冬期20℃室温における着衣と熱的快適性に関する研究 CLOTHING AND THERMAL COMFORT AT 20℃ OF AIR TEMPERATURE IN WINTER

大熊 涼子*, 石野 久彌**, 中山 哲士***
Ryoko OKUMA, Hisaya ISHINO and Satoshi NAKAYAMA

It is recommended to set the room temperature at 20℃ during winter for energy conservation. However, it is necessary to maintain the thermal comfort and health of occupants even under the low room temperature. Therefore, the individual adjustments by occupants will still require careful choice of clothing.

The present paper shows how residents would be dressed and perceive the temperature in a 20℃ room, based on questionnaire survey, it investigates environmental and clothing conditions that provide thermal comfort in a 20℃ room by conducting an experiment with human subjects and thermal manikin in chamber and computing the PMV and SET*.

Keywords : Clothing, Thermal manikin, 20℃, Energy conservation, WARM BIZ

着衣, サーマルマネキン, 20℃, 省エネルギー, ウォームビズ

1. はじめに

現在、政府が推進する地球温暖化防止対策の一つとして、冬期に暖房の設定温度を20℃とすることが広く呼びかけられている¹⁾。室温を従来よりも低く20℃とすると居住者が寒さを感じることが予想されるため、厚着をするなどエネルギーを消費せずに暖かさを得られるような工夫をすること(WARM BIZ)も推奨されている。

冬期暖房条件での温熱感覚に関する研究はこれまでに多く行なわれ、ISO7730²⁾やASHRAE³⁾などによって快適範囲として示されている。しかし、多くの研究は特定された着衣での実験室における実験をもとに至適温度範囲を求めているもので、実際に居室で着用される様々な衣服で室温20℃の建築空間内に居る人間の温熱感覚や快適条件を知るには充分なものとはいえない。従来の空調では、これらの標準的な着衣条件による至適温度を基に室温を調節して熱的快適性を満足させてきたが、今後、室温条件を限定した空調を行なっていく場合、居住者の着衣は重要な温熱因子となり、着衣条件による熱的快適性を求めていく必要がある。

そこで本研究では、室温20℃時の居住者の温熱感覚を把握することを目的に、実際に室温を20℃にしているオフィスでのアンケート調査と、冬期のオフィスと住宅で着用されている衣服を用いた人工気候室での被験者及びサーマルマネキンによる実験を行なった。アンケート調査では、20℃空調を行なうオフィスにおける執務者の実態を把握するために、着衣に関する調査も行なっている。着衣に関するアンケート調査の結果に対応して、被験者実験により着衣条件による温熱感覚への影響、サーマルマネキン実験により各着衣条

件の熱性能、クロ値を求めた。さらにアンケート調査及び被験者実験による温冷感申告、サーマルマネキンの実験より算出したクロ値等の結果を含め、PMV、SET*を用いて20℃暖房^{注1)}に適する着衣量、環境条件についての検討を行なった。

2. 20℃暖房を行なうオフィスでのアンケート調査

2.1 調査概要

アンケート調査は、東京都千代田区に建つ地上22階地下6階、延床面積53,321m²のオフィスビルで行った。2005年2月中旬に、当該ビルに執務する男女社員にアンケート用紙を配布し^{注2)}回答を依頼した。アンケート用紙は男性用、女性用と2種類用意し、着衣に関する質問については男女で選択肢を変えている。調査内容は「今年の冬の暖房環境について」で、冬期の執務室の日常的な温熱感覚やこの冬の着衣状態に関する質問とした。調査対象としたオフィスではWARM BIZを推奨しており、執務中の服装に会社としての規定や制服などはないが、オフィスの仕事に適した服装を個人の判断で選択している。執務室の空調方式はオフィスで一般的な単一ダクト+VAVの全空気方式で、照明一体型の天井ライン吹出方式である。空調は中央で制御しており冬期には20℃を設定温度としている。2005年2月7日(月)14時にビル管理法に基づく室内環境調査時に基準階で20点、測定された空気温度は20.0～21.4℃で、平均20.7℃とやや高めではあったが、該当期間には20℃設定での空調が行なわれていることを確認している。また、アンケート調査を行なった2005年冬の東京の外気温、天候は平年並みであった。

本研究の一部は空気調和・衛生工学会大会(2006.9)、日本建築学会大会(2006.9)、IBPSA-Japan(2007.2)で発表している。[本研究に関連する発表文献1)～3)]

* 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 研究員・工修

** 首都大学東京大学院都市環境科学研究科 教授・工博

*** 首都大学東京大学院都市環境科学研究科
助教・博士(工学)

Researcher, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, M. Eng.
Prof., Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan Univ., Dr. Eng.
Assistant Prof., Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.

2.2 調査結果

アンケートには男性 102 名、女性 33 名の計 135 名の回答^{注3)}が得られた。年齢構成を表1に示す。30代が全体の6割となっていた。今冬の執務室の温冷感^{注4)}に関する申告結果を図1に示す。全回答者の40%にあたる55名が「やや寒い」を選び、最も多い。暑い側に申告している人はおらず「どちらでもない」としている人は8名と全体の6%程度で、「非常に寒い」としている人のうち半数は女性である。図2に許容感の申告結果を温冷感もあわせて男女別に示す。全体としては「許容できる」が3割(男性34名、女性6名)、「許容できる時とできない時がある」が5割(男性51名、女性19名)、「許容できない」が2割(男性17名女性8名)で、室温20℃の環境を全く許容できないと考えている人はそれほど多くない。最も多かった「やや寒い」としている人ではその53%(29名)が「許容できる」と答えていた。着衣による寒さ対策として、この冬執務中にしていたことを、男女それぞれの選択肢の中から選んでもらったものを表2、表3に示す。複数回答を認めており、全回答者の94%にあたる男性95名、女性32名が1つ以上選択していた。男性では「上着を着る」を選択した人が84名で、8割の人が寒さ対策として行なっていた。女性では多数の項目を選択した人が多く、暖かい素材のものを選んだり着衣量を増やしたりなど様々な工夫をしていた。また、服装以外の工夫で、執務中にしている寒さ対策について自由回答を求めた結果、全回答者の22%にあたる男性12名、女性18名から回答を得られた。表4^{注5)}に示す。カイロを使用したとした人が21名と多く、その他では熱い飲み物を取るなどの方法があげられていた。服装または服装以外の工夫と温冷感申告値との関係では、人数は多くないが工夫を多くしている人は寒い側の申告をする傾向がみられた。今冬執務中に着用していた着衣の種類とその素材の全てを申告させたもののうち、靴下、靴を除く男性の申告結果を図3に示す。素材は「冬の暖かい素材」「春秋用の素材」「夏用の涼しい素材」のいずれであるかを選択させた。種類としては、背広、長袖ワイシャツ、半袖Tシャツがそれぞれ最も多く、素材については上着とズボンは冬用、下着とワイシャツは春秋用のものを用いている人が多い。またこれら衣服の組み合わせを図4に示す。背広上下+長袖ワイシャツ+半袖Tシャツ(下着)の組み合わせで着用している人が54%と半数を占めている。さらに、これらの回答結果より単品クロ値の加算による推定法⁴⁾でクロ値を求めた。女性も含めたクロ値^{注6)}を温冷感との関係と共に図5に示す。平均で0.92clo(男性0.92clo、女性0.93clo)であった。0.85~1.05cloの人が有効回答者数の7割を占め、そのうちの半数が「寒い」または「非常に寒い」と回答しており、執務者が新素材の下着を着たり首筋を保温するなどの着衣の工夫をすることで、全体的に温

表1 回答者の年齢構成

	男性	女性	計
20代	2名	6名	8名
30代	57名	21名	78名
40代	36名	6名	42名
50代	7名	0名	7名
計	102名	33名	135名

図1 執務室の温冷感

図2 許容感

表2 服装の工夫(女性)

回答(選択肢)	回答数
暖かい素材の衣服を選ぶ	23
膝掛けをする	22
暖かい素材の下着を着る	21
上着を着る	18
セーターを着る	17
襟ぐりの小さい服を着る	14
丈の長いズボン、スカートをはく	13
暖かい素材の靴下をはく	10
着丈の長いシャツを着る	8
ストールをかける	6
髪の毛をのばす、おろす	4
座布団を敷く	3
袖ぐりの小さい服を着る	3
保温性のある靴にする	3
その他	2

表3 服装の工夫(男性)

回答(選択肢)	回答数
上着を着る	84
セーターを着る	31
暖かい素材の衣服を選ぶ	16
暖かい素材の靴下をはく	7
暖かい素材の下着を着る	6
ズボン下をはく	6
膝掛けをする	5
襟ぐりの小さい服を着る	4
座布団を敷く	4
保温性のある靴にする	4
その他	7

表4 服装以外の工夫

回答(自由記入)	回答数*
カイロを使用した	21(15)
熱い飲み物を飲む	4(3)
体を動かす	2(0)
小型ヒーターを使用	2(2)
その他	3(0)

* () 内は女性の回答数

図3 執務中の服装

表5 20℃暖房の感想 * () 内は女性の回答数

感想	回答数*
寒い(足元が寒い、時々寒い)	25(5)
良い、快適、許容できる	19(0)
作業効率・健康に悪影響、不快	16(7)
場所、日、天候等によって個別の調整をしないと良い	13(4)
20℃以下になっているのでは?	9(3)
他の条件(気流、服装の自由等)を整えて欲しい	6(1)
省エネとしてよいが不満がある、仕方がない	6(2)
乾燥している、湿度を上げたい	5(1)
室温を下げてまで20℃にする必要はない	3(2)
その他	2(2)

図4 男性の着衣の組み合わせ

図5 執務中のクロ値と温冷感

冷感が上がる可能性がある。20℃暖房について自由記入欄にて感想を求めた結果、全回答者の7割にあたる男性71名、女性25名から回答が得られた。各々の意見を分類したものを表5^{注5)}に示す。「良い、快適、許容できる」という20℃暖房に肯定的な意見の人は19名おり全て男性であった。「作業効率・健康に悪影響、不快」という20℃暖房に対し否定的な考え^{注7)}を持っている人は16名で、その他、日や場所によって個別に調整をすると良い、足元や居住域が20℃以下となっていた、など改善点や問題的を挙げている人も多かった。

さらに、自宅での服装に関して「トレーナー(スウェット)上下+半袖Tシャツ+パンツ+靴下」を「普通」とし、厚着か薄着かの質問を男女の全回答者に行った結果を、その服装を選択している理由と共に図6に示す。「普通」とした着衣量と同程度だと考えている人が79名(59%)と最も多く、次が「どちらかというと厚着」と35名(26%)の人が答えていた。選択した服装とその理由との関係を見ると、「普通」「どちらかというと薄着」「薄着」とした人の95%はその理由に「楽だから」か「動きやすいから」を選んでおり、「厚着」「どちらかというと厚着」とした人の93%は「寒いから」を選択している。冬の自宅での服装を温熱感覚によって決めている人は厚着をしており全体の3割程度で、動きやすさなど他の要因を重視している人の方が多かった。

3. 被験者実験

3.1 実験概要

実験は東京都立大学人工気候室で2005年1月下旬～2月上旬に行われた。オフィスと住宅を想定した服装を2種類ずつ用意し、設定温度を変化させた。実験条件を表6に、着衣条件を表7に示す。実験No.1-1と1-2はオフィスを想定した服装で、アンケート調査で最も多かった服装の組み合わせ(図4)を1-2とし、1-1はさらに厚着をしている。背広は冬用の暖かい素材のもので1-1と1-2で同一のものをを用いている。実験No.2-1と2-2は住宅を想定した服装で、図6で「普通」とした服装を実験No.2-2として2-1ではそれよりも厚着をし、素材もフリースなど保温性の高いものをを用いた^{注8)}。下着についても、厚着をしている条件(1-1、2-1)では冬用の暖かい素材の衣服を選んだ^{注9)}。被験者は20～30歳代の健康な青年男子で、諸注意のみで実験の内容は知らせずに協力してもらい正当な報酬を支払った。実験は人工気候室で用意された衣服に着替え、皮膚温測定のための熱電対を貼付した被験者が、指定した椅子に座って30分間椅座安静を保った後、設定環境条件に暴露して20分経過ごとに被験者には知らせずに室温を1℃ずつ変化させるという方法で行った^{注10)}。20分の暴露で安定した状態になっていないことも考えられるが、本実験においては20分程度の環境への滞在^{注11)}を対象とした。実験中、被験者には読書のみを許可し、温冷感・快適感の申告は10分ごとに行った。被験者の負担や代謝量の低下の影響を考慮し、1回の実験につき70分または110分間の暴露として数回にわけて実験を行ない、1つの温度条件につき6～20名程度の測定及び申告結果を得た。1-1と1-2など複数の実験に参加している被験者は4名いるが実験には充分な間隔をあけて参加している。アンケート調査では、総じて男性より女性の方が寒い側に感じており、女性の温

図6 自宅での服装
(「スウェット上下+半袖Tシャツ+パンツ+靴下」を「普通」とした)

表6 実験条件

実験No.	室温[℃]	着衣条件(表7)	被験者
1-1	18, 19, 20, 21, 22	会社厚着(背広, ベスト有)	22名
1-2	20, 21, 22, 23, 24	会社普通(背広, 半袖肌着)	19名
2-1	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	住宅厚着(ジャケット)	18名
2-2	18, 19, 20, 21, 22, 23, 24	住宅普通(スウェット, 半袖)	18名

表7 着衣条件

実験No. 1-1 会社厚着(背広, ベスト有)	実験No. 1-2 会社普通(背広, 半袖肌着)
背広上衣 ズボン 長袖ワイシャツ ネクタイ ベルト 長袖Tシャツ(下着) ベスト、ズボン下 パンツ(下着) 靴下、靴	背広上衣 ズボン 長袖ワイシャツ ネクタイ ベルト 半袖Tシャツ(下着) パンツ(下着) 靴下、靴
実験No. 2-1 住宅厚着(ジャケット)	実験No. 2-2 住宅普通(スウェット, 半袖)
フリースジャケット タートルネックシャツ フリースズボン 長袖Tシャツ(下着) ズボン下(下着) パンツ(下着) 靴下 スリッパ	トレーナー(スウェット上) スウェットズボン 半袖Tシャツ(下着) パンツ(下着) 靴下 スリッパ

図7 申告スケール

熱感覚を把握する必要もあるが、女性の服装は多岐に渡っており典型的な服装を提示することが難しかったため、本実験では男性の温熱感覚を対象とした。申告スケールは図7に示すものを用い、中間値の申告を依頼した。被験者皮膚温はHardy-DuBoisの7点⁵⁾で測定した。人工気候室は十分に断熱されており、上下温度差は全実験において0.5℃以内で、平均放射温度は気温とほぼ等しくこの温度を室温としている。相対湿度は全実験において40%一定に制御した。被験者の右側面の上方に吹出口、下方に吸込口があり、気流が被験者に直接当たらないように調節はしているが、被験者近傍で測定した風速は最大で0.7m/s、平均で0.3m/s程度と大きかった。

3.2 実験結果

(1) オフィス着衣条件

図8に各室温時の被験者の平均皮膚温の値を示す。設定条件に暴露して20分間経過した時のものをを用いている。(以下、図10～図11、図13～図15も同様)厚着をすることにより皮膚温は0.5℃程度高く

なった。図 9 に室温が 20℃の時の各部位皮膚温の値(被験者平均)を示す。前腕、大腿、下腿などで 0.5℃以上の差がみられ下着を多く着ることによる保温効果が表れている。

図 10 に温冷感申告値を示す。本実験の環境では厚着をした 1-1 で温冷感が中立となるのは室温 21℃～22℃の間で 20℃の時は寒い側の申告となった。厚着をしてない 1-2 では室温 24℃で中立に近くなり 3℃程度の差があった。図 11 に快不快感の申告値を示す。1-1 では、温冷感が中立に近くなる室温 21℃で快適側となり、1-2 では室温 24℃で最も快適感が高く 20～21℃では不快に感じていた。また、身体の中に寒さを感じる部分があるかについて、1-1 では申告者の 62%、1-2 では 64%があると申告しており、寒いと感じる身体場所を具体的に選択してもらったもののうち、室温 20℃時の結果を申告割合として図 12 に示す。1-2 に比べ 1-1 では大腿、ひざなどの部分に寒さを感じる割合は少なく、厚着をすることで下半身の寒さを改善できていた。

(2) 住宅着衣条件

図 13 に被験者の平均皮膚温の値を示す。2-1 では室温 18～20℃で 33.5℃程度の皮膚温を保っており、室温が変化してもその変化量は少ない。2-2 では、室温 18～20℃では平均皮膚温 32.5℃を下回っており 2-1 とは 1～2℃以上の皮膚温差が見られた。図 14 に被験者の温冷感申告値を示す。2-1 では 18～21℃で中立に近く室温 20℃で熱的中立が得られる。2-2 では、被験者は室温 20℃を「やや寒い」～「寒い」と感じており、中立になるのは 23℃～24℃の間である。図 15 に快不快感の申告値を示す。快不快感は個人差が大きかったが、平均すると 2-1 では周辺温度が変化しても中立に近い状態を保ったままで、2-1 は 21℃以下で不快側、22℃以上で快適側となった。

4. サーマルマネキンによる実験

4.1 実験概要

実験は東京都立大学人工気候室で 2005 年 1 月上旬に行われた。気温 20℃に設定した人工気候室に、オフィスと住宅で一般的に着用されている様々な服装のサーマルマネキンを設置し、各着衣条件でのマネキン表面温度、発熱量を測定した。人工気候室は風速が大きくなる傾向があったがマネキンは風速 0.1m/s 以下の場所を選んで設置した。実験に用いた東京都立大学のサーマルマネキン⁶⁾(京都電子工業(株)社製、椅座、男性を模擬)は金属製で中空の内部にヒーターとファンが組み込まれ、内部温度または発熱量を制御することで人体と同等な皮膚温度を保つことが可能である。表 8 にオフィスを想定した着衣条件を示す。「e. 背広(ベスト有)」が被験者実験の 1-1 と同じ服装で背広の中に最もたくさんの衣服を着込んでおり「f. 背広(半袖肌着)」が被験者実験の 1-2 と同じ服装で半袖 T シャツに背広上下を着用している。表 9 に住宅での服装を想定した着衣条件を示す。「E. ジャケット」が被験者実験の 2-1 と同じ服装で最もたくさん着込んでおり、「B. スウェット(半袖)」が被験者実験の 2-2 と同じ服装である。「D. タートルネックシャツ」のタートルネックシャツやズボンは「E. ジャケット」で用いたものと同じである。実験中、サーマルマネキンは布製の椅子に座らせ、発熱量はマネキン分割部位に準じた 13 部位で、皮膚温度は各部位 4～8 点程度の全 48 点で測定した。サーマルマネキンは内部温度一定制御とし、表面温度が安定したのを確認した後、1 時間以上暴露した。

図 8 被験者皮膚温(オフィス)

図 10 温冷感申告値(オフィス)

図 12 寒いと感じる部位
(室温 20℃, オフィス)

図 14 温冷感申告値(住宅)

図 9 各部位皮膚温
(室温 20℃, オフィス)

図 11 快不快感申告値(オフィス)

図 13 被験者皮膚温(住宅)

図 15 快不快感申告値(住宅)

表 8 着衣条件 (オフィス)

着衣条件	着衣状態
a. 長袖ワイシャツ	長袖ワイシャツ, ネクタイ, 長袖 T シャツ, ズボン下, ズボン, パンツ, ベルト, 靴下, 革靴
b. ベスト	a + ベスト
c. カーディガン	a + カーディガン
d. 背広(ベスト無)	a + 背広上衣
e. 背広(ベスト有)	a + 背広上衣, ベスト
f. 背広(半袖肌着)	背広上衣, 長袖ワイシャツ, ネクタイ, 半袖 T シャツ, ズボン, ベルト, パンツ, 靴下, 革靴

表 9 着衣条件 (住宅)

着衣条件	着衣状態
A. 薄手シャツ	長袖 T シャツ, 綿ズボン, パンツ
B. スウェット (半袖)	半袖 T シャツ, パンツ, スウェット上下(トレーナー・ズボン), 靴下, スリッパ
C. スウェット (長袖)	長袖 T シャツ, ズボン下, パンツ, スウェット上下(トレーナー・ズボン), 靴下, スリッパ
D. タートルネックシャツ	長袖 T シャツ, ズボン下, パンツ, タートルネックシャツ, フリースズボン, 靴下, スリッパ

4.2 実験結果

図 16 にオフィスの着衣条件におけるサーマルマネキンの発熱量を示す¹²⁾。全部位では、最も発熱量の大きい「a. 長袖ワイシャツ」に比べ、「b. ベスト」「f. 背広(半袖肌着)」で 8%、「c. カーディガン」「e. 背広(ベスト有)」で 14%程度、発熱量は小さくなる。「b. ベスト」では上着は着ずに下着を長袖 T シャツとズボン下とし、「f.

背広(半袖肌着)」では上着を着て下着を半袖Tシャツとしている違いがあり、各部位の値は異なるが全部位での発熱量の値は近くなっていた。「c. カーディガン」と「e. 背広(ベスト有)」の全部位での値も近いが、前腕では「c. カーディガン」、胸部では「e. 背広(ベスト有)」の方が発熱量は小さいなどの違いが見られる。住宅の着衣条件におけるマネキン発熱量を図 17 に示す。服装による発熱量の差はオフィスの条件に比べ大きい。最も発熱量の大きい「A. 薄手シャツ」に対し、全部位で「B. スウェット(半袖)」は 10%、「C. スウェット(長袖)」は 16%、「D. タートルネックシャツ」は 20%、「E. ジャケット」は 34%発熱量を少なくすることができる。

表 10 に表 8 の着衣条件、表 11 に表 9 の着衣条件でのサーマルマネキンにより求めたクロ値を着衣状態と共に示す。

5. 快適条件

被験者実験により、冬期に実際に用いられている衣服を着用した時の温熱感を求めたが、実験中は気流が通常の居室より大きく、読書のみの作業で代謝量も少ないため、実際より寒い側に感じていることも考えられる。従って、図 18～図 21 では被験者実験時よりも風速が小さく、代謝量が大きく、湿度が高い場合について、PMV により検討した結果を示す。風速は 0.1m/s で、湿度を 40%または 60%、代謝量を 1.1met または 1.2met とし、クロ値は被験者実験で用いた 4 つの服装(図 18 は 1-1、図 19 は 1-2、図 20 は 2-1、図 21 は 2-2)の値をそれぞれ用い、室温 18～24℃での PMV を算出した。空気温度＝平均放射温度としてこの温度を室温としている。被験者実験で 1-1 と 1-2 の服装では室温 20℃では寒い側の申告となったが、PMV で、代謝量 1.2met とすれば被験者実験の 1-1 で用いた服装(図 18)では中立に近い値、1-2 の服装(図 19)でも快適範囲内とすることができる。2-1 の服装では被験者実験でも、図 20 の条件による PMV でも室温 20℃で快適範囲内であった。2-2 の着衣条件では PMV 値で風速を小さくするなど環境条件を変えても 20℃では寒く感じる(図 21)。住宅の居室は不特定多数の人が滞在するわけではないので、概して居住者の熱的中立に近い室温となっている傾向があり、2-2 の服装の人の多くは熱的快適の得られる 22℃以上の室温で過ごしていることが考えられる。アンケート調査では、回答者の 6 割が自宅で 2-2 と同程度の服装をしていると回答しており、これらの回答者が 2-1 程度の厚着をすると、暖房エネルギーが削減可能で、今後の省エネルギー効果が期待できる。

図 18～図 21 では PMV を用いて熱的中立となる条件について求めたが、冬期の居室では空気温度以外は制御されずに冷放射を感じたり低湿度となっていたりする場合も多く、SET*により平均放射温度及び相対湿度が低く、風速が大きい場合の快適条件を求めた。図 22 に空気温度 20℃、平均放射温度 20℃、相対湿度 40%、風速 0.1m/s、代謝量 1.1met を基準¹³⁾に、平均放射温度を 18℃に、風速を 0.5m/s に、相対湿度を 20%にと変えた時の SET*の値とクロ値との関係を示す。同じクロ値で各環境因子を変えた場合には、風速を 0.5m/s とした時(4)が最も SET*の値は低く、空調の吹出口に近いなどの理由で風速が大きい場合には厚着をしても寒さによる不快を感じることが考えられ、熱的快適を得るためには気流を感じない環境とすることが効果的である。平均放射温度 20℃の時(1)と 18℃の時(3)では、同じ服装での SET*の差は 1℃前後あり、平均放射温度 18℃では

図 16 マネキン発熱量 (オフィスの服装)

図 17 マネキン発熱量 (住宅の服装)

表 10 各着衣状態とクロ値 (オフィス着衣条件) *e, f を被験者実験で使用

着衣条件	a. 長袖ワイシャツ	b. ベスト	c. カーディガン	d. 背広(ベスト無)	*e. 背広(ベスト有)	*f. 背広(半袖肌着)
着衣状態						
クロ値	0.80[clo]	0.99[clo]	1.18[clo]	1.18[clo]	1.19[clo]	1.06[clo]

表 11 各着衣状態とクロ値 (住宅着衣条件) **B, E を被験者実験で使用

着衣条件	A. 薄手シャツ	**B. スウェット(半袖)	C. スウェット(長袖)	D. タートルネックシャツ	**E. ジャケット
着衣状態					
クロ値	0.58[clo]	0.84[clo]	0.97[clo]	0.96[clo]	1.34[clo]

図 18 クロ値 1.19[clo]
実験 No. 1-1, 背広(ベスト有)

図 19 クロ値 1.06[clo]
実験 No. 1-2, 背広(半袖肌着)

図 20 クロ値 1.34[clo]
実験 No. 2-1, ジャケット

図 21 クロ値 0.84[clo]
実験 No. 2-2, スウェット(半袖)

1.0clo よりも大きいクロ値としないと熱的不快を感じる。湿度の影響(2)はあまり大きくないが、表5に示した20℃暖房の感想を自由記述させたアンケート結果でも、少数ではあるが「乾燥している」など温度より湿度を気にしている人もおり、適度に保つ必要がある。

6. 結論

本研究により、冬期に室温を20℃とした居室における温熱感覚、着衣量、快適条件に関し以下の知見を得た。

- (1) 20℃空調を実施しているオフィスにおけるアンケート調査では、冬期の執務室の熱環境について、回答者の41%が「やや寒い」、32%が「寒い」としており、「どちらでもない」と答えた人は6%程度で、室温20℃を執務者は寒い側に感じていた。
- (2) 20℃空調を行なうオフィスのアンケート調査で、男性回答者の執務中の服装は(下着としての)半袖Tシャツの上に長袖ワイシャツ、背広上下という組み合わせが54%と半数を占めていた。
- (3) 人工気候室での被験者実験で、オフィスを想定した半袖Tシャツ(下着)に長袖ワイシャツ、背広上下という服装では、室温20℃を、やや寒い～寒いと感じていた。PMV値では1.2met程度の仕事量の執務者なら快適範囲内となる。
- (4) 背広上下で、ベストと、下着に長袖Tシャツとズボン下を着込み防寒対策をした場合には、被験者実験では室温21～22℃で熱的中立に近くなり、室温20℃はやや寒いと感じていた。PMV値では風速が人工気候室の実験時より小さく0.1m/s程度とすることができれば室温20℃で快適範囲内となる。
- (5) 住宅での服装については、アンケート調査で、回答者の6割が「トレーナー(スウェット)上下+半袖Tシャツ+パンツ+靴下」と同等程度であると答えていた。被験者実験ではこれらの服装で熱的中立を得るためには室温23℃が必要であった。PMV値では風速が0.1m/sなら熱的中立を得られる室温は22℃程度となり室温20℃では環境条件を変えても熱的快適を得るのは難しい。
- (6) 住宅を想定した服装では、フリースの上着を着るなど十分な厚着をすれば、室温20℃は熱的快適の範囲内となる。
- (7) 空気温度20℃でのクロ値とSET*との関係を求めると、平均放射温度20℃、相対湿度40%、風速0.1m/s、代謝量1.1metで、クロ値0.9clo程度あれば快適範囲内とすることができる。平均放射温度が18℃の場合には1.0clo以上が必要である。

住宅では服装や行動の自由度も大きく、厚着をすることにより20℃以下の室温でも熱的不快を感じずに過ごすことは充分可能で、20℃暖房は実現しやすい。ただし女性や高齢者に対する配慮は必要である。特に高齢者がいる場合には室温を低くしすぎないように注意を要する。オフィスでは上着を着て仕事をしていれば、室温20℃は、やや寒いものの実験及び計算上は熱的不快感を持つことはないが、実際の建物では周壁温度は20℃より低く、足元などに局部的な不快感を持ったり窓近くの席の人が寒さを感じたりなどの問題点がある。断熱性能に優れた建物であれば、空気温度を20℃としても寒さによる不快感は小さいだろう。ガラス建築や全面床暖房のような場合には室温以外の温熱要素を考慮する必要がある。また、内部発熱の大きい建物などではエネルギーを使わなくとも室温20℃以上に保たれる場合も多く、そういう場合に室温を20℃まで下げる必要はない。

図22 クロ値とSET*の関係

謝辞

本研究を行なうにあたりご協力頂いた(財)省エネルギーセンター、東京電力(株)の関係各位に謝意を表します。また研究を進める上で宇都宮大学 郡公子准教授にご指導ご助言頂きました。記して謝意を表します。

注

- 注1) 本報においては、放射環境には因らず、室内居住域の空気温度が20℃となるように暖房の設定温度を制御しているものを20℃暖房とした。
- 注2) アンケート用紙の配布は、居住者アンケートを行なったオフィスの社員が回答者を選ばずに選り好みしている。
- 注3) 回答者の勤務している場所は、男性は6階が11名、10階が18名、11階が19名、18階が46名、不明8名、女性社員は人数が少ないこともあり、6階、10階、11階、14～18階でそれぞれ2～5名程度である。
- 注4) 温冷感申告に関し本報では寒暑尺度を用いており、本来「寒暑感」とするべきであるが寒暑感も温冷感に含まれるものとして「温冷感」とした。
- 注5) 表4、表5には複数回答も含まれている。
- 注6) 図3では、回答者が選択している項目は全て含めたが、クロ値を算出する際には、着用している全ての衣類を選択していないと思われる(ズボンに印のないなど)ものは除いた。男女全回答者に申告を依頼して有効回答数は男性82名、女性24名の計106名である。
- 注7) 室温を20℃にすることをやめて欲しい、といった文意を含む意見を否定的な考えとして「作業効率・健康に悪影響、不快」に分類した。
- 注8) 実験2-1で用いたタートルネックシャツは綿100%(綿起毛)で重ね着に負担の少ない薄手のもの、ズボンはフリース素材で軽く薄手のものである。
- 注9) 下着の素材については、実験1-1と2-1で用いた長袖Tシャツとズボン下は綿61%、ポリエステル33%、ポリウレタン6%、実験1-2と2-2で用いた半袖Tシャツは綿100%である。
- 注10) 実験中の人工気候室の空気温度、グローブ温度の時間変化の測定例を下に示す。椅座開始時を0[分]としている。

付図1 人工気候室の温度変化(22→18℃) 付図2 人工気候室の温度変化(20→22℃)

- 注11) 20分程度の環境への滞在とは、20分間継続して自席に着席している状態を想定している。
- 注12) サーマルマネキンは発熱量を制御してヒーター温度を一定に保っている。発熱量は暴露中の1時間の平均値を用いている。
- 注13) 20℃暖房を行うオフィスの空調条件として最も一般的である条件として、基準条件に設定した。

本論文に関連する発表文献

- 1) 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: 冬期20℃暖房時の温熱快適性に関する研究 着衣条件と座位の違いによる影響及び床暖房時人体生理心理反応, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1993～1996, 2006. 9
- 2) 大熊涼子, 石野久彌, 中山哲士: オフィス着衣条件における冬期20℃暖房の温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 1035～1036, 2006. 9
- 3) 大熊涼子, 石野久彌: 省エネルギー空調における組み合わせ着衣の熱抵抗値と温熱感覚, IBPSA-Japan講演論文集, 2007. 2

参考文献

- 1) 省エネルギー・省資源対策推進会議省庁連絡会議決定: 冬季の省エネルギー対策について, 2004. 10. 27
- 2) ISO-7730: ISO International Standard 7730, 1994
- 3) ASHRAE: ASHRAE Fundamentals Handbook, ASHRAE, 1997
- 4) 空気調和・衛生工学会: 快適な温熱環境のメカニズム, 丸善, pp. 113～118, 1997
- 5) Hardy J.D. and DuBois, E. F.: The Technic of Measuring Radiation and Convection, J. Nutr., Vol. 15, No. 5, pp. 461-475, 1938
- 6) 大熊涼子, 石野久彌: 人体形状を考慮した部位別作用温度に関する研究 第1報 熱伝達率・内部温度, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp. 417～418, 2000. 9

(2007年4月26日原稿受理, 2007年11月15日採用決定)