

## 衣服内気候と活動量に基づく快適性予測システムの構築

Development of a Comfort Prediction System Based on Clothing Microclimate and Physical Activity

越智 勇仁<sup>†</sup> 原田 史子<sup>†</sup> 島川博光<sup>†</sup>  
Yuto Ochi Fumiko Harada Hiromitsu Shimakawa

### 1. はじめに

衣服の選択は人間の快適性に大きな影響を与える重要な要素である。特に運動など体を動かす場合、衣服の保温性や吸湿性の違いは身体に影響を与える。[1]そのため活動内容や個人の特性に応じた最適な衣服の選択が求められる。

本研究では、ユーザの活動時における快適性を予測し、衣服の分類を行えるシステムの構築を目指す。また活動状態を、(1)身体負荷が高い運動、(2)うちわや扇風機等による冷却が可能な運動後のクールダウン期間、(3)冷却手段が制限され不快感が増す可能性がある冷却不可期間の 3 つのフェーズに分類して評価する。ユーザ群から収集した活動別の衣服内温度、湿度、生理データ、外気温などのセンサデータを用い、時系列クラスタリングを適用することで類似の快適性を示す衣服に分類する。これにより、特定の衣服を特定活動時に着用するときの快適性が未知であっても同分類の衣服の快適性情報から予測できるようになる。ユーザは自身の活動に適した衣服を選択することが可能になるだけでなく、冷暖房への依存の低減にも期待できる。快適性予測に基づく衣服の分類が行えるシステムの構築より、健康・環境両面でのメリットがあると考えられる。

### 2. 時系列クラスタリングとデータ取得技術

#### 2.1 DTW を用いたクラスタリング

本研究では、ユーザの活動において得ることのできる温度・湿度・生理データなどの時系列データに基づき、衣服の分類を行う。その手法として Dynamic Time Warping(DTW)を用いたクラスタリングをする。DTW は異なる速度や長さで進行する時系列データ間の類似度を表すことのできるアルゴリズムである[2]。音声認識など時系列データが必要となる様々な分野で広く利用されている。DTW の特徴として 2 つの時系列データ間で距離を最小化するように動的にアライメントを行い、非線形な時間軸の歪みに対応できる。

#### 2.2 姿勢変化が衣服に与える影響の応用

衣服の快適性評価において、被験者の姿勢は重要な要素であり着用者の姿勢によって快適性が変わる。Havenith らの研究[3]では立位・座位などの姿勢によって衣服の蒸発抵抗、断熱性が変化することが検証されている。特に体と衣服が密着する背中などでは空気の流れが遮断され姿勢による通気性の変化が顕著である。この事実は運動などで姿勢が大きく変化する場合に、快適性が動的に変化することを示す。本研究では加速度センサによって得られる活動量データを温湿度や皮膚電位などの生理データと組み合わせる

<sup>†</sup>立命館大学 情報理工学部

College of Information Science and Engineering  
Ritsumeikan University

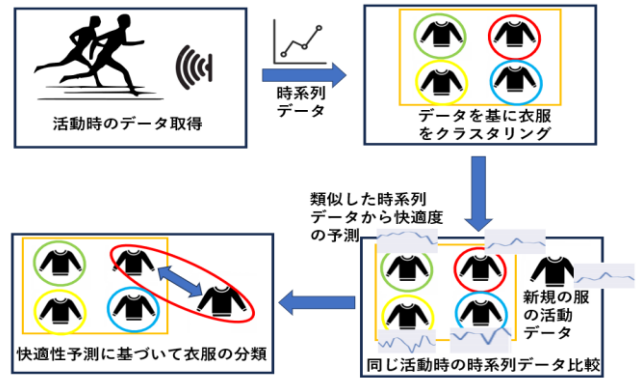


図 1 「手法概要図」

ことで、活動フェーズに応じて衣服の快適度を評価する。

### 3. センサ時系列クラスタリングによる衣服の快適性分類の実験手法

#### 3.1 快適性分類に基づく衣服選択支援

本稿では衣服の快適度を予測するためのモデルを構築するにあたり、複数の条件下において身体活動およびその後の状態に関する生体情報および環境データを収集し、各時系列データと快適度の関係を学習する手法を提案する。これにより、姿勢変化や活動量変化した動的な衣服評価や分類が可能となり、次のように実用的な衣服選択が可能になる。特定の衣服の未知の条件下で着用するか否か選択する場合、同一分類内の他の衣服における当該条件下での快適性情報を参照することで、快適性を予測できる。以降本章では、衣服を快適度に基づいて分類するための実験環境、センサ機器、取得データの概要の説明と流れについての詳細を述べる。

#### 3.2 実験環境と対象データ

本実験では、同一外部において異なる衣服間に類似した快適性が観測できるかをまず検証するため、季節や天候の影響が比較的受けにくい室内空間で実験した。外部環境とは主に気温や湿度などである。

被験者には主に以下の 3 つのフェーズで構成される一連の流れに従って実験を実施してもらった。それぞれの各段階で環境データと生体データを取得する。データ取得は複数の衣服をそれぞれ着用した状態で行う。

- ・(フェーズ 1)身体負荷が高い運動(5 分)

有酸素・筋力・瞬発運動を組み合わせ以下の運動を連続して実施した。

- ・軽いランニング(3 分)
- ・腕立て伏せ(1 分)
- ・サイドジャンプ(1 分)

- ・(フェーズ2)冷却可能なクールダウン期間(3分)  
うちわ・扇風機・自由歩行を許可  
現実的な冷却行動を再現
- ・(フェーズ3)冷却手段が制限される冷却不可期間(2分)  
冷却手段を一切使用することを禁止  
静止状態で不快感を誘発する

### 3.3 使用機器および取得データ

本実験では、被験者が着用する衣服の快適さを客観的かつ主観的に評価するために、複数のセンサデバイスを使用し、環境・身体に関するデータを取得する。

衣服内外の温度および湿度は TWELITE ARIA[4]を用いて計測する。TWELITE ARIA は軽量な小型のセンサであるため持ち運びしやすく、衣服内部と衣服外部に設置することで、衣服内環境と周辺環境を高精度に取得することが可能である。

また、運動時の身体の動きを記録するために TWILITE CUE[5]により加速度情報を取得する。これにより、被験者の動作強度や活動レベルを時系列で把握して運動による身体的負荷とその後の温度・湿度の変化の関係を定量的に評価できるようにする。

これに加え、被験者の快適度の生理的指標として、自律神経の活動を反映する皮膚電位を計測する。これは、リストバンド型デバイスの EmbracePlus[6]を用いて記録する。さらに被験者の体温を正確に把握するため、実験前後に体温計を用いて表皮温度を計測した。

これより運動前後での体温変化が快適度に与える影響を分析する。

最後に、被験者に対して主観的な快適度アンケートを実施した。これによりセンサから得た客観的データと主観的な快適性の対応関係を多角的に分析することが可能である。アンケートを取る理由として、被験者によって暑がり・寒がりなど人それぞれ感じ方が異なるためだ。

これらすべての情報を時系列データに記録し、快適度推定のためのデータとして使用する。

### 3.4 時系列クラスタリングによる衣服分類

本研究では、新しい衣服に対して新たに主観的評価を実施せずとも、既に取得済みのデータと比較することで快適度を予測することを目指す。これにより、使用するセンサの数を減らせるため被験者への負担を減らしつつ効率的な評価が可能となる。そのために実験データを用いて、衣服群を同一の快適性評価が得られるもの同士に分類する。

衣服群の分類には、異なる衣服の同一フェーズにおけるセンサ時系列データ間の類似度評価を用いる。

時系列データにおける類似度評価には Dynamic Time Warping(DTW)を使用する。DTW は、時系列の長さやタイミングのずれを調整しながら最適な対応関係を発見できるアルゴリズムである。

DTW の距離が小さいほど 2 つの時系列が類似しているといえ、対応する快適度も類似していると考えることができる。

分類した衣服群による快適度の予測精度の評価に平均絶対誤差(MAE: Mean Absolute Error)を主な指標として用いる。MAE は予測値と実測値との差の絶対値を平均したものである。式は以下のように定義される。

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_i|$$

ここで

- ・ $\hat{y}_i$ は予測された快適度、
- ・ $y_i$ は実測された快適度、
- ・ $N$ はテストデータの総数を表す。

MAE が小さいほど、モデルの予測精度が高いことを意味する。また予測誤差のばらつきに対する評価として 2 乗平均平方根誤差(RMSE: Root Mean Square Error)も併用する。RMSE は以下の式で定義され、外れ値の影響も MAE より強く受ける。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

さらにモデルの決定係数( $R^2$ )も参考値として用いる。 $R^2$  は 1 に近いほどモデルの予測性能が高いことを示し、0 以下の場合にはモデルが単純な平均予測より劣ることを意味する。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

本研究では MAE や RMSE、 $R^2$  など複数の指標を用いることでモデルの性能を多角的に評価する。

### 3.5 おわりに

本研究では、運動後の身体を取り巻く環境と快適度の関係を明らかにするため、複数のセンサを使用し、取得した時系列データと主観的快適度を対応付けて衣服を分類する手法を提案した。これにより新しい衣服でも時系列データが既存のものと同様であれば、快適度を予測できる。本手法によって、快適性を定量的に推定するモデルの構築が可能となり、衣服や運動環境の設計において多くのメリットがあると考えられる。

今後は、異なる運動種目や季節条件、被験者の属性の違いなど、より多様な環境での検証を行うことで、モデルの汎用性と信頼性の向上を目指す。特に、客観的なデータから快適性を予測できる点は、被験者の主観的な評価に依存しない設計を可能にし、運動に関係するスポーツウェアだけでなく、作業着、さらには医療・介護分野など、幅広い分野での応用が期待される。また、センサによりリアルタイムで快適性を推定し、フィードバックできるようになればより便利になる。

### 参考文献

- [1] Minja Ha • Yuka Yamashita • Hiromi Tokura (1995). *Effects of moisture absorption by clothing on thermal responses during intermittent exercise at 24 °C*. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 71, 266–271
- [2] Müller, M. (2007). *Dynamic Time Warping*. In Information Retrieval for Music and Motion (pp. 69-84). Springer
- [3] Havenith, G., Holmer, I., & Parsons, K. (2002). *Effect of posture on the evaporative resistance and thermal insulation of clothing*. Ergonomics, 45(1), 77–99
- [4] <https://mono-wireless.com/jp/products/twelite-aria/index.html>.
- [5] <https://mono-wireless.com/jp/products/twelite-cue/index.html>
- [6] <https://www.empatica.com/en-gb/embraceplus/>