

快適性評価 PMV

江見 明彦, 米本 洋幸

Akihiko EMI, Hiroyuki YONEMOTO

1 はじめに

現代社会にすむわれわれは、ほとんどの時間を室内で過ごしている。その室内空間を快適にしたいという要望は絶え間なくある。寒ければ暖房をつけたり服を着込み、暑ければ冷房をつける。また暗ければ電気をつけ、空気が悪ければ換気をし、うるさければ防音をする。このようにさまざまな要因に快適さを左右されている。本稿ではこれらのうち、人の暑さ寒さに関する温熱環境についてとりあげる。そして、温熱環境が、どれくらい快適かを評価する手法として 1997 年に国際規格 (ISO7730) になった PMV について説明する。また、PMV と最近の省エネ技術の関わりも併せて述べる。

2 温熱環境の快適性

まずここで、温熱環境において「快適」の意味を定義をする。温熱環境における快適とは、熱的な不快がないことを意味する。つまり、暑さも寒さも気にすることなく過ごしている状態である。これに対して、熱的な快感というものも存在する。例えば、真夏の日差しにさらされたあとに、冷房の効いた部屋に入った瞬間の気持ちよさである。確かに快適な状態ではあるが、こういった一時的な快感では、環境の善し悪しを決めない。

つぎに、人間の体温調節に関して説明をする。人間は通常、皮膚表面の毛細血管の血液の量をコントロールして皮膚の温度を変化させている。これによって人体からの放熱量をコントロールし、深部体温を一定に保つ。暑くなると血流を回して冷やすという生理学的機能もある。その血流で体温を調整できる範囲がほぼ「快適」と感じる範囲である¹⁾。それより、暑くなると発汗をうながし、汗の蒸発による気化熱によって体温を下げようとする。また、寒くなると体を温めようとふるえがおきる。ふるえは一種の運動なので、代謝量が高まり、熱が発生する。そしてこれらの体内反応は「余計な作業」であり、一種のストレスにつながる。

3 温熱環境の評価方法の発祥と現在

人が温熱環境をどのように受け入れるか、またそれをどのように評価するかについての研究は、暖冷房技術、気象学、心理学、生理学、衛生学、産業医学などの分野で行われてきたが、その発祥は今から 90 年前にさかのぼる。

暖冷房の設計技術者は、1920 年代に発展を始めた中央管理式の暖冷房装置をもつオフィスビル建築や劇場などの設計に当たって、温湿度の組み合わせに対する人々の快適レベルや、温度感覚をできるだけ正確に予測することが要求された。また衛生学者や産業医学者は、暑熱や

寒冷にさらされる人々を健康や耐暑・耐寒の限界、労働作業の継続許容時間の予測を要求された。そして第二次世界対戦の際には、軍を主導に多くの実践的研究が重ねられた。

このように温熱環境の研究は、室内環境に限らず発展を遂げてきた。そして現在は、快適な温熱環境をすることによる「生産性の向上」や、「省エネルギー」といったことが要求されている²⁾。

4 温熱環境 6 要素

人間の体温調節に影響を与える要素を「温熱環境要素」と呼ぶ。温熱環境要素は、空気温度、湿度、放射、気流の 4 つの環境側の要素と、在室者の着衣量と活動量の 2 つの人間側の要素とされている。これを Fig. 1 に示し、それぞれについて説明する。



Fig.1 温熱環境の 6 要素

- 空気温度
気温のことで、温度計で示される値のことである。
- 湿度
空気中の水分量のことであり、「じめじめして暑い」「からっとして気持ちがいい」という表現があるように、温度が同じであっても、湿度が違っていると暑さが異なる。汗の蒸発が快適性に影響している。
- 放射
壁や天井、床、家具などから、直接伝わる熱のことであり、赤外線によって伝わる。放射温度の値が室温よりも高いと、周囲から受ける熱放射による暑さを感じ、逆に室温より低いと涼しさを感じる。放射による熱の移動には空気は関係せず、真空でも伝わる。
- 気流
空気の動きのことであり、温度がおなじであっても、気流が強くなるほど寒く感じる。
- 活動量
活動が活発さのことであり、身体から発生する熱量のことである。激しい運動をしているときは気温が低いところでも寒さを感じにくいように、作業の内容に

よって体感温度はかなり変わる。椅子に腰掛けた状態の単位面積あたりの人間の代謝量(=58.2W/m²)を1Met(メット:Metabolic Equivalent)とする。人体の表面積は成人女子で1.5~1.8m²程度、成人男子で1.7~1.9m²程度である。具体例をTable 1に示す。活発な活動ほどMet値は高くなる。

Table1 活動内容とMet値

活動	Met 値
安静時・睡眠時	0.7
椅子に腰掛けた状態	1.0
通常の事務作業	1.2
歩行時(4.8 km/h)	2.6
運動時(テニス)	3.8

● 着衣量

クロ値(clo値)とは着衣の断熱・保温性を示す指標である。つまり着ている服の種類や量のことであり、皮膚表面の温度が下がると寒く感じるが、服を着ると皮膚表面から熱量が逃げにくくなり、皮膚表面温度が上がり、暖かく感じる。着衣の面積や厚さによって熱抵抗がかわる。3ピースのスーツを着た状態の熱抵抗(=0.155(m²・K)/W)を1cro(クロ)とする。具体例をTable 2に示す。服を着こむほど

Table2 clo値

着衣	clo 値
半袖+半ズボン	0.3
シャツ+ズボン	0.5
ジャケット+ズボン	1.0
コート+スーツ	2.0

clo値は高くなる。

5 PMV

5.1 PMV 概要

4章で述べたように、人間の熱的快適性には温熱環境6要素が関係するのだが、要素が多く扱いにくいので、まとめて単一の尺度をつくらうという試みでPMV(Predicted Mean Vote: 予想平均冷温感申告)が誕生した。PMVは、1967年にデンマーク工科大学、Fanger教授によって提唱された。1994年にはISO7730で規定されてオフィスづくりの温熱指標の国際標準となり、アメリカを除く各国で、この指標が採用されている*1。Fanger教授は温熱環境の6要素と、被験者実験から算出した「血流で体温をコントロールできる範囲」を関連づけ、快適さを「+

3」~「-3」までの7段階に数値化し、PMVとした。PMVと温冷感の対応をTable 3に示す。

Table3 PMV

PMV 値	温冷感
+3	かなり暑い
+2	暑い
+1	やや暑い
0	中立(快適)
-1	やや寒い
-2	寒い
-3	かなり寒い

Table 3に示したように+は暑く-は寒いという温冷感を示す。PMV=0が暑くもなく寒くもない、熱的に不快のない状態であり、温熱環境における快適を示す。

5.2 PMVとPPD

PMVにはPPD(Predicted Percentage of Dissatisfied: 予測不快者率)が対応づけられている。PPDは、ある暑い、もしくは寒い状態の時に何%の人がその環境に不満かを表す指標である。PPDが高いほど、その環境を不満に感じる人の割合が多いことが予想される。PMV=0の時、その環境に不満を感じる人の割合は5%と予想され、PMV=±3の時、その環境に不満を感じる人の割合は99%と予想される。PMVからPPDを算出する式をつぎに示す。

$$PPD = 100 - 95 \exp(-0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2) \quad (1)$$

この式(1)は、1300人(欧州人)に及ぶの申告実験によって求められた。PMVとPPDの関係をグラフにしてFig. 2に示す。

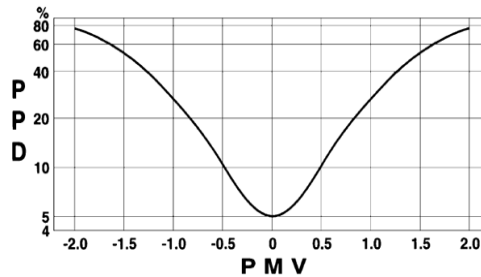


Fig.2 PMVとPPDの関係(参考文献³⁾より参照)

Fig. 2のグラフの谷底を見てわかるように、仮にPMVが±0の環境であったとしても5%の人(20人に1人)はその環境を不満と感じる。ISOの標準では、PMVが±0.5以内、不快者率10%以下となるような温熱環境を推奨している。

5.3 省エネ技術に活用されるPMV

● ダイキン工業

商用の省エネタイプの空調機にはPMVを活用した

1 アメリカではアメリカ空調学会(ASHRAE)が1971年に策定した、SET(Standard New Effective Temperature: エス・イー・ティー・スター標準有効温度)が標準になっている。アメリカ空調学会の会員数は全世界で55000人に及ぶ。

制御を標準搭載している。また、家庭用エアコンで、従来の温度のみに依存した空調から、気流、湿度も併せてコントロールすることで、従来の快適性を維持したまま、最大50%のエネルギー削減を実現した。ダイキン工業はこの機能を「肌温度コントロール」という名称にしている。

● 東芝

ビル省エネソリューションとして、PMVによって制御する空調システムを提供している。従来の一般的な管理方法では、室内の温度を人(管理者ら)が手動で設定する方式がとられており、快適環境維持とエネルギー消費量低減との両立のため温度の上げ下げに苦慮することが多い。人手によって設定される温度は、この変化に耐えるように自ずと過剰な方向(冷房ならば設定温度が低めの方向)になり、エネルギーのむだが生じるようになっていた⁴⁾。PMV制御の空調システムでは、従来より6.8%のエネルギー削減を実現した。

5.4 PMVの課題

PMVは均一な環境を想定して算出された指標であり、局部温冷感に対応していない(Fig. 3)。局部温冷感を実環境で必ず存在するので、PMVによる制御だけでは個人個人の要望への対応が難しい。そこで現在は、不均一温熱環境における快適性評価手法に関する研究⁵⁾がされている。

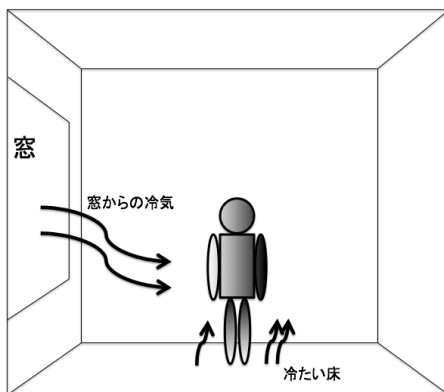


Fig.3 局所不快感(参考文献⁶⁾より参照)

また、本来暑い寒いといった温熱感覚は個人個人で差があるものだが、PMVは大多数の感じかたをもとにつくられた指標である。温熱環境が同一でも、人間の温熱感覚は、個人差、男女差、年齢差により異なり、平均的には、女性より男性が、また、熟年者より若年者の方が暑く感じる。

6 おわりに

PMVによる空調制御が、従来の快適性を維持したまま省エネを実現している。しかし忘れてはいけないのが、PMVは大多数の人が満足する温熱指標である。また、室内空間にいる人が全員同じ作業をしているとは限らな

いので、PMVの制御のみで個人個人の要望に応えることは不可能である。個人が衣服で調整するか、もしくは個人個人に空調を設ける必要がある。また、温熱環境以外にも快適性を左右する環境(光環境や音環境など)があるので、それらとの複合効果を検証が必要だろう。

参考文献

- 1) OMソーラー株式会社
<http://omsolar.jp/info/interview09.html#n2>
- 2) 川口 玄, 西原 直枝, 羽田 正沖, 中村 駿介, 内田 智志, 田辺 新一, (他), 室内環境が知的生産性に与える影響(その1~その24), 2004~2008
- 3) 田辺新一, 温熱環境の快適性評価, 日本物理学会誌 54(6), 440-448, 1999-06-05
- 4) 株式会社レックス
<http://www.rex-rental.jp/knowledge/tik/tik.007.html>
- 5) 東芝社会システム社
<http://www3.toshiba.co.jp/snis/bldg/kaiteki/index.htm>
- 6) 天野至康(他), 不均一温熱環境における快適性評価手法に関する研究, 2008
- 7) 今村仁美・田中美都, やさしい建築環境, 学芸出版社, 2009
- 8) 京都電子工業株式会社 アメニティメーター
<http://www.uoeh-u.ac.jp/kouza/sanhoken/kyouto.pdf>
- 9) 北海道工業大学 SET*の歴史
<http://www.hit.ac.jp/~archi/zhp/nzhp/2.htm>
- 10) ダイキン工業株式会社
http://www.daikinaircon.com/roomaircon/08.6_01/index05.html
- 11) 三幸エステート株式会社 温感の科学
<http://www.websanko.com/officeinfo/officemarket/pdf/0203/science.pdf>
- 12) 板本守正(他), 環境工学(四訂), 朝倉書店, 2002
- 13) 田中俊六(他), 建築環境工学(二訂), 井上書院, 1999
- 14) 田辺新一(他), 冷媒物性を考慮した空調設備のエネルギーシミュレーション用個別分散空調システムモデルの開発, 2010