



# 都市樹木の冷却効果—— 明治神宮外苑のケーススタディー

2022年11月

発行: グリーンピース・ジャパン

© 2022 Greenpeace

## 執筆者

グリーンピース・ジャパン: GAJEWSKI L., SUZUKI K.

グリーンピース・東アジア: WANG J.

## 調査協力

- NPO法人中野・環境市民の会
- ロッセル・カップ(オンライン署名「神宮外苑1000本の樹木を切らないで～再開発計画は見直しを！」発起人)

---

国際環境NGO グリーンピース・ジャパン  
〒160-0023  
東京都新宿区西新宿8-13-11 NFビル2F  
Tel. 03-5338-9800  
[www.greenpeace.org/japan](http://www.greenpeace.org/japan)

**GREENPEACE**

## 1. 要旨

東京都新宿区と港区にまたがり、巨木を含む多くの緑が残されている神宮外苑について、神宮球場と秩父宮ラグビー場を解体して位置を入れ替え、高層ビルを2棟建設する再開発が計画されている。再開発する事業者は三井不動産、伊藤忠商事、明治神宮、日本スポーツ振興センターである。再開発に伴い、大量の樹木の伐採が予定されており、解体工事は2022年末から始まる予定であった。大量の樹木が伐採されることから、住民の反対運動が起こっており、有識者も異議を唱えている。現在、東京都の審議会で、環境影響評価が審議されている。本報告書は、明治神宮外苑を例に、都市樹木の夏季冷却効果を評価したものである。明治神宮外苑の4カ所の地表温度を赤外線サーモグラフィで測定し、衛星画像からより広範囲の地表温度を評価した。

過去数十年にわたる様々な研究の基礎として、植生が都市の微気候を調整し、地表面温度や気温を下げるために不可欠であることが示されている。今回の調査では、樹木が作った日陰と日当たりの良いアスファルトでは、地表温度が最大で18℃も異なり、後者の温度は約47℃に達した。さらに、衛星画像を見ると、東京都心のさまざまな地域で大きな気温差があることがわかった。植生の多い公園は約6～7℃、明治神宮外苑は2～4℃、建築物の密集した商業地域より低かった。

## 2. はじめに

多くの地方自治体が、既存の緑地を保全し、さらに緑地を増やすことが、気候変動の緩和・適応、持続可能な未来への道を切り開くために不可欠であると認識している<sup>1,2,3</sup>。東京都も既存の緑地を保護すると宣言<sup>2,3</sup>しているにもかかわらず、明治神宮外苑の再開発計画では、1000本以上の樹木の伐採・移植が予定されている<sup>4</sup>(図1)。

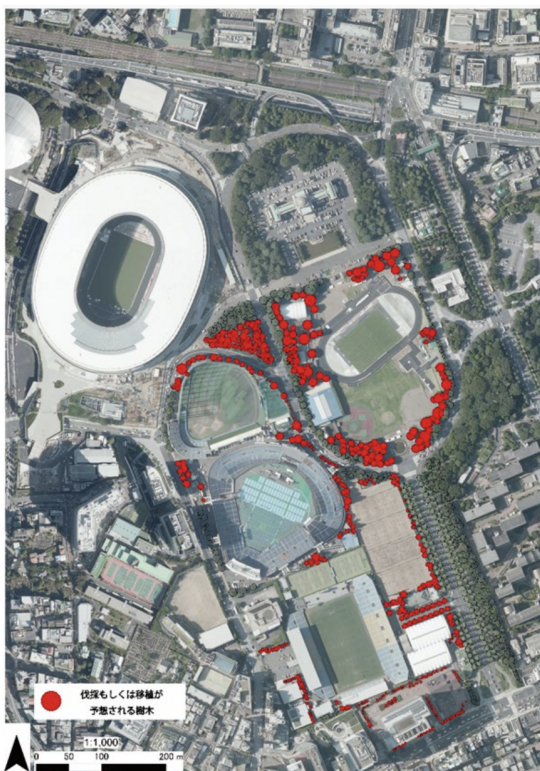


図1:

明治神宮外苑周辺の航空写真。再開発計画により伐採・移植が予定されている樹木の位置(赤い点)。出典: 一般社団法人日本エコモス国内委員会。「樹木の伐採を回避し「近代日本の名作・神宮外苑」を再生する提案」

東京都のような人口密度の高い都市は、熱波の長期化や激化など、気候変動の影響に対して非常に脆弱である。今世紀末には、東京都の猛暑日(日最高気温35°C以上)は6~31日、熱帯夜(日最低気温25°C以上)は14~58日増加すると予測されている<sup>5</sup>。このような暑さが人間の健康に及ぼす影響については、よく知られており、懸念される理由となっている。具体的には、全身の不快感、呼吸困難、疲労、そして致命的な熱中症が引き起こされる可能性がある。厚生労働省によると、1993年以前の熱中症死亡は年平均70人以下だったが、その後増加し、2018年~2020年にかけて1000人以上になっている<sup>6</sup>。

熱波は都市部において特に深刻である。これは、都市の中心部の気温が、隣接する郊外の地域よりも高くなるヒートアイランド(Urban heat island: UHI)現象に起因するものである<sup>7</sup>。東京都は、都市化の影響と人口密度が比較的小さい地方に比べて、年平均気温が2°Cほど高い<sup>8</sup>。この気温の不均質性は、都市の中心部内でも観察される<sup>9</sup>。この原因のひとつは、アスファルトなどの色の濃い舗装路面が低い反射率と高い熱吸収率を持つことにある<sup>10</sup>。これらの舗装材は、短波放射を比較的多く吸収し、長波放射を大気中に再放出するため、夜間でも周囲の空気を暖める<sup>11,12</sup>。

この現象に対し、都市を涼しくするためには、街路樹や公園などの緑地が有効である<sup>13,14</sup>。特に、樹木が都市環境の冷却に寄与することは、過去数十年にわたり研究の対象となってきた。樹冠の冷却効果は、放射性遮蔽と蒸発散(Evapotranspiration: ET)という2つのメカニズムによる。葉や枝は日陰を作り、地面に届く短波長の太陽放射を減少させ、それによって樹冠の下の表面温度を下げ、周辺地域を冷却する。晴れた日の木陰は、地表の気温を最大20°C下げることができるという研究結果もある<sup>15,16</sup>。

樹木は、日陰を提供するだけでなく、蒸発散により冷却効果を発揮する。樹木が日射エネルギーを吸収し、葉の気孔から大気中に水分を蒸発させるのである<sup>17</sup>。温熱環境の調整以外にも、大気質の改善<sup>18,19</sup>、雨水流出の減少<sup>20</sup>、紫外線からの保護、人間の福利を総合的に向上させるなど<sup>18,21</sup>、樹木はさまざまな生態系サービスを提供する。従って、気候変動の時代には、明治神宮外苑のような都市の中の緑の島を保全することが必要だと考えられている。

### 3. 調査方法

明治神宮外苑の樹木の冷却効果を、衛星画像による地表面温度と、現地での赤外線サーモグラフィ画像を用いて評価した。

#### 3.1 衛星画像

この調査で使用した衛星画像は、99分ごとに地球を周回し、地表の中程度の解像度の画像を提供するランドサット8号によって撮影されたものである。16日をかけ、地表の全容を把握することができる。ランドサット9号と合わせ、8日に1度、現地時間10時30分頃に首都圏の画像を撮影。両衛星には、地表から放射される熱赤外線(熱)を測定するセンサーが搭載されている。地表の温度は、気温よりも高いことが多い。気象庁によると、東京都心で6月の最高気温であり、2022年で2番目に暑い日が6月30日であったため、衛星画像の分析にこの日を選んだ<sup>22</sup>。衛星画像はランドサットアーカイブスからダウンロードした<sup>23</sup>。

#### 3.2 赤外線サーモグラフィ

表面温度の測定は、2022年9月6日に4つの調査地点で実施した(図2)。調査地点は、歴史的価値や伐採・移植予定の樹木の数などを考慮し、以下の4カ所を選んだ。

- (1) 秩父宮ラグビー場正門前のイチヨウ並木(2列18本)。約114年前に植樹された。
- (2) 全長300mの4列のイチヨウ並木。約114年前に植樹された。
- (3) 神宮軟式球場噴水横から、トウカエデ(*Acer buergerianum*) 2本の方向へ向かう地点。
- (4) 建国記念文庫の森。

図2

明治神宮外苑図と、写真で示された調査地点の位置・状況。神宮外苑都市計画により伐採・移植が想定される樹木(赤い点で表示)。調査地点は1-4.で示した。写真は2022年9月6日に撮影されたものだ。地図の出典:一般社団法



人日本イコモス国内委員会。「樹木の伐採を回避し「近代日本の名作・神宮外苑」を再生する提案」

4カ所の調査地すべてにおいて赤外線サーモグラフィ画像を以下の時間帯に撮影した; 日の出(5:20~)、午前(10:30~)、午後(14:10~)、日の入り(17:45~)。測定当日の日の出時刻は5時17分、日の入り時刻は18時02分だった。当日の天候と気温を表1にまとめた。

早朝5時～6時までの1時間だけ降水が観察されたが、それ以外の時間は薄い雲が空を覆っていた。雲に覆われた時間帯は、日射量が減少したと考えられる。

表1: 調査地1～4の気象状況、気温(°C)、GPS座標

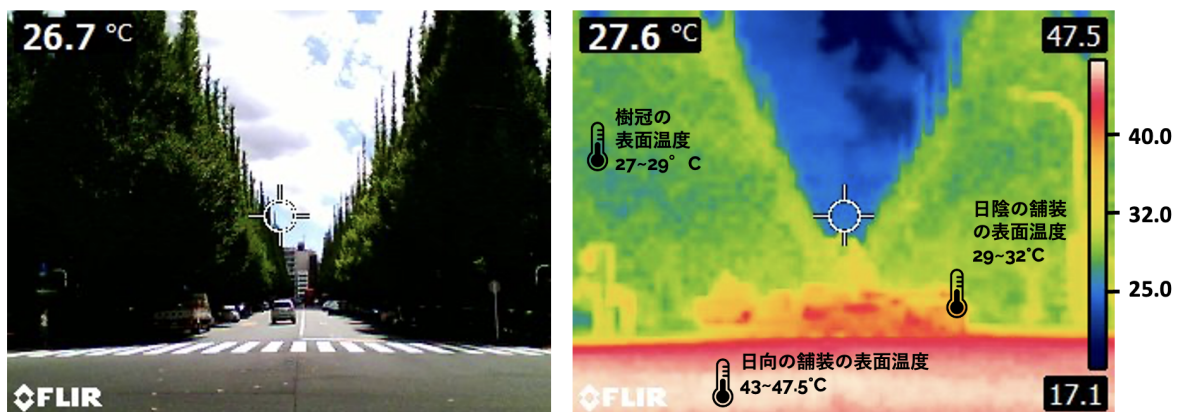
測定に使用した基本的な実験装置は合同会社東京市民ソーラーのサーモグラフィーカメラ(FLIR E4)で、他の赤外線カメラと同様に、物体から放射される長波長赤外線を測定し、電気信号に変換する。カメラの

調査地点	時刻	天候	気温 (単位 °C)	GPS座標
1	5:20	雨	25.8	35°40'22.5"N 139°43'09.1"E
	10:30	晴れ・薄曇り	29.0	
	14:10	曇	31.1	
	17:45	快晴	28.0	
2	6:01	曇	27.0	35°40'30.9"N 139°43'09.6"E
	11:37	晴れ・薄曇り	33.5	
	14:29	曇	31.6	
	18:00	快晴	29.0	
3	6:07	曇	27.0	35°40'31.8"N 139°43'09.2"E
	10:55	晴れ・薄曇り	32.8	
	14:37	晴れ・薄曇り	32	
	18:03	快晴	29.0	
4	6:36	曇	26.1	35°40'37.9"N 139°43'01.3"E
	11:26	晴れ・薄曇り	34.1	
	14:48	晴れ・薄曇り	33.3	
	18:20	快晴	29.1	

ディスプレイには、物体がそれぞれの温度に対応した色で映し出される。温度の低いところは青から緑に、温度の高いところは赤から白に表示される(図3)。今回使用した赤外線カメラは、80×60の赤外線解像度を持ち、熱感度は0.15°C以上である。物体の測定温度範囲は-20°Cから+250°C、精度は±2%である。測定はすべて地上150cmの高さで行った。

図3

調査地点2の写真(左)と熱画像(右)。熱画像はFLIR E4サーモグラフィーカメラで撮影された。表面温度は°Cの単位で表示。



## 4. 調査結果

### 4.1 衛星画像

2022年6月30日の衛星画像から求めた地表面温度(図4)を見ると、植生の多い公園は、住宅地や商業地などの建築物の密集した地域よりもかなり低いことがわかる。東京都心にある代々木公園、新宿御苑、元浅草の3つの大きな公園は、地表面温度が23°C以下であるのに対し、その周辺は28°C以上と、6~7°C程度の大きな差が生じていることがわかる。

緑が多い公園ほど顕著ではないが、それでもこの日の明治神宮外苑の地表温度は都市部の近隣地域よりも2~4°C程度低いことがわかった。地表温度は、調査地1~4でそれぞれ25.4°C、26.1°C、26.6°C、26.2°Cであった。

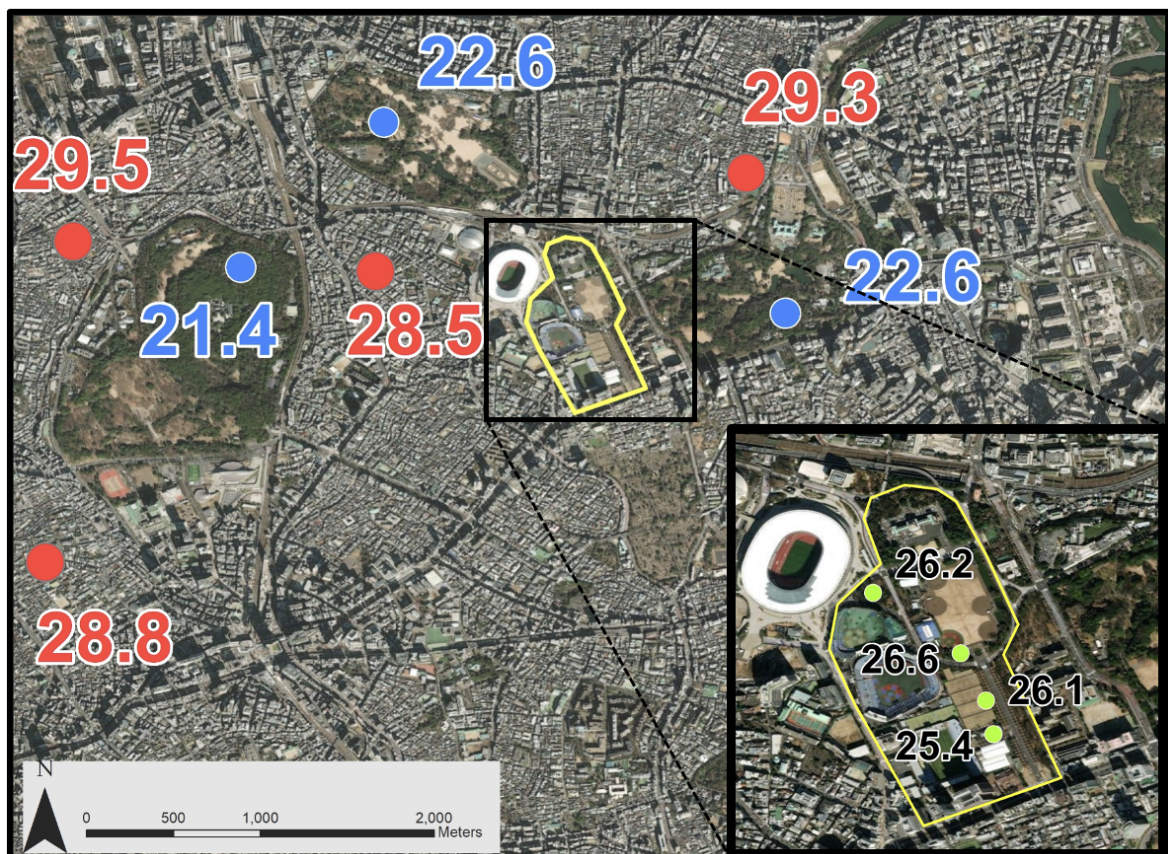


図4

東京都心にある3つの大きな公園とその周辺の住宅地や商業地における地表面温度(衛星画像)。右下の地図は、明治神宮外苑の拡大図と4つの調査地点の地表面温度を示すものである(°C)

## 4.2 赤外線サーモグラフィ

2022年9月6日の表面温度を記録し、以下に熱画像として示す(図5)。

4カ所の調査地点すべてにおいて、表面温度の変化には同様のパターンが見られた。表面温度と周囲の空気温度は、一日の間に平行に上昇し、下降している。その結果、日当たりの良いアスファルトの表面は、周囲の空気温度よりも常に高温で、ピーク時には約47℃まで上昇し、空気温度のピークよりも約14℃高くなった。

さらに、日中の測定(10:30～、14:10～)では、日陰と日向のアスファルトの間で高い表面温度差が記録された。その差は14℃～18℃で、調査場所、時間帯、樹冠密度に依存する。日当たりの良いアスファルトエリアの表面温度のピークは47℃に達し、日陰のアスファルトエリアの表面温度のピークは33.5℃程度であった。午前中は、日陰でないアスファルトの表面温度は日陰のエリアよりも3～4℃程度高かった。日の入り後は、5～6℃の差になった。

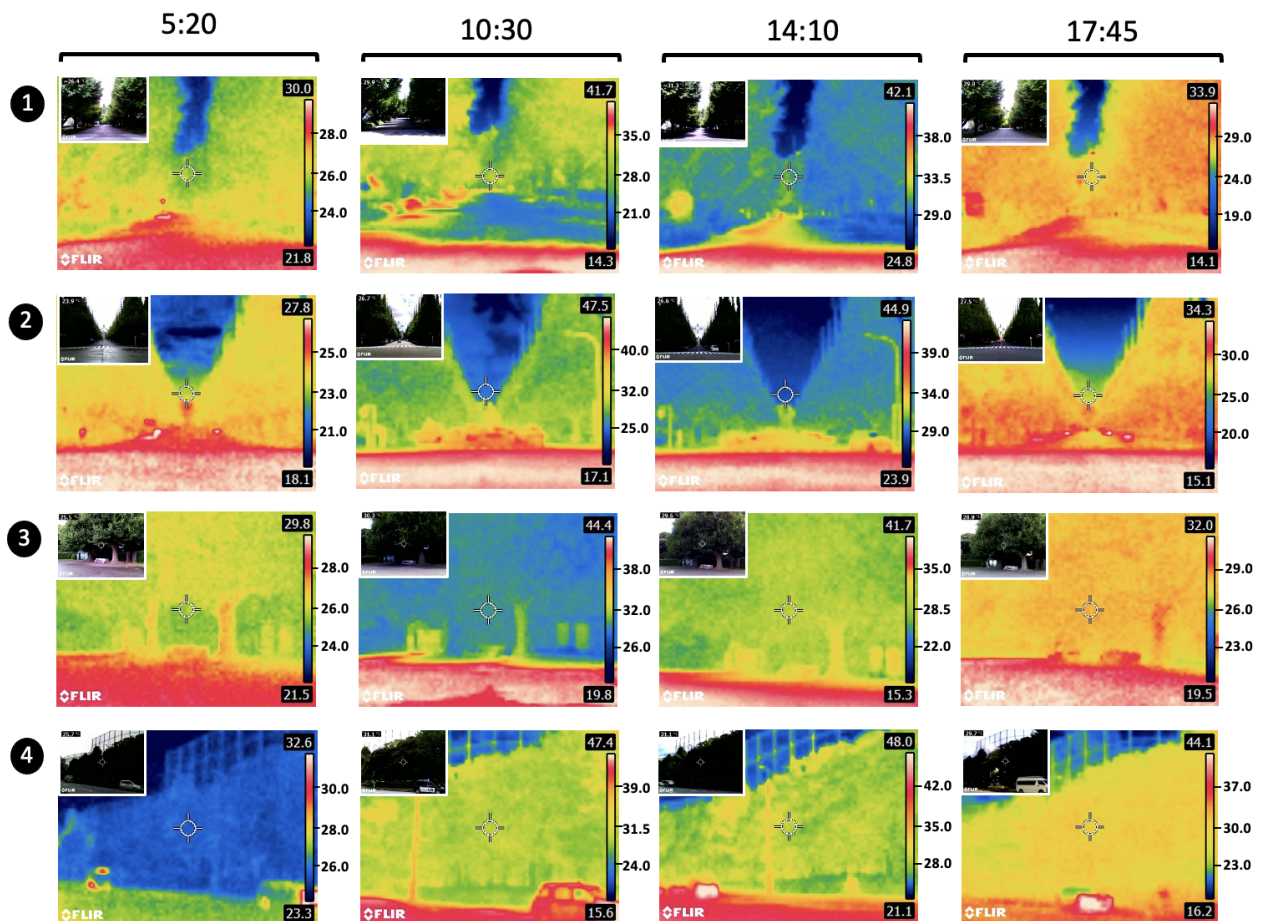


図5

2022年9月6日に調査地から4つの時間帯に撮影した可視光線と赤外線(FLIR E4)の画像。日の出前5:20～、昼前10:30～、午後14:10～、日の入り中17:45～。4つの調査地点は、1-4と記されている(方法論参照)。

## 5. 結論

アスファルトのような色の濃い舗装材は熱吸収性が高く、ヒートアイランド現象の大きな原因の一つとなっている。今回の調査では、太陽に照らされたアスファルトの表面温度は、ピーク時で47°Cに達した。しかし、実験が行われたのは9月上旬で、午前中は雨、午後は曇りという天候が重なったため、もし真夏の晴天時に測定した場合、表面温度のピークはより高くなると考えられる。文献によると、アスファルトの表面温度は約60°Cまで上昇する可能性があり<sup>24,25</sup>、東京都のような都市での高温は、人間の健康や福祉<sup>25</sup>に重大な影響を与えることが懸念される。

街路樹などの緑地は、ヒートアイランド現象の低減や周辺の街並みの冷却効果が一貫して確認されている。本調査では、日陰を作ることで地表温度を最大18°C低下させることを明らかにした。この日陰の効果は、10:30~15:00の最も暑い時間帯に最も顕著であった。観測された冷却効果は、東京都心部の衛星画像が示すように、明治神宮外苑に限ったものではない。代々木公園や新宿御苑のような主要な公園と、周辺の建築密集地との地表面温度の差はさらに明確で、公園の方が約6~7°Cも低くなった。

本調査では、以前から多くの研究が示してきたことと同様の結果が得られた。すなわち、都市の樹木は日陰を作ることで表面温度を下げ、大きな公園のように樹冠密度の高い樹木が密集している場合は、都市の中に涼しいエリアが創出されているということだ。気候変動の進行に伴い、東京都では毎年のように猛暑が続き、熱中症のリスクも高まる一方だ。ヒートアイランドの影響や気温の上昇を緩和するために、既存の樹木を保存し、新しい緑地を創出する必要がある。

## 6. グリーンピースの提言

葉の密度と樹冠率は、樹冠を通る日射の透過率と日陰になる総表面積に直接関連するため、樹木の冷却効果の最も有力な要因の一つであることは、科学界のコンセンサスとなっている。

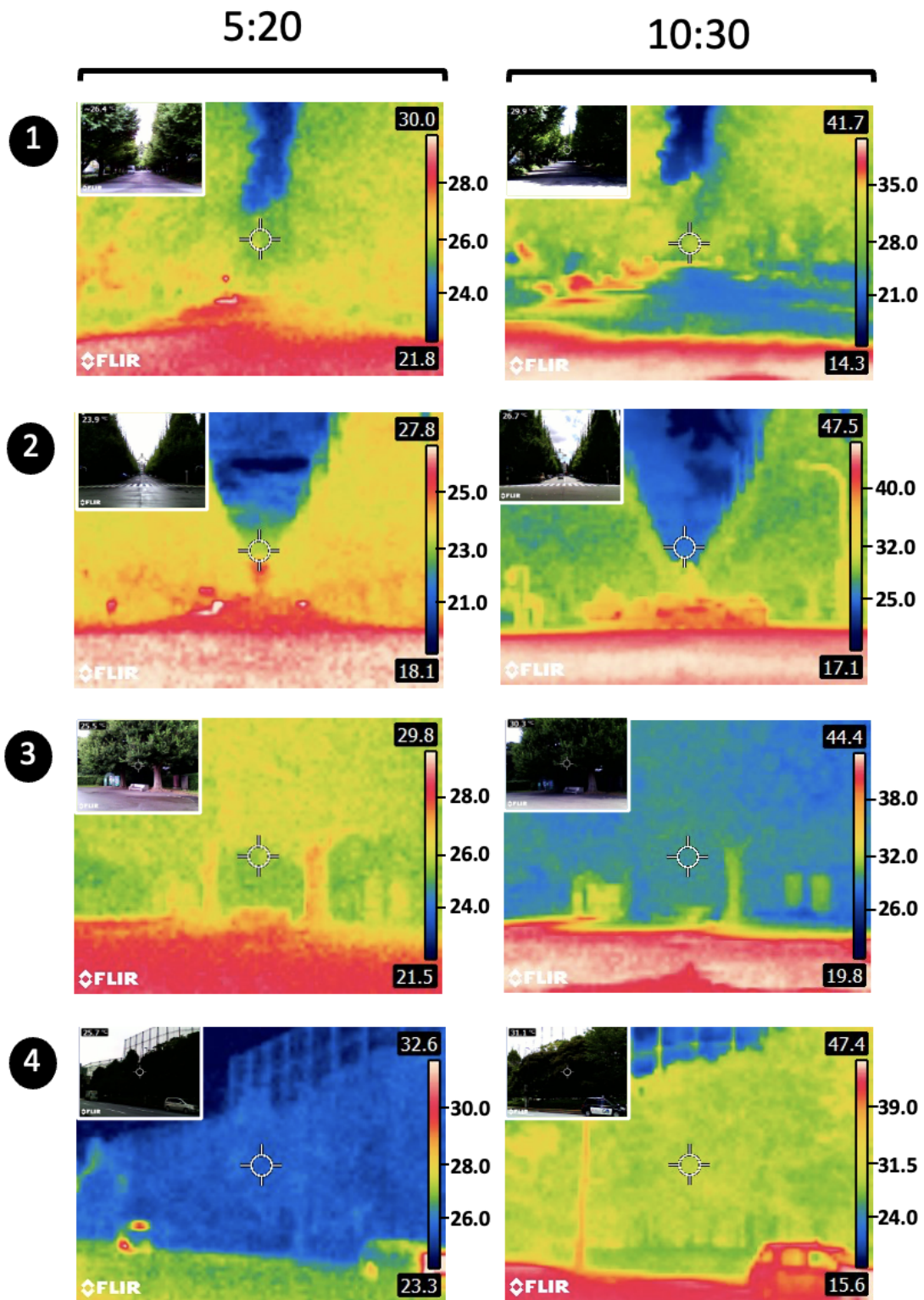
1. 既存の樹木を保存し、さらに植樹することによって、日中の最も暑い時間帯に日陰となる面積を最大にする。新しく植樹された木は古木に比べて冷却効果が劣るため、既存の樹木の保存を優先させる<sup>26</sup>。
2. 樹木を含むすべての既存植生をできる限り保存する。
3. 樹冠密度の高い樹木を増やし、その土地に適した異なる樹種を密集して植えることにより、多層の樹冠を形成する。
4. 樹木の過度な剪定は、樹冠を小さくしてしまうため、避ける。枝が自然に伸びるようにすることで、より多くの日陰を作り、冷却効果を高める<sup>27</sup>。
5. 明治神宮外苑の再開発計画に関しては、関係するすべての樹木の健康状態と移植の可能性について、独立した第三者による追加評価を行い、健康な樹木が伐採されるのを防ぎ、移植の過程とその後の損失が最小限になるようにする。



## 7. 参考文献

1. United Nations Economic Commission for Europe. Trees in Cities Challenge. <https://treesincities.unece.org/#sthash.PPsZzIBB.ZyMG5R6k.dpbs>
2. C40 Cities. Urban Nature Declaration. (2021)
3. 2022 C40 Cities Climate Leadership Group, Inc. 31 mayors introduce even more trees, parks and green space in cities to save lives and tackle the climate crisis. <https://www.c40.org/news/urban-nature-declaration/> (2021)
4. 一般社団法人日本イコモス国内委員会. 近代日本の公共空間を代表する文化的資産である神宮外苑の保全・継承についての提言「社会的共通資本である都市の緑地」の保全に向けて (2022)
5. 東京管区気象庁. 東京都の気候変動「日本の気候変動2020」(文部科学省・気象庁)に基づく地域の観測・予測情報リーフレット (2022).
6. 気象庁. 環境省. 熱中症の現状と対策. (2022)
7. 福井英一郎, 和田憲夫. 本邦の大都市における気温分布. 地理学評論, 17, 354-372 (1941)
8. 気象庁. 東京・名古屋・大阪の3都市の平均と15地点平均の年平均気温偏差の経年変化. [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr\\_1-1-2.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr_1-1-2.html) (2022)
9. Rosenzweig, C. et al. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. Environmental Hazards 6, 51-62 (2005)
10. Yilmaz, H., Toy, S., Yilmaz, S. & Irmak, M. A. Determination of temperature differences between asphalt concrete, soil and grass surfaces of the City of Erzurum, Turkey. Atmosfera vol. 21 <https://www.researchgate.net/publication/26508025> (2008)
11. Pietrzyk, P. et al. Modeling and observation of heat losses from buildings: The impact of geometric detail on 3D heat flux modeling. <https://www.researchgate.net/publication/260225535> (2013)
12. Jongtanom, Y., Kositanont, C. & Baulert, S. Temporal variations of urban heat island intensity in three major cities, Thailand. Mod Appl Sci 5, 105-110 (2011)
13. Gaitani, N. et al. Improving the microclimate in urban areas: A case study in the centre of Athens. Building Services Engineering Research and Technology 32, 53-71 (2011)
14. Sugawara, H. et al. Thermal Influence of a Large Green Space on a Hot Urban Environment. J Environ Qual 45, 125-133 (2016)
15. Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R. & Pauleit, S. Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built Environ 33, 115-133 (2007)
16. Armson, D., Stringer, P. & Ennos, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. Urban For Urban Green 11, 245-255 (2012)
17. Grimmond, C. S. B. & Oke, T. R. An Evapotranspiration-Interception Model for Urban Areas. Water Resour Res 27, 1739-1755 (1991)
18. Weber C. & Lofti M. Ecosystem services provided by urban vegetation: a literature review. In: Rauch S, Morrison G, Norra S, et al. (Eds). Urban environment. Dordrecht, the Netherlands: Springer. (2013)
19. Brantley, H. L., Hagler, G. S. W., J. Deshmukh, P. & Baldauf, R. W. Field assessment of the effects of roadside vegetation on near-road black carbon and particulate matter. Science of the Total Environment 468-469, 120-129 (2014)
20. Livesley, S. J., McPherson, E. G. & Calafapietra, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. J Environ Qual 45, 119-124 (2016)
21. Escobedo, F. J., Kroeger, T. & Wagner, J. E. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. Environmental Pollution vol. 159 2078-2087 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010> (2011).
22. 気象庁. 日ごとの値. [https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_h1.php?prec\\_no=44&block\\_no=00&year=2022&month=06&day=&view=p2](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_h1.php?prec_no=44&block_no=00&year=2022&month=06&day=&view=p2) (2022)
23. Earth Explorer, FS, 083-00, Geological Survey (U.S.). <https://earthexplorer.usgs.gov/> (2000)
24. Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. Journal of Environmental Management vol. 197 522-538 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095> (2017)
25. 吉田長裕, 西村昂 & 日野泰雄. 舗装材の表面特性と表面温度の関連性に関する実験的研究. 環境技術 29, 560-568 (2000)
26. Köhl, M., Neupane, P. R. & Lotfiomran, N. The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. PLoS One 12, (2017)
27. Ziter, C. D., Pedersen, E. J., Kucharik, C. J. & Turner, M. G. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. Proc Natl Acad Sci U S A 116, 7575-7580 (2019)

## 8. 補足資料



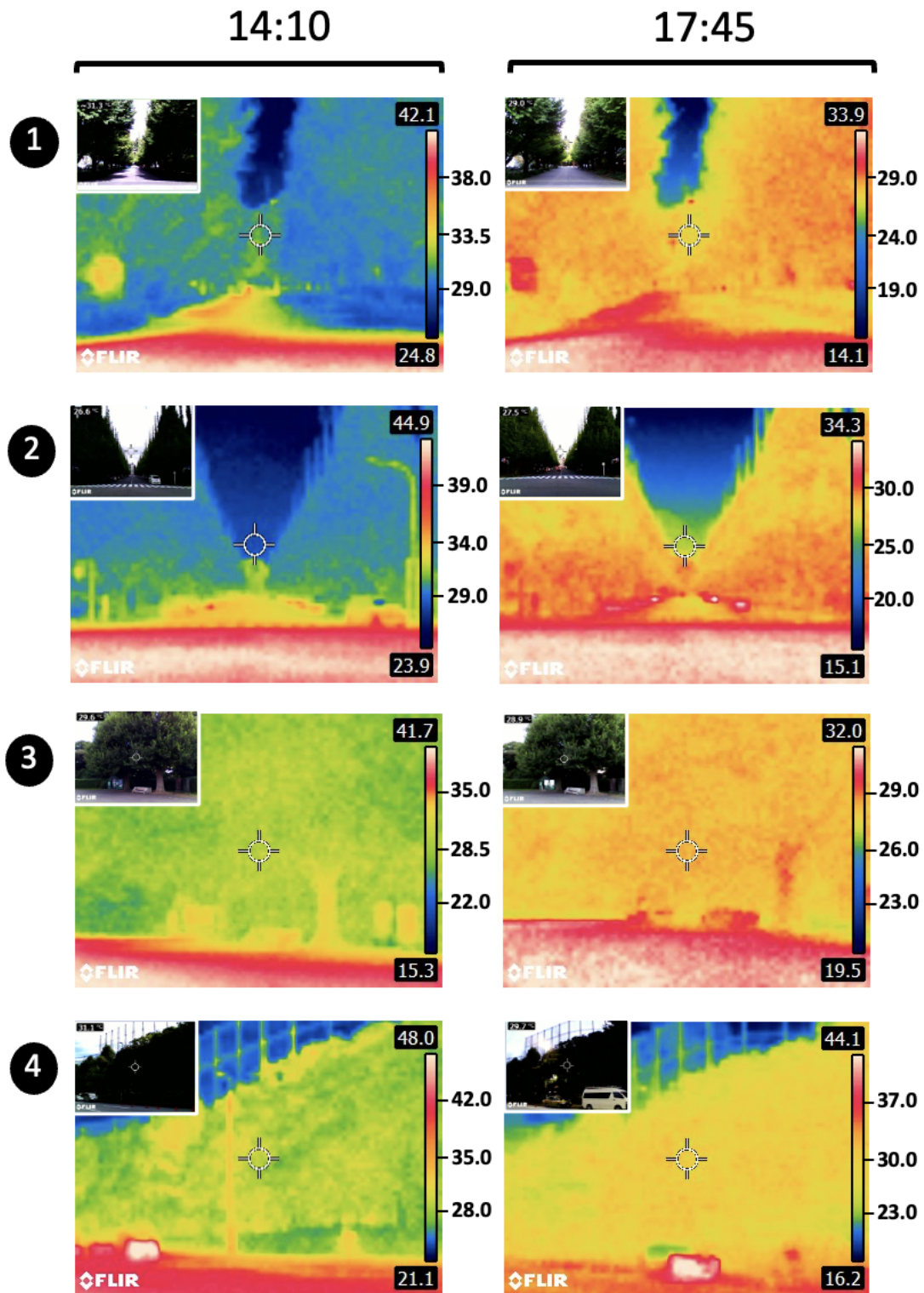


図5(拡大)2022年9月6日に調査地から4つの時間帯に撮影した可視光線と赤外線(FLIR E4)の画像。日の出前5:20～、昼前10:30～、午後14:10～、日の入り中17:45～。4つの調査地点は、1-4と記されている(方法論参照)

## 免責事項

本報告書は、参考、情報の共有、環境保護、公共の利益のみを目的とするものである。したがって、本書を投資その他の判断材料に利用したことに伴ういかなる責任についても、グリーンピース、NPO法人中野・環境市民の会、ロッシェル・カップは負わないものとする。

本報告書の内容は、調査において独自に入手した情報、あるいは一般に入手可能な情報に基づくものである。グリーンピース、中野・環境市民の会、カップは、本報告書に含まれる情報の即時性、正確性、完全性を保証するものではない。

