸術大学
 山本照二 NHK技術研究所(現、東邦大学)
 橘 秀樹 東京大学生産技術研究所
 菅真一郎 鹿島建設技術研究所
- 参考文献
- 1) V. O. Knudsen : Acoustics of Music Rooms, J. Acoust. Soc. Am. 2, pp. 434 ~ 467, 1931
 - 2) Leo L. Beranek : Music, Acoustics And Architecture, John Wiley and Sons, Inc., 1962
 - 3) M. Barron : The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II An Acoustic Study of Concert Hall with Variable Stage, J. Sound and Vib. 59, pp. 481 ~ 502, 1978
 - 4) A. H. Marshall et al : Acoustical Conditions preferred for Ensemble, J. Acoust. Soc. Am. 64, pp. 1437 ~ 1442, 1978 他
 - 5) J. Meyer et al : Zum Verdeckungseffekt bei Instrumentalmusikern, Acustica 46, pp. 130 ~ 140, 1980
 - 6) A. C. Gade : Musicians' Ideas About Room Acoustical Qualities, The Acoustics Laboratory Technical University of Denmark Report No. 31, 1981 他
 - 7) 中山一郎：音楽演奏に与える反射音の影響について、音響学会建築音響研究委員会資料, AA84-30, 1984 他
 - 8) 中村俊一, 白砂昭一：コンサートの舞台において演奏者に好まれるエコーの条件, 音響学会建築音響研究委員会資料, AA84-28, 1984 他
 - 9) 山本照二, 永田穂：オーケストラ演奏者のホールの音響特性に対する主観評価, 音響学会講演論文集, pp. 157 ~ 158, 1970. 5
 - 10) 山本照二：室内音響設計法に関する研究, 博士論文 pp. 61
 - 11) 買手正浩, 橘秀樹, 安久司郎：ホール・ステージ反射板の反射特性の基礎的検討, 音響学会講演論文集, pp. 569 ~ 570, 1987. 3 他
 - 12) 中村俊一, 白砂昭一, 坪井政義：エンクロージャによる多重反射の効果について—独唱者のためのステージ音響条件—, 音響学会建築音響研究委員会資料, AA87-48, 1987. 12
 - 13) 杉野潔, 石田康二, 益田勲, 石井聖光, 木村翔, 三上祐三：ホールにおける楽員と大道具の影響—模型実験による検証—, 音響学会講演論文集, pp. 583 ~ 584, 1988. 3
 - 14) 小林哲, 川上福司：多目的ホールにおけるSTの検討, 音響学会講演論文集, pp. 727 ~ 728, 1988. 10 他
 - 15) 小沢あゆみ, 木村翔, 関口克明：有限音線積分法を用いたステージ上の音響指標値の検討, 建築学会大会学術講演梗概集, pp. 341 ~ 342, 1989. 10 他
 - 16) 田辺左右礼, 日高孝之：舞台音響反射板によるホール内の音響物理特性の変化について, 音響学会講演論文集, pp. 713 ~ 714, 1989. 10 他
 - 17) 菅真一郎, 中村俊一：演奏家によるホールステージの音響評価, 音響学会講演論文集, pp. 483 ~ 484, 1986. 3
 - 18) 菅真一郎, 中村俊一：演奏家によるホールステージの音響評価—国内オーケストラの海外及び地方公演における調査—, 音響学会建築音響研究委員会資料, AA86-23, 1986. 6
 - 19) 中村俊一, 菅真一郎, 長友宗重：演奏家によるホールステージの音響評価—海外オーケストラの日本公演における調査—, 音響学会建築音響研究委員会資料, AA86-24, 1986. 6
 - 20) 菅真一郎, 高久勝彦：演奏家によるホールステージの音響評価, 鹿島建設技術研究所年報, 第35号 pp. 213 ~ 218, 1987. 6
 - 21) 菅真一郎, 中村俊一, 長友宗重：演奏家によるホールステージの音響評価—海外オーケストラの日本公演における調査(2)—, 音響学会講演論文集, pp. 615 ~ 616, 1987. 10
 - 22) 中村俊一, 菅真一郎, 前川純一：演奏家によるホールステージの音響評価—国内オーケストラのヨーロッパ公演における調査—, 音響学会講演論文集, pp. 617 ~ 618, 1987. 10
 - 23) 菅真一郎, 高久勝彦, 中村俊一：ホールステージの音響実測調査結果, 音響学会講演論文集, pp. 601 ~ 602, 1989. 3
 - 24) 菅真一郎, 高久勝彦, 中村俊一：ホールステージの音響実測調査結果(2), 音響学会講演論文集, pp. 717 ~ 718, 1989. 10
 - 25) Kan Shin-ichiro et al. : Results Measurement of Hall Stage Acoustics, ICA 14th, F7-6, 1992. 9
 - 26) 高久勝彦, 菅真一郎, 橘秀樹：1/10縮尺模型実験による音楽ホールの音場予測, 音響学会講演論文集, pp. 641 ~ 642, 1990. 3
 - 27) 菅真一郎, 高久勝彦, 橘秀樹：模型によるホールステージの音響検討, 音響学会講演論文集, pp. 671 ~ 672, 1990. 9
 - 28) 菅真一郎, 高久勝彦, 橘秀樹：模型によるホールステージの音響検討(2), 音響学会講演論文集, pp. 761 ~ 762, 1991. 9
 - 29) 菅真一郎, 高久勝彦, 古賀貴士：模型によるホールステージの音響検討(3)—舞台反射板の形状の違いによる音場の変化—, 音響学会講演論文集, pp. 659 ~ 660, 1993. 9

(1994年3月10日原稿受理, 1995年2月27日採用決定)