

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12704

研究課題名（和文）動画解析による新生児睡眠覚醒状態の自動分類

研究課題名（英文）Automatic Classification of Neonatal Sleep-Wake States by Video Analysis

研究代表者

若林 哲史（Wakabayashi, Tetsushi）

三重大学・工学研究科・教授

研究者番号：30240443

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではNICUにおける児の睡眠覚醒状態を、動画により非接触で自動分類する手法を提案した。全身が映っている動画と顔領域を抽出した動画のそれぞれに対して、オプティカルフローから求めた動きの特徴量を用いる機械学習手法と深層学習である3DResNetを用いる手法を比較検討した。さらに、顔領域を抽出した動画を3DResNetを用いて分類する手法と体全体の動画を3DResNetを用いて分類する手法の結果を、時系列平滑化後に出力確率に基づいて統合したところ、分類精度0.611、カッパスコア0.623が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機器によるバイタルデータ（眼球電位、筋電位、脳波、呼吸等）の測定により正確な睡眠覚醒状態を評価できることが報告されているが、新生児の行動観察に基づくNBASのStateとは一致せず、新生児への負担が大きいため長時間の連続測定は難しい。また、これまでにBrazeltonのNBASに基づく睡眠覚醒状態を継続的・客観的に自動分類する手法は存在しなかった。

本研究の成果により新生児や看護師に負担をかけずに継続的な観測が可能になり、看護師の主観に左右されない客観的な睡眠覚醒状態の調査ができるため、NICUの明暗環境と新生児睡眠覚醒状態の関係の大規模調査を可能にするという点で意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a method for automatically classifying the sleep-wake state of a child in a NICU in a non-contact manner using video. We compared a machine learning method using motion features obtained from optical flow and a deep learning method using 3DResNet for both videos showing the whole body and videos from which face regions were extracted. Furthermore, the results of the classification method using 3DResNet for videos with face regions extracted and the method using 3DResNet for videos of the entire body were integrated based on output probability after time series smoothing, yielding a classification accuracy of 0.611 and a Kappa score of 0.623.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：パターン認識 医用画像処理 動画画像解析 深層学習

### 1. 研究開始当初の背景

睡眠覚醒状態の自動分類については、機器による測定値（眼球電位、筋電位、脳波、呼吸等）による手法や腕時計型の活動計を装着する方法があるが、いずれも NBAS のような行動特徴に基づく細かい段階の分類には対応しておらず、非接触ではない。

2019 年、非接触の観測による分類手法として、音声と動画を利用し、音声情報、体の動き情報、目の動き情報を組み合わせて睡眠覚醒状態を分類する手法[1]が報告されたが、目の領域を手動で指定するなど半自動で、PrechtI の分類基準（5 段階）を対象としており、NBAS を対象としたものではない。また、睡眠と覚醒の分類においては高い精度が得られているが、その他の睡眠覚醒状態の分類では十分な精度が得られていない。

これらに対し本研究は、動画による非接触の NBAS State 自動分類手法を提案するもので、新生児と看護師に負担をかけずに NICU の明暗環境と新生児睡眠覚醒状態の関係の大規模調査を可能にすることが期待できる。

### 2. 研究の目的

NICU（新生児特定集中治療室）における児の発達促進と長期的予後の改善には、ディベロップメンタルケアの一つとして明暗リズムのある環境を整えて睡眠を保護することが重要とされている。これまで新生児睡眠覚醒状態を判定するには、看護師による目視か機器によるバイタルデータの取得が必要であったが、看護師、新生児への負担が大きかった。そのため、非接触で自動化された睡眠覚醒状態自動分類手法を実現することが、この研究の目的である。

### 3. 研究の方法

#### (1) 体の動きに基づく睡眠覚醒状態自動分類

本研究では、入力動画のオプティカルフローより抽出した体の動きの特徴量を用いて機械学習により睡眠覚醒状態を自動分類する。動き特徴の抽出では、まず入力動画のフレーム間でオプティカルフローを求め、図 1 に示すようなブロックごと、量子化した方向ごとにオプティカルフローの長さを加算し、動き量とする。我々が用いる動画データでは、看護師によるアノテーションは 1 分単位で付与されているため、動き量の大きさを数十段階に分け、1 分間の出現回数をカウントしたヒストグラムを、ブロック数×方向量子化数だけ連結して特徴ベクトルとする（図 2）。睡眠覚醒状態の分類には、SVM、Random Forest などの分類器を用いる。また、3DCNN や RNN、LSTM などの深層学習による分類も試みて、最も高い精度が得られる分類手法を明らかにする。

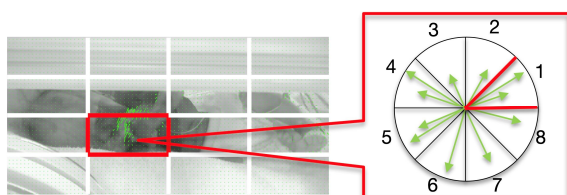


図 1 . オプティカルフローと動き量

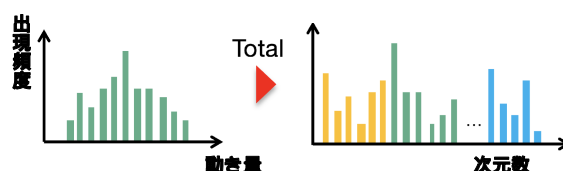


図 2 . 動き量のヒストグラムと特徴ベクトル

#### (2) 顔領域の動きに基づく睡眠覚醒状態自動分類

(1)の手法では、State 1（深睡眠）と State 2（浅い睡眠）のように顔の情報（まぶたの下の眼球運動の有無）を必要とする分類が課題である。本手法では新生児顔領域を抽出し、表顔領域の動きの特徴量を抽出して機械学習により睡眠覚醒状態を自動分類する。

まず、1 分間の動画の各フレーム画像から新生児の顔領域を自動的に検出し、前処理として検出領域の正規化を行う。次に顔領域特徴抽出では、HOG 特徴を時間方向に拡張した時空間 HOGV 特徴を抽出する。これは、形状特徴と動きの特徴を同時に取得するものであり、連続するフレーム画像をボクセルデータと見なし、3 次元の輝度こう配を計算した後、ボクセルデータを複数のセルに分割し、こう配の方向を量子化して、セルごと、量子化方向ごとのこう配強度を加算することで得られる（図 3）。睡眠覚醒状態の分類は、(1)と同様に行う。

#### (3) 体の動きと顔領域の動きの両方を用いる睡眠覚醒状態自動分類

NBAS の睡眠覚醒状態分類には、体の動きと顔領域の動きの両方の情報が必要となる。両方の特徴ベクトルを連結する方法、それぞれの分類結果を統合する方法など、両方の特徴を用いた自動認識手法による分類精度の向上を目指す。

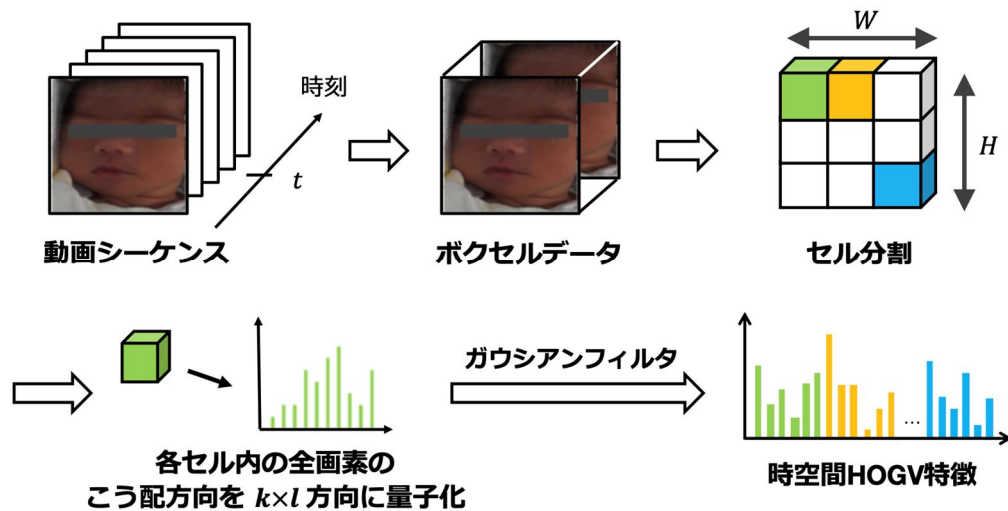


図3 . 時空間 HOGV 特徴

#### 4 . 研究成果

##### (1) 体の動きに基づく睡眠覚醒状態自動分類

オプティカルフローから求めた体の動きの特徴量を用いる機械学習手法の分類精度が macro-F1 値で 0.765 のところ、3DResNet では 0.766 とほぼ同程度となり、成果を、2022 World Automation Congress (WAC) で発表した。

##### (2) 顔領域の動きに基づく睡眠覚醒状態自動分類

動画フレームの顔領域から抽出した HOG 特徴と SVM を用いる分類手法を提案した。7 人の新生児被験者の 14 枚のビデオ画像を用いた比較実験で、HOG 特徴量と平均化マージを用いた重み付けサポートベクターマシン (w-SVM) が最も高い分類精度 (micro-F1 0.732) を達成した。臨床場面では、体動は主に覚醒状態を分類するために評価される。さらに、覚醒状態を 1 つのクラスにまとめて 4 クラス分類実験を行った結果、提案した顔領域に基づく分類が睡眠状態の詳細な分類に適していることが示唆され、これらの結果を論文誌で発表した。

##### (3) 体の動きと顔領域の動きの両方を用いる睡眠覚醒状態自動分類

3 次元畳み込みニューラルネットワーク (3D-CNN) を用いて、全身動画と顔のみの動画を別々に分類する方法と、全身動画と顔のみの動画から得られた 2 つの結果を時系列平滑化で組み合わせる方法を提案し、比較した。8 人の新生児を対象とした 16 の動画を用了実験では、全身動画と顔のみの動画の時系列平滑化結果を 3 次元 CNN の出力確率で重み付けすることで、最も高い分類精度 0.611、カッパスコア 0.623 が得られ、その結果を論文誌で発表した (より厳密な方法で学習データ、テストデータの分割を行ったため、(1)(2)より低い分類精度となっている)。これは、時系列平滑化と確率に基づく結合が有効であることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kento Morita, Nobu C. Shirai, Harumi Shinkoda, Asami Matsumoto, Yukari Noguchi, Masako Shiramizu, and Tetsushi Wakabayashi	4. 巻 Vol.26, No.2
2. 論文標題 Automatic Neonatal Alertness State Classification Based on Facial Expression Recognition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 188-195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jaciii.2022.p0188	査読の有無 有
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 Yuki Ito, Kento Morita, Asami Matsumoto, Harumi Shinkoda, Tetsushi Wakabayashi	4. 巻 Vol.28, No.4
2. 論文標題 Automatic Classification of Sleep-wake States of Newborns Using Only Body and Face Videos	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 1-9
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 有
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yuki Ito, Kento Morita, Tetsushi Wakabayashi, Harumi Shinkoda, Asami Matsumoto, Yukari Noguchi and Masako Shiramizu
2. 発表標題 Automatic Estimation of Neonatal Sleep/Wake States in the NICU Using 3D CNN
3. 学会等名 2022 World Automation Congress (WAC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤 由樹, 盛田 健人, 若林 哲史, 新小田 春美, 松本 あさみ, 野口 ゆかり, 白水 雅子
2. 発表標題 深層学習を用いた新生児の睡眠覚醒状態の自動分類
3. 学会等名 第38回 ファジィシステムシンポジウム (FSS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Ito, Kento Morita, Tetsushi Wakabayashi, Harumi Shinkoda, Asami Matsumoto
2. 発表標題 Automatic Classification of Sleep-wake States of Newborns Using Automatically Extracted Facial Regions
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Intelligent Systems (ISIS2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤 由樹, 盛田 健人, 新小田 春美, 松本 あさみ, 野口 ゆかり, 白水 雅子, 若林 哲史
2. 発表標題 深層学習を用いた新生児の睡眠覚醒状態の自動分類
3. 学会等名 第39回ファジィシステムシンポジウム(FSS2023)
4. 発表年 2023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
研究分担者	盛田 健人  (Morita Kento)  (40844626)	三重大学・工学研究科・准教授   (14101)	
研究分担者	新小田 春美  (Shinkoda Harumi)  (70187558)	福岡女学院看護大学・看護学部・教授   (37126)	

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
---------	---------