

補助事業番号 2022M-259

補助事業名 2022年度 救急車両内の心電図を人工知能(Artificial Intelligence)で解析するシステム構築と救急医療への適応 補助事業

補助事業者名 岩手県立大学ソフトウェア情報学部ソフトウェア情報学科 土井 章男

## 1 研究の概要

救急車両内の心電図を人工知能 (Artificial Intelligence) で解析するシステム構築と救急医療への適応に関する研究を実施した。救急車両から得られた臨床データを用いて、日本人を調査母集団としたPH-ECG画像の世界初の分類モデルを構築した。

## 2 研究の目的と背景

救急隊が現場で撮影する心電図は、心疾患のより早期の心電図変化を示していることが多く、In-Hospital-ECGと異なる特徴を有するため、PH-ECGを使用した診断モデルの作成には意義がある。我々が知る限り、日本人を調査母集団とした救急車からのPH-ECG画像の重症度分類には例がない。また、救命士が伝送するかどうかの判断支援においてもこのアプローチが使用可能である。救急搬送時において、心電図を伝送するかどうかの判断は地域や救急隊によって異なり、それが裁量で決定される場合、感度・特異度は救急隊員の知識と経験に依存する。そのような限界を克服するために我々の医療圏では客観的なECG伝送基準が採用されており、その予測は高感度・高特異度であるが、伝送される心電図の件数が多く医師の負担が大きい。したがって、伝送段階で出来る限りスクリーニングをすることが重要である。

## 3 研究内容

(1)救急車両内の心電図を人工知能(Artificial Intelligence)で解析するシステム構築と救急医療への適応(URL) [http://advancedvislab.com/?page\\_id=2052](http://advancedvislab.com/?page_id=2052)、  
[http://advancedvislab.com/?page\\_id=226](http://advancedvislab.com/?page_id=226)

### (2)研究成果と展望

実世界のデータを使用した救急車からの心電図の重症度分類には様々な制限がある。病院内で撮影された心電図と比較してデータの蓄積が少なく、STEMIの割合はわずか12.9% (512/3960) だった。また、我々の調査母集団の心電図データは波形ではなく画像伝送・蓄積されており、救急車両の振動や患者の体動、あるいは電極の脱落によって発生するノイズの除去が難しい。そのため心電計が除去しきれなかったノイズを含んだ状態でモデルを構築する必要があった(図1)。また、日本では、病院前の12誘導心電図は、First medical contactの現場でEmergency medical service担当者によって日常的に実施されておらず、大規模な

データセットを構築すること難しかった。そのため、今回作成した分類モデルのパフォーマンスの傾向として、データが少ないクラスのRecallが低くなる傾向がみられた。特に、STEMIのような経時的に変化する症例では特徴の学習に必要なデータ数も多くなると考えられ、学習データの枚数を増やすことで分類精度の改善が可能と推察する。

救急隊が現場で撮影する心電図は、心疾患のより早期の心電図変化を示していることが多く、In-Hospital-ECGと異なる特徴を有するため、PH-ECGを使用した診断モデルの作成には意義がある。PH-ECGを使用した機械学習ベースの予測アルゴリズムは少ないながらも、以前に報告されている。Al-Zaitiらは1244人のアメリカ人のPH-ECG信号を対象として、ACSの予測を行い、ロジスティック回帰、勾配ブースティングマシン、および人工ニューラルネットワークの組み合わせでAUC=0.82を示した。Chenらは台湾中部の救急車から取得した2907人のPH-ECG信号を対象として、STEMIの予測を行い、1D-CNNとLSTMの組み合わせを使用してAUC=0.997を示した[24]。ただし、Simonsonが示した人種間による心電図の基準値の相違から、心電図のAI解析は人種別に作成されたモデルを使用することが望ましいと考えられ、我々の知る限り、日本人を対象とした研究は1件だけである。Takedaらは日本の都市部で取得された555人のバイタルサイン、3誘導ECGモニタリング、および症状を含む17の特徴を使用して、サポートベクターマシンを用いたACSの診断およびサブカテゴリの予測を行い、AUC=0.864を示した。

我々が知る限り、日本人を調査母集団とした救急車からのPH-ECG画像の重症度分類には例がない。心電図をコンピュータ内で処理するためには、直接、心電計から信号を取得するのが効率的であるが、現実世界のECGデータは通常、画像として収集および保存されているため[26]、大量の学習データを必要とする機械学習ベースのアプローチにおいては、信号形式での収集が難しい場合がある。また、使用されるECG規格は心電計メーカーごとに異なっており、相互運用性を提供しないさまざまなデータ形式が存在する。画像ベースの解析は、記録速度とキャリブレーションが一致していれば、ビューアが異なっても比較的容易に適用することが可能であり、デジタル信号ベースの解析と比較して、汎用性に勝ることが利点と言える。

また、救命士が伝送するかどうかの判断支援においてもこのアプローチが使用可能である。救急搬送時において、心電図を伝送するかどうかの判断は地域や救急隊によって異なり、それが裁量で決定される場合、感度・特異度は救急隊員の知識と経験に依存する。そのような限界を克服するために我々の医療圏では客観的なECG伝送基準が採用されており、その予測は高感度・高特異度であるが、伝送される心電図の件数が多く医師の負担が大きい[8]。したがって、伝送段階で出来る限りスクリーニングをすることが重要である。

開発したモデルを医療現場で使用するにあたって、解釈可能性が問題となる[29]。ルール

ベースに基づいた解析が主流の時代から、コンピュータによる心電図の自動解析は補助的に利用すべきであるとする報告は存在し、昨今のよりブラックボックス的性質が強い機械学習ベースの解析において、モデルの結果を説明することの難しさは、医療従事者が機械学習モデルを信頼する上での障害となる。病院内でのECG信号におけるCAMによる特徴可視化については、有望な結果を示した報告が以前にあるが、PH-ECG画像においても同様であるかを明らかにするためには、さらなる研究が必要である。

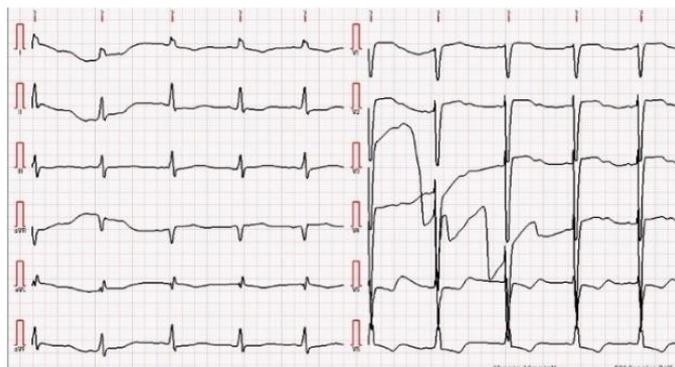


Figure 1. ノイズが含まれた症例。V3およびV4誘導が異常を示しており、救急車の振動や患者の体動が原因で、電極のずれや脱落が発生した可能性が高い。

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

実世界のデータを使用した救急車からの心電図の重症度分類には様々な制限がある。病院内で撮影された心電図と比較してデータの蓄積が少なく、STEMIの割合はわずか12.9% (512/3960) だった。また、我々の調査母集団の心電図データは波形ではなく画像伝送・蓄積されており、救急車両の振動や患者の体動、あるいは電極の脱落によって発生するノイズの除去が難しい。そのため心電計が除去しきれなかったノイズを含んだ状態でモデルを構築する必要があった。また、日本では、病院前の12誘導心電図は、First medical contactの現場でEmergency medical service担当者によって日常的に実施されておらず、大規模なデータセットを構築すること難しかった。そのため、今回作成した分類モデルのパフォーマンスの傾向として、データが少ないクラスのRecallが低くなる傾向がみられた。特に、STEMIのような経時的に変化する症例では特徴の学習に必要なデータ数も多くなると考えられ、学習データの枚数を増やすことで分類精度の改善が可能と推察する。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究のアプローチは、心電図を主に使用している循環器内科の分野に応用可能である。手術中に発生する心電図から患者の容態を予測する心電図解析AIを構築することも可能である。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### [学術論文 (ジャーナル論文) ]

- 1) Natsuki Cho, Yoshifumi Nakajima, Shunsuke Kubo, Hidehiko Hara, Mamoru Nanasato, Maiko Hozawa, Akio Doi, Yoshihiro Morino, [Comparison of left atrial appendage measurements between conventional transesophageal echocardiography and “Virtual TEE” reconstructed from computed tomography for pre-procedural planning of device closure], Springer Nature Japan KK, Heart and Vessels: published online 08 February 2024.
- 2) R. Oikawa, A. Doi, M. Ishida, and B. Chakraborty. “Automatic detection and visualization system for coronary artery calcification using optical frequency domain imaging”, Journal of Artificial Life and Robotics, vol. 28, Issue 2, pp. 460-470, 2023.
- 3) Y. Koeda, et al., “Periprocedural and 30-day outcomes of robotic-assisted percutaneous coronary intervention used in the intravascular imaging guidance”, Cardiovascular Intervention and Therapeutics, International Journal of Emergency Medicine, Springer, 2022, “<https://doi.org/10.1007/s12928-022-00864-0>” .

### [国際学会 (査読論文) ]

- 1) R. Oikawa, A. Doi, M. Ishida, and B. Chakraborty. “Automatic extraction and visualization of coronary artery calcium by optical frequency domain imaging”, 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 27th 2022), 25-27 January, 2022.
- 2) R. Oikawa, A. Doi, B. Chakraborty, T. Itoh, O. Nishiyama, “Classification of Prehospital-Electrocardiograms taken in Ambulance According to Severity using Deep Learning Neural Network”, 4th IEEE Eurasia Conference on Biomedical Engineering Healthcare and Sustainability 2022, Taiwan, 27-29 May, 2022.
- 3) R. Oikawa, A. Doi, M. Ishida, and B. Chakraborty. “Automatic extraction and visualization of coronary artery calcium by optical frequency domain imaging”, 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 27th 2022), 2022/1/25-27.

### [研究報告、口頭発表 (2022-2024) ]

- 1) 及川遼, 土井章男, バサビチャクラボルティ, 伊藤智範, “深層学習を用いた救急車からの心電図における異常波形の分類”, 情報処理学会第84回全国大会, 2022/03.
- 2) 及川遼, 中野光太郎, バサビ チャクラボルティ, ゴウタム チャクラボルティ, 土井章男, 秋山大五郎, 村上力, “聴覚障害者支援を目的とした音声および危険音の可視通知システムの提案”, 日本バーチャルリアリティ学会テレマージョン技術研究会, 2022/06/30.
- 3) 土井章男, 及川遼, 加藤徹, 高橋弘毅, バサビチャクラボルティ, 伊藤智紀, 酒井敏彰, 西山理, “深層学習を用いた救急車からの心電図解析システムの開発”, 日本バーチャルリアリティ学会テレマージョン技術研究会, 2022/12/16.

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

\* 岩手県立大学先端可視化研究所 現在のプロジェクト

([http://advancedvislab.com/?page\\_id=226](http://advancedvislab.com/?page_id=226))

\* 救急車両内の心電図を人工知能 (Artificial Intelligence) で解析するシステム構築と救急医療への適応 ([http://advancedvislab.com/?page\\_id=2052](http://advancedvislab.com/?page_id=2052))

### (2) (1) 以外で当事業において作成したもの

特になし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部  
(イワテケンリツダイガクソフトウェアジョウホウガクブ)

住 所: 〒020-0693  
岩手県滝沢市巣子152番地52  
公立大学法人岩手県立大学

担 当 者: 特命教授 土井章男(トクメイキョウジュ ドイアキオ)

担 当 部 署: 研究地域連携室(ケンキュウチイキレンケイシツ)

E - m a i l: [doia@iwate-pu.ac.jp](mailto:doia@iwate-pu.ac.jp)

U R L: <http://advancedvislab.com/>