

機械学習によるカメラ画像を用いた着衣量・代謝量推定モデルの開発

武蔵野大学 ○金 政秀*1
武蔵野大学 宮崎 莉帆*2
武蔵野大学 田中 葵*3
日本女子大学 西原 直枝*4

インナーウェア 荷物の重量 被験者実験

1. はじめに

着衣量・代謝量の計測は被験者に接触する手法を用いた研究が多く、非接触で個人の着衣量・代謝量を推定する研究はほとんど行われていない。特に、一般カメラを用いた推定手法に関する検討は限定的である。本研究では、20～60 代の男女を対象に荷物重量調査、インナーウェア調査および被験者実験を実施し、2024 年度の推定結果に今年度の調査結果を反映させることで着衣量・代謝量の推定精度を向上させ、地下街の快適性評価を行うことを目的とした。

2. 研究概要

2.1. 歩行時の代謝量推定の流れ

体重および歩行速度から運動量を算出し、運動量と代謝量の相関関係を用いて代謝量を推定する。既往研究では、ISO8996¹⁾に示される基準値と日本人被験者の測定結果に差異が報告されているため、本研究では被験者実験を新たに実施し、日本人を対象とした関係式の導出を目的の一つとする。さらに得られた関係式を用い、体重と歩行速度から代謝量を推定する手法を提示する。荷物重量に加え、2024 年度まで考慮していなかった衣服重量も体重に加算し、より実態に即した推定を行う。

2.2. 着衣量推定値の補正

インナーウェア調査により年代別・季節別の着用傾向を把握し、平均クロ値を用いて 2024 年度に算出した各着衣スタイルのクロ値を補正する。歩行時は相対気流の影響でクロ値が変化するため、歩行時のクロ値は ISO9920²⁾に記載の標準・軽装時の換算式(式 1)を用いて算出する。さらに、空気透過性の低い防寒着は防寒具着用時の換算式(式 2)を適用する。冬季は防寒着着用時のみを対象とし、ISO の検証のためサーマルマネキン実験も実施する。

・標準または軽装の場合の換算式 ($0.6\text{clo} < I_{cl} < 1.4\text{clo}$)

$$I_{\{Tr\}} = e^{[-0.281 \times (v_{ar}-0.15) + 0.044(v_{ar}-0.15)^2 - 0.492v_w + 0.176v_w^2]} \times I_T \cdots \text{式(1)}$$

・防寒具着用の場合の換算式 ($2.0\text{clo} < I_T$)

$$I_{\{Tr\}} = e^{\{[-0.0512(v_{ar}-0.4) + 0.794 \times 10^{(-3)} \times (v_{ar}-0.4)^2 - 0.0639 \times v_w] \times p^{(0.144)}\}} \times I_T \cdots \text{式(2)}$$

v_{ar} : 空気速度[m/s]、 v_w : 歩行速度[m/s]、 p : 通気性 $p=1$

I_T : 全断熱性[clo]、 I_{cl} : 固有着衣断熱性[clo]

2.3. 地下街の快適性評価

推定した代謝量および補正後のクロ値を用いて、地下街空間における快適性の評価を行う。さらに、算出した値を基に熱的快適性指標を求め、空調条件下における快適温度範囲を検討する。

2.4. 八重洲地下街動画について

筆者らが過去に行った地下街で空調空間である東京駅八重洲地下街を対象とし、2024 年度と同様、2022 年 4 月から 2023 年 1 月までの 10 ヶ月間の計 42 日間撮影した動画の一部を本研究では用いた。観光案内所の一部を借り、行者の様子が把握できる位置にカメラを固定して定点で動画撮影を行った。

3. 研究方法

3.1. 路上調査

本調査では、被験者の属性や条件の偏りを低減するため、調査時間帯を朝・昼・夕の 3 区分に分けて実施した。各時間帯において、年代、携行荷物の有無および種類、着用インナーウェアの種類が特定の条件に偏らないよう配慮し、全体として分布が均等となるよう調整した。調査は計 4 回にわたり実施した。初回の 6 月は重量調査のみ(54 名)を行い、その後の 3 回(8 月・10 月・12 月)は重量調査とインナーウェア調査を同時に実施した。最終的な有効回答数は、重量調査で延べ 366 名、インナーウェア調査で延べ 328 名となり、季節差を考慮した分析が可能なデータを得た。

1) 荷物の重量調査

地下街における動画分析結果を基に、携行荷物の形態を分類した。具体的には、リュックサック、ショルダーバッグ(斜め掛け)、ショルダーバッグ(片掛け)、手提げバッグの 4 種類に加え、ビジネスバッグ、斜め掛けミニ、片掛けミニ、手持ち(紙袋・ミニバッグ)を含む、計 8 種類に分類した。

2) インナーウェア調査

インナーウェアの実態調査に基づいて、固定値として着衣スタイルを推定後、それぞれの着衣スタイル毎のクロ値を紐づけて設定する。インナーウェア調査は、夏季・中間期・冬季の各季節、男女それぞれ約 50 名を対象としたアンケート調査を行う。

3.2.被験者実験

本研究では、運動量と代謝量の相関関係を明らかにすることを目的として、被験者実験を実施した。実験には、運動負荷装置および呼吸代謝測定装置を用い、20～60代の男女23名を対象とした。服装条件を統一するため、被験者には本研究で用意した通気性の高いジャージを着用させた。測定手順として、装置装着後に10分間の着座安静を行い、その後、歩行速度を3、4、5km/hの3条件に設定し、各条件において15分間の代謝量測定を実施した。

3.3.サーマルマネキン実験

日本女子大学にて、前方風速3条件（0.16, 0.67, 1.19m/s）がスーツの熱抵抗値（clo値）に与える影響をサーマルマネキンにより測定した。第一実験では作用温度4条件（18, 22, 25, 28℃）・湿度50%下で標準服の変動を調査し、第二実験では25℃・50%の条件下で12種類の着用条件を設定し、気流の影響を定量的に検証した。

4. 研究結果

4.1.路上調査

1) 荷物の重量調査

大型の鞆を携帯している場合には男性の方が荷物重量が大きく、小型の鞆では女性の方が荷物重量が大きい傾向が認められた。重量変化の比較では、女性よりも男性の方が季節による重量の増減幅が大きいことが判明した。

2) インナーウェア調査

夏・秋・冬におけるインナーウェアの着用実態を調査した結果、すべての年代で女性の方が男性よりクロ値が高い傾向が確認された。また、夏から冬にかけてクロ値は段階的に上昇し、多くの被験者が外気温に応じてインナーウェアを選択していることが示唆された。

4.2.被験者実験

今回の実験結果と2024年度以前の実験結果を統合して運動量と代謝量の相関を解析した結果、回帰式 $y=0.8067x+3.0054$ が得られた。決定係数は $R^2=0.7197$ ($R=0.848$) で、比較的強い相関が確認された。性別では女性の方が代謝量が高い傾向があり、年齢が高いほど回帰直線の傾きは小さくなる傾向が見られた。

4.3.サーマルマネキン実験

第一実験では全温度条件で風速の増大（0.16～1.19m/s）に伴い clo 値が低下したが、変化量に大きな差はなかった。第二実験の全12条件でも同様の傾向が認められ、標準服では clo 値 $= -0.26 \times \text{気流速度} + 0.56$ の回帰式が得られた。ダウンジャケットは静穏気流時 1.74 clo と高い断熱性を示す一方、傾きが -0.44 であり、気流の影響が大きかった。

5. 推定結果

5.1.代謝量推定

2024年度まで考慮していなかった衣服重量を推定体重に加算して代謝量を算出した。また、荷物分類を見直し、小型の鞆にはミニ区分の平均重量を適用したことで、より実態に即した値を用いた。2024年度と同様に、男女各80名の被験者実験から得られた回帰式 $y=0.8067x+3.0054$ に運動量 x を代入し、代謝量 y を算出した。その結果、平均推定代謝量は 233.1W、平均歩行速度は 4.42km/h、平均体重は 64.73kg となった。ISO8996¹⁾の歩行時基準値（235～360W）より低い、日本人は基準値より低い傾向が報告されており、本研究の推定値は妥当と考えられる。

5.2.着衣量推定

インナーウェアのクロ値から平均クロ値を算出し、これを各着衣スタイルのクロ値に反映した。その結果、基準値（インナーウェアを除く着衣量）に春・秋では 0.11clo、夏では 0.08clo、冬では 0.20clo を加算した。気流速度を考慮したクロ値は換算式を用いて算出した。その結果、停止時と比較して春・秋では、0.10clo～0.31clo、夏では 0.09clo～0.31clo、冬では 0.20clo～0.34clo、防寒着着用時では 0.09clo～0.10clo 減少することがわかった。

5.3.地下街評価

冬季は、防寒着の着用有無によって着衣量に大きな差が生じるため、本研究では防寒着着用時のみを対象とした分析を行った。実際の地下街利用者の多くが防寒着を着用していることから、本条件は現実的な利用状況を反映したものといえる。12月13日における地下街環境を基に推定した結果、防寒着着用時の快適温度範囲は 3.0～13.0℃であるのに対し、非着用時では 18.5～23.0℃で快適な空間となることが示された。この結果から、冬季に空調を行う場合、現在の室温 19.6℃から最大で 11.1℃の温度低下が可能であると考えられる。

参考文献

- 1) ISO_8996, Ergonomics of the thermal environment-Determination of metabolic rate, International Organization for Standardization, Geneva, 2021
- 2) ISO_9920, Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble, 2007

謝辞

本論文作成にあたり、路上調査、分析にご協力くださった、金研究室の皆様、金プロジェクトの皆様にご心より感謝申し上げます。被験者実験にて、多くの方々に多大なご協力を頂きました。感謝申し上げます。

*1 武蔵野大学 工学部 建築デザイン学科 教授 博士(工学)

*2 武蔵野大学 工学部 建築デザイン学科

*3 武蔵野大学 工学研究科 建築デザイン専攻 修士課程

*4 日本女子大学 家政学部 被服学科 准教授 博士(学術)

*1 Professor, MUSASHINO University Ph.D

*2 MUSASHINO University

*3 Grad Student, MUSASHINO University

*4 Japan Women's University, Ph.D