

都市域の表面温度分布とその接地気層への影響

—都市地表面における日射エネルギーの

変換機構に関する研究(その2)—

成田 健一*・関根 毅*・徳岡 利一*

昭和61年10月30日 受理

Aircraft Survey on Surface Temperature in Urban Area and its Influence on Surface Boundary Layer

—A Research on the Transformation Mechanisms
of Solar Energy at the Urban Surface (Part 2)—

Ken-ichi NARITA, Takeshi SEKINE and Toshikazu TOKUOKA

Daytime surface temperature distribution in urban area, and its influence on upper temperature and moisture fields were investigated over the Hiroshima area using an instrumented aircraft. The precise swept lines along which surface temperature was measured by an infrared thermometer were obtained by video-TV camera mounted on aircraft. The distributions of air temperature and relative humidity were also measured at several heights by thermistor and capacitive humidity sensor, respectively.

The surface temperature changes remarkably during temporary shadow on fine day, and each land use has its own response property. Asphalt pavement has been assumed stationary against the variation of solar radiation, but its temperature change is comparable to that of forest surface.

On fine day, especially calm condition, there are singular fluctuations of air temperature and humidity at 500 m MSL. The accordance of these distributions with land use pattern seems to imply the extended effect of surface temperature distribution on boundary layer.

The extensive warm and dry anomalies in the upper temperature and moisture fields are found leeward of the built-up area under windy condition.

On cloudy day, the distribution of surface temperature in urban area loses its diversity on fine day, and upper temperature and moisture field also turn uniform. This result suggests the importance of earth surface heat budget as a cause of urban climates.

1. はじめに

複雑な地表面形態を有する都市域の熱環境の把握にとって、短時間に広域的なデータが得られるリモートセン

シングによる解析は非常に有効である。建築学の分野でも近年その利用が盛んになり、尾島・森山¹⁾による地表面熱収支を念頭においた表面温度の実測研究、梅干野²⁾⁻⁴⁾による MSS データを用いた住宅地の熱環境の解析

* 環境工学専攻

などいくつかの報告がなされている。これらの成果として代表的な地表面における表面温度の日変化、住宅地のタイプによる熱環境の差異やその季節変化などについて、すでにその概要が明らかにされている。しかしながら、これまでの研究の大半は典型的な晴天日を対象とした測定であり、天候による差異や日射の変動との関連などを扱ったものは少ない。また、そのような地上での温度分布が接地気層にどのような影響を及ぼしているかについても研究例は少ない⁵⁾。

筆者らはすでに、市街地の代表的な地表面構成要素であるアスファルト舗装面を取りあげ、その表面温度と日射変動との関連を検討した⁶⁾が、今回はよりマクロ的な視野から表面温度の変化特性を把握すべく、航空機を用いた温度分布観測を実施した。

都市域の高温化の主な原因としては、ここで問題としている地表面の熱収支構造の変化と、もう一つエネルギー消費に伴う多量の排熱が考えられる。ヒート・アイランド現象が両者の複合的作用の結果であることは明らかだが、両者の効果を分離して評価することは事実上難しい。もし、エネルギー消費が天候により大きく変化しないと仮定すれば、晴天日と曇天日とを比較して得られ

る差異は、概ね日射エネルギーの変換すなわち地表面熱収支の効果と考えることができる。そこで本研究では、曇天日をあえて観測日として選び晴天日との比較を試みるとともに、短時間の日射変動による影響についても検討を加えた。また、航空機に温湿度計を取付け、都市域上空における立体的な温湿度分布の把握も同時に試みた。

対象地域とした広島市は太田川河口に位置するデルタ都市で、市街地を6本の派川が貫流する。ここでは、いわゆるヒートアイランドが河川によって分断され、いくつもの“小島”を形作っていることがすでに観測から明らかとなっている⁷⁾。また河川の冷源効果が、平和大通りなど周辺のオープンスペースに沿って市街地内へ広がっている様子も観測されている⁸⁾。地上におけるこのような土地被覆と対応した温度分布が、上空へどう影響しているかは興味深く、近年注目されている自然エネルギーを利用した快適空間の創造という観点からもその把握が望まれる。

今回はマクロ的な把握に主眼を置き、しかも天候を選んだ観測であるため、表面温度については取り扱いが簡単な放射温度計による方法を採用したが、飛行ルート

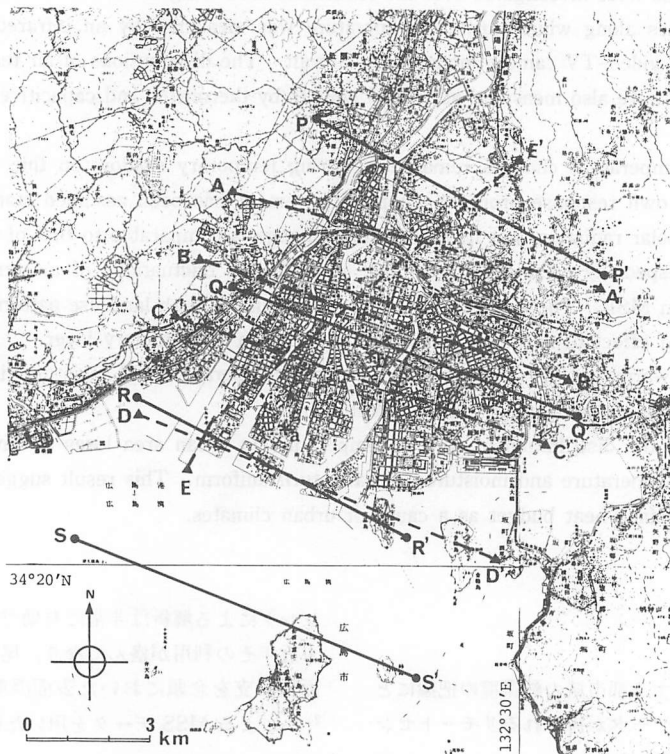


Fig. 1 Flightpaths over Hiroshima.

が可能である。

2. 観測方法

1) 測定方法と観測の概要

航空写真撮影用のセスナ機により、3回の測定を実施した。搭載測器は表面温度用として赤外線放射温度計 (National ER-2007)、上空の温湿度用としてサーミスタ温度計および容量型湿度計 (Vaisala HMP-14) である。出力はペンレコーダでモニターすると同時に、データレコーダに収録した。放射温度計は機体底部の撮影用窓に、温湿度計は機体下部の車輪アームのステップに固定した。飛行ルートの確認には、放射温度計と同様に機体底部に固定したビデオカメラを使用した。グランド・トゥールースは、同じ赤外線放射温度計・サーミスタ温度計 (宝工業 SXB-54) 及びアスマン通風乾湿計を用い、船

上からの海面温度測定も含め、合計十数地点において表面温度・温湿度を測定した。

飛行コースを Fig. 1 に示す。最初の観測 (1982年3月16日) は、まず基本となる晴天日における市街地の表面温度分布およびその時間変化の把握を目的に、市内に5本のコース (A~E) を選定し、RUN 1 (9:15~9:45)・RUN 2 (12:55~13:25)・RUN 3 (14:55~15:25) の3回、飛行高度を500 m に固定して測定した。それに対し他の2回は天候による差異と垂直的な分布の把握を目的とし、市街地上に3本および広島湾上に1本の計4本のコース (P~S) を選定し、300・500・700 m の3高度において晴天日 (1983年11月7日) と曇天日 (1983年11月24日) の両者を比較した。測定は両日もとも正午過ぎの1回のみである。なお、飛行速度は風向に対する向きで多少異なるが、おおむね 220 km/h である。

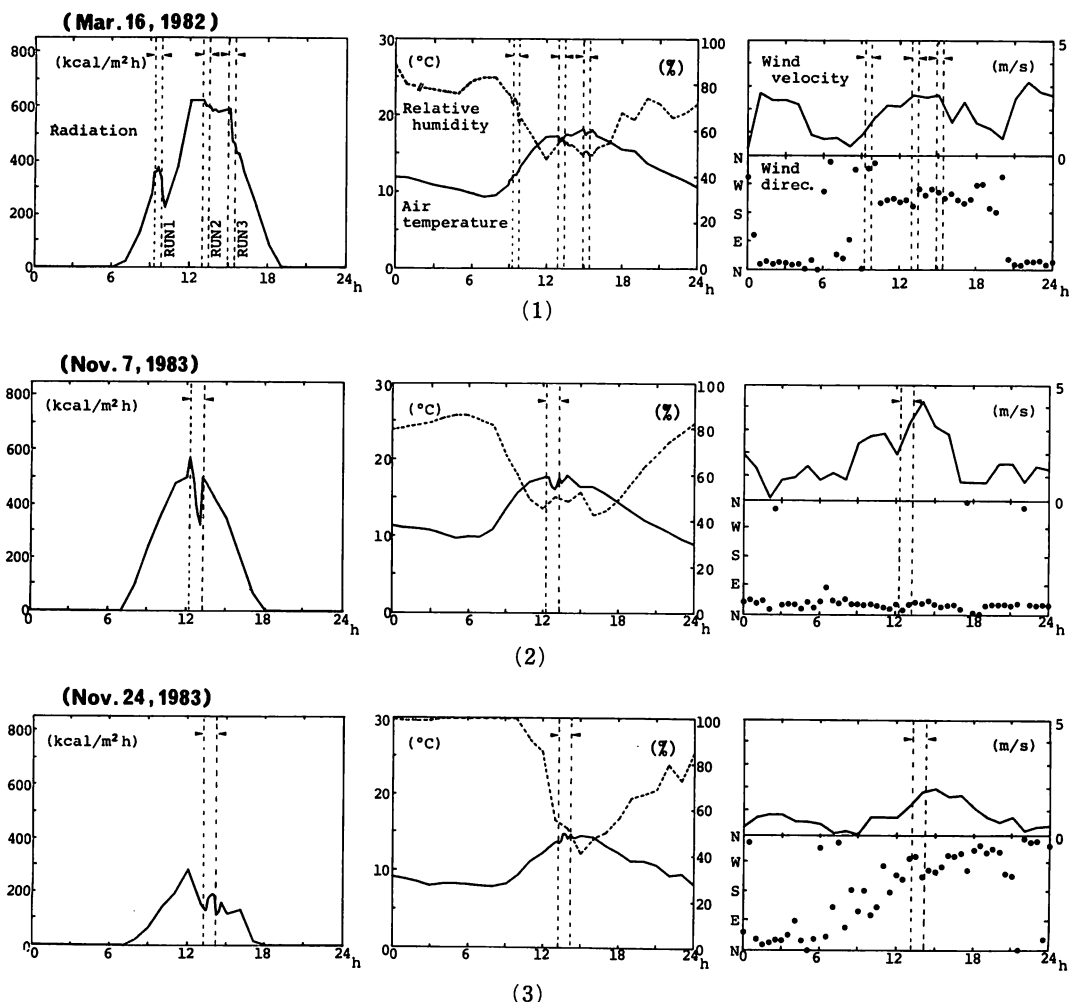


Fig. 2 Meteorological conditions of each survey.

2) 各気象要素の日変化

Fig. 2 に測定日の気象要素の日変化を示す。日射量および温湿度は広島气象台 (Fig. 1; a 地点) での値, 風向・風速については広島大学総合科学部屋上 (b 地点) において2方向超音波風速計により測定した結果を用いた。

3月16日は RUN 1 終了直後から僅かに雲が拡がったものの, ほぼ終日晴天状態で, 明確な海陸風の発達が見られた。RUN 1 は陸風から海風への交代時にあたり風速は 1 m/s 以下であった。それに対し RUN 2 と RUN 3 では安定した海風 (3 m/s 前後の南西風) が発達していた。

11月7日および24日は, 各々晴天日・曇天日として選んだもので, 日の出から正午までの積算日射量で比較すると, 7日の 1670 kcal に対し, 24日は 600 kcal であった。しかしながら, 7日は飛行開始直後に雲が拡がり, 観測時間帯 (12:10~13:10) のうち12:30~13:00は晴天時の6割程度に日射が減少し, 必ずしも晴天日という条件を満足しない結果となった。曇天日については, 時おり薄日がさす程度で大きな変動はなかった。風に関しては, 晴天日とした7日が終日季節風によるやや強い風が吹いていたのに対し, 24日は一日中風が弱く, 観測時間帯の平均値について示せば, 7日が北東の風約 3.0 m/s, 24日が西南西の風約 1.6 m/s であった。

3) 表面温度の補正

放射温度計による表面温度の測定においては, 大気中の水蒸気等による吸収の影響を考慮する必要がある。今回使用した機種では, 9~12 μ の多層蒸着フィルターを用い, 吸収の影響を受ける帯域を除去してこれらの影響を少なくしている。Fig. 3 は温度の安定している海面

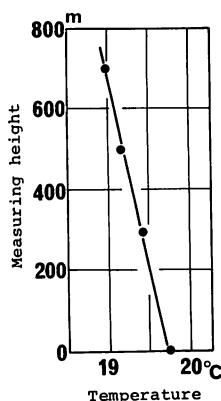


Fig. 3 Change of IR-thermometer output with measuring height over the sea.

を対象として, 300・500および700 m での測定値をシー・ツールの測定値と比較し, 測定高さによる減衰を検討した例である。減衰はほぼ直線的とみなせ, その割合は 0.1°C/100 m 程度と見積れる。

一方, 放射温度を実際の表面温度に変換するには地表形態ごとの射出率が必要となるが, ここでは一率に1と仮定している。

また放射温度計の出力は一般に地表面が高温となるほど誤差が大きくなる傾向がある。Fig. 4 は, 使用した温度計について水面を対象に地上で実験的に誤差を検討したものである。水温が高くなるほど誤差は増大しているが, 今回の対象温度範囲に限れば, その影響は 1°C 程度である。MSS データを用いた梅干野らの報告²⁾によれば, 上述の大気の影響自体も地表面が高温となるほど大きくなり, より詳細な解析にはその補正も必要とされている。しかしながら今回の測定では, 画像データの場合のように正確な地上ポイントを対応させることは不可能であり, 大気の影響をも含めた測定時における補正值を求めることは困難である。この点は放射温度計による線的な測定の限界ではあるが, 本論の目的であるマクロ的な把握は, このような補正を施さなくとも, ある程度可能であると考えられる。

なお放射温度計の視野角は1°で, 地上における範囲は測定高度 300 m・500 m・700 m において, 各々直径 5.2 m・8.7 m・12.2 m となる。

3. 表面温度分布

(1) 晴天日の日変化

Fig. 5 に, 3月16日における RUN 1 と RUN 2 の表面温度分布をコース C を例に示す。河川と市街地との差

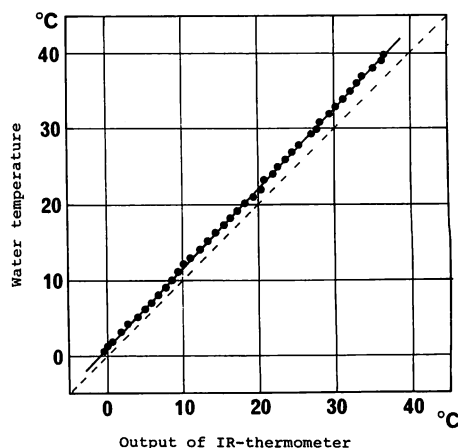


Fig. 4 Change of IR-thermometer output with surface temperature.

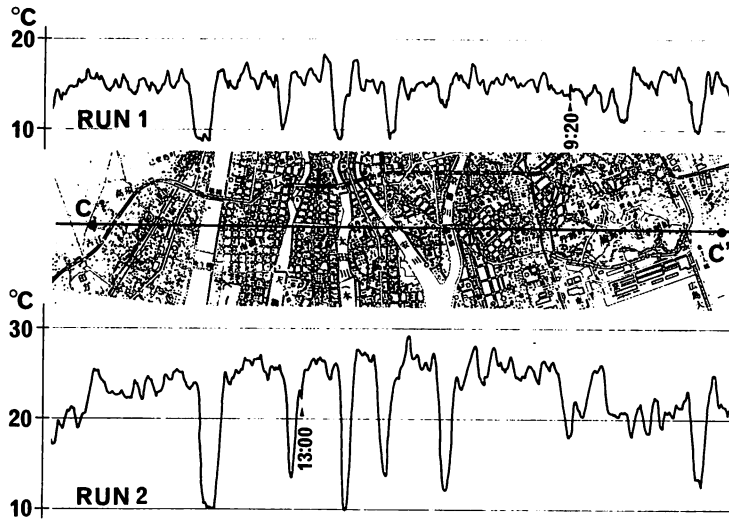


Fig. 5 Surface temperature distributions on fine day (Mar. 16, 1982).

異はすでに RUN 1 で7~10°Cに達しており、RUN 2 ではさらに 15~20°Cに拡大している。Fig. 6は、代表的な地表面形態4種（工場および裸地・市街地・緑地・水域）について、RUN 1~RUN 3の温度分布域をまとめたもので、RUN 2における4種の差異が RUN 3においてもほとんど保たれていることがわかる。市街地と比較すると、水面温度の変化は3回の測定を通じて約2°Cと非常に小さく、緑地も7°C前後と比較的安定しており、水域と市街地との中間的な存在と言える。ただし、緑地においては斜面方位による温度差が大きく、水域の均一な分布とは対症的である。

(2) 晴天日と曇天日の比較

Fig. 7に、晴天日とした11月7日の飛行時間帯における10分ごとの気象要素変化と、対応する飛行コースおよび高度を示す。日射量の変化より、晴天日の条件を満たすのは開始直後10分程度と考えられる。そこで、ここでは最初の2コース（RおよびS、いずれも高度300m）について対応する曇天日のデータとの比較を行う。

結果を Fig. 8 に示す。コース S における峠島の温度分布に注目すると、曇天日では島全体が海面より3~4°C低温となっているのに対し、晴天日では海面に対し日向の南西斜面が2°C高温、日影の北東斜面が3~4°C低温というコントラストがみられる。また晴天日には、似島西岸の周遊道路（日向面）の高温域が明確に現われている。両島とも周辺部以外はほぼアカマツ林に覆われているが、特に晴天日には斜面方位による差異が大きくなっている。

一方、デルタ河口部のコース R については、水面と陸

域の温度差に明確な差異があらわれている。晴天日では15°C以上に達しているのに対し、曇天日ではせいぜい5°C程度である。

(3) 日射変動による表面温度変化

次に晴天日にみられる水域と市街地との大きな温度差が、日射量の変化に対してどう反応するのかという点に興味をもたれる。そこで、この点の考察を試みるため、ここでは晴天日の不安定な日射変化を逆に利用する。

まず先の2例から約10分後、日射量の減少した直後に測定したコース Q（高度500m）の温度分布を、同様に対応する曇天日の結果と比較した。結果を Fig. 9 に示すが、河川と市街地との温度差に注目すると、Fig. 8とは異なり両者に明確な差異がみられなくなっている。一般に市街地の地表面構造物については、その大きな熱容量が特徴的であるといわれている。しかしながら、今回の結果では僅か10分程度の日射減衰で温度分布が曇天日と同じレベルまで均一化しており、マクロ的にとらえ

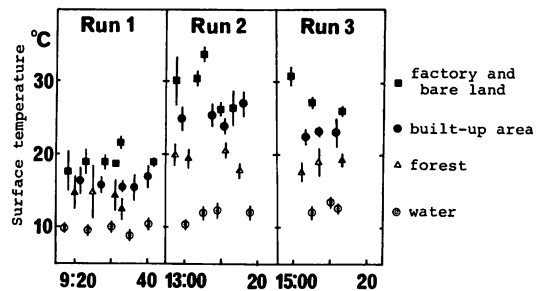


Fig. 6 Diurnal surface temperature variations of typical land use (Mar. 16, 1982).

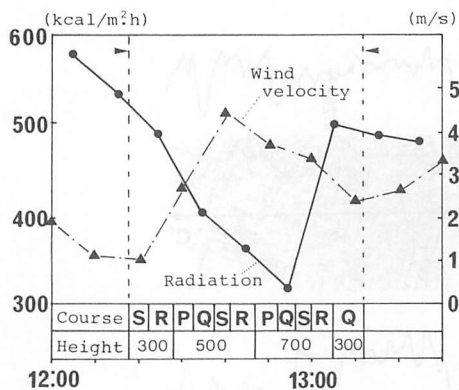


Fig. 7 Detailed variation of weather during survey on Nov. 7, 1983.

た市街地の表面温度は日射変動にかなり敏感に反応している。このような日射変動を考慮する一つの方法として、円満⁹⁾は実行可照率(すなわち測定時までの積算日射量)による補正の有効性を報告しているが、今回の結果からはむしろ測定直前の日射変動に表面温度は大きく左右されており、熱画像の解析においては短時間の変動についても考慮が必要と思われる。

コースQでは、種々の構造物がかなり細かい区画単位で混在しているため、地表面形態ごとの検討は困難である。それに対し、湾岸を横断するコースRはより大きな区画単位で構成されており、少なくとも工場(造船所)・アスファルト舗装(フェリー乗場の駐車場)・緑地および水域の4種について日射変動による表面温度の応答を比較できる。Fig. 10に、先にFig. 8に示した晴天時

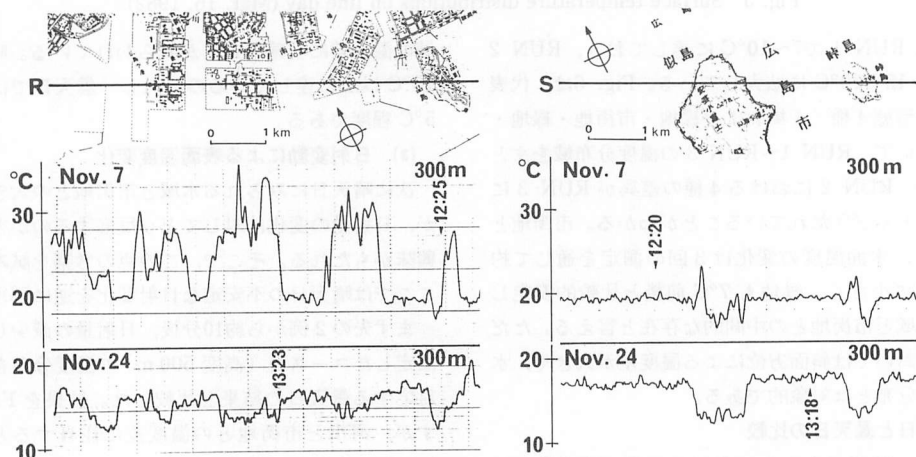


Fig. 8 Comparison of surface temperature distribution, upper: fine day, lower: cloudy day.

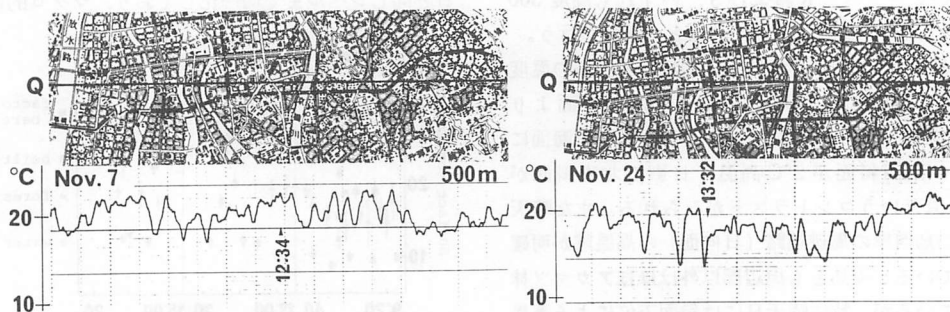


Fig. 9 Comparison of surface temperature distribution, left: during temporary shadow on fine day, right: cloudy day.

の結果（高度 300 m）から18分後に測定した、日射が減衰した時間帯の同コースの結果（高度 500 m）を示した。この例では、測定高度が変化しているため地上での視野は異なるが、各対象物が 200 m 程度の拡がりをもつためそれによる差異は十分無視できる。Fig. 11 は各々の温度分布幅の変化を示したもので、4 種のうち最も温度低下が激しいのは工場で平均して約 9°C、次にアスファルト舗装と緑地で各々 4.5°C と 4.0°C、水域は 0.5°C 以下でほとんど変化していない。温度の分布の拡がりについては、アスファルト舗装と水域が、日射のあるなしを問わずかなり均一な温度分布であるのに対し、工場と緑地は日射がある場合の大きなバラツキが曇った状態では均一になるという傾向がある。なお、ここではコース R 全域の日射変動が Fig. 7 で代表できると仮定したが、この点については、測定時におけるビデオ画像および地上観測点における日射変動の申告等から、ほぼ満足されるものと判断した。

以上のような差異は各々の熱容量の違いを反映したものであると言えるが、緑地の温度変化は水域とは異なりかなり大きいこと、さらに熱容量が大きいとされているアスファルト舗装面も、工場の屋根面に比べれば安定はしているものの、僅かな日射変動で表面温度がかなり敏感に変動している点が注目される。

4. 上空の温湿度分布

これまで考察してきた市街地の複雑な地表面温度分布が、いわゆる接地気層にどのような影響を及ぼしているかは大いに興味のある点である。しかしながら、立体的な把握を系統的に行うためには大がかりな観測体制が必要であり、困難な点も多い。ここでは、航空機に取付けた温湿度計によるデータをもとに、不十分ではあるが地表面温度分布の上空への影響について考察する。

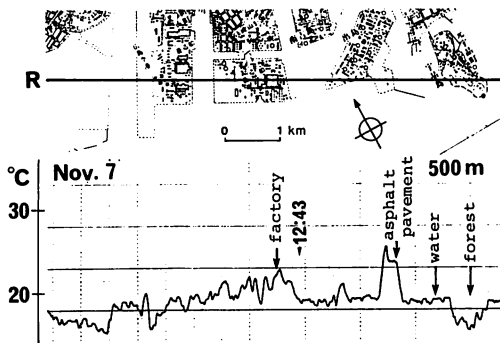


Fig. 10 Surface temperature distribution during temporary shadow on fine day.

Fig. 12 に、一例として静穏時 (RUN 1) のコース E の測定結果を示す。まず注目されるのは気温と相対湿度の対応関係で、両者は逆相関の関係にある。相対湿度の変化には当然温度変化に起因する部分が含まれるが、この日の条件下で計算すると、相対湿度変化の約 2/3 は絶対湿度の変動に起因する。従ってこの日の例に限って言えば、湿度計の出力がほぼ絶対湿度の変化を表しているとみなせる。すなわち、高温乾燥な気塊と低温湿潤な気塊とが混在していると考えられることができる。

Fig. 13 は、Fig. 12 の変動のスケールを検討するため、相対湿度のスペクトルを求めたものである。横軸には、周波数とともに飛行速度から求めた空間スケールを示した。ピークは、空間スケールで 2.05, 1.08, 0.68 km 付近にみられる。Yamamoto et al.¹⁰⁾ は、航空機を用いた境界層内の熱対流の観測から、熱プルームのスケールを 320~370 m と推定しているが、Frish et al.¹¹⁾ は 2~5 km と今回より大きいスケールを報告している。このような変動のスケールは、主に風速と温度傾度により変化し、一般に静穏で大気不安定になる程大きくなるとされている。

一方、今回の 1~2 km の変動に注目すると、いくつかのピークについて表面温度との対応関係が認められる。定容積気球 (tetroon) による大気運動の 3 次元観測を行った Hass et al.¹²⁾ によれば、河川の上空においては顕著な気球の降下がみられ、これは低い水温の影響を受けた気柱の縮みによると報告している。また、今回と同じ広島上空 500 m レベルで行われた同様の tetroon 観測においても、河川上で約 100 ft の降下が報告されている¹³⁾。以上の点を考慮すると、Fig. 12 にみられる

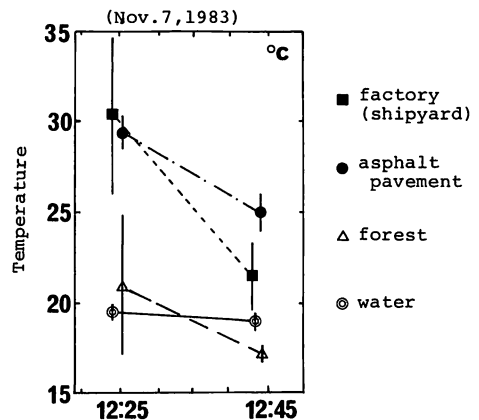


Fig. 11 Effect of temporary shadow on surface temperature.

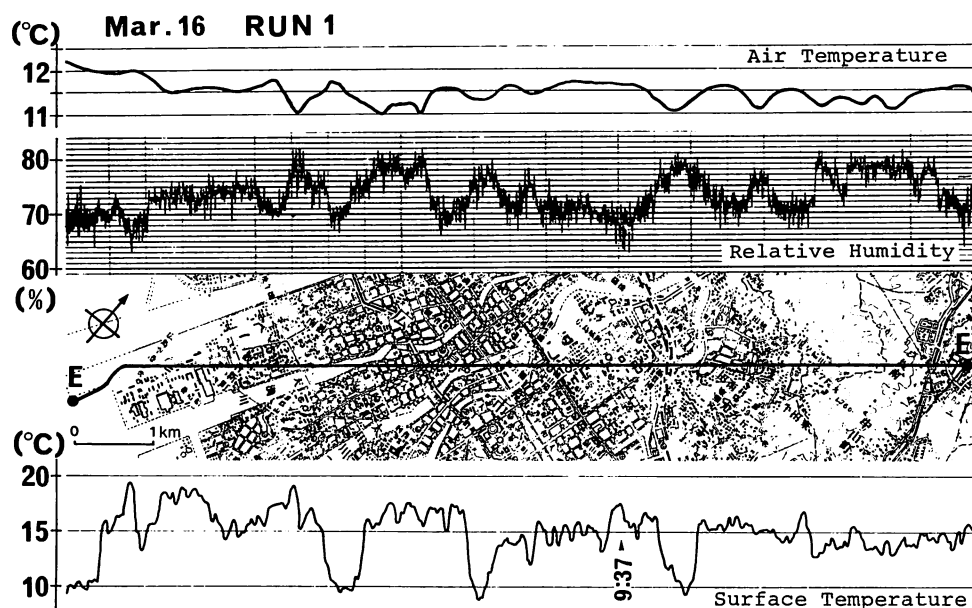


Fig. 12 Air temperature and relative humidity at 500 m MSL, and surface temperature on fine day.

変動は表面温度の分布が上空まで影響を及ぼしている結果である可能性が強い。

Fig. 14 は、静穏時の RUN 1 と海風の発達した RUN 2 について、東西方向の各コースにおける相対湿度の変化を比較したものである。RUN 1 では多くの特徴的な変動が見られるのに対し、RUN 2 ではいずれのコースでも均一な分布となっている。図示していないが、海面上の変化もこれと酷似しており、海風に伴い海面上の大気が市街地上空に流れ込んでいるものと考えられる。

静穏時には測定コースの密度に比べ変動のスケールが小さく、全域の水平分布を描くことは不可能である。一

方安定した風が吹いている場合、特に北よりの風が吹く条件下ではかなり明確な温度の水平分布が得られた。

Fig. 15 は、北東の季節風が吹いていた、晴天日（11月7日）の500 m レベルにおける温度分布を示したものである。市街地の北東に位置する丘陵の風下となる市街地東側には明確な高温域が存在する。それに対し、太田川上流の北東-南西方向の谷筋に沿って吹き出す風の影響を受ける市街地西側は、相対的な低温域となっている。各派川の河口域から風下の広島湾にかけては明確な温度の上昇がみられ、海岸と平行に等温線が並ぶ形となっている。

Fig. 16 は、この時の気温の鉛直分布を各コースの中心部について比較したもので、全体的には高さに対してリニアな分布となっている。風上のコース P およびコース Q でのプロファイルは、表面近くでコース Q の方がやや高温となるものの上空ではきれいに一致している。それに対し、河口部のコース R では高度 300 m 以下で約 1°C、さらに風下の広島湾上のコース S においては高度 500 m 以下で約 1.5°C、各々風上の地点より高温となっている。それ以上の高さでは、いずれも風上の地点と一致する。市街地上を吹走するに従い、温度ギャップを有する層が上方へと及んでいることから、市街地の高い表面温度に影響された内部境界層の発達が推測される。コース R・コース S における境界層厚さを 400 m およ

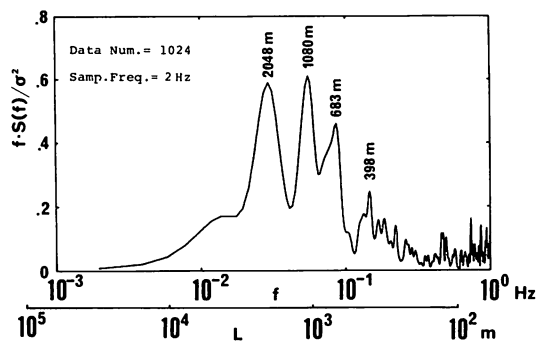


Fig. 13 Spectrum for relative humidity at 500 m MSL in Fig. 12. L means spatial scale estimated from flying velocity.

び 600 m とし、風向に沿った市街地フェッチとの比を計算すると、各々1/15~1/20、1/15~1/18となる。境界層の発達、地表面粗度ならびに風速により大きく左右されるため単純な比較は困難であるが、一般に言われている1/10~1/20という値¹⁴⁾と一致している。

一方、この時の同じ高度 500 m における蒸気圧の水平分布を Fig. 17 に示す。湿潤な地域が市街地西側に拡がり、それに対し、市街地中心部から南東部にかけてが低湿な分布となっている。蒸気圧の分布範囲は最大で 2 mb 程度である。これまで湿度の立体分布を明らかにした例は少なく、僅かに Sisterson and Dirks¹⁵⁾ の報告

などがあるのみである。それによれば、日中市街地中心部から約 10 km 風下を中心に乾燥した地域が存在し、湿度の分布範囲は蒸気圧に換算して最大差 2.5 mb 程度となっている。ただしこの例では測定地域が 40 km 四方と広く、捉えられている分布のスケールは 10~20 km という大きさである。今回の観測域は概ね 10 km 四方とスケールの異なるが、同様に市街地から風下の広島湾上にかけて乾燥域が存在している。

都市域の湿度分布に関しては、測器の精度的な理由から地上における測定例も少ない¹⁶⁾。また鉛直分布については、熱的および機械的作用による乱れの鉛直成分の増

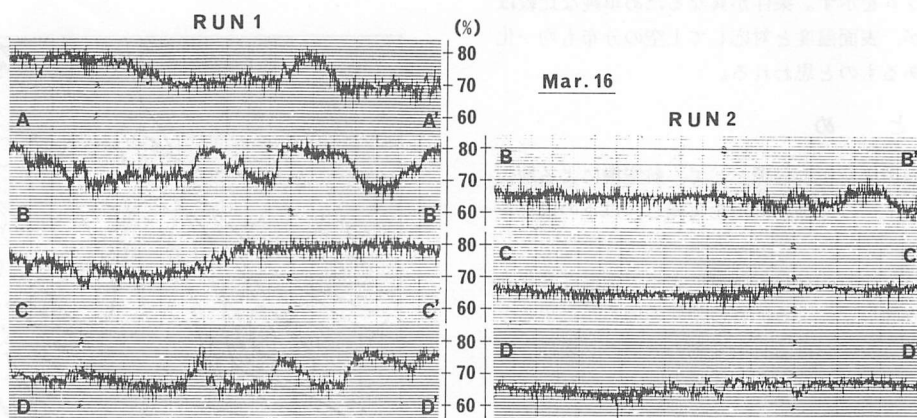


Fig. 14 Comparison of relative humidity distributions at 500 m MSL between calm (RUN 1) and sea-breeze (RUN 2) conditions.

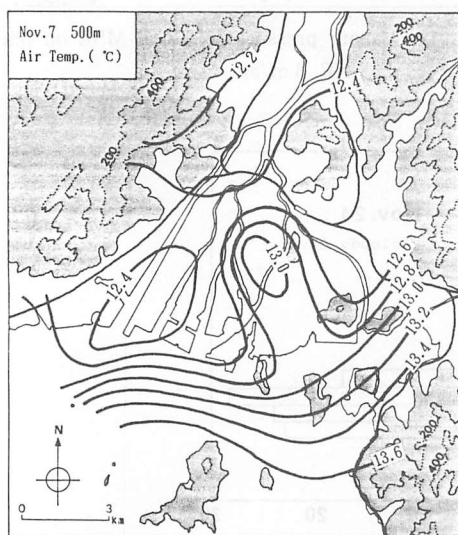


Fig. 15 Air temperature at 500 m MSL on fine day (NE, 3 m/s).

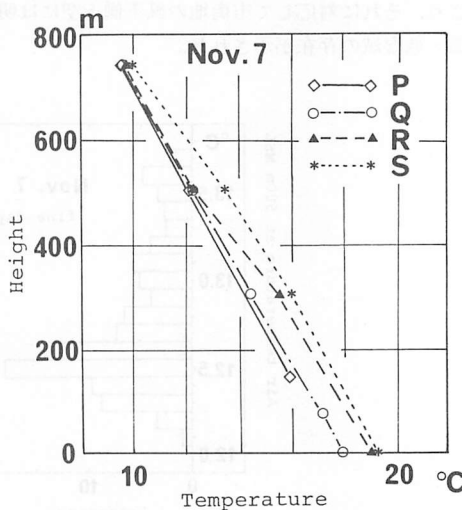


Fig. 16 Vertical profiles of air temperature at the middle point of each course.

大が、混合層上部での上空乾燥空気のentrainmentを増大させているという指摘¹⁷⁾もあり、その立体的な構造については未だ不明な点も多い。しかしながら地表に近い領域に限っていえば、市街地上空における乾燥化が指摘できると考えられる。

以上のような晴天日の結果に対し、曇天日（弱い南東風）には、Fig. 12のような変動もみられず、同じ500 m レベルで気温差は最大0.5°Cと小さく、湿度に至っては有意な差異は得られなかった。気温に関しては他のコースに比べ市街地上のコースQでやや高温となる傾向がみられたが、両者とも明瞭な分布は描けなかった。Fig. 18に、一例として500 m レベルにおける両日の気温ヒストグラムを示す。条件が異なるため単純な比較は困難であるが、表面温度と対応して上空の分布も均一化する傾向にあるものと思われる。

5. ま と め

都市域の熱環境解析の一環として、航空機による地表温度並びに上空の温湿度測定を実施し、以下の成果を得た。

(1) 晴天日の一時的な日射減衰による表面温度変化を検討し、地表面形態による応答の差異を明らかにすると同時に熱画像解析における日射変動の考慮の必要性を指摘した。

(2) 上空の温湿度測定では、特に静穏時において市街地特有の変動が観測され、地表面温度分布の影響が地上数100 m レベルにまで及んでいることを示した。

(3) 一方、一般風の存在する場合には、鉛直プロファイルの変化より市街地に影響された内部境界層の発達が示唆され、それに対応して市街地の風下側上空には明確な高温・低湿域の存在が示された。

(4) 晴天日と曇天日の比較から、曇天日には地表温度並びに上空の温湿度分布が晴天日に比べ均一化することを示した。このことは、都市熱環境を考える上での地表熱収支の重要性を意味している。

今回の結果をより明確に位置づける意味からも、今後はカイツーン等を利用した鉛直プロファイルの観測が望まれる。

謝 辞

本観測の実施に際し、広島大学総合科学部自然環境・福岡義隆・中根周歩両先生、並びに谷本 茂・三船 充両氏をはじめとする学生諸氏に多大な御協力をいただき

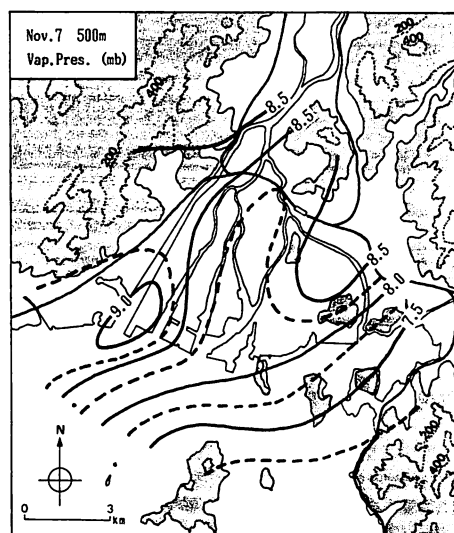


Fig. 17 Vapour pressure at 500 m MSL on fine day (NE, 3 m/s).

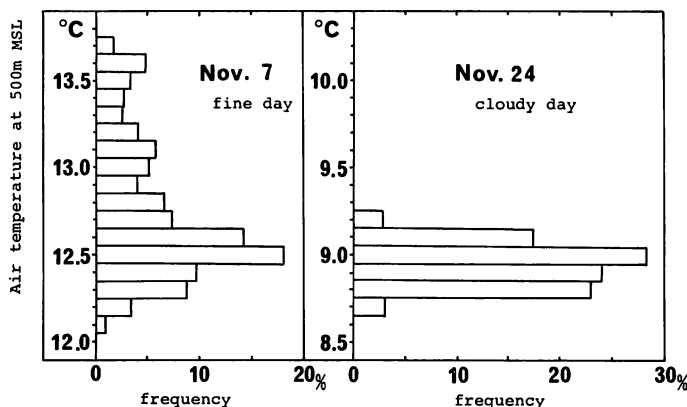


Fig. 18 Comparison of the temperature histogram at 500 m MSL, left: fine day, right: cloudy day.

た。また本研究は故三寺光雄先生との共同研究としておこなったものであり、先生からは先前数多くの貴重な御助言をいただいた。これらの方々から心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 尾島俊雄・森山正和(1978): 地域環境アセスメントにおける地表面熱収支理論の応用研究(第1報)―地表面温度の実測研究―。日本建築学会論文報告集, 245, 101-112.
- 2) 梅干野晃(1981): リモートセンシングによる住宅地の熱環境の解析(I)―地上実測結果による考察とリモートセンシングデータの検討―。日本建築学会論文報告集, 303, 69-79.
- 3) 梅干野晃・乾 正雄・熊谷光三(1981): リモートセンシングによる住宅地の熱環境の解析(II)―東京における夏季・晴天について―。日本建築学会論文報告集, 309, 115-126.
- 4) 梅干野晃・浦野良美・小田建一・浜口典茂(1983): 住宅地における夏季・冬季の熱環境実態および土地被覆率との関係―リモートセンシングによる住宅地の熱環境解析(III)―。日本建築学会論文報告集, 331, 38-44.
- 5) 例えば, 土屋 巖(1972): 緑地と都市気候。水利科学, 16(1), 29-56.
- 6) 成田健一・関根 毅・三寺光雄(1983): アスファルト舗装面における熱収支の実測―(試験体を用いた野外実験) 都市地表面における日射エネルギーの変換機構に関する研究・その1―。建築環境工学論文集, 5, 127-132.
- 7) Fukuoka, Y., Narita, K. and Matsuura, K. (1979): Urban climate and air quality of Hiroshima City (1st Report). Chirikagaku, 32, 24-32.
- 8) 村川三郎・関根 毅・成田健一・西名大作(1986): 都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究(その1. 観測概要と夏期の測定結果)。日本建築学会中国支部, 253-256.
- 9) 円満隆平(1984): 建物に囲まれた地表面の日射受熱量と温度分布に関する研究。空気調和・衛生工学会論文集, No. 24, 35-45.
- 10) Yamamoto, S., Gamo, M. and Yokoyama O. (1982): Observational study on the fine structure of the convective atmospheric boundary layer. J. Met. Soc. Japan, 60, 882-888.
- 11) Frisch, A. S., Chadwick, R. B., Moninger, W. R. and Young, J. M. (1976): Observations of boundary-layer convection cells measured by dual-doppler radar and echosonde, and by microbarograph array. Boundary-Layer Met., 10, 55-68.
- 12) Hass, W. A., Hoecker, W. H., Pack, D. H. and Angell, J. K. (1967): Analysis of low-level, constant volume balloon (tetron) flights over New York City. Quart. J. R. Met. Soc., 93, 483-493.
- 13) 井野英雄・根山芳晴(1972): 瀬戸内海の内陸風。大阪管区気象台特別調査報告第2号, 141-156.
- 14) 近藤純正(1982): 大気境界層の科学, 東京堂出版, pp. 219.
- 15) Sisterson, D. L. and Dirks, R. A. (1978): Structure of the daytime urban moisture field. Atmos. Environ., 12, 1947-1949.
- 16) 例えば Kopec, R. J. (1973): Daily spatial and secular variations of atmospheric humidity in a small city. J. Appl. Meteor., 12, 639-648.
- 17) Hildebrand, P. H. and Ackerman, B. (1984): Urban effects on the convective boundary layer. J. Atmos. Sci, 41, 76-91.