

聴覚フィルタの広がりへの補償を目的とした臨界帯域圧縮処理の 模擬難聴環境下での評価

安 啓一[†] 荒井 隆行[†] 進藤 美津子^{††}

[†] 上智大学 理工学部 電気・電子工学科

^{††} 上智大学 言語障害研究センター

102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: †k-yasu@sophia.ac.jp

あらまし 本報告では、安ら (2004) が提案した聴覚フィルタの広がりに着目した補聴処理である臨界帯域圧縮処理の評価実験を模擬難聴環境下で行った。模擬難聴については、Baer *et al.* (1993) の Smearing の手法を用いた。被験者として健聴者 4 名 (男性 3 名, 女性 1 名) が実験に参加した。実験の結果、臨界帯域圧縮処理の効果が出るケースも見られたが、処理の有無の間に有意な差は見られなかった。模擬難聴評価のために先行研究 (安ら, 2005) による高度聴覚障害者を対照とした実験結果との比較を行ったところ、本研究における模擬難聴を施した場合の実験結果は、安ら (2005) における高度聴覚障害者の単語理解度の結果と類似することが確認できた。

キーワード 聴覚障害, 補聴処理, 聴覚フィルタ, 模擬難聴, 臨界帯域圧縮, 音声明瞭度

Evaluation of Critical-band Compression Technique Compensating for the Wider Auditory Filter in the Simulated Environment of Sensorineural Hearing Loss

Keiichi YASU[†], Takayuki ARAI[†], and Mitsuko SHINDO^{††}

[†] Dept. of Electrical & Electronics Engineering, Sophia University

^{††} Research Center for Communication Disorders, Sophia University

7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8854, Japan

E-mail: †k-yasu@sophia.ac.jp

Abstract In this study, we focused on 1) the simulation of hearing impairment and 2) evaluation of the processing for improving speech intelligibility of hearing-impaired people or elderly people by “critical-band compression” (Yasu *et al.*, 2004). This technique compensates for the wider auditory filter. We conducted the word intelligibility test for the evaluation of the technique in the simulated environment of sensorineural hearing loss. Four subjects were participated in this experiment (three males and one female). The results showed that the word intelligibility was similar to that of severe hearing-impaired people in previous study by Yasu *et al.* (2005).

Keywords hearing impairment, hearing aids, auditory filter, simulation of hearing loss, critical-band compression, speech intelligibility

1. はじめに

今日までに聴覚障害者の聴覚特性に対応した様々な補聴処理が報告されてきた。特に、聴覚障害者における聴覚フィルタの広がりに着目した処理としては、Chaudhari and Pandey [1] は隣り合う聴覚フィルタの干渉を抑えるために入力信号を臨界帯域分割後に奇数・偶数帯域に分離して dichotic に提示する

処理を考案している。そこでは模擬難聴下で健聴者に対し実験を行った結果、単音節の明瞭度に改善が見られた。また、村瀬ら [2] は同様に音声をも 2 帯域に分割し dichotic に提示することによって、明瞭度が改善することを報告した。

著者らによって開発された臨界帯域圧縮処理 [3-5] は聴覚障害者の広がった聴覚フィルタの形状に着目し、臨界帯域毎に信号を分割しあらかじめ帯域を制限することによって隣り合う帯

域の干渉を抑える処理である。処理による改善傾向が見られたが個々の聴覚障害者についての効果にはばらつきも見られた [4]。ケプストラムを用いた改良型臨界帯域圧縮処理 [6] では倍音構造を保持した処理を行い、重度聴覚障害者による評価実験の結果、聴感上では音質の改善が見られたという報告があった。しかし、処理による単語明瞭度の有意な改善は見られなかった [6]。

安ら (2005) [7] では、音声包絡を臨界帯域中央に制限させた白色雑音で駆動させることにより、倍音構造を取り除いた上で改めて提案手法の有効性を評価した。聴覚障害者 3 名による単語理解度試験を行うことによって、臨界帯域圧縮処理の目的である隣り合う帯域同士の干渉を抑えることが達成できるかどうかの検証を行った。実験の結果、被験者毎の単語理解度にばらつきが見られた [7]。

聴覚障害者を対象とした聴取実験では、一人ひとりの聴覚障害の特性が現れ、客観的な評価が難しい。そこで、聴覚障害の模擬を導入すること、つまり模擬難聴処理を後処理として加え健聴者を対象に音声評価をすることによって、補聴処理を客観的に評価することが有効である。現在までに模擬難聴の研究は様々な方法が考えられてきた [8]。聴覚障害者の聴覚フィルタの広がりに着目した模擬難聴処理としては Baer *et al.* の興奮パターンによるものがある [9]。その他、Smearing の手法と音声のジッターに着目した研究もある [10]。本研究では、Baer *et al.* [9] のアルゴリズムを基に聴覚フィルタの広がりを模擬した。

本研究では、臨界帯域圧縮処理を行った音声に模擬難聴を施し、健聴者における評価を行った。

2. 原理

2.1 雑音駆動型臨界帯域圧縮処理

図 1 に本処理のブロックダイアグラムを示す。入力信号を臨界帯域毎に分割し、それぞれの帯域において時間包絡を抽出した。キャリア成分については、白色雑音を臨界帯域毎に分割し、さらに狭帯域のフィルタによって信号の帯域を制限した。狭帯域フィルタリングの手法については Yasu *et al.* [3] による手法を用いた。各臨界帯域において帯域の制限率を R で表した。各臨界帯域で原音の帯域幅に対し、 $(100 - R)\%$ の帯域幅に制限された。キャリア成分抽出後、入力信号の時間包絡と掛け合わせることで、出力信号を得た。

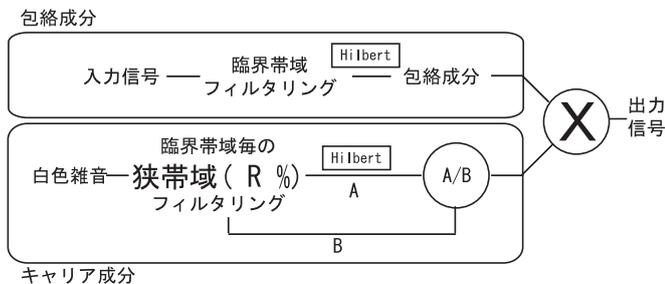


図 1 雑音駆動臨界帯域圧縮処理のブロックダイアグラム (文献 [7] より転載)

2.2 模擬難聴処理

模擬難聴処理は Baer *et al.* [9] の興奮パターンの拡張を行う Smearing 処理を用いた。聴覚フィルタのモデルとしては $roex(p)$ モデルを用いた。このモデルでは、興奮パターンの広がりを模擬し、蝸牛の損傷による臨界帯域の広がりを模擬するものである [9]。

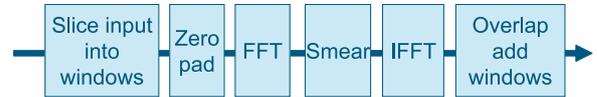


図 2 Smearing のブロックダイアグラム (文献 [10] より転載)

$$W(g) = (1 + pg)e^{-pg} \quad (1)$$

$$g = |f - fc|/fc \quad (2)$$

$$p = 4fc/ERB \quad (3)$$

$$(ERB = 24.7(0.00437fc + 1)) \quad (4)$$

聴覚フィルタの広がり度合いを表す係数として β を採用し、軽度から中等度の広がりの $\beta = 3$ および中度から重度の広がりを表す $\beta = 6$ を採用した。

表 1 模擬難聴の度合い

$\beta = 1$	'normal'
$\beta = 3$	'mild-moderate'
$\beta = 6$	'moderate-severe'

3. 実験および結果

3.1 被験者

日本語を母語とする若年健聴者 4 名 (男性 3 名、女性 1 名) が実験に参加した。

3.2 音声刺激

坂本らによる「NTT-AT 親密度別単語理解度試験用音声データベース (FW03)」[11] より親密度 7.0~5.5 の単語リスト 6 セットを用いた。日本人男性発話者 (mis) による 4 モーラの単語 50 語を 1 セットとした。刺激のサンプリング周波数は 16000 Hz とした。単語の前後にキャリア文は挿入しなかった。先行研究 [3,4] との比較から帯域の制限率を 50% に固定して本処理を施した。模擬難聴処理を施すにあたっては、 $\beta = 3$ および $\beta = 6$ のパラメータを用いた。統制群として、帯域制限率 0% の雑音駆動音声および、原音も用いた。処理後のすべての刺激は同じラウドネスになるように正規化した。

3.3 手続き

実験は防音室内において実施した。刺激は、コンピュータの画面上の操作により USB オーディオアダプタ (ONKYO MA-500) およびオーゾメータ (GN ReSound AURICAL Type 2) を経由してヘッドフォン (GN ReSound MADSEN 296D000-1) から diotic に呈示された。音声のレベルは実験前にあらかじめキャリブレーションを行い、60dB LA に設定した。実験中、音

声のレベルは一定に固定された。被験者は、呈示される4モーラ単語を聞き取り、キーボードを使いタイプした。単語の呈示順は単語セット毎にランダムに並び替えた。被験者は合計で6セットの実験を行った。

3.4 実験結果

図3-6に被験者毎の単語理解度を示す。

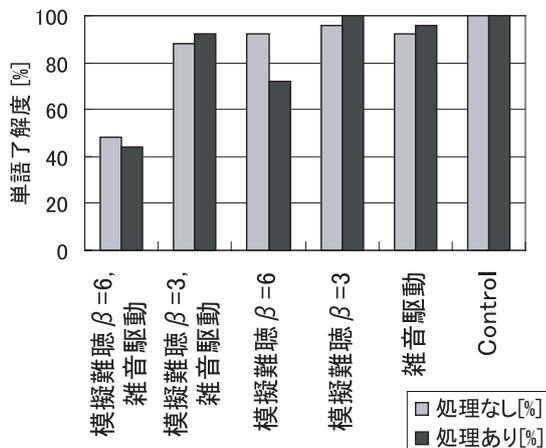


図3 被験者1の単語理解度

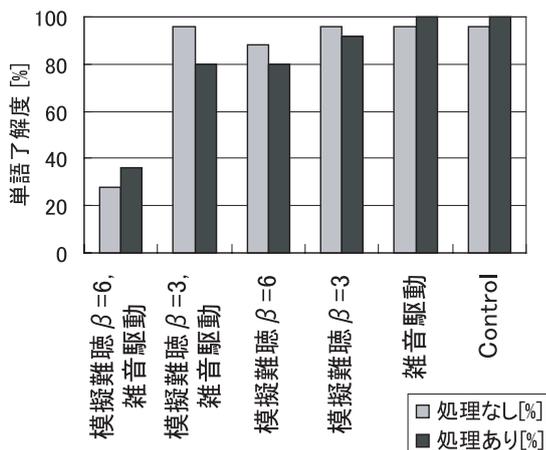


図4 被験者2の単語理解度

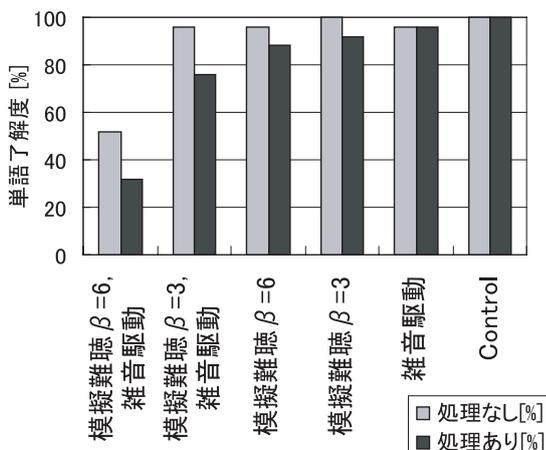


図5 被験者3の単語理解度

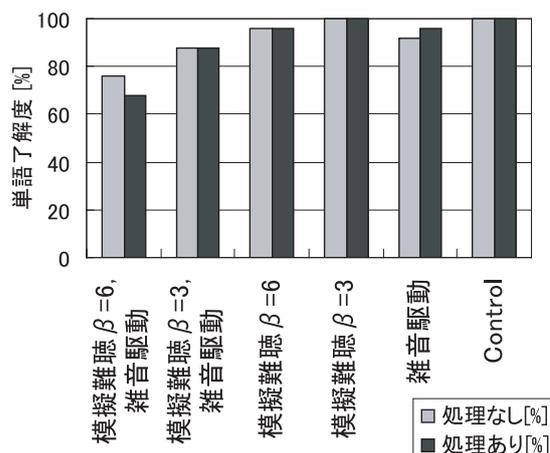


図6 被験者4の単語理解度

表2 被験者1の単語理解度

	処理なし [%]	処理あり [%]
模擬難聴 $\beta=6$, 雑音駆動	48	44
模擬難聴 $\beta=3$, 雑音駆動	88	92
模擬難聴 $\beta=6$	92	72
模擬難聴 $\beta=3$	96	100
雑音駆動	92	96
Normal	100	100

表3 被験者2の単語理解度

	処理なし [%]	処理あり [%]
模擬難聴 $\beta=6$, 雑音駆動	28	36
模擬難聴 $\beta=3$, 雑音駆動	96	80
模擬難聴 $\beta=6$	88	80
模擬難聴 $\beta=3$	96	92
雑音駆動	96	100
Normal	96	100

表4 被験者3の単語理解度

	処理なし [%]	処理あり [%]
模擬難聴 $\beta=6$, 雑音駆動	52	32
模擬難聴 $\beta=3$, 雑音駆動	96	76
模擬難聴 $\beta=6$	96	88
模擬難聴 $\beta=3$	100	92
雑音駆動	96	96
Normal	100	100

表5 被験者4の単語理解度

	処理なし [%]	処理あり [%]
模擬難聴 $\beta=6$, 雑音駆動	76	68
模擬難聴 $\beta=3$, 雑音駆動	88	88
模擬難聴 $\beta=6$	96	96
模擬難聴 $\beta=3$	100	100
雑音駆動	92	96
Normal	100	100

4. 考 察

4.1 臨界帯域圧縮処理について

今回の実験結果では被験者毎の単語理解度のばらつきが大きく見られた。実験後の被験者のコメントの中には、帯域制限を施した音声について、聞き取りやすくなったと報告するケースも見られた。

4.2 模擬難聴処理について

今回は、聴覚障害者の聴覚特性を模擬するために、Smearingの手法を用いて臨界帯域圧縮処理の評価実験を行った。Smearingの度合いである β については、すべての被験者において $\beta=3$ よりも $\beta=6$ のほうが単語理解度が低下した。臨界帯域処理の有無には有意差は見られなかった。

図7は安ら(2005)[7]における高度聴覚障害者3名を対象とした雑音駆動型の臨界帯域圧縮処理を行った際の単語理解度である。図3-6の結果と比較すると、被験者4以外は $\beta=6$ の模擬難聴処理を行った際の雑音駆動臨界帯域圧縮処理を行った際の結果と同じような傾向を示した。

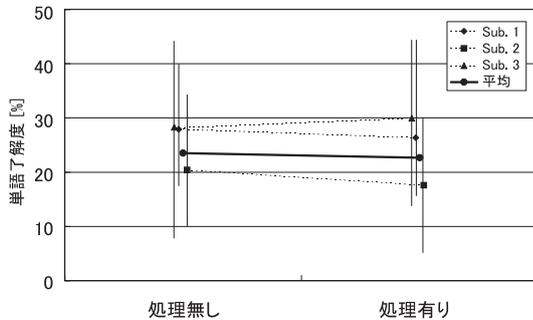


図7 聴覚障害者の音声明瞭度 (文献 [7] より転載)

4.3 雑音駆動について

図3-6において、模擬難聴を施していない雑音駆動音声の単語理解度に着目する。雑音駆動音声については、臨界帯域圧縮を施すと単語理解度の改善傾向が見られた。

5. ま と め

本報告では、聴覚障害者のための音声信号処理である臨界帯域圧縮法の評価を模擬難聴環境下で行った。評価の際には、聴覚フィルタの広がりをも模擬するSmearing処理を施し、若年健常者による評価実験を行った。4名の若年健聴者を対象とした単語理解度試験を行った。その結果、被験者毎に臨界帯域圧縮処理の効果が現れるケース、現れないケースがあり結果にばらつきが生じたが、全体的には処理の効果は確認できなかった。模擬難聴の効果としては、先行研究との比較の結果、模擬の程度は適切であることがわかった。また、雑音駆動音声については、臨界帯域圧縮を施すと単語理解度の改善傾向が見られた。

今後の課題としては、聴覚フィルタの広がりを入力する信号の音圧レベルに依存するので、入力信号の音圧に適宜合わせた模擬難聴処理の開発を行うことや、オーディオグラムの劣化も考慮することなどが挙げられる。また、処理後の音声について興奮パターンを確認し、聴覚フィルタの広がり方の確認すること

も必要であると考えられる。

謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費(A-2, 16203041)の助成を受けて行った。模擬難聴のプログラミングにあたっては、カナダ・トロント大学のEwen MacDonalds氏にご指導を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げます。

文 献

- [1] D. Chaudhari and P. Pandey: "Dichotic presentation of speech signal with critical band filtering for improving speech perception", Proc. of IEEE ICASSP, **6**, pp. 3601-3604 (1998).
- [2] 村瀬敦信, 坂本修一, 中島史絵, 鈴木陽一, 川瀬哲明, 小林俊光: "両耳分離聴が高齢者の音声明瞭度に与える影響", Audiology Japan, **48**, pp. 59-64 (2005).
- [3] K. Yasu, K. Kobayashi, K. Shinohara, M. Hishitani, T. Arai and Y. Murahara: "Critical-band compression method for digital hearing aids", Proc. of the Forum Acusticum Sevilla (CD-ROM) (2002).
- [4] K. Yasu, M. Hishitani, T. Arai and Y. Murahara: "Critical-band based frequency compression for digital hearing aids", Acoustical Science and Technology, **25**, 1, pp. 61-63 (2004).
- [5] 安啓一, 安田美由紀, 荒井隆行, 村原雄二: "聴覚フィルタの広がりをも考慮した臨界帯域圧縮法の有効性: 重度の聴覚障害者に対するケーススタディ", 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, **1**, pp. 415-416 (2003).
- [6] K. Yasu, K. Kobayashi and T. Arai: "The modification of critical-band based frequency compression using cepstral analysis", Handbook of the International Hearing Aid Research Conference (IHCON), p. 55 (2004).
- [7] 安啓一, 小林敬, 荒井隆行, 進藤美津子: "臨界帯域中央に制限された雑音による駆動音声の聴覚障害者による評価", 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, **1**, pp. 517-518 (2005).
- [8] 綿貫敬介, 坂本真一: "難聴者の聴覚フィルタを模擬した音声の明瞭度特性", 聴覚研究会資料, **33**, 3, pp. 183-188 (2004).
- [9] T. Baer and B. C. J. Moore: "Effects of spectral smearing on the intelligibility of sentences in noise", J. Acoust. Soc. Am., **94**, 3, pp. 1229-1241 (1993).
- [10] E. MacDonald, K. Pichora-Fuller, B. Schneider, H. Kunov and W. Wong: "Smearing and jittering: A comparison of two techniques to simulate hearing loss", Handbook of the International Hearing Aid Research Conference (IHCON), p. 29 (2004).
- [11] 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単語リストの構築", 日本音響学会誌, **54**, 7, pp. 842-849 (1998).