# 夏季日中における OUT_SET*-L の導入による温熱環境と温熱感覚について

Thermal environment and comfort by OUT_SET*-L during summer days

学 生 会 員　○野口　裕一郎（大阪市立大学）　　正 会 員　　梅宮　典子（大阪市立大学）
正 会 員　　小林　知広（大阪市立大学）

Yuichiro NOGUCHI*[1]　Noriko UMEMIYA*[1]　Tomohiro KOBAYASHI*[1]

*[1]　Osaka City University

For deeper analysis of thermal comfort, a survey of the thermal environment and sensation of unpaved and paved alleys was conducted during summer days in 2013. Results are presented below. 1) OUT_SET*-L from OUT_MRT-L considered long wavelengths from surrounding buildings as more suitable than SET* from MRT in outdoor environment temperatures. 2) In thermal sensations of unpaved compared to paved, a difference is apparent in thermal comfort, heat radiation sensations, inner wetting and perspiration, but not in sensations of air movement. 3) In OUT_SET*-L, no great suitability was found in heat radiation or inner wetting.

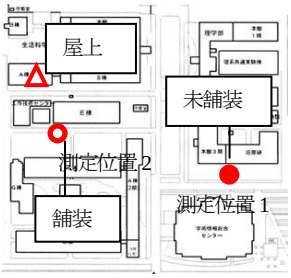
## １．研究の背景と目的

屋外温熱指標として,SET*を障害物のない屋外用に拡張した OUT_SET*[1)]や,さらに周囲建物からの長波長放射を考慮した SET*[2)] (本報では OUT_SET*-L と呼ぶ)が提案されている。本研究は,夏季日中の屋外で温熱環境測定と主観申告調査を行い、OUT_SET*-L の導入による温熱環境と温熱感覚について分析したので報告する。 目的は、1)SET*,OUT_SET*,OUT_SET*-L の比較 2)放射感,気流感,発汗感,下着の濡れが OUT_SET*-L と温冷感の関係に与える影響 3) 放射感,気流感,発汗感,下着の濡れが OUT_SET*-L と熱的不快感の関係に与える影響を分析することとする。

## ２． 方法

### 2.1　温熱環境測定

測定位置(図 1):選定条件は大学内で 2012 年の現場実測[3)]の状態に近い場所として、路面の両側に建物が存在する場所とし、樹木の影響や室外機の影響による局所的な熱環境は避けた。複数回の予備調査から,路面が未舗装の測定位置 1 と路面が舗装の測定位置 2 を選定した。測定日時: 2013 年 9 月 10 日(12:00)～11 日(18:00),9 月 19(12:00)～20 日(18:00)で、天候はそれぞれ、曇時々晴、晴であった。測定項目(表 1):同じ測定項目に対しては毎回同じセンサーを用いた。




図－1　測定位置

表－1　測定項目

| 測定項目 | 測定機器 | 測定位置 |
|---|---|---|
| 温湿度（日射シールド） | T型熱電対 | GL+ 0.4,1.2m |
| | 小型温湿度計 | GL+ 1.2m |
| グローブ温度 | グローブ温度計 | GL+ 1.2m |
| 風向・風速 | 三杯式風向風速計 | GL+ 2.0m |
| 日射量 | 日射計 | GL+ 1.8m |
| | 直達日射計 | 屋上 |
| | 天空日射計 | |
| 表面温度 | T型熱電対 | GL+0,0.5,1.0m |
| | 放射温度計 | 位置1:10,位置2:12 点 |
| 室外機吹出口温度 | おんどとり | GL+ 0.5,2.0m |

### 2.2　主観申告調査

温熱環境測定と並行して、14:00～18:00 に通行人(大学生)を対象とした熱的主観申告調査を行った。述べ申告数は未舗装 180、舗装 161 である。未舗装で日中に近接する 10 階建建物の陰になる時間が存在し、その時間を除いて分析を行う。以後、申告数は未舗装 98、舗装 95 を対象に分析を進める。温冷感は ASHRAE7 段階尺度を用い、その他の項目は表 2 に示す。

### 2.3　総合温熱指標の算出法(SET*, OUT_SET*-L)

気温、相対湿度、風速の実測値と MRT、代謝量は立位静止状態の 1.2met、着衣量を用いて算出した。実測値は各申告時の平均値を用い、着衣量は各人ごとに算出した。

$$MRT=t_g+2.35\sqrt{v}(t_g-t_a)\ [℃] \quad (1)$$

$$OUT_MRT=\left[\frac{f_p(1-\alpha_{cl})S\downarrow}{F_{eff}\sigma}+\frac{(1-\alpha_{cl})\{D\downarrow+(D\downarrow+S\downarrow)\alpha_{GND}\}}{\sigma}+T_L\right]^{0.25}\ [K] \quad (2)$$

$$OUT_MRT\text{-}L=\left[\frac{f_p(1-\alpha_{cl})S\downarrow}{F_{eff}\sigma}+\frac{(1-\alpha_{cl})\{D\downarrow+(D\downarrow+S\downarrow)\alpha_{GND}\}}{\sigma}+T_{MRT,L}^4\right]^{0.25}\ [K] \quad (3)$$

$t_g$:グローブ温度[℃], $v$:風速[℃],
$t_a$:気温[℃], $\alpha_{cl}$:衣服のアルベド[-](=0.4), $\alpha_{GND}$:地表面アルベド[-](=0.1),
$S\downarrow$:直達日射量[W/m$^2$], $D\downarrow$:拡散日射量[W/m$^2$], $F_{eff}$:有効放射面積率[-](=0.75), $f_p$:直達日射に対する人体の投影面積率[-], $\sigma$:ステファン・ボルツマン定数[W/m$^2$K$^4$](=5.67×10$^{-8}$),
$T_L$:長波長放射の放射温度[K], $T_{MRT,L}$:建物による長波長放射を考慮した放射温度[K]

表－2　尺度のカテゴリ

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 熱的不快感 | 快適 | 少し不快 | 不快 | 非常に不快 |
| 気流感 | 感じない | 少し感じる | 感じる | 非常に感じる |
| 放射感 | 感じない | 少し感じる | 感じる | 非常に感じる |
| 発汗感 | かいていない | 少しかいている | かいている | たくさんかいている |
| 下着の濡れ | 濡れていない | 湿っている | 少し濡れている | 濡れている |

## 3.　結果

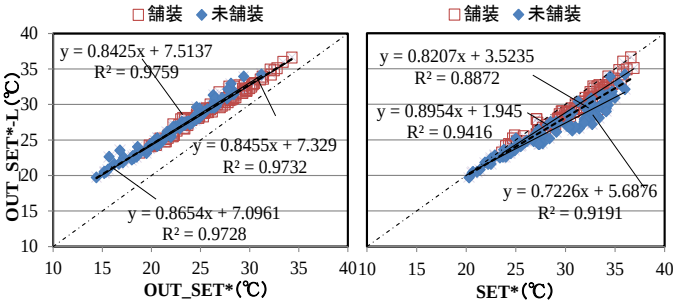
### 3.1　SET*の算出結果（図 2）

周囲建物の長波放射を考慮した OUT_SET*-L は OUT_SET*より平均で約 4K 高い。グローブ温度から求めた SET*と OUT_SET*-L はほぼ一致している。

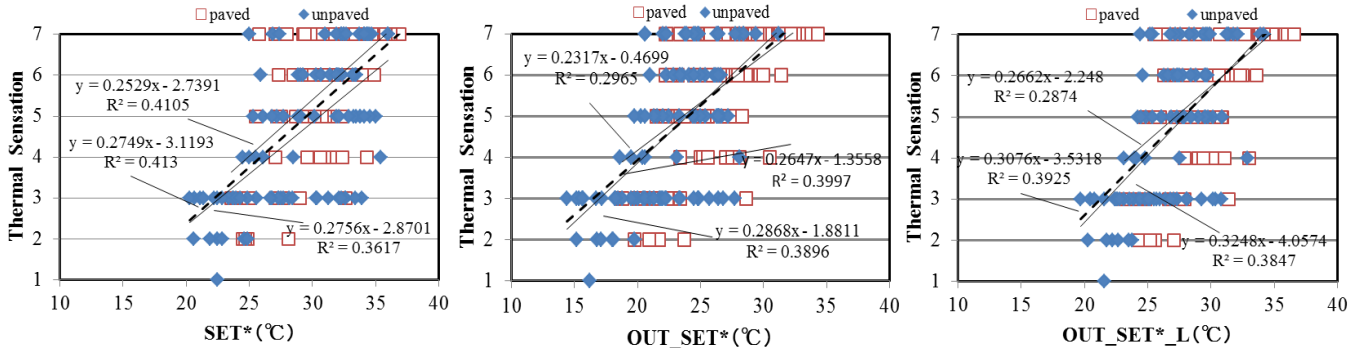
### 3.2　物理環境と温熱感覚

**SET*と温冷感の関係**(図 3)：3 通りの方法とも SET*と温冷感の関係は相関が高い。SET*に比べ OUT_SET*と OUT_SET*-L は未舗装と舗装で回帰式が一致している。また、OUT_SET*-L,OUT_SET*,SET*の順に温冷感の各尺度での分布の差は小さい。**SET*と熱的不快感の関係**（図 4）：熱的不快感での回帰は 2 次の回帰式とした。SET*に比べ OUT_SET*と OUT_SET*-L は未舗装と舗装で回帰式が一致している。SET*と熱的不快感の関係は SET*と温冷感の関係に比べると、未舗装と舗装で回帰式は一致しない。**MRT と放射感の関係**（図 5）：MRT に比べ OUT_MRT と OUT_MRT-L は未舗装と舗装で回帰式が一致している。また、MRT に比べ OUT_MRT と OUT_MRT-L は OUT_MRT-L,OUT_MRT,MRT の順に放射感の各尺度での分布の差は小さい。

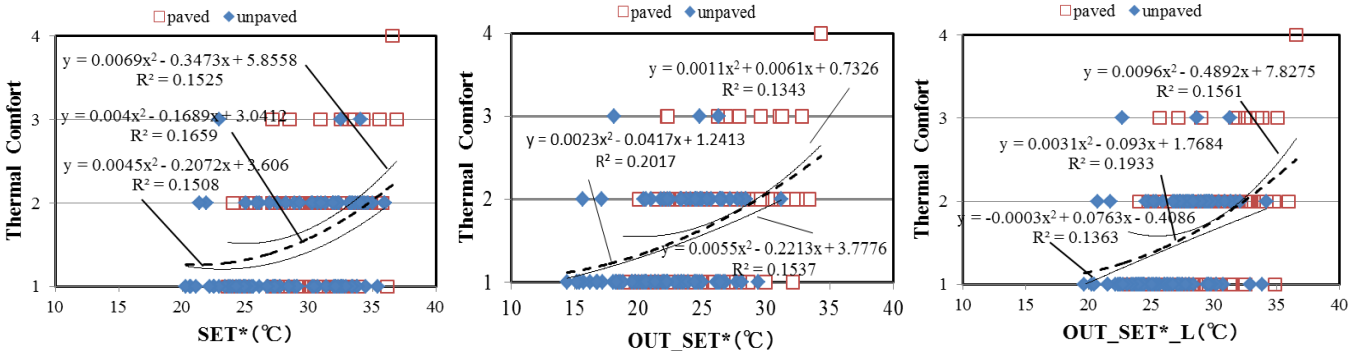
OUT_SET*-L が SET*・OUT_SET*より、未舗装と舗装による回帰式、申告の各段階でのばらつきが小さい。以下では、OUT_SET*-L と温冷感・熱的不快感との関係について分析する。



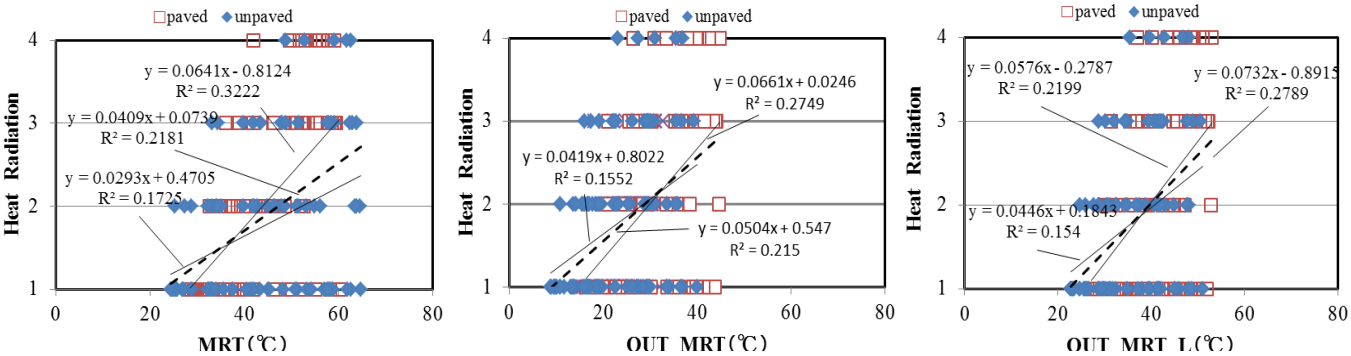

図－2　SET*の比較




図－3　SET* と温冷感の関係（左:SET*　中:OUT_SET*　右:OUT_SET*-L）




図－4　SET*と熱的不快感の関係（左:SET*　中:OUT_SET*　右:OUT_SET*-L）



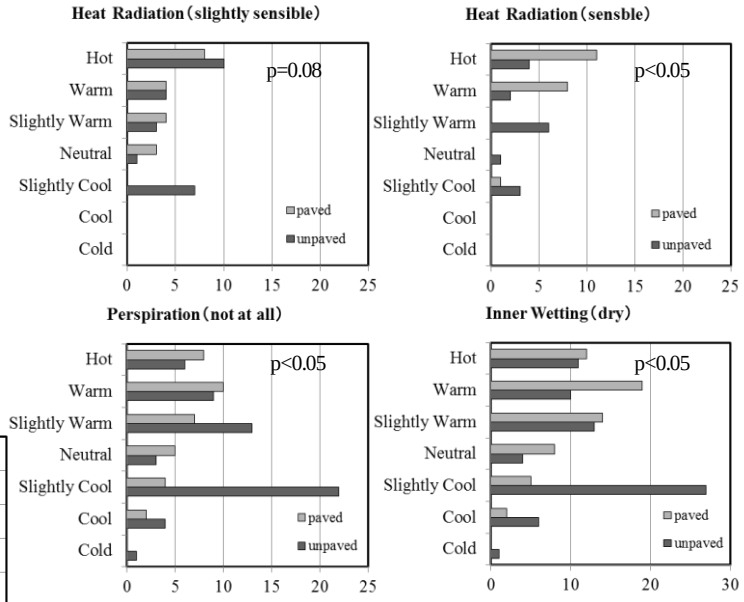

図－5　MRT と放射感の関係（左:MRT　中:OUT_MRT　右:OUT_MRT-L）

### 3.2　感覚別にみる SET*と温冷感の関係（図 6, 図 7）

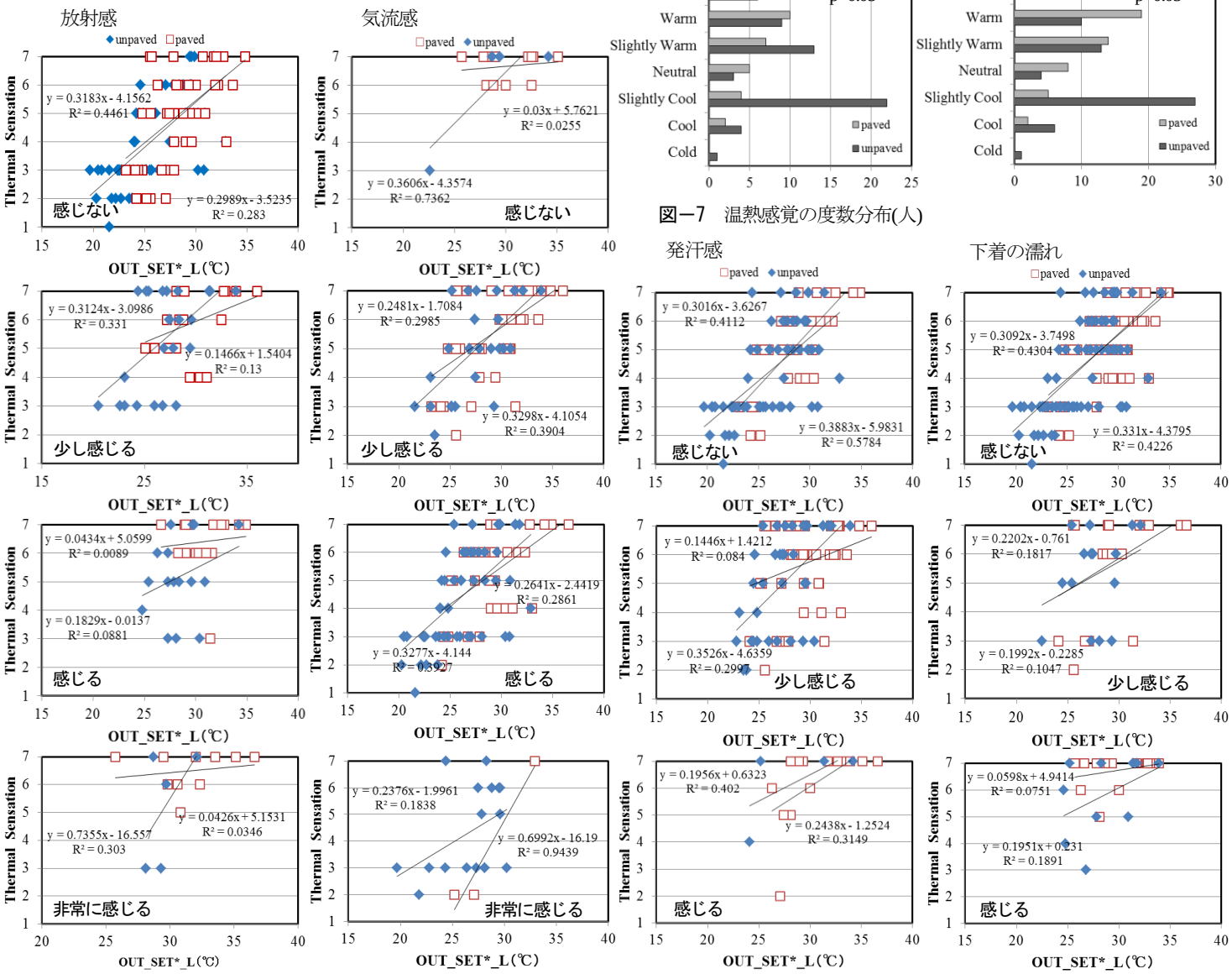
放射感：放射を感じない方が未舗装と舗装の回帰式は一致する。放射を「少し感じる」,「感じる」場合は未舗装と舗装の分布に有意な差(p=0.08) ,(p<0.05)があり，未舗装の方が放射を感じても涼しい側に分布する傾向がある。気流感：気流感の変化で、未舗装と舗装の回帰式に変化はなく、分布にも有意な差はない。発汗感：発汗感を感じない方が未舗装と舗装の回帰式は一致する。未舗装と舗装の一様性検定では、汗を「かいていない」場合は未舗装と舗装の分布に有意な差(p<0.05)があり,未舗装の方が涼しい側に分布する傾向がある。下着の濡れ：汗により下着が濡れていない方が未舗装と舗装の回帰式は一致する。下着が「濡れていない」場合は,未舗装と舗装の分布に有意な差 (p<0.05)があり、未舗装の方が涼しい側に分布する傾向がある。

### 3.3　感覚別に見る SET*と熱的不快感の関係（図 8, 図 9）

放射感：放射を「感じない」場合は熱的不快感の未舗装と舗装の分布に有意な差(p<0.05)があり，未舗装の方が快適側に分布し、同じ OUT_SET*-L に対しても未舗装の方が快適側に分布する。気流感：気流を「感じる」場合は熱的不快感の未舗装と舗装の分布に有意な差(p=0.07)があり,未舗装の方が快適側に分布し、同じ OUT_SET*-L に対しても未舗装の方が快適側に分布する。発汗感：汗を「かいていない」場合は熱的不快感の未舗装と舗装の分布に有意な差(p<0.05)があり,未舗装の方が快適側に分




図－7　温熱感覚の度数分布(人)




図－6　OUT_SET*-L と温冷感の関係(感覚別)

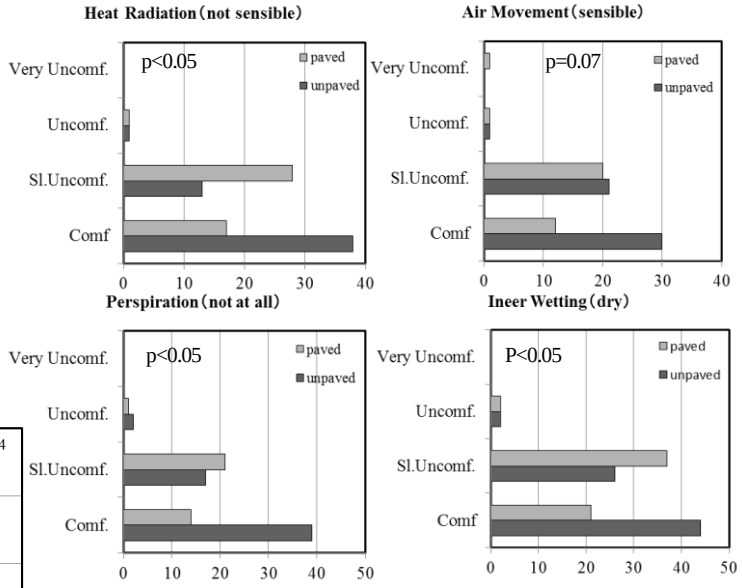
布し、同じ OUT_SET*-L に対しても未舗装の方が快適側に分布する。<u>下着の濡れ</u>：下着が「濡れていない」,「湿っている」の場合は熱的不快感の未舗装と舗装の分布に有意な差(p<0.05) ,(p=0.09) があり,未舗装の方が快適側に分布し, 同じ OUT_SET*-L に対しても未舗装の方が快適側に分布する。

## ４．まとめ

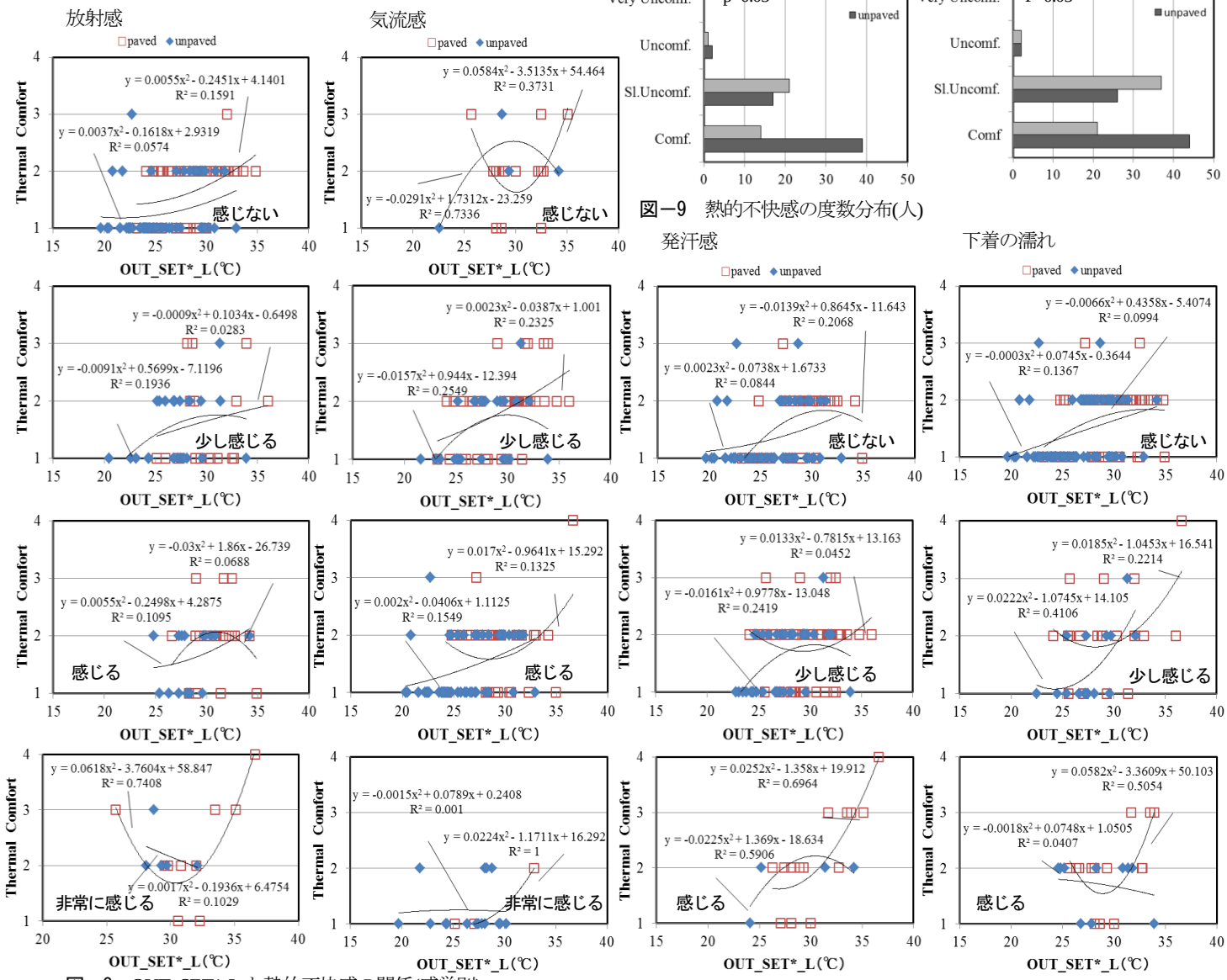
夏季日中街路上の温熱環境と歩行者の温熱感覚を測定した結果,1) OUT_SET*と OUT_SET*-L では,OUT_SET*-L の方が平均で約 4K 高く,SET*と OUT_SET*-L はほぼ一致する。SET*と OUT_SET*-L では, OUT_SET*-L の方が未舗装と舗装で一致し, かつ温冷感各段階での分布のばらつきが小さい。2)熱的不快感との関係は温冷感との関係よりも未舗装と舗装の間で差が大きい。3) 放射感,発汗感,下着の濡れは感覚があるときはないときに比べて,OUT_SET*_L との相関が弱く、気流感は OUT_SET*-L と温冷感に与える影響は小さい。4)放射感「感じない」,気流感「感じる」,発汗感「かいていない」,下着「濡れていない」のそれぞれの場合において、不快感申告は未舗装の方が有意に快適側に分布する。同じ OUT_SET*-L に対しても未舗装の方が快適側に分布する。

### 参考文献

1)J.Pickup,R. de Dear:,ICB Conference,279-283,1999. 2)真嶋ほか, 日本建築学会環境系論文集, 第 622 号, 41-48, 2007 3)野口ほか, 空衛･近畿支部,257-260,2013




図－9　熱的不快感の度数分布(人)




図－8　OUT_SET*-L と熱的不快感の関係(感覚別)