

14. 保水性舗装に散水した場合の気温・湿度・黒球温度への効果

Effect of Water Retaining Pavement on Air Temperature and Humidity, Globe Temperature with Sprinkle Water

技術調査課 小作好明、春日井哲夫
道路管理部 橋本 一郎
南多摩東部建設事務所 古賀 睦
第一建設事務所 高根澤浩二

1. はじめに

ヒートアイランド現象は、都市化の進展に伴い、舗装やコンクリートで地表面が被覆されたことが原因の一つとして指摘されている。東京都ではヒートアイランド対策を重点事業の一つとして位置づけており、建設局では、舗装の面からヒートアイランド現象を抑制する取り組みとして、水分を含むことができる保水性舗装を施工している。

平成 17 年(2005)の夏期に丸の内、平成 18 年(2006)の夏期に丸の内及び神田、九段の保水性舗装において、道路管理部保全課が中心となり、第一建設事務所が散水車による散水を行った。土木技術センターでは、散水の効果を確認するため、観測を実施し、散水日と散水しない日（非散水日）の気温や湿度等を比較した。

2. 調査概要

(1) 目標散水量の設定

散水量を計画する際、保水性舗装でサンプリングした $\phi 10\text{cm} \times h10\text{cm}$ の供試体の保水量が 7.4～10.3kg/m²（総降水量 7.4mm～10.3mm 相当）という値が既に得られていたので、保水性舗装は降水量換算で概ね総降水量 7～8mm 相当の水を保水すると想定した。実際に保水性舗装に散水する場合は、表面上の流出や水の供給が上面からしかないことも考慮し、無駄の少ない散水となるように総降水量 5mm と 8mm を目標散水量として設定した。



図－1 夜間散水状況



図－2 夕方散水状況

(2) 散水概要

散水状況を図－1、図－2 に、散水概要を表－1 に、散水量を表－2 から表－5 に示す。散水は、東京都第一建設事務所が散水車によって実施した。駐車車両があつて散水できない場合を除き、全車線に散水した。平成 17 年夏期の丸の内では、夜間に都道

402 号線と都道 407 号線の保水性舗装 2 路線に総降水量 5mm 相当の散水を行い、平成 18 年の夏期には散水の時間帯を変更して夕方に総降水量 5mm 相当の散水を行った。さらに、平成 18 年の夏期では神田の都道 403 号線(本郷通り)の保水性舗装に総降水量 8mm 相当の夜間散水と九段の都道 401 号線(内堀通り)の保水性舗装に総降水量 5mm 相当の夜間散水も行った。散水する水は、主に下水道局芝浦水再生センターの下水再生水(高度処理水)であるが、平成 18 年の丸の内での夕方散水の場合、民間との協力を実現し、丸の内ビルディングの再生水を使用した。

表－1 散水概要

年	場所	路線名	散水	散水時間	散水量
平成17年 (2005年) 夏期	丸の内	特例都道 錦町有楽町線 (第402号)	下水 再生水	夜間散水 23:00頃～ 翌4:00頃	総降水量 5mm相当
		特例都道 都庁前室町線 (第407号)			
平成18年 (2006年) 夏期	丸の内	特例都道 錦町有楽町線 (第402号)	丸ビル 再生水	夕方散水 14:00頃～ 18:00頃	総降水量 5mm相当
	神田	特例都道 大手町湯島線 (第403号) 本郷通り	下水 再生水	夜間散水 20:00頃～ 翌2:30頃	総降水量 8mm相当
	九段	特例都道 麹町竹平線 (第401号) 内堀通り	下水 再生水	夜間散水 20:00頃～ 翌2:30頃	総降水量 5mm相当

表－2 散水量(夜間 平成 17 年 丸の内)

H17年 丸の内						
散水時刻		散水 時間	散水車 台数	散水量 m ³		
7/20 23:00 ～ 7/21 4:33	5:33	12	75.1			
7/24 23:00 ～ 7/25 3:55	4:55	12	74.8			
7/29 23:00 ～ 7/30 4:05	5:05	12	74.0			
8/2 23:00 ～ 8/3 3:50	4:50	12	83.3			
8/6 23:00 ～ 8/7 3:30	4:30	12	73.9			
8/10 23:00 ～ 8/11 4:00	5:00	12	73.7			
8/18 23:00 ～ 8/19 3:23	4:23	12	77.5			
8/22 23:00 ～ 8/23 3:20	4:20	12	73.6			
8/29 23:00 ～ 8/30 3:21	4:21	12	73.8			
9/2 23:00 ～ 9/3 3:25	4:25	12	74.0			
9/14 23:00 ～ 9/15 3:25	4:25	12	75.1			
9/17 23:00 ～ 9/18 3:15	4:15	12	73.6			
9/23 23:00 ～ 9/24 3:15	4:15	12	73.5			
9/27 23:00 ～ 9/28 3:15	4:15	12	74.7			
平均		4:36	12	75.0		

表－3 散水量(夕方 平成 18 年 丸の内)

H18年 丸の内			
散水時刻	散水 時間	散水車 台数	散水量 m ³
8/2 14:05 ～ 8/2 18:40	4:35	12	42.2
8/5 14:00 ～ 8/5 17:14	3:14	12	42.2
8/11 14:20 ～ 8/11 18:00	3:40	12	42.2
8/21 14:00 ～ 8/21 17:50	3:50	12	42.2
8/23 14:00 ～ 8/23 17:48	3:48	12	42.2
8/25 14:00 ～ 8/25 17:11	3:11	12	42.2
8/28 14:00 ～ 8/28 17:10	3:10	12	42.2
9/4 13:50 ～ 9/4 17:10	3:20	12	42.2
9/8 13:30 ～ 9/8 17:32	4:02	12	42.2
9/10 13:35 ～ 9/10 16:40	3:05	12	42.2
平均	3:35	12	42.2

(3) 観測機器および観測位置

図－3～図－6 に丸の内、神田、九段における気温・湿度、降雨量、日射の観測位置を示す。

丸の内では、気温計・湿度計は、散水する保水性舗装の沿道に設置した。また、散水路線の風上や少し離れて散水による影響がない位置(日比谷公園内、馬場先門交差点付近 丸の内 406-02、鍛冶橋交差点付近 丸の内 406-01)にも気温計、湿度計を設置した。なお、平成 18 年の観測では、観測地点を変更した(丸の内 407-01 観測なし、丸の内 407-03 観測なし、大手 402-01 観測なし)。平成 17 年には、有楽町 402-01 の観測地点まで散水を行っているが、平成 18 年では散水の区域に含まれていない。

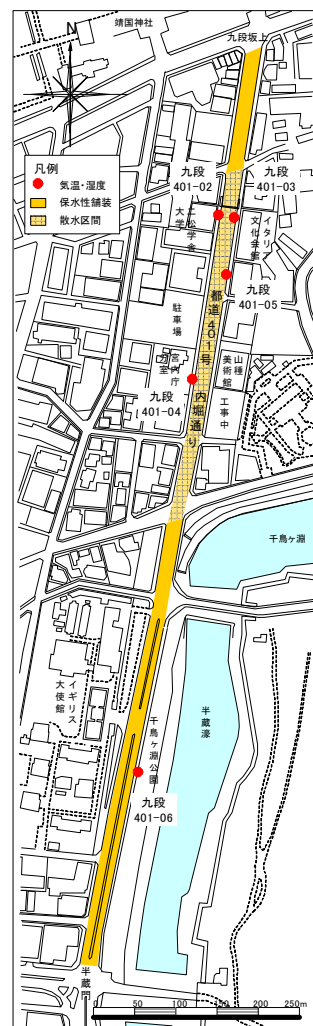
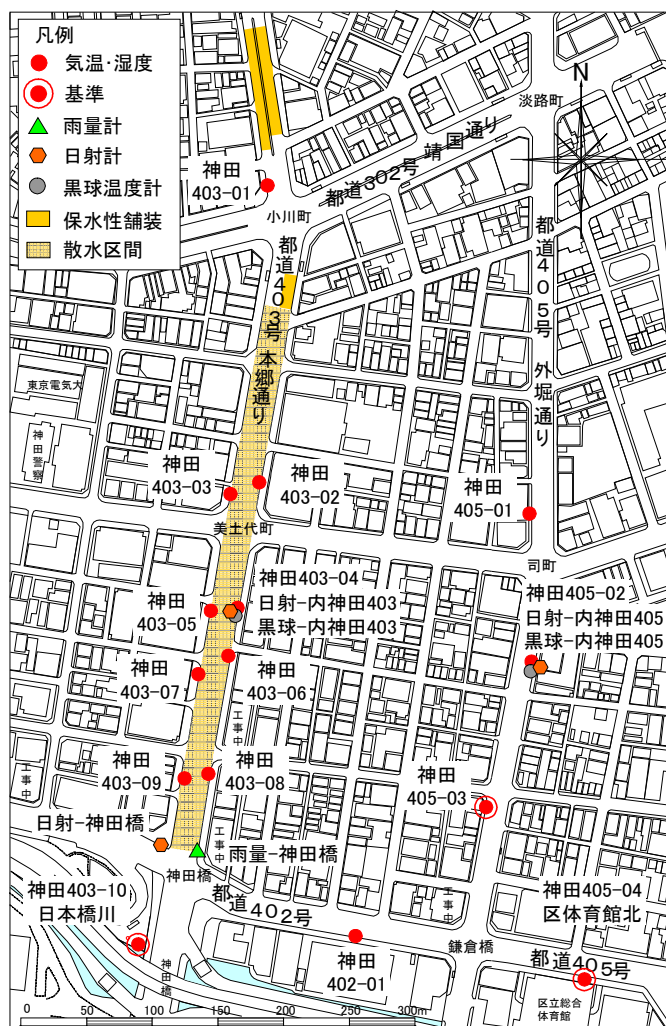
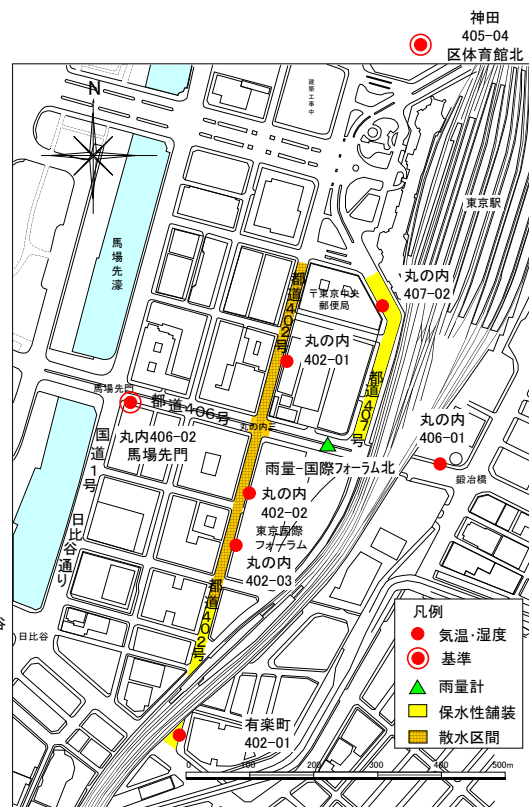
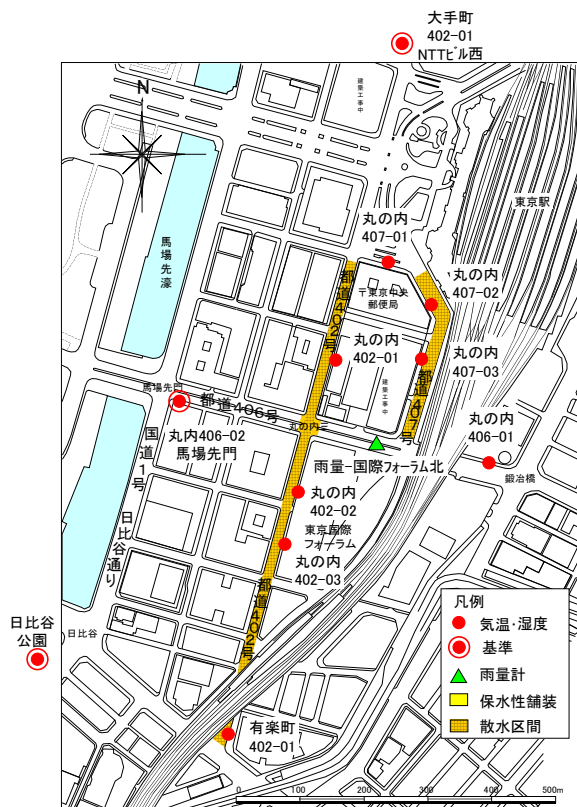
神田では、散水する保水性舗装(都道 403 号線本郷通り)と比較用としての密粒度舗装(都道 405 号線と都道 402 号線)の沿道に気温計・湿度計を設置した。また、都道 403 号線と都道 405 号線に日射計と黒球温度計を設置した。なお、観測期間中の天候を確認するため、南側が開けた神田橋交差点付近の街路灯に日射計と雨量計を設置した。

表－4 散水量(夜間 平成 18 年 神田)

H18年 神田				
散水時刻	散水 時間	散水車 台数	散水量 m ³	
8/2 20:00 ～ 8/3 2:30	6:30	10	71.8	
8/5 20:00 ～ 8/6 2:30	6:30	11	71.5	
8/11 20:01 ～ 8/12 2:17	6:16	10	71.5	
8/21 20:00 ～ 8/22 2:15	6:15	11	71.4	
8/23 20:00 ～ 8/24 2:35	6:35	10	71.4	
8/25 20:00 ～ 8/26 2:30	6:30	11	72.2	
8/28 20:00 ～ 8/29 2:04	6:04	10	71.8	
9/4 20:00 ～ 9/5 2:15	6:15	11	71.6	
9/8 20:00 ～ 9/9 1:30	5:30	10	71.8	
9/10 20:00 ～ 9/11 1:40	5:40	11	71.6	
平均	6:12	10.5	71.7	

表－5 散水量(夜間 平成 18 年 九段)

H18年 九段			
散水時刻	散水 時間	散水車 台数	散水量 m ³
8/2 20:10 ～ 8/3 1:45	5:35	9	60.8
8/5 20:00 ～ 8/6 2:55	6:55	9	61.1
8/11 20:00 ～ 8/12 2:30	6:30	9	60.6
8/21 20:00 ～ 8/22 1:35	5:35	9	60.6
8/23 20:00 ～ 8/24 2:30	6:30	9	60.6
8/25 20:00 ～ 8/26 1:40	5:40	9	60.8
8/28 20:00 ～ 8/29 2:30	6:30	9	61.2
9/4 20:00 ～ 9/5 1:30	5:30	9	61.4
9/8 20:00 ～ 9/9 1:50	5:50	9	61.2
9/10 20:00 ～ 9/11 0:40	4:40	9	61.4
平均	5:55	9	61.0



(4) 観測方法

図-7 に観測機器の設置模式図、図-8 から図-11 に観測機器の一例、表-6 に観測項目を示す。気温・湿度計は、車道面から地上 1.5m の位置に設置した。温度センサが日射に直接さらされるとセンサを温めてしまい、気温の測定ができないので、日除けとなるラディエーションシールド内にセンサを設置して気温・湿度観測を行った。なお、温度及び湿度のセンサに機器差があるので、観測前に閉めきった室内で同時測定し、機器差を補正した。黒球温度は、日射計とセットで設置した。また、観測期間中の天候を確認するため、日射計と雨量計を設置した。データの記録間隔は、日射計では 2 分毎とし、10 分平均値を用いた。

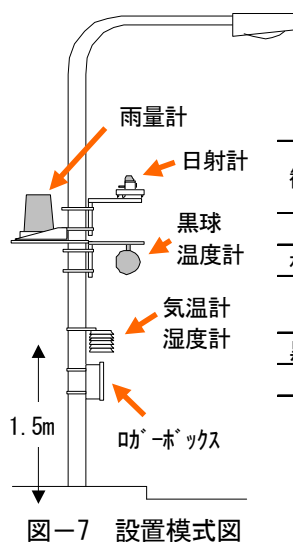


表-6 観測項目

観測項目	観測高 (車道面基準)	データ 記録間隔
気温	1.5m	10分
相対湿度	1.5m	10分
降水量	地上 2.5m以上	10分
黒球温度	2.5m以上	10分
日射量	2.5m以上	2分



図-8 気温・湿度計



図-9 雨量計



図-10 日射・黒球温度計

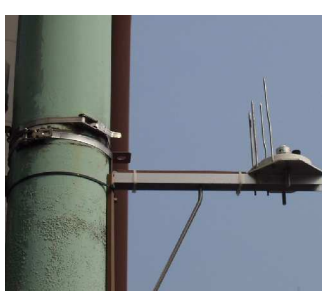


図-11 日射計

3. 気温観測結果

(1) 散水による気温低下の評価方法

散水による気温の変化を評価するためには、散水した場合と散水しない場合を比べる必要がある。しかし、同じ場所で散水した場合と散水しない場合を同時に観測することは不可能である。また、気温は日々異なっており、散水した日の気温と散水しない日の気温を直接比較することもできない。そこで、散水とは無関係の位置における基準となる気温を設定して、その基準気温との気温差をとり、散水日と非散水日の平均気温差を算出して、さらに散水日と非散水日の平均気温の差をとることによって散水による気温の変化を評価した。この評価方法は、気温の値に系統誤差が含まれていたとしても、最後に気温差の差をとるので打ち消してしまい、系統誤差が取り除かれてしまうという利点がある。気温差及び散水による気温低下の算出式を以下に示す。

$$[\text{気温差}] = [\text{対象地点の気温}] - [\text{基準気温}]$$

$$[\text{散水による気温低下}] = [\text{散水日の平均気温差}] - [\text{非散水日の平均気温差}]$$

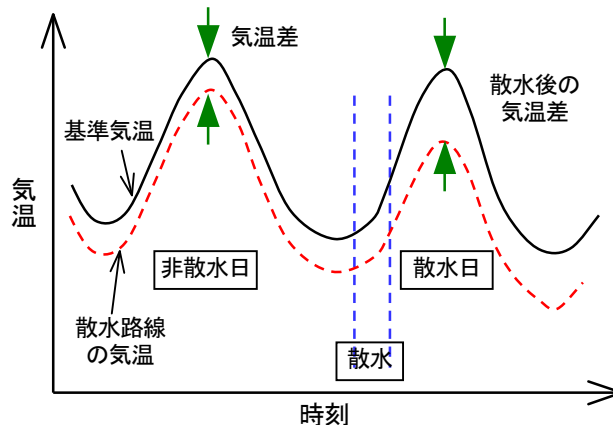


図-12 散水による気温低下のイメージ

(2) 基準気温の設定

散水によって基準となる地点の気温が変化してしまうと、散水による気温の低下量を算出することができない。そのため、散水による影響がない地点の気温を選定する必要がある。そこで、散水路線の風上や散水路線から離れて散水による影響がない位置を基準気温に設定した(表-7)。

平成 17 年の丸の内では、日比谷公園、馬場先門交差点付近(丸の内 406-02 馬場先門)、大手町(大手 402-01)に基準地点を設定したが、平成 18 年では、大手町

で観測をしなかったため、大手町の観測地点よりもやや北側の位置(神田 405-04 区体育館北)に基準地点を変更した。

平成 18 年の神田の基準地点は、日本橋川に架かる神田橋近くの観測地点(神田 403-10 日本橋川)と散水路線と別路線の沿道(神田 405-03、神田 405-04 区体育館北)とした。九段の基準地点は、散水路線から離れているが、丸の内の馬場先門交差点付近(丸内 406-02 馬場先門)と神田の基準地点(神田 403-10 日本橋川、神田 405-04 区体育館北)とした。

(3) 気象条件が類似する日の抽出

散水した場合と散水しない場合で比較するためには、その他の条件をできる限り同じにする必要がある。しかし、平成 18 年の夏期は、梅雨明けが例年より遅く、しかも天候が不順であったため、平成 17 年の夏期に比べると快晴の日が少な

かった。そのため、データ数を確保するために曇りの日のデータも含めて表－8 の条件を満たす散水日と非散水日を抽出した。降水があると保水性舗装に水を供給してしまうので、前日または当日に降水がある場合は、比較用のデータからは外した。気温については、気象官署(大手町)の最高気温が 30℃以上、最低気温が 22℃以上となる日を対象とした。風については、風向を限定しなかった。日射量については、日積算日射量が 16MJ/m²以上の晴天日と曇天日を対象とした。表－9、表－10 に条件を満たした散水日と非散水日の日付を示す。

表－7 基準地点

地区	場所		
丸の内 (平成17年)	日比谷公園	丸内406-02 馬場先門	大手402-01
丸の内 (平成18年)	日比谷公園	丸内406-02 馬場先門	神田405-04 区体育館北
神田 (平成18年)	神田403-10 日本橋川	神田405-03	神田405-04 区体育館北
九段 (平成18年)	丸内406-02 馬場先門	神田403-10 日本橋川	神田405-04 区体育館北

表－8 気象条件

項目	条件	使用データ
降水	前日および当日 降水なし	設置した雨量計 (丸の内)
気温	最高気温 30℃以上 最低気温 22℃以上	気象官署 (大手町)
風	全風向	気象官署 (大手町)
日射量	日積算日射量 16MJ/m ² 以上の 晴天日曇天日	気象官署 (大手町)

表－9 抽出日(平成17年夏期 丸の内)

	使用データ		散水状況	天候			最高 気温	翌日 最低 気温	翌日 最高 気温	日積算 日射量	翌日 日積算 日射量
				昼間	夜間	昼間	℃	℃	℃	MJ/m ²	MJ/m ²
散水日	2005/7/20	18:10 ～ 7/21 18:00	夜間散水	曇	曇	晴	29.3	23.9	30.8	17.3	20.4
	2005/8/2	18:10 ～ 8/3 18:00	夜間散水	晴	曇	晴	31.6	26.8	32.9	18.1	20.7
	2005/8/6	18:10 ～ 8/7 18:00	夜間散水	晴	晴	晴	34.9	26.8	33.8	24.2	22.7
	2005/8/18	18:10 ～ 8/19 18:00	夜間散水	晴	晴	晴	32.2	26.4	33.6	18.1	22.6
	2005/9/2	18:10 ～ 9/3 18:00	夜間散水	晴	晴	晴	32.4	25.3	32.1	19.3	20.8
非散水日	2005/7/15	6:10 ～ 7/16 6:00	非散水	晴	曇		31.5	25.5		21.0	
	2005/7/18	6:10 ～ 7/19 6:00	非散水	晴	曇		32.9	25.8		24.4	
	2005/7/28	6:10 ～ 7/29 6:00	非散水	晴	晴		33.0	25.2		26.5	
	2005/7/31	6:10 ～ 8/1 6:00	非散水	晴	晴		31.9	25.9		18.5	
	2005/8/1	6:10 ～ 8/2 6:00	非散水	晴	曇		32.3	26.3		17.4	
	2005/8/4	6:10 ～ 8/5 6:00	非散水	晴	晴		35.0	27.6		20.1	
	2005/8/5	6:10 ～ 8/6 6:00	非散水	晴	晴		35.8	27.2		19.5	
	2005/8/20	6:10 ～ 8/21 6:00	非散水	晴	晴		34.3	27.1		23.6	
	2005/9/1	6:10 ～ 9/2 6:00	非散水	晴	晴		31.3	24.2		21.5	
	2005/9/13	6:10 ～ 9/14 6:00	非散水	晴	晴		32.8	25.6		18.4	

表－10 抽出日(平成18年夏期 丸の内・神田・九段)

	使用データ		散水状況	天候			最高 気温	翌日 最低 気温	翌日 最高 気温	日積算 日射量	翌日 日積算 日射量
				昼間	夜間	昼間	℃	℃	℃	MJ/m ²	MJ/m ²
散水日	2006/8/2	12:10 ～ 18:10 ～ 8/3 12:00 18:00	夕方散水 夜間散水	曇	曇	晴	28.5	23.8	32.4	14.7	23.4
	2006/8/5	12:10 ～ 18:10 ～ 8/6 12:00 18:00	夕方散水 夜間散水	晴	晴	晴	35.4	25.8	34.4	24.1	22.5
	2006/8/21	12:10 ～ 18:10 ～ 8/22 12:00 18:00	夕方散水 夜間散水	晴	晴	曇	33.3	26.1	32.3	22.0	16.8
	2006/9/10	12:10 ～ 18:10 ～ 9/11 2:00 2:00	夕方散水 夜間散水	晴	曇	雨	33.7	23.4	28.9	16.4	11.2
	2006/7/14	6:10 ～ 7/15 6:00	非散水	晴	曇		35.0	26.7		16.1	
非散水日	2006/7/26	6:10 ～ 7/27 6:00	非散水	晴	晴		31.7	24.3		25.5	
	2006/8/4	6:10 ～ 8/5 6:00	非散水	晴	晴		33.9	25.3		23.8	
	2006/8/7	6:10 ～ 8/7 22:00	非散水	晴	晴		34.3	24.6		22.8	
	2006/8/19	6:10 ～ 8/20 6:00	非散水	晴	晴		33.9	27.1		23.7	
	2006/9/3	6:10 ～ 9/4 6:00	非散水	晴	曇		31.2	23.1		21.5	

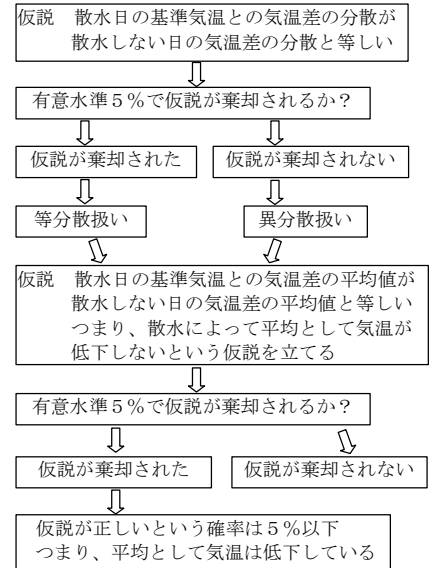
9/11 4:00～9:00頃に降水があるため、2:10からデータを削除
8/8 0:00～8/9 22:00頃に降水があるため、8/7 22:10からデータを削除

(4) 散水による気温低下の統計的確認

散水によって気温が低下したかどうかを確認するため、基準地点の気温との気温差をデータとして、散水日と非散水日の二つの母集団について平均の差の検定を行った。平均の差の検定をする場合、二つの母集団の分散が等しいと考えてよい場合と分散が異なる場合とでは検定方法が異なるので、等分散性の検定を行った上で平均の差の検定を行った。検定の手順を図-13に示し、表-11 から表-13に両側検定、有意水準 5%の検定結果を示す。表中の●は、検定の結果、基準地点 3 地点のデータいずれを使っても散水によって対象地点の気温が低下したことを統計的に確認できたことを示し、表中の◆は、基準地点 2 地点のデータで対象地点の気温が低下したことを統計的に確認できたことを示す。

等分散の検定

	仮説 H_0	$\sigma_A^2 = \sigma_B^2$	
散水日	平均	$\bar{X}_A$	-0.43
	不偏分散	s_A^2	0.02
	データ数	n_A	95
非散水	平均	$\bar{X}_B$	-0.15
	不偏分散	s_B^2	0.07
	データ数	n_B	133
分散比 F_0		$F = s_A^2 / s_B^2$	3.84
$F_0 \geq 1$		$F = s_B^2 / s_A^2$	
自由度		$\nu_A = n_A - 1$	94
自由度		$\nu_B = n_B - 1$	132
有意水準		α	5%
F値		$F_{0.975}(\nu_A, \nu_B)$	1.448
$F_0 < F_{0.975}(\nu_A, \nu_B)$		$\sigma_A^2 = \sigma_B^2$	棄却されない
$F_0 > F_{0.975}(\nu_A, \nu_B)$		$\sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$	棄却される
判定			異分散



母平均の差の検定(等分散)

	仮説 H_0 :	$\mu_A = \mu_B$	
散水日	平均	$\bar{X}_A$	-0.43
	不偏分散	s_A^2	0.02
	データ数	n_A	95
非散水	平均	$\bar{X}_B$	-0.15
	不偏分散	s_B^2	0.07
	データ数	n_B	133
共通標準偏差 s		$\left[\frac{(n_A-1)s_A^2 + (n_B-1)s_B^2}{n_A + n_B - 2} \right]^{1/2}$	0.22
t_0		$\frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{s[1/n_A + 1/n_B]^{1/2}}$	-9.56
自由度		$\nu = n_A + n_B - 2$	226
有意水準		α	5%
t値		$t_{0.975}(\nu)$	2.256
$ t_0 < t_{0.975}(\nu)$		$\mu_A = \mu_B$	棄却されない
$ t_0 > t_{0.975}(\nu)$		$\mu_A \neq \mu_B$	棄却される
判定			###

母平均の差の検定(異分散)

	仮説 H_0 :	$\mu_A = \mu_B$	
散水日	平均	$\bar{X}_A$	-0.43
	不偏分散	s_A^2	0.02
	データ数	n_A	95
非散水	平均	$\bar{X}_B$	-0.15
	不偏分散	s_B^2	0.07
	データ数	n_B	133
t_0		$\frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{[s_A^2/n_A + s_B^2/n_B]^{1/2}}$	-10.55
c		$\frac{s_A^2}{n_A(s_A^2/n_A + s_B^2/n_B)}$	0.27
自由度 ν		$\frac{1}{c^2/(n_A-1) + (1-c)^2/(n_B-1)}$	207
自由度		ν	226
有意水準		α	5%
t値		$t_{0.975}(\nu)$	2.258
$ t_0 < t_{0.975}(\nu)$		$\mu_A = \mu_B$	棄却されない
$ t_0 > t_{0.975}(\nu)$		$\mu_A \neq \mu_B$	棄却される
判定			散水効果あり

図-13 検定の手順

表-11 検定結果(平成 17 年丸の内 夜間散水)

		散水路線					
	観測地点	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	有楽町 402-01	丸の内 407-02	丸の内 406-01
散水	18:10~19:00	-	-	-	(-)	-	-
	19:10~20:00	-	-	-	(-)	-	-
	20:10~21:00	◆	-	-	(-)	-	-
	21:10~22:00	-	-	-	(-)	-	-
	22:10~23:00	-	-	-	(-)	-	-
	23:10~0:00	-	-	-	(◆)	-	-
	0:10~1:00	-	-	◆	(-)	-	-
	1:10~2:00	◆	-	◆	(-)	-	-
	2:10~3:00	-	●	●	(-)	-	-
	3:10~4:00	◆	●	◆	(◆)	-	◆
	4:10~5:00	◆	●	◆	(-)	-	●
	5:10~6:00	◆	●	◆	(-)	-	-
	6:10~7:00	●	●	●	(●)	-	●
	7:10~8:00	-	-	-	(●)	-	◆
	8:10~9:00	-	-	◆	(◆)	-	●
	9:10~10:00	◆	-	-	(●)	-	●
	10:10~11:00	◆	-	-	(-)	-	●
	11:10~12:00	-	-	-	(◆)	-	◆
	12:10~13:00	-	-	-	(●)	-	●
	13:10~14:00	-	-	-	(●)	-	-
	14:10~15:00	-	-	-	(-)	-	-
	15:10~16:00	-	-	-	(-)	-	-
	16:10~17:00	-	-	-	(●)	-	-
	17:10~18:00	-	-	-	(◆)	-	-

※括弧書きは、一部欠測があり参考値

表-12 検定結果(平成 18 年丸の内 夕方散水)

		散水路線					
	観測地点	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	有楽町 402-01	丸の内 407-02	丸の内 406-01
散水	12:10~13:00	-	-	-	-	-	-
	13:10~14:00	●	-	-	-	◆	-
	14:10~15:00	◆	-	-	-	-	-
	15:10~16:00	◆	-	-	-	-	-
	16:10~17:00	◆	-	-	-	-	-
	17:10~18:00	◆	-	◆	-	-	-
	18:10~19:00	-	-	-	-	-	-
	19:10~20:00	-	-	-	-	-	-
	20:10~21:00	◆	-	-	-	-	-
	21:10~22:00	◆	-	-	-	-	-
	22:10~23:00	◆	◆	-	-	-	-
	23:10~0:00	◆	◆	-	-	-	-
	0:10~1:00	◆	◆	◆	-	-	-
	1:10~2:00	◆	-	-	-	-	-
	2:10~3:00	◆	-	◆	◆	◆	◆
	3:10~4:00	-	-	-	-	-	-
	4:10~5:00	◆	-	◆	-	-	-
	5:10~6:00	◆	-	◆	-	●	●
	6:10~7:00	●	-	●	●	●	-
	7:10~8:00	◆	-	-	-	●	-
	8:10~9:00	-	-	◆	-	-	-
	9:10~10:00	-	-	-	-	-	-
	10:10~11:00	-	-	-	◆	●	-
	11:10~12:00	◆	-	-	◆	-	-

※括弧書きは、一部欠測があり参考値

表－13 検定結果（平成 18 年神田・九段 夜間散水）

	観測地点	神田												九段				
		散水路線												散水路線				
		神田 403-01	神田 403-02	神田 403-03	神田 403-04	神田 403-05	神田 403-06	神田 403-07	神田 403-08	神田 403-09	神田 405-01	神田 405-02	神田 402-01	九段 401-02	九段 401-03	九段 401-04	九段 401-05	九段 401-06
散 水	18:10～19:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19:10～20:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20:10～21:00	-	-	●	-	●	●	●	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●
	21:10～22:00	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	●	●	-
	22:10～23:00	-	●	●	-	-	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	●	●
	23:10～0:00	●	●	●	-	●	●	●	-	●	-	●	-	●	-	●	-	-
	0:10～1:00	-	●	●	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	●	-	-
	1:10～2:00	●	●	●	●	●	●	●	-	-	●	-	-	●	●	●	●	-
	2:10～3:00	-	-	-	-	●	●	●	-	●	-	-	-	●	-	●	-	●
	3:10～4:00	-	●	●	-	●	●	●	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-
	4:10～5:00	-	●	●	●	●	●	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-
	5:10～6:00	-	-	-	●	●	●	●	●	●	-	-	-	●	-	●	-	●
	6:10～7:00	●	-	-	●	●	●	●	-	●	-	-	-	●	-	●	●	●
	7:10～8:00	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-
	8:10～9:00	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	●	●	-	●
	9:10～10:00	●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-
	10:10～11:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11:10～12:00	-	-	-	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12:10～13:00	●	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	13:10～14:00	-	●	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	14:10～15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15:10～16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	16:10～17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	17:10～18:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

①丸の内の散水による気温低下の統計的確認

平成 17 年の丸の内では、夜 23:00 から夜間散水を行い、平成 18 年の丸の内では、午後 14:00 頃から夕方にかけて散水を行った。散水路線沿道の観測地点（丸の内 402-01 丸の内 402-02、丸の内 402-03）に着目すると、平成 17 年の夜間散水の場合は翌 7:00～11:00 頃までは散水によって気温が低下することが統計的に確認できた。平成 18 年の夕方散水の場合も、翌 8:00～9:00 頃までは散水によって気温が低下することが統計的に確認できた。夜間に散水を実施しても、夕方に散水を実施しても、翌日の 7:00～9:00 頃まで散水の効果が持続すると考えられる。これは、保水性舗装に含まれる水分が夜間だけではすべて蒸発せず、夜間に散水を実施しても夕方に散水を実施しても、翌日まで保水を持続したためだと思われ、夜間に散水するよりも夕方に散水した場合の方が効果の持続期間を長くすることができる。なお、平成 17 年の丸の内において、都道 407 号線沿道の観測地点では散水によって気温が低下することが確認できなかった。これは、高層ビルの建築工事のため都道 407 号線の西側が高いのに対し、東側は線路であるため、開放されており、空気の流れが一定せず、道路に沿った空気の気温をセンサが捉えていないことが原因と考えられる。また、平成 18 年の丸の内 402-02 の観測地点では、駐車車両によるものなのか、空気の流れ方によるものかは不明であるが、散水後の日に他の地点より明らかに気温が高くなるデータがあり、その結果、散水による気温の低下を統計的に確認できなかった。

②神田・九段の散水による気温低下の統計的確認

平成 18 年の神田と九段では、夜 20:00 から翌 2:00～3:00 にかけて散水を行った。散水路線沿道の観測地点（神田 403-02～神田 403-09、九段 401-02、九段 401-04）に着目すると、観測地点によって異なるが、翌 7:00～14:00 頃まで散水によって気温が低下することが統計的に確認できた。また、散水路線の延長線に位置する神田 403-01 地点でも気温が低下することが統計的に確認できる時刻があり、散水路線外にも散水の影響があることが考えられる。なお、散水区間ではない千鳥が淵公園横の観測地点（九段 406-06）でも散水の効果が出ているように見える。しかし、散水の影響が及ぶとは考えにくく、東側の千鳥が淵と半蔵濠、皇居からの気流が影響している可能性が考えられる。

また、同じ散水路線でも統計的に確認できる時間が少ない地点（神田 403-08、九段 401-03、九段 401-05）があり、観測地点の選び方が良くない場合、観測地点の状況によって効果を評価できない場合がある。

(5) 散水による気温低下量

散水路線沿道の観測地点で散水によって気温が低下していることが統計的に確認できたので、0:10～6:00 のデータを用いて平均値としての散水による気温の低下量を算出した。表－14 から表－17 に算出結果を示す。観測地点や基準気温の選び方によって数値は異なるが、散水による平均としての気温の低下は、 $-0.2 \sim -0.4$ 度程度になった。ただし、図－14 に示すように基準気温と散水路線の気温差のデータはばらつきが

表－14 散水による気温低下
平成 17 年 丸の内
夜間散水 23:00 頃～4:00 頃

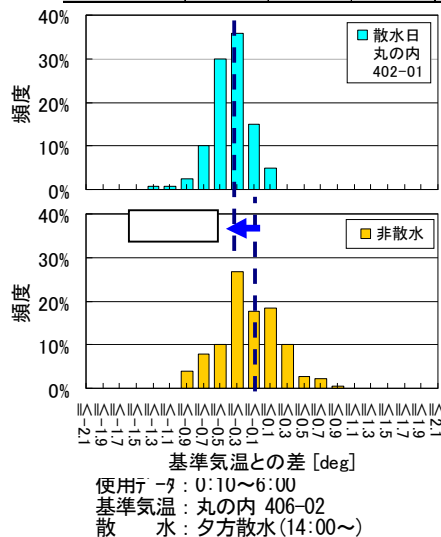
	散水路線			備考
観測地点	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	基準地点
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	deg	deg	deg	
平均気温低下 (deg)	-0.24	-0.23	-0.26	丸の内402-01 馬場先門
平均気温低下 (deg)	-0.14	-0.20	-0.22	日比谷公園
平均気温低下 (deg)	-0.33	-0.36	-0.40	大手町402-01

表－15 散水による気温低下
平成 18 年 丸の内
夕方散水 前日 14:00 頃～18:00 頃

	散水路線			備考
観測地点	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	基準地点
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	deg	deg	deg	
平均気温低下 (deg)	-0.24	-0.23	-0.26	丸の内402-01 馬場先門
平均気温低下 (deg)	-0.14	-0.20	-0.22	日比谷公園
平均気温低下 (deg)	-0.33	-0.36	-0.40	大手町402-01

表－16 散水による気温低下
平成 18 年 神田 夜間散水 20:00 頃～2:30 頃

	散水路線									備考
観測地点	神田 403-01	神田 403-02	神田 403-03	神田 403-04	神田 403-05	神田 403-06	神田 403-07	神田 403-08	神田 403-09	基準地点
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	
平均気温低下 (deg)	-0.13	-0.26	-0.21	-0.22	-0.28	-0.31	-0.29	-0.13	-0.18	神田403-10 日本橋川
平均気温低下 (deg)	-0.04	-0.16	-0.12	-0.12	-0.18	-0.21	-0.20	-0.03	-0.08	神田405-03 ウイロントース
平均気温低下 (deg)	-0.23	-0.35	-0.30	-0.31	-0.37	-0.40	-0.38	-0.22	-0.27	神田405-04 区体育館



図－14 気温差の頻度分布の一例

大きく、自動車排熱などの人工排熱や風の流れなどの影響を受けていると考えられ、気温の低下が過小評価されている可能性が残る。

4. 湿度観測結果

(1) 散水による湿度変化の評価方法

散水による湿度変化の評価方法は、気温と同様に基準となる湿度を設定(表－7)し、その基準湿度との湿度差をとって散水日と非散水日の平均湿度差を算出し、さらにその差をとることによって散水による湿度の変化を評価した。気象条件が類似する日は、気温と同様に表－9、表－10 のとおりである。

表－17 散水による気温低下
平成 18 年 九段
夜間散水 20:00 頃～2:30 頃

	散水路線				備考
観測地点	九段 401-02	九段 401-03	九段 401-04	九段 401-05	基準気温 地点
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	deg	deg	deg	deg	
平均気温低下 (deg)	-0.35	-0.23	-0.43	-0.20	日比谷公園
平均気温低下 (deg)	-0.23	-0.11	-0.31	-0.08	神田403-10 日本橋川
平均気温低下 (deg)	-0.32	-0.20	-0.40	-0.17	神田405-04 区体育館

(2) 散水による湿度増加の統計的確認

散水日と非散水日の相対湿度について平均の差の検定を行った。表－18 から表－20 に両側検定、有意水準 5%の検定結果を示す。表中の●は、検定の結果、基準地点 3 地点のデータいずれを使っても散水によって対象地点の湿度が増加したことを統計的に確認できたことを示し、表中の◆は、基準地点 2 地点のデータで対象地点の湿度が増加したことを統計的に確認できたことを示す。

丸の内の観測地点（丸の内 402-01 丸の内 402-02、丸の内 402-03）では、夜間散水でも夕方散水でも翌日の午前まで散水によって湿度が増加することが統計的に確認でき、平成 18 年神田と九段の夜間散水でも散水によって湿度が増加することが統計的に確認できた。

表－18 検定結果(平成 17 年丸の内 夜間散水)

	観測地点	散水路線					
		丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	有楽町 402-01	丸の内 407-02	丸の内 406-01
散水	18:10～19:00	-	-	-	(-)	-	-
	19:10～20:00	-	-	-	(-)	-	-
	20:10～21:00	◆	-	-	(-)	-	-
	21:10～22:00	-	-	-	(-)	-	-
	22:10～23:00	-	-	-	(-)	-	-
	23:10～0:00	-	-	-	(●)	-	-
	0:10～1:00	-	-	◆	-	-	-
	1:10～2:00	●	●	●	(-)	●	-
	2:10～3:00	●	●	●	(-)	-	-
	3:10～4:00	●	●	●	(-)	-	-
	4:10～5:00	◆	●	-	(-)	-	-
	5:10～6:00	◆	●	-	(-)	-	-
	6:10～7:00	●	●	●	(●)	-	●
	7:10～8:00	◆	◆	◆	(◆)	-	-
	8:10～9:00	◆	◆	◆	(◆)	◆	◆
	9:10～10:00	◆	-	◆	(◆)	◆	◆
	10:10～11:00	●	◆	◆	(-)	●	●
	11:10～12:00	-	-	-	(-)	-	-
	12:10～13:00	-	-	-	(●)	-	-
	13:10～14:00	-	-	-	(●)	-	-
	14:10～15:00	-	-	◆	(-)	-	-
	15:10～16:00	-	-	-	(-)	◆	-
	16:10～17:00	-	-	-	(◆)	-	-
	17:10～18:00	-	-	-	(●)	-	-

※括弧書きは、一部欠測があり参考値

表－19 検定結果(平成 18 年丸の内 夕方散水)

	観測地点	散水路線					
		丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	有楽町 402-01	丸の内 407-02	丸の内 406-01
散水	12:10～13:00	-	-	(-)	-	-	-
	13:10～14:00	-	-	(-)	-	◆	-
	14:10～15:00	◆	◆	(◆)	-	◆	-
	15:10～16:00	◆	◆	(◆)	-	-	-
	16:10～17:00	●	●	(●)	-	-	-
	17:10～18:00	●	●	(-)	-	-	-
	18:10～19:00	◆	◆	(-)	-	-	-
	19:10～20:00	-	-	(-)	-	-	-
	20:10～21:00	●	●	(-)	-	-	-
	21:10～22:00	◆	◆	(◆)	-	-	-
	22:10～23:00	◆	◆	(◆)	-	-	◆
	23:10～0:00	●	●	(-)	-	-	-
	0:10～1:00	◆	◆	(-)	-	-	-
	1:10～2:00	●	-	(-)	-	-	-
	2:10～3:00	◆	-	(-)	●	◆	◆
	3:10～4:00	◆	-	(◆)	-	-	-
	4:10～5:00	◆	-	(◆)	-	-	-
	5:10～6:00	◆	◆	(◆)	◆	●	●
	6:10～7:00	●	◆	(◆)	●	●	-
	7:10～8:00	◆	-	(◆)	-	●	-
	8:10～9:00	◆	-	(◆)	-	-	-
	9:10～10:00	-	-	(-)	-	-	-
	10:10～11:00	-	-	(-)	-	●	-
	11:10～12:00	-	-	(-)	-	-	-

※括弧書きは、一部欠測があり参考値

表－20 検定結果 (平成 18 年神田・九段 夜間散水)

		神田												九段					
		散水路線									比較路線			散水路線					九段
	観測地点	神田 403-01	神田 403-02	神田 403-03	神田 403-04	神田 403-05	神田 403-06	神田 403-07	神田 403-08	神田 403-09	神田 405-01	神田 405-02	神田 402-01	九段 401-02	九段 401-03	九段 401-04	九段 401-05	九段 401-06	
散水	18:10～19:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	-	◆	◆	-	-	◆	
	19:10～20:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	◆	◆	◆	-	-	◆	
	20:10～21:00	-	●	-	-	-	●	◆	-	-	-	(-)	◆	◆	●	●	●	●	
	21:10～22:00	-	●	◆	●	◆	◆	◆	-	◆	-	(-)	-	◆	◆	◆	◆	◆	
	22:10～23:00	-	●	-	●	◆	◆	◆	◆	◆	-	(-)	-	◆	-	◆	◆	◆	
	23:10～0:00	-	●	●	●	●	●	●	●	◆	-	(-)	-	◆	-	●	◆	●	
	0:10～1:00	-	●	●	-	●	◆	◆	●	◆	-	(-)	-	◆	-	◆	-	-	
	1:10～2:00	◆	●	◆	●	◆	●	◆	-	◆	◆	(-)	-	◆	◆	●	-	-	
	2:10～3:00	-	●	◆	-	●	●	●	-	◆	-	(-)	-	◆	-	◆	-	◆	
	3:10～4:00	-	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	-	(-)	-	◆	-	◆	-	-	
	4:10～5:00	-	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	-	(-)	-	◆	-	-	-	-	
	5:10～6:00	-	◆	-	◆	◆	◆	◆	◆	◆	-	(-)	-	◆	-	◆	-	●	
	6:10～7:00	-	◆	◆	◆	◆	●	◆	-	◆	-	(-)	-	●	◆	●	◆	●	
	7:10～8:00	-	-	-	-	-	-	◆	-	-	-	(-)	-	-	◆	◆	◆	-	
	8:10～9:00	-	-	-	-	-	●	●	-	-	-	(-)	-	-	◆	●	◆	-	
	9:10～10:00	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	(-)	◆	◆	-	●	◆	-	
	10:10～11:00	-	-	◆	-	◆	-	◆	-	◆	-	(-)	-	-	-	●	-	-	
	11:10～12:00	-	◆	-	◆	◆	◆	-	-	-	-	(-)	-	-	-	●	-	-	
12:10～13:00	◆	-	-	●	-	◆	-	-	-	-	(-)	-	-	◆	-	-	-		
13:10～14:00	-	●	-	●	-	●	-	-	-	-	(-)	-	-	-	-	-	-		
14:10～15:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(◆)	-	-	-	-	-	-		
15:10～16:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	-	-	-	-	-	-		
16:10～17:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	-	-	-	-	-	-		
17:10～18:00	-	-	-	◆	-	◆	-	◆	-	-	(-)	-	-	-	-	-	-		

表－21 散水による湿度増加
平成 17 年 丸の内
夜間散水 23:00 頃～4:00 頃

観測地点	散水路線			備考
	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	基準地点
単位	%	%	%	
平均湿度増加 (%)	2.0	1.9	1.8	丸の内402-01 馬場先門
平均湿度増加 (%)	1.3	1.6	1.3	日比谷公園
平均湿度増加 (%)	2.2	2.1	2.0	大手町402-01

表－22 散水による湿度増加
平成 18 年 丸の内
夕方散水 前日 14:00 頃～18:00 頃

観測地点	散水路線			備考
	丸の内 402-01	丸の内 402-02	丸の内 402-03	
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	基準気温 地点
単位	%	%	%	
平均湿度増加 (%)	1.4	0.7	1.9	丸の内406-02 馬場先門
平均湿度増加 (%)	1.7	1.0	0.2	日比谷公園
平均湿度増加 (%)	1.8	1.1	2.6	神田405-04 区体育館

表－23 散水による湿度増加
(平成 18 年 神田 夜間散水 20:00 頃～2:30 頃)

	散水路線									備考
観測地点	神田 403-01	神田 403-02	神田 403-03	神田 403-04	神田 403-05	神田 403-06	神田 403-07	神田 403-08	神田 403-09	基準地点
使用データ	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
平均湿度増加 (%)	0.1	1.6	0.9	1.2	1.3	1.8	1.3	0.8	0.9	神田403-10 日本橋川
平均湿度増加 (%)	0.1	1.6	0.9	1.2	1.4	1.8	1.3	0.8	0.9	神田405-03
平均湿度増加 (%)	1.1	2.6	1.9	2.2	2.4	2.8	2.3	1.8	1.9	神田405-04 区体育館北

表-24 散水による湿度増加
(平成 18 年 九段 夜間散水 20:00 頃～2:30 頃)

	散水路線				備考
観測地点	九段 401-02	九段 401-03	九段 401-04	九段 401-05	基準地点
時間	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	0:10 ～6:00	
単位	%	%	%	%	
平均湿度増加 (%)	2.3	1.5	2.6	1.2	日比谷公園
平均湿度増加 (%)	1.3	0.6	1.7	0.3	神田403-10 日本橋川
平均湿度増加 (%)	2.4	1.6	2.7	1.3	神田405-04 区体育館

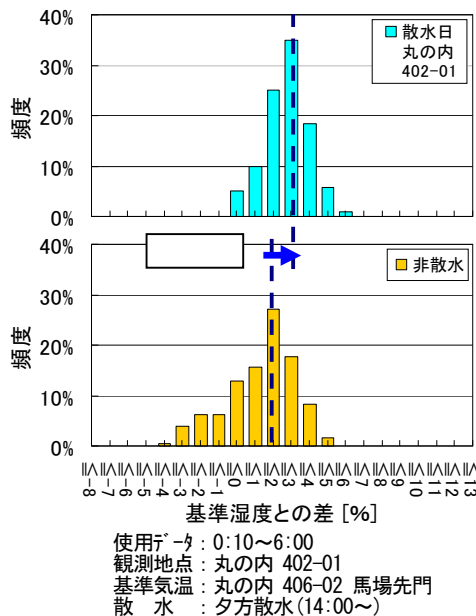


図-15 湿度差の頻度分布の一例

(3) 散水による相対湿度増加量

0:10～6:00 のデータを用いて平均値としての散水による相対湿度の増加量を算出した。表-21～表-24 に算出結果を示す。散水による相対湿度の増加の平均値は、1～2%程度になった。ただし、図-15 に示すように基準湿度と散水路線の湿度の差のデータは、ばらつきが大きく、風の流れなどの影響を受けていると考えられる。

5. 黒球温度の観測結果と WBGT 値

(1) WBGT 値の算出方法

黒球温度計（グローブ温度計、グローブサーモメーター）は、直径 15cm の黒い中空銅球における球内の温度を測定し、周囲面の熱放射と周囲空気との対流の両者による平衡温度を測定するものである。

WBGT (Wet・Bulb・Globe・Temperature) は、ヤグロー (C. P. Yaglou) が、熱帯地域における軍事訓練で

の熱中症を予防するために作った指標であり、黒球温度と気温、湿球温度から算出する。

WBGT 値を算出する際の使用データを表-25 に示す。黒球温度を測定する上で、日照条件を散水路線と比較路線で揃えるために日射計を併設した。日射量が 200W/m²以上となる日向の場合のデータは使用せず、街路樹及び建物によって日陰になる場合と比較した。そのため、比較路線の観測地点で 11:00～15:00 頃に日照があるため、この時間帯のデータは使用しなかった。WBGT 値は、室内または日陰として次式で算出した。

$$\text{WBGT 値} = 0.7 \times [\text{湿球温度 } t_w] + 0.3 \times [\text{黒球温度 } t_g]$$

湿球温度 t_w は下式から算出した。ただし、解析解を求めることができないので気温と相対湿度の値から繰り返し計算によって算出した。

$$e_s(t_w) - e = \alpha P(t - t_w) \quad \text{乾湿公式}$$

$$\text{rh} = \frac{e}{e_s(t)} \times 100\% \quad \text{相対湿度の定義式}$$

$$e_s(t_w) = a \times 10^{bt/c+t} \quad \text{飽和水蒸気圧算出式(tetens の式)}$$

$$e_s(t) = a \times 10^{bt/c+t} \quad \text{飽和水蒸気圧算出式(tetens の式)}$$

t : 気温(°C)

rh: 相対湿度(%)

t_w : 湿球温度(°C)

t_g : 黒球温度(°C)

e : 水蒸気圧(hPa)

$e_s(t_w)$: 湿球温度 t_w に対応する飽和水蒸気圧(hPa)

$e_s(t)$: 気温 t に対応する飽和水蒸気圧(hPa)

α : 乾湿公式の定数(簡易乾湿計 $\alpha = 0.008K^{-1}$)

P : 気圧(hPa) ここでは $P = 1000$ hPa(固定値)とした

a, b, c : tetens の式の定数 $a = 6.1078$, $b = 7.5$, $c = 273.3$

表-25 WBGT 算出の際の使用データ

項目	観測機器	記録 間隔	観測地点	観測高
乾球 温度	自然通風式 気温計	10分	神田403-04 神田403-04	1.5m
相対 湿度	自然通風式 湿度計	10分	神田405-02 神田405-03※	1.5m 1.5m
黒球 温度	黒球温度計	10分	黒球-内神田403 神田403-04 黒球-内神田405 神田405-02	2.88m 2.80m
湿球 温度	気温と相対湿度から繰り返し計算によって算出			

※神田405-02地点の相対湿度は一部欠測があるため、
神田405-03地点のデータで代用した

(2) 散水による黒球温度と WBGT 値の変化の評価方法

散水による黒球温度および WBGT 値の評価方法は、気温と同様に基準となる黒球温度および WBGT 値を設定して、その基準値と散水路線沿道での観測値との差

をとって散水日と非散水日の平均黒球温度差および WBGT 値差を算出し、さらにその差をとることによって散水による変化を評価した。黒球温度差及び散水による黒球温度変化の算出式と、WBGT 値差及び散水による WBGT 値変化の算出式を以下に示す。

$$\begin{aligned}
 [\text{WBGT 値差}] &= [\text{対象地点の WBGT 値}] - [\text{基準の WBGT 値}] \\
 [\text{散水による黒球温度変化}] &= \\
 [\text{散水日の平均黒球温度差}] &- [\text{非散水日の平均黒球温度差}] \\
 [\text{黒球温度差}] &= [\text{対象地点の黒球温度}] - [\text{基準の黒球温度}] \\
 [\text{散水による WBGT 値変化}] &= \\
 [\text{散水日の平均 WBGT 値差}] &- [\text{非散水日の平均 WBGT 値差}]
 \end{aligned}$$

(3) 散水による湿度増加の統計的確認

基準の黒球温度および WBGT 値は、比較路線である都道 405 号線(外濠通り)沿道(神田 405-02)の観測値である。対象地点は散水路線である都道 403 号線沿道(神田 403-04)である。気温の場合と同様に、条件を満たした散水日と非散水日は、表-10のとおりである。

表-26 に両側検定、有意水準 5%での平均の差の検定を行った結果

を示す。表中の●は、検定の結果、散水によって黒球温度または WBGT 値が低下したことが統計的に確認できたことを示す。夜間散水によって黒球温度、WBGT 値が低下することが統計的に確認でき、翌日の午前まで散水の効果が持続している。

(4) 散水による黒球温度および WBGT 値

散水路線沿道の観測地点で 0:10~6:00 および 6:10~11:00 のデータを用いて平均値としての散水による黒球温度および WBGT 値の変化量を算出した。表-27 に算出結果を示す。0:10~6:00 の平均としての黒球温度の低下は、-0.3 度程度、平均としての WBGT 値の低下は、-0.1 程度という結果となった。

表-27 散水による黒球温度
および WBGT 値の変化
(平成 18 年 神田 夜間散水 20:00 頃~2:30 頃)

項目	黒球温度	WBGT 値
単位	deg	—
0:10~6:00	-0.30	-0.13
6:10~11:00	-0.38	-0.17

(5) 保水性舗装沿道と密粒度舗装沿道の黒球温度および WBGT 値

表-28 に非散水日において観測した保水性舗装沿道での黒球温度と密粒度舗装沿道での黒球温度の平均値を示す。夜間 0:10~6:00 の平均では、保水性舗装沿道の観測値と密粒度舗装沿道の観測値に差がないが、昼間 6:10~11:00 の平均では、散水路線に散水をしていないにもかかわらず、保水性舗装沿道の観測値で黒球温度が低くなった。これは、散水をしない場合でも、保水性舗装は密粒度舗装よりも温度が上昇しにくい傾向があり、昼間の午前中では保水性舗装沿道での観測値の方が低くなったことが考えられる。表-29 に示すように、散水後の場合、保水性舗装沿道と密粒度舗装沿道での観測値との差がさらに大きくなっており、散水による影響と考えられる。

表-28 非散水日の黒球温度(平成 18 年 神田)

	非散水日 散水路線 保水性舗装	非散水日 比較路線 密粒度舗装	
項目 単位	黒球温度 ℃	黒球温度 ℃	温度差 deg
0:10~6:00	26.8	26.8	0.0
6:10~11:00	29.2	29.8	-0.6

表-29 散水後の黒球温度
(平成 18 年 神田 夜間散水 20:00 頃~2:30 頃)

	散水日 散水路線 保水性舗装	散水日 比較路線 密粒度舗装	
項目 単位	黒球温度 ℃	黒球温度 ℃	温度差 deg
0:10~6:00	26.5	26.8	-0.3
6:10~11:00	28.8	29.8	-0.9

表-30 に非散水日における保水性舗装沿道と密粒度舗装沿道での WBGT 値の平均値を示す。黒球温度の場合と同様に保水性舗装沿道での値の方が低くなった。また、散水後ではさらに WBGT 値が低下した(表-31)。ただし、黒球温度や WBGT の値は、気温や湿度、

表-26 検定結果
平成 18 年神田 夜間散水

	黒球温度	WBGT 値
18:10~19:00	-	-
19:10~20:00	-	-
20:10~21:00	-	-
21:10~22:00	●	●
22:10~23:00	●	-
23:10~0:00	-	-
0:10~1:00	●	-
1:10~2:00	●	-
2:10~3:00	●	●
3:10~4:00	●	●
4:10~5:00	●	-
5:10~6:00	●	●
6:10~7:00	●	-
7:10~8:00	-	-
8:10~9:00	-	-
9:10~10:00	●	●
10:10~11:00	●	●
11:10~12:00	※	※
12:10~13:00	※	※
13:10~14:00	※	※
14:10~15:00	※	※
15:10~16:00	-	-
16:10~17:00	-	-
17:10~18:00	-	-

※基準地点のみに日照あり

気流、周辺建物からの放射の影響を受けるものであり、観測値は、その他の観測地点の状況に左右されるので、保水性舗装と密粒度舗装の違いだけによるものであるとは言えず、不確定要因を多く含んだ結果であることに留意する必要がある。

表－30 非散水日の WBGT 値(平成 18 年 神田)

	非散水日 散水路線 保水性舗装	非散水日 比較路線 密粒度舗装	
項目	WBGT	WBGT	差
0:10～6:00	25.2	25.5	-0.3
6:10～11:00	26.2	26.4	-0.2

表－31 散水後の WBGT 値
(平成 18 年 神田 夜間散水 20:00 頃～2:30 頃)

	散水日 散水路線 保水性舗装	散水日 比較路線 密粒度舗装	
項目	WBGT	WBGT	差
0:10～6:00	24.8	25.2	-0.4
6:10～11:00	25.9	26.3	-0.4

6. まとめ

①散水によって気温が低下したのかどうかを確認するため、散水とは無関係の位置における基準となる気温を設定して、その基準気温と散水路線沿道の気温との気温差をデータとして、散水日と非散水日の二つの母集団について 1 時間ごとに両側検定、有意水準 5%で平均の差の検定を行った。その結果、散水路線の観測地点では、夜間に散水を実施しても夕方に散水を実施しても、翌日の 7:00～9:00 頃までは散水の効果が持続することが統計的に確認でき、夜間に散水するよりも夕方に散水した場合の方が効果の持続期間を長くすることができると考えられる。

②散水とは無関係の位置における基準となる気温を設定して、その基準気温と散水路線沿道での気温の気温差をとって散水日と非散水日の平均気温差を算出し、さらに散水日と非散水日の平均気温差の差をとることによって散水による気温の変化を評価した。その結果、観測地点や基準の選び方によって数値は異なるが、

0:10～6:00 の平均としての気温の低下は、 $-0.2 \sim -0.4$ 度程度になった。ただし、基準気温と散水路線の気温差のデータはばらつきが大きく、自動車排熱などの人工排熱や風の流れなどの影響を受けていると考えられ、気温の低下が過小評価されている可能性が残っている。

③気温と同様の評価方法で夕方散水または夜間散水による湿度増加を算出した結果、0:10～6:00 の平均としての相対湿度の増加は、1～2%程度という結果になった。また、散水日と非散水日の二つの母集団について 1 時間ごとに両側検定、有意水準 5%で平均の差の検定を行った結果、夕方散水、夜間散水いずれでも翌日の午前まで湿度が増加することが統計的に確認できた。

④気温と同様の評価方法で夜間散水による黒球温度と WBGT 値の低下を算出した結果、0:10～6:00 の平均としての黒球温度の低下は、 -0.3 度程度、平均としての WBGT 値の低下は、 -0.1 程度という結果となった。

また、散水日と非散水日の二つの母集団について両側検定、有意水準 5%で平均の差の検定を行った結果、夜間散水によって黒球温度と WBGT 値が低下することが統計的に確認できた。

⑤散水しない場合でも、黒球温度と WBGT 値は、密粒度舗装沿道の観測値より保水性舗装の方が低くなった。ただし、黒球温度や WBGT 値の値は、気温や気流、周辺建物からの放射の影響を受けるものであり、観測値は、その他の観測地点の状況に左右されるので、不確定要因を多く含んだ結果である。

謝辞

本観測にあたり、観測場所の提供を日比谷公園管理所から頂きました。気象官署(東京)のデータは気象庁の気象月報を使用しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 小作好明、廣島実、松村真人、中村正明(2004)、保水性舗装を施工した汐留地区における観測及び測定結果、平 16.都土木技研年報、291-302
- 2) 小作好明、廣島実(2006)、汐留における気温観測、平 17.都土木技研年報、239-244
- 3) 小作好明、廣島実(2007)、丸の内の保水性舗装に散水した場合の気温・湿度と熱輸送量、平 18.都土木技術センター年報、181-192