

高齢者の身体活動向上のためのパーソナライズ型介入法の開発

静岡大学 情報学部行動情報学科

金 鎮赫

1. はじめに

高齢期では加齢により身体能力が減衰し、それに伴い身体的・精神的疾患が生じやすい。フレイルティとは、高齢期に生理的予備能力が低下することでストレスや疾患に対する脆弱性が亢進し、生活機能障害、要介護状態、死亡等の転帰に陥りやすい状態（健康障害を起こしやすい脆弱な中間的状态）のことであり、筋力の衰えや活動の低下等の身体機能の問題のみならず、認知機能障害やうつ病等の精神・心理的問題、独居や経済的困窮等の社会的問題を含む概念である(1)。また、フレイルティの概念には、適切な介入により再び健常な状態へ戻るという可逆性が包含されている。従って、フレイルティに陥った（陥る前の）高齢者を早期に支援し、適切な介入を行うことが可能になれば、生活機能の維持・向上、さらには健康寿命の延伸へ繋がると考えられる（図 1）。

定期的な身体活動は、死亡率を低下させるほか、心血管疾患、高血圧、脳卒中、糖尿病などの生活習慣病の予防、および治療に効果があることが明らかになっている(2)。また気分等の精神的健康を改善する効果もある。10～15 分の身体活動を

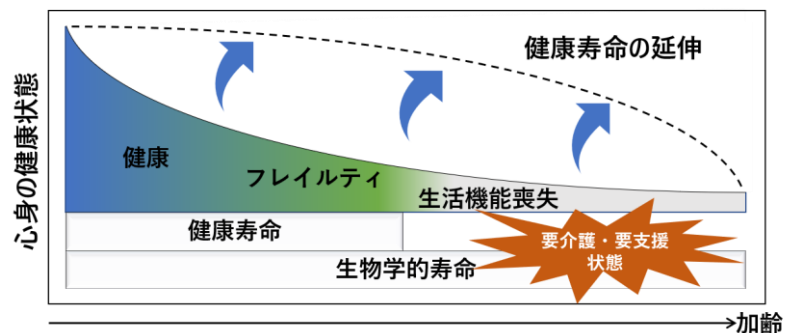


図 1. フレイルティの亢進による要介護・要支援状態の予防

行うことでもストレス、抑うつ気分が減少し、肯定的気分が増加することが知られている(3)。これらの利点から、世界保健機関（WHO）は身体活動に関するガイドラインを発表しているが、WHO が推奨する身体活動度を満たしていないことが明らかになっており、公衆衛生上の検討すべき課題となっている(4)。一方、心身の健康維持と生活の質を向上する方法としてモバイルヘルス（mHealth）システムが提案されている。モバイルデバイスやネットワーク技術を用いて健康関連情報を収集し、リアルタイムで蓄積・加工することで、生活習慣を改善するフィードバックを提供することを目指す。身体活動においても、mHealth の導入が注目されており、その一種として Just-in-time 適応型介入法（JITAI）が有効な方法として検討されている。

JITAI は、ウェアラブルデバイスなどを用いて、日常生活下での短い時間内での生活行動（身体活動、睡眠など）、心理状態、生理的反応などを同時に記録しつつ、経時変化等を即時に解析する。そして、その解析した結果に基づきスマートフォン等の IoT デバイスを介してフィードバックすることで、最も「適切なタイミング」で「適切な制御ターゲット」を「適切な用量」だけ各個人に対して介入するという方法と定義されている(5)。介入を行うタイミングは、個人の特性を考慮し個人ごとに異なる目標を設定するなど介入基準を個人ごとに決めることができる。すなわち、JITAI は日常の文脈（例：天気や気分、予定の有無）に即した介入を適切なタイミングで適切なサポートで実現しようとするものであり、個人が健康管理のための行動

を起こしやすい方法として重要視されている。しかしながら、先行研究では、介入を行う基準が各個人にパーソナライズされておらず、JITAI 本来の定義どおりの介入となっていない。先行研究では ICT 基盤のデータ計測・介入システムの構築に焦点が当たっており、そのシステムを運用する JITAI の詳細な介入方法（例：個人ごとに個別の介入基準を適用するかなど）については検討されていなかったのが現状である。すべての対象に統一された同じ介入基準（例：1 時間で 100 歩以下、または 30 分間座り続けていると介入を実行）を設定しており、高齢者のような身体能力の低下がみられる集団においては達成目標の難易度や介入回数、介入効果に差が生じることが懸念される(6)。

本研究は、加齢による身体的・精神的フレイルティを遅延させるための、身体活動の増加とそれに伴う気分改善を目的としたパーソナライズ型 JITAI 介入方法の開発を目的とする。生活環境（天気や気分、予定の有無）を考慮した身体活動向上のためのパーソナライズされた介入基準を設定し、その改善効果を検証する。

2. 研究方法

1) 調査対象・調査期間

本研究では、健康状態の高齢者 13 名（73.9±6.4 歳、男性 7 名、女性 6 名）を対象とした。調査参加者には、研究目的や研究方法、参加するにあたっての注意点などの説明を行った後、書面により同意を得た。調査期間は同意書を記入した日から起算して 3 週間であり、2024 年 11 月から 2024 年 12 月にかけて行った。

3 週間の調査期間中、歩数や移動距離などの身体活動と気分の測定および介入を実施した。3 週間のうち 1 週目は、データ取得のために着用する腕時計型ウェアラブル端末に慣れてもらう試用期間、2 週目を介入に用いるデータを取得するベースライン期間、そして 3 週目を身体活動に対する介入期間とした。

調査参加者は、身体活動のみを基準として介入を行うグループ（対照群）と、身体活動に加え天気と予定の有無、気分状態の 3 つの介入条件を考慮して介入を行う（実験群）グループにランダムに分けられた。各群の調査参加者は、対照群が 6 名（76.6±7.6 歳、男性 4 名、女性 2 名）、実験群が 7 名（70.6±4.5 歳、男性 3 名、女性 4 名）である。

2) 測定・調査道具

3 週間の調査期間中、身体活動度を測定するために腕時計型ウェアラブル端末 Fitbit Sense 2（Fitbit Inc., San Francisco, CA, USA）を使用した。この端末には 3 軸加速度センサーが搭載されており、歩数や座位時間、移動距離といったデータが 1 分単位で計測可能である。調査期間中、調査参加者は端末を入浴時以外は常時利き手でない手の手首に装着した。本研究に用いた身体活動度の変数は、以下のようである。

- ・ 歩数（歩）
- ・ 移動距離（m）
- ・ 低強度の運動（分）
- ・ 中強度の運動（分）
- ・ 高強度の運動（分）
- ・ 座位時間（分）

また、調査参加者には腕時計型ウェアラブル端末にあらかじめ接続したスマートフォン（moto g24, Motorola Mobility LLC., Libertyville, IL, USA）を支給した。調査参加者には、Google Forms を用いてベースライン期間から起床時に現在の気分や 1 日の予定のある時間帯を回答してもらった。また、Google 社の「デバイスを探す」というサービスを経由して遠隔で緯度と経度を取得した。位置情報から天気予報情報を取得するため、OpenWeatherMap（Openweather, London, United Kingdom）の Application Programming Interface（API）サービスを使用した。緯度と経度並びに天気予報情報の取得は、Google Apps Script 上にて行い、位置情報からその地点の今後 1 時間の天気予報を自動で出力するようにした。

3) 介入条件

対照群と実験群の介入基準を以下に示す。対照群は、ベースライン期間の 1 時間あたりの移動距離と座位時間の平均値と標準偏差を個人ごとに算出した。移動距離は平均値から 1 標準偏差を引いた値、座位時間は平均値から 1 標準偏差を足した値をそれぞれの介入基準とした。

介入で使用する移動距離と座位時間は、Fitbit API を用いて取得をした。1 時間ごとにデータを自動で取得するため、Google Apps Script にて API を使用して Fitbit サーバーからデータをダウンロードするスクリプトを作成した。時間主導型のトリガーで運用することにより、スクリプトを約 1 時間おきに実行し、介入基準より移動距離が短く座位時間が長い条件に当てはまった場合は介入を行った。介入を行う場合、事前に用意された 5 つのメッセージリスト（例：「散歩しませんか」、「体を動かそう!」）からランダムに 1 つのメッセージを選んで送信した。介入はあらかじめ調査用のスマートフォンに Slack (Slack Technologies, LLC, San Francisco, CA, USA) をインストールし、Slack API を用いて管理アカウントからのダイレクトメッセージを受信するようにした。スマートフォンで受信した Slack 通知を Fitbit Sense 2 に常時ミラーリングするよう設定を行い、通知を受信すると同時に Fitbit Sense 2 にメッセージが表示された。介入は、就寝時間を考慮し 9 時から 21 時までの間、毎時 1 回介入条件を判定し実行した（図 2）。

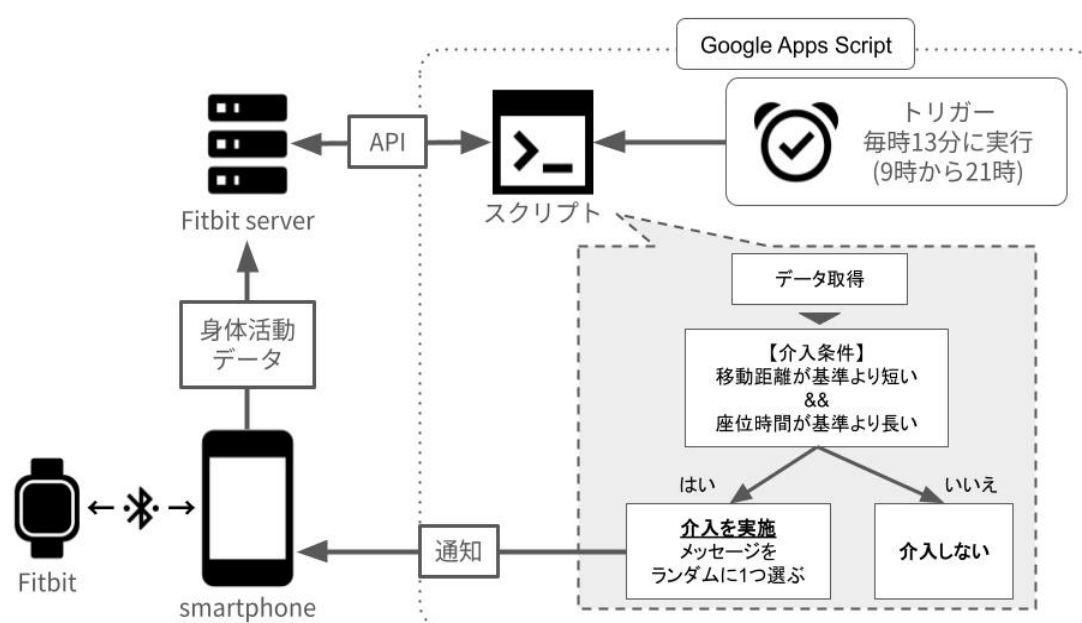


図 2. 対照群の介入の仕組みと流れ

実験群は、対照群と同じように、ベースライン期間の 1 時間あたりの移動距離と座位時間の平均値と標準偏差を個人ごとに算出し介入基準とした。介入を行う場合、介入基準より移動距離が短く座位時間が長い条件で介入を実行することは対照群と同じであったが、介入実行時の天気予報と予定の有無、気分状態を考慮して介入を行った。取得した天気予報データを「晴れ」「曇り」「雨」の 3 つに分類し、天気によって介入メッセージに差が発生するようにした。また、予定の有無の取得に関しては、起床時アンケートにて「午前中（起床～11:00）」「お昼（11:00～13:00）」「午後（13:00～18:00）」「夜（18:00～就寝）」「予定なし」の 5 つの選択肢（複数選択可）の中で調査参加者に選択してもらい、予定の有無によって介入メッセージに差が発生するようにした。さらに、気分状態については、起床時のアンケートの肯定的・否定的気分からその日の総合気分を計算し、介入メッセージに差が発生するようにした。最終的には、介入是非を判断する条件に加えて天気、予定の有無、気分の 3 つの条件ごとに 18 通りもの介入メッセージ群が生まれた。1 つの条件につき 10 個のメッセージを用意し、介入実行時に該当する条件に合わせて 10 個の中からランダムに 1 つのメッセージが通知されるように設定した（図 3）。他の介入方法は対照群と同様である。

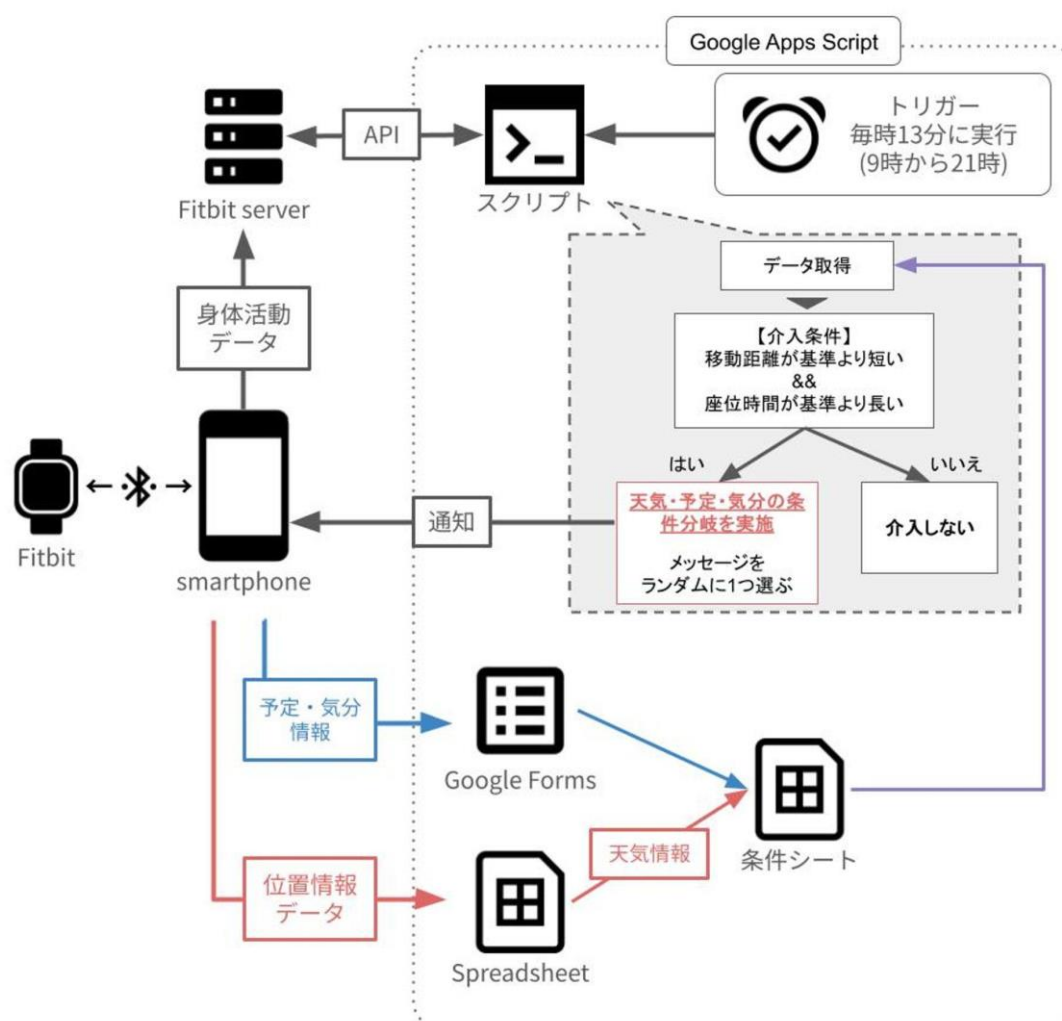


図 3. 実験群の介入の仕組みと流れ

4) 分析方法

身体活動をモニタリングする腕時計型ウェアラブル端末の装着時間が 10 時間未満の日は分析から除外した。身体活動データは反復測定される経時データであり、各個人にネストされる階層構造を持つ。このようなデータ構造を持つ解析手法として広く使われている混合効果モデルにて分析を行った。

まず、介入を行った 1 時間後の身体活動度の増減に差があるのか明らかにするため、対照群と実験群の介入前 1 時間から介入後 1 時間の身体活動度の増加量を推定し、その差を検定した。また、ベースライン期間から介入期間にかけての身体活動度の増減に差があるのかを明らかにするため、対照群と実験群のベースライン期間（2 週目）から介入期間（3 週目）にかけての身体活動量の増加量を推定し、その差を検定した。有意水準は $p<0.05$ とし、多重比較を考慮するため p 値は Tukey-Kramer 法により調整した。

3. 研究結果および考察

1) 対照群と実験群の介入前後 1 時間の身体活動度の増減差

介入内容の違いにより介入前後 1 時間の身体活動度の差を推定した結果を表 1 に示す。歩数、移動距離、低強度の活動時間において、介入前 1 時間と介入後 1 時間の身体活動度が対照群に比べ実験群の方が有意（傾向）に高かった。座位時間においては、有意に低かった。

実験群は、天気や予定、気分を考慮した介入内容（メッセージ）が反映されており、調査参加者にとってより介入を実行しやすかった可能性が考えられる。中強度、高強度の活動時間については、冬期に行った調査のため高齢者にとっては、実験群および対照群ともに介入を実践することが難しく、軽い運動や散歩、座位行動の中断など軽度の身体活動維持の効果が高かったことがうかがえる。これらの結果から、実験群は介入がより定期的な一定の身体活動の継続に寄与したと考えられる。

表 1. 対照群と実験群の介入前後 1 時間における身体活動度の変化量の推定値とその差

	対照群	実験群	p
歩数（歩）	-6.96 (35.96)	122.04 (41.38)	.04*
移動距離（m）	1.76 (22.89)	82.06 (26.34)	.04*
低強度の活動（分）	-0.27 (0.67)	1.94 (0.77)	.05 [†]
中強度の活動（分）	-0.10 (0.20)	0.15 (0.23)	.42
高強度の活動（分）	0.00 (0.24)	0.41 (0.24)	.29
座位時間（分）	0.38 (0.72)	-2.51 (0.84)	.02*

括弧内は標準誤差。* $p<0.05$ [†] $p<0.10$

2) 対照群と実験群のベースライン期間と介入期間の身体活動度の増減差

介入内容の違いによりベースライン期間（2 週目）と介入期間（3 週目）の身体活動度の差を推定した結果を表 2 に示す。すべての身体活動において、ベースライン期間と介入期間の身体活動度の変化量の差は統計的に有意ではなかった。また、すべての身体活動において対照群、実験群ともに介入を行った 1 週間の身体活動の改善は認められなかった。

このような結果となった要因として、調査期間と調査時期が関係していると考えられる。先行研究では介入期間が 3 から 4 週間だったのに対し、本研究では 1 週間での有効性を検討していた。本研究は介入により長期的な身体活動の定着を目標としていたが、介入期間の短さにより身体活動の促進効果を十分に発揮、評価できなかった可能性が考えられる。また、調査期間が 11 月と 12 月であり、漸進的な気温の低下により高齢者にとっては屋外での運動を行うなどの介入の実践が困難であった可能性が考えられる。しかし、統計的には有意ではなかったものの、歩数と移動距離、高強度の活動時間の推定値が対照群においては減少しているのに対し、実験群では増加していることが確認できた。実験群においては、ある程度身体活動の維持ができていたことがうかがえる。

表 2 対照群と実験群のベースライン期間と介入期間における身体活動度の変化量の推定値とその差

	対照群	実験群	<i>p</i>
歩数（歩）	-26.71 (31.76)	26.52 (26.84)	.22
移動距離（m）	-41.09 (26.96)	15.40 (22.78)	.14
低強度の活動（分）	0.43 (0.97)	0.25 (0.82)	.88
中強度の活動（分）	-0.08 (0.18)	-0.12 (0.15)	.87
高強度の活動（分）	-0.17 (0.18)	0.22 (0.24)	.29
座位時間（分）	-0.18 (0.19)	-0.35 (0.16)	.14

括弧内は標準誤差。

4. まとめ

本研究では、個人の日常生活下での身体活動度の向上を目的とし、調査参加者ごとに個別の介入基準を設定し生活環境に合わせた介入の有効性について検討した。そのため、介入条件については、先行研究で行われていた 1 時間あたりの移動距離と座位時間のみの対照群と、それらに加えて天気や予定の有無、気分といった社会的なカテゴリやライフスタイルを鑑みた条件を追加した実験群の差を検証した。その結果、対照群に比べ、実験群の方が歩数や移動距離の増加、座位時間の減少と行った身体活動度維持の効果が高いことが示された。

本研究が示した結果は、より効果的な身体活動の維持、向上に対する介入方法を検討する上で役に立つと考えられる。

今後はより個々人に最適化した介入方法を提供することに取り組んでいく。一律に決定される介入方法ではなく、各個人の行動や心理状態などの瞬時的変化に応じたパーソナライズ型介入方法を提案し、より効果的で長期間健康管理に活用できる独自の方法を開発する。高齢者が健康な生活を送るための行動変容の根本的なメカニズムを理解し、健康寿命の延伸をサポートしうる **Just-in-time** パーソナライズ型介入を開発することで、個人の身体的・精神的健康増進と医療福祉支援の財源負担の軽減に貢献したい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所から多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。また、調査実施は金鎮赫研究室の岡田享大氏、光松音葉氏にご協力いただきました。深く感謝いたします。

参考文献

1. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(3):M146-56.
2. Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*. 2006;174(6):801-9.
3. Barr-Anderson DJ, AuYoung M, Whitt-Glover MC, Glenn BA, Yancey AK. Integration of short bouts of physical activity into organizational routine a systematic review of the literature. *Am J Prev Med*. 2011;40(1):76-93.
4. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *Lancet Glob Health*. 2018;6(10):e1077-e86.
5. Nahum-Shani I, Smith SN, Spring BJ, Collins LM, Witkiewitz K, Tewari A, et al. Just-in-Time Adaptive Interventions (JITAI) in Mobile Health: Key Components and Design Principles for Ongoing Health Behavior Support. *Ann Behav Med*. 2018;52(6):446-62.
6. Ikegaya M, Foo JC, Murata T, Oshima K, Kim J. Personalized just-in-Time adaptive intervention for increasing physical activity. *JMIR Preprints*. 22/09/2024:66750, DOI: [10.2196/preprints.66750](https://doi.org/10.2196/preprints.66750)