

生活環境下における日常着の 衣服内気候・clo値に関する研究

前田 亜紀子 丸田 直美

1. 研究目的

衣服着用により、人体と衣服の間には、外界の温熱条件とは異なる局所的気候（衣服内気候）が形成される。特に、皮膚表面と体幹部最内層衣服との間の空気層は、着衣時の快適感を左右するとされ、これまで多数の既往研究において、体幹部最内層の空気層が温度 $32 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\%$ 、気流 $0.25 \pm 0.15\text{m/sec}$ において、温熱的快適性が得られるとされている（例えば¹⁾～³⁾）。

温熱環境に滞在するヒトの快適性については、ISO7730に採択されているPMV（Predicted Mean Vote、予測平均温冷感）⁴⁾やASHRAE 55による快適温度範囲SET*（Standard New Effective Temperature、新標準有効温度）⁵⁾に代表される熱的嗜好指標がある。一般的な空調システムは設定温度をもとに室温を均一に制御することを目指しているため、個人の温熱感覚は考慮されにくい⁶⁾。加えて、ヒトの活動は移動を伴い、活動水準も異なるため、個人の温熱的満足度は必ずしも一律とはならない⁷⁾。現実の環境では在室者が着衣の調整をはじめとする適応行動をとるため、PMVの予測結果と実際の快適温度には差が生じることが指摘されている⁸⁾。

温熱環境に不満を感じた場合の環境調節行動として、着衣調節が主要な形態であることから⁹⁾、本研究は、女子大学生を対象に着衣の調節を伴う衣服内気候を1年間に渡って捉え、日常生活環境下における衣生活の快適性を明らかにすることを目的とした。また、温熱評価指標であるSET*の快適ゾーンに基づいて着衣量（clo値）を分析し、被服衛生学的手法によって着衣の快適性を捉えることを目的とした。衣環境は持ち運びが可能な身体に最も近い環境であることから、衣服を快適域に調整することは、サステイナブルファッションの視点においても有効な資料になるものと考えられる。

2. 方法

2-1. 調査対象者

被験者はK女子大学生17名が参加し、年齢の平均値（±標準偏差）は 21.9 ± 1.4 歳であった。主に大学4年生を対象とした。被験者には事前に研究の目的、方法、条件、測定、調査内容等について説明し、研究参加の承諾を口頭および書面で得た。本研究計画は、共立女子大学・共立女子短期大学研究倫理委員会で倫理審査を受けて承認された（承認番号：KWU・IRBA No.22013）。

2-2. 計測時期

表1に計測時期、計測期間、被験者人数、計測回数を示す。計測時期は2022年6月下旬から2023年6月初旬までの約1年間で、計測期間を4期に分けて実施した。計測は各計測期間において被験者が半日以上、大学で活動がある通学日とし、同一被験者を複数回参加させた。天候や活動が著しく異なる計測日のデータは除外したため、被験者人数や計測回数等は時期により異なる。計測時間は自宅を出発してから帰宅するまでとした。服装は被験者の私服で、TPOや活動、季節、天候にあった快適な日常着を自由に選択してもらった。

表1 計測状況の概要

計測時期	計測期間						被験者人数	計測回数	
	年	月	日	～	年	月			日
夏期	2022	6	28	～	2022	8	4	9	13
秋期	2022	10	24	～	2022	11	18	11	11
冬期		12	12	～	2023	2	2	10	10
春季	2023	5	17	～	2023	6	9	6	11

2-3. 測定項目

計測項目は、衣服外環境1点（気温、相対湿度、UVインデックス）、衣服内気候胸部最内層1点（温度、相対湿度）、主観申告（温冷感、快適感）、行動調査、着用衣服調査とした。

衣服外環境および衣服内気候の測定には、超小型IoTセンサーモジュール μ PRISM（電池内蔵タイプ型番EDAMP-2BA101、エレクトクス工業株式会社製、W25.0×H30.0×D13.3mm、重さ10g）を用いた（図1）。これは温湿度の他に、UVインデックス、照度、加速度が同時に計測できることから、衣服外環境のUVインデックスを参考項目とした。衣服外環境は被験者が携帯するカバンに装着し、衣服内気候は胸部最内層の中央部に位置するようネックホルダーで吊り下げた。計測間隔は30秒とし、解析には1分間平均を用いた。

調査期間中の計測日の気温、相対湿度、最高温度、最低温度、最小湿度、天気は気象庁発表の東京都（千代田区）の発表値を用いた¹⁰⁾。

主観申告、行動調査はGoogleスプレッドシートに10分間隔および、行動や主観が変化した都度、状況と時刻、場所とともに記入させた。着用衣服の全アイテムとインナーについては種類と素材をGoogle Formsで記録させた。

主観申告、行動調査は被験者毎にGoogleスプレッドシートを用意し10分間隔および、行動や主観が変化した都度、場所（屋内、屋外）、動作（立位、座位、歩行、その他）、時刻、備考（衣服の着脱やアルバイトなどの行動）とともに記入させた。主観申告尺度は表2の温冷感7段階、快適感4段階尺度を用い、Googleスプレッドシートにプルダウンメニューで選択できるよう設定した。



図1 衣服外環境・衣服内気候測定センサ

表2 主観申告尺度

温冷熱	快適感
7 暑い	4 非常に不快
6 温かい	3 不快
5 少し暖かい	2 やや不快
4 どちらでもない	1 快適
3 少し涼しい	
2 涼しい	
1 寒い	

図2には、計測日の着用衣服を回答するGoogle Formsの一部を示す。着用衣服とその繊維組成表示のタグを写真でアップロードし、インナーについては種類と素材をGoogle Formsの選択肢から回答させた。

着衣量 (clo値) については、写真と回答を元に全アイテムの単品clo値 (I_{clu}) の推定を行った。推定は文献資料を参考にした⁶⁾。次に以下の式 (1) のように被験者が着用していた単品衣服のclo値の和をもって各被験者の着用衣服のclo値 (I_{cl}) を算出した¹¹⁾。

$$I_{cl} = \sum_{i=1}^n I_{clu} \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 I_{cl} : 着衣の基本熱抵抗 [clo]、 I_{clu} : 単品衣服の有効熱抵抗 [clo] とする。

服装記録

この服装記録は、clo値（衣服の保温性指標）を算出するためのものです。算出には、服種とその素材が必要です。回答欄に可能な範囲でご記入後、できるだけ測定日にお送り下さるようお願いいたします。なお、送信して頂いた内容や写真は、研究目的以外には利用いたしません。

メールアドレス*

有効なメールアドレス

このフォームではメールアドレスが収集されます。設定を変更

測定月日を入力してください。(ex.5/1) *

記述式テキスト (短文回答)

測定日の服装と組成表示が分かる写真をアップロードしてください。*

※アップロードできる写真の枚数は最大10枚まで、ファイル容量は合計10MBまでです。※セルフイ (自分撮り) や鏡に映した写真の場合、できるだけお顔が入らないように撮影してください。※アイテム毎の組成表示の写真は、どの服種が対応するよう、衣服の一部を写し込んでください。

図2 着用衣服調査 (Google Formsの一部) と添付された写真の一例

2-4. 解析方法

全測定項目を各被験者の計測日別に平均値±標準偏差を求めた。季節差の有意差検定は平均値の差の検定で行い、危険率5%未満を有意とみなした。

3. 結果および考察

3-1. 計測時間と行動調査

表3に被験者の通学日における行動時間を示す。計測時間は通学日の自宅を出発してから帰宅するまでの時間であり、女子大学生は1日約7～8.5時間、自宅外での活動をしていた。そのうち大学滞在時間は約4.5～6時間で、1コマ100分授業であることから、通学日は概ね3コマの授業時間分、大学に滞在していたことになる。通学方法は全員が電車を利用しており、その他の移動方法は把握していない。登校はすべて日中に直接大学に来ており、下校後はアルバイトなどの課外活動の後、夜間に帰宅する被験者もいた。計測時間、大学滞在時間に季節差はなかった。

表3 計測時間と大学滞在時間

時期	計測時間 (sd)				大学滞在時間 (sd)			
	h	m	(h m)	(h m)	h	m	(h m)	(h m)
夏期	7	59	(2 01)		5	25	(1 47)	
秋期	7	8	(2 19)		4	29	(1 40)	
冬期	8	29	(2 37)		5	41	(2 33)	
春季	8	10	(2 20)		6	16	(2 11)	

3-2. 環境、衣服外環境、衣服内気候

気象庁発表の大学所在地における環境、学生が携行しているカバンに装着したセンサで測定した衣服外環境、胸部最内層の衣服内気候の平均値と標準偏差を図3に示す。

東京都の気候(図の左列)は、過去30年間(1981-2010)における月別平年値とおおむね同等であったが¹²⁾、東京のような大都市では、周辺郊外よりも高温化するヒートアイランド現象がみられ、東京の観測点における年、季節ごとの平均気温は長期的にみると上昇している¹³⁾。計測期間中の夏期の最高気温は平均31.6℃であり、相対湿度の平均は76.2±7.0%と蒸暑であった。冬期の最低気温は0℃であり、最小湿度は20%と低温乾燥が著しい。春秋期の相対湿度は同程度だが、気温は春期より秋期が有意に低かった。気温はすべての季節間で有意差が認められ、日本の四季は気温による影響を大きく受ける。

衣服外環境(図の中列)は、女子大学生が1日の大半を屋内で過ごしていることから、相対湿度は夏期以外の時期は40～60%にあり、環境の相対湿度同様、春秋期は同程度であった。気温は、学内の空調が夏期は27℃、冬期は22℃に設定されていることもあり、一年を通して22～27℃の空調でよくコントロールされた教室等に滞在していたことがわかる。

被験者のなかには、移動のままならない100分間の授業において、着衣による調節だけでなく、教室の窓側や空調設備の吹き出し口を考慮して、紫外線やクーラーによる冷えから防衛できる座席

を選ぶとの声が聞かれた。学校やオフィス空間¹⁴⁾、大型商業施設¹⁵⁾の温熱環境の快適性に関しては、AI技術を用いた評価指標の作成が進められており、移動、滞在者の人数、構成、着衣量などを反映した結果が応用され、将来的には、利用者の熱的嗜好性が反映されることを期待する。

衣服内気候（図の右列）は、夏期の衣服内相対湿度だけが $78 \pm 13\%$ の高湿だったのに対して、その他の時期は $50 \pm 10\%$ の快適域にあった。衣服内温度は冬期だけが $32 \pm 1^\circ\text{C}$ だったのに対して、その他の時期はやや高めであった。

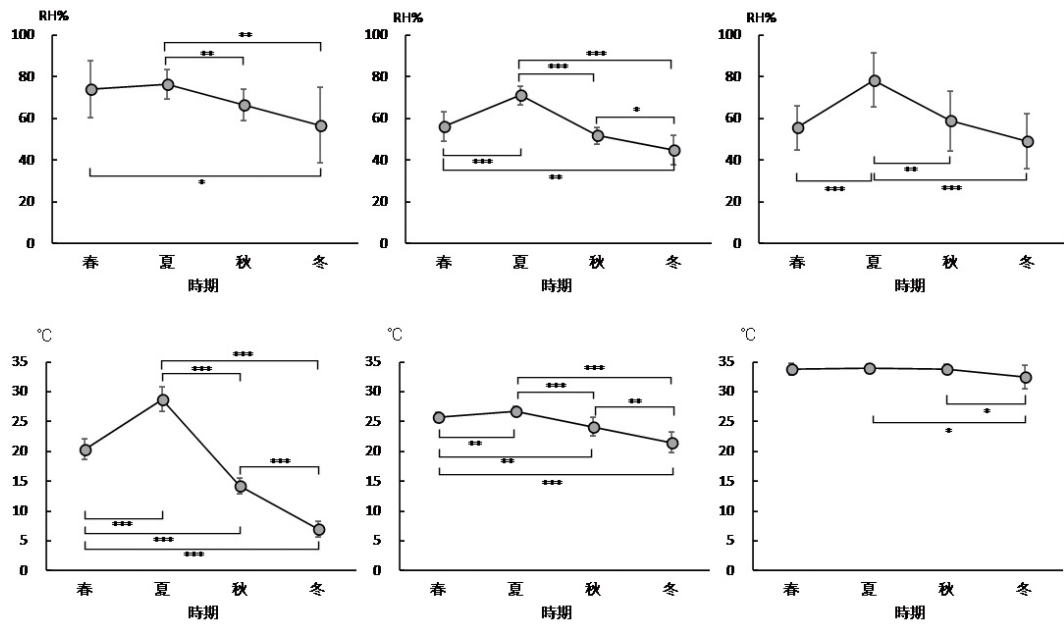


図3 環境、衣服外環境、衣服内気候の季節差

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

次に、4つの季節の各測定項目における温度（気温）と相対湿度の散布図を快適衣服気候図と併せて図4に示した。

散布図からわかる通り、黒丸で囲んだ夏期は他の時期に比べて、温湿度ともに大幅に高温多湿であり衣服内気候も不快域であることがわかる。今回の解析では、平均値に活動すべてが含まれることから、移動等で発汗を伴う行動があったり、直射日光を避けるため長袖を着用したりすることがあっただろう。教室の空調は管理下にあり 27°C 一定のため、着衣による調節には限界があり、夏期は常に不快域にあったものと推測される。

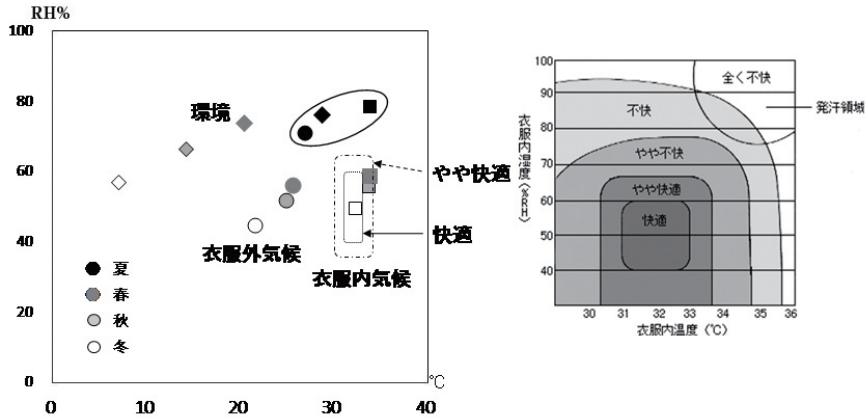


図4 環境、衣服外および衣服内気候の散布図

3-3. 着衣量(clo値)

図5に各季節の着衣量(clo値)の平均値±標準偏差と各季節の標準的な着装例を示す。clo値の平均値は、夏期0.47clo、春期0.58clo、秋期0.96clo、冬期1.15cloとなり、春期と秋期を比較すると、春期の方が環境温、衣服外気温ともに高かったため、春期の着衣量が秋期より少なかった。女子大学生は季節に応じた衣服選択がおおむねできているものの、夏期だけは衣服内温度が外気温と差がないほど暑熱となり、衣服内湿度は発汗が生じて高湿になっていたことが予想される。着衣量を調査した研究と比較すると、屋内調査¹⁶⁾では本研究結果の方が高く、屋外調査¹⁶⁾では本研究結果の方が低かった。被験者は屋内外の滞在場所の気温や活動レベルに応じて着脱により温熱的な調節を行っていることが予想されるが、平均値は1日のclo値を反映しているためと考えられる。

各被験者のclo値と気温の関係をSET*に基づく運動量1~2mets、風速0~1m/secの快適ゾーンにプロットしたグラフを示す(図6)。春秋期はほとんどの被験者のclo値がSET*の快適ゾーンに分布し、SET*による快適衣服の予測が被験者の選択とほぼ一致していることが示されている。

しかしながら、夏期は快適ゾーンから外れるケースが見られ、気温に対してclo値が高い、着用超過の状態と考えられる。これは丸田らが2001~2002年に新宿の交差点で調査した結果と同様であった¹¹⁾。着衣量には性差があり、女性は男性よりも高い傾向にあるが¹⁷⁾、気温が約25°C以上では女性のclo値は0.35clo以下にはならず、およその下限値が存在することが指摘されている¹⁸⁾。これは女性が、防犯や日焼け対策、社会生活上、暑くても、着用衣服を減少させるには限りがあるためと考えられている。近年はUVカット素材、接触冷感素材からなる身体局所を冷却するウェアやグッズが販売されており、屋内外を問わず移動中もポータブル扇風機を利用する姿が多くみられる。夏期結果のいくつかは、SET*の快適ゾーン1met・0~1m/secに含まれることから、着衣の調節を気流や換気によって補完するデバイスの利用が有効であると考えられる。

また、冬期は気温に対してclo値が低く着衣量が少ない傾向にあった。外衣の着用率はコート50%、ジャケット25%、ジャンパー12.5%、未着用12.5%だった。大学所在地は地下鉄とのアクセ

スがよく、通学の交通手段によっては、地下通路を利用して屋外に出る時間が短いことが予想される。20年前に丸田らが屋外で実施した調査の冬期平均値と比較して、マイナス4.6cloであったことから、着衣全般の軽装化が進んでいることが考えられる。

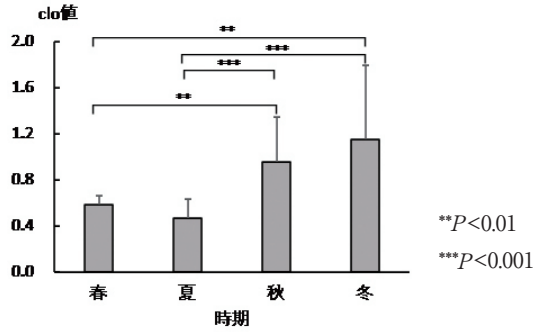


図5 clo値の平均値と標準偏差 (上)、および各季節の標準的な着装例 (下)

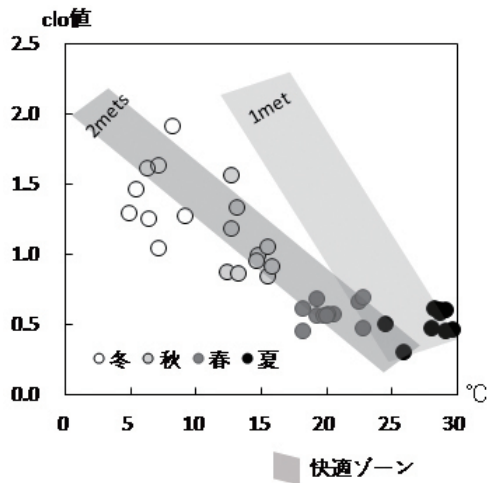


図6 SET*快適ゾーンにおける気温とclo値の関係

3-4. 主観申告

温冷感および快適感の平均値±標準偏差を示す。季節差は快適感の春夏期の間で唯一認められたが、各時期ともに温冷感は「4 どちらでもない」、快適感は「1 快適」と「2 やや不快」の間だったことから、1日を通じて、女子大学生は気候や活動に応じて適切な衣服の選択と着用ができていたと考えられる。ただし、滞在場所や移動にともなう短時間の変化を追えていないことから、主観申告が不快となる季節と着衣量の関係をより詳細に検討する必要がある。

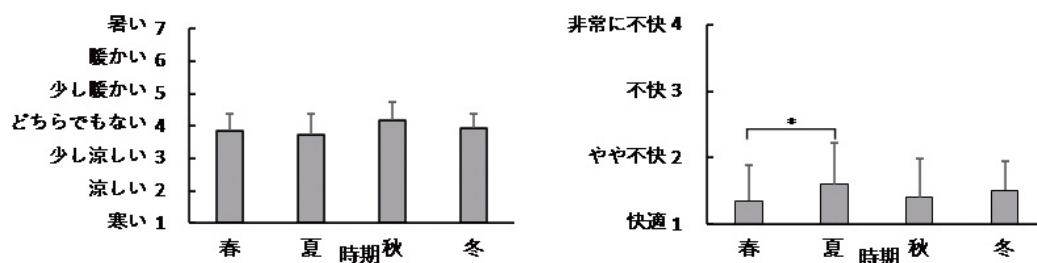


図6 温冷感（左）および快適感（右）

4. まとめ

女子大学生を対象に、生活環境下における衣服内気候、着衣量等の観察から、日常着の快適性を捉えることができた。夏期以外の季節は、衣服内気候が温湿度ともに、おおむね快適域にあり、主観申告において「どちらでもない」であったことから衣環境が熱的中立状態にあったと考えられる。今後は1日のうち、どのような状況で快適域から外れるのか分析を続ける。さらに、熱中症や低体温症の発生件数は高齢者と子どもに多いことから、年齢や性別を拡大して調査することも必要であろう¹⁹⁾。

写真や着衣量の集計から衣服単品のclo値を算出することができ、季節差や現代の女子大学生における日常着の特徴が明らかとなった。日本のように四季の変化に富んだ、気温の影響を大きく受ける生活にあっては、日々の衣服選びには、経験や繊維の知識、組み合わせの工夫が必要となる。そこで天気の情報サービスと衣服の販売元が協同して「服装指数」が提案されている²⁰⁾。SET*快適ゾーンのような風速の影響や、身体局所を冷却・加温することで季節特有の不快感を軽減する効果が期待される。着心地がよく、組み合わせがしやすい衣服は大切に扱われ、パーソナルで非電化の空調としてサスティナブルファッションに結びつくと考えられる。消費の抑制や着なくなった衣服の廃棄を削減する環境行動に少しでも貢献できるよう、今後も検討を続けていく。



図7 Yahoo!天気アプリ「今日の服装指数」より
<https://about.yahoo.co.jp/info/blog/20230203/clothes.html>²⁰⁾

謝辞

本研究は共立女子大学総合文化研究所の研究助成を受けて実施しました。被験者としてご協力くださった学生の皆さまに心より感謝いたします。

参考・引用文献

- 1) 鈴木秀夫 (1932) : 衣服気候の研究. 第1編～第5編, 国民衛生, 9,175-211, 9,1297-1322, 9,1561-1600, 9,1847-1865, 9,1887-1932
- 2) 田村照子 (1995) : IV.温冷感・湿潤感と着衣の快適性—衣服気候・体熱平衡の視点より—. 繊維製品消費科学, 36(1), 31-37
- 3) 前田亜紀子, 山崎和彦, 梶原 裕 (2005) : 快適時の平均被服内気候. 日生氣誌, 40(1), 15-23.
<https://doi.org/10.11227/seikisho.40.15>
- 4) Fanger P. O. (1970): Thermal comfort, Danish Technical Press
- 5) Gagge A. P., Fobelets A. P. and Berglund L. G. (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Trans., Vol.92, 709-731
- 6) 空気調和・衛生工学会編 (2019) : 快適な温熱環境のしくみと実践, 丸善出版, 181, 109-117
- 7) Aryal A. and Becerik-Gerber B. (2018): Energy consequences of Comfort-driven temperature setpoints in office buildings, Energy and Buildings, Vol.177, 33-46, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.013>
- 8) Nicol F. and Humphreys M. (2002): Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. Energy and Buildings, Vol.34, No.6, 563-572, [https://doi.org/10.1016/S03787788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S03787788(02)00006-3)
- 9) Nakano J. and Tanabe S. (2020): Thermal Adaptation and Comfort Zones in Urban Semi-Outdoor Environments. Frontiers in Built Environment, Vol.6, <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00034>
- 10) 気象庁 (2022-2023) : 各種データ資料.<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- 11) 丸田直美, 田村照子 (2009) : 歩行者の外観に基づく clo 値推定の試み—定点観測結果を用いて—. 日本生気象学会雑誌, 46巻4号, 149-158, <https://doi.org/10.11227/seikisho.46.149>
- 12) 国立天文台 : 理科年表平成28年, 気温、相対湿度の月別平年値(1981-2010平均値), 184,224
- 13) 三上岳彦 (2006) : 都市ヒートアイランド研究の最新動向—東京の事例を中心に—. E-journal GEO, 1巻2号, 79-88, <https://doi.org/10.4157/ejgeo.1.79>
- 14) 谷口景一郎, 石浦皓平, 宮田翔平, 赤司泰義 (2023) : 室内温熱環境分布に基づく座席移動が在室者全体の熱的満足度に及ぼす影響. 日本建築学会環境系論文集88巻,808号, 511-520, <https://doi.org/10.3130/aije.88.511>
- 15) 金子 研, 橋本達也, 廣川純一 (2022) : ららぽーと名古屋みなとアクルスにおける AI による解析を利用した快適性を損なわない省エネルギー空調の設計と実施. 空気調和・衛生工学会 中部支部学術研究発表会論文集,23巻, 137-140, https://doi.org/10.18948/shasec.23.0_137

共同研究「生活環境下における日常着の衣服気候に関する研究」

- 16) 室 恵子 (2018) : 住宅における暖冷房機器の使用および着衣量に関する実態調査. 日本建築学会技術報告集, 24巻, 56号, 253-258, <https://doi.org/10.3130/aijt.24.253>
- 17) 前田亜紀子, 井上桃香, 山崎和彦 (2015) : 冬季の気象要因が各種衣類の着用率に及ぼす影響. 群馬大学教育学部紀要 芸術・技術・体育・生活科学編, 50, 145-150, <http://hdl.handle.net/10087/9910>
- 18) 今川 光, リジャル H.B., 宿谷昌則 (2019) : 関東の住宅における窓・エアコン使用の状況と着衣量の関係性に関する分析. 空調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, 令和元年度大会 (札幌) 学術講演論文集, 第6巻温熱環境評価編, 269-272, https://doi.org/10.18948/shasetaikai.2019.6.0_269
- 19) 上田博之, 山崎彩佳, 坂東沙耶, 戸谷真理子, 一之瀬智子, 井上芳光 (2018) : 高齢者の熱中症予防に向けた夏季日常生活下における温熱環境の月別調査. 日本生気象学会雑誌, 54(4), 135-145, <https://doi.org/10.11227/seikisho.54.135>
- 20) 気温に合わせた服選びをサポート Yahoo!天気アプリの「今日の服装指数」(2023) : <https://about.yahoo.co.jp/info/blog/20230203/clothes.html> (閲覧日 : 2023年10月13)

Research on clothing microclimate and clo value of daily wear in living environment

Akiko Maeda Naomi Maruta

This study examined the relationship between clothing microclimate and clo value, through the daily life of women's university students. The period of measurement was from late June 2022 to early June 2023. The subjects were seventeen K women's university students.

As a result, the relative humidity in clothing was high ($78 \pm 13\%$) during the summer season, while it was in the comfortable range of $50 \pm 10\%$ during the other seasons. The temperature in clothing was a comfortable $32 \pm 1^\circ\text{C}$ only in winter, and slightly higher in other seasons. The clo values during spring and fall were in the SET* comfort zone, but outside the zone during summer and winter. Especially in summer, forced ventilation and airflow should be added, as regulation by clothing is limited.