

非侵襲的に摂食時の嚥下機能状態をモニタリングする

技術開発に関する試験研究事業

岡田 真* 本村 美和** 青木 邦知*

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。

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。

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メリットがあるが、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¹⁾。

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手法の確立が求められている。茨城県立医療大学は、全国の県立医療大学で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、付属病院には、嚥下障害に関する研究者、医師、摂食障害認定看護師、また治療の知見も集積していること

から、当センターで有している信号解析技術や機械学習システム構築技術と県立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、H27～29 年度特別電源所在県科学技術振興事業「誤嚥性肺炎を予防するため非侵襲・安全な嚥下機能計測評価手法に関する調査研究事業」で開発した嚥下音取得システムを用い、前回特電では対象としていなかった、嚥下音の自動抽出手法に関するアルゴリズムを確立し、在宅・施設において実用可能なプロトタイプを試作するための基礎的な研究を行う。

今年度は、嚥下音の収集、抽出から嚥下機能評価まで一連の流れを行うシステムの開発(図1)を目的とし、システムの要素技術として嚥下音の自動抽出手法や嚥下音の機能評価手法に関する研究開発を行った。

3. 本研究の流れ

本研究は、以下の流れで進めていく。

- ① 嚥下音の収集、抽出から嚥下機能評価まで一連の流れを行うシステムの開発 (H30 年度)
- ② 自動抽出手法及び嚥下機能評価手法の高度化 (R1 年度)
- ③ 研究成果のシステム実装及び在宅・施設において実用可能なプロトタイプの試作開発 (R2 年度)

嚥下音の収集は、県立医療大学や本研究に協力いただいている筑波メディカルセンター病院と連携し、多数のサンプルデータの収集を行った。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。

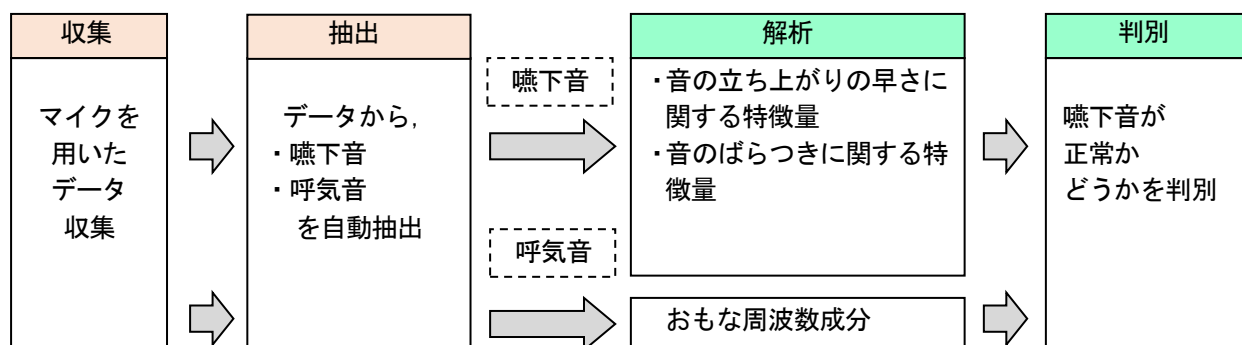


図1 開発するシステム

4. 嚥下音の収集、抽出から嚥下機能評価まで一連の流れを行うシステムの開発

4.1 嚥下音の収集

嚥下音の収集は実際に嚥下音を収集いただく医療者からの要望により、聴診器の形状を残したまま嚥下音の収録ができるようにした。

また、嚥下音を収録したまま聴診者自身でも嚥下音を聞くことができるよう、聴診器のチューブ部に T 字管を取り付け、分岐を可能にした (図 2)。

なお、嚥下音の収集は 16 ビット, 44.1kHz のサンプリングレートで行い、ゲイン調整を可能とした。図 3 に開発したシステムにより収集した嚥下音データを示す。



図 2 T 字管による分岐

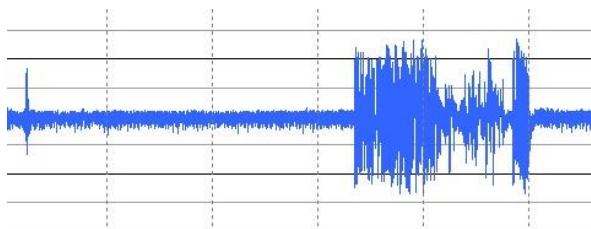


図 3 開発したシステムにより収集した嚥下音

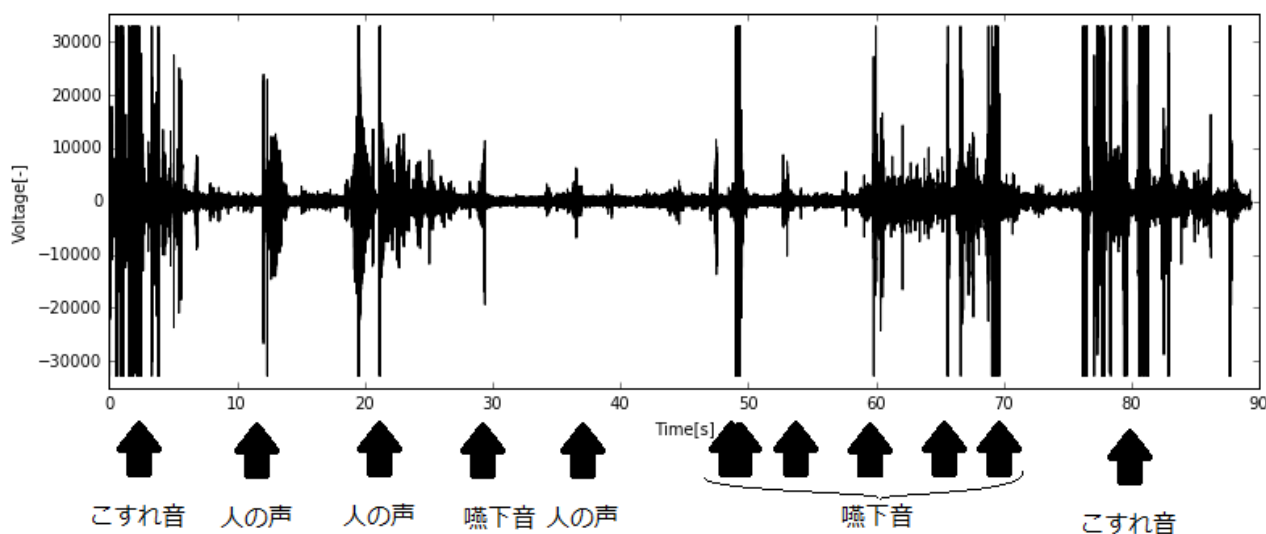


図 4 収集したデータに含まれる音

4.2 嚥下音の抽出

収集したデータには、図 4 に示すとおり、嚥下音の他、人の声やチューブのこすれる音などが含まれている。このデータから嚥下評価に用いる嚥下音部分を抽出するため、嚥下音抽出手法の検討を行った。

4.2.1 無音区間検出による嚥下音抽出

音と音の間にある無音区間を検知することで、それぞれの音の分離を図った。無音区間検知アルゴリズムは Python 環境でライブラリを用いて開発を行った²⁾。なお、無音区間検知に用いるパラメータは、無音区間時間 T_{len} [ms], 無音と見なす波形の大きさ V [dBFS], 分割後に残す無音時間 T_{keep} [ms] で決定される。

それぞれのパラメータをチューニングした結果、 $T_{len}=300$ [ms], $V=-29$ [dBFS], $T_{keep}=300$ [ms] で検出したい嚥下音を全て抽出できた。

なお、分割されたデータの中には、嚥下音の他に人の声やこすれ音が含まれており、分割後のデータのうち嚥下音であった割合は、12.3%となった。

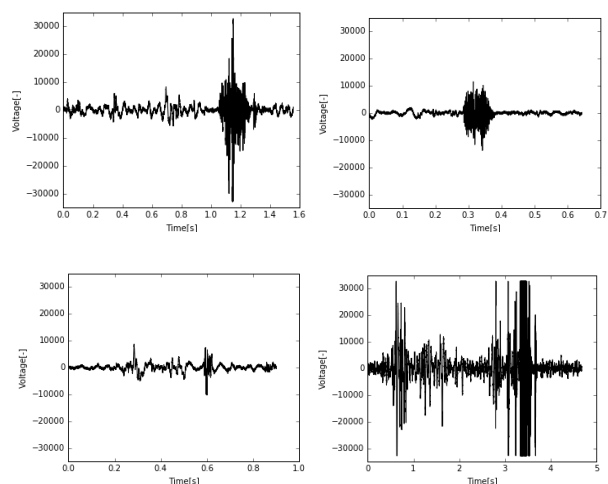
表 1 無音区間検出による嚥下音の抽出精度

A 抽出すべき嚥下音数[データ]	9
B 抽出できた嚥下音数[データ]	9
抽出率[A/B]	1.000
C 嚥下音以外に抽出した音の数 [データ]	64
嚥下音の割合[B/(B+C)]	0.123

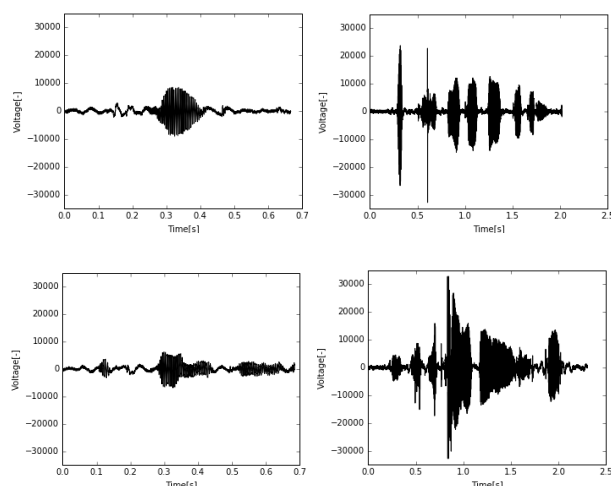
分割後のデータに見られた嚙下音、人の声、こすれ音を音の種類ごとにプロットしたものを図 5 に示す。

4.2.2 マハラノビス距離による嚙下音抽出

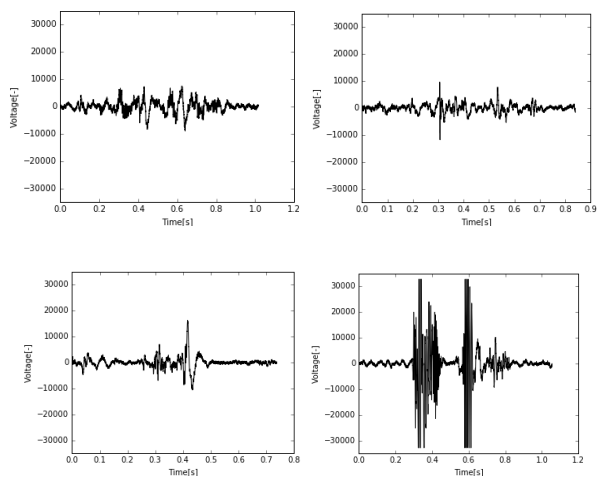
4.2.1 に続き、嚙下音の抽出手法としてマハラノビス距離による嚙下音抽出を試みた。マハラノビス距離は、図 6 に示すように基準状態のデータが特徴量空間に



(a) 嚙下音



(b) 人の声

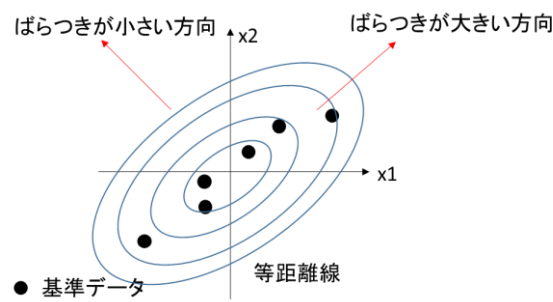


(c) こすれ音

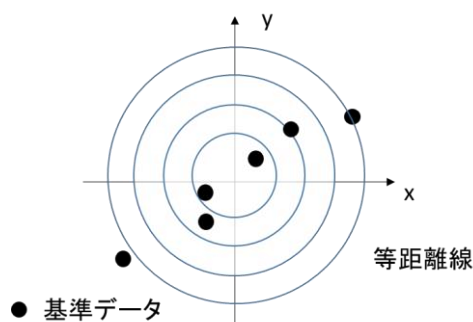
図 5 無音区間検知による分割後に見られた音

プロットされた際の各次元方向へのばらつき具合に合わせて、それぞれの次元に対しての距離感（＝異常の度合い）を再定義し計算される^{3,4)}。このため、基準データでのばらつきが元々大きい次元に対しては、通常よりもその方向への異常の感度は弱く。元々ばらつきが小さい次元に対しては、異常の感度が強くなる。

基準データに嚙下音データを設定し、人の声やこすれ音などが基準データに対してどの程度離れているかをマハラノビス距離により評価し、ある閾値以内にあるものを嚙下音として抽出した。



(a) マハラノビス距離



(b) 通常の距離

図 6 マハラノビス距離と通常の距離の比較

マハラノビス距離を算出する際に各データから抽出する特徴量として、ピーク周波数やスペクトル重心などの特徴量を抽出した。

4.2.1 で抽出した嚙下音とその他の音を識別した結果、およそ 20%程度の正解率にとどまり、嚙下音のみを判別するには至らなかった。

5. まとめ

- ・嚙下音の抽出手法を検討し、システムに実装した。
- ・嚙下音の収集から抽出、嚙下機能評価までの一連の流れを行うことが出来るシステムを開発した。

6. 今後の課題

一連の嚙下音収集から抽出、判別までを行い、システム全体の嚙下機能評価性能を評価する。その上で、抽出すべき特徴量の明確化のため、嚙下音の生成プロセスの理解を行い、その結果を嚙下音の自動抽出性能や判別性能の高度化にフィードバックする。

また、嚙下音データの収集を引き続き行い、ディープラーニング手法を取り込んだ嚙下機能評価アルゴリズムについても検討したい。

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、嚙下音収集にご協力いただいた、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の中条朋子様、日下部みどり様、山田悟志様、また、システム開発に携わった株式会社アール・ティー・シー様、株式会社クリアタクト様に皆様に深く感謝いたします。

8. 参考文献等

- 1) 中山裕司, 高橋浩二, 宇山理紗, 平野薫, 深澤美樹, 南雲正男, 嚙下音の産生部位と音響特性の検討, 昭 歯誌 26, 163-174, 2006
- 2) Sebastian Raschka, Python 機械学習プログラミング, 株式会社インプレス, 134-145, 2016.
- 3) 浅井為生, 矢野耕也, 秋山公示, 小玉圭一, 野上雅巳, 楠本剛史, 松岡久雄, 伊藤邦夫, MT システムの品質管理への応用, 品質工学 Vol. 16 No. 3, 86-92, 2008
- 4) 新村諭, 浜勉, MT 法と機械学習を用いたプレス加工音による金型摩耗の検知, 長野県工技センター研報 No. 13, 46-49, 2018