

令和 6 年 5 月 13 日現在

機関番号：35409

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12748

研究課題名（和文）ベッド端マイクにより生成する音源分布の時系列変化をAI入力とする要介護者行動推定

研究課題名（英文）Action estimate of person in need of nursing care for which AI input is time series variation of sound source image generated by microphones at bed sides

研究代表者

仲嶋 一（Nakajima, Hajime）

福山大学・工学部・教授

研究者番号：80542068

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 500,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では要介護者や入院患者のベッドでの行動把握を目標に、行動音の音源分布像を深層学習への入力とし、この時系列変化によるベッド内での行動推定を試みた。ヘッドボードとフットボードの位置に4個ずつマイクを配した行動音収集系を構築してベッド内での行動音を取得し、取得したデータから深層学習への入力データとして、音源像系列と対数メルスペクトログラムを生成した。音源像は、ベッド内およびその外縁の位置をメッシュで表現して、飛行時間を考慮した相関と信号強度比に基づく補正により生成した。行動音データを取得して深層学習を行った結果として、離床行動や掻破の場所の推定精度の向上が可能であることを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

病院での入院患者や高齢の要介護者はベッドを中心とした生活を送っているが、せん妄や認知による離床徘徊といったトラブルが発生しており、ベッド内の行動が、特殊なセンサ群や画像モニタ等を用いず、対象者の発する音で推定できれば、介護、看護品質の向上に貢献できる。また、2次元の音源像の時間系列による行動の推定は、擦過音のような発生位置により行動の意味を持つ情報に対して有効な認識ツールとなり得る。

研究成果の概要（英文）：In this study, with the goal of understanding the behavior of care recipients and inpatients in bed, we used the sound source distribution image of behavioral sounds as input to deep learning, and attempted to estimate in-bed behavior based on the time-series changes of this sound source image. We built a behavioral sound collection system with four microphones placed on the head and footboard to acquire behavioral sounds in bed, and used the acquired data as input data for deep learning to generate a sound source image sequence and a log mel-spectrogram was generated. The sound source image was generated by representing the position inside the bed and its outer edge using a mesh, and by correlating the flight time and making corrections based on the signal intensity ratio. As a result of acquiring behavioral sound data and performing deep learning, we were able to confirm that it was possible to improve the accuracy of estimating the location of getting out of bed and scratching.

研究分野：計測工学

キーワード：介護 ベッド内行動推定 深層学習 音源像 マルチモーダル LSTM メルスペクトログラム

## 1. 研究開始当初の背景

高齢の要介護者や入院患者はベッドを中心とした生活を送っているが、せん妄や認知による離床徘徊といったトラブルが発生しており、各種センサや監視モニタの設置による対策が行われている。しかし、センサは個々の行動に対してほぼ 1 対 1 に対応するため対象者の全ての行動を網羅するには多くのセンサの設置が必要になる。また、監視モニタでは照明光が必要なため、完全に消灯して就寝する場合には赤外線カメラ、赤外線照明が必要となるうえ、プライバシーの問題から設置ができない可能性や、設置が許諾されても対象者にとっての心理的圧迫になる可能性がある。

一方、音は対象者が発するもので、完全に受動の計測が可能であり、対象者にとってもプライバシーに関わる抵抗感は比較的少ない。更に、病院におけるナースコールや遠隔介護では看護師、介護士とのコミュニケーションとして音声情報機器は必須であることから、音声情報から対象者の状態や行動が推測できれば、看護、介護の品質を飛躍的に向上できると期待される。

音に関わる情報処理は古くより音声認識を主として研究されており、抽出した話者の時系列の音声情報から深層学習等により会話内容を把握するものが主流である。また、音源位置の特定・追跡も研究開発も行われているが、単純な音源方向探索や反響などの雑音を除去し認識率を向上するために専ら用いられていた。このため、本研究対象である体動、離床等の行動は空間の位置と移動にも意味があり、上記のような通常の音声認識手法の適用は困難であった。

## 2. 研究の目的

音声認識は上記のように、対象となる 1 次元の時系列信号を抽出して処理を行うが、行動の認識は画像処理において先行しており 2 次元の強度パターンの時系列変化から CNN, RNN 等を用いて認識を行っている。行動音の発生においても分布的な要素が多く音源スペクトルの 2 次元分布である「音源分布像」を行動認識の対象とするのが有効と考えられる。本研究では上記音源分布像を深層学習への入力とし、この時系列変化によるベッド内での行動推定を試みる。上記試行により、行動推定において音情報の 2 次元情報を学習入力とすることの効果および是非を確認することを目的とした。特に寝返り、離床などの体動や掻破は、スペクトル的な特徴の少ない擦過音や軋み音が面的な広がりを持ち、それらが動作に応じて変化するという音声認識とは全く異なる特徴を有しており、これらが認識可能となれば、行動認識技術に大きな広がりを与えることとなると期待された。

## 3. 研究の方法

本研究の実施内容を本研究ではベッドのヘッドボードとフットボードにマイクアレイを配置し、そのマイクアレイから得られる行動音信号のアレイ信号処理により 2 次元の音源像及び音源のスペクトル情報を得ることと、それを用いて深層学習によりベッド内行動を推測することの 2 段階で実施した。

### 行動音取得

低雑音高感度のエレクトレットコンデンサマイク (Primo EM172, S/N: 80 dB, Sensitivity:  $-28 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$  at 1 kHz, 10 mm) を各ベッドボード位置に 4 個ずつ、計 8 個を配した行動音収集系を構築した。マイク出力は超低雑音オペアンプ (LT1115, Voltage Noise: 1.2 nV/  $\sqrt{\text{Hz}}$  at 1 kHz) によりゲイン約 413 倍、低域カットオフ約 100 Hz、高域カットオフ約 25 kHz にて帯域濾波した後に 16 bit/  $\pm 10 \text{ V}$ 、サンプリング周波数 12 kHz でデジタル変換 (National Instruments USB-6003) して PC に取り込むようにした。音声の帯域はおよそ 1 kHz までであり、擦過音も主に 2 kHz の周辺に強度のピークが存在していたことから、MATLAB®にて帯域 200 Hz ~ 2 kHz のデジタル帯域フィルタリングを行っている。スペクトル折り返しによる虚像の発生をベッド及びその周辺の推定領域内で抑制するために、マイク間隔を 100 mm としたマイク対を構成し、これをヘッドボード、フットボード各々 2 対ずつ 4 対配置した構成にて行動音取得を行った。なお、またマイク対の間隔は、ベッド幅の全域をカバーするよう 0.5 m とした。また、別途内行動と発生音の対応を明確化するため、ベッド上方にモニタカメラを設置して、行動音と画像を同時取得して、深層学習のためのラベル付けを行う測定系を構築した。

行動は (咳 (cough), 喘ぎ (gasping), 呻き (groan), 鼾 (snore), 掻破・頭 (scratch\_H), 掻破・左腕 (scratch\_L), 掻破・右腕 (scratch\_R), 離床 (leaving), 寝返り (turn)) のカテゴリーで分類取得した。掻破に関しては、点滴引きはがしの予備動作検知の要望等があり、掻破場所によりその行動の意味が異なる場合があるため、場所による識別性能を評価するため、別のカテゴリーとしている。

### 音源像の生成

ベッド内およびその外縁の位置をメッシュで表現し、各々のメッシュ点について筆者が提案した音源尤度を計算することにより音源像を生成した。音源尤度の計算は、先ずメッシュ点から各マイクまでの伝搬時間遅延の補正を行った上でマイク対毎での相関演算を行う。さらに、それらに各マイク対の音信号の RMS 強度比とマイク対間の距離  $D$  の比の関係を用いた距離補正を施した上で総和をとって各メッシュ点の音源尤度とし、これを音源像の値

とした。

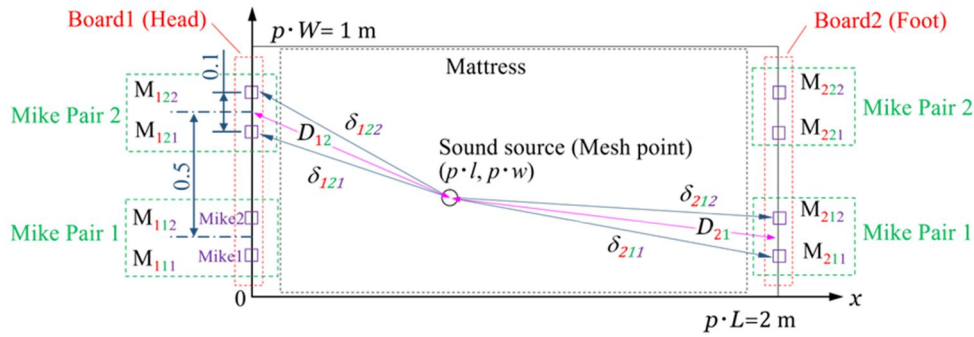


図1．行動音収集マイクアレイ配置

#### 深層学習によるベッド内行動推定

上記行動音収集系により得られた8個のマイクの時系列データを2,000データ毎に一つの組(time-slice)として切り分け、各々のデータから深層学習への入力データとして、音源像系列と対数メルスペクトログラムを生成した。1 time-slice 毎に の計算にて音源像を生成し、64 time-slice の時間系列データを入力データとした。系列の持続時間は約10秒であり、対象の動作のほぼ全てを範囲内に収めることができる。音源像のメッシュは50mmピッチとし、マットレス外部の0.5mの領域も音源像生成領域とした。この設定によって生成される音源像はベッド幅方向に41点、長さ方向に61点であり、中央の21点×41点がマットレス上の音源像となる。一方、スペクトル情報としては、上記 time-slice 毎に対数メルスペクトルに変換を行うが、この周波数 bin 数を64に設定しており、64 bin×64 time-slice のスペクトログラムを2次元画像として深層学習への入力とした。

Workstation 上で Matlab を用いてマルチモーダルの深層学習を実施した。マルチモーダル入力である音源像、対数メルスペクトルの双方とも、入力を畳み込み - バッチ正規化 - relu 活性化 - 最大値プーリングの群の3層で処理した後にフラット化し、音源像については更にLSTMを行った後に両者を結合してドロップアウト - 全結合 - ソフトマックスにより分類を行った。畳み込みのフィルタ サイズは第1群、第3群で3×3、第2群で5×5とし、フィルター数は全て32とした。また、最大化プーリングの領域は全て5×5とし、ストライドを2としている。最適化アルゴリズムはADAMを使用した。

音源像、対数メルスペクトルの双方をマルチモーダル入力として、深層学習を実施した。畳み込み - バッチ正規化 - relu 活性化 - 最大値プーリングの群の3層で処理した後にフラット化し、音源像については更にLSTMを行った後に両者を結合してドロップアウト - 全結合 - ソフトマックスにより分類を行った。

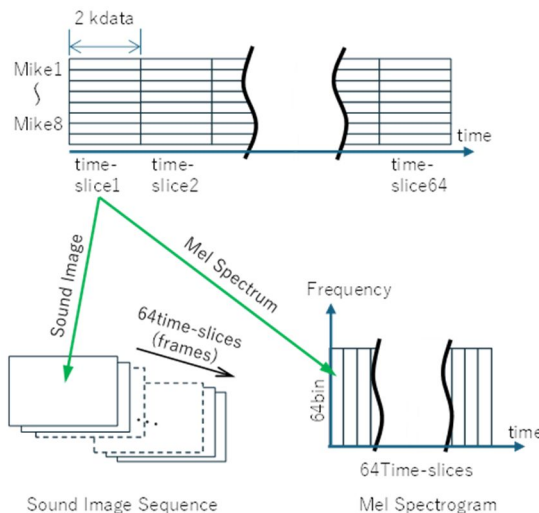


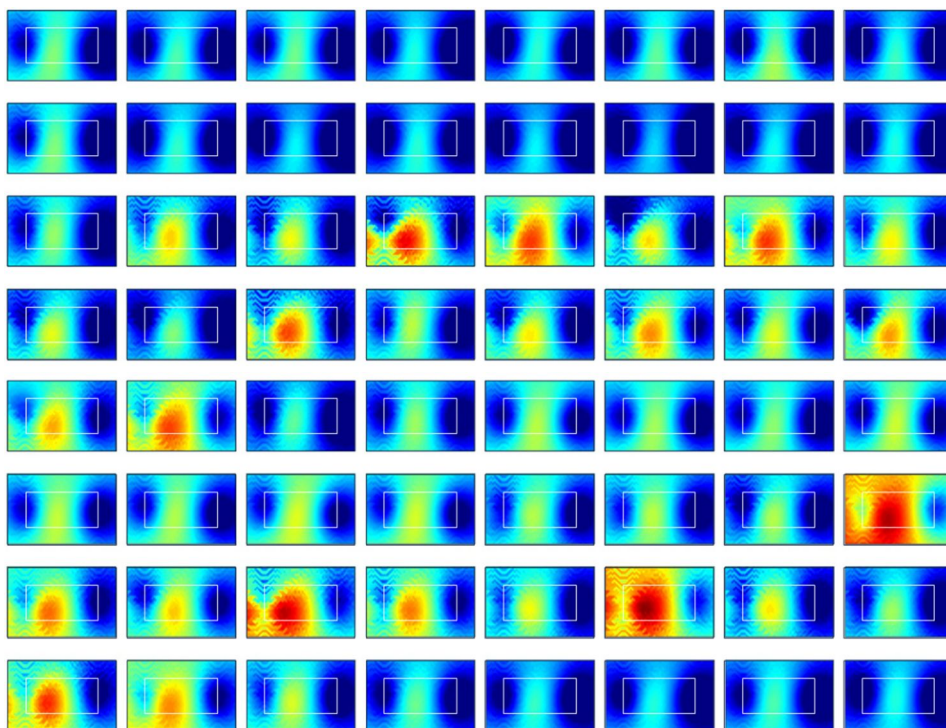
図2．行動推定の入力データ構成

#### 4．研究成果

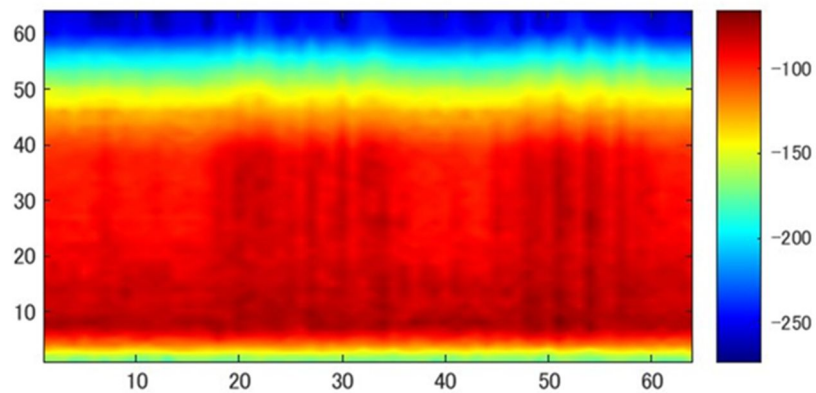
##### 音源像の生成

行動音収集系により取得したデータの処理結果の1例として、右上腕を搔破した場合のものを図3に示す。(a)に64 time-sliceの音源像系列、(b)にメルスペクトログラム、

(c)に同時取得されたモニタ画像の1シーンを示す。音源像は左上から右下に向けた時系列であり、各図の中の白で描かれた長方形はベッドの外縁を示したものである。



(a) 音源像系列 (64 time-slice)



(b) メルスペクトログラム



(c) モニタ画像 (1シーン)

図3．取得データの1例 (モニタ画像との重畳)

深層学習による推定結果

図4に示した深層学習の層構造を構築し、上記の収集系で取得したデータを用いて学習を



行い、推定能力の評価を行った。図5 ( a )はスペクトル情報であるメルスペクトログラムのみを入力として学習を行った対比実験結果であり、スペクトルだけでもある程度の分類性能を得ることはできるが、特に掻破場所の特定など、音源位置の方法を必要とする行動クラスに関しては、性能の低下が見られる。これに対し、( b )は音源像とスペクトログラムによるマルチモーダル入力での学習及び推定結果である。掻破に関して誤分類は残るものの、性能として大きな向上が確認され、本課題の目的とした、行動推定において音情報の2次元情報を学習入力とすることの効果を確認することができた。

今後としては、推定精度向上のための音源像精度、特に弱い掻破のような微小音に対する精度の向上、リアルタイム化による実シーンへの適用、実シーンから学習を積み上げていく手法の確立を行っていく予定である。

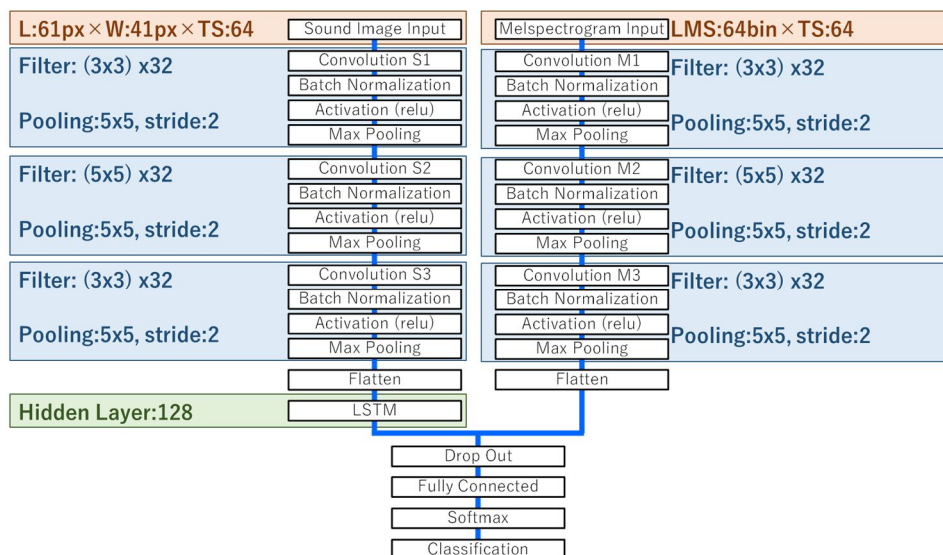


図4．構築した深層学習の層構造

true class	cough	9								
	gasping		8		1					
	groan			5						
	snore				9					
	scratch_H					6	3	2		
	scratch_L			2			7	3		
	scratch_R						3	7		
	leaving						1		1	1
	turn									8
		cough	gasping	groan	snore	scratch_H	scratch_L	scratch_R	leaving	turn

predicted class

true class	cough	9								
	gasping		9							
	groan			5						
	snore				9					
	scratch_H					9		1	1	
	scratch_L						10	2		
	scratch_R						2	8		
	leaving								3	
	turn									8
		cough	gasping	groan	snore	scratch_H	scratch_L	scratch_R	leaving	turn

predicted class

( a ) メルスペクトログラムのみ ( b ) メルスペクトログラムと音源像

図5．深層学習結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nakajima Hajime	4. 巻 144
2. 論文標題 ベッド内要介護者・患者の行動推定のためのマイク対配列による音源像生成	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 38～44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.144.38	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 仲嶋 一，重田 倅弥	4. 巻 IM-24
2. 論文標題 音響スペクトルと音源像を入力とした深層学習によるベッド内行動の推定	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電気学会計測研究会資料	6. 最初と最後の頁 IM-24-009
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 仲嶋 一，重田 倅弥	4. 巻 Vol.47
2. 論文標題 音源像シーケンスとメルスペクトログラムを用いた 深層学習によるベッド内患者の行動推定	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 福山大学工学部紀要	6. 最初と最後の頁 pp.38-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 仲嶋 一	4. 巻 IM-23
2. 論文標題 模擬行動音生成のための音源モデルの検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会計測研究会資料	6. 最初と最後の頁 IM-23-001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1．著者名 仲嶋 ー	4．巻 IM-21
2．論文標題 音によるベッド内行動認識のための音源像データ取得システム	5．発行年 2021年
3．雑誌名 電気学会計測研究会資料	6．最初と最後の頁 IM-21-004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1．発表者名 仲嶋 ー
2．発表標題 ベッド内の行動推定のためのマイク対アレイを用いた音源分布像生成
3．学会等名 令和 4 年 電気学会 基礎・材料・共通部門大会
4．発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------