

# 夏季における茨城県つくば市の夜間の気温分布と緑地との関係

## Relationship between nighttime air temperature distribution and green space in Tsukuba City, Ibaraki Prefecture in summer

横山 仁\*<sup>1</sup>      長谷川 薫\*<sup>1,2</sup>      日下 博幸\*<sup>3</sup>  
Hitoshi YOKOYAMA      Kaoru HASEGAWA      Hiroyuki KUSAKA

\*<sup>1</sup> 防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

\*<sup>2</sup> 現所属 ESRI ジャパン株式会社 Esri Japan Corporation

\*<sup>3</sup> 筑波大学計算科学研究センター Center for Computational Sciences, University of Tsukuba

Corresponding author: Hitoshi YOKOYAMA, yokoyama-h@bosai.go.jp

### ABSTRACT

We installed thermometers in instrument shelters at elementary schools in Tsukuba City, Ibaraki Prefecture, and conducted mobile observations using a car to investigate nighttime air temperature distribution in the city. Nighttime air temperatures were high in Kasuga and Midori-no-chuo districts, and low in Yoshinuma district. These results differed from the 2008 observations by Kusaka et al. (2012), who reported that the highest air temperatures were near Tsukuba Station. When we investigated the relationship between nighttime temperatures and green coverage ratio of the area, we found higher negative correlation ( $R=-0.67$ ), meaning that even in the city center, air temperature was lower if green coverage ratio was higher. Since nighttime air temperatures are said to be closely related to heatstroke and sleep disorders, it is also important for Tsukuba City to maintain and increase green coverage ratio.

キーワード: 中小都市, 茨城県つくば市, 夏季夜間, 気温分布, 緑地

**Key Words :** *Small and medium-sized cities, Tsukuba City, Ibaraki Prefecture, Summer nighttime, Air temperature distribution, Green space*

### 1.はじめに

地球規模での気温上昇が続くなか、2024年の世界の年平均気温は、1891年の統計開始以降、それまで最も高かった2023年を上回り過去最高となった<sup>(1)</sup>。また、欧州連合(EU)の気象情報機関「コペルニクス気候変動サービス」は、2024年の年平均気温が産業革命前に比べ1.6°C上昇し、パリ協定で定められた「1.5°C目標」を早くも超えてしまったことを報じた<sup>(2)</sup>。我が国の気温も上昇を続けており、気象庁によれば、2024年夏(6月~8月)の日本の平均気温が、統計を開始した1898年以降、2023年と並び最も高かったほか<sup>(3)</sup>、2024年の年平均気温も統計開始以降、過去最高を記録した<sup>(4)</sup>。こうしたなか、人口の多くが居住する都市の気温はさらに高くなる傾向があり、それには地球温暖化とともにヒートアイランド現象が大きく関わっているとされる<sup>(5)</sup>。また、夏季における都市部の気温上昇は、局地的な強い降水や熱中症との関連も指摘されるなど、社会的影響は無視できないものとなっている<sup>(6),(7)</sup>。特に近年は、我が国における熱中症の死亡者数が年間1,000人を超え、自然災害による死亡者数を上回る傾向にあることから<sup>(8)</sup>、熱中症もは

や災害の一つとされるほど社会問題化している<sup>(9)</sup>。都市における気温上昇は、東京や大阪のような大都市だけでなく、中・小規模な地方都市(以下、中小都市)においても確認されている<sup>(10),(11)</sup>。さらに、我が国の大きな社会問題として人口減少とともに高齢化があり、中小都市においても重要な課題となっている。特に、高齢者は熱中症リスクが高いとされることから<sup>(6)</sup>、熱環境のリスク低減に向けた都市づくりの観点から中小都市を対象とした研究も行われている<sup>(12)</sup>。そうしたなか、茨城県つくば市は、人口増加が続くとともに高齢化率は低く、他の中小都市とは状況を異にする。また、早くから筑波研究学園都市としてのまちづくりが進められ、1970年代にはすでに気温分布が調べられており<sup>(13)</sup>、最近では市中心部の市街地の熱環境を対象とした研究事例もある<sup>(14)</sup>。市内の気温分布を広域的に調べた例としては、2008年に気温観測を行った日下ら(2012)<sup>(15)</sup>の研究があり、つくばエクスプレス(以下、TX)つくば駅付近を中心としたヒートアイランドが形成されている実態を明らかにした。この観測から10年以上が経ち、旧公務員住宅の再開発やTX沿線等における新たな市街地開発が進んでいることから、現在はさらに異なった状況となっていることが予想さ

れる。さらに、気象庁の観測によれば、つくば市の気温も過去 100 年で 2.4℃上昇しており、市内の気温分布を継続して定期的に調べていくことは、都市の発達とヒートアイランドの関係を知る上でも有意義である。

そこで本研究では、他の一般的な中小都市とは特徴を異にする茨城県つくば市の現在における夏季の気温分布を明らかにするために、2018年に小学校の百葉箱を活用し市内の広域的な気温分布を調べた(以下、固定観測)。さらに、2021年には、より高い空間分解能で気温分布が把握できる自動車による観測を実施し、市中心部における詳細な気温分布を調べた(以下、移動観測)。ところで、気温上昇に対する対策の一つとして緑化や緑地保全があり<sup>(5)</sup>、現在までに、緑地内や緑地近傍の気温が周囲に比べて低くなることが数多く報告されている<sup>(16)~(23)</sup>。また、緑地が多い地域ほど気温が低くなる傾向があることが、大都市を含めたさまざまな都市で確認されている<sup>(24)~(28)</sup>。過密化してしまった大都市に比べ、一般に緑地が比較的多く残る中小都市は、ヒートアイランドが大きく進行してしまう前に、既存緑地の保全等の対策を講じることができる可能性があり、気温分布と緑地との関係解析は重要である。しかし、つくば市において広域的な気温分布と緑地との関係を明らかにした例はない。そこで、今後のつくば市におけるヒートアイランド対策をはじめとしたまちづくりのための基礎資料を得ることを目的に、気温観測地点周辺の緑地面積を調べ、気温と緑地との関係についても解析を行った。

## 2. つくば市の概要

つくば市は、1985年に行われた国際科学技術博覧会(つくば万博)の2年後の1987年に、大徳町、豊里町、桜村、谷田部町が合併する形で誕生した都市で、東京から北東に約50kmの茨城県南西部(北緯36度5分0.9秒、東経140度4分35秒)に位置する<sup>(29)</sup>。面積は283.72km<sup>2</sup>で、市の北部には標高877mの筑波山があるものの、この地域以外は標高差の小さい比較的平坦な地形が広がっている。1960年代からは、筑波研究学園都市としてまちづくりが進められ、現在、国内最大の学術都市となっている。人口は259,014人(2024年8月1日現在)で、2023年の「住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調査」において、市区部で人口増加率が全国1位(2.30%)となるなど、近年、特に人口増加が著しく、2035年には県庁所在地の水戸市を抜き県内最大都市となることも予想されている<sup>(30)</sup>。また、高齢化率は20.0%で全国平均(29.1%)を大きく下回り、茨城県(同30.8%)内で最も高齢化率が低い都市である<sup>(31)</sup>。市内では主につくば駅付近を中心とした開発が進められていたが、最近では、研究学園駅付近における市役所庁舎や大型商業施設の建設など、つくば駅以外のTX沿線における開発も盛んになっているほか<sup>(32)</sup>、旧公務員住宅の再開発をはじめとした宅地開発や物流施設、データセンターの建設等が進んでいる。

## 3. 研究内容

### 3.1 固定観測による気温分布の把握

#### (1) 観測方法

つくば市内で百葉箱を有する小学校のうち、地域的な配置や百葉箱の大きさ、維持管理状態、さらには周辺の設置環境の均一性から選定した13校の小学校の百葉箱内に、2018年7月21~8月31日まで温度計(TR-52i, T&D社)を設置し、10分ごとに気温の瞬時値を記録した。

解析には、1時間平均や20日間平均等の平均化した値を用いた。温度計を設置した百葉箱の一例を図1に示す。各百葉箱に大きな違いはなかったが、すべてが完全に同一規格のものではな



図1. 固定観測に用いた百葉箱

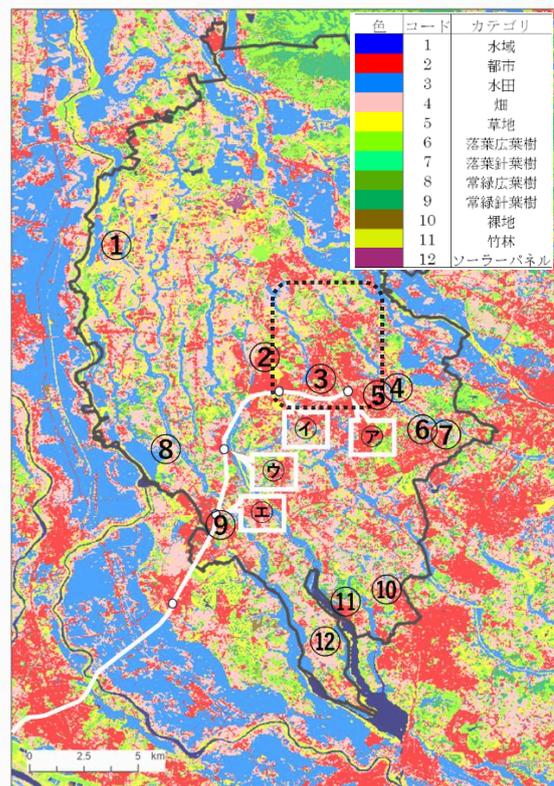


図2. 茨城県つくば市(黒線内)における気温観測の状況(○付数字が固定観測地点、白線はつくばエクスプレス線で、⑦はつくば駅、④は研究学園駅、⑤は万博記念公園駅、⑥はみどりの駅、黒点線枠内は移動観測エリア、JAXA 高解像度土地利用土地被覆図 (Version 21.11) をもとに作成)

表1. 固定観測地点の番号と所在地区名及び標高

地点番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
地区名	吉沼	学園の森	春日	上ノ室	竹園	並木	大角豆	真瀬	みどりの中央	高崎	小荊	上岩崎
標高(m)	27	27	23	25	25	22	21	24	21	23	11	24

いため、わずかな違いでも日中は日射による影響があると考えられることや、一般に、日中は大気の混合が活発となり気温に地域差がみられにくく、大気の乱れが小さい夜間の方が土地被覆の影響が表れやすいとされること<sup>(16)~(18),(33),(34)</sup>、また、熱中症による死亡者数が真夏日日数よりも熱帯夜日数との相関が高いとする報告<sup>(35)</sup>や、夜間気温や最低気温と睡眠障害との関連を示す報告<sup>(36)~(39)</sup>があることなどから、解析は、日没後～日の出までの時間帯について行った。なお、温度計が1台破損したため解析を行ったのは12カ所(図2,表1)の気温データで、解析には各温度計の器差を補正した値を用いた。また、表1に示す通り、各観測地点の標高差は小さく、温度計や観測環境の誤差を考慮すれば、各地点の標高差による影響は極めて小さいと考えられることから、高度補正は行わなかった。

## (2) 観測結果

観測期間中に、つくばアメダスにおける日最高気温が30℃以上となった日で、降水がなかった、7月21日、22日、25日、30日、31日、8月1日、2日、3日、4日、9日、11日、13日、14日、15日、21日、22日、24日、25日、26日、30日の20:00～翌日4:00(以下、夜間)の全20事例を解析対象とした。図3に観測期間中における20時台(20:00～20:50)、23時台(23:00～23:50)、3時台(3:00～3:50)の平均気温分布と日最低気温分布を示す。20時台において気温が高かったのは、TX沿線に近い春日地区の③とみどり

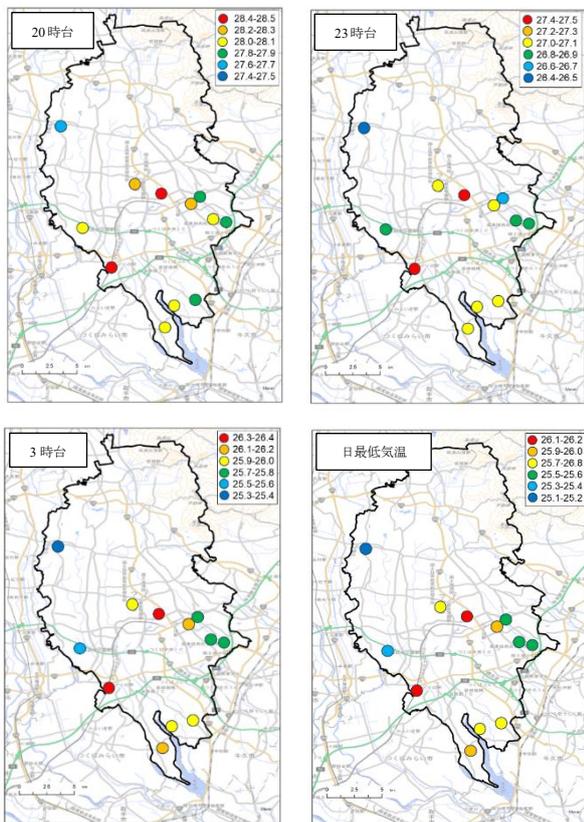


図3. 観測期間中における20時台(20:00～20:50)、23時台(23:00～23:50)、3時台(3:00～3:50)、日最低の気温分布

表2. 固定観測地点における熱帯夜日数\*と熱帯夜率\*\*

地点番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
熱帯夜日数(日)	9	16	19	12	17	12	12	13	19	15	16	17
熱帯夜率(%)	45	80	95	60	85	60	60	65	95	75	80	85

\*: 夜間(20:00～4:00)において最低気温が25℃以上の日  
 \*\*: 全事例数中の熱帯夜日数の割合

の中央地区の⑨で、気温が低かったのは市北西部の吉沼地区の①であった。こうした傾向は他の時間帯の気温分布及び最低気温分布のほか、夜間全体の平均気温分布(図省略)においても類似していた。③及び⑨と①との気温差は20時台では0.8℃程度であったが、23時台、3時台、日最低気温では概ね1℃程度に広がっていた。23時ごろが一般的な就寝時刻と仮定すると<sup>(40)</sup>、就寝時の気温が1℃上昇すると睡眠障害者の割合が3%増加するとされており<sup>(36)</sup>、1℃の気温差は睡眠障害の面で決して無視できないものといえる。また、最低気温に関しても、1℃の上昇で睡眠者の覚醒割合が5%増加し<sup>(37)</sup>、睡眠障害有症率が2.3%増加する<sup>(38)</sup>ことが指摘されている。さらに、最低気温が25℃以上の熱帯夜日数も睡眠障害<sup>(39)</sup>や熱中症死亡者数<sup>(35)</sup>と関連が深いとされ、その低減が求められている。表2は、本観測において最低気温が25℃以上となった日数を熱帯夜日数として求めたものであるが、最も熱帯夜日数の多い③と⑨は、全事例の95%にあたる19日間で熱帯夜となっていたのに対し、最も少なかった①では9日で熱帯夜率は45%となり、③と⑨の約半分の日数であった。ところで、10年前に行われた日下ら(2012)<sup>(15)</sup>の観測で、最低気温が出る時間帯に最も気温が高かったのは、つくば駅付近にある観測点で、本観測の場合は2番目に気温が高い傾向にあった⑤が距離的に近い。一方、本観測で気温が高かった③は、つくば駅よりも西側の研究学園駅寄りにある。観測地点が同一ではないため厳密な比較はできないが、日下ら(2012)<sup>(15)</sup>の観測においても、2番目に気温が高かったのは、やはり研究学園駅付近の観測点であったことを考えると、この観測から約10年が経過し、つくば駅付近よりも研究学園駅付近の方が、わずかながら気温が高くなっている可能性が示唆された。なお、市中心部と離れた市南部の⑩～⑫の気温もやや高い傾向が認められたが、日下ら(2012)<sup>(15)</sup>の観測においても、隣接する土浦市との境界付近の観測地点で気温が高い傾向にあることが確認されており、本研究においても同市や牛久市といった隣接する他都市の市街地の影響等が考えられるが、詳細は不明である。

## 3.2 移動観測による気温分布の把握

### (1) 観測方法

固定観測によって、市内の広域的な気温分布の実態が明らかとなったが、最も気温が高かった地点が、日下ら(2012)<sup>(15)</sup>の観測結果とはやや異なる状況がみられたことから、これらの気温が観測された市中心部付近の気温分布をより詳細に調べるため、2021年夏季に自動車による移動観測を行った(図2中心付近の黒点線内の範囲)。観測は、8月26、27、28日の日の出直前に、屋根の荷台に温度計を取り付け



図4. 白色塗装を施した移動観測用通風筒

た自動車で行った。観測には、熱電対（銅-コンスタンタン線、径0.3mm）を用い、データロガー（TR45, T&D社）に1秒間隔で記録した。観測にあたっては、長さ約300mm、径80mmの塩ビ管内に同じ長さで径が60mmの塩ビ管を取り付けて二重にした通風筒の内部に熱電対を設置した。通風筒の外側表面には白色塗装を施すとともに、長さ約2mのL字アングル先端部に取り付け、通風筒が自動車の屋根面より前に出るように荷台（地上高約1.8m）に固定した（図4）。また、車内にカメラを設置し、移動観測中の状況を動画で記録し観測データと照合した。

## (2) 観測結果

観測を行った3日間のうち、前日と当日に降雨が無く、観測時間帯の4:40から日の出直前の5:00の風速が最も弱かった2021年8月28日の観測結果について解析した。観測前日（8月27日）の日中は、西

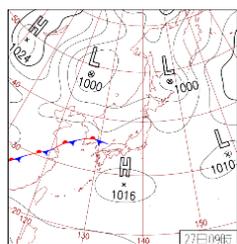


図5. 2021年8月27日9:00の気象庁地上天気図

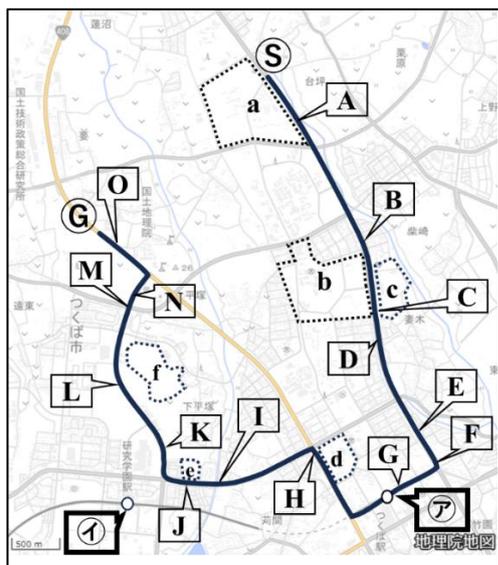


図6. 自動車による移動観測経路（図2の黒点線枠内の拡大図、黒実線が移動経路、大文字アルファベットは移動観測車の位置で図7に対応、それ以外の記号は以下の通り。S：観測開始地点、C：観測終了地点、a：筑波大学北地区、b：筑波大学南地区、c：国立科学博物館筑波実験植物園、d：筑波大学春日地区、e：葛城ふれあいの森、f：葛城大規模緑地、①：つくば駅、②：研究学園駅。地理院地図をもとに作成）

日本から東日本にかけて広く太平洋高気圧に覆われ（図5）、各地で猛暑となり、つくばアメダスにおいても最高気温が32.9°Cとなった。つくばアメダスにおける観測時間帯の風速は、4:40が0.8m/s、4:50が0.7m/s、5:00が0.7m/sと非常に弱く、気温もそれぞれ24.1°C、24.0°C、24.1°Cとほとんど変化がなかった。このことから、移動観測結果の時刻補正は行わなかった。図6に移動観測経路を示す。観測当日は土曜日ということもあり、交通量は非常に少なく渋滞も発生しなかった。移動観測中はほぼ一定速度で走行し、走行距離を所要時間で割って求めた平均時速は約33km/hであった。観測の結果を図7に示す。4:40に観測を開始後、気温が上下に変動しながらも、つくば駅付近（G）に向かうにつれて気温が上昇する傾向が認められた。その後、H付近で一旦低下したが、研究学園駅方面に向かうにしたがって再び上昇し、I付近において本観測における最高気温を記録した。同じく研究学園地区にあるK付近もI付近に次いで高く、わずかな差ではあるが、つくば駅付近（G）よりも高い気温が観測された。なお、図6に示す移動観測車の位置のなかでは、A、C、L、Oにおいて熱帯夜の基準となる25°Cを下回っていた。

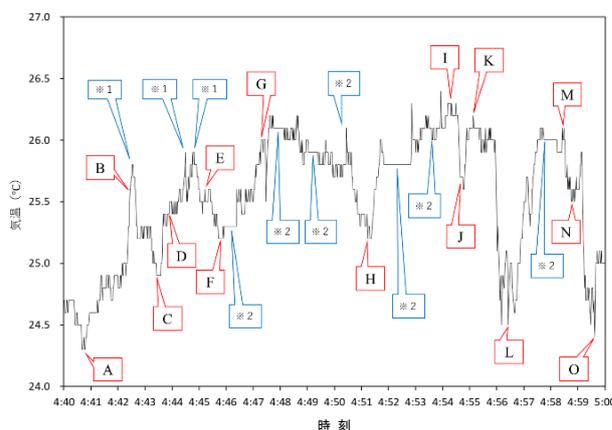


図7. 自動車による移動観測結果（2021年8月28日、4:40～5:00、大文字アルファベットは図6に対応、※1：前方の自動車の排熱によるものと思われる影響、※2：信号待ちによる5秒間以上の停止時の気温）

## 3.3 気温分布と緑地との関係

### (1) 解析手法

固定観測で得られた気温分布と緑地との関係を明らかにするために、観測された気温と観測地周辺の緑地面積の割合（緑被率）との関係を調べた。緑被率は、「JAXA 高解像度土地利用土地被覆図（Version 21.11）」<sup>(41)</sup>を用い、各観測地点を中心とした半径500mの範囲内の落葉広葉樹、落葉針葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹、竹林、水田、畑、草地のカテゴリの総面積が、半径500m範囲内の全カテゴリ面積に占める割合とした<sup>(42)</sup>。解析には、ArcGIS Pro（ESRI社）を用いた。

### (2) 解析結果

まず、日下ら(2012)<sup>(45)</sup>の観測で、ヒートアイランドの中心と考えられたつくば駅から各固定観測点との直線距離と、それぞれの夜間気温との関係を見ると、駅から離れるにしたがって気温が低くなる傾向が認められたものの、相関係数は $R=-0.23$ と低かった(図8)。一方、観測地点周辺の緑被率と夜間気温との関係においても、緑被率が高い観測地点ほど気温が低くなる傾向が認められ、つくば駅からの直線距離との関係よりも強い、有意水準5%未満の負の相関関係( $R=-0.67$ ,  $p<0.05$ )が認められた(図9)。また、日最低気温(y)と緑被率(x)においても、 $y = -0.0086x + 26.205$  ( $R=-0.60$ ,  $p<0.05$ )の関係が認められた。すなわち、⑨のようにつくば駅から離れていても気温が高い地点がある一方で、④や⑥、⑦のようにつくば駅に近くても気温が低い地点があるなど、市中心部から離れていても緑被率が低ければ気温が高く、市中心部付近であっても緑被率が高ければ気温が低い傾向にあることが明らかとなった。今回得られた相関係数は、夜間や日最低気温と緑被率(緑量)との相関が高かったとする他の研究<sup>(25),(27),(28)</sup>の値にも概ね近い。

長期間のデータを平均化して解析した固定観測とは異なるが、移動観測においても、筑波大学北地区の緑地帯付近(A)や、筑波大学南地区の緑地帯と国立科学博物館筑波実験植物園が隣接する付近(C)、筑波大学春日地区の緑地帯付近(H)、さらには、葛城ふれあいの森付近(J)や葛城

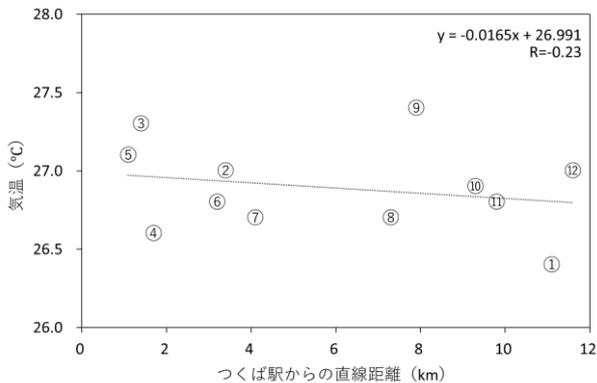


図8.つくば駅から固定観測地点までの直線距離と夜間(20:00~4:00)平均気温との関係

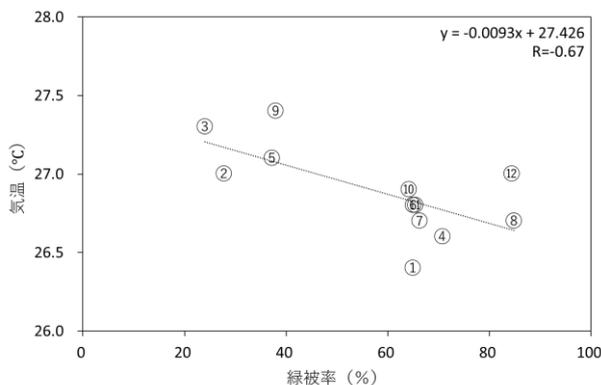


図9. 固定観測地点周辺の緑被率と夜間(20:00~4:00)平均気温との関係

大規模緑地を含む緑地(草地)帯付近(L)のほか、F, N, Oといった近傍に住宅や研究機関の樹林、農地等の緑地がある地点付近において、気温が下がる傾向が認められた。

#### 4. つくば市における緑地の現状と今後の課題

本研究によって、つくば市における夜間の気温は地域によって異なり、緑被率と高い負の相関関係があることが明らかとなった。就寝時の気温と睡眠との関係<sup>(36)</sup>や日最低気温と覚醒割合<sup>(37)</sup>、睡眠障害<sup>(38),(39)</sup>との関係、さらには、熱帯夜と熱中症死者数との関係<sup>(35)</sup>等夜間の気温が人体にさまざまな影響を及ぼすことが指摘されていることから、今後のつくば市における緑被率の維持、向上は重要な課題といえる。一方、熱中症は、乾球温度、黒球温度、湿球温度によって計算される暑さ指数(WBGT)により評価され、湿度も重要な要素であり、できるだけ多湿にならない環境が望ましい<sup>(6)</sup>。しかし、緑地は植物や土壌からの蒸発散による潜熱によって気温の低下がもたらされるだけでなく、湿度が上昇する傾向にあるため、熱中症に対する悪影響が懸念される。これに対しては、局所的には緑地の存在によって湿度が上昇する傾向があるものの、広域的には緑被率の高い地域ほどWBGTが低下するなど、暑熱緩和につながることを示されている(例えば、野々村(2009)<sup>(43)</sup>)。こうしたこともあり、熱中症対策としての緑被率向上の取り組みが推進されている(例えば、国土交通省都市局<sup>(44)</sup>)。

つくば市全体の現在の緑被率に該当する値は約63%であるが、市街化区域は12%弱と低い<sup>(45)</sup>。村上ら(2012)<sup>(46)</sup>は、つくば市の市街地を熱環境シミュレータによって分析した結果、緑被率とヒートアイランド緩和効果との相関が高く、緑被率を指標としたヒートアイランド緩和効果を期待した緑化を進めることの妥当性を示している。このことから、今後の同市における市街地も含めた緑化の推進が求められる。また、同市が市民を対象に行ったアンケート調査では、81%の市民が緑に関心があり、以前より緑が減ったと感じる市民が約52%と半数を上回るなど、今後の緑の動向に高い関心が寄せられている。そうしたなか、我が国では30by30として、国立公園などの保護地域の拡張と管理の質の向上だけでなく、保護地域以外で生物多様性保全に資する地域(OECM: Other Effective area-based Conservation Measures)を設定・管理していくこととしており、里地里山や社寺林、企業林のような民間等によって保全が図られている区域を自然共生サイトとして認定している<sup>(47)</sup>。つくば市においても、市の緑地の主要な構成要素となっている民間企業や研究機関等の緑地がすでに5カ所認定されており(2024年前期現在)、本研究でも、そうした緑地の重要性が示された。つくば市は2020年に第3次つくば市環境基本計画<sup>(48)</sup>を定め、豊かな自然環境・生物多様性を未来へつなぐことを基本目標としており、今後、安全で快適な都市としていく意味においても、緑被率の維持、向上をめざしたまちづくりの推進が望まれる。

#### 5. まとめ

茨城県つくば市内の小学校に設置されている百葉箱に温度計を取り付けるとともに、自動車を使った移動観測を行い、市内の夏季における夜間の気温分布を調べた。さらに、得られた結果をもとに、気温分布と緑被率との関係を解析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1)夜間(20:00~4:00)の気温は、春日地区とみどりの中央地区で高く、吉沼地区で低い傾向が認められた。
- (2)最も気温の高い地域がTX 研究学園駅付近やみどりの駅付近等でみられ、つくば駅付近で最も気温が高かった2008年の観測結果とはやや異なる傾向が認められた。
- (3)夜間気温と地域の緑被率との関係を調べたところ、高い負の相関関係( $R=-0.67$ )が認められ、市中心部から離れていても、緑被率が低ければ気温が高い一方で、市中心部であっても緑被率が高ければ気温が低くなっていた。
- (4)夜間気温は、熱中症や睡眠障害等との関連が示されていることから、つくば市においても、夜間気温との関連が深い緑被率の維持、向上に向けたまちづくりを進めることが重要であると考えられた。

#### 謝辞

研究の推進にあたっては、つくば市教育局、つくば市ジオパーク室、小学校教職員等関係者の皆様に多大なるご協力いただいた。また、筑波大学生命環境科学研究科地球環境科学専攻の浅野裕樹さん(現、筑波大学計算科学研究センター)、同地球学類の金子竜也さん(現、オフィス気象キャスター(株))からは研究全般に対する有意義なアドバイスをいただいた。厚く御礼申し上げる。観測ならびに観測用機材の製作にあたっては、防災科学技術研究所極端気象災害研究領域水・土砂防災研究部門 宇治靖高度専門職型技術員に、データの解析にあたっては、同領域雪氷防災研究センター 安達聖主任専門研究員、社会防災研究領域防災情報研究部門 長房駿技術員にそれぞれ指導、協力をいただいた。記して深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) 気象庁, 世界の年平均気温, [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_wld.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html), (2025年2月4日閲覧)。
- (2) The Copernicus Climate Change Service (C3S), <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>, (2025年1月14日閲覧)。
- (3) 気象庁, 2024年夏(6月~8月)の天候, <https://www.data.jma.go.jp/cpd/longfcst/seasonal/202408/202408s.html>, (2024年12月12日閲覧)。
- (4) 気象庁, 日本の年平均気温, [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_jpn.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html), (2025年1月27日閲覧)。
- (5) 国土交通省, 令和6年版国土交通白書, <https://www.mlit.go.jp/statistics/content/001751766.pdf> (2024年8月21日閲覧)。
- (6) 環境省, 熱中症環境保健マニュアル 2022,

[https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness\\_manual\\_full.pdf](https://www.wbgt.env.go.jp/pdf/manual/heatillness_manual_full.pdf), (2024年8月19日閲覧)。

- (7) Hiroyuki Kusaka, Keiko Nawata, Asuka Suzuki-Parker, Yuya Takane and Nana Furuhashi, Mechanism of Precipitation Increase with Urbanization in Tokyo as Revealed by Ensemble Climate Simulations, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*,53(4)(2014),824-839.
- (8) 厚生労働省, 熱中症による死亡数 人口動態統計(確定数)より, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyuu/necchusho22/index.html>, (2024年12月12日閲覧)。
- (9) 環境省, 令和6年版 環境・循環型社会・生物多様性白書, <https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/r06/pdf/full.pdf>, (2024年8月19日閲覧)。
- (10) 榊原保志, 長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係, *天気*, 46 (1999), pp. 567-575.
- (11) 佐藤典人・木村成彦, 平塚市における気温分布と海陸風循環, *法政地理*, 46(2014), pp. 5-16.
- (12) 横山真・田中健太・井上莞志・松尾薫・田中貴宏, 福山市の夏季気温分布傾向把握と地域類型化, *福山市立大学都市経営学部紀要*, 14(2022), pp.205-213.
- (13) 吉野正敏・高橋浩一郎・甲斐啓子・小林守・林陽生, 筑波研究学園都市の気温分布, *筑波の環境研究*, 1(1976), pp.27-43.
- (14) 手塚勇太・村上暁信, 移動観測によるつくば市中心地区の気温分布の把握とその変化の考察, *ランドスケープ研究* 84 (5)(2021), pp.535-540.
- (15) 日下博幸・高根雄也・阿部紫織・高木美彩・重田祥範・大橋唯太・布和宝音, オープンスペースで実施した定点観測によって捉えられた夏季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド:都市内外の気温差に関する不確実性の評価, *日本ヒートアイランド学会論文集*, 7(2012), pp.1-9.
- (16) 成田健一, 都市内緑地の環境調節効果に関する実測研究, *日本建築学会中国支部研究報告集*, 18(1994), pp.273-276.
- (17) 浜田崇・三上岳彦, 都市内緑地のクールアイランド現象—明治神宮・代々木公園を事例として—, *地理学評論*, 67A-8(1994), pp.518-529.
- (18) 三上岳彦, 都市内部における公園緑地の気候, *お茶の水女子大学人文科学紀要*, 35(1982), pp.21-36.
- (19) 本條毅・高倉直, 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響 (1), 実測に基づく熱収支的解析, *農業気象*, 40 (3) (1984), pp.257-261.
- (20) 成田健一・菅原広史・横山仁・三坂育正・松島大, 皇居の冷気生成機能と周辺市街地への熱的影響に関する実測研究, *日本建築学会環境系論文集*, 666(2011), pp.705-713.
- (21) 菅原広史・田中博春・成田健一・中野智子・三上岳彦,

- 都市内緑地におけるクールアイランドの鉛直構造, 地学雑誌, 120 (2) (2011), pp.426-432.
- (22) 三坂育正・成田健一・谷本潤・萩島理・小島倫直, 大規模階段状緑化建築と隣接する公園の冷氣生成に関する実測研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2012.1 (2012), pp.761-764.
- (23) 重田祥範・高岡利行・大橋唯太・亀卦川幸浩・平野勇二郎, 都市内の大規模緑地がもたらす大気冷却効果—大阪城公園の事例—, 日本生気象学会雑誌, 50 (1) (2013), pp.23-35.
- (24) 山田宏之, 都市気温分布と緑地分布の関連についての都市間比較, ランドスケープ研究, 58(5)(1995),pp.253-256.
- (25) 十二村佳樹・渡辺浩文, 夏季の広域都市気温分布実態と風が緑被率と気温との関係に及ぼす影響に関する研究—東北地方沿岸都市・仙台における長期多点測定結果に基づく分析—, 日本建築学会環境系論文集, 72(612) (2007), pp.83-88.
- (26) 飯田紘生・佐藤豊・石野久彌・郡公子・中山哲士, 宇都宮市の緑被率と外気温の分布特性, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2010.2(2010),pp.1039-1042.
- (27) 佐々木唯・松尾薫・横山真・佐々木優・田中貴宏・佐土原聡, 沿岸都市及びその周辺地域における夏季の気温分布形成要因に関する研究—神奈川県全域を対象とした夏季多点同時気温実測に基づく分析—, 都市計画論文集, 51(3) (2016), pp.596-602.
- (28) 井上莞志・田中健太・田中貴宏・松尾薫・横山真, 広島市都心部及びデルタ市街地における夏季の屋外気温分布に関する研究—気温分布形成要因の分析と熱環境改善策導入推進エリアの抽出—, 都市計画論文集, 55 (3) (2020), pp.931-938.
- (29) つくば市, つくば市の概要, <https://www.city.tsukuba.lg.jp/shisei/joho/profile/1002187.html>, (2024年1月26日閲覧).
- (30) 国立社会保障・人口問題研究所, 日本の地域別将来推計人口(令和5(2023)年推計), <https://www.ipss.go.jp/pp-shicyoson/j/shicyoson23/6houkoku/houkoku.asp>, (2024年8月19日閲覧).
- (31) 茨城県, 第9期いばらき高齢者プラン21, <https://www.pref.ibaraki.jp/hokenfukushi/chofuku/choju/9thplan/9thplan21.html>, (2024年8月19日閲覧).
- (32) 首都圏新都市鉄道株式会社, つくばエクスプレス中期経営計画(2021~2023年度), [https://www.mir.co.jp/company/plan\\_2021-2023.pdf](https://www.mir.co.jp/company/plan_2021-2023.pdf), (2024年1月26日閲覧).
- (33) 高橋日出男・清水昭吾・大和広明・瀬戸芳一・横山仁, 稠密観測データに基づく晴天弱風の冬季夜間における東京都区部を中心とした気温分布について, 地学雑誌, 123 (2) (2014), pp.189-210.
- (34) 平野勇二郎・茅陽一, 関東平野南部における都市気温分布の時空間構造解析, GIS-理論と応用, 6 (2) (1998), pp.1-10.
- (35) 中井誠一, 熱中症死亡数と気象条件, 日本生気象学会雑誌, 30 (4) (1993), pp.169-177.
- (36) 岡野泰久・井原智彦・玄地裕, インターネット調査を用いた夜間のヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価, 日本ヒートアイランド学会論文集, 3(2008), pp.22~33.
- (37) 環境省, I章 気温の上昇が睡眠に及ぼす影響, ヒートアイランド対策の環境影響等に関する調査業務報告書, <https://www.env.go.jp/air/report/h21-06/>, (2025年2月17日閲覧).
- (38) 大橋唯太・井原智彦・玄地裕, 東京23区を対象とした夏季の睡眠障害と夜間の屋外熱環境の関係について, 環境情報科学論文集, ceis28 (2014), pp.367-372.
- (39) Tomohiko Ihara, Daisuke Narumi, Sanae Fukuda, Hiroaki Kondo and Yutaka Genchi, Loss of disability-adjusted life years due to heat-related sleep disturbance in the Japanese, Sleep and Biological Rhythms, 21(2023), pp.69-84.
- (40) 総務省統計局, 令和3年社会生活基本調査, <https://www.stat.go.jp/data/shakai/2021/rank/index.html>, (2025年2月17日閲覧).
- (41) 平山颯太・田殿武雄・大木真人・水上陽誠・奈佐原顕郎・今村功一・平出尚義・大串文美・道津正徳・山之口勤, JAXA 高解像度土地利用土地被覆図日本域 21.11版(HRLULC-Japan v21.11)の作成, 日本リモートセンシング学会誌, 42 (3) (2022), pp199-215.
- (42) 国土交通省, 資料1 まちづくりGXの検討状況, 第25回都市計画基本問題小委員会 配付資料, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001706232.pdf>, (2025年2月17日閲覧).
- (43) 野々村敦子, 増田拓朗, WBGTを用いた樹林のもつ夏季の体感温度低減効果の分析, 環境情報科学論文集 ceis23 (2009), pp.161-166.
- (44) 国土交通省都市局, 緑の基本計画×グリーンインフラガイドライン(案), <https://www.mlit.go.jp/toshi/park/content/001752102.pdf>, (2025年6月19日閲覧).
- (45) つくば市, つくば市緑の基本計画(改訂版), [https://www.city.tsukuba.lg.jp/soshikikarasagasu/kensetsubukoen\\_shisetsuka/gyomuannai/5/1001697.html](https://www.city.tsukuba.lg.jp/soshikikarasagasu/kensetsubukoen_shisetsuka/gyomuannai/5/1001697.html), (2025年1月14日閲覧).
- (46) 村上暁信, 佐藤理人, 原山祐太郎, ヒートアイランド緩和効果からみた環境指標としての緑被率の有効性, 都市計画論文集 47 (3) (2012), pp.265-270.
- (47) 環境省, 30by30, <https://policies.env.go.jp/nature/biodiversity/30by30alliance/> (2024年6月28日閲覧).
- (48) つくば市, 自然環境, 生物多様性の保全,

<https://www.city.tsukuba.lg.jp/soshikikarasagasu/seikatsukankyobukankyohozenka/gyomuannai/3/2/1015039.html>  
(2024年12月12日閲覧).

(Received March 4, 2025, Accepted August 18, 2025)