

## 単一エコーの入射方向が単語理解度に及ぼす影響\*

☆向井玄典, 石井要次, △大竹隼人, △矢野修平, 飯田一博 (千葉工大)

### 1 はじめに

屋外防災放送は、離れて設置された複数のスピーカから同時に音声が発せられるため、複数の音声を重ねて理解度が低下する[1]。音声理解度の向上は防災や減災のための重要な研究課題である。

これまで、単一エコーの検知限[2,3]やエコーディスタージャンプについての検討が進められ、先行音に対する後続音の遅れ時間が 50 ms 以内であれば先行音と同等の音圧レベルで到来しても、先行音の聴取の妨害とはならないことが報告されている[4]。しかし、屋外防災放送における後続音の遅れ時間は数百 ms 以上となることが多く、先行音の聴取に少なからず影響を与える。

また、先行音と後続音の到来方向の影響について、森本ら[5]は先行音を正面、後続音を水平面から呈示する実験を行い、後続音の到来方向はエコー検知限に有意に影響を及ぼすが、エコーディスタージャンプには有意な影響を及ぼさないことを示した。

Saberi *et al.* [6]は、水平面および正中面において MLD(Masking Level Difference)を求め、水平面内においては側方で、正中面においては、60-150°で MLD が大きくなることを示した。

しかし、後続音の入射方向が単語理解度に及ぼす影響については明らかにされていない。

本稿では、正面方向から呈示する先行音と水平面もしくは正中面から呈示する後続音(単一エコー)で構成される音場で実験を行い、単一エコーの入射方向が単語理解度に及ぼす影響について検証した。

## 2 実験 1(単一エコーが水平面から到来する場合)

### 2.1 実験方法

#### A. 実験システム

実験システムは、スピーカ(FOSTEX FE83E)、イコライザ(YAMAHA Q2013B)、アンプ

(YAMAHA HC1500)、PC(EPSON NJ5900E)、オーディオインターフェイス(FireFace UFX)で構築した。被験者の頭部中心からスピーカまでの距離は 1850 mm である。イコライザによって、頭部中心位置で 200 Hz-16 kHz の 1/3 オクターブバンドレベルで±1 dB で平坦となるようにスピーカの特性を調整した。

#### B. 音場

先行音を正面に固定し、単一エコー(以降、後続音)を右水平面 0-180°(30°間隔)のいずれかから呈示する 7 つの音場を設定した。暗騒音は付加していない。

#### C. 刺激

刺激は 4 連単語により構成した。単語は、親密度別単語理解度試験用音声データセット(FW03) [7]に収録されている女性話者 fto の親密度 5.5-7.0 に属する 4 モーラの単語を 4 つ繋げて作成した。単語の間隔は 1 s とした。ただし、単語間の無音時間が短くなりすぎないように 850 ms 以上の単語は除外した。先行音、後続音とも頭部中心位置で 60 dB で呈示した。

#### D. 刺激の呈示方法および回答方法

被験者は点灯した無響室で正面方向を向いて着席した。その後消灯し、回答に必要な灯りだけにして実験を行った。被験者のタスクは、刺激の呈示が終了してから、聴き取れたすべての単語を回答用紙に記入し、聴き取りにくさを 4 段階(1:聴き取りにくくはない, 2:やや聴き取りにくい, 3:かなり聴き取りにくい, 4:非常に聴き取りにくい)で回答することである。回答時間は 20 s とした。

各音場について 10 回ずつランダムな順に呈示した。70 刺激(7 音場×10 回)を 2 試行に分けて実験を行った。被験者は、20 代の男子学生 4 名であり、全員実験者である。被験者は、スピーカの配置、および先行音が正面方向に固定されていることは知っているが、呈示する単語の後続音の到来方向の順序に関し

\*Effects of the incident direction of a single echo on the word intelligibility, by MUKAI, Gensuke, ISHII, Yohji, OTAKE, Hayato, YANO, Shuhei, and IIDA, Kazuhiro (Chiba Institute of Technology).

ては知らない。

## 2.2 実験結果

単語の呈示順ごとに、各音場の正答率を求めた(Fig.1)。第1単語では、0-60°で最大(0.90)、180°で最小(0.78)となり、側方から後方にかけて正答率が低くなった。第2単語では、0°の正答率が最小(0.48)となり、他方向に比べて低く、90-180°で高い。第3単語では、90°で最大(0.75)、0、30、180°で最小(0.58)となり、側方になるにつれて正答率が高くなった。第4単語では、90°で最大(0.93)、120°で最小(0.80)となった。カイ二乗検定を行った結果、第2単語において、0°に対して90、120、180°( $p<0.01$ )および60、150°( $p<0.05$ )で有意な差が認められた。また、30°に対して180°( $p<0.05$ )でも有意な差が認められた。

さらに、先行音と後続音が時間的に重なる第2単語と第3単語を併せた正答率を Fig.2 に示す。90°で最大(0.76)となり、0°で最小(0.53)となった。カイ二乗検定を行った結果、0°に対して90、120°( $p<0.01$ )および150、180°( $p<0.05$ )で有意な差が認められた。また、30°に対して90°( $p<0.05$ )で有意な差が認められた。

この結果について Saberi *et al.* と比較する。Saberi *et al.* は、信号(クリック音)を水平面内10°間隔、妨害音(ピンクノイズ)を正面から呈示して水平面内のMLDを求めた。その結果、前後に比べて側方のMLDが大きくなることを示した。今回の実験では、0°に対して90-180°で正答率が有意に高くなった。このうち90°の正答率が高いことについてはMLDと同様の傾向であった。しかし、180°の正答率が高いことについてはMLDと異なる傾向となった。

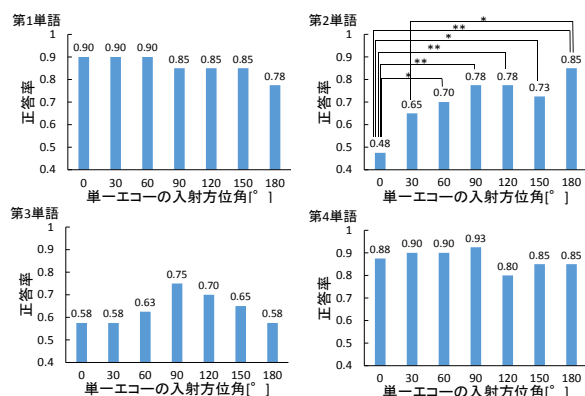


Fig.1 単一エコーの入射方位角ごとの正答率

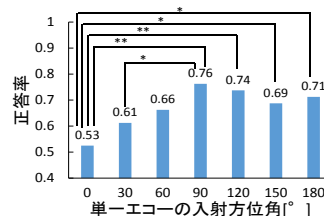


Fig.2 単一エコーの入射方位角ごとの第2単語と第3単語の平均正答率

## 3 実験 2(単一エコーが正中面から到来する場合)

正中面において、後続音の入射方向が単語理解度に影響を及ぼす影響について検証した。

### 3.1 実験方法

先行音を正面に固定し、後続音を正中面0-180°の30°間隔の7方向のいずれかから呈示した。被験者の頭部中心からスピーカまでの距離は1200mmである。それ以外の条件はすべて実験1と同様である。

### 3.2 実験結果

単語の呈示順ごとに、各音場の正答率を求めた(Fig.3)。第1単語では、いずれの方向においても0.9以上の正答率であった。第2単語および第3単語では、正面0°に比べて90°が低く、180°が高い傾向があった。第4単語では、正面0°に比べて120°が高い傾向があった。カイ二乗検定を行った結果、第4単語の120°に対して150°で( $p<0.05$ )統計的に有意な差が認められた。

さらに、先行音と後続音が時間的に重なる第2単語と第3単語を併せた正答率を Fig.4 に示す。0°と比較して60、90、150°の正答率が低くなる傾向があり、120、180°の正答率が高くなる傾向があった。カイ二乗検定を行った結果、180°に対して90、150°( $p<0.01$ )、120°に対して90、150°で( $p<0.05$ )で統計的に有意な差が認められた。この結果についても Saberi *et al.* と比較する。彼らは0°と比較して60-150°において、MLDが大きくなることを示した。今回の実験では0°に対して60、90、150°の正答率が低く、120、180°の正答率が高くなる傾向があった。120°の正答率が高いことについてはMLDと同様の傾向であった。しかし、60、90、150°の正答率が低く、180°の正答率が高いことについてはMLDとは異なる傾向になった。

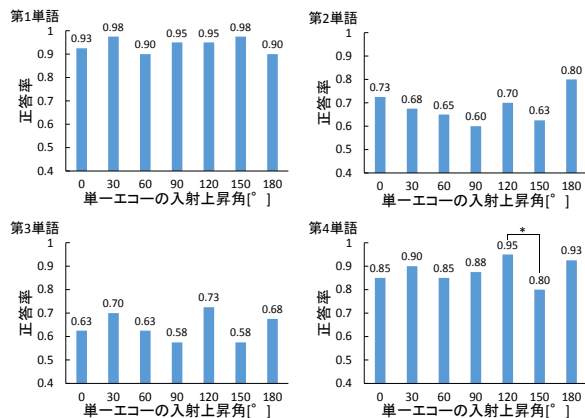


Fig.3 単一エコーの入射上昇角ごとの正答率

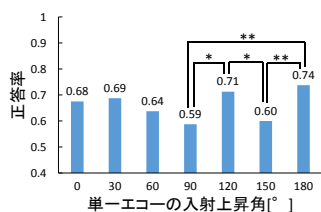


Fig.4 単一エコーの入射上昇角ごとの第2単語と第3単語の平均正答率

#### 4 実験3(4連単語と3連単語の比較)

実験1および実験2において、時間的に単語の重なりがない第1単語と第4単語の正答率は0.86-0.94であったが、これは単語数が多いため、聴き取れても正しく回答できなかった可能性がある。そこで、4連単語を用いることが妥当であるか否かを3連単語と比較することで検証した。

##### 4.1 実験方法

###### A. 実験システム

実験システムはノートPC, オーディオインターフェイス, オープンタイプヘッドホン(オーディオテクニカ ATH-AD700)で構成した。

###### B. 刺激

3連単語および4連単語は実験1, 2と同様の条件で構成した。

###### C. 刺激の呈示方法および回答方法

実験は点灯した有響室で行った。刺激は左右の耳に同相で呈示した(diotic受聴)。被験者は4連単語と3連単語についてそれぞれ35回ずつ回答した。被験者は、実験1, 2とは異なる20代の男子学生5名で、実験者ではない。その他の条件は実験1, 2と同様である。

##### 4.2 実験結果

4連単語の第1, 第4単語の正答率は0.85お

よび0.89となり、実験1, 2と同等であった。一方、3連単語の第1, 第3単語の正答率は0.98および0.96であった。したがって、音場の単語了解度を評価するうえでは、3連単語を用いることが妥当であると考えられる。

#### 5 実験4(単一エコーが水平面および正中面から到来する場合)

3連単語を用いて、水平面内および正中面内での後続音の入射方向の違いが単語了解度に及ぼす影響について検証した。

##### 5.1 実験方法

###### A. 音場

先行音を正面に固定し、後続音を右側水平面および上側正中面の12方向(30°間隔)から呈示した。

###### B. 実験条件

被験者の頭部中心からスピーカまでの距離は1200mmである。刺激は3連単語により構成した。被験者は各音場について10回ずつ回答した。120刺激(12音場×10回)を5試行に分けて実験を行った。刺激は、水平面と正中面を混ぜてランダムな順で呈示した。被験者は、これまでの実験には参加していない10-20代の学生10名(男性5名, 女性5名)である。その他の実験条件は実験1, 2と同様である。

##### 5.2 実験結果

まず、後続音が水平面から到来する場合の結果をみる。単語の呈示順ごとに、各音場の正答率をFig.5に示す。単語の重なりがない第1単語および第3単語では、いずれの方向においても0.9以上の正答率となった。先行音と後続音の単語の重なりがある第2単語では、0°に比べて30-180°で高い傾向となった。

カイ二乗検定を行った結果、第1単語については90-150°( $p < 0.01$ ), 150°に対して0, 60, 120, 180°( $p < 0.05$ )で有意な差が認められた。第3単語については90°に対して30, 150°( $p < 0.05$ )で統計的に有意な差が認められた。

次に、後続音が正中面から到来する場合の結果をみる。単語の呈示順ごとに、各音場の正答率をFig.6に示す。第1単語および第3単語では、水平面と同様、いずれの方向においても0.9以上となった。第2単語では、0°と比較して60, 150, 180°が高い傾向があった

が、統計的に有意な差は認められなかった。

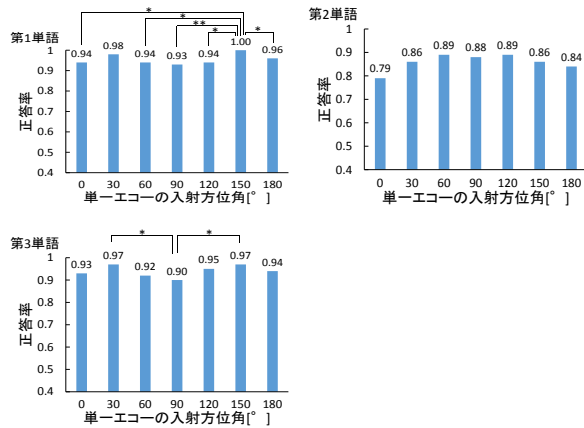


Fig.5 単一エコーの入射方位角ごとの正答率

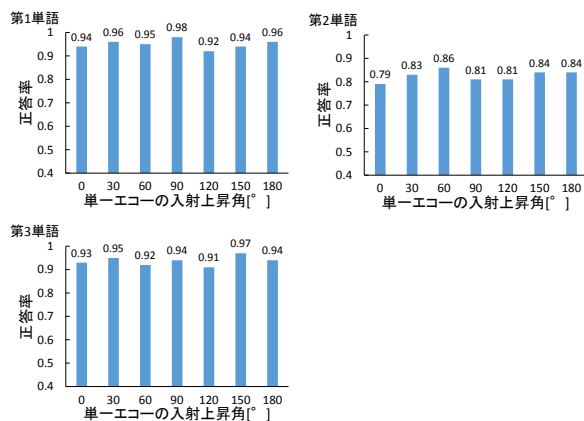


Fig.6 単一エコーの入射上昇角ごとの正答率

## 6 考察

今回の実験と Saberi *et al.*の実験で異なる傾向になったことについて考える。

実験1において、正答率は0°が低く、180°が高くなり、0-180°間に統計的に有意な差が生じた。しかし、Saberi *et al.*の実験では、0°と180°のMLDは同等であった。

ここで、詳しく実験の条件を比較すると、Saberi *et al.*の実験では、目的音はクリック音のみであり、かつ被験者は各刺激の提示の直前にクリック音の方向を教示されていた。したがって、彼らの実験では、被験者は1方向に注意を向けてクリック音を聴取していた。一方、今回の実験では、目的音は先行音と単一エコーの両方であり、しかも被験者は提示方向を知らない。このような、目的音の数の違いと提示方向に関する予備知識の違いが、異なる実験結果の要因と考えられる。

## 7 おわりに

本研究では、正面方向から呈示される直接音と水平面もしくは正中面から呈示される単一エコーで構成される音場で単語理解度実験を行い、以下の結果を得た。

1) 単一エコーが水平面内から到来する場合は、実験1の第2単語では、0°に対して90, 120, 180°( $p < 0.01$ )および60, 150°( $p < 0.05$ )で有意な差が認められた。また、30°に対して180°( $p < 0.05$ )でも有意な差が認められた。実験4の第2単語で、0°に対して、30-180°で高い傾向となったが、統計的に有意な差は認められなかった。

2) 単一エコーが正中面内から到来する場合は、実験2の第2単語と第3単語を併せた正答率は、180°に対して90, 150°( $p < 0.01$ )、120°に対して90, 150°で( $p < 0.05$ )で統計的に有意な差が認められた。実験4では0°に対して60, 150, 180°で高い傾向となったが統計的に有意な差は認められなかった。

以上より、防災放送の単語理解度の再現における3次元再生の必要性について、以下のことがいえる。

- 左右方向の再現は必要である。
- 前後・上下方向については、一部に再現の必要性を示す結果があり、再現することが望ましい。

## 謝辞

本研究の一部は文科省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業(S1311003)により実施した。

## 参考文献

- 戸井田義徳, 日本音響学会誌 Vol43(7), pp.519-525, (1987)
- E.Meyer and G.R.Schodder, Nachr. Akad. Wiss. Gottingen, 6, 31, (1952)
- J.P.A.Lochner and J.F.Burger, ACUSTICA, 8, pp.1-10, (1958)
- R.H.Bolt and P.E.Doak, J. Acoust. Soc. Am., 22, pp.507-509, (1950)
- 森本他, 日本建築学会建築環境工学論文集, 4, pp.64-69, (1983)
- Saberi *et al.*, J. Acoust. Soc. Am., 90 (3), 1355-1370, (1991)
- 天野他, NII 音声資源コンソーシアム, (2006)