

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K13028

研究課題名(和文)嚥下音の時間的・空間的分析と統計モデルによる嚥下機能情報収集システムの開発

研究課題名(英文) Monitoring of swallowing function by statistical model and by spatial temporal analysis of swallowing sound

研究代表者

西村 雅史(Nishimura, Masafumi)

静岡大学・情報学部・教授

研究者番号：60740363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：嚥下機能低下の早期発見は高齢者の健康維持のために大変重要である。本研究では音情報を活用し、侵襲性が低くかつ簡便で、日常的に利用できる嚥下機能情報収集システムに関する検討を行った。特に、日常生活の中で、摂食嚥下に関連する行動を長時間にわたって自動モニタリングする方法や、健診における嚥下機能テストを容易にするシステムを開発し、その有効性を実環境で評価した。さらに、咽喉マイクと集音マイクを併用したり、複数の咽喉マイクを縦方向に配置することで嚥下検出性能を改善できることを示した。また、嚥下造影検査で得られた誤嚥時の嚥下音データを詳細に分析することで、誤嚥自動検出の可能性についても検討した。

研究成果の概要(英文)：Early detection of symptoms of swallowing disorder is very important for health maintenance of the elderly. To realize a noninvasive and easy-to-use information gathering of swallowing function, we tried to utilize sound information. A long-time monitoring system of swallowing behavior in daily life and an evaluation system to carry out conventional swallowing function tests automatically were developed and evaluated in real environments. Furthermore, we achieved better performance in swallowing recognition by combining a throat microphone with a conventional acoustic microphone or with another throat microphone located in vertical position. We also examined possibility of automatic detection of miswallowing by analyzing recorded sounds of erroneous swallowing in detail.

研究分野：音声言語情報処理

キーワード：嚥下音 嚥下機能評価 嚥下自動検出 行動モニタリング 高齢者

### 1. 研究開始当初の背景

近年、日本における死因の第3位は肺炎である。肺炎による死者の9割以上が75歳以上の高齢者であり、また、そのほとんどが誤嚥性肺炎によるものと言われている。このため嚥下機能低下の早期発見は高齢者の健康維持のために大変重要であると考えられている。嚥下障害の診断には主に嚥下造影や内視鏡による検査が行われるが、高価な装置を必要とする上、侵襲性もあり、頻繁に利用できるものではない。一方、嚥下音の聴診や、嚥下機能に関連する簡便な検査によって嚥下機能低下の早期発見につなげようという試みが、医師だけでなく、看護師、言語聴覚士、歯科衛生士、介護士など、摂食嚥下障害に関わる様々な専門職の人たちによって行われている。しかし、これらの検査も音の聞き分けや測定には担当者の高い技能が必要とされ、必ずしも容易ではない。また、機能低下の早期発見には対象者についての長期の観察が欠かせないが、日常生活の中で、嚥下関連の情報を簡便に、かつ長期にわたって収集できるようなシステムはこれまで存在しなかった。特に、様々な雑音にも頑健で、かつ情報抽出精度の高いシステムが必要とされていた。

### 2. 研究の目的

嚥下機能低下の早期発見につながるような情報を収集可能なシステムの開発が本研究の目的である。このためには侵襲性が低くかつ簡便で日常的に利用できるシステムが必要だと考えられる。特に、本研究では音情報に着目することでこれらの目的の達成を目指す。音は長時間収録が容易である上に、多様な情報を含むことが知られている。ここでは通常の集音マイクで収録される空気伝導音に加えて、咽喉付近の生体振動を直接収録する咽喉マイクを用いることで様々な雑音に頑健で、かつ、情報抽出能力の高いシステムを開発し、嚥下機能の効率的なモニタリングの可能性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

高齢者の日常行動(会話や食事)を、咽喉マイクと集音マイクを用いて収録し、特に摂食嚥下に関連する部分を統計モデル等によって自動検出する。この方法を適用することによって24時間の日常行動音から関連する情報だけを自動抽出することができる。また、このようにして抽出されるデータは、評価だけでなく、嚥下や咀嚼といった各行動に対応させた統計モデルの学習データとしても活用できる。なお、局所的な行動判定には統計モデルを利用しているが、結果の統合処理には時間情報を考慮するため、LSTMを活用した。

また、同様の識別方法を嚥下機能の検診システムにも応用する。嚥下機能の検診では、オーラルディアドコネシスや、反復唾液嚥

下テストなど、嚥下障害のスクリーニングテストが実施されてきた。前者は一定時間内の単音節の発声回数、後者は空嚥下の回数をそれぞれ測定するもので、いずれも咽喉マイクの収録音を用いることで、検診会場のような高騒音下でも安定動作可能な自動測定システムを提供できる。実際に検診に用いて、その性能を評価した。また、ここでも多くの高齢者から正常嚥下音データを収集することでシステムの性能改善を図っている。なお、この検査システムは通常の嚥下検診だけでなく、嚥下機能回復訓練の効果を検証する研究でも利用した。今後は個人や施設などでも簡単に嚥下機能検査が実施できるシステムとして普及を図る。

一方、これまで嚥下音の分析は通常咽頭喉頭部の一箇所で行われていた。しかし、咀嚼音や嚥下音では食塊の移動とともに音源自体が順次移動するため、その移動も含めて、時空間的な特徴として捉えることができれば、より正確な識別が可能になると期待される。ここでは、2つの咽喉マイクを上下方向に装着することで嚥下動作の空間検出能力を改善することを試みた。

なお、最終的に日常生活での収録音から嚥下機能の低下を見出すには、嚥下の回数、頻度、時間長などの情報に加え、嚥下と咳やむせの相関、嘔声の有無など、様々な情報を抽出し、その変化を捉える必要があると考えている。一方で、可能ならば音から直接誤嚥を自動検出したい。誤嚥の疑いのある嚥下音やその前後の呼吸音を記録し、直接専門家の診断を仰ぐことが可能となるからである。ただ、たとえ先の情報収集システムを用いて大量の嚥下音を収集しても、誤嚥時の嚥下音を収集できる可能性は極めて低く、通常の機械学習手法を適用するのは困難である。そこで、嚥下造影検査時に誤嚥が確認された嚥下音を詳細に分析することで、その音響的特徴を明らかにした。

### 4. 研究成果

#### (1) 摂食嚥下に関わる行動の抽出結果

嚥下機能低下との関連が指摘されている、嚥下の強度、回数、時間長、嚥下前後の呼吸音、咳やむせの回数などの情報収集を高齢者の日常生活の中で効率よく実施するため、集音マイクと咽喉マイク及びICレコーダから構成される簡便な情報収集装置を作成した。まず、3人の高齢者(80代)がこの装置を24時間装着して得られたデータを人手で分析し、これらの音情報から、「話す」「食べる」「眠る」といった大局的な行動情報に加え、「会話」「独り言」「咀嚼」「嚥下」「呼吸」「いびき」「寝言」「咳やむせ」といった、様々な心身状況に関する情報が得られることを確認した。また、いずれの被験者からも長時間装着が負担でなかったとのコメントを得ている。

この予備的検討結果に基づき、この情報収

集装置を用いて、「食べる」に関わる行動を自動抽出する。被験者は6名の高齢者(65歳以上)で、集団での食事・会話を含む日常的な行動音をのべ288時間収録し、特に、昼食時間を含む計8時間のデータを対象として評価実験を行なった。なお日常生活の中では「食べながら話す」という状況も多く見られるが、2チャンネルの情報を利用することで、会話と食事を効率よく区別することができる。つまり、嚥下に関する行動は主に咽喉マイクで観測されるが、会話は両マイクで観測されるためである。また、これらの多チャンネル音響情報に基づき、GMM(Gaussian Mixture Model)によるフレーム単位の行動識別を行なったのち、RNNの一種であるLSTM(Long Short-Term Memory)を利用して識別結果の時系列データの統合を図り、「食べる」に関わる行動の検出精度を高めた。学習データ量が限定的であるため、いわゆるEnd-to-end型のDNNでは十分な性能が得られなかったが、このシステム構成を適用することによってF値は0.29(End-to-end)から0.76(提案手法)まで改善され、「食べる」に関わる日常行動の自動検出の可能性が示された。

#### (2) 時空間的特徴の利用

上記のシステムでは入力される2チャンネルの信号それぞれに対して機械学習を適用し、フレーム単位の行動(例えば、嚥下、咀嚼、発話、咳など)の識別をしていた。特に、摂食嚥下の一連の行動に関しては咽喉頭部の一箇所所収録された情報に基づいて識別を行っていたが、摂食嚥下に伴う音の生成メカニズムを考慮することで、さらなる性能改善が期待できる。具体的には、図1に示すように咽喉頭部の上部と下部付近にそれぞれ咽喉マイクを設置し、両者の信号成分の関係を調べることで、食塊の流れに伴って音源が移動する嚥下音と、音声(特に母音)など、固定位置の音源から生じる音を信号処理レベルで識別する。実際に両者の相互相関を分析することで、嚥下と発話といった識別を極めて高い精度で行うことが出来た。一方、咳など、嚥下音に近い相関値を示す行動もあり、これについては別の識別方法の適用が必要とされるが、パワー等を用いるだけで容易に対処できることも分かった。なお、ここでは主に信号処理レベルの処理だけでも高い識別性能が出せることを示したが、それぞれ

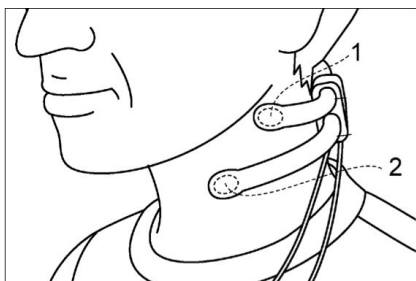


図1 2チャンネル咽喉マイクの装着方法

のマイクから得られる音響特徴量を機械学習処理することによって、さらなる識別性能改善を図ることもできると考えている。

#### (3) 嚥下機能検診の自動化

嚥下音等の識別システムを嚥下機能検診における測定に自動化に活用した。また、看護師や言語聴覚士などの専門家だけでなく、個人や施設などでも簡単に嚥下機能検査が実施できるよう、スマートホンアプリとして実装した(図2)。

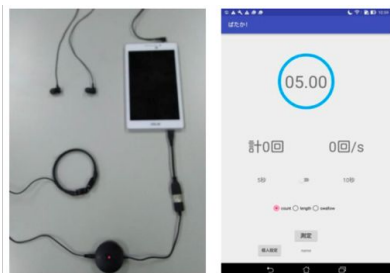


図2 検診システムの外観と測定画面

ここで実装した検査は次の3つである。

- 1) オーラルディアドコキネシス(OD) : /pa/, /ta/, /ka/ 3種類の単音節の、単位時間当たりの発声回数
- 2) 最大発声長時間(MPT) : 長母音の発声持続時間
- 3) 反復唾液嚥下テスト(RSST) : 単位時間当たりの空嚥下の回数

ODとMPTについては、咽喉マイクから得られる音声に対して、音声認識に用いられてきた入力レベルに適応的な音声区間検出アルゴリズムを適用することで、自動化を図った。特に、ODについてはこれまで人手による測定が大変困難とされ、測定誤差も大きいことが報告されていたが、本システムの適用によってF値0.99(被験者69名、騒音レベル61-81dB)となり、ほぼ完全な自動測定が実現できた。また、咽喉マイクを利用することで、既存の類似ソフトウェアで問題となっていた騒音環境下でも安定した動作を実現していることが分かる。

一方、RSSTについては上記実験において、適合率0.83、再現率0.95、F値0.89が得られた。被験者が言葉を発する、唾液を溜める際に様々な雑音が観測されるなどが誤認識の原因となっている。なお、嚥下回数については、専門家が喉頭挙上の観察によって確認しているものの、実際には喉頭挙上が起きても、嚥下が無いケースもあり、一定数の誤りが含まれていると考えられる。このため、実際よりも精度が低く見積もられた可能性がある。検出精度の確認方法については検討の余地が残る。

#### (4) 誤嚥の特徴分析

誤嚥の自動検出を最終的な目標として、嚥下造影検査時に嚥下音を同時収録している。ただ、嚥下造影検査は大病院であっても、頻繁に実施できるものではなく、また、誤嚥に伴う嚥下音が観測されるケースもその一部に過ぎない。また、被験者ごとに障害の程度

に違いがあり、観測される音も多様であるため、このデータに基づく機械学習ベースの識別は当面困難であると考えている。一方、このようにして観測されたデータを分析することで、誤嚥を特徴づける音響上の現象もいくつか見つかってきており、今後自動検出に役立つ特徴だと考えている。特に、誤嚥時の音の産生部位と観察された嚥下音の関係を精査したところ、嚥下障害を持つ患者の一部では嚥下音の第3音が消失するという現象を新たに確認することができた。これは食塊が正常に飲み込まれず、結果的に食道を通過しなかったことを意味している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 17 件)

1. 森野智子, 戸畑温子, 溝口奈菜, 健常者における訓練給の口腔機能向上に関する効果の検証, 日本老年歯科医学会第29回学術大会, 2018.
2. 山下大貴, 古川大輔, 村西幸代, 森野智子, 黒岩眞吾, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, GMMを用いた反復唾液嚥下テスト自動評価システム, 情報処理学会第80回全国大会, 2018.
3. Junpei Ando, Takato Saito, Satoshi Kawasaki, Masaji Katagiri, Daizo Ikeda, Hiroshi Mineno, Takashi Tunakawa, Masafumi Nishida, Masafumi Nishimura, Dietary and Conversational Behavior Monitoring by Using Sound Information, RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing 2018, 2018. (国際会議)
4. 安藤純平, 齊藤隆仁, 川崎仁嗣, 片桐雅二, 池田大造, 峰野博史, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, 咽喉音を用いた会話・摂食行動の認識, 電子情報通信学会技術研究報告, 2017.
5. Masafumi Nishimura, Use of Sound Information for Supporting the Elderly and the Disabled, The 2<sup>nd</sup> International Conference on Computing and Applied Informatics 2017, 2017. (招待講演, 国際会議)
6. 藤田祥太, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, 正常及び異常嚥下音の音響的特徴の分析, WiNF2017, 2017.
7. 安藤純平, 峰野博史, 西村雅史, 多元的音情報を用いた会話・摂食行動の認識に関する検討, 情報学シンポジウム 2017, 2017.
8. Yutaro Yamada, Takato Saito, Satoshi Kawasaki, Daizo Ikeda, Masaji Katagiri, Masafumi Nishimura, Hiroshi Mineno, Deep Learning-Based Water-Intake Estimation Method Using Second Half of Swallowing Sound, Proc. 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics 2017, 2017. (国際会議, IEEE CES West Japan Chapter Young Researcher Award 受賞)
9. 安藤純平, 齊藤隆仁, 川崎仁嗣, 片桐雅二, 池田大造, 峰野博史, 西村雅史, 多元的音情報を用いた会話・摂食行動の認識, 日本音響学会 2017 年秋季研究発表会講演論文集, 2017.
10. 古川大輔, 村西幸代, 高橋直樹, 藤田祥太, 西村雅史, 西田昌史, 黒岩眞吾, 食道入口部通過時に発生する嚥下音の分析, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会, 2017.
11. Yutaro Yamada, Takato Saito, Satoshi Kawasaki, Daizo Ikeda, Masaji Katagiri, Masafumi Nishimura, Hiroshi Mineno, A Deep-learning-based Method of Estimating Water Intake, The 12<sup>th</sup> IEEE International COMPSAC Workshop on E-Health Systems and Semantic Web 2017, 2017. (国際会議)
12. 安藤純平, 齊藤隆仁, 川崎仁嗣, 片桐雅二, 池田大造, 峰野博史, 西村雅史, 咽喉音を利用した会話・摂食行動の認識, DICOMO 2017, 2017.
13. 古川大輔, 村西幸代, 石渡智一, 長尾圭祐, 根本雅也, 香川哲, 高山亜希子, 山下大貴, 西田昌史, 西村雅史, 黒岩眞吾, 咽喉マイクを使用した摂食嚥下健診用アプリの開発, 第18回言語聴覚学会, 2017.
14. 山下大貴, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, 古川大輔, 村西幸代, 森野智子, 黒岩眞吾, 咽喉マイクを用いた嚥下機能検査システムの性能改善に関する検討, 情報処理学会第79回全国大会, 2017. (学生奨励賞受賞)
15. 山下大貴, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, 古川大輔, 村西幸代, 森野智子, 黒岩眞吾, 咽喉マイクを用いた嚥下機能検査システムの開発, 第14回情報学ワークショップ, 2016. (優秀論文賞受賞)
16. 安藤純平, 綱川隆司, 西田昌史, 西村雅史, 身体状況認識システムにおける音イベント検出方法に関する検討, 日本音響学会 2016 年秋季研究発表会, 2016.
17. 西村雅史, 安藤純平, 西田昌史, 咽喉音に基づく身体状況認識システムに関する検討, 第42回日本コミュニケーション障害学会学術講演会, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 2 件）

名称：嚙下音判定装置及び嚙下音判定方法  
発明者：西村雅史  
権利者：静岡大学  
種類：特許  
番号：特願 2017-168705  
出願年月日：2017 年 9 月 1 日  
国内外の別：国内

名称：嚙下情報提示装置  
発明者：西村雅史，黒岩慎吾  
権利者：静岡大学，千葉大学  
種類：特許  
番号：特開 2018-7723  
出願年月日：2016 年 7 月 11 日  
国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

西村 雅史 (NISHIMURA, Masafumi)  
静岡大学・情報学部・教授  
研究者番号：60740363

(2)研究分担者

森野 智子 (MORINO, Tomoko)  
静岡県立大学短期大学部・歯科衛生学科・  
講師  
研究者番号：20582703

西田 昌史 (NISHIDA, Masafumi)  
静岡大学・情報学部・准教授  
研究者番号：80361442