

寒さと衣服の役割

田村 照子¹⁾

1) 文化女子大学被服衛生学研究室

Clothing, protection to cold environment

Teruko Tamura¹⁾

1) Laboratory of Clothing Hygiene, Bunka Women's University

I. 衣服—持ち運び可能な空調システム

ヒトは衣服なしでどの程度の寒さに絶え得るのか。オーストラリアやアフリカの原住民は氷点近くの野外の焚火の近く、裸体に近い服装で熟睡できるとの報告がなされている。しかし、現代の文明社会に生きる者にとって、衣服なしで快適に生活できる気温はせいぜい25℃程度で、それ以下の気温下では衣服又は住居・空調が必要となる。

これだけ暖冷房が発達した現代社会であるから衣服の役割は小さいように思われるが、衣服が他の環境制御法と異なる点は、まず第1に、人間1人1人に対する個別調節であること、第2に人体と共にどこへでも持ち運び可能であること、第3に着脱という簡便な方法で、外部環境の変化にも、運動という内部環境の変化にも容易に対応し得ること、第4に省エネルギー・無公害であること等があげられる。特に個別調節であることは、複数の人間が滞在する室内空間の制御法の問題点を補うものとして重要な意味をもつ。人間の体温調節能力は、年齢、性別、体格、耐寒耐暑性

活動レベル、生理周期等による個体差が大きく、特に脊髄損傷者など体温調節障害をもつ人の環境適応においては衣服に対する配慮が重要である。また、持ち運び可能という利点は、特に空調のできない戸外で発揮される。表1は極端な寒冷下での滞在を余儀なくされる人々の着衣を調査した例であるが、このような戸外での作業やスポーツでは衣服こそが寒冷から身を守る唯一の手段となる。本稿では、寒冷下におけるヒトの体温調節特性から見た衣服のあり方について述べたい。

表1 寒冷地着衣調査事例

調査場所	頭・頸部	上体部	下体部	手部	足部
富士山 測候所 -30~30℃, 20m/s	目出帽 アノラック ヘルメット マフラー	W+Cメリ下着 セーター アノラック (二重) ダウンジャケット	Wメリ下着 厚手ズボン アノラック (二重)	薄手袋 厚手袋 オーバースタッド	C+Cくつ下 Wくつ下 靴 スパッツ
旭川 保健課 -25~26℃, 風, 雨	アノラックフード ヘルメット	Cメリ下着 セーター 厚手作業着 (アノラック)	Cメリ下着 Wメリ下着 ももひき 厚手作業着	軍手 毛皮手袋	C又はWくつ下 厚手Wくつ下 ボア付ゴム靴
南水洋捕鯨船 -10℃, 風, しよき	タオル 耳付帽子 ヘルメット 毛糸の首巻	Cメリ下着 厚手セーター 作業衣 防水ヤッケ	毛ももひき 厚手作業ズボン	軍手 皮手袋	つり用ゴム長
本栖湖 モーターボート -10℃, 80km/hr, しよき	C帽 ヘルメット	薄手C下着 厚手C下着 ジャージ カッパ	下着 ジャージ カッパ	薄手2枚 ビニール手袋	ゴム ウェットブーツ
ニューヨーク市民 -20℃	耳隠し 帽子	長袖Tシャツ セーター ダウンジャケット	Cメリ下着 Gパンダウ	手袋	Wくつ下 ロングブーツ フェルト付 厚手ゴム靴
ブタベスト市民 -20℃	帽子	裏毛皮Wコート	裏毛皮Wコート	裏うち手袋	裏毛皮Wブーツ

ただし、Wは毛を、Cは綿を、メリはメリヤスを表す

別刷請求宛先: 田村 照子

〒151 渋谷区代々木3-22-1 文化女子大学 被服衛生学研究室

Reprint Requests to Teruko Tamura, Department of Laboratory of Clothing Hygiene, Bunka Women's University, 3-22-1, Yoyogi, Shibuya, Tokyo 151 Japan

II. 寒冷下におけるヒトの体温調節と衣服

1. 自律性体温調節と行動性体温調節

ヒトの体温は産熱量 (M) と放熱量 (皮膚からの放熱 $H = H_d + H_e$ と、呼吸気道からの放熱 H_{res} の和) のバランスによって一定に維持される。すなわち、

$$M = H_d + H_e + H_{res}$$

ヒトはこの体温調節を、自律性と行動性の2つの方法によって行っている。自律性体温調節は、外界からの温度情報および体深部の温度情報が視床下部に伝えられ、これによって生理的、不随意的反応を生じるもので、皮膚血管の拡張・収縮反応、発汗反応、代謝亢進、ふるえなどの反応により恒体温を維持するしくみである。一方、行動性体温調節は、皮膚からの温度情報や体深部温の上昇・下降が、大脳皮質で熱い、冷たい、暑い、寒い、不快などの感覚として認識され、これを引き金として随意的に起こす反応で、寒いという認識は衣服を着る、暖房を入れる、等、いずれも放熱を抑制し体温低下を防ぐための行動を引き起こす。行動性体温調節は体温の粗調整を、また自律性体温調節は、体温の微調整を担っている。衣服の着脱は体温調節行動の代表的なものである。

2. 体温調節における入力情報

—皮膚における温度感受性—

ヒトの体温調節行動は、ヒトが外界の温熱情報、すなわち、気温、湿度、気流、放射熱の複合した情報を皮下に分布する知覚神経終末によってキャッチすることから始まる。この情報が視床下部や脊髄その他からの情報と統合されて体温調節系の駆動要因となる。では皮膚の温度感受性は全身一様であるだろうか。もし身体部位によって感受性が異なるとすれば、体のどの部分を暖めるとより快適に感じるのだろうか。著者らは、まず、人体各部に約10℃のプロープ（鉄製直径2 cm）を接触させたときの、冷温感覚の強さをシェッフエの一対比較法によって調査した¹⁾。また、ヒトの皮膚上に2 cm平方2 mm格子のスタンプを押し、その各格子内の冷点密度（冷感覚の密度で、神経終末密度と深い関係がある）を調べた結果^{2,3)}との関係を調べた。結果は図1が示すように、手掌と足底

という無毛部を除いて、冷感覚の感受性と冷点密度の間には高い相関があり、全体として顔面部、体幹部特に腹部は感受性が高く（金太郎の腹がけ、腹巻などはこれを保護するもの？）、下腿部が最も低いこと（女性が冬でもスカートで耐えられる理由？）が明らかにされた。さらに、図2は20℃の気温下（裸体では極めて寒い）でぬいぐるみ状の衣服の一部をとりはずし、皮膚を冷気にさらした時の全身の皮膚温変化を調べたものである⁴⁾。これによれば、四肢を露出しても体幹への影響はないが、それより面積の小さい体幹を露出すると露出部のみならず四肢の皮膚温も低下する。体幹部は冷感受性が強いばかりではなく、四肢への波及効果も大きいことがわかる。

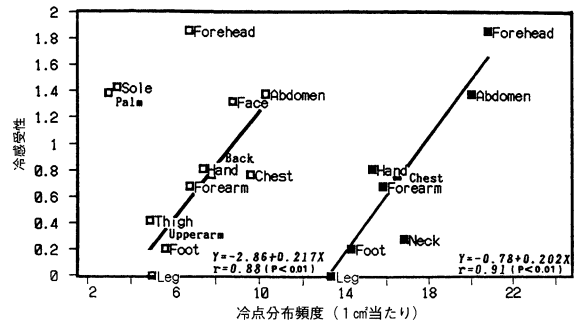


図1 人体各部の冷感受性と冷点分布密度との関係

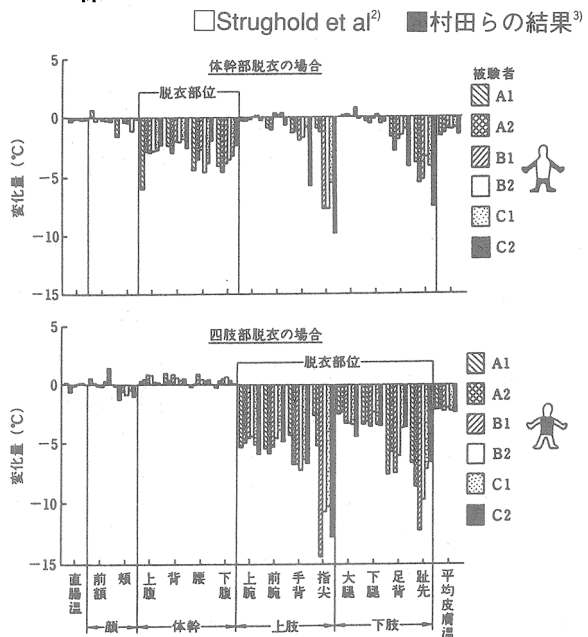


図2 体幹および四肢の脱衣に伴う各部位皮膚温の変化

3. 体温調節における出力調節

一皮膚温の変動 (乾性放熱の調節) 一

人体から外界へ放散される乾性放熱量はおよそ皮膚温と外気温の差に比例する。そこで、寒冷から暑熱にわたる各種環境下におけるヒトの皮膚温分布を調べると、体のどの部分からどの程度の乾性放熱が起こっているかを知ることができる。また、体の各部位における乾性放熱の調節力が予測できる。女子大生30名にブラジャーとショーツのみの状態で、気温22℃から34℃まで3℃間隔に設定した室に各2時間、日を替えて滞在してもらい、その皮膚温の変化をサーモグラフィで撮影した結果をみると、全員が「寒い」と申告した22℃では、四肢が付根から末端になるにつれて低下し、特に手、足、鼻、頬、上腕後面、臀部、膝などは著しい低温を示す。いずれも冷えやすい部位として日常経験している部位である。反対に頸、背中央、上腹などは高温を示し、この部位からの乾性放熱が大きいことがわかる。「暑くも寒くもない」と中立申告の多かった28℃では、上肢の付根から指先までの温度がほとんど一定となる。全員「暑い、汗ばんでいる」と申告した34℃下では、全身の皮膚温が32.5~36.0℃の狭い幅に入るが、手、足、鼻、頬が高温を示し、低気温下で高温を示した上腹や背中央部皮膚温は、発汗により低温となる。これらの部位別皮膚変動を主成分分析およびクラスター分析してみると⁵⁾皮膚温変動は小さい順に頭、体幹、腕脚、手足の4群に分類された。

温熱生理学の分野では、皮膚温に最も関係の深い皮膚血流量の調節系を「血管作動性神経支配のほとんどない頭や前額」、「能動性血管拡張神経支配による体幹と四肢中枢」、「アドレナリン作動性の交感神経支配による四肢末梢と耳・鼻・唇」の3群に分類しているが、腕脚部の皮膚温は、体幹と手足の間であって、その皮膚温変動は結果的に両者の中間型として別群を形成したものと思われる。

四肢は円筒状で体幹に比べて曲率半径が小さい。したがって熱伝達係数が大きく、わずかな温度変化でも乾性放熱量が大きく変化するため、上述のように四肢の皮膚温変化が大きいことは四肢が体温の調節器として大きな役割をもっていることを

意味する。手足は、いわば体温維持の犠牲となつて、寒冷下では身体中で最も冷たく、暑熱下では最も熱くなり、体表からの放熱量を調節する役目を負っている。このことは、寒冷下で低体温化しやすい老人や、脊髄損傷者のサーモグラムと比較するとさらに理解しやすい。脊髄損傷者の下肢サーモグラムと健常者のそれを同一環境下で比較すると、両者の明暗パターンが逆転し、脊損者では、膝、足部の血管収縮反応が欠如していること、そのため寒冷下での放熱抑制がなされず、直腸温が気温低下とともに低下することが示されている⁶⁾。

老人の結果はこれほど明確ではないが、青年層との比較では明らかな血管収縮反応の機能低下が認められる。老人の場合、さらに長時間寒冷下に滞在すると手足の皮膚温が著しく低下する。いわゆるオーバーシュートが起こることが報告されている⁷⁾。

一般に、「冷え」の自覚は不快なものであるが、冷えを感じやすい部位は、冷えやすいのみならず、いったん冷えると戻りにくい性質を示す。筆者らは、人工気候室の気温を15分ごとに2℃の割合で低下させ、被験者が「寒い」という申告をすると、反対に気温を上昇させていった場合の人体各部皮膚温の変化を調べ、手足、特に足や膝、臀部など冷えを感じやすい部分の回復が悪い結果を得ている。また、手足には凍傷などを防ぐための防御機構があり、指先または趾先の皮膚温が上昇し、ふたたび低下、上昇を繰り返し、それ以上の皮膚温低下を防ぐ、いわゆるハンティング反応がある。女子学生30名を対象に、このハンティング反応を調べてみると、日ごろ「冷えやすい」という自覚をもつ群は、もたない群より抗凍傷指数が低い側に分布する結果が得られた。抗凍傷指数は従来耐寒適応の指標とされており、「冷え」感は、耐寒性の低下を示すともいえる⁸⁾。

Ⅲ. 衣服による寒さ対策

1. 衣服気候の形成

ヒトは寒さに弱く、これを補助するのが衣服である。衣服は、人体表面をおおって、皮膚からの乾性放熱・湿性放熱を調節し、衣服内に外界とは

異なった衣服気候を形成する。衣服最内層の皮膚に接する部分の衣服気候と快・不快の関係は、衣服最内層、すなわち衣服と皮膚の間の層の温度が 32 ± 1 ℃、湿度 $50 \pm 10\%$ の条件付近に快適域があり、これから離れるほど不快となる⁹⁾。快適に着衣するという事は、外界の気候にかかわらず、皮膚の周囲に、このような乾いた暖かい気候を形成するための、一種の体温調節行動である。また衣服気候の測定が、その着衣の快・不快を判定する目安ともなる。ただし、この結果は、運動時などの過度の状態下では当てはまらないとの報告もある^{10,11)}。

2. 衣服の熱抵抗

人体からの乾性放熱の調節は、衣服の熱抵抗 (Thermal resistance, R_d) つまり保温力による。衣服の保温力を表す単位にはクロール値が用いられる。1クロールとは、気温 21.2 ℃、湿度 50% 、気流 $10\text{cm}/\text{秒}$ の室内で静かに椅子に座っている人が快適に感じる程度の保温力で、 $0.18\text{℃} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{hr} / \text{kcal}$ または $0.155\text{℃} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ の熱抵抗値に相当する。衣服のクロール値の測定にはサーマルマネキン (図3) が用いられる¹²⁾。サーマルマネキンは、

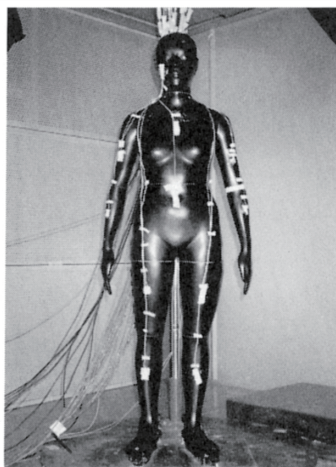


図3 文化女子大学サーマルマネキン“AYA”

等身大の人体模型で内部にヒーターが入れられ、人体と同様の皮膚温分布をもつように電氣的に制御されている。ある衣服のクロール値を測定するには、測定しようとする衣服をマネキンに着せて、一定時間放置し、その間の電力消費量 (供給熱量)、マネキン表面の平均温度、気温を測定し、次式によって求める。

$$R_d = (\bar{t}_s - t_a) / H_d \quad (1)$$

$$I_{cl} = (R_d - R_{cl}) / 0.155 \\ = (R_d - 0.12) / 0.155 \quad (2)$$

ここで R_d は衣服の全熱抵抗値 [$\text{℃} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$]、 \bar{t}_s

は平均皮膚温 [℃]、 t_a は気温 [℃]、 H_d は消費電力量 [W / m^2]、 I_{cl} は衣服のクロール値 [clo] (有効熱抵抗)、 0.155 はクロール値への換算係数、 R_{cl} はマネキン周囲の空気の熱抵抗値で室内では約 0.12 [$\text{℃} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$] の値を示す。 R_{cl} は裸状マネキンで実測してもよい。Olesenは市販衣服のクロール値の実測結果を示し、これら単品ごとの衣服を組み合わせさせて着衣した場合の着衣のクロール値は、単品クロール値の和で求められるとしている。一方、気温と労働強度に応じた被服のクロール値の関係も示されている¹³⁾。以上を組み合わせることにより、ある気候に適したクロール値、そのための組み合わせ着衣を求めることができ、反対に、ある着衣が与えられたとき、その着衣のクロール値およびその適応気候を求めることもできる。

3. 衣服による効果的な寒さ対策

1) 布地の含気性と保温性

衣服は、繊維を主たる原料とするものであるが、衣服の熱抵抗 (保温性) は、単に繊維の性質のみで決まるものではない。各種物質の熱伝導率をみると、繊維は比較的熱伝導率が小さい物質である。しかし、静止空気はさらに熱伝導率が小さく、熱の不良導体であること、一方、水は空気の25倍も熱を伝えやすいことがわかる。したがって寒さ対策としては、繊維内部・繊維間・衣服各層間など、生体と衣服表面との間にさまざまな形で存在する空気をできるだけ静止状態にする工夫をすること、また濡れて空気と水が入り替わるのは禁物といえる。布地の熱抵抗は、布地の一定面積に含まれる空気の量 (含気率 \times 厚さ) にほぼ比例して増加する。しかし、その含気形態が布の表裏に貫通している直通気孔の場合は、空気が流動しやすいため、風のある環境では熱抵抗が低下しやすい。含気形態が繊維間や繊維内部に細分化されたり独立気孔である場合は、安定した熱抵抗を示し、有風下でもすぐれた保温性を示す。

2) 衣服デザインによる静止空気層の形成

寒さ対策としては、衣服のデザインもまた重要である。すなわち、衣服によって体を覆う面積 (被覆面積)、衣服のゆとり (衣服下空気層の厚さ)、衿や袖口、裾などのあき (開口)、重ね枚数や重

ね方、スカーフやベルトのような類被服の使い方などで、生体と衣服の間に静止空気層をつくるのが原則である。

3) 効果的な保温

IIで述べた通り、ヒトの冷感受性は、顔面、頸(とくに後面)、体幹で高く、四肢ではこれより低い。また、冷気に暴露したときの波及反応も体幹で大きく、四肢では冷却部位のみの皮膚温低下にとどまる。さらに、寒冷下での皮膚温分布も体幹で高く、四肢で低いため、乾性放熱量は体幹からのそれが大である。これらを総合すると、寒さの効果的な対策は、まず体幹部をしっかり保温することである。さらに寒いときは、四肢を覆うことで大きく保温性を高めることができる。手や足の保温は、あくまでも「冷たくて不快」な状態にしない程度を考えればよい。なお、顔面は冷感受性が強いものの全身の温冷感への関与は小さく、むしろ外界の情報に対するアンテナの役割を果たすと考えられるが、極端な寒さでは、頭部の保温も放熱抑制上効果的である。

さて、これらを背景に、エスキモーなど極寒地方の民族服をみると、毛皮、キルティングなど空気を多量に含む布地が工夫されている。また被服で全身をすっぽりしかもゆったりと覆うことで、体表全面に大きな静止空気層をもたせている。また、帽子、くつなどを多用し、衿などの開口部には毛皮のフリンジを用いて、空気の出入りをおさえている。日常生活ではこれほどの寒さ対策はいらないが、体幹を中心に保温することに留意する。さらに、衣服には重量があるため、肩や腰、座っているときの大腿部、膝部などは衣服下の空気が保持しにくい。環境と姿勢によってはスカーフ、ショール、膝かけ、レッグウォーマーなどの軽い類被服を用いて冷えやすい部分に空気層をもたせることも効果的である。

IV. 寒冷と発汗

寒冷環境下における衣服の保温について述べたが、寒冷下であっても作業をしたりスポーツをすることによって発汗することがある。また、戸外の寒さに合せた着衣で暖房のきいた場所(デパー

トなど)に入り、汗ばんで再び戸外に出るという場合もある。すなわち、寒冷下であっても発汗する場面は少なくない。このような環境下では衣服の吸湿、吸水、透湿など水分に関わる性質が問題となる。結論からいえば寒冷下での発汗は、衣服中の空気が水に置きかわることによって熱伝導が大となり、思いがけず体熱を奪われることになる。特に登山時の下着については平成8年5月6日朝日新聞で紹介された安田武の研究によれば、表2のように下着の材質が山行での生死を分けることを示している。この表の他にも1959年10月北穂高で同じ洞窟に避難した2隊のうち、1隊3名はぬれた綿を脱ぎ、セーターをじかに着て翌日生還したのに対し、他グループ2名は下着を脱がずに上からありったけ着込んだ後、夜明けまでに死亡したとのことである。綿は吸水性に富むが、その水は繊維間に液状のまま保持され著しく熱伝導性を高めてしまう。一方、羊毛の下着は繊維内に水蒸気を吸収する性質に富み、繊維に撥水、弾力性があるため、水を繊維間に保持せず放散しやすい。これが汗で濡れても保温性が低下せず冷えにくい理由である。寒冷下で濡れることが想定される時は綿の衣服はさけるべきである。

表2 下着の材質と生死

◆横有恒氏らの遭難 (1923年10月17日、立山・弥陀ヶ原、吹雪)

	肌着	中間着	上着	コート	パンツ	ズボン下	ズボン	結果
板倉	綿2	毛2	毛	防水	毛	綿	毛	死亡
三田	毛	毛2	毛	防水	毛	毛2	毛	生還
横	毛	2	もみ草	登山用	不明	毛2	毛	生還



<注>横氏のパンツの材質は不明だが、毛と推定できる。ズボン下の差も冷えに影響した可能性が強い

◆間ノ岳の遭難 (1962年11月4日、みぞれ)

	肌着	シャツ	セーター	上着	雨具	結果
Z	綿	あり	あり	作業衣	ヤック	死亡
B	綿	あり	なし	キルティング	ヤック	死亡
Q	綿	あり	あり	なし	ヤック	死亡
P	綿	あり	あり	キルティング	雨ガッパ	死亡
A	毛	あり	なし	キルティング	なし	生還

クロスカントリーや林業がさかんなフィンランドの研究者マイナダーは、発汗サーマルマネキン“コッペリウス”を用いて、林業作業者の外衣を検討し、防水性の作業服は汗の蒸発を防げるため下着の中で汗が凝結水となり、これが -10°C で有風下、などの厳しい条件下では、著しく体熱を奪う原因となると述べている。ウィンタースポーツなどでも、防水性のウェアは内側が凝結しやすいため透湿性の外衣が望ましい。同様の水蒸気の凝結は寒冷条件下では汗をかかない場合でも容易に起きる。人体からは、発汗していない場合にもたえず不感蒸散が生じている。この蒸散量は一般の皮膚面では $10\text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ 程度で皮膚表面の相対湿度も高くない。しかし、例えば足底では外気温によらず蒸散量が高く、しかも靴は直接低い戸外温度に接するため、靴内側では水蒸気が凝結しやすくむれやすい。ブーツのような閉塞性の高い靴ほどじめじめしやすく、冬でも水虫などの温床になりやすい。同様におむつなども寒冷下では湿りやすく注意を要する。

V. 終りに

以上、温熱生理的な視点から寒冷下の衣服について述べた。一般に寒冷刺激は交感神経を緊張させる。一方衣服の温熱特性以外の特性、例えば衣服による体の締めつけ、あるいは肌ざわりの粗な衣服もまた、交感神経の緊張に関与することが報告されている。日常特に緊張から開放されてくつろぐ夜間においては、ゆったりとした肌ざわりの柔らかい衣服を着て、疲労回復することの重要性も付け加えておきたい。

文献

- 1) 李 旭子、田村照子：ヒトの冷感受性の部位差について。家政誌46(11)：1081-1090,1995
- 2) Strughold H, Porz R: Z Biol 91: 563-571, 1931
- 3) 村田成子、入来正躬：老人の体温一皮膚感覚点分布頻度に及ぼす加齢の影響。日本老年医学会雑誌11：157-163,1974
- 4) 丸山康子、田村照子：不均一温熱刺激に対する皮膚温・温冷感反応。日生気誌26(3)：143-154, 1989
- 5) 田村照子、雨宮邦子：クラスター分析および主成分分析による皮膚温測定部位の選択。家政誌35(12)：862-870, 1984
- 6) 渡辺ミチ、田村照子、他：頸髄損傷者の皮膚面サーモグラム、人間一熱環境系シンポジウム報告3, 63-66, 1979
- 7) 渡辺ミチ、田村照子、他：女子高齢者における体温調節反応。家政誌32：204-209, 1981
- 8) 田村照子：生活科学のすすめ。佐藤方彦(編)：83。井上書院、1988
- 9) 鈴木秀夫：衣服気候の研究。国民衛生175：1932
- 10) 横山宏太郎：衣服内気候と快適性。人間一熱環境系シンポジウム報告11：6-10, 1987
- 11) 横山宏太郎、杉浦仁美：衣服内気候と快適性。武庫川女子大紀要34：被19-40, 1987
- 12) 田村照子、岩崎房子：サーマルマネキンによる被服の熱抵抗に関する研究(第1報)一温風循環方式サーマルマネキンの構造と特性一。文化女子大学紀要16：221-229, 1985
- 13) Fanger P O: Thermal Comfort. McGraw-Hill Book Co: 115, 1972