

登山道における歩行バランスと着地強度の計測と評価

Measurement and evaluation of walking balance and landing strength on climbing road

坂口憲一¹ 大海悠太² 山本正彦³ 梶本涼太² 工藤 裕¹ 仲山加奈子¹

Kenichi Sakaguchi¹, Yuta Ogai², Masahiko Yamamoto³, Ryota Sugimoto²,
Yu Kudo¹, Kanako Nakayama¹

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

²東京工芸大学 工学部電子機械学科

Department of Electronics and Mechatronics, Tokyo Polytechnic University

³東京工芸大学 工学部基礎教育研究センター

General Education and Research Center, Tokyo Polytechnic University

要旨: 登山での転倒・滑落は下山時に発生することが多いが、近年、疲労や病気を原因とする高齢者の山岳遭難が増加傾向を示しており、心身の疲労具合に応じた安全な登山が求められている。本研究では実際の登山道において、眼鏡型および腕時計型ウェアラブル端末を用いてストックあり・なしの歩行状態を計測・分析した。その結果、ストックの使用が、①下山時の着地強度の軽減、②視線移動の減少に伴う足元への注視、③荷重分散と筋力の消耗低減に伴う歩行バランスの安定化に寄与できる可能性があり、また被験者の登山経験の差異によって足の踏み込み方の違いがある可能性が示唆された。ストックの適切な使用を登山者に指南できれば、遭難事故防止の一助になることが期待される。

1. ウォーキング・登山の現状

レジャー白書 2017 年[1]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）の参加割合が多いことが両者の共通的な特徴であるが、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）[2]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%

* 連絡先：株式会社テクノソリューション
〒104-0033 東京都中央区新川 2-21-10
E-mail : sakaguchi@technosolution.co.jp
URL : https://www.technosolution.co.jp

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。

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%

一方、山岳遭難の防止に向けて、地元の自治体や警察署が中心となり、①登山計画書の提出、②地図やコンパス、携帯電話による位置確認、③滑りにくい登山靴やストックの活用を積極的に啓発しているものの、登山者のマナーや意識改善に依存せざるを得ない状況が続いている。

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。

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やドローンによる空撮を通じて遭難者の捜索を行う研究や実証実験がある[3][4][5]。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[6]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。

また心理面では、岡本ら[7]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

構造を明らかにしたり、林ら[8]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。

そして、センサー技術の小型化・高機能化を反映して、井出ら[9]が加速度センサー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。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。

3. 本研究の目的

近年、眼鏡型や腕時計型のウェアラブル端末（以下、それぞれ「眼鏡型端末」または「腕時計型端末」と称す）の登場により、人間の動作や行動履歴、生体情報が比較的簡単に把握できるようになり、健康増進や仕事での生産性向上に寄与することが期待されている。

そこで、筆者らは眼鏡型端末および腕時計型端末を装着し、実際の登山道（登山口から山頂までの全行程）において登りと下りの歩行を計測し、歩行状態・視線の動き・脈波の各データに基づいて、歩行バランスの安定化に対するストックの有用性を明らかにすることを目的とする。

なお、本研究で採用した眼鏡型端末および腕時計型端末は、日常生活で使用している眼鏡や腕時計に各種センサーを組み込んだものであるため、実際の登山道においても被験者に対する身体的・心理的負担を最小限に抑えることができるとともに、身体を中心に位置する頭部（眼部）を基点とする動作計測になるため、体幹の軸を反映できる点が特長であると考えられる。

4. 実験

4.1. 被験者

被験者3名の属性を表3に示す。なお、被験者は本稿の著者である。

表3 被験者の属性

被験者	性別	年齢	経験	装備重量
A	男性	50代	ノルディックウォーキング及びマラソン熟練者	なし
B	男性	40代	登山熟練者	8kg
C	男性	30代	登山初心者	3kg

4.2. 実験方法

被験者全員に眼鏡型端末を装着し、被験者 B に腕時計型端末を装着したうえで、「ストックなし」および「ストックあり」の順序で比較実験を実施した。

①実験器材

- ・ストック：LEKI 社製トレッキング用ストックまたはノルディックウォーキング用ストック[10]
- ・眼鏡型ウェアラブル端末：JINS MEME ES[11]
- ・腕時計型ウェアラブル端末：Fitbit Surge[12]

②目的地：白山展望台（標高 284m, 神奈川県厚木市）

③実験概要

- ・日付：2017 年 10 月 27 日（金）
- ・時間：13 時 40 分～15 時 40 分
- ・天候：快晴，気温：21℃
- ・ルート：

飯山観音・長谷寺（飯山白山森林公園）の駐車場をスタートし、女坂を経て白山展望台に登り、同じ道を下山した（往復約 2.5km）。実験風景を写真に示す。



写真 実験風景

4.3. 提案システム

眼鏡型端末および腕時計型端末双方ともデータ計測および取得のうえ、CSV 形式でのデータ出力ができるアプリケーションを利用した。

眼鏡型端末については、JINS MEME SDK を通じてデータ取得可能な「Logger」[13]を採用した。取得したデータは、視線の動き（上下、左右）・瞬きの速さと強さ・姿勢（roll, pitch, yaw）・3 軸加速度（x, y, z）である。一方、腕時計型端末については、Fitbit Web API を通じてデータ取得可能なアプリケーション（Data Extractor for Fitbit）を筆者らが独自に開発した。取得したデータは、Heart Rate・Sleep・Walking・Running・Hiking（GPS 含む）であり、本実験では Heart Rate と Hiking（GPS 含む）を使用した。

眼鏡型端末および腕時計型端末双方のアプリケーション構成をそれぞれ図 1 および図 2 に示す。

なお、眼鏡型端末は被験者全員が装着したが、GPS 機能が装備されている腕時計型端末は被験者 B のみが装着した。

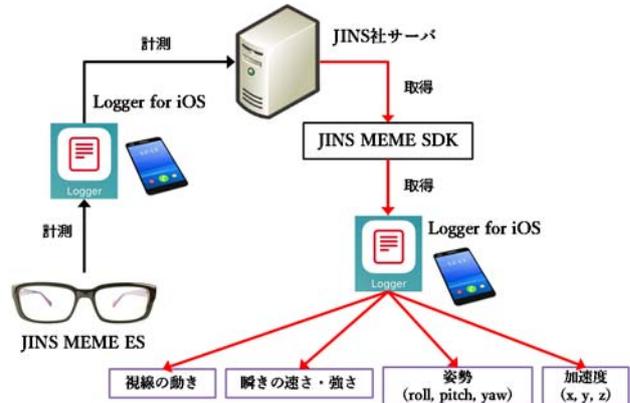


図 1 眼鏡型端末のアプリケーション構成

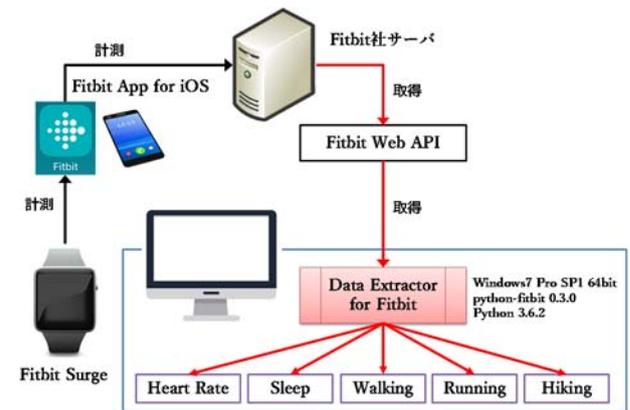


図 2 腕時計型端末のアプリケーション構成
（筆者らによる独自開発）

5. 実験結果

5.1. 眼鏡型・腕時計型端末からのデータ取得

眼鏡型端末からは 3 軸加速度・瞬きの速さと強さ・視線の動き（上下、左右）を、腕時計型端末からは脈拍数および歩行の速さをそれぞれ取得することができた。被験者 B のデータ取得結果を図 3 に示す。

また、登山開始から終了までの全被験者の加速度のデータを取得できた。図 4 には、加速度から求めた加加速度の標準偏差（20 秒間ごと）を示す。加加速度は、加速度の微分 ($j = \frac{da}{dt}$, a : 加速度) として表され、加速度の変化量を示す。

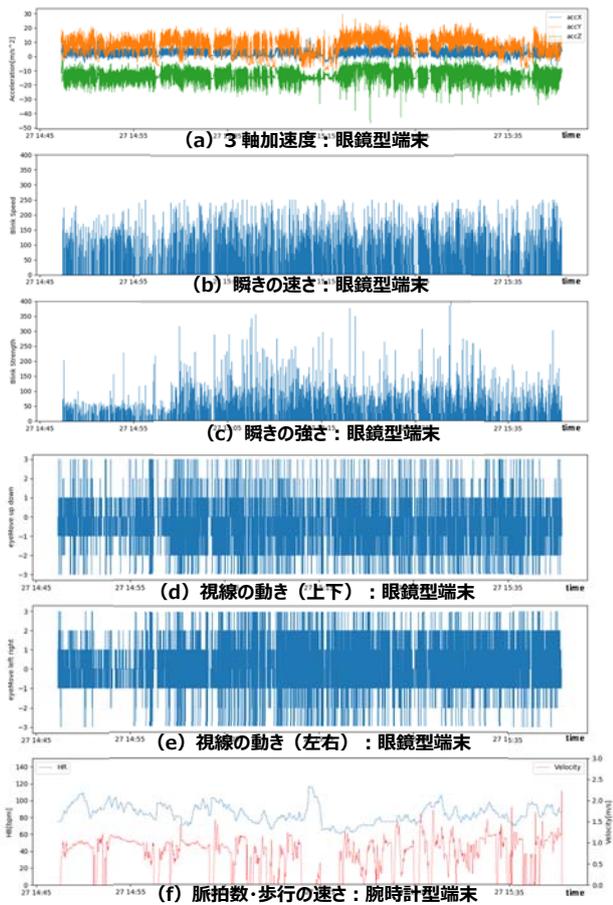


図3 両端末からのデータ取得結果

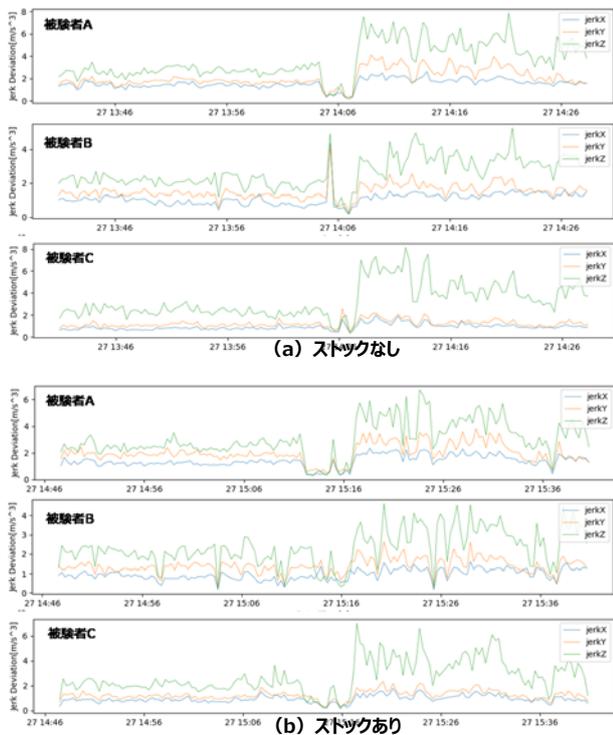


図4 全行程の加加速度の標準偏差

5.2. ストック有無別のデータ取得

「ストックなし」と「ストックあり」双方において、加速度・視線の動き・脈拍を計測することができた。

① 加速度および加加速度

被験者 B の眼鏡型端末から取得した加速度（実データ）および加速度から求めた加加速度を図5に示す。また、加速度データが安定して計測された任意の3地点における加加速度の標準偏差を示したものを表4に示す。なお、全被験者はほぼ同じペースで歩行していたことから、図6に示すとおり腕時計型端末に搭載されたGPS情報に基づいて、全被験者が同じ場所に存在していると仮定して任意の地点を選定した。

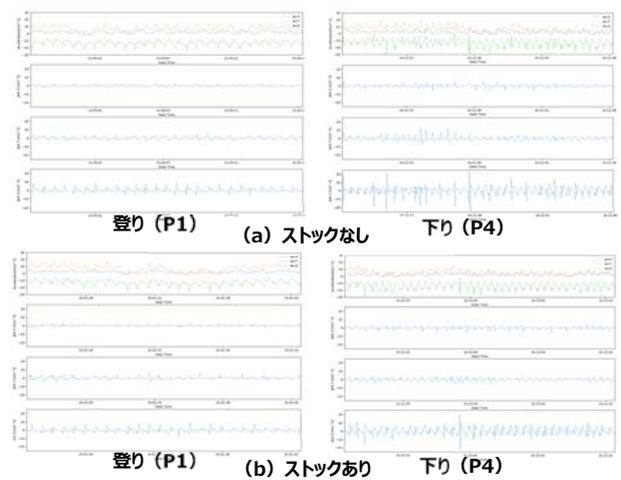


図5 被験者 B の加速度・加加速度データ

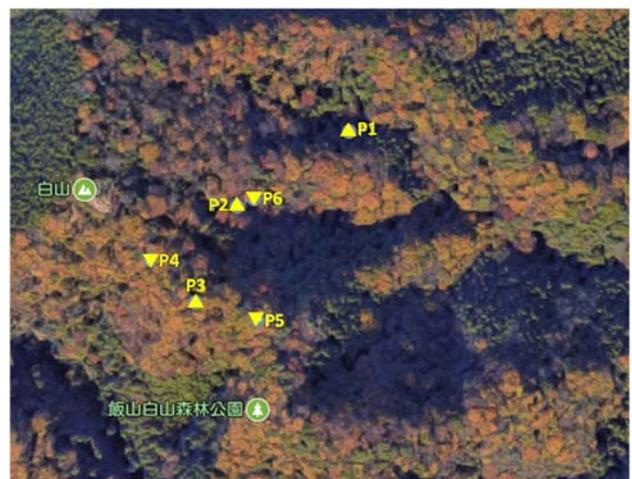


図6 加加速度の標準偏差を算出した地点

表 4 任意の地点における加加速度の標準偏差

ストック	登り 下り	地点	X軸		
			被験者A	被験者B	被験者C
なし	登り	P1	1.5375	0.7238	0.8329
		P2	1.3889	0.8341	0.6671
		P3	1.5136	0.6358	0.7185
		mean±std	1.48±0.07	0.73±0.08	0.74±0.07
	下り	P4	2.2166	1.3924	1.1399
		P5	1.7787	1.5087	1.0489
		P6	2.0662	1.109	1.5138
mean±std	2.02±0.18	1.34±0.17	1.23±0.20		
あり	登り	P1	1.1297	0.7004	0.6842
		P2	1.0761	0.8499	0.7321
		P3	1.053	0.9034	0.6507
		mean±std	1.09±0.03	0.82±0.09	0.69±0.03
	下り	P4	2.0023	1.3847	1.7625
		P5	1.3691	1.498	0.9286
		P6	1.8993	1.2489	1.1792
mean±std	1.76±0.28	1.38±0.10	1.29±0.35		

ストック	登り 下り	地点	Y軸		
			被験者A	被験者B	被験者C
なし	登り	P1	1.7875	1.2655	1.1101
		P2	1.7239	1.4728	1.0063
		P3	1.7035	1.167	0.9637
		mean±std	1.74±0.04	1.30±0.13	1.03±0.06
	下り	P4	3.1158	2.3982	1.4266
		P5	1.5169	2.3192	1.1084
		P6	3.1947	1.567	1.3824
mean±std	2.61±0.78	2.09±0.37	1.31±0.14		
あり	登り	P1	1.8267	1.1736	1.0223
		P2	1.8113	1.4391	1.0018
		P3	1.6608	1.5124	0.9485
		mean±std	1.77±0.07	1.38±0.15	0.99±0.03
	下り	P4	2.6718	2.3524	2.6296
		P5	1.7306	1.6271	1.1291
		P6	2.7203	1.9499	1.6135
mean±std	2.37±0.46	1.98±0.30	1.79±0.63		

ストック	登り 下り	地点	Z軸		
			被験者A	被験者B	被験者C
なし	登り	P1	3.1388	1.7506	2.4086
		P2	2.592	2.3081	2.2915
		P3	2.4124	1.3128	1.6137
		mean±std	2.71±0.31	1.79±0.41	2.10±0.35
	下り	P4	6.7834	3.7319	4.9477
		P5	3.2963	5.4618	3.0411
		P6	6.5208	3.4905	5.6492
mean±std	5.53±1.59	4.23±0.88	4.55±1.10		
あり	登り	P1	2.4416	1.8203	1.8724
		P2	2.0407	2.0824	1.8652
		P3	2.2272	2.2729	1.7315
		mean±std	2.24±0.16	2.06±0.19	1.82±0.06
	下り	P4	5.045	3.6051	5.2965
		P5	2.5707	4.2901	3.1995
		P6	4.616	4.5202	3.8969
mean±std	4.08±1.08	4.14±0.39	4.13±0.87		

②視線の動き（移動）

眼鏡型端末から取得した視線の大きな動きの回数を表 5 に示す。被験者 C については、視線の動きがほとんど計測できていなかったため、キャリブレーション不足によるデータ欠落の可能性が高いが、被験者 A と被験者 B については、「ストックあり」の方が「ストックなし」に比べて、視線の大きな動きの回数が減少していた。

表 5 視線の動きの回数（回）

ストック	視線の動きの大きさ	被験者 A	被験者 B	被験者 C
なし	大	3,522	1,658	0
	中	4,459	3,485	0
	小	970	3,814	9,167
あり	大	3,344	1,190	0
	中	4,562	2,821	0
	小	1,169	4,915	10,887

③脈拍

腕時計型端末から取得した被験者 B の全区間における脈拍の平均値を表 6 に示す。「ストックあり」の方が、「ストックなし」に比べて全体的に脈拍数が少なくなっている。

表 6 全区間における脈拍の平均値（被験者 B）

ストックなし	109.37bpm
ストックあり	84.13bpm

6. 考察

6.1. 実地環境（フィールド）でのデータ取得

先行研究においては、条件が統制された実験環境（トレッドミル、階段等）や登山道の一部における計測が中心であったが、本実験では登山口～山頂までの実際の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、眼鏡型端末および腕時計型端末からのデータを計測することができた点の特徴であると考え（図 3・図 4）。

6.2. 歩行バランスに対するストックの効果

①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ている。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。しかし、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ため、今後の精緻な継続研究が必要である（図 5・表 4）。

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考えられる（表 5）。但し、「実際に何を、どれくらい見ているのか」を明らかにするためには、正確な視線計測（追跡）が必要である。

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る（表 6）。

6.3. 登山経験の差異

被験者 C のみ、下山時の Y 軸方向（前後）の加加速度の標準偏差が小さくなっている。これは、被験者 A および被験者 B に比べて、被験者 C は登山経験が浅いため、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るが、歩行バランスや着地強度に対する影響について更なる検討が必要である（図 4）。

7. まとめ

眼鏡型端末および腕時計型端末を活用した提案システムによって、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、登山者の歩行状態や生体情報をモニタリングできることが示された。

本実験では被験者数が少なく、被験者間におけるウェアラブル端末の差異があるため、考察結果を結論づけることは難しいが、ストックの使用により、①下山時の着地強度の軽減、②視線移動の減少に伴う足元への注視、③荷重分散と筋力の消耗低減に伴う歩行バランスの安定化に寄与できる可能性がある。また、加加速度から足の踏み込みの強さを予測することにより、被験者の登山の熟練度を推測できる可能性が示唆された。

今後は、①計測条件の厳密化（登山装備や装着するウェアラブル端末、歩行速度の統一、キャリブレーションの徹底等）、②提案システムの改良（眼鏡型端末からのデータ取得アプリケーションの独自開発等）、③被験者数の増加を通じて、より精緻な実験を行う予定である。

さらに、ストックに気温・気圧・GPS（位置情報）

等の環境情報を取得するセンサーのほか、加速度・ジャイロセンサー・脈拍・発汗量等の生体情報を取得するセンサー、動画または静止画として記録するカメラを取り付けることで、周囲の環境から天候の急変予測、生体情報から歩行状態の変化や疲労具合を登山者にフィードバックできる「スマート・ストック」の試作開発を検討したいと考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、本研究の目的にご賛同いただいた株式会社ジンス JINS MEME グループ 長濱謙一郎氏、株式会社キャラバン 梶浦丈嗣氏から実験器材の無償提供やノルディックウォーキングの指導等で実験にご協力いただいた。ここに深く謝意を表する。

参考文献

- [1] 公益財団法人日本生産性本部, レジャー白書 2017, 2017
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 公益社団法人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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 井出里香, 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
- [10] LEKI
https://www.caravan-web.com/import/leki_trek/
- [11] JINS MEME, <https://jins-meme.com/ja/>
- [12] Fitbit Surge, <https://www.fitbit.com/jp/home>
- [13] Logger, Ode Tomoyasu,
<https://itunes.apple.com/jp/app/%E3%83%AD%E3%82%AC%E3%83%BC-for-jinsmeme/id1131541983?mt=>