「感覚と計測」特集

温熱環境の主観的評価

多 屋 秀 人

1.はじめに

近年、オフィスや工場等の空間設計におけるアメニティが話題になっている^(1,2)。オフィス空間のアメニティを向上させるためには、適度な照明、椅子、移動空間、空気循環等の要因に関して配慮する必要があるといわれ、その中でも、温熱環境の重要性が指摘されている⁽³⁾。適正な温熱環境を設計・構成するためには、環境制御技術の開発と並んで環境の計測・評価法の確立が基礎となる。環境評価には、機器・設備等ハード面からの評価およびその空間に存在する人間の立場からの評価があり、両者を加味して総合的な環境評価法を確立することが重要である。

また、人間—衣服—環境系における温熱要因に関わる問題は、衣服の着心地と関連して重要である^(4,5)。衣服研究において衣服と人体の間に存在する微小空間の環境は、室内空間の環境を室内気候と呼ぶことに対応して、「衣服内気候」と呼ばれている。この衣服内気候と衣服の快適性に関する研究は、人体による着衣実験やサーマルメネキンをを用いた着衣実験⁽⁶⁾等を通じて数多く行われている。衣服内気候の延長が室内温熱環境であるため、室内環境と衣服内環境はほぼ同様に考えることが可能である。

ところで、温熱環境を評価する指標には、環境条件を記述する物理量に基づく指標と人間の特性を考慮した指標がある。前者の指標は、気温、湿度、気流、輻射等の物理量の組合せで記述され、一方、後者は、環境に対する主観的な判断に基づく指標と環境内にある人間の生理的な反応に基づいた指標に分類される。そして、これら両者の関係を考慮に入れた総合的な環境評価指標が数多く提案されている⁽⁷⁾。

ここでは、温熱環境の主観的評価において用いられている2、3の方法について紹介する。

2.至適温度と快適な状態

人間にとって適正で快適な環境を提供するには、経済面、健康面、快適面からの3つの考え方があり、それらには、生産的至適温度、生理的至適温度、主観的至適温度が対応する⁽⁸⁾。生産的至適温度は、最高の作業能率を達成できる環境温度を示し、作業内容と深く関連する。生理的至適温度は、発汗や震え等の生理的な体温調節がほとんど働かない状態で体温が一定に保たれる環境温度である。主観的至適温度は、快適であると主観的に感じる環境温度であり、安静状態では主観的至適温度と生理的至適温度はほぼ一致するとされている。これらの至適温度は、作業、時代、季節、民族、性差、衣服、飲食、入浴、時刻等により異なる。

快適さの定義については各方面で検討されている⁽⁹⁾。アメリカ空調学会（ASHRAE：American Society of Heating-Refrigerating and Air-Conditioning Engineers）では、温熱快適性を「その温熱環境に対して満足感を表現できる心の状態」と定義し、快適の基準を「その集団の構成員のうち80%以上の人々が周囲温熱条件を受け入れることができる状態」としている⁽¹⁰⁾。

3.主観的評価

人間に加わった周囲温熱環境からの温度刺激は皮膚及び人体内部の温度受容器において検出され、それらの情報は脳に伝達され統合化され、体温調節機構を働かせる信号や、温冷感や快適感等の主観的な判断を起こす信号に変換されている。図1は、体内各部位で検出された信号が温度感覚や快適感に変換されるまでの信号の流れを

Subjective Evaluation to thermal Environment

筆者紹介 HIDTO TAYA

Industrial Products Research Institute, Human Factors Research Department

製品科学研究所基礎人間工学部 主任研究官、工学修士

筆者は、温熱環境に関する人間工学が専門で、著書としては「感性計測先端技術集成」(サイエンス・フォーラム)他がある。趣味はテニス、スキー。

本稿では、温熱環境に対する温冷感、快適感などの主観的評価法の現状について紹介していただいた。

模式的に示したものである⁽¹¹⁾。温度感覚と快適性評価は、同じ主観的な判断であっても異なった経路をたどる。温度感覚は、皮膚温度受容器で検出された情報が中

図1 温度感覚、快適感を起こす信号の流れ (Hensel による) (11)

心となって起こるが、快適感については皮膚表面の温度情報に限らず人体内部の温度情報、さらに人体内部での各種の生理的な状態が関与すると言われている。

人間は、生理的な反応を通じて環境に対して主観的判断を行なっているが、この主観の評価の種類には、知覚、評価、好み、受容性、許容性等に関する評価がある。主観的评价の計測は、被験者の申告により行われる。この時、カテゴリスケール(範疇尺度)またはSDスケールを用いた評定法が広く用いられている⁽¹²⁾。

3.1 カテゴリ尺度による温冷感・快適感の評価

温冷感、快適感評価が温熱環境の分野で広く行われている。1923年、Houghten & Yaglou は気温と湿度の因子を考慮した指標として有効温度を提案したが、その研究の中で「快適さ」を「暑くもなく、寒くもないと感じる環境」として定義を行い、表1に示した温度感覚スケールを用いて環境評価を行った。また、Bedford は「暖かくて快適」、涼しくて快適」を入れたスケールを用いた。さらに、Winslow らが輻射因子まで考慮して行った環境評価の研究では、心地よさ(Pleasantness)の尺度が用いられた。その後、Gagge, Stolwijk & Hardy は、快適感(comfort sensation)と温冷感(temperature sensation)を区別した評価スケールを作成した。「快適」は「暑くも寒くもない中立的な温度感覚」であるこ

表1. 温冷感、快適感、心地よさの評価尺度

温度感覚のスケール

Houghten & Yaglou	Bedford scale	Gagge et al. ASHRAE scale
1. Cold	1. Much too cool	1. Cold
2. Cool	2. Too cool	2. Cool
3. Slightly cool	3. Comfortably cool	3. Slightly cool
4. Comfortable	4. Comfortable	4. Neutral
5. Slightly warm	5. Comfortably warm	5. Slightly warm
6. Warm	6. Too warm	6. Warm
7. Hot	7. Much too warm	7. Hot

快適性のスケール

心地よさのスケール

Gagge et al. ASHRAE scale
1. Comfortable
2. Slightly uncomfortable
3. Uncomfortable
4. Very Uncomfortable

Winslow scale
Very unpleasant
Unpleasant
Indifferent
Pleasant
Very Pleasant

図2 環境温度と、心地よさ、快適感、温冷感との関係 (○：心地よさ，●：快適感，△：温冷感) (13)

表2 温熱環境の評価項目と尺度

温冷感	湿度感	輻射感と気流感	快適感
1. 非常に暑い	1. 非常に湿っている	1. 感じない	1. 快適
2. 暑い	2. 湿っている	2. やや感じる	2. やや不快
3. 暖かい	3. やや湿っている	3. 感じる	3. 不快
4. やや暖かい	4. 非常に湿っている	4. 非常に感じる	4. 非常に不快
5. どちらともいえない			
6. やや涼しい			
7. 涼しい			
8. 寒い			
9. 非常に寒い			

とを示し、温冷感、快適感、心地よさと環境温度との関係を図2のように求めた⁽¹³⁾。

現在、国際的にはASHRAEスケールが、温冷感、快適感の評価尺度として広く用いられている。

一方、国内では、空気調和衛生工学会温冷感小委員会が試案としてまとめた評価尺度が多く使用されている⁽¹⁴⁾。試案では、暑さ寒さを評価する「温冷感」、快適さ不快さを評価する「快適感」を中心に、湿度、輻射、気流の程度を評価する「湿度感」、「輻射感」、「気流感」等についての主観的な評価尺度が示されている。表2は温熱環境の主観的な評価項目と尺度である。温冷感は「暑い—寒い」を対とした9段階評定、湿度感は「乾いている—湿っている」を対とした7段階評定が用いられている。なお、温冷感については、全身的な感じと身体局所的な感じを区別して測定されることがある。

これらの温冷感や快適感評価に用いた尺度は、温冷感では寒—暑に対応して並べられ、順序尺度になっている。

しかし、平均温冷感申告等を求めるためには各カテゴリ間の間隔を求めなければならず、そのために評定項目に関する尺度構成が行われている。

内村らは、温熱環境の変化に対する閾値の測定から温熱条件に対するJND (Just Noticeable Difference: 丁度可知差異) 曲線を求め、環境条件と温熱感覚との関係から、温熱感用語の尺度構成を行っている⁽¹⁵⁾。その結果、図3に示すように「寒い—暑い」の9段階評定の温冷感尺度はほぼ等間隔であると言われている。また、局所的な温冷感に対する温冷感の尺度構成が研究され、全身的な温冷感と同様に等間隔の尺度であると言われている⁽¹⁶⁾。

3.2 SD尺度による温冷感・快適感の評価

環境評価においてもSD法が用いられ、評価構造の解明や快適性の予測が行われている。SD法は、相反する形容語対を両極とする組合せを幾つか用い、3～7段階の尺度を用いて評定するものである。Rohlesらは、表3

に示したような用語について9段階の環境評価から温熱的な快適度 (TC: %) の推定式を求めている^(12, 17)。

さらに, SD 法の変形とも言える属性弁別法 (Differential Attribute 法) を用いた温熱環境の評価法も提案している^(12, 17)。これは, 「表4に示された形容語が現在の環境状態の記述することについての適正度」を7段階で評定する方法である。本方法の特長は, SD 法とは

異なり表現の適正度を評定する方法であるために, 項目が相反する対である必要がなく, 自由に評定項目を選定できる点である。主成分分析法による解析結果から, 温熱的な不満足感 (Thermal Dissatisfaction: Tdis) と温熱的な満足感 (Thermal Satisfaction: Tsat) を示す2つの主成分が抽出され, 快適度と同様に不満足度と満足度の推定式が得られている⁽⁷⁾。

主観的な判断により評価を行う時には, 個人差の問題が重要になる。ここでは, 個人差を考慮した解析法を用いて温熱環境の評価構造を検討した例を示す⁽¹⁸⁾。気温 5℃～35℃, 湿度30% R.H.～99% R.H.の条件を組み合わせた23条件を対象に, 表5に示した22種の形容語対について評価を行い, 個人差を考慮する三相主成分分析法を用いて解析している。図4は, 平均的な被験者に対する評価尺度と環境条件の関係である。第I軸成分は, 「暑

図3 JND 曲線と温冷感との関係 (15)

表3. 快適性評価のSD 項目

(+ 1)	(+ 9)
Uncomfortable	Comfortable
Bad temperature	Good temperature
Unpleasant	Pleasant
Unacceptable	Acceptable
Dissatisfied	Satisfied
Uncomfortable temperature	Comfortable temperature

表4 快適性評価項目 (Differential Attribution法)

評価尺度

- +1: Very inaccurate, +2: Inaccurate, +3: Flightly inaccurate
 +4: NEUTRAL, neither accurate nor inaccurate
 +5: Slightly accurate, +6: Accurate, +7: Very inaccurate

評価項目

1. uncomfortable	2. content with	3. agreeable	4. tolerable
5. unpleasant	6. inadequate	7. annoying	8. undesirable
9. satisfactory	10. miserable	11. satisfied with	12. good
13. unacceptable	14. enjoyable	15. great	16. distressful
17. bad	18. acceptable	19. discontent with	20. pleasant
21. dissatisfied with	22. comfortable	23. intolerable	24. disagreeable
25. adequate	26. desirable	27. unsatisfactory	28. gratifying
29. pleasing	30. poor	31. appealing	32. delightful

図5 温冷感別の「より暖かい」「より涼しい」環境を好む人の割合 (-----: 夏, —: 冬) (19)

温度である「中立的な温度 (neutrotal temperature)」は、環境温度の変化を望まない時の温度である「好みの温度 (preferred temperature)」と異なる。このため、人間にとって最も好ましい環境とは、最も多くの人が「環境温度の変化がなくてよい状態」である好みの温度により決まると考えられる。

環境温度に対する嗜好の評価は、現在の環境が「さらに暖かくする (Warmer)」、「変化がなくてよい (No change)」、または「さらに涼しくする (Cooler)」についての評定により行われている。図5は、McIntyreにより求められた温冷感と嗜好との関係である⁽¹⁹⁾。これによると、寒冷環境に居る人は中立的な温熱状態よりさらに暖かくなることを好み、反対に高温環境にいる人は涼しくなることを好むことを示している。この結果、中立的な温度は、高温環境では好みの温度より高くなり、反対に低温環境では好みの温度より低くなる。

4. おわりに

温熱環境の計測と評価には人間の立場にたつことが必要であり、環境を物理的に計測するだけでは不十分である。このため、これまでに数多くの計測評価法が開発されてきた。近年では、環境の物理的な計測と人間側の条件を考慮に入れた環境評価指標も提案されている。

環境の物理的な計測において、衣服の熱性能の測定に用いられているサーマルマネキンが、センサとして利用されようとしている。センサとして用いるためには、より一層マネキンを高機能化する必要がある。すなわち、人間の温熱環境に対する人間の生理反応をもち、同時に温冷感、快適感、その他気流感や輻射感等の感覚評価を

行うことのできる高機能マネキンの開発する必要がある。そのためには、環境に対する人間の生理的反応のモデル化および主観的判断のモデル化や解明に関する研究が今後さらに必要になる。

また、温熱環境の計測評価に関する国際規格 (ISO) 化の動きの中で⁽²⁰⁾、主観の評価尺度を使用した規格⁽²¹⁾も制定されている。これら国際化の動きの中で、言語や国民等の違いによる主観的な評価用語の表現する意味の違い等に対する配慮がより重要になってくる。例えば、産業衛生分野において用いられている「自覚症状調査票」等において外国語に翻訳する時の問題点が議論され、身体部位の区分の違いや表現の違いが指摘されている⁽²²⁾。このため、主観の評価において用いる用語の選定については十分に議論しなければならない。

参考文献

- 1) 石崎伸次：日本建築学会大会学術講演梗概集，105，(1990)。
- 2) 日経メカニカル，No. 315，14，(1991)。
- 3) J. S. Prinse: Administrative Management 41 (10), 36, (1980)。
- 4) 山田晶子：繊維と工業，Vol. 38，No. 9，P449，(1982)。
- 5) 原田隆司，土田和義：繊維と工業，Vol. 46，No 3，P97，(1990)。
- 6) 花田嘉代子：繊維誌 Vol. 20，No. 7，273 (1979) ほか
- 7) 中山昭雄編：温熱生理学，理工学社 (1981)。
- 8) 三浦豊彦編：新労働衛生ハンドブック，労働科学研究所，(1974)。
- 9) 堀越哲美：日本建築学会学術講演梗概集，707 (1991)。
- 10) ASHRAE Handbook & Directory: (1979)。
- 11) H. Hensel: Indoor climate(P.O.Fanger ed.) 425 (1979)。
- 12) F. H. Roles Jr. & J. E. Laviana: Proceedings of the Human Factors Society— 29th Annual Meeting— 1985. Vol. 2, 706 (1985)。
- 13) A.P.Gagge, J.A.J.Stolwijk & J.D.Hardy: Enviornments Research, Vol. 1, 1 (1967)。
- 14) 空気調和衛生工学会温熱小委員会報告：空気調和衛生工学，Vol. 53，777 (1979)。
- 15) 内村喜之，上笹 恒，三平和雄，大野静枝：人間工学，Vol. 11，No. 2，49 (1975)。
- 16) 後藤滋，川島美勝ら：日本建築学会大会学術講演梗概集，(1991)。

- 概集, 315 (1973) ほか
- 17) J. E. Laviana & F. H. Rohles: ASHRAE Transactions, Vol. 93, Part1, 1069 (1987).
- 18) 多屋他: 繊維学会「感覚と計測に関するシンポジウム」予稿集 B-128 (1988).

- 19) D. A. McIntyre: ASHRAE Trans. Vol. 84, Part. 1, 101 (1978).
- 20) 吉田あきら: 人間工学 Vol. 27, 特別号52 (1991)
- 21) I S O 7930
- 22) 吉竹博: 労働科学, 57巻, 9号, 427 (1981).

(平成3年10月9日受理)

第14回 (財) 石本記念デサントスポーツ科学 振興財団学術研究募集

主 催: 財団法人 石本記念デサントスポーツ科学振興財団

応募資格: ①体育学、健康科学、人間工学、被服科学、運動施設工学等健康の増進と体力の向上に関わる学術、およびその他スポーツ振興に寄与する学術研究に関する講座をもった大学、およびこれに準ずる研究機関に所属する個人またはグループ。

②高校生から幼児までの教育機関に奉職しており、①に前述した分野で研究または調査活動を積極的に行っている個人またはグループ。

学術研究課題の内容:

第一部 課題学術研究
本年度テーマ「競技スポーツ選手のコンディショニングについて」
競技スポーツ選手は、試合当日にベストコンディションでのぞむために、食事、睡眠、時差、体重、心理など広範な要素について調整が必要といわれる。スポーツ科学の観点から具体的な成果が期待できるコンディショニングについての研究であること。

第二部 自由課題学術研究
従来どおり本財団の主旨に添ったものであり、申請者がこれま

で行って来た研究を助成することによって、調査・研究の発展・充実が期待されるものであること。

応募方法: 応募者は、所定の申請用紙に研究テーマ、第一部、第二部の区分、目的、内容および期待される成果等を簡潔に書き、平成4年2月10日(当日消印有効)までに下記宛提出すること。

(応募者多数の場合、申請書はコピーでも可、但しコピー使用の場合、第14回申請書をコピーのこと、他の方法による作表および前回までの用紙は使用しないこと)

助成金: 第一部 「課題学術研究」
1件 100~200万円(件数1~2件)

第二部 「自由課題学術研究」
研究内容に応じ、最優秀入選100万円、優秀入選50万円、入選40万円、佳作入選30万円
(件数約25件)

(応募書類 送付先
資料の請求および問合せ)

〒546 大阪市東住吉区今川5丁目1-32

(株)デサント 商品研究室内

財団法人 石本記念デサントスポーツ科学振興財団 編集室

TEL 06-705-1638

FAX 06-704-7707