IT ヘルスケア 第 2 巻 1 号, May 27, 2007: 62-65
B-5

ゼロクロス分析を応用した聴覚障害児用の摩擦音/s/指導システムの開発

Development of the fricative /s/ training system for hard of hearing children by zero cross analysis

三輪 昭生 [1)], 福田 章一郎 [2)], 吉田 浩治 [3)], 川畑 洋昭 [4)]
1)岡山県工業技術センター, 2)難聴幼児通園施設 岡山かなりや学園, 3)岡山理科大学, 4)岡山県立大学

1. はじめに

乳幼児に先天性または後天性の聴覚障害が生じると言語習得が非常に困難となる. そのため, 難聴を早期に発見し, 正しい言語訓練を開始することが必要である. 我々は, これまでに, 聴覚障害児の構音獲得をサポートするため, 市販のパソコンとそれに内蔵されているオーディオ機能を用い, 入力音声をコンピュータ内で処理して発音の状態を画面上で表示しながら発音指導を行うことができるソフトウェアの開発に取り組んできた[1],[2].

今回は, 聴覚障害児にとって獲得が困難とされる「サ行」の発音に着目した. 歯茎摩擦音/s/を含む日本語の「サ行」音は, 歯茎を調音位置とする無声摩擦音である. 口の開き方を真似るだけで発音できる母音などとは異なり, 「サ行」の発音は, 口内での舌の位置を微妙に調節することが必要なため, 聴覚障害者には特に習得が難しい.

また, 聴覚障害児の構音獲得の過程で, /s/から/ʃ/への置換はよく観察される傾向がある. /s/と/ʃ/は日本語の中では, 非常に出現頻度の高い音であるため, これらの音を正しく聞き取り構音することは非常に重要である.

そこで, 聴覚障害児が行なう「サ行」の発音指導を補助するために市販パソコンを使い, /s/の無声摩擦音に含まれる高周波成分を分析して, その変化をリアルタイムで表示できる発音指導システム(S インジケータ)を開発した.

2. 開発について

2. 1. システムの開発環境

開発には, 以下に示すマイクロソフト社の OS である Windows XP 上で, Sun Microsystems 社の J2SE SDK 1.6.0_01/Windows 版を使用した.

これまでに作成してきた発音指導システムは, マイクロソフト社の Windows に強く依存したものとなっており, 他の OS への移植性はほとんどなかった. しかし, Java は, さまざまな OS に対応した仮想マシン上で動作することを前提として, 設計されているので, 一組の実行形式プログラムを作成すれば, 多くの OS で運用が可能となる. このことは, 技術の普及に非常に重要であると考えられたので, 今回, 開発言語として, Java を採用した.

開発環境と開発ツール

- Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
  - java version 1.6.0_01
- CYGWIN_NT-5.1 1.5.24(0.156/4/2) 2007-01-31 10:57 i686 Cygwin
  - ruby 1.8.5 (2006-12-25 patchlevel 12) [i386-cygwin]
  - gnuplot Version 4.0 patchlevel 0

また, 基礎データとなる音声の分析ソフトの開発は, WindowsXP 上に導入した cygwin の環境下で行った. 基本部分は, java で開発し, 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.

3. 音声分析

3. 1. ゼロクロス数分析

まず最初に, 今回の分析対象となる音声の声紋分析を行った. その結果を図1に示す.

左から, 母音の「あ」,そして, 摩擦音の「す」, 「し」が表示されている. この図でわかるように, 摩擦音は, 3000Hz 以上の帯域に特徴的なスペクトルを含んでいる.

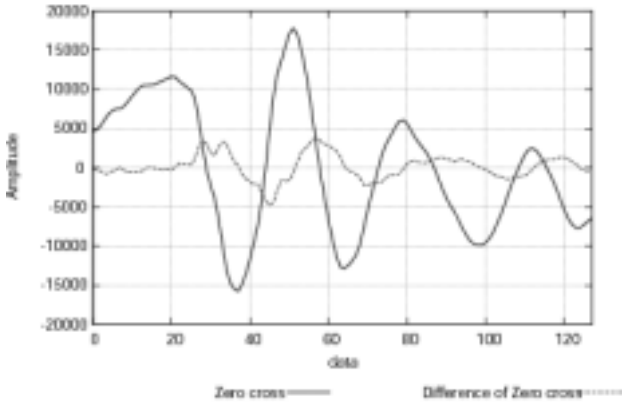
そこで, 当初は, これまでに開発してきた発音指

導プログラム[1],[2]を改良し，無声摩擦音に含まれる 3000Hz 以上の高周波成分を FFT を使って分離することを試みた．しかし，この手法では演算に時間がかかり，結果をリアルタイムで滑らかに表示をさせることが困難であった．

そこで，高周波成分を高速に検出する方法としてゼロクロス数の分析[3]を行なった．ゼロクロス数とは，サンプリングした一定区間の振幅を調べ，単位区間内に零と交差する回数を集計したもので，以下の式(1)と式(2)のように表現できる．

比較的低い周波数成分から構成される母音のような音はこの値が小さく，無声摩擦音のように高い周波数成分を含む子音はこの値が大きくなる．サンプリング周波数 22050Hz，量子化ビット数 16bit で録音した音声について，母音の/a/（図2実線）と/ʃ/（図3実線）のゼロクロス数を分析した．

その結果，表1の様に/ʃ/のゼロクロス数は/a/の約 20 倍となり，発音データ中のゼロクロス数を分析することにより，/a/と/ʃ/の判別が可能となった．



実線:ゼロクロス数,破線:差分ゼロクロス数

図２　/a/の音声波形

3．2．差分値のゼロクロス数分析

同じ条件で分析した「サ行」の/s/は，母音に近い低周波成分が混在しており，図4の実線で示すように振幅の中心が 0 点から大きくかけ離れてしまい，カウントされるゼロクロス数は/ʃ/の 1/7 となり，母音の/a/との判別は困難であった．

そこで，サンプリングしたデータ列の中から前データとの差分をとって低周波成分の影響を除き，このデータから改めて，ゼロクロス数を集計するように，アルゴリズムを変更した．この差分値の処理した結果を図2，3，4の破線で示した．

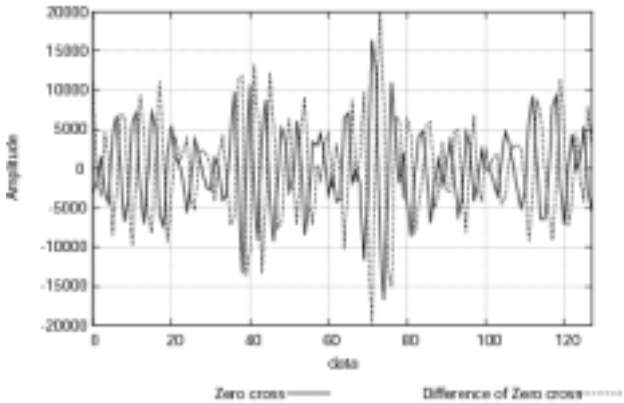
これらの処理により，/s/のように低周波成分を含む音でも，再現性よく検出できるようになった．また，表1に示すように，低周波成分を含まない/ʃ/は，この処理を行なってもゼロクロス数の値に大きな変化はなく，その検出には影響がなかった．

4．S インジケータの試作

$$Zcr = \sum_{i=0}^{L-1} neg(S_i - S_{i+1}) \qquad (1)$$

$$neg(x) = \begin{cases} 0 & (x \geqq 0) \\ 1 & (x < 0) \end{cases} \qquad (2)$$

ここまでの分析結果を元に，java の



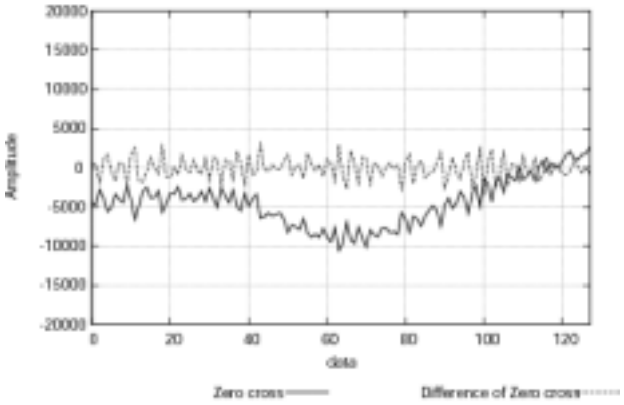
実線:ゼロクロス数,破線:差分ゼロクロス数

図３　/ʃ/の音声波形

発音	あ /a/	し /ʃ/	す /s/
ゼロクロス数	10.2	212.3	29.0
差分ゼロクロス数	84.7	255.4	257.0

1 **区間** 512 **点**,20 **区間の平均値**

表 1 **ゼロクロス数とその差分値の比較**



実線:ゼロクロス数,破線:差分ゼロクロス数

図４ /s/の音声波形

javax.sound.sampled.*のクラス群をベースにしてリアルタイムの音声録音モジュールを作り，GUI を構築するための javax.swing.*のクラス群と組み合わせ，横軸に時間，縦軸にゼロクロス数の変化を表示する S インジケータを開発した．最初は，ゼロクロス数の変化を，リアルタイムで表示するだけのものだったので，内容が単調になり，これだけでは，被験者の幼児はまったく関心を示さなかった．

そこで，基本的な機能に加え，現場での意見や要望を取り入れ，以下の機能を付加しアプリケーションを開発した，その実行画面を図5に示す，

- 訓練への関心を持たせ，その集中力を維持させるためにアニメーション機能
- 発音の個人差やマイクの特性を補正するために原点位置や感度の調整機能．

このアプリケーションでは，マイクから入力された音に含まれる高周波成分に比例して，リアルタイムでゼロクロス数の変化を表示する．この時の縦軸はゼロクロス数，横軸は時間である．そして，グラフの時間軸に平行して移動する汽車のアニメーションを配置し，ゼロクロス数の変化が汽車の煙に見える様にレイアウトにした．

5. 発音指導結果

このアプリケーションを指導に使われた方々からは、以下の評価が得られた．

- 幼児はソフトそのものに非常に関心を持ち，特に，動くアニメーションに興味を示した．
- 文字カードによる指導よりも，緊張せず発音が安定する傾向が見られた．
- 力みがあると口角を引き，舌が口蓋化するため/ʃ/になる傾向があったが，画面を見ながら構音すると力みが取れ，口蓋化しなくなった．
- /s/の構音がすでにできている幼児には，その維持および強化に有効であったが，まだ，/s/の構音ができていない幼児への使用は難しかった．

以上のことから，発音の習熟度のよっては，このプログラムを使った指導が有効であった．しかし，/s/の構音が出来ていない幼児には，一度，別の方法で/s/の構音ができるように指導してから，このソフトを使った指導に切替えるなど，指導方法にも工夫が必要であると思われる．

6. まとめ

聴覚障害児の発音指導用に，サンプリングされた音声に含まれるゼロクロス数に着目し，/s/の無声摩擦音に含まれる高周波成分を検出するプログラムを作成した．

また，前処理としてサンプリングデータの差分値からゼロクロス数を求めるという改良を加えることで，低周波成分が混在した無声摩擦音の検出も可能になった．

このアルゴリズムを応用して，/s/の無声摩擦音の変化をリアルタイムで表示できる発音指導システム（S インジケータ）を開発した．

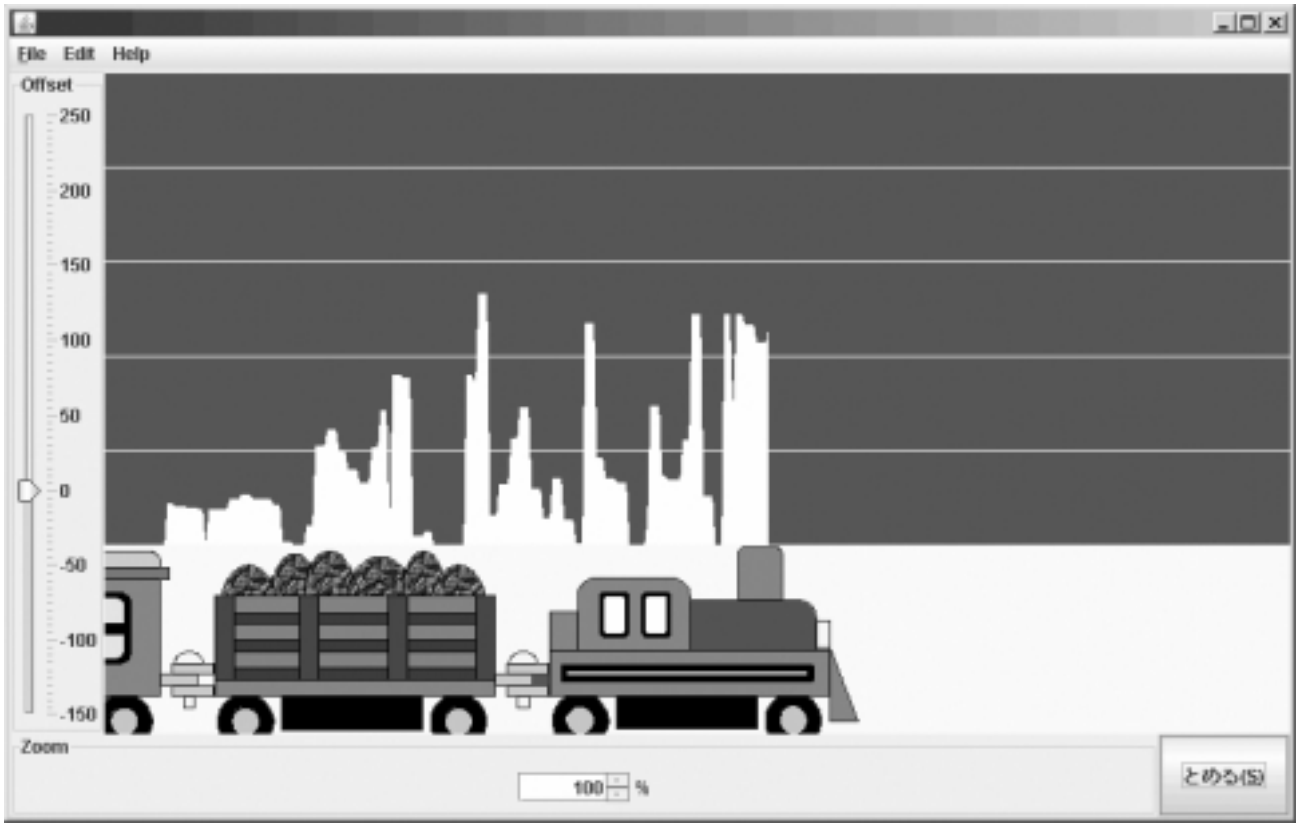


図5 試作アプリケーションの実行画面

参考文献

1)三輪 昭生,真田 明,章 忠:"聴覚障害者の発声訓練装置の開発", 岡山県工業技術センター報告 第 24 号, 岡山県工業技術センター (1998).
2)三輪 昭生,真田 明,章 忠:"入力波形のリアルタイム表示", 岡山県工業技術センター報告 第 25 号, 岡山県工業技術センター (1999).
3)三輪 譲二:"パソコン音声処理", 株式会社コロナ社 (1991).