

# 都市気温の形成要因に関する考察

## — 都市気温と天空比との関係 —

A Consideration of the Cause of Heat Island : A Relationship between the Heat Island and Sky View Factor

朴 惠淑\*・河村 武\*\*

Hye-Sook PARK and Takeshi KAWAMURA

### I ま え が き

ヒートアイランド強度（都市内外の気温差： $\Delta T_{u-r}$ ）が都市人口が多いほど大きいこと、特に、ヒートアイランド現象が夜間に顕著であることはこれまでの研究でよく知られている。その要因としては、都市地表面の幾何学的形態や地表面の構成物質の差による力学的・熱的特性の差、人工熱、汚染物質による都市大気の温室効果などが考えられる。（Oke, 1979；Landsberg, 1981；Lee, 1984）。特に、都市地表面の幾何学的形態を決める建物の影響は、昼間における短波放射エネルギーの壁面への吸収、夜間における長波放射エネルギー放出のしゃへい効果により都市内部に高温が維持されるような作用をする。このように、建物の影響は都市の放射場に及ぼすしゃへい効果が大きい。建物のしゃへい効果は天空比（H/W 比：建物の高さ（H）と道路の幅（W）との比）によって大きく変わる。

そこで、本研究はまず、都市規模（人口）が異なる諸都市におけるヒートアイランド強度と天空比を比較することによって両者の関係を定性的に調べる。次に、天空比が異なるビル空間面における夜間の長波放射成分の観測に基づいて、都市地表面の長波放射場に及ぼす建物のしゃへい効果に

ついて述べる。

### II 都市気温の形成要因に関する統計的考察

#### 1. ヒートアイランド強度と都市人口

従来、ヒートアイランド強度は都市人口が多いほど大きくなると考えられて来た。特に、都市相互の比較に焦点をあて、ヒートアイランドの地域的特性を指向した研究例の中では人口との関係を論じたものが多い（Summers, 1965；福井, 1968；吉野・甲斐, 1973；Oke, 1973；Fukuoka, 1983）。

第1図は、ヒートアイランド強度と都市人口との関係を調べるため、日本と韓国、北米や西欧の諸都市を比較したものである。北米や西欧の諸都市はOke (1973)、日本の諸都市はFukuoka (1983； $\Delta$ で表示) および韓国の諸都市（ $\bullet$ で表示）はPark (1986)の結果に基づいて作成した。各地域における両者の関係を求めると次のようである。

北米の場合（17都市）は、

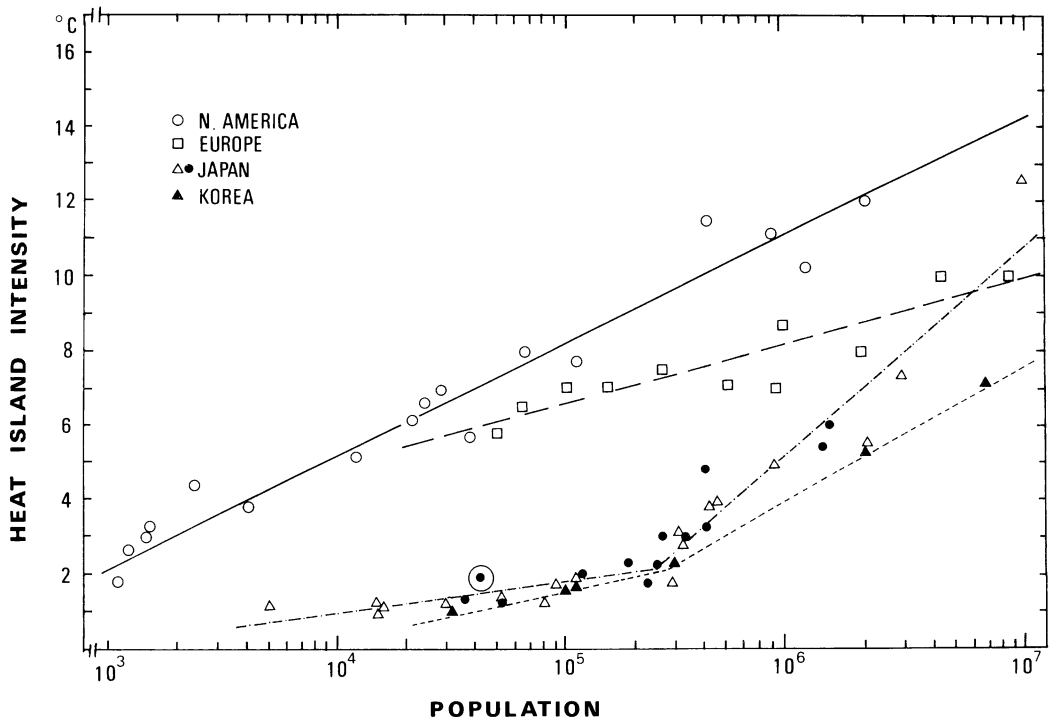
$$\Delta T_{u-r} = 2.96 \log P - 6.41 \quad (r^2 = 0.96) \quad (1)$$

西欧の場合（11都市）は、

$$\Delta T_{u-r} = 2.01 \log P - 4.06 \quad (r^2 = 0.74) \quad (2)$$

\*筑波大学・院・地球科学研究科 \*\*筑波大学地球科学系

(1986年7月8日受理)



第1図 ヒートアイランド強度と都市人口との関係(○: 水海道市)

日本の場合、

$$\Delta T_{u-r} = 0.85 \log P - 2.46 \quad (r^2 = 0.84; \text{都市人口30万人未満の中小都市; 16都市}) \quad (3)$$

$$\Delta T_{u-r} = 4.83 \log P - 23.81 \quad (r^2 = 0.95; \text{都市人口30万人以上の大都市; 14都市}) \quad (4)$$

韓国の場合、

$$\Delta T_{u-r} = 1.46 \log P - 5.93 \quad (r^2 = 0.98; \text{都市人口30万人未満の中小都市; 3都市}) \quad (5)$$

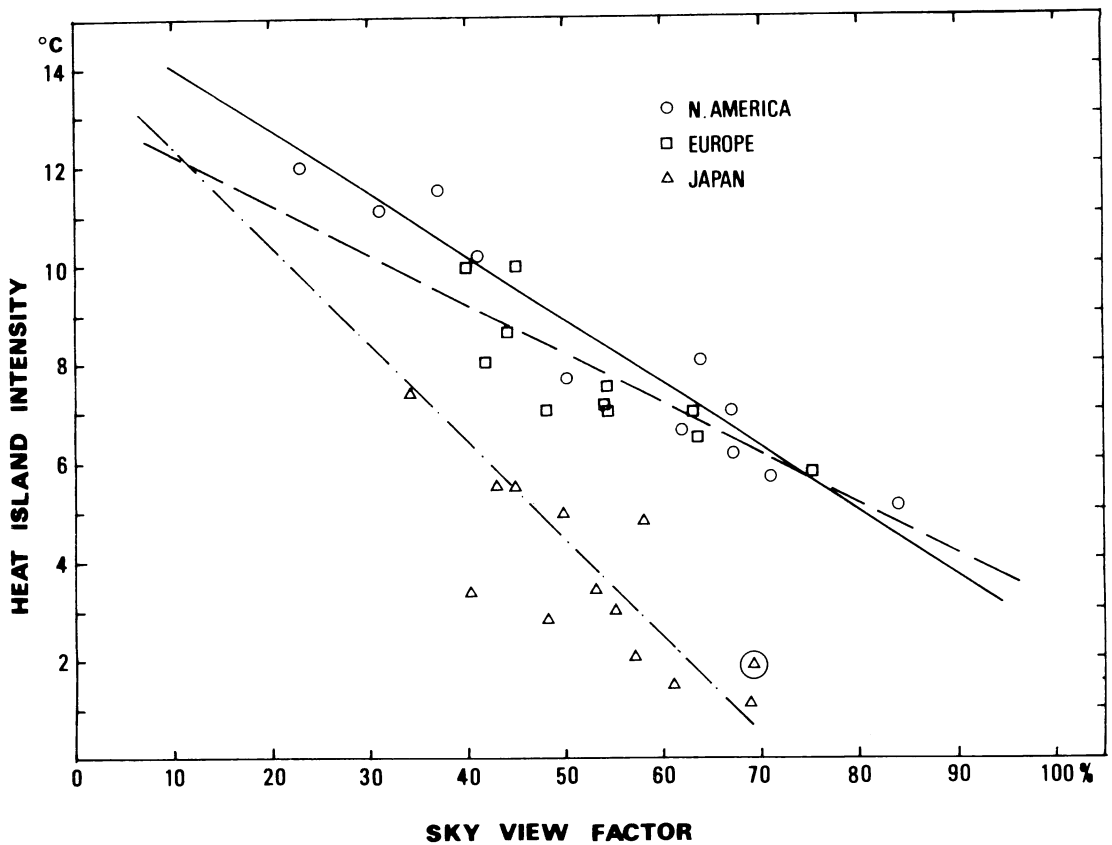
$$\Delta T_{u-r} = 3.43 \log P - 16.58 \quad (r^2 = 0.98; \text{都市人口30万人以上の大都市; 3都市}) \quad (6)$$

である。ここで、P は都市人口数である。これらの関係式から都市規模が大きいほどヒートアイランド強度が大きくなる一般性がみられる。しかし、その増加傾向は地域によって大きく異なる。北米の諸都市は他の地域に比べてその増加率が大き

く、次に、西欧、日本、韓国の順になる。特に、北米や西欧の諸都市では、両者の関係が単純な直線関係であるが、日本及び韓国の諸都市の場合、都市人口30万人程度を境にしてその傾向線が2つに分かれる。すなわち、都市人口30万人程度より小さい都市では人口増加に伴うヒートアイランド強度の増加がゆるやかであるが、大都市へ行くほど急激に増加する。このように、都市規模の大きさとヒートアイランド強度との関係が地域によって異なるのは、都市機能や都市構造の差などに起因すると思われる。

## 2. ヒートアイランド強度と天空比

都市地表面の幾何学的形態を表わす指標として天空比を用いてヒートアイランド強度と天空比との関係を調べた(第2図)。北米や西欧の諸都市はOke (1981) の結果を用い、日本の諸都市は著者の一人(朴)が魚眼レンズを用い、全天写真を撮影して求めた結果に基づいて作成した。使用した魚眼レンズは CANON Fish-eye lens (7.5mm,



第2図 ヒートアイランド強度と天空比との関係(⊙:水海道市)

picture angle 180°)であり、伊藤(1977)の天空比算定図を重ね、天空の占める割合を求めた。

Oke(1981)は都市の中心部と仮定した0.5m×0.5m×12.5mmのスケールモデルを用い、天空比を建物の高さ(H)と道路との幅(W)との比(H/W比)として表現した。しかし、天空比は実際の都市空間で魚眼レンズを用いて求めた値が真の値に近似する。したがって、Okeはモデルから算出した値と実際の都市の中心部での実測値を用いて両者の経験式を作成し、その経験式に基づいて北米や西欧の諸都市における天空比を求めた。すなわち、これらの値は実際の都市の中心部(ヒートアイランドの最高温域)における天空比と近似する。朴は実際の都市の中心部で撮影した天空比を用いた。上述した理由から各地域における天空比を比較し、その特性を述べることは可能

である。

ヒートアイランド強度と天空比との関係を回帰式で表わすと、

$$\Delta T_{u-r} = -0.2\psi_s + 14.36 \quad (r = -0.80) \quad (7)$$

北米の場合は、

$$\Delta T_{u-r} = -0.13\psi_s + 15.42 \quad (r = -0.96) \quad (8)$$

西欧の場合は、

$$\Delta T_{u-r} = -0.1\psi_s + 13.20 \quad (r = -0.82) \quad (9)$$

である。 $\psi_s$ は天空比を示す。両者は負の相関関係があり、その相関は非常に高い。これは、天空比がヒートアイランドの形成と密接な関係があることを意味する。都市化が進むと都市キャニオン

での建物の高層化，密集化に伴って天空に占める建物の割合が大きくなる。

つまり，天空比が小さくなると，建物に囲まれた都市空間では，昼間の短波放射に対する壁面の再反射の影響によるエネルギー吸収の増大や夜間における建物から天空への放出長波放射量の減少などを起し，都市内部に高温を維持させ，ヒートアイランド現象が生じることが考えられる(小林，1979)。

ここで，注目すべきことの一つは，上の(7)，(8)，(9)式の右辺第1項の値(第2図の回帰直線の勾配)が，北米と西欧は比較的類似しているのに対して，日本は値が大きいことである。これは，ヒートアイランド強度に寄与する天空比以外の要因の総合的な影響の度合いが北米と西欧は比較的類似しているが，日本は異なることを意味する

### 3. ヒートアイランド強度と都市人口，天空比との関係

ヒートアイランド強度は都市人口と正の比例関係，ヒートアイランド強度と天空比は負の比例関係があるが，それぞれ高い相関をもつことを前述した。第3図は，日本，北米及び西欧の諸都市における天空比と都市人口との関係を示したものである。各地域における両者の関係はつぎのようである。

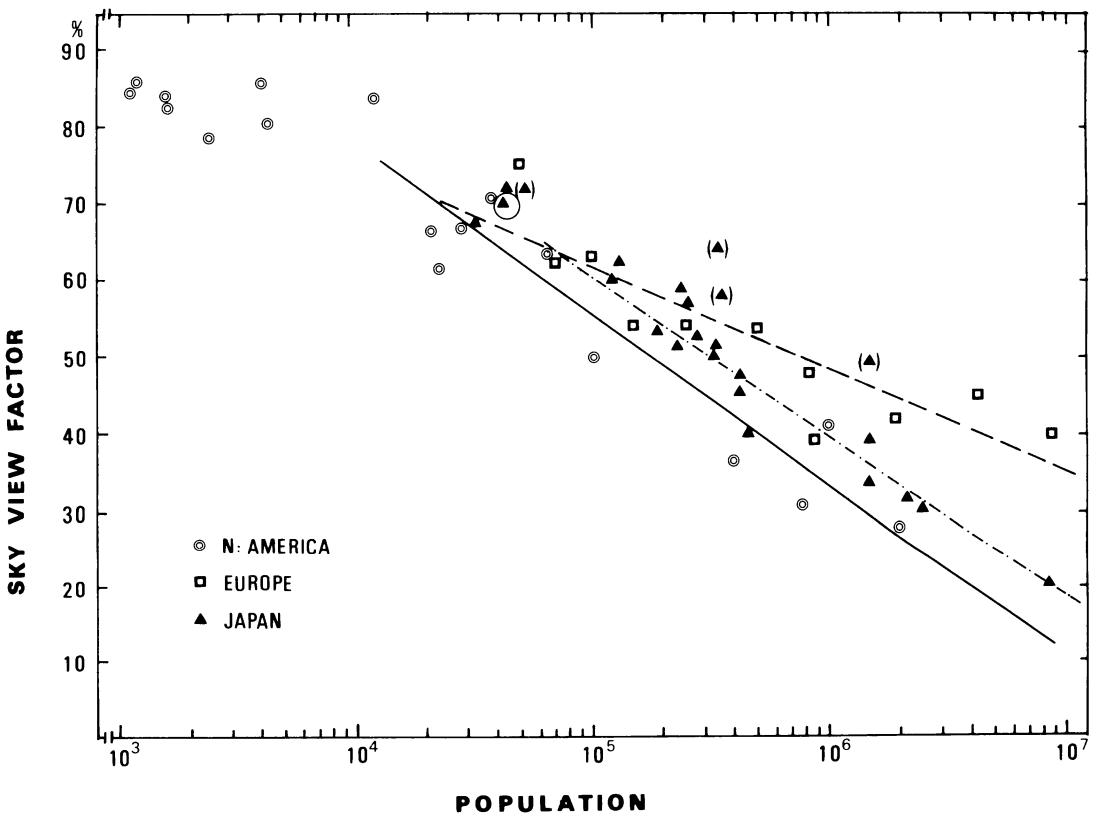
北米の場合(17都市)は，

$$\psi_s = -22.34 \log P + 167.27 \quad (r = -0.95) \quad (10)$$

西欧の場合(11都市)は，

$$\psi_s = -13.35 \log P + 128.65 \quad (r = -0.91) \quad (11)$$

日本の場合(20都市)は，



第3図 天空比と都市人口との関係(●: 水海道市，▲: 北海道の諸都市)

$$\psi_s = -22.15 \log P + 172.68 \quad (r = -0.97) \quad (12)$$

である。ここで、 $\psi_s$  は天空比、 $P$  は都市人口数である。各傾向線の勾配は、北米が西欧より大きい。日本は西欧よりむしろ北米に近い。このことは、都市規模がほぼ同じであっても北米の場合は都市キャニオンの幾何学的形態の凹凸が顕著であるため、ヒートアイランドに及ぼす建物の影響が西欧の諸都市に比べて大きいと推定される。この傾向は都市人口とヒートアイランド強度との関係と同様である（第1図参照）。したがって、ヒートアイランド強度と都市人口、天空比の3者は密接な関係があると考えられる。

第3図に注目すべき点が2つある。まず、日本の場合、天空比と都市人口との関係はほぼ直線関係にあり、ヒートアイランド強度と都市人口との関係でみられた2つの傾向線に分かれる傾向はみられない。しかし、より細かくみると、北海道内の諸都市（図中に（ ）で囲んだ所）、すなわち、稚内（人口約53,000人）、函館（約320,000人）、旭川（約353,000人）、札幌（1,420,000人）はいずれも回帰直線からはずれ、天空比は同じ都市規模の他の都市に比べて著しく大きく、西欧の回帰直線に近い。したがって、北海道の都市キャニオンの幾何学的形態は西欧に類似しているのではないかと推察される。これらの特性を考慮すれば、都市規模が大きくなるにしたがって天空比が小さくなる一般的特性を示す都市群と、都市規模に比べて系統的に天空比が大きい都市群と分かれることも考えられる。

次に、北米の場合、都市人口が1万人未満の小都市における天空比はほぼ同じである。このことは、ヒートアイランド形成に及ぼす建物の影響は、ある程度都市化が進んでではじめて顕在化することを意味する。

### Ⅲ 都市気温の形成要因に関する野外観測

#### 1. 観測の目的

前述したようにヒートアイランド強度と都市人口、天空比との3者の関係は非常に密接な相互作用

用をしていることがわかった。特に、天空比を用いて表現した都市地表面の幾何学的形態はヒートアイランド形成に大きく寄与していることが明らかになった。そこで、関東平野の小都市である水海道市（人口約41,000人；1982）を例としてヒートアイランドに及ぼす建物のしゃへい効果について考察した。まず、移動観測による地表面温度、気温の分布と天空比との関係を調べた。さらに、都市中心部にある最高層のビル構成面（地表面、屋上面、壁面）における長波放射成分の比較観測を行い、都市地表面の長波放射場に及ぼす建物の影響について考察した。

#### 2. 観 測

水海道市（第1～3図の中に○印を付けて表示）は平坦な地形で、市街地は四方約1kmの長さをもつ。建築物は1～2階建の木造建築物がほとんどであるが、市街地の内部は5～6階建の鉄筋コンクリートの建築物が密集している。市街地周辺の郊外は水田、あるいは畑地になっている。

観測期間は、1986年4月13日9時～14日10時までである。この期間中は、水海道市は高気圧の圏内に入り、快晴（雲量<2/10）かつ静穏（平均風速<0.2ms<sup>-1</sup>）で、ヒートアイランドの形成には理想的な天気状態であった。

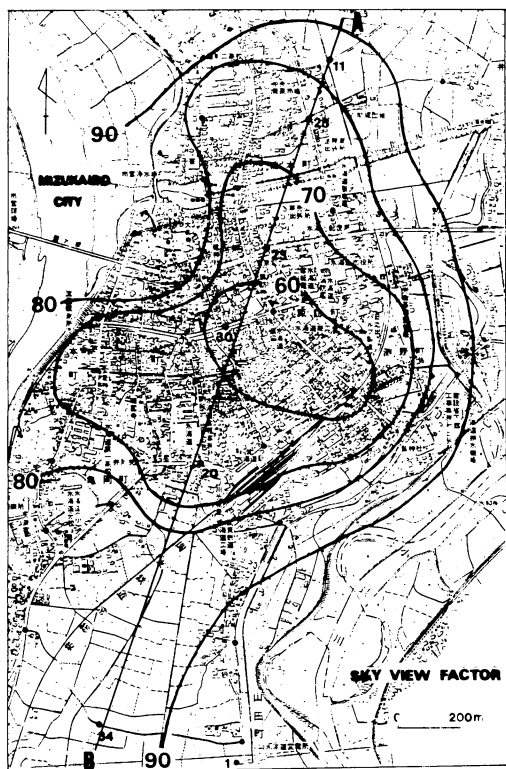
移動観測により、34地点における地表面温度および気温観測（1.5m）を3回（04：00～05：30、13：30～15：30、22：30～24：00）行った。また、都市の中心部（観測地点30）にあり、地表面、屋上面および壁面の構成物質がコンクリートである最高層ビル（マスタデパート；高さ16m）の道路に面した地表面（1.5m）および屋上面（17.5m）については長波放射量、表面温度、気温、風向、風速、雲量を観測した。なお、壁面（6.3m）については表面温度を観測した。長波放射収支量は放射収支計（英弘精機社製；CN-11型、CN-40型）を使用し、午前10時から翌日10時まで連続記録させた。表面温度は赤外放射温度計（松下通信工業製；ER-2008型）により、1時間毎に測定した。気温はアスマン通風乾湿計を使用し1時間毎に測定した。風向、風速は地表面と屋上面に

において中浅式風向風速計（ビラム）により1時間毎に測定し、5分間の平均値をもって測定値とした。各測定項目はすべて表面から1.5mの高さで行った。雲量は屋上面での目視観測によった。

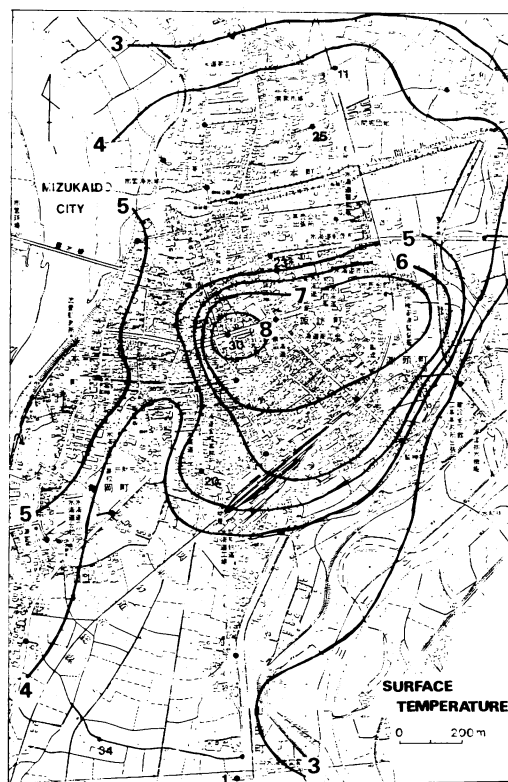
### 3. 観測結果および考察

水海道市においては、地表面温度と気温の分布はよく類似しているが、天空比と地表面温度および気温の分布とは逆相関がみられる。すなわち、天空比は都市の中心部が小さく、郊外へ行くほど大きくなるが、地表面温度および気温は都市内部が高温で、郊外ほど低温となる傾向が明らかである（第4、5、6図）。第7図は天空比と地表面温度（04:00~05:30）との関係を示したものである。この図から天空比の増加に伴って地表面温度が低下する負の相関関係（ $r=-0.74$ ）が明らかになった。

天空比の差異が地表面温度及び気温に及ぼす影響を解明するため、地表面と屋上面における天空



第4図 水海道市における天空比の分布

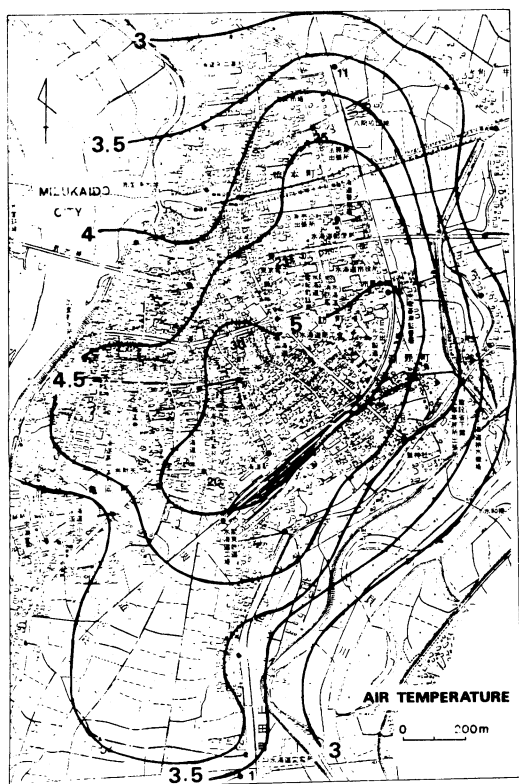


第5図 水海道市における地表面温度の分布  
(04:00~05:30)

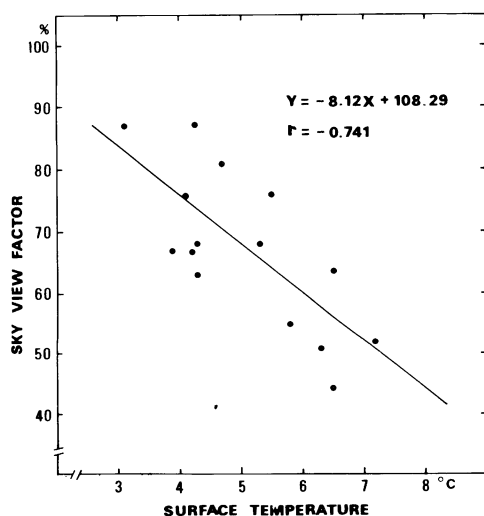
比と表面温度及び気温の時間変化を調べた。地表面の天空比は51%，屋上面は94%である。

第8図に、地表面、屋上面、壁面における表面温度及び気温の時間変化を示した。日中と夜間で地表面と屋上面の表面温度の間に逆転がみられる。屋上面の表面温度は17時頃までに地表面の表面温度よりかなり高いが、17時~7時の間には低くなる。つまり、日中は地表面に比べて屋上面が高温、夜間は地表面の方が高温になる。なお、壁面温度は日中に最低であるが、夜間を通して地表面温度と屋上面温度の中間値を示す。気温の日変化パターンは、1日中地表面の気温が屋上面より高い。夜間を通して地表面温度が屋上面より高温であることは地表面が屋上面に比べて冷却されにくいことを意味する。

静穏で快晴の夜間を通して長波放射収支量が近似的に一定である場合、地表面の冷却は Brunt (1941) の式によって表現することができる。



第6図 水海道市における気温の分布  
(04:00~04:30)

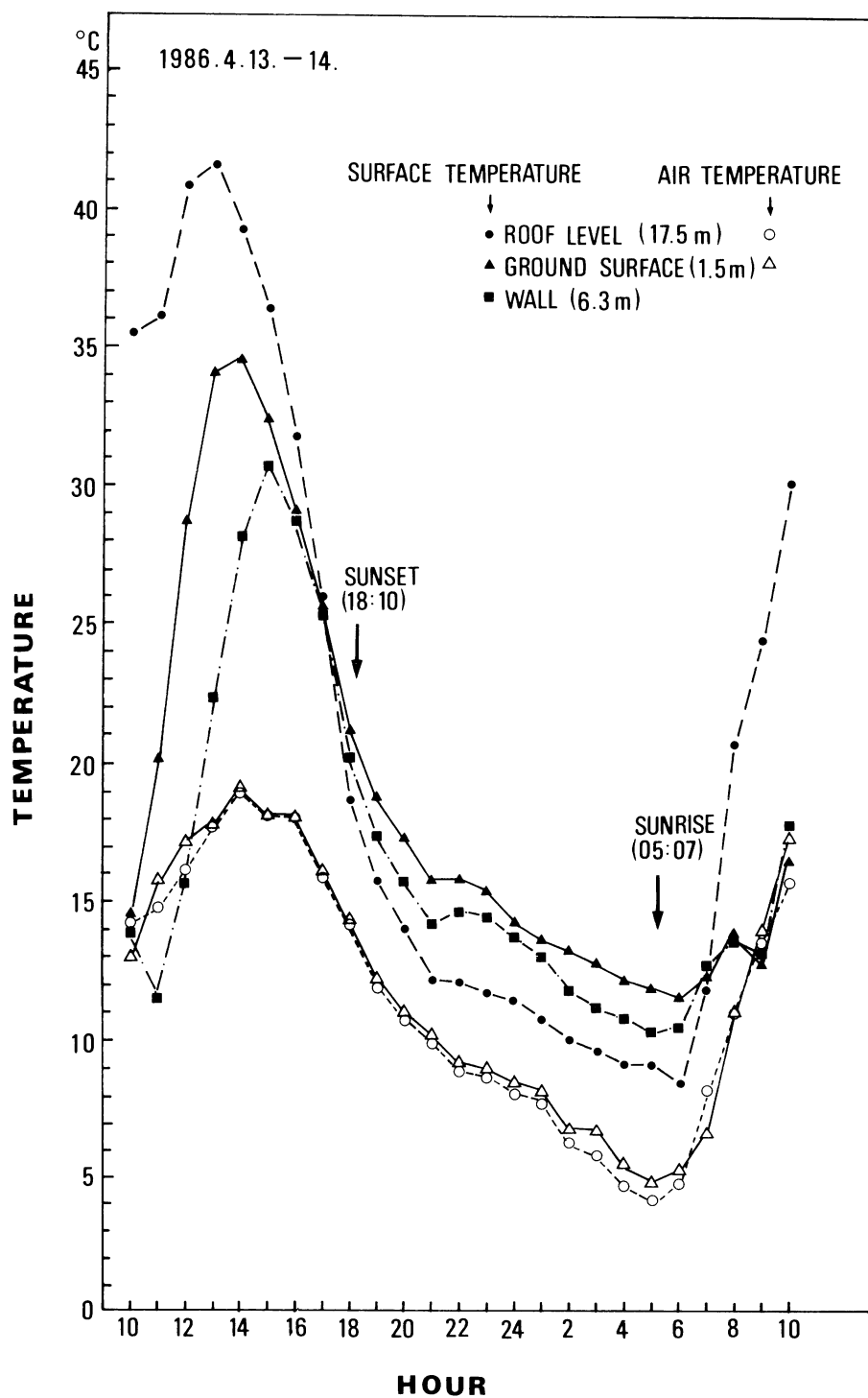


第7図 水海道市における天空比と地表面温度との関係(04:00~05:30)

$$\Delta T_{t-s} = -\frac{2}{\pi^{1/2}} \cdot \frac{R_n}{C \rho K^{1/2}} t^{1/2} \quad (13)$$

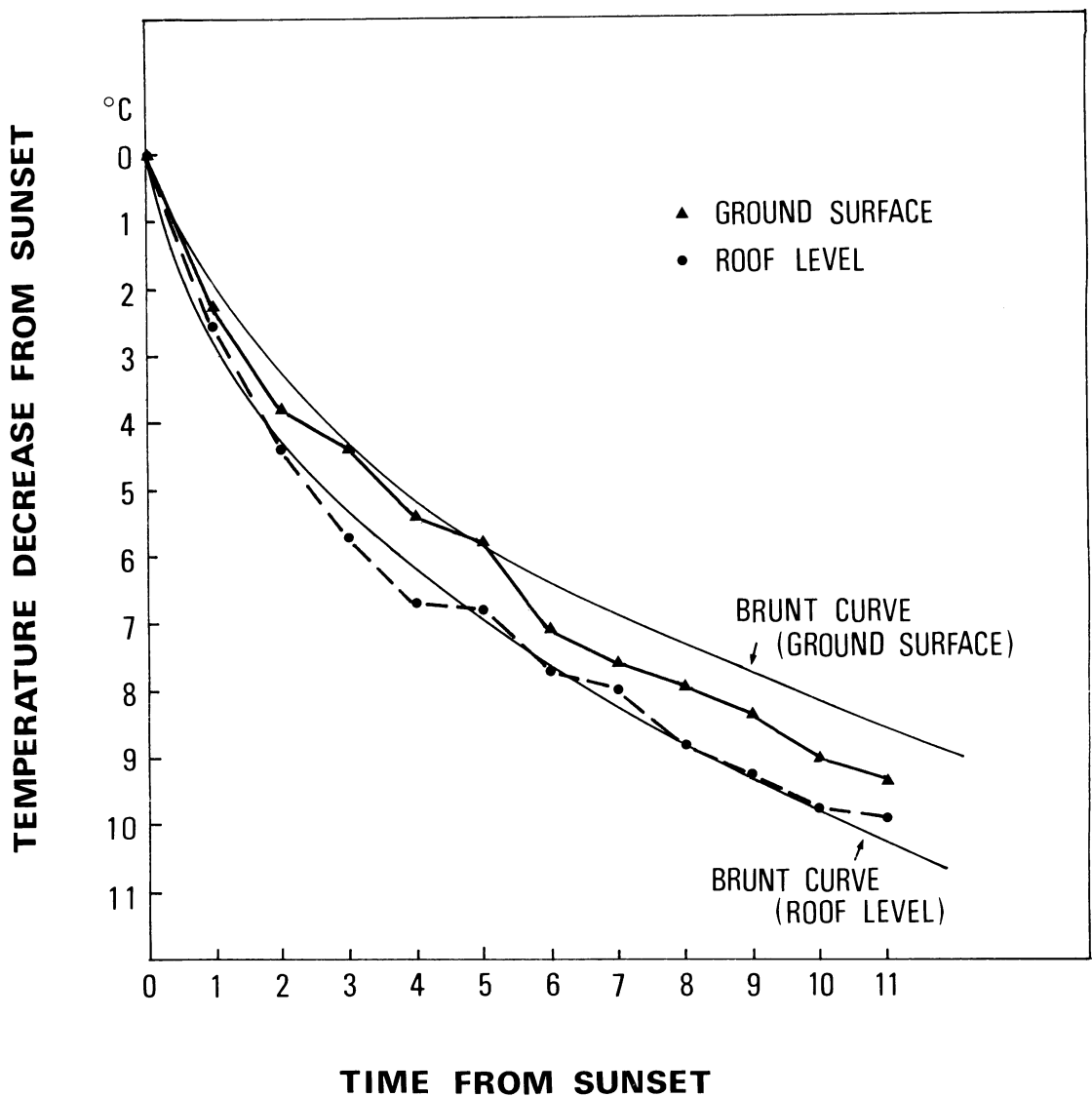
ここで、 $\Delta T_{t-s}$ は日没からの時間( $t$ )経過に伴う表面温度の変化量(冷却量)、 $R_n$ は長波放射収支量、 $\pi$ は円周率、 $C$ は地表面の構成物質の比熱、 $\rho$ はその密度、 $K$ はその温度伝導率である。観測を行った地表面と屋上面の材質は共にコンクリートであるため、 $C \rho K^{1/2}$ は一定で、冷却量は $R_n$ と $t^{1/2}$ によって決まる。観測を行った4月13~14日における天気状態は快晴(雲量 $<2/10$ )で静穏(平均風速 $<0.2 \text{ m s}^{-1}$ )で、夜間の長波放射収支量( $R_n$ )はほぼ一定であった。このような条件に基づいて地表面と屋上面における表面温度の夜間冷却量を示したのが第9図である。Brunt 曲線の計算の際、 $R_n$ は観測結果に基づいて地表面が $69 \text{ Wm}^{-2}$ 、屋上面が $113 \text{ Wm}^{-2}$ にし、 $C \rho K^{1/2}$ は Ingersoll *et al.* (1948) が作成したコンクリート面の値である $2380 \text{ Wm}^{-2}$ を用いた。表面温度の夜間冷却量を観測値と計算値を比較すると、地表面では多少のずれがあるが、屋上面ではほぼ一致する。このように、夜間の冷却量を Brunt の式によって表現することができるということは、地表面と屋上面における夜間冷却量の差は $R_n$ の差に大きく依存していると推定される。この図から $\Delta T_{t-s}$ は日没直後に急激に、その後は時間の経過と共にゆるやかに冷却が進むことがわかる。両面における Brunt 曲線の勾配は屋上面が大きく、地表面が小さい。つまり、屋上面は、冷却しやすいが、地表面は冷却しにくいといえる。天空比が小さい地表面の冷却率が小さいことから建物のしゃへい効果によって長波放射収支量が少なくなり、放射エネルギーが吸収され、夜間を通して高温が維持されることが考えられる。そこで、夜間の放射冷却に直接関与する長波放射成分について考察する。

第10図に、4月13日の18時から14日の5時までの地表面と屋上面における長波放射成分の時間変化を示した。縦軸は放射量を1時間毎に読んで $\text{Wm}^{-2}$ で表示した。表面に入射する放射エネルギーは正の値で、表面から放出される放射エネルギーは負の値で表わす。したがって、下向き長波放射



第 8 図 地表面，屋上面，壁面における地表面温度及び気温の時間変化





第9図 日没後、地表面及び屋上面における地表面温度の夜間冷却量

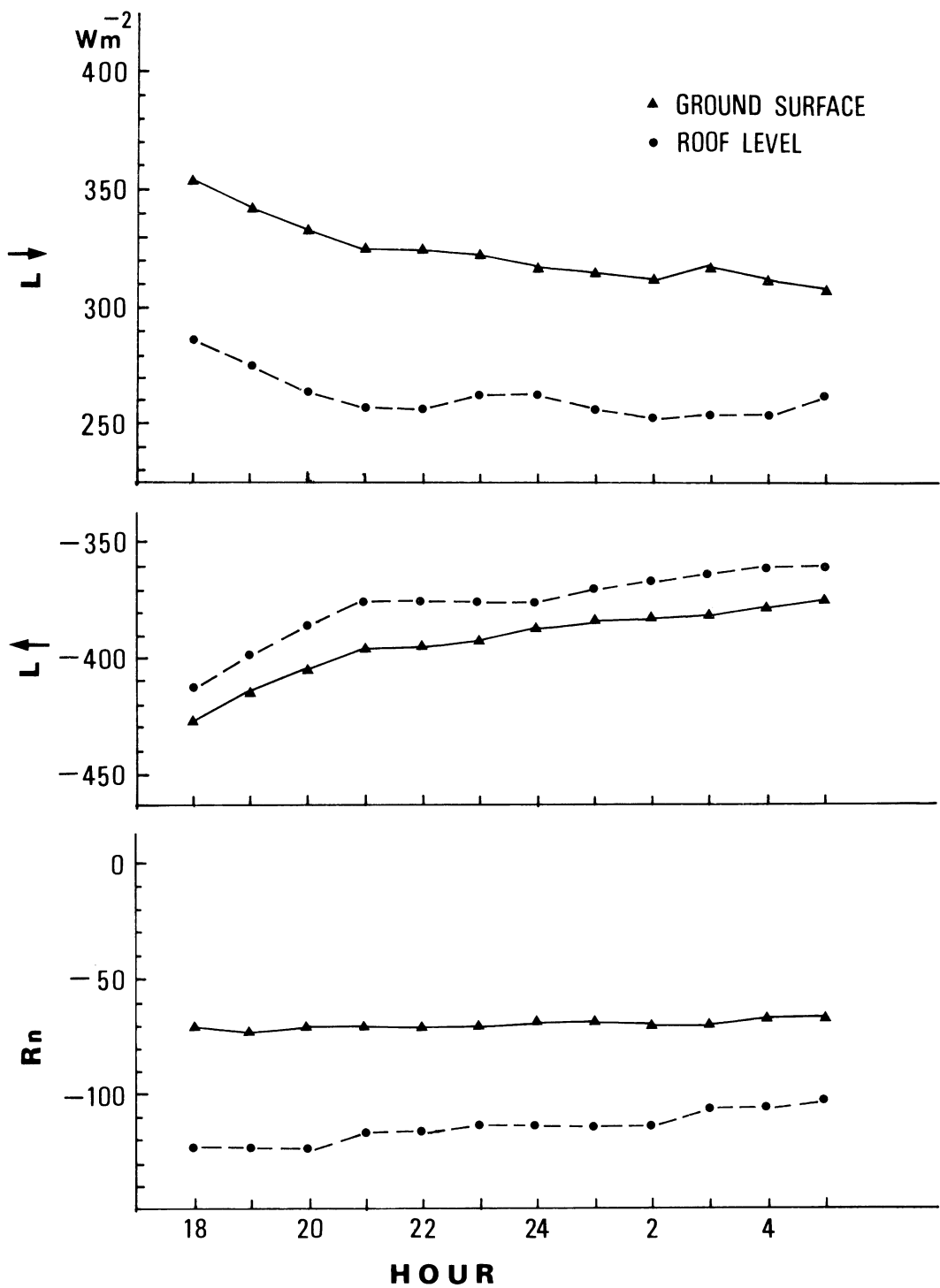
量 ( $L \downarrow$ ) は正, 上向き長波放射量 ( $L \uparrow$ ) 及び長波放射収支量 ( $R_n$ ) は負の値である。 $R_n$  は放射収支計による直接測定値,  $L \uparrow$  は赤外放射温度計による表面温度から Stefan-Boltzman の法則によりその値を求めた。 $L \downarrow$  は,

$$L \downarrow = R_n - L \uparrow \quad (14)$$

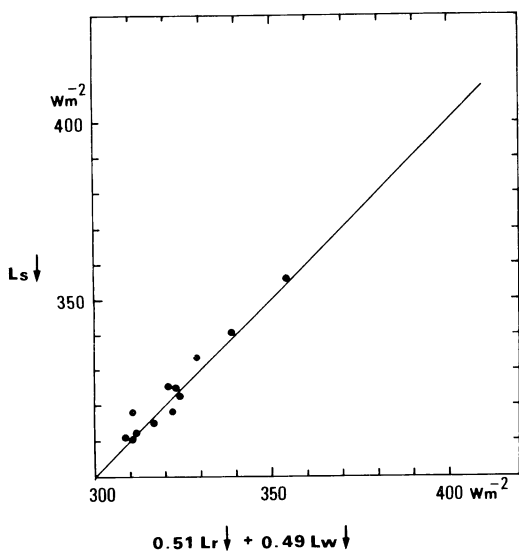
の関係から両者の残差として求めた。夜間を通して地表面と屋上面における長波放射成分の平均値

第1表 長波放射成分の夜間平均値 ( $Wm^{-2}$ )  
(1986年4月13日18:00~14日05:00)

	長波放射量		
	$L \downarrow$	$L \uparrow$	$R_n$
地表面	324	—392	—69
壁面		( $L_w$ ) 386	
屋上面	263	—376	—113



第10図 地表面と屋上面における長波放射成分の時間変化



第11図 地表面の下向き長波放射量と建物によるしゃへい効果を考慮したときの下向き長波放射量との関係

は第1表のとおりである。なお、壁面からの放出長波放射量( $L_w$ )も示した。各長波放射成分からの時間変化パターンは、明け方になるにつれて $L\downarrow$ は漸減、 $L\uparrow$ の絶対値は漸減、 $R_n$ の絶対値は屋上面で少し漸減する。地表面の $R_n$ は夜間を通してほぼ一定である。屋上面の $R_n$ は常に地表面の値より大きい。第1表に示したように、 $R_n$ の平均値は屋上面が $113 \text{ Wm}^{-2}$ 、地表面は $69 \text{ Wm}^{-2}$ で、屋上面の約61%に過ぎない。つまり、地表面の放射冷却は屋上面のその約6割弱に過ぎない。これから、第9図に示したように地表面温度の冷却量が屋上面に比べて小さいことが裏づけられる(第9図参照)。

地表面と屋上面の長波放射収支量( $R_n$ )の相違を下向き長波放射量( $L\downarrow$ )と上向き長波放射量( $L\uparrow$ )の成分に分けて考察する。 $L\downarrow$ は常に地表面が屋上面より約 $61 \text{ Wm}^{-2}$ ほど大きい。 $L\uparrow$ の絶対値は夜明けまで減少しつづける(表面から放出される放射エネルギーが減少する)。両面における $L\uparrow$ の差は約 $16 \text{ Wm}^{-2}$ に過ぎず、 $L\downarrow$ の差ほど大きくない。両面における $R_n$ の絶対値の差が約 $44 \text{ Wm}^{-2}$ であった。したがって、この差の主因

は両面における $L\downarrow$ の相違であることがわかる。このような観測結果は、壁面からの放射エネルギーの貯熱を考慮すれば、十分に意味があることである。換言すれば、建物のしゃへい効果が $L\uparrow$ の増加以上に $L\downarrow$ を増加させ、地表面の冷却を緩和させていることがわかる。

建物のしゃへい効果を評価するために第11図を作成した。縦軸は、地表面における下向き長波放射量( $L_s\downarrow$ )であり、横軸は、天空比51%を用い、建物に占められた天空からは、壁面からの放出長波放射量( $L_w$ )が地表面に入射し、建物に占められてない天空からは、屋上面における下向き長波放射量( $L_r\downarrow$ )が地表面に入射するものと考えた場合の計算値である。両者はほぼ1:1に対応する。これは、建物が地表面に及ぼす影響を考慮すれば地表面の下向き長波放射量は、屋上面の下向き長波放射量と壁面からの長波放射量によって説明することができる。

以上から、天空比は夜間の放射冷却に直接関与する長波放射場と密接な関係があることが明らかになった。したがって、都市キャニオンの幾何学的形態を表わす指標である天空比は夜間のヒートアイランド形成の主要な要素の一つである。

#### IV 結 論

ヒートアイランド形成に及ぼす建物の影響を調べるため、都市規模(人口)が異なる諸都市におけるヒートアイランド強度と天空比との関係を定性的に考慮し、さらに、夜間の長波放射場に及ぼす建物のしゃへい効果を水海道市の観測に基づいて調べた結果、次のようなことが明らかになった。

1) ヒートアイランド強度と人口との関係は、都市規模が大きいほどヒートアイランド強度が大きくなる。しかし、その増加傾向は地域によって異なる。北米は西欧に比べてその増加傾向が顕著であり、韓国や日本の諸都市ではその増加傾向線が二つに分かれる。すなわち、人口30万人程度を境にしてそれより小さい中小都市ではゆるやかに増加するが、それより大きい大都市では急激に増加する。

2) ヒートアイランド強度と天空比との関係は負の相関関係があり、その相関係数は非常に高い(日本;  $-0.80$ , 北米;  $-0.96$ , 西欧;  $-0.82$ )。

3) 天空比と都市人口との関係は、都市規模が大きいほど天空比が小さくなる。この傾向の割合は地域によって差があり、北米が西欧より大きく、日本は北米に近い傾向を示す。この傾向はヒートアイランド強度と都市人口との関係と類似している。このことから、ヒートアイランド強度と都市人口、天空比の3者は密接な関係があることがわかる。

4) 水海道市における地表面温度及び気温の分布はよく類似しているが、天空比の分布とは逆相関の関係がみられる。すなわち、天空比は高温域である都市内部が小さく、低温域である郊外ほど大きい。

5) 都市中心部の最高層の地表面(天空比: 51%)と屋上面(天空比: 94%)での表面温度の夜間冷却量は地表面が小さく、屋上面が大きい。放射冷却は日没直後に急激に進むが、その後は徐々に進行する。このことは、Bruntの夜間冷却の式でよく説明できる。

6) 地表面と屋上面で、長波放射成分の差異がみられる。特に、長波放射収支量( $R_n$ )と下向き長波放射量( $L\downarrow$ )の差は著しい。地表面の $R_n$ は常に屋上面の約6割弱である。これは主として地表面の $L\downarrow$ が屋上面に比べて非常に大きいためである。

7) 地表面での下向き長波放射量( $L_s\downarrow$ )の増加は建物の壁面のしゃへい効果に起因する。地表面での $L_s\downarrow$ は建物のない天空部分からの下向き長波放射量(屋上面での下向き長波放射量に相当する; $L_r\downarrow$ )に、建物の占める天空部分からの下向き長波放射量(壁面からの放出長波放射量; $L_w$ )が付加したもので、その割合は天空比によって規定される。

今後は、さまざまな都市での観測を実施し、放射場に大きい影響を与える天空比とヒートアイランド強度との関係をさらに定量的に調べる必要がある。

## 謝 辞

本研究を行うに当って、筑波大学地球科学系の吉野正敏教授、西沢利栄教授、小林 守講師と水理実験センターの山下孔二技官には貴重な御助言をいただいた。観測に当っては、筑波大学大学院生の森永由紀嬢を始め、7名の筑波大学自然科学類生と、大学院生の方々にご協力をいただいた。また、水海道市ロータリークラブの鈴木邦彦氏を始め、多数のロータリアンに多くの便宜をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 文 献

- 伊藤克三(1977):『日照関係図表の見方、使い方』オーム社, 141p.
- 小林 守(1979):都市の地表面と屋上面における長波放射収支の比較観測. 地理評, **52**, 251-260.
- 福井英一郎(1968):日本における最近の気温上昇. 地理評, **41**, 477-490.
- 吉野正敏・甲斐啓子(1973):日本の諸都市における近年の気温変化と気圧配置・人口密度との関係, 天気, **20**, 489-497.
- Brunt, D. (1941): *Physical and Dynamical Meteorology*. Cambridge Univ. Press, London, 428p.
- Fukuoka, Y. (1983): Physical Climatological Discussion on Causal Factors of Urban Temperature. *Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences*, **8**, Hiroshima Univ., 157-178.
- Ingersoll, L., Zobel, R. J., and A. C. Ingersoll (1948): *Heat Conduction*. McGraw-Hill, New York, 278p.
- Landsberg, H. H. (1981): *The Urban Climate*. Academic Press, New York, 275p.
- Lee, D. O. (1984): Urban Climates. *Progress in Physical Geography*, **8**, 1-31.
- Oke, T. R. (1973): City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, **7**, 769-779.
- Oke, T. R. (1979): *Review of Urban Climatology 1973-1976*. WMO Tech. Note, 134, Geneva, 100p.
- Oke, T. R. (1981): Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Jour. Climatology*, **1**, 237-254.
- Park Hye-Sook (1986): Features of the Heat Island in Seoul and its Surrounding Cities. *Atmospheric Environment*, **20**, (印刷中).
- Summers, P. W. (1965): An Urban Heat Island Model: Its Role in Air Pollution Problems, with Applications to Montreal. *First Canadian Conference on Micrometeorology in Toronto*, 1-32.