

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00746

研究課題名(和文) ヒトの生活活動音の解析と異常検出システムの開発

研究課題名(英文) Study on Detection of Abnormality in Daily Life by Frequency Analysis of Indoor Activity Sound

研究代表者

田中 元志 (Tanaka, Motoshi)

秋田大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：50261649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：独居生活者の家庭内における事故などの異常検出を目的に、生活活動音(生活音)から異常候補を検出する方法について検討した。周波数帯域幅80 kHz、標本化周波数192 kHzで録音した日常生活音の時間-周波数解析を行った。解析帯域を15分割したサブバンドの電力を特徴ベクトルとして最長距離法で分類し、クラス毎に設定した領域の内と外で異なるシンボル(異常の可能性が無と有)を出力する確率モデルを作製した。異常を模擬した音を15個用意し、Spectral Flux、12次MFCCsのマハラノビス距離、確率モデルを用いて求めた音の発生確率を観察した結果、それらを異常候補として検出できる可能性が得られた。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate on a detection method of abnormality in daily life for persons living alone, time-frequency analysis of indoor activity sound recorded with 196 kHz sampling frequency and 80 kHz bandwidth was demonstrated. The frequency band of power spectrum up to 80 kHz was divided into fifteen subbands with bandwidth of 10 kHz, and the power in each subband, as a feature vector, was calculated. Using these feature vectors, stochastic modeling of daily life sound was discussed, and generation probability of the sound was obtained with the stochastic model. Then the detection algorithm of the abnormality was discussed using spectral flux, Mahalanobis' distance of 12 MFCCs (Mel Frequency Cepstral Coefficients), and generation probability of the sound, and fifteen sounds which included simulated abnormal situations were tested. The result indicated the feasibility of the detection method combining those three parameters.

研究分野：情報通信工学

キーワード：生活活動音 信号解析 異常検出 確率モデル

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者を含む独居生活者の増加に伴い、家庭内事故の頻度も増加している<sup>[1]</sup>。そのため、生活活動を離れたところで把握でき、迅速かつ適切に対応できるライフサポートシステム(見守りシステムなど)が求められている。これまで、一人暮らしの高齢者を対象とした見守りシステムがいくつか検討・開発されている<sup>[2]</sup>。それらは多数のセンサを必要とする場合が多い。また、カメラの場合は、生活者(被験者)が「見られている」と感じることが多い。音に着目した検討も行われている<sup>[3]</sup>。過去に発生していない音を異常音として検出している場合が多く、それが異常とは限らない。日常のすべての行動を把握しようとすると、膨大なデータベース、および高速な処理装置が必要である。また、異常な状況の発生を予測できないため、異常時の音の採取、およびデータベース化は困難である。

そこで、音の発生頻度に着目した。日常の生活活動に伴って発生する音は常時発生する音であり、発生確率が高い。一方、事故や異常は日常的に起こるものではなく、発生確率は非常に小さいと考えられる。音の発生確率から異常を検出する方法・システムが期待される。また、192 kHz など高いサンプリング周波数で録音可能な機器が市販されてきており、可聴帯域より高い周波数帯の調査および利用の検討が可能になった。

### 2. 研究の目的

高齢者を含む独居生活者の家庭内事故に対応できる見守りシステムが求められる。本研究では、家屋内での生活活動において発生する音(生活音)とその頻度(発生確率)に着目し、音から事故の有無などの状況を把握し、第三者に知らせるための異常検出システムの開発を大きな目的とする。具体的な目標を以下に示す。

- (1) 生活音を時間-周波数解析するときの条件(解析フレーム長など)を決める。
- (2) 日常生活音の広帯域周波数解析から特徴量を抽出し、生活音の確率モデル化を行う。
- (3) 周波数解析から得られる情報および発生確率を用いて、異常候補の検出方法を提案する。
- (4) 異常検出システムを試作する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 生活音の解析条件に関する検討

単独で発生する生活音の継続時間から、時間-周波数解析における解析条件を検討した。

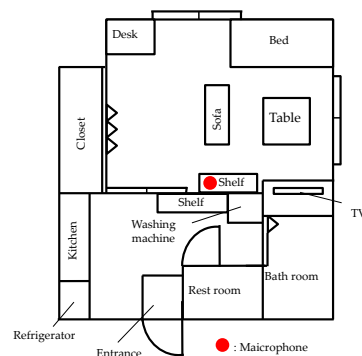


図1. 生活音の録音場所とマイクの配置

図1に示すように、一人暮らしの男性(23歳)の部屋に、マイクロフォン(周波数帯域0.02~20 kHz)とレコーダ(サンプリング周波数44.1 kHz, 量子化ビット数16 bit)を設置した。食事中、居間でくつろいでいるとき、料理中、掃除中の音をそれぞれ約15分間録音した。継続的に発生している音(ファンの音など)を除き、足音、ドアの開閉音、など計146個の音の継続時間を検出した。

#### (2) 生活音の広帯域周波数解析と特徴抽出

広帯域マイクロフォン(0.02~100 kHz)を図1に示すように室内に配置し、サンプリング周波数192 kHz, 16 bit(0.02~80 kHz)で生活音を録音した。被験者と録音場所は(1)と同じである。(1)の結果から解析フレーム長(ハミング窓)を500 ms, フレーム周期を250 msとして、時間-周波数解析を行った。パワースペクトルとMFCC(メル周波数ケプストラム係数)を求め、確率モデル化および異常検出に用いる特徴量について検討した。MFCCは、次数を24次として求め、リフタリング処理を行い、低次側12次を用いた。

#### (3) 異常候補の検出の試み

異常候補の検出に用いるパラメータとして、次の3パラメータを求めた。

##### ① Spectral flux (SF)

隣り合うフレーム間のスペクトル差分であり、音の変化が急激なほど大きな値となる。

##### ② MFCCのマハラノビス距離

12次MFCCsのマハラノビス距離を求めた。マハラノビス距離は標本平均との距離を表すことから、値が大きいほど異常の可能性が高いと考えられる。動的変化を検出するため、隣り合うフレーム間の差分 $\Delta D_m$ を求めた。

##### ③ 音の発生確率

日常生活音から確率モデルを作成し、それを用いて音の発生確率を求めた。

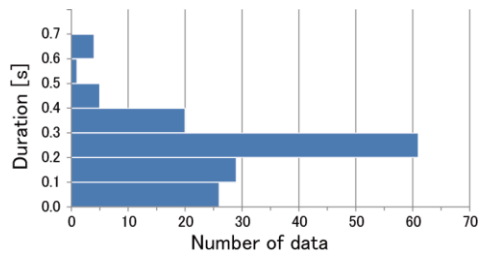
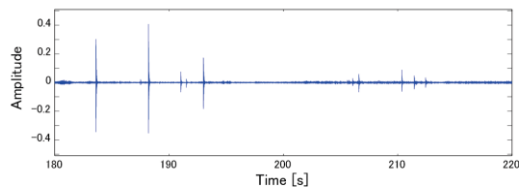
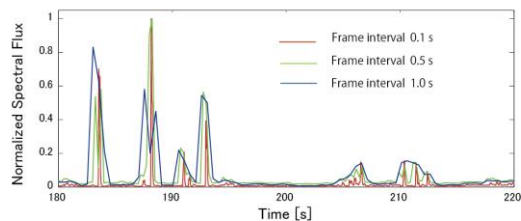


図 2. 単独で発生した音の継続時間の分布



(a) 生活音の時間波形



(b) Spectral Flux

図 3. 解析フレーム長を変えた場合の比較

異常を模擬した音として、確率モデルを作成した被験者で、「転倒後数分間動かない場合」10音と「悲鳴後に活動がある場合」5音（各約6分）を録音した。各音のSF,  $\Delta D_m$ , および発生確率を求め、イベント（転倒/悲鳴）とその後の活動の検出を試みた。

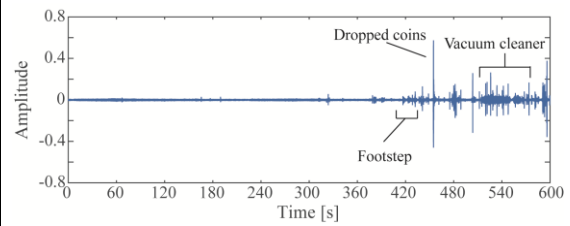
なお、(1)~(3)の解析および処理においては、Matlab を主に用いた。

#### 4. 研究成果

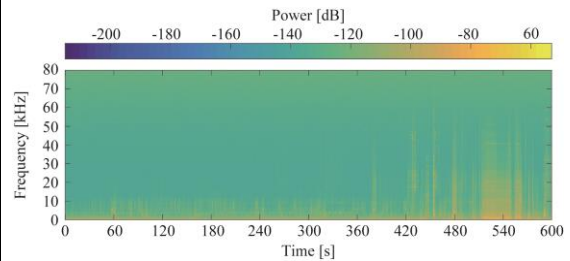
##### (1) 生活音の解析条件に関する検討

日常生活において個別に発生する計146個の音の継続時間の分布を図2に示す。検出した音の96.6%が0.5 s以下の継続時間であり、0.2~0.3 sにもっとも多く分布した。

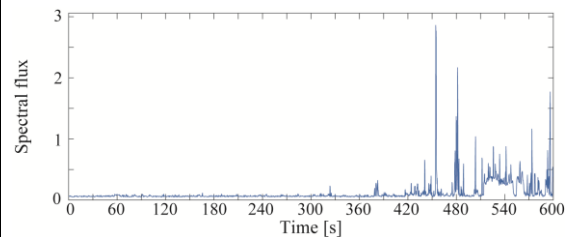
解析フレーム長（窓長）を、図2の継続時間分布から得られた結果を基に0.1, 0.5, 1.0 sとした場合について、FFTによる時間-周波数解析を行い、Spectral Flux で比較した。ハミング窓を用い、フレーム周期をフレーム長の1/2とした。時間波形例とそのSpectral Flux を図3に示す。フレーム長が0.1 sと短い場合は、音の変化を細かく検出している。一方、フレーム長が長い場合は、その変化の包絡を得るような結果となった。ヒトの行動に伴う音の発生の検出においては、フレーム



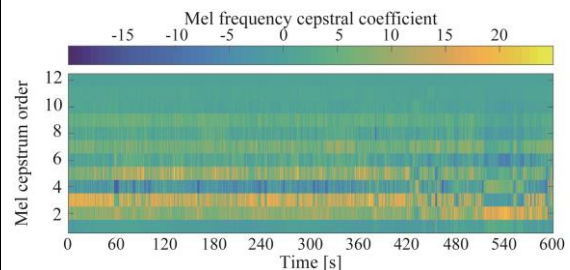
(a) 時間波形



(b) パワースペクトル



(c) Spectral flux



(d) 12次MFCCs

図 4. 生活音と抽出したパラメータの例

長を0.5 s (500 ms) 程度に設定してよいことが示された。

以降の解析では、フレーム長500 ms, フレーム周期250 msとした。

##### (2) 生活音の広帯域周波数解析と特徴抽出

広帯域マイクロフォンを用いて記録した一人暮らし男性宅内の生活音の時間-周波数解析を行い、パワースペクトルとMFCCを求めた。結果の例を図4に示す。(a)が時間波形、(b)がパワースペクトル、(c)がSpectral Flux、(d)が12次MFCCsである。約420 sから比較的に振幅の大きい生活音が発生しており、パワースペクトル、Spectral Flux, および12次MFCCsに変化が見られる。特

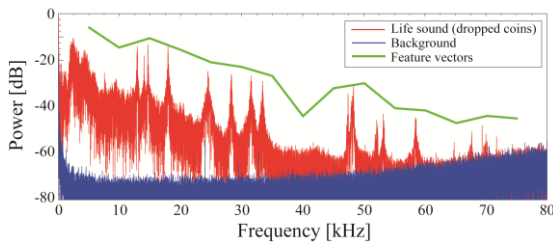


図 5. 生活音のパワースペクトルの例とその特徴ベクトル

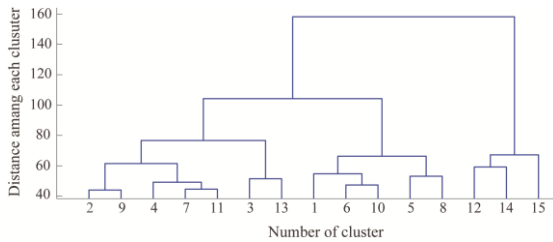


図 6. クラスタリングの結果

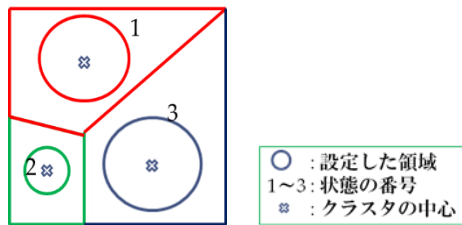


図 7. 確率モデルの説明図 (状態数 3 の例)

にパワースペクトルでは、音によって可聴周波数 (20 kHz) 以上においても周波数成分が確認できる。

パワースペクトルの帯域 80 kHz を 15 個のサブバンド (帯域幅 10 kHz, 三角窓, シフト幅 5 kHz) に分割し、各バンド内のパワーを算出した。パワースペクトルの例と、それから求めた特徴量を図 5 に示す。スペクトルの包絡情報が得られている。以降の検討ではこれら 15 個の特徴量を特徴ベクトルとして抽出することにした。

### (3) 生活音の確率モデル化と発生確率

約 6 時間の生活音を用いて、確率モデルを作成した。解析フレーム毎に特徴ベクトルを求め、最長距離法で 15 個のクラスタに分類した。結果 (樹形図) を図 6 に示す。本検討では、日常的な音と非日常的な音を区別するため、クラスタ毎に、殆ど (98%) の特徴ベクトルが含まれる領域を中心からの距離で設定した。そして、領域の内側と外側で 2 種類のシンボル (異常の可能性が無と有) を出力するモデル (図 7) とした<sup>4)</sup>。また、類似度が高く特徴ベクトル数が少ないクラスタ

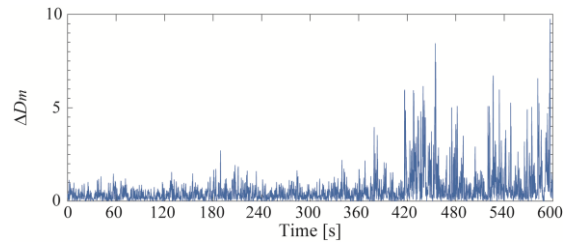


図 8. 12 次 MFCCs (図 4(d)) のマハラノビス距離の差分  $\Delta D_m$

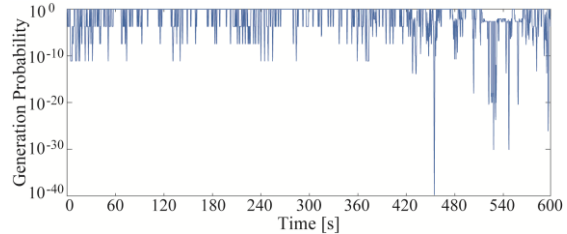


図 9. 生活音 (図 4(a)) の発生確率

を統合し、状態の数を 5 とした。

個別に発生する音の継続時間は 500 ms 以下が多いことから、3 フレーム間の状態遷移を見る 2 重マルコフモデルで考えた。この場合、時刻  $n$  における音の発生確率は

$$P_n = \pi_{n-2} \times b_{n-2} \times b_{n-1} \times b_n \times a_n \quad (1)$$

から求められる<sup>5)</sup>。ただし、 $\pi_{n-2}$  は状態遷移系列の最初 (時刻  $n-2$ ) の状態が  $q_{n-2}$  である初期状態確率、 $a_n$  は状態が  $q_{n-2}$ ,  $q_{n-1}$  と順に遷移した後に  $q_n$  に遷移する条件付確率、 $b$  は状態  $q$  においてあるシンボルが出力される確率である。

### (4) 異常候補の検出の試み

異常候補の検出に用いるパラメータとして、Spectral Flux (SF), 12 次 MFCCs のマハラノビス距離  $\Delta D_m$ , および音の発生確率を求めた。発生確率の算出には (3) で試作した確率モデルを用いた。図 4(a) の生活音の波形についての  $\Delta D_m$  と音の発生確率の算出結果を、それぞれ図 8 と 9 に示す。なお、SF は図 4(c) である。イベント (音の発生) に対応して各値が変化していることが確認できる。この 3 パラメータの時系列変化を観察し、異常の可能性が高いイベントの検出と、その後 5 分程度の各値の変化から異常候補を検出する方法を提案する。

異常を模擬した音として、「転倒後数分間動かない場合」10 音と「悲鳴後に活動がある場合」5 音 (各約 6 分) を用意し、上記 3 パラメータの時間変化を調べた。平静時の音 (約 1 時間) の各パラメータの最大値または

表 1. 異常を模擬した音についての検出結果

		SF	$\Delta D_m$	発生確率
活動無 転倒後	イベントの 検出	9	10	10
	イベント後 5分間の検出	0	1	0
活動有 悲鳴後	イベントの 検出	5	3	5
	イベント後 5分間の検出	2	4	4

最小値からしきい値(判別条件)を設定して、イベント(転倒/悲鳴)とその後の活動の検出を試みた。結果を表1にまとめる。SFと $\Delta D_m$ ではイベントの未検出が見られた。また、イベント後5分間の観察においても未検出および誤検出があった。全体的に、発生確率がよい成績であった。試験データ数が少ないが、これらのパラメータを組み合わせることで(例えば、多数決処理)、事故などの状況を検出できる可能性が示唆された。

#### (5) 異常検出システムの試作

上記の異常候補検出プログラムを搭載した、広帯域マイクロフォン、オーディオインターフェース、ノート型コンピュータで構成される可搬なシステムを試作した。しかし、本研究において生活音の確率モデル化に用いた方法では、使用するコンピュータの性能(メモリ容量など)によって学習データ量に制約を生じることが明らかとなった。

今後、装置の制約を受けない生活音の学習方法と、それをを用いた確率モデル化、より確度の高い異常検出アルゴリズムの検討が必要である。

#### <引用文献>

- [1] 内閣府, 平成 27 年版高齢社会白書, “平成 26 年度 高齢化の状況及び高齢社会対策の実施状況”, 2015
- [2] 例えば, 本谷亨寛, 中島一樹, 末松貴俊, 佐々木和男, “電子メールを利用した複数家族間での生活状態見守りシステム”, 生体医学, vol.47, no.4, pp.345-358, 2009.
- [3] 例えば, A. Ito, A. Aiba, M. Ito, and S. Makino, “Detection of Abnormal Sound Using Multi-Stage GMM for Surveillance Microphone”, 5th Int. Conf. on Information Assurance and Security, pp.733-736, 2009.
- [4] 田中元志, “異常検出のための屋内生活音確率モデルの一検討”, 電気学会全国大会, 3-049, 2014.
- [5] 中川聖一, “確率モデルによる音声認識”, 電子情報通信学会, 1998.

#### 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 7 件)

- ① 高田鳴, 入江建悟, 田中元志, “異常検出のための屋内生活音の特徴量に関する一検討”, 平成 30 年 電気学会全国大会, 2018 年 3 月 14 日, 九州大学(福岡市).
- ② 田中元志, 入江建悟, “屋内生活活動音の広帯域周波数解析による異常検出に関する一検討”, 平成 29 年 電気学会電子・情報・システム部門大会, 2017 年 9 月 8 日, サンポートホール高松(高松市).
- ③ K. Koiwa and M. Tanaka, “A Study on Feature Extraction of Footsteps and Drum Sound by Time-Frequency Analysis”, The 8th International Conference on Materials Engineering for Resources, 2017 年 10 月 27 日, 秋田ビューホテル(秋田市).
- ④ 入江建悟, 田中元志, “屋内生活活動音の広帯域音響信号の確率モデル化に関する一検討”, 2017 年 電子情報通信学会総合大会, 2017 年 3 月 23 日, 名城大学(名古屋).
- ⑤ K. Irie and M. Tanaka, “Feature Extraction and Clustering of Indoor Daily Life Sound by Broadband Analysis”, The International Conference on Electrical Engineering 2016, 2016 年 7 月 6 日, 沖縄県市町村自治会館(那覇市).
- ⑥ 入江建悟, 田中元志, “屋内生活活動音の広帯域周波数解析”, 2016 年 電子情報通信学会総合大会, 2016 年 3 月 18 日, 九州大学(福岡市).
- ⑦ 入江建悟, 田中元志, “屋内の生活活動音の解析条件に関する基礎検討”, 平成 27 年度 電気関係学会東北支部連合大会, 2015 年 8 月 28 日, 岩手県立大学(滝沢市).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

田中 元志 (TANAKA, Motoshi)  
秋田大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 5 0 2 6 1 6 4 9