

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

1. 榊竹中工務店 2. 日本工業大学  
 安藤邦明<sup>1</sup> 西田恵<sup>1</sup> 三坂育正<sup>2</sup> 成田健一<sup>2</sup>

1. はじめに

都市化の進行に伴うヒートアイランド現象の対策として、ハード技術の適用に加えて「適応策」の考え方が提唱されている<sup>1)</sup>。適応策では、人の熱ストレスの軽減に着目しているが、都市の屋外空間を人が利用するには、快適な空間を創ることが重要であると考えられる。その事例として、街路空間に樹木を効果的に配置することで緑量を確保し、緑陰を人々の憩いの場として計画する例が増えている。そのような屋外空間の温熱環境調査やシミュレーションの事例は数多くあるが、温熱環境調査と人の利用状況を共に行った事例は少なく<sup>2)3)</sup>、両者を詳細に把握した調査はない。

そこで、人の利用状況に及ぼす温熱環境や空間構成要素の影響を評価することを目的として、東京駅周辺の大手町・丸の内・有楽町地区（以降、大丸有地区）の屋外アメニティ空間を対象とした温熱環境や利用状況に関する調査を行なった。なお、本研究では、人の利用を促す目的で整備された空間を屋外アメニティ空間と表現した。また、低炭素社会に向けた屋外空間のあり方について環境面から検討した。

2. 調査概要

2.1 調査対象範囲

図1<sup>4)</sup>に調査対象空間を示す。大丸有地区にある屋外アメニティ空間について、街路空間と中庭空間の休憩スペースにあるベンチ周辺を対象として測定および調査を行なった。調査は、街路空間（①～⑤）と中庭空間（⑥～⑧）に加え、並行する都道（⑨～⑪）においても行なった。街路空間は道路に面してベンチが配置され、ベンチ近傍にある樹木の枝下長さや樹冠幅が異なる地点（例えば①や②等）を選んだ。中庭空間は建物に囲まれた場所であり、⑥は地表面が他地点と異なってウッドデッキが敷き詰められたサンクンガーデンである。⑦は他地点より空間内の緑量が豊富であり、保水性舗装が適用されている範囲もある。また、⑧は細長い空間で移動経路やイベントスペースとして利用されている。なお、都道については、街路空間や中庭空間と同様に街路樹が植えられた範囲を対象とした。各測定点（①～⑧）の空間構成や特徴について表1に示す。

2.2 調査項目・方法

表2に調査項目と方法を示す。調査期間は、夏季が2011/8/1～8/11、秋季が10/15～10/26、調査時間は9：00～17：00である。温熱環境はベンチ付近の緑陰範囲へ計測機器を設置し、1分間隔で連続自動計測を行なった。都道ではポール等に計測機器を設置し、温湿度を夏季のみ測定した。また、ベンチの利用状況が把握できる位置にインターバルカメラを設置し、静止画の連続自動撮影を行なった。撮影し

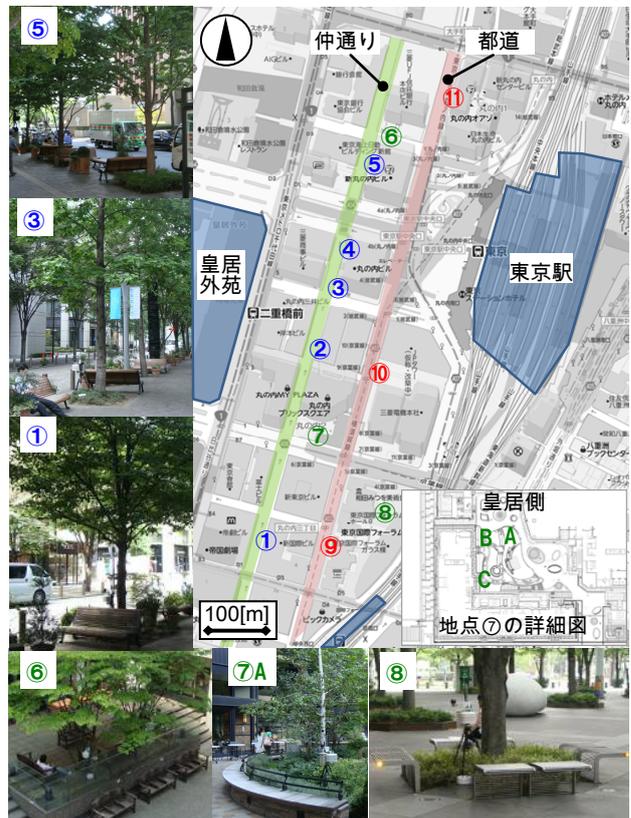


図1 調査対象空間

表1 測定点の特徴

空間特性	測定点	空間構成（樹木特性等）					その他		
		天空率 [%]	緑被率 (天空) [%]	緑視率 [%]	枝下長さ [m]	樹冠幅 [m]	直達日射	空間の特性等	
街路空間	①	1.2	35.7	28.9	2.2	6.4	少	落葉高木主体	
	②	5.0	23.6	14.5	9.0	5.8	無	周辺建物密集	
	③	4.6	40.0	31.5	2.5	7.6	少	ベンチ前にオープンスペース	
	④	9.2	36.4	27.5	2.5	6.1	多	ベンチ周辺に高木無	
	⑤	2.2	33.9	25.0	3.0	7.8	無	前方道路が交互通行	
中庭空間	⑥	2.0	26.3	21.7	1.5	5.5	少	サンクンガーデン	
	⑦	A	14.3	25.6	58.7	1.2	3.3	多	開放的な空間
		B	1.2	30.1	40.7	1.9	8.0	少	周囲に落葉小高木
		C	1.3	37.8	50.3	2.0	7.5	無	建物に近い
⑧	1.6	34.4	22.5	6.0	15.5	少	歩行者通行が多い		

た静止画を目視で確認し、利用人数や時間を地点ごとに抽出した。図2に測定機器の設置状況を示す。

表2 調査項目と方法

調査項目		測定機器・調査方法等		備考
温熱環境	外気温度	温湿度計	RTR53	自動測定① (三脚に固定)
	相対湿度	[日射遮蔽シェルタ付]		
	風速	風速計	200-WS01B-5	
	グローブ温度	グローブ球[直径75mm]	—	
	日射量	日射計	SP-110B-L3	
利用状況	表面温度	表面温度計	RTR52	移動測定①
		サーモカメラ	T390	
	放射収支量	放射収支計	MR-50	移動測定②
	利用人数	インターバルカメラ	CBR-GWC	自動測定② (樹木等に固定)
	利用時間			8/7(日)・8/8(月) 9:00-17:00
利用者属性				
利用者評価				①~⑧において調査員によるアンケート



図2 測定機器の設置状況

(左：自動測定①、中央：自動測定②、右：都道測定)

### 3. 温熱環境調査結果

#### 3.1 夏季および秋季の気象概況

図3(上)に夏季における外気温と日射量の経時変化を示す。解析対象期間の8/7~8/11では、晴天日が続き、日中の気温が30℃を超えている。なお、8/7の15時前後で気温が急降下したのは局所的な豪雨の影響である。東京管区気象台と都道の気温は若干の時間差があるがほぼ等しく、屋外アメニティ空間平均値(10地点の平均値)は両値よりも最大で2℃程度低く推移している。

図3(下)に秋季の外気温と日射量の経時変化を示す。夏季より晴天日が少ないが、10/23~10/26を中心に降雨の無い日を解析対象日とした。昼間のピーク時で屋外アメニティ空間平均値は東京管区気象台よりも最大1.5℃程度低いが、夏季より外気温度差が生じにくい。

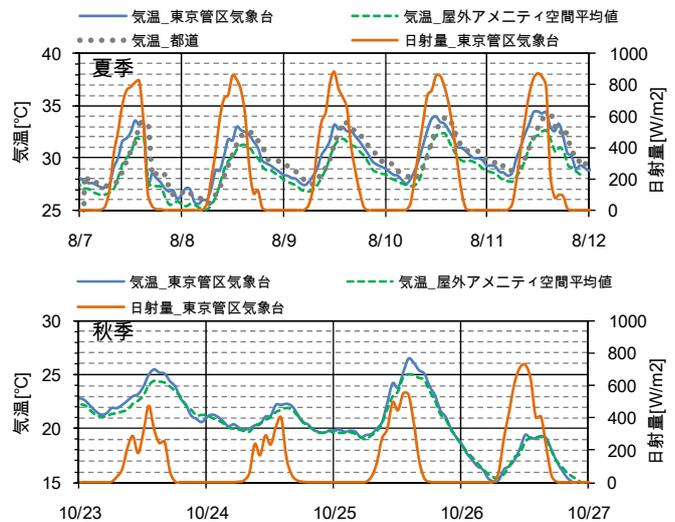


図3 外気温と日射量の経時変化(上：夏季、下：秋季)

#### 3.2 外気温度差の分布図

図4は、夏季(8/11)及び秋季(10/25)における14時の外気温度差の分布図である。外気温度差は東京管区気象台と各地点の差で、バブルの大きさが温度差の値に比例している。夏季はすべての測定点で東京管区気象台よりも気温が低く、その差は最大で3℃程度に達している。また、各地点の温度差にばらつきがあり、地点⑦に温度差の大きい箇所が集まっている。一方で秋季は、東京管区気象台よりも気温が低いものの、その差は夏季より小さく、地点間の差が生じにくい。

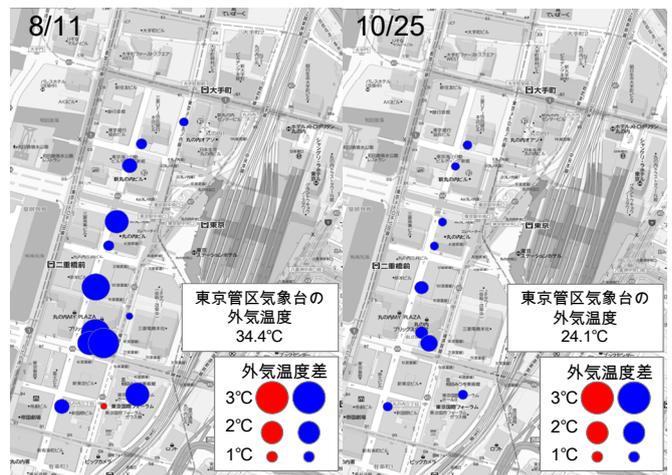


図4 外気温度差の分布図(14:00)

#### 3.3 夏季および秋季の微気象状況

図5に夏季の各地点における外気温、平均放射温度(以降、MRT<sup>注1)</sup>、標準新有効温度(以降、SET\*<sup>注2)</sup>)と風速(以降、4項目を各微気象と表記)の経時変化を示す。各地点とも、SET\*は日中に30℃を超え、地点⑦Aでは40℃近くに達している。これは図7右下の熱画像のように直達日射がベンチに当たり表面温度を上昇させていることから、直達日射によってMRTが高くなることでSET\*が高くなったと考えられる。地点①では12時前後のMRTが他地点に比べ低いことでSET\*が低く維持され、地点②や⑦BではMRTは40℃を超えているが、風速が比較的大きいためSET\*が低く維持されたと考えられる。

図6に秋季の地点①と⑦Aにおける各微気象を示す。地点①では外気温度とSET\*にほとんど差がない。一方で地点⑦Aでは地点①と同様に各温熱環境の値が近いものの、12時前後で直達日射の影響によりMRTが高い値を示しており、SET\*も30℃を超えている。両空間共に直達日射を受ける時間帯を除くと日中のSET\*は20～26℃の範囲となっており、過ごしやすい微気候状況と言える。屋外アメニティ空間の温熱快適性は、日射・放射や風の影響で局所的に差が生じることが確認できる。

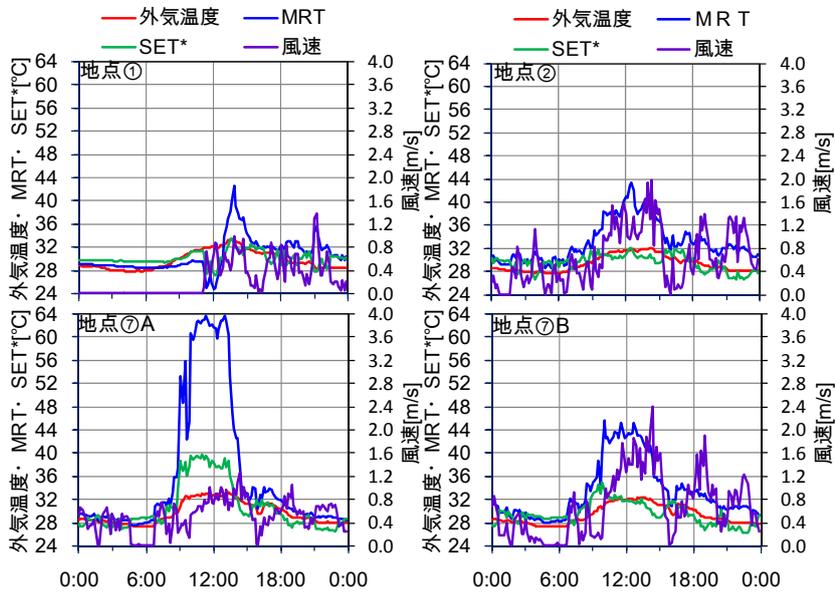


図5 各微気象の経時変化(夏季:8/11)

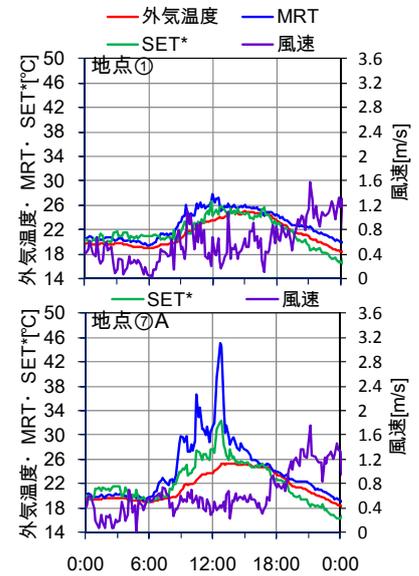


図6 各微気象の経時変化(秋季:10/25)

### 3.4 夏季の微気象の可視化

図7に各地点の熱画像(8/10 13:00撮影)を示す。図7(左上)より、地点①の屋外アメニティ空間が街路と比べ、樹木の緑陰効果で表面温度が低く抑えられていることが分かる。図7(右上)はさらにベンチ付近で撮影したものであり、人が利用する空間の微気象が緩和された結果として、ベンチに利用者が確認できる。また、図7(左下)では地点⑦A近傍に高木がないことで直達日射が入射しベンチの表面温度が上昇している。図7(右下)では街路に加え、道路や建物壁面においても樹木による表面温度上昇抑制が確認でき、このような効果の積み重ねが図3に示すような屋外アメニティ空間の気象緩和に繋がったと考える。

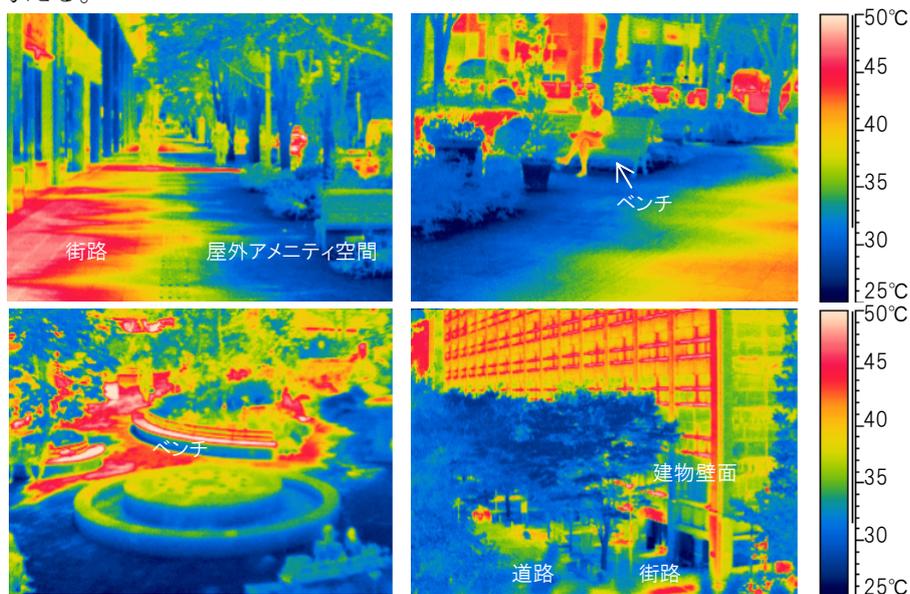


図7 各地点の熱画像

(左上・右上: 地点①、左下: 地点⑦A、右下: 地点①付近の道路・街路・壁面※右下のみ8/11 13:00)

## 4. 利用状況調査結果

### 4.1 屋外アメニティ空間の“過ごしやすさ”に関するアンケート結果

図8に夏季における調査地点の“過ごしやすさ”に関する回答結果(8/7と8/8の結果を合わせたもの)を示す。各地点で回答者数に差が生じたものの、全地点で“快適”“やや快適”の回答者が過半数以上となり、地点⑦Bでは43名が“快適”と回答している。これはベンチ周辺に小高木が多く、緑視率の高さや直達日射量の少なさ等が起因したのではないかと推察する。一方で、地点②は回答者数も少ないが、“快適”の回答が11名と低かった。理由として、ベンチ周辺に建物が密集し、緑被率、緑視率ともに低いことなどが関係すると推測する。空間構成や温熱環境が各地点において異なることで申告結果に差が生じたと考えられる。

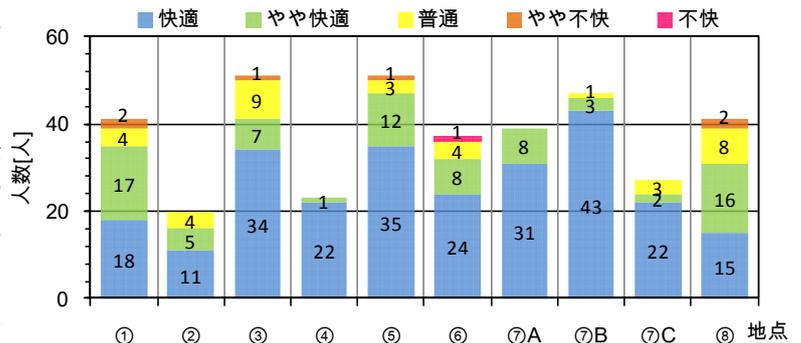


図8 各地点の“過ごしやすさ”に関するアンケート結果

### 4.2 利用人数の度数分布

図9に各利用時間帯(0~50分範囲)における利用人数の度数分布を示す。夏季に比べ秋季は全体的に利用人数が多く、利用時間が長い。街路空間と中庭空間の利用人数の大小関係が逆転する区間(図9矢印)に注目すると、夏季で5~10分、秋季で15~20分の区間となり、夏季は街路空間で短時間利用がほとんどであるが、秋季は利用時間が長くなる傾向にある。また、中庭空間は長時間の利用が多いことが推察できた。

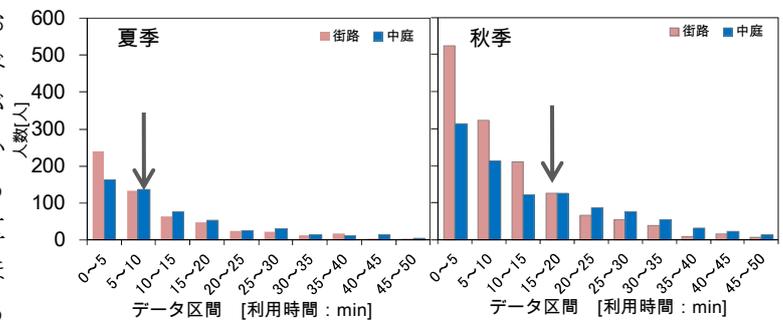


図9 利用人数の度数分布図

## 5 温熱環境と利用状況の関係

### 5.1 SET\*と利用人数の関係

図10に夏季の解析対象期間における調査時間帯のSET\*平均値と各地点の積算利用人数の関係を示す。SET\*が33℃以下では傾向は把握できないが、他地点よりSET\*の高い地点⑥・⑦Aでは、SET\*と利用人数に負の相関の傾向が確認できる。そこで図10右上に地点⑥・⑦Aにおける1時間毎のSET\*平均値と積算利用人数を示す。地点⑦AではSET\*と利用人数に負の相関が見られ、SET\*が36℃を超えると利用人数が0となる時間帯が多くなる。酷暑環境では利用人数とSET\*に負の相関がある可能性が推察できた。

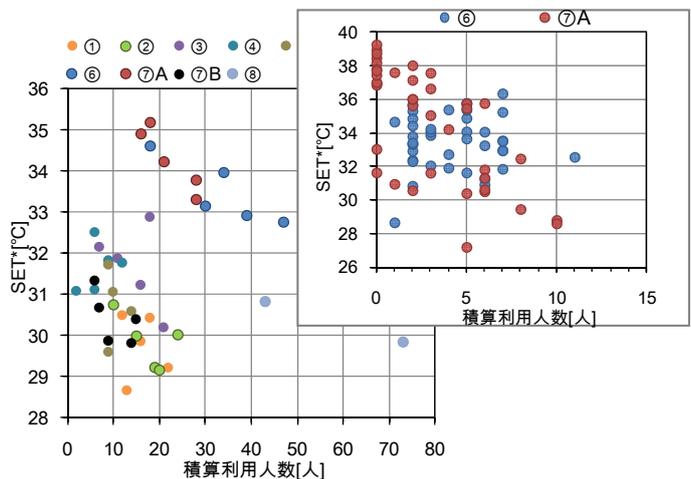


図10 SET\*と利用人数の関係

### 5.2 各温熱環境パラメータと利用時間の関係

図11は夏季と秋季において、街路空間と中庭空間の全ての利用者を撮影画像から抽出し、利用時間と各温熱環境の利用時間内の平均値をプロットしたものである。秋季に比べ夏季は風速が0[m/s]付近では利用時間が短く、0.5~1.0[m/s]近傍が最も利用時間が長いことから、夏季の屋外アメニティ空間利用では微風が必要であることが示唆される。夏季は30分以上の利用には日射量が200[W/m<sup>2</sup>]以下の環境がほとんどである。一方で秋季では日射量が400~500[W/m<sup>2</sup>]であっても30分以上の利用が確認できる

ことから、秋季は夏季よりも日射量の許容範囲が広い可能性がある。また、SET\*の分布の中心である利用時間の最も長い箇所は夏季と秋季で異なり、夏季では30℃近傍、秋季ではばらつきがあるものの25℃近傍と夏季の方が高い。これは夏季の方が暑さに馴化したことで許容できる範囲が広がったためであると考えられる。

#### 4.4 アンケート評価別の各パラメータと利用時間の関係

図12は5.2で報告したグラフのプロットのうち、夏季(8/7・8/8)に行なったアンケートの回答者をカメラ画像とアンケート結果より抽出し、“過ごしやすさ”の申告結果ごとに凡例を色付けしたものである。なお、街路空間のみの結果であり、中庭空間では撮影画像の関係上、アンケート回答者を抽出することができなかった。外気温度では、“快適”との申告者の中でも値にばらつきがあり、風速は対照的に狭い分布となっている。一方で、日射量は“快適”の申告者は短時間利用を除くとほぼ100[W/m<sup>2</sup>]以下で利用しており、4.3で示した200[W/m<sup>2</sup>]よりも低くなっている。SET\*は外気温度に比べるとばらつきが少なく、SET\*と利用時間に負の相関が確認できる。また、各申告の中で最も利用時間の長いサンプルに注目すると“快適”>“やや快適”>“普通”>“やや不快”の順に利用時間が短くなっており、利用時間がSET\*に左右されることが示唆される。

#### 5. 低炭素社会へ向けた屋外空間の有効利用

本論文では、屋外アメニティ空間における温熱環境と利用状況を把握し、屋外を利用する際の温熱環境の許容範囲を推定することができた。図13の横軸のように、屋外利用には大きく分けて①歩行②滞在③仕事の3つの形態があると考えられる。また、図12の縦軸に示すように外気温湿度や風速、日射量等の温熱環境要素やSET\*などの温熱快適性評価指標に対して人が利用できる許容範囲というものが存在すると考えており、その許容範囲内に温熱環境などをコントロールすることが重要である。その際に日当たりの良い空間では地表面温度を下げるだけでなく、日射を遮蔽する樹木や人工日除けなどを採用することが必要となる。

さらに、大都市オフィス街において利用可能な屋外空間を拡大し、屋外利用を促すためには、図14のように2通りの方法があると推察する。大丸有地区のようにパブリックな場としての屋外アメニティ空間を充実させることで、大丸有地区のオフィスワーカーだけでなく、来訪者も気軽に利用できる場が創出されている。また、昨今では自社ビルにプライ

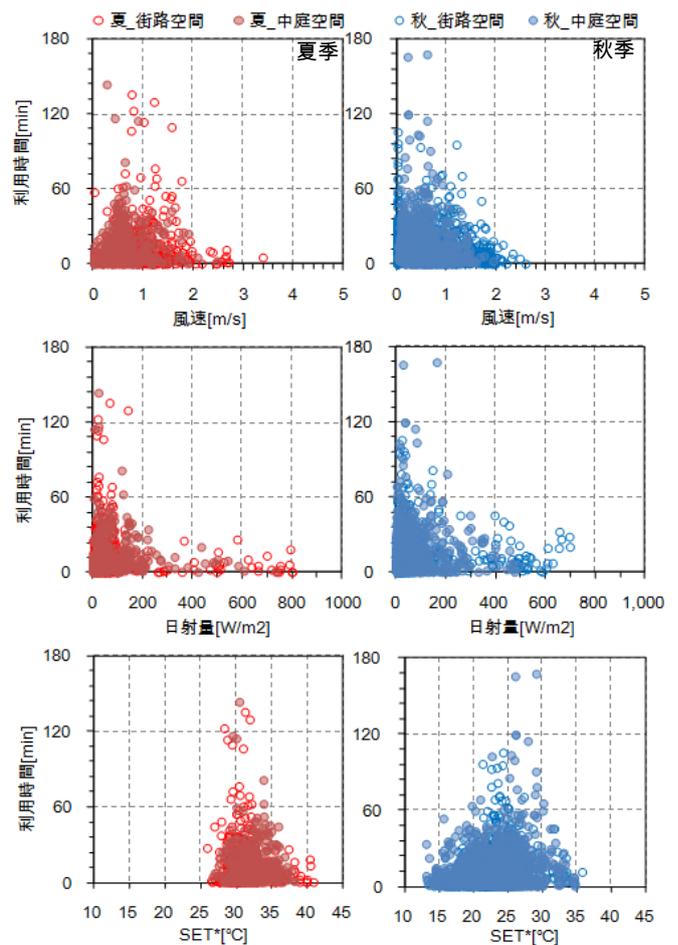


図11 各温熱環境と利用時間の関係

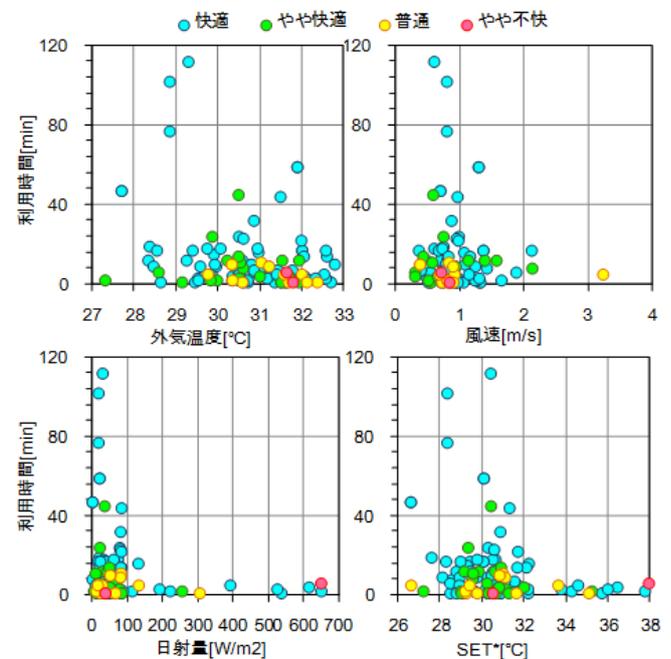


図12 アンケート評価別の各パラメータと利用人数の関係

ベートな屋外オフィスを設ける例もあり、より身近に屋外利用できる機会が増えている。都内某所の屋外オフィスでは、夏季および秋季における温熱環境と利用状況の調査<sup>5)</sup>が行なわれ、特に秋季であればオフィス環境として十分許容できる環境に近づいたことが示唆されている。実際に屋外オフィス利用を組み合わせた働き方によるCO2排出量削減<sup>6)</sup>を目指しており、屋外で仕事をする際に必要な工夫が随所に施されている。

低炭素社会に向けて、屋外利用の幅を広げていくことで、多様なワークスタイルやライフスタイルが実現するとともに、利用促進のためのハード技術適用によってヒートアイランド緩和効果を間接的に生み出す可能性も考えられる。従来のヒートアイランド対策はハード技術を適用することが主であったが、これからは人の利用という観点に立った空間の創出が、ヒートアイランド緩和に結果として結びつくようなまちづくりを目指したいと考えている。今後も屋外空間の有効利用を推進する立場として、低炭素かつ安全なまちづくりに生かせる技術開発に努めたい。

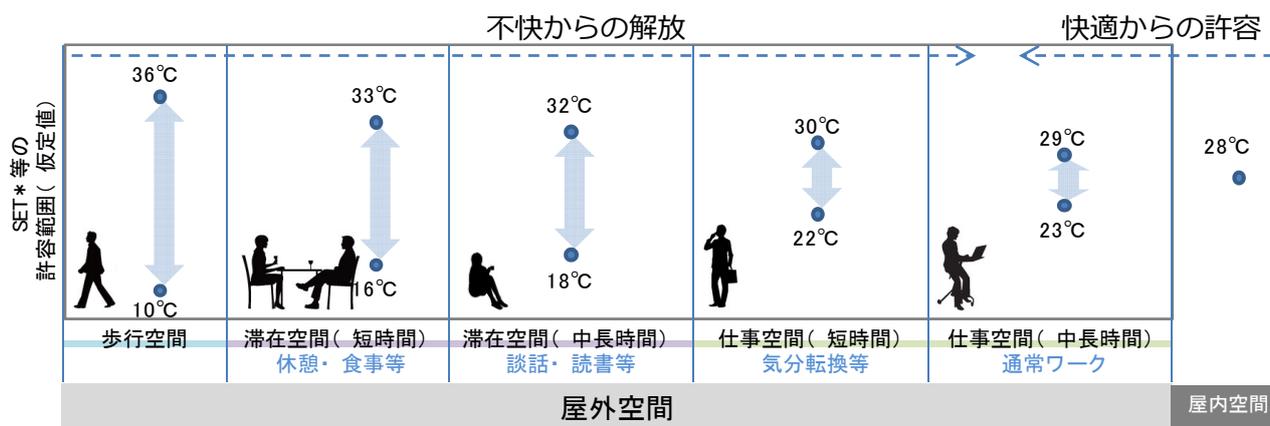


図 13 屋外利用形態別の環境許容範囲のイメージ

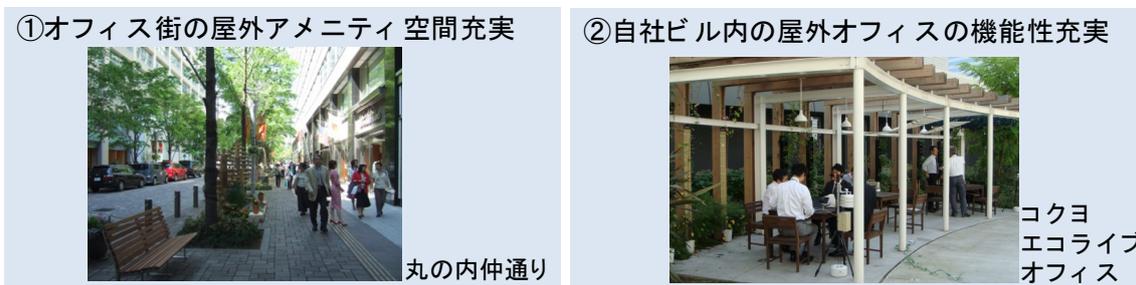


図 14 オフィス街における屋外利用促進

**【謝辞】**

本研究は、本研究の遂行に当たり、(株)三菱地所設計 坪田勇人氏、岩本隆志氏、三菱地所(株) 井上成氏、国富剛氏、近江哲也氏には多大なるご協力を賜りました。また、日本工業大学の岸義真氏、新井庸介氏には解析面でご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

**【参考・引用文献】**

- 1) 環境省；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～、2012年3月
- 2) 赤川宏幸ら；大規模商業施設屋上庭園における夏季の温熱環境と訪問者の滞留特性に関する研究、日本建築学会大会環境系論文集、第611号、pp. 67-74、2007年1月
- 3) 友田誠ら；都市のオープンスペースにおけるアクティビティ評価に関する研究(その2)、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp. 97-100、2010年03月
- 4) 空間の地図には <http://maps.loco.yahoo.co.jp/> を引用した。
- 5) 安藤邦明ら；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(関東)、pp. 815-816、2011年8月
- 6) <http://www.kokuyo.co.jp/creative/ecoffice/>

**【注釈】**

- 注 1) 周囲の全方位から受ける熱放射を平均化して温度表示した値。  
 注 2) 外気温・相対湿度・MRT・風速に加え、人間の着衣量や作業時の代謝量を考慮した物理的、生理的理論に基づく温熱快適性評価指標。SET\*は[参考・引用文献] 5) の論文と同様に算出した。