

INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMAN-ENVIRONMENT SYSTEM ( TOKYO 1991 )

709  
PRESENTATION

ANGLE FACTORS BETWEEN THE HUMAN BODY AND WALLS

○ Tadahiro TSUCHIKAWA\*, Tetsumi HORIKOSHI\*\*

\*Dept. of Architecture, Gifu National College of Technology,  
Gifu pref., Japan

\*\*Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology,  
Nagoya, Japan

An angle factor and an effective radiation area for the human body are essential data to estimate the influence of thermal radiation upon the person. The angle factor for a person defines the fraction of energy leaving the human body that arrives at the radiator, a wall, a floor or a ceiling. It depends on the geometric orientation and shape of the surfaces. We have already offered the data for the male and female subject with measurement using the orthographic projection camera. The photographic method offers accurately the angle factor but requires complicated process and takes much time.

The purpose of this paper is to derive an equation for calculating the angle factor between the human body and the surfaces and to simulate angle factors between the human body and rectangular planes with a microcomputer by using the numerical surface-model of the human body.

Equations to calculate the effective radiation area and the angle factors for the numerical surface-model of the human body which is consisted of several triangle planes are derived by the use of the contour integration method.

The 3-D coordinates of points on the surface of a female trunk manikin instead of a female body are measured and obtained. The numerical model is generated from the 3-D coordinate data by a computer program and is consisted of 260 small triangle surfaces.

In the result, the effective radiation area of the model is computed as  $0.52\text{m}^2$ . The angle factors between the numerical model and rectangle planes are calculated with a microcomputer and diagrams to obtain the factors are represented.

## 人間一生活環境系国際会議（東京 平成3年12月）

709 一般講演

## 人体と壁面との間の形態係数に関する研究

○土川 忠浩\*, 堀越 哲美\*\*

\*国立岐阜工業高等専門学校 建築学科

\*\*名古屋工業大学 社会開発工学科建築系

## ■1. はじめに

一般的に熱放射環境の評価には、平均放射温度が用いられ、その算出には人体と空間構成面（壁面、天井面、床面）との間の形態係数が必要となる。人体とある壁面との間の形態係数は、人体表面積あたり放出される全放射エネルギーのうち、その壁面に入射する直射熱量の割合を示し、人体ならびに空間構成面の形状およびそれらの位置関係によって決定される。

著者らは、既に立体角投射法に基づく形態係数の算出理論を導き<sup>1)</sup>、青年人体を対象に実測を行い、その基礎データを示すとともに、既存研究との比較を行ってその有効性を示した<sup>2)3)</sup>。しかし、被験者を用いた実測は、多くの労力を必要とし、その決定に長時間を要する。

本研究では、このような労力的・時間的問題の軽減を図るために、人体形状数値モデルを構築し、パソコンによる人体と壁面との間の形態係数の算出法を検討する。

## ■2. 算出理論

人体と熱放射面がFig.1に示すような位置関係にある場合、空間構成面上の微小面要素( $dF_i$ )と人体( $S_o$ )との間の形態係数( $\phi_{dF_i-S_o}$ )は、錐面積分法<sup>4)</sup>により

$$\phi_{dF_i-S_o} = -\frac{1}{2\pi} \oint_{S_o} d\beta \cdot \cos \delta \quad [nd] \quad \dots(1)$$

となる。すなわち、微小面要素から透視投影された人体( $S_o$ )の境界について積分することによって求めることができる。しかし、投影面が単純な多角形に対しては、その解が示されている<sup>4)</sup>が、複雑な形態に対してこの境界積分を行うことは困難である。

そこで、透視投影された人体( $S_o$ )の面積を任意の三角形 $n$ 個で分割する。微小面要素( $dF_i$ )と任意の三角形( $S_j$ )との形態係数を $\phi_{dF_i-S_j}$ とすると、空間構成面上の微小面要素( $dF_i$ )と、人体の透視投影面( $S$ )との間の形態係数( $\phi_{dF_i-S}$ )は、次の式で表現できる。

$$\begin{aligned} \phi_{dF_i-S} &= \sum_{j=1}^n \phi_{dF_i-S_j} \\ &= -\frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} \quad \dots(2) \end{aligned}$$

ここで $\beta_{(j,k)}$ は、透視投影写像上の三角形 $j$ の辺 $k$ が、空間構成面上の微小面要素 $dF_i$ と張る角度である。また、 $\delta_{(j,k)}$ は、三角形 $j$ の辺 $k$ と微小面要素 $dF_i$ がつくる三角形が、空間構成面 $F_i$ と張る角度である。

次に、Fig.2に示すように $m$ 個の平面で構成された閉空間内に、三角形平面で構成された人体形状モデルが存在する場合、平面( $F_i$ )と人体形状モデル( $S$ )との間の形態係数( $\phi_{F_i-S}$ )は、次式で得られる。

$$\begin{aligned} \phi_{F_i-S} &= -\frac{1}{A_{F_i}} \int_{A_{F_i}} \phi_{dF_i-S} dA_{F_i} \\ &= -\frac{1}{2\pi A_{F_i}} \int_{A_{F_i}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} dA_{F_i} \quad \dots(3) \end{aligned}$$

となる。また、人体形状モデル( $S$ )と平面( $F_i$ )との間に相反定理を適用すれば、

$$\phi_{F_i-S} \cdot A_{F_i} = \phi_{S-F_i} \cdot A_s \quad \dots(4)$$

となる。ここで $A_s$ は、人体形状モデルの有効放射面積で、総体表面積のうち環境との放射熱授受に関わる面積を示している。式(3),(4)より、人体形状モデル( $S$ )と平面( $F_i$ )との形態係数( $\phi_{S-F_i}$ )は、次式となる。

$$\begin{aligned} \phi_{S-F_i} &= \frac{1}{2\pi A_s} \int_{A_{F_i}} \phi_{dF_i-S} dA_{F_i} \\ &= \frac{1}{2\pi A_s} \int_{A_{F_i}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} dA_{F_i} \quad \dots(5) \end{aligned}$$

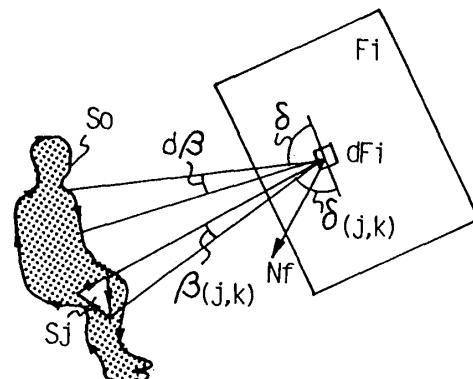


Fig.1 The angle factor between a differential element and perspective projection of the human body by the contour integration method

## 人間-生活環境系国際会議（東京 平成3年12月）

人体形状モデルの有効放射面積( $A_s$ )は、未知数であるのでそれを求めるために次式を利用する。人体形状モデルは、 $m$ 個の平面によって完全に囲まれているので、

$$\sum_{i=1}^m \psi_{S-F_i} = 1 \quad \dots(6)$$

となる。従って、人体形状モデルの有効放射面積( $A_s$ )は、

$$A_s = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^m \int_{A_{F_i}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} dA_{F_i} \quad \dots(7)$$

として求められる。

以上より、人体形状モデル( $S$ )と平面( $F_i$ )との間の形態係数( $\psi_{S-F_i}$ )は次式にて求められる。

$$\psi_{S-F_i} = \frac{\int_{A_{F_i}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} dA_{F_i}}{\sum_{i=1}^m \int_{A_{F_i}} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{(j,k)} \cdot \cos \delta_{(j,k)} dA_{F_i}} \quad \dots(8)$$

この理論より、人体表面の3次元座標および空間構成面の座標を用いて、人体と空間構成面との形態係数の近似値が、数値計算によって求められる。

### ■3. 人体形状モデルの構築

裸体時の女子人体の軸幹部分のモデルとして縫製用婦人台(C型, B80, W60, H88)を対象に表面の3次元座標を計測を行った。この婦人台の形状を正中線に対して左右対称として扱い、右側表面に格子を付けて、その格子点の座標を計測対象とした。この表面の分割に関しては、堤ら<sup>5)</sup>の人体の特徴点を考慮した人体表面分割の方法を参考にした。計測は自作の計測装置を用いた。

人体モデル表面の格子点および人体表面の凹凸を考慮して、Fig.3に示すように右側部分を130個の三角形平面で分割した。ここで軸幹部と腕の接続部分、頸部断面および脚部断面は、面が存在しないものとする。左側部分

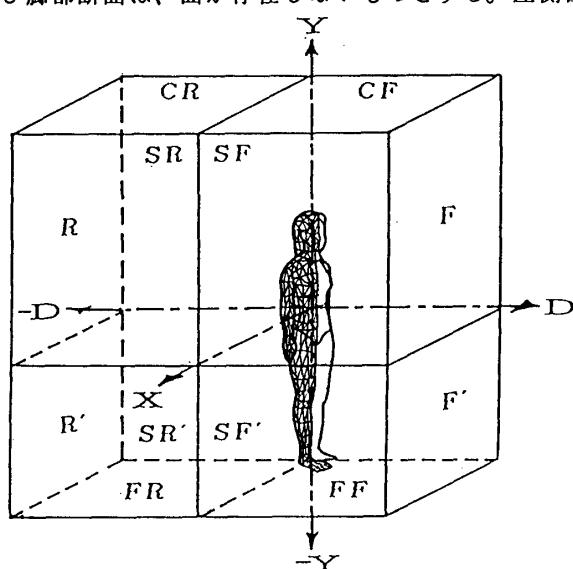


Fig.2 Coordinate system for calculation of angle factors between the human body model and planes

の座標は、正中線で左右対称との仮定から、右側データを基にコンピュータ内部で自動生成した。

### ■4. 形態係数の算出

この人体形状モデルに関する形態係数の計算に際し、人体形状モデルの存在する空間を一般の直六面体として考え、その壁面、天井面および床面にあたる面を対象に計算を行った。座標の原点を人体モデルの臍にあたる高さの正中線上とした。原点から各矩形面(平面)までの距離は、天井面については1.5m、床面については1m、その他の面については1mおよび2mとして計算を行った。

前述の算出理論では、矩形面上の微小面要素からの人体の透視投影面を計算し、さらにその投影面を三角形に分割する必要がある。しかし、ここで構築した人体形状モデルは、表面の三角形平面の全てが周囲面との放射熱授受に関わり、かつ人体形状モデル全体に極端な凹面が生じていないと考えられるので、透視投影することなく微小面要素と人体形状モデル表面三角形との間の形態係数を直接計算した。

空間構成面上の微小面要素と人体モデル表面の任意の三角形との間の形態係数を計算する場合、両者が直接放射熱授受の関係にあるかどうかの判断には、法線ベクトル法を用いた。また、形態係数の空間構成面(矩形面)における積分には、Newton-Cotes法を用いた。

これら計算にはパソコン(PC-9801RX, NEC社製)を用い、プログラムはPascal(Turbo Pascal, BORLAND社製)で記述した。

### ■5. 結果および考察

人体軸幹部形状モデルの有効放射面積として、0.52m<sup>2</sup>を得た。

人体形状モデルと空間構成面(矩形面)との間の形態係数の計算結果例を、Fig.4およびFig.5に示す。矩形面が人体モデル中心から離れるにしたがい、人体モデルと

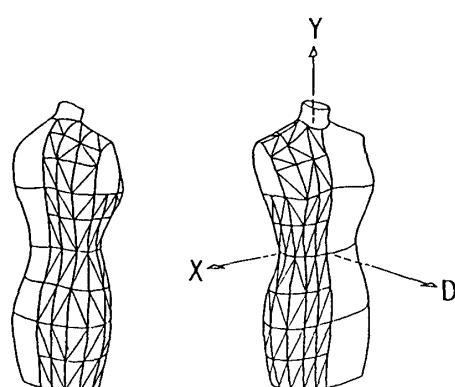


Fig.3 The female trunk model consisted of triangles

## 人間-生活環境系国際会議（東京 平成3年12月）

矩形面との間の形態係数が小さくなる傾向を示している。また、人体中心より上側矩形面と下側矩形面とでは、それに対する形態係数に顕著な差が認められなかった。

人体形状モデルによる結果と既報<sup>3)</sup>の裸体立位女子人体に対する実測によって得られた結果の比較し、その例をFig.6およびFig.7に示す。周囲矩形面との関係において、人体モデルの方が人体全体よりも大きくなる傾向を示し、人体中心より上方での差が比較的大きく、Fig.6ではその最大偏差は約15%程度となっている。しかし、Fig.7に示すように矩形面が人体（モデル）から遠くなると、モデルと人体とのその差が小さくなっている。このことから、人体（モデル）近傍の矩形面との関係では、錐面積分の性質により矩形面上の点から透視投影した写像の見えががりの差異が大きくなり、人体モデル形状と人体形状の違いが、形態係数に影響しているものと考えられる。この形状の差異には、人体モデルでは考慮しなかった人体凹部の影響も含まれていると考えられる。

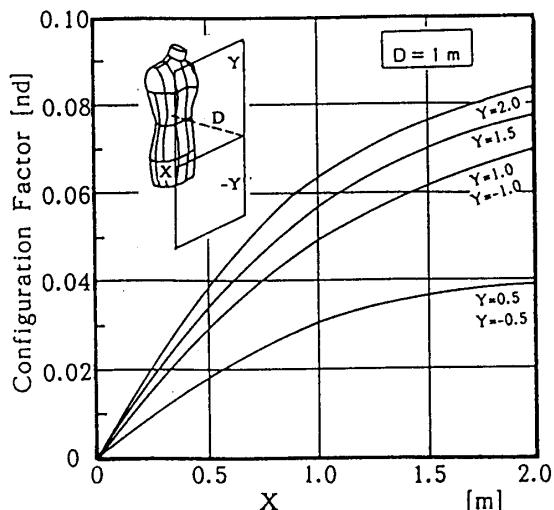


Fig.4 Configuration factors between the model and the wall in front of it ( $D=1\text{m}$ )

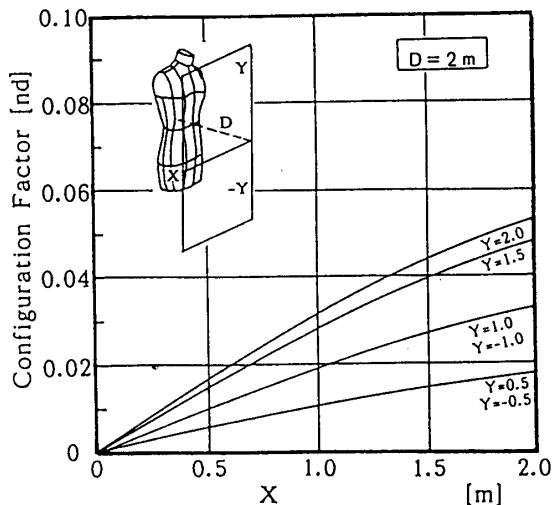


Fig.5 Angle factors between the model and the wall in front of it ( $D=2\text{m}$ )

## ■5. まとめ

錐面積分法に従って人体モデルの有効放射面積および形態係数の算出理論を導いた。次に、裸体立位女子人体軸幹部形状モデルとしての縫製用婦人台を対象に、その表面に格子を付け、その格子点の3次元座標を計測した。その3次元座標を用いて、人体形状モデルを数値化して構築し、コンピュータを用いて有効放射面積および矩形面との間の形態係数を算出した。

## 【文献】

- 1) 堀越哲美ほか：人体と矩形面との間の形態係数および人体の有効ふく射面積に関する研究、日本建築学会論文報告集、第268号、pp.109-120、1978。
- 2) 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、日本建築学会計画系論文報告集、第380号、pp.12-23、1987。
- 3) 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、日本建築学会計画系論文報告集、第428号、pp.1-9、1991。
- 4) Siegel, R. and Howell, J.R.: Thermal Radiation Heat Transfer second edition, Hemisphere Publishing Corp., pp.208-211, 1981.
- 5) 堀江美子、長島忍：自由曲面による人体軸幹部形状モデルの生成、人類誌、94(2), pp.163-175, 1986.

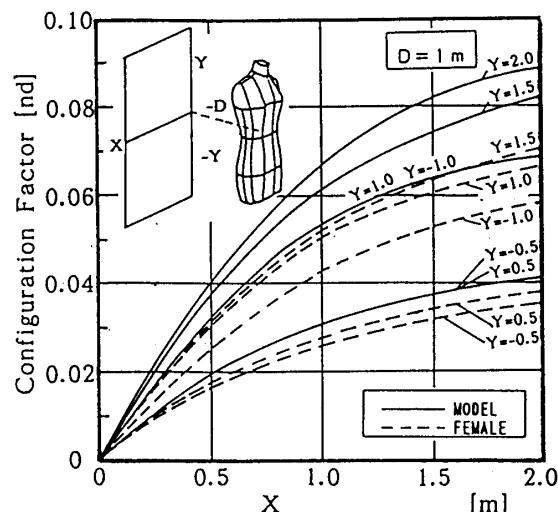


Fig.6 Comparing angle factors for the trunk model and for a female ( $D=1\text{m}$ )

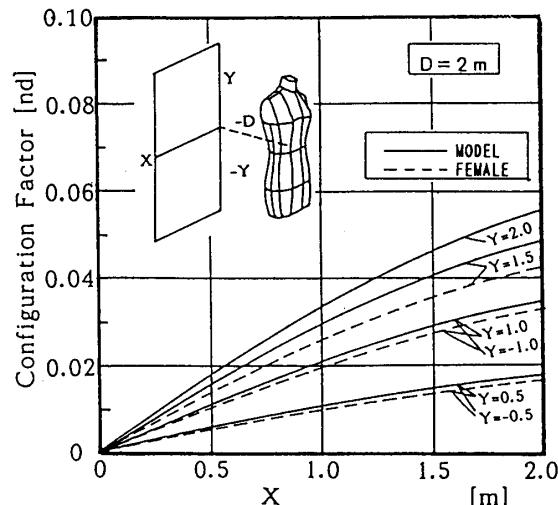


Fig.7 Comparing angle factors for the trunk model and for a female ( $D=2\text{m}$ )