

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12600

研究課題名(和文)スピーチを用いた聴性脳幹反応の補聴器フィッティングへの応用に関する研究

研究課題名(英文)A study on the application of auditory brainstem responses using speech sounds to a hearing aid fitting

研究代表者

白石 君男 (SHIRAISHI, Kimio)

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：90187518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、音声刺激による聴性脳幹反応(以下、スピーチABR)を用いて補聴器フィッティングの客観的評価法を確立するために、刺激および記録条件および子音聴取成績とスピーチABRとの関連性について検討した。スピーチ法ではイヤホン法による反応波形に差異はほとんどなく、また反応を明瞭に記録するための加算回数は4000回が適切であることを示した。健聴者における子音弁別成績とスピーチABRの子音の遷移部に対する脳幹聴覚路での符号化との間に関連性があることを見出した。しかし、難聴者における子音弁別成績とスピーチABRの関連性は認められなかった

研究成果の概要(英文)：This study employed a stimulus presentation method by a loudspeaker and various averaging numbers to record clear speech auditory brainstem responses (speech ABR). The goal was to clarify the relationship between listeners' consonant discrimination scores and speech ABR characteristics for an objective hearing aid fitting. As a result, the speech ABR obtained with a loudspeaker were almost similar to the waveforms obtained with an inserted earphone in time and frequency domains. The averaging number of 4000 times was suitable for recording clear speech ABRs. It was found that the relationship between the consonant discrimination scores and the coding pattern of the transition portion of the speech ABR showed good correlation in subjects with normal hearing. In subjects with hearing loss, however, there was no relationship between the consonant discrimination scores and the speech ABRs.

研究分野：聴覚障害学

キーワード：補聴器フィッティング 聴性脳幹反応 音声

### 1. 研究開始当初の背景

成人における補聴器フィッティングは、難聴者の最小可聴閾値をもとに補聴器の増幅度を決定し微調整した後、その適合状態を主観的な語音明瞭度検査で評価することが一般的である。しかし、乳幼児の補聴器フィッティングでは主観的な評価が出来ないため、補聴器の適合状態を判断するのは困難であり、他覚的な評価法が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究では、音声刺激による聴性脳幹反応(以下、スピーチ ABR)を用いて補聴器フィッティングの客観的評価法を確立することを目指し、1)スピーチ ABR の刺激呈示方法および記録条件の検討、2)子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性について基礎的資料を得ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) スピーチ ABR の刺激および記録条件の検討

##### スピーカ法による音声刺激の呈示方法

音声刺激をイヤホンで呈示する場合とスピーカで呈示する場合の間で、物理的特性や聴取環境に差異が生じる。そのため、音源と受音点の位置による刺激の到達時間の差、測定系の伝達特性、クロストークによる反対耳への音声伝搬を検討し、その差異と補正方法について調査した。

次にイヤホン呈示及びスピーカ呈示によるスピーチ ABR を健聴な若年男性 18 名から記録し、比較検討した(図 1)。

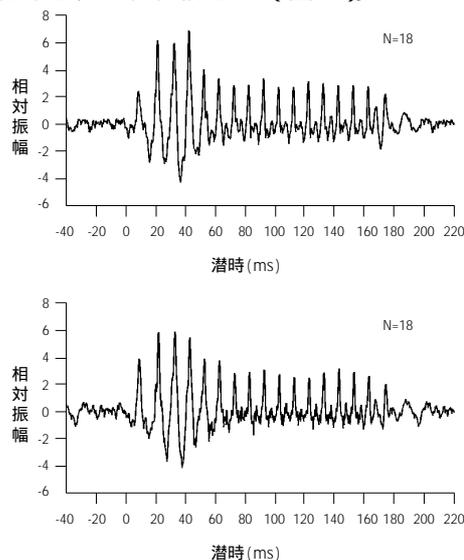


図 1 イヤホン呈示(上段)とスピーカ呈示(下段)のスピーチ ABR の総加算平均波形

#### スピーチ ABR における適切な加算回数の設定

クリック音による ABR では 1000~2000 回加算回数が必要であるとされているのに対し、スピーチ ABR を明瞭に記録するための適切な加算回数などの基礎的検討はほとんど

行われていない。ここでは健聴な若年者を対象に、スピーチ ABR について波形が明瞭に記録され、かつ測定時間ができるだけ短く済むような加算回数について、健聴な若年者 11 名を対象として検討した。

方法は、防音室にてスピーチ ABR を測定した。70 dB SPL の音声刺激/da/(170 ms)を 800 回、刺激間隔 60 ms とし、実験参加者の右耳に呈示した。これを 1 ブロックとし、11 ブロック行い、計 8800 回呈示した。

#### (2) 子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性

ここでは、音声刺激に対する雑音下の子音弁別成績と聴性脳幹反応を健聴者から記録して、子音弁別の結果とスピーチ ABR からみた音声符号化の様相との関連性を検討することを目的とした。これらの結果を踏まえて、難聴者における音声増幅による子音弁別成績の変化とスピーチ ABR の比較検討を行い、難聴者の補聴器などの聴覚補償の評価に際してスピーチ ABR の応用の可能性について検討した。

##### 健聴者における雑音付加による子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性

実験参加者は男性 7 名、女性 3 名の計 10 名の健聴な若年者(22-25 歳;平均年齢 23.7 歳)とした。音声刺激は、単音節の音声/ba/および/da/を Klatt[2]の音声合成ソフト(Stnworks: Scicon R&D Inc.)により作成した。音声は 120 ms で基本周波数(F0)が 100 Hz で、5 つのフォルマント(F1 -F5)で構成した。

雑音を付加した音声の弁別成績では、作成した音声/ba/、/da/を 500 ms の間隔で同じか異なる組合せで呈示し、実験参加者にはどちらの組合せかボタンで回答を求めた。音声は右耳に 70 dB A で呈示した。雑音は SN 比 +21 dB A から -18 dB A まで 3 dB A ステップでホワイトノイズを付加した。静音下条件および各 SN 比の雑音下条件につき、同じか異なる組合せを 40 回ずつ呈示し、正答数を 80 で除し正答率とした。

次に作成した音声/ba/、/da/に対するスピーチ ABR を記録した。右耳に刺激間隔 60 ms で、極性が(+)(-)の刺激を 3000 回(合計 6000 回)、70 dB A でランダムに呈示した。条件は、静音下条件と実験参加者ごとに得られた弁別成績に累積度数分布を当てはめ求めた、正答率が 99%、75%、51%になる SN 比の雑音下条件の計 4 条件で記録した。関電極は、国際式 10-20 法による頭頂部の Cz、基準電極は右耳朵、接地電極は前額部とした。すべての電極におけるインピーダンスは 5 kΩ以下とした。刺激により誘発された脳波を脳波計(EEG-1200、日本光電)で記録した。

分析を行う前に、波形の平均処理を行った。音声刺激の極性が(+ )および(- )に対する反応を加算平均した ADD response の算出と、減算平均した SUB response の算出を行った。

前者は音声刺激の時間エンベロープ、後者は時間微細構造を反映すると報告されている。

難聴者における雑音付加による子音弁別成績と音声に対する聴性脳幹反応との関連性

難聴者5名における音声増幅による子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性について検討した。方法は、健聴者と同様とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) スピーチ ABR の刺激および記録条件の検討

スピーチ法による音声刺激の呈示方法

図1において、反応の神経の興奮量を表す振幅の実効値 (root-mean-square:RMS) と、両者の反応波形の相関を求めた。その結果、反応波形のRMSではスピーチ呈示の方がイヤホン呈示よりも刺激前の波形に対する反応波形のRMSが有意に小さくなった ( $p < 0.01$ )。この原因はスピーチ呈示の際に波形のノイズ成分が増加していたことであると考えられた。両者の反応波形の相関では、ピアソンの積率相関係数及びLag値を求めた結果を、ほとんどの反応波形についてLag値が0に近く、時間的にも一致した反応が得られた。反応波形の相関係数の上位群では0.8前後の値が得られ、高い類似性がみられた。下位群では相関係数0.3前後とほとんど類似性がみられなかったが、これは反応波形の振幅が神経の自然発火などによるノイズ成分に比べて十分大きくなかったからであると考えられた。

さらに反応波形の周波数分析の違いについて検討した (図2)。

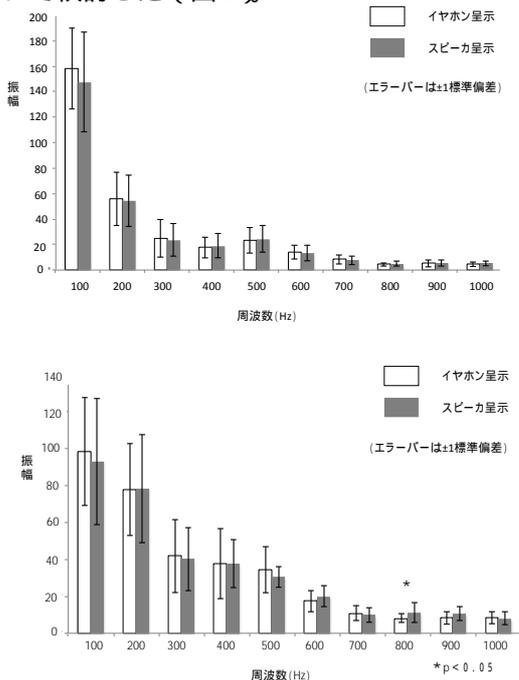


図2 反応波形の遷移部 (上段) と定常部 (下段) に対する周波数分析

音声刺激の遷移部に対する反応について

は、基本周波数およびその倍音成分において有意差は見られず、同程度の音声の周期性に同期した反応が得られた。音声の定常部に対する反応について、中心周波数 800 Hz の振幅において、スピーチ呈示条件の方がイヤホン呈示条件よりも有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。原因として、スピーチ呈示条件の際に増加したノイズ成分の影響の可能性がある。

以上から、本研究の方法を用いた音声刺激のスピーチ呈示によって記録されたスピーチ ABR は、従来方法であるイヤホン呈示によって記録されたスピーチ ABR に対して、時間領域と周波数領域で概ね同程度の結果が得られることが示された。

しかし、音声刺激のスピーチ呈示によって記録されたスピーチ ABR においては、ノイズ成分の増加と一部の周波数の振幅の増加がみられた。今後はこの原因を究明し、その改善を施すことで音声刺激のスピーチ呈示によって記録したスピーチ ABR の信頼性の向上につながると思われた。

スピーチ ABR における適切な加算回数 (加算回数) の設定

加算回数を増やすと、ノイズ成分が少なくなり、ピークが明瞭になる様子が観察された。代表例として、図3に実験参加者1のものを示す。

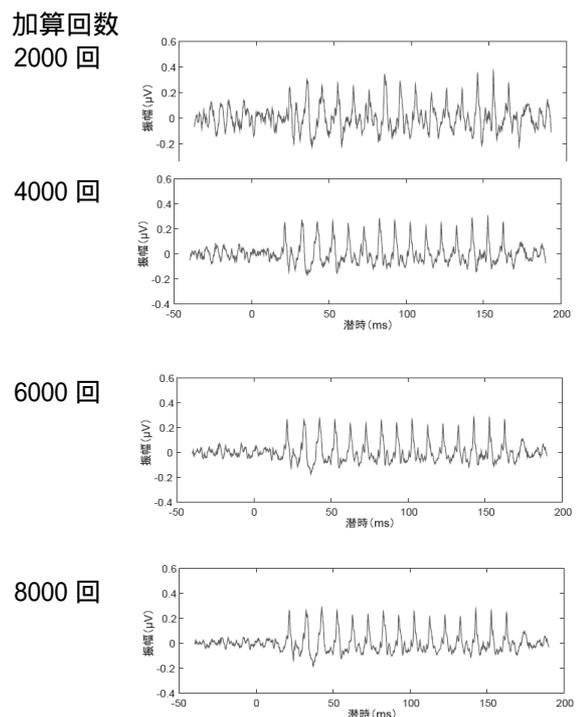


図3 加算回数の違いによるスピーチ ABR 波形 (実験参加者1)

次に、反応の神経の興奮量を表す振幅実効値 (RMS) を計算した。Bonferroni の多重比較を行い、加算回数とRMSの関係調べた。その結果を図4に示す。反応部 (潜時 20-180

ms: ENV) ベースライン部 (潜時-40-0 ms: nENV) いずれも、2000 回と 4000 回、2000 回と 6000 回、2000 回と 8000 回には有意差があり、回数が大きいほど RMS は小さくなった ( $p < 0.05$ )。そして 4000 回、6000 回、8000 回には有意差が認められなかったことから、加算回数は 4000 回程度でよいと考えられた。

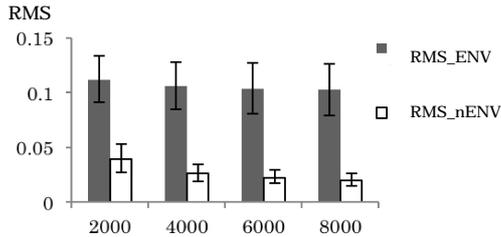


図 4 加算回数と RMS 平均値 (横軸は加算回数、エラーバーは  $\pm 1$  標準偏差を表す)

## (2) 子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性

健聴者における雑音付加による子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性

各 SN 比に対する弁別の正答率のグラフを図 5 に示す。全ての実験参加者において、SN 比が低下するに従って正答率は低下しチャンスレベルに到達すると一定となった。また SN 比が高くなるに従って正答率が 100 % に到達すると一定となった。しかし、弁別成績の変化には個人差が見られた。

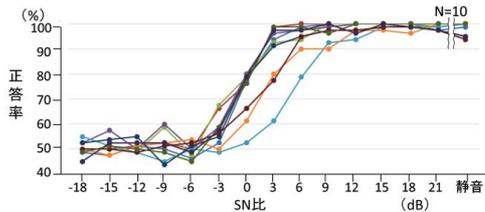


図 5 各 SN 比に対する弁別の正答率 (N=10)

ADD response について静音下条件および各正答率の雑音下条件の反応波形の総加算平均波形を図 6 に示す。それぞれの音声刺激に対する反応の潜時 20-50 ms (遷移部) の振幅実効値を呈示条件の 4 水準について分散分析および多重比較を行った結果、音声/ba/に対する反応について [静音下 vs. 99%], [静音下 vs. 75%], [静音下 vs. 51%], [99% vs. 51%], [75% vs. 51%] の水準間で有意差が認められた。音声/da/に対する反応について [静音下 vs. 99%], [静音下 vs. 75%], [静音下 vs. 51%] の水準間で有意差が認められた。つまり、ADD response の振幅は、雑音の付加により遷移部、定常部ともに減少し、更に遷移部は正答率の低下に従って振幅が減少した。

また、異なる音声のフォルマント遷移の差は ADD response の位相差にも反映されており、この位相差を時間周波数軸で表す方法として cross-phaseogram が提案されている。求めた cross-phaseogram を図 7 に示す。静音下条件では 20-50 ms (遷移部) の 500-1000 Hz に位相差が反映されていること、定常部の反応には位相差がほとんど生じていないことが確認された。雑音下条件では遷移部の位相差の消失や乱れが観察された。

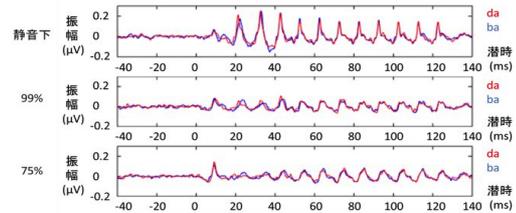


図 6 ADD response の総加算平均波形 (N=10) 赤線: /da/ に対する反応 青線: /ba/ に対する反応

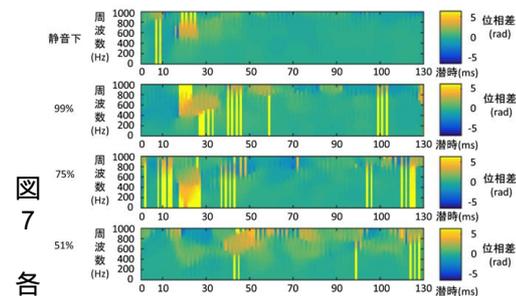


図 7 各呈示小ホIT

## の cross-phaseogram

上段から静音下条件、正答率 99% 条件、75% 条件、51% 条件における cross-phaseogram を示す。

次に静音下条件と各雑音下条件の cross-phaseogram の 20-50 ms、500-1000 Hz の範囲について残差平方和およびピアソンの相関係数を求めた。その結果、残差平方和は 51% 条件が他の 2 条件よりも大きくなった、ピアソンの相関係数は 99% 条件が最も大きく、75% 条件はそれより小さい値をとり、51% 条件では負の値をとった (表 1)。つまり、正答率が高い条件ほど静音下における 2 つの音声に対する時間的符号化の差異を保っていることが明らかとなった。

表 1 cross-phaseogram の 20-50 ms、500-1000 Hz の残差平方和およびのピアソンの相関係数

	残差平方和	ピアソンの相関係数
静音下 vs. 99%	$8.9 \times 10^4$	0.39
静音下 vs. 75%	$8.7 \times 10^4$	0.13
静音下 vs. 51%	$10.0 \times 10^4$	-0.33

難聴者における雑音付加による子音弁別成績と音声に対する聴性脳幹反応との関連性

難聴者5名における音声増幅による子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性について検討したところ、子音弁別成績(図8)のロールオーバー現象などにより両者の対応を統一する結果は得られなかった。

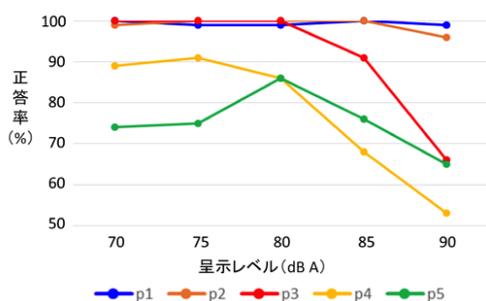


図8 各難聴者の正答率 (pは実験参加者)

本研究では、スピーチ刺激による聴性脳幹反応を用いて補聴器フィッティングの客観的評価法を確立するために、スピーチ ABR の刺激呈示方法および記録条件を検討した。その結果、補聴器装用時における音場のスピーカ呈示でもイヤホン呈示による反応と同様反応が得られ、加算回数は4000回程度あればよいことを示した。健聴な若年者における子音弁別成績とスピーチ ABR との関連性については、子音弁別成績とスピーチ ABR の遷移部に対する音声の符号化との間に関連性があることを見出した。この知見をもとに難聴者の音声増幅による子音弁別成績の変化とスピーチ ABR の比較検討を行ったが、子音弁別成績のロールオーバー現象などにより両者の対応を統一する結果は得られなかった。

今後の課題として、音声刺激に対する聴性脳幹反応の符号化と、難聴者の個々の聴覚特性(内耳性の補充現象や後迷路性のロールオーバー現象の有無など)との関連性や、実際に補聴器によって聴覚補償した場合の効果との関連性など、更なる研究を重ねていくことが必要である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計3件)

内田 匠, 白石君男, 藤平晴奈: 雑音下における子音弁別成績と聴性脳幹反応との関連性, 日本音響学会 2017 春季研究発表会, 2017.03.15.

白石君男, 泉 春名, 内田 匠, 藤平晴奈: 音声刺激に対する聴性脳幹反応の加算回数に関する検討, 日本聴覚医学会第11回 ERA・OAE 研究会, 2016.07.10.

内田 匠, 白石君男, 藤平晴奈: 雑音下における音声聴取成績と聴性脳幹反応についての検討, 日本聴覚医学会第11回 ERA・OAE 研究会, 2016.07.10.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

白石 君男 (SHIRAIISHI, Kimio)  
九州大学・大学院芸術工学研究院・教授  
研究者番号: 90187518

### (2) 研究協力者

藤平 晴奈 (FUJIHIRA, Haruna)  
九州大学・大学院芸術工学専攻・博士課程

内田 匠 (UCHIDA, Takumi)  
九州大学・大学院芸術工学専攻・修士課程