

市街地形態の異なる街区の温熱環境比較に関する実測研究

OBSERVATIONAL STUDY ON COMPARISON OF THERMAL ENVIRONMENTS IN SOME TYPES OF URBAN BLOCKS

森山正和 ——*1 宮崎ひろ志 ——*2 吉田篤正 ——*3
竹林英樹 ——*4 足永靖信 ——*5 成田健一 ——*6
依田浩敏 ——*7 土井 正 ——*8

Masakazu MORIYAMA *1 Hiroshi MIYAZAKI *2 Atsumasa YOSHIDA *3
Hideki TAKEBAYASHI *4 Yasunobu ASHIE *5 Ken-ichi NARITA ——*6
Hirotooshi YODA ——*7 Tadashi DOI ——*8

キーワード：
温熱環境, 街区, 実測

Keywords:
Thermal environment, Urban block, Observation

The thermal environments of the three types of urban blocks were observed on the street in Osaka in the summer season. Air temperature and surface temperature of each urban block were high in comparison with Osaka Castle Park. Temperature differences of urban blocks in the daytime were bigger than those in the early morning. MRT was influenced by the sky and green cover ratio strongly, and in the street whose sky cover ratio was small that it was surrounded by a high-rise building MRT became small. And in the street whose green cover ratio was big by the street trees MRT was small compared with other streets. SET* of each urban block takes the influence of MRT strongly, SET* became small, and it was improved as a thermal environment because the comparatively big amount of ventilation was secured in the street whose width was big like OBP (Osaka Business Park) in the daytime.

1. はじめに

都市化の進展に伴い、都市部が高温化する「ヒートアイランド」や、夏期における夜間気温が下がらない「熱帯夜」といった都市の温熱環境の悪化が問題となっている。こうした高温化などの環境悪化を解消し、快適な生活空間を実現する上で、市街地の形態が温熱環境に及ぼす影響を明らかにすることは重要である。

本論文では、特徴ある街区内の街路における熱環境形成のメカニズムを明らかにするため、大規模な樹林内を熱環境の基準点として、基準点より直線距離でおおよそ1.5km以内にある3ヶ所の市街地形態の異なる街区における代表的な街路内において熱環境要素の同時測定を行い、市街地形態が熱環境に与える影響を考察した。

具体的な測定項目は、歩行空間の代表点における熱環境要素、および街路を構成する路面、壁面、窓面、葉面などの表面温度であり、大規模樹林の樹冠下を基準として各街区の街路内における熱環境の特性の比較考察を行う。基準とした樹林内は周囲に排熱源がなく、舗装道路も少なく、日射も樹冠により遮られており、「自然」状態の代表点と考えた。

典型的な都市空間として位置づけられる都市キャビティ内の温熱環境については、中村他による実験的及び解析的研究¹⁾や、片山他⁵⁾、鄭他⁶⁾の研究などがあり、有用な知見が数多く得られている。

市街地形態の異なる街区の温熱環境を測定により解析した例としては、梅干野他のサイドルッキング航空機MSSデータを用いたものがあり様々な地区が平均仮想顕熱流により評価されている⁷⁾。

街路の温熱環境を総合的に評価した例としては、片山他⁸⁾、堀越他⁹⁾によるものなどがあり標準新有効温度SET*により特定街路の温熱環境分布が評価されている。本研究はこの方法により市街地形態の異なる

街区の温熱環境を樹林内の基準点と比較しながら評価するものである。

高他は本研究とよく似た立場で街路の形態と街路樹が歩道上の熱環境にもたらす影響の実測調査を行っており¹⁰⁾、歩行空間における街路樹による夏季日中の熱環境緩和効果や夜間気温に対する天空率の影響などが確認されている。本研究の目的は、特徴が明快に異なる街区の街路において、大規模樹林を基準として同時測定を行うことにより、直接的に温熱環境特性の比較考察を行うことである。

2. 実測の概要

2.1 実測場所および期間

1) 実測場所 以下に示す大阪市内4箇所において実測を行った。図1～3に実測場所、実測地点、実測場所周辺の写真を示す。

0樹林 (大阪城公園内市民の森): 高さ約11mの平面的に連続した樹冠を形成している樹林内樹冠下。樹林規模はおおよそ550m×900m。

K街区 (京橋, 鴨野): 戦前からの建物が多く残る典型的な木造密集街区。図3(1)において、街路に若干の植木が置かれているのみでほとんど緑がない。用途地域は住居地域と商業地域が混在しており、平均階数は2.0階である。

T街区 (天満橋): 既存市街地によく見られる中層オフィスビルの立ち並ぶ街区。T3街路のみ歩道及び街路樹がある。T3以外の街路では道路端歩行空間の代表点を測定点とした。用途地域は商業地域で、平均階数は5.6階である。

B街区 (OBP): 建物を高層化することで地上に豊かな緑陰空間を設けた街区。街区全体で街路樹が整備されており、B3街路は天空のほとんどを街路樹に覆われた歩道である。また、B2街路は建物間の芝生空地の中心付近である。その他の測定点も歩道である。用途地域は商業地域で、階数は最大で38階、10階以上の建物が10棟である。

*1 神戸大学工学部建設学科 教授・工博

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

*2 姫路工業大学自然・環境科学研究所 助手・博士(工学)

*3 大阪府立大学大学院工学研究科エネルギー機械工学分野 教授・工博

*4 神戸大学工学部建設学科 助手・修士(工学)

*5 独立行政法人建築研究所環境研究グループ 主任研究員・工博

*6 日本工業大学工学部建築学科 教授・工博

*7 近畿大学九州工学部建築学科 助教授・工博

*8 大阪市立大学生活科学部居住環境学科 助教授・学博

*1 Prof., Department of Architecture & Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kobe University, Dr. Eng.

*2 Research Assoc., Institute of Natural and Environmental Sciences, Himeji Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Prof., Department of Energy Systems Engineering, Graduate School of Eng., Osaka Prefecture Univ., Dr. Eng.

*4 Research Assoc., Department of Architecture & Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kobe Univ., M. Eng.

*5 Senior Research Engineer, Department of Environmental Engineering, Building Research Institute, Dr. Eng.

*6 Prof., Department of Architecture, Faculty of Engineering, Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

*7 Assoc. Prof., Department of Architecture, Faculty of Engineering, in Kyushu, University of Kinki, Dr. Eng.

*8 Assoc. Prof., Dept. of Living Environment Controls, Faculty of Human Life Science, Osaka City Univ., Ph. D.

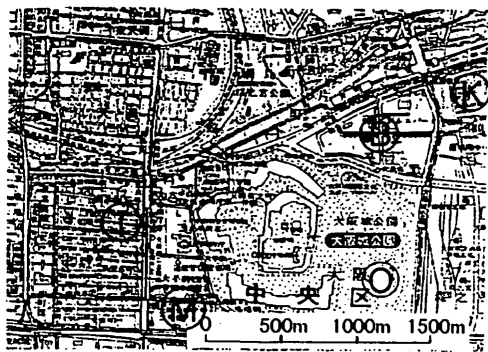
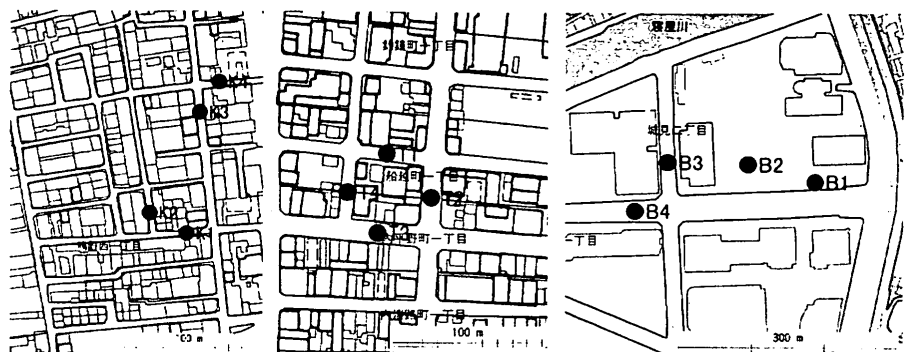


図1 実測場所

0:0樹林, K:K街区, T:T街区, B:B街区, M:大阪管区気象台



K街区

T街区

B街区

図2 実測地点

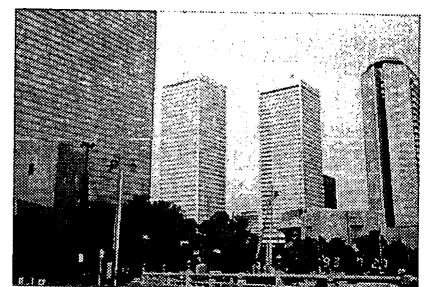
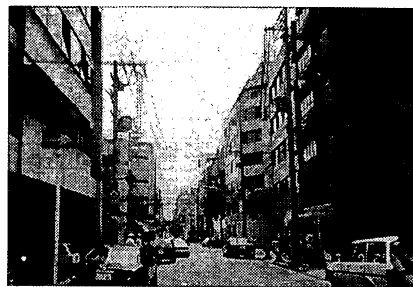
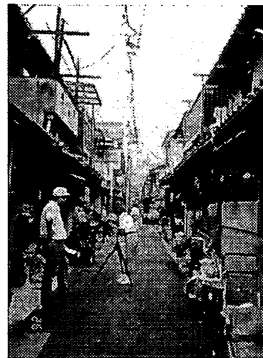
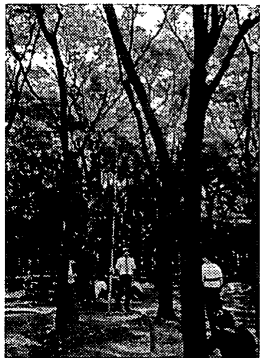


図3 実測場所周辺の写真(左から順に、0樹林, K街区, T街区, B街区)

2) 実測期間 1993年7月28日～31日(計4日間)。この期間内に計16回の実測を行った。0樹林では次に述べる定点測定を行い、街区の測定は、7月30日5時までは1日3回(5, 13, 20時頃)、7月30日17時～31日13時の間は2～3時間おきに計10回移動測定で行った。

2.2 実測方法

樹林内では定点測定をする一方、3街区の移動測定を同時に行った。図2に示すように、各街区において、街路の方位など街区の特徴を考慮して測定地点4点を選び、第1地点から第4地点を回り、再度第1地点で測定を行う移動測定を行った。表面温度測定箇所は測定地点周辺の主な構成要素(路面、壁面、窓面など)を選び、日射のある場合は日向箇所と日陰箇所においてそれぞれ数点の測定を行い、各面の平均的な値を求めた。1回の測定にかかった時間は平均して27分程度であった。街路によって4箇所の測定点間の距離が異なるために若干の時間差を生じたが、気温については樹林内での時間変化により測定値を正時の値に補正した。

2.3 測定項目と測定機器

0樹林においては、測定高さ11.6m(樹冠上部)と1.5mで気温の連続測定を行った。水平面全天日射量は0樹林内で天空が開けた場所と樹冠下の2箇所で測定した。測定項目と測定機器を以下に示す。気温、湿度は日射遮蔽、強制通風を行った円筒内にセンサーを入れて測定を行った。測定高さはすべて地上1.2mである。

- (1) 気温、湿度： 白金抵抗体センサー、高分子薄膜センサー
- (2) 表面温度： 赤外放射温度計(放射率はすべて1.0と仮定)
- (3) 気流(風速)： 三杯式風速計、熱線風速計

2.4 実測期間中の気象状況

大阪管区気象台における降水量、風速、日射量、雲量、気温、絶対湿度の実測期間中における時刻変化を図4、5に示す。全般的に、太平洋の高気圧に覆われたものの台風などの影響をうけて大気が不安定な場合もあり、降水も見られた。しかし、図中の最高気温は31℃以上

で、最低気温はすべて25℃以上の熱帯夜であり蒸し暑い夏の典型であった。実測を行った1993年7月28日～31日の天候は、28日は曇り時々晴れ朝のうち一時雨、29日は曇り、30日は曇り時々雨(降水量7.0mm)、31日は晴れ早朝一時雨(降水量1.5mm)後曇り、であった。

3. 気象要素の測定結果

図6～図8に各街区の平均気温、相対湿度、風速の変化を示す。これらの値は各街区それぞれ図2に示す4地点で測定されたものの平均値である。同一街区での4地点での測定結果は、街路方位によって日射を受ける条件が異なることもあり、気温に関しては日中各地点で多少差が見られたが夜間はほとんど差がなかった。相対湿度に関しても同様であった。風速に関しては、街路方位によって主風向との関係が異なることもあり、いずれの街区においても気温、湿度より変動が大きくなり、特に晴天時(28日や31日)のB街区において変動が大きくなっていた。

各街区の平均値と比較すると、各街区の気温が常に0樹林より高くなっている。街区間の気温差は早朝5時に小さく、昼の13時に大きくなっている。街区の中ではB街区が常に低く、K街区が高かった。相対湿度は気温と逆の関係でB街区が常に高いが、K街区よりT街区の方が低い傾向にある。地上1.2mの風速はB街区が目立って大きく、特に晴天日の28日と31日の昼間に大きくなっている。地表面及び壁面の表面温度に関して、表面温度差は気温と同様に昼間に大きく夜間には小さくなっている。

4. MRT(平均放射温度)の算出と考察

図9に魚眼レンズカメラにより撮影した各街区の各地点における3種類(路面、壁・窓面、緑面)に単純化した地物表面の立体角(4πで無次元化したもの)を示す。本研究では、人体を球と仮定し、人体との熱交換を日射による短波長放射エネルギーと周囲の表面温度による長波長放射エネルギーの二つに分けて考えた。短波長放射エネルギーについては実測より得られた水平面全天日射量を直達、拡散成分に分けて考え、反射に関しては地表面、壁面からの一回の成分のみを

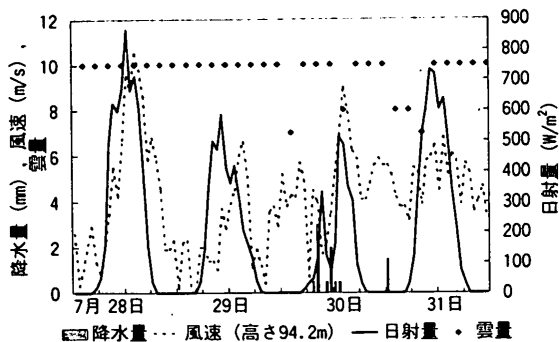


図4 大阪管区気象台での降水量、風速、日射量、雲量の測定結果 (1993年7月28日～31日)

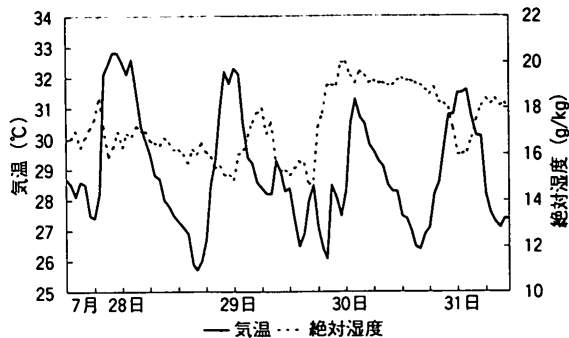


図5 大阪管区気象台での気温、絶対湿度の測定結果 (1993年7月28日～31日)

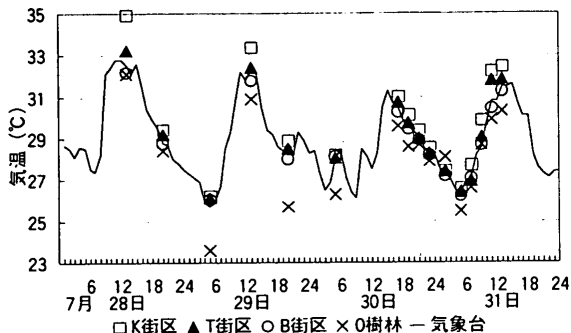


図6 街区間の平均気温の比較 (1993年7月28日～31日)

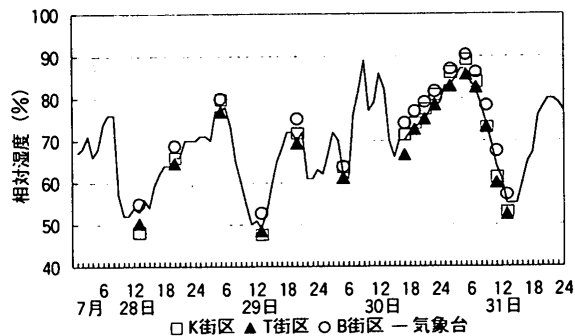


図7 街区間の平均相対湿度の比較 (1993年7月28日～31日)

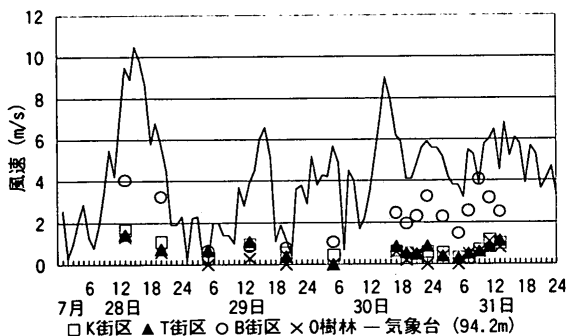


図8 街区間の平均風速 (高さ1.2m) の比較 (1993年7月28～31日)

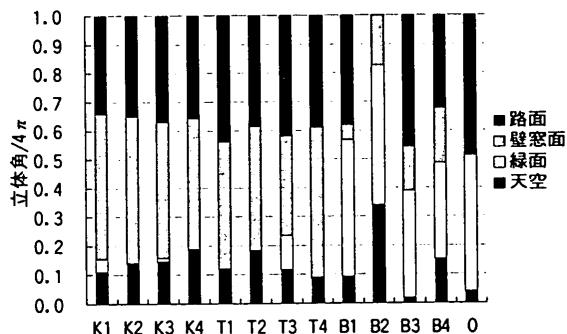


図9 各街区の各地点における立体角 (4π で無次元化した) K1～K4:K街区、T1～T4:T街区、B1～B4:B街区、0:0樹林

考慮した¹¹⁾。長波長放射エネルギーについては地物表面の要素毎に放射温度計で測定した表面温度を、図9に示す立体角により重みづけをして計算した。大気放射(長波長)はプラントの式より求めた。樹林内の日射には樹冠下で測定した日射量を用いたが、樹林外の日射量の1割程度であった。

図10にT街区でのMRTの時刻変化を示す。測定時刻間の時間間隔は異なるが、街路間の関係をわかり易く示すために便宜的に直線で結んでいる(以降も同様)。T街区ではT3地点のみが期間を通して最も低い。T3地点の街路は道路の両側に街路樹が植えられており、街路樹の立体角/ 4π は0.12を占めている(他の街路は0)。街路樹の熱環境効果が示されている。T4はMRTが若干低い傾向にある。この街路は比較的高層の建物に囲まれており、そのため天空の立体角/ 4π が0.09と他の街路(T街区の平均0.13)と比較して小さくなっている。この影響によりMRTが低くなっている。

図11にB街区でのMRTの時刻変化を示す。街路によりMRTが高く異なる時間帯がある。B3地点は期間を通してMRTの変動が小さい。この街路は街路樹に覆われており天空の立体角/ 4π は0.02と極端に小さい。そのため、一日中日射が当たらずMRTの変動が小さくなっている。B2地点のMRTは一日の振幅が大きく、夜間非常に小さくなっているの

が特徴である。この地点はオフィス街の中に計画的に作られた空地(芝生面)であり、周囲の高層ビルから離れているために天空が大きく開けている(天空の立体角/ 4π は0.31)。昼間は日射、夜間は放射冷却のためにMRTの振幅が大きくなっていると考えられる。

なお、街路間の特性に差がほとんどないK街区ではMRTの差もほとんど表れなかったためK街区の図は省略する。

図12に各街区での平均MRTの比較を示す。K街区が常に最も高くなっており、街路樹はなく、ほとんど壁面とアスファルト面に囲まれた街路であるために、平均的にMRTが高くなっている。また、0樹林は樹冠により日射が遮られるために(天空の立体角/ 4π は0.04)一日中低い値となっている。夜間でも街路のアスファルト面の表面温度が高く保たれているために、街路上のMRTは0樹林より常に高くなっている。

5. SET*の算出と考察

屋外空間における新標準有効温度SET*と温冷感、快適感などとの関係に関して、石井他¹²⁾、梅村他¹³⁾の研究においては温熱環境指標の中では比較的相関が高いという結果が得られており、本研究では熱環境評価の指標としてSET*を採用した。なお、石井他¹²⁾の結果ではSET*=27～28℃あたりに屋外快適環境の限界があると述べられている

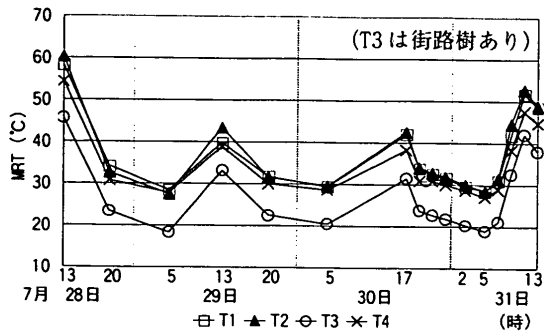


図10 T街区でのMRT (T1, T3:東西街路、T2, T4:南北街路)

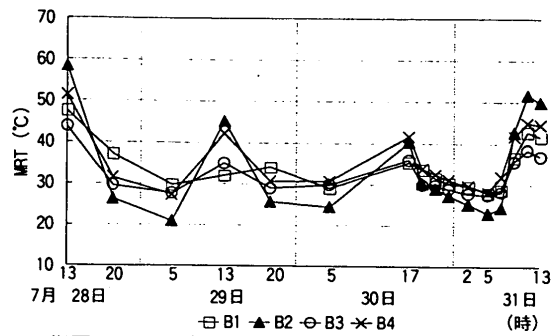


図11 B街区でのMRT (B1, B4:東西街路、B3:南北街路、B2:空地)

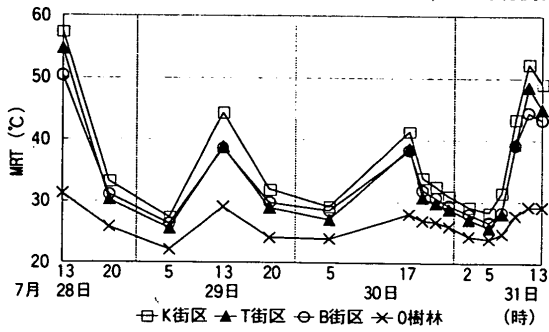


図12 各街区での平均MRTの比較

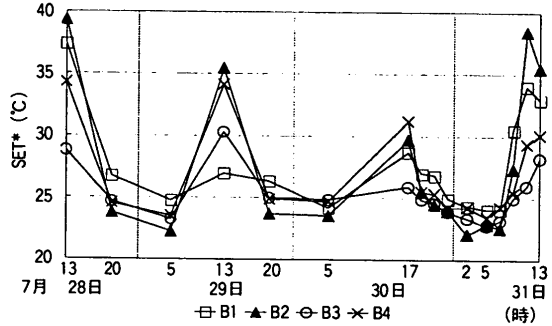


図13 B街区でのSET* (B1, B4:東西街路、B3:南北街路、B2:空地)

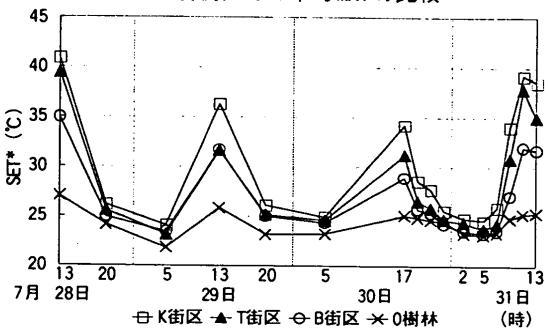


図14 各街区での平均SET*の比較

(大阪城公園の湿度は欠測のため気象台の観測値で代用した)

12). ここでは、Gaggeらの人体熱平衡モデルに基づくプログラムに従って算出した¹⁴⁾。SET*は、気温、湿度、風速、MRT、着衣量、代謝量の6要素により決定され、人体側要素である着衣量、代謝量は夏場の服装、立位の状態を仮定し、それぞれ0.6clo、1.4metの値を与えた。

K街区、T街区のSET*の変化の様子はMRTの変化とほぼ同じ傾向である。MRT以外の要素に大きな差がなく、各街路間での特徴の差がほとんどないためであると考えられる。

図13にB街区のSET*の時刻変化を示す。MRTの変化とよく似た変化をしているが、28日や31日の昼間にMRTの大小関係(図11参照)と入れ替わっている時間帯がある。この時間帯は図8に見られるようにB街区の風速が大きく、B1街路などのSET*の評価は良くなっている。

図14に各街区での平均SET*の比較を示す。基本的にはMRTの変化と同じ傾向である。しかし、図8に示したようにB街区では全体的に風速が大きかったためにSET*が低く現れている。このことは、街路の幅員を広げて風速が大きくなることにより、街路空間の熱環境が改善されているということを示している。

6. 結論

本論文では樹林内を基準として市街地形態の異なる街区において地上1.2mの熱環境要素を同時に測定し、熱環境の比較考察を行った。

1) 各街区の気温、表面温度は樹林内と比較して早朝、日中とも常に高く、街区間の気温差は早朝より日中の方が大きくなった。

2) 各街区のMRTは天空率と緑被率の影響を強く受け中高層建物に囲まれた天空率の小さい街路では他の街路と比較してMRTは低くなり街路樹などにより緑被率が大きい街路においてもMRTは低くなっていた。

3) 各街区のSET*はMRTの影響を最も強く受けるが、B街区などのように建物が高層化し幅員が大きい街路では昼間に比較的大きな風速になるために、SET*は低くなり熱環境評価としては改善されることが示された。

謝辞 本研究を遂行するにあたって兵藤美和氏、世古哲紀氏(当時神戸大学学生)をはじめ多数の方々にご協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

- 参考文献
- 1) 中村泰人、平岡久司、西村浩一：市街地空間における気温分布性状に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、第364号、pp.48-56、1986
 - 2) 中村泰人、平岡久司、西村浩一：市街地空間における表面の温度および熱流性状に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、第364号、pp.57-65、1986
 - 3) 中村泰人、平岡久司：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報告集、第367号、pp.8-14、1986
 - 4) 中村泰人、平岡久司：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報告集、第369号、pp.12-21、1986
 - 5) 片山忠久、森川明夫、増田正一：Investigation of the Formation of Thermal Environment in an Urban Canyon、日本建築学会計画系論文報告集、第372号、pp.30-43、1987
 - 6) 鄭相元、堀越哲美、梅村茂樹、宮本征一、水谷章夫：都市の街路および開放空間における熱放射環境が人体に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文報告集、第493号、pp.77-84、1997
 - 7) 梅干野晃、飯野秋成、古賀和博、佐野仁美：サイドロッキング航空機MSSデータを用いた丘陵開発地域のヒートアイランドポテンシャルの計量及び土地被覆との関係の検討、日本建築学会計画系論文報告集、第471号、pp.29-37、1995
 - 8) 片山忠久、塩月義隆他5名：街路空間の熱環境分布に関する調査研究その1~3、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1479-1484、1991
 - 9) 向井愛、堀越哲美：名古屋市中川運河における海風潮上が体感気候へ及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.689-690、1998
 - 10) 高俣俊、杉山寛克、尾島俊雄：Field Study of Effect of Street and Its Trees on Thermal Environment of Sidewalks、日本建築学会計画系論文報告集、第469号、pp.53-64、1995
 - 11) 足永靖信：屋外空間における短波および長波の放射強度の分布に関する実測、日本建築学会計画系論文報告集、第500号、pp.71-77、1997
 - 12) 石井昭夫、片山忠久、塩月義隆、吉水久雅、安部嘉孝：屋外気候環境における快適感に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集、第386号、pp.28-37、1988
 - 13) 梅村茂樹、堀越哲美：都市キャピティ空間に形成される温熱環境が人体心理反応に及ぼす影響、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.861-864、1991
 - 14) A.P.Gagge, A.P.Fobelets and L.G.Berglund: A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, ASHRAE Transactions, Vol.92, pp.709-731, 1986

[2001年10月18日原稿受理 2002年2月18日採用決定]