暑熱環境下における肌着の熱水分移動と温熱的快適性について

生活システム系教育専攻

０３Ａ７５０５　村山周子

指導教員　薩本弥生

１．研究目的：暑熱環境下、肌着の快適性のためには、衣服内を低湿に保つことが重要である。そのため、一般的に肌着は、吸水・吸湿性に優れ、手入れも容易で安価であるという理由から、木綿が良いとされてきた。図１のように人体からは発汗していなくても不感蒸散により水分が出ていて、木綿をはじめとする天然繊維や再生繊維は吸湿性があるため、蒸れにくいとされている。しかし、木綿は放湿性に乏しく、ぬれた後のべたつきなどの不快感や、冷環境で体温を奪ってしまうということもある。一方、最近では、吸水・速乾性を高めたポリエステル（以下PET と略す）などの合成繊維（以下合繊と略す）が、暑熱下の肌着として出回り始めた。そこで、本研究では暑熱環境下で運動した時に水分が外に逃げにくい温熱的に不快な状態を想定し、肌着の吸湿性が不快感をやわらげるバッファー効果があるか否かを調べる為、上着として不通気・不透湿性のカッパを着用した極端な環境で被験者実験を行った。さらに発汗サーマルマネキン（以下マネキンと略す）によるモデル実験を行い、素材要因および着衣の構成要因が着衣の熱水分移動性に及ぼす影響に関して明らかにすることを目的とした。

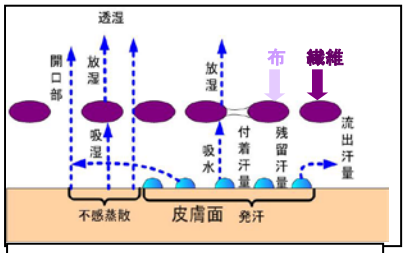

図１　着衣の熱水分移動の模式図

２．実験方法：実験試料として PET100%、PET85%吸湿合繊 15%、PET70%吸湿合繊 30%、綿 100%の４素材を用いた（以下順に PET100,PET85,PET70,綿 100 と略す）。被験者実験は温度 30℃･湿度 65%に設定した人工気候室で 2003 年 8 月に行い、被験者は健康な成人女子 3 名とした。温湿度センサー等を装着し、図 2 のように､肌着･カッパを着用して、熱水分移動に関する生理的測定

図２　被験者

を行い、主観申告も同時に行った。また、再現性を求め、表面温度や発汗量、発熱量を 18 の部位ごとに制御できる、図３のマネキンを用いた実験を 2004 年８月から 10 月に行った。目的に合わせて発汗量と表面温度、または発汗量と供給熱量が一定になるように制御し計８条件で実験を行い熱水分移動に関するデータを測定し、素材の吸湿性、吸水･速乾性による差がどの程度、衣服内気候に影響するのか検討した。

３．結果及び考察：被験者による実験を行った結果、図４のように、吸湿性の小さい素材着用時ほど、運動開始後の衣服内湿度の上昇のタイミングが早く、湿潤感の主観申告でも、吸湿性の小さい素材着用時ほど早く濡れていると申告している。また、カッパに残留した無効発汗量は、吸湿性が小さいほど多かった。これらのことから、発汗が生じる以前の衣服内が高湿になる環境では、吸湿性があることで衣服内湿度の上昇を遅らせることができるため、不快感をやわらげる効果があると考えられる。図５のように、平均皮膚温では、吸湿合繊を含む素材では運動後の温度低下が顕著であった。また、温冷感の主観申告でも、同様の傾向が見られた。これらのことから、運動終了後に放湿吸熱をしているのではないかと考えられる。衣服内湿度のフィット性による違いでは、図６のように、運動開始から、徐々に差が開き始め、運動終了後から実験終了までの間、大きな差があった。ルーズはタイトと比べ、身体と上衣との間にある空間が大きいため、(特に運動中は) ふいご作用により、換気されていることが考えられる。全ての実験において、カッパの有無による有意な差は得られたが、その他の計測データからは、平均値には差があったが有意な差は得られなかった。これは、個人差や同一の被験者でも繰り返しによる誤差が大きく、再現性の低さによるものと考えられる。

被験者実験で得られた傾向をもとに、発汗サーマルマネキンを用いて、被験者実験と同様の環境を作り、被験者実験で得られた傾向の裏づけ、さらに詳細な素材の比較を行うために実験を行った。発汗初期の吸湿発熱現象に関して、図７に衣服内湿度の相対変化量をグラフにて表したものを示す。綿 100 は最大変化量が４％あり、実験開始と同時に急激に衣服内の湿度を下げているのがよくわかるが､その現象は 15 分程度で反応の約８割が終了してしまう。PET70 は最大変化量が綿の約半分程度だが、約 40 分と長時間吸湿しているのがわかる。綿と PET70 のグラフの面積を積分すると、綿 100 は PET70 の 1.01 倍と両者の吸湿量はあまり変わらない。しかし、両者の経時変化にはかなり差があり、不感蒸散時の蒸れ感の解消には両者で感覚に違いを生じることになる。PET85 の最大変化量は PET70

の約半分で、反応終了までの時間も約 20 分と PET70 の約半分となった。これらの結果は、各素材の水分率に応じた吸湿が生じていることを示唆している。図８に、サーモグラフィーにより、可視化した映像から、特に変化の激しかった綿 100 と PET70 の温度変化をグラフにて表したものを示す。図７と合わせてみると、吸湿発熱の現象が確認することができた。汗を吸い取って乾いていくときの放湿吸熱現象に関して、図９に衣服内湿度の相対変化量をグラフにて表したものを示す。吸水・速乾性に優れた素材ほどピークに達したときの湿度が低いが、約 30 分後には素材による差はなくなった。また、図 10 に示す衣服内温度では、吸水・速乾性に優れた素材ほど、衣服内温度が下がりにくかった。図９の結果と合わせて考えると、放湿吸熱の現象が確認することができたといえる。

４．まとめと今後の課題:暑熱環境下、発汗開始時(蒸れる程度の微量の発汗時)には、吸湿性の高い素材は、衣服内湿度を下げ、衣服内を快適に保つことができる。しかし、発汗後、放湿するために皮膚温・衣服内温度が下がってしまい、夏場によく見られる冷環境に移動した場合、後冷えをおこしてしまうかもしれないという不安要素を抱えている。一方、吸湿性が小さい素材は、発汗開始時により早く衣服内湿度が上がり、ぬれていることから、不快感を伴う。また、発汗後も後冷えの心配は少ないものの、べたつきなどの不快感への影響が大きいのも問題であるといえる。本研究の結果からいえることは発汗以前の不感蒸散条件あるいは発汗の初期であれば吸湿性のある素材を着用することはそれによる吸湿発熱は比較的被験者の主観的不快感に影響せず、衣内湿度の上昇を抑制できることから比較的好ましいということである。しかし、発汗が続くといずれの素材でも吸湿できる容量をすぐに超えてしまうため、もはや吸湿による湿度上昇抑制による不快感緩衝効果は望めない。一方、吸水速乾性の素材の運動後の乾燥の早さは綿よりも優れている。後冷えの心配がある環境で発汗後を過ごす場合は吸水速乾性の素材がよりよいであろう。総合的に考えた上で、暑熱環境下、全ての環境でどの素材が一番適しているということは言い難い。素材の吸水･速乾性の効果、吸湿性の効果を念頭におきながら運動負荷、環境負荷、人の生理条件等の TPO を踏まえて選択する必要がある。また、いくら優れた熱・水分特性を持った素材でも水分で飽和状態になったり人体からの垢により汚染されたりすると初期性能は発揮できなくなる。状況が許すなら、肌着を着替えるという行為は大変重要なことである。発汗量・体重変化量・皮膚血流量・心拍数・乾性放熱量については、それぞれの計測機器にある程度の限界が感じられた。実験によ

って、良いデータが取れたものもあるが、毎回同じようにデータが取れなかったことが、最終的なデータ解析にかなり影響してしまった。また、モデル実験においては、発汗マネキンを全身一定に制御するということが大変難しく、人体を模擬しているとは言っても、やはり、被験者実験と同じ状況にするにはかなりの無理があった。さらに、モデル実験で使用した人工気候室は、被験者実験で使用した人工気候室よりもかなり広く、室内環境を一定に保つために、環境温湿度が振れてしまったり、風速も強くなってしまうなどの問題点もあった。

＜用語解説＞

吸湿性：液体ではなく、蒸気として出てくる水分（見えない汗・不感蒸散）を吸い取る繊維の性質のこと。天然繊維はこれに優れている。

吸水・速乾性：ポリエステルなどの合成繊維に多く、繊維自体がストローのような形状をしており､液体の水分をよく吸い取る。

放湿性：繊維が吸着した水分を外に逃がす性質のこと。

吸湿合繊：吸水・速乾性に優れた合成繊維に吸湿性を付与したもの。本研究では、アクリルを化学変性させた『アクリレート系合成繊維』を使用している。