

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K10708

研究課題名(和文) 難聴理解を促進するための模擬難聴システムの開発と教育への応用

研究課題名(英文) Development of hearing impairment simulator system to promote understanding hearing impaired and its application to education

研究代表者

松井 淑恵 (Matsui, Toshie)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・教授

研究者番号：10510034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：難聴者の聞こえの理解促進のため、模擬難聴システムの完成と提供を目指した。言語聴覚士の養成課程で試行と評価を実施したところ、非言語音声に対する老人性難聴の影響も無視できないとする意見を得た。ここから、言語音声に対する影響に加えて、環境音や非言語音声に対する評価も研究対象とした。実験の結果、模擬難聴処理をした音声の明瞭度は、雑音やSNRの条件によっては実際の高齢者と差がみられた。車輛通過音は模擬難聴処理によって危険度が低く、より遠く知覚された。警告音声は残響が長いと緊急性が高く評価されるという特性が模擬高齢者では現れなかった。老人性難聴がさまざまな非言語音の知覚を変える可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語音の明瞭度を予測するシステムはさまざまなものが存在するが、非言語音の評価を自動的に行えるシステムは存在しない。さらにそれらの評価が難聴状態によってどのように変化するか、についての知見も積み上がりつつあるところである。本研究プロジェクトは、模擬難聴システムを難聴状態における音の聞こえを調査するためのプラットフォームとするための基礎的な検討をし、その精度と限界を明らかにした。また、コロナウイルス感染状況によって進捗が滞ったものの、言語聴覚士の養成課程や、言語聴覚士の職場における実用ツールとしての可能性を探る、という点で、社会における難聴の理解を促進するための基礎を築いた。

研究成果の概要(英文)：To enhance comprehension of sound for individuals with hearing impairment, we aimed to develop and provide the hearing impairment simulation system (WHIS). Based on the feedback in evaluations in therapy training program, we expanded our research focus to include the evaluation of environmental sounds and nonverbal speech, in addition to assessing the effects on verbal speech. The experimental results showed that the intelligibility of processed speech by WHIS varied depending on the presence of noise and the signal-to-noise ratio (SNR), leading to differences compared to real elderly individuals. After processed by WHIS, sounds from passing vehicles were perceived as less dangerous and originating from a greater distance. In addition, the characteristic that warning sounds are rated as more urgent with longer reverberation did not appear in the simulated elderly. These findings suggest the potential impact of age-related hearing loss on the perception of various nonverbal sounds.

研究分野：聴覚心理学

キーワード：模擬難聴 老人性難聴 音声明瞭度 環境音 非言語情報

## 1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎えた日本では、老人性難聴者の増加が予想されている。老人性難聴者に対応する職業である言語聴覚士の数は限られており、またその養成課程では難聴の聞こえを十分に理解するだけの時間も機会も確保できないのが現状である。そこで、聴覚の計算モデルに基づく模擬難聴システムを用いて、言語聴覚士養成課程で利用可能な、あるいは難聴者の家族向けの説明に利用可能なツールと聴覚刺激を用意することを計画した。

一方で、模擬難聴システムそのものにも検討課題は残っている。模擬難聴の基となる聴覚モデルは動物実験による生理データや、ヒトの聴取実験のデータに基づいたものであり、聴覚閾値や、聴覚フィルタにおけるレベル依存の振る舞いなど、基礎部分に関しては知覚をよく予測することは知られている(本研究で用いる模擬難聴システムで利用されているガンマチャープフィルタ等[1])。しかしながら、聴覚系に部分的な機能低下が起こっている難聴状態における知覚を計算モデルベースで予測することは、盛んに行われているとは言い難い。このように、計算モデル自体に検討の余地はまだあるものの、本研究は難聴状態を理解するための模擬難聴システムとその使い方、を用意することにあるので、現状の模擬難聴システムが現場においてどの程度の精度を出せるかを確かめることを優先した。

## 2. 研究の目的

模擬難聴システムが老人性難聴者の聞こえを予測できるかどうかを確かめることを研究目的とした。聞こえの対象として検討したのは以下の通りである。

### (1) 単語、音節

老人性難聴者の音声の明瞭度に関する研究は多く行われている。それら先行研究に倣い、4 モーラ単語の聞き取り実験を実施した。また、実験に参加した高齢者のオーディオグラムを利用して模擬難聴処理を行い、その処理済み音声を若年健聴者に聞き取りさせることで、単語の聞き取りに対するオーディオグラムの影響がどこまでか、実際の高齢者の聞き取り成績とどの程度の差が生じるのかを確かめた。

### (2) 環境音(車輦走行音に対する知覚認知)

老人性難聴の原因のひとつとして、外有毛細胞の機能低下が挙げられている。外有毛細胞は、蝸牛基底膜の振幅を増幅させる機能があり、これが衰えることで、本来聞こえていた閾値が上昇する。また、低い音圧から高い音圧までを聴覚系が処理できる範囲に抑える機能にも関与しており、この機能の低下がリクルート面と現象を引き起こすと考えられている。これらより、老人性難聴によってダイナミックレンジの大きい音の知覚が変化することが予想される。

我々が普段聞く生活音の中で、ダイナミックレンジが変化し、かつこの変化が生活にとって重要な情報である音のひとつは、交通音である。とくに車輦の音は、車とどのくらいの距離があるか、車が近づいてくるかどうか、を知覚することによって、自分が安全かどうかを判断できる。

### (3) 音声の非言語情報

言語音の聞き取りが難しくなることが難聴の最大の問題であるが、非言語音の聞き取りも変化する可能性がある。同じ単語発しているも感情や意図の違いによって、音声の音響的な特徴が変化することがある。単語・文として聞き取れていても、これらの非言語情報の伝達に問題が生じる可能性がある。本研究では、とくに緊急アナウンスの緊張感の知覚や、怒りの感情がこめられた音声からの怒りの知覚に焦点を当てて、老人性難聴の影響がどの程度生じるかを実験で測定した。

## 3. 研究の方法

### (1) 単語、音節の聞こえ

背景雑音としてピンクノイズと、複数人の音声を重畳して作成したバブルノイズが提示される中での、4 モーラ単語の聞き取り実験を実施した。

実験参加者は、高齢者群、若年健聴者群、高齢者のオーディオグラム(125-8000 Hz に対する純音聴力レベル)を用いて模擬難聴処理を施した音声を若年健聴者群が聴取する模擬高齢者群、の3群とした。呈示音圧レベルは模擬難聴処理前で 65 dB とした。

### (2) 環境音(車輦走行音に対する知覚認知)

車輦の通過音[2]を対象として、音から危険だと思うかどうかの度合いを評価させた。さらに車の接近に気づいた時刻を調べた。呈示音圧レベルは健聴者条件で収録時の音圧レベルとした。

実験参加者は健聴者とした。もとの聴力で聴取する条件、70代高齢者の平均オーディオグラムを用いて模擬難聴処理を施した音声を聴取する条件、模擬難聴処理後の刺激音と同じ音圧になるように減衰させた刺激音を聴取する条件の3つの条件間の比較を行った。

また、バイノーラル録音した走行音をVR空間で提示し、自分との距離をVR空間内のポインタで回答させる実験も実施した。

実験参加者は上記の実験同様、健聴者とした。健聴条件、模擬難聴条件、模擬難聴処理と同じ音圧になるように線形に低減させた音圧低減条件の3つの条件間の比較を行った。

### (3) 音声の非言語情報

#### 緊急音声

緊急アナウンスが流れる環境を模擬するために、ノイズを作成した。バブルノイズと足音ノイズを混合したノイズを作成し、これを60 dBに固定した。緊急音声として、緊急避難時に放送されるような文面を、通常発話と緊急放送らしい発話で数名の音声を収録した。この音声に実際の地下鉄駅の残響を畳み込み、作成したノイズとのSN比を-6 dB, 0 dB, +6 dBで加算することで、ノイズ下での残響あり音声を作成した。これらに模擬難聴処理を施し、実験刺激とした。聞き取りやすさと緊急性を感じたかどうかを評価させた。

実験参加者は健聴者とした。もとの聴力のまま聴取する条件、70代高齢者の平均オーディオグラムを用いて模擬難聴処理を施した音声を若年健聴者群が聴取する条件の3つの条件間の比較を行った。

#### 感情音声

音声モーフィング技術を利用して、怒りの感情がこめられた音声とくに感情のこめられていない平静音声の間のモーフィング音声を作成した。男性話者1名、女性話者1名ずつの音声を使用した。怒りの割合が0%から100%のモーフィング音声と、怒りの割合50%の音声のどちらからより怒りを感じるかの弁別実験を実施することで、怒りのモーフィング割合が何%から怒りの音声だと知覚されるかを調べた。

実験参加者は緊急音声と同様に健聴者とした。もとの聴力のまま聴取する条件、70代高齢者の平均オーディオグラムを用いて模擬難聴処理を施した音声を若年健聴者群が聴取する条件、さらに怒りの割合50%を健聴者聴力で聴取し、その他の怒り割合の音声を高齢者聴力で聴取する条件を設けた。

## 4. 研究成果

### (1) 単語、音節の聞こえ

Fig. 1に実験結果を示す。単語理解度はピンクノイズ、バブルノイズ両条件共に若年健聴者、模擬高齢者、高齢者の順で高かった。高齢者と模擬高齢者の単語理解度を比較すると、低SNRにおいて正答率に差があるのに対して、高SNRにおいてはほぼ同じ正答率を示した。

ピンクノイズとバブルノイズの結果を比較すると、SNRが-3 dBから3 dBの間では、バブルノイズ条件の単語理解度で、高齢者と模擬高齢者の間の差が大きい。対してピンクノイズの単語理解度は、SNRが高くなるにつれて高齢者と模擬高齢者の単語理解度の差が小さくなる。ピンクノイズは定常雑音であるのに対して、バブルノイズは非定常雑音である。同じSNRであっても定常雑音のほうが音声の聞き取りに干渉する度合いは低い。模擬難聴は、高SNRでの定常雑音下での聞き取りはある程度模擬できるが、低SNRならびに非定常雑音下での聞き取りに対応するのが難しいことが明らかになった。この条件における聞き取りは、聴覚末梢の聴力だけでなく、より高次の機能が関係していることを示唆している。

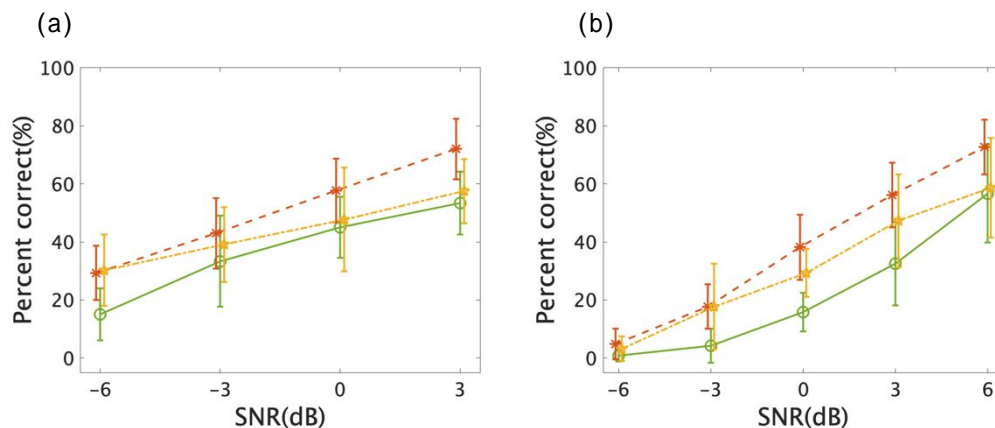
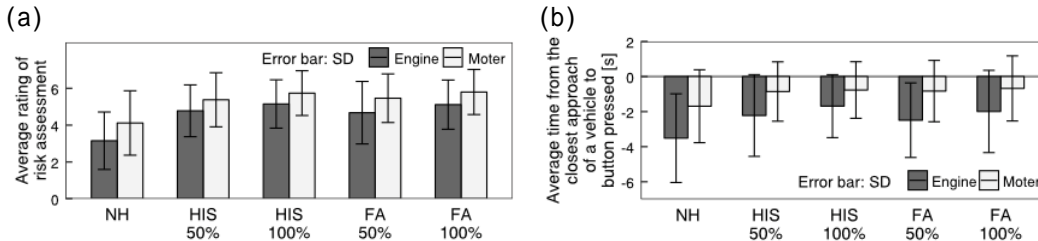


Fig. 1 実験参加者群ごとの4モーラ単語音声の正答率の平均。横軸は雑音対音声比 (SNR)。赤い波線が若年健聴者群、緑の実線が高齢者群、黄色の一点鎖線が模擬高齢者群。エラーバーは標準偏差。(a) 背景雑音にピンクノイズを用いた条件。(b) 背景雑音にバブルノイズを用いた条件。文献[3]より引用。

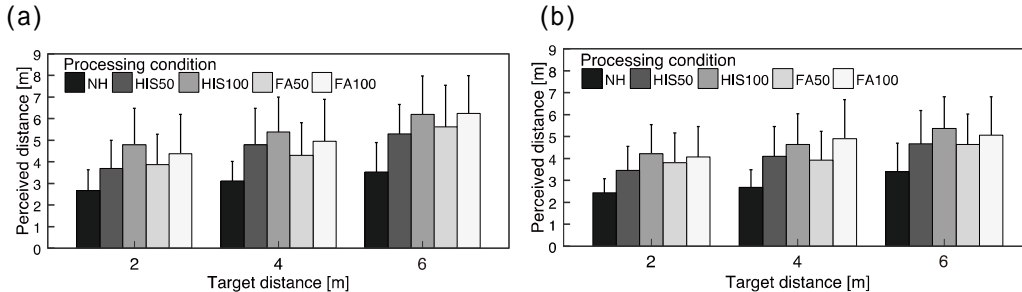
## (2) 環境音（車輦走行音に対する知覚認知）

走行音に対する危険性評価と車輦の接近に気づいた時刻を Fig. 2 に示す。健聴条件より模擬難聴条件と音圧低減条件のほうが、また、エンジン音よりモーター音のほうが危険ではない、と判断されることがわかった。また、車輦に接近したことに気づく時刻も、健聴条件と模擬難聴条件・音圧低減条件のほうが遅い。モーター音は最接近時より遅れて気づくこともあった。いずれも実際に呈示された音圧レベルでおおよその説明は可能であるが、聴力のみで交通音に対する評価が変わる、ということを示していると言える。



**Fig. 2** 車輦の走行音に対して知覚した危険度と距離。バーグラフの色はエンジン音とモーター音を示す。健聴者 (NH)、圧縮特性 50% の模擬難聴 (HIS50%)、圧縮特性 100% の模擬難聴 (HIS100%)、圧縮特性 50% の模擬難聴と同等の音圧レベルに線形低減させた条件 (FA50%)、圧縮特性 100% の模擬難聴と同等の音圧レベルに線形低減させた条件 (FA100%)。エラーバーは標準偏差。(a) 走行音に対する危険度。値が低いほど危険だと感じたことを示す。(b) 接近する車輦に気づいた時刻。マイナスは最接近時より前に気づいたことを示す。文献[4]より引用。

バイノーラル録音した走行音を VR 空間で提示し、自分との距離を測定する実験の結果を Fig. 3 に示す。VR 空間内での距離知覚は現実空間での距離知覚とは異なるが、健聴条件とそれ以外の条件では判定される距離が異なる。圧縮特性 50% の条件と 100% の条件では 50% の条件のほうが近く感じられているが、これは圧縮特性が劣化したことによって音圧の増加に伴う音の大きさの変化が急峻になったことにより、音がより大きく感じられたことが要因であると考えられる。



**Fig. 3** 模擬難聴条件ごとの走行車輦に対して知覚した距離。バーグラフのバーはそれぞれ健聴者 (NH)、圧縮特性 50% の模擬難聴 (HIS50)、圧縮特性 100% の模擬難聴 (HIS100)、圧縮特性 50% の模擬難聴と同等の音圧レベルに線形低減させた条件 (FA50)、圧縮特性 100% の模擬難聴と同等の音圧レベルに線形低減させた条件 (FA100) を示す。エラーバーは標準偏差。(a) 走行速度 10 km/h 以下の車輦。(b) 走行速度 10-20 km/h の車輦。文献[5]より引用。

## (3) 音声の非言語情報

### 緊急放送音声

「緊急性」に対する評価を Fig. 4 に示す。残響条件においては pointA の残響音声、SNR 条件においては SNR の高い音声、模擬難聴条件においては健聴条件の方が、緊急性が有意に高く評価された。残響なし音声 (NR) は SNR によって緊急性が大きく変化しないが、残響あり音声は SNR に比例して緊急性が上昇すること、模擬難聴処理を行うと、健聴条件と異なり残響の長い音声の緊急性が高く評価されないことがわかった。健聴者で見られる残響による緊急性の向上は、老人性難聴者には現れない可能性が示唆された。なお、緊急性のほかに聞き取りやすさも評価したが[5]、本報告での説明は割愛する。

緊急放送はさまざまな環境下で放送される。緊急放送に対する印象が、残響、SNR、難聴の有無等によって変わりうる、ということは今後の公共放送のデザインにおいてひとつの手がかりになると考えられる。



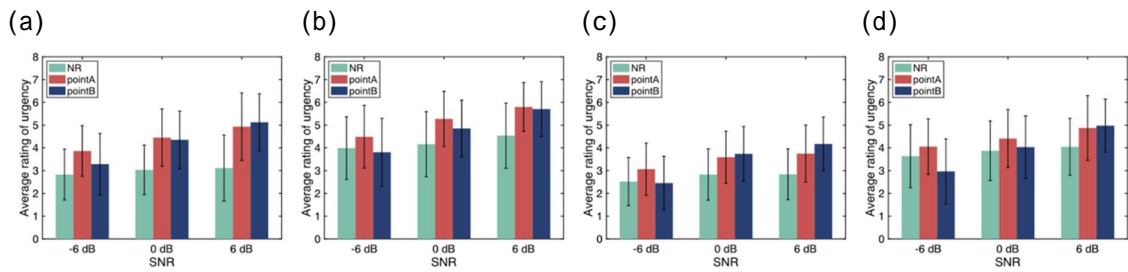


Fig. 4 緊急放送の文面の発話音声に対する緊急性評価。縦軸は緊急性の度合いで、値が高いほど緊急性が高い印象を受けたことを意味する。横軸は足音・パブルノイズとの雑音対音声比。NR は残響なし条件、pointA はスピーカ軸付近、pointB はスピーカ軸から離れた場所の残響条件を示す。文献[6]より引用。(a) 通常発話音声に対する緊急性評価。健聴条件。(b) 緊急音声らしい発話に対する緊急性評価、健聴条件。(c) 通常発話音声に対する緊急性評価。模擬難聴条件。(d) 緊急音声らしい発話に対する緊急性評価、模擬難聴条件。

### 感情音声

得られたデータに対して累積ガウス分布をフィッティングし、そのカーブから PSE（主観的等価点）と JND（丁度可知差違）を得て、怒り音声だと判断する基準が系統的に異なることはないかを確かめた。JND に関しては条件間の差はなく、弁別能は健聴でも難聴でも変わらないことがわかった。PSE に関しては条件間の差がみられた。怒りの割合 50%を健聴者聴力で聴取し、その他の怒り割合の音声を高齢者聴力で聴取する条件では、女性音声に対して、PSE が怒りモーフィング割合にして約 6 ポイント高くなるという結果が得られた。これは、女性音声の場合、模擬難聴状態で聞いた音声を怒りだと感じるためには、健聴条件よりも怒りの割合を 6 ポイント上昇させる必要がある、ということである。男性音声ではこの結果は見られなかった。女性の音声の怒り感情を伝達する音響的特徴が、とくに難聴状態にとって知覚しにくいものである可能性がある。一方で、参加者の内観報告では、男性の平静音声を抑えられた怒りを表現している、という意見があった。女声と男声では怒りの表現が異なっている可能性がある[7]。

以上のように、単語の聞き取りをはじめとして、環境音、非言語情報まで、老人性難聴の影響を調べる実験を行った。実際の高齢者を対象とできた実験は少ないが、生活のさまざまな音を知覚認知する過程に老人性難聴が多かれ少なかれ影響していることを実験によって示すことができた。模擬難聴システムの教育応用という点では完遂できなかった計画もあったが、教育場面で必要な刺激の選定に貢献する基礎データを得ることができた。実用に関しては今後引き続き取り組んでいく予定である。

### 引用文献

- [1] Irino, T., Patterson, R.D., "A time-domain, level-dependent auditory filter: The gammachirp" J. Acoust. Soc. Am, 101, 412-419, 1997.
- [2] Yamauchi, K., et al., "Sound power level of electric vehicles running in steady low speed," Acoustical Science and Technology, 41(3) 626-629, 2020.
- [3] 本間雄太, et al., "高齢者と模擬難聴システムを用いた模擬高齢者による異聴傾向の比較," 日本音響学会 2022 年春季研究発表会講演論文集, 661-664, 2022.
- [4] 古屋孝基 et al., "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 2019 年秋季研究発表会講演論文集, 1341-1342, 2019.
- [5] 古屋孝基 et al., "交通音の距離感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 2021 年春季研究発表会講演論文集, 659-662, 2021.
- [6] 渡邊優也 et al., "駅構内の残響・雑音下での緊急放送に対する心理的評価: 模擬難聴システムによる老人性難聴の影響の検討," 日本音響学会 2021 年春季研究発表会講演論文集, 663-666, 2021.
- [7] 岡本薫, "平静音声と怒り音声のモーフィングに対する感情知覚に老人性難聴が及ぼす影響: 模擬難聴システムによる検討," 2021 年度卒業論文, 豊橋技術科学大学, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計19件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 本間雄太, 村山凜太郎, 松井淑恵
2. 発表標題 高齢者と模擬難聴システムを用いた模擬高齢者による異聴傾向の比較
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山凜太郎, 松井淑恵
2. 発表標題 聴力が認知負荷に及ぼす影響：模擬難聴による検討
3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta HONMA, Rintaro MURAYAMA, Toshie MATSUI
2. 発表標題 Comparison of confusion matrix between elderly listeners and simulated elderly listeners using a hearing impairment simulator
3. 学会等名 The 3rd Japan-Taiwan Symposium on PSYCHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ACOUSTICS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Rintaro MURAYAMA, Toshie MATSUI
2. 発表標題 Effect of listening conditions on cognitive load: A pilot study by dual-task experiments
3. 学会等名 The 3rd Japan-Taiwan Symposium on PSYCHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL ACOUSTICS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内堀颯太, 松井淑恵
2. 発表標題 モーフィング音声を用いた話者の類似性判断と同定判断の比較
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂下尚史, 河原 英紀, 松井淑恵
2. 発表標題 基本周波数またはスペクトルレベルをモーフィングした感情音声に対する感情知覚
3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺澤洋子, 水野真由美, 山本雄也, 大中悠生, 石川嘉秀, 松井淑恵, 安啓一
2. 発表標題 加齢性難聴に伴うポピュラーソングの印象変化の検討～模擬難聴を用いて
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古屋孝基, 渡邊優也, 松井淑恵
2. 発表標題 低速度の自動車接近音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
3. 学会等名 日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊優也, 古屋孝基, 高橋慧, 中家諒, 松井淑恵
2. 発表標題 駅構内の残響・雑音下での緊急放送に対する心理的評価：模擬難聴システムによる老人性難聴の影響の検討
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古屋孝基, 渡邊優也, 松井淑恵
2. 発表標題 交通音の距離感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
3. 学会等名 日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊優也, 古屋孝基, 高橋慧, 中家諒, 松井淑恵
2. 発表標題 駅構内の音環境再現下での緊急放送に対する心理的評価：模擬難聴システムによる老人性難聴の聞こえの検討
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間雄太, 村山凜太郎, 松井淑恵
2. 発表標題 高齢者と模擬難聴システムを用いた模擬高齢者による単語了解度の比較
3. 学会等名 日本音響学会聴覚研究会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 長谷川純, 吐師道子, 松井淑恵, 入野俊夫
2. 発表標題 言語聴覚士教育における模擬難聴システムを使用した演習の効果
3. 学会等名 第45回日本コミュニケーション障害学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川純, 吐師道子, 松井淑恵, 入野俊夫
2. 発表標題 模擬難聴システムの教育・臨床・研究への適用と言語聴覚士による評価
3. 学会等名 第20回日本言語聴覚学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古屋孝基, 渡邊優也, 松井淑恵
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊優也, 古屋孝基, 松井淑恵
2. 発表標題 警告信号音の緊急度評価: 模擬難聴システムを用いた老人性難聴者と健聴者の比較
3. 学会等名 日本音響学会2019年秋季研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川純, 吐師道子, 松井淑恵, 入野俊夫
2. 発表標題 言語聴覚士教育における模擬難聴システムを使用した演習の効果
3. 学会等名 日本コミュニケーション障害学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井淑恵, 坂野秀樹, 西村竜一, 入野俊夫
2. 発表標題 ガンマチャープ聴覚フィルタバンクに基づく模擬難聴システムの実装と教育応用
3. 学会等名 電子情報通信学会音声研究会/福祉工学研究会, 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Toshie Matsui
2. 発表標題 Evaluation of environmental sounds for elderly people using hearing impairment simulation
3. 学会等名 2019 The 2nd Japan-Taiwan Symposium Psychological and Physiological Acoustics Inclusive Sound Design (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

模擬難聴システムWHIS  
<https://cs.tut.ac.jp/~tmatsui/whis/index.html>  
 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 聴覚心理物理学研究室 松井淑恵  
<https://cs.tut.ac.jp/~tmatsui/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	入野 俊夫  (Irino Toshio)  (20346331)	和歌山大学・システム工学部・教授    (14701)	
研究分担者	長谷川 純  (Hasegawa Jun)  (20290554)	県立広島大学・保健福祉学部(三原キャンパス)・准教授    (25406)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関