

# 版築バイオトイレの室内環境に関する実測調査 —木造トイレ・仮設トイレとの冬期から夏期における実測結果の比較—

Field Measurement for Indoor Environment in the Rammed Earth Composting Toilet  
— Comparison of Measurement Result from Winter to Summer with the Wooden Toilet and Portable Toilet —

三田村 輝章\*, 島 麻希子\*\*, 熊谷 豊\*\*  
Teruaki Mitamura, Makiko Shima and Yutaka Kumagai

**keywords:** Rammed earth, Composting toilet, Indoor environment, Odor level indicator, Field measurement  
版築, バイオトイレ, 室内環境, ニオイセンサー, 実測調査

## 1. はじめに

近年, SDGsの広がりから, 持続可能なライフスタイルへの関心が高まっており, その一つとして自然素材を利用した建築が注目されている。版築は, 自然素材である土を突き固めて壁を制作する伝統的な工法であり, 建設残土を再利用できる他, 土が持つ蓄熱や調湿といった環境性能が期待できることから, 環境負荷の小さい建築材料として再評価されている<sup>1)</sup>。一方, 微生物の力で排泄物を分解・処理するバイオトイレは, 汚水による土壌や水質への影響を最小限に抑える技術として注目されている。

そこで, 本研究では, 埼玉県三芳町の里山体験フィールド内に版築工法にて建設されたバイオトイレ (以下, 版築バイオトイレ) を研究対象とし, その室内環境の実測調査を行うことで, 版築バイオトイレの環境性能について評価することを目的とする。一般に公園などの屋外に設置されたトイレは, 仮設やプレハブなどの簡易な構造のものが多く, トイレ内の温熱環境や臭気は良好とは言い難いと予想されるため, 版築バイオトイレは, その解決に繋がるものとして期待される。

本報では, 版築バイオトイレ内で計測した室内温湿度や臭気に関する冬期から夏期における実測結果を同敷地内にある木造トイレや仮設トイレと比較した結果について報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象

調査対象は, 埼玉県三芳町の里山体験フィールド内に建設された版築バイオトイレである。構造は木造軸組構造で, 円弧状の高さ 1,950 mm, 厚さ約 300 mm の版築仕上げで制作された外壁 2 枚と漆喰仕上げの間仕切り壁で構成されている。版築には建設系廃棄物から再生したリサイクル資材である NS-10 (Natural Sand-10) と呼ばれる砂質状の再生盛土材<sup>2)</sup>が 80% 以上と消石灰のみが使用されている。トイレ内の床は, 版築と同一のリサイクル資材 NS-10 を用いた三和土, 屋根は野地板 ( $t=30$  mm) とガルバリウム鋼板 ( $t=0.35$  mm) で構成されている。屋根の形状から外壁との間には隙間が存在し, 扉を開けてもトイレの個室は完全に閉鎖されず, 外気と通じるため, 機械換気設備は設置されていない。写真 1 に版築バイオトイレの外観, 図 1 に平面図を示す。また, 便器や手洗いなどの衛生器具には, 防水の木製複合材料 100% の製品が使用され, 汚水の循環には複合発酵技術が用いられ, 微生物の力で汚水を発酵・分解し, 100% 再生利用される<sup>3)</sup>。



写真 1: 版築バイオトイレの外観

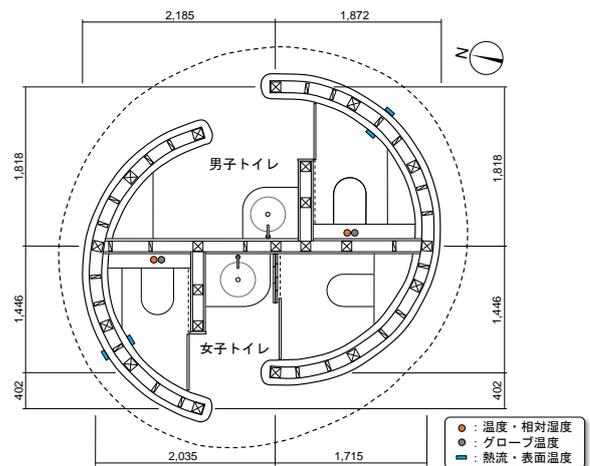


図 1: 版築バイオトイレの平面図

今回, 版築バイオトイレとの比較のため, 同敷地内に存在する木造トイレと仮設トイレについても調査対象とする。木造トイレは, D 型断面の板材 (最大  $t=40$  mm) を積み上げた丸太組構法で建設され, 内装仕上げは無塗装の木現しである。大便器のある 4 つの個室と 2 つの手洗い室で構成され, 個室にはガラス戸の小窓が設置されているが通常は閉められており, 機械換気設備は設置されていない。仮設トイレは, 素材はポリエチレン製で, 4 つの個室と 2 つの手洗い室で構成されており, 大便器のある個室には機械換気設備が設置され, 人感センサーにより使用時のみ稼働する。木造トイレと仮設トイレは, いずれも水洗式である。写真 2 に外観, 図 2 に平面図を示す。

\* 前橋工科大学・工学部 准教授・博士(工学)

Assoc. Professor, Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology, Dr. Eng.

\*\* 石坂産業株式会社

Ishizaka Sangyo Co., Ltd.

## 2.2 測定方法

測定項目は、温熱環境については、各トイレ内の男子と女子の個室における温湿度、グローブ温度、版築バイオトイレにおいては、男子と女子の個室における外壁面の熱流束と表面温度である。外気の温湿度は、版築バイオトイレの隣に建設された複合発酵のためのタンクを設置しているタンク棟の軒下において測定する。温湿度の測定には、小型温湿度ロガー（MX1101-01、Onset 製）を用いて床高さ約 1.1 m 付近に設置した。グローブ温度は、つや消し黒に塗装したピンポン球（φ 40 mm）内に T 型熱電対（φ 0.3 mm）を挿入して作成した簡易型のグローブ球を利用し、熱電対は小型データロガー（RTR505BL、ティアンドディ製）に接続して、小型温湿度ロガーと同じ位置に設置した。なお、簡易型のグローブ球で計測した値については、既往研究<sup>4)</sup>の方法に基づいて補正を行った。熱流束と表面温度は、熱流センサー（M55A、江藤電気製）を用いて、外壁の室内側と外気側の表面に両面テープで貼り付けて設置し、データロガー（LR8432、日置電機製）に接続して計測した。測定間隔はいずれも 10 分間とし、測定は 2024 年 4 月に開始し、現在も計測中であるが、本報では、2024 年 4 月 1 日～9 月 23 日までの結果について示す。

臭気については、各トイレの男子と女子の個室内で 2024 年 4 月から毎月一回のペースで測定を実施した。測定にはポータブル型ニオイセンサー（XP-329m 及び XP-329-III R、新コスモス電機製）を使用して、ニオイセンサーレベル値が安定するまで数分間計測した後の数値を読み取り、記録する。

## 3. 調査結果

### 3.1 室内温湿度

図 3 に各トイレにおける日平均温湿度変動を示す。空気温度は、木造トイレと仮設トイレは、版築バイオトイレよりも高い範囲で推移し、木造トイレは 3～4℃程度、仮設トイレは 1～3℃程度高くなる。一方、版築バイオトイレは、ほぼ外気と同程度で推移しており、変動幅は木造トイレや仮設トイレよりも小さい。木造トイレと仮設トイレは、個室の扉を閉じると閉鎖された空間となるため、日射による取得熱が室内に籠もり外気よりも温度は高くなるが、版築バイオトイレでは、屋根と外壁の間に存在する隙間から通気が生じることで外気と同程度の温度となったと考えられる。

相対湿度は、仮設トイレは変動幅が最も大きく、版築バイオトイレと木造トイレは、変動幅は同程度であるが、木造トイレは全体的に低い範囲で推移している。仮設トイレは、90～100%RH まで上昇する日もみられるが、外気よりも低くなる日もみられ、温度の影響を大きく受けていると考えられる。木造トイレは、概ね 40～80%RH の範囲で変動し、殆どの期間で外気よりも低いのは、内装仕上げが無塗装の木現しであることから、吸放湿による効果と考えられる。版築バイオトイレは、温度と同様に屋根と外壁の隙間から通気が生じることから、概ね外気に連動して変動しているが、特に梅雨期の 7 月では外気よりも高い範囲で推移しており、版築の外壁や漆喰仕上げの間仕切り壁が湿気を吸湿し、保持している可能性が考えられる。

絶対湿度は、各トイレの変動幅は、木造トイレが最も大きく、次いで、版築バイオトイレ、仮設トイレの順となる。木造トイレでは、温度が上昇する日は外気よりも高く、低下する日は低くなる傾向がみられ、これは壁面からの吸放湿による影響と考えられる。仮設トイレと版築バイオトイレは、概ね外気に連動して変



写真 2：木造トイレと仮設トイレの外観

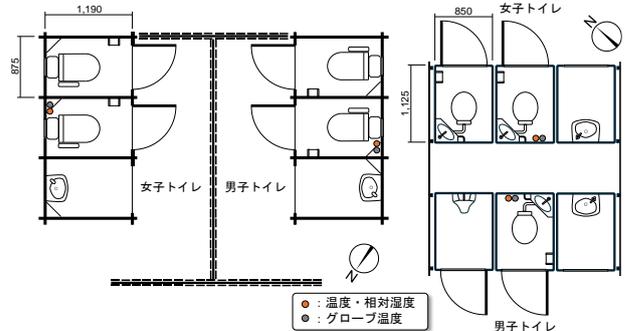


図 2：木造トイレと仮設トイレの平面図

動しているが、版築バイオトイレでは、相対湿度と同様に梅雨期の 7 月では外気よりも高い範囲で推移しており、絶対湿度からも版築の外壁や漆喰仕上げの間仕切り壁が湿気を保持していることがうかがえる。

図 4 に夏期一週間（2024 年 7 月 26 日～8 月 1 日）における各トイレの温湿度変動を示す。空気温度は、外気が最高で 31～35℃に到達するのに対して、木造トイレと仮設トイレは最高で 40～50℃付近まで上昇している。一方、版築バイオトイレは最高温度は外気よりも 2～3℃低く、温度のピークは、外気や他のトイレよりも遅れた時刻に出現していることから、版築壁の熱容量の大きさが影響していると考えられる。夜間の最低温度は、木造トイレは外気と同程度まで低下するが、仮設トイレは外気よりも 1～2℃低くなる日もみられるのは、仮設トイレの天井面からの夜間放射による影響が考えられる。一方、版築バイオトイレは、昼間から夜間にかけての温度低下は緩やかであり、最低温度は外気よりも 2～3℃高くなる。これも版築壁の熱容量の大きさが影響していると考えられる。

相対湿度は、3つのトイレで変動の様子は大きく異なり、変動幅は、仮設トイレ、木造トイレ、版築バイオトイレの順に大きい。仮設トイレは 25～100%RH の範囲で大きく変動し、温度変動が大きいことが影響していると考えられ、夜間に 100%RH に達していることから壁や天井の内表面における結露発生が懸念される。木造トイレは、男子トイレと女子トイレで差がみられるものの、夜間は 65～75%RH でほぼ一定となり、それ以上の高湿度が抑制され、日中は温度上昇の影響から 40～60%RH まで低下する。版築バイオトイレは、日中と夜間の差が小さく、他のトイレと比較して 60～90%RH の高い範囲で推移している。

絶対湿度は、木造トイレは 13～39 g/kg の範囲で大きく変動し、日中に大きく上昇し、夜間は外気よりも低い範囲まで低下するのは、木現しの内装による吸放湿による効果と考えられ、これが夜間の相対湿度の上昇を抑制している要因と考えられる。仮設トイレと版築バイオトイレは、外気と同程度で推移し、両者とも変動幅は小さいが、版築バイオトイレの方が全体的に高い範囲で変動している。

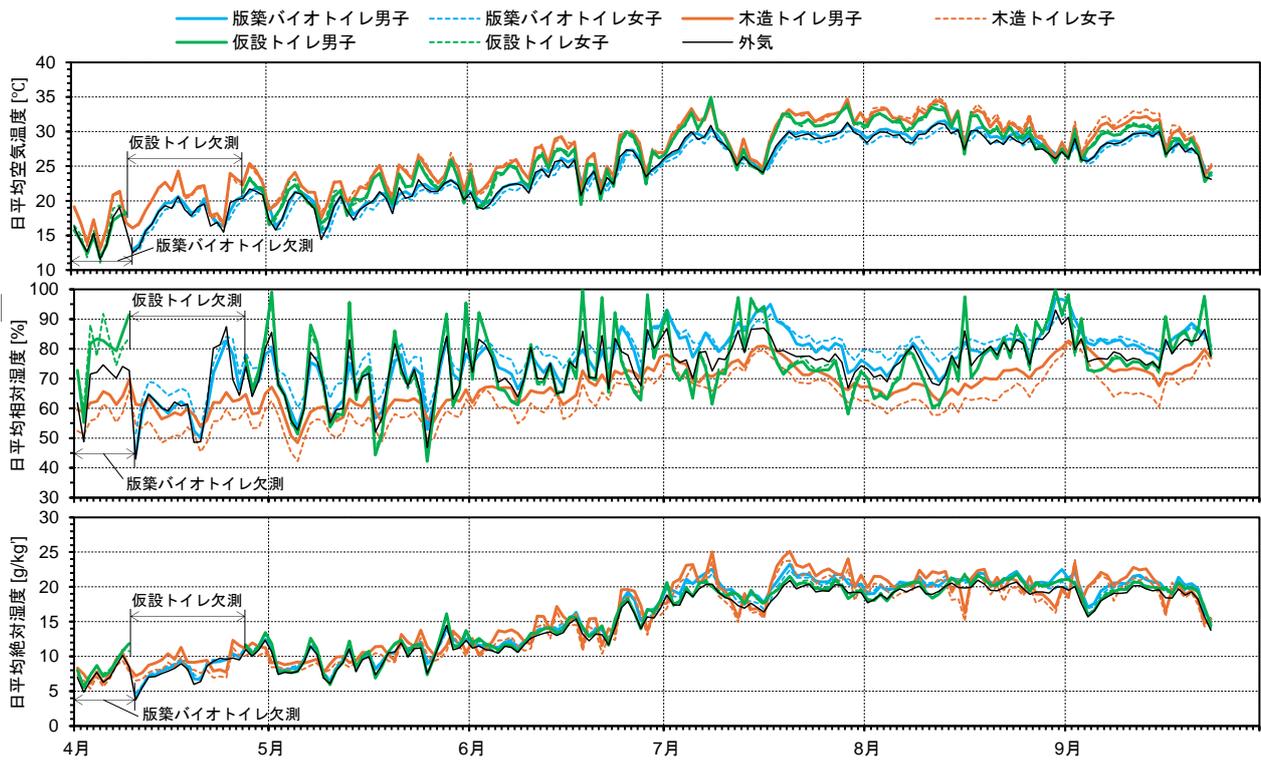


図3：各トイレにおける日平均温湿度変動

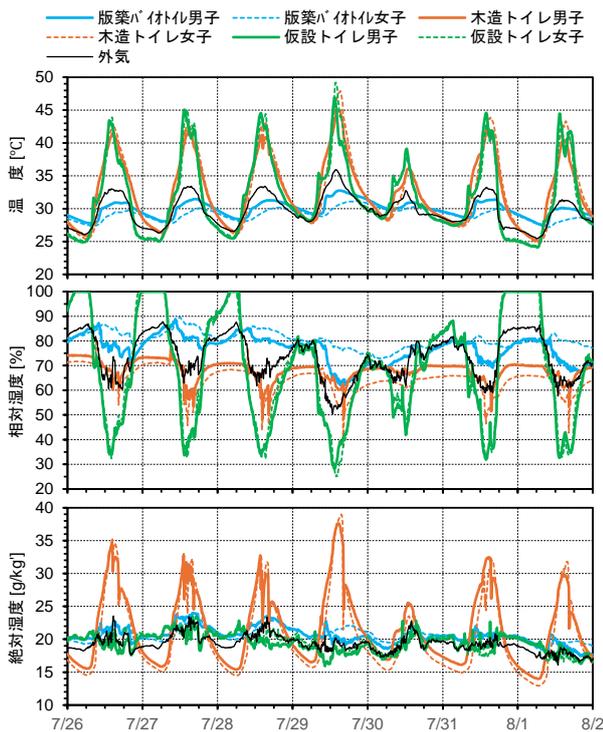


図4：夏期一週間における各トイレの温湿度変動

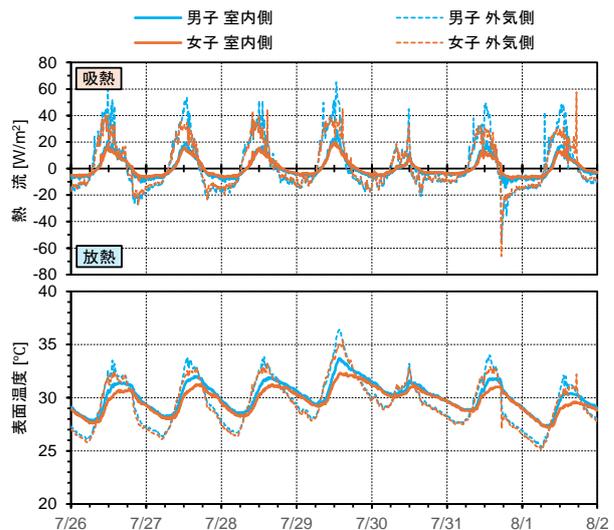


図5：夏期一週間における版築壁の熱流・表面温度変動

表面温度は、変動幅は熱流と同様に外気側の方が室内側より大きく、室内側は外気側より数時間のピークの時間遅れがみられる。熱流と表面温度に共通して、男子トイレと女子トイレで最高温度に差がみられるのは、方位や日当たりが影響していると考えられる。なお、7月31日の午後を外気側において急激な低下がみられるのは、降雨による水濡れの影響と推察される。

### 3.2 版築壁の熱流・表面温度

図5に夏期一週間（2024年7月26日～8月1日）における版築壁の熱流・表面温度変動を示す。熱流は、変動幅は外気側の方が室内側よりも大きく、日中に吸熱し、夜間は放熱しており、このことが室温の変動幅を小さく抑制していると考えられる。また、吸熱の方が放熱よりも大きく変化していることから、その差し引き分が壁体に蓄熱されていると考えられる。

### 3.3 暑さ指数

図6に各トイレにおける5～8月の暑さ指数（WBGT）の出現割合を示す。暑さ指数（WBGT）は、31以上で危険、28以上31未満で嚴重警戒、25以上28未満で警戒、25未満で注意という指針が示されており、特に31以上では「高齢者においては安静状態でも発生する危険性が高い。」と注意喚起されている<sup>5)</sup>。5月では、3つのトイレで25以上の警戒となる割合は少ないが、

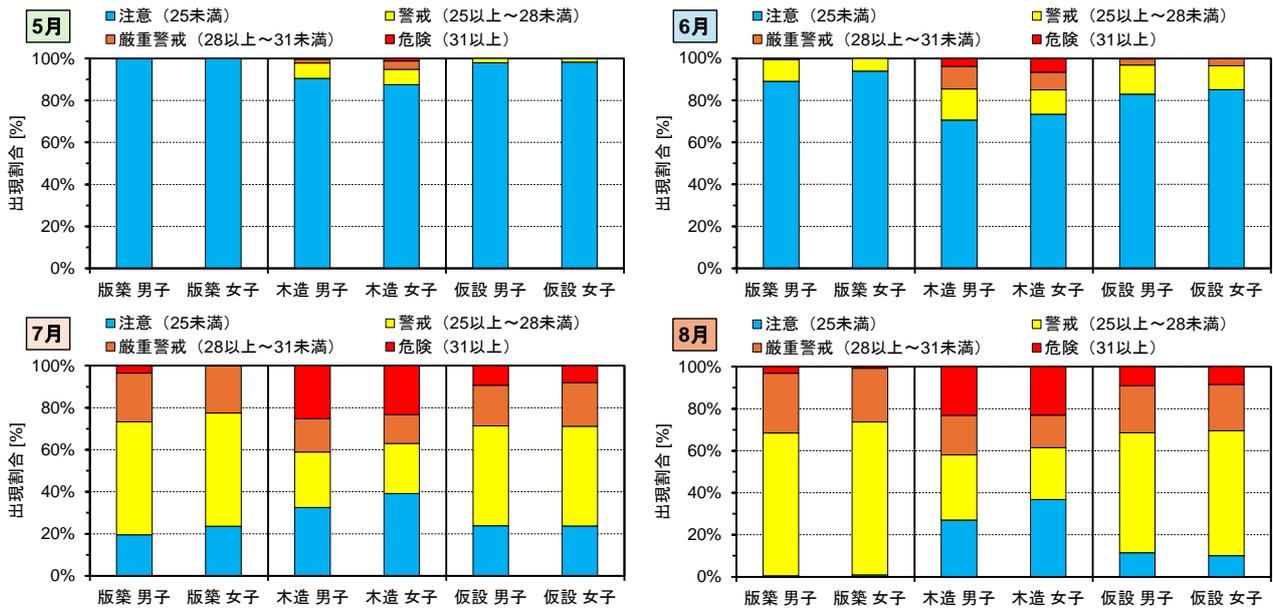


図 6：各トイレにおける 5～8 月の暑さ指数 (WBGT) の出現割合

木造トイレは 10～12%の割合で 25 以上となる割合が出現している。6月では、各トイレで 25 以上となる割合が明確にみられ、その割合は、版築バイオトイレで 10～14%、木造トイレで 29～32%、仮設トイレで 17～20%となり、特に木造トイレは 31 以上の割合も 3.6～6.4%みられる。7月では、3つのトイレともに 5～6月と比較して 25 未満の割合が少なくなり、木造トイレは 31 以上の割合が 23～25%を占めている。一方、版築バイオトイレと仮設トイレは 31 以上の割合は少なく、25 以上 28 未満の割合が最も多くなるが、25 未満の割合は木造トイレの方が高くなる。8月では、7月と同様な傾向にあるが、版築バイオトイレは、他の 2つと比較して、31 以上の割合は少ないものの、25 未満の割合は殆どみられなくなり、これは夜間の温度と相対湿度が他の 2つのトイレよりも高いことが影響していると考えられる。

### 3.4 ニオイセンサーレベル値

図 7 に各トイレにおけるニオイセンサーレベル値を示す。ニオイセンサーレベル値は、ニオイの強弱を 0～2,000 の数値で表示したものであり、ニオイの相対的な比較が可能な指標である。ニオイセンサーレベル値は、木造トイレは他の 2つと比較して顕著に高く、これは木材の香りにセンサーが反応した結果であり、一般的なトイレの悪臭とは異なるものである。版築バイオトイレと仮設トイレは、殆どの測定回で 5～30 の値を示し、梅雨期から夏期にかけて高くなる傾向にある。筆者らの主観的な印象では、版築バイオトイレは木材や湿っぽい土、木造トイレは天然の木材といった臭いであり、不快は感じないが、仮設トイレはやや尿の臭いを感じる。

## 4. まとめ

本報では、埼玉県三芳町の里山体験フィールド内に建設された版築バイオトイレを対象とした室内環境の実測調査を行い、室内の温湿度変動の他、5～8 月の暑さ指数の出現割合、ニオイセンサーレベル値について同敷地内にある木造トイレや仮設トイレと比較した結果を報告した。

今後も実測調査を継続し、各季節における環境性能や年間を通じた調査結果について分析する予定である。

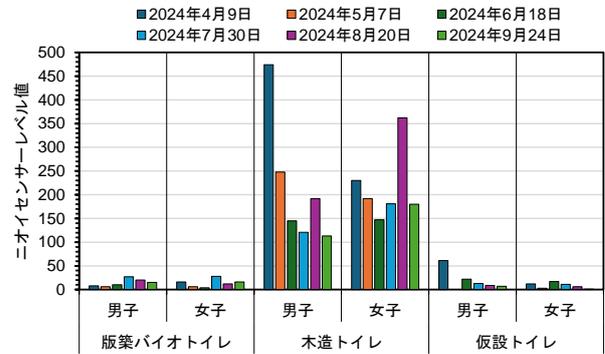


図 7：各トイレにおけるニオイセンサーレベル値

## 謝 辞

実測調査の実施にあたり、前橋工科大学大学院生の木村秀斗氏、学部 4 年生の南貴治氏にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 三田村輝章, 石川恒夫, 堤 洋樹: 版築壁で構成する実験シェルターを対象とした温湿度環境と初期含水率に関する実測調査, 日本建築学会技術報告集 第 28 巻 第 68 号, pp.302-307, 2022 年 2 月
- 2) 建設技術審査証明協議会 建設技術審査証明 NS-10 建設廃棄物に含まれる土砂を再利用した盛土材, <https://www.jacic.or.jp/jacic-hp/node/19214> (2024 年 10 月閲覧)
- 3) BIO-SCIENCE 高嶋開発工学総合研究所, <https://y-takashima.jimdofree.com/> (2024 年 10 月閲覧)
- 4) 平成 25 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 参考資料 1 人の行動に係る評価手法の検討, 一般社団法人 環境情報科学センター, 平成 26 年 3 月
- 5) 環境省 熱中症予防情報サイト 暑さ指数について, <https://www.wbgt.env.go.jp/sp/> (2024 年 10 月閲覧)