

後期反射音の到来方向による重みづけと LEV 評価指標 L_J の再検討の必要性

Reconsideration of directional weighting for late arriving reflected sounds and an evaluation index L_J for LEV

○河合茜音¹, 羽入敏樹², 星和磨², 鈴木諒一²

*Akane Kawai¹, Toshiki Hanyu², Kazuma Hoshi², Ryoichi Suzuki²

1. はじめに

コンサートホールの設計においては、音場の物理量と受聴者の心理量との関係を明確にすることが必要であり、音像の空間的な広がりが重要な心理量の一つとされている。このような空間印象は、少なくとも ASW と LEV の 2 つの要素感覚に分けられるとされている [1].

ASW の評価指標は、Barron の心理実験に基づき [2], 初期反射音の到来方向と両耳軸のなす角度 θ として $\cos\theta$ で重み付けした J_{LFC} と、両指向性マイクロホンで測定することの要請から $\cos^2\theta$ で重み付けした J_{LF} がある [3]. J_{LF} では $\cos^2\theta$ の重みづけとなるため、ASW が $\cos\theta$ に対応するとした Barron の聴感実験の結果と異なる。また、LEV の評価指標として、 L_J が式(1)のように定義されている [3].

$$L_J = 10 \log_{10} \frac{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) \cos^2 \theta dt}{\int_{0ms}^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} \dots(1)$$

既報[4,5]において、ASW と LEV の評価には $\cos\theta$ と $\cos^2\theta$ のどちらが適切か確認するために聴感実験を実施した。その結果、ASW と LEV の評価には $\cos\theta$ が適切であることが示唆された。その結果から ASW の評価指標として J_{LFC} の方が適切であることが再確認された。しかし、LEV については、 $\cos^2\theta$ の重みづけである L_J のみが定義されているため、 $\cos\theta$ の重みづけに対応する評価指標が定義されていないのが現状である。

そこで本報では、LEV と L_J をさらに 詳細に比較することで、LEV を適切に評価する指標について検討する。

2. 聴感実験概要

聴感実験は無響室で実施し、Table 1 に示す 2 種の楽音と 2 種の残響時間を組み合わせた F ~ H の 3 実験を計画した。Fig. 1 に示す被験者を中心とした半径 1.9m の同心円状に配置したスピーカで音場を再生した。音場は、既往研究[6]に従い、 $V = 15,818 \text{ m}^3$, $S = 8,156 \text{ m}^2$ と設定して作成したインパルス応答を用いた。正面のスピーカからは直接音を、到来角 $\alpha = 5^\circ$ の左右のスピーカからは 80ms までの初期反射音を左右 2 つに分け、

再生した。80ms 以降の後期反射音は同じく左右 2 つに分け、提示角度 α を 5° と $15^\circ \sim 90^\circ$ まで 15° ごとに変化させた 7 パターンとした。被験者は、「シェッフエの対比較法(浦の変法)」[7]に基づき刺激対を 7 段階 (-3 ~ +3) で評価した。被験者には LEV の大小が異なる音場を事前に聞かせ、違いを十分に理解できたことを確認してから実験に臨ませた。被験者は 19 名で、F ~ H のうち 3 実験全て、もしくは 2 実験を実施した。したがって、被験者は実験ごとに異なるが、一部重なっており、各実験における被験者数は 14 名で同じである。被験者は 42 の刺激対を 1 回ずつ評価した。

Table 1 Conditions for experiments of LEV

	Dry source	RT	C_{80}	Angle of early ref.	Angle of late ref.
F	Divertimento K.138	2.3 s	3 dB	5°	$5^\circ - 90^\circ$
G	La traviata	2.3 s	3 dB	5°	$5^\circ - 90^\circ$
H	Divertimento K.138	1.5 s	4 dB	5°	$5^\circ - 90^\circ$

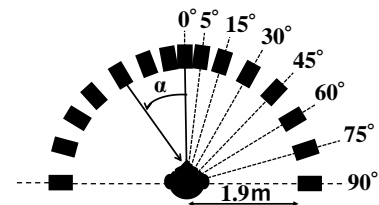


Fig.1 Arrangement of loudspeakers

3. 心理尺度値と重みづけとの関係

実験 F~H における心理尺度値と最小二乗法によりフィッティングした $\cos\theta$, $\cos^2\theta$ と $\log(\cos\theta)$ の推定値を Fig. 2~4 に示す。Fig. 2~4 から、聴感実験で得られた LEV の心理尺度値はどの条件においても $\cos\theta$ に最も近似している。同様に、心理尺度値と $\log(\cos\theta)$ との対応は、特に 30° で値の乖離が見られ、推定値が心理尺度値の誤差範囲内にほとんど入っていない。また、 60° より大きい角度での心理尺度値はスピーカの開き角度が大きくなるに従い変化しているが、 $\log(\cos\theta)$ はほとんど変化を示さない。

ここで、実験 F における心理尺度値と各推測値の $5^\circ \sim 45^\circ$ の変化量と $45^\circ \sim 90^\circ$ の変化量を Fig. 5 に示す。

1 : 日大理工・院 (前)・建築、2 : 日大短大・教員・建築

Fig. 5を見ると、心理尺度値の変化量はどちらも45°~90°よりも5°~45°の変化量の方が大きい。同様にcosθは、45°~90°よりも5°~45°の方が大きい。一方、cos²θは、5°~45°と45°~90°の変化量がほぼ同じである。log(cosθ)は心理尺度値の変化量と同じ傾向を示すが、5°~45°の変化量が極端に大きく、45°~90°の変化量は非常に小さい。cosθの変化量が最も心理尺度値の変化量と近い傾向を示すことから、LEVは、cosθと良い対応を示すといえる。

実験Fの心理尺度値とL_Jとの対応をFig. 6に示す。

Fig. 6から、相関係数は0.963と高いが、LEVとL_Jとの関係は直線的とはいえず、下に凸の曲線となっている。心理尺度値との相関係数は0.997とcosθが最も高くなった。

4. L_Jとの対応

L_J式(1)を反射音エネルギーの重みづけを分離するように変形すると式(2)のようになる。

$$L_J = 20 \log_{10} \cos \theta + 10 \log_{10} \left[\frac{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) dt}{\int_{0ms}^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} \right] \dots(2)$$

また、式(1)の重みづけをcosθとして同様に変形すると式(3)のようになる。

$$L_J = 10 \log_{10} \frac{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) \cos \theta dt}{\int_{0ms}^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} = 10 \log_{10} \cos \theta + 10 \log_{10} \left[\frac{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) dt}{\int_{0ms}^{\infty} p_{10m}^2(t) dt} \right] \dots(3)$$

式(2)と式(3)の違いは係数が異なるだけでどちらもL_Jと心理尺度値との関係は変わらない。

また、対数化されたlog(cosθ)で評価する場合、反射音の到来角0°のときlog(cosθ)は-∞となり評価指標として適切ではない。

log(cosθ)よりもcosθとの対応が良いことから、LEVの評価において対数化されたlog(cosθ)の重みづけでなく、対数化されていないcosθの重みづけである新たな評価指標を定義する必要があると考える。

しかし、L_Jは後期反射音のエネルギーの時間分布(RT)、C₈₀と到来角の両方がLEVに影響を与えるという結果から、式全体が対数化されている [8]。cosθの重みづけで評価するためには反射音到来方向の重みづけを対数の中入れずに検討する必要がある。

5. まとめ

LEVの評価指標であるL_Jについて心理尺度値と比較した結果、cosθの重みづけである新たな評価指標を定義する必要があると考える。

また、羽入らによってASWの評価指標であるJ_{LF}

とJ_{LF}がインテンシティと粒子速度を用いて再定義されている[9]。従来、cosθの重み付けによる測定は両指向性マイクを使用する都合上困難であったが、この定義によればインテンシティプローブにより測定できる。今後は、これと同様にLEVの評価指標についても検討していくつもりである。

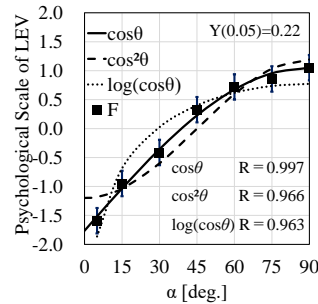


Fig.2 Psychological scores of LEV in Exp F and estimated curves of cosθ,cos²θand log(cosθ).

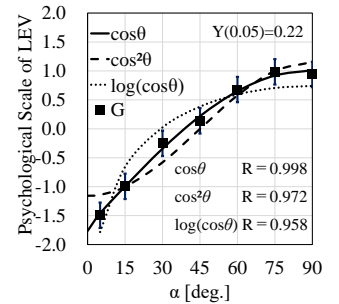


Fig.3 Psychological scores of LEV in Exp G and estimated curves of cosθ,cos²θand log(cosθ).

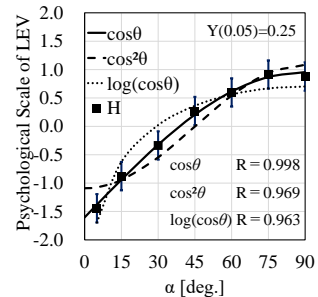


Fig.4 Psychological scores of LEV in Exp H and estimated curves of cosθ,cos²θand log(cosθ).

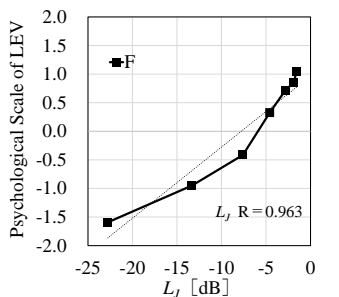


Fig.6 Psychological scores of LEV in Exp F and L_J

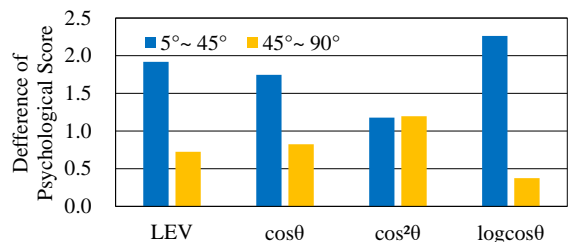


Fig.5 Difference of psychological score in Exp F.

参考文献

[1] 森本他, 音響学会誌, 46, 449-457(1990).
 [2] M. Barron et al, J. Sound and Vib., 77(2), 211-232, (1981).
 [3] ISO3382-1:2009
 [4]河合他, 音講演 (秋), 2-Q-13 (2022).
 [5]河合他, 建築学会, 40128 (2022).
 [6]羽入, 音講論(秋), 3-5-17, 2021.
 [7]佐藤, 統計的官能検査法, 日科技連, 1985.
 [8] J.S. Bradley et al, J. Acoust. Soc. Am, 97 (4), 2263-2271 (1995)
 [9]羽入他, 音講論(秋), 3-12-13, 2022.