

軽度難聴高齢者を対象とした子音強調型補聴方式の 受聴評価実験の検証

中原春香¹ 高橋伸弥^{1,2} 森山剛^{2,3} 小野博² 坂田俊文⁴ 戸井武司^{2,5}

概要: 超高齢社会における老人性難聴者の増加により補聴器の重要性は高まりつつあるが、一部の音声がかえにく
いだけという軽度難聴者はその利用を避ける傾向があり、補聴器の普及が進んでいない。その理由として、補聴器が
高価であることや装用が煩わしいことなどが挙げられているが、本質的に言葉の不明瞭さを改善することが難しいこ
とが大きい。この問題に対し、我々は、言葉が明瞭になるよう入力音声の子音の特性に応じて各子音を強調加工する
ような補聴方式を提案してきた。本稿では、この補聴方式による子音強調加工音声の受聴評価実験の結果を示し、事
前に行った語音聴力検査の結果と併せてその有効性を検証する。

キーワード: 2140201 音声分析・符号化・強調, 2170301 医療・福祉支援

Verification of a listening experiment of consonant emphasis for elderly people with mild hearing loss

HARUKA NAKAHARA^{†1} SHINYA TAKAHASHI^{†1,2} TSUYOSHI MORIYAMA^{†2,3}
HIROSHI ONO^{†2} TOSHIFUMI SAKATA^{†4} TAKESHI TOI^{†2,5}

Abstract: As the aging population grows, age-related hearing loss is increasing. However, individuals with mild hearing loss often
avoid using hearing aids due to high costs, discomfort, and the fundamental difficulty of improving speech clarity. To address this
issue, we propose a hearing aid method that enhances consonants based on their characteristics to improve speech intelligibility.
This paper presents an experiment evaluating the effectiveness of this method and verifies its efficiency by combining the results
of a speech hearing test conducted in advance.

Keywords: 2140201 Speech analysis/speech coding/speech enhancement, 2170301 Medicine and welfare

1. はじめに

近年、日本では高齢化が深刻な問題となっている。2023年には、65歳以上の高齢者が総人口の約29.1%を占め、今後も高齢化率は上昇を続け、2070年には38.7%に達すると推計されている。高齢化が進むと、それに伴って老人性難聴による難聴者も増加することが予想される。加齢による聴覚機能の低下は、コミュニケーションが難しくなるだけでなく、会話が減ることで認知症を発症したり進行させたりすると言われている。しかし、一部の音声がかえにく
いだけという軽度難聴高齢者は、補聴器の利用を避ける傾向があり、補聴器の普及は進んでいない[1,2]。その理由としては補聴器が高価であること、装用が煩わしいことなどが挙げられているが、本質的には、従来の補聴方式では、難聴による高域の感度低下を補うことで聞こえを改善しようとしてはいるものの、言葉としての不明瞭さを改善することが難しい点にある。

これに対し、我々の研究グループでは、言葉を構成する

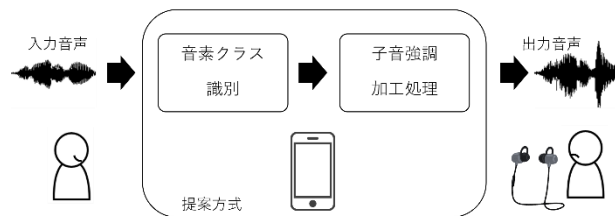


図1 提案方式の概要

Figure 1 Overview of the proposed method

音素、特に単語先頭子音を強調することで言葉の明瞭さを改善する聴覚支援アプリケーションの開発を進めてきた[3]。このアプリケーションでは、入力音声の小区間を、摩擦音や鼻音といった音素の種類(以下、音素クラスと呼ぶ)として識別し、その音素クラスに応じた加工方式で強調して出力する(図1)。このうち、前段の音素クラス識別処理については、これまで様々な手法を試みてきた[4-6]。また後段の子音強調加工処理については、先行研究を参考に加工方法の検討、その有効性の検証を行っている段階である。

1 福岡大学工学部
Faculty of Engineering, Fukuoka University
2 中央大学研究開発機構
Research and Development Initiative, Chuo University
3 東京工芸大学工学部
Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

4 福岡大学医学部
Faculty of Medicine, Fukuoka University
5 中央大学理工学部
Faculty of Science and Engineering, Chuo University

本稿では、提案システムの概要について紹介し、高齢者を対象にして実施した受聴評価実験と語音聴力検査の検証結果について報告する。なお本研究は、福岡大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得ている（承認番号：K24-01-001）。

2. 子音強調方式による聴覚支援システム

2.1 提案システムの概要

提案システムは、図1に示したように、まず子音の音素クラスを識別したのち、それに応じた強調加工を行う。具体的にどのように実装するかは、先行研究[3]で既に検討・報告済みであるが、いかに子音識別を高精度化するか、遅延をどれだけ抑えられるかが課題となっている。なお本システムはスマートホンやタブレットなどの携帯機器で使用して、利用者はイヤホンにより音を受聴することを想定している。

2.2 音素クラスの識別

提案手法では、個々の子音を識別するのではなく、その子音の音素クラス（摩擦音、破裂音、破擦音、鼻音等）を識別する処理（＝類別化処理）を行う。これまでに、いくつかの手法で子音の類別化を検討してきた[4-6]が、精度を重視する場合はCNNを、低遅延を重視する場合はLSTMを用いるのがよいという結果となっている。これらの結果を踏まえ、将来的には最適な特徴量選択をしたうえでベイズ推定を用いることで高精度・低遅延（数ms程度）で実現できるものと考えている。

2.3 子音の強調加工方式

軽度難聴高齢者は高域の周波数帯に聴力レベルの低下が見られるため、補聴器などでは一般に高域強調処理が行われている。その他、子音部の音圧の増幅、波形の繰り返しによる時間伸長[7]、子音と母音間への無音時間の挿入[8]などが効果的であることが先行研究で示されている。これらを組み合わせることで、聞き取りが改善することが確認されているが、全ての子音に対して同一の強調加工処理をすると、子音の種類によってはかえって異聴が生じることがある。また子音の時間伸張は、難聴者には話速変換効果と同様に聞き取りの向上が認められるが健聴者には緩慢に

聞こえるなど、音質の向上効果を感じないこともある。さらに過度の強調加工はかえって不自然な音声になり、違和感を与えることがある。これらのことから、出現するすべての子音に対して同一の強調加工を施すのではなく、子音の種類ごとに適切な強調加工を施すこと、さらに先頭子音にのみ強調加工を施すことを考える。

後述する子音強調音声の受聴評価実験では、摩擦子音については高域強調処理、破裂子音・破擦子音に関しては高域強調処理と振幅を+5dBする処理、鼻音および弾音については高域強調処理と時間長を1.5倍にする時間伸長処理を施した（表1）。ただし、高域強調および振幅強調処理を施すと結果的に全体の音圧が大きくなり、音量が大きくなりすぎるケースがあるため、加工処理後に原音声と振幅の平均がほぼ同じになるように調整している。

3. 子音強調加工方式による受聴評価実験

3.1 実験の概要

日本語単語の聞き取りにおいては先頭の音が重要であること、また処理時間の低減が必要であることから、単語先頭の子音のみを対象として強調加工することとし、未加工の音声と先頭子音のみ強調加工した場合とで聞き取りやすさに差があるかどうかを評価する。この評価のため、高齢被験者を対象とした実験を、2024年2月から3月にかけて3回に分けて実施した。被験者は68歳から77歳までの12名（男女6名ずつ）の高齢者で、補聴器の非装用者であ

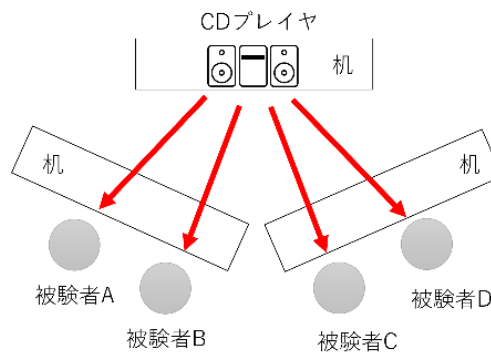


図2 被験者の聴取位置

Figure 2. Subject's listening position

表1 各子音クラスに対する強調処理

Table 1. Emphasis processing for each consonant class

		伸長	増幅	高域強調
摩擦音	/s/ /f/ /h/ /z/ /ʒ/			○
破裂音 破擦音	/t/ /p/ /k/ /d/ /b/ /g/ /ts/ /tʃ/		○	○
鼻音・弾音	/r/ /m/ /n/	○		○

表2 受聴評価実験に用いた単語

Table 2. Word list used in the listening experiment

携帯 /k e i t a i/	兵隊 /h e i t a i/
端末 /t a N m a t s u/	巻末 /k a N m a t s u/
熱望 /n e t s u b o u/	滅亡 /m e t s u b o u/
売店 /b a i t e N/	来店 /r a i t e N/
崇高 /s u k o u/	風光 /f u k o u/
乱暴 /r a N b o u/	暖房 /d a N b o u/
願望 /g a N b o u/	

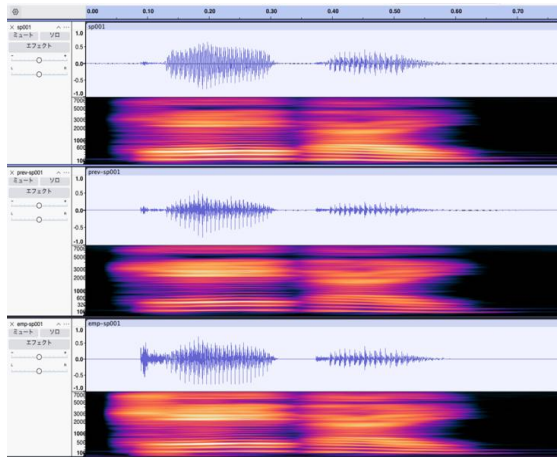


図 3 原音声と加工音声(「携帯」/k e : t a i /)

Figure 3. Example of original and emphasized speech

る。被験者は福岡市シルバー人材センターに依頼して募集し、受聴評価実験に先立って、福岡大学医学部耳鼻咽喉科において聴力検査（純音聴力検査および語音聴力検査）を実施した。

実験は図 2 に示すような位置に着席して 1 度に 4 人ずつに対して行った。実験場所は、特に遮音・防音などを施していない一般教室である。ここで音声を出力するスピーカー (CD プレイヤ: SONY CFD-S33) と被験者との距離は 1m

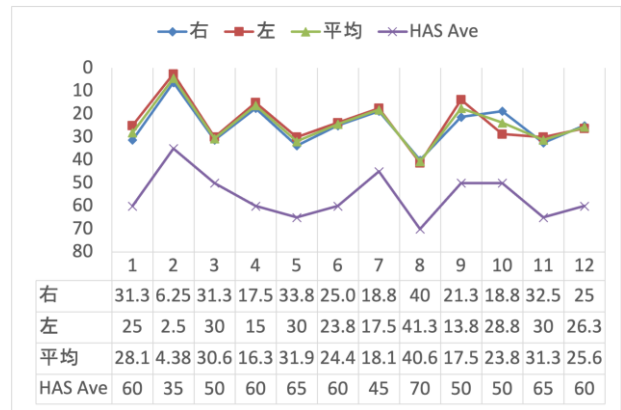


図 4 聴力検査結果

Figure 4. hearing test results

とし、1kHz 基準音が約 70dB になるように音量の調整をした。

実験に用いた音声は、表 2 に示す 4 音節からなる 13 種の単語音声である。これらは、単語親密度[9]がほぼ同程度の単語の中から、単語先頭子音が異なる 2 つ組もしくは 3 つ組を選んだものとなっている。これらの音声は、Dreamtonics 社の音声合成ソフト Voicepeak によって作成した男性音声であり、音声の長さは 1 秒程度である。

これらの音声に対して、①未加工の原音声、②高域強調のみ（従来法）、③高域強調 + 単語先頭子音の強調加工（提

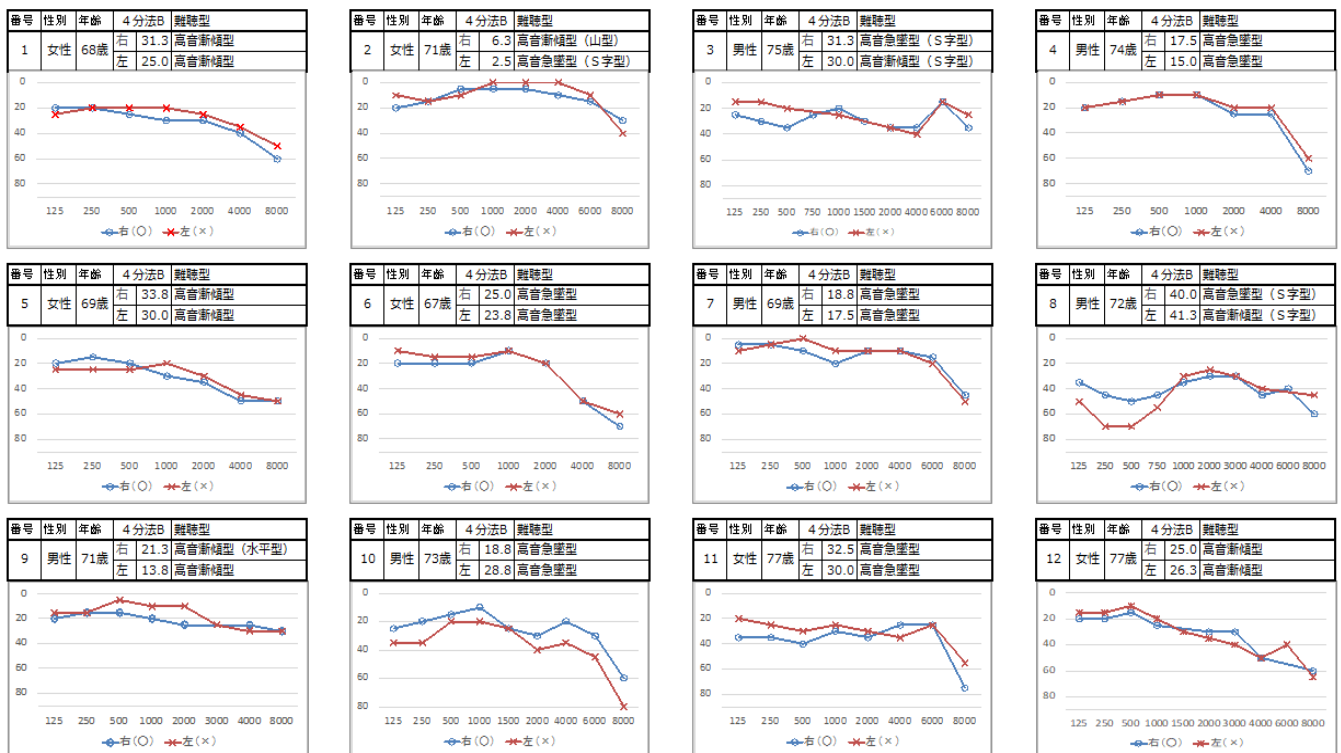


図 5 各被験者のオージオグラム

Figure 5. Audiograms of each subject

案手法)の3パターンの音声を用意し、スピーカーから2回ずつ再生して、用紙に聞こえた通りにひらがなで書き取ってもらうという実験を行った。ここで再生順序は予めランダムになるように決めておいた順序である。図3に「携帯」という音声の原音声および加工音声の波形とサウンドスペクトログラムを示す。上から原音声の波形、従来法、提案手法の波形となっている。

なお本実験とほぼ同内容の受聴評価実験を、被験者および実施場所を変えて中央大学でも2024年12月に実施しており、報告予定となっている[10]。

3.2 聴力検査の結果

純音聴力検査だけでは言葉の聞こえが十分であるかは判断できないため、語音聴力検査も行って語音明瞭度を確認した。図4に、12人の被験者に対する聴力検査の結果を示す。グラフ内、右、左、平均で示しているのは純音聴力検査(4分法B)の結果である。また紫で示したHAS aveとあるのは、語音聴力検査から得られた最高語音明瞭度(Highest Articulation Score: HAS)の両耳平均値である。

グラフから各被験者とも両耳で大きな差はないことが確認できる。また、25dB未満の比較的健聴と考えられる被験者が7名、25dB-40dBの比較的軽度な難聴と考えられる被験者が5名であった。ただし、前者の7名のうち4番と9番の被験者は最高語音明瞭度との乖離がやや大きいため、若干難聴傾向の可能性がある。

図5は各被験者のオージオグラムと難聴型を示したものである。これらのオージオグラムからわかるように被験者ごとに聴力特性は異なっている。また左右で異なる難聴型となっているケースも散見される。難聴型の内訳としては、高域が徐々に低下する高音漸傾型が11耳(うち、S字型が

2、水平型1、山型が1)、高域のみが低下する高音急墜型が13耳(うちS字型が3)であった。

表3は、それぞれの音素クラスにおける異聴回数を集計したものである。語音聴力検査は、左耳、右耳それぞれ4から5回ずつ音量を変えて(回ごとに音を小さくして)、単音節20音を書き取ってもらう検査である(67S語表を使用)。20音の内訳は摩擦音3、破裂音7、破擦音1、鼻音3、弾音1、半母音2、母音3となっている。表には、それぞれの正解音に対する、のべ誤り数が示されている。下段のカッコ内の数字は、正解音数に対する誤り率である。ただし表に示した数字は、音量を変えた検査全てを集計した値になっている。

表からわかるように、摩擦音を破裂音、破擦音に異聴す

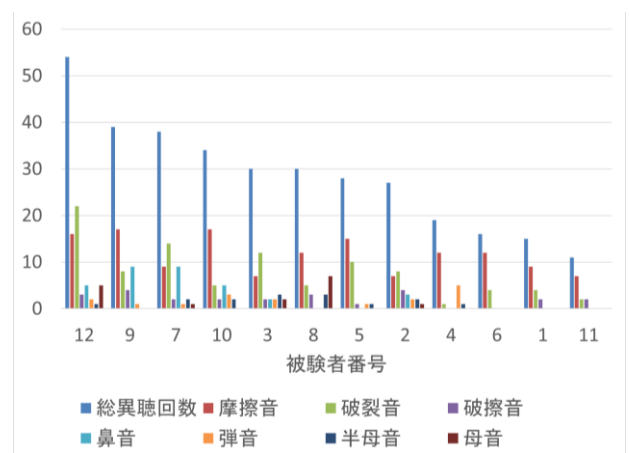


図6 被験者ごとの語音検査異聴回数
 Figure 6. Number of mishearing for each subject at monosyllabic listening test

表3 語音聴力検査における異聴回数の集計結果

Table 3. Monosyllabic listening test results

	回答(間違いのみ)									出現回数		
	摩擦音	破裂音	破擦音	鼻音	弾音	半母音	母音	無回答	計			
正解	摩擦音	6 (2.0%)	57 (18.8%)	67 (22.1%)	1 (0.3%)	5 (1.7%)	1 (0.3%)	2 (0.7%)	7 (2.3%)	146 (48.2%)	303	
	破裂音	38 (5.4%)	22 (3.1%)	11 (1.6%)	5 (0.7%)	4 (0.6%)	3 (0.4%)	3 (0.4%)	9 (1.3%)	95 (13.4%)		
	破擦音	2 (2.0%)	1 (1.0%)	6 (5.9%)	1 (1.0%)	11 (10.9%)	0 (0.0%)	2 (2.0%)	2 (2.0%)	25 (24.8%)		
	鼻音	0 (0.0%)	4 (1.3%)	0 (0.0%)	19 (6.3%)	6 (2.0%)	1 (0.3%)	2 (0.7%)	1 (0.3%)	33 (10.9%)		
	弾音	1 (1.0%)	7 (6.9%)	2 (2.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (2.0%)	5 (5.0%)	17 (16.8%)		
	半母音	1 (0.5%)	3 (1.5%)	0 (0.0%)	3 (1.5%)	3 (1.5%)	5 (2.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	15 (7.4%)		
	母音	0 (0.0%)	6 (2.0%)	0 (0.0%)	7 (2.3%)	1 (0.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	14 (4.6%)		
	計	48	100	86	36	30	10	11	24	345		2020

るケースが多かった。これは先行研究での結果と一致している。ついで破擦音を弾音と聞き違える例も若干見られた。

図6は、語音検査における被験者ごとの異聴回数を示したものである。表3の結果を被験者事に集計したものが、総異聴回数の多い順に左からソーティングしたものとなっている。被験者12が他より総異聴回数が多くなっているのは、語音検査を左右5回ずつ行っており、他の被験者より20または40音多く検査をしているためである。この図より、摩擦音は全被験者ともに異聴傾向があるが、破裂音、鼻音は被験者で傾向が異なるということが示された。

3.3 受聴評価実験結果

図7に、加工・未加工音声に対する被験者ごとの正答率と純音聴力検査の結果（両耳平均）を示す。縦軸は、全13単語の中で正しく書き取ることができた割合を示している。横軸は、純音聴力検査で得られた聴力レベルの順に被験者を並べている。棒グラフは左から、緑が未加工の原音声に対する結果、青が従来法、黄色が提案手法に対する単語正

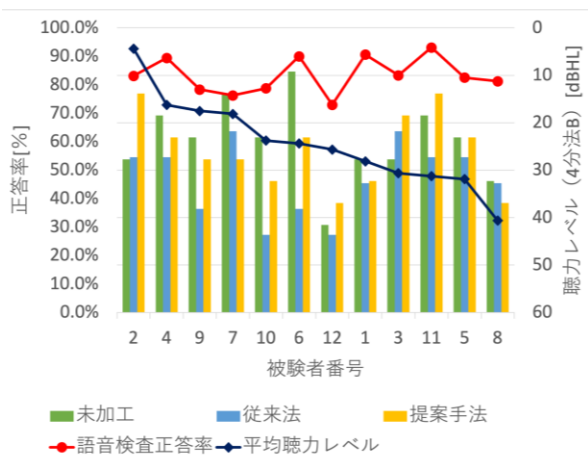


図7 被験者ごとの正答率

Figure 7. Correct answer rate for each subject

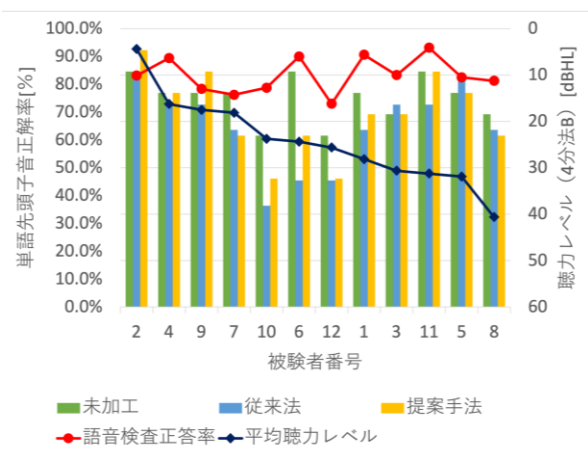


図8 被験者ごとの単語先頭子音正解率

Figure 8. Accuracy of word-initial consonant for each subject

答率となっている。黒い折れ線グラフで各被験者の平均聴力レベル（4分法Bによる）を、赤い折れ線グラフで各被験者の語音検査正答率を示している。グラフより、聴力レベルに応じて単語正答率が下がっているように見えるものの、そうでないケースもあるため、その相関を見て取ることはできない。聴力レベルと未加工音声に対する単語正答率との相関係数は0.22であったため、弱い相関といえる程度であった。一方、赤い折れ線グラフで示された語音検査正答率と未加工音声に対する単語正答率との相関を計算すると、その相関係数は0.47となり、中程度の相関となった。

未加工・加工による改善効果としては、聴力レベルが良好な被験者は未加工の元音声の方が高い正答率となり、逆に軽度の難聴傾向が見られる被験者（聴力レベルが25dBHL以上）では、提案手法による効果がわずかに見られるという結果となった。

図8は、加工・未加工音声に対する被験者ごとの単語先頭子音正解率を示したものである。こちらは図4の結果と異なり、加工を施した先頭子音のみに着目し、先頭子音が正しく聞き取れた割合を示している。単語としては間違えていても先頭子音があっていれば正解とカウントした。なお未加工音声に対する単語先頭子音正解率と語音検査正答率との相関は、相関係数が0.66となり、やや強い相関が見られた。

表4 単語ごとの先頭子音正解数

Table 4. Number of correct answers per word

音素クラス	単語	①未加工	②従来法	③提案手法
摩擦音	すうこう	11		11
摩擦音	ふうこう	12		11
摩擦音	へいたい	7	9	9
破裂音	けいたい	12	12	12
破裂音	かんまつ	2	5	7
破裂音	たんまつ	11	11	11
破裂音	がんぼう	7	5	4
破裂音	だんぼう	3	1	4
弾音	らんぼう	12	12	12
破裂音	ばいてん	12	8	4
弾音	らいてん	12	9	6
鼻音	ねつぼう	7	5	8
鼻音	めつぼう	9	8	9

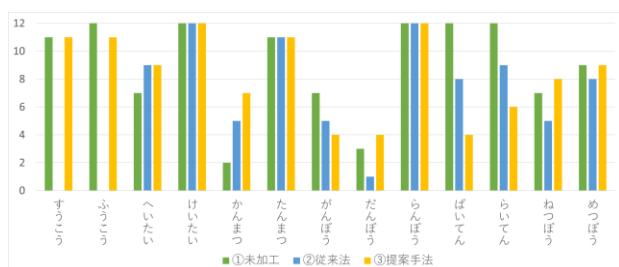


図9 単語ごとの正答数

Figure 9. Number of correct answers per word

結果として、12名中3名は原音声と同等もしくは改善が見られ、2名は従来手法のほうが改善、6名は原音声のほうがよいという結果になった。特に原音声の正答率が高い被験者6名のうち4名は平均聴力レベルが低い(ほぼ健聴な)被験者であることから、難聴が進んでいない場合は加工音声がかえって聞こえの妨げになる可能性がある。一方で聴力レベル的には問題ないように見えるものの正答率が低い被験者もいることから、聴力特性の個人差が大きく影響していることが窺える。

次に単語ごとに先頭子音正解数を集計した結果を表4に示す。被験者数は12人なので、正解数12は100%(全員正解)を表している。図9は表の結果を棒グラフで示したものである。グラフからわかるように、「かんまつ」「だんぼう」「ねつぼう」の3つは提案手法により正解数が増加しているが、逆に「がんぼう」「ばいてん」「らいてん」では未加工の元音声の正解数が高いという結果になった。同じ有声破裂音でも傾向が異なることから、音素によっては更に詳細な分類を行った方がよい可能性があることが示唆された。

3.4 語音聴力検査の結果との比較

表5~7に、未加工・加工音声に対する受聴評価実験における誤回答の集計結果を示す。いずれも摩擦音を破裂音に異聴するという点では、表3に示した語音聴力検査の結果と似た傾向が見られたが、弾音と異聴する割合、また鼻音同士で異聴する割合が大きくなっている。また提案方式では、未加工音声に比べ鼻音が若干改善されているが、弾音の異聴が増加している。以上より、弾音に対する伸長加工処理の再検討が必要なが示された。

最後に、語音聴力検査において特に異聴が多く見られた被験者に対する、摩擦音・破裂音の受聴評価実験結果を図10,11に示す。ここで横軸の被験者には、図6で示された摩擦音・破裂音それぞれの異聴回数の上位6名を選出した。摩擦音に関しては、9番の被験者に対して改善が見られたのみで他は変化なしとなっている。また図11からは、提案手法によって改善するケース、従来手法のほうが良い結果となったケース、未加工が最良のケースと被験者によって異なる結果となった。このことは今回施した強調処理が不十分であった可能性だけでなく、最適な強調処理が個人によって異なることを示唆している。したがって今後は、利用者の聴力特性に応じた強調処理を検討していく必要があると考えられる。

4. おわりに

本稿では、我々の研究グループがこれまで開発を進めてきた、言葉が明瞭になるように入力音声の子音の特性に応じて単語先頭子音を強調加工するような補聴方式について、その概要を紹介し、子音強調加工音声の受聴評価実験の結果を報告した。実験の結果から、無声破裂音、鼻音で提案

表5 受聴評価実験結果 (①未加工音声)

Table 5. Confusion matrix excluding the correct answer for original speech

	回答(間違いのみ)						出現回数
	摩擦音	破裂音	破擦音	鼻音	弾音	計	
摩擦音	1	4	1	0	0	6	36
	(2.8%)	(11.1%)	(2.8%)	(0.0%)	(0.0%)	(16.7%)	
破裂音	0	12	0	0	13	25	72
	(0.0%)	(16.7%)	(0.0%)	(0.0%)	(18.1%)	(34.7%)	
鼻音	0	0	0	8	0	8	24
	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(33.3%)	(0.0%)	(33.3%)	
弾音	0	0	0	0	0	0	24
	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	
計	1	16	1	8	13	39	156

表6 受聴評価実験結果 (②従来法音声)

Table 6. Confusion matrix excluding the correct answer for high frequency emphasized speech

	回答(間違いのみ)						出現回数
	摩擦音	破裂音	破擦音	鼻音	弾音	計	
摩擦音	0	3	0	0	0	3	12
	(0.0%)	(25.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(25.0%)	
破裂音	0	14	0	0	16	30	72
	(0.0%)	(19.4%)	(0.0%)	(0.0%)	(22.2%)	(41.7%)	
鼻音	0	0	0	11	0	11	24
	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(45.8%)	(0.0%)	(45.8%)	
弾音	0	3	0	0	0	3	24
	(0.0%)	(12.5%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(12.5%)	
計	0	20	0	11	16	47	132

表7 受聴評価実験結果 (③提案手法音声)

Table 7. Confusion matrix excluding the correct answer for initial consonant emphasized speech

	回答(間違いのみ)						出現回数
	摩擦音	破裂音	破擦音	鼻音	弾音	計	
摩擦音	0	5	1	0	0	6	36
	(0.0%)	(13.9%)	(2.8%)	(0.0%)	(0.0%)	(16.7%)	
破裂音	0	12	0	0	17	29	72
	(0.0%)	(16.7%)	(0.0%)	(0.0%)	(23.6%)	(40.3%)	
鼻音	0	0	0	7	0	7	24
	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(29.2%)	(0.0%)	(29.2%)	
弾音	0	6	0	0	0	6	24
	(0.0%)	(25.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(0.0%)	(25.0%)	
計	0	23	1	7	17	48	156

手法の効果が見られたが、有声破裂音では効果があるものと却って悪くなるものが見られた。また弾音では加工により悪化する結果となった。これらは加工方式のパラメータ(増幅率や伸長率)によっても変わることが予想されるため、最適なパラメータを求める必要がある。

また本稿では、被験者ごとの異聴傾向に対する子音強調加工処理の有効性を検証することができなかった。今後は、第2回、第3回の受聴評価実験を計画しているので、さらにデータを集めて分析を進めたいと考えている。また、す

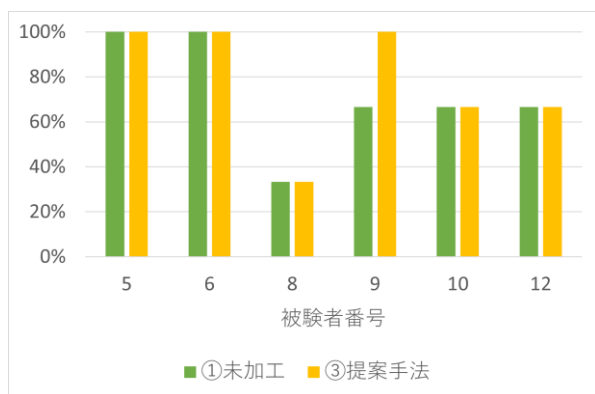


図 10 摩擦音に対する効果

Figure 10. Number of correct answers per word

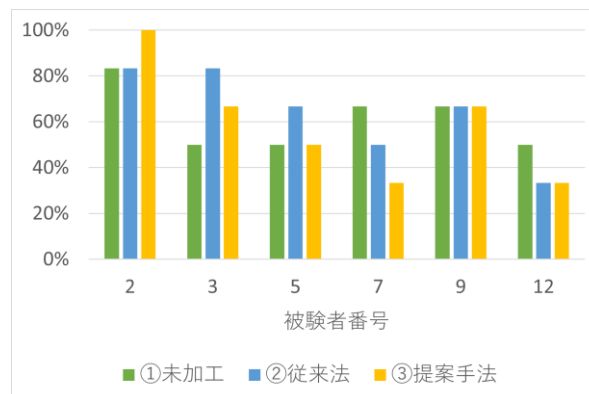


図 11 破裂音に対する効果

Figure 11. Number of correct answers per word

でプロトタイプが完成している携帯端末用アプリの性能をさらに向上し、より使いやすくなるよう機能を追加することなどに取り組んでいく予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 23K11987 の助成を受けた。

参考文献

- [1] 藤坂実千郎：補聴器の過去・現在，そして未来への展望. 日本耳鼻咽喉科頭頸部外科学会会報, VOL.124, NO.9, PP.1256-1261, 2021.
- [2] 日本補聴器工業会 後援テクノエイド協会: Japan Trak 2018 調査報告, http://www.hochouki.com/files/JAPAN_Trak_2018_report.pdf
- [3] 高橋伸弥, 森山剛, 小野博: 音素クラスの識別に基づく子音強調手法を用いた補聴方式: 実装方法の検討と子音強調による受聴評価実験の試行”, 電気学会知覚情報研究会, PI-22-039-046, PP.29-33, 2022.
- [4] 森山剛, 高木美奈, 高橋伸弥, 小野博, 水町光徳, 坂田俊文, 白石君男: 難聴の個人差に対応する補聴方式のための調音様式識別, 情報処理学会研究報告, 2020-MBL-96, NO. 22, PP. 1-5, 2020.
- [5] 高橋伸弥, 森山剛, 小野博, 坂田俊文, 戸井武司: 子音強調型補聴方式のための音素クラス識別手法の検討. 情報処理学会第 86 回全国大会, 5G-07, 2024.
- [6] 高橋伸弥, 乙津ひかる, 森山剛, 小野博, 坂田俊文, 戸井武司: 子音強調型補聴方式のための音素クラス識別手法の検証. 電気・情報関連学会九州支部連合大会, 07-1P-03, 2024.
- [7] 安達忠治, 小寺一興, 寺島邦男, 前川直子, 館野誠: デジタル音声処理の子音明瞭度への影響, AUDIOLOGY JAPAN, Vol.47, No.3, pp.181-191, 2004.
- [8] 小野博, 出口利定, 岡崎勉, 神崎仁: 音声認識・強調加工・変換型デジタル補聴器の開発, AUDIOLOGY JAPAN, Vol.26, No.4, pp.315-316, 1983.
- [9] 坂本修一, 鈴木陽一, 天野成昭, 小澤賢司, 近藤公久, 曾根敏夫: 親密度と音韻バランスを考慮した単語理解度試験用リストの構築. 日本音響学会誌, 54 巻, 12 号, p. 842-849, 1998.
- [10] 上原千晴, 菅田康平, 高橋伸弥, 森山剛, 小野博, 山口雅夫, 戸井武司: 先頭子音の音声強調による加齢性難聴者の単語聞き取り改善, 日本音響学会第 153 回(2025 年春季)研究発表会, 3-4-10, 2025.