

スペクトルiQ：高周波数音の聴き取りの改善

Jason A. Galster, Ph.D., Susie Valentine, Ph.D., J. Andrew Dundas, Ph.D., & Kelly Fitz, Ph.D.

高周波数音は、話し言葉で最も重要な構成要素の一つです

3,000 Hz以上の周波数は、話し言葉の認識に必要な可聴音声の手がかりに約25パーセント貢献しています(ANSI S3.5-1997)。最も高い周波数を持つ摩擦音/s/は、英語では最も使用する子音の一つです。子どもや女性が話す時の/s/のエネルギーのピークは、6,300～8,300Hzにあり(Stelmachowicz, Lewis, Choi, & Hoover, 2007)、57～68dBの範囲にあります(Behrens & Blumstein, 1988)。高音漸傾型難聴者にとって、これらの高周波音声の手がかりの聴き取りを補うには、従来の増幅では不可能、または期待できないかもしれません。

高度、または重度の高周波数の聴力低下者の聴き取りを補う時、しばしば補聴器の帯域幅、フィードバック、処方されたゲインが不十分ということによって制限されます。高周波音声の聴き取りを補うことができる場合でも、高～重度難聴者の何人かは増幅の恩恵はないかもしれませんが、増幅された音質を拒否するかもしれません。これらの結果は時々、蝸牛の一部である機能していない内有毛細胞、または死滅領域に起因します。死滅領域では、基底膜の機械的な振動は聴神経の電気刺激を生じさせるために適切に変換されません。蝸牛に死滅領域のある人にとって、蝸牛の死滅領域で増幅した音声を聞く事実上の結果は、「情報過多(Moore, 2001)」として述べられています。この情報過多は、難聴者に歪みとして知覚されると考えられています。

高周波音声の聴き取りを補うことができず、高周波音声を補う懸念事項は、聴覚ケアの難題を示しています。これらの難題を対処するた

めに、高周波数の情報を聴力低下がそれほど重度ではなく、蝸牛に損傷が少ない低周波数帯にシフトします。言い換えれば、高周波音声情報を低周波数へ移動することは、高音漸傾型難聴者の聴き取りは改善するはずです。(Braidara, 1979, p.109)

周波数低下技術に関して、独自の調査が混在しています。複数の論文では、低い周波数に設計された技術を系統的に調査しました。Braidaraは、1979年に周波数低下の研究を最初に調査し、調査は1950年代、1960代、1970代に及びました。著者は、20世紀半ばの周波数低下技術が成功していない事に注目し、周波数低下に使用される方法に関連した課題、トレーニングと順応性の欠如を挙げました。そして最後に、「大幅な低下は、通常の音声と全く異なるサウンドパターンを作る傾向にあります。そのような低下は、集中的に長期間、適切に計画されたトレーニングプログラムでのみ成功することができると仮定することが、現実的です。」と記載しています。さらに最近では、Simpson(2009)が周波数低下の様々な技術の研究結果の最新評価を報告しました。この報告の一部は、周波数低下の最新の実施に焦点が当てられています。彼女の文献報告は、Braidaraが先に報告したものに比べると、周波数低下に関連した臨床結果は改善していると示しています。これらの最新の実施は、結果のばらつき、個人差はありますが、音声認識の面でこれらの技術の臨床応用を支持するのに大きな恩恵をもたらす事を示しました(Kuk et al., 2009; Glista, et al., 2009)。

周波数低下技術の再調査と比較

本論文では、既存の二つの周波数低下手法を再調査し、高周波音の聴き取りを向上させる三つ目の新しい手法と比較します。本論文発行時点で、二つの周波数低下技術が、大手補聴器メーカーから信号処理機能として使用することができます。A社のリニア周波数移行 (LFT; Linear Frequency Transposition)と、B社のノンリニア周波数圧縮(NLFC; Non Linear Frequency Compression)です。

リニア周波数移行は、高周波数音を低周波数にシフトします。シフトされた周波数情報は、低周波数にある情報と重なります。A社の機能は、規定した起点周波数より最大2オクターブ高い周波数を、起点周波数より1オクターブ下に下げることができます。この例では、リニアでは低下した情報内の周波数分配は変更されていないことを示しています。図1はSimpson(2009)が出典したこのプロセスを示しています。この図では、数字がかかれたボックスは補聴器のチャンネルを示し、チャンネル数が大きくなると周波数が高くなることを示しています。Panel Aは従来の補聴器のプロセスを示し、Panel Bは移行した高周波数情報と低周波数情報との関係を示しています。この移行プロセスは、音声理解と音質に有益な高周波音構成要素との関係を維持します。高周波数と低周波数の情報の重なりは、移行した高周波数情報によって低周波数音声情報をマスキングしてしまうかもしれません。低周波数音の不要なマスキングを最小にするために、LFTは強い高周波数入力が発見された時のみ周波数情報を移行します。移行の動作は一時的で補聴器への入力に基づいていますが、補聴器の帯域幅は移行していない時でも常に減少されます。図2は、2つのスペクトログラムを示しています。Panel Aは、LFTなしで記録され、Panel Bは、LFTを効かせた状態で記録されたものです。音声刺激には、それぞれ単語の間、単語の最後に‘SH’あるいは/ʃ/のある同じものを使用しています。この例では、白く囲まれたところは2つの図の違いを示し、高周波数情報を低周波数帯に移行するこのシステムの動作を示しています。

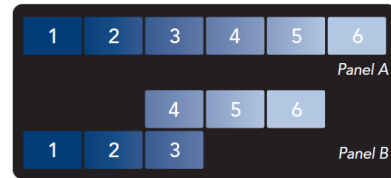


図1. この図は、数字がかかれたボックスは補聴器のチャンネルを示し、チャンネル数が大きくなると周波数が高くなることを示しています。Panel Aは従来の補聴器のプロセスを示し、Panel Bは移行した高周波数情報と低周波数情報との関係を示しています。

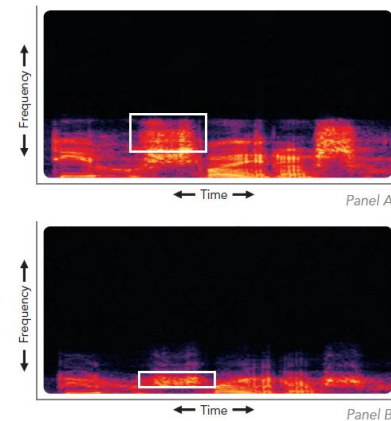


図2. 2つのスペクトログラムを示しています。Panel Aは、LFTなしで記録され、Panel Bは、LFTを効かせた状態で記録されたものです。音声刺激には、それぞれ単語の間、単語の最後に‘SH’あるいは/ʃ/のある同じものを使用しています。この例では、白く囲まれたところは2つの図の違いを示し、高周波数情報を低周波数帯に移行するこのシステムの動作を示しています。

それぞれ単語の間や単語の最後に‘SH’あるいは/ʃ/のある同じものを使用しています。この例では、白く囲まれたところは二つの図の違いを示し、高周波数情報を低周波数帯に移行するこのシステムの動作を示しています。高周波数のエネルギーが4,000 Hz以上で急速に減少していることから分かるように、LFTの帯域制限に影響を受けています。

ノンリニア周波数圧縮は、二つ目の周波数低下の方法で、周波数移行とは異なる方法で高周波数情報を低下させます。この例では、補聴器の高周波数のチャンネルのエネルギーを低周波数帯に圧縮することで、高周波数情報が低周波数に移動されます。最も高い周波数は最大限にシフト、圧縮され、圧縮対象の周波数が低くなるにつれ、周波数情報のシフトが少なくなります。B社の機能は、カットオフ周波数が設定されています。この周波数以下の増幅した信号は変更されません。このカットオフ周波数以上の全ての信号は、周波数領域に圧縮されます。図3は、Simpson (2009) が出典したNLFCのプロセスです。この図では、数字が書かれたボックスは、補聴器のチャンネルを表しています。チャンネル数が増えると周波数が高くなることを表しています。Panel Aは従来の補聴器のプロセスを示し、Panel Bは圧縮した情報と低い周波数情報との関係を示しています。周波数移行とは異なり、NLFCは規定されたカットオフ周波数以下の周波数には影響しません。全ての高周波数情報(このカットオフ周波数から上での低下)は、狭まった高周波数帯に圧縮されます。圧縮動作が重要なフォルマント周波数帯域まで低下しないと仮定すると、母音と音質は維持されます。周波数低下技術の処方が最適化されると、フォルマント情報が含まれている領域にカットオフ周波数を下げることになり、外挿法によって高調波の関係と音質の妥協があるかもしれません。

LFTと同様に、NLFCは最も圧縮された周

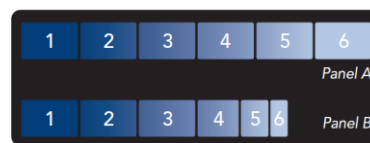


図3. この図は、数字が書かれたボックスは、補聴器のチャンネルを表しています。チャンネル数が増えると周波数が高くなることを表しています。Panel Aは従来の補聴器のプロセスを示し、Panel Bは圧縮した情報と、低い周波数情報との関係を示しています。

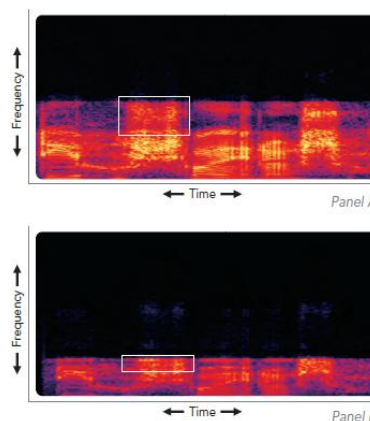


図4. この図は二つのスペクトログラムを表しています。Panel Aは、NLFCなしで記録され、Panel BはNLFCを効かせた状態で記録されたものです。音声刺激には、それぞれ単語の間、単語の最後に‘SH’あるいは/ʃ/のある同じものを使用しています。この例では、白く囲まれたところは二つの図の違いを示し、高周波数情報を低周波数帯に圧縮するこのシステムの動作を示しています。

波数より上の補聴器の高周波数出力を制限します。図4は、二つのスペクトログラムを表しています。Panel Aは、NLFCなしで記録され、Panel BはNLFCを効かせた状態で記録されたものです。音声刺激には、それぞれ単語の間や単語の最後に‘SH’あるいは/ʃ/のある同じものを使用しています。この例では、白く囲まれたところは二つの図の違いを示し、高周波数情報を低周波数帯に圧縮するこのシステムの動作を示しています。NLFTの帯域制限の影響は、5,000 Hz以上の高周波数の出力が補聴器から出ていないことで見ることが出来ます。

周波数低下の確立された方法が直面している利点と限界を理解し、スターキー研究所の研究スタッフは、高～重度の高周波数聴力低下のある患者の治療のために設計した新しい技術を開発しました。従来の周波数低下技術の歪みと周波数制限動作を回避しながら、スペクトルiQと呼ばれるこの革新は、高周波音声特徴の聴き取りを補います。

スペクトルiQは、補聴器への音響入力をモニターするスペクトル機能識別 (SFI; Spectral Feature Identification) と呼ばれる技術を使用しています。SFIは、高周波数音の音響特徴を識別し分類します。適切な高周波数特徴が検出されると、これらの高周波数特徴が聴き取れる低い周波数に複製(あるいは移転)するために、スペクトルiQは最新の処理技術を使用します。この優れたプロセスは、音響入力を単純に低下するだけに留まりません。新しい特徴はリアルタイムに作成され、他の技術で起こる歪みを最小限に抑えながら聴き取りの手がかりを提示します。

例として使用する/s/ や /ʃ/のような音声特徴は、正確に識別できる明確なスペクトル特徴があります。広帯域ノイズは周波数の幅広い周波数帯に渡ってエネルギーがあります。一方、高周波音声、あるいは音楽の

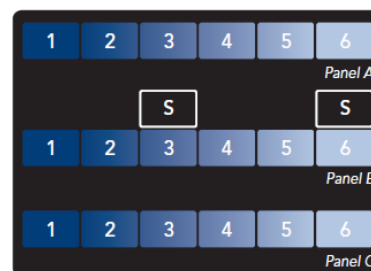


図5. スペクトルiQの動作: Panel Aは、補聴器の特性は影響を受けていないことを示し、Panel Bは高周波音声の識別と、新しく生成した高周波音声手がかりを示しています。Panel Cは、高周波音声特徴がなく、スペクトルiQは動作していないことを表しています。

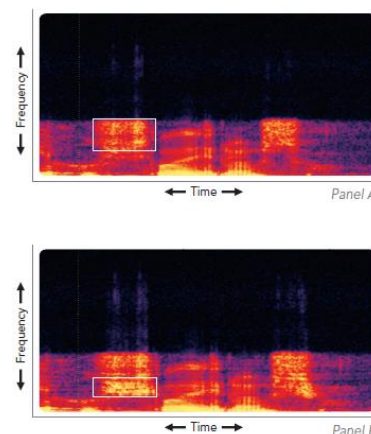


図6. 二つのスペクトログラム: Panel Aは、スペクトルiQなしで記録され、Panel Bは、スペクトルiQを効かせた状態で記録されたものです。それぞれ単語の間や単語の最後に/s/のある同じ音声刺激です。この例では、白く囲まれたところで二つの図の違いを示し、高周波数音声の手がかりの識別(特定)と低周波数に手がかりを再生成するスペクトルiQの動作を示しています。

特徴は、高周波数にエネルギーのピークがあり、大抵低い周波数では少ないエネルギーになります。これらの関係は、正確かつ瞬時に識別でき、重要な高周波数情報の移転を可能にします。図5は、スペクトルiQの動作を表します。Panel Aは、補聴器の特性は影響を受けていないことを示し、Panel Bは /s/を含む高周波音声の識別と、新しく生成した高周波音声の手がかりを示しています。Panel Cは、高周波音声特徴が存在しない時を示し、新しく低周波数特徴の作成を促す適切な音声手がかりの存在をSFIが再び検出するまで、スペクトルiQは動作しません。

図6は、二つのスペクトログラムを示しています。Panel Aは、スペクトルiQなしで記録され、Panel Bは、スペクトルiQを効かせた状態で記録されたものです。それぞれ単語の間や単語の最後に /ʃ/ のある同じ音声刺激を使用しています。この例では、白く囲まれたところで二つの図の違いを示し、高周波音声の手がかりを識別し、低周波数に手がかりを再生成するスペクトルiQの動作を示しています。Panel AとBの視覚での比較は、使用可能な帯域幅にこれまでのもの比べると僅かしか減少していません。

高周波音声の手がかりの聴き取りを改善するために設計された三つの技術の比較を見ると、恩恵を提供するために、これらすべての技術は、装用者が以前は聞いていなかった音に引き合わせなければなりません。従って、装用者の何人かは音質の変化に慣れる必要があるかもしれません。LFTは、一時的に音声とノイズ両方の高周波数情報を低周波数帯にシフトするので、可聴範囲内にある音と重なります。NLFCは、高周波音声とノイズを可聴範囲に移動させるので、低周波数情報は保たれますが、いくつかの高周波数手がかりが歪みます。対症的に、スペクトルiQのダイナミックな性質は、低周波数帯では存在しなかった高周波数ノイズの

移動を回避しながら、周波数の自然な分布と比較的広帯域の音質を保持します。これは、補完的に、/s/ や /ʃ/ のような高周波音声が存在する時の聴き取りの手がかりを提供することで達成されます。

臨床的応用のための根拠

20人の参加者(軽度～高重度の急斜型、左右対称の感音難聴)が、大規模な臨床研究に参加しました。20人中2人は、実験課題の要求を満たすことができなかったので、この議論には含まれません。各参加者は、単語の最後に /s/ があるかないか(例: dog, dogs)を識別するSテスト (Robinson, Baer & Moore, 2007)を行ないました。音場にて、単語は65dB SPLで提示され、スピーチ加重されたバックグラウンドノイズは低いレベル45dB SPLで提示されました。単語の最後の子音 /s/ の検出は、英語では所有格、複数形の識別に重要な手がかりです。これは検出する実験なので、音声を認識するよりむしろ高周波音声の域値を探すことになります。スコアはd' (信号検出理論)の統計的測定を通して行なわれました。ここで示す結果は、Hartmannが述べている方法(1997, p.543)を使用して、臨床的に承認できる正答率の尺度に変換されています。

図7は、Sテストの結果を示しています。青い棒グラフは従来のプロセスで識別した正答率で、赤い棒グラフはスペクトルiQで識別した正答率を示しています。平均データは、既存の技術(Simpson, 2009)で見られる改善と同様の、13百分位数(パーセンタイル)の利益を表しています。現在の研究では、スペクトルiQの利益があった18人中16名の参加者は、29百分位数も高周波音声検出の改善を示しています。

サマリー

周波数低下は、50年以上にわたる補聴器の技術の一部となっています。信号処理の近年の進歩により、これらの技術とその臨床結果を改善しました。スターキーは、高周波音声の聴き取りを改善する革新的なアプローチであるスペクトルiQを発表しました。これは、確立している周波数低下技術に関連したいくつかの欠点を克服する設計になっています。

周波数低下を紹介する現代のアプローチは、高周波数と低周波数の音の重なりや、高調波関係の破壊によって増幅した信号に歪みが起こり、聴き取れる高周波数ノイズが増加されてしまいます。スペクトルiQは、独

自のSFI処理を使用し、音声と他の高周波数特徴をリアルタイムに分析、分類し、対処します。高周波数特徴が認識されると、スペクトルiQは聴き取れる周波数の特徴を低周波数に再生成し、リスナーに/s/や/j/のような高周波音声構成要素の存在を提示します。高周波数帯域を制限してしまう他メーカーの技術とは異なり、これまでは補聴器を装用できなかったかもしれない方々のために、スペクトルiQはスターキー補聴器を比較的広帯域で歪みのない周波数分布を維持しながら、高周波音声の聴き取りを補うことができます。

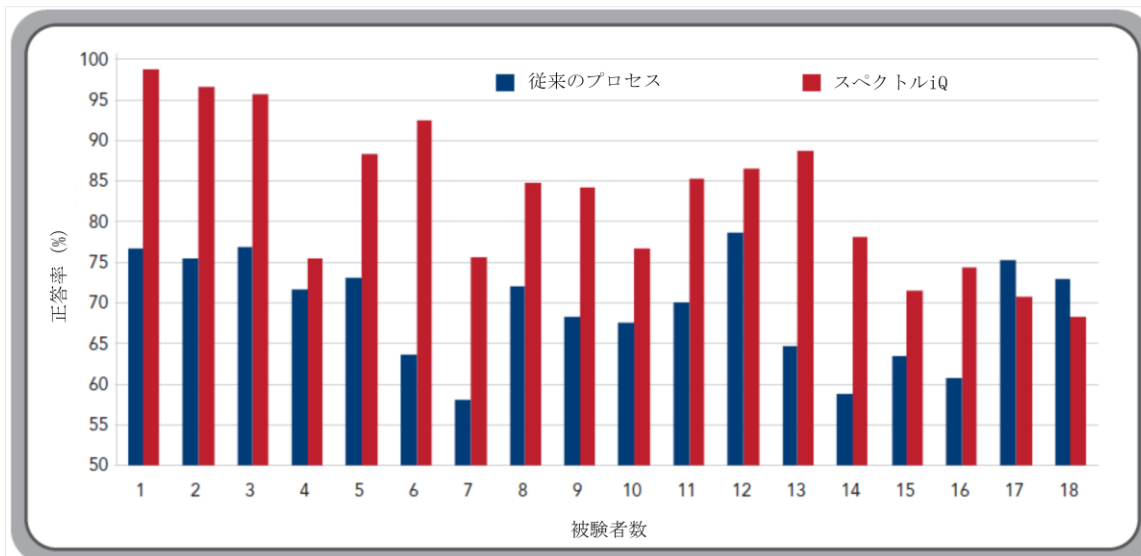


図7. Sテストの結果: 青い棒グラフは、従来のプロセスで識別した正答率で、赤い棒グラフは、スペクトルiQで識別した正答率を示しています。



参照

ANSI (1997). ANSI S3.5-1997. American National Standard Methods for the calculation of the speech intelligibility index. New York.

Behrens, S. & Blumstein, S. E. (1988). On the role of the amplitude of the fricative noise in the perception of place of articulation in voiceless fricatives. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(3), 861-867.

Braida, L.D., Durlach, N.L., Lippmann, R.P., Hicks, B.L., Rabinowitz, W.M. & Reed, C.M. (1979). Hearing aids—a review of past research on linear amplification, amplitude compression, and frequency lowering. *ASHA Monographs*, 19 (Chapter IV, 87-113).

Glista, D., Scollie, S., Bagatto, M., Seewald, R., Parsa, V. & Johnson, A. (2009). Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48(9), 632-644.

Hartmann, W.M. (1997). Signals, sound, and sensation. Woodbury, NY: American Institute of Physics.

Kuk, F., Keenan, D., Korhonen, P. & Lau, C. (2009). Efficacy of linear frequency transposition on consonant identification in quiet and noise. *Journal of the American Academy of Audiology*, 20, 465-479.

Moore, B.C.J. (2001). Dead regions in the cochlea: diagnosis, perceptual consequences, and implications for the fitting of hearing aids. *Trends in Amplification*, 5(1), 1-34.

Simpson, A. (2009). Frequency lowering devices for managing high-frequency hearing loss: A review. *Trends in Amplification*, 13(2), 87-106.

Stelmachwicz, P.G., Lewis, D.E., Choi, S. & Hoover, B. (2007). Effect of stimulus bandwidth on auditory skills in normal-hearing and hearing-impaired children. *Ear & Hearing*, 28(4), 483-494.


スターキージャパン株式会社

〒224-0041 神奈川県横浜市都筑区仲町台 5-2-20

TEL: 045-942-7226

FAX: 045-942-7158

<http://www.starkey-japan.co.jp>

 0120-045-190

WTPR0011-00-JJ-JP JPYWT-011

