

# 高感度圧力センサによる喉頭挙上運動 および嚥下音計測および周波数分析

岩崎堅亮†

鏑木崇史†

栗原陽介†

青山学院大学 理工学部 経営システム工学

## 1. はじめに

日本は平成 25 年の段階で高齢化率 25.1%に達し、超高齢社会に分類されている [1]. 高齢者の主な死因の一つとして不慮の窒息が挙げられる. 不慮の窒息による死亡者数の割合を見ると, 高齢者が食物を誤嚥して亡くなるケースが多く, 窒息事故全体の約 4 割を占めており [2], 主な原因食品としては, 餅やご飯など粘性が高いものが挙げられる [3]. そこで, 嚥下の有無を判別することと, 嚥下をした食品の粘性の違いを判別することができれば, 介護者に対し注意喚起を促し, ひいては窒息防止にもつながる. 従来の嚥下に関する研究では, 嚥下の機能を評価したものが多く [4] [5]. 筆者等は高感度圧力センサにより食品の種類を判定するシステムを提案した [6]. その研究では, 高感度圧力センサを用いて動的タイムワーピング (DTW) を用いて食品の種類を判定した. 一方, 食品の粘性については解析されていない. 本研究では, 同様に高感度圧力センサを用いて, 食品の粘性に着目し, 高精度に嚥下した食品の粘性について推定を行う方法を提案する. 誤嚥なく食品を嚥下するには咽頭期において喉頭挙上運動が円滑に行われる必要がある. 円滑に嚥下が行われると喉頭挙上し, 喉頭蓋が気道を閉鎖し, 食塊が正しく食道に流入する. これらの動作や音は喉で観測することが可能である. 粘度の高い食品を嚥下すると, 嚥下動作のいずれかが阻害され, 誤嚥へと繋がると仮定した. 本研究では, 嚥下動作により発生する振動の周波数が異なることを利用し, どの動作を計測する必要があるかについて検討する.

## 2. 提案手法

図 1 に提案する一連の流れを示す. 本研究では [6] で提案された高感度圧力センサを用いる. 嚥下動作において発生する振動の周波数に応じ, (a)全周波数帯域, (b)喉頭挙上運動帯域 1–20 Hz, (c)喉頭蓋閉鎖音帯域 20–100Hz, (d)食塊流入音帯域(低)50–150 Hz, (e) 食塊流入音帯域(高)400–750 Hz の 5 種類で粘性の判別に適する周波数帯域を評価する. 周波数帯域は BPF(Band-pass filter)でわけられる. 高感度圧力センサによる嚥下に伴う観測データを  $x(k)$  と定義する. ( $k$ は離散時間)  $i$  番目の嚥下観測データ  $x_i(k)$  の嚥下状態を  $y_i$  とし, 下式のよう

に定義する. 嚥下状態は  $N + 1$  種類 ( $f_0, f_1, \dots, f_N$ ) の値のいずれかを取る.

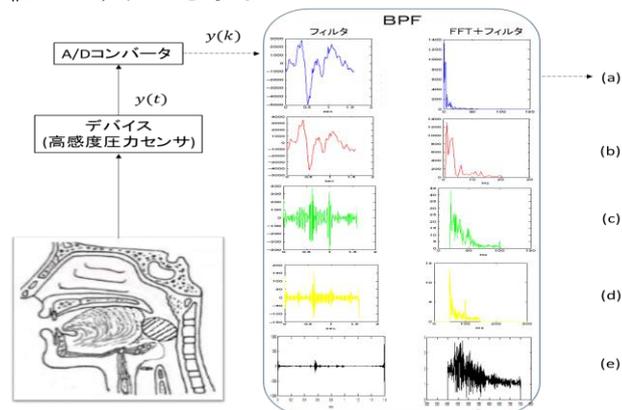


図 1 提案手法の一連の流れ

$$x_i := \{x_i(k)\}_{k=1}^{K_i} \quad (2.1)$$

$$y_i \in \{f_0, f_1, \dots, f_N\} \quad (2.2)$$

また, 計測した波形から, 食品の粘度を分類するため, 時間軸上のずれを許容する DTW 距離を用いる. 異なる 2 つの嚥下観測データ  $x_i, x_j$  間の DTW 距離  $D(x_i, x_j)$  は下式で与えられる.

$$a_{m,n} = |x_i(m) - x_j(n)| + \min \begin{cases} a_{m-1,n-1} \\ a_{m-1,n} \\ a_{m,n-1} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$D(x_i, x_j) := a_{K_i, K_j} \quad (2.4)$$

嚥下状態  $y_j$  が未知の嚥下観測データ  $x(k)$  が与えられたとき, 嚥下状態  $y_j$  は次のように推定する.

観測した嚥下観測データ  $x(k)$  をあらかじめ登録していた全ての嚥下観測データ  $f_i(k)$  と総当たりで DTW 距離を算出し, 最も DTW 距離が短かったデータを  $\hat{i}$  とし, その嚥下観測データ状態  $\hat{y}_i$  として推定する.

$$\hat{i} := \operatorname{argmin} D(f_i(k), x(k)) \quad (2.5)$$

$$\hat{f}_x(k) = f_{x_i} \quad (2.6)$$

## 3. 実験・評価方法

図 2 に今回使用するデバイスの装着図を示す. 粘性に偏りをなくするために, 粘性の違う食品を用いて実験を行った. 嚥下の条件は, 安静状態 (飲み込んでいない状態), 粘性の低いもののお茶, 粘性が少しあるお茶に増粘剤 (3.2g), 粘性の高い餅と設定し, それぞれの嚥下の状態ごとに 10 回ずつデータを計測する. 被験者は 20 代男性 7 人とし, インフォームドコンセントを得て行う. 解析は交

差検定を用いて行う。1つのデータに対し、他の嚥下観測データと総当たりでDTW距離を計算し、最もDTW距離が短かったものが元のデータの嚥下計測したデータと一致すれば正解、不一致ならば不正解とする。一般的に嚥下にかかる時間は1秒未満なのでサンプリング周波数：25kHz、サンプリング周期：40 $\mu$ s、データ点数40000点(1.6秒間計測)、分解能0.6Hzの1.6秒間で計測する。ダウンサンプリングは1/10(2.5kHz)で本実験の計測する最大周波数である750kHzはナイキスト周波数に収まる。



図2 高感度圧力センサと装着例

4. 実験結果及び考察

表1に周波数別の正答率の結果を示す。正解だった場合を1、不正解だった場合を0とカウントし、平均を出したものである。1-20Hzの範囲での正答率の結果がほかのすべての周波数と比較すると高くなった。また、粘性が最も大きいと考えられる餅の正答率の結果が安静状態を除いて最も高い値になった。最も正答率の高い(b)1-20Hzと対極の(c)20-100Hzの判定の内訳をそれぞれ表2,表3に示す。(b)1-20Hzでは、各粘性で観測データと推定結果が一致している数がすべてにおいて多いことが分かることに対して、(c)20-100Hzでは安静状態は判定できているものの、そのほかの粘性では観測データと推定結果が一致している数が少ない。このように各粘性で判定ができていたので表1のように(b)1-20Hzでの正答率の結果が高くなっていると考察する。

今後は、被験者とデータ数を増やし、結果の精度をあげることで、DTWを行う際にデータ数が多いほど時間が膨大になってしまうため短時間で行うことができるDTWのテンプレートの作成が課題である。

表1 周波数別の正答率一覧

	嚥下無	お茶	増粘	餅	平均
(a)全周波数領域	0.98	0.63	0.47	0.57	0.66
(b)1-20 Hz	1.00	0.75	0.52	0.78	0.77
(c)20-100 Hz	0.98	0.48	0.33	0.28	0.51
(d)50-150 Hz	0.87	0.58	0.40	0.52	0.59
(e)400-750 Hz	1.00	0.63	0.43	0.47	0.63

表2 (b)1-20 Hzの推定結果内訳

真値 \ 推定値	嚥下無	お茶	増粘	餅
嚥下無	70	3	0	0
お茶	0	52	27	9
増粘	0	9	37	4
餅	0	6	6	57

表3 (c)20-100 Hzの推定結果内訳

真値 \ 推定値	嚥下無	お茶	増粘	餅
嚥下無	69	1	5	0
お茶	1	35	30	28
増粘	0	19	22	23
餅	0	15	13	19

参考文献

- [1] 内閣府：平成25年版高齢社会白書。
- [2] 厚生労働省：人口動態調査。平成25年 [http://www.caa.go.jp/safety/pdf/131218kouhyou\\_1.pdf](http://www.caa.go.jp/safety/pdf/131218kouhyou_1.pdf)
- [3] 厚生労働省：食品による窒息の現状把握と原因分析。平成19年
- [4] 新妻可奈子, 本橋由香, 佐藤敏夫, 川島徳道, 阿岸鉄三, 小見勝利：“喉表面の動きを撮影したビデオ画像及び嚥下音の同期記録・解析装置による非侵襲嚥下機能評価”，第47回日本人工臓器学会大会，2009。
- [5] 関弘和, 堀洋一：“高齢者モニタリングのためのカメラ画像を用いた異常動作検出”，電気学会論文誌D, Vol.122, No.2, 182-188, 2002。
- [6] 南條宏基, 鍋木崇史, 栗原陽介”喉頭挙上運動および嚥下音計測のためのセンシングデバイスの開発および動的時間伸縮法による嚥下の分類” 情報処理学会第77回全国大会2014。

Development of laryngeal elevation movement, swallowing sound measurement and frequency analysis by using high sensitive pressure sensor

Kensuke Iwasaki Takashi Kaburagi Yosuke Kuriara

Aoyamagakuin University of Science and Engineering Kurihara Lab