

アスファルト舗装面の表面温度と熱収支の解析

— 試験地表面による土壌面との長期比較観測 —

成田健一*・関根 毅*

I はじめに

地表面の改変に伴う熱収支構造の変化は、ヒートアイランドに代表される都市気候の重要な形成要因である。なかでも、不透水化による潜熱交換の減少と、人工構造物への貯熱効果は、その重要性が多く、シミュレーション研究で強調されてきた。アスファルト舗装面は、このような都市地表面の特性を最も端的に表わす土地被覆形態の1つであるが、その熱収支特性を都市気候の観点から系統的に検討した例は少ない。

成田ほか(1984)は、以上のような観点から試験体を用いた実験装置により、アスファルト舗装面の熱伝導率・熱容量を実測するとともに、熱収支特性、とくに貯熱となる伝導熱流への配分などについて明らかにした。しかしながら、これは夏季晴天日における限られた実測にもとづく結果であり、年間をとおしての検討は課題として残された。

一方、アスファルトの表面温度については、古くは庄司・米井(1938)による屋外労働環境の観点からの測定など、すでに数多くの報告例がある。しかしながら、これまでの測定は数日程度の短期間のものが大半で、長期間連続的に測定した例はない。土木分野においては、舗装体の劣化の観点からいくつかの長期測定例がある。(吉本ほか, 1975; 秋山, 1976; 近藤・三浦, 1976; 姫野・猪股, 1986)が、都市気候を念頭にしたものはないといってよい。とくに土壌面との比較という点に関していえば、これまでの野

外実測では天空率・風速条件などが測定点相互で異なっているのが通例であり、表面温度差が純粹に土地被覆の差異を反映したものであるかは不明である。

以上の観点から、今回あらたに広島大学構内の建物屋上にアスファルト舗装と裸地の試験地表面を作成し、約3年間にわたり同一条件における比較連続測定を実施した。

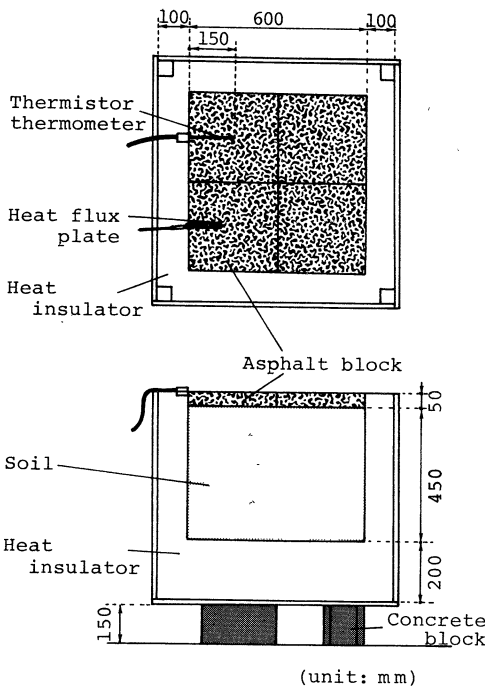
II 測定方法

第1図に装置の概要を示す。ベニヤ板(15 mm厚)製の箱の内側に、側面は100 mm厚、底面は200 mm厚の発泡スチロールを貼りつけ、内寸600 mm四方・深さ500 mmの容器2個を作成した。一方にはすべて土壌を、他方には表面下50 mmまで同じ土壌を詰め、その上に一辺300 mm・厚さ50 mmのアスファルト試験体4枚を水平に並べ舗装面とした。試験体相互および試験体と断熱材間の合わせ目は、コーキング剤を用いて防水処理を施し、不透水性を確保した。使用した試験体の組成および骨材の粒径分布を、第1表および第2図に示す。土壌は、東広島市の広島大学敷地内のもので、花崗岩を母材とした残積性未熟土壌である。

試験体の表面には、サーミスタ温度計(宝工業XB-36)および熱流板(EKO CN-81)を埋設し、もう一方の土壌面にも同じ温度計を埋め込んだ。試験体へのセンサの埋設は、あらかじめ舗装面の表面に溝を掘り、加熱したストレートアスファルトを流し込んで固定した。

測定場所は、広島大学工学部の高層棟屋上で、装

*広島大学工学部



第1図 試験地表面(アスファルト舗装)の概要
Fig. 1 Outline of the experimental apparatus (asphalt pavement)

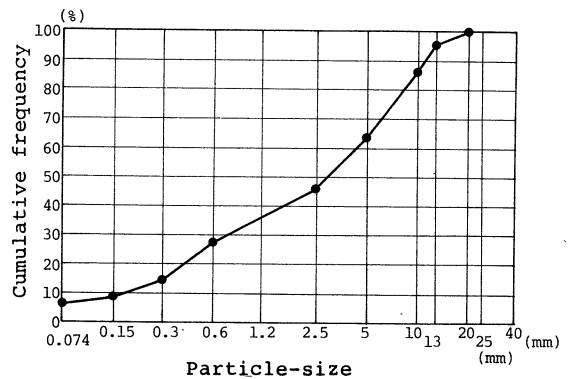
置は4個のコンクリートブロックの上のせ、屋上面からは、150 mm 離して設置してある。温度データは温度変換器(宝工業 E 311)を介し、一方、熱流板の出力は直流アンプ(豊田工機 THA-2A)を介して、カセットロガー(TEAC DR-55)に収録した。また、気象要素として、全天日射量・雨量(屋上面)、風向・風速(超音波風向風速計:屋上面より15 mの高さ)、温湿度(サーミスタおよび容量型湿度計:屋上面より5 mの高さ)についても同時に測定している(第3図)。さらに、参考として高層棟東側約400 mのアカマツ林の表面温度(放射温度計により傾斜角約7°の西斜面を水平方向より測定)も記録した。サンプリング間隔は1分とした。

なお、今回の測定方法は、天空率などの日射条件および風速条件を一致させること、さらにアスファルト舗装面の不透水性を明確にすることを主眼とし

第1表 アスファルト試験体の組成
Table 1 Component of asphalt test block.

	種別	石 質	比 重	吸水量	含有率
骨 材	6号	ホルンフェルス	2.739	0.62%	31%
	7号	"	2.743	0.82	20
	Sc	"	2.741	1.44	23
	砂	海 砂	2.615	2.67	22
	石粉	石 灰 岩	2.700		4
		針入度	比 重	軟化点	含有率
ストレート・アスファルト		91	1.038	46.0°C	*6.1%

*: 全混合物重量に対し

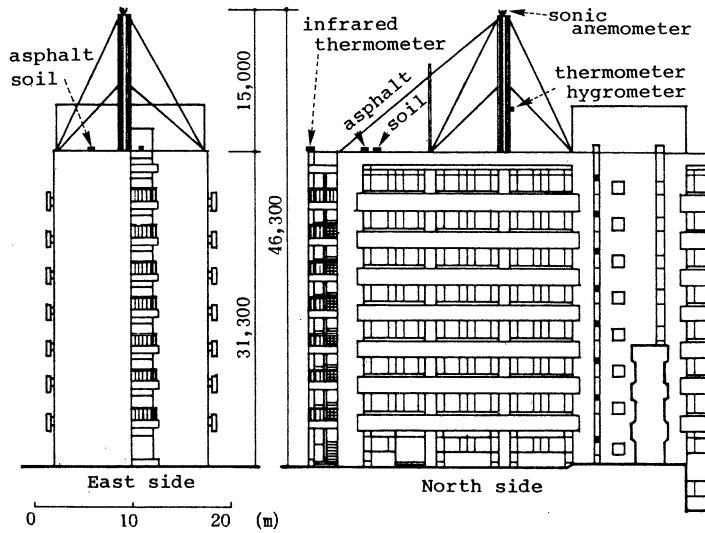


第2図 アスファルト試験体の骨材粒径分布
Fig. 2 Particle-size distribution of asphalt pavement

て考案したため、装置全体の厚さについては決して十分とはいえない。測定方法としては、実際の地表面を利用することも考えられるが、雨水の側方浸透など取り扱いが難しくなること、および敷地上の制約で上述の条件を満たせないことから上記の方法を採用した。したがって、以下の解析結果はあくまでも上記のような測定法での値であることを明記しておく。

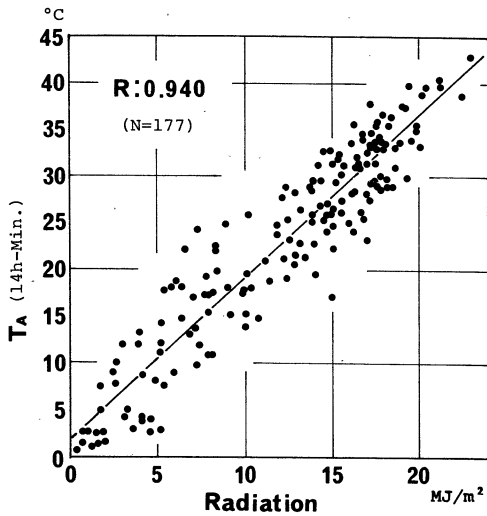
III 夏季日中の表面温度と気象要素の関係

まず、6月~8月の夏季3カ月について、アスファルト舗装面の表面温度(T_a)と気象要素との関連について考察する。第4図は、日中の T_a と日射量との関係を検討するため、一例として14時につ



第3図 測定場所および気象測器の設置状況
Fig. 3 Setting site of the experimental apparatus and meteorological instruments

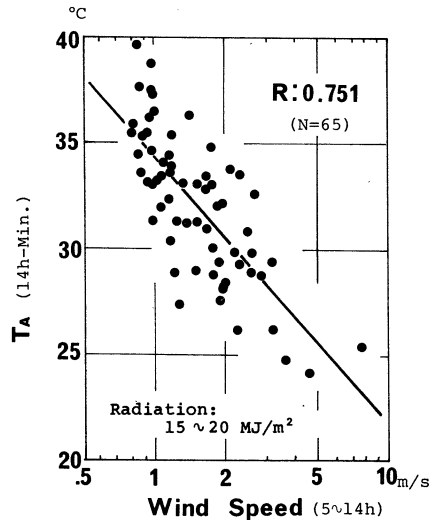
いて、最低温度からの昇温量とその時刻までの積算日射量との関係を示したものである。ここでは、1985年と1986年の2夏分(欠測日を除く177日)に



第4図 最低温度から14時までのアスファルト表面昇温量とその間の積算日射量との関係
Fig. 4 Relations between the surface temperature increment of asphalt pavement from the morning minimum and the integrated solar radiation at 14:00

ついてプロットしたが、相関はかなり高く、アスファルト舗装面温度は日射量では説明できるといえる。しかしながら、等しい日射量に対して10°C程度のバラツキがみられる。

第5図は、その要因の1つとして風速の影響を検



第5図 アスファルト表面温度に及ぼす風速の影響
Fig. 5 Effect of wind speed on the surface temperature of asphalt pavement

第2表 表面温度に対する日射の履歴効果
Table 2 Hysteresis effect of solar radiation on asphalt surface temperature

説明変数	標準回帰数	偏相関係数
Q_1 (13~14h)	0.572	0.724
Q_2 (12~13h)	0.130	0.199
Q_3 (11~12h)	0.164	0.221
Q_4 (10~11h)	0.015	0.020
Q_5 (9~10h)	0.130	0.182
Q_6 (8~9h)	0.017	0.030
重相関係数=0.968		

* Q_n : 測定 n 時間前より 1 時間の日射量

討したもので、第4図のうち積算日射量 = 15~20 MJ/m² の日について、 T_A と最低温度出現時刻付近の5時から14時までの平均風速との関係を示した。両者の間には明確な負の相関がみられ、静穏日にはとくに表面温度が高くなっている。

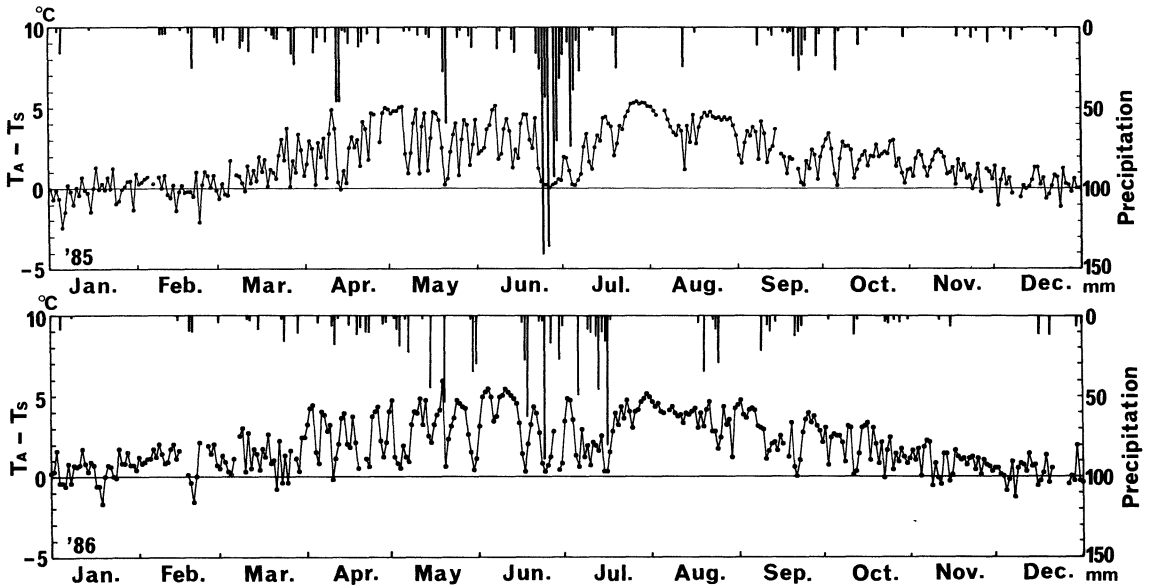
第2表は、もう1つの要因として日射の履歴効果を検討したもので、14時までの各1時間ごとの日射量 (Q_n) を説明変数として T_A の重回帰を行なっ

た結果である。標準回帰係数は、直前1時間の日射量が0.572に対し、それ以前はいずれも0.2以下と小さく、表面温度は直前の日射量に大きく左右されている。すなわち、積算日射量が等しい場合でも直前1時間の日射量の大小で表面温度に差異が生じる。

IV アスファルト舗装面と土壌面の表面温度差

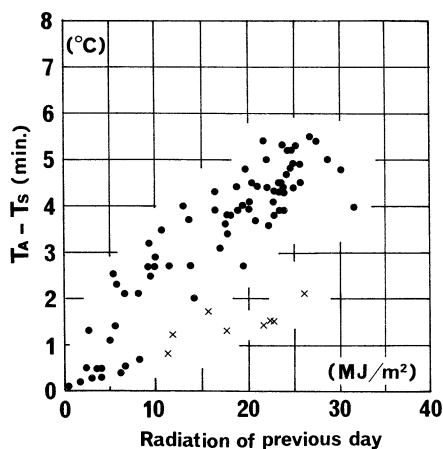
1. 早朝における表面温度差の季節変化

これまで夏季早朝の都市気温形成については、アスファルトなどの都市地表面構造物による貯熱効果が指摘されてきた。すなわち、日中の大きな貯熱が早朝まで放熱を継続させ、早朝までアスファルト舗装面を高温にする。そこで、このような早朝におけるアスファルト舗装面と土壌面の表面温度差が年間をとおしてどのように変化しているかを検討するため、一例として午前5時における $T_A - T_s$ (T_s : 土壌面温度) の年変化 (1985年・1986年) を示したのが第6図である。なお、断線部分は欠測を表わしており、参考として日雨量の値も併せて示している。



第6図 早朝(5時)における表面温度差の年変化
断線部分は欠測を表わす。参考として日雨量の値も併せて示す。

Fig. 6 Annual variation of surface temperature between soil (T_s) and asphalt pavement (T_A) at 5:00



第7図 早朝の最低気温時の表面温度差と前日の日積算日射量との関係 (1985年6月~8月)

X: 前日に 10 MJ/m^2 以上の日射がありながら翌日の早朝までに降雨を観測した日

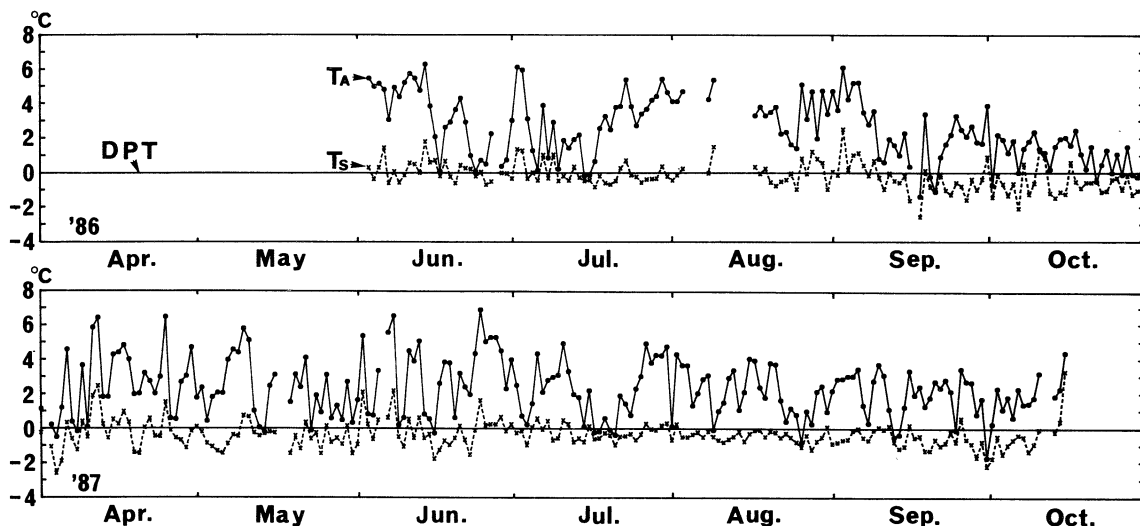
Fig. 7 Relation between $T_A - T_s$ of daily minimum and total solar radiation for the previous day (1985, Jun.-Aug.)

早朝における各々の表面温度は、前日の日射量ならびに夜間の雲量などにより日々大きく変化するが、両者の温度差をとると、明確な季節変化が認められる。すなわち、早朝に温度差が現われるのは夏季を

中心とした暖候季であり、しかも前日に十分な日射量があった場合に限られる。温度差が大きくなり始める時期はおおむね3月下旬から4月上旬にかけてである。それ以降9月上旬にかけての変化は、降雨時を除けばかなり一定しており、早朝の温度差には上限が存在するようにみえる。その値は 5°C 程度で、すでに4月からこのような大きな温度差が現われている点が注目される。

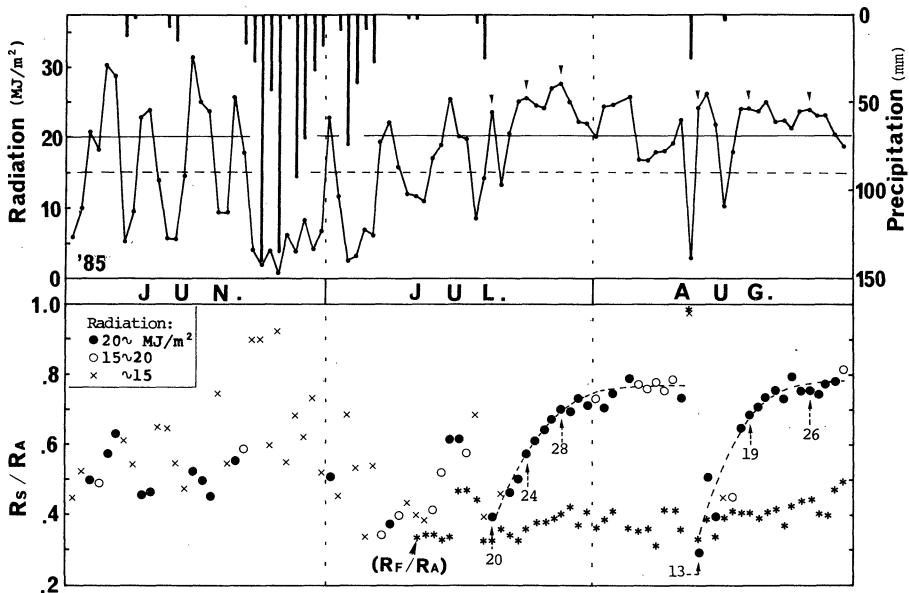
第7図は、夏季3カ月(1985年6月~8月)について早朝の温度差と前日の日積算日射量との関係をまとめたものである。ただし、前日に 10 MJ/m^2 以上の日射がありながら、翌日の早朝までに降雨を観測した日については(x印)で区別している。これら降雨の影響があった日を除けば、両者はほぼ比例関係にあり、先に述べたように、前日に十分な日射量があった場合のみ早朝に大きな温度差が生じることがわかる。

このような早朝における T_A と T_s の温度差は、両地表面における結露環境に大きな差異を生じさせていると考えられる。そこで、温度差が大きくなる



第8図 早朝(5時)における露点温度(DPT)と表面温度の関係
断線部分は欠測を表わす。

Fig. 8 Differences of T_A and T_s from dew point temperature (DPT) at 5:00



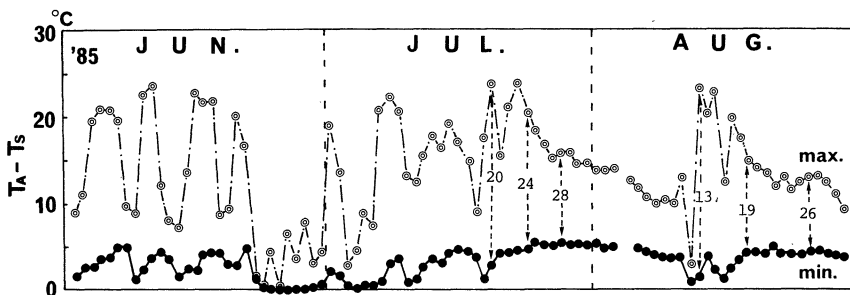
第9図 夏季における日積算日射量および日降水量の変化と表面温度日較差比の変化(1985年)
 R_s , R_A , R_F : 各々, 土壌面, アスファルト舗装面, およびアカマツ林の表面温度日較差. 図中の数字は第11図で
 取り上げた日付を表わす.

Fig. 9 Interdiurnal variations of total daily solar radiation, daily amount of precipitation
 and ratio of diurnal ranges of surface temperature in summer (1985)

R_s , R_A , R_F : represent the diurnal ranges of surface temperature of soil, asphalt pavement, and pine
 (*Pinus dansiflora*) forest, respectively, and the numbers in the figure refer to the dates in Fig. 11.

4月~10月について, 第6図と同様, 午前5時
 における露点温度 (DPT) と T_A および T_s との温度
 差を示したのが第8図である. 土壌面については,
 期間をとおして露点温度ないしはそれ以下となる場
 合が多くみられ, 盛夏も含め条件がそろえば結露が

生じていると判断される. それに対し, アスファルト
 舗装面は, 土壌面が露点温度以下となっている場
 合でも, 露点温度より 3~5°C 高いという日が多く,
 非常に結露しにくい環境となっている. すなわち,
 アスファルト舗装面では(凝結→露の蒸発)という



第10図 夏季におけるアスファルト面と土壌面の表面温度差(最高・最低温度)の変化(1985年)
 図中の数字は第11図で取り上げた日付を表わす.

Fig. 10 Interdiurnal variations of the $T_A - T_s$ at daily maximum and minimum in summer (1985)
 The numbers in the figure refer to the dates in Fig. 11.

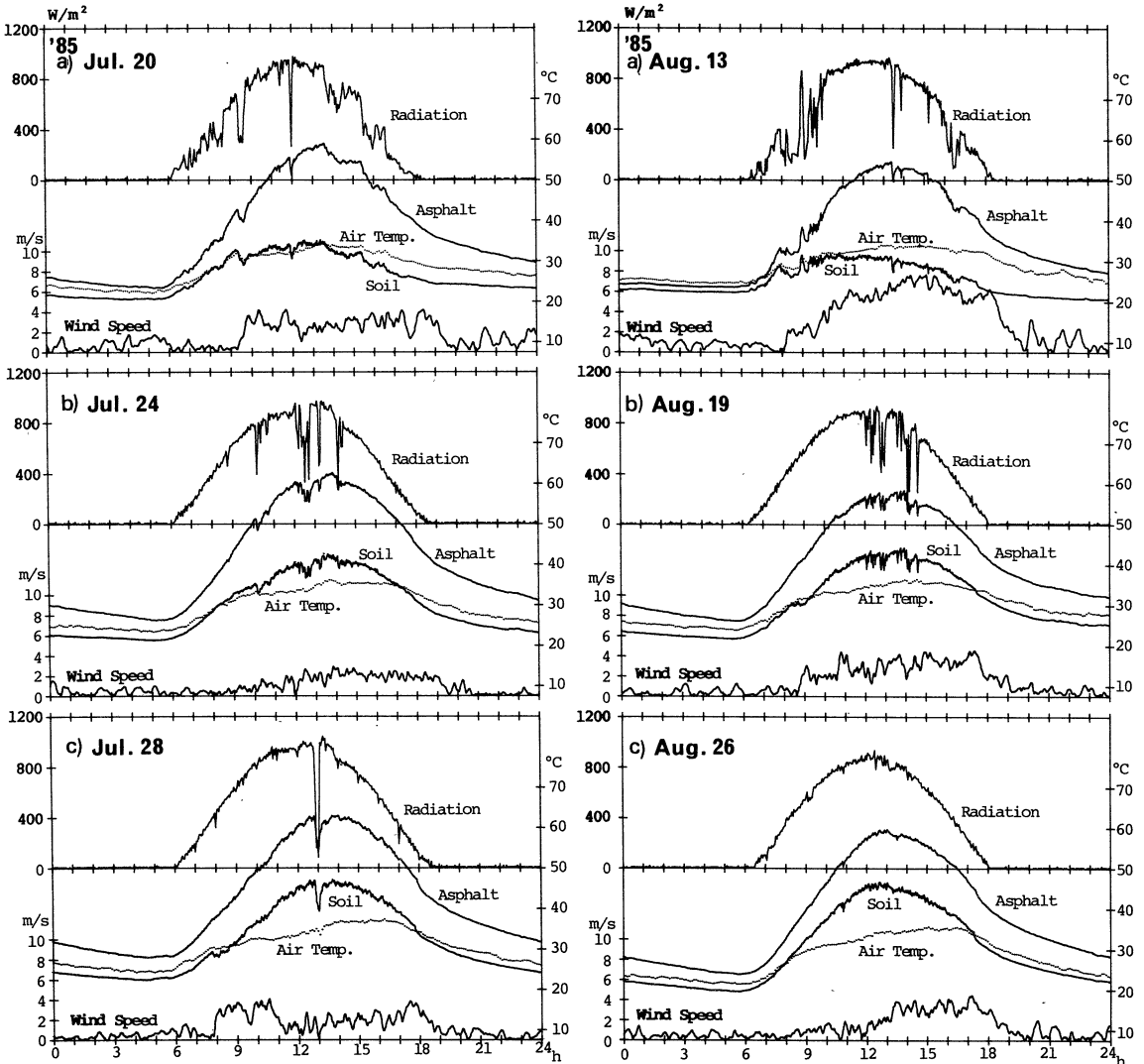
自然の循環系が断ち切られている。

2. 夏季における降雨後の表面温度変化の比較

土壌面における熱収支は、日々の天候変化に伴う土壌水分の変化に大きく左右される。一方、アスファルト舗装面では降雨直後のわずかな期間を除けば、潜熱フラックスは存在しない。ここでは、土壌水分の測定は直接行っていないが、透水性の有無が明

確に反映される降雨後の T_A と T_s の変化を比較してみる。

第9図は、1985年の夏季3カ月について、毎日の土壌面の表面温度日較差(R_s)を同じアスファルト舗装面の表面温度日較差(R_A)との比として表わしたもので、併せて毎日の降水量および日積算日射量の変化を示している。また第10図は、この期間の最高・最低温度の各々について T_A-T_s の変化を



第11図 表面温度日変化の例——降雨後の土壌水分による変化——
a: 降雨直後 b: 中間 c: 乾燥後の安定時

Fig. 11 Examples of diurnal variations of surface temperature: changes due to soil moisture after rainfall

示したものである。ただし、最低温度については前日の日射量と対応させるため、ここでは他の変化より1日だけ前にずらして表現している。

第9図の(R_s/R_A)の変化に注目すると、その後晴天が続いた2度の降雨(7月18日, 19日, および8月12日)について特徴的な変化が認められる。降雨直後はいずれも $R_s/R_A=0.3\sim 0.4$ 程度であるが、それから徐々に増加し、約10日後に $R_s/R_A=0.8$ 近くに達し、その後は安定している。これは、土壌水分の低下とともに蒸発量が低下し、それに伴って土壌面の日中の昇温量が大きくなっていくことを反映している。なお、このような関係は晴天日についてのみ適応できると考えられるため、ここでは日積算日射量 15 MJ/m^2 以下(\times 印)は除外し、また $15\sim 20\text{ MJ/m}^2$ の日は \circ 印とし、 20 MJ/m^2 以上の晴天日(\bullet 印)と区別してある。

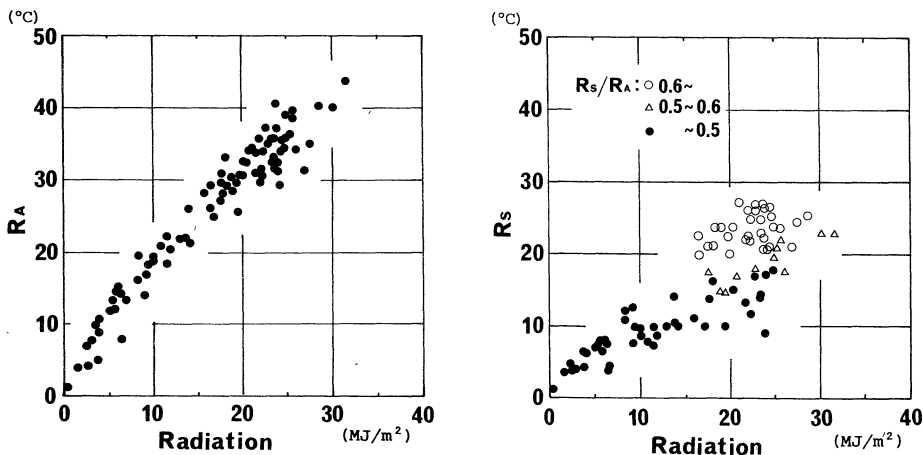
第11図は、この2つの期間の各々について、降雨直後と乾燥後の安定時およびその中間の各3日を選び(第9図参照)、各日の気温・日射量・風速および表面温度の日変化を示したものである。アスファルト面では変化がみられないのに対し、土壌面

は乾燥化に伴い日中の昇温量が増大し、気温との温度差が拡大している。第10図によれば、降雨後に温度差が減少しているのは最高温度であり、最低温度に関してはこの間あまり変化がない。

以上、降雨後の表面温度変化のまとめとして、第12図に各々 R_A および R_s と日積算日射量との関係を示した。土壌面については、 15 MJ/m^2 以上の日を R_s/R_A で区分して表示したが、水分変化に伴い日較差が大きく変化しているのに対し、アスファルト舗装面では両者がほぼ比例関係にあり、降雨の影響を受けていないことがわかる。

一方、第9図には、比較のためにアカマツ林の樹冠表面温度日較差(R_F)と R_A との比(*印)も併せて示している。 R_F の変化は、 R_s とは対象的にこの期間ほぼ一定している。すなわち、測定したアカマツ林においては、この程度の無降雨期間では、根系の水分欠乏による影響が生じていないものと思われる。

これら3種類の土地被覆形態について、夏季3か月(6月~8月)の晴天日(日積算日射量: 20 MJ/m^2 以上)における日最高表面温度を、1985~1987年

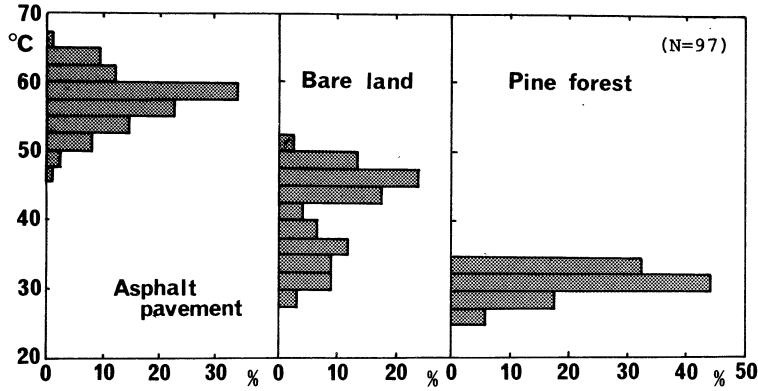


第12図 表面温度日較差と日積算日射量との関係(1985年6月~8月)

左:アスファルト舗装面 右:土壌面

Fig. 12 Relations between diurnal range of surface temperature and total daily solar radiation (1985, Jun.-Aug.)

left: asphalt pavement right: soil



第13図 夏季晴天日の日最高表面温度の頻度分布 (1985~1987年)
 Fig. 13 Histograms of the daily maximum surface temperature on a fine summer day (total solar radiation $\geq 20 \text{ MJ/m}^2$, 1985-1987)

の3年間についてまとめたものが第13図である。裸地面では第11図に示した水分変化に伴う変化を反映して2山型の頻度分布を示しているのが特徴的である。それに対し、アスファルト舗装面では常に55~60°Cで一定しており、また樹冠面は気温とほぼ等しく35°Cを越えることはない。

V アスファルト舗装面の熱収支特性

次に、アスファルト舗装面における熱収支について若干の考察を加える。

まず、ここでは全天日射量(Q)のみを測定しているので、次式を用いて正味放射量(R_n)を算出した。

$$R_n = R_s^* - R_L^*$$

ただし、 R_s^* は短波長放射収支量、 R_L^* は長波長放射収支量(有効放射量:上向きを正)である。 R_s^* は

$$R_s^* = (1-\alpha)Q$$

一方、 R_L^* はKondo (1967)による次式

$$R_L^* = \epsilon[\delta T_A^4 - \delta T^4 \{1 - (0.49 - 0.066\sqrt{e})c^*\}]$$

$$c^* = 1 - 0.53(1 - 0.0095e)(n + 0.5n^2)$$

を利用した。ここで、 α はアルベド、 ϵ は射出率、 δ はStefan-Boltzmann定数($5.68 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)、 T 、 T_A は気温およびアスファルト舗装面温度(K)、 e は水蒸気圧(mb)、 n は雲量(0~1単位)である。なお、アスファルト舗装面に対するアルベドおよび

射出率の値は、各々 $\alpha=0.07$ 、 $\epsilon=0.97$ を用いた。また雲量についてはデータがないため、日積算日射量 20 MJ/m^2 以上の晴天日のみを対象とし、 $n=0.2$ として計算した。

以上の対象日については、アスファルト舗装面において潜熱フラックスはないと考えられるので、顕熱フラックス(H)は R_n と伝導熱流(G :熱流板による実測値)の差として求めた。

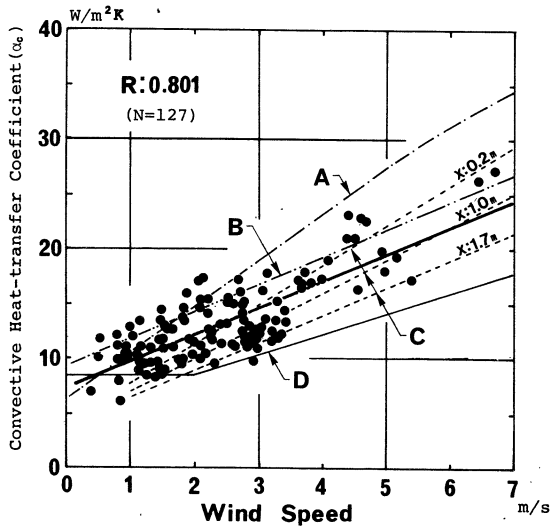
1. 対流熱伝達率と風速の関係

以上のようにして求めた H を利用し、次式で定義される対流熱伝達率(α_c)を計算した。

$$\alpha_c = H / (T_A - T)$$

第14図は、夏季3カ月(1987年)の日中7~17時について、 α_c と風速との関係(1時間平均値)をプロットしたものである。

α_c は、地理学の分野ではあまり用いられないが、建築環境の分野では都市気候のモデリングや空調負荷計算などでよく利用されるパラメータである。しかしながら実測例は少なく、鉛直面における伊藤ほか(1972)の測定、浦野・渡辺(1983)による屋上面での測定などがあるのみである。一方、風洞実験としてはJürges(1924)の実験式(50cm四方の垂直加熱銅板)が有名だが、 α_c の値は試料寸法の影



第14図 対流熱伝達率と風速の関係

A: Jürges (1924) B: 浦野・渡辺 (1983) C: 小林・宮野 (1977) D: 伊藤ほか (1972)

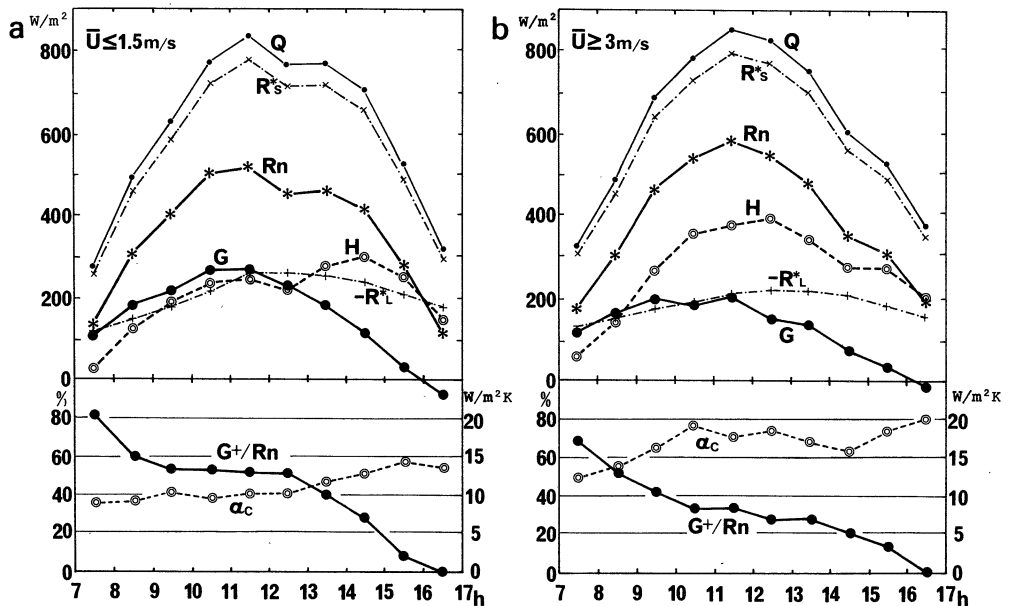
Fig. 14 Relations between convective heat-transfer coefficient and mean wind speed

響も受けるため、小林・宮野 (1977) は試料先端からの距離(X)別に水平板に対する実験式を求めている。図中には、参考としてこれらの結果を示したが、各々について風速の内容が異なっているため単純な比較はできない。伊藤ほか (1972) の風速は屋上から 8 m の値、浦野・渡辺 (1983) は屋上 0.6 m の近傍風速で、風洞実験についてはいずれも境界層外の自由流速である。

今回用いた屋上 15 m の風速(U)は、超音波風速計による風速鉛直成分の測定から、その平均値がゼロになることを確認しており、一応建物の影響を含まない一般風と考えられる。その U に対し、今回は

$$\alpha_c = 7.32 + 2.43 U$$

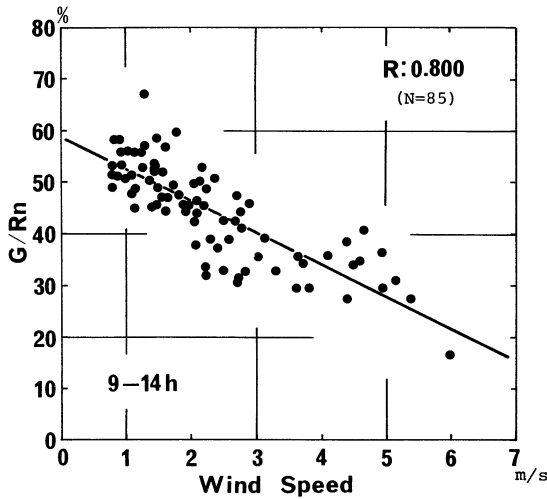
の関係が得られた。この式はむろん一般性のあるものではないが、屋上面における実測結果の 1 つとして今後の参考になるとと思われる。



第15図 夏季における静穏日(a)と強風日(b)のアスファルト舗装面熱収支の比較

Fig. 15 Comparison of heat balance at asphalt pavement between calm (a) and windy (b) conditions on a fine summer day

Q: global solar radiation R_s^* : net short wave radiation R_l^* : net long wave radiation Rn : net radiation
G: conductive heat flux into asphalt layer H : sensible heat flux ($Rn-G$)



第16図 伝導熱流(G)への配分比の風速依存性
 Fig. 16 Dependence of the percentage of conductive heat flux (G) to net radiation (Rn) on wind speed

2. アスファルト舗装面の貯熱効果—(G/Rn)

次に、アスファルト舗装面における貯熱効果、すなわち G への配分比について考察する。これまでの報告(たとえば、成田ほか, 1984; 増田ほか, 1987)では、 G/Rn の推定に際して風速は考慮されていなかった。しかしながら、 H の値は風速によって変化しているはずであり、したがって静穏日と強風日とでは G/Rn の値も変化していると思われる。

そこで対象となった晴天日から、日中(7~17時)の平均風速が1.5 m/s以下の静穏日および3 m/s以上の強風日を抽出し、各熱収支項の平均値を求めた。その結果を示したのが第15図(a), (b)で、 G/Rn および α_c の変化も併せて示している。静穏日の結果をみると、とくに風速が弱い午前中は α_c が $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 程度と小さく、その間 G は H を上回っている。一方、強風日の結果では G は相対的に H よりも小さく、 G/Rn の変化に大きな差異が現われている。

以上のような G/Rn の風速依存性を、その値が安定している9~14時についてまとめたのが第16図である。 G/Rn の値は静穏時に大きく、風速の

増加とともに減少する。およそ風速1.5 m/s以下では50%を越え、風速5 m/sでは30%以下となる。その関係を示せば、

$$G/Rn(\%) = 58.7 - 6.2 U$$

となる。

VI ま と め

アスファルト舗装と裸地の試験地表面を作成し、同一の天空率・風速条件下で約3年間にわたり実施した長期比較観測の結果を解析した。

これまでの報告では、年間をとおしての変化や、毎日の天候変化との関係は、十分な解析がなされていなかった。これらの点に関して、とくに都市気候の観点から興味深い早朝の表面温度差や結露環境の差異、あるいは風速条件による熱収支成分の変化などについていくつかの成果が得られた。

今後、都市気候研究においてはモデリングがますます盛んに行なわれていくものと思われるが、それらの検証という意味からも、一方で今回のような基礎的データの蓄積が必要と思われる。

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。本稿は、1987年春の日本建築学会中国支部研究会、および1987年秋の同学会大会において発表した内容に加筆・修正したものである。

(投稿 1990年3月16日)

(受理 1990年10月6日)

文 献

- 秋山政敬(1976): アスファルト舗装体の温度に関する調査研究。土木学会論文報告集, **246**, 105-115.
- 伊藤直明・岡 樹生・小原俊平・木村建一・佐藤 鑑・後藤 滋・関根 孝・関根 毅・吉沢 晋・前川甲陽・片山忠久(1972): 環境工学における市街地風の変動とその影響に関する総合的研究-8(自然風による建築物外表面の対流熱伝達に関する研究—その2—)。日本建築学会論文報告集, **191**, 37-43.
- 浦野良美・渡辺俊行(1983): 水平屋根スラブの外表面顕熱収支測定と伝熱応答解析。日本建築学会論文報告集, **325**, 93-103.

- 小林定教・宮野秋彦(1977)：熱伝達率の研究——突起物を有する外壁面の熱伝達特性に関する風洞実験——. 日本建築学会論文報告集, **258**, 53-62.
- 近藤佳宏・三浦裕二(1976)：アスファルト舗装体内温度の推定に関する研究. 土木学会論文報告集, **250**, 123-132.
- 庄司 光・米井太郎(1938)：建築物の外壁並に路面の表面温度測定成績. 衛生工学協会誌, **12**(11), 1024-1043.
- 成田健一・関根 毅・徳岡利一(1984)：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——. 地理学評論, **57A**, 639-651.
- 姫野賢治・猪股和義(1986)：アスファルト舗装の内部温度分布に関する調査研究. 土木技術資料, **28**(6), 44-49.
- 増田正一・片山忠久・張 晴原(1987)：建物間における地表面熱収支の調査研究. 九州大学総合理工学研究報告, **8**(2), 237-242.
- 吉本 彰・荻野正嗣・川上正史(1975)：アスファルト舗装体の温度. 舗装, **10**(1), 29-32.
- Jürges, W. (1924): Der Wärmeübergang an einer ebenen Wand. *Beihefte zum Gesundheits-Ingenieur*, Beiheft **19**.
- Kondo, J. (1967): Analysis of solar radiation and downward long-wave radiation data in Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 5, (Geophys.)*, **18**, 91-124.

Long Term Observation of Surface Temperature and Heat Balance in Asphalt Pavement: Comparison to Soil Surface Using a Twin Experimental Apparatus

Ken-ichi NARITA* and Takeshi SEKINE*

The increase of heat storage by artificial materials is one of the important factors in heat balance as well as the decrease of evapotranspiration in urban areas. In this study, asphalt pavement was chosen as a typical urban land cover, and its surface temperature and heat balance were compared to that of soil surface. For this purpose, a twin apparatus was set closely and measured under the same view factor and wind conditions. These observations were continued for about three years, and all kinds of data, solar radiation, rainfall, heat flux, surface temperatures, air temperature and humidity, etc., were collected at intervals of 1 minute.

The daytime surface temperature of asphalt pavement is approximately proportional to the integrated solar radiation until that time (Fig. 4), and is also affected by averaged wind speed (Fig. 5). Moreover, since it is closely related to the solar radiation just before, even if its total value is constant, the history of radiation causes variation in asphalt surface temperature (Table 2).

The surface temperature difference in the early morning between asphalt (T_A) and soil (T_S) becomes noticeable around the end of March and ends in November (Fig. 6). These large differences in warmer seasons are related to the large amount of solar radiation on the previous day (Fig. 7). In addition, the high surface temperature of asphalt pavement leads to a reduced possibility of dew condensation at that surface (Fig. 8). This means that the micro-meteorological water cycle—that is, the repetition of condensation at night and evaporation after sunrise—disappears at asphalt surface.

The surface temperature of bare land varies greatly with soil moisture content. In particular, its daytime maximum value increases due to the decrease of latent heat flux (Fig. 9-12). In contrast, that of pine (*Pinus densiflora*) forest measured by infrared thermometer is almost constant (Fig. 9), which suggests that these forests had no water deficit during the period of measurement.

The convective heat-transfer coefficient (α_c) at the experimental apparatus is calculated for fine days in summer. Its hourly averaged values can be expressed as the function of wind speed 15 m above the roof (Fig. 14). In this connection, the heat balance at asphalt pavement is different in calm and windy conditions (Fig. 15). The ratio of G/Rn (G : conductive heat flux into asphalt layer, Rn : net radiation) is not constant, and varies from 55% to 20% with wind speed (Fig. 16).

Key words: asphalt pavement, surface temperature, heat balance, heat storage