

漸増刺激と瞬時回答を用いたサイン音の定位の主観評価 Subjective evaluation of localization of sign signal using instantaneous response to the increasing stimulus

竹内 大貴† 金子 格‡
Daichi Takeuchi, Itaru Kaneko

1. はじめに

ハイブリッド車等は、技術的には高い静音性が実現できるが、歩行者の安全への配慮からある程度の走行音が必要とされている¹⁾。最も適切な走行音については、エンジン音に近い音以外に様々な音が検討されているが、どのような音が適しているかを評価する方法は、たとえば音質や周囲の環境がどの程度走行音の認知に影響するか、などはまだほとんど調査されていない。一般的音響信号に大しては様々な主観、客観評価手法があるが、この目的に適した評価方法が確立していない。

本研究では、自動車走行の安全性の評価において定位感が継続時間、音質、音量のすべてに影響を受けることを考慮し、漸増的に音量があがる繰り返し刺激音に瞬時に回答させることによる定位特性の評価を試みた。

2. 従来手法

まず Hebrank 等²⁾は HRTF の 7kHz と 9kHz のピークが垂直方向の定位に寄与していることを指摘している。一方反射のある環境ではスペクトラルキュー以外の手がかりによる定位感も研究されている³⁾。最近では脳磁気図検査 (Magnetoencephalography) など脳内活動からアプローチする研究もある⁴⁾。しかし、これまでは一定方向から定常的に放射される音の定位に関する研究が多く、移動する音や変化する音の定位を瞬時に判断する場合についてあまり関心をもたれていなかった。前者を静的定位感、後者を動的定位感と呼ぶことにし、本研究は動的な定位感の評価を目的とする。

3. 提案手法

ハイブリッド車等のサイン音を検討する場合、静的定位感と同時に動的定位感の研究が必要と考えられる。すなわち変化する音に対し、どれだけ敏速に被験者が反応するかを評価する必要があると考えられる。そこで本研究では、車両が接近してくる状況にあわせ、漸増的に音量を増す刺激音を用い、定位の判定速度を比較する方法を採用した。

図 1 に試聴実験の設定を示す。100cm の距離に 50cm 高さが異なる位置に 2 つのスピーカーを設置した。

図 2 に刺激音の生成に用いた scilab のプログラムコードを示す。このプログラムはアタック時間、リリース時間の異なる正弦波信号音と、及び周波数帯域の異なるホワイトノイズを生成する。また同じ音について 0.5 秒間隔で音量が 5dB ずつ上昇するシーケンスを生成する。

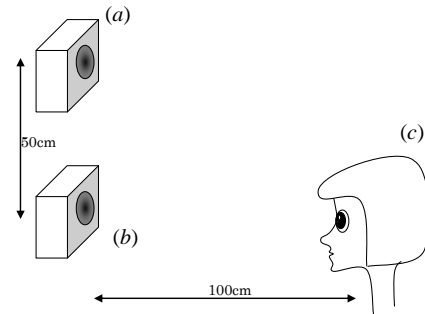


図 1 試聴実験

```

fs=48000;
d=fs/2;
n=0:(d-1);
t=n/fs;
a=[0.0001,0.001,0.01];
r=0.2;
sig_f=440;
for px=1:3;
    x=sin(2*pi*sig_f*t)*0.1;
    v=min(exp((t-0.1)/a(px)),exp((0.1-t)/r));
    y=x.*v;
    tr1=0;
    for i=0:10
        db=10^(i/20*5)/100;
        tr1(i*d+d)=0;
        tr1(i*d+n+1)=tr1(i*d+n+1)+y*db;
    end
    savewave(sprintf("p1-%02d-l.wav",px),[tr1,1*0]',fs);
    savewave(sprintf("p1-%02d-r.wav",px),[tr1*0,tr1]',fs);
end

```

図 2 刺激音の生成

4. 結果

図 3～図 5 に結果を示す。

図 3 ではリリース時間と回答時間の関係を示す。リリース時間の影響は少ない。それでもリリース時間 5ms では 100ms より 800ms 程度回答時間が遅れる。すなわち 8dB 程度の音量差に相当する。

図 4 には周波数帯域幅と回答時間の関係を示す。帯域幅が 20kHz から 4kHz まで狭まると、回答時間は長くなるが、リリース時間が変化した場合に比べればその影響は小さい。Hebrank 等は 7kHz と 9kHz のスペクトラルキューが垂直定位に寄与していると報告しており、4kHz の帯域幅ではいずれも寄与していないことになるが、良好な垂直定位が得られることがわかる。我々のグループでは反射音が生

† 東京工芸大学

‡ 東京工芸大学

在する場合には帯域幅が 4kHz でも良好な垂直定位が得られることをすでに確認しており、本実験結果はその結果と矛盾しない。

図 5にはアタック時間と回答時間の関係を示している。アタック時間 0.1ms と 1ms では 1ms の方が若干動的定位が向上し、10ms では急激に悪化する。アタック時間が回答時間に与える影響は非常に大きく、また一定の閾値があるのではない。

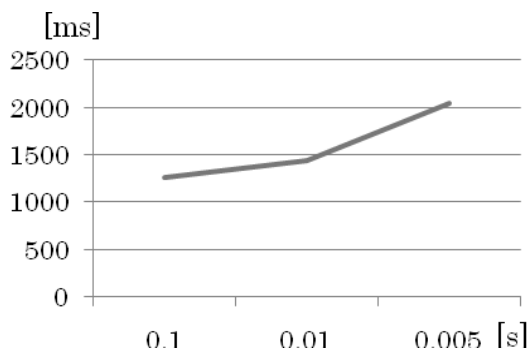


図3 リリース速度と定位

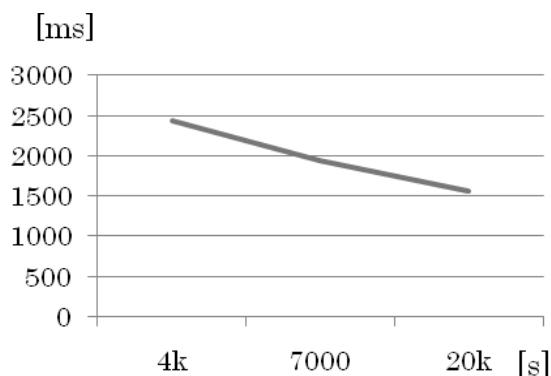


図4 帯域幅と定位

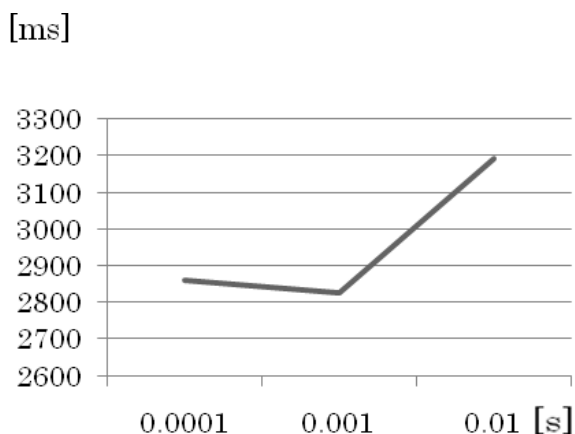


図5 アタック時間と定位

5. 考察

提案手法はと通常の定位評価手法の相違点を再度整理する。

[手法]

- (1) 急速に漸増する刺激音を用いる
- (2) 定位の精度ではなく、定位に対する感度を評価する
- (3) 反射の多い環境で試験を行う

[結果の相違]

- (1) 4kHz(1kHz)でも垂直定位が得られる
- (2) アタック時間に敏感な閾値が存在する

手法を比較すると、従来の方法よりも提案手法の方が車両の走行音を歩行者が認知する際の状況に近くなるのではないかと考えられる。

結果を比較すると、従来の評価方法から予想される結果とは一部異なっている。特に、アタック時間に敏感な閾値があることは興味深い。提案手法はハイブリッド車等のサイン音の評価に有益であると考えられる。

一方、提案手法は反射の与え方、音量の漸増の方法、刺激音の選び方などに多くの選択枝がある。これらの膨大な組み合わせの中で最適な方法を選ぶことは容易ではない。おそらく様々な目的に合わせて、複数の評価項目を調べる必要があると考えられる。また、今回行った実験は規模が小さく、結果の信頼性は決して高くない。今後、実験データの蓄積と実験条件の最適化をすすめる予定である。

[参考文献]

- 1) 国土交通省, ハイブリッド車等の静音性に関する対策のガイドライン, <http://www.mlit.go.jp/common/000057372.pdf>, 国土交通省 (2010)
- 2) Jack Hebrank et.al, Spectral cues used in the localization of sound sources on the median plane, J. Acoust. Soc. Am. Volume 56, Issue 6, pp. 1829-1834 (1974)
- 3) 金子 格, 土屋 慶多, 山口 隼人, 本人の HRTF から合成した仮想音源による有響室における音像定位の主観評価試験法: もっと多く, もっと精密に, もっと短時間に, 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 110(285), 49-54, 2010-11-11, (2010)
- 4) Yosuke Okamoto et.al, Human cortical activity related to sound localization in the median plane, "International Congress Series Volume 1278, March 2005, Pages 11-14 Unveiling the Mystery of the Brain: Neurophysiological Investigation of the Brain Function", (2005)