

都市街区の熱環境と空調負荷に関する事例研究

上野 賢仁¹・本田 智也²・福島 宏起³・正木 大地⁴

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 三和理工(有) (〒861-8035 熊本県熊本市東区御領三丁目12-1)

³非会員 (株)東洋環境分析センター 福岡ラボラトリー (〒812-0874 福岡市博多区光丘一丁目1-41)

⁴非会員 (有)正木工業 (〒861-4146 熊本市南区富合町榎津1080-5)

熊本市中心市街地の熱環境を評価するため、平成24年の夏から秋に掛けて移動観測による簡易気象観測を実施した。この結果を、前年度の観測結果とともに、IKONOS画像を参照して把握した都市地表面状態と比較した。また、同街区の中心部で、気象観測を行った。これらの結果を使って、熱環境と空調負荷との関係について解析し、考察した。更に、観測結果を使って空調負荷計算を試みた。

Key Words : thermal environment, urban district, moving observation, IKONOS, meteorological observation, air conditioning load

1. はじめに

近年、都市の熱環境は特に夏場において悪化し、熱中症等の健康被害が増加している。日中人々が混雑する都市街区の気温を下げる事が重要である。一方で、地球温暖化に関連して空調に伴うエネルギー消費の増加も問題である。空調負荷を減らすことで省エネルギーと二酸化炭素排出の低減に繋がる。大都市では、その規模から非常に重要な問題であるが、今日では中小都市においても同様に重要な問題になっていると言える。そこでは、対策費用と効果を明確に説明する必要がある。こうした要望に応える研究を幾つか見出すことができる。例えば、亀掛川ら^{1), 2)}は数値シミュレーションシステムを構築し、市街地の温暖化と建物のエネルギー需要の両方について影響評価を行っている。また、川島ら³⁾による屋上緑化の冷房エネルギー削減についての研究等がある。最近ではこれらに関連した著書も見られる(Lisa Gartland⁴⁾)。しかしながら、依然として両者を容易に関連付ける手法が確立している状況とは言えない。以上のような目的で、著者らはこれまで空間的な空調負荷と都市温度の関係を検討してきた^{5), 6)}。最近では熊本市街地を対象として夏場の暑熱環境を継続的に簡易計測し、衛星情報を参照した周辺状況と比較し、暑熱環境および空調負荷への影響について考察している^{7), 8)}。本研究では熊本市街区を事例とした最近数ヶ月の調査結果と、新たに建物屋上一箇所

に設置した総合気象観測データによる計測結果を参考に、して検討を行った。また、前年度の観測データ及び検討結果と比較を行った。

2. 熊本市街区の暑熱環境調査

(1) 調査方法と装置

熊本市街区を研究対象として、午前9時、正午、午後3時、午後6時の暑熱環境を調べた。2012年は、9月11日、10月31日、12月18日の3回実施した。計測点を図-1に示す。計測方法は基本的に既報の通りであるが⁹⁾、今回は機器を2台ずつ使用し2コースを移動計測し、計測結果の機器及び時間差を補正した(計測機器：京都電子工業、WBGT-113)。計測項目は、気温、湿度、黒球温度、WBGT(熱中症の危険度を示す指標¹⁰⁾)である。また、図-2に示すように総合気象観測機器(LUFFT社、WS-501)を測点B9付近の建物屋上に設置し、気温、湿度、風向・風速を計測した。屋上の照り返しや建物による風の吹き上げ等の影響を極力避けるため支柱はできるだけ高い方が良いが、ここでは4mとした。また今回は建物に空調電力計測システムを設置したが、これについては改めて報告する。本報告では主に9月11日のデータを用いて検討する。比較に用いた前年度データは2011年8月31日のものである。

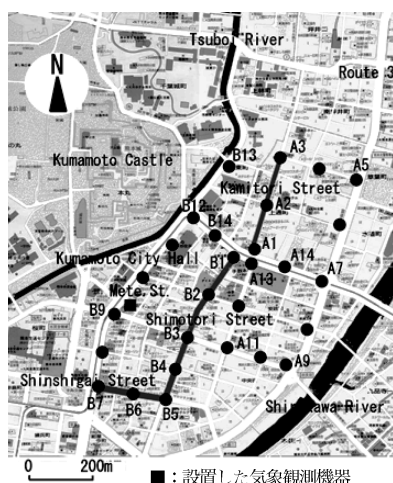


図-1 熊本市中心市街地の観測点
(地図：福岡人文社「熊本グランドまちず」)



図-2 観測点B9隣の建物屋上に設置した気象観測機器

(2) AMeDASデータ

2012年9月11日のAMeDASデータを図-3に示す．9時から正午に掛けて曇りであった．しかし、午後1時で30を超え、午後4時の時点で31.8 まで上昇した．

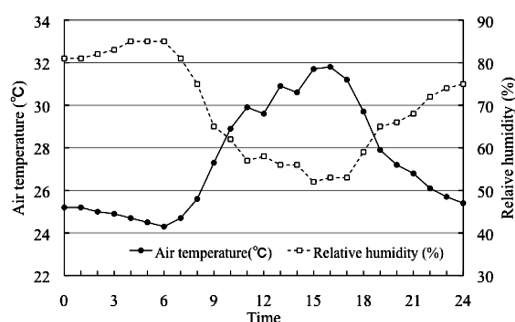
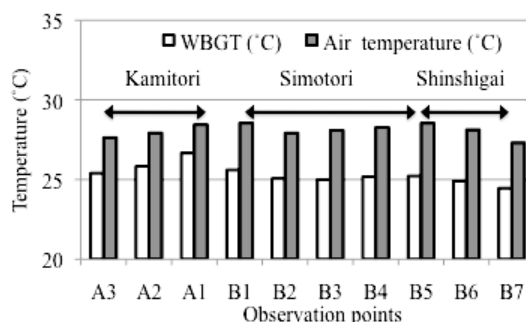


図-3 2012年9月11日のAMeDASデータ¹¹⁾

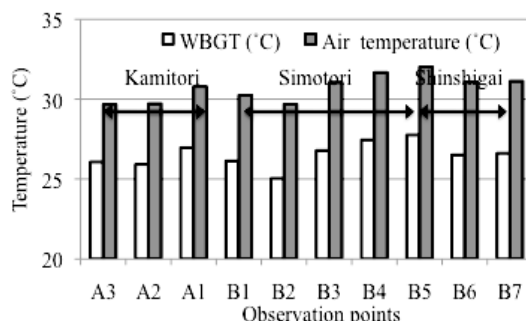
(3) アーケード内の気温とWBGT

図-1に示したように、熊本市中心市街地には3つのアーケードがある．計測点A1～A3は上通り（かみとおり），B1～B5は下通り（しもとおり），B5～B7は新市街にある．市電が通り交通量も多い通町筋（とおりちょうすじ）は、上通りと下通りを分け、交差点には人通りも多い．A5～A9は国道3号線沿いである．B7～B13は市役所前の通りで、市電が通り、交通量も比較的多い．A3、A4、A10～A12等は裏道の建物密集地である．

図-4に移動計測結果の一部を示す．下通りのB3と新市街のB4～B7の温度が高い．また、A1とB1の気温も高い．一方、A3の温度は4回の計測を通じて他の測点よりも低かった．この測点は、アーケードの屋根があるだけでなく、他の測点と違って半開放の構造で、空気の出入りがし易いためと考えられる．B2も同様に低かったが、この測点は下通りアーケードの中央に位置し、自動車交通の影響がほとんど無いためと考えられる．全体として、アーケードの屋根、風、交通等が主要な要因と考えられる．水面の効果については、B12及びB13が該当すると考えられるが、測点が少ないため今回の結果だけでは十分とは言えない．また、建物空調の冷氣による影響も見られたが、これについてはその場の周辺環境の影響としては一先ず抽出せず、除外して考えることにする．

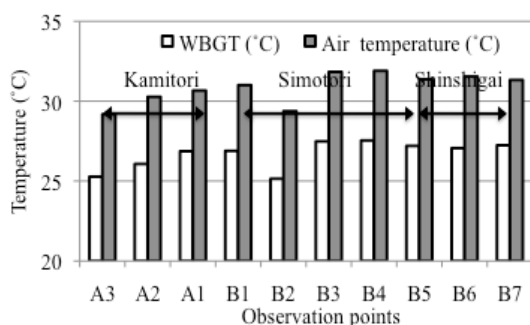


(a) 9:00

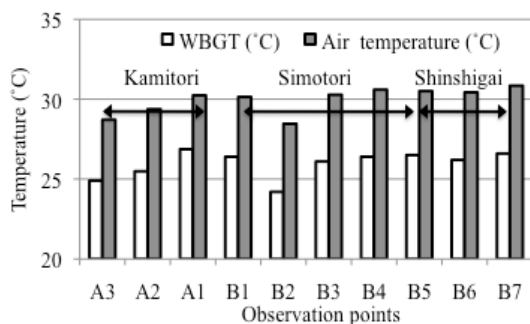


(b) 12:00

図-4 移動計測結果（一部）



(c) 15:00



(d) 18:00

図4（続き） 移動計測結果（一部）

(4) 地表面状態と気温及びWBGTの関係

表-1は既報でも示した数箇所の測点についての被覆割合である⁹⁾。ここでは典型的な測点を選んでいる。周辺被覆の割合はIKONOS画像を参照して求めている。

表-1 計測点周辺の被覆割合⁹⁾

計測地点	地点の説明	被覆割合（％）			
		緑地	道路	水域	建物
A1*	びびれす広場	0	21	0	79
A3*	上通り肥後銀行前	0	12	0	88
A7	水道町交差点	6	51	0	43
A9	銀座橋前	6	59	0	35
B3*	銀座通り交差点	0	19	0	81
B5	水道町 SS 前	9	40	0	51
B7*	新市街市電電停前	4	40	0	56
B9	崇城大学専門学校前	8	43	0	49
B12	郵便局前	14	54	6	26

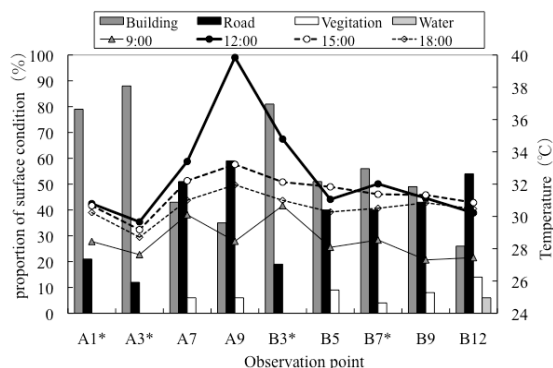
*: アーケード

A1は通町筋傍の測点で、交通及び建物の密集の影響が大きいと予想され、人が最も集まる場所でもある。A9は国道3号線沿いで交通量が多く、その影響が予想される。B12は市役所前の通りで、交差点の関係で、車が常時低速で連なっている箇所である。表中「*」印は

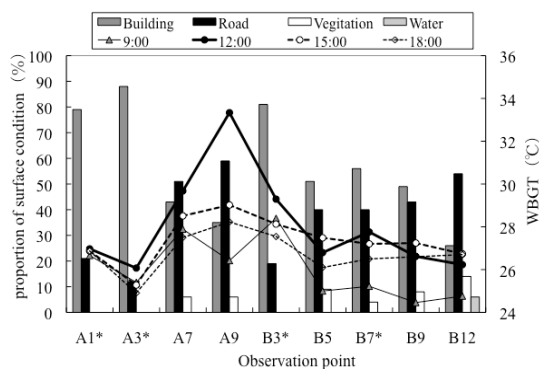
アーケード内を示す。なお、条件の異なる多数の測点を比較するのは、雑多な市街地空間でどのような箇所がどのような暑熱環境かを掌握することを主眼とするためである。被覆割合で特徴があるのは、A1, A3, B3で建物が多いこと、A7, A9, B12で道路の割合が多いことである。B12は緑地が比較的多いが、その割合は14%である。

上記の周辺被覆割合と気温及びWBGTの関係を図-5に示す。正午のA9の気温が非常に高い。WBGTも同じ測点、同じ時刻で高い。一方、A3及びA1は他より低い。両者はアーケード内である。しかし、同じアーケード内で、被覆割合も似ているB3はそれ程低くはない。この理由は現地で周辺環境を確認すると概ね推察できる。A3はアーケードの屋根があると同時に、半開の構造で空気が入れ替わりやすい箇所である。一方、B3はアーケードの中間点であるが、車の多い交差点でもある。

以上の傾向が日時に左右される可能性は十分にあるので前年度の結果を図-6に示して比較した。図-5と図-6を比較すると、値は若干違うものの、非常に良く対応していることがわかる。

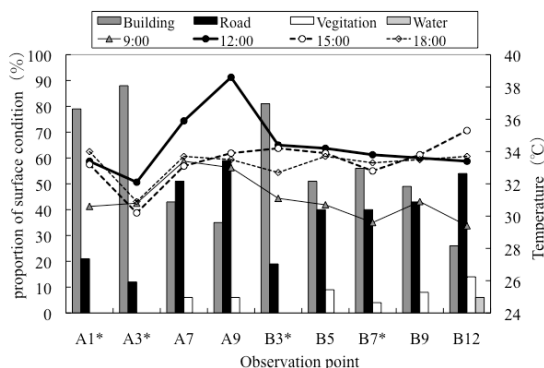


(a) 気温

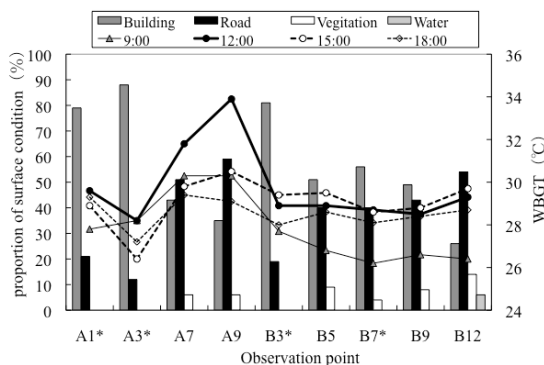


(b) WBGT

図-5 地表面状態との関係（2012年9月11日）



(a) 気温



(b) WBGT

図-6 地表面状態との関係(2011年8月31日, 前報⁹⁾)

(5) 気象観測結果

図-7に測点B9隣の建物の屋上に設置した計測器による2012年9月11日の気象観測結果を示す。図-3の同日AMeDASデータと比較すると、曇った時間帯や15時過ぎの気温が高い時間帯等、両者は良く対応していることがわかる。最高気温はほぼ33℃に達している。

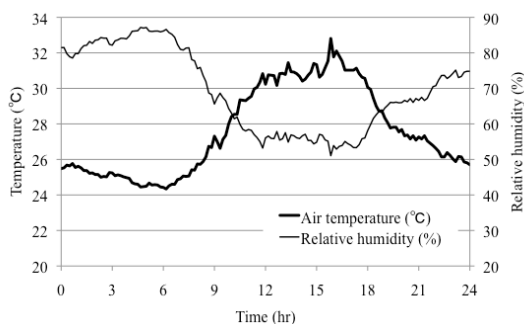


図-7 B9隣の建物屋上の気温、相対湿度(2012年9月11日)

3. 仮想空調負荷計算による考察

(1) 計算方法

計測結果を用いて、測点近隣の建物の空調負荷の計算を試みた。空調負荷は次式で簡易に計算した^{5),6)}。

$$QSC = K_T (\theta_r - \theta_c) \quad (1)$$

$$K_T = \sum K_k A_k H_k + c_p a V \quad (2)$$

ここに、QSC：空調顕熱負荷 [J/K], K_T ：総熱貫流率 [J/hK], θ_r ：外気温(観測値) [K], K_k ：部位kの熱貫流率 [J/m²hK], A_k ：部位kの面積 [m²], H_k ：温度差係数 [-], $V (=n \times v)$ ：換気率 [m³/h] (n ：換気回数 [回/h]), $v (=床面積 \times 天井高)$ ：建物内の気積 [m³]である。

表-2に諸定数を示す。これらの値は戸建住宅の一例である。空調面積は仮に5分の1としている。また、比較としてコンクリート造の値についても計算した。この諸定数を表-3に示す。この場合は空調面積は床面積と同じと仮定する。対象街区は商業地域であるので、どちらかと言えば後者の方が現実に近いと考えることができる。

任意の6測点を選び、最寄の建物について仮想の空調負荷計算を行った。床面積は表-4に示すようにIKONOS画像を参照して求めた。外気温には表-5に示す計測値を用いた。時刻は正午である。室内温度は25℃を仮定した。比較のため計算は前年度の計測値についても行った。

表-2 戸建住宅を想定して計算した場合の諸定数^{5),6)}

定数	戸建住宅
壁・天井・床の熱貫流率 [J/m ² hK]	6,048
ガラス窓の熱貫流率 [J/m ² hK]	23,292
$c_p a$ [J/m ³ hK]	1,220.4
居室と外気の温度差係数	1.0
居室と床裏の温度差係数	0.6
間仕切りの温度差係数	0.7
換気回数 [回/h]	1.5
床から天井までの高さ [m]	2.5

表-3 コンクリート造を想定した場合の諸定数¹²⁾

定数	コンクリート造
壁・天井・床の熱貫流率 [J/m ² hK]	7,940
ガラス窓の熱貫流率 [J/m ² hK]	12,612
換気回数 [回/h]	0.5

表-4 IKONOS画像から算出した観測地点隣の建物床面積⁹⁾

No.	床面積 (m ²)	説明
A1	5,494 (=67×82)	上通りアーケード南端
A3	550 (=22×25)	上通りアーケード北端
A7	841 (=29×29)	通町筋と国道3号線の交差点
B3	270 (=18×15)	下通りアーケード中央
B7	1,260 (=36×35)	下通りアーケード西端
B9	651 (=21×31)	下通りアーケード中央から約200m西

表-5 観測気温

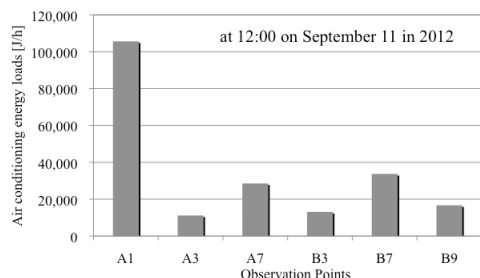
No.	2012年9月11日正午	2011年8月31日正午
A1	30.8	33.4
A3	29.7	32.1
A7	33.4	35.9
B3	34.8	34.4
B7	32.0	33.8
B9	31.1	33.6

(2) 計算結果

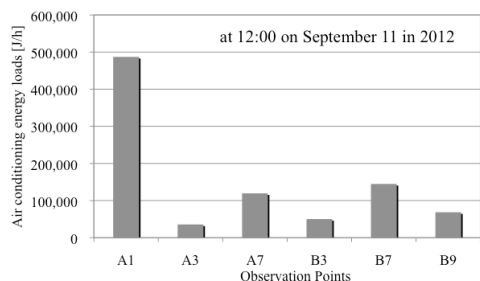
計算結果を図-8に示す。図(a)は戸建住宅、図(b)はコンクリート造である。当然ではあるが、計算結果は空調床面積と内外の温度差によって左右されるが、A1傍の建物が最も高い値となった。これは他に比較して建物の面積が非常に大きいためである。この建物は利用者が多い中心的な建物の一つであり、影響の程度は重要である。

図-9に比較のため前年の結果を示す。調査年は違うが両図はほぼ相似と見ることができる。A1について比較すると、前年の調査では表-5に示した通り気温が2.6 高いが空調負荷は約1.4倍になる。この計算は1階層当たりの計算であるから、容積率を考慮すれば現実にはさらに大きな違いとなる。

次に、単位床面積当たりを図-10に示す。計算結果はB3が最も高い値となった。単位面積当たりで見れば、建物の諸定数を仮定した今回の手順では内外の温度差が主要な因子となるから、表-5に示した計測気温が大きく影響する。

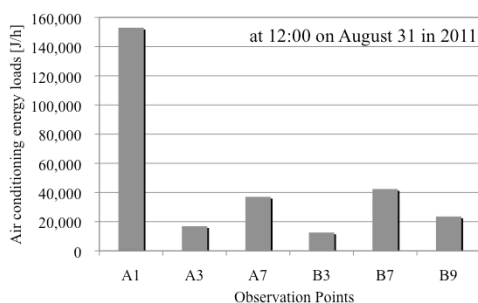


(a) 戸建住宅を想定 (空調床面積=床面積/5)

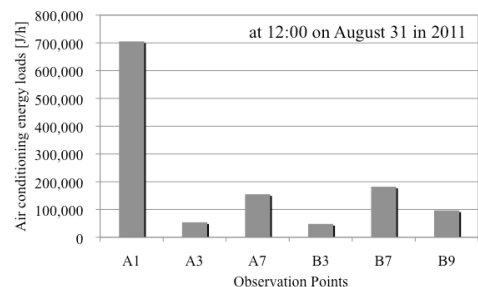


(b) コンクリート造を想定 (空調床面積=床面積)

図-8 仮想空調負荷 (2012年9月11日正午, 空調温度25)

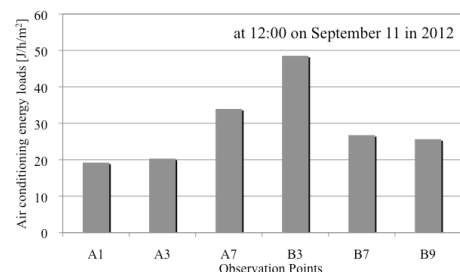


(a) 戸建住宅を想定 (空調床面積=床面積/5)

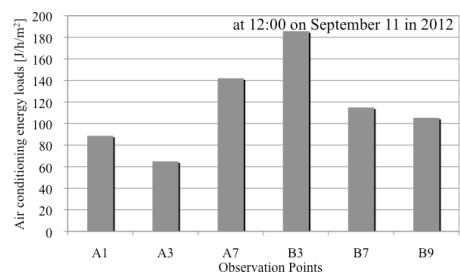


(b) コンクリート造を想定 (空調床面積=床面積)

図-9 仮想空調負荷 (2011年8月31日正午, 空調温度25)



(a) 戸建住宅を想定 (空調床面積=床面積/5)

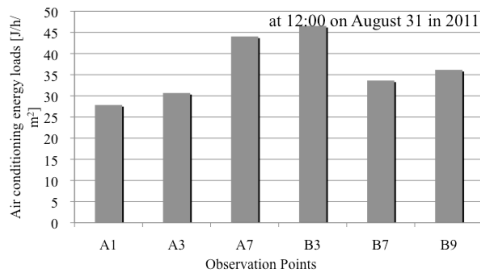


(b) コンクリート造を想定 (空調床面積=床面積)

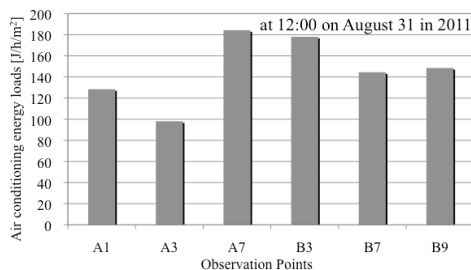
図-10 単位床面積当たりの仮想空調負荷
(2012年9月11日正午, 空調温度25)

先程と同様に比較のため前年の結果を図-11に示す。戸建住宅の場合、最高はB3でありA7よりも若干高い。

計算では、建物全体の空調負荷を計算した後に、床面積で除して単位面積当たりの負荷を計算するため、気温と負荷の大小関係は必ずしも対応するとは限らない。一方、コンクリート造の場合の最高値はA7である。またA1とA3も戸建住宅とコンクリート造とでは逆転している。



(a) 戸建住宅を想定 (空調床面積=床面積/5)



(b) コンクリート造を想定 (空調床面積=床面積)

図-11 単位床面積当たりの仮想空調負荷
(2011年8月31日正午、空調温度25℃)

以上、計算結果は表-4と表-5の床面積と計測気温との対応を見ることにより、空調負荷得への影響を良く理解でき、その理由を十分に説明することが可能である。

4. おわりに

気温と相対湿度は多くの人々の生活空間である市街地の熱環境を評価するために重要な指標であるとともに、空調負荷を計算する上で必要な情報である。また同時に、二酸化炭素排出量といった環境影響も関係付けることができる。一方、WBGTのような暑熱環境指標も健康被害や快適性を評価する上で軽視できない情報である⁹⁾。

都市街区において、これらの情報収集が求められるが、現時点では費用等の事情を考えると必ずしも容易なこととは言えない。そこで本研究では、比較的簡易に実施できる移動計測手法で、中規模都市である熊本市の街区を事例対象として検討を試みた。ただし、本手法は厳密な

気象観測ではないため計測情報を何らかの方法で有為なものに変える必要がある。本研究では一つの試みとして、毎年同様の方法で計測し、情報を積み上げることによりその欠点を補うことを試みた。今回、新たな調査結果と昨年の調査結果を比較した結果、両者は概ね相似であることが見て取れた。現段階ではあくまで限定的ではあるが、このことは、簡易な手法で都市街区の熱環境の特徴をある程度の信頼性を持って掌握することができ、また空調負荷計算等に利用できることを示唆しているものと思われる。

今後の方向としては、1点ではあるが設置した総合気象計測装置のデータを基準することで、さらに精度良い議論が可能になるものと予想している。また次の段階として、既知の建物についての空調電力の計測結果と関係付けた解析を行い、仮想計算との比較を行う予定である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 24560672 の助成を受けたものです。また、IKONOS 画像は東京大学古米弘明教授との共同研究を通して使用させて頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) Yukihiro Kikagawa, Yutaka Genchi, Hiroshi Yoshikado, Hiroaki Kondo: Development of a numerical simulation system toward comprehensive assessments of urban warming countermeasures including their impacts upon the urban buildings' energy-demands, *Applied Energy*, **76**, pp.449-466, 2003.
- 2) Yukihiro Kikagawa, Yutaka Genchi, Hiroaki Kondo, Keisuke Hanaki: Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning, *Applied Energy*, **83**, pp.649-668, 2006.
- 3) 川島久宜, 加藤千尋, 鎌田祥啓, 黒岡秀次, 石間経章: 植生マットを用いた屋上緑化に関する実証実験—夏期における冷房の消費エネルギー削減効果—, *日本ヒートアイランド学界論文集*, Vol. 6, pp. 1-7, 2011.
- 4) Lisa Gartland: Heat island – Understanding and mitigating heat in urban areas, *Earthcan*, pp.109-138, 2008.
- 5) 上野賢仁, 柴田学, 谷川寛樹, 井村秀文: 都市熱環境モデルを利用した空調エネルギー需要の空間分布推計, *環境システム研究*, Vol.27, pp.165-170, 1999.
- 6) 上野賢仁, 柴田学, 谷川寛樹, 井村秀文: 都市域の家庭の夏季空調エネルギー負荷と家族形態との関連分析, *環境システム研究論文集*, Vol.28, pp.69-75, 2000.
- 7) 上野賢仁, 山口浩太郎, 松岡孝介, 岸本進一, 永友久通: 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, 第 36 回環境システム研究発表会 講演集 Vol. 36, pp. 325-330, 2008.

- 8) 上野賢仁, 赤嶺吉治, 神坂一成: 熊本市街区の暑熱環境の調査と評価に関する研究 第 39 回環境システム研究論文発表会講演概要集, pp.387-392, 2011.
- 9) 上野賢仁, 空岡由希子, 森下聖太: 都市街区の熱環境影響の評価に関する研究, 第 40 回環境システム研究論文発表会講演概要集, pp.403-409, 2012.
- 10) 京都電子工業: 暑熱環境指標計測計 WBGT-113 マニュアル.
- 11) 気象庁: <http://heatisland.tetum.info/>
- 12) 松尾陽, 村上周三, 宮田紀元, 鎌田元康, 坂本雄三: 現在の気象テクノロジー7 建築と気象, p.26-41, 朝倉書店, 1993.

(2013. 7. 19 受付)

A CASE STUDY OF THERMAL ENVIRONMENT AND AIR CONDITIONING ENERGY LOADS IN KUMAMOTO CITY URBAN DISTRICTS

Takahito UENO, Tomoya HONDA, Hiroki FUKUSHIMA and Daichi MASAKI

In order to evaluate the thermal environment in Kumamoto City urban districts, the moving observations were held on September 11, October 31 and December 18 in 2012. This results were compared with the observation results in previous year, and the surface conditions referring IKONOS image. And, the meteorological observation also performed at a building in Kumamoto City districts. Using these records, the relation between thermal environment and air conditioning energy consumption were analyzed and discussed. Foremore, the air conditioning energy loads were calculated based on the observed data.