

高知県南国市のヒートアイランドと形成要因

武 市 伸 幸*

要 旨

高知平野の中に位置する小規模都市である高知県南国市において、夜間の気温分布調査を行った。その結果、12月から4月上旬の観測では市街地中心部の商業地区を中心に、島状の高温域が出現していた。市街地中心部の最高気温の場所と郊外の最低気温の場所の気温差で示されるヒートアイランド強度は、冬季に強く、今回の観測においては最大で4.0°Cであった。気温測定値に主成分分析を行って得られた気温分布の第1主成分は、人為的要因に關係していると考えられ、気温分布の63.1%を説明していた。郊外部の急坂を利用した逆転層観測では、標高200 mを上限として、冬季には逆転層が形成されていた。逆転強度は最大で3.5°C/100 mであった。この気温の逆転は春季から夏季へと季節が進むにつれて弱くなり、夏季には逆転は観測されなかった。気温分布の第2主成分は気温分布の14.2%を説明しており、冬季の逆転強度と有意な相関關係が認められた。

1. はじめに

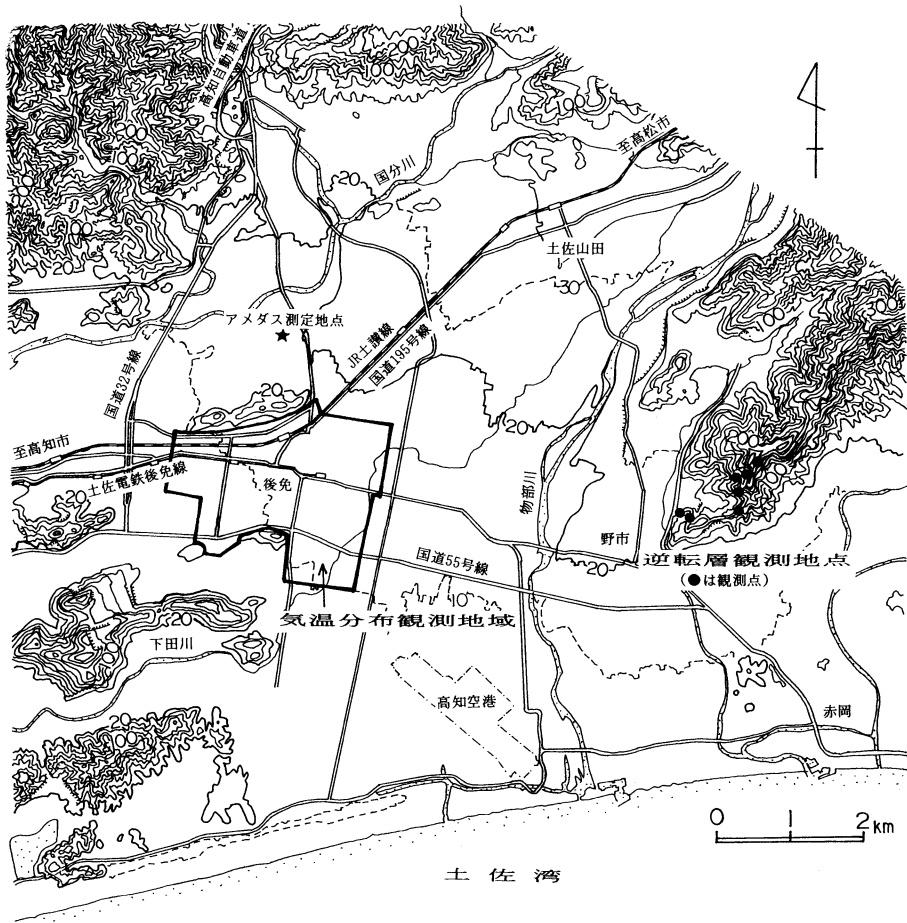
ヒートアイランドの成因について、杉本・近藤(1994)は仙台市における都市気温調査において、放射温度計を用いて様々な地表面の地表温度を測定した結果から、1年を通してアスファルトやコンクリートの舗装面の地表温度は、裸地面や芝生面に比べて夜間でもかなり高く、その結果、夜間の舗装面上では上向きの顕熱輸送を生じ、気温が相対的に高くなると考えられることを報告している。また、高橋ほか(1981)は、都市気温に熱収支・空気力学的に關係している地表面の粗度と気温分布の關係を明らかにするため、大垣市のラフネスパラメーターを算出し、気温分布との關係を検討し、両者の間には強い關係が認められることを明らかにした。さらに、手島(1995)は、条件を簡単にするために約1万人が居住する住宅団地を取り上げ、気温分布とラフネスパラメーターおよび地表構成物質の熱的性質との關係を調査し、ラフネスパラメーターおよび人工地表構成物の占める割合が高くなると気温の値も高くなることを示している。その他、榊原・伊

藤(1998)は長野市において静穏晴天の夜間における都市温度と天空率との關係を調査し、天空率が大きくなると気温が低下するという逆比例の關係を明らかにしている。

これらの研究は、都市の気温分布と単独あるいは少数の形成要因との關係を検討している。これに対し武市(1980, 1986)は、前もって調査対象の形成要因を限定するのではなく、気温分布の観測結果に因子分析や主成分分析を行って得られた因子や主成分と、地表被覆形態や人口密度などの人為的要因との關係を調査することにより、ヒートアイランドの形成要因を検討した。さらに、調査地全体の気温分布に地形などの自然的要因の影響が考えられる場合には、重回帰分析を用いて自然的要因の影響の割合を調査した(武市, 1994)。しかし、平野の中の都市において、重回帰分析を用いて、建築物や人口密度・世帯密度などの人為的要因が都市気温分布にどのように関与しているかについての調査は行われていない。そこで、平野の中の小都市である高知県南国市市街地において、夜間の気温分布観測を行うとともに、統計的手法を用いて夜間の気温分布の形成要因の調査を行った。また、ヒートアイランド強度についても検討を行った。

* 土佐女子高等学校。

—2001年2月14日受領—
—2001年10月9日受理—



第1図 観測地域周辺の地形。

2. 観測

気温分布の観測地域と逆転層の観測地点を第1図に示す。

気温分布の観測地域は、南国市の中心地である後免町を中心とする東西約2.8 km、南北約2.5 kmの地域である。この地域は高知平野の中央部に位置し、標高10 m前後の平坦地であるが、物部川が形成する扇状地上に位置しており、南西から北東方向に向って徐々に標高が高くなっている。この観測地域の北側には標高76.1 mの丘陵が、南側には標高60 m程度の吾岡山がある。また、逆転層の観測は、南国市市街地中心部から6 kmほど東に位置する野市町の三宝山（標高265 m）の急坂を利用して行った。

観測は1999年11月から2000年8月にかけて、晴天で風の弱い日を選んで行った。観測時間と当日の21時の気象状況を第1表に示す。なお、気温と風向・風速は後免

のアメダスデータ、雲量は観測地域の中央部より約10 km西に位置する高知地方気象台のデータである。

観測はサーミスター温度計を用いた移動観測により行った。温度計の感部取り付け位置については、佐橋(1983)に従い、前部バンパ中央部の地上1.5 mとし、車間距離を20 m以上あけた状態で、時速20~30 kmで定速度走行を行いながら、車内において温度計の表示を読み取った。温度計は株式会社佐藤計量器製作所製の防水型デジタル温度計（センサー精度 $\pm 0.1\%$ rdg + 0.3°C ）に長さ3 m程度のセンサープローブを付けたものを用いた。得られた気温測定値はそれぞれ測定時刻が異なる。そこで、次の方法で時間補正を行った。まず、気温分布の移動観測においては、観測中に2回測定を行った11地点の気温変化に基づき、毎分あたりの気温変化量を求め、それに基準時刻との時間差を掛けたものを測定値に加え、基準時刻における各地点の

第1表 観測時間と観測当日の21時の気象

気温分布観測		逆転層観測時間	観測当日の21時の気象				ヒートアイランド強度 (°C)	逆転強度 (°C/100m)
観測時間	基準時刻		気温 (°C)	風向	風速 (m/s)	雲量		
1999年11月 2日 21:50~ 2日 22:49	11月 2日 22:20	11月 2日 22:57~23:10	10.4	NNW	2	0	2.1	-0.3
10日 20:34~10日 21:24	10日 21:00	10日 21:35~21:48	12.4	NE	1	0	1.3	1.2
19日 21:07~19日 21:57	19日 21:30	19日 22:35~22:48	8.5	NNW	1	0	1.3	0.9
29日 22:12~29日 23:01	29日 22:30	29日 23:18~23:30	7.4	WSW	2	0	1.5	1.0
12月 9日 22:50~ 9日 23:45	9日 23:30	12月 9日 22:29~22:41	8.6	—	0	0	2.5	2.1
13日 23:01~13日 23:48	13日 23:30	13日 22:39~22:51	5.6	N	1	2	2.6	3.5
15日 23:09~15日 23:56	15日 23:30	15日 22:49~23:01	4.1	NNW	1	0	4.0	2.9
20日 23:15~21日 0:05	20日 23:40	20日 22:53~23:06	-0.6	ENE	1	0	2.6	0.3
26日 22:46~26日 23:35	26日 23:10	26日 22:23~22:37	3.3	—	0	6	2.7	0.7
29日 23:36~30日 0:23	30日 0:00	29日 23:16~23:28	6.2	ENE	1	1	3.1	2.9
31日 20:30~31日 21:13	31日 21:00	31日 20:09~20:22	5.5	—	0	3	2.6	1.6
2000年 1月28日 21:26~28日 22:21	1月28日 21:50	1月28日 22:30~22:41	4.2	NNW	3	0	2.2	1.3
2月11日 23:13~12日 0:06	2月11日 23:40	2月11日 22:53~23:05	4.8	NNW	1	0	3.0	1.9
3月29日 23:16~30日 0:05	3月29日 23:40	3月29日 22:56~23:07	8.8	NW	1	2	1.5	1.6
4月 1日 23:42~ 2日 0:30	4月 2日 0:00	4月 1日 23:22~23:34	9.8	N	1	3	1.6	2.1
13日 23:00~13日 23:47	13日 23:30	13日 22:38~22:51	13.7	NNE	1	0	1.2	1.7
24日 22:58~24日 23:45	24日 23:20	24日 22:37~22:49	14.5	NNE	3	0	1.7	1.2
5月 3日 23:07~ 3日 23:53	5月 3日 23:30	5月 3日 22:49~23:01	14.6	NNE	2	0	1.0	1.6
5日 22:46~ 5日 23:32	5日 23:10	5日 22:26~22:38	17.8	N	1	0	1.7	2.1
23日 22:39~23日 23:28	23日 23:00	23日 22:18~22:30	20.1	NNW	1	0	2.2	0.6
6月 6日 22:43~ 6日 23:27	6月 6日 23:00	6月 6日 22:24~22:35	20.2	N	1	0	1.4	0.8
7月 5日 22:33~ 5日 23:19	7月 5日 23:00	7月 5日 22:13~22:24	23.1	N	2	1	1.7	0.2
20日 22:42~20日 23:28	20日 23:00	20日 22:21~22:33	27.9	E	2	8	1.9	-0.2
8月10日 22:51~10日 23:36	8月10日 23:10	8月10日 22:26~22:35	25.9	NNW	2	4	1.5	-0.2
14日 22:30~14日 23:15	14日 22:50	14日 22:08~22:21	26.5	N	1	5	1.6	-0.1

注) 雲量は高知市の値

気温差を求めて分布図を作成した。なお逆転層の観測は、測定に要した時間が往復で12分程度なので、各測定点について、坂道の上りと下りに測定したものを平均して各測定点の気温とした。

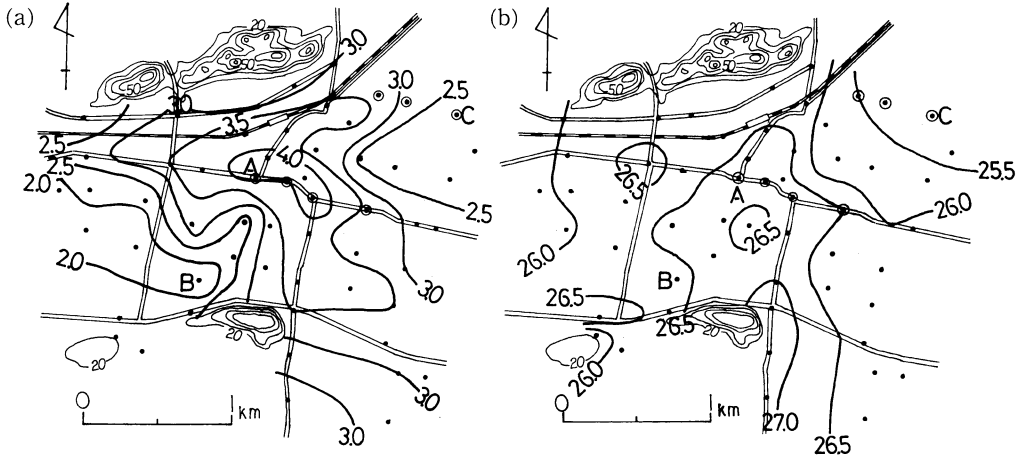
3. 夜間の気温分布の実態とヒートアイランド強度の季節変化

南国市市街地の夜間の気温分布について、冬季と夏季において最も典型的な気温分布を第2図に示す。

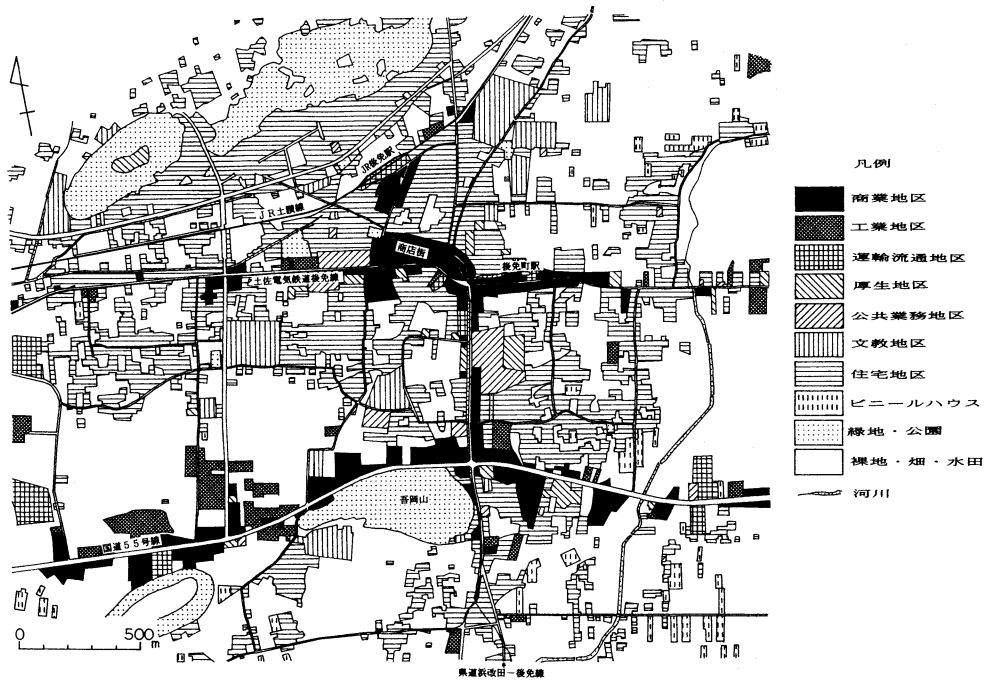
第3図に示した調査対象地域の土地利用図と比較すると、冬季の例(2000年2月11日23時40分、第2図a)では、市街地内部のJR後免駅~商店街~県道浜改田一後免線にかけての地域(位置は第3図に記載)に、3.5°C以上の島状の高温域が出現しており、中でも、市街地中心部の商店街付近は4.0°C以上の高温域となっている。他方、郊外部については、北東部と西部の水田地帯は2.5°C~2.0°C以下の低温域となっているもの、南部の国道55号線より南の地域は3.0°C前後の値

で、郊外部としては他の地域より暖かくなっている。なお、市街地中心部にみられる島状の高温域は、範囲の広狭の相違はみられるものの、12月9日の観測から4月1日(分布図は4月2日0時)の観測までは、11回の観測すべてにおいて出現していた。

夏季の例(2000年8月14日22時50分、第2図b)では、市街地内部は市街地北東部や西部の郊外部よりも高温となっているものの、この高温域は市街地南部の国道55号線から南に延びる県道浜改田一後免線に沿った高温域と連続しており、市街地内部に島状の高温域は出現していない。夏季の例で最も高温となっているのは、前述した市街地より南に延びる県道沿いで、27.0°C以上の高温域が出現している。このように、市街地から南に延びる県道沿いが比較的高温になることは、観測期間全体を通してしばしばみられた現象である。ここで、観測日の後免のアメダスの風向・風速のデータをみると、6月6日と7月20日以外では、20時までに南寄りの風が北寄りの風に変化するとともに、風速も2



第2図 南国市市街地周辺の気温分布：a：2000年2月11日23時40分，b：2000年8月14日22時50分。

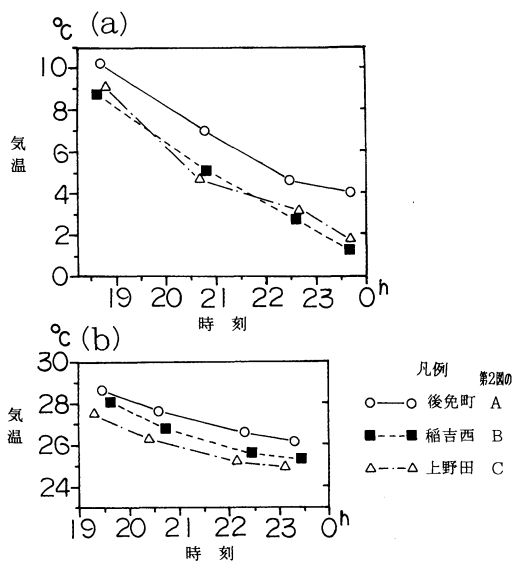


第3図 南国市市街地の土地利用：高知広域都市計画図(南国市)，ゼンリン社住宅地図および現地調査より作成。

m/s以下となり、弱い陸風となっている。したがって、市街地南部が比較的高温になる理由としては、この地域に特に大きな人為的要因に関する熱源がないことから、北寄りの夜間の陸風が、市街地を通過する際に暖められること、交通量の多い国道55号線で発生する自動車の排熱が住宅間に滞留することなどが考えられる。なお、佐賀市における観測（武市，1986）におい

ても、今回同様に市街地南部が比較的高温になる現象が観測されている。

榑原(1994, 1999) および榑原ほか(1998)は、ヒートアイランド強度を求める際に、市街地中心部数地点の気温の平均値と郊外部数地点の気温の平均値の差を求め、ヒートアイランド強度としている。これに対し齋藤(1997)は、市街地内部の最高気温の場所と郊外



第4図 市街地中心部と郊外部における気温低下状況：a：2000年2月11日，b：2000年8月15日。

の最低気温の場所との気温差を「ヒートアイランド強さ」と呼んでおり、西尾 (1997) や藤野ほか (1999) も1地点ずつの比較でヒートアイランド強度を求めている。この調査では、武市 (2000) との整合性をとるために、斎藤 (1997) の方法でヒートアイランド強度を求めた。

市街地中心部観測地点の中で最高気温が観測される後免町 (第2図のA地点：以下地点は第2図を参照) 周辺の●の測定点中、最も測定値が高い地点の値と、観測地域内で最低気温が観測される傾向にある北東部郊外の田園地帯の上野田 (C地点) 付近の●の測定点中、最も測定値が低い地点の値 (ただし2月11日は最低気温を観測した稲吉西 (B地点) の値) の温度差をヒートアイランド強度とすると、ヒートアイランド強度が最も強かったのは12月15日23時30分の4.0°C、次いで12月30日0時の3.1°C、2月11日23時40分の3.0°Cの順になっている。また、25回の観測中ヒートアイランド強度が2.0°C以上となった11回のうち、9回が冬季 (12～2月) であるとともに、冬季の観測はすべて2.0°C以上となっていることから、ヒートアイランドは冬季に明瞭に現れることが理解される。他方、3月から11月までの間では、2.0°C以上のヒートアイランドが出現することもあるが、おおむねヒートアイランド強度は1.0°Cから1.9°Cの間であり、あまり明瞭でない。

このように、他の季節に比べて冬季にヒートアイラ

ンド強度が強くなる理由として、第4図に示すように、市街地内部と郊外部の気温低下傾向の相違があげられる。冬季 (2月11日：第4図a) には、市街地中心部の後免町と、市街地南西部の郊外部に位置する稲吉西、北東部の郊外部の上野田では、観測開始時から22時40分頃まではほぼ同じ割合 (0.024°C/分～0.026°C/分) で気温が低下しているが、それ以降では、市街地中心部は0.007°C/分と、他の2地点 (0.017°C/分～0.020°C/分) に比べて気温低下の割合が小さくなっており、22時40分以降にヒートアイランド強度が強くなっている。

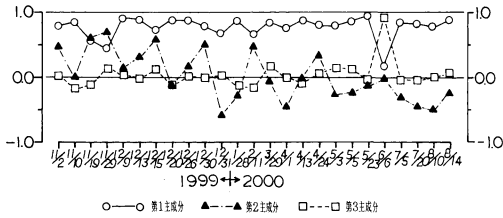
一方、夏季 (8月15日：第4図b：この日は3地点の気温変化のみ観測) には、日没後から23時30分ごろまでは3地点とも気温低下量は0.011°C/分～0.012°C/分と小さく、また低下傾向もほぼ同じである。この結果、日没後の気温差がそのまま深夜まで引き継がれるため、観測時間内にヒートアイランド強度は強くなっていない。なお、アメダスデータによると、23時から翌朝3時までの気温低下量は0.008°C/分とさらに小さくなっており、気温変化傾向の観測を終了した23時30分以降にヒートアイランド強度が強くなっているとは考えにくい。

2000年7月31日における南国市の人口は50,075人であるので、この最大4.0°Cというヒートアイランド強度は、Fukuoka (1983) の西日本諸都市のヒートアイランド強度の図から読み取った値と比較すると、4倍ほど高い値となっている。また、他の都市のヒートアイランド強度は、越谷市の一部 (人口約74,700人) で5.5°C (榊原, 1994)、長野県小布施町 (人口約12,000人) で5.4°C (榊原, 1999)、豊橋市 (人口約352,000人) で5.1°C (西尾, 1997)、長野市 (人口約350,000人) で4.9°C (榊原ほか, 1998)、佐賀市 (人口約169,000人) で4.6°C (武市, 1986)、高知市 (人口約324,500人) で3.9°C (武市, 2000)、長浜市 (人口約27,000人) で2°C程度 (藤野ほか, 1999) となっており、これらの値と比較しても、南国市市街地のヒートアイランド強度は隣接する高知市に匹敵するものとなっている。

4. 主成分分析に基づく気温分布形成要因の検討

4.1 各主成分の特徴

次に、統計的手法により、気温分布の形成要因についての考察を行った。25回の気温分布観測結果に主成分分析を行った結果、固有値1.0以上で3個の主成分を得た。各主成分の因子負荷量 (主成分もとの特性値



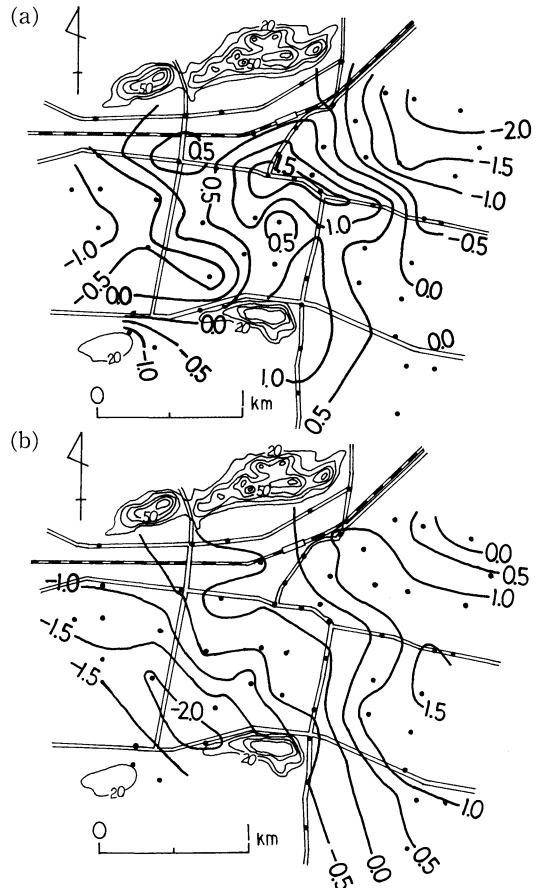
第5図 各主成分の因子負荷量の変動。

との相関)の変動を第5図に示す。

第1主成分は、6月6日以外の観測日において、気温分布と大きな正の関係を持っており、気温分布の63.1%を説明している。第1主成分の成分得点の分布(第6図a)は、市街地中心部の電車通り(第1図および第3図に記載)に1.5以上の大きな正の値を持つ島状の地域があり、郊外へ向うにつれて負の値へと変化している。したがって、第1主成分の因子負荷量が正の値となることは、市街地中心部が高温に、郊外部が低温になることであり、ヒートアイランド強度が強くなることを示している。なお、主成分分析とは別に25回の各観測回について、各観測回ごとに気温測定値を基準化し、各地点ごとに合計し平均した気温分布図を作成する(図は省略)と、第1主成分の分布とほぼ同じになる。このことから、第1主成分は平均的な夜の気温分布の状態を表しているといえる。

第2主成分は気温分布の14.2%を説明しており、その因子負荷量の変動は、11月に大きな正の値を示す日が多いもの、月が進むにつれて次第に負の値を示す日が現れる。そして、5月以降になると変動幅が小さくなり、符号も負の値のみとなっており、季節への依存関係が認められる成分である。第2主成分の成分得点の分布(第6図b)をみると、市街地東部の郊外に1.5以上の高い正の地域があり、市街地北東部から市街地中心部を通って市街地南西部の郊外へ向って、および北東部郊外へ向って、正の値から負の値へと変化する傾向にある。ここで気温低下状況を検討した3地点について正負の記号をみると、市街地中心部の後免町(A地点)は正の値であるのに対して、稲吉西(B地点)と上野田(C地点)は負の値となっている。したがって、第2主成分の因子負荷量の正値は、ヒートアイランド強度を強くするように作用していると考えられる。

最後に、第3主成分は、固有値は1.0以上であるものの、気温分布の4.2%しか説明していない。また、因子負荷量の変動についても、関係のある日は6月6日のみである。後免のアメダス日報をみると、この日は17



第6図 主成分の成分得点の分布：a：第1主成分、b：第2主成分。

時の時点で4.0 m/sの比較強い南の風(海風)が吹いており、これが北の風(陸風)に変わるのが20時から21時の間と遅かった日である。このように第3主成分は、強い海風の吹走する時間が長かった特異な日の変動を表したものであり、気温分布に大きな影響を及ぼす因子ではないと考えられる。

4.2 第1主成分と人為的要因の影響の割合

第1主成分は、成分得点の分布が人間活動が活発な市街地中心部で大きな正の値、人間活動があまりみられない郊外部で負の値となることから、人為的要因と関係があるものと推定される。そこで、第1主成分に関係している要因の中で、人為的要因とその関与の割合を明らかにするため、第1主成分の成分得点を従属変数に、人為的要因を独立変数として、ステップワイズ法による重回帰分析を行った。分析に用いた人為的要因は、気温測定地点を中心とする半径100 m以内

の地表被覆形態と、2000年7月31日現在の「住所別世帯人口調べ」より求めた人口密度・世帯密度とし、地表被覆形態は①建築物（住宅の場合は庭も含む）、②道路・舗装している駐車場、③裸地・畑・水田、④緑地、⑤水体の5項目に分類して、各々の面積を測定し円の面積で割って割合としたものを用いた。

また、人口密度と世帯密度は、円内に含まれる町の人口密度と世帯密度を用いたが、複数の町にまたがる場合は、円内に含まれる面積に応じて重み付け平均を行った。たとえば、測定点を中心とした半径100mの円がA町とB町にまたがっていた場合、その測定地点の人口密度は、A町の人口密度に円内に占めるA町の割合(%)を掛けたものに、B町の人口密度に円内に占めるB町の割合(%)を掛けたものを加え、100で割って求めた。また、世帯密度も同様の方法で求めた。なお、人為的要因を測定する範囲について、武市(1986)によると、人為的要因を測定する円の半径は大きい方が望ましいが、今回は気温測定点の間隔が狭いため、測定の半径を大きくすると、隣の気温測定点の測定範囲と大きく重なることになる。これを避けるため、今回の調査では人為的要因の測定の範囲を、気温測定点を中心とする半径100mの円内とした。また、各測定地点周辺の地上被覆形態は、住宅地図(ゼンリン社製3000分の1(郊外部は6000分の1)の住宅地図)上の記載と現地調査により決定した。

重回帰分析の計算は古林(1981)のプログラムを用いた。得られた回帰式を(1)式に示す。

$$Y = -1.819 + 0.032X_1 + 0.031X_2 - 0.035X_3 + 0.020X_4 \quad (1)$$

ここで、

- Y: 第1主成分の成分得点
- X₁: 建築物の割合(%)
- X₂: 道路・舗装している駐車場の割合(%)
- X₃: 世帯密度(世帯/ha)
- X₄: 人口密度(人/ha)

である。重回帰式における変数増減の打切りの基準について、奥野ほか(1971, p.139)は、各偏回帰係数の|t|またはFの値があらかじめ指定した値より小さければ、その変数を不要として捨てることができるとしており、その基準として、通常F(=tの2乗)=2.0または2.5以下の変数を捨てるとしている。しかし(1)式の場合、この基準を適用すると重回帰式に取り込まれるのはX₁とX₂のみとなり、変数の数が少なくなる。

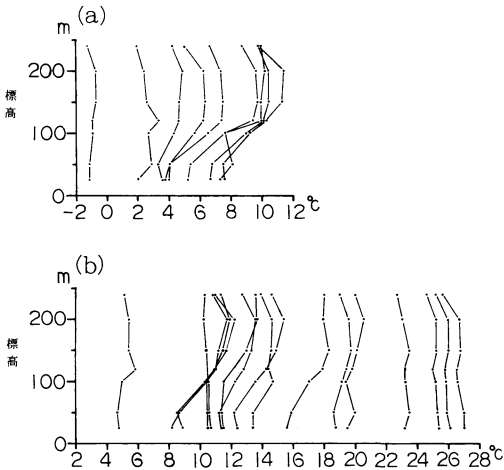
そこで今回は|t|が1.0以上の変数を重回帰式に取り込んだ。(1)式の重相関係数はR=0.832、決定係数(寄与率)はR²=0.692であり、第1主成分の分布の約7割をこの式で説明している。

(1)式に組み込まれた変数をみると、人口密度は人工熱の熱源として影響し、建築物およびコンクリートやアスファルトの道路・駐車場は日中の太陽熱を蓄積し、夜間に放出する熱源として作用すると考えられる。さらに道路上には、自動車の走行により直接に熱が排出されている。このことから、南国市の夜間の気温分布の第1主成分は人為的要因による熱排出や地表面熱収支の変化に関係していると考えられる。なお、(1)式では、世帯密度の符号が負となっている。世帯密度が人口密度と同じように熱源として作用していると考えられるならば、その符号は現実とは合わないと思われる。しかし、世帯密度を重回帰式から排除すると人口密度も有意でなくなるとともに、有意な係数が2個と少なくなることから、回帰式に組み入れた。

4.3 逆転強度と第2主成分の関係

都市のヒートアイランドと接地逆転の関係について、田宮・武藤(1974)は住宅団地内外の観測から、ヒートアイランドの出現には接地逆転の存在が不可欠であることを示し、田宮・大山(1981)や西尾(1997)は集落(都市)外の接地逆転強度が強くなる時、ヒートアイランド強度も強くなることを示している。このように、ヒートアイランドの出現には郊外の接地逆転の存在や強度が関係することから、第2主成分と接地逆転との関係を検討した。

逆転層の観測は、係留気球や高層建築物を利用して行う方法が一般的である。しかし、より簡単に逆転層を観測する方法として、峠道などの坂道を利用して気温の高度分布を観測する方法が考えられる(武市, 2000)。今回は南国市の市街地から6kmほど東にある三宝山の龍河洞スカイラインの坂道を利用して、南国市を含む高知平野東部の逆転層の観測を行った。今回利用した坂道は、北東から南西に延びた尾根筋の最南端にある急坂で、片側1車線の広い道路である。また、標高100mより上部はつづら折れの急勾配で山腹を上っており、道路におおいかぶさるような森林や大きな谷もないことから、気温の垂直分布を測定するには適した場所である。測定結果を第6図に示す。測定した観測高度は標高25m, 50m, 100m, 120m, 150m, 200m, 240mの7地点で、初めの数回は120mを除く6地点で行っていたが、標高120m付近で気温が急上昇



第7図 三宝山の急坂における気温の高度分布：
a：冬季(12月～2月)，b：その他の季。

することがあることが判明したので、標高120 mの地点を追加した。

気温の高度分布の観測結果から逆転層の季節変化をみるために、冬季(12月～2月：第7図a)とそれ以外の季節(第7図b)に分けて検討した。第7図a, bによると、上り口である標高25 m地点の気温が2°C以下の場合には、気温の逆転はみられず、等温状態に近い。標高25 m地点の温度が2°Cから16°Cの間の場合、坂道を上るにしたがって、標高50 mから100 mの間で急に気温が上昇しており、特に、25 m地点の気温が3.5°Cから9°Cまでの時に逆転の傾向は顕著である。気温の上昇傾向は標高200 mまで続いており、標高200 mを上限として逆転層が形成されている。この逆転層の上限200 mという高さは、長野市の約100 m(榊原ほか, 1998)や札幌市の40～60 m(鶴野ほか, 1988)と比較して100～160 m高くなっているものの、西隣りの高知市における逆転層の上限(武市, 2000)と一致している。

ここで各観測回において、最も気温が高かった地点の気温と標高25 m地点の気温の差を求め、高度100 mあたりの気温勾配(以下逆転強度とする)を求めると、逆転強度が最も強かったのは12月13日の3.5°C、次いで12月15日と12月29日の2.9°C、12月9日と4月1日、5月5日の2.1°Cの順になっている。高知市での逆転強度は最大で2.6°Cであった(武市, 2000)ので、この3.5°Cという逆転強度は高知市の場合よりも0.9°C強くなっている。ただし、この差は基準を統一するため100 mあたりの温度勾配に変換したことにより生じたもので、

単純に坂道の登り口と最高気温測定高度の温度差を比較すると、高知市市街地北部の小坂峠(武市, 2000)および今回の調査地の三宝山ともに、最大の温度差は4.5°Cで同じ値となっている。

最後に、標高25 m地点の気温が18°C以上では、逆転は明瞭でなく、25°C以上になると標高が上がるにつれ気温は低下し、気温の逆転は観測されなかった。

以上の観測結果に基づき、冬季(12月～2月)とその他の季節について、第2主成分の因子負荷量と逆転強度との相関係数 r を求めると、冬季は $r=0.60$ で10%の危険率で有意となっているが、その他の季節では $r=0.02$ で相関は認められない。逆転強度の測定地点が市街地から6 kmほど離れているので、有意水準は低いものの、このように夜間の気温分布の第2主成分は、冬季の逆転強度との相関関係が認められる。冬季に限ってみれば、12月20日や26日のように、21時のアメダス測定値が4.0°C未満となる寒い日には、逆転強度は強くならないことがあるものの、4.0°C以上の日は1.3°C以上の逆転強度を示し、ヒートアイランド強度および逆転強度は共に強い傾向を示す(第1表)。したがって、ヒートアイランド強度は第1義的には人為的要因による熱排出や地表面熱収支の変化に関係しているが、さらに冬季には、郊外で強い逆転が生じている時にヒートアイランド強度が強くなることが分かる。その理由としては、都市内部の建築物による攪拌の効果(田宮・大山, 1981)も考えられる。

5. まとめ

以上の結果をまとめると以下ようになる。

① 南国市市街地では、12月から4月上旬にかけて晴天微風の夜間には、市街地中心部の商業地区を中心に島状の高温域が形成されていた。他方、4月中旬以降においては、市街地を取り囲むような島状の高温域は形成されていなかった。また、郊外部は市街地中心部に比べて低温となるが、北東部郊外が最も低温で、南部郊外は比較的高温になる傾向にあった。

② ヒートアイランド強度は冬季に強く、今回の観測では市街地中心部と郊外の田園地帯との間に最大で4.0°Cの温度差がみられた。この温度差は、人口5万人程度(調査地域の人口は約14,000人)の都市のヒートアイランドとしては大きいものと考えられる。

③ 市街地から6 kmほど東に位置する三宝山の坂道を利用した逆転層観測では、標高200 mを上限として逆転層が形成されていた。気温の逆転強度(逆転層内

の高度100 mあたりの温度勾配)は、冬季に最も大きく今回の観測では最大で3.5°Cであった。また、逆転強度は春季から夏季へと気温が高くなるにつれて弱くなり、夏季には気温の逆転は観測されなかった。

④主成分分析の結果によると、夜間の気温分布の形成要因は、第1義的には人為的要因に関係していると考えられ、今回の調査では、その寄与率は63.1%であった。また、第2主成分は、気温分布の14.2%を説明しており、冬季の逆転強度と有意な相関関係が認められた。

謝 辞

本稿を作成するにあたり、多くの時間を割いて有益なコメントをいただきました査読者の方々、および編集委員の方に心からお礼を申し上げます。

参 考 文 献

藤野 毅, 浅枝 隆, 1999: 盆地内における湖岸の小都市ヒートアイランド特性について, 天気, 46, 317-326.
 Fukuoka, Y., 1983: Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature, Men. Fac. Integrated Arts and Sciences, Hiroshima Univ., Ser. IV, 8, 157-168.
 古林 隆, 1981: 統計解析, 培風館, 160-180.
 西尾美徳, 1997: 豊橋市におけるヒートアイランドについて, 地理科学, 52, 207-221.
 奥野忠一, 久米 均, 芳賀敏郎, 吉澤 正, 1971: 多変量解析法, 日科技連, 139.
 佐橋 謙, 1983: 自動車による気温の移動観測における観測誤差一特に自動車の影響を中心に, 天気, 30, 509-514.
 齋藤武雄, 1997: ヒートアイランド, 講談社, 65.
 榎原保志, 1994: 越谷市に見られるヒートアイランド強

度一郊外が水田の場合, 天気, 41, 515-523.
 榎原保志, 田中 忍, 伊藤由香, 1998: 長野市における夜間ヒートアイランド強度に対する風速と接地逆転の強さの関係, 天気, 45, 119-126.
 榎原保志, 伊藤由香, 1998: 長野市における夜間気温分布と天空率, 風の関係, 地理学評論, 71, 436-443.
 榎原保志, 1999: 長野県小布施町におけるヒートアイランド強度と郊外の土地被覆との関係, 天気, 46, 567-575.
 杉本荘一, 近藤純正, 1994: 仙台市におけるヒートアイランドと各種地表面温度の日変化の観測, 天気, 41, 541-544.
 高橋百之, 関根 清, 岩田知子, 小坂祐子, 福脇左千江, 1981: 大垣市のラフネスパラメーターについて, 地理学評論, 54, 579-594.
 武市伸幸, 1980: 高知市の気温分布, 地理科学, 34, 37-42.
 武市伸幸, 1986: 佐賀市の気温分布と形成要因, 東北地理, 38, 16-23.
 武市伸幸, 1994: 高知市の夜間の気温分布と地形的要因の影響, 天気, 41, 243-249.
 武市伸幸, 2000: 高知市の接地逆転とヒートアイランド, 地理科学, 55, 99-106.
 田宮兵衛・武藤禎夫, 1974: 住宅団地において夜間観測される高温域について, 気象研究ノート, (119), 196-205.
 田宮兵衛, 大山秀樹, 1981: 小集落に夜間発生するヒートアイランドの実態と成因について, 地理学評論, 54, 1-21.
 手島正樹, 1995: 住宅団地の気温分布に与える建築物群の粗度と地上構成物の熱的性質の影響, 地理科学, 50, 91-102.
 鵜野伊津志, 若松伸司, 植田洋匡, 1988: 夜間の都市境界層と大気汚染質の動態, 大気汚染学会誌, 23, 103-114.

A Study of the Heat Island and its Causal Factors in Nankoku City

Nobuyuki TAKECHI*

* *Tosajoshi High School, Otesuji 2-3-1, Kochi 780-0842, Japan*

(Received 14 February 2001 ; Accepted 9 October 2001)

Abstract

Automobile observations of air temperature were conducted in order to investigate nocturnal temperature distribution and its causal factors in Nankoku City, Kochi Prefecture. The results obtained in this study are as follows :

- (1) From December to early April, an island-shaped warm area was observed in the vicinity of the business district. After the middle of April, no isotherms surrounding the city area were found, although the city area was warmer than the suburbs.
 - (2) The intensity of the heat island was highest in winter, with maximum temperature difference of 4.0°C.
 - (3) According to observations on a steep slope which is about 6km east of the city area, an inversion layer often appeared between 25m and 200m above the sea level. The intensity of the inversion was highest in winter, with maximum temperature gradient of 3.5°C/100m. In summer, no inversion was observed.
 - (4) A principal component analysis on the temperature distribution shows that the first component accounts for 63.1% of the total variation. This component is related to some urban factors such as the densities of buildings and population. The second principal component, which accounts for 14.2% of the temperature distribution variation, is related to the inversion intensity in winter.
-