

## 21. 汐留における気温観測

### Observations of Temperature in Shiodome

地象部 小作好明、廣島 実

#### 1. 調査概要

##### (1) はじめに

ヒートアイランド現象緩和の取り組みとして、汐留地区では、水分を含むことができる保水性舗装を施工している。また、下水再生水を舗装路面に散水するための散水管が設置されている。そこで、2003年の夏期には観測を実施し、舗装路面に散水した日と散水しない日について、気温や舗装内温度の比較を行った<sup>1)</sup>。2004年についても、観測を継続したので、その結果を報告する。

##### (2) 保水性舗装と散水範囲及び観測位置

図-1 に汐留地区内の保水性舗装の範囲と散水範囲、観測位置を示す。汐留地区内には補助313号線、環状2号線、区街3号線があり、保水性舗装が施工されている。以後、補助313号線を1、2、3ブロック、環状2号線を4ブロックと呼称する。

下水再生水を供給する散水管は、東京都下水道局が2003年に補助313号である1、2、3ブロックに設置した。2003年夏期の調査では、補助313号の両側の車道部に散水を行ったが、2004年夏期の調査では車道の片側だけに東京都下水道局が散水を行った。表-1 に2004年夏期の散水の実施状況を示す。1ブロックの観測場所は、散水範囲ではない低騒音舗装と保水性舗装の境目付近であり、ビルの谷間であることから、日照は正午前後の2時間半程度の場所である。2ブロックの観測位置は、散水範囲の中央部

になるが、新交通ゆりかもめの高架橋の下で、ビルの陰でもあり、日照は午前の3時間程度である。4ブロックの観測位置は低騒音舗装で非散水箇所であり、汐留の高層ビル群の南東側なので南側が開け、日陰がほとんどない位置である。3ブロックについては、2004年には観測を継続しなかった。また、2003年の調査と同様に、汐留での気温と比較するため、浜離宮においても気温と湿度を観測した。樹木の下にセンサを設置したので日照がほとんどない場所である。なお、汐留1、2、4ブロック、浜離宮の気温・湿度計は、地上から高さ1.5mの位置に設置した。

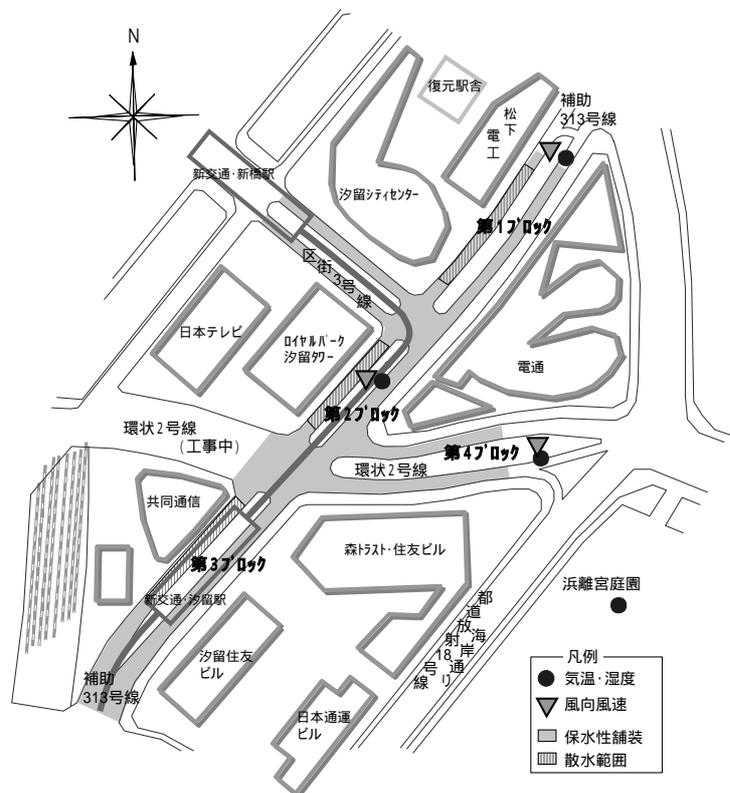


図-1 汐留地区概要図

表-1 散水の実施

回数	月日	散水時刻	散水時間 (分)	全ﾌﾞｯｸ 総散水量 (m <sup>3</sup> )	天候
1	7月12日	5:00 ~ 5:30	30	24	曇一時晴
2	7月13日	5:00 ~ 5:30 7:45 ~ 8:15	60	38	晴
3	7月14日	5:00 ~ 5:30	30	17	晴一時曇
4	7月15日	5:00 ~ 6:00	60	23	晴後一時雨
5	7月16日	5:00 ~ 6:00	60	26	曇後一時雨
6	7月20日	6:00 ~ 6:30	30	12	晴一時曇
7	7月21日	6:00 ~ 6:30	30	13	晴後曇
8	7月22日	8:00 ~ 9:00	60	25	晴時々曇
9	7月23日	6:00 ~ 7:00	60	26	晴
10	7月26日	7:00 ~ 7:30	30	14	曇一時雨
11	7月27日	7:00 ~ 7:30	30	12	晴時々曇
12	7月28日	7:00 ~ 7:30	30	19	晴
13	7月29日	7:00 ~ 8:00	60	17	曇時々雨 2ﾌﾞｯｸ散水なし
14	7月30日	7:00 ~ 8:00	60	25	曇後一時雨
15	8月2日	8:00 ~ 8:30	30	12	晴
16	8月3日	8:00 ~ 8:30	30	10	曇後一時晴
17	8月4日	8:00 ~ 8:30	30	9	晴
18	8月5日	8:00 ~ 9:00	60	34	曇
19	8月6日	8:00 ~ 9:00	60	32	晴一時曇
20	8月9日	9:00 ~ 9:30	30	15	晴後一時曇
21	8月10日	9:00 ~ 9:30	30	15	晴後曇一時雨
22	8月11日	9:00 ~ 9:30	30	16	曇後晴
23	8月12日	9:00 ~ 10:00	60	29	晴後薄曇
24	8月13日	9:00 ~ 10:00	60	35	晴一時曇
25	8月18日	12:00 ~ 12:10	10	68	晴一時曇
26	8月19日	12:00 ~ 12:10	10		晴一時曇
27	8月20日	12:00 ~ 12:10	10		晴
28	8月23日	12:00 ~ 12:10	10		曇後一時雨
29	8月24日	12:00 ~ 12:10	10		曇
30	8月25日	12:00 ~ 12:10	10		曇一時雨

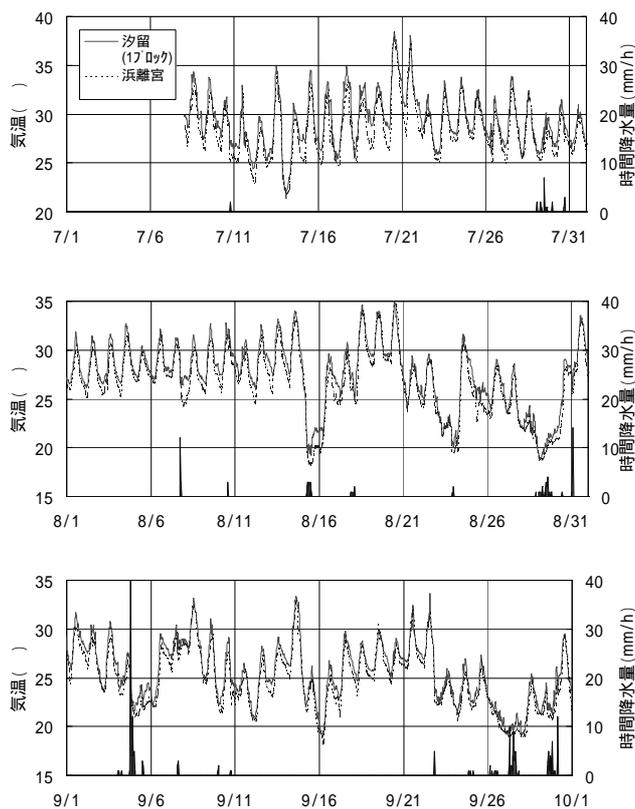


図-2 2004年7月～9月の気温及び降水量

2. 夏期(7～9月)の気温及び風向

2004年7月8日から9月30日の期間に気温を観測した。図-2に汐留1ﾌﾞｯｸと浜離宮の気温の時刻変化を示す。2003年の夏期は冷夏であったのに対し、2004年の7月から8月の中旬までは、気温30を超える日が続く厳しい暑さであり、7月20日には、気象官署(東京)で気温39.5を観測して最高気温の記録を更新した。しかし、8月下旬から9月にかけては平年並みに戻った。

図-3に7月8日から9月30日までの観測地点の平均気温、最高気温の平均値、最低気温の平均値を示す。高層ビルの谷間にあたる汐留1、2ﾌﾞｯｸは、気象官署(東京)に比べ、最高気温が低く、最低気温は高い傾向がある。これに対し、日陰がほとんどない汐留4ﾌﾞｯｸでは、いずれの平均値でも高い傾向があり、樹木が多く、海岸に近い浜離宮は、いずれの平均値でも低い値となっている。

表-2 各観測地点の平均気温

	気象官署 (東京)	汐留 1ﾌﾞｯｸ	汐留 2ﾌﾞｯｸ	汐留 4ﾌﾞｯｸ	浜離宮
平均気温	27.0	27.3	26.9	27.4	26.5
最高気温 の平均	31.0	30.8	29.9	31.4	29.8
最低気温 の平均	23.9	24.4	24.2	24.4	23.6
日照条件		正午前後 の2時間半 程度	午前 の3時間 程度	7時半-15 時の7時間 半程度	樹木下で ほとんどな し

データ: 汐留と浜離宮の気温は、2004年7月8日～9月31日の10分毎の値を用いた。気象官署(東京)の気温は気象庁月報の値を用いた。

3. 汐留地区内の風向

図-3に汐留地区内における夏期晴天日の昼間(9:00～15:00観測値)の風向図を示す。太い矢印は観測期間内に最も多く現れた風向き(最多風向)を表す。矢印の付近の図は、風向の頻度を示したものである。高層ビルのため風向に偏りがあり、2ﾌﾞｯｸでは風が散水範囲を横切り観測位置が風下になるが、1ﾌﾞｯｸでは観測位置が風上になってしまっている。

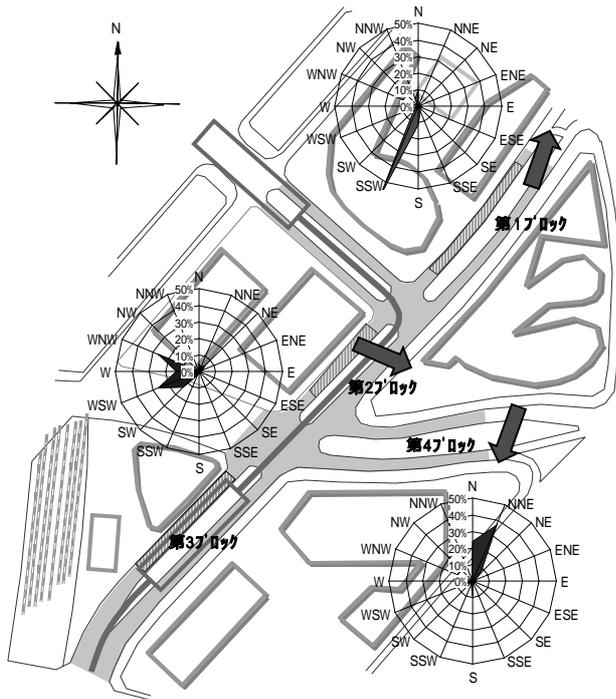


図-3 汐留地区内の風向

#### 4 散水による気温の変化

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が、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、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、散水した日と散水しない日（非散水日）の平均気温差を算出し、さらにその差をとることによって散水による気温の変化を評価した。気温差及び散水による気温低下の算出式を以下に示す。

$$[\text{気温差}] = [\text{汐留の気温}] - [\text{基準気温}]$$

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

##### (1) 基準気温の設定

気温は、日射がある場合では高くなり、日射がない場合では低くなるので、日向の場合、散水によって気温が低下したとしても相殺されて判別ができず、逆に日陰の場合、散水によって気温が低下したのか日陰によって気温が低下したのか判別できない。そこで、日照がほとんどない観測地点とほぼ一日中の

日照がある観測地点の気温を基準気温として設定した。2003年夏期の調査と同様に、浜離宮と汐留4ブロックの気温を基準気温として選定した。浜離宮は樹木の下に気温計を設置したので日射がほとんどなく、気温が低くなる。一方、汐留4ブロックは日射が一日当たるので気温が高い。図-4に汐留2ブロックと浜離宮、汐留4ブロックにおける気温の時間変化の例を示す。汐留2ブロックの気温は汐留4ブロックと浜離宮の間にあることが多い。

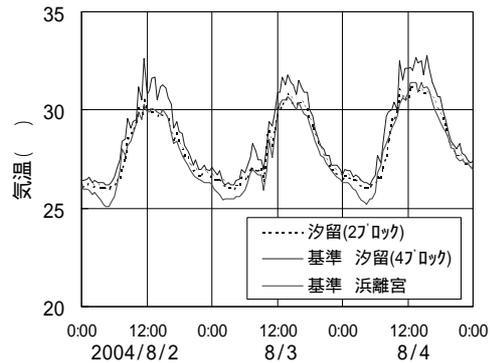


図-4 気温の時間変化の例

##### (2) 気象条件が類似する日の抽出

2004年7月8日から9月31日の期間で降水がなく、汐留4ブロックの最高気温が30を超える晴天日を抽出した。表-3に散水日と非散水日の晴天日の日付を示す。2003年の調査では、散水回数、晴天日ともに少なかったため、散水日のデータが3日分しかなかったが、2004年では、18日分のデータを取得できた。

表-3 気温30を超える晴天日

散水日 晴天日	散水しない日 晴天日	
7/13 (37.3)	7/8 (35.6)	9/1 (32.1)
7/14 (32.1)	7/9 (34.9)	9/2 (31.2)
7/15 (35.7)	7/10 (32.7)	9/3 (31.1)
7/20 (39.8)	7/11 (34.1)	9/8 (34.0)
7/21 (39.9)	7/17 (35.5)	9/14 (34.3)
7/22 (32.1)	7/18 (34.7)	9/17 (31.1)
7/23 (34.4)	7/19 (33.7)	9/19 (31.4)
7/27 (35.7)	7/24 (34.5)	9/21 (32.6)
7/28 (34.0)	7/25 (33.4)	9/22 (33.2)
8/2 (32.6)	8/1 (32.1)	9/30 (30.1)
8/4 (33.5)	8/8 (32.2)	
8/6 (32.8)	8/14 (35.1)	
8/9 (33.0)	8/16 (30.7)	
8/12 (32.8)	8/21 (30.1)	
8/13 (33.6)	8/31 (35.0)	
8/18 (35.6)		
8/19 (35.2)		
8/20 (36.4)		

括弧内は汐留4ブロックの最高気温

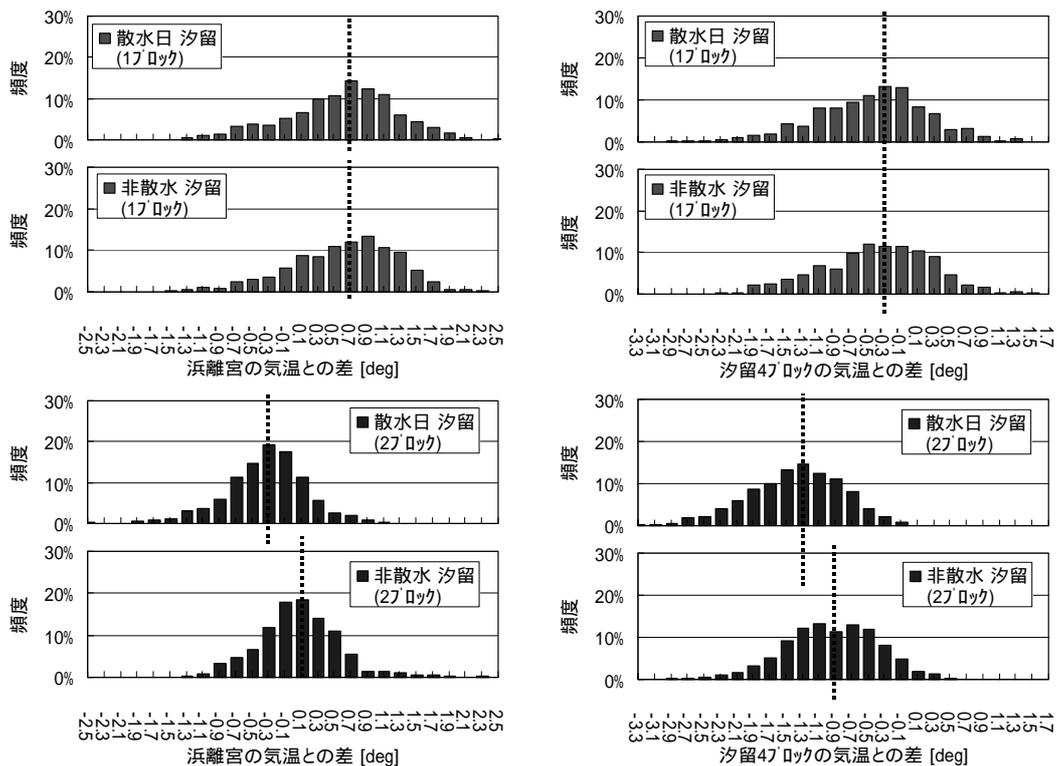


図-5 気温差の頻度分布

### (3) 基準気温との気温差

浜離宮及び 4 ブロックの気温を基準気温とした気温差を算出した。使用したデータは、非散水日では、9:00 から 15:00 までの 10 分毎の値であり、散水日については、散水の時刻を考慮して、散水終了から 15:00 までの値である。

図-5 に浜離宮及び 4 ブロックとの気温差の頻度分布を示す。1 ブロックでは散水日と非散水日ともに気温差の分布形状が類似しており、散水による気温の低下は見られない。しかし、2 ブロックの散水日を見ると、2 ブロックの気温は、気温が低いはずの浜離宮よりもさらに低いデータがあり、時には 1 度以上も低く、散水によって 2 ブロックの気温が低下していることが分かる。

### (4) 気温低下の算出

表-4 に散水による気温低下の算出結果を示す。基準気温は、浜離宮では日射がほとんどない条件、4 ブロックは、ほぼ一日中日照が当たる場所で観測した気温であり、数時間程度の日照時間しかない汐留地区各ブロックの気温は、この 2 つの日照条件の間になり、今回算出した値は上限値と下限値に相当すると考えられる。

表-4 散水による気温低下

	17ブロック 散水しない箇所		27ブロック 散水箇所	
	浜離宮 基準	47ブロック 基準	浜離宮 基準	47ブロック 基準
散水日の 平均気温差(deg)	0.536	-0.522	-0.386	-1.445
非散水日の 平均気温差(deg)	0.556	-0.458	0.005	-1.009
散水による 平均気温低下(deg) (散水日-非散水日)	-0.02 ~ -0.06 散水効果なし		-0.39 ~ -0.44 平均 -0.4 度程度	

平均値としては、1 ブロックの散水による気温の低下がほとんどなかった。1 ブロックは低騒音舗装と保水性舗装の境目に位置し、散水範囲にない位置で散水範囲の風上になってしまっている可能性がある。2 ブロックでは、浜離宮の気温を基準にして散水による気温低下を算出すると-0.39 度、4 ブロックの気温を基準にすると-0.44 となり、散水による気温の低下の平均値は、この間の値の -0.4 度程度と考えられる。

### (5) 気温低下の統計的検定・推定

散水をしない日でも、2 ブロックの気温が浜離宮の気温より低い場合があり、逆に散水をしても気温が下がらない場合もあるため、散水によって気温が低下するのかを統計的に確認する必要がある。

そのため、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。そこで、まず、等分散性の検定を行った。表-5 に等分散性の検定結果を示す。その結果、分散が等しいという仮説は棄却されなかった。ただし、これは、分散が等しいことを意味している訳ではない。しかし、二つの母集団の分散が等しいとして、次に平均の差の検定を行った。表-6 に平均の差の検定結果を示す。検定の結果、二つの母集団の平均値は等しいという仮説は棄却されたので、有意水準 5%で散水日と非散水日では、平均に差があると言え、散水によって気温が低下していることが確認できた。

散水による気温低下は次式で表されるので

[散水による気温低下] =

$$[\text{散水日の平均気温差 } \mu_A] - [\text{非散水日の平均気温差 } \mu_B]$$

$\mu_A - \mu_B$  が散水による気温の低下を表す。母分散が等しい場合、母平均の差  $\mu_A - \mu_B$  の 95% 信頼区間は、次式で表される。

$$\mu_A - \mu_B \quad (\bar{X}_A - \bar{X}_B) + t_{0.795}(\ ) s \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}$$

$$\mu_A - \mu_B \quad (\bar{X}_A - \bar{X}_B) - t_{0.795}(\ ) s \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}$$

表-6 に平均値の 95% 信頼区間を示す。浜離宮と 4 ブロックの二つの気温を基準にした場合の信頼区間が重なるので、散水による気温の低下の平均値が-0.4 程度というのとは妥当な値と言える。

ただし、平均値ではなく、散水効果について個々の値の範囲を  $\mu \pm 1.96$  (正規分布を仮定した 95% 信頼区間) とすると、共通標準偏差  $s$  が 0.49 と 0.57 なので  $\pm 0.5$  として、散水の効果は  $+0.6 \sim -1.4$  と広い範囲になり、大きなばらつきを持つと考えられる。

### 5 散水による湿度の変化

相対湿度についても気温と同様に基準湿度を設定し、湿度差をとることにより、散水による湿度の変化を評価した。ただし、浜離宮の湿度は樹木の蒸散の影響が考えられるので、基準湿度は 4 ブロックの湿度のみとした。用いたデータは、気温の場合と同様に表-3 に示す日とし、非散水日では 9:00 から 15:00、散水日では散水終了から 15:00 までとした。ただし、

表-5 等分散性の検定 (2 ブロック)

	仮説 $H_0$ : $\sigma_A^2 = \sigma_B^2$	汐留2ブロック気温	
		浜離宮基準	4ブロック基準
散水日	不偏分散 $s_A^2$	0.237	0.326
	$\bar{x}$ -度数 $n_A$	703	703
	自由度 $\nu_A = n_A - 1$	702	702
非散水日	不偏分散 $s_B^2$	0.249	0.330
	$\bar{x}$ -度数 $n_B$	925	925
	自由度 $\nu_B = n_B - 1$	924	924
有意水準		5%	5%
分散比 $F_0$ $F_0 = s_A^2/s_B^2, s_B^2/s_A^2$		1.05	1.01
F値 $F_{0.975}(\nu_A, \nu_B)$		1.15	1.15
判定		$F_0 < F_{0.975}$	$F_0 < F_{0.975}$
結果		仮説 $H_0$ は棄却されない	仮説 $H_0$ は棄却されない

表-6 平均の差の検定・推定 (2 ブロック)

	仮説 $H_0$ : $\mu_A = \mu_B$	汐留2ブロック	
		浜離宮基準	4ブロック基準
散水日	標本平均 $\bar{X}_A$	-0.39	-1.44
	不偏分散 $s_A^2$	0.237	0.326
	$\bar{x}$ -度数 $n_A$	703	703
非散水日	標本平均 $\bar{X}_B$	0.00	-1.01
	不偏分散 $s_B^2$	0.249	0.330
	$\bar{x}$ -度数 $n_B$	925	925
有意水準		5%	5%
共通標準偏差 $s$ $\left[ \frac{(n_A - 1)s_A^2 + (n_B - 1)s_B^2}{n_A + n_B - 1} \right]^{1/2}$		0.49	0.57
$t_0 = \frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{s \sqrt{1/n_A + 1/n_B}}$		-15.82	-15.20
$\nu = n_A + n_B - 2$		1626	1626
t値 $t_{0.975}(\ )$		2.24	2.24
判定		$ t_0  > t_{0.975}$	$ t_0  > t_{0.975}$
結果		仮説 $H_0$ は棄却される	仮説 $H_0$ は棄却される
区間推定 95% 信頼区間		$-0.39 \pm 0.06$ $-0.45 \sim -0.33$	$-0.44 \pm 0.06$ $-0.5 \sim -0.38$

気温と異なり湿度データは 30 分毎の値である。

図-6 に 4 ブロックとの湿度差の頻度分布、表-7 に汐留 4 ブロックの相対湿度を基準とした散水による湿度変化の算出結果を示す。散水による湿度変化は、平均値として 1 ブロックでは 1% 程度、2 ブロックでは 1~2% の増加と考えられる。平均値の差の検定は、表-8 の等分散性の検定の結果、1 ブロックでは等分散として扱い、2 ブロックでは異分散として行った。その結果、1, 2 ブロックともに二つの母集団の平均値は等しいという仮説は棄却されるので、有意水準 5%で散水日と非散水日では、平均に差があると言え、散水によって湿度が増加することが確認できた。

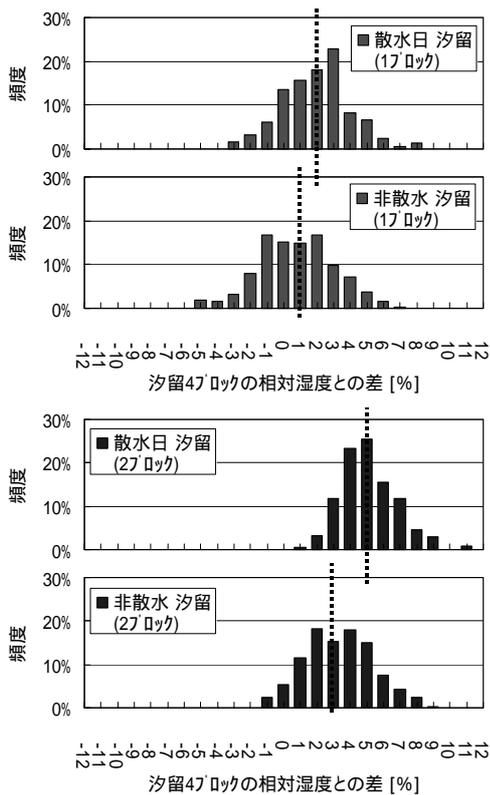


図-6 相対湿度差の頻度分布

表-7 散水による湿度変化

	17日沓 散水しない箇所	27日沓 散水箇所
	浜離宮 基準	浜離宮 基準
散水日の 平均相対湿度差(%)	1.96	5.11
非散水日の 平均相対湿度差(%)	0.78	3.35
散水による 平均湿度変化(%) (散水日-非散水日)	1.17	1.76
	1%程度	1~2%程度

## 6. まとめ

2003年夏期の調査では沓留2日沓の散水による気温の低下の平均値は-0.3度程度という結果であったが、2004年の観測では、データが増えたこともあり、平均値で-0.4度程度となった。また、平均の差の検定を行った結果、有意水準5%で散水によって気温が低下していることが確認できた。

散水による相対湿度の増加は、1~2%程度となった。また、平均の差の検定を行った結果、有意水準5%で散水によって湿度が増加することが確認できた。

### 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沓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

表-8 等分散性の検定(1,2日沓)

仮説 $H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$		沓留17日沓	沓留27日沓
		4日沓基準	4日沓基準
散水日	不偏分散 $s_A^2$	4.29	2.86
	自由度 $n_A - 1$	244	244
非散水日	不偏分散 $s_B^2$	5.33	4.25
	自由度 $n_B - 1$	325	325
有意水準		5%	5%
分散比 $F_0$ $F_0 = s_A^2 / s_B^2$		1.24	1.49
F値		1.26	1.26
判定		$F_0 < F_{0.975}$	$F_0 > F_{0.975}$
結果		仮説 $H_0$ は棄却されない	仮説 $H_0$ は棄却される

表-9 平均の差の検定・推定(1,2日沓)

仮説 $H_0: \mu_A = \mu_B$		沓留17日沓	沓留27日沓
		4日沓基準	4日沓基準
散水日	標本平均 $\bar{X}_A$	1.96	5.11
	不偏分散 $s_A^2$	4.29	2.86
非散水日	標本平均 $\bar{X}_B$	0.78	3.35
	不偏分散 $s_B^2$	5.33	4.25
有意水準		5%	5%
等分散/異分散		等分散	異分散
$t_0$ 値		6.27	11.15
自由度		567	563
t値 $t_{0.975}()$		2.25	2.25
判定		$ t_0  > t_{0.975}$	$ t_0  > t_{0.975}$
結果		仮説 $H_0$ は棄却される	仮説 $H_0$ は棄却される
区間推定 95%信頼区間		1.17 ± 0.42 0.75 ~ 1.59	1.76 ± 0.35 1.41 ~ 2.11

### 謝辞

本観測にあたっては、都市整備局市街地整備部から観測機器及び観測場所の提供を頂きました。散水については東京都下水道局の協力を頂きました。観測場所の提供を浜離宮庭園から頂きました。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。