

誤嚥性肺炎を予防するための非侵襲・安全な嚥下機能計測評価手法に関する 調査研究事業

岡田 真* 平野 聡* 平間 毅* 本村 美和**

1. はじめに

人が物を飲み込む際に働く①～⑤に示す一連の身体機能を嚥下という。

- ① 脳で食物を認知し口腔内に取り込む。
- ② 咀嚼して飲み込みやすい形にする。
- ③ 舌で喉まで押し込む。
- ④ 嚥下反射をトリガーに関連する部位が短時間に動き、食道入口部まで導く。
- ⑤ 筋肉の収縮により胃に送り込む。

この嚥下機能が、高齢化による筋肉の衰えや、脳卒中の後遺症などの原因により、上手く働かなくなり、物を飲み込む際にむせたりすることが多くなる症状が嚥下機能障害である。嚥下機能障害は、重症化すると誤嚥性肺炎を招き、免疫力が低下している高齢者などは、これが原因となり死に至ることもある。このため、嚥下機能を評価し、誤嚥性肺炎にならないよう日常的に予防ケアを行う環境整備が必要である。しかし、現状では後述のとおり簡便且つ適切な嚥下機能評価手法が確立されていないため、必要な環境が整っていない。

嚥下機能評価の方法として、一般的なものとしては医療者による聴診がある。専用の機器を必要としないため、患者負担や在宅でのケアが可能な点で利点があるが、医療者の熟練度に結果が左右され、適切な診断結果が得られない可能性がある。また、X線を用いた嚥下造影検査(VF)は嚥下の様子を可視化して診断でき、評価がしやすいメリットがあるが、患者にとっては診療費が高額であることや、導入している病院が一部の専門病院に限られること、X線被ばくを受けることなど費用面、身体面での負担が大きいデメリットがある。こうした背景から在宅などで簡便に適切な嚥下機能評価ができる新たな嚥下機能評価手法の確立が求められている。県内では、県立医療大学が全国で3つしかない「摂食嚥下障害看護教育課程」を有しており、同大学、附属病院には、嚥下障害に関する研究者、医師、摂食障害認定看護師、患者も集積していることから、当センターで有しているデータ取得技術や信号解析技術と医療大学の嚥下機能評価に関するノウハウを組み合わせることで、新たな嚥下機能評価手法の確立が期待できる。

2. 目的

本研究では、嚥下の際に生じる嚥下音に着目し、嚥下音を取得解析することで、嚥下評価に有用な特徴を見出し、新たな嚥下機能評価アルゴリズムを確立することを目的とする。

今年度は、嚥下音を取得するための嚥下音取得システムの開発を行い、取得した嚥下音を解析することで嚥下音の特徴抽出に有用な解析手法の検討を行う。

3. 本研究の流れ

本研究は、以下の流れで進めていく。

- ① 嚥下音を取得するシステムの開発 (H27年度)
- ② 嚥下音の取得及び特徴解析
- ③ 得られた特徴をもとにした嚥下機能評価アルゴリズムの開発

嚥下音取得システムは、県立医療大学の先生方及び嚥下音の取得にご協力いただける言語聴覚士、看護師の方々にご意見をいただき、開発を進めていく。また、嚥下音の取得については、県立医療大学や本研究に協力いただける県内病院と連携し、多数のサンプルデータの収集を行っていく。収集したデータを解析し、嚥下機能評価アルゴリズムの開発を行い、新たな嚥下機能評価手法の確立につなげる。

4. 嚥下音取得システムの開発

4.1 デジタル信号解析システムについて

本研究を行うにあたり、アナログ信号を高速且つ高分解能で取得可能なデジタル信号解析システムを導入した。本システムの仕様を表1に示す。

本システムは、グラフィカルプログラミング環境(図1)で開発ができ、あらかじめアナログ信号の取得に最適なライブラリを用いることで用途に合わせたシステム構築を短時間で行うことが可能である。

表1 デジタル信号解析システムの仕様

ハードウェア	National Instruments 社 PXI
開発環境	National Instruments 社 LabVIEW

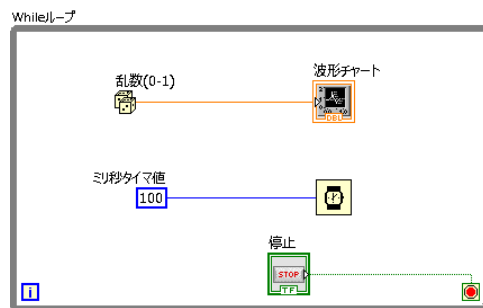


図1 グラフィカルプログラミング例

4.2 サンプリング周波数について

デジタル信号解析システムを用いて、嚥下音取得システムを開発するにあたり、サンプリング周波数の検討を行った。

熟練した医療者による聴診の際には、医療者は聴診器の音を基に診断をしており、嚥下音に含まれる人

の可聴域（約 20Hz～20,000Hz）の周波数をもつ波に何らかの特徴があると考えられる。

今回、周波数範囲が 50～16,000Hz のコンデンサマイクを用いた検討用の嚥下音取得装置を開発し、得られた嚥下音に対して FFT 処理を行ったところ、1,000Hz 以上の信号強度がピークの信号強度と比べてきわめて低いことが分かった。このことから、今回の開発システムでは音楽 CD に用いられるサンプリング周波数 44,100Hz をサンプリング周波数として採用した。

4.3 アナログ信号処理回路について

嚥下音を取得する際に、エイリアシングを防止し、高周波フィルタリングを行うアナログ信号処理回路を作成した。この際、フィルターのカットオフ周波数は、4.2 の検討結果を踏まえて 1,000Hz とし、フィルターは正帰還 LPF を用いた（図 2）。また、コンデンサマイクからの入力信号に対するフィルター出力確認のため、LTspice を用いて信号処理シミュレーションを実施し、フィルター動作が正常なことを確認した。

図 3 に入力信号の周波数が 10Hz のとき、図 4 に入力信号の周波数が 1,000Hz のときの入力信号と出力信号の比較結果を示す。

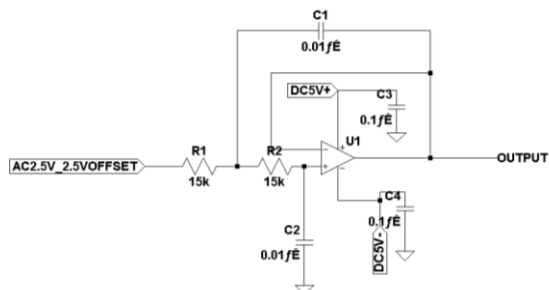


図 2 アナログ信号処理回路（正帰還 LPF）

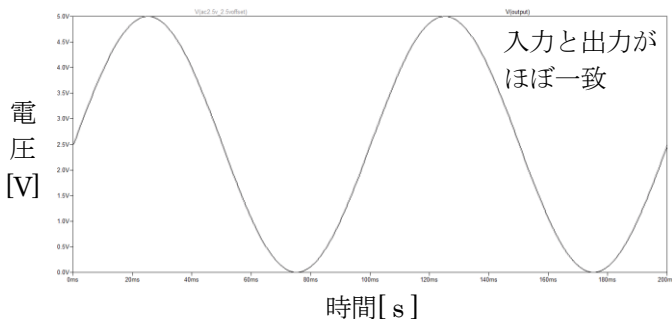


図 3 入力信号が 10Hz のときの出力信号との比較

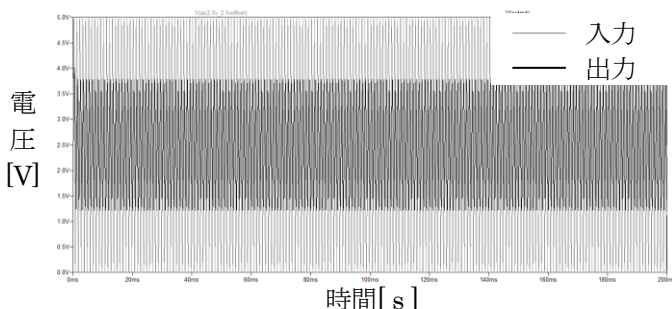


図 4 入力信号が 1,000Hz のときの出力信号との比較

4.4 外部トリガーによるシステムの操作について

医療者による嚥下機能の聴診は、医療者が患者への食事介助を行いながら、聴診器を頸部にあてて実施する。本研究における嚥下音の取得方法についても、通常行っている聴診と同じ方法で実施することで実際に嚥下音の収集にご協力いただく、患者や医療者の負担軽減を図る。このため、聴診器からマイクで嚥下音を取得することが可能で、嚥下音の録音開始や停止は、聴診器を持つ片手で操作できることが求められる。

これを可能にするため、聴診器イヤークリップ部にマイクを取り付けるとともに、小さなタクトスイッチを聴診器チェストピース部に設けることで、スイッチをトリガーに嚥下音の録音及び停止が行えるシステムを開発した。

4.5 嚥下音取得状況保存システムについて

本研究では多数の嚥下音サンプルを取得して、その特徴解析を実施するが、今後解析を行う際に各サンプルの取得状況が分かるように嚥下音取得と併せて、取得状況の動画保存も併せて行うシステムを開発した。動画の保存は、OpenCV を用いて一般的な USB カメラのキャプチャ画像から動画作成を行うプログラムを開発した。このシステムについても、聴診器に取り付けたタクトスイッチの操作により嚥下音の取得と同期して、動画の録音及び停止を行うこととしている。タクトスイッチのトリガー検出は Arduino を経由し、PC の USB ポートより行っている。

5. 嚥下音取得システムと取得した嚥下音について

開発した嚥下音取得システムの外観、構成図、ユーザインターフェースを図 5、図 6、図 7 に示す。

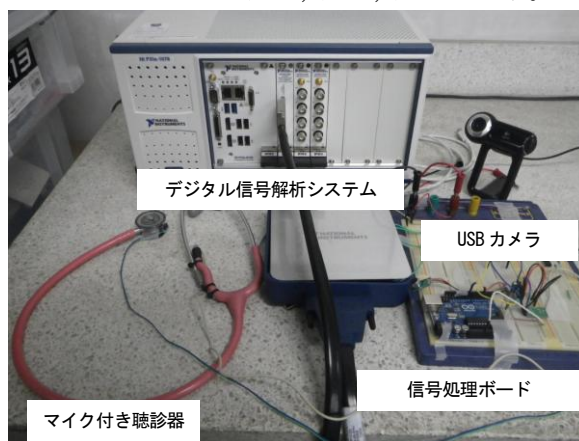


図 5 嚥下音取得システムの外観

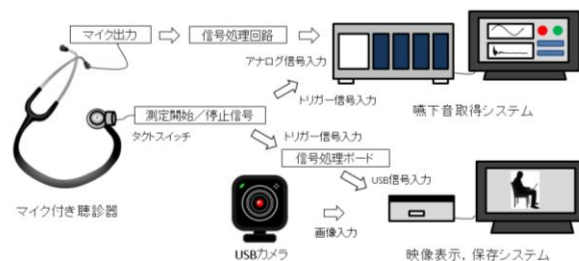


図 6 嚥下音取得システムの構成図

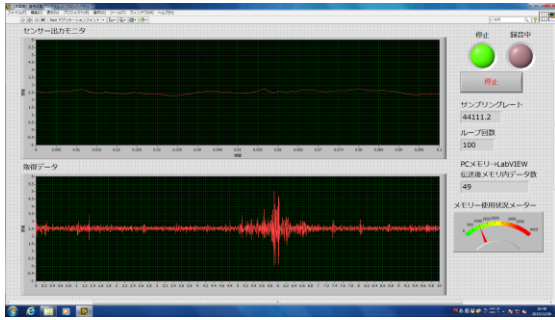


図7 嚙下音取得システムのユーザインターフェース

また、嚙下音取得システムにより得られた嚙下音データを図8に示す。取得したデータには、脈音や呼吸音、周囲騒音が含まれているため、デジタル信号処理により、ノイズ除去を行っている。

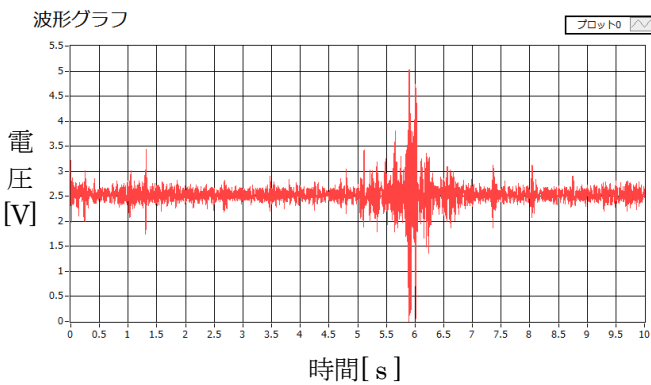


図8 取得した嚙下音データ

6. 解析手法の検討について

取得した嚙下音を解析し、各サンプルの特徴を解析するため、有用な解析手法の検討を行った。

6.1 フーリエ変換

フーリエ変換は、解析手法の中でもよく用いられている一般的なものの一つである。解析対象とする信号周期と同じ周期のSin, Cos波を基本周波数の波と定義し、その定数倍の周波数をもつ波の足し合わせ(図9)により、時間領域の信号を周波数領域に変換し、解析対象とする信号に含まれる波の周波数成分を解析する手法である。この手法は、信号に含まれる波の周波数成分を解析できる利点があるが、解析過程で時間に係る情報が消えてしまうため、信号の時系列的な変化の特徴を捉えることができないことが難点である。

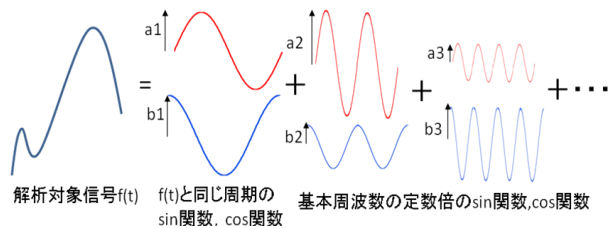
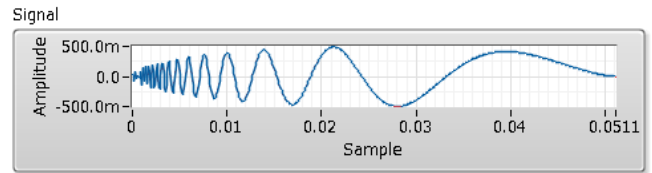
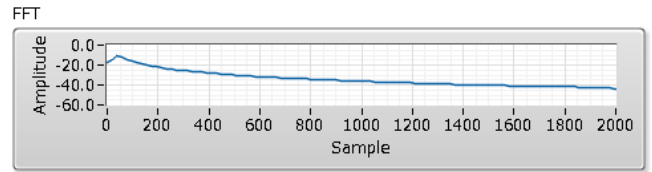


図9 フーリエ変換のイメージ

フーリエ変換を離散化、効率化した高速フーリエ変換(FFT)の解析例を図10に示す。



(a) 解析対象信号



(b) 解析結果

図10 FFTの解析例

6.2 ウェーブレット変換

ウェーブレット変換は、フーリエ変換では特徴を捉えられなかった信号の時系列変化の情報を残したまま、周波数解析を行うことが出来る利点を有する。

この手法は、ウェーブレット母関数とスケーリング関数の足し合わせによって出来る関数(図11)を基本とし、横軸の値を2倍にしたものをスケール1の関数、 $2^2=4$ 倍にしたものをスケール2の関数とし(図12)、各スケールの波を解析対象信号に当てはめ、その際のウェーブレット母関数の振幅の大きさを算出することで、それぞれのスケール(周波数)を持つ波の振幅が、時間経過によってどのように変化するか解析を可能にするものである(図13)。時間経過とともに周波数が変化する信号は、フーリエ変換では特徴を捉える事が難しいが、ウェーブレット変換では、特徴を捉えることが可能となる。

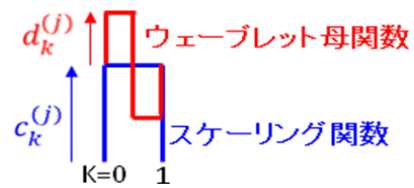


図11 ウェーブレット母関数(Haar)とスケーリング関数

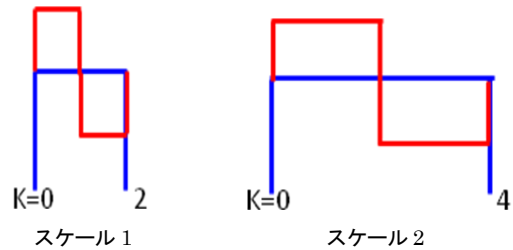
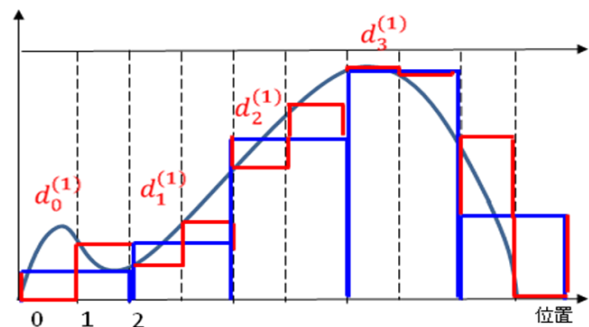
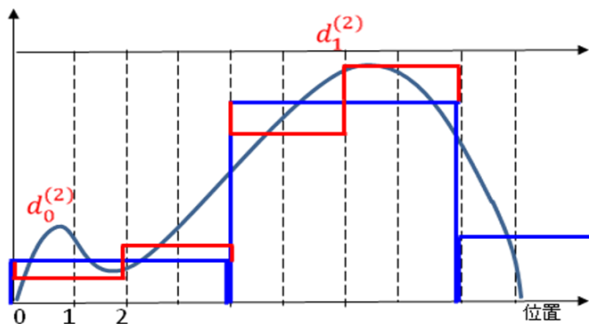


図12 各スケールでの関数の拡大



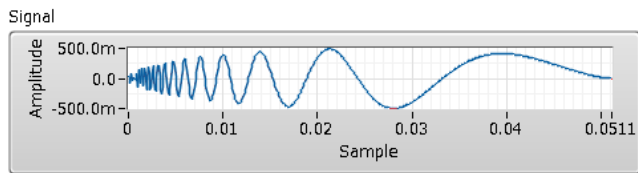
(a) スケール1の場合



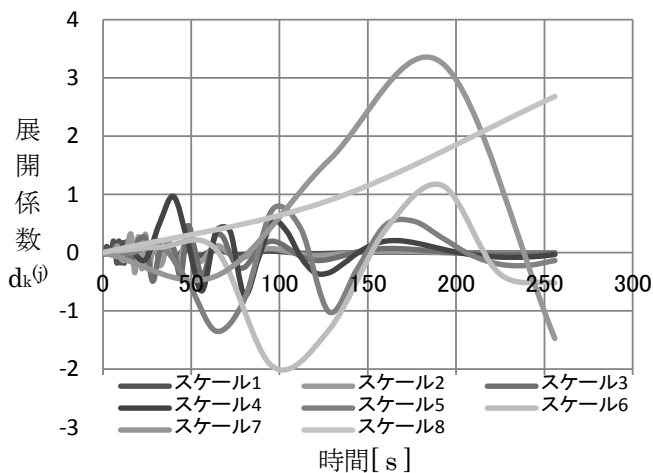
(b) スケール 2 の場合

図 13 解析対象信号への各スケールの関数の適用

ウェーブレット変換の解析例を図 14 に示す。



(a) 解析対象信号



(b) 解析結果

図 14 離散ウェーブレット変換の解析例

7. 研究結果と考察

開発した嚥下音取得システムを用いて、複数の協力者から以下の条件で嚥下音を取得した。

- ① 3mL～5mL 程度の水を口に含んでおく。
- ② 嚥下音の録音開始後、しばらく自然に息をする。
- ③ 自身のタイミングで口に含んだ水を飲み込む。

これによって得られた嚥下音サンプルは、測定時の聴診位置やダイヤフラムの接触具合によって、取得できる信号強度が変化する (図 15)。このため、脈音の振幅を基準として信号強度を時間領域で正規化し、FFT 解析を行った。結果としては、個人差が大きく、嚥下音に特有の特徴を見出すことが出来なかった。嚥下音は関連する部位が短時間に一連の動作を時系列的に行うことにより発生することから、FFT 解析以外に 6.2 に示すようなウェーブレット変換などの時間領域の情報を残した解析手法もしくは、時間領域での解析手法を検討していく必要があると考えられる。

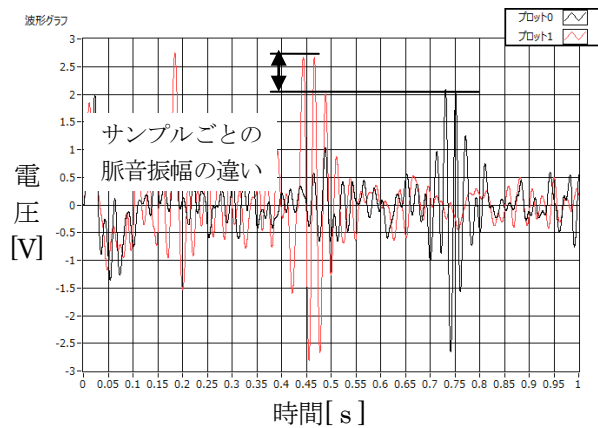


図 15 サンプルごとの信号強度の違い

8. まとめ

- ・嚥下音取得システムを開発した。
- ・嚥下音の取得と同期して、嚥下音取得時の状況を録画するシステムも併せて開発した。
- ・取得した嚥下音データを解析し、解析手法の検討を行った。

9. 今後の課題

嚥下音の特徴を抽出し、正常な嚥下音と異常な嚥下音の識別を行うため、多数のサンプルを取得する。また、サンプルした嚥下音から有用な特徴を抽出する解析手法を今後も引き続き検討し、新たな嚥下機能評価手法の確立につなげる。

10. 謝辞

本研究を行うにあたり、嚥下音取得に関するご助言をいただいた、県立医療大学 保健医療学部 理学療法学科 教授の富田和秀様、並びに嚥下音取得システムの開発に関してご意見をいただいた筑波メディカルセンター病院 看護部 師長の外塚恵理子様をはじめ言語聴覚士、看護師の皆様へ深く感謝いたします。

11. 参考文献等

- 1) 高橋浩二：頸部聴診法による摂食・嚥下障害のスクリーニング法，東京，2005，医歯薬出版，72-87
- 2) トランジスタ技術 2011.4 月号，CQ 出版，95-114
- 3) 金谷健一：これなら分かる応用数学教室，2003，共立出版，73-139，231-252