

都市街区熱環境の時空間評価に関する研究

上野 賢仁¹・志岐 祐介²・土井 聡史³・藤末 千紘⁴・田代 敬大⁵

¹正会員 崇城大学 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市西区池田四丁目22-1)

E-mail: ueno@eco.sojo-u.ac.jp

²非会員 近鉄エンジニアリング (株) (〒837-0907 福岡県大牟田市西箇新町一丁目3-8)

³非会員 北九州市立大学大学院 (〒808-0135 北九州市若松区ひびきの1-1)

⁴非会員 森林土木設計事務所 (〒860-0041 熊本市中央区細工町1-51)

⁵正会員 崇城大学 工学部エコデザイン学科 (〒860-0082 熊本市西区池田四丁目22-1)

熊本市の中心市街地を事例対象として、移動気象観測を行い、都市街区の熱環境を調査し、評価した。本報告では、2013年8月8日の調査結果を用いて時間空間的な特徴を評価した。それぞれの観測においては、時間補正を施すとともに、2つの計測機器を用いることにより機器による計測誤差を補正し、観測値の信頼性を向上させた。このことにより、調査結果から、ある程度確かな信頼性を持って当該街区の熱環境の特徴を評価することが可能になった。また、この結果をもとに、各観測時刻における相対的に高温の領域、低温の領域を分類した。以上の結果により、都市街区の時空間的な熱環境評価を行う上で本法が有効であることを示すことができた。

Key Words : thermal environment, urban district, moving observation, meteorological observation

1. 序論

都市の市街地では夏季の熱環境が悪化している。このため熱中症等の健康被害が増加している。こうした状況は、さらに建物の空調負荷を増大させ、エネルギー消費増大も引き起こす。効果的な対策を講じることによって、そうしたエネルギー消費の低減や二酸化炭素排出量の削減に繋げていく必要がある。著者らは、これまでに熊本市の市街地を研究対象として熱環境を調査するとともに、空調負荷への影響について考察してきた。前報では2011年と2012年の調査結果を比較し、両者が比較的良く対応していることを確認した¹⁾²⁾。しかしながら、解析は熊本市中心市街地の3つのアーケードに限定したものである。また、移動観測による観測値の信頼性について十分評価できていない等の課題があった。これらは、前報の目的が観測気温と周辺建物空調負荷を関連づけた手法について検討することであったためであるが、その基礎となる暑熱環境調査手法に改善すべき点があった。本報では、これらの点を踏まえ、移動観測による気温計測に焦点を当て、2つの計測機器を用いて補正する等の改善を行い、対象街区内観測地点全てについての結果を示し、熊本市の中心街区の夏季熱環境の現状について考察した。

2. 熱環境調査

(1) 調査方法、装置

観測は、表-1に示すように、2012年から2013年にかけて実施した。観測時刻は9時、12時、15時、18時である。観測地点を図-1に示す。地点にはアーケードも混在する。携帯計測機器を用いて、気温、相対湿度、WBGT、黒球温度を計測した(京都電子工業、WBGT-113)。WBGTは熱中症の危険度を表す指標である³⁾。本報告では、8月8日の観測値を用いて、熊本市中心街区の特徴を見た。なお、基準値を得るため総合気象観測装置を設置しているが、同日は機器管理の都合上、計測値が得られなかったため、比較にはAMeDASデータを使用した。

表-1 観測日 (2012年～2013年の期間)

年	観測月日	備考
2012年	9月11日	8月31日は、天候不良のため中止。
	10月31日	
	12月18日	
2013年	7月17日	7月26日、8月29日は、天候不良のため中止。
	7月19日	
	8月8日	
	9月13日	
	10月31日	
	11月28日	

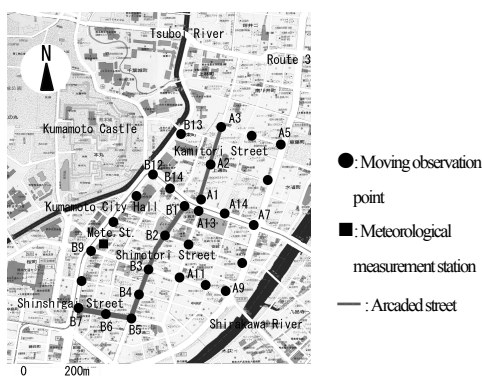


図-1 熊本市街区観測点（福岡人文社「グランドまちず」）。

(2) AMeDASデータ

図-2に調査日のうち夏季の2013年7月17日，19日，8月8日の熊本管区気象台のAMeDAS観測気温を示す。これによると，この時期の気温は最大値が33.0℃を超えていることがわかる。8月8日では，12時で最高値33.2℃である。一方，最低値は5時と6時で27.2℃である。

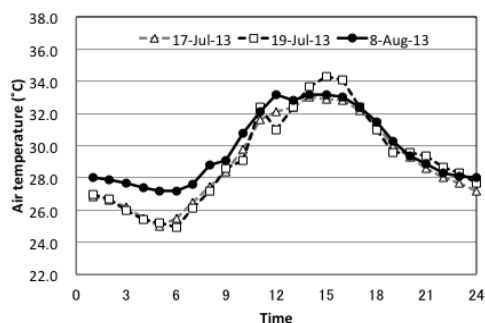


図-2 熊本気象台AMeDAS気温（2013年7月17,19日,8月8日）⁴⁾

(3) WBGTと気温：移動気象観測結果

観測経路は2つである。経路Aは東側の観測点A1から順にA14まで移動しA1に戻る。経路Bは西側の観測点B1からB14まで移動しB1に戻る。両経路とも計測開始点はA1で終了点も同地点である。ここは“びぶれす広場”と呼ばれる繁華街の中心である。このA1地点での計測値を基準として，開始時と終了時の変化を移動時間に応じて按分し，9時，12時，15時，18時丁度に補正した。補正式は，気温を例に挙げると，次の通りである。

$$T_{i,cor.} = T_{i,obs.} - \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{datum} \times t_{i,obs.} - def_{inst.} \quad \cdots(1)$$

ここに， $T_{i,cor.}$: i 点の補正した気温[℃]， $T_{i,obs.}$: i 点の観測気温[℃]， $(\Delta T / \Delta t)_{datum}$: 基準点での観測時間帯気温変化率[℃/min]， $t_{i,obs.}$: 基準時刻から i 点観測までの経過時間[min]， $def_{inst.}$: 計測機器の計測誤差[℃]。

図-3に経路Aの機器No.2とNo.4の気温観測結果を示す。全ての機器は計測器No.3の9時の値を基準に補正した。全体に見て機器による差は微小であることがわかる。

図-3(a)に示す9時では北側の領域A1からA7と，南側の領域A8からA14は，通町筋を挟んで傾向が違っている。北側は南側に比べて1.0℃程高い。図-3(b)の12時では，A4からA9で33.0℃から34.0℃を超えている。これは車からの排熱が原因と考えられる。12時では違いが3.0℃からそれ以上であった。15時では35.0℃を超える箇所が増え，その地点は必ずしも12時と同じではない。即ち，A7～A14，B7～B13は建物によって日射の遮蔽が主な理由と考えられる。A7～A11は大通りに面していることと，A12～A14は狭い路地に車が混雑していることなどが原因ではないかと考えられる。図-3(d)の18時になると気温差は1.0～1.5℃まで減少した。

同様に，図-4に経路Bの機器No.1とNo.3の結果を示す。経路Bでは，12時に顕著な違いが見られた。観測点B4とB5他の観測点よりも高く，約35.0℃であった。またB14は，ほぼ34.0℃であった。

次に，図-5と図-6にWBGTの結果を示す。WBGTでは，全体で見て，機器による差がやや目立つ。ここで，WBGTの算出方法を示すと次式の通りである³⁾。

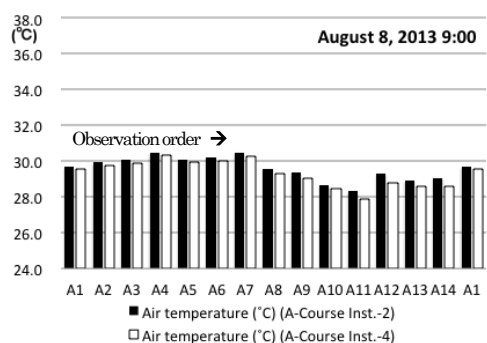
$$\begin{cases} WBGT_{in} = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T_d \\ WBGT_{out} = 0.7 \times T_w + 0.3 \times T_g \end{cases} \quad \cdots(2)$$

ここに， $WBGT_{in}$: 室内[℃]， T_w : 湿球温度[℃]， T_g : 黒球温度[℃]， T_d : 乾球温度[℃]， $WBGT_{out}$: 屋外[℃]。

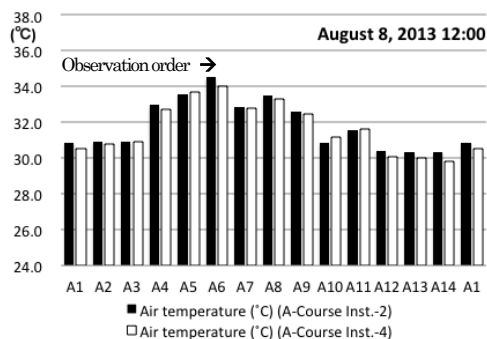
この式からわかるように，WBGTのばらつきが目立つのは，湿球温度と黒球温度の計測精度が，機器の取り扱いも含めて，乾球温度のそれに比べて低かったからではないと思われる。表-2は，WBGTと作業環境の関係を示したものである。これを参照しつつ調査結果を見ると，9時では経路Aでは28.0℃未満で，経路Bでも高く28.0℃程度であり，暑熱環境はさほど悪くない。しかし，12時になると，経路A，Bともに30.0℃を超えるところが出はじめ，15時はかなりの箇所30.0℃を超えている。また，WBGTが相対的に高い箇所は12時と15時で異なっている。A10～A14，B7～B11は，12時ではそれ程ではなかったものが，15時には異常に高くなり，32.0℃を超えるところも見られる。なお，こうした傾向は気温と同様である。

表-2 暑熱環境指標WBGTと作業環境³⁾

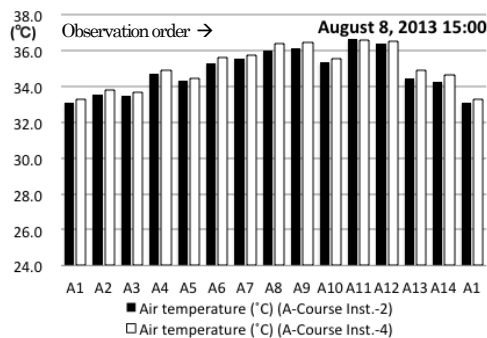
WBGT[℃]	許容	作業強度
32.5	極軽作業	RMR-1
30.5	軽作業	RMR-2
29.0	中程度作業	RMR-3
27.5	中程度作業	RMR-4
26.5	重作業	RMR-5



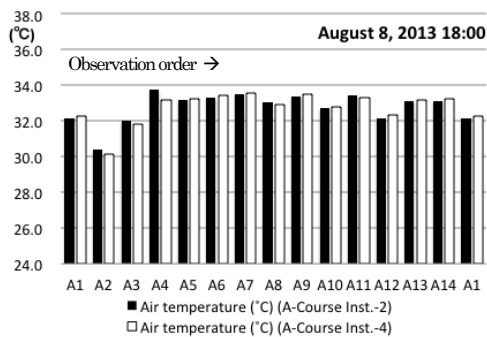
(a) 9:00



(b) 12:00

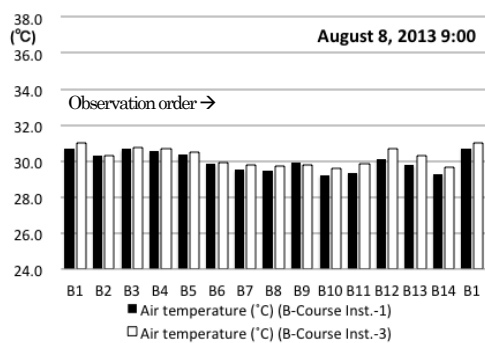


(c) 15:00

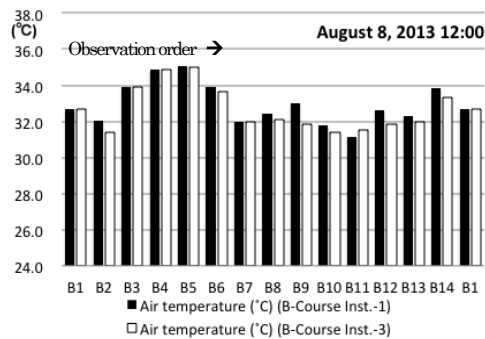


(d) 18:00

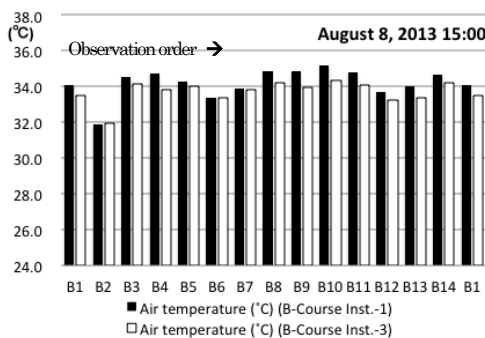
図-3 気温（経路A，機器No.2，No.4，補正した値）



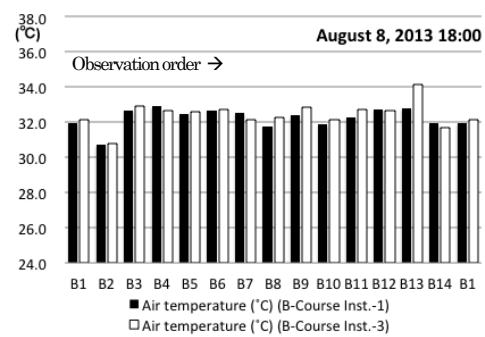
(a) 9:00



(b) 12:00

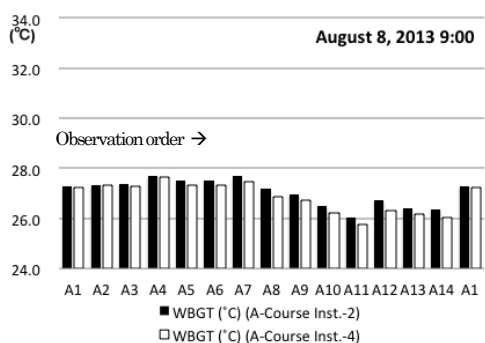


(c) 15:00

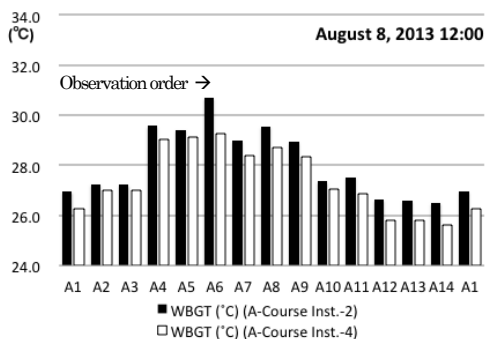


(d) 18:00

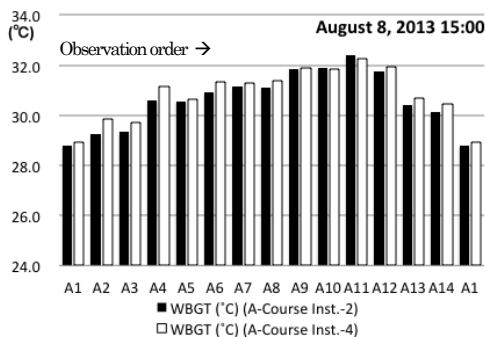
図-4 気温（経路B，機器No.1，No.3，補正した値）



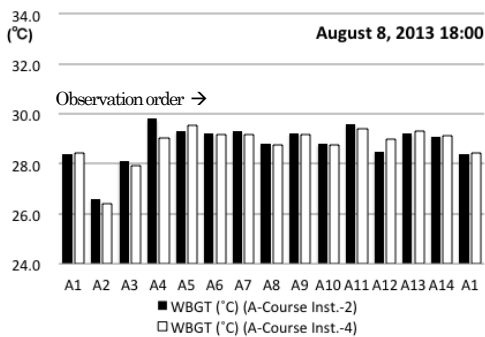
(a) 9:00



(b) 12:00

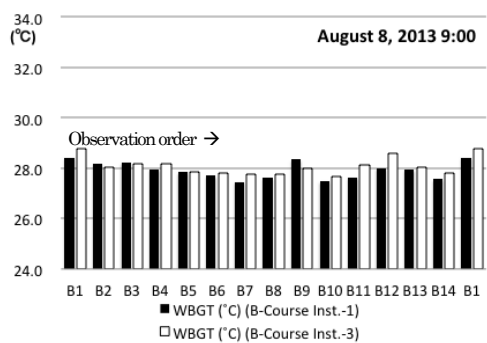


(c) 15:00

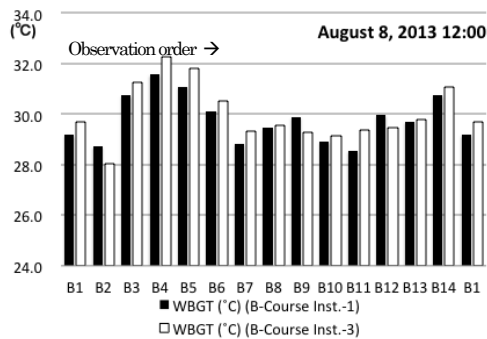


(d) 18:00

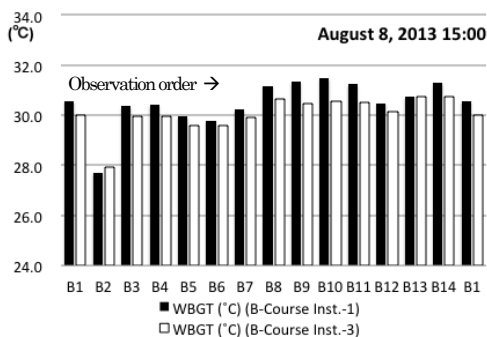
図-5 WBGT (経路A, 機器No.2, No.4, 補正した値)



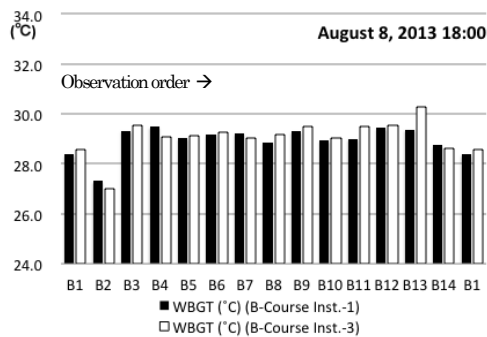
(a) 9:00



(b) 12:00



(c) 15:00



(d) 18:00

図-6 WBGT (経路B, 機器No.1, No.3, 補正した値)

3. 考察：街区熱環境の領域分類

表-3に、調査結果と熊本气象台AMeDAS気温との格差を示す。但し、ここで用いたAMeDAS気温は各時刻瞬間値ではなく「1時間ごとの値」である。熊本市中心街区は、12時ではAMeDAS気温に比べて高くはないが、15時には交通量の多い国道3号線に沿ったA5～A9、そこから街区に入ったA10～A12で高温になることがわかる。

表-3 調査結果とAMeDAS気温との格差[℃] (2013年8月8日)

AMeDAS [*]	9時	12時	15時	18時	備考
A1 [†]	29.1	33.2	33.2	31.5	
A2 [†]	0.5	-2.5	0.0	0.7	端、半開
A3 [†]	0.9	-2.3	0.4	0.4	端、半開
A4	1.3	-0.4	1.6	2.0	
A5	0.9	0.4	1.2	1.7	国道沿い
A6	1.0	1.1	2.3	1.9	〃
A7	1.3	-0.4	2.4	2.1	〃
A8	0.4	0.2	3.0	1.5	〃
A9	0.1	-0.6	3.1	1.9	〃
A10	-0.5	-2.2	2.3	1.3	
A11	-1.0	-1.6	3.4	1.9	
A12	-0.1	-2.9	3.3	0.8	
A13	-0.4	-3.0	1.5	1.6	
A14	-0.3	-3.1	1.3	1.7	
B1 [†]	1.8	-0.5	0.6	0.6	端、半開
B2 [†]	1.2	-1.5	-1.3	-0.8	店舗空調
B3 [†]	1.6	0.7	1.1	1.3	道路横断
B4 [†]	1.5	1.7	1.1	1.3	
B5 [†]	1.3	1.8	0.9	1.0	半開
B6 [†]	0.8	0.6	0.2	1.2	
B7 [†]	0.6	-1.2	0.7	0.8	端、半開
B8	0.5	-0.9	1.3	0.5	
B9	0.7	-0.8	1.2	1.1	
B10	0.3	-1.6	1.6	0.5	
B11	0.5	-1.9	1.2	1.0	市役所前
B12	1.3	-1.0	0.3	1.2	
B13	1.0	-1.1	0.5	2.0	
B14	0.4	0.4	1.3	0.3	

*: AMeDASは「1時間ごとの値」、†: アーケード

図-7は各観測時刻における気温を基に相対的な高低を領域に分類したものである。9時では30.0℃を越す測点が北側と西側の領域に広がっている。一方、28.5℃から29.0℃の低い測点が南西の領域に広がっている。12時では33.0℃から34.0℃の高温の測点が、国道3号線傍の領域と、通町筋のB1とB14を含む中心部の領域、測点B1からB14がある下通アーケード南側の領域に見られる。比較的低い測点は下通アーケードの北側と西側の領域に広がっている。15時には東側の領域が非常に高く、35.0℃を超えている。この結果は国道3号線の交通によるものと考えられる。北側と西側の領域は33.0℃を超えているが、

相対的には低い。B2の位置する領域はさらに低いが、これは空調が外部に漏れていたためである。18時では国道に沿った領域で温度の下がり方が遅く、33.0℃から34.0℃であった。市街地の中心部では相対的に温度は下がり、概ね32.0℃であった。B13が位置する領域も夕暮れ時には交通量が多く最も渋滞する場所の一つでもある。

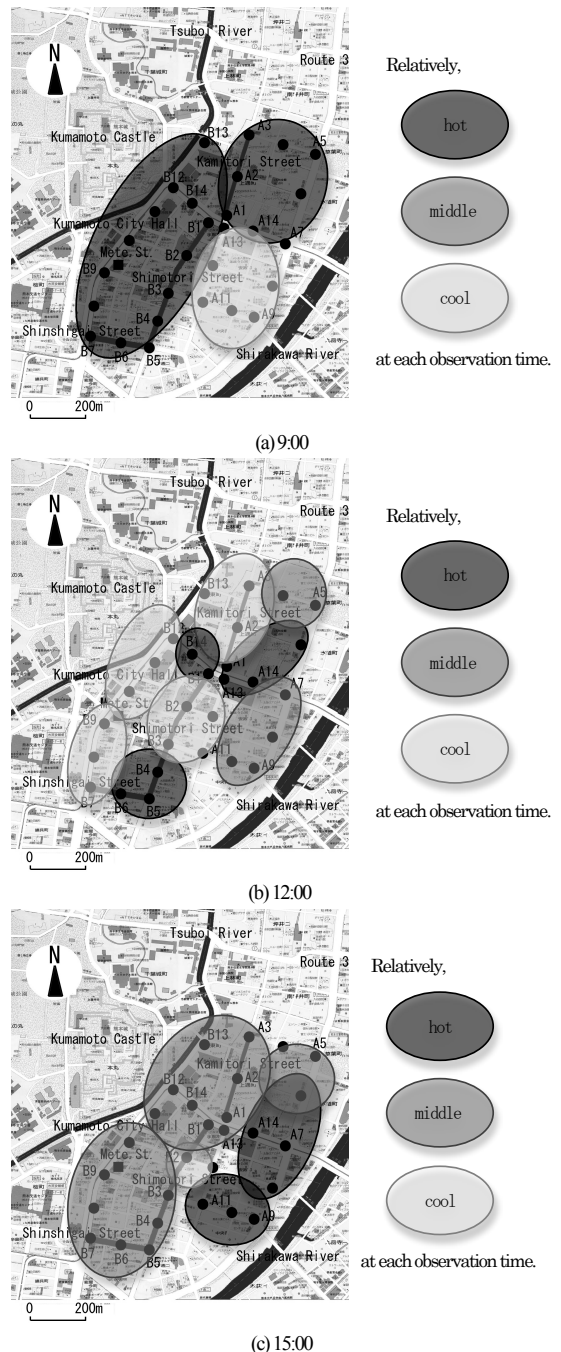


図-7 気温の時空間の区分 (2013年8月8日)

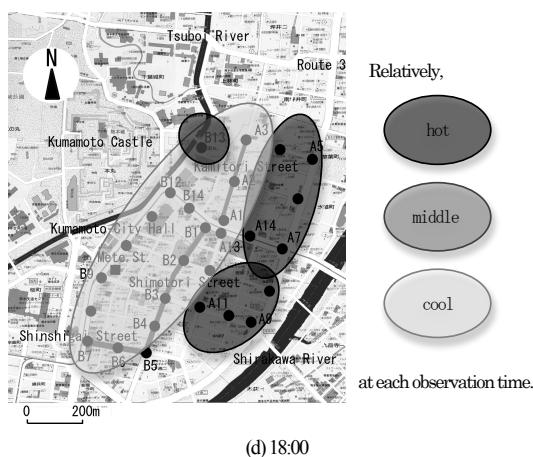


図-7 (続き) 気温の時空間の区分 (2013年8月8日)

4. 結語

移動気象観測は簡易手法であるが、観測値の信頼性が高いとは断言できない。しかし、本研究では機器による観測差を2つの機器を用いることによって検証するとともに、観測時間による計測値の補正を行い、その欠点を補った。そうすることで、ある程度の確かさを持って、熊本市街区の夏季熱環境の特徴を時間空間的に評価することができた。また、各観測時刻における領域の分類を行うことができた。

今回取り上げた2013年8月8日の調査結果から、熊本市中心街区の夏季熱環境の特徴を簡単に整理すると、次のようである。

- 1) 午前中は1.5℃程度の差異で、南東の領域が相対的

に低かった。

- 2) 正午は3.5～4.0℃の差異があり、相対的高温の領域と低温の領域が混在していた。
- 3) 午後は2.0～3.0℃程度の差異で、交通量の多い国道沿いに高温の領域が確認された。
- 4) 夕刻は3.5℃程度の差異があり、交通量が多く渋滞が目立つ領域で高温であることが明確に示された。

以上のように、本手法は簡易に都市街区について効果的な情報を提供し、影響の評価及び検討を可能にするものであり、都市街区の熱環境対策を検討する際に有用であると考えられる。また、熱環境の悪化による空調負荷の増大や二酸化炭素排出量のへの影響の評価に活用することできると考えている。さらに、今回のように、時間毎に面的に図化することにより、都市街区の環境計画やデザインを行う際に利用可能な方法であると考えられる。なお、他の調査調査結果については今後改めて報告する予定である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 24560672 の助成を受けたものです。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 上野賢仁, 本田智也, 福嶋宏起, 正木大地: 都市街区の熱環境と空調負荷に関する事例研究, 第41回環境システム研究論文発表会講演概要集, pp.515-521, 2013.
- 2) 上野賢仁, 田代敬大: 都市街区の熱環境影響の時空間評価に関する研究, 土木構造・材料論文集, 第29号, pp.161-166, 2013.
- 3) 京都電子工業: 暑熱環境指標計測計 WBGT-113 マニュアル.
- 4) 日本気象協会: 過去の気象観測データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/> (アクセス: 2014年2月12日) .

(2014. 7. 23 受付)

SPATIOTEMPORAL EVALUATION OF THERMAL ENVIRONMENT IN URBAN DISTRICTS: A CASE OF KUMAMOTO CITY

Takahito UENO, Yusuke SHIKI, Satoshi DOI, Chihiro FUJISUE
and Takahiro TASHIRO

To investigate the thermal environment in urban districts, moving meteorological observations were performed, in the case of Kumamoto City in 2013. The investigations were planned about once in a month and done several times. In this paper, the result of August 8 was used to evaluate the spatiotemporal characteristics of the districts. At these observations, two instruments were used and the results' errors caused by differences between observation times and instruments were calibrated. Then, the results were able to show the thermal environment of the districts with the allowable margin of error. Besides, some peculiar areas were categorized into hot zone and cool zone for each measurement time, 9:00, 12:00, 15:00 and 18:00. In conclusions, it was suggested that this investigation method was useful to evaluate the thermal environment of urban districts in time and space.