

実信号マザーウェーブレットを用いた 難聴児の母音分析

三輪 昭生 川畑 洋昭^{*1} 吉田 浩治^{*1} 戸田 浩^{*1}
章 忠^{*2} 福田 章一郎^{*3} 国末 和也^{*4}

Akio MIWA Hiroaki KAWABATA^{*1} Koji YOSHIDA^{*1} Hiroshi TODA^{*1}
Zhang ZHONG^{*2} Shoichiro FUKUDA^{*3} and Kazuya KUNISUE^{*4}

キーワード 実信号マザーウェーブレット / フォルマント / 難聴 / 人工内耳
KEY WORDS Real signal mother wavelet / Formant / Deafness / Cochlear implant

要 旨

難聴児用の発音訓練ソフト開発の基礎データを得るために、実信号マザーウェーブレットを用いた難聴児の母音分析を行った。まず、原波形から得られた高速フーリエ変換(FFT)出力を第1フォルマント(F1)と第2フォルマント(F2)の周波数領域に分割した。次に、これら2つの周波数成分をヒルベルト変換して2つの実信号マザーウェーブレットを作成した。これらのウェーブレットを用いて、人工内耳の手術の前後の難聴児の母音の変化を調べた結果、母音の変化や特徴の分離が可能となった。

1 はじめに

人工内耳とは、音を電気信号に変換し、内耳に挿入された電極を通じて、直接、聴神経に電気刺激を伝える装置である。補聴器を用いても聴力活用が充分でない高度感音難聴者の聴力を代替するためのものである。

人工内耳の研究開発は1950年代より行われており、日本では、約20年ほど前に臨床応用された。当初は、数百万円という自己負担が必要であったが、1994年から「高度先進医療」として、健康保険も適用されるようになり、経済的な負担は大幅に軽減された。その後の術後成績向上に伴い、本格的な普及期に入った。

しかし、人工内耳手術だけでは、正しい言語を獲得することはできない。補聴器装用時と同様に、その後のマッピングに代表されるリハビリテーションを行って、初めて、日本語構音の習得が可能となる。

そこで、我々は、日本語の構音を習得しようとする難聴児を支援するために、これまで摩擦音/s、j/や鼻音/n/の発音訓練用ソフトの開発¹⁾²⁾に取り組んできた。

一般に、難聴児の発音は個々の母音が明確でなく、それが発話全体の明瞭度低下の一因とな

っている。母音が言語の構成要素として大きな割合を占める日本語では、母音の発話を明確にできれば、発話明瞭度が向上し、聞きやすさを改善することができる。

そこで、今回は、人工内耳装用児の発音指導/訓練のための資料を得る事と発音訓練ソフト開発のデータ収集のために、人工内耳手術を行った難聴児の母音の改善過程を観察した。

この母音分析には、近年注目されているウェーブレット変換のうち、実信号マザーウェーブレットによる連続ウェーブレット変換を用いた。このウェーブレットは生の信号からウェーブレットを作成するため、人間の音声のように多くの周波数成分を含み、数学的な波形の解析モデルの構築が難しい信号処理に適していると考えられる。ここでは、実信号マザーウェーブレットを難聴児の母音発音分析に適用する条件について検討した。

2 対象と音声の収録方法

今回、使用した音声は、人工内耳埋め込み手術を受けた聾学校の男児(9歳)の母音の発音である。(補聴器装用期間:約6年、変声期前)

*1岡山県立大学

*2豊橋技術科学大学生産システム工学

*3岡山かなりや学園

*4岡山県立岡山聾学校

聾学校で録音されたこの男児の人工内耳手術前、人工内耳手術後 1 ヶ月目、2 ヶ月目、4 ヶ月目の音声を使用してデータ解析を行った。

なお、この時の音声の録音は wave 形式 (4410 0Hz, 16bit サンプルング、PCM 非圧縮) で行った。

3 開発・実行環境

開発は、WindowsXP 上に導入した cygwin の環境下で行った。音声分析プログラムの基本部分は、java で開発した。作成した java アプリケーションの実行は、インタプリタの ruby から呼び出す形で利用した。

これにより、複数のパラメータの組み合わせた実行、既存のコマンドラインツールの呼び出し、グラフ描画ソフト gnuplot への出力などを一括処理した。

以下に使用した開発環境とツールのバージョンを以下に示す。

開発ツール

java version "1.5.0_01"
 ruby 1.8.2 (2004-12-25) [i386-cygwin]
 gnuplot Version 4.0 patchlevel 0

開発環境

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
 CYGWIN_NT-5.1 1.5.12(0.116/4/2) 2004-11-10

4 実信号マザーウェーブレットのアルゴリズム

今回用いたマザーウェーブレットの処理手順を図 1 に示す。

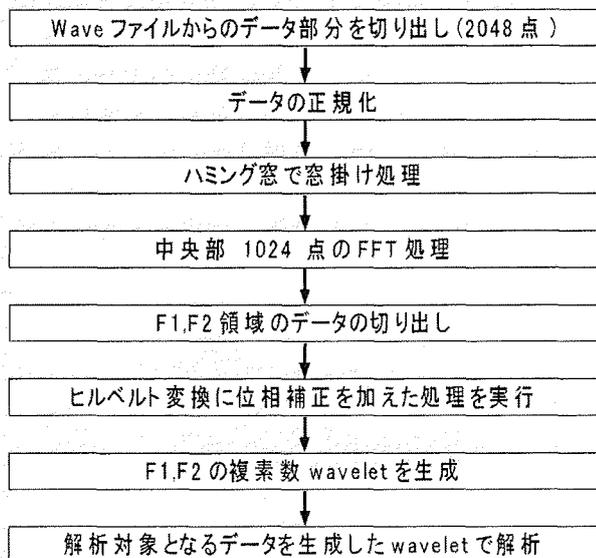


図1 分析のアルゴリズム

これまでに提案された実信号マザーウェーブレットの手法³⁾では、基準となる信号波形を FFT で処理し、その出力すべてをヒルベルト変換

し、解析用のウェーブレットとして用いていた。しかし、この手法を母音の分析に用いると、大きなエネルギーを持つ第 1 フォルマント (F1) の特徴に影響され、第 2 フォルマント (F2) の特徴を捉える事ができなかった。

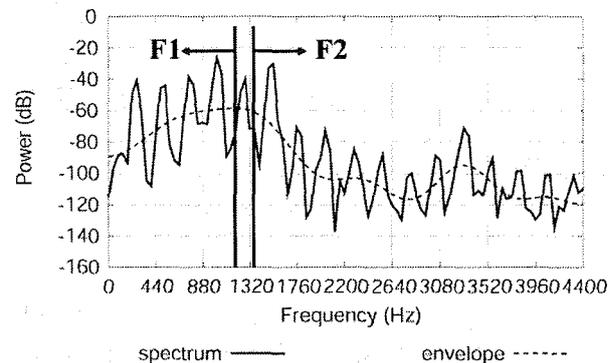


図2 サンプルングした音声のFFT出力

そこで、サンプルングした音声波形を FFT で処理した結果を、図 2 のように、縦軸をパワー (dB)、横軸を周波数 (Hz) として、スペクトル (実線) と包絡線 (破線) をプロットした。次に、この周波数スペクトルの分布を観察して、母音の周波数成分を含んでいる 0-4000Hz の帯域を F1 を含む領域と F2 を含む領域の 2 つに分割した。

そして、この FFT 出力から F1 の領域を切り出して、ヒルベルト変換の途中までの処理を実行する。すなわち負の周波数領域をゼロにし、また正の領域を 2 倍にする。このまま逆 FFT を実行すれば本来のヒルベルト変換となるが、ここですべての周波数成分の位相をすべてゼロにする処理を行う。

すなわち各成分の絶対値を実数部の値とし、また虚数部はすべてゼロにする。この処理後、逆 FFT により得られる複素数は、実数部がすべてコサイン波で構成された対称、また虚数部はすべてサイン波で構成された反対称のウェーブレットが得られる。

これにより実信号の位相成分の影響を除去し、観測する信号の周波数成分を抽出し解析することが可能となる。なお、実際の解析では、実数部のウェーブレットをフィルタ係数として扱っても、連続ウェーブレット解析と同等の結果が得られる。

以上のような手法で作成したデータを、F1 の信号解析用のテンプレートとして用いた。

F2 の領域のデータについても、同様の処理を行ってデータを作成し、F2 の信号解析用のテンプレートとして用いた。

その出力結果を図3に示す。

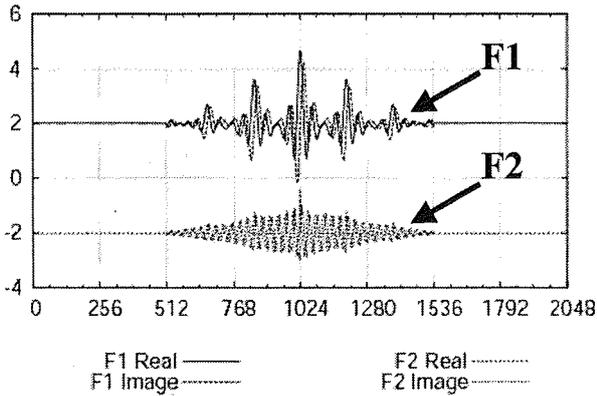


図3 F1,F2領域より作成したテンプレート

上段が F1 領域の実数部と虚数部のテンプレート、下段が F2 領域の実数部と虚数部のテンプレートである。これらを信号解析用の F1,F2 テンプレートとして用いた。これらのテンプレートを解析対象の信号に対して、畳み込み演算をかけることで、信号の解析を行うことができる。元の信号と解析対象の信号の一致度が高ければ、出力されるエネルギーは大きく、逆に、低ければ、出力されるエネルギーは小さくなる。

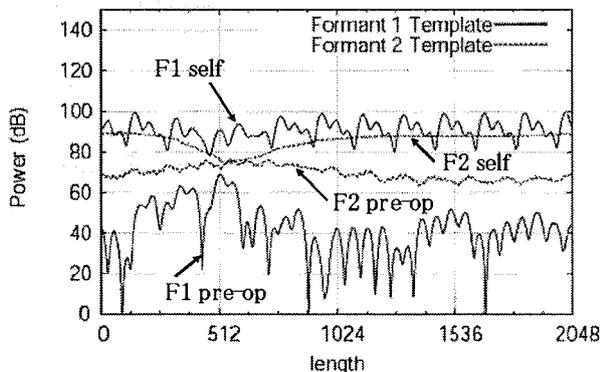


図4 F1,F2テンプレートによる分析結果

図4の上部は、発音の安定した4ヶ月目の「あ」の発音から作成した図3のテンプレートで、同じ4ヶ月目の「あ」の発音を解析した結果である。F1 selfは、F1テンプレートの出力、F2 selfは、F2テンプレートの出力をプロットしたものである。

図4の下部は、同じテンプレートを用いて、手術前の「あ」の発音を解析した結果である。F1 pre-opは、F1テンプレートの出力、F2 pre-opは、F2テンプレートの出力をプロットしたものである。

両者を比べると、同じ信号を解析した出力は、高く安定しているが、手術前の発音を解析した出力は、低く変動が大きい。このようにして、発音の違いを判別できるようになった。

5 母音の分析結果

5.1 母音間の違い

人工内耳の手術後、発音が安定してきた4ヶ月目の母音サンプルを使用して、F1,F2 テンプレートを作成し、それぞれの母音間で比較を行った。

図5-1は、「あ」で作成したF1,F2テンプレートで、「あ、い、う、え、お」の原波形を処理し、F1の出力を横軸、F2の出力を縦軸にプロットしたものである。以下、「い、う、え、お」についても、同様の手法で、出力をプロットしたものが、図5-2,3,4,5である。

「あ」の出力分布は、明確に分離することができた。また、「い」、「う」、「え」は、やや接近する傾向があった。

5.2 手術後の変化

前項で述べた人工内耳手術後4ヶ月目の母音から作成したF1,F2のテンプレートを使って、同じ母音の手術前後の変化を比較した。

図6-1は、人工内耳手術前、人工内耳手術後1ヶ月目、2ヶ月目、4ヶ月目の母音「あ」の波形を処理し、その出力をプロットしたものである。以下、「い、う、え、お」についても、同様の手法で、出力をプロットしたものが、図6-2,3,4,5である。

手術前の発音の分布は、4ヶ月目の発音と大きく離れて分布しており、ばらつきが大きい。1ヶ月目、2ヶ月目の発音の出力分布は、4ヶ月目の発音の出力分布に近いことが観察できる。

6 まとめ

F1,F2の周波数領域に分けた実信号のテンプレートを用いることで、母音の発音の類似度を判別できるようになり、人工内耳手術を受けた難聴児の母音の発音が改善されていく過程の観察が可能になった。

しかし、今回は、1例のサンプルのみであるため、今後、多くのサンプルを収集し、基礎データの蓄積を図って行く必要がある。

今後は、声質のよく似た難聴児の近親者(兄弟/姉妹等)の発音を標準サンプルとして、難聴児の発音との差異を検出できるかを検討し、その結果を、現在、作成中の母音の発音訓練ソフトに応用していきたい。

参考文献

- 1) 三輪 昭生, 章 忠; 岡山県工業技術センター報告第26号, 67(2000)
- 2) 三輪 昭生, 章 忠; 岡山県工業技術センター報告第27号, 54(2001)
- 3) 章 忠, 戸田 浩, 川畑 洋昭; 日本機械学会論文集C, 70 (696), 2360(2004)

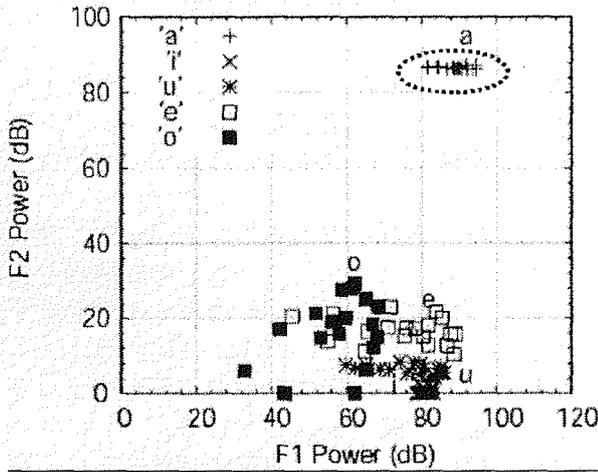


図5-1 'a'のテンプレートを使った母音間の比較

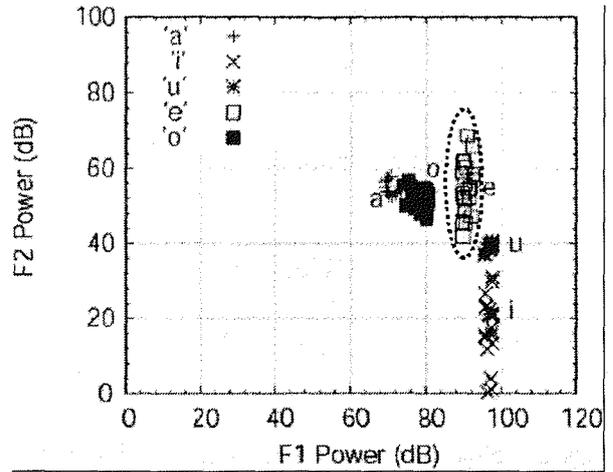


図5-4 'e'のテンプレートを使った母音間の比較

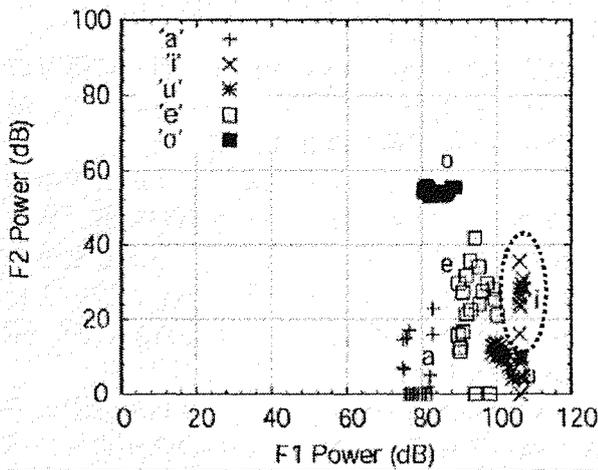


図5-2 'i'のテンプレートを使った母音間の比較

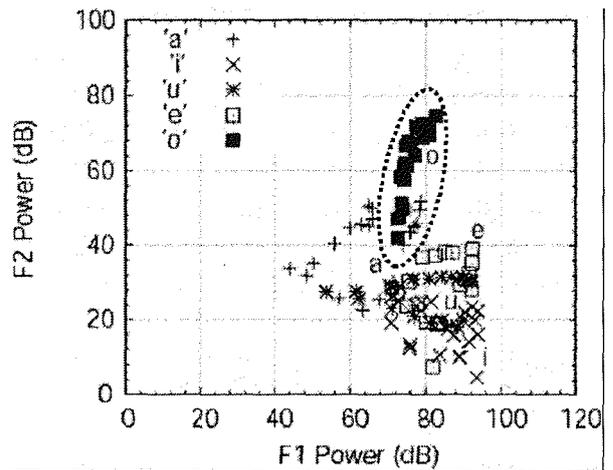


図5-5 'o'のテンプレートを使った母音間の比較

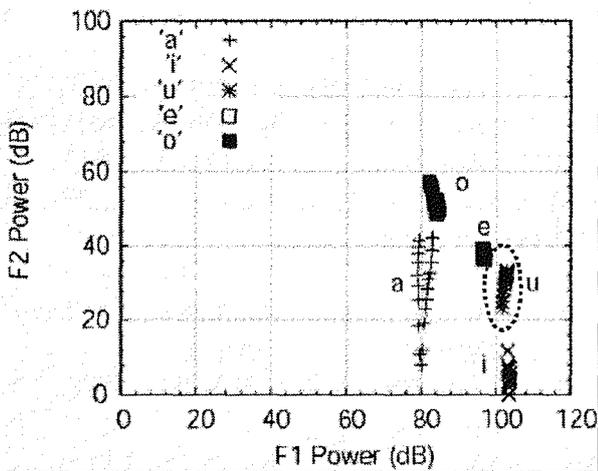


図5-3 'u'のテンプレートを使った母音間の比較

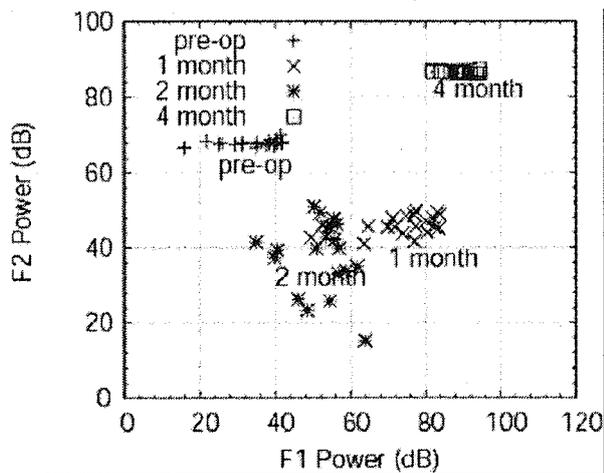


図6-1 母音'a'の手術前後の変化

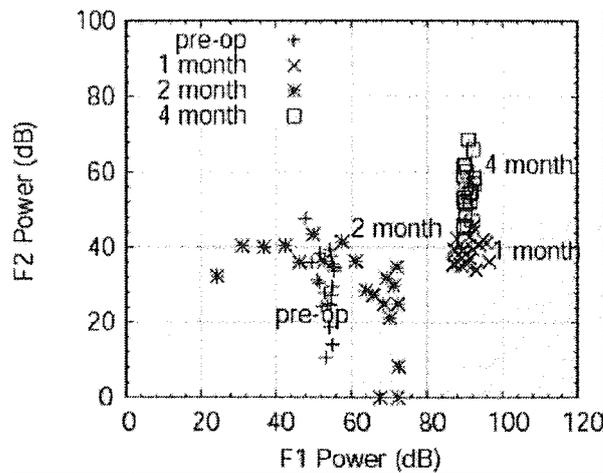


図6-4 母音'e'の手術前後の変化

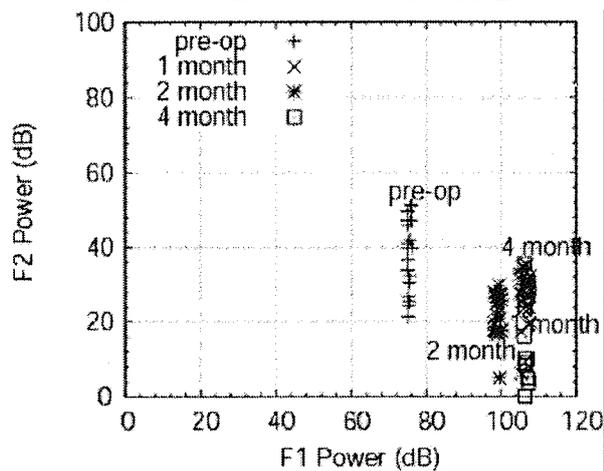


図6-2 母音'i'の手術前後の変化

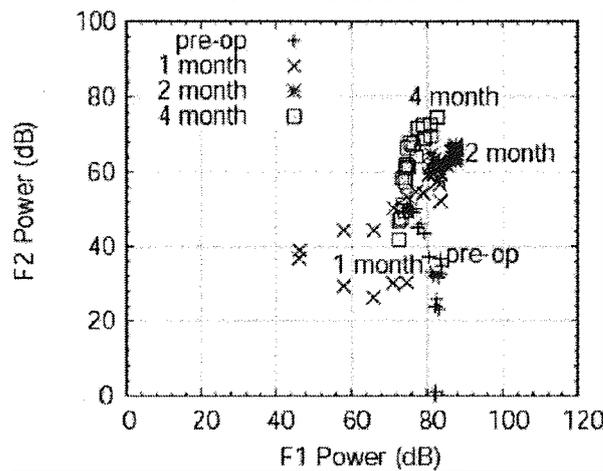


図6-5 母音'o'の手術前後の変化

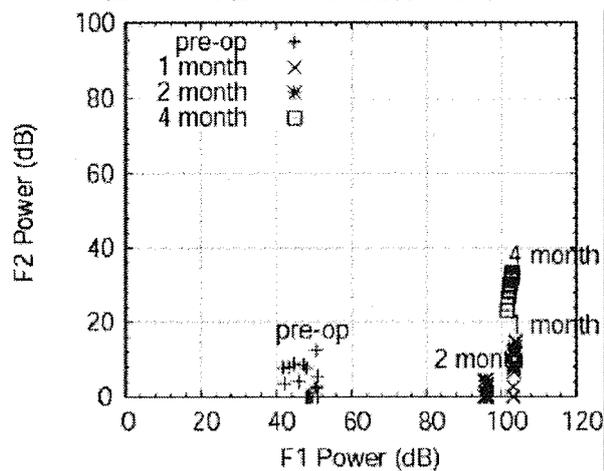


図6-3 母音'u'の手術前後の変化