

5. 遮熱性舗装における顕熱と気温の観測

Field Observations of Sensible Heat and air Temperature above Solar Heat-blocking Pavement

技術支援課 小作好明、山本憲之

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。しかし、遮熱性舗装による対策効果について、実際の道路における定量的な観測が少ないのが現状である。

そこで、遮熱性舗装の効果を定量的に確認するため、大気を温める熱となる顕熱について、観測精度が良いとされる渦相関法で観測を行った。遮熱性舗装が施工されている道路と、比較用としての密粒度舗装、または、低騒音舗装の道路上において、同時に顕熱と気温を実測した。

2. 観測場所

観測場所を図-1 から図-3 に示す。平成 22 年(2010) 夏期の観測場所は、皇居外苑内の都道（以下、皇居外苑という。）である。都道 406 号線は遮熱性舗装が施工されており、都道 301 号線は低騒音舗装である。皇居外苑は、広い敷地内のほとんどが樹木と芝生であり、沿道には建物がなく、車道の路面には一日中日射が当たる場所となっている。

平成 23 年(2011) 夏期の観測場所は、

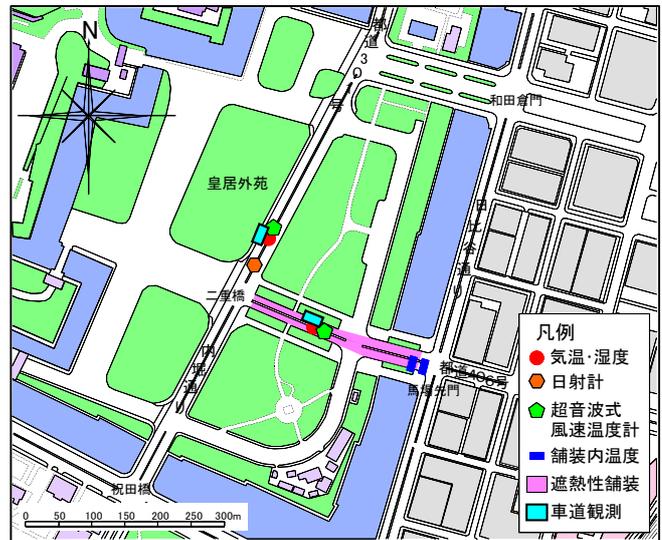


図-1 観測場所(皇居外苑)



図-2 観測場所(東新宿)
密粒度舗装

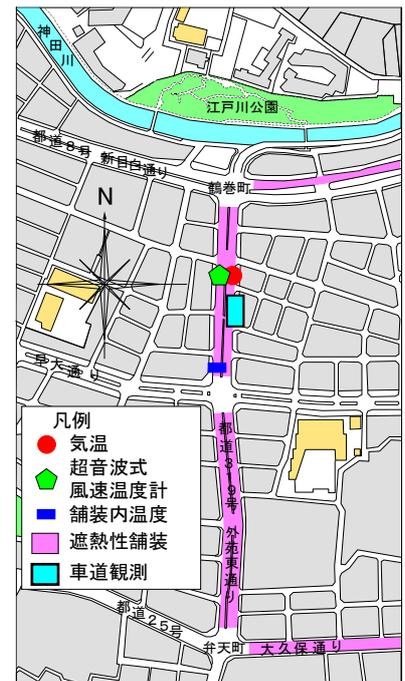


図-3 観測場所(鶴巻町)
遮熱性舗装

新宿区早稲田鶴巻町の都道 319 号線、外苑東通り（以下、鶴巻町という。）と、同区新宿六丁目の都道 305 号線、明治通り（以下、東新宿という。）である。鶴巻町の観測場所では、遮熱性舗装が施工されており、東新宿は、比較用の密粒度舗装である。

3. 観測の概要

顕熱輸送量の観測は、中央分離帯での観測と、車道での観測の二つを行った。図-4 に観測状況の概念図を示す。また、観測状況と観測機器を写真-1 から写真-3 に示す。

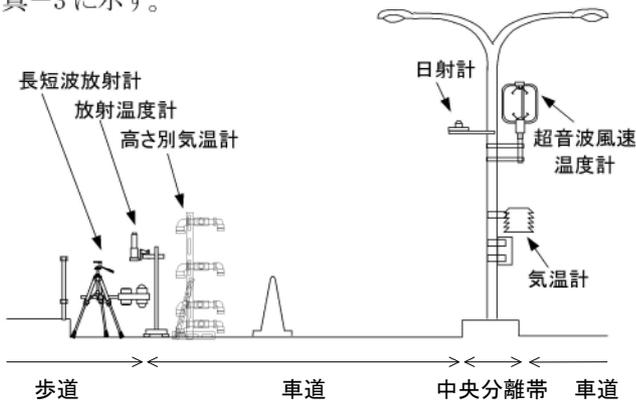


図-4 観測状況の概念図

道路の中央分離帯では、顕熱輸送量を観測するため、街路灯に超音波風速温度計を設置し、その他に気温計と日射計も設置した。表-1 に中央分離帯での観測期間を示し、表-2 に観測項目を示す。

車道観測では、長短波放射計(写真-4)を用いて下向日射、上向日射、大気放射、地表面放射の観測を行った。特に上向日射と地表面放射は、舗装路面を直接測定することを考慮し、敢えて長短波放射計を路面に近づけ、観測高さを 20cm に下げた。そのため、車線のうち、歩道側 1 車線に作業帯を設置して観測を行った。路面温度は放射温度計(写真-5)を用いて測定した。表-3 に車道での観測期間を示し、表-4 に観測項目を示す。

4. 高さ別の気温

地表面付近の気温を高さ別に観測するため、高さ別の強制通風式気温計(写真-6)を使用した。これは著者が自作したものであり、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(写真-7)を取り付けて強制通風式にした構造で



写真-1 観測状況
(皇居外苑 中央分離帯 遮熱性舗装)



写真-2 観測状況
(鶴巻町 中央分離帯 遮熱性舗装)



写真-3 観測状況 (車道観測)

表-1 観測期間(中央分離帯設置)

場所	舗装種別	観測期間
皇居外苑	遮熱性 低騒音	2010年8月3日～9月10日
鶴巻町 東新宿	遮熱性 密粒度	2011年8月2日～9月7日

ある。曲管を使用して空気の吸入面を下向きにし、観測高さとした。観測高さは、3cm、21cm、54cm、100cmとしている。

図-5 から図-8 に皇居外苑の観測場所における2010年8月24日から翌25日の日射量と路面温度、高さ別の気温の時刻変化を示す。図-5 に示すように2010年8月24日は、ほぼ一日を通して日向になっていた。このときの高さ別に観測した低騒音舗装と遮熱性舗装での気温(図-7、図-8)は、路面に近く、観測高さが低いほど気温が高くなるのがわかる。これは、路面から熱の供給を受けて、地表面から大気が温められるためである。

遮熱性舗装と低騒音舗装での気温を比較し、高さ方向の気温を見やすくするため、同日における気温の鉛直分布を図-9 に示す。ただし、各高さの気温は変動があるので、1時間の平均値で示す。8:00 から9:00の気温鉛直分布を見ると低騒音舗装と遮熱性舗装の観測場所で気温がほとんど同じである。これは、図-6の路面温度が示すように、8:00 から9:00の値を見ると、低騒音舗装と遮熱性舗装でほとんど同じ路面温度であるためである。9:00以降からは遮熱性舗装で路面温度が低くなっており、図-9の気温の鉛直分布でも遮熱性舗装の観測場所で気温が低くなっている。

なお、観測高1.5mのみ、他の観測高さの気温と異なる傾向がある。これは、観測高3cmから100cmまでは車道での強制通風式の気温計であるが、観測高1.5mのみ、観測地点が異なっており、中央分離帯での自然通風式の気温計での観測値であるためである。観測高1.5mの気温は観測精度が揃っていない値であることに留意する必要がある。また、遮熱性舗装の路面温度(図-6)で15:30以降に路面温度が下がっているのは、車道上に観測機器を配置する際、西日の入射角度が低くなり、他の観測機器の陰ができたためである。放射温度計の位置を移動したが、異常値として扱うべきものである。

次に他の観測場所でも、路面温度が低い場合に路面付近の気温が低くなっているのかを確認するため、図-10 から図-12 に鶴巻町と東新宿の観測場所における2011年8月16日から翌17日の日射量と路面温度、高さ別の気温、気温の鉛直分布を示す。

表-2 観測項目と観測機器 (中央分離帯設置)

観測項目	観測機器	記録間隔	観測高
顕熱輸送量	超音波 風速温度計	0.1秒	3.2m(H22) 3.0m(H23)
風向風速	超音波 風速温度計	0.1秒	3.2m(H22) 3.0m(H23)
全天日射量	全天日射計	2分	2.5m 以上
気温 自然通風式	サーミスタ 温度計	10分 (H22) 2分 (H23)	1.5m
舗装内温度	サーミスタ 温度計	10分	深さ1cm 埋設

表-3 観測期間(車道観測)

場所	舗装 種別	観測期間
皇居外苑	遮熱性 低騒音	2010年8月24日, 8月31日
	鶴巻町 東新宿	
	遮熱性 密粒度	

表-4 観測項目と観測機器 (車道観測)

観測項目	観測機器	記録間隔	観測高			
下向日射 上向日射 大気放射 地表面放射	長短波放射計	1分	20cm			
顕熱輸送量				超音波 風速温度計	0.05秒(H22) 0.10秒(H23)	1m 遮熱性舗装のみ
路面温度				放射温度計	1分	50cm
地表面熱流				熱流計	1分	路面接着
気温	サーミスタ 温度計	1分	高さ別に3cm,21cm 54cm,100cmで観測			



写真-4 長短波放射計



写真-5 放射温度計

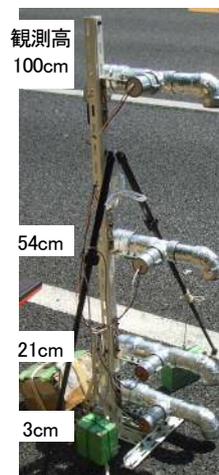


写真-6 高さ別気温計

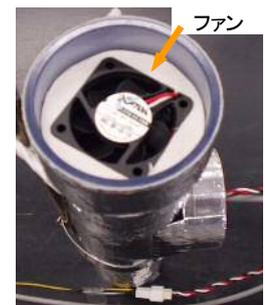


写真-7 高さ別気温計内部

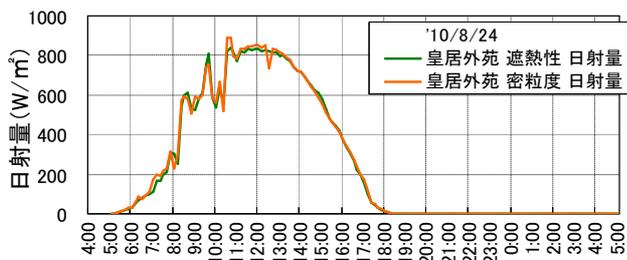


図-5 日射量

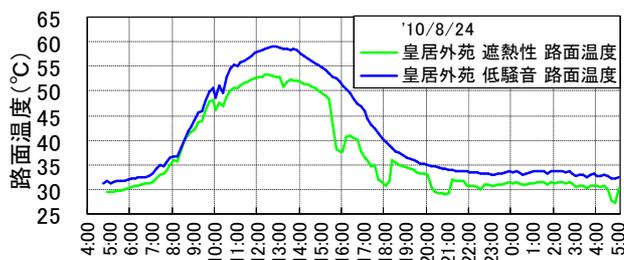


図-6 路面温度

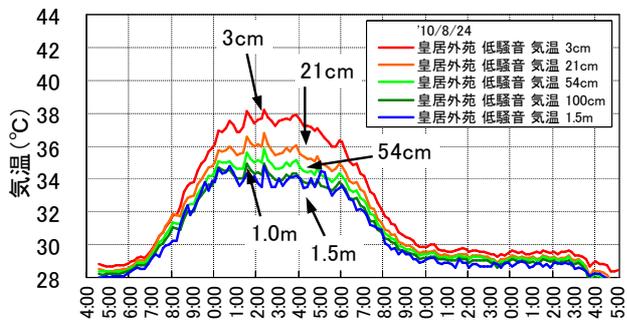


図-7 気温(低騒音舗装)

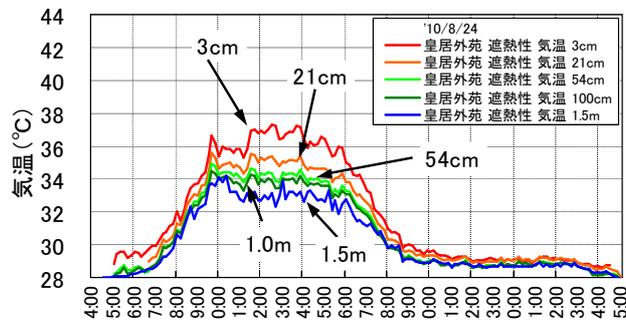


図-8 気温(遮熱性舗装)

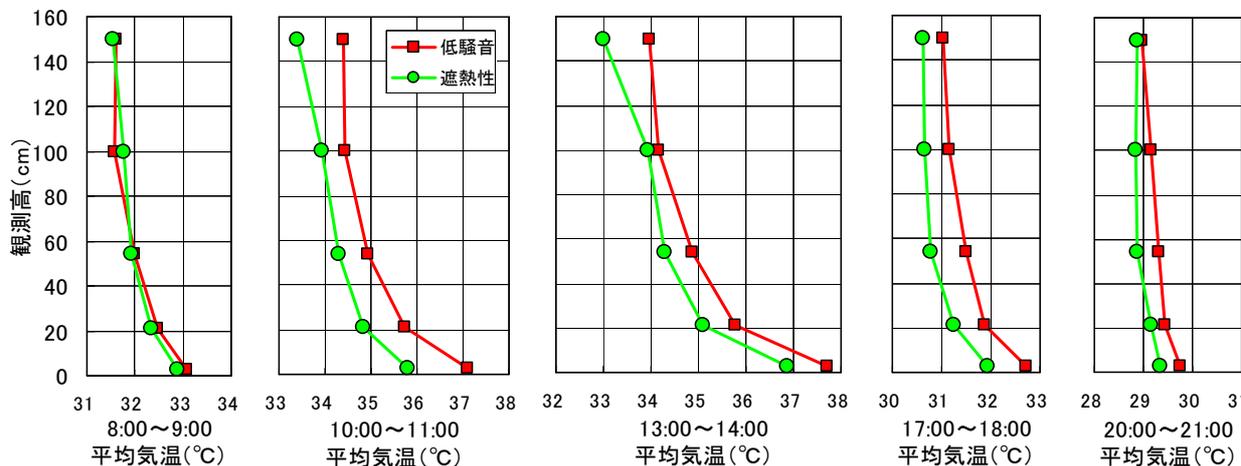


図-9 気温の鉛直分布 (2010年8月24日 遮熱性舗装、低騒音舗装)

図-10 の日射量に示すように密粒度舗装の観測場所である東新宿は、午前中は日射量が少なく、日陰になる時間帯が多い。これは、明治通りであるため、沿道の建物一つ一つの高さが高く、日陰になる範囲が広いためである。これに対し、遮熱性舗装の観測場所である鶴巻町は、住宅地であるため、沿道建物が低く、日向の時間帯が多い。そのため、東新宿の密粒度舗装では、日陰によって午前中に路面温度が低くなる。しかし、午後からは、密粒度舗装でも日向になり、密粒度舗装の路面温度が遮熱性舗装よりも高くなる。そのため観測高さ 3cm の気温は、9:00 頃から 13:00 頃までは、密粒度舗装よりも遮熱性舗装で高くなっており、路面温度に連動して気温が変動している。

図-12 の 11:00~12:00 と 12:00~13:00 の平均

気温の鉛直分布を見ても観測高さ 3cm の気温は、遮熱性舗装で高くなっていることがわかる。しかし、観測高さ 54cm の気温では必ずしも路面温度に対応しておらず、路面からの熱の供給だけではなく周囲からの風の流入によっても気温が変化している。13:00 以降は密粒度舗装でも日向になったため、路面温度が高くなり、図-12 の 15:00~16:00 の平均気温の鉛直分布に示すように、密粒度舗装で各高さの気温が高くなっている。ただし、夜間では、路面温度が密粒度舗装でやや高いが、気温に大きな差がなくなっている。このように観測高さが低く路面に近いほど路面からの影響が強いが、路面から離れるにつれて空気の移流や乱流拡散の効果が強くなっていることをよく表している。

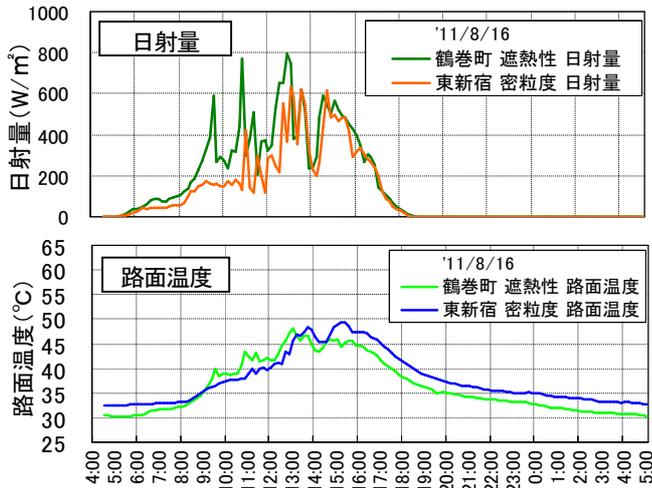


図-10 日射量(上段)と路面温度(下段)

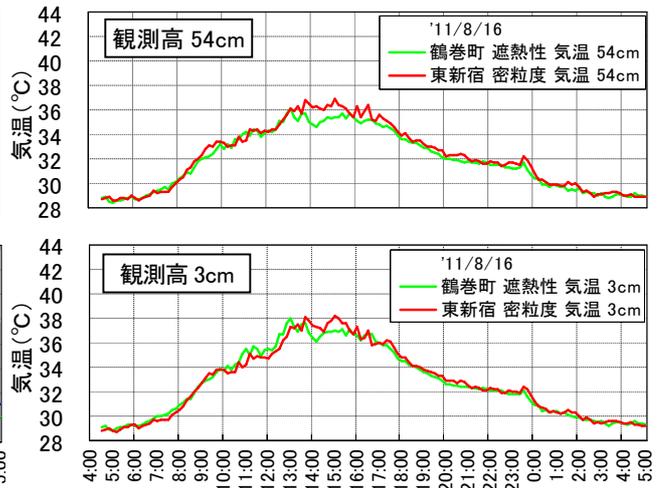


図-11 高さ別気温

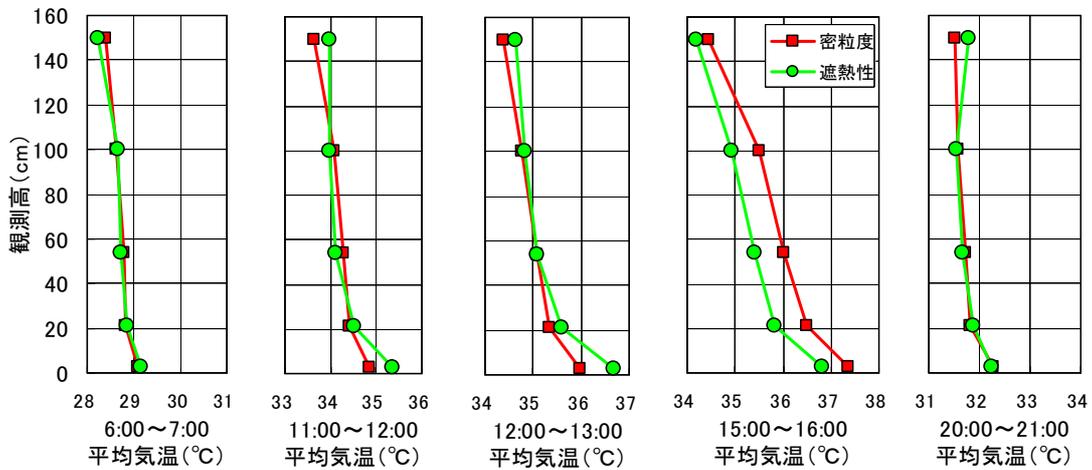


図-12 気温の鉛直分布 (2011年8月16日 遮熱性舗装、密粒度舗装)

5. 遮熱性舗装の熱収支

図-13 に熱収支の概念図を示し、次に熱収支式を示す。

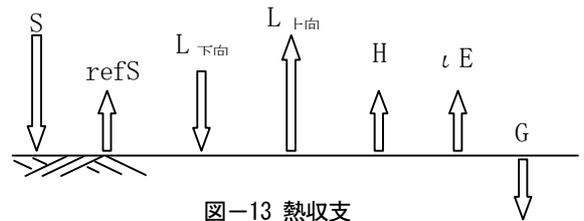


図-13 熱収支

熱収支式

$$(S - \text{ref}S) + (L_{\text{下向}} - L_{\text{上向}}) = H + lE + G \equiv R_n$$

ここに

- S : 下向日射 (全向日射量)
- refS : 上向日射 (日射量の反射量)
- ref : アルベド (日射量の反射率)
- L_{下向} : 下向赤外 (大気放射)
- L_{上向} : 上向赤外 (地表面放射)
- H : 顕熱 (顕熱によって空気が温まる)
- lE : 潜熱 (気化熱によって熱が奪われる)
- G : 蓄熱 (熱伝導)
- R_n : 正味放射

である。

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、蓄熱に配分されていることを表している。このうち顕熱は、地表面付近の大気に熱を輸送し、気温を上昇させる効果をもち、潜熱は水が液体から気体に相変化する際に熱を奪って気温の上昇を抑制する効果をもつ。残りの熱は蓄熱となるが、昼間は熱伝導によって地中に蓄えられ、夜間は蓄熱した熱が顕熱と地表面放射として大気に放出されることになる。

遮熱性舗装は、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し、大気を温める熱を削減することが期待されている。つまり、遮熱性舗装は、舗装路面に加えられる正味放射の量を減らすことで顕熱や蓄熱に配分される熱を抑制するというものである。そのため、遮熱性舗装では、上向日射と下向日射の比であり、反射率を表すアルベドの値が、密粒度舗装や低騒音舗装よりも一般的に高くなる。

6. アルベド

図-14 に 2011 年 8 月 17 日 5:00 から翌 18 日 5:00 にかけて車道上で観測した下向日射量、上向日射量、アルベドの時刻変化を示す。下向日射量は、太陽からの日射であり、上向日射は、路面で反射される日射である。遮熱性舗装は近赤外領域の波長の日射を反射するので、密粒度舗装よりも遮熱性舗装で上向の日射量が多くなっている。そのため、上向日射と下向日射の比であるアルベドは、遮熱性舗装で高くなっている。場所や舗装、日射量によってアルベドの値が変化しますが、この日の 9:00 から 15:00 のアルベドの平均値は、密粒度舗装で 0.061、遮熱性舗装で 0.194 であった。

なお、過去に観測したアルベドの値を表-5 から表-7 に示す。アルベドの平均値は遮熱性舗装で 0.220、低騒音舗装で 0.044、密粒度舗装で 0.055 である。

6. 顕熱

顕熱輸送量を算出するための渦相関法は、応答速度が非常に速い観測機器を用いて気温 T 、鉛直風速 w を観測し、共分散を算出して顕熱輸送量を求めるものである。今回の観測では 10 分間分のデータを用いて顕熱輸送量を算出した。図-15 に中央分離帯の街路灯に設置した超音波風速温度計による顕熱輸送量の時刻変化の一例を示す。この日の場合、遮熱性舗装での顕熱輸送量が少ないことがはっきり分かる。

図-16 と図-17 に中央分離帯の街路灯に設置した超音波風速温度計で観測した顕熱の積算値を示す。2010 年夏期の観測場所は皇居外苑であり、2011 年夏期は、鶴巻町・東新宿である。昼間は日射によってエネルギーの供給があるが、夜間は、昼間に蓄えた熱が放出して顕熱によって大気を温めているので、夜間の

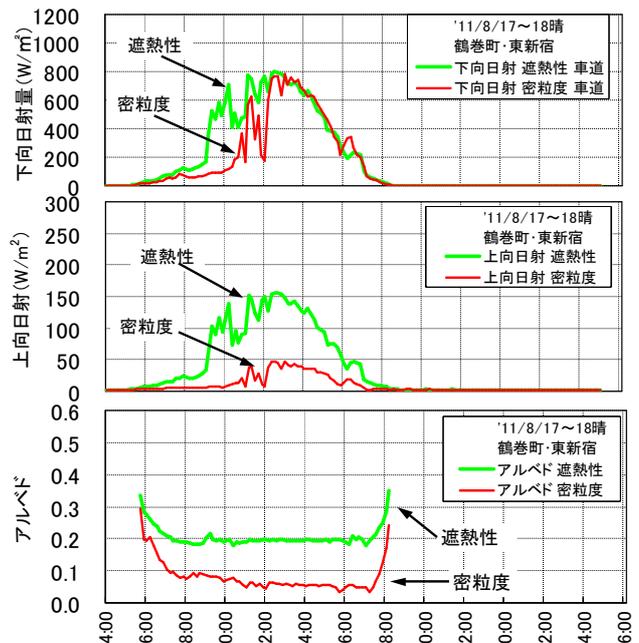


図-14 下向日射、上向日射、アルベド

表-5 アルベド
(遮熱性舗装 9:00-15:00 平均値)

観測場所	観測日	舗装種別	アルベド
鶴巻町	2011/8/17	遮熱性	0.194
鶴巻町	2011/8/16	遮熱性	0.188
皇居外苑	2010/8/31	遮熱性	0.187
皇居外苑	2010/8/24	遮熱性	0.194
内幸町	2009/8/24	遮熱性	0.215
内幸町	2009/8/12	遮熱性	0.232
内幸町	2009/8/3	遮熱性	0.218
茅場町	2008/8/22	遮熱性	0.276
茅場町	2008/8/19	遮熱性	0.288
築地	2008/8/15	遮熱性	0.186
築地	2007/8/22	遮熱性	0.242
築地	2007/8/15	遮熱性	0.220
平均値			0.220

表-6 アルベド
(低騒音舗装 9:00-15:00 平均値)

観測場所	観測日	舗装種別	アルベド
皇居外苑	2010/8/31	低騒音	0.041
皇居外苑	2010/8/24	低騒音	0.045
茅場町	2008/8/22	低騒音	0.046
茅場町	2008/8/19	低騒音	0.051
築地	2008/8/15	低騒音	0.048
築地	2007/8/22	低騒音	0.039
築地	2007/8/15	低騒音	0.034
平均値			0.044

表-7 アルベド
(密粒度舗装 9:00-15:00 平均値)

観測場所	観測日	舗装種別	アルベド
東新宿	2011/8/17	密粒度	0.061
東新宿	2011/8/16	密粒度	0.057
内幸町	2009/8/24	密粒度	0.055
内幸町	2009/8/12	密粒度	0.055
内幸町	2009/8/3	密粒度	0.051
内幸町	2008/8/11	密粒度	0.054
神田橋	2006/8/19	密粒度	0.054
神田橋	2006/8/15	密粒度	0.052
平均値			0.055

顕熱の値は昼間に比べて小さいものになる。そこで、昼間(5:00~18:00)と夜間(18:00~翌5:00)に分けて顕熱の積算値を算出した。いずれの観測場所においても昼間と夜間ともに低騒音舗装や密粒度舗装よりも遮熱性舗装で顕熱が少なくなっていることがわかる。

次に遮熱性舗装と低騒音舗装・密粒度舗装の顕熱を比較する。雨天や曇天の場合、日射量が少なく、顕熱も小さくなるので遮熱性舗装と低騒音舗装で比較しにくい。また、水平風速が大きい場合、大気の流れが促進されて顕熱輸送量が多くなるので、水平風速の条件を揃えて比較する必要がある。しかし、2011年の夏期は、降水日が多かったため、データの数を確保する必要から、日射条件を日射量 5:00~18:00 積算値が 16MJ/m²以上とし、風速条件を、比較する観測場所における 5:00~18:00 平均水平風速の差が 0.5m/s 以内

とした。この二つの条件を満たし、降水の影響がない日の顕熱積算値を表-8 から表-11 に示す。

2010年夏期の皇居外苑では、昼間の顕熱積算値の平均が低騒音舗装で 8.04 MJ/m²、遮熱性舗装で 6.43 MJ/m²なので、その差 1.61 MJ/m²となり、遮熱性舗装では 20%少ないことになる。2011年夏期の鶴巻町・東新宿でも、遮熱性舗装で密粒度舗装よりも約 20%顕熱積算値が少なかった。夜間の場合、2010年夏期の皇居外苑では顕熱積算値の平均が低騒音舗装で 0.99 MJ/m²、遮熱性舗装で 0.74 MJ/m²なので、その差 0.26 MJ/m²となり、約 26%少なかった。2011年の鶴巻町・東新宿の夜間では、遮熱性舗装で約 36%顕熱積算値が少なかった。

7. まとめ

①高さ別に気温を観測したところ、路面に近く、観測高さが低いほど気温が高くなっており、路面から熱の供給を受けて、地表面から大気が温められることを観測できた。

②過去に観測したアルベドの平均値は、遮熱性舗装で 0.220、低騒音舗装で 0.044、密粒度舗装で 0.055 であり、低騒音舗装や密粒度舗装よりも遮熱性舗装でアルベド(日射量の反射率)の値が高いことを確認した。

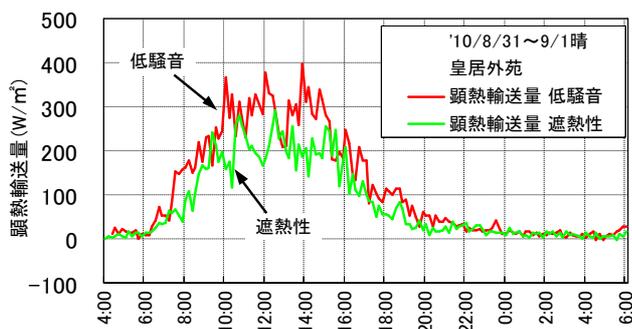


図-15 顕熱輸送量(2010/8/31)

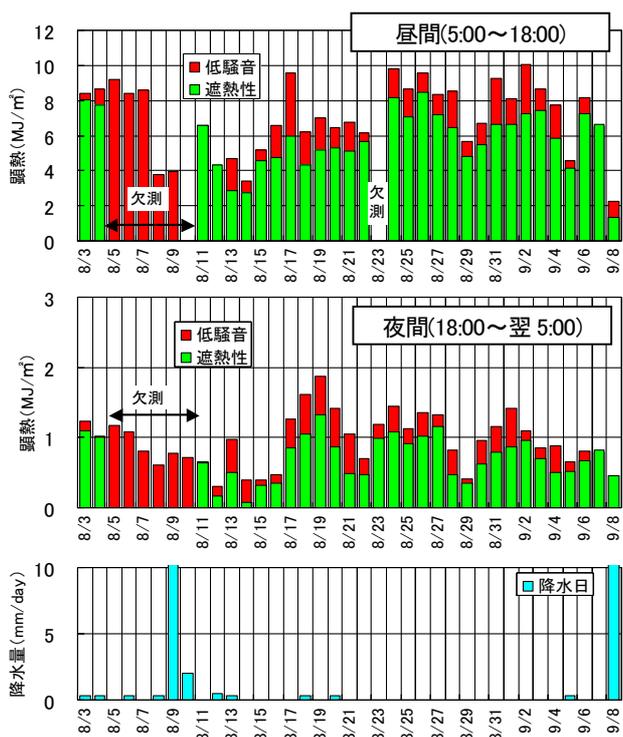


図-16 顕熱積算値(皇居外苑 2010年)

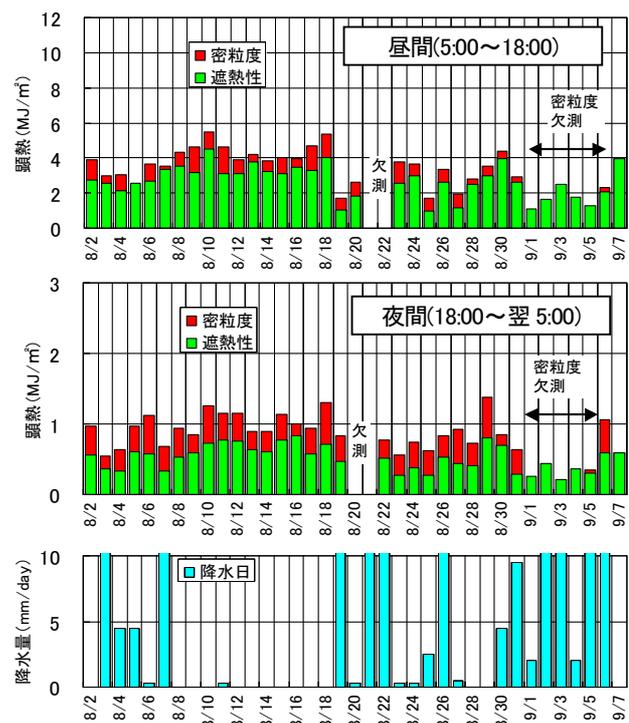


図-17 顕熱積算値(鶴巻町・東新宿 2011年)

表-8 顕熱の積算値 (2010年)
昼間 5:00~18:00 皇居外苑

2010年 昼間	日射量	平均 風速	平均 風速	差	顕熱 積算値	顕熱 積算値	差
		低騒音	遮熱性		(低-遮)	低騒音	
日付	MJ/m ²	m/s	m/s	m/s	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
8/15	19.74	1.58	1.33	0.25	5.20	4.58	0.62
8/16	18.5	1.21	1.12	0.08	6.58	4.73	1.85
8/17	21.5	1.55	1.69	-0.14	9.56	5.95	3.61
8/21	17.4	1.36	1.22	0.15	6.77	5.13	1.63
8/22	23.7	1.58	1.35	0.23	6.13	5.69	0.44
8/24	23.0	1.88	1.61	0.27	9.78	8.18	1.60
8/25	20.8	1.54	1.41	0.13	8.64	7.06	1.57
8/26	22.8	1.59	1.40	0.20	9.56	8.45	1.11
8/27	18.1	1.47	1.31	0.16	8.32	7.16	1.16
8/28	22.7	1.57	1.46	0.11	8.52	6.47	2.05
8/29	20.8	1.28	1.23	0.05	5.65	4.78	0.87
8/31	22.1	1.29	1.31	-0.01	9.25	6.63	2.62
9/1	19.3	1.47	1.30	0.16	8.07	6.66	1.42
9/2	23.2	1.79	1.51	0.27	10.03	7.24	2.79
9/3	22.3	1.62	1.46	0.16	8.66	7.44	1.21
9/4	21.5	1.62	1.60	0.02	7.73	5.86	1.87
9/6	21.1	1.93	1.70	0.23	8.19	7.25	0.94
平均					8.04	6.43	1.61
比率					100%	80.0%	20.0%

表-9 顕熱の積算値 (2011年)
夜間 18:00~翌 5:00 皇居外苑

2010年 夜間	日射量	平均 風速	平均 風速	差	顕熱 積算値	顕熱 積算値	差
		低騒音	遮熱性		(低-遮)	低騒音	
日付	MJ/m ²	m/s	m/s	m/s	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
8/15	19.74	0.63	0.73	-0.10	0.40	0.32	0.07
8/16	18.5	0.86	0.74	0.13	0.47	0.36	0.11
8/17	21.5	1.26	1.11	0.15	1.27	0.86	0.41
8/22	23.7	1.33	0.90	0.43	0.71	0.47	0.24
8/23	22.0	1.58	1.34	0.24	1.19	0.99	0.20
8/24	23.0	1.31	1.09	0.22	1.45	1.08	0.37
8/25	20.8	0.90	0.88	0.02	1.13	0.91	0.22
8/26	22.8	1.01	1.08	-0.07	1.36	1.02	0.34
8/27	18.1	1.46	1.01	0.44	1.32	1.15	0.17
8/28	22.7	1.16	0.89	0.27	0.83	0.48	0.35
8/29	20.8	0.70	0.80	-0.10	0.42	0.36	0.06
8/31	22.1	0.99	1.17	-0.18	1.15	0.78	0.37
9/1	19.3	1.49	1.23	0.26	1.41	0.86	0.55
9/2	23.2	1.75	1.26	0.49	1.09	0.97	0.13
9/3	22.3	1.09	0.88	0.21	0.85	0.70	0.15
9/4	21.5	0.90	1.17	-0.26	0.88	0.50	0.38
平均	21.5				0.99	0.74	0.26
比率					100%	74.2%	25.8%

表-10 顕熱の積算値 (2010年)
昼間 5:00~18:00 鶴巻町・東新宿

2011年 昼間	日射量 鶴巻町	平均 風速	平均 風速	差	顕熱 積算値	顕熱 積算値	差
		密粒度	遮熱性		(密-遮)	密粒度	
日付	MJ/m ²	m/s	m/s	m/s	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
8/8	21.07	1.08	1.19	-0.10	4.31	3.53	0.77
8/9	17.6	1.10	1.14	-0.04	4.61	3.17	1.44
8/10	22.5	1.10	1.37	-0.28	5.46	4.51	0.95
8/12	16.7	1.05	1.03	0.02	3.89	3.10	0.78
8/13	19.9	1.16	1.29	-0.13	4.19	3.76	0.42
8/14	17.1	1.02	1.35	-0.33	3.83	3.20	0.62
8/15	18.2	1.04	1.44	-0.40	3.99	3.10	0.89
8/16	16.2	1.02	1.27	-0.25	3.94	3.46	0.49
8/17	19.6	1.08	1.37	-0.29	4.70	3.28	1.42
8/18	21.7	1.15	1.47	-0.32	5.36	4.03	1.33
8/29	17.0	1.26	1.11	0.14	3.55	3.00	0.55
平均					4.35	3.47	0.88
比率					100%	79.8%	20.2%

表-11 顕熱の積算値 (2011年)
夜間 18:00~翌 5:00 鶴巻町・東新宿

2011年 夜間	日射量 鶴巻町	平均 風速	平均 風速	差	顕熱 積算値	顕熱 積算値	差
		密粒度	遮熱性		(密-遮)	密粒度	
日付	MJ/m ²	m/s	m/s	m/s	MJ/m ²	MJ/m ²	MJ/m ²
8/8	21.07	0.79	0.84	-0.05	0.94	0.53	0.41
8/9	17.6	0.97	1.14	-0.17	0.85	0.59	0.26
8/10	22.5	1.02	1.05	-0.03	1.25	0.73	0.53
8/12	16.7	0.85	0.95	-0.11	1.15	0.75	0.39
8/13	19.9	0.83	1.06	-0.24	0.90	0.64	0.26
8/14	17.1	0.89	0.92	-0.03	0.90	0.61	0.29
8/15	18.2	0.96	0.95	0.01	1.14	0.77	0.36
8/16	16.2	0.92	1.02	-0.10	1.00	0.83	0.17
8/17	19.6	1.13	1.12	0.01	0.94	0.57	0.37
8/18	21.7	1.29	1.21	0.08	1.30	0.71	0.59
8/29	17.0	1.21	0.98	0.23	1.38	0.80	0.58
平均					1.07	0.68	0.38
比率					100%	64.1%	35.9%

③観測期間の昼間と夜間の顕熱を低騒音舗装や密粒度舗装の比較舗装と遮熱性舗装で観測した結果、ほとんどの日で低騒音舗装・密粒度舗装よりも遮熱性舗装で大気を温める顕熱が少なくなっていた。

④日射量 16MJ/m²以上、平均風速の差 0.5m/s 以内、降水の影響がない日について顕熱を比較した結果、低騒

音舗装・密粒度舗装と比較して、遮熱性舗装では、2010年夏期、2011年夏期の観測値でともに昼間の顕熱が平均で20%程度少なかった。夜間の場合、2010年夏期の観測では顕熱が平均で約26%、2011年夏期の観測では約36%少なかった。

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(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
- 3) 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
- 4) 小作好明、山本憲之(2007)、遮熱性舗装における熱輸送量の観測結果、平23.都土木技術支援・人材育成センター年報、53-60