

バイノーラル再生による屋外防災放送の単語了解度の再現精度 Accuracy of reproduction of the word intelligibility of out-door emergency sound system by binaural sound reproduction

飯田一博*, 野村宗弘*, 石井要次*, 大島俊也**, 内藤大介**
Kazuhiro IIDA*, Kazuhiro NOMURA*, Yohji ISHII*, Toshiya OHSHIMA**, and Taisuke NAITO**

*千葉工大, **リオン
*Chiba Institute of Technology, **RION

内容概要 本人の HRTF を持たない一般の受聴者に対し, 屋外防災放送の単語了解度を精度良く再現することを目的として, best-matching HRTF とオープンタイプヘッドホンを用いたバイノーラル再生方法を提案した. 提案法の精度を検証するため, 4 種類の実音場を無響室に設定して単語了解度と聞き取りにくさを求めた. さらに, この実音場を提案法でバイノーラル再生して, 単語了解度と聞き取りにくさを求めた. 両者を比較したところ, 単語了解度については提案法で実音場と統計的に有意な差が認められない精度で再現できることが示された. 聞き取りにくさについては, 提案法と実音場との差は 4 段階の評定尺度法において最大で 0.3 であった.

1. はじめに

屋外拡声システムによる防災放送の了解度の向上が防災や減災のための重要な研究課題であることは論を俟たない. 一般に, 防災放送は複数の地点に設置されたスピーカ(以降, 子局と呼ぶ)から放射させるので, 受聴点に複数の音波が入射する. 入射音の時間差はしばしば数百ミリ秒あるいは秒のオーダーとなり, 後続入射音がロングパスエコーとなって音声の了解度を低下させる.

このような問題を解決するために様々な面から検討が進められている. 例えば, ロングパスエコー環境下では親密度の高い単語を用いることや[1] 単語間に適切なポーズを挿入することにより[2] 単語了解度が向上することが示されている. また, 大島らは同一地点においても気象条件により屋外拡声システムから放射された音声の伝播特性が著しく変化することを示している[3]. このような知見に基づいて, 子局の幾何学的な位置や気象条件に適応して放射タイミングを制御するアルゴリズムも提案されている[4].

一方, 既存あるいは設計段階の屋外拡声システムにより伝達される音声をシミュレートし, 可聴化することができれば, 音声の了解度を直接評価することができる. ただし,

音声の了解度を精度よくシミュレートするには入射音の時間特性や周波数特性だけではなく, 空間特性つまり 3 次元的な入射方向も再現する必要がある. このような可聴化の試みとして, 無響室にマルチチャンネルスピーカを設置したシステムが提案されているが[5], 実音場の音声了解度の再現精度は報告されていない.

本研究では, 無響室などの特別な設備を必要としないバイノーラル再生に着目し, 屋外防災放送の単語了解度の再現精度を検証する.

2. バイノーラル再生の課題と解決方法

バイノーラル再生においては, 本人の頭部伝達関数(HRTF)と FEC (外耳道入口からヘッドホンを見込む音響インピーダンスが自由音場のそれと等しい) ヘッドホンを用いることにより, 実音場と同様の方向に音像を再現できる[6]. しかし, これらの条件が満たされない場合, 音像方向の前後誤判定や頭内定位が発生する. また, 音色も変化する. このような現象により, 音声了解度の再現精度が低下する可能性がある.

屋外防災放送の可聴化においては, 想定される受聴者は

自らの HRTF データを持たない一般の住民や地方自治体の防災担当者である。また、FEC ヘッドホンは入手が困難であり、市販品を使わざるを得ない。

したがって、屋外防災放送のバイノーラル再生においては、以下の3つの解決すべき課題があると考えられる。

- 1) 受聴者本人に適合する HRTF の提供
- 2) 少数の HRTF による任意の3次元方向への制御
- 3) ヘッドホン-外耳道入口伝達関数の影響の低減

以下に、これらの課題解決する方策を述べる。

2.1. 受聴者に適合する HRTF の提供

不特定多数の受聴者それぞれに適合する HRTF として著者らが提案した best-matching HRTF を簡単に説明する。

2.1.1 前方の best-matching HRTF

Iida *et al.* [7]は、日本人成人男性 54 耳の HRTF と 10 箇所の耳介形状 (図 1) を測定し、重回帰分析により両者の関係を分析した。上昇角知覚の手掛かりとして重要な役割を果たしている HRTF の2つのスペクトルノッチ (N1, N2) [8]の周波数には顕著な個人差があるが、各受聴者の正面方向 (0°) の HRTF の N1, N2 周波数は表 1 の左側に示す 6 箇所 ($x_2, x_3, x_6, x_8, x_d, x_a$)の耳介形状で推定できることを示した。

さらに、彼らは耳介形状から推定した N1, N2 周波数に最も近い HRTF をデータベース [9] から選出し best-matching HRTF と呼んだ。加えて、正面方向以外の上半球正中面の 6 方向 (上昇角: $30-180^\circ$, 30° 間隔) の best-matching HRTF として、正面方向の best-matching HRTF の提供者の上半球正中面 HRTF を充てた。

このようにして求めた上半球正中面の best-matching HRTF 用いて音像定位実験を行ったところ、上方では本人 HRTF よりも定位精度が低下した受聴者がいたものの、前方 (0°) および後方 (180°) においては全ての受聴者において本人 HRTF と同等の音像定位精度が得られた。

2.1.2 後方の best-matching HRTF

しかしながら、より精度の高い音像制御を実現するには、前方以外の上半球正中面においても音源方向ごと (例えば 30° 間隔) に best-matching HRTF を求める方法を確立することが望ましい。本研究では、新たに後方 (180°) の

best-matching HRTF を選出するための重回帰式を求めた。

正面方向と同様の手順、つまり日本人成人男性の 10 箇所の耳介形状を説明変数、後方の HRTF の N1, N2 周波数を目的変数として重回帰分析を行った。分析の対象とした耳の数は 36 である。

説明変数の個数を変えながら全ての説明変数の組み合わせについて重回帰分析を行い、用いた全ての説明変数の p 値が 0.05 未満かつ重相関係数が最大となる組み合わせを求めた。表 1 の右側に後方の重回帰分析結果を示す。後方では、N1 については 4 種類 (x_4, x_6, x_7, x_a)、N2 については 1 種類 (x_4) の耳介形状パラメータが選ばれた。前方とは異なり、 x_4 (耳輪の幅) との相関が高い。N1 および N2 の重相関係数はそれぞれ 0.71 および 0.53 であり、前方よりも低い値となった。しかし、平均絶対残差はそれぞれ 0.08 および 0.09 oct. であり、前方と同等であった。

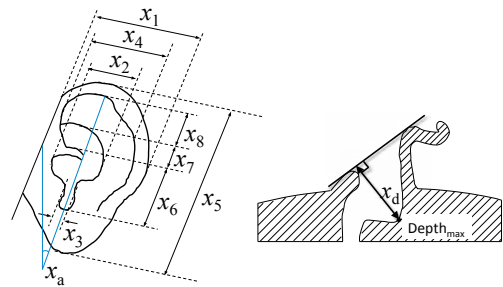


図1 HRTF 個人化に用いた耳介部位

表 1 重相関分析結果

	0 [deg.]		180 [deg.]	
	N1	N2	N1	N2
Regression coefficient				
x_1	-	-	-	-
x_2	116.9	-	-	-
x_3	-157.5	-	-	-
x_4	-	-	-210.9	-247.4
x_5	-	-	-	-
x_6	-183.4	-327.0	-132.5	-
x_7	-	-	-143.7	-
x_8	-93.2	-245.0	-	-
x_d	-131.4	-172.8	-	-
x_a	-48.7	-	44.3	-
Constant	14906.4	23903.1	16942.1	21100.7
Correlation coefficient	0.81	0.82	0.71	0.53
Significance level	1.1E-09	5.4E-12	1.5E-04	8.1E-04
Absolute mean residual error [oct.]	0.07	0.08	0.08	0.09

2.2. 正中面 HRTF と両耳間差による3次元音像制御

少数の HRTF により任意の3次元音像制御を実現する方法の1つとして、Morimoto *et al.* [10]は正中面内の HRTF に両耳間差キュー与える方法を提案している。彼らは、被

験者本人の上半球正中面の HRTF と被験者本人の水平面内の両耳間時間差 (ITD) により, 上半球面の任意の3次元方向への音像制御が可能であることを音像定位実験により示した. さらに, 宮本ら[11]は上半球正中面の best-matching HRTF と被験者本人の ITD を用いても同様に上半球面の任意の3次元方向への音像制御が可能であることを示した.

これらの結果により, 3次元音像制御で準備すべき HRTF は正中面内のものに限定できる.

2.3. ヘッドホン-外耳道入口伝達関数の影響の低減

Møller *et al.* [12]は FEC ヘッドホンとみなせる機種として. AKG K1000, Stax SR lambda professional および Beyerdynamic DT990 professional をあげている

2.4. 本研究で提案するバイノーラル再生方法

本研究では, 複数の屋外拡声放送の子局は受聴者から数百 m 離れた位置にあると想定して入射音の仰角は 0° とみなし, 方位角だけを取り扱う. つまり, 音源は水平面内にあるとみなした.

上記 2.1-2.2 の議論を踏まえ, 前方 (0°) の best-matching HRTF に ITD を付加することで前方の水平面内を制御し, 後方 (180°) の best-matching HRTF に ITD を付加することで後方の水平面内を制御する. また, 2.3 で紹介した FEC ヘッドホンはいずれも一般には入手困難であるため, DT990 professional と同等の性能をもつ市販のオープンタイプヘッドホン (audio-technica ATH-AD700)を用いる.

2.5. 音像定位実験

上記バイノーラル再生方法の音像定位精度を検証した.

2.5.1 実験方法

A: 実験システム

音像定位実験は防音室で行った. 室の内法は 4.6m (W) × 5.8m (D) × 2.8m (H)で, 暗騒音は 19.5 dB(A)であった. 図2に示す2種類のシステムを用いた.

システム A は耳入力信号の厳密な再現を目的としたもので, ノート PC (Lenovo T420), オーディオ I/F (Fireface 400), アンプ (Marantz PM 4001), FEC ヘッドホン (AKG K1000), A/D コンバータ (Roland M-10MX), イヤーマイクホン[7]で構成した. 再生系伝達関数を補正するため, 式(1)に示す信号処理を施して呈示した.

$$P_{l,r}(\omega) = S(\omega) \cdot HRTF_{l,r}(\omega) / (M_{l,r}(\omega) \cdot PTF_{l,r}(\omega)) \quad (1)$$

ここで, P はヘッドホンから提示する刺激, S は音源信号, l と r は耳の左右, M はイヤーマイクホンの伝達関数, PTF はヘッドホンから外耳道入口(閉塞状態)までの伝達関数である.

システム B では 2.1-2.3 の議論を踏まえ, best-matching HRTF と市販のオープンタイプヘッドホンを用いた. このシステムではヘッドトラッカも検討したが, 被験者がかなり意識的に頭を回転させないと却って音像定位精度が劣化することが予備実験で判明したため, 使用しなかった.

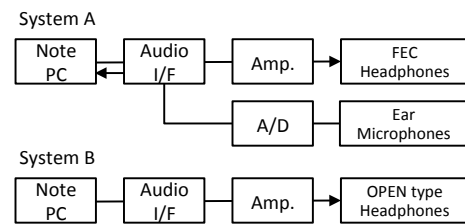


図2 再生システム

B: 再生方法

表2に示す4種類の再生方法を用いた. 再生方法1は本人 HRTF (own) と FEC ヘッドホンを用いたシステムで, 原理通りの理想的なシステムである. 再生方法2は HRTF は本人のものであるが, ヘッドホンは市販のオープンタイプ (OPEN) とした. 再生方法3は本研究で提案する方法, すなわち best-matching HRTF (bm) とオープンタイプヘッドホンである. 比較のため, ダミーヘッド (B&K Type 4128C) とオープンタイプヘッドホンによる再生方法4を加えた.

表2 バイノーラル再生方法

再生方法	HRTF	ヘッドホン	システム
1	本人(own)	FEC	A
2	本人(own)	OPEN	B
3	best-matching(bm)	OPEN	B
4	HATS	OPEN	B

C: 目標方向

目標方向は正面 (側方角 0° , 上昇角 0°) および真後ろ (側方角 0° , 上昇角 180°) の2方向である.

D: 被験者

被験者は20代の学生8名 (男性7名, 女性1名) である.

E: 刺激

音源信号は 200Hz-17 kHz の広帯域ホワイトノイズである。刺激の提示音圧レベルは、被験者の左右の外耳道入口で 63 dB SPL とした。両耳間時間差および両耳間レベル差はゼロに設定した。刺激の提示時間は 1.2 s (立上がり, 立下がりそれぞれ 0.1 s を含む) である

F: 回答方法

被験者がターゲット方向を推測することを避けるため、回答方法にはマッピング法を用いた。被験者はノート PC の画面上の正中面を示す円周上に、音像方向をスタイラスペンでチェックした。頭内定位した場合はチェックボックスに印を入れた。刺激はランダムな順に提示し、各被験者は各刺激について 10 回ずつ回答した。

2.5.2 実験結果

各被験者の実験結果を再生方法ごとに図 3 に示す。

A: 再生方法1 (own_FEC)

前方は OKA を除く 7 名が目標方向に知覚し、後方では MKI, ASK を除く 6 名が目標方向に知覚した。ただし、OIS は一度だけ前後誤判定した。以降、この再生方法で目標方向に知覚した 7 名および 6 名について比較する。

B: 再生方法2 (own_OPEN)

ヘッドホンを FEC から市販のオープンタイプに変更したところ、前方では 7 名中 TTK を除く 6 名が目標方向に知覚し、後方では 6 名中 OKA を除く 5 名が目標方向に知覚した

C: 再生方法3 (best-matching_OPEN)

ヘッドホンに加え、HRTF を best-matching HRTF に変更したところ、前方では 7 名中 ASK を除く 6 名が目標方向に知覚した。ただし、MKI の回答はややばらついた。後方では 6 名中 MMT を除く 5 名が目標方向に知覚したが、OIS はややばらついた。

D: 再生方法4 (HATS_OPEN)

HATS の HRTF では、従来の研究で指摘されているように高い頻度で前後誤判定が発生した。前方は 7 名中 3 名が目標方向に知覚したが、残り 4 名中 3 名は後方に、1 名は上方に知覚した。後方では 6 名中 4 名が目標方向に知覚したが、2 名は前方および上方に知覚した。

E: 音像定位実験結果のまとめ

best-matching HRTF と市販のオープンタイプヘッドホンを用いたバイノーラル再生でも、本人 HRTF と FEC ヘッドホンを用いた場合とほぼ同様に前方および後方への音像制御が可能であると言える。これに ITD を組合せることにより、水平面での音像制御が可能となる。

3. 原音場の単語了解度

上に述べたバイノーラル再生方法で再現すべき原音場を設定し、原音場での単語了解度を求めた。

3.1. 実験方法

3.1.1 音場

大島らは、7 ヶ月に亘り定時放送音 (ピアノ曲「小さな世界」) を 1 本の無指向性マイクロホンで収録し、クロススペクトル法で入射音の時間的構造を求めている[3]。その中から、観測点 M03 (小金井市) において気象条件の異なる 3 日分の音場を選んだ (音場 1-3)。入射方向は到達時間に対応する子局を地図から読み取ることにより求めた。

受聴者の向きは、BMLD (Binaural Masking Level Difference)[13]が小さくなる、すなわち入射音の側方角の絶対値の和が小さくなる方向とした (北を 0° として時計廻りに 22°)。さらに、音場 3 と時間的構造は同じで受聴者の向きが異なる (BMLD が大きくなる) 音場 4 を加えた。表 3 に各音場の入射音構造を示す。ここで、入射音の方位角は受聴者からみた値である。

表 3 原音場の構成

	音場番号/受聴者の向き/測定日/気象			
	1	2	3	4
	22°	22°	22°	71°
入射音	2013.9.7	2013.12.19	2013.9.10	
	曇り	雨	曇り	
	1.6 m/s	1.1 m/s	1.9 m/s	
1	0	0	0	
相対遅れ時間 (ms)	0	0	0	
相対振幅	1.00	1.00	0.60	
方位角 (°)	11	11	11	322
2	-	941	443	
相対遅れ時間	-	941	443	
相対振幅	-	0.81	1.00	
方位角	-	345	178	129
3	-	-	564	
相対遅れ時間	-	-	564	
相対振幅	-	-	0.98	
方位角	-	-	101	52
4	-	-	745	
相対遅れ時間	-	-	745	
相対振幅	-	-	0.81	
方位角	-	-	322	273

入射音の振幅周波数特性については、暗騒音などの影響でクロススペクトル法では正確に求められないため、子局と同タイプのスピーカ（ロングホーン：UNI-PEX H510L、レフレクスホーン：同 H510A）の特性を付加した。これらのスピーカの方向別インパルス応答（水平面2.5°間隔）を無響室で測定し、子局ではロングホーンとレフレクスホ

ーンを計4台組合せてスピーカ群を構成しているため、各スピーカの向きと位置を考慮してスピーカ群の方向別インパルス応答を合成した。さらに、100 Hz以上の1/3オクターブバンドにおいて、観測時の気温、相対湿度および伝搬距離より求めた空気吸収による減衰量[14]を反映した。

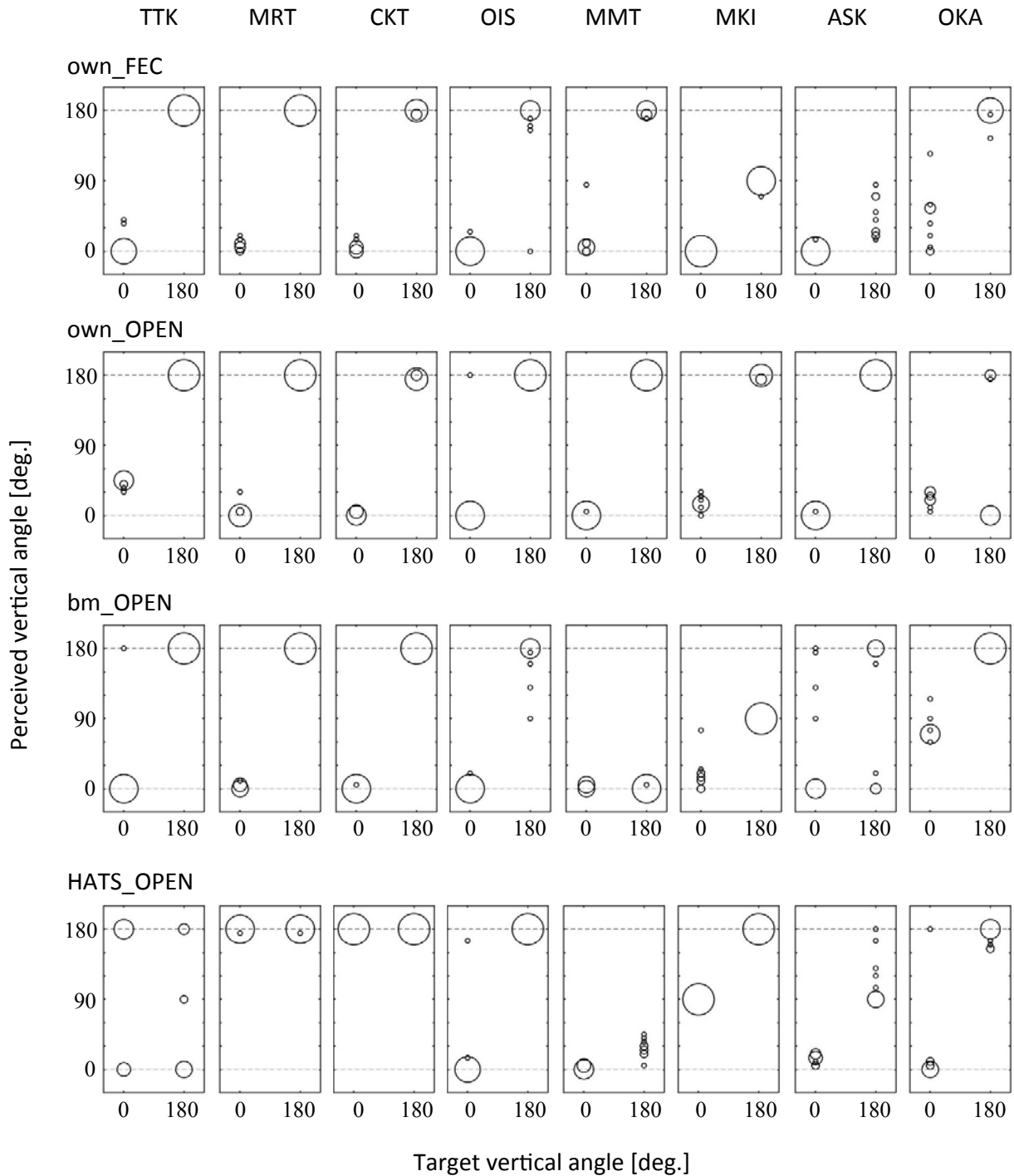


図3 音像定位実験結果

3.1.2 実験システム

音場 1-4 を無響室内で再現した。表 3 に示した各方位角にスピーカ (FOSTEX FE83E) を設置した (図 4)。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。さらに、暗騒音呈示用として $\pm 45^\circ$, $\pm 135^\circ$ にスピーカを設置した。各スピーカはイコライザで 200 Hz-16 kHz の 1/3 オクターブバンドレベルが ± 1 dB となるよう調整した。

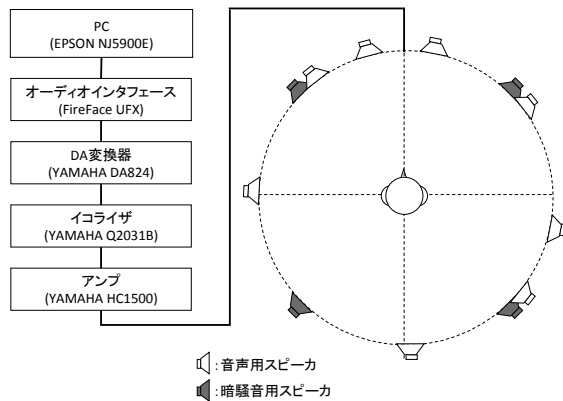


図4 実験システム

3.1.3 刺激

刺激は 4 連単語と暗騒音により構成した。4 連単語は、親密度別単語理解度試験用音声データセット (FW03)[15] に収録されている女性話者 fto の親密度 7.0-5.5 に属する 4 モーラの単語を 1.5 モーラ (281.25 ms) 間隔で 4 つ繋げて作成した。この 4 連単語に前述のスピーカ群のインパルス応答を畳込み、空気吸収による減衰を施し、表 3 の相対遅れ時間と相対振幅を反映させて呈示した。

暗騒音は各音場観測時のものを使用し、無相関となるように -45° のスピーカの遅延を 0 として時計廻りに 150, 450, 300 ms の遅延を与えた。

各音場の頭部中心位置での (信号+暗騒音) レベル、および暗騒音レベルは、現場での観測値 (表 4) を再現した。

表 4 信号および暗騒音の観測値

音場	信号+暗騒音(dB)	暗騒音(dB)	(信号+暗騒音)/暗騒音(dB)
1	54.8	47.9	6.9
2	58.2	54.6	3.6
3, 4	56.5	48.9	7.6

3.1.4 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示す印に向いて

着席した。その後消灯し、回答に必要な手元の灯りだけにして実験を実施した。各刺激では、まず暗騒音を呈示し、2 s 後に 4 連単語を呈示した (図 5)。刺激の呈示時間は 8 s である。被験者のタスクは、刺激の呈示が終了してから 20 s 間に、聴き取れた全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。

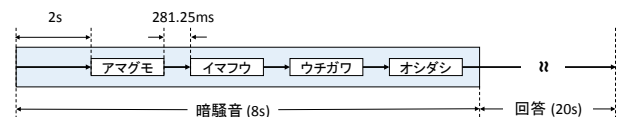


図5 刺激の時間的構成

3.2 実験結果

3.2.1 単語理解度

音場ごとに求めた 4 連単語の単語理解度を図 6 に示す。単語理解度は音場 1 で最大 (0.77)、音場 2 で最小 (0.46) であった。音場 3 と 4 はほぼ同じ値であった。これらの差異についてカイ二乗検定を行った結果、音場 3-4 間を除く全ての音場間に有意な差 ($p < 0.01$) があつた。

3.2.2 聴き取りにくさ

聴き取りにくさについても、音場 1 で最小 (1.1)、音場 2 で最大 (2.9) となり、「聴き取りにくくはない」と「かなり聴き取りにくい」に相当する違いがあつた (図 6)。しかし、音場 3 と 4 は 2.7 と 2.5 であり、受聴者の向きによる影響は大きいとは言えない。

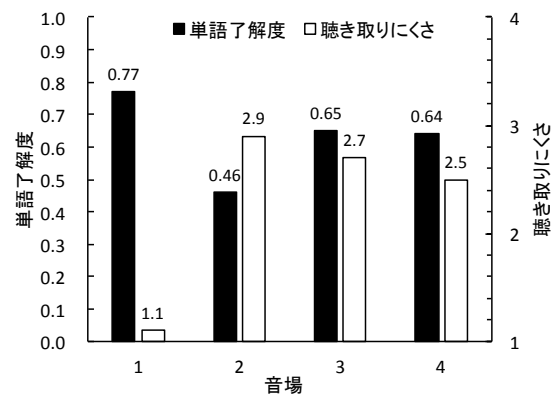


図6 各音場の単語理解度と聴き取りにくさ

3.2.3 まとめ

同一地点で観測した気象条件の異なる4音場を無響室に設定し、単語了解度と聞き取りにくさを求めた。その結果、気象条件により単語了解度に統計的有意な差が生じ、聞き取りにくさも異なった。次章では、この4音場を原音場としてバイノーラル再生を行い、単語了解度および聞き取りにくさの再現精度を検証する。

ところで、音場3と4の間には、単語了解度においても聞き取りにくさにおいても顕著な差はみられなかった。従来のBMLDの見聞からすれば、単語了解度や聞き取りにくさに後続音の入射方向の影響が現れると考えられる。この点については、よりシンプルな音場を用いた実験を行ったので参照されたい[16]。

4. バイノーラル再生による原音場の音声了解度の再現精度

2章で述べたバイノーラル再生方法で3章の4種類の原音場をシミュレートし、単語了解度の再現精度を検証した。

4.1. 実験方法

4.1.1 音場

3章で述べた音場1-4をシミュレートした。

4.1.2 実験システム

2.5.1 Aと同様である。

4.1.3 再生方法

2.5.1 Bと同様である。

4.1.4 被験者

2.5.1 Dと同様である。

4.1.5 刺激

3.1.3と同様の方法で作成した刺激に頭部インパルス応答(HRIR)を時間軸上で畳込んで提示した。ただし、3.1.3とは異なる音声セットを用いた。

各入射音方向に対応するHRIRを用いるのではなく、2.4で述べたように前方(0°)および後方(180°)のHRIRにITDを付加する方法を用いた。ITDは式(2)で与えた[17]。

$$ITD = \frac{D}{2c}(\phi + \sin \phi) \quad (2)$$

ここでcは音速、Dは両耳間距離であり、210mmとした。

4.1.6 刺激の呈示方法および回答方法

消灯した防音室で回答に必要な手元の灯りだけにして実験を行った。刺激の呈示方法および回答方法はヘッドホンで提示することを除き3.1.4と同様である。

4.2. 実験結果

4.2.1 単語了解度

単語了解度を表5に示す。3.2.1の原音場の結果も併せて示す。いずれのバイノーラル再生においても単語了解度は原音場より高く、危険側の結果となった。音場間の差異については、音場2<音場3≒音場4<音場1となり、原音場と同様の傾向であった。カイ二乗検定の結果、FEC_ownとOPEN_bmにおいては原音場と有意な差は認められなかった。

表5 バイノーラル再生による単語了解度。*および**は原音場での単語了解度の間に $p<0.05$, $p<0.01$ で有意な差があることを示す。

音場	原音場	バイノーラル再生			
		own_FEC	own_OPEN	bm_OPEN	HATS_OPEN
1	0.77	0.80	0.83	0.81	0.84*
2	0.46	0.51	0.54*	0.47	0.50
3	0.65	0.66	0.70	0.70	0.71
4	0.64	0.65	0.71	0.70	0.74**

4.2.2 聞き取りにくさ

聞き取りにくさを表7に示す。いずれのバイノーラル再生においても、原音場との差は最大で0.3であった。音場間の差異については、音場1<音場≒音場4<音場2となり、原音場と同様の傾向であった。

表6 バイノーラル再生および原音場の聞き取りにくさ

音場	原音場	バイノーラル再生			
		own_FEC	own_OPEN	bm_OPEN	HATS_OPEN
1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3
2	2.9	3.2	3.1	3.2	3.2
3	2.7	2.5	2.6	2.5	2.4
4	2.5	2.6	2.7	2.4	2.3

5. 考察

5.1. バイノーラル再生の単語了解度が原音場より高い傾向を示した理由

バイノーラル再生では4種類のすべての方法で、単語了解度が原音場より高い値を示した(表5)。これは音場評価の観点からすれば危険側の結果である。

このような差が生じた理由として、音像距離の減少が考えられる。一般的に、バイノーラル再生では原音場よりも音像距離が近くなる傾向があり、他人や HATS などの HRTF を用いると頻繁に頭内定位をする。音像距離が近くなることで単語を知覚しやすくなった可能性がある。しかし、聴き取りにくさの結果をみると、原音場よりバイノーラル再生の方が低いという傾向はみられなかった(表6)。

5.2. 上下方向を含む3次元音場の再現

本研究では、子局から数百メートル離れた受聴点を設定したため、入射音は水平面から到来することとしたが、子局との距離が縮まると仰角を反映する必要がある。

Saberi *et al.* [18]は正面から到来するピンクノイズを妨害音、水平面もしくは正中面の1方向から到来するクリック音を目的音として、MLD (Masking Level Difference)を求め、正面方向の目的音と比較して、側方や上方ではMLDが上昇することを示した。つまり、前後方向より上方から到来する信号のほうが聴き取りやすい。

一方、向井ら[16]は正面から先行音、正中面内の1方向から単一エコーが到来する音場で単語了解度実験を行ったが、エコーの到来方向による有意差は認められず、むしろ上方から到来する場合のほうが了解度は低くなる傾向が見られた。この違いは、Saberi *et al.*の実験ではクリック音が目的音であるが、向井らの実験では先行音と単一エコーの双方が目的音となり得るためだと考えられる。

このように、エコーの入射仰角が単語了解度に及ぼす影響については検討の余地が残っている。

6. 結論

本人の HRTF を持たない一般の受聴者に対し、屋外防災放送の単語了解度を精度良く再現することを目的としたバイノーラル再生方法を提案した。

提案法の精度を検証するため、まず原音場として同一地点で観測した気象条件の異なる4音場を無響室に設定し、単語了解度と聴き取りにくさを求めた。さらに、この原音場を提案法でバイノーラル再生して、単語了解度と聴き取りにくさを求め、以下の結論を得た。

単語了解度について：

1) いずれのバイノーラル再生においても原音場よりやや高く、危険側の結果となった。

2) しかし、バイノーラル再生における音場間の差異については、音場2 < 音場3 ≒ 音場4 < 音場1 となり、原音場と同様の傾向であった。

3) カイ二乗検定の結果、本人 HRTF および FEC ヘッドホン(原理通りの理想システム)によるバイノーラル再生と best-matching HRTF とオープンタイプヘッドホンを用いたバイノーラル再生(本研究で提案した実用システム)においては、原音場と有意な差は認められなかった。

聴き取りにくさについて：

4) バイノーラル再生と原音場の差は最大で0.3であった。

5) バイノーラル再生における音場間の差異については、音場1 < 音場 ≒ 音場4 < 音場2 となり、原音場と同様の傾向であった。

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

- [1] 虎井他, 信学技報, EA2013-54, 2013.
- [2] 宮下他, 信学技報, EA2014-21, 2014.
- [3] 大島他, 騒音研資料, N-2014-25, 2014.
- [4] 小野口他, 信学技報, EA2014-12, 2014.
- [5] 森他, 騒音制御, 38(2), 123-131, 2014.
- [6] Wightman and Kistler, J. Acoust. Soc. Am. 85(2), 868-878, 1989.
- [7] lida *et al.*, J. Acoust. Soc. Am. 136(1), 317-333, 2014.
- [8] lida *et al.*, Applied Acoustics, 68, 835-850, 2007
- [9] <http://www.iida-lab.it-chiba.ac.jp/e/>
- [10] Morimoto *et al.*, Acoust. Sci. Tech., 24(5), 267-275, 2003.
- [11] 宮本他, 音講論, 605-608, 2014.9.
- [12] Møller, *et al.*, J. Audio Eng. Soc. 43, 203-217, 1995
- [13] Blauert, Spatial Hearing, The MIT Press, 257-271, 1983.
- [14] ISO 9613-1:1993.
- [15] NII 音声資源コンソーシアム, 2006.
- [16] 向井他, 建築音響研究会資料, AA2015-, 2015.