

## 距離知覚に及ぼす入射方位角の影響\*

百合野正子, 新原寿子 (日本ビクター),  
波多腰勇人, 山崎大輔, 飯田一博 (千葉工大・工)

## 1 はじめに

3次元音場制御を行なう上で、方向の制御は可能となってきたが、距離の制御はまだ実現できていないのが現状である。例えば、ヘッドホンの頭外定位処理において、水平面上の距離感、入射方位角により差はあるものの、特に、正面の定位は頭内、もしくは額に張り付く程度の距離感しか得られていない。

これまで、音の距離感に関する研究は数多く行われており、距離感には反射や音量、残響など多くの要因が影響していることが知られている[1-2]。水平面における入射方位角が与える影響についての研究は少なく、距離感と入射方位角の関係については明らかになっていない[3]。しかし、水平面での入射方位角が距離感に与える影響について明らかにすることは、3次元音場制御における、距離の制御を実現する上で重要である。

## 2 主観評価実験

## 2.1 実験環境

使用する音源はホワイトノイズ 1.2 秒 (前後に 0.1 秒の立ち上がり、立ち下がりを含む) とした。12ch のマルチトラック音源を作成し、ソフトウェア (Adobe Audition) 及びオーディオデバイス (MOTU PCI24 I/O) を介し、図 1 に示す 12 個のパワードスピーカー (GENELEC 8020A) から音源を再生する。

また、スピーカー間の入射方位角以外の条件を同じにするために、実験時の被験者の聴取位置 (2m 円の中心、高さ 113cm) における、各スピーカーの特性を調整した。周波数特性は、ピンクノイズ再生時に 200-12kHz の帯域で、騒音計で測定した音圧レベル差が 3dB 以内になるようにイコライザーで調整した。その後、ホワイトノイズを各スピーカーで再生し、騒音計で測定した全スピーカーの音圧レベル差が 1.5dB 以内になるように音圧レベルを合わせ

た。測定条件は、分析時間 1 秒、時定数 0.1 秒とした。また、無響室 (容積:600m<sup>3</sup>、内寸:D8.5×W8.5×H7.5m) 内で、照明は付けず真っ暗な中、被験者はライトで手元を照らし、頭部はできるだけ動かない状態で、実験を行った。被験者からはスピーカーを視認することはできない。これらの条件より、被験者に届く音刺激から得られる情報は、入射方位角による影響のみであるとした。

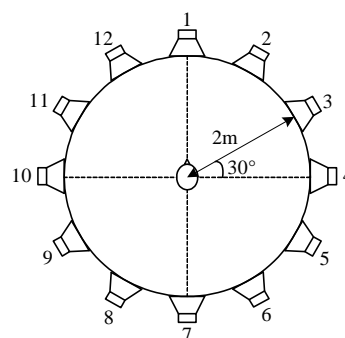


図 1 スピーカの番号と配置

## 2.2 評価方法

12×11 通りの計 132 対をランダムに並べたものを 1 試行とし、解析手法にはシェッフエの一対比較の浦の変法[4]を用いた。先に提示された刺激音に対し、後に提示された刺激音が、非常に近い場合には「-2.0」、どちらでもない場合には「0.0」、非常に遠い場合には「2.0」とし、「-2.0」から「2.0」までを 0.1 刻みとした 41 段階の評点を用いて、被験者に回答させた。被験者は正常な聴力を持つ 20 代～40 代の男性 8 名、女性 2 名の計 10 名であり、それぞれが 2～5 試行、計 33 試行の実験を行った。なお被験者の正面方向が 0° (1)、左が 90° (10)、右が 90° (4)、後ろが 180° (7) である。

\* Effect of incident azimuth on distance perception, by Naoko Yurino, Hisako Shinbara (Victor Company of Japan), Yuto Hatakoshi, Daisuke Yamazaki, Kazuhiro Iida (Chiba Institute of Technology).

### 3 実験結果

#### 3.1 分散分析

分散分析の結果を表1に示す。表中の\*は有意水準5%、\*\*は有意水準1%で有意であることを示す。

分散分析表において、「主効果」と「主効果×試行」、「順序効果」、「順序×試行」が有意水準1%で有意である。このことから、音源の入射方位角によって、距離感に差があることがわかる。また、試行による音源の入射方向や提示音の順序によって、さらに試行ごとに提示音の順序によっても、相当の影響を受けていると思われる。

表1 分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	375.44	11	34.13	134.41**
主効果×試行	304.55	352	0.87	3.41**
組合せ効果	10.21	55	0.19	0.73
順序効果	14.88	1	14.88	58.60**
順序×試行	57.45	32	1.80	7.07**
誤差	991.63	3905	0.25	
全体	1754.16	4356		

#### 3.2 平均距離感

全試行の平均距離感の尺度値を図2に示す。正面0°(1)を最も近くに知覚しており、次いで30°(2)、-30°(12)を近くに知覚している。また、150°(6)を最も遠くに知覚しており、次いで-150°(8)、180°(7)を遠くに知覚している。尺度値をレーダーチャート上にプロットしたもの(音源方向と距離感の関係)を図3に示す。全方向が同じ距離感ではなく、前方が窪み、後方に向かうにつれて曲線が広がっていることがわかる。図2、図3より、音源の入射方位角により距離感の知覚が異なり、前方を近く、後方を遠く、側方をそれらの中間に知覚していることがわかる。この結果は、スピーカ再生において、経験的に正面が他方向よりも近くに感じていることと合致する。

次に、有意水準1%のヤードスティック値0.0947から、有意差がない音源番号をグループ化したものを図4に示す。左右対称な位置にある音源(2-12,3-11,4-10,5-9,6-8)の数直線上での配置が、ヤードスティック範囲内であるため、回答、つまり水平面上での音源の入

射方位角による距離感には、左右対称性があると考えられる。

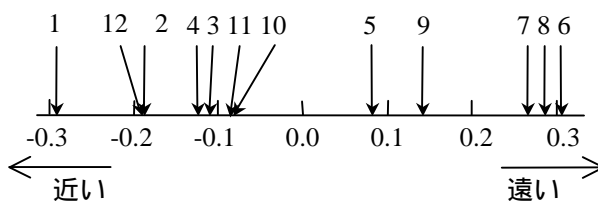


図2 各刺激の布置

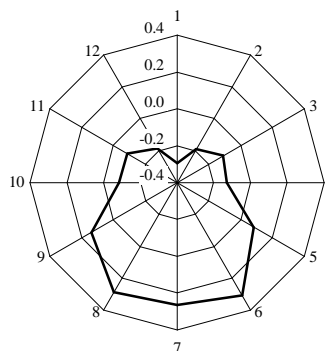


図3 音源方向と距離感の関係

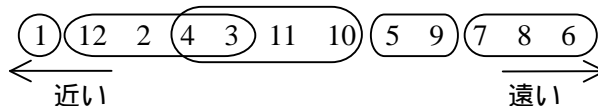


図4 有意水準1%のヤードスティック値に基づいたグループ化

#### 3.3 被験者ごとの距離感

各被験者の音源方向と距離感の関係を図5に示す。被験者によって、入射方位角による距離感の知覚に差があることがわかる。

次に、有意水準1%のヤードスティック値で有意差がない音源番号をグループ化したものを図6に示す。正面0°(1)が最も近い被験者は7名(A, B, D, E, G, H, I)、後方3方向の150°(6)、-150°(8)、180°(7)のいずれかが最も遠いと知覚した被験者は8名(A, B, C, D, E, G, I, J)であり、全33試行の平均の距離感と同じ傾向を持つことがわかる。つまり、被験者によって、音源の入射方位角による距離感に違いはあっても、全試行の平均距離感と同様に、前方を近く、後方を遠くに、側方をその中間として知覚している被験者が多いといえる。しかし、被験者Fは全ての対で有意差がなく、被験者G、Hはほとんどの対で有意差がみられなかった。また、被験者Eは左右対称性が明確であるが、

他の被験者は明確な左右対称性を持っているとはいえない。

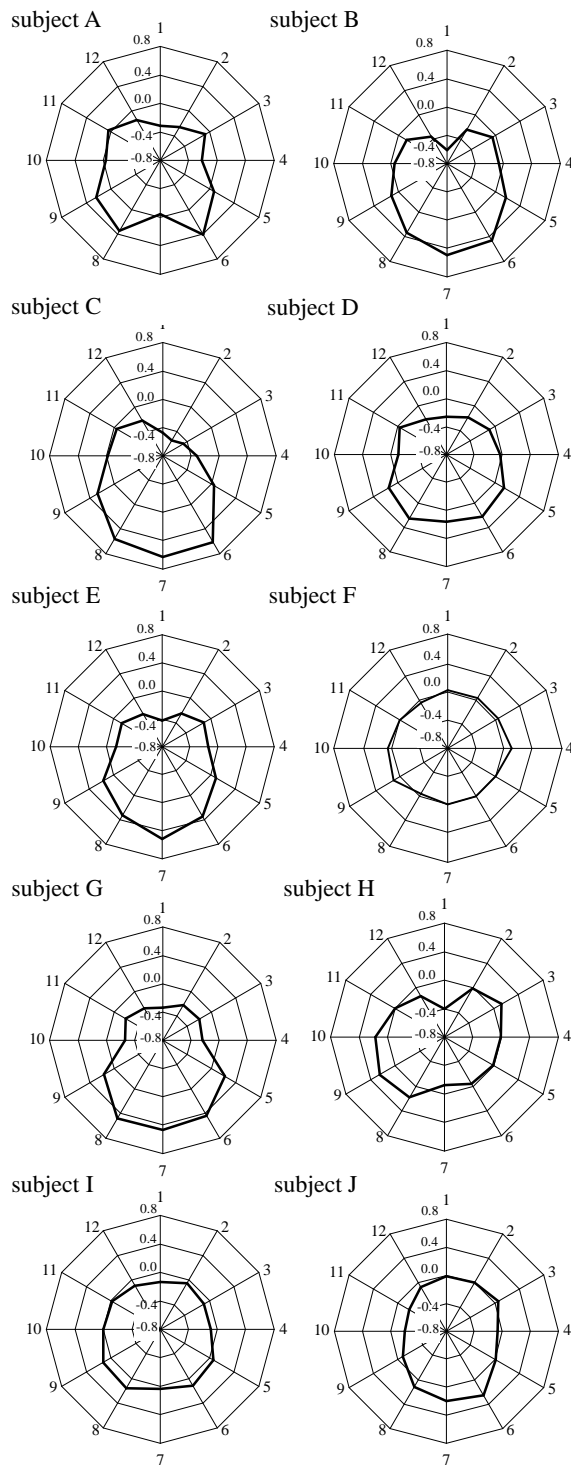


図5 被験者ごとの音源方向と距離感の関係

被験者ごとの分散分析結果の一覧を表5に示す。被験者F以外は主効果が有意水準1%で有意である。被験者Fは、図5では平均距離感が円形に近くなり、図6では全入射方位角12方向での距離感の差がないことがわかる。また、主効果だけでなく、被験者によって有意である要因やその組合せが異なる。

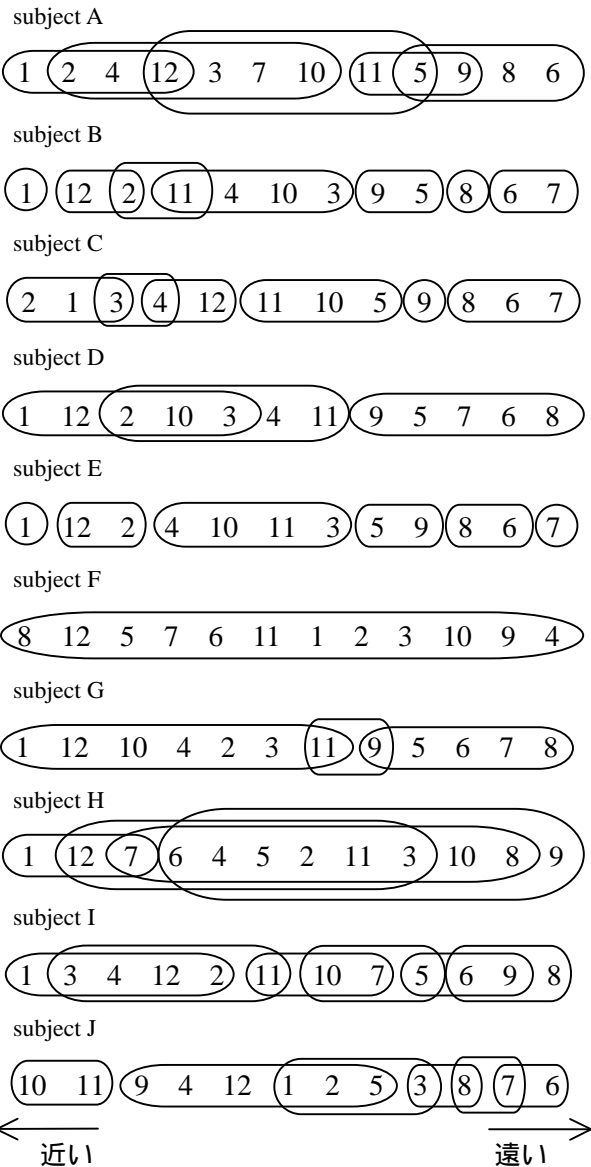


図6 被験者ごとの有意水準1%のヤードスティック値に基づいたグループ化

表5 被験者ごとの分散分析表

要因	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
主効果	**	**	**	**	**		**	**	**	**
主効果×試行	**	**	**				*	**	*	
組合せ効果					**					
順序効果	**	**		**	**	*	**	**		**
順序×試行					*					

\*\* : 1%有意 \* : 5%有意

#### 4 考察

今回の実験において、被験者によって距離感の差がある理由の1つとして、被験者ごとの方向知覚の違いによる影響が考えられる。そこで、各被験者が音像の方向定位をできているのか検証を行った。

#### 4.1 方向知覚実験

実験は、距離感の評価実験と同じ条件下で行った。1~12のスピーカのうち1つからホワイトノイズを1.2秒前後に0.1秒の立ち上がり、立ち下がりを含む提示し、どの方向から聴こえたか、マッピング法で回答用紙の円周上（前後左右の記述あり）に自由にプロットさせた。被験者は距離感の実験を行った10名であり、提示音は被験者1人につき、12方向×10回の計120回をランダムに並べたものを使用した。被験者ごとの平均定位誤差を表6に示す。ここで、平均定位誤差は、提示方向から回答方向の誤差を算出し平均化したものである。入射方位角による距離感の有意差が無かった被験者Fについては、平均定位誤差は8.2°であり、他の被験者に比べて特に低くはない。また、図7に音源の提示方向と回答方向の関係について示す。図7においても、被験者Fは音像の方向定位はできていると考えられる。

表6 平均定位誤差

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
平均定位誤差[°]	6.3	5.1	7.1	18.1	2.9	8.2	7.2	6.6	8.3	7.6

#### 5 まとめ

無響室内での入射方位角が距離感に与える影響の主観評価実験を行った。その結果、全試行の平均距離感、水平面における入射方位角により、前方の音像は近くに、特に正面の音像は他方向に比べて最も近く、後方は遠くに知覚していることがわかった。被験者ごとの平均距離感においても、前方を近く、後方を遠くに知覚する傾向を示す被験者が多かった。ただし、被験者により距離感には差があり、中には入射方位角による距離感に有意差がない者もいた。

3次元音場制御を行なうにあたり、これまで、前方の音像の距離が他方向に比べて近くに感じられることは、信号処理が正確に実現できていないからであると考えられていた。しかし、正面の音像の距離を近くに感じられるのは、信号処理上の問題だけではなく、人間の知覚上の問題も関係していると考えられる。

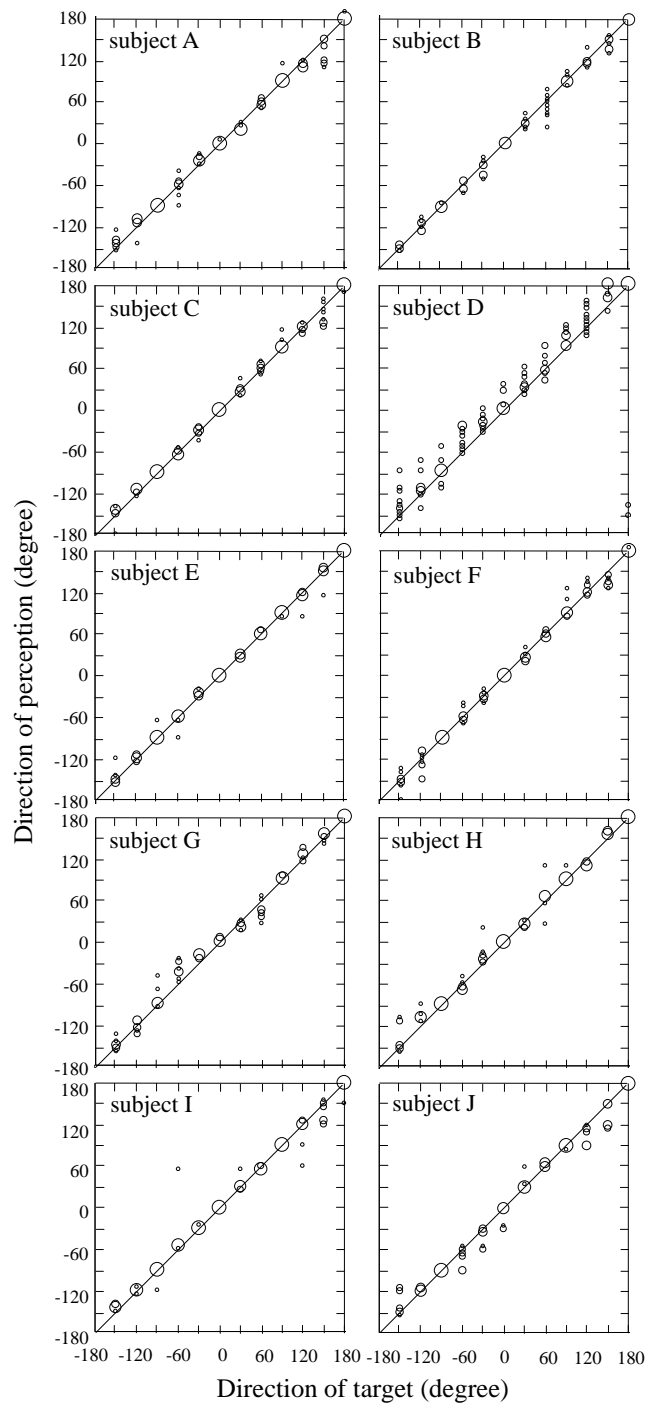


図7 音源の提示方向と回答方向の関係

#### 参考文献

- [1] 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, 1986.
- [2] 難波精一郎, “聴覚ハンドブック,” ナカニシヤ出版, pp.112-118, 1984.
- [3] 森本政之, 野町克彦, “音の距離知覚に関する研究について,” 日本音響学会 聴覚研究会資料 資料番号 H-39-1, 1976.
- [4] 日本科学技術連盟, “新版 官能検査ブック,” 日科技連出版社, 1973.