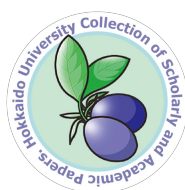




HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	椅座時の温冷感予測に関する一提案
Author(s)	佐古井, 智紀; 持田, 徹; 長野, 克則 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム（平成13年11月1日（木）-2日（金） 北海道大学学術交流会館） . 1 建築環境とエネルギー利用 . P1-10
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 48-53
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7142
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-1-10_p48-53.pdf



1-10

椅座時の温冷感予測に関する一提案

佐古井智紀（北海道大学） 持田 徹（北海道大学） 長野 克則（北海道大学）
嶋倉 一實（北海道大学） 早瀬 英男（北海道大学）

1. 緒言

本稿は、対象とする条件を定常かつ活動量一定に限定する。この条件下では、平均皮膚温は生体内の温度状態に関わるストレスを表す量と言える。他方、ぬれ面積率は、皮膚表面と環境間においてなされる体温調節性の熱放散に着目した量で、生体外表における体温調節性ストレインを表す指標と解釈される。ここでは、体温調節性の熱量として、体温調節性発汗の蒸発（以後、体温調節性蒸汗と記す）と、非ふるえおよびふるえ熱産生に着目した。また、温熱生理状態を表す生理変量として、平均皮膚温とぬれ面積率に、心理変量として、温冷感申告値に着目した。そして、人体の生理特性に関する考察と著者らの椅座被験者に関する温感実験の結果を基に、被験者がほぼ定常に至るまで環境に暴露されたときの、これら生理変量と熱量の関係式、および生理変量と心理変量の関係式を導出した。得られた関係式と、人体と環境間の熱平衡式を用い、椅座、定常状態における温冷感覚の評価法：熱環境指標（Index for Thermal Environment：ITE）を提案した。本論文で用いる記号を以下に一覧する。

E_{sk}	： 蒸汗放熱量	[W/m ²],
E_{dif}	： 不感蒸泄熱量	[W/m ²],
E_{max}	： t_{sk} における環境側の蒸発容量	[W/m ²],
E_{reg}	： 体温調節性の蒸汗熱量	[W/m ²],
f_{cl}	： 衣服面積率	[N.D.],
F_{pcl}	： 衣服の透湿効率	[N.D.],
F_r	： 椅座の人体の有効放射面積率（= 0.74（本研究））	[N.D.],
H_{se}	： 皮膚表面から環境へ放散される熱量	[W/m ²],
h_c	： 椅座の対流熱伝達率（= Mitchell の式（本研究））	[W/（m ² ・℃）],
h'	： 皮膚・環境間の総合熱伝達率	[W/（m ² ・℃）],
h'_e	： 皮膚・環境間の水蒸気圧差を駆動力とする熱伝達率	[W/m ² kPa],
I_{cl}	： 衣服の保温性能	[clo],
L	： 人体熱負荷	[N.D.],
L_{ht}	： 生体内の熱ストレスによる熱負荷	[N.D.],
LR	： Lewis の係数	[℃/kPa],
L_{rg}	： 生体外表で生じる体温調節性ストレインによる熱負荷	[N.D.],

M	： 産熱量	[W/m ²],
p_a	： 環境の水蒸気圧	[kPa],
p_{sk}^*	： t_{sk} における飽和水蒸気圧	[kPa],
S_w	： 発汗（相当）熱量	[W/m ²],
t_a	： 気温	[℃],
t_{cl}	： 衣服外面温	[℃],
t_{op}	： 作用温度	[℃],
t_r	： 平均放射温	[℃],
t_{sk}	： 平均皮膚温	[℃],
$t_{sk,comf}$	： 中立の平均皮膚温	[℃],
$t_{sk,set}$	： 定常において発汗が生じ得る平均皮膚温	[℃],
TSV	： 温冷感申告	[N.D.],
w	： ぬれ面積率	[N.D.],
w_{dif}	： 不感蒸泄に対応するぬれ面積率	[N.D.],
w_{reg}	： 体温調節性のぬれ面積率	[N.D.],
w_{comf}	： 中立のぬれ面積率	[N.D.],
ε_s	： 人体外面の放射率	[N.D.],
σ	： Stefan-Boltzmann の定数	[W/（m ² ・K ⁴ ）],
η_e	： 発汗の蒸発効率	[N.D.],

2. 生理応答の予測

まず、中立～暑暖領域を対象として、体温調節性の熱量である体温調節性蒸汗量 E_{reg} を、生理変量により表現する。先述のように、定常かつ一定活動を対象としているので、生体内の温度状態を t_{sk} により代表し、発汗量 S_w を t_{sk} のみの関数として表す。

$$S_w = S_w(t_{sk}) \quad (1)$$

発汗の蒸発効率 η_e に影響を及ぼす因子として、皮膚表面から環境へ放散される熱量 H_{se} と t_{sk} 、および環境側の蒸発容量 E_{max} に着目する。 H_{se} の変動は呼吸項による影響のみで、その変動量は大きくとも産熱量 M の 1 割程度であり、 H_{se} 自体の大きさと比べても最大 15% であるので、一定と近似すると、 η_e は t_{sk} と E_{max} のみの式により表される。

$$\eta_e = \eta_e(t_{sk}, E_{max}) \quad (2)$$

式 (1)、式 (2) より、体温調節性の蒸汗量 E_{reg} は、 t_{sk} と E_{max} のみを変数として表現される。

$$E_{reg} = \eta_e(t_{sk}, E_{max}) \times S_w(t_{sk}) = f(t_{sk}, E_{max}) \quad (3)$$

ぬれ面積率 w の定義¹⁾ と式 (3) より, E_{reg} に対応するぬれ面積率 w_{reg} もまた, t_{sk} と E_{max} を変数とする式で表される.

$$w_{reg} = g(t_{sk}, E_{max}) \quad (4)$$

E_{reg} は t_{sk} , E_{max} のそれぞれに対して単調増加するといえるので, E_{reg} (または w_{reg}) と t_{sk} , E_{max} の3者の中, 2者が定まれば残り一者も一意的に定められる. また, w_{reg} は w と一意的に対応するので¹⁾ E_{reg} を t_{sk} と w により表す.

$$E_{reg} = j(t_{sk}, w) \quad (5)$$

ここで, E_{reg} が t_{sk} , w を用いて如何に表されるかを検討する. これまでに著者らは, 活動・着衣・気流を固定した条件下において, 一定 t_{sk} 時に以下の①～⑥に示す特性があることを確認した^{2), 3), 4)}.

- ①蒸汗放熱量と水蒸気圧は負の相関傾向を有する.
- ②蒸汗放熱量と作用温度は正の相関傾向を有する.
- ③ぬれ面積率は水蒸気圧と正の相関傾向を有する.
- ④ぬれ面積率は作用温度と負の相関傾向を有する.
- ⑤ぬれ面積率と蒸汗放熱量は負の相関傾向を有する.
- ⑥等平均皮膚温線は湿り空気線図上で負のこう配を持つ上に凸の曲線となる.

ここで, 定常・定活動・平均皮膚温一定の場合の E_{reg} を, ぬれ面積率 w を変数とする負の一次式 (式 (6)) により表す. なお, 体温調節性の発汗が観られる条件では, w が常に 0.06 より大きな値をとるので, 式 (6) の E_{reg} に関して w が +0.06 となる極限をとると, $E_{reg} > 0$ が得られる.

$$E_{reg} = -\varepsilon w + \phi \quad (6)$$

ただし, $\varepsilon > 0$, $\lim_{w \rightarrow +0.06} E_{reg} = \phi - 0.06\varepsilon > 0$.

t_{sk} の値が異なれば, 式 (6) の定数 ϕ , ε は異なる値になり得るので, 多様な t_{sk} 値に適用できる E_{reg} , t_{sk} , w の関係式を導くに当たり, ϕ , ε を t_{sk} の関数として表す. 中立付近の t_{sk} では発汗の絶対量が小さく, 結果として E_{reg} の変量も小さくなるが, 他方, w は着衣や風速などの外部条件に応じて変化し得る. 逆に, 高い t_{sk} では, 無効発汗の影響も顕著になるように, E_{reg} の変量も大きくなる. 従って, $t_{sk} = t_{sk.set}$ において, E_{reg} はゼロとなり等 w 線は収束し, t_{sk} が高くなるに従い, 等 w 線が発散する傾向にあると考えられる. そこで, 式 (6) の ϕ , ε を, 式 (7) を満たす t_{sk} の関数として与え, E_{reg} を表すことを試みる.

$$E_{reg} = \alpha(1 - \beta w)(t_{sk} - t_{sk.set}) \quad (7)$$

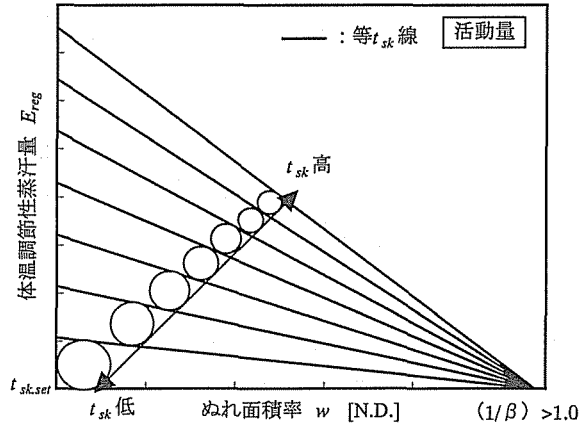


図-1 t_{sk} に対する E_{reg} , w の変化幅の図示 (式 (7))

式 (7) を, 横軸にぬれ面積率 w , 縦軸に体温調節性蒸汗量 E_{reg} をとったグラフ上に示すと図-1 が得られる. t_{sk} が高くなるにつれ, w , E_{reg} , とともに大きな値へと移行するので, 図-1 上において, 中立域はグラフ左下に, 暑暖域は右上側に対応する. 図-1 中に示される円は, 中立～暑暖域に移行する場合の, t_{sk} 一定のきざみ幅に対する, w および E_{reg} の変化巾を模式化して示したものである. 図-1 より, 式 (7) では, t_{sk} が低いほど, E_{reg} および w の変化量が大きくなり, 逆に, t_{sk} が高いほど, E_{reg} および w の変化量が小さくなる性向を有していることが見て取れる. 他方, 実際の人体の熱平衡は, 中立域付近では主に血流量調節により維持され, 暑暖領域に移行するにつれて, 発汗による調節が主体となる. すなわち, 中立付近では, E_{reg} および w の変量と比べて t_{sk} の変量は大きくなり, 逆に, 暑暖領域では, t_{sk} に比べて E_{reg} , w の変量が大きくなると言える. 図-1 に示される, t_{sk} 一定のきざみ幅に対する, w および E_{reg} の変化巾を考慮すると, 式 (7) では, 上述の生理特性を表現しきれないことが分かる. そこで著者らは, Nadel らの数理モデルの特性を参照し⁵⁾, 式 (7) を式 (8) へ修正することにより, t_{sk} が高くなるほど E_{reg} , w の変量が大きくなる特性を組み込み, E_{reg} および t_{sk} , w の関係式として設定した. なお, 式 (8) の諸定数値を, 中立～暑暖領域で, 1～3 時間, ほぼ定常となるまで行った著者らの椅座実験の結果 (0clo : 228 例, 0.95clo : 49 例)^{6) ~11)} を基に, 試行錯誤の末, 以下の値により与えた. 式 (8) の関係とその基となった実験データを, 図-2 に示す.

$$E_{reg} = \alpha'(1 - \beta w)(t_{sk} - t_{sk.set}) \exp(\gamma(t_{sk} - t_{sk.set})) \quad (8)$$

$$= \alpha(1 - \beta w)(t_{sk} - t_{sk.set}) \exp(\gamma t_{sk})$$

ここで, $\alpha = 1.7 \times 10^{-7}$ [W/m²°C], $\beta = 0.93$ [N.D.],

$\gamma = 0.53$ [1/°C], $t_{sk.set} = 33.5$ [°C].

E_{max} は, 式 (9) により表されるので, 環境条件が与

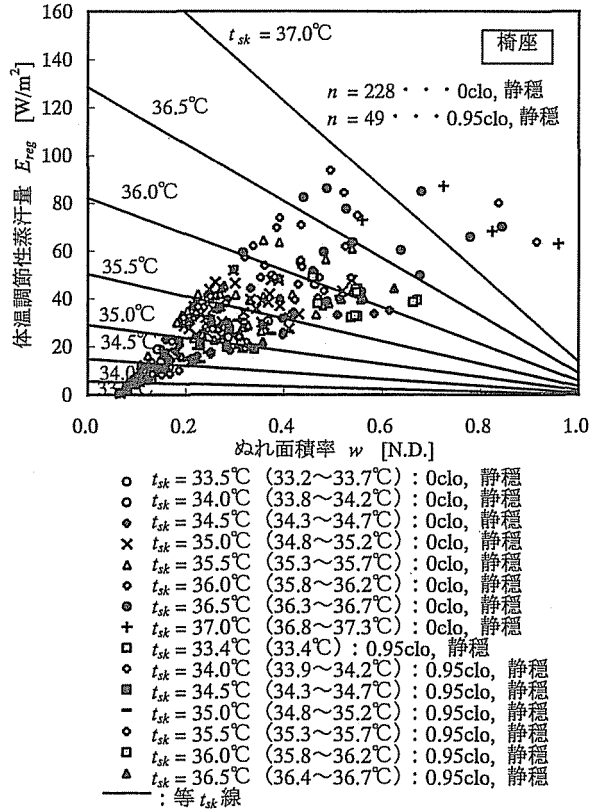


図-2 t_{sk} , w と E_{reg} の関係 (式 (8))

えられればその変数は t_{sk} のみとなる。従って、式 (8) を E_{max} で除すことにより、式 (8) の変数は t_{sk} と w のみに変換される。また、放射熱交換量を Stefan-Boltzmann の法則に従って与えた人体と環境間の熱平衡式 (式 (10)) に、産熱量 M 一定の条件、および環境条件を代入すると、変数は同じく t_{sk} と w のみになる。得られた 2 式より、与えられた環境条件における t_{sk} と w は一意に決定できる。

$$E_{max} = LRh_c F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) f_{cl} \quad (9)$$

$$M = \sigma \epsilon_s F_r \left\{ (t_{cl} + 273.15)^4 - (t_r + 273.15)^4 \right\} f_{cl} + h_c (t_{cl} - t_a) f_{cl} + LRh_c F_{pcl} (p_{sk}^* - p_a) f_{cl} w + 0.0173M (5.87 - p_a) + 0.0014M (34 - t_a) \quad (10)$$

ここで、

$$t_{cl} = t_{sk} - 0.155 I_{cl} \left[\sigma \epsilon_s F_r \left\{ (t_{cl} + 273.15)^4 - (t_r + 273.15)^4 \right\} f_{cl} + h_c (t_{cl} - t_a) f_{cl} \right]$$

また、寒冷から中立領域を対象として、椅座時における体温調節熱量としての、ふるえおよび非ふるえ熱産生を含む産熱量 M を、椅座・読書・冬服 (0.95clo)・静穏気流において寒涼～中立環境を対象として行われた実験¹²⁾における、産熱量 M の測定結果 (9 例) を基に、 M を式 (11) により与えた。寒涼～中立領域におい

て、先述の w 一定の条件と環境条件を人体と環境間の熱平衡式 (式 (10)) に代入すると、変数は人体要素の M と t_{sk} のみとなり、これに式 (11) の関係を代入することにより、寒冷～中立領域における t_{sk} が一意に定められる。

$$\begin{cases} M = 58.15 & \dots t_{sk} \geq 32 \\ M = -7.28 t_{sk} + 291.2 & \dots t_{sk} < 32 \end{cases} \quad (11)$$

3. 温冷感の予測

本章では、定常・定活動 (椅座) における温冷感覚 TSV と熱負荷 L を、生体内の熱ストレスを表す t_{sk} と、生体外表における体温調節性ストレインを表す w を用いて表現し、その結果と 2 章の t_{sk} , w の予測結果を受け、与えられた環境における温冷感覚を予測する。生体内のストレス t_{sk} と、生体外表におけるストレイン w は、直列に存在する負荷であるので、熱負荷 L を、生体内のストレス $L_{ht}(t_{sk})$ と生体外表のストレイン $L_{rg}(w)$ の直列和として表す。なお、 $L_{rg}(w)$ は、人体外表の負荷であるので、その係数 E を人体外表の因子である w のみにより、また、 $L_{ht}(t_{sk})$ は、生体内の負荷であるので、その係数 F を生体内の因子である t_{sk} のみにより表す。

$$\begin{aligned} L(t_{sk}, w) &= L_{rg}(w) + L_{ht}(t_{sk}) \\ &= E(w) \cdot (w - w_{conf}) + F(t_{sk}) \cdot (t_{sk} - t_{sk,conf}) \end{aligned} \quad (12)$$

まず、中立～暑暖領域について検討する。対象となる環境に、被験者を 1 時間曝露して、表-1 に示す申告スケールにおいて有効な申告が得られた 124 例 (被験者 10 名) の椅座・読書・裸体の実験の結果^{6), 8), 10)} から、各温感において得られた t_{sk} と w を p_a に対してプロットして、図-3, 4 に示す。

表-1 温感申告の申告スケール

温感申告 TSV	
0 : neutral (中立)	
-1 : slightly cool (少し涼しい)	+1 : slightly warm (少し暖かい)
-2 : cool (涼しい)	+2 : warm (暖かい)
-3 : cold (寒い)	+3 : hot (暑い)
-4 : very cold (非常に寒い)	+4 : very hot (非常に暑い)

図-3, 4 において、暑暖領域における t_{sk} および w の変化特性が明確に現れる、TSV ≥ 2 のデータに着目する。横軸平均皮膚温、縦軸ぬれ面積率のグラフ (図-5) 上における各等温感線の微係数 dw/dt_{sk} は、各温感における w の p_a による変化特性 dw/dp_a と t_{sk} の p_a による変化特性 dt_{sk}/dp_a を用い、次式で表される。

$$\frac{dw}{dt_{sk}} = \frac{\frac{dw}{dp_a}}{\frac{dt_{sk}}{dp_a}} \quad (13)$$

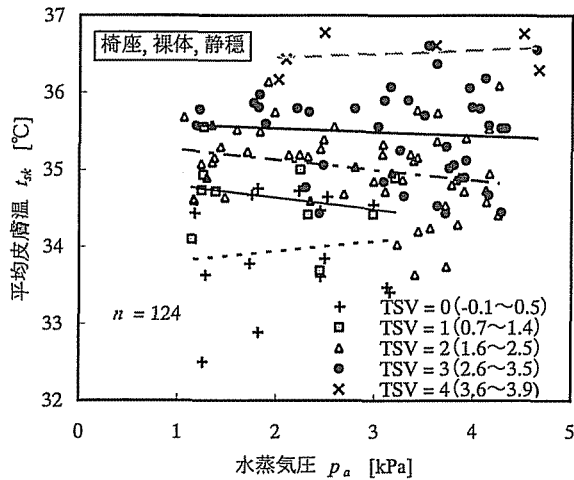


図-3 各温感において観られた t_{sk} の p_a による変化特性

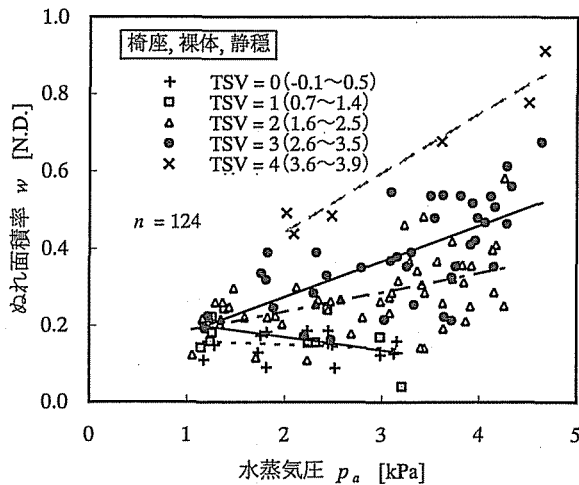


図-4 各温感において観られた w の p_a による変化特性

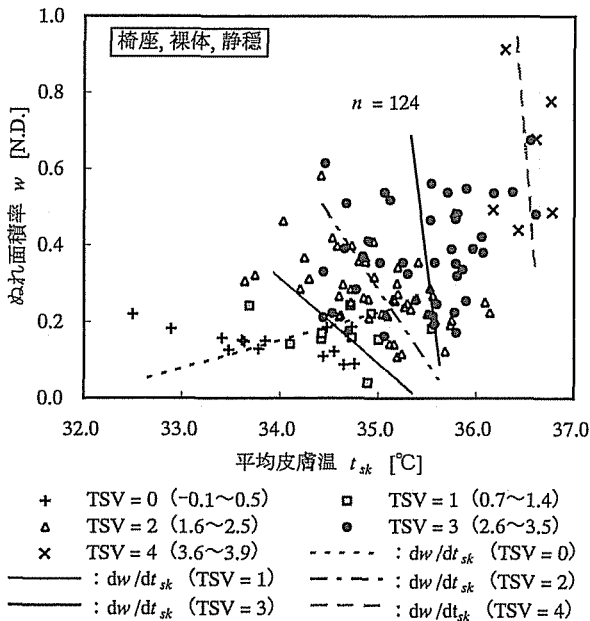


図-5 t_{sk} および w により表される等 TSV 線の傾向

図-3, 4 に示される t_{sk} , w の p_a による線形回帰線の勾配と、式 (13) を用いて得られる、等 TSV 線の変化傾

向を図-5 に示す。図-5 より、暑い等温感線ほど、等温感線の勾配が急になることが見て取れる。なお、もう一方の独立変数である、 t_{op} に依存する t_{sk} および w の変化特性からは、同様の傾向が見られなかったが、被験者を限定して同様の考察を行うと、 t_{op} および p_a の両環境変数に対して、同様の傾向が見てとれた¹³⁾ことから、個人差によるばらつきの影響と考えられる。TSV は、中立付近で w 支配に近く、暑暖領域では t_{sk} 支配になる傾向を有している。

他方、筆者らは一定温感において、 t_{sk} と w の関係が負の勾配を持つ上に凸の曲線となることを確認している⁶⁾。この事実は、式 (12) 中の重み係数 E, F のうち、少なくとも一方が一定ではなく、 t_{sk} または w の値に応じた重みをとることを意味している。 t_{sk} は生体内の量であり、式 (8) にみられるように体温調節機構にフィードバックして、発汗が t_{sk} の上昇を抑えるように作用する。従って、 $L_{ht}(t_{sk})$ の重み係数 F は、 t_{sk} の関数になると考えられる。他方、 w は人体外表のストレインを表す量で、体温調節機構の応答である発汗の結果として生じた値である。筆者らは、 t_{sk} , w のフィードバックの有無に着目し、 L と t_{sk} , w の関係を表すモデルとして、 w の偏差 ($w - w_{conf}$) の重み係数 E は一定とし、 t_{sk} の偏差 ($t_{sk} - t_{sk,conf}$) の重み係数 F は t_{sk} の値により変化するモデルを採用した。そして、 t_{sk} の重み係数 F が、 t_{sk} の一次式であり、かつ、 $t_{sk} = t_{sk,conf}$ においてゼロとなる、と近似して、熱負荷 L を次式により表した。

$$L(t_{sk}, w) = E'(w - w_{conf}) + F'(t_{sk} - t_{sk,conf})^2 \quad (14)$$

物理負荷と感覚に関する Stevens の法則を参照し、式 (14) の熱負荷 L を TSV に関係付けると、式 (15) が得られる。著者らは、表-1 に示す ± 4 の温度感覚のスケールにおいて有効な申告の得られた、中立から暑暖環境を視野に行われた椅座実験 (0clo・静穏: 124 例^{6), 8), 10)}, 0.95clo・静穏: 49 例¹¹⁾) より、試行錯誤の末、両着衣に共通の諸定数として、以下の値を得た。式 (15) の関係とその基礎データを図-6 に示す。

$$TSV = a \left[E'(w - w_{conf}) + F'(t_{sk} - t_{sk,conf})^2 \right]^n \quad (15)$$

$$= a \left[(t_{sk} - t_{sk,conf})^2 + H(w - w_{conf}) \right]^n$$

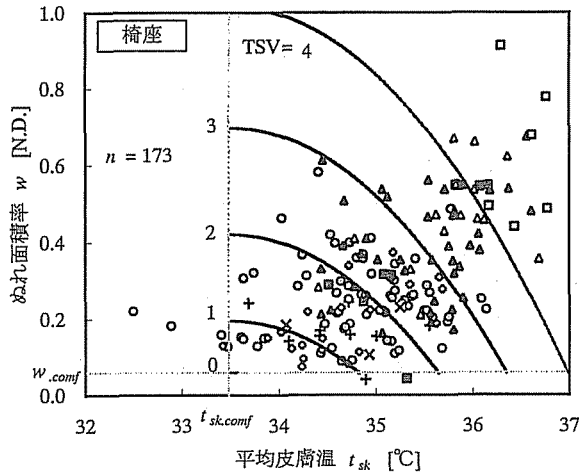
ここで、 $H: 12.7[^\circ\text{C}^2]$, $a: 0.68[^\circ\text{C}^{-1.42}]$, $m: 0.71[\text{N.D.}]$,

$$t_{sk,conf}: 33.5[^\circ\text{C}], w_{conf}: 0.06[\text{N.D.}]$$

次に、寒涼～中立領域について検討する。椅座に限れば、これらの領域では、 w による負荷はないので、 L は t_{sk} のみで表される。

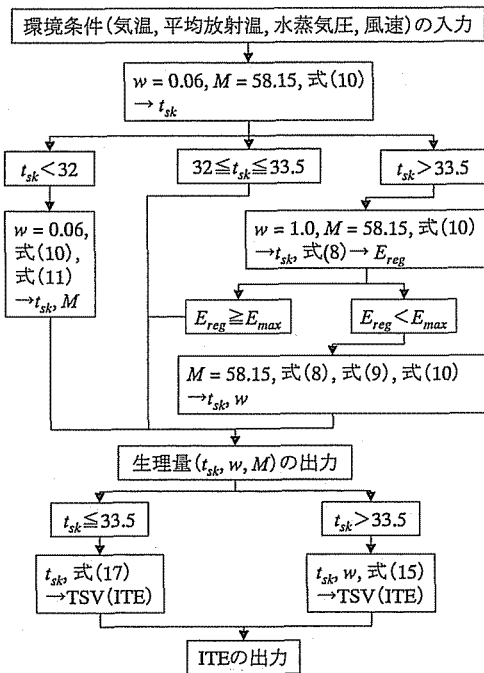
$$L(t_{sk}, w) = L_{ht}(t_{sk}) = K(t_{sk}) \cdot (t_{sk} - t_{sk,conf}) \quad (16)$$

Stevens の法則を参照し、寒涼～中立環境を視野に、1



- TSV = 0 (-0.2 ~ 0.5: 0clo・静穏) + TSV = 1 (0.7 ~ 1.4: 0clo・静穏)
- TSV = 2 (1.6 ~ 2.5: 0clo・静穏) △ TSV = 3 (2.6 ~ 3.5: 0clo・静穏)
- TSV = 4 (3.6 ~ 3.9: 0clo・静穏) ◇ TSV = 0 (-1.0 ~ 0.0: 0.95clo・静穏)
- × TSV = 1 (1.0 ~ 1.5: 0.95clo・静穏) ◇ TSV = 2 (1.6 ~ 2.5: 0.95clo・静穏)
- TSV = 3 (2.6 ~ 3.5: 0.95clo・静穏) △ TSV = 4 (3.8 ~ 4.0: 0.95clo・静穏)
- : 等TSV線 (式 (15))

図-6 TSV と t_{sk} , w の関係とその基礎データの図示 (式 (15))



ここで,
 t_{sk} [°C], w [N.D.], M [W/m²], E_{reg} [W/m²]
 式 (8): E_{reg} と t_{sk} , w 間の実験式
 式 (9): E_{max} の表現式
 式 (10): 人体・環境間の熱平衡式
 式 (11): M と t_{sk} 間の実験式
 式 (15): 中立～暑暖領域における TSV と t_{sk} , w 間の実験式
 式 (17): 寒涼～中立領域における TSV と t_{sk} 間の実験式

図-7 ITE の計算フロー

～3 時間、ほぼ定常となるまで被験者を曝露した椅座実験の結果 (0clo・静穏: 22 例¹¹⁾, 0.95clo・静穏: 19 例¹²⁾) より、この領域における TSV の式として、式 (17) を得た。式 (17) とその基礎データを図-7 に示す。

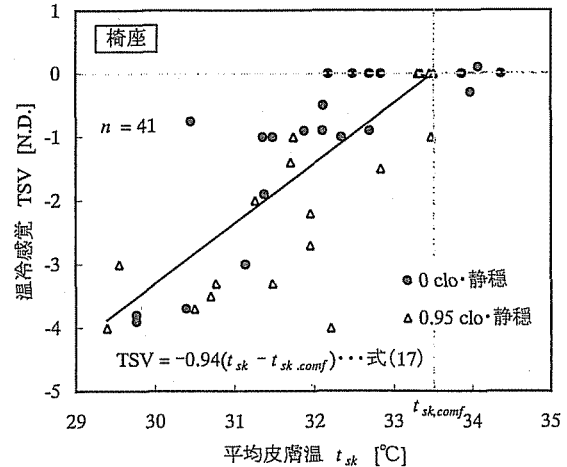


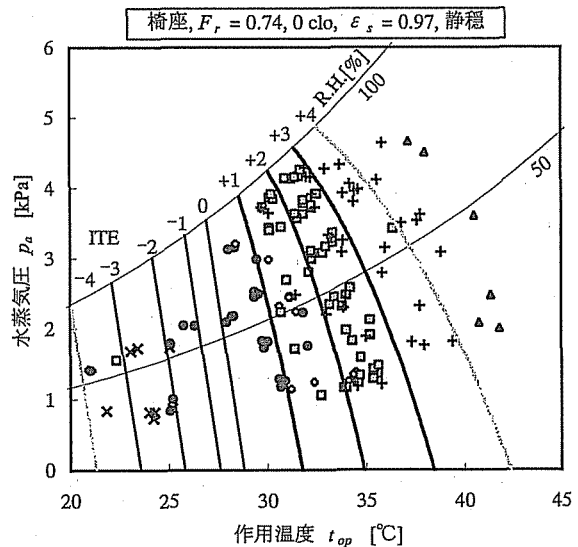
図-7 TSV と t_{sk} の関係とその基礎データの図示 (式 (17))

$$TSV = -[KK(t_{sk} - t_{sk,conf})]^n \quad (17)$$

$$= -\mu(t_{sk} - t_{sk,conf})$$

ここで, μ : 0.94[1/°C], $t_{sk,conf}$: 33.5[°C].

2 章で示した手法による t_{sk} および w の予測の後、式 (15) または式 (17) を用いることにより、与えられた環境における、定常・椅座時の TSV を評価できる。本研究で提案する熱環境指標: Index for Thermal Environment (ITE) の計算フローを図-7 に、図-8、図-9 に 0clo, 0.95clo における評価結果と基礎実験データを示す。等 ITE 線が ±3 の範囲において実験データと良い一致を示していることが見て取れる。+4 および -4 における不一致は実験のデータ不足により、ITE は ±3 の範囲において有効と考えられる。



- TSV = -4 (-3.9 ~ -3.7) □ TSV = -3 (-3.0)
- △ TSV = -2 (-1.9) × TSV = -1 (-1.0 ~ -0.5)
- ◇ TSV = 0 (-0.3 ~ -0.5) ◇ TSV = 1 (0.7 ~ 1.5)
- TSV = 2 (1.6 ~ 2.5) + TSV = 3 (2.6 ~ 3.5)
- △ TSV = 4 (3.9 ~ 3.9) —: 等ITE線

図-8 等 ITE 線と TSV の実測値 (裸体)

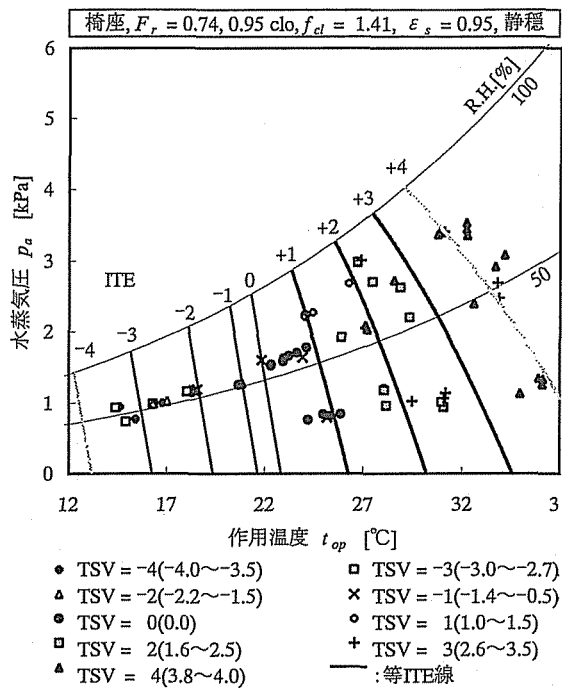


図-9 等ITE線とTSVの実測値(冬服)

5. 結言

本研究では、定常・椅座時の温冷感覚の評価法：Index for Thermal Environment (ITE) を提案した。結論を列挙する。

- 1) 定常・椅座時の体温調節性蒸汗量と平均皮膚温、ぬれ面積率の関係を表す式として、次式を得た。

$$E_{reg} = \alpha'(1 - \beta w)(t_{sk} - t_{sk, set}) \exp(\gamma(t_{sk} - t_{sk, set}))$$

$$= \alpha(1 - \beta w)(t_{sk} - t_{sk, set}) \exp(\gamma t_{sk})$$

ここで、 $\alpha = 1.7 \times 10^{-7}$ [W/m²°C], $\beta = 0.93$ [N.D.],
 $\gamma = 0.53$ [1/°C], $t_{sk, set} = 33.5$ [°C].

- 2) 定常・椅座時の温度感覚と平均皮膚温、ぬれ面積率の関係式として、次式を得た。

$$L(t_{sk}, w) = (t_{sk} - t_{sk, conf})^2 + H(w - w_{conf}) \dots t_{sk} \geq t_{sk, conf}$$

$$TSV = a(L(t_{sk}, w))^m$$

$$TSV = -\mu(t_{sk} - t_{sk, conf}) \dots t_{sk} \leq t_{sk, conf}$$

ここで、 $t_{sk, conf} : 33.5$ [°C], $w_{conf} : 0.06$ [N.D.], $H : 12.7$ [°C²], $a : 0.68$ [N.D.], $m : 0.71$ [N.D.], $\mu : 0.94$ [1/°C].

- 3) 本研究の熱環境指標 ITE は、「寒い：-3」～「暑い：+3」の範囲において実験結果と良い一致を示した。

本研究の一部は、日本学術振興会特別研究補助金(佐古井智紀)によったことを付記します。

参考・引用文献

- 1) ASHRAE Handbook of Fundamentals, Physiological Principles and Thermal Comfort, Chapter 8, 1993.
- 2) Tohru Mochida : Lines of Constant Skin Temperature with Varying Skin Wettedness, ASHRAE Transactions, Vol.102, pp.222-229, 1996.
- 3) 持田徹, 落藤澄, 嶋倉一實, 桑原淳司, 平松泰洋 : 着衣時におけるぬれ面積率の特性とその等平均皮膚温線におよぼす影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No.53, pp.57~63, 1993.
- 4) 持田徹, 嶋倉一實 : 1clo 着衣状態におけるぬれ面積率の実測値と等平均皮膚温線, The Annals of Physiological Anthropology, Vol.13, No.4, pp.197~203, 1994.
- 5) Nadel E. R., R. W. Bulland and J. A. J. Stolwijk : Importance of Skin Temperature in the Regulation of Sweating, Journal of Applied Physiology, Vol. 31, No. 1, pp.80-87, 1971
- 6) 佐古井智紀, 持田徹, 長野克則, 嶋倉一實 : 平均皮膚温・ぬれ面積率と等温感線の形状, 空気調和・衛生工学会論文集, No.79, pp.11~17, 2000.
- 7) 持田徹, 嶋倉一實, 高谷一毅 : 等温感に与える平均皮膚温とぬれ面積率の組み合わせに関する実験, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集, pp.103~106, 1995.
- 8) 持田徹, 長野克則, 嶋倉一實, 佐古井智紀 : 一定温感時の平均皮膚温とぬれ面積率の関係, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集, pp.9~12, 1997.
- 9) 持田徹, 嶋倉一實, 右田拓也 : 暑熱環境における生体の過渡応答に関する実験的研究, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集, pp.33~36, 1994.
- 10) 持田徹, 堅田兼史, 長野克則, 吉野博, L. G. Berglund, 佐古井智紀, 嶋倉一實 : 暑熱領域における温熱感におよぼす湿度の影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No.72, pp.67~74, 1999.
- 11) 持田徹, 佐古井智紀, 長野克則, 嶋倉一實, 坂本俊治, 小川真吾 : 着衣が等平均皮膚温線に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文集, pp.1~4, 2000.
- 12) 佐古井智紀, 持田徹, 長野克則, 嶋倉一實 : 衣服の保温性能評価法に関する基礎的研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.77, pp.95~108, 2000.
- 13) T. Sakoi, T. Mochida, K. Nagano & K. Shimakura : Equal Thermal Sensation Line in Warm and Cool Regions at Sedentary Activity, Proceedings of the Third International Conference on Cold Climate Heating, Ventilating and Air-Conditioning, pp.565-570, 2000.