

## 4. 遮熱性舗装における気温と熱輸送量の観測結果

### Field Observations of Air Temperature and Heat fluxes above Solar Heat-blocking Pavement

技術支援課 小作好明、鶴田 隆生

#### 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、建設局ではヒートアイランド現象を抑制する取り組みとして、近赤外領域の波長の日射を反射して舗装温度の上昇を抑制する遮熱性舗装を施工している。遮熱性舗装の効果を確認するため、平成 19 年(2007)から平成 20 年(2008)にかけて夏期に遮熱性舗装が施工される前の気温と遮熱性舗装が施工された後の気温について観測を実施し、比較を行った。しかし、市街地の沿道における気温は、日々異なり、時々刻々と変化する。また、観測値は、自動車排熱や風などの影響を受けており、遮熱性舗装によって気温が変化したのか、空気が流入しただけなのかを判断できず、遮熱性舗装の効果だけを抽出して評価することが難しい。そこで、観測値を統計的な仮説検定の手法を用いて分析し、遮熱性舗装の効果について検討した。また、気温を上昇させる顕熱輸送量の観測を実際の遮熱性舗装が施工されている道路において実施した。観測方法は、熱輸送量の観測方法として精度が良いとされる渦相関法である。遮熱性舗装と同時に低音舗装でも観測を実施したので、その結果を報告する。

#### 2. 気温観測

##### (1) 気温観測方法

図-1 に観測機器の設置模式図を示す。気温計は、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てしまう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た。なお、温度センサに機器差があるので、観測前に閉めきった室内で水温を同時測定し、機器差を補正した。観測路線の日向と日陰の状況を確認するため、日射計を設置した。データの記録間隔は、気温計で 10 分、日射計で 2 分毎とし、10 分平均値を用いた。

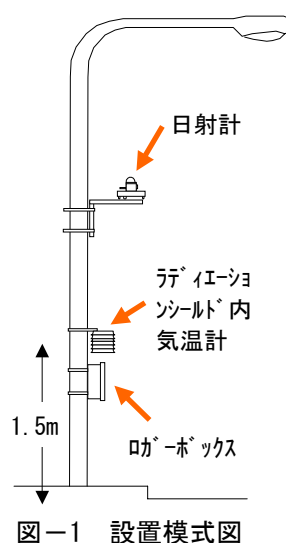


図-1 設置模式図



写真-1 気温観測

表-1 観測項目

観測項目	観測高 (車道面基準)	記録 間隔
気温	1.5m	10分
日射量	2.5m 以上	2分

##### (2) 気温観測位置

図-2、図-3 に平成 19 年(2007)と平成 20 年(2008)の四谷四丁目、神保町における気温・日射量の観測位置を示す。遮熱性舗装が施工されることによって気温が下がるかどうかを確認するため、気温計を遮熱性舗装の沿道に設置した。施工前と施工後の気温を比較するため、基準地点として、遮熱性舗装とは無関係の位置にも気温計を設置した。

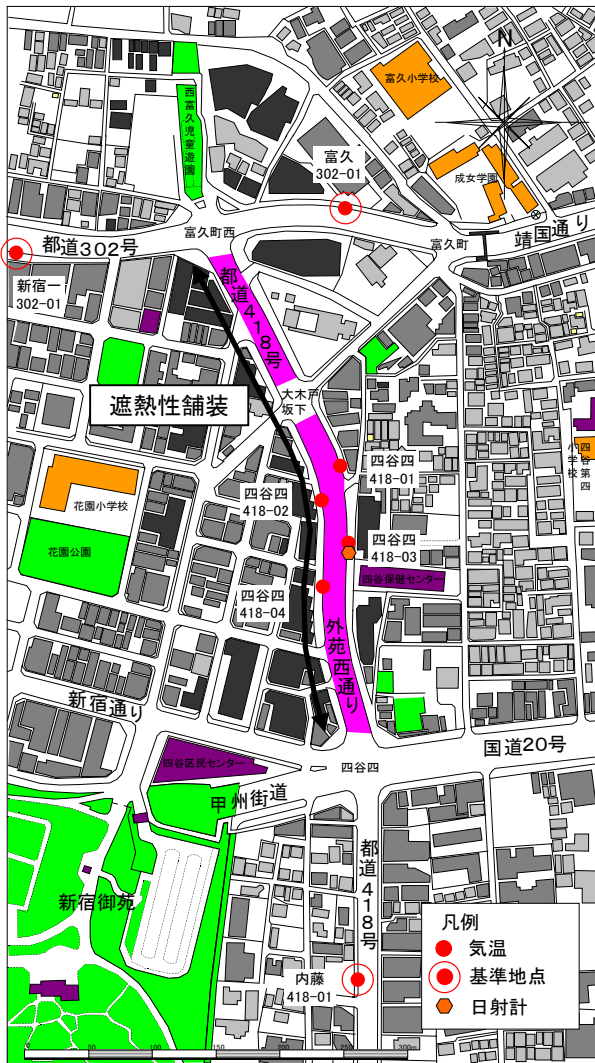


図-2 観測位置(平成19年平成20年四谷四丁目)

また、観測路線の日向、日陰といった日射条件を確認するため、観測路線の沿道に日射計を設置した。

図-4 に四谷四丁目と神保町に設置した日射計の観測値の一例を示す。四谷四丁目の観測路線は、道路の高さが大木戸坂下で最も低くなる坂道であり、両側に建物がある南北方向の路線である。そのため、日向になりにくく、午前10時頃までと午後2時過ぎから日陰となってしまふ。これに対して、神保町の観測路線は、東西方向の路線であり、道路幅も比較的大きいことから、午前7時頃から日向になる。

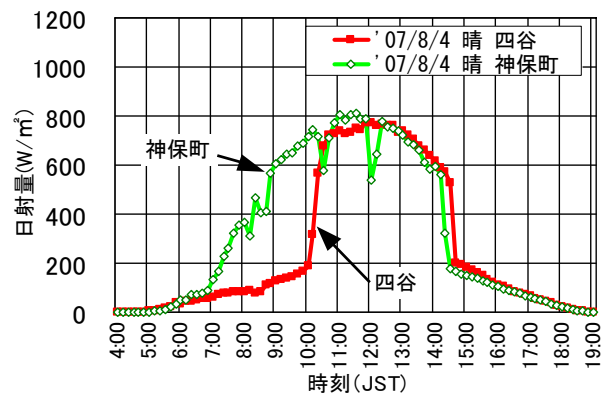


図-4 観測路線の日射条件

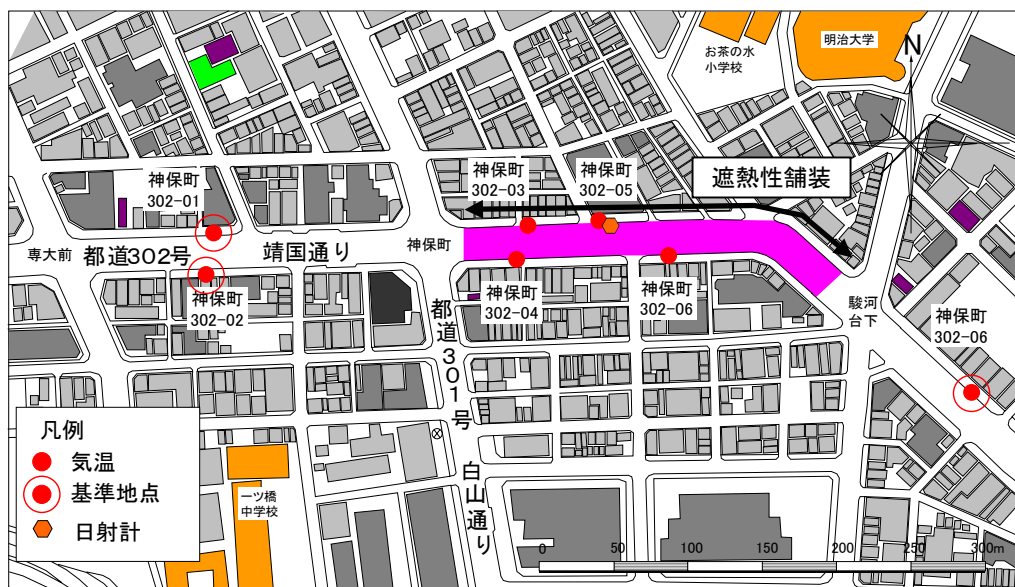
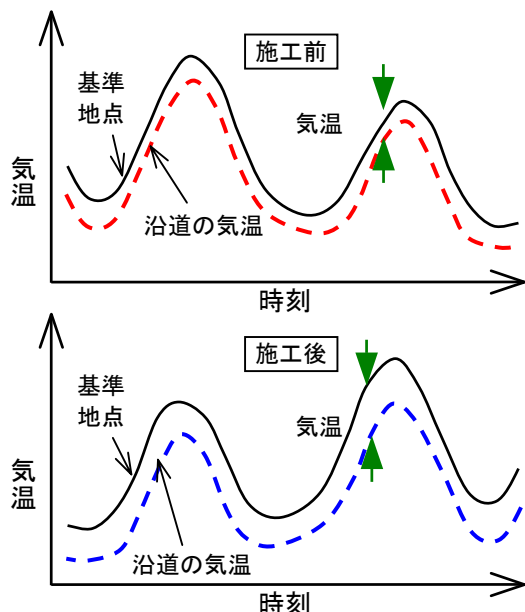


図-3 観測位置(平成19年平成20年 神保町)

### (3) 遮熱性舗装による気温低下の評価方法

遮熱性舗装による気温の変化を評価するためには、施工前と施工後の気温を比べる必要がある。そこで、遮熱性舗装とは無関係の位置における基準となる地点を設定して、その基準地点の気温と遮熱性舗装沿道の気温の差をとり、施工前と施工後の気温を比較した。図-4 に遮熱性舗装による気温低下の概念図を示す。施工後の気温が下がる場合、基準地点の気温は下がらないはずなので、施工前に比べて基準地点と沿道との気温差が広がると考えられる。



$$[\text{気温差}] = [\text{遮熱性舗装沿道の気温}] - [\text{基準地点の気温}]$$

図-5 遮熱性舗装による気温低下の概念図

表-3 抽出日（四谷四丁目）

		天候		最高 気温 ℃	翌日 最低 気温 ℃	9:00~ 14:00 積算日射 MJ/m <sup>2</sup>
		昼	夜			
施工後	2008/7/25	晴	曇	34.5	24.6	9.9
	2008/8/7	晴	晴	34.2	27.6	9.1
	2008/8/14	晴	晴	34.5	27.6	10.8
	2008/9/3	晴	晴	32.3	24.5	10.4
	2008/9/12	晴	晴	31.3	23.8	10.1
施工前	2007/7/24	晴	晴	31.5	22.4	12.1
	2007/7/28	晴	晴	32.3	22.8	10.0
	2007/8/4	晴	晴	34.8	26.4	10.6
	2007/8/5	晴	晴	33.5	25.9	9.3
	2007/8/7	晴	晴	33.2	27.1	9.0
	2007/8/9	晴	晴	34.0	27.7	10.4
	2007/8/11	晴	晴	36.4	26.7	10.0
	2007/8/12	晴	晴	33.6	26.6	12.5
	2007/8/14	晴	晴	34.1	27.7	12.1
	2007/8/15	晴	晴	35.7	29.4	11.0
	2007/8/19	晴	曇	32.4	27.4	9.8
	2007/8/20	晴	曇	35.9	26.3	10.0
	2007/8/21	晴	晴	34.2	25.7	9.1
	2007/9/16	晴	晴	32.0	26.5	11.6
	2007/9/21	晴	晴	31.5	24.0	10.8

### (4) 気象条件が類似する日の抽出

遮熱性舗装を施工する前と後で気温を比較するためには、その他の気象条件をできる限り同じにする必要がある。そこで、表-2 の条件を満たす日を対象とした。前日及び当日には降水がなく、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、日当たりを考慮して、9:00~14:00の積算日射量が9MJ/m<sup>2</sup>以上の晴天日と曇天日を対象とした。表-3、表-4 に抽出した日付を示す。

表-2 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 (神田)
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	9:00~14:00積算日射量 9MJ/m <sup>2</sup> 以上の 晴天日 曇天日	設置した日射計

表-4 抽出日（神保町）

		天候		最高 気温 ℃	翌日 最低 気温 ℃	9:00~ 14:00 積算日射 MJ/m <sup>2</sup>
		昼	夜			
施工後	2008/7/19	晴	曇	33.8	24.2	10.7
	2008/7/20	晴	曇	32.1	24.6	12.8
	2008/7/22	晴	曇	32.4	26.8	10.2
	2008/7/23	曇	曇	32.4	27.1	9.3
	2008/7/25	晴	曇	34.5	24.6	12.2
	2008/8/3	晴	晴	32.7	26.4	9.4
	2008/8/7	晴	晴	34.2	27.6	11.3
	2008/8/8	晴	晴	35.3	25.5	10.2
	2008/8/14	晴	晴	34.5	27.6	12.6
	2008/8/15	晴	晴	34.9	24.9	11.8
2008/9/3	晴	晴	32.3	24.5	11.4	
施工前	2007/7/24	晴	晴	31.5	22.4	14.7
	2007/7/25	晴	晴	30.8	24.9	10.4
	2007/7/28	晴	晴	32.3	22.8	11.6
	2007/8/4	晴	晴	34.8	26.4	12.6
	2007/8/5	晴	晴	33.5	25.9	11.3
	2007/8/6	晴	晴	33.0	25.8	11.8
	2007/8/7	晴	晴	33.2	27.1	10.7
	2007/8/8	晴	晴	33.6	27.0	9.8
	2007/8/9	晴	晴	34.0	27.7	12.9
	2007/8/11	晴	晴	36.4	26.7	11.1
	2007/8/12	晴	晴	33.6	26.6	13.5
	2007/8/14	晴	晴	34.1	27.7	11.3
	2007/8/15	晴	晴	35.7	29.4	12.7
	2007/8/16	晴	曇	37.0	25.9	9.9
	2007/8/19	晴	曇	32.4	27.4	10.5
	2007/8/20	晴	晴	35.9	26.3	11.1
	2007/8/21	晴	晴	34.2	25.7	10.9
	2007/8/26	晴	晴	33.6	26.4	9.3
	2007/9/9	晴	晴	30.9	24.4	9.8
2007/9/16	晴	晴	32.0	26.5	11.9	
2007/9/21	晴	晴	31.5	24.0	9.5	

(5) 遮熱性舗装による気温低下の統計的確認

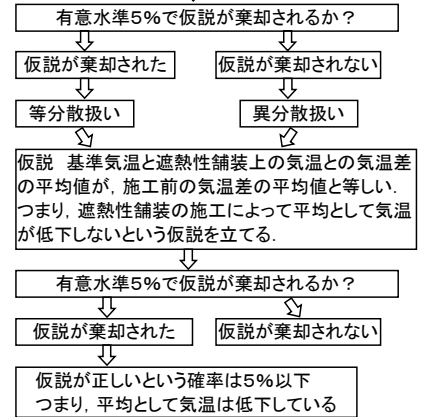
遮熱性舗装によって気温が低下したかどうかを統計的に確認するため、基準地点の気温との気温差をデータとして、施工前と施工後の二つの母集団について平均の差の検定を行った。平均の差の検定をする場合、二つの母集団の分散が等しいと考えてよい場合と分散が異なる場合とは検定方法が異なるので、等分散性の検定を行った上で平均の差の検定を行った。検定の手順を図-6に示す。まず、遮熱性舗装施工後と施工前のデータを使用して等分散の検定を行い、等分散なのか異分散なのかを判断する。次に、「基準気温と遮熱性舗装上の気温との気温差の平均値が、施工前の気温差の平均値と等しい。つまり、遮熱性舗装の施工によって平均として気温が低下しない」という仮説を立てる。有意水準5%で仮説が棄却されるかどうかをt値によって判断する。この仮説が棄却されれば、仮説が正しいという確率は5%以下ということになり、平均として気温は低下しているという結論になる。

表-5に両側検定、有意水準5%で1時間ごとに検定した結果を示す。基準地点の気温を1地点だけで仮説検定を行うと、施工後に基準地点の気温だけが偶然に高くなる場合、仮説が棄却されやすくなってしまふ。そこで、検定結果の信憑性を高めるため、基準地点3地点の気温データを使用した。表中の●は、基準地点3地点のデータいずれを使っても遮熱性舗装によって対象地点の気温が低下したことが統計的に確認できたことを示し、表中の◆は、基準地点2地点のデータで気温低下が統計的に確認できたことを示す。

等分散の検定

仮説 H <sub>0</sub>		$\sigma_A^2 = \sigma_B^2$	神保町 302-03
施工後	平均	$\bar{X}_A$	0.32
	不偏分散	$s_A^2$	0.05
	データ数	$n_A$	66
施工前	平均	$\bar{X}_B$	0.43
	不偏分散	$s_B^2$	0.08
	データ数	$n_B$	126
分散比 F <sub>0</sub>		$F = s_A^2 / s_B^2$	1.57
F <sub>0</sub> ≥ 1		$F = s_B^2 / s_A^2$	
自由度		$\nu_A = n_A - 1$	65
自由度		$\nu_B = n_B - 1$	125
有意水準		$\alpha$	5%
F値		$F_{0.975}(\nu_A, \nu_B)$	1.510
F <sub>0</sub> < F <sub>0.975</sub> (ν <sub>A</sub> , ν <sub>B</sub> )		$\sigma_A^2 = \sigma_B^2$	—
F <sub>0</sub> > F <sub>0.975</sub> (ν <sub>A</sub> , ν <sub>B</sub> )		$\sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$	○
判定			異分散

仮説 基準気温と遮熱性舗装上の気温との気温差の分散が、施工前の気温差の分散と等しい。



母平均の差の検定(等分散)

仮説 H <sub>0</sub>		$\mu_A = \mu_B$	
施工後	平均	$\bar{X}_A$	0.32
	不偏分散	$s_A^2$	0.05
	データ数	$n_A$	66
施工前	平均	$\bar{X}_B$	0.43
	不偏分散	$s_B^2$	0.08
	データ数	$n_B$	126
共通標準偏差 s		$\left( \frac{(n_A-1)s_A^2 + (n_B-1)s_B^2}{n_A + n_B - 2} \right)^{1/2}$	0.27
t <sub>0</sub>		$\frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{s[1/n_A + 1/n_B]^{1/2}}$	-2.89
自由度		$\nu = n_A + n_B - 2$	190
有意水準		$\alpha$	5%
t値		$t_{0.975}(\nu)$	2.259
t <sub>0</sub>   < t <sub>0.975</sub> (ν)		$\mu_A = \mu_B$	—
t <sub>0</sub>   > t <sub>0.975</sub> (ν)		$\mu_A \neq \mu_B$	○
棄却される			—

母平均の差の検定(異分散)

仮説 H <sub>0</sub>		$\mu_A = \mu_B$	神保町 302-03
施工後	平均	$\bar{X}_A$	0.32
	不偏分散	$s_A^2$	0.05
	データ数	$n_A$	66
施工前	平均	$\bar{X}_B$	0.43
	不偏分散	$s_B^2$	0.08
	データ数	$n_B$	126
t <sub>0</sub>		$\frac{\bar{X}_A - \bar{X}_B}{[s_A^2/n_A + s_B^2/n_B]^{1/2}}$	-3.10
c		$\frac{s_A^2}{n_A(s_A^2/n_A + s_B^2/n_B)}$	0.55
自由度 ν		$\frac{1}{c^2/(n_A-1) + (1-c)^2/(n_B-1)}$	160
有意水準		$\alpha$	5%
t値		$t_{0.975}(\nu)$	2.263
t <sub>0</sub>   < t <sub>0.975</sub> (ν)		$\mu_A = \mu_B$	—
t <sub>0</sub>   > t <sub>0.975</sub> (ν)		$\mu_A \neq \mu_B$	○
棄却される			効果あり

図-6 検定の手順

仮説検定の結果を表-5に示す。四谷四丁目の観測路線では、昼間、夜間ともに遮熱性舗装によって気温が低下したことを統計的に確認できなかった。遮熱性舗装は、その原理上、近赤外線を反射して舗装温度の上昇を抑制するため、日陰になりやすい四谷四丁目の観測路線では、気温が低下することが統計的に確認できなかったと考えられる。これに対し、日向になりやすい神保町の観測路線では、遮熱性舗装を施工することによって夜間に気温が低下したことを統計的に確認できた。遮熱性舗装によって舗装の蓄熱が少なくなったので夜間に気温が低下したものと考えられる。

ただし、昼間の場合、遮熱性舗装によって気温が低下することが確認できなかった。図-7 に示すように、夜間の場合、気温差の値の小さいデータの数が増し、平均としては、気温が下がっているが、図-8 に示す昼間の場合、気温差データの分布の範囲が広く、ばらつきが大きい。神保町の観測路線である靖国通りは交通量が多く、自動車排熱などの人工排熱の影響を受けてしまったため、仮説検定を行っても有意にならなかったものと考えられる。また、遮熱性舗装に沿った空気の流れを気温センサが捉えていないことが考えられるので、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は効果を評価できない場合がある。

表-5 検定結果

観測地点	平成19・20年夏期 四谷四丁目				平成19・20年夏期 神保町			
	四谷四 418-01	四谷四 418-02	四谷四 418-03	四谷四 418-04	神保町 302-03	神保町 302-04	神保町 302-05	神保町 302-06
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	-	-	-	-	-	-	-	-
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	-	●	-	-	●	-	●	-

表-6 遮熱性舗装施工後の気温低下  
神保町

観測地点	神保町				基準地点
	神保町 302-03	神保町 302-04	神保町 302-05	神保町 302-06	
使用データ	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	
平均気温 低下(deg)	-0.15	0.03	-0.08	-0.03	神保町 302-01
平均気温 低下(deg)	-0.21	-0.04	-0.15	-0.10	神保町 302-02
平均気温 低下(deg)	-0.13	0.04	-0.07	-0.02	神保町 302-07

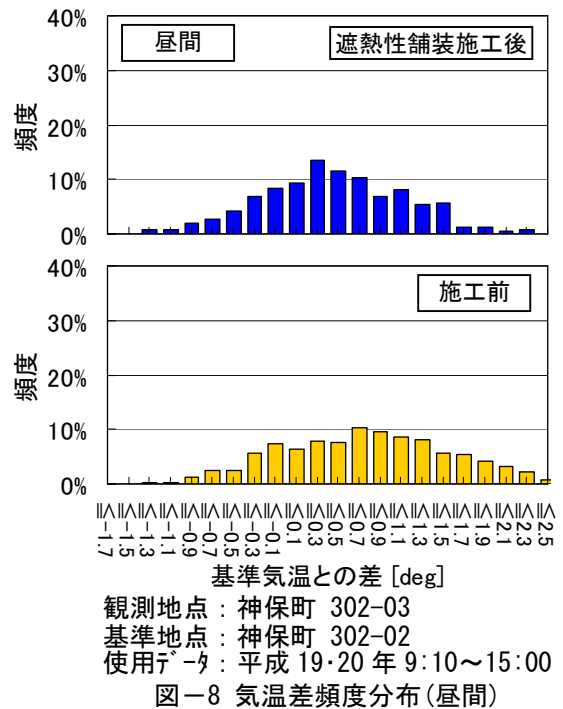
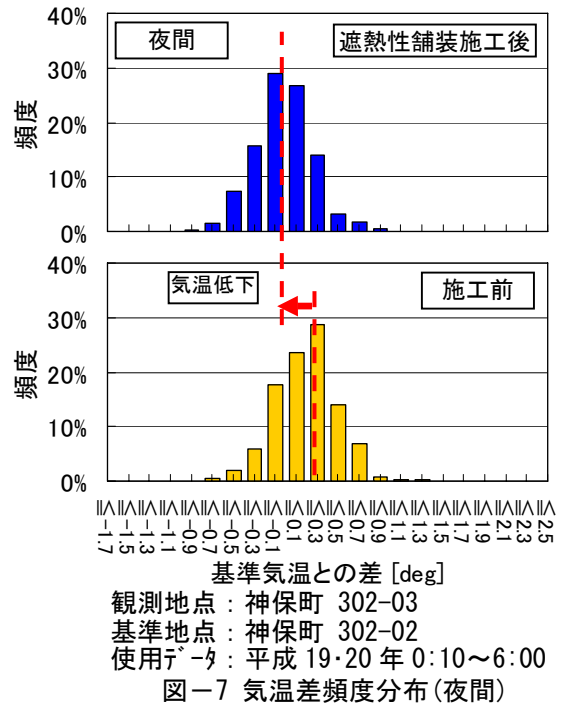


表-7 遮熱性舗装施工後の気温低下  
四谷四丁目

観測地点	四谷四丁目				基準地点
	四谷四 418-01	四谷四 418-02	四谷四 418-03	四谷四 418-04	
使用データ	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	0:10 ~6:00	
平均気温 低下(deg)	0.10	0.03	0.20	0.09	内藤 418-01
平均気温 低下(deg)	0.23	0.15	0.33	0.21	新宿一 302-01
平均気温 低下(deg)	0.00	-0.08	0.09	-0.02	富久 302-01



## (6) 気温低下量

基準地点と観測路線沿道との気温の差のデータを用いて、平均値としての遮熱性舗装による気温の低下量を算出した。遮熱性舗装による気温低下の算出式を次に示す。

$$[\text{遮熱性舗装による気温低下}] = [\text{施工後の平均気温差}] - [\text{施工前の平均気温差}]$$

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るという利点がある。表-6、表-7に遮熱性舗装施工後の気温低下の算出結果を示す。日向が多い神保町の場合、基準地点の選び方によって数値は異なるが、遮熱性舗装施工後に平均としての夜間における気温の低下は、0.0～-0.2度程度になった。しかし、日陰が多い四谷四丁目の場合、基準地点によって遮熱性舗装施工後の気温が上がる場合と下がる場合があり、遮熱性舗装施工前後で気温への効果を確認することができなかった。遮熱性舗装よりも、自動車排熱などの人工排熱や風の流れ、観測地点の状況など、遮熱性舗装以外の不確定な要因の影響が強かったためと考えられ、図-7、図-8に示すようにデータのばらつきが大きい上での平均値を算出しているため、他の要因の影響が大きい場合、気温の低下が過小評価されている可能性がある。

## 3. 熱輸送量観測

### (1) 熱輸送量観測位置

熱輸送量の現地観測の位置を図-9から図-11に示す。観測場所は、中央区築地四丁目（築地）、中央区日本橋茅場町二、三丁目（茅場町）、葛西臨海公園の駐車場（葛西臨海）の遮熱性舗装である。遮熱性舗装の場合と観測値を比較するため、低騒音舗装でも観測を同時に実施した。

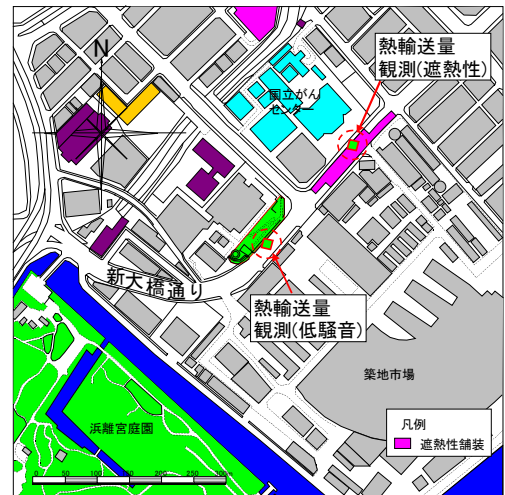


図-9 熱輸送量観測位置（築地）

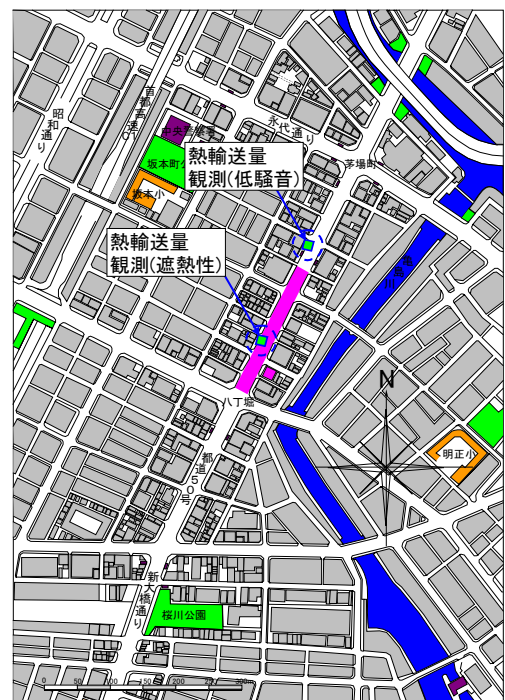


図-10 熱輸送量観測位置（茅場町）



図-11 熱輸送量観測位置（葛西臨海公園駐車場）

## (2) 観測項目と観測機器

図-12 に熱収支の概念図を示し、次式に熱収支式を示す。

熱収支式

$$(S - \text{ref}S) + (L_{\text{下向}} - L_{\text{上向}}) = H + \iota E + G \equiv Rn$$

ここに

- S : 下向日射 (短波放射)
- refS : 上向日射 (短波放射)
- ref : アルベド (反射率)
- $L_{\text{下向}}$  : 大気放射 (長波放射)
- $L_{\text{上向}}$  : 地表面放射 (長波放射)
- H : 顕熱 (顕熱によって空気が温まる)
- $\iota E$  : 潜熱 (気化熱によって熱が奪われる)
- G : 蓄熱 (熱伝導)
- Rn : 正味放射

である。

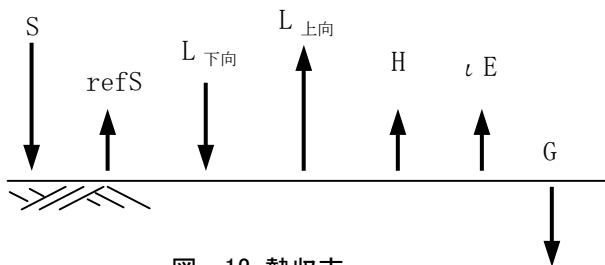


図-12 熱収支

地表面では、日射と大気放射のエネルギーが加えられ、上向日射と地表面放射によってエネルギーが放出する。この差し引きのエネルギーのことを正味放射という。熱収支の式は、この差し引きのエネルギー(正味放射)が顕熱と潜熱、蓄熱に配分されることを表している。顕熱は、地表面の熱を大気に輸送し、気温を上昇させる効果をもつ。潜熱は、水が液体から気体に相変化する際に熱を奪い、気温の上昇を抑制する効果をもつ。残りの熱は、熱伝導で地中に蓄えられることを表している。

遮熱性舗装は、近赤外領域波長の日射を反射して舗装への蓄熱を減らし、舗装の温度上昇を抑制することが期待されている。舗装の温度が上昇すると顕熱輸送量も上昇することから、熱輸送量調査では、気温を上昇させる顕熱を観測することを主な目的として実施した。熱輸送量観測における観測項目と観測機器を表-8 に示す。下向日射(短波放射)、上向日射(短波放射)、大気放射(長波放射)、地表面放射(長波放射)の観測には長短波放射計を用いた。顕熱は超音波風速温度計を用い、取得したデータの共分

散をとって渦相関法により算出した。地表面温度は、放射温度計で測定した。熱流量は、地表面に熱流計を添付し、地表面の熱流量を観測した。気温と相対湿度については、自然通風式よりも精度が高いとされる強制通風式の気温計とアスマン通風乾湿計を用いた。風速は、超音波風速温度計で観測した。

表-8 観測項目と観測機器

観測項目	観測機器	記録間隔	観測高
下向日射量	長短波放射計	1分	20cm
上向日射量		1分	
大気放射		1分	
地表面放射		1分	
顕熱	超音波風速温度計	50ms	1.0m
地表面温度	赤外線放射温度計	1分	50cm
地表面熱流	熱流計	1分	地表
気温	超音波風速温度計	50ms	1.0m
	強制通風式気温計	1分	3cm, 21cm 54cm, 1.0m
	アスマン通風乾湿計	1分	70cm
湿度	アスマン通風乾湿計	1分	70cm
風速	超音波風速温度計	50ms	1.0m

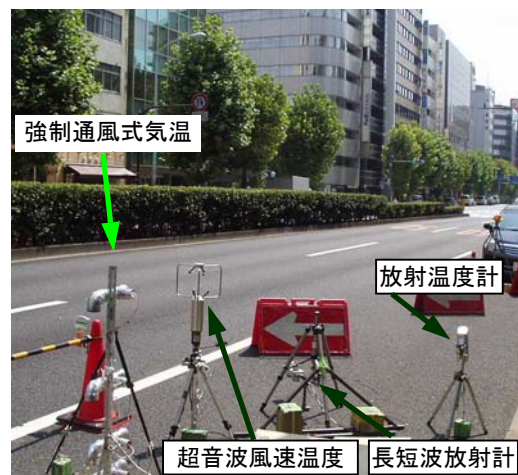


写真-2 熱輸送量観測状況(茅場町)



写真-3 超音波風速温度計



写真-4 放射温度計



写真-5 長短波放射計



写真-6 熱流計



写真-7 強制通風式気温

### (3) 渦相関法による顕熱輸送量の観測方法

顕熱フラックス（単位面積、単位時間当たりの顕熱輸送量のこと）は、次式で表される。

$$H = \rho C_p \overline{T'w}$$

$\overline{w}=0$  を仮定すると下式を仮定していることと同じになる。

$$H = \rho C_p \overline{T'w} = \rho C_p \overline{T'w'}$$

$H$ : 顕熱輸送量  $W \cdot m^{-2}$

$w$ : 鉛直風速  $m \cdot s^{-1}$

$T_s$ : 地表面温度  $^{\circ}C$

$\rho$ : 空気の密度  $kg \cdot m^{-3}$

$C_p$ : 空気の定圧比熱  $1004.7 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$T$ : 気温  $K, ^{\circ}C$

$\overline{T'w}$ :  $T$  と  $w$  の積の時間平均

ここで、 $w' = w - \overline{w}$ 、 $T' = T - \overline{T}$  である。

$\overline{T'w'}$  が共分散を表している。

渦相関法では、応答速度が非常に速い観測機器を用いて  $T$ 、 $w$  を観測し、共分散を算出して顕熱輸送量と潜熱輸送量を求めている。本調査では、超音波風速温度計で取得するデータは 50ms (1 秒間に 20 データ) ごとに記録し、5 分間分 (6000 データ) を用いて顕熱輸送量を算出した。

### (4) 築地における熱輸送量の観測結果

図-13 から図-17 に平成 20 年 8 月 15 日に築地でを行った観測の結果を示す。築地では、図-13 の日射

量に示すように、低騒音舗装の観測場所での日射量が遮熱性舗装の観測場所よりも少なくなった。これは、遮熱性舗装沿道の街路樹は小さく、低騒音舗装沿道の街路樹は大きかったので低騒音舗装の観測場所だけ街路樹の枝葉の陰が車道に入ったためである。

図-14 に築地で観測したアルベド(日射量の反射率)を示す。遮熱性舗装は、近赤外領域波長の日射を反射するが、使用した長短波放射計の短波放射計(日射計)の測定波長領域は  $0.3 \sim 2.8 \mu m$  なので近赤外領域の波長を含んでおり、遮熱性舗装のアルベドは低騒音舗装よりも大きくなる。築地でのアルベドは低騒音舗装で 0.04 程度、遮熱性舗装で 0.2 程度となった。図-15 に築地で観測した正味放射量を示す。低騒音舗装では街路樹の枝葉の陰が入り日射量が少ない分だけ正味放射量が少なくなっているが、遮熱性舗装でも反射によって正味放射量が少なくなっ

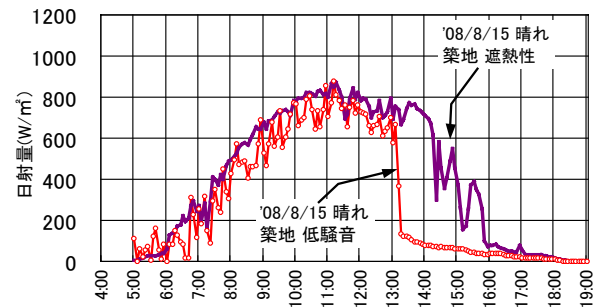


図-13 日射量 (2008/8/15 築地)

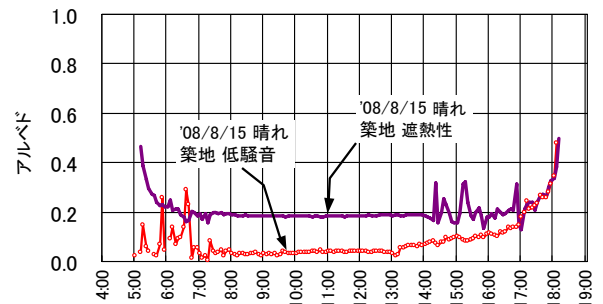


図-14 アルベド (2008/8/15 築地)

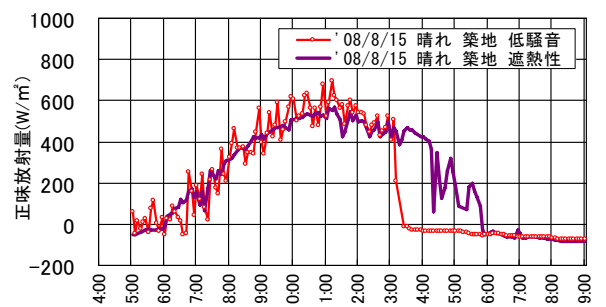


図-15 正味放射量 (2008/8/15 築地)



いるため、同程度の正味放射量となっている。遮熱性舗装は、大きい街路樹の枝葉の陰と同程度に正味放射量を削減しているとも考えられる。

図-16 に築地で観測した地表面温度、図-17 に顕熱輸送量を示す。低層音舗装では、12時過ぎから街路樹よって陰になってしまい、地表面温度が下がっている。このため、顕熱輸送量は12時過ぎから低騒音舗装で低く、遮熱性舗装で高い結果となった。

遮熱性舗装と低騒音舗装の観測場所で日射条件が異なり、遮熱性舗装で日向が多く、低騒音舗装で日陰が多いため結果であり、比較する観測場所の状況が大きく異なる場合は、遮熱性舗装の効果を評価することができなくなってしまった。

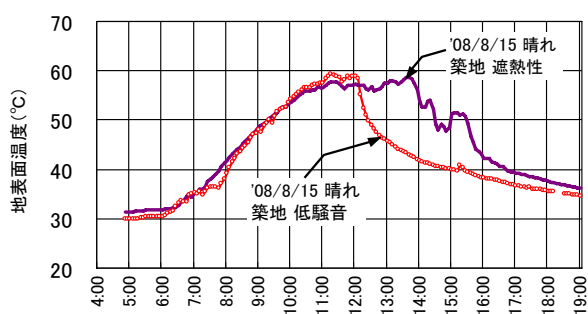


図-16 地表面温度 (2008/8/15 築地)

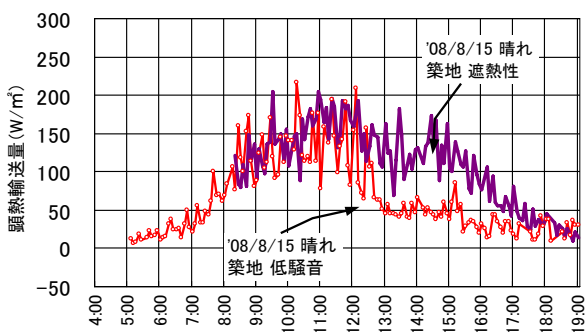


図-17 顕熱輸送量 (2008/8/15 築地)

#### (5) 茅場町における熱輸送量の観測結果

図-18 から図-22 に平成 20 年 8 月 19 日に茅場町で行った観測の結果を示す。茅場町でも、遮熱性舗装と低騒音舗装で同時に現地観測を実施した。茅場町では、沿道の街路樹や建物の状況がほとんど同じになっており、図-18 に示すように、低騒音舗装と遮熱性舗装の観測場所で日射量がほぼ同じである。ただし、観測路線が南西-北東方向であるため、沿道の建物によって日陰になる時間帯が多く、日向になる時間帯は、9:30 頃から 13:30 頃までである。また、

天候も晴れ及び薄曇りであったため、それほど日射量が多くならなかった。

図-19 に茅場町で観測したアルベド、図-20 に正味放射量を示す。茅場町における低騒音舗装のアルベドは、0.05 程度、遮熱性舗装で 0.3 程度となった。日射の条件が低騒音舗装と遮熱性舗装で同じであるため、遮熱性舗装における正味放射量が少なく、地表面に加えられるエネルギーは少なくなった。

図-21 に茅場町で観測した地表面温度、図-22 に顕熱輸送量を示す。観測した地表面温度は、低層音舗装と遮熱性舗装ではほとんど同じになっているが、顕熱輸送量は、低騒音舗装よりも遮熱性舗装でやや少なくなっており、遮熱性舗装の効果が少し発揮された結果と考えられる。

#### (6) 葛西臨海公園駐車場における熱輸送量の観測結果

図-23 から図-27 に平成 19 年 8 月 28 日に葛西臨海公園の駐車場で行った観測結果を示す。葛西臨海公園の駐車場でも、遮熱性舗装と低騒音舗装で同時に現地観測を実施した。図-22 に示すように葛西臨海公園の駐車場では、樹木や建物といった日射を遮るものが一切ないため、日向になる時間帯は一日中である。ただし、観測日の天候が晴れ時々曇りであったため、それほど日射量が多くならなかった。

図-24 に葛西臨海公園駐車場で観測したアルベド、図-25 に正味放射量を示す。葛西臨海公園駐車場における低騒音舗装のアルベドは 0.08 程度、遮熱性舗装で 0.3 程度である。日射の条件が低騒音舗装と遮熱性舗装で同じであるため、遮熱性舗装の反射率が高い分だけ正味放射量は少なく、地表面に加えられるエネルギーは少なくなっている。

図-26 に葛西臨海公園駐車場で観測した地表面温度、図-27 に顕熱輸送量を示す。観測した地表面温度は、低層音舗装で高く、遮熱性舗装で低くっている。このため、顕熱輸送量は、明らかに低騒音舗装が多く、遮熱性舗装で少ない結果となっている。遮熱性舗装の効果が十分に発揮された結果と考えられる。

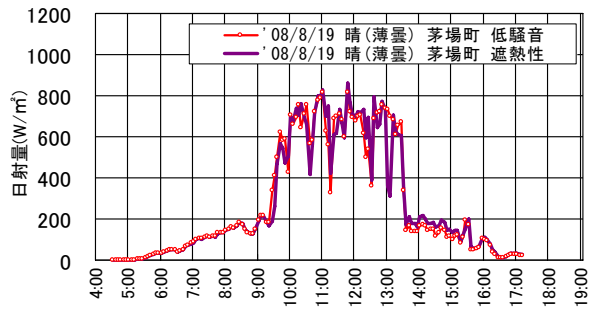


図-18 日射量 (2008/8/19 茅場町)

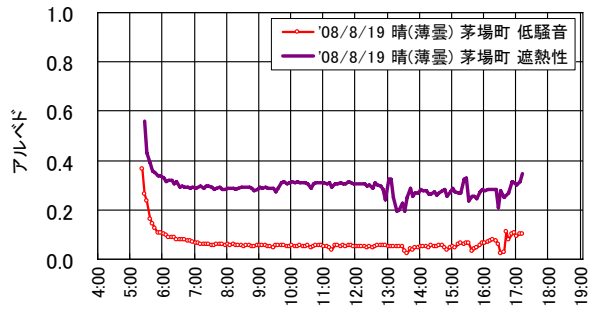


図-19 アルベド (2008/8/19 茅場町)

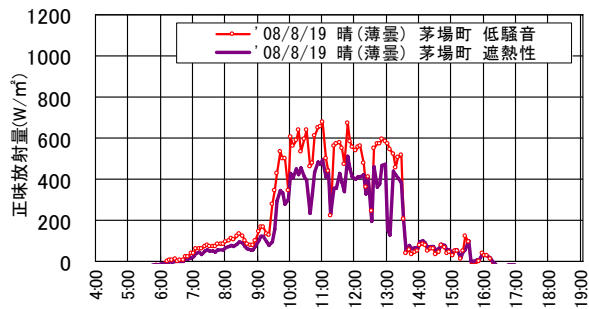


図-20 正味放射量 (2008/8/19 茅場町)

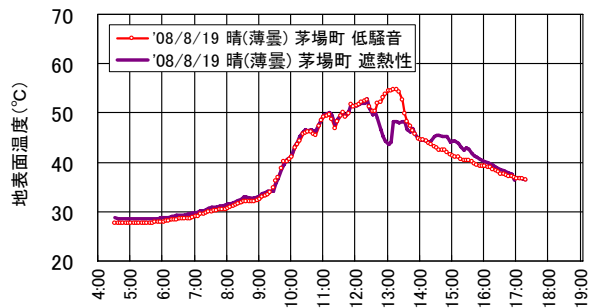


図-21 地表面温度 (2008/8/19 茅場町)

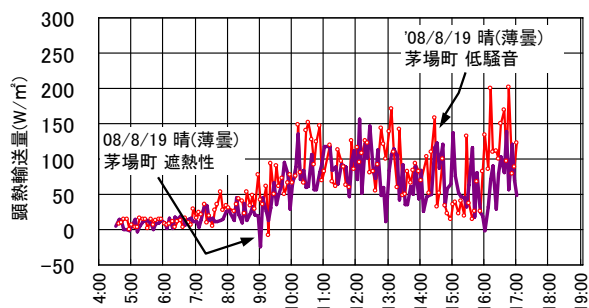


図-22 顕熱輸送量 (2008/8/19 茅場町)

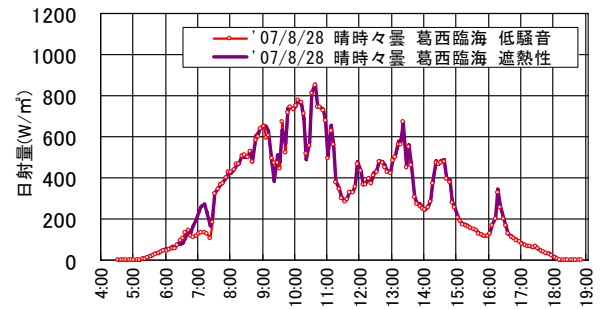


図-23 日射量 (2008/8/19 葛西臨海)

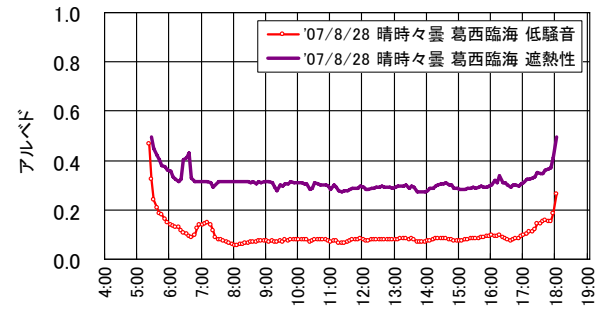


図-24 アルベド (2008/8/19 葛西臨海)

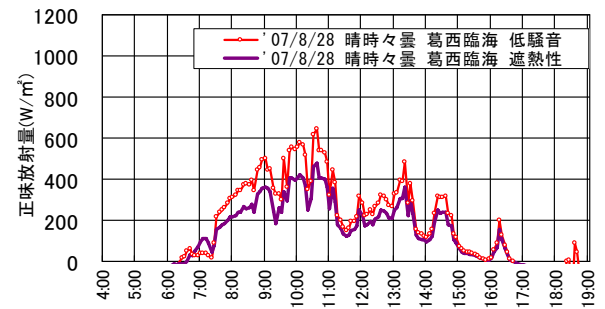


図-25 正味放射量 (2008/8/19 葛西臨海)

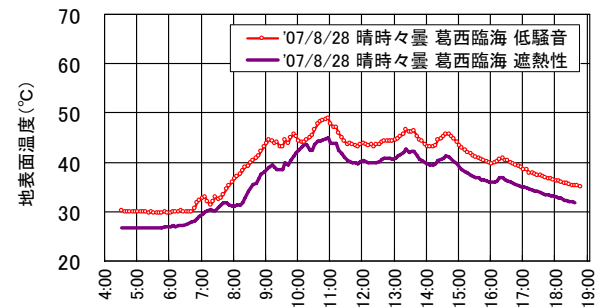


図-26 地表面温度 (2008/8/19 葛西臨海)

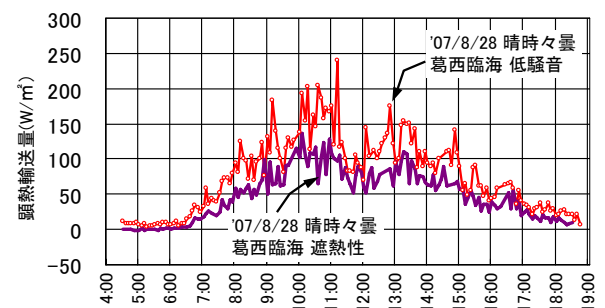


図-27 顕熱輸送量 (2008/8/19 葛西臨海)

### (7) 強制通風式気温計の観測結果

日射によって地表面が加熱されると地表面付近の空気が温められ、少し高い位置の空気と混合される。このため、観測高が低いほど気温が高くなる。強制通風式気温計(写真-6)は、地表面付近の気温を高さ毎に観測するために著者が自作したものである。構造は、塩化ビニール管に断熱材をアルミテープで巻き、内部にセンサとパソコン用のファンを取り付けている。観測の高さを定めるため、空気の吸入面は曲管を使用して下向きにしている。

図-28 から図-31 に観測高 3cm、21cm、54cm、1.0m で観測した気温の鉛直分布を示す。この図では観測高 1.0m の気温を基準にして 3cm、21cm、54cm との気温差を示す。また、時刻毎に気温の鉛直分布を示すため、一つの目盛を 2 度ずつずらしてある。ただし、図-30 の場合だけ、観測高 1.0m の気温計のファンが不調であったため欠測扱いにしており、観測高 54cm 気温を基準にしている。

図-28(茅場町 遮熱性舗装)と図-29(茅場町 低騒音舗装)を比べると、気温の鉛直分布に大きな差が現れていないが、観測高 3cm の気温は、低騒音舗装の方がやや高く、遮熱性舗装で低くなっている。これは、図-22 で示したように、遮熱性舗装と低騒音舗装で顕熱輸送量に大きな差がなく、空気への加熱が遮熱性舗装でやや少ないといった程度であったためと考えられる。これに対し、図-30(葛西臨海 遮熱性舗装)と図-31(葛西臨海 低騒音舗装)を比べると、観測高 3cm の気温は、低騒音舗装の方が高く、遮熱性舗装で低くなっていることが分かる。図-26 で示したように、顕熱輸送量が遮熱性舗装では少なく、低騒音舗装が多かったためと考えられ、遮熱性舗装の効果が十分に発揮される場合は、大気への加熱を十分に抑制すると考えられる。

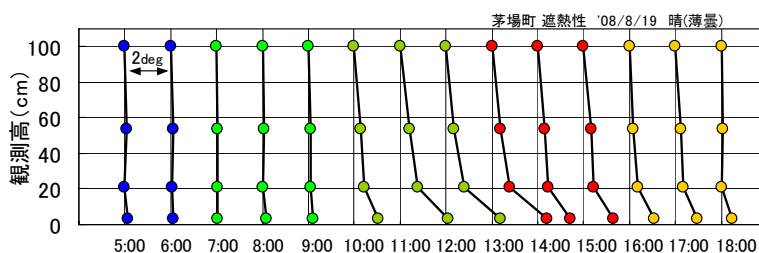


図-28 気温の鉛直分布(茅場町 遮熱性舗装 晴(薄曇))

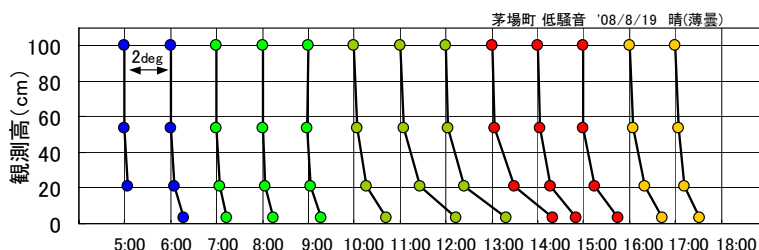


図-29 気温の鉛直分布(茅場町 低騒音舗装 晴(薄曇))

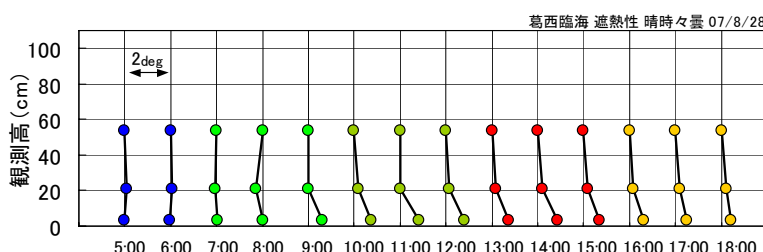


図-30 気温の鉛直分布(葛西臨海 遮熱性舗装 晴時々曇)

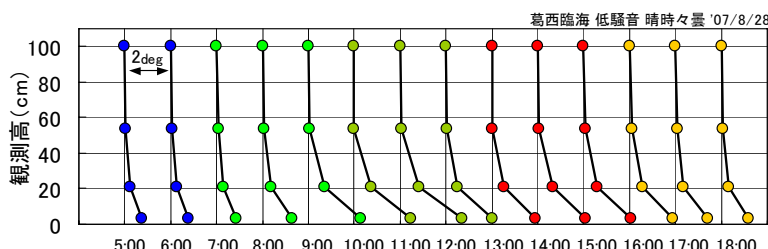


図-31 気温の鉛直分布(葛西臨海 低騒音舗装 晴時々曇)

### 4. まとめと今後の課題

①遮熱性舗装が施工されることによって気温が下がっているかどうかを確認するため、遮熱性舗装とは無関係の位置における基準地点を設け、その基準気温と遮熱性舗装沿道の気温との気温差をデータとして、遮熱性舗装の施工前と施工後について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。遮熱性舗装はその原理上、近赤外線を反射して舗装温度の上昇を抑制することから、日陰が多い観測路線では気温が低下することが統計的に確認できなかった。これに対し、日向が多い観測路線では、遮熱性舗装によって夜間に気温が低下したことを統計的に確認できた。

ただし、交通量が多く、自動車排熱などの人工排熱の影響を受ける場合、データのばらつきが大きく、仮説検定を行っても有意にならず、観測地点の状況によっては効果を評価できないという課題が残った。②観測地点や基準地点の選び方によって数値は異なるが、日向が多い観測路線の場合、夜間における平均としての気温の低下は、0.0～-0.2度程度になった。しかし、日陰が多い観測路線の場合、基準地点の選び方によって遮熱舗装の施工前後で気温が上がる場合と下がる場合があり、遮熱性舗装よりも、自動車排熱などの人工排熱や風の流れ、観測地点の状況など遮熱性舗装以外の不確定な要因の影響が強かったためと考えられる。データのばらつきが大きい上で平均値を算出しているため、遮熱性舗装より

も他の要因の影響が強い場合、気温の低下が過小評価されている可能性が残った。今後、人工排熱等の影響が少ないと考えられる路線で観測を行い、確認する必要がある。

③遮熱性舗装の効果を確認するため、実際の市街地の道路上と駐車場で熱輸送量の観測を遮熱性舗装と低騒音舗装で同時に実施した。観測場所や状況によって遮熱性舗装の効果が十分に発揮できない場合と遮熱性舗装の効果が十分に発揮され、大気への加熱を抑制すると考えられる場合があった。今のところ熱輸送量の観測が数例しかなく観測データが少ないため、今後も遮熱性舗装の効果を確認する必要がある。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本気象学会(2001)、気象研究ノート第 199 号地表面フラックス測定法、19-55
- 2) 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
- 3) 小作好明、廣島実(2005)、汐留における気温観測、平 17.都土木技研年報、239-244
- 4) 小作好明、廣島実(2006)、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
- 5) 小作好明、春日井哲夫、橋本一郎、古賀 睦、高根澤浩二(2007)、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、平 19.都土木技術センター年報、153-164)
- 6) 小作好明、春日井哲夫、橋本一郎、古賀 睦、高根澤浩二(2007)、保水性舗装に散水した場合の熱輸送量への効果、平 19.都土木技術センター年報、165-176)
- 5) 小作好明、鶴田隆生、宇野久実子 (2008)、保水性舗装に散水した場合の気温・湿度への効果、平 20.都土木技術センター年報、141-152)