

ポリ乳酸繊維およびポリエステルから成る2種ブラウス着用時の体温調節反応の比較 Comparison of thermophysiological responses and clothing microclimates in participants wearing two kinds of blouse made from poly lactic acid fibers and polyester

前田 亜紀子 Akiko MAEDA
林 千穂 Chiho HAYASHI

Abstract: In this study, we used two kinds of blouse, one was the poly lactic acid fibers (PLA) made from the corn having the property with elastic action and the other was 100% polyester (PET). Both blouse had almost nearly physical properties (thickness, density etc.). The purpose of this study was to compare thermophysiological responses and clothing microclimates between two kinds of blouse with PLA and PET. The climatic chamber was controlled at 20°C and RH60%. Eight young female adults served as participants. The physiological parameters measured were rectal temperature, skin temperatures, clothing microclimate temperature and humidity, and subjective sensations. After resting for 15 min in a chair wearing the blouse, pants, socks and shoes, the participants repeated the work / rest schedules of 15 min exercise consisting of stepping up and down on a footstool (height 14.5cm), and 30 min rest. Main results were summarized as follows: 1) There were not any differences for rectal temperature, mean skin temperature, clothing microclimate temperature between PLA and PET. 2) Clothing microclimate humidity (chest) was significantly lower in PLA than in PET. 3) Thermal and comfort sensations were better in PLA than in PET. It was concluded that the blouse made from new poly lactic acid fibers is strongly recommended to wear in terms of clothing physiology, because it has the properties with elastic action.

Keywords: thermophysiological responses, clothing microclimate humidity, poly lactic acid fibers (PLA), polyester (PET), elastic action

1. はじめに

近年、地球環境保護に対する時代の要請の中で、繊維産業においても、再生産可能な資源からの生分解性高分子繊維の開発と実用化が進められている¹⁾。生分解性高分子繊維とは、自然界に存在する微生物が分泌する酵素によって分解される高分子を指す²⁾。生分解性は一般的に天然繊維で優れているが、近年、植物由来の新合成繊維と称されるものの中で、生分解性に優れたものが開発されている³⁾。

特に、トウモロコシのデンプンを発酵させ、グルコースを経て乳酸を熔融紡糸した、ポリ乳酸繊維が注目されており、既に繊維メーカー各社によって製品化されている⁴⁾。その特性は、ポリエステルやナイロンなどとほぼ同等であり、その上、従来の合成繊維にない絹に似た深みのある上品な光沢とドライでシルキーな風合いを有している⁵⁾。ちなみに繊維製品の組成表示は、「指定外繊維 (ポリ乳酸繊維)」であり、日本化学繊維協会では、「ポリ乳酸 (PLA: Poly Lactic Acid)」の呼称で JIS 化への作業が進められている⁴⁾。

私たちは、この生分解性を有するポリ乳酸繊維を、衣服素材として積極的に取り入れている長野在住のファッションデザイナー岡 正子氏から提供を受けた。ポリ乳酸繊維は開発されたばかりの新素材であることから、繊維の耐熱性⁶⁾、染色性⁷⁾⁸⁾、洗浄性⁹⁾、汚染付着性¹⁰⁾¹¹⁾などの材料特性に関する報告はあるものの、着心地に関する報告は皆無である。そこで今回、衣料として展開され始めたポリ乳酸繊維について、類似した材料特性を有するポリエステルと比較し、着用時の生理・心理的反応および衣服内気候について比較した。

2. 実験方法

被験者は成人女性8名とした。身体的特徴について Table 1 に示す。

衣服条件は、ポリ乳酸繊維 (以下 PLA と略す) とポリエステル (以下 PET と略す) の2種素材を用いて、同型の長袖ブラウス (両者 100%) を作成した。その他共通衣として、ブラジャー (綿 100%)、ショーツ (綿 100%)、キャミソール (綿 100%)、靴下 (綿

100%)、ジャージ (ポリエステル100%)、運動靴 (ナイロン製) であった。なお、ISO¹²⁾に基づき算出した clo 値は 0.64clo であった。

PLA と PET の物性試験の結果を Table 2 に示す。また、各々の算出方法について掲げた。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subj.	Age (yrs)	Weight (kg)	Height (cm)	Body fat (%)
A	19	57.3	160	29.3
B	19	57.8	164	27.3
C	19	55.7	157	26.4
D	20	51.9	158	26.8
E	20	63.6	169	27.2
F	19	60.7	160	31.4
G	19	56.0	166	25.7
H	32	52.0	172	18.5
mean	20.9	56.9	163.3	26.6
sd	4.52	3.99	5.42	3.74

Table 2. Physical properties of materials.

materials		PLA	PET
		warp × weft 167×120	warp × weft 164×110
Density	inch		
Thermal insulation value	%	14.22	19.11
Moisture permeability	%	54.11	38.3
Water absorption	%	0.2879	0.1287
Moisture absorption	%	0.0052	0.0044

● 保温性 (Thermal insulation value)

$$\text{保温率} = \{(a-b)/a\} \times 100 (\%)$$

a: 発熱体の空試験における 2 時間内通電時間

b: 発熱体に試験布を取りつけた時の 2 時間内の通電時間

● 透湿性 (Moisture permeability)

$$\text{水蒸気透過率} = (A/B) \times 100 (\%)$$

A: 24 時間後の試料を通過した水蒸気量

B: 試験布なしの時の水蒸気量

● 吸水性 (Water absorption)

$$\text{吸水率} = \{(W-W_0)/W_0\} \times 100 (\%)$$

W: 吸水後の試料布の重量

W₀: 吸水前の絶乾重量

● 吸湿性 (Moisture absorption)

$$\text{吸水率} = \{(W-W_0)/W_0\} \times 100 (\%)$$

W: 大気中に 8~24 時間放置後の試料の重量

W₀: 吸湿前の絶乾重量

着用実験の測定項目は、直腸温、皮膚温 8 点 (額、胸、背、前腕、手背、大腿、下腿、足背)、胸部の衣服内温湿度 (第 1 層: ブラジャーとキャミソール間、第 2 層: キャミソールとブラウス間)、主観申告 (温冷感、不快感) であった。主観申告の評価尺度を Table 3 に示す。

Table 3. Scales of subjective sensations.

Thermal sensation	Discomfort sensation
4 very hot	
3 hot	3 very uncomfortable
2 warm	2 uncomfortable
1 slightly warm	1 slightly uncomfortable
0 neutral	0 comfortable
-1 slightly cool	
-2 cool	
-3 cold	
-4 very cold	

実験は午前の部 (10 時開始) と午後の部 (13 時開始) に分け、日内リズムを考慮し被験者をいずれかに固定した。被験者は実験開始 1 時間前には到着し、30 分にわたり気温 26°C に空調した室内で安静を保持した後、気温 20°C、相対湿度 60% の人工気候室に移動し、実験用衣服の着替えとセンサー類を装着した。椅座位安静 15 分後、運動 15 分 (台高 14.5cm の踏台昇降運動を 15 回/分の速度)、椅座位安静 30 分を行った。主観申告は実験中 5 分毎に申告させた。

統計は素材間について対のある t 検定を行い、危険率 5%未満をもって有意とみなした。

3. 結果

Fig. 1 に、直腸温および平均皮膚温の推移（8名の平均）を、絶対値（上・中段）および0分を基準とする変化量（下段）で示した。

直腸温は、PLA が PET より約 0.1°C 高値で推移しているが、変化量で見ると、安静、運動、安静ともに PET とほぼ同様であり、PLA と PET 間に有意差は認められなかった。

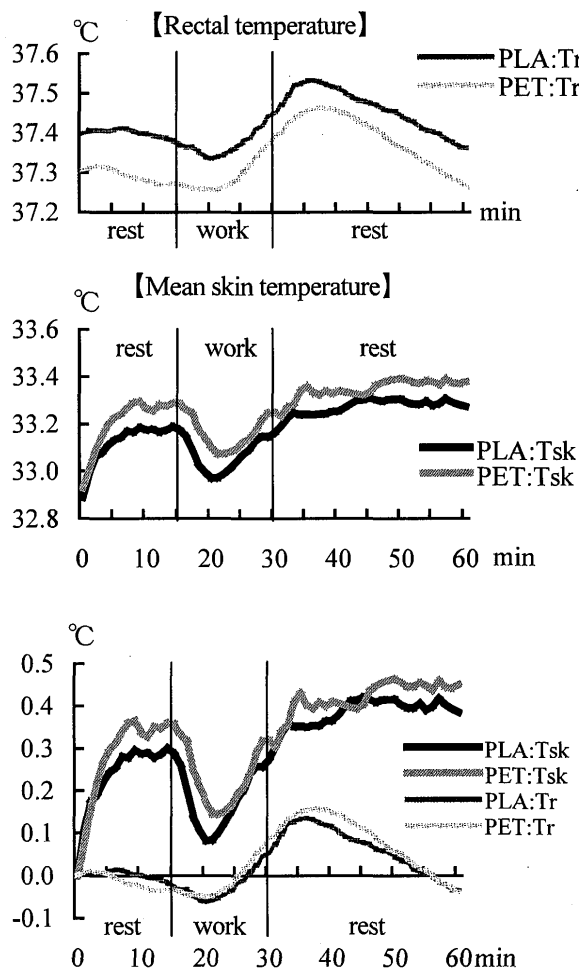


Fig.1 Change of rectal temperature (Tr) and mean skin temperature (Tsk). The means of eight subjects were plotted.

平均皮膚温は、PLA の方がやや低い値で推移しているが、変化量では PET が PLA に比してやや高い値で推移した。素材間に有意差は認められなかった。また、各部位の皮膚温についても同様に、素材間に差は認められなかった。

胸部の第1層（ブラジャーとキャミソール間）における衣服内温度および衣服内湿度について、Fig. 2 に示す。

衣服内温度は、実験を通して PLA が PET より高値で推移し、両素材とも運動により上昇し、運動終了時にピークを示した。この時、PLA は 33.5°C、PET が 32.7°C で 0.8°C の差を示したが、両素材間に有意差は認められなかった。

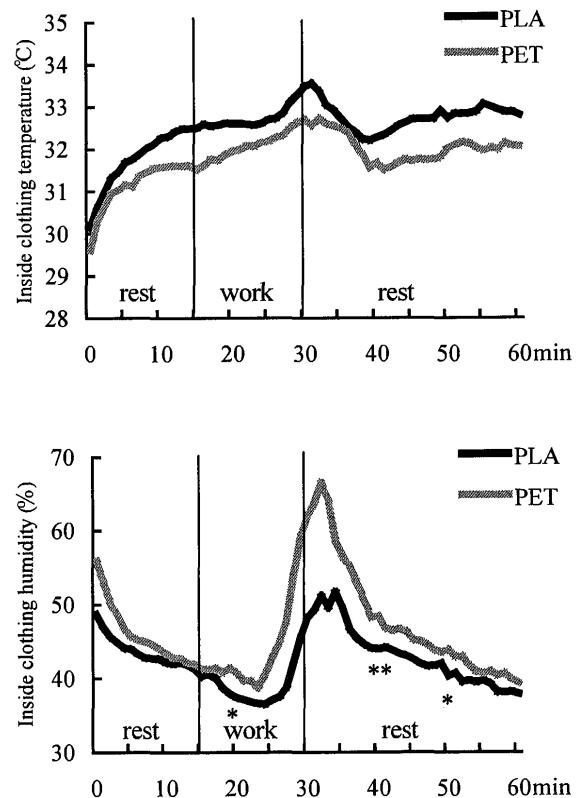


Fig. 2 Change of inside clothing temperature (upper) and inside clothing humidity (lower).

Measurement point was first layer.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (PLA < PET).

衣服内湿度は、運動開始前は PLA と PET に差はないが、運動に伴う動作の影響によって低下を示し、運動5分後にあたる20分目において PET の方が PLA より有意 ($p < 0.05$) に高い値であった。運動後半には両者ともに急激に上昇し、運動終了後上昇のピークに至り、PET が66%であるのに対し、PLA は51%で15%低値であった。また、PLA の方が PET より上昇し始める時間が遅延した。運動後安静時における低下の推移では、PLA が PET より有意に衣服内湿度が抑制され、40分 ($p < 0.01$) および50分 ($p < 0.05$) で、PLA が有意に衣服内湿度が抑制されることが認められた。

Fig. 3 には、温冷感および不快感の推移を示す。両者において、PLA および PET とともに、運動開始後、暑い側および不快側申告を訴え、25分において PLA よりも PET が有意に暑い側および不快側申告であることが認められた ($p < 0.05$)。

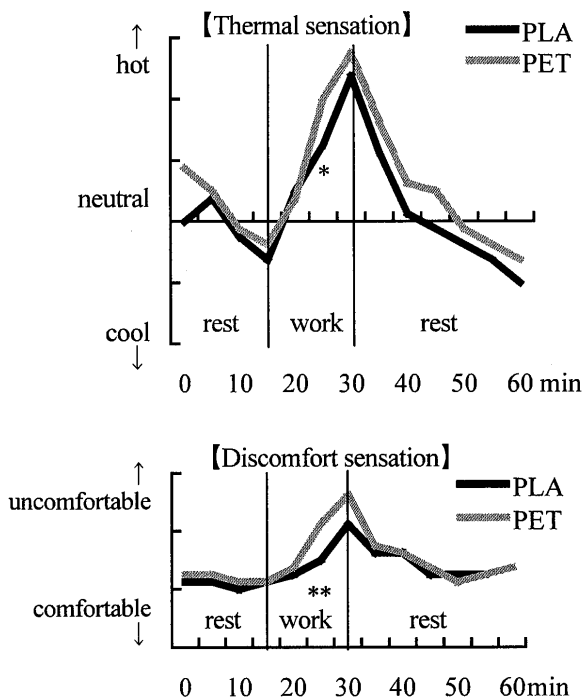


Fig. 3 Change of subjective sensations.
*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (PLA < PET).

4. 考察

今回、着用実験による着心地評価を行ったポリ乳酸繊維は、植物由来の新合成繊維であり、「持続ある開発」という人類共通の課題に一役を担うものとして注目されている。

ポリ乳酸の大規模な生産は、米国穀物商社カーギル・ダウ社によって2001年後半から開始された。2003年1月22日には、量産態勢が整ったのを機にNYでファッションショーが開催され、ポリ乳酸繊維のグローバルブランド「INGEO インジオ」が立ち上げられた¹³⁾。

本研究において、ポリ乳酸繊維「インジオ」を提供下さった岡氏は、1998年2月に開催された長野冬季五輪で、環境関連のファッションショー「Fashion for The Earth」を開き、いち早くポリ乳酸繊維に着目、衣服素材としての改良を重ねてきた。インジオのNYでのショーにも招かれた。

しかしながら、ポリ乳酸繊維は評価の途上にあり、衣服として市場に展開され始めたばかりであることから、ポリ乳酸繊維衣服の着心地に関する研究は見当たらない。

ポリ乳酸繊維 (PLA) は、化石資源を原料とする合成繊維のポリエステル (PET) やナイロン、アクリル等と遜色ない特性を有する。本実験では、PETと比較するため、PLAと同型のブラウスを製作し、20°C、RH60%下における着用時の温熱生理学的影響を観察した。

その結果、直腸温、平均皮膚温、衣服内温度では、両素材間に有意な差は認められなかったが、衣服内湿度において、PLAがPETより有意に抑制され、温冷感、不快感 (Fig. 3) でも同様に、PLAの方が有意に快適側にあることが認められた。

一般に、衣服内温度 $32 \pm 1^\circ\text{C}$ 、衣服内湿度 $50 \pm 10\%$ にあるとき、温熱的快適域にあるとされる¹⁴⁾。本実験では、PLA、PETともに、安静時における衣服内湿度は、約33°C、 $50 \pm 10\%$ の快適域にあったが、運動に伴って衣服内湿度が両素材とも急激に上

昇を呈し、安静時に比して15~20%上昇した。しかし、PLAの方がPETよりその上昇の程度が抑制され、実験を通じて低値を保持した。

今回、物性値の出来る限り近似した素材を入手し比較したが、PLAの吸湿性はPETの約2倍、さらに、吸湿した水分を放湿する機能である透湿性においてもPLAがPETより高かった。

また、保温性は、PET(19%)がPLA(14%)より高く、衣服内温度はPLAにおいてPETより高値で推移したものの、両素材ともに、衣服内温度は快適域で推移しており、素材間に有意差は認められなかった。

運動中の着衣の快適性について、吸湿性の異なる素材が衣服内湿度の変化速度に影響し、着心地に投影されることや¹⁵⁾、吸湿に伴う収着熱が快適性に関係すること¹⁶⁾が指摘されている。

今回の結果は、PLAとPETの吸湿性と透湿性の物性値の差が、保温性については収着熱による衣服内温度の影響を凌駕し、PLAにおいて、PETより衣服内湿度を抑制する効果に結びついたものと考えられる。

生分解性を有するポリ乳酸繊維の弱点は、融点がポリエステル(260℃)やナイロン(215℃)に比べ低く(170℃)、家庭用アイロンでも低温であて布をしないと、風合いが損なわれる。また、高温(50℃以上)、高湿度条件下では、加水分解が生じ物性が低下してしまうため、保管には注意を要する。

ポリ乳酸は市場に出回り始めたばかりであることから、まだまだ高価である。環境負荷の小さい繊維として、より安価で広く普及するようになるには、生産者や消費者にとって扱いやすい繊維となるよう、さらなる改良が望まれる。また、衣服衛生学の観点から、様々な環境条件下で着用した場合、どのような挙動を示すのか、今後も実験を重ねる必要がある。

謝辞

本実験にご協力下さいました長野県短期大学衣生活研究室卒業生に心より感謝致します。

また、ポリ乳酸繊維インジオの提供を賜りました、岡学園、岡 正子様、ならびにポリエステルの提供を賜りました、伊藤忠商事(株)繊維商品戦略室、阿部 奈保子様と的場佳子様に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究成果は第20回国際家政学会(於京都)において発表した。

引用文献

- 1) 森 瑞枝(2000): 植物繊維とエコロジー——衣料用繊維の動向一. 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 40: 97-102.
- 2) 山中敬雄(2004): 生分解性繊維. 繊維学会誌, 60(6): 237.
- 3) 繊維科学(2001): 生分解性繊維と《とうもろこし》から生まれたカネボウ「ラクトロン」の特性. 繊維科学, 43(3): 36-38.
- 4) 吉田広治(2003): ポリ乳酸繊維「ラクトロン®」衣料用途としての機能特性について. 繊維科学, 45(9): 15-19.
- 5) ユニチカ ポリ乳酸繊維「TERRAMAC (テラマック)」について. 繊維科学, 45(9): 20-24.
- 6) 森 瑞枝, 米田宏美, 田中麻紀子(2002): とうもろこし繊維(ポリ乳酸繊維)の加熱による特性の変化. 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 42: 41-47.
- 7) 米田宏美, 森 瑞枝, 田中麻紀子(2002): とうもろこし繊維(ポリ乳酸繊維)の染色: 侵染について. 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 42: 49-56.
- 8) 山口一志(2005): ポリ乳酸繊維における連染および捺染. 加工技術, 40(2): 123-128.
- 9) 森 瑞枝, 米田宏美, 田中麻紀子(2003): 竹繊維・とうもろこし繊維(ポリ乳酸繊維)の洗浄性—レーヨン・ポリエステルとの対比—. 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 43: 37-42.
- 10) 森 瑞枝, 米田宏美, 田中麻紀子(2004): とうもろこし繊維(ポリ乳酸繊維)の汚染布作成に関する

- 一考察 -- ポリエステル繊維との対比. 東京家政学院大学紀要. 自然科学・工学系, 44: 25-34.
- 11) 森 瑞枝, 米田宏美, 田中麻紀子(2005): どうもろこし繊維(ポリ乳酸繊維)の汚染布作成に関する一考察--ポリエステル繊維との対比(第2報). 東京家政学院大学紀要 自然科学・工学系, 45: 49-54.
- 12) ISO/DIS 9920 (1991): Ergonomics of the thermal environment-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble.
- 13) 望月政嗣(2003): ポリ乳酸繊維の現状と将来展望. 繊維機械学会誌, 56(3): 133-136.
- 14) 飯塚幸子(2002): 衣服の温熱的性質と快適性. 中橋美智子, 吉田敬一編, 新しい衣服衛生, 南江堂, 東京, 85-91.
- 15) 諸岡晴美(2000): 衣服素材の吸湿・吸水性と着用性能. 繊維学会誌, 56: 352-357.
- 16) 平田耕造, 田中香利(2001): 吸湿性と衣服の生理学—衣服の吸湿に伴って発生する収着熱が人の体温調節反応に及ぼす影響. 家庭科教育, 75(6): 69-74.