

(2) 屋外環境の改変による受熱量の変化について

RELATIONSHIP OF OUTDOOR WIND AND PAVEMENT MATERIAL WITH RADIATION FLUX

柴原 千浩* 浅枝 隆** 窪田 陽一** 藤野 愛子**

Chihiro SHIBAHARA*, Takashi ASAEDA**, Yoichi KUBOTA** and Aiko FUJINO**

ABSTRACT; Studies was carried out to investigate the influence of the pavement material and wind on the outdoor heat environment through the computation of outdoor total radiation flux. It was found that high wind velocity caused low infrared radiation emitted by the surface due to small subsurface heat storage. The use of the pavement material with high heat conductivity can reduce the infrared radiation emitted by the surface in the day but increase it at night. Use high albedo material can reduce the infrared radiation but increase short radiation during the day.

KEYWORDS; Radiation Flux, Pavement, Ground covering, Wind Velocity, Heat Island

1. はじめに

近年、地球温暖化や都市域のヒートアイランド現象などに代表されるように、熱環境に対する問題が重要視されてきている。特に都市域のヒートアイランド現象は、我々にとって身近な現象であり、夏季においては日中のみならず夜間までも生活環境を悪化させるものであるため、早急の対策が必要である。この現象は、人工排熱、大気汚染による影響をはじめ、舗装による地表面の状態の改変の影響を大きく受けるという報告が数多くなされている。^{1) - 6)} すなわち、この現象の発生は人為的な部分によるところが大きく、またそれは逆に人為的に対策することも可能であるといえる。

ところでこれを生活空間のレベルで考えてみよう。毎年、夏のよく晴れた日に屋外でいやというほどの暑さを体験するが、このとき人体が受ける熱の流入経路は二つある。その一つは、太陽や地面などからの電磁波、すなわち放射によるものである。このうち、日射や日射の照り返しのように波長の短い(波長 $0.15 \sim 3 \mu\text{m}$)ものを短波放射、大気や地面、建物の壁面などからの波長の長い(波長 $3 \sim 100 \mu\text{m}$)ものを赤外放射(長波放射)として区別される。もう一つは大気から直接伝わる伝導熱、いわゆる顕熱によるものである。これらのうち、日射と大気からの赤外放射は、比較的広い範囲の環境条件によって決定されるが、それ以外の成分については、地面の舗装状態などの身近な条件によって決定される部分が多い。すなわち、人為的にこれらの量を操作することが可能であると考えられる。

本研究ではこうした概念の下に、地表付近での受熱量を見積もり、屋外の様々な環境の変化により生じる、受熱量の変化を検討したものである。

* 埼玉大学大学院 Graduate School of Civil Engineering, Saitama Univ.

** 埼玉大学工学部 Faculty of Engineering, Saitama Univ.

2. 解析方法

冒頭にも述べたとおり、地表面付近で人体あるいは物体の受ける熱は短波放射、赤外放射、および顕熱が挙げられる。今回は、屋外環境の改変による影響をより顕著に表すために、単純な平面場という設定で検討した。従って、建物などの壁面からの赤外放射は地面からの赤外放射に置き換えている。すなわち、鉛直方向の二次元モデルであり、受熱量の比較には日射、日射の反射、大気からの下向きの赤外放射（以下、下向きの赤外放射）、地面からの上向き赤外放射（以下、上向きの赤外放射）、および顕熱を用いることにする。季節は特にヒートアイランドの発達する夏の盛りの8月、緯度は東京（35° 40' N）とする。また、比較的小スケールの屋外環境の改変を対象とするため、大気温度、湿度のように主に広範囲の気象条件で決定される値は、全ての場合に対して一定とする。

以上の条件の下で、風速、地表面の状況を変化させ受熱量を見積もり、それぞれの条件に対して比較・検討する。特に、地表面の状況に関しては、舗装された地面に加え、潜熱輸送を有する裸地を考える。さらに舗装面に関しては、舗装部材の熱伝導率と舗装表面の反射率であるアルベドを変化させる。なお、解析には、AsaedaとVu(1993)のモデル⁶⁾を用いる。

3. 風速による効果

まず、風速の違いによる効果を見ることにする。一例として、アスファルト舗装の物性を持つ場合について、風速を0.1, 0.5, 1.0, 5.0 [m/s]と変化させ計算を行った。地表付近での人体あるいは物体の受熱量を見積もるため、その結果を日射、日射の反射、下向き赤外放射、上向き赤外放射および顕熱の和、すなわち全フラックスとして、一日の時間変化を図-1に示す。一日を通して、風速の最も速い 5.0 m/s の場合が全フラックスの値は大きな値をとり、次いで風速の速い順に1.0, 0.5, 0.1 m/s の順になる。これは次のような理由による。風速の変化によって差が生じるのは、上向き赤外放射と顕熱である。まず第一に、風速が速いほど地表面から大気への顕熱が大きくなる。これを図-2に示す。一方、上向きの赤外放射は図-3に示すように、風速が速いほど小さな値をとる。これは、地面の熱が顕熱によって奪われ、顕熱量が多いほど地表面の温度が低減される（図-4参照）結果、 $\varepsilon \sigma T^4$ で表される上向きの赤外放射量は減少するためである。ここで ε は射出率、 σ はSteffan=Boltzmann 定数（ $=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ ）、 T は地表面の絶対温度を示す。

さて、このとき風速の変化によって生じる顕熱量の差が上向きの赤外放射量の差よりも大きい。従って、風速が速いほど全フラックスの値は大きくなるのである。しかし、一般的に開放された空間であるならば、大気塊は風により移動してしまう。すなわち、数10kmといった広い地域全体の平均気温の上昇を考える場合には、風速の大きい方が上昇率が大きくなるが、一人

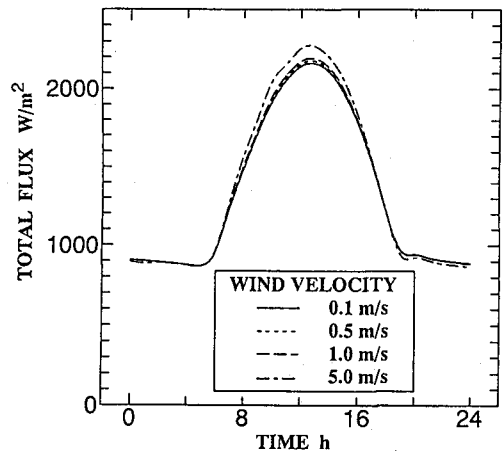


図-1 風速別全フラックスの日変化

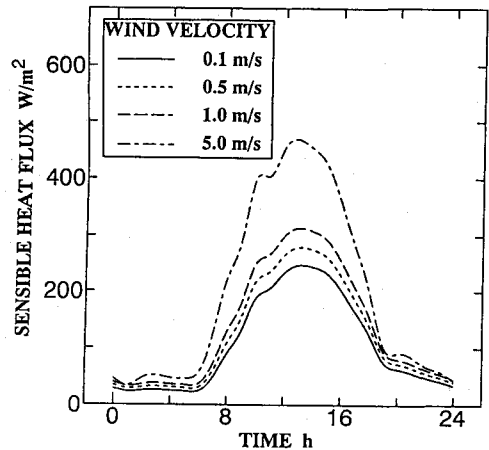


図-2 風速別顕熱フラックスの日変化

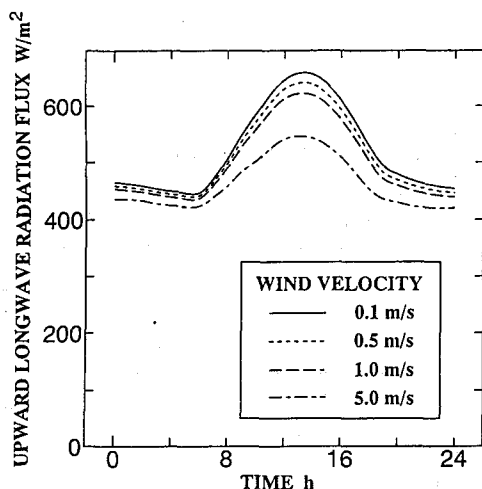


図-3 風速別上向き赤外放射量の日変化

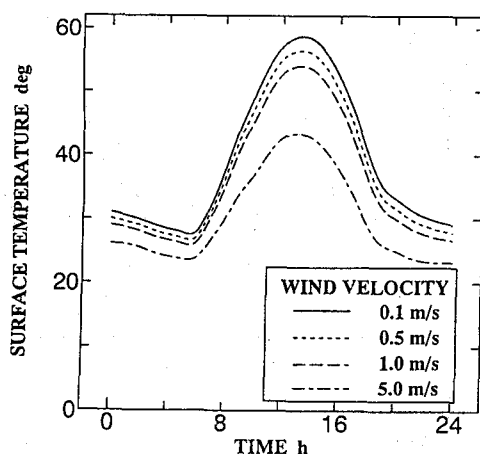


図-4 風速別地表面温度の日変化

の人間の人体に流入する熱量を考える際には、さしあたって頭熱量の変化は考えなくてよからう。従って、実際には受熱量の差となって表れるのは、上向きの赤外放射量である。そこで、風速と上向きの赤外放射量の関係をより明らかにするために風速を逐次変化させて計算を行った。日中と夜間の代表として、12時と19時の結果を図-5に示す。この図から、昼夜を問わず、風速が大きい場合ほど人体の受熱量は少なくなることがわかる。特に、風速が1.5m/s以下で変化が著しい。この範囲の風速ならば、風が強すぎる心配がないので、受熱量の制御に利用できよう。

4. 地表の状態による効果

4. 1 アルベドの効果

次に、地表の状態の変化の一つである地表面の反射率、すなわちアルベドの効果をみることにする。図-6に示すようなアルベド特性を与え、それぞれの場合について計算を行った。このとき差が生じる日射の反射量と上向きの赤外放射量の和、すなわち上向きの放射量として一日の時間変化を図-7に示す。日中はアルベドが最も大きいCASE3が最大値をとり、次いでアルベドの大きい順にCASE2、CASE1の順となる。これは次のような理由による。夏のよく晴れた日では、日射は昼の12時には800 W/m²以上になる。CASE3では昼の12時のアルベド値は0.9を示し、実に日射の90%である700 W/m²以上を反射する。この成分が受熱量の差となって表れるのである。一方、夜間においては日中とは逆にCASE1が最大値をとり、次いでアルベドの小さい順に、CASE2、CASE3となる。これは、次のような理由による。日没後は日射の反射成分がないので、直接アルベドが影響を

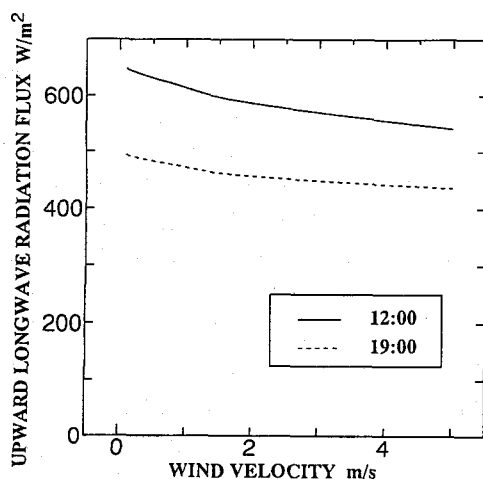


図-5 風速と上向き赤外放射量との関係

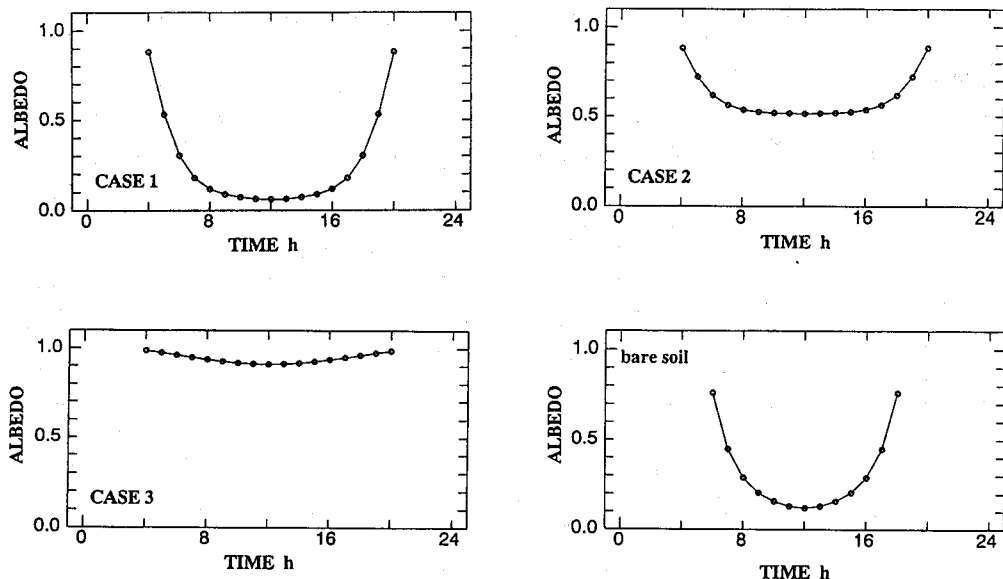


図-6 解析に用いたアルベド特性

及ぼすことはない。しかし、日中にアルベド値の小さいCASE 1は、日射をよく吸収し大量の熱を蓄積する。その結果、夜間に上向きの赤外放射として大量に放出する。この成分が夜間の受熱量の差となって表れるのである。また、アルベド特性がCASE 1と類似している裸地の場合は、放射量の一日の時間変化もCASE 1に類似するが、それでも全体的に低い値をとる。これは、水分の蒸発による潜熱輸送の影響である。

次に、アルベドと上向きの放射量との関係をより明らかにしてみよう。日中の代表として12時、夜間の代表として19時を例にとり、結果を図-8に示す。いずれもほぼ直線で表され、上向きの放射量はアルベドに比例することがわかる。すなわち、人体の受熱量もアルベドに比例することがわかる。

4. 2 熱伝導率の効果

次に、地表面の状態のもう一つとして、熱伝導率の効果を見ることにする。一例として図-6のCASE 1のようなアルベド特性を持つ舗装に対して、舗装部分の熱伝導率を表-1に示すような値にとり計算を行った。その結果を、上向き放射量の和として一日の時

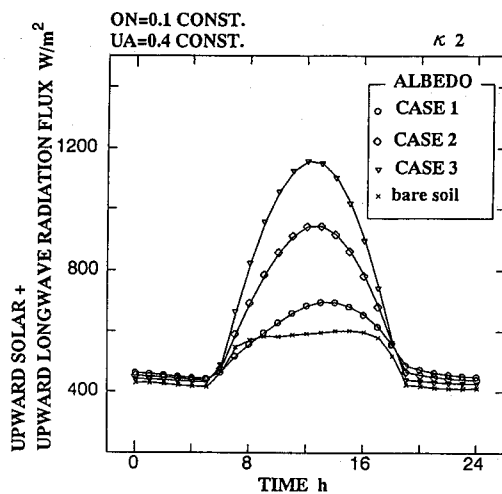


図-7 アルベド別上向き放射量の日変化

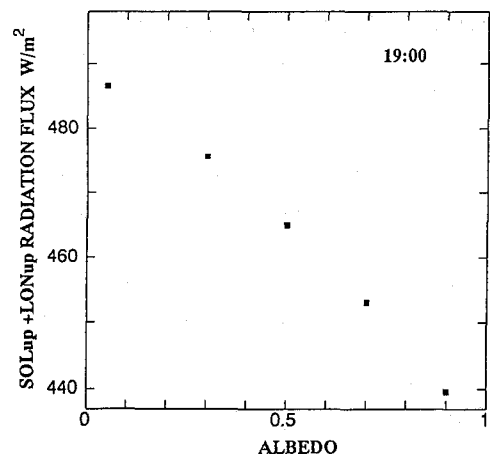
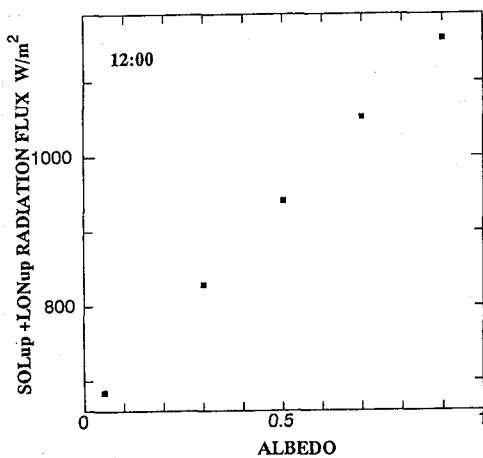


図-8 アルベドと上向き放射量との関係

表-1 解析に用いた熱伝導率

Thermal Conductivity (W/m/K)	
κ_1	1.383
κ_2	1.38
κ_3	0.28

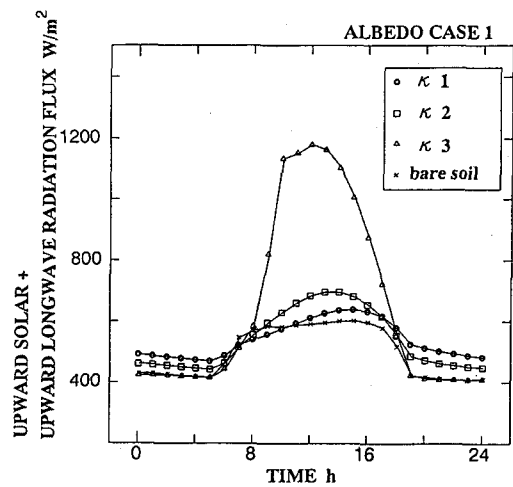


図-9 熱伝導率別上向き放射量の日変化

間変化を図-9に示す。日中では熱伝導率の最も小さい κ_3 の場合が最も大きい値をとる。次いで熱伝導率の小さい順に κ_2 、 κ_1 と続く。これは次のような理由による。入射した熱は地面で蓄熱されるが、熱伝導率の小さいものほど地表面付近で蓄熱される。従って、表面の温度は高温となり、表面の絶対温度の4乗に比例する上向きの赤外放射が大きな値をとるのである。一方、それゆえに地表面の冷却も早く、日没後には上

向きの赤外放射量は最低の値をとる。日中、深層まで熱を伝え、蓄えた κ_1 は、夜間にゆっくりと放出する。その結果、夜間の上向きの赤外放射量が最大となるのである。

次に、熱伝導率と上向きの赤外放射量との関係をより明らかにしてみよう。日中の代表を12時に、夜間の代表を19時として例にとり、その結果を図-10に示す。両者の関係は直線では表されない。12時については 6.0 W/m/K 以下で熱伝導率に対し上向きの赤外放射量の差が大きく表れる。これは、既存の一般的な舗装材料を包括する範囲である。19時においては 10.0 W/m/K で同様のことがいえる。従って、熱伝導率の改変は受熱量の制御に大きく貢献することができるといえる。

5. おわりに

快適な生活を送るために、熱環境の整備の重要性は今後ますます高まっていくと予想される。地球規模の熱環境整備も当然必要であるが、まず身近で比較的小さなスケールで考える必要もあろう。著者らは特に、地上での人体や物体の受熱量をとりあげ、実際に改変の可能な屋外環境との関係を見積もった。その結果、僅かな環境の改変であっても受熱量の低減に十分効果をもつこと、舗装面の状態の改変する場合は日中と夜間でそれぞれ逆の特性をもつことを述べた。

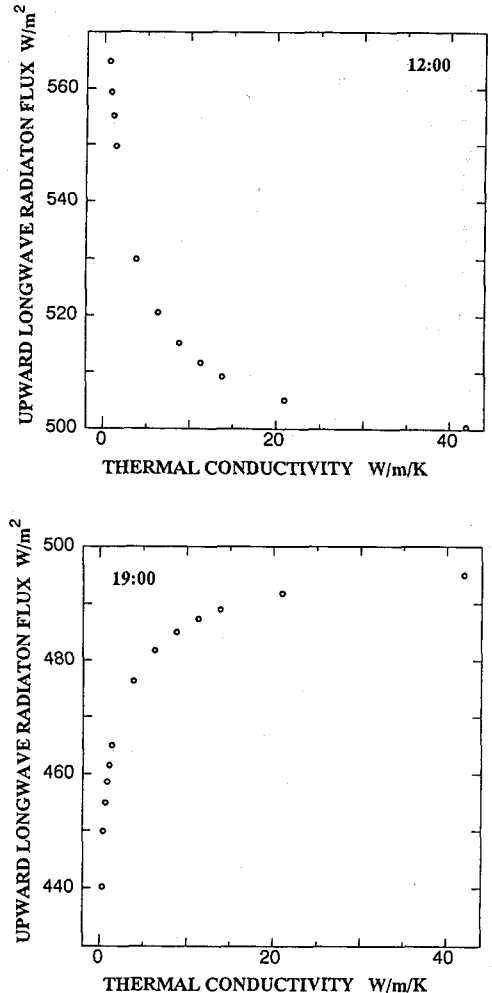


図-10 熱伝導率と上向き赤外放射量との関係

参考文献

- 1) 浅枝隆・藤野毅：舗装面の熱収支と蓄熱特性について，水文・水資源学会誌，Vol. 5, No4, pp. 3-7, 1992.
- 2) 浅枝隆・藤野毅・北原正代・和氣重紀夫：加熱された舗装面上空の大気加熱過程の解析，土木学会論文集，1993(in press).
- 3) 浅枝隆・永沼宗彦・鈴木水弘・塩崎修男：都市域の温暖化における舗装の蓄熱効果，第35回水理講演会論文集，pp591-596, 1991.
- 4) 柴原千浩・浅枝隆・藤野毅・和氣重紀夫：地表面舗装が夜間の熱環境に与える影響の評価，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，第2部門，pp. 380-381, 1992.
- 5) D. Camuffo and A. Bernardi: An Observation Study of Heat Fluxes and Their Relationship with Net Radiation, Boundary-Layer Meteorol., 23, pp359-368, 1982.
- 6) T. Asaeda and Vu Thanh Ca: The subsurface Transport of Heat and Moisture and Its Effects on the Environment: A Numerical Model, Boundary Layer Meteorol. (in press)