

# フレイル予兆検知に向けた 宅内移動速度による身体機能レベルの推定方法の提案

上原優衣<sup>1</sup> 佐野健太郎<sup>1</sup> 斎藤英美<sup>1</sup> 宮田克也<sup>1</sup>  
呂偉達<sup>2,3</sup> 孫輔卿<sup>2,4</sup> 田中友規<sup>2</sup> 飯島勝矢<sup>2,4</sup>

**概要**：超高齢社会において、健康寿命の延伸のためにフレイルが注目されている。本研究では、フレイル予兆検知に向けた取り組みの一つとして、宅内の非接触センサを用いて身体の衰えを評価するシステム構築をめざす。宅内で身体の衰えを評価するために、宅内移動速度に着目した。高齢者 49 名の実験を通して、コホート研究での結果を基に分類した身体機能レベルと本実験のミリ波センサ計測移動速度に関する複数指標で、中程度の相関があることを確認した。相関のある複数指標を組み合わせることで、本実験の被験者の身体機能レベルを約 7 割の精度で推定可能な方法を提案した。

**キーワード**：フレイル、宅内移動速度、ミリ波センサ

## Proposal of Physical Function Level Estimation Method using In-home Moving Speed for Frailty Sign Detection

YUI UEHARA<sup>†1</sup> KENTARO SANO<sup>†1</sup> EMI SAITO<sup>†1</sup> KATSUYA MIYATA<sup>†1</sup>  
WEIDA LYU<sup>†2,3</sup> BO-KYUNG SON<sup>†2,4</sup>  
TOMOKI TANAKA<sup>†2</sup> KATSUYA IIJIMA<sup>†2,4</sup>

### 1. はじめに

現在、日本では少子高齢化が進んでおり、65 歳以上の人口が総人口を占める割合(高齢化率)は、2010 年で 23%、2015 年で 26.6%、2018 年で 28.1%と徐々に増加している[1]。今後も増加傾向が続くと見込まれており、2065 年には高齢化率は 38.4%まで増加すると推計されている。また、ヘルスケアビジネスにおける市場規模も 2016 年の 25 兆円から 2025 年には 33 兆円規模に拡大すると予測されている[2]。このような状況下で、健康寿命の延伸に向けてフレイル予防が注目されている[3]。

フレイルとは、健康状態から要介護状態に移行する間の状態を意味し、適切な介入により再び健常な状態に戻ることが可能という可逆性の特徴を有する[4]。また、フレイルは身体の虚弱(フィジカル・フレイル)、こころ・認知の虚弱(メンタル/コグニティブ・フレイル)及び社会性の虚弱(ソーシャル・フレイル)の多面性を持つという特徴を有する。特定の場所に集まって行う従来のフレイルチェックは、実施時期や期間が決まっているため、フレイルチェックのタ

イミングによってはフレイル状態の兆候に気づくことが遅れる可能性がある。そのため日常的な見守りによりフレイル状態の兆候を早期に発見し、気づきを与えることが重要である。現在、日常の中で取得できるデータを用いたフレイル予兆検知に関する研究が様々な観点から取り組まれている[5][6][7][8][9]。これらは、生活習慣を基に予兆検知を図るものが多く[5][6][8][9]、長期のデータを必要とし、またフレイルのどの側面が影響しているのかを評価することが困難である。そのため、フレイルの予兆を検知した際、適切な介入ができない可能性がある。複数の検知方法を組み合わせることでフレイルの各側面を評価する方法も提案されている[7]が、ユーザが何かしらのデバイス进行操作することを前提としており、また複数のデバイスを導入する必要がある。さらに、宅内において非日常的な動作を含んだ測定となっている。本研究では、身体的・精神的な負荷を考慮した普段の日常生活の中でのセンシングにより、フレイルの各側面の影響を鑑みることができるフレイル予兆検知の実現に取り組む。その取り組みの一つとして、宅内の単一非接触センサを用いて身体の衰えを評価するシステム構築をめざす。身体的・精神的な負荷を考慮するために、本システムでは次の 2 点を前提としている。1 点目は身体的負担をかけないために、常に身に着ける必要があるウェアラブルセンサや携帯型デバイスは利用せず、日常生活ではしないような特別な動作をする必要がないことである。2 点目は精神的負担をかけないために、マイクやカメラを利

1 (株)日立製作所

Hitachi Ltd.

2 東京大学高齢社会総合研究機構

Institute of Gerontology, The University of Tokyo

3 東京大学医学系研究科

Department of Geriatric Medicine, Graduate School of Medicine,  
The University of Tokyo

4 東京大学未来ビジョン研究センター

Institute for Future Initiatives, The University of Tokyo

用しないことでプライバシーに配慮することである。また、提示した研究コンセプトを満たす測定手段として、本研究ではミリ波センサ[10]を採用する。本研究で採用したミリ波センサは、1秒間隔で人の在不在や姿勢、座標位置等様々なデータを取得でき、身体の衰えの評価以外の用途でも活用可能だと想定している。

本報告では、高齢者を対象とした実験を通して、宅内移動速度を用いた身体機能レベルの推定方法を提案し評価する。2章では、身体の衰えを評価する上での研究アプローチについて述べる。3章では、実験概要と条件について説明する。4章で実験結果について説明する。5章では身体機能レベルの推定方法の提案と試行について述べる。最後に、6章はまとめである。

## 2. 研究アプローチ

### 2.1 身体の衰えの評価方法に関する仮説

本研究では、身体の衰えを宅内の移動速度から評価できると仮説立てた。歩行に関する速度はフレイルを評価するための基準である J-CHS 基準[11]の一つであり、且つ歩行は確実に宅内で発生する動作でもあるため、身体の衰えの評価という面からも日常的なセンシングという面からも有用と考えた。

### 2.2 課題

仮説を検証する上での課題は以下の2点である。

#### 課題1：宅内での移動速度の切り出し方を検討

宅内では、様々な動作の中で短時間の移動が頻繁に発生する。移動速度を評価軸とする場合、身体の衰えを評価するために宅内での移動速度をどのように切り出すかを検討する必要がある。なお、ミリ波センサでは直接移動速度を取得できないため、座標位置情報を基に宅内移動速度を算出する。

#### 課題2：身体の衰えの評価方法を検討

宅内移動速度を用いてどのように身体の衰えを評価するか検討する必要がある。

### 2.3 課題の解決方針

本報告では、身体の衰えを評価するために、身体の衰え度合いを数段階のグループに分けて考える。本報告では、数段階に分けたグループを身体機能レベルで表現する。

まず、課題1を解決するために、いくつかの動作を対象に、身体機能レベルと動作全体や動作別の宅内移動速度の関係を確認する必要がある。ここで、動作とは食事準備や掃除などを意味する。次に、課題2を解決するために、課題1同様、身体機能レベルと宅内移動速度の関係性を調査し、その結果を踏まえて身体機能レベルを推定する方法を確立する必要がある。

以上を踏まえて、高齢者を対象とした実験を計画した。

## 3. 実験概要と条件

### 3.1 実験概要

本実験では、宅内移動速度による身体機能レベルの推定方法確立をめざして、いくつかの動作を対象に、身体機能レベルと宅内移動速度の関係性調査を目的としている。なお、本アプローチでは、身体機能レベルが既知であることが前提となるため、柏スタディに参加した高齢者を対象とすることで、柏スタディの測定データを基に身体機能レベルを分類する。柏スタディとは、東大 IOG が主導で行っている大規模高齢者コホート調査であり、健康状態、身体の構造と機能、活動、社会参加、心理及び認知機能等の精緻なデータ収集及び解析を実施している[12]。また、この取り組みを通じて得られた知見から、フレイルやフレイルの最大の原因であるサルコペニアに関する研究結果が出されている[13][14][15][16]。

柏スタディに参加した高齢者の中から本実験の被験者を募り、センサを設置した模擬住居にて食事準備や配膳、掃除といった日常生活を模擬した動作を実施してもらう。なお、実験の様子は後で見返すことができるように、4方向からの動画撮影を実施する。図1に模擬住居の間取りや実際の環境イメージを示す。

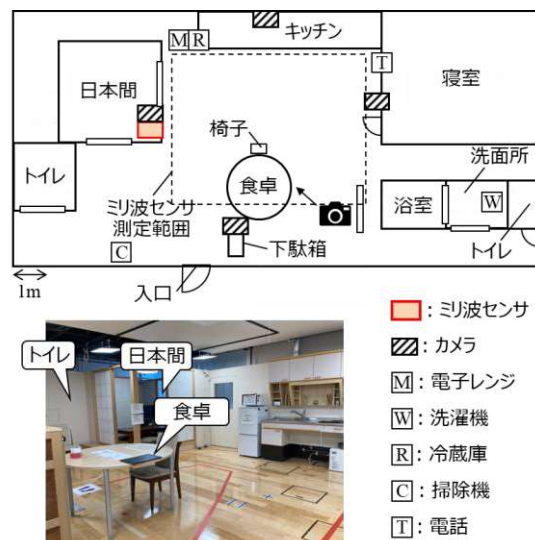


図1 模擬住居

Fig. 1 A simulated house

また、本実験に関する概要を以下に示す。

- 場所：東京大学柏キャンパス 模擬住居
- 時期：2021年11月中旬～2022年1月下旬
- 測定時間：1人当たり30分～1時間
- 対象者：柏スタディに参加した高齢者
- 被験者数：49名

- 使用センサ：ミリ波センサ (使用メーカー：光波)
- 測定内容：日常生活を模擬した動作中の移動速度 (詳細は後述)
- 身体機能レベル：3段階に分類 (詳細は後述)
- その他条件：測定は1名ずつ実施

上記項目のうち、測定内容と身体機能レベルに関する詳細は次節以降で説明する。

### 3.2 日常生活を模擬した動作

日常生活を模擬した動作について説明する。なお、本実験内では衛生面や安全性を考慮して、生鮮食品は用いず、刃物系の利用も一切ない。また、複雑な作業による被験者の混乱を避けるため、家電機器も実際に操作してもらわず、利用する動作を模擬してもらう。

食事準備では、冷蔵庫や電子レンジを活用し、お盆の上にご飯に見立てたものや飲み物を準備する動作を模擬してもらう。食事では、食事準備で準備したものを食べる動作を模擬してもらう。食事準備や食事は、主に、物を持たない時や軽い物を運ぶ時の移動データを取得することを目的としている。配膳では、食事準備で準備したものをキッチンに戻し、その代わりに指定したものをキッチンから探して再度お盆の上ののせて食卓上で配膳する動作を模擬してもらう。これは、主に、食器の載ったお盆を運ぶといった、物を持っている時の移動データを取得することを目的としている。最後に掃除は、コードレスの掃除機を用いて、指定したライン上で掃除する動作を模擬してもらう。これは、掃除機をかけながらの移動に関する移動データの取得を目的としている。日常生活を模擬した動作の中で自然な移動をより多く実施してもらうために、各動作の中で移動を伴うような状況を用意した。例えば、食事準備の中では電子レンジ使用中に着信があった想定で電話をとりに行く(電子レンジ置き場と電話置き場間の移動)というものや、食事であれば一度席に着いた後に食事に必要なカトラリーを再びキッチンに取りに行く(食卓とキッチン間の移動)というものである。なお、本報告では、ミリ波センサの測定範囲内での移動に着目している。

### 3.3 移動速度

ミリ波センサの計測結果による移動速度(moving speed)は、 $t$ を時間、 $X$ と $Y$ をそれぞれミリ波センサ起点の $X$ 軸と $Y$ 軸の座標値としたとき、式(1)により算出する。

$$\text{Moving speed}[m/s] = \sqrt{(X_t - X_{t-1})^2 + (Y_t - Y_{t-1})^2} \quad (1)$$

本報告で対象とする移動速度に関する指標を表1に示す。日常的な移動の内、移動速度の#E1 平均値では平均的な速さを評価でき、#E2 最大値では最も速い移動時の速度を評価できる。#E3 と#4の加速度とは、単位時間(ここでは1秒)当たりの速度の変化率を表すものであり、加速度の絶

対値によりそれぞれ平均的な速度の変化率と最大の速度の変化率を評価する。これらの指標は、身体の衰えが進んでいない人の方が機敏に動けることで、指標値も高くなると想定した。

また、移動速度における各指標は、一定閾値以上のデータを対象に評価する。これにより、その場での動作や一定以上の速度変動がないデータを除外する。本報告では閾値を0.5 [m/s, m/s<sup>2</sup>]としている。

表 1 移動速度に関する指標

Table 1 Moving speed indicators

#	移動速度の指標
E1	平均値
E2	最大値
E3	加速度の平均値
E4	加速度の最大値

### 3.4 身体機能レベル

ミリ波センサ計測移動速度の各指標との関係性調査に用いる被験者の身体機能レベルの分類方法について述べる。

本研究では、柏スタディに参加した高齢者を対象とすることで、柏スタディの測定データを基に3つの身体機能レベルに分類する。なお、本報告で用いる身体機能レベルは、柏スタディの測定項目を基に被験者の身体機能のレベルを分類するために本研究用として定義したものであり、一般の臨床現場やフレイル予防研究で使われている確立された基準ではない。

身体機能レベルは、後述する5つの柏スタディの測定データを対象として、基準値に該当する項目数から分類する。5つの項目はそれぞれ身体バランスや筋肉の衰えを評価するものであり、複数の測定結果を組み合わせることで身体の衰えの度合いを、より総合的に評価できると期待している。ここで、該当する項目がない場合は身体機能レベル1、一項目該当する場合は身体機能レベル2、二項目以上該当する場合は身体機能レベル3とする。なお、身体機能レベルは数値が大きい方が虚弱である可能性が高い。身体機能レベルの分類に利用する柏スタディの5つの測定項目K1~K5に対する基準値を表2に示す。

表 2 基準値

Table 2 Standard value

#	柏スタディ測定項目	基準値
K1	TUG (Time Up & Go)	6秒以上
K2	通常歩行速度	1.0m/s 未満

K3	握力	(男性)28kg 未満 (女性)18kg 未満
K4	5 回立ち上がりテスト	12 秒以上
K5	開眼片足立ち時間	60 秒未満

また、測定内容と基準値の設定方法は次の通りである。

**(K1) TUG (Time Up & Go Test) :**

椅子に座った状態から立ちあがり、3m 歩いて折り返してから再び着座するまでの時間を測定する。基準値は、2021 年度の柏スタジアムの参加者 1583 名のデータより、下位 25% の被験者は 6.06s 以上であるという結果を基に設定している。

**(K2) 通常歩行速度 :**

係員のサポートのもと、直線 11m を日ごろの歩行速度で歩いた際の歩行時間を測定する。速度算出の際は、測定開始時と測定終了時の 3m を除いた 5m の歩行時間を用いる。基準値は J-CHS 基準を基に設定している。

**(K3) 握力 :**

市販の握力計で測定する。基準値は、K2 同様 J-CHS 基準を基に設定している。

**(K4) 5 回立ち上がりテスト :**

椅子から 5 回連続で立ち上がる時間を測定する。基準値はサルコペニアの診断基準の 1 つである awgs2019 基準[17] を基に設定している。

**(K5) 開眼片足立ち時間 :**

1 分間の測定時間で、片足立ちを維持できる時間を測定する。基準値は、片足立ちを測定時間維持できるかの有無を基準として設定している。

以上の分類方法を適用した際の、被験者 49 名における身体機能レベル毎の人数内訳を表 3 に示す。

表 3 身体機能レベル毎の人数内訳

Table 3 Number of people of each Physical function level

身体機能レベル	1	2	3
内訳	21 (M) 12 (F) 9	14 (M)8 (F)6	14 (M)8 (F)6

M: 男性, F: 女性

## 4. 実験結果

### 4.1 移動速度に関する指標と身体機能レベルの相関

図 2 に、本実験での移動速度に関する各指標と身体機能レベルにおける関係を示す。また、移動速度に関する各指標と身体機能レベルとの相関係数を表 4 に示す。さらに、

表 5 に、動作別に分けた際の移動速度に関する各指標と身体機能レベルとの相関係数を示す。なお、表 5 は、欠損データや評価対象となるデータがない被験者データが除外された結果となっている。

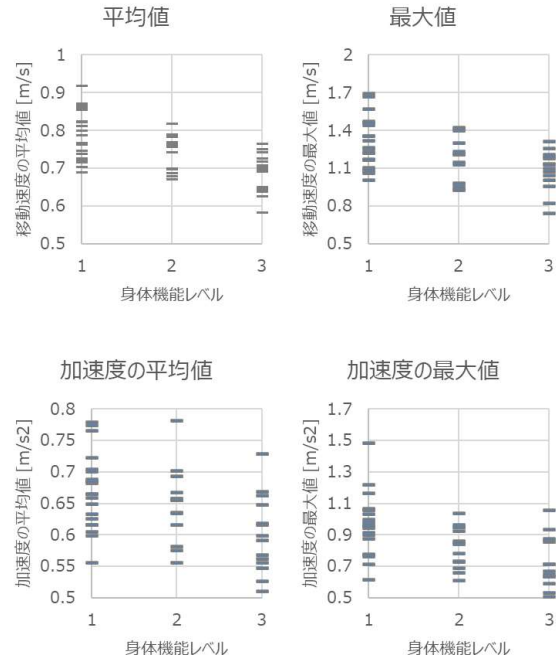


図 2 身体機能レベル別各指標値分布

Fig. 2 Result of speed's indicators for each the level

表 4 各指標と身体機能レベルの相関関係

Table 4 Correlation coefficient between indicators and the level

#	移動速度の指標	身体機能レベルとの相関係数(r)
E1	平均値	-0.58
E2	最大値	-0.49
E3	加速度の平均値	-0.44
E4	加速度の最大値	-0.51

表 5 動作別の各指標と身体機能レベルの相関関係

Table 5 Correlation coefficient between indicators and the level for each action

#	移動速度の指標	食事準備	食事	配膳	掃除
E1	平均値	-0.54	-0.53	-0.50	0.09
E2	最大値	-0.45	-0.52	-0.39	-0.02
E3	加速度の平均値	-0.43	-0.27	-0.12	0.12

E4	加速度の 最大値	-0.50	-0.42	-0.34	0.02
----	-------------	-------	-------	-------	------

#### 4.2 実験結果における考察

図 2 に示す通り、身体の衰えに関係すると想定した指標は身体機能レベル 1 の群に対して身体機能レベル 3 の群の方が低く出る傾向にある。相関係数(r)は絶対値が 1 に近いほど数値の関係があり、一般的に相関係数が  $\pm 0.4 \sim \pm 0.7$  は、中程度の相関があるとされている。このことを踏まえると、表 4 に示す移動速度に関する指標と身体機能レベルでは中程度の相関がある。以上のことから、一連の動作全体で評価した際、身体機能レベル群ごとに特徴が出ており、身体機能レベルを推定するための指標として利用できる可能性があると考えた。

行動毎に被験者間を比較した際、実際の実験の様子から、特に掃除は動き方が個人によって大きく異なることを確認した。例えば、掃除機を前後に動かしながら進む被験者もいれば、前後に動かすことなくそのまま前進する被験者もいた。表 5 においても掃除中の各指標と身体機能レベルとの相関係数の絶対値は 0.2 を切っており、無相関の結果を示している。以上より、掃除動作に関しては身体機能レベルより個人差が影響していると推察した。

表 4 と表 5 を比較すると、全体評価の方が動作別より相関係数が高い傾向にある。実環境に適用する際の動作分類の処理を導入するハードルも踏まえた結果、動作毎の評価より一連の動作全体に対しての評価が有用であると考えた。したがって、身体機能レベルの推定方法の検討では、一連の動作全体に対する結果を活用する。

### 5. 身体機能レベルの推定方法の提案と試行

#### 5.1 実験結果を踏まえた検討

4 章で述べた通り、移動速度に関する指標は身体機能レベル 1 の群に対して身体機能レベル 3 の群の方が低く出る傾向にある。また、図 2 において、各指標でほぼ身体機能レベル 1 となる領域と各身体機能レベルがオーバーラップしている領域、ほぼ身体機能レベル 3 となる領域で分けることができる。図 3 は、図 2 から得た知見を踏まえて、移動速度に関する指標の測定値と身体機能レベルとの関係性のイメージを図示したものである。図 3 のように、各領域の閾値を設けることで身体機能レベルを推定できると考えた。しかしながら、各身体機能レベル内での指標値のばらつきが大きく、各身体機能レベルがオーバーラップしている部分が多いため、1 指標から身体機能レベルを精度よく推定することが困難だと予測した。以上のことを踏まえて、複数指標を組み合わせた際の領域の当てはまり方から身体機能レベルを推定する方法を検討した。

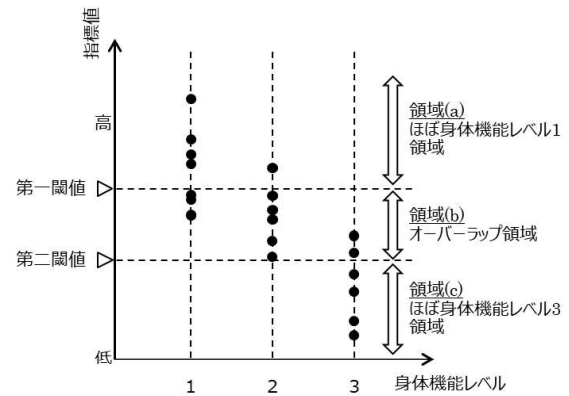


図 3 身体機能レベルと指標値における関係性イメージ

Fig. 3 Image of the relationship between Physical function level and an indicator

#### 5.2 身体機能レベルの推定方法の提案

複数指標を組み合わせることで、1 つの指標による推定より、精度よく身体機能レベルの高い群と低い群を区別できると予測した。本仮説を基に、手順(1)(2)を踏まえて身体機能レベルを推定する。

##### 手順(1): 指標毎に閾値を設け、複数領域を設定

図 3 に示すように、ほぼ身体機能レベル 1 である領域(a)と各身体機能レベルが混合している領域(b)、ほぼ身体機能レベル 3 である領域(c)の 3 つの領域に分ける。

##### 手順(2): 領域の当てはまり方により身体機能レベルを推定

表 6 に示すように、領域(a)と領域(c)の保有の有無により、身体機能レベルを推定する。表 7 は身体機能レベルの推定結果の一例である。例えば、被験者 1 は領域(a)を保持し領域(c)は保持しないため、表 6 に当てはめると身体機能レベルの推定結果は 1 となる。また、被験者 3 は領域(a)を保持せず領域(c)を保持するため、表 6 に当てはめると身体機能レベルの推定結果は 3 となる。

表 6 身体機能レベルの推定方法

Table 6 Estimation method of Physical function level

項目	領域(a)あり	領域(a)なし
領域(c)あり	身体機能レベル 2	身体機能レベル 3
領域(c)なし	身体機能レベル 1	身体機能レベル 2

表 7 身体機能レベルの推定結果の一例

Table 7 The example on estimation result of Physical function level

被験者	指標				身体機能レベル		評価
	1	2	3	4	推定結果	正解データ	
1	領域(a)	領域(a)	領域(b)	領域(a)	1	1	True

2	領域(b)	領域(b)	領域(b)	領域(b)	2	2	True
3	領域(b)	領域(c)	領域(b)	領域(b)	3	2	False
...	...	...	...	...	...	...	...

### 5.3 本提案の推定方法の試行結果

表 8 に本提案の推定方法の試行結果を示す。指標を 1 つのみ用いて身体機能レベルを推定した場合、一番精度がよくて約 55%の結果となっている。それに対して、4 つの指標を組み合わせて推定した場合、次のような結果となった。身体機能レベル 1 は、データ数 21 に対して正解数 16 で正解率約 76%である。身体機能レベル 2 は、データ数 14 に対して正解数 10 で正解率約 71%である。身体機能レベル 3 は、データ数 14 に対して正解数 9 で正解率約 64%である。これらの結果から、全体では、データ数 49 に対して正解数 35 で正解率約 71%である。

表 8 身体機能レベルの推定における評価結果

Table 8 Evaluation result of Physical function level judgement

		身体機能レベル別			全体
		レベル 1	レベル 2	レベル 3	
被験者数		21	14	14	49
(E1) 平均値	正解数	9	13	5	27
	正解率	0.43	0.93	0.36	0.55
(E2) 最大値	正解数	7	14	2	23
	正解率	0.33	1	0.14	0.47
(E3) 加速度 の 平均値	正解数	5	12	6	23
	正解率	0.24	0.86	0.43	0.47
(E4) 加速度 の 最大値	正解数	10	13	3	26
	正解率	0.48	0.93	0.21	0.53
4 指標 組み合 わせ	正解数	16	10	9	35
	正解率	0.76	0.71	0.64	0.71

### 5.4 試行結果における考察

予測通り、1 指標に比べて、複数指標を用いた本提案の推定方法の方が高い精度で推定できた。表 8 に示す通り、1 指標で推定する場合、身体機能レベル 1 と身体機能レベル 3 の精度が 50%を切ってしまう。これは、オーバーラップ部分が多いため、領域(b)に含まれない一部のみの身体機能レベル 1 群と身体機能レベル 3 群の被験者しか正しく推定できないためである。本提案の推定方法を適用することで、図 3 における第一閾値や第二閾値付近の被験者を分類することが可能となり、全体の精度が上がったと推察する。

本試行では、移動速度に関する 4 つの指標から身体機能レベルを推定する方法の適用により、約 7 割の精度で推定可能な見込みを得た。したがって、本手法は身体機能レベルを推定するための一手法として活用可能だと考える。さらに精度よく身体機能レベルを推定するためには、その場での動作や一定以上の速度変動がないデータを除外するための閾値の設け方や、身体の衰えを評価できる指標の追加等の検討が必要である。身体の衰えを評価できる指標の追加においては、ミリ波センサで取得できるその他のデータが活用できると想定している。

### 6. おわりに

宅内で身体機能レベルを推定するために、宅内移動速度に着目した。実験を通して、ミリ波センサから取得した短時間の宅内移動速度でも、特定の動作を切り出すことなく身体機能レベル群ごとに特徴が出ることを確認した。以上より、ミリ波センサ計測移動速度に関する指標は、身体機能レベルを推定するための指標として利用可能であると考えた。また、身体機能レベルの推定方法を試行した結果、約 7 割の精度で推定可能な見込みを得た。今後の課題としては、移動速度以外の指標と組み合わせることでより身体機能レベル推定の精度向上をめざすとともに、ころろ・認知の虚弱及び社会性の虚弱の予兆を検知することで、フレイル予兆検知につなげていく。また、本実験や本試行では 49 名を対象としたが、被験者数を増やして推定精度の向上を図る。

なお、本研究は東京大学にて倫理審査承認済みである(東京大学倫理審査専門委員会: 審査番号 21-197)。また、本研究のデータは、(株)日立製作所研究開発グループで定める倫理審査基準に則り審査され、全ての被験者からインフォームド・コンセントを得た上で取得した。

### 参考文献

- [1] “内閣府 令和元年版高齢社会白書 高齢化の現状”。  
[https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/html/zenbun/s1\\_1\\_1.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/html/zenbun/s1_1_1.html), (参照 2022-11-24).
- [2] “経済産業省 経済産業省におけるヘルスケア産業政策について”。  
<https://kouseikyoku.mhlw.go.jp/kyushu/000198320.pdf>, (参

- 照 2022-11-24).
- [3] “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://www.jpn-geriat-soc.or.jp/info/topics/pdf/20140513\\_01\\_01.pdf](https://www.jpn-geriat-soc.or.jp/info/topics/pdf/20140513_01_01.pdf), (参照 2022-11-24).
- [4] “公益社団法人東京都医師会 フレイル予防” .  
<https://www.tokyo.med.or.jp/citizen/frailty/>, (参照 2022-11-24).
- [5] Markos, G. T. et al.. Assessing the Frailty of Older People using Bluetooth Beacons Data. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2018.
- [6] Luigi, P., Piercosimo, R. and Jochen, M.. Unobtrusive Detection of Home Appliance's Usage for Elderly Monitoring. *Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 2018.
- [7] Francesca, L. et al.. The MOVECARE Project: Home-based Monitoring of Frailty. *Biomedical & Health Informatics (BHI)*, 2019.
- [8] Soumaya, M. et al.. Frailty detection of older adults by monitoring their daily routine, *BioInformatics and BioEngineering (BIBE)*, 2020.
- [9] Kijun, K., Shimpei, O. and Noboru, K.. Machine Learning Model for Frailty Detectxon using Electric Power Consumption Data from Smart Meter. *Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, 2021.
- [10] “株式会社光波” . <http://www.koha.co.jp/special/05.html>, (参照 2022-11-24).
- [11] Shosuke, S. and Hidenori, A.. The revised Japanese version of the Cardiovascular Health Study criteria (revised J-CHS criteria). *Geriatr Gerontol Int*, 2020, 20(10):992-993.
- [12] “東京大学高齢社会総合研究機構 フレイル予防に資する介入の探索大規模フレイル予防研究「栄養とからだの健康増進調査（柏スタディ）」” .  
<https://www.iog.u-tokyo.ac.jp/project/kashiwastudy-pj/>, (参照 2022-11-24).
- [13] Ishii, S. et al.. Development of a simple screening test for sarcopenia in older adults. *Geriatr Gerontol Int*, 2014, 14 Suppl 1:93-101.
- [14] Kuroda, A. et al.. Eating Alone as Social Disengagement is Strongly Associated With Depressive Symptoms in Japanese Community-Dwelling Older Adults. *J Am Med Dir Assoc*, 2015, 16(7): 578-585.
- [15] Tanaka, T. et al.. “Yubi-wakka” (finger-ring) test: A practical self-screening method for sarcopenia, and a predictor of disability and mortality among Japanese community-dwelling older adults. *Geriatr Gerontol Int*, 2017, 18(2): 224-232.
- [16] Weida, L. et al.. Associations of multi-faceted factors and their combinations with frailty in Japanese community-dwelling older adults: Kashiwa cohort study. *Arch Gerontol Geriatr*, 2022, 102:104734
- [17] Liang-Kung, C. et al.. Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 Consensus Update on Sarcopenia Diagnosis and Treatment, *J Am Med Dir Assoc*, 2020.