

The 14th Symposium on Man-Thermal Environment System (Tokyo 1990)

PANEL
DISCUSSION 1

METHODS FOR EVALUATING COMFORT CONDITIONS OF HUMAN-ENVIRONMENTAL SYSTEM

1.THERMAL ENVIRONMENT

Shigeru GOTOH, Kazuo FUKAI

Yokohama National University

On an investigation of comfort, "healthy and comfortable states" must be a goal. As for thermal comfort, human being is regulating its own body temperature in the thermal environment varying from intense cold to intense hot. Thermal comfort states explained as "the condition of mind which express satisfaction with the thermal environment" is almost same as thermal neutral sensation. Moreover, thermal comfort states is not the different one from the threshold of regulation by skin blood flow which enables least physiological load.

SET* (Standard New Effective Temperature) proposed by Gagge et al., is based on the numerical model of body temperature regulation which functions similar to human physiological regulatory response. In this paper, a progress of SET* calculating program in these twenty years is explained. Thermal comfort zone defined in ASHRAE Standard 55-74 was found the same one in Standard 55-81, and appeared as 22.0~25.4°C of SET* calculated by new program (1986 ASHRAE Transaction PO-86-14 No.1, Gagge et al.). We made a subjective experiment by 7 Japanese, varying the thermal condition up to 31 cases. This resulted that Japanese thermal comfort zone was around 22~26°C SET*, and was corresponded well to ASHRAE Standard thermal comfort zone.

The following points are left in further studies.

- (1) the critical humidity on thermal comfort, lower and upper limit.
- (2) the influence and upper limit of air velocity on thermal comfort.

Correlation between the lines of constant wettedness and effective or ineffective regulatory sweating and maximum sweating limit is also needed to be investigated further to make a sure use of SET*.

パネル
ディスカッション1

人間-環境系に関する快適性の評価方法

1. 温熱環境について

横浜国立大学 ○後藤 滋 深井 一夫

1. はじめに

最近では快適性の追究が盛んであるが、一般には快適生活を標榜した商業主義が多いことが目立つ。そこで快適とは何か、あるいは快適性だけを追究すればよいのかを考えてみる必要がある。快適とは一般に心や気持の問題であり感性的なものといえよう。したがって、吾々の生活を考えるとき、単に感性だけであってはならないし、環境の快適性というとき、これを感覚だけで判断することは不充分である。例えば空気質のように嗅覚にも訴えないで有害なものもあるからである。そこで快適性を追究する場合には、常に「健康にして快適」なものを目標としなければならない。

2. 温熱環境における快適性

温熱環境では極寒から酷暑まであり、ヒトは其中で生活し、体温調節を行っている。そして暑さ寒さは度が過ぎれば不快である。そこで、温熱環境では温冷感的に暑くも寒くもなく満足が表明できるような心の状態であれば、これを温熱的に快適といっている¹⁾。これは温冷感的に中立な状態と殆ど同じである。すなわち、一般にはやや暑かったり、寒かったりして、満足を表明することは難しかったり、不快であることが多く、空調をしている室でも半数以上が満足をしている例はそう多くない。したがって、不快でなくほぼ満足していれば温熱的に快適といっても差支えないことになる。

多少の暑さや寒さからこれが解消される過程では、快い涼しさや暖かさを感じることもある。また、軽い持続的な風や放射熱(日射など)によって快さや爽やかさを感じることもある。このような過渡的なあるいは動的な刺激の条件については快適性を追究する価値があるし、多くの研究も行われている。しかし未だ定説には至っていないように思われる。

したがって、ここでは温熱的快適として、温冷感的に中立あるいは人体熱平衡において、最も生理的に負担の少ない、すなわち代謝の小さい血管調節域を対象と考えることができよう。実験室実験²⁾でもこのことがよく現われているし、またGagge ら(1986)の2節モデル³⁾ではよくこの特性を表わしているので、温熱に関する快適条件を求めるのには ET^* によるしかも数値を一つで表わせる SET^* によるのが便利に思われる。そこで、ASHRAE St.55-74 でいわれているような SET^* の快適範囲が一般に妥当かどうかを検証する実験を行ってみた。

3. 標準新有効温度 SET^*

SET^* (Standard New Effective Temperature)は、体温調節機能を組み込みモデル化された人体 (Two-Node Model) と、その周囲を取り巻く温熱環境との間の熱平衡式に基づいて定義される新有効温度 (New Effective Temperature, ET^*) を基として、異なった条件の温熱環境を比較できる様に標準化した温熱指標である。この SET^* は環境側の条件として気温・湿度・輻射温度・気流の温熱4要素のすべてと、人体側の条件としての活動量・着衣量を考慮して求められるもので、体温調節機序量の操作等の考え方も明快であり、様々な条件下での室内熱環境の評価指標として適したものであると考えられる。また、体温調節機能等の数値モデルは新たな知見により容易に改良することができ、発展性・応用性の大きな指標でもある。しかし反面、Gagge らがすでに3つの ET^* または SET^* の計算プログラムを発表している³⁾⁴⁾⁵⁾ように、未だ確定的な指標でなく、使用する側にとっては不都合な面もある。

旧 SET^* と新 SET^* の相違

ここで言う旧 SET^* とはASHRAE Standard 55-74やASHRAE HADBOOK(1985)などに採用されていると思われる SET^* で ET^* に関する最初の論文³⁾に示されるプログラムにより計算されるものである。一方、新 SET^* は1986年の文献⁵⁾に示されるプログラムによるもので、両者の間には人体の体温調節モデルの一部や、標準化するときの標準条件に以下に示す様な相違が見られる。

① 人体の体温調節モデルの相違

a. モデルの体格と体温の基準値

Table 1 に示すような相違があり、体格は新 SET^* では日本人の体格に近いものとなっている。

Table 1 Difference of conditions for calculating "old" SET^* and "new" SET^*

		旧 SET^*	新 SET^*
体重	[kg]	81.7	70.0
身長	[m]	1.77	1.73
体表面積	[m ²]	2.0	1.8
基準体内温	[°C]	36.6	36.8
基準皮膚温	[°C]	34.1	33.7

b. 低温側環境下でのふるえによる体温調節

人間が低温環境に暴露された場合、旧 SET^* では皮膚血管の収縮により皮膚血流を減少させ体内部から体表

面への熱移動を抑制することによる体温調節（熱放散の抑制）が限界に達すると即座に体温の低下が始まるというモデルでふるえによる体温調節域が存在しなかった。一方新SET*では、体温の低下の開始に呼応してふるえによる産熱量の増加が始まり、体温の低下を防ぐようなモデルになっており、生理学的実験による知見とも良く合致している²⁾。

c. 呼吸に伴う乾性熱放散

一般の環境条件では呼吸により低温・低湿の空気を吸い込み、高温・高湿の呼気を排出するため、呼吸に伴って、湿性熱放散・乾性熱放散が起こる。旧SET*では湿性熱放散については考慮されていたが乾性熱放散は省略されていた。一方、新SET*では両者とも考慮されるようになった。

② 標準化の条件の相違

旧SET*ではTable 2に示すように、活動量・着衣量・気流の標準化条件は固定されていたが、新SET*では活動量は、評価しようとする条件と同一の値とし、着衣量と気流はこの活動量の関数として決めている。気流速度が活動量の関数で表されることは妥当であると考えられる。一方、着衣量が活動量の関数となることについては疑問があるが、文献5)によると、ある活動量における快適状態の調節性発汗量を与えるSET*を、活動量によらず等しくし、活動量の相違に対するSET*の互換性を確保しようとしているようである。

Table 2 Difference of standardizing conditions in "old" SET* calculating program and "new" one

	旧SET*	新SET*
活動量 [met]	1.1	任意
着衣量 [clo]	0.6	活動量により定まる (1.1[met]の場合0.63[clo])
気流 [m/s]	0.1~0.15	活動量により定まる (1.1[met]の場合0.16[m/s])

4. ASHRAE Standardに示される快適範囲について

4-1 ASHRAE St.55-74 の快適範囲

St.55-74に示される快適範囲はSET*=22.2~25.6℃で、この値は1971年にGaggeらにより発表されたプログラム³⁾から求められた旧SET*と考えられ、新しいプログラム⁵⁾による値(新SET*)とは若干異なると思われる。旧SET*では、標準状態を相対湿度=50%，気流速度=0.1~0.15 m/s，活動量=1.1 met，着衣量=0.6 cloとしており、空気温=MRTで他の条件がすべて標準状態に等しいとすると、そのときの旧SET*は空気温と等しくなる。したがって、旧SET*を新SET*に換算するには、空気温とMRTを換算しようとする旧SET*と等しくとり、湿度・気流・着衣量・活動量を旧SET*標準値として新SET*算出プログラムに入力すればよく、得られた結果が新SET*換算値となる。ここで、標準状態の気流速度は0.1~0.15m/sの

範囲となっており、実際に入力する数値をどうするかが問題になるが、活動量を1.1 metとするとこの気流速度の差は新SET*の計算結果に影響を与えない。旧SET*=22.2, 25.6℃の新SET*換算値は、22.0, 25.4℃となる。

次に、SET*の計算プログラムは人体の体温調節システムを数値モデル化してシミュレーションを行なっているが、その中での体温調節機序量（ふるえ、皮膚血流、発汗）の挙動から、ASHRAE St.55-74の快適範囲を見てもいいことになる。Fig. 1には、上記と同様に活動量、着衣量、気流速度、相対湿度を旧SET*標準値とし、空気温(=MRT=旧SET*)の変化に対して、各体温調節機序量の変化を示している⁷⁾。この条件では20~23℃強の範囲で、ふるえも発汗も無く、皮膚血流のみによる体温調節が行なわれるいわゆる血流調節域が見られるが、St.55-74の快適範囲と比べると2℃程度低温側の範囲となっており、疑問の残るところである。

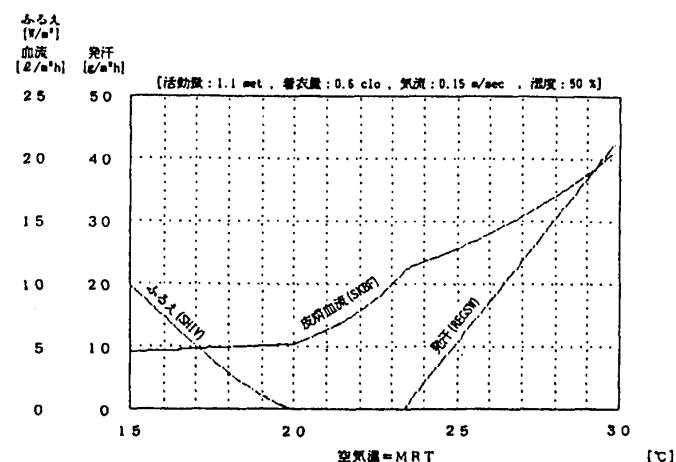


Fig.1 Variation in physiological temperature regulation controls with air temperature

4-2 ASHRAE St.55-81 の快適範囲

ASHRAE St.55-81ではSt.55-74と異なり、SET*での快適範囲は示されておらず、空気線図上で絶対湿度の上限と下限及び等ET*線による夏季・冬季の限界値が示され、それらに囲まれる範囲を快適域としている。この等ET*線は、夏季は着衣量0.5 cloで22.8~26.1℃、冬季は0.9 cloで20.0~23.6℃となっている。これらのET*で示される範囲を新SET*に換算すると、夏季の範囲は新SET*=21.84~25.21℃、また冬季は22.05~25.49℃であり、ASHRAE St.55-74の快適範囲とほぼ同一の新SET*の範囲になっており、夏冬の着衣量の相違を基に分離して示したものとなっている。

5. 快適範囲に関する実験⁶⁾

ASHRAE St.55-74の快適範囲(旧SET*=22.2~25.6℃ 新SET*=22.0~25.4℃)の日本人に対する妥当性の検討を目的として被験者実験を行った。実験は、平成2年2月~3月に行い、青年男女各7名の中から4名ずつ(男

第14回 人間-熱環境系シンポジウム報告集 (東京 平成2年12月)

女各2名)入室させて行ない、被験者数は延べ124人、実験条件は新SET*で約18~29℃の範囲の31条件とした。実験時の着衣量は男性0.74clo、女性0.76cloで、活動量は椅座安静の状態0.8metと推定した。

以下の考察には実験室入室後65分の値を用いる。SET*と全身の温冷感申告(TSV:Thermal Sensation Vote)との相関をFig.2に示す。相関係数は0.837でSET*と全身温冷感申告との線形関係が認められる。ASHRAE St.55-74の快適範囲は22.0~25.4℃となっているが、今回の実験では全身温冷感申告が“4:やや涼しい”から“6:やや暖かい”となるSET*の範囲を回帰直線から求めると21.9~26.4℃で、St.55-74の快適範囲を含む高温側にやや広い範囲となった(図中のハッチ部分)。

Fig.3に男女別の回帰直線を示す。フィールド調査では男女で快適温度が異なり、女性の方がやや高い温度を快適と感じるとの報告もあるが、男女とも同程度の着衣量に統制し、SET*で整理している今回の実験においては性差は認められない。

Fig.4には個人毎のSET*と全身温冷感申告との回帰直線を示す。傾きの違いは温冷感の反応性の違いを表わしている。個人により反応性は異なるものの、すべての回帰直線は温冷感申告で“どちらでもない”付近とSET*で24~25℃の領域(図中の網掛け部分)を通過している。中立温感をはずれる環境では温冷感の個人差が大きいが、中立温感を与える環境温にはあまり個人差がなく、SET*で24~25℃を中心とする範囲となる。

以上の結果から、日本人の快適範囲はSET*=22~26℃程度と考えられ、ASHRAE St.55-74の快適範囲は日本人に対しても妥当な範囲といえるであろう。

6. まとめ

快適性の追究では常に「健康にして快適」なものを目標とする必要がある。温熱環境における快適性について考察し、中立温感付近では満足を表明することができ、これは生理学的には血流調節域に相当すると考えることができる。

体温調節特性とよく類似するモデル指標として標準新有効温度SET*があげられ、この20年ほどの間におけるSET*の修正内容について述べた。ASHRAE St.55-74および81の快適範囲は同一のものであり、これを新しいSET*で表わすと22.0~25.4℃となる。

日本人の青年男女各7名の被験者について、31条件の温熱環境実験から得られた快適範囲は大略22~26℃となり、上記とよく一致した。

今後の課題として、①湿度の限界(上限、下限)、②気流速度的影響の確認およびその限界について明確にする必要がある。また、等ぬれ率線と有効、無効発汗の問題および発汗限界との関係などについても今後その取扱いを明らかにする必要がある。

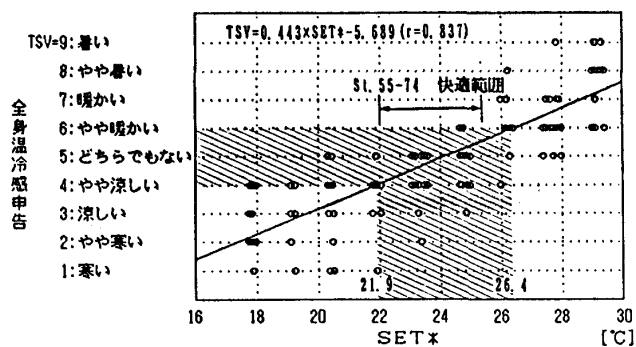


Fig.2 Correlation between SET* and whole body thermal sensation votes

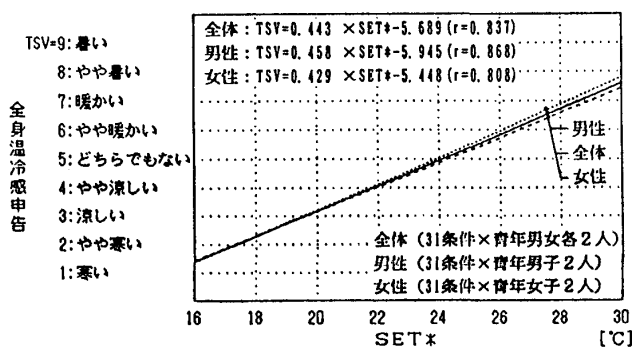


Fig.3 Regression lines between SET* and whole body thermal sensation votes (Comparison between male and female)

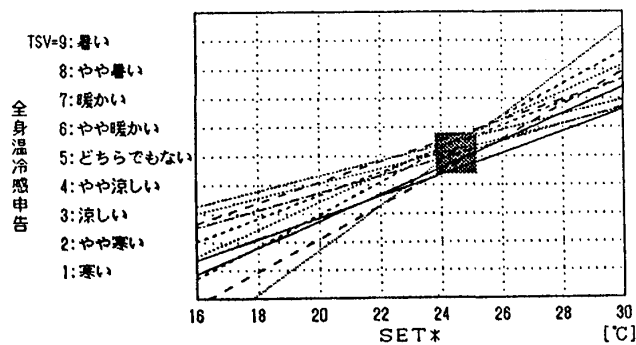


Fig.4 Regression lines between SET* and whole body thermal sensation votes (Comparison between each subjects)

<参考文献>

- 1) ASHRAE Handbook 1985 Fundamentals
- 2) 川島英勝・後藤滋: 体温調節系の特性, 空気調和・衛生工学, 53-8, pp.31~38, (1979)
- 3) A.P.GAGGE, J.A.J.Stolwijk, Y.Nishi: AN EFFECTIVE TEMPERATURE SCALE BASED ON A SIMPLE MODEL OF HUMAN PHYSIOLOGICAL REGULATORY RESPONSE, ASHRAE Transactions VOL.77, Part 1 PP.247~262 (1971)
- 4) A.P.GAGGE, Y.Nishi, R.G.Nevins: THE ROLE OF CLOTHING IN MEETING FEA ENERGY CONSERVATION GUIDELINES, ASHRAE Transactions VOL.82, Part 2, PP.234~247 (1976)
- 5) A.P.GAGGE, A.P.Fobelets, L.G.Berglund: A STANDARD PREDICTIVE INDEX OF HUMAN RESPONSE TO THE THERMAL ENVIRONMENT, ASHRAE Transactions VOL.92, Part 2B, PP.709~731 (1986)
- 6) 斎藤, 伊藤, 深井, 後藤他: SET*と温熱感覚の関係について(その1・その2), 空調学会学術講演会講演論文集 PP.1097~1104 (1990)
- 7) 深井, 後藤, 斎藤, 伊藤他: SET*と温熱感覚の関係について(その3), 空調学会学術講演会講演論文集 PP.1105~1108 (1990)