

**投稿論文(和文報告)  
TECHNICAL  
REPORT**

# 都市キャノピーの夏期の熱構造に関する現地観測

池田駿介<sup>1</sup>・財津知亨<sup>2</sup>・渋谷昌史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

<sup>2</sup>工修 北海道開発庁

<sup>3</sup>鹿島KK

都市キャノピーを構成する建物および建物間の空間の微気象・熱収支構造を野外観測により見積もった。その結果、都市キャノピー内では、特に昼間に特有な微気象構造が現れ、風速が落ち、気温と湿度がキャノピー外よりも高い値を示した。又、屋上面とキャノピー内の熱収支を調べ、屋上面では顯熱フラックスと建物内へのフラックスが大きいが、キャノピー上端では道路端に植生があると潜熱フラックスもそれらに匹敵する値を持つことが知られた。

**Key Words** : field observation, heat balance, humidity, temperature, urban canyon, wind velocity

## 1. 序論

都市には人々が集中し、地表面が改変されたり、あるいは人工排熱の増加によってヒートアイランド現象が顕在化している。

ヒートアイランド現象を把握する上で基本となる要素として都市キャニオンがある。都市キャニオンは、向かい合う二棟のビルの壁面とそれらに挟まれた舗装道路で構成される都市の最少ユニット（吉田ら<sup>1)</sup>）である。この垂直な壁で囲まれた空間はビル風と呼ばれる局地的な強風が吹いたり、あるいは逆にビル群が障害物となって風速が落ち、大気汚染物質が滞留することがある。又、建築物による多重反射が起きて都市キャノピー外へ熱が放出されにくく、特有の微気象が形成される。

このような都市キャニオンにおける熱環境の研究はNunez・Oke<sup>2)</sup>により実測によって始められ、Oke<sup>3)</sup>はヒートアイランド強度は天空率と明瞭な相関関係があることを明らかにした。我が国においても1980年代に大都市のヒートアイランド化が顕在化し、それを反映して、建築の分野を主体にして都市キャニオンの熱構造に関する研究が開始された。中村ら<sup>4), 5), 6)</sup>は、都市キャニオン内空間の気温分布の実測や地表面および建物壁面温度の長時間測定を行い、それらに基づいて熱収支計算から表面温度の変動を解析的に求めている。又、片山ら<sup>7)</sup>は、都市キャニオン内の日射、放射、気流速度、熱輸送成分の検討を行っている。

土木工学の分野では取り組みが若干遅れたが、稻垣ら<sup>8)</sup>はLES乱流モデルを用いて二次元都市キャニオン内の熱・流速場の詳細な解析を行い、街路樹がもたらす熱環境緩和機能について定量的に示している。神田ら<sup>9)</sup>は同様にLESモデルを用いて、熱

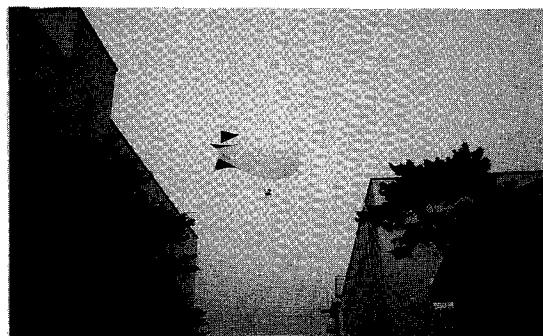


写真-1 測定部付近の様子

源である道路網状の三次元熱対流構造をシミュレーションし、強いサーマルとそれに伴う同辺部の下降流の存在を明らかにした。Caら<sup>10)</sup>は都市キャニオン内の放射・顯熱収支式から壁・道路の温度分布を検討し、キャニオンのアスペクト比と天空率が熱構造の形成に重要な役割を担っていることを指摘している。

以上のように都市キャニオンの熱構造について野外観測、数値シミュレーションがなされつつあるが、熱収支構造についてより詳細な把握、特に実測による実態把握が必要とされている。本研究では、都市キャニオン上空の微気象も含めて都市キャニオン空間の夏期の熱構造について詳細な測定を行う。

## 2. 観測の概要

微気象及び熱収支観測は、1994年8月1日9時から同2日13時にかけて行った。観測場所は東京工業大

表-1 観測項目、測定機器、測定高さ、測定時間およびデータ処理方法

(a) 熱収支観測

観測項目	測定機器	測定高さ(m)	測定時間	データ処理方法
日射量	ネオ日射計	屋上面に設置	連続測定	30分平均値
下向き長波放射量	精密赤外放射計	同上	連続測定	30分平均値
上向き短波放射量	ソーラーエース	同上	連続測定	30分平均値
正味放射量	放射収支計	同上	連続測定	30分平均値
屋上風速	三杯式風速計	1.02, 1.62, 2.22, 6.12	連続測定	30分平均値
屋上風向	矢羽式風向計	6.2(屋上面から)	連続測定	30分平均値
屋上気温	白金温度計	1.06, 1.70, 2.29	連続測定	30分平均値
屋上湿度	高分子誘導率式湿度計	1.06, 1.70, 2.29	連続測定	30分平均値
屋上表面温度	放射温度計	屋上面	10分毎に測定	直読平均値
屋上熱流量	熱流計	屋上面	連続測定	30分平均値
壁面表面温度	放射温度計	5.0	10分毎に測定	直読平均値
壁面熱流量	熱流計	5.0	連続測定	30分平均値
路上表面温度	放射温度計	路上	10分毎に測定	直読平均値
キャノピー内気温	白金温度計	5.0, 10.0(道路面から)	連続測定	30分平均値
キャノピー内湿度	高分子誘導率式湿度計	5.0, 10.0(道路面から)	連続測定	30分平均値

(b) 気球観測

観測項目	測定機器	測定高さ(m)	測定時間	データ処理方法
風速	三杯式風速計	2.5, 10, 15, 17, 20, 25, 30, 40, 60	毎時0分に測定 開始	各高さ往復の 平均値
気温、湿度	CAMPBELL製温湿度計	2.5, 10, 15, 17, 20, 25, 30, 40, 60	毎時0分に測定 開始	各高さ往復の 平均値

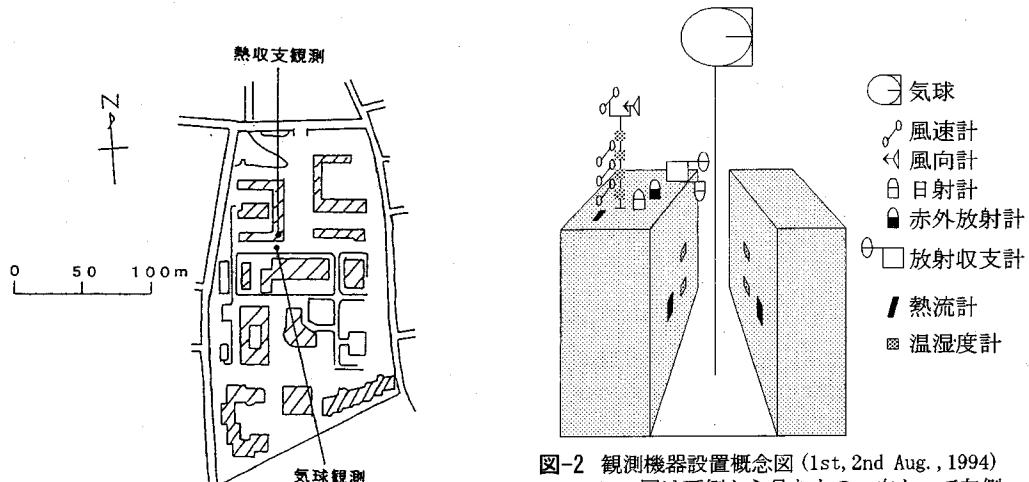


図-1 観測場所(東京工業大学石川台地区)  
斜線部は建物を表す。

学構内の石川台地区(石川台2号館屋上及び同館南側の都市キャノピー)である。

図-2 観測機器設置概念図 (1st, 2nd Aug., 1994)  
この図は西側から見たもの。向かって左側が北。放射温度計は移動式であるので図中には示していない。

図-1に示されているように建物はキャノピーの北側と南側に建っており、建物の高さ  $h$  は 14m、建物間の間隔  $b$  は 13.4m である。従って、アスペクト比  $h/b = 1.04$  である。建物は3階建ての窓が付いた鉄筋

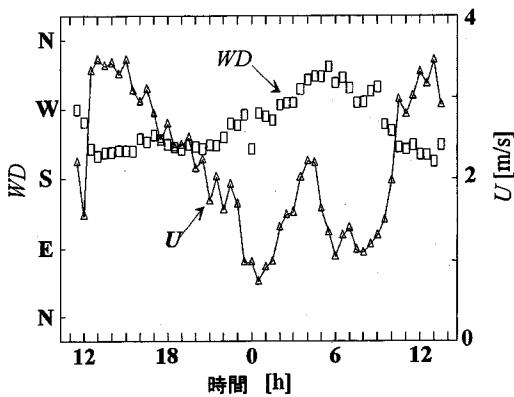


図-3 屋上で観測された風向WDと風速Uの日変化(1st, 2nd Aug., 1994)

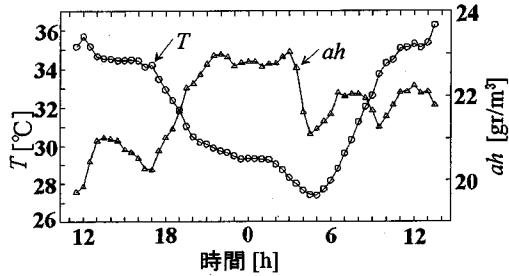


図-4 屋上で観測された気温Tと絶対湿度ahの日変化(1st, 2nd Aug., 1994)

コンクリート製であり、建物間の巾8mの道路はアスファルト舗装されているが、両側に幅2.7mの雑草と若干の木(10本程度、種類はシュロ)が植えられた植え込みがある(写真-1)。両方の建物の壁はモルタル吹き付けされた白い壁となっており、建物屋上はコンクリートスラブ打ちであるが、古いため黒く変色している。南向き壁面を持つ建物は、当時新しい建物への引っ越しで居住者が殆どおらず、空調機等は使用されていなかった。北向き壁面を持つ建物は居住者がいたが、壁面には空調機ではなく、換気扇があった。1~2個が稼動していた。更に、この建物西側の草むらの中には1~2kW程度の空調機室外ユニットがあり、稼動していた。

観測機器は図-2のように設置した。建物屋上ではポールに風向計、三杯式風速計および温湿度計を取り付けた。又、ネオ日射計と精密赤外放射計を用いて日射量と大気からの下向き長波放射量を測定した。建物と建物の間の都市キャノピー上端面での純放射量および短波放射量を測定するために、放射収

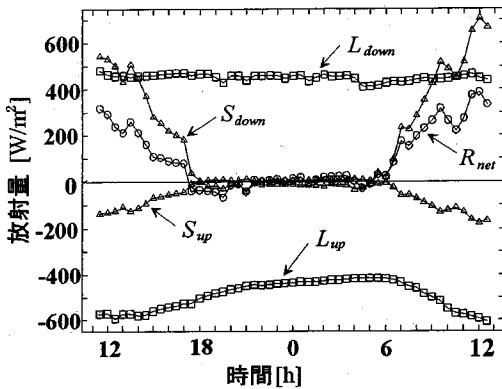


図-5 屋上で観測された各放射量の日変化

(1st, 2nd Aug., 1994)

$S_{down}$ : 日射量,  $L_{down}$ : 下向き長波放射量,  
 $S_{up}$ : 上向き短波放射量,  $L_{up}$ : 上向き長波放射量,  $R_{net}$ : 正午放熱量。屋上面に向かう方向を正としている

支計とソーラーエースを下の道路が見えるように測定部分を屋上から張り出して設置した。建物屋上面には熱流計を設置し、屋上面から建物内部に入りする熱フラックスを測定し、同様に放射温度計を用いて屋上の表面温度を測定した。

キャノピー内では放射温度計を用いて路上と南北の建物の壁面の表面温度を測定し、更に熱流計を両壁面に張り付け(白いビニールテープで表面処理)、壁面から出入りする熱流量を測定した。又、路上から気球を1時間に1回(1回の上下に30分を要した。測定値は上下方向に移動させる際の同じ高さの平均値)高さ60mまで上げ、キャノピー内とその上空の風速、気温および絶対湿度の鉛直分布を測定した。

表-1に観測項目、使用機器、各観測が行われた時間およびデータ処理方法の一覧を示す。

### 3. 観測結果

#### (1) 屋上の気象

観測日は両日とも太平洋高気圧に覆われ、晴天夏日であった。屋上(屋上からの測定高さ: 風向6.2m、風速6.12m)で測定された風向WDと風速Uの変化を図-3に示す。風向は昼間はほぼ南西方向から吹いているが、夜になると西の方向から北の方向に変化し、夜明け(午前6時)には、北北西の風向となっており、主に海陸風に支配された風向となっている。これに対応して、日中は風速が大きくなり、両日とも正午すぎには約3.5m/sとなっている。夕方から明け方にかけては一般に風速は小さく、1~2m/sの微風であった。

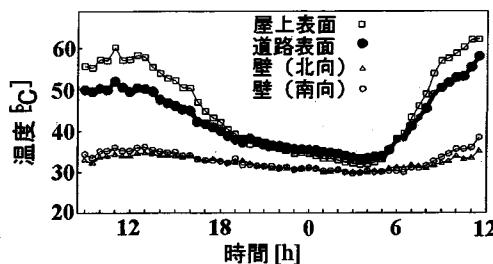


図-6 表面温度の時間変化

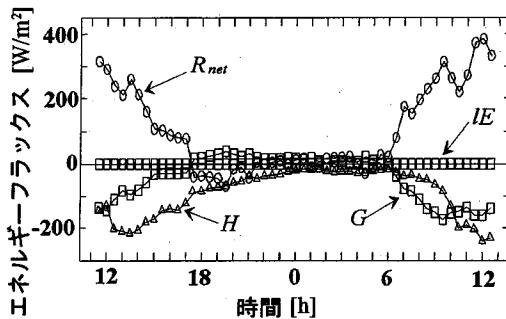


図-7 屋上で熱収支の日変化  
(1st, 2nd Aug., 1994)

$R_{net}$ : 正味放射量,  $H$ : 顯熱輸送量,  
 $IE$ : 潜熱輸送量,  $G$ : 屋上面の熱流量.  
 $G$ のみ上向き(屋上面から大気方向)正としている

図-4は同様に屋上で観測された(屋上からの高さ1.70m)気温 $T$ と絶対湿度 $ah$ の変化を示している。気温は、正午には約36°Cに達し、明け方(午前5時)には最低気温約27.5°Cとなっており、熱帯夜であった。絶対湿度は夜間で高く、昼間は20~22gr/m³の値となっている。

## (2) 屋上面のエネルギー収支

屋上面では次の放射エネルギー収支が成り立っている。

$$R_{net} = S_{down} - S_{up} + L_{down} + L_{up} \quad (1)$$

ここに、 $R_{net}$ は純放射量であり、 $S_{down}$ は日射量(短波放射量とも呼ばれる)、 $S_{up}$ は屋上面で反射された放射量、 $L_{down}$ は上空大気からの長波放射量、 $L_{up}$ は暖められた屋上面からの長波放射量である。この内、 $S_{up}$ は

$$S_{up} = \alpha S_{down} \quad (2)$$

と表され、 $\alpha$ は反射率(アルベド)である。又、 $L_{up}$ は次のように表される。

$$L_{up} = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (3)$$

ここに、 $\epsilon$ は射出率(完全黒体では1)、 $\sigma$ はStefan-Boltzmann定数( $=5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$ )、 $T_s$ は屋上面の絶

対温度である。前述の測定機器によって、本屋上面では $\alpha = 0.25$ 、 $\epsilon = 0.8$ であった。

図-5は屋上で観測された各放射量の時間変化である。日射量 $S_{down}$ は正午頃には600から700W/m²に達し、日射の反射量 $S_{up}$ はこの値の約25%である。一方、大気からの長波放射 $L_{down}$ は、測定期間を通じてほとんど変化せず、400~500W/m²の値を示している。屋上面からの長波放射 $L_{up}$ は、日射が強く屋上面の温度 $T_s$ が高い昼間には600W/m²にも達するが、 $T_s$ が低下する夜間には次第に減少し、明け方(午前5時)には約400W/m²にまで減少する。これらを全て足し合わせた純放射量 $R_{net}$ は、正午に最大値400W/m²になっているが、夜間には $L_{down}$ と $L_{up}$ がほぼ釣り合っているのでほぼ0の値を示す。

図-6は、屋上面の温度の時間変化を示している(道路、壁温度も同時にプロット)。壁の温度は道路面から高さ5mの固定位置で測定した。このとき、南向き壁面測定点では太陽が出ていた間、太陽光が当たっており、北向き壁面では終始日陰であった。壁面の状況は一様であるのでこの固定点の測定で代表的な値が取得できているものと考えられる。図中、屋上面の温度が日中非常に高いのは壁面が白く塗られているのに対し、前述のように黒く変色していたためであると考えられる。

この純放射量 $R_{net}$ は顯熱輸送量 $H$ 、潜熱輸送量 $IE$ および屋上面から建物内へ向かう熱流量 $G$ に配分される。顯熱輸送量 $H$ は風速と気温の鉛直分布から傾度法(例えば武若ら<sup>11)</sup>)を用いて求めた。潜熱輸送量 $IE$ は、乾いた屋上面(コンクリート)においては水蒸気の出入りはなく、又、夜にも結露はなかったので0とした。屋上から建物内へ向かう熱流量 $G$ は、前述のように熱流計で測定した値である。図-7に屋上面におけるこれらの熱収支を示す。午前中は、顯熱輸送量 $H$ よりも建物内への熱流量 $G$ の方が大きい。例えば、8月2日午前9時には $H=70 \text{W/m}^2$ であるが $G=150 \text{W/m}^2$ である。この関係は、屋上面の温度が上昇するにつれて逆転し、午後の1から2時頃には $H=210 \text{W/m}^2$ に達しているが、 $G=90 \text{W/m}^2$ 程度の値となっている。

$G$ の値を1日を通じてみると、明らかにトータルの熱の流れは建物内に向かっている。夜間には、建物内から外へ向かう熱流量があるが、それでもその値は高々 $20 \text{W/m}^2$ 程度の値である。このトータルの熱流入が、建物を暖めるエネルギーとして使われることになる。

## (3) 建物間のキャノピー空間の微気象

都市キャノピー空間内外の微気象を把握するために気球を用いて8月1日12時から8月2日12時まで1時間毎に連続観測を行ったが、ここではその結果につ

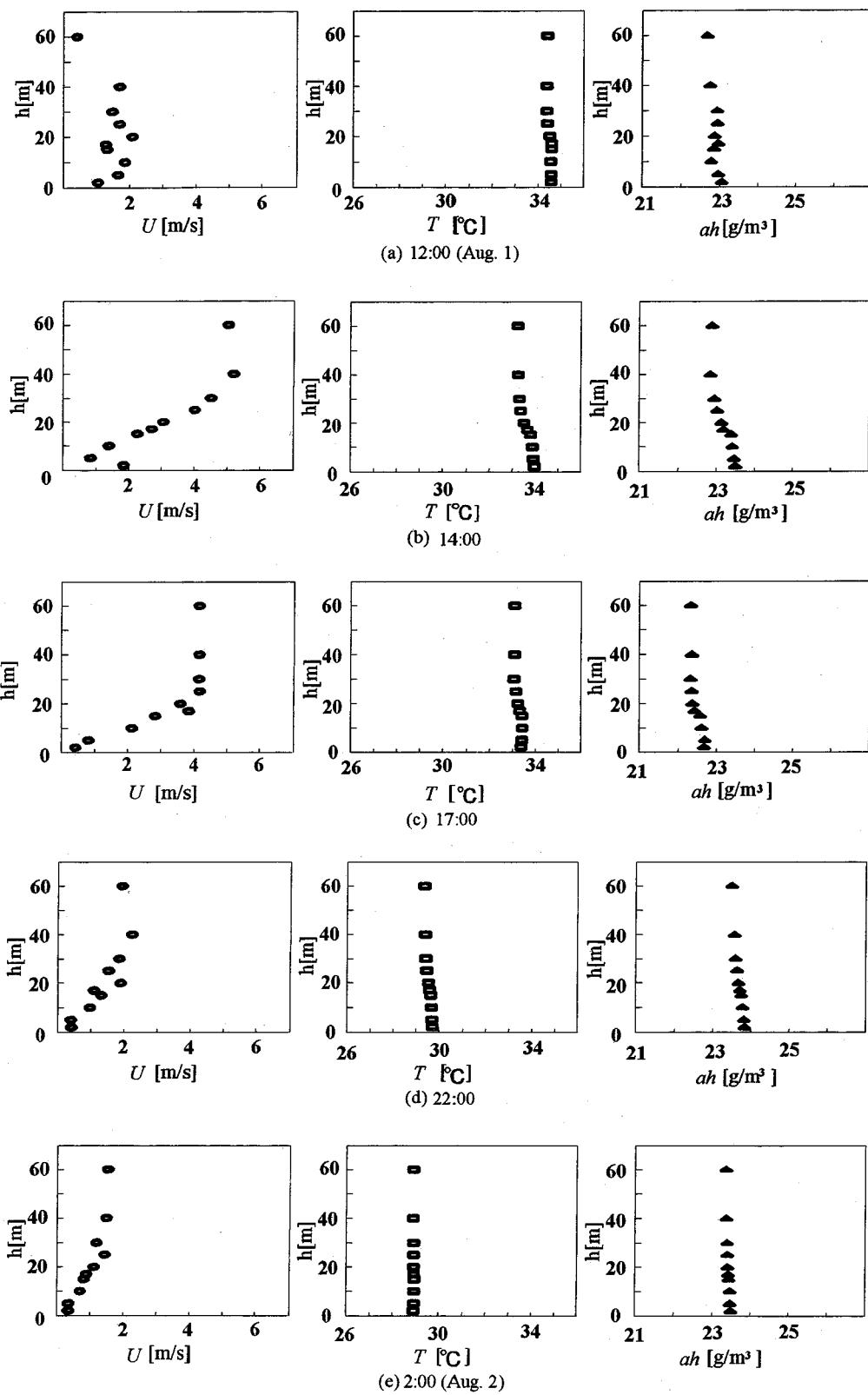


図-8 構造物の間、及びその上空での高さ  $h$  による風速  $U$ 、気温  $T$ 、絶対湿度  $ah$  の変化

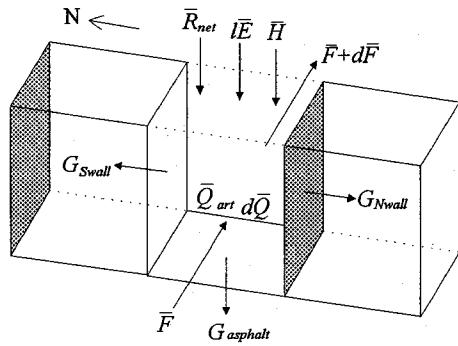


図-9 都市キャノピー境界面の熱収支概念図  
 $\bar{R}_{net}$ : 正味放射量,  $\bar{H}$ : 顯熱輸送量,  $\bar{I}\bar{E}$ : 潜熱輸送量,  $G_{Nwall}$ ,  $G_{Swall}$ : 壁面から内部に向かう熱流量,  $G_{asphalt}$ : 路面から下方へ向かう熱流量,  $\bar{F}$ : 移流によって運ばれる熱量,  $d\bar{Q}$ : 大気の熱量の変化,  $\bar{Q}_{art}$ : 人工熱

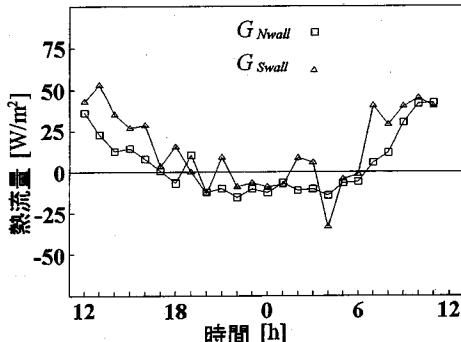


図-10 壁面の熱流量 (+が建物内へ)

て述べる。図-8は、これらの観測の内、代表的な時間を選び、風速、気温、および絶対湿度の各分布について描いたものである。それらの特徴を以下に示す。

図-8(a)に示されている12時(正午)では風速は1~2m/sと小さく、しかもキャノピー内外で風速の値にはほとんど差異が無く、一様分布に近い。気温は全観測時間を通じて最も高く、キャノピー内では34.5°Cに達し、上空よりも0.4°C程度高い。一方、水蒸気はキャノピー内外で大きな差異はなく、23gr/m³程度である。(b)の14時には相模湾方向から吹いてくる南南西の風が強くなり、キャノピー高さ14m内は風速が1~2m/sと小さいものの、上空へ行くに従って高さ40mまで風速が大きくなり、都市キャノピーによる明瞭な境界層が形成されている。それとともに、キャノピー内では、気温は34°C程度の値を示しているが、キャノピー外では33°Cとなり、明

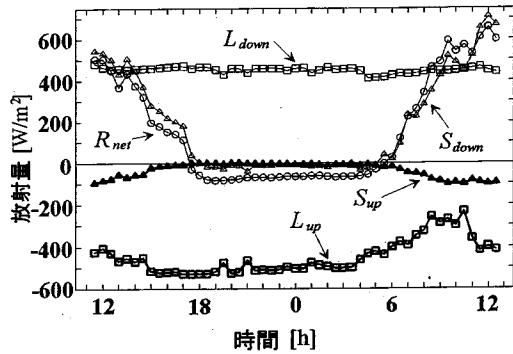


図-11 キャノピー上端面で観測された各放射量の日変化(1st, 2nd Aug., 1994)  
 $R_{net}$ : 正味放射量,  $S_{down}$ : 日射量,  $L_{down}$ : 下向き長波放射量,  $S_{up}$ : 上向き短波放射量,  $L_{up}$ : 上向き長波放射量

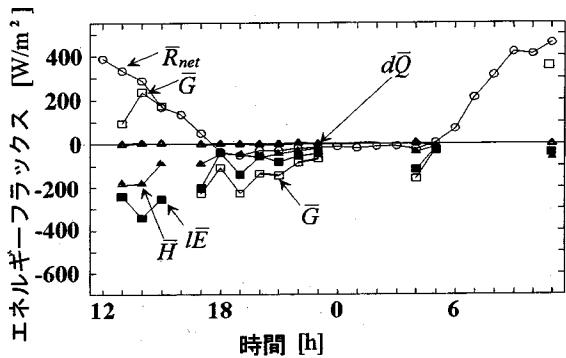


図-12 キャノピー空間での熱収支の日変化  
(1st, 2nd Aug. 1994)

$\bar{R}_{net}$ : 正味放射量,  $\bar{H}$ : 顯熱輸送量,  $\bar{I}\bar{E}$ : 潜熱輸送量,  $\bar{G}$ : キャノピー上端面から下方に向かう熱流量,  $d\bar{Q}$ : キャノピー内の大気の持つ熱量の変化

瞭な気温差が見られる。水蒸気量もキャノピー内地面にある植生からの蒸発散によって、キャノピー外の値よりも0.8gr/m³程度大きくなっている。この時間帯は、建物の存在によって風が遮られ、熱や水蒸気がキャノピー内に閉じこめられている様子が現れている。(c)は夕方17時の分布である。いずれの分布も(b)14時の分布とよく似ているが、キャニオン内外の差異が弱くなっている。(d)は夜中22時の分布である。キャノピー内ではほとんど無風といつてよいが、上空では2m/s程度の西風が吹いている。気温、絶対湿度とともにキャノピー内外ではほぼ一様であり、 $T=29\sim30^{\circ}\text{C}$ ,  $ah=23\sim24\text{gr/m}^3$ である。(e)午前2時は、気温が下がっている。それでも気温は29°Cとなっている。なお、両日の測定を通じて最も

気温が低かったのは8月2日午前5時で、キャノピー内外で26°Cであり、又、この時間帯は植物の活動も最も低く、水蒸気量はキャノピー内外で22gr/m<sup>3</sup>と、観測時間中最も低い値であった。この水蒸気量に関する傾向は、屋上面の測定値とは逆であった。

本観測では、日中は都市キャノピー内外で熱環境に差異があることが示されたが、その差異が現れ始めたのは午前9時頃からであった。又、気温(温位)は日中は不安定な分布、夜中は中立分布を示していた。又、風速分布に及ぼす建物の影響は、従来から言われているように(河村<sup>12)</sup>建物の高さの約3倍程度に及んでいた。

#### (4) 都市キャノピー内のエネルギー収支

図-9は建物間の都市キャノピー空間に出入りする熱収支の概念図である。建物上端間のキャノピー上端面を通じて放射収支を合計した純放射量 $\bar{R}_{net}$ 、顕熱 $\bar{H}$ 、潜熱 $\bar{E}$ がある。一方、キャノピー側面からは建物内に向かう熱流量 $G_{Nwall}$ 、 $G_{Swall}$ がある。ここに添え字 $Nwall$ 、 $Swall$ はそれぞれ北向き、南向きの壁を表す。又、キャノピーに沿って、流入してくる熱量 $\bar{F}$ と流出していく熱流量 $\bar{F} + d\bar{F}$ がある。キャノピーの周囲と大気温が変わらない場合には、この風の移流によって運ばれる熱量は $\bar{F} = \bar{F} + d\bar{F}$ となり、 $d\bar{F} = 0$ と見なすことができる。この値を見積もるには、都市キャニオン出入口で熱流量を測定しなければならないが、機材の関係で測定できなかった。風は主としてキャニオンを横切る方向に吹いていたので本観測では $d\bar{F} = 0$ とした。キャノピー底面の道路からは、地面に向かって熱流量 $G_{asphalt}$ がある。本研究では熱流板の不足のために(およびたまに走ってくる自動車のために) $G_{asphalt}$ は測定できなかつたが、後述の熱収支から $G_{asphalt}$ を見積もつた。浅枝ら(文献13の図-5参照)によれば、 $G_{asphalt}$ の値は12時頃には200W/m<sup>2</sup>程度であるが、15時頃には0となり、18時頃に-200W/m<sup>2</sup>程度となって次第に減少し明け方には-50W/m<sup>2</sup>位の値となる。図-12に示されている $\bar{G}$ は、傾向は浅枝らの値とよく一致しているが、今回測定された $\bar{G}$ の値にはその他に $G_{Nwall}$ 、 $G_{Swall}$ が含まれているため、浅枝らの値より絶対値が若干大きくなっている。 $\bar{Q}_{art}$ はキャノピー内で人工的に発生する熱量(例えば、自動車の排気熱、空調設備から排出される熱など)であるが、ここでは0とした。

以上から、キャノピー空間内の熱収支は次式となる。

$$\bar{R}_{net} + \bar{Q}_{art} + d\bar{Q} = \bar{H} + l\bar{E} + \bar{G} + d\bar{F} \quad (4)$$

ここに、 $\bar{H}$ はキャノピーの熱収支に関する量であることを表し、 $d\bar{Q}$ はキャノピー空間に蓄積される熱量であり、 $\bar{G}$ は

$$\bar{G} = G_{Nwall} + G_{Swall} + G_{asphalt} \quad (5)$$

である。

顕熱 $\bar{H}$ 、潜熱 $\bar{E}$ の両フラックスを測定するには、本ケースのように流れ場が建物の影響を受けている場合には、キャノピー上端の数カ所で超音波風速温度計や赤外線式湿度計を設置し、渦相関法により直接求める方法が最も適している。本研究室では、小型超音波風速温度計を1台所有しており、顕熱フラックスの測定は可能であるが、湿度変動を10Hz程度で測定できる赤外線式湿度計を持っていない。従って、本測定では気球観測結果から傾度法(詳しく述べは武若ら<sup>11)</sup>参照)を用いて $\bar{H}$ と $l\bar{E}$ のフラックスを見積もつた。

キャノピー内の熱量変化 $d\bar{Q}$ は気球で測定した高さ15mまでの気温と絶対湿度の分布から次式を用いて求めた。

$$d\bar{Q} = \int_0^h C_a r_a \frac{dT}{dt} dz + \int_0^h l \frac{dah}{dt} dz \quad (6)$$

ここに、 $C_a$ は空気の熱容量(1006J/K・kg)、 $r_a$ は空気の密度(1.165kg/m<sup>3</sup>)、 $dT$ は $dt$ 時間の間の気温変化、 $z$ は鉛直上向き座標、 $l$ は単位質量の水の気化熱である。

壁面の熱流量が図-10に示されている。日射がある日中には、熱はキャノピー空間から建物内に向かっているが、夜間にはおおむね建物からキャノピー空間に向かって熱が放出されている。熱流量は、南向きの壁が北向き壁よりも大きく、約2倍程度の値を示している。

図-11にキャノピー上端部で観測した各放射量の時間変化を示す。日射量 $S_{down}$ は建物屋上面で測定した値をプロットしている。キャノピー内からの反射 $S_{up}$ は屋上面からの反射よりも若干小さく、アルベドは0.15程度である。キャノピー内底面がアスファルト舗装の道路や植生が一部あるために反射率が低下したと考えられる。上空の大気からの長波放射量 $L_{down}$ も建物屋上面と同じ値を用いている。これに対し、キャノピー上面を上向きに放射される長波放射量 $L_{up}$ は屋上面からの長波放射とは異なった様相を示している。長波放射量は本ケースでは夜中に大きく、午前中に小さくなっている。 $L_{up}$ が7~11時の間、小さくなっているのは、 $L_{up}$ は直接測定せず、放射収支から求めたため、雲などの影響を受けて、日射量 $S_{down}$ がこの時間に減少したことが直接反映されたためである( $L_{down}$ は直接測定)。

このように長波放射量が夜間に大きかった結果を受けて、キャノピー空間上面を通過する純放射量 $\bar{R}_{net}$ は、夜間に60から90W/m<sup>2</sup>の範囲で上空に向かっている。又、昼間は反射率が小さかつたことを受け $\bar{R}_{net}$ の値は、屋上面の値よりも大きくなっている。以上がキャノピー空間上端の放射収支の特徴である。

以上の観測結果から、式(4)の各項を描いたものが図-12である。この中で測定値が欠けているところは、傾度法で見積もれなかった時間帯である。キャ

ノピー空間からは、日中は顕熱が上空へ向かって輸送( $180\text{W/m}^2$ 程度)されている。又、キャノピー空間から、日中かなり大きな潜熱輸送( $300\text{W/m}^2$ 前後)が見られる。その値は顕熱量(約 $180\text{W/m}^2$ )より大きく、純放射量に匹敵している。著者らの観測<sup>11)</sup>によれば、夏期の草地からの潜熱輸送は日中 $300\text{W/m}^2$ 程度であった。本観測のキャニオン内にはアスファルト舗装の道路があり、ここからの蒸発はないので、今回の観測はやや大きいと考えられる。その理由として、周囲に高木がかなりあったこと、北向き壁面を持つ建物の西側にかなり広い草地があったこと、更に前述のように多くはないものの空調機と換気扇があったことが上げられる。キャノピー空間内の大气に貯えられる熱量 $dQ$ はほとんど0である。これは、大気の熱容量が小さいことによるものである。キャノピー内から建物および道路へ向かう熱流量は日中 $100\sim200\text{W/m}^2$ である。

#### 4. 結論

1994年8月1日から2日にかけて24時間の微気象・熱収支観測を行った結果、本観測地について以下の諸点が明らかになった。

- (1) 鉛直方向に都市キャノピー内大気の気温は日中キャノピー外の大気温よりも $1^\circ\text{C}$ 程度高く、水蒸気量も $0.8\text{gr/m}^3$ 程度大きい。これは、キャノピー内で風速がかなり落ち、キャノピー上端での熱・物質交換能が減少するためであると考えられる。
- (2) 建物屋上では日中表面温度が $60^\circ\text{C}$ にも達し、大気へ向かう顕熱輸送量は $210\text{W/m}^2$ に及び、純放射量の80%程度になっている。一方、建物内へ伝導していく熱流量は $90\text{W/m}^2$ 程度であった。
- (3) キャノピー内の道路の温度は、日中は建物屋上面よりも $5^\circ\text{C}$ 程度低かったが、夜間は逆に道路面の方が屋面上よりも若干( $2^\circ\text{C}$ 程度)高かった。キャノピーを構成する建物の壁面は昼間は南向き面の方が北向き面よりも $2^\circ\text{C}$ から $3^\circ\text{C}$ 高かったが、夜間はほぼ同一の温度であった。壁面は屋上面や道路面ほど高温ではなく、昼間でも $35^\circ\text{C}$ 内外であった。
- (4) 建物間のキャノピー上端面からは、昼間(例えば13時)では $330\text{W/m}^2$ の下向き純放射量があるが、これに対し $180\text{W/m}^2$ の上向き顕熱輸送量、 $240\text{W/m}^2$ の上向き潜熱輸送量があった。この大きな潜熱輸送は、主にキャノピー内に高木を含む植生があったこと及び一部は空調機と換気扇の存在によるものと考えられる。
- (5) 本キャノピー内観測では、キャノピーの横方向出入り面での観測がなされていないので本観測は厳密な意味での熱収支となっていない。又、検査面全域に及ぶ面観測となっていないので観測値の代表性に

も疑問が残る。全体として観測値は首肯できる値の範囲内であるが、更に観測を積み重ねて、精度向上をはかる必要がある。

**謝辞：** 本研究の遂行に当たっては東京工業大学工学部土木工学科水工学講座の助手及び技官をはじめ、多くの学生諸君の援助を得た。又、本研究は、文部省科学研 究費一般研究B(池田駿介, 05452244)ならびに東京工業大学創造プロジェクト研究「都市基盤施設研究体」の資金援助を受けて実施されたものである。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉田篤正、富永和秀、綿谷茂：フィールド測定による都市キャニオンにおける熱輸送の研究、日本機械学会論文集(B編)56巻, 524号, pp.269-274, 1990.
- 2) Nunez, M. and T. R. Oke: The energy balance of an urban canyon, *Jour. of Appl. Meteorology*, Vol. 16, pp.11-19, 1977.
- 3) Oke, T. R.: The energetic basis of the urban heat island, *Quart. Jour. Royal Meteo. Soc.*, Vol. 108, pp.1-2, 1982.
- 4) 中村泰人、平岡久司、西村浩一：市街地空間における気温分布性状に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文報告集, 364号, pp.48-56, 1986.
- 5) 中村泰人、平岡久司、西村浩一：市街地空間における表面の温度および熱流性状に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集, 364号, pp.57-65, 1986.
- 6) 中村泰人、平岡久司：二次元長方形市街地空間における表面の温度および熱流に関する解析的研究、日本建築学会計画系論文報告集, 367号, pp.8-14, 1986.
- 7) 片山忠久 他5名：住棟間の放射環境に関する実測とその測定、日本建築学会計画系論文報告集, 401号, pp.1-10, 1989.
- 8) 稲垣聰、日野幹雄、神田学：都市のストリートキャニオンにおける風速場と熱環境に対する街路樹の効果、土木学会水工学論文集, 37巻, pp.355-360, 1993.
- 9) 神田学、日野幹雄、稻垣聰、安部智久：都市道路網状の熱対流混合層のLarge Eddy Simulation—大手町、皇居周辺を例に、土木学会水工学論文集, 37巻, pp.177-182, 1993.
- 10) Ca, V. T. 他5名：ストリートキャニオン内の壁・道路の温度分布、土木学会水工学論文集, 38巻, pp.413-418, 1994.
- 11) 武若聰 他4名：都市内河川による大気冷却効果—都市内河川内外の夏季の熱環境および気象観測—、土木学会論文集, 479号, pp.11-20, 1993.
- 12) 河村武：都市の大気環境、東京大学出版会, 1986.
- 13) 浅枝隆、藤野毅：舗装面の熱収支と蓄熱特性について、水文・水資源学会誌, 5巻, 4号, pp.3-7, 1992.

(1995.4.26 受付)

FIELD OBSERVATION ON HEAT STRUCTURE IN SUMMER  
AT AN URBAN CANYON

Syunsuke IKEDA, Tomoyuki ZAITSU and Masafumi SHIBUYA

A field observation was performed in an urban canyon for heat balance and micro-climate. It was found that the wind velocity is retarded by the buildings, and the temperature and the humidity are increased in the urban canyon compared with the outer atmosphere. The heat balance indicates that sensible heat  $H$ , and the heat flux toward the building,  $G$ , are dominant at the building roof. In the urban canyon, the latent heat,  $IE$ , is comparable with  $H$  and  $G$ , if plants locate in the canyon road.