

G-01

行動環境センシングによる洗濯行動の 最適化・改善アプリの開発と検証

Development and verification of an app to optimize and improve laundry behavior by sensing the behavioral environment

島津拓歩† Shimazu Takubo
佐野睦夫‡ Mutsuo Sano

あらまし 本研究では、洗濯行動の最適化・改善を支援するための行動環境センシングシステムを提案する。本システムは、MediaPipeを用いた骨格推定により、洗濯動作中の背中角度を算出し、姿勢の可視化および簡易的なフィードバックを行うものである。洗濯行動に不慣れな被験者を対象に、洗濯物を洗濯機に投入する工程の撮影実験を実施し、姿勢データとフィードバックをもとに行動改善を試みた。実験の結果、姿勢の前傾度や動作時間に対する被験者の認識が高まり、洗濯行動の効率化が促された。今後は、プライバシーに配慮した非映像型センシングの導入や、より精緻なフィードバック機構の実装を進めることで、日常行動における支援システムとしての実用性を高めることが期待される。

キーワード 洗濯行動最適化、行動環境センシング、姿勢推定、フィードバックシステム

1. はじめに

現代社会において、家事は多くの人々にとって時間的な負担となっており、特に洗濯行動においては、効率的で効果的な方法が求められている。しかし、洗濯のタイミングや方法、日常的な行動には改善の余地が多く、最適な洗濯行動を実現するためには、より良い管理とアドバイスが必要である。また、リンナイ株式会社の意識調査[1]によると、洗濯で失敗した経験がある人は7割以上であり、洗濯知識テストの正答率が7割以上の選択優等生の割合は約2割という結果が示されている。これに伴い、行動環境センシング技術を活用した「洗濯物を洗濯機に入れ洗濯する」「洗濯物を干す」「洗濯物を取り込む」「洗濯物を畳む」「洗濯物を収納する」といった洗濯行動の最適化に向けたアプローチの重要性が増している。本稿では、洗濯行動姿勢の可視化を行い、洗濯行動改善支援を可能とするシステムについて提案する。

2. 関連研究

2.1 洗濯や家庭内行動に関する研究

Jasiūnas ら[2]は、洗濯機のエネルギー性能を推定するためのソフトセンサを提案しており、内部状態をセンシングすることで、水使用量や負荷量を把握する手法を示している。洗濯機の機器側の性能推定に焦点が当てられていたが、本研究ではユーザーの身体動作に注目し、洗濯行動そのものの改善を目的としている点で異なる。

松井ら[3]は、宅内スマートホーム環境において、日常生活行動とストレス指標（心拍変動など）を関連付ける実験を行い、家事中のストレス増加傾向を可視化する手法を提案している。主に生体指標を用いたQoLの可視化を目的としていたが、本研究では姿勢データと行動時間に基づくフ

ィードバック提示に重点を置いており、センシング対象や改善のアプローチに違いがある。

島田ら[4]による研究では、住宅内に設置した各種センサの計測値から、生活行動の把握可能性を検討している。温度・湿度・照度・加速度・人感センサなど複数のセンサを用いて、住宅内の生活行動をセンシングするシステムによる非侵襲型の行動推定は有効である一方、個別の身体動作や姿勢の詳細な分析までは踏み込まれていない。本研究では、骨格推定を用いることで行動の質や身体負担に関するフィードバックを可能とし、従来研究とは異なる観点からユーザー支援を目指している。

大内[5]による生活行動認識研究では、加速度と音響センサを組み合わせたT-SARCAS方式を用い、日常動作（皿洗い、歯磨きなど）を平均90%以上の精度で認識する手法が提案されている。本研究では同様に日常家事行動を対象としながらも、視覚情報を用いた姿勢解析に基づくフィードバックに焦点を当てており、アプローチの違いにより補完的な関係にある。

上田ら[6]は、家庭内での基本的な20種類の生活行動（洗濯、食事、掃除、入浴等）を対象に、消費電力センサと位置センサの2種類のデータのみで行動を識別する低コスト・低侵襲な生活行動認識システムを提案している。本研究でも洗濯行動に焦点を当てているが、フィードバック提示による行動改善を目的としている点において、対象行動とアプローチの違いがある。

村上ら[7]は、姿勢や体勢などの「下位行動」を組み合わせることで「洗濯」「炊事」などの「上位行動」を推定可能とする教師なし学習手法を提案した。トピックモデルの適用により家事行動の分類が可能であることを示した点で意義深い。本研究は同様に洗濯行動を対象としながらも、映像処理による姿勢の抽出と可視化、およびユーザーへの

† 大阪工業大学 情報科学部

‡ Faculty of Information Science and Engineering, Osaka Institute of Technology

E-mail: †mutsuo.sano@oit.ac.jp

フィードバック提示に焦点を当てており、行動推定から行動改善へと対象を拡張している。

2.2 骨格抽出アルゴリズム

骨格推定技術は近年大きく進展しており、さまざまなアルゴリズムが提案されている。代表的なものとして、OpenPose、PoseNet、HRNet、および**MediaPipe Pose (BlazePose)**が挙げられる。これらの手法は推定精度、処理速度、対象関節数、動作環境といった点でそれぞれ特徴を持つ。

OpenPose[8]は、Part Affinity Fields (PAF) に基づく 2D 多人数姿勢推定の先駆的手法であり、手や顔、足などのランドマークも同時に検出可能である。その精度は高いが、処理負荷が大きく、GPU 環境下でもリアルタイム性が制限されるため、エッジデバイスやモバイル環境への応用は難しい。

PoseNet[9]は軽量な構造を特徴とし、TensorFlow.js 等で動作可能なため、Web アプリケーションやモバイルデバイスへの組み込みが容易である。ただし、検出可能な関節点は最大 17 点に限定されており、詳細な姿勢解析には不向きである。

HRNet[10]は高解像度特徴マップを維持しながらマルチスケールの情報を統合するネットワーク構造により、精度の高い 2D 姿勢推定を実現する。多くのベンチマークで高評価を得ているが、モデルサイズおよび計算量が大きく、高性能 GPU を前提とした環境での利用が想定されている。

一方、MediaPipe Pose (BlazePose) [11]は Google が提案する高速・軽量な姿勢推定モデルであり、33 点のランドマークをリアルタイムで検出可能である。同モデルはモバイルデバイスや Web ブラウザ上での動作に最適化されており、医療・フィットネス・日常生活行動の可視化といった多様な分野で活用が進んでいる。また、パイプライン構造により、前処理・推論・後処理を効率的に統合可能である点も特徴的である[12]。

本研究では、洗濯行動のような日常的な家事行動に対してリアルタイムに姿勢推定を行い、改善支援を目的とするため、処理速度と環境適応性に優れた MediaPipe Pose を採用した。この選定により、スマートフォン等の普及デバイス上での動作実装が現実的となり、今後の家庭向け応用への展開も期待できる。

3. 提案システム

3.1 開発システム概要

開発した本システムの概要を図 1 に示す。

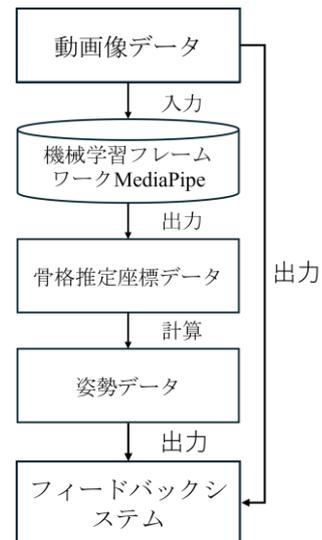


図 1 システムの概要

本システムでは、まず、人物が撮影された動画データを入力し、そのデータに対して機械学習フレームワークである MediaPipe を適用し、骨格推定を行う。MediaPipe を適用した動画を図 2 に示す。



図 2 MediaPipe 適用動画

次に、MediaPipe から出力された骨格座標情報を基に、人物姿勢の時系列データを生成する。この姿勢データと入力された動画を組み合わせ、さらに簡易的なフィードバックシステムを提供する。これらの情報を活用し、洗濯行動の改善を促進するシステムとなっている。フィードバックシステムを図 3 に示す。

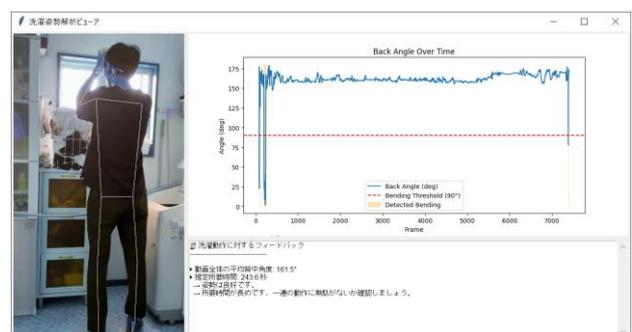


図 3 フィードバックシステム

3.2 フィードバックシステムについて

フィードバックシステムでは、画面左部に被験者が実験を行った際の映像、右上部に MediaPipe から出力された骨格推定座標データを用いて算出された背中角度の時系列グラフ、右下部にデータに基づいた簡易的なフィードバックをそれぞれ表示する構成とした。

グラフは、横軸を入力動画のフレーム、縦軸を計測された背中角度を示す。数背中角度は、骨格推定データにおける肩、腰、膝の三点から形成される角度として定義する。本研究では、背中角度が 90°を下回る場合に屈み姿勢と判定し、グラフ上に赤の破線で 90°を示したうえで、該当区間をグラフ上に黄色の帯で示す。このグラフを図 4 に示す。

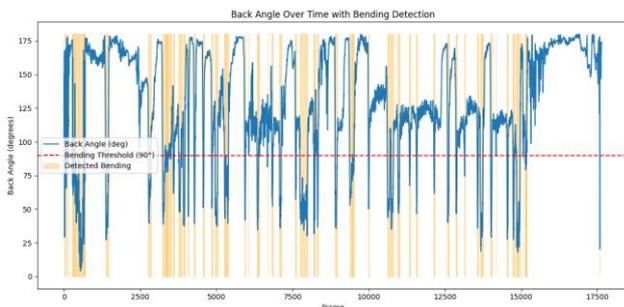


図 4 背中角度グラフ

簡易的なフィードバックでは、映像全体を通じた背中角度の平均値に基づき、以下のようなメッセージを表示する。

- 平均角度が 140°以下の場合：「腰の角度が深く曲がっています。膝を使って背中への負担を減らしましょう。」
 - 平均角度が 141°～150°の場合：「やや前傾姿勢です。疲労や腰痛に注意してください。」
 - 平均角度が 151°以上の場合：「姿勢は良好です。」
- また、推定所要時間に関しては以下のような評価を行う。
- 所要時間が 180 秒以上の場合：「所要時間が長めです。一連の動作に無駄がないか確認しましょう。」
 - 120～179 秒の場合：「所要時間がやや長めです。衣類の確認や投入動作を効率化できるか見直しましょう。」
 - 120 秒未満の場合：「所要時間は標準的です。良いペースで行えています。」

これらの情報は、被験者が自身の行動を振り返り、改善点を考察する際の支援として機能する。

4. 実験と結果

本システムの有効性を検証するため、洗濯行動の撮影実験を実施した。

4.1 実験概要

実験対象者は、洗濯経験および洗濯に関する知識のない大学生 1 名である。本実験では、洗濯行動の中でも「洗濯

物を洗濯機に入れ洗濯する」工程に着目し、その最適化に関する検証を行った。

4.2 実験手順

実験手順は以下のとおりである。まず、被験者に対して洗濯熟練者から事前学習を実施した。内容は、洗濯機の基本的な使用方法、洗濯絵表示の意味、色物・白物・手洗いが必要な衣類の分類方法と、それらを同時に洗濯可能かどうかの判断をする基準についてである。次に、被験者に「洗濯物を洗濯機に入れ洗濯する」作業に取り組んでもらい、その様子を全身が映るよう市販のカメラを用いて撮影した。撮影した映像は本システムに入力し、MediaPipe によって出力された人物姿勢の時系列データと撮影映像を基に出力されるフィードバックシステムシステムを被験者に提示した。被験者はそれらの情報をもとに、自身の洗濯行動における改善点について考察を行った。その後、再度「洗濯物を洗濯機に入れ洗濯する」作業を行ってもらい、繰り返し実施することで行動の改善を促した。初回と再実施後の行動を比較し、改善の有無や傾向を分析した。

4.3 実験環境

実験に使用した PC は以下の通りである：

- デバイス名：LAPTOP-AUU3T5KQ
- プロセッサ：Intel(R) Core(TM) i7-1065G7 CPU @ 1.30GHz (最大 1.50 GHz)
- 実装 RAM：16.0 GB (使用可能：15.7 GB)
- ストレージ：477 GB SSD (INTEL SSDPEKNW512G8)
- グラフィックスカード：Intel(R) Iris(R) Plus Graphics (128 MB)

本 PC は、一般家庭にも備わっている程度のスペックである。しかし、実験中のデータ処理や姿勢推定、フィードバック生成、MediaPipe の処理においても安定した動作を提供した。

4.4 実験結果

実験結果は、表 1 に示す。

表 1. 実験結果

	洗濯衣類 量(kg)	推定所要 時間(s)	背中平均 角度(°)
1 回目	10	585.8	129.9
2 回目	4	243.6	161.5
3 回目	4	80	161.2

(1) 実験 1 回目

実験 1 回目では、洗濯かごを一つのみ使用し、すべての洗濯したい衣類から事前学習の内容を踏まえて色物・白物・手洗いが必要な衣類の分類を行う時点から実験を行った。実験 1 回目の背中姿勢グラフを図 5 に示す。

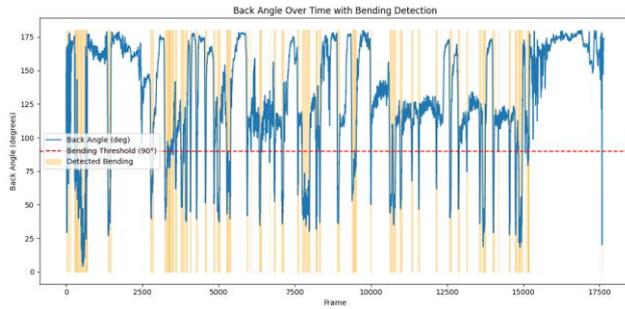


図5 実験1回目の背中姿勢グラフ

図5からも読み取れる通り、屈んでいることが示されている黄色の帯が複数回表示されていることや、黄色の帯が表示されていない箇所に関しても、 100° から 125° を推移している時間が長時間にわたることから、屈んでいない箇所に関しても中腰で作業を行っていることが推測できる。

(2) 実験1回目の被験者の改善案考察

被験者がフィードバックシステムを用いて行った改善案の考察は以下の通りである。

想像以上に中腰気味になっていることに気づいた。このままでは洗濯を行う度に腰に負担がかかってしまうので洗濯時の姿勢を改善することは必要不可欠である。背中姿勢を改善するにあたって実験時の動画を視聴すると、衣類分類時に仕分けを行った衣類を床に置いていたことや洗濯かごを足元に置いており、衣類分類を行うごとに屈んで衣類を確認していることが判明した。このため、衣類の分類方法に改善をする必要があるため次回の実験では洗濯かごを2個用意し、あらかじめ同居する家族に色物衣類と白物衣類を異なる洗濯かごに用意してもらうこととする。

(3) 実験2回目

2回目の実験では、上記の改善案をもとに同居する家族に協力してもらい、2個の洗濯かごを用いて実験を行った。また、背中姿勢が中腰にならないように洗濯かごを被験者の腰の高さの台に設置し洗濯機で選択が可能かを判断した後衣類を直接洗濯機に入れることとした。実験2回目の背中姿勢グラフを図6に示す。

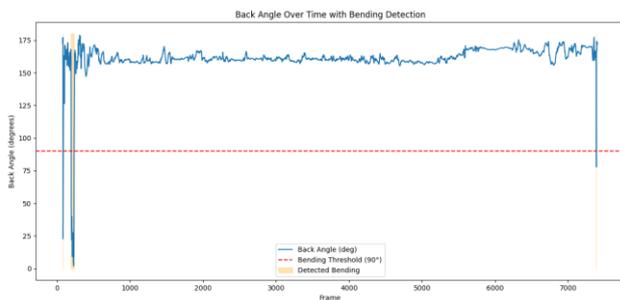


図6 実験2回目の背中姿勢グラフ

図6からも読み取れる通り、実験1回目の背中グラフと比較すると背中姿勢が改善したのは明らかだ。フィードバックシステムの背中姿勢に関する評価も向上しており本シ

テムが洗濯行動改善支援を可能とするシステムとして有効であると考えられる。しかし、実験2回目に関しても所要時間がシステムで設定している基準時間から大きく離れてしまっていることから所要時間を短縮することでより改善を期待できる。

(4) 実験2回目の被験者の改善案考察

被験者がフィードバックシステムを用いて行った改善案の考察は以下の通りである。

前回の実験と比較すると背中姿勢は圧倒的に改善できた。しかし、前回同様フィードバックシステムから「所要時間が長めです。一連の動作に無駄がないか確認しましょう。」と評価されているので所要時間を短縮する工夫をしなければならぬことに気づいた。システムで提示されている動画を視聴すると時間がかかってしまっている原因が衣類毎に洗濯絵表示を確認することが原因だと分かったので、次回の実験では同居する家族に色物と白物衣類の分別だけでなく洗濯機で洗濯できる衣類と手洗いが必要な衣類の分別も行ってもらおう。

(5) 実験3回目

実験3回目では、上記の改善案をもとに、同居する家族に協力を依頼した。具体的には、洗濯機で洗濯可能な白物衣類を入れるかご、色物衣類を入れるかご、および洗濯機で洗濯できない衣類を入れるかごの3種類を用意した。同居人が衣類をかごに入れる際には、各自が洗濯したい衣類を適切なかごに分類してもらうことで、被験者による洗濯絵表示の確認に要する時間を削減することを目的とした。その他の行動については、実験2回目と差異が出ないように配慮し、手順を統一して実施した。実験3回目の背中姿勢グラフを図7に示す。

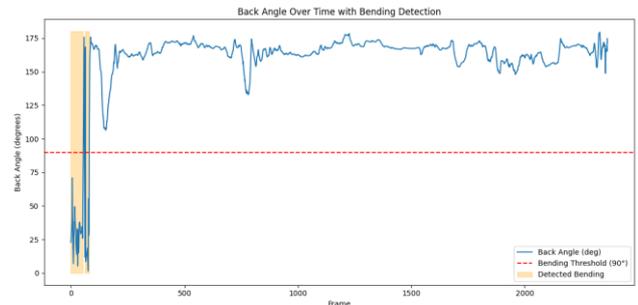


図7 実験3回目の背中姿勢グラフ

図7からも読み取れる通り、所要時間が格段に短くなり、なおかつ実験2回目同様背中姿勢も高水準を保つことができています。グラフ冒頭に屈んでいる箇所が長時間発生しているのは洗濯かごに入っている衣類が人であると誤認識をしてしまっていたことに起因する。

3回の実験を通して、本システムが洗濯行動改善支援を可能とするシステムとして有効であると考察できる。

5. 今後の課題

本システムの今後の改良に向けて、いくつかの課題が存在する。

第1の課題は、カメラを用いたセンシング手法に関するプライバシーの問題である。本システムでは、被験者の全身映像を撮影し、MediaPipeによって姿勢推定を行っているが、洗濯行動には下着などの衣類を扱う場面も含まれるため、撮影行為自体がプライバシーの観点から問題視される可能性がある。そのため、将来的にはカメラを使用せずに洗濯行動をセンシングし、姿勢や動作の解析が可能な手法（例：ウェアラブルセンサや環境センサの活用）を導入することが望ましい。

第2の課題は、フィードバックの自動化および精度の向上である。本システムでは、姿勢データや所要時間に基づいた簡易的なフィードバックを提示する機能を備えているが、洗濯行動の改善における判断や考察の多くが被験者本人に委ねられているのが現状である。今後は、システム側でより具体的かつ個別最適化されたフィードバックを提示できるようにし、被験者の主観的な考察に依存しない支援を実現する必要がある。これにより、より客観的かつ持続的な行動改善を促進することが可能となる。

6. まとめ

本研究では、行動環境センシング技術を活用し、洗濯行動の最適化・改善を支援するシステムの開発と検証を行った。具体的には、MediaPipeを用いた骨格推定により被験者の姿勢を時系列で可視化し、背中角度や所要時間に基づく簡易的なフィードバックを提示することで、被験者自身が行動を振り返り改善を図る仕組みを構築した。

実験では、洗濯経験のない被験者を対象に、洗濯物を洗濯機に投入する一連の動作を記録・解析し、システムからの可視化情報とフィードバックをもとに行動改善を試みた結果、姿勢の改善や動作時間の短縮が見られた。

一方で、本システムにはいくつかの課題も存在する。カメラを用いたセンシングはプライバシーへの配慮が求められるため、今後はウェアラブルセンサ等を活用した非映像型センシング手法の導入が求められる。また、現状のフィードバックは簡易的なものであり、被験者の主観的な考察に依存する側面があることから、今後はより高度な分析に基づく個別最適化フィードバックの実装が必要である。

今後は、複数の被験者を対象とした実験を通じて本システムの汎用性と効果の検証を進めるとともに、プライバシー配慮型のセンシング手法およびフィードバック機構の高度化に取り組む予定である。本研究は、日常生活における家事行動の改善支援において、新たな可能性を示すものである。

参考文献

- [1] 「洗濯」に関する意識調査,
<https://www.alianet.org/newalia/wp-content/uploads/2019/08/0502-TOPICS--TOPICS-洗濯に関する意識調査.pdf>, 2025年7月22日参照。著者名, 著者名: 論文のタイトル, 学会の名前, 学会の開催年。
- [2] Ž. Jasiūnas, T. Julião, J. Cecílio, G. C. da Graça, P. M. Ferreira, “A soft sensor to assess the energy performance of laundry washing machines,” *Applied Energy*, vol. 361, 121215, 2024, Author, Author, and Author: A paper title, The conference name, pp.ZZ-ZZ, A published year.
- [3] 松井智一, 大西晃正, 三崎慎也, 諏訪博彦, 藤本まなと, 水本旭洋, 佐々木渉, 木村亜紀, 玉田隆史, 丸山清泰, 安本慶一, 「日常生活行動に紐付けた生体指標の可視化と分析」, 第22回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2020) DPSWSセッション論文集, 2020.
- [4] 島田樹, 谷明勲, 山邊友一郎, 「各種センサを用いた住宅内行動センシングに関する研究」, 日本建築学会技術報告集, 第56号, pp.115–120, 2018.
- [5] 大内一成, 「スマートフォンを用いた生活行動認識—家の中も外もスマホで行動認識—」, 情報処理, Vol.54, No.6, pp.578–581, 2013.
- [6] 上田健揮, 玉井森彦, 安本慶一, 「スマートホームにおける複数のセンシングデータに基づいた生活行動データ抽出システムの提案」, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム論文集, pp.1884–1891, 2014.
- [7] 村上知子, 田中俊明, 内平直志, 「業務分析のためのトピックモデルを用いた行動推定」, 第25回人工知能学会全国大会論文集, 2011.
- [8] Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S. Wei, Y. Sheikh, “OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2019.
- [9] G. Papandreou, T. Zhu, L.-C. Chen, S. Gidaris, J. Tompson, K. Murphy, “PersonLab: Person Pose Estimation and Instance Segmentation with a Bottom-Up, Part-Based, Geometric Embedding Model,” *arXiv preprint*, arXiv:1803.08225, 2018.
- [10] K. Sun, B. Xiao, D. Liu, J. Wang, “Deep High-Resolution Representation Learning for Human Pose Estimation,” *arXiv preprint*, arXiv:1902.09212, 2019.
- [11] Valentin Bazarevsky, Ivan Grishchenko, Karthik Raveendran, Tyler Zhu, Fan Zhang, Matthias Grundmann, “BlazePose: On-device Real-time Body Pose Tracking,” arXiv:2006.10204 [cs.CV], 2020.
- [12] C. Lugaresi, J. Tang, H. Nash, C. McClanahan, E. Uboweja, M. Hays, F. Zhang, C.-L. Chang, M. G. Yong, J. Lee, W.-T. Chang, W. Hua, M. Georg, M. Grundmann, “MediaPipe: A Framework for Perceiving and Processing Reality,” *CVPR CV4AR/VR Workshop*, 2019.