高齢者のフレイル予防に向けた生活改善フレームワークの提案及び実用性の検証

Proposal of a framework for lifestyle improvement to prevent frailty in the elderly and verification of its practicality

木俣　雄太 [1*]　宮地　篤士 [1]　松井　智一 [1]
Yuta Kimata[1]　Atsushi Miyaji[1]　Tomokazu Matsui[1]
藤本　まなと [2]　諏訪　博彦 [1]　安本　慶一 [1]
Manato Fujimoto[2]　Hirohiko Suwa[1]　Keiichi Yasumoto[1]

[1] 奈良先端科学技術大学院大学　[2] 大阪市立大学
[1] Nara Institute of Science and Technology　[2] Osaka City University

Abstract: Frailty in elderly people has been attracting attention as a nursing care problem. Frailty is a stage that hinders nursing care, and can be prevented and improved by incorporating appropriate exercise and social activities in elders daily life. In this study, we devised a framework to improve the lives of elderly people by providing feedback on the progression of frailty, and by producing walking videos to improve their condition. Specifically, the framework detects the skeletal structure of an elder from a captured video; determine a frailty degree by machine learning; and report an easy to understand analysis to the elder. During this research, as the first step, we developed a prototype of the framework, analyzed a walking test for students, and examined how to improve the prototype for the elderly. As a result, we were able to classify seven characteristic phases, such as walking and turning movements, with an accuracy of 90% in the students' walking test. We also found several areas of improvement, such as the need to identify the person in an environment where there is multiple people being captured by the camera. In addition, we developed knowledge on points that should be paid attention when conducting a gait test analysis.

1　はじめに

現在，日本は，高齢者の割合が 28%を超える世界で最も高齢化が進んだ国の一つとして知られている．実際，620 万人を超える高齢者が，日常生活に何らかの支援を必要とする要支援・要介護等の認定を受けている [1]．日本の平均寿命が約 84 年であるのに対し，平均健康寿命は約 73 年であるため，高齢者は一生のうちで約 11 年間日常生活に何らかの制限を受けた状態で生活している計算となる [2]．高齢者が要支援・要介護である状態は，高齢者自身やその家族の QoL（Quality of Life）の低下や精神的負担の増加，介護士不足や社会保障費の増加といった問題の原因となる．これらの問題を防ぐため，要介護となる前にその原因を取り除き，防ぐ必要がある．

要介護問題に対するアプローチの一つとして，フレイルやプレ・フレイルという言葉が注目されている．これらは健康な状態から要介護になるまでの間の期間を指し，「自立した生活は可能であるが，加齢による身体機能の低下により外的なストレスに対して弱くなっている状態」を表す．フレイルは，要介護となる原因の 13.8%を占めている [2] 一方で，適切な治療によって健康な状態に戻すことが比較的容易なため，早期の発見・治療が求められている．

フレイルは原因に合わせて，身体的フレイル，精神的フレイル，社会的フレイルの３つに分類できる [3]．身体的フレイルは，筋肉量の低下や運動器の障害といった運動に関係するものと，低栄養素や口腔機能の低下など食事に関係するものに分ければられる．この内，食事に関するものは，オーラルフレイルとも呼ばれている．精神的フレイルは，軽度の認知症やうつ病などが原因となり引き起こされるフレイルであり，社会的フレイルは，閉じこもりや独居など社会との関わりの薄い高齢者が対象となる．

これらの原因は単独では存在せず，それぞれが密接に関わり合って存在している．例えば，歩行機能の低

*連絡先：奈良先端科学技術大学院大学
〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 － 5
E-mail: kimata.yuta.kt7@is.naist.jp

下は，身体的フレイルに属するが，外出意欲が低下した場合，社会的フレイルを併発することが予想できる．外出意欲の低下は，精神的フレイルであるうつの原因となることが知られている．このように，フレイルは複合的な要因が関係しているため，世界で統一された診断基準は存在しない．

例えば，日本では，日本版 Cardiovascular Health Study（CHS） [4] と呼ばれる 5 項目のチェックリスト（1. 体重減少，2. 主観的疲労感，3. 日常生活活動量の減少，4. 身体能力（歩行速度）の減弱，5. 筋力（握力）の低下）が主に使用される．これらの項目は，フレイルを診断するものであり，このチェックリストにおいて，1〜2 項目当てはまれば「プレ・フレイル」，3 項目以上当てはまれば「フレイル」と診断される．しかし，このチェックリストを用いた診断では，フレイルの原因や具体的な対処法を示すことができず，フレイルの早期治療を行う場合には，専門家のケアを必要とする．また，身体的フレイルを診断する項目として握力や歩行速度に関するチェックリストが含まれているため，自宅で早期に診断することが難しいという欠点もある．

本研究では，特に身体的フレイルに注目し，フレイルの診断を容易にできるシステムを開発すると共に，その原因や対処法も提示し，身体的フレイルの早期予防・回復が可能なフレームワークの開発を行う．このフレームワークは，スマートフォンなどのカメラにより高齢者の歩行を撮影し，その映像から機械学習によって高齢者がフレイルであるかどうか，またフレイルがどの程度進行しているかを診断する．さらに，フレイルの進行度合いやその原因を推定し，フレイルの改善につながる運動の提示を行う．

本稿では，歩行の分析を行う上で統一された指標となる Time Up & Go Test（TUGT） と呼ばれる歩行テストを用いる．TUGT とは，椅子に腰掛けた状態から 3 m 先の目標まで歩いたのち，U ターンし，再び腰掛けるまでの時間を測るテストである．この歩行テストは，歩行の評価や転倒のリスクを測定するときに用いられ，フレイルとの相関も報告されている．

我々はこれまで，このフレームワークについての提案を行い，TUGT の撮影が可能なプロトタイプを開発した [5]．本フレームワークの実現性の検証のために，健康な学生を対象とした歩行実験を行った．具体的には，TUGT を歩行や折り返し動作といった 7 つのフェーズに分類し，機械学習を用いて各フェーズの分類精度を評価した．その結果，各フェーズをおおよそ 63%の精度で分類できることを明らかにした．

本稿では，開発したプロトタイプについて説明を行う．また，映像からの動作分類精度の改善を行った．具体的には，[5] の歩行実験で収集したデータに対し，厳密なアノテーションを行い，機械学習の出力結果に対してルールベースでの再分類を行うことで 90%の精度で分類を行った．さらに 5 章に高齢者を対象としたプロトタイプ改善の検討を行ったためその結果見受けられた改善点や TUGT の各動作を解析する上で着目すべきポイントを示す．

2 関連研究

2.1 身体的フレイルに関する研究

フレイル，プレ・フレイルは，健康な状態と要介護の状態の間の状態である．北村ら [6] は，これらの状態を防いだ場合，8 年以内の要介護発生率を 3 割，死亡率を 4 割減らすことができると述べている．しかし，フレイルの予防のための診断基準には統一されたものはない．例えば，広く使われているものとして Fried ら [7] が提唱した Cardiovascular Health Study（CHS）がある．この診断では，1）1 年間で 4.5kg または 5%以上の意図しない体重減少，2）握力の低下（性別，体格を考慮），3）「過去 1 週間何をするにも面倒だ」「過去 1 週間何事にも手が付かない」のいずれかにはいと答えた，4）歩行速度が一定基準以下（性別，体格を考慮），5）1 週間以内の消費カロリーが一定値以下である（性別，体格を考慮），のうち 3 個以上当てはまればフレイル，1〜2 個当てはまればプレ・フレイルと診断される．日本版 CHS はこれを日本用に適応させたものである．この基準では，65 歳以上の約 10%，80 歳以上の約 25%がフレイルであるとされている．同様にフレイルを診断するためのチェックリストは，複数研究されている [8, 9]．一方，フレイルの予防，改善については，フレイルという概念の新しさやフレイルの発症に複数の原因が絡み合っていることから，原因に合わせ適切に介入することが難しいと言われている [10]．幾つかの研究が，フレイルの治療方法として運動療法を挙げている [11, 12, 13]．Kubicki ら [14] は，フレイルからの回復に際して優先するトレニーング項目を決定するためのチェック項目を作成した．

これらの研究は，専門の機関を頼ることを前提としており自宅での容易なフレイルの測定や予防には適していない．本研究では，高齢者が自宅で自らのフレイルの進行具合や原因に応じた対処法を確認できるフレームワークの提案を行う．

2.2 歩行テストに関する研究

フレイルの診断方法には統一されたものはないが，一つの指標として歩行が挙げられる．日本でのフレイルの診断基準である日本版 CHS には，チェックリストの項目の一つに「歩行速度が 1m/s 以下である」が含まれている．歩行能力を調べる方法の一つとして，歩行テ

ストが挙げられる．歩行テストには，歩く速さを測るための 5m 歩行テストや体力，歩行速度を含めた総合的な運動能力を測定する 6 分間歩行試験，信頼性が高く筋力やバランス能力なども評価できる Time Up & Go Test（TUGT）などがある．先行研究 [15] においても，これらのテストとフレイルとの関係が示されている．

TUGT では，椅子に深く腰掛け待機した状態からスタートする．続いて開始の合図ともに立ち上がり 3m 先の目標地点まで歩いた後，再び椅子へ戻り，座り直すまでの時間を測定する．TUGT にかかった時間が，11 秒を超えた場合，転倒のリスクが高いと診断され，21.6 秒を超えると歩行自立が難しいと判定される．このテストは，転倒状況や外出頻度，運動習慣などと関係性が認められており [16]，測定内容の手軽さから，地域の保健活動等で広く使われている．

TUGT の分析を自動化するための研究は，複数行われている [17, 18, 19]．一方，George ら [20] は，フレイルの診断を行うにあたり，評価手法として歩行速度の代わりに TUGT を使うメリットはなく，CHS などの評価基準が使用可能であるならば，TUGT を使う必要はないと述べている．しかし，この研究では，TUGT の評価においてテストを完了するまでの時間のみを評価しており，歩き方や立ち上がり方といった運動能力からフレイルを評価できる可能性については触れられていない．

本研究で提案するフレームワークでは，フレイルの診断について，TUGT から動作の解析を行い，歩き方や立ち上がり方などを評価する．さらに，不足している運動機能から診断を行うことで，フレイルの原因や進行具合について詳細に評価できる可能性がある．また，本フレームワークにより，フレイルの予防や改善手法の提示が可能になると考えられる．

2.3 本研究の位置付け

フレイルの診断方法として主流であるアンケートやチェックリストは，自宅でフレイルの具合を測定することや予防策を知ることが難しく，フレイルの早期予防，治療の観点では適していない．本研究で提案するフレームワークでは，スマートフォンなどのカメラで TUGT を撮影し，その映像からフレイルの診断を行うため，使用する場所に制限がない．また，これまでフレイルと TUGT を完了するまでの時間の関係について研究されてきたが，本研究で提案するフレームワークでは，時間に加え，TUGT の動作の解析を行うための詳細な診断や対象者に合わせた対処法の提案が可能となる．

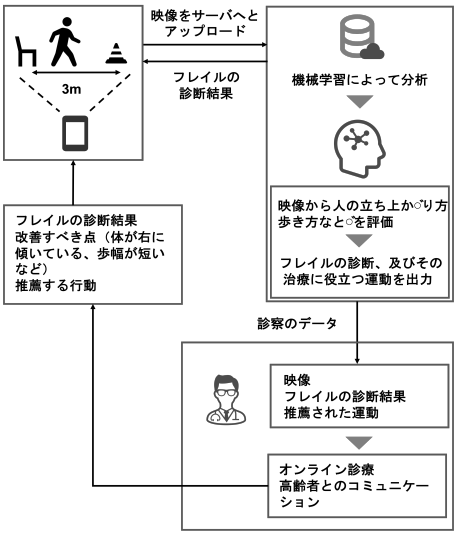


図 1: フレイル検出用システム（提案システム）

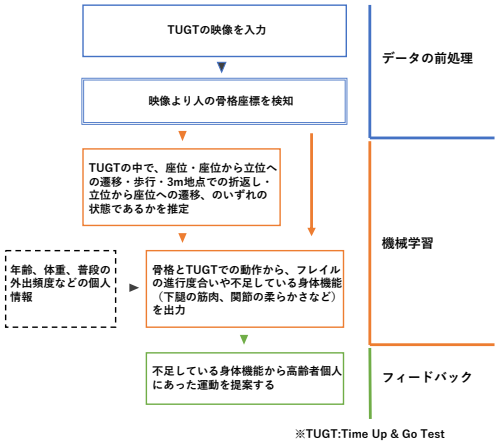


図 2: フレイル検出のための認識フロー

3 フレイル予防のためのフレームワーク

本章では，フレイル状態の予防に向けスマートフォンを用いた生活改善フレームワークを提案し，そのプロトタイプ開発を行う．図 1 に本研究で目指すシステムの概要を示す．本フレームワークには，高齢者の歩行を撮影するためのスマートフォン，映像からフレイルの診断を行うサーバ，オンラインで診療を行う専門家から構成される．また，特徴量としてカメラ映像から測定した人の各骨格座標位置および，その速度，加速度を用いる．高齢者のシステム利用の流れを以下に示す．

1. 高齢者は TUGT を行い，その様子をスタンドなどで固定したスマートフォンで撮影し，サーバへアップロードする．

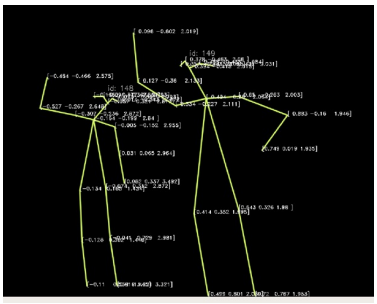


図 3: 骨格検出の例

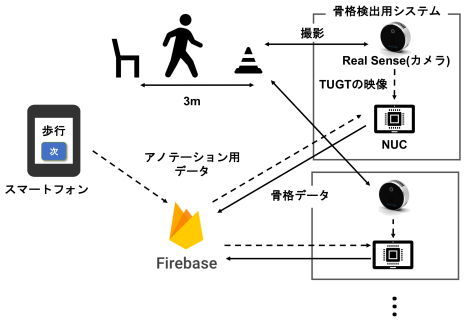


図 4: TUGT 解析用のプロトタイプ

2. サーバ内で，図 2 に示す機械学習モデルによって，フレイルの進行度合いやその治療に役立つ運動を出力する．

3. スマートフォンに出力結果をフィードバックし，フレイルの治療や予防を促す．

4. テストの映像や分析結果を理学療法士などの専門家に送信する（その後，オンラインでの診療を受けることも可能）．

本システムは，以下の 3 つの特徴を有する．1 つ目は，診断の容易さである． 2.2 節で示したチェックリストでは，握力や歩行速度の測定など家庭で行うことが難しい項目が含まれている．一方，提案システムでは，高齢者が準備するデバイスはスマートフォンのみであり，手軽な診断が可能である．これにより，専門の機関に行かずとも，定期的な診断が実施できるようになるため，社会的情勢で外出が困難な場合や地方在住により専門機関へのアクセスが困難な場合でも，フレイルを早期に発見できる可能性がある．

2 つ目は，フレイルを治療・予防する手段の提示である．従来のアンケートを用いた方法では，フレイルの診断は可能であるが，その対策は示されてない．また，一般的なフレイル治療の運動療法は，汎用的ではあるが，個人にカスタマイズされたものに比べ，効果が出づらいものと考えられる．提案システムでは，フレイルの診断結果から個人に合わせた運動を推薦することで，効果的な治療を促す．

3 つ目は，オンライン診療へ転用可能な点である．図 1 に示すように，TUGT の映像や機械学習の出力結果を介護士や理学療法士に送ることでオンライン診療が可能となる．これは，地方の高齢者に向けた歩行テストの診療や高齢者との円滑なコミュニケーションといったシステムへの転用が見込まれる．

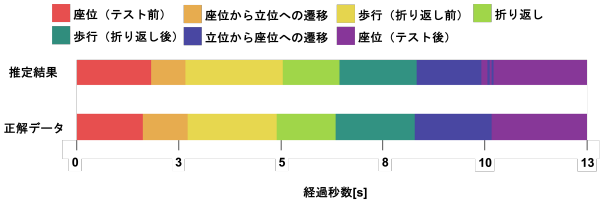
図 2 に本システムにおけるフレイル検出のための認識フローを示す．このモデルでは，はじめに高齢者の TUGT の動画を入力し，図 3 のような骨格座標を検出する．この手順は，OpenPose といった既存の骨格検出モデルを使用する．続いて，骨格の状態から高齢者が TUGT のうち，「座位」，「座位から立位への遷移」，「歩行」，「3m 地点での折返し」，「立位から座位への遷移」のいずれの状態であるかを推定する．この推定には，骨格の座標に加え移動時の速度，加速度を用いる．TUGT の動作状態の推定後，フレイルの診断を行う．診断では，「腕を使わずに立ち上がる事ができるか」，「歩行時に膝が上がっているか」などが評価基準となると考えられるため，これらが検出できるよう骨格座標の入力やモデルの調整を行う必要がある．また，この際に高齢者の年齢や体重，普段の外出頻度などのアンケートによって得られる情報を加えることで診断の精度が向上すると考えられる．

4 学生を対象とした TUGT 実行時の動作識別実験

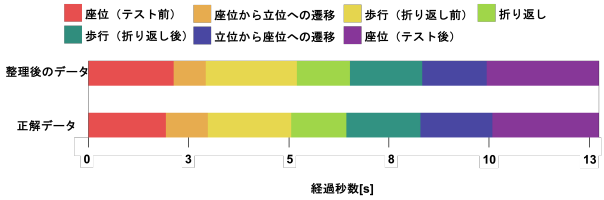
4.1 目的

図 2 に示すように，本フレームワークでは機械学習の精度向上やアノテーションの自動化のため，骨格のデータから TUGT で行っている動作を推定する必要がある．本研究では，予備実験によって動作の推定が可能であることを確認する．実験で使用するシステムとして，図 4 に示すプロトタイプを開発している．このプロトタイプでは，深度カメラである RealSense[1]によって歩行テストを撮影し，その映像を NUC[2]と呼ばれる小型のパソコンへ送信した後，骨格検出用 SDK である Cubemos[3]によってリアルタイムで映像を骨格情報に変換する．NUC は，クラウド上のデータベースである Firebase[4]に接続されており，遠隔操作でアノテーションアプリ等からの情報の受信や撮影の結果のアップロードが可能である．

[1]https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/architecture-and-technology/realsense-overview.html
[2]https://www.intel.co.jp/content/www/jp/ja/products/details/nuc/mini-pcs.html
[3]https://www.intelrealsense.com/skeleton-tracking/
[4]https://firebase.google.com/

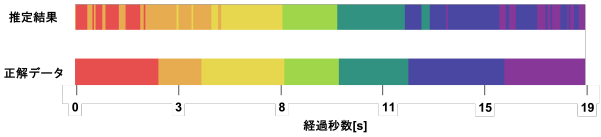


(a) 機械学習での推定結果

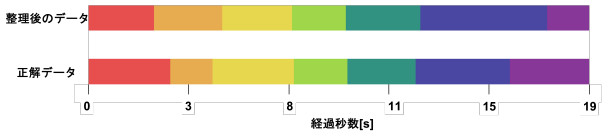


(b) 推定結果を整理したデータ

図 5: 被験者 E のテスト 2 回目での機械学習による行動の推定結果



(a) 機械学習での推定結果



(b) 推定結果を整理したデータ

図 6: 被験者 C のテスト 2 回目での機械学習による行動の推定結果

4.2 TUGT 実行時の動作識別実験

本実験では，被験者 20 代男性 6 人に対して，TUGT を行っている様子をそれぞれ 2 回撮影し，骨格を測定する．また，図 4 の TUGT 解析用プロトタイプによって，被験者が TUGT のうち「座位（テスト前)」,「座位から立位への遷移」,「歩行 (折返し前)」,「3m 地点での折返し」,「歩行 (折返し後)」,「立位から座位への遷移」,「座位（テスト後)」のなかでどの動作を行っているかを記録する．さらに，骨格の座標データを 3D 空間上で可視化し，骨格が移動する様子から記録されたアノテーションデータをより厳密なものに上書きした．記録したデータに対して学習データを骨格，正解データを動作とする教示あり機械学習を行った．機械学習のアルゴリズムには勾配ブースティング木の一種である LightGBM[5]を用いた．また，骨格データは前処理として，各関節位置に対し骨格の座標に加え，1 つ前および 1 つ後の座標データとの差分による 2 種類の速度情報と，2 つ前および 2 つ後までのデータを用いた 2 種類の加速度情報を計算し学習データとした．また，学習時には TUGT の 7 つのフェーズを「座位」「遷移」「歩行」「折り返し」の 4 クラスに統合し，学習後に結果を「折返し」を基準としそれ以前の行動とそれ以降の行動として再分類した．

4.3 分析結果

得られたデータに対して TUGT のうちのどの状態であるかを LightGBM によって分類し Leave-One-Person-Out 交差検証によって分類精度を確認した．Leave-One-Person-Out 交差検証とはデータ数が少ないときに機械学習の分類精度を確認する手法である．この手法では，一人分のデータを精度検証用のテストデータ，それ以外をトレーニングデータとする．これを，すべての被験者がテストデータとなるよう繰り返しその平均精度を求める．各被験者における分類精度を表 1 の列「整理前」に示す．

最も分類精度の高いデータは被験者 E の 2 回目，また，低いデータは被験者 C の 2 回目であった．それぞれのデータがどのように分類されたかを図 5(a)，図 6(a) に示す．

被験者 E に関しては赤-オレンジ間や青-紫間など各行動の遷移するタイミングで判定のずれがわずかに生じている．一方で被験者 C については行動の遷移するタイミングの分類が曖昧であり雑然としている．そのため，これらの遷移するタイミングについて整理をおこなった．具体的には，赤：座位（テスト前）とオレンジ：座位から立位への遷移の間では赤を左方（時間的に手前）にオレンジを右方（時間的に後方）に移行することで整理した．整理結果を図 5(b)，図 6(b) に示す．整理した結果，表 1 の「整理後」の列に示すとおり平均分類制度は 90%となった．

一方で表 2 に示す各行動での分類精度では，最も分類精度が高い行動と低い行動はそれぞれ，データ整理前では歩行（折返し前）91%立位への移行 76%であり，データ整理後では座位（テスト開始前）94%立位への移行 84%となった．そのため，各行動の遷移部分を除いたデータを使用することで各行動の詳細な分析が可能となる．また，本実験は被験者が 6 人と少ないデータ数で行われており，これらの結果は被験者を増やすことでより高い精度で分類できると考えられるため，今後は高齢者を中心とした TUGT のデータ収集を行う必要がある．

[5]https://lightgbm.readthedocs.io/en/latest/index.html

表 1: 機械学習による各被験者の分類精度

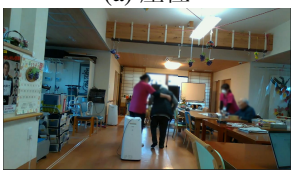
被験者	実験回数	F 値	
		整理前	整理後
A	1 回目	0.93	0.93
	2 回目	0.93	0.93
B	1 回目	0.89	0.90
	2 回目	0.78	0.81
C	1 回目	0.82	0.92
	2 回目	0.77	0.87
D	1 回目	0.93	0.94
	2 回目	0.92	0.92
E	1 回目	0.86	0.90
	2 回目	0.93	0.93
F	1 回目	0.86	0.90
	2 回目	0.85	0.89
平均精度		0.87	0.90

表 2: 機械学習による各行動の分類精度

行動	F 値	
	整理前	整理後
座位 (テスト開始前)	0.90	0.94
立位への移行	0.76	0.84
歩行 (折返し前)	0.89	0.92
折返し動作	0.89	0.89
歩行 (折返し後)	0.91	0.92
座位への移行	0.82	0.87
座位 (テスト終了後)	0.90	0.92
平均精度	0.87	0.90

(a) 座位

(b) 折り返すまでの歩行



(c) 折り返し後の歩行

図 7: TUGT 撮影の様子

5 高齢者を対象としたプロトタイプ改善の検討

5.1 目的

本研究で提案するフレームワークでは健康な状態の高齢者やフレイルの高齢者に対し TUGT の分析を行うことで不足している機能や適切な運動，体操を提示する機能を実装する．そのためには，使用者がシステムを扱う上で障害となる要素や現状運動の分析に必要な着眼点を明らかにする必要がある．そこで，本実験では“要介護”である高齢者に作成したプロトタイプを使用してもらうことでこれらの項目を明らかにする．これは要介護である高齢者がフレイルである高齢者に比べ，身体機能の衰えからシステムを扱う上での障害となる要素や注目するべき身体機能の項目を網羅している可能性が高いと判断したためである．

5.2 プロトタイプの改善項目

奈良県生駒市にある小規模多機能施設「いこいの家 26」[6]において, 高齢者 3 名を対象に開発したプロトタイプを用いて TUGT の撮影をおこなった．全ての高齢者は要介護状態であり，歩行時には杖をついており，介護士のサポートを受けていた．図 7 にプロトタイプ運用時の様子を示す．また，以下にプロトタイプ運用時に生じた改善項目，問題点に関して述べる．

(1) **複数人が映る環境では対象者を特定する必要がある．**

検証では高齢者に加えサポートを行う介護士が付き添っており，データ分析時には撮影データから高齢者を特定する必要があることが判明した．さらに，本検証ではプロトタイプは高齢者とサポート行っていた介護士に加え，周囲で作業を行う介護士や，図 7 の左側にあるポスター上の人物を人と認識していた．解決方法としては，テスト開始前に画面中心で座っている人といった条件で対象者を特定し，顔認証や服などの情報から対象者を追跡することが挙げられる．

(2) **対象者が座っているとき，足が隠れてしまう．**

本検証では，TUGT を行う上で 3m 地点での折り返しの目印として直方体の家電を用いた．しかし，その影響で高齢者が座っているとき，下半身がカメラから隠れていた．今後は，本フレームワークを運用する際，折り返し地点の目印によって体が隠れないよう事前に告知するとともに，テスト開始前にシステムが全身を認識していることを確認する機能を追加する必要がある．

(3) **設置時にカメラの水平が保証されない．**

本検証ではカメラを水平器といった地面との並行を保証する器具を使わずに設置した．これは，本フレームワークの利用者が水平器を用意できないと想定したためである．しかし，カメラの傾いた状態で骨格の座標を計算した場合，座標系がずれるため，正しく TUGT を解析できない可能性がある．座標系のずれを補正する方法としては，内部に搭載されている IMU から重

[6] https://lifecarejp.com/ikoi26/

表 3: TUGT の各動作を解析する上で着目すべきポイント

行動	注目すべき特徴
座位	・頭部が前に出ており猫背となっていないか ・臀部が前方に滑り仙骨に負担がかかる姿勢となっていないか
立位への移行	・肘掛けを使わずに立ち上がれるか ・足の力ではなく，重心の移動を利用して立ち上がっているか
歩行	複数の研究 [21] [22] や医療機関は高齢者の歩行の特徴として以下の項目を挙げている． ・歩行の速度の減少 ・歩幅の減少 ・両足が地面についている時間の増加 ・体正面に対してつま先が向いている角度の増加 ・足を上げた際の膝関節屈折角度の減少 ・上肢運動範囲の減少 ・上体の上下動減少 ・上体の左右動増加 ・体幹の前傾
折返し動作	・通常の歩行との歩行速度の差 ・遠心力に対し体幹が維持されているか
座位への移行	・体を投げ出すように座り，臀部の筋肉や骨に負担をかけていないか． ・椅子に座る時の上体が前傾であるか

力加速度を計算することで補正する方法が考えられる．また，IMU が使用できない機器の場合，あらかじめ床などの系の基準するための深度情報を測定しておきカメラを並行に設置した場合の床の深度情報との差から，傾きを補正を行うことを考えている．

また，表 3 に TUGT の解析を行う上で注目すべき動作の特徴を示す．これらのポイントについては，実験の協力施設である「いこいの家 26」の理学療法士の確認を得た．これらの，項目については 3 次元の骨格座標から計算可能である．本検証では，不具合から高齢者の 3 次元の骨格座標を出力することができなかったが，今後は，今回判明した問題点を解消することで，これらの項目を分析する予定である．

6 まとめと今後の展望

本稿では，フレイル状態である高齢者を健常な状態に改善させるために，適切な介入を行うフレームワークについて検討した．このフレームワークでは，モーションセンサにより高齢者が TUGT を行っている様子を測定し，高齢者のフレイルやプレ・フレイルの診断を行う．さらにフレイルの進行度合いやその原因を推定し，フレイルの改善につながる運動の提示を行う．

また，予備実験によって TUGT を行っているとき，「座位」，「座位から立位への遷移」，「歩行」，「3m 地点での折返し」，「立位から座位への遷移」のいずれの状態であるかを 90%で推定可能であることを示した．さらに，作成したプロトタイプを用いて高齢者が TUGT を行う様子を撮影し，プロトタイプが抱える問題点や動作の解析を行う上で注目するべきポイントのピックアップをおこなった．今後は，TUGT 状態分析の精度向上に加え，検証で判明した問題点の改善や TUGT の動作の解析，システムに TUGT の各動作を解析する上で着目すべきポイントを分析する機能を実装する予定である．

参考文献

[1] 厚生労働省. 介護保険事業状況報告, 2019.

[2] 総務省. 令和 2 年版高齢社会白書, 2020.

[3] 一般社団法人日本サルコペニア・フレイル学会. フレイル診療ガイド, 2021. http://jssf.umin.jp/clinical_guide.html.

[4] Shosuke Satake and Hidenori Arai. The revised japanese version of the cardiovascular health study criteria (revised j-chs criteria). *Geriatrics & Gerontology International*, Vol. 20, No. 10, pp. 992–993, 2020.

[5] 木俣雄太, 宮地篤士, 松井智一, 張志華, 藤本まなと, 諏訪博彦, 安本慶一. 高齢者のフレイル予防に向けた生活改善フレームワークの提案. 情報処理学会関西支部支部大会講演論文集, p. 8p, 2021.

[6] 北村明彦, 清野諭, 谷口優, 横山友里, 天野秀紀, 西真理子, 野藤悠, 成田美紀, 池内朋子, 阿部巧ほか. 高齢者の自立喪失に及ぼす生活習慣病, 機能的健康の関連因子の影響: 草津町研究. 日本公衆衛生雑誌, Vol. 67, No. 2, pp. 134–145, 2020.

[7] Linda P Fried, Catherine M Tangen, Jeremy Walston, Anne B Newman, Calvin Hirsch, John Gottdiener, Teresa Seeman, Russell Tracy, Willem J Kop, Gregory Burke, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, Vol. 56, No. 3, pp. M146–M157, 2001.

[8] Jane A Cauley, Li-Yung Lui, Deborah Barnes, Kristine E Ensrud, Joseph M Zmuda, Teresa A Hillier, Marc C Hochberg, Ann V Schwartz, Kristine Yaffe, Steven R Cummings, et al. Successful skeletal aging: a marker of low fracture risk and longevity. the study of osteoporotic fractures (sof). *Journal of Bone and Mineral Research*, Vol. 24, No. 1, pp. 134–143, 2009.

[9] Kota Tsutsumimoto, Takehiko Doi, Hyuma Makizako, Ryo Hotta, Sho Nakakubo, Keitaro Makino, Takao Suzuki, and Hiroyuki Shimada. The association between anorexia of aging and physical frailty: Results from the national center for geriatrics and gerontology' s study of geriatric syndromes. *Maturitas*, Vol. 97, pp. 32–37, 2017.

[10] 荒井秀典. フレイルの意義. 日老医誌, Vol. 51, No. 6, pp. 497–501, 2014.

[11] Chih-Hsuan Chou, Chueh-Lung Hwang, and Ying-Tai Wu. Effect of exercise on physical function, daily living activities, and quality of life in the frail older adults: a meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, Vol. 93, No. 2, pp. 237–244, 2012.

[12] Stephen R Lord, Sally Castell, Joanne Corcoran, Julia Dayhew, Beth Matters, Amelia Shan, and Philippa Williams. The effect of group exercise on physical functioning and falls in frail older people living in retirement villages: a randomized, controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, Vol. 51, No. 12, pp. 1685–1692, 2003.

[13] Carmen de Labra, Christyanne Guimaraes-Pinheiro, Ana Maseda, Trinidad Lorenzo, and José C Millán-Calenti. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *BMC geriatrics*, Vol. 15, No. 1, pp. 1–16, 2015.

[14] A Kubicki, M Brika, L Coquisart, G Basile, D Laroche, and F Mourey. The frail' bestest. an adaptation of the "balance evaluation system test" for frail older adults. description, internal consistency and inter-rater reliability. *Clinical Interventions in Aging*, Vol. 15, p. 1249, 2020.

[15] 解良武士, 河合恒, 吉田英世, 平野浩彦, 小島基永, 藤原佳典, 井原一成, 大渕修一. 都市在住高齢者における 1 年後のフレイル進展の心身機能的要因の検討. 理学療法科学, Vol. 30, No. 4, pp. 549–555, 2015.

[16] 島田裕之, 古名丈人, 大渕修一, 杉浦美穂, 吉田英世, 金憲経, 吉田祐子, 西澤哲, 鈴木隆雄. 高齢者を対象とした地域保健活動における timed up go test の有用性. 理学療法学, Vol. 33, No. 3, pp. 105–111, 2006.

[17] Benjamin Hotrabhavananda, Anup K. Mishra, Marjorie Skubic, Nijaporn Hotrabhavananda, and Carmen Abbott. Evaluation of the microsoft kinect skeletal versus depth data analysis for timed-up and go and figure of 8 walk tests. In *2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pp. 2274–2277, 2016.

[18] Okko Lohmann, Thomas Luhmann, and Andreas Hein. Skeleton timed up and go. In *2012 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine*, pp. 1–5, 2012.

[19] Sofia Backåberg, Amanda Hellström, Cecilia Fagerström, Anders Halling, Alisa Lincke, Welf Löwe, and Mirjam Ekstedt. Evaluation of the skeleton avatar technique for assessment of mobility and balance among older adults. *Frontiers in Computer Science*, Vol. 2, , 2020.

[20] George M. Savva, Orna A. Donoghue, Frances Horgan, ClaireO' Regan, Hilary Cronin, Rose Anne Kenny. Using Timed Up-and-Go to Identify Frail Members of the Older Population. *The Journals of Gerontology: Series A*, Vol. 68, No. 4, pp. 441–446, 09 2012.

[21] 丸山仁司. 高齢者の運動機能と歩行. 理学療法科学, Vol. 14, No. 3, pp. 101–105, 1999.

[22] 古名丈人, 島田裕之. 高齢者の歩行と転倒-疫学的調査から. バイオメカニズム学会誌, Vol. 30, No. 3, pp. 132–137, 2006.