

# 高齢心不全患者における人工知能を用いた 身体的フレイル自動診断プログラムの開発

北海道大学 大学院医学研究院 循環病態内科学  
准教授 永井 利幸

## はじめに

本邦の平均寿命は世界トップレベルである。医療水準の向上に伴い健康寿命が延伸した結果、高齢者に対する治療選択が変容している。例えば、同じ高齢者であっても健康寿命が保たれている患者には長期予後を重視した高侵襲な治療を選択する一方、健康寿命が短い患者には短期予後を重視したより低侵襲な治療や、苦痛を和らげる緩和治療を選択することが望まれる。高齢心不全患者に対する治療方針を検討する際、高齢であることを単に年齢で評価するのではなく、フレイル(虚弱)や認知機能を含めて包括的な評価を行う必要がある。

フレイルは「高齢期に生理的予備能が低下することでストレスに対する脆弱性が亢進し、生活機能障害、要介護状態、死亡などの転帰に陥りやすい状態」と定義される<sup>(1)</sup>。特に心不全など基礎疾患を有する高齢者はフレイル合併率が高いことが知られており、本邦の疫学研究によれば75歳以上の身体的フレイル合併率は、健常一般集団で5.9～25.2%であるのに対し、心不全を有する集団では68～75%にのぼるとされている<sup>(2)</sup>。身体的フレイルは心不全の強力な予後規定因子であり、心不全に合併した場合、全死亡リスクは約1.6倍、心不全再入院リスクは約1.3倍に上昇するとされている<sup>(3)</sup>。身体的フレイルの評価方法は多数報告されているが、中でも臨床フレイルスケール(Clinical Frailty Scale; CFS)が汎用されている<sup>(4)</sup>。

CFSは高齢者における身体的フレイルを見た目の運動能力で分類したものであり、簡便であることが利点である。しかしながら、従来のフレイル指標は、ほぼすべてが医療者の主観に基づいたものであり、検者のフレイル評価経験により、検者間格差が大きいことが問題となっている<sup>(5)</sup>。

我々は多くの身体的フレイル指標において、被験者の起立様式および歩行様式が主要評価項目とされている点に着目し、OpenPose<sup>®</sup>技術を用いて、これまでに特殊なカメラやセンサーを用いず、単一のカメラのみで被験者の起立歩行様式の三次元位置情報を取得する「動作解析データ取得方法及び動作解析データ取得システム」を開発した。OpenPose<sup>®</sup>とはCarnegie Mellon Universityが開発した深層学習を用いた単眼カメラでのスケルトン検出アルゴリズムで、事前学習済みのニューラルネットワークを用いて、静止画および動画からヒトを検知し関節位置座標情報を特定する技術である。

本システムを用いることにより、高齢心不全患者の起立歩行様式データを人工知能解析(機械学習)することで、検者の主観に依存しない客観的なフレイル判定プログラムの開発が可

能となると考えられた。本研究の目的は「客観的なフレイル評価を汎用性が高い機器で自動支援すること」を可能にする身体的フレイル判定プログラム（スマートフォンアプリケーション）を開発することである。

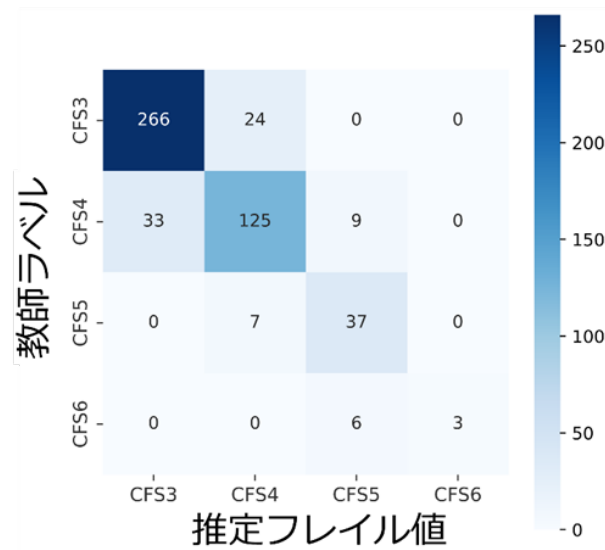
## 結 果

研究協力施設（6医療施設）に外来通院中または入院中である、欧州心臓病学会および日本循環器学会ガイドラインにおいて心不全と診断された75歳以上の患者を対象とした。現在までに510例の歩行動画回収および全症例の教師ラベル作成を完了した。被験者には、我々がすでに開発済みである「動作解析データ取得方法及び動作解析データ取得システム」で定義した起立歩行様式で撮像した。撮影された動画からOpenPose<sup>®</sup>を用いて25箇所の関節位置座標情報を抽出した。また、Single Shot Multibox Detector (SSD)を用いて歩行コースの2箇所の位置座標情報を抽出した。これらの位置座標情報は撮影状況により誤検出されることがある。本解析においては異常検出アルゴリズムを用い誤検出を抽出し、該当する位置座標情報は時間軸に対するスプライン補正することでデータ修正を行った。また、歩行コースの位置座標情報を用い、距離のキャリブレーションおよびカメラの傾き補正を行った。これらの修正された骨格情報の位置、速度、加速度に絶対的または相対的なしきい値を設定することで、特徴量を抽出するアルゴリズムを作成した。

教師ラベルの作成には修正Delphi（デルファイ）法を用いた。修正Delphi法は2段階で実施した。第1段階として10名の日本循環器学会循環器専門医に被験者の歩行動画および臨床情報、日本老年学会が公開するCFS判定表を与え、各被験者のCFSを判定させた。第2段階では同じ10名の専門医に第1段階で与えた情報に加えて、第1段階での自己の回答と他の9名の回答状況を与え、CFSを再判定させることで、回答を収束させた。なお、9名の回答状況提示では、回答者の個人が特定されないようにした。

得られた特徴量と教師ラベルを機械学習に基づく方法論で解析した。はじめにOptuna<sup>™</sup>を用いてハイパーパラメータの最適化と特徴量選択を行った。各症例の128特徴量と教師ラベルをLight Gradient Boosting Machine (LightGBM)により学習し、5-fold cross validation法を用いて評価した。各特徴量のフレイル判定寄与度をshapley値で表現し、特徴量の選択に用いた。この解析から128特徴量のうち46特徴量を用いたモデルによるフレイル推定が最も高精度と判断された。次に、この46特徴量を10-fold cross validation法を用いてLightGBMおよび最小二乗法を組み合わせ学習法で学習することで、フレイル値を連続値および絶対値で推定するモデルを作成した。また、本モデル実施時にshapley値を算出することで、フレイル推定根拠の提示を可能とした。作成されたモデルの推定精度はQWK値において0.843であった（図1）。教師ラベルに対して2段階以上の誤推定は認めなかった。

図1 作成モデルのフレイル推定精度



軽量化版フレイル判定プログラム完成したプログラムは小型の人工知能用シングルボードコンピュータであるNVIDIA® Jetson AGX Xavier™にWebアプリケーションとして実装した。本機器にスマートフォンを有線で接続しブラウザアプリケーションで本プログラムを操作することで、患者の推定フレイルスコアをおよび推定理由をPDFで出力することが可能となった(図2)。

図2 作成プログラムのWebアプリケーション実装



その後、軽量化版フレイル判定プログラムとして、iOSアプリケーションを完成させた(図3)。本プログラムはiOSデバイス単体で稼働し、起立歩行動画の撮影、登録、起立歩行コースの推定、関節位置座標情報の抽出、フレイル値の推定、PDF出力が可能である。

図3 軽量化版フレイル判定プログラム (iOSアプリケーション) 実装



## 考 察

今回我々は、機械学習を用いた身体的フレイル自動判定プログラムの開発に成功した。開発したプログラムは現段階で十分な精度を有しているものの、CFS 5あるいは6と判定される症例の登録が少なく、改善すべき課題もある。今後は、撮影環境およびハードウェア条件にともなうプログラムの稼働安定性を検証し、外的検証によるプログラムの臨床的妥当性を検証する。外的検証の目標症例数は300例とする。

高齢心不全患者への治療は心臓血管カテーテル等による低侵襲治療や、アドバンス・ケア・プランニングを含む緩和ケアの普及に伴い多様化している。日本循環器学会および日本心臓リハビリテーション学会が発行する複数のガイドラインにおいて、心不全患者の幅広い臨床ステージで、治療方針の決定にフレイル評価の実施が推奨されている。ヒトの動作を座標軸変換含め詳細に検討する試みは国内外でも報告されているが、そのほぼすべてが被験者の各関節にマーカーを装着し、かつ多方面から同時に動画撮影を行う必要があるものであった。したがって、複数かつ3次元的な定点観測カメラの配置が必要で、非常に煩雑かつ高額であった。

本研究で開発中の身体的フレイル推定アプリケーションはスマートフォンの操作のみで実施が可能であり、取り扱いが極めて簡便である。導入・維持・運用コストも極めて安価であることから、高度先進医療施設だけでなく、クリニックや診療所、高齢者施設等でも実施可能である。また、フレイル判定に検者間格差を生じないため、医療施設間での円滑な診療連携も期待される。検者の主観や評価経験に依存しない身体的フレイルの判定指標はこれまで

存在しておらず、本判定アプリケーションは今後フレイル判定のスタンダードとなり得る可能性がある。

## 要 約

本研究では、高齢心不全患者に対するフレイル（虚弱）評価を、自動化かつ客観的に行うプログラムの開発を行った。従来のフレイル評価は、医療者の主観に基づくものであり、評価者間のばらつきが問題となっていた。本研究では、OpenPose®技術を用いて単一カメラで患者の起立・歩行データを取得し、人工知能（AI）による機械学習を活用してフレイルを自動判定するシステムを構築した。75歳以上の心不全患者510例のデータを用いてAIモデルを構築し、QWK値0.843という高精度なフレイル推定を達成した。さらに、軽量のAI用コンピュータやスマートフォンを用いた簡便なアプリケーションとして実装され、クリニックや高齢者施設でも利用可能なシステムを開発した。今後は、外的検証やさらなる改善を行い、フレイル評価の標準化を目指している。この技術は、医療現場での治療方針決定における重要なツールとなり得ると考えられた。

## 文 献

1. フレイルに関する日本老年医学会からのステートメント  
([https://jpn-geriat-soc.or.jp/info/topics/pdf/20140513\\_01\\_01.pdf](https://jpn-geriat-soc.or.jp/info/topics/pdf/20140513_01_01.pdf))
2. Tanaka S, et al. Incremental Value of Objective Frailty Assessment to Predict Mortality in Elderly Patients Hospitalized for Heart Failure. *J Card Fail.* 2018;24 (11) :723-32.
3. Zhang, Y, et al. Frailty and Clinical Outcomes in Heart Failure: A Systematic Review and Meta-analysis.  
*J Am Med Dir Assoc.* 2018; 19 (11) , 1003-1008
4. Rockwood K, et al. A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *CMAJ.* 2005;173(5) :489-95.
5. Afilalo J, et al. Frailty assessment in the cardiovascular care of older adults. *J Am Coll Cardiol.* 2014 Mar 4;63 (8) :747-62.