

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：37401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560672

研究課題名(和文)都市空間の熱環境のLCE評価に関する研究

研究課題名(英文)Research on thermal environment LCE evaluation in urban space

研究代表者

上野 賢仁(UENO, Takahito)

崇城大学・工学部・教授

研究者番号：50269106

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：都市空間の熱環境緩和に有効な地表面被覆特性のあり方と、こうした地表面被覆による実際の環境影響の低減効果について空調負荷軽減等の面から評価を試みた。具体的には、熊本市中心市街地を対象として移動気象観測を実施し、高分解能衛星情報による地表面被覆及び周辺状態と比較し、異なる年度の比較をした。この結果を用いて街区建物の簡易空調負荷計算を行い、熱環境の違いによる空調負荷への影響を検討した。また、街区中心部の建物に設置した総合気象観測機器と電力消費記録装置による計測結果をもとに解析した。加えて、気象台の長期観測気温データを用いて都市温度の構造的変化について統計的に解析した。

研究成果の概要(英文)：To improve the heat environment in urban spaces, the effective aspects of surface covers and the effects of declining the heat environmental impacts by such surface covers in real cities were tried to evaluate. Specifically, the movement weather observations were performed in the center of Kumamoto City urban districts and the results were compared with surface cover information observed by high-resolution satellites. And also, these results of different years were compared. Using these results of weather observations, the air conditioning loads were calculated with a simple method and the influences on air conditioning loads by the differences of urban heat environments were examined. Then, the data recorded by a general weather observation apparatus and an electricity consumption record device installed in a building of the center of the area were analyzed. In addition, a structural change of the cities' temperatures using long-term observation data by AMeDAS in Japan were discussed.

研究分野：工学

キーワード：都市熱環境

1. 研究開始当初の背景

近年、都市の異常な高温化によって熱中症等の健康被害が増加している。これに対して熱環境の面から安全で適切な空間を確保することが重要である。その具体的な手段としては緑化が最も有効な手段の一つであるが、全ての都市表面を覆うことは不可能である。このため都市気候緩和に効果的な被覆材料の開発が不可欠となる。こうした背景を踏まえると、現実の都市内空間の熱環境の実態を把握した上で、適切な空間確保の在り方を探究することが求められ、同時に、熱及び水の効果的な特性を有する具体的な被覆材料を見出すことが求められる。研究代表者は、これまで都市市街地の暑熱環境の実態を調査するとともに、その要因について検討してきた。並行して、都市を覆う地表面被覆材料の気象緩和特性について実験を行ってきた。その結果、次のような成果を得るとともに、今後検討すべき方向性が明らかになってきた。

(1) 都市内空間の暑熱環境調査

熊本市中心市街地を研究対象として平成18年以降夏季調査を実施してきた。測定項目は気温、湿度、黒球温度、暑熱環境指数(WBGT)である。これらの測定結果と周辺状況の関係を検討するため、高分解能衛星データ(IKONOS)から求めた土地被覆情報と比較分析した。その結果、人工的な被覆の割合で比較的良好な相関で地表面温度を説明することができた。しかしながら、風通し、日陰、アーケード等の要因、効果についても検討すべきであることが示唆された。よって、測点を増やして調査した結果、中心市街地の数キロメートル四方の空間内で、周辺状況と暑熱環境の関係を詳細に確認することができた。こうした調査を継続し、情報を蓄積していくことによって、信頼できる市街地の暑熱環境地図を作成することが可能と思われ、都市内空間の例えば避暑空間の確保、創造を提案する手段・基礎資料として役立つものと考えられる。

(2) 都市地表面の被覆材料の温度特性評価

都市空間の熱環境を改善するために保水性被覆材等が期待されている。その効果を評価するには、対象となる材料を現場に施工し現地観測する方法が有効である。しかし、この方法では多数の被覆材料の特性を効率的に評価するのは容易でない。その点においては、室内での照射実験は有効である。そこで、室内照射実験装置を製作し、被覆材料の温度特性を調べてきた。実験では、含水条件が重要な要因であると考え、乾燥状態、湿潤状態、浸水状態の3条件で行った。その結果、湿潤状態であれば、保水性の特徴を有する被覆材は温度低下に効果的であるが、乾燥状態ではコンクリート等の一般的な材料よりも温度上昇が起こりうるということがわかった。つまり、都市表面温度低下が期待される保水性被覆材料であっても含水状況等、条件次第で効果が得られないことになる。また、実験では、

芝生等の自然被覆について同様に行い、これらの優れた特性を確認した。両者を比較検討した結果、水と温度の関係についてより詳細に検討することによって、最高温度だけでなく最低温度も考慮した都市地表面被覆の表面温度制御の可能性が見えてきた。自然被覆の温度上昇低下の特性を参考にして、都市内空間の熱環境緩和に有効な温度制御の在り方や具体的な被覆材料の検討、開発を行う際の有用な知見が得られるものと期待される。

2. 研究の目的

都市内空間の熱環境緩和に適した地表面被覆について、現実の市街地を対象として観測・調査を実施し検討すると同時に、特に効果的な被覆について、熱及び水の特性の評価を行う。研究代表者が、これまでに実施してきた市街地の暑熱環境の調査及び要因分析と、都市気候緩和が期待される地表面被覆についての温度特性実験についてさらに発展させて、都市内空間の熱環境緩和に有効な地表面被覆の具体的な特性の在り方について検討することを目的とする。また、こうした地表面被覆に覆われた実際の街区における熱環境影響の低減効果について空調負荷軽減等の面から評価を試みた。

3. 研究の方法

(1) 都市内空間の熱環境実態調査

1箇所での気象観測装置による気象観測を行うとともに、携帯式の暑熱環境計を用いて移動観測を実施した。移動観測値は固定点の観測値を基準として補正した。暑熱環境の指標にはWBGTを採用した。この指標は近年熱中症等の健康面での危険度を簡易に知るために使われている。

(2) 都市内空間の熱環境と被覆状況の関係

研究対象として熊本市中心市街地を選定し、熱環境の実態調査結果について検討するとともに、衛星画像による被覆状況と比較解析した。次いで、高解像度衛星情報(IKONOSデータ)から周辺100m×100mの領域を抽出し、地表面を分類した。この被覆割合と熱環境の関係を定量的に関連付けた。また、異なる年度の観測結果を比較検討した。

(3) 都市地表面被覆の熱及び水の特性評価

被覆材料の温度特性を調べるため室内照射実験を実施した。実験条件は乾燥状態、湿潤状態、浸水状態の3条件で実施した。

(4) 空調負荷計算による検討

都市内空間の観測結果を使って、同街区の建物について簡易に空調負荷計算を行い、街区空間の熱環境の違いによる空調負荷への影響について検討した。また、同街区中心部の建物に設置した総合気象観測機器と電力消費記録装置による気象観測データと電力データについて解析を行った。

なお、本報告では主に(1)、(2)、(4)の成果についてまとめる。

4. 研究成果

図1は調査対象に選定した熊本市中心市街地である。中心市街地は中央に市電が通る道路で南北に分かれており、3つのアーケードがある。西側には河川を挟んで熊本城があり、東側は国道と一級河川が並行している。図で示した測点をA、Bに分けて移動気象観測を行った。計測時刻は9、12、15、18時である。2012年～2013年の観測日を表1に示す。

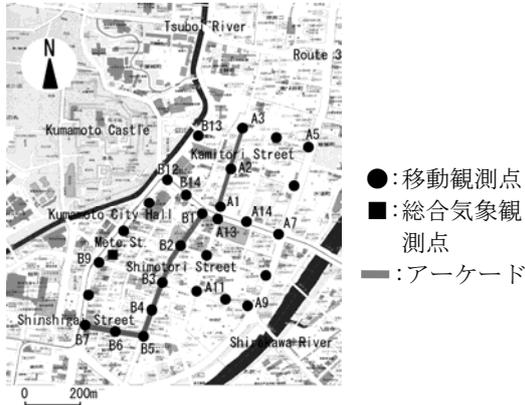


図1 熊本市街区観測点

表1 観測日 (2012年～2013年)

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

図2は2012年9月11日のデータについて地表面状態と温度を比較したものである。この結果は前年度の結果と良く対応している。

任意の6点について気温の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結果を図3に示す。空調負荷は基本的な単室の建築モデルを用いた^①。図はコンクリート造を想定した例である。空調面積は商業施設を想定し床面積と同じとした。室内温度は25℃を仮定した。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傍が最も高い値となった。これは床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4は単位床面積当たりで示したものである。この場合、温度差が主要な因子となる。これらの結果は前年の結果とも良く対応している。

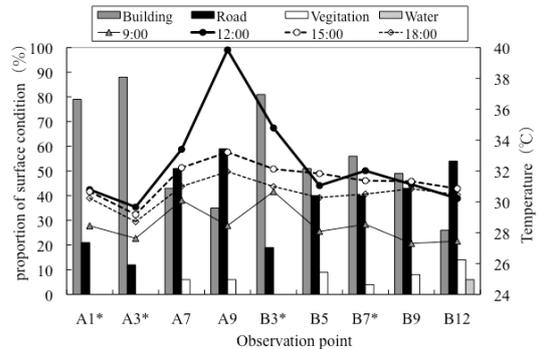
2013年の調査では精度向上のため複数の計測機器で調査した。観測結果は、A1地点での計測値を基準とし、次式のように補正した。

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

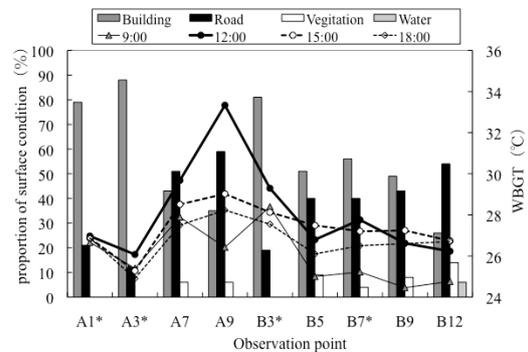
ここに、 $T_{i,cor.}$: i 点の補正した気温[℃]、 $T_{i,obs.}$: i 点の観測気温[℃]、 $(\Delta T / \Delta t)_{datum}$:

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[℃]。

計測値の補正を行ったことによってある程度の確かさで熊本市街区の熱環境の特徴を時間空間的に評価することができた。



(a) 気温



(b) WBGT

図2 地表面状態と温度の関係 (2012年9月11日)

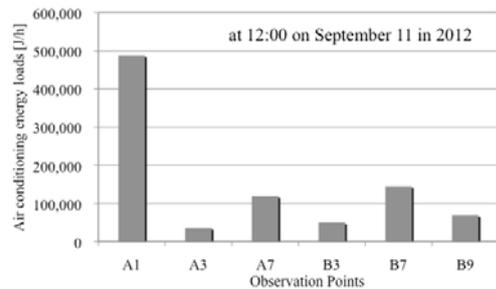


図3 仮想空調負荷 (2012年9月11日正午、コンクリート造、空調温度25℃)

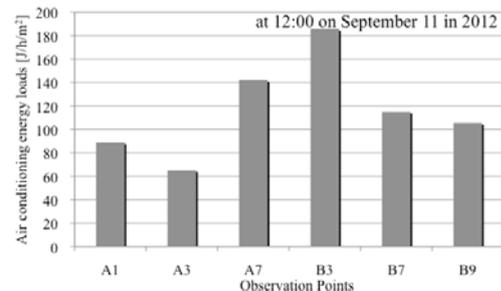


図4 単位床面積当たりの仮想空調負荷 (2012年9月11日正午、コンクリート造、空調温度25℃)

次に、各測定点について空調負荷を試みた。想定した建物は全て同じ条件である。表2は各時刻の AMeDAS データを基にした計算結果と比較したものである。AMeDAS データは都市

の代表温度と考えると良いが、このように街区内では非常に異なる評価結果が得られた。

表2 AMeDAS データによる計算結果と比較した場合の空調負荷の増減[%] (2013年8月8日、*:「1時間ごとの値」、†:アーケード)

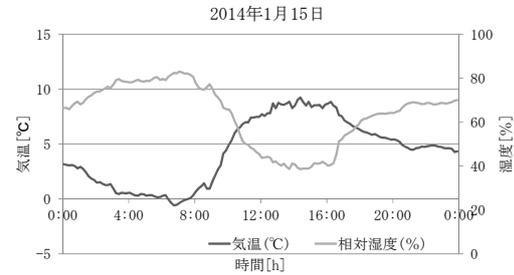
	9:00	12:00	15:00	18:00
AMeDAS *	100	100	100	100
A1 †	112	70	100	111
A2 †	117	72	106	80
A3 †	122	72	105	106
A4	132	95	119	131
A5	122	105	115	126
A6	125	113	128	129
A7	132	95	129	132
A8	110	102	136	123
A9	102	93	138	129
A10	88	73	128	120
A11	76	80	141	129
A12	98	65	140	112
A13	90	63	118	125
A14	93	62	116	126
B1 †	144	94	107	109
B2 †	129	82	84	88
B3 †	139	109	113	120
B4 †	137	121	113	120
B5 †	132	122	111	115
B6 †	120	107	102	118
B7 †	115	85	109	112
B8	112	89	116	108
B9	117	90	115	117
B10	107	80	119	108
B11	112	77	115	115
B12	132	88	104	118
B13	125	87	106	131
B14	110	105	116	105

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への影響評価に活用することできると考えられる。さらに、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。

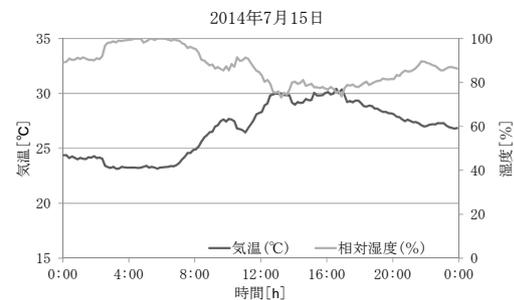
図5は総合気象観測機器による気温と湿度のデータの例である。また、図6は電力消費量の計測データの例である。今回、移動観測を実施した日によっては、計測機器が稼働していなかった時があったため、基準とする値として AMeDAS データを利用したが、このように対象街区内に計測機器を設置し、定点計測を常時、長期計測を行うことにより精度良く信頼できる検討が可能になる。

図7は一日の電力消費量と平均気温及び平均相対湿度との関係を示した例である。図8はエネルギーで示したものである。これらを

見ると、冷房が必要な夏季は春季、秋季に比較して2~3倍程度になることがわかる。冬季についても暖房が必要な日は大きな値になることがわかる。空調負荷は建物の利用状況で大きく左右されるが、このように常時計測することによってデータを蓄積し解析することで、長期のエネルギー消費についての解析(LCE評価)が可能になる。

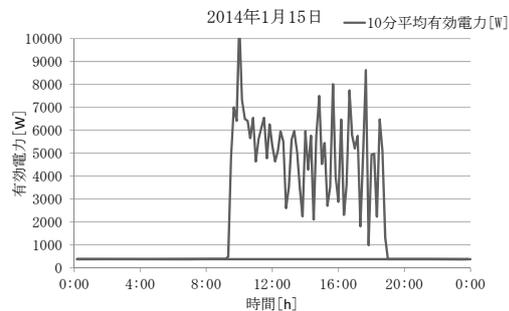


(a) 2014年1月15日

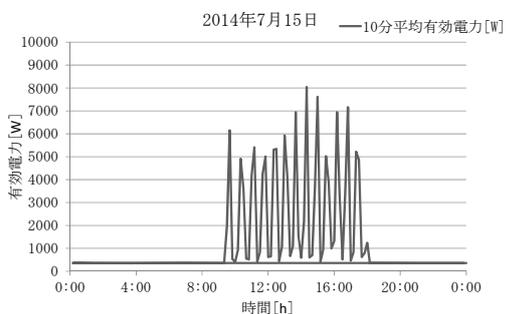


(b) 2014年7月15日

図5 総合気象観測機器によるデータの例



(a) 2014年1月15日

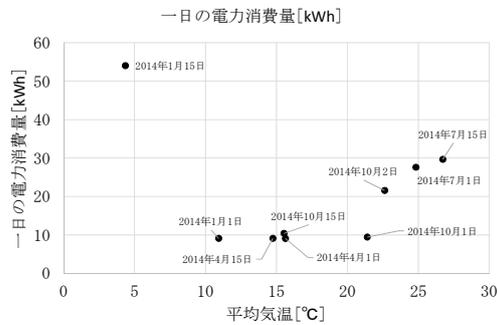


(b) 2014年7月15日

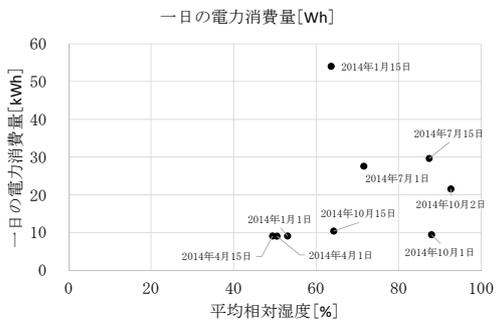
図6 電力消費量の計測データの例

図9はこれまでの考え方を整理したものである。環境影響を大きく2つにわけている。一つは健康に関わるもので、暑熱環境、快適性、熱中症といった健康側面で、指標はWBGT等である。もう一方は熱環境、空調負荷、エネルギー消費、二酸化炭素排出量、地球環境

といった環境側面で、指標としては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を見積ることができる。このように整理すると、仮に空調負荷低減を主題とする場合、暑熱環境は直接関係ないと考えることもできる。しかし、熱中症の発生といった健康側面を考えれば WBGT のような指標が同時に重要となってくる。

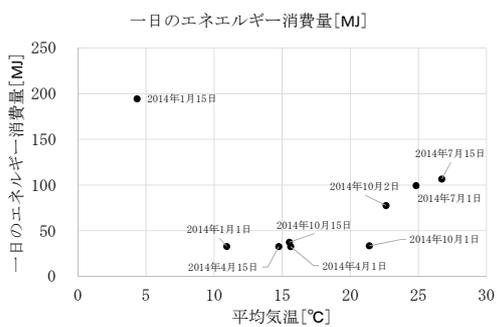


(a) 一日の電力消費量と平均気温

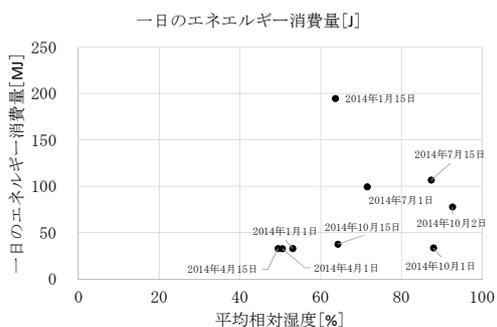


(b) 一日の電力消費量と平均相対湿度

図7 一日の電力消費量と気温及び湿度との関係の例



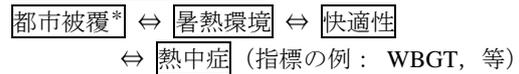
(a) 一日のエネルギー消費量と平均気温



(b) 一日のエネルギー消費量と平均相対湿度

図8 一日のエネルギー消費量と気温及び湿度との関係の例

評価方法1 (健康側面)



評価方法2 (環境側面)



*: 熱環境を決定する要因の一例

図9 熱環境影響評価の考え方 (一案)

本研究では、都市内空間の熱環境実態調査解析結果と、有効な被覆材料との関連付けを行うことにより都市気候緩和効果を試算することを試みた。実態調査に関しては、一都市の事例ではあるが、多くの人々が集まる市街地中心部において熱環境、暑熱環境に大きな違いが認められ、仮にではあるが空調負荷に与える影響の違いについて検討することができた。この結果は都市内空間 (街区) の面的な情報を与えるものである。情報を蓄積することによって、将来的には GIS (地理情報システム) 技術や WEB (インターネット) 技術を活用した情報公開等、公益に供し得るものと思われる。被覆材料の検討に関しては、照射実験についてこれまでの実験結果の妥当性を概ね確認することができたが、新たな知見を得るまでには至らなかった。今後引き続き取り組む必要がある。特に自然被覆の特性や水の利用法について検討を進めたい。エネルギー消費に関しては、特定の建物について、気象情報及び空調電力消費情報をもとに両者の関係を見た。LCE の検討については、都市内空間の熱環境、空調負荷、エネルギー消費を関連付けた基礎データを得ることができたが、一般化する手法等さらなる検討が課題である。以上に加えて、気象台の長期観測気温データを用いて我が国の都市温度の構造的変化について統計的解析を行った。これは我が国の都市の長期的な熱環境の変化を分析したものであり、何れの都市においても、ある時期に構造的な変化があったと考えるのが妥当と思われる。今後は、都市化と密接に関連する湿度に着目して同様の解析を行うことが考えられる。

<引用文献>

- ① 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、27、165-170、1999

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ① Takahito Ueno, Yusuke Shiki, Satoshi Doi, Chihiro Fujisue, Takahiro Tashiro, Spatiotemporal Evaluation of Thermal Environment in Kumamoto City Urban

Districts, Journal of Heat Island Institute International, 査読有, 9-2, 2014, 73-81
www.heat-island.jp/web_journal/Special_Issue_7JGM/P1_ueno.pdf

- ② Takahiro Tashiro, Takahito Ueno, A Study on Structural Change of Urban Air Temperature in Japan - Data for 114 years of 1891-2004 at 36 observatories -, Journal of Heat Island Institute International, 査読有, 9-2, 2014, 113-126
www.heat-island.jp/web_journal/Special_Issue_7JGM/P3_tashiro.pdf
- ③ 上野 賢仁, 志岐 祐介, 土井 聡史, 藤末 千紘, 田代 敬大, 都市街区熱環境の地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集, 査読無, 42, 2014, 423-428
- ④ 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, 査読有, 29, 2013, 161-166
- ⑤ 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集, 査読無, 41, 2013, 515-521
- ⑥ 上野 賢仁, 空岡 由紀子, 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集, 査読無, 40, 2012, 403-409

[学会発表] (計11件)

- ① Takahito Ueno, Takahiro Tashiro, Spatiotemporal Evaluation of Air Conditioning Energy Load on Thermal Environment Survey in Kumamoto City Urban Districts, GISUP2015 (The 16th International Symposium of Geospatial Information Science and Urban Planning), 2015年1月28~30日, National Kaohsiung Marine University (Kaohsiung City, Taiwan)
- ② Takahito Ueno, Yusuke Shiki, Satoshi Doi, Chihiro Fujisue, Takahiro Tashiro, Spatiotemporal Evaluation of Thermal Environment in Kumamoto City Urban Districts, 7th Japanese German Meeting in Urban Climatology, 2014年10月6~10日, Leibniz-University of Hannover (Hannover, Germany)
- ③ Takahiro Tashiro, Takahito Ueno, On Urban Temperature Change in Japan, 7th Japanese German Meeting in Urban Climatology, 2014年10月6~10日, Leibniz-University of Hannover (Hannover, Germany)
- ④ 上野 賢仁, 志岐 祐介, 土井 聡史, 藤末 千紘, 田代 敬大, 熊本市中心街区

の熱環境の地空間評価に関する事例研究, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014年9月10-12日, 大阪大学 (大阪府豊中市)

- ⑤ Takahito Ueno, Yusuke Shiki, Satoshi Doi, Chihiro Fujisue, Takahiro Tashiro, A Case Study of Spatiotemporal Evaluation of Thermal Environment in Kumamoto City Urban Districts, GISUP 2014 (The 16th International Symposium of Geospatial Information Science and Urban Planning), 2014年2月19~21日, 長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑥ 上野 賢仁, 田代 敬大, 都市街区の熱環境影響の時空間評価の試み, 日本環境共生学会第16回(2013年度)学術大会, 2013年9月28~29日, 豊橋技術科学大学 (愛知県豊橋市)
- ⑦ 上野 賢仁, 本田 智也, 福嶋 宏起, 正木 大地, 熊本市中心街区の熱環境と空調負荷に関する事例研究, 土木学会第68回年次学術講演会, 2013年9月4-6日, 日本大学 (千葉県習志野市)
- ⑧ Takahito Ueno, Hiroki Fukushima, Tomoya Hond, Daichi Masaki, Evaluation of Thermal Environment and Impacts using Air Conditioning Energy Loads in Kumamoto City Urban Districts, GISUP 2013 (The 15th International Symposium of Geospatial Information Science and Urban Planning), 2013年2月20~22日, 済州大学 (済州特別自治道済州市, 大韓民国)
- ⑨ Takahito Ueno, Yukiko Soraoka, Shota Morishita, Evaluation of Thermal Environment Impacts using Air Conditioning Energy Loads in Kumamoto City Urban Districts, 6th J-G Meeting on Urban Climatology (第6回日独都市気候学会議), 2012年9月21~24日, 広島工業大学 (広島県広島市)
- ⑩ 上野 賢仁, 空岡 由紀子, 森下 聖太, 熊本市中心市街地を例とした都市街区の熱環境影響の評価に関する研究, 土木学会第67回年次学術講演会, 2012年9月5~7日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- ⑪ 上野 賢仁, 空岡 由紀子, 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, 2012年9月1~2日, 北九州市立大学環境工学部 (福岡県北九州市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 賢仁 (UENO, Takahito)
崇城大学・工学部・教授
研究者番号: 50269106

(2) 研究分担者

田代 敬大 (TASHIRO, Takahiro)
崇城大学・工学部・准教授
研究者番号: 20150154