

代謝量の時間変化が人間の温熱生理・心理に及ぼす影響の検討

正会員 須藤美音*1 同 村上周三*2 同 加藤信介*3
 同 富永正道*4 同 宋 斗三*4

非定常 代謝量 温冷感

1. はじめに 従来の居住空間の温熱快適性は、物理的環境及び居住者の着衣量、活動量などについて定常状態を想定して評価を行っている。しかし、温熱快適性評価に人間の空間移動に伴う温熱環境体験履歴及び適応行動などを考慮するアダプティブモデルにおいては物理的環境及び人間側の要素（着衣量、生理量など）の時間変動を考慮する必要がある。本研究では呼吸時のO₂消費量とCO₂排出量より代謝量を求める装置(以下呼吸代謝量測定装置)を用いて、人間が日常生活を営む際に行う種々の活動の変化、それによる代謝量の変化が人間の温熱生理・心理に及ぼす影響を検討することを目的としている。本報では、被験者実験により連続的な代謝量の変化が被験者の皮膚温及び温冷感に与える影響を検討する。

2. 代謝量の時間変化の検討 人間の温冷感評価において、代謝量は従来ASHRAEより提案された人間の活動量を幾つかの代表代謝量としてまとめた表より評価されることが多い。しかし、実際の人間の代謝量は非定常に変化しており、それにともない人体温冷感も大きく変化するものと考えられる。そのため、アダプティブモデルの構築には代謝量の連続的な測定が必要となる。そこで、本研究ではO₂消費量とCO₂排出量より代謝量を求める呼吸代謝量測定装置を用いて人間の代謝量の時間変化を測定した(注1)。ここで、人間の活動量による代謝量は以下の式(1)(文1)より求められる(注2)。

$$M = 352(0.23RQ + 0.77)V_{O_2}/A_b \quad (1)$$

ただし、M：代謝量(W/m²)、RQ：呼吸商(消費されたO₂の体積)/(排出されたCO₂の体積)、V_{O₂}：酸素摂取量(L/min)、A_b：体表面積

3. 実験の概要

3.1 実験条件(表1) 本実験は東京大学生産技術研究所内の恒温チャンパー(3.5m×3.0m×2.5m)にて行われた。図1に実験のようすを示す。実験室は床全面吹出し、天井全面吸込み。チャンパーの内壁に暗幕を設置し、平均放射温度と空気温度が等しくなるように設計している。床全面吹出しの風速は0.05m/s、乱れの強さ33.3%以下の静穏な気流となっている。実験室の温度は一般的なオフィス空間を想定した25とした。実験は1日に3回、3人の被験者に対して行われた。被験者は健康な大学生男子3名であり、夏季におけるオフィス勤務者を想定した着衣とした。サーマルマネキンにより求めた着衣量は、0.72cloであった。

3.2 実験の方法(図2) 被験者は実験室の環境及び代謝量測定装置・皮膚温測定器具(熱電対)に十分慣れた状態で実験に臨んだ。実験室内において被験者は、リラックス(30分)~運動(10分)~リラックス(40分)という3つの連続した行動をする。リラックス状態では着席状態で音楽を聞かせ、多少の姿勢の変化は許した。運動については4.3km/h(Case1)、6.4km/h(Case2)の歩行に相当する踏み台昇降運動を行った。この際、被験者の代謝量及び皮膚温を連続的に

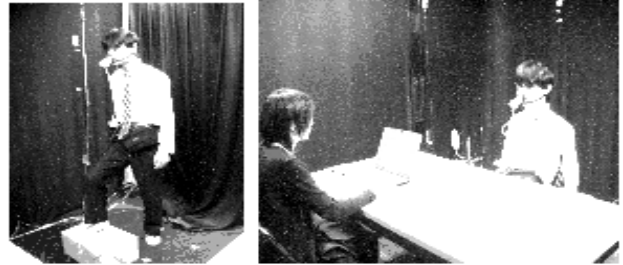


図1 実験の様子

表1 実験の条件

	運動時の代謝量	空気温度	相対湿度	吹き出し風速
Case1	約 2.6 met	25	40~50 %	0.05 m/s
Case2	約 3.8 met			

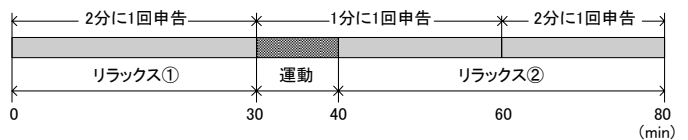


図2 実験方法(3段階の代謝量変化)

測定し、一定時間(1~2分)毎に温冷感申告を行わせた。代謝量は呼吸代謝量測定装置より測定をした。また、皮膚温は熱電対を用いてHardy-DuBoisの7点法に準じて測定をした。皮膚温、代謝量の測定間隔はそれぞれ10秒とした。また、被験者の温冷感申告についてはASHRAEの7段階スケールを用いて行った。

4. 実験結果及び考察(図3、図4)

4.1 代謝量の変化が皮膚温に与える影響 図3に代謝量の変化に伴う被験者の平均皮膚温の変化をリラックス時の平均皮膚温を基準にして示す。ただし、ここでは被験者3名のうち1名の結果を代表例として示す。被験者数が十分ではないので今回の結果の一般性については今後更に検討を要する。Case1, Case2ともに運動開始後すぐに皮膚温の下降が見られた。これは発汗による蒸発性熱放散の増加と運動により生じた対流の影響によるものである。また、運動強度によりその後の皮膚温の上昇にも差が見られた。Case1(約2.6met)の場合、運動開始5分後よりやや急速に上昇(リラックスの状態より0.5程度上昇)し、Case2(約3.8met)の場合は、運動開始8分程度で極めて急速に皮膚温が上昇(リラックスの状態より0.7程度)した。また、運動終了後20分程度で皮膚温は安定し始めるが、Case1ではリラックスより0.3程度、Case2では0.4程度の上昇が見られた。このような変化の傾向は3人の被験者に共通しており、同じリラックス状態においても、先行する運動の強度により皮膚温又は皮膚温変化に

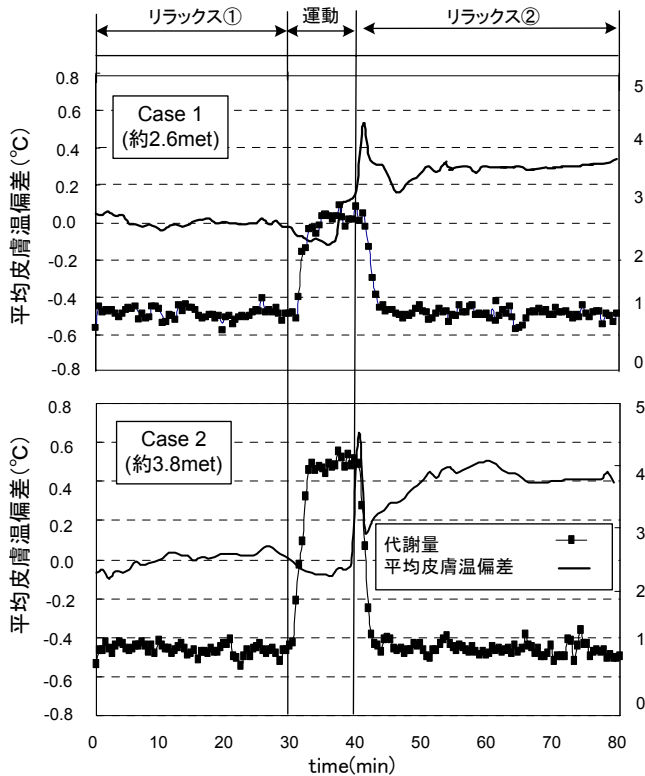


図3 代謝量の変化による皮膚温の変化 (リラックスの平均皮膚温を基準とする)

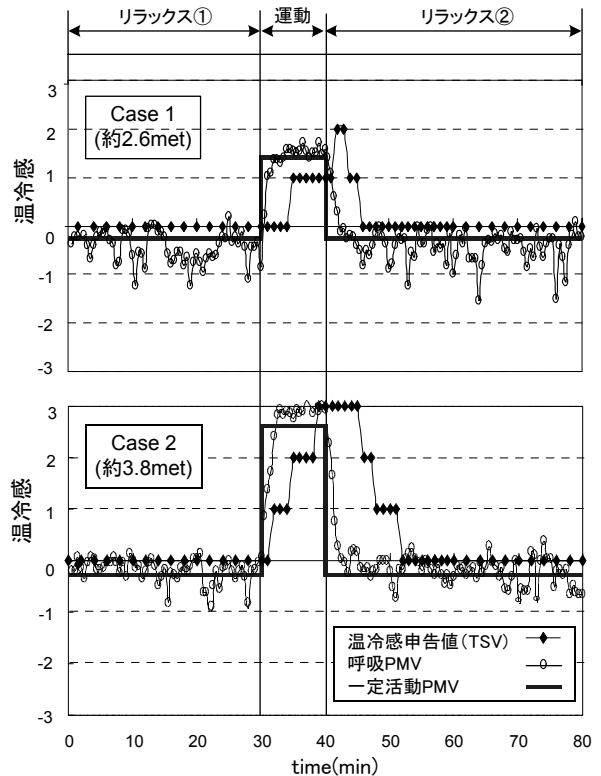


図4 代謝量の変化による温冷感申告値の変化

差が見られる。

4.2 代謝量の変化が人間の温冷感に与える影響 図4に被験者1名に対する温冷感申告値(TSV)^(注3)変化、実験により得られた代謝量に基づいて算出したPMV計算値(以下呼吸PMVと呼ぶ)、リラックス・運動などの活動量に対する一定の代謝量^(注4)に基づいて算出したPMV計算値(以下、一定活動PMVと呼ぶ)を示す。呼吸PMV及び一定活動PMVの算出はISO7730に準拠しており、代謝量以外の要素(温度、着衣量など)については一定としている。図4に示すように代謝量の変化に対してTSVの変化に遅れがみられる。つまり代謝量の急激な変化に対してTSVはゆるやかに変化する。また、運動強度によってTSVにも差があり、Case1よりCase2の方がより熱的に不快を感じている。さらに、運動後熱的に中立になるまでの所要時間にも差があり、Case1の場合運動後5分程度で中立になるのに対し、Case2は10分程度の時間がかかる。つまり、運動強度が強いほうが中立に達する時間が遅い。ここで、TSVと代謝量との間の時間のズレに関する相関を調べる交差相関分析^(注5)を行った結果、Case1では代謝量を時間軸の正方向に4分30秒ずらした時に交差相関係数が最も高くなり(0.863)、Case2の場合は5分ずらした時に最大値(0.865)を示した。すなわち、代謝量の変化に対し、TSVは5分程度のズレが生じている。図4より、代謝量の変化に対するTSV、呼吸PMV、一定活動PMVの比較を行うことが可能である。TSVと呼吸PMV及び一定活動PMVには時間のズレが生じている。これはPMVが定常状態の温冷感の評価指標であるため限界があり、当然の結果でもある。また、

呼吸PMVと一定活動PMVの間についても差が見られた。

5. まとめ 1) 呼吸代謝量測定装置を用いて、代謝量の連続測定を行った。2) 運動前後において、運動強度により皮膚温及び皮膚温の変化、温冷感に差が見られる。3) 代謝量の変化と温冷感の間には時間のズレをとともなう相関が見られる。4) 呼吸性状から得られる代謝量により算出されるPMVと従来のような活動量に対する一定の代謝量により算出されるPMVとの間には差がみられる。

謝辞 本研究は、日本学術振興会の未来型石学術研究推進事業「環境負荷の影響評価と軽減」研究推進委員会(委員長鈴木基之)傘下の研究プロジェクト「高温多湿気候に適応する環境負荷低減型高密度居住区モデルの開発(プロジェクトリーダー:加藤信介)」の一環として行ったものである。本研究を遂行するにあたり、上記推進事業研究プロジェクトのメンバーの方々には甚大な御協力と御助言を頂きました。記して謝意を表します。

注 (1) 本研究では、実測より人間の日常の空移動に伴う代謝量変化を呼吸代謝量測定装置により評価し、それと種加レベル記録値との相関を求め、今後各種レベルのみで代謝量の変化に対し詳しく評価可能な相関式を提案する予定である。(2) 式(1)からさらにASHRAEに準じて、 $1\text{met}=58.1\text{W/m}^2$ (2)によりエネルギー代謝率に変換するが、これはある条件に基づいた時に用いる式である。式(2)の妥当性については今後の課題となる。(3) TSV; Thermal Sensation Vote (4) 一定活動PMVの算出において、代謝量は各活動における代謝量の平均値を求め、リラックス時1.02met、運動時2.44met(Case1)、3.73met(Case2)を与えた。(5) 時系列データに対する統計的な分析の方法の1つ。2つの時系列データの間の相関を調べる時に有効な方法。

【参考文献】 (1) Nishi,Y, Measurement of thermal balance of man, 1981. (2) ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals (SI), 2001. (3) 中山 昭雄, 温熱生理学, 理工学社, pp.10~26. (4) 渡邊ら, 気温・風速および被服のゆとりが着衣熱抵抗に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演要覧, 1999.9 (5) 田辺ら, 人間 熱環境系系快適性数値シミュレータ(その15~18), 日本建築学会大会学術講演要覧, 2001.9.

*1 慶應義塾大学大学院
*2 慶應義塾大学, 教授, 工博
*3 東京大学, 教授, 工博
*4 東京大学大学院

Graduate School, Keio University
Prof., Keio University, Dr. Eng.
Prof., Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.
Graduate School, University of Tokyo