

都市街区の熱環境影響の評価に関する研究

上野 賢仁¹・空岡 由希子²・森下 聖太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.sojo-u.ac.jp

²非会員 (株)くつ木 (〒798-0077 愛媛県宇和島市保田甲268-1)

³非会員 (株)寺尾建設 (〒854-0302 長崎県雲仙市愛野町乙1573-1)

平成23年夏に熊本市の中心市街地を対象とした暑熱環境調査を行った。この結果をもとに、同街区の暑熱環境の特徴を考察した。次に、この調査結果を利用し、建築物の空調負荷モデルを用いることにより、同街区の建築物空調負荷を試算した。これによって、都市街区の熱環境による影響について定量的な評価を試みた。この結果を踏まえて、都市街区の(暑)熱環境影響について、健康側面から見た環境影響と、二酸化炭素排出量を通じた地球環境にも繋がる空調負荷を考慮するといった環境側面から見た環境影響について考え方を整理し、考察した。

Key Words : thermal environment impacts, urban district, WBGT, air conditioning load, energy consumption, estimation, IKONOS

1. はじめに

ヒートアイランド現象による都市の夏季熱環境の悪化が顕著になっている。これは夏季の日常生活の不快感を増大させるだけでなく、熱中症等の健康被害も増大させている。大都市においては緑化や保水性舗装等の具体的な対策が既に講じられるようになってきているが、今後、地方都市においても徐々に対策が進められていくと考えられる。しかしながら、地方都市においては、その費用負担は決して軽くはないと考えられる。従って、その効果を量的に明らかにして十分な説明が望まれる。こうした目的に合うように、これまでも緑化による省エネルギー効果や経済効果について研究事例が報告されている^{1)・2)}。但し、これらはどちらかと言えば直接的な評価であり、例えば道路舗装改善が都市にどれだけの恩恵をもたらすのかといった直接関連付けることが難しい場合も少なくない。このような状況を考えると、対策と効果を関連づける事例を更に積み上げていく必要があると考えられる。特に、エネルギー消費とともに二酸化炭素排出量を指標とした評価が今後重要になると考えられる。

著者らは平成18年から熊本市中心市街地を対象として毎年継続的に暑熱環境を調査してきた。また、衛星情報を用いて周辺状況との関係を見たり³⁾、調査結果を利用して、空調負荷による影響評価を試みてきた^{4)・5)}。本稿では、平成23年度の調査結果をもとに同街区の熱環境の

特徴を考察するとともに、空調負荷計算について改善を加え、報告する。

2. 熊本市中心市街地の暑熱環境調査

熊本市中心市街地の暑熱環境調査を平成23年8月31日の9, 12, 15, 18時に実施した。観測点は図-1に示す通りである。図に示す通り、中心市街地には上通り、下通り、新市街の3アーケードがある。上通りと下通りの間には交通量が多く、中央に市電が走る道路「通町筋」が通る。通りの西側端に熊本城があり、その間に坪井川が流れる。市電は熊本城手前で市役所方面に曲がる。通町筋と市役所前の通りは、バスの通行が多い。反対の東側端には交通量の多い国道3号線が通っている。観測点をA区間とB区間に分けて、暑熱環境計(京都電子工業WBGT-113)を携帯して移動し、気温、湿度、黒球温度、暑熱環境指数(WBGT)を計測した。A1を基準として移動による計測差と機器による差を補正した。

図-2は、観測日のAMeDASの気温と湿度を示したものである⁶⁾。気温は13時に35℃を超え、14時に若干下がるが、15時に再び35℃を超えている。図-3は、昨年度報告した平成22年度の熊本市における熱中症の発生状況をまとめたものである⁴⁾が、この日時は健康側面から見ても好ましくない環境と言える。

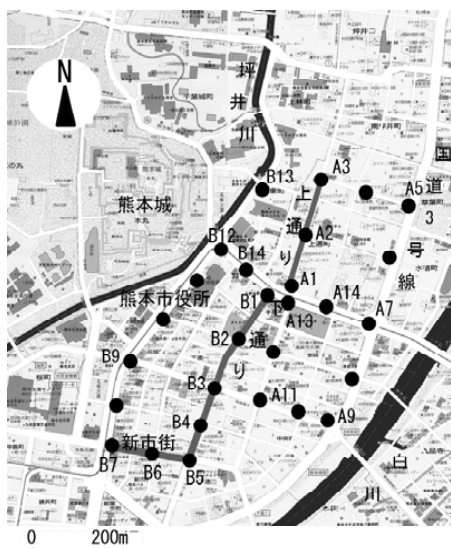


図-1 熊本市中心市街地の観測点
(地図：福岡人文社「熊本グランドまちず」)

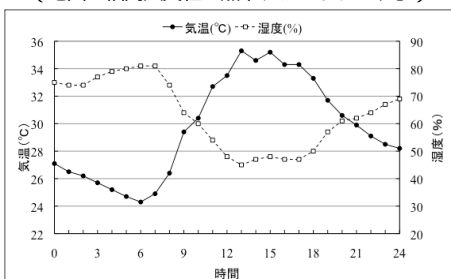


図-2 平成23年8月31日のAMeDAS データ⁹⁾

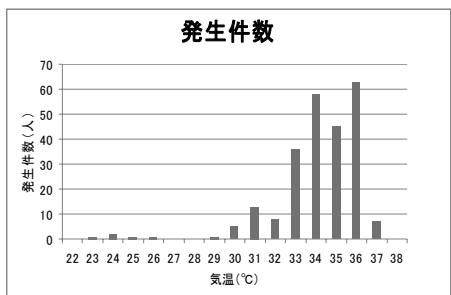


図-3 気温に対する熱中症発件件数(熊本市, 平成22年)⁴⁾

図-4～図-7に観測結果を示す。9時では、A区間の特に国道3号線沿いの観測点A5～A9の気温が高い。12時にはその傾向が更に顕著になり、A9は38にも達している。逆にA3, A13, B1等は低く、最も低いのはA13であった。この地点は交通量の多い通町筋の傍であるが、大型店舗の出入口付近であり冷房の冷気も理由の一つであると思われる。これは繁華街特有の状況と言える。15時では、B区間の特に市役所前の通りの観測点B10～B13が高くなっている。特にB13は38を記録している。夕方18時で

は概ね似通った気温になっている。ただし、A2, A3, B2等、アーケードの中央で気温が低くなっている。以上の結果から、日中に比較的高温の地点は交通量の多いところであることが見て取れる。

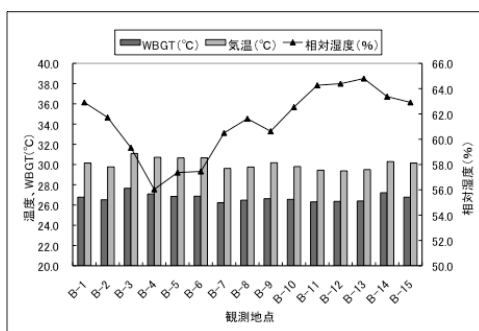
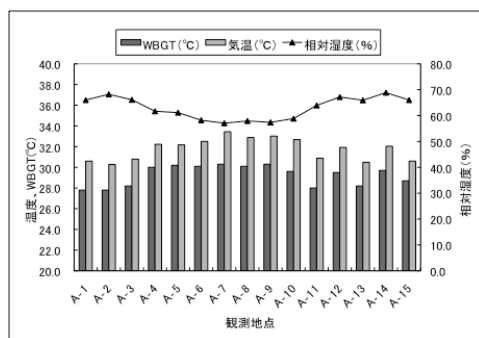


図-4 平成23年8月31日9時の観測結果(上:A区間, 下:B区間)

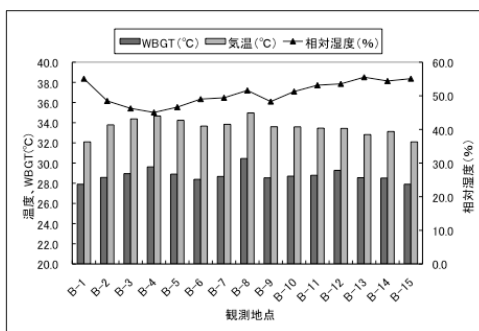
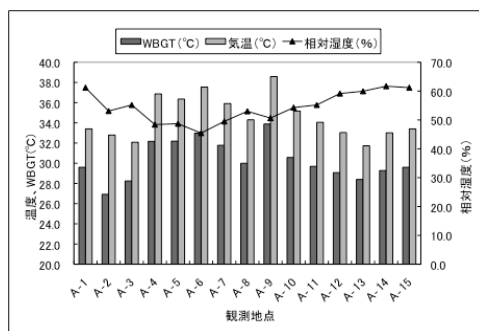


図-5 平成23年8月31日12時の観測結果(上:A区間, 下:B区間)

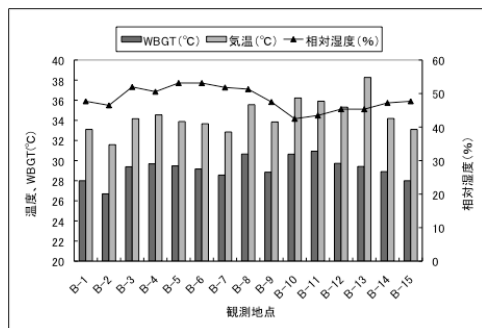
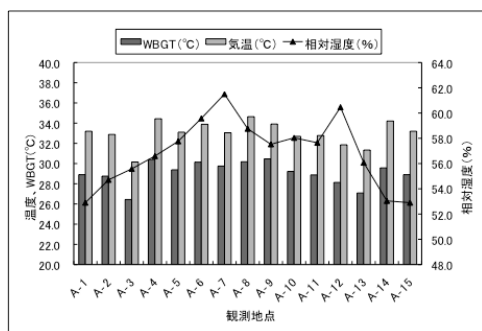


図-6 平成23年8月31日15時の観測結果（上:A区間，下:B区間）

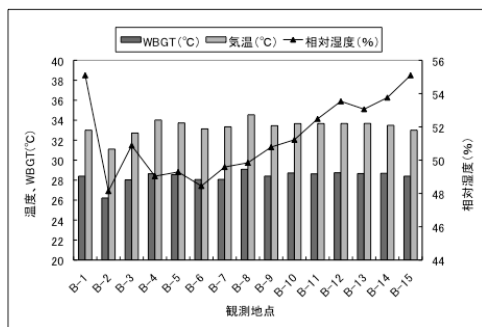
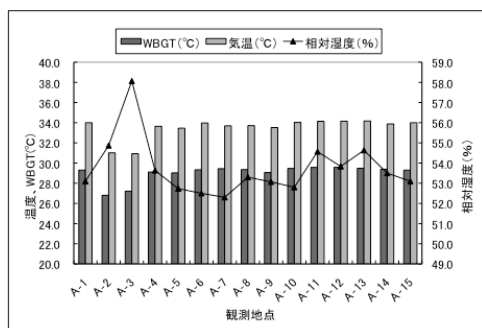


図-7 平成23年8月31日18時の観測結果（上:A区間，下:B区間）

図-8～図-11は、9時、12時、15時、18時のアーケードの観測気温とWBGTを示したものである。アーケード内は概してAMeDASの値よりも低い値であった。しかし、中でもB3、B4、B5は他の観測点よりも高い値であった。

これらの図から、同じアーケードであっても温度に大きな差が生じることがわかる。何故このような差が生じるのかについては引き続き詳しく調べる必要がある。

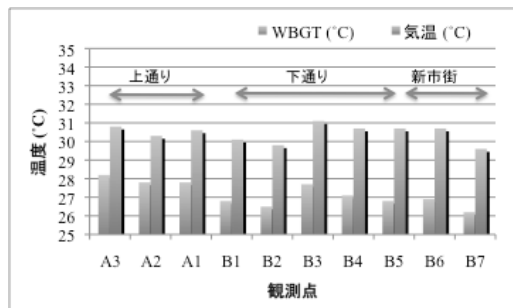


図-8 平成23年8月31日9時の気温とWBGT

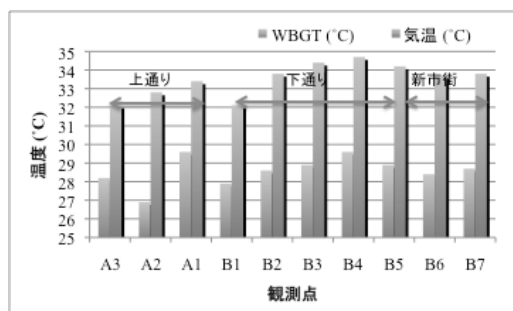


図-9 平成23年8月31日12時の気温とWBGT

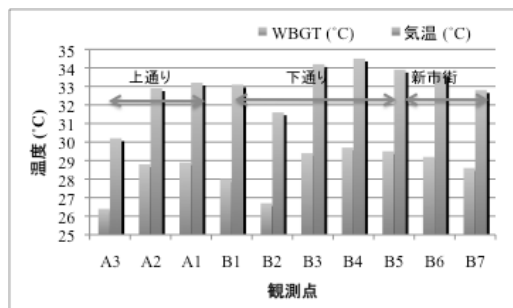


図-10 平成23年8月31日15時の気温とWBGT

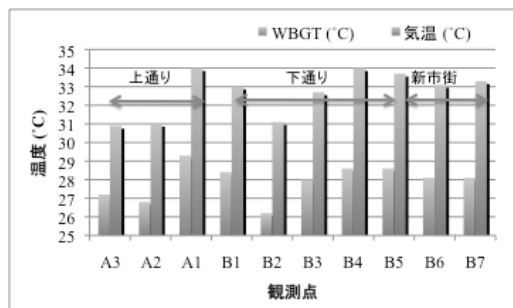


図-11 平成23年8月31日18時の気温とWBGT

表-1に、幾つかの観測地点について被覆割合を示す⁴⁾。また、図-12に被覆割合と気温の関係を示す。市街地の

ため全般的に緑地割合は高くないが、比較的緑地が多いB12を見ると、他の観測地点と比較しても顕著な気温の低下は認められなかった。一方、道路の割合が50%を超えているA7、A9、B12はいずれも気温が高くなっており、道路の影響は大きいように思われる。この中で最も気温が低いA3は半屋根であり、日射の影響が少なく風通しが良いことがその理由として考えられる。図-13は被覆割合とWBGTの関係である。A7、A9は12時の値が非常に高い。一方、B12はそれ程高くない。今回の結果だけでは市街地の緑地の気温低減効果を十分な精度で定量的に確認するまでには至らないが、道路（舗装或いは交通量）等、影響が大きい要因を確認することができた。

表-1 観測地点周辺の被覆割合⁴⁾

観測地点	地点の説明	被覆割合 (%)			
		緑地	道路	水域	建物
A1 *	びぶれす広場	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

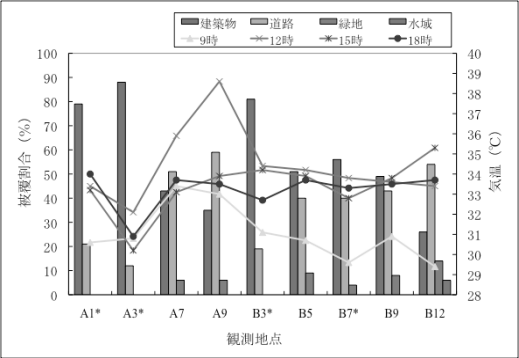


図-12 被覆割合と平成23年8月31日の気温

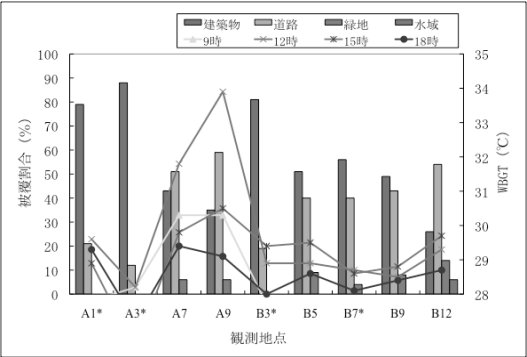


図-13 被覆割合と平成23年8月31日のWBGT

3. 空調負荷計算による評価

(1) 計算概要

計算手順を図-14に示す。以上の観測結果を用いて、次に示す計算式で空調負荷を計算した^{7,8)}。

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

$$K_T = \sum K_k A_k H_k + c \rho_a V \quad (2)$$

ただし、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 × 天井高): 建物内の気積 [m³].

計算に用いた諸定数を表-2に示す。本来であれば建築物の構造を個々に調べて諸定数を決定するのが望ましいが容易ではない。そこで、ここでは戸建住宅の値を一律に使用することにした。空調面積は床面積の1/5と仮定している。なお、実際は商業建築物でありコンクリート造が多いため、これに合った諸定数を表-3に示す。この場合の空調面積は床面積と同じとする。

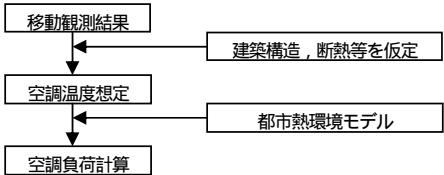


図-14 空調負荷計算手順^{7,8)}

表-2 戸建住宅を想定して計算した場合の諸定数^{7,8)}

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
$c \rho_a$ [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⁹⁾

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

(2) 熊本市中心市街地の計算

観測点6点を選び、空調負荷を計算した。床面積はIKONOS画像の画素数をもとに算出した。これを表-4に示す。また表-5に平成23年8月31日15時の観測気温を示す。これらの値を用いて空調設定温度を25℃として計算した。計算結果を図-15に示す。また、コンクリート造

を想定した場合の表-3の定数を用いた計算結果を図-16に示す。コンクリート造の方が約4.5倍になっているが、これは空調面積を床面積としたためである。なお計算はしていないが、対象街区の容積率は400～600%であり、このことを考慮するとすれば空調負荷はさらに計算結果の4～6倍程度になると考えられる。

表-4 IKONOS画像から算出した観測地点傍の建物床面積

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 平成23年8月31日の観測気温

No.	15時
A1	33.2
A3	30.2
A7	33.1
B3	34.2
B7	32.8
B9	33.8

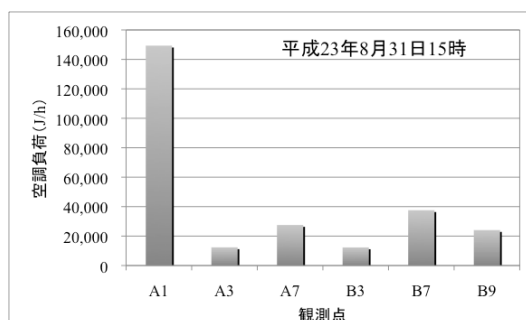


図-15 平成23年8月31日15時の空調負荷計算結果
(戸建住宅、空調25℃，空調面積 = 床面積 / 5と仮定)

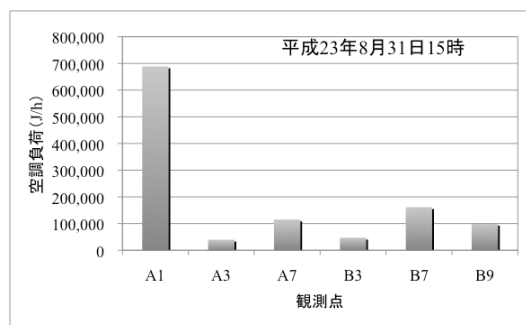


図-16 平成23年8月31日15時の空調負荷計算結果
(コンクリート造、空調25℃，空調面積 = 床面積と仮定)

計算結果ではA1が最も高い値になった。これは比較的大きな「びぶれす熊本」があり床面積が大きいためである。次いでB7がやや高いが、これも床面積が大きいためである。A7とB9は床面積も外気温も似通った値で空調負荷も同程度である。A3とB3も結果的には同程度であるが、A3の床面積はB3の2倍程度であるが、A3よりB3の方が外気温が3.6℃高く、相殺されたことによる。

図-17、図-18は単位床面積当たりの空調負荷を見たものである。この場合は主に外気温が計算結果を左右する。空調負荷はB3が最も高く、次いでB9が高い。A1、A3は比較的低い。当然、A1のような大店舗は床面積が広く空調負荷の総量が大きくなるから、周辺気温が低ければ単位床面積当たり空調負荷が低くなるため、その場所に熱環境対策をすることの効果は大きくなる。

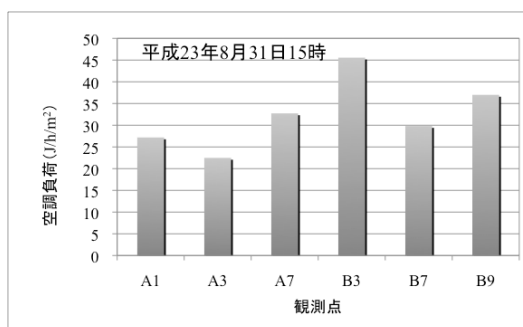


図-17 平成23年8月31日15時の空調負荷計算結果
(戸建住宅を想定、空調25℃，単位床面積当たり)

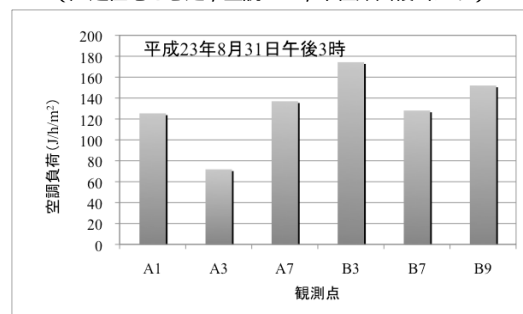


図-18 平成23年8月31日15時の空調負荷計算結果
(コンクリート造を想定、空調25℃，単位床面積当たり)

現実の都市街区では、床面積、外気温の他に建物構造（高さ、間取り、断熱構造等）、街区の形状（風の道）、日照等が重要な制御因子となる。都市気候の緩和対策と、これら制御因子を対応させることができれば影響を一層定量的に評価することが可能になる。現時点では仮定に基づく試算であり、実際の建物の計算条件を十分に考慮しているわけではないが、建築物の情報は役場で管理されており、そうした情報を活用すれば、ある程度の精度

で詳細な検討をすることも十分可能であると思われる。また、リモートセンシング技術やGISの技術を活用することによって、現実都市の把握が可能であり信頼性及び意義も高まってくると期待される。

4. 考察とまとめ：都市街区の熱環境影響の評価について

都市街区の熱環境を評価する指標として気温と湿度は代表的なものであり、これらから空調負荷計算が可能である。同時に、空調負荷あるいはエネルギー消費量については二酸化炭素排出量といった環境影響を検討することができる。一方、WBGT等の指標はこれらを組み合わせた指標であり、快適さの指標であるだけでなく、熱中症等の健康被害を生ずる危険度を示す上で重要な指標である。従って、双方の視点から都市街区の影響評価を考えることが重要であり、両者の関係を検討することも重要と考えられる。図-19は、こうした考え方を整理したものである。ここでは環境影響を大きく2つに分けている。1つは健康に関わるもので指標はWBGT等である。もう1つは地球温暖化といった環境側面で、基本的な気象要素である気温、湿度等が挙げられる。これらの値をもとに、エネルギー消費、二酸化炭素排出量等が見積もられる。このように整理すれば、仮に空調負荷計算が目的の場合、暑熱環境は直接関係ないとも考えることもできる。しかしながら、熱中症の発生といった健康側面を考えればWBGTのような指標も同時に重要になってくる。

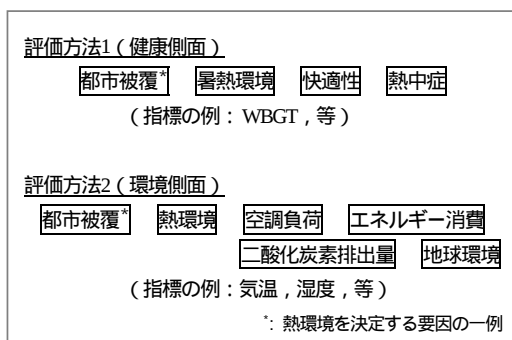


図-19 本研究における評価の考え方

都市街区の熱環境影響を評価する際には、気温、湿度、風、日照等、基本的な気象要素による「環境側面」と、熱中症等の健康影響を生じる「健康側面」を考える必要がある。前者は、建築モデル等を導入することによって空調負荷やエネルギー消費、二酸化炭素排出量等を関連

づけることが可能である。後者は、生活そのものに直接影響するために重要である。どちらか一方に偏るのではなく、バランスよく考えて評価していくべきである。

熊本市には緑地が多く存在するが、今回はその効果について十分に評価するまでには至らなかった。熊本市では市電の路面を芝生に変える等の緑化対策を進めている。また、地域によっては保水性舗装によって対策を進めているところもある。こうした対策の効果を量的に評価し、将来的にはエネルギー消費、或いは二酸化炭素非出量で評価し、その必要性を十分に説明できるようにしたいと考えている。

謝辞：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わせて頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) Lisa Garland: Heat island – Understanding and mitigating heat in urban areas, Earthcan, pp.109-138, 2008.
- 2) 川島久宜, 加藤千尋, 鎌田祥啓, 黒岡秀次, 石間経章: 植生マツ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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 上野賢仁, 空岡由希子, 森下聖太: 熊本市街区の熱環境影響の評価に関する研究, 日本環境共生学会第 15 回 (2012 年度) 学術大会 発表論文集, pp.40-47, 2012.
- 6) 気象庁: <http://heatisland.tetum.info/>
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.

(2012. 7. 18 受付)

EVALUATION OF THE THERMAL ENVIRONMENT IMPACTS IN URBAN DISTRICTS

Takahito UENO, Yukiko SORAOKA and Shota MORISHITA

The influences of air conditioning energy loads due to the hot thermal environment in the urban districts were tried to evaluate based on the moving observations, which were held in Kumamoto City area on August 31 in 2011. The observed air temperature was used to indicate the thermal environment, and the WBGT index, Wet Bulb Globe Temperature, was used to indicate the hot thermal environment. With the observation data, a simple building model was used to calculate the air conditioning loads of the buildings along streets referring the floor spaces, which were assumed by using the high-resolution satellite, IKONOS, image. Thus, the discussions were performed for the method to evaluate the thermal environment and the hot-thermal environment impacts in urban districts referring these results.