

都市地表面物質の熱特性

—アスファルト舗装面における熱収支の研究—

成田健一*・関根 毅**・徳岡利一*

地表面改変に伴う熱収支構造の変化を把握する研究の一環として、代表的な都市地表面であるアスファルト舗装面を取り上げ、その熱収支特性を考察した。測定装置として、30 cm²、厚さ 5 cm のアスファルトブロックを積み重ね、各重ね面に熱流板と温度計を埋設し、野外において観測を行なった。その結果、日中アスファルト舗装面では、正味放射量の 30~40% が伝導熱流としてアスファルト層内に貯熱されており、日没後の放熱は夜間の都市気温形成の大きな要因となっていると考えられる。一方、アスファルト層の各熱特性値を実測した結果、これまでの定説に反し、熱容量は土壌に比べ小さい値となった。しかしながら、日中の昇温量が大きく、しかも深層まで昇温するため、結果としてアスファルト層は大きな貯熱効果をもち、また舗装面下の地温にも影響を及ぼしている。さらに、早朝まで表面が高温に保たれることから、接地空気層の乾燥と相まって、アスファルト舗装面は、非常に結露しにくい環境となっている。

I はじめに

地表面の改変に伴う熱収支構造の変化は、エネルギー消費に起因する人工熱の放出とともに、都市気候の重要な形成要因とされてきた。しかしながら、都市地表面の熱収支特性、すなわち都市域のさまざまな土地利用形態における日射エネルギーの再配分機構は、いまだ定量的把握が十分なされているとは言い難い。

一般に、都市域では、不透水面の拡大により、潜熱フラックスが減少し、大気への顕熱フラックスと地表面構造物への貯熱量が増大するとされている。このような観点から、福井(1956)以来、都市の気温分布を土地利用の分布と対応させる研究が数多く報告され、各種土地利用形態の定性的な作用については、すでに常識化しつつある。しかし、これらの研究の多くは、あくまでも統計的解析による関連づけであり、直接には熱収支的な取り扱いにつながっていない。

これに対し、土地利用と熱収支を関連づける一つのアプローチとして、シミュレーションによる都市空間のモデリングが一方で試みられてきた。これは

地表面熱収支を左右するいくつかのパラメータ(例えば、アルベド、地表面粗度、地表面構造物の熱特性、透水面積率など)を都市と郊外について任意に設定し、地表面温度や各熱収支項の計算を行なったもので、Myrup(1969, 1970)、Atwater(1972)の報告、わが国では木村ほか(1974)がその代表例としてあげられる。その後もMorgan *et al.*(1977)、尾島・森山(1978)、森山(1978 a, b)等は、土地利用形態ごとにパラメータを設定し、実際の土地利用との対応を試みており、それらはいずれも定性的作用を裏づける結果を報告している。しかしながら、シミュレーションの結果は、任意に設定されたパラメータの値により大きく左右されることはいうまでもなく、詳細なモデルの妥当性については実測結果との対応を待つしかない。

しかるに、都市域での土地利用形態ごとの熱収支観測例はきわめて少ない。そこで、本研究では具体的な実測の一環として、代表的な都市地表面構造物であるアスファルト舗装面を取り上げ、特にその貯熱効果を中心に、熱収支特性の把握を試みた。アスファルト舗装面に関しては、これまでの多くの表面温度観測から、昼夜を問わず高温を示すことが知られているが、熱収支の観測例はMiller(1977)の駐車

* 広島大学・院 ** 広島大学・工学部

場での観測など数例しかなく、都市気候形成にいかにかかわっているかについては不明な点が多い。

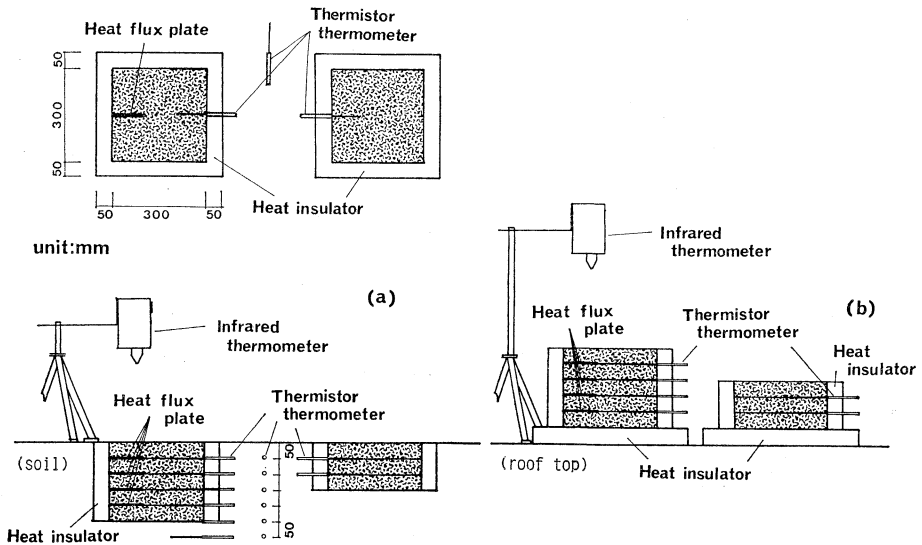
都市気候の熱収支的解釈をより定量的なものとしていくためには、この種の実測例の積み重ねが必要であり、それにより、都市域の土地利用配置に対する熱収支的観点からの具体的提言が可能となるものと思われる。

II 実験装置および測定方法

これまでアスファルト舗装面の熱収支、特にアスファルト層中への貯熱量の実測例が少なかった理由は、主に道路面への測器埋設の困難さにあると思われる。本研究では、実際の道路面に代わるものとして、30 cm²、厚さ5 cmのアスファルトブロック¹⁾を用い、それを重ね合わせることにより、第1図に示すような実験装置を作成した。装置は厚さの違いによる差異を検討するため、5層(25 cm厚)と3層(15 cm厚)の2種を用意し²⁾、5層の方には、各重ね面(5, 10, 15, 20 cm)にサーミスタ温度計(宝工業SXB-54)および熱流板(EKO CN-81)を、一方、3層の方

には、5 cm, 10 cmの位置に同じ温度計のみを埋設した。実験装置の作成手順は、まずブロックの片面に数 mmの溝を作り、加熱したストレートアスファルトを流し、固結する前にセンサーを埋め込んで固定する。その後、やはりストレートアスファルトを赤外線ランプで加熱しながら、重ね面に薄くのばし、ブロック相互の接着を行なった。

実験は、予備実験も含め、計3回実施した。予備実験は1982年11月13・14日の両日、第1図-bに示すように、底に発泡スチロールを敷いて断熱し、建物屋上に露出した状態で行なった。一方、第1図-aは、土壤中に埋設した2回の本実験の様子を示している。ただし、埋設場所はおのおの異なり、広島市郊外の水田(1983年3月27日, 28日)および広島大学敷地内の裸地(1983年8月10日, 11日)である。いずれの場合も横方向は厚さ5 cmの発泡スチロールを貼り付けて断熱し、さらに第1図-bについては、周囲からの輻射を防ぐため、アルミ箔で囲んでいる。第1図-aについては、攪乱していない土壌断面にも、同じ温度計を深さ30 cmまで5 cm間隔に差し込み、



第1図 実験装置の概要
 Fig. 1 Outline of the experimental apparatus

比較のためにブロック下の土壌にも温度計を設置した。また、8月の観測に限り、土壌中5 cmと10 cmの深さにも熱流板を埋設した。表面温度は赤外線放射温度計(National ER-2007)、正味放射量は示差計(EKO CN-40)で測定し、熱流とともにペンレコーダに記録し、サーミスタによる内部の温度は、昼間は10分ごと、夜間は1時間ごとに直読した。またアスマン通風乾湿計により、表面近傍の乾球、湿球温度も適時測定した。なお実験装置は、いずれも測定前約1ヵ月間その状態で放置しておいたものである。

III 実験結果

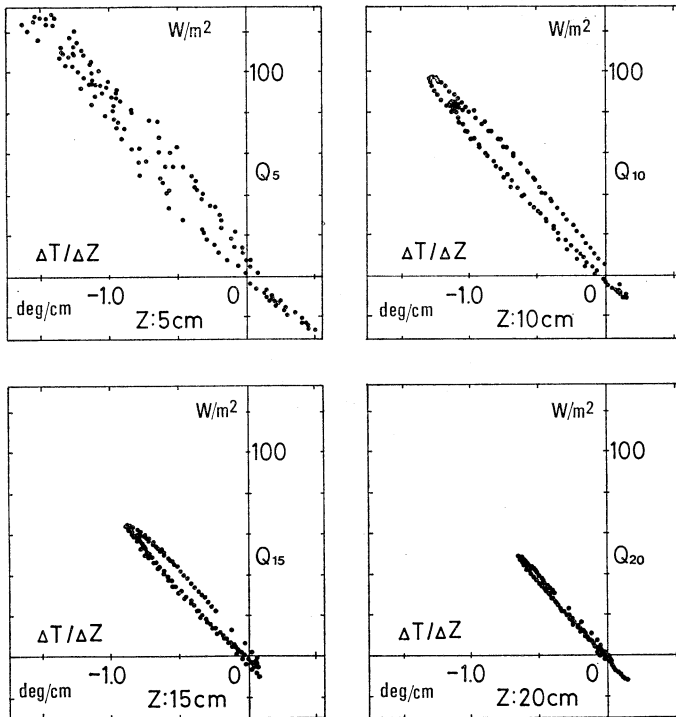
1) アスファルト舗装の熱特性

熱収支項の計算に先立ち、各深さの熱流および温度の測定結果から、アスファルト舗装の熱特性を算

出した。なお、埋設したサーミスタ温度計についてはあらかじめ恒温室にて器差の検出を行ない、一方、放射温度計による表面温度については、アスファルトブロックの射出率が未知のため、射出率を1として測定し、後日表面に埋設したサーミスタ温度計との関係式を別途に求め、それにより補正を加えた⁸⁾。

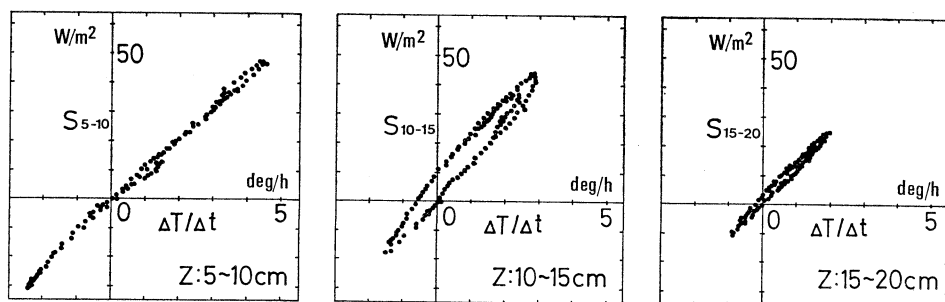
第2図は、熱伝導率を求めるため、各深さの熱流とその深さでの鉛直方向の温度勾配をとり、プロットしたものである。ただし、ここでは深さ z の温度勾配は ± 5 cmの温度差をその間隔(10 cm)で除したもので近似している。実際には非定常の伝導であり、昇温時には $\partial^2 T / \partial z^2$ が正、降温時には負となるため、図はわずかながら、ループ状を描く。これらのプロットの傾きから熱伝導率 λ を算出した。

次に、熱容量の算出のため、上下両面で熱流を測定している各5 cm層について、熱流の差から求め



第2図 熱伝導率の推定——各深さにおける熱流と温度傾度の関係

Fig. 2 Estimation of thermal conductivity——relations between heat flux and gradient of temperature at different depth



第3図 熱容量の推定—各層における貯熱量と温度変化の関係
 Fig. 3 Estimation of heat capacity—relations between heat storage and time-difference of temperature at every 5 cm thickness layer

第1表 アスファルト層の熱特性測定結果
 Table 1 The results of thermal property observation on asphalt pavement

Experiment condition		laid on roof top	buried in paddy field	buried in bare land
Thermal conductivity (λ)	5cm	0.70	0.79	0.69
	10cm	0.91	0.79	0.70
	15cm	0.80	0.77	0.65
	20cm		0.79	0.66
	average	0.75±0.07 (W/m deg)		
Heat capacity (c_p)	5-10cm	0.85×10 ⁶	0.80×10 ⁶	0.80×10 ⁶
	10-15cm	0.97	0.97	0.82
	15-20cm	0.72	0.88	0.77
	average	0.84±0.08×10 ⁶ (J/m ³ deg)		

た貯熱量 $S_{z_1-z_2}$ (深さ z_1 と z_2 cm の間の貯熱量) と、その層の温度変化の関係をプロットした。その結果を示したのが第3図である。これらのプロットの傾きおよびアスファルトブロックの密度 $\rho = 2,395 \text{ kg m}^{-3}$ (実測値) より、熱容量 c_p (c ; 比熱) の値を決定した。

以上、図で示したのは水田土壌中へ埋設した場合の結果であるが、予備実験の結果も含め、今回の実測より得た各特性値を第1表にまとめた。値は各深さで多少差があり、特に露出状態の測定ではその差が大きくなっている。しかしながら、測定条件の違いにかかわらず、おおむね同様な値となっており、そのバラツキの程度は、熱伝導率・熱容量ともに、約9%となっている。

2) アスファルト舗装面の熱収支特性

第4図-a, b に、おのおの2回の本実験における正味放射量 R_n 、およびアスファルトブロック内各深

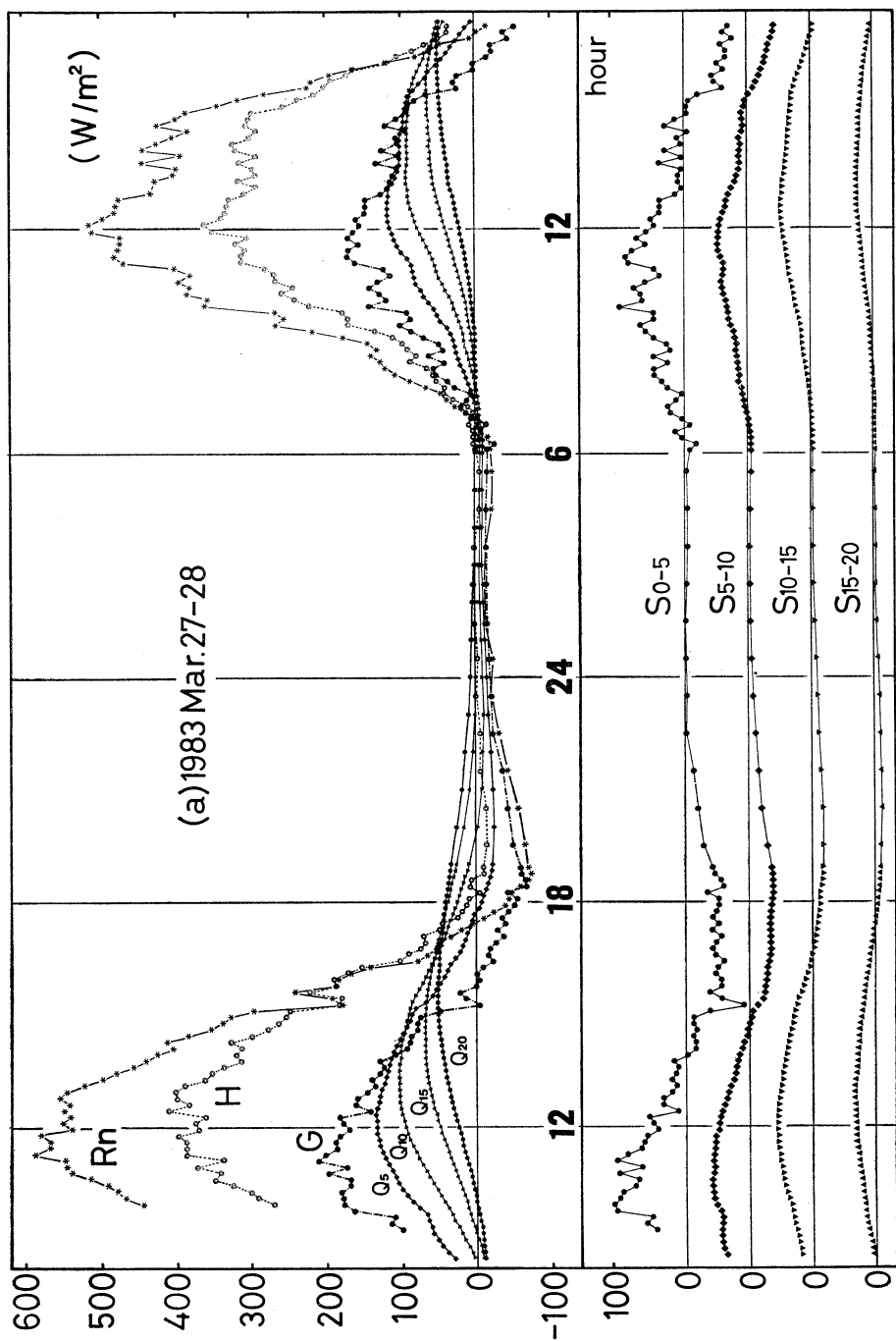
さの熱流 Q_z (z ; 深さ cm)、さらに表面でのアスファルト層への伝導熱流 G と顕熱フラックス H を示した。

アスファルト表面での伝導熱流は、次式により算出した。

$$G = \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)_z + \int_0^z c_p \frac{\partial T}{\partial t} dz$$

$$\doteq \left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)_z + c_p \frac{\Delta T}{\Delta t} z \quad (1)$$

ただし、 \bar{T} は $0 \sim z$ 層の平均温度を意味する。ここでは、右辺第1項は深さ5cmでの熱流の実測値を用い、右辺第2項の表層5cmにおける貯熱量は、先に求めた熱容量の値と、表面および深さ5cmの温度変化より計算した。顕熱フラックスは、潜熱フラックスがないと仮定し、正味放射量と伝導熱流の差として求めた値である。また、第3図で用いた各5cm層の貯熱量 $S_{z_1-z_2}$ ($Q_{z_1} - Q_{z_2}$) についても併示し



第4図 アスファルト舗装面の熱収支および貯熱量の実測例

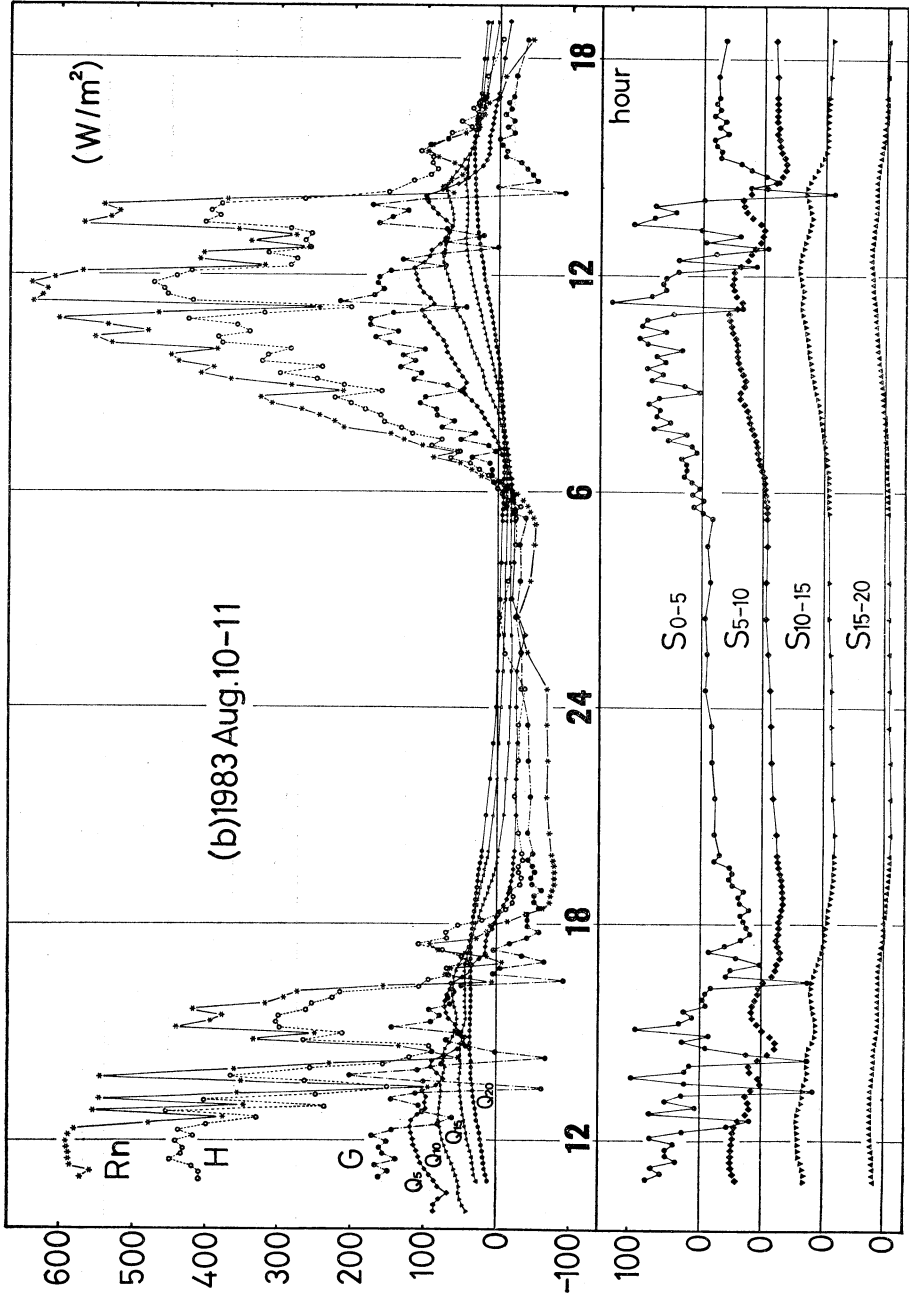
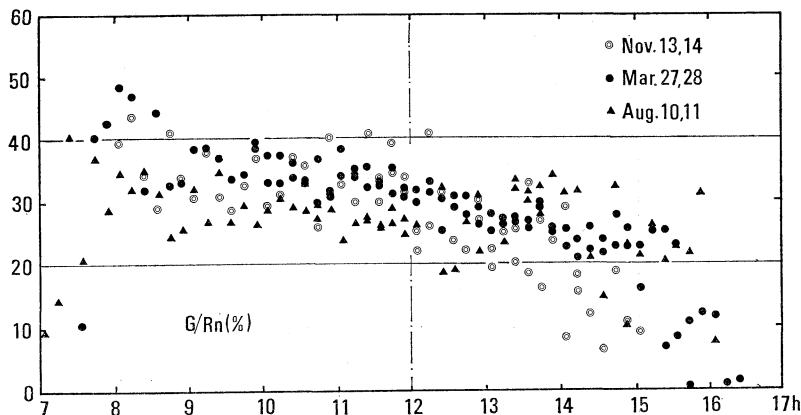


Fig. 4 Heat balance and heat storage at asphalt pavement
 R_n : net radiation G : conductive heat flux into asphalt layer H : sensible heat flux ($=R_n - G$)
 Q_z : heat flux at z cm depth $S_{z_1-z_2}$: heat storage between z_1 cm and z_2 cm



第5図 アスファルト舗装面における伝導熱流への配分比
 Fig. 5 Percent of conductive heat flux to net radiation at asphalt pavement during daytime

た。

各フラックスの変化において、まず注目すべき点は伝導熱流の大きさで、日中アスファルト舗装面では正味放射量の30~40%に達し、大きな貯熱効果をもつといえる。第5図は、日中の G/R_n の値を時間変化の形で示しており、特に午前中にその比が大きくなり、午後になると徐々に低下することがわかる。このような傾向は、いずれの観測でも共通にみられ、第4図に示すように、 G のピークが正午前に起こり、午後は H の割合が増大することと対応している。そして、日没後1~2時間前から、 G はすでに放熱に転じ、 H は R_n を上回るようになる。また、 G/R_n の季節的な差異については、夏季の方がむしろ小さくなる傾向にあり、これは気温と表面温度の差が大きくなり、顕熱流が増加するためと思われる。

アスファルト面での熱収支観測例として比較しうるデータはわずかであるが、Miller(1977)の測定例では、 G/R_n が約20%と報告されており、今回の測定結果は、これに比べかなり大きな比率となっている。一方、顕熱フラックスについては、Yap and Oke(1974)や岡(1981)の都市域での実測例がある。これらは、いずれも渦相関法を用い、建物屋上面において、かなり広域な拡がりに対する値として測定

されたものである。今回の測定と単純な比較は困難であるが、午後に正味放射量に対する割合が増加する点も含め、かなり似た傾向を示している。

IV 考察——都市気候に及ぼす舗装面の影響

建築物を含め、都市の人工構造物と都市気候の関連については、これまで設楽(1957)、西沢(1958)、高橋(1959)、河村(1964)、田宮(1968)ほか多くの報告がなされてきた。これらの研究を通じて、地表面構造物による貯熱効果が都市気候の要因として指摘され、それは地表面構造物の熱特性に起因すると考えられてきた。

そこで、第2表には今回の実測結果も含め、特にアスファルトと土壌、それにコンクリートの3つについて、これまでのさまざまな研究で用いられている各熱特性値を示した。この表からわかるように、人工構造物に対する値は文献により異なり、特にアスファルトについては例も少なく、またばらつきも大きい。そのなかで、これまで最も多く用いられてきた河村(1964)の値と今回の実測値を比較すると、熱伝導率は大略等しいものの、熱容量の値はこれまでの40%程度と小さい。その結果、温度拡散率は逆に2.5倍と大きくなっている。アスファルト舗装

第2表 諸文献に表われたアスファルト・コンクリートおよび土壌の熱特性値

Table 2 Thermal properties of asphalt, concrete and soil given in previous studies

	Thermal conductivity (W/m deg)	Heat capacity (J/m ³ deg)	Thermal diffusivity (m ² /sec)	Source	
Asphalt pavement (Freeway)	0.75	0.84×10 ⁶	0.89×10 ⁻⁶	(present result)	
	230.	1.95	118.	Nishizawa(1958)	
	0.73	2.06	0.35	Kawamura(1964), Ozima et al.(1974)	
	1.26	2.51	0.50	Morgan et al.(1977)	
Concrete	2.43	2.27	1.07	Nishizawa(1958)	
	0.84	1.88	0.45	Kawamura(1964)	
	4.61	2.30	2.00	Myrup(1969), Atwater(1972)	
	1.60	2.09	0.77	Nunez et al.(1976)	
	1.74	1.96	0.89	Kimura et al.(1974)	
	1.63	1.87	0.87	Ozima et al.(1978)	
Soil (Wet marsh soil) (Sandy clay)	0.84	3.35	0.25	Nishizawa(1958)	
	0.92	2.46	0.37		
	0.63	1.66	0.38	Kawamura(1964)	
	1.09	2.18	0.50	Myrup(1969), Atwater(1972)	
	0.52	3.79	0.14	Kimura et al.(1974)	
	1.17	2.06	0.57	Ozima et al.(1978)	
	0.61	1.58	0.39	Saito(1974)	
	(Dry sandy soil)	0.30	1.28	0.24	Oke(1978)
	(Wet sandy soil)	2.20	2.96	0.74	
	(Dry clay soil)	0.25	1.42	0.18	
(Wet clay soil)	1.58	3.10	0.51		
(Dry peat soil)	0.06	0.58	0.10		
(Wet peat soil)	0.50	4.02	0.12		

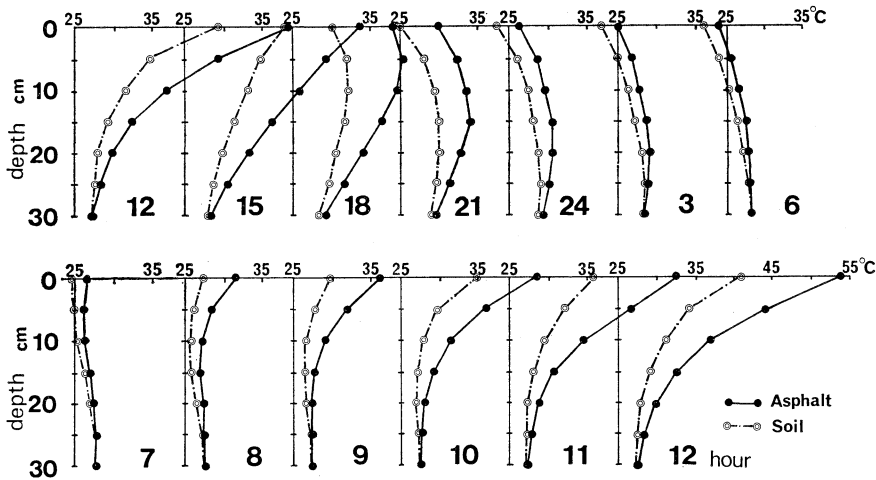
の熱特性は、骨材の種類・施工方法等で変化するものと思われるが、その詳細については、今回の測定結果だけからでは明らかでない。コンクリートに関しては研究例も多く、Nunez and Oke(1976)以降、最近の値はおおむね一致している。これらの値と比較すると、Myrup(1969, 1970), Atwater(1972)らがシミュレーションで設定した値は、かなり大きすぎるといえる。一方、土壌についてはOke(1978)がまとめた値からもわかるように、土壌の粒度により変化し、また同じ粒度の土壌でも、それ以上に水分条件で変化する。その変化幅は非常に大きく、熱伝導率についてはアスファルトやコンクリートの大半がその範囲内におさまってしまう。コンクリートの場合は、熱容量も土壌とほぼ同程度の値といえるが、今回の実測によるアスファルトの熱容量については、多くの土壌の値と比較してもかなり小さいといえる。

これまで、夏季早朝にアスファルトの表面温度が

高く保たれている点を根拠に、アスファルト舗装面の熱容量は、平均的な郊外の地表面より大きいと記述されてきた。そこで、この間の関係を考察するため、夏季の実験におけるアスファルト層の温度プロフィールの変化を、降温過程および昇温過程についておのおの土壌層と比較した(第6図)。日中アスファルト舗装面では潜熱交換が存在しないため、表面を通してアスファルト層に貯熱される量が多く、そして熱容量が小さいゆえに、非常に高温となっている。また、温度拡散が大きいことから、深層にわたって速かに昇温している。温度拡散率の値は、表面での温度変化を正弦曲線で近似することにより、深さ方向の較差の減衰から、次式で求めることができる。

$$K = \frac{(z_2 - z_1)^2 (\log e)^2}{(\log R_1 - \log R_2)^2} \left(\frac{\pi}{T} \right) \quad (2)$$

ただし、 T は周期、 R_1, R_2 はおのおのの深さ z_1, z_2



第6図 アスファルト層と土壤層の温度プロファイル
 上段：降温過程 下段：昇温過程

Fig. 6 Time-variation of temperature profiles in asphalt and soil layers
 upper: cooling stage lower: warming stage

における較差を表わす。これより求めた温度拡散率は、水田土壌が 0.37×10^{-6} 、裸地土壌が 0.63×10^{-6} (m^2/sec) で、先の熱伝導率と熱容量の比から計算されるアスファルトの値 0.89×10^{-6} (m^2/sec) はいずれの土壌層よりも大きくなっている。

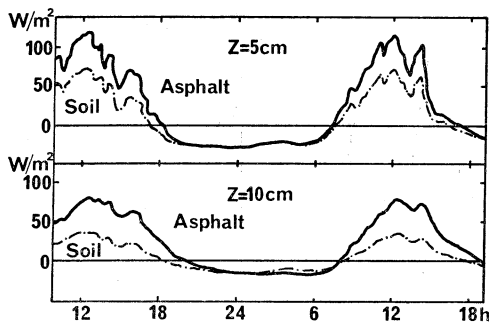
一方、放熱過程に注目すると、やはり全層にわたって急速に降温し、放熱が日没後かなり短時間に集中して起こることがわかる。このことは第4図に示した貯熱量 S の変化からも裏づけられる。Oke and East(1971)は、都市と郊外の温度差が日没から夜半にかけて大きくなると指摘しており、アスファルト層の放熱時間帯はこれと一致する。このことから、アスファルト舗装面の貯熱効果は、特に日没から夜半にかけてのヒートアイランド形成の大きな要因となっていると考えられる。

前述の夏季早朝における表面温度については、今回の観測でもこれまでの結果同様、土壌層より高温に保たれている。しかし、第6図を見る限り、この温度差の原因はアスファルト層の熱容量が大きいためではなく、むしろ日中の昇温量の差が早朝まで解消しきれないためと考えられる。事実、日没後の温

度低下量に注目すれば、各深さともアスファルト層の方が土壌層より大きくなっており、今回の熱容量の測定結果と矛盾していない。また、夏季に比べ貯熱量の少ない春季の例では、早朝までに全層にわたって温度差が解消しており、放熱も夜半すぎまでにほぼ終了している。

以上のように、アスファルト舗装面の早朝の高温については、むしろ昼間の大きな昇温が直接的原因といえる。また、アスファルト層の大きな貯熱効果についても、このような深層にわたっての大きな昇温を考慮すれば、小さな熱容量の値と矛盾せず、日没後の急速な放熱現象についても理解できる。

次に、アスファルト舗装による被覆が地温に及ぼす影響について考察する。第7図には、夏季の実験におけるアスファルト層と、土壌層の熱流の大きさを比較した。いずれの深さでも、アスファルト層の方が熱流の値は大きい。しかも深さ5 cmでは土壌の約1.6倍、深さ10 cmでは約2.2倍と深くなる程、その差が拡大している。このようにアスファルト層は深い所まで熱を伝え、下の土壌層へ熱を運搬する作用をする。深さ30 cmでの日較差を水田土壌で比

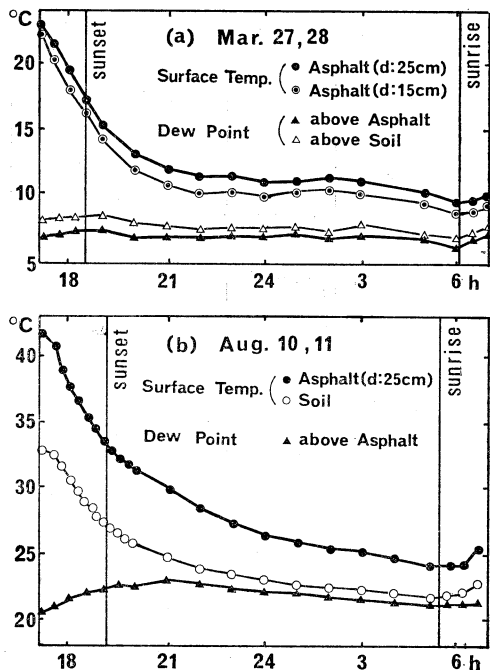


第7図 アスファルト層と土壌層における熱流の比較
Fig. 7 Comparison of heat flux between in asphalt and in soil layer

較した場合、同じ土壌中においても、上にアスファルト層が乗っている場合には、土壌層に比べ、較差は3倍以上大きくなっている。さらに第7図を詳細に検討すると、土壌層中の熱流はほぼ1日で収支が釣り合っているのに対し、アスファルト層の熱流は下向きの流れが大きく、収支が釣り合っていない。このことから、アスファルト層がそれに覆われている土壌層を徐々に加熱し、そのことが都市域における地温上昇の一因となっているのではないかと推測される。

最後に、夜間の表面温度と結露の関連について考察する。第8図-bには夏季夜間におけるアスファルトおよび土壌の表面温度と表面近傍で測定した露点温度の変化を示した。観測当日、土壌面温度は露点温度には達していないものの、夜半には露点温度と1°C以内の差にまで低下している。それに対し、アスファルトの表面温度は、最低気温時においても露点温度より2.5°Cも高く、ほとんど結露の可能性がない。

第8図-aは、同じく春季の結果を示したもので、ここでは同じアスファルトに関して、厚さの異なる場合の表面温度を比較している。また露点温度については、水田土壌面およびアスファルト面上で測定したおのおのについて示している。25cm厚アスフ



第8図 表面温度と露点温度の関係
Fig. 8 Time-variation of surface temperature and dew point temperature

ルトの表面温度は夏季と同様、夜間を通して露点温度より約3°C高く、やはり結露は起こっていない。これと比較した場合、15cm厚の表面温度は約1°C低く、アスファルト層の厚さの違いが表面温度に影響を及ぼしていることがわかる。一方、土壌面上およびアスファルト面上の露点温度を比較すると、わずかながらアスファルト面上の方が低く、これは潜熱フラックスの欠如による蒸気圧の低下が原因していると考えられる。

以上のことから、アスファルト舗装面は表面温度が下がらないことに加え、表面近傍の空気が乾燥し露点温度が低下するため、二重の意味で結露しにくい環境になっている。

V まとめ

本稿では、地表面改変に伴う熱収支構造の変化という観点から、都市域の代表的地表面形態であるア

スファルト舗装面を取り上げ、その貯熱効果を中心に熱収支特性を検討した。その結果は次のようにまとめられる。

アスファルト舗装面では、日中潜熱フラックスの欠如から、多量の熱がアスファルト層への伝導熱流に配分され、熱容量が小さく、温度拡散率の大きいアスファルト層は深層まで非常に高温となる。日没後は、この多量の貯熱が急速に放熱され、これが夜間のヒートアイランドの一因となっていると考えられる。日中の昇温量が大きい夏季には、日出までに土壌層との温度差が解消されず、熱容量が小さいにもかかわらず、早朝まで高温を保つ結果となる。このとき、アスファルト層内の熱流は、1日単位で釣り合わなくなり、舗装面下の土壌温度を上昇させている。また、夜間の高い表面温度に加え、アスファルト舗装面の近傍は、乾燥により露点温度が低下するため、非常に結露しにくくなっている。

以上、アスファルト舗装面での熱収支を、その熱特性との関連でとらえるならば、小さな熱容量とそれに起因する日中の大きな昇温量で特徴づけられていると結論できる。河村(1964)は、Brunt型の放射冷却式を根拠に、都市の高温を都市構造物の大きな $\sqrt{\lambda c \rho}$ と対応させた。しかしながら、この議論は今回の結果とは矛盾し、そこで得られていた対応関係は、建物の凹凸等を含めたより複合的な要因により、みかけ上現われたものと思われる。

また、一例として森山(1978 a)のシミュレーション結果を実測値と比較すると、計算結果では夏季日中の G/R_n が50数%に達するようになっており、これは熱容量の値を過大評価したことが原因となっている。

最後に、今後の課題として潜熱フラックスの把握をあげておきたい。それは、今回の観測においても、日中の大きな昇温量は潜熱フラックスの欠如が大きく影響していると考えられるからである。再び森山(1978 a)の結果を参考にすれば、全体のパター

ンとしては、計算結果がアスファルト舗装面の特徴をおおむねとらえていることが注目される。これは、計算条件としても設定されている、日中の潜熱フラックスの欠如が第一義的にアスファルト面の熱収支を決定づけていることを意味している。都市気候を考える上での潜熱の重要性は、シミュレーション研究におけるパラメータの感度解析からも指摘されており、今後はこの点もふまえ、さらに他の地表面形態についても検討を進めたい。

論文の作成にあたり、終始御指導下さった、広島大学総合科学部の三寺光雄・福岡義隆両先生、そして多くの有益な御助言をいただいた新井正先生ほか熱収支研究グループのメンバーの方々に、心から感謝の意を表します。また、実験材料を提供していただいた日本道路公団高速道路広島建設局広島工事事務所の方々に厚く御礼申し上げます。

本研究は1982年秋、1983年春の日本建築学会中国支部研究会および、1983年度日本地理学会春季大会・熱収支研究グループ研究会において発表した内容に加筆・訂正したものである。

(投稿 1983年7月6日)

(受理 1984年4月28日)

注

- 1) 道路公団が主に強度・摩耗試験用に作成したものを譲り受けた。今回使用したものは中国縦貫自動車道に実際に用いられたものと同じ組成・施工法による試料である。骨材：ホルフェンス6号(13~5 mm)31%、7号(5~2.5 mm)20%、Sc(2.5 mm以下)23%、および海砂22%、石粉4%に対し、ストレートアスファルト(比重1.038、軟化点46.0°C)6.1%、圧密の程度は理論密度2.493 g/cm³、空隙率4.372%である。なお、試料は作成後約1年間、野外に放置したものである。
- 2) 実際の道路の断面は表面から表層・基層・路盤に分けられるが、いわゆる加熱アスファルト混合物からなるのは表層と基層である。この部分の厚さは、通常予想される交通量により決定され、アスファルト舗装要綱では交通量の少ない方から4段階に分け、おのおの5、10、15、20 cmを最小厚さとしている。
- 3) 射出率を1として測定した場合の誤差 ΔT は、真の射出率を ϵ 、測定温度を T^* とすると、

$$\Delta T = \left\{ \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{1/4} - 1 \right\} T^*$$

で表わせる。そこで、求めた補正值から逆にアス

ファルトブロックの射出率を求めた結果、0.97という値が得られた。

文 献

- 岡 建雄(1981)：市街化空間の熱的環境に関する研究(その6) 市内外における顕熱流の測定. 日本建築学会論文報告集, **301**, 131~137.
- 尾島俊雄・森山正和(1978)：地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究(第2報) 地表面熱収支の計算法と実測. 日本建築学会論文報告集, **265**, 93~103.
- 河村 武(1964)：熊谷市の都市温度の成因に関する二、三の考察. 地理評, **37**, 560~565.
- 木村建一・宇田川光弘・久保俊介(1974)：都市化とヒートアイランド現象. 気象研究ノート, **119**, 189~195.
- 設楽 寛(1957)：広島市の冬季気温に及ぼす建築物の影響. 地理評, **30**, 468~482.
- 高橋百之(1959)：日本の中小都市における気温分布と家屋密度. 地理評, **32**, 305~313.
- 田宮兵衛(1968)：住宅団地における夜間の気温分布について. 地理評, **41**, 695~703.
- 西沢利栄(1958)：都市気温に及ぼす建築物の影響. 資源科学研究所彙報, **48**, 40~48.
- 福井英一郎(1956)：都市における気温分布と緑地. 都市問題, **47**, 699~705.
- 森山正和(1978 a)：地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究(第3報) 地表面熱収支の計算スタディ. 日本建築学会論文報告集, **272**, 97~103.
- 森山正和(1978 b)：地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究(第4報) 地域環境

アセスメントへの応用——大阪地域におけるケース・スタディー. 日本建築学会論文報告集, **273**, 69~77.

- Atwater, M. A.(1972): Thermal effects of urbanization and industrialization in the boundary layer: a numerical study. *Boundary Layer Meteor.*, **3**, 229~245.
- Miller, D. R.(1977): Structure of the microclimate at a woodland/parking-lot interface. *Proc. Conference on metropolitan physical environment, USDA Forest Service General Technical Report*, NE-25, 109~114.
- Morgan, D., Myrup, L., Rogers, D. and Baskett, R. (1977): Microclimates within an urban area. *Ann. Assoc. Amer. Geogr.*, **67**, 55~65.
- Myrup, L. O. (1969): A numerical model of the urban heat island. *J. Appl. Meteor.*, **8**, 908~918.
- Myrup, L. O. (1970): Corrigendum to Myrup, L. O., 1969. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 541.
- Nunez, M. and Oke, T. R. (1976): Long-wave radiative flux divergence and nocturnal cooling of the urban atmosphere II within an urban canyon. *Boundary Layer Meteor.*, **10**, 121~135.
- Oke, T. R. and East, C. (1971): The urban boundary layer in Montreal. *Boundary Layer Meteor.*, **1**, 411~437.
- Oke, T. R. (1978): *Boundary Layer Climate*. Methuen, London, 378 p.
- Yap, D. and Oke, T. R. (1974): Sensible heat fluxes over an urban area-Vancouver, B. C.. *J. Appl. Meteor.*, **13**, 880~890.

THERMAL PROPERTIES OF URBAN SURFACE MATERIALS —STUDY ON HEAT BALANCE AT ASPHALT PAVEMENT—

Ken-ichi NARITA,* Takeshi SEKINE** and Toshikazu TOKUOKA*

The change of thermal properties by the replacement of natural surface by artificial materials has been considered as one of the causes of urban heat island. However, there are very few reports about the thermal properties of such urban surface covering. In simulation analyses of urban heat balance, many parameters including thermal properties were given

Geographical Review of Japan 57(Ser. A)-9 639~651 1984

* Graduate Student, Hiroshima University.

** Faculty of Engineering, Hiroshima University.

arbitrarily for the lack of data.

In this paper, asphalt pavement was chosen as one of the typical land uses in urban area, then its thermal properties as well as the feature of heat balance were investigated. Instead of real road surface, some experimental apparatus were made from asphalt blocks (30 cm square and 5 cm thickness, each) in which the heat flux plates and thermistor thermometers were set at every contact boundary. The observations were performed on two settings of the apparatus; (a) buried in soil (paddy field and bare land) and (b) laid on roof top (Fig. 1).

The thermal conductivity (λ) was calculated from the relations between heat flux and temperature gradient at each 5, 10, 15 and 20 cm depth (Fig. 2). In order to estimate the heat capacity ($c\rho$), the heat storage of every 5 cm layer was derived from heat flux difference between upper and lower boundary, and its relation to time-difference of temperature was shown in Fig. 3. These results are summarized in Table 1. While the thermal conductivity of asphalt pavement is not so different from that of soil, its heat capacity is apparently small in comparison with that of soil (Table 2). In this connection, the thermal diffusivity ($\lambda/c\rho$) of asphalt pavement is larger than soil.

The result above is inconsistent with the widely accepted view that because of its large heat capacity the nocturnal surface temperature of asphalt pavement keeps higher than of rural area. As seen in Fig. 6, however, despite of larger cooling rate of asphalt layer than soil, in summer the large difference of surface temperature between them in the afternoon is hold through the night. Moreover, such an enormous temperature range of asphalt layer makes it possible to store great amount of heat in spite of its small heat capacity.

As it is evident from the Fig. 4, at the surface of asphalt pavement solar energy is re-distributed to sensible heat flux (H) and conductive heat flux into asphalt layer (G) approximately at the ratio 2:1. If examined in detail, the ratio of G/R_n (R_n : net radiation) has a peak in the morning and decreases gradually in the afternoon (Fig. 5). According to previous observation, the time of maximum heat island intensity occurred after sunset, it is in accord with the peak of heat release from asphalt layer. It suggests that the heat storage of asphalt pavement is one of the important factors of nocturnal heat island.

The heat flux in asphalt layer is larger than that in soil at each depth (Fig. 7), and nocturnal upperward flux dose not compensate for daytime downward flux in asphalt layer. It means that covering of asphalt pavement results in increase of soil temperature beneath it in warm season.

In addition to its high surface temperature, the dew point temperature near the asphalt surface is lower than that on soil surface due to the lack of latent heat flux, or evapotranspiration (Fig. 8). Then less possibility of dew condensation at asphalt surface at night may be inferred.