音楽ホールにおける音に包まれた感じに対応する物理指標の検討

A STUDY ON NEW OBJECTIVE MEASURE CORRESPONDING TO LISTENER ENVELOPMENT IN CONCERT HALLS

末廣 大地*, 翁長 博**, 池田 哲朗***
Daichi SUEHIRO, Hiroshi ONAGA and Tetsuo IKEDA

A subjective experiment on listener envelopment (LEV) was carried out using synthesized sound fields in an anechoic room. The results are as follows. 1) The largest LEV was observed around azimuth 90 degree as to arriving direction of reverberation. 2) Longer reverberation time makes LEV larger. 3) Larger energy of reverberation makes LEV larger. 4) Left-to-right imbalance of reverberant energy makes LEV smaller. 5) Front-to-back imbalance of reverberant energy makes LEV smaller. 6) Reverberation arriving from frontal direction makes LEV larger than from behind. The results 1) to 5) generally coincide with previous works, but result 6) differs from them. Based on these results, SDR (spatial distribution of reverberation) was proposed as a measure of LEV. SDR shows higher correlation with the experimental results on LEV than already proposed measure LG by Bradley or SBTs by Hanyu.

Keywords : *Listener envelopment, Spatial impression, Concert hall*

音に包まれた感じ、空間印象、音楽ホール

1. はじめに

「音に包まれた感じ」(Listener Envelopment: LEV)は「みかけの音源の幅」(Auditory Source Width: ASW)とともに音楽ホールの音響の評価における重要な空間印象の要素感覚の一つである^{1),2)}。LEVにかかわる音場のパラメータとして、残響時間や反射音の遅れ時間といった時間構造、反射音および残響音の到来方向といった空間構造などがあげられている^{3),4),5)}。

これらの音場パラメータを制御した実験室における主観評価実験を基に、LEVに対応する総合的な物理指標として、LG²⁾やSBTs⁶⁾などが提案されている。

既往の研究において、LEVは一対比較法により評価するのが一般的であるが、これから得られる心理尺度値は相対的なものであり、各実験間でのデータ比較は行えないので、LEVに関わる全てのパラメータを組み合わせた実験条件において一対比較を行うべきである。しかし、LEVに関する既往の研究においては、前述したパラメータを個別に実験している例が多く、既存の物理指標が包括的にLEVを評価できているかは、十分明らかではない。

そこで本研究ではLEVに関わるパラメータを組み合わせた実験条件を作成し既存の物理指標が各パラメータのLEVへの寄与を包括的に評価しているかを検討することにした。なお、上述したように全

てのパラメータを組み合わせた実験条件を作成するのが望ましいが、比較対の数が増大になるため、本実験では2個のパラメータを組み合わせた条件を作成した。

実験1では残響時間、C80および残響音の到来方向がLEVに与える影響を調べた。

実験2および実験3では、残響エネルギーの左右および前後の空間的な分布がLEVに与える影響を調べた。

また得られた知見をもとに、LEVを評価する新たな物理指標の提案を試みた。

2. 実験の方法

全ての実験は無響室内において、シミュレーション音場を用いて行った。音源信号はDENONプロフェッショナルテストCD内に収録されているオーケストラの無響室録音(ヘンデル「水上の音楽」第6曲、冒頭部分約7秒間)である。

初期反射音はディレイマシン(YAMAHA D5000)、残響音はリバーブレーター(YAMAHA ProR3)により作成し、それらを直接音とともにハードディスクレコーダー(AKAI DR8)に録音した。実験のインパルスレスポンスを図1に示す。また刺激の呈示レベルは76.8~79.8 dBA(slow)である。本実験では80ms以降の残響部分の変化とLEVと

* 依頼設計室 工修

** 近畿大学理工学部建築学科 助教授・工博

*** 近畿大学理工学部建築学科 教授・工博

Rui Sekkei Shitsu Co., Ltd., M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng.

対応を調べることを目的としたため、直接音および初期反射音のレベルを一定に保っている。そのため、残響時間や残響音到来方向は聴取レベルに影響を与えないものの、残響部のエネルギーの増減(C80で±3dBの変化)は聴取レベルを変化させている。従って、本実験の結果は聴取レベル一定の条件下での結果と比較してC80のLEVへの効果を大きく評価することになる。本研究では直接音および初期反射音のレベルを一定とするという条件で結果をまとめていることに留意されたい。

2.1 実験装置

実験1および実験2における装置のブロック図を図2に、実験3における装置のブロック図を図3に示す。スピーカは、被験者の頭の位置を中心に半径2.1mの同心円上に30°または45°の等間隔に設置した。実験に際しては、7台のスピーカのうち必要なスピーカを選択し直接音、初期反射音および残響音を提示した。

2.2 被験者

被験者は20歳～24歳の聴覚に異常のない男子大学生11名である。実験に先立ち、「みかけの音源の幅」と「音に包まれた感じ」の概念図⁷⁾を被験者に提示し、「音に包まれた感じ」を「まわりから到来する音に包まれている感じ、あるいは浸っている感じ」と教示した。

2.3 刺激の評価方法

本実験において、刺激の評価方法としてはシェッフエの対比較法⁸⁾を用いることにした。1対の刺激を約3秒の間隔をおいて続け

て呈示し、先行する刺激を基準として、後続の刺激の音に包まれた感じを、「1. 非常に包まれた感じがある」、「2. 包まれた感じがある」、「3. 少し包まれた感じがある」、「4. 変わらない」、「5. 少し包まれた感じが無い」、「6. 包まれた感じが無い」、「7. 非常に包まれた感じが無い」の7段階で評価させた。また実験1および実験2では36個の刺激対を1セット、実験3では28個の刺激対を1セットとして、合計12セットを3日に分けて行った。

刺激の呈示順序はランダムとし、順序効果を相殺するために、各刺激対内での呈示順序を入れ替えた刺激対についても評価させた。また各被験者について、一回目の解答と刺激の順序を入れ替えた2回目の解答が同一であるかを検定し、再現性が50%以下の回答者は、正しい判断が出来ていないとみなし、集計からとり除いた。集計に用いた被験者数は実験1Aが7名、1Bが11名、1Cが10名、2が8名、3Aが6名、3Bが9名である。

3. 実験1：残響時間、C80 および残響音の到来方向が音に包まれた感じに与える影響

残響時間、C80 および残響音の到来方向の3つのパラメータをそれぞれ個別に制御して各被験者にLEVを評価させ、得られた心理尺度値と上で述べた3つのパラメータとの関係を調べた。さらにLGやSBTsとの対応関係についても検討した。

3.1 実験条件

実験1におけるスピーカの配置を図4に示す。実験に用いた音場は直接音と6本の初期反射音、2本の非干渉性の残響音からなる。直接音は正面($\alpha = 0^\circ$)のスピーカから放射し、また初期反射音は前方 $\alpha = \pm 30^\circ$ 方向から放射した。

実験1における各刺激のパラメータを表1に示す。実験1AではC80の値を固定し、残響時間および残響音の到来方向 α を同時に変化させた。実験1Bでは残響時間を固定し、C80および到来方向 α を同時に変化させ、実験1Cでは到来方向 α を固定し、残響時間およびC80を同時に変化させた。

3.2 結果と考察

実験1A、1Bおよび1Cの結果を図5～7に示す。なお、実験結果の表示において縦軸LEVの範囲は実験で用いた7段階評価に合わせた-3～3ではなく、見やすさを優先して-2～2としている。これらの図より、残響時間、C80、残響音の到来方向のいずれもLEVに対して影響があることが明らかである。

実験1Aおよび1Cの結果(図5、7)より、残響時間のLEVに対する寄与は確認できるが、実験1Cでは実験1Aより残響時間によるLEVの心理尺度値の変化量は小さい。これは一対比較を基に求めた

図1 実験のインパルスレスポンス

図2 実験1および実験2の装置ブロック図

図3 実験3の装置ブロック図

図4 実験1のスピーカ配置

表1 実験1の刺激の種類

Stimulus	Experiment 1A			Experiment 1B			Experiment 1C		
	RT (s)	C80 (dB)	α (degree)	RT (s)	C80 (dB)	α (degree)	RT (s)	C80 (dB)	α (degree)
1	1.5	0	30	2.0	3	30	1.5	3	90
2	1.5	0	60	2.0	3	60	1.5	0	90
3	1.5	0	90	2.0	3	90	1.5	-3	90
4	2.0	0	30	2.0	0	30	2.0	3	90
5	2.0	0	60	2.0	0	60	2.0	0	90
6	2.0	0	90	2.0	0	90	2.0	-3	90
7	3.0	0	30	2.0	-3	30	3.0	3	90
8	3.0	0	60	2.0	-3	60	3.0	0	90
9	3.0	0	90	2.0	-3	90	3.0	-3	90

図5 実験1Aの心理尺度値

図6 実験1Bの心理尺度値

図7 実験1Cの心理尺度値

図8 実験1AにおけるLGおよびSBTsの変化

図9 実験1BにおけるLGおよびSBTsの変化

図10 実験1CにおけるLGおよびSBTsの変化

心理尺度値は相対的なもので、各実験において組み合わせたパラメータにより、当該のパラメータの心理尺度値への寄与が異なるためである。つまりC80の+3dB~-3dBの変化は、到来方向の30°~90°の変化よりもLEVを大きく変化させるため、その結果、残響時間による心理尺度値の変化は、実験1Cにおいては1Aよりも小さくなっている。Bradleyは残響時間とC80、残響音到来方向を変化させた実験を行い、残響時間の1.5sの変化に対するLEVの心理尺度値の変化が0.28しかないことを理由に、残響時間がLEVに与える影響は小さいと結論付けている⁵⁾ (彼の提案したLGではC80が一定ならば、残響時間はその値に影響を与えない)。彼の用いた実験条件では、C80のLEVに対する影響が大きかったため、結果的に残響時間の寄与が小さくなったと考えられるが、彼の結果においても残響時間の影響がないとはいえない。本実験の結果から明らかなように、C80を一定とした条件でも残響時間が長くなるとLEVが増加することが明らかである。

次にC80に注目すると、実験1B、1Cの結果(図6, 7)から明らかなように、C80の値が小さくなると(残響部分のエネルギーが大きくなると)LEVは増加する傾向にある。またその増加傾向は実験1Cの結果を見ても明らかなようにほぼ直線的であるといえる。

最後に到来方向αが30°から90°まで、角度が大きくなるとともにLEVも増加している。しかし、LEVの変化は30°から60°の間では比較的大きいが、60°から90°の間では小さくなっている。

以上、残響時間、C80および残響音到来方向はそれぞれLEVに寄与することが確認された。

実験1A、1Bおよび1Cの各音場のLGおよびSBTsの計算値を図8~10に示す。まず残響時間との関係ではLGはC80の値が一定ならば残響時間が変化してもその値は変化しない。一方SBTsは時間重心Tsを用いているため、残響時間が大きくなるとその値も大きくなる(図8, 10)。LGは残響時間の影響を評価できないが、SBTsは残響時間の影響を評価しているといえる。つぎにC80に注目すると、LG、SBTsともにC80の値が大きくなるとその値は小さくなる(図9, 10)。

最後に残響音到来方向に注目すると、SBTs、LGともに90°で最大となりLEVの実験結果の傾向とほぼ一致している(図8, 9)。

4. 実験2: 残響音の左右のエネルギー分布が音に包まれた感じに与える影響

残響部の左右のエネルギー分布および到来方向を変化させてLEVへの影響を調べた。なおC80および残響時間は一定に保っている。

4.1 実験条件

実験に用いた音場は実験1と同様に直接音と6本の初期反射音、2本の非干渉性の残響音からなる。直接音は正面のスピーカから放射し、また初期反射音は±30°方向から放射した。残響音の到来方向は±30°, ±60°, ±90°の3条件である。

実験に用いた刺激のパラメータを表2に示す。左右のトータルの残響エネルギーは一定に保ち、左右の残響音のレベル差を0dB、4dB、9dBと変化させた。C80値は0dB、また残響時間は2.0秒である。

4.2 結果と考察

実験2の結果を図11に示す。同図は横軸に残響音到来方向、縦軸にLEVの心理尺度値、パラメータに左右の残響音のレベル差をとっている。図より、左右の残響音のレベル差が大きくなるほど(左右

表2 実験2の刺激の種類

Stimulus	Parameter			
	Lch level(dB)	Rch level(dB)	L/R(dB)	α (degree)
1	0	0	0	30
2	1.5	-2.5	4	30
3	2.5	-6.5	9	30
4	0	0	0	60
5	1.5	-2.5	4	60
6	2.5	-6.5	9	60
7	0	0	0	90
8	1.5	-2.5	4	90
9	2.5	-6.5	9	90

図11 実験2の心理尺度値

図12 実験2におけるLGおよびSBTsの変化

のエネルギーバランスが悪くなるほど) LEVは低下することが明らかである。またその低下量は残響音到来方向が90°のときに最も大きく、30°の時に最も小さい。残響時間、C80および残響音の到来方向の他に、残響エネルギーの左右のバランスもLEVに影響することが示された。本実験結果は羽入らの知見⁹⁾と一致する。

実験2の各音場のLGおよびSBTsの計算値を図12に示す。LGはトータルエネルギーを評価するものであるため、当然の事ながら、左右のエネルギーバランスには反応しない。一方SBTsは左右のエネルギーバランスが悪くなるほど小さくなる。またその変化傾向も実験結果とほぼ一致している。LGは左右のエネルギー分布がLEVに与える影響を評価できないが、SBTsは評価しているといえる。

5. 実験3：残響音の前後のエネルギー分布が音に包まれた感じに与える影響

残響音の前後のエネルギー分布と併せて残響時間もしくはC80の値を変化させてLEVへの影響を調べた。同時に変化させるパラメータは、実験3Aでは残響時間、実験3BではC80である。

5.1 実験条件

実験3における各スピーカの配置を図13に示す。実験に用いた音場は直接音と6本の初期反射音、2本～6本の残響音からなる。本実験では全ての条件で直接音は正面のスピーカから、初期反射

図13 実験3のスピーカ配置の種類

表3 実験3の刺激の種類

Stimulus	Parameter		
	Loudspeaker arrangement	RT(s)	C80(dB)
Experiment 3A			
1	1	2	0
2	2	2	0
3	3	2	0
4	4	2	0
5	1	3	0
6	2	3	0
7	3	3	0
8	4	3	0
Experiment 3B			
1	1	2	0
2	2	2	0
3	3	2	0
4	4	2	0
5	1	2	-3
6	2	2	-3
7	3	2	-3
8	4	2	-3

音は±90°方向から放射した。各刺激のパラメータを表3に示す。各音場条件で残響を放射するスピーカの数は異なるが、C80の値が等しければ、残響のトータルのエネルギーは等しくなるように、また、各音場条件内では、個々の残響用スピーカが放射するエネルギーは全て等しくなるよう調整した。

5.2 結果と考察

実験3Aおよび3Bの結果を図14、15に示す。同図は横軸にスピーカの配置、縦軸にLEVの心理尺度値をとり、パラメータはそれぞれ残響時間とC80値である。4種類のスピーカ配置の内では、90°方向にのみ残響音が集中している配置1のときに最も大きい。次に大きいのは90°方向に加えて前方45°、後方135°と分散させた配置4のときである。続いて90°、45°と前方に分布させた配置2が大きくなっている。最後に最もLEVが小さくなるのは90°、135°と後方に分布した配置3である。実験3Aおよび3Bのヤードスティック値(有意水準5%)は、それぞれ0.593, 0.477でありスピーカ配置1と3の間で有意差が認められる。また実験3Aの残響時間3秒の条件では配置3と4の間で有意差が認められる。LEVの変化傾向は残響時間やC80の値に関わらず同様であり、結果を総合的

図14 実験3Aの心理尺度値

図15 実験3Bの心理尺度値

図16 実験3AにおけるLGおよびSBTsの変化

図17 実験3BにおけるLGおよびSBTsの変化

に見て、LEVは配置1で最大、配置3で最小、配置2と4ではその中間的な値となるものと考えてよいと思われる。

スピーカ配置2は配置3よりもLEVが大きく、残響音の到来方向は前方から到来する方が後方よりもLEVに対する効果の大きいことを示している。これは後方から到来する残響音のエネルギーがLEVに大きく寄与するという森本ら^{7),10)}および古屋ら³⁾の知見とは異なった結果となっている。

本実験のスピーカ配置1,2,3の結果から、単独の残響音到来方向としては90°, 45°, 135°の順にLEVに対する効果の大きいことがわかる。この結果は、単独の残響音到来方向のLEVへの寄与は前後対象であるとするBradley²⁾や羽入ら⁶⁾の知見とは異なっている。一方、単独ではLEVに対する効果の小さい135°方向にも残響エネルギーを分散させた配置4は、それを含まない配置2よりもLEVの心理尺度値が明確な有意差はないものの4条件の全てで若干高くなっており、残響の前後のエネルギー分布がLEVに寄与することを示唆している。この結果は、LEVは個々の反射音の効果の単なる和ではなく、空間バランスが影響するという羽入らの知見⁶⁾とも一致するものである。

実験3におけるLGおよびSBTsの計算値を図16および図17に示す。まずLGはスピーカ配置1で最大値をとり、スピーカ配置4で

最小値をとる。しかしその変化はごく小さい。また配置2と3の間に差は見られない。さらにC80の値が小さくなるとLGは大きくなるが、残響時間が変化してもLGは変化しない。SBTsは配置1~4の間で値の変化はほとんどない。両者ともLEVの実験結果とは大きく異なった振舞い方をしている。以上より残響音の前後のエネルギー分布のLEVへの寄与に関してはLG、SBTsともに評価できないといえる。

6. LEVに対応する物理指標の検討

本章では上述の実験で得られた知見をもとにLEVに対応する物理指標について検討を行う。

6.1 LEV評価指標の必要条件

本実験で得られた知見より、LEV評価指標が満たすべき条件は以下の通りである。

- 残響音の到来方向に関しては、±90°付近でLEVに対する寄与は最大となる。(実験1A、1B)
- 残響時間が長くなるとLEVは大きくなる。(実験1A、1C)
- 残響部分のエネルギーが大きくなるとLEVは大きくなる。(実験1B、1C)
- 残響音の左右のエネルギーバランスが悪くなるとLEVは小さくなる。(実験2)
- 残響音の前後のエネルギーバランスが悪くなるとLEVは小さくなる。(実験3A、3B)
- 前方からの残響音のほうが後方からの残響音よりもLEVに対する寄与は大きい。(実験3A、3B)

既存の物理指標が本実験で得られた知見とどれだけ一致するかを検討すると、LGは知見b、d、e、fと矛盾する。またSBTsは知見e、fと矛盾する。よって今回の実験結果と矛盾なく対応するLEV評価指標について検討をおこなう。なお鉛直方向についても検討する必要があるが、今回はまず水平面のみを対象とする。

6.2 LEV評価指標

まず反射音の時間構造にかかわる知見b、cを考える。SBTsはこの部分については、ほぼ定量化できているといえる。そこで、本指標でもSBTsにならい時間重心Tsの考え方を取り入れる。但し、積分範囲は80ms以降としており、残響部分のみを対象としている。i方向から到来する残響音を次式により評価する。

$$LTs_i = \frac{\int_{80}^{\infty} t \cdot p_i^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (1)$$

ここで $p(t)$: 無指向性インパルス応答、 $p_i(t)$: i方向より到来する反射音。

つぎに残響音の到来方向に関する重み付けについて考える。知見aとfを併せて考慮すると、90°よりも若干前方寄りの方向でLEVに対する効果が最大となっていることが推測される。そこで、羽入ら⁶⁾の方法を参考に次式により f_i を定量化した。同式では±75°が重み付けのピークとなる点が羽入らの方法と異なっている。

$$f_i = LTs_i \cdot \frac{(1 + |\sin \theta'_i|)}{2} \quad (2)$$

但し $|\theta_i| \leq \frac{5}{12}\pi$ の場合

$$\theta'_i = \frac{6}{5}\theta_i \quad (3)$$

$|\theta_i| > \frac{5}{12}\pi$ の場合

$$\theta'_i = \frac{(6\theta_i + \pi)}{7} \quad (4)$$

ここで θ_i : 残響音の到来方向 (正面からの角度) である。

つぎに知見 d, e より残響音の前後および左右のエネルギー分布を定量化する。受聴者を中心とする単位距離の円を考え、その円周上の対応する方向に (2) 式により求めた残響音評価量 f_i を分布させる。この f_i の重心を求め、この重心位置により、残響音のエネルギーの空間的分布を評価できるものと考えた。重心位置は、左右方向 (S_x) と前後方向 (S_y) に関して次式により求まる。

左右方向

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot \sin \theta_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (5)$$

前後方向

$$S_y = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot \cos \theta_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (6)$$

全ての残響音による LEV は、各方向の残響音の寄与の総和 $\sum f_i$ と上式により求めた空間重心を考慮したファクタとの積で評価できるものと考えた。実験結果と最も高い相関を示すように重心位置に対する係数を検討し、最終的には重心に関するファクタとして、次式を得た。

$$k = (1 - 0.3|S_x| - 0.2|S_y|) \quad (7)$$

LEV に対する指標を SDR (Spatial Distribution of Reverberation) と呼ぶこととし、これを次式で定義する。

$$SDR = k \cdot \sum_{i=1}^n f_i \quad (8)$$

6.3 各実験の心理的距離尺度値と SDR の対応

本実験の各音場条件における SDR の計算値を LEV の心理尺度値との相関図とともにそれぞれ図 18 から図 23 に示す。これらを見ると SDR の変化傾向と LEV の心理尺度値の変化傾向が良く対応していることがわかる。特に LG や SBTs などの従来の物理指標では評価できなかった実験 3A、3B における残響音の前後のエネルギー分布の変化傾向に対しても SDR の変化傾向はよく対応している。

各物理指標と LEV の心理尺度値の相関係数を表 4 に示す。同表よ

図 18 実験 1A における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

図 19 実験 1B における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

図 20 実験 1C における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

図 21 実験 2 における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

図 22 実験 3A における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

図 23 実験 3B における SDR の変化および心理尺度値との相関関係

表 4 各物理指標と LEV 心理尺度値との相関係数

experiment	physical measures for LEV		
	LG	SBTs	SDR
1A	0.751	0.956	0.980
1B	0.940	0.969	0.987
1C	0.941	0.996	0.997
2	0.753	0.993	0.975
3A	0.534	0.756	0.977
3B	0.909	0.973	0.994

り実験 2 においては SBTs よりも若干、相関係数の値は小さいが、それ以外の実験ではすべてにおいて SDR の値が LG および SBTs の値を上回っている。特に、前後の残響音のエネルギー分布に関しては、SBTs は評価できないが、SDR は LEV の心理尺度値と非常に高い相関を示している。

SDR は本実験の全ての結果とよく対応するものであるが、実験 3 における LEV の変化傾向は従来の知見とは異なっていることは述べておく必要があると思われる。すなわち「前方から到来する残響が後方よりも LEV に対する効果が大い」という本実験の結果は従来の知見とは異なっており、これが確かなものであることを主張するにはさらに実験を重ねることが必要であろう。また、SDR の適用範囲についても検討が必要と思われる。例えば、残響音の空間的バランスを評価するファクタ k ((7) 式) は 0.5 よりも小さくなることはないため、残響音の空間的な偏りが非常に大きい場合には LEV と SDR 値との対応が悪くなることが予想される。さらに、今回は 80ms 以降の残響部分の変化に主眼を置いて実験をおこなったが、初期反射音が LEV に影響を及ぼすという報告もあり^{11), 12), 13)}、LEV に関する包括的な指標とするためには、初期反射音部分に関する検討も必要と思われる。

7. まとめ

残響音の到来方向、残響時間、C80、残響音の前後および左右のエネルギー分布が音に包まれた感じに与える影響を 6 種類の実験を行うことによって調べ、以下の結果を得た。

- 1) 残響音の到来方向に関しては、 $\pm 90^\circ$ 付近で LEV に対する寄与は最大となる。
- 2) 残響時間が長くなると LEV は大きくなる。
- 3) 残響部分のエネルギーが大きくなると LEV は大きくなる。
- 4) 残響音の左右のエネルギーバランスが悪くなると LEV は小さくなる。

5) 残響音の前後のエネルギーバランスが悪くなると LEV は小さくなる。

6) 前方からの残響音のほうが後方からの残響音よりも LEV に対する寄与は大きい。

これらの結果のうち、1) ~ 5) は概ね既往の研究と一致するものであるが、6) は異なっている。

これらの知見をもとに方向別の Ts を用いて、空間重心で重み付けを行うことにより LEV と対応する物理指標 SDR (Spatial Distribution of Reverberation) を提案した。SDR は今回行った LEV に関する実験結果の全てと高い相関を示すことが確認された。

【文献】

- 1) 森本政之、藤森久嘉、前川純一 “みかけの音源の幅と音に包まれた感じの差異” 日本音響学会誌 46 巻 6 号 pp.449-457, 1990.6
- 2) J. S. Bradley and G. A. Soulodre, “The influence of late arriving energy on spatial impression” J. Acoust. Soc. Am. 97 pp.2263-2271, 1995
- 3) H. Furuya, K. Fujimoto, Y. J. Choi and N. Higa, “Arrival direction of late sound and listener envelopment”, Applied Acoustics 62 pp.125-136, 2001
- 4) 神谷宗宏、河本真由美、森本政之、中川浩一 “残響音の各種パラメータが音に包まれた感じに及ぼす影響” 建築音響研究会資料 資料番号 AA2001-4, 2001
- 5) J. S. Bradley and G. A. Soulodre, “Objective measures of listener envelopment” J. Acoust. Soc. Am. 98 pp.2590-2597, 1995
- 6) 羽入敏樹、木村翔、千葉俊 “反射音の空間バランスに着目した音に包まれた感じの定量化方法” 日本建築学会計画系論文集 第 520 号, pp.9-16, 1999
- 7) M. Morimoto, K. Iida, K. Sakagami, “The role of reflection from behind the listener in spatial impression” Applied Acoustics 62 pp.109-124, 2001
- 8) 難波精一郎、桑野園子 “音の評価のための心理的測定法” コロナ社, 1998
- 9) 星和磨、伊藤豊成、木村翔、羽入敏樹 “反射音のレベルバランスが音に包まれた感じに及ぼす影響” 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.39-40, 1999
- 10) 森本政之 “音場の前後エネルギー比が音に包まれた感じにおよぼす影響” 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 35 号・計画系, pp.29-32, 1991.6
- 11) Furuya, H., Fujimoto, K., Takeshima, Y. & Nakamura, H., “Effect of early reflections from upside on auditory envelopment.” J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 16, pp.97-104, 1995
- 12) Morimoto, M., Iida K., & Sakagami K., “The role of reflections from behind the listener in spatial impression.” Applied Acoustics 62. pp.109-124, 2001
- 13) 羽入敏樹、星和磨、関口克明、 “初期反射音が音に包まれた感じに及ぼす影響、” 日本音響学会 2002 年秋期研究発表会講演論文集 II, pp.901-902, 2002.9

(2005 年 3 月 15 日原稿受理, 2005 年 9 月 26 日採用決定)