

不均一な熱放射環境の人体影響に関する研究
- 左右不均一、青年男性の場合 -角谷 孝一郎^{*1} 藏澄 美仁^{*1} 土川 忠浩^{*2} 鳥居 孝行^{*1} 松原 斎樹^{*1} 堀越 哲美^{*3}^{*1} 京都府立大学 ^{*2} 県立姫路工業大学 ^{*3} 名古屋工業大学The influence of asymmetric and uneven thermal radiation environments upon the human body
-In the case of the left-right side asymmetric and uneven thermal radiation field upon a sedentary nude male subject-Koichiro KAKUTANI^{*1} Yoshihito KURAZUMI^{*1} Tadahiro TSUCHIKAWA^{*2}Takayuki TORII^{*1} Naoki MATSUBARA^{*1} Tetsumi HORIKOSHI^{*3}^{*1} KYOTO Prefectural University ^{*2} HIMEJI Institute of Technology ^{*3} NAGOYA Institute of Technology

The purpose of this paper is to evaluate the influence of asymmetric and uneven thermal radiation field upon a sedentary nude male subject. Experiments were conducted under the following condition. There were fifteen combinations of thermal radiation and air temperature. Air temperature was set 28°C. The directions of thermal radiation upon the human body were irradiated from right and left side. The results may be summarized as follows: The skin temperatures that changed extremely were deltoid and forearm. Subjective thermal sensation and thermal comfort vote fluctuated over the wide range when the subject was exposed to asymmetric thermal radiation. Local skin temperature, subjective thermal sensation and thermal comfort vote corresponded to partial operative temperature and thermal radiation unevenness.

1. はじめに

人の熱さ寒さの感覚は、人体と周囲環境との間の熱のやりとりの量によって決まる¹⁾。人間が活動している建築空間において、人間と周囲環境との間には常に熱のやり取りがなされている。その熱交換の経路には、大きく分けて放射、対流、伝導、蒸散がある。通常の室内空間では、このうち放射による熱交換量が最も多いとされている²⁾。

放射に着目した場合、壁、天井、床といった室内空間構成面の表面温は、人間の活動や外界条件により等温とは限らず、現実的には不均一な熱放射環境である場合が多い。このような、不均一な熱放射環境が人体に与える影響に関する研究は過去に行われてきた。McNallら³⁾は、壁面と天井面について、より大きな不均一放射環境に暴露されると、人は平均放射温度の非対称性から引き起こされる大きな不快さを経験したとしている。Fangerら⁴⁾は、床面と天井面との間の上下の不均一熱放射環境について研究し、不快と感じる人が5%以下とするためには、上下の非対称の温度差を4K以内に抑えることが望ましいとしている。Berglundら⁵⁾は、壁面冷放射による不均一熱放射環境について研究し、左右の非対称の温度差が10K以上の条件では、被験者の温熱的な満足度合いに影響を及ぼすとしている。Olesenら⁶⁾は、部分的な放射冷却によって、暑い作業環境での温熱的な条件を改良し、暑さによる不快さを減少することを示したが、不均一な熱放射によ

る不快さが発生するとしている。これらの研究で共通することは、不均一な熱放射環境は、人体に不快な影響を与えるとしていることである。

非対称または不均一な熱放射環境を表現する指標として、堀越ら⁷⁾は大きさのある立方体を椅座人体モデルとし、その立方体の部分平均放射温度と部分作用温度、熱放射の不均一度を定義している。藏澄ら⁸⁾は、人体の前後左右からの不均一熱放射環境での部分作用温度の有効性について検討し、皮膚温や温冷感・快適感とよく対応することを明らかにした。しかし、熱放射の不均一度については検討していない。野原ら⁹⁾は、人体の前後と右からの不均一熱放射環境での部分作用温度の有効性について検討し、前方放射では皮膚温が高くなる傾向が見られたが、温冷感とはよく対応することを明らかにした。しかし、熱放射の不均一度については検討していない。宮本ら¹⁰⁾は、人体の前後左右からの不均一熱放射環境での部分作用温度の有効性について検討し、皮膚温とよく対応することを明らかにした。しかし、心理量との対応や、熱放射の不均一度については検討していない。

そこで本研究では、これらの不快さを引き起こす要因の中でも、左右の不均一な熱放射環境の人体への影響を明らかにすることを目的とする。また、部分平均放射温度と部分作用温度、熱放射の不均一度と被験者の生理量・心理量との対応関係を明らかにし、温熱環境指標としての有効性を検証する。

2. 実験計画

2.1 実験方法

実験は、2002年7~8月に京都府立大学 住環境工学実験室 人間環境シミュレータ内で行った (Fig. 1)。温熱環境設定条件は、気温28℃一定とし、被験者の中心から1.0m離れた左右両側に設置した熱放射パネル (2.0m × 2.0m) の表面温度の一方のみを30,35,40,45,50,55,60℃に制御し他方を何も制御しない気温と同一となる条件と、左右両側とも何も制御しない気温と同一となる条件の、合計15条件とした。このときの左右熱放射パネルと裸体椅座位人体との間の人体の形態係数は0.161である¹¹⁾。実験は、気温28℃で静穏な気流の前室に60分間滞在したのち、Table 1に示す温熱環境条件に90分間暴露した (Fig. 2)。

2.2 被験者

被験者は健康な青年男性1名である (Table 2)。より明確に熱放射環境の影響をとらえる必要性から、被験者の着衣条件はブリーフのみのほぼ裸体とし、作業条件は椅座位とした。被験者用の椅子として、熱伝導の影響を極力抑えられると考えられる籐製の背もたれつきの椅子を使用した。

2.3 測定項目

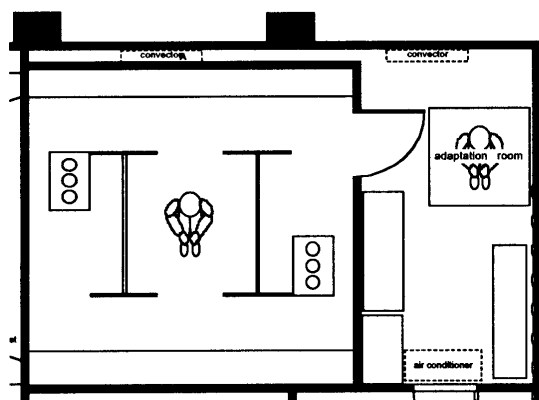


Fig. 1 Plan of test booth in artificial climate chamber

Table 1 Experimental condition

Air temperature	28℃
Air velocity	0.2m/s
Relative humidity	55±5%
Thermal radiation	left-right 30,35,40,45,50,55,60℃
Clothed condition	Nude
Posture	Sedentary

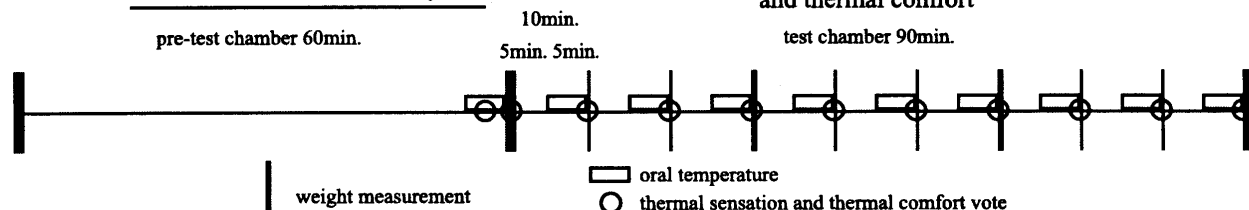


Fig. 2 Procedure of the experiment

気温と湿度はアスマン通風乾湿球湿度計を、被験者前方1.0m、床上0.9mに設置し測定した。グローブ温度はグローブ温度計を被験者後方、床上0.9mに設置し測定した。左右の熱放射パネル表面温度、床、天井、壁面の表面温度はφ0.3mmT型熱電対を用いて測定した。風速はアネモマスター風速計を用い、被験者前方1.0mの位置にて測定した。

人体の生理的反応として、皮膚温、舌下温および体重減少量を測定した。皮膚温と舌下温については、Hardy-DuBoisの7点の部位と熱放射の影響を受けやすいと考えられる三角筋に人体左右の各部位ごとに、φ0.2mmT型熱電対を用いて測定した。平均皮膚温の算出には、Table 3の重み係数を用いた。

体重減少量については、電子台秤 (感度1g) を用いて30分毎に測定し、その体重減少量に蒸発潜熱を乗じて水分蒸発放熱量を算出した。

人体の心理的反応として温冷感と快適感をそれぞれ異なる2種の評定尺度を用いて測定した (Fig. 3)。数値尺度、直線尺度とも温冷感については「暑い」「寒い」、快適感については「快適」「不快」の方向のみが与えられてある。それぞれ、「寒い」「快適」側の端点を0、「暑い」「不快」側の端点を100という任意数値を与え、数値に置換して処理した。

人体の皮膚温・舌下温、温冷感・快適感の測定は、前室を出る直前に前室にて行った。そして、実験室に入室し着席した直後に行い、その後、10,20,30,40,50,60,70,80,90分後に行った (Fig. 2)。

3. 実験結果

3.1 温熱環境条件

各実験中の温熱環境は、気温は28±0.3℃、相対湿度は、55±5%、平均風速は0.19m/sであった。したがって、温熱環境設定条件はほぼ満足された。

Table 2 Physical characteristics of the subject

subject	sex	age	height (cm)	weight (kg)	body surface area(m ²)	Rohrer's index	native place
H.Y.	male	22	182.1	64.3	1.82	106.51	Yamaguchi

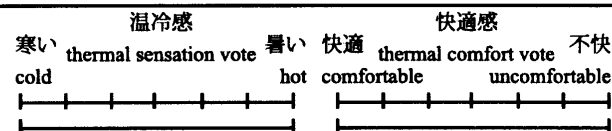


Fig. 3 Voting scales for evaluation of thermal sensation and thermal comfort

3.2 皮膚温・舌下温の経時変動 (Fig. 4, 5)

左右の熱放射パネルのうち何も制御しない気温と同一となる条件では、急激な変動を示すものは見られなかった。次に、左右の熱放射パネルのうちどちらかが制御されている条件では、熱放射パネルの表面温が高くなると、暖めた熱放射パネル側の三角筋、前膊部において急激に皮膚温が上昇した。ほとんどの条件において、舌下温、前額は他の部位と比べ高い温度でほぼ一定に保たれていた。また、下腿部は他の部位と比べ低い温度を示した。

3.3 温冷感・快適感申告値の経時変動 (Fig. 6, 7)

Table 3 Weighting coefficients for calculation of Mean Skin Temperature

Measuring position		Weighting coefficient (%)		
		whole	right	left
forehead	right	0.035	0.07	
	left	0.035		0.07
abdomen	right	0.0875	0.175	
	left	0.0875		0.175
lower back	right	0.0875	0.175	
	left	0.0875		0.175
deltoid	right	0.035	0.07	
	left	0.035		0.07
forearm	right	0.035	0.07	
	left	0.035		0.07
back of hand	right	0.025	0.05	
	left	0.025		0.05
anterior thigh	right	0.095	0.19	
	left	0.095		0.19
shin	right	0.065	0.13	
	left	0.065		0.13
instep	right	0.035	0.07	
	left	0.035		0.07

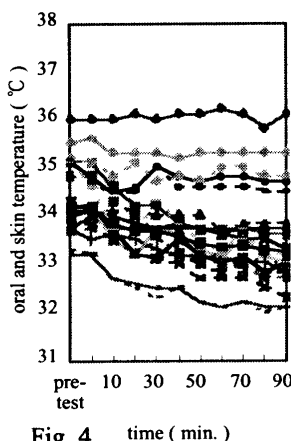
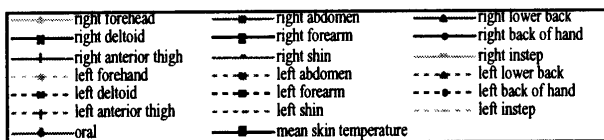


Fig. 4 time (min.)
Changes of oral and skin temperatures during exposure time (no radiation)

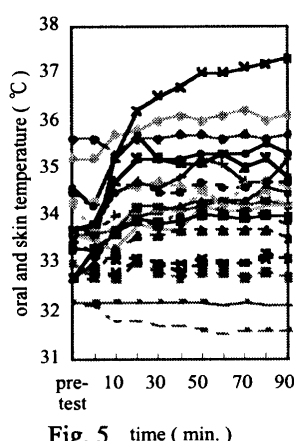


Fig. 5 time (min.)
Changes of oral and skin temperatures during exposure time (right 60°C)

全体的に熱放射パネルの表面温が高いほど、暑く、不快という傾向が見られた。また、申告値がふれる傾向が見られ、「暑い側と寒い側、快適な側と不快な側のある範囲内を往復するような申告の経時変動が見られ、左右いずれかの熱放射に対して無意識的な選択がなされて感覚の申告が行われている」という蔵澄ら⁸⁾の研究結果を支持する結果となった。

4. 部分作用温度、熱放射の不均一度の温熱環境指標としての有効性の検証 (Fig. 8~14)

今回の実験条件では、作用温度が高いほど、暑くて不快という傾向が見られた (Fig. 8,9)。

左右の部分作用温度の差が大きいと左右の平均皮膚温の差が大きくなった。不均一熱放射環境の影響が、皮膚温によく現れる結果となった (Fig. 10)。

熱放射パネルの表面温が高くなるほど、パネル側に対応する三角筋、前膊部の皮膚温上昇が著しい。この部位の温度が上昇すると、椅座人体を立方体と見なしたとき、暖めた熱放射パネル側の立方体の面の表面温も上昇する。したがって、立方体の左右の表面温の非対称性が大きくなり、局所の温熱環境を表現可能な部分作用温度の左右の差も大きくなる。このときの被験者の心理量を見ると、非対称性が大きくなるほど暑さや不快さが増す傾向が認められ、堀越ら⁷⁾、蔵澄ら⁸⁾、野原ら⁹⁾の研究結果を支持する結果となった。熱放射の不均一度については、不均一度が大きくなるほど暑さや不快さが増す傾向が認められた。以上より、不均一熱放射環境に対する温熱環境指標としての有効性が示された (Fig. 11~14)。

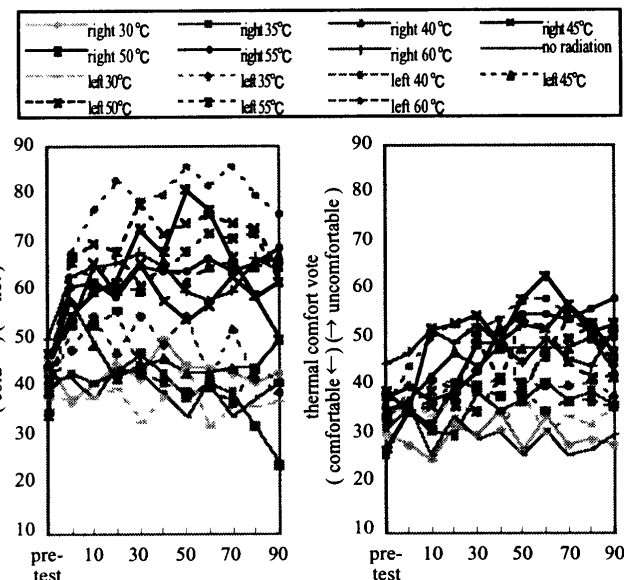


Fig. 6 time (min.)
Changes of thermal sensation vote during exposure time

Fig. 7 time (min.)
Changes of thermal comfort vote during exposure time

参考文献

1) 渡辺要, 建築計画原論 III, 11 室内気候, 1965, 丸善 2) 伊藤眞次ほか, 最新人体生理学入門, 朝倉書店, 1993 3) McNall, P. E.ほか, Thermal and comfort sensations of sedentary persons exposed to asymmetric radiant fields, ASHRAE Transactions, 1970(1), pp.123-136 4) Fanger, P.O.ほか, Comfort limits for heated ceiling, ASHRAE Transactions, 1980 (2), pp.141-156 5) L.G. Berglund, A.P.R. Fobelets, Subjective human response to low-level air currents and asymmetric radiation, ASHRAE Transactions, 1987(1), pp.497-523 6) Olesen, B.W.ほか, Radiant spot cooling of hot working places, ASHRAE Transactions, 1981, pp.593-608 7) 堀越哲美ほか, 非対称および不均一熱放射環境の人体影響表

現方法の研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.413, pp.21-28, 1990.7 8) 藤澄美仁ほか, 非対称及び不均一な熱放射環境の人体影響に関する研究 - 作用温度一定の場合 -, 日本建築学会計画系論文報告集, No.447, pp.17-26, 1993.5 9) 野原宗道ほか, 熱放射限の位置が人体皮膚温・温冷感に及ぼす影響, 人間と生活環境, 3(1), pp.29-37, 1996 10) 宮本征一ほか, 不均一・局所放射環境下における部分・部位平均放射温度の有効性に関する研究, 人間・生活環境系シンポジウム, 第21回, pp.115-118, 1997.12 11) 土川忠浩ほか, 実測による人体の有効放射面積および人体と矩形面との間の形態係数に関する研究 青年男子に対する裸体・着衣・立位・椅座の場合, 日本建築学会計画系論文報告集, No.388, pp.48-59, 1988.6

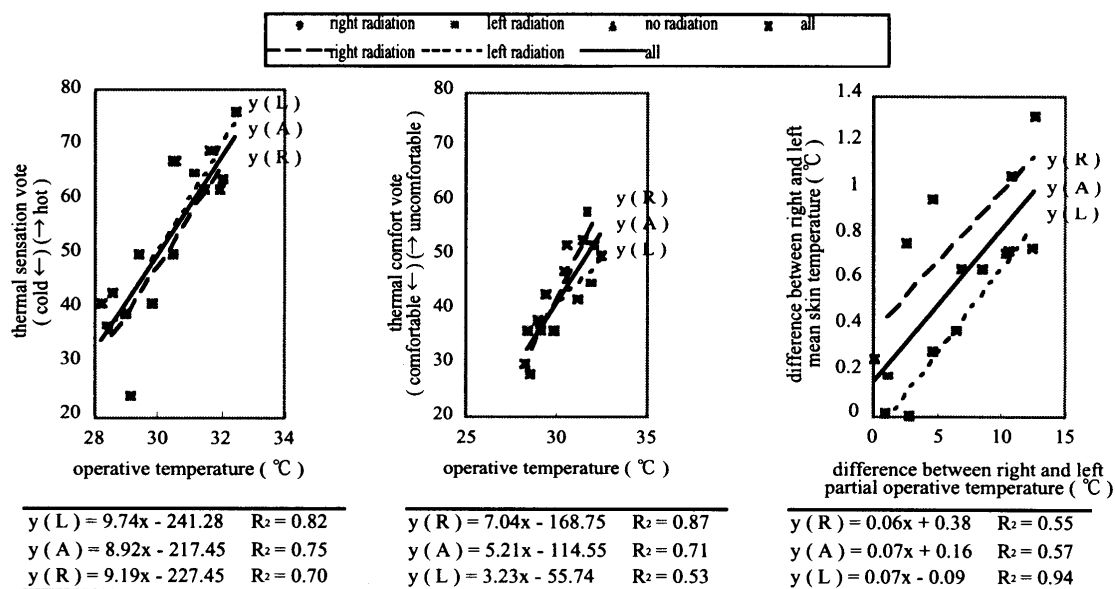


Fig. 8

Relation between
operative temperature
and thermal sensation vote

Fig. 9

Relation between
operative temperature
and thermal comfort vote

Fig. 10

Difference between right and left
operative temperature and right and left
partial operative temperature

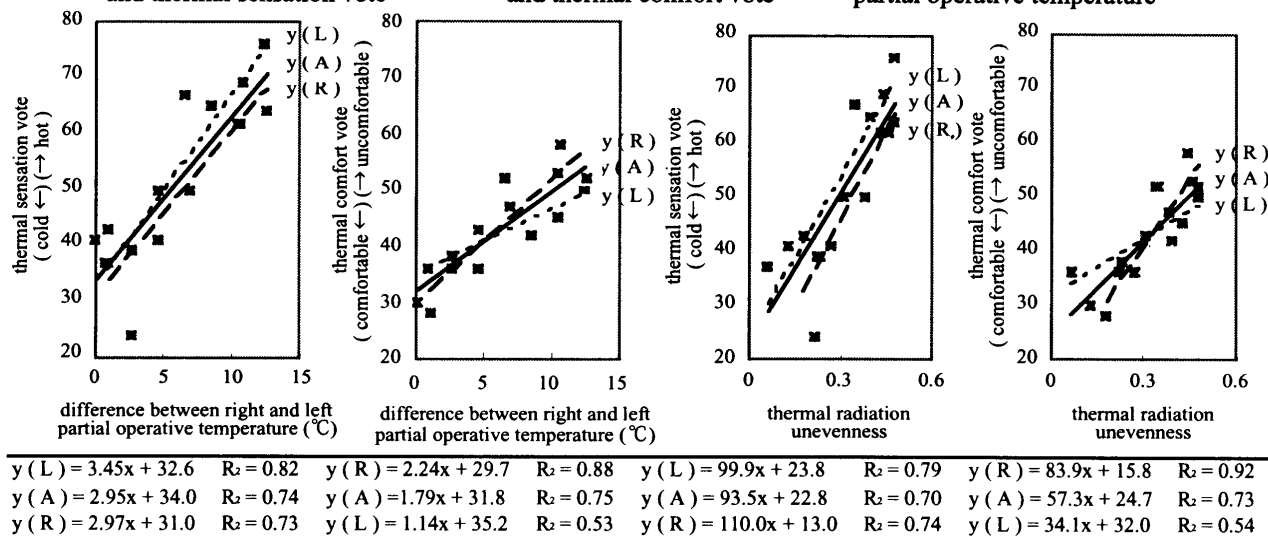


Fig. 11

Difference between
right and left partial
operative temperature and
thermal sensation vote

Fig. 12

Difference between
right and left partial
operative temperature and
thermal comfort vote

Fig. 13

Thermal radiation
unevenness and
thermal sensation vote

Fig. 14

Thermal radiation
unevenness and
thermal comfort vote