

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340126

研究課題名(和文)GISを利用した都市域の街区スケールにおける蓄熱・放熱量の観測と評価手法の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation method to observe heat residual and loss using GIS in sub-urban scale

研究代表者

高山 成 (Takayama, Naru)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40403373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：夏季の昼間最高気温と夜間最低気温に関して、サブ都市スケールに発生する都市内気温偏差について、天候や周辺の地理的要因との関連を検討した。海風卓越日は海岸から遠く周辺の市街化率が高い場所程、昼間最高気温は高くなる傾向にあるが、緑地および河川上や周辺に水域が多い場所ではその上昇が抑えられており、都市化による高温化が進む都市域における昼間気温に対して、河川上を吹走する海風が極めて大きな冷却効果を持つことが示された。夜間最低気温は海岸から遠いとりわけ緑地で低くなり、緑地面積が大きいほど低温傾向が顕著となる。また、緑地周辺における「クールアイランド現象」が、局所的かつ明瞭に出現することが改めて示された。

研究成果の概要(英文)：Deviation of temperature in sub-urban scale could exist and its degree might be same as heat island degree. We aimed clarify the relationship between a deviation of temperature which is occurred in sub-city scale and some factors for weather or geography. In sea breeze days, daytime maximum temperature tended to rise, in a place where is far from seaside and a higher urbanization rate area however, its tendency had been suppressed on river or greening park. Namely, it indicates that sea breeze which blow into inland area through on rivers might have significant cooling effect for daytime temperature inside urban area which is dominated on heat island phenomenon. Nocturnal minimum temperature was lower in inland area, and its tendency became more remarkable as a greening area is larger. This indicates that "cool island effect" which occurs as lower temperature around greening place would be appeared locally and significantly inside urban area.

研究分野：生物圏気象環境学

キーワード：ヒートアイランド 地理情報システム 暑熱ストレス

### 1. 研究開始当初の背景

都市域の蓄熱はどの程度の量あり、緑化によるヒートアイランド対策が蓄熱・放熱のプロセスをどの程度改善しうるのか？都市域の地物や土地被覆による蓄熱・放熱量を定量的に評価することは、より効率的かつ合理的なヒートアイランド対策を策定・実行するために必要不可欠であると言える。しかしながら、市街化区域の地物により蓄熱される熱量の観測や定量化は、都市域の土地被覆や幾何学的形状の複雑さから非常に困難であり、土地被覆による蓄熱・放熱のプロセスがヒートアイランド現象とどのように関連しているのか、観測事実に基づいて定量的に研究した事例は極めて乏しいのが現状である。すなわち、大規模な都市の市街化区域における蓄熱量の観測・評価手法を新たに開発して、都市域の土地被覆による蓄熱・放熱のプロセスがヒートアイランドの発生とどのように関連しているのか、十分な検証を行う必要がある。

### 2. 研究の目的

#### (1) 夏季の大都市における都市内気温偏差

ヒートアイランド対策の柱として、地表面被覆・都市形態の改善が挙げられ、緑地・水域の効果的な配置と整備が推進されている。市街地における緑地・水域の面積が、民有地、官庁施設、公共空間の連携により増加すれば、蓄熱を軽減し同時に蒸発散に伴う気化潜熱により、ヒートアイランド現象の原因である都市上空への顕熱輸送量を減少させることが期待できる。さらに、緑地帯や開渠による水域網の整備は、ヒートアイランドを分断し、海陸風や山野風といった局地循環による都市の換気を促進する。蓄熱・昇温を助長する加熱要因(市街化)と蓄熱・顕熱を抑制する冷却要因(緑地・水域等)が、都市域には様々なスケールで混在しており、都市域内部における気温分布は、加熱・冷却の要因が局所的にバランスした状態で形成されていることが示唆される。こうした都市域内部に存在する大きな気温偏差については数多く報告されており<sup>8),9),10)</sup>、中でも菅原ら(2005)<sup>11)</sup>は、サブ都市スケール(100~1000m)に着目した日最高気温の都市内偏差が、ヒートアイランド強度と同程度になることを指摘している。

AMeDASの4要素観測局の観測密度は約20km四方に1地点で、東京23区に3地点、200万人を超える大都市である大阪市、名古屋市、横浜市ですら各1地点の気象台のみと、都市気候解析を行うに十分とは言えない。しかしながら、信頼性の高い定時・長期観測データとして、都市内外における気温の長期トレンドの評価、異なる都市間における気温上昇幅の比較など、ヒートアイランドの発生状況の解析を行うために、現実として必要不可欠なものである。そこで本研究では、日本の大都市圏市街地における気温が気象台の定時観測データで代表され、研究目的の市街地

観測が有期に実施される状況を前提とした。こうした観点から、幹線道路沿いおよび公園緑地に市街地観測点を設置し、観測された気象台との気温差をサブ都市スケールに発生する都市内気温偏差として定義した。さらに、都市内気温偏差の形成要因を解析し、その幅を簡易に推定する方法として、土地被覆因子を説明変数とした重回帰分析法を提案した。

#### (2) 携帯型機器で推定可能な暑熱ストレス度

1931年から2015年までの気象観測データに基づく統計で、東京の夏の平均気温は2.0℃上昇していた<sup>1)</sup>。折しも2020年に56年ぶりに東京で夏のオリンピックが開催されることとなり、選手や観客の暑熱対策が急務となっている<sup>2)</sup>。WBGTはISO-7243、JIS Z 8504などに規格化され、国内外で代表的な温熱指標として、現在も広く利用されている。しかし、屋外環境において携帯型機器による気象要素の測定・換算が容易であり、実用性の面で優れている反面、熱収支解析や伝熱工学的な解析による裏づけが明示されていない欠点がある。そこでこうした背景を踏まえ、新しい温熱指標を提案しその妥当性、実用性について検討を行うこととした。新しい温熱指標は、携帯型機器で簡易に測定可能な気象要素、人体情報から算出可能であり、実用面でWBGTと大差ないこと、評価値の物理的な根拠が明確であること、評価対象であるヒトの運動強度・時間、着衣量、体格などが考慮され、屋外活動時における熱ストレスを、より正確かつ簡便に測定できること以上の3点を目標とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 夏季の大都市における都市内気温偏差

研究対象として、福岡県福岡市の中心街区にある天神交差点から、東3.31km、西1.10km、南4.27km、北0.85kmの範囲にある市街化区域を設定した。気温を2分間隔で点在する緑地16地点、市街化区域24地点(道路沿い3点、交差点16点、河川橋梁上5点)の計40地点で測定した。8月の各日について、昼間最高・夜間最低気温を算出した。ヒートアイランド現象を助長あるいは緩和すると思われる要因を、18種類の土地利用因子として数値化した。土地利用に関するデータとして、基盤地図情報数値標高モデル5mメッシュ、基盤地図情報縮尺レベル2500の水涯線、道路縁、建築物の外周線(国土地理院, 2013)を水域グリッドの作成のために使用した。また、国土数値情報都市地域土地利用細分メッシュデータ(国土交通省, 2013)を、市街化グリッドの作成のために使った。土地利用因子は、沿岸・内陸の立地条件および河川に関する因子、都市緑地に関する因子、市街化条件に関する因子の3種類に分類される。8月の各日における昼間最高気温および夜間最低気温の全地点平均を算出し、各観測点における昼間最高気温と夜間最低気

温との偏差を調べた。

(2) 携帯型機器で推定可能な暑熱ストレス度  
大阪市の市街化区域、公園緑地において、4名の被験者による熱負荷暴露実験を行った。屋外において10~20分間程度運動を行い、同時に気象観測を実施した。さらに熱負荷暴露実験による被験者の有効発汗量(実有効発汗量)を測定した。被験者はいずれも21歳の男性であり、運動の内容・時間、実験の場所・時期・時間帯、体格などが異なる。運動(エクササイズ)の内容は、4名のうち2名が軽い歩行、1名が自転車、1名がなわとび運動である。今回、暑熱ストレス度(Heat Stress Degree; *HSD*)を提案した。*HSD*は「ある気象条件において一定時間活動(運動)を行った場合、体温を一定に保つために有効発汗によって下げなければならない体温」と定義され、暑熱ストレス指標 *HSI*<sup>3)</sup>を簡略化したものである<sup>4),5)</sup>。また、通常、日射量と赤外放射量を、携帯型の機器で測定することは困難である。そこで実用性を考え、*WBGT*計と同様の気温・相対湿度・黒球温度の測定に加えて、風速と被験者の心拍数の観測に基づいて、暑熱ストレス度 *HSD*<sub>g</sub>を求めその妥当性について検討した。

#### 4. 研究成果

解析対象地域に100m間隔で886の格子点を生成し、これに35地点の市街地観測点を設置していない公園緑地を加えた、計921地点について土地被覆因子を求めた。土地被覆因子を重回帰式(5説明変数)に適用して、海風卓越日における月平均都市内昼間最高気温偏差を推定した。市街地観測点における観測値と921地点における推定値とを、月平均都市内昼間最高気温偏差【*GCmax(j)*】の空間分布として図1に示す。また、得られた重回帰式(3説明変数)による、月平均都市内夜間最低気温偏差【*GCmin(j)*】の空間分布を図2に示す。

夏季の昼間最高気温と夜間最低気温に関して、サブ都市スケールに発生する都市内気温偏差について、天候や周辺の地理的要因との関連を検討した。昼間最高気温に関して、海風卓越日と非海風卓越日との間で平均値に有意な差は見られなかった。他方、地点間標準偏差は、海風卓越日において非海風卓越日より有意に大きく、海風卓越日に昼間最高気温の地点間較差が大きいことが示された。海風卓越日において市街地域では、海岸から遠く周辺の市街化率が高い場所程、昼間最高気温は高くなる傾向にあるが、緑地および河川上や周辺に水域が多い場所ではその上昇が抑えられていた。すなわち、都市化による高温化が進む都市域における昼間気温に対して、河川上を吹走する海風が極めて大きな冷却効果を持つことが示された。昼間最高気温について8月の1ヶ月間を統計期間とした場合、月平均都市内気温偏差は線形性を有し、

土地被覆因子を説明変数とした重回帰分析法による推定が可能であった。夜間最低気温は海岸から遠いとりわけ緑地で低くなり、緑地面積が大きいほど低温傾向が顕著となる。また、夜間最低気温では昼間最高気温の場合よりモデルは頑健であり、緑地周辺における低温「クールアイランド現象」が、局所的かつ明瞭に出現することが改めて示された。

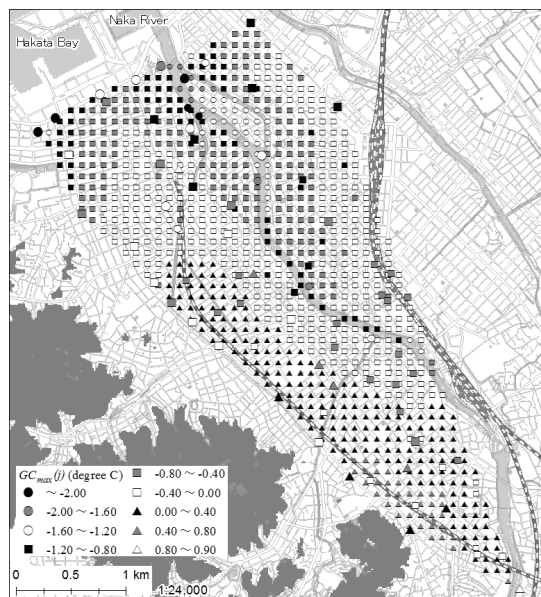


図1 海風卓越日における月平均都市内昼間最高気温偏差の空間分布。最も大きい印は市街地観測点、中間の大きさは緑地公園の観測点、その他は重回帰モデルで推定された地点である。

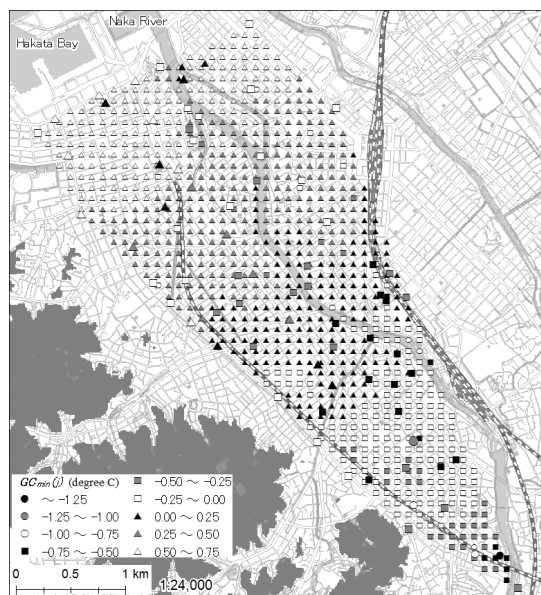


図2 8月における月平均都市内夜間最低気温偏差の空間分布。最も大きい印は市街地観測点、中間の大きさは緑地公園の観測点、その他は重回帰モデルで推定された地点である。

代表的な温熱指標として利用されている、

WBGTと同様に実用面で優れ、かつ評価対象であるヒトの運動強度・時間、着衣量、体格なども考慮された、新しい温熱指標 HSD を提案した。HSD は気象環境に支配される外的な熱負荷に加えて、衣服条件に影響される顕熱交換量を考慮することにより、温熱指標として被験者の熱ストレスを、WBGT と比較してより正確に反映できることが示唆された。また、携帯型測定機器を使った簡易な測定が困難な、人体の吸収放射量を、黒球温度と気温から推定することにより、HSD の屋外環境での運用について、測定項目に風速を追加するだけで、実用上十分な精度で熱ストレスの評価が可能となることが期待できた。

#### 引用文献

- 1) 気象庁：ヒートアイランド監視報告，気象庁，p.70，2015.7
- 2) 環境省：東京 2020 に向けたアスリート・観客の暑さ対策に係る関係省庁等連絡会議（第 2 回），環境省，p.38，2015.7
- 3) 高山 成，山本晴彦，岩谷 潔，王 斐，原田陽子，東山真理子，土屋安司，兼石篤志，白水隆之：都市域における大規模な屋上緑化物によるヒートアイランド緩和効果および人体暑熱ストレス軽減効果の定量的評価，農業気象，第 64 号，pp.257-270，2008.12
- 4) 高山 成，玉田卓也，桑名毅：人体暑熱ストレス指標の提案と有用性の検証，日本農業気象学科近畿支部講演論文集，第 7 号，pp.8-13，2014.12
- 5) Takayama, N., Tamada, T., Kuwana, T. and Ishitsubo K.: Evaluation of Human Heat Stress which Based on Heat Stress Index in Urban Area. International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2015), pp.1, 2015

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

高山 成・吉越 恆・山本晴彦・原田陽子：夏季の大都市における昼間最高・夜間最低気温に現れる都市内気温偏差の推定。日本建築学会環境系論文集，査読有，80 (717)，1095-1104，2015.11。

〔学会発表〕(計 4 件)

高山 成・桑名毅・玉田卓也・石坪健人・尾崎陽三・鶴田 健，屋外環境において携帯型機器で測定可能な温熱指標「暑熱ストレス度」の提案，日本農業気象学会近畿支部講演論文集，9，8-13，2016 年 11 月 26 日，大阪工業大学うめきたナレッジセンター（大阪府大阪市）。

尾崎陽三・高山 成，屋外運動を想定した人体暑熱ストレス指標の有用性の検証，日本農業気象学会近畿支部講演論文集，8，2-7，2015 年 12 月 5 日，大阪工業大学う

めきたナレッジセンター（大阪府大阪市）。  
Naru Takayama, Takuya Tamada, Tsuyoshi Kuwana and Kento Ishitsubo: Evaluation of Human Heat Stress which Based on Heat Stress Index in Urban Area, International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2015), pp.1, 2015 Mar-18, Tsukuba(Japan).

高山 成・玉田卓也・桑名毅，人体暑熱ストレス指標の提案と有用性の検証，日本農業気象学会近畿支部講演論文集，7，8-13，2014 年 11 月 29 日，I-site なんば（大阪府大阪市）。

〔その他〕

ホームページ；大阪工業大学工学部 HP  
<http://www.oit.ac.jp/cgi-bin/japanese/eng/detail.cgi?id=201606002>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高山 成 (TAKAYAMA, Naru)  
大阪工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：40403373