

打ち水で涼しくするには

谷本 雄太 黒島 悠太郎 岡田 海飛

1 動機と目的

近年のヒートアイランド現象により体感温度が上昇し日常生活が不快に感じる。そのために打ち水をする事によって体感温度を下げ生活を快適にしたいと思った。だが、打ち水によって湿度が大きくなり上昇してしまうと、逆に体感温度が上昇してしまうことが分かった。そのため打ち水をするのに適した環境条件を明らかにしたいと思った。

2 先行研究について

日本気象協会が推進する「熱中症ゼロへ」プロジェクトの一環として行われている調査、研究であり、熱中症の予防に役立つ情報を科学的に収集・発信する「熱ゼロ研究レポート」によると、日陰で散水するほうが地面に水が長く留まり易くなり気温の低下がみられやすくなる。これは日向で行うと、水がすぐに蒸発し、打ち水の効果での気化熱による気温の低下が短い時間しか見られないためである。また打ち水をした地点からの高さが高いほど気温低減効果が低くなる。これは打ち水により冷やされた路面との距離が大きくなるためである。さらに「打ち水による熱環境緩和作用」によると、打ち水の効果は1時間程度であり、どの時間に散水してもあまり効果は変わらない。そして先行研究では気温や路面の表面温度、日射量などの変数に注目しており、体感温度についてはあまり触れられていなかった。さらに先行研究では大規模な散水が多く小規模な散水は行われていなかった。

3 実験における前提条件

打ち水は水と地面及び空気の温度差による気温の低下と潜熱による気温の低下の両方の作用によるものである。

本研究における散水量については、初め一般的なお風呂の水量(1)×高松市の世帯数/高松市の面積(m²)として計算したところ100(ml/m²)となり、これでは1m²に水が行き渡らず少なすぎると考えた。そのため2008年、2009年に行われた「道路散水効果検証実験」(大阪)では対象道路は6車線(1車線あたりの幅員3.5m)で構成されており、1kmあたり約10トンの水が散水されていたため、この実験を参考に10000(1)÷(3.5×6×1000)m²と計算し0.476...(1/m²)という値になった。これより散水量を500ml/m²で実験することにした。体感温度を求める際には顕熱放散と潜熱放散の両方を考慮でき、風速、気温、湿度の3つの変数を使うことのできる次に示すミスナール改良計算式(ただしt=気温(°C)、h=湿度(%),v=風速(m/s)A=1.76+1.4v^{0.75}である)を使った。

$$T_m = 37 - \frac{37 - t}{0.68 - 0.0014h + \frac{1}{A}} - 0.29t \times \left(1 - \frac{h}{100}\right)$$

4 実験

実験①

<準備物>

- ・Mother Tool/マザーツールマルチ環境測定器 LM-8102
- ・CANON FLIR Exx series /サーモグラフィ(表面温度測定器) CPA-E40A
- ・加圧式の霧吹き(モノタロウ)
- ・仕切り(縦1m,横1m,高さ40cm)

<方法>

- ① 実験前の気温、湿度、地面(アスファルト)の表面温度、風速を測定。
(散水地点の中心の地上から1.5mの地点)
- ② 散水範囲外に散水することがないように仕切りを使用して1m²に500mlの水を散水し5分刻みで1時間測定。
- ③ その際打ち水の効果の及んでいない周囲(打ち水地点から5m程離れた風上の同じ環境の場所)でも測定

を行うことで変化を調べる。

④ 結果からミスナール改良計算式をもとに体感温度を求める。



図1 実験の様子

〈結果〉

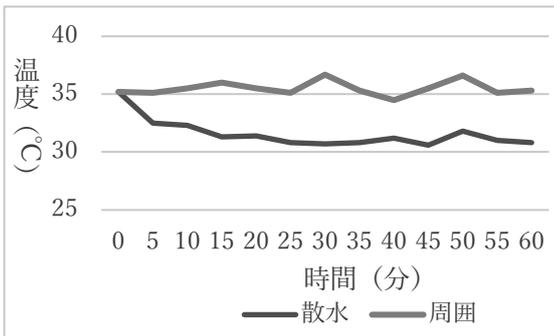


図2 実験① 2回目 路面温度の変化

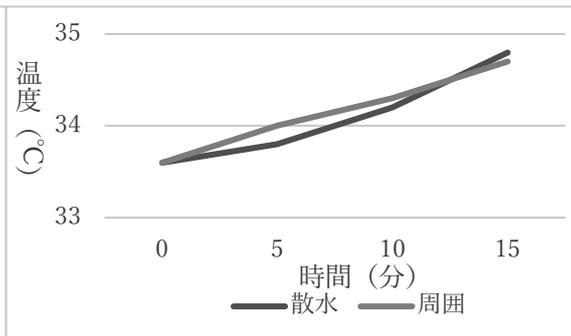


図3 実験① 1回目 気温の変化

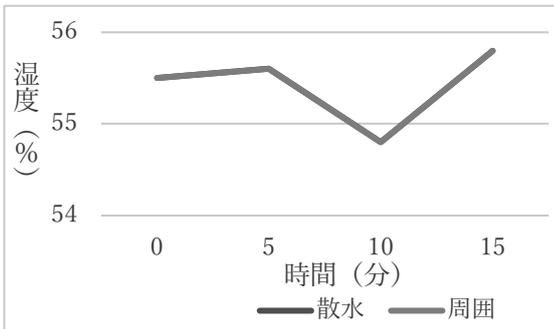


図4 実験① 1回目 湿度の変化

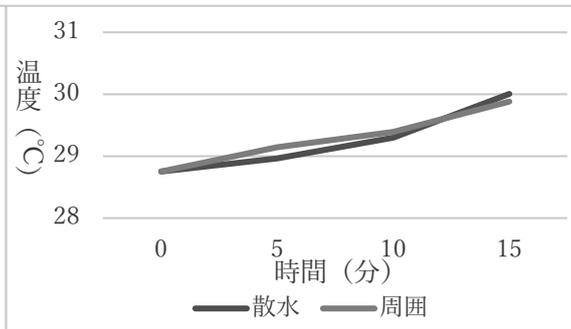


図5 実験① 1回目 体感温度の変化

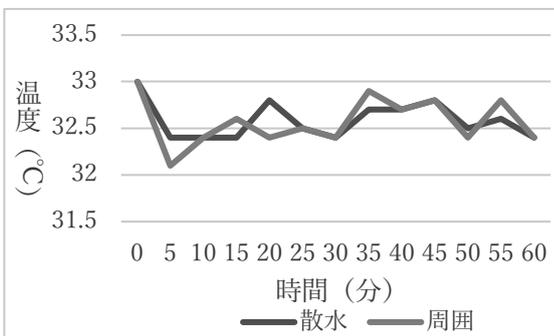


図6 実験① 2回目 気温の変化

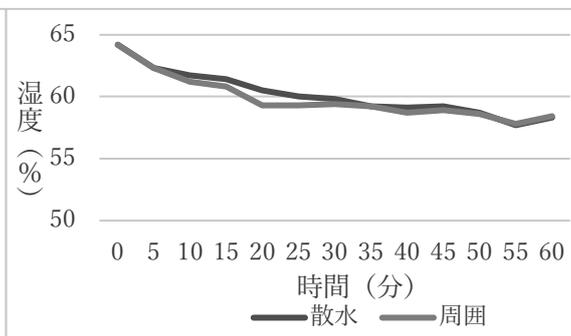


図7 実験① 2回目 湿度の変化

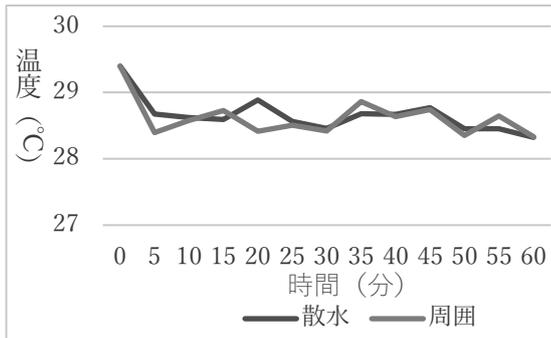


図8 実験① 2回目 体感温度の変化

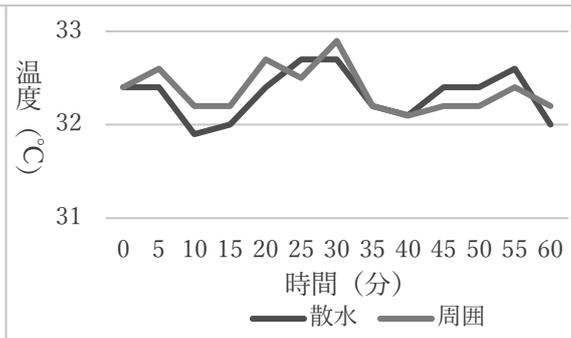


図9 実験① 3回目 気温の変化

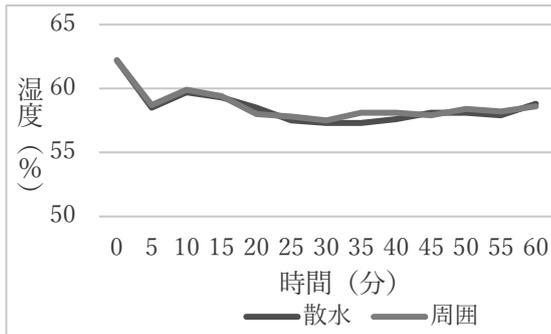


図10 実験① 3回目 湿度の変化

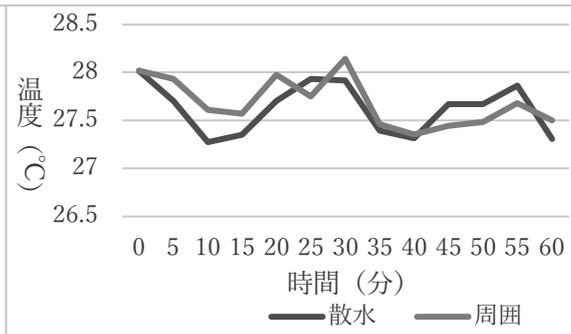


図11 実験① 3回目 体感温度の変化

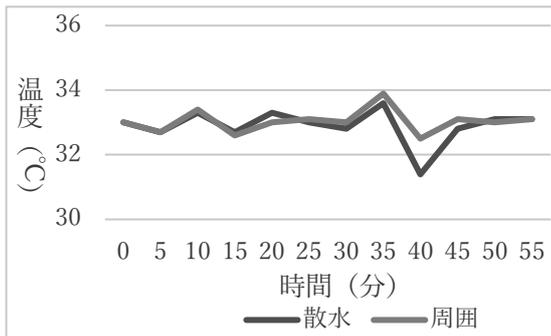


図12 実験① 4回目 気温の変化

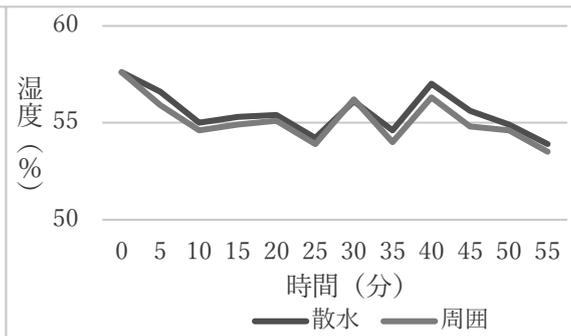


図13 実験① 4回目 湿度の変化

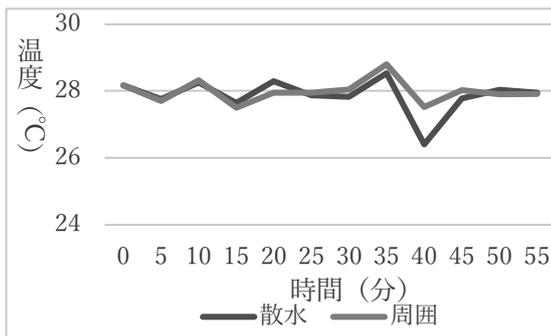


図14 実験① 4回目 体感温度の変化

実験を4回行ったものの、これらの結果があらわすようにすべての実験において図2のような路面温度の低下は見られたものの、顕著な気温の低下と湿度の上昇は見られず、それによる体感温度の低下は見られなかった。

<考察>

実験結果に有意な差は確認できなかったが、図12では40分の時点で気温が著しく低下している。これは清掃業者の方が周りで大規模な散水(掃除)を行っていたためであると考え。このことから、散水範囲が大きく影響するのではないかと考え、次の実験②を行った。

実験②

<方法>

実験①の打ち水をする範囲を4㎡に、打ち水する水の量を2lに変更した。

<結果>

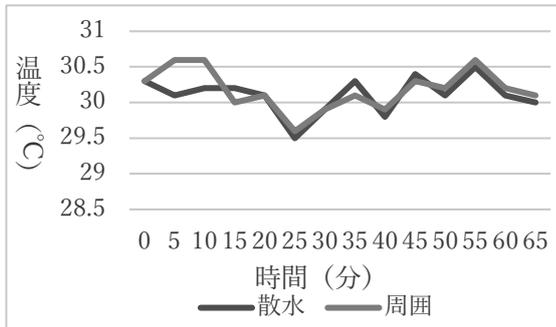


図15 実験② 1回目 気温の変化

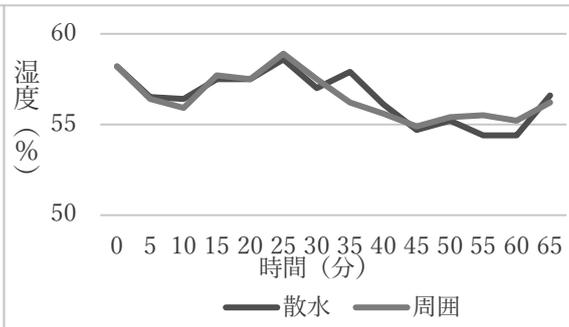


図16 実験② 1回目 湿度の変化

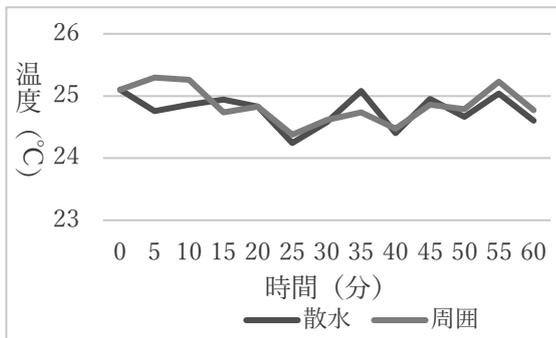


図17 実験② 1回目 体感温度の変化

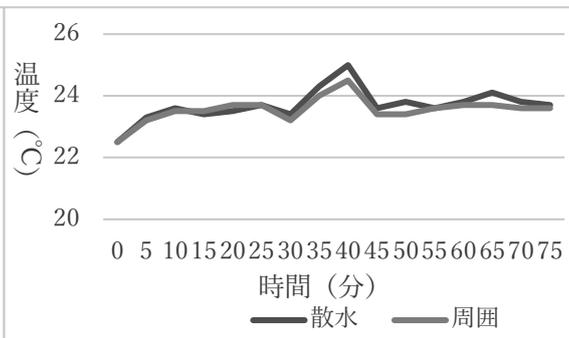


図18 実験② 2回目 気温の変化

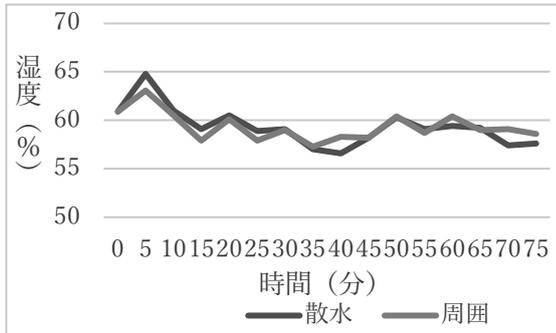


図19 実験② 2回目 湿度の変化

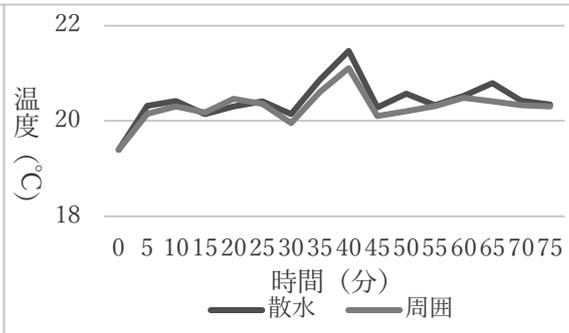


図20 実験② 2回目 体感温度の変化

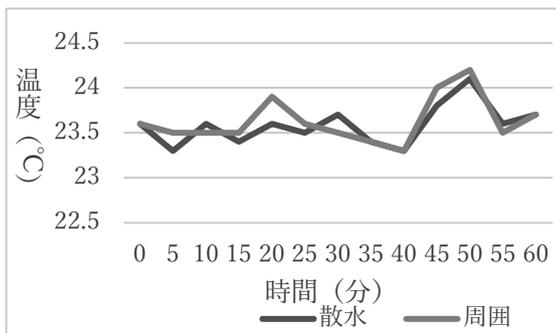


図21 実験② 3回目 気温の変化

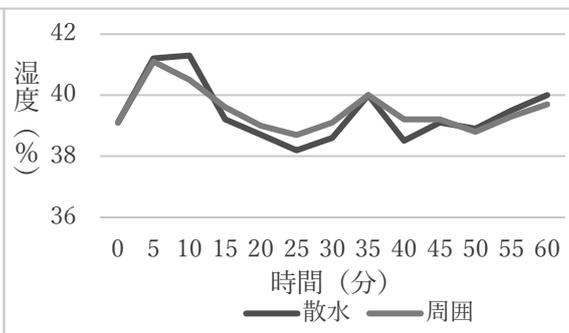


図22 実験② 3回目 湿度の変化

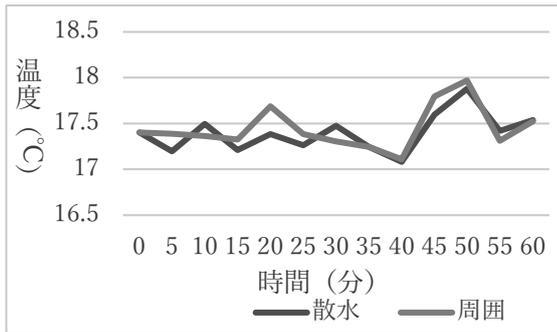


図23 実験② 3回目 体感温度の変化

実験を3回行ったが、気温の低下や湿度の上昇は見られなかった。

<考察>

先行研究より散水地点からの高さが高いほど気温の低減効果が見られにくいことが分かっているため実験①, ②における計測地点である 1.5mよりも低い地点では効果が観測できる可能性が考えられる。その確認として低い地点での計測を行う必要があると考え、次の実験③を行った。

実験③

<方法>実験②での計測地点を 1.5m, 0.5m, 0.1m の3か所に変更した。

<結果>

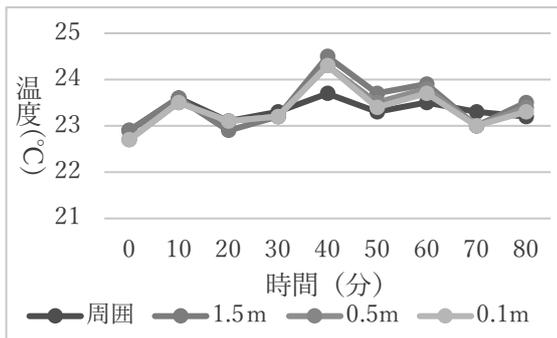


図24 実験③ 1回目 気温の変化

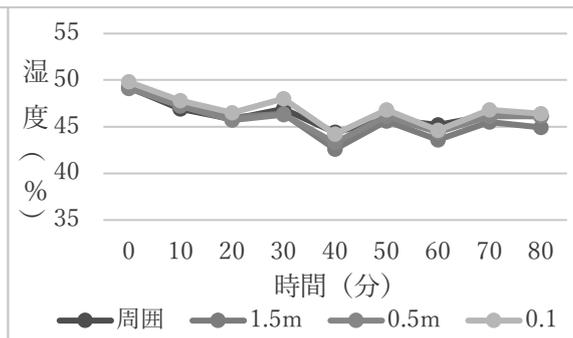


図25 実験③ 1回目 湿度の変化

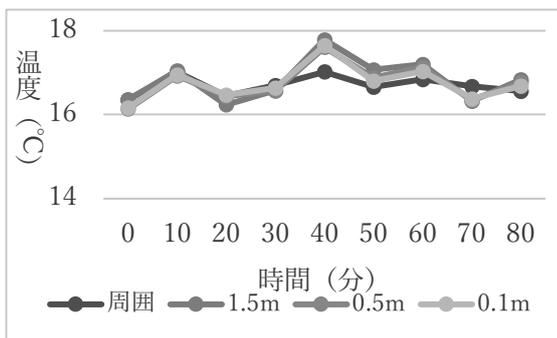


図26 実験③ 1回目 体感温度の変化

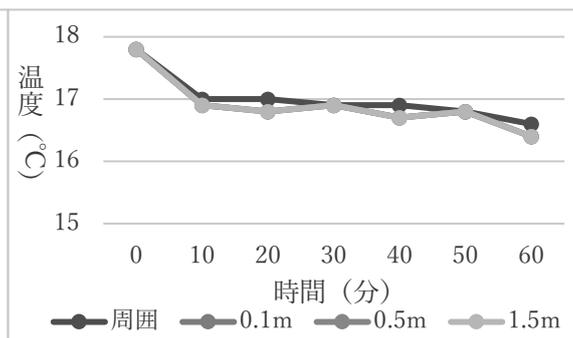


図27 実験③ 2回目 気温の変化

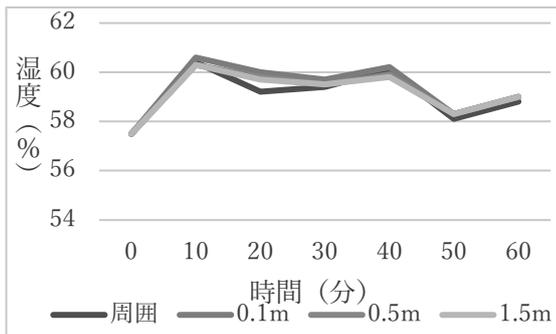


図28 実験③ 2回目 湿度の変化

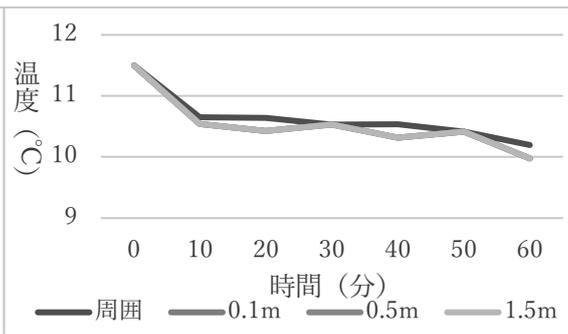


図29 実験③ 2回目 体感温度の変化

実験を2回行ったがそのすべてで路面温度の低下は見られたもののすべての高さで気温、湿度の両方に周囲との有意な差は見られなかった。

<考察>

4 m²ではまだ散水範囲が狭く、実験時の気温が低く水の蒸発量が少なかったため、効果がでなかったと考えられる。図26において、30分から40分の区間で体感温度が周囲と比べて上昇しているが、湿度の上昇がみられず、気温の上昇がみられたため、打ち水の効果ではなく環境要因によるものだと考えられる。要因としては散水地点の方が日向に近く、空気が温まりやすかったことが考えられる。4 m²では狭かったと考えられることや単位時間当たりの蒸発量を増やす必要があることから次の実験④を行った。

実験④

<方法>

実験①の散水範囲を25 m²にまで広げ、散水量を12.5lにして日陰と日向で実験を行った。また、気温の低下がみられた際に、実験における前提条件から、潜熱による影響と水の温度による影響を比較するために、12~15°C程度の冷水と常温の水を用いて実験を行った。

<結果>

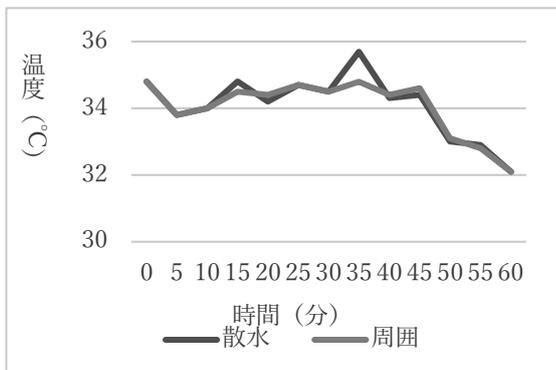


図30 実験④(冷水)の気温の変化 (日陰)

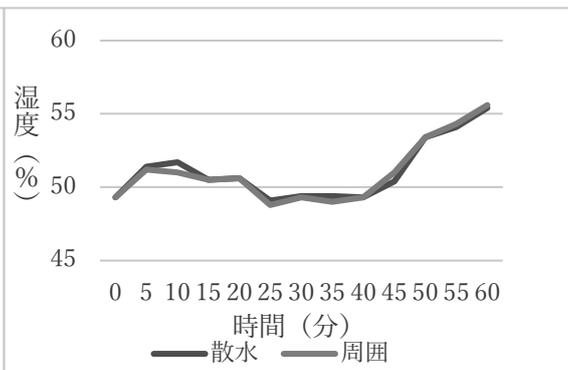


図31 実験④(冷水)の湿度の変化 (日陰)

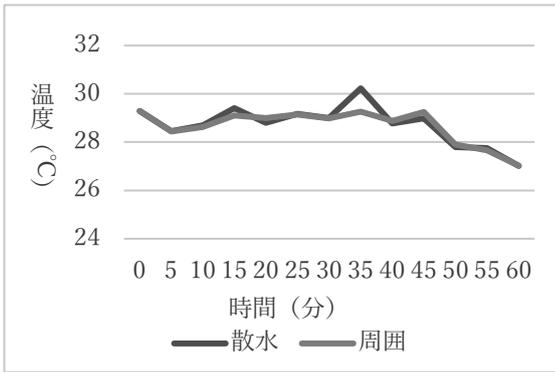


図 32 実験④(冷水)の体感温度の変化 (日陰)

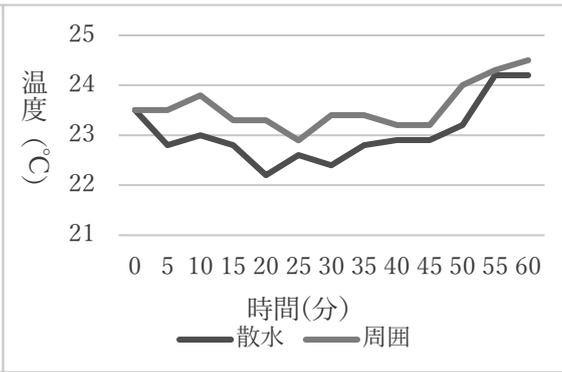


図 33 実験④(冷水)の気温の変化 (日向)

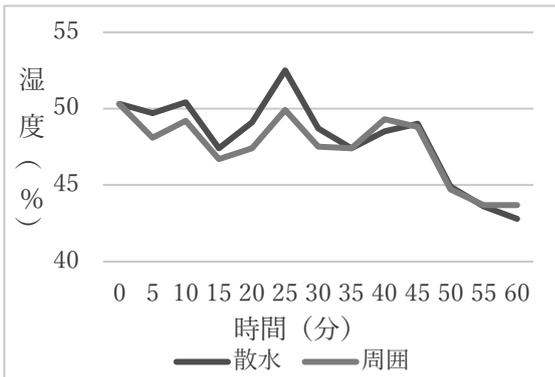


図 34 実験④(冷水)の湿度の変化 (日向)

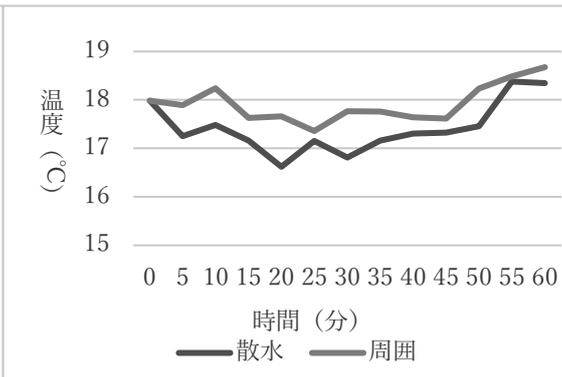


図 35 実験④(冷水)の体感温度の変化 (日向)

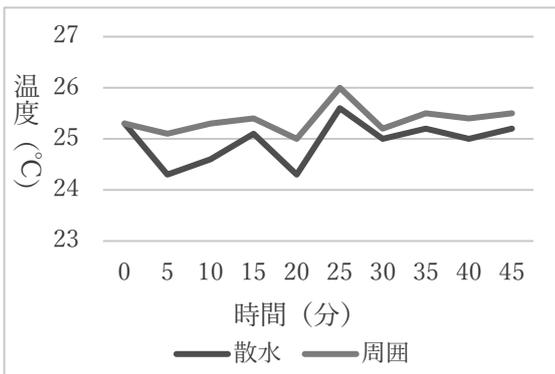


図 36 実験④(常温水)の気温の変化 (日向)

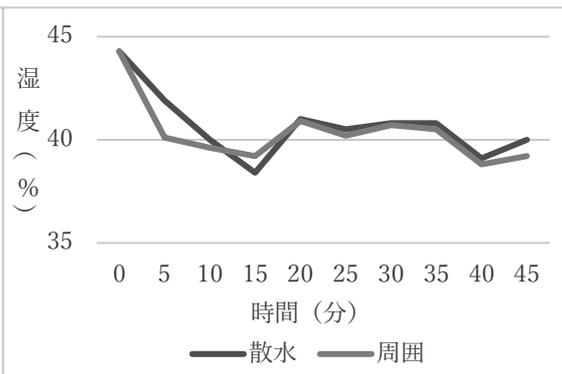


図 37 実験④(常温水)の湿度の変化 (日向)

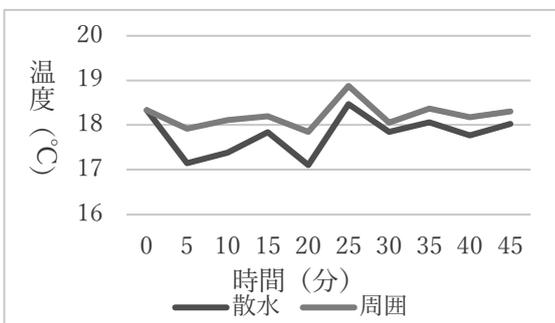


図 38 実験④(常温水)の体感温度の変化 (日向)

日陰において冷水で実験を行ったが、打ち水の効果は観測できなかった。日向での実験では、冷水、常温水のどちらでも打ち水による気温の低下と湿度の上昇がみられた。

<考察>

日陰において散水範囲を広げて実験を行ったが、打ち水の効果が観測できなかったことから、ある程度の水の蒸発がない条件下では、打ち水の効果が期待できないと考えられる。

冷水を用いた際と、常温の水を用いた際に気温の低下幅に大きな差はみられないため、打ち水による気温の低下は、水による冷却による影響はほとんどなく、潜熱によるものとわかる。図 33, 36 から気温の低下の持続時間には差がみられる。これは冷水のほうが完全に乾ききるまでの時間が長く、ある程度の水の蒸発が続いた時間が長かったためだと考えられる。また、打ち水では水が地面の熱を潜熱として空気中に移し、熱を持った水蒸気が風によって流されることで結果的に打ち水をした地点の気温が下がる可能性がある。逆に風が吹かなければ、地面の熱が空気中にとどまり、気温と湿度が上がってしまうのではないかと考え、その確認として次の実験⑤を行った。



図 39 実験装置

実験⑤

<追加の準備物>

- ・ 1 m²のアスファルト (マイルドパッチ使用)
- ・ ヒーター (気温調節用)
- ・ 支柱とビニールシート
- ・ 500ml の水 (常温)

<方法>

- ① アスファルトを支柱とビニールシートを用いて囲う。
- ② ヒーターを用いて実験装置内をヒーターによる気温上昇が止まるまで加熱する。
- ③ ヒーターでの加熱を続けながら散水する。
- ④ 散水の前でサーモグラフィを用いてアスファルトの温度を測定する。
- ⑤ 気温、湿度を 5 分ごとに 1 時間測定する。

<結果>

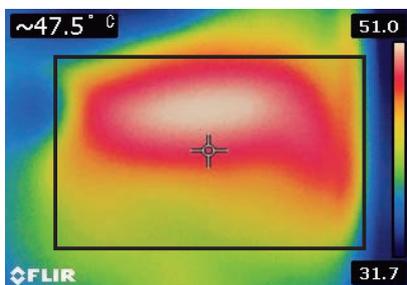
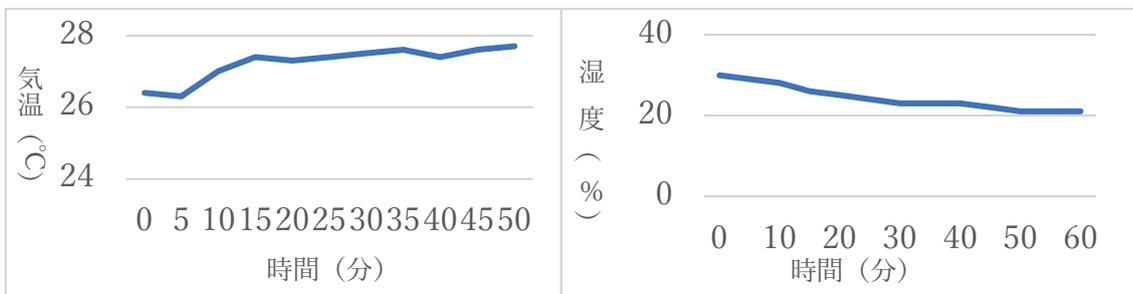


図 42 実験⑤サーモグラフィで測定したアスファルトの温度 (散水前)

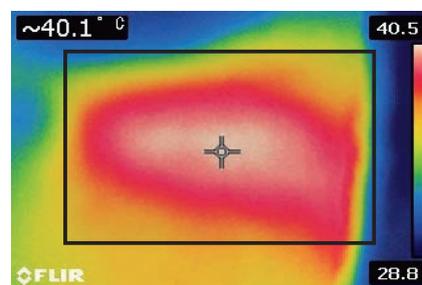


図 43 実験⑤サーモグラフィで測定したアスファルトの温度 (散水直後)

気温の上昇と湿度の低下がみられた。路面温度は約 10°C 低下していた。

<考察5>

気温は上昇しているが湿度が上昇していないため水が蒸発したとは考えられず、水蒸気による気温の上昇ではないと考えられる。図42、43からアスファルトの温度が一番高いところで約40度と夏の日向の路面温度に比べて低く、それにより水が蒸発しにくかったと考えられる。

5 結論

打ち水の気温の低減効果と散水する水の温度は関係が薄い。しかし低い温度の水は常温の水に比べ、蒸発に時間がかかるため打ち水の効果が長続きすることが分かった。また、日陰での打ち水では気温の低下を観察することができず、先行研究とは異なる結果が得られた。これは日陰では路面温度と気温が低く、日向に比べ蒸発量が少なくなってしまう打ち水の効果が出なかったのではないかと考察した。また、打ち水では水が地面の熱を潜熱として空気中に移し、熱を持った水蒸気が風によって流されることで結果的に打ち水をした地点の気温が下がるのではないかと考えている。実験⑤において無風の環境下における打ち水の効果を上手く測定することができなかったため、風の働きを明確にはできなかったが、風の働きが重要であるとすれば、打ち水にはある程度の蒸発量が確保できるひなたであり、かつ風通しの良い環境が適していると考えられる。

6 今後の展望

- ・日向で散水をすれば範囲が狭かったとしても打ち水の効果が得られるのか確かめるために、日向において散水範囲を2.5㎡よりも狭めて実験を行う。
- ・単位時間あたりどの程度の蒸発量があれば打ち水の効果が観測できるのか調べる。
- ・室内での実験においてアスファルトの温度を均一に夏場の日向と同程度の60℃まで温め、風がどのように打ち水に影響するのかを調べるための実験方法を確立する。

7 参考文献

- ・日本ヒートアイランド学会（編）．ヒートアイランドの事典一仕組みを知り、対策を図る．朝倉書店.2015.
- ・豊島区公式ホームページ”熱中症ゼロへ”打ち水効果をサーモカメラで観察！ | 熱ゼロ研究所 <https://www.netsuzero.jp/netsu-lab/lab07>（参照 2024-7-24）
- ・加藤拓磨 ， 手計太一 ， 土屋修一 ， 山田正 ．“打ち水による熱環境緩和作用”．2007-9-30. https://www.jstage.jst.go.jp/article/prohe1990/52/0/52_0_277/_pdf-char/en