

—第 1 部 基礎編 —

第1章 まちなかの暑さと暑熱ストレス

1.1 人が感じる暑さ

- ・人が感じる暑さは気温だけでなく、湿度、風、日射や赤外放射にも影響される
- ・本ガイドラインでとりあげる「暑さ対策」は、人が感じる暑さを和らげるために、気温の低下のみで考えるのではなく、暑さ指数（WBGT）や体感温度（SET）^{4,5}を低下させることを目標とする

人が感じる暑さは、気温だけでなく、湿度、風の強さ、日射や高温化した路面などから放出される熱（赤外放射⁶）の違いに大きく影響されます。日向より木陰が涼しいと感じるのは、木陰の気温が低いためと認識されていることも少なくありません。実際には、日向と木陰の気温がほぼ同じ場合でも、木陰では日射や路面からの赤外放射が少ないために、日向より涼しく感じます。

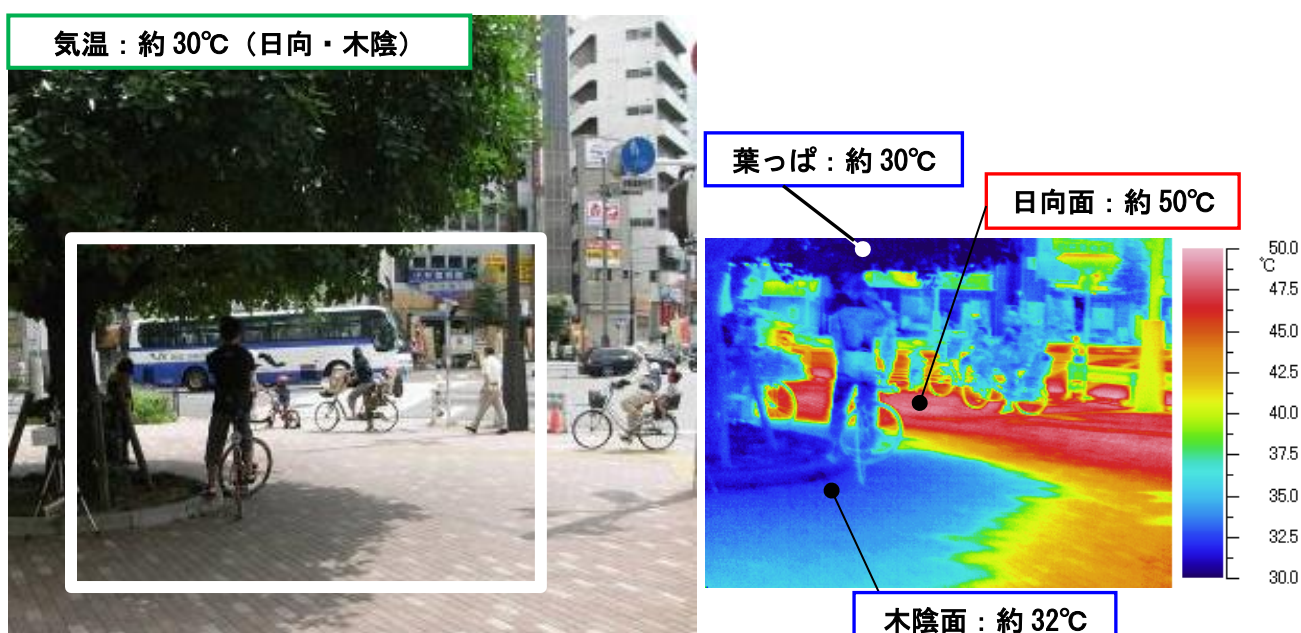


図 1.1 木陰のある交差点（東京都江東区木場）

本ガイドラインでとりあげる「暑さ対策」は、局所的に気温を下げることや、日射や赤外放射を抑制することなどにより、総合的に人が感じる暑さを和らげ、健康で快適な環境づくりを推進する手法です。そのため暑さ対策の効果は、気温の低下のみで考えるのではなく、湿度、風、日射や赤外放射を含めた「人が感じる暑さの指標」で評価することが重要です。

人が感じる暑さの指標については、本ガイドラインでは WBGT（湿球黒球温度。以下「暑さ指数 (WBGT)」）と言います。単位はなし⁷）と SET（標準有効温度。以下「体感温度 (SET)」）と言います。単位は°C）を用います。暑さ指数 (WBGT) については次頁で、体感温度 (SET) については第 6 章で詳しく

⁴ まちなかの暑さ対策ガイドライン改訂版（平成 30 年度 3 月）では、体感温度を「SET*」と表記していたが、ASHRAE Standard 55-2017 には、「SET」との表記に修正されているため、当ガイドラインでも「SET」に統一した。「SET」と「SET*」は同等である。

⁵ ANSI/ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2020, GA, USA

⁶ ものの表面温度に応じて電磁波として放出される熱を「赤外放射」という。温度が高いほど放射が強くなる。

⁷ 暑さ指数 (WBGT) の単位は「°C」であるが、本ガイドラインでは、体感温度 (SET) との混同を避けるため、暑さ指数 (WBGT) では単位「°C」を除いている。

説明します。暑さ指数(WBGT)は熱中症予防に、体感温度(SET)は快適性の評価に適した指標です。本ガイドラインでは広く普及しつつある暑さ指数(WBGT)を主として用いますが、まちなかにおいては快適性の向上も求められるため、適宜、体感温度(SET)も用います。

暑さ指数 (WBGT : Wet Bulb Globe Temperature (湿球黒球温度))⁸

熱中症を引き起こす条件として「気温」は重要ですが、わが国の夏のように蒸し暑い状況では、気温だけでは熱中症リスクは評価できません。暑さ指数(WBGT)は、人体と外気との熱のやりとり(熱収支)に着目し、気温、湿度、日射・輻射(赤外放射)、風の要素をもとに算出する指標として、特に労働や運動時の熱中症予防に用いられています。

【算出式】

暑さ指数(WBGT)⁹ = 0.7 × 湿球温度 + 0.2 × 黒球温度 + 0.1 × 乾球温度

- 乾球温度：通常の温度計が示す温度。いわゆる気温のこと。
- 湿球温度：湿度が低いほど水分の蒸発により気化熱が大きくなることを利用した、空気の湿り具合を示す温度。湿球温度は湿度が高いときに乾球温度に近づき、湿度が低いときに低くなる。
- 黒球温度：黒色に塗装した中空銅球の中心に温度計を入れて計測した温度。日射や高温化した路面からの輻射熱(赤外放射)の強さ等により、黒球温度は高くなる。

【暑さ指数(WBGT)の基準域】

暑さ指数(WBGT)を用いた指針としては、日本生気象学会における「日常生活における熱中症予防指針」¹²、(公財)日本スポーツ協会による「熱中症予防運動指針」があり、暑さ指数(WBGT)に応じて表1.1に示す注意事項が示されています。また、夏季には、気象庁データに基づいた、全国約840地点の暑さ指数(WBGT)の実況値や予測値が「環境省熱中症予防情報サイト」で公開されています。

表1.1 暑さ指数(WBGT)に応じた注意事項等^{10,11,12}

暑さ指数(WBGT)による基準域	注意すべき生活活動の目安	日常生活における注意事項	熱中症予防運動指針
危険 31以上	すべての生活活動でおこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。	運動は原則中止 特別の場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合には中止すべき。
厳重警戒 28以上 31未満		外出時は炎天下を避け室内では室温の上昇に注意する。	厳重警戒(激しい運動は中止) 熱中症の危険性が高いので、激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。10～20分おきに休憩をとり水分・塩分を補給する。暑さに弱い人は運動を軽減または中止。
警戒 25以上 28未満	中等度以上の生活活動でおこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休憩を取り入れる。	警戒(積極的に休憩) 熱中症の危険が増すので、積極的に休憩をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休憩をとる。
注意 25未満	強い生活活動でおこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。	注意(積極的に水分補給) 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。

⁸ 環境省「熱中症環境保健マニュアル2022」令和4年3月

⁹ JIS Z 8504では、WBGTの算出に「自然湿球温度」が用いているが、本ガイドラインでは、一般的に測定されている相対湿度から求めることができる「湿球温度」を用いて暑さ指数(WBGT)を算出している。「湿球温度」の測定は第6章で説明する。

¹⁰ 日本生気象学会「日常生活における熱中症予防指針 Ver.4」(2022)

¹¹ (公財)日本スポーツ協会「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」(2019)

¹² 日本生気象学会の承諾を得て、一部改変の上転載した。出典元のWBGTを“暑さ指数”と呼び、体感温度(単位:℃)と区別するため単位のない指数として表記した。

1. 2 まちなかの暑さと涼しさ

- ・まちなかの暑さは、日射、風の有無や周囲の環境によって大きく異なる
- ・日射が良く当たる幅の広い東西道路の北側歩道は特に暑い（赤外放射が強い）
- ・風通しの良さも人が感じる暑さに大きく影響し、風速が 0.8m/s から 1.5m/s に増加すると、暑さ指数 (WBGT)は 0.4 程度低下¹³
- ・川辺の風を利用したり、風通しを阻害しないようにしたりすることが重要

まちなかの暑さは場所によって違うのでしょうか。まちを歩いているとき、「暑い」と感じる場所と、逆に「涼しい」と感じる場所があります。

暑さに大きく影響するのは「日射」です。太陽からの日射のエネルギーは大きく、真夏の日中には肌を刺すような刺激を感じます。日射があたる路面は熱を吸収して温度が上昇します。熱を吸収しやすい黒いアスファルトの表面温度は 60℃を超えることもあり、路面から放出される赤外放射が強くなります。

そのため、盛夏においては樹木の陰に入ると、頭上からの日射と足元からの赤外放射が大幅に減り、日向にくらべ暑さ指数(WBGT)が2程度¹⁴、体感温度 (SET) が 7℃程度¹⁵低くなる¹⁶場合があります。

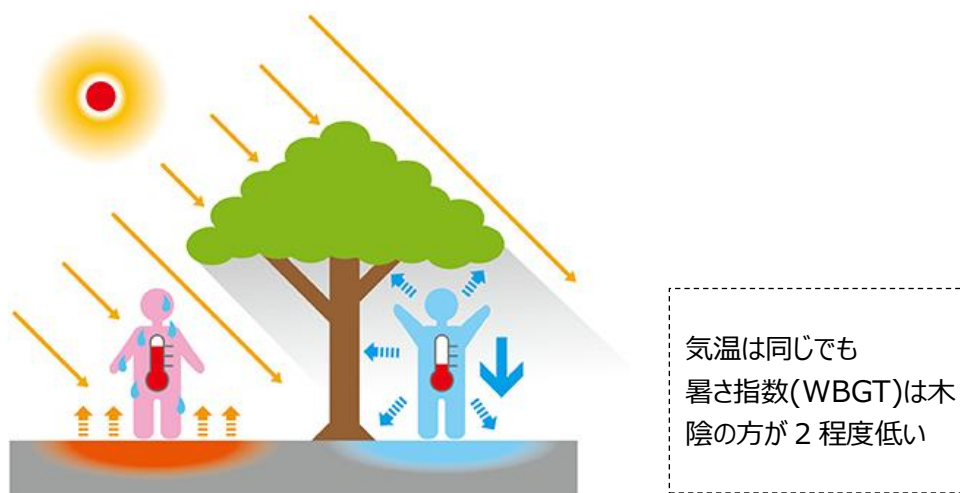


図 1.2 日向と木陰の暑さ指数(WBGT)の違いのイメージ

¹³ 環境省 平成 28 年度余剰地下水等を利用した低炭素型都市創出のための調査・検証事業（以下、「平成 28 年度環境省検証事業」とする。）

¹⁴ 富樫ほか、道路散水・街路樹・ミスト・遮熱性舗装による WBGT 低減効果に関する実測と考察、日本建築学会大会学術講演梗概集, 2359-2360, 2020

¹⁵ 萩島ほか、街路樹の暑熱緩和効果に関する調査研究:その 2 放射温度分布、日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 1443-1444, 1994

¹⁶ 体感温度 (SET) は相対湿度 50%の標準環境での気温相当温度、暑さ指数 (WBGT) は相対湿度 100%環境での気温相当温度であり、相対湿度 100%未満の環境で表示される暑さ指数 (WBGT) の数値は、私たちが感じる暑さに相当する気温の数値より低くなる。私たちが感じる暑さに呼応する相対湿度 50%基準の WBGT が堀越らにより提案されている (堀越ほか、生活実感に呼応する相対湿度 50%を基準とした WBGT の提案、日本生気象学会雑誌, 57 巻, 4 号, 117-126, 2021)

放射（日射や赤外放射）に着目して真夏の正午に街路で歩行者が受ける熱量を計算した事例¹⁷では、まちなかの暑さが場所によって大きく異なることが分かります（図 1.3）。幅の広い東西方向の道路の北側歩道では、歩行者が受ける熱量が最も大きく、6 畳の部屋で 1,000W の電気ストーブを 10 台使用した場合と同程度になります。このうち、日射によるものは 5 割強、残りの 5 割弱は路面や壁面からの赤外放射でした。太陽は東から昇り西に沈むため、太陽が高く昇る夏には東西道路は長時間日射を受けて、路面などが高温化し、北側の歩道や交差点付近では、歩行者の暑熱ストレスが非常に大きくなります。

このように放射熱だけを考えても、まちなかの暑さは場所によって大きく異なります。気温や風の状況を考慮すれば、まちなかの暑さ分布は一層、複雑になります。

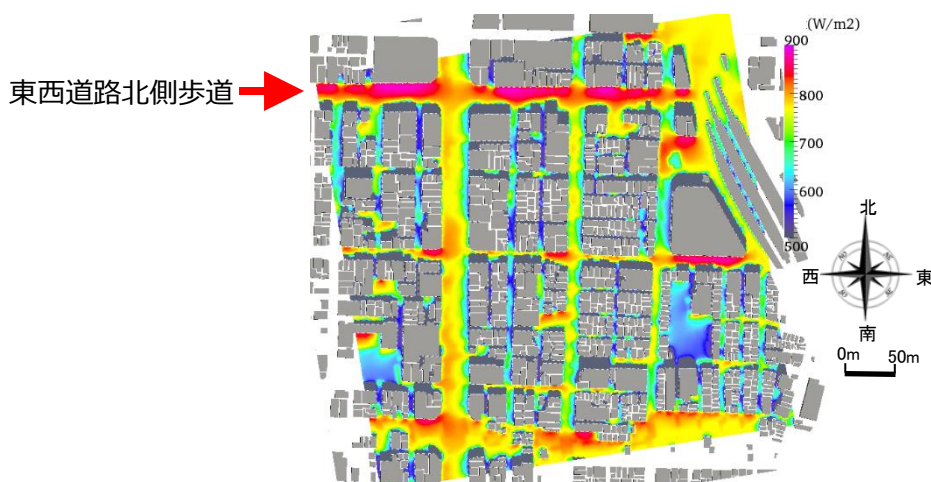


図 1.3 都市街路で歩行者が受ける熱量（8月12時）¹⁷

このような暑い街路でも、少しの空間に木陰とベンチなどがあれば、建物の利用者や歩行者にとって、ありがたいクールスポットになります。



図 1.4 街路沿いのクールスポット（東京都中央区銀座）

¹⁷ 環境省，平成 24 年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査，平成 25 年 3 月（国土交通省国土技術政策総合研究所（足永靖信氏）が開発した都市の熱環境評価のためのシミュレーションツールを使用して東京の都心部の街区を対象に計算した結果。真夏の正午（気温約 33℃）に街路で歩行者が受ける正味の受熱量を計算したところ、幅の広い東西方向の道路の北側歩道で受熱量が最も大きく、900W/㎡（6 畳の部屋で 1,000W の電気ストーブを 10 台使用した場合と同程度の熱）にもなった。）

日射を遮る商店街のアーケードは、日中の人が感じる暑さを和らげます。日中のアーケードは日向に比べ、歩行の際に皮膚温度や心拍数の上昇を抑制する、すなわち暑熱ストレスの低減効果があることを確認できました¹⁸。

地域資源の一つであるアーケードを活用することで、高齢化が進む社会において、夏季の環境においても高齢者が安心して歩けるまちづくりが期待されます。



図 1.5 商店街アーケード（東京都荒川区 ジョイフル三の輪商店街）

風も人が感じる暑さに強く影響します。多少暑くても、風が吹いていると気持ち良く感じますが、風が止むと不快な暑さを感じます。まちなかで建物が密集すると、風通しを阻害する場合があります。街路内の風をコントロールすることは簡単ではありませんが、クールスポットを作るのであれば、風通しの良いところを選んだり、風を阻害したりしないよう配慮することが重要です。風速が 0.8m/s から 1.5m/s に増加すると、暑さ指数(WBGT)が約 0.4 程度低下¹⁹します。空気が滞留しやすく、人が密集するところなどでは、強制的に送風して熱だまりを防ぎ、人に風を当てて感じる暑さを和らげる方法も有効です。

夏の夕方、川辺は心地良く感じます。これは日が傾いて日射が弱くなり、川面の冷たさと河川に吹く比較的強い風が、人が感じる暑さを和らげるためです。

都市内には大小さまざまな河川が流れています。川辺の特徴を上手く利用することで、効果的なクールスポットを創出することが期待されます。



図 1.6 夏の夕方に隅田川沿いで過ごす人々

¹⁸ 環境省 平成 31 年暑熱環境に対する適応策調査業務

¹⁹ 平成 28 年度環境省検証事業

1. 3 夏の暑さと暑熱ストレス

- ・人は体温を一定に保つため発汗などにより放熱するが、暑熱環境下では放熱が進みにくい
- ・高齢者は体温調節機能が衰えはじめ、夏の日中に日向を歩いた場合、若年者にくらべて体の中心部分の温度が上昇しやすい
- ・子供は体温調節機能が未発達であることに加えて、身長が低いと路面からの赤外放射を受けやすい

食べ物を食べたり、運動したりすることで、人の体内では熱が発生します。また、日射を浴びることで外部からも熱を受けます。人間の体は体内で発生した熱や外部から受けた熱を逃がすために、汗をかくなどして放熱し、体温が一定以上に上がらないようになっており、体の中心部分の温度は、冬も夏も約 37℃で一定に保たれています。

しかし、夏の暑い環境では放熱しにくく、水分補給が十分でない場合などには体温が上昇して、熱中症になるなど健康への影響が生じます。

【人の体温調節メカニズム】

人は体温の上昇を防ぐために、自律的に皮膚近くの血管を拡張し、皮膚の近くに血液を多く流して、皮膚から周辺に放熱することにより血液を冷やします。特に手や足の抹消部分は、暑いときには寒いときより血流量が 100 倍程度も多くなると言われています。皮膚からは以下の 3 通りのメカニズムで放熱します。



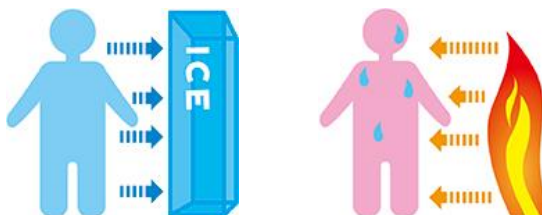
-[空気に放熱（対流）]-

皮膚に直接当たる空気に放熱して皮膚を冷やします。気温が高いほど、風速が弱いほど、放熱は進みません。



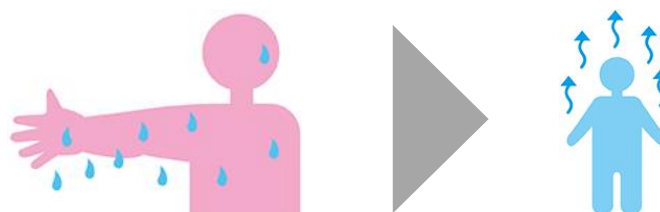
-[まわりのモノに放熱（放射）]-

まわりのモノに向かって熱を放射することで皮膚を冷やします。モノの温度が皮膚温より高いと放熱が進まず、逆に皮膚が受ける熱が多くなります



-[発汗して放熱（蒸発）]-

空気やまわりのモノに放熱するだけでは足りずに、体温が上昇してしまう場合に発汗が始まります。汗が蒸発するとき皮膚から気化熱を奪うことで皮膚を冷やします。湿度が高いと汗が蒸発しにくく放熱が進みません。発汗すると体内から水分・塩分が失われるので、水分・塩分を補給する必要があります。



高齢者は体温調節機能が衰えはじめるため、夏の暑さに対する注意が必要です。若年者と高齢者が日向と日陰で歩行運動を行った実験の結果²⁰では、若年者は日向でも日陰でも体の中心部分の温度上昇は0.6℃程度であり、高齢者も日陰では同程度の上昇でしたが、日向で運動した高齢者は約1℃と倍近く上昇していました。これは高齢者の発汗量が若年者にくらべて少ないことなどが影響していると考えられ、高齢者の方が夏の暑さによる影響を受けやすいことが分かります。

ただし、高齢者も日陰では若年者と同程度の上昇だったため、高齢者でも日陰を選んで歩いたり、日傘をさしたりすることにより、夏の暑さによる影響を抑制することができると考えられます。

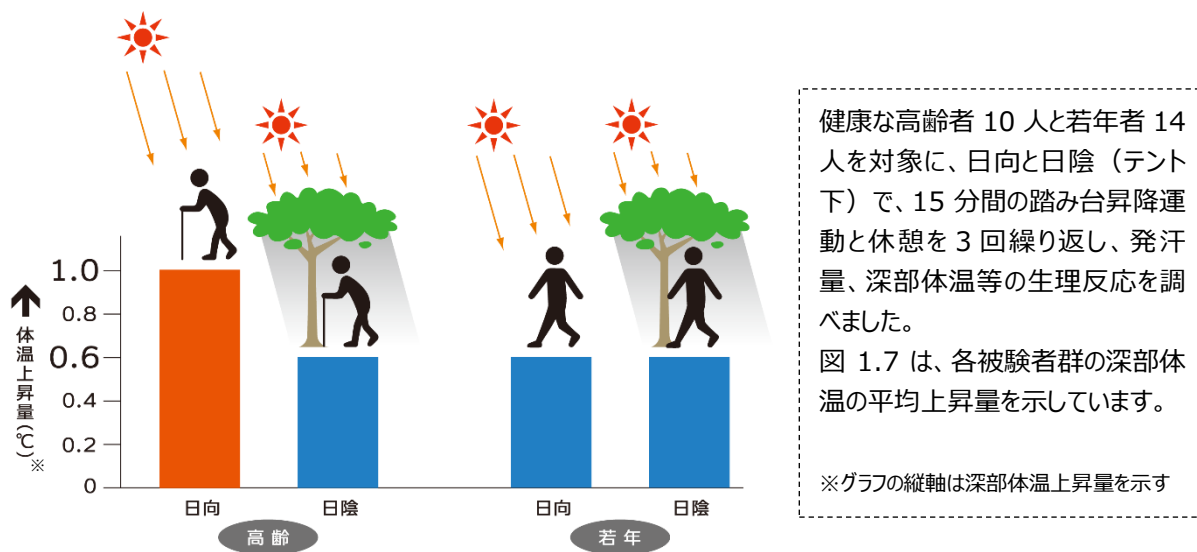


図 1.7 高齢者と若年者の歩行運動実験結果²⁰

子供は、汗腺をはじめとした体温調節機能が未発達で十分に放熱できず、厳しい暑さのなかでは体温が上昇しやすいという特徴があります。特に、身長が低い幼児やベビーカーに乗った赤ちゃんは、高温化した路面からの赤外放射を受けやすいため、子供の様子に注意が必要です。

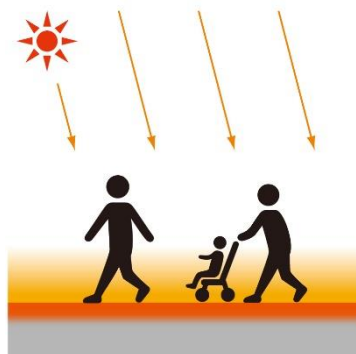


図 1.8 高温化した路面からの赤外放射のイメージ

²⁰ 環境省、平成 26 年度ヒートアイランド現象に対する適応策及び震災後におけるヒートアイランド対策検討調査業務報告書（平成 27 年 3 月）のデータをもとに作成。