

令和 3 年 5 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03560

研究課題名（和文）感音性難聴者の語音弁別を促す音声の周期性知覚支援型信号処理の開発

研究課題名（英文）Development of signal processing to help pattern perception in speech for people with sensorineural hearing loss

研究代表者

下倉 良太（Shimokura, Ryota）

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：90455428

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、感音性難聴者の明瞭度回復を目指した周期性知覚を促す信号処理技術の開発を目的とする。本研究では、いかに周期性知覚を促すか考え、初期エネルギーの立ち上がりに着想した。この初期エネルギーを制御する信号処理として今回は、定常部抑圧処理、トリガー信号付加処理という二つの異なる信号処理を単音節に施し、感音性難聴者を対象に心理実験を行なった。その結果、定常部抑圧処理では、子音 /s/ と /t/、トリガー信号付加処理では子音 /m/ において有意な正答率の上昇を認めることができた。今後はその他の子音にも効果が見られる信号処理を開発する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外耳や中耳など伝音系器官の障害に起因する伝音性難聴は、補聴、つまり大きな音で提示することによって、健聴者と同程度の語音明瞭度（言葉の聞き取り）を獲得することが出来る。一方、内耳や聴神経など感音系器官の障害に起因する感音性難聴は、補聴することにより語音明瞭度の改善は見られるものの、概ね60%程度に止まる。加齢により内耳機能は低下するため、高齢者は概ね感音性難聴を患っており、音の存在は知覚しつつも、聞き取れないという状態に陥る。本研究成果は補聴器では超えられない明瞭度60%の壁を突破し、音を大きくすることなく感音性難聴者の語音明瞭度の改善を行うことができた。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to develop digital signal processing which urges sensorineural hearing impaired people perceive periodicity including in Japanese monosyllables. In this report, we focused on the rise of early sound energy as a way to direct their attention. Our used signal processing to control the early energy were a "steady-state suppression" and "addition of trigger signal." The steady-state suppression method could improve the percentage of correction for the consonant /s/ and /t/ significantly, and the addition-of-trigger signal method could improve for the consonant /m/. In the further study, we try to find the other signal processing to improve the other consonants.

研究分野：音響学

キーワード：補聴器 感音性難聴 明瞭度 自己相関関数 信号処理 Sound Exposure Level

## 1. 研究開始当初の背景

外耳や中耳など伝音系器官の障害に起因する伝音性難聴は、補聴、つまり大きな音で提示することによって、健聴者と同程度の語音明瞭度(言葉の聞き取り)を獲得することが出来る。一方、内耳や聴神経など感音系器官の障害に起因する感音性難聴は、補聴することにより語音明瞭度の改善は見られるものの、概ね 60%程度に止まる。加齢により内耳機能は低下するため、高齢者は概ね感音性難聴を患っており、音の存在は知覚しつつも、聞き取れないという状態に陥る。

過去の研究によると、感音性難聴者が聞き取れない子音(例えば「な」や「で」)は共通している(小寺ら 1992, 1993, 赤坂ら 2010)。しかしなぜその単音節が聞き取れないのか、明確な理由が示されてこなかった。そこで申請者らは、聴覚中枢処理モデルに用いられる自己相関解析を単音節に応用し、聞き取りを阻害する物理要因の特定を行った(Shimokura et al. 2017)。自己相関解析とは、信号に含まれる周期性を検出する信号処理であり、周期性が見られない部分では自己相関度が急峻に減衰し、周期性が豊富な部分では緩やかに減衰する。この自己相関度が 0.1 まで減衰する遅れ時間を有効継続時間と定義すると(Ando 1977)、単音節内で計算される有効継続時間の中央値と感音性難聴者の単音節別正答率との間には、0.87 という強い正の相関があった。つまり聞き取り困難な単音節には、周期性が乏しい。我々の聴神経発火はこの周期に同期しており、加齢による発火不良により明瞭度が低下するというこれまでの仮説を裏付けている(Zeng et al. 1999; Pichora-Fuller et al. 2007)。

## 2. 研究の目的

本研究は、感音性難聴者の明瞭度回復を目指した周期性知覚を促す信号処理技術の開発を目的とする。補聴器のデジタル化に伴い、明瞭度回復のための様々なデジタル信号処理(DSP)が開発されているが、音声帯域の強調やフォルマント周波数の明確化など、周波数領域での計算アルゴリズムが一般的である。またこれら DSP を搭載した補聴器を用いても、感音性難聴者の明瞭度は回復しない。一方、本研究が行う周期性知覚支援は、聴覚中枢と同じ時間領域での信号処理となるため、この新しい切り口が現状の課題を解決する可能性は十分にある。これまで感音性難聴者の医学的対応は人工内耳(内耳に電極を埋め込み強制的に発火する補聴具)しかなかったが、補聴器でそれを達成できれば、手術を回避でき患者の身体的・精神的負担を大きく軽減することができる。

## 3. 研究の方法

本研究では、いかに周期性知覚を促すか考え、初期エネルギーの立ち上がりに着想した。サイン音に関する別の研究で、音の立ち上がりが注意を促す要因になっていることを確認したためである(Shimokura and Soeta 2018)。つまり本研究の仮説は、単音節の立ち上がりを急峻にする信号処理を施せば、感音性難聴者が音に注意を向かせることができ、その後の周期性を十分知覚して、結果として語音明瞭度が向上するのではないかと、ということである。この仮説を検証するため、以下の手法をとった。

### 3-1. Sound Exposure Level と語音明瞭度との関係

まず日本語単音節の Sound Exposure Level (SEL: 音の始点を 0 秒として時間積分した音圧レベル)と感音性難聴者の語音明瞭度との関係を明らかにした。音の立ち上がりが急峻であると、SEL は短時間で大きな値に達する。ある SEL (ここでは L dB とする)に達するまでの時間を各単音節で計算し、感音性難聴者 144 耳(平均年齢 69.9 ± 13.7 歳)の単音節別正答率と比較した。

### 3-2. 定常部抑圧処理

音の立ち上がりをコントロールする手法の一つに定常部抑圧処理が考えられる。単音節は先行する子音と後続の母音に分けることができる(例えば、sa の場合 s と a)。ここでいう定常部とは母音部のことであり、母音部を検出して抑圧し、もとの音圧に増幅すれば相対的に先行する子音部が強調される。信号処理は母音部に施されるので、子音部に手を加えることなく強調できることが、この手法のメリットと言える。本研究では抑圧率を 40%とした。

### 3-3. トリガー処理

音の立ち上がりをコントロールするもう一つの手法は、単音節に先行してトリガーを付加することである。この手法のメリットは、単音節自身には全く信号処理を施さないことである。先行研究で、単音節の周期性を信号処理により強調して語音明瞭度の向上を図ったが、信号処理が原音声を歪ませることにより、逆に明瞭度が下がった(Shimokura et al. 2017)。この経験を受け、トリガー処理を着想した。

この場合、トリガー信号に何を選ぶかが重要となる。そこで参考にしたのが Voice Onset Time (VOT) が負になる単音節の声帯振動である。例えば、do という単音節は、「ド」と発声する前に声帯振動が先行する。極端に言うと「ンー・ド」となる。この「ンー」に当たる声帯振動は除去しても do に聞こえるが、感音性難聴者の場合、正答率が 20%近く減少する結果を得ることができた。この実験を通し、声帯振動が先行しない単音節に対しても、この声帯振動を先行させたらトリガーとして機能し、正答率の向上が見込めるのではないかと考えた。

#### 4. 研究成果

図1に日本語単音節50語の正答率と、各単音節のSELがある音圧L dBに達するまでの対数時間 ( $\log t_0$ ) との関係を示す。感音性難聴が重度化するに連れて、正答率とSELとの関係が明確となる。つまり重度難聴者は単音節の立ち上がりが鋭い単音節ほど正答率が高い。

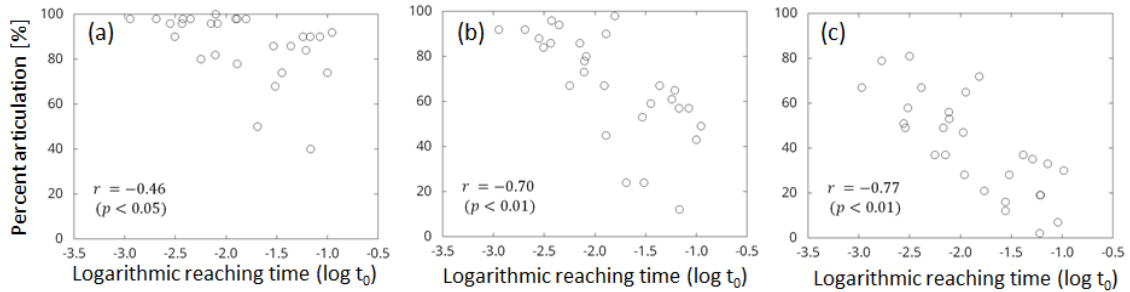


図1 (a)軽度難聴者, (b)中等度難聴者, (c)重度難聴者の正答率とSELが音圧L dBに到達するまでの対数時間 ( $\log t_0$ )

以上の結果を受け、単音節の立ち上がりを鋭くするため、定常部抑圧処理を行い、感音性難聴者を対象とした心理実験を行なった。その結果を図2に示す。その結果、子音/s/, /t/において有意な効果を観察した。

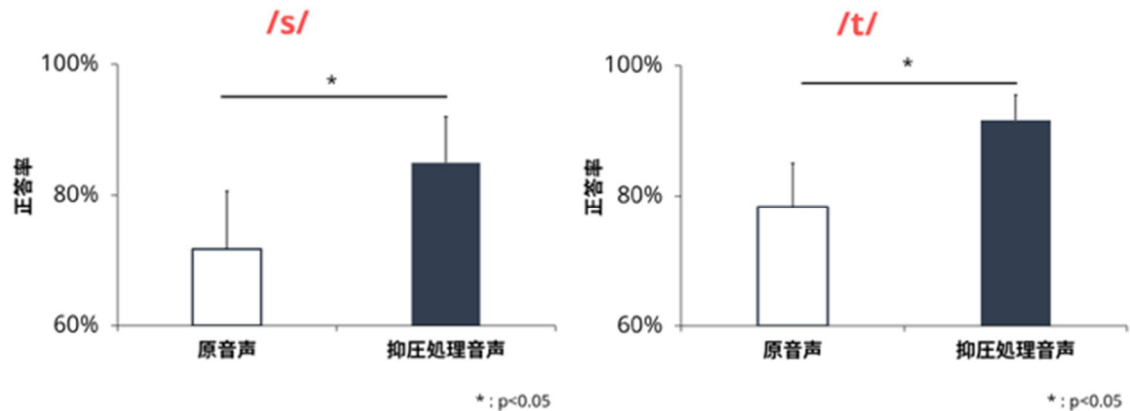


図2 子音/s/, /t/における原音声と抑圧処理音声の正答率

また声帯振動をトリガー信号として、単音節のSELを立ち上げた結果が図3となる。被験者は先ほどと同様である。今回は子音/m/で有意な効果を観察した。

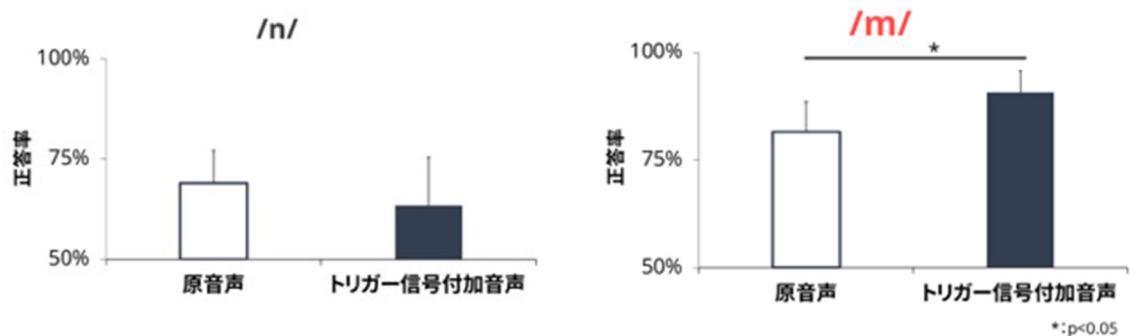


図3 /n/, /m/における原音声とトリガー信号付加音声の正答率

以上の結果から、全ての子音に効果のある汎用的な信号処理は見出せなかったものの、複数の子音で感音性難聴者の明瞭度を向上させる二つの信号処理を開発することができた。共通して言えることは、感音性難聴者の音に対する注意を迅速に向かせ、その後の周期性知覚を促す戦略である。また原音声になるべく信号処理による歪みを与えないことも重要であることが分かった。今回挙げた定常部抑圧処理・トリガー信号付加処理以外にも言葉の初期エネルギーを立ち上げる信号処理が存在する。今後は新しい信号処理を試作し、その他の子音に対しても効果が見られるよう研究を継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 下倉良太、細井裕司、西村忠己	4. 巻 74
2. 論文標題 軟骨伝導聴覚のメカニズムと応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 649-654
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Hosoi, T. Nishimura, R. Shimokura, T. Kitahara	4. 巻 46
2. 論文標題 Cartilage conduction as the third pathway for sound transmission	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Auris Nasus Larynx	6. 最初と最後の頁 151-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 下倉良太
2. 発表標題 美保神社拝殿の音響に関する研究
3. 学会等名 2018年度日本建築学会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Shimokura, Y. Soeta
2. 発表標題 Reaction time for birdsong
3. 学会等名 25th International Congress on Sound and Vibration（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下倉良太
2. 発表標題 再現性に優れた軟骨伝導音評価手法の開発
3. 学会等名 日本音響学会2018年春季研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下倉良太
2. 発表標題 松江市内の喫茶店に流れるBGMの調査と心理評価
3. 学会等名 平成29年度日本建築学会中国支部研究報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 C. Morimoto, K. Nario, T. Nishimura, R. Shimokura, H. Hosoi, T. Yamanaka, T. Kitahara
2. 発表標題 Effects of noise exposure on neonatal auditory brainstem response thresholds in pregnant guinea pigs at gestational periods
3. 学会等名 Midwinter Research Meeting of Association for Research in Otolaryngology（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Nishimura, H. Hosoi, O. Saito, R. Shimokura, S. Akasaka, T. Yamanaka, T. Kitahara
2. 発表標題 Cartilage conduction hearing
3. 学会等名 Midwinter Research Meeting of Association for Research in Otolaryngology（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 R. Shimokura	4. 発行年 2018年
2. 出版社 IntechOpen	5. 総ページ数 195
3. 書名 An Excursus into Hearing Loss (Chapter 9)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	西村 忠己  (Nishimura Tadashi)  (60364072)	奈良県立医科大学・医学部・講師   (24601)	

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
---------	---------