

## 都市域における屋上面上気層の風速・気温の鉛直分布特徴と熱流輸送について

張 一平\*・福岡 義隆\*\*・高橋日出男\*\*

\*中国科学院昆明生態研究所

\*\*広島大学総合科学部

## Feature of Vertical Profiles of Wind Velocity and Air Temperature and Heat Flux above Roof-top in Urban Area

Yiping ZHANG\*, Yoshitaka FUKUOKA\*\* and Hideo TAKAHASHI\*\*

\* *Institute of Ecology, Chinese Academy of Sciences, Kunming, China*

\*\* *Faculty of Integrated Arts and Sciences Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739 Japan*

Key Word : 都市気候・屋上面・鉛直分布・発散・大気成層・熱流輸送

### I. はじめに

現代の都市では建築物の表面積は都市総表面積の大部分を占めており、Oke (1976) は都市をおおっている大気層を屋上面から下の地面との層(都市キャノピー層)と屋上面から上の大気層で上空の逆転層で上限を限られる層(都市境界層)に分けて取扱うことの重要性を指摘した。都市の高温化の要因として都市境界層ではその上下層から顕熱の取り込みや大気汚染物質による長波放射吸収を、都市キャノピー層では都市の熱・放射収支、熱容量、水分条件あるいは風速の変化を重視している。また、コンクリートなどでおおわれている屋上面は都市の第二の表面といわれる。屋上面は地表面とは別に上空における熱のやり取りや空気の運動に対して影響を与えることから、都市気候の立体構造を考える上で重要と思われる。

広島市の都市域において大気環境に関しては高橋・福岡(1994)は都市域における海風時の風速鉛直分布とヒートアイランドの立体構造を解析し、日中海風時における平均風速プロファイルを用いて、都市境界層と都市キャノピー層の区分を行った。両層の境界は市街地中心部付近で最も高くなり、建築物高度の70%~80%の高さであった。また、市街地上空日中に都市境界層下部のヒートアイランドは日射を受けて加熱されている屋上面を主たる熱源と指摘した。しかしながら、屋上面の熱収支や風速・気温などについて調べた研究は少ない。

都市境界層と都市キャノピー層の境界付近に存在する屋上面は、地表面とは別個に上空における大気との熱の授受や空気の運動に対して影響を与え、都市気候の立体構造や都市ヒートアイランド形成に重要な役割を果たしていると考えられる。本研究では都市気候の立体構造やヒートアイランドの形成要因を解明するために、上述のように重要であるにも関わらず観測事例の少なかった屋上面を対象として、そこでの風速・気温の鉛直分布と大気の成層状態について観測を行い、屋上面上

における熱の鉛直輸送を考察する。そして、都市ヒートアイランドの形成要因を解明することを目的とする。

## II. 観測方法

観測の場所は図1に示す。屋上における観測は高さ約17.5mの広島大学の東千田キャンパス旧総合科学部（5階建）の屋上面（地点A）で行った、地上の鉛直観測は広島大学のグラウンド（地点B）で行った。旧総合科学部の建物の北東側には近接してほぼ同高度の旧理学部の建物があるが（図2）、南西側は比較的開けており200m以内に4階建て以上の建築物はない。半径500m以内における土地利用形態は商業地であり、2～4階建ての建築物が卓越している。

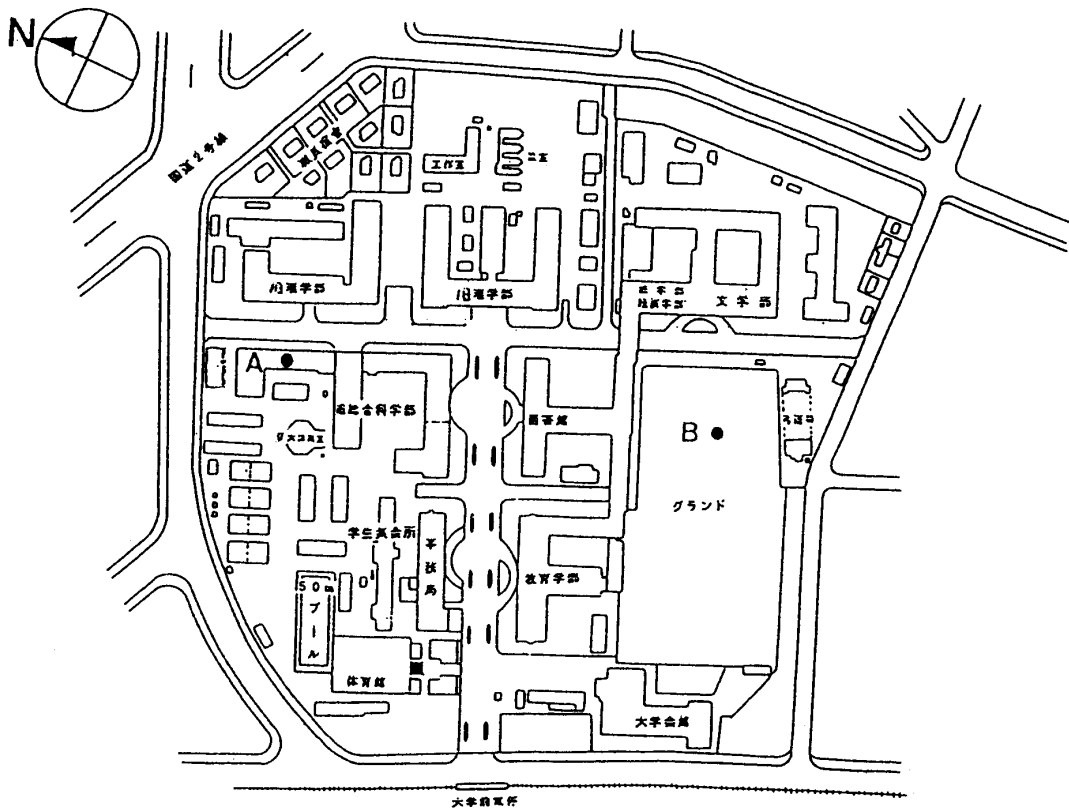


図1 地点HRUで行った総合観測地点の位置

地点A：屋上面の熱収支観測地点

地点B：地上（グラウンド）の観測地点

屋上の中央に鉄製のアンクルで作成した観測塔（図3）を屋上面に設置し、そこに測器を取り付けて観測を行った。

屋上面における観測は1991年7月24日12時～25日18時（第1回）、1992年6月1日11時～5日17時（第2回）に屋上中央で行った。

乾・湿球温度についてはサーミスタ温度センサ（宝工業製）を用いて測定を行った。その際、日中の日射による加熱と夜間の放射による冷却を避けるためにセンサ部はファンで強制通風させたアルミ製の管内に納めた。また、風速は三杯式風速計（牧野応用測器）を用いて測定した。観測は毎正時からの10分間について行った。風速は10分間の風程から求めた。

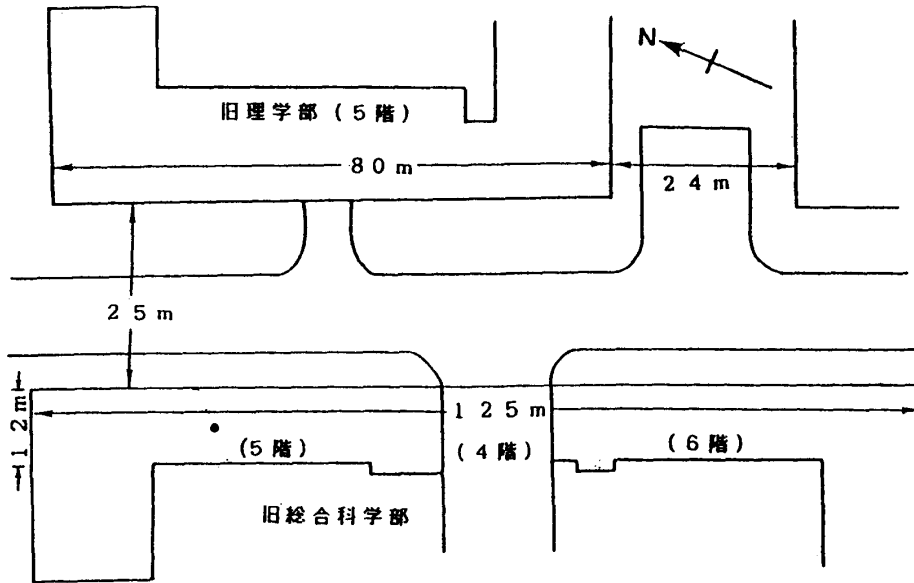


図2 観測地点 HRU 近傍の概観

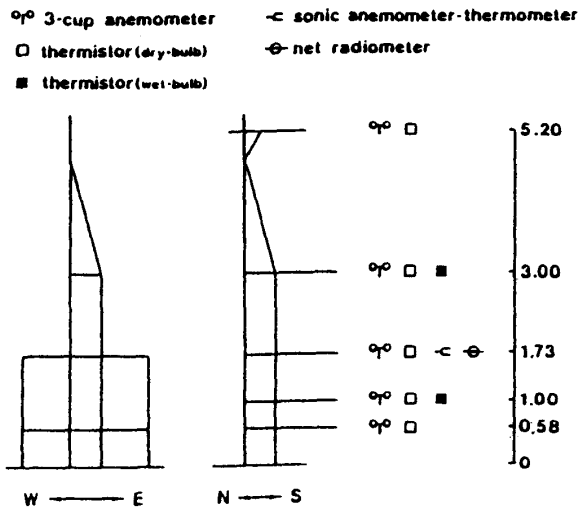


図3 屋上面における鉛直観測塔の概観

超音波風速温度計 (Sonic Anemometer-Thermometer) (海上電機社製、WA (T) -395型) を屋上面上1.73mの高度に設置して、10ヘルツでサンプリングを行い、風速の3成分 (U、V、W) と気温を毎正時からの10分間について6000回測定した。風速の水平成分についてはベクトル平均風向が主風向となるよう座標変換を実施した。

地上における観測は広島大学南グラウンド (裡地面) で行った。観測は1991年7月24日12時から翌25日18時まで行い、1時間 (日中) あるいは2時間間隔で実施した。サーミスタ温度センサー (TAKARA 社製) および三杯式風速計 (牧野応用測器研究所製) を用いて3 m、5 m、10 m、15 m、20 m、30 m、50 m および80 m の高さで気温と風速を測定した。観測は係留気球を高度80 m まで上昇させ、そこから順次高度を下げながら指定高度で滞留させて、2分間の風程を測定した。なお、高さ1 m においてアスマン通風温湿度計と三杯式風速計 (牧野応用測器研究所製) を用いて各高度の測定と同時に気温と風速を測定した。注：グラウンドは、表層10数cmまではほぼ完全に乾燥土砂で覆われている。

なお、広島市の建築物の平均高度 (17 m) とほぼ対応する4 - 5階の建物の屋上面 (高度約15 m)

において、広島市内ヶ所に屋上面上の高度1.2mの気温と相対湿度をラトナ電子式自記温湿度計で測定した。観測は1991年5月から1992年2月の間に行った。本研究は1991年7月24日～25日の地点DJM（海岸部）、地点GON（内陸部郊外）、地点HRU（市街地南部）、および地点NKS（市街地北部）の気温資料を用いた。

1991年7月の観測は高気圧に覆われておおむね晴天であり、都市域上空の風速も日中3～6 m/s程度であった。

1992年6月の観測は3日の日中まではほぼ快晴で、その後次第に雲量が増加してきた。

### Ⅲ. 計算方法

#### Ⅲ. 1. 顕熱フラックスの計算

顕熱フラックスは式1に示す渦相関法によって求めた。

$$H = C_p \rho \overline{W'T'} \quad (1)$$

ここで、Hは顕熱フラックス、 $C_p$ と $\rho$ はそれぞれ空気の定圧比熱と密度で、 $W'$ は風速鉛直成分の微変動、 $T'$ は気温の微変動であり、バーは10分間の時間平均を意味する。

注：屋上は殆ど水分を含まぬコンクリート面であり、グラウンドの表層10数cmが乾燥土砂であるから、顕熱にくらべ潜熱はnegligibleと考えた。

#### Ⅲ. 2. 各種パラメータの算出方法

超音波風速温度計で測定したデータを用いて、大気の安定度パラメータ ( $Z/L$ ) を次式から求めた。

$$Z/L = kgZT_* / Tu_*^2 \quad (2)$$

ここで、

$$u_* = (\overline{-U'W'})^{1/2} = (\tau / \rho)^{1/2} \quad (3)$$

$$T_* = \overline{W'T'} / u_* \quad (4)$$

なお、 $L$ ：Monin-Obukhovの長さ、 $Z$ ：測定高度、 $\kappa$ ：カルマン定数 (=0.4)、 $g$ ：重力加速度、 $T$ ：平均温度、 $u_*$ ：摩擦速度、 $T_*$ ：摩擦温度、 $U'$ ：風速の水平成分（平均流の方向）の微変動、 $W'$ ：風速の鉛直成分の微変動、 $T'$ ：気温の微変動、 $\tau$ ：摩擦応力、 $\rho$ ：空気密度、バーは時間平均を意味している。

一方、風速は対数則（式5）を仮定した。

$$U = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (5)$$

ここで、 $Z_0$ は粗度である。

気温についても対数則（式6）を仮定する。

$$T = \frac{T_*}{\kappa} \ln \frac{Z}{Z_{T0}} \quad (6)$$

風速と気温の鉛直データを用い次の式からリチャードソン数 (Ri) が求められる。

$$Ri = \frac{9.8Z(T_1 - T_2)(\ln(Z_1/Z_2))}{(T + 273.15)(U_2 - U_1)} \quad (7)$$

$$Z = (Z_1 Z_2)^{1/2} \quad (8)$$

$$T = (T_1 + T_2) / 2 \quad (9)$$

ここで、Ri はリチャードソン数、 $T_1$  と  $T_2$  は高度 1 と高度 2 の気温 (°C)、 $T$  は高度 1 と高度 2 における気温の相加平均値、 $U_1$  と  $U_2$  は高度 1 と高度 2 の風速、 $Z$  は 2 高度の相乗平均値である。

## IV. 結果と考察

### IV. 1. 屋上面上の大気状態と地上大気状態との比較

#### IV. 1. 1. 屋上面上の気温と地上気温との比較

屋上面 (地点 A) で中央の気温と地表面上 (グラウンド) (地点 B) の気温の時間変化を図 4 に示す。グラウンド上空高度 3 m、あるいは高度 20m の気温よりも屋上面上高度 3 m (地面から 20.5 m) の気温の方が日中に約 10~27°C 高くなっている。これは Goward (1981) が指摘したアルベドが相同であっても屋上面が道路面より高温になりやすいことと一致した。

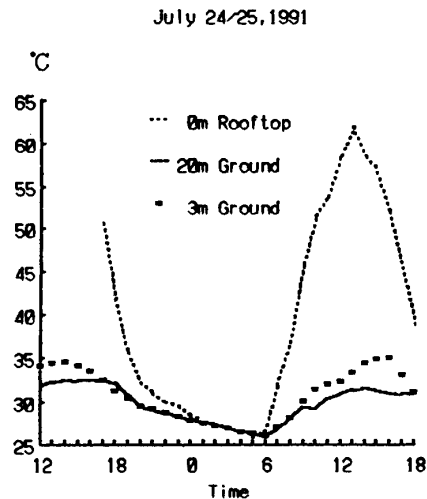


図 4 屋上表面、地上 20m、屋上 3 m における温度の日変化

また、広島市内外に設けた 4 つの観測点の地面から高度 1.0m の気温と隣接した建築物の屋上面上における高度 1.2m の気温とを比較する (図 5) と、日中には市街地 (地点 HRU、HKS) でも近郊 (海岸部: DJM、内陸部: GON) でも地上の気温よりも、屋上面上の気温の方が高くなる。また、気温変化の幅は屋上面上の方が地表面上より大きく、気温の比較差は屋上面上の方が大きい。このことから屋上面上の空気層は地表面上の空気層と比べて昇温・冷却がともにされやすいと考えられる。

屋上面上の気温および地上の気温の都市内外の違いを比較するために、都市内外における地上気温の時間変化を図 6 a に、屋上面上気温の時間変化を図 6 b に示す。日中には屋上面と地表面と

もに市街地（地点 HRU、HKS）の方が海岸部（地点 DJM）・内陸部（地点 GON）の気温より高くなっている。つまり、屋上面上の気温にも地上気温と同様に都市内外の差異（ヒートアイランド）が存在することが認められた。風上側の市街地の影響を受けていると考えられるため、地上気温および屋上面上の気温はいずれも市街地における地上気温と屋上面上気温とほぼ等しい。また、都市の風上側における内陸部（GON）では地上気温および屋上面上の気温ともに最も低い。

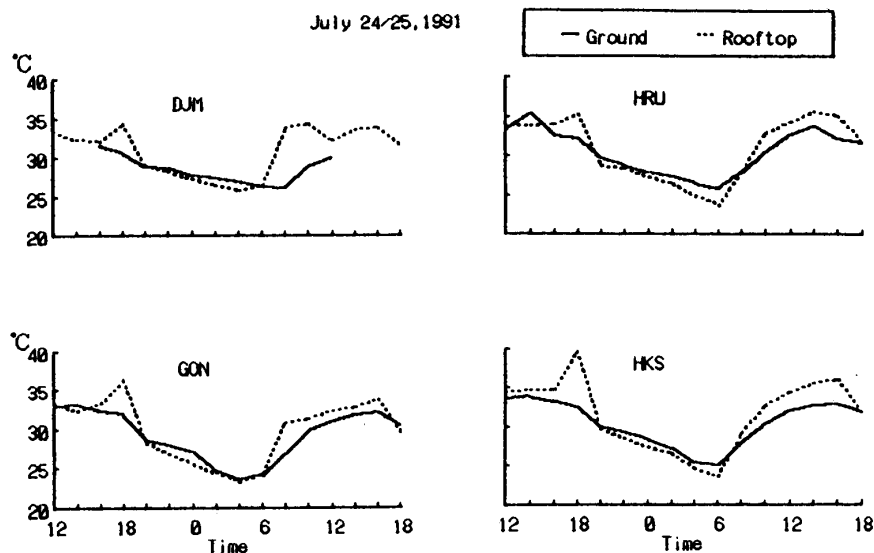


図5 都市内外における屋上面上高度1.2mの気温と地上高度1.0mの気温との比較  
点線：屋上面上の気温 実線：地上の気温

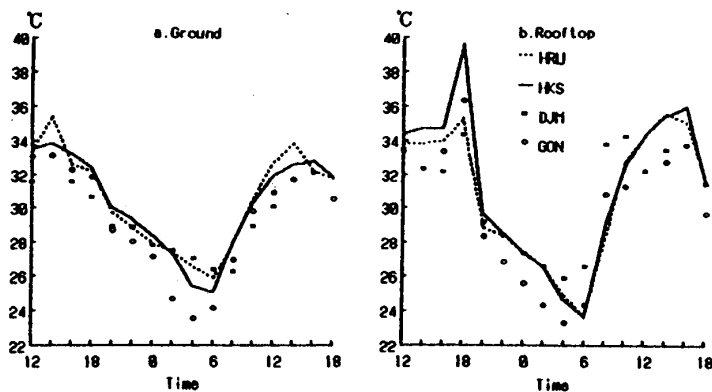


図6 都市内外における屋上面上高度1.2mの気温と  
地上高度1.0mの気温との時間変化の比較（1991年7月24~25日）  
a. 地上の気温 b. 屋上面上の気温

#### IV. 1. 2. 屋上面上と地上との気温の鉛直分布の比較

前の検討により、屋上面上の気は周囲の気や地表付近と比べてより高温になっている。このような屋上面上の気温鉛直分布と地上気温鉛直分布との違いを考察するために、日中（14時）の屋上面上の気温鉛直分布と地表面上の都市キャノピー層内（1~10m）の気温鉛直分布を図7aに示した。屋上面と地表面をそれぞれの高度の原点（0m）とすると、屋上面上数mまでの高さの気温勾配と地表面上空数mの気温勾配はほぼ同等である。すなわち、屋上面は地表面と同等あるいはそれ以上に大気を加熱する役割をはたしていると考えられる。

次に、地表面を高度の原点として、そこに屋上面上空の気温をプロットし（図7b）、そして屋

上面上の気温鉛直分布と係留気流で測定された同時刻の都市境界層下部（10～18m）の気温鉛直分布と比較すると、屋上面上の気温勾配の方が地上の都市境界層下部の気層の気温勾配より大きいことが分かる。つまり、屋上面上の気層では熱の鉛直輸送はほぼ同時高度の都市境界層下部の気層より大きいことを意味している。

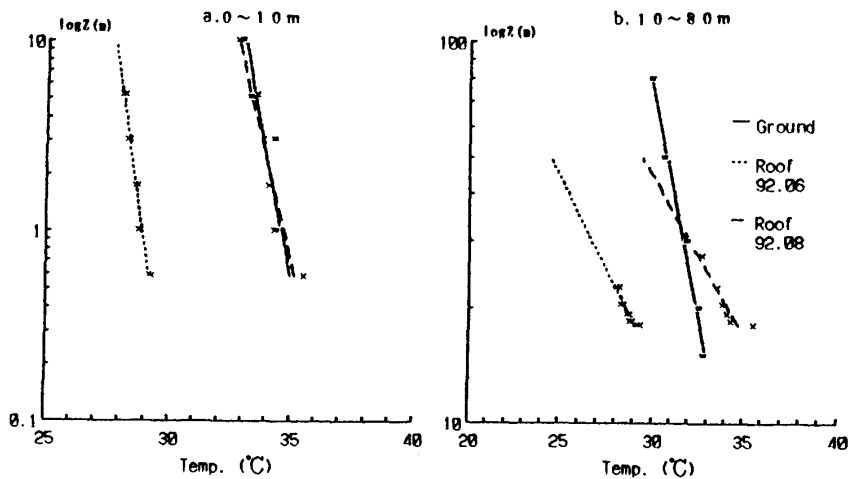


図7 日中における屋上面上の気温勾配と地上の気温勾配との比較

a : 都市キャンノピー層内 (0～10m)

b : 都市境界層下部 (10～80m)

#### IV. 2. 屋上面上における風速・気温の分布の特徴及び熱流輸送

##### IV. 2. 1. 風速・気温の分布の特徴

屋上面の中央における風速プロファイルを図8に示した。縦軸は高度の対数である。日中には屋上面上の風速のプロファイルは、高度の対数に対して、屋上面付近では鉛直方向の変化が勾配が小さいが、上空で急に勾配が大きくなる。すなわち、日中における風速の鉛直分布は高度の対数則から外れる。夜間には鉛直方向の風速差が日中より小さく、高度の対数に対してほぼ直線的な分布である。

屋上中央における気温プロファイルを図9に示した。屋上面上の気温プロファイルは1日中ほぼ高度の対数に対して直線的な分布を示している。日の出後には、日射により加熱される屋上面近傍から気温が上昇し、気温の鉛直勾配が大きくなる（08時）、最高温度は日中14時ごろに現れるが、その後、18時ごろにかけて気温の鉛直勾配は小さくなる。夜間には屋上面上の気温の鉛直勾配は小さく、ほぼ等温状態になり（0時）、その状態は朝（06時）まで継続する。屋上面上ではこのような風速・気温の鉛直分布の日変化があり、それは屋上面上の大気の成層状態の日変化に反映していることを意味している。

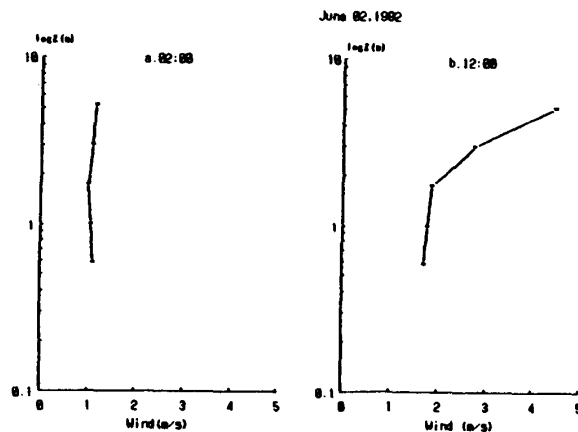


図8 屋上面上における風速の分布

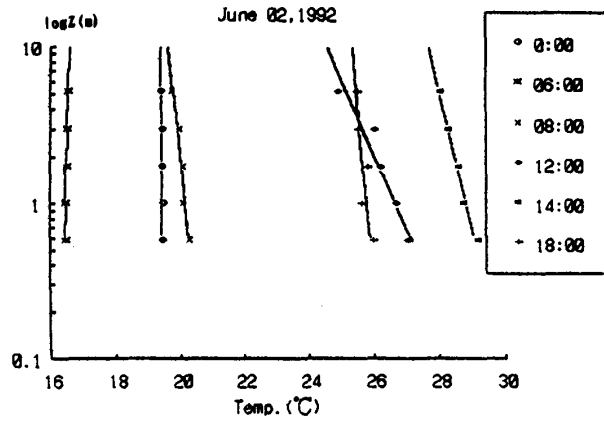


図9 屋上面の中央における気温のプロファイル (1992年6月2日)

IV. 2. 2. 安定度 (リチャードソン数) の鉛直変化について

屋上面上において気温・風速の鉛直分布が気層の安定状態に及ぼす影響についてリチャードソン数を用いて考察する。屋上面上気層を薄い気層に分割して考え、それに対しては風速プロファイルは対数分布に従うと仮定し、式7を用いて、リチャードソン数を求めた。リチャードソン数は、気流に対して自由対流と強制対流がどの程度寄与しているかを示すものである。一般的に  $Ri$  は  $\pm 0.01$  ( $\log |Ri| < -2$ ) の間では気層は中立で、強制対流だけが存在する。不安定の度合いが大きくなる ( $-0.01 > Ri > -1$ ,  $-2 < \log |Ri| < 0$ ) と自由対流と強制対流の混合状態になる。  $Ri < -1$  ( $\log |Ri| > 0$ ) では自由対流だけが起こる。  $Ri > 0.01$  の場合は気層が安定の状態になる (Oke, 1978)。

高度 1 m、1.73 m、3 m におけるリチャードソン数の対数の時間変化を図10に示す。全体をみると各高度において、不安定 ( $Ri < 0$ ) の状態が多く、安定状態 ( $Ri > 0$ ) はほぼ夜間に限られる。

不安定 ( $Ri < 0$ ) の場合について検討すると、高度 1 では日中において  $\log |Ri| > 0$  の場合が多く、気層は自由対流の状態、あるいは自由対流に近い状態になっていると考えられる。高度 1.73 m と高度 3 m のリチャードソン数は高度 1 m のリチャードソン数より小さく、ほぼ  $\log |Ri| < 0$  の状態になっており、気層は強制対流の役割が大きいと考えられる。このように、屋上面上のリチャードソン数の絶対値は高度によって減少しており、屋上面上の大気は屋上面近傍の方が上空よりも不安定で、気層の対流状態が異なっていると思われる。

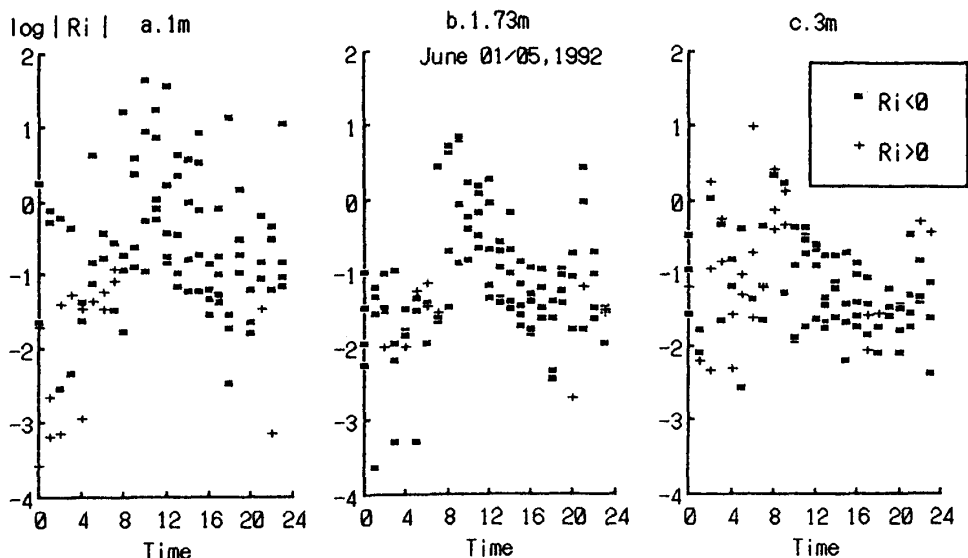


図10 各高度のリチャードソン数の絶対値の対数の変化(1992年6月1日~5日)



時間帯別にみると、どの高度でもリチャードソン数の絶対値のピークはほぼ午前中出现し、屋上面上1.73m、3mの気層でも  $\log |Ri| > 0$  の場合があり、午後にはリチャードソン数の絶対値は高度1.73m、3mでは高度1mに比べて小さくなり、特に高度3mで最も小さい。夜間には各高度とも  $\log |Ri| > -2$  の場合が多く、リチャードソン数の絶対値の最小値は夜半後中出现することが多く、この時間帯には  $Ri > 0$  の場合も多い。すなわち、屋上面上の大気対流状態は午前中には各高度で自由対流状態、あるいは、自由対流に近い状態、午後には屋上面上での安定度が小さくなり、強制対流の役割が大きくなる。夜間には特に夜半後において屋上面上の気層は中立に近い状態、あるいは安定状態となり、気層は強制対流状態となる。

このように高度によって気層の安定状態が異なることは屋上面上の大気熱輸送に影響を与えていると考えられる。

屋上面上気層の成層状態と熱状態に関連して、乱流による熱輸送については次のように考えられる。日中に屋上表面は日射により加熱され、表面温度が高くなる。屋上表面温度と屋上面上付近の気温との差は大きくなり、大気成層が不安定になり、熱は乱流により上空に輸送されている。屋上面上付近では風速が弱いので、自由対流の割合が大きくなっている。また、風速は高度によって増大しているため、屋上面上の気層の不安定状態は屋上面上近傍の気層より強く、熱の輸送は強制対流の役割が大きくなる。それゆえ、屋上表面の熱エネルギーは乱流や放射により上空に輸送されるほか、屋上面上気層の対流によっても熱が上空に輸送されていると考えられる。

#### IV. 2. 3. 屋上面上における顕熱フラックス鉛直変化

高度の対数を縦軸にとった風速のプロファイルは、日中において屋上面上付近では風速の鉛直勾配が小さいが、上空では勾配が大きくなっている。一方、気温プロファイルは1日を通じて高度の対数に対してほぼ直線的な形態を示している。このような屋上面上の風速・気温の鉛直分布が屋上面上付近の顕熱フラックスに与える影響について考察を行う。

まず、超音波風速温度計で測定された  $u_{*SAT}$  と連続する3高度の風速から求めた  $u_{*profile}$  と相関を図11に示す。この図によると、同一の  $u_{*SAT}$  対しても上空ほど  $u_{*profile}$  は大きくなる。すなわち、上空ほど風速勾配が大きくなっているため、 $u_{*}$  は屋上表面の近傍では小さく、上空で大きい。また、屋上面上では気温プロファイルは高度の対数に対して直線的な分布であり、気温の鉛直勾配は高度に対してほぼ一定で、 $T_{*}$  は高度に対して一様であると考えられる。このように鉛直方向に変化する  $u_{*}$  に対しても式1 ( $H = C_p \rho u_{*} T_{*}$ ) が成立するのならば、高度別の顕熱フラックスの大きさを評価することが可能になる。

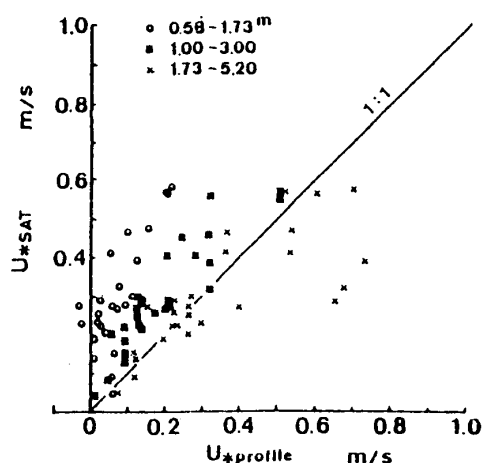


図11 超音波風速温度計で測定された摩擦温度 ( $u_{*SAT}$ ) と風速から求めた摩擦温度 ( $u_{*profile}$ ) との相関

高度 1 m から 3 m の風速で計算された  $u_{*profile}$  と高度 1.73 m の超音波風速度計で測定された  $u_{*SAT}$  との相関を図 12 に示す。両者はほぼ 1 : 1 の関係にあるが、全体に  $u_{*T}$  の方が  $0.1\text{ms}^{-1}$  程度大きくなっている。そこで両者の回帰式を  $u_{*profile}$  から  $u_{*SAT}$  へのキャブレーション式と見なし、各高度の  $u_{*profile}$  と  $T^*$  から式 1 を用い、高度別の顕熱フラックスを定する。

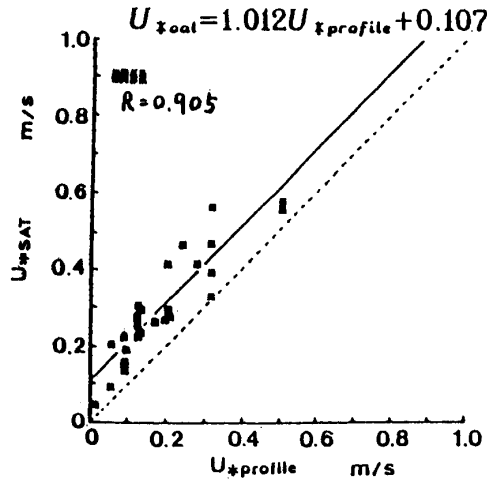


図 12 高度 1 m から 3 m の風速で計算された摩擦速度 ( $u_{*profile}$ ) と高度 1.73 m の超音波風速度計で測定された摩擦速度 ( $u_{*SAT}$ ) との相関

図 13 には横軸に 1.73 m における実測の顕熱フラックスと、各高度において推定された顕熱フラックスの比をとってある。縦軸は  $u_{*profile}$  を求めるのに用いた 3 高度の中央の高度を示す。上の図は全 26 例について、下の図は中立に近い場合 13 例についての平均を示しており、横棒で  $\pm \sigma$  の範囲を示した。これによると、顕熱フラックスの大きさは日中に屋上面近傍で小さく、高度 1 m では高度 1.73 m の約 60% であり、高度 3 m では高度 1.73 m の 150% 程度に見積もられた。

以上のことから、日中の屋上面上における気温・風速鉛直分布と顕熱フラックスの模式図を図 14 に示す。屋上面上空の気温は高度の対数に対してほぼ直線的に変化し、気層の  $T^*$  高度にたいしてほぼ一定となっている。一方、屋上面の近くでは  $u_*$  が小さいが、上空では  $u_*$  が大きくなるため、顕熱フラックスは屋上面近傍から上空に向かうにつれて大きくなっており、日中に屋上面近傍で顕熱フラックスが発散していると考えられる。これは Yap and Oke (1974) が市街域屋上において顕熱フラックスを測定した結果と一致している。

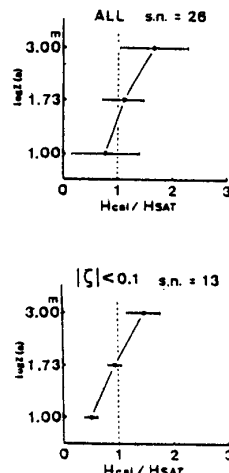


図 13 各高度において推定された顕熱フラックスと高度 1.73 m における実測の顕熱フラックスとの比値

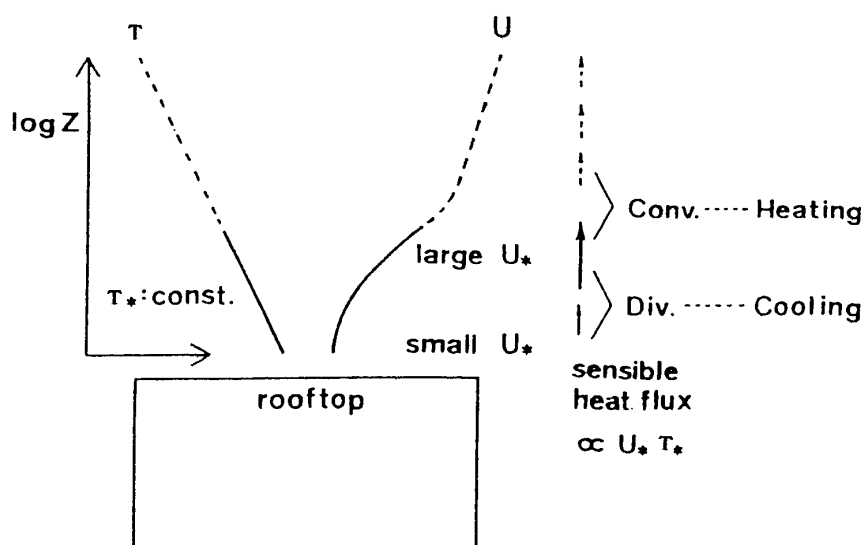


図14 屋上面上の摩擦速度 ( $u_*$ ) と摩擦温度 ( $T_*$ )  
および顕熱フラックスの高度変化模式図

一方、風速が上空に向かって大きな増加率を示し続けることは想定しづらく、ある高度で増加率が小さくなると考えられる。このような場合には、 $u_*$ の減少があるため顕熱フラックスは収束することになる。このような顕熱フラックス鉛直分布により、屋上面近傍の気層の熱量が強制的に上空に輸送され、上空の空気に熱量を供給していると考えられることができる。このことは、建築物の存在によって変形を受けた鉛直風速分布による強制的な熱輸送によって起っているものと考えられる。

日の出後に屋上表面は地表面と同じ量の短波放射を受けるが、地面では熱は地中へ輸送されるのに対して、屋上面はその下に断熱材や部屋があるため熱が下へ伝わりにくく、また、屋上面における反射率は一般に地表面より小さく、反射させるエネルギーが少ないので、屋上表面温度が地表面より高くなる。一方、日中の特に午前中には屋上面の近傍の気層は最も不安定状態が顕著になり、屋上面の熱は対流によって上に輸送され、屋上面近傍の気温が上昇する。さらに、屋上面上では風速分布の変形により屋上面近傍の熱が強制的に上方へ輸送される機構が働き、上空の気層に熱量が運ばれる。このことにより、屋上面上には周囲の空気より高温な気塊が形成される。

## V. おわりに

都市域の地表面上と屋上面上における気温と風速の鉛直観測資料を比較することにより、屋上面上の気温と風速の鉛直分布及び熱の移動を考察し、次の結果が得られた。

1) 地上3 mと20 mの気温よりも屋上面上3 m (地面から20.5 m)の気温の方が日中に常に高くなっている。夜間については、屋上面上3 mの気温と地上3 m、20 mの気温はほぼ同じだが、屋上面上の方がわずかに低くなっている。

2) 屋上面上の気温にも地上気温と同様に都市内外の差異 (ヒートアイランド) が存在する。

3) 屋上面上空数mまでの気温勾配は係留気球で得られた同高度における気温勾配より大きく、地表面上数mまでの気温勾配とはほぼ同程度である。すなわち、屋上面は地表面と同等あるいはそれ以上に大気を加熱する役割をはたしていると考えられる。

4) 屋上面上の気温の鉛直分布はほぼ対数則に従っているが、日中の風速の鉛直分布は対数則から

外れる。風速の鉛直分布の変形から、摩擦速度は屋上面近傍の方が上空より小さい。この結果、日中に顕熱フラックスは屋上面近傍で小さく、上空で大きいことになり、屋上面近傍での顕熱フラックスが発散していることが想定される。これにより、屋上面上近傍の熱が強制的に上方へ輸送されることになる。

5) 屋上面上の気層は屋上面近傍の気層の方が上空の気層より不安定であり、屋上面近傍の気層では自由対流の役割が大きく、上空では強制対流の役割が大きくなっている。すなわち、屋上面上気層の対流状態が高度によって異なっていることが認められた。また、屋上面上の気層の状態の時間変化については午前には各高度でも自由対流の役割が大きく、午後には混合対流になり、特に上層では強制対流の役割が大きくなる。つまり、屋上面近傍では熱は自由対流の形態でも上の気層に輸送されていると考えられる。

すなわち、屋上面上における大きな顕熱フラックスの存在、風速プロファイルの変形による顕熱フラックス収束・発散ならびに屋上面近傍における対流による熱輸送の結果として、屋上面上では高温な気塊が形成されていると考えられる。

## 参 考 文 献

- 高橋日出男・福岡義隆 (1994) : 都市域における風速の鉛直分布とヒートアイランドの立体構造. 地理学評論, 67A, 530~550.
- Goward, S.N.(1981) Thermal behavior of urban landscapes and urban heat island. Physical Geography, 219-33.
- Oke, T.R.(1976) The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. Atmosphere, 14, 268-277.
- Oke T.R (1978) :Boundary layer climates. Methuen, London, 372p.
- Yap, D. and Oke, T.R.(1974): Sensible heat fluxes in urban area Vancouver, B.C.J.Appl.Meteor., 13, 880-890.