住宅密集地域における路地空間および住戸内の夏期温熱環境に関する研究

A STUDY ON THERMAL ENVIRONMENT OF AN ALLEY AND HOUSES
IN A DENSELY POPULATED AREA DURING SUMMER

辻 政宏*, 銚井修一**

Masahiro TSUJI and Shuichi HOKOI

A survey and analysis on thermal environment of an alley and houses in a densely populated area in Osaka, known for the severely hot climate in summer, were carried out. It was found that the incident solar radiation had a significant influence on the thermal conditions and energy consumption, and the cooling effect by water-evaporation was high. Several techniques to improve the thermal environment in summer were examined. Appropriate (movable) eaves, high-albedo material for roof and water sprinkle on the ground or roof were found to be very effective. When these all are introduced together, a cooler environment and reduction in energy consumption for cooling could be achieved.

Keywords : Densely populated area, Alley space, Thermal environment, Improvement, Air-conditioning

住宅密集地域, 路地空間, 温熱環境, 改善, 冷房

1.はじめに

1-1.本研究の背景

近年、多くの都市において高温化問題が深刻になりつつあり¹⁾、都市の温熱環境を形成している種々の要因についての解明が必要とされている。しかし、様々な用途・規模の建造物で構成される都市全体を対象とするのは非常に困難であり、まずは都市において特徴的と考えられる空間の熱的性状の把握を行うことが現実的であろう。都市空間の温熱環境を扱った研究には、市街地のキャビティ空間の熱的解析²⁾や同空間における人体の熱負荷の検討³⁾、建物の形状⁴⁾や表面材質⁵⁾が都市キャニオンの温熱環境に及ぼす影響を検討した研究がある。また、建物と都市大気との伝熱を連成させたモデルによる解析^{6)~9)}も行われている。これらの研究で想定されているのは、いずれも中層以上のビルや複数車線の道路から構成される比較的大きな街区である。一方、いわゆる住宅密集地域と呼ばれる地域では、人口密度の高さや狭小な空間形状等が原因となって特徴的な温熱環境が形成されている可能性がある。都市全体に占める面積率も決して小さくないにもかかわらず、このような地域の温熱環境を対象とした研究はあまりなされていない。また、資源の有効利用や地域コミュニティの活性化といった観点から言えば、大規模な再開発による都市整備だけでなく、住宅密集地域等における既存住宅の補修等も検討されることが望まれる。

1-2.本研究の目的

以上の観点より、既報 10) では大阪市内の住宅密集地域約 0.25km²の範囲に点在する複数の住戸を対象として、エネルギー消

費量や室内温熱環境を調べた。調査期間は夏期と冬期のそれぞれ約 2 ヶ月間で、数十戸からの取得資料をもとに対象地域の温熱環境の特性把握を試みた。その結果、「対象地域において夏期の住戸内温熱環境は良好とは言えず、冷房使用量が他地域、特に大阪市と比較しても非常に大きい」ことが明らかとなった。また、解析を通して対象地域の路地空間の温熱環境を大略把握し、種々の改善策の効果を予測した。しかし、この解析は単一路地空間における実態調査の結果に基づくものではないため、外界条件等の入力値の一貫性が満足されておらず、解析モデルの再現性の検証も課題として残されていた。

そこで、本研究では上述の点を明らかにすべく、既報 10) と同一地域内の単一路地空間および住戸内における夏期温熱環境の調査を行った。温熱環境の性状把握を図るとともに、解析に用いるデータを収集し、解析モデルの作成を行い、その結果から温熱環境を定性的・定量的に調べた。最後に、調査と解析の結果をもとに、既存住宅の補修や簡易設備の設置による夏期温熱環境の改善策を検討した。

2.住宅密集地域における温熱環境調査

2-1.調査の概要

調査は 2000 年 8 月 1 日から 3 日間、午前 9 時から午後 5 時 (3 日目は午後 3 時) まで、大阪市西成区の住宅密集地域にて行った。

調査対象に選んだのは、図 1 に示すこの地域で一般的と考えられる南北方向に長い路地と、この路地の東西に接して並立する住戸群である。路地は南北の長さが約 36m、東西の幅が 3.3m であり、周辺住戸は高さが 6.5m 程度、奥行きが 8.5m 程度である。なお、こ

本論文は第 3 回近畿環境工学シンポジウム(主催: 日本建築学会近畿支部環境工学部会, 2001.10.26)での発表に加筆・修正したものである。

* 京都大学大学院工学研究科 修士課程

** 京都大学大学院工学研究科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kyoto University
Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.

の路地では、自動車・バイクの通行は禁止されている。

外部測定は、対象路地から北に 15m ほどのところに存在する 4 階建て建物の屋上（以後、『4 階建物屋上』と呼ぶ）と路地空間にて行った。温湿度や風速・風向については、住戸の 1 階に相当する路地下部と 2 階に相当する路地上部（図 2、住戸 A の屋上）で測定した。図 2 に各測定地点を、表 1 に測定項目を示す。

住戸に関して、路地の北端に位置する 2 戸については、その規模や用途が他の住戸と著しく異なるので、これらの住戸とその間の路地空間は調査対象外とした（図 2）。この 2 住戸を除けば、一戸建住宅が 14 戸、4 部屋から成るアパートが 1 棟存在する。いずれも住居専用で、全部で 16 世帯が居住しており、室内 14 ヶ所で温湿度を測定した。また、2 時間毎のメーター検針による電気・ガス使用量の調査を行い、協力の得られた 8 世帯では冷房使用時間も調べた。

図 1 対象路地の概観

図 2 調査対象路地の概略図

表 1 測定項目

測定場所	測定項目	測定数	記録間隔	測定機器
4 階建物屋上	温湿度	1	1 分	小型温湿度計
	日射量	2	2 分	全天日射計
	風速	1	2 分	熱式風速計
	風向	1	随時	簡易式吹流し
路地空間	温湿度	下部: 8、上部: 1	1 分	小型温湿度計
	風速	下部: 3、上部: 1	2 秒	熱式風速計
	風向	下部: 3、上部: 1	随時	簡易式吹流し
	グループ温度	下部: 2	1 分	小型温度計
	室外機吹出し温度	5	1 分	小型温度計
	表面温度	-	随時	赤外線放射温度計
室内	温湿度	14	1 分	小型温湿度計

2-2. 調査結果

(1) 調査期間中の気象条件

図 3 に、4 階建物屋上で測定された日射量および気温と、大阪管区気象台で測定された気温¹¹⁾を示す。8 月 1 日の午前 9 時ごろ、同日の夕方 5 時ごろ、そして 2 日の午後 1 時ごろに気温の急低下と日射量の急減少が見られるのは、降雨のためである。

4 階建物屋上と大阪管区気象台で測定された気温を比較すると、前者で気温が高くなっている。この理由として、地域差による要因も考えられるが、夜間や降雨時に差がほとんどないことを考えると、日射により高温となった屋上面からの熱流によって 4 階建物屋上で局所的に気温が高くなっている可能性が高い。したがって、解析時には上空の気温として気象台データを用いることにする。

図 3 調査期間中の日射量と気温

(2) 路地空間の調査結果

・温湿度

路地下部の温湿度は、路上 0.3~2.1m の高さで測定した。

図 4 は路地下部の東西 2 地点での温湿度を示すが、降雨の際に気温の急低下と絶対湿度の急上昇が見られる。また、気温のピークは東側では正午以降に、西側では午前 11 時にある。これは、日射により温度の上昇した壁面や地面からの熱流が周辺の空気を暖めているためと考えられる。この傾向は図 5 に示した全地点においても見られ、日射の影響は大きい。また、路地下部で測定した温度については、路地の長軸方向や鉛直方向に有意な差は見られなかった。

図 4 路地下部の東西 2 地点での温湿度変動

図 5 路地下部の全地点での温度変動

・グローブ温度

図6に、路地下部の東側・西側でのグローブ温度とその近傍の気温を示す。グローブ温度も東側・西側それぞれで気温と同様の時間帯にピークを示すが、その値は気温よりもかなり高い。ピークの前後で風速は大きく変化しておらず、グローブ球に直接当たる日射や周壁面からの長波放射の影響が大きいと考えられる。

図6 グローブ温度

・表面温度

図7の(a)は、路地空間に強い日射が入射した時間帯(8月3日12時28分)に赤外線放射温度計を用いて表面温度を撮影したもののだが、地面温度は大部分で50℃以上になっている。一方、庇によって地面に影ができていない部分では30℃前後となっている。なお、対象路地の地面はアスファルト舗装であった。

また、(b)は植木への水やりによって地面が濡れた部分を撮影したもののだが、撮影時(8月2日11時04分)は曇りだったにもかかわらず、濡れているところと濡れていないところで最高5℃以上の温度差があった。水分蒸発による冷却効果は非常に大きいと言える。

図7 赤外線放射温度計による表面温度

・風速・風向

風速・風向の測定は、4階建物屋上1カ所、路地下部3カ所および路地上部1カ所で行った(図2参照)。

路地下部3地点での測定結果については、平均値・最大値・最小値のいずれにおいても、特に大きな違いは見られなかった。風向はほとんどが路地の長軸方向(北から南あるいは南から北の風)であったこととも考え合わせると、路地空間内では長軸方向に沿って、

ほぼ一様の風が流れていると考えられる。

路地上部での風速は概して路地下部より大きかった。また、日中の風向はほとんどが西から東であった。これは、大阪湾からの海風の影響だと思われ、この傾向は4階建物屋上でも同様だった。

なお、路地空間の下部と上部における風速・風向の測定結果は、流体解析による結果^{12)・13)}と同様であった。表2に結果をまとめる。

表2 風速・風向測定結果のまとめ

	路地下部	路地上部	4階建物屋上
平均風速	0.67m/s	1.02m/s	4.21m/s
風向	主に路地長軸方向	主に西から東	主に西から東
備考	長軸方向にほぼ一様の風が吹いている	大阪湾からの海風の影響が大きい	大阪湾からの海風の影響が大きい

(3) 住戸内の調査結果

・住戸特性

アンケートの協力が得られた8世帯の住戸特性を表3に示す。多くの住戸が風呂を有していないことはこの地域の特徴とも言える。

表3 主な住戸特性

住戸	構造	築年	階数	延べ床面積	居住人数	風呂の有無
A	木造一部鉄骨造	S30	2	99m ²	4	無し
E	木造	不明	2	45m ²	3	無し
I	RC	不明	2	33m ²	1	有り
L	木造	不明	2	80m ²	3	無し
M	木造	T7	2	66m ²	2	無し
N	木造	S50	2	99m ²	2	有り
Q	木造	T5	2	66m ²	1	無し
R	木造	不明	2	99m ²	不明	無し

・温湿度

室内温湿度の測定結果の一部を図8に示す。

L宅1階の部屋ではほぼ終日冷房を使用しており、室温・絶対湿度ともに低い値で推移している。また、冷房による除湿のため、室温と絶対湿度は相似した変動をしている。測定期間中に全く冷房を使用しなかったN宅2階では、30～34℃という非常に高い範囲で温度は推移している。また、絶対湿度も高く、良好な温熱環境が形成されているとは言えない。

図8 室内の温湿度変動

・室内発熱量(推定値)

電気・ガスの消費量調査等の結果から室内発熱量を推定する。

電力消費に伴う発熱は、関西電力から入手した過去2年間の月最低電力消費量(これを『最低消費電力』と呼ぶ)から求めた。

ガスについては、給湯に関連した消費が多いと推定されるが、ごく一部の世帯しか風呂を有していないこと(表3参照)や夏であることを考慮して、消費されたガスは全て室内発熱として加算した。

人体からの発熱量は、1階、2階における在室人数をアンケート結果や冷房使用時間、あるいは生活パターンからそれぞれ推定し、1人あたりの発熱量を乗じて求めた。

以上の計算から得られた室内発熱推定量を図9に示す。なお、電

気とガスによる発熱量は全て1階室内で発生するとした。

図9 1戸あたりの室内発熱量

・冷房による除去熱量（推定値）

冷房用消費電力を全消費電力から最低消費電力を減じて算出し、室内での冷房による除去熱量を求めた。このとき、冷房の成績係数は2.8として除去熱量を計算した。東側1階、東側2階、西側1階、西側2階への配分は冷房使用時間の調査結果から決定した。

夕方に1階での冷房使用量が大きいのは夕飯時に家族が1階に集まるため、夜から朝にかけて2階で冷房使用量が大きいのは多くの寝室が2階に位置するためだと考えられる。また、日中は外出中の住民が多く、ほとんど2階では冷房が使用されていない。

図10 全住戸での冷房による除去熱量

3.住宅密集地域における温熱環境解析

3-1. 解析の概要

実際の路地空間や住戸は非常に複雑な幾何形状を有するが、計算の簡易化のため、図11や図12に示すような直方体の集合から成る簡単なモデルを用いて解析を行う。路地の幅を3.3m、奥行きを36m、住戸の間口を4.5m、高さを6.5m、奥行きを8.5mとし、住戸の各階の高さは、1階が3m、2階が3m、屋根裏が0.5mとした。また、各住戸の1階と2階の部分には窓を設けた。これらの寸法は、調査対象の路地や住戸の寸法をもとにして決定した。

路地空間に隣接する東西の住戸群はそれぞれ8戸から構成されているとしたが、計算の際には東西の住戸群の1階、2階、屋根裏をそれぞれ1つの室内とみなし、それぞれの室温は均一とした。

路地空間と各室内における熱収支に関しては、図13の断面図中に矢印で示した各熱移動を考慮し、次の式(1)、(2)を考える。路地空間温度は路地全体で均一であるとする。

$$\text{路地空間: } c\gamma V_A \frac{\partial \theta_A}{\partial t} = Q_w + Q_g + Q_u + Q_{ac} \quad \dots (1)$$

$$\text{室内: } c\gamma V_i \frac{\partial \theta_i}{\partial t} = Q_{wi} + Q_{fi} + Q_{ci} + Q_{si} + Q_{inl} - Q_{aci} \quad \dots (2)$$

$c\gamma$: 空気容積比熱 [J/m³℃], t : 時間 [s], V_A : 路地空間の体積 [m³], V_i : 室内空間の体積 [m³] (各 Q については図13を参照)

空気の流れに伴う熱移動は路地上空との間でのみ起こるとし、これを、換気回数を用いて表すことにより解析を実行した。他の各境界条件については、表4にまとめた。

壁や地面の温度分布を考慮するため、壁は鉛直方向に10cm分割、地面は水平方向に10cm分割にして数値解析を行った。

日射量は4階建物屋上での測定値を用いた。路地は南北に十分長いとし、影の南北方向の分布は無視し、日射反射は2回考慮した。

室内側の計算方法としては、

- 実測で得られた室温を室内側の入力値として与え、その室温を達成するために必要とされる冷房による除去熱量を計算する
- 電力消費量調査の結果等から推定される冷房による除去熱量を室内側の入力値として与え、そのときの室温を計算するという2通りが考えられる。本解析では、1階室内に関しては室温のデータが十分に得られたのでiの計算方法を用い、2階室内に関しては室温よりデータ数の多い冷房による除去熱量の推定値を入力値として与えるiiの計算方法を用いた。

図11 路地空間モデル

図12 住戸モデル

θ_A : 路地空間温度 [℃], θ_i : 室内温度 [℃], θ_U : 路地上空温度 [℃], Q_{wi} : 壁から室内への熱流 [W], Q_{fi} : 住戸屋上温度 [℃], Q_{ci} : 床から室内への熱流 [W], Q_w : 壁面から路地空間への熱流 [W], Q_g : 天井から室内への熱流 [W], Q_u : 地面から路地空間への熱流 [W], Q_{si} : 窓からの透過日射量 [W], Q_u : 上空との換気による路地空間への流入熱量 [W], Q_{ac} : 室内発熱量 [W], Q_{ac} : 冷房室外機からの排熱量 [W], Q_{aci} : 冷房による除去熱量 [W] (室内側の記号の添え字 $E1, E2, E3, W1, W2, W3$ はそれぞれ東側1階、東側2階、東側屋根裏、西側1階、西側2階、西側屋根裏を表す)

図13 路地空間および住戸内での熱移動

表4 境界条件

境界面	境界条件
路地上空	気象台データを使用
路地側面(南北端)	断熱
住戸背面	断熱
住戸側面(南北端)	断熱
土壌	地中5mの地点で17℃一定

住戸の壁・窓・屋根・床・天井と地面の詳細な構造を図14に示す。これは調査対象地域の住戸特性をもとに決定した。夜間放射を壁面・屋根・地面で、降雨の際の水分蒸発¹⁴⁾を屋根・地面で考慮した。初期条件は路地空間温度、2階と屋根裏の室温、住戸各部の温度をいずれも28℃、土壌は17℃とし、路地空間温度が周期的定常に達するまで繰り返し計算をした。冷房の成績係数は2.8とし、伝達率等には以下の数値を、各物性値には表5の値を用いた。

外気側総合熱伝達率 : $\alpha_o=23.2$ [W/m²K]
 室内側総合熱伝達率 : $\alpha_i=9.3$ [W/m²K]
 外気側湿気伝達率 : $\alpha_{o,s}=1.64 \times 10^{-2}$ [kg/m²s(kg/kg)]
 中空層熱抵抗 : $r=0.2$ [m²K/W]

図14 各部位の構造

表5 物性値

		熱伝達率 [W/mK]	容積比熱 [J/m ³ K]	日射反射率 [-]	長波放射率 [-]
表面材	モルタル	1.30	1.60*10 ⁶	0.3	0.8
	窓ガラス	0.78	1.96*10 ⁶	0.1	0.9
	瓦	0.96	1.52*10 ⁶	0.2	0.9
	アスファルト	0.73	2.06*10 ⁶	0.1	0.9
内部材	しっくい	0.62	1.64*10 ⁶	-	-
	合板	0.14	6.50*10 ⁵	-	-
	岩綿	0.04	8.40*10 ⁴	-	-
	土	0.61	1.58*10 ⁶	-	-
	空気	-	1.30*10 ³	-	-

3-2. 解析プログラムの再現性の検証

3-1で概要を述べた解析方法で、どれほど住宅密集地域の温熱環境を表現できているかを検証した。換気回数を50回、70回、100回と変化させて解析を行った。その結果を図15に示す。

路地空間温度を均一とした本解析では、解析値が路地下部と上部の測定値の間に収まるのが妥当であると考え、換気回数を70回としたときにもっとも再現性がよい。

ここで、換気回数についての検討を簡単に行う。路地空間と路地上空の境界面の半分において路地上空から路地空間にある風速で空気が流入し、残り半分において路地空間から路地上空へ同一の風速で空気が流出していると単純に仮定し、その風速を v [m/s]とすると、換気回数 n [回/h]は上空との境界面の半分から流入する空気

の体積を路地空間の体積で除することによって求め、これは $n=v \cdot \{(3.3 \times 36)/2 \times 3600\} / (3.3 \times 36 \times 6.5)$ となる。この式を用いると、換気回数70回は境界面での風速が0.25m/sであることに相当する。これは風速・風向測定の結果や研究12)、13)の流体解析結果と照らし合わせても、妥当な数値であると言える。したがって、実際には時間的に風向・風速の変動はあるが、これ以降、換気回数は70回として計算する。

結果は省略するが、2階室温、1階室内からの冷房排熱量、路地各部の表面温度をそれぞれ測定値(冷房排熱量に関しては推定値)と比較したが、いずれも測定値をよく表現できていた。

図15 路地空間温度の解析値と測定値の比較

3-3. 解析結果の考察

(1) 路地空間におけるSET*

路地空間の温熱環境を気温のみで議論するのは不十分である。降雨時の湿度上昇や放射の影響も考慮するため、路地空間の中央で静止立位状態の人間を想定し、SET*を算出した¹⁵⁾。

路地空間に日射が入射する時間帯には、SET*は40℃近くにもなっている(図16)。22~26℃程度が中立の温度感覚の範囲と考えると¹⁶⁾、対象地域の路地空間の温熱環境は劣悪である。これは同図に示したように、平均放射温度が日中に非常に高くなることが原因である。また、降雨の際には湿度が上昇するが、日射量減少や水分蒸発の効果でSET*は大きく低下している。

図16 SET*の計算結果

(2) 路地空間に流入する熱量

路地空間に流入する熱量の内訳を図17に示す。

マイナスで表示しているのは路地空間から流出する熱量であり、主に上空に熱が流出し路地空間の熱収支が保たれている。

東側壁面、西側壁面、地面に日射が当たる時間帯には、それぞれの面からの熱流が非常に大きくなっており、路地空間への入射日射量の影響の大きいことが分かる。夜間から早朝にかけては、東西の各壁面では夜間放射により壁面温度が路地空間温度よりも低くなり、路地空間から壁面への熱流が発生している。一方、地面においては夜間放射によって熱が逃げていくが、それ以上に日中に熱を蓄えている地中から地面への熱流が発生しており、路地空間温度より地面

温度が低くなることはなく、地面から路地空間への熱流が発生している。しかし、これらはいずれも非常に小さな値である。また、降雨の際には、温度が低下した地面に熱が吸収されており、水分蒸発による冷却効果の大きさがうかがえる。相対的に、冷房排熱は夜間に大きな影響を有していると考えられる。

図 17 路地空間に流入する熱量の内訳

(3) 冷房室外機からの排熱量

全住戸の冷房室外機からの排熱量の内訳を図 18 に示す。

1 日を通して、冷房排熱量の内訳として室内発熱が占める割合が大きい。しかし、電気やガスの使用量等から判断する限り、他地域と比較して対象地域の各世帯で特に室内発熱が大きいとは考えられない。したがって、温熱環境改善という観点からは他の要因による冷房負荷を削減することが必要である。

壁や屋根からの熱流は、日中かなり大きな値となっている。これは、日射によって壁や屋根の温度が上昇するためであり、ここでも日射の影響が大きいことが分かる。窓からの透過日射量も、壁や屋根からの熱流量と同程度となっている。

図 18 全住戸からの冷房排熱量の内訳

4. 住宅密集地域における温熱環境の改善策の検討

4-1. 改善策の個別検討

2、3 節の温熱環境の調査と解析から、路地空間の温熱環境の改善方針として、①壁面からの熱流を減少させる、②地面からの熱流を減少させる、③路地空間への冷房排熱を減少させることが挙げられ、住戸内の温熱環境の改善方針として、①'壁からの熱流を減少させる、②'屋根からの熱流を減少させる、③'窓からの透過日射を減少させることが挙げられることが分かった。この方針に基づく種々の策が、どれほどの改善効果を有するかを調べた。評価には、路地空間に関しては SET* を、住戸内に関しては室温を固定条件とし冷房排熱量の増減率を用いた。表 6 にその結果をまとめた。

表 6 種々の改善策とその効果

改善策（改善方針）	路地空間での改善効果	住戸内での改善効果
壁での高アルベド材使用（①、①'）	△	◎
屋根での高アルベド材使用（②'）	○	◎
地面での高アルベド材使用（②）	×	×
壁の断熱性向上（①'）	△	△
屋根の断熱性向上（②'）	△	○
日射透過率の小さな窓ガラスの使用（③'）	△	○
窓面積の縮小（③'）	△	○
日中の庇の設置（①、②、①'、③'）	◎	◎
屋根への散水（②'）	○	◎
地面への散水（②）	○	○
冷房排熱の有効処理（③）	○	○

◎：効果が大きい、○：効果がある、△：時間帯によっては悪化、×：悪化

4-2. 改善策の総合的な検討

住宅密集地域における温熱環境の改善を検討する際、住民が多くの時間を過ごす住戸内の改善を重視すべきであるが、路地空間も隣住民が集う場所あるいは通過する空間として軽視できない。そこで、表 6 に示した改善効果が、路地空間と住戸内の双方で『◎』あるいは『○』であった改善策を組み合わせ導入することを考える。

屋根の日射反射率を 1.0、散水した地面と屋根は常時湿潤状態、また、地域熱供給システム¹⁷⁾等における熱源として冷房排熱を利用する（路地空間には排熱しない）という理想的な状況を想定し（このことを以下『冷房排熱 100%を有効処理』と表現する）、改善効果を調べた。その結果を、図 20 の『屋根の日射反射率 1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱 100%を有効処理』に示す。このとき、冷房排熱量は約 25%も減少しており、住戸内における改善効果は非常に大きい。路地空間における SET* は日中には 30℃を大きく上回っており、厳しい暑熱環境となっている。

そこで、路地空間にでもっとも大きな改善効果が得られた庇の導入をさらに図 19 に示す位置に（可動）庇を設置した場合、日射の遮蔽というプラスの効果と、路地上空との換気の減少というマイナスの効果が生じる。夜間は日射遮蔽という効果はないため、日中のみ庇を広げ、夜間は庇をたたむといった調整を行えば、プラス側の効果が大きくなる。日中のみ庇を広げることを想定し、庇の長さを 1.5m、換気回数が 10 回に減少するとして計算した結果を、図 20 の『屋根の日射反射率 1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱 100%を有効処理+庇 1.5m・換気回数 10 回/70 回』に示す。

図 19 庇の設置位置

	屋根の日射反射率 1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱 100%を有効処理	屋根の日射反射率 1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱 100%を有効処理+庇 1.5m・換気回数 10 回/70 回
冷房排熱量増減率 [%]	-25.2	-38.2

図 20 複数の改善策導入による改善効果
（上図：路地空間における SET*、下表：冷房排熱量の増減率）

庇の導入後は、冷房排熱量がさらに 10%以上削減される上、日中

の路地空間でのSETも大きく低下している。住宅密集地域における温熱環境を大きく改善するには、適切に（可動）底を導入することが非常に大きな役割を果たすと言える。

4-3. 冷房使用量の削減を考慮した総合検討

夏期温熱環境の改善を検討するときに、もっとも望ましいのが「冷房を極力行わず良好な温熱環境を達成する」ことである。そこで、全ての室内において3・1節で述べた室内側の計算方法のiiを用い、入力値である冷房による除去熱量（以後、『除去熱量』と言う）を変化させることによってどのような室温が得られるかを調べた。

なお、図20に示した結果と同様、路地空間における温熱環境は底の導入によって大きく改善され、除去熱量の違いによる差はほとんどなかったため省略し、室温の計算結果は東側1階、東側2階、西側1階、西側2階の平均で示している。

(1) 冷房を全く使用しない場合

まず、冷房を全く使用しない場合（以後、『冷房無し』と言う）について検討した。改善策の導入前の結果を、図21の『冷房無し』に示す。冷房を使用しないため、室温は当然ながら高い。『屋根の日射反射率1.0+地面・屋根に散水+底1.5m・換気回数10回/70回』という総合改善策を導入した場合（図21、『冷房無し+総合改善策』）でも、室温は依然として現状よりも高い。しかし、このとき路地空間の気温が室温よりも低いことに着目し、室内と路地空間との間で換気を行った場合（図21、『冷房無し+総合改善策+換気5回』）、現状と同程度の室温が得られる。

図21 『冷房無し』で総合改善策を導入した場合の室温

(2) 冷房を使用する場合

総合改善策を導入した上で除去熱量を削減したときに、どのような室温が形成されるかを調べた。なお、総合改善策とは『屋根の日射反射率1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱100%を有効処理+底1.5m・換気回数10回/70回』を指す。

総合改善策導入後に現状の冷房を行った場合（図22、『現状+総合改善策』）には、冷えすぎという感がある。除去熱量を30%削減した場合には現状よりもやや低い室温が、除去熱量を50%削減した場合には現状と同程度だが安定した室温が形成されている。

現状程度の室温でよしとするならば、省エネという観点から先述の『冷房無し+総合改善策+換気5回』を導入するのがよいが、換気が改善策となり得るのは、路地空間の気温が室温よりも低いときに限られ、その効果は不安定とも言える。安定した室温を望む場合には、総合改善策を導入した上で除去熱量を50%程度削減し、現状に近い室温を達成するという選択肢もある。

除去熱量の削減と室内環境について図23にまとめた。最終的に

どれを最善策とするかは、住民に委ねるべき問題であろう。

図22 『除去熱量』の削減時の室温

図23 『除去熱量』の削減と室内環境

5. 結論

大阪市内の住宅密集地域の路地空間および住戸内を対象に夏期温熱環境の調査・解析を行い、その性状を定性的・定量的に把握し、その上で改善策の検討を行った。

対象とする住宅密集地域の夏期温熱環境は、主に路地空間に入射する日射によって厳しいものとなっている。ただ、降雨時には温熱環境の悪化はかなり抑えられていた。室温も冷房無しでは非常に高温となっており、不良な温熱環境が明らかとなった。

これに対して、適切な底の設置や屋根への高アルベド材の使用により日射の影響を小さくすれば、温熱環境は大幅に改善されることが分かった。また、地面や屋根への散水も効果的である。

『屋根の日射反射率1.0+地面・屋根に散水+冷房排熱100%を有効処理+底1.5m・換気回数10回/70回』という総合的な改善策を導入すると、路地空間の温熱環境は適切なレベルまで改善される。また、住戸内の温熱環境に関しては、総合改善策と換気の導入によって、冷房を使用しなくても現状と同程度の室温を得ることは可能である。省エネを重視するならばこれが最善策であるし、より安定した低温の室内環境を追求するならば冷房の使用は不可欠である。

【謝辞】

本研究は地域環境計画委員会（委員長：松本衛）のエネルギー小委員会の下で行われた研究の一部である。

本調査を行うにあたり、街づくり委員会、西成区の調査対象住戸、関西電力、大阪ガスの方々には多大なる協力をいただきました。また、当時京都大学大学院生であった西村秀彦氏には、本研究に対して助言をいただきました。ここに、感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 環境省: <http://www.env.go.jp/press/press.php3?serial=1467> 「平成11年度ヒートアイランド現象抑制のための対策手法報告書」について
- 2) 中村泰人他: 二次元長方形市街地空間における表面の温度および熱流に関する解析的研究, 日本建築学会計画系論文集第367号, pp.8-14, 1986.9
- 3) 中村泰人他: 二次元長方形市街地空間の路上にある人体の熱負荷に関する解析的研究, 日本建築学会計画系論文集第369号, pp.12-21, 1986.11
- 4) 菊池嘉之他: 建物の形態が都市キャニオンの熱環境に及ぼす影響, 日本建築学会近畿支部研究報告集第40号・環境系, pp.137~140, 2000.6
- 5) 占部亘他: 都市キャニオン層の熱環境解析, 日本建築学会大会学術講演梗概

概集 2000, D-1, pp.611~612, 2000.7

6) 松尾陽他：都市キャノピーにおける建築からの放散熱とその影響 その1 建築の放散熱に関する伝熱モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1995, D-1, pp.585-586, 1995.7

7) 西岡真穂他：都市キャノピーにおける建築からの放散熱とその影響 その2 建築の放散熱に関するシミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1995, D-1, pp.587-588, 1995.7

8) 谷本潤他：建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較に関する研究 第1報 理論構成手法と基本解, 日本建築学会計画系論文集, No.504, pp.87-93, 1998.2

9) 谷本潤他：建築-都市-土壌連成系モデルによる都市高温化要因の定量的比較に関する研究 第2報 数値実験による要因効果特性解析, 日本建築学会計画系論文集, No.510, pp.53-60, 1998.8

10) 西村秀彦他：密集市街地におけるエネルギー消費および温熱環境の実態調査と外部温熱環境の解析, 日本建築学会計画系論文集第536号, pp.79-86, 2000.10

11) 気象庁：気象庁月報, 2000

12) 辻政宏：住宅密集地域の温熱環境解析とその改善計画, 京都大学工学部卒業論文, 1999

13) 辻政宏他：住宅密集地域の温熱環境解析, 日本建築学会近畿支部研究報告集第39号・環境系, pp.73-76, 1999.6

14) 鉾井修一：湿った建築壁体の熱的特性に関する基礎的研究, 京都大学学位請求論文, 1986

15) A.P. Gagge *et al.* : A STANDARD PREDICTIVE INDEX OF HUMAN RESPONSE TO THE THERMAL ENVIRONMENT, ASHRAE Transactions, Vol.92, pp.709-731, 1986.6

16) 深井一夫他：標準新有効温度 (SET*) と日本人の温熱感覚に関する実験的研究 第2報 冬季および夏季における温熱感覚の比較, 空気調和・衛生工学会論文集第51号, pp.139-147, 1993.2

17) 七岡寛他：地下蓄熱水槽を利用した水熱源ヒートポンプによる熱供給システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1999, D-1, pp.621~622, 1999.7

(2002年2月28日原稿受理, 2002年9月20日採用決定)