

D-7

遅れ時間の大きい反射音のエコー検知限とエコーディスタージャンプに関する実験的検討

Experimental study of Echo Detection Threshold and Echo Disturbance in long-delayed reflections

○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

コンサートホールにおける空間印象は、少なくとも見かけの音源の幅 ASW と、音に包まれた感じ LEV の2つの要素感覚に分けられる¹⁾とされる。ASW は直接音到達後 80 ms までの初期側方反射音が²⁾, LEV は 80 ms 以降の後期側方反射音が寄与する³⁾とされている。

現代の多くのコンサートホールでは、側壁を反射面とし、客席に側方反射音を供給するように設計されている。一方、後壁から遅れ時間の大きい反射音が到来し、ロングパスエコーが発生することを避けるため、後壁は吸音面として設計されることが多い。しかし、音響効果が特に優れているとされるウィーン楽友協会大ホールの後壁は吸音面でないことから、遅れ時間の大きい反射音が客席に到来していると考えられる。そのため遅れ時間の大きい反射音が現代のコンサートホールにはない何らかの音響効果を生じさせているのではないかと考えた。

反射音の遅れ時間と主観印象の関係について、Barron⁴⁾は、直接音と単一の反射音による音場を用いて反射音レベルと遅れ時間を変化させて聴感実験を実施している。その結果、反射音の遅れ時間が 10 ms ~ 100 ms の音場においてエコー検知限とエコーディスタージャンプを求め、その間に拡がり感の得られる領域があることを示している。しかし、100 ms 以上の遅れ時間の反射音については検討されていない。

本報では、Barron の実験では検討されていない 100ms より遅れ時間の大きい反射音を付加した音場において聴感実験を実施し、エコー検知限及びエコーディスタージャンプを感じる反射音レベルについて検討した。さらに、単一の反射音だけでなく、左右2対の初期反射音と遅れ時間の大きい反射音を付加した音場において同様の聴感実験を実施し、エコー検知限及びエコーディスタージャンプを感じる反射音レベルに加え、その間に好ましく感じるレベルがあるか検討した。

2. エコー検知限とエコーディスタージャンプに関する聴感実験 (実験 1)

Barron の実験と同様に、直接音と単一の反射音による音場において反射音のレベルと遅れ時間を変化させ、

エコー検知限及びエコーディスタージャンプを求めた。

2. 1 実験方法

実験は余計な反射音を極力減らすため壁面に吸音材を設置した室内に、図 1 に示すようにスピーカーを配置して実施した。図 2 に音場の反射音構造を示す。スピーカー C から直接音としてドライソースを提示する。スピーカー FL から反射音として ΔT だけ遅らせたドライソースを提示した。 ΔT は表 1 に示す 11 条件である。

はじめに、付加した反射音の提示レベルを直接音と同じレベルから 1 dB ずつ減少させ、エコーを検知できなくなった時点のレベルをエコー検知限とした。次に、各々のエコー検知限から反射音を直接音と同じレベルになるまで 1 dB ずつ増加させ、楽音が二重に聞こえた時点のレベルをエコーディスタージャンプとした。

用いたドライソースはモーツァルト作曲「弦楽四重奏第四番ト長調(k387)第一楽章」の冒頭約 20 秒である。被験者は実験者である学生 5 名で、それぞれ 1 回のみ評価させた。

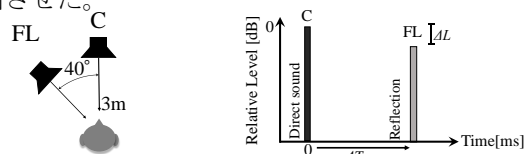


図 1 スピーカー配置 図 2 音場の反射音構造
表 1 反射音の遅れ時間 ΔT [ms]

Condition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ΔT [ms]	10	20	30	40	60	80	100	200	300	400	500

2. 2 実験結果と考察

図 3 にエコー検知限、エコーディスタージャンプを感じた時点の直接音と反射音のレベル差 ΔL を示す。結果は、得られた 5 名の回答の平均値で、エラーバーは標準偏差を示す。なお、エコー検知限について、 $\Delta T=10\text{ms}$ で 3 名、 $\Delta T=20\text{ms}$ で 2 名、 $\Delta T=30\text{ms}$ で 1 名の被験者が反射音レベルを直接音と同じレベルとした条件でエコーを検知しなかったため、判定不能とした。エコーディスタージャンプについて、 $\Delta T=60\text{ms}$ で 3 名、 $\Delta T=80\text{ms}$ で 1 名の被験者が反射音レベルを直接音と同じレベルとしても、エコーディスタージャンプと回答しなかった。そのため、 $\Delta T=10\text{ms}$, $\Delta T=20\text{ms}$, $\Delta T=30\text{ms}$, $\Delta T=60\text{ms}$, $\Delta T=80\text{ms}$ の条件の平均値と標準偏差は、判定不能となったデータとエコーディスタージャンプ

1 : 日大理工・院 (前)・建築、2 : 日大短大・教員・建築

バンスと回答しなかったデータを除き求めた。

図3を見ると、エコー検知限については、全員もしくは一部の被験者が全ての条件でエコーを検知した。また、 $\Delta T \geq 60\text{ms}$ の条件で全員もしくは一部の被験者がエコーディスタージャンプを感じている。これらは、Barronの結果と概ね同様の傾向を示している。また、エコー検知限とエコーディスタージャンプとの間にレベル差が見られる。

Barronの実験で検討されていない100msより大きい遅れ時間についても、100ms以前の遅れ時間と同様にエコー検知限とエコーディスタージャンプが存在し、エコー検知限とエコーディスタージャンプの間にレベル差が見られることが分かった。

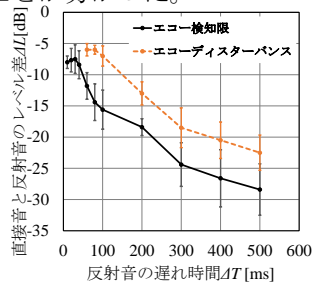


図3 実験結果

3. エコー検知限とエコーディスタージャンプ、好ましさを感じる反射音のレベルに関する聴感実験(実験2)

左右2対の初期反射音と遅れ時間の大きい反射音を付加した音場で聴感実験を実施し、エコー検知限及びエコーディスタージャンプを感じる反射音レベルに加え、好ましく感じる反射音レベルを求めた。

3.1 実験方法

実験1と同様の室において図4に示すようにスピーカーを配置して聴感実験を実施した。図5に音場の反射音構造を示す。直接音としてスピーカーCからドライソースを提示する。初期反射音として直接音から10ms遅らせたドライソースをスピーカーFRから提示する。同様に20ms遅らせたドライソースをスピーカーFLから提示する。2つの初期反射音のレベルは直接音から-3dBになるように設定した。さらに、 ΔT , $\Delta T+10\text{ms}$ 遅らせたドライソースをFL, FRからレベルを変化させ提示する。 ΔT は実験1と同様に表1に示す11条件とした。受聴点の音圧レベル(時定数slowピーク値, A特性)は直接音のみを提示した場合に58.6dB, 直接音と初期反射音のみを提示した場合に63.1dBであった。

この音場を用いて実験1と同様にエコー検知限とエコーディスタージャンプのレベルを11条件で回答させ、その後各々のエコー検知限から反射音のレベルを1dBずつ増加させ、好ましく感じた時点のレベルを回答させた。ドライソースと被験者は実験1と同様の学生5

名で、それぞれ1回のみ評価させた。

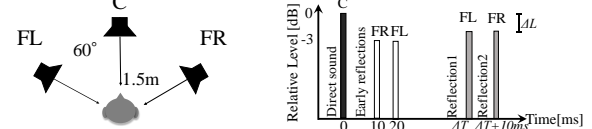


図4 スピーカー配置 図5 音場の反射音構造

3.2 実験結果と考察

図6にエコー検知限、エコーディスタージャンプ、好ましく感じた時点の直接音と反射音のレベル差 ΔL を示す。結果は、得られた5名の回答の平均値で、エラーバーは標準偏差を示す。なお、エコー検知限について、 $\Delta T \leq 30\text{ms}$ で全ての被験者が反射音レベルを直接音と同じレベルとした条件でエコーを検知しなかったため、判定不能とした。エコーディスタージャンプについて、 $\Delta T \leq 100\text{ms}$ の条件で反射音レベルを直接音と同じレベルとしても、被験者全員がエコーディスタージャンプと回答しなかった。

図6を見ると、 $\Delta T \leq 40\text{ms}$ の条件で被験者全員がエコーを検知した。また、 $\Delta T \geq 200\text{ms}$ の条件でエコーディスタージャンプが存在し、エコー検知限とエコーディスタージャンプとの間にレベル差があることが分かる。また、エコー検知限とエコーディスタージャンプの間に好ましさを感じる事が分かる。

以上より、初期反射音に200ms以上の遅れ時間の反射音を適切なレベルで付加することで、エコーディスタージャンプを避けながら好ましさを感じさせる可能性が示された。

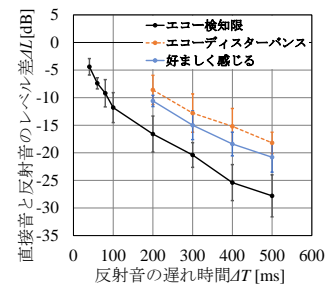


図6 実験結果

4. まとめ

遅れ時間の大きい反射音を付加することで、エコーディスタージャンプを避けながらコンサートホールの聴衆に好ましさを感じさせる可能性を示した。このことから、コンサートホールの後壁を反射面とし、遅れ時間の大きい反射音を客席に供給することで何らかの音響効果をもたらす可能性がある。

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] J.S. Bradley, J. Acoust. Soc. Am., 97, 2263 (1995)
- [4] M. Barron, J. Sound and Vib., 15, 475-494 (1971)