

散水によるアスファルト上の暑熱環境緩和効果

諸泉利嗣* 伊藤尚也** 三浦健志***

Mitigation Effect of Thermal Environment on the Asphalt by Sprayed Water

Toshitsugu MOROIZUMI* Naoya ITO**, and Takeshi MIURA***

In this study, water was sprinkled on the asphalt surface during the hottest hours of the day using a sprinkler, and the effect was experimentally verified. An air temperature, a humidity, a ground surface temperature, and a globe temperature which is radiant heat from the ground were measured, and using these measurements, WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature), which is an index of thermal stress on the human body, was calculated. In this way, we investigated not only the climate mitigation effect but also the mitigation effect of the thermal environment felt by the human body.

As a result, the following points were clarified in this study: 1) During sprinkling, the air temperature, the black globe temperature, and the WBGT were lower in the sprinkled area than in the controlled area, and the wet-bulb temperature hardly changed. 2) Focusing on the amount of change after watering compared to before watering, the air temperature, the globe temperature, and the WBGT decreased, and the wet-bulb temperature hardly changed. 3) In the sprinkled area, when the WBGT value just before watering is higher than that of the strict caution (WBGT is 28°C or higher), it drops to a level one rank lower, and when the WBGT value just before watering is warning (WBGT value is 25°C or higher), it was almost no change.

Key words: WBGT, Air temperature, Globe Temperature, Thermal environment, Sprayed water

1 はじめに

地球温暖化による影響が世界各地で起きている。南極・北極の氷が融けたり、異常気象や気候変動や生態系の変化が見られたりしており、世界中で懸念されている。日本でも温暖化の影響を受けており、特に都市部では、ヒートアイランド現象が深刻な問題として挙げられる。ヒートアイランド現象とは、都市部の気温がその周辺の郊外部に比べて高温を示す現象であり、原因は緑地や水面の減少、アスファルトやコンクリートに覆われた地面の増大、人間活動に伴う排熱増加、ビルの密集による風通しの悪化などである。こうした都市化による猛暑日や熱帯夜の増加から熱中症患者が増加している。

この事態の解決法を模索する中で、日本では打ち水が従

来から行われており、その効果の実験的、理論的な研究も進められている（例えば、木内ら、1994；狩野ら、2004；土屋ら、2005；吉岡ら、2010）。既往の研究では、打ち水は朝方か夕方に行うと効果があるとされているが、日中に打ち水を行うことでどのくらいの効果が得られるかは検証されていない。

本研究では、日中の最も暑い時間帯のアスファルト面にスプリンクラーを用いて散水し、その効果を実験的に検証した。気温、湿度、地表面温度、地面からの輻射熱である黒球温度を測定し、これらの測定値を用いて人体への熱ストレスの指標であるWBGT（Wet-Bulb Globe Temperature：湿球黒球温度）を算出した。これによって、気候緩和効果だけでなく人体の感じる暑熱環境の緩和効果についても検証した。

2 WBGTの概要

* 岡山大学大学院環境生命科学研究科

** 前田道路(株)

*** 岡山大学大学院環境生命科学研究科（名誉教授）

WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature) とは、人体に影響の大きい気温、湿度、輻射熱を取り入れた人体への熱ストレス指標のことであり、次式で算出される (日本体育協会編, 2006)。

$$WBGT = 0.7 \times T_w + 0.2 \times T_g + 0.1 \times T \quad (1)$$

ここで、 T_w は湿球温度 (°C)、 T_g は黒球温度 (°C)、 T は気温 (°C) である。

人間は 36~37°C の狭い範囲において体温を調節している恒温動物であり、体内の機能のためにはこの温度が最適であると言われている。周囲の気温が上昇し私たちが暑さを感じると、体温調節のため人体は発汗することで体内の熱を放出するとともに、汗の蒸発潜熱によって体を冷やそうとする。その際の熱伝導や蒸発効率には気温だけでなく他の気象環境も関係するため、単に気温が下がったからと言って人体への熱ストレスが減少したとは言えない。

WBGT 値を用いた評価指標として、人間の作業環境に合わせた熱中症予防のための指針が作成されている。この評価指標では WBGT 値が基準となるが、この数値はあくまで熱中症予防のために設けられているにすぎず、気温や湿度によっては評価を厳しくすることが必要である。評価指標の一例として、運動時の熱中症指針を表-1 示す。

表-1 運動時の熱中症指針 (日本体育協会編, 2006)

WBGT	熱中症予防のための運動指針
31°C以上	運動は原則中止 WBGT 31°C以上では、皮膚温度より気温の方が高くなり、体から熱を逃がすことができない。特別の場合以外は運動を中止する。
28°C以上	嚴重警戒 熱中症の危険が高いので、激しい運動や時給給などは避ける。体力の低いもの、暑さに慣れていないものは運動中止。運動する場合は積極的に休息をとり、水分補給を行う。
25°C以上	警戒 熱中症の危険が増すため、積極的に休息をとり、水分を補給する。激しい運動では 30 分おきくらいに休息をとる。
21°C以上	注意 熱中症による死亡事故が発生する危険性がある。熱中症の兆候に注意しながら、運動の合間には積極的に水分を補給する。
21°C未満	ほぼ安全 通常は熱中症の危険は少ないが、水分の補給は必要。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意する。

3 実験方法

実験は岡山大学農学部水利実験棟前のアスファルト面において、2015 年 8 月 5 日~9 月 18 日に 7 回行った。高度 150cm と高度 30cm に気温と相対湿度を測定する機器を取り付け、図-1 のように配置した。また、蛇口にホースを取り付け、それをスプリンクラーに接続し、蛇口の栓を全開にして散水した。表-2 に測定項目と機器について示す。また、WBGT を求める際に湿球温度の値が必要であるため、測定した気温から Tetens の近似式を用いて飽和水蒸気圧を求め、測定した相対湿度と求められた飽和水蒸気圧から水蒸気圧を求めた。さらに、気温、飽和水蒸気圧および水蒸気圧から Sprung の式を用いて湿球温度を求めた。

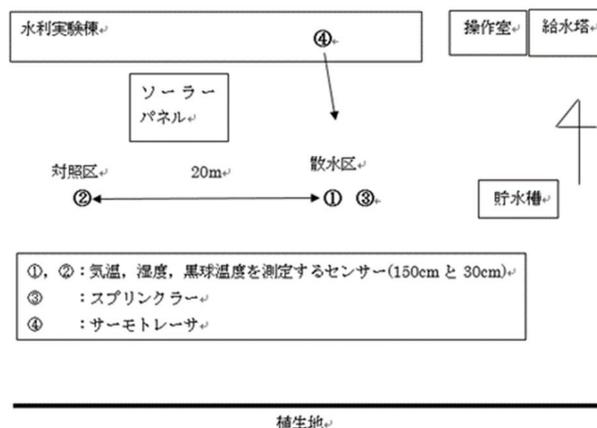


図-1 測定機器と配置

表-2 測定項目と機器

測定項目	測定機器	測定高度(cm)	測定間隔
気温	シールド	30 or 150	10sec
相対湿度	湿度センサー		
黒球温度	黒球+温度センサー		
地表面温度	サーモレーサ	-	散水開始5分前~開始30分後 1min
			開始30分後~測定終了 5min

日射量のデータとして岡山大学環境理工学部北東にある誕生池で測定されたものを使用した。

4 結果と考察

4.1 気温・湿球温度・黒球温度の変化

実験結果の一例として 2015 年 8 月 5 日の高度 150cm における気温、湿球温度、黒球温度および日射量の経時変化のグラフを図-2 示す。散水前の気温と黒球温度では対照区の方が高いことが分かる。散水中になると散水区の気温と黒球温度は日射量が大きいかにも関わらず低下し、対照区との差が広がった。散水後になると、散水区の気温と黒球温度は上昇し、対照区の値に近づいた。散水区と対照区の湿球温度は実験中はあまり変わらないことが分かる。高度 30cm では散水前の散水区の気温と黒球温度は対照区よりも高いが、散水中に散水区の気温と黒球温度は低下し、対照区よりも下回った。また、その変化量は高度 150cm よりも大きかった。散水後の散水区の気温と黒球温度は上昇し、対照区の値に近づくが、戻る時間は高度 150cm よりも長かった。

4.2 WBGT の変化

図-3 に 2015 年 8 月 5 日の高度 150cm における WBGT の経時変化を示す。散水前は散水区と対照区の WBGT は運動原則禁止 (WBGT が 31°C 以上) の範囲にあったが、散水が始まると、散水区の WBGT は低下し、嚴重警戒 (WBGT が 28°C 以上, 31°C 未満) のところまで下がった。しかし、散水が終わると、すぐに対照区と同じ値に近づいた。高度

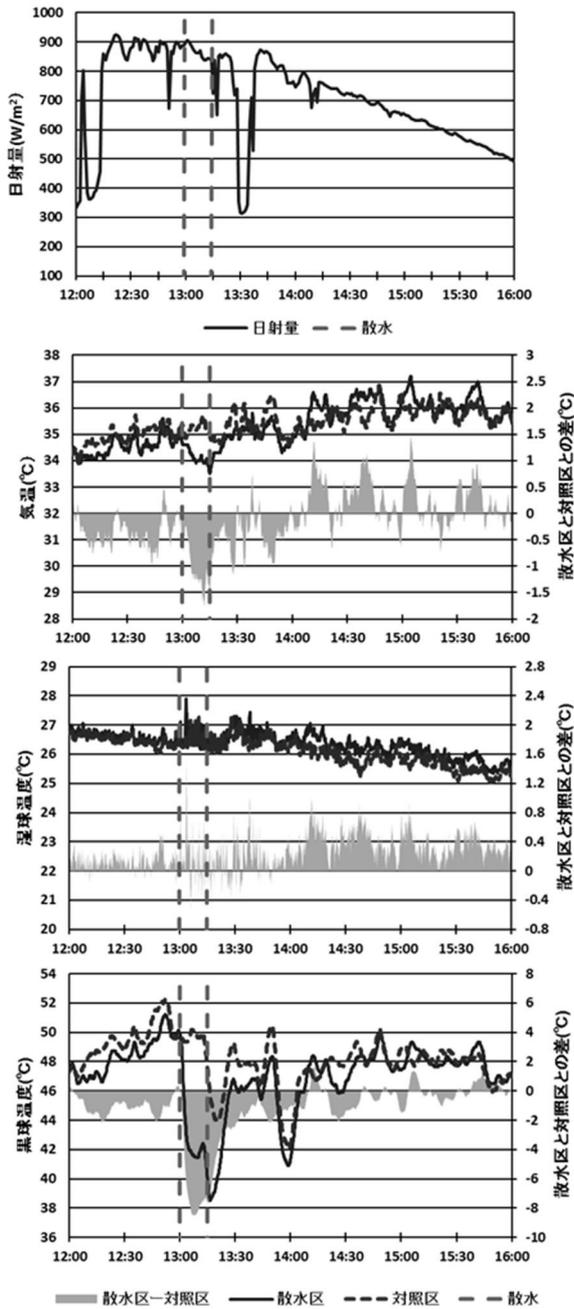


図-2 2015年8月5日の気温、湿球温度、黒球温度および日射量の経時変化

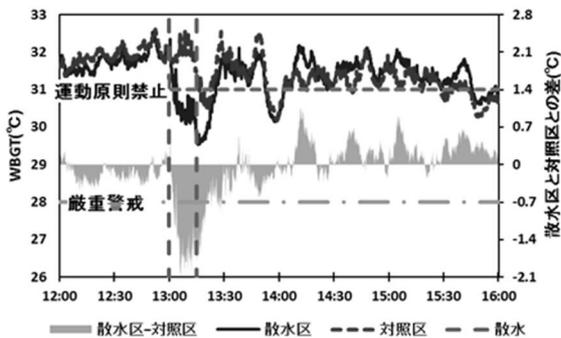


図-3 WBGTの経時変化

30cmについて、高度150cmと同じように散水中にWBGTは低下したが、その低下量は高度30cmの方が大きかった。

4.3 散水直前のWBGTとWBGT低下量

散水区の散水開始1分前のWBGT値を散水直前のWBGT値とし、散水中のWBGTの最低値を求め、直前のWBGT値から最低値を引いたものを散水中のWBGT低下量とした。散水直前のWBGT値と散水中のWBGTの低下量に相関があるか調べるため、図-4に散水区における散水直前のWBGTと散水中のWBGT低下量の関係を示す。高度150cmと30cmの近似直線の傾きから高度30cmの方が低下量は大きいことが分かる。ただ、両高度とも決定係数が低いことから、散水直前のWBGT値と散水中のWBGT低下量の相関はあまり見られなかった。

4.4 散水直前のWBGTと散水中のWBGTの最低値

図-5に散水区における散水直前のWBGT値と散水中のWBGTの最低値の関係を示す。1:1直線との位置関係から散水によりWBGT値の低下が生じたことが分かる。また、散水直前のWBGT値が高いほど低下量は大きくなり、回帰直線の傾きから高度30cmの方が高度150cmよりも低下量は大きいことが分かる。両高度とも散水によりWBGTは低下したが、散水直前のWBGT値が運動原則禁止

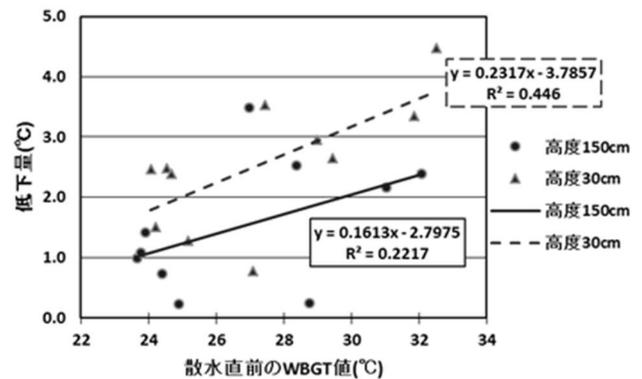


図-4 散水直前のWBGT値と散水中のWBGT低下量

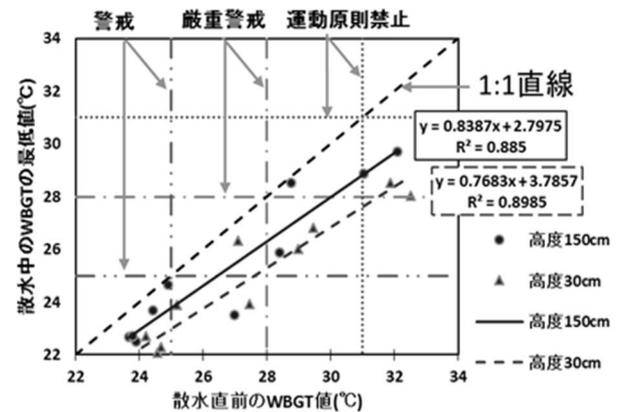


図-5 散水直前のWBGT値と散水中のWBGTの最低値の散布図

(WBGT 値が 31℃以上) の場合は散水によって嚴重警戒 (WBGT 値が 28℃以上, 31℃未満) まで下がり, 散水直前の WBGT 値が嚴重警戒(WBGT 値が 28℃以上)の時には散水によって警戒 (WBGT 値が 25℃以上, 28℃未満) のところまで下がることが分かる。ただ, 散水直前の WBGT 値が警戒 (WBGT 値が 25℃以上) の時はほとんど変わらないことがわかった。

5 おわりに

本研究では以下の点が明らかとなった。

- 1) 散水中に散水区の方が気温, 黒球温度, WBGT は低くなり, 湿球温度はほとんど変化しなかった。
- 2) 散水前に対する散水後の変化量に着目すると, 気温, 黒球温度, WBGT は減少し, 湿球温度はほとんど変化しなかった。
- 3) 高度 150cm と高度 30cm の比較をすると, 高度 30cm の方が散水中の散水区と対照区の差の平均値は大きく, 散水前に対する散水後の変化量の絶対値も大きかった。
- 4) 散水区内で見ると, 散水直前の WBGT 値が嚴重警戒 (WBGT が 28℃以上) よりも高いときは 1 ランク下のレベルまで下がり, 散水直前の WBGT 値が警戒 (WBGT 値が 25℃以上) の時はほとんど変化しなかった。

今回の実験では, 散水時間や散水強度が各実験日でほとんど同じであったことから, 総散水量が気温, 湿度, WBGT に与える影響については検討できなかった。また, 風速が散水効果に与える影響についても検討する必要がある。さらに, 総散水量, 散水前の各気象要素の値, 散水時間および散水中の日射量から散水中の気温, 黒球温度, WBGT の低下量や散水後の持続時間を推定可能にすることが, 今後の課題であると考えている。

謝辞: 本研究は平成 24 年度(財)ウエスコ学術振興財団学術研究費助成事業の助成を受けました。また, 岡山大学環境理工学部平成 25 年卒業の瀬崎歩美さん及び平成 27 年卒業の津村悠斗さんには実験等でご協力を得ました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 狩野学, 手計太一, 木内豪, 榊茂之, 山田正: 打ち水の効果に関する社会実験と数値計算を用いた検証, 水工論集, 48, pp.193-198.
- 木内豪, 神田学, 栗城稔, 小林裕明 (1994): 都市散水による気候緩和効果の現地観測, 水工論集, 38, pp.381-386.
- 日本体育協会編 (2006): スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック, 日本体育協会, p.15-16.

土屋修一, 加藤琢磨, 手計太一, 山田正 (2005): 打ち水による市街地の熱環境緩和効果, 水工論集, 49, pp.362~372.

吉岡真弓, 登坂博行, 中川康一 (2010): 大気・地下連成 - 水・熱環境モデルを用いた屋外散水実験の再現性の検討, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.5, pp.24-32.