日本と韓国の諸都市における都市規模とヒートアイランド強度

朴 恵 淑*

日本と韓国の諸都市における都市人口とヒートアイランド強度との間には正の相関があるが、単なる直線 関係ではなく、人口約30万を境にして勾配の異なる直線で表わされる.その原因を推論するため、天空比と 非透水性面積比を指標にとり、ヒートアイランド強度ならびに都市人口との関係を考察した.ヒートアイラ ンド強度と天空比とは負の相関、非透水性面積比とは正の相関があり、いずれも高い相関をもつ.天空比と 都市人口との関係は欧米の都市と同様な一本の直線で近似できる.しかし、北海道の諸都市の天空比は他の 都市に比べてかなり大きく、別の直線で表わされる.非透水性面積比と都市人口との関係は、人口50万程度 でその傾向が変わる.これは、ヒートアイランド強度と都市人口との関係でみられる人口約30万とは若干差 があるが、その傾向は同様である.したがって、都市人口とヒートアイランド強度との関係が中小都市と大 都市とて異なる原因の一つとして、非透水性面積比の違いで表わされるような都市構造の差異が関与してい ると考えられる.

- 238 -----

Iまえがき

ヒートアイランドに関する研究は世界各国で多数 行なわれ,都市の規模が大きいほど都市内外の気温 差(ヒートアイランド強度; *4* T_{u-r})が大きい傾向 があることが知られている.ヒートアイランドの成 因については都市で発生する人工熱,都市内外の地 表面構成物質の熱的特性と蒸発散の差異,都市の地 表面形態に伴う放射収支,大気汚染に関係する温室 効果などがあげられている.しかし,都市の規模に よるヒートアイランド強度のちがいと,これらの要 因を個別にむすびつけた研究はない.

これに代わるものとして,まず都市人口とヒート アイランド強度の関係を調べたOke (1973)の研究 があげられる.彼は,北米と西欧の諸都市の気温分 布の観測値から,都市内外の気温差の最大値と都市 人口とが対数比例の関係にあることを示した.その 後,Fukuoka (1983)は日本について,Jauregui (1986)は熱帯の都市について同様の研究をした. Fukuoka (1983)は日本の都市についても人口とヒ ートアイランド強度の間には対数比例の関係が成り 立つが,人口30万付近を境にして両者の関係が異な * 筑波大学・院 ることを明らかにした.また,ヒートアイランドに 及ぼす都市の放射場の指標として,Oke(1981)は都 市域内の最小天空比(minimum sky view factor)を 採用し,欧米の都市についてヒートアイランド強度 との間に負の相関関係があることを見出した.また, Yamashita⁻et al (1986)は日本の都市について同様 の結果を得ている.しかし,これらは都市規模と天 空比の関係を比べたものではない.したがって,こ れまでのところ,Fukuoka (1983)の指摘した日本 の諸都市で人口30万付近を境にしてヒートアイラン ド強度と都市人口の関係が異なるという事実の原因 については,全く不明である.

筆者は,さきにソウル市およびその周辺域にある 衛星都市について夏季のヒートアイランドの気候学 的研究を行なった(朴,1986).そこで,本研究では 気候帯や都市の状態が日本と比較的類似していると 思われる韓国においても,上述のような都市人口と ヒートアイランドの強度との関係がみられるかどう かをまず検討する.次に,人口30万付近を境にして 両者の関係が異なる原因を推論する手がかりとして, 天空地と非透水性面積比をとり,都市内外の気温差 ならびに都市人口との関係を明らかにすることを試 みる.

Ⅱ ヒートアイランド強度と都市人口

都市人口は人工熱の排熱量をはじめ、ヒートアイ ランド強度に関係する都市活動の程度を表わす指標 の一つと見なすことができる.

第1 図は, 横軸に人口の対数, 縦軸にヒートアイ ランド強度の最大値をとって, 両者の関係を日本, 韓国, 北米, 西欧について記入したものである. 韓 国以外の諸都市におけるヒートアイランド強度は, これまでさまざまな都市で得られた年間の観測デー タの中の最大値である. 北米・西欧については Oke (1973, 1981)の二つの研究に掲載されているデータ を合わせて記入した. 回帰直線は筆者がこれに基づ ちて作成したもので, Oke(1973)の回帰式とは係数 が若干異なるが, 傾向は類似している. 日本につい ては, これまで多くの研究者によって諸都市で観測 された気温分布のデータを収集し, その中でヒート アイランド強度が最も顕著に現われると考えられる 秋季から冬季にかけて3回以上の観測値がある都市 を選び,ヒートアイランド強度の最大値を求めた¹⁾. 韓国の場合は,筆者が夏季3ヵ月間に行なった五つ の都市の観測データ(朴,1986)と金(1976)による一 つの都市(大邱)のデータしか得られていない.その ため,ヒートアイランド強度が北米・西欧や日本と 比べて小さくなっていると思われる.したがって, 韓国と他の地域について都市人口とヒートアイラン ド強度の関係式の定量的な比較はできないが,都市 人口とヒートアイランド強度の関係の傾向を知るに は充分であると思われる.

いずれの地域においても、都市人口が多くなると ヒートアイランド強度が大きくなる傾向は一致して いる.しかし、その状態は地域によって大きく異な る.北米・西欧の場合は両者の関係がほぼ1本の直 線で現われるが、日本と韓国の場合は都市人口30万



第1図 日本,韓国および北米,西欧の諸都市におけるヒートアイランド強度の 最大値と都市人口との関係 (北米,西欧は Oke(1973,1981)のデータに基づく).

Fig. 1 Relationships between the maximum heat island intensity and urban population for Japanese, Korean, North American and European cities (Original data for North American and European cities after Oke(1973, 1981)).

239-

程度を境にして直線が折れる. すなわち,人口30万 より大きい都市(大都市)ではそれより小さい都市 (中小都市)に比べて,人口増加に伴うヒートアイラ ンド強度の増加の割合が大きい. この関係を日本と 韓国の諸都市について人口を P,ヒートアイランド 強度の最大値を 4 T_{u-r(max)} とした実験式で表わす と次のようになる.

日本の人口30万未満の中小都市では,

$2 I_{u-r(max)} = 1.21 \log P - 3.92$	
$(r^2 = 0.70)$	(1)
同じく人口30万以上の大都市では,	
$\Delta T_{u-r(max)} = 4.01 \log P - 19.09$	
$(r^2 = 0.87)$	(2)
韓国の人口30万未満の中小都市では,	
$\Delta T_{u-r(max)} = 1.19 \log P - 4.73$	
$(r^2 = 0.97)$	(3)
同じく人口30万以上の大都市では,	
$\Delta T_{u-r(max)} = 3.74 \log P - 18.44$	
$(r^2 = 0.98)$	(4)
北米の諸都市では,	
$\Delta T_{u-r(max)} = 2.96 \log P - 6.46$	

 $(r^2 = 0.95)$ (5)

西欧の諸都市では,

 $\int T_{u-r(max)} = 1.92 \log P - 3.41$ (r² = 0.69) (6)

日本の場合,人口30万程度を境にして回帰直線の 勾配が変化する原因として,都市機能や都市構造が 異なることが考えられる.また,韓国の諸都市につ いても日本と同様な回帰直線が現われるのは,韓国 の都市の構造,機能や諸気候因子が欧米の都市より 日本のそれに類似していることによると思われる.

日本の都市の規模や機能に関する分類あるいは都 市化に関しては,都市地理学の多くの研究がある (たとえば,小笠原,1954;石水,1965;服部,1979). それらによると,人口25万以下の都市規模が小さい 都市では標準型都市²⁰が多く,人口25万以上になる

と標準型都市と共に特定の機能に特化する都市が多 くなる.また,地域の構造的,機能的側面からも人 口30万程度の都市は地方中心(県都級)都市圏を形成 し、その県領域の政治、経済、文化のセンターとし ての機能をもつことが指摘されている. 戸沼(1980) によれば、日本の現在の都市のケーススタディから 人口規模による市街地形態の変換点をラウドナンバ ーで表わすと、3万、10万、30万、100万人あたり にそれを認めることができる.彼は,これをもとに して日本の現代都市を小都市(人口1万~10万未満), 中都市(同10万~30万未満),大都市(同30万~100万 未満),巨大都市(同100万以上)の四つに区分できる として,それぞれの都市群の特性をあげた.そして 都市人口30万は中小都市と大都市との境となり、30 万以上の大都市になると地方ブロックの中心となり、 都心 (C.B.D.) の形成および高層化が明確となるこ とを指摘した.また,成(1977)と朱(1982)は,韓国 の都市化と都市システムに関する研究で、韓国都市 の類型として発展的大都市と停滞的中小都市とに大 別した.発展的大都市は、以前からの大都市あるい は新しい行政,工業都市で,人口は20万~50万以上 で人口増加率が全国平均より高く、都市化・工業化 が著しい. また,都市化に伴う各種の都市機能の強 化および特定の機能の特化が起こり、停滞的中小都 市と比べて都市機能や内部構造の格差が大きいこと が強調されている.

これらは、人口30万付近を境にしてヒートアイラ ンド強度と都市人口の関係が異なることを直接説明 するものではない.しかし、日本と韓国の諸都市で 人口30万がもつ意味は都市機能や構造の差異の変換 点となることにある.

III ヒートアイランド強度と天空比および 非透水性面積比との関係

前章で述べたように,日本と韓国の都市における 都市人口とヒートアイランド強度との関係は,人口

- 240 ---



最大値と天空比との関係

(北米, 西欧は Oke(1981)のデータに基づく).

Fig. 2 Relationships between the maximum heat island intensity and sky view factor for Japanese, Korean, North American and European cities (Original data for North American and European cities after Oke(1981)).

- 241

30万程度を境にして異なる.都市地理学的な研究で, ただちにこの説明になるような適切な指標はとられ ていないが,多くの都市の景観をみると,人口約30 万以上の大都市では市街地の中心部に高層建築が集 まった繁華街ができ,市街地内部に商・工業地域や 住宅地域などの機能的地域分化が明瞭にみられる. このような都市の機能や構造の違いとヒートアイラ ンド強度を関係づけて,定量的な表現のできる総合 的指標として,Oke(1981)が使用した天空比と山下 (1981)が採用した非透水性面積比の二つを用いて解 析を進めることにした.

天空比は, 建物に囲まれた都市キャニオン内の放 射収支や顕熱輸送に関係する都市の地表面の凹凸を 表わす指標で, 建物の高さ(H)と道路の幅(W)との 比(H/W)である.

第2図は、ヒートアイランド強度の最大値と天空

比との関係を示したものである.北米や西欧の諸都 市はOke(1981)のデータを引用して記入し,回帰式 はそれに基づいて筆者が作成した. 日本と韓国の諸 都市の天空比については、次のようにして求めた値 を用いた. 各都市の中心部 (C. B. D) に36ヵ所を選 び,それぞれの場所で魚眼 レンズ(CANON Fisheye lens(7.5mm, picture angle 180°))を用いて全 天写真を撮影し,伊藤(1977)の天空比算定図を重ね, 天空の占める割合を求めて得られた値の平均値であ る³⁾. 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,モデルか ら算出した値と実際の都市の中心部での魚眼レンズ を用いた実測値を比較し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、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. 上記の理由から, 各地域における天空比を 比較, 論述することは可能である.

ヒートアイランド強度の最大値と天空比(\u0394s)との 関係を回帰式で表わすと、

日本の諸都市では.

 $\Delta T_{u-r(max)} = -0.12 \phi s + 10.15$ $(\mathbf{r} = -0.83)$

(7)

韓国の諸都市では、

 $\Delta T_{u-r(max)} = -0.14 \phi s + 12.23$

(r = -0.93)(8)

北米の諸都市では,

 $\Delta T_{u-r(max)} = -0.15 \phi s + 16.34$ (r = -0.96)(9)

西欧の諸都市では,

 $\Delta T_{u-r(max)} = -0.10 \, \phi s + 13.20$ (r = -0.82)(10)

である. ヒートアイランド強度と天空比との間には 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形成と密接な関係が あることを意味する.

天空比がヒートアイランド形成に果たす役割の解 明は、本研究の直接の目的ではないが、これまでの 研究によって次のようなことが明らかにされている. 都市化が進み、都市キャニオンでの建物の高層化と 密集に伴って天空に占める建物の割合が大きくなる (天空比が小さくなる)と,建物に囲まれた都市空間 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 らの放出長波放射量の減少などを起こし、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 と考えられる(小林, 1979; Bärring and Mattsson, 1985)4). また,建物が密集している市街地では,風 速の減少による顕熱の上空への輸送が押えられるた めに,都市キャニオン内に高温が維持される効果 などが考えられる (西沢, 1958; Nunez and Oke, 1976)5).

一方,都市人口が増え都市化が進むと,建物や舗 装道路などの増加に伴って、地表がコンクリートや アスファルトなどの非透水性の人工的物質で被われ る割合は高くなる. その結果, 地表面の熱収支は変 化し、ヒートアイランド強度も変わる. 地表面の構 成物質による熱輸送の諸過程の変化を表わす指標と して、非透水性面積比(都市域の総面積に対する人 工的被覆物の占める面積比)をとりあげ、ヒートア イランド強度との関係について調べた.

非透水性面積比の算出方法は次のとおりである. 日本の都市については国土地理院の国土数値情報デ ータを用い,建物用地(A),(B)と幹線交通用地の 面積が都市域の総面積に占める割合(%)を使用し た⁶⁾. このうち, 建物用地(B)には民家の庭の一部 などが含まれている.また,幹線交通用地には道路 以外に鉄道が入っているので、厳密な意味では非透 水性物質に被われた面積とは多少の差があるが、こ れらを分離する手段がないうえに、その割合が大き な影響を及ぼすことはないと思われるので、この値 を用いることにした. 韓国の都市については研究地 域の土地利用図 (1/50,000) に 500m×500m メッシ ュをかけ、各メッシュの中の建物や舗装道路の占め る割合を求め、行政区域内の平均値を百分率で求め た.このように、日本と韓国の諸都市における非透 水性面積比の算出方法に若干の差があるが、非透水 性面積比の増加に伴うヒートアイランド強度の変化 傾向を知る目的には充分である.

第3図に、日本と韓国の諸都市におけるヒートア イランド強度の最大値と非透水性面積比(X)との関 係を示した.両者の関係は次のとおりである. 日本の諸都市では.

 $\Delta T_{u-r(max)} = 0.11 X + 0.50$

(11)

韓国の諸都市では,

----- 242 ----

(r = 0.88)

 $\Delta T_{u-r(max)} = 0.20 X - 0.65$ (r = 0.95)

(12)







で、日本と韓国共に両者の関係は非常に高い.これ は非透水性物質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.

非透水性物質に被われる面積が増えると、蒸発散 の減少に伴って潜熱輸送量が少なくなり、それだけ 気温が上昇し、都市内部が高温となること、また熱 容量や熱伝導率が大きいため、夜間冷却量が小さく なり、夜間を通じて高温が維持されることなどが考 えられる (河村、1964; Myrup and Morgan, 1972; Oke, 1981)⁷⁾.

以上の結果から,ヒートアイランド強度と天空比 および非透水性面積比との間にはいずれも高い相関 をもつ直線関係があることが認められる.

IV ヒートアイランド強度と都市人口,天空比, 非透水性面積比との関係

前述したように,ヒートアイランド強度と天空比 および非透水性面積比との間には非常に密接な関係 があることがわかった.そこで,都市の内部構造の 指標としての天空比,非透水性面積比と都市人口と の関係を明らかにする.

第4図に,日本,韓国,北米および西欧の諸都市 における天空比(ϕ s)と都市人口(P)との関係を示し た.都市人口の増加に伴って天空比が小さくなる負 の相関関係がある.すなわち,都市規模が大きくな ると都心の高層化が進み,天空比は小さくなること を示している.両者の関係を回帰式で表わすと, 日本の諸都市では,

$$\phi s = -20.36 \log P + 162.06$$

$$(r^2 = 0.92)$$
 (13)

韓国の諸都市では、

$$\psi s = -20.67 \log P + 181.50$$

$$(r^2 = 0.94)$$
 (14)

北米の諸都市では,

$$\psi s = -18.09 \log P + 144.71$$

$$(r^2 = 0.91) \tag{15}$$



第4図 日本,韓国および北米,西欧の諸都市における天空比と都市人口との関係 (北米,西欧は Oke(1981)のデータに基づく).



244

(Original data for North American and European cities after Oke(1981)).

西欧の諸都市では,

 $\phi s = -13.35 \log P + 128.62$

 $(r^2 = 0.83)$ (16)

である.各地域における回帰直線はそれぞれ異なり, 回帰係数は北米が西欧より大きい.これは,都市規 模がほぼ同じであっても北米の諸都市は西欧に比べ て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大 きいことによると推定される.このことは,都市人 ロ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).日本と韓国の諸都市の回帰係数が北 米に近いのは,都市景観が西欧より北米と類似して いることと密接な関係があると思われる.また,韓 国の場合,日本に比べて天空比が大きい.これは, 韓国の都市の都心部における高層化の程度が日本に 比べて小さいことや道路の幅が広いことに起因する. 第4図には、この他に注目すべき特性が二つある. まず、日本の場合、韓国と同様に天空比と都市人口 との関係は直線関係にあり、ヒートアイランド強度 と都市人口との関係でみられた二つの勾配の回帰直 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、北海道の諸都市(図中()で囲んだ都市)、 すなわち、稚内(人口約53,000)、函館(同約320,000)、 旭川(同約353,000)、札幌(同約1,420,000)はいずれ も回帰直線からはずれ、天空比は他の都市に比べて 著しく大きく、西欧の回帰直線に近い.北海道の諸 都市における両者の関係は、

 $\psi s = -15.44 \log P + 146.41$

 $(r^2 =$

で,北海道の都市キャニオンの幾何学的形態が西欧 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



第5図 日本,韓国の諸都市における非透水性面積比と都市人口との関係 Fig. 5 Relationships between ratio of impermeable surface coverage and urban population for Japanese and Korean cities

245

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(北海道の都市)とに分かれることも考えられる. 次に、北米の場合、都市人口が1万未満の小都市に おける天空比はほぼ同じである.他の地域について は測定値がないが、おそらくは同じような傾向がみ られると思われる.

第5図は、日本と韓国の諸都市における都市人口 と非透水性面積比との関係を示したものである。都 市人口の増加に伴って非透水性面積比も増加するが、 日本と韓国は共に人口50万程度を境に勾配の異なる 2本の回帰直線に分かれる。韓国の場合は、ヒート アイランド強度と非透水性面積比が6都市でしか得 られていない。しかし、そのデータをプロットして みると、やはり人口30万以下の都市群と30万以上の 都市群とでは、両者の関係が異なるようにみえる。 対象とした都市数が少ないので、日本の都市ほど正 確なことは言えないが、それぞれの都市群について 両者の関係の回帰式を作成した.その結果は人口50 万付近で2本の回帰直線が交わり、日本の場合と類 似した結果が得られた.

都市人口をP,非透水性面積比をXとして両者の 関係を回帰式で求めると,

日本の人口30万未満の中小都市では,

$$X = 9.85 \log P - 30.77$$

(r² = 0.78) (18)

同じく人口30万以上の大都市では,

$$X = 44.89 \log P - 230.13$$

$$(\mathbf{r}^2 = 0.87)$$
 (19)

韓国の人口30万未満の中小都市では,

$$X = 6.11 \log P - 19.60$$

$$(\mathbf{r}^2 = 0.87)$$
 (20)

同じく人口30万以上の大都市では,

 $X = 20.98 \log P - 105.47$

$$(r^2 = 0.95)$$
 (21)

である.このように、日本と韓国の諸都市でのヒー

トアイランド強度と都市人口との関係が人口50万付 近を境にして二つの回帰直線に分かれることを説明 する一つの指標として,非透水性面積比が何らかの 意味を持つことは明らかである.もちろん,非透水 性面積比だけでその原因が全部説明できることでは ないが,それを推論する手がかりとして充分な意味 をもつ.

Vまとめ

日本と韓国の諸都市における都市規模とヒートア イランド強度との関係について調べた.その結果, 両者の関係は人口約30万を境にして勾配が異なるこ とがわかった.その原因を推論するため,天空比と 非透水性面積比をとり,ヒートアイランド強度なら びに都市人口との関係を考察した.その結果は次の とおりである.

1) 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.しかし、その割合は地域によって異な る.北米・西欧の諸都市では両者が1本の直線関係 で表わされるが、日本と韓国の場合は人口30万程度 を境にして勾配の異なる二つの直線に分かれる.す なわち、都市人口の増加に伴うヒートアイランド強 度の増加の割合は、人口約30万未満の中小都市では 緩やかであるが、それより大きい大都市では急激に 増大する.

 2) ヒートアイランド強度は、都市構造の指標の 一つである天空比とは負の相関(相関係数:日本、 -0.83;韓国、-0.93;北米、-0.96;西欧、 -0.82),非透水性面積比とは正の相関(相関係数: 日本、0.88;韓国、0.95)を示し、いずれも非常に 高い相関をもつ。

3) 都心部 (C. B. D.) の天空比は都市人口が大き いほど小さくなる.日本,韓国共に,両者の関係は ヒートアイランド強度と都市人口との関係でみられ るような,人口約30万を境に2本の直線に分かれる ことはなく,一本の直線で表わされる.なお,北海

- 246 -

道の諸都市は同じ規模の他の都市に比べて天空比が かなり大きく,西欧のそれに近い別の直線で近似で きる.

4) 非透水性面積比と都市人口との関係は人口50 万付近を境に回帰直線の勾配が変わる.この傾向は 人口規模に若干の差はあるが、ヒートアイランド強 度と都市人口との関係と同様である.

以上の結果から, 天空比と非透水性面積比は都市 規模別(人口)にみたヒートアイランド強度と密接な 関係があることが明らかになった. 日本と韓国の諸 都市における天空比とヒートアイランド強度との関 係は1本の直線になり、ヒートアイランド強度の増 加傾向が人口30万程度で異なることを直接説明する ことはできない.しかし、日本の場合、北海道の諸 都市は別の直線で近似でき、その傾向が異なる. 一 方,非透水性面積比は日本,韓国で人口50万程度を 境にして二つの直線に分かれる.したがって,非透 水性面積比はヒートアイランド強度の増加傾向が人 口30万程度を境に異なることを説明する要因の一つ として充分な意味をもつ.厳密に言えば、本研究で とったヒートアイランド強度の最大値の形成要因と して、天空比と非透水性面積比を考える場合には若 干の問題がある. 天空比は都心部の値, 非透水性面 積比は都市域全体の値である. ヒートアイランド強 度の最大値が出現するのは、これまでの研究による と静穏快晴な夜間であると考えられる. つまり, 郊 外から都市域に向かう移流がごく弱い状態である. このような時、天空比は都心部の冷却を左右する働 きをし、非透水性面積比は都市域全体の冷却にかか わる要因である.したがって,これらが都市内外の 気温差の最大値(ヒートアイランド強度の最大値)に どのように作用するか等のメカニズムについては今 後検討を行なう必要がある.

本稿は、1984年度春季学術大会および1985年度秋季学 術大会で発表した内容に加筆したものである.本研究の 実施にあたり、御指導をいただいた筑波大学地球科学系 河村 武教授,種々の御助言を賜わった吉野正敏,西沢 利栄の両教授に厚く御礼申し上げる.また,貴重な資料 の使用を許された東京学芸大学地理学研究室の山下脩二 教授,ならびに国土地理院地図管理部,研究を進める過 程で激励と御助力をいただいた韓国梨花女子大学校地理 学教室の金 蓮玉教授に心から感謝の意を表したい.

> (投稿 1986年9月5日) (受理 1987年1月10日)

注

- Fukuoka (1983)の論文中の図に記入されているデータは、出典や算出方法が明示されていないので、ここでは筆者がこのような基準にしたがって各都市についての原著論文を参照し、第1図と回帰式を作成した。
- 2)小笠原(1954)は都市別に産業別人口構成比を求 め、産業別人口構成比ごとに最大値から最小値の 順に並べた.次に、その中央値から前後に都市数 の3分の1が含まれる数値区間を産業別に求め、 それらの区間に含まれる産業別人口構成比を持つ 都市を標準型都市とした.
- 3) 天空比は当該点周辺の開け具合を示すもので、 そこでの開放感、障害物による圧迫感などに関連 する一つの指標である。天空比算定図は天空比が 等しいように半球の表面積を500に等分割したも のを等距離投象によって底円上に投象したもので ある。したがってこの図表の1区回は0.2%に相 当する。これを用いて天空比を求めるには、写真 撮影によって等距離投象したものに図表を重ね、 空の部分に相当する区画数nを数えれば、天空比 Rは、

R = nr(%) r:1区画の天空比 となる. この図表を用いる時はR=0.2n(%)とし て求められる.

- 4) 小林(1979)は、東京のあるビルの空間面におけ る長波放射収支の観測を行ない、都市地表面の長 波放射収支量は屋上面の5割弱であり、これは都 市地表面の下向き長波放射量が屋上面に比べて大 きいためであること、地表面における下向き長波 放射量の増加は建物によるしゃへい効果に起因す ることを指摘した。Bärring and Mattsson(1985) は Malmöにおいては、天空比は地表面温度の分 布に大きい影響を与えることを論じた。
- 5) 西沢(1958)は,都市の地表面から屋根面までの 間では建築物の凹凸による機械的な影響で大きな 渦乱流が生じ,熱交換が盛んなため昼夜を通じて 高温が維持されるが,渦動拡散係数は地表面が大 きく,上空へいくほど小さくなることを指摘し, これは都市表面形態の凹凸の度合による風速の垂

直分布と密接な関係があると推定した. Nunez and Oke (1976) は、Vancouver での観測結果に 基づいて、地表面と屋上面における長波放射収支 量は天空比、射出率、風速と気温の垂直分布と関 係があり、とくに地表面の粗度は下層ほど風速を 減殺させ、風による地表面からの熱の収奪は下層 ほど減ずるために、地表面の高温な渦は上昇して も屋上面付近まではその特徴をもつことを明らか にした.したがって、都市キャニオンの内部では 凹凸による保温層ができることを指摘した.

- 6)国土地理院の国土数値情報データは国土地理院 が特別に作成したものを使用した.1975,1976年 の日本全国都道府県・市区町村の1/25,000の土 地利用図に100m×100mのメッシュをかけ、各メ ッシュの中の田,畑,果樹園,その他の果樹園, 森林,荒地,建物用地(A:総描建物;長辺50m 以上の独立建物(大),3階以上の高層建物,長辺 50m以上の住宅団地,建物類似の構築物.B:独 立建物(小);2戸以上の家屋,樹林に囲まれた居 住地),幹線交通用地,その他の用地,湖沼,河川 地(A:人工利用地を除いた河川敷.B:河川敷 の人工利用地),海浜,海水域の15種類に分類した 土地利用の各項目の占める面積を求め,行政区域 別に合計した値である.
- 7)河村(1964)は,熊谷市の気温分布とBrunt (1941)の地表面温度の夜間冷却式の係数の分布と を比較することによって,都市の地上構成物質の 差は気温分布と密接な関係があることを論じた. Myrup and Morgan(1972)はSacramentoの熱収 支解析を行ない,都市内外で放射による加熱量 (R)の差は少ないが,市街地では郊外に比べて顕 熱輸送量(H),潜熱輸送量(E)は少ないことを明 らかにした.Oke(1981)は、夜間のヒートアイラ ンドは都市内外の地表面温度の冷却量の差によっ て形成されるが,その差は都市内外の地表面の構 成物質の熱容量や,熱伝導率などの熱的特性の差 によって異なることを論じた.

文 献

- 伊藤克三(1977):『日照関係図表の見方,使い方』 オーム社,141ページ.
- 石水照雄(1965):本邦諸都市の機能分類に関する若 干の考察. 愛媛大学紀要, 4-4, 89~115.
- 小笠原義勝(1954):日本の都市地域. 駿台学史, **4**, 107~130.
- 河村 武(1964):熊谷市の都市温度の成因に関するニ,三の考察.地理評,37,560~565.

金 一坤(1976):大邱市夏季気温의分布에関む研究.

- 247 -

慶北大学校修士論文(未出版).

- 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.
- 成 俊鏞(1977):韓国の都市システム.地理評, 50, 381~401.
- 朱 京植(1982):韓国の都市化と都市システム: 1960年~1980年(I).地理評, 55, 1~20.
- 西沢利栄(1958):都市気温に及ぼす建築物の影響. 資源研彙,48,40~48.
- 戸沼幸市(1980):『人口尺度論』彰国社, 337ページ.
- 朴 恵淑(1986):ソウル市およびその周辺地域にお ける夏季のヒートアイランドの気候学的研究.地 理評,59(Ser. A), 689~705.
- 服部銈二郎(1979):地方小都市の変容. 青木栄一・ 永野征男・白坂 蕃・福原正弘編:『現代日本の都 市化』古今書院, 213~227.
- 山下脩二(1981):ヒートアイランドの形成要因につ いて、山下脩二編:『都市気候の形成要因に関す る応用地理学的研究』文部省科学研究費補助金試 験研究(I),88~94.
- Bärring, L. and Mattsson, J.O. (1985): Canyon geometry, street temperature and urban heat island in Malmö, Sweden. *Jour. Climatology*, 5, 433~444.
- Brunt, D. (1941): Physical and dynamical meteorology. Cambridge Univ. Press, London, 428 p.

- Fukuoka, Y. (1983) : Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature. Memiors of the Faculty of Integrated Arts and Sciences, 8, Hiroshima Univ., 157~178.
- Jauregui, E. (1986) : Tropical urban climates: review and assessment. WMO Tech. Notes, 652, 26~45.
- Myrup, L. O. and Morgan, D. L. (1972) : Numerical model of the urban atmosphere, I. The city-surface interface, Contributions in Atmos. Sci., 4, Univ. of Calif., 237 p.
- Nunez, M. and Oke, T. R. (1976) : Long-wave radiative flux divergence and nocturnal cooling of the urban atmosphere. *Bound.-Layer Met.* 10, 121~135.
- Oke, T. R. (1973) : City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.*, 7, 769~779.
- Oke, T.R. (1981) : Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations. *Jour. Climatology*, 1, 237~254.
- Yamashita, S., Sekine, K., Shoda, M., Yamashita, K., and Hara, Y. (1986) : On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama river basin, Japan. Atmos. Environ., 20, 681~686.

CITY SIZE AND URBAN HEAT ISLAND INTENSITY FOR JAPANESE AND KOREAN CITIES

Hye-Sook PARK*

The urban heat island intensity (difference between the highest urban temperature and the lowest rural temperature, ΔT_{u-r}) increases generally with urban population. An apparent linear relationship between the maximum heat island intensity and urban population can be seen for North American and European cities by Oke (1973). There was a bend in the regression line at the point of around 300,000 inhabitants for Japanese cities by Fukuoka (1983). The similar relationship was also observed for Korean cities by Park (1986).

Figure 1 shows the relationships between the maximum heat island intensity and urban population for Japanese and Korean cities. The regression equations for Japanese and Korean cities can be given as follows.

- 248 ---

Geographical Review of Japan 60 (Ser. A)-4 238~250 1987

* Graduate Student, University of Tsukuba.

Japanese cities;

$\Delta T_{u-r(max)} = 1.21 \log P - 3.92$	$(r^2 = 0.70; population < 300, 000)$
$\Delta T_{u-r(max)} = 4.01 \log P - 19.09$	$(r^2 = 0.87; population > 300, 000)$
Korean cities;	
$\Delta T_{u-r(max)} = 1.19 \log P - 4.73$	$(r^2 = 0.97; population < 300, 000)$
$\Delta T_{u-r(max)} = 3.74 \log P - 18.44$	$(r^2 = 0.98; population > 300, 000)$

The data on North American and European cities were obtained from Oke's work (1973, 1981). Based on those data, regression equations of North American and European cities can be represented as follows.

North American cities;

 $\Delta T_{u-r(max)} = 2.96 \log P - 6.46$ (r² = 0.95) European cities;

 $\Delta T_{u-r(max)} = 1.92 \log P - 3.41$ (r² = 0.69)

where P is urban population. These two equations were created as part of the present study and are different from Oke's earlier equations (1973).

Since the correlation coefficients are very high, it can be concluded that the maximum heat island intensity is closely related to urban population. The slopes of the regression lines were smaller for Japanese and Korean cities than those in North American and European cities for population below 300,000, but greater for larger population. The possible explanation can be partially given by the difference of urban structure, urban activities, etc., between larger cities (over 300,000 population) and smaller cities (less than 300,000). Here, the author has given an attention to the correlation of urban structure and the heat island intensity. The sky view factor (i. e., ratio of buildingheight (H) width of urban canyons (street: W)) to and ratio of impermeable surface (i. e., ratio of building and road area to total city area) chosen as indices of urban structure.

Figure 2 shows the relationships between the maximum heat island intensity and sky view factor for Japanese, Korean, North American, and European settlements. As high correlation coefficients (Japanese cities, -0.83; Korean cities, -0.93; North American cities, -0.96; European cities; -0.82) were observed, it is clear that sky view factor is closely correlated to the heat island intensity.

A decrease of sky view factor results in an increase of absorbing short-wave radiation for daytime and a decrease of outgoing long-wave radiation for nighttime thus causing a warming of the urban area (Kobayashi, 1979; Bärring and Mattsson, 1985). And a decrease of wind speed by building in urban canopy layer results in a decrease of sensible heat flux from the ground thus causing a warming of the urban area (Nishizawa, 1958; Nunez and Oke, 1976).

Figure 3 shows the high correlation between the maximum heat island intensity and ratio of impermeable surface coverage for Japanese and Korean cities (correlation coefficient : Japanese cities, 0. 88; Korean cites, 0. 95). It is noticeable that the prevailing impermeable materials play an important role in increasing the heat island intensity. An increase of ratio of impermeable surface coverage results in a decrease of evapotranspiration, loss of

- 249 -

latent heat from the ground and the smaller the nocturnal cooling rates for the larger thermal admittance thus keeping a warming of the urban area (Kawamura, 1964; Myrup and Morgan, 1972; Oke, 1981).

Figure 4 shows the relationships between sky view factor and urban population for Japanese, Korean, North American, and European cities. Sky view factor decreases with increasing urban population. There were not bends in both regression linear lines at the point of approximately 300,000 population for Japanese and Korean cities. However, the trend of Hokkaido cities were different from another cities. The values of sky view factor in Hokkaido were larger than those in another cities and the slope of regression line was smaller than that in another cities.

Figure 5 shows the relationships between ratio of impermeable surface coverage and urban population for Japanese and Korean cities. The ratio of impermeable surface coverage increases with increasing urban population. Particularly, there were bends in both regression lines at the point of approximately 500,000 population. The shapes of regression lines are similar to those of the maximum heat island intensity and urban population shown in Fig. 1.

One possible explanation for this is that urban population affects urban structure, i. e., urbanization tends to lead more use of impermeable surface materials. This then tends to affect the heat balance in urban areas which in turn affects the heat island intensity. Therefore, this points to strong interrelationships between the heat island intensity, urban population, sky view factor and ratio of impermeable surface coverage. Especially, ratio of impermeable surface coverage is a suitable index which explains the reason why there are bends in both regression lines at the point of approximately 300,000 population for Japanese and Korean cities.

(Key Words; maximum heat island intensity $(dT_{u-r(max)})$, urban population, sky view factor, ratio of impermeable surface coverage)

____ 250 ____