

1. 序論

近年高臨場感再生を目的としたサラウンドシステムが普及してきている。コンサートホールでのオーケストラの演奏の高臨場感再生を考えた時、ステージ上の位置の異なる楽器ごとに忠実な再生が必要となる。そこで、位置の異なる複数音源が高臨場感再生に与える効果を検討するために以下の2つの評価実験を行う。

- (1) 音源が複数であることを判断できる位置の検知限
- (2) 高臨場感再生の心理評価

2. 室内音響のコンピュータシミュレーション

評価実験に用いるインパルス応答は、音線追跡法と虚像法を組み合わせたシミュレーションによって作成した。

2.1 シミュレーション条件

本実験で用いた2つの音源を想定した音場を Fig.1 に示す。また、直方体の部屋の容積を $9000m^3$ とし、音源と受音点の高さは共に $1.5m$ 、 $500Hz$ で残響時間を1秒としてシミュレーションを行った。

2.2 インパルス応答の作成

実験では、Fig.2 のように、正面から 60° おきに設置した6チャンネルスピーカ配置を採用した。6チャンネルのスピーカで任意の方向の反射音を再現するために直接音及び各反射音のレベルに重みを付け、これを元にそれぞれのスピーカに対応するインパルス応答

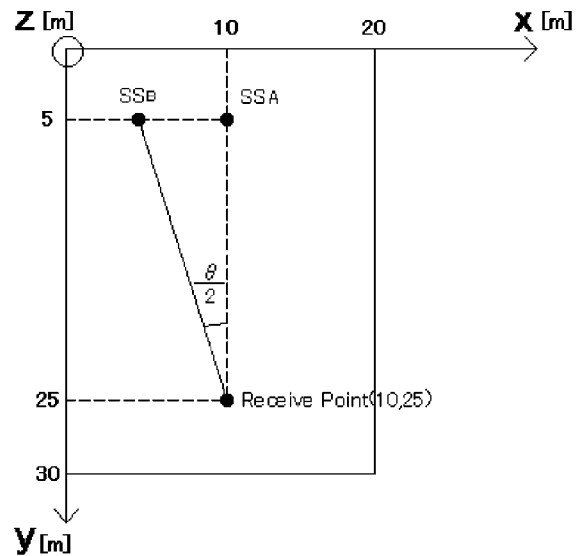


Fig.1: Room model used for simulation

を作成した。反射音 $h(n)$ が Fig.3 に示す I の方向から入射した場合を考える。スピーカ A のインパルス応答を $g_A(n)$ 、スピーカ B のインパルス応答を $g_B(n)$ とした時、重み付けを行ったインパルス応答を (1)、(2) に示す。

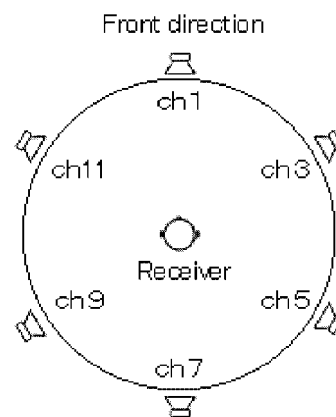


Fig.2: Speaker Arrangement for Reproduction

$$g_A(n) = \frac{1}{2}h(n)(1 + \cos 3\theta) \quad (1)$$

$$g_B(n) = \frac{1}{2}h(n)(1 - \cos 3\theta) \quad (2)$$

*'Evaluation of Sound Image Perception by Stereo Sources'
University of Kitakyushu
by Masato Komaki, Takashi Nishi

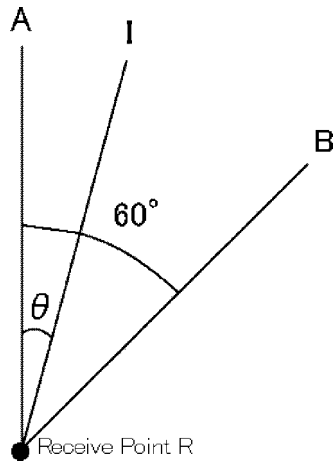


Fig.3: Configuration of ReflectSounds

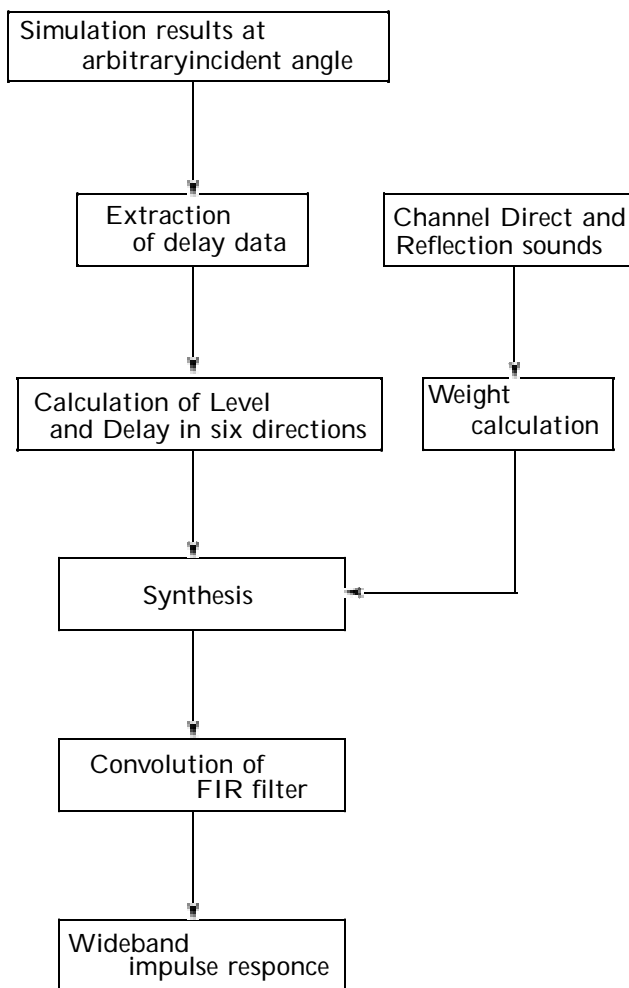


Fig.4: Flow Diagram of obtaining six channel impulse responses

シミュレーション結果から方向毎の広帯域インパルス応答作成までの流れを Fig.4 に示す。

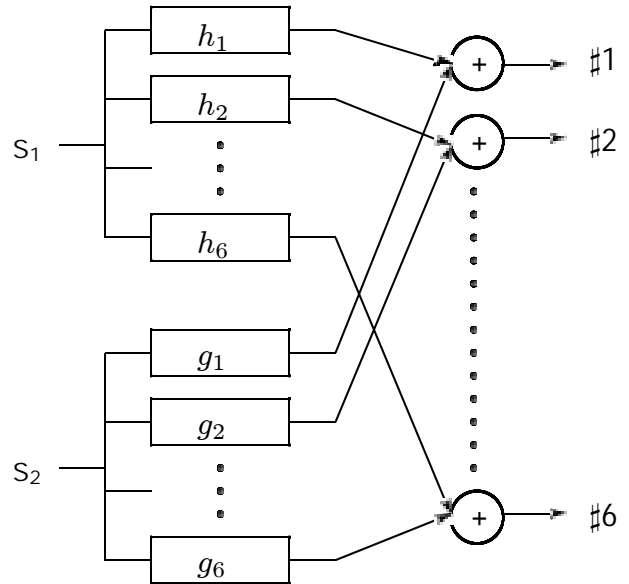


Fig.5: Combining of stereo signal

2.3 複数音源の再現

複数音源生成の流れを Fig.5 に示す。音源位置が異なる 6 方向のインパルス応答 ($h_1 \sim h_6$, $g_1 \sim g_6$) を元に、複数の音源信号 S_1 , S_2 にリアルタイムでこれらを畳み込み、デジタルミキサーで合成した。

3. 聴感実験

3.1 実験条件

人間の複数音源に対する音像知覚の限界を知るために、聴感実験を行った。実験は 500Hz の残響時間が 0.1 秒の簡易無響室で行い、中央に座った被験者から 2m 離れた位置に等間隔で 6 個のスピーカを配置した。それぞれのチャンネルのインパルス応答をリアルタイム畳み込み装置にあらかじめ読み込み、これをコンピュータ制御で切り替えた。また、被験者への提示音源は無相関の男女スピーチの音源を用いた。これらは無響室録音された音源で時間長 5 秒を用いた。再生レベルは 70dB とし、被験者は 7 人である。

3.2 実験方法

正常な聴覚を有する 20 歳代の学生 7 名を被験者として聴感実験を行った。被験者が比

べる音を試験音 A 及び試験音 B としたとき、1 秒間隔の AB 、 BA の順序対をランダムで 5 回提示した。このとき A と B のどちらかに必ず正面方向にある単一音源の比較音が含まれる。

3.3 複数音源による音像知覚の検知限の評価

被験者は単一音源と複数音源との違いを比較評価した。単一音源と複数音源との違いの検知限を得るため、Fig.6 の θ (複数音源の受音点を中心とした開き角) をパラメータとし、 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 30° と設定した。Fig.6 の S_1 、 S_2 はシミュレート時の音源位置、 R は受音点、 $\#$ はスピーカ番号を表す。提示音源は評価のしやすさを考慮し、無相関の男性スピーチ (S_1)、女性スピーチ (S_2) とした。スピーチ音源では無音区間が含まれ、かつ時間的に変動するため、正確な音像知覚ができるようにあらかじめ編集したものを使用した。被験者は単一音源に対して違いが大きいと判断した場合 5、違いが全くないと判断した場合 1 の 1 から 5 までで評価した。

Fig.7 は複数音源における音像知覚の検知限の評価の結果を示す。Fig.7 の実線は実験結果の平均値を表し、上下の * は母平均 95 % 信頼限界を表す。Fig.7 から単一音源の信頼限界の上限値に対して他の角度の信頼限界の下限値が上回っていることがわかる。従って開き角 0° と 5° は結いな差があると判断でき、開き角 5° の 2 音源を 1 音源 (開き角 0°) と分別できていることがわかった。

Tab.1: Analysis of variance

Angle($^\circ$)	5	10	15	20	30
Significant difference	*	**	**	**	**

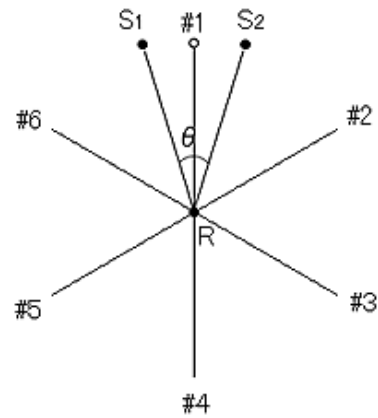


Fig.6: Speaker arrangement and sound source position

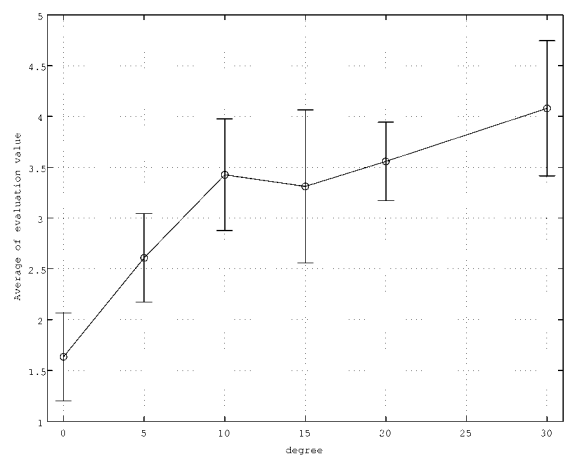


Fig.7: Difference limein of two sound images

提示角度によって複数音源の音像における検知限を検討するため、二元配置の分散分析を行った。分析結果を Tab1 に示す。この表で、単一音源に対して危険率 1 % で有意差がある場合を **、危険率 5 % で有意差がある場合を * で表した。Tab.1 から開き角 10° から 30° までは危険率 1 % で有意差があり、 5° の時のみ危険率 5 % で有意差があることがわかる。

3.4 複数音源による高臨場感再生の評価

複数音源による高臨場感再生で、単一音源よりも臨場感が高いかどうかを評価することが重要である。そこで複数音源の方が臨場感があるかどうかを検討するために評価実験を行った。Fig.6 の θ をパラメータとし、提示

角度を0°、5°、10°、15°とした。提示音源は相関が高いストリングスのステレオ音源を用いた。被験者は臨場感を判断基準として複数音源と単一音源（基準）との比較を行った。被験者は基準と比較して低い（1）～同じ（3）～高い（5）で評価した。

評価結果を Fig.8 に示す。Fig.8 で実線は平均値を表す。* は母平均の 95 % 信頼限界を表す。Fig.8 から、開き角が大きくなるほど平均値が大きくなっていることから、人間は複数の音源が離れるほど臨場感を感じるようになった。

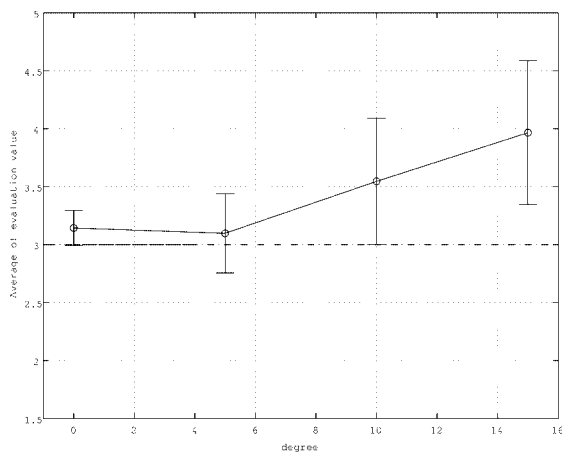


Fig.8: Evaluation of high presence

4. 結論

複数音源による高臨場感再生の評価の実験結果から、人間は複数の音源が離れているほど臨場感を感じるようになった。よって、高臨場感再生には単一音源よりも複数音源の方が適している。

音像知覚の検知限の評価においては、実験結果から開き角0°と開き角5°との間に有意な差があることがわかった。従って、人間が複数音源の違いを判断できる検知限は開き角5°以内となり、音場を忠実に再現するには多くても開き角5°の位置に音源を再現すればよい。

参考文献

- [1] M.Vorlaender, Simulation of the transient and steady state sound propagation in rooms using new combined raytracing/image sources algorithm. J.Acoust. Soc. Am. ,86(1), 172-178, 1989
- [2] 前川純一郎・森本政之・阪上公博, 著建築・環境音響学 第2版, 共立出版株式会社,2000
- [3] ハインリッヒ・クットルフ, 室内音響学 建築の響きとその理論, 市ヶ谷出版社,2003