

## 床座時の人体による遮蔽を考慮した空間構成面間の 形態係数に関する研究

### CONFIGURATION FACTOR IN CASE OF RADIANT TRANSFER IS BLOCKED BY THE HUMAN BODY SITTING ON THE FLOOR

宮本 征一\*1, 土川 忠浩\*2, 堀越 哲美\*3, 水谷 章夫\*4

Seiichi MIYAMOTO, Tadahiro TSUCHIKAWA, Tetsumi HORIKOSHI  
and Akio MIZUTANI

Configuration factors between rectangular planes excluding the blocking effect of the human body are essential to calculate accurately thermal radiation interchange between planes including the human body in a room. This paper described calculation method of the configuration factors which were derived from orthographic projection of the human body by using the photographic method and rectangular planes using computer graphics. The configuration factors including the effect of blocking by the human body were compared with the ordinary configuration factors between planes. Consequently, the maximum difference was found by 20% between two kinds of the configuration factors. A sphere is applied as the model of the human body without considering the effect of blocking. The configuration factor for the spherical element is affected with position of height, though configuration factors between the planes were not affected with blocking of the human body.

*Keywords : blocking , configuration factor , sitting on the floor ,  
human body , photographic method , spherical element*  
遮蔽、形態係数、床座、人体、写真法、球要素

#### 1 はじめに

通常の室内において、屋外に接している冷たい壁面や窓面があったり、床暖房やパネルヒーティングが行われているなどの熱放射環境が不均一となっていることがある。このような不均一な熱放射環境の放射熱授受を適切に把握するためには、空間を構成するそれぞれの面同士および面と人体との間の形態係数が必要となる。

熱放射環境を解析する際には、人体から空間構成面への形態係数と、空間構成面から人体または他の空間構成面への形態係数が必要になる。人体に関する形態係数は、人体あるいはそのモデルを大きさのない要素としたものと、大きさのあるものとした2通りがある。人体の形態係数は、人体のモデルとして自身の大きさを有さない球要素<sup>1)</sup>、熱放射の指向性のみを考慮した円筒要素<sup>2)</sup>、円柱要素<sup>3)</sup>、微小立方体<sup>4)</sup>、人体の大きさ及び指向性を考慮した直方体<sup>5)</sup>、実際の人体<sup>6)</sup>などに対して求められている。人体を要素とすると、その大きさは無視できるので、室内での空間構成面相互間での放射熱授受を妨げることはない。従って、空間構成面同士の熱授受計算には、既存の形態係数<sup>7)</sup>を用いればよい。しかし、実際には空間構成面間に人体がある大きさを持って存在しているため、人体による遮蔽の影響があり、遮蔽を考慮するか否かで放射熱授受量が変わってしまう。そこで、より正確な熱放射環境の解析を行なうために、人体によ

る遮蔽を考慮した空間構成面相互間の形態係数を求めることを本論文の目的とする。さらに、人体による遮蔽の有無による平面相互間の形態係数の違いを検討する。

#### 2 算出方法

##### 2-1 遮蔽を考慮した形態係数の算出

対象とする空間を図1に示すような2m×2m×2mの空間と4m×4m×2mの人体が中央に存在する部屋を想定した。人体による遮蔽の効果が大きいと考えられる和室程度の広さに相当する空間として想定した。この空間構成面(天井面、床面、正面、背面、左右側面)上の各面50cm×50cmの格子点上から、立体角投射カメラ(35mmカメラ(Nikon F3)+正射影魚眼レンズ(OP Fisheye-Nikkor f=10mm 1:5.6))を用いて、人体像を撮影した。被験者は、床に座し、人体の重心である臍奥10cmが空間の中央と重なるように位置させた。人体は左右対称として扱った。また、人体近傍における、より正確な形態係数の把握のため、人体近傍の床面において12cm×12cmの格子上の点からも測定を行った。被験者の姿勢および着衣は、男性は胡座・裸体または胡座・着衣とし、女性は立ち膝・裸体または立ち膝・着衣とした。着衣の場合は男性は下着にYシャツ、上衣とズボンとし、女性は下着に長袖襟付きブラウスにスカー

\*1 名古屋工業大学社会開発工学科 助手・修士(工学)

\*2 岐阜工業高等専門学校建築学科 助教授・博士(工学)

\*3 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻 教授・工博

\*4 名古屋工業大学社会開発工学科 助教授・工博

Research Assoc., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng. Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Gifu National College of Technology, Dr. Eng. Prof., Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Graduate School of Eng., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

トとした。被験者の身体データを表1に示す。被験者と床面との接触面積は床に感光紙を敷き、胡座または立ち膝の姿勢でその上に座らせた。接触部以外を感光させることにより、接触部面積を得た。以上より求められた被験者の体表面積、接触面積、有効放射面積、有効放射面積率を表2に示す。

室内構成面間の形態係数は、上述の写真法のデータと立体角投射法による微小面と矩形面との間の形態係数により、以下のように求められた。図1に示すように、面上の微小面pから背面への形態係数を算定する際には、人体により遮蔽される背面上でpの位置から見えない部分(斜線部分)が出てくる。この人体により遮蔽される部分を除いて形態係数を求める必要がある。そのため、図2に示すように、コンピュータ上で画像処理を行った。まず、写真法により測定された人体の像を読み取り、その微小面に投影された正射影を得た(図2-a)。別途に、同じ微小面において背面を構成する境界線の像を、立体角投射法則に基づき得た(図2-b)。そして、写真法による人体の像と背面の境界線の像を図2-cと図2-dに示すように重ね合わせた。この写像より人体と重なった部分以外の背面の写像面積を求めることにより、人体遮蔽を考慮した微小面から背面への形態係数を求めた(図2-e)。そして、微小面から背面への形態係数を正面に対して数値積分することにより、面から面への形態係数を求めた。他の面に対しても同様の方法で算定した。また、人体の正確な三次元座標が得られれば、人体の正射影は写真法に依らなくても数値的に求められ、本方法の利用により、人体の空間での自由な位置での形態係数の算定が可能である。

2-2 遮蔽を考慮しない形態係数の算出

人体による遮蔽の有無の影響を考察するために、遮蔽が無い場合の人体モデルとして球要素を用いた。人体を球要素に置き換える場合には、人体の重心に球要素を位置させることが多い。しかし、床座の場合は人体の重心と床面との間の距離が短いので、球要素から床面への距離が少しでも変化すると形態係数の値も大きく変化すると考えられる。そのため、球要素の位置を床上1cmから床上60cmまで1cm間隔で、各空間構成面及び人体面の面から面への形態係数を算出した。空間構成面間の形態係数は、この場合遮蔽が無いので既存の式<sup>7)</sup>を用いた。

3 算出結果

人体による遮蔽を考慮した形態係数の計算結果例として、図3に被験者K.W.の場合(胡座裸体)の床面上の微小面から正面への形態係数を示す。図4に床面上の微小面から天井面への形態係数を示す。図5に人体による遮蔽が無い場合の床面上の微小面から正面への形態係数を、図6に床面上の微小面から天井面への形態係数を示す。人体による遮蔽の影響の分布を把握するために、50cm×50cmの格子上で測定した形態係数に12cm×12cmの格子上で測定した形態係数を内挿して得られた床面上の微小面から人体への等形態係数線を、図7に被験者K.W.(胡座裸体)を例に示す。

以上を基に算定した人体による遮蔽を考慮した面から面への形態係数を、男女、着衣条件を場合分けして図8から図15までに示す。図8と図9に2m×2m×2mの空間を想定した場合の人体による遮蔽を考慮した胡座裸体人体と胡坐着衣人体の形態係数を、図10と

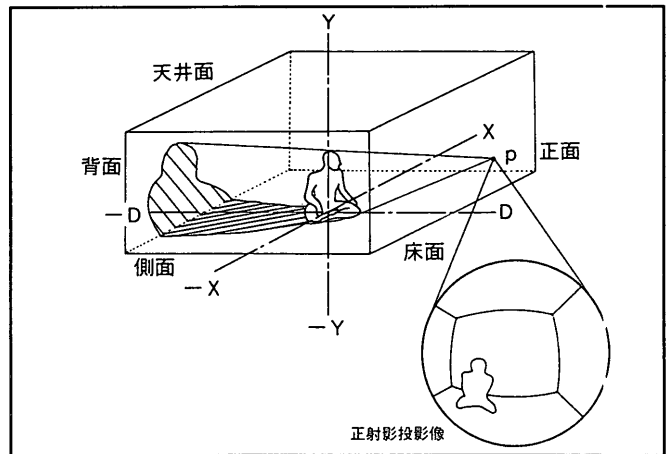


図1 形態係数算出のための仮想空間

表1 被験者の身体データ

被験者	KW	SS	TO	KI	AT	KH
年齢	21	21	21	20	19	20
身長 cm	168.0	173.3	177.6	150.0	155.0	161.0
体重 kg	65.0	65.5	78.2	43.0	53.0	53.0
Ponderal Index kg <sup>1/3</sup> m	2.4	2.3	2.4	2.3	2.4	2.3
性別	男性	男性	男性	女性	女性	女性

表2 被験者の有効放射面積、接触面積測定結果

被験者	KW	SS	TO	KI	AT	KH
着衣状態 clo	裸体 1.2	裸体 1.2	裸体 1.2	裸体 1.4	裸体 1.1	裸体 1.2
体表面積 m <sup>2</sup>	1.74	1.78	1.96	1.34	1.50	1.55
接触面積 m <sup>2</sup>	0.08 0.11	0.07 0.06	0.10 0.12	0.04 0.12	0.05 0.20	0.06 0.09
有効放射面積 m <sup>2</sup>	1.11 1.20	1.21 1.31	1.17 1.24	0.86 1.02	0.91 0.90	0.93 0.96
有効放射面積率	0.64 0.76	0.68 0.73	0.60 0.64	0.64 0.76	0.61 0.60	0.60 0.62

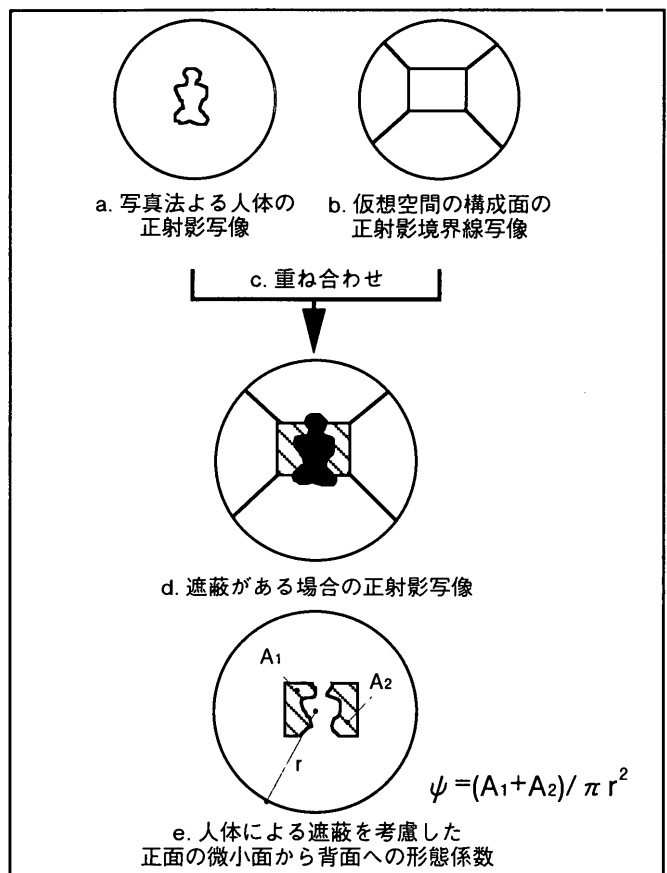


図2 空間構成面の境界線の像と人体の像との重ね合わせ方法

図11に2m×2m×2mの空間を想定した場合の人体による遮蔽を考慮した立て膝裸体人体と立て膝着衣人体の形態係数を示す。図12と図13に4m×4m×2mの空間を想定した場合の人体による遮蔽を考慮した胡座裸体人体と胡座着衣人体の形態係数を、図14と図15に4m×4m×2mの空間を想定した場合の人体による遮蔽を考慮した立て膝裸体人体と立て膝着衣人体の形態係数を示す。

次に人体による遮蔽が無い場合のデータを示す。人体モデルとして球要素を用いた。図16に2m×2m×2mの空間を想定した場合の形態係数を、図17に4m×4m×2mの空間を想定した場合を示す。球要素の床上の高さは臍の高さに相当する25cm、胸部の高さに相当する50cm、頭部に相当する75cmの場合についての形態係数を並記する。

4 考察

4-1 遮蔽を考慮した微小面から面への形態係数

図3に示される遮蔽を考慮した床面上の微小面から正面への形態係数は、図5に示される人体による遮蔽を考慮しない場合と比べ、床の中央部において最大で0.11小さな値になっている。また、図4に示される遮蔽を考慮した床面上の微小面から天井面への形態係数は、図6に示される人体による遮蔽を考慮しない場合と比べ、床の中央部において最大で0.55小さな値になっている。

床面上の微小面から他の空間構成面および人体への形態係数の総和は、人体による遮蔽の有無に関わらず1であることから、人体による遮蔽を考慮したため減少した床面上の微小面から他の空間構成面への形態係数の減少分の合計は、床面から人体面への形態係数に等しくなる。このことから、図7に示される床面上の微小面から人

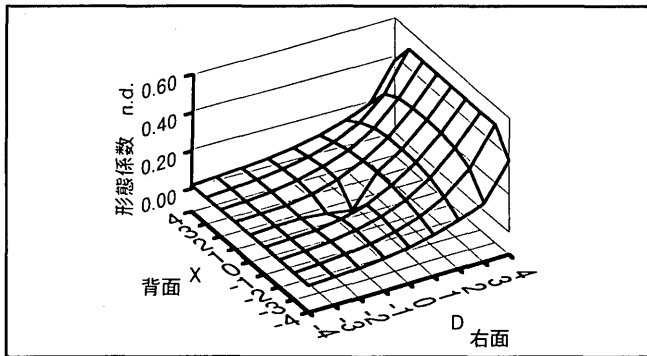


図3 床面から正面への形態係数 (被験者 K.W.)

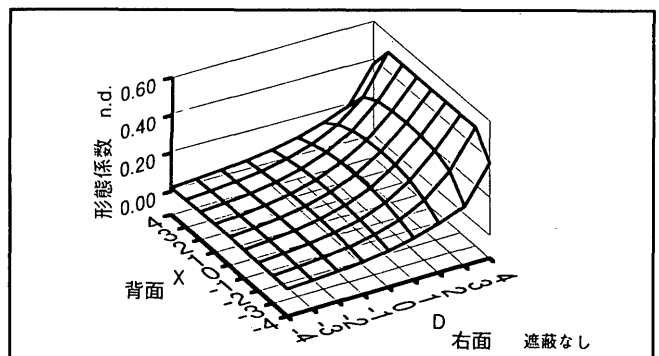


図5 床面から正面への形態係数 遮蔽なし

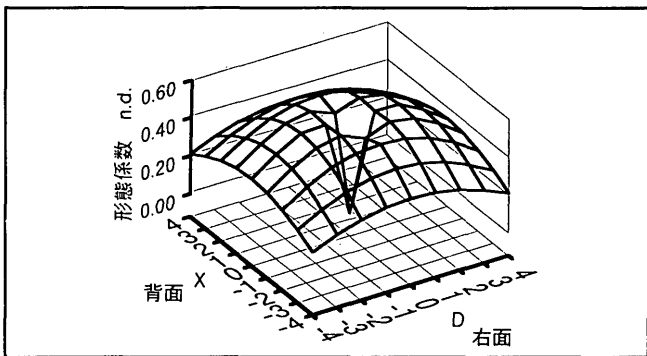


図4 床面から天井面への形態係数 (被験者 K.W.)

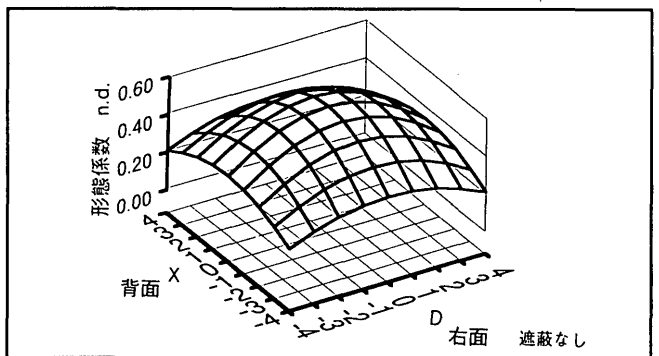


図6 床面から天井面への形態係数 遮蔽なし

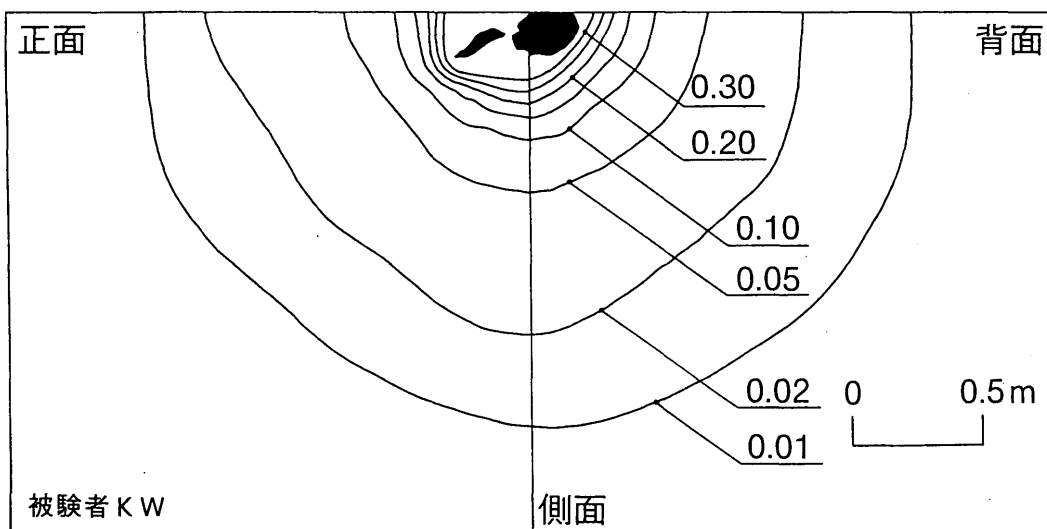


図7 床面の微小面から人体への形態係数 (被験者 K.W.)

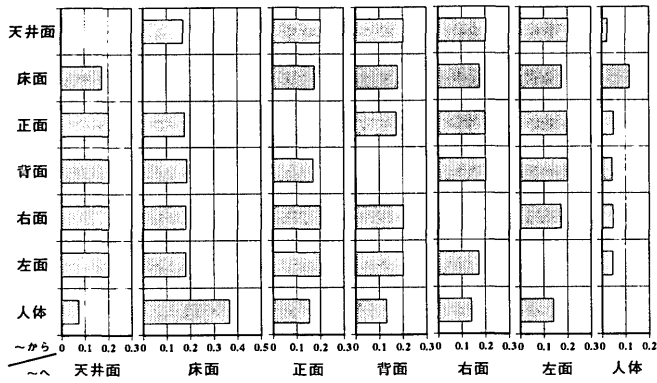


図8 2m×2m×2mの空間での胡座裸体人体による遮蔽を考慮した形態係数(男性胡座裸体人体(2m×2m×2m))

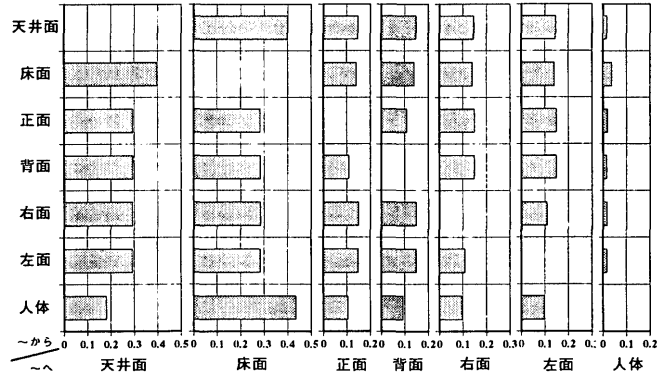


図12 4m×4m×2mの空間での胡座裸体人体による遮蔽を考慮した形態係数(男性胡座裸体人体(4m×4m×2m))

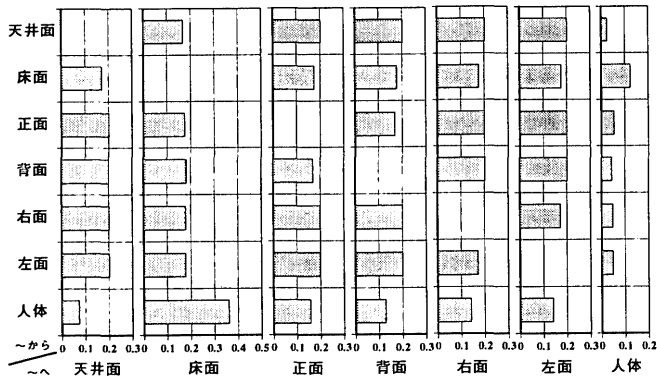


図9 2m×2m×2mの空間での胡座着衣人体による遮蔽を考慮した形態係数(男性胡座着衣人体(2m×2m×2m))

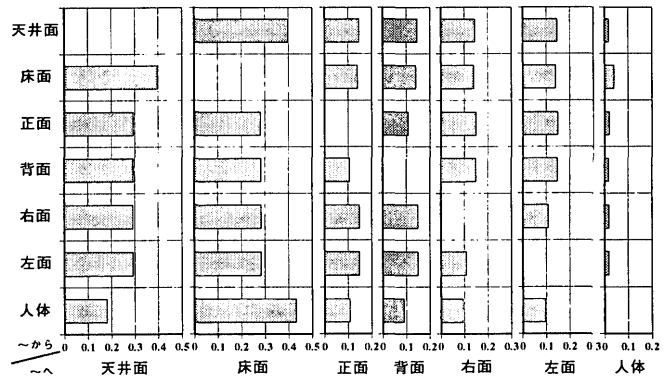


図13 4m×4m×2mの空間での胡座着衣人体による遮蔽を考慮した形態係数(男性胡座着衣人体(4m×4m×2m))

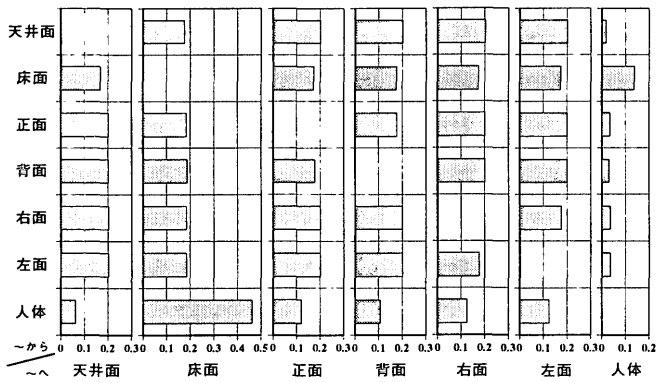


図10 2m×2m×2mの空間での立て膝裸体人体による遮蔽を考慮した形態係数(女性立て膝裸体人体(2m×2m×2m))

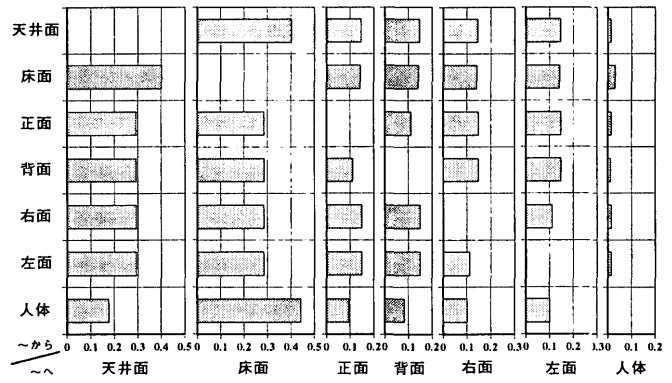


図14 4m×4m×2mの空間での立て膝裸体人体による遮蔽を考慮した形態係数(女性立て膝裸体人体(4m×4m×2m))

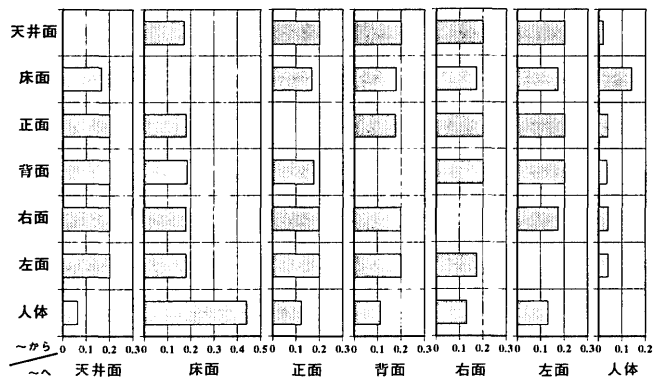


図11 2m×2m×2mの空間での立て膝着衣人体による遮蔽を考慮した形態係数(女性立て膝着衣人体(2m×2m×2m))

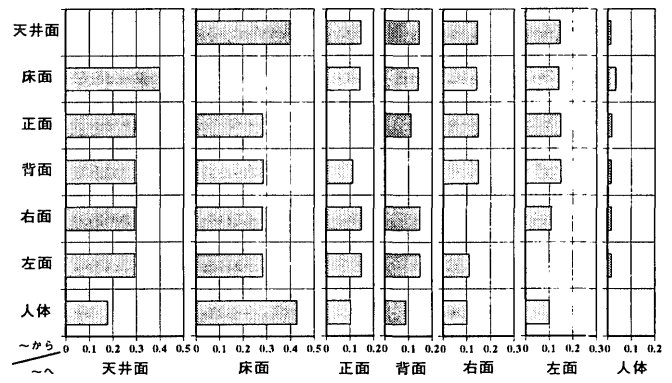


図15 4m×4m×2mの空間での立て膝着衣人体による遮蔽を考慮した形態係数(女性立て膝着衣人体(4m×4m×2m))

体への形態係数より、人体によって遮蔽される影響の分布が把握できる。人体による遮蔽の影響は人体近傍において、形態係数の値が急激に変化している様子で把握できる。人体と床との接触部の外形境界から距離0.5 mまで離れるにつれて0.1まで変化している。人体に最も近い所で測定することができた形態係数の値は0.3付近であるが、人体と床とが接している境界線の近傍は接触している2面の角度(人体と床面とが接する角度)によって大きく異なると考えられる。また、人体境界から距離2 mまで離れるにつれて0.01まで変化している。これらから、人体近傍であるほど人体の遮蔽によって床面から他の空間構成面への形態係数は急激に小さな値となるため、人体近傍であるほど正確な形態係数の値の変化を把握する必要があると考えられる。

4-2 人体による遮蔽を考慮した面から面への形態係数

各姿勢・着衣状態ごとに求められた人体による遮蔽を考慮した空間構成面相互間の面から面への形態係数において、ばらつきは着衣のほうが裸体と比べ、また、2 m×2 m×2 mの空間のほうが4 m×4 m×2 mの空間と比べ、大きくなっている。今回の被験者間の形態係数の差は、最大で人体から床面への形態係数で2.5%程度であったので、平均値を用いて人体による遮蔽の影響を考察した。

微小面から面への形態係数から面から面への形態係数が求められるため、人体による遮蔽の影響が大きく現れた微小面から面への形態係数を含む面から面への形態係数に、人体による遮蔽による影響が現れやすい。特に、床面から各面への形態係数および各面から床面への形態係数に顕著である。

胡座人体の場合と立て膝の場合を比べると、形態係数の値は同様な傾向を示すが、若干立て膝の方が人体から床面への形態係数で大きな値となった。

2 m×2 m×2 mの空間を対象とした図8から図11までを図15と比較すると、相対する面間(天井面と床面、正面と背面、右面と左面)の形態係数では、人体による遮蔽の有無によって0.022から0.034の差が現れた。これは、人体の遮蔽によって相対する面間の形態係数が約15%から20%減少したことになる。また、床面と他の空間構成面間の形態係数では、遮蔽の有無の差で0.012から0.032の差が現れ、6%から15%の減少に相当する。

4 m×4 m×2 mの空間を対象とした図12から図15までを図16と比較すると、2 m×2 m×2 mの空間を対象とした場合と比べて、人体による遮蔽の影響は少ないものの、相対する面間の形態係数では、人体による遮蔽の有無によって0.005から0.019の差が現れ、3%から8%の減少に相当する。また、床面と他の空間構成面間の形態係数では、遮蔽の有無の差で0.003から0.012の差が現れ、2%から4%の減少に相当する。

狭い空間では人体による遮蔽の有無は、熱放射計算に少なからぬ影響を与えられられる。さらに、熱放射の相互反射の計算では、この差が累積されさらに影響は大きくなると予測される。

4-3 球要素を用いた場合の面から面への形態係数

人体モデルとして人体に対応させて、球要素を床面上の異なる高さに置いた場合、球要素は放射熱授受を妨げないので、空間構成面の相互間の形態係数は、球要素の高さによって変わらないが、球要素から各面への形態係数に違いが現れる。

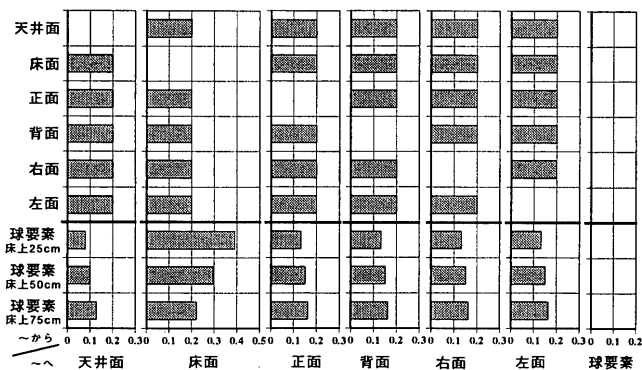


図16 2 m×2 m×2 mの空間における遮蔽を考慮しない形態係数

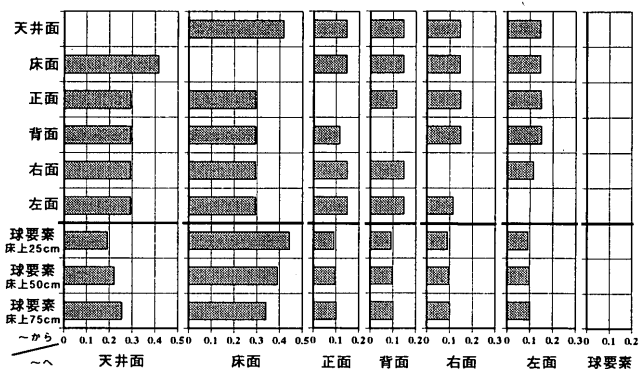


図17 4 m×4 m×2 mの空間における遮蔽を考慮しない形態係数

そこで、床座人体の実測による形態係数の値に最も近い値となる球要素の位置を求めた。球要素の位置を床上5cmから始めて1cmごと高く変化させた。図17に2 m×2 m×2 mの空間の場合の結果を、図18に4 m×4 m×2 mの空間の場合の結果を示す。人体は球要素のように熱放射に対して無指向性ではないので、球要素と人体それぞれに対する形態係数の差が最小となる球要素の位置は、それぞれの面と異なる。2 m×2 m×2 mの空間における胡座裸体の場合、測定された人体から各面への形態係数と等しい値とするためには、天井面と人体との関係からは球要素を床上14cmに、床面と人体とでは床上31cmに、側面と人体とでは床上35cmに位置させると、測定された人体の形態係数とよく合う。また、立て膝着衣の場合、天井面と人体との関係からは球要素を床上1cmに、床面と人体とでは床上13cmに、側面と人体とでは床上16cmに位置させると、測定された人体の形態係数とよく合う。これは、膝が立っているか寝ているかのように、足部の形状の違いが放射熱授受の指向性の違いとして現れたと考えられる。同様に、4 m×4 m×2 mの空間においても人体は方向別に形態係数が異なったが、姿勢による違いは、2 m×2 m×2 mの空間の場合ほど顕著には現れない。これは、対象とした空間に対し人体が相対的に小さくなったため、姿

勢の違いが明瞭に現れなくなったためと考えられる。

以上のように、人体モデルとしての球要素を用いると、遮蔽の影響が表現できないだけでなく、人体と各面との間の形態係数を求める場合も、球要素を人体の代表として置くべき位置を一義的に決めるのが容易ではない。より正確な大きさのある人体を対象とした形態係数の利用が必要であることが示されたと考えられる。

### 5 結論

より正確な放射環境の解析として相互反射を考慮した解析を行うためには、人体による遮蔽を考慮した形態係数が必要である。そのために人体による遮蔽を考慮した形態係数を、写真法により得られた人体の形態係数とコンピューター画面上で求めた空間構成面の境界線とを重ね合わせ、人体による遮蔽を考慮した形態係数を算出した。人体モデルとして球要素を採用した場合の遮蔽を考慮しない形態係数との比較を行った。

その結果、人体による遮蔽の有無の差は、人体近傍ほど大きく現れ、2 m×2 m×2 mの空間において最大20%であり、4 m四方の空間で最大8%であり、狭い空間ほど人体による遮蔽の影響を考慮する必要があることを示した。また、球要素を用いると、狭い空間においては、人体モデルの置かれる位置による形態係数の差が大きいことも明らかにした。

### 引用文献

- 1) Mackey, C.O. et al. : Cornell Univ. Engineering Experiment Station Bulletin, 32, August, 1943.
- 2) 射場本勘市郎、西安信：体感温に及ぼす気温の影響とその暖冷房への応用，空気調和・衛生工学，Vol.42, No.3, p.1, 1968.
- 3) 堀越哲美、小林陽太郎：人体モデルとしての円筒要素と矩形面との間の形態係数について，生理人類誌7(3)，pp.143-150, 1988.
- 4) 中村泰人：建築都市空間内の人体に対する熱放射場の表現方法について，日本建築学会計画系論文報告集，第376号，pp.29-35, 1987.
- 5) Horikoshi, T. and Kobayashi, Y. : Configuration Factors between a Rectangular Solid as a Model of the Human Body and Rectangular Planes, for Evaluation of the Influence of Thermal Radiation on the Human Body I. Calculation of Configuration Factors for the Rectangular Solids, Transactions of the Architectural Institute of Japan, pp.91-102, No.253, March, 1977.
- 6) 土川忠浩：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，第388号，pp.48-59, 1988.
- 7) Siegel, R. and Howell, J. R. : Thermal Radiation Heat Transfer, 1972 McGraw·Hill, Inc.

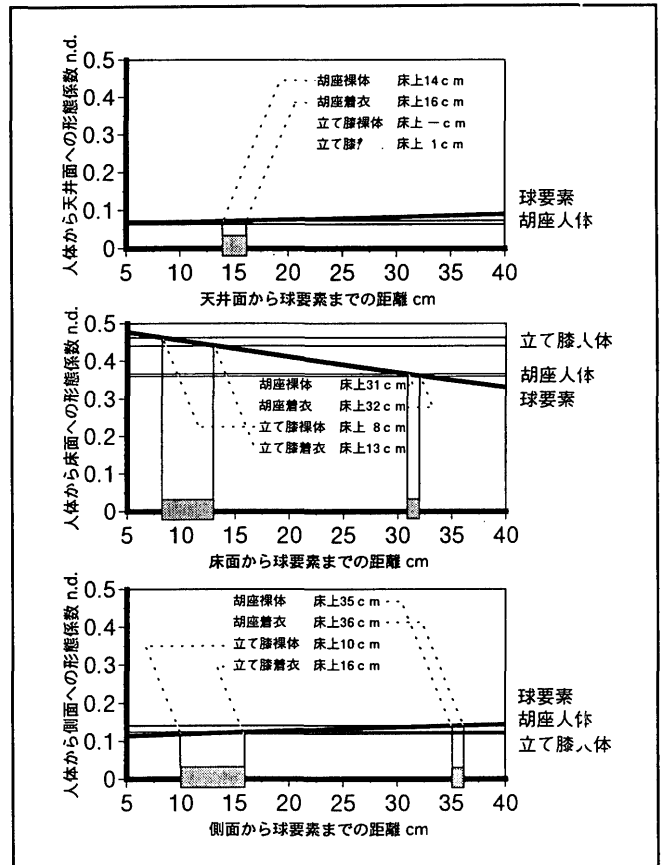


図18 2 m×2 m×2 mの空間における球要素の置かれる高さの変化による形態係数の変化

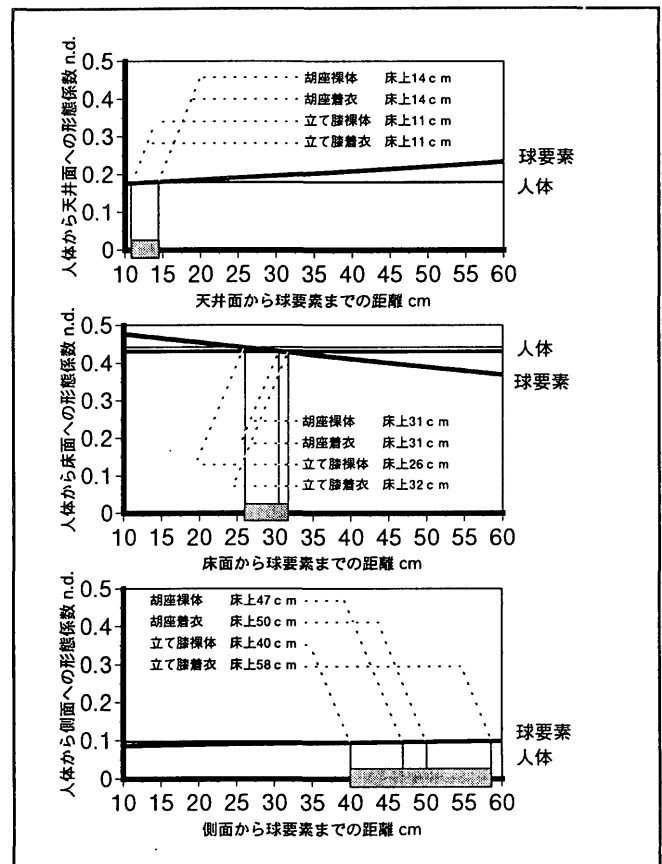


図19 4 m×4 m×2 mの空間における球要素の置かれる高さの変化による形態係数の変化

(1996年11月5日原稿受理，1997年2月25日採用決定)