

# 聴力と発話の相互作用に着目した高齢者の音声コミュニケーション支援

研究代表者 水 町 光 徳 九州工業大学 大学院工学研究院 准教授  
共同研究者 榊 原 健 一 北海道医療大学 心理科学部 准教授

## 1 はじめに

日本をはじめとする先進諸国では、高齢化が急速に進んでおり、高齢社会への対応は、様々な分野で検討が重ねられている。音声コミュニケーションの観点でも、高齢化は深刻な問題をもたらす。加齢とともに聴力低下が生じることはよく知られている。60歳代の40%は老化による難聴と診断されており、70歳代になると66%以上が難聴であると報告されている[1]。しかしながら、難聴者の補聴器所有率は、わずか24.1%にすぎない[2]。更に、煩わしさや見た目の問題で、補聴器をほとんど使用しない補聴器ユーザも多い。これは、高齢者の多くが音声コミュニケーションに問題を抱えていることを意味する。会話時のストレスは、人との接触を避け、引きこもりなどの2次障害の要因となる。また、音声コミュニケーションにおいて、聴力と発話は密接な関係にある。研究代表者は、加齢による音声の変化について研究を行っている。高齢者音声の代表的な特徴として嗄声（しゃがれ声）に着目し、聴力特性としゃがれ度合いの関係から、発話と聴力の相互作用仮説を提案した。

本研究調査では、発話と聴力の相互作用を検証するため、発話音声の周波数特性をリアルタイムで加工し、密閉型ヘッドホンで発話者へフィードバックするシステムを構築する。このとき、低下した聴力特性を補償すれば、補聴器となる。なお、高齢者の聴力特性は個人差が大きく、発話に関しても加齢による器質的な不可逆変化が生じている。そのため、本研究調査では、健聴な若年者に対して、高周波数帯域でパワー減衰加工を施した発話音声をフィードバックすることにより、発話変形を調査する。これは、簡易的な模擬難聴システムである。加工音声フィードバックの有無により、発話音声のパワースペクトルの差異について検討する。

## 2 加齢による聴力変化

### 2-1 加齢による聴力低下の現状

我々の聴覚は、加齢によって高音障害型難聴となることが広く知られている[3]。つまり、高齢者は、高周波数成分を比較的多く含む子音の聞き取りが困難となり、円滑な音声コミュニケーションの実現が困難となる。高音障害型難聴の原因を特定できれば、加齢による聴力低下の予防および治療方法の確立が期待できる。しかしながら、聴覚系器官の多様かつ複雑な生理的变化[4]と、聴力変化の個人性の大きさ[5]により、統一的な見解は得られていない。

### 2-2 加齢による聴力低下の個人差

加齢による聴力低下は、同年代の高齢者でも大きな個人差があり、各個人の過去の職歴や生活環境に依存し、地域による差異も報告されている。岡本らは、正常聴力または明らかな原因や誘因のない感音難聴者293名に対して、同一個人の5年間の聴力経過を調査し、聴力の加齢変化の個人性について報告している[5]。高齢になるにつれて5年間での聴力低下が大きく、45歳以上の年齢層では、平均的には5 dB程度の低下であったが、1年間で20 dB以上も悪化するケースが全体の34.5%も見られた。また、突発性両側性難聴と加齢との関係の調査において、突発性両側性難聴の進行が加齢による聴力変化を隠蔽することが報告されている[6]。聴覚系疾病以外の要因についても、ストレプトマイシンなどの薬物による感音性難聴と加齢による聴力変化との関係について報告されている[7]。糖尿病と聴力の加齢変化の進捗との関係に関する調査も行われた[8]。遺伝子改変マウスの加齢性の聴力低下を調査することにより、加齢による聴力低下には、神経栄養因子と細胞増殖因子の関与が示唆された[9]。

職歴と加齢による聴力変化との関係についても数多く報告されている。調所は、騒音性難聴者が騒音職場を離脱後、10年以上の追跡調査を実施し、どのような聴力変化を示すのかを調査した[10]。追跡調査の結果、250 Hz から2 kHz までの周波数帯域では、騒音職場離脱後、加齢変化により聴力が悪化することがわかった。

一方、4 kHz および 8 kHz においては、職場離脱時にすでに聴力が著しく低下していたため、加齢変化に比較し、聴力低下は緩徐であることを報告している。

環境要因として、高齢者の純音聴力閾値の地域性や変遷についても調査されている。柳田らは、難聴や耳鳴りの自覚症状がない 75 歳以上の一般高齢者 165 名を対象とし、関東、中部、四国に存在する医療研究機関において純音聴力検査を実施した [11]。性別と年齢群を独立変数として分散分析を行った結果、時代とともに男女差が縮まりつつあり、環境や社会の変化に起因する一般高齢者の聴力変化の変遷を確認している。

### 3 加齢による音声変化

#### 3-1 高齢者音声の主観的印象

高齢者音声の代表的な知覚印象として、粗造性、気息性、無力性、嘎声が挙げられる [12]。宮崎らも、高齢者音声の聴感印象の体系化を目指し、高齢者音声の聴覚的特徴を形容する語の抽出を行った [13]。アンケートと聴取実験の結果に基づき、高齢者音声の形容にふさわしい 10 語を選定した。統計分析の結果、高齢者音声の最も顕著な聴感印象は、音声に含まれる雑音系成分に起因する嘎声であることを報告している。

#### 3-2 高齢者音声の音響的特徴

高齢者音声の音響的特徴(物理的特徴)としては、基本周波数や基本周期の時間変動等の音響特徴量に基づくものが多い。特に、加齢による基本周波数の変化については、数多く報告されており、男性は基本周波数が上昇し、女性は下降することが知られている [12]。ただし、その具体的な数値については、それぞれの報告により異なり、統一的な見解は得られていない。従来の音響分析では単母音の定常部を用いていたが、近年ではより積極的に時間変化に着目するため、文章発話を対象とした話声位 (speaking fundamental frequency) 等が用いられている。西尾らの報告によると、発話に支障のない男女各 187 例を対象とした分析により、男女間で異なる話声位の加齢変化を確認している [13]。男性の場合、話声位は 60 歳代までは変化が小さく、70 歳代以降に若干の上昇が見られた。一方、女性の話声位は、20 歳代と比較して、30 歳代と 40 歳代でも明らかな低下傾向があり、80 歳代まで加齢に伴い低下する傾向が認められた。また、西尾らは、多様な音響的パラメータを用いた分析を行い、加齢による基本周波数の変動率の増大、振幅の変動性の増大、個人差の増大等を確認している [14]。萩尾は、高齢者を対象として、各種音響パラメータと発声の動力源である呼気の空気力学的検査値との関係について報告している [16]。

研究代表者らは、音声の加齢変化を調査するため、広範な年齢層の話者による発話データを用いて、ノンパラメトリックな音響分析を行った [17]。20 歳から 89 歳までの男性話者 153 名により発声された日本語音素バランス単語 543 語 [18] から母音定常部を抽出し、日本語 5 母音の長時間平均対数パワースペクトルを算出した。聴取実験により、明らかな嘎声、中程度の嘎声、軽度の嘎声と認められた高齢者と一般成人 (20 歳～59 歳) による母音 /a/ の対数パワースペクトルを比較した結果、嘎声の度合いが大きいほど、4 kHz 以上の高周波数帯域におけるパワー上昇を確認した。なお、その他の母音 /e/, /i/, /o/, /u/ についても同様の傾向が見られた。高周波数帯域での発話エネルギー上昇は、加齢による発声器官の生理的变化である声門間隙によるものと推察できる。

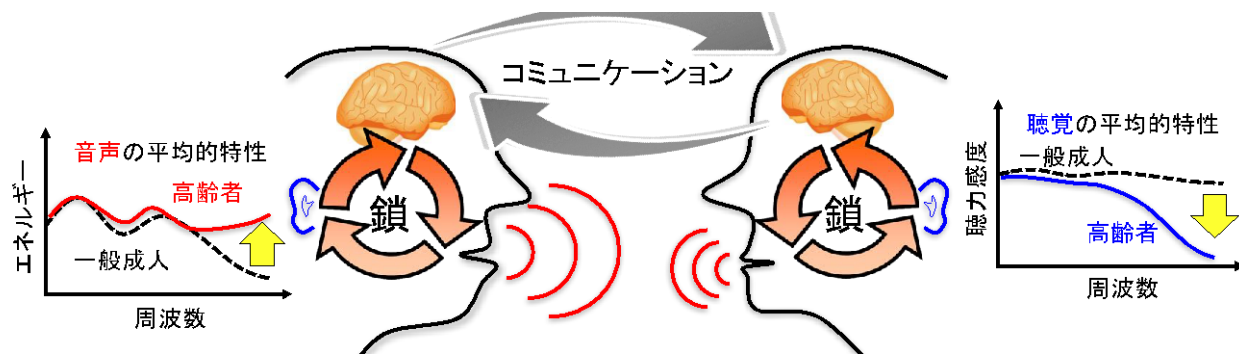


図1：加齢による聴力低下と発話変化の相互作用仮説

## 4 聴力と発話の相互作用

### 4-1 加齢による聴力低下と音声変化の相互作用

本節では、加齢による聴覚系と音声生成系の相互作用について考える。加齢による聴力低下は、60歳代から4 kHz以上の高周波数帯域で著しい純音調力閾値の上昇が生じる。第2章にて概説したとおり、個人性が大きく、その程度にはバラツキがあるが、70歳代になるとその傾向は顕著に現れる。加齢による純音聴力閾値の上昇は、2 kHzまでは緩やかであるが、4 kHzおよび8 kHzにおける加速度的上昇が特徴である。一方、嗶声と評価された高齢者の音声は、第3章にて確認したとおり、パワースペクトルの4 kHz以上の周波数帯域に特徴がある。以上より、加齢による聴力低下と発話音声の音響的特徴の変化を併せて考えると、4 kHz以上の高周波数帯域における聴力低下と発話エネルギー上昇が相補的關係にあることがわかる。

ヒトは、「ことばの鎖 (speech chain)」[19]で説明されるように、聴覚系と音声生成系との協調により音声コミュニケーションを実現している。より円滑な音声コミュニケーションを確立するためには、個人間での鎖のみならず、個人内での聴覚と発話を結ぶ鎖も重要な役割を果たす。そこで、研究代表者は、加齢による聴力低下と音声変化は、聴覚系と音声生成系の独立かつ受動的な生理的变化に留まらず、図1に示すように、聴力低下を補償するための能動的な発声変形の可能性を提案した[20]。

### 4-2 高齢者音声・聴力データベースの構築と相互作用検証

加齢による聴力低下と音声変化に関する知見は、統計的な加齢による聴力低下傾向と、発話音声の集団的な加齢変化に基づくものである。従って、個人内での聴力特性と発話音声との相互作用について検討する必要がある。本節では、加齢による聴力低下と発話変化の相互作用を検証するために構築した高齢者聴力・音声データベースについて述べる。

高齢者聴力・音声データベースの構築にあたり、60歳以上の男性12名の協力を得て、まず純音聴力閾値を測定した。聴力測定では、九州工業大学簡易防音室内にて、オージオメータ (RION AA-58) を使用し、250 Hz、500 Hz、1 kHz、2 kHz、3 kHz、4 kHz、6 kHz、8 kHz における純音聴力閾値を測定した。難聴者と高音障害型難聴者の定義は、それぞれ文献[1]と同様に、聴力閾値が、すべての周波数帯域において 30 dB 以上、4 kHz において 30 dB 以上かつ 8 kHz において 40 dB 以上の高齢者とした。聴力データの測定後に、九州工業大学簡易防音室内にて音声収録を実施した。発話音声は、コンデンサマイクロホン (RODE NT2, 単一指向性) と USB オーディオインターフェース (RME Fireface UC) を介して、PC で収録した。

聴力特性に関しては、先行研究の報告どおり、加齢による高周波数帯域での純音聴力閾値の上昇を確認した。また、年齢層が上昇するに従い、個人間の差異が多くなる傾向も確認できた。発話音声に関しては、20代の学生20名による印象評価を行った。難聴者の知覚年齢は、実年齢よりも、より高齢に評価されている。一方、正常聴力を有する高齢者は、実年齢よりも知覚年齢が低く評価される傾向にある。次に、高齢者音声を特徴付ける印象評価語を用いた主観評価の結果、実年齢よりも知覚年齢が高い高齢者の音声の印象は、嗶声により支配的であることがわかった。また、高齢話者全員の母音の平均パワースペクトルを調査した結果、一般成人 (若年層) と比較し、高齢者音声の静的特徴として、2 kHz から 4.5 kHz でのパワー低下、4.5 kHz 以上の高周波数帯域でのパワー上昇、パワースペクトルのダイナミックレンジ縮小が確認できた。これらは、先行研究の報告と一致している。

## 5 リアルタイム音声加工・聴覚フィードバックシステムを用いた発話変化の検証実験

### 5-1 実験概要

本研究調査では、聴力と発話の相互作用の検証を行った。聴力と発話の相互作用には、長期的な作用と短期的な作用が存在する。長期的作用の代表例が、加齢による聴力低下と発話音声の変化の相互作用である。しかし、加齢による発話器官の生体的変化は不可逆であり、聴力補償により変化するものではない。また、老人性難聴と加齢による発話変化は、多様であり、個人差が大きい。

本研究調査では、健聴な若年者を対象として、発話音声の高周波数成分のパワーを低下させてヘッドホンよりフィードバックを行った場合に、発話音声に現れる変化について調査した。これにより、健聴者にとって、模擬難聴が発話にどのような影響を与えるのかを明らかにすることができる。

### 5-2 実験方法

本研究で構築した実験システムは、エレクトレットコンデンサ・マイクロホン (SONY ECM-530) で収録した音声を USB オーディオインタフェース (RME Fireface UC) を介して PC にて録音すると同時に、グラフィックイコライザ (dbx 1231) により周波数帯域ごとにレベル調整を行い、ヘッドホンアンプ (audio-technica AT-HA65) とヘッドホン (Sennheiser HD 205) を介して発話者へ加工音声をフィードバックするものである。発話音声は、44.1 kHz/16 bits 精度で PC に収録し、グラフィックイコライザでは、60 歳代後半の聴力特性を模擬して 4 kHz から 20 kHz の高周波数帯域において一律 30 dB の減衰を行った。

実験参加者は、健聴な 20 代男性 8 名と 20 代女性 1 名である。実験参加者は、加工音声フィードバックを行った状態で約 20 分間の音読を行った。その後、日本語 5 母音と日本語 25 文章の発話収録を行った。なお、加工音声フィードバックを行っていない状態においても、同様の発話収録を行った。なお、フィードバック有無の 2 条件において、それぞれ 2 回の収録を行った。

### 5-3 実験結果

図 2 に、日本語 5 母音の平均パワースペクトルを示す。全母音において、4 kHz 以上の高周波数成分を 30 dB 減衰させた音声のフィードバックにより、1 kHz 以上の周波数帯域での発話音声のパワー上昇が確認できる。なお、4 kHz 以上の高周波数帯域においては、発話内容にも依存するが、30 dB 程度のパワー上昇が生じている。従って、聴力特性の疑似損失により、それを補償するように発話音声のパワーが上昇することにより、聴力と発話の相互作用を検証することができた。

## 5 まとめ

本研究調査では、発話音声を加工し、発話者へフィードバックすることにより、聴力と発話の相互作用の検証を行った。研究代表者は、これまでに加齢による聴力低下と発話変化の相互作用について研究を行ってきた。その相互作用は、数十年の長い年月をかけて現れるものであり、また加齢による発話器官の器質的な変化にも影響を受ける。そこで、本研究調査では、若年健聴者を対象として、リアルタイムで発話音声の高周波数成分のパワーを減衰させ、ヘッドホンにより発話者へフィードバックするシステムを構築した。本システムは、模擬難聴システムと解釈することも可能である。健聴な 20 代男性 8 名と女性 1 名による実験の結果、加工音声フィードバックにより、発話音声の高周波数成分が上昇することが確認できた。これより、聴力と発話には密接な相互作用が存在することを確認できた。今後は、高齢者や難聴者の協力を得て、聴力と発話の相互作用について検証を行う予定である。

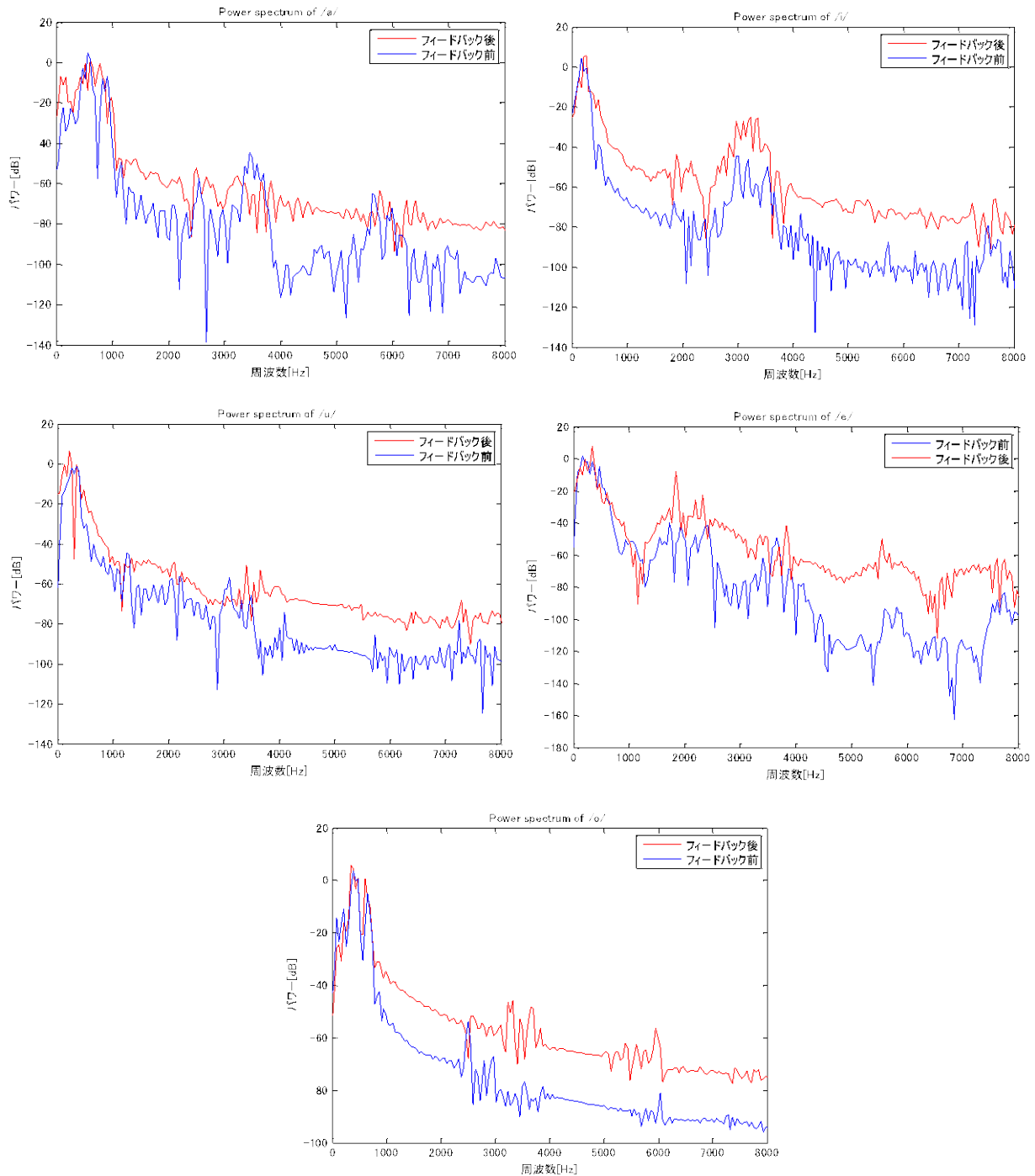


図2：加工音声フィードバック前後の日本語5母音の平均パワースペクトル

【参考文献】

[1] 安田 健二, 古川 亙, ”聴力検診における高齢者の聴力の実態 -金沢市聴力検診事業より (2000年-2005年) -, ”日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol. 112, No. 2, pp. 73-81, 2009.  
 [2] 日本補聴器工業会調査「補聴器供給システムの在り方に関する研究」2年次報告書, 2003.  
 [3] 丹羽 英人, 柳田 則之, ”老人性難聴, ”日本老年医学 会誌, Vol. 27, No. 5, pp. 545-549, 1990.  
 [4] 加我 君孝, ”聴覚の加齢変化, ”日本老年医学会誌, Vol. 41, No. 5, pp. 505-506, 2004.

- [5] 岡本 牧人, 設楽 哲也, 佐野 肇, 古沢 慎一, 平山 方俊, ”同一個人の 5 年間の聴力経過からみた加齢変化,” 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol. 95, No. 7, pp. 1035-1041, 1992.
- [6] 岡本 牧人, ”感音難聴と加齢 -特発性両側性感音難聴と加齢-, ”Audiology Japan, Vol. 39, No. 2, pp. 122-129, 1996.
- [7] 森園 哲夫, 白石 君男, 武末 淳, 周防屋 祐司, 加藤 寿彦, ”感音難聴と加齢 -薬物性難聴-, ”Audiology Japan, Vol. 39, No. 2, pp. 115-121, 1996.
- [8] 伊東 善哉, 阿瀬 雄治, 照沼 積, 和田 哲郎, 米納 昌恵, 吉江 晴英, 立原 成久, 草刈 潤, ”高音域聴力の加齢変化 と糖尿病の影響に関する研究,” Audiology Japan, Vol. 39, No. 4, pp. 249-254, 1996.
- [9] 土井 勝美, 佐藤 崇, ”老人性難聴の発症機序 -神経栄養因子による液性制御 -, ”Otology Japan, Vol. 20, No. 3, pp. 203-207, 2010.
- [16] 調所 廣之, ”感音難聴と加齢,” Audiology Japan, Vol. 39, No. 2, pp. 101-108, 1996.
- [11] 柳田 則之, 中島 務, 草刈 潤, 伊東 善哉, 市川 銀一郎, 山川 卓也, 鳥山 稔, 岡本 牧人, 稲福 繁, 齋藤 春雄, 副島 宏美, ”一般高齢者 75 歳以上の純音聴力,” Audiology Japan, Vol. 39, No. 6, pp. 722-727, 1996.
- [12] 本庄 巖, 一色 信彦, ”老人の音声,” 耳鼻咽喉科臨床, Vol. 71, No. 2, pp. 171-175, 1978.
- [13] 宮崎 健, 水町 光徳, 二矢田 勝行, ”高齢者音声の聴覚的特徴を形容する語の抽出に関する検討,” 信学技報 SP2008-64, pp. 47-52, 2008.
- [14] 西尾 正輝, 新美 成二, ”加齢に伴う話声位の変化,” 音声言語医学, Vol. 46, No. 2, pp. 136-144, 2005.
- [15] 西尾 正輝, 田中 康博, 新美 成二, ”加齢に伴う音声 の変化 -音響学的手法を用いた解析-, ”音声言語医学, Vol. 50, No. 1, pp. 6-13, 2009.
- [16] 萩尾 良文, ”高齢者の音声機能検査の基準値の検討,” 喉頭, Vol. 16, No. 2, pp. 111-121, 2004.
- [17] T. Miyazaki, M. Mizumachi, and K. Niyada, ”Acoustic Analysis of Breathly and Rough Voice Characterizing Elderly Speech,” Journal of Advanced and Intelligent Informatics Computational Intelligence, Vol.14, No.2, pp. 135-141, 2010.
- [18] 牧野 正三, 二矢田 勝行, 真船 裕雄, 城戸健一, ”東北大・松下単語音声データベース,” 音響誌, vol. 48, No. 12, pp. 899-905, 1992.
- [19] P. D. Danes and E. N. Pinson, The speech chain: The physics and biology of spoken language, Worth Publishers, 1993.
- [20] M. Mizumachi, ”Interaction between hearing and speaking due to aging,” Proc. International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Paper ID: 2-9, 2014.

### 〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
加齢による聴力低下と発話変化の相互作用	日本音響学会誌, Vol. 73, No. 5, pp. 297-302	2017年5月
高齢者音声の主観印象と音響的特徴に関する検討	電子情報通信学会技術研究報告, 福祉情報工学, 116(248), pp. 29-34	2016年10月