

都市街区の気象観測と空調電力量計測に基づく解析 —熊本市中心市街地の事例—

上野 賢仁¹・横野 太一²・田代 敬大³・天本 徳浩³

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.sojou-u.ac.jp

²非会員 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)

³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)

熊本市中心市街地の一建物に、気象観測装置と建物の空調電力の計測装置を設置し、長期観測を行った。この計測記録に基づいて、対象街区の気象と空調電力との関係について解析した。具体的には月2回抽出した値を用いて、まず、装置を設置した建物における一年間を通じた街区気象の特徴と空調電力量の特徴を見た。次に、日平均気温と一日の電力量の関係を求め、年間を通じた気象に対する空調電力量の増減を見た。この結果、例えば、2014年1月15日は平均気温4.3℃、一日の電力量54.0kWh、8月1日は平均気温28.2℃、一日の電力量39.2kWhであった。4月17日の17.1℃、14.5kWhと比較すると、一日の電力量はそれぞれ3.7倍、2.7倍となる。日平均相対湿度と一日の電力量との関係についても同様の検討を行ったが、これらに明確な関係は得られなかった。さらに、観測値を基に空調負荷計算を行い、計測した電力と比較することにより、その妥当性を検証した。この結果を踏まえて、これまで実施した移動気象観測値と関連付けて、対象街区の熱環境と空調負荷の時間空間的な関係を示した。

Key Words : thermal environment, urban district, meteorological observation, air conditioning energy

1. 序論

都市気温の上昇は、健康面、環境面から、その対策が望まれるが、都市空間の持つ役割上、緑化も限界があり人工的にならざるを得ず容易ではない。都市空間の市街地では特に高温化を緩和する対策が望まれるが、実際には部分的な空間から改善していくのが現実的と思われる。その結果として都市街区空間の熱環境改善とともに空調負荷低減も見込まれる。筆者らはこれまで、熊本市中心市街地を対象として移動気象観測によって熱環境を調査し、観測結果を踏まえて仮想建築物を想定して空調負荷を計算し、熱環境影響を空調負荷で提示する試みを行ってきた^{1,2)}。この結果から、同じ街区内でも気温の時空間的な差異が認められ、時空間を限定して的確な対策を行えば改善が十分可能と思われる。これと並行して市街地中心部の一建物に気象観測装置と空調電力の計測装置を設置し、記録してきた。本研究では、この記録に基づいて、対象街区の気象と空調電力との関係について解析した。第一に、気象観測結果とAMeDAS値から、対象とした熊本市中心市街地の年間を通じた気象の特徴を見るとともに、対象建物の空調電力の特徴を見た。第二に、

当該建物における一年間を通じての街区気象と空調電力量の関係をみた。この結果から、一建物の事例ではあるが、街区気象と空調電力との関係について考察した。第三に、気象観測値を用いて空調負荷計算を行い、実際の電力量との関係をみた。また、以上の結果を踏まえて、移動気象観測値を用いた空調負荷計算を行った。

2. 気象観測と空調電力量計測の概要

図-1に対象とした熊本市中心市街地と計測地点を示す。図中■印は屋上に総合気象観測機器 (LUFFT社: WS-501) を設置した建物の地点である。また、図中●印はこれまでに実施した移動気象観測の観測点である。観測要素は気温、相対湿度、風向風速、日射量である。また、建物一階の10分毎空調電力を計測した (グリーンテクノロジー社: 電力モニタリングシステム)。計測対象の一階部分の床面積は321.00m²である。計測は2012年8月21日から開始し、現在も継続している。但し、建物の管理上、計測できなかった期間がある。本研究では2014年1～12月の記録から代表日を月2回抽出し、解析した。

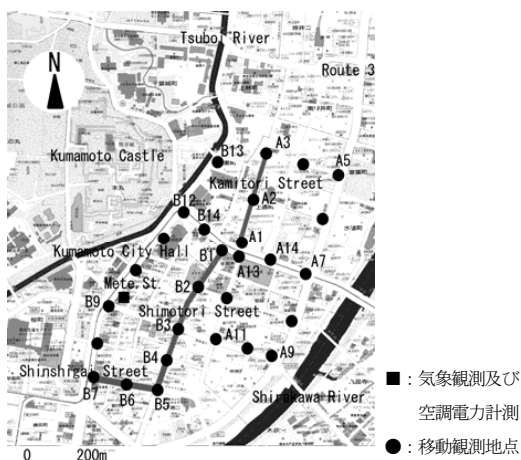
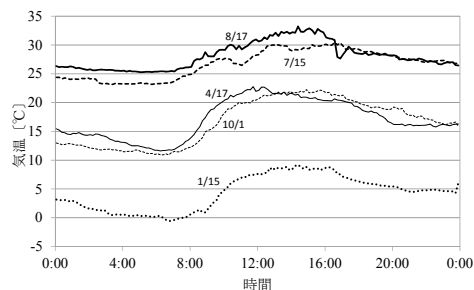


図-1 熊本市街区観測点（福岡人文社「グランドまちず」）

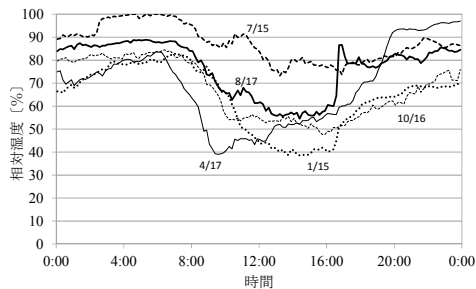
3. 解析結果及び考察

(1) 気象観測結果

図-2は気象観測装置による計測記録のうち季節の典型的な一日を任意に抽出したものである。夏季8月17日は30℃を超え14時頃33.2℃に達し猛暑日で、夜間25℃以下に下がらず熱帯夜であった。冬季1月15日は夜間氷点下まで下がっている。春秋は日中21～22℃程度、夜間12～13℃程度である。相対湿度は、夏季の7月15日は湿度が高いが、8月17日は低い。



(a) 気温

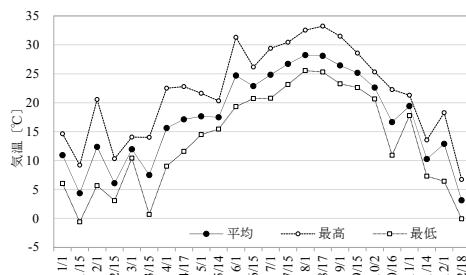


(b) 相対湿度

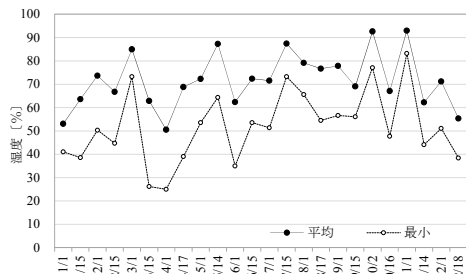
図-2 季節の典型的な一日の計測結果

図-3は2014年の記録から月2回を抽出し、気温の日平均、日最高、日最低値と相対湿度の日平均、日最小値を示したものである。日平均値は夏季8月1日に28.2℃まで上がり、冬季12月18日は3.1℃まで下がっている。

図-4は気象観測地点から約1.5km北に位置する熊本気象台のAMeDAS値を示したものである。AMeDAS値は夏季8月1日に27.8℃まで上がり、冬季12月18日に2.6℃まで下がっている。図-3及び図-4から観測値とAMeDAS値が良く対応していることがわかる。

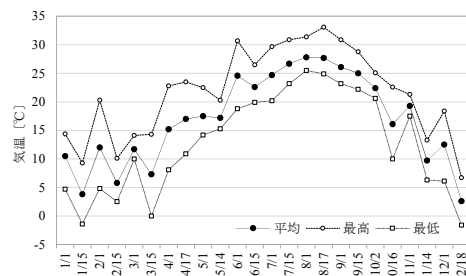


(a) 気温

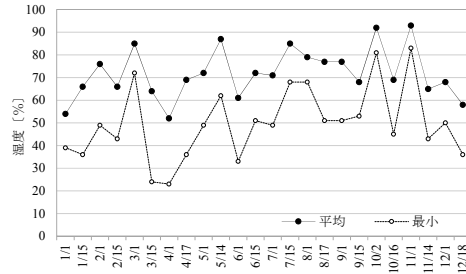


(b) 相対湿度

図-3 気象観測による日平均値（2014年，月2回抽出）



(a) 気温

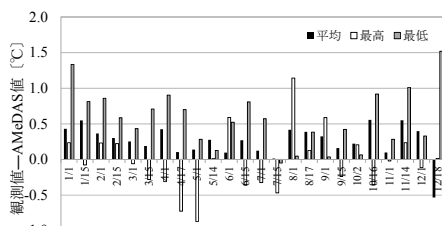


(b) 相対湿度

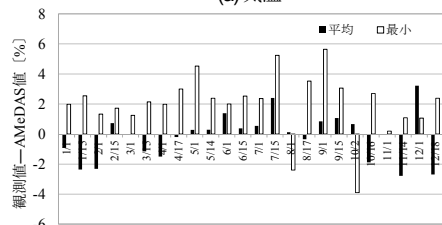
図-4 AMeDASの日平均値（2014年，月2回抽出）³⁾

図-5は気象観測値とAMeDAS値の日平均値の差を示したものである。気温の平均値では観測値はAMeDAS値と比較して総じて0.2～0.3℃程度高い。最高値では夏季に1.2℃程度高い日があり、最低値は総じて0.5～1.5℃程度高く、冬季に0.8～1.5℃高い日がある。湿度は平均値で夏季1～2%高く、冬季1～2%低く。最小値は2～5%高い。

図-6は横軸にAMeDASの日平均気温、縦軸に観測値とAMeDAS値の差を取ったものである。気温の平均値は、気温による差はさほど認められず全般的に0～0.5℃程度高い。最高値はばらつきがあり、25℃以上で1.2℃高い日がある。最低値は低温のとき0.5～1.5℃高く、高温のとき0～0.5℃程度高い。湿度は、平均値は-3～+2%で高温でやや高くなり、最小値は全般的に1～5%高い。

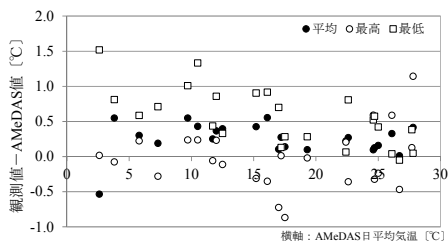


(a) 気温

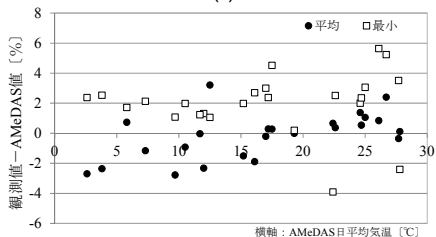


(b) 相対湿度

図-5 観測結果とAMeDAS値の差 (2014年, 月2回抽出)



(a) 気温



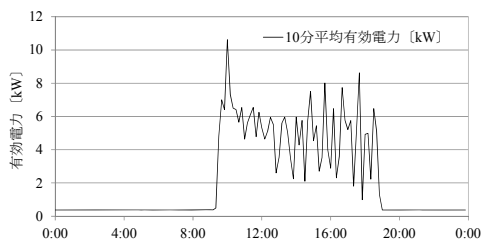
(b) 相対湿度

図-6 気象観測値とAMeDAS値の差とAMeDAS日平均気温との関係 (2014年, 月2回抽出)

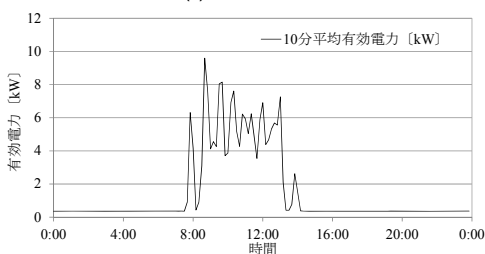
(2) 空調電力の計測結果

図-7は空調電力の計測結果の例である。1月15日は最高10.623kW, 最低0.372kW, 1日平均2.251kW, 8月17日はそれぞれ9.950kW, 0.353kW, 1.505kWであった。空調は1月15日は9時頃から19時頃, 8月17日は7時頃から14時頃まで稼働している。

図-8は年間を通じて月2回抽出した一日の電力量を示したものである。冬季の電力量が最も高く、例えば1月15日は平均気温4.4℃で、電力量は54.031kWhで春秋の10kWh程度と比較すると5倍を超えている。夏季の場合、例えば8月1日は平均気温28.2℃で、電力量は39.228kWhで同様に春秋の値と比較すると約4倍である。



(a) 2014年1月15日



(b) 2014年8月17日

図-7 電力計測結果の例

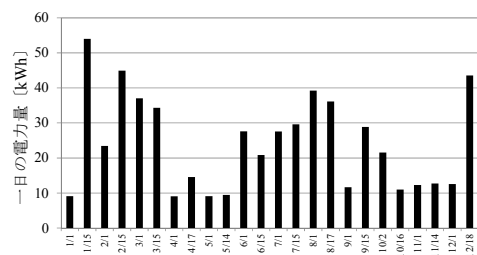


図-8 各月の一日の電力量 (2014年, 月2回抽出)

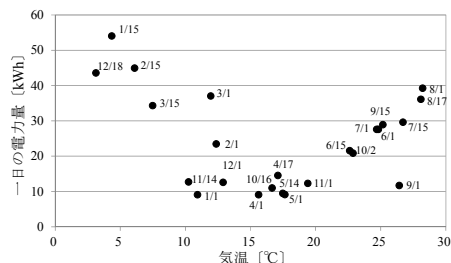
(3) 気象観測値と空調電力量の関係

図-9は平均気温及び平均相対湿度と一日の電力量との関係を示したものである。平均気温との関係を見ると、冬季は春秋の気温との差に比例し春秋の3～5倍程度になり、夏季も同様に春秋の気温との差に比例し春秋に比較し2～4倍程度になっていることがわかる。一方、湿度との関係については明確な相関は見られなかった。

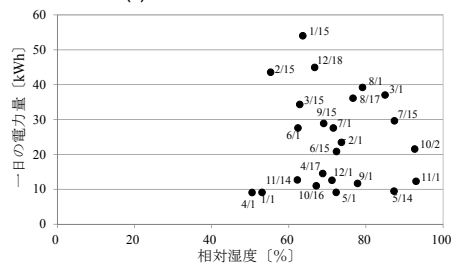
図-10は図-9の結果を踏まえて18℃を基準として観測気温との差の絶対値を横軸に、一日の電力量を縦軸に示したものである。この図から、対象建物の一室に限った利用状況も含めた事例ではあるが、年間を通じた空調の基準の温度は18℃が妥当と推察される。これは冷暖房の空調方式が同じであるためと考えられる。即ち、今回の事例では空調電力は冷房暖房に関わらず18℃を境として比例して増加し、両者の関係は次式で与えられる。

$$W = 2.693 |T - 18.0| + 6.559 \quad (1)$$

ここで W は一日の電力量[kWh]、 T は観測値の日平均気温[℃]である。なお、相関係数は0.822であった。



(a) 一日の電力量と日平均気温



(b) 一日の電力量と日平均相対湿度

図-9 一日の電力量と気温及び湿度との関係

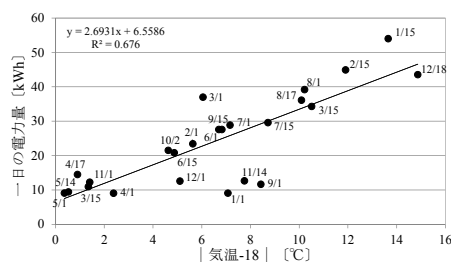


図-10 18℃を基準とした場合の日平均気温との差と一日の電力量の関係

4. 空調負荷計算と移動気象観測値を用いた考察

(1) 気象観測値に基づく空調負荷計算

気象観測値を基に空調負荷計算を行った。計算方法及

び条件は既報⁴⁾の通りである。即ち、建築単室モデルを仮定し、床面積から熱貫流率を算定し、文献による諸定数を用いて計算した。空調床面積は321.00㎡とし、室内温度は前述の結果を踏まえて18℃とした。

図-11は気象観測値を用いて計算した空調電力負荷と計測した電力との関係を示したものである。図中の線は空調機器の成績係数 COP を考慮した場合の関係である。有効電力のばらつきは空調の稼働状況による。厳密には計算方法及び仮定、諸定数等について精査する必要があるが、概ね妥当な関係を示していると思われる。

図-12は空調温度と外気温の差に対する単位時間当たり空調電力量負荷の値を示したものである。図にはCOP値が2及び3のときの関係も示している。図から対象建物の一室をCOP=1の空調機器で空調する場合、仮に外気温33℃、室内温度28℃とすれば、その差10℃より単位時間当たり空調電力量は16.390kWh/h (59.003MJ/h) となる。空調床面積321.00㎡より、単位時間単位面積当たり空調電力量は51.059Wh/㎡h (183.31kJ/㎡h) となる。

図-11及び図-12の結果から、外気温と空調温度の差と実際の空調電力との関係をある程度の精度で示せることが示唆される。

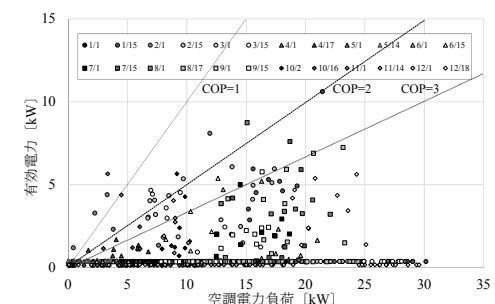


図-11 空調負荷計算値と空調電力の比較⁴⁾

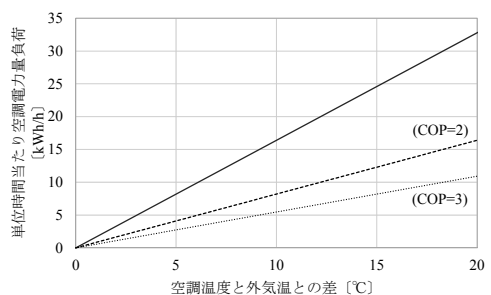


図-12 空調電力量負荷計算の感度解析

(2) 移動気象観測値との関連付け

表-1は気象観測値から9時、12時、15時、18時の気温を抽出し、空調負荷を計算したものである。前述の考察より空調温度18℃、COP=2とした。空調の稼働がない時は有効電力は空調電力負荷より低い値となるが、この

ようにある程度の精度で推計できることが示唆される。

表-2は2013年8月8日に実施した移動観測値¹⁾を用いて
同じ建物の一室を想定し空調負荷を試算したものである。
前述の考察より同様に空調温度を18℃, COP=2とした。
この結果は空調機器の稼働状況や計算の仮定, 諸定数,
空調機器性能等について厳密に考慮する余地はあるもの
の, 対象街区の時空間的な空調負荷を, ある程度の確か
らしさを持って示しているものと考えられる。

表-1 2014年の気象観測値を用いた空調負荷計算
(空調温度18℃, COP=2)

月日	気温 [℃]				空調負荷計算結果 [kJ/m ² h]			
	9時	12時	15時	18時	9時	12時	15時	18時
1/1	11.3	13.9	13.3	10.9	61.7	38.0	43.7	65.3
1/15	1.6	7.7	8.3	6.2	151.0	94.6	94.6	108.2
2/2	7.8	16.0	20.3	17.0	94.0	18.4	21.2	9.1
2/15	6.5	9.0	10.1	7.5	105.9	82.5	72.2	96.2
3/1	11.3	13.1	13.8	12.8	61.2	44.9	38.6	47.5
3/15	5.0	11.4	13.8	12.2	119.3	61.0	39.0	53.8
4/1	12.3	19.3	21.7	20.4	51.9	11.9	34.0	21.7
4/17	18.2	22.1	20.7	19.0	1.6	37.8	25.1	9.5
5/1	17.4	19.9	21.6	19.1	5.2	17.4	33.4	9.7
5/14	19.0	18.0	15.8	17.1	9.5	0.0	20.4	8.7
6/1	24.7	28.8	29.9	26.3	61.3	99.3	109.8	76.0
6/15	22.6	24.3	25.7	24.5	42.5	57.8	70.8	59.5
7/1	24.4	27.7	29.0	26.9	58.9	89.4	100.9	81.5
7/16	26.5	28.3	29.4	29.1	78.3	94.8	104.8	102.3
8/1	30.2	27.2	30.6	28.4	112.2	84.5	115.5	95.9
8/17	28.0	30.6	32.9	28.5	92.2	115.9	136.9	96.3
9/1	24.2	28.5	30.6	28.2	57.2	96.1	115.7	93.8
9/15	24.4	28.3	27.7	26.5	58.7	94.6	89.0	77.7
10/2	22.8	24.2	24.0	23.5	44.1	57.2	55.2	50.4
10/16	15.2	20.7	21.7	19.8	25.9	24.5	33.8	16.6
11/1	19.2	21.0	20.7	20.6	11.3	27.1	24.9	24.1
11/14	10.2	12.0	12.5	11.1	71.6	55.2	50.1	63.1
12/1	13.7	13.4	12.5	10.3	39.2	42.4	50.5	71.0
12/18	2.4	5.6	6.0	3.2	142.9	113.6	110.2	136.3

表-2 2013年8月8日の移動気象観測値を用いた
空調負荷の試算 (空調温度18℃, COP=2)

地点	気温 [℃]				空調負荷計算結果 [kJ/m ² h]			
	9時	12時	15時	18時	9時	12時	15時	18時
AMeDAS [*]	29.1	33.2	33.2	31.5	102.0	139.7	139.7	124.1
A1 [†]	29.6	30.7	33.2	32.2	106.6	116.7	139.7	130.5
A2 [†]	29.8	30.9	33.7	30.2	108.4	118.6	144.3	112.1
A3 [†]	30.0	30.9	33.6	31.9	110.3	118.6	143.4	127.7
A4	30.4	32.8	34.8	33.5	114.0	136.0	154.4	142.5
A5	30.0	33.6	34.4	33.2	110.3	143.4	150.7	139.7
A6	30.1	34.3	35.5	33.4	111.2	149.8	160.8	141.5
A7	30.4	32.8	35.6	33.6	114.0	136.0	161.8	143.4
A8	29.5	33.4	36.2	33.0	105.7	141.5	167.3	137.9
A9	29.2	32.6	36.3	33.4	102.9	134.2	168.2	141.5
A10	28.6	31.0	35.5	32.8	97.4	119.5	160.8	136.0
A11	28.1	31.6	36.6	33.4	92.8	125.0	170.9	141.5
A12	29.0	30.3	36.5	32.3	101.1	113.0	170.0	131.4
A13	28.7	30.2	34.7	33.1	98.3	112.1	153.5	138.8
A14	28.8	30.1	34.5	33.2	99.3	111.2	151.6	139.7
B1 [†]	30.9	32.7	33.8	32.1	118.6	135.1	145.2	129.6
B2 [†]	30.3	31.7	31.9	30.7	113.0	125.9	127.7	116.7
B3 [†]	30.7	33.9	34.3	32.8	116.7	146.1	149.8	136.0
B4 [†]	30.6	34.9	34.3	32.8	115.8	155.3	149.8	136.0
B5 [†]	30.4	35.0	34.1	32.5	114.0	156.2	148.0	133.3
B6 [†]	29.9	33.8	33.4	32.7	109.4	145.2	141.5	135.1
B7 [†]	29.7	32.0	33.9	32.3	107.5	128.7	146.1	131.4
B8	29.6	32.3	34.5	32.0	106.6	131.4	151.6	128.7
B9	29.8	32.4	34.4	32.6	108.4	132.3	150.7	134.2
B10	29.4	31.6	34.8	32.0	104.8	125.0	154.4	128.7
B11	29.6	31.3	34.4	32.5	106.6	122.2	150.7	133.3
B12	30.4	32.2	33.5	32.7	114.0	130.5	142.5	135.1
B13	30.1	32.1	33.7	33.5	111.2	129.6	144.3	142.5
B14	29.5	33.6	34.5	31.8	105.7	143.4	151.6	126.8

*: 1時間毎の値, †: アークード

5. 結語

本研究の結果は, 一建物の一室についてではあるが,
街区気象と空調電力との関係について定量的に検討した
ものである。また, これまでに行った移動気象観測値に
よる面的な情報と関連付けることによって, 対象街区の
熱環境と空調負荷をある程度の信頼性を持って時空間的
に関係付けることの可能性を示すことができた。今回の
事例で得た主な知見をまとめる。

- 1) 街区の気象観測値とAMeDAS値は良く対応している。
- 2) 冬季の空調電力量は春秋の気温との差に比例して
春秋の3~5倍程度, 夏季は2~4倍程度になる。
- 3) 空調電力は冷房暖房に関わらず18℃を基準として,
それと気温との差に比例して増大する。
- 4) 気象観測値を用いて空調負荷計算を行い, 実際の空
調電力について定量的に考察することができた。
- 5) 移動気象観測値を用いて街区の熱環境を空調負荷で
時空間的に示すことの妥当性を示すことができた。

空調負荷は建物の利用, 空調機器の稼働状況に大きく
左右されるが, 今回のように常時計測した記録を蓄積し
解析することで, 街区熱環境との関係を信頼性を持って
定量的に評価することができ, 長期解析が可能になり,
LCE評価も可能になると思われる。今回, 移動観測実施
日に計測機器が稼働しておらず両者を関係付けることは
できなかったが, 気象観測値とAMeDAS値は良く対応し
ておりAMeDAS値を基準として用いる妥当性を示すこと
ができた。今後は常時計測と同時に移動気象観測を行い,
更に精度良い検討を行いたいと考えている。

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, 志岐祐介, 土井聡史, 藤末千紘, 田代敬大: 都市
街区熱環境の時空間評価に関する研究, 第 42 回環境システ
ム研究論文発表会講演概要集, pp.423-428, 2014.
- 2) Takahito Ueno, Yusuke Shiki, Satoshi Doi, Chihiro Fujisue,
Takahiro Tashiro: Spatiotemporal Evaluation of Thermal
Environmen in Kumamoto City Urban Districts, J. of Heat Island
Institute International, Vol. 9-2, pp. 73-81, 2014.
- 3) 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:2015年7月24日)。
- 4) 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.

(2015.7.16 受付)

AN ANALYSIS BASED ON MEASUREMENTS OF WEATHER AND AIR CONDITIONING ENERGY: IN CASE OF KUMAMOTO CITY URBAN AREA

Takahito UENO, Taich YOKONO, Takahiro TASHIRO and Tokuhiro AMAMOTO

Measurement instruments of weather and air conditioning electric power were installed in a building in the urban district center of Kumamoto City and long term measurement was performed. Based on these measurement records, the relation about atmospheric phenomenon of the objective district and air conditioning electric power was showed. Specifically, at first, the characteristics of the atmospheric phenomenon of the district and the characteristics of air conditioning electric power through one year were analyzed. Next, the relation between daily mean temperature and daily electric energy was analyzed and the increase and decrease of the the air conditioning energy for the atmospheric phenomenon through the year were analysed. As a result, for example, the mean temperature was 4.3°C and electric energy was 54.0kWh on January 15, 2014, and the mean temperature was 28.2°C and electric energy was 39.2kWh on August 1, 2014. In comparison with 17.1°C and 14.5kWh of April 17, 2014, those were 3.7 times and 2.7 times large, respectively. Besides, in case of daily mean relative humidity, the clear relation was not provided. Furthermore, the air conditioning energy loads were calculated based on the observed values, and were compared with the electric power measurement results and inspected the validity. Based on these analyses, using the moving meteorological observation results, the air conditioning loads due to the thermal environment in this objective districts were showed spatiotemporally.