

新横浜公園における熱環境調査

— 遮熱性舗装や日射遮蔽による暑熱低減効果 —

内藤純一郎、小倉智代、関浩二、松島由佳（横浜市環境科学研究所）

Research on thermal environment in Shin-Yokohama Park

-Mitigation effect on thermal radiation by heat shield pavement and solar radiation shielding-

Junichiro Naito, Tomoyo Ogura, Koji Seki, Yuka Matsushima (Yokohama Environmental Science Research Institute)

キーワード：ヒートアイランド、適応策、暑さ対策、熱放射、サーモグラフィ

要 旨

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園における暑さ対策技術や日射遮蔽による暑熱低減効果を明らかにするため、2015年の夏季に熱環境調査（気温、熱放射成分等）を行った。その結果、園内で実施されている暑さ対策技術の一つである遮熱性舗装の上において、日射の高反射化に伴う路面温度上昇の抑制が確認された。また、園内の日射遮蔽空間（日陰）では、屋外に比べて気温の低下や熱放射成分の抑制が認められ、「暑さ」が軽減された空間が形成されていることが確認された。

1. はじめに

地球温暖化や都市のヒートアイランド現象などの影響による気温上昇が、夏季の屋外での活動時における熱中症患者数の増加など、人の健康に与える影響が懸念されている。屋外における夏の暑さによる身体へのストレス（以下、「暑熱ストレス」という。）を低減させるためには、人が感じる暑さや涼しさのメカニズムを理解し、その上で適切な対策を取ることが重要である。

2013年に「ヒートアイランド対策大綱」が改定され、ヒートアイランド現象の対策の推進として、従来からの取組である「人工排熱の低減」、「地表面被覆の改善」、「都市形態の改善」、「ライフスタイルの改善」の4つの柱に加え、「人の健康への影響等を軽減する適応策の推進」が新たに追加された¹⁾。さらに、環境省が2016年に「まちなかの暑さ対策ガイドライン」を策定し、屋外などで局所的に暑熱ストレスを低減させる暑さ対策技術の種類、効果及び導入の際の留意事項などを整理している²⁾。この中で、具体的な暑さ対策技術の例として、日射の低減（樹木等による緑陰、人工日除け等）、地表面・壁面等の高温化抑制・冷却（路面の遮熱性舗装・保水性舗装等）、空気の冷却（微細ミスト噴霧等）などを紹介している。

また、都市において、公園は緑とオープンスペースを確保し、良好な都市環境を提供する場の一つとして機能している。横浜市では、「横浜市水と緑の基本計画」において、横浜らしい魅力ある水と緑をつくり、まもり、育てるために、公園の整備、維持管理、活用を図るとしている³⁾。

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園（港北区

小机町）には、日産スタジアム（横浜国際総合競技場）をはじめとした様々なスポーツ施設があり、市民が憩い、スポーツ等の活動を行う場として利用されている。スポーツ利用以外にも、スポーツ観戦、コンサート、フリーマーケット等の大規模なイベントがたびたび開催されており、夏季にも多くの来場者が長時間滞在する。

日産スタジアムは、2019年のラグビーワールドカップの決勝戦の会場に決定しており、2020年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会でのサッカー競技の開催も予定されている。開催期間中には、日産スタジアムを含む新横浜公園全体に多くの来園者が予想される。特に、2020年は、オリンピック（7月24日～8月9日）、パラリンピック（8月25日～9月6日）ともに夏季の開催であるため、夏季の暑さ対策がますます重要になると考えられる。

新横浜公園では、これまでも様々な熱中症対策の取組が積極的に導入されている⁴⁾。暑さ対策技術としての園内の一部の舗装面（約2,650m²）への遮熱塗料の塗装（以下、「遮熱性舗装」という。）やミストシャワーの設置に加えて、「熱中症注意」や「水分をとろう！」などの熱中症予防を呼びかけるパネルの掲示を通して、公園利用者への注意喚起も行っている。

また、日産スタジアムを囲う一周930mの外周路（以下、「リング通路」という。）は、1～2階部分の大半が日陰（以下、「日射遮蔽空間」という。）であり、夏季の日射による暑熱ストレスを低減する効果があると考えられる。

今回、新横浜公園内の遮熱性舗装及び日射遮蔽空間において熱環境調査を行い、暑熱ストレスの低減効果につ

いて定量的な把握を試みた。本稿では、その調査結果について報告する。

2. 調査方法

2-1 調査日時及び調査地点

2015年8月14日、18日、19日及び9月11日の4日間に、新横浜公園の園路内の遮熱性舗装の上（以下、「調査地点1」という。）、園路内の通常舗装の上（以下、「調査地点2」という。）、リング通路内の日射遮蔽空間（以下、「調査地点3」という。）の3地点で熱環境調査を実施した。各調査日の調査時間帯及び気象概況を表1に示す。また、調査地点の位置を図1に示す。

2-2 熱環境調査の測定項目

各調査地点（3地点）において、気温、相対湿度、黒球温度、風向風速、日射量、赤外放射量、及び地表面（舗装面）温度の測定を行った。測定項目、使用した測定機器の型式及び測定点の高さを表2に示す。また、測定機器の設置風景の例を図2に示す。地表面温度以外の測定は5分間隔で行った。赤外放射量については、鉛直方向の上向き成分（以下、「上向きの赤外放射量」という。）の測定を行った。日射量については、鉛直方向の上向き及び下向き成分（以下、「上向きの日射量」及び「下向きの日射量」という。）の測定を行った。

3. 調査結果

3-1 気温、相対湿度及び黒球温度

8月14日、18日及び19日に、各調査地点（3地点）での気温、相対湿度及び黒球温度の測定を行った。また、9月11日に調査地点2（通常舗装）での気温及び相対湿度の測定を行った。例として、8月14日の各調査地点での気温、相対湿度及び黒球温度の測定結果を図3～5に示す。



図1 調査地点の位置

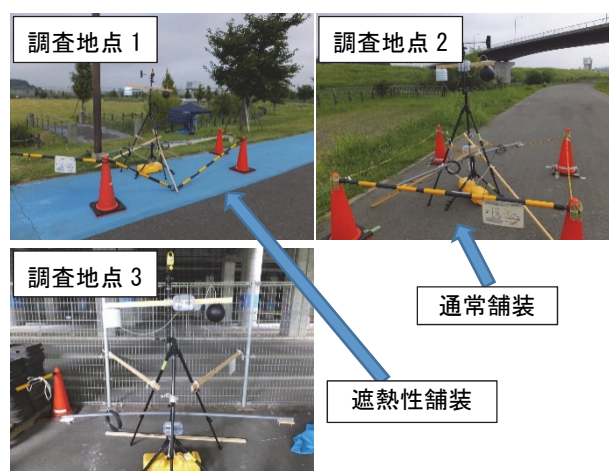


図2 測定機器の設置風景

表1 各調査日の調査時間帯及び気象概況

| 調査日 (平成27年) | 調査時間 | 気象概況(横浜地方気象台) | | | | | |
|----------------|-------------|-------------------|---------------------|---------------|---------------|----------------------|-------------|
| | | 天気概況 | | 日最高気温 (°C) | 日最低気温 (°C) | 日最大 平均風速 (m/s) | 日照時間 (h) |
| | | 昼 (6:00~18:00) | 夜 (18:00~翌日6:00) | | | | |
| 8月14日 | 9:00~19:50 | 晴一時曇 | 曇一時雨 | 33.3 | 25.5 | 2.9 | 8.3 |
| 8月18日 | 8:00~20:00 | 曇時々晴一時雨 | 曇時々晴 | 29.9 | 26.1 | 4.7 | 2.3 |
| 8月19日 | 8:00~20:00 | 曇一時晴 | 曇後一時雨 | 30.4 | 26.3 | 2.8 | 3.3 |
| 9月11日 | 10:00~15:00 | 晴 | 晴 | 28.2 | 20.4 | 2.6 | 9.2 |

表2 測定項目、測定機器の型式及び測定点の高さ

| 測定項目 | 測定機器の型式 | 測定点の高さ |
|----------|---|--------|
| 気温 | TR-52i(T&D製) | 1.5m |
| 相対湿度 | TR-72Ui(T&D製) | 1.5m |
| 黒球温度 | 黒球: 直径15cm銅球(安藤計器製工所製) 温度計: TR-52i(T&D製) | 1.5m |
| 風向風速 | Kestrel 4500(NIELSEN-KELLERMAN Co.製) | 2m |
| 日射量(上向き) | LP02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製) | 0.5m |
| 日射量(下向き) | LP02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製) | 1.5m |
| 赤外放射量 | IR02(Hukseflux Thermal Sensors B.V.製) | 0.5m |
| 地表面温度 | H2630(日本アビオニクス製) | — |

3-2 風向風速

8月14日及び18日に、調査地点1及び調査地点2での風向風速の測定を行った。また、8月19日に調査地点1及び調査地点3での風向風速の測定を行った。例として、8月19日の調査地点1及び3での風向風速の測定結果を図6に示す。

3-3 日射量

8月14日、18日及び19日に、各調査地点(3地点)での上向きの日射量の測定を行った。また、9月11日に調査地点1及び調査地点2での上向きの日射量と、調査地点2での下向きの日射量の測定を行った。

例として、8月14日の各調査地点での上向きの日射量の測定結果を図7に示す。また、9月11日の調査地点1及び2での上向きの日射量と調査地点2での下向きの日射量の測定結果を図8に示す。

ここで、調査地点1と調査地点2はごく近傍(約30mの距離)に位置するため、本調査では、調査地点1と調査地点2での下向きの日射量が等しいと考えた。9月11日の調査地点1及び2での、太陽光からの下向きの日射量に対する地表面からの上向きの日射量の割合(アルベド)の計算結果を図9に示す。調査時間中(9月11日10:00~15:00)のアルベドの平均値は、調査地点1では0.23、調査地点2では0.13であり、遮熱性舗装では通常舗装に比べて日射の反射率が約1.8倍であった。

3-4 赤外放射量

8月14日、18日及び19日に、調査地点2及び調査地点3での上向き赤外放射量の測定を行った。また、9月11日に調査地点1及び調査地点2での上向き赤外放射量の測定を行った。

例として、9月11日の調査地点1及び2での上向き赤外放射量の測定結果を図10に示す。また、8月14日の調査地点2及び3での上向き赤外放射量の測定結果を図11に示す。

3-5 地表面温度

8月14日の午前11時頃に、各調査地点(3地点)での地表面温度の測定を行った。8月14日の各調査地点での地表面温度の測定結果を図12に示す。

4. 考察

4-1 遮熱性舗装による暑熱低減効果

新横浜公園の園路内の遮熱性舗装の上(調査地点1)と通常舗装の上(調査地点2)での測定結果の比較から、遮熱性舗装による暑熱低減効果について考察する。

8月14日の気温及び相対湿度の測定結果(図3~4)からは、遮熱性舗装と通常舗装での気温及び相対湿度には大きな差は見られなかった。また、同日(8月14日)の黒球温度の測定結果(図5)からは、午前11時頃には遮熱性舗装での黒球温度が通常舗装の場合よりも約3℃低くなる一方で、午後3時頃には遮熱性舗装での黒球温度が通常舗装の場合よりも約2℃高くなっており、遮熱性舗装と通常舗装の黒球温度に明確な差は見られなかった。

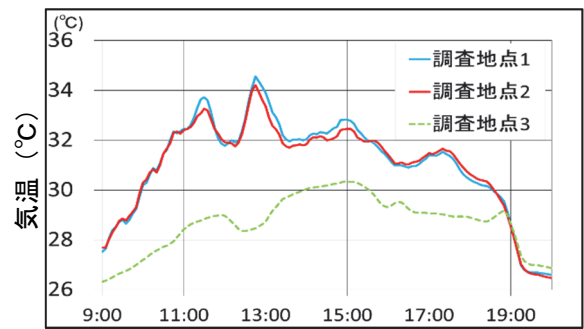


図3 気温の測定結果(8月14日)

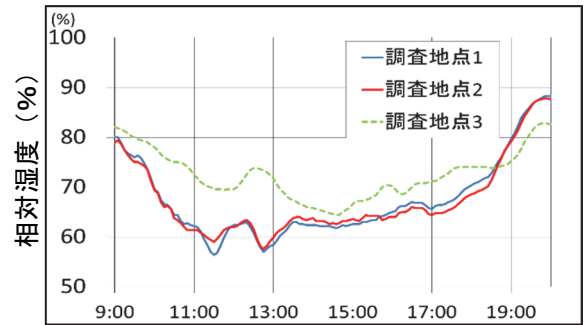


図4 相対湿度の測定結果(8月14日)

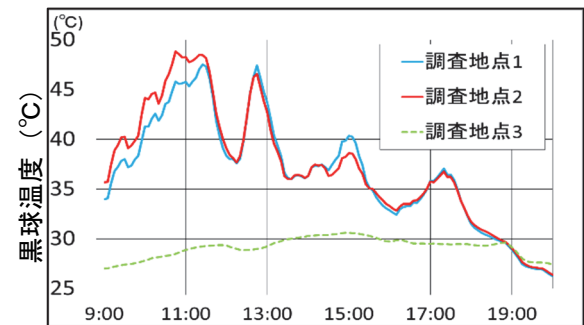


図5 黒球温度の測定結果(8月14日)

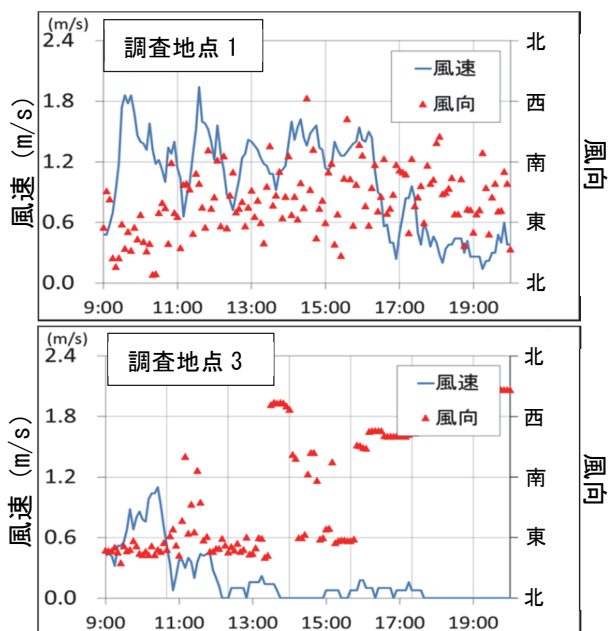


図6 風向風速の測定結果(8月19日)

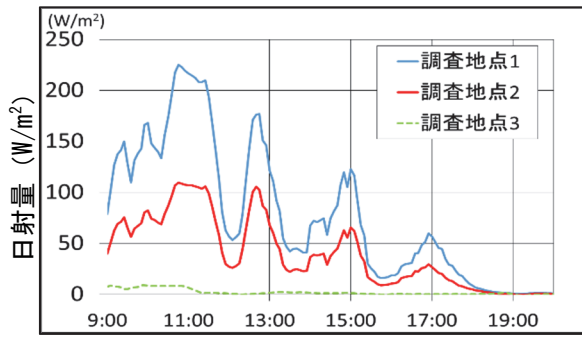


図7 上向きの日射量の測定結果 (8月14日)

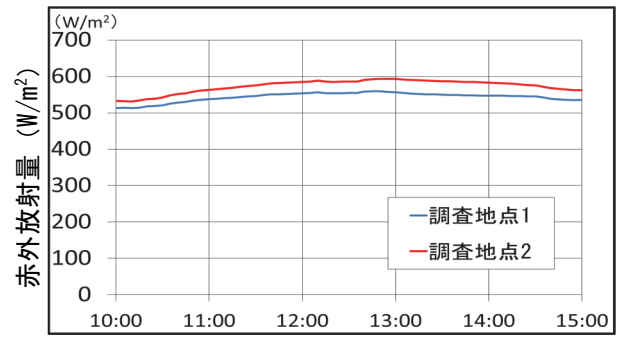


図10 上向きの赤外放射量の測定結果 (9月11日)

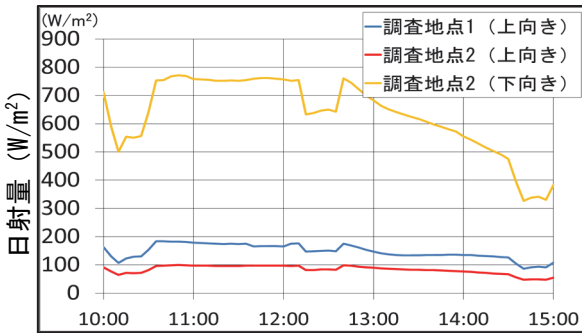


図8 日射量の測定結果 (9月11日)

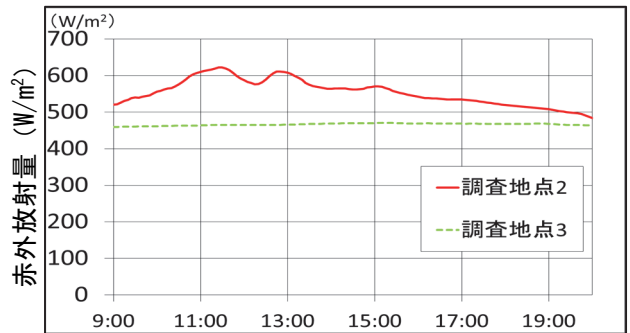


図11 上向きの赤外放射量の測定結果 (8月14日)

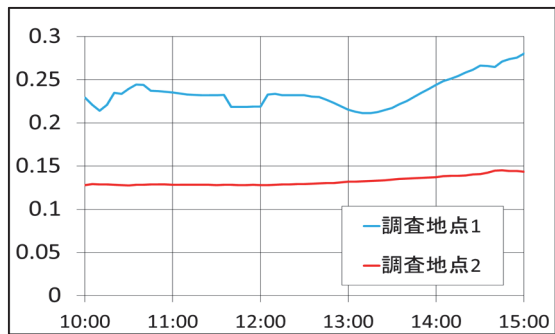


図9 アルベドの計算結果 (9月11日)

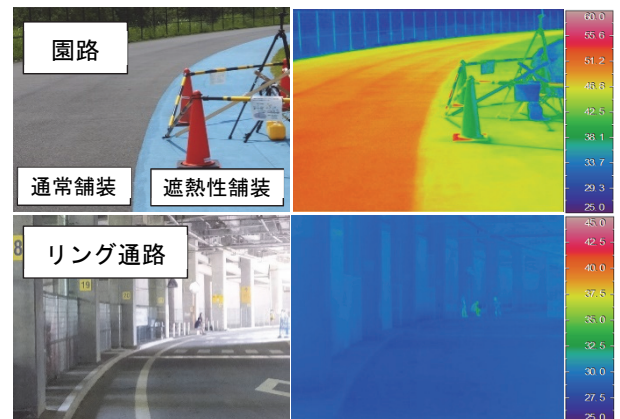


図12 地表面温度 (8月14日 11時頃)

9月11日の上向きの日射量の測定結果(図8)からは、遮熱性舗装での上向きの日射量が通常舗装の場合よりも大きく、最大で約 87W/m^2 (90%) 増加していた。一方、同日(9月11日)の上向きの赤外放射量の測定結果(図10)から、遮熱性舗装での上向きの赤外放射量が通常舗装の場合よりも小さく、最大で約 37W/m^2 (6%) 低減していた。また、8月14日の地表面温度の測定結果(図12)から、遮熱性舗装の表面温度(約 48°C)が通常舗装の場合(約 52°C)よりも約 4°C 低くなっていた。

これらのことから、遮熱性舗装では通常舗装に比べて日射の反射性が高いため、遮熱性舗装では通常舗装よりも地表面(舗装面)の日射の吸収量が小さくなる結果、上向きの日射量が増加する一方で、地表面温度が低くなり、上向きの赤外放射量が低減していると考えられる。

さらに、遮熱性舗装と通常舗装での人が感じる熱放射量について、日中と夜間の時間帯別で考察する。

日中に人が感じる熱放射量は、太陽光からの下向きの日射量、地表面からの上向きの日射量(太陽光の反射光)、地表面からの上向きの赤外放射量(地表面からの熱放射)

の3つの成分が主要要素である。遮熱性舗装と通常舗装がごく近傍に位置する場合、日中は太陽光からの下向きの日射量が等しいと考えて良いため、人が感じる熱放射量の比較を行うには、上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和と比較することが適切と考えられる。

9月11日の調査地点1(遮熱性舗装)及び調査地点2(通常舗装)での、上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和の計算結果を図13に示す。遮熱性舗装での上向きの日射量と上向きの赤外放射量の和が通常舗装の場合よりも大きく、最大で約 65W/m^2 (10%) 増加していた。日中には、地表面温度が低くなり、上向きの赤外放射量が低減する一方で、上向きの日射量が増加し、場合によっては歩行者が感じる熱放射量(日射量と赤外放射量の和)を増加させる可能性があると言える。

このことは、既往研究でも言及されている⁵⁾。ただし、本調査及び既往研究における遮熱性舗装及び通常舗装での上向きの日射量の観測の高さは地表数十センチ程度で

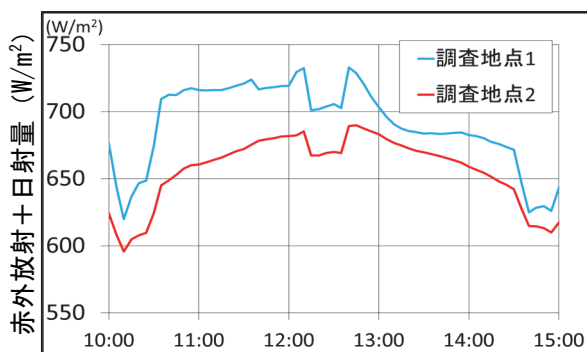


図13 赤外放射量と日射量の和の計算結果
(上向き、9月11日)

あり、それ以上の高さでは、影響はより小さくなると考えられる。

一方、夜間には太陽光からの日射がないため、夜間人が感じる熱放射量は、地表面からの上向きの赤外放射量が主な要素となる。そのため、夜間は遮熱性舗装において人が感じる熱放射量が低減していると考えられる。

4-2 日射遮蔽による暑熱低減効果

新横浜公園のリング通路内の日射遮蔽空間（調査地点3）と園路内の通常舗装の上（調査地点2）での測定結果の比較から、日射遮蔽による暑熱低減効果について考察する。

8月14日の気温の測定結果（図3）からは、日射遮蔽空間での気温は、園路内の通常舗装に比べて、日中に最大で約6℃低下していた。このことから、日射遮蔽空間では日射の遮蔽によって気温が低下し、暑さが低減されると考えられる。また、同日（8月14日）の黒球温度の測定結果（図5）からは、日射遮蔽空間での黒球温度は通常舗装に比べて最大約20℃低くなっていた。

同日（8月14日）の上向きの日射量の測定結果（図7）から、日射遮蔽空間では、一日を通して日射が遮られており、日射量はほぼ0に近い値であった。一方、同日（8月14日）の上向きの赤外放射量の測定結果（図11）から、日射遮蔽空間での上向きの赤外放射量は通常舗装の場合よりも小さく、最大で約158W/m²（25%）低減していた。また、同日（8月14日）の地表面温度の測定結果（図12）から、日射遮蔽空間の表面温度（約28℃）が通常舗装の場合（約52℃）よりも約24℃低くなっていた。

夏季の日射（太陽放射）のエネルギーは非常に大きく、快晴日の正午頃には、約1,000W/m²が地表に到達し、地表面や建物、人体に直接入射するとされている⁷⁾。日

射遮蔽空間では、特に夏季の日中において、日射を遮断することで熱環境の改善に大きく寄与し、人が受ける熱放射が大きく軽減されるため、快適な空間となっていると考えられる。

5. おわりに

横浜市内で最大の運動公園である新横浜公園において、園内における暑さ対策技術や日射遮蔽による暑熱低減効果を明らかにするため、2015年の夏季に気温、熱放射成分等の実測調査を行った。本調査の結果、新横浜公園で実施されている暑さ対策の一つである遮熱性舗装の暑熱低減効果や、園内の日射遮蔽空間での熱環境の改善効果について定量的に把握できた。

市内の運動公園などの市民利用施設において、今後も、公園利用者の動線や滞留状況を考慮したうえで、効果的な暑さ対策を講じていくことが重要であると考えられる。市内の各施設が暑さ対策の実施を検討する際の判断材料を提供できるよう、環境科学研究所では今後も各種の暑さ対策技術の暑熱低減効果の定量化・見える化や、暑さ対策技術の導入方法等の検討を行っていく予定である。

謝 辞

本調査の実施にあたり、横浜市環境創造局公園緑地管理課、新横浜公園の指定管理者である横浜市体育協会・管理JV共同事業体に調査場所の提供や調査実施の協力等について多大な御協力をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

文 献

- 1) ヒートアイランド対策推進会議：ヒートアイランド対策大綱、21pp.（2013）
- 2) 環境省：まちなかの暑さ対策ガイドライン、58pp.（2016）
- 3) 横浜市：横浜市水と緑の基本計画、163pp.（2016）
- 4) （公財）横浜市体育協会：熱中症対策について | 新横浜公園（日産スタジアムの）社会貢献活動、<http://www.nissan-stadium.jp/csr/safety02.php>（2017年3月時点）
- 5) 赤川宏幸、竹林英樹、森山正和：湿潤舗装と遮熱舗装上の温熱環境改善効果に関する実験的研究、日本建築学会環境系論文集、73(623)、85-91（2008）
- 6) 近藤純正：地表面に近い大気の科学—理解と応用—、東京大学出版会、324pp.（2000）