

# 初冬早朝における緑地内外の気温分布調査 —代々木公園・明治神宮の事例—

An Investigation of air temperature distribution in-and outside of a wooded area in early winter  
morning  
-A case study for the Yoyogi-park and the Meiji-shrine-

岡田 牧<sup>\*1</sup> 若月 泰孝<sup>\*2</sup> 犬飼 俊<sup>\*1</sup> 廣田 陸<sup>\*1</sup> 日下 博幸<sup>\*3</sup>  
Maki Okada Yasutaka Wakazuki Shun Inukai Riku Hirota Hiroyuki Kusaka

<sup>\*1</sup> 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

<sup>\*2</sup> 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター Center for Research in Isotopes and Environment Dynamics, University of Tsukuba

<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: Maki Okada, mokada@geoenv.tsukuba.ac.jp

## ABSTRACT

A field experiment was performed in and surrounding built-up areas of the wooded area consisting of Yoyogi-park and Meiji-shrine in Tokyo on 1 December 2012 to examine the cool-spot phenomenon in early winter. The air temperature difference between the park and the surrounding built-up area was 1.8~2.9°C. The height of stable boundary layer reached 25m above ground level in the park during calm conditions. Air temperatures increased consistently from the center of the park toward to the park boundary, but air temperature differences between inside the park and the surrounding built-up areas differed by location. For example, the air temperature difference in the east side of the park was 2.3°C, but it was 1.8°C in the west side. The largest air temperature difference was 2.9°C around Shibuya-station. The spatial distribution of the heights of buildings around the park was inhomogeneous to north, south, east, and west. For example, the average number of building floors in the south side of the park was higher than the west side. There was a positive correlation between the average number of building floors and air temperature difference from each of the built-up areas around the park. These results indicate the difficulty of selecting location points for obtaining the average air temperature difference between the park interior and surroundings.

キーワード： 気温分布、緑地内外の気温差、移動観測、建物階

**Key Words** : Air temperature distribution, Air temperature difference inside and outside of a green area, Mobile measurement, Number of building floors

## 1. はじめに

ヒートアイランド対策の1つとして都市内緑地が古くから注目されている。一般的に緑地はその周囲市街地に比べて相対的に低温領域を形成している。この現象は緑地の規模が大きくなるほど明瞭になることが知られている<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>。リモートセンシングによる赤外放射温度分布からも、このような緑地規模と低温現象の関係性が確認されている<sup>(5)(6)</sup>。また、熱環境指標を用いた野外実験でも、人の感じる快適性は緑地内にて緩和されていることが示されている<sup>(7)(8)</sup>。

緑地が市街地の中でどれだけ低温な気候を形成しているかを把握するため、古くから緑地内外の気温分布が調べられてきた。丸田<sup>(9)</sup>は東京都内の複数の公園を対象に気温分布調査を行った。その結果、緑地内ほど低温になる等温線が描かれた。夜間の気温分布の形は単純な円に近い形をしていた一方、昼間は日射による影響で不規則な分布の形を描いた。また、バンクーバー、モントリオールの複数の公園を対象とした車による移動観測でも、昼間の日射による影響が指摘されている<sup>(2)</sup>。Jauregui<sup>(10)</sup>では、緑地内の等温線が市街地まで伸びている分布を示し、緑地の影響が周囲市

街地まで及んでいると指摘した。尹ら<sup>(11)</sup>は、気温分布から得られた等温線の勾配と緑地規模に着目した。その結果、緑地規模が大きいほど等温線の勾配が急になることが分かった。緑地内外の気温分布を得るために、緑地を中心に十字に観測点を配置することもあった<sup>(12)(13)</sup>。但し、この方法は気温分布を十分に把握するには難しいと考えられる。

緑地内外の気温分布が調べられてきた一方、緑地観測では緑地内外の気温差が着目されることが多い。近年、この気温差をクールアイランド強度と呼ぶ研究者もいるが、都市気候の分野で元来使われていたクールアイランドの意味とは異なる。クールアイランド現象という用語は、もともと建物陰影部における気温を使って等温線を引くと、ヒートアイランド現象と似たような島状が見える現象を指す<sup>(14)-(17)</sup>。そこで、本研究では、緑地内外の気温差をクールアイランド強度と呼ばずに、そのまま緑地内外の気温差と呼ぶことにする。緑地内外の気温差は、風が弱いときほど大きくなるなど、環境場の気象条件に強く依存する<sup>(18)(19)</sup>。もちろん、これ以外の条件にも依存する。例えば、緑地内の植生形態（樹木の多さや葉の茂りなど）がよく注目されている。日中における緑地内外の気温差は、緑地内の樹木からの蒸散量や樹木による日射の遮蔽に大きな影響を受け

る<sup>(12)(20)</sup>。一方、夜間における緑地内外の気温差は、緑地内の天空率に大きな影響を受ける<sup>(3)</sup>。このように緑地内外の気温差を調べた研究は、緑地の気温低減効果を定量的に表す指標として気温差のみに着目してきた。しかし、緑地内外の気温差を規定するパラメータは、環境場の気象条件と緑地内の植生形態だけに依存するとは考えられない。その依存性は、市街地気温の値、更に、それに大きな影響を及ぼす市街地構造にも大きく依存すると考えられる。それに関わらず、これまでの緑地内外の気温差の研究では、市街地構造に着目されたことはほとんどなかった。市街地構造で都市の熱環境に影響を及ぼす要因として、建物の材質や人工廃熱源の有無、建物密度、天空率、建物階数などが考えられる。例えば、都市キャニオン内の天空率と下向き長波放射量には負の相関があり、天空率が市街地の局所的な気温形成を左右しているという指摘がある<sup>(21)(22)</sup>。緑地内外の気温調査を行う際、事前に都市の熱環境に影響を及ぼす要因を含めて地理的調査が行われる。但し、建物階数のような目で見て判断できる基準があれば、観測点設定を簡便に行うことが期待される。建物階数分布は天空率や人工廃熱の分布とよい相関があるため、市街地の空間非一様性を代表する簡易なパラメータとして利用できる。

緑地内外の気温差は、観測点の空間的な選択によって変化することが指摘されている<sup>(3)</sup>。そこで、緑地内外を含んだ気温分布を詳細に知る必要がある。気温分布調査の多くは夏季を対象としており、その他の季節は相対的に少ない。丸田ではその他の季節の観測もされたが、特に気温の空間分布に対する考察がほとんどされていなかった。緑地内外の気温差について夏季以外の季節を調べた研究もあるが、観測点によって気温差が変わるため、詳細な気温の空間分布の把握は必須となる。そこで本研究では、気温の空間分布を調べられたことがあるものの、実態が十分に把握しきれていない初冬早朝における緑地内外の気温分布を調べることを本研究の目的とする。また、緑地内外の気温差が観測点の選択で変化することを調べ、更には、気温分布に対する市街地構造の影響を考察する。

## 2. 観測概要

### 2.1 観測期間と対象領域

観測は2012年12月1日05:00-7:00に行った。日射の遮蔽による影響を考慮する必要がなく、日の出直前に緑地内外の気温差が大きいと予想されたため、対象時間を早朝に選定した。観測当時の雲量は5~6程度であった。本研究では対象領域として東京都の代々木公園・明治神宮(計124ha程度)とその周囲を選定した。この緑地帯は代々木台地の上に広がっており顕著な起伏は存在せず、緑地内には平均樹高10~20mの常緑広葉樹林や落葉広葉樹林が広がっている。緑地周囲は市街地が広がっており、緑地北側には南新宿駅を中心としたビル街、南側には渋谷駅を中心とした繁華街、東側には原宿を中心とした商店街、西側は住宅街が形成されている。このように代々木公園・明治神宮は、緑地と市街地のコントラストが明瞭であり、都市内緑地の気温分布把握の研究に最適なフィールドである。

### 2.2 観測方法の説明

徒歩移動観測による都市内緑地内外の気温の空間分布の把握には、サーミスタ式温度計(T&D社製RTR-502)とGPSロガーを使った。温度計ロガーを垂直棒に取付け、センサーは放射除けで被い、センサー部が地上1.5mの高さになるようにした。RTR-502の測定精度は-20~80℃で



図1 移動観測の移動経路図。赤線はルートB、紫線はルートD、桃線はルートE、茶線はルートF、青線はルートG、橙線はルートHを表す。1は南新宿駅、2は参宮橋駅、3は富ヶ谷、4は渋谷駅、5は原宿、6は北参道駅の位置を表す。

±0.3℃である。サーミスタ式温度計とGPSロガーの時刻は観測前に電波時計で合わせた。移動観測中の一般場における気温の時系列変化と風環境を把握するため、代々木公園内の芝生広場2カ所(A、C地点)に自動気象観測装置AWS(Davis社製VantagePro2)を設置し、気温・風向風速を計測した。このうち、A地点は代々木公園の面積の3分の1を占める広大な芝生広場であり、観測対象領域の中でも比較的空間代表性が取りやすい。代々木公園は芝生広場と大きな池を中心に常緑樹が広がっている。緑地内でも気温は非一様であると考えられる。A地点に次いで比較的空間代表性がとりやすいと判断し、代々木公園の南東側の門の近くにC地点を設けた。また、同じA地点にて、簡易空撮型気球「ひばりは見た!」(アイテック社)を使った気温鉛直観測も行った。観測の簡便性とヘリウムガスの経済性から、気球に温度計(T&D社製RTR-502)を吊り下げることで気温の鉛直観測を試みた。夜明け前の観測でセンサーが日射の影響を受けにくいと考え、気球から吊り下げる温度センサーに放射除けを取付けなかった。気球は高さ10m~70mまで10m毎に1分間静止させ、高度補正のためにクリノメーターを使って天頂角を測った。

図1に移動観測のルートを示す。各ルートは代々木公園を出発し市街地を廻って代々木公園に戻るようにした。ルートBは代々木公園内を周回するコースをとった。ルートDは新宿副都心と明治神宮内を通った。ルートEは代々木公園西側の参宮橋駅付近を、ルートFは代々木公園南西の富ヶ谷周辺を通った。ルートGは渋谷駅周辺を、ルートHは原宿駅から千駄ヶ谷までを通った。記録間隔は、移動観

測用の温度計は1秒、鉛直観測用の温度計は2秒、AWSは10分とした。RTR-502の記録値は1分平均をして解析に使用した。AWSは2.5秒サンプルで得た計測値を10分平均している。

### 3. 結果

#### 3.1 代々木公園内の気象要素の変化

緑地内外の気温分布を調べる前に、その時の緑地内の気象環境を把握する必要がある。図2に代々木公園内の固定観測点A、C地点における気温の時系列を示す。C地点と比べてA地点の気温が常に低かった。A地点はC地点と比べて開けた場所であり、天空率が高く放射冷却が強くなったことが原因であろう。両地点の時刻別の気温をみると、5時に6.2℃(A地点)と6.7℃(C地点)、6時に5.4℃(A地点)と5.8℃(C地点)、7時に6.7℃(A地点)と6.9℃(C地点)と記録され、両地点における気温の時間トレンドは良く一致していた。また、両地点の風速は観測中ほとんど0m/sを記録していた(図省略)。0m/sより大きい風速は、A地点において6:30と6:50、7:00に0.4m/sと記録された程度であった。つまり、観測中の代々木公園内は非常に静穏な環境であった。

図3は気球を使った気温鉛直観測の結果の一事例である。5:30は地上2mで5.3℃、地上65mで7.6℃を示し、地上25m程度まで安定層が形成されていた。6:30になると、地上気温は6.5℃まで上昇した。また、安定層の高さは10m程度になり、それより上では中立状態になっていた。ちなみに観測日である2012年12月1日の日の出時刻は6:32であった。都市内緑地の気温鉛直観測は過去にも行われ、安定層の高さは代々木公園で午前3時に60m<sup>(12)</sup>、新宿御苑では午前5時に55m<sup>(23)</sup>と報告されている。このように、日の出前に放射冷却が最も強くなり、安定層の発達する様子が捉えられた。

#### 3.2 代々木公園・明治神宮内外の気温分布

図4に移動観測から得た代々木公園・明治神宮の内外の気温分布を示す。この時、気温データには時刻補正を施した。ルートE(参宮橋駅周辺)はGPSデータに欠損値が含まれていたため、プロットした軌跡が間欠的になっている。ルートB(代々木公園内)でも気温は一樣ではなく、芝生広場の気温が最も低く、公園周縁の気温は公園中央よりも高かった。代々木公園内の気温は5~7℃程度を示し、一方でルートD(南新宿駅周辺)やルートH(北参道駅周辺)、ルートG(渋谷駅周辺)では8℃以上、ルートE(参宮橋駅周辺)やルートF(富ヶ谷)では7.1℃以上の気温が記録された。代々木公園・明治神宮内の気温と市街地の気温のヒストグラムを図5に示す。緑地と市街地の平均気温はそれぞれ6.2℃、7.3℃であり、初冬早朝に緑地が周囲よりも冷えたままであることが確認された。また、市街地の気温の多くが6.5~8.0℃の範囲に集中していることが分かった。緑地内で相対的に高い気温を記録した場所は、主に明治神宮内であった。この原因として、明治神宮内では代々木公園内に比べて、常緑広葉樹が密に植えられていることが考えられる。また、気温の分散を求めたところ、緑地は0.51℃、市街地は0.77℃となり、市街地の気温のばらつきが緑地に比べてやや大きいことが示された。市街地の気温は緑地から市街地へ進むに従い連続的に上昇していた。同様の傾向はJauregui<sup>(10)</sup>、尹ら<sup>(11)</sup>でも確認されている。観測中、代々木公園内は静穏に近い環境にあり(図3)、放射冷却によ

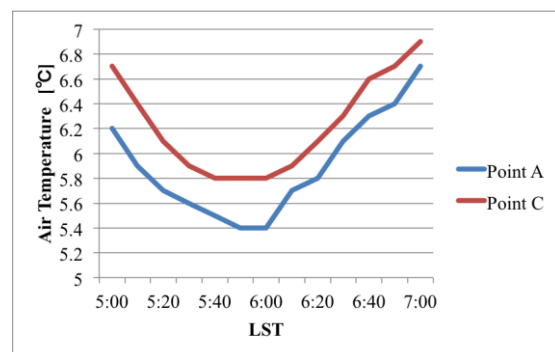


図2 代々木公園における固定観測点の気温時系列。青線はA地点、赤線はC地点を表す。

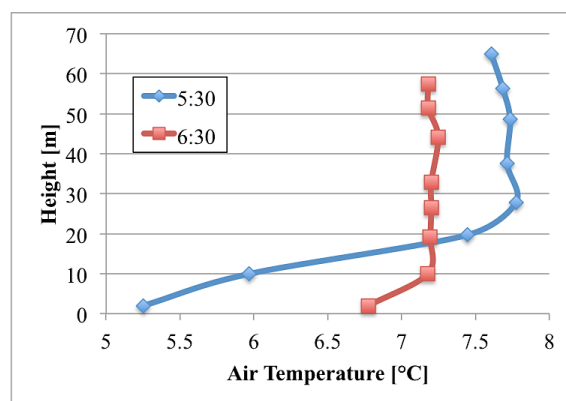


図3 A地点で計測した気温鉛直分布の例。青線は5:30に上昇させた時のプロファイル、赤線は6:30に上昇させた時のプロファイルを表す。

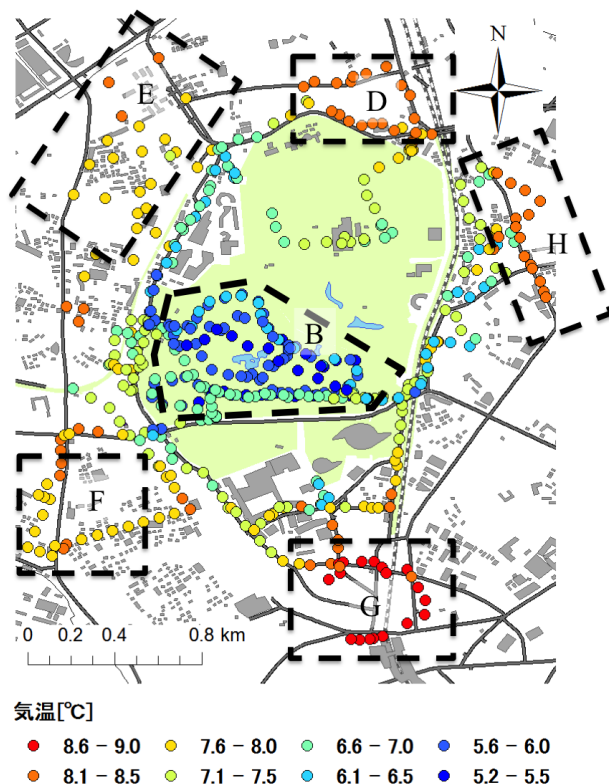


図4 移動観測による気温空間分布。1分毎の平均値をプロットしている。市街地のエリア毎の平均気温を算出した時の対象領域を点線で囲んでいる。



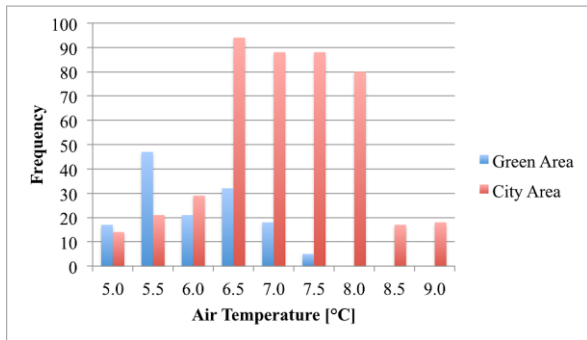


図5 移動観測から得た緑地と市街地の気温ヒストグラム

て公園内に冷氣が形成されていたと考えられる。

続いて、代々木公園内外の気温差について調べた。市街地の移動観測データには緑地内部または直近で計測された気温データが含まれている。そこで市街地で緑地の影響が少ない場所を選定して、代々木公園内外の気温差を算出した。図4には、気温差を算出する時の領域を点線で囲んで示した。解析対象領域は、ルートと区別させるためエリアと呼称を変えて、次のように選定した。

- エリアB：代々木公園内
- エリアD：南新宿駅付近
- エリアE：参宮橋駅付近
- エリアF：富ヶ谷
- エリアG：渋谷駅付近
- エリアH：北参道駅付近

市街地エリアは緑地から100m以上離れている場所を基準に選定した。本研究の対象緑地帯の近くにある新宿御苑において、夜間のにじみ出しが80~90m及ぶという報告がある<sup>(24)</sup>。この値を参考にして本研究では100mという値を設定した。エリアDに関しては、100m以上離れた場所だけを選ぶとサンプル数が極端に少なくなるため、100m以内の範囲も対象とした。エリアDと緑地帯の間には首都高速道路が走っており、道路の両脇は高いコンクリート壁で覆われている。成田ほか<sup>(24)</sup>によると、夜間のにじみ出し現象は緑地内の冷氣が重力流的に流れ出すと説明されている。そのため、本研究では100m以内の範囲であってもエリアDには緑地帯の影響は及びにくいと考えた。

表1にエリア毎の平均気温、最高気温、最低気温をまとめた。代々木公園の平均気温は5.9℃であった。市街地の平均気温はエリアFで7.7℃、エリアGで8.8℃であり、代々木公園は周囲市街地と比べて平均1.8~2.9℃低い気候を形成していることが分かった。最高気温をみると、市街地は全て8℃を超えており、中でも渋谷駅周辺の気温が最も高く9.4℃であった。観測ルート毎に記録された気温と緑地内平均気温との差を図6に示す。平均値同士を比べると、市街地全ては緑地よりも1℃以上高温であることが分かる。但し、ルートG、Hには緑地平均気温よりも低温を記録した箇所があった。特にルートGについて、気温差の最大値と最小値が最も離れていた。このように、緑地内外の気温差を求める際、市街地における観測点の選択には注意が必要と考えられる。

### 3.3 気温分布と市街地形態の関係

市街地は複雑な幾何を形成しており、気温の非一様性が顕著である。表1の市街地の平均気温は7.7℃~8.8℃と非一様を示している。前節でも述べたように、緑地内外の気温差は1.8~2.9℃であり、市街地エリアによって値が1℃程度変わってしまうことになる。RTR-502の測定精度は-20~80℃

表1 移動観測のエリア毎の平均気温、最高気温、最低気温。市街地は移動した軌跡全てではなく、各エリアで緑地から離れた場所を対象としている。エリアBは代々木公園内を表す。

エリア名 (サンプル数)	B (90)	D (31)	E (33)
平均気温	5.9	8.0	7.8
最高気温 (記録時刻)	6.9 (6:33:10)	8.4 (6:17:20)	8.4 (5:30:00)
最低気温 (記録時刻)	5.2 (5:17:10)	7.4 (6:00:00)	7.3 (5:16:00)
エリア名 (サンプル数)	F (43)	G (41)	H (31)
平均気温	7.7	8.8	8.2
最高気温 (記録時刻)	8.2 (6:15:00)	9.4 (6:16:20)	8.5 (5:32:00)
最低気温 (記録時刻)	6.6 (5:41:00)	7.9 (5:34:30)	8.0 (5:23:00)

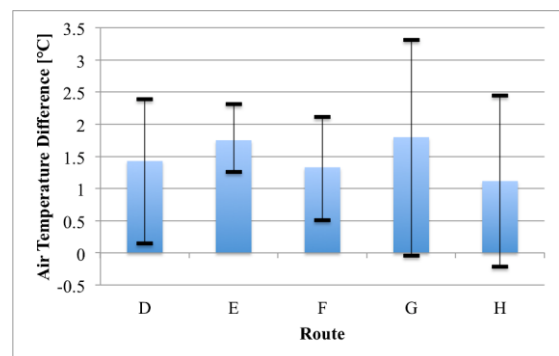


図6 市街地エリア毎の緑地内外の気温差。誤差棒は各観測ルートにおける緑地平均気温との最大気温差と最小気温差を表す。

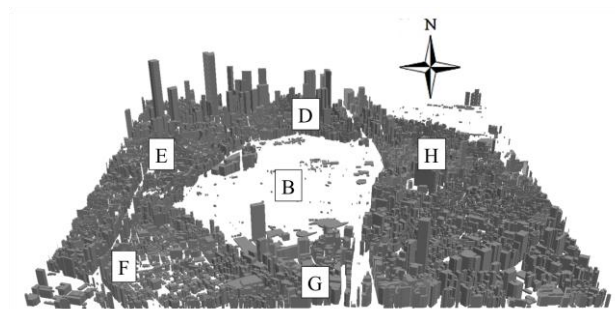


図7 3次元による代々木公園・明治神宮の周囲市街地の様子。Bは代々木公園、Dは南新宿駅付近、Eは参宮橋駅付近、Fは富ヶ谷付近、Gは渋谷駅付近、Hは北参道駅付近である。(出典：2008/09年度 Zmap-TOWNII デジタル住宅地図)

で±0.3℃である。また、移動観測に使った測器について、観測前に測定した器差は最大0.3℃だった。つまり両者を足し合わせても、市街地エリアの違いによる緑地内外の気温差の違いを説明できない。市街地エリアと平均気温を比べると、エリアE・Fに対してエリアD・G・Hの値が高かったことが分かる(表1)。

図7は代々木公園・明治神宮の周囲市街地の様子を3次元で描いた図である。代々木公園・明治神宮の西側(エリ

ア E) は、北側 (エリア D)・東側 (エリア H)・南側 (エリア H) と比べて建物の高度が低く見える。そこで市街地エリア間の気温の違いの原因として建物階数 (建物高度) を考えた。建物の高さデータを使って、観測対象領域の建物階数分布を作成した (図 8)。参宮橋駅周辺 (エリア E) や富ヶ谷 (エリア F) は 2~5 層の建物が主に広がっている。一方、渋谷駅周辺 (エリア G) や北参道駅周辺 (エリア H) では 8~12 階の建物が多くあり、13 階以上の建物も幾つかあった。このエリアの気温は、エリア E と F よりも 0.5~1.1℃ 高かった (表 1)。市街地についてエリア毎の気温と建物階数の平均値を求め比較したところ、気温と建物階数の間に明瞭な比例関係がみられた (図 9)。このように気温分布と建物階数の分布により対応関係がみられた。

以上のように、緑地周囲の市街地の気温は市街地形態により非一様であった。加えて、代々木公園内でも気温は 1.7℃ の幅を示していた (表 1)。緑地内外の気温差を求める際、代表点の選定には注意が必要と考えられる。市街地気温の空間変動は緑地内よりも大きいことを示した高野ほか<sup>(25)</sup>でも同様の指摘が述べられている。加えて、市街地で気温を計測する場合、建物階数に代表される市街地構造を配慮し計測点を配置することが望ましい。

#### 4. まとめ

緑地内外の気温分布に関する研究は、夏季に集中しており、その他の季節を対象とした研究は数少なかった。近年の緑地研究において、緑地内外の気温差を調べた例が多く、更には緑地内の植生形態に着目されることが多い。緑地内外の気温差は観測点の選択で大きく変わる恐れがあり、市街地も含めて目を向ける必要性がある。そのためには、緑地内外の気温分布を詳細に調べることが重要である。そこで本研究では、代々木公園・明治神宮を対象に、初冬早朝における緑地内外の気温分布調査を行った。その結果、以下のことが分かった。

1. 初冬早朝に緑地が周囲市街地よりも低温になることが確認された。気温は緑地から市街地にかけて連続的に上昇しているものの、市街地全体の気温は非一様を示した。
2. 緑地内外の気温差を市街地エリア毎に求めたところ、緑地内の平均気温よりも低温な場所が市街地にみられた。また、気温差の幅は建物階数によって大きく異なった。
3. 市街地構造を決める要素の 1 つである建物階数に着目し、気温と建物階数の関係を調べたところ、両者の間には明瞭な比例関係がみられた。

今回の事例では、緑地外の気温分布に市街地の建物階数が大きく関与していると考えられる。この結果は、緑地内外の気温差を算出する難しさも示唆している。なお、今回の観測は初冬の 05:00-07:00 という時間に限られている。今後、鉛直分布の把握も含め、更に多様な調査が望まれる。

#### 謝辞

本研究はテニユアトラック普及・定着事業 (若月泰孝)、環境省の環境研究総合推進費 (S-8) の支援により実施された。現地観測は、筑波大学生命環境科学研究科の大学院生、生命環境学群の学生 (著者を除き 21 名) の協力により実施された。作図には筑波大学大学院生命環境科学研究科の阿部紫織さん、龔浩君の協力を得た。ここに感謝の意を表します。

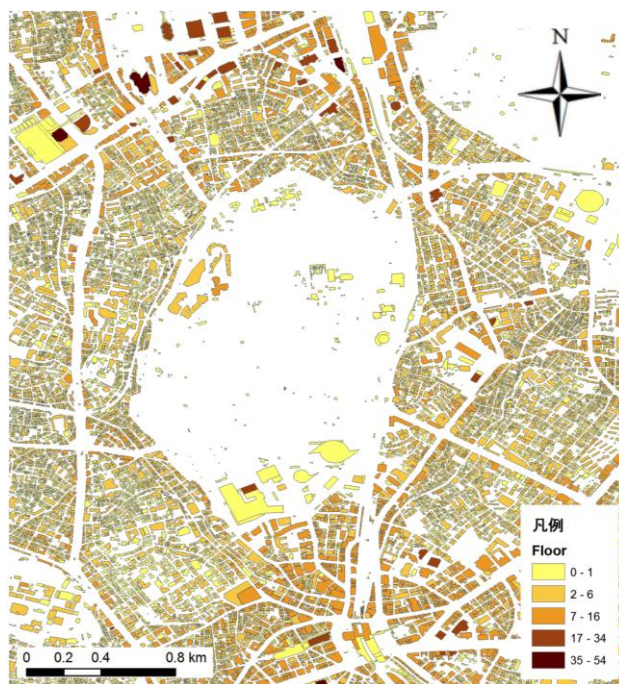


図 8 代々木公園・明治神宮周囲の市街地の建物階数分布。  
(出典：2008/09 年度 Zmap-TOWNII デジタル住宅地図)

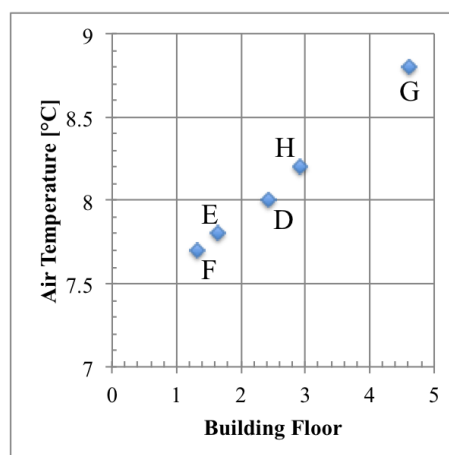


図 9 市街地におけるエリア毎の平均気温と平均建物階数の相関図。

#### 参考文献

- (1) V.L.Barradas, Air temperature and humidity and human comfort index of some city parks of Mexico City, Int. J. Biometeorol., 35-1(1991), pp.24-28.
- (2) R.A.Spronken-Smith and T.R.Oke, The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates, Int. J. Remote Sens., 19-11(1998), pp.2085-2104.
- (3) H.Upmanis and D.L.Chen, Influence of geographical factors and meteorological variables on nocturnal urban-park temperature differences - a case study of summer 1995 in Göteborg, Sweden, Climate Res., 13-2(1999), pp.125-139.
- (4) C.R.Chang, M.H.Li and S.D.Chang, A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks, Landscape Urban Plann., 80-4(2007), pp.386-395.
- (5) 本條毅・高倉直, リモートセンシングによる都市内緑地の温度分布の解析, 造園雑誌, 49(1986), pp.299-304.
- (6) X.Cao, A.Onishi, J.Chen and H.Imura, Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data, Landscape and Urban Planning,

- 96-4(2010), pp.224-231.
- (7) A.Matzarakis, H.Mayer and M.G.Iziomon, Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *Int. J. Biometeorol.*, 43-2(1999), pp.76-84.
  - (8) 山田宏之・養父志乃夫・中島敦司・中尾史郎・松本勝正, 異なる地表面状態の屋外空間における夏季暑熱環境の評価, *ランドスケープ研究*, 63-5(2000), pp.543-546.
  - (9) 丸田頼一, 公園緑地の都市自然環境におよぼす影響, *都市計画*, 69/70(1972), pp.49-77.
  - (10) E.Jauregui, Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city, *Energy Build.*, 15-16(1990), pp.457-463.
  - (11) 尹龍漢・丸田頼一・本條毅・柳井重人, 都市における公園内外の気温特性について, *ランドスケープ研究*, 61-5(1998), pp.769-772.
  - (12) 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(1994), pp.518-529.
  - (13) 東海林孝幸・高野啓太・北田敏廣, 豊橋市内の中規模緑地におけるクールアイランド現象の調査と周辺市街地に対する冷却効果, *日本ヒートアイランド学会論文集*, 5(2010), pp.33-39.
  - (14) T.R.Oke, The energetic basis of the urban heat island, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 108-455(1982), pp.1-24.
  - (15) H.Swaid and M.E.Hoffman, Thermal effects of artificial heat sources and shaded ground areas in the urban canopy layer. *Energy Build.*, 15-1/2(1991), pp.253-261.
  - (16) H.Swaid, Urban climate effects of artificial heat sources and ground shadowing by buildings. *Int. J. Climatol.*, 13-7(1993), pp.797-812.
  - (17) D.Pearlmutter, A.Bitán and P.Berliner, Microclimatic analysis of "compact" urban canyons in an arid zone. *Atmos. Environ.*, 33-24/25(1999), pp.4143-4150.
  - (18) 本條毅・水谷敦司・高倉直, 都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測, *農業気象*, 54-4(1998), pp.323-328.
  - (19) 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條毅・石井康一郎, 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, *天気*, 53-5(2006), pp.393-404.
  - (20) O.Potchter, P.Cohen and A.Bitán, Climatic behavior of various parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel, *Int. J. Climatol.*, 26-12(2006), pp.1695-1711.
  - (21) 朴恵淑, ヒートアイランドの形成要因としての都市キャニオンの天空比と夜間長波放射収支, *天気*, 34(1987), pp.579-587.
  - (22) 成田健一, 都市域における下向長波放射量の移動観測, *環境情報科学論文集*, 15(2001), pp.249-254.
  - (23) 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.
  - (24) 成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條毅・木村圭司・桑田直也, 新宿御苑におけるクールアイランドと冷氣にじみ出し現象, *地理学評論*, 77-6(2004), pp.403-420.
  - (25) 高野武将・成田健一・三上岳彦・菅原広史・本條毅, 街路空間における放射量と温度の空間平均と変動 -新宿御苑周辺市街地を例として-, *環境情報科学論文集*, 17(2003), pp.47-52.