

平成 30 年 6 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00781

研究課題名(和文) 画像処理を用いた嚥下計測装置の開発ととろみ食品調整指針の提案

研究課題名(英文) Development of swallowing measurement system using image processing and research of food viscosity modifier guideline

研究代表者

加藤 邦人 (KATO, Kunihito)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号：70283281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：非接触、非侵襲で、体の拘束も緩やかな高精度嚥下評価システムの開発を行い、健康被験者の甲状軟骨の運動データ収集を行った。これを評価データとして、甲状軟骨の凹凸が微小な被験者において、喉表面のわずかな変化を画像特徴量として抽出し、甲状軟骨の挙上位置を計測する手法の開発に取り組んだ。さらに、嚥下波形から飲み込みやすさの評価手法の開発を行った。

岐阜大学医学部にて、開発した嚥下評価システムで嚥下障害患者の撮影を行った。患者は女性の高齢者であったため明確な嚥下波形を得ることはできなかったが、カメラのセッティングや照明などの撮影方法や、飲料の提示、嚥下開始の指導方法など撮影時に必要となる知見を多数得た。

研究成果の概要(英文)：We developed a highly accurate swallowing evaluation system that is noncontact, noninvasive, gentle restraint of the body, and collected motion data of thyroid cartilage of healthy subjects. Using this as evaluation data, we developed a method to measure the elevation position of thyroid cartilage by extracting a slight change of the throat surface as an image feature in subjects with small change of thyroid cartilage. Furthermore, we developed a method to evaluate swallowability from measured swallowing waveform.

At the Gifu University School of Medicine, we collected data of a patient with dysphagia by developed system. Although the patient was an elderly female, it was not able to obtain a clear swallowing waveform, but we got knowledge for system settings such as camera setting and lighting, presenting beverages, guidance on starting swallowing etc.

研究分野：画像認識

キーワード：嚥下計測 法線ベクトル計測 リアルタイム3次元計測 嚥下障害

1. 研究開始当初の背景

現在、日本では高齢化が進んでおり、医療現場において摂食・嚥下障害が問題になっている。摂食・嚥下障害は、栄養状態の低下、誤嚥性肺炎、窒息、食べる楽しみの喪失などの原因となる。現在の医療現場では嚥下機能の評価に反復唾液嚥下テスト (RSST) や嚥下造影検査 (Video Fluorography : VF) が用いられている。前者は簡単に行えるという利点があるが、触診検査であるため嚥下運動に影響を与える可能性がある。後者は精密に診断することが可能であるが、レントゲンを照射するため被爆や、造影剤を誤嚥するという危険性がある。そのため非接触かつ安全な検査方法の開発が求められる。

これらを解決するため、より安全な計測方法が研究されている。3次元距離センサを用いる方法、ならびに喉に圧力センサを取り付ける方法等が知られている。3次元距離センサを用いる方法は簡便ではあるが、被験者の体を強く拘束する必要があり、不自然な嚥下運動となりやすい。また、喉にセンサを取り付けるとセンサが通常の嚥下を阻害し、正確な計測が困難となる。

他方、我々は画像処理を用いた非接触型嚥下計測法を考案し、健常者の飲料の嗜好を評価する研究を行ってきた。その方法は、3台の不可視な近赤外光照射装置とカメラを用いて、照度差ステレオ法により喉表面の3次元法線ベクトルをリアルタイムで計測するものである。これで計測した3次元の表面情報を基に甲状軟骨の突起部 (喉仏) 周りのプロフィールの画像処理により、健常者の嚥下状態の計測を可能にした。

2. 研究の目的

この非接触型嚥下計測法は、健常者の飲み込みやすさの評価を目的としていたもので、嚥下障害を持つ高齢者へ適用するのは難しかった。そこで、新たに高精度な非接触型嚥下計測装置を開発し、喉の皺で観測が難しい高齢者へも適用できるようにすることを目的とした。そのために、高精度のカメラシステムと、甲状軟骨を安定して追跡できる画像処理システムの構築を行った。この非接触型嚥下計測により得られた嚥下波形より、甲状軟骨を安定して追跡できる画像処理アルゴリズムの開発を行い、飲み込みやすさと嚥下運動の関係を明らかにし、飲み込みやすさ指標を定量的に求めることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 高精度嚥下計測装置の開発

嚥下計測装置の精度向上のため、照度差ステレオ法を用いた高精度な面法線ベクトル計測方法の開発を行った。現在の8bit (256階調) カメラセンサーから18bit (262,144階

調) カメラセンサーへ変更を行うことにより、面法線ベクトル計算精度の大幅な向上を行った。図1に高精度非接触型嚥下計測のシステム詳細を示す。光源に3波長の近赤外線を採用し、その波長と同じバンドパスフィルタを18bit カメラセンサーの前に設置することで、リアルタイムに照度差ステレオによる法線ベクトル計測が行える。

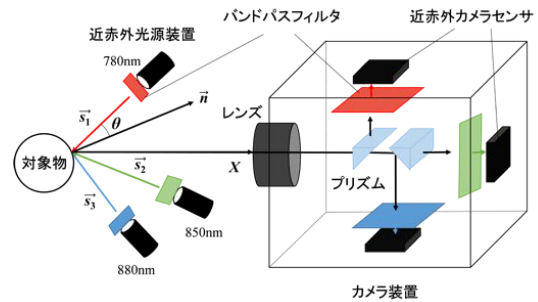


図1 システムの詳細

(2) 甲状軟骨位置の高精度追跡画像認識アルゴリズムの開発

高精度嚥下計測装置により計測された3次元法線ベクトル情報から、甲状軟骨がどこまで挙上したかの検出を行う画像認識アルゴリズムの開発を行った。(図2)。

まず、喉表面上に観測グリッドを設置し、その各グリッド点での法線ベクトルの変化を計測する。初期フレーム(1フレーム目)と、tフレーム目での法線ベクトルのx-y方向の変化量を求め、細かな喉方面のブレを低減するために、これを8方向へ符号化する。

次に、喉表面の法線ベクトルは、甲状軟骨を中心に同心円状に広がっているはずなので、隣接するグリッド間で差分を行い、さらに甲状軟骨の位置周辺において差分された2つの法線ベクトルの角度変化量の差は180°に近くなるはずなので、180°ほど高い値となるような変換を行なった後、甲状軟骨位置の画像特徴とする。

最後に、グリッドと同サイズの投票空間を作成し、各フレームで画像特徴が最大となる点を投票することにより、投票が最大となったグリッド点が甲状軟骨が挙上した最高位点として検出する。

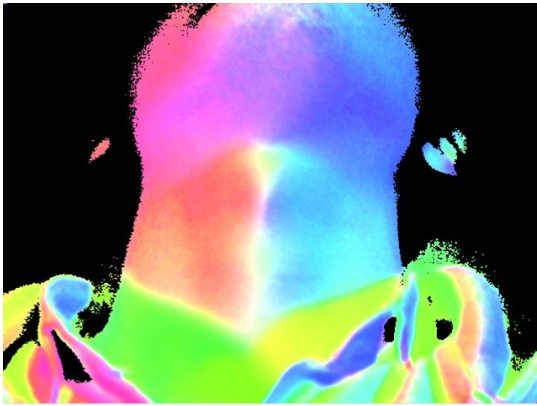


図2 高精度嚥下計測装置により得られた
3次元法線ベクトル情報

(3) 飲み込みやすさの評価手法の開発
飲み込みやすさの評価手法として、PLS 回帰分析による飲み込みやすさ評価手法について研究を行った。ここでは、だれもが飲み込みやすい飲料は常温の水であると仮定し、高精度非接触型嚥下計測システムにより計測された嚥下波形が、常温の水を嚥下したときの波形に近づけば飲み込みやすいと判定する。
まず、高精度非接触型嚥下計測システムで得られた嚥下波形に短時間フーリエ変換を行い図3のような周波数画像とする。この周波数画像を特徴量として、PLS 回帰分析を行い低次元に圧縮する。このとき常温の水のデータに対する目的変数を +1、飲み込みにくい飲料を摂取したときのデータを -1 とすることで、2つのデータをより良く分かる低次元空間に圧縮する。この低次元空間上で常温の水と摂取した飲料との距離を比較することで、どれくらい水に近い、すなわち飲み込みやすいかを評価する。

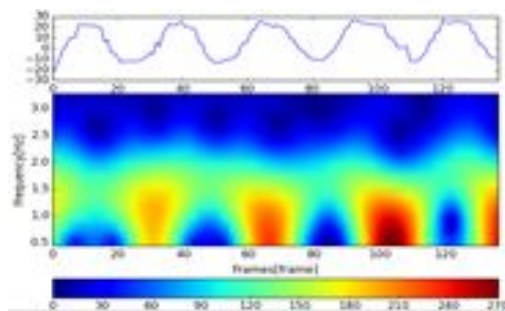


図3 短時間フーリエ変換による
嚥下波形特徴

4. 研究成果

(1) 高精度嚥下計測装置

本研究により、高精度嚥下計測装置を開発した。このカメラシステムにより、従来システムに比べ大幅な法線ベクトル計測精度の向上を実現した。また、光源として3波長の近赤外光を用いることで、被験者に眩しさを感

じさせず計測することが可能となった。さらに、データ取得プログラムの改良によりシステム全体の高速化を行い、喉表面の3次元法線ベクトルを1秒間に30フレームで計測することを実現した。図2に開発した高精度嚥下計測装置システムを示す。



図3 高精度非接触型嚥下計測システム

(2) 甲状軟骨位置の高精度追跡画像認識アルゴリズムの精度評価
甲状軟骨位置の高精度追跡画像認識アルゴリズムを開発し、20代の男性被験者14名を対象に、以下の方法で精度評価実験を行った。まず、被験者には5mLの水を口に含ませた。次に、椅子の背もたれで後頭部を固定し、頭部が動かないようにする。その状態で嚥下させ、これを撮影した。実験条件を表1に示す。撮影した動画像から目視によって甲状軟骨がどこまで挙上したのかを確認し、これを真値とした。

表1 精度評価実験条件

飲料	ミネラルウォーター
嚥下量	15[mL]
水温	20[]
気温	24.1[]
湿度	28[%]
カメラからの距離	33.5[cm]
フレームレート	30[fps]
解像度	1280 × 1024

推定された挙上距離と真値との誤差の割合が10%以下の被験者を推定できた被験者、それ以外を推定できなかった被験者としたとき、推定成功は14名中8名、推定できなかった被験者は6名となった。

図4、5に正しく推定が行えた被験者の例を示す。この被験者は、平常時の甲状軟骨の突出は軽微であり、挙上時の甲状軟骨の突出具合も軽微であった。しかし、目視で確認できる程度に突出しており、推定結果も目視とおおよそ一致する結果となった。

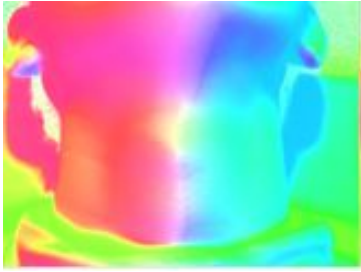


図 4 推定が正しく行えた被験者の
平常時の喉

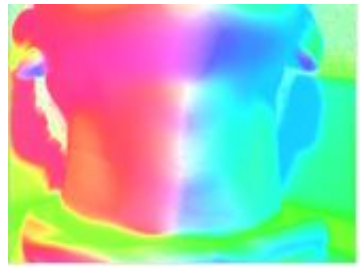


図 5 推定が正しく行えた被験者の
最も挙上したときの喉

一方、正しく推定できなかった被験者の例を
図 6、7 に示す。この被験者の平常時の甲状
軟骨の突出は中程度であるが、挙上時には甲
状軟骨が完全に喉に隠れてしまっている。こ
の被験者は目視でも確認が困難であった。平
常時と嚥下時の差から甲状軟骨特有の変化
も抽出できなかった。そのため、目視による
真値と推定結果は大きく離れた結果になっ
た。喉が完全に隠れているため真値の観測点
に投票できず、喉の皺で法線ベクトルが変化
した観測点に投票をしているため誤推定を
起こしたと考えられる。

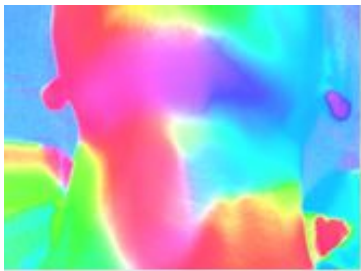


図 6 推定が正しく行えなかった被験者の
平常時の喉

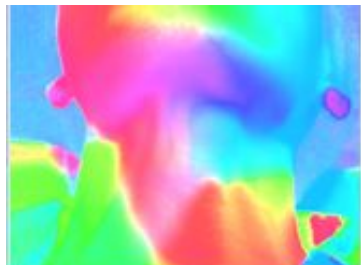


図 7 推定が正しく行えなかった被験者の
最も挙上したときの喉

以上のように、推定に失敗した例は甲状軟骨

が顎の奥に入る、脂肪がついているため甲状
軟骨が見えづらい等の被験者であり、軽微な
がら観測できる被験者では推定が正しく行
われることを確認した。

(3) 飲み込みやすさの評価手法

普通に飲み込んでいる状態は常温の水を普
通に嚥下した状態であると仮定し、逆に普通
に飲み込めない状態を口渇状態として比較
実験を行った。

実験では、健常者の被験者にクラッカーを摂
取させ口渇状態にした場合と、常飲状態の 2
つの状態で飲料を好きなだけ飲ませ、その嚥
下運動を計測した。その途中で VAS 法
(100mm)によるアンケートに答えさせ、口
渇状態の指標とした。クラッカーは十分口の
中が乾くよう 6 枚食べさせた。被験者は 20
歳代男性の健常者 1 名で、同じ実験を 10 回
行った。常飲状態の 10 サンプルと口渇状態
の 10 サンプルの計 20 サンプルで分類を行っ
た。

撮影によって得られた嚥下波形に前処理を
施し時間周波数解析を行った。短時間フー
リエ変換では、0.4 ~ 2.5[Hz]を 0.2[Hz]刻みで使
用した。図 8 に短時間フーリエ変換の結果を
示す。

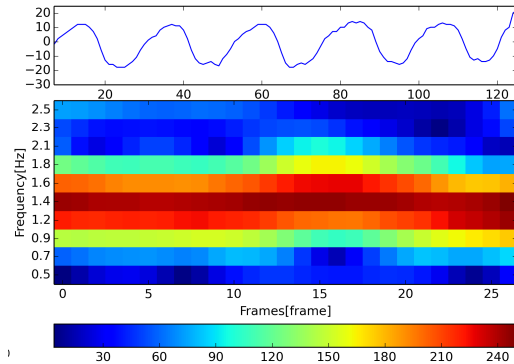


図 8 短時間フーリエ変換の結果

時間周波数解析によって得られた嚥下の特
徴を目的変数とし、常飲状態のサンプルの従
属変数を 1、口渇状態のサンプルを -1 とし
て、PLS 回帰分析によって分析を行った。そ
の際、交差検定法によって圧縮次元数の決定
を行った結果、最適圧縮次元数は 4 次元とな
ったが、本研究では可視化して比較するため
に、圧縮次元数を 2 次元に設定した。

次に、PLS 回帰分析により求めた 1 次元目
と 2 次元目のローディングに射影したスコア
を計算し、サンプルごとにプロットした。結
果を図 9 に示す。図中の青い点は常飲状態
のサンプルを表し、赤い点は口渇状態のサ
ンプルを表す。次に、サンプルデータが 2 次
元の正規分布をすると仮定して、70%の信
頼楕円を口渇クラス、常飲クラスそれぞれに
描画した。プロットした VAS アンケートの値は、

飲料を飲む直前の指標である常飲状態時の実験前の結果と口渇状態時の負荷後の値である。また、赤の円が口渇状態、青の円が常飲状態であり、大きな赤円は口渇クラスの重心を大きな青円は常飲クラスの重心をそれぞれ表している。

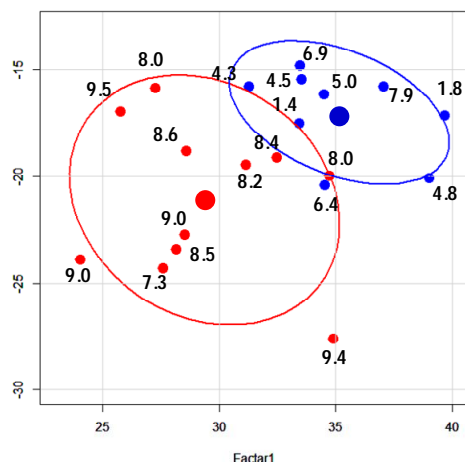


図9 PLS回帰分析による圧縮された2次元空間の結果

図9より、本手法は口渇状態と常飲状態を非常に明確な2つのクラスに分離できる結果を得た。これ空間上で、嚥下波形が常飲状態であるのか、口渇状態であるのかを距離として測れることを確認した。

(4) 嚥下障害被験者の計測

岐阜大学医学部の協力のもと、開発した嚥下評価システムで嚥下障害患者の撮影を行った。患者は女性の高齢者で、軽度の嚥下障害がある患者である。

本システムを用いて嚥下波形の撮影を行ったが、明確な嚥下波形を得ることはできなかった。まず、レントゲン室ではカメラのセッティングや照明などの撮影方法の設置位置が限られる問題があった。また、事前に実験の内容について説明を行ったが、高齢の被験者に実験の意図を明確に伝えることは難しく、飲料の提示、嚥下開始の指導方法などに問題があり撮影タイミングをとることが難しかった。

しかしながら、実際の患者を用いてデータ撮影を行う際に必要となる知見を多数得ることができた。

<引用文献>

村 絵美、飛谷謙介、加藤邦人、永井 元、非接触型嚥下運動計測システムを用いたおいしさ評価法の構築，日本味と匂学会第47回大会、112，(2013)

S. Wold, M. Sjöström, and L. Eriksson: "PLS-regression: a basic tool of chemometrics," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol. 58,

pp. 109–130, (2001)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

犬飼純平、加藤邦人、David Harwood、Larry S. Davis、PLS回帰分析を用いた重み付き一般化Hough変換、精密工学会誌、査読有、Vol.83、No.12、2017、1139-1147

服部哲也、加藤邦人、PLS回帰分析を用いた近赤外光物質判別及び最適波長選択手法、精密工学会誌、査読有、Vol.83、No.2、2017、158-166

長谷部瑛久、加藤邦人、棚橋英樹、平湯秀和、高階調照度差ステレオ法による高精度凹凸傷検査、精密工学会誌、査読有、Vol.83、No.12、2017、1148-1155

〔学会発表〕(計18件)

大口裕一郎、加藤邦人、喉表面の法線ベクトルの変化を用いた嚥下機能評価、動的画像処理実利用化ワークショップDIA2018、査読有、2018、OS1-3

Junpei Inukai、Kunihito Kato、David Harwood and Larry S. Davis、Weighted Generalized Hough Transform by Using Partial Least Squares Regression Analysis、24th International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV2018)、査読有、2018、01-2

Chisa Kodama、Kunihito Kato、Satoshi Tamura、Satoru Hayamizu、Swallowing function evaluation using deep-learning-based acoustic signal processing、APSIPA ASC 2017、査読有、2017、TA-P3.15

児玉千紗、加藤邦人、田村哲嗣、速水悟、音響信号処理による嚥下タイミング推定手法、計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門 LE2017、査読無、2017、139-142

Akihisa Hasebe、Kunihito Kato、Hideki Tanahashi、Hidekazu Hirayu、Dent Detection Method by High Precision Photometric stereo、平成29年電気学会電子情報・情報・システム部門大会 Student Session、査読無、2017、SS3-2

Akihisa Hasebe、Kunihito Kato、Hideki Tanahashi、Naoki Kubota、Dent Detection Method by High Gradation Photometric Stereo、International Conference on Quality Control by Artificial Vision

2017 (QCAV2017) 、 査 読 有、 2017、
103380P-1-8

犬飼純平、加藤邦人、David Harwood、
Larry S. Davis、PLS Hough 変換による
自動車検出への特徴選択の導入、動的画
像処理実利用化ワークショップ DIA2017、
査読有、2017、OS1-1、1-6

Junpei Iukai、Kunihito Kato、David
Harwood、Larry S Davis、A Study of
Weighted Generalized Hough Transform
by Using Partial Least Squares
Regression Analysis、International
Workshop on Advanced Image Technology
2017、査読有、2017、SESSION 1D

長谷部瑛久、加藤邦人、棚橋英樹、窪田
直樹、高階調照度差ステレオ法による高
精度凹凸傷検査、電気学会研究会知覚情
報/次世代産業システム合同研究会、査読
無、2016、5-10

服部哲也、加藤邦人、近赤外物質判別法
における最適波長選択と実環境下への応
用、ビジョン技術の実利用ワークショッ
プ ViEW2016、査読有、2016、162-163

大口裕一郎、加藤邦人、村絵美、3-IR 照
度差ステレオ法を用いた嚙下運動の評価、
LIFE2016、査読無、2016、3P2-A07

犬飼純平、加藤邦人、David Harwood、
Larry S. Davis、PLS Hough 変換による
衛星画像からの自動車検出の検討、電気
学会研究会 知覚情報/次世代産業シス
テム合同研究会、査読無、2016、23-28

Junpei Inukai、Kunihito Kato、David
Harwood、Larry S. Davis、Improvement of
Vehicle Detection Method by Using PLS
Hough Transform、平成 28 年 電気学会 電
子情報・情報・システム部門大会
Student Session、査読無、2016、SS2-7

犬飼純平、加藤邦人、David Harwood、
Larry S. Davis、PLS Hough 変換による
衛星画像からの自動車検出の改良、第 22
回画像センシングシンポジウム
SSII2016、査読有、2016、IS2-33

Yuta Ito、Kunihito Kato、Hideki
Tanahashi、Hidekazu Hirayu、Dent
detection method by photometric stereo、
International Workshop on Advanced
Image Technology 2016、査読有、2016、
2B-3

Tetsuya Hattori、Kunihito Kato、
Near-infrared light material

discrimination method by using PLS
regression analysis、International
Workshop on Advanced Image Technology
2016、査読有、2016、3B-6

伊藤優太、加藤邦人、棚橋英樹、平湯秀
和、18bit カメラ照度差ステレオによる
高精度凹凸傷検査、ビジョン技術の実利
用ワークショップ ViEW2015、査読有、2015、
52-53

服部哲也、加藤邦人、PLS 回帰分析を用
いた近赤外光物質判別手法及び最適波長
選択手法、ビジョン技術の実利用ワーク
ショップ ViEW2015、査読有、2015、
303-310

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 嚙下タイミング測定方法および嚙下タ
イミング測定装置

発明者: 加藤邦人、速水悟、田村哲嗣、児玉
千紗

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2017-103563

出願年月日: 2017 年 5 月 25 日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

<http://www.cv.info.gifu-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 邦人 (KATO, Kunihito)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号: 70283281

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

小川 宜子 (OGAWA, Noriko)

中部大学・応用生物学部・教授

研究者番号: 30139901

(4) 研究協力者

なし