

アーケード内部の温熱環境に関する調査研究
その3 温熱環境における快適性○正会員 辻原 万規彦¹⁾
同 中村 泰人²⁾
同 岡村 圭子³⁾
同 梅宮 典子⁴⁾

1. はじめに

近年都市のアメニティの向上が模索され、様々な対象について研究・改良がなされている。その中で従来ほとんど注目されていない都市内公共空間を構成する要素として、アーケードが挙げられる。アーケード街は都市の中心部にあることが多いにもかかわらずその快適性にまで言及することはほとんどなかった。

このような状況の中で本調査研究では、アーケード内部の温熱環境を把握することを目的として実測を行っており、本稿では実測データに基づき、その快適性に検討を加えることにする。

2. 平均放射温度の算出

2.1 平均放射温度の表現

本調査研究では、アーケードの内部を研究対象としているので、日射の影響も考慮しなければならない。日射がある場合の人体表面の熱平衡式は次のようになる¹⁾。

$$q = h_c(t_a - t_s) + h_r(t_r - t_s) + \alpha \left(\frac{A_r}{A_d} \right) I$$

$$= h_c(t_a - t_s) + h_r \left\{ \left[t_r + \frac{\alpha}{h_r} \left(\frac{A_r}{A_d} \right) I \right] - t_s \right\}$$

ここで、 q : 熱流束 [w/m²]

h_c : 対流熱伝達率 [w/m²K]

t_a : 気温 [°C]

t_s : 表面温 [°C]

h_r : 放射熱伝達率 [w/m²K]

t_r : 平均放射温度 [°C]

α : 日射の吸収率 [N.D.] (= 0.66)²⁾

I : 人体に当たる全方向からの平均の日射量 [w/m²]

$\frac{A_r}{A_d}$: 有効放射面積 [N.D.] (= 0.73)³⁾

したがって、日射がある場合の平均放射温度 t_r^* は次のように表現できる。

$$t_r^* = t_r + \frac{\alpha}{h_r} \left(\frac{A_r}{A_d} \right) I \dots \dots (1)$$

2.2 長波放射に対する平均放射温度 t_r の算出

平均放射温度 t_r は、中村らの立方体を基にした表現⁴⁾に従い、次のように算出できる。

$$t_r = \frac{\int_{A_d} t_{r,p} \cdot dA_d}{A_d} = F_{b,z} \cdot t_{rp,z} + F_{b,-z} \cdot t_{rp,-z} + F_{b,x} \cdot t_{rp,x} + F_{b,-x} \cdot t_{rp,-x} + F_{b,y} \cdot t_{rp,y} + F_{b,-y} \cdot t_{rp,-y}$$

ここで、 $F_{b,z}$: 立方体に基づく等価形態係数 [N.D.]

$t_{rp,z}$: z面からみた平面放射温度 [°C]

なお、等価形態係数は武田ら⁵⁾の研究を参考として順に次のように設定した。

$$F_{b,z} : 0.138, F_{b,-z} : 0.190, F_{b,x} : 0.168,$$

$$F_{b,-x} : 0.168, F_{b,y} : 0.168, F_{b,-y} : 0.168$$

また、各面における平面放射温度の算出は以下のように行った。考察しようとする点で上下前後左右の六方向に対して、正射影型の魚眼レンズで撮影された正射影図より形態係数を算出し、実測を行った代表的な表面温度にそれを乗じて算出した。

2.3 日射に対する平均放射温度 $\frac{\alpha}{h_r} \left(\frac{A_r}{A_d} \right) I$ の算出

h_r の算出は次式に従う²⁾。

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{A_r}{A_d} \right) \left(273.15 + \frac{t_{cl} + t_r^*}{2} \right)^3 \dots \dots (2)$$

ここで、 ε : 放射率 (= 1.00)

σ : ステファン・ボルツマン定数 (= 5.67×10^{-8})²⁾

実測では、アーケード内でアルベドメーターにより I_z 、 I_{-z} が得られているが、その他の面の平面日射量は測定されていない。そこで、以下のようにして他の面の平面日射量 I_i を算定することにする。

$F_{up,i}$: i面における屋根部分の形態係数の合計

$F_{down,i}$: i面における床面の形態係数

とすると、

$$I_i = F_{up,i} \cdot \frac{I_z}{F_{up,z}} + F_{down,i} \cdot \frac{I_{-z}}{F_{down,-z}}$$

である。即ち、立方体の垂直面は屋根部分と床面から日射を受けるが、壁面からは日射を受けないとするものである。

2.4 平均放射温度の算定

1993 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS から次のような関係式が得られる。

$$t_{cl} = t_o + F_{cl} \cdot (t_{sk} - t_o) \dots \dots (3)$$

ここで、 $t_o = \frac{h_r \cdot t_r + h_c \cdot t_a}{h_r + h_c}$

$$F_{cl} = \frac{1}{1 + f_{cl}(h_r + h_c)R_{cl}}$$

$$f_{cl} = 1.0 + 0.3I_{cl}$$

$$R_{cl} = 0.155I_{cl}$$

t_a : 周辺環境温度 [°C] (実測値)

t_{sk} : 皮膚表面温度 [°C] (中立温度の33.7°Cを使用)

h_c : 対流熱伝達率 [w/m²K] (文献6)の方法による)

I_{cl} : クロ値

これらの上記(1)式~(3)式を連立させて、日射がある場合の平均放射温度 t_r^* を算出する。算出結果を図1並びに図3に示す。

2. 5 屋根がないと仮定したときの平均放射温度の算定

アーケードの屋根がないと仮定したとき、当然ながら実測データはないので以下のような方法で平均放射温度を求めることにする。

長波放射に対する平均放射温度 t_r は、2.2で算出したものを用いる。日射に対する平均放射温度 $\frac{\alpha}{h_r} \left(\frac{A_r}{A_d} \right) I$ に関しては I のみを考えればよい。ここで、実測ではアーケードの上部で全天日射量を測定しているの、アルベドメーターから求められる反射率をそれに乗じて、屋根がないときの床面からの反射光として採用する。以下の計算の進め方は2.3並びに2.4に従うものとする。

3. ET*の算出

3.1 ET*の算出方法

ET* の算出には、1976年のGAGGEらの文献⁷⁾に添付の計算プログラムのうち、1986年のGAGGEらの文献⁶⁾に添付の計算プログラムで修正されている箇所を置き換えて使用した。

ただし、潜熱流束における透湿効率 F_{pcl} は以下の式を用いている⁸⁾。

$$F_{pcl} = \frac{1}{1 + f_{cl} \cdot h_e \cdot R_{e,cl}}$$

ここで、 $h_e = LR \cdot h_c$

$$R_{e,cl} = \frac{R_{cl}}{i_{cl} \cdot LR}$$

なお、LRは“Lewis Ratio”であり、文献6)のプログラム中で用いられている式を使用した。また、 i_{cl} は0.34を用いた⁹⁾。

3.2 ET*の算出結果と考察

ET*の算出結果を、図2並びに図4に示す。「初期設定」では、クロ値を夏季0.5clo、冬季1.3clo、また代謝量を1.5metとした。「屋根なし」では、前述のようにアーケードの屋根がない仮定を行った平均放射温度で算出したものである。「1met」並びに「2met」では、クロ値は初期設定のままで代謝量のみ変化させている。「1.5clo」では、代謝量は初期設定のままで、クロ値のみ変化させている。

初期設定のグラフを見ると、夏季においては「不快」域までは達していないが、「やや不快」となっている。なお、8月10日(木)の値が比較的低いのは、降雨による効果であると考えられる。また、冬季においては温冷感では「寒い」または「非常に寒い」となっており、快適感に関しても「不快」域に達している。

初期設定のグラフと「屋根なし」のそれとを比較すると、夏季においては屋根があることによって多大に環境が改善されていることがわかる。この点ではアーケードの設置は十分に評価できる。しかし、冬季においては逆にアーケードがあることによって著しく環境が悪化している。例えば、屋根がないときの1月11日(木)の13時付近においては、ET*は「快適」域には達しているにもかかわらず、屋根がある場合はそれより約6℃低い値を示す結果となっている。

4. アンケートによる主観的側面からの評価

アーケード内部の「あつさ・さむさ」に関して次のようにアンケートを行った。それらの結果を図5~図7に示す。

アンケート項目は、温冷感、快適感並びに適温感の三項目であり、各項目で用いた評価尺度は図の凡例に示すとおりである。調査時には調査員が被験者の横につき、質問票を被験者に示しながら、質問を読み上げ記入する方法をとった。

また、被験者数は各回とも約20人である。被験者の属性については特に考慮することはせず、意図的な偏りがないようにした。

5. ET*とアンケート結果の比較

図6を見ると、1月11日(木)午前の「快適」感が、午後のそれと比較しても大きな値となっている。ET*自体はそれほど差異はないが、これは日射の効果による心理的影響であるとされる。図3において、午前のアンケート実施時では平均放射温度と気温の差が約3℃あるのに対し、午後ではほとんど差がない。したがって、ET*自体はそれほど変わらなくとも、「暖かい日光を受けている」という心理的な要因から快適とする人が多かったと考えられる。

このような日射の心理面に与える影響は、夏季についても当てはまると考えられる。8月11日(金)のように気温と平均放射温度の差が大きい場合は、快適性に低い評価が与えられ、8月10日(木)ではET*自体も低いものの、気温と平均放射温度の差が小さく、「暑い日差し」を受けている感じを持つ人々が比較的少なかったと考えられる。

6. 結び

本稿ではアーケード内部の温熱環境に関する快適性を、実測に基づくET*による評価とアンケートによる主観的評価によって分析を加えた。その結果、アーケード内部の温熱環境は日射の影響を多大に受けていると考えられることがわかり、この点がアーケードの将来像の模索の一助となると思われる。

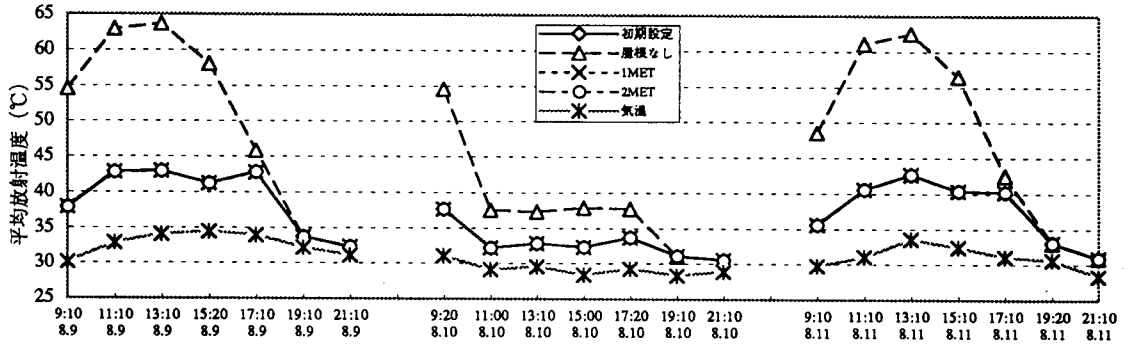


図1 95夏季 平均放射温度の時間変化

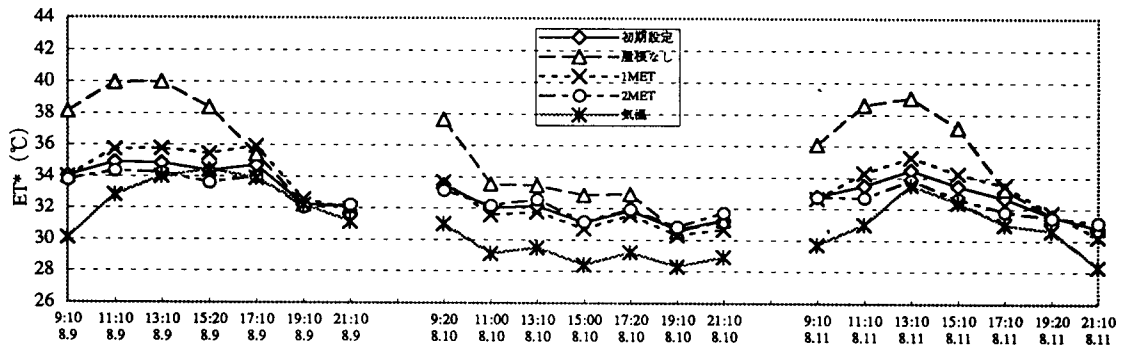


図2 95夏季 ET*の時間変化

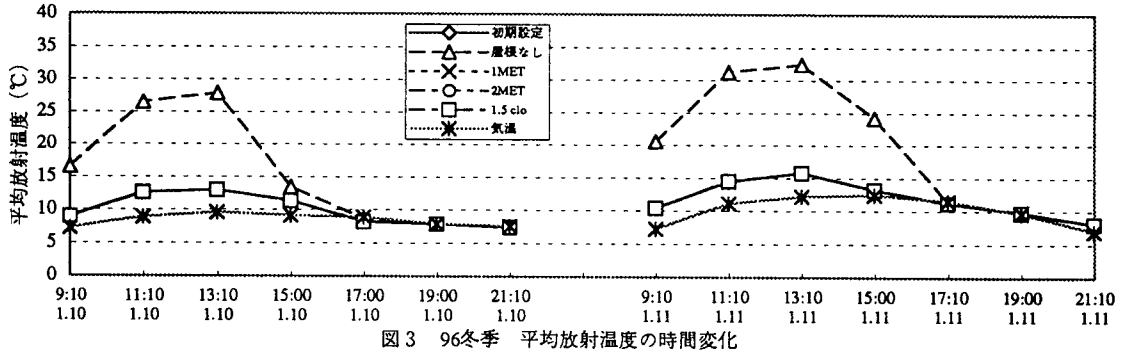


図3 96冬季 平均放射温度の時間変化

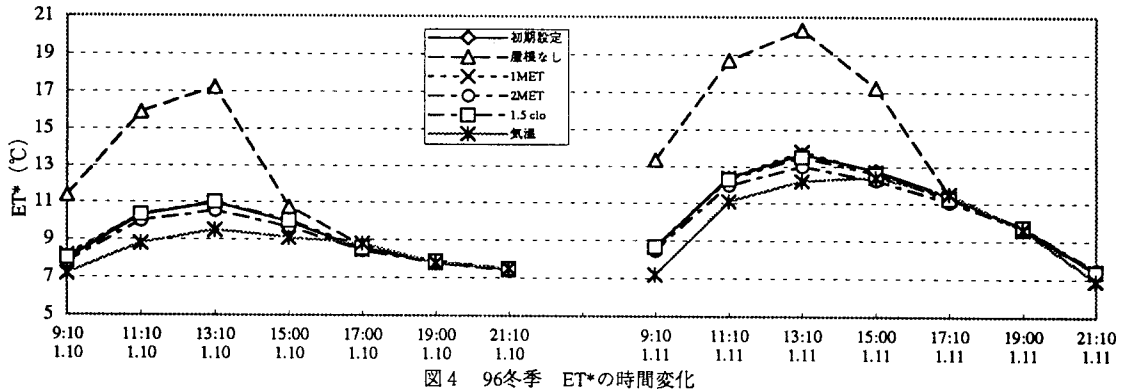


図4 96冬季 ET*の時間変化

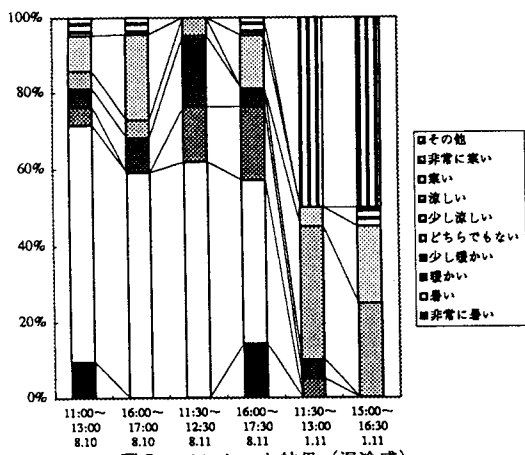


図5 アンケート結果(温冷感)

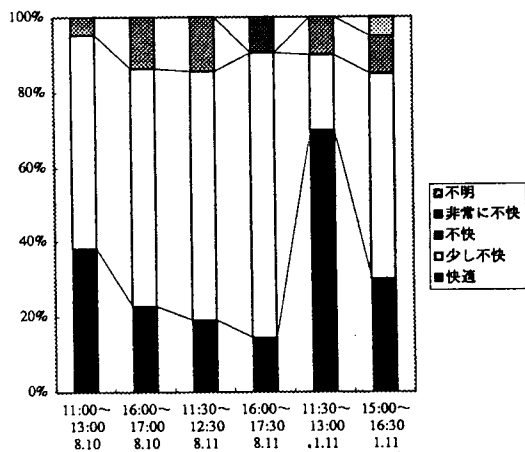


図6 アンケート結果(快適感)

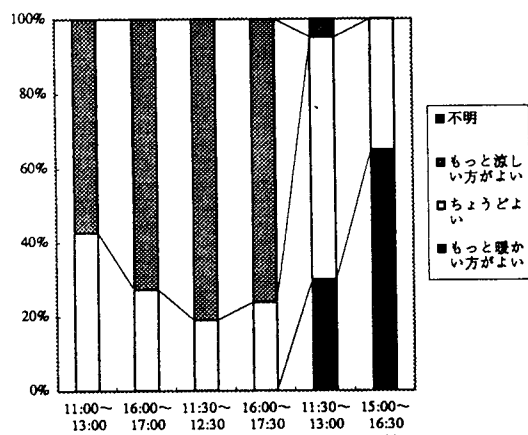


図7 アンケート結果(適温感)

今後の課題としては次のようなことが挙げられよう。

主観的評価では、人々がアーケード内部を外部空間と捉えるか、内部空間と捉えるかによってその回答が大きく異なると考えられ、この点について更に調査が必要である。

本来室内の快適性を評価する指標であるET*を、今回は日射の影響を考慮するなどして、アーケードの内部に適用した。しかしながらこの適用の可否並びに方法の是非については更に検討並びに改良が必要である。

謝辞：計測にご協力頂いた協同組合今治常盤銀座会、今治常盤町中央商店街振興組合、協同組合今治銀座振興会の皆様には多大なご迷惑をおかけしました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) Yasuto Nakamura : Measurements of thermal radiation fields on occupied space in a room using the cubic radiant flux detector and personal computer, The Fourth International Symposium on the Use of Computer for Environmental Engineering Related to Building, pp.66~71, 1984.
- 2) 1993 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, p.8.8, 1993.
- 3) 日本建築学会編：建築設計資料集成 1 環境, 丸善, p.122, 昭和53年6月10日.
- 4) 中村泰人・武田論：人体形状に対応した微小立方体から見る等価形態係数 その1 等価形態係数の表現, 日本建築学会大会(北陸) 学術講演梗概集, pp.989~990, 1992.8.
- 5) 武田論・中村泰人：人体形状に対応した微小立方体から見る等価形態係数 その2 等価形態係数の算定, 日本建築学会大会(北陸) 学術講演梗概集, pp.991~992, 1992.8.
- 6) Gagge, A.P., A.P.Fobelets, and L.G.Berglund: A standard predictive index of human response to the thermal environment, ASHRAE Trans. Vol.92 Part 2B, pp.209-231, 1986.
- 7) Gagge, A.P., Y. NISHI, and RALPH G. NEVINS: The role of clothing in meeting fea energy conservation guidelines, ASHRAE Trans. Vol.82 Part 2, pp.234-247, 1976.
- 8) 1993 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, p.8.5, 1993.
- 9) McCullough, E.A., B.W.Jones, and T.Tamura: A data bases for determining the evaporative resistance of clothing, ASHRAE Trans. Vol.95 Part 2, p.321, 1989.

* 1 京都大学大学院修士課程
 * 2 京都大学大学院工学研究科教授・工博
 * 3 京都大学大学院博士課程
 * 4 京都大学大学院工学研究科助手・工博

Graduate School, Kyoto Univ.
 Prof., Kyoto Univ., Dr.Eng.
 Graduate School, Kyoto Univ.
 Instructor, Kyoto Univ., Dr.Eng.