

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：50102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330338

研究課題名(和文)大規模いびき音の要約と可視化に基づく睡眠時無呼吸症の病態解析

研究課題名(英文) Analysis of Obstructive Sleep Apnea based on Visualization and Summarization of Massive Snoring Sound Data

研究代表者

三上 剛 (Mikami, Tsuyoshi)

苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・准教授

研究者番号：40321369

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：この研究では、いびきの音の特徴から睡眠時無呼吸症候群(SAS)を簡易診断する情報工学的手法の構築を目的として、SAS患者が一晚でかくすべてのいびき音の特徴について明らかにした。本研究では一晚でかくいびきの数が膨大なことから、類似した特徴の音をいくつかのグループに自動的に分類する大規模データ解析で用いられるクラスタリング手法を用いて、その特徴について解析した。その結果、いびき音は当初の予想より極めて多様であり、同じSAS重症度の患者であっても統一的に議論することが難しいことが判明した。そこで無呼吸が生じた直後にかいたいびきの非定常性に着目したところ、通常時のいびきとの差異が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：This study clarified the sound properties of all-night snores for the development of simple diagnosis tool for Sleep Apnea Syndrome (SAS). Many conventional studies have analyzed only partial data in all-night snores, and thus the results were different from each other. In this study, a data clustering method is applied to the FFT spectra of snoring sounds to extract the representative properties intrinsic to SAS. As a result, snoring sounds are quite various than expected in advance and thus it is difficult to discuss the acoustic properties of snoring sounds in SAS patients. On the other hand, it is also found that nonstationarity of post-apneic snoring sounds is higher than that of non-apneic snoring sounds.

研究分野：生体情報工学

キーワード：いびき 睡眠時無呼吸症候群 機械学習 非定常性

1. 研究開始当初の背景

いびき音は睡眠時無呼吸症候群 (SAS) の典型的な症状として知られており、その特徴には SAS 特有の性質が内在しているとの可能性が指摘されている。そのため、これまで多くの研究者がいびきの音響特徴の抽出に取り組んできたが、論文によって結果の差異が大きい。

その原因の一つとして、従来研究において分析対象としたデータは一晚の間でかくいびきの一部のみを取り出して分析したものが多く、一晚でかくいびき音全体を分析対象としたものは少なかったことに要因があると考えた。

2. 研究の目的

終夜に渡って録音したいびき音全体を見るとその波形にどの程度の多様性があるのか、また、どのような音響的特徴のいびき音がどのような生理学的要因により発現するのか明らかにし、睡眠時無呼吸症患者のいびきの音響的特徴はどのようなものか発見することを目的とする。このため、本研究では下記(1)~(3)を実施する。

- (1) 終夜に渡って連続的に録音した睡眠時の音データから、いびき音のみを切り出す作業を自動化する手法を構築する
- (2) Kohonen の自己組織化マップ (Self-Organizing Map, 以下 SOM) を用いて、(1)の手法により切り出したいびき音の音響的特徴を要約・可視化する手法を構築する
- (3) 要約・可視化した結果を用いて、睡眠時無呼吸症の重症患者のいびき音の音響特性について明らかにする。

(1)~(3)の具体的方法について3節で説明する。

3. 研究の方法

いびき音の収録は、国立病院機構函館病院の睡眠外来で検査を受け、重症 SAS と診断された6人の患者(被験者 A~F と呼ぶことにする)に対して行われた。睡眠ポリグラフの計測と同時にリニア PCM レコーダを用いて睡眠中のいびき音を録音した。尚、いびき音の録音とポリグラフのデータの使用方法については、同病院の臨床研究倫理委員会にて承認を受けた。

- (1) 終夜に渡って連続的に録音した睡眠時の音データから、いびき音のみを切り出す作業を自動化する手法を構築する

終夜録音した重症 SAS 患者の音データに対し、ある一定以上の音量を有する区間を切り取る。このような区間は必ずしもいびきとは限らず、咳払い、布団のずれ、寝言、屋外の雑音などが混入している。この切り取った区間をここではキャンディデートと呼ぶことにし、キャンディデートに対して「いびき」または「非いびき」の判定を行い、「いびき」

と判定されたもののみ取得する事を目指す。

このように抽出したキャンディデートに対して、「いびき」と「非いびき」を示す2クラスのパターン認識問題として分類器を構築する。分類器の入力として、キャンディデートのパワースペクトルから求めた特徴量を用いることにする。本研究では先ず Cavusoglu らの先行研究に基づき、パワースペクトルの10~2kHzの帯域を10分割にして各区分の平均を求めて10次元の特徴ベクトルを作成した。その後、主成分分析を用いて2次元の主成分空間に射影し識別処理を行った。識別器には k-Nearest Neighbor 法を用いた。

次に、主成分分析を行わず、10次元の特徴ベクトルをそのまま用い、識別器に k-NN 法とサポートベクタマシン (Support Vector Machine, 以下 SVM) を用いた(方法1)。また、キャンディデートを0.2秒の短時間窓で0.1秒の時間シフトで切り出した部分時系列のパワースペクトルに対し10次元の特徴ベクトルに変換し、各々の部分時系列を SVM で識別した結果を多数決で最終判定する手法を考えた(方法2)。尚、いびき音と非いびき音が正しく識別した割合で性能評価し、その計算は10分割交差確認法を用いた。

- (2) SOM を用いて、いびき音の音響的特徴を要約・可視化する手法を構築する

SOM を用いて、大規模いびき音の要約を行う。クラスタリングを行う対象はパワースペクトルで表されたいびきの1エピソードとする。すなわち、SOM の各ノードには、いびき音のパワースペクトルを要約したものが割り当てられ、かつ SOM の特徴により、類似したスペクトルが近傍ノードに割り当てられるように学習するため、分析が容易になるよう可視化される。

- (3) 要約・可視化した結果を用いて、重症 SAS 患者のいびき音の音響特性について明らかにする。

要約した結果から、重症 SAS 患者のいびき音に共通してみられる特徴について明らかにし、生理学的にどのようなメカニズムが背後にあるのか考察する。しかし、4節で詳細を説明するが、分析の結果、被験者間の差異がかなり大きいことが判明し、SOM の結果のみでは無呼吸患者の特徴を見出すことはできなかった。この結果を受け、下記(4)の方法で分析することにした。

- (4) 非定常な信号解析手法による post-apneic snores の定量評価

無呼吸から呼吸が回復した直後に発生するいびき (post-apneic snores, 以下 PAS) は、無呼吸患者に固有のものであり、定性的にも「喘ぐようないびき」などと形容されることがある。このいびきに着目し、通常睡眠時のいびき (non-apneic snores, 以下 NAS)

と比較し、無呼吸患者固有のいびき音の特徴を見出すことを考慮した。

手法として、いびき音の非定常性に着目し、瞬時的な周波数特性を算出することが可能な Hilbert-Huang 変換 (HHT) を採用することにした。算出された HHT スペクトルの時間変化を Kullback-Leibler ダイバージェンスを用いて定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) いびきと非いびきの弁別

いびきと非いびきの弁別には、当初は Cavusoglu らの先行研究の追試を行うことから始めた。その結果、いびきと非いびきは、いびき音の識別率 89%、非いびき音の識別率 62.5%となり、必ずしも Cavusoglu らの手法は有効ではないことが分かった。その理由は特に「いびき音」の定義にあると考えられる。明瞭なピッチを有する振動音のみをいびき音とする定義もあれば、振動音でない雑音でも人が聞いていびきと認知できるものはいびきとする立場もある。本研究では後者を採用したが、Cavusoglu らの研究ではその定義について明らかにしていない。

この先行結果の考察に基づき、10次元の特徴空間に対して主成分分析を行うことなくそのまま特徴量とした(方法1)。その結果、いびき音の識別率が91.0%、非いびき音の識別率が71.3%となり、Cavusoglu らの方法に比べ識別率が大幅に改善された(表1)。また、識別器としてSVMを採用した結果、いびき音の識別率はやや下がったが、非いびき音の識別率は79%に向上した。また、いびきを短時間のスライスに分割し、各々識別した結果を最終的に多数決で識別する手法(方法2)を用いた場合、いびき音の識別率は92%になったが、非いびき音の識別率は59.4%と著しく低下した。

表1 本研究で用いた手法によるいびき音と非いびき音の識別結果

いびき音/非いびき音の識別結果			
識別方法	識別器	最高識別率[%]	
		いびき音	非いびき音
方法1	k近傍法	91.0	71.3
	SVM	89.9	79.0
方法2	SVM	92.0	59.4

その後、

- 帯域を変えず特徴ベクトル次元を上げる
 - 着目する帯域をより高周波まで広げる
 - 特徴ベクトルの各要素を選択的に選ぶ
- など、様々な試みを行ったが、大きな性能の改善は見られなかった。そのため、いびき音の弁別という前処理の問題に関しては、本研究期間での解決が難しいと判断した。したがって、本研究の(2)以降におけるいびき音の

弁別作業は、すべて手作業により実施することにした。

(2) 終夜いびき音の多様性評価

Beck らの先行研究による知見に基づくと、いびき音には主要なピークが1つでそれ以外に2, 3の小さなハーモニック成分を有する「単純波形」(図1)、基本周波数とその倍音成分にほぼ同程度のピークが5つ以上存在する「複雑波形」(図2)がある。これに加え、明瞭なピークが判別できない「雑音波形」(図3)の3種類を加え、それらの波形が同一被験者で一晩にどれくらい含まれるのか検討した

まず、録音データは8時間程度に及ぶ長時間になるため、全体を2時間ずつ4分割して区間I~IVと定義し、各々の区間でクラスタリングを行うことにした。図4は被験者Eの区間IVに対するSOMマップである。これにより、SOMの左上には雑音波形、左下には複雑波形、中心~右上にかけて単純波形が現れている様子が見える。

このSOMマップを評価する方法は、全部で32個のグリッドに対し3種類のいびき波形の数をカウントし、それが区間I~IVでどのように変化するかを評価した。

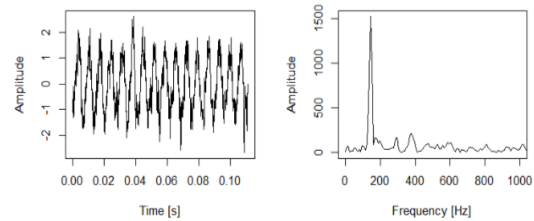


図1 単純波形のいびき音(左)とその振幅スペクトル(右)

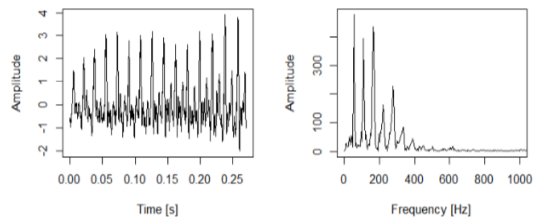


図2 複雑波形のいびき音(左)とその振幅スペクトル(右)

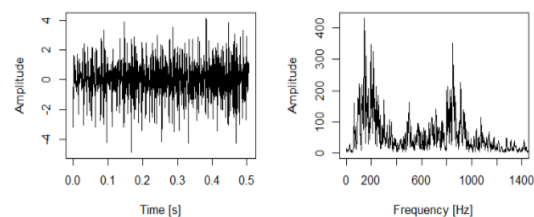


図3 雑音波形のいびき音(左)とその振幅スペクトル(右)

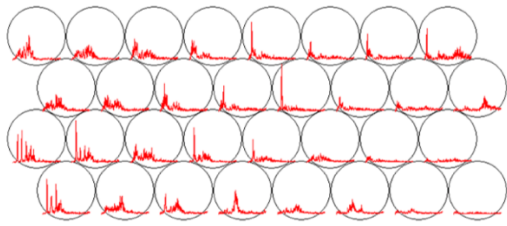


図4 SOM によるいびきスペクトルのクラスタリングの結果の一例 (被験者5, 区間IV)

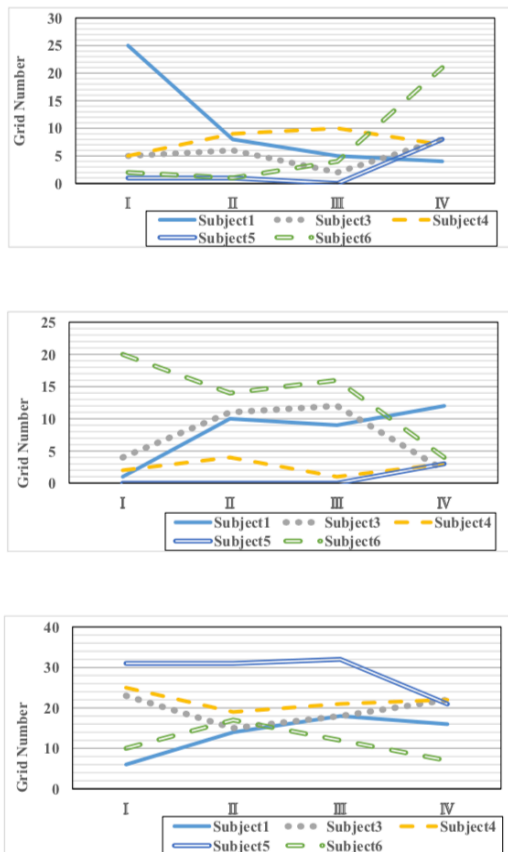


図5 単純波形, 複雑波形, 雑音波形のグリッド数の時間変化

図5はその結果を表す。尚, 被験者2はSOMでクラスタリングを行うに十分な数のいびきをかかなかつたため, 分析対象から外した。結果, 5人すべての被験者で, 区間I~IVにおける3種類の波形の分布に大きなばらつきがあり, 共通性が全く見られないという結果になった。

(3)要約・可視化した結果を用いて SAS 患者のいびきの音響特性に関する考察

Fizらの先行研究では, SAS患者には複雑波形が多くみられ, 単純いびき者には単純波形が多いという主張をしている。一方, 本研究の結果(図5)によると, すべてのSAS患者で3種類の波形が一定程度存在し, さらにその出現の仕方は個人差が極めて大きいことも判明した。さらにいびき音の波形についてより詳細に検討すると, いびきは書き始め

から終わりまでの間, 波形が定常的であることはむしろ稀で, 徐々に波形の特徴が変化するものがある一方, ある時点で急激に波形が変化するものもある。そして, そのような非定常な特徴は特に無呼吸が生じた前後で多く発生しているように見えた。このことが判明したことより, 3(4)で述べた方法により検討を行うことにした。

(4) 無呼吸後のいびき音の非定常性評価

3(4)で述べた手法を用いて, HHTスペクトルからKLダイバージェンスを計算し, スペクトルの時間変化について検討した(図6)。class0はPASを表し, class1はNASである。この結果, PASの方がKLダイバージェンスの値が高く非定常性が高いことがわかる。また図7によると, この非定常性は個人差が大きいことも確かであるが, どの被験者でもNASよりPASの方が非定常性が高いという特徴はすべての被験者で共通で見られた。

以上のことから, 個人差は大きいものの睡眠時無呼吸症患者固有のいびきの特徴は, 波形の「非定常性」に現れ, それはKLダイバージェンスを用いることで定量化することが可能であることが分かった。

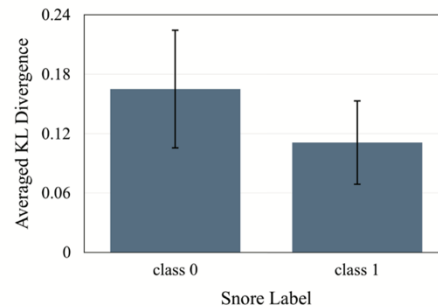


図6 class0 と class1 の平均 KL ダイバージェンスの値

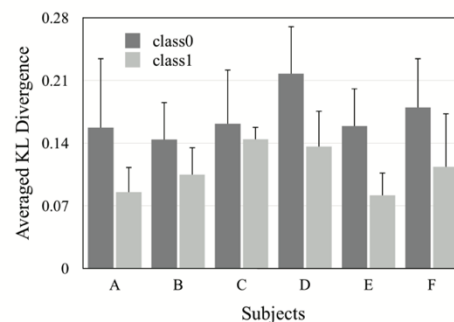


図7 被験者毎に算出した class0 と class1 の KL ダイバージェンスの値

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① H. Takahashi, T. Mikami, K. Yonezawa, "Analysis with Hilbert-Huang Transform for Post-apneic Snoring Sounds in Patients with Severe Obstructive Sleep Apnea", ICIC Express Letter, 査読有, Vol. 12, No. 4,

pp. 337-343, 2018

DOI: 10.24507/icicle.12.04.337

- ② T. Mikami, S. Ueki, H. Takahashi, K. Yonezawa, Detecting Nonlinear Acoustic Properties of Snoring Sounds using Hilbert-Huang Transform, Proc. of the 8th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies (BIOSTEC), 査読有, 2015

[学会発表] (計 17 件)

- ① T. Mikami, K. Yonezawa, Classification of Severe Obstructive Sleep Apnea based on the Morphological Evaluation of Upper Airway Soft Tissues in MR images, The 2nd Congress of Asian Society of Sleep Medicine, 2018 年 3 月
- ② S. Horiguchi, T. Mikami, Variety Evaluation of Overnight Snoring Sounds in Sleep Apnea Patients using Self-Organizing Map, The 2nd Int. Conf. of "Science of Technology Innovation", 2017 年 10 月
- ③ T. Mikami, K. Yonezawa, MR Image Analysis of Sagittal Tongue Shape in Patients with Obstructive Sleep Apnea, The 39th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC 2017) 2017 年 7 月
- ④ 堀口さくら, 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, SOM による重症 SAS 患者の終夜いびき音の多様性評価, 第 16 回複雑系マイクロシンポジウム, 2017 年 3 月
- ⑤ 堀口さくら, 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, SOM による重症 SAS 患者の終夜いびき音の多様性評価, 生体医工学シンポジウム, 2016 年 9 月
- ⑥ 荒木 毅, 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, SVM を用いた Sleep Sound データにおけるいびき音/非いびき音の識別, 生体医工学シンポジウム, 2016 年 9 月
- ⑦ T. Mikami, Y. Kojima, K. Yonezawa, A Comparative Study of Pattern Recognition Techniques for Classification of Oral and Nasal Snoring Sounds, 2016 Global Conference on Engineering and Applied Science 2016 年 7 月
- ⑧ 荒木毅, 三上 剛, 小島洋一郎, 米澤一也, サポートベクタマシンによるいびき音/非いびき音の識別手法の検討, 精密工学会春季大会学術講演会, 2016 年 3 月
- ⑨ T. Mikami, H. Takahashi, S. Ueki, K. Sakai, K. Yonezawa, Acoustic Feature Analysis of Overnight Snoring Sounds in Patients with Obstructive Sleep Apnea, The 4th International Pediatric Sleep Association Congress & The 1st

Congress of Asian Society of Sleep Medicine, 2016 年 3 月

- ⑩ 三上 剛, 米澤一也, 荒木 毅, 小島洋一郎, 自己組織化マップを用いた終夜いびき音の多様性の可視化と分析, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2015 年 12 月
- ⑪ 堀口さくら, 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, 重度 SAS 患者のいびき音の多様性に関する一考察, 情報処理北海道シンポジウム, 2015 年 10 月
- ⑫ 三上 剛, 米澤一也, 上気道 MRI における舌と軟口蓋の形態評価による重度 OSAS の鑑別, 第 69 回国立病院総合医学会 2015 年 10 月
- ⑬ 荒木毅, 三上 剛, Sleep Sound データにおけるいびき音/非いびき音の識別, 生体医工学シンポジウム, 2015 年 9 月
- ⑭ 荒木毅, 三上 剛, サポートベクタマシンによるいびき/非いびきの識別, 精密工学会北海道支部学術講演会, 2015 年 8 月
- ⑮ 荒木毅, 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, Sleep Sounds におけるいびきエピソードの自動抽出, 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 2014 年 12 月
- ⑯ 三上 剛, 米澤一也, 小島洋一郎, 山本雅人, Spectral Classification of Oral and Nasal Snoring Sounds using Pattern Recognition Methods, 生体医工学シンポジウム, 2014 年 9 月
- ⑰ 荒木毅, 三上 剛, 睡眠時の呼吸音からのいびきエピソードの自動抽出, 精密工学会北海道支部学術講演会, 2014 年 8 月 30 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三上 剛 (MIKAMI, Tsuyoshi)
苫小牧工業高等専門学校・創造工学科・准教授
研究者番号: 40321369

(2) 研究分担者

米澤 一也 (YONEZAWA, Kazuya)
独立行政法人国立病院機構函館病院(臨床研究部)・臨床研究部・その他
研究者番号: 20301955

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

高橋 弘毅 (TAKAHASHI, Hirotaka)
小島洋一郎 (KOJIMA, Yohichiro)
荒木 毅 (ARAKI, Tsuyoshi)
堀口 さくら (HORIGUCHI, Sakura)