

第Ⅳ部門 道路空間における歩行者の熱環境評価方法に関する一考察

大阪市立大学工学部 学生員 ○城野 将志
大阪市立大学院工学研究科 正会員 内田 敬

大阪市立大学院工学研究科 正会員 日野 泰雄
大阪市立大学院工学研究科 正会員 吉田 長裕

1. 研究の背景と目的

都市に占める面積の多い道路は、夏期に舗装面が60℃近くまで上昇することや、自動車等からの人工排熱が集中することから、道路空間の利用者や沿道居住者に不快を与えるだけでなく、熱中症の生理的な影響を及ぼす場合がある。このような熱環境を評価するために、PMV（予測平均温冷感申告）やSET*（標準有効温度）等幾つかの評価指標が提案されているが、屋外の非定常状態において、道路空間を構成する個別の要素と受感熱量の関係を表現するには十分とは言い難い。

そこで本研究では、歩行者に与える熱量を熱の構成要素とともに把握するために、歩行空間が与える熱量の測定結果に基づいて空間条件を変化させた場合の受感熱量の試算を行うこととした。

2. 熱環境に関する空間特性と測定方法

(1) 歩行空間の熱環境要因

歩行空間における暑さの不快要因には、直射日光、路面の熱気、路面の反射、自動車からの排熱等があり、特に、舗装表面温度が42℃以上では路面を熱源とする暑さが主要な不快要因となっている¹⁾。

一方、熱中症発症と道路空間の関連性を把握するために、H11～12年9月までに報告された神戸市消防局救急活動記録を調べたところ、歩行中の発症件数は全181件中の25%を占めており、その多くは日射が最も強い12時頃に集中していることが分かった。さらに、その発症場所における道路空間の特徴を現地踏査後に類型化した結果、路面の約7割は黒色アスファルトで舗装されており、街路樹が無く、建物の込み入った空間であった。

(2) 路面上向きの受感熱量の測定

道路上で歩行者が受ける熱源には、路面（鉛直成分）以外に壁面・人工排熱といった水平成分もある。また、熱を感じる側では、個人属性（身長・着衣量等）によって熱量が変化する。そこで、まず歩行空間において主要な熱源となっている路面に着目し、

路面上向きの受感熱量の鉛直分布、赤外放射・日射反射量・顕熱等の構成割合を把握できるよう測定装置を作成した（図-1）。

この装置と併せ、表-2に示す項目について、2001年9月19日～10月12日の間、大阪市立大学水理実験場横に施工した歩行者空間道路（施工面積16.1×4.1m、舗装アルベド値：0.31）で測定した。

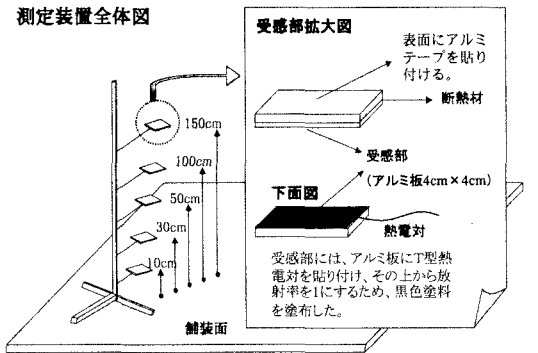


図-1 測定装置概略図

表-2 測定項目と使用機器

測定項目	測定機器	測定頻度・条件	測定方法
気温	強制通風式温度計	連続測定・1ヶ所	—
日射量	放射収支計	連続測定・1ヶ所	—
放射量	アルベド計	連続測定・2ヶ所	—
表面温度	赤外線温度計	10分に1回	隣接建物より撮影
	T型熱電対	連続測定・4ヶ所	舗装表面に接着
風速	風杯式風速計	連続測定・1ヶ所	地表面に設置
天候	目視観測	不定期	—

3. 受感熱量の鉛直分布と対流熱伝達率の分析

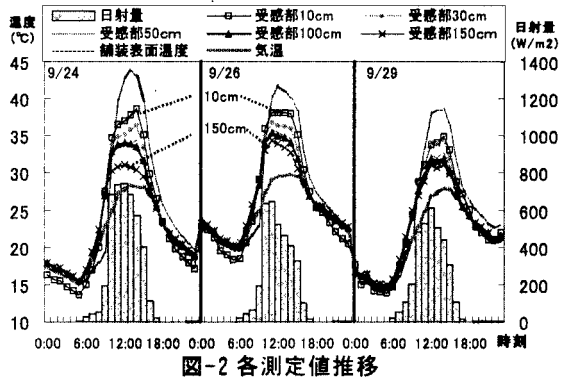
(1) 舗装表面温度と受感熱量の推移

晴れの日における高さ別の受感温度、気温、舗装表面温度、日射量の測定結果をみると、舗装表面温度は、日射量の多い24日で最高46℃に達しており、この時の受感熱量は10cmと150cmで8℃以上の差があった（図-2）。このことから、個人属性によって受感熱量が大きく異なることを示唆している。

(2) 受感熱量の鉛直分布

測定結果を受感部と路面間の熱移動の式-(1)～(4)から算出したところ、赤外放射量および日射反射量は舗装面の形態係数（表-3）とともに減少し、150cmでは10cmの6割となり、その構成割合は赤

外放射 7 割、日射反射量 2 割、顕熱 1 割であった。



$$L_{全} = \varepsilon_{舗装面} \sigma (T_{舗装面}^4 - T_{受感部}^4) \times \varphi_{受感部} + \varepsilon_{舗装面外} \sigma (T_{舗装面外}^4 - T_{受感部}^4) \times \varphi_{受感部外} \quad \dots (式-1)$$
$$I = I_{反射} \times \varphi_{受感部} \quad \dots (式-2)$$
$$\Delta H = \alpha (T_{舗装面} - T_{受感部}) \quad \dots (式-3)$$
$$L + I = \Delta H \quad \dots (式-4)$$

L : 長波放射 (W/m^2) I : 反射日射量 (W/m^2) H : 対流 (W/m^2)
 σ : ステファンボルツマン定数 ($W/m^2 K^4$)
 ε : 長波放射率 α : 日射吸収率
 α : 対流熱伝達率 ($W/m^2 K$)
 φ : 形態係数 T : 温度 (K)

表-3 受感部の高さ別形態係数

受感部の高さ(cm)	10cm	30cm	50cm	100cm	150cm
舗装面の形態係数	1.00	0.98	0.92	0.84	0.68

(3) 対流熱伝達率の変動要因

式 (1) ~ (4) よりに対流熱伝達率を求めたところ、時間帯・気象条件によって変動することが分かった。晴天日における 12 時~14 時までの対流熱伝達率は高さ別に同値で、挙動も同様であった。そこで、この時間帯での対流熱伝達率の変動要因を調べたところ、風速との相関が強く、対流熱伝達率を決定する理論式 (風速の関数型) を裏付ける結果となった。このことから、対流熱伝達率は受感部の高さ別に風速の関数として求めることとした。

4. 路面条件による受感熱量の試算

高さ別に算出した対流熱伝達率と各係数より、日射量、風速、気温、舗装表面温度を条件として代入し、高さ別熱量の変化を試算した。ここで、路面条件としては、路面の日射吸収量を決定するアルベド値を変化させている。なお、気象条件は、9 月頃の入射日射量 $650(W/m^2)$ ・風速 1m を与えた。その結果、アルベドが 0.25 付近で受感温度が最小となっ

た (図-4)。また、そのときの熱の構成割合 (図-5)を見ると、アルベドが高くなるにつれて受感温度に対する日射反射の影響が優位となり、逆にアルベドが低くなると舗装表面温度が上昇し、受感部では赤外放射が優位になっている。このことから、舗装表面温度を下げるために日射反射率 (アルベド) を上げることが、一概に歩行者の受ける熱量を小さくするわけではないことが明らかとなった。

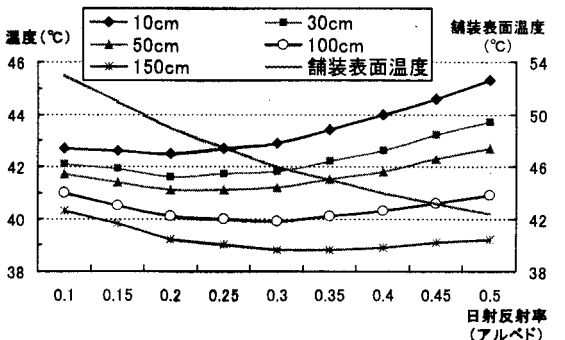


図-4 日射反射量の変化による高さ別温度推定

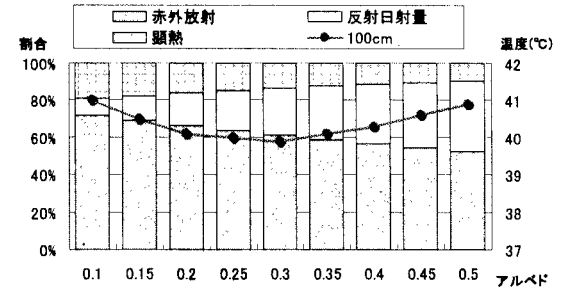


図-5 高さ 100cm での熱構成割合

5. まとめと今後の課題

①装置により、鉛直上向きの熱量分布、構成割合を把握した。②表面温度、風速、日射量等の条件変化時の高さ別受感熱量を試算することで、その熱の構成割合を把握することできた。今後は、歩行者が受ける横方向からの熱量を同様に測定し、歩行者の温熱感覚との関連性を把握し、道路空間における熱環境の総合的な評価モデルの構築を目指す。

謝辞

データ及び材料を提供していただいた神戸市消防局、(株)日本興業に記して感謝の意を表します。

参考文献

1) 吉田、西村、日野：歩行者意識からみた道路空間の熱環境評価に関する分析、平成 12 年度土木計画学研究・論文集 No.17、pp107-112