

模擬難聴システムを用いた実環境音下における
サイン音認知に関する研究

筑波大学
図書館情報メディア研究科
2021年03月
大中 悠生

目次

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 第2章 | 実験のねらいと手法 | 2 |
| 2.1 | 模擬難聴 | 2 |
| 2.2 | 評価軸 | 2 |
| 2.3 | 刺激音 | 2 |
| 2.4 | 実験条件 | 4 |
| 2.5 | 実験手続き | 4 |
| 第3章 | 実験結果と考察 | 5 |
| 3.1 | Russellの円環モデルに準じたプロット | 5 |
| 3.2 | 各音毎の模擬難聴条件と健聴条件の比較 | 7 |
| 3.3 | 情動の変化 | 10 |
| 3.4 | サイン音の聴こえやすさ | 10 |
| 3.5 | 危険度の認知 | 10 |
| 第4章 | まとめと今後の展望 | 11 |
| 4.1 | まとめ | 11 |
| 4.2 | 今後の展望 | 11 |
| | 謝辞 | 12 |
| | 参考文献 | 13 |

目 次

| | | |
|-----|---|---|
| 2.1 | 70代男性, 圧縮特性 50%のオーディオグラム (模擬難聴システムより) | 3 |
| 3.1 | 刺激音: atm を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動の変化 . . | 5 |
| 3.2 | 刺激音: birdtrain を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動の変化 | 6 |
| 3.3 | 刺激音: hospitalbeep を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動 の変化 | 7 |
| 3.4 | 模擬難聴処理前後の印象評価: 評価軸「はっきりしている - 埋もれている」 の場合 | 8 |
| 3.5 | 模擬難聴処理前後の印象評価: 評価軸「聞き流せる - 気になる」の場合 . . . | 8 |
| 3.6 | 模擬難聴処理前後の印象評価: 評価軸「緊迫した - ゆったりした」の場合 . . | 9 |
| 3.7 | 模擬難聴処理前後の印象評価: 評価軸「危険 - 安全」の場合 | 9 |

第1章 はじめに

日本社会の総人口は減少する中で、高齢化率は上昇している。2025年には高齢者数が日本の全人口の3割に達する [1]。高齢者は一定の割合で加齢性難聴を発症することが知られているため [2]、日本社会における難聴者の割合も増加していくことが予想される。加齢性難聴の症状として1000Hz以上の高音域が健聴者に比べ聞こえづらくなるものがある。一方近年様々な報知音やサイン音が周辺環境や製品に関する情報を伝達するのに用いられている。しかしその多くが高齢者の可聴域外となっており危険な状態であることが指摘されている [3]。これらの実験には防音室等で録音されたものを用いており妨害音の影響は考慮されていない。JIS0013では報知音の基本周波数は2.5kHzを超えないことを推奨 [4]、JIS0014では妨害音（報知音の聴取に最も大きな影響を及ぼすと考えられる製品動作音又は生活環境音）の大きさに合わせた適切な音圧レベルを提示 [5] しているが対象はビープ音のみであり充分でない。このように実環境音下でのサイン音の評価は今までになく、加齢性難聴者が妨害音のある実環境下でサイン音をどのように聴いているか探求することを本研究の課題とする。

第2章 実験のねらいと手法

本研究ではサイン音が放送されている実環境音を評価対象として採用した。本実験では実環境音とそれに模擬難聴処理を施した音を実験参加者に聴取させ、アンケート項目に回答してもらった。

2.1 模擬難聴

健聴者には入力音圧が小さすぎる場合出力を増加させる圧縮特性があるが、加齢性難聴者はこの機能が低下しているとされている。入野らが開発した模擬難聴システムは圧縮特性を打ち消す逆圧縮特性を付与することによって、聴覚系の線型な音圧低下だけではなく非線形な加齢性難聴者の聴こえを再現することができる [6]。本実験では模擬難聴システム ver. 23Jul19[7]を使用した。

2.2 評価軸

模擬難聴前後での情動の動きの定量的な評価を目指して本実験ではラッセルの円環モデルを採用した [8]。Russell は縦軸に覚醒度 (arousing-sleepy) を取り横軸にはポジティブ度 (pleasure-unpleasure) を取る 2次元のグラフ上に感情を表す形容詞をプロットすることで感情を分類した。本研究ではこれを参考にし覚醒度を「1:緊迫した - 7:ゆったりした」、ポジティブ度を「1:悲しそう (ネガティブ) - 7:嬉しそう (ポジティブ)」で測った。またこれらに加えサイン音としての機能を評価する尺度として「1:スタート - 7:終わり」「1:危険 - 7:安全」「1:聞き流せる - 7:気になる」「1:はっきりしている - 7:埋もれている」「1:心地よい - 7:不快な」の 5項目を加え計 7項目での 7段階評価を実験参加者に行なわせた。また自由記述で聞き取りやすさに関して感じたことを聞いた。

2.3 刺激音

本研究では「音を用いて情報を伝達している」ものをサイン音の定義とした。刺激音として用いたのは実環境音下でサイン音が鳴っている以下の 10箇所音である。ICレコーダー (Roland R-05) にウィンドジャマーを装着し、サンプリングレートは 48000Hz, 24bit リニア PCM に設定し保存形式は WAVE とした。各場所 1分間から 2分間程度の録音を行い、そこから数十秒切り出し刺激音とした。これらの音は平均音圧レベル 70dB に正規化をし、加工条件として元の音源 (健聴条件)、70代男性の聴力レベルを圧縮特性 50%で模擬難聴音 (模擬難聴条件) の 2種類、計 20音を用意した。

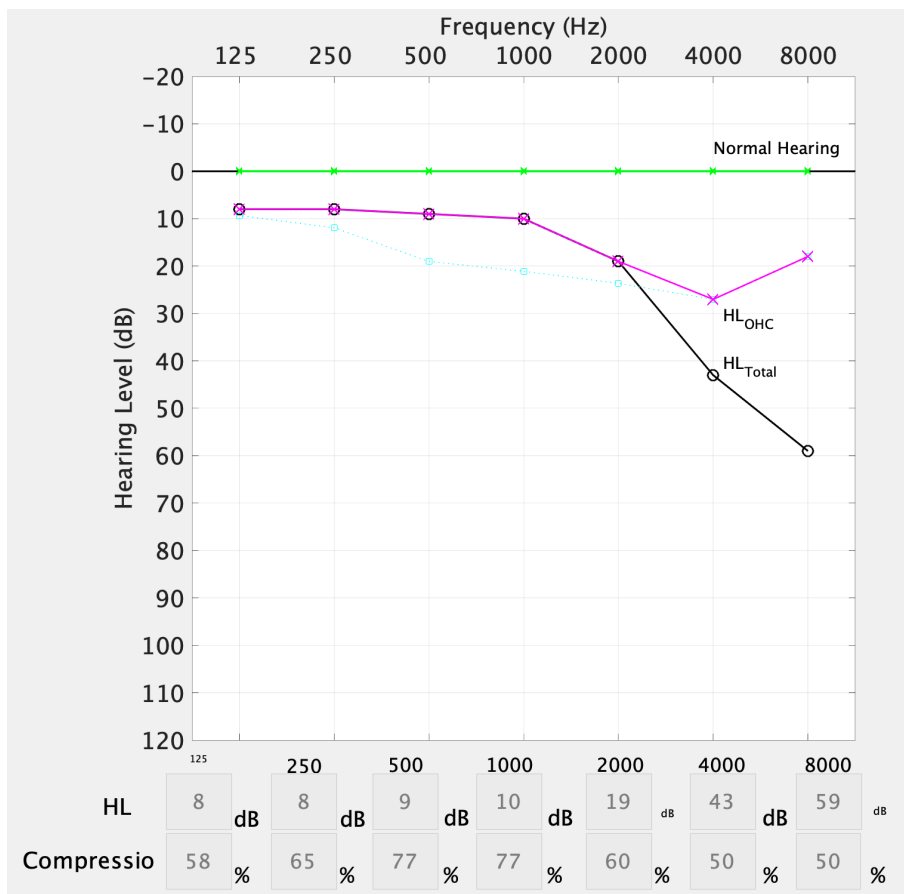


図 2.1: 70 代男性, 圧縮特性 50% のオーディオグラム (模擬難聴システムより)

表 2.1: 刺激音リスト

| 刺激音 | 環境 | サイン音 |
|--------------|------------|---------------|
| atm | ATM 出金 | 音声案内 |
| escalator | エスカレーター | 音声案内 |
| crosswalk | 横断歩道 | 音サイン |
| elevator | エレベーター | 音サイン 音声案内 |
| hospital | 病院 | 音サイン |
| train | 駅ホーム | 音サイン |
| birdtrain | 駅ホーム | 鳥の鳴き声 音サイン |
| gasuto | ファミリーレストラン | 音サイン |
| hospitalbeep | 病院 | 音サイン |
| iiasu | 駐車場 | 音サイン |

2.4 実験条件

実験参加者は筑波大学，あるいは筑波大学大学院に所属する 22 歳-26 歳の男性 9 名であった。実験参加者はいずれも健聴者であり，既往歴はなかった。実験機器は Apple 社製 MacBook Pro 15-inch 2019 年モデルのパーソナルコンピューターを使用し，スピーカーは GENELEC 社製 8030B を使用した。

2.5 実験手続き

実験は実験参加者を一つの部屋に集めて一度に行った。まず，全体の流れについて説明を行った後に，事前アンケートに回答してもらった。その後実験手順について説明しながら，練習課題に取り組んでもらった。練習の際に聞き取りやすい大きさに音圧を調整し，実験中はボリュームを固定した。

本課題はどのようなサイン音が流れるのか説明した後音を提示し，実験参加者全員がそれぞれの項目について評価できるようになるまで複数回提示を行った。その後形容詞対の評価を行わせた。提示される順番は健聴条件，模擬難聴条件のすべての音源をランダムな順番で再生した。

模擬難聴システムは本来音圧キャリブレーションしたヘッドフォンを用いる。スピーカを使用した実験では，ヘッドフォン使用とは異なる結果が出る可能性はあるが，その違いは極端に大きくはないと予想する。加齢性難聴者のサイン音認知の研究は初期段階であるため実験環境の快適さを優先し，本実験は上記の条件で行なった。

第3章 実験結果と考察

3.1 Russellの円環モデルに準じたプロット

以下の図3.1, 3.2, 3.3はそれぞれ刺激音 atm, birdtrain, hospitalbeep を Russell の円環モデルに準じてプロットしたものである。青星が模擬難聴条件下での、赤丸が健聴条件下での各実験参加者の回答を表している。右に寄るほど「嬉しそう」、上に寄るほど「緊迫した」音であることを示している。

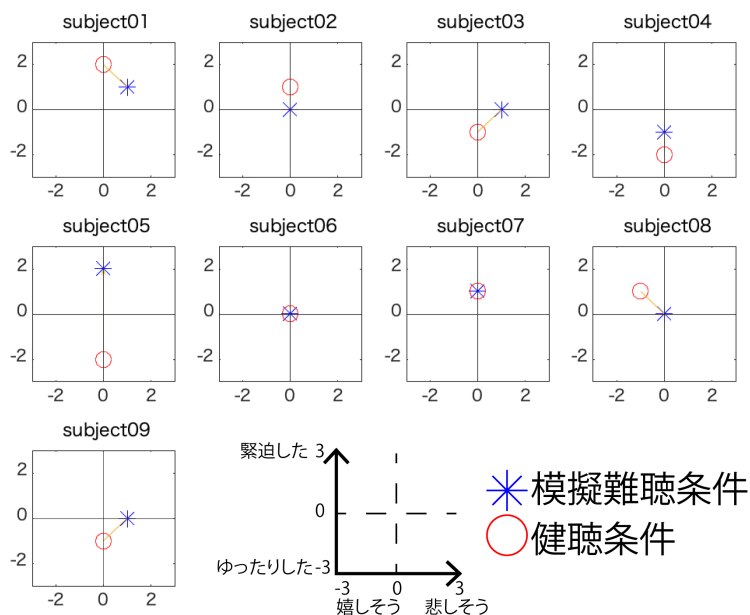


図 3.1: 刺激音：atm を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動の変化

刺激音：atm はコンビニの ATM で現金を引き出す際に提示されるサイン音を録音したものである。模擬難聴条件の結果と健聴条件の結果を比べるとどの実験参加者も「1:悲しそう (ネガティブ) - 7:嬉しそう (ポジティブ)」軸に関して変化しない、もしくは模擬難聴条件の方が「嬉しそう」側に寄っている。これは模擬難聴処理によって現金が引き出される際のノイズが低減されたことが要因の一つになったと考えられる。

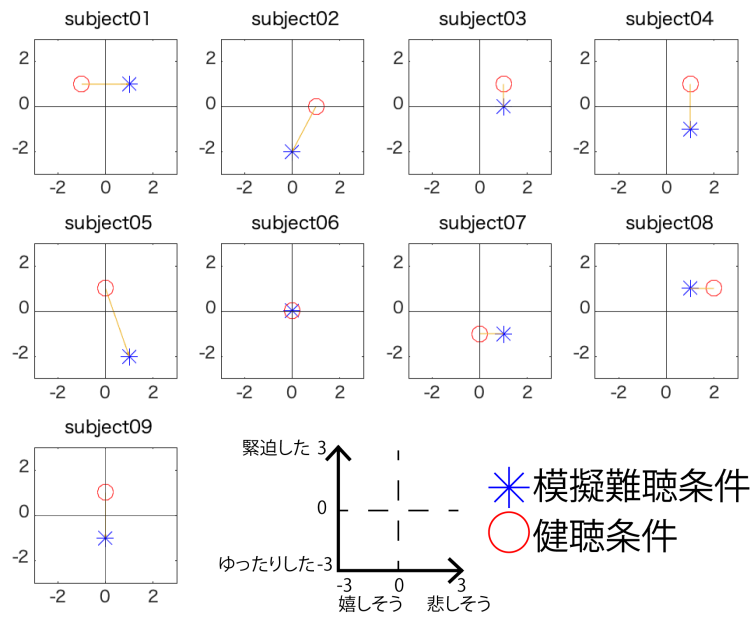


図 3.2: 刺激音：birdtrain を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動の変化

刺激音：birdtrain は駅のホーム上において、視覚障がい者に改札階段があることを伝えるための鳥の鳴き声を用いたサイン音と、電車の到着を伝えるサイン音を録音したものである。模擬難聴条件の結果と健聴条件の結果を比べるとどの実験参加者も「1:緊迫した - 7: ゆったりした」軸に関して変化しない、もしくは模擬難聴条件の方が「ゆったりした」側に寄っている。これは模擬難聴処理によってホーム上のノイズが低減されたこと、高周波成分である鳥の鳴き声が聴こえづらくなったことが要因として考えられる。

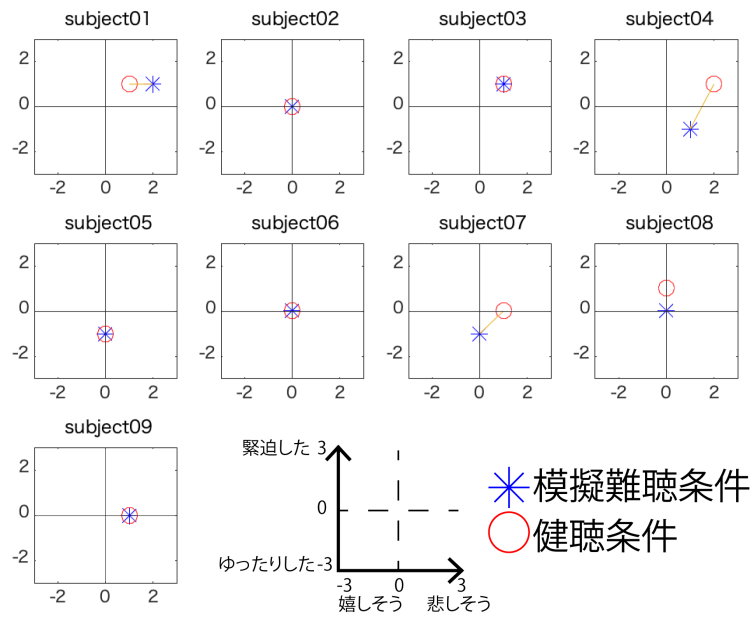


図 3.3: 刺激音：hospitalbeep を提示した時の模擬難聴の有無による各参加者の情動の変化

刺激音：hospitalbeep は病院内において患者を呼び出すために用いられているサイン音を録音したものである。9人中5人の実験参加者が模擬難聴条件と健聴条件で同じ評価をしている。これは用いられていた音サインの周波数特性が模擬難聴条件の可聴域に収まっていたことを示していると考えられる。

3.2 各音毎の模擬難聴条件と健聴条件の比較

以下の図 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 はそれぞれ各音毎の模擬難聴条件および健聴条件での評価値の平均を棒グラフで表したものである。青色が模擬難聴条件、赤色が健聴条件である。

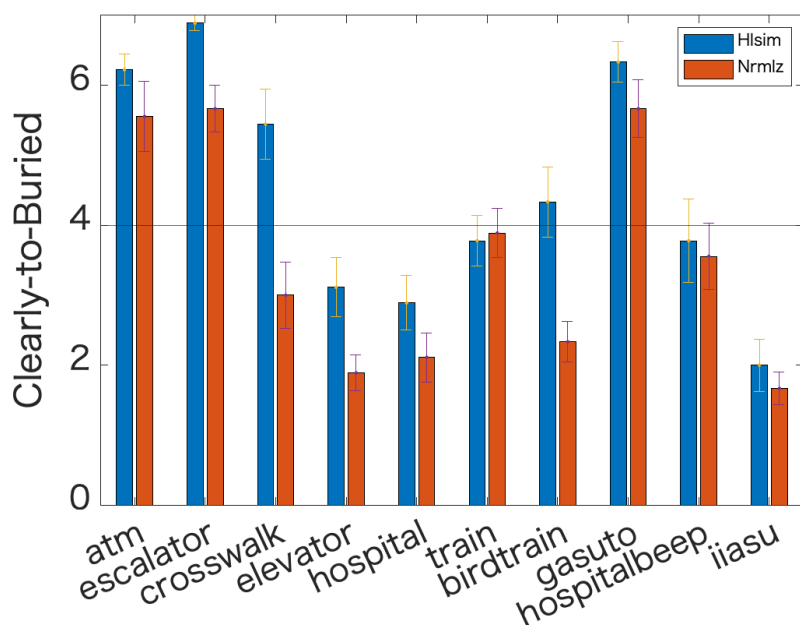


図 3.4: 模擬難聴処理前後の印象評価：評価軸「はっきりしている - 埋もれている」の場合

図 3.4 は評価軸「1:はっきりしている - 7:埋もれている」の結果である。10 音中 9 音が模擬難聴条件下の方が健聴条件下に比べて「埋もれている」と評価された。ウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、刺激音 escalator, crosswalk, elevator, birdtrain には有意差があった。

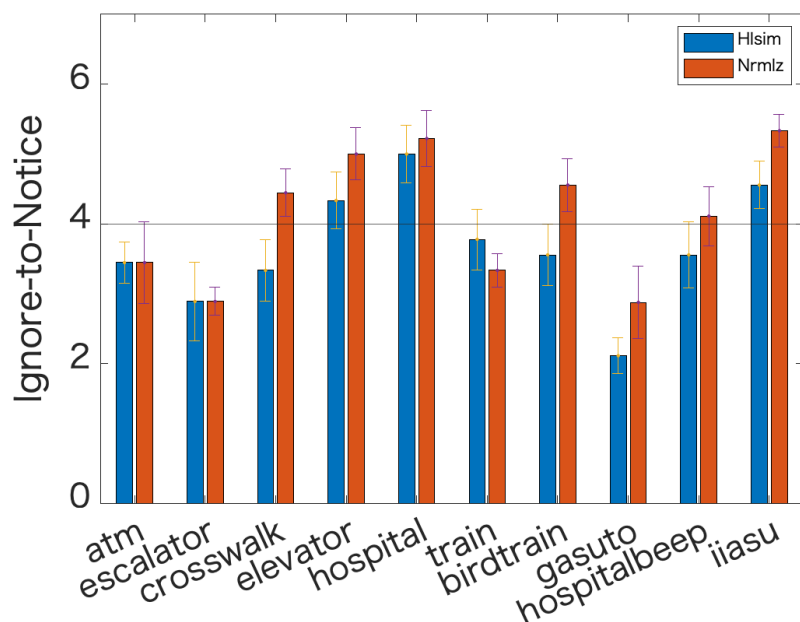


図 3.5: 模擬難聴処理前後の印象評価：評価軸「聞き流せる - 気になる」の場合

図 3.5 は評価軸「1:聞き流せる - 7:気になる」の結果である。10 音中 7 音が模擬難聴条件

下の方が健聴条件下に比べて「聞き流せる」と評価された。ウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、刺激音 iiasu に有意差、gasuto に優位傾向があった。

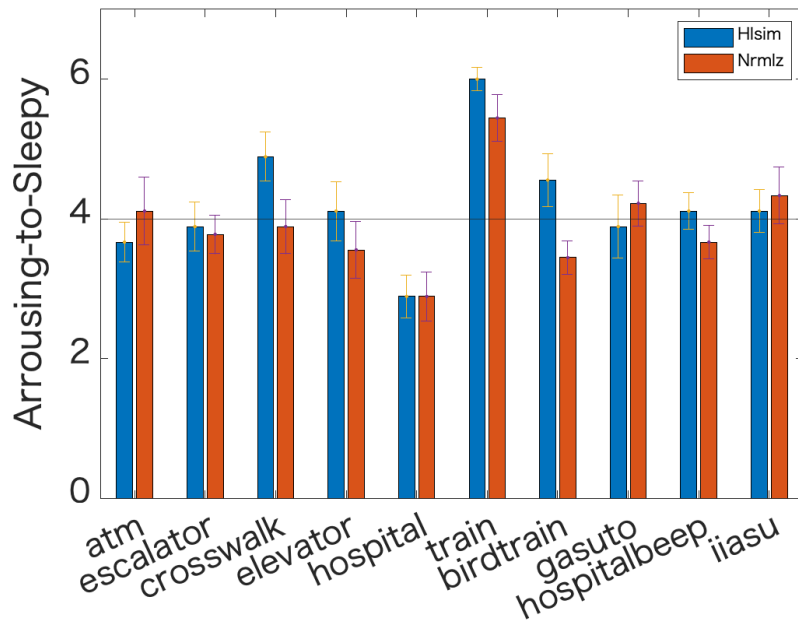


図 3.6: 模擬難聴処理前後の印象評価：評価軸「緊迫した - ゆったりした」の場合

図 3.4 は評価軸「1:緊迫した - 7:ゆったりした」の結果である。10 音中 6 音が模擬難聴条件下の方が健聴条件下に比べて「ゆったりした」と評価された。ウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、crosswalk に有意差、birdtrain に有意傾向があった。

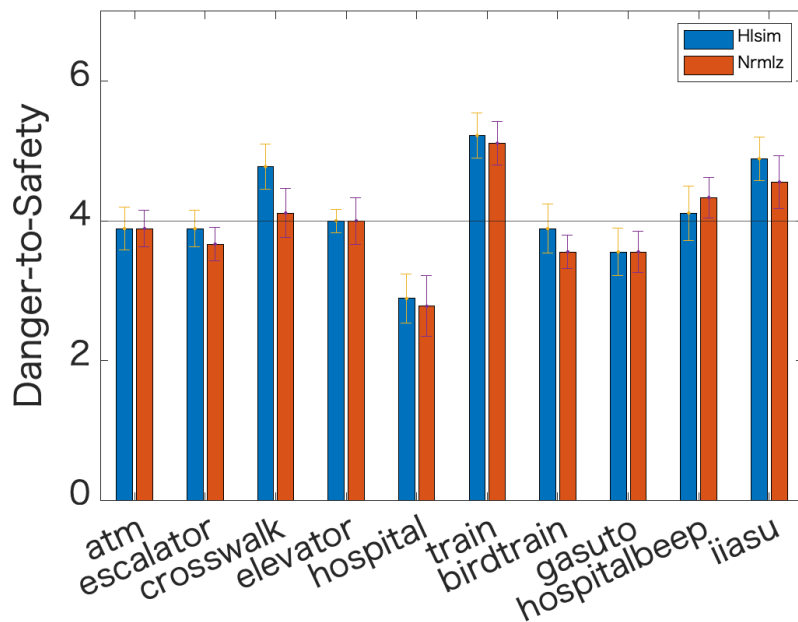


図 3.7: 模擬難聴処理前後の印象評価：評価軸「危険 - 安全」の場合

図 3.7 は評価軸「1:危険 - 7:安全」の結果である。10 音中 6 音が模擬難聴条件下の方が健聴条件下に比べて「安全」と評価された。

3.3 情動の変化

本実験では加齢性難聴により聴取印象が変化する可能性がある形容詞対を見つけることができた。一方で 7 種類の形容詞対を用いて情動の変化を測ろうとしたが、模擬難聴処理を施すことで逆の形容詞側に振れてしまった可能性がある。加えてその振れ幅にも個人差に依るところが大きかった。

また提示された音の評価として形容詞対が必ずしも適切でない場合が多々あった。例えば「1:スタート - 7:終わり」の評価を行かせたが、提示した音に含まれるサイン音が必ずしもこれらの意味を持つようにデザインされているわけではなく、他の意味を表すようにデザインされている場合などがあった。このようなミスマッチが評価を困難にした可能性がある。自由記述においても、「そもそもサイン音を聞いても何も感じない」、「音声案内だと情動を評価しづらい」等の指摘もあった。

3.4 サイン音の聴こえやすさ

「1:はっきりしている - 7:埋もれている」と「1:聞き流せる - 7:気になる」はどちらも検知のしやすさに関する形容詞対である。倉方らは健聴者と高齢者に対して複数の S/N の背景音とサイン音を聴取させることで、S/N 比が聞こえやすさに影響を与えることを示した。これと本実験の結果を踏まえると前述した 2 つの形容詞対の間には負の相関があることが示唆される。

また自由記述において、「サイン音の周波数が複数ある方が聞き取りやすい」「音声案内に比べ音サインの方がはっきり聞こえた」等の指摘があった。これらは先行研究の結果を支持するものである。

3.5 危険度の認知

古屋らの研究 [9] によれば模擬難聴処理下での交通音の危険性評価は低下した。本実験では古屋らの結果を支持する結果を得ることができた。

Thomas Hermann らによれば [10] 人間は緊急性の判断をする際、音が聴取者の精神的表象を呼び起こすことができるか否かによって処理が異なり、できなかった場合は音響特性と文脈から判断されるとしている。今回提示した音の多くの環境が危険な状況下ではなかったため、加齢性難聴の影響により聞いた音に感じる危険度が低下するのは、より一般的な反応である可能性がある。

第4章 まとめと今後の展望

4.1 まとめ

本研究では模擬難聴処理を施すことで、その音を聴いた時の情動に変化があるのか調査した。その結果模擬難聴の前後では有意な差は見られなかったが、加齢性難聴によって影響を受けている可能性がある形容詞対や、ビーブ音が加齢性難聴の影響を受けづらい可能性があることがわかった。

4.2 今後の展望

本実験の結果を元に加齢性難聴者と健聴者を対象とする聴取実験を行いたい。形容詞対同士の関連や模擬難聴下でも頑健なサイン音の特性などに加え、より適切な形容詞対や提示音を吟味することで情動の変化を明らかにしたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり本学図書館情報メディア系の寺澤洋子先生には多大なご指導を承りました。心より感謝申し上げます。加えてゼミやミーティング等における議論の際に適切なアドバイスをいただきました。本学図書館情報メディア系平賀讓先生に感謝申し上げます。

また共同研究者である筑波技術大学産業技術学部安啓一先生にはミーティングでのご助言、豊橋技術科学大学情報・知能工学系松井淑恵先生には模擬難聴システムに関するサポートをして頂きました。厚く御礼申し上げます。

そして人と音の情報学研究室の後輩である三井颯人さん、森山大地さん、家木萌さん、金子紫苑さん、菅野暁さん、都築陵佑さん、土居未奈さん、若杉守さん、石川嘉秀さんからはゼミの議論において貴重なご意見をいただきました。また同期の小島直さん、松本悠路さん、山本雄也さんには研究を進める上での大きな支えとなっていただきました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 令和元年版高齢社会白書. https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/gaiyou/01pdf_indexg.html, 2019.
- [2] 内田郁恵, 杉浦彩子, 中島務, 安藤富士子, 下方浩史. 全国高齢難聴者数推計と10年後の年齢別難聴発症率—老化に関する長期縦断疫学研究 (nils-lsa) より. 日本老年医学会, Vol. 49, No. 2, pp. 222–227, 2012.
- [3] 倉方憲治, 松下一馬, 久場康良, 口ノ町康夫. 家電製品の報知音の計測:高齢者の聴覚特性に基づく検討・第2報. 人間工学, Vol. 49, No. 2, pp. 222–227, 2012.
- [4] Jis0013:2011. 高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活製品の報知音.
- [5] Jis0014:2013. 高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活用製品の報知音－妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル.
- [6] Misaki Nagae, Toshio Irino, Ryuich Nisimura, Hideki Kawahara, and Roy D.Patterson. Hearing impairment simulator based on compressive gammachirp filter. 2014.
- [7] 松井淑恵. 豊橋技術科学大学大学院 | 工学研究科 | 松井淑恵 | 模擬難聴システム, 2019. <http://www.cs.tut.ac.jp/~tmatsui/whis/#download>.
- [8] James A Russell. A circumplex model of affect. *Journal of personality and social psychology*, Vol. 39, No. 6, p. 1161, 1980.
- [9] 古屋孝基, 渡邊優也, 松井淑恵. 交通音の危険性の知覚における老人性難聴の影響: 模擬難聴システムによる検討. 日本音響学会講和論文集, pp. 1343–1344, 2019.
- [10] Thomas Hermann, Andy Hunt, and John G. Neuhoff. *The Sonification Handbook*. Logos Publishing House, 2011.