

波面合成による音場再現における制御点数の影響 -方向感の検討- *

木村敏幸 (日本学術振興会/名大・情報科学),

箕一彦, 武田一哉 (名大・情報科学/CIAIR), 板倉文忠 (名大・情報メディア/CIAIR)

1 はじめに

ホイヘンスの原理に基づいた波面合成による音場再現 [1, 2] において, 制御点の数を検討することは工学的に見て重要な問題である. 従来の研究では, 波面の再現精度を検討するような物理的な研究例 [3, 4] はあるが, 人間の音場知覚に及ぼす影響の視点からの主観的な研究例は存在しなかった. そこで, 我々は音場知覚に関する要素の一つである方向感に着目し, 主観評価実験によって制御点数が及ぼす影響を検討した.

2 実験

2.1 実験環境

実験は低残響室内で行った. 残響時間は約 80ms である. 半径 2m の円弧上に計 23 個の制御点用スピーカーを図 1 のように配置した. 実験室内の暗騒音レ

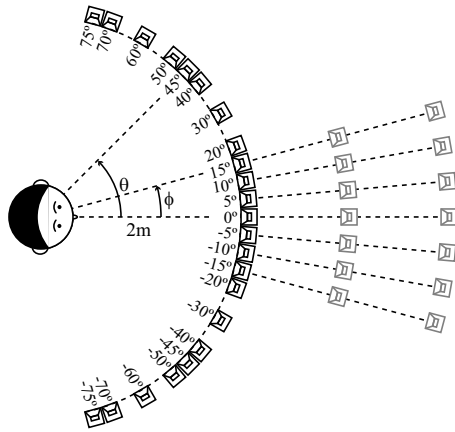


図 1: Position of loudspeakers and sound images

ベルは 25.0dB(A) であった. 音圧レベルは被験者位置で約 60dB(A) に設定した. また, 被験者の頭部は固定し, スピーカーを見えないようにするために, 照明を薄暗くし, スピーカーの前面を透過損失の小さい音響カーテンで覆った.

2.2 実験条件

音源には 1sec の 24kHz 帯域白色雑音と音声を用いた. 制御点 i の信号 $x_i(n)$ は音源信号 $s(n)$ に自由音場を想定した伝達関数を畳み込んで合成した.

$$x_i(n) = \frac{d-r}{d_i} s(n - \text{round}\left(\frac{d_i F_s}{c}\right)) \quad (1)$$

ただし, r は円中心から制御点までの距離 (=2m), d は円中心から音源までの距離 (=3 & 4m), F_s はサンプリング周波数 (=48kHz), c は音速 (=340m/s) であ

る. d_i は音源から制御点までの距離で, (2) 式によって算出される. 図 1 で示すように, ϕ は音源の方位角, θ は制御点の方位角である.

$$d_i = \sqrt{d^2 + r^2 - 2dr \cos(\phi - \theta)} \quad (2)$$

制御点数の条件を図 2 に示す. (a) は統制条件で, 従来の音源定位実験と同じ条件である. 本実験では方位が -15° から 15° までの 5° 間隔の音源を定位させた. 一方, (b)-(f) では制御用スピーカーから同時に信号を再生した結果, 灰色のスピーカーで示された位置に音像が定位される. 本実験では距離が 3m と 4m, 方位が -15° から 15° までの 5° 間隔の音像を定位させた.

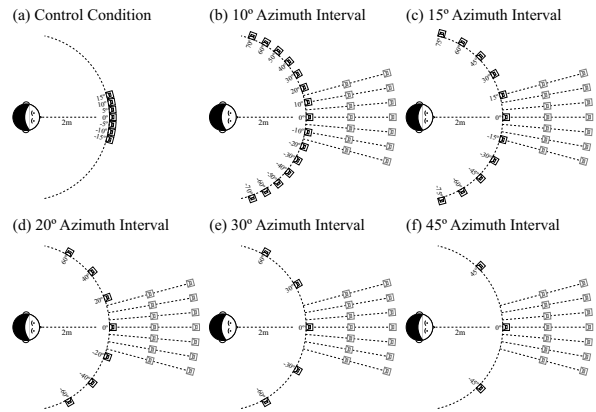


図 2: Conditions of the number of control points

2.3 実験手順

被験者は大学院生 8 名 (男性 4 名, 女性 4 名) だった. 実験は音源ごとに 2 セッション行った. 音源の提示順序は被験者ごとにランダム化した. 1 セッションにつき, ランダム化した 14 (=1(距離:3m)×7(提示方向)×2(制御点数条件:統制条件&10°)) の練習試行の後, 336 (=2(距離:3m&4m)×7(提示方向)×6(制御点数条件)×4(繰り返し)) の本試行を 84 試行ごとに休憩を取りながら行った. 試行の提示順序は被験者ごとにランダム化した.

1 試行につき, 1sec の音を提示した後に, 5sec の回答時間を設けた. 被験者には音の聞こえた方向を回答するように教示した. その際, 被験者の前方に配置した目盛りの番号を基に回答させた. この目盛りは -25° から 25° まで 2.5° 間隔で配置されているので, 被験者の回答は 2.5° 間隔となる.

2.4 実験結果

得られた回答から提示方向及び制御点数条件ごとに平均を算出し, プロットしたものを図 3 に示す. 制御

*The affect of the number of control points in the sound field reproduction based on wavefield synthesis by T. Kimura, K.Kakehi, K. Takeda and F. Itakura (Nagoya Univ.)

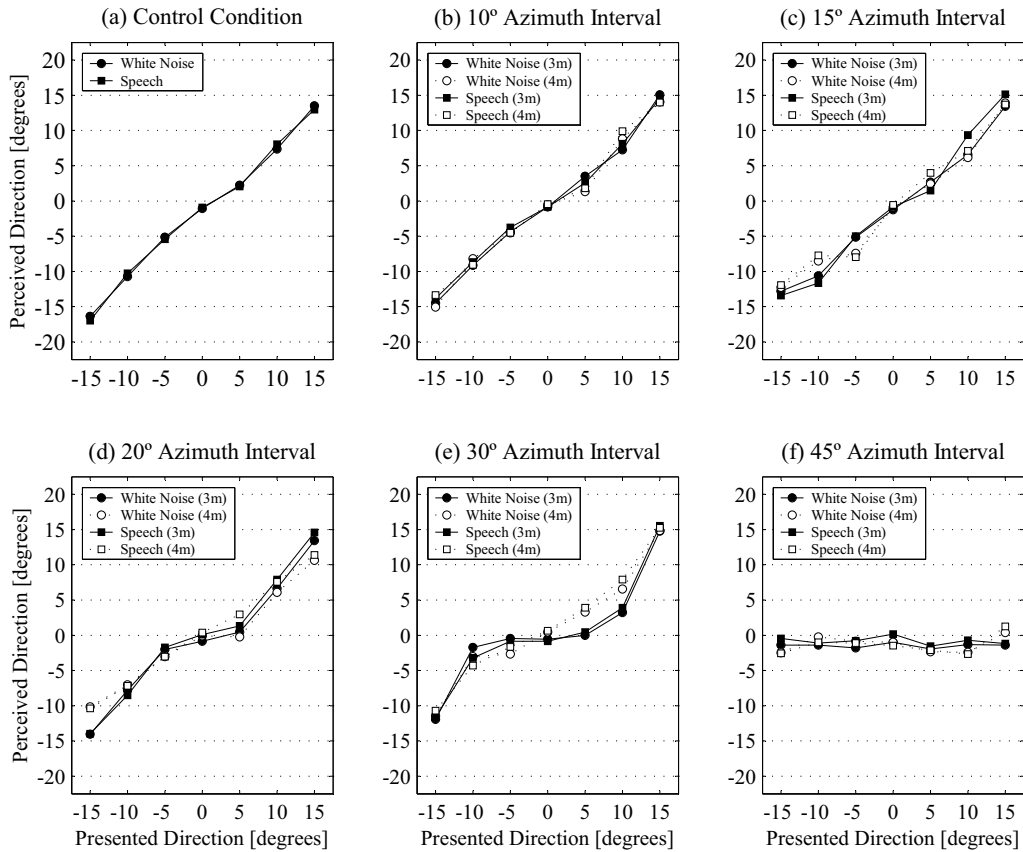


図 3: Results of Conditions of the number of control points

点間隔が 10° や 15° の場合は統制条件とほぼ同じ結果を示している．従って， 5° 間隔の定位を再現するためには，少なくとも制御点間隔を 15° 以内にする必要があると言える．

一方，制御点間隔が 20° の場合は提示方向が $\pm 5^\circ$ の時に，制御点間隔が 30° の場合は提示方向が $\pm 5^\circ$ ， $\pm 10^\circ$ の時に，音像の定位が 0° に偏向する傾向が見られる．特に，制御点間隔が 45° の場合は，すべての方向において音像の定位が 0° に偏向してしまっている．この原因は図 4 のように考えられる．制御点間

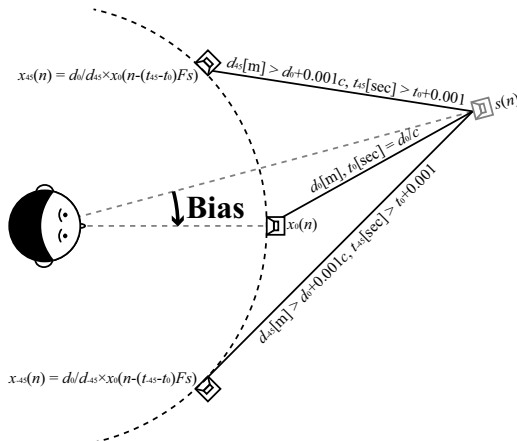


図 4: Sound image's bias based on precedence effect

隔が 45° の場合，被験者は 0° と $\pm 45^\circ$ からの信号を基に合成音像を定位する．しかし，音源から各制御点

までの距離の関係から，音が最も早く到達する制御点 (0°) の信号とそれ以降に到達する制御点 ($\pm 45^\circ$) の信号との間に 1ms 以上の遅延が生じる．ゆえに，先行音効果 [5] が生起し，音が最も早く到達する制御点の方向に定位が偏向したものと考えられる．

3 まとめ

定位に必要な制御点数を検討するため，主観評価実験を行った．その結果， 5° 間隔の定位感を正確に再現するには 15° の制御点間隔で十分であることが示された．今後は音場知覚における定位感以外の要因である拡がり感やサラウンド感に及ぼす影響を検討をする予定である．

参考文献

- [1] M. Camras, "Approach to recreating a sound field," *JASA*, **43**, 1425-1431 (1968).
- [2] A. J. Berkhout, D. de Vries and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis," *JASA*, **93**, 2764-2778 (1993).
- [3] O. Kirkeby and P. A. Nelson, "Reproduction of plane wave sound fields," *JASA*, **94**, 2992-3000 (1993).
- [4] D. B. Ward and T. D. Abhayapala, "Reproduction of a Plane-Wave Sound Field Using an Array of Loudspeakers," *IEEE Trans. SAP*, **9**, 697-707 (2001).
- [5] イェンス・ブラウエルト，森本政之，後藤敏幸，空間音響，(鹿島出版会，東京，1986)，pp.142-153.