

道路舗装上の体感温度と被験者の心理反応 各種道路舗装材が微気候形成に及ぼす影響 その2

平均放射温度 SET* 被験者実験
心理反応 輝度

正会員 ○長野 和雄 *1 非会員 三嶋 真名美 *2
正会員 志村 恭子 *3 非会員 桐山 和也 *4
非会員 高木 正則 *5 正会員 須藤 美音 *6
正会員 堀越 哲美 *7

1. はじめに

その1では、道路舗装材の種類によって、蒸発冷却効果やアルベドに性質の違いが見られることを示した。結果として、舗装面からの表面温度に応じた長波放射と上向き短波放射（反射日射）が異なったが、このことは、屋外滞在者に対して少なからず影響を及ぼすと考えられる。本報ではその熱的影響を総合体感温度である屋外用SET*によって評価し、被験者による心理評価と合わせて検討した結果を報告する。

2. 方法

屋外用SET*算出にあたり、梅村ら¹⁾に準じて日射を加味した平均放射温度を求めた。原則として4成分放射収支計による実測値としたが、欠測の場合は上下向き短波放射を全天日射計の実測値と8月26日までの観測結果に基づき求めたアルベドの平均値、下向き長波放射をPrataの式²⁾、上向き長波放射を表面温度の実測値に基づき補完した。直散分離はReindl et al.³⁾の式、投射面積率はUnderwood and Ward⁴⁾の式を採用した。日射吸収率は渡邊ら⁵⁾を参照し0.38とした。その他、風速は風車型風速計による実測値、気温は熱電対による高さ1.5mの実測値、湿度は名古屋地方気象台の値⁶⁾を用いた。着衣量は夏季を想定し0.3clo、代謝量は歩行時⁷⁾の2.0metとし、平均皮膚温とぬれ率はtwo-node model⁸⁾⁹⁾により推定した。対流熱伝達率はKuwabara et al.¹⁰⁾の屋外時の式を採用した。

2011年8月4日（降雨後2日目）に21～25歳の健康な大学生9名（男性4名、女性5名）を被験者とする実験を行った。服装は半袖Tシャツにジーンズ程度の任意とし、帽子は不可とした。なお、被験者の採用にあたっては事前に実験内容を説明し文書にて実験参加の同意を得ており、終了後に適切な報酬が支払われた。被験者は、屋外試験場に隣接する事務所（その1・図2に示す百葉箱の西約50mに位置する）にて、30分間安静を保った後、13:30に屋外試験場に移動し、舗装面の中央付近にて15秒間立位姿勢をとり、申告用紙に申告した。舗装面上にいる間、視線は立ち位置より約1.5m先の対象舗装面とした。申告を終えたらただちに次の舗装面へ移動し申告を繰り返した。すべての舗装面で申告を終え次第、事務所に戻り再び安静を保った。14:30に

再び屋外試験場に移動し同様の手順で申告した。申告用紙は計26尺度からなり、「寒い-暑い」「涼しい-暖かい」「熱い-冷たい」等の21項目については直線両極尺度、熱放射・冷放射・風の3項目については左端を全く感じない、右端を最も強く感じるとした直線単極尺度、環境の受容及び満足については2件法とした。直線尺度の結果は全長を任意尺度100として処理した。

また7月14日に、各舗装体表面の輝度を色彩輝度計（KONICA MINOLTA CS-200）を1.5mの高さから俯角45°方向に向けて測定した。

3. 結果

図1に降雨後に晴天が続いた7月8～17日（平均日射量23.7MJ/m²・day、7日降雨量41mm）の13～15時の平均放射温度、ならびに屋外用SET*の経日変化を示す。平均放射温度について、降雨後約1週間まではほぼ一貫して密粒と透水性が同程度か密粒が高く、次いで遮熱性・保水性で、芝生が顕著に低い。しかし徐々に芝生が上昇し、16日（降雨後9日目）にはむしろ保水性が最も低くなる。屋外用SET*についても同様に8～10日（同1～3日目）は芝生が顕著に低いが、徐々に差が縮まり、16日（同9日目）には保水性が最も低くなる。

図2に直線両極尺度21項目におけるSDプロフィールを示す。「人工的な-自然な」「固い-柔らかい」「はりつめた-のんびりした」において、芝と他4舗装材間に顕著な差が見られる。「暑い-寒い」「暖かい-涼しい」「熱い-冷たい」「快適-不快」において、各舗装体間に差が見られ、芝生が最も「寒い」「冷たい」「快適」側であり、

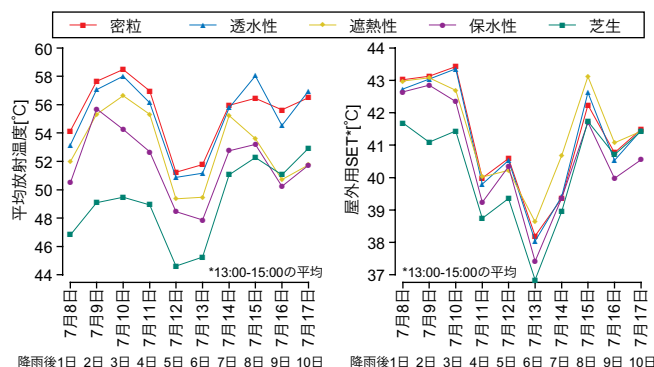


図1 平均放射温度およびSET*の経日変化

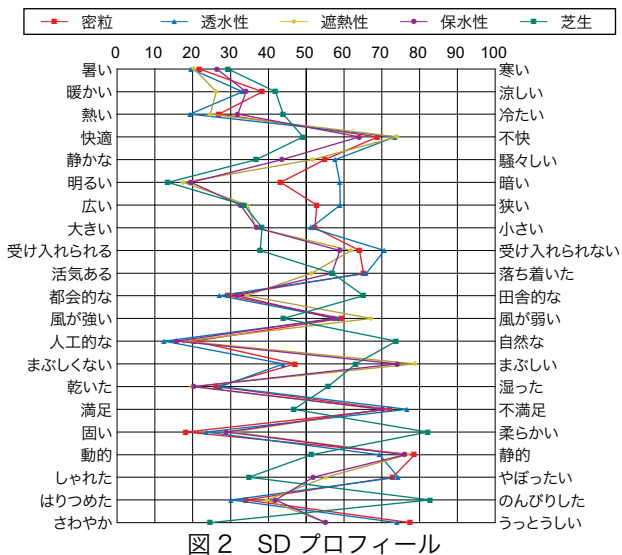


図2 SDプロフィール

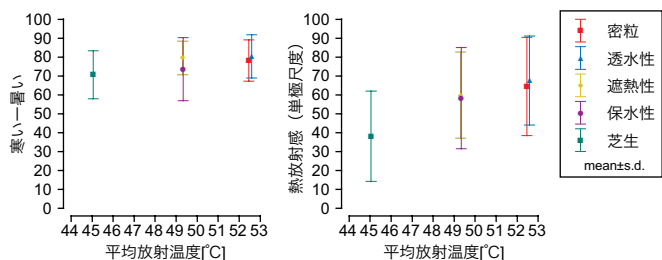


図3 平均放射温度と温冷感・熱放射感の関係

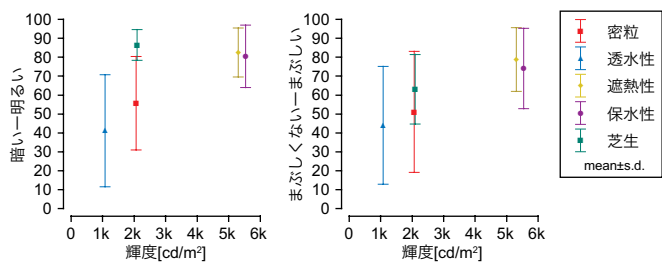


図4 輝度と明るさ感・まぶしさ感の関係

次いで保水性である。「明るい-暗い」「まぶしくない-まぶしい」において、遮熱性・保水性は「明るい」「まぶしい」側、透水性・密粒は「暗い」「まぶしくない」側である。

図3に平均放射温度と温冷感、熱放射感の関係を示す。平均放射温度が最も低い芝生においても45°Cを超えているため、「寒い-暑い」は各舗装体とも「暑い」側に偏っているが、その中でも平均放射温度が高いほど「暑い」側に申告される傾向が認められる。遮熱性と保水性の平均放射温度は同程度であるが、遮熱性の方がやや「暑い」側に寄っている。熱放射感については平均放射温度に明確に対応しており、平均放射温度が高いほど熱放射感を感じる。

図4に輝度と明るさ感、まぶしさ感の関係を示す。保水性の輝度が最も高く、遮熱性はそれよりやや低いが、遮熱性の方がむしろ「まぶしい」側である。芝生の輝度は保水性・遮熱性より顕著に低く密粒と同程度であるが、保水性・遮熱性よりもむしろ「明るい」側である。まぶしさも密粒より明らかに強く感じるが、明るさほど顕著ではない。

4. 考察

試験場の状況から風速・湿度は舗装体間で同様であると考えられ、上空気温についても差は小さいため、舗装体上における体感の差は表面からの長波長と短波長放射を合わせた全放射に大きく依存する。そのため、全放射を反映した平均放射温度と総合体感をあらかず屋外用SET*の高低順が同様であったと考えられる。被験者も熱放射の違いを明確に感じており、地表面からの放射の影響の大きさが窺える。したがって4種の道路舗装材の中では、保水性舗装が体感温度上昇の抑制に最も効果的で、次いで遮熱性舗装であり、透水性舗装については密粒舗装と同程度と評価される。

降雨後2日目に行った申告結果は、唯一自然素材であることもあり、芝生に対しておおむね肯定的な評価となった。実際に熱環境面でも芝生が最も低温であり、そのことをよく反映している。しかし、本試験場の芝生は生育が非常に良好であったが、それでも日数経過に伴い芝生の表面温度が上昇し、それが平均放射温度・屋外用SET*の上昇に繋がり、降雨後9日目には密粒と同程度の屋外用SET*を示した。生育状況によっては乾燥による蒸発冷却効果の低減がより早く進む可能性もあり、散水が必要な場合もある。晴天日が続く状況如何によっては、芝生よりもむしろ保水性舗装の方が体感温度を低く抑えられる場合も少なくないと考えられる。

謝辞

測器の便宜を図って頂いた大同大学・渡邊慎一教授、被験者としてご協力頂いた名古屋工業大学堀越研究室の皆様様に深謝します。

引用文献

- 1) 梅村ら：日本建築学会東海支部研究報告 31: 353-356, 1993
- 2) Prata: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 122: 1127-1151, 1996
- 3) Reindl et al.: Solar Energy 45(1): 1-7, 1990
- 4) Underwood, Ward: Ergonomics 9(2): 155-168, 1966
- 5) 渡邊ら：日本生気象学会雑誌, 47(4): 165-173, 2010.
- 6) 気象庁 HP: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 7) ASHRAE: Handbook - Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA, 2009
- 8) Gagge et al.: ASHRAE Transactions 92(2B): 709-731, 1986
- 9) Fobelets, Gagge: ASHRAE Transactions 94(1): 12-31, 1988
- 10) Kuwabara et al.: Environmental Ergonomics 3:423-429, 2005

*1 奈良女子大学 准教授・博士 (工学)

*2 高砂熱学工業 (株)

*3 岐阜大学 職員

*4 矢作建設工業 (株) 地震工学技術研究所

*5 ヤハギ道路 (株) 営業部クールベープ推進室

*6 名古屋工業大学大学院 助教・博士 (工学)

*7 名古屋工業大学大学院 教授・工博

*1 Associate Professor, Nara Women's University, Dr. Eng.

*2 Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.

*3 Officer, Gifu University

*4 Earthquake Engineering Technology Institute, Yahagi Construction Co., Ltd.

*5 Yahagi Road Co., Ltd.

*6 Assistant Professor, Graduate School of Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

*7 Professor, Graduate School of Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.