

D-13

音に包まれた感じの心理実験で用いた音場の C-C 法による仮想音源の測定 Measurement of virtual sound sources by C-C method in sound fields used for psychological experiments on Listener Envelopment

○久保田秀弥¹, 秋山いづみ¹, 浅川航太郎¹, 下村咲¹, 高須賀弘忠², 羽入敏樹³, 星和磨³
Izumi Akiyama¹, Kotaro Asakawa¹, Shuya Kubota¹, Saki Shimomura¹,
Hirotada Takasuka², Toshiki Hanyu³, Kazuma Hoshi³

1. はじめに

音場の方向情報の測定として複数のマイクに到来する反射音の時間差について、仮想音源を解析する手法が提案されている。仮想音源を用いることで音の方向を視覚的に把握することができる。

室内音場の設計に関し重要な要素として LEV 等が挙げられる。LEV は「音に包まれた感じ」の心理指標である。

この LEV に対し提案されている総合的な物理指標が SBTs である。しかしこの SBTs は LEV の研究同様、確立されていない。

そこで、方向情報の測定法として当研究室で提案してきた C-C 法[1]と減衰除去インパルス応答[2]を用いて物理的到來方向の再検討を行った。

2. 手法の概要

2.1 C-C 法の概要

C-C 法[1]は 180 度反対向きのマイク対を 3 次元直交座標軸場に配置した 6ch プローブを用いる。各マイクで受音した応答を $p_i(t)$ 、各マイクの向きを表す単位ベクトルを \vec{e}_i とすると、無指向性応答 $p_i(t)$ 、粒子速度 $\vec{u}(t)$ 、瞬時インテンシティ $\vec{I}(t)$ は式(1)~(3)のように求めることができる。なお、式中の n はマイク数 (ch 数) で、 K は ch 数やプローブ形式によって異なる粒子速度正規化の係数である。

$$P(t) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n p_i(t) \quad \dots (1)$$

$$\vec{u}(t) = -K \sum_{i=1}^n \{p_i(t) \cdot \vec{e}_i\} \quad \dots (2)$$

$$\vec{I}(t) = -\frac{2K}{n} \sum_{i=1}^n p_i(t) \sum_{i=1}^n \{p_i(t) \cdot \vec{e}_i\} \quad \dots (3)$$

2.2 仮想音源の解析方法

瞬時インテンシティ $\vec{I}(t)$ を(3)式により求める。次に $\vec{I}(t)$ を用いて瞬時インテンシティ $\vec{I}(t)$ の空間構造 $\vec{S}(t)$ を次式によって求める[3]。

$$\vec{S}(t) = -\frac{\vec{I}(t)}{|\vec{I}(t)|} \times ct \quad \dots (4)$$

c は音速、 t は音源から音が発せられてからの経過時間、 $\vec{S}(t)$ は 3 次元ベクトルの時間変化である。時間とともに $\vec{S}(t)$ は原点から離れている。 $\vec{S}(t)$ は瞬時インテンシティ $\vec{I}(t)$ の時間サンプル毎に仮想音源を

算出していると解釈することもできる。

3. 実験概要

実験は無響室において、既報[4]に基づき音源用スピーカを 16ch 用いて行った。(以下、16ch 音場再生システム)

スピーカは 360° に等間隔で配置された水平面において半径 1.9m の距離に 22.5° の等間隔で配置し、受音点となる円の中心にカーディオイドマイクロホンを設置した。

また、スピーカの受音レベルは受音点において、呈示レベルが約 74dB となるように設定した。

音源には TSP 信号を用い、マイクは 6ch マイクロホンを使用した。

音源信号には各スピーカの方向別応答波形に TSP 信号を流し、1ch は直接音、その他 2ch~16ch には TSP 信号を畳み込んだものを使用する。なお、本実験において初期反射音と後期残響部を区別していない。

実験は正面と左右の 3 方向あるいは 5 方向から直接音か残響音を提示する音場を用いて行った。

方向別応答の残響音は、仮想音場を実験 1 では 2 分割、実験 2 では 3 分割、実験 3 および実験 4 では 4 分割し、仮想音場上での仮想音源を合成することで作成した。なお、各スピーカから呈示する方向別応答は同一の応答を使用し、到来方向の変化による仮想音源の分布を検討した。

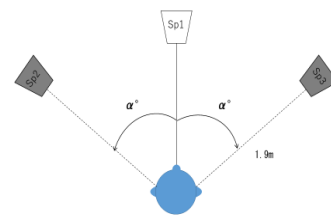


図1 実験1におけるスピーカ配置

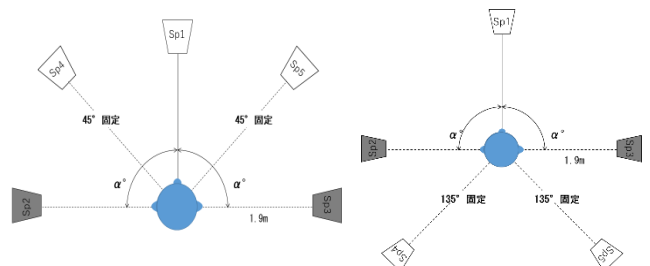


図2 実験2におけるスピーカ配置

図3 実験3におけるスピーカ配置

4. 実験結果及び考察

実験1から4の結果を図4から図7に示す。同図は受音点を中心として、水平面上の2次元の仮想音源を示したものである。

実験1と2の結果を比較すると、正面スピーカから直接音のみ呈示した実験1に対して実験1の直接音に残響音を付与した実験2の方が仮想音源のばらつきが大きい。これは、残響音が仮想音源の空間バランスに有意に影響していることを示しており、従来の知見と一致している。また、実験2では、±90°のスピーカから残響音を呈示した時、最も仮想音場のばらつきが大きくなっている。したがって、側方からの残響音は仮想音源の空間バランスを均一に近づけるということが分かる。

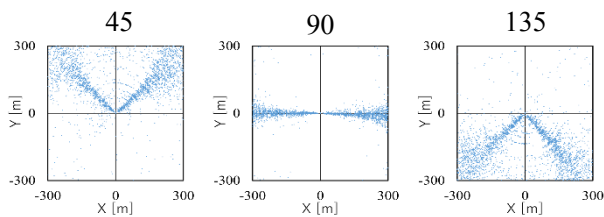


図4 実験1測定データ

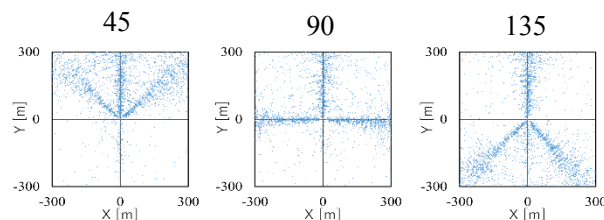


図5 実験2測定データ

実験3と4を比較すると、±45°のスピーカから固定残響音を呈示した実験3では±112.5°および±135°から残響音が呈示されたとき、仮想音源のばらつきが大きくなっている。また、±135°のスピーカから固定残響音を呈示した実験4では±45°および±67.5°から残響音を呈示したとき、仮想音源のばらつきが大きくなっている。これらより、残響音の前後バランスが均

一になる程、音があらゆる方向から受音点に到達していることが分かる。

実験4において残響音のスピーカ配置が±45°および±67.5°のときと±90°のときを比較すると仮想音源のばらつきは±45°および±67.5°に残響音スピーカがあった方が大きい、より側方から音が到達しているのは±90°のときである。これについて、側方反射音の大小がLEVに与える影響と、反射音の空間バランスがLEVに与える影響を物理指標と合わせて検討する必要があるといえる。

5. まとめ

本報では水平面において反射音の到来方向がバランスよく空間に配置すると、音場のバランスも良くなる傾向にあることが確認された。

本実験で得られた仮想音源と、反射音の空間バランスを考慮したSBTsの値および心理実験で得られるLEVを比較することでSBTsの評価指標としての妥当性を検証することができるだろう。また、本実験ではC-C法を用いて測定を行ったが、P-U法など実用されている測定方法においても同様の実験を行い本実験と比較することで、LEVとSBTsとの関係をより正確に示し、仮想音源の傾向、C-C法の測定方法としての妥当性を知ることができると考えられる。

6. 参考文献

[1]羽入他：“4ch カーディオイドマイクによる音場の方向情報計測”，音講論(春),pp1123-1126,2008年
 [2]羽入他：“減衰を除去したインパルス応答による室内音場における拡散度の推定”，日本建築学会梗概集 pp183-184,2012年
 [3]羽入他：“減衰除去インパルス応答を用いた室内音場における仮想音源の解析”，音講論(春)pp1169-1170,2014年
 [4]羽入他：“反射音の空間バランスに着目した音に包まれた感じの定量化方法”，日本建築学会計画系論文集 第520号,pp9-16,1999年

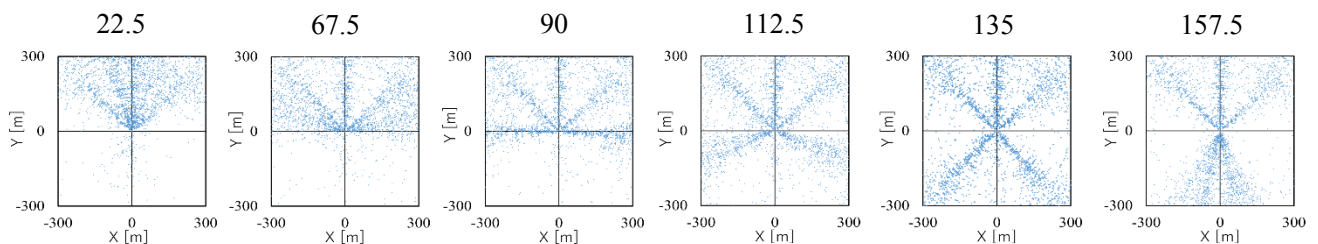


図6 実験3測定データ

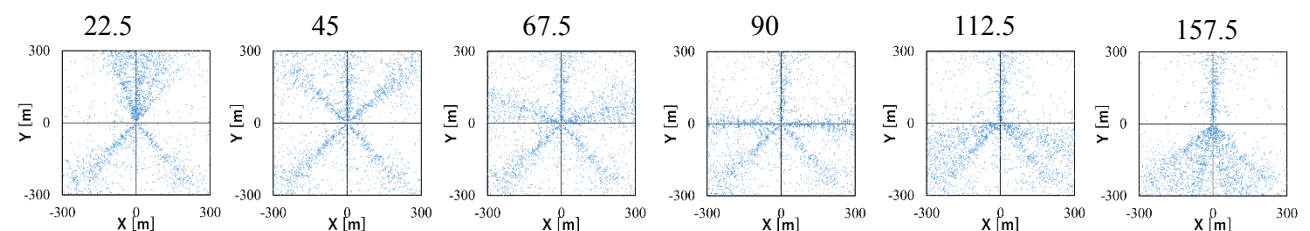


図7 実験4測定データ