

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350661

研究課題名(和文)高齢者の聴覚機能の低下に向けた聴覚支援システムに関する研究

研究課題名(英文)Research on Support System to Improve Hearing Ability for Elderly People

研究代表者

中藤 良久(Nakatoh, Yoshihisa)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10599955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、(1)聴覚機能の保護技術、(2)聴覚機能の改善技術、(3)音声の明瞭度改善技術、の3点に関して検討している。まず、(1)については、音量を徐々に減衰させた時にいつ知覚するか評価を行った結果、減衰を始めてからおおよそ12dB～13dBの範囲で知覚していることが分かった。次に(2)については、様々な周波数やレベルの音を繰り返し聞き分けるトレーニングにより、語音識別能力が改善されることが確認できた。最後に(3)については、明瞭度の低い人のホルマント周波数を高い人のホルマント周波数シフトさせる処理により明瞭度を改善することが確認できた。

研究成果の概要(英文)：This research is examining three points: (1) technology to protect of auditory function, (2) technology to improve of auditory function, and (3) technology to improve speech intelligibility. Firstly, in technology (1), it was found that subjects can percept in the range of approximately 12 dB to 13 dB when gradually attenuating the volume. Next, in technology 2), it was found that the speech recognition ability was improved by training to repeatedly sound of various frequencies and levels. Finally, in technology (3), it was found that speech intelligibility is improved by processing to shift the formant frequency of a person with low intelligibility to the formant frequency of a person with high intelligibility.

研究分野：工学

キーワード：高齢者支援 聴覚支援 聴覚機能 保護 改善 音声明瞭度

1. 研究開始当初の背景

わが国の高齢化率(65歳以上人口が全人口に占める割合)は、2010年で23.1%であり、さらに2015年には26.9%に、2020年には29.2%に達すると言われる。このような超高齢化社会が進む中で、高齢者が安心して生活を営み、社会参加できるようにすることは急務である。最近では多くの高齢者が人と人とのコミュニケーションを必要とする場に出かけるケースが増えているが、一方高齢者は加齢による五感機能の低下や体力の衰えが起るため、不自由を感じるケースが増える。中でも人とのコミュニケーションに重要な聴覚機能の低下については、ほとんどの高齢者が聴力の低下を経験しており、高齢者の聴力の低下に対して対策を講じることは重要である。

2. 研究の目的

本研究では、世界的に益々増加する高齢者への支援を目的として、聴覚機能の保護・改善を実現する聴覚支援システムの構築を目指す。高齢者の聴覚機能を適切に保護する技術や、トレーニングによって聴力を改善することができれば、高齢者が家族や友人とコミュニケーションを円滑に続けることが可能になり、本人のみならず家族や周囲の人にとって大変有益である。

3. 研究の方法

本研究は、(1)聴覚機能の保護技術、(2)聴覚機能の改善技術、(3)音声の明瞭度改善技術、の3点に関して検討する。まず、(1)については、高齢者の聴覚機能の低下をできるだけ防止するための技術について検討する。具体的には、日常的に音楽を受聴する高齢者に対して、過大音や突発音から聴覚機能を保護するための技術を検討する。次に(2)については、様々な周波数やレベルの音を繰り返し聞き分けるトレーニングを行うことで、どの程度語音識別能力が改善されるかを高齢者による主観評価により有効性を検証する。最後に(3)については、明瞭度の高い人のホルマント周波数と低い人のホルマント周波数の違いに着目し、ホルマント周波数をシフトさせることで明瞭度を改善する方法を提案し、主観評価により有効性を検証する。

4. 研究成果

(1)聴覚機能の保護技術に関する研究成果

最適聴取レベルの測定

成人や高齢者が携帯音楽プレーヤを使用する際、日頃どれくらいの音量で音楽を受聴しているのが評価を行った。これまでも成人の最適聴取レベルの測定は行われているが、本研究では、高齢者についても評価を行う。被験者は、22歳から25歳の成人7名(男性6名、女性1名)、72歳から77歳の高齢者5名(男性)である。いずれの被験者に対しても事前に聴力検査を実施し、若者は正常な聴力で

あり、高齢者は軽度難聴から中等度難聴に該当していることを確認している。実験では、洋楽ロック、邦楽ロック、邦楽パンク、洋楽ポップ、邦楽ポップ、演歌の計6種類の楽曲を使用した。楽曲の呈示は、ヘッドホンを通して再生した。また、携帯音楽プレーヤの使用者は騒音環境下で音楽を受聴する機会が多いことが分かっているため、5種類の騒音環境で実験を行った。被験者には各楽曲の再生開始後、「ちょうどいいと感じられる大きさ」まで音量調節バーを操作するように教示した。音量の調整は、各被験者が納得するまで上げたり下げたりすることを許可した。また、各楽曲の再生前には、音楽再生音が聴こえない状態に設定した。最適聴取レベルの調整操作終了後、ダミーヘッドを用いて各楽曲を録音し、A特性をかけた等価騒音レベルの値を最適聴取レベルとした。5種類の環境下に対する成人と高齢者別の最適聴取レベルの平均値と標準偏差を図1に示す。その結果、成人の多くと一部の高齢者は、最適聴取レベルがEUの指摘する危険レベル80dBを超えていた。そのため、聴力損失を招くレベルで音楽を受聴している時に、音量を下げる必要性があることが分かった。

音量減衰に対する減衰知覚レベル差

ここでは、音量を徐々に減衰させた時、どの程度音量を下げると被験者が知覚できるかについて評価を行った。

まず、音楽(非定常音)における減衰知覚レベル差について検討した。被験者および楽曲は前節と同一である。再生する楽曲は、等価騒音レベル85dBを初期値として設定し、その後、曲のある時点から減衰を開始(開始時間)させる。音量の下げ方(減衰速度: 1s間でのレベルの減衰量)は、初期値から20dB下げる速さを4種類(0.5dB/sec、0.3dB/sec、0.25dB/sec、0.2dB/sec)用意した。そして、開始時点から変化に気づいて楽曲を停止するまでのレベル差(減衰知覚レベル差)を測定した。図2に成人7名における2種類の曲で試行回数2回のデータ(28サンプル)を対象

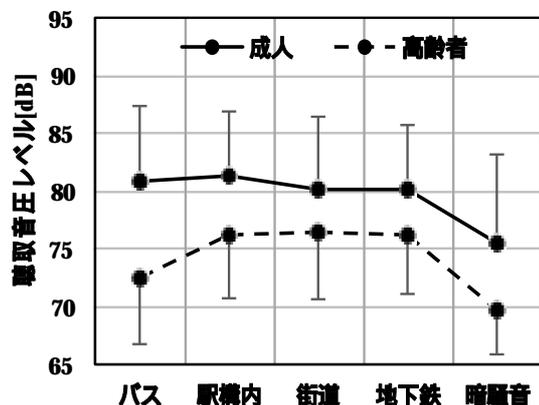


図1 騒音環境ごとの最適聴取レベル

として、減衰知覚レベル差の全被験者全サンプルの平均値と標準偏差を示す。また、図3に高齢者5名における若者と同様の曲で試行回数2回のデータ(20サンプル)を対象として、減衰知覚レベルの全被験者全サンプルの平均値と標準偏差を示す。その結果、図2より、成人の場合では減衰を始めてから約12dB \pm 4dBの範囲で知覚していることが分かった。一方、図3より、高齢者の場合では、減衰を始めてから約13dB \pm 4dBの範囲で知覚していることが分かった。

次に、音楽(定常音)における減衰知覚レベル差について検討した。安全な音量まで気づかれずに減衰させるには、音量を徐々に減衰させるだけでは未だ不十分であると考えられる。そこで、伴奏部分で音量が下がると気づきにくいかもしれないというアンケート調査を基に、比較的定常な音を用いた減衰知覚レベル差の測定を行った。被験者は、成人5名で楽曲はオーボエソロ楽曲を用いている。音量の下げ方は、初期値から30dB下げる速さを10種類(3dB/sec、3.33dB/sec、3.75dB/sec、4.29dB/sec、5dB/sec、6dB/sec、7.5dB/sec、10dB/sec、15dB/sec、30dB/sec)用意した。そして、開始時点から変化に気づいて楽曲を停止するまでのレベル差(減衰知覚レベル差)を測定した。図4に成人5名における試行回数2回のデータ(10サンプル)を対象として、減衰知覚レベル差の全被験者全サンプルの平均値と標準偏差を示す。その結果、非定常音における減衰知

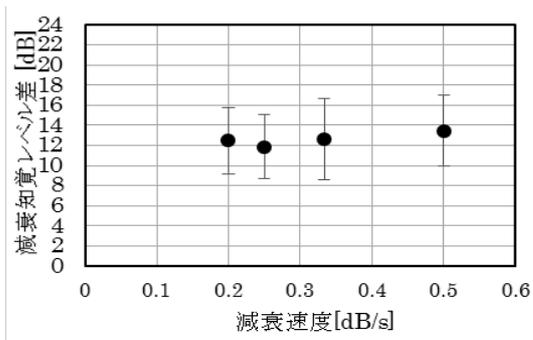


図2 音楽(非定常音)における成人の減衰知覚レベル差

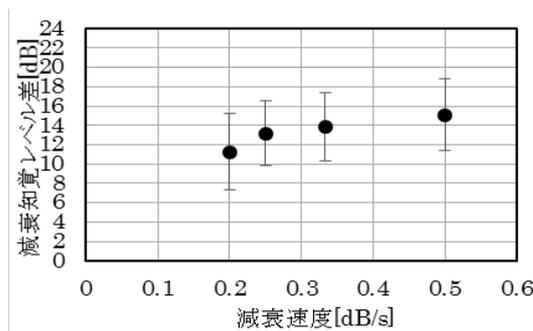


図3 音楽(非定常音)における高齢者の減衰知覚レベル差

覚レベル差(約12dB前後)よりも、定常音における減衰知覚レベル差(約28dB前後)の方が音量の減衰に気づきにくい可能性があることが分かった。

音楽の構造別の減衰知覚レベル差

ここでは、音楽の構造が減衰知覚レベル差に及ぼす影響を調査する。邦楽ロック、邦楽パンク、洋楽ポップの計3種類の楽曲においてそれぞれ、伴奏、Aメロ、サビ、サビ直後の計4か所から0.5dB/secで減衰する楽曲を提示して実験を行う。被験者及び実験条件は同一である。図5に、減衰開始箇所に対する減衰知覚レベル差の平均値と標準偏差を示す。伴奏部分は減衰知覚レベル差が比較的大きく、サビの部分は比較的小さいことが分かり、その平均値の差はおおよそ4dBであった。これは、伴奏部分は歌詞がなく、音楽の構造においては比較的变化が少ない構成であるため減衰に気づきにくいことが原因と考えられる。一方、サビの部分では曲調に起伏があるため、個人差は大きいものの減衰に気づきやすい傾向があると考えられる。

まとめ

定常音における減衰知覚レベル差は、非定常音における減衰知覚レベル差よりも気づきにくいことが分かった。一方、音量を徐々に減衰させた時の減衰知覚レベル差の評価を行い、楽曲の種類による差はほとんど見られなかったが、音楽の構造により差が生じることが分かった。

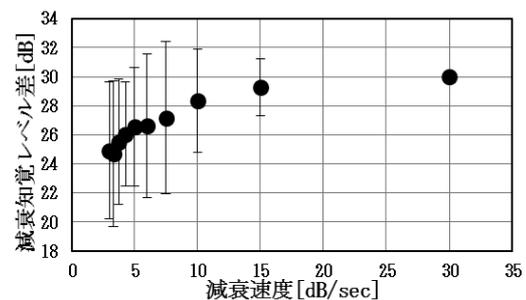


図4 音楽(定常音)における成人の減衰知覚レベル差

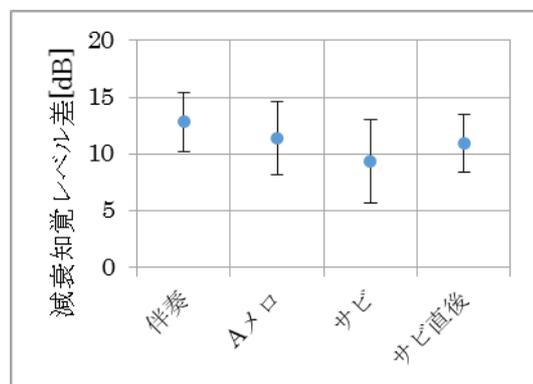


図5 減衰知覚レベル差と音楽の構造の関係

(2)聴覚機能の改善技術に関する研究成果

聴能の低下を補う訓練方法

聞き間違いの要因としては、音を理解する能力である聴能と、音を捉える力である聴力の低下が挙げられる。聴力の低下は補聴器で補えるが、聴脳の低下を補うことはできない。そこで、聴脳の低下を補うことを目的とした訓練方法を提案し、音声の聞き取りによる評価・検討を行った。高齢者の日本語音声聞き取る能力の改善を行う上では、主に音の僅かな違いを判別する能力の向上が必要であると考え、弁別訓練を用いることとした。訓練で弁別する訓練項目は、表1に示すように7種類とした。また、高齢者を対象とした訓練システムを提案するにあたり、高齢者の聴力特性を考慮した。高齢者の聴力を周波数別にみると1000Hzまでの聴力と比べて、2000Hzから高周波数になるにつれて聴力が徐々に低下していく傾向にあることが分かっている。そのため、提案する訓練では高周波数の聴力低下の個人差に影響を受けないように訓練に使用する基準となる音声に1000Hzの純音を用いることとした。訓練では定めた基準音を基にして訓練項目ごとに加工した音声を作成し、加工音と基準音と比較することで音声の音響的な成分の僅かな違いを判断するようにしている。

訓練による高齢者の聞き取り改善

実験では、72~75歳の高齢者5名を被験者として全15回の訓練を実施した。訓練に7段階の難易度を設定し、訓練の難易度の変化によって聴能の改善を評価した。また、音声の聞き取り改善を評価するために語音明瞭度検査を訓練5回おきに4度行った。一方、訓練を行わない高齢者5名について、語音明瞭度検査を行うことで、訓練の有無による違いを評価した。

訓練3日目と訓練15日目の訓練難易度を図6に示す。図では訓練難易度が高くなるにつれて、音声の微小な違いまで弁別できることを表している。また、すべての訓練項目において訓練3日目(before)の訓練難易度から訓練15日目(after)の訓練難易度へ難易度の向上がみられている。このことから高齢者に対して訓練を行うことで、聴能が改善するということが分かった。

表1 訓練項目

Training items	Pitch
	Loudness
	Length of sound
	Interaural time difference (left)
	Interaural time difference (right)
	Interaural level difference (left)
	Interaural level difference (right)

語音明瞭度による評価

訓練によって語音明瞭度がどのように変化するか、検査の聴取音圧ごとの語音明瞭度の推移を図7、8に示す。その結果、聴取音圧が小さい条件の語音明瞭度が訓練を行うことによって大幅に改善することが分かった。

さらに、訓練期間が終了してから6ヶ月後と1年後に再度、語音明瞭度検査を実施し、期間が空いた際に訓練効果が持続しているか調査を行った。検査結果を図9に示す。図より期間が空くと語音明瞭度は低下するが、訓練前と比較すると改善効果の持続することがわかった。

まとめ

ここでは、高齢者の音声の聞き取り改善を目的とした訓練方法の提案・評価を行った。

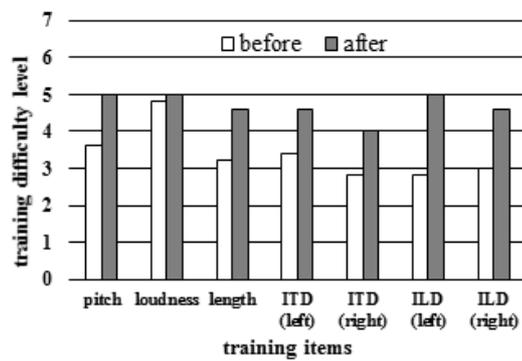


図6 訓練前後の訓練難易度

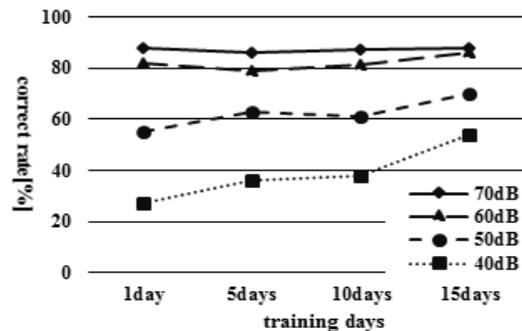


図7 語音明瞭度検査結果(訓練有)

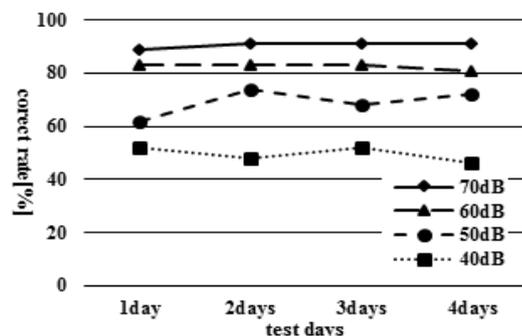


図8 語音明瞭度検査結果(訓練無)

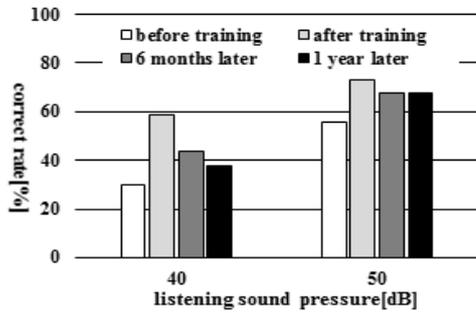


図9 語音明瞭度検査結果の時間経過

その結果、提案する聴能訓練法を行うことで高齢者の音声聞き取りが改善することが分かった。今後は、提案する訓練の訓練アプリケーションとしてのシステムの実装と特に効果の見込まれる訓練項目の選定を行う必要がある。

(3) 音声の明瞭度改善技術に関する研究成果
高齢者のホルマント周波数

高齢者の中でも、明瞭度の高い人と低い人の間でホルマントの違いがどの程度あるか分析する。男性 36 名、543 単語の高齢者音声データベースから、明瞭度の高い話者 6 名と低い話者 6 名の第 1, 2 ホルマント周波数 (F_1, F_2) の平均値を算出し、横軸を F_1 、縦軸を F_2 として各母音のホルマント周波数を図 10 にプロットした。図より、声の明瞭度が低くなると、/a/, /i/, /e/ の F_1 と F_2 が /u/ に収束し、5 母音で作る五角形の面積が小さくなることわかる。

ホルマント周波数のシフトによる明瞭度改善方法

ここでは、ホルマント周波数シフト法により明瞭度の低い高齢者音声の明瞭度を改善する方法を提案する。図 11 にホルマント周波数シフト処理の全体のフローを示す。まず、入力音声から包絡情報を抽出し、包絡情報の

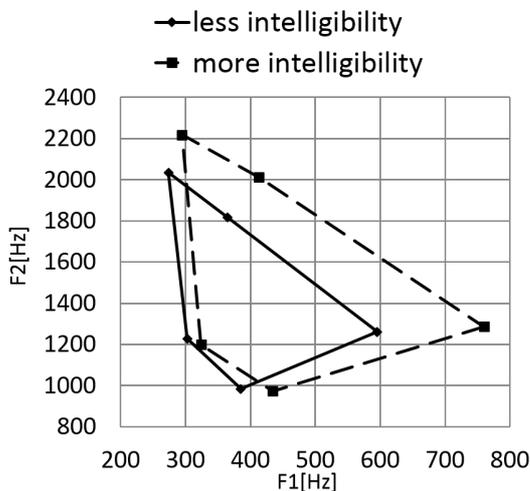


図 10 明瞭度の高低による高齢者の F_1, F_2

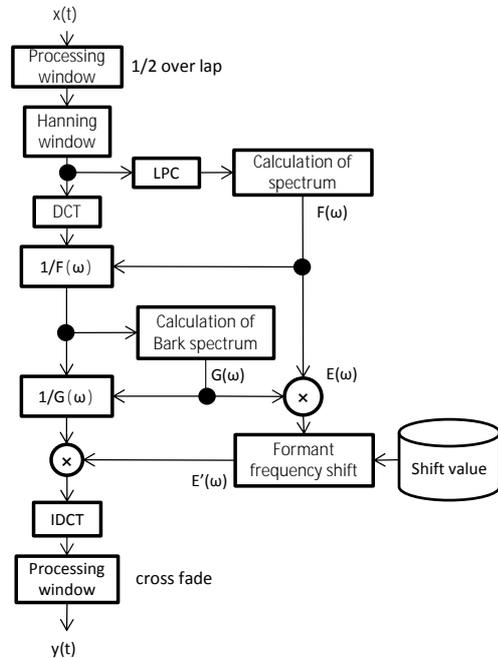


図 11 明瞭度改善技術の処理ブロック図

持つ F_1, F_2 をシフトした後に再合成する方法である。包絡情報の抽出には、2 段階の抽出を行う。1 段階目は、入力音声を線形予測分析することによって、LPC スペクトルを抽出する。2 段階目では、1 段階目で求めた LPC スペクトルを用いて入力信号を平坦化した後、バーク尺度で求めた平均スペクトルに変換することで、バークスペクトルを抽出する。以上より求めた 2 つのスペクトルを合わせたものを包絡情報として扱い、ホルマント周波数のシフトを行う。

図 12 に F_1, F_2 の具体的なホルマント周波数のシフト方法を、図 13 にその処理イメージを示す。

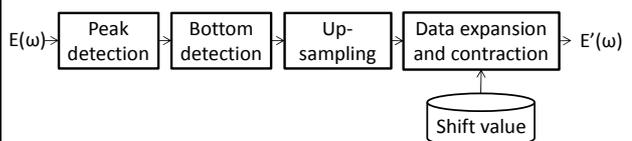


図 12 ホルマントシフトの処理ブロック図

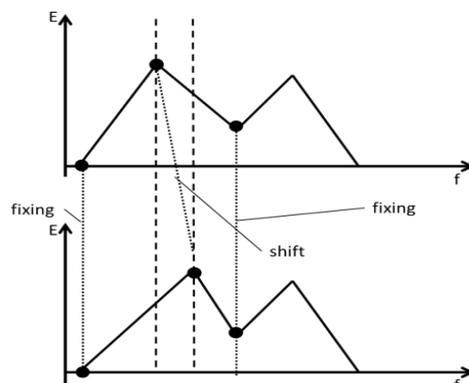


図 13 ホルマントシフトの処理イメージ

まずピーク点 (F1, F2) とボトム点を算出する。ボトム点は固定したまま, スペクトルの一部分を伸縮することでピーク点をシフトする。スペクトルのつなぎ目に関しては, 急激なスペクトル変化による歪みを防ぐために 30ms 間で徐々に変化させた。

次に, ホルマントシフト量は, 図 10 の結果から, 5 母音が構成する五角形を /u/ を固定したまま広げるようにホルマント周波数をシフトすることで明瞭度の改善ができると考える。そこで, 明瞭度の低い話者 1 名の平均 F1, F2 と明瞭度の高い 6 名の平均 F1, F2 をそれぞれ算出し, 差分値をシフト量とした。表 2 に使用したシフト量を示す。

聴取実験による効果の検証

ここでは, ホルマント周波数シフト法の有効性の検証を行う。実験では, 提案法を用いてホルマント周波数をシフトした音声, 処理前の音声, 窓処理のみ行った音声(比較の為)の 3 種類の比較を, シェッフエの対比較中屋変法を用いて 5 段階評価の聴取実験により行った。被験者は, 成人 10 名で, ヘッドホンを用いて「明瞭度」について評価した。処理前後の音声の聴取実験結果を図 14 に示す。縦軸は平均嗜好度, 線は 99%信頼区間であり, 正の値は処理後の音声, 負の値は処理前の音声の方が明瞭度が高いことを示している。図 14 より, 10 単語中すべての単語において平均嗜好度が正の値を示している。これより, ホルマント周波数シフト法は明瞭度の改善に有効であることがわかった。

表 2 ホルマントシフト量

	Medial phoneme		Initial phoneme	
	F1[Hz]	F2[Hz]	F1[Hz]	F2[Hz]
/a/	120	110	100	30
/o/	10	- 90	10	- 170
/u/	10	140	10	190
/i/	- 10	290	20	260
/e/	20	210	50	210

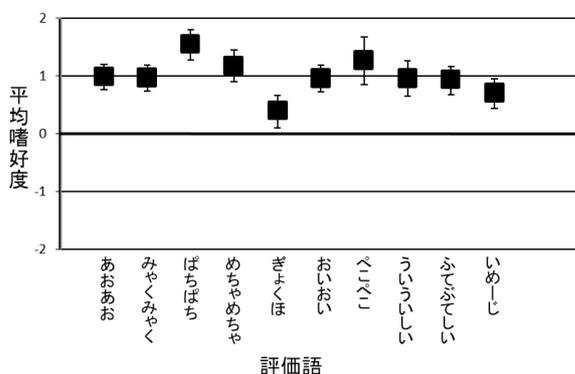


図 14 聴取実験結果-処理前後の音声の比較

まとめ

ここでは, 高齢者音声の明瞭度について F1, F2 平面で分析を行い, F1, F2 それぞれをシフトさせる方法により明瞭度の改善が可能であることが確認できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

- (1) Yuto Tanaka, Mitsunori Mizumachi, Yoshihisa Nakatoh, "Method for improving intelligibility of elderly speech based on formant frequency shift", Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers Vol.1 No.1 pp.1-6, 2016 (査読有)
- (2) Tsubasa Noguchi, Mitsunori Mizumachi, Yoshihisa Nakatoh, "Study of Hearing Aid System Adapted to Direction Inputted by User," Journal of IIAE, Vol 3, No 2, pp.72-79, Apr. 2015 (査読有)

[学会発表](計 21 件)

- (1) Shinichiro Asayama, Yuto Tanaka, Yoshihisa Nakatoh, "Study of Listening Training to Improve Auditory Ability for Elderly People", Proc. of International Conference on Intelligent Systems and Image Processing 2016, PS-22, Kyoto, Japan, Sep. 8-12, 2016. (査読有)
- (2) Yuto Tanaka, Mitsunori Mizumachi, Yoshihisa Nakatoh, "Study on the Improvement of Intelligibility for Elderly Speech Using Formant Frequency Shift Method", Proc. of International Conference on Speech and Computer (SPECOM 2016), pp 683-690, Budapest, Hungary, Aug. 23 - 27, 2016. (査読有)
- (3) Teruhisa Higashi, Yuto Tanaka, Yoshihisa Nakatoh, "Study of Volume Limit for Headphone Hearing Loss Prevention on Portable Music Player", 2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics, pp433-434, Las Vegas, USA, January 10, 2016 (査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中藤 良久 (Yoshihisa Nakatoh)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 10599955

(2) 研究分担者

水町 光徳 (Mitsunori Mizumachi,)
九州工業大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 90380740