

ステージ音響に関する研究

—シミュレーション音場におけるバイオリニストによる評価実験—

Stage Acoustics

—The Subjective Experiment on a Violin Player on the Effect of Hall Response in a Simulated Sound Field—

橋 秀 樹*・上 野 佳奈子*

Hideki TACHIBANA and Kanako UENO

1. は じ め に

コンサートホールなどを対象とした室内音響の分野では、聴衆に対する音響条件と同時にステージ上の演奏者に対する音響条件もきわめて重要であり、これまでもいくつかの研究結果が報告されている^{1), 2)}。

ステージ上では、客席部と同様に初期反射音と残響が重要な要素であるが、さらに後期反射音群（客席後方部から時間的にまわって返ってくる反射音群）がしばしば問題となる。従来、この種の後期反射音群はロングパスエコーとして音響障害の一つと考えられていたが、実際に演奏者に及ぼす影響は明らかにされていない。そこで、このような音響条件が演奏者に与える影響を調べることを目的とし、スピーカーアレイとデジタル信号処理システムを利用した音場シミュレーションシステムを所内音響実験室の無響室に構築し、実験的研究を開始した。本報では、実験方法の概要とプロのバイオリニストを被験者とした実験の結果を報告する。

2. 実 験 音 場

2.1 音場シミュレーションシステム

無響室内に構築したシミュレーションシステムの概要を Fig. 1 に示す。システム A は、演奏者を囲む残響をシミュレートするための系で、13個のスピーカと13チャンネルの残響付加装置（YAMAHA SPX 1000）を用いている。今回の実験ではひとまず初期反射音の微細構造は無視し、演奏者を取り囲む聴感的に自然な残響を得ることを重視している。またシステムBは、今回の実験で着目している後期反射音群をシミュレートするためのシステムで、二つのスピーカと2チャンネルの実時間たたみ込み演算装置を用いている。たたみ込み装置のインパルス応答（フィルター係数）としては、反射音群をモデル化したものとしてピンクノイズを Fig. 2 に示すエンベロープ（時間窓）で切り出した信号を用いた。

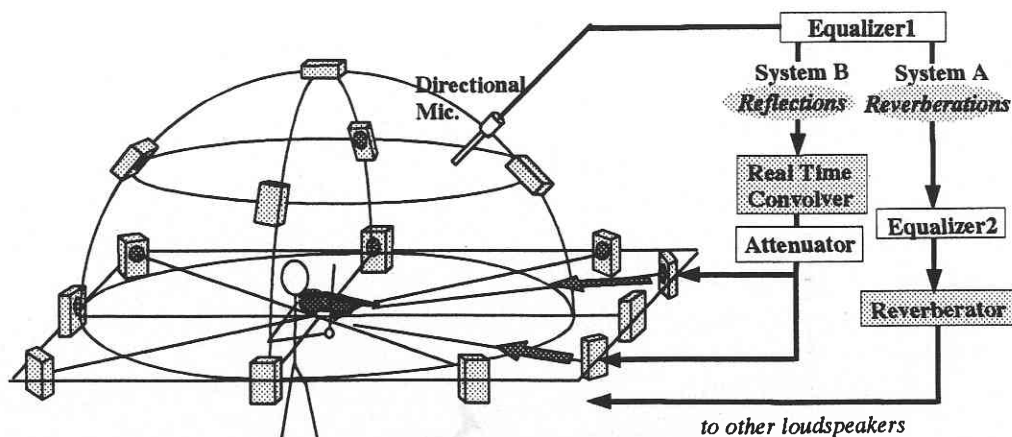


Fig. 1 Artificial simulation system in anechoic room

*東京大学生産技術研究所 第5部

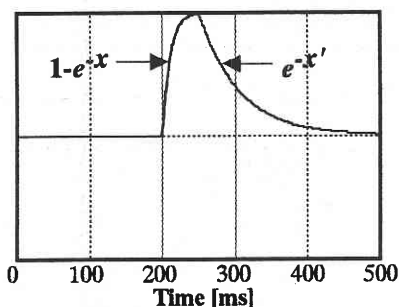


Fig. 2 The envelope function

2.2 シミュレーション音場の音響特性

残響時間は、大型コンサートホールで一般的な値として 2 秒を設定した。シミュレーション音場における実際の残響時間の測定結果を Fig. 3 に示す。13チャンネルの残響音の大きさのバランスについては、音場の中心位置で各方向からのエネルギーが等しくなるように調節した。また、残響音の大きさを調べるため、中心位置に設置した12面体無指向性スピーカからパルス音源を放射し、50 cm 離れた受音点に置いた無指向性マイクロホンで受信したインパルス応答から、直接音エネルギー ($L_{E(Dir.)}$) に対する残響音エネルギー ($L_{E(Rev.)}$) の割合を求めた。(Fig. 4)

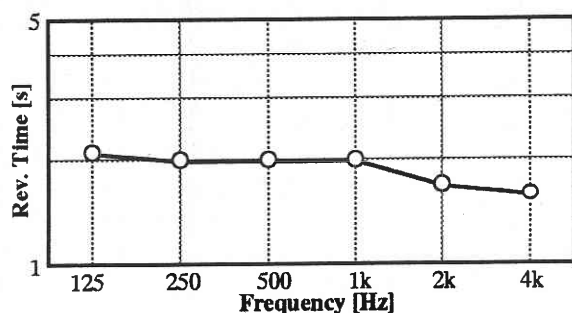


Fig. 3 Reverberation time

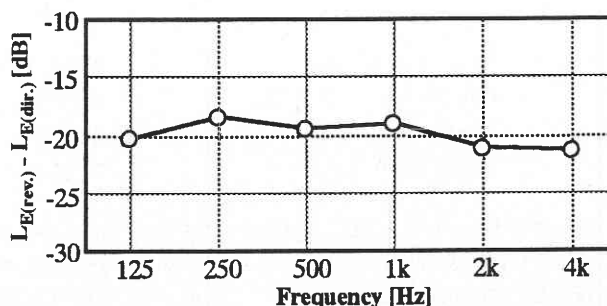
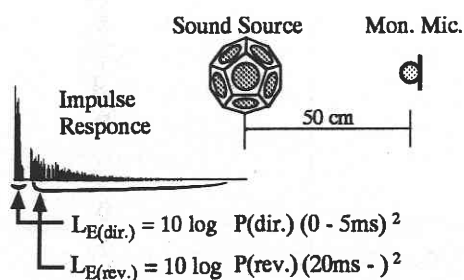


Fig. 4 The energy level of the reberveration sound

3. 主観評価実験

3.1 実験方法

この種の評価実験のためには、ホールでの演奏経験が豊富なプロの演奏家を対象とする必要があり、今回の実験では千住真理子氏に被験者を依頼した。

後期反射音群の効果を調べるため、前述のように残響の条件は固定し、後期反射音群の遅れ時間および強度をパラメータとして変化させた。遅れ時間は150, 250, 350 ms の3条件とし、それぞれに対して強度を 6 dBごとに4段階に変化させた。

後期反射音群のエネルギーレベルについては、前述の方法で測定したインパルス応答から、同様に直接音のエネルギーレベルに対する比を求めた。Fig. 5 に、予備実験の結果から基準レベル (表 1 中 0 dB) として定めた条件の $L_{E(Dir.)} - L_{E(Rev.)}$ を示す。

予備実験 (今回と条件はやや異なる) の結果、このシミュレーション音場においてホールステージ上としてほぼ自然な聴感的印象が得られること、また条件の違いに応じて被験者の評価が変化することが確認された。その結果に基づいて条件を整理し、実験方法、質問項目等を以下のよう設定した。

それぞれの条件 (計12条件) において、被験者は音場の中心に立ち、ホールのステージ上における演奏をイメージしながら、種々の演奏形式 (ソロ、ピアノ伴奏、コンチェルト、弦楽四重奏、ピチカート) を想定した場合の演奏しやすさについて質問に答えた。さらに、演奏しやすさだけでなく、音場の印象 (ホールの大きさ、残響、返りの印象など) についても自由にコメントした。実験者も無響室内の一隅に立ち、被験者 (演奏者) の反応および印象を口頭質問によって聴取し、後日その録音をもとに結果を整理した。

研究速報

表1 主観評価実験結果

Level	Reflections' Delay		
	150ms	250ms	350ms
-12dB	<p><条件 1></p> <p>total △</p> <p>solo △</p> <p>with piano ○</p> <p>concerto △</p> <p>quartet ○</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>音が残るが、音がのびる気はしない。 じゃまな音はないが、頼りない感じがして しっかり弾かないといけない。</p>	<p><条件 2></p> <p>total ◎</p> <p>solo ◎</p> <p>with piano ◎</p> <p>concerto ◎</p> <p>quartet ◎</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>音がのびていく感じで、とても良い。 音もじゃまにならず、適度なサウンド。 音楽をすごく作りやすい。</p>	<p><条件 3></p> <p>total △</p> <p>solo △</p> <p>with piano △</p> <p>concerto △</p> <p>quartet ×</p> <p>pizzicato ×</p> <p>響く感じはするがのびる感じはしない。 音は残るが気にならない程度。 音がのびてほしい。音楽が創りにくい。</p>
-6dB	<p><条件 4></p> <p>total △</p> <p>solo ○</p> <p>with piano ×</p> <p>concerto ×</p> <p>quartet ○</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>音が残るので、速い曲はグチャグチャに なる。耳が疲れて弾きにくい。 遅い曲は弾ける。</p>	<p><条件 5></p> <p>total ◎</p> <p>solo ◎</p> <p>with piano ◎</p> <p>concerto △</p> <p>quartet ◎</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>音がのびる感じがして好き。 何にでも対応できそう。 ボリューム感があり、豊かなサウンド。</p>	<p><条件 6></p> <p>total ×</p> <p>solo ×</p> <p>with piano ×</p> <p>concerto ×</p> <p>quartet ×</p> <p>pizzicato ×</p> <p>すごく音が残って弾きにくい。 のびる感じはしない。 音がじゃままでまちがえそう。</p>
0dB	<p><条件 7></p> <p>total ○</p> <p>solo ○</p> <p>with piano ○</p> <p>concerto ○</p> <p>quartet ○</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>曲を選べば何にでも対応できる。 相当音が残るので耳が疲れるが、弾きに くいということはない。</p>	<p><条件 8></p> <p>total ◎</p> <p>solo ◎</p> <p>with piano ◎</p> <p>concerto △</p> <p>quartet ◎</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>音が残るが、音がのびる感じもして弦楽 器には良いホール。 あまり大きいホールの感じはしない。</p>	<p><条件 9></p> <p>total ◎</p> <p>solo ◎</p> <p>with piano ◎</p> <p>concerto △</p> <p>quartet ◎</p> <p>pizzicato ◎</p> <p>自然な響きで音ののびも良い。 客席へ行った音が聞こえるので安心感が ある。音が残るが気にならない。</p>
+6dB	<p><条件 10></p> <p>total △</p> <p>solo △</p> <p>with piano △</p> <p>concerto ×</p> <p>quartet ○</p> <p>pizzicato ○</p> <p>相当音が残ってるさいが、全体的に ゆっくり弾けば弾ける。 弾き方と曲を選ぶ。</p>	<p><条件 11></p> <p>total △</p> <p>solo ○</p> <p>with piano △</p> <p>concerto ×</p> <p>quartet ×</p> <p>pizzicato ×</p> <p>返ってくる音が気になり耳が疲れる。 一瞬音がのびる感じがして嫌いではない が、テクニク的に難しいホール。</p>	<p><条件 12></p> <p>total ×</p> <p>solo ×</p> <p>with piano ×</p> <p>concerto ×</p> <p>quartet ×</p> <p>pizzicato ×</p> <p>向こうで違う人が弾いているみたい。 完全にグチャグチャになる。 洞窟の中で弾いている感じ。</p>

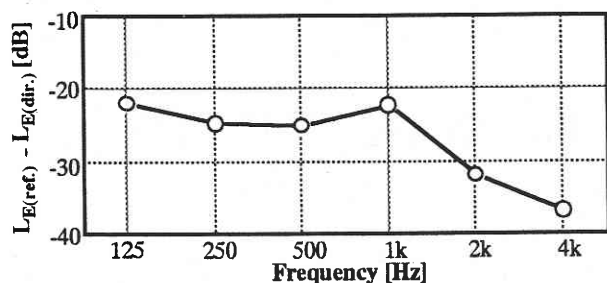


Fig. 5 The standard energy level of the *long-path reflection* sound

3.2 実験結果および考察

合計12種類の実験条件について得られた演奏形式別の演奏しやすさの評価結果、および音場の印象（コメント）を整理して表1に示す。これらの結果をみると、後期反射音群の条件だけではなく、演奏形式の違いによっても評価が異なっている。全体として見ると、条件2, 5, 8, 9が良く評価されている。これらの条件では、後期反射音群ははっきりと聞き取れるが、被験者は「音が伸びて客席に伝わっている感じが得られるので弾きやすい」とコメントしている。一方、比較的后期反射音群が認識しにくい条件1, 4は低く評価されており、「音が残って客席に伝わらない感じ」とコメントしている。さらに、条件10, 11, 12も低く評価されているが、これらの条件では後期反射音群がかな

り強く、「音が残ってうるさい」とコメントしている。

なお、評価の再現性を調べるために、再度短時間に条件を変えて実験を行ったところ、全体的な傾向はほぼ一致していた。

4. ま と め

今回の実験では、無響室内のシミュレーション音場において、バイオリン奏者に対する後期反射音群の効果についての主観評価実験を行った。実験を通して、このシミュレーション音場においてほぼ自然な印象が得られ、無響室内の人工音場で演奏者に対する主観評価実験を行う可能性が確認された。

実験結果としては、ホール客席後方部からはね返ってくる遅れ時間の長い反射音群も、適度な遅れ時間と強度を持つ場合は必ずしもエコー障害とはならず、むしろ演奏の助けとなることが示唆された。一般的結論を得るために、今後多くの演奏者、楽器についても検討を行う予定である。

(1996年11月29日受理)

参 考 文 献

- 1) Developments In Orchestra Platform Acoustics: A. C. Gade, ICA '86.
- 2) ステージ上の音響効果：中村，日音学会誌 43-2, 1987.