

昭和54年度科学研究費補助金
(一般研究C)研究成果報告書

1. 課題番号 3 5 5 2 5 4
2. 研究課題 体温調節系に基づく温熱環境評価
3. 研究代表者 後 藤 滋 (横浜国立大学工学部教授)
4. 研究分担者 川 島 美 勝 (横浜国立大学工学部助手)
5. 研究経費
- | | |
|--------|---------|
| 昭和53年度 | 2,200千円 |
| 昭和54年度 | 400千円 |
| 計 | 2,600千円 |

2303882

横浜国立大学

491.3

60

大学研究

481.3
90

6. 研究成果

1) はじめに

体温調節系は生体システムにおける他のサブシステム（呼吸、循環、運動など）の正常な働きの基盤を形成しているものであり、生体の全体的な把握のためにこの解明は不可欠である。また人間—環境系において温熱条件は人類を含めて全ての生物体にとってその生存に基本的に関わるものであり、温熱環境の評価は生体固有の体温調節系の存在とその特性を十分考慮してなされなければならない。そのためには「人間の体温調節系の特性」を総合的に把握することが必要となる。

本研究では「人間の体温調節系の特性」のデータ集積の一環として、被服着用時の特性を中心として測定した。全身を一様な布地で覆った「一様被服」で先ず基本的なデータを得た。次いで、女子が一般に着用していると考えられる標準的な被服について、夏服、合服、冬服、冬外出着の測定を行い、裸体（ビキニ型水着）の場合と比較した。-35℃の超低温倉庫において防寒作業衣、極地防寒服、スキー服について測定し、トレッドミルにて作業も負荷させ安静時と比較した。

また、温熱環境の評価方法についての検討を行った。

2) 一様被服

被服の保温機能の測定には①恒温法などの保温性試験機による方法、②サーマルマネキンによる方法、③人体着用実験による方法などがある。被服の保温機能を体系的に把握す

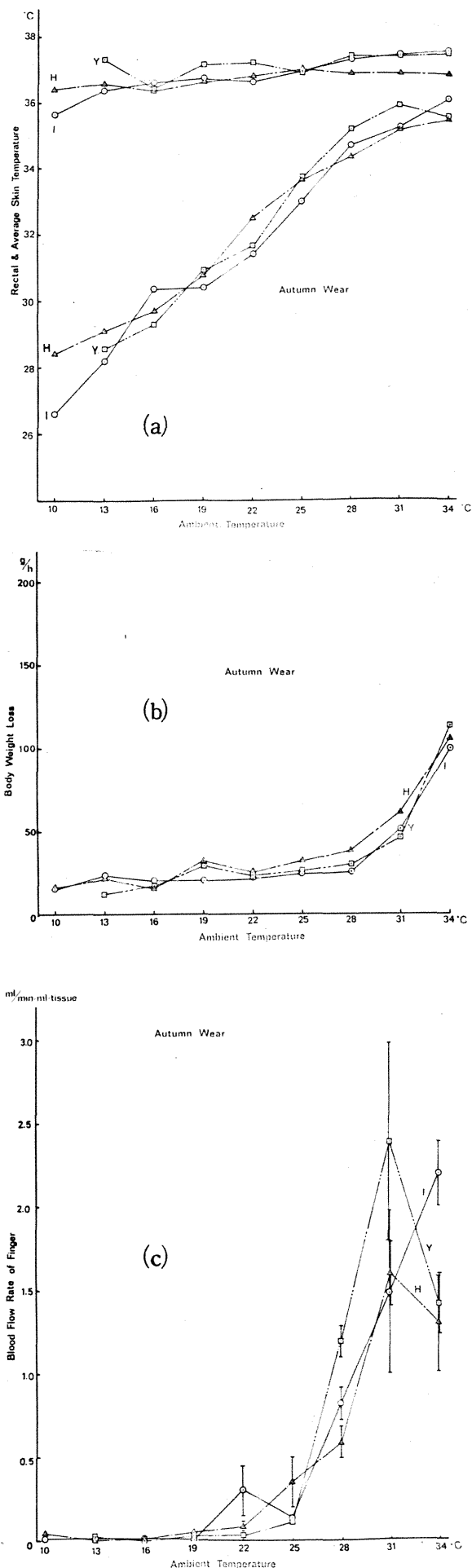


図1 一般服着用時の定常状態

2303882

るためには、理論的検討を含めてこれらの測定法を総合して進めると有効である。ここでも、これらの三つの方法で比較検討した。

実験に用いた被服は顔面以外を全身一様に覆い、数式モデルとの対応を考慮して皮膚と外囲との熱伝達率が部位によって変わらないようにした。また被服と皮膚が密着するように伸縮性のある布地とした。布地は糸密度：ウェール方向：60.5本/inch, コース方向 87.0本/inch, 重さ：314.9 g/cm², 厚さ：0.91mm (7 g/cm²の張力) 保温率 17.4% (恒温法 JIS, L-1079), 通気性：21.6 cc/m²sec のポリエステル (ネオロン) である。1枚布の場合を主とし、これを裸と4枚重ね着の場合について比較した。

着用実験の被験者は健康男子2名で、実験の時間経過は約 28℃ 50% の前室で開眼、椅座、安静で約 60分経過させたのち、一定条件の人工気候室内に移動させて180分経過させ、合計約4時間の状態を記録、採取した。測定項目は直腸温、耳内温、皮膚温、指血流量、体重減少量 (総蒸散量)、代謝量、脈拍数、呼吸数、皮膚からの放熱量、温冷感、不快感などである。また、大阪市大のサーマルマネキンにより、熱遮断能を測定した。

実験結果は、被服 (1枚布) の着用によって平均皮膚温及び指血流量は低温側に移動した。発汗量はほとんど変わらないが、産熱量も低温側に移動する。これらの被服着用による影響は前に報告した数式モデルによる予測とよく一致する。温冷感は低温側に移動したが、不快感はほとんど変らなかった。これらの実験結果から $(M-E)/A$ と $Q_s - Q_e$ の関係をプ

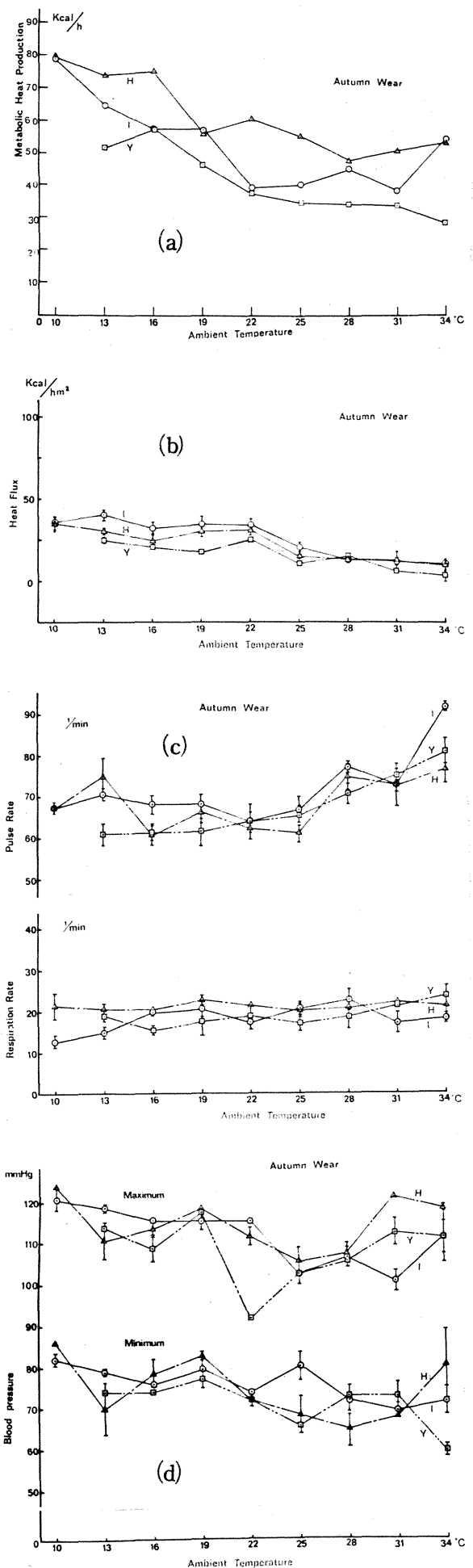


図2 一般服着用時の定常状態

ロットし、勾配から熱伝達率を求めた。

裸体時の H_4 は $5.55 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ，従って空気層の熱抵抗は $0.18^\circ\text{C}/(\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h})$ である。1 枚布の H_4 は $4.40 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であるから、布と境界層を含めた熱抵抗は $0.227^\circ\text{C}/(\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h})$ である。従ってこの差 $0.047^\circ\text{C}/(\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h})$ が 1 枚布の熱抵抗である。

$1 \text{ clo} = 0.18^\circ\text{C}/(\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h})$ で clo 値に換算すると 0.26 clo ということになる。また H_4 から保温率を逆算してみると 20.7% になり、マネキンでは 21.0% であり、

恒温法による値は 17.4% であった。4 枚布についても同様に $H_4 = 3.30 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ から熱抵抗値は $0.123^\circ\text{C}/(\text{Kcal}/\text{m}^2\text{h})$ と求まり、 0.68 clo となる。保温率は 40.5% となり、マネキンによる値は 40.1% ，恒温法による値は 49.1% であった。

着用実験とマネキンの値とは、ほとんど一致した。このテストが、皮膚によく密着した一般的な布地についての安静時のもので、湿度 50% の低湿で行い、発汗を帯留させないようにしたことなども、一致した理由と思われるが、サーマルマネキンによる値の信頼性を示したと言える。

3) 女子一般服

女子の日常着をとりあげ、夏服、合服、冬服、冬外出着について着用実験を行い、裸体（ビキニ型水着）と比較して熱遮断能を求めた。夏服は（パンティー、ブラジャー、パンティストッキング、スリッパ、ワンピース）とし、合服は（パンティー、ブラジャー、パンティストッキング、ガードル、スリッパ、スカート、ブラウス、セーター）とした。冬服は（合服＋ジャケット）とし、冬外出着は（合服＋ジャケット＋オーバー）とした。

被験者は健康女子 4 名であり、実験の時間経過は約 28°C 50% の前室で開眼、椅座、安静で約 60 分経過させたのち、一定条件の人工気候室に移動させて 180 分経過させ、合計約 4 時間の状態を記録、採取した。測定項目は、直腸温、耳内温、皮膚温、指血流量、体重減少量（総蒸散量）、代謝量、脈拍数、呼吸数、皮膚からの放熱量、温冷感、不快感、血圧である。

実験結果の 1 例として図 1～3 に合服の定常状態を示す。図 4～5 は、被験者の皮膚温の変動の記録である。図 6 は体重減少と指血流量の時間変化である。各種の被服についてまとめている。これらの各種の標準被服着用時の「体温調節系の特性」に関するデータは、今後、人間熱環境系に関する諸問題を考察していくときの基礎となるとと思われる。着衣による影響の要点

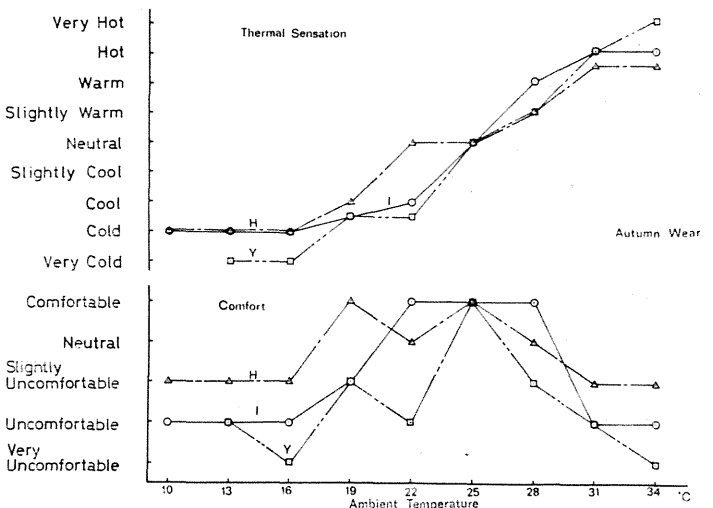


図 3 一般服着用時の定常状態

は、「体温調節系の特性」がモデルで予測した通り、全体的に低温側に移行し、生理的快適範囲と考えられる血流調節範囲が拡大することであり、温冷感申告にも同じ傾向がみられた。なお、血圧は着衣によっては、ほとんど影響されなかった。

しかし、気温の変化に対しては最高血圧は変わらないが、最低血圧が低温へいくに従って直線的に上昇する知見を得た。

図7は、 $(M-E)/A$ と $(Q_s - Q_e)$ の関係をプロットしたもので、勾配から熱伝達率 H_4 が求まる。裸体時は $6.26 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、夏服着用時は $3.71 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 、合服では $2.52 \text{ Kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であり、これより被服の熱抵抗値は夏服で $0.0944^\circ\text{C}/\text{Wm}^2$ となった。

また、これらの着用実験に用いた被服について、恒温法により保温性試験を行い、部位

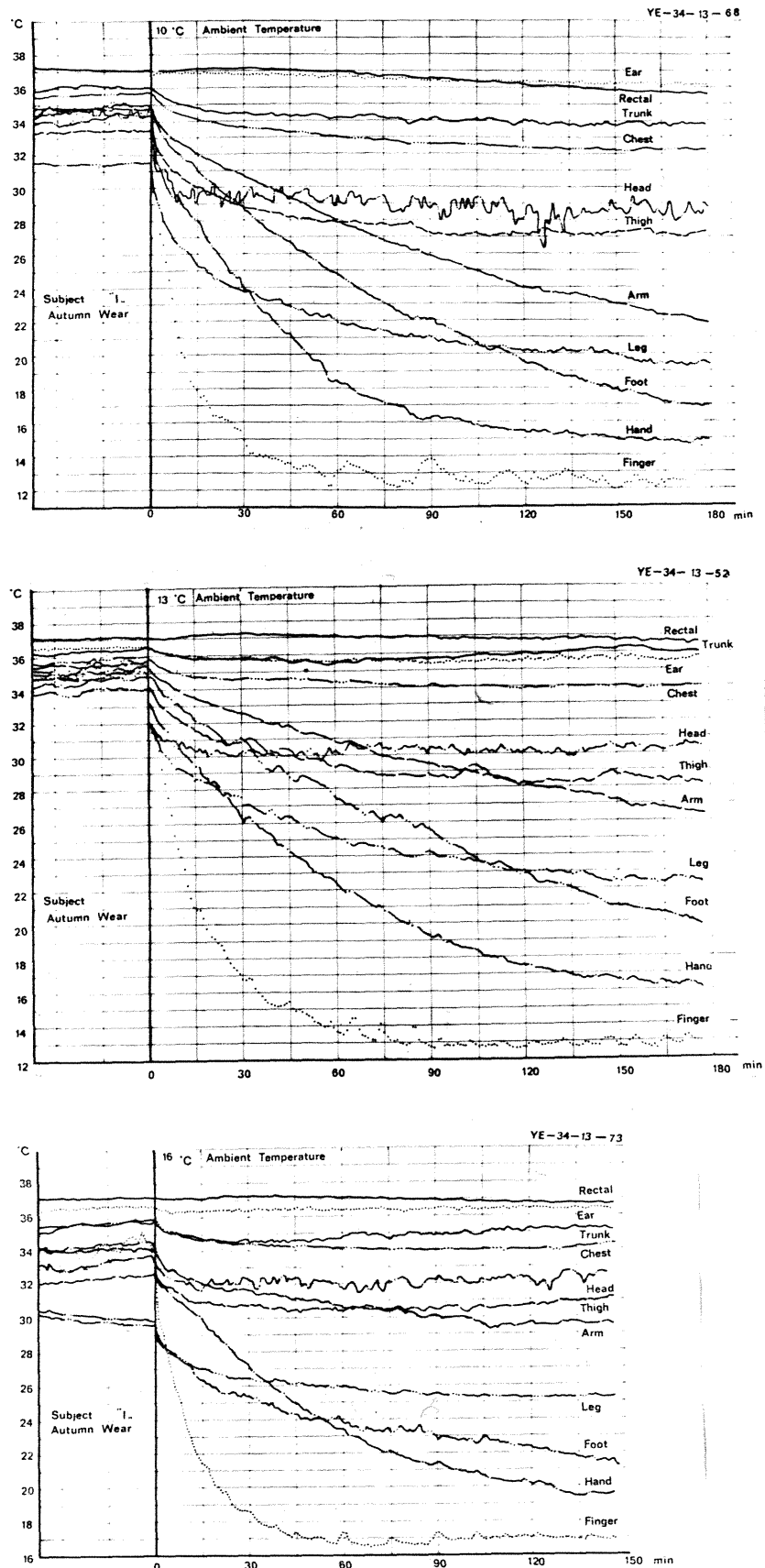


図4 一般服着用時の内部温、皮膚温の時間変化

別積層と被覆面積比率を考慮して理論計算を行い、先の着用実験で求めた値と比較した。この結果、スカート部分の空気層のとり方により大きく変わることが判り、夏服では0.5 cm、合服で1.0 cmのときよく合った。

また、単品の保温率と積層保温率の関係を検討し、単品の抵抗を単純に加算するのではなく、保温率で単品それぞれを45%に減じて演算することで一致することが判った。これは積層間の空気層の厚さが減るためと考えられる。図8-(a)はそのまま加算したもので、図8-(b)が修正したものである。

4) 防寒服及び運動実験

冷凍・冷蔵倉庫内での作業などに着用される超低温作業服、寒冷地での屋外作業での防寒服などについては、まず第一にその防寒性能が重要である。そこで、ここでは超低温倉庫内で、極地用防寒服、スキー服、防寒作

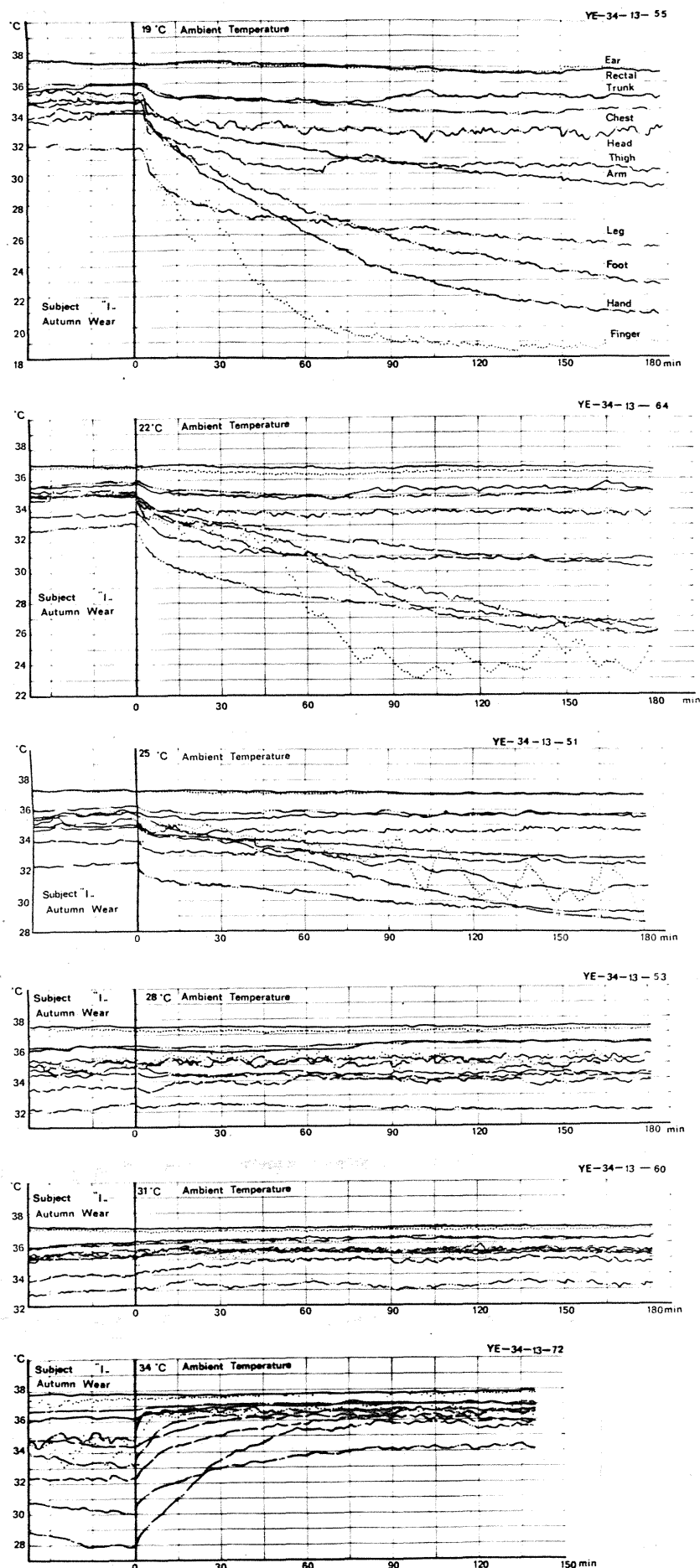


図5 一般服着用時の内部温、皮膚温の時間変化

業服の三種について着用実験を行った。

実験は -35°C の超低温冷蔵倉庫にて行った。広さ $1,260\text{ m}^2$ 、天井高 4.2 m の一角を用いた。被験者は、前室にて椅座、安静の状態で約60分経過させた後、 -35°C に設定された超低温室内に移動し、前室と同様の状態を保った。被験者は健康男子4名、女子5名であり、低温室内に滞在した時間には個人差があり、約60~120分であった。運動を负荷させた実験は、安静時間経過後トレッドミルにて軽作業を荷した。

測定項目は、皮膚温、耳内温、直腸温、代謝量、脈拍、呼吸数、血圧、温冷感、不快感などであった。

図9は内部温、皮膚温の測定結果の例であり、(a)は男子被験者、極地用防寒服着用時のもので約120分経過させたものである。(b)は同じ被験者のスキー服着用時のものであり、超低温室に120分滞在し、後前室に出て回復を60分間記録した。(c)は防寒作業衣でのもので、120分後からは、トレッドミルにて運動を负荷した。

末梢部の温度がある程度下がると急激に反転して増加してくる場合があり、これが足からくる場合と手からくる場合とがあり、必ずしも一致しない。いずれにしても末梢血管の拡張の機序の問題であるが、興味深い今後の課題であると思われる。また、末梢部の保温についての重要性が再認識された。本実験は、超低温下での人体反応に関する貴重なデータの集積であった。

防寒服については、その最も重要な防寒性能が表示されないまま市販されており、またほとんど測定もされていない。防寒服の防寒性能の測定法、表示法の基準、規格の検討が緊急な課題と思われる。

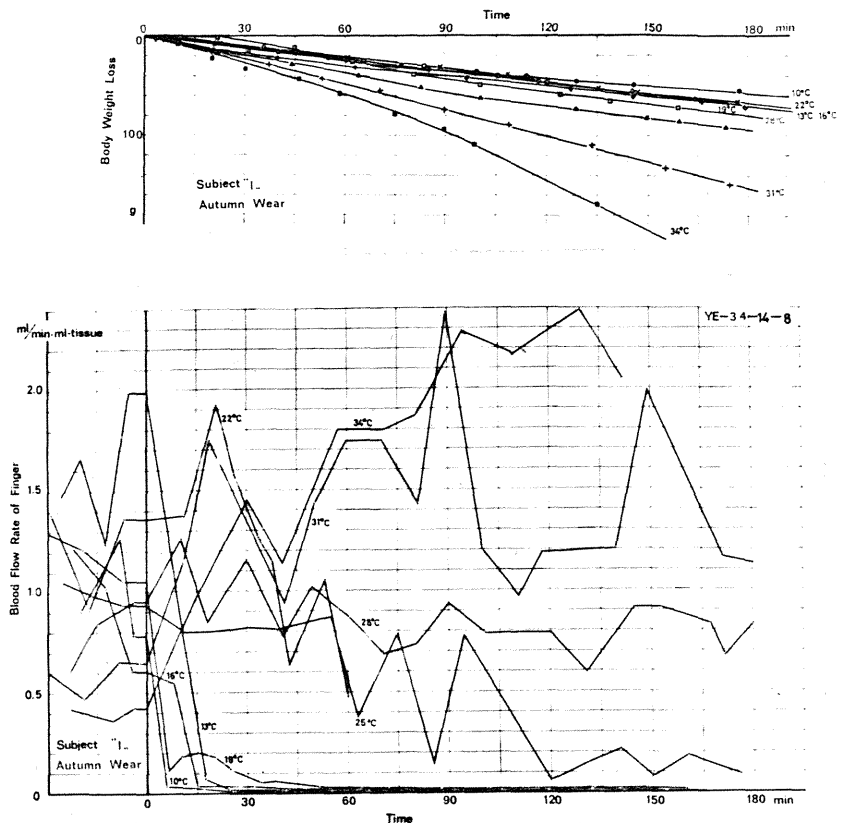


図6 一般服着用時の体重変化、指血流量変化

5) 温熱環境の評価法の

検討

温熱環境の評価をする上で、大気汚染等の方で考えられて来た環境の基準を設定するための手順や考え方が参考になる。すなわち、いろいろの物質に関する Criteria (判定条件) から、それを整理した Guides (指針) を作り、それにもとづいて地域社会の公衆の健康を保護するための Recommendations (推奨値) を出し、それを参考に Guidelines (指針値) をきめ、これを政府機関が採用すれば Environmental Standards (環境基準) になる。ここで Recommendations までは純粹に科学的に検討されるが、Guidelines, Standards を決める場合には、社会経済的、技術的配慮が入ってくる。また、Recommendations が導き出されるときには Safety factor (安全係数) が考慮され、さらに公衆の健康を保護するというとき、

つまり健康に悪影響を及ぼさないというとき、健康への悪影響について幾つかの段階 (レベル)

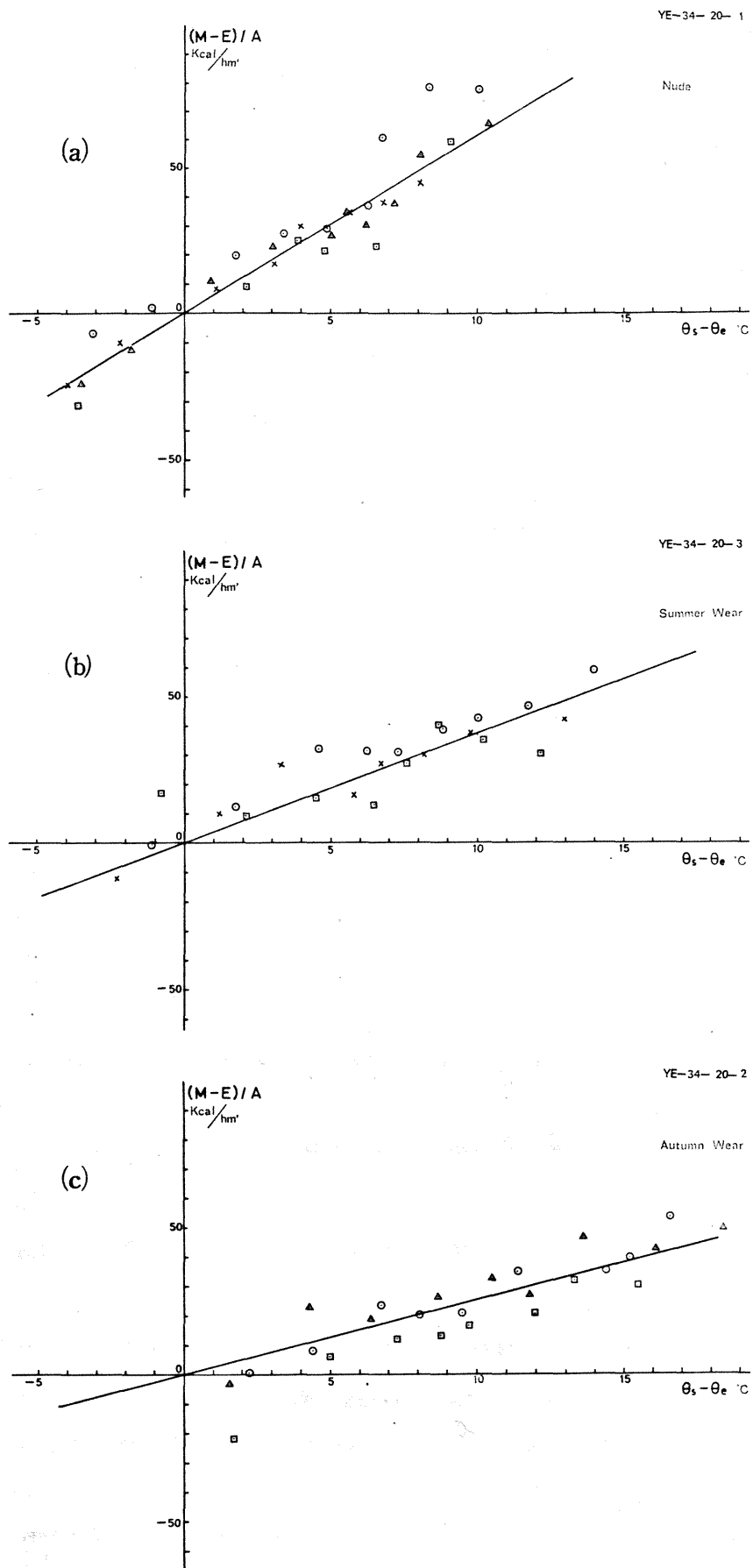


図7 熱伝達率

が考えられている¹⁾ 温熱環境にもこの考え方が適用できる。

人体はその深部体温保持のため、いろいろの調節機構を有する。すなわち、中間環境温での血管運動調節域、高温側での発汗蒸発による蒸発調節熱域、体温上昇域、また低温側での行動調節冷域および体温下降域がある。蒸発調節熱域や行動調節冷域を含む高温および低温域においては、体温調節のための生理反応は代謝量も増大し一種の緊張（ストレイン）と考えられる。そしてそのような反応を呼び起こす要因を熱環境ストレスとみなすことができる。ストレス尺度（総合評価尺度）はストレイン（反応の強さ）とよく対応するものであることが望まれる。体温調節系のこれまでの特性実験の結果は、上述の事実をよく示し²⁾ また“操作量の使い分け”に関する作業仮設から導いたモデル³⁾ による解析結果もよくその特性を示し、多くの事柄を演えきできた²⁾

体温調節のための生理的反応は、恒常性維持のための正常な適応とも考えられるが、生体調節系の中の一つのサブシステムであり、また他の調節システムからの影響も受ける。したがって睡眠時や運動時も含めて、これを完全に評価するのは困難であるが、前述のような体温調節のための反応として単純に捉える場合には、まず第一に最も効率のよい、すなわち、代謝の最低になる付近での反応として血管運動調節域を正常レベルと考えることができよう。すなわち、レベル1：全く影響が観察されない、に相当する。次に高温側では発汗量がストレインをよく代表する指標と考えられ、例えば8時間就業中の発汗量についてのランク付け等が考えられてきた。そのランクの一つにレベル2：影響がみられるが可逆的、が対応しよう。一方短時間内における発汗限界は熱平衡と関連し、体温上昇域に近づけば心拍数や深部体温の上昇、代謝の増加がみられる。したがって発汗量以外の生理的反応にも着目してストレインを考慮しなければならない。そこで、体表面が

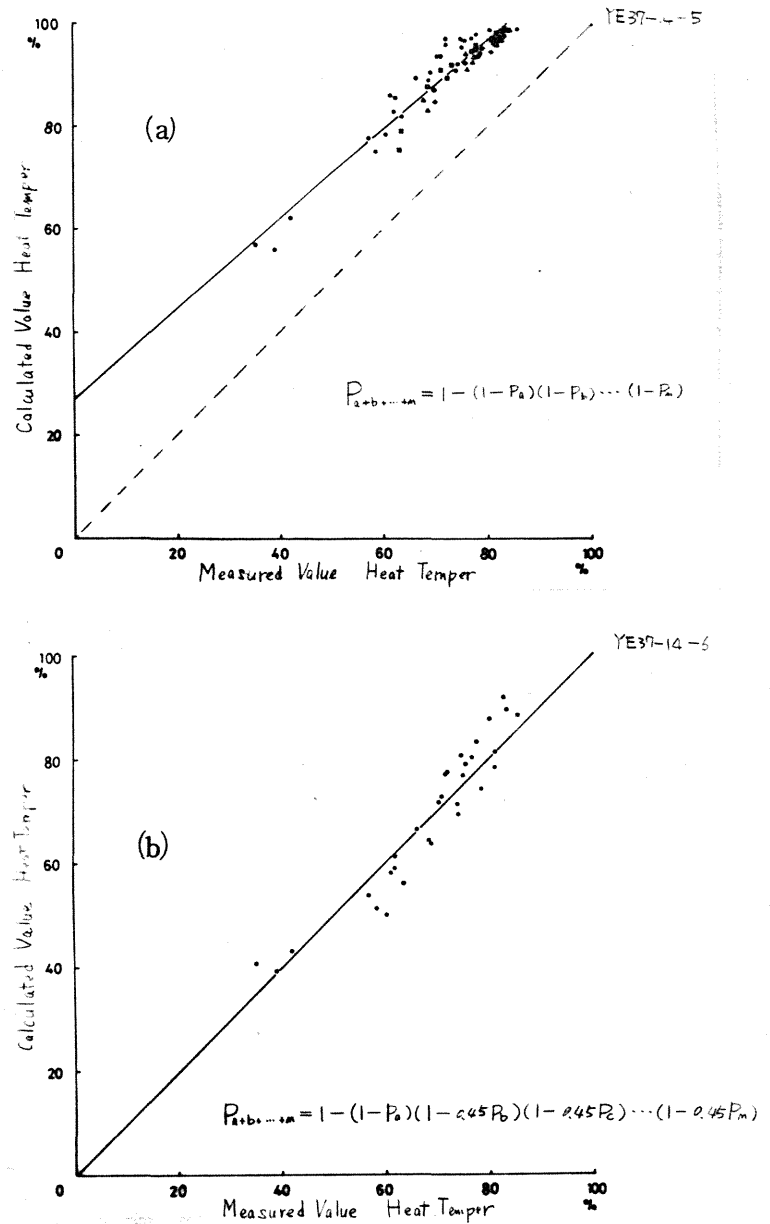


図8 積層保温率の計算

100 % ぬれた状態 (ぬれ率 $w=1.0$) での発汗放熱最大値に対する実際の発汗量による放熱量の割合 (ぬれ率 w の値あるいは Belding - Hatch の熱ストレスインデックス $HSI/100$) が熱ストレス指標の一つとして考えられる。松岡⁴⁾ はその等熱収支温 ECT を定義し、 T_a (気温) - P (水蒸気圧) 座標上における等 ECT 曲線を線型近似するとき、 w に反比例した負勾配をもつ直線で表わされることを見出した。また Gagge, 西らも簡単なモデルから w に反比例する負勾配直線がストレインのレベルとよく対応すること⁵⁾、また既往の多くの物理的指標はその特定の負勾配をもち、したがってその適用温度範囲が限られること⁶⁾ を示した。 HSI は発汗限界をも考慮した優れたものといえる。日本人向けには荘司の KHI がある⁷⁾。行動の調節冷域については、そのシグナルとしての感覚が重要であろう。それはまた末梢を切捨てまでも中枢を守ろうとする調節機序に対して、安全のための注意信号とも考えられる。このことは特に超低温において部位別保温のバランスが問

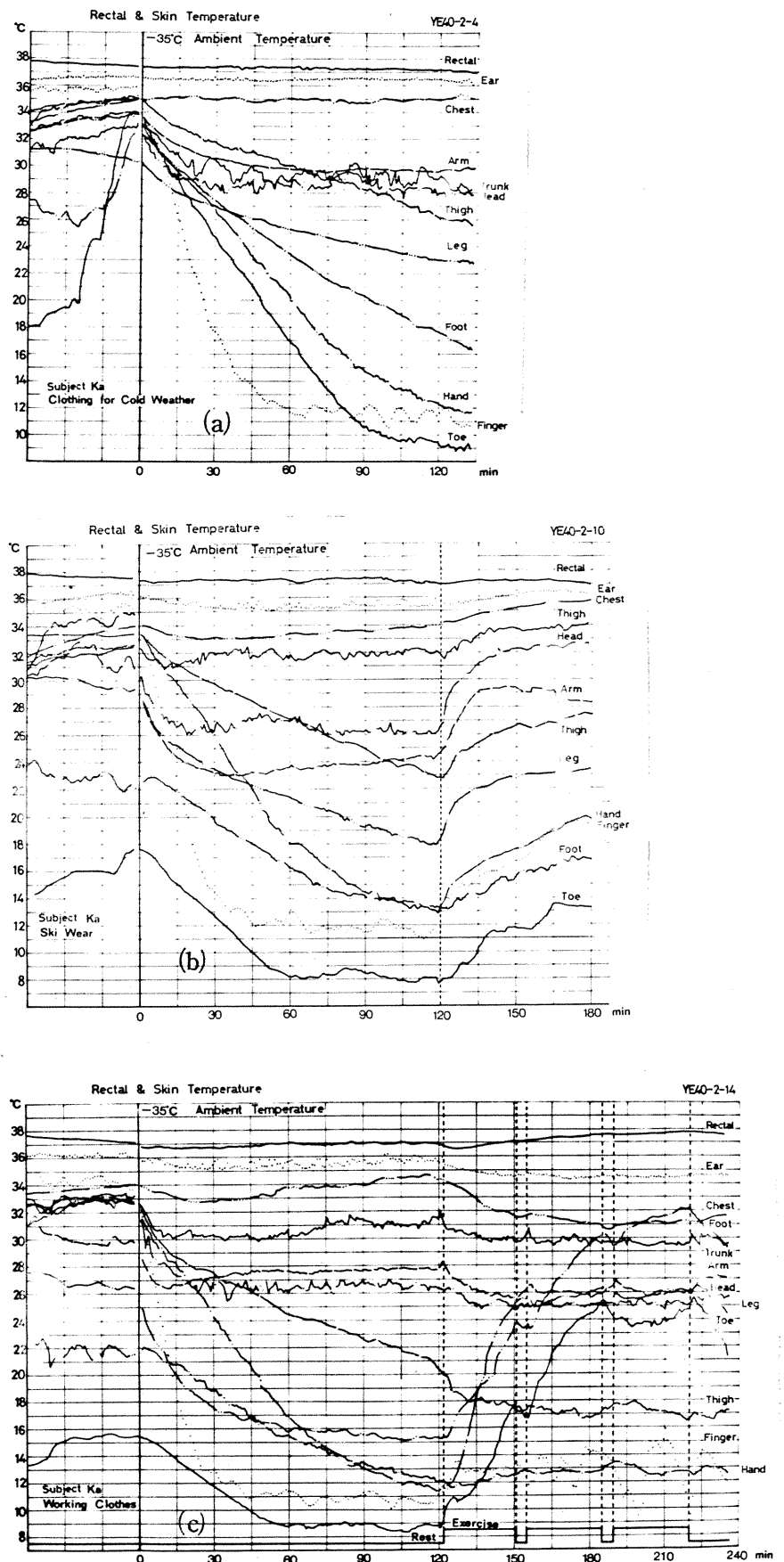


図9 超低温に対する内部温，皮膚温の時間変化

題となろう。したがって代謝量の増加および感覚の大きさのある限界にストレインのレベル2を設定する。体温調節域を超えた、低・高温域はいずれもストレイン・レベル5（疾病）、6（死亡）に相当する。

引用文献

- 1) 中央公害対策審議会：二酸化窒素の人の健康影響に係る判定条件等についての専門委員会報告について（付言），大気汚染学会誌，13, 3～5, (1978), 105～107
- 2) 川島美勝，後藤 滋：体温調節系の特性，空気調和・衛生工学，53. 8, (1979. 8), 31～38
- 3) 川島美勝，山本 弘：体温調節系とそのモデル，南雲仁一編“生体システム”，日刊工業新聞社（1971）
- 4) S. Matsuoka: Proc. 13th Intern. Congr. Occup. Health, (1960), 893
- 5) Y. Nishi and A. P. Gagge: A psychrometric chart for graphical prediction of comfort and heat tolerance, ASHRAE Tran. 80 (II), (1974)
- 6) A. P. Gagge and Y. Nishi: Physical Indices of the Thermal Environment, ASHRAE Journ., Jan. 1976
- 7) 荏司栄徳：川鉄温熱指数（KHL）；BeldingとHatchのHeat Stress Indexの修正，鉄鋼労働衛生，17, 1, 1～10.

7. 研究発表

(1) 学会誌

- 1) 川島美勝：展望，人間——熱環境系におけるいくつかの問題点，計測と制御，17 - 8, (1978)
- 2) 川島美勝：論説“人間——熱環境系シンポジウム”について，空気調和衛生工学，53-8 (1979)
- 3) 川島美勝，後藤 滋：論説，体温調節系の特性，空気調和衛生工学，53-8 (1979)
- 4) 川島美勝：論説，体温調節系の計測とその問題点，空気調和衛生工学，53-10 (1979)

(2) 口頭発表

- 1) 川島美勝，後藤 滋，渡辺俊男，松本幸生，川原ゆり，永坂鉄夫，星合孝男：寒冷環境下における発熱シートの保温効果の検討，日本生気象学会雑誌，15 巻，(1978)
- 2) 川島美勝，中牟田浩史，後藤 滋：運動時の体温調節系の特性（第22次，第25次実験），体温調節系と温熱環境評価の研究(8)，日本建築学会大会学術講演梗概集（1978）

- 3) 川島美勝, 後藤 滋, 中牟田浩史, 河野一男: 体温調節系の特性と皮膚温分布(第 19, 20 次実験, 女子および頭部)——とくに高温様斑点と皮膚血流との関係について, 第 2 回人間熱環境系シンポジウム報告集 (1978)
- 4) 川島美勝, 中牟田浩史, 後藤 滋, 増田順子, 大平通泰, 松本幸生: 体温調節系の特性と被服の熱遮断能(第 25 次実験, 男子, 一様被服), 第 2 回人間熱環境シンポジウム報告集 (1978)
- 5) 川島美勝, 後藤 滋: 体温調節系の特性の測定と温熱環境評価の考察, 日本人間工学会第 20 回大会論文集 (1979)
- 6) 川島美勝, 後藤 滋, 増田順子, 大平通泰, 松本幸生, 三平和雄, 花田嘉代子: 体温調節系の特性と被服の熱遮断能の測定——着用実験, サーマルマネキン, 恒温法の比較(第 25 次実験, 男子, 一様被服) 第 18 回計測自動制御学会学術講演会(1979)
- 7) 川島美勝, 後藤 滋, 増田順子, 大平通泰, 松本幸生, 三平和雄, 花田嘉代子: 被服の熱遮断能の測定——着用実験, サーマルマネキン, 恒温法の比較——日本繊維製品消費科学会大会(1979)
- 8) 増田順子, 川島美勝, 大平通泰, 後藤 滋: 被服の熱遮断能に関する研究(第一報), 日本家政学会総会講演要旨集(1979)
- 9) 川島美勝, 増田順子, 大平通泰, 後藤 滋: 被服の熱遮断能に関する研究(第二報), 日本家政学会総会講演要旨集(1979)
- 10) 大堀 剛, 後藤 滋, 川島美勝: 被服着用時の体温調節系の特性(女子, 夏服・合服), 体温調節系と温熱環境評価の研究(9), 日本建築学会大会学術講演梗概集(1979)

(3) 出 版 物

- 1) 川島美勝, 後藤 滋: 人間の体温調節系の特性, 宇都宮敏男編, 「生体の制御情報システム」朝倉書店(1978)