

D1-16

Barron の修正理論を用いた室内音圧レベル分布の検討
その 2 理論値と実測値の比較A Study on Distribution of Sound Pressure Level in a Room Based on Barron's Revised Theory
Part-2 Comparison between Theoretical Values and Measured Values○鈴木 諒¹, 高山 菜穂美¹, 谷澤 聡¹, 星和磨², 羽入 敏樹²

*Ryoichi Suzuki, Naomi Takayama, Satoshi Yazawa, Kazuma Hoshi, Toshiki Hanyu

1. はじめに

従来の理論は完全拡散音場を仮定して構築されており、残響音は音源位置に関係なく室内の全空間で全く同じレベルを示す。しかし、実音場では直接音が到達するよりも前に反射音が部屋を満たすことはありえない。Barron の修正理論[1]は、音源からの距離によって直接音だけでなく残響音レベルも距離減衰するよう修正された。そこで我々は、従来の理論と Barron の修正理論との整合性を確認することを目的として、実験を行った。

Barron の修正理論はホール等の大空間を対象としているので、教室等の小空間にも適用し得るか否か、別報[2]と同様の室において、室内音圧分布の理論値と実測値を比較・検討したので報告する。

2. 理論

2.1 拡散音場を仮定した音圧レベルの理論 (従来理論)

拡散音場を仮定した場合、音源から距離 r 離れた点の音圧レベルは式(1)で表せる。

$$SPL = PWL + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (1)$$

ただし、 PWL は音源のパワーレベル[dB]、 Q は指向係数、 $R = Sa/(1-\alpha)$ は室定数である。また、 S は室の総表面積、 α は平均吸音率である。今回は各周波数帯域において音源から 1m 離れた点での音圧レベルが 0[dB] となるように $PWL=11$ [dB] とした。右辺の $Q/4\pi r^2$ は直接音エネルギー、 $4/R$ は残響音エネルギーであり、音源からの距離 r に依存しない。

2.2 Barron の修正理論

Barron は各受音点において直接音到達時からの積分エネルギーが、その点に寄与する残響音エネルギーであると考えた。そのため音源からの距離が離れるほど直接音到達が遅れ、寄与する残響音エネルギーも減衰する。Barron の修正理論による残響音エネルギーの音圧レベルは(2)式で表される。

$$SPL_{rev}(r) = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \cdot \frac{c}{V} \int_{r/c}^{\infty} e^{-\frac{13.82}{T}t} dt \right) \\ = PWL + 10 \log_{10} \left(\frac{Tc}{13.82V} e^{-\frac{13.82r}{Tc}} \right) \quad (2)$$

ただし、 W は音源の音響出力[watt]、 $W_0=10^{-12}$ [watt]で基準音響出力、 c は音速[m/s]、 V は室容積[m³]、 T は残響時間[s]である。(2)式に直接音エネルギーを加えた音圧レベルが(3)式である。

$$SPL(r) = PWL + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{Tc}{13.82V} e^{-\frac{13.82r}{Tc}} \right) \quad (3)$$

また Barron の修正理論では反射音を、直接音到達から 50ms 後を区切りに初期反射音と後期反射音に分離することが出来る。初期反射音の音圧レベルを(4)式、後期反射音の音圧レベルを(5)式に示す。

$$SPL_e(r) = PWL + 10 \log_{10} \left\{ \frac{Tc}{13.82V} e^{-\frac{13.82r}{Tc}} \left(1 - e^{-\frac{0.691}{T}} \right) \right\} \quad (4)$$

$$SPL_l(r) = PWL + 10 \log_{10} \left(\frac{Tc}{13.82V} e^{-\frac{13.82r}{Tc}} e^{-\frac{0.691}{T}} \right) \quad (5)$$

3. スピーカの指向特性

3.1 目的

音源から 1m 離れた点の音圧レベルと、スピーカが無指向性とみなせる周波数帯域を調べる。

3.2 実験方法

無響室に 12 面体スピーカとマイクとを 1m 離して設置し、水平面内の指向性を 360° 測定するため 10° ずつスピーカを回転させながら 36 回測定を行った。

3.3 音圧レベルの算出方法

測定した 36 本のインパルス応答を、波形が急に立ち上がった位置を直接音到達時間とみなし、波形終了位置まで直接音波形として切り出した。その波形に対し、オクターブバンドフィルタを用い、125Hz~4kHz の各オクターブ帯域波形を求めた。それを二乗積分し、オクターブ帯域ごとの直接音レベルを求めた。その 36 方向分の結果のエネルギーを平均し、音圧レベルを求めた。

3.4 結果

結果を表 1、図 1 に示す。

表 1 スピーカから 1m 点での音圧レベル

Frequency [Hz]	125	25	500	1k	2k	4k
SPL (1m) [dB]	53	59	59	59	60	60

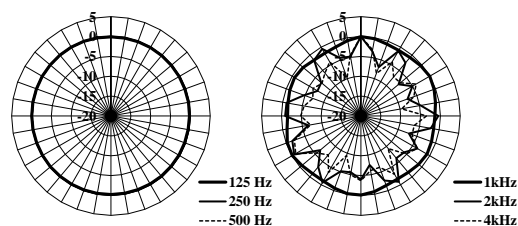


図 1 から、レーダーチャートが円に近い 125Hz~1kHz において、スピーカがほぼ無指向性であるとみなせる。

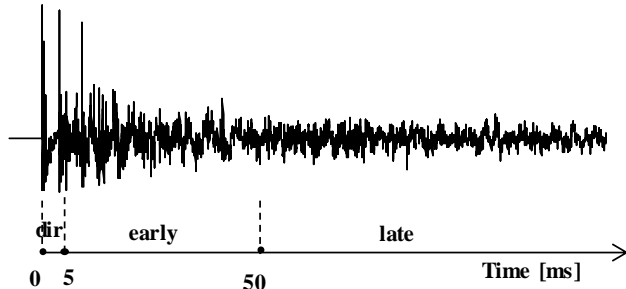
4. 理論検証実験

4.1 目的

測定結果を Barron の理論式と比較することにより、Barron の理論式が様々な空間、特に小さい空間に適用できるかを確かめる。

4.2 解析方法

測定したインパルス応答を、波形が急に立ち上がった位置を直接音到達時間(0ms)とみなし、0ms から 5ms を直接音(dir), 5ms から 50ms を初期反射音(early), 50ms 以降を後期反射音(late)として波形を分離し、それらを 125Hz~4kHz の各オクターブ帯域にフィルタリングした。



それらを前報で定義した t_0 まで二乗積分することにより、直接音、初期反射音、後期反射音の音圧レベルを求め、Barron の理論式と比較した。

4.3 結果及び考察

解析結果を図 3 に示す。各教室の dir を比較すると、理論値と測定値がほぼ同じ傾きを示している。しかし、922A 室においては、測定値が理論値より大きくなる点が見られる。これは、直接音を切り出す幅を 5ms と定義したため、反射音と

直接音が分離できず、反射音の成分が直接音に含まれてしまったため考えられる。

各教室の残響音 (early, late) を全般的に見ると、Barron の修正理論とほぼ対応しているのがわかる。しかし、623 教室の early の結果を詳細にみると、スピーカと距離に近い点で理論値よりレベルが大きくなっている。これは、音が発せられてからの経過時間が短く、十分拡散に至っていないため特定の反射音の影響が強く、理論値と異なると考えられる。一方、1322 室や 922A 室のような比較的小さい空間では初期から多次回反射が起こるため拡散音場になりやすく、理論値との誤差が少ないものと思われる。

各教室の all において従来理論と修正理論を比較すると、距離が 10m 以上において従来理論はほぼ一定レベルになるのに対し、修正理論は減衰しているのがわかる。10m 以上遠の受音点のある 623 教室では、修正理論と同様に減衰している。一方、距離が 10m に達しないような比較的小さい空間である 1322 室、922A 室においては減衰が見られない。

以上を踏まえると、大きい空間では修正理論を検討すべきであるが、小さい空間では従来理論で十分検討可能である。

5. まとめ

Barron の修正理論は、音楽ホールのような大空間ではなくても、実測値とよく対応することが分かった。しかし、小空間では残響音の距離減衰が生じず従来理論との違いは小さい。

6. 参考文献

- [1] M.Barron and L.J.Lee, "Energy relations in concert auditoriums. I", J.Acoust.Soc.Am, Vol.2, No.84, pp618-628, 1988
- [2] 久保貴子ほか: Barron の修正理論を用いた室内音圧レベル分布の検討 その 1 残響時間と平均吸音率の測定

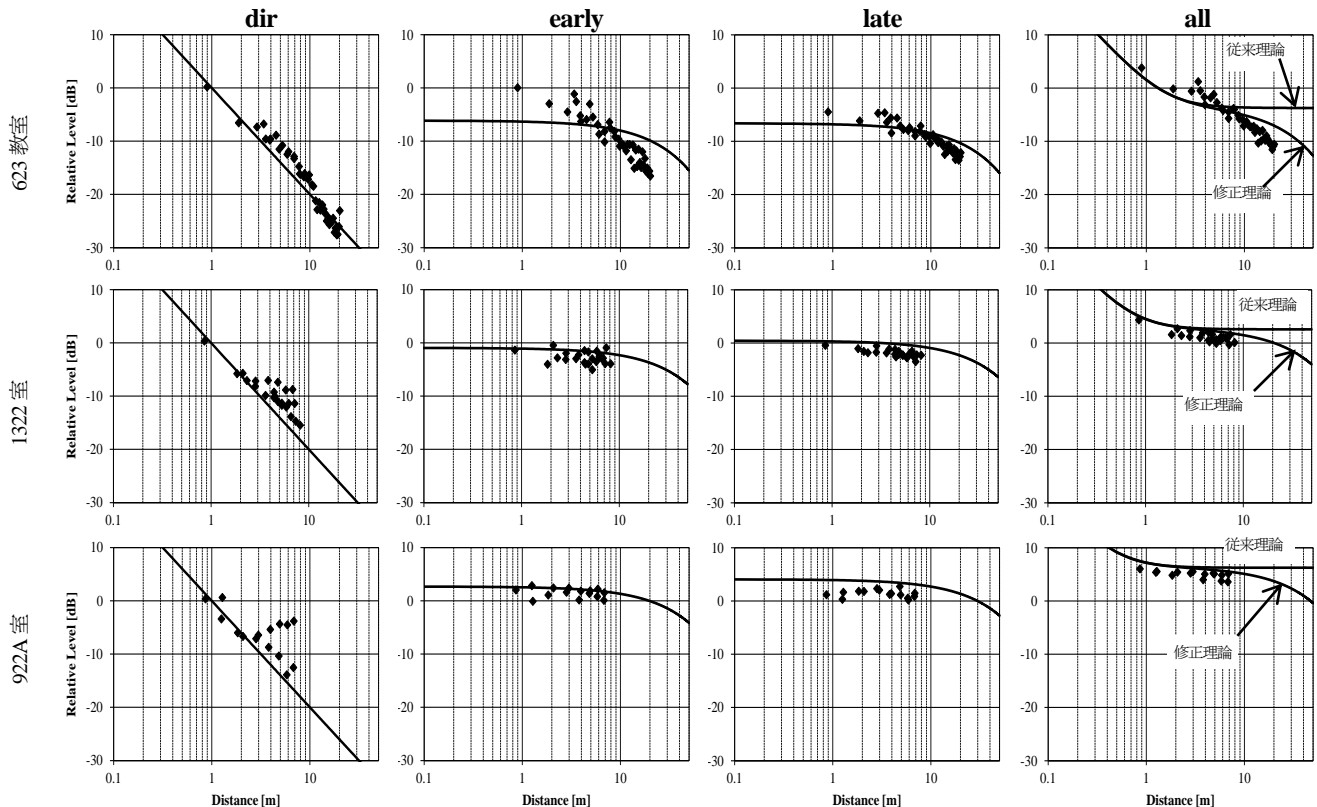


図 3 500Hz 帯域での音圧レベル比較