

平成22年6月16日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007年度～2009年度
 課題番号：19700567
 研究課題名（和文）野外活動用被服類のフィールドにおける被服内気候と快適性
 研究課題名（英文）The relations between clothing microclimate and comfort
 for outdoor activities
 研究代表者
 前田 亜紀子（MAEDA AKIKO）
 長野県短期大学・生活科学科・生活環境専攻・助教
 研究者番号：00286692

研究成果の概要：野外活動用被服類の温熱的快適性について検討するため、3種実験を行った。実験(1)では、野外活動用被服類の各種環境条件下における観察から、フィールドにおける評価方法を検討した。実験(2)では、野外活動における衣服の濡れについて、人工降雨および自然降雨について比較し定量化した。その上で、徐々に衣服が濡れる場合の生理・心理的影響を捉えた。実験(3)では、寒冷下での野外活動を想定し、被服類内部に発生する結露現象をモデル実験で捉えた。さらに零下15℃における着用試験を実施し、生理・心理的影響について検討した。

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,200,000	540,000	3,740,000

研究分野：被服衛生学、温熱生理学

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：野外活動、皮膚温、被服内気候、主観申告、快適性、雨天、結露

1. 研究開始当初の背景

レジャーや登山などの野外活動が、中・高齢者を中心に盛んである。一方で事故や遭難が絶えず、深刻な社会問題となっている。これら主原因は、気象条件の急変や体力の過信による事故や持病の悪化だが、被服類や装備品の適切な選択が、救命の一助になる。また野外活動は、中・高齢年齢期の健康維持・増進、余暇活動の充実、QOLの向上が期待されることから、これらをより快適に支えるための衣服の温熱的快適性について研究することが重要である。そこで野外活動用外衣の着用時における、体温調節反応、被服内気候および主観申告の観察から、快適性評価について検討することを目的とした。さらに、これま

での人工気候室内実験にとどまらず、実際の野外における観察と比較検討することを目的とした。

2. 研究の目的

野外活動において雨衣は必要不可欠なアイテムである。雨衣の快適性を評価する際、実際の野外での着用評価が求められるが、気候や衣服条件の組み合わせは多岐にわたる。そこで、実験1～3を実施することとした。

(1)実験1では、野外を想定し、種々の環境条件下における衣服内気候および主観申告を観察することを目的とした。野外実験の着手に先立ち把握すべき事項として、野外活動で必須の装備品である、帽子、フード、ザック等

は、どのように影響するのか観察した。そして、実際の野外活動時の観察データを比較検討することを目的とした。

(2)実験2では、野外活動における雨天を想定し、衣服の漸進的濡れを観察することを目的とした。実験は漸進的濡れを模擬するための降雨装置を製作し、人工降雨下および自然下におけるモデル実験を比較検討した。また、漸進的濡れが及ぼす生理・心理的影響について、人工降雨下における実験を実施し、観察することを目的とした。

(3)実験3は、野外でも特に、寒冷環境が着衣に及ぼす影響として、零下における衣服内気候および主観申告を観察することを目的とした。零下では発汗により衣服内に結露がもたらされる。これを観察するため、人体モデルおよびテントモデルを製作し観察を行った。

3. 研究の方法

(1)実験1では、①人工気候室実験と②野外実験を行った。

①の被験者は成人女性6名とし、環境条件は気温25、20、10（以上RH 50%）、および0、-10°C（以上湿度は成り行き）の5条件に設定した。表1に気温および衣服類の条件について示す。雨衣は透湿性防水素材（ゴアテックス）からなるフード付上下セパレート型とし、フリース上衣（PET再生繊維100%）以外の衣類は綿を主体とした混紡素材であった。ザックは200型とし、詰め物により形状を整え、かつ総量を1.0kgとした。

表1 気温および衣服条件

衣服	気温	25, 20	10	0, -10
透湿性防水素材雨衣上下		○	○	○
フリース上衣			○	○
スウェット下衣				○
長袖Tシャツ, レギンス		○	○	○
ブラジャー, ショーツ, 靴下		○	○	○
手袋, ニット帽				○
ザック, スニーカー		○	○	○
環境条件毎衣服総重量 (g)		2,415	2,775	3,250
測定器材含総重量 (g)		2,825	3,185	3,660
クロー値		0.89	1.14	1.37

実験は椅座位安静10分(R)→フード無し作業10分(W1)→フード着用作業10分(W2)→ザック装着作業10分(W3)に従事した。作業様式は、踏み台昇降運動（台高10cm, 昇降頻度15回/分）であった。

測定項目は皮膚温7点(前額、前腕、手背、

腹、大腿、下腿、足背、以下全実験で共通部位)、衣服内気候(第1層を中心とする全身11カ所と胸部では第2層を追加)、酸素摂取量、および主観申告値(全身温冷感、局所温冷感、湿り感、不快感)について測定した。

②の野外実験の被験者は①とは異なる健康な女性10名であった。実験は、2008年11月4、18日、12月2、16日のいずれも午前中に実施した。表2は長野市気象台および国土交通省気象庁発表の天候で、風速は10時~13時までの値を平均したものである。

表2 実験日の天候(長野市)

実験日 (2008)	天候	最高/最低気温 (°C)	風向	風速 (m/s)
11/4	晴	11°C/4°C	北北東	4.4
11/18	曇	13°C/3°C	東南東	1.6
12/2	晴	12°C/0°C	南東	1.4
12/16	晴	9°C/-2°C	東南東	1.6

衣服条件は、スニーカー、ショーツ、ブラジャー(以上各自のもの)、これら以外は実験①と同等のものを用意した。被験者は天候に応じた保温性の確保や作業に伴う着脱を自由に行わせた。表3に実験各日の使用率を示す。

()は被験者数である。リュックは背の形状に沿うよう詰め物をし、実験1①同様、重量を1.0kgに統一した。被験者には電解質経口飲料(250ml)を持たせ、野外活動途中好きな時に経口させ、摂取時刻を記録することとした。

表3 選択被服類の使用率 (%)

被服類	実験日 11/4 (9名)	11/18 (6名)	12/2 (8名)	12/16 (8名)
ツバ付帽子	56	83	25	63
フリース手袋	33	83	75	100
フリース上着	0	100	75	100
フリースボン	0	50	38	63
ニット帽子	0	0	63	38

被験者はまず9:45に長野県短期大学環境生理学実験室に集合し、衣類を着替え野外活動に出発できる準備を整え10:15まで安静をとらせた。全行程徒歩とし、途中5ヶ所の測定ポイントを設け、坂道や階段の高低差のあるコースとした。測定ポイントには約15分で到着するよう、歩行速度をメトロノーム音で統制し(110回/分)、全体で約1時間30分とした。測定項目は胸部衣服内温湿度、腋下体温、手背および前額の皮膚温、主観申告(寒暑感、発汗感、不快感、疲労感)とした。測定時程は衣服内気候が実験中30秒毎に集積し、その他は実験行程①~⑤の時点で5分程度活動を停止して行った。

(2)実験2は①人工降雨モデル実験、②自然降雨モデル実験、③人工降雨被験者実験の3種を実施した。

①では、内径2ミリのチューブを用い、サイフォン方式による雨滴発生装置を作製し、マネキン(成人女子型)と有人(成人女子2名)による衣類の濡れ実験を行った。衣服条件は、様式TではTシャツ、短パン、また様式Sではスウェット上下を着用させた。帽子、Tシャツ、靴下、ショーツ、スポーツ用ブラジャー、サンダルは両様式に共通する。マネキンの姿勢は直立、傾斜6度、傾斜13度の3種とし、雨天暴露時には一定の時間間隔で90度ずつ回転させた。有人による実験では、メトロノーム音に合わせ、前後方向約30cmの距離を水平に往復した。

人工降雨装置が発生する水滴のサイズは自然下の雨より大きい。また野外では風の影響があり雨量も変動する。そこで②では、野外実験に適した雨量評価法について検討し、自然の雨天条件において衣類がどのように濡れるのか観察した。雨量計は通常型、円筒タオル型、漏斗型の3種とした。①と同じマネキン(成人女子体型)2体と衣類条件を、雨天時に、大学グラウンドの所定の場所に設置し、暴露前後の衣服重量を測定して濡れ具合について評価した。また併せて、水分の蒸発特性について評価するため、水を入れた容器と濡らした円筒タオルの重量変化を測定した。

③実験の被験者は成人女性9名であった。模擬的な降雨装置は、軟質ポリエチレン製チューブ(内径1mm、外径2mm、長さ1m)を合計336本用い、サイフォン効果により水滴を発生させた。この他、水受部(内寸左右方向89cm×前後方向179cm×高さ9cm)と吸引部(湿乾両用型集塵機RYOBI, VC-23)が加わる。雨量は水柱高を変えることにより調節した。滴下部チューブ端の高さは床面から207cmであった。降雨条件は、時間当たりの雨量を80mm(R)および30mm(r)の2種とした。実験は装置を全て人工気候室に設置し、気温30℃、相対湿度80%に制御した。衣類は、Tシャツ、短パンの様式T(約0.18clo)と、スウェット上下の様式S(約0.85clo)とした。なおTシャツ、スポーツ用ブラジャー、ショーツ、靴下、帽子、サンダルは両様式共通とした。帽子(雨天用)の外周には5cm幅の罫がある。衣服条件2種(TとS)と、降雨条件2種(Rとr)を組み合わせた4条件(以下、RT、RS、rT、rS)に曝露した。実験手順は、安静15分(DR)→作業(台高10cm、昇降頻度15回/分の踏台昇降)10分(DW)→安静20分(DR)→降雨下作業10分(WW)→安静20分(WR)→降雨下作業10分(WW)の

計85分に渡った。測定項目は、直腸温、皮膚温7点(実験(1)と同部位)、衣服内気候(胸部第1層および第2層)および主観申告値(全身温冷感、局所温冷感)、不快感について得た。

(3)実験3は、零下での結露現象を観察するため、①モデル実験と②被験者実験を行った。

①の結露評価モデルは、立位姿勢にて上衣を着せるタイプ(A型)と、産熱と発汗を模擬するタイプ(B型)を制作した(図1)。A型は、Tシャツやフリースジャケット、雨衣などの上衣を重ね着し、安静や作業を繰り返し行うことを想定したものである。B型は、テントの居住性評価用である。両装置における重要事項は、氷結に耐える、長時間にわたり使用できる、安全である(発火や感電事故がない)、安価で普遍性が高い等であった。A型は水受け部、白熱電球、円筒(アルミ網の周囲にタオルを巻く。直径9cm)、電源ケーブル、変圧器から成る。B型は水受け部、白熱電球、アルミ網とタオル、電源ケーブルから成る。装置の原理は極めて単純であり、毛管現象によって濡れたタオルを加熱し、水分を蒸散させるというものである。

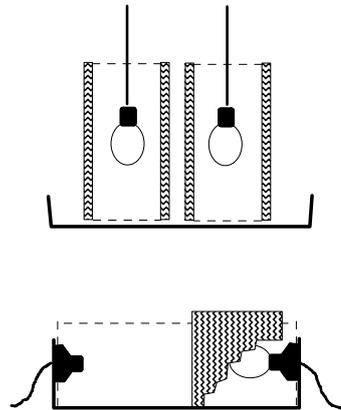


図1 装置の概要(A型:上、B型:下)

②実験の被験者は健康な成人女性9名とした。衣類条件は2種(透湿性雨衣および非透湿性雨衣)とし、いずれも①実験で用いた外衣である。その他、スポーツブラジャー、ショーツ、長袖Tシャツ、スパッツ、スウェット上、フリース上下、靴下、手袋、ニット帽、防寒靴は共通とした。クロー値はISO/DIS 9920に準拠し、両条件共に1.76cloと算定した。実験は低温型人工気候室を用いて行った。室温は零下15℃一定とした。相対湿度は30%に設定し、成り行きに任せた。

実験手順は、作業(20分)→安静(5分)→作業(10分)→安静(5分)とした。作業様式は踏

み台昇降であり、台高20cm、昇降頻度21回/分とした。被験者4名について別途代謝量を測定した結果、作業強度はRMR3.5に相当した。測定項目は、衣服内気候、直腸温、皮膚温7点および主観申告とした。衣服内気候の測定部位は、胸部における皮膚面とブラジャーの間（内側と表記）、および同部位での外衣の内側（外側と表記）の2カ所とした。直腸温、皮膚温、衣服内温湿度は30秒毎に記録した。主観申告のスケールは、全身温冷感および局所温冷感は-5（寒い）から+5（暑い）に至る11段階、体幹部発汗感は0（感じない）から+5（極度に感じる）に至る6段階とした。なお温冷感5分毎に、また体幹部発汗感1分毎に測定した。

4. 研究成果

(1) 温熱ストレスについて評価する際、平均皮膚温は有用だが野外での測定は煩雑である。そこで、これに代わる指標が必要とされる。図2は実験1①における、第1層（ブラジャーと長袖Tシャツ間）における胸部衣服内温度と全身温冷感の相関関係である。温冷感との相関が非常に高い。

筆者らは、衣服内3箇所を測定することによる「平均衣服内気候」を提唱しているが、野外においてはさらに簡潔さが望まれる。そこで1箇所の測定により評価するとすれば、図1が示す通り、胸部が適切であると考えられる。なお、温度と湿度には特色があり、衣服内温度は零下での環境評価において有効である。衣服内湿度は温暖環境での温熱ストレスに関し、特に発汗開始を把握する際に有効である。また胸部第2層（雨衣の内側）では外気が流入しやすく、衣服内温度は低値となるが、寄与率は同様に高いことから、野外実験に適すると考えられる。

図3は実験1②における実験日毎の衣服内温度の結果である。データは全て被験者の人数で平均したものである。衣服内温度は環境条件の影響を受け、11/18、12/2、11/4、12/16の順に推移した。動作に伴う変動がうかがえる。

(2) 実験2の①および②では衣服の濡れ量を定量的に評価した。衣類が雨に濡れて重量増がもたらされるとき、次式が成立する。

$$W = R \cdot T \cdot A \cdot C \cdot D \pm F + e - E$$

(W:衣服重量増加分、R:単位時間雨量、T:暴露時間、A:雨滴の落下方向からみた衣類の投影面積、C:衣類の雨滴捕捉率、D:水の密度、F:落下や伝わりなどによる水分移動量、e:人体の発汗がもたらす濡れ、E:

当該衣類からの蒸発量)。

これらの内、R、T、Aが支配的であることから、各要素とWとの関係について把握した。雨量や暴露時間が異なる時、標準条件での比較を行う必要がある。そこで標準雨量を時間雨量60mmと基準し、標準濡れ量を標準雨量での濡れ量とみなした。暴露2分目の標準濡れ量の比較を図4に示した。

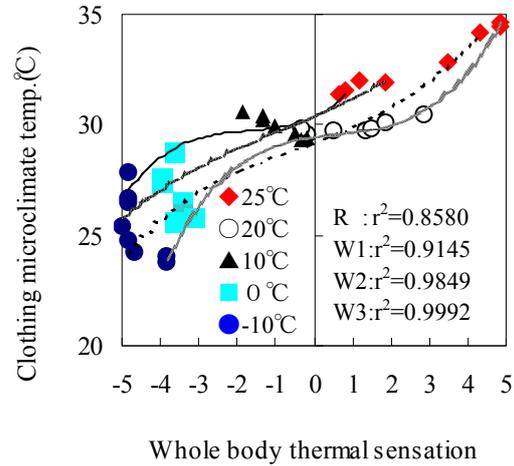


図2 胸部第1層衣服内温度と全身温冷感の関係

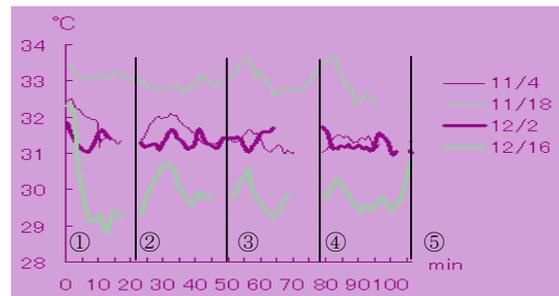


図3 野外活動における衣服内温度の推移

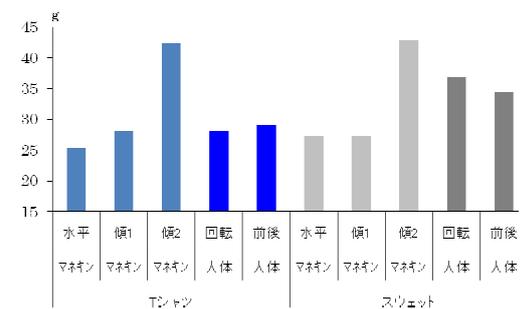


図4 人工降雨下における毎分標準濡れ量の比較

マネキンによる衣服の濡れ量評価が可能であると判断し、自然降雨下と比較した(図5)。自然の雨は人工降雨装置の雨よりも小粒であり、風や蒸発の影響も検討する必要がある。降雨装置における毎分標準濡れ量は約25g/分であり、自然降雨の方が大きい。これは

衣類が、小粒の水滴を効率よく捕捉しているものと考えられる。

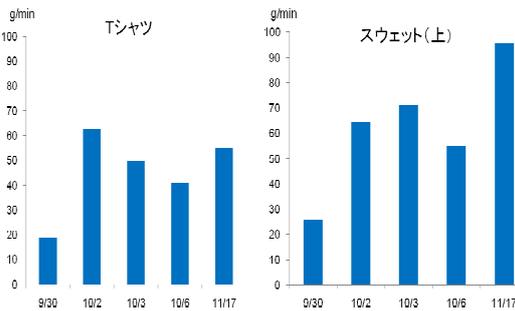


図5 自然降雨下における毎分標準濡れ量の比較

実験 2③の結果について表 4 および図 6 および 7 に示す。表 4 は湿潤率(衣類の重量÷当該衣類を水に浸した後、水分を自然落下させた重量)が100%に達するまでの推定時間を示したものである。降雨条件Rはrより、様式TはSより、スウェット下はスウェット上より、早く100%に到達する。ショーツは最内側にあり、最も濡れ難いといえる。

表4 湿潤率が100%に到達するまでの時間(分)

条件	靴下	短パン	Tシャツ	ブラジャー	スウェット上	スウェット下	ショーツ
RT	13	15	16	16			19
RS	25		21	19	19	29	34
rT	31	26	22	20			45
rS	64		51	54	41	136	∞

直腸温(図6)は、安静期には下降、作業期には上昇を示した。同じ衣服様式では、R<rとなり、同じ雨量条件では、T<Sとなった。気温30℃において、直腸温は様式Sでは上昇しやすいことが分かる。一方、様式Tでは、安静と運動を適宜組み合わせることにより直腸温は維持できるが、安静が長期に渡ると、次第に低下すると予想される。

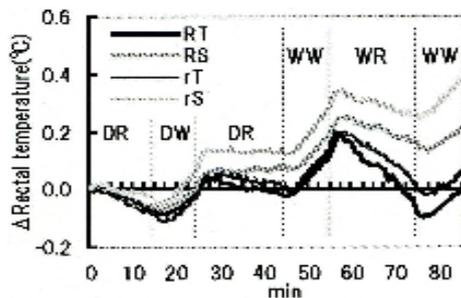


図6 直腸温の推移

さらに平均皮膚温と主観申告(全身温冷感)との関係(図7)では、乾燥相でのTとS、および湿潤相でのrSでは「暖かい」側申告であるが、その他は全て「寒い」側申告となった。特に湿潤相のRTでは、平均皮膚温は時間

経過に伴い低下を続け、初期レベルに対し-2.5℃となった。気温30℃、相対湿度80%下への曝露であるため、衣服の濡れは温熱ストレスの軽減に有効に作用すると予想したが、濡れた衣類の着用時に、中立の温冷感あるいは快適さを得ることは困難といえる。

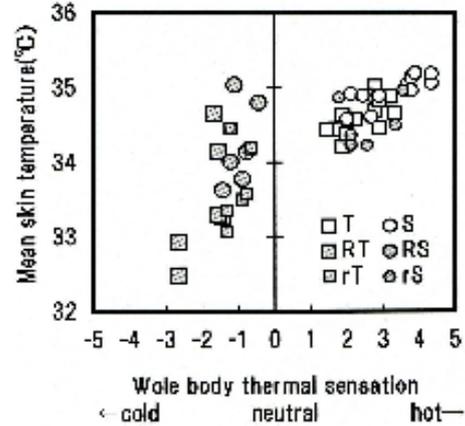


図7 平均皮膚温と全身温冷感の関係
□○：乾燥相、■●：湿潤相

(3) 実験 3①の結果、タオルの毛管現象による吸上高は約 21cm であり、そこでA型の円筒高を 18cm とした。タオルが乾燥した状態で 100W 白熱電球を長時間点灯し、発火しないことを確認した。水の容量はA型B型共に約 1.4 リットルであり、長時間使用可能という条件を満たすものであった。

氷点下 15℃において、A型の円筒を 1 個とし、その内部側で 30W、外部側で 20W を点灯し、かつ外衣を着せた場合の蒸散量は 25g/h であった。ワット数をこの 3 倍にすると 85g/h となった。テント内に置いたB型は、38W 電球 1 個とタオルの幅 9 cm×長さ 35 cm において、蒸散量は約 19g/h であった。

両装置を用いて寒冷下での雨衣着用あるいはテント居住に際しての結露量について測定したところ、透湿性布は非透湿性布より快適性において優れることが示された。

実験 3 の②の衣服内気候の推移を図 8 に示す。衣服内温度は、実験終了時には、内側は約 30℃付近、外側は 0℃付近にまで低下した。衣服内湿度については、絶対湿度であれ相対湿度であれ、両素材間に有意差は認められなかった。

衣服内温度は、内側および外側において次第に低下し、衣服内絶対湿度は、ほぼ定常を維持した。また生理的指標においては、直腸温が漸増する一方で、平均皮膚温は曝露期間を通じ低下を続けた。つまり、代謝産熱が効果的に外部に流出した為に発汗量は低水準となり、ひいては外衣素材における透湿性と非透湿性の違いの効果が生じなかったと推

察される。ただし寒冷曝露が長期にわたる場合は、透湿性素材の効果がもたらされることが予想される。あるいは、今回の実験条件に対し、作業強度の増大、作業時間の延長、クロー値の増大、室温の上昇、湿度の上昇といった要素を適宜組み合わせる実験を行うなら、両素材間の違いが明確になると考えられる。

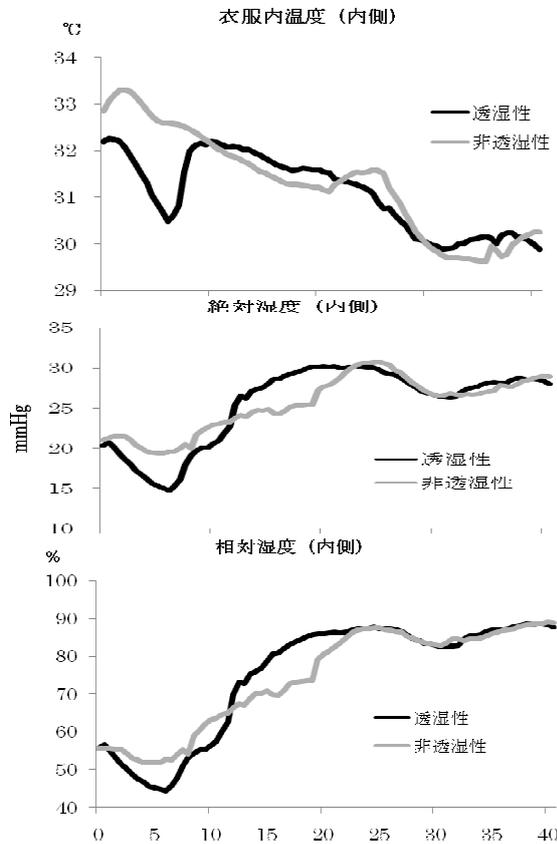


図8 零下15°Cにおける衣服内気候(内側)の推移

5. 主な発表論文等(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

- ①前田亜紀子, 山崎和彦, 栢原 裕, 登山のための装備品および被服類に関する調査研究, 日本生理人類学会誌, 査読有, 12(1), 49-56, (2007)
- ②前田亜紀子, 濡れた衣服着用時における生理・心理的影響, 繊維製品消費科学, 査読有, 49(4), 39-44, (2008)
- ③前田亜紀子, 特集<快適性>衣服内気候と快適性, 繊維学会誌, 査読無, 64(12), 424-427, (2008)
- ④前田亜紀子, 特集『スポーツウェアの今昔』登山服の今昔, 日本衣服学会誌, 査読無, 53(1), 21-24, (2009)
- ⑤前田亜紀子, 総説 野外活動と衣服, 被服衛生学, 査読有, 29, 2-8, (2009)

[学会発表](計11件)

- ①前田亜紀子, 他3名, 濡れた衣服の着用が及ぼす体温調節反応への影響, 日本家政学会, 2007年5月12日, 長良川国際会議
- ②前田亜紀子, 濡れた衣服がもたらす体温調節反応への影響, (社)繊維製品消費科学会, 平成2007年9月, 兵庫県民会館
- ③前田亜紀子, 他2名, 濡れた衣服着用時における温熱的快適性, 日本衣服学会第59回大会, 2007年11月, 福岡教育大学
- ④前田亜紀子, 他4名, 異なる寒冷環境下における衣服内気候, 日本生理人類学会第58回大会, 2008年6月, 大阪市立大学
- ⑤前田亜紀子, 他3名, 野外活動を想定した衣服内気候の評価, 日本生理人類学会第59回大会, 2008年10月, 実践女子大学
- ⑥橋田萌, 前田亜紀子, 他3名, 雨滴の発生装置および衣服が濡れる課程について, 日本生理人類学会第59回大会, 2008年10月, 実践女子大学
- ⑦鈴木亜純, 前田亜紀子, 他2名, 模擬的な降雨が温冷感に及ぼす影響, 人類動態学会第37回東日本地方会, 2008年11月, 武蔵野大学
- ⑧前田亜紀子, 他5名, 体温調節反応に及ぼす漸進的濡れの効果, 日本生理人類学会第60回大会2009年6月, 北海道大学
- ⑨齋藤千恵, 前田亜紀子, 他3名, 寒冷下作業時における被服内気候~透湿性素材の効果~, 日本生理人類学会第60回大会2009年6月, 北海道大学
- ⑩橋田萌, 前田亜紀子, 他2名, 発汗モデルを用いた結露現象の観察, 日本生理人類学会第60回大会2009年6月, 北海道大学
- ⑪前田亜紀子, 他4名, 衣服が次第に濡れて行くときの影響~主観申告と体温調節反応の関係~, 日本家政学会第28回被服衛生学セミナー, 2009年8月29日, 福岡

6. 研究組織

(1)研究代表者

前田亜紀子 (MAEDA AKIKO)
長野県短期大学・生活科学科
生活環境専攻・助教
研究者番号: 00286692

(2)研究協力者

山崎和彦 (YAMASAKI KAZUHIKO)
実践女子大学・生活科学部
生活環境学科・教授
研究者番号: 00145161