

藤本一壽 (九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門 教授)

コンサートホールの音の良否は、音場のインパルス応答(直接音、初期反射音、残響音)の音響特性で決まる。これまでの研究から、直接音は音の明瞭性と、初期反射音は音源の拡がり感(ASW, Apparent Source Width)と、そして残響音は音に包まれた感じ(LEV, Listener Envelopment)と関連が深いことが解明され、それらを評価するさまざまな音響指標が提案されてきた。そして、その一部は実際の音響設計にも使われている。

直接音の到達後 80ms 以内に到来する初期反射音に関しては、Baron らによって、特に側方反射音が ASW に大きく寄与することが明らかにされ、これに基づいて、ホールの音響設計では、適切な側方反射音を得るための舞台近くの天井や側壁の形状、向き、仕上げの決定が重要とされている。また筆者らは、上方から到来する初期反射音もまた ASW に関連があることを実験的に示し、ホールの音響設計にあたっては、側方初期反射音だけでなく上方から到来する初期反射音をも考慮する必要があることを提言している。

残響音(後期反射音)に関しては、室内音響学の創始者 Sabine の定義した残響時間に代表されるように、一般にはその長さだけが重要視され、後期音の方向分布、すなわち、後期音がどのような方向から到来するときに望ましい LEV(音に包まれた感じ)が得られるかは明らかでない。実際のホールではさまざまな方向から反射音が到来していることを考えると、「残響音(後期音)の方向性が音場の空間印象に及ぼす影響」を解明することは、音の良いホールを設計するために重要であると考えられる。

そこで本研究は、無響室内に設けた音場シミュレータを用いて、残響音(後期音)の到来方向を変化させたときの音場の空間印象に関する音響心理実験を行い、後期音の方向と音場の空間印象(LEV, 音に包まれた感じ)の基礎的関係を解明しようとするものである。

概要 後期音の方向性とLEVの関連を解明するために、2つの音響心理実験を行った。実験1では、まずLEVが側方反射音だけに依存するかどうかを検討し、実験2では、側方、前方、上方、後方の4つの方向から到来する後期音がLEVへ及ぼす影響について検討した。

実験方法 実験は、無響室内において、Fig.1に示すように半径1.5mの半球面上に配置されたスピーカ群から刺激対を提示し、頭を固定して座らせた被験者に一対比較法により音に含まれた感じの評価を求めるといったものである。音源信号は、無響室録音された「アルルの女」(Bizet作曲)の約10秒間である。全刺激対をランダムに呈示し、刺激対のLEVの大きさを回答させた。被験者は学生6~8名である。

実験1 刺激音場は7種類(Table 1)、すなわち、後期側方反射音レベルが一定の条件下で、刺激No.1(側方)、No.2(側方+前方)、No.3(側方+前方+上方)、No.4(側方+上方)、No.5(側方+上方+後方)、No.6(側方+後方)を、そして刺激No.1の側方反射音レベルを6dB増加させた刺激No.7(側方)である。刺激の呈示音圧レベルは一定、残響時間は1.8s、 C_{80} は刺激No.1(6dB)を除きほぼ0dBで一定である。得られた回答からThurstone Case Vに基づく心理的距離尺度を構成した(Fig.2)。モデルの適合度の検定結果は有意であった。刺激No.1~6は後期側方反射音レベルが一定であるにもかかわらずLEVに有意な差が認められた。これよりLEVは後期側方反射音レベルだけに依存するとは言えないことが判明した。また、刺激No.2~7の結果を見ると、トータルレベルが一定であるにもかかわらずLEVは音場間で有意な差を呈している。このような結果から、LEVは後期音の到来方向に関係することが示された。

実験2 実験2では、側方、前方、上方、後方の4つの方向から到来する後期音レベルを独立に変化させた音場を用いて、後期音の方向性とLEVの関係について検討した。実験は、後期音の到来方向別に4回に分けて実施した。すなわち、側方、前方、上方、後方からの後期音をすべて付加した音場(刺激No.1)を共通の基準音場として、側方エネルギーだけを変化させた場合(a)、前方エネルギーだけを変化させた場合(b)、上方エネルギーだけを変化させた場合(c)、並びに後方エネルギーだけを変化させた場合(d)の4種類である。刺激数は、方向ごとに後期音レベルを7~11dBの範囲で4段階に変化させた13個である(Table 2)。刺激の呈示音圧レベルは全実験を通して63~67dBA、残響時間は1.8sで一定である。得られた回答からThurstone Case Vに基づき心理的距離尺度を構成した(Fig.3)。モデルの適合度の検定結果は有意であった。前方後期音レベルを変化させた場合を除いてLEVは各方向の後期音レベルと正の相関関係を示し、特に後期側方反射音レベルとLEVの相関は非常に高かった。また、上方後期音レベルや後方後期音レベルとLEVの相関も高かった。以上から、側方だけでなく、上方および後方から到来する後期音もLEVに強く影響することが分かった。ただし、前方からの後期音レベルとLEVの相関は非常に小さかった。

結論 実験1の結果から、側方成分を全く有していない後期音によってもLEVに有意な差が生じること、さらに、実験2の結果から、側方反射音レベルの寄与が最も大きいものの、上方並びに後方から到来する後期音もまたLEVに強く影響することが示された。このような結果は、側方反射音のレベルだけにに基づく物理指標ではLEVを説明できないことを示しており、LEVを制御するためには全体の聴取音圧レベルとともに、側方以外の方向から到来する後期音レベルあるいはそれらの割合についても配慮する必要があるといえる。

コンサートホールの音の良否を評価する心理的尺度の一つに音に包まれた感じ(LEV)があり、LEVは後期反射音に関係するといわれている。人間は頭部の左右にそれぞれ1個の耳を有しており、両耳に入力する音響信号の差が聴覚的音響効果をもたらすことから、従来、側方から到来する反射音とLEVの関係がいろいろ研究されてきた。しかしながら、実際のコンサートホールでは、側方以外のさまざまな方向から到来する反射音も多く存在しており、これらがLEVにどのように寄与するかを解明することも、音の良いホールを設計するために必要であると考えられる。このような観点から、本研究は、無響室内に設けた音場シミュレータを用いて、後期音の到来方向を変化させたときのLEV(音に包まれた感じ)に関する音響心理実験を行い、後期音の方向とLEV(音に包まれた感じ)の基礎的関係を解明しようとしたものである。

本研究で行った実験結果から、側方だけでなく、後方や上方から到来する後期反射音もまたLEVに影響することが明らかとなった。これは、既往の研究で得られていない新しい知見であり、今後のコンサートホール音響設計のための基礎データとして価値あるものと考ええる。

2つの音響心理実験の結果は次のようにまとめられる。

1. 側方後期反射音レベルが一定でも、それ以外の方向から到来する後期反射音が異なればLEV(音に包まれた感じ)は有意な差が生じる。
2. LEVは側方後期反射音の影響が最も大きいですが、上方や後方から到来する後期反射音もLEVに強く影響する。
3. 前方から到来する後期反射音とLEVの相関は非常に小さい。

以上の結果は、側方反射音のレベルだけに依存した物理指標ではLEVを十分に説明できないことを示しており、LEVを制御するためには全体の聴取音圧レベルとともに、側方以外の方向から到来する後期音レベルあるいはそれらの割合についても配慮する必要があるといえる。

本研究では、音響心理実験によって後期反射音の方向とLEV(音に包まれた感じ)の基礎的関係を研究したが、次のステップとしては次のような研究が必要であると考えている。

1. 実際のコンサートホールにおける後期反射音の方向分布の把握
2. LEVを定量的に把握するため後期反射音の方向情報の定量化(物理指標の提案)
3. 音の良いコンサートホールを実現するための後期反射音方向指標の基準値設定

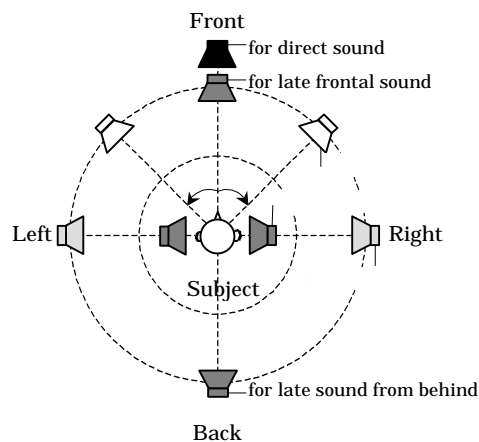


Fig.1 Arrangement of loudspeakers in an anechoic chamber.

Table 1 Seven sound fields used in experiment 1.

Stimulus	Directional late sound levels (dB)				
	L_0	LL_{80}	FL_{80}	VL_{80}	BL_{80}
1	4.6	-1.1	-	-	-
2	7.4	-1.4	3.5	-	-
3	7.2	-0.9	0.7	-0.6	-
4	7.5	-1.2	-	2.8	-
5	6.8	-1.7	-	-0.9	1.0
6	7.3	-1.2	-	-	3.1
7	7.8	4.4	-	-	-

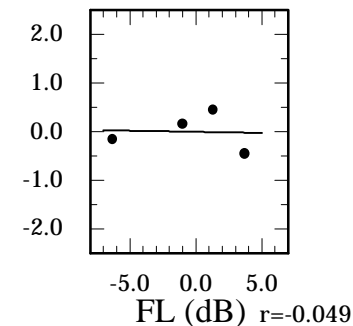
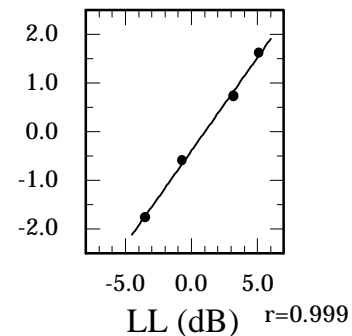


Table 2 Thirteen sound fields used in experiment 2.

Stimulus	Directional late sound levels (dB)				
	L_0	LL_{80}	FL_{80}	VL_{80}	BL_{80}
1	5.0	-3.5	-6.3	-3.6	-6.3
2	5.7	-0.7	-6.7	-3.7	-6.7
3	6.8	3.2	-6.3	-3.4	-6.3
4	8.1	5.1	-5.9	-3.3	-5.9
5	5.5	-3.5	-1.0	-3.5	-6.3
6	6.3	-3.2	1.3	-3.3	-6.3
7	7.8	-3.5	3.7	-2.8	-6.3
8	5.2	-3.5	-6.7	-1.5	-6.7
9	6.5	-3.4	-6.0	1.1	-6.0
10	7.7	-3.2	-6.3	3.8	-6.3
11	5.4	-3.8	-6.3	-3.6	-0.1
12	6.7	-3.1	-6.3	-3.3	2.1
13	7.5	-3.4	-6.3	-3.2	4.4

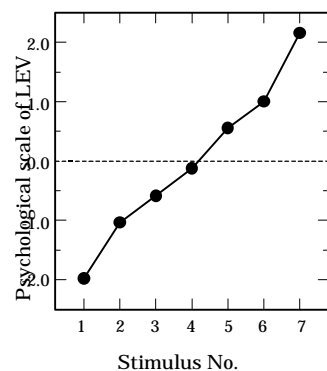


Fig.2 Psychological scale of LEV in experiment 1. LL_{80} is constant in stimuli No.1 to 6, and L_0 is constant in stimuli No.2 to 7.

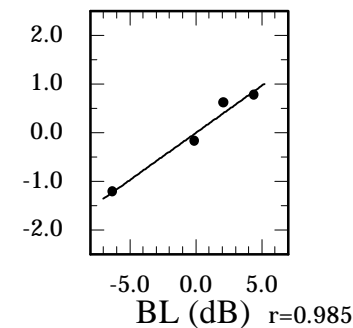
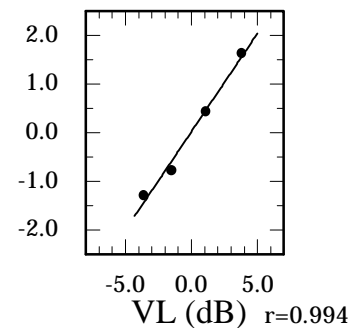


Fig.3 Psychological scale of LEV versus four directional late levels in experiment 2.