

街区レベルでの効果的な温熱環境情報提供システムの開発

神戸大学 ○竹林 英樹 1*

暑さ対策	温熱環境指標	クールロード
情報提供	人流データ	行動変容

研究の目的

神戸市では、地球温暖化や都市ヒートアイランド現象による高温化傾向を前提として、人々の生活や健康への影響を回避する方策（適応策）が実施されている。屋外公共空間などでの異常高温対策として、市民の安全で豊かな生活環境の整備の観点から進められている。本研究では、通勤、通学、買い物、観光などが想定される駅前地区、商業地域、オフィス街区、観光地などを対象として、より詳細に温熱環境情報を提供するシステムの可能性を研究した。具体的には、温熱環境指標の時空間分布の予測システムの開発、ミスト、日除け、散水、水盤などの種々の暑さ対策技術を導入した場合の温熱環境分布のシミュレーション方法の整備、利用者に温熱環境情報を提供するシステムの構築を課題とし、これらの情報提供を受けた場合と受けない場合の行動実態を分析して情報提供の可能性を検討した。

研究の内容

1. 温熱環境指標の時空間分布の予測システムの開発

温熱環境指標には、湿球黒球温度（WBGT）、新標準有効温度（SET*）を用いた。気温、湿度、風速などを流入及び上空の境界条件として与え、対象街区内の日射量、地表面温度、風速の空間分布を予測し、WBGT、SET*を算出した。これらの指標の時間変化、空間分布の特徴を分析し、季節（夏期、中間期）や場所（道路方位、位置）に応じた対策の必要性を考察した。空間分布（図 1）の特徴は、建物などによる日向、日陰に支配され、夏期を通してあまり変化せず、9 月には若干日陰箇所が増加した。

2. 暑さ対策技術導入時の温熱環境シミュレーション

日除け、散水、ミスト、水盤などの暑さ対策技術を導入した場合の WBGT、SET*の変化を予測した（図 2）。人体に直接入射する日射量の遮蔽が最も効果が大きく、ミスト噴霧効果が人体に直接及ぶ場合には比較的大きな効果が期待できる。散水、保水性舗装、緑化、高反射率舗装などにより地表面温度は大きく低下する場合があるが、対策面積が小さくないと十分な改善効果には至らない。

3. 温熱環境情報を提供するシステムの検討

神戸市と連携し、駅、バス停、広場などの公共スペースに設置したデジタルサイネージに温熱環境指標の時空間分布を情報提供する可能性、スマホのアプリを介して



図 1 神戸都心部の SET*分布（晴天日、8 月上旬 13 時）

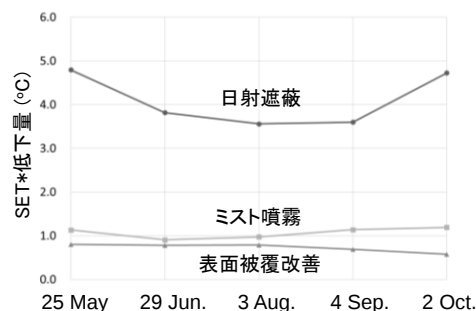
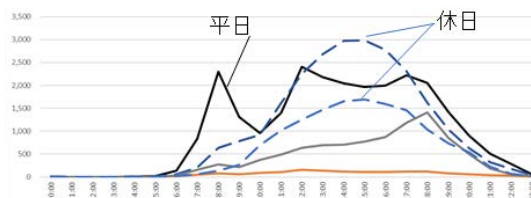
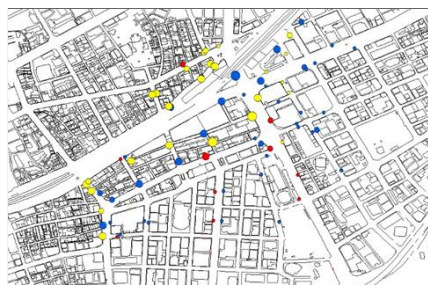


図 2 暑さ対策技術による SET*低下量（晴天日 13 時）



（ある測定点でのクラスター分析結果）



（クラスター分類結果と日平均通過人数）

図 3 人流データの分析結果

登録者、来場者、観光客などに直接提供する可能性を検討したが、いずれも実現には至らなかった。

神戸市より 116 地点の人流データの提供を受け、全地点で典型的な時間変化のパターンを抽出した（図 3）。街区全体の人流の傾向は、大きく平日と休日に分類され、駅から離れた人流の少ない地点は平日と休日の区別は生じないが、駅前の人流の多い地点では、平日と休日の特徴が混合した傾向が確認された。休日の人流の時間変化は午後に高温となる時間と合致する傾向にある。

4. 温熱環境予測システムの検証

2023 年と 2024 年の夏期に実施した熱環境測定結果を用いて、温熱環境予測システムの精度検証を行った。ドローンにより上空より撮影した赤外線画像は、樹木下などの上空から見えない箇所は測定できないが、公園で休憩、活動する市民に対しては直接的で分かりやすい情報提供のツールであると考察された（図 4）。

5. 暑さ対策効果のシミュレーションと実証

車道散水、日除け、ミスト、雨庭、芝生広場、水盤、噴水、保水性舗装、高反射率舗装、クールベンチなどの暑さ対策技術導入による熱環境改善効果のシミュレーション条件を整備した。ミストによる温熱環境改善効果は、周辺建物等の影響を受けた気流分布に依存するため、CFD による気流分布と連成した評価方法を検討した（図 5）。

6. クールロード選定方法の検討

温熱環境指標分布を分析し、クールロードの選定方法を検討した。幅員の小さい道路では弱風となるが、SET* は 1℃程度の上昇に留まる。高幅員で高層建築の影響を受けた箇所では大きな風速となり、SET*は最大 4℃程度低下したが、日向と日陰の 10℃程度の差と比較すると小さい。クールロード選定には日向、日陰の分布が主要因となる。

交差点の手前の日影で信号待ちする歩行者が多く、各歩道のいずれかの箇所に日陰が存在すれば歩行者は暑さを回避できる。歩行区間毎に日陰の有無を判定して暑さ回避可能歩道を特定した。歩行者を暑さが回避できる箇所に適切に案内することで、暑さに暴露され続けるリスクから回避できる可能性があると考えられた。

7. 暑さ回避行動に関する実態調査

暑さ回避場所の情報提供を受けた場合と受けない場合の行動実態を調査し、情報提供の有効性を考察した。建物による影面積の少ない時間には日傘の利用率が増加し、いずれの時間においても歩行者の約半数以上は日陰か日傘により暑さを回避していた。交差点内に情報を提示して人工日除けへ誘導したところ、人工日除け利用回数の割合は増加した（表 1）。情報提示は歩行者の行動変容に一定の効果があると考察された。

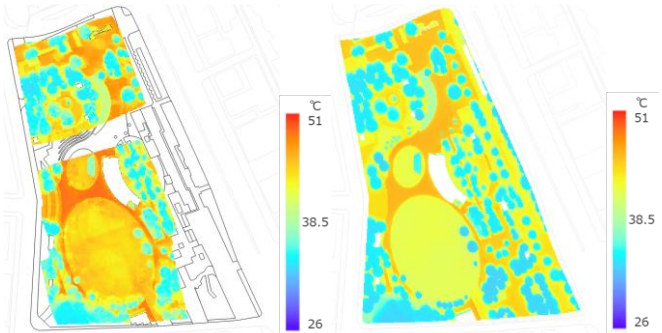


図 4 2024 年 8 月 6 日 12 時の東遊園地内の SET*分布（左：赤外線画像，右：地表面熱収支モデルより算出）



図 5 ミスト噴霧による気温低下量（℃）の計算結果の例

表 1 情報提示前後の人工日除け利用者数（9 月 17 日）

	8:45～9:15		11:45～12:15		13:45～14:15	
情報提示	なし	あり	なし	あり	なし	あり
人工日除けの利用者数（人）	0	3	3	14	比較	4
情報提示を経由した利用者数（人）		2		7	デー	4
人工日除けの最大利用者数（人）	0	2	1	4	タな	2
人工日除けの稼働率（%）	0%	30%	27%	73%	し	22%

研究の成果、新発見

本研究では、街区レベルの温熱環境指標の時空間分布の予測システムが開発された。日除け、ミスト、散水などの暑さ対策技術が導入された場合の温熱環境改善効果がシミュレーションにより算出され、実測結果と比較して検証された。温熱環境指標の時空間分布の算出結果に基づき、歩行者が暑さを回避することができる歩道が特定された。交差点近傍における行動実態の現地調査に基づき、暑さ回避場所の情報提供の有効性が考察された。歩行者の行動変容による暑さ回避の可能性が示唆された。

今後の予定

神戸市では歩行者が信号待ちを行う交差点への人工日除けの設置を検討している。日除けの利用状況を調査し、行動変容による暑熱環境緩和の可能性を検討する。

謝辞

神戸市建設局技術管理課の戸澤潮様、大崎紗恵子様、佐野俊幸様を中心に関係部局の皆様の協力を得て実施しました。ご協力頂いた皆様にお礼申し上げます。