

熊本市中心市街地の暑熱環境と衛星情報等 による周辺状況との比較研究

上野 賢仁¹・山口 浩太朗²・松岡 孝介²・岸本 進一²・永友 久通³

¹正会員 崇城大学准教授 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)
E-mail:ueno@eco.sojo-u.ac.jp

²非会員 崇城大学学生 工学部環境建設工学科 (〒860-0082 熊本市池田四丁目22-1)

²非会員 三建設工業(株) (〒103-0014 東京都中央区日本橋蛸殻町一丁目35-8)

³非会員 (株) サニックス 福岡支店 (〒812-0013 福岡市南区向野二丁目10-35)

熊本市中心市街地の3つのアーケードとその周辺を選び、暑熱環境計を携帯して移動することによって暑熱環境を調査し、評価を試みた。観測日は平成18年の8月4, 21, 23, 25, 29日と19年8月8, 10日の9, 12, 15, 18時である。測定項目は気温、湿度、黒球温度、暑熱環境指数WBGTである。18年の調査結果は高分解能衛星IKONOSから求めた土地被覆状況と比較した。両者は概ね良く関係付けることができたが、熊本城の堀の近く等、風通しの良い場所では低い値が見られた。19年の調査では特徴的な20点を選び、周辺状況と比較した。日向では、建物が集中し大通りに面した場所で最大気温が観測された。暑熱環境指標は大通りの傍で高い値が観測された。日陰では、建物が集中した場所で最大気温が観測された。暑熱環境指標の最大値は交通量の多い場所で認められた。アーケードでは、北側アーケードで最大気温が観測され、中央のアーケードの中間地点で最小値が観測された。暑熱環境指標は北側アーケードの北側の地点が高く、低い箇所は気温と同じ地点であった。

Key Words : heat-island phenomena, hot environment, urban cover condition, WBGT(Wet Bulb Globe Temperature), IKONOS

1. はじめに

近年、地球温暖化による異常気象とあいまって都市ヒートアイランド現象による熱環境悪化が顕著になり、日常生活で不快感が増大したり健康被害等の悪影響が生じている。このため熱環境の観点から人々が快適で安全に過ごせる街づくりを目指す必要がある。こうした市街地の熱環境を改善するためには、まず暑熱環境を調査し把握する必要がある。これまでにも多くの事例が報告されている。最近では、一ノ瀬ら¹⁾による中国の熱環境調査がある。わが国の都市においてもこうした調査や対策は決して十分とは言えないと思われるので、今後が期待される。このような背景を踏まえて、本研究は暑熱環境調査を実施して周辺環境との関連を検討するものである。将来的には市街地中心部の快適さ・不快さ、熱中症等の健康への影響の評価や改善策を検討することを目指している。

2. 調査の概要

(1) 調査日時と対象地域

観測日は平成18年の8月4, 21, 23, 25, 29日, 平成19年8月8, 10日である。時刻は9, 12, 15, 18時である。調査対象として、熊本市中心市街地の「上通り」、「下通り」、「サンロード新市街」の各アーケードとその周辺を選んだ。図-1に測定箇所を示す。平成18年は15点(A1~A15)、平成19年は57点で計測し、周辺状況を比較的確に特徴付けることができる20点を選んで検討した(A-1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 16, B-1, 6, 11, 13, 15, 19, C-3, 9, 13, 15, 18, 19)。なお、測定箇所には日向、日陰、アーケード内が混在している。これは本研究の目的の一つが中心市街地の暑熱環境から見て快適で安全な環境を見出すことにあるためである。

(2) 調査方法と解析内容

暑熱環境計を携帯し、予め定めたルートを移動し観測した。測定項目は気温、湿度、黒球温度、暑熱環境指数(WBGT; Wet Bulb Globe Temperature)である。計測機器

は携帯が容易な暑熱環境計（京都電子工業 WBGT-113）を用いた。移動による測定時刻の差および機器による測定差は、共通の観測点を設けて補正した。平成18年の調査結果は高分解能衛星IKONOSの画像から求めた周辺の土地被覆状況と比較した。平成19年度の結果は周辺状況をその特徴により分類し、暑熱環境との関係を見た。

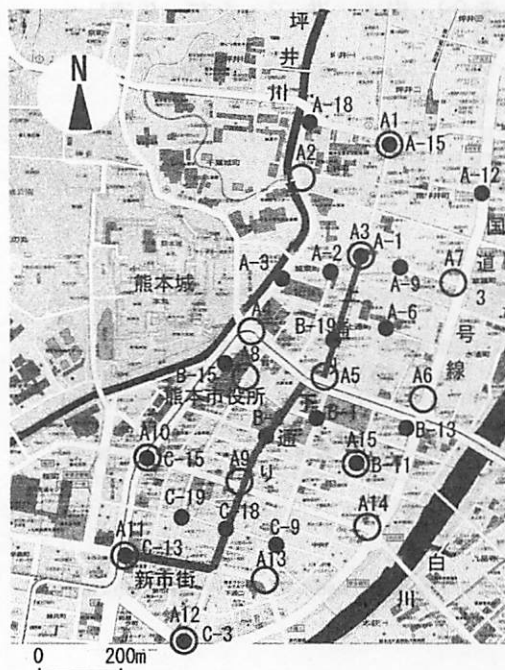


図-1 熊本市中心市街地の観測点

（平成18年はA1～A15の15点、平成19年はその他の抜粋20点、福岡人文社「熊本グランドまちず」をもとに作成。）

表-1 暑熱環境指標 WBGT と作業環境³⁾

WBGT	(許容)	作業強度
32.5	極軽作業	(RMR-1)
30.5	軽作業	(RMR-2)
29.0	中等度作業	(RMR-3)
27.5	中等度作業	(RMR-4)
26.5	重作業	(RMR-5)

(3) 暑熱環境指標 (WBGT)

近年、熱中症等の健康面での危険度を簡易に知るための指標として暑熱環境指標WBGTが使われている²⁾。この他にも暑熱環境を表す指標はあるが、本研究では携帯できる機器で簡単に計測できるこの指標を使用することにした。WBGTは次式で定義される³⁾。

$$\text{屋外: WBGT} = 0.7T_{\text{nw}} + 0.2T_g + 0.1T_a \quad (1)$$

$$\text{屋内: WBGT} = 0.7T_{\text{nw}} + 0.3T_g \quad (2)$$

ただし、WBGT: 湿球黒球温度 (°C), T_{nw} : 湿球温度 (°C), T_a : 乾球温度 (°C), T_g : 黒球温度 (°C)

この数値から暑熱環境は表-1のように分類される。

3. 平成18年の調査結果⁴⁾

(1) 測定結果

全体的に日中の最高気温は各地点5日間の平均は約32~36°Cであった。日陰の気温を日向と比較すると約3~4°C低く、アーケードは約5°C低い。次に、中心市街地は比較的大きな道路（市電が通る「通町筋」）で南北に分かれているので、北側の「上通り」アーケードと中央の「下通り」アーケードを個別に見た。

a) 上通り・並木坂 (A1~A7)

図-2に気温、図-3にWBGTを示す。12時の日向A1, A2, A6, A7の気温を比較するとA6が35.9°Cと高く、A2が34.6°Cと低い。A6は交通量の多い国道3号線に面していて日陰が少なくアスファルトに覆われているため気温が高くなったものと思われる。WBGTでも同じ傾向が見られた。一方、日陰A4は33.4°Cで、日向の中で最低のA2よりも1.2°C低い。また、アーケード内のA5は1.4°C低い32°Cであった。

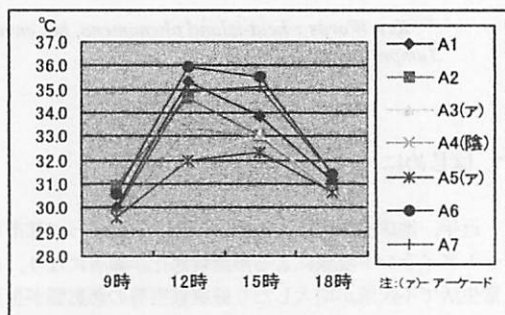


図-2 上通り周辺気温（平成18年8月測定5日間の平均）

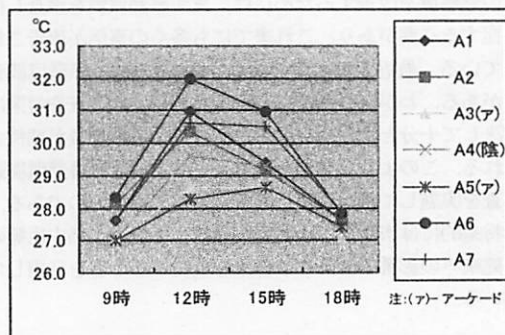


図-3 上通り周辺 WBGT（平成18年8月測定5日間の平均）

b) 下通り・新市街・シャワー通り (A8~A15)

図-4に気温、図-5にWBGTを示す。12時の日向A10、A12、A13、A14の気温を比較すると、A13が35.3℃と高く、A12が32.4℃低い。A13の周囲は日陰が少なく、建物による熱の反射で気温が高くなったためと思われる。WBGTも気温と似た傾向である。日陰A8は31.5℃で、日向で最低のA12よりも0.9℃低い。また、アーケード内のA9はさらに0.1℃低く31.4℃であった。

上通りと比較すると、12時には下通りの方が上通りよりも1.2℃低く、WBGTでは下通りの方が0.8℃低かった。

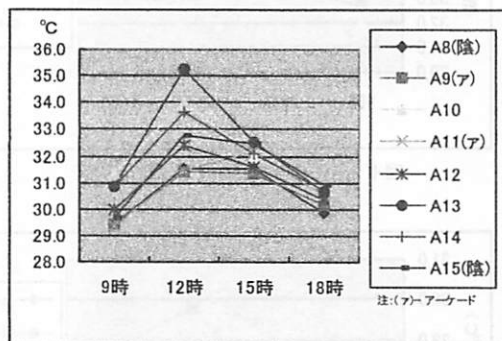


図-4 下通り周辺気温 (平成18年8月測定5日間の平均)

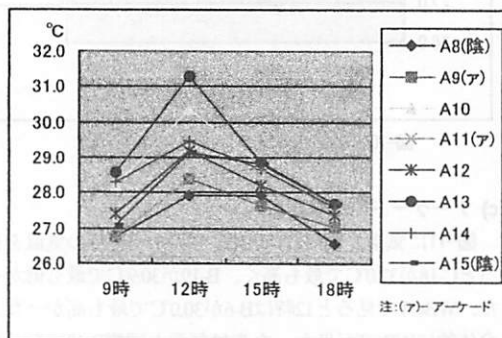


図-5 下通り周辺 WBGT (平成18年8月測定5日間の平均)

(2) 衛星画像による被覆状況との比較

熊本市中心市街地のIKONOSデータ (撮影日時: 2002年5月27日 2:09 GMT, 8ビット/画素, RGBバンド) から各測点の周辺100m×100mをとり、市販の画像ソフトで色付けし、衛星画像解析ソフトを用いてクラスタリング分類を行った (図-6)。こうして求めた測定地点周辺の被覆割合を表-2にまとめる。日向A6は道路が51%と割合が高い。A6は観測温度も高く舗装面の多さと良く対応していると言える。一方、日陰A8は建造物が90%と割合が高い。このため日陰が多くなり他の測点よりも温度

変化が小さかった観測結果と良く対応しているものと思われる。同じ条件である日向でも、道路や建造物が多い測定地点では総じて高温になっていることが確認できた。



図-6 測定地点のIKONOS衛星画像処理 (A6の場合)

表-2 観測地点周辺の被覆割合

観測地点	地点の説明	被覆割合 (%)			
		緑地	道路	水域	建造物
A1	並木坂奥	0	33	0	67
A2	アークホテル熊本横	12	36	9	43
A3(ア)	上通り肥後銀行前	0	12	0	88
A4(陰)	郵政局前	14	54	6	26
A5(ア)	ビブレス広場	0	21	0	79
A6	水道町交差点	6	51	0	43
A7	水道町SS前	9	40	0	51
A8(陰)	ダイエー裏	0	10	0	90
A9(ア)	銀座通り交差点	0	19	0	81
A10	崇城大学専門学校横	8	43	0	49
A11(ア)	新市街市電停前	4	40	0	56
A12	シャワー通り奥	10	50	0	40
A13	ワシントンホテル前	0	48	0	52
A14	銀座橋前	6	59	0	35
A15(陰)	鶴屋P横	11	29	0	60

注: (ア) はアーケード, (陰) は日陰, 他は日向。

(3) まとめ

平成18年の調査では、熊本市中心市街地の夏場の暑熱環境を測定し、周辺の被覆割合と比較・検討した。同じ日向でも周辺状況において暑熱環境が異なることを確認できた。また、日陰では日向と比較して約3~4℃、アーケード内は約5℃低いことが確認できた。

4. 平成19年の調査結果⁵⁾

平成19年の調査では、前年の調査よりも観測点を57点に増やした。その中から現地で見えた周辺の様子や写真等を参考にして、周辺状況を明確に分類できそうな20点を抜粋した(図-1)。

(1) 測定結果及び考察

a) 日向の観測点

図-7に気温、図-8にWBGTを示す。気温を見ると15時のA-6が42.2℃と最も高かった。A-6は国道3号線から約100m程住宅地に入り込んだところである。3号線は車の通りが多く、直射日光による照り返しのため気温が高くなったと考えられる。全体的に気温が低かったのはB-15であった。次に、WBGTでは気温と違い15時のB-13が35.4℃で最も高かった。B-13は人通りや交通量も多く、日差しが十分に当たるため高い値になったと考えられるが、一番の理由は相対湿度が高いことである。A-6は相対湿度31.6%、B-13は35.2%であった。全体的に気温が低かったのはC-13であった。

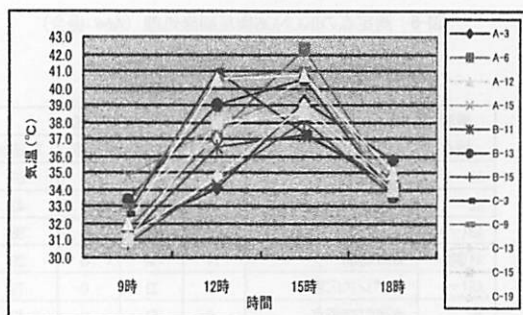


図-7 平成19年8月8日の気温(日向)

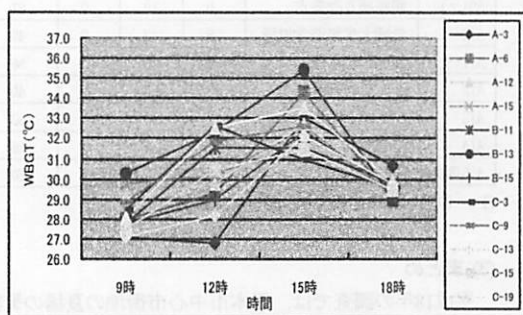


図-8 平成19年8月8日のWBGT(日向)

b) 日陰の観測点

図-9に気温、図-10にWBGTを示す。気温は15時のA-9が36.7℃で最も高かった。12時、15時と昼間気温が低か

った場所はA-2であった。WBGTでは15時のA-16が30.5℃で最も高かった。全体的にWBGTが低かったのは気温と同様A-2であった。A-9とA-16は人通りと交通量が多いことが高い値になった理由と考えられる。一方、A-2は木陰で比較的涼しい場所であるため低い値になったと考えられる。

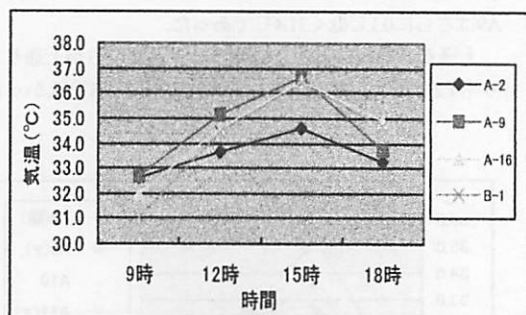


図-9 平成19年8月8日の気温(日陰)

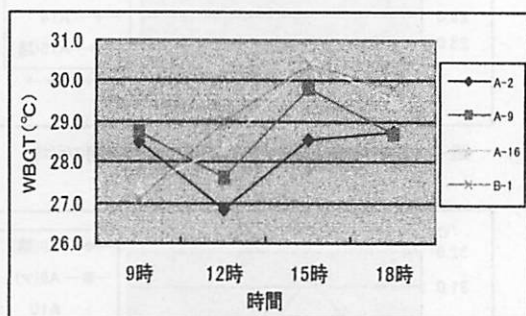


図-10 平成19年8月8日のWBGT(日陰)

c) アーケード内の観測点

図-11に気温、図-12にWBGTを示す。12時の気温を見るとC-18が37.0℃で最も高く、B-19が30.9℃で最も低かった。WBGTで見ると12時はB-6が30.0℃で最も高かった。全体的にWBGTが低かったのは気温と同様B-19であった。C-18とB-6はアーケードと道路の交差点であり、車も通る場所であったため比較的高くなったものと考えられる。B-19は、商店等の空調による冷却効果のため全体的に低くなったと考えられる。

(2) 周辺状況(用途など)の分類による分析

観測した20点について現場の様子や写真などから周辺状況の特徴付けて5分類した。これを表-3示す。図-13に、8月8日の項目別にみた4回の計測の平均気温を示す。大通りに面した場所と狭い路地の平均気温が高かった。また、緑が多い場所の平均気温は低くなった。このことから、交通量が多い場所では比較的気温が高くなることが

わかる。緑が多い場所では、木陰等の影響もあり気温が低くなったと考えられる。

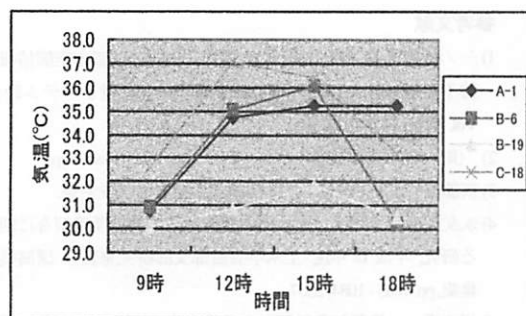


図-11 8月8日の気温 (アーケード)

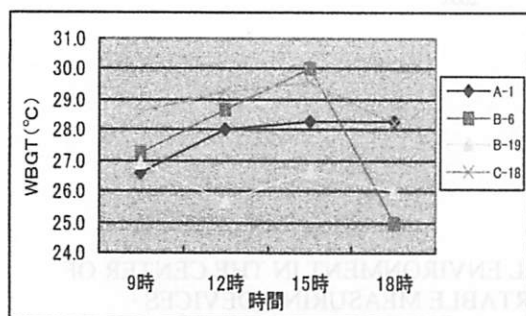


図-12 平成19年8月8日のWBGT (アーケード)

図-14に8月10日の平均気温を示す。ここでも8日と同様に大通りに面した場所の平均気温が高くなった。しかし、狭い路地では8日に比べると気温はあまり高くならなかった。これは、その日の交通量や天候が関係するためと考えられる。また、人通りの多い場所は緑が多い場所と同程度低かった。つまり、人通りが多くて、アーケードのように日差しを遮ることによって、緑地と同程度の環境が保てるとも言える。

(3) まとめ

平成19年度の調査研究では、用途などの周辺状況による分類をもとに検討を行った。熊本市内中心市街地には緑地が少なく、交通量が多い場所が幾つかあった。そういう場所で気温は極端に高くなる傾向にあった。その一方で、アーケードのように日差しを遮るだけで緑地に近い効果が期待できることもわかった。以上の分析・評価から、今後も熊本市内中心市街地には緑地空間の充実や、人々が休める憩いの場の増設などに、より一層力を入れることが必要と思われる。

表-3 用途等の周辺状況による分類

1	緑が多い場所	A-2, A-3, B-15
2	大通りに面した場所	A-12, A-15, A-16, B-13
3	商店が多い場所	B-11, B-19, C-18, C-19
4	人通りが多い場所	A-1, B-1, B-6, C-13, C-15
5	狭い路地	A-6, A-9, C-3, C-9

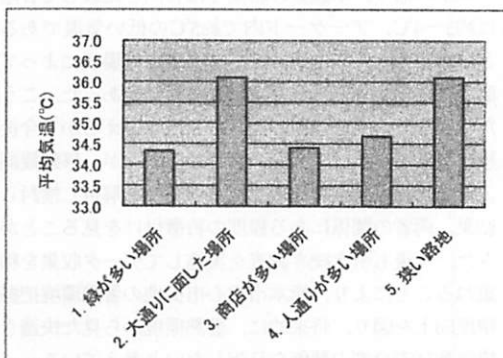


図-13 項目別の4回の平均気温 (平成19年8月8日)

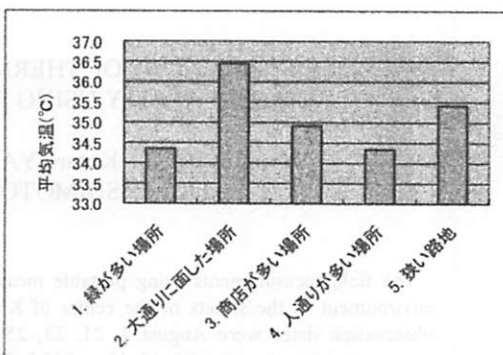


図-14 項目別の4回の平均気温 (平成19年8月10日)

5. おわりに

本研究では、平成18年度と平成19年度の調査をもとに、熊本市中心市街地の暑熱環境について検討した。平成18年の結果は高分解能衛星IKONOSによる土地被覆状況と比較した。土地被覆状況と暑熱環境との間に概ね良い相関が見られた。また、熊本城の堀の近く等、風の影響がある地点では低い値が認められた。平成19年の調査では、前年よりも詳細な分布を得るため測定点を増やした上で特徴的な20点を抽出し、周辺状況と比較した。日向では、建物が集中し大通りに面した場所で最大気温が観測された。携帯できる機器を使った簡易な計測ではあるが、その値は42.4℃に達していることがわかった。暑熱環境指

標WBGTでは、大通りの傍で35.4℃が観測された。日陰では、建物が集中した場所で最大気温36.7℃(15時)が観測された。暑熱環境指標の最大値は交通量の多い地点で30.5℃であった。アーケードでは、「下通り」で最大気温37.0℃,「上通り」の中間点で最小値30.9℃が観測された。暑熱環境指標は,「下通り」の北側が日中に高く,低い地点は気温と同じ地点であった。

以上の通り,本調査の結果では日向と比較して日陰では約3~4℃,アーケード内で約5℃の低い気温であることが確認できた。なお,アーケード内は場所によっては商店の建物から漏れる空調による冷気もあった。こうした状況を良い面悪い面の両面からどう捉えるかも今後の検討事項である。二年間の調査ではあるが,移動観測による暑熱環境調査と周辺状況との関係を解析し検討した結果,両者の関係にある程度の特徴付けを見ることができた。今後も引き続き調査を実施してデータ収集を積み重ねることにより,熊本市中心市街地の暑熱環境把握の精度向上を図り,将来的に,暑熱環境から見た快適さ不快さ及び安全度の評価を目指したいと考えている。

謝辞: IKONOS データは東京大学古米弘明教授との共同研究で使用させて頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 一ノ瀬俊明,白木洋平,松本太,盧取,花木啓介:都市空間情報基盤不足地域における熱環境評価の試み,環境システム研究, Vol. 35, pp. 147 - 153, 2007.
- 2) (財) 日本気象協会ホームページ: <http://www.jwa.or.jp/>
- 3) 京都電子工業: WBGT-113 熱中症指標計取扱説明書.
- 4) 永友久通,上野賢仁:熊本市中心市街地の暑熱環境調査に関する研究,平成18年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 1083 - 1084, 2007.
- 5) 岸本進一:簡易気象計測による熊本市中心市街地の暑熱環境評価に関する研究,崇城大学平成19年度卒業研究, pp. 1 - 47, 2008.

FIELD OBSERVATIONS OF THERMAL ENVIRONMENT IN THE CENTER OF KUMAMOTO CITY USING PORTABLE MEASURING DEVICES

Takahito UENO, Kotaro YAMAGUCHI, Kosuke MATSUOKA,
Shinichi KISHIMOTO and Hisamichi NAGATOMO

The field measurements using portable measuring devices were carried out to evaluate the thermal environment in the streets of the center of Kumamoto city, which includes three arcade streets. The observation dates were August 4, 21, 23, 25 and 29 in 2006, and August 8 and 10 in 2007. The measurement times were at 9, 12, 15 and 18 h. The 'WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)' index, which shows the integrated evaluation of thermal environments, was measured by using the devices. The results of the observation in 2006 were compared with the proportions of land cover, which were classified the 100m × 100m area around the measurement points, using the high-resolution satellite IKONOS images. The hot environment and the land cover condition agreed approximately. However, in the part near the moat or the building with the air conditioning, etc. the both did not agreed so much. In the shade, the temperature is lower than in the sun about 3 to 4 °C at the noon. In addition, they were low in the arcade about 5 °C at the noon. The WBGT index also tended to be same. In 2007, by extracting 20 measuring points that features became clear, which were judged from aspects and photographs of the fields, the hot environment data were compared with the nearby situations. From these results, it was possible to confirm the condition for ensuring the comfortable and safe place concerning the thermal environment.