

ウェアラブル端末とセンサ装着ストックによる歩行状態のモニタリング
Monitoring walking condition by wearable devices and sensor attached trekking stock

坂口 憲一*¹ 仲山 加奈子*¹ 工藤 裕*¹
Kenichi Sakaguchi Kanako Nakayama Yu Kudo

*¹ 株式会社テクノソリューション
Technosolution Co., Ltd.

We developed a prototype of trekking stock that can measure the pressure and acceleration during climbing gait. In both wearable devices (eyeglasses / wristwatch type) and prototypes, it was possible to measure walking data of climbers on actual mountaineering paths, and it was shown to monitor climbers' biological information and walking condition. Furthermore, as a result of the evaluation experiment, we could obtain new knowledge on "visualization of stock movement" and "difference in stock utility in climbing and descent".

1. はじめに

レジャー白書 2017年[日本 2017]によると、ウォーキング人口は 3,010 万人、登山人口は 650 万人であった。近年、ウォーキングは 3,000 万人強で推移しているが、登山については 2009 年の 1,230 万人をピークに減少傾向にある。一方、年代別では高齢者(60 代以上)の参加割合がウォーキング 53.0%、登山 44.1%となっており、高齢者の参加が多いことが両者の共通的特徴であるが、登山においては高齢者の山岳遭難が増加しており、社会問題化している。

2016 年の山岳遭難の発生件数・遭難者数・死亡者数(行方不明者含む。以下同様)[警察庁 2017]は、それぞれ 2,495 件(対前年比 13 件減)、2,929 人(同 114 人減)、319 人(同 16 人減)となっており、前年比では若干減少したものの、統計の残る 1961 年以降、2 番目に高い数値である。表 1 の年齢層別山岳遭難者数によると、2016 年の遭難者数の 50.6%、死亡者数の 67.4%が 60 歳以上の高齢者であるのと同時に、その人数も増加傾向にあることが分かる。

表 1 年齢層別山岳遭難者数

	平成24年 (2012)		平成25年 (2013)		平成26年 (2014)		平成27年 (2015)		平成28年 (2016)		
	遭難者	死亡	遭難者	死亡	遭難者	死亡	遭難者	死亡	遭難者	構成比	死亡 構成比
20歳未満	165	2	230	0	153	3	201	3	174	5.9%	4 1.3%
20～29	199	7	236	5	222	7	228	10	194	6.6%	12 3.8%
30～39	263	20	251	22	281	13	277	15	291	9.9%	13 4.1%
40～49	267	19	332	32	333	36	372	30	366	12.5%	28 8.8%
50～59	343	41	406	57	402	36	397	43	421	14.4%	46 14.4%
60～69	681	89	686	98	744	97	791	107	746	25.5%	101 31.7%
70～79	451	80	466	81	537	85	609	86	565	19.3%	76 23.8%
80～89	92	25	97	23	114	29	151	35	161	5.5%	36 11.3%
90歳以上	3	0	9	2	6	3	14	6	10	0.3%	2 0.6%
不明	1	1	0	0	2	2	3	0	1	0.0%	1 0.3%
計(人)	2,465	284	2,713	320	2,794	311	3,043	335	2,929	100.0%	319 100.0%

また表 2 の態様別山岳遭難者数に示すとおり、2016 年の態様別では「道迷い」が約 4 割を占めており、「滑落」「転倒」・「病気」・「疲労」が続く。さらに、過去 5 年間の推移をみると「疲労」や「病気」が増加傾向にあることが分かる。高齢者が増えていることとの関係性も考えられ、且つ疲労による注意力低下が道迷いや転倒・転滑落につながっている可能性もある。

山岳遭難の多くは下山時に発生していることから、登山者の位置情報以外にも、登山中における高齢者の体力・筋力の消

耗具合や精神的な疲労具合、体調の変化などを計測し、高齢者本人の主観ではなく客観的な評価結果に基づき、早期下山や休憩、栄養補給などを指南できる仕組みが必要であり、各方面でさまざまな取り組みが実施されている。

表 2 態様別山岳遭難者数

	平成24年 (2012)	平成25年 (2013)	平成26年 (2014)	平成27年 (2015)	平成28年 (2016)	
	人数	人数	人数	人数	人数	構成比
道迷い	1,031	1,134	1,163	1,202	1,116	38.1%
滑落	380	460	501	501	498	17.0%
転倒	346	393	401	467	471	16.1%
病気	186	221	187	232	229	7.8%
疲労	132	137	162	172	204	7.0%
転落	93	73	90	107	108	3.7%
野生動物襲撃	34	42	48	43	42	1.4%
悪天候	37	64	42	70	18	0.6%
落石	12	17	16	25	16	0.5%
雪崩	8	20	9	17	8	0.3%
鉄砲水	18	7	2	0	2	0.1%
落雷	5	3	0	1	0	0.0%
有毒ガス	0	1	0	0	0	0.0%
その他	136	83	108	128	146	5.0%
不明	47	58	65	78	71	2.4%
合計	2,465	2,713	2,794	3,043	2,929	100.0%

2. 先行研究

まず GPS・Beacon・NFC を活用して、登山者の位置情報の取得および危険情報の提供による遭難事故の防止[国交省 2014][三部 2012]やドローンによる空撮を通じて遭難者の捜索を行う[東京都 2016]研究や実証実験がある。携帯端末の電源確保、電波の強度や検出間隔、位置情報の精度などの課題はあるものの、2018 年度のみちびき(準天頂衛星システム)運用開始以降、実用化されることが期待される。

つぎに運動生理学面では、山本がトレッドミルによる実験環境や実際の登山道において、心拍数や血中乳酸値、動脈血酸素飽和度などを用いて、脚筋力や消費エネルギー量などを分析している[山本 2016]。

また心理面では、岡本らが山小屋に宿泊する登山者に対してアンケート調査を実施し、登山動機を明らかにしたり[岡本 2015]、林らが高所登山における唾液や血液の生体検査から免疫能や心理的变化を調査したりしている[林 2011]。

そして、センサ技術の小型化・高機能化を反映して、井出らが加速度センサを腰部および膝部に装着し、富士山頂での基本歩行(登り・平坦・下り)とストック・荷重の有無による比較検討を実施した[井出 2016]。その結果、①身体動揺の大きさは、下り>平坦部>登りの順になったこと、②下りではストック使用により身体の動揺が減少したことなどを明らかにした。

連絡先: 坂口 憲一, (株)テクノソリューション, 〒104-0033 東京都中央区新川 2-21-10, TEL:03-6222-0206, FAX:03-6222-0197, sakaguchi@technosolution.co.jp

3. ウェアラブル端末による登山歩行の計測

前報[坂口 2017]では、実際の登山道において被験者が眼鏡型・腕時計型端末を装着し、登山用ストック(以下、「ストック」と称す)の使用および不使用双方のケースで登山実験を行った。その結果、登山道という条件が安定しない実地環境(フィールド)においても、日常生活に用いる眼鏡や腕時計に組み込まれたセンサからデータを計測することかできた。そして、以下のような可能性を知見として得ることができた。

3.1 下りにおける着地強度の軽減

Z 軸方向(上下)の加速度において、「ストックあり」の方が、「ストックなし」に比べて加加速度の標準偏差が小さく、振幅も減少していることから、歩行バランスの安定化に寄与する可能性が示唆された。さらに、この振幅減少は「登り」に比べて、「下り」に顕著に表れており、ストックを持つことによって下山時の足への負担(着地強度)が軽減された可能性がある。但し、X 軸方向(左右)の加速度においては顕著な差異が見られなかった。

3.2 視線移動の減少に伴う足元への注視

視線の動きが減少し、ストックを付く位置に視線の方向が当たっているものと考えられ、ストック使用による安定した歩行に寄与しているものと推察できた。

3.3 荷重分散と筋力の消耗低減

ストックの使用により二足歩行から四足歩行に近い歩行動作となるため、被験者自身の体重を含めた荷重の分散と筋力の消耗低減によって、被験者の循環器系器官に対する負担が減少した可能性が示唆された。

3.4 登山経験の識別可能性

登山初心者の場合、下山時の Y 軸方向(前後)の加加速度の標準偏差が小さかったことから、登山熟練者に比べて、前方向への踏み込みが弱かったのではないかと推測された。

4. 本研究の目的

前報での知見をふまえて、下りにおける着地強度の軽減および登山経験の識別可能性に注目し、登山歩行時のストックにかかる圧力および加速度を計測できる脱着可能なセンサを試作した。

本報では、試作品を用いた実地環境におけるデータの計測と分析を通じて、試作品の評価および今後の研究課題について整理することを目的とする。

5. 試作品開発

5.1 全体像

試作品の全体像を図 1 に示す。



図 1 試作品の全体像

5.2 試作品開発の目的

今回、試作品を開発した目的は、登山中の疲労度合いや歩行バランスの調整に対する「ストックの使い方の変化」を計測することである。そして、将来的には、計測した結果から推定される疲労や歩行の状態をユーザ(登山者)にフィードバックし、登山中に発生しうる事故やケガを未然に防止できる機器へと発展させることを考えている。

5.3 機能概要

試作品は圧力と加速度を計測できる計測部および計測されたデータを収集・蓄積する制御部に分かれている。またストックの形状(太さ)や長さの違いにも対応できるように、各計測部とデータ制御部は、ストックに着脱できるようにした。なお、ストック自体はすでに市場で流通しているものを採用した。

試作したセンサは、圧力センサ、加速度センサ、データ制御装置からなる。以下に各部について説明する。

①圧力センサ

ストックにかかる圧力を計測でき、先端部分(最下部)に装着可能な圧力センサを試作した。登山道の環境変化以外にも、登山者の疲労具合や熟練度に応じて、先端部分にかかる圧力が変化するものと考えた。登山道は、登りと下りの違い以外にも、木階段やザレ場(おもに砂礫の道)、ガレ場(おもに岩場の道)、降雨・積雪の有無などによって、その環境が大きく変わる。

②加速度センサ

圧力同様に、加速度にも変化があると考え、ストックに装着可能な加速度センサを試作した。試作品では先端部分に1つ、データ制御装置内に1つの合計2つの加速度センサがある。

③データ制御装置

圧力センサおよび加速度センサが検知した信号を収集し、MicroSD カード内に CSV ファイルを生成することでデータを蓄積する制御機能を有する。

6. 評価実験

6.1 被験者

被験者 1 名(45 歳, 男性)が評価実験を実施した。なお、被験者は年間山行 20~40 日程度の登山熟練者であり、本稿の著者でもある。

6.2 実験方法

被験者に眼鏡型端末および腕時計型端末を装着し、両手に試作品を各 1 本ずつ持った状態で評価実験を 2 回実施した。

(実験器材)

- ・試作品: Caravan 社製トレッキング用ストック
- ・眼鏡型ウェアラブル端末: JINS MEME ES
- ・腕時計型ウェアラブル端末: Fitbit Surge

(評価実験①)

- ・日付: 2018 年 2 月 24 日(土)
- ・ルート: 小仏バス停〜景信山山頂(往復)
- ・時間: 14 時 38 分〜16 時 18 分
- ・天候: 晴れ 気温: 14.2°C
- ・距離(往復): 5.3km 標高差: 430m
- ・体重: 73.6kg ザックの重量(荷重): 7.8kg

(評価実験②)

- ・日付: 2018 年 3 月 3 日(土)
- ・ルート: 大倉バス停〜花立山荘(往復)
- ・時間: 11 時 02 分〜15 時 17 分

- ・天候:晴れ, 気温:14.8℃
- ・距離(往復):12.8km 標高差:1,006m
- ・体重:73.4kg ザックの重量(荷重):8.9kg

7. 実験結果

7.1 ウェアラブル端末からのデータ計測

眼鏡型端末および腕時計型端末から得られた評価実験①・②の計測結果を図2・図3に示す。

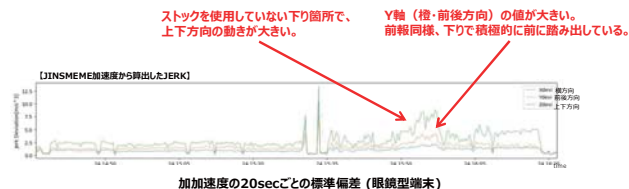


図2 評価実験①(ウェアラブル端末)

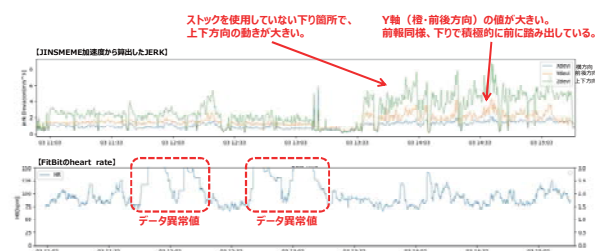


図3 評価実験②(ウェアラブル端末)

7.2 試作品からのデータ計測

試作品から得られた評価実験①・②の計測結果を図4・図5に示す。なお、評価実験①において、左側ストックの圧力センサおよびデータ制御装置に不具合が発生し、圧力センサからのデータが不正確であったため、両図とも右側ストックの計測結果を示す。

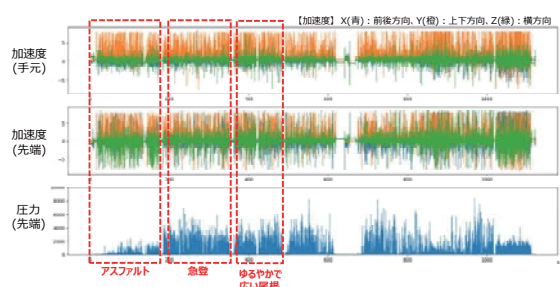


図4 評価実験①(試作品)

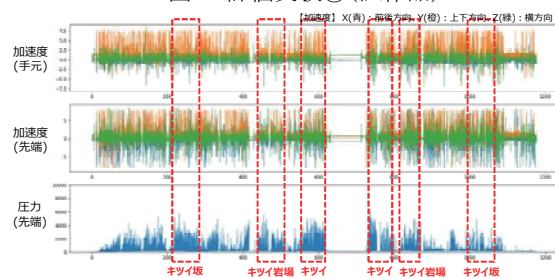


図5 評価実験②(試作品)

つぎに評価実験①の「ゆるやかな広い尾根」における任意地点の計測結果を図6に示す。ストックを接地し、持ち上げ、前方に移動する一連の動作が計測できた。同じく評価実験①の「急登」における任意地点の計測結果を図7に示す。

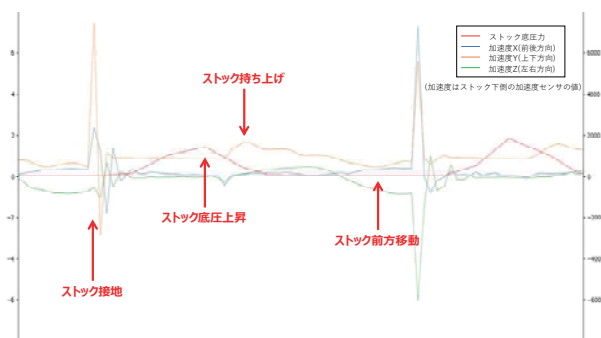


図6 ゆるやかな広い尾根でのストック動作

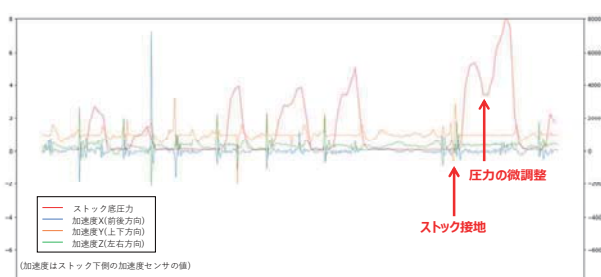


図7 急登でのストック動作

さらに、評価実験①の「ゆるやかな広い尾根」における登りと下りのストック動作の差異を図8に示す。

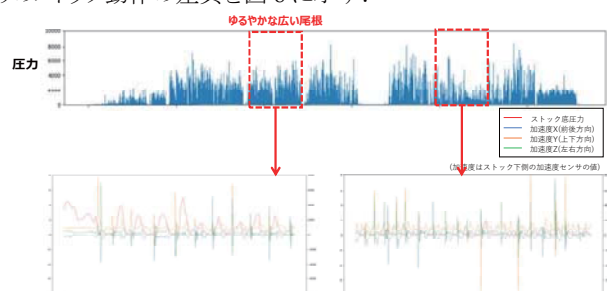


図8 登りと下りのストック動作の差異

8. 考察

8.1 実地環境(フィールド)におけるデータ計測

本実験においても、実際の登山道(登山口～山頂までの往復)という条件が安定しない実地環境(フィールド)で、ウェアラブル端末(眼鏡型・腕時計型)からのデータ計測とともに、試作品の加速度センサおよび圧力センサからもデータを計測できることを確認した。

前報同様に、今回の評価実験でも被験者のY軸(前後方向)の値が大きく、下りで積極的に前に踏み出していることが再確認できた。

8.2 スtock動作の可視化

加速度センサおよび圧力センサから「ストックの接地⇒圧力上昇⇒圧力が抜けるとすぐにストックを上方移動⇒身体を前方移動」というストックを用いた場合の一連の歩行動作を可視化することができた。とくに急登(図7)の場合には、ストックを接地させたあと、ストックへの力のかけ方を変更し、歩行バランスを調整することで、安全確保を意図した動作であると推測できる。

また、“加速度の大きさと圧力には相関がなく、ストックにかかる圧力は圧力センサでない”ことが確認された。

8.3 登山道の傾斜・状態に対するストック効用の差異

図 8 に示すとおり、同じ場所を歩いていても、登りと下りではストックの効用に違いがあることが分かる。登りでは、ストックにかかる圧力が大きいので、ストックを使って前方への推進力を得ていると推測できる。一方、下りでは、ストックにかかる加速度（衝撃）が大きいにもかかわらず、ストックにかかる圧力が小さいため、ストックは歩行バランスを安定させるための補助機能を果たしていると考えられる。

さらに、加速度より、接地の衝撃で現れる波形を抽出し、圧力と比較した。接地の衝撃 F は、質量（ストック荷重＋体重＋荷物荷重）と加速度に比例すると考えられる（ $F=m \cdot a$ ）。今回は被験者が 1 名であり、同じストックを使用していることから、質量はほぼ一定であるとし、接地時の加速度の大きさのみで衝撃を評価することとした。接地の衝撃は、3 軸加速度の合成値にハイパスフィルタ（ $f_c=40\text{Hz}$ ）と全波整流を実施し、抽出した（図 9）。図 10・図 11 は、評価実験①・②におけるストックの接地の衝撃と、かかる圧力を示す。前述のとおり、登りや下り、登山道の状態によってストックの使い方を変えていることが確認できる。

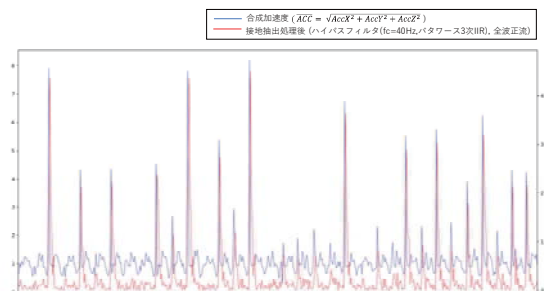


図 9 接地の衝撃の抽出

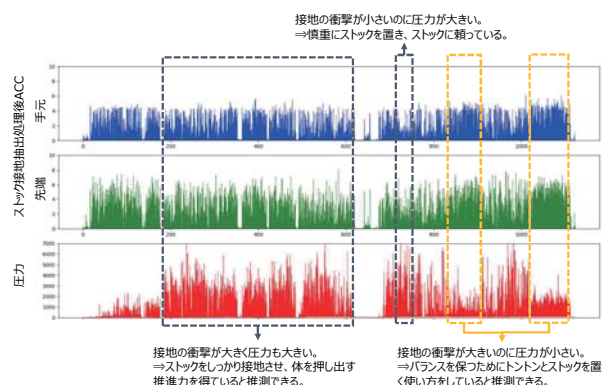


図 10 衝撃と圧力の関係（評価実験①）

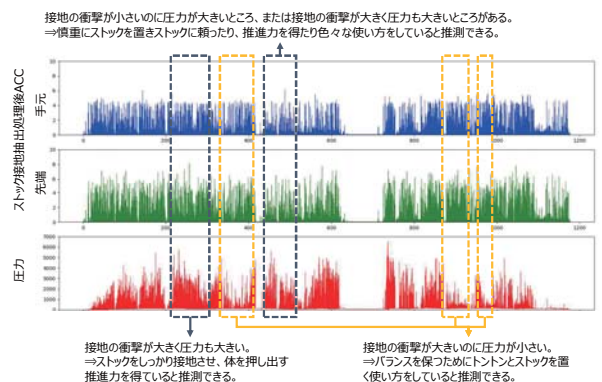


図 11 衝撃と圧力の関係（評価実験②）

9. まとめ

ウェアラブル端末（眼鏡型・腕時計型）および試作品の双方で、実際の登山道における登山者の歩行データを計測することができ、登山者の生体情報や歩行状態をモニタリングできることが示された。

さらに評価実験の結果、「ストック動作の可視化」および「登山道の傾斜・状態に対するストック効用の差異」について、新たな知見を得ることができた。加速度とストックにかかる圧力の関係から、登りでは前方への推進力を得るため、下りでは歩行バランスを安定させるために、ストックを利用することが定量的に評価できる可能性が得られた。

10. 今後の研究活動

今後は、①統制可能な実験環境（階段やトレッドミル等）における斜度・荷重・疲労具合等の差異、②被験者数の増加、③性別・年齢・体格等の身体的特性の差異、④登山の熟練者と初心者における技能・技術の差異にそれぞれ配慮した精緻な実験を行う予定である。また、ストック先端部分にある圧力センサの強度増加やデータ計測動作中の視覚的表現の実装、GPS による位置情報の把握、Bluetooth 経由でのスマートフォン連携等による試作品の構造的・機能的な改良を実施していく計画である。さらに、計測されたデータから個人ごとの特徴量を抽出し、登山者本人に対する効果的なバイオフィードバックの手法についても検討を重ねていきたい。

参考文献

- [日本 2017] 日本生産性本部: レジャー白書 2017, 2017.
- [警察庁 2017] 警察庁生活安全局地域課: 平成 28 年における山岳遭難の概況, 2017.
- [国交省 2014] 国土交通省: G 空間社会における山岳遭難防止対策モデル構築事業, 2014.
- [三部 2012] 三部剛義: NFC を利用した登山者間 DTN の構築, 慶應義塾大学大学院, 2012.
- [東京都 2016] 東京都山岳連盟救助隊・日本山岳救助機構 合同会社: ドローンによる山岳遭難捜索技術開発報告書, 2016.
- [山本 2016] 山本正嘉: 登山の運動生理学とトレーニング学, 東京新聞出版局, 2016.
- [岡本 2015] 岡本卓也・藤原武弘: 登山行動に関する社会心理学的研究, 関西学院大学社会学部紀要, 2015.
- [林 2011] 林綾子・金森雅夫: 北アルプス登山者の登山前・中・後にわたる免疫能・心理的变化, びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要第 8 号, 2011.
- [井出 2016] 井出里香・五島史行・吉田泰行: 富士山頂において歩行バランスに与える影響, 第 36 回日本登山医学会学術集会, 2016.
- [坂口 2017] 坂口憲一・大海悠太・山本正彦・梶本涼太・工藤裕・仲山加奈子: 登山道における歩行バランスと着地強度の計測と評価, SIG-KST 第 32 回研究会, 2017.