

積雪都市のヒート・アイランド現象*

大畑哲夫** 田中洋一*** 渡辺興亜** 樋口敬二**

要旨

積雪地帯にある都市のヒート・アイランドがどのような特性をもっているか、また無雪期の場合とどのように異なるかを調べる目的で、1977~78年、1978~79年の冬期間に、新潟県長岡市及びその周辺の都市で観測を行った。観測内容は、地上における移動気温観測、定点連続観測、熱収支観測、それに航空機を利用した広域地表面観測などである。その結果、次のことが明らかとなった。積雪期と無雪期を比べると、積雪期の方がヒート・アイランドの強度が強く、無雪期において明瞭でない日中のヒート・アイランドも顕著に起こっている。日中のヒート・アイランドについては、市街地と郊外の境界付近に等温線の密集が見られず、水平方向の大気の混合が良いことを示している。熱収支観測の結果、日中のヒート・アイランドが顕著に見られるのは、市街地と郊外で積雪面積が異なる上、アスファルトやコンクリート面と積雪面で熱収支の状態が異なるためといえる。その違いの主な原因は、地表面温度の違いによるのだが、航空機観測によって、それを積雪都市と無雪都市について測定した結果、前者については市街地と郊外で $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ 、後者で $11\sim 12^{\circ}\text{C}$ の差であるということがわかった。

1. はじめに

ヒート・アイランドという現象は、その規模、形態は異なるにしろ、すべての都市において発生している。一都市において、夏期より冬期の方が強く現れ、また小都市より大都市の方が強い (Oke, 1973)。個々の発生状況については、シノプティック・スケール及びそれ以上のスケールの気象状態の違い、また地表面状態及び、その規模の違いによって様々な現れ方をする。この中で地表面の状態が都市内外において異なることに起因する部分は相当大きいと考えられている (Bach, 1970)。それは、地表面状態が異なれば、地表面での熱収支特性、すなわち、日射及び長波放射の反射・吸収、射出特性、地表面の水分含有量に関係する潜熱輸送量、地表面温度に関係する顕熱輸送量などの特性が異なるためである。熱収支の状態は直接その上の大気の状態に影響を及ぼす。都市部の地表面状態は季節によって余り変化しない。

それに対し、郊外に関しては、夏期には植生が繁茂しているのに、冬期にはそれらが枯れてしまうというように、季節的变化がみられる場合が多い。この季節変化のもう一つの例として、積雪による影響があげられる。日本の日本海側の積雪地帯では、夏期には裸地ないしは畑であったのに、冬期には積雪でおおわれてしまう。都市部では降雪がおこっても除雪が積極的に行われるため無雪面積が広いのに対し、郊外は一面積雪に覆われている。このような場合、雪の物理的特性によって、ヒート・アイランドの発生状況が異なることが考えられる。たとえば、Nkemdirin (1978) は雪面上と草地面上では後者の方が乱流強度が大きいということで、冬期のヒート・アイランドの方が強いことを説明している。本論文で報告を行うのは、この積雪が存在している時期(積雪期)のヒート・アイランドについてであり、積雪がない場合(無雪期)との比較及び、違いの原因について触れる。

2. 観測地域、時期及び方法

本研究では、新潟県長岡市を研究対象都市として選り、この都市の市街地及び郊外で主要な観測を行った。さらに、航空機を利用して、信濃川(魚野川)の上下流にある新潟市、三条市、堀之内市及び小出市でも観測を実施した。第1図及び第2図に、この地域の概略地図及

* Heat island of a city in snow-covered area.

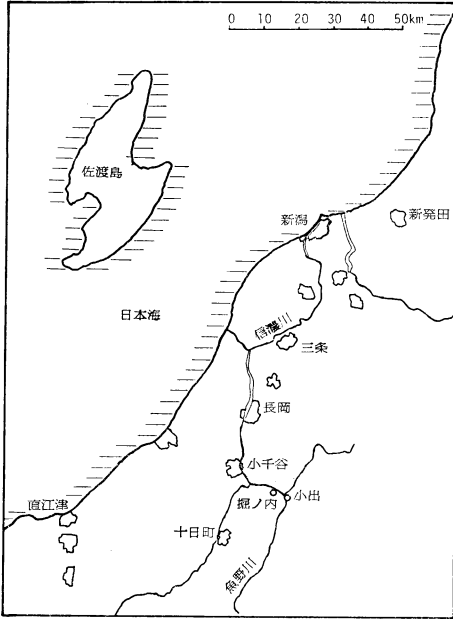
** Tetsuo Ohata, Okitsugu Watanabe, Keiji Higuchi, 名古屋大学水圏科学研究所.

*** Yoichi Tanaka, 名古屋大学水圏科学研究所.

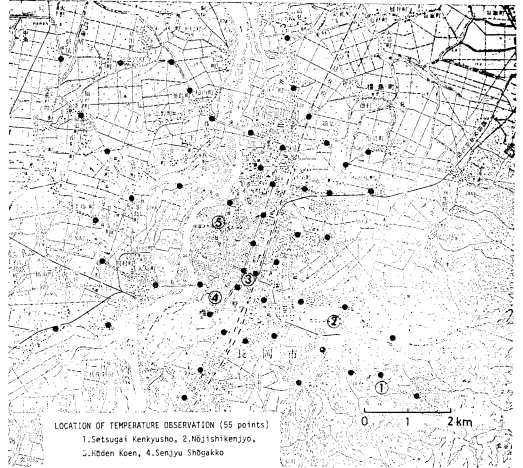
現所属: CHAOS 21, 東京.

——1984年4月26日受領——

——1984年11月26日受理——



第1図 観測を実施した地域の地図



第2図 長岡市の地図。黒丸で移動気象観測点が表示されている。1～5までは定点観測点である。1：雪害実験研究所，2：農業試験場，3：宝田公園，4：千手小学校，5：アメダス観測点。

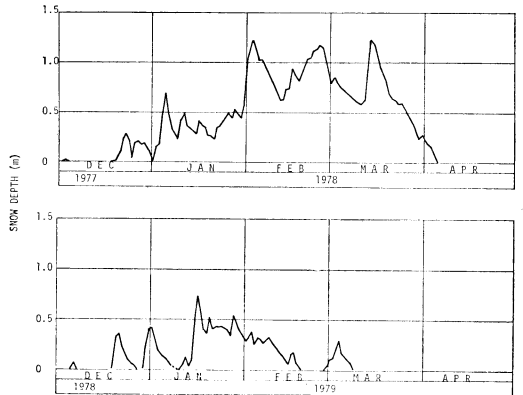
び長岡市の地図を示した。

長岡市は新潟平野の延長上にあり、ほぼ南北に流れる信濃川を中心に約 10 km の幅の平野部が続いている。この地域の平野部では例年、12月中旬頃から根雪となり、数回の寒波により最大 1~2m 程度の積雪となる。この都市で観測を実施した1977~78年、1978~79年の冬期について、郊外にある科学技術庁雪害実験研究所（第2図の1）の積雪深の記録を第3図に示した（国立防災科学技術センター、1978、1979）。1977~78年の冬期は平年値より若干少なく、1979~79年は極端に少なかった。

2.1. ヒート・アイランドの観測

ヒート・アイランドの観測は、地上での移動及び定点観測の両方によって行った。すでにこのような方法でヒート・アイランドの観測を行った例は Clarke (1969), Oke・East (1971) 及び樋口・大畑 (1981) などがある。移動観測は、2台の自動車の屋根上にサーミスター温度計を設置し、2時間以内に走行して測定するという方法をとった。測定地点は第2図で示されている55地点で必ず2度の測定を行った。測定時刻の差を補正するため、移動観測の開始と終了の時刻の中間の時刻に対して気温の補間補正をした値を、その地点での気温とした。

定点気象観測の観測地点は、公共機関の許可を受け著者等の測器を設置した地点（農業試験場、雪害実験研究



第3図 雪害実験研究所での冬期間の積雪深の記録。

所、宝田公園）及び既設の観測地点（気象庁アメダス観測点）の2種類があり、これらの位置も第2図に示されている。観測した気象要素は気温及び湿度であり、測器としてはバイメタル式自記温湿計を用いた。

2.2. 熱収支観測

雪害実験研究所において、熱収支に関連する観測を行った。観測方法は観測ポールの3高度に風速、気温及び湿度の感部を取り付け、それらの鉛直分布を測定した。また日射計及び示差放射計を用いて放射要素を測定し、

第1表 本研究で行った観測の一覧表。

地 点	種 類	期 間	観 測 項 目
雪害実験研究所	熱収支観測	78. 2.22. ~ 3. 8.	風速, 気温及び湿度の垂直分布, 放射収支量, 全日射量
長岡市の市街地及び郊外	地表面温度観測	78. 3. 7.	地表面温度
	移動気温観測	78. 2.24. ~ 3. 6.	気温, 湿度
	定点気温観測	78. 2.24. ~ 3. 9.	気温, 湿度
	航空機観測	78. 3. 2., 3.17.	斜め写真
長岡市の市街地及び郊外	定点気温観測	78.12.14. ~ 12.30. 79. 2.23. ~ 3.14.	気温, 湿度
新潟市一長岡市一小出市	航空機観測	79. 3.13., 3.14.	垂直写真, 地表面温度

第2表 移動気温観測を行った日時とアメダス観測地点での気象要素(時刻・気温・風速・風向)。

	年 月 日	時 刻	アメダス観測地点の気象要素			
			時 刻	気温 (°C)	風速 (m/s)	風 向
1	1978年 2月24日	15:40~17:10	16	-0.1	2	WSW
2	2月28日	20:10~21:15	21	8.6	6	S
3	3月2日	21:35~23:30	22	1.3	4	SW
4	3月5日	13:35~15:30	14	4.0	1	SW
5	3月6日	15:10~16:30	16	4.9	3	W
6	3月6日	21:20~22:30	22	-1.4	1	E

吸収波長帯が 8~14 μm の放射温度計 (Barnes 社製, PRT-5) を用いて表面温度を測定した。

2.3. 航空機による地表面温度観測

小型航空機を用いて, 新潟市, 長岡市及び小出一川口市等の都市内外の地表面温度及び地表面の写真撮影を行った。使用した観測器材はそれぞれ上記の放射温度計及びモータードライブカメラである。

2.4. 観測期間

上記の各観測は, 第1表に示した期間及び期日に実施した。

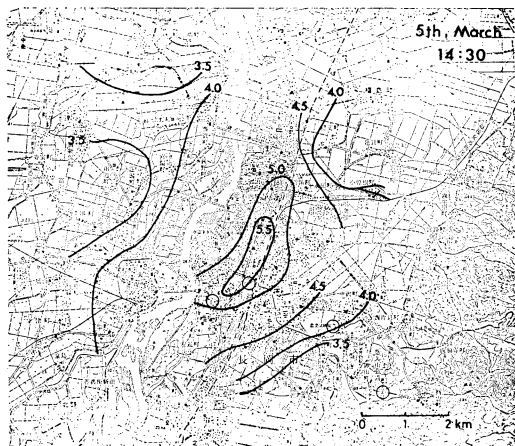
3. ヒート・アイランドの特性

3.1. 積雪期のヒート・アイランドの水平分布

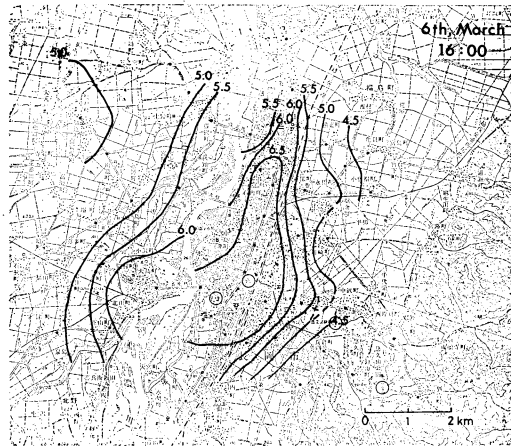
1978年2月24日から3月8日に長岡市内外でヒート・アイランドの発生状態を調べるため地上気温の移動観測を行った。この時期には, 雪害実験研究所(第2図参照)の実験雪面では, 平均 90 cm の積雪があったが, 道路上及び市街地では積雪のない所が見られた。第2表にヒート・アイランドの移動観測の一覧表を示す。表には実

施時の気象状態も示されている。

観測期間中, ヒート・アイランドが発生し易いと考えられている晴天, 弱風の天気と該当したのは3月5~8日である。この時期に日本列島付近は移動性高気圧におおわれていた。この期間以外の測定日は, 曇りであったり, 降雪が起こったりしていたため, 強いヒート・アイランドは起こらなかった。第4図~第6図にヒート・アイランドが明瞭に生じている3例を示す。観測日時はそれぞれ3月5日14:30, 3月6日16:00及び21:30である。等温線は 0.5°C ごとに示してある。この3回の結果はすべて, 長岡市の高層化されている市街地を中心に高温域が存在し, いわゆるヒート・アイランドが生じていることを示している。一般的には, 日中はヒート・アイランドが発生しにくいといわれているにも拘らず, 14:30の第4図は, 第5図の夕刻, 第6図の夜間の観測と同程度の強さのものが発生している。等温線の中で最大値と最小値の差を ΔT とすると第4図と第5図では $\Delta T = 2.0^\circ\text{C}$ 第6図では $\Delta T = 2.5^\circ\text{C}$ となる。また等温線の分布を見ると, 第4図では郊外から市街地にかけて, 大



第4図 ヒート・アイランドの水平分布 (その1).
3月5日14:30.



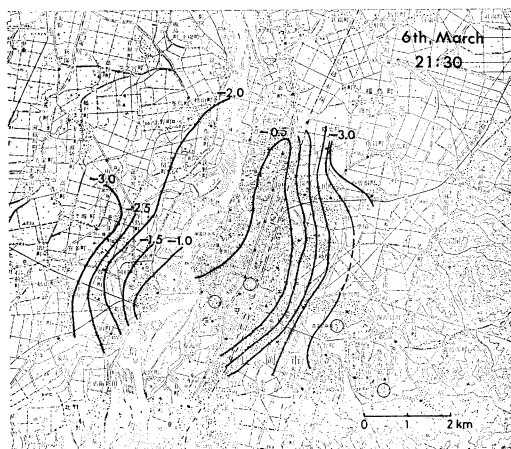
第5図 ヒート・アイランドの水平分布 (その2).
3月6日16:00.

体均等に等温線が分布しているのに対し、第5図と第6図では、市街地と郊外の境界付近に等温線が集中している。ヒート・アイランドについて、等温線が市街地と郊外の境界に集中するという事実は、Chandler (1965) がすでに指摘していることである。ただ、そこで指摘されているのは、比較的顕著に発生する夜間のヒート・アイランドについてのみである。今回、日中の観測において、比較的強いヒート・アイランドが生じ、かつまた等温線の集中がみられないことは注目しておく必要がある。なお、長岡市の市街地の西側に信濃川が流れているが、ヒート・アイランドの水平分布から見る限り、この河川の影響は認められなかった。

3.2. 無雪期と積雪期の比較

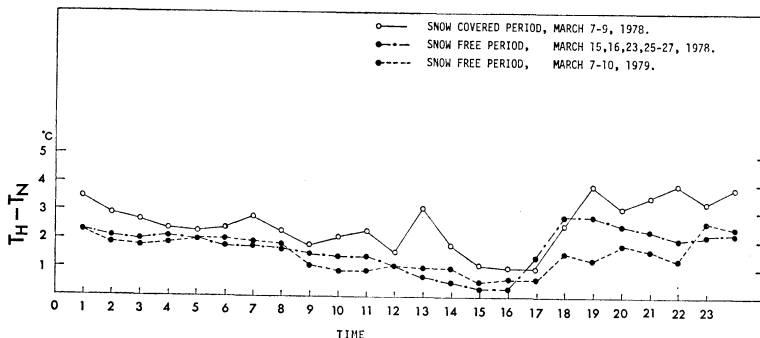
面的な現象を調べる場合、移動観測等による多点での同時観測が必要となるが、現実的には必ずしも実行可能ではない。しかし、ヒート・アイランドの強さに関しては、中部開発センター (1978) に示されているように、市街地と郊外とのそれぞれ1ないしは2地点の気温データによって代表できることがわかっている。

そこで、ここでは市街地と郊外の2地点の観測結果によって、ヒート・アイランドの強さの無雪期と積雪期における違いを調べる。観測点として、第2図に示されている宝田公園を市街地、農業試験場を郊外の地点として選んだ。両地点の気温差 ($T_H - T_N$) を積雪期について1期間、無雪期について2期間としたその結果を第7図に示す。ここでは、アメダス観測地点で弱風 (日平均風速 < 3.0 m/s)、そして好天 (晴、快晴) の日のみを選び



第6図 ヒート・アイランドの水平分布 (その3).
3月6日21:30.

各時刻の平均値をとった。3期間とも夜間の気温差が大きく日中は小さい、また夜間でも18~24時に大きいという類似した傾向がみられる。積雪期と無雪期の違いは、積雪期の方が気温差が全般的に大きくなっているということである。積雪期の場合、日中の12~16時にかけても 1°C 以上の気温差があり、明瞭にヒート・アイランドが生じていることがわかる。それに対して無雪期の方が $0.0\sim 1.0^{\circ}\text{C}$ であり、観測精度を考慮に入れると、ヒート・アイランドが発生しているとは必ずしもいえない。無雪期の日中にヒート・アイランドが生じていないとい



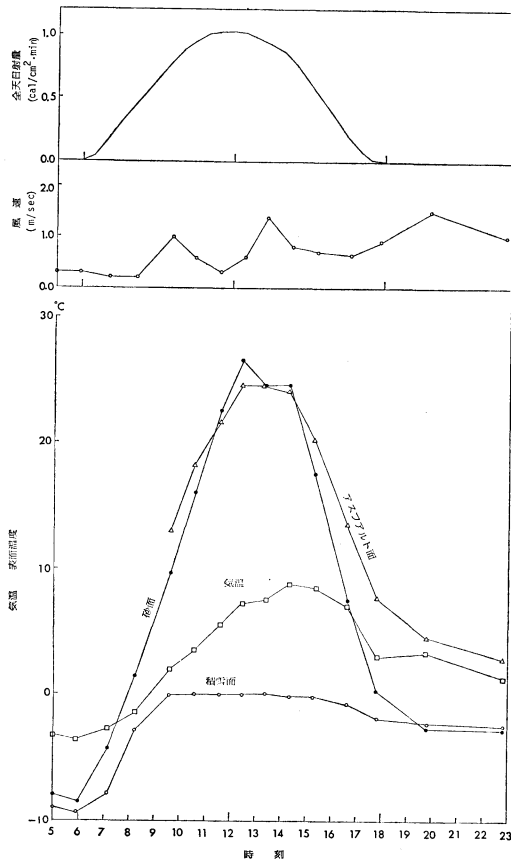
第7図 積雪期及び無雪期のヒート・アイランドの強さの日変化。 $T_H - T_N$ は宝田公園（第2図の3）と農業試験場（第2図の2）の気温差。

う事実は樋口・大畑（1981）が調査を行った名古屋市についても分かっていることである。このように、積雪期のヒート・アイランドは、無雪期と異なり、起こる場合は日中を含めて1日中明瞭に発生しているといえる。

4. 積雪面と無雪面の大気に与える熱的影響の違い

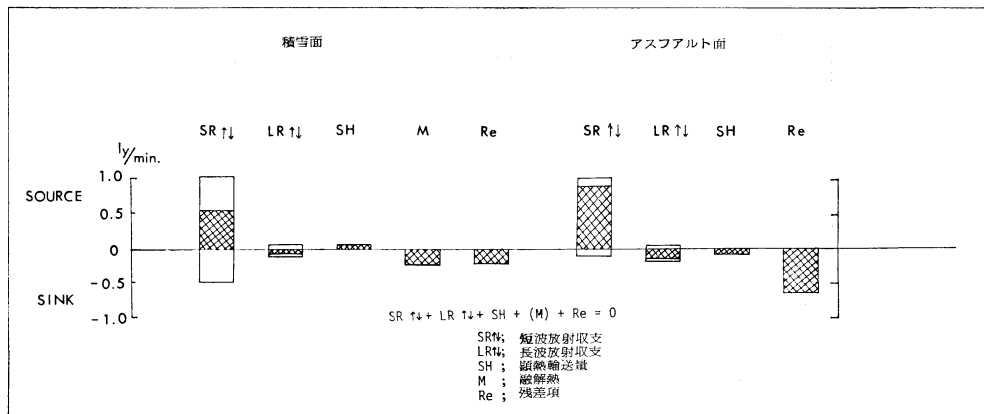
積雪期には日中のヒート・アイランドの発生が顕著に認められた。これは、郊外の大部分が平坦であるため、積雪におおわれるのに対し、市街地では除雪や融雪が郊外に比べ進んでいるため、地面やアスファルト・コンクリート面が露出していること及び、建造物の壁面には雪がつかないため、降雪直後でもこの部分だけは露出していることに起因していると思われる。このような状況下では市街地と郊外のアルベードは大分異なり、その結果として吸収日射量にも差が生じ、市街地及び郊外の平均地表温度に違いが出る。吸収日射量の使われ方にも違いがあり、コンクリート・アスファルト面では表面温度の上昇に使われるのに対し、雪面では日射を吸収しても大部分の熱は融雪に使われてしまい、表面自体は 0°C に保たれる。このような温度の違いがもとになって、日中のヒート・アイランドが形成されていると考えられる。無雪期の場合は、市街地と郊外に関し、これほどのアルベードの違いがなく、結果として表面温度の差も顕著でないと思われる。

積雪面と無雪面で表面温度がどの程度異なるか、またその結果大気に対する熱的影響がどの程度であるかを雪害実験研究所の実験雪面とその横の道路上で1978年3月7日に実施した。ここでは無雪面としてアスファルトを考えた。その時の各種地表温度及び気象要素の観測結果を第8図に示した。この図には、全天日射量、風速、



第8図 熱収支観測の結果。3月7日の全天日射量、風速、気温と各種地表温度。

気温及び砂面、アスファルト路面及び雪面の表面温度が示されている。砂面は、雪面の上に20cm 砂をまき



第9図 第8図の12:00~13:00の雪面及びアスファルト面での熱収支各項の値(網目は正味の値を表す)。

たその上側の表面のことである。全天日射量の記録からもわかるように、この日の天気は一日中快晴であり、理想的な観測日といえる。放射温度計は、放射率 $\epsilon = 1.00$ として温度を表示しているため測定した地表面の種類によって補正をしなければならない。このため、真正値を出すのに、次の式を用いた。

$$T_R = \left(\frac{T^4}{\epsilon} \right)^{0.25} \quad (1)$$

T_R : 真正値 (°K)

T : 読み取り値 (°K)

ϵ : 放射率

放射率 ϵ としては Sellers (1965) や Oke (1978) で示されている値、すなわち、雪面は0.99、アスファルト面は0.96、そして砂面は0.91を採用した。雪面については、最近の報告 (Warren, 1982) で雪の性質によらずこの値でよいことが示されている。

地表面付近の大気に対する熱的影響として最も大きいのが地表面と大気との顕熱の交換である。水蒸気の蒸気及び凝結に伴って潜熱の交換が行われるが、これは地表面での熱収支の状態を決定するには重要な因子であるのに対し、ヒート・アイランド程度の薄い大気の影響を考える場合には除外することができる。顕熱輸送量は地表面と大気との温度差と風速の積に大体比例する。この日、風速は午前中弱目で、午後が強まったが、それでも最大で1.5 m/s とこの時期としては弱い方であった。気温は6:00に最低で -3.4°C 、日中14:30頃最高で 8.8°C となった。それに対し、雪面の表面温度は常に低く、顕熱は雪面へ向かっている。砂面は、5:00~7:00及び18:00以後は気温より低く、それ以外は気温より高

い。砂面が熱源になるのは、ちょうど日射が表面に当たっている時に対応している。砂面の表面温度は放射収支の変化に非常に早く追従しているといえる。路面は10:00からの記録しかないが、日中は砂面と同じ程度まで温度は上昇し、夜間の降下が遅く、夜間でも気温より高い温度を示しているといえる。すなわち、10:00~23:00を通して熱源として働いている。このように各地表面から大気に与えられる顕熱の量は、それぞれ変化傾向が異なることがわかる。

この日の12:00~13:00、すなわち、太陽高度が最も高い時刻の雪面及び路面の熱収支各項の値を第9図に示した。顕熱輸送量は次のようにして求めた。風速については中立時の対数分布が成立し、粗度定数は雪面及び路面について両者とも0.1 cmであると仮定した。雪面については実測から0.1 cmに近い値を得ているが、路面については推定値である。ここでは、広い露出した路面がないため、観測から路面の粗度定数を求めることはできない。これらの条件及び定数をもとにして、顕熱輸送量を求めたところ、地表面へ顕熱が向かうのを正值にとると、この1時間について、雪面では1.8 ly/h、路面で -4.2 ly/h となった。砂面についてもほぼ同様な値をとるといえる。これらの値はその日の天候等で変化するが、この時期の好天、弱風の場合の代表値と考えられる。夜間の20:00について求めてみると、雪面では 2.5 ly/h であるのに対し、路面では -0.5 ly/h である。路面では、この時刻でも熱源になっている。

ここでは、隣接している二種類の異なる地表面についての結果を述べたが、これを広域の市街地-郊外という関係へも議論を展開する。たとえば、市街地と郊外の無

雪面積がそれぞれ50%と10%であるとして、両方について同一面積Aの領域を取ってみる。この領域での平均的な顕熱輸送量は、昼間について、市街地で $-1.2 A \text{ ly/h}$ 、郊外で $1.2 A \text{ ly/h}$ となる。夜間については、市街地で $-0.2 A \text{ ly/h}$ 、郊外で $1.0 A \text{ ly/h}$ となる。このように昼間は面積Aの領域での地表面での熱の交換は、市街地では地表面から大気へ、郊外では大気から地表面へ熱が供給されるといえる。このように、市街地と郊外とでは、大気に対する地表面の熱的役割が逆であり、市街地上の大気は暖まり、郊外は冷える方向にある。これが、日に現れる明瞭なヒート・アイランドの形成と維持に寄与していると考えられる。夜間の場合は、市街地と郊外での平均的な顕熱の流れは日中と同じであるが、その差は昼間の半分になっている。

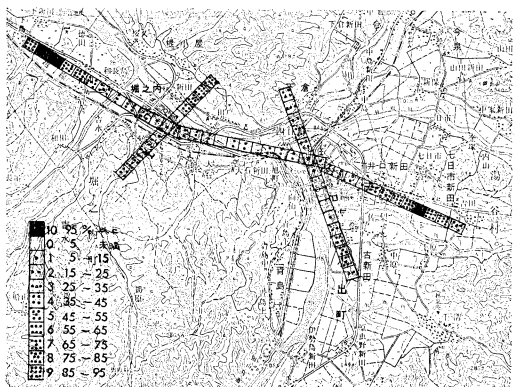
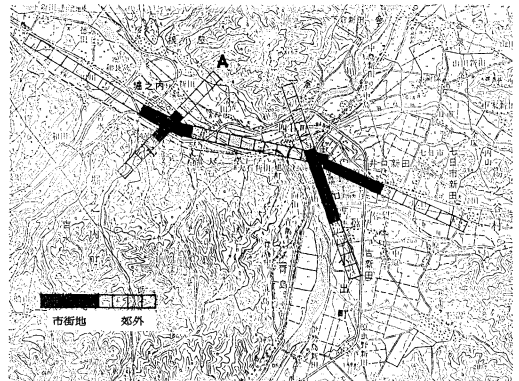
地表面での熱の交換を見ることによって、市街地を中心として、高温域が生ずるということは、これで定性的に説明がつく。しかし、このような状態のもとでどの程度のヒート・アイランドが形成されるかは、大気における拡散、輸送の問題が関係するためすぐには求められない。日中の方が夜間に比べて都市部と郊外で地表面での顕熱輸送量の差が大きいのかかわらず、ヒート・アイランドの強さが日中の方が小さいのは、大気境界層の厚さが日中の方が大きいと思われる。

3.1. 節で夕刻や夜間のヒート・アイランドでは等温線は市街地と郊外の境界に集中するのに対し、日中のそれは、集中せず市街から郊外にかけてほぼ等間隔に分布していること(第4図)を指摘した。この原因も、上記の大気境界層の厚さ及び大気不安定性が関係していると思われる。

5. 広域の地表面温度観測

前章で述べたように、積雪都市で発生する日中のヒート・アイランドの形成には、市街地・郊外での地表面の温度の違いが強く関係していると考えられる。その地表面温度を広域にわたり、航空機観測によって測定したので、それをここで報告する。比較として、積雪都市と同様の観測を無雪都市についても行った。

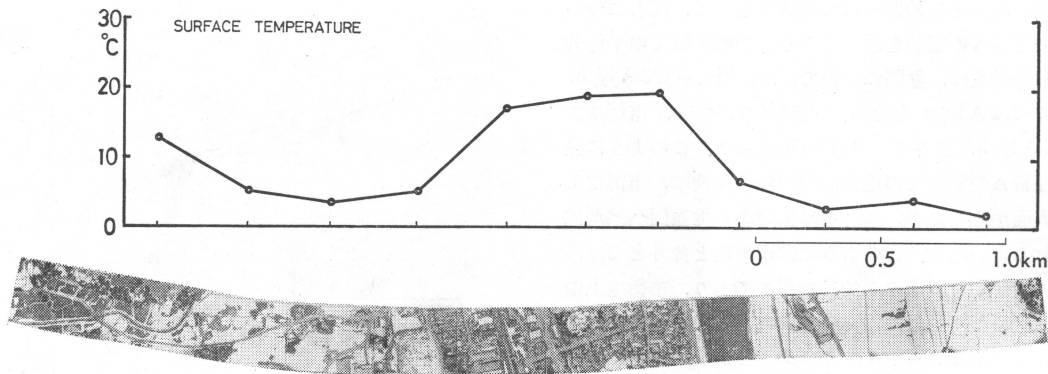
1979年3月13, 14日の両日にわたって、新潟県新潟市から小出までの魚野川沿いの都市、町について地表面温度の測定と、測定場所の地表面写真撮影を行った。この冬は例年になく少雪の年であったため、この時期に積雪が残っていたのは最も内陸に位置する堀之内及び小出であった。放射温度計の記録は(1)式によって補正し



第10図 航空機観測のコース・上図はコース下の土地分類(市街地と郊外)、下図は積雪面積の比率。

た。放射率 ϵ は、撮影した写真をもとにして、雪面のみの所に0.99、雪面と無雪面の混在している所は0.97、無雪面、すなわち道路、建物、土壌のみの所は0.95として計算した。これらの値は Sellers (1965) 及び Oke (1978) で示されている値を使っている。

積雪都市の観測は堀之内及び小出で行われ、各測定地点の積雪面積比率を第10図に10段階表示によって示した。第10図からわかるように、河川の1カ所を除くと、堀之内及び小出の両方について、市街地が0~30%で郊外が30~100%と積雪分布は明瞭に分類ができ、また市街地の中心は積雪が全くないことがわかる。積雪期後期には積雪分布はこのように非常に対照的になるのが一般的である。第11図に、Aコースについての各地点の写真とその地点での地表面温度を示してある。市街地で $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ を示し、田畑の上はほとんどすべてが積雪でおおわれており、 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ となっている。このように、市街



第11図 第10図のAコース沿いの写真及び地表面温度。

第3表 積雪都市と無雪都市における都市内外（市街地・郊外）での地表面温度と温度差の一覧表。

Hは測定対地高度，CAは雲量。

都市名	積雪有無	日 時	地表面放射温度 (°C)			備 考
			市 街 地	郊 外	両地区の差	
堀ノ内	有	1979年3月14日 11:10	15.5	4.0	11.5	H=370m
小 出	有	3月14日 11:20	17.0	5.0	12.0	CA=8 H=360m
長 岡	無	3月14日 10:50	19.0	16.5	2.5	CA=4 H=450m
三 条	無	3月13日 13:00	13.0	11.5	1.5	CA=10 H=440m
新 潟	無	3月13日 13:20	13.0	11.0	2.0	信濃川 7.0°C 日本海 10.5°C H=450m CA=6

地及び郊外で地表面温度に非常に大きな差がみられる。

第3表に、3月13~14日に、無雪都市を含めた5都市について測定した地表面温度の結果を示してある。この値は市街地と郊外についての平均的な地表面温度を示している。気象条件は、観測時刻が正午前後と気温の変化は少ない時であり、また雲量に差が多少あったが、日射量の方は類似しているといえる状態であった。地表面温度の違いに気象条件の影響は少ないと思われる。長岡、三条及び新潟には、積雪が全くなく、市街地と郊外の地表面温度の差が1.5~2.5°Cであった。それに対して、積雪都市では積雪の影響で11.5~12.0°Cと大きな温度差がみられた。

ここで述べたのは、ある一定の時期における地表面状態の異なる数都市の結果であるが、一つの都市について

も、積雪期と無雪期では都市以外に上記のような温度差の違いがあると考えられ、それが第3章で示したような積雪期における日中のヒート・アイランドの形成につながっていると考えられる。

6. おわりに

積雪地帯のヒート・アイランド現象について、以下の点が新しく分かった。

(a) 積雪期と無雪期を比べると、積雪期の方がヒート・アイランドの強さが強く、無雪期において明瞭でない日中のヒート・アイランドが顕著に起こっている。好天日の代表的な例をとると市街地と郊外で日中、夜間を問わず2.0~2.5°Cのヒート・アイランドが発生していた。

(b) 積雪期の日中と夜間のヒート・アイランドを比べると、夜間の方が強いが、余り大きな差がない。しかし、水平分布をみると夜間には、市街地と郊外の境界付近で等温線の密集がみられるのに対し、日中についてはまばらな傾向がみられ、市街地と郊外の間で大気の良いことを示している。

(c) 航空機観測によると、積雪都市と無雪都市における都市内外の地表面温度差が後者で $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ であるのに対し、前者が $11\sim 12^{\circ}\text{C}$ と大きな差がみられる。また地上観測によると、好天日において、積雪面と無雪面(アスファルト面)での顕熱輸送量は、表面温度の違いのため前者では大気から雪面へ、後者では無雪面から大気へと方向が逆である。無雪期には明瞭に起こらない日中のヒート・アイランドが、積雪期において顕著なのは、これらに起因していると考えられる。

本報告では、地表面での熱収支の違いがヒート・アイランドの形成にどのように関係しているかを定量的にみることはできなかった。このためには人間活動による熱の放出の評価、大気の流れ、下層の拡散状態を調べる目的でタワーないしは、航空機による高度別気温分布及び各種輸送量の測定を行わなければならない。これは、今後の課題として残っている。

謝 辞

本研究を実施する際に、多数の機関の多数の方々にお世話になりました。科学技術庁防災センター雪害実験研究所(長岡市)の方々には観測露地その他諸々のことにお世話になりました。特に、放射温度計を貸していただき、熱収支観測について助言して下さった木村忠志室長、全体について面倒を見て下さった広部良輔室長(現:国立防災科学技術センター)及び山田譲研究員(現:室長)、五十嵐高志研究員に深く感謝致します。また、観測場所を提供して下さった長岡市役所、新潟県立農業試験場、干手小学校にも感謝の意を表します。

本研究の観測に協力して下さった長岡高等専門学校
の佐藤和秀助教授、名古屋大学水圏科学研究所の池上宏
一(現:地球工学研究所(株))、吉田 稔(現:国立極
地研究所)、楠 信二(現:行田工業高校)の各氏にも
感謝の意を表します。

文 献

- Bach, W., 1970: An urban circulation model, Arch. Met. Geophys. Biokli., Ser. B, 18, 155-168.
- Chandler, T.G., 1965: Climate of London, W. Heffer Sons, Ltd. Cambridge, England.
- 中部開発センター, 1978: 大都市におけるヒート・アイランド現象等都市気候の実態とその形成機構に関する観測とシミュレーション, 名古屋市.
- Clarke, J.F., 1969: Nocturnal urban boundary layer over Cincinnati, Ohio, Monthly Weather Review, 97, 8, 582-589.
- 樋口敬二・大畑哲夫, 1981: 都市におけるヒート・アイランドの実態, 名古屋市を例にして, 都市と農村, 大成出版社, 203-246.
- 国立防災科学技術センター, 1978: 長岡における積雪観測資料(2), 防災科学技術研究資料, 31.
- , 1979: 長岡における積雪観測資料(3), 防災科学技術研究資料, 43.
- Nkemdirin, L.C., 1978: A comparison of radiative and actual nocturnal cooling rates over grass and snow, J. Appl. Met., 17, 11, 1643-1646.
- Oke, T.R., 1973: City size and the urban heat island, Atmospheric Environment, 7, 769-779.
- , East, C., 1971: The urban boundary layer in Montreal, Boundary Layer Met., 1, 1, 411-437.
- , 1978: Boundary Layer Climates, Methuen & Co Ltd, London.
- Sellers, W.D., 1965: Physical Climatology, The University of Chicago Press.
- Warren, S.G., 1982: Optical properties of snow, Rev. Geophysics and Space Physics, 20, 1, 67-89.