

瞬時インテンシティを用いた SBTs の測定手法に関する基礎的検討

A basic study on measurement methods of SBTs by using instantaneous sound intensity.

○堀内達朗¹, 星和磨², 羽入敏樹²Tatsuro HORIUCHI¹, Kazuma HOSHI², Toshiki HANYU²

1 はじめに

音場における空間印象の要素感覚として音に包まれた感じ(Listener Envelopment : LEV)がある. この LEV を評価する指標として反射音の空間分布を考慮した SBTs が提案されている[1]. しかし SBTs を計算するには方向別インパルス応答が必要になる. ガンマイクなどの超指向マイクを用いれば方向別インパルス応答を測定できるが, 用いるマイクの指向性の違いや周波数による指向特性の変化等により測定結果の一貫性や再現性に問題がある. そこで本報では音響インテンシティから SBTs が算出できるか否か, 文献[1]の心理実験で用いた音場により検討したので報告する.

2 検討対象

文献[1]では聴感実験で得られた LEV の心理尺度値が SBTs と高い相関を示すことが報告されている. 今回は文献 1 で実施された聴感実験のうち, 2つの実験を取り上げ, そこで用いられた音場について検討する. その聴感実験は無響室内において図 1 に示すように, 両耳を含む水平面で, 正面と左右の 3 方向のスピーカによって直接音と残響音を再生する環境で行われた. 用いた音場は, 残響音を再生する左右のスピーカの角度 α を 22.5° から 157.5° まで 22.5° ごとに変化させた 7 音場である. 実験 I は正面スピーカからは直接音の

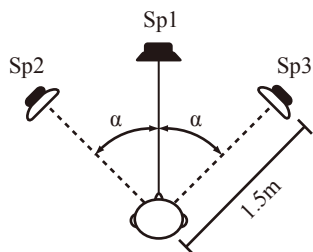


図 1 スピーカ位置[1]

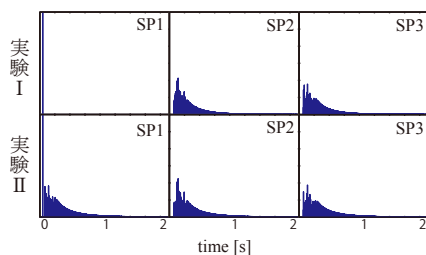


図 2 実験 I, II における各チャンネルのインパルス応答[1]

み, 左右スピーカからは残響音を再生する条件で, 実験 II は正面スピーカから直接音と残響音, 左右スピーカからは残響音を再生する条件である. 図 2 に実験 I, II における各スピーカに対応した方向別応答波形を示す. 今回はこの実験 I, II で用いられた計 14 音場をリファレンスとして検討する.

3 瞬時インテンシティの測定方法

音響インテンシティの測定については, 筆者らが提案している C-C 法[2, 3]を用いる. C-C 法は複数のカーディオイドマイクロホンを組み合わせ, それらの応答から音圧, 粒子速度, 音響インテンシティを求める手法である. 今回は, 水平面での検討であるため, 図 3 の左図に示すカーディオイドマイクロホンを四方に向けた 4ch システムで室のインパルス応答を受音することを想定する. シミュレーションの一例として, 4ch システムによる実験 I の $\alpha=45^\circ$ の音場を受音したときの波形を図 3 の右図に示す.

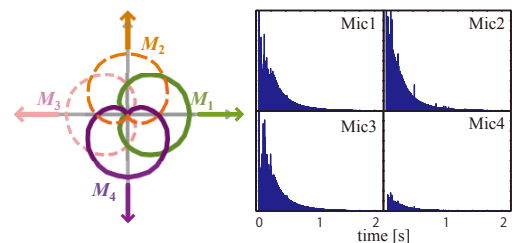


図 3 4ch システムのマイク位置及び

実験 I の $\alpha=45^\circ$ の音場を受音した応答

4 SBTs の算出方法

C-C 法によって受音した 4ch の応答を用いて SBTs が算出できるか検討した. まず C-C 法により瞬時の音圧, 粒子速度, 音響インテンシティを求め, これらから SBTs を算出する. なお, SBTs の算出方法は文献 1 を参照されたい. 文献 1 では SBTs 算出に音圧だけを用いるが, ここで計算の一部に音圧ではなく瞬時インテンシティを用いる方法を考える. この算出方法を瞬時インテンシティによる SBTs とする.

4.1 瞬時インテンシティによる SBTs

瞬時インテンシティを用いる方法について説明する. SBTs の算出[1]では T_s に対する個々の反射音の寄与 T_{s_i} を求めるが, ここでは T_s における分子の二乗音圧を,

瞬時インテンシティの絶対値に空気の音響インピーダンス ρc を乗じたものに置き換えた $ITs(t)$ を新たに定義する。

$$ITs(t) = t \cdot |I(t)| \cdot \rho c / \int_0^\infty p^2(t) dt \quad \dots(1)$$

次に $SBTs$ の算出に倣い、瞬時インテンシティベクトルの方向と両耳軸とのなす角度 $\theta_L(t)$ を用いて $ITs(t)$ を次のように補正する。ただし、 $0 \leq \theta_L(t) \leq \pi/2$ である。

$$Ia(t) = ITs(t) \cdot \{1 + \cos \theta_L(t)\} / 2 \quad \dots(2)$$

次に瞬時インテンシティの相互作用を考慮する。

$$Ib(t) = Ia(t) \cdot \int_0^\infty Ia(\tau) \cdot |\sin\{\phi(t, \tau)/2\}| d\tau \quad \dots(3)$$

これは、時刻 t の瞬時インテンシティの LEV への寄与は、他時刻 τ の瞬時インテンシティの大きさと、時刻 t の瞬時インテンシティベクトルと他時刻 τ の瞬時インテンシティベクトルとのなす角 $\phi(t, \tau)$ で決まることを意味している。ただし $\phi(t, \tau) = \theta(t) - \theta(\tau)$ である。最後に $Ib(t)$ を積分し瞬時インテンシティによる $SBTs$ を求める。

$$SBTs = \sqrt{\int_0^\infty Ib(t) dt}$$

$$= \sqrt{\int_0^\infty \int_0^\infty Ia(t) \cdot Ia(\tau) \cdot |\sin\{\phi(t, \tau)/2\}| dt d\tau} \quad \dots(4)$$

5 結果と考察

文献 1 の心理実験 I, II の結果を図 4 に、各音場における $SBTs$ の値を図 5 に再掲する。左が実験 I, 右が実験 II における結果である。図 4 と図 5 を比較すると心理実験の結果と $SBTs$ は良い対応を示している。

図 7 に瞬時インテンシティによる $SBTs$ を示す。これらを見ると図 5 の $SBTs$ の理論値とほぼ同じ値が得られているのがわかる。表 1 に LEV の心理尺度値と各手法による $SBTs$ との相関係数を示す。瞬時インテンシティによる $SBTs$ は $SBTs$ と同様に心理尺度値と高い相関が得られている。このことから原理的には瞬時インテンシティを用いて $SBTs$ を計測できることがわかった。

しかし、図 5 と図 6 を詳細に比較すると、瞬時インテンシティによる $SBTs$ の $\alpha = 90^\circ$ を中心に値が若干小さい。これは、瞬時インテンシティによる $SBTs$ の計算過程で、左右スピーカから同時に反射音が到来した場合、インテンシティの向きは両反射音の中間に合成ベクトルとして算出されるためである。たとえば、 $\alpha = 90^\circ$ において左右から大きさの同じ反射音が到来したとすると、インテンシティの大きさはゼロになる。これが瞬時インテンシティによる $SBTs$ の値が若干低い理由であろう。

今回、瞬時インテンシティを用いて $SBTs$ を測定する手法について検討した。左右真横から全く同じ残響音

を提示した場合には、頭内定位を感じるだけでほとんど LEV は知覚できないが、従来の定義どおりの $SBTs$ ではこの場合にもある値が算出される。

しかし、今回検討したように $SBTs$ の測定に瞬時インテンシティを用いれば、このような場合には値がゼロになり、LEV がほとんど生じないという聴感印象に対応した結果を測定できる。

6 おわりに

C-C 法から瞬時インテンシティを測定し、 $SBTs$ を算出する方法を検討した。その結果 $SBTs$ を実測できる可能性が示された。今後は $SBTs$ を様々な音場で計測できるように、さらに検討を進めていくつもりである。

参考文献

- [1] 羽入, 木村, 千葉, 日本建築学会計画系論文集 P.9(1999.6)
- [2] 羽入, 稲毛, 関口, 音講論(春)P.1123, (2008.3)
- [3] 羽入, 星, 音講論 (秋) P.1149, (2008.9)

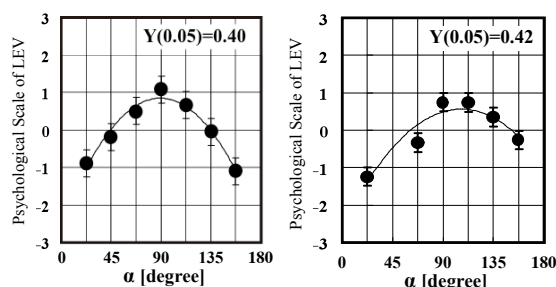


図 4 実験 I, II の心理尺度値

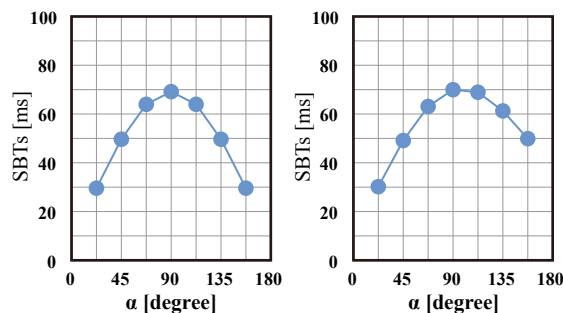


図 5 実験 I, II の $SBTs$

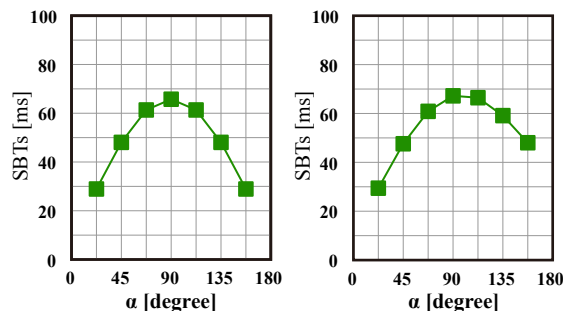


図 6 実験 I, II の瞬時インテンシティによる $SBTs$

表 1 各 $SBTs$ と LEV 心理尺度値との相関係数

| | 実験 I | 実験 II |
|----------------------|-------|-------|
| $SBTs$ | 0.988 | 0.942 |
| 瞬時インテンシティを用いた $SBTs$ | 0.986 | 0.941 |