高齢者を対象とした 歩行時における転倒に関する研究

令和2年度 修士論文 横浜市立大学大学院 生命ナノシステム科学研究科 物質システム科学専攻 小野 真

第一章	序論		5
1.1	背景		5
		目的	
第二章	実験	概要	8
2.1	加速度	センサーについて	8
		順	
		クリアランス解析手順	
	AL =1	NO. 11. ATT 1-4 N.	. -
第二草	統計	学的解析法	15
3.1	ロジス	ティック回帰分析	15
3.2	主成分	分析	17
₩ m ₹	ᄮᄪ		1.0
第四草	結 果		19
4.1	フット	クリアランスの加齢効果	20
4.2	フット	クリアランスと転倒の因果関係	20
学工	北宏		2.4
5.1	フット	クリアランスの加齢効果について	24
		ス経験群におけるフットクリアランスについて	
		影響を与える身体パラメータ	26
5.4	転倒危	険度の物理モデル	28
第六章	結論		30
24714	TH HIN		00
笠 レ 音	选		31
オロ早	入സ		31
练巾苹	**************************************		2.0
 	诩详		32

高齢者を対象とした 歩行時における転倒に関する研究

小野 真

主指導教員 ミケレット・ルジェロ教授

副指導教員 橘勝教授

副指導教員 石元孝佳教授

高齢者を対象とした歩行時における転倒に関する研究

物質システム科学専攻 小野 真 指導教員 ミケレット・ルジェロ

【重要語句】

フットクリアランス:歩行遊脚期中期におけるつま先の軌跡の最も低い高さ. 3次元加速度センサ:加速度を測定するセンサの一種.傾き(重力方向)の検 出が可能であり、動作の解析・定量評価などに使用される.

ロジスティック回帰分析:多変量解析の一種.複数の変数からある事象の発生確率を予測する.オッズ比より各変数が事象発生に与える影響力がわかる.

【研究の背景と目的】

現在、世界的な高齢化により世界の人口動態は未知の領域に差し掛かり、世界の人口と社会が変化している。2019年の高齢者の総人口に占める割合を比較すると、201カ国の国・地域の中で日本は28.4%と世界で最も高く、高齢化社会の先陣を切っているため高齢化が社会にもたらす経済的負担は非常に大きい・(図1)。人間は加齢とともに筋力の低下や歩行障害、視力の衰えなど身体機能の低下に加えて病気や服薬によって転倒するリスクがさらに高まり、思わぬ場所で事故が発生することがある。高齢者にとって転倒は骨折などの大きな事故に繋がる場合が多く、要介護や寝たきりに繋がるケースが非常に多くなっている。このように転倒は高齢者の日常生活を著しく低下させるため、原因を解明し対策を取ることは重要である。

本研究では<u>3次元加速度センサ</u>を用いて、転倒を引き起こす原因の一つと考えられているフットクリアランスを計測し、未だ結論が示されていない転倒との因果関係、さらに加齢による減少効果を検証した.

また実験では被験者の 様々な経験や身体パラメータも記録し、<u>ロジスティック回帰分析</u>によって 転倒に大きく影響を与え ているパラメータを分析 した.

順位	国・地域	総人口 (万人)	65歳以上人口 (万人)	総人口に占める 65歳以上人口の割合 (%)
1	日本	12617	3588	28. 4
2	イタリア	6055	1393	23.0
3	ポルトガル	1023	229	22.4
4	フィンランド	553	122	22. 1
5	ギリシャ	1047	230	21.9
6	ドイツ	8352	1801	21.6
7	ブルガリア	700	149	21.3
8	マルティニーク	38	8	21.0
9	クロアチア	413	86	20.9
10	マルタ共和国	44	9	20.8

図 1: 高齢者人口の割合(上位 10 カ国)(2019 年)

出典:総務省統計局,2019年9月15日,「統計からみた我が国の高齢者」

【方法】

フットクリアランスを測定するには歩行中の足の軌道を記録する必要がある. 今回、足の軌道の記録には ART-Promotions 社製の高精度加速度センサを使用 し、センサで得た加速度データを 2 回積分計算することによって算出した.

実験は長野県飯縄町に在住する 60 歳以上の高齢者 182 名を対象とし、長野県飯縄町地区防災センターで行った.実験の歩行区間は走路 10 m, 前後に助走路を各 2 m 加えた計 14 m とし、被験者の足の甲(つま先部分)に加速度センサを取り付け往路復路合わせて 2 回計測を行った。さらに被験者に年齢・性別などの情報に加えて以下の項目を計測した。

①転倒歴と転倒体験,運動経験と頻度の聞き取り調査,②身長[cm],③体重[kg],④両足の幅[cm],⑤上腕周径[cm],⑥ふくらはぎ周径[cm],⑦握力[kg],⑧片足立ち保持時間[秒].

転倒歴の聞き取り調査では転倒の有無だけでなく転倒状況や体験談も記録し, 転倒経験のある転倒経験群・転倒には至らなかったが転倒しそうになった経験 があるニアミス経験群・転倒経験のない非経験群に分類した.



図 2: 被験者に加速度センサを取り付けた様子

【結果と考察】

1)フットクリアランスの加齢効果と転倒との関係

被験者を 60 代,70 代,80 代,90 代に分け,各代のフットクリアランスの平均値から回帰分析を行った結果を図 3 に示す.これは t 検定により有意性を示し,年代が上がるにつれてフットクリアランスの値が減少傾向にあることがわかる.また被験者を転倒経験群,ニアミス経験群,非経験群に分類しフットクリアランスの基本統計量を比較した結果,転倒する群になるにつれて平均値は減少し歪度が増加していることからフットクリアランスの減少が転倒に影響していると考えらえる.

	平均	標準誤差	標準偏差	分散	歪 度
転倒経験	0.01285	0.000789	0.006603	4.36E-05	0.552066
ニアミス	0.013766	0.001775	0.006642	4.41E-05	0.482192
非経験	0.015085	0.00083	0.008305	6.9E-05	0.474159

表1:3群のフットクリアランスの基本統計量

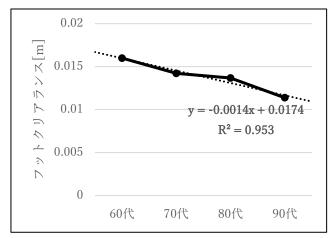


図3:年代ごとのフットクリアランス

2) 転倒要因の解明

また目的変数を転倒経験の有無,説明変数を性別,年齢,身長,体重,BMI,両足の幅,運動経験の有無,運動頻度,補助具の有無,また MFC,下腿周径,上腕周径,握力,片足立ち保持時間,最小歩幅とこれらの左右の比率(バランス)としてロジスティック回帰分析を行った結果,オッズの値からもフットクリアランスが転倒に影響を与えていると考えられる説明変数とそのオッズ値を表1に示す.

	オッズ
性別	0.2562
フットクリアランス	0.0011
フットクリアランス比率	0.5395
下腿周径比率	0.0148
上腕周径比率	0.0077
握力比率	0.2735
片足立ち保持時間比率	0.2670
歩幅比率	0.3166
運動経験	1.9160
運動頻度	1.7452

表2:転倒に大きく影響を与えるパラメータ

この結果から今回測定したどのデータにおいても左右のバランスが転倒に大きく影響していることが示された.

3) 転倒危険度の数値化

表 2 で示したパラメータのみで再度影響を与えないパラメータがなくなるまで繰り返しロジスティック回帰分析を行い、特に転倒に影響を及ぼすと考えられる変数を解析した.この分析結果を参考に、今回測定した身体パラメータから転

倒する危険性を表す尺度を作成したので紹介する.

転倒危険度 = $0.62e + 0.54f - (0.54 + s) \cdot h \cdot R$

(e:運動歴, f:運動頻度[回/週], s:性別, h:MFCの高さ[cm], R:左右の比率) 運動歴は有の場合 1, 無の場合 0 とし, 性別は男性を 1, 女性を 0 とする. 左右の比率である R は $R=r_1\times r_2\times r_3(r_1$:下腿周径比率 r_2 :上腕周径比率 r_3 :歩幅比率) とする. 今回ロジスティック回帰分析で得た転倒確率との関係を図 4 に示す.転倒確率との相関は 0.80 であり t 検定により有意であることを確認した.

転倒危険度の平均値は 0 であり、大きいほど転倒する危険が高く、小さいほど安全であることを表す。また全被験者に対して転倒危険度を算出し、0 よりも大きい場合は転倒経験あり、小さい場合は転倒経験なしであると判定し、実際に聞き取り調査で得た転倒歴と確認したところ転倒ありの的中率は 75.2% 転倒なしの的中率は 45.1%であった。

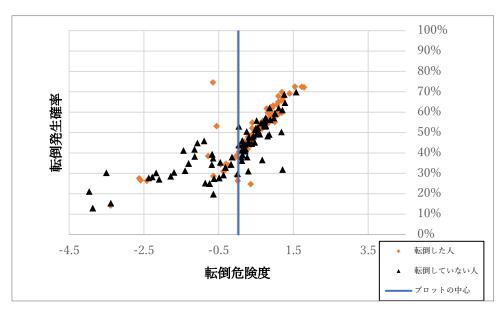


図 4: 転倒危険度と転倒発生確率の関係

第一章 序論

1.1 背景

現在、世界的な高齢化により世界の人口動態は道の領域に差し掛かり、世界の人口と社会が変化している。2019年の高齢者の総人口に占める割を比較すると、201 カ国の国・地域中で日本は 28.4%と世界で最も高く、高齢化の波の先陣を切っているため高齢化が社会にもたらす社会経済的負担は非常に大きい。(図 1.図 2) The Word Bank の報告にも平均寿命は 84歳と最高レベルを記録し、数十年先もこの分野でトップの地位を維持すると予想されている 1). この問題には特効薬のようなものはないが高齢者の健康を促進し、維持することで医療崩壊を防ぐなど対策を策定する余地はある。そのため高齢者が安全かつ健康に日常生活を送るにはどうすればよいのかが社会的な課題となっており、様々な地域で高齢者に対する健康増進事業や介護予防事業が進められている.

人間は加齢とともに筋力の低下や歩行障害、視力の衰えなど身体機能の低下に加えて病気や服薬によって転倒するリスクがさらに高まり、思わぬ場所で事故が発生することがある.転倒は若年者であれば軽い怪我で済む場合や数日安静にすることで概ね完治する.しかし高齢者の場合、骨折などの大きな事故に繋がる場合が多く、治療の際の過度の安静は更なる筋力や身体機能の衰えを招き、症状を悪化させる要因にもなる.仮に怪我をしなかった場合も自力で動くことに対しての自信喪失や恐怖心から、体を動かさなくなり上記同様の現象に陥る.動けない状態が長く続くと歩行機能が衰えるため、要介護やそのまま寝たきりに繋がるケースが非常に多くなっている 2).このように転倒は高齢者の日常生活を著しく低下させるため、その重要性が認識されつつある.

順位	国・地域	総人口 (万人)	65歳以上人口 (万人)	総人口に占める 65歳以上人口の割合 (%)
1	日本	12617	3588	28. 4
2	イタリア	6055	1393	23. 0
3	ポルトガル	1023	229	22. 4
4	フィンランド	553	122	22. 1
5	ギリシャ	1047	230	21.9
6	ドイツ	8352	1801	21.6
7	ブルガリア	700	149	21.3
8	マルティニーク	38	8	21.0
9	クロアチア	413	86	20. 9
10	マルタ共和国	44	9	20.8

図 1: 高齢者人口の割合(上位 10 カ国)(2019年)

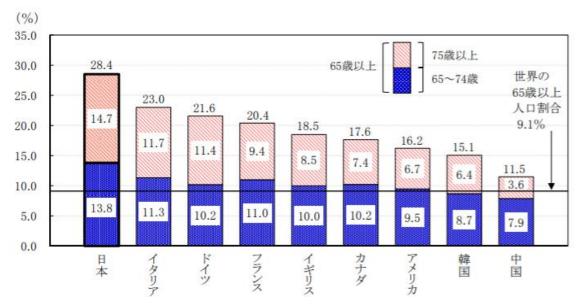


図 2:主要国における高齢者人口の割合の比較(2019年)

引用:総務省統計局,2019年9月15日,「統計からみた我が国の高齢者」(2021年1月6日取得,https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics126.pdf)

1.2 課題と目的

この高齢者の転倒を未然に防ぐためには、発生要因の解明が必要不可欠であり、これまでに転倒を引き起こす原因を調査した研究がいくつか報告されている。この転倒引き起こす原因の一つにフットクリアランス(トゥクリアランス)というものが存在する。一般的にフットクリアランスとは、歩行遊脚期中期における爪先の軌跡の最も低い高さと定義されており(図 3)、歩行中のつまずきやすさを表わす有用なパラメータであることが知られている。しかし現状ではその計測に、ある程度の専門性と高価な機器を要するため臨床現場ではまだあまり利用されていない。また、フットクリアランスに対して次のような仮説が考えられることが多い。「高齢者においてフットクリアランスに対する加齢効果が存在し、高齢者になるほどフットクリアランスは減少する。これが、若年者と比較して高齢者の歩行中の転倒が増加している原因の一つになっている」という仮説である。この仮説を検証するためには少なくとも高齢者のフットクリアランスに対する加齢効果の有無を調査する必要がある。高齢者のフットクリアランスに対する加齢効果の有無を調査する必要がある。高齢者のフットクリアランスを調査した過去の研究はいくつか存在するが、それらからは決定的な結論がいまだ導き出されていない。334)

また研究によって結論が異なる場合すら存在する. これはこれらの研究が、 少人数の被験者を対象とした実験室実験であったことが原因の一つであると考 えられる. 本研究では多数の被験者に対して 3 次元計測を行い、高齢者のフッ トクリアランスに対する加齢効果の有無、さらにフットクリアランスと転倒と の間の因果関係があるかを定量的に検証する.

またフットクリアランス以外の転倒要因を発見するべく、被験者の転倒歴や 運動歴の聞き取り調査、身長や体重、下腿周径などの身体測定を行い、様々な 身体パラメータから転倒しやすい人の特徴の分析を行った.

本研究は日常動作である「歩く」という基礎的な行動を計測するため、老化の兆候の発見や転倒するメカニズムの解明につながるだろう。さらに転倒しやすい人の身体的特徴から高齢者への安全な歩行動作指導や提案など介護分野においての研究・開発に貢献することを期待する。

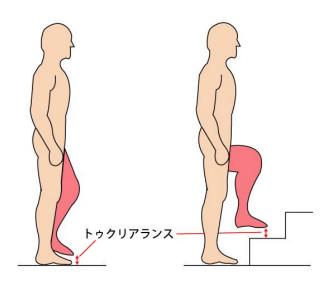


図 3:フットクリアランス(トゥクリアランス)

引用: リハ事典 +,2021,「トゥクリアランスとは | 躓きにご注意を!」 (2021年1月8日 https://physioapproach.com/toe-clearance.html)

第二章 実験概要

2.1 加速度センサーについて

フットクリアランスを算出するためには実際の歩行中の足の軌道を定量的に測定する必要がある。本研究では歩行している爪先の加速度を計測し、2回積分計算を行うことによって軌道を算出している。ここでは本研究で使用した加速度計測機について説明する。

今回,加速度の計測には ART-Promotions 社製の小型無線多機能センサー "TSND151"を使用した. (図 4)このセンサーはヒトやモノの動きを計測することを主な目的として開発され,大学や企業での研究や試作品開発や各種実験,振動計測や動作解析・試験,スポーツでの各種動作の定量評価,医療機関でのリハビリ効果の測定など,非常に幅広い用途に使用されている. 5)

本研究では高齢者の日常生活における転倒を予防することを目的としているため、普段通りの状態でデータを収集する必要がある。 TSND151 は加速度・角加速度・磁気などの様々な計測ができるほか、無線でデータを記録することができ、横 $50 \, \mathrm{mm} \times \, \mathrm{m$



図 4: TSND151

2.2 実験手順

被験者はボランティアを募り長野県飯縄町に在住する 60 歳以上の高齢者 184 名を対象とした。しかし 184 名の内 2 名は、体重・下腿周長などの測定の承諾を得られなかったため対象から除外し 182 名(男性:51 名 女性:129 名)

を本研究の分析対象とした.

実験は 2019 年 12 月 19 日に長野県飯縄町の地区防災センターで行った.被験者へ測定内容を説明し年齢・性別などの個人情報収集後,①転倒歴と転倒体験,運動経験と頻度の聞き取り調査,②身長[cm],③体重[kg],④両足の間隔[cm],⑤上腕周径[cm],⑥ふくらはぎ周径[cm],⑦握力[kg],⑧片足立ち保持時間[秒],⑨歩行時間[秒],⑩歩行中の足の加速度[m/s²]を測定した.具体的な測定方法は以下に記述する.

①転倒歴と転倒体験,運動経験と頻度の聞き取り調査

直近1年間の転倒経験の有無及び転倒時の状況,また過去のスポーツ経験の有無(学校の体育の授業や遊戯によるスポーツは除く),現在週に何回運動を行っているか(ウォーキングやゴルフなど種目は問わない)を面接により聞き取り調査を行った.

④両足の間隔

直立時の右足と左足の距離を測定した.測定は両足の最も外側の部分同士の距離を測り、被験者は普段通りのリラックスした状態で行った.

⑤上腕周径⑥ふくらはぎ周径

上腕部分(肘から肩まで)とふくらはぎ部分(膝から足首まで)の最も太い位置の周径を測定した.この時被験者は足や腕に力を入れることなくリラックスした状態で測定を行った.

⑧片足立ち保持時間

被験者が片足立ちを維持できる時間を計測した.左右につき2回,上限を60秒としてデジタルストップウォッチを用いて測定し,最長の結果を片足立ち保持時間時間として記録した.

⑨歩行速度⑩歩行中の足の加速度

被験者の MFC を検出するため歩行中の足の加速度を測定した.加速度の計測には上記に示した ATR-Promotions 社製の高精度加速度センサーを使用し,足の軌道をより正確に算出するため,インターバルを 1/500[s]としてデータのサンプリングを行った.加速度センサーの使用方法や実験環境の準備,実験当日の測定手順についてはマニュアルにしてまとめたものを巻末に添付するので詳しい手順はそちらを見てほしい.ここでは簡易的に実験の計測手順を要約したものを記述する.今回測定する歩行区間は走路10m,その前後に助走路を各2m加え,合計14mとし,往路復路合わせて2回計測を行った.測定環境はスタート地点とゴール地点をテープでマークすることで設営した.

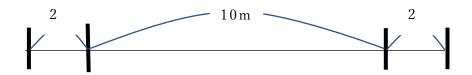


図 5:実験環境のイメージ

まず加速度センサーを被験者の足の甲にテープで固定する. (図 6)この時MFCの定義により近づけるために,なるべくつま先の方に取り付けることを注意する. そして被験者に計測内容を説明した後,スタート位置についてもらい,準備が整い次第センサーの電源を入れ,往路の計測を開始する. またこの際に同時に助走路を除く走路 10m 区間の歩行時間をストップウォッチにより記録した. 歩行時間は人間の重心部分である腰が走路を通過した時間を計測し,往路同様,復路も一連の作業を行い、合計 2 回測定を行った.

対象者には研究の趣旨と内容について説明し、理解を得たうえで協力を求めたが、研究の参加は自由意志手あり、被験者にならなくても不利益にならないことを書面と口頭で説明した。またデータはコンピュータで処理し研究目的以外には使用せず、被験者を名前ではなく番号で扱うことによって個人情報の漏えいに十分注意した。



図 6:被験者に加速度センサを取り付けた様子

2.3 フットクリアランス解析手順

本研究ではフットクリアランスの高さをグラフ化した歩行中の足の軌道から目視により決定する. 軌道は実験によって得られた加速度データを 2 回積分計算することによって算出し、プログラミングソフト Python を用いて計算を行った.

ここでは解析した手順を一人の被験者の右足のデータを例に挙げて説明する.

① TSND151によって得られた x 軸 (進行方向),y 軸 (左右方向),z 軸 (上下方向)の加速度データを時系列データとしてプロットする.

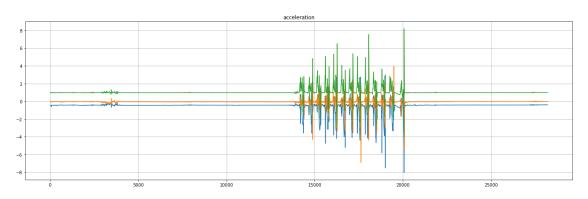


図 7:加速度の時系列データ(緑:z軸 オレンジ:y軸 青:x軸)

② 必要なデータの部分だけ切り取り(ここでは 12000~22000), ノイズを除去するために高周波・低周波のフィルタリングを行う.

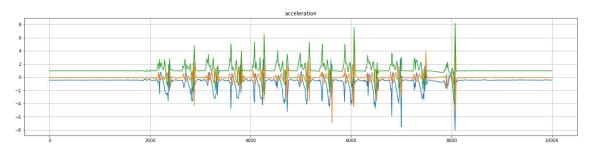


図 8:ノイズ除去した加速度データ

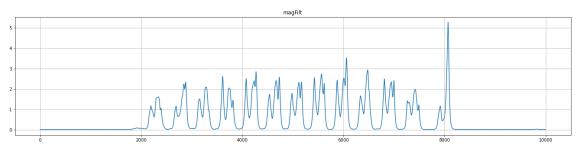


図 9:3次元ベクトルの大きさ($=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$)

③ 閾値を設定し一歩の始点と終点を判定する. 今回閾値を 0.1[m/s²]と設定し計算を行った.

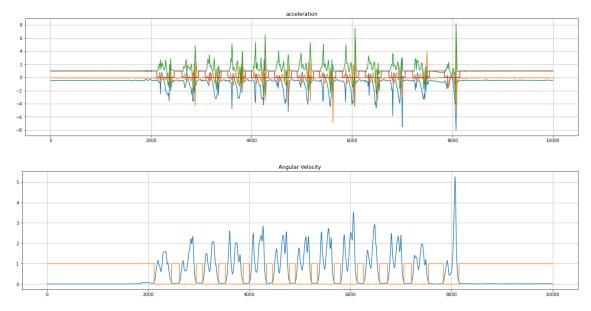


図 10: 閾値の設定

④ 各軸に対して微分方程式を用いて積分計算を行い、速度を算出する.また③ で設定した閾値を用いて一歩がどこからどこまでかを判定する.

$$v = v_0 + a \cdot t$$

 $(v: 求める速度 v_0: ひとつ前のデータの速度 a: 測定した加速度データ t: サンプル周波数)$

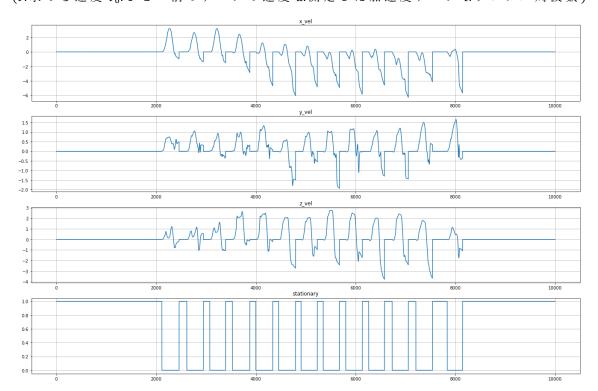


図 11:上から x 軸, y 軸, z 軸の速度データと閾値

⑤ 閾値を超えなかったデータ範囲は逆足を動かしている範囲と考えられる. そのためこの範囲のデータをノイズとして切り捨て、速度を 0 とする.

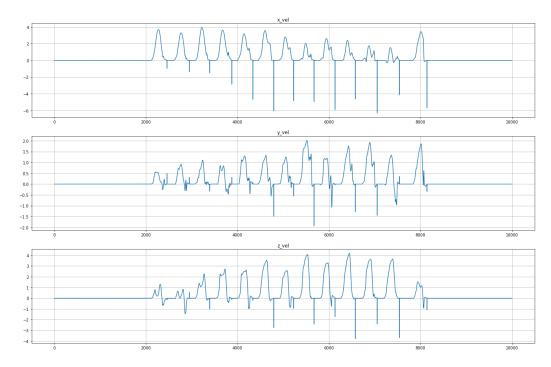


図 12:速度データのノイズ除去

⑥ ④で求めた速度データと運動方程式を用いて変位を算出する.

$$x = x_0 + v \cdot t$$

(x: 求める変位 x₀: ひとつ前のデータの変位 v:速度データ t: サンプル周波数)

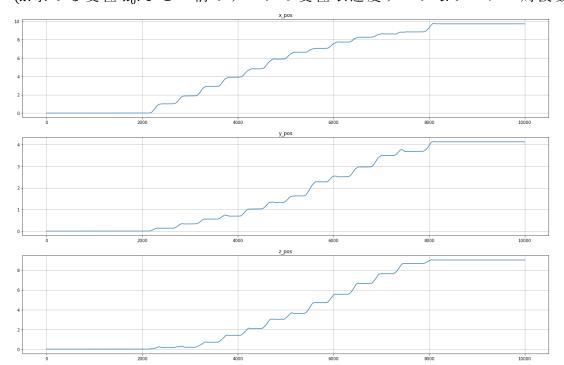


図 13:各軸の変位データ

⑦ この時,積分の性質上,算出したデータはどんどん加算される.しかしz軸, つまり上下方向の動きに関しては,足は一歩ごとに地面に着地するため 0 に戻さなくてはならない.そのため閾値を用いて一歩が終わるごとにデータを 0 に戻すように調整を行った.このz軸の軌道から定義に従いフットクリアランスの値を決定し,全フットクリアランスの中でも最も最小のフットクリアランスの値を MFC(Minimum Foot Clearance)として記録した.なおグラフが負の値をとっているデータは着地時の振動によるノイズであると考えられるため無視した.

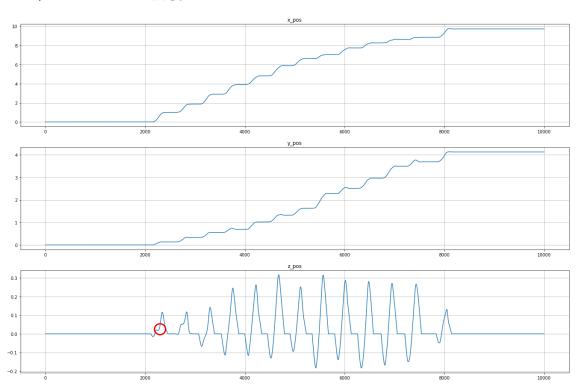


図 14:最終的な足の軌道データ

第三章 統計学的解析法

本研究では、転倒が発生するかどうかを実験データから予測するため、また転倒要因を調べるためロジスティック回帰分析を採用した。転倒経験ありと転倒経験なしを目的変数とし、性別、年齢、身長、体重、BMI、両足の幅、運動経験の有無、運動頻度、補助具の有無、また MFC、下腿周径、上腕周径、握力、片足立ち保持時間、最小歩幅とこれらの左右の比率(バランス)を説明変数として分析を行っている。また多変量のパラメータから転倒する原因を抽出するため主成分分析も行った。ここでは上記で述べたロジスティック回帰分析と主成分分析について紹介する。

3.1 ロジスティック回帰分析

のロジスティック回帰分析とは様々な要因からロジットモデルを用いて、ある事象が発生する確率を予測する回帰分析であり、気象観測データからの土砂災害発生予測や患者の検査値からの病気の発生率予測など幅広い分野で活用されている。多変量解析でよく用いられる重回帰分析と考え方が似ており、複数の説明変数 x_i ($i=1,2,3\cdots$)と目的変数 I(logit)の関係から回帰係数を推定し、回帰式を作成することによって事象の予測を行う。ロジスティック回帰分析で用いるロジットモデルを以下に示す。

$$l = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + b$$
 1

$$l = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \tag{2}$$

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b \cdot \cdot \cdot \quad (3)$$

一般的な回帰分析が目的変数を数値とし、説明変数との間に直線を当てはめて回帰式を作成するのに対してロジスティック回帰分析は目的変数を事象の有無(0 or 1)とし、シグモイド曲線(s 字曲線)を当てはめて回帰式を作成する.

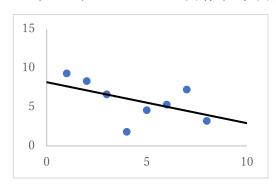


図 15:一般的な回帰分析

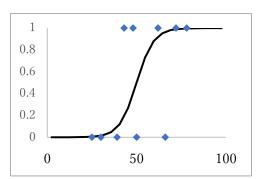
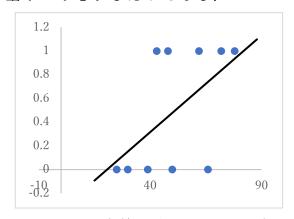


図 16 ロジスティック回帰分析

曲線を当てはめるのは確率(縦軸)が 0 以下または 1 以上になるのを防ぎ、確率に重みづけをするためである.



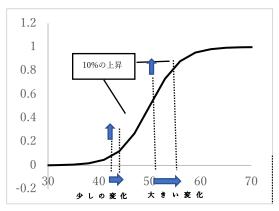


図 17:直線を当てはめた場合

図 18:曲線による確率の重みづけ

また、説明変数にも性別や経験の有無などの二者択一のデータを扱うことも可能である.

ロジスティック回帰分析では一般的に回帰係数を推定する際に最小二乗法ではなく最尤法を用いる。最尤法はあるデータが得られている時、回帰係数がいくつであるのか最も尤もらしいかを求める方法である。尤もらしい度合いを尤度と呼び、この尤度が最大になるよう計算する。具体的には式①のような回帰式を考えたとして、この発生確率は式③より

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b$$

$$\Rightarrow \frac{p}{1-p} = \exp\left(a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b\right)$$

$$\Rightarrow p = \frac{\exp(a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b)}{1 + \exp(a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b)}$$

または

$$p = \frac{1}{1 + \exp\left(-(a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + b)\right)}$$

となり発生しない確率は

$$1 - p = \frac{1}{1 + \exp(a_o + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + b)}$$

となる.

全データに事象発生の有無で場合分けし、数値を当てはめ、これら全てを掛け合わせた確率が尤度であり、この値が最大となるように回帰係数を求める.

またロジットモデルについて、 $\frac{p}{1-p}$ のような事象が発生する確率としない確率の

比をオッズと呼ぶ、オッズの値は発生確率が高いほど大きくなり(確率 1 のとき ∞,0 のとき 0)、発生する確率としない確率が等しいとき、1 となる、求めた回帰係数から説明変数ごとのオッズの増加量を求めることができ、オッズの増加量が1に近いほどその変数は目的変数に影響を及ぼさないことを示している。本研究ではオッズが95%信頼区間内にある変数を1に近いと定義している。

3.2 主成分分析

7)多変量データは視覚化しづらく、分析が複雑なためデータの理解が非常に困難である。主成分分析は複数の変量をできるだけ情報の損失がないように少ない変量で表す分析方法である。この分析は主にデータ全体の雰囲気の可視化や複数の変量データの関係整理、データを見る切り口を変える場合に行われる。実社会の例として学校試験の 5 教科の総合点や体系評価に用いられる BMI などがある。これらは総合点なら 5 変量から 1 変量、BMI なら 2 変量から 1 変量など変量の縮約(総合指標化)が行われている。この総合指標を主成分と呼び、この主成分の分散を最大化し、主成分同士は無相関になるようにすることによってできる限り元の情報を失わずに次元の縮約を行うことができる。

このとき分散の最大化は係数を大きくすれば無限に大きくなり、係数も正負どちらとも存在するので絶対値が大きくなるのを防ぐため、係数の二乗和が 1であるという制約条件をつける.数学的に主成分分析を表わすと

	X_1	X_2		X_p
O_1	X_{11}	X_{21}	•••	$X_{p l}$
O_2	X_{12}	X_{22}	•••	X_{p2}
:	:	:		:
O_n	X_{1n}	X_{2n}		X_{pn}

(O:対象データ n:対象データの個数 X:変数 p:変数の個数)

表 1:多変量データ

以上のような長方形データが得られたとき

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_n \end{bmatrix} = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n = a_1 \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ \vdots \\ x_{1n} \end{bmatrix} + a_2 \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{2n} \end{bmatrix} + \dots + a_n \begin{bmatrix} x_{p1} \\ x_{p2} \\ \vdots \\ x_{nn} \end{bmatrix}$$

と各変数からなる総合指標を考える. 主成分の定義より

$$a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2 = 1$$

の制約条件を満たしながら $z_i(i=1,2,\cdots,n)$ の分散を最大にすることを考えると,

$$\begin{cases} (s_{11} - \lambda)a_1 + s_{12}a_2 + \dots + s_{1p}a_p = 0 \\ s_{21}a_1 + (s_{22} - \lambda)a_2 + \dots + s_{2p}a_p = 0 \\ \vdots \\ s_{p1}a_1 + s_{p2}a_2 + \dots + (s_{pp} - \lambda)a_p = 0 \end{cases}$$

という関係式を得る. ただし s_{ij} は x_i と x_j の共分散であり λ は定数を表わす. ここで、

$$\mathbb{A} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \cdots & s_{pp} \end{bmatrix} (分散共分散行列), \quad \mathbb{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix}$$

とおくと, 上記の式は

$Aa = \lambda a$

と表すことができる.これは λ を固有値,aを固有ベクトルとした場合の固有値問題であり,このaを求めることにより, a_1,a_2,\cdots,a_p すなわち係数が得られ,主成分を求めることができる.最も情報を持つ主成分を第一主成分,その次に情報を持つものを第二主成分,続いて第三,第四,…と呼び,これらをグラフの軸にして考える事によってデータを可視化することができる.各主成分の解釈(軸の解釈)は,上記で求めた各パラメータの係数から分析者が主観的解釈を行い判断する.

第四章 結果

実験の測定データから①転倒経験②性別③年齢④身長⑤体重⑥BMI(体重÷身長²)⑦MFC⑧下腿周径⑨上腕周径⑩握力⑪片足立ち保持時間⑫最小歩幅⑬両足の幅⑭運動経験⑮運動頻度⑯補助具を記録した。また、⑦⑧⑨⑩⑪⑫については左右のデータの平均値を記録しており、これらの左右の比率(バランス)も算出し、分析対象とした。

また分析は被験者を"転倒経験群"、転倒には至らないまでも転倒しそうになった経験がある"ニアミス経験群"、"非経験群"の3群に分類し各パラメータに対して比較を行った.

	全体	転倒経験群	ニアミス経験群	非経験群
	n = 182	n = 70	n = 13	n = 99
年齢[歳]	81.681	83.442	79.692	80.696
身長[cm]	150.748	150.972	151.607	150.477
体重[kg]	54.187	56.001	55.323	52.756
BMI	23.809	24.573	23.949	23.251
MFC[m]	0.0139	0.0128	0.0107	0.0150
MFC 比率	0.728	0.723	0.656	0.741
下腿周径[cm]	33.058	33.177	34.038	32.845
下腿周径比率	0.978	0.974	0.986	0.979
上 腕 周 径 [cm]	25.576	25.626	26.346	25.439
上腕周径比率	0.978	0.979	0.982	0.975
握力[kg]	20.195	19.581	18.126	20.901
握力比率	0.859	0.874	0.877	0.863
片足立ち保持時間[s]	11.490	9.433	15.092	12.865
片足立ち保持時間比率	0.564	0.575	0.692	0.565
最小歩幅[m]	0.862	0.855	0.825	0.871
最小歩幅比率	0.958	0.958	0.925	0.964
両足の幅[cm]	22.558	22.166	22.576	22.828
運動経験者[人]	63	29	4	30
運動頻度[回/週]	1.730	1.871	1.615	1.646
補助具使用[人]	56	22	3	31

表 2:被験者の測定データ

4.1 フットクリアランスの加齢効果

測定データから MFC と年齢に対して単回帰分析を行った結果を以下に示す.

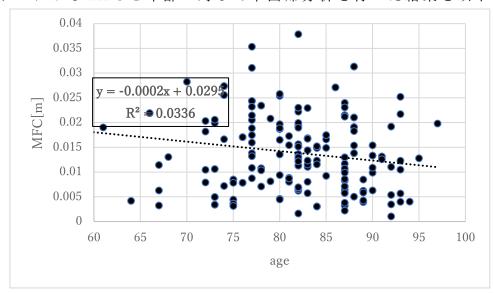


図 19: MFC と年齢の関係

2 つのパラメータの相関は、-0.1832 と非常に小さいが加齢による減少効果が見られ、回帰直線は y=-0.0002+0.0295 と右肩下がりの結果が見られた.しかし R^2 値は 0.0336 と精度は低く、t 検定を行ったが p 値の値からも有意差が得られなかった.

4.2 フットクリアランスと転倒との因果関係

MFCの減少が転倒に関係しているのかを調べるため転倒経験群,ニアミス経験群,非経験群の3グループでMFCの加齢効果を比較した.回帰分析結果を以下に示す.

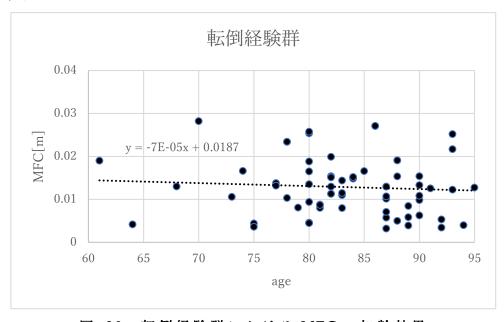


図 20: 転倒経験群における MFC の加齢効果

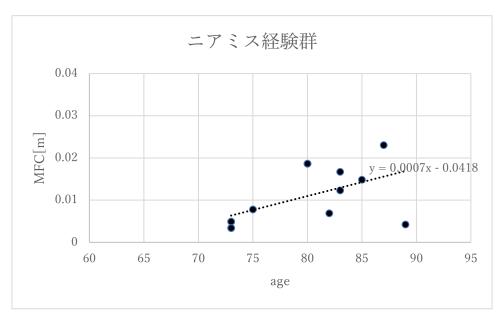


図 21:ニアミス経験群における MFC の加齢効果

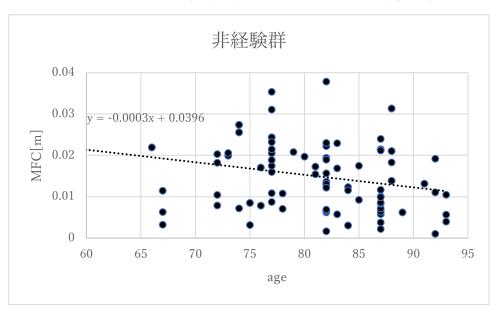


図 22: 非経験群における MFC の加齢効果

	転倒経験群	ニアミス経験群	非経験群
回帰直線	y = -7E - 05x + 0.0187	y = 7E - 4x - 0.0418	y = -3E - 4x + 0.0396
相関	-0.0736	0.5489	-0.2793
P 値	0.048	0.050	0.049

表 3:3 群の MFC と年齢の回帰分析結果

3 群とも 95%の有意水準を満たした分析結果が得られた. これより, 転倒経験群と非経験群において負の相関がみられ, 加齢による MFC の減少傾向が得られた. しかしニアミス経験群では仮説とは逆の MFC の増加傾向が見られ, また非経験群の方が転倒経験群よりも相関が強い結果となった.

またこの 3 群で MFC の基本統計量を算出し、ヒストグラムを作成したところ、結果は以下のようになり、転倒経験群になるにつれて平均値は減少、また 歪度が増加していることから MFC の減少が転倒に関連していることが示された.

(歪度:分布が正規分布から左右どちらにどれだけ歪んでいるかを表わす指標)

	平均	標準誤差	標準偏差	分散	歪度
転倒経験	0.01285	0.000789	0.006603	4.36E-05	0.552066
ニアミス	0.013766	0.001775	0.006642	4.41E-05	0.482192
非経験	0.015085	0.00083	0.008305	6.9E-05	0.474159

表 4: 群ごとの基本統計量

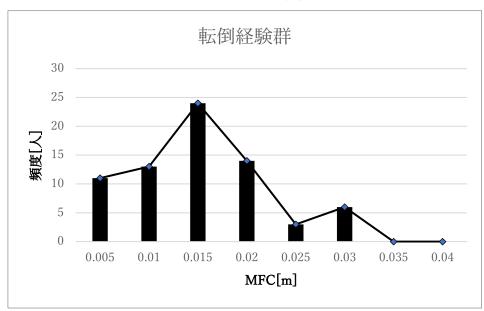


図 23:転倒経験群における MFC ヒストグラム

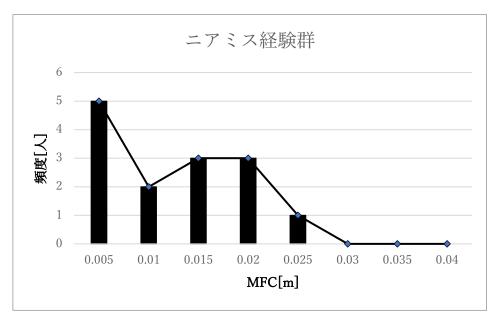


図 24:ニアミス経験群における MFC ヒストグラム

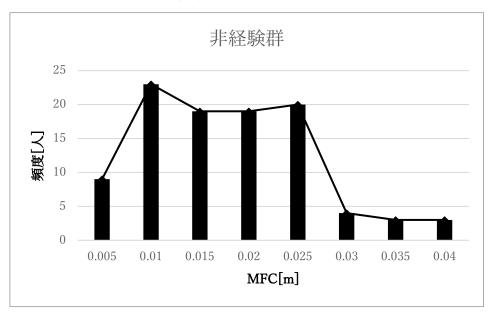


図 25: 非経験群における MFC ヒストグラム

第五章 考察

5.1 MFC の加齢効果について

(4.1) より、MFC の加齢効果について有意性を見出すことができなかった. しかし年齢に対して例外的な MFC の値を記録している被験者もおり、若干であるが負のたしかに相関を示しているため加齢効果は存在すると考えた.そこで被験者を 60 代、70 代、80 代、90 代に分け、各代の MFC の平均値を比較し回帰分析を行った.

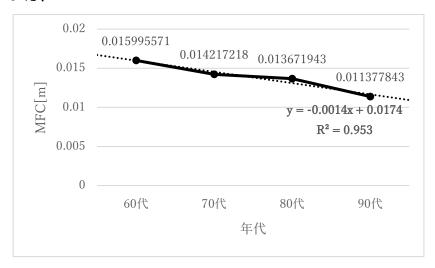


図 26:年代ごとの MFC

すると相関は-0.9762と強い相関がみられ、回帰直線はy = -0.0014x + 0.0174、 R^2 値も 0.953 と非常に精度が高くフィッティングされた.また t 検定の結果からも p 値は 0.0237 であることから有意であるといえる.これによって MFC が加齢によって減少していることを示した.

5.2 ニアミス経験群におけるフットクリアランスについて

結果(4.2.1)では転倒経験群、非経験群において加齢による MFC の減少傾向が得られたが、ニアミス経験群では仮説とは逆の MFC の増加傾向が見られた. また非経験群の方が転倒経験群よりも相関が強くなっている.

なぜこのような結果になったのか群ごとの特徴を多変量データから抽出するため主成分分析を行い、各主成分の値と寄与率、累積寄与率を求めた。主成分分析はロジスティック回帰分析とは違い、ダミー変数を説明変数に置くことが出来ないため、性別、運動歴、運動頻度、補助具を除く変数を対象とした。また、各パラメータの単位がバラバラのため、すべてのパラメータデータに対して標準化を行っている。分析の結果、第2主成分までで累積寄与率が90%を超えていたため、第1・第2主成分のみを扱うことにした。各主成分(軸)のパラメータ係数を以下に示す。

	第 1 主成分	第 2 主成分
年齢	-0.2667	-0.4158
身長	0.07719	-0.08410
体重	0.05177	-0.3859
MFC	-0.3027	0.4030
BMI	-0.01107	-0.4016
MFC 比率	-0.2747	0.1487
下腿周径	0.2077	-0.1418
下腿周径比率	0.3090	0.1959
上腕周径	0.1982	-0.1044
上腕周径比率	0.1875	0.2051
握力	-0.2366	0.1113
握力比率	0.1189	0.2839
片足立ち保持時間	0.2120	0.2689
片足立ち保持時間比率	0.3801	-0.007281
最小歩幅	-0.5080	-0.07412
歩幅比率	-0.1445	0.1260
足の幅	0.03309	0.1635

表 5:主成分ごとの各説明変数の係数

(表6)の結果を見ると第1主成分は年齢、MFC、MFC比率、最小歩幅、握力は負の値を示しており、下腿周径、上腕周径とこれらの比率は正の値を示している。これは年齢が若く、下腿・上腕周径やそのバランスなどの外見からも若く健康であるように見えるが、MFCや歩幅、握力などの減少から筋力が低下している。よって第1主成分(横軸)は年齢の割に自身の老化、身体機能の衰えを自覚しているかどうかを示していると解釈できる。

また第 2 主成分では年齢は負の値を示し、MFC や各比率は正の値を示している. これは結果 (4.3) で示した転倒に影響を及ぼすパラメータの係数と酷似している. このため第 2 主成分(横軸)は転倒しやすいかどうかを示していると解釈できる. 横軸を第 1 主成分、縦軸を第 2 主成分として主成分の 3 群の散布図は以下のようになった.

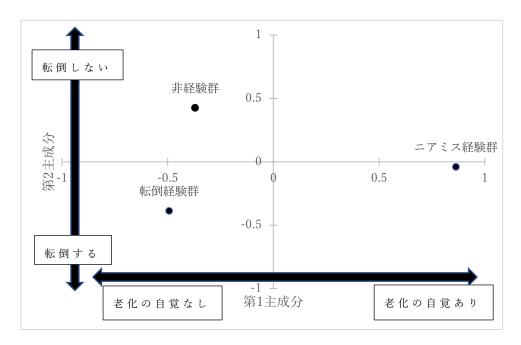


図 27:第1主成分と第2主成分の散布図

このグラフをみると転倒経験群は転倒しやすい身体パラメータを持ち、かつ老化の自覚がないことが分かる.また非経験群は転倒しにくい身体パラメータを持ち、転倒歴もないことから自身が老化しているという自覚をしていないことが分かる.しかしニアミス経験群は若干の転倒する身体パラメータを持ちながらも、転倒しそうになった経験があることから老化の自覚があることがわかる.

この結果からニアミス経験群において MFC の増加傾向がみられたのは、転倒または転倒に至らないまでも転倒しそうになった経験から、自身に転倒してしまう危険がある自覚が芽生え、意識的に歩行中の足を高く上げていたと考えられる.

5.3 転倒に影響を与える身体パラメータ

転倒経験ありと転倒経験なしを目的変数とし,性別,年齢,身長,体重,BMI,両足の幅,運動経験の有無,運動頻度,補助具の有無,また MFC,下腿周径,上腕周径,握力,片足立ち保持時間,最小歩幅とこれらの左右の比率(バランス)を説明変数としてロジスティック回帰分析を行い,被験者ごとの転倒発生確率と全変量の回帰係数を算出した.

分析によって算出した転倒確率が $0\sim50\%$ の場合転倒なし、 $50\%\sim100\%$ の場合転倒ありと仮定し、実際の転倒歴と整合性を確認したところ的中率が約 7 割であった。また尤度比検定を行い、p 値が 0.005 であったことから分析結果は妥当であるといえる。

ロジスティック回帰式の定数項は-18.956となり回帰係数は以下のようにな

った.また各回帰係数からオッズとこれらの信頼区間を算出し、オッズが信頼区間外の変数つまり目的変数に影響を与えている変数を判別した.今回オッズの 95%信頼区間は 0.73426~1.26574 であり、転倒の有無に影響を与えているパラメータは性別、MFC、MFC 比率、下腿周径比率、上腕周径比率、握力比率、片足立ち保持時間比率、歩幅比率、運動経験、運動頻度であった.

	回帰係数	オッズ	影響の有無
			(信頼区間外)
性別	-1.361	0.256	あり
年齢	0.080	1.083	なし
身長	0.147	1.158	なし
体 重	-0.0360	0.964	なし
MFC	-24.136	3.29E-11	あり
BMI	0.231	1.260	なし
MFC 比率	-0.617	0.539	あり
下腿周径	-0.0434	0.957	なし
下腿周径比率	-4.212	0.0148	あり
上腕周径	-0.0240	0.976	なし
上腕周径比率	-4.860	0.00774	あり
握力	-0.0555	0.945	なし
握力比率	-0.241	0.273	あり
片足立ち保持時間	0.00276	1.002	なし
片足立ち保持時間比率	-0.236	0.267	あり
最小歩幅	-1.149	0.849	なし
歩幅比率	-0.163	0.316	あり
足の幅	-0.0257	0.974	なし
運動経験	0.650	1.916	あり
運動頻度	0.556	1.745	あり
補助具	-0.279	0.756	なし

表 6:各パラメータの回帰係数とオッズによる影響の有無

ロジスティック回帰分析の結果によっても MFC の減少が転倒に大きく関係していることが示された。また、パラメータの左右比率は全てにおいて影響ありと示され、比率が低いほど、つまり左右のバランスが悪い人ほど転倒するという結果が定量的に示された。しかし運動歴、運動頻度については運動経験があればあるほど、運動頻度が高ければ高いほど転倒するという筆者の仮説とは逆の結果になった。これは (5.2) で老化している自覚の有無が転倒に影響を与

えていると述べたが、運動経験については、かつて運動(スポーツ)をしていた経験がある人ほど、運動能力や身体能力に自信があり自身の身体機能の低下に気が付かず結果として転倒してしまうのではないかと考えた.また運動頻度については転倒の自覚がある人は MFC を意識的に上げていることから転倒している人ほど自身の健康増進のため、運動頻度を上げているのではないかと考えられる.

5.4 転倒危険度の物理モデル

ロジスティック回帰分析の結果を参考に、本研究で扱った実験データを用いて簡易的に転倒する危険度合いを表す尺度を作成したので紹介する.

結果(4.3)で判明した転倒に影響を与えるパラメータのみに再度ロジスティック回帰分析を行い、影響のないパラメータがなくなるまで繰り返し行った. 最終的に転倒に影響があるとして残ったパラメータは性別、MFC、下腿周径比率、上腕周径比率、歩幅比率、運動経験、運動頻度であり、これらの回帰係数は以下のようになった.

	性別	MFC	下腿周径	上腕周径	歩幅	運動経験	運動頻度
			比率	比率	比率		
係数	-0.543	-38.01	-2.10139	-1.491	-2.951	0.621529	0.543721

表7:転倒に影響するパラメータとその回帰係数

係数が負の変数はパラメータが大きくなるほど、目的変数つまり転倒する確率が下がることを示している. これらの値から転倒発生確率を算出することは可能だが、(3.1)で示した数式を解く必要があり、非常に煩雑である.そのため回帰係数の結果から今回得た実験データを用いて簡易的に転倒する危険度を表す数式モデルを考えた.

転倒危険度 = $0.62e + 0.54f - (0.54 + s) \cdot h \cdot R$

(e:運動歴、f:運動頻度[回/週]、s:性別、h:MFCの高さ[cm]、R:左右の比率) 運動歴は有の場合 1、無の場合 0 とし、性別は男性を 1、女性を 0 とする. 左右の比率である R は $R=r_1\times r_2\times r_3$ (r_1 :下腿周径比率 r_2 :上腕周径比率 r_3 : 歩幅比率)とする. 転倒危険度の数値は大きいほど危険であり、小さいほど安全であることを表している。全被験者データに対して上記の数式から転倒危険度を算出し、ロジスティック回帰分析で求めた転倒発生確率との関係を以下に示す.転倒危険度の中央値は 0 であったことから、0 よりも大きい場合は転倒する、小さい場合は転倒しないと判断し、実際の被験者の転倒歴と整合性を確認したところ転倒ありの的中率は 75.2%、転倒なしの的中率は 45.1%であった.転倒危険度が 0 より大きく、転倒経験がない被験者はまだ転倒をしていないだけで、

いつ転倒が発生してもおかしくはない危険な状態であることが示唆される.

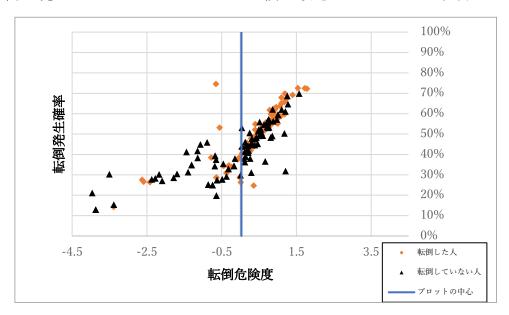


図 28:上記で求めた転倒危険度と転倒確率の関係

第六章 結論

本研究では高齢者を対象に3次元加速度センサを用いて歩行時の足の軌道を 算出し、加齢によるフットクリアランスの減少、さらにこれが転倒する原因と なっているかを検証した.また歩行軌道のほか、身長や体重、下腿周径など被験 者の身体パラメータを分析対象とし、転倒経験の有無から転倒に影響を及ぼす パラメータを解析した.本研究での主な結論について以下にまとめる

- 歩行実験で得たフットクリアランスの測定値と被験者の年齢データからフットクリアランスに対する加齢効果の存在と減少傾向を確認した.
- 転倒経験群,ニアミス経験群,非経験群のフットクリアランスの平均値から 転倒経験がある群になるにつれてフットクリアランスが減少していること を確認した.
- ロジスティック回帰分析の結果からもフットクリアランスが転倒に大きく 影響を与えていることが示され、これに加え性別、身体の左右のバランス、 運動経験が転倒に影響を与えていることが分かった。
- 主成分分析の結果から老化の自覚がフットクリアランスと関係していることが考えられる.これにより転倒しやすい身体パラメータであっても自身に老化の自覚があることでフットクリアランスが増加し、転倒を防げることが示唆された.

以上より、年齢の増加によるフットクリアランスの減少傾向とこれが高齢者の転倒と大きく関係していることが明らかになった.また身体の左右のバランス老化の自覚が歩行中の転倒に大きく関与していることが分かった.

本研究および本研究で測定したデータを基に作成した転倒危険度モデルが理 学療法分野、医療分野、介護分野においての研究・開発に貢献することを期待 する

第七章文献

- 1) The World Bank, 2021, 「life expectancy at birth total(years)」, The World Bank Open Data,(2021年1月6日取得https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN)
- 2) イリーゼ,2021,「高齢者の転倒の危険性とは?」,イリーゼホームページ, (2021年1月7日, https://www.irs.jp/article/?p=509)
- 3) 西澤 哲, 長崎 浩ら, 1988, 「地域高齢者を対象にした歩行時のフットクリアランスに関する研究」, バイオメカニズム学会, 14巻 p69-79
- 4) 中島 三智世,丸山 仁司ら,2013,「若年者と高齢者における遊脚相の足間接角度の相違ついて」,理学療法科学,28巻 p573-576
- 5) ART-Promotions,2021,「小型無線多機能センサ(加速度・角速度・地磁気, 生体信号などを計測可能な小型低価格 無線接続センサパッケージ)」, ART-Promotionsホームページ, (2021年1月7日取得, http://www.atr-p.com/products/sensor.html)
- 6) 竹内光悦, 酒折文武, 2006,「Excel で学ぶ理論と技術 多変量解析入門」, ソフトバンク クリエイティブ株式会社, p110-117
- 7) 竹内光悦, 酒折文武, 2006,「Excel で学ぶ理論と技術 多変量解析入門」, ソフトバンク クリエイティブ株式会社, p166-171

第八章謝辞

本論文は多くの方々からのご助言や支援により完成させることが出来ました. 本研究を実施するにあたって、ミケレット・ルジェロ教授には研究や発表などのアドバイスなど熱心な指導をしていただき、日頃より大変お世話になりましたこと深く御礼申し上げます.

また、実験データの採取、解析の指導やご協力していただいた姫野先生や孫さんをはじめとする理化学研究所、計算工学応用開発ユニットの皆様に深く感謝いたします.

そして実験の際に被験者を快く引き受けてくださった長野県飯縄町の皆様,お 忙しい中,貴重なお時間をいただき心より感謝申し上げます.

また、日々の議論を通じて多くの知識や示唆を頂戴いたしましたミケレット研究室の皆様には深く感謝いたします.

最後に本論文執筆に携わってくださった全ての方々に感謝の意を表し、謝辞と 致します.

加速度角速度センサ計測手順書

<目次>

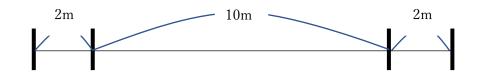
- 1.1 計測場所の準備
- 1.2 計測機器 (センサ) の準備
- 1.1 計測場所の準備

【使用するもの】

テープ、メジャー、足型のマーク

【方法】

歩行区間は 14m です。助走路 2m + 走路 10m + 助走路 2m です。助走路と走路の開始と終わりをテープでマークします。テープでマークし終えたら、足型をスタート地点に置きます。



1.2 センサの準備

【使用するもの】

センサ (ATR-Promotions 社の小型無線多機能センサ)

センサには TSND121 と TSND151 の 2 種類があります。操作方法はどちらも同じです。



図 TSND121



図 TSND151

「Altima (ATR)」をインストールしたパソコン



図 Altima

【方法】

設定はパソコンで行います。一度に複数のセンサの設定を行うことができます。 1893 のセンサを例に説明していきます。

- (1) パソコンを起動し、サインインしてください。
- (2) サインインができたら、センサに USB ケーブルをさし、パソコンと接続してください。(パソコンと接続するとセンサの電源付近のライトが<mark>橙色</mark>に光り、充電中の状態になります。)



図 パソコンとセンサを接続



図 充電されている状態

(3) センサの電源を入れます。センサの電源ボタンを長押しすることでピッという音とともに電源が入ります。(電源を入れるとセンサ中央のライトは白く点滅します。接続されていないと Bluetooth モードになり青色に点灯します。)



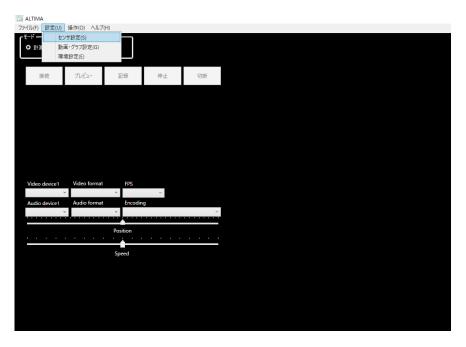
図 電源ボタンを押す

(4) 「Altima」を起動します。

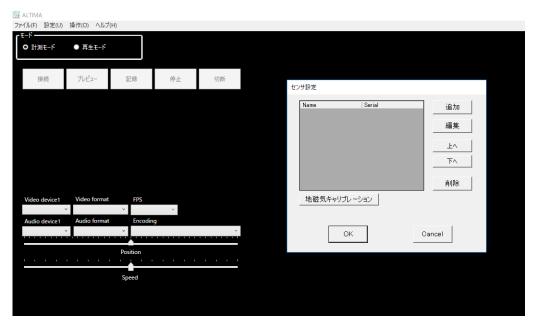


図 「Altima(ATR-Promotions 社)」起動画面

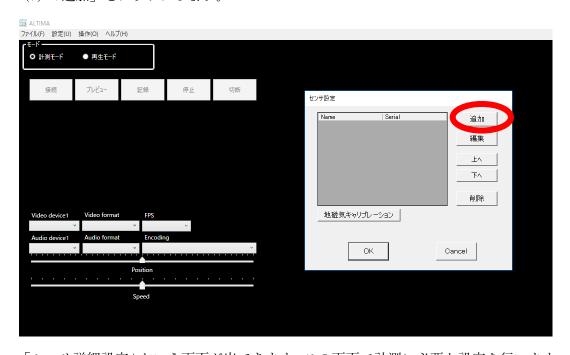
(5) 起動できたら、左上「設定」から「センサ設定」をクリックします。



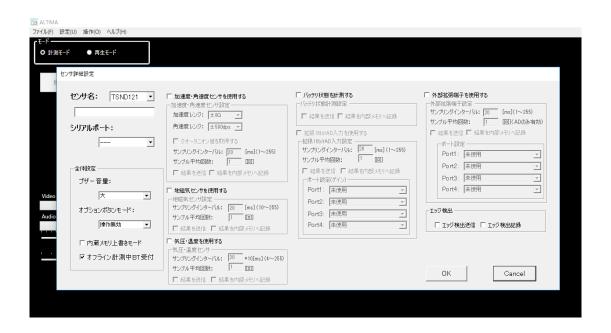
(6) センサを接続する画面が出てきます。



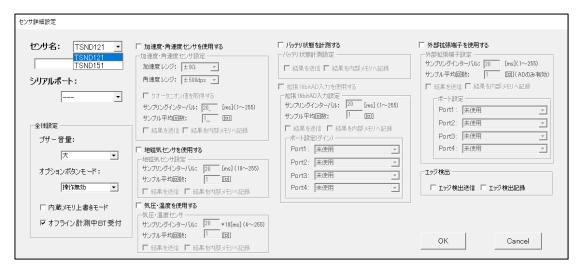
(7)「追加」をクリックします。



「センサ詳細設定」という画面が出てきます。この画面で計測に必要な設定を行います。



(8) 左上にある「センサ名」を見ると、右に TSND151 または TSND121 と表示されています。クリックすると TSND151 か TSND121 のどちらかを選択できます。これから設定しようとしているセンサが TSND151 か TSND121 のどちらかを確認し選択してください。この例では TSND121 を選択しています。



(9) センサ名の下の空白部分をクリックすると文字を打つことができます。これが接続するセンサの名前となり、計測し保存するデータファイル名にも表示されますのでセンサの番号を入力してください。



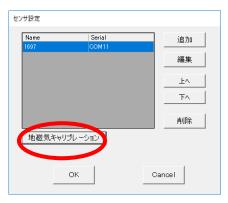
(10)「シリアルポート」を見ます。「---」となっている箇所をクリックすると、「COM…」というものが選べるので、クリックします。これは接続する度に番号が変わります。この例では「COM11」をクリックしています。



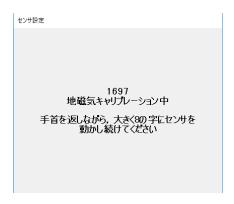
(11) その他☑の個所と数値が下の画像と同じになっているかを確認してください。同じであれば右下にある「OK」を押してください。違っていれば、画像と同じように設定してください。特に○が付いている箇所は注意してください。



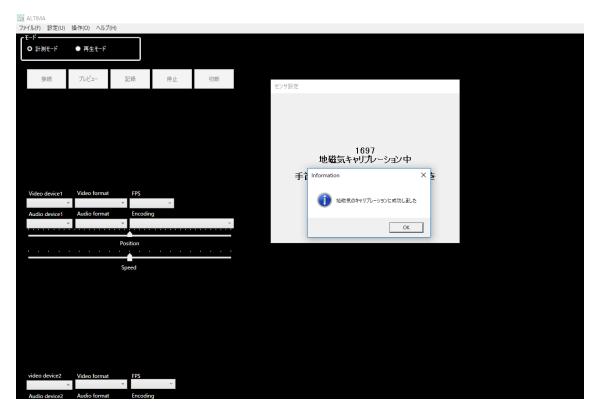
(12)OK をクリックするとセンサ設定の画面に設定したセンサが表示されます。この状態で左下にある「地磁気キャリブレーション」をクリックします。



「地磁気キャリブレーション」の間は画面の指示に従い、センサを8の字に動か し続けてください。



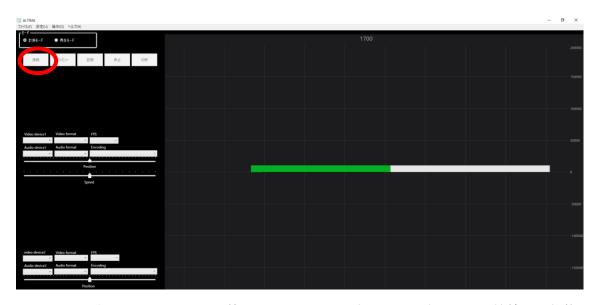
(13) 成功したら、「OK」をクリックします。 「地磁気キャリブレーション」は終わりです。



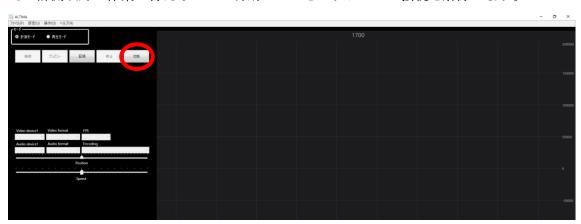
(14) 「OK」をクリックします。



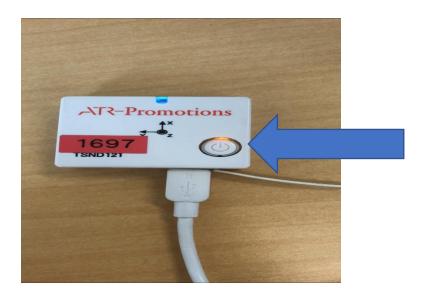
(15) 計測の設定を終えたら、この設定をセンサに組み込むために画面左上の接続ボタンを押してダウンロードします。



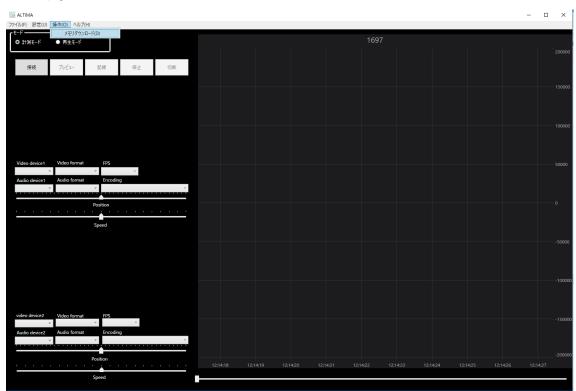
問題なくダウンロードを終えたらセンサの設定はこれで完了です。接続した状態 だと計測以外の作業が行えないので切断ボタンをクリックして接続を解除します。



(16) センサが接続されたらテストとして一度計測をしてみます。センサ側面のオプションボタンを長押しするとピピッと音が鳴り、計測が開始されます。



- (17)再度オプションボタンを長押しするとピーという音がなり計測を終了します。計 測が終わりました。
- (18)画面左上の「操作」から「メモリダウンロード」をクリックします。ここでセン サが起動し、データを保存できているかの確認と内臓データのクリアを行いま す。



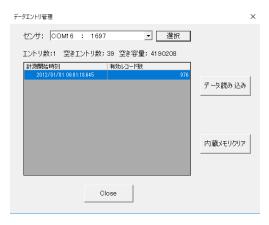
データエントリ管理という画面が出てきます。



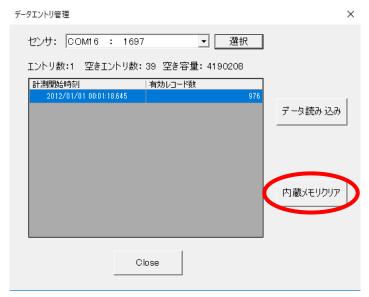
(19)「選択」をクリックします。



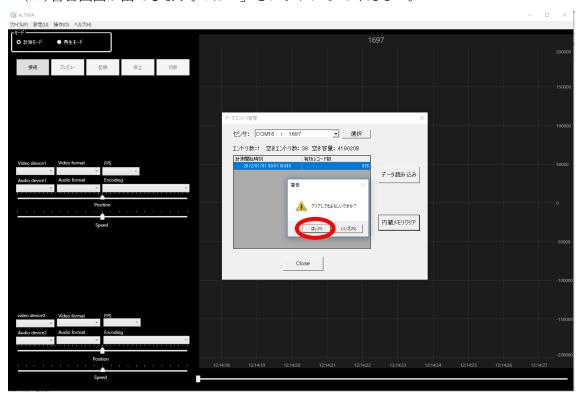
センサの内臓メモリに保存された計測データが出てきます。



(20)「内蔵メモリクリア」をクリックしてください。

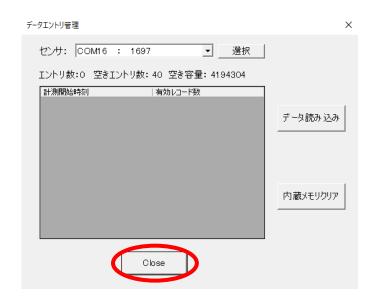


(21)警告画面が出てきます。「はい」をクリックしてください。



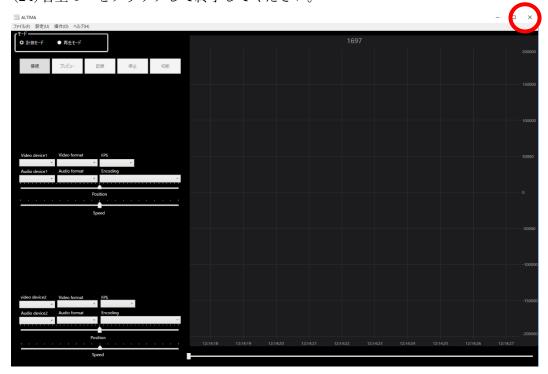
内蔵メモリクリアが完了しました。センサに保存されていた計測データはすべて消去されました。

(22)「Close」をクリックしてください。



(23)センサの電源ボタンをピーという音がするまで長押しして電源を切り、USB を外してください。





これでセンサの設定は終わりです。

(25)設定が終わったセンサを充電しておきます。

この一連の作業を、当日使う予定のセンサ全てに対して行ってください。 (※一つのセンサが保存できるデータ数は 40 までなので当日は容量が超えないように注意してください。)

加速度角速度センサ計測手順書

<目次>

- 1. 当日の計測
 - 2.1 計測方法
- 1. 当日の計測
- 2.1 計測方法

【使用するもの】

テープ、センサ、ストップウォッチ、記録用紙(センサ番号やストップウォッチで測った時間を記録する)

【方法】

- (1) 記録用紙に被験者番号とセンサーセットを記入してください。 次にセンサを被験者へ取り付けます。取り付ける際、センサの向きが非常に重要です。注意してください。
- (2) 両足にセンサを取り付けてください。左右を間違えないように注意してください。センサの向きにも注意してください。



左足 1892、右足 1893

- (3) 被験者にスタート位置についていただきます。計測内容について説明します。
- (4) センサの電源を入れます。
- (5) 後のデータ収集時に、往路・復路を目視で切り取ってデータを分けるのは手間がか

かるので往路のみ計測を行う。

(6) 歩行は速度を変えて 2 回行います。 1 回目は通常の速度で、 2 回目はできるだけ速く歩行します。それぞれ 1 往復します。10m を歩く際、スタートとストップで 5 秒間止まります。

計測の一連の動作は通常の歩行速度と速い歩行速度で変わりません。通常の速度で 行ったことを、速い速度のときも同じように行ってください。

10m の歩行にかかった時間を計るためストップウォッチを使います。

使う機能は START、STOP、RESET のみです。

ストップウォッチで計るのは走路(10m)の区間です。

スタートして走路に被験者の体の重心が入ったところから出るところまでを計ります。

10m の歩行はあっという間です。ぶっつけ本番でやろうとするとストップウォッチの START や STOP のタイミングを間違えてしまうかもしれません。あらかじめ一連の動作を確認しておいたほうが良いと思います。

- (7) もう一度被験者にゴールの位置で止まるように伝えます。(動いてしまう方が多いため。)
- (8) 3~5 秒数えたらスタートし歩いていただきます。
- (9) 走路に被験者の体の重心が入ったところからストップウォッチの START を押します。
- (10) 被験者の体の重心が走路から出たところで STOP を押します。
- (11) ゴールについたら、振り返らずにそのまま止まるように伝え 3~5 秒数えます。 待っている間にストップウォッチの結果を記録用紙に記入します。記入したら RESET を押します。
- (12) 振り返っていただく
- (13) オプションボタンを押し、計測を開始します。
- (14) オプションボタンは右側面にあります。2秒くらい押すと音が鳴り、計測が開始されます。(センサのライトは計測状態になると紫色に点滅します。)



TSND121 のオプションボタン



TSND151 のオプションボタン

- (15) (9)~(13)を復路でも行います
- (16) 復路で(13)が終わったら再度オプションボタンを押し、センサの電源を切ります。 (オプションボタンを押さずに電源を切ってしまった場合でも、計測データはきちんと保存されているようです。)
- (17) 次は「できる限り速く」歩いていただくよう被験者に伝える。
- (18) もう一度被験者にゴールの位置で止まるように伝えます。速足の場合あせりがちになり動いてしまう可能性があります。
- (19) (9)~(18)を速足でも行います。やることは通常の速度のときと同じです。
- (20) 速足での計測が終わったら左足、右足のセンサを被験者から取り外します。 以上で計測は終了です。
- この一連の作業を全ての被験者に対して行ってください。

加速度角速度センサ計測手順書

<目次>

- 2. 計測データ
 - 1.1 パソコンへの保存方法
- 1. 計測データ

計測が終了したセンサには計測データが保存されています。計測データはパソコンへ保存する必要があります。

計測データのパソコンへの保存方法について説明します。

1.1 パソコンへの保存方法

【使用するもの】

計測に使ったセンサ(ATR-Promotions 社の小型無線多機能センサ) センサには TSND121 と TSND151 の 2 種類があります。操作方法はどちらも同じです。



図 TSND121



図 TSND151

「Altima (ATR)」をインストールしたパソコン



図 Altima

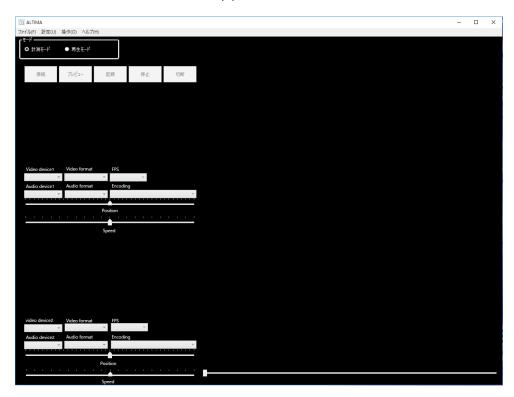


図 「Altima(ATR-Promotions 社)」起動画面

【方法】

一度に操作ができるセンサの個数は1つです。

1697 のセンサを例に説明していきます。

- (26) パソコンを起動し、サインインしてください。
- (27) サインインができたら、センサに USB ケーブルをさし、パソコンと接続してください。(パソコンと接続するとセンサのライトが橙色に光り、充電中の状態になります。)

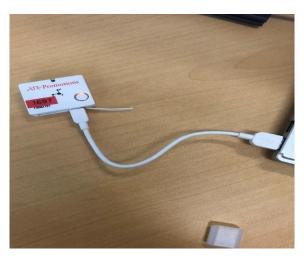
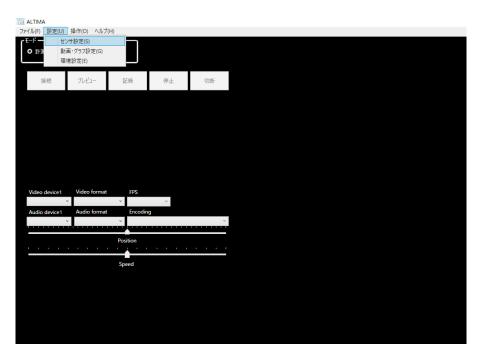


図 パソコンとセンサを接続

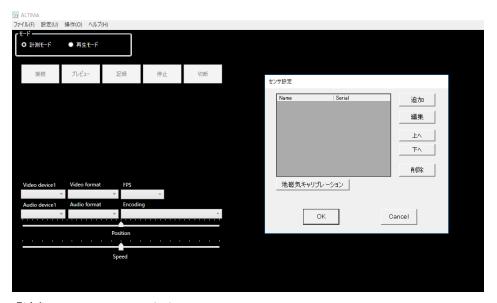


図 充電されている状態

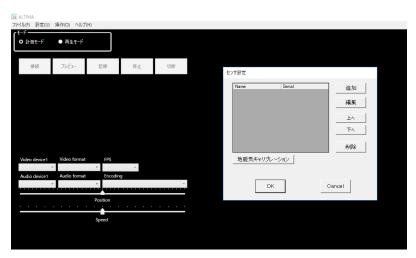
- (28) 「Altima」を起動します。
- (29) 起動できたら、左上「設定」から「センサ設定」をクリックします。



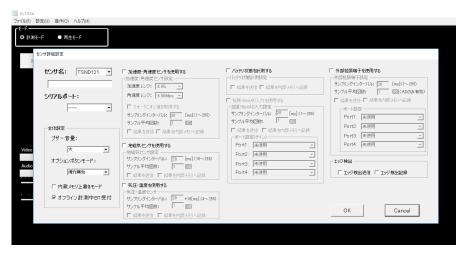
(30) センサを接続する画面が出てきます。



(31) 「追加」をクリックします



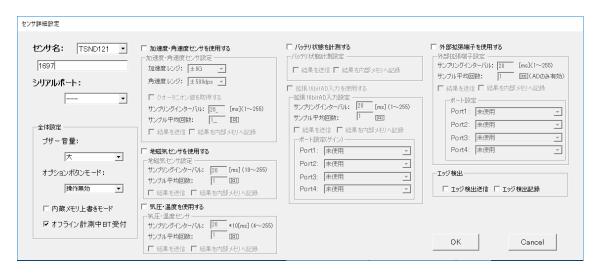
「センサ詳細設定」という画面がでてきます。



(32) 左上にある「センサ名」を見ると、右に TSND151 または TSND121 と表示されています。クリックするとどちらかを選択できます。これから設定しようとしているセンサが TSND151 か TSND121 のどちらかを確認し選択してください。この例ではTSND121 を選択しています。

センサ詳細設定			
センサ名: TSND121 ▼ TSND121 ▼ TSND121 ▼ TSND151 シリアルポート: ▼ 全体設定 ブザー音量: ▼ オプションボタンモード: 操作無効 ▼ 「内蔵メモリ上書きモード	加速度・角速度センサを使用する	「パッテリ状態を計測する 「パッテリ状態計測した。」 「結果を送信 「 結果を内容メモリへ記録	
▽ オフライン計測中BT受付	サングリンダインターパル: 20 *10[ms] (4~255) サングル平均回数: 1 [回] 結果を送信 「 結果を内部メモリヘ記録		OK Cancel

(33) センサ名の下の空白部分をクリックすると文字を打つことができます。これが接続するセンサの名前となり、計測し保存するデータファイル名にも表示されますのでセンサの番号を入力してください。



(34) 「シリアルポート」を見ます。「---」となっている箇所をクリックすると、「COM…」というものが選べるので、クリックします。これは接続する度に番号が変わります。この例では「COM11」をクリックしています。

センサ詳細設定			
センサ名: TSND121 ▼ 1697 シリアルポート:	加速度・角速度センサを使用する	「 パッテリ状態を計測する	

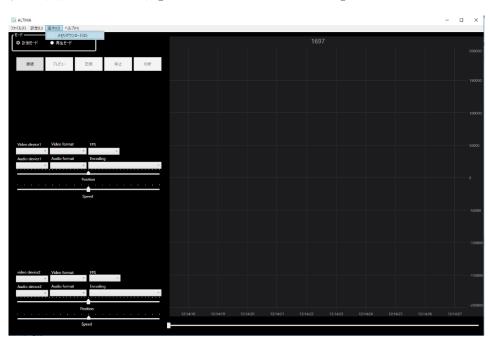
(35) TSND選択、センサ名、シリアルポート選択が完了したら右下にある「OK」を 押してください。



(36) 「OK」をクリックするとセンサ設定の画面に設定したセンサが表示されます。 この状態で左下の「OK」をクリックします。



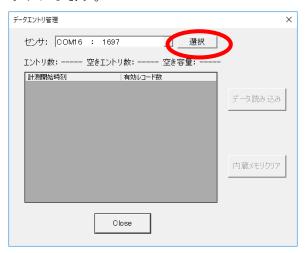
(37) 画面左上の「操作」から「メモリダウンロード」をクリックします。



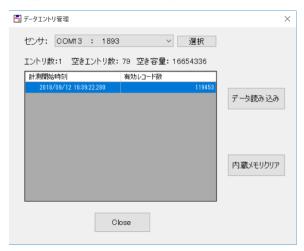
データエントリ管理という画面がでてきます。



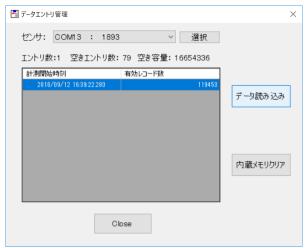
(38) 「選択」をクリックします。



センサの内臓メモリに保存された計測データが出てきます。



(25) データ読み込みをクリックしてください。

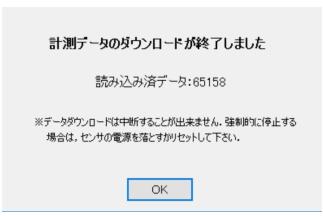


計測データダウンロード中 **計測データを内蔵メモリからダウンロード中**読み込み済データ: 46430

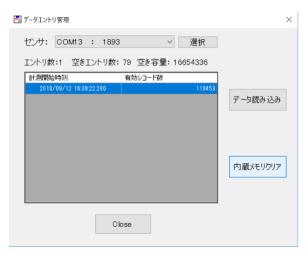
※データダウンロードは中断することが出来ません。強制的に停止する場合は、センサの電源を落とすかりセットして下さい。

(26) データの読み込みが完了しました。「OK」をクリックしてください。

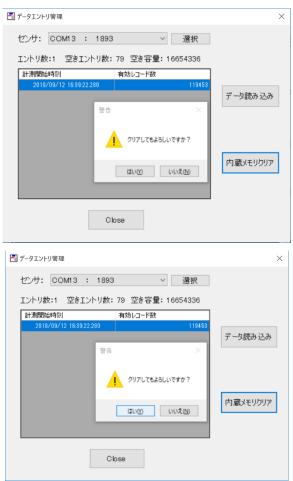
計測データダウンロード中



(27) 「内蔵メモリクリア」をクリックしてください。

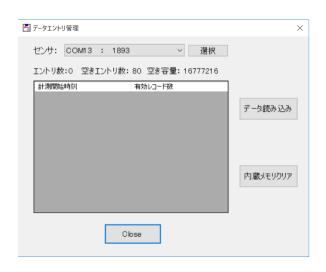


(28) 警告画面が出てきます。「はい」をクリックしてください。



(29) 内蔵メモリのクリアが完了しました。「Close」をクリックしてください。

加速度角速度センサ計測手順書 計測データのパソコンへの保存方法



- (30) データの読み込みとクリアが完了しました。センサの電源を切り、USB ケーブル を外してください。
- この一連の作業を計測で使用したセンサのすべてで行ってください。