遭難時における人体保温と被服の関係について

村山 雅己*・中橋美智子**

Relationship between Human Heat Retaining and Clothes at Marine Disaster

Masaki MURAYAMA and Michiko NAKAHASHI

Abstract

In the case of disaster, victims often become wetted, and many times, victims have to keep wearing on wetted clothes. Then wearing on wetted clothes may cause the hypothermia.

The authors measured the heat loss, ratio of contacted area on human body and adhesive force with wet clothes to investigate the thermal insulation characteristics of clothes materials.

The heat loss with wet cotton exceed about 30% by with wet wool. The ratio of contacted area of wet cotton on human body is about 3 times of the ratio of wet wool. The adhesive force of wet cotton is also about 3 times of the ratio of wet wool and other materials.

With these results, disadvantage of wet cotton underwear for thermal insulation is shown. When the clothes become wet, it is danger to wear the cotton underwear on bear body. It should be exchanged for outer wear except cotton materials.

1. は じ め に

船舶における遭難は、衣服が濡れた状態で救助を待つことが多く想定される。特に、海中に飛び込み、救命いかだに乗り込むなどの場合には、全身ずぶ濡れの状態になり、救助を待たなければならない。救命艇、救命いかだには、SOLAS 条約で決められている保温具などが装備されているが、濡れた衣服の上から装着する場合には、人体保温に対する十分な性能を発揮できるとは思えない。特に、寒冷地域では、衣服の濡れは保温性の低下、人体のエネルギーの消耗につながり、生死にかかわる問題となる。遭難時は心理的にも人体の保温は重要であり、保温の状態が生死の境目になることが多いと考える。

衣服が濡れている場合、肌着素材の相違が保温に大きく影響する。発汗によって肌着が濡れる冬山登山では、肌着の重要性が指摘されており、綿の肌着でなく毛の肌着を着用すべきであるとしている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。しかしながら、海での遭難に対して、登山のように最初から肌着を選定して着用しているということは非現実的であり、またほとんどの場合において、遭難者は一般的な綿の肌着を着用していると考えられる。

海での遭難では、ずぶ濡れの状態で、綿の肌着を着用しており、且つ着替えもないという状況を考えなければならない。この場合、肌着及びその他の衣服が濡れた場合には、どの程度保温性が低下し、また濡れた衣服をどのように着ればどの程度保温性を維持できるかが、手持ちの衣類で保温性を最大限保つに必要な知識となる。

本研究では濡れた場合における、衣服の熱損失、肌着の人体へのまとわりつき度合、肌着が皮膚へ密着する強さ、等を測定し、衣服が濡れた場合における人体の保温について検討した。その結果、若干の知見が得られたので報告する。

* 正会員 船舶機装品研究所 (〒189 東京都東村山市富士見町1-5-12)

** 正会員 東京学芸大学 (〒184 東京都小金井市貫井北町4-1-1)

2. 素材の組み合わせによる熱損失

衣服が濡れている場合、素材の相違によって保温性がどの程度差があるかについて、熱板恒温式保温測定装置を使用し消費電力を測定し、熱損失を評価する。

2.1 試料

消費電力の測定に使用した編み物地の試料の諸元を表1に示す。本実験では実際に使用されている素材について考察検討することを考慮し、綿ジャージは市販されている肌着を使用した(以下、綿の肌着を肌着という)。また、比較検討をする必要上、毛ジャージおよび合繊ジャージは綿ジャージとできるだけ同じ厚さの試料を選定した(以下、綿肌着以外の毛、合繊および綿の上着を上着という)。素材の組み合わせは表2に示す5組を用いた。

表1 試料の諸元

項目		編み物地			織物地	
		綿ジャージ	毛ジャージ	合繊ジャージ	綿ブロード	毛モスリン
組成		一目ゴム編み	一目ゴム編み	一目ゴム編み	平織り	平織り
素材 (%)		綿 100	毛 100	*ポリエステル 100	綿 100	毛 100
糸密度 (目・段/cm 又は 本/cm)	ウェル	20	17	13	47	28
	コース	19	17	19	25	25
厚さ (mm)		0.56	0.77	0.64	0.22	0.23
平面重 (g/cm ²)		0.019	0.023	0.020	0.014	0.010
通気量 (cc/cm ² /sec)		108	179	325	14	84
最大吸水量 (g/cm ²)		0.07	0.09	0.06	0.02	0.01
最大吸水率 (%)		342	338	276	104	115

表2 実験素材の組み合わせ

組み合わせの記号	A	B1	B2	C1	C2
上: 外気面側	綿ジャージ	毛ジャージ	綿ジャージ	合繊ジャージ	綿ジャージ
下: 熱板(皮膚)側	綿ジャージ	綿ジャージ	毛ジャージ	綿ジャージ	合繊ジャージ

2.2 保温測定装置

布の保温性を測定する方法及び機器には、熱板恒温式の ASTM 法によるものがある。しかしながら、市販されている機器は本来乾燥した試料を測定することを目的としており、本実験の目的である濡れた試料を測定するにはパワーが小さく不向きであることから、図1に示す熱板恒温式の保温測定装置を試作した。皮膚を想定した熱板に熱量を与える方式は、熱板を直接ヒータで暖める形式ではなく、均一に熱を供給することを考慮して、熱風を循環させることにより、熱板に熱量を与える構造を採用した。

熱板は、150×150×5 mmのアルミニウムで作成し、熱板中心に埋め込んだ熱電対によりコンピュータで36℃一定となるよう制御するとともに消費電力の測定ができるようにした。熱風を循環させるボックスは、熱損失をできるだけ防ぐために周囲を断熱材で保温し、さらに熱板上部にファンと風洞を設け、一定の風速で空気を循環させる構造とした。。また、試料面をファン以外からの風の影響をできるだけ防ぐ目的から、装置全体をビニールシートでカバーした。

2. 3 実験方法および手順

ずぶ濡れになった状態から一度着衣を脱ぎ、衣類を絞って再度着込むことを想定して実験を行った。

まず最初に、15cm 角の肌着および上着の試料を完全に湿潤させるために40℃の温湯を用い、十分に浸漬後取り出し、各試料毎に水分量が一定になるように同一条件で絞った。重量を測定後、装置の熱板に設定し、表面を均一にする目的で軽くローラをかけた。消費電力は1分毎30分間連続して測定した。そして、実験後の試料の重量を測定することにより30分後の水分移動量を測定した。また、15分後の水分移動量は別に15分間のみの実験を行い測定した。

実験は人工気候室で行い、室温20℃、相対湿度60%とした。試料面にあてる気流は、膨張式救命いかだ等の内部にいることを想定し、室内気流として25cm/secとした。

2. 4 実験結果

図1 試作熱板恒温式保温測定装置の概要

図2 濡れた試料の組合わせによる消費電力

2. 4. 1 濡れた衣服の消費電力

図2に濡れた試料設置後30分間の消費電力を示す。初期5分間において消費電力の値が高いのは、試料を环境温度の20℃の状態を設置するからである。また、実験開始20分後あたりから消費電力が徐々に低下しているのは、試料に含まれた水分が蒸発し、保温性が復活するためである。素材の相違による消費電力の差は明確であり、特に肌着を下にした場合と、上着（綿素材を除く）を下にした場合との差は大きいことが確認された。

比較的安定した部分である実験開始5分から20分までの平均消費電力を、棒グラフにしたものを図3に示す。各組み合わせ試料の差は明確であり、危険率1%で統計的な有意差があった。

2. 4. 2 水分移動量

図4に、消費電力の測定における15分後と30分後の水分移動量を百分率で表示したものを示す。図3の消費電力の結果と同じく肌着が下にあるB1, C1の場合には、消失した水分も多い結果となった。また、肌着が上にあるB2, C2の場合には、肌着の水分は初期より多くなっており、時間とともに多くなる傾向が見られた。こ

図3 濡れた試料の組合わせによる平均消費電力

れは、綿は吸水性も吸湿性も優れていること、そして、毛には吸湿性はあるものの繊維表面に撥水性があること、合繊はもともと繊維自身の吸水性が小さいなどが理由と思われる。

4. 素材による濡れ面積の人体実験

消費電力の測定では、前述のように熱板に試料を設置した後、軽くローラをかけ表面を均一にして実験を行った。実際に衣服を着用した状態では人体と衣服の接触面積も保温性に大きく影響する。本実験における濡れ接触面積は、濡れた試料を人体の背部に設置し、目視および写真撮影による陰影の状態から、皮膚と試料が接触している面積および百分率を求めた。

3.1 試料

試料は、消費電力の測定で使用した綿ジャージおよび毛ジャージのほか、素材による差を検討する目的から、表1に示す厚さおよび織り方が同一である綿ブロードと毛モスリンを追加した。また、目視および写真撮影による測定のため、消費電力の測定で使用した合繊ジャージは、張り付き部分の判定が困難であったことから除外した。

3.2 実験方法および手順

実験は表3に示す健康な男子2名の被験者によって行った。被験者は安静状態とし、若干前屈で座位とし比較的偏平な背部を試料面として実験を行った。

図4 実験開始15分後と30分後の水分移動量

表3 濡れ面積の測定における被験者

被験者	年齢(才)	身長(cm)	体重(kg)
A	36	162	59
B	22	175	68

試料は30cm角とし、消費電力の測定の手順と同様に40℃の温湯に十分に浸漬後、1分間持ち上げて余分な水分をきり、ヒトの背部に設定した。

試料を設定5分後に写真撮影をおこなう、その後両上肢を内旋屈伸させることにより、試料貼布面である背部を伸展屈曲により変動させ、その状態を観察、撮影をおこなった。

(a) 綿ジャージ

(b) 毛ジャージ

図5 安静状態における濡れ接触部分の比較

(c) 綿ブロード

(d) 毛モスリン

図5 安静状態における濡れ接触部分の比較

(a) 綿ジャージ

(b) 毛ジャージ

図6 動作後における濡れ接触部分の比較

(c) 綿ブロード

(d) 毛モスリン

図6 動作後における濡れ接触部分の比較

撮影した写真から、皮膚に接触している部分と空気層のある部分との区分けをおこなって、各々の面積を割り出し、濡れ接触面積率を算出した。

3. 3 実験結果

図5は各試料を背部に設置し、安静状態のまま5分間放置した後の写真である。目視による確認と写真から濡れ接触面積率を計算した結果、綿ジャージは皮膚に接触している部分が52.4%、綿ブロードは67.9%、毛モスリンが14.2%であり、毛ジャージは測定不能であった。毛ジャージはほとんど張り付かず、ずり落ちるため上部を接着テープで固定したほどであり、綿ジャージの濡れ接触面積が明らかに大きいことが認められた。また、素材のみの比較としても、毛モスリンはしわがよる傾向が確認され、綿ブロードの1/5程度の濡れ接触面積となっており、毛素材が皮膚との間に空気層を多く保つことが認められた。

図6は、試料を背部に設置後、軽くローラをあて皮膚に密着させてから5分間放置し、その後両上肢を屈伸させ、試料面である背部を若干動かした後の写真である。図7は、写真から皮膚に接触している部分を黒く塗り分けて模写した図である。綿ジャージは背部を動かしてもほとんど皮膚から離脱せず、86.9%の濡れ接触面積であり、毛ジャージは動きの少ない背面下部のみが残り、23.7%であった。綿ブロードと毛モスリンは、繊維のため伸縮性がなく、かなりの部分が剥がれたが、綿ブロードは37.7%であり毛モスリンの24.9%より明らかに大きな値であった。

4. 素材の密着力

濡れ面積の人体実験は実施できる素材の範囲が狭く、毛ジャージおよび合繊ジャージについての測定が困難であった。そのため、素材の密着力を測定することにより、素材の接触面積、言い替えれば人体へのまとわりつきの程度に関する評価を試みた。

濡れた肌着が皮膚に張り付いた場合の密着強さ測定は、実験例および方法が皆無であることから、引張り試験機を用いて試料中心を引き上げる方法を試みた。

図8 密着力の測定の概要

黒：肌密着部分

図7 動作後における濡れ接触面積率

(a) 綿ジャージ (b) 毛ジャージ
(c) 綿ブロード (d) 毛モスリン

4. 1 試料

試料は、表1に示す消費電力の測定と人体実験に用いた試料を試験布とした。

4. 2 実験方法および手順

密着力測定の概要を図8に示す。15cm 角の試料の中心にスチール線を通し、消費電力の測定と同様の方法に

図9 密着力の測定状態

図10 密着力と水分量の関係

より大きな水分量で $1/3$ 以下であった。

この密着力は通気性が失われることが主な原因で生じる。織物は、編み物に比較して荷重が大きい傾向にある。織物素材は伸張しないことから織り目の隙間が発生しにくく通気性が回復しないためである。この傾向は、綿ジャージと綿ブロードの比較において顕著であり、綿ジャージの最大密着力約 800 gf に対して、綿ブロードの最大密着力は約 1,800 gf の値となっている。しかしながら、綿ジャージの試料による最大密着力は、織物であるモスリンよりも大きい値となっており、綿素材の密着力が大きいことが認められた。

5. 考 察

実験に使用した保温測定装置は試作機であり、皮膚を模擬した熱板以外への熱の損失が多少あると考えられる。しかしながら、実験結果では試料による差が明確にあらわれ、統計的にも有意差が認められた。消費電力の実験によって得られたことは、綿と他の素材を組み合わせた場合には、綿が下にきた場合、つまり綿の肌着を肌に直接着込んでいる場合には、熱損失が大きくなるということである。そして、例えば毛の上着を肌に着込み、綿の肌着をその上に着用した場合には、消費電力が他に比して少ない、つまり熱損失が小さく保温性がよいことが確認された。

図4の水分移動量では、綿の肌着が下で毛又は合繊の上着が上にあるB1、C1の場合には、綿の肌着から多くの水分が消失しており、且つ毛又は合繊の上着からも水分が消失している。これが、逆の着装つまり毛又は合繊の上着が下になった場合のB2、C2では、毛又は合繊の上着から水分が消失するのは当然であるが、上にある綿の肌着からは水分消失が見られず、逆に水分量が増加した。この結果から考察できることは、B1、C1の場合のように綿の肌着が下にある場合には、B2、C2と比較して衣類の温度が比較的高くなっているということである。水分を含んだ衣類の温度が高ければ、水分気化などが促されて潜熱を多く奪われていることになる。

衣服の保温性を考察する上で衣服内の空気層の影響は大きい。衣服が乾燥している場合には、十分な空気層が肌と衣服の間に存在しても、濡れた場合には衣類がまとわりついて空気層が減少すると思われる。このまとわりつきの程度を評価するために、人体の背中を利用して濡れ接触面積の測定実験を行った。しかしながら、厚さの薄い織物地は、はっきりと皮膚と接触している部分が確認できるが、厚さの厚い物、特に色物は識別が困難であった。図5は、皮膚と素材の密着を強制する圧力を加えずに行った結果であり、図6は、ある程度皮膚と素材の密着を強制し、且つ多少の動作をさせて素材をひき剥した結果である。実際の条件では、この両方の部分が存在すると考えられる。

人体実験での濡れ接触面積測定は、素材の適用範囲が狭いことから、素材の密着力を測定することにより、人体へのまとわりつきの程度を評価することを試みた。図10に示すとおり、綿素材の密着力が大きいこと、他、織

よってガラス板上の平面に試料を設置する。そして、図9のように引張り試験機によって、引張り速度200mm/minにより上方へ引き上げ、引張りに要する最大荷重（以下密着力と言う）を測定した。

4. 3 実験結果

図10に試料を引き剥すに要した密着力と試料水分量の関係を示す。どの試料も水分量が多くなるほど密着力が大きくなる傾向が見られた。ただし、最大吸水付近になるとかえって水の上を滑る状態となり、若干密着力が低下した。

密着力が最大であるのは、綿ブロードであり僅か0.02g/cm²程度の水分量で密着力が急な立ち上がりを見せた。同じ織物である毛のモスリンの密着力は、綿ブロード

物地の密着力が大きい。これは、盛夏時に汗をかき、Yシャツが肌に張り付く経験をするだけでも理解できる。

皮膚と肌着の接触には、濡れ接触面積の測定と素材の密着力の測定で行ったマクロ的な接触の他に、ミクロ的な接触がある。ミクロ的な接触は、試料表面の状態、特に毛羽の状態に影響されると考えられる。図11は、乾燥した試料と濡れた試料の表面を万能投影機で拡大した写真である。毛の場合には濡れても毛羽が保持されており、合繊も若干保持されているのに対し、綿の場合には毛羽はほとんど見られないことが確認された。この結果から、綿はミクロ的にも接触率が大きく、消費電力が高いことを裏付けている。

6. お わ り に

消費電力の測定結果から、綿は、濡れてしまった場合に他の素材と比較して、消費電力が大きいことがわかった。また、同じ組み合わせの衣類を着用していても、着る順番を替えると消費電力が違うことも確認された。さらに、綿と毛の組み合わせ試料において比較すると、綿を下にした方が毛を下にするよりも、約30%程度消費電力が増えるだけである。しかし、綿は毛の上着よりも約3倍の面積率で皮膚にぴったり接触しており、実際の衣服においてはより多くの熱損失があることがわかった。

人体実験による濡れ接触面積の測定結果は、素材の密着力の測定でも裏づけられており、綿の最大密着力は毛の最大密着力の約3倍であった。また、濡れ接触面積の測定ができなかった合繊も最大密着力は、毛よりも小さいことが確認された。

これらの実験結果は、海の遭難で濡れて救助を待つ場合、綿の肌着は直ちに脱ぐべきであること、そして、濡れていても他の素材を肌に直接着込むべきであることを示唆している。ずぶ濡れになり、着替えがなくとも、着用している衣服の順番を替えることで、人体の熱損失を最小に抑えることができる。肌に直接着込むものが一番熱損失に与える影響が大きい。素材が不明の場合には、同じ温度であっても接触熱抵抗の高い物は暖かく感じることから⁽¹⁰⁾、触ってみて暖かく感じるものから着用する。毛のセータなどを肌に直接着れば保温に対して効果的である。

質 疑 応 答

福地 章(海技大学校)：消費電力が多いと体に悪い影響を与えるということですが、この消費電力と人体に及ぼす関係について具体的な数字があれば教えていただきたい。

村山雅己：保温測定機による実験での消費電力は人体での熱損失に相当します。実験に使用した保温測定機は、試料差が確認できることでよしとしたため、多少試料面以外への熱損失があります。そのため、実験で得られた消費電力をそのまま、人体に使用した場合の熱損失であるとするわけにはいかないと思いますが、目安にはなると思います。

人間の産熱量は代謝と呼ばれ一般に目覚めているが静止している状態で $50\text{kcal/m}^2\cdot\text{hr}$ と言われ、1 metで表します。軽い運動で、 $100\sim 180\text{kcal/m}^2\cdot\text{hr}$ 、重労働で $280\sim 380\text{kcal/m}^2\cdot\text{hr}$ 、と言われていています。具体的な例としては、軟らかい雪上を20kgの荷重を背負って 2.9km/hr で歩行すると $1,242\text{kcal/hr}$ のエネルギーを消耗する

(a) 綿ジャージ

(b) 合繊ジャージ

(c) 毛ジャージ

図11 万能投影機による表面状態
(乾燥した試料と濡れた試料の比較)

との測定例があります。このように、人間は熱を発生するわけですが、ではどのくらいの熱を奪われると人体に悪影響が現れるかについては、あまり多くの文献がありません。

一例としてですが、実際の熱損失での約80kcal/m²が、ひどく不快感を感じることなく耐えることのできる最高損失値であるという文献⁽¹¹⁾があります。なお、具体的には次式を使用して計算することになります。

$$0.75 q_m + 80 \text{kcal/m}^2 \quad q_m : \text{代謝}$$

参 考 文 献

- (1) 中橋美智子, 村山雅己, 鄭如伶: 濡れた肌着の重ね方法の相違が効果的な着干しと保温に及ぼす影響について, デサントスポーツ科学, 11, (1990)
- (2) 村山雅己, 中橋美智子, 戴争: 雨合羽の快適性について—裏面の結露に関連して—, デサントスポーツ科学, 12, (1991)
- (3) 中橋美智子, 村山雅己, 鄭如伶: 濡れた衣服の着装方法の相違が保温性に及ぼす影響, 東京学芸大学紀要, 第6部門 産業技術・家政 第43集 (1991)
- (4) 高野倉睦子, 新野静枝: 布の濡れに関する衛生学的研究, 共立女子短期大学家政科紀要, 28 (1985)
- (5) 安田 武, 田中宮子, 山内和子, 渡辺恵子: 登山用肌着の吸水性に関する考察, 織消誌, 4, 150 (1963)
- (6) 安田 武, 高松ゆみ子, 乾 順子: 登山用肌着の吸水性に関する考察(第2報), 織費誌, 9, 337 (1963)
- (7) 三ツ井紀子, 酒井豊子, 中島利誠: 運動中の衣服下気候と着心地に及ぼす繊維の影響, 日生氣誌, 23, 35 (1986)
- (8) 諸岡晴美, 諸岡英雄: 肌着材料の熱および水分移動特性, 織消誌, 27, 495 (1986)
- (9) 近土 隆: 羊毛の構造と湿潤熱, 繊維工学, 38, (1985)
- (10) 川端季雄: 布の熱・水分移動特性測定装置の試作とその応用, 織機誌, 37, T130 (1984)
- (11) 人間—環境系編集委員会編: 人間—環境系, 上巻, 人間機能データブック, 人間と技術社, p. 256, (1972)