# 動作区分に基づく歩行計測と転倒リスクの評価

小川研究室 21816033 弦間 美咲

## 背景

近年、少子高齢化が進行し、健康寿命を延ばすことに加え健康寿命と平均寿命を短縮することが重要

➡ 要支援・要介護状態となる前に予防することが必要

➡ ロコモ対策に注目

ロコモの早期発見に身体機能評価を利用

＼ロコモとは／
要支援・要介護状態となる前に運動器の問題によって日常生活が制限されている状態のこと

### Timed Up and Go test (TUG)

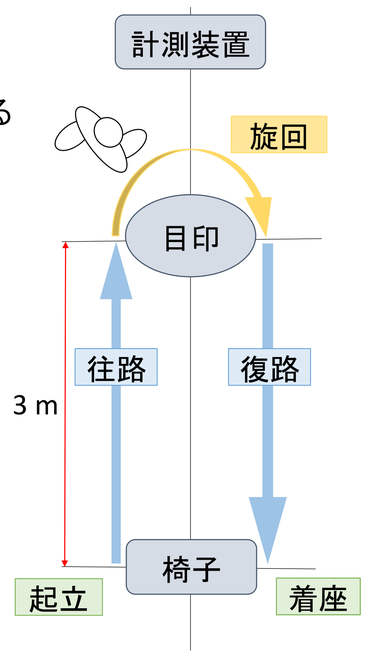
- 下肢筋力・バランス・歩行能力・易転倒性といった日常生活機能との関連性が高いことが証明されており高齢者の身体機能評価として広く用いられている[*1]
- 厚生労働省による市町村での介護予防のための体力測定の項目ともなっている[*2]

[*1] https://www.jsmr.org/TUG.html (2021.11.04 閲覧)
[*2] https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1d.pdf p.25 (2021.11.04 閲覧)

### TUGの計測・評価

- 椅子に座った状態から合図で立ち上がり3 m先の目印で折り返し、椅子に再び座る
- 合図から椅子に座るまでの時間をストップウォッチで計測
  - ➡ 手動で計測
  - ➡ 計測者が必要
- 計測時間がCutOff値より長ければ転倒リスクが高いと評価
  - ➡ 計測項目が計測時間のみと限定的
  - ➡ 動作毎の計測項目はなし

どの動作で転倒リスクが高いかを理学療法士が定性的に評価




## 目的

TUGの自動化・高度化によって転倒リスクの予測や歩行改善の指導に繋がると期待される

**【自動化】**
- 病院以外でも計測が可能になり、ロコモ対策が身近になる
- 測定頻度が上がっても計測者の負担が増えない

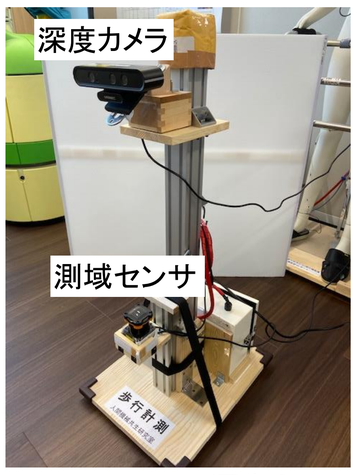
**【高度化 : TUGの動作区分化】**
- TUGを起立・往路・旋回・復路・着座に区分化
- 区間毎に特徴量を算出
  - ➡ 特徴量と転倒リスクの関係が分かればどの動作で転倒リスクが高いか評価可能

計測時間のみ➡計測項目の増加
個人の苦手動作発見➡歩行改善・運動指導

- 測域センサと深度カメラを用いて自動化を実現
- 計測データから動作区分を行い、定量的分析を行う

## 計測システム

### 計測装置




**● 深度カメラ**
(Orbbec/Astra Pro)



奥行き情報を取得する深度センサを内蔵
【取得データ】RGB画像・深度画像
全身運動の記録➡最上部と最近接部を追跡

**● 測域センサ**
(Hokuyo/UTM-30LX)



赤外線レーザを物体に照射し、その反射光から測定した位置を取得
【取得データ】左右膝下の極座標
歩行軌跡の記録➡脚の位置を追跡

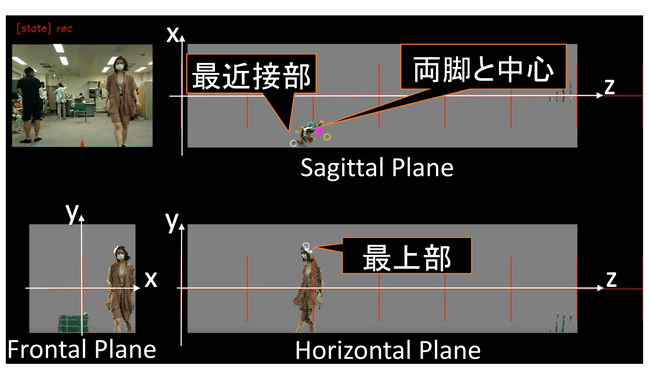
深度カメラの仕様

| | |
|---|---|
| サイズ | 165 mm×30 mm×40 mm |
| 検出距離 | 0.6 m～8 m |
| 測定範囲 | 60 °H×49.5 °V×73 °D |
| RGB画像解像度 | 1280×720 @30 fps |
| 深度画像解像度 | 640×480 @30 fps |

測域センサの仕様

| | |
|---|---|
| 波長 | 905 nm |
| 検出距離 | 0.1～60 m |
| 測定範囲 | 270 ° |
| 角度分解能 | 0.25 ° |
| 計測周波数 | 40 Hz |

### 表示画面

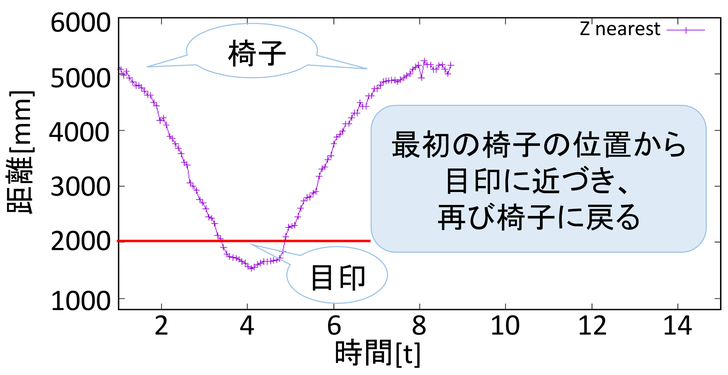



【表示内容】
- 左上にRGB画像
- 深度カメラの取得データを3次元復元
  ➡3方向から表示
- 追跡している位置
  最上部
  最近接部
  両脚 ・ 両脚中心

### 取得データ

**● 深度カメラの取得データ**

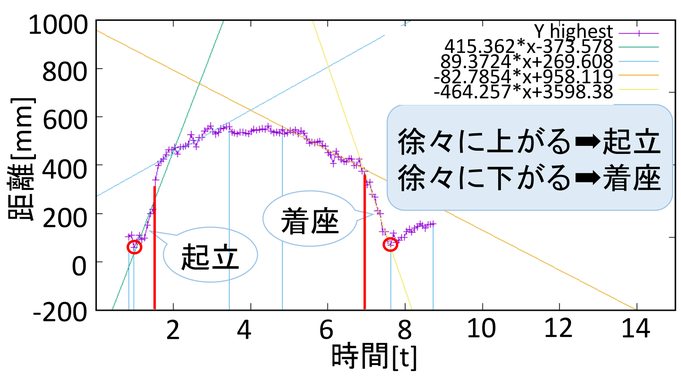
最近接部




**★ 起立–往路、復路–着座の動作区分化**
目印の通過時刻によって区分化

計測装置から目印までの距離：2 m
目印通過時点➡旋回開始（終了）

最上部



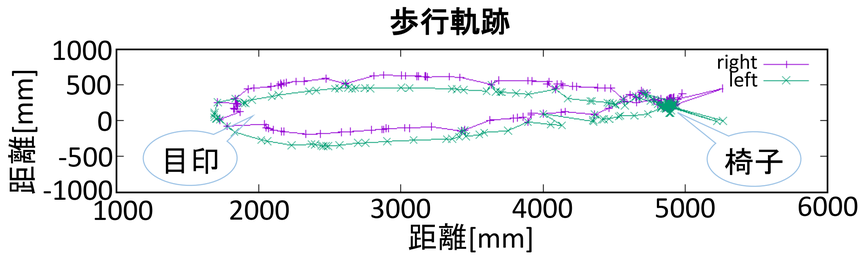

**★ 往路–旋回、旋回–復路の動作区分化**
区分線形近似によって区分化

① 最下点（赤丸）と往路開始（復路終了）地点を決定
② 各点から近似直線を求める
③ 最下点と往路開始（復路終了）地点の間で誤差の和が最小になる位置➡起立終了・着座開始

取得データの特徴を用いて起立・往路・旋回・復路・着座に区分化

**● 測域センサの取得データ**

歩行軌跡




椅子：5000 mm➡開始・終了地点
目印：2000 mm➡折り返し地点

歩行軌跡は特徴量算出で使用

## 実験の結果と評価

### 実験条件

【実験環境】
8/25,26,27日
神奈川工科大学
ITエクステンションセンター

【対象者】
人数：23名
年齢：70～80代
性別：女性22名・男性1名

【計測環境】
計測装置からの距離
2 m➡目印
5 m➡椅子

【指示】
- スタートの合図で開始
- できるだけ速く、走らず目印で折り返し座る

【問診】
転倒リスクに対する主観的認識の調査

【問診内容】
Q1.転倒の不安を感じる場面
Q2.転倒の不安を感じる要因
Q3.転倒経験

【問診結果】

| | 回答項目 | 人数 |
|---|---|---|
| Q1 | 特になし | 11 |
| | 起立 | 1 |
| | 直進歩行 | 3 |
| | 方向転換 | 2 |
| | 着座 | 0 |
| | 段差 | 8 |
| | 坂道 | 1 |

| | 回答項目 | 人数 |
|---|---|---|
| Q2 | 特になし | 15 |
| | つまずき | 5 |
| | ふらつき | 4 |
| | 滑り | 2 |
| | 踏み外し | 1 |
| Q3 | はい | 8 |
| | 転倒しそうになった | 3 |
| | いいえ | 13 |

**Q3.転倒経験の結果で経過時間を比較**

### 各区間の経過時間を比較

**● 転倒経験**

A群 ： 転倒経験あり or 転倒しそうになった

| | 起立 | 往路 | 旋回 | 復路 | 着座 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 平均 | 1.4911 | 1.8486 | 1.3813 | 2.3268 | 2.3688 | 9.4167 |
| 分散 | 0.1747 | 0.5472 | 0.1729 | 1.020 | 0.7121 | 5.7992 |
| 標準偏差 | 0.4180 | 0.7397 | 0.4158 | 1.0100 | 0.8439 | 2.4081 |

B群 ： 転倒経験なし

| | 起立 | 往路 | 旋回 | 復路 | 着座 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 平均 | 1.4519 | 1.8530 | 1.4172 | 2.4796 | 2.2609 | 9.4628 |
| 分散 | 0.0832 | 0.0631 | 0.0346 | 1.1453 | 1.6189 | 1.2680 |
| 標準偏差 | 0.2884 | 0.2512 | 0.1860 | 1.0701 | 1.2723 | 1.1260 |

被験者の集団が比較的健常体の群であった ➡ **A,B群で有意差なし**

**● 上半身の姿勢**

上半身の姿勢が前傾かつCutOff値より時間がかかっていた被験者No.207とその他A群の平均（平均＼207）

| | 起立 | 往路 | 旋回 | 復路 | 着座 | 合計 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| [207] | 1.2039 | 3.3611 | 2.2011 | 3.8188 | 3.9772 | 14.562 |
| [平均＼207] | 1.5321 | 1.6325 | 1.2642 | 2.1136 | 2.1390 | 8.6816 |
| [207/(平均＼207)] | 0.7858 | 2.0588 | 1.7411 | 1.8067 | 1.8593 | 1.6773 |

被験者No.207　起立：速い、他4区間：約2倍時間がかかっている
➡ **上半身の姿勢と経過時間に関係あり**

※着座が二段階になっており上記の区分化が困難なデータは除外

## 進行中の内容

### 特徴量算出

**● 歩行軌跡から着地位置を算出**

歩行軌跡 ： 計測時刻と位置
➡歩行速度➡着地位置

$t$ : 着地時刻　　x : 横方向, y : 上下方向
L : 左脚,R:右脚　hc : 着地位置

**● 着地位置から特徴量を算出**

①脚速度

$$(u_L, v_L) = \left(\frac{dx_L}{dt}(t), \frac{dy_L}{dt}(t)\right)$$

②歩隔

$$D(t) = \left\| \begin{pmatrix} x_L(t) - x_R(t) \\ y_L(t) - y_R(t) \end{pmatrix} \right\|$$

③回転半径

$$R_L(t) = \left\| \begin{pmatrix} x_L(t) - x_T(t) \\ y_L(t) - y_T(t) \end{pmatrix} \right\|$$

④軌跡長

$$P_L(t) = \sum_{\Delta t} \left\| \begin{pmatrix} x_L(t+\Delta t) - x_L(t) \\ y_L(t+\Delta t) - y_L(t) \end{pmatrix} \right\|$$

⑤歩数

$$n_L = \{1, 2, \cdots, N_L\}$$

⑥歩幅

$$s_L(n_L) = \left\| \begin{pmatrix} x_L^{hc}(n_L) - x_L^{hc}(n_L - 1) \\ y_L^{hc}(n_L) - y_L^{hc}(n_L - 1) \end{pmatrix} \right\|$$

## まとめ・今後の課題

- TUGの計測装置を用いてデータ取得し、動作区分した
- TUG計測時の様子と各区間の経過時間の比較から、上半身の姿勢と経過時間に関連があることが分かった
- 今後、測域センサによる歩行軌跡から特徴量を算出し、転倒経験との関係を分析する予定

*共同研究機関：神奈川工科大学*

# 動作区分に基づく歩行計測と転倒リスクの評価

小川研究室　中島麻耶子

## 背景

近年、少子高齢化が進行し、健康寿命を延ばすことに加え健康寿命と平均寿命を延ばすことが重要

★ 要支援・要介護状態の予防が必要

原因の1つ：転倒事故



危険を早期発見し予防

### Timed Up and Go test (TUG)

- 下肢筋力・バランス・歩行能力・易転倒性といった日常生活機能との関連性が高いことが証明されており高齢者の身体機能評価として広く用いられている[*1]
- 厚生労働省による市町村での介護予防のための体力測定の項目ともなっている[*2]

[*1] https://www.jsmr.org/TUG.html
[*2] https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1d.pdf p.25

### TUGの計測（臨床現場）

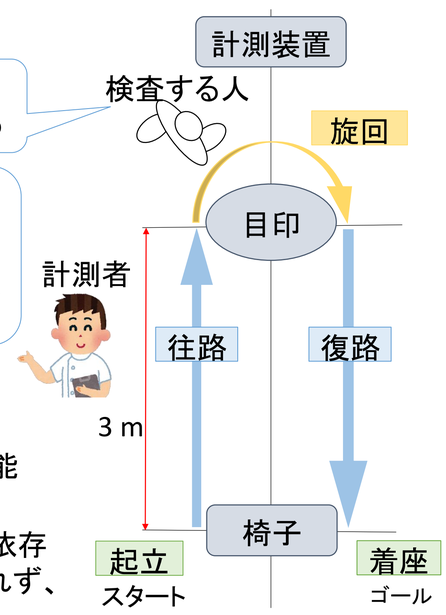
椅子に座った状態から合図で立ち上がり3 m先の目印で折り返し、椅子に再び座る

- 合図から椅子に座るまでの時間をストップウォッチで手動で計測
- 計測時間がCutoff値（一定時間）より長ければ転倒リスクが高いと評価

**どの動作で転倒リスクが高いかを理学療法士が定性的に評価**

自動計測を行うことで、定量的測定が可能
昨年度構築したシステムでは[*3]

・計測開始終了のタイミングが計測者に依存
・先行研究では計測者が計測領域に入れず、安全性に欠けている




## 目的

TUGの自動化・安全化
→理学療法士による計測の負担の軽減
→計測者に依存しない計測と、計測と歩行の安全性の両立

昨年度[*3]
- TUGの計測の自動化
- TUGを起立・往路・旋回・復路・着座に区分化
- 区間毎に特徴量を算出

＋

今年度
【自動化】
座面センサを用いて計測の開始終了の検知を自動化

＋

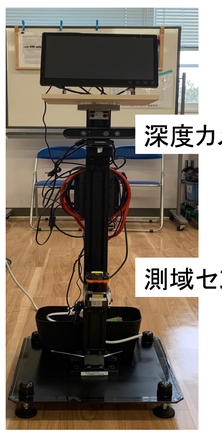
【安全化】
3次元領域推定を用いた計測対象者の追跡と歩行補助者の除外

**TUGの自動化・安全化を実現する歩行計測システムの検討**

[*3]弦間美咲他,「動作区分に基づく歩行計測と転倒リスクの評価」,情報処理学会第84回全国大会,pp.4-1033-4-1034,(2022).

## 計測システム

### ●歩行計測装置 〈病院などでも違和感のないデザイン・センサ類の高さ調整が可能・操作しやすいタッチパネル〉




**深度カメラ**(Orbbec/Astra Pro)
奥行き情報を取得する深度センサを内蔵
【取得データ】RGB画像・深度画像
**全身運動の記録➡最上部と最近接部を追跡**

仕様

| | |
|---|---|
| サイズ | 165mm×30mm×40mm |
| 検出距離 | 0.6m～8.0m |
| 測定範囲 | 60° H×49.5° V×73° D |
| RGB画像解像度 | 1280×720@30fps |
| 深度画像解像度 | 640×480@30fps |



**測域センサ**(Hokuyo/UTM-30LX)
赤外線レーザを物体に照射し、
その反射光から測定した位置を取得
【取得データ】膝下高さの水平面内の深度
**歩行軌跡の記録➡脚の位置を追跡**

仕様

| | |
|---|---|
| 波長 | 905nm |
| 検出距離 | 0.1m～60m |
| 測定範囲 | 270° |
| 角度分解能 | 0.25° |
| 計測周波数 | 40Hz |



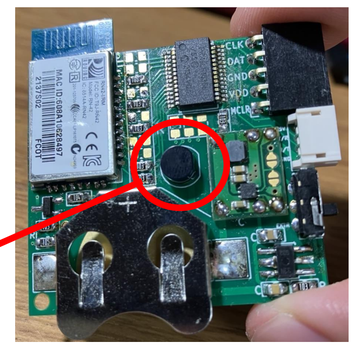
### ●座面センサ 〈今年度新たに開発オリジナル基盤を設計し、加工組立〉

**照度センサ（フォトトランジスタ）**
分光感度特性が人間の視光感度特性に近く広い指向角度を持ったフォトトランジスタ
【取得データ】
・センサ面上の照度　・センサの値の記録
**センサの値の記録➡起立・着席の時刻を検出**

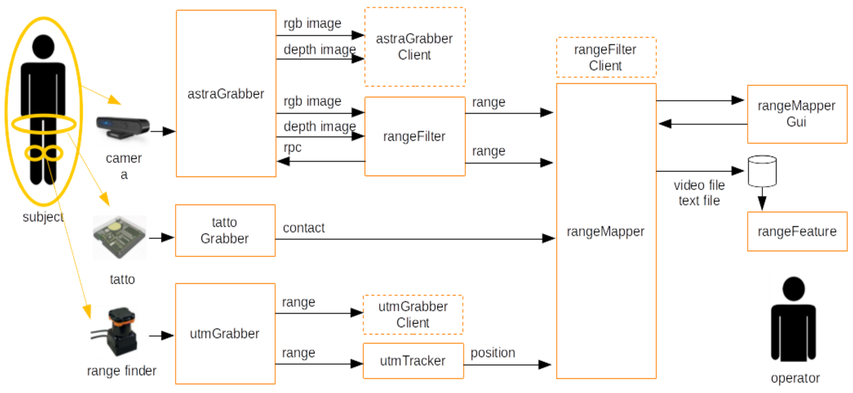
仕様

| | |
|---|---|
| サイズ | 43mm×45mm×10mm |
| 通信方法 | シリアル通信 |
| 接続方法 | USBtypeA・Bluetooth |

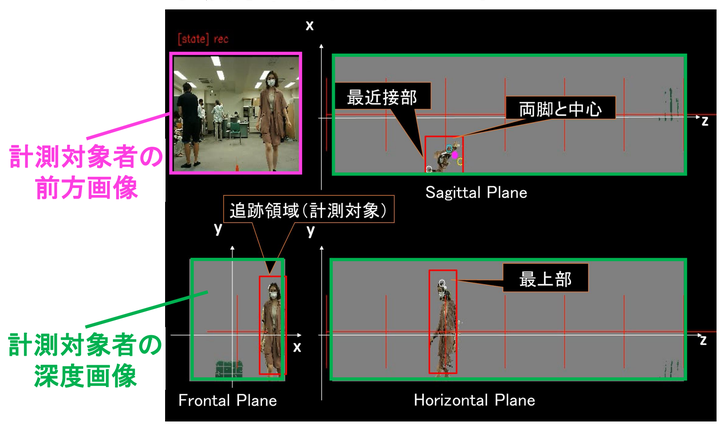




### ●システム図



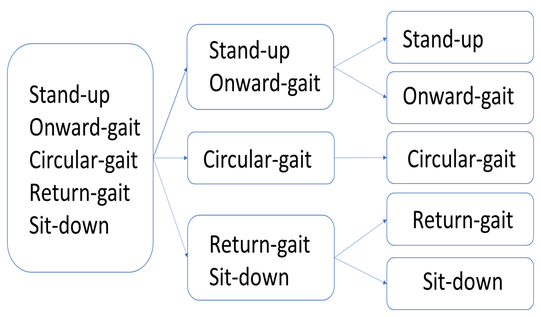

### ●表示画面(タッチパネル)



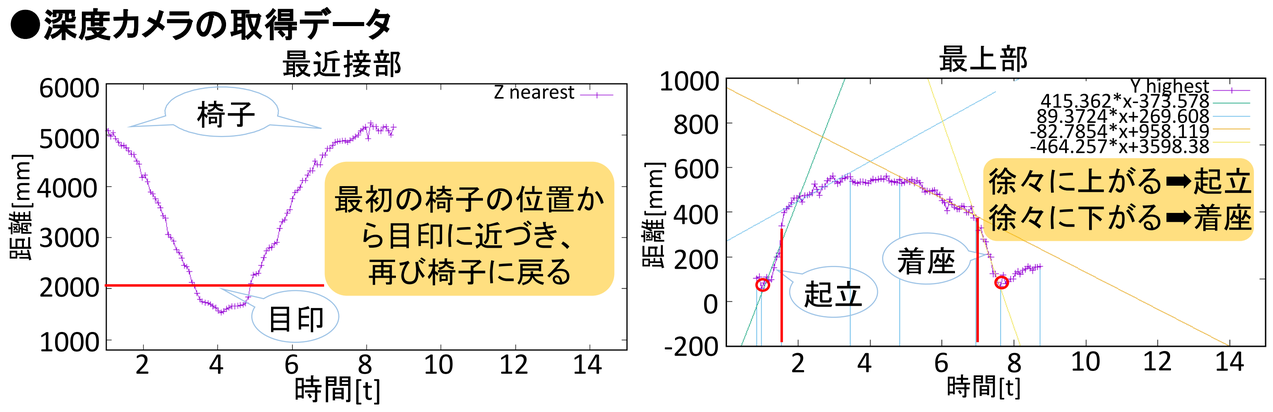

【表示内容】

- 深度カメラから取得したデータを3次元復元
  **➡三面図表示**
- 計測対象者の追跡対象部位{最上部・最近接部・両脚・両脚中心・}
  **➡計測対象者の立体矩形領域**

### ●要素動作の区分化



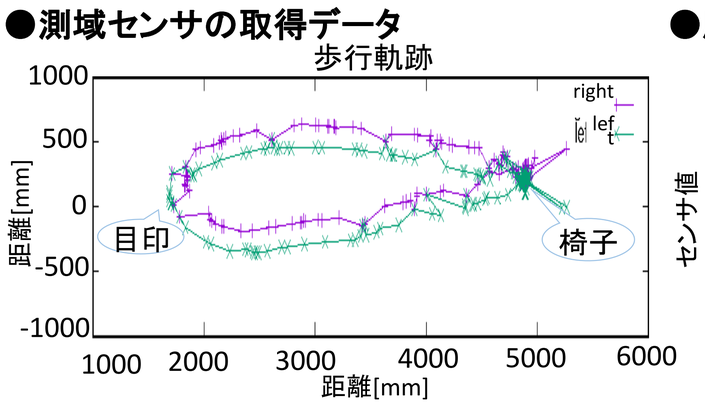

### ●深度カメラの取得データ




**起立–往路、復路–着座の動作区分化**
➡目印の通過時刻によって区分化

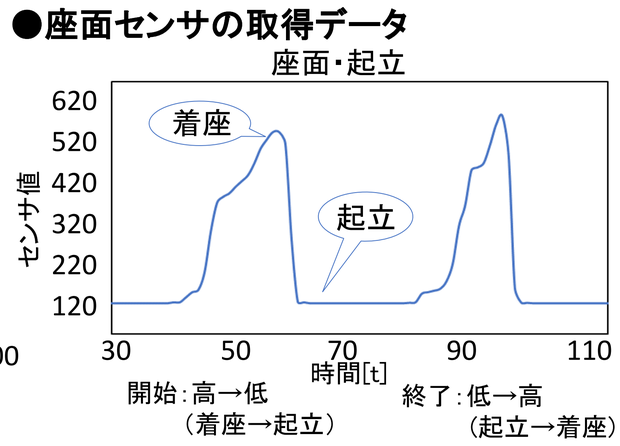
**往路–旋回、旋回–復路の動作区分化**
➡区分線形近似によって区分化

### ●測域センサの取得データ




椅子：5000 mm➡開始・終了地点
目印：2000 mm➡折り返し地点

### ●座面センサの取得データ




**センサ値が閾値を超える時：開始終了検知**

**取得データの特徴を用いて起立・往路・旋回・復路・着座に区分化**

**歩行軌跡は特徴量算出で使用**

**計測の開始・終了の自動化**

## 実証実験の結果

### 実験条件

**【実験環境】**
2022年11月02日
海老名市文化会館

**【対象者】**
人数：25人
年齢：50代-80代
性別：男:15人 女:10人

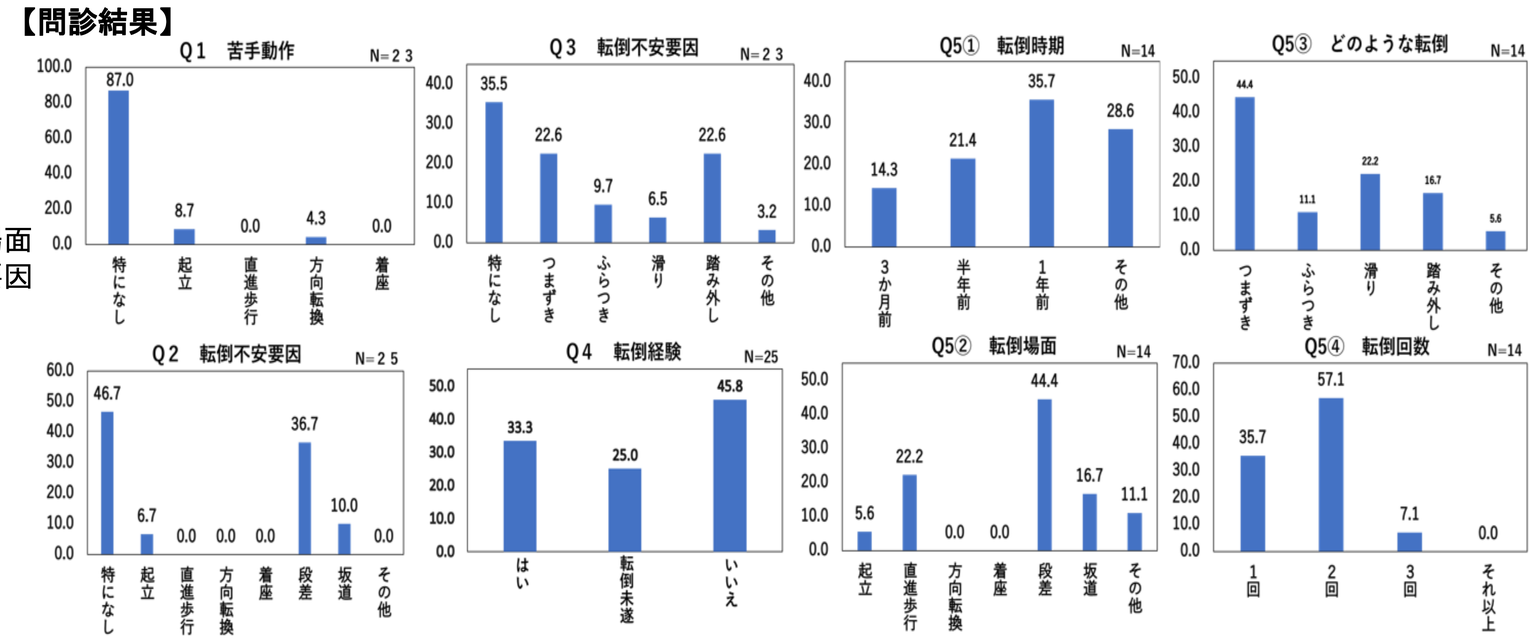
**【指示】**
できるだけ速く、
走らず目印で折り
返し座る

**【計測環境】**
計測装置からの距離
2 m➡目印
5 m➡椅子

**【問診】**
転倒リスクに対する
主観的認識の調査

**【問診内容】**
Q1.苦手動作
Q2.転倒の不安を感じる場面
Q3.転倒の不安を感じる要因
Q4.転倒経験
Q5.転倒時状況
①転倒時期
②転倒場面
③どのような転倒
④転倒回数

**【問診結果】**




**【考察】**

転倒の不安を感じる要因
・つまずき
・踏み外し
・滑り
転倒しうる場面
・段差がある場所
・足元が不安定な場所
・地面が濡れている場所

**転倒予防のために**

・地面の状態の注意が必要
・歩行時には足を地面から浮かせることが最適

## まとめ・今後の課題

- 測域センサ、深度カメラ、座面センサを用いて歩行計測の自動化を実施した
- 座面センサの改良、バウンディングボックスを用いることで歩行計測の自動化、安全化を行った
- 問診票からわかることについて考察した
- 問診票に加えて歩行計測を行っているので歩行計測のデータの分析を行う
- 座面センサについての課題を改善する

*共同研究機関：神奈川工科大学 人間機械共生研究室*

# 動作区分に基づく歩行計測と転倒リスクの評価

小川研究室　晒野舞

## 背景

近年、少子高齢化が進行し、高齢者の自立支援、
健康寿命を延ばすことに加え
健康寿命と平均寿命を短縮することが重要

要支援・要介護状態になる前に予防が必要

その原因の一つである転倒事故の危険を
早期発見し、予防することが必要

### ＊ Timed Up and Go test (TUG)

下肢筋力・バランス・歩行能力・易転倒性といった日常生活機能との関連性が高いことが証明されており高齢者の身体機能評価として広く用いられている[*1]

[*1] https://www.mhlw.go.jp/topics/2009/05/dl/tp0501-1d.pdf p.25

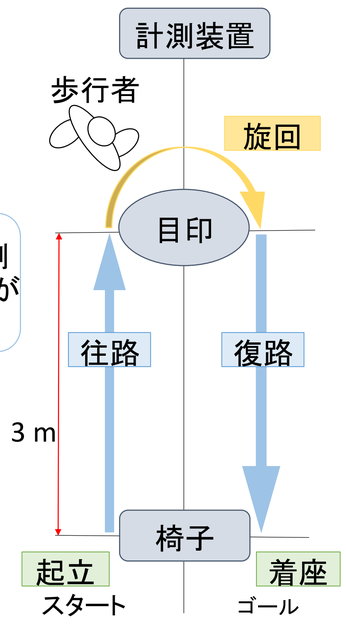
### ＊ TUGの計測（臨床現場）

歩行者
椅子に座った状態から合図で立ち上がり
3 m先の目印で折り返し、椅子に再び座る

計測者
- 合図から椅子に座るまでの時間を手動で計測
- 計測時間がCutoff値より長ければ転倒リスクが高いと評価

**どの動作で転倒リスクが高いかを
理学療法士が定性的に評価**

先行研究構築したシステムでは
・深度カメラのRGBデータは取得のみ、未保存
・歩行者の姿勢の軌跡は未解析




## 目的

TUGの自動化・安全化
→理学療法士による計測の負担の軽減
→計測者に依存しない計測と、計測者と歩行者の安全性の両立

**先行研究**
- TUGの計測の自動化
- TUGを起立・往路・旋回・復路・着座に区分化
- 区間毎に特徴量を算出
- 座面センサを用いた計測開始・終了の検知の自動化
- 計測対象者の追跡と歩行補助者の除外

**今年度**
- 計測データ(RGBデータ)の保存管理を検討
- 骨格点の3次元位置推定と歩行時の姿勢や身体動作の分析

歩行軌跡だけではなく、姿勢の軌跡を可視化することで、
どの動作での転倒リスクが高いかをより明確にする

## 計測システム

### ＊ 歩行計測装置



・**深度カメラ**(Orbbec/Astra Pro)



【取得データ】RGB画像・深度画像

**全身運動の記録**
**➡最上部と最近接部を追跡**

深度カメラの仕様

| | |
|---|---|
| サイズ | 165mm×30mm×40mm |
| 検出距離 | 0.6m~8m |
| 測定範囲 | 60 °H×49.5°V×73°D |
| RGB画像解像度 | 1280×720 @30 fps |
| 深度画像解像度 | 640×480 @30 fps |

・**測域センサ**(Hokuyo/UTM-30LX)

【取得データ】膝下高さの水平面内の深度

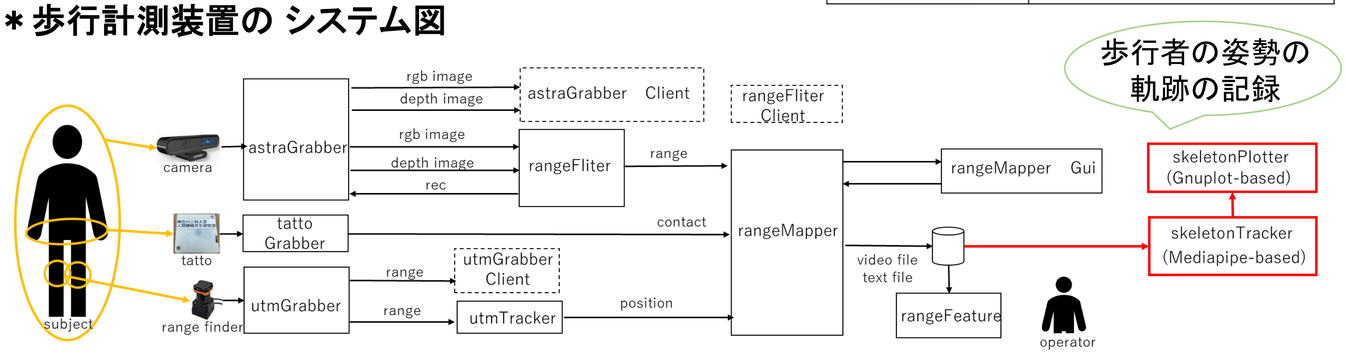
**歩行軌跡の記録**
**➡脚の位置を追跡**



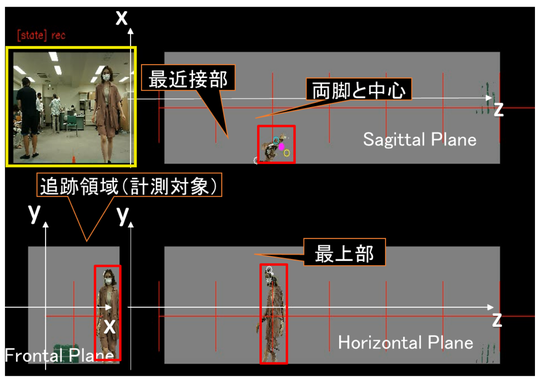
測域センサの仕様

| | |
|---|---|
| 波長 | 905mm |
| 検出距離 | 0.1m~60m |
| 測定範囲 | 270 ° |
| 角度分解能 | 0.25 ° |
| 計測周波数 | 40 Hz |

### ＊ 歩行計測装置の システム図




### ＊ 表示画面




【表示内容】

**・三面図表示**
深度カメラから取得したデータを3次元復元

**・計測対象者の立体矩形領域**
計測対象者の追跡対象部位
{最上部・最近接部・両脚・両脚中心}

左上(黄色枠)…計測対象者の前方画像
その他3つ…計測対象者の深度画像

### ＊ 座面センサ＜計測開始終了の自動化＞




**・照度センサ**

【取得データ】
センサ面上の照度
センサの値の記録

**センサの値の記録**
**➡起立・着席の時刻を検出**



座面センサの仕様

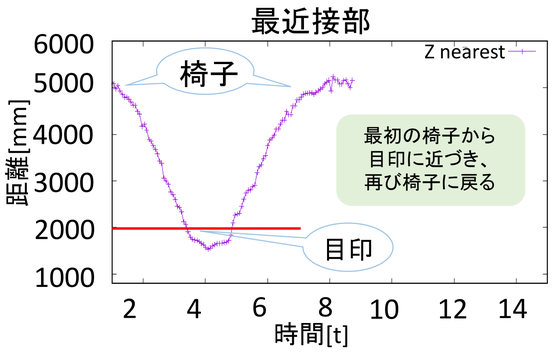
| | |
|---|---|
| センサ | フォトトランジスタ |
| サイズ | 43mm×45mm×10mm |
| 通信方法 | シリアル通信 |
| 接続方法 | USBtypeA |
| データ転送 | Bluetooth |

## 先行研究・計測結果

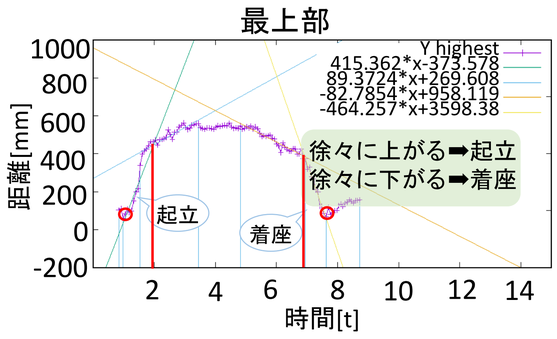
### ＊ 深度カメラの取得データ

**ー取得データの特徴を用いて起立・往路・旋回・復路・着座に区分化ー**

最近接部




最上部




**起立−往路、復路−着座の動作区分化**

目印の通過時刻によって区分化

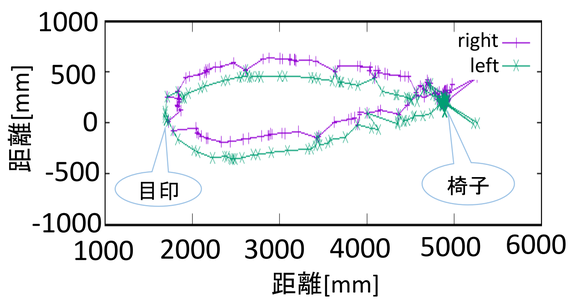
**往路−旋回、旋回−復路の動作区分化**

区分線形近似によって区分化

### ＊ 測域センサの取得データ

**ー歩行軌跡は特徴量算出で使用ー**

歩行軌跡

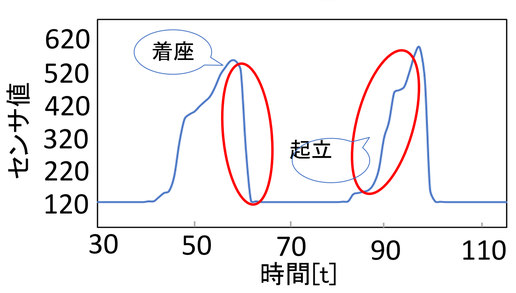



椅子：5000 mm➡開始・終了地点
目印：2000 mm➡折り返し地点

### ＊ 座面センサの取得データ

**ー計測の開始・終了の自動化ー**

座面・起立




1つ目の赤丸部分
開始：高→低
（着座→起立）

2つ目の赤丸部分
終了：低→高
（起立→着座）

センサ値が閾値を超える時：開始終了検知
→計測開始終了のタイミングの自動化

## 姿勢の軌跡の可視化と評価

### ＊ 可視化までの流れ

計測
- Mediapipeにて骨格検出

データの読み込み
- C++にて座標を表データに変換

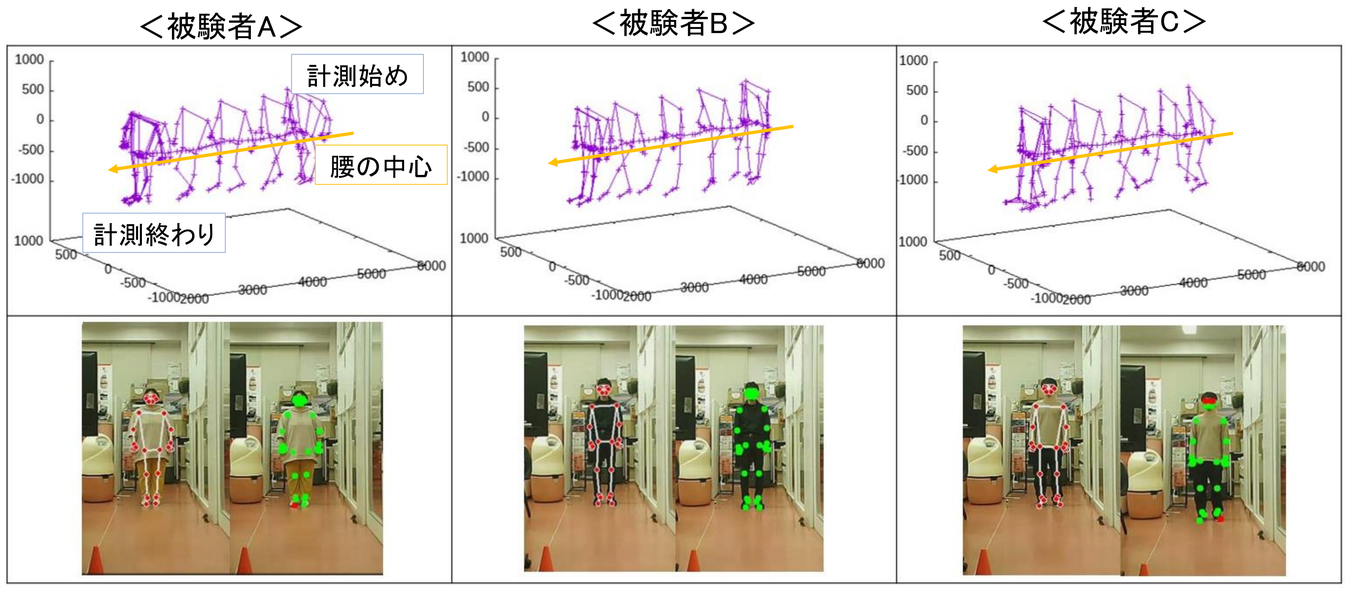
可視化
- Gunplotによって3次元表示

ーMediapipeー[*2]
機械学習ライブラリ(Google)
今回、骨格検出の際に利用
ーGunplotー[*3]
2次元もしくは3次元のグラフを作成するためのアプリケーションソフトウェア

### ＊ 実験条件

[計測環境] 直進2.7m
（TUGの往路の部分のみの計測）
[計測場所]
神奈川工科大学人間機械共生研究室
[被験者] 男女 計3名

### ＊ 取得データ




表上段：gunplotによって3次元表示。姿勢の軌跡(紫)・腰の中心の軌跡(橙)
表下段：RGB画像上に表示された骨格点と骨格線
左：2次元座標(x,y)を抽出したRGB画像上の骨格点と骨格線(赤点・白線)
右：2次元座標(x,y)と深度から3次元座標(X,Y,Z)を抽出した骨格点(緑点)

### ＊ 結果・考察

プログラムを組み、
姿勢の軌跡をの3次元で可視化成功
（TUGの往路の部分のみ）

- 被験者によって違う姿勢の軌跡を検出
- 計測終わりまで腰の位置は変化なし
- 三者共に計測終わりまで上半身の位置に変化なし

- 測域センサで取得した歩行軌跡と組み合わせることで、転倒リスクが高い動作の割り出しが可能
（先行研究で行った区分化を利用）
- 体の重心の軌道を求めることでより最適なデータ解析が可能
- 足腰に不安のある被験者で行った場合、上半身にブレが生じると予想

[*2] https://monomonotech.jp/kurage/memo/m230329_mediapipe_colab_realtime_facedetection.html
[*3] https://hooktail.org/computer/index.php?Gnuplot%A4%C8%A4%CF

## まとめ

- 測域センサ、深度カメラ、座面センサを用いて歩行計測の自動化についての確認を行った。
- Mediapipe・gunplotを利用し、姿勢の軌道の可視化を行った。

## 今後の課題

- 姿勢の軌跡の顔部分を作成することを検討する。今は、腰の中心の軌道がグラフになっているが、体の重心を求め、重心の軌道を可視化出来るプログラムの作成を行う。

*共同研究機関：神奈川工科大学 人間機械共生研究室*