



原 著

ウェアラブルデバイスの温泉研究への適用

齊藤雅樹^{1)*}, 早坂信哉²⁾, 亀田佐知子²⁾, 佐藤栄介³⁾,
壽福良平³⁾, 坂上憲光¹⁾, 北出恭子⁴⁾

(令和3年1月2日受付, 令和3年1月17日受理)

Application of Wearable Devices in Hot Spring Research

Masaki SAITO^{1)*}, Shinya HAYASAKA²⁾, Sachiko KAMEDA²⁾, Eisuke SATO³⁾,
Ryohei JUFUKU³⁾, Norimitsu SAKAGAMI¹⁾ and Kyoko KITADE⁴⁾

Abstract

In this study, we considered the advantages and disadvantages of wearable devices, which have become popular in recent years, for experiments and surveys of hot springs research. Previous research have confirmed that wearable devices used as tools for measuring vital data such as the heart rate before, during and after bathing, achieved excellent workability, immediacy, and reduced cost. It may contribute to an increased sample size. In addition, it is possible to achieve a continuous change in vital data, which can lead to the discovery of knowledge that has been overlooked in the past. By expanding hot spring research to citizen science via the distribution of wearable devices, hot spring areas that witness a substantial amount of bathing on a daily basis will become a source of potential big data on bathing. Furthermore, new information on the correlation between the use of hot springs and health is expected to complement conventional hot spring research. However, wearable devices present hardware problems, such as inaccurate measurements, low battery life, short product life, and the uncomfortable sensation of wearing the device, as well as concerns on privacy and misuse of personal information, which limits the potential for performing a large-scale citizen science experiment. Thus, further consideration and examination are required for the development of future technology and the implementation in society.

Key words : Wearable devices, Hot spring evidences, Vital data, Citizen science, Implementation in society

¹⁾ 東海大学海洋学部 〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸3-20-1. ¹⁾ School of Marine Science and Technology, Tokai University, 3-20-1 Orido, Simizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan. *Corresponding author : E-mail msaito@tsc.u-tokai.ac.jp, TEL 054-334-0411, FAX 054-337-0216.

²⁾ 東京都市大学人間科学部 〒158-8586 東京都世田谷区等々力8-9-18. ²⁾ Faculty of Human Life Sciences, Tokyo City University, Todoroki 8-9-18, Setagaya, Tokyo 158-8586, Japan.

³⁾ (株)APC 〒870-0853 大分県大分市羽屋194番地の4. ³⁾ APC Inc., 194-4 Haya, Oita 870-0853, Japan.

⁴⁾ スプリングラボ(同) 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-7-6-3F. ⁴⁾ Spring Labo LLC., 1-7-6-3F Toranomon, Tokyo 105-0001, Japan.

要 旨

本研究では、近年普及が進むウェアラブルデバイスを温泉研究の実験や調査に使用する際の利点や課題について考察を行った。先行研究や筆者らの実験により、ウェアラブルデバイスは作業性や即時性に優れたツールであることが確認され、入浴前・中・後における心拍数等の生体情報を測定する際の低コスト化、スピードアップ、サンプルサイズ拡大に寄与する可能性がある。また、生体情報の連続的変化データを得ることが可能であり、従来は見逃がされて来た知見の掘り起こしにつながる。ウェアラブルデバイスの普及により温泉研究を市民参加型の Citizen Science (市民科学) に展開させることで、日常的に大量の入浴行為が行われる温泉地は入浴ビッグデータの発信源となり、新たな温泉と健康に関する知見によって従来の温泉研究を補完することが期待される。一方、現時点でのウェアラブルデバイスには測定精度、充電方式、耐久性、装着感などハードウェア面や個人情報情報の取り扱いなどに課題を残しており、温泉研究への導入や社会実装には技術の進展とともに考察と検討が求められる。

キーワード：ウェアラブルデバイス、エビデンス、生体情報、Citizen Science、社会実装

1. はじめに

スマートウォッチに代表されるウェアラブルデバイスは新しい形式の通信端末として期待され、年々、機種や様式が提案されている。すでに普及しているスマートフォンのような「携帯する」デバイスに対して、ウェアラブルデバイスは名のとおり「身に付ける」ものであり、生体情報を測定してリアルタイムに表示可能という特徴がある。

このウェアラブルデバイスを温泉研究に導入し、実験や調査に使用することが各所で検討され始めている。特に、温泉の人体への影響すなわち「効能」に関する実験において有望なツールと期待されている。例えば、入浴事故死の原因となる不適切な入浴を防ぎ、適切な入浴に誘導する手段としてウェアラブルデバイスを用いる前駆的な調査研究の状況について本学会 71 回および 72 回大会にて報告されている(齊藤ら, 2018・2019)。

温泉の科学研究には特有の難しさがある。特に、効能・効果を検証しようとする場合、一般の医薬品開発における臨床試験とは異なる困難が伴う(齊藤, 2018)。例えば、公共の場である温泉での実験にスタッフが向う測定やサンプリングを行うのは作業性が悪く被験者も集めにくい。また、入浴環境を温泉と非温泉で同一にすることは難しく、対照群のデータを精度よく取得するのは容易ではない。加えて、ほとんどの測定機器は防水・防湿性や耐薬品性を持たないため、湿気や各種成分に富む浴室内でのリアルタイムの測定を断念し、時間をおいての測定に甘んじ、即時性に欠ける場合も多い。こうした事情からやむなく小規模なサンプルサイズでかつ様々な制約のある実験にならざるを得ない。携帯性と即時性に富むウェアラブルデバイスの活用により、この問題点を多少なりとも解決できれば温泉科学にとって福音となるであろう。

本研究では、現有の機種や研究事例、および予備的な実験結果を通じて、温泉研究にウェアラブルデバイスを導入・適用する利点や課題、潜在的な可能性などを考察する。

2. ウェアラブルデバイスの種類と業界動向

2.1 ウェアラブルデバイスの種類

情報通信白書によればウェアラブルデバイスは統計上、「情報・映像」型と「スポーツ・フィットネス」型に大別されている。また対象による分類では、一般消費者向け(BtoC)と業務用(BtoB)との分類も可能である。前者には、カメラやスマートウォッチなどのほか、活動量計等のモニタリング機能を有するタイプがある。後者には、医療、警備、防衛等の分野で人間の作業を支援する機

種や、従業員や作業員の作業や環境を管理・監視するものがあり、実用化されている。

形状としては、腕時計型（スマートウォッチ）、リストバンド型、メガネ型（スマートグラス）、指輪型、ペンダント型、懐中型のほか、シャツやスポーツウェアなど衣服と一体化したタイプもある。腕時計型は腕に付けるタイプで主に表示機能とGPS、加速度センサーに加え、心拍・血中酸素濃度、血流、血圧などの生体情報センサーを有する。リストバンド型は腕時計型が簡略化されたもので表示機能が文字に限定され、軽量で装着感が良く、安価なものが多い。メガネ型は基本的に表示デバイスであり、生体情報センサーは持たないものが多い。

ウェアラブルデバイスは生活の大半で装着する特徴から多くの機種でライフログ(生活活動記録)を得られる機能があり、利用者は日常の行動を日々記録して生活改善を試み、日誌・日記として活用することができる。また、サービス提供者は収集した人々の行動記録(いわゆるビッグデータ)をマーケティングに利用することが可能で、様々なビジネスが派生する可能性がある。

2.2 ウェアラブルデバイスの業界動向

ウェアラブルデバイスの市場規模推移および業界動向分析によると「情報・映像」型では2014～16年に市場が立ち上がり始め、ハイエンド型(高性能・高価格)の製品が登場し、アジアメーカーの参入より低価格化が進んだ。2017年に一旦は市場規模が縮小したものの、その後はアプリケーションの発展や分野の拡大により市場が拡大し、2020年における市場予想は90.3億ドルとなっている(情報通信白書, 2019・2020)。

また、「スポーツ・フィットネス」型では先進国や新興国で健康意識の高まりやPOCT需要が見込まれるものの、アジア系メーカーの参入で低価格化が進み、2019年以降の市場規模は前年並みと予測されており、ここ数年はほぼ横這いの状態である。なお、POCT(Point of care testing)とは臨床現場即時検査と訳され、その場で結果がわかる検査という意味である。

一方、ヘルスケア機器に限ればウェアラブルデバイスは市場が急拡大し、その規模は2017年の4,938億円から2020年には1兆5,800億円に成長する見通しとも言われる(経済産業省, 2019)。

筆者は毎年開催の展示会「ウェアラブルエクスポ」にて技術動向調査を継続的に行っている。2020年での展示は160社であり、作業・教育支援型のアシストツールが最も多く、次に目立つのが健康関連の商品・サービスであり、機種としてはスポーツ・フィットネス目的のスマートウォッチ展示が多く見られた。安全目的のものとしては熱中症予防や転倒予防などが一部で提案されていた。温泉施設や家庭での入浴時の利用を想定したものは一つもなく、浴槽用の水没型スピーカーが一社展示されているのみであった。

ウェアラブルデバイスの主な機能の一つである健康データ測定に関しては、例えば現在普及しつつある5Gサービスに関して、健康データに基づく疾病予防サービスを医療機関から提供される機能については有料・無料を合わせて約70%が「利用したい」と回答している(情報通信白書, 2020)。健康目的でのウェアラブルデバイスには一定の潜在的需要があると考えられる。

3. ウェアラブルデバイスの温泉研究の現状

3.1 ウェアラブルデバイスの温泉研究における用途

温泉研究における用途としてまず想起されるのは、入浴中あるいは入浴前後における生体情報のモニタリングであろう。2020年時点の市販品で測定・評価が可能なものは、脈拍数、活動量、血中飽和酸素濃度、血圧、睡眠状態、心電機能などである。また、これらからストレスや自律神経の状態を算出し評価する機能を持つ機種もある。

従来はこのようなデータを入浴前・中・後に測定するには多大な手間や人手を要していたが、ウェアラブルデバイスでの測定が可能になれば実験が手軽かつスムーズに進むことが期待される。この測定の即時性の観点からウェアラブルデバイスは「温泉入浴のPOCTツール」として普及する可能性がある。

測定における即時性が重要であることはCOVID-19（新型コロナウイルス感染症）への対応において社会的に再認識された。例えばPCR検査では検査結果を得るまで数時間から数日を要するため、診療現場で30分程度にて検査可能な抗体検査すなわち即時性を持つPOCTが模索されている（厚生労働省, 2020）。また、各種施設の玄関における検温が水銀型の体温計ではなく赤外放射型で行われるのも瞬時に体温が測定できる即時性が測定精度すなわち正確性よりも重視されているからであろう。即時性と正確性とは天秤にかけられ、その場面における最適なデバイスが採用される典型例と言える。

現在、ウェアラブルデバイスによる生体データの測定は利便性が高いものの、測定精度について課題がある。温泉入浴のPOCTツールに採用する上でどの程度の測定精度が必要とされるのかは、目的や場面に応じたシナリオごとに検討するべきであろう。現時点では、正確性よりも即時性が求められる場面においてウェアラブルデバイスはより有力な選択肢と成り得る。

また、POCTツールとして普及を図る上でデバイスの価格は重要な要素であるが、現在のウェアラブルデバイス市販価格は数千円から数万円程度であり、手軽に購入できる製品も多い。市場の拡大・成熟に伴って低価格化および測定精度・信頼性向上が進むことが予測される。

3.2 ウェアラブルデバイスを用いた温泉研究の事例

ウェアラブルデバイスを温泉・入浴研究に用いる試みは各所で行われている。本項ではそのいくつかを例示する。

国立病院機構西別府病院ではウェアラブルデバイスを活動量と睡眠評価に使い、アスリートの高温温泉入浴による睡眠改善効果をはじめとする一連の研究が行われている（松田, 2018）。

（株）アルファシステム、田沢湖病院、玉川温泉研究会らのグループでは、ウェアラブルデバイスにより高齢者療養の場における日常生活リスクを予防する医療IoTシステムの構築に取り組んでいる。ウェアラブルデバイスや体組成計等から得られる高齢者の生活・バイタルデータ等を収集・分析し、リアルタイムでのモニタリングや健康アドバイスレポートの自動作成等の研究が行われている（総務省, 2017）。

研究事例ではないが、長野県東御市のプール（温泉アクティブセンター）では心拍数や活動量管理のためにウェアラブルデバイスを着用したいとのニーズに応え、申告書提出で着用を許可し、活用方法について利用者との情報交換の場を設ける検討がされている。

温泉に限らず入浴研究にウェアラブルデバイスを活用する研究としては、岩手県立大学のグループにて浴室での突然死や溺死のリスク検出を目的に、ウェアラブルデバイス、浴室内の人感センサー、温度センサーのデータを組み合わせたシステムが提案されている（佐藤ら, 2017）。

このほか、熱中症に関して産業医科大学のグループでは労働災害防止の目的で腕時計型およびシャツ型のウェアラブルデバイスを活用する研究を行っている（丸山ら, 2019）。また、埼玉県庁では主に高齢者を対象に「熱中症予防リストバンド」を用いた実証実験に取り組んでいる。手首の計測データからリスクを推算して熱中症になる手前で警告し予防行動を促す仕組みである。熱中症は入浴事故死との関連性や類似性が指摘されており（黒木, 2018）、熱中症予防に関する知見は温泉入浴分野にも応用可能であると考えられる。

温泉や入浴に特化しない一般論としては、ウェアラブルデバイスを疾病や介護予防など次世代へ

ルスケアに用いる検討は広く行われている。例えば、政府の経済構造審議会 2050 経済社会構造部会においては生活習慣病対策、健康増進、介護・認知症対策、オンラインサービス、効果的・効率的な介護サービスの提供などの事例をもとに、保険者の予防措置へのインセンティブ強化、健康づくりに関する個人の行動変容への誘導、オンライン医療の推進等が検討されており、未来社会のヘルスケアシステムとしてウェアラブルデバイスとそのデータ活用に寄せる期待が大きいことを感じさせる。

ウェアラブルデバイスそのものの開発事例としては、入浴に特化した製品としてロッカーキー形状のリストバンド「風呂イト」がフューチャーアーキテクト(株) から提案されている。

3.3 ウェアラブルデバイスを温泉研究に用いる構想「Yu-navi」

筆者らのグループが推進する「Yu-navi (ユーナビ)」構想では、ウェアラブルデバイスによる健康状態・入浴データを「自律型エビデンス」としてこれを収集し、入浴者自身による入浴効果の体感を「自発型エビデンス (ゆるやかなエビデンス)」として収集・解析することと合わせ、入浴行為と健康状態の因果関係の知見を強化し、これに基づいた適切な入浴への誘導を「Bathing Navigation」と名付け、そのシステムの実現を目指している (Fig. 1)。

現時点のウェアラブルデバイスでは生体情報の測定は可能であるものの浴槽内の水温・入浴時間・成分 (泉質) データは収集困難であるため、これらを浴槽に浮かべる浴水測定デバイスで計測することにより、自動的に健康状態と入浴内容の双方のデータ収集を行い、データベース化を行う構想である (齊藤ら, 2018・2019; 早坂ら, 2019)。

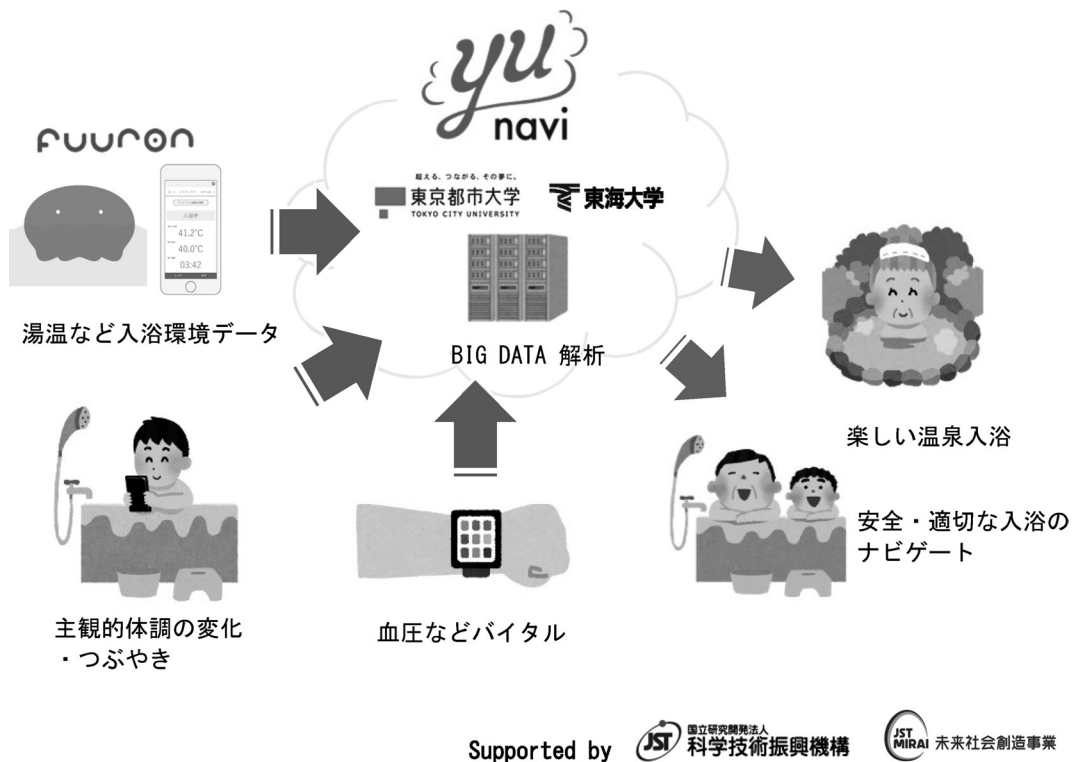


Fig. 1 ウェアラブルデバイスを温泉研究に用いる Yu-navi 構想

生活用品のIoT化は急速に進み、スマート冷蔵庫やスマート便座までもが提案され、居住空間における日常行動や生体情報は24時間モニタリングされようとしている。その中で、現在最もモニタリングされにくいのは入浴時の行動や生体情報であり、一方で死亡事故の起こりやすいのも入浴時である。ウェアラブルデバイスは残された空白の時間である入浴時の安全装置や誘導装置として機能する可能性がある。

入浴事故死は年間約19,000人とも推定されており(鈴木, 2011)、要因と考えられる不適切な入浴を抑止し、適切な入浴に誘導することに役立て、ウェアラブルデバイスを核とした一連の技術を温泉入浴分野において社会実装する構想である。

3.4 ウェアラブルデバイスを用いた入浴時の脈拍数変化測定

ウェアラブルデバイスを用いて温泉の連続入浴における生体情報の測定を試みる簡易的な実験を行った。使用機種はリストバンド型 itDEAL W10 (Fig. 2) で、長野県の渋温泉において被験者12名に腕時計と同様にウェアラブルデバイスを前腕部に装着し、数時間で9箇所の温泉(共同浴場九湯)に入浴し、脈拍数変化データをリアルタイムに測定した。

手順としては、温泉施設に入場し、まず着衣時に安静な状態で脈拍数を測定する(入浴前)。次に全身浴を開始して約2分後に脈拍数を測定する(入浴中)。その後、浴槽から上がり、着衣して約2分後に安静な状態で脈拍数を測定する(入浴後)。これら一連の行動の後に次の温泉施設に移動し、同様の手順を繰り返した。なお、温泉間の移動はすべて徒歩による。渋温泉の共同浴場九湯は密集しており、最も離れた位置にある三番湯と五番湯の距離は350mほどで他の七つの温泉はその間に立地しているため、温泉間はいずれも徒歩数分で移動可能である。被験者12名の内訳は男11名・女1名、20歳代11名・50歳代1名、高血圧症(投薬中)1名・健康人11名である。

この実験では、わずか数時間で12名の9箇所における温泉入浴の前・中・後の脈拍数変化データ(各々 $n=108$) を容易に得ることが可能であった(Fig. 3)。脈拍数平均値は、入浴前に比べ入浴中に上昇し、入浴後は低下する傾向があり、入浴後は入浴前よりは高い傾向にあった(入浴前 86.8 \Rightarrow 入浴中 100.7 \Rightarrow 入浴後 91.8 拍/分, $p < 0.001$)。

また、温泉施設ごとに12名の被験者データを平均したもの(Fig. 4)、および入浴者ごとに9箇所の温泉入浴のデータを平均したもの(Fig. 5)とを比較した。温泉入浴の前・中・後の平均脈拍数の標準偏差は前者が(入浴前 1.9 \Rightarrow 入浴中 3.8 \Rightarrow 入浴後 3.8)、後者が(入浴前 6.1 \Rightarrow 入浴中 13.4 \Rightarrow 入浴後 8.3)であり、脈拍数平均値は「温泉」間のばらつきよりも「入浴者」間のばらつきがわず



Fig. 2 測定に用いたウェアラブルデバイス(リストバンド型 itDEAL W10)

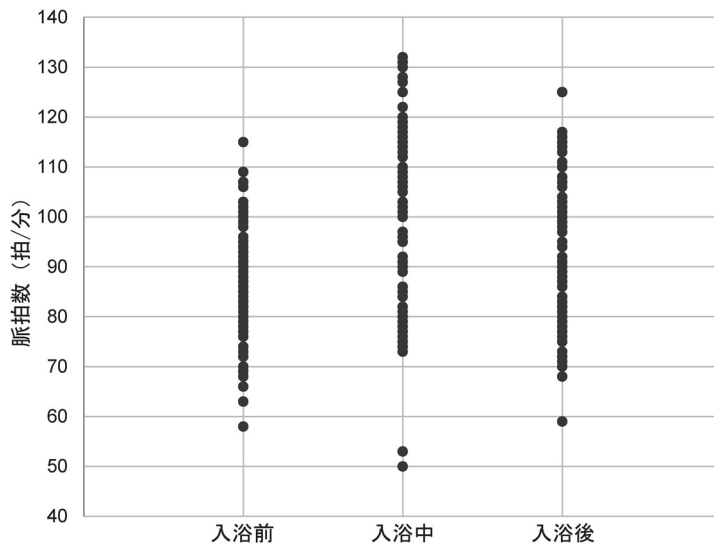


Fig. 3 入浴前・中・後における脈拍数の変化 (被験者12名による湧温泉9箇所への入浴)

れも大きい傾向にあった。

ウェアラブルデバイスを用いたこの測定は、従前の方法よりも明らかに作業性、即時性が良好であった。ただし、用いたデバイスは医療機器ではないためデータの信頼性には課題がある。Fig. 3～5に示すデータもその点を考慮して取り扱う必要がある。それを差し引いても、温泉入浴時の生体データ測定のための機器としてウェアラブルデバイスの有用性は高く、その可能性は大きいと考えられる。

加えて、ウェアラブルデバイス導入の意外な利点として被験者らが指摘していたのが、身体データの可視化による健康意識の高まりである。また、デバイスの装着自体が周囲から評価されるとの利点を挙げる被験者もいた。

一方、ウェアラブルデバイスを温泉研究に用いる上での課題としては、先に述べたように測定精度が良くない（特に血圧、歩数）、個人情報漏洩の懸念、充電の煩雑さ、装着感の悪さなどが指摘される。入浴中を含む常時装着には腐食による機器破損や短命化が懸念され、特に温泉においては成分による腐食が想定される。事実、筆者らが行った別の実験では、ウェアラブルデバイスを装着したまま温泉入浴を行い、かけ湯や全身浴により温泉水に触れるまたは水没するが、実験に用いた新品のデバイス1台はわずか1回の温泉入浴で故障し動作しなくなった。

課題はあるものの、日進月歩で進化するウェアラブルデバイスは温泉研究の有望なツールになる可能性があり、今後も継続的な試行と検討が重要であると考えられる。

3.5 ウェアラブルデバイスを用いた温泉モニターツアーでの使用事例

筆者らの参加する大分県のプロジェクト「温泉を利用した健康寿命延伸モデル事業」では、別府市、竹田市、豊後高田市と連携し、温泉と運動、食、自然環境、体験等を組み合わせて休養と心の健康を目指す働く世代を対象としたプログラムを実施しており、この中でウェアラブルデバイスを用いた生体情報による評価を取り入れている。

プログラム参加者がウェアラブルデバイス（Mobvoi TicWatch E2）を装着し収集されたデータを、アンケート結果および自律神経機能検査装置（クロスウェル社製「きりつ名人ヘルスケア」）

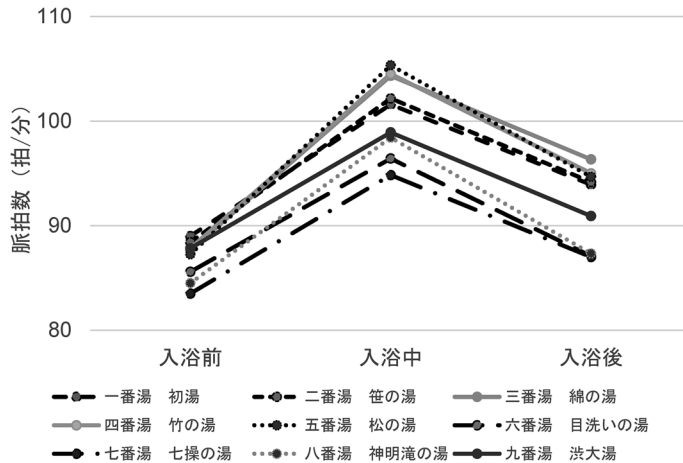


Fig. 4 温泉施設ごとの入浴前・中・後における脈拍数の変化 (被験者 12 名の平均データ)

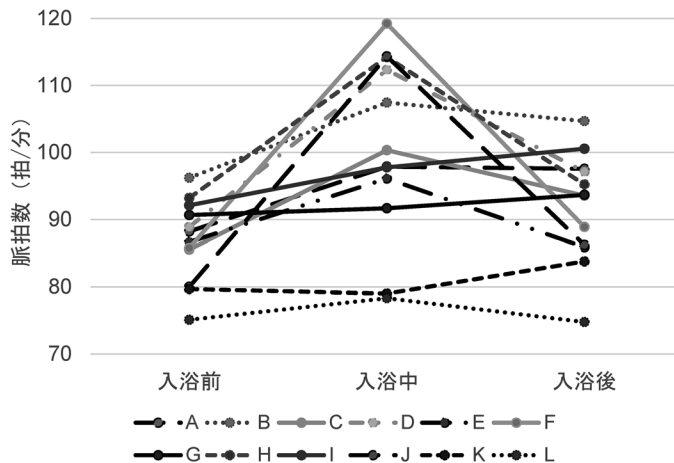


Fig. 5 入浴者ごとの入浴前・中・後における脈拍数の変化 (9 箇所温泉入浴の平均データ)

での測定値と合わせて総合的に評価を行った。睡眠時における脈拍数のリアルタイム解析では豊後高田市のプログラム体験の前後の比較において脈拍数平均の標準偏差が 12.3⇒8.7 に減少していた (Fig. 6, 図中の左側がプログラム前で右側がプログラム後)。REM 睡眠 (浅い睡眠) が増えると脈拍数の変動が大きくなるが、脈拍数が安定してきていることは深く良い睡眠がとれている可能性を示唆している。

このほかウェアラブルデバイスで自律神経の変化を連続して解析することも試行したが、ノイズが多く解析することができなかった。また、本来は温泉施設において入浴前・中・後でのデバイス使用を行いたいところであるが防水性に不安があり、この実験では使用を見送った。また、ウェアラブルデバイスの機種によっては心電図の測定機能を有するものもあるが、水がある環境での微細電流測定には困難が伴うと考えられる。

このプロジェクトで測定を行う中で最もネックだと感じられたのは充電であり、当該機種はバッ

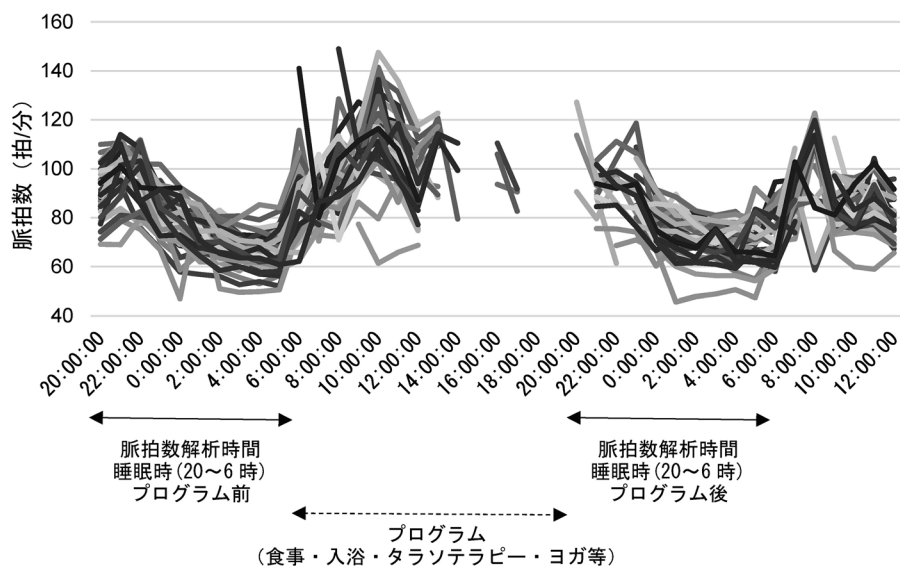


Fig. 6 脈拍数のリアルタイムの変化
(豊後高田市, 被験者 36 名)

テリー持続が1日程度で頻繁な充電を必要としたため測定値に空白の時間が生じることとなった。

課題はあるものの、連続的な脈拍数の変化を容易に得ることが可能であり、温泉入浴に際しての生体情報変化データをきめ細かくかつ大量に得られやすいことが確認された。

4. ウェアラブルデバイスの可能性と課題

ここまでの調査および実験をもとに、本項ではウェアラブルデバイスを温泉研究に用いる上でのメリットや可能性を考察し、一方で現在および未来における課題についてあわせて考察を行う。

4.1 ウェアラブルデバイスのメリットおよび可能性

(1) 作業性の向上

まずメリットとして挙げられるのは、生体情報測定における良好な作業性である。筆者らの実験でも「手間の少なさ」を体感した。原則として被験者はデバイスを常時着用しており、測定に際してオペレーターは不要かごく少数で足りる。例えば、渋温泉の入浴実験では被験者12名がそれぞれ同時に別の温泉を訪れていたが、従来ならば各所に測定拠点を設けオペレーターを配置する必要があった。しかし、今回は全く不要であった。

加えて、入浴実験では浴室内や脱衣所といったプライバシー空間における測定が必要となるが、全裸の被験者と一般利用者が混在する中で着衣のオペレーターが測定作業を行う実験には協力が得られにくい。こうした作業性の悪さが温泉研究においてこれまで障害となってきたことは想像に難くない。ウェアラブルデバイスではその心配が不要で、公共の場においても他の入浴者に気兼ねなく生体情報の測定が可能である。

また、測定データは自動で転送されて大量・迅速な集計が可能であり、この点でも作業性は改善され得るであろう。

一方、現在のウェアラブルデバイスは個人使用を想定しており、多くの機種では利用者の持つス

スマートフォンと連携し、測定データが一对一で同期される仕組みである。従って、個人レベルでは時系列での生体情報の変化を記録して自らチェックできるが、他者との共有機能はメールやSNSに限定された機種が多く、複数の利用者のデータを自動集計する機能は一般的ではない。このため、研究活動や組織でのマネジメントに用いるには、個々のウェアラブルデバイスまたは連携するスマートフォンからデータを吸い上げて集計する機能を別途追加する必要がある。

(2) 即時性の付与

次に挙げられるメリットは、即時性が付与されることであろう。全身浴の最中といった従来の機材で測定しにくい瞬間のデータが得られ、タイムラグが生じやすかったこれまでの実験の弱点が解消される。また、連続的な変化データも容易に得られる。

生体情報の評価機能を設ければPOCTツールとして機能するため、例えば危険な入浴や不適切な状況を検知して警告を鳴らし事故の予防行動に導くことも可能である。ウェアラブルデバイスを安全装置やナビゲーションとして機能させることは入浴事故を減少させ、適切で快適な温泉入浴の実現を促進すると期待される。

上記(1)および(2)のメリットは、研究・実験における低コスト化、スピードアップ、サンプルサイズの拡大につながると期待される。

(3) 健康意識の高まり

副次的な効果として、被験者が指摘していたのが「健康意識を高める」ということである。常に自らの生体情報が可視化され、健康状態を意識させられるため、身体に悪いことをやめて良いことをしようとの心理が働きやすい。もしそうであれば、ウェアラブルデバイスはその装着自体にすでに一定の健康増進効果があることになる。また、装着している際に初対面の人から「健康意識の高い自己管理ができています」との評価を受けたとの報告もあった。

(4) 温泉研究の Citizen Science (市民科学) への展開

温泉地においては、旅行者や市民が日常的に頻りに温泉入浴を行っている。仮にウェアラブルデバイス装着により、温泉利用者が入浴の前・中・後をはじめとするリアルタイムの常時測定を行い、その生体情報が集約されれば、時々刻々と温泉研究のエビデンスの基礎となるビッグデータが蓄積されることになる。しかも、これらは被験者らが勝手にデータを測定し、クラウドに自動的に集約してくれる訳である。

ウェアラブルデバイスは、このような市民参加型の Citizen Science を温泉研究において可能にするツールとなり得る。従来の温泉研究で集積された知見を補完する期待もある。Citizen Science により得られた傾向が研究者の新たな気付きにつながる可能性もある。

Citizen Science の事例としては、例えば気象研究所における「関東雪結晶プロジェクト」が挙げられる。市民から雪結晶画像や天気などの情報を募集するもので、参加者はスマートフォンで撮影した雪結晶画像を Twitter で投稿する。気象分野では各地の測候所の廃止が話題となるなど限られた人員での研究を強いられており、Citizen Science への期待は大きい。

気象のように現象が多様で、地域的に分散し、かつ一般市民に親しみがある分野においては Citizen Science が効果的であると考えられ、温泉研究も同様にこれらの特徴を有しており Citizen Science と相性が良いのではないかと考えられる。

4.2 ウェアラブルデバイスを温泉研究に用いる際の課題

(1) ウェアラブルデバイスのハードウェア上の課題

一方で、現時点で市販されているウェアラブルデバイスを温泉研究に用いるには課題が多いことも確かである。まずはハードウェア上の課題を列挙すると、測定精度(正確性の欠如)、電池の持

続性と充電方式、耐久性、装着感などであろう。

まずは測定精度の問題であるが、脈拍数において機種間または機器個体間での測定値にはばらつきがあった。筆者らの実験において試みに右腕と左腕に別機種あるいは別個体を装着して比較すると、最大で5~12拍/分程度の差異が観察された。また、歩行時において安静時脈拍数で10拍/分程度の違いが機器間で認められ、計測値算出のアルゴリズムがメーカーごとに異なるとの指摘もある(伊藤, 2016)。一方で、同じ機種を用いて同一被験者を測定した場合の相対的な変化量についてはそこまで大きくはなかった。

機種によっては前腕部に装着するタイプで腕を圧迫することなく血圧を測定する機能を持つものがあるが、従来型の上腕部を圧迫して測定する血圧計と大きく乖離する値が表示されることも多く、血圧については試験的な測定機能であるとの印象がぬぐえない。

電池は、小型軽量機種では4日間程度持続する機種があるものの、比較的大型のものでは1日間程度しか持続しない場合もあった。充電中は生体情報が測定されずデータに空白期間が生じる。また、充電方式であるが、ワイヤレス給電は比較的高級な機種に限られ、安価な機種では本体と樹脂製バンドを分離させて充電用の金属端子を露出させ、USBポートに差し込む方式が一般的である。防水性が謳われているものの、本体とバンドの接続部分から水が入り金属端子を腐食させることが危惧され、特に各種成分を含む温泉での使用において耐久性に不安がある。

装着感については、不快さを訴える被験者が一定数あった。特に、夏の高温期や、入浴後や睡眠中の装着に煩わしさを感じるようである。スマートウォッチ型よりも軽量のリストバンド型が運動において好まれるのも装着感の問題が大きいと考えられる。装着感を改善する一例として在宅医療遠隔モニタリング用の爪に装着する脈波計が提案されている(石井ら, 2017)。

必ずしも装着感が原因ではないが、ウェアラブルデバイスは24時間装着する使われ方はされていないことが多い。データ欠測の時間として充電中、入浴中、料理中、着け忘れが指摘されている(木口ら, 2020)。入浴研究に用いるには24時間装着が理想的であり、充電の問題も含め装着感の課題は解決されるべきであろう。

(2) 個人情報の保護と利用

心拍数など各人の生体情報は個人情報であり、ビッグデータとして吸い上げられ利用されることに抵抗を持つ人も多いだろう。インターネットやスマートフォン等における自らの位置情報や購入履歴や検索語など様々なビッグデータの取り扱いが議論の対象となっているが、リアルタイムの生体情報はよりプライバシー性の高い個人情報であるとも考えられる。

個人情報をどのように保護するのかに加え、得られた膨大なビッグデータを誰が所有・管理・活用し、どのように収益化し、それを配分するのかとの問題も今後は発生すると予測される。ウェアラブルデバイスで測定されるデータの取り扱いについて、社会的コンセンサスが得られるような多面的な検討が必要であると考えられる。

5. おわりに

本研究により得られた知見は以下のとおりである。

ウェアラブルデバイスを温泉研究における実験や調査に使用する際の利点は、以下に挙げられる。

- ・作業性：測定オペレーターを必要とせず、公共の場で測定可能で、データを自動集約可能。
- ・即時性：入浴時の測定タイムラグを廃し、連続測定可能で、POCT・安全装置を実現可能。
- ・研究の低コスト化、スピードアップ、サンプルサイズ拡大に寄与すると期待される。
- ・生体情報が可視化され、健康意識が高まる。他者にも評価されやすい。

- ・ Citizen Science への展開が期待され, 従来の温泉研究を補完することが期待される。

一方, 課題については以下に挙げられる。

- ・ ハードウェア上の課題: 測定精度, 電池の持続性と充電方式, 耐久性, 装着感
- ・ 個人情報の保護と利用: ビッグデータの保護方法, 所有・管理, 収益化, 配分の問題

以上の特徴を考慮すると, 温泉研究の中でウェアラブルデバイスを活用できる場面は多いと考えられる。技術の改良・発展は日進月歩であり, 新たな機種やアイデアが次々に提案されている。先述したように技術面のみならず社会的な配慮が求められる状況が発生する可能性があり, 温泉入浴と健康に関するビッグデータの活用には広範な可能性の模索と同時に, 慎重な考察と検討も求められるだろう。それを踏まえた上で, ウェアラブルデバイスを温泉研究の未来を担うツールと捉え, 特性を最大限に活かした提案を様々に行っていきたい。

謝 辞

この研究を未来社会創造事業として支援していただいた(独)科学技術振興機構, 世界温泉地サミットをはじめとする各種事業の主催者である大分県, 温泉モニターツアーの実施者である別府市・竹田市・豊後高田市と関係者の皆様, および温泉入浴実験にご協力いただいた被験者の皆様に心より御礼申し上げます。

引用文献

- 斉藤雅樹, 坂上憲光, 早坂信哉, 亀田佐知子, 佐藤栄介, 壽福良平, 花塚雄介, 松尾正太郎, 北出恭子 (2018): 適切な入浴に誘導する生体・浴水測定デバイスの開発, 日本温泉科学会大会第71回大会要旨集, p. 65.
- 斉藤雅樹, 早坂信哉, 亀田佐知子, 佐藤栄介, 壽福良平, 北出恭子 (2019): ウェアラブルデバイスの温泉研究への適用, 日本温泉科学会大会第72回大会要旨集, p. 60.
- 斉藤雅樹 (2018): 自発的で緩やかな新しいエビデンスの捉え方の可能性, 第83回日本温泉気候物理医学会学術集会抄録集, p. 41.
- 総務省 (2019): 令和元年版情報通信白書.
- 総務省 (2020): 令和2年版情報通信白書.
- 経済産業省 (2019): ウェアラブルやデータ活用による疾病・介護予防や次世代ヘルスケア, 第3回産業構造審議会2050経済社会構造部会, 資料3.
- 厚生労働省 (2020): ウェブサイト「新型コロナウイルスに関するQ&A, R2.9.28」.
- 日本温泉気候物理医学会 (2018): 第11回研究奨励賞(松田貴雄, 国立病院機構西別府病院スポーツ医学センター), ウェアラブル端末を用いた高筋肉量アスリートの夏季の睡眠障害に対する高温温泉入浴による睡眠改善効果の観察.
- 国立病院機構西別府病院 (2018): 平成30年度倫理審査委員会資料.
- 総務省 (2017): ウェブサイト「身近なIoTプロジェクト採択事業紹介 H29-1」.
- 温泉アクティブセンター (2019): ウェブサイト「ウェアラブル端末の使用について, 2019.12.1」.
- 佐藤直樹, 佐々木淳, 高木正則, 山田敬三 (2017): マルチセンサーネットワークを用いた入浴時リスク検出システム, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集2017(1), 81-82.
- 丸山 崇他 (2019): 熱中症予防対策におけるウェアラブルセンサーの活用と効果的な熱中症予防法の検証, 労災疾病臨床研究事業費補助金平成30年度総括研究報告書.

- 埼玉県 (2019) : ウェブサイト「熱中症予防リストバンドを活用した実証実験を実施します!」, 2019. 7.17].
- 黒木尚長 (2018) : 入浴事故の危機管理 なぜ入浴事故が起こっているのか, 総合危機管理, No. 3, 84-90.
- フューチャーアーキテクト(株) (2016) : フューチャー技術ブログ 2016.4.6.
- 早坂信哉, 斉藤雅樹, 佐藤栄介, 壽福良平 (2019) : ウェアラブルデバイス, 入浴ナビゲーションシステム, 入浴ナビゲーション方法, 及びプログラム, 公開特許公報, 特開 2019-200448.
- 鈴木 晃 (2011) : 住宅内の事故, とくに入浴中の事故を中心に, 空衛 2011 年 11 月号, p. 71-78.
- 大分県 (2020) : ウェブサイト「温泉を活用した健康寿命の延伸について, 2020.1.27].
- 気象庁気象研究所 (2019) : ウェブサイト「#関東雪結晶プロジェクト, 2019.12.26].
- 伊藤浩志 (2016) : リストバンド型ウェアラブルセンサー機器によるスポーツ・トレーニングの定量的評価の可能性, 日本体育学会大会予稿集, 67 (0), 250_3.
- 石井耕平, 遠山皓介, 平岡延章 (2017) : 付け爪型脈波計用小型センサを用いた生活環境下での 24 時間脈波計測, 生体医工学 55Annual (5PM-Abstract), 463-463.
- 木口 亮, 藤田智紀, 宮澤昇吾, 吉田祐樹, 北西由武 (2020) : ウェアラブル端末データと欠測パターンからの行動リズムの考察, 人工知能学会全国大会論文集, 2I6-GS-2-02.