

人工内耳装用者の発話に対する音響分析 — 突発性重度難聴者の一例 —*

☆清水梨沙, 阪口裕子 (上智大院・理工研), 岩崎理音 (上智大院・言語科学研), 荒井隆行 (上智大・理工), 真野守之 (人工聴覚情報学会), 河野淳, 白井杏湖 (東京医大・耳鼻咽喉科)

1 はじめに

難聴者は、聴覚的フィードバックに問題を抱えるため、中途失聴の場合、失聴期間が長いほどその発話は崩れ、発話明瞭度の低下につながる^[1]。また、難聴者の音声は、母音が鼻音化する傾向にある^[2]。そのため、人工内耳装用者の中には、発話に不安を感じるケースが少なくない。

そこで、本研究では、人工内耳装用者の発話明瞭度改善に向け、人工内耳装用者の発話特徴を聴取の側面、音響的側面、音声波形とスペクトログラム及びスペクトルの観察から検証し、発話改善の余地について検討した。

2 対象者

両耳に人工内耳を装用している成人発症重度難聴の成人男性 (日本語母語話者) 1 名にご協力いただいた。1998 年に突然聴力を失った後、人工内耳の埋め込み手術を受けた。右耳は 2001 年、左耳は 2016 年に人工内耳 (両耳ともにコクレア社) の装用を開始した。

研究対象者によると、サ行の発音に困難を感じることもあり、例えば「すださん」と言いたくても「つださん」のように聴き取られてしまうとのことであった。そこで、本稿では対象者の様々な発話を録音し、発話特徴を検証した結果を報告する。

なお大前提として、本研究対象者は、聴取、発音などの成績は人工内耳装用者の中ではスターペーシェントと言える。

3 データ収集方法

100 音節明瞭度検査^[3]、単語明瞭度検査^[4] (リスト A)、文章検査^[5] (テキスト「桜」)、アクセント及びイントネーションの課題^[6]、の 4 つの発話明瞭度検査を行った。なお、音響分析

を行うため、発話明瞭度検査の発話を全て録音した。また、健聴者と比較するため、1 人の健聴者に同じ環境で同じ単語を発話して頂き、録音した。録音にあたっては、デジタルレコーダー (Marantz, PMD670) を用いて、標準化周波数 44.1 kHz、量子化精度 32 bit とした。単一指向性マイクロホン (Sony, EMC-23F5) をスタンドに立て、研究対象者の口元から約 15 cm 離れたところに設置した。

4 分析方法

発話明瞭度検査の録音に対し、以下の分析を行った。なお、分析にあたっては、音響分析ソフト Praat^[6]を用いた。

4.1 音声学的対立からの分析

100 音節明瞭度検査、及び単語明瞭度検査の録音を、3 名の聴取者が有意味語に聞こえない場合も含め、聞こえた通りに仮名で書き取った。その結果を、音声学的にエラー分析を行った研究^[7]で用いられていた 20 の観点を参考に、日本語に即した 14 の音声学的対立の観点を設定し、リストにおける正解の単語と比較した。

4.2 5 母音のフォルマント

100 音節明瞭度検査において、日本語 5 母音単独発話での第 1 及び第 2 フォルマント周波数 (以下 F1, F2) を測定した^[8]。

4.3 子音の音響分析

今回、聞き誤りに関するエラー分析の中で特に聞き誤りの多かった以下の 2 点に着目した。

1) 子音の有声性

単語明瞭度検査における全 120 語に含まれる全ての閉鎖音において、有声性を知覚する

* Acoustic analysis on the speech of cochlear implant patient: A case study of severe sudden deafness.
By Risa Shimizu, Yuko Sakaguchi, Rion Iwasaki, Takayuki Arai (Sophia University), Moriyuki Mano (Jinkô-chôkaku Jôhō-gakkai), Atsushi Kawano, and Kyoko Shirai (Tokyo Medical University Hospital).

際の手がかりとされる VOT (有声開始時間) を測定した^[9]。なお、摩擦音、及び破擦音を含んだ単語でも、「子音の有声性」の観点から比較することができたが、数が少なかったため、今回は閉鎖音での分析に限定した。

2) 摩擦音—破擦音

単語明瞭度検査における全 120 語に含まれる全ての無声摩擦音と無声破擦音において、摩擦音と破擦音を弁別する際の手がかりとされる摩擦の持続時間と立ち上がり時間を測定し^{[10][11]}、語頭位置と語中位置に分けて分析した。なお、120 語の中には有声摩擦音と破擦音を含む単語も含まれていたが、そのような単語では摩擦音と破擦音での聴取者の混同は生じなかったため、今回は分析の対象外とした。

4.4 インテンシティ

摩擦音と破擦音の無声子音において、インテンシティ曲線を求め、対象となる子音と後続母音のインテンシティの差を求めた。値は各子音の中央付近において最もインテンシティが安定している点で測定した。ただし、対象とする子音を含む句が無声化している場合は、その子音の直前にある母音のインテンシティとの差をとった。

5 結果及び考察

5.1 音響学的対立からの分析、及び聴取者による聴覚的印象

聞き誤りの分析の中で特に多かったのは、「子音の有声性」と「摩擦音—破擦音」に関する聞き誤りであった。全体的な聴覚印象として、大きく健聴者と異なる部分はなかったが、3名の聴取者が、全体的に鼻にかかった声に聞こえたコメントした。

実際の会話においては、文脈から発話内容を予測することが可能になるため、今回測定したものよりも明瞭度が高くなることが考えられる。実際に、アクセント、イントネーションの課題においては、対象者の発話は健聴者と比べて大きく異なる点がなかったことより、文の流れや会話の抑揚に関しては全く問題がないことが考えられる。

5.2 5 母音のフォルマント

母音の中心 16 ms における F1 と F2 の平均

値を求めた。結果より、対象者の発話における母音のフォルマントの値は概ね平均的であることがわかった^{[12][13]}。このことから、成績良好な人工内耳装用者の発話は、健聴者の発話と、音のエネルギーが集中する場所がほぼ同じであるといえる。

5.3 子音の音響分析

1) 子音の有声性

聴取者の正誤判定の結果に関わらず、全ての対象音のパラメータ値において各々の音素に関する平均的な範囲内にあった^[14]。

無声子音に対し有声性が聴取された際の値は、確かに正しく聴取された場合より小さかったものの、対象となる子音の数も少なく、十分に誤差の範囲であった。結果として逸脱した値はほとんどなく、閉鎖音の VOT の値に関しては健聴者との違いはなかった。今回は子音の有声性に関して、VOT のみ分析したが、今後閉鎖区間やバーストについても検討する必要があると考える。

2) 摩擦音—破擦音

摩擦の持続時間と立ち上がり時間に関しては、正しく聴取された発話でのパラメータ値は、摩擦音及び破擦音の正常範囲であった。回数こそ少ないが、聞き誤りが生じた際の値は概ね、正しく聴取された際の値と比べて、摩擦音の場合はより短く、破擦音の場合はより長い値であった。これらのことから、人工内耳装用者の摩擦音と破擦音の誤りにおいて、持続時間と立ち上がり時間が関係していることが分かった。

5.4 音声波形とスペクトログラム及びスペクトルの観察

波形とスペクトログラムを観察した結果、全体的に摩擦音・破擦音における摩擦のエネルギーが弱いことが観察された。図 1 は、単語明瞭度検査における 3 モーラ語「むすめ」の音声波形とスペクトログラムである。/s/ の開始地点でバーストが観察され、破裂動作が生じていることがわかる。また、摩擦が極めて弱い上に、摩擦音には見られない閉鎖区間が出来ていると考えられる。文章検査においても、文末の「す」での聞き誤りについて、「す」が「つ」に聞こえる場合と、「す」がほ

とんど聞こえなかった場合があり、構音が正確に行われなかった可能性がある。これらの結果と合わせて考えると、「す」が「つ」として聞き取られてしまう場合には、明らかに閉鎖区間+破裂が生じている場合あることが観察された。特に語中位置の場合に多かったため、語中の摩擦音で破裂動作をなくすことを目標にした構音訓練が有効であると思われた。

また、母音/e/におけるスペクトルの観察を行った。図2は、「え」における/e/のスペクトル、図3は「むすめ」における/e/のスペクトルである。これらを観察し、F1、F2付近を比較した。その結果、「え」における/e/のスペクトルはF1とF2がきれいに表れているのに対し、「むすめ」における/e/のスペクトルでは、F1付近にアンチフォルマントがあり、F1とF2の間に鼻音フォルマントがあることが確認された。この差は、「むすめ」の鼻音化に伴うスペクトルの変化と言える。つまり、「むすめ」の/e/の発話において鼻音化が起きていると考えられた。

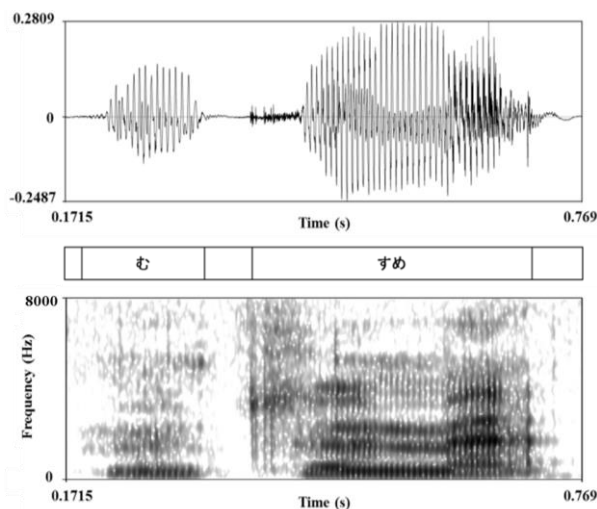


図1 「むすめ」の音声波形とスペクトログラム

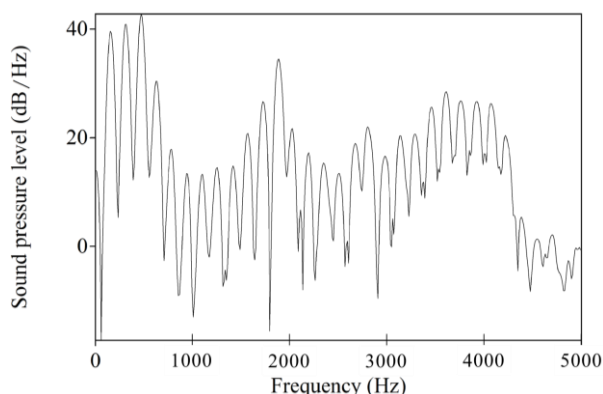


図2 「え」における/e/のスペクトル

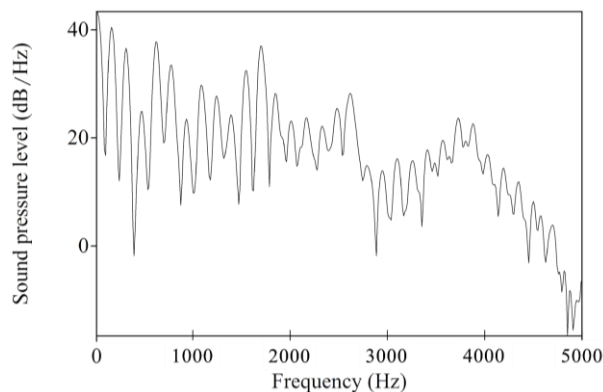


図3 「むすめ」における/e/のスペクトル

5.5 インテンシティ

摩擦音と破擦音の無声子音において、対象となる子音と後続母音のインテンシティの差を対象者と健聴者とで比較した。その結果、聞き誤りがあった「むすめ」「きつね」を含むいくつかの対象音において、健聴者よりも対象者の方が10 dB以上大きかった。また、対象となる40音のうち、健聴者のインテンシティ差から対象者のインテンシティ差を引いた値が特に大きい15音に対して中央値をとり、その差を見たところ、健聴者よりも対象者の方が約10 dB大きかった。このことから、対象者の発話において無声子音の摩擦が弱いことが確認された。

対象者は時折発声が大きくなるが、これは対象者が人工内耳での摩擦成分の自声の聞き取りが不十分であるために結果として大きく発声されているのか、もともと発声が大きめであるのかなどが考えられ、前述したように研究者にフィードバックすることで、改善の余地があると考えられた。

5.6 アクセント、及びイントネーションの課題

アクセント、及びイントネーションの課題では、対象者の発話が健聴者と同じように、適切な場所でアクセントや抑揚をつけることが出来ており、大きく健聴者と異なる部分はなかった。

6 おわりに

本研究では、人工内耳装用者の発話明瞭度改善に向け、人工内耳装用者の発話特徴を聴取の側面、音響的側面、音声波形とスペクトログラム及びスペクトルの観察から検証し、

発話改善の余地について検討した。対象者が与えられた単語や文を発話したものを録音し、それに基づき実験実施者を含む3名が検証を行った。聴取の側面においては、概ね明瞭であり、大きく健聴者と異なる部分は少なかった。音響的側面においては、5母音のフォルマント、子音の有声性（閉鎖音のVOT）、摩擦音・破擦音の大きく分けて3つについて検証したが、5母音のフォルマントと子音の有声性に関しては、大きく健聴者と異なる部分はなかった。摩擦音・破擦音に関しては、音声波形とスペクトログラムの観察から、摩擦音・破擦音における摩擦のエネルギーが弱いことが観察された。また、対象者のインテンシティ差が健聴者と比べ、大きかったことから、対象者の発話において無声子音の摩擦が弱いことが確認された。「す」が「つ」として聞き取られてしまう場合には、極めて摩擦が弱いことから、明らかに閉鎖区間+破裂が生じていることがあることが観察された。さらに、「むすめ」の母音/e/におけるスペクトルの観察を行った結果、鼻音化に伴うスペクトル変化が観察された。よって、時折摩擦音が破擦音として構音されること、一部の音が鼻音化するなどの傾向があることがわかった。

今後の課題として、今回は対象者の発話にのみ焦点を当てたが、人工内耳での摩擦成分の自声の聞き取りが十分であるかなど、対象者の聞こえの特徴についても実験、検証を行いたい。また、人工内耳装用者の発話は個人ごとに様々な特徴を有していることも考えられるため、今後は対象者を増やし、類似点や相違点を調査したい。

謝辞

本研究を行うにあたり、多大なる御助言、御協力をして下さった荒井研究室 大澤恵里様、目白大学 今富撰子先生に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 新谷朋子 他, “発話明瞭度から見えてくる背景と言語発達,” 日本小児耳鼻咽喉科学会, 33(3), 243-246 (2012).
- [2] 加藤靖佳, “高度・重度聴覚障害者の母音/i/における鼻音化の音響的特徴,” 心

- 身障害学研究, 17, 23-31 (1993).
- [3] 降矢宣成, “言語障害の語音発語明瞭度(語明度)に関する研究,” 日耳鼻, 61, 1923-1948 (1958).
- [4] 伊藤元信, “成人構音障害者用単語明瞭度検査の作成,” 音声言語医学, 33, 227-236 (1992).
- [5] 伊藤元信 他, “運動障害性(麻痺性)構音障害 dysarthria の検査法-第一次案,” 音声言語医学, 21, 194-211 (1980).
- [6] P. Boersma, “Praat, a system for doing phonetics by computer,” *Glott International*, 5(9/10), 341-345 (2001).
- [7] K. L. Haley et al., “Single word intelligibility in aphasia and apraxia of speech: A phonetic error analysis,” *Aphasiology*, 14, 179-201 (2000).
- [8] J. Hillenbrand et al., “Acoustic characteristics of American English vowels,” *Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 3099-3111 (1995).
- [9] P. Auzou et al., “Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review,” *Clinical Linguistics & Phonetics*, 14, 131-150 (2000).
- [10] R. D. Kent, & C. Read, *The Acoustic Analysis of Speech*, San Diego; CA: Singular Publisher Group, 1940- (1992). [荒井隆行・菅原勉(監訳), “音声の音響分析,” 海文堂, (1996).]
- [11] P. Howell, & S. Rosen, “Production and perception of rise time in the voiceless affricate / fricative distinction,” *Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 976-984 (1983).
- [12] 服部四郎 他, “日本語の母音,” 小林理学研究所報告, 7, 69-79 (1957). (廣瀬肇, 柴田貞雄, 白坂康俊, “言語聴覚士のための運動障害性構音障害学,” 医歯薬出版, (2002)).
- [13] 粕谷英樹 他, “年齢, 性別による日本語5母音のピッチ周波数とホルマント周波数の変化,” *日本音響学会誌*, 24, 355-364 (1968).
- [14] 清水克正, “日英語における閉鎖子音の有声性・無声性の音声的特徴,” *音声研究*, 3, 4-10 (1999).