



Title	都市地表面温度分布の測定
Author(s)	斎藤, 武; 谷口, 博; 園田, 隆 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 84, 27-38
Issue Date	1977-07-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41419
Type	departmental bulletin paper
File Information	84_27-38.pdf



都市地表面温度分布の測定

齋藤 武* 谷口 博* 園田 隆*
田城 徹雄* 石田 栄一*
(昭和 51 年 12 月 28 日受理)

Measurement of the Temperature Distribution on Urban Surfaces

Takeshi SAITO, Hiroshi TANIGUCHI, Takashi SONODA
Yoshio TASHIRO and Eiichi ISHIDA
(Received December 28, 1976)

Abstract

Rapid growth of a city leads to a change of the surface areas of natural to artificial grounds and results in consuming more energy in the city district. This causes the temperature on urban surfaces to rise and the humidity of the air to decrease.

This paper presents the results of measurements of the temperature on the surface areas of the City of Sapporo. This measurement was conducted from June to July, 1976, and remote sensing was adopted to obtain the temperature distribution, using a multi-spectral scanner and a thermo-camera.

The surface temperatures in the central district of the city showed higher values by about 20°C than that of the green zones in the suburbs, although the temperature showed considerable local differences.

As a result of the present survey, it was suggested that systematic arranging of wide green zones in the urban area is necessary to maintain the thermal environment comfortable for people residing in the city.

1. ま え が き

急激な都市化にともない、かつて森林や田畑であった所が住宅地や工場、商店街などとして造成され、都市の表面はアスファルト、コンクリートなどの人工構造物で覆われることとなった。

一方では生産、消費活動の活発化はそのためのエネルギー消費量を増加させ、太陽からの日射エネルギーに加えて人工的に発生されるエネルギー、人工熱として都市部に供給されることになる。わが国のように高密度の都市を有するところではこの人工熱が太陽日射量に匹敵ないし、それ以上に及んでいる所が出現してきているとも言われている^{1,2)}。水分を含有し、その蒸散を行う森林、裸地、草地などの面積をせばめ、また降雨は表面に滞留させずに下水道に排出することは、都市表面構造物の熱的性質が自然地表面とは異なることとも関連して都市表面、大気温度上昇、湿度の低下、さらには大気気流にも影響を与えることとなり、そこに人工熱が加わればこの傾向は都市郊外、周辺地域に比しますますつよまる。このような都市特有の気象、環境変化は

* 機械工学科 熱機関学第一講座

いわゆる都市気候を形成し、都市中心部の高温化はヒートアイランドとよばれる。したがって都市計画の立案の際、その熱的環境保全という面からも都市地表面温度分布、大気温度、湿度を測定しておくことが必要となる。

ここでは、1976年6～7月にかけて札幌市街地を対象として行ったリモートセンシングと地上での直接計測による地表面温度分布の測定結果を報告する。測定装置には物体表面からの熱放射線を感知し、放射率の考慮のもとに温度分布を面的に表示する赤外線映像装置、表面温度、気温の直接計測には熱電対、太陽日射量は日射計、大気中の湿度は露点湿度計を使用した。さらに市中央部、郊外の温度、湿度を知るため北海道、札幌市が有する環境測定装置によるデータの提供を受けた。

このような測定を行い、現況を把握した後、太陽熱、人工発生熱の都市における熱移動、熱拡散の機構を解析して現象の定量化につとめ、都市熱環境のシミュレーションを行う予定である。

2. 温度分布測定法および測定装置

本測定では2種類の赤外線映像装置を使用し、リモートセンシングにより対象地域の温度分布を得た。近年リモートセンシング法は宇宙衛星搭載による地球の気象探査などで盛んに採用され、ここで行った温度分布測定など環境計測にも有力な手段となってきた。使用した機器の原理について述べる。

2.1 マルチスペクトルスキャナー

本計器は米国ディータラス社製 (DEI 110, 航空機搭載, 撮影はアジア航測 K.K に委託) であり、その測定原理を図1に示す。航空機の進行方向を軸として回転させたミラーで地表面や海面から反射および放射される電磁波を走査しながら各バンドごとに分割し磁気テープに記録するようになっている。その構成は①走査部(検知部) ②制御部③記録部(映像信号, ジャイロ及び基準熱源(温度)等の信号を記録する装置)である。

測定可能な波長は $0.38 \sim 1.1$, $8.0 \sim 14.0 \mu\text{m}$ でありこの間を 11 バンドに分割している。第 11 番目のバンドは $8.0 \sim 14.0 \mu\text{m}$ の遠赤外で、昼間測定しても太陽光の反射をほとんどうけずに、表面温度そのものの情報を与える。またこの波長範囲では大気中の水蒸気や炭酸ガスなどによる吸収は無視できるので、リモートセンシングを行う場合「大気の窓」とよばれている。これ以下のバンドは主に反射光をとら

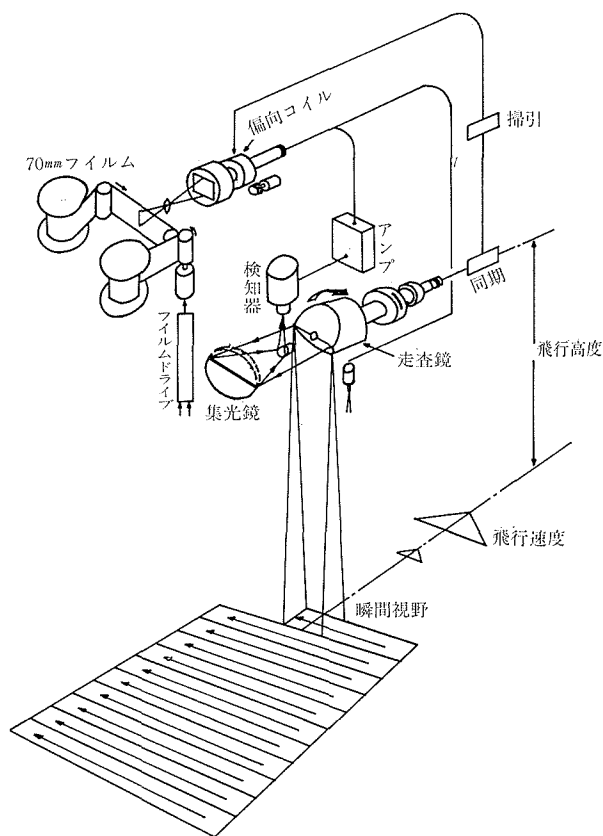


図1 航空用赤外線映像装置の概要

えて物体固有の反射特性から、測定対象の情報をうることに使用される。

検知器としては第 1～10 バンド ($0.38\sim 1.1\ \mu\text{m}$) にはシリコンフォトダイオードが、第 11 バンドには CdHgTe が使用されている。分光の方法はまずダイクロックミラーにて遠赤外線（第 11 番目のバンド）を分離し、可視光線と近赤外線はプリズムにて 10 の波長域に分ける。

これらの装置で得られた信号は地上にもちかえられ、地上処理機により処理される。第 11 番目のバンドでは温度分布映像図が得られるが、表示結果は温度に応じた白黒濃淡写真、その濃度差（温度差に対応）をある間隔でスライスしてそれぞれに任意のカラーをつけ、いわゆるデジタルカラー写真となる。さらに同一温度のところだけ選択して表わす、等温帯表示も可能である。

2.2 サーマカメラ

在来の放射温度計は測定対象のある一点の温度しか測れぬが、本計器は機器内のミラーにより水平、垂直走査を行い、短時間に対象面の温度分布情報をうるができるようになっている。

キャノン K. K. が工業用計器として開発したもので、主に地上に固定して使用する。図 2 に本器 (CT-4B) の撮影部の機構を示す。検知器には $1.0\sim 5.0\ \mu\text{m}$ の電磁波に感応する InSb を使用し、液体窒素で冷却されている。したがって地表面温度の測定の場合には昼間使用すると太陽光の反射が入り温度分布としての正しい値をうることはできない。

撮影結果はブラウン管表示され、それをポラロイドおよびスチールカメラによって記録する。温度分布は白黒濃淡、多段階等温帯および任意の温度幅のみ選択しての一段階等温帯などで表示される。さらに撮影対象のある水平線上の温度波形も表示できる。

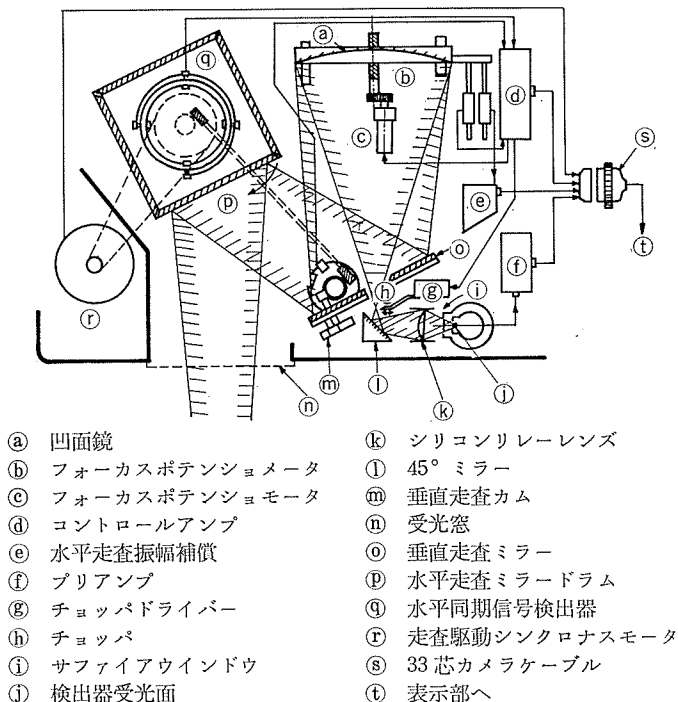


図 2 キヤノン社製サーモカメラ
CT-4B 撮影部ブロックダイアグラム

2.3 地上測定（グラントルース）

測定対象地域をリモートセンシングにより計測する一方、アスファルト、コンクリート、草地

面上など対象地域の代表的な部分に CA 熱電対を設置し温度の自動記録を行った。また大気の湿度は測温抵抗体に塩化リチウム水溶液を塗布し大気中の水蒸気分圧に応じて溶液が吸湿、蒸散する性質を利用して作られた露点湿度計（横河 K.K 製 Dewcel および山武ハネウエル K.K 製 RH センサー）により測定した。

太陽日射量測定には熱電対サーモパイル式の日射計（EKO K.K 製 MS-41 型）を使用した。

3. 札幌市街地の地表面温度分布測定結果

札幌市街地の地表面温度分布測定は、1976 年 6 月 30 日、航空機によるリモートセンシング（ディードラス社製マルチスペクトルスキャナー DEI 110 使用）および地上での同時測定により行われた。撮影対象地域は南北約 13.0 km、東西約 6.0 km で囲れる面であり、それを南北 5 コースに分割して（サイドラップしながら）太陽を背に飛行し撮影した。この日の天候は晴れ、市中心部に位置するテレビ塔地上 30 m における正午の気温 16.1°C、風速 3.2 m/秒 であった。

図 3 は各飛行コースごとの第 11 番目のバンドにより得られた白黒濃淡で示されている温度分布写真である。白い部分ほど相対的に温度の高いことを示す。それをサイドラップさせてデジタルカラー写真にしたのが図 4 である。また図 5 は、各温度幅により等温帯表示した白黒写真であり、さらに図 6, 7 は地上測定および他観測所で得た、同日各時刻ごとの日射量、表面温度、気温、湿度の変化を表わす。

デジタルカラー写真は 12 色にわけられ、16°C~46°C の 30°C を 10 色、各 3°C 幅で、また両端の色はそれぞれ 16°C 以下、46°C 以上を示している。

アスファルト、コンクリートなどの建造物が密集する市中心部の表面は、北大構内、北大植物園、豊平川河畔より高温であり、郊外の円山、藻岩山などの山林、および市北西部の発寒地区に比しその温度差は 20°C 以上にも及んでいることがわかる。

市中心部より低温となっている地区はいずれも水分が多く含有され、その蒸発により周囲から潜熱を吸収して表面温度を低下させているところであり、かつ人口密度、自動車走行量などが少く、一般に人工的なエネルギー消費量も少いと考えられる。日射量が地区により変らぬことを考えれば、人工構造物による表面の熱的性質の改変、人工熱がヒートアイランドを現出させる大きな要因であると推測される。

北大植物園、その南に東西に位置する大通公園の周辺は高温部より低く約 10°C の差がある。したがって都市内に樹木や裸地を有する適当な中央公園を配置することは熱環境保全上からも重要な要素と考えられる。北大構内は市中心部に近く、かなりの地積を有しているが、このことは市内の高温化、乾燥化を防ぐ上では相当の役割を果していることがわかる。

この撮影がある日のある時間帯のみに行われ、5 コースを一定時間差をもって飛行しているわけだから、時間経過による太陽高度などの諸条件の変化は避けられない。また地表面の放射率はアスファルト、コンクリートや樹木などでは異なるので、この結果は必ずしも真の温度分布を表わしているということにはならない。しかし、少なくとも地表面温度分布の傾向把握には有効であると考えている。

アスファルト、裸地および住宅の屋根に使用されているトタン面の温度は、日射量の変化に応じて変化していることが図 6 で示されている。この日射量による温度応答は表面の放射率、温度伝導率および風による対流と水分蒸発の影響が連成的に作用することが考えられる。表 1 はそれらの熱的性質の概略値を示す。対流と水分蒸発の効果を考えなければ、材料の温度伝導率が小さく、熱容量の小さいものほど表面温度変化は大きい。アスファルトと裸地の温度をみると正午に

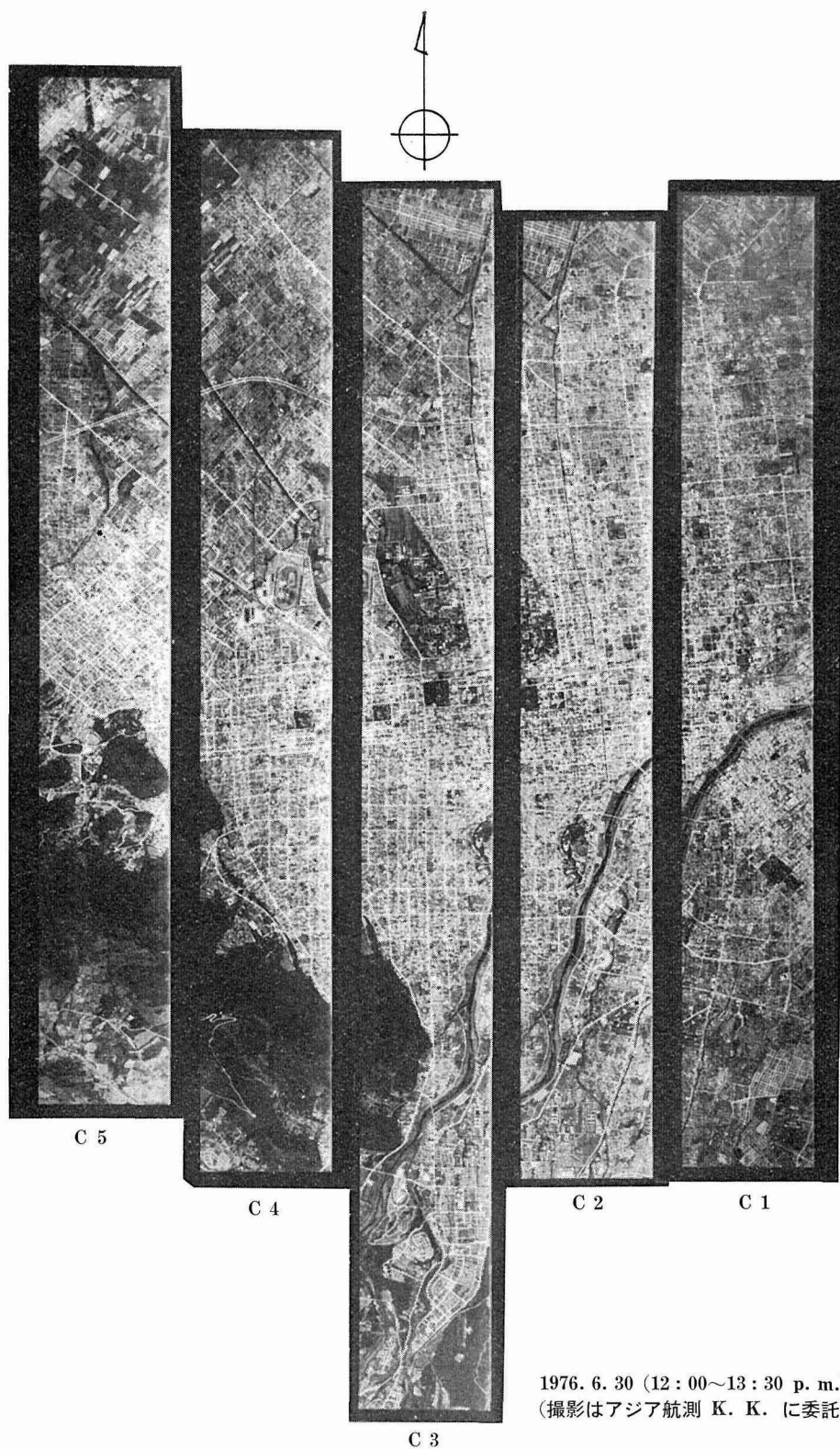


図 3 札幌市街地の地表面温度分布 (1~5 コース, 白黒濃淡)

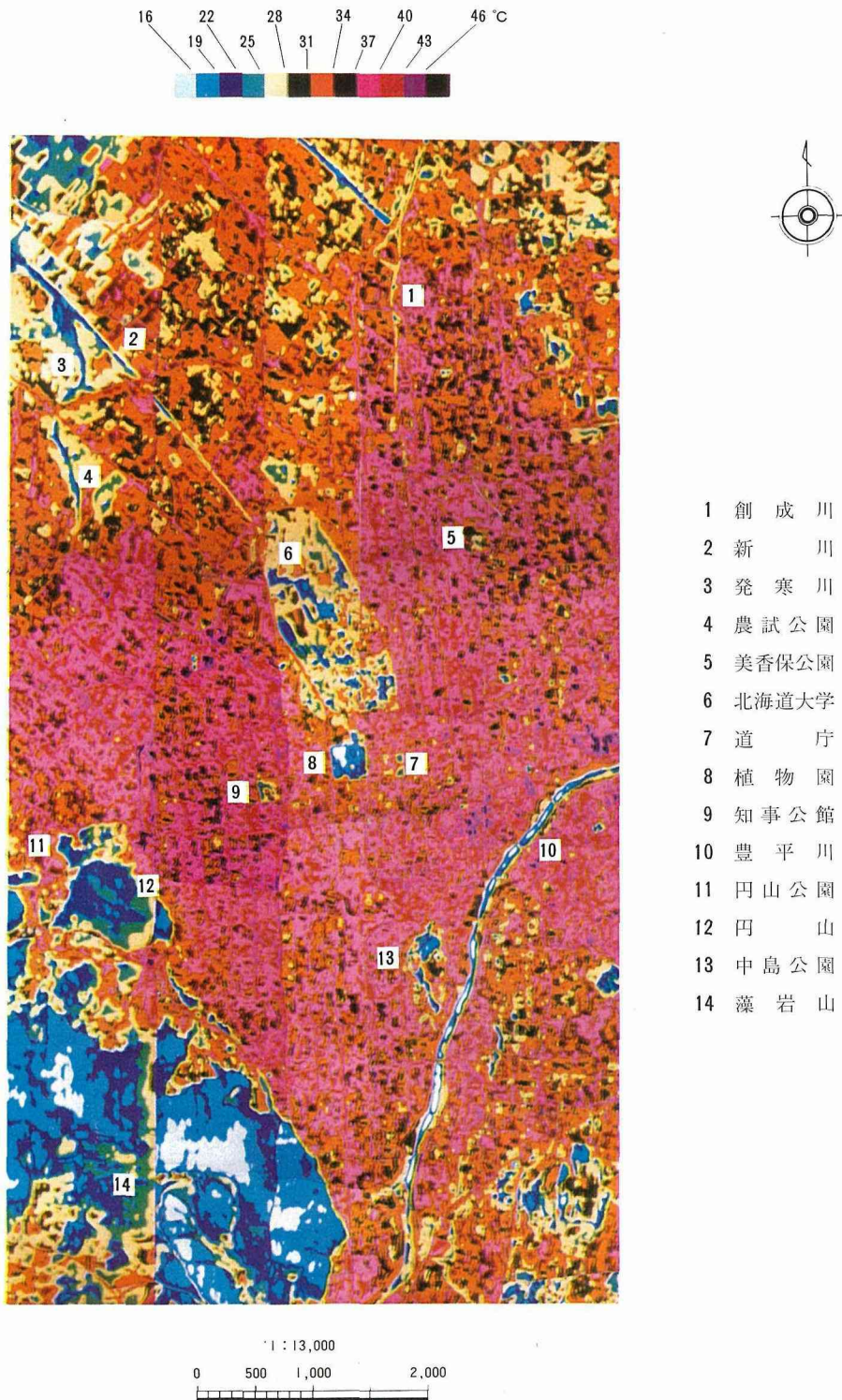


図4 札幌市街地の地表面温度分布 (1~5 コース, 12色デジタルカラーモザイク)

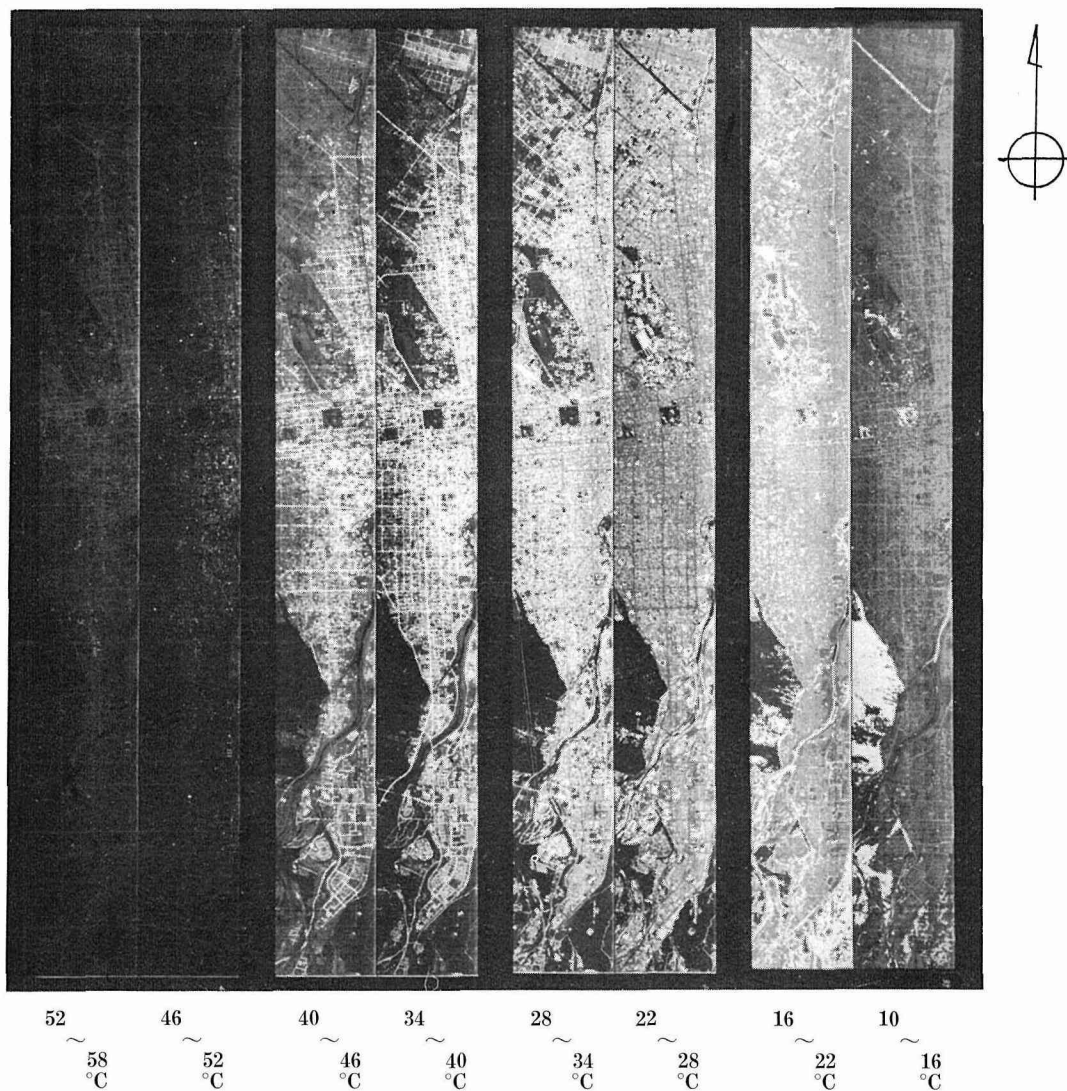


図5 札幌市街地の地表面温度分布 (3 コース, 等温帯表示)

表1 材料の熱物性値

	ϵ	a	λ	c	γ
コンクリート	0.65	0.0022	1.0	0.20	2100
アスファルト	0.71	0.0014	0.64	0.22	2120
土 (湿)	0.76	0.0006	0.57	0.44	2000

ϵ : 放射率
 a : 温度伝導率 m^2/h
 λ : 熱伝導率 $\text{Kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$
 c : 比熱 $\text{Kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$
 γ : 比重量 kg/m^3

において約 20°C の差がある。これは図4でみた市内の高温部と郊外や北大構内、植物園表面温度との差に対応している。裸地の方がアスファルトより低温であるのは水分蒸発によるものと思われる。

図7の市中心部と郊外の気温の変化をみると最高、最低温度差は郊外（野幌）の方が大きく、

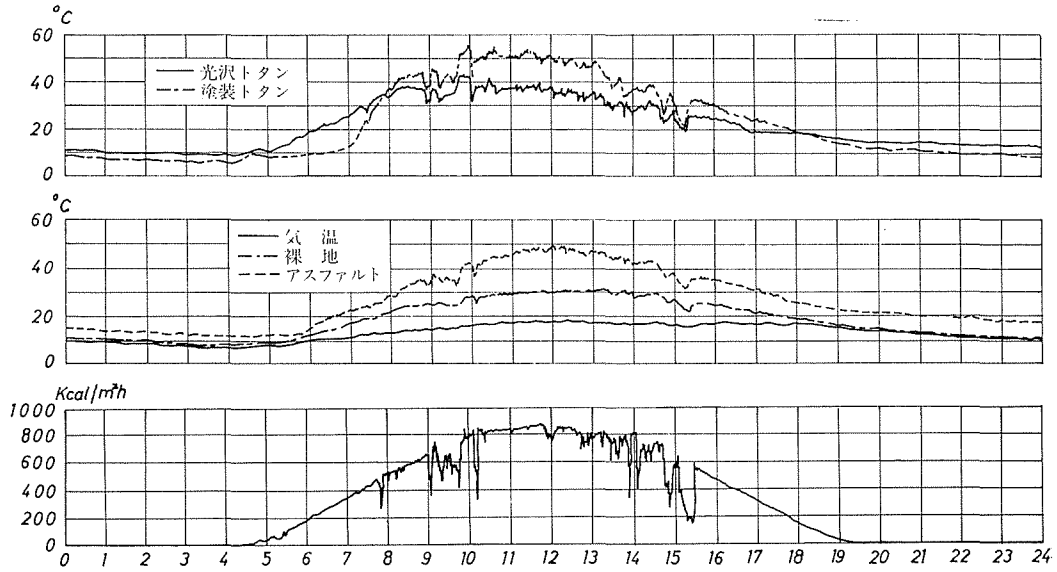


図6 日射量変化と表面温度応答 (1976. 6. 30 北大構内にて測定)

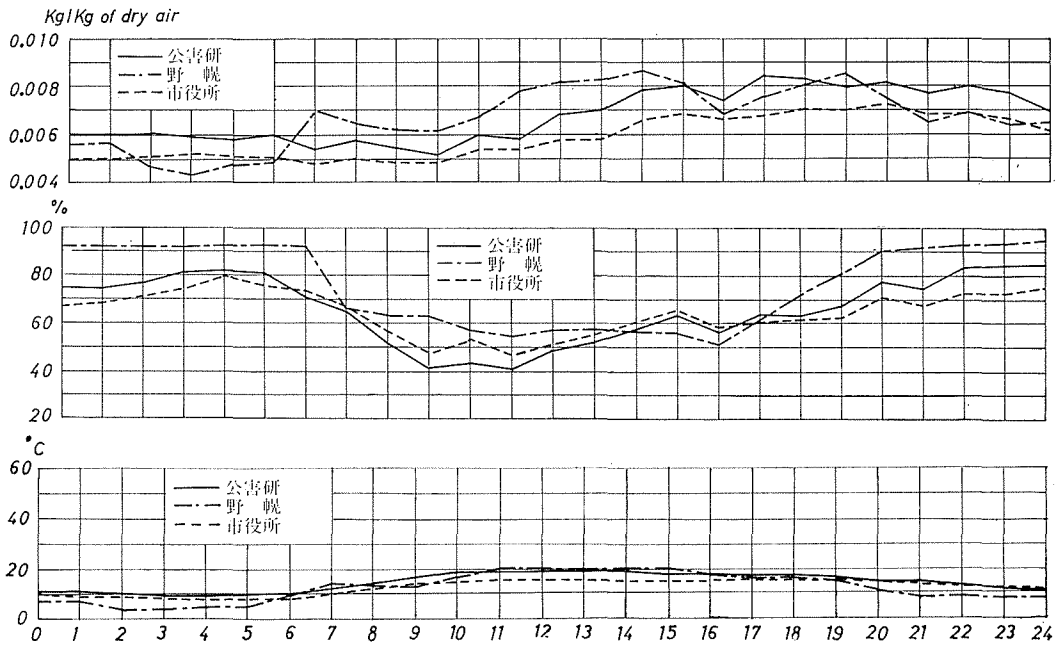


図7 気温、相対湿度および絶対湿度の変化 (1976. 6. 30)

夜間における温度は市中心部の方が高いことが示されている。さらに相対湿度については夕方の数時間を除いて郊外の方が市中心部より高い。これもヒートアイランドを示すひとつの証左である。

4. 北大構内の地表面温度分布測定結果

北大工学部4階の一室にサーモカメラ (キャノン社製, CT-4B 型) を設置し, 窓から見える北大歯学部, 医学部西側壁面, 構内を南北にはしる中央道路のアスファルト, コンクリート面,

周辺の裸地および樹木、さらに工学部前庭の芝生などの表面温度測定を1976年7月7日16時より地上測定と同時に実施した。サーモカメラの検知器 InSb の感度波長が $1.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ であるところから、太陽光の影響をさけて、撮影は同日19時より、翌朝日の出前まで一定時間ごとに行われた。

航空機による市街地の撮影はある瞬間の表面温度分布の値を示すが、このサーモカメラによる撮影では地表面が夜間に入って冷えていく時間的変化をみたものである。

図8は撮影対象地域の概略とサーモカメラの温度表示について説明したものである。図9～14が撮影結果を示す。これらは5段階の等温表示がなされており、最低温度 17°C 、最高温度 23°C

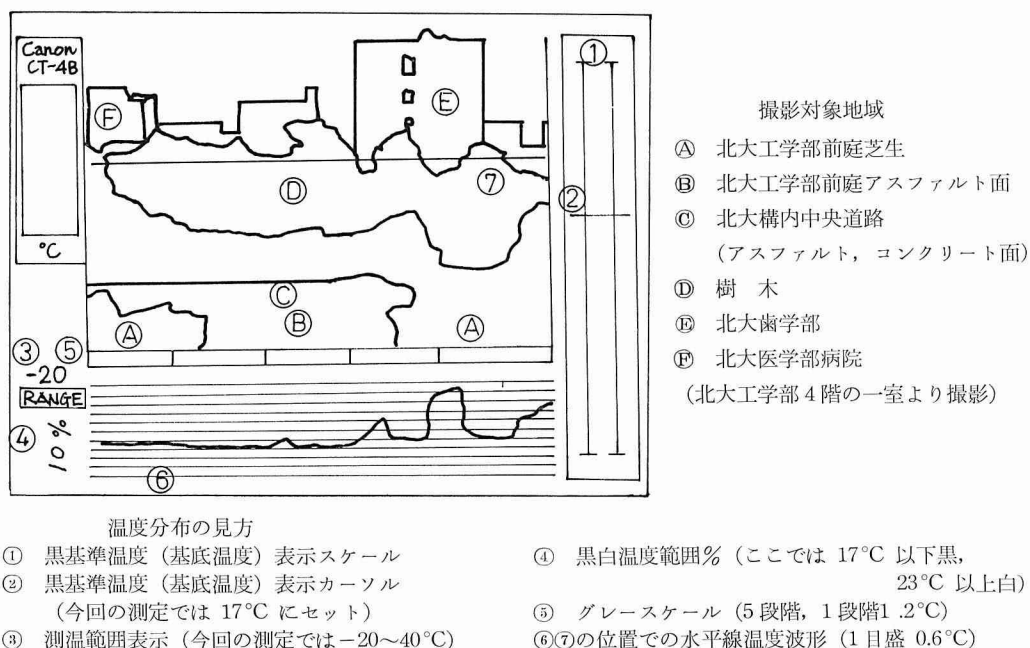


図8 北大構内温度分布撮影対象地域と映像図の見方

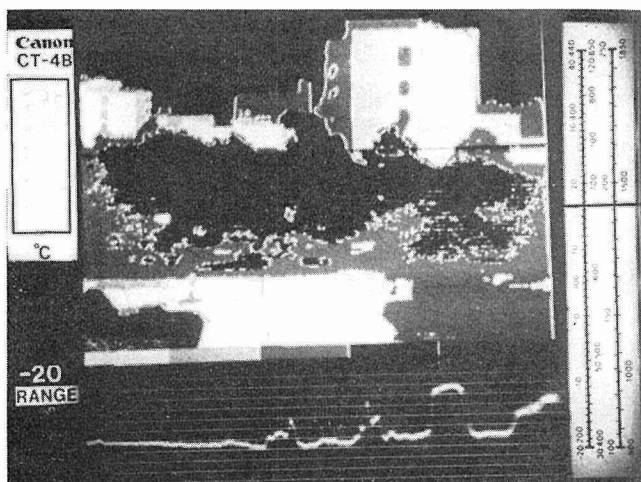


図9 北大構内の地表面温度分布 (撮影日時 1976. 7. 7, 19:46)

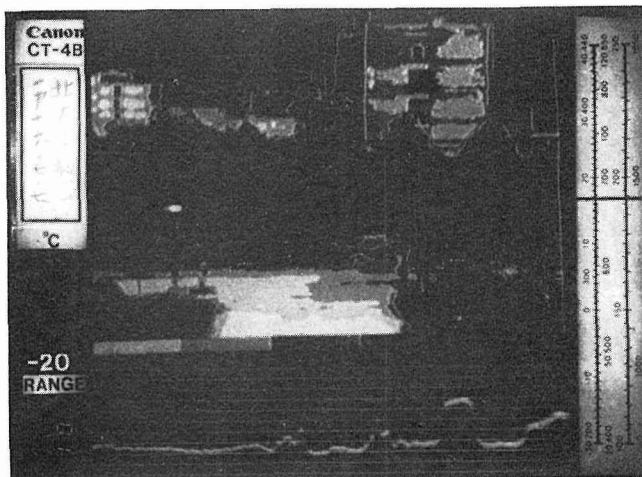


図 10 北大構内の地表面温度分布 (撮影日時 1976. 7. 7, 20 : 40)

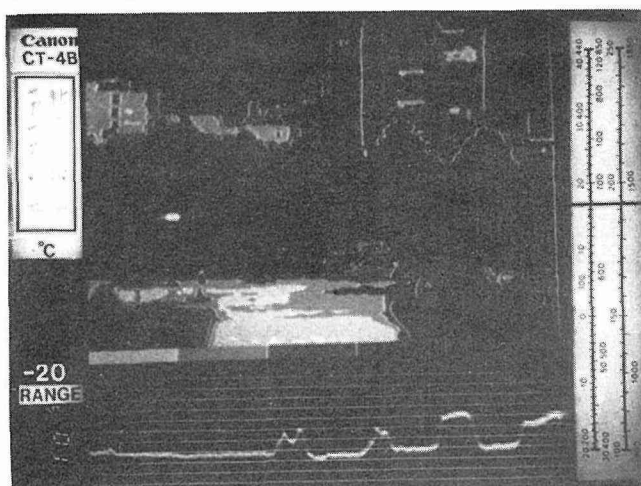


図 11 北大構内の地表面温度分布 (撮影日時 1976. 7. 7, 23 : 00)

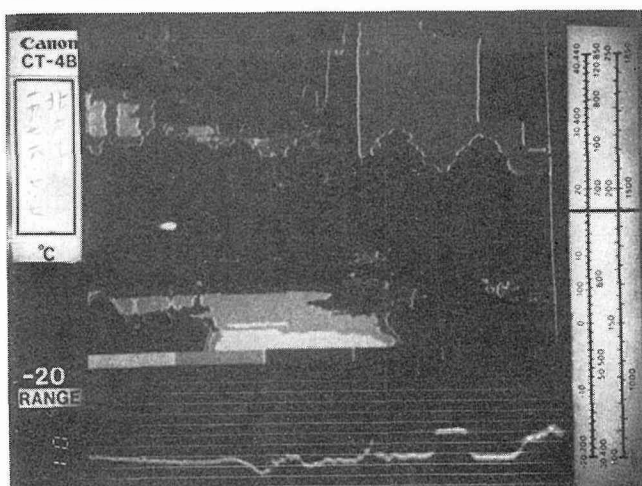


図 12 北大構内の地表面温度分布 (撮影日時 1976. 7. 8, 0 : 59)

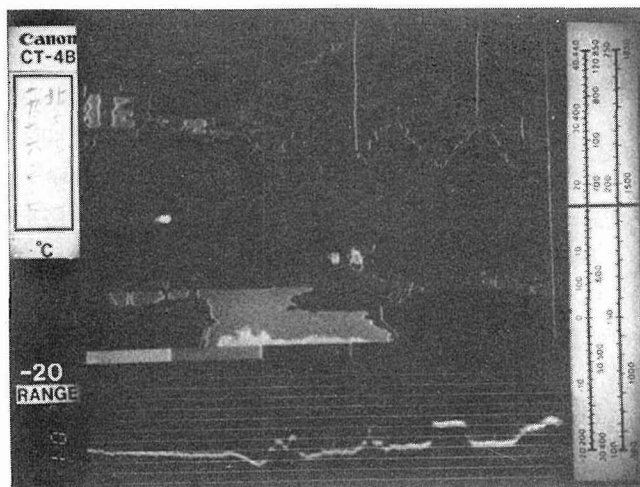


図 13 北大構内の地表面温度分布（撮影日時 1976. 7. 8, 3:05）

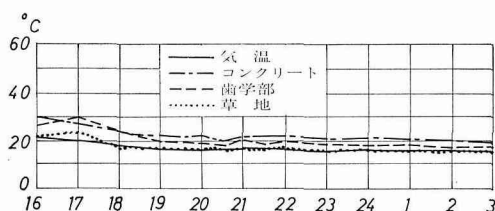


図 14 北大構内の地表面温度および気温の時間的変化

で 1 段階は 0.6°C の差で表わされている。すなわちもっとも黒い部分（グレースケールの右端の段階）は $17^{\circ}\text{C}\sim 18.2^{\circ}\text{C}$ ということを意味する。

映像図のちょうど中央位置における水平線上の温度波形も表示されている。

図 9 によると歯学部壁面や、工学部前庭、中央道路のコンクリート、アスファルト面は、樹木や草地に比し 3°C 以上高いが時間の経過とともに急激に低下していく様子がわかる。樹木や草地はそれほど温度変化がなく、夜間の生命活動とも関連するがほぼ $18\sim 19^{\circ}\text{C}$ （このときの気温と大体等しい）に保たれている。また建物の表面でも内部構造や室内での用途等でその温度分布が相違している模様が表われている。

図 14 は地上測定による壁面、道路コンクリート部表面、草地面および大気温度変化を示し、サーモカメラによる測定と大略一致する結果が表われている。

5. ま と め

札幌市街地を対象として、主に太陽日射がその地表面温度に及ぼす影響を赤外線映像装置の使用によるリモートセンシングおよび地上計測による測定結果からあわせ検討した。

赤外線映像装置により撮影した札幌市中央部の白黒濃淡、デジタルカラーによる写真測定では、市街地の地表面温度は最高 50°C 以上、最低 30°C 以下とかなりの温度幅をもって分布しているが、アスファルト、コンクリートなどの人工構造物により覆われた市中心部は、市内に点在する数少ない緑地帯や河畔（豊平川）、郊外の山林地帯近辺の表面に比し、今回の測定では 20°C 以上も高温となることを示しヒートアイランドを現出させていることがわかった。このことは市中心部と郊外の日時刻ごとの気温変化をみても、最高、最低温度差は郊外の方が大きいのに対し、

夜間は市中心部の方が高くなっていることによっても示されている。

北大構内にあるコンクリート建造物，コンクリート，アスファルト道路，芝生，樹木などを対象として行った赤外線映像装置によるリモートセンシング，地上測定の結果は人工構造物が太陽日射により樹木や草地に比し昼間はその表面温度を急激に上昇させ，夜間は冷却することを示した。

札幌市内の中央，東西に位置する大通公園は市内の高温化，乾燥化の防止という点からは未だ十分とはいえない。北大キャンパスは市中央部にかなり広い地積を専有しているが，その広い芝生と樹木とは市の熱環境を良好に維持するためにより重要な役を果しているといえる。

都市の温度上昇を促進する原因は，人工の建築物と舗装道路が市街地を覆い，水分の蒸発を伴う緑地面積が減少していることと，エネルギー消費にもとづく人工熱の放出があげられる。後者の都市気候に与える影響については，エネルギー消費密度の調査からはじまり，その熱移動，熱拡散機構の解明が必要であり，今後の課題と考えている。

6. あ と が き

本測定を実施するにあたり，関係諸方面の多くの方々により一方向ならぬご協力，ご支援をいただいた。札幌市および周辺の環境データは，札幌管区气象台，北海道公害防止研究所，札幌市環境局より提供を受け，計測器や計測場所などについて北大工学部衛生工学科井上研究室，同建築工学科荒谷研究室および北大応用電気研究所吉本研究室の方々のご便宜を頂いた。

また，測定装置の作成，地上測定の実施およびデータの整理には，北大工学部機械工学科田中辰雄技官をはじめ同学科学生米谷剛人，田中義則両君，ほか同学科熱機関学第一研究室の方々のご尽力に負うところが大きい。

ここに付記して深甚の謝意を表する。

なお，本研究の費用の一部は文部省科学研究費試験研究（2），（課題番号 085002）の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) 尾島俊雄：日本機械学会誌，77（昭49），663，p. 174-182.
- 2) 土屋 巖：水利科学，16（昭47），5，p. 41-71.