姿勢の違いと人体の放射伝熱面積に関する研究

RADIATIVE HEAT TRANSFER AREAS OF THE HUMAN BODY IN RELATION TO THE POSTURE

藏 澄 美 仁*¹, 土 川 忠 浩*², 鳥 居 孝 行*³, 九 手 貴 行*⁴

山 下 千 華*⁵, 松 原 斎 樹*⁶, 堀 越 哲 美*⁷

*Yoshihito KURAZUMI, Tadahiro TSUCHIKAWA, Takayuki TORII, Takayuki KUDE,
Chika YAMASHITA, Naoki MATSUBARA and Tetsumi HORIKOSHI*

The purpose of this paper is to offer the specific data for calculating the amount of heat exchange between the human body and environments by radiative heat transfer. The total body surface area was measured. Radiative heat transfer areas of the naked human body for the following nine body postures were measured: standing, chair sitting, seiza sitting, cross-legged sitting, sideways sitting, both-knees-erect sitting, leg-out sitting, lateral and supine postures. The results showed that the radiative heat transfer area of the naked human body in the standing posture was 0.773, the chair sitting posture was 0.732, the seiza sitting posture was 0.621, the cross-legged sitting posture was 0.606, the sideways sitting posture was 0.634, the both-knees-erect sitting posture was 0.609, the leg-out sitting posture was 0.686, the lateral posture was 0.712 and the supine posture was 0.708. The radiative heat transfer areas of the naked human body showed clearly that it is strongly influenced in the postures.

Keywords: heat transfer area of the human body, body surface area, heat exchange, radiation, posture

人体の伝熱面積, 体表面積, 熱交換, 放射, 姿勢

1. はじめに

温熱環境が人体へ与える影響を検討する従来の研究は、主にオフィス空間での軽作業を対象にしたものである。その研究の大部分は、オフィス空調の設定目標値に関するものであり、必然的に姿勢などの条件については非常に限定されたものとなる。これに対して、受動的環境である実験室空間よりも能動的環境である生活空間では行動の自由度が高いために、環境に働きかけをおこなう温熱環境を調節する行動性体温調節がおこなわれている。この一端には、姿勢を変えることにより環境との間の熱交換量を調節することが挙げられる。すなわち、通常の生活空間では姿勢条件にかなりの幅があり、姿勢の条件を検討しなければ、実空間の設計には結び付き難い側面がある。

演算装置の発達により、実験室空間から仮想空間での実験も多くなされるようになってきている。しかし、仮想空間の実験においても姿勢などの多様性を設定条件に組込んだものは少ない。また、

シミュレーションによる仮想空間の設定温度を単に気温のみではなく、体感温度によって表現することは重要な研究の進展となる。しかし、姿勢に着目した体感温度を仮想空間でのシミュレーションに反映させたものは極めて少ない。

体感温度は多くの温熱環境要素により構成されている。その構成は、人体と周囲環境との間の熱収支を表現している熱平衡式に基づいている。人体の熱平衡式は伝熱学的に記述されるが、熱量を算出するには多くの人体に関わる数値を定めなければならない。その一つに、人体に関わる伝熱面積がある。これには、人体の体表面積と対流伝熱面積、放射伝熱面積、伝導伝熱面積が必要となる。通常、人体の熱収支で取扱う熱量は人体の伝熱面積で基準化されている。

通常の室内環境での人体が強度な作業状態にあることや大きな風速に曝されることは稀であることより、人体と周囲環境との間の熱交換量の50%程度は放射による熱交換量となる。すなわち、人体の熱平衡式を検討するには人体の放射伝熱面積を明らかにすること

*¹ 京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科
助教授・博士(工学)

*² 兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科
助教授・博士(工学)

*³ 高砂熱学工業(株) 修士(学術)

*⁴ 三協アルミニウム工業(株)

*⁵ ㈱大京

*⁶ 京都府立大学人間環境学部環境デザイン学科 教授・工博

*⁷ 名古屋工業大学大学院ながれ領域 教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Environmental Design, Kyoto Prefectural University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., School of Human Science & Environment, University of Hyogo,
Dr. Eng.

Takasago Thermal Engineering Co., Ltd., M. Living Science

Sankyo Aluminium Industry Co., Ltd.

Daikyo Inc.

Prof., Dept. of Environmental Design, Kyoto Prefectural University, Dr. Eng.

Prof., Nagare College, Graduate School of Nagoya Institute of Technology,
Dr. Eng.

が重要な課題となる。

人体の放射伝熱面積に着目した研究は人体の有効放射面積を求める研究としておこなわれてきた。

裸体立位姿勢の有効放射面積は多くの研究者 (Bohnenkamp and Pasquary, 1931¹⁾; Badow and Bohnenkamp, 1935²⁾; Bedford, 1935³⁾; Hardy and DuBois, 1938⁴⁾; Guibert and Taylor, 1952⁵⁾; Fanger et al., 1970⁶⁾; 土川ほか, 1988⁷⁾, 1991⁸⁾; Horikoshi et al., 1990⁹⁾; 鈴木と垣鏑, 1997¹⁰⁾; 富田ほか, 2000¹¹⁾; 宮本ほか, 2001¹²⁾) により報告されている。しかし、いずれの研究とも、人体と周囲環境との間の熱交換の経路では熱伝導に該当する床面との接触面を有効放射面積に含んだ処理をしている。

裸体椅座位姿勢の有効放射面積は多くの研究者 (Guibert and Taylor, 1952⁵⁾; Fanger et al., 1970⁶⁾; 堀越と小林, 1982¹³⁾; Kakitsuba et al., 1987¹⁴⁾; 土川ら, 1988⁷⁾, 1991⁸⁾; Horikoshi et al., 1990⁹⁾; 鈴木と垣鏑, 1997¹⁰⁾; 富田ほか, 2001¹⁵⁾; 宮本ほか, 2003¹⁶⁾) により報告されている。前述の立位の場合と同様に、いずれの研究とも、床面・椅子面との接触面を有効放射面積に含んだ処理をしている。

その他の姿勢についてはそれぞれ単独の研究成果のみの報告に留まっている。裸体正座位姿勢の有効放射面積は蔵澄ら (1998a)¹⁷⁾、裸体胡座位姿勢の有効放射面積は宮本ら (1996)¹⁸⁾、裸体横座位姿勢の有効放射面積は蔵澄ら (2005)¹⁹⁾、裸体立て膝位姿勢の有効放射面積は宮本ら (1996)¹⁸⁾、裸体投げ足位姿勢の有効放射面積は蔵澄ら (2005)¹⁹⁾、裸体側臥位姿勢の有効放射面積は水谷ら (1996)²⁰⁾ や蔵澄ら (2005)¹⁹⁾、裸体仰臥位姿勢の有効放射面積は蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ が報告している。しかし、床面との接触部分の熱交換を熱放射とするかまたは熱伝導とするかの取扱いに違いが認められる。

以上のように、人体の放射伝熱面積は、立位や椅座位の伝熱面積を除き、他の姿勢での研究は極めて少ない。加えて、同一人体での実測研究は皆無である。また、被験者比較や体型・体組成比較をするには伝熱面積の基準値となる人体の体表面積が重要となるが、この面積を実測して人体の伝熱面積を検討している研究は皆無である。

そこで、本研究では人体と周囲環境との間の熱交換量の基準となる人体の伝熱面積に着目し、熱交換量の算定に必要なであるが未整備である熱平衡式で用いられる人体の放射伝熱面積を被験者を用いた実測により明らかにし、基礎データとして供すること、さらに、姿勢の違いによるその面積の違いを明らかにすることで、その特性の一端を把握することを目的とした。

本研究は、人体の熱交換に関わる伝熱面積を姿勢の違いに着目して実測した研究として位置づけられる。被験者は1名ではあるが、新しいデータとして意義深いものと考えられる。

2. 実験計画

実験は、Fig. 1 に示す立位、椅座位、正座位、胡座位、横座位、立て膝位、投げ足位、側臥位、仰臥位の姿勢別におこなった。姿勢の定義は蔵澄ら (2003b)²¹⁾ に従った。

被験者は、ブリーフのみを着用したほぼ裸体状態にて実測に参加した。頭部は頭髮の影響で体表面積が大きくなるが、実測

をおこなううえで、その影響を排除することが実測計画上困難であったために、競泳用のシリコンキャップをかぶり実測をおこなった。

2.1 体表面積の実測方法

体表面積の直接採取には、サージカルテープを直接体表面に貼付し、その被覆に要したテープの面積を測定する方法 (蔵澄ほか, 1994)²²⁾ を用いた。

不織布サージカルテープ (ニチバン, ホワイトテープ 21N, 幅 12, 25, 50, 75 mm) をテープが重なるように直接貼付した。テープの重なる部分を油性ペンにてマーキングした後、テープを1枚ずつ慎重に剥がし、ケント紙に貼り付けた。この重なったテープ部分を除いたテープ表面をデジタイザ (Graphtec, KD4310, 読み取り精度 0.025mm) とコンピュータを用いて自作のプログラムにより面積を求めた。

なお、外耳道は危険なために測定対象とはしなかった。

2.2 伝導伝熱面積の実測方法

体表面と床面との間の伝導伝熱面積の抽出には透明フィルム透写法 (蔵澄ほか, 1997)²³⁾ を用いた。透明アクリル版上で一定の姿勢を維持した被験者とアクリル版との接触部分を透明フィルムに透写した。なお接触部がより鮮明となるように、被験者の接触部近傍にはインクを塗布した。

抽出した体表面積の面積は体表面積の実測と同様の方法 (蔵澄ほか, 1994)²²⁾ にて実測した。

2.3 放射伝熱面積の実測方法

実測は立体角投射法則に基づく射影型式が正射影の魚眼レンズ (OP Fisheye Nikkor 10mm f/5.6) と 35mm1 眼レフカメラ (Nikon F4) を用いた写真撮影法 (堀越ほか, 1978)²⁴⁾ にておこなった。

実測座標の原点は、人体の中心点である臍の奥 0.1m の位置を通る鉛直線と床面との交点とした。床面を基準とした座標系を設定し、原点から 0.5m × 0.5m の格子点を実測位置とした。人体を取り囲むために設定した人体下方床面 (座標原点から鉛直方向に -0.5m の位置) の実測時には、透明なアクリル板で作成した架台に人体を載せ空中に浮かせた状態を作り人体下方面を設定した。

実測対象面は人体周囲を取囲む正面と背面、右側面、左側面、床、天井に相当する矩形面とした。天井面は座標原点から人体の水平面方向に 2.5m の位置の面を実測対象とした。床面は座標原点から人体の水平面方向に -0.5m の位置の面を実測対象とした。左右の側壁面は座標原点から人体の前額面方向に左右 1.0m の位置の面を実測対象とした。正面壁と背面壁は、立位と椅座位、正座位、胡座位、横座位、立て膝位、投げ足位の場合には座標原点から人体の矢状面方向に前後 1.0m 位置の面を実測対象とした。側臥位と仰臥位の場合には座標原点から人体の矢状面方向に前後 1.5m の位置の面を実測対象とした。

2.4 被験者

被験者は実測時 30 歳の健康な成人男性 1 名とした。被験者の身長は 174.80cm、体重は 62.978kg であった。Rohrer index は 117.91 であり、標準的な体型の被験者であった。2002 年の国民栄養調査の 30 歳全国平均値 (厚生労働省保健医療局、

Fig. 1 Experimental postures.

2004)²⁵⁾ との比較では、身長・体重とも標準偏差内の数値であり、特異な体格の被験者ではないと考えられる。

なお、被験者には事前に実測内容を十分に説明し、実測に参加する同意を得た。

3. 実測結果

既存の研究の多くは、人体と床面との間の接触面積は小さく、人体と床面との間の伝導による熱授受量は無視可能であると仮定してきた。しかし、蔵澄ら(1999)²⁶⁾の床暖房空間における人体の熱収支に関する研究では、床座位(胡座位、横座位、投げ足位)や臥位姿勢は人体と床面との間の伝導による熱授受量を含めて人体の熱収支を捉えることが必須であることを明らかにしている。そこで、本研究では人体の放射伝熱面積を人体と空間構成面との熱放射授受に関わる人体の表面積とする。すなわち、椅子などが空間構成面と人体との間の熱放射を遮蔽するが、その遮蔽を無視するものとする。

3.1 体表面積の実測結果

全体表面積の実測結果は 1811.6cm^2 となった。日本人の体型や体組成が変化した後の日本人を対象に体表面積算出式の検証(蔵澄ほか, 2003a)²⁷⁾がおこなわれている蔵澄の算出式(蔵澄ほか, 1994)²²⁾による算出値と実測結果とを比較すると、実測結果は算出値よりも大きな値となり、その差は2.1%となった。

3.2 伝導伝熱面積の実測結果

伝導伝熱面積の実測結果を Table 1 に示す。仰臥位の伝導伝熱面積が最も大きく 1816.5cm^2 となった。一方、椅座位の伝導伝熱面積が最も小さく 152.3cm^2 となった。

正座位の伝導伝熱面積は 228.6cm^2 であり、立位の伝導伝熱面積とほぼ同じである。床座位姿勢の中では顕著に小さい伝導伝熱面積である。これは正座位が下腿部から足部の体表面で線的に体を支えていることが影響している。他の床座位姿勢が下

肢部の体表面で面的に体を支えていることは対照的な姿勢維持状態である。

足部のみ床面と接触する立位の伝導伝熱面積は 230.8cm^2 であった。床面との間の伝導伝熱面積がほぼ等しいと考えられていた立位と椅座位の足部は、立位の場合がより大きな伝熱面積となる結果となった。椅座位の姿勢維持の主要な部位は椅子の座面と接触する臀部・大腿部である。立位では全体重が足部で支えられている。一方、椅座位では下肢部の重量のみが足部で支えられている。これは蔵澄ら(1997²³⁾, 1998b²⁸⁾、Kurazumi et al.(2004)²⁹⁾が指摘している様に、明らかに足部に加わる重量の影響を示していると考えられる。

前述の様に、本研究では人体の放射伝熱面積を人体と空間構成面との熱放射授受に関わる人体の表面積としている。したがって、人体と椅子との間の熱伝導による熱交換は検討しないが、参考値として、事務用椅子との間の伝導伝熱面積を実測した。体表面と椅子の座面・背もたれ面との間の伝導伝熱面積の抽出には、対流伝熱面積の実測と同様の方法(蔵澄ほか, 2003b)²¹⁾を用いた。事務用椅子に座った場合の座面と背凭れ面との間の伝導伝熱面積は、それぞれ 625.8cm^2 , 300.6cm^2 となった。

3.3 放射伝熱面積の実測結果

放射伝熱面積の実測結果を Table 1 に示す。立位の放射伝熱面積が最も大きく 17062.2cm^2 となった。一方、胡座位の放射伝熱面積が最も小さく 10973.8cm^2 となった。

体幹部と下肢部が相互に向い合い、下肢部を組合せる床座位姿勢の正座位や胡座位、横座位、立て膝位の放射伝熱面積は他の姿勢と比較して小さな値となった。これは、体表面どうしの相互放射・接触の影響が大きいと考えられる。

いずれの姿勢とも、対流伝熱面積と比較して放射伝熱面積は顕著に小さい。前述と同様に、体表面どうしの相互放射・接触の影響が大きいとめと考えられる。

Table 1 Results of radiative heat transfer area of the human body.

Heat transfer area	Standing	Chair	Seiza	Cross	Sideway	Knee	Leg-out	Lateral	Supine
$A_{\text{rad}} [\times 10^{-4} \text{m}^2]$	14009.1	13264.5	11244.1	10973.8	11490.0	11037.9	12427.7	12900.1	12828.1
$A_{\text{cod}} [\times 10^{-4} \text{m}^2]$	230.8	152.3	228.6	527.5	536.9	413.6	697.1	714.8	1816.5
$f_{\text{rad}} [-]$	0.773	0.732	0.621	0.606	0.634	0.609	0.686	0.712	0.708

A_{rad} is radiative heat transfer area of the human body. A_{cod} is conductive heat transfer area of the human body. f_{rad} is radiative heat transfer area ratio of the human body. Radiative heat transfer area ratio is the ratio of the radiative heat transfer area to the total body surface area. Standing is Standing position. Chair is the chair sitting position. Seiza is seiza sitting position. Cross is cross-legged sitting position. Sideway is sideway sitting position. Knee is both-knees-erect sitting position. Leg-out is leg-out sitting position. Lateral is lateral position. Supine is supine position.

4. 考察

伝熱面積は被験者の体格や体組成などの影響を受けて変化する。一方、土川ら (1988)⁷⁾ は人体の全体表面積にて基準化した人体の有効放射面積を比較検討し、基準化したデータには体格・体型の影響はほとんど認められないことを明らかにしている。人体の放射伝熱面積は、体表面の接触や床面と人体との接触などが実測結果に支配的影響を及ぼす数値である。そこで、被験者の体格や体組成などの影響を排除し実測結果の比較が可能のように、全体表面積に対する伝熱面積の比を伝熱面積比として表す。

Table 2 に放射伝熱面積比と既存の裸体人体に関する研究との比較を示す。なお、既存の研究と相互比較が可能のように、従来の人体と床面との接触面も放射伝熱面積と見做す値も併記した。

立位の放射伝熱面積比は、Bohnenkamp and Pasquary(1931)¹⁾ が 0.83、Badow and Bohnenkamp(1935)²⁾ が 0.83、Bedford(1935)³⁾ が 0.83、Hardy and DuBois(1938)⁴⁾ が 0.78、Guibert and Taylor(1952)⁵⁾ が 0.77、Fanger et al.(1970)⁶⁾ が 0.73、土川ら (1988)⁷⁾ が 0.80、Horikoshi et al.(1990)⁸⁾ が 0.80、土川ら (1991)⁹⁾ が 0.77、垣鏑と鈴木 (1997)¹⁰⁾ が 0.77、富田ら (2000)¹¹⁾ が 0.75、宮本ら (2001)¹²⁾ が 0.79 という値を実測により得ている。実測方法や姿勢条件の違いが影響しはらつきがあるが、0.73-0.83 の範囲の値である。また、いずれの研究とも伝導伝熱面積を放射伝熱面積に含めた処理をしている。本研究の立位の放射伝熱面積比に伝導伝熱面積を含めた処理をした値では 0.786 が得られる。

椅座位の放射伝熱面積比は、Guibert and Taylor(1952)⁵⁾ が 0.70、Fanger et al.(1970)⁶⁾ が 0.70、堀越と小林 (1982)¹³⁾ が 0.75、Kakitsuba et al.(1987)¹⁴⁾ が 0.70、土川ら (1988)⁷⁾ が 0.74、Horikoshi et al.(1990)⁸⁾ が 0.74、土川ら (1991)⁹⁾ が 0.71、垣鏑と鈴木 (1997)¹⁰⁾ が 0.71、富田ら (2001)¹⁵⁾ が 0.73、宮本ら (2003)¹⁶⁾ が 0.76 という値を実測により得ている。実測方法や姿勢条件の違いが影響しはらつきがあるが、0.70-0.76 の範囲の値である。また、いずれの研究とも床面との伝導伝熱面積も放射伝熱面積に含めた処理をしている。本研究の椅座位の放射伝熱面積に伝導伝熱面積を含めた処理をした値では 0.741 が得られる。

その他の姿勢についての研究は極めて少ない。正座位の放射伝熱面積比は、蔵澄ら (1998a)¹⁷⁾ が 0.64 という値を実測によ

り得ている。本研究の正座位の放射伝熱面積比は 0.621 が得られる。胡座位の放射伝熱面積比は、宮本ら (1996)¹⁸⁾ が 0.64 という値を実測により得ている。本研究の正座位の放射伝熱面積比は 0.606 が得られる。横座位の放射伝熱面積比は、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ が 0.613 という値を実測により得ている。本研究の横座位の放射伝熱面積比は 0.634 が得られる。立て膝位の放射伝熱面積比は、宮本ら (1996)¹⁸⁾ が 0.62 という値を実測により得ている。本研究の立て膝位の放射伝熱面積比は 0.609 が得られる。

伝導伝熱面積を放射伝熱面積に含めた処理をした値で放射伝熱面積比を比較すると、Guibert and Taylor(1952)⁵⁾ の最も放射伝熱面積比が小さくするとされているクラウチング姿勢や蔵澄ら (1998a¹⁷⁾, 2005¹⁹⁾ の正座位・横座位、宮本ら (1996)¹⁸⁾ の立て膝位・胡座位、本研究の正座位・胡座位・横座位・立て膝位の放射伝熱面積比は他の姿勢と比較して小さな値となった。なお、Bedford(1935)³⁾ のクラウチング姿勢での実測最小値は 0.66 が得られている。

これらの姿勢の放射伝熱面積比の値の大小には姿勢の維持状態が影響していると考えられる。まず、立て膝位は姿勢の維持状態がクラウチングに近いために放射伝熱面積比が小さくなったと考えられる。次に、正座位は椅座位の下腿部を大腿部に密着させた状態とほぼ見做せるために、大腿部の後面と下腿部後面の体表面が放射伝熱面積に寄与せず、放射伝熱面積が小さくなったと考えられる。次に、横座位は正座位の下腿部を前頭方向に投げ出し、下肢部が躯幹部から突出した姿勢とほぼ見做せるために、横座位の放射伝熱面積比は正座位の値より若干大きくなったと考えられる。また、胡座位の下肢部の片側部を内旋させ下肢部の組み方を変えた状態とほぼ見做せるために、両姿勢の放射伝熱面積比はほぼ同様な値となったと考えられる。

投げ足位の放射伝熱面積比は、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ が 0.642 という値を実測により得ている。本研究の投げ足位の放射伝熱面積比は 0.686 となり、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の研究成果よりも大きな値となっている。本研究の放射伝熱面積に伝導伝熱面積を含めた処理をした値での差は 0.018 となり、大きな差異とはなっていない。一方、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の投げ足位の伝導伝熱面積比との差は 0.026 となり、本研究の値が小さな値となっている。したがって、本研究と蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の差は伝導伝熱面積による影響が強いと考えられる。

投げ足位は椅座位の下腿部を伸展させた状態とほぼ見做せる

Table 2 Comparison of radiative heat transfer area ratio in the previous studies.

Investigator	Standing	Chair	Seiza	Cross	Side	Knee	Leg-out	Lateral	Supine	Number of subject	
										Male	Female
Bohnenkamp & Pasquay(1931)	(0.83) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	31	30
Badow & Bohnenkamp(1935)	(0.83) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	42	26
Bedford(1935)	(0.83) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Hardy & DuBios(1938)	(0.78) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Winslow et al.(1940)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Guibert & Taylor(1952)	(0.77) [†]	(0.70) [†]	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Guibert & Taylor(1952)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Fanger et al.(1970)	(0.73) [†]	(0.70) [†]	-	-	-	-	-	-	-	10	10
Horikoshi & Kobayashi(1982)	-	(0.75) [†]	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Kakitsuba et al.(1987)	-	(0.70) [†]	-	-	-	-	-	-	-	5	-
Tsuchikawa et al.(1988)	(0.80) [†]	(0.74) [†]	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Horikoshi et al.(1990)	(0.80) [†]	(0.74) [†]	-	-	-	-	-	-	-	4	-
Tsuchikawa et al.(1991)	(0.77) [†]	(0.71) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Miyamoto et al.(1996)	-	-	-	0.64	-	-	-	-	-	3	-
Miyamoto et al.(1996)	-	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-	3
Mizutani et al.(1996)	-	-	-	-	-	-	-	(0.79) [†]	-	1	-
Kakitsuba & Suzuki(1997)	(0.76) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Kakitsuba & Suzuki(1997)	-	(0.71) [†]	-	-	-	-	-	-	-	2	-
Kurazumi et al.(1998b)	-	-	0.64	-	-	-	-	-	-	1	-
Tomita et al.(2000)	(0.75) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Miyamoto et al.(2001)	(0.79) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Tomita et al.(2001)	-	(0.73) [†]	-	-	-	-	-	-	-	-	3
Miyamoto et al.(2003)	-	(0.76) [†]	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Kurazumi et al.(2005)	-	-	-	-	0.613	-	-	-	-	-	1
Kurazumi et al.(2005)	-	-	-	-	-	-	0.642	-	-	-	1
Kurazumi et al.(2005)	-	-	-	-	-	-	-	0.722	-	1	-
Kurazumi et al.(2005)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.792	1	-
Authors	(0.786) [†]	(0.741) [†]	(0.633) [†]	(0.635) [†]	(0.664) [†]	(0.632) [†]	(0.724) [†]	(0.752) [†]	(0.808) [†]	1	-
Authors	0.773	0.732	0.621	0.606	0.634	0.609	0.686	0.712	0.708	1	-

Radiative heat transfer area ratio is the ratio of the radiative heat transfer area to the total body surface area. Standing is standing position. Chair is chair sitting position. Seiza is seiza sitting position. Cross is cross-legged sitting position. Side is sideway sitting position. Knee is both-knees-erect sitting position. Leg-out is leg-out sitting position. Lateral is lateral position. Supine is supine position. ()[†] value take into account only the area of contact between the body and the floor.

が、両姿勢とも伝導伝熱面積を含めた処理をした値ではほぼ等しい値となっている。上半身と下半身の相互放射の影響が強くなる投げ足位の放射伝熱面積が若干小さな値となっている。

側臥位の放射伝熱面積比は、水谷ら (1996)²⁰⁾ が 0.79、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ が 0.722 という数値を実測により得ている。水谷ら (1996)²⁰⁾ は伝導伝熱面積を放射伝熱面積に含めた処理をしている。本研究の 0.712 は蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の実測値とほぼ等しい。

仰臥位姿勢の放射伝熱面積比は、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ が 0.792 という数値を実測により得ている。本研究の 0.708 は蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の実測値よりも著しく小さな値となっている。

蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の放射伝熱面積比は蔵澄ら (1994)²²⁾ の体表面積算出式による算出値を用いて求めているが、本研究では実測値を用いて求めている。蔵澄ら (2003a)²⁷⁾ は、痩身型で長身の日本人の体表面積と蔵澄ら (1994)²²⁾ の体表面積算出式を用いた算出値との間には、標準型の日本人と比較して、実測値との差が大きくなる傾向を指摘している。本研究の被験者は標準

的な体型の被験者であるので、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ と本研究の顕著な差は基準値となる数値が算定値と実測値の違いの影響であると考えられる。また、蔵澄ら (2005)¹⁹⁾ の仰臥位の伝導伝熱面積比との差は 0.033 となり、本研究の値が大きな値となっていることも影響していると考えられる。

臥位姿勢は、床面との接触部位を除き立位姿勢と比較的似ている。前述の様に、立位の放射伝熱面積比は 0.73-0.83 の範囲の値である。側臥位と仰臥位に伝導伝熱面積を含めた処理をした値は、立位の放射伝熱面積比とほぼ等しい値である。

人体と床面との接触部は、放射ではなく伝導による熱交換に関与している。上述の結果は、床面との接触面積が大きい床座位や臥位の姿勢では、人体の放射伝熱面積を求めるには伝導伝熱面積を考慮することの重要性を示している。また、体表面どうしが接触したり、体を屈曲させる姿勢の放射伝熱面積は、比較的開放的な姿勢である立位と比較して小さいという姿勢の影響が顕著に現れることが示されている。

人体の放射伝熱面積は、姿勢のとり方や維持に大きく影響

を受けて変化する。しかし、宮本ら (2000)³⁰⁾ は姿勢のとり方や維持に指示を与えた場合と被験者に委ねた場合の実測方法にて、人体と床面との間の接触面積の実測結果と姿勢とを比較検討し、いずれの姿勢のとり方や維持方法で実測をおこなった場合でも姿勢の再現性が高いことを明らかにしている。したがって、本研究の結果も同様な傾向を示すと考えられるが、さらにデータの蓄積を図り検証をしていく必要があると考えられる。

5. おわりに

人体と周囲環境との間の熱交換量の基準となる人体の伝熱面積に着目し、熱交換量の算定に必要であるが未整備である熱平衡式で用いられる人体の放射伝熱面積を被験者を用いた実測により明らかにした。

姿勢別の放射伝熱面積の具体値を示し、人体の放射伝熱面積には姿勢の影響が顕著に現れることを明確にした。

本研究の被験者は1名ではあるが、新しいデータとして意義深いものと考えられる。今後は、多くの実測データの蓄積を図り、平均的な具体値の呈示をしていく必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、実測・実験にご協力いただいた方々に心から感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Bohnenkamp, H., Pasquay, W.: Untersuchungen zu den Grundlagen des Energie- und Stoffwechsels, III Mitteilung, Pflüger's Archiv für die Gesamte Physiologie, 228, pp.79-75, 1931
- 2) Bandow, F., Bohnenkamp, H.: Über die Bestimmung der Strahlungsfläche des Menschen aus seiner elektrischen Kapazität, Pflüger's Archiv für die Gesamte Physiologie, 236, pp.427-434, 1935
- 3) Bedford, T.: The effective radiating surface of the human body, Journal of Hygiene, 35, 3, pp.303-306, 1935
- 4) Hardy, J.D., DuBois, E.F.: Basal metabolism, radiation, convection and vaporization at temperatures of 22 to 35°C, Journal of Nutrition, 15, pp.477-497, 1938
- 5) Guibert, A., Taylor, C.L.: Radiation area of the human body, Journal of Applied Physiology, 5, pp.24-37, 1952
- 6) Fanger, P.O., Angelius, O., Jensen, P.K.: Radiation data for the human body, ASHRAE Transactions, 76-II, pp.338-373, 1970
- 7) 土川忠浩, 小林陽太郎, 堀越哲美, 三輪恵美, 蔵澄美仁, 平山慶太郎: 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, 388, pp.48-59, 1988.6
- 8) 土川忠浩, 堀越哲美, 近藤恵美, 蔵澄美仁, 平山慶太郎, 小林陽太郎: 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, その2 青年女子に対する実測および青年男子の部位に対する実測, 日本建築学会計画系論文報告集, 428, pp.67-75, 1991.10
- 9) Horikoshi, T., Tsuchikawa, T., Kobayashi, Y., Miwa, E., Kurazumi, Y., Hirayama, K.: The effective radiation area and angle factor between man and a rectangular plane near him, ASHRAE Transactions, 96-I, pp.60-66, 1990
- 10) 垣鍔直, 鈴木健次: 着衣のゆるみ度が有効放射面積率に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 500, pp.37-41, 1997.10
- 11) 富田明美, 宮本征一, 堀越哲美, 垣鍔直: 着衣のゆとりが人体の有効放射面積と形態係数に及ぼす影響に関する研究 1 青年女子被験者を用いた立位姿勢の場合, 日本建築学会計画系論文報告集, 528, pp.37-42, 2000.2
- 12) 宮本征一, 富田明美, 堀越哲美, 垣鍔直: 着衣のゆとりが人体の有効放射面積と形態係数に及ぼす影響に関する研究 2 青年男子被験者を用いた立位姿勢の場合, 日本建築学会計画系論文報告集, 539, pp.23-28, 2001.1
- 13) 堀越哲美, 小林陽太郎: 人体と矩形面との間の形態係数および人体の有効放射面積に関する研究 第2報 椅座裸体の場合の実測と考察, 日本建築学会論文報告集, 322, pp.92-100, 1982.12
- 14) Kakitsuba, N., Michna, H., Mekjavic, I.B.: Clothing surface area as related to body volume and clothing microenvironment volume, Aviation, Space, and Environmental Medicine, 58, 5, pp.411-416, 1987
- 15) 富田明美, 宮本征一, 堀越哲美, 垣鍔直: 着衣のゆとりが人体の有効放射面積と形態係数に及ぼす影響に関する研究 3 青年女子被験者を用いた椅座姿勢の場合, 日本建築学会計画系論文報告集, 547, pp.27-32, 2001.9
- 16) 宮本征一, 富田明美, 堀越哲美: 着衣のゆとりが人体の有効放射面積と形態係数に及ぼす影響に関する研究, 4 青年男子の椅座位姿勢の実測および性別・姿勢間の検討, 日本建築学会計画系論文報告集, 569, pp.15-20, 2003.7
- 17) 蔵澄美仁, 松原斎樹, 鳴海大典, 長野和雄, 土川忠浩, 堀越哲美: 姿勢の違いが体感温度に与える影響に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 35, 1, pp.35-44, 1998a.4
- 18) 宮本征一, 谷口芳樹, 崔英植, 土川忠浩, 堀越哲美: 床座時の人体有効放射面積と形態係数に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 497, pp.27-33, 1996.7
- 19) 蔵澄美仁, 土川忠浩, 大和義昭, 中谷岳史, 松原斎樹, 堀越哲美: 放射冷暖房空間における人体の放射熱収支に関する研究, 横座位・投げ足位・側臥位・仰臥位の人体の有効放射面積と人体の矩形面との間の形態係数, 空気調和・衛生工学会論文報告集, 97, pp.1-14, 2005.4
- 20) 水谷朋子, 蔵澄美仁, 松原斎樹, 鳴海大典, 長野和雄, 土川忠浩, 堀越哲美: 横臥位人体の有効放射面積と室内構成面との間の形態係数の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 環境工学, pp.349-350, 1996
- 21) 蔵澄美仁, 土川忠浩, 大和義昭, 角谷孝一郎, 松原斎樹, 堀越哲美: 姿勢と人体の有効対流面積率に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 40, 1, pp.3-13, 2003b.5
- 22) 蔵澄美仁, 堀越哲美, 土川忠浩, 松原斎樹: 日本人の体表面積に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 31, 1, pp.5-29, 1994.4
- 23) 蔵澄美仁, 大和義昭, 山本志津恵, 松原斎樹: 姿勢の違いを考慮した平均皮膚温算出法に関する研究, 日本生気象学会雑誌, 34, 4, pp.101-112, 1997.12
- 24) 堀越哲美, 宮原英男, 小林陽太郎: 人体と矩形面との間の形態係数および人体の有効放射面積に関する研究, 1. 算出理論と椅座着衣の場合の実測, 日本建築学会論文報告集, 268, pp.109-119, 1978.6
- 25) 厚生労働省保健医療局: 身長・体重の平均値及び標準偏差, 健康・栄養情報研究会, 国民栄養の現状, pp.101-103, 第一出版, 東京, 2004
- 26) 蔵澄美仁, 松原斎樹, 長井秀樹, 古川倫子, 藤原三和子, 上麻美, 植木弥生, 山本志津恵: 温熱環境評価と熱伝導に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文報告集, 72, pp.23-34, 1999.1
- 27) 蔵澄美仁, 土川忠浩, 角谷孝一郎, 鳥居孝行, 松原斎樹, 堀越哲美: 人体の体表面積算出式の適合性の評価, 日本生気象学会雑誌, 39, 4, pp.101-106, 2003a.2
- 28) 蔵澄美仁, 松原斎樹, 古川倫子, 藤原三和子, 上麻美, 植木弥生, 長井秀樹, 山本志津恵: 姿勢の違いと日本人の平均皮膚温算出法, 日本生気象学会雑誌, 35, 4, pp.121-132, 1998b.12
- 29) Kurazumi, Y., Tsuchikawa, T., Matsubara, N., Horikoshi, T.: Convection heat transfer area of the human body, European Journal of Applied Physiology, 93, 3, pp.273-285, 2004.11
- 30) 宮本征一, 富田明美, 堀越哲美: 床座位を中心とした各姿勢における接触面積比の再現性に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 532, pp.23-27, 2000.6

(2005年4月28日原稿受理, 2005年8月25日採用決定)