

仙台市におけるヒートアイランドと各種地表面 温度の日変化の観測*

杉 本 莊 一**・近 藤 純 正***

1. はじめに

一般に都市域では地表面はアスファルトやコンクリートに覆われ、郊外では植生に覆われている。この地表面状態の違いが都市と郊外の気象の差異の一因となっている。

佐々木ら (1969) によれば、仙台市での晴天夜における都市と郊外の気温差は $3 \sim 4^{\circ}\text{C}$ であり、また細川ら (1977) によれば、都市外縁部において等温線が密集していることが明らかにされている。本研究では、地表面状態の違いによるヒートアイランドの形成を理解するために、第2章では、自動車を用いて仙台市周辺の地上気温の東西断面の移動観測を行った結果を示す。そこではヒートアイランドの強さと、舗装面上と非舗装面上の大きな気温差を明らかにする。第3章では、都市を構成する様々な地表面における地表面温度の日変化を、放射温度計で一年間観測した結果を述べる。

2. 移動観測

ワゴン車の屋根の先端部に白金センサーを用いた自然通風式温度計を設置して気温を観測した。通風筒の先端は車の屋根の先端部から約 50 cm 突き出ている。観測のコース各所にチェックポイントを設け、そこでの通過時刻を記録し、ペンレコーダーでの気温のグラフと見比べることによって、時刻と場所との対応が求まるようにした。一方、東北大学理学部屋上では、気

温、湿度、日射量および風速が自記記録された。この気温を基準にして、以後のデータ解析が行われる。

観測コースはほぼ東西方向であり、片道 15 km、所要時間は往復で 1 時間半くらいである。第1図にコースの東西断面模式図を示す。コース起点の東北大学理学部から広瀬川までが森林地帯、そこから仙台駅までが市の中心街、仙台駅から国道4号線までが商業地、そこから東は郊外で、仙台駅の東方 6.6 km から東は田園地域である。

この観測は、1993年の夏から秋にかけて、移動性高気圧に覆われた晴天日に行った。

第2図は、日中 (10~15時) 9回の観測結果であり、コース上の各点における往復の平均気温と、東北大学理学部における気温との差を図示したものである。図中、実線は仙台管区气象台で東よりの風 (海風: 北北東-東-南南東) が吹いていたとき、点線は、西よりの風 (南-西-北) が吹いていたときの結果である。中心街は森林地域に比べ 2°C 程度気温が高い。市内中心部から国道4号線にかけてはほぼ等温である。そこから東で気温は下降するが、その度合いは海風の侵入具合によって大きく異なる。東よりの風と西よりの風のときをそれぞれ実線と破線または点線で区別してあるが、細い実線 (10月5日10時: 記号の10/05 10) の一つが西よりの風のときの分布線の近くに混ざっている。これは气象台で東よりの風であったが、まだ海風の影響を受ける前の状態と考えられる。この観測の後、明瞭な西風となった状態における分布線が太い破線 (10月5日14時: 記号の10/05 14) で示されている。

夜間 (21~7時) の結果が第3図である。風は气象台ではすべて西よりの風であるが、沿岸部では東よりとなっていることもある (この場合沿岸部で気温が高くなる)。周辺との気温差 $2 \sim 4^{\circ}\text{C}$ の高温域が、中心街から商業地の 7~8 km の範囲に広がっている。また、舗装面から非舗装面に移る田園地域の入り口で、 $2^{\circ}\text{C}/$

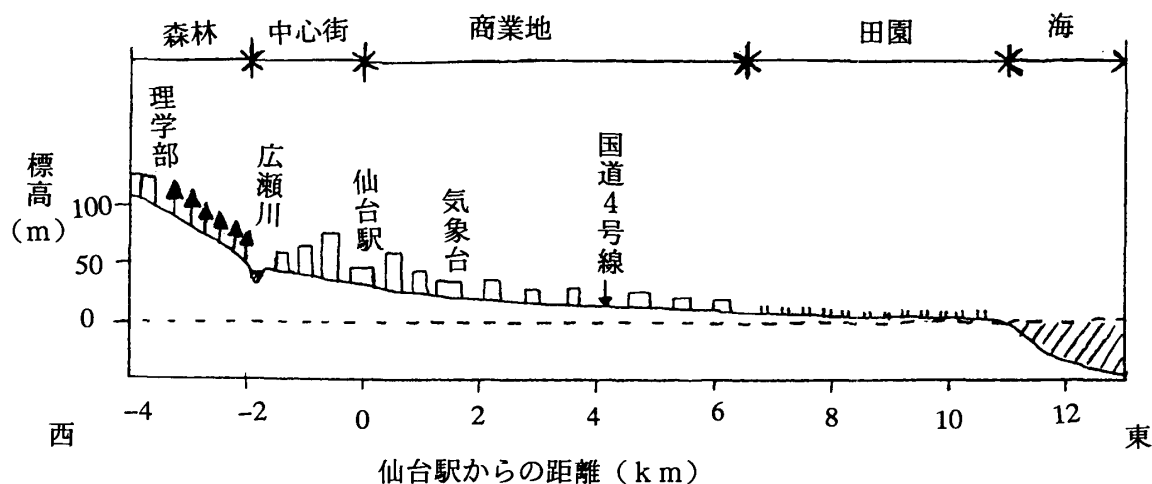
* An observational study of heat island and diurnal variations of surface temperature of various grounds.

** Soichi Sugimoto, 日本気象協会東北本部.

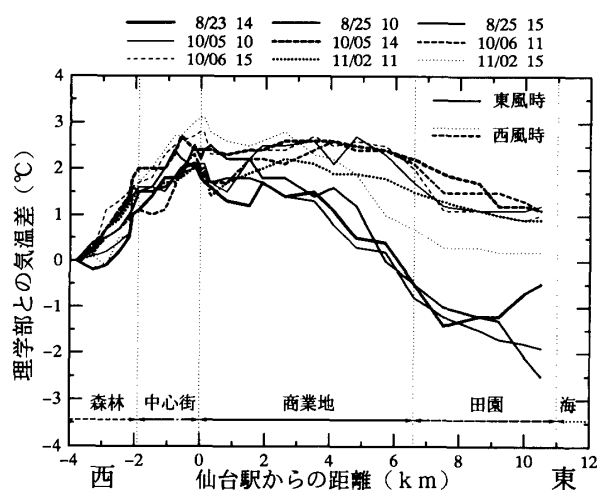
*** Junsei Kondo, 東北大学理学部地球物理学教室.

——1994年3月31日受領——

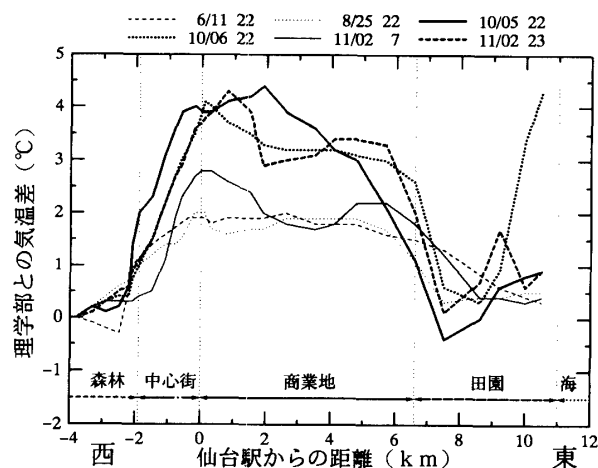
——1994年6月21日受理——



第1図 仙台市周辺における移動観測コースの断面地形の模式図。



第2図 仙台市周辺における日中の気温分布，観測の月/日時は図の上に略記してある(1993年)。



第3図 仙台市周辺における夜間の気温分布，観測の月/日時は図の上に略記してある(1993年)。

km 位の大きな温度勾配が存在し、田園地域では気温が低くなっている。これは、地表面状態が気温に大きな影響を及ぼしていると考えられる。

3. 地表面温度の観測

3.1 観測方法

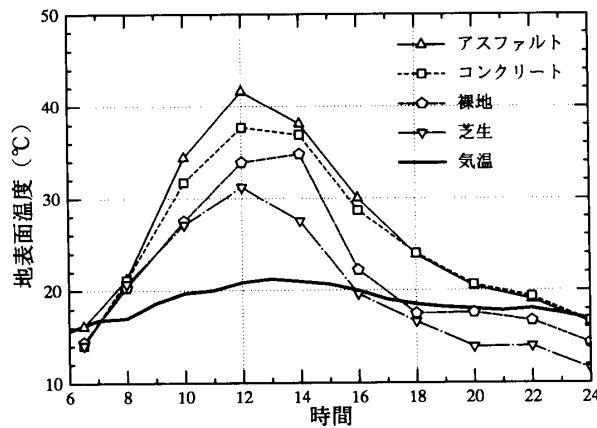
1993年1月から12月までの、良く晴れた日を選び、6時から24時まで2時間ごとに、のべ12日間にわたり、放射温度計(ミノルタ製505型)で地表面温度を観測した。観測地点としては東北大学理学部構内の、アスファルト、コンクリート、裸地、芝生、建物の間の5地点を選んだ。観測は各地点につき約2分程度で終了する。放射温度計でそのまま測ると、次に説明するように地面の射出率によって正確な地表面温度が観測されない。

射出率 ϵ が1でない地表面を放射温度計で観測すると、

$$\sigma T_{\text{obs1}}^4 = \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \epsilon) \sigma T_{\text{sky}}^4 \quad (1)$$

で与えられる温度 T_{obs1} が得られる。ここで、 T_s は真の地表面温度、 T_{sky} は空の放射温度(σT_{sky}^4 は放射温度計が感じる波長範囲に相当する下向き大気放射量)である。ここで仮に、 $T_s = 300\text{K}$ 、 $T_{\text{sky}} = 250\text{K}$ 、 $\epsilon = 0.95$ と仮定すると、 $T_{\text{obs1}} = 298.0\text{K}$ となり、観測値は実際の値より 2°C も低くなる。そこで、射出率が1でない効果を避けるために、30 cm 四方の亚克力板に、放射温度計の受光部の窓が出る程度の大きさの穴をあけ、それを測定点の上約10cmの高さにかざして放射温度を測る方法を用いた。

地表面に入射する下向き長波放射を亚克力板で遮



第4図 各種地表面の地表面温度の日変化 (1993年9月27日)。

第1表 各種地表面のアルベード (r) と放射率 (ε)。

	r	ε
アスファルト	0.12	0.96
裸地	0.20	0.96
芝生	0.23	0.98
コンクリート	0.20	0.96

ると、見かけの地表面温度 T_{obs2} は、

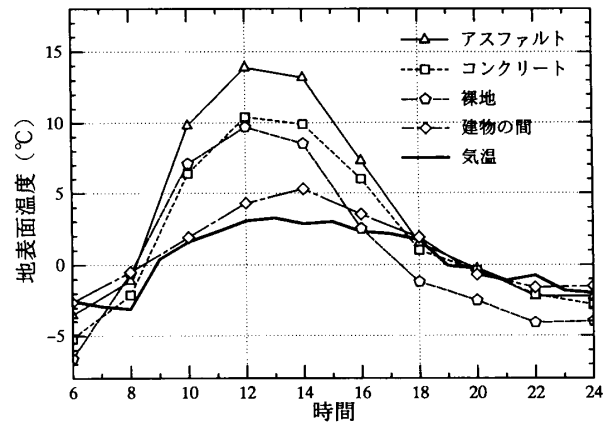
$$\sigma T_{\text{obs2}}^4 = \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \epsilon) \sigma T_a^4 \quad (2)$$

となる。ここで、 T_a はアクリル板の温度(近似的に気温に等しい)である。ここで、 T_s と T_a が仮に5°C異なる場合、先ほどと同じ条件では、 $T_{\text{obs2}}=299.8\text{K}$ となり、アクリル板を用いないときに比べて、誤差は0.2°Cと大幅に小さくなる。予備観測の結果、この方法を用いるとき、積雪面と芝生地では10秒以内、その他では1分以内に観測を終わらせれば、0.5°C以内の誤差で地表面温度が観測できることが分かった。

各種地表面の太陽光に対するアルベードと長波放射に対する放射率を測定し、結果を第1表に示した。アルベードはアルベドメータ(英弘精機MR-22)を用いて夏と冬に測定したが、観測結果に大きな違いはなかった。また、放射率 ϵ は、放射温度計で T_{sky} 、 T_{obs1} 、 T_{obs2} を測定し、(1)式と(2)式から求めた。 ϵ は各地表面につき、5回の測定から得たもので、その最大と最小の差は±0.01である。

3.2 地表面温度の日変化

第4図は1993年9月27日の地表面温度の日変化の観測例である。なお、図中の気温は東北大学理学部A棟



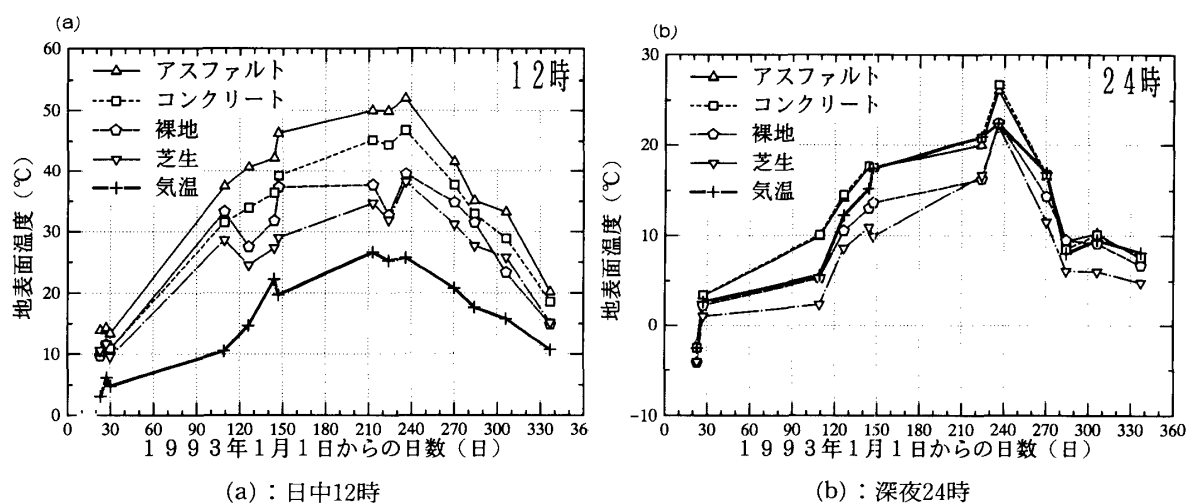
第5図 第4図に同じ、ただし建物の間の地表面を含む (1993年1月23日)。

屋上での値である。天気は晴れだが夕方頃一時曇った。同屋上での風速は一日中5m/s以下であった。アスファルト面では、日の出と共に地表面温度は急速に上昇し、正午には気温より20°Cほども高くなる。夕方以降は地表面温度は下がり、深夜24時で気温と同程度になる。コンクリート面は、アルベードが大きいいため日中の温度はアスファルト面よりやや低いが、朝晩は同程度である。裸地面は、蒸発が多少あるのでアスファルト面やコンクリート面よりも温度は低く推移する。芝生面は蒸発があり、ここでの4つの地表面の中では最も温度が低い。アスファルト面と芝生面の温度差は日中で10°C程度、深夜で5°C程度である。

以上のことから、地面がアスファルトで舗装された場所では、夜間であっても大気を加熱し続けて、芝生や裸地面上に比べ気温が高くなると考えられる。

3.3 ビルの日陰における地表面温度の日変化

都市域では日中に、高い建造物により日射が上空で遮蔽されクールアイランドが起こることがあると考えられている。そこで、ビルの谷間を想定し、東北大学理学部A棟とB棟の間で、地表面温度の観測を行った。A棟は高さ約30m、B棟は高さ約15mで、両棟間の距離は5mである。両棟間の地表面はアスファルトで覆われており冬季は一日中日陰である。1993年1月23日の観測結果を、他の開けた場所と比較して第5図に示した。早朝は、ビルからの長波放射により放射冷却が弱く、開けた場所にくらべてA,B棟間の地表面温度は高い。日中は、直達日射が到達しないので開けた場所の地表面にくらべてかなり低温である。夕方以降は、他の地表面との温度差は次第に縮まり、20時から24時にかけての夜間には、開けた場所のアスファルト面やコンクリート面とほぼ同じ温度になる。建造物からの



第6図 日中の地表面温度の年変化.

長波放射による冷却抑制の効果は、夜間の都市域で観測されるヒートアイランドを、日中の日射の遮蔽効果はクールアイランドを、ある程度説明していると言える。

3.4 各種地表面温度の季節変化

これまでに説明したのと同じ場所について、晴天日の地表面温度を1993年1月23日からほぼ1年間にわたり観測した結果を第6図(a), (b)に示した。(a)は日中(12時)の地表面温度および気温の年変化, (b)は深夜(24時)の年変化である。日中は季節を問わず、温度の高い方から、アスファルト面、コンクリート面、裸地面、芝生面の順である。裸地面での変動が大きいのは、含水率が日によって異なるためと考えられる。アスファルト面と裸地面の温度差は、冬季が5°C程度、夏季には10~20°Cに達する。

深夜にはアスファルト面とコンクリート面はほぼ同じ温度であり、気温より高温であることも多い。一方裸地や芝生面は観測した範囲では常に気温より低温である。アスファルトやコンクリートの舗装面は裸地に比べ、一年を通して3~5°C温度が高い。この結果から、季節を問わず夜間には舗装面は、大気を加熱する作用があるといえる。

蒸発の有無とアルベードの大小などが地表面温度の日変化に及ぼす影響については、近藤(1993)または近藤(1994, 6, 7節, 表6. 11)を参照されたい。

4. まとめ

都市の温度環境について、主に地表面状態の違いに注目して観測を行った。

まず、自動車を用いて、仙台市内の気温の移動観測を行った結果、夜間に市街地と郊外の間に2~4°Cの

気温差を持つヒートアイランドが形成され、商業地と田園との境界付近で気温が急変していることが分かった。これは、商業地で地表面の舗装により気温が上昇しているためと考えられる。

次に、放射温度計を用いて様々な地表面の地表面温度の観測を行った。1年を通して、アスファルトやコンクリートの舗装面の地表面温度は、裸地面や芝生面に比べて、夜間になってもかなり高い。そのため、夜間の舗装面上では上向きの顕熱輸送量が生じ、気温が相対的に高くなると考えられる。

また、ビルの間の地表面では、開けた地表面に比べ、日中は温度が低く、夜間は温度低下が小さい傾向がある。このことから、ビル街の谷間では日中はクールアイランド、夜間はヒートアイランドとなっていることが推測される。

謝 辞

東北大学理学部気象学講座の菅原広史氏、大岡浩明氏、ほかの皆様には観測を手伝っていただいた。

参 考 文 献

- 佐々木悠二, 牧田肇, 細川幸也, 石川勲, 設楽寛, 1969: 仙台市における都市気温の分布とその日変化の位相, 東北地理, 21, 198-202.
- 細川幸也, 設楽寛, 1977: 仙台市都心部における夜間の気温分布, 東北地理, 29, 169.
- 近藤純正, 1993: 地表面温度と熱収支の周期解及びその応用, 農業気象, 48, 265-275.
- 近藤純正(編著), 1994: 水環境の気象学, 朝倉書店, pp. 348.