

打ち水による市街地の熱環境緩和効果

Mitigation Effects of Thermal Environment of Urban Area by Watering

土屋修一¹・加藤拓磨¹・手計太一²・山田正³

Shuichi TSUCHIYA, Takuma KATO, Taichi TEBAKARI and Tadashi YAMADA

¹学生員 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

²正会員 修士(工学) 独立行政法人土木研究所 水工研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

³正会員 工博 中央大学 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

The social experiment was carried out for the purpose of the mitigation of the heat island effect by watering on August 18th to 25th. The microclimate observation has been carried out at watering area in Eastern Tokyo. As the results, the effect of the watering on the thermal environment in urban area was evaluated as decreasing effect on temperature. The following results were obtained; 1)The temperature variation in the daytime is included to be different every site because of the dispersion of surface temperature. 2)The air temperature in the experiment area is from 2 to 9[degree] higher than temperature in thermometer shelter by the effect of long radiation. 3)The temperature decrease instantaneously when watering starts. 4)The temperature decreases 0.66[degree] on average, 1.93[degree] on maximum after the watering. 5)Total amount of decreasing temperature is decreased linearly by the distance from the point of watering.

Key Words: Watering, Heat Island, Thermal Environment

1. はじめに

2004 年夏は連続真夏日(日最高気温 30 以上)の最長記録の更新が日本各地で相次ぐ記録的な猛暑であった。東京・大手町においても、7 月 6 日から続いた連続真夏日が 40 日を越え、気象庁が大手町で観測を開始した 1923 年以降の最長記録を更新した。また年間真夏日の合計日数についても、70 日に達し 2000 年の 67 日という記録を更新した。このような記録的な猛暑や新潟、福井などでの集中豪雨の原因の一つとして、太平洋中央部の水温上昇が挙げられている。

さらに都市部でのヒートアイランドに代表されるような特殊な都市気候が、気温上昇の要因となっていることは古くから研究されている¹⁾。東京などの大都市内では郊外に比べて昼間の貯熱が大きく、夜間の地面からの放熱が小さいため、大気の上層で気温が低下し地表近くで比較的高温となる。その結果、地表付近に逆転層が生じ、逃げ場を失った高温の空気塊が島のように取り残される。このような、いわゆるヒートアイランド現象の原因として、地面の大半を建物やコンクリート、アスファルトの道路に覆うことによる樹木や水面の減少、オフィスビルや交通機関など都市機能を維持する人間活動に伴う排熱

などが挙げられる。これらの対策として、ビルの緑化(ビルの屋上や周囲に芝生を植える、花壇を設ける、樹木を植える、人工的な池などの造成など)、空調システムの効率化、建物の断熱(材質、断熱材、窓ガラスの断熱)、太陽熱利用などの自然エネルギーの利用、都市排熱の有効利用(工場、地下鉄、ビル、発電所、変電所などのコージェネレーション化)、沿道緑化(街路空間の緑化)や道路整備などによる交通対策、都市そのものの地形(風の道、水の道)といった地域特性を活かした改善などが挙げられる。

最近では、国土交通省が道路のアスファルトに保水性を持たせ、アスファルト内の水分が蒸発することで周囲の気温を下げる効果がある「保水性舗装」²⁾の普及に向け、2005 年度から本格的に自治体を支援することを決めた。太陽光のうち赤外線を反射して日中の路面温度上昇を抑制し、さらに蓄熱が減ることによる夜間の放熱の抑制を図る遮熱性舗装を利用してヒートアイランド抑制を試みる研究もある^{3), 4), 5)}。

このように都市の熱環境緩和のため多くの取り組みが行われている状況の下、2003 年夏から NPO 法人日本水フォーラムが主催して「打ち水大作戦」という社会実験が行われている⁶⁾。雨水や残り湯などの二次水を利用し、市民

表-1 打ち水開始時刻

	2003 年 8 月						
	18 日	19 日	20 日	21 日	22 日	23 日	25 日
午前(9:00)						1	
昼間(12:00)							
午後(16:00)							

1 雨天により打ち水は中止，観測は実施

表-2 総合気象観測項目

	日射量	降雨量	風向・風速	大気圧	温湿度
Point-A					1
Point-B					
Point-C					2
Point-D					2
Point-E					2

1 通風式乾・湿球計

2 百葉箱内・外で白金抵抗式温度計・静電容量式湿度計
(百葉箱外には 8 月 23 日より設置)

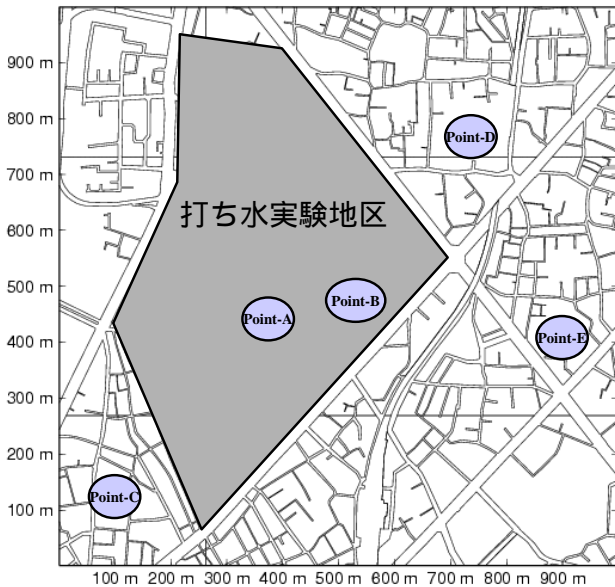


図-1 打ち水観測対象地域(打ち水実験地区面積約 0.3km²)

が自ら打ち水することによって気温を下げようという試みである。2004 年夏は 8 月 18 日から 25 日の一週間にわたり，日本各地で行われた。

本稿では東京都墨田区東向島地区の住民の協力を得て行われた気象観測の結果と打ち水による熱環境緩和効果の評価を行った。

2. 打ち水大作戦 2004

2003 年 3 月に京都で開催された第 3 回世界水フォーラムの閣僚宣言の中で世界の水問題を解決する一つの要素として「近隣社会の取り組み」が盛り込まれた。それを受け，第 3 回世界水フォーラム事務局が主体となり，雨水や再生水などの水の二次利用，再利用の促進と現代の都市問題の一つであるヒートアイランド現象の緩和を目的に，社会実験として 2003 年に引き続き 2004 年 8 月に「打ち水大作戦 2004」が行われた。「打ち水大作戦 2004」は，2004 年 8 月 18～25 日の間で全国各地，約 181 ヶ所で実施された。東京都内では約 105 ヶ所，参加人数は東京 23 区内で約 870,000 人(電話アンケートの推定による)の住民により行われ 2003 年の実験よりも実施箇所，参加人数ともに大規模なものとなった。

3. 打ち水実験概要

本研究で観測対象とした実験は 2004 年 8 月 18～25 日までの間，東京都墨田区東向島 1～3 丁目の約 0.3km²で行われた。観測対象地域を図-1 に示す。この地域は，いわゆる下町と呼ばれる地域で町会，商店街組合を中心として，打ち水に意欲的に参加・協力している。また，墨田区はこの地域に雨水貯留施設(天水樽)の設置を推進・支援

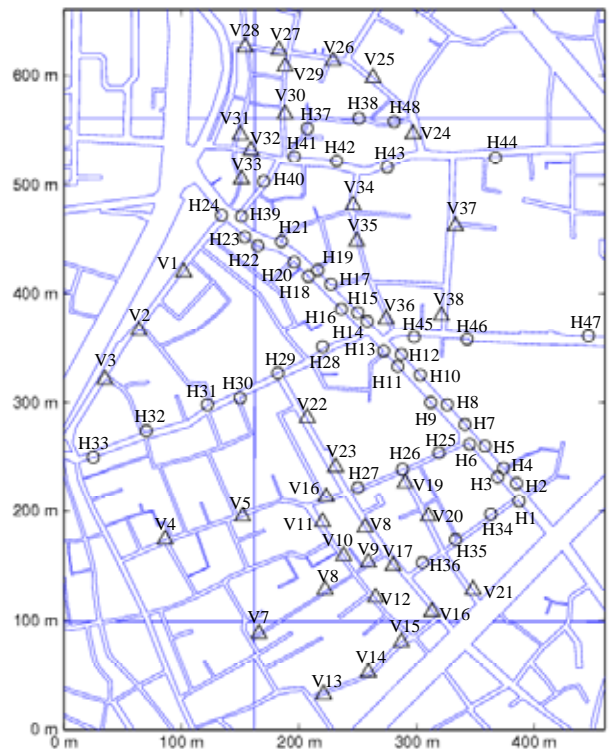


図-2 温湿度計設置図(定点観測 48 地点，追加観測 38 地点)

している。雨水などの 2 次水を利用した打ち水を行うのに適した地域であるため，この地域を重点地区として実験が行われた。この地域では，実験期間中の各日で打ち水が住民により道路，庭，マンションの屋上などで行われた。実験期間中に打ち水が行われた時刻を表-1 に示す。打ち水は，気温が上昇傾向にある午前中(9:00)，ピークあるいは高温となる正午(12:00)，下降傾向となる夕方(16:00)に行われ，それぞれの時間帯を各日で 1 回あるいは 2 回行われた。打ち水イベントとして 18 日，25 日に第一寺島小学校(Point-A)の校庭で打ち水が行われた。

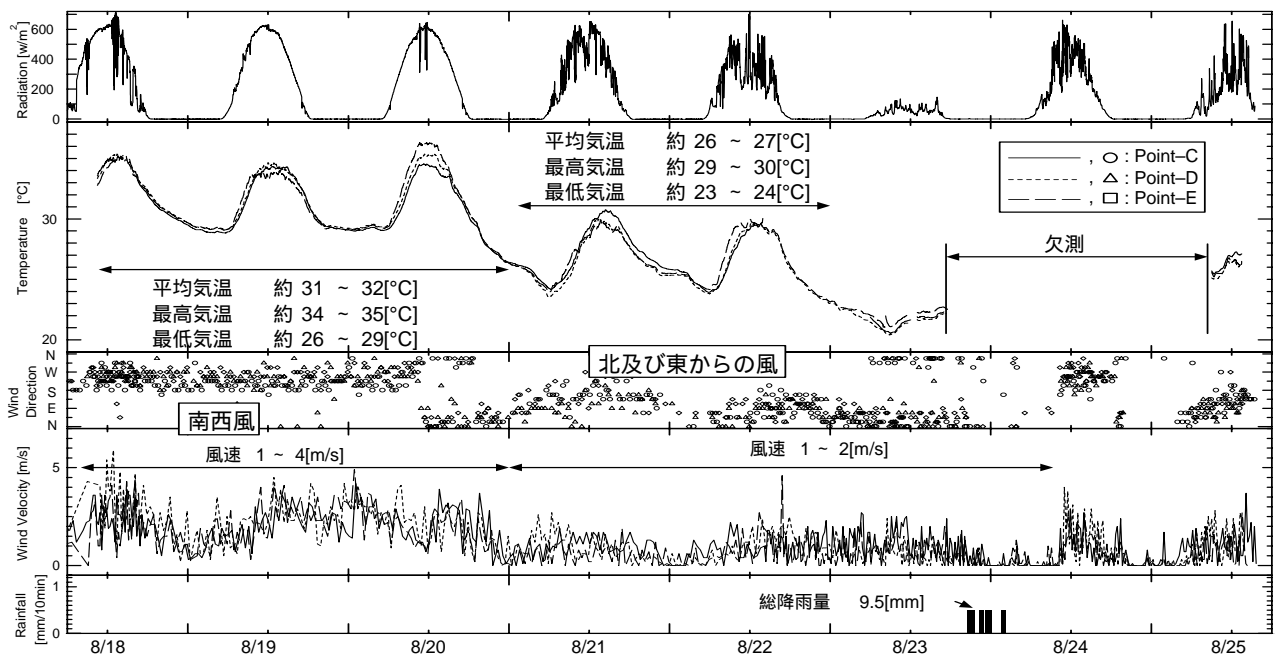


図-3 打ち水実験期間中の日射，気温，風向・風速，降雨量の時系列

日射：18～20日は日射の変動は小さい．21～22，24～25日は日中を通して日射の変動が大きい．気温：18～20日は気温34～35[]まで上昇．21～22日は気温29～30[]まで上昇．風向・風速：18～20日は南西風，風速は1～4m/s．21～23日は北及び東寄りの風，風速は1～2m/s．降雨量：23日21時～24日2時にかけて9.5[mm]．最大1時間雨量1.5[mm]，最大10分間降雨量0.5[mm]

4. 観測概要

(1) 総合気象観測

図-1に示すように打ち水の影響を受ける範囲内として第一寺島小学校(Point-A, 4階建)，墨田高校(Point-B, 4階建)，打ち水の影響範囲外として言問小学校(Point-C, 3階建)，第二寺島小学校(Point-D, 4階建)，第三寺島小学校(Point-E, 4階建)のそれぞれの屋上で総合的な気象観測を行い，打ち水実験期間中連続観測をした．各地点での観測項目を表-2に示す．

(2) 打ち水実験地区内温湿度観測

打ち水が行われると想定される地域内の86ヶ所に温湿度計を設置した．設置した温湿度計の分布図を図-2に示す．で示す地点(48ヶ所)では，定点観測を行い打ち水実験期間中，温湿度の連続観測をした．で示す地点(38ヶ所)では追加観測として18日，23日，25日に打ち水開始時刻の前後1時間30分，計3時間の温湿度の観測を行った．温度の計測には白金抵抗式，湿度は静電容量式のセンサーのOnset社及びVisala社製の温湿度計を用いた．温湿度計は地上より1.5mとなるように設置している．

(3) 散水場所，散水量，散水温度のヒアリング調査

18日，23日及び25日には，打ち水実験地区内で散水量，散水場所，散水温度のヒアリング調査を行った．

5. 観測結果

(1) 天気概観

打ち水実験期間中8月18日～25日までの日射，気温，風向・風速，降雨量の時系列を図-3に示す．風向・風速，気温は打ち水影響範囲外のPoint-C, D, Eのもので百葉箱内での気温を示し観測期間中の天気概観を示す．風向・風速は18～20日の間，日本海側にある台風の影響で南西あるいは西風で期間中の降雨は23日21時～24日2時まで5時間の間にあり，総降雨量は9.5mmであった．

(2) 輻射の影響

8月18日18:00～8月22日12:00までの日射，気温の時系列を図-4に示す．気温は打ち水実験地区内の4ヶ所，打ち水影響範囲外の百葉箱内のものを示している．日中では，打ち水実験地区内では，日中は打ち水影響範囲外よりも高い気温を示し，各地点で気温のばらつきが大きい．夜間となると地点毎のばらつきは小さい．打ち水実験地区内の気温は，打ち水影響範囲外の気温と夜間18時～6時で同じ気温変動を示すことがわかる．この夜間18時～6時は，日射がほぼなくなる時間である．この他の地点においても同様な気温変動がみられた．打ち水実験地区内に設置した温湿度計のセンサー部は，防水・日射を遮断するため断熱性の素材で覆われているが，空気の流れを防止するため下向きにセンサーが露出している．百葉箱内，外で測定している気温のメカニズムを模式的に示すと図-5のようになる．百葉箱内では下向き短波放射つまり日射は反射し，地表面温度に依存する上向きの長波放射つまり地面等からの輻射は遮断されセンサーまで届かないため気温の変化のみ計測することとなる．百

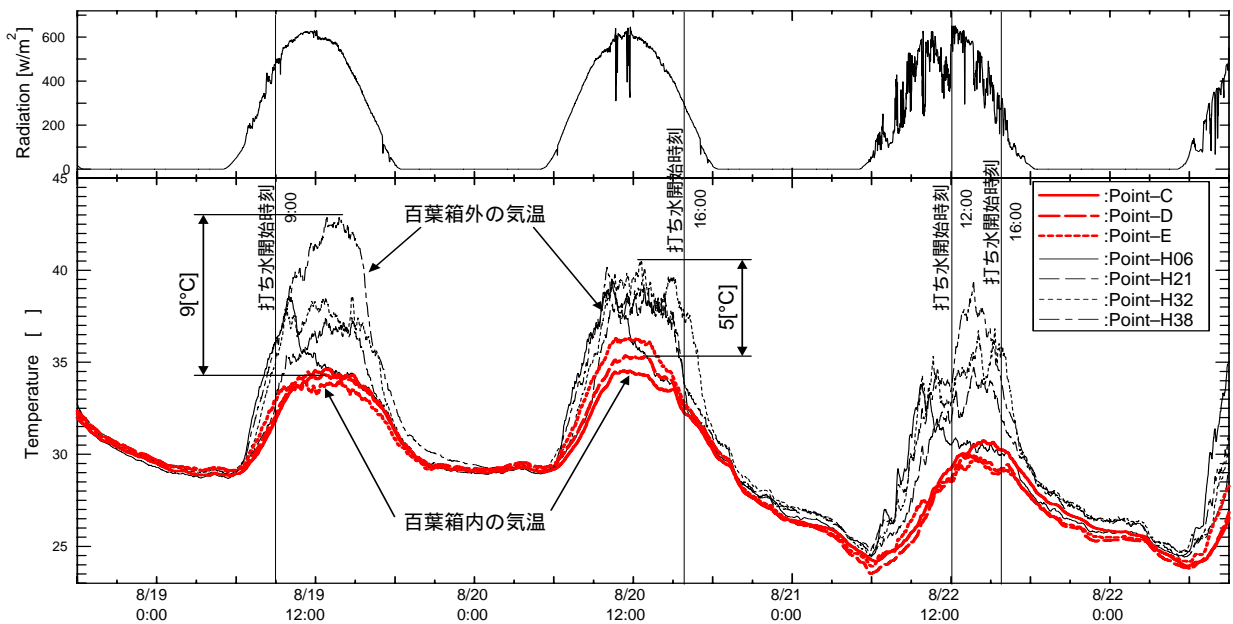


図-4 日射，百葉箱内・外での気温の時系列(8月 19～22 日)

日中では，百葉箱外は百葉箱内よりも 2～9[]高い値を示す．百葉箱外の各地点で気温変動が異なる．夜間となると地点毎の気温変動のばらつきは小さく，百葉箱内外は同様な気温変化をする．

葉箱外では，日射は反射するが，輻射の影響は受けるため，気温の変化と輻射の影響を受けた温度を合わせて計測していることとなる．日中に各地点で気温変動が異なるのは，道路の表面温度のばらつきによる輻射の影響であることがわかる．また，輻射の影響により百葉箱内の気温より 2～9[]高い値をとることがわかる．

人間が快適性を体感するのは気温のみではなく，その他に，湿度，気流，輻射の要素が含まれる．打ち水が，郊外とは異なる特殊な気候を有する都市空間での快適性に与える影響も考え，本観測では打ち水地区内では，実際の気温と輻射の影響を含んだ温度を計測している．本研究では，気温の変化と輻射の影響合わせた温度を「気温」と定義して解析，考察を行う．

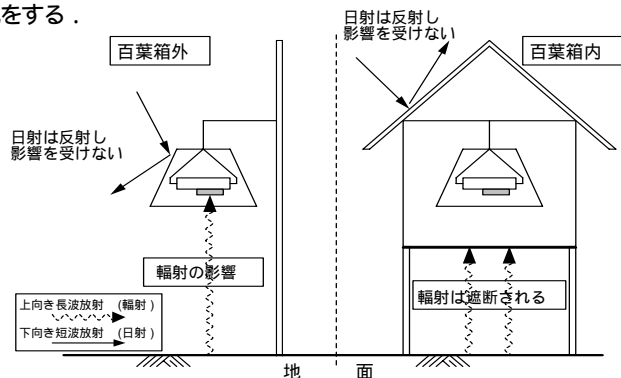


図-5 百葉箱内・外で測定している気温の違い

下向きの日射は百葉箱内・外とも反射するため影響は受けない．百葉箱外は下側にセンサーを露出させているため上向きの地面からの輻射がセンサーまで届き影響を受ける．百葉箱内では輻射は遮断される．百葉箱内 気温のみ，百葉箱外 気温+輻射の影響

(3) 打ち水による気温変化

日射の変動による影響を避けて打ち水による気温低下効果を評価するため，日射量が打ち水開始前 1 時間，開始後 1 時間までほぼ一定であった 8 月 18 日について解析を行う．この日の打ち水は 12 時より開始された．打ち水の状況についてヒアリング調査により算出した散水量，散水温度，散水面積を表-3 に示す．全体で約 6.287[m³]，散水に使用した水の温度は平均で約 30.0[]であった．

打ち水開始前 1 時間 開始後 1 時間 30 分後までの日射，風向・風速，気温，比湿の時系列を図-6 に示す．日射，風向・風速については Point-A，気温，比湿については打ち水地区内の 86 地点で観測した温湿度のうち，打ち水により顕著に気温が低下した 3 地点を示している．日射はほぼ一定で，風向は南西風，風速は約 4[m/s]であった．図-6 の破線内の拡大図を図-7 に示す．気温低下開始時刻が各地点で異なるが，打ち水開始直後から気温の低下が

表-3 ヒアリング調査結果

	散水量[m³]	散水温度[]	散水面積[m²]
Area-1	2.03	29.3	2637
Area-2	1.88	30.8	3017
Area-3	0.88	29.8	2850
全体	6.29	30.0	8504

始まり 5～15 分間程で気温低下開始時の気温に戻ることがわかる．この他の温湿度観測地点でも，気温の低下量，気温低下の継続時間に差があるが，打ち水開始直後に気温の低下がみられた．また，打ち水開始前後に比湿の増加が見られ 0.005～0.015[kg/kg]増加した．

打ち水が開始された 12 時における前後 10 分間内で，気温の低下が始まる時刻を気温低下開始時刻として，気温低下開始時刻の気温と同じ気温になるまでの時刻の間を打ち水影響時間と定義する．気温低下開始時刻の気温と打ち水影響時間内における最低気温との差を気温低下

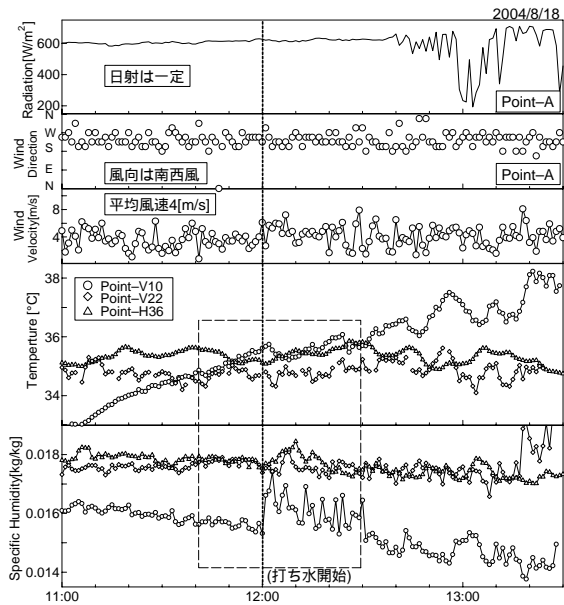


図-6 打ち水前後の日射、風向・風速、気温、比湿の時系列
 打ち水開始前後で日射はほぼ一定。風向は南西風、平均風速は約 4m/s。

量と定義する。

打ち水による気温低下量と観測ヶ所数について図-8 に示す。気温低下量 0.65~0.7[]が最も多く、全体での平均気温低下量は0.66[]であった。また、気温低下量の最大値は 1.93[]であった。気温低下量の平面分布を図-9 に示す。図中の塗りつぶし部分は打ち水がされた場所を示している。打ち水が行われていない地点でも気温が低下していることがわかる。また、その逆に打ち水が近くでされていても気温低下量が小さい地点があることがわかる。打ち水が道路に沿ってほぼ一行にわたった地域を Area-2 とし、その南西側を Area-1、北東側を Area-3 とする。この日の打ち水が行われている時間中の風向は南西風であり Area-2 とほぼ直交する風向であった Area-1 での気温低下量の平均値は 0.69[]、Area-2 での気温低下量の平均値は 0.52[]、Area-3 での気温低下量の平均値は 0.84[]であった。散水量は Area-1 では Area-3 より多く、散水温度は Area-1 では Area-3 より低いため、Area-1 で気温低下が大きくなると考えられるが、Area-3 のほうが低くなっていた。打ち水影響時間の平均値は Area-1 で 15 分 Area-2 で 26 分 Area-3 で 20 分であり、Area-1 に比べ Area-3 で打ち水影響時間が長い。このことより、Area-3 で気温低下が大きくなった理由は南西からの風により Area-1, 2 での打ち水により冷やされた空気塊が北東側の Area-3 側へ移流されたと考えられる。

6. 気温低下量

(1) 打ち水地点から観測地点までの距離と気温低下量

打ち水地点と観測地点までの距離と気温低下量の関係について図-10 に示す。観測地点と打ち水地点の各距離でデータにばらつきがあり、距離が離れるに従いばらつき

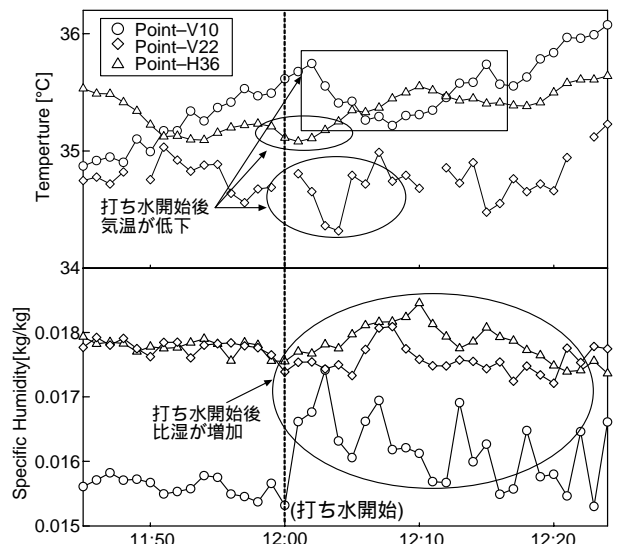


図-7 打ち水前後の気温、比湿の時系列の拡大図

気温低下開始時刻が各地点で異なるが、打ち水開始時刻の 12 時前後で 5~15 分程度気温が低下する。比湿は打ち水開始前後から増加する。

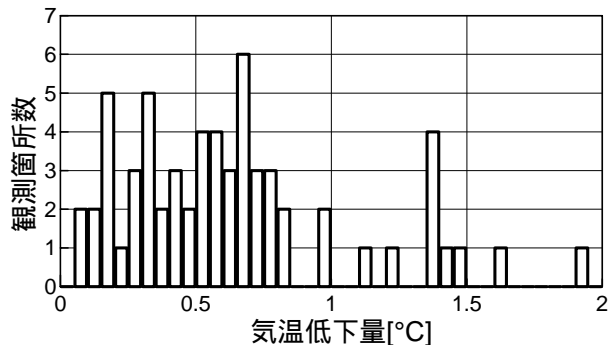


図-8 気温低下量と観測箇所数の頻度分布

気温低下量 0.65~0.7[]が最も多い、気温低下量の平均値は 0.66[]、気温低下量の最大値は 1.93[]であった。

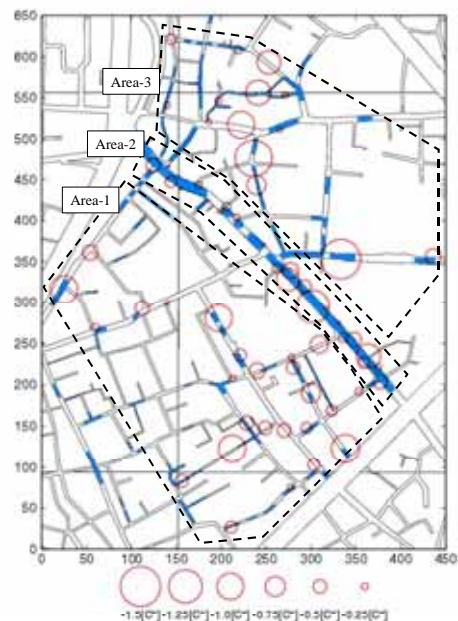


図-9 気温低下量の平面分布

Area-1 は気温低下量の平均値 0.69[]、打ち水影響時間の平均値 15 分、Area-2 は 0.52[]、26 分、Area-3 は 0.84[]、20 分

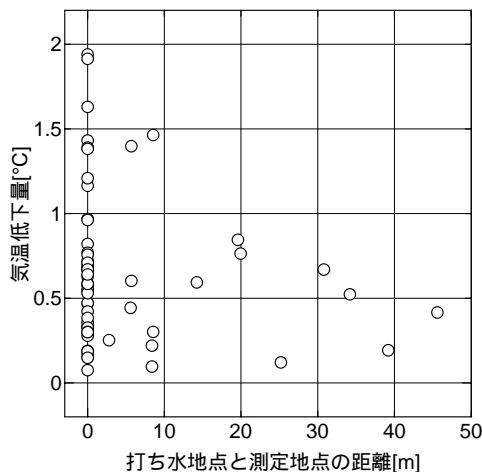


図-10 打ち水地点と測定地点の距離と気温低下量の関係

観測地点と打ち水地点の距離が離れるのに従い、データのばたつきは小さくなり、各距離の気温低下量の最大値を結んだ包絡線は線形関係にあることがわかる。

は小さくなる。各距離で気温低下量の最大値を結んだ包絡線は、線形関係にあり距離とともに気温低下量は減少していくことがわかる。

(2) 打ち水による気温低下直前の気温と気温低下量

打ち水による気温低下直前の気温と気温低下量について図-11 に示す。気温低下開始時の気温が異なると打ち水による気温低下量が異なることがわかる。また、データのばたつきが大きい線形関係が見られる。気温低下開始時の気温が高いほど打ち水による気温低下量が大きいことがわかる。

図-10 において観測地点に打ち水がされている距離 0m でも気温低下量に違いがある理由は、各地点で気温低下開始時の気温が異なるためであることが考えられる。

6. まとめ

打ち水によるヒートアイランド現象緩和を目的とした社会実験が 8 月 18～25 日まで行われた。著者らは、重点地区として打ち水が行われた東京都墨田区東向島において、気象観測を行った。その観測結果より打ち水が都市の熱環境に与える影響について気温低減効果の評価を行った。本研究より得られた知見を以下に示す。

- (1) 日射変動の影響を避けるため、日射量が打ち水開始前後 1 時間でほぼ一定であった 8 月 18 日を解析対象とした、この日は 12:00 に打ち水が開始され平均値で 0.66 ，最大で 1.93 気温が低下した。
- (2) 日中は建物の影などで地表面温度が一様でないために打ち水実験地域内の各地点で輻射の影響が異なり、各地点で異なる気温変動を示し、百葉箱内の気温よりも輻射の影響で 2～9 高い値を示した。しかし、打ち水開始直後には、各地点で気温の低下が始まり、平均で約 23 分間、最大で約 56 分間の間、気温低下

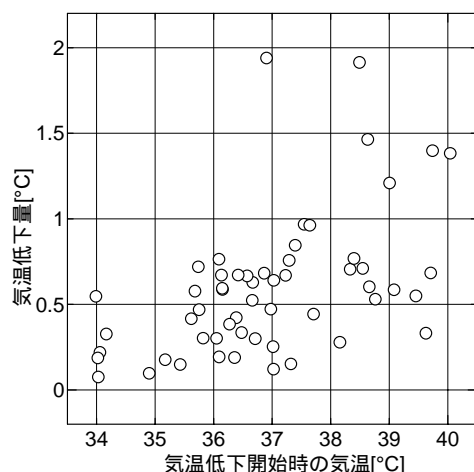


図-11 気温低下開始時の気温と気温低下量の関係

気温低下開始時の気温が高いほど、打ち水による気温低下量が大きいことがわかる。

開始時の気温よりも低い気温の状態が継続された。

- (3) 夜間は日射がなくなり地表面温度が一様となるとともに温度も低下し、輻射の影響が小さくなるため、地点毎の気温のばらつきは小さくなり、打ち水実験地域内の気温は百葉箱内の気温と同じ変動となった。
- (4) 気温低下量の平面分布より、風下側の地域で気温低下量が大きく、風の移流効果による気温低下量の地域性がみられた。気温低下量が大きい地域は気温低下時間も長くなった。
- (5) 打ち水地点からの距離と打ち水による気温低下量の間には、ほぼ線形関係があり、距離が離れるに従い気温低下量は減少する。
- (6) 気温低下開始時の気温と打ち水による気温低下量の関係より、気温低下開始時の気温が高温であると気温低下量は大きく、その関係に線形関係がみられた。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、国土交通省関東地方整備局荒川下流河川事務所、東京都墨田区東向島中町会、南町会、宮元町会、地蔵坂通り商店街振興組合の協力を得た。併せてここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Oke, T.R.: Boundary Layer Climates, Methuen, London, 372pp, 1978.
- 2) 峰岸順一・小林一雄・近江淳一・阿部忠行: 保水性舗装の路面温度低減機能に関する検討, 東京都土木技術研究所年報, 平成 14 年度版, pp.53-64, 2002.
- 3) 木内豪・吉中保・深江典之: 遮熱性舗装による都市熱環境改善効果に関する考察, 第 25 回日本道路会議, 09059, 2003.
- 4) 吉中保・木内豪・深江典之: 遮熱性舗装の高性能化に関する研究, 第 25 回日本道路会議, 09P04, 2003.
- 5) 木内豪・吉中保・深江典之: ヒートアイランド低減効果を目指した高性能の遮熱性舗装の開発, 舗装, 印刷中.
- 6) 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, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.193-198, 2004.

(2004 年 9 月 30 日 受付)