

局所熱負荷量に基づく人体各部位における温熱感受性に関する研究

島崎康弘¹⁾ 吉田篤正²⁾ 佐藤正一郎¹⁾ 野津滋¹⁾¹⁾ 岡山県立大学情報工学部, ²⁾ 大阪府立大学大学院工学研究科

A Study of Hyperthermia Sensitivity on Human Body based on Local Thermal Load

Yasuhiro SHIMAZAKI¹⁾, Atsumasa YOSHIDA²⁾, Shoichiro SATO¹⁾, and Shigeru NOZU¹⁾¹⁾ Okayama Prefectural University, ²⁾ Osaka Prefecture University

Abstract: Evaluation techniques of unsteady and non-uniform state in outdoor space are required for establishing accurate thermal comfort index. The purpose in this study is to understand the relationship between local thermal load and thermal sensation. It was revealed a certain correlation between local thermal load and local thermal sensation, and differences of sensitivity properties at 9 points (head, neck, abdomen, flank, upper arm, hand, thigh, leg, foot) were confirmed. This result is supported by difference of cold spot distribution density. In addition, local thermal sensation was following to local thermal load, however, relatively weak relationships between local thermal sensation and whole body thermal sensation were observed in some body parts. The effect of stimulation area was examined by using different sized modules and requirement of a certain size was discovered.

Key Words: Thermal sensation, Human thermal load, Thermal comfort, Non-uniform, Thermal stimulation

要旨：屋外空間の温熱指標構築のためには、その空間の有する非定常性、非一様性を把握する必要がある。本報では、人体の持つ非均一性に関わる温熱感受性の部位差を調べる目的から、人体9箇所（前額、頸、腹、脇腹、上腕、手甲、大腿、下腿、足甲）に冷刺激を付与し、その際の熱刺激量、生理反応および心理申告を被験者実験により観察した。結果として、熱刺激量と局所温冷感に一定の関係性を認めることができ、また、局所温冷感と全身温冷感の関係から全身の温冷感に寄与の大きい箇所を頸、腹、脇腹と特定した。一方で、いくつかの部位では局所熱刺激と全身温冷感との相関が低く、直線回帰して傾きを全て箇所と比較し評価することができなかった。さらに、刺激面積を変化させて同様の冷刺激付与実験を実施し、刺激面積のより大きなほうが人体の感受性が良いことが分かった。

キーワード：温冷感、人体熱負荷量、温熱快適性、非均一性、熱刺激

1. はじめに

人間を取り巻く温熱環境は悪化しており、現状の温熱環境の把握と改善施策評価のため、屋外・屋内の区別なく非均一・非一様空間に適応できる温熱快適性指標の構築が求められる。本研究の基となる温熱環境指標は人体熱収支に基づき申請者が提案した「人体熱負荷量」である（島崎, 2009）。この人体モデルは人体熱収支に基づき熱流束で定義され、全身の温冷感および温熱快適感を予測するものである。人体熱負荷量の定常状態での精度は確認されているが、今後、実際の生活空間の持つ非一様性と非定常を考慮して、人体の局所的な刺激による快適感・温冷感と、全身の快適感・温冷感との関係の把握を目指す。また同時に、本温冷

感指標を積極的に活用しタスク空調などの設計へとつなげたい。

2. 実験方法

本研究の目指す温冷感指標は、部位差を考慮した指標である。すなわち、各部位における熱環境要素と生理的要素から局所熱負荷量を求め、被験者実験により得られる関係から局所温冷感、そして全身温冷感を予測する。温冷刺激量と温冷感覚量の関係を定量的に調べた研究事例はわずかで、部位差を考慮した温冷感指標を構築するため、局所熱負荷量と局所温冷感、全身温冷感の関係について調べた。人体の皮膚に存在する温度受容器には温点と冷点が存在し、分布密度は異

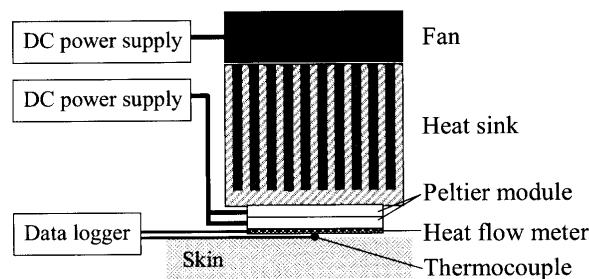


Fig. 1 Components of cooling probe

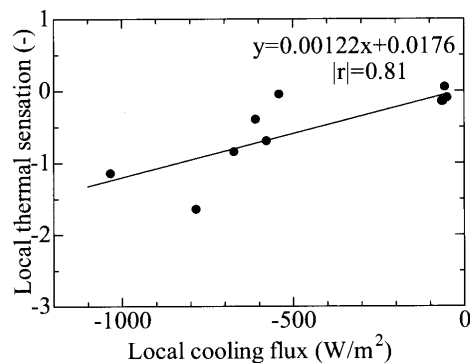


Fig. 2 Relationship between local cooling flux and local thermal sensation (abdomen, 50mm × 50 mm)

なると言われている。温・冷の両刺激の効果について調べる必要があるが、本報では冷刺激についてのみを報告する。なお、温刺激に関しても取り込む。

人体への局所冷刺激実験に伴い、図1のような冷刺激を負荷する冷却モジュールを製作した。これは、ペルチェ素子、熱流束センサー、ヒートシンクおよびファンで構成されている（宮本,2009）。ペルチェ素子と熱流束センサーの大きさは、熱刺激を十分に認知でき、どの部位にも装着が可能な大きさであることを考慮したうえで刺激面積による影響を調べるため、30 mm × 30 mm および 50 mm × 50 mm の2種類の大きさとした。ペルチェ素子への電圧印加には直流安定化電源を用いて、実験開始10分後から1.5 Vを一定電圧にて印加した。

熱刺激を感知する温度受容器の分布密度には部位差がある。そこで、今回の実験では刺激箇所として9箇所（前額、頸、腹、脇腹、上腕、手甲、大腿、下腿、足甲）を選定し、それらの部位の比較を行なった。これらの箇所の選定は人体熱モデルの構成上の必要性や人体体温の指標である平均皮膚温の算出法（中山,1981）を参考とした。

熱刺激部の皮膚温、心拍数ならびに環境要素（気温、湿度、大気圧）を1分毎に計測した。使用測器の詳細は表1に示すとおりである。実験時間は各部位20分とし、2分毎にASHRAEの7点法に

Table 1 Measuring items

Measuring items	Instrument	Model
Air temperature	Pt resistance	
Humidity	Capacitance hygrometer	T & D TR73U
Air pressure	Piezo resistance	
Skin temperature	Thermo couple	Type J
Cooling flux	Heat flow meter	EKO MF-200
Thermal sensation	Questionnaire	7-point scale

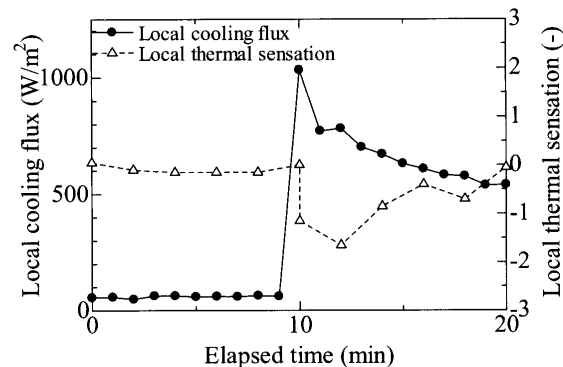


Fig. 3 Temporal changes against cooling (abdomen, 50mm × 50 mm)

基づく心理申告を実施した。実験は立位安静状態で、実験時期は岡山県立大学および大阪府立大学構内、主に夏に実施した。日射を直接受けない室内条件で実験を行っており、気温は25-30℃程度、湿度は45-65%程度、気圧はおおむね1気圧程度であった。被験者は男女のべ67人（男性44人、女性23人）であり、健康な20代の大学生または大学院生である。

3. 結果

3.1 熱刺激と温冷感

ある被験者を例に、刺激部皮膚表面からの吸熱量（局所熱負荷量）と局所温冷感の関係についての例を図2に示す。また、図3にはその際の応答の様子を示す。なお、この際使用した冷却モジュールサイズは50 mm × 50 mmであり、刺激箇所は腹である。図における熱流束の値がマイナスであるが、これは熱負荷量が人体への受熱をプラスと定義しているためである。局所熱負荷量と局所温冷感には相関が見られ、吸熱量が大きいほど人体は局所的に涼しいと感じていることが分かる。また、冷刺激を与え始めた実験開始10分後を境に局所熱負荷量、局所温冷感とも大きく変化しており、その応答性は良いといえる。全被験者に対してもこれらの傾向は見られた。

続いて、図4に本実験で得られた局所熱負荷量と局所温冷感との関係の例を示す。9部位におけるそれぞ

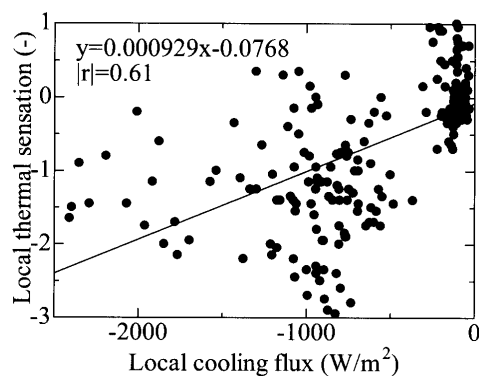


Fig. 4 Relationship between local cooling flux and local thermal sensation for all subjects (thigh, 50 mm × 50 mm)

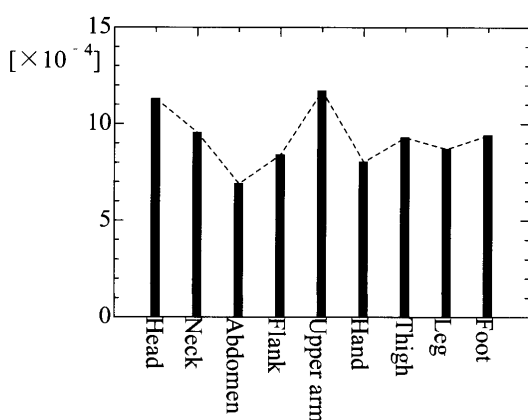


Fig. 5 Difference in hyperthermia sensitivity among 9 body parts

れの相関係数は $|r| = 0.6$ 付近(0.49-0.71)であり、一定の相関を認めることができる(表 2)。従って、局所熱負荷量から局所温冷感を予測できる。そこで、それぞれの回帰直線(最小 2 乗近似)の傾きから、熱刺激部位の感受性について考える。回帰線の傾きは急なほど同一熱刺激に対する温冷感応答感度が良いということになる。図 5 より、冷刺激に対する感受性は上腕が最も高く、以下は額、首、足甲、大腿、下腿、脇腹、手甲の順で、腹の感受性が一番低い結果となった。

次に、局所温冷感と全身温冷感の関係の例を図 6 に示す。図 6 で分かるように、頸においては局所温冷感と全身温冷感に相関を確認でき、局所熱刺激が全身温冷感に寄与することが分かる。9 部位のうち頸、腹、脇腹などでは両者の間に相関を確認することができた。一方、その他の部位においては局所熱刺激の効果が十分に全身にまで効果が及ばないという結果となった。

これらの結果から、部位ごとの温熱感受性があるまま全身の温冷感につながっているとはいえないことが分かる。今後の研究の方向性として、温刺激の付与や

Table 2 Correlation for all body parts

Body part	Correlation
Head	0.62
Neck	0.49
Abdomen	0.54
Flank	0.59
Upper arm	0.71
Hand	0.60
Thigh	0.61
Leg	0.57
Foot	0.58

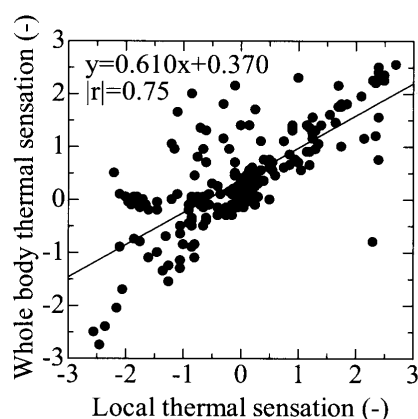


Fig. 6 Relationship between local thermal sensation and whole body thermal sensation (neck, 50 mm × 50 mm)

全ての部位に対して全身温冷感への寄与度を定量的に測定できる工夫をすることを考えている。

3.2 刺激面積の影響

人体が温冷刺激を感受するのは主に温点・冷点といった温度受容器を通じてであるが、温度受容器の分布密度には部位差がある。例えば、田村ら(2007)によれば、温点と冷点の分布密度は頭部が最も高く、次いで体幹部、上肢部、下肢部となる。そこで、感受性の部位差を考慮する一環として、同一部位に異なる面積分冷刺激を与えることで、その応答を観察した。この際、刺激面積は 30 mm × 30 mm および 50 mm × 50 mm の 2 種類である。

図 7 に図 4 と比較できるように、30 mm × 30 mm の刺激面積時の大腿における所熱負荷量と局所温冷感との関係を、図 8 に図 6 と比較できるように、30 mm × 30 mm の刺激面積時の頸における局所温冷感と全身温冷感との関係を示す。刺激面積が大きいほど強い相関が得られ、また同時に、刺激に対する感受性が高まるということが分かる。このことを考慮すると、今後はより大

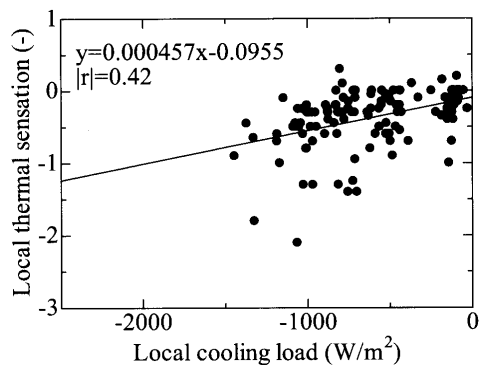


Fig. 7 Relationship between local cooling flux and local thermal sensation for all subjects (thigh, 30 mm × 30 mm)

きなモジュールを作成し十分な熱刺激を付与することで相対的な感受性の部位差を測ることを検討する。

4. 考察

中立に近い温熱環境下において、人体 9 箇所(前額、頸、腹、脇腹、上腕、手甲、大腿、下腿、足甲)に冷刺激を付与し、その際の熱刺激量、生理反応および心理申告を被験者実験により観察し、以下のような知見を得た。

- (1) 局所熱負荷量と局所温冷感には相関が見られ、吸熱量が大きいほど人体は局所的に涼しいと感じていることが分かる。また、局所温冷感の局所熱刺激量に対する応答性は良い。
- (2) 熱刺激部位の感受性について、冷刺激に対する感受性は上腕が最も高く、以下は額、首、足甲、大腿、下腿、脇腹、手甲の順で、腹の感受性が一番低い。
- (3) 局所温冷感と全身温冷感の関係について、頸、腹、脇腹などでは両者の間に相関を確認することができ、局所熱刺激が全身温冷感に寄与することが分かった。一方、その他の部位においては局所熱刺激の効果が十分に全身にまで効果が及ばなかった。

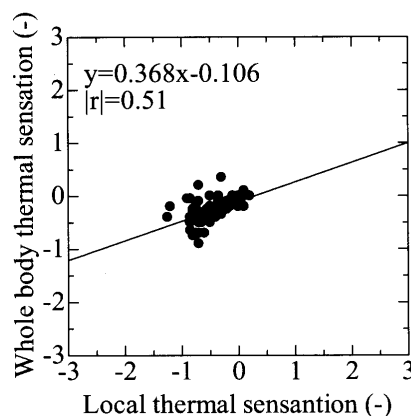


Fig. 8 Relationship between local thermal sensation and whole body thermal sensation (neck, 30 mm × 30 mm)

- (4) 異なる熱刺激面積による実験から、刺激面積が大きいほど局所温冷感と全身温冷感の係に強い相関が得られた。

5. 文献

- 島崎康弘, 吉田篤正, 木下進一, 2009: 人体熱負荷量に基づく温熱快適性指標の提案, 日本冷凍空調学会論文集, 26(1), 113/120.
- 中山昭雄編, 1981: 温熱生理学, 理工学社.
- 宮本征一, 2009: 局所冷刺激を与えたときの青年男性被験者の身体各部位の冷感受性, 人間と生活環境, 16(1), 11/17.
- 田村照子, 2007: 皮膚表面における温冷感・湿潤感の部位差を探る, 日本官能評価学会誌, 11(2), 81/88.

<連絡先>

著者名: 島崎 康弘
住 所: 岡山県総社市窪木 111
所 属: 岡山県立大学情報工学部
E-mail アドレス: shimazaki@ss.oka-pu.ac.jp