

埼玉大学 藤野 毅・浅枝 隆・柴原千浩
 佛清水建設 和氣亜紀夫

1. はじめに

都市域の高温化は地球温暖化の効果に伴ってより深刻になることが予測される。都市域の熱環境は人工排熱と地表面の改変による影響を大きく受けており、それぞれの効果を定量的に見積もることや大気加熱のメカニズムを解明することが求められている。筆者らはこれまで、放射伝達の方程式を用いて夏場でのアスファルトから多量に放たれる赤外放射が上空で吸収されることによって大気を加熱させていること、しかもそれは人工排熱量よりも大きいことを示した。今回は、一様な舗装面上において気球を用いて上向きの赤外放射量の観測を行い、解析結果と合わせて赤外放射による大気の加熱の寄与について考察を行った。

2. 観測概要

観測はよく晴れて典型的な夏日となった92年8月15日に、千葉市内の駐車場敷地内にて行った。広さは240×140mであり、地表面は9割以上がアスファルトで覆われている。その周辺には日射を遮るものもなく、アスファルト舗装の道路で囲まれており、それを加えると少なくとも5ha程度の広さが舗装されていることになる。その中心位置に、温度・湿度計、赤外放射計を取り付けた気球を10mごとに上昇させて100 mの高さまで測定を行った。測定データは5秒間隔で記録され、各高さでの値は気球を数分静止させて複数のデータの平均値をとった。地上では、高さ1.5 mにおいて気温、湿度、風速を計測し、さらに日射量、アルベド、地表面温度、地表面で発する赤外放射量、及び大気放射量を測定した。

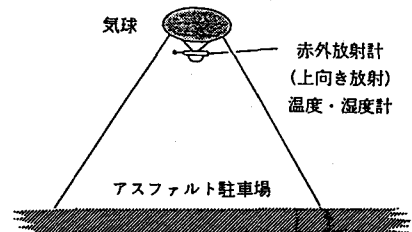
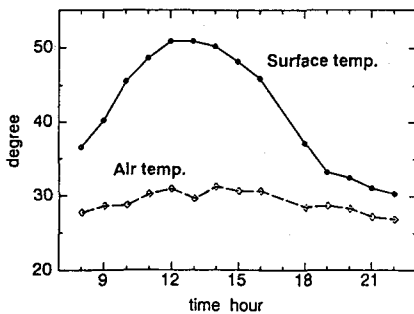


図-1 観測概要

3. 観測結果

3.1 地表面での熱収支

まず、図-2(a)に地表面温度と気温の時間変化を示す。昼間の11時から15時頃までは両者の温度差は20度以上にも達する。また、地表面温度は夜間になっても気温より約3度上回っており、蓄熱の効果の大きいことが分かる。次に、これらを地表面と大気からそれぞれ射出される赤外放射量で比較してみる（図-2(b)）。



(a) 気温と地表面温度

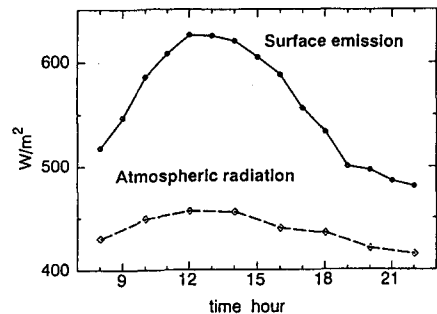


図-2 (b) 大気放射量と地表面からの赤外放射量

これより、地表面から射出される赤外放射量は最高 625 W/m^2 まで達しており、正味で上向きに 180 W/m^2 射出されていることが分かる。次にこの多量の上向き放射がどのように変化するかを確かめた。

3.2 上向き赤外放射量の高さ変化

赤外放射計を気球に下向きにして取り付け、各高さまで掲揚させることにより、地表面からその高さまでの気層間から射出される赤外放射量を見積もることができる。まず、高さ100 mまでの気温分布を図-3に示す。これより日中では20m以下において温度勾配が大きくなり、地表面が強く加熱された影響を受けていることが分かる。夜間では、10時においてもなお気温分布は表層の方が高く、逆転層はまだ形成されていない。次に、赤外放射量の分布を図-4に示す。ここで上空の各高さにおける下向き大気放射量は先の気温データと地表面に到達する大気放射量の観測値を基に見積もった。これらより、12時の分布では下向き大気放射量は直線状に近い分布を有するのに対し、上向き放射量は高さ10mの接地層内において大きく減衰しているのが分かる。両方向の赤外放射とも、各高さの気層間においては吸収と射出を繰り返して伝達されるが、この高さ10m以内に見られる大きな減衰は気温と地表面温度のギャップが大きいため、地表面から射出された多量の赤外放射が水蒸気などの吸収物質によって急激に吸収されていることを示している。これが夜間になると、気温と地表面温度の差は小さくなるため、接地層内での上向き放射量の減衰も小さくなる。この観測時の気温、湿度、地表面の温度及び赤外放射量のデータを基に算出した各放射量の計算値と比較すると、観測値は計算値と同様な結果が得られた。上向き放射については上空では観測値の方が小さく見積もられたが、これは舗装面以外の地表面からの放射の影響を受けているものと考えられる。この赤外放射量の高さ変化は100 m以上の高さにおいてもなお生じていることが考えられる。従って、以下では計算結果から論ずることとする。

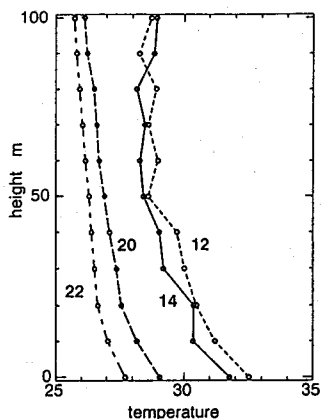
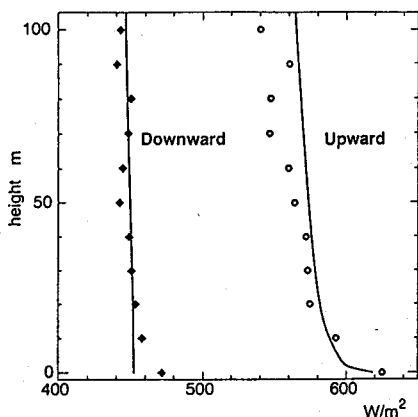
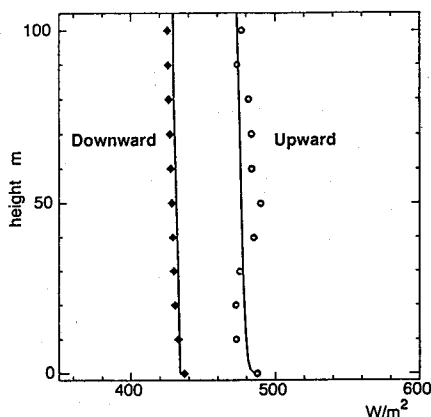


図-3 気温分布



(a) 12:00



(b) 22:00

図-4 上向き・下向き赤外放射量の観測値(点)と計算値(実線)

3.3 大気中の吸収量

地表面からの正味の赤外放射とそれぞれの高さにおける正味の赤外放射の差をとることによって、地表面からその高さまでの実質の吸収量を見積もられる。まず、1 mの高さあたりに吸収される放射量の高度分布を図-5に示す。これより赤外放射の吸収は、その大部分が表層内で生じており、表層部分での大気の加熱への寄与が大きいことが言える。また、この吸収はわずかながらも、200 m付近まで生じており、大気を加熱

に導く役割を果たす。夜間では、表層での吸収が昼間の10分の1程度になる。ただし、地表面ではなおも上向き放射が卓越しており、表層では大気を冷却させることはない。次に、大気全体が実質吸収する熱量を求めるために、これらの各高さ毎の吸収量を地表面からその高さまでの積算値で表す(図-6)。これより昼間では100 mの高さまでに 50 W/m^2 の熱量が吸収されることになり、そのピークは500 mの高さまでに 59 W/m^2 となり、それ以上の高さにおいて初めて射出が卓越し、大気は冷却される方向に向かう。これが夜間では、全体の吸収量は 10 W/m^2 にも未たず、高さ200 m以降では大気を冷却させる。但し、接地層内ではわずかではあるが、放射の吸収によって大気加熱の様相を示す。すなわち蓄熱の大きいアスファルト面上においては1日中大気の加熱させることになる。

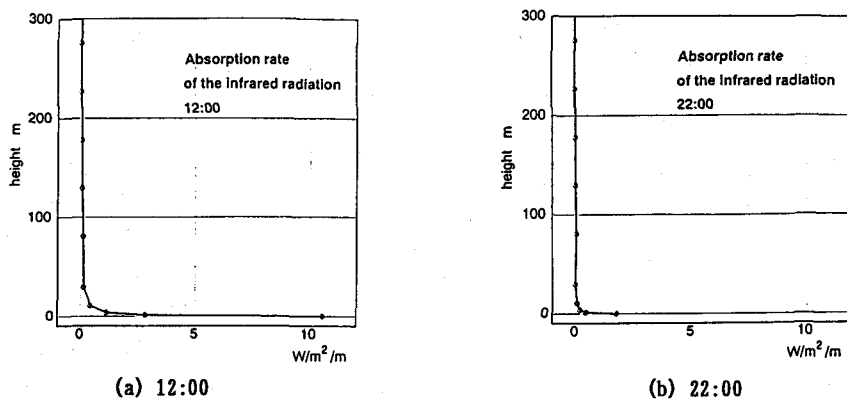


図-5 大気における赤外放射の吸収量の割合

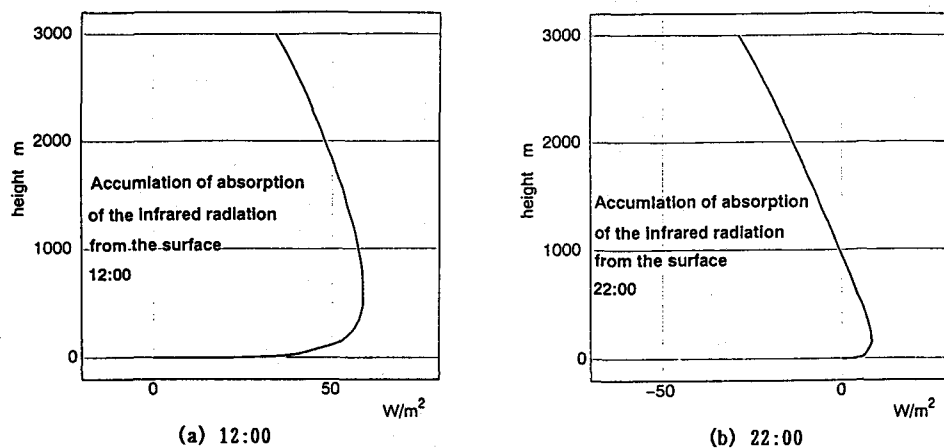


図-6 大気における赤外放射の吸収量の積算値

4. おわりに

地表面温度が高温になり、正味の上向きの赤外放射が多量になると、これらの大気中に吸収される熱量も大きくなる。ちなみに住宅地から出される人工排熱量は数十 W/m^2 程度であるからこのような赤外放射による大気の加熱効果が極めて大きいことがわかるであろう。また、このことはアスファルト舗装面に限らず、瓦やトタン屋根についても日中その表面温度は非常に高温となるため、緑の少ない過密化した都市域では今回の観測で得られた結果と同様なものとなることが予測されよう。しかし、上空での加熱過程と時空間変化について考える際には対流による影響も考慮しなければならない。今後の課題とするところである。