

## 暑熱環境対策下における人の空間利用に関する研究

### Study on the Effective Utilization of Outdoor Space by Mitigating Thermal Environment

三坂 育正\*・石丸 泰\*\*・堀口 恭代\*\*・成田 健一\*

Ikusei MISAKA, Yasushi ISHIMARU, Yasuyo HORIGUCHI, Ken-ichi NARITA

**要旨:** 屋外空間の温熱環境と人の空間利用の関係を明らかにすることを目的として、温熱環境と人体生理・心理反応、滞在状況に関する調査を行った。調査結果から、暑熱対策による温熱快適性の向上と、心理申告から対策場所が涼しく、快適な空間と感じられていることを確認できた。空間の利用状況は、時間・場所で標準化した利用者数から評価を行った。標準化した利用者数と温熱快適性指標とに関係がみられることから、暑熱対策を行うことで利用者数の増加を推定できる可能性を示唆できた。さらに、数値解析と標準化利用者数を用いて、設計・計画段階で暑熱対策効果による利用者の増加について予測する手法について提案した。

**キーワード:** 暑熱環境、適応策、温熱快適性、空間利用、数値解析

**Abstract:** In order to clarify the relationship between the thermal environment in outdoor space and human space utilization, the survey of thermal environment, physiology/psychological response, and staying situation were carried out. From the results of the survey, it was confirmed that the thermal environment was improved by measures, and the countermeasure place was cool and comfortable by psychological vote. The space utilization was evaluated by the number of users standardized by time and place. Since there is a relationship between the standardized number of users and SET\*, it is possible to suggest that the increase in the number of users by mitigating thermal environment can be estimated. In addition, we propose a method to predict increase of users at planning stage using numerical analysis.

**Key Words:** thermal environment, adaptation, thermal comfort, space utilization, numerical analysis

#### はじめに

近年、気候変動に加えてヒートアイランド現象の影響で、都市の気温上昇が顕著となっている。気候変動対策として、二酸化炭素を代表とする温室効果ガスの排出削減に向け、平成 28 年にはパリ協定が発効される等、地球温暖化の緩和に向けた国際的な取組みが進められている。また、都市部の気温上昇は、ヒートアイランド現象によりさらに加速しており、都市内における緑化などの表面被覆改善の推進や人工排熱の削減といった緩和対策が実践されている。

一方で、気候変動やヒートアイランド現象による気温上昇に伴う生活影響として、夏季に人々が感じる熱ストレスの増大が指摘され、その影響は熱中症患者の増加や熱帯夜による睡眠障害等で問題となっている。しかしながら、温室効果ガスの排出削減や都市の表面被覆対策等の緩和対策の積極的な推進を図ったとしても、気温の高い状況が継続することが推察される。そこで、気候変動やヒートアイランド現象の進行を抑制する緩和策に加え、気温上昇に伴う影響を限りなく軽減する対策として、適応策の推進が必要と考えられる。国内でも「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定され、暑熱適応は健康や国民生活の視点で取り上げられ、重要性が示されている。また、ヒートアイラン

ド対策においても、「緩和策」に加え、人の熱ストレスによる健康影響を出来るだけ軽減する「適応策」が取り上げられている(環境省, 2012)。この適応策は、熱中症や睡眠障害といった人の健康に及ぼす影響の低減を目指す対策として位置付けられており、人が熱ストレスを受けない温熱環境を有する屋外空間の提供が求められている。

ここで、適応策として暑熱対策を実施し、温熱環境的に快適な空間を創出できれば、暑熱環境下でも屋外空間を人が積極的に利用できる可能性が考えられる。温熱環境と人の屋外空間利用に関して、安藤ら(2011, 2012)は、屋外をオフィスとして利用する空間やアメニティ空間における調査より、利用人数・時間から空間利用に適した温熱環境の閾値の可能性について示している。また、中野(2015)は、駅構内の温熱環境に関して、利用者の受容の観点から標準新有効温度 SET\*で 19~32°C を熱的受容域と提案している。今後、様々な観点から空間利用に適した屋外空間の温熱環境を明らかにしていく必要があると考えられる。

そこで、本研究では、暑熱対策を実施した空間と未実施の空間における温熱環境調査より対策効果を検証するとともに、心理申告や空間の利用状況に関する調査から、温熱環境と人の空間利用状況との関係から、人が利用する屋外空間の温熱環境計画手法を検討することを目的とする。

\* 日本工業大学 工学部 建築学科, \*\* 環境情報科学センター 調査研究室

# 1. 研究の方法

## 1.1 調査対象地点

調査は、東京都港区有明のシンボルプロムナード公園のイーストプロムナードの休憩スペース周辺を対象エリアとした。調査対象エリアと測定点を図-1に示す。対象エリアの特徴として、国際展示場駅から東京ビッグサイトまでの動線にあり、昼休みに会社員、展示会関係者の休憩の場として多くの人に利用される。また、東京ビッグサイトにてイベントが行われる際、イベントの参加者などの利用も多い場所である。このエリアにはベンチが10個設置されており、ベンチ周辺の地表面はインターロッキングブロック舗装、ベンチの背面側は土と芝で覆われ、周囲には樹木が植栽されている。

調査対象エリアの2箇所に暑熱対策を実施した。対策技術として、フラクタル日除け、緑化ルーバー、保水性舗装を実施した。フラクタル日除けは日除け自体の温度が上がらず、日射の方向で遮蔽率が変化し、太陽高度の高い夏季には高い遮蔽効果と放熱効果を有している点の特徴である(酒井ら, 2012)。緑化ルーバーとは、植物や土壌からの水分の蒸発散により、ルーバーを通過する空気を冷やすとともに、冷えたルーバーによる放射環境の改善が期待される技術である。保水性舗装は、路面を濡れた状態に保つことで、気化熱を利用して路面の温度上昇を抑制する。緑化ルーバーは毎日7, 11, 15時に自動で、保水性舗装には実験前に手動で灌水を行い、十分に水分を含んだ状態とした。

温熱環境等の測定点は、対策実施と未実施の併せて4箇所のベンチとし、対策場所が2点、対策無しは日向・日陰の1点ずつの計4点とした。測定点の概要を表-1に示す。

## 1.2 調査方法

温熱環境測定における測定機器の設置断面図を図-2、測定項目と測定機器を表-2に示す。暑熱対策されたベンチの付近4点を対象として、測定器を地面から1.1mの高さにセンサーを設置し、温熱4要素と放射量を1秒間隔で測定した。グローブ温度は南向きを原則とし、対策場所の測定機器のみ対策技術の方向にグローブ球の向きを合わせて設置した。表面温度については、赤外線熱電対の連続測定と併せて、サーモカメラで表面温度分布を1時間毎に撮影した。なお、日向と木陰の測定点は、場所を影の動きに合わせて随時測定器を移動させることで日射条件を確保した。

滞在状況調査は、温熱環境測定点近くのベンチに座った人やそのベンチ付近の滞在者を対象とし、調査員が目視で滞在時間や滞在者の特徴等について記録を行った。

心理申告調査は、ベンチに座った人を対象とし、アンケートによる調査を行った。心理申告の調査項目と段階を表-3に示す。心理申告調査項目と段階については、日本建築

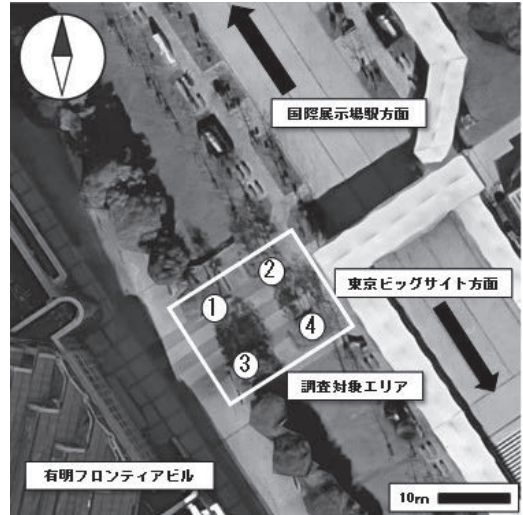


図-1 調査対象エリアと測定点

表-1 測定点の概要

測定点	①	②	③	④
写真				
特徴	【暑熱対策場所】 測定器：ベンチ中央 ※日射測定実施	【暑熱対策場所】 測定器：ベンチの南西側端部の中央部分と放射環境の差異が生じない場所に設置	【日向】 測定機器は随時日向の場所へ移動するが15時以降にはビルの日陰になる ※日射測定実施	【木陰】 樹木に囲まれて日差しが当たらないように随時日陰の場所へ測定機器を移動

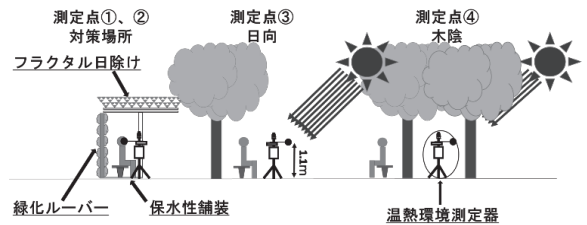


図-2 測定機器の設置断面図

表-2 温熱環境の測定項目と機器

測定項目	測定機器	
温度・湿度	強制通風式湿度計	PVC-03+PHMP155
黒球温度	グローブ温度計	ベルノン式 PGT-01
風向・風速	超音波風向・風速計	ウィンドソニック PGWS-100
路面温度	放射温度	K型熱電対 PRIT-100
放射量	長短波放射計	4成分放射計 MR-50
表面温度分布	サーモカメラ	赤外線放射温度計 FLIR T420

表-3 心理申告の調査項目と段階

心理申告	評価段階	
	主観申告温度として記述	
体感温度	9段階：1. 非常に寒い⇔9. 非常に暑い	
温冷感	9段階：1. 非常に不快⇔7. 非常に快適	
快感感	7段階：1. 感じない⇔4. 非常に感じる	
発汗度	5段階：1. 汗をかいていない⇔5. 流れるほど汗をかいている	
気流感	6段階：1. 感じない⇔6. 非常に感じる	
乾湿感	7段階：1. 非常に乾いた⇔7. 非常に湿った	
許容度	4段階：1. 許容できない⇔4. 許容できる	
満足感	4段階：1. 不満足⇔4. 満足	

学会温熱心理・生理測定法基準・同解説（2014）を参考とした。アンケートでは、滞在者に直接聞いて調査員が直接記入するか、滞在者に記入してもらう方法で行った。その際、滞在者にはその場所の温熱環境等に慣れた状態で申告してもらうこととした。

調査期間は、2016年6月10、20、27日、7月1、7、29日、8月9、10日の8日間とし、測定時間はいずれも9時から17時の8時間とした。

## 2. 結果

### 2.1 暑熱環境の緩和効果

対策による暑熱環境の緩和効果については、全測定期間のうち、1日を通して気温が高く、日射量も大きい7月29日の結果を取り上げて述べる。

気温・日射量、風速、平均放射温度 MRT、温熱快適性指標 SET\*の経時変化をそれぞれ図3～6に示す。MRTは、気温・グローブ温度・風速の測定値から、ASHRAE（2001）により算出した。SET\*の算出は2-Node Modelで算出し、着衣量は利用者の平均値として0.52、代謝量は着座状態の1.0（=58.2W/m<sup>2</sup>）とした。

この日は、日中の日射量が1000W/m<sup>2</sup>程度まで達しており、11時過ぎから気温が30℃を超え、最高気温は約32℃の真夏日となった。15時以降は、南西にある建物の影響により、全測定点が影で覆われるため日射量が低下し、気温も徐々に低下している。風速は日向、木陰が対策場所より若干大きく、15時以降になると全測定点上昇する傾向が見られる。

MRTは、日向が70℃程度まで上昇しているのに対し、対策場所や木陰では30℃近く低く推移している。15時以降に建物の影になると、測定点の差はほとんど見られず、日射の影響が大きいことが確認できる。SET\*の変化はMRTの変化と似ており、放射環境の影響が大きいことが推察できる。対策場所のSET\*が木陰よりも高くなっているのは、対策場所の風速が小さいためと考えられる。また、気温では各測定点の差は小さいが、SET\*ではフラクタル日除けの日射遮蔽効果により対策場所と日向で約5℃の差が生じた。このことから、主に放射環境の改善で、調査対象エリアの暑熱環境が改善できていると考えられる。

### 2.2 心理申告調査の結果

心理申告調査の結果として、気温・SET\*と温冷感の関係を図-7、気温・SET\*と快適感の関係を図-8に示す。気温と温冷感の関係では、各測定点による気温の差が小さいにも関わらず、温冷感申告は「涼しい」から「非常に暑い」の範囲にばらついており、両者には明確な関係性は見られない。一方で、SET\*と温冷感では、正の相関の傾向が見られ、

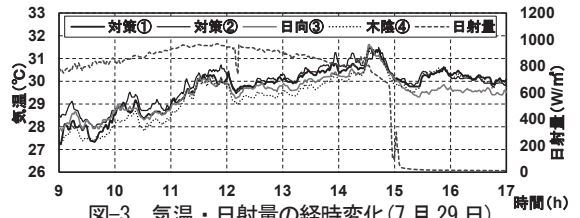


図-3 気温・日射量の経時変化(7月29日)

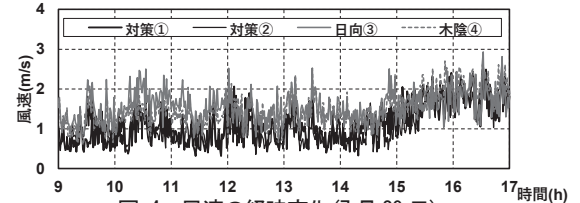


図-4 風速の経時変化(7月29日)

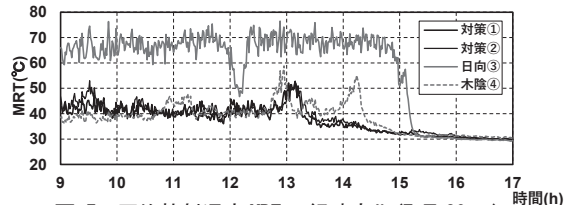


図-5 平均放射温度 MRT の経時変化(7月29日)

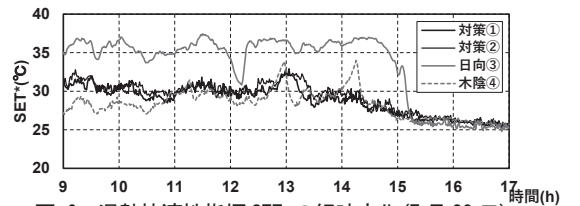


図-6 温熱快適性指標 SET\*の経時変化(7月29日)

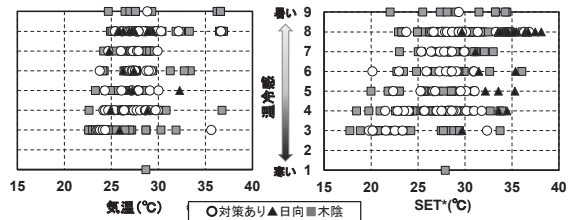


図-7 気温および SET\*と温冷感の関係

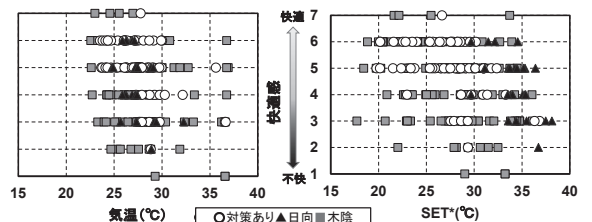


図-8 気温および SET\*と快適感の関係

SET\*が低くなると、涼しい申告が増える傾向が確認できる。また、気温と快適感についても、温冷感と同様に気温の差は小さいのに対し、快適感申告は「非常に不快」から「非常に快適」に広く分布しており、両者に関係性は見られな

いが、SET\*と快適感では、SET\*が上昇するにつれ快適感の下がり、負の相関の傾向が見られる。温冷感・快適感とも、対策有りの方が、温冷感は涼しく、より快適側の申告をした回答者が多くなっていることから、暑熱対策によって温熱快適性の数値が向上し、滞在した人もその効果を得られていたものと考えられる。

SET\*と主観申告温度の関係について図-9に示す。SET\*と主観申告温度では、主観申告温度はSET\*に近い温度を示していることがわかる。また、風速を0.5m/s刻みで分類すると、主観申告温度は風速が大きい場合にはSET\*より高い申告の回答が増え、風速が小さいとSET\*より低い申告が増える傾向が見られる。図-10にはSET\*と主観申告温度との差と風速の関係を示す。風速が小さいと主観申告温度の方が低くなる傾向が確認できる。このことから、SET\*は風速の影響を受けやすく、注意が必要であると言える。

### 2.3 滞在状況調査の結果

調査対象とした4箇所のベンチの滞在者に関して、全調査日の時間別積算滞在人数を図-11、SET\*と積算滞在人数の関係を図-12に示す。なお、滞在状況については、積算滞在人数として算出をしており、30分間滞在した人がいる場合には、1分間に1人滞在中と捉えて、30分間で30人の滞在者数として解析した。

時間別積算滞在人数の結果から、滞在人数が多い時間帯は12~14時となり、昼食の場所として利用する人が多く、これは全調査期間共通の傾向であった。SET\*と積算滞在人数の関係より、SET\*が28℃の時に最も滞在人数が多く、SET\*27~29℃の範囲で滞在人数が増加すると考えられる。SET\*が22~23℃で滞在者が多くなっているのは、比較的涼しかった7月6日の測定結果の影響と考えられる。滞在人数が多い12~14時に時間を絞った場合のSET\*と積算滞在人数でも、傾向は全調査時間と同様であった。

## 3. 考察

### 3.1 基準化利用者数による暑熱対策効果の評価

#### 1) 基準化利用者数の算出方法

空間利用者の滞在は、時間別積算滞在人数で述べたように、利用者数には時間帯による違いがみられる。そのため、全ての時間帯に共通する傾向を捉えるためには、利用者に何らかの基準化を施した上で評価をする必要がある。そこで、ある場所・時間帯における平均利用者数に対する比率として、基準化利用者数  $U_s$  を設定した(藤原ら, 2016)。基準化利用者数を用いることで、ある場所・時間帯の平均利用者数を基準化利用者数に乗じることで、その場所の利用者数の推定が可能となる。

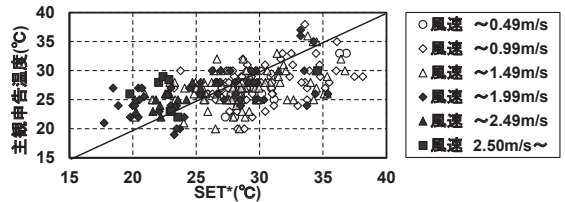


図-9 SET\*と主観申告温度の関係

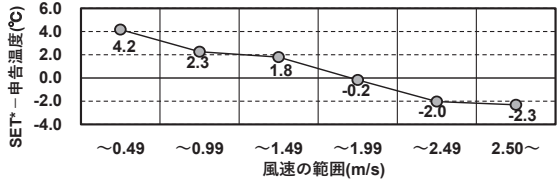


図-10 SET\*と主観申告温度との差と風速の関係

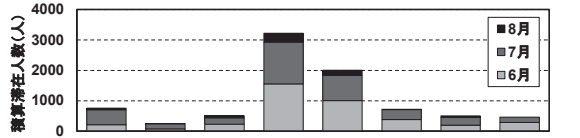


図-11 時間別積算滞在人数

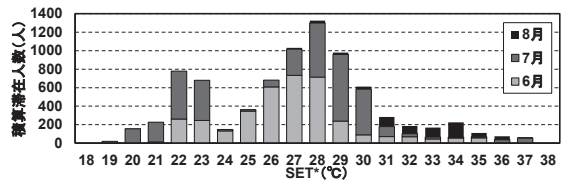


図-12 SET\*と積算滞在人数の関係

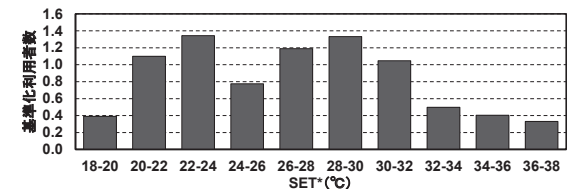


図-13 SET\*と基準化利用者数の関係

基準化利用者数は、以下の式(1)、(2)から算出を行った。

$$U_a(j) = \left\{ \sum_{i=1}^{n_{day}} \sum_{k=1}^{60} U(i,j,k) \right\} / (n_{day} \times 60) \quad \dots(1)$$

$$U_s(i,j,k) = \frac{U(i,j,k)}{U_a(j)} \quad \dots(2)$$

$U_a(j)$ : 全測定日のj時台における平均利用者数

$U(i,j,k)$ : 測定日i, 時刻j時k分における利用者数

$U_s(i,j,k)$ : 測定日i, 時刻j時k分における基準化利用者数

$n_{day}$ : 全測定日数

全調査期間日の結果から、基準化利用者数を算出した。

#### 2) 温熱環境と基準化利用者数の関係

全調査期間日から算出した基準化利用者数に関して、SET\*との関係を図-13に示す。SET\*と基準化利用者数の関係から、SET\*が30℃以下となると基準化利用者数が大きくなっており、人が利用しやすい温熱環境であることがわ

かる。基準化利用者数がピークとなる SET\*は 2 つあり、低温側の SET\*が 22~24℃で値が大きくなるのは、前述の通り 7 月 6 日の涼しい日が影響しているものと考えられる。

次に、得られた SET\*と基準化利用者数について、確率密度分布関数での近似的を試みた。SET\*と基準化利用者数の関係は、頂点に対して非対象の分布であると想定されるため、ジョンソン SU 分布の関数式(3)を用いて近似的を行った。

$$f(x) = A \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} \sqrt{\left(\frac{x+\varepsilon}{\lambda}\right)^2 + 1}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left\{ \gamma + \delta \sin h^{-1} \left( \frac{x-\varepsilon}{\lambda} \right) \right\}^2 \right] \dots (3)$$

A, γ, δ, λ, ε : 係数

最小二乗法により実測値からパラメータフィッティングを行い、各係数の値を近似させた。なお、人の体温の限界が約 42℃のため、SET\*が 42℃の基準化利用者数は 0 になると設定して近似的を行った。

ジョンソン SU 分布による SET\*と基準化利用者数の関係を図-14 に示す。ジョンソン SU 分布は、SET\*が 27.1℃を頂点とし、SET\*の低い側が緩やかで、SET\*が 30℃を超えると急減する傾向を示している。このことから、この空間においては、寒さより暑さの方が人の利用に対して厳しいことがわかる。なお、得られた確率密度分布曲線と実測値との相関係数は 0.82、推定値の標準誤差は 0.23 であった。

基準化利用者数を用いて、暑熱対策の有無による利用者数増加の推定を試みた。例えば、7 月 29 日 12 時の日向と対策ありでは、SET\*は 35.0℃と 29.9℃で 5.1℃の差がある。この時の基準化利用者数の差は 0.76 となる。この差に 12 時台の平均利用者は 1.84 人乗じると、利用者の増加は 1.40 人/分になる。同様に各時間帯での利用者数の増加を推定した結果を表 4 に示す。7 月 29 日は、暑熱対策を施すことにより、各時間の増加の推定値を 1 日で積算すると、3.48 人分 (延べ 208 人・分) の利用者数増加と推察できる。

以上のように、基準化利用者数と SET\*の関係を用いることにより、暑熱対策による利用者の増加数を予測することが可能となるものと考えられる。

### 3. 2 数値解析による温熱環境予測

#### 1) 数値解析方法

暑熱対策効果を数値解析により算出することで、設計段階での効果予測を可能とする手法の検討を行った。調査対象エリアのモデルを 3D-CAD で作成し、放射・熱伝導解析ツール ThermoRender4Pro を用いて解析を行った。調査対象エリアのモデルを図-15 に示す。解析条件の設定として、フラクタル日除けは樹木設定を用いて、日射透過率を 15% とした (蝦名ら, 2013)。また、緑化ルーバーと保水性舗装は保水性舗装を材料設定とし、含水率や蒸発比を実測値に合わせて調節した。温熱快適性指標については、調査対象エリアの表面温度分布の計算結果から、MRT は微小球体を高

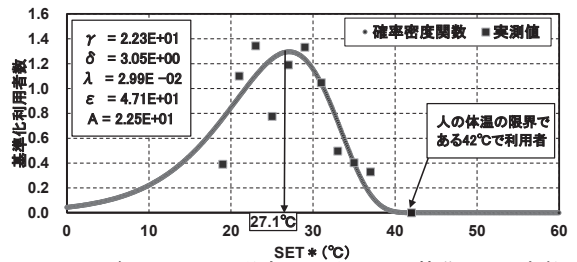


図-14 ジョンソン SU 分布による SET\*と基準化利用者数

表-4 基準化利用者数を用いた利用者数の推定

時間	(1)対策① SET*(°C)	(2)日向 SET*(°C)	(3)基準化利用者数 (対策①-日向)	(4)対策場所の平均利用者数 (人/分)	(5)平均利用者増加の推定値 (人/分) (3)×(4)
9時	31.0	36.2	0.81	0.18	0.143
10時	30.3	35.5	0.80	0.03	0.022
11時	29.7	35.3	0.83	0.25	0.209
12時	29.9	35.0	0.76	1.84	1.405
13時	30.5	36.2	0.87	1.53	1.329
14時	28.8	36.3	1.03	0.32	0.325
15時	27.1	31.8	0.37	0.11	0.042
16時	26.2	25.6	0.02	0.09	0.002
(6) 1日における平均利用者数増加の推定値 Σ(5)					3.475

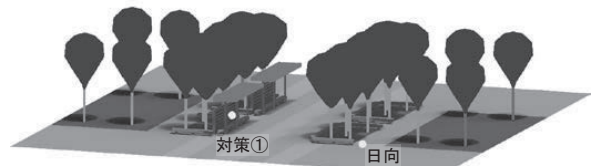


図-15 調査対象エリアの数値解析モデル

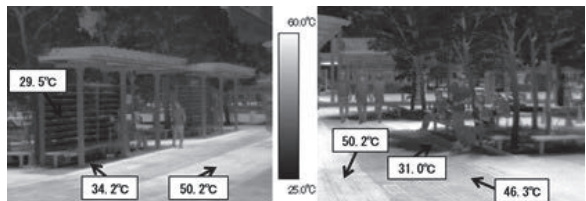


図-16 表面温度分布の測定結果 (7 月 29 日 12 時)

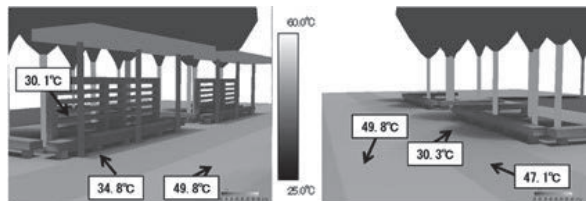


図-17 表面温度分布の数値解析結果 (7 月 29 日 12 時)

さ 1.1m に設定し、対策①と日向の 2 箇所について算出した。SET\*は、数値解析で求めた MRT に温熱環境の測定結果を用いて算出した。

#### 2) 解析結果と実測との比較

作成した調査対象エリアのモデルを用いて表面温度分布を算出し、サーモカメラで撮影した表面温度分布と比較を行った。また、数値解析による SET\*の算出値と実測値との比較も行った。7 月 29 日 12 時の表面温度分布について、サーモカメラの結果を図-16、数値解析結果を図-17 に示す。表面温度の解析結果は、測定結果と概ね一致している。

算出した SET\* の経時変化を図-18 に示す。数値解析では、15 時以降の日射が建物になる影響を解析できないために違いが生じているが、それ以外の時間帯では数値、変化の傾向が類似しており、再現ができたものと考えられる。

### 3) 対策の追加による利用者数増加の推定

暑熱対策技術のさらなる改良案として、図-19 に示す様にフラクタル日除けの面積を 1.6 倍に拡大し、2 段にして日射遮蔽率を高めた場合の効果を検討した。SET\* の変化 (図-20) から、追加の対策により SET\* は最大 1.4℃ 低下し、日射遮蔽の時間が延びることで SET\* の低下する時間帯が増えており、実施した対策技術よりも、暑熱対策効果が大きいことがわかる。対策の実施による基準化利用者数を用いた利用者数の推定を図-21 に示す。7 月 29 日 12 時の追加対策による利用者数は 2.35 人/分となり、実施した対策と比べ 0.20 人/分、日向より 1.61 人/分の増加が期待できる。ただし、この 0.20 人/分の値は標準誤差より小さく、あくまで参考値であり、推定精度の向上が今後の課題である。

以上から、基準化利用者数と数値解析を用いることで、設計段階での暑熱対策による暑熱環境緩和と利用者増加の効果を予測することが可能になるものと期待できる。

### おわりに

屋外空間の温熱環境と利用者の滞在状況の関係について明らかにすることを目的として、暑熱対策を実施した空間と未実施の空間を対象とし、温熱環境と心理申告・滞在状況に関する調査を実施した。

調査の結果、暑熱対策場所と日向では SET\* に約 5℃ の差が生まれ、暑熱対策による暑熱環境緩和効果を確認できた。心理申告と滞在状況の調査から、暑熱対策場所での涼しく快適側の回答が多くなり、心理的にも暑熱対策の効果があり、滞在状況に影響を及ぼしていることが推察できた。また、数値解析と基準化利用者数を用いることで、設計・計画段階で暑熱対策効果による利用者の増加について予測する手法について提案した。

### 謝辞

本論の一部は、環境省「平成 28 年度余剰地下水等を利用した低炭素型都市創出のための調査・検証事業委託業務」で実施した調査結果について、著者らが取りまとめたものである。ここに記して深甚なる謝意を示します。

### 引用文献

- 安藤邦明・三坂育正・野崎尚子・小林昭彦・竹野淳一 (2011) 人が利用する屋外空間における環境評価に関する研究 その 1 屋外オフィスにおける日除けを対象とした温熱環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 815-816
- 安藤邦明・西田恵・三坂育正・成田健一 (2012) 大丸有地区の屋外アメニティ空間における温熱環境と利用状況の調査, アーバンインフラテクノ

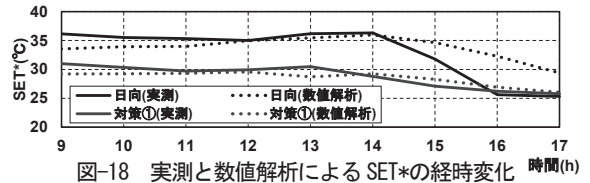


図-18 実測と数値解析による SET\* の経時変化

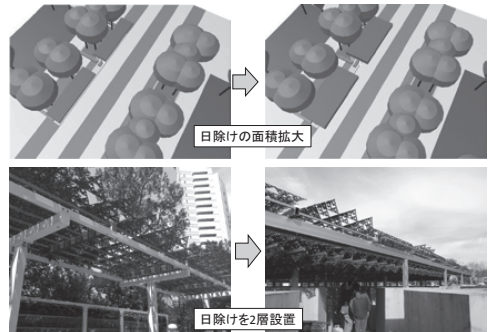


図-19 追加した暑熱対策の概要

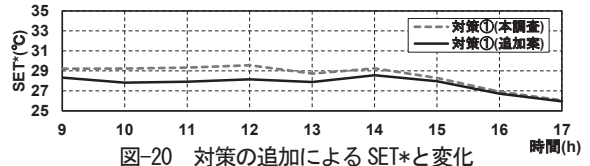


図-20 対策の追加による SET\* と変化

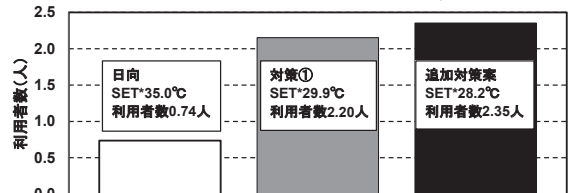


図-21 暑熱対策による利用者数の推定

- ロジ-推進会議第 23 回技術研究発表会発表論文集 (WEB)
- ASHRAE (2001) ASHRAE Fundamentals Handbook
- 蝦名聖二・三坂育正・成田健一・酒井敏・中村美紀 (2013) 日射遮蔽による屋外暑熱環境の緩和に関する研究 その 1 フラクタル形状日除けによる暑熱環境緩和効果の実測評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境, 893-894
- 藤原邦彦・嘉名光市・高木希望・野崎尚子 (2016) オフィスビル公開空地に設置された“屋外ワークスペース”の利用実態と温熱環境, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 884-885
- 環境省 (2012) ヒートアイランド対策マニュアル～最新状況と適応策等の対策普及に向けて～
- 中野淳太 (2016) 利用者の温熱環境適応を考慮した駅構内温熱環境の改善, 日本建築学会, 第 40 回熱シンポジウム「バイオクライマテックデザインの視点から地域・都市・建築の環境を考える」資料, 101-106
- 日本建築学会 (2014) 温熱生理・心理測定基準・同解説, 日本建築学会環境基準 ALJED-H0001-2014
- 酒井敏・中村美紀 (2012) : フラクタル日除けの基本原則 都市表面の形状と表面温度について, 日本建築学会学術講演梗概集, 581-582,