

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

榊原保志*

要旨

郊外に水田域と果樹園域がある長野県小布施町において、都市ヒートアイランドの特徴を調べるため自動車による気温の移動観測を1996年9月から翌年10月にかけて153回行った。その結果、夜間については、1月・2月の積雪期には水田域が最低温域になったのに対し、5月～7月と10月～12月では果樹園域であった。このことから都市そのものが気候に与える要因以外に、都市を取り巻く郊外の土地被覆の違いによりヒートアイランド強度は年変化することが分かった。また、冬季に見られる積雪や夏季における水田域の灌水といった土地被覆の季節変化がヒートアイランド強度の年変化に与える影響は認められなかった。さらに夏季日中のヒートアイランド強度における月平均値及び月最大値は夜間の場合と同程度であることが示された。また、5.4°Cを示したヒートアイランド強度の最大値は、Fukuoka (1983) や Park (1987) が示した日本の同規模の都市より遙かに大きく、Oke (1973) により指摘された北米の都市で見られる値にほぼ等しい。

1. はじめに

これまでの研究によれば、いかなる都市においてもヒートアイランドは出現している。ヒートアイランドの出現の程度は都市内外の気温差で見積もられ、気温差は風の弱い晴れた夜に大きく、日中は小さいと考えられている。また、季節により気温差は変化し、冬季に大きく夏季に小さいこと等が河村 (1977) により指摘されている。

ヒートアイランドが時間的に変化する原因は、気象条件や都市そのもの特質の他、都市が立地する周辺郊外の環境の特性が考えられる。Oke *et al.* (1991) は、欧米の都市に対するヒートアイランド強度と都市規模の関係がアジアの都市におけるものと一致しない、すなわちアジアの都市ではヒートアイランド強度が小さくなる理由の1つに、郊外の土地被覆に違いがあることを指摘した。アジアの都市周辺でよく見られる水田は大きな熱容量や熱慣性を持ち、土壤の水

分を高く保持するため、郊外における夜間気温を下がりやすくさせるためとしている。

土地被覆自体が季節変化することによりヒートアイランド強度が変化することも考えられる。夏季には水田が灌水され、冬季になると果樹園域に見られる広葉樹の葉は落ち、地表面の草は枯れ、積雪で地表面が覆われる。この地表面の変化がヒートアイランドに与える影響を検討した研究は少ない。大畑ほか (1985) は、長岡市においてヒートアイランドを調査し、積雪期の方が無積雪期よりもヒートアイランド強度が大きいと報告している。播磨屋ほか (1985) は岩見沢市において積雪の多い時期と少ない時期においてヒートアイランド強度を調べた結果、両者には顕著な差がないと述べている。

これらの研究は特定の時期に限定された単発的な観測による結果であり、1年を通して土地被覆の違いや変化に着目してヒートアイランド強度の年変化を検討したものではなかった。榊原ほか (1996) が越谷市南東部において臨時観測点を都市と郊外の2地点に設け、ヒートアイランド強度の年変化を考察したものがあがるが、郊外の地点は水田域だけであり、移動観測に

* 信州大学教育学部。

—1998年5月12日受領—

—1999年6月25日受理—

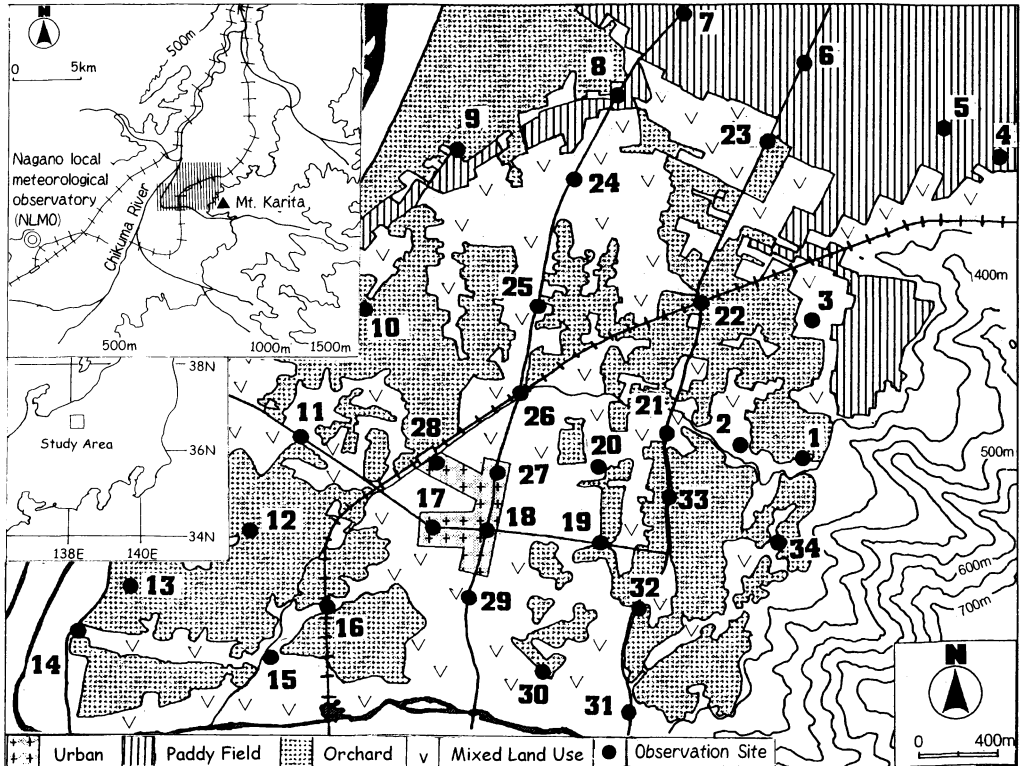


Fig. 1 Location and land use map of Obuse, Nagano (The Obuse Urban Planning Fundamental Map revised in 1988, published by Obuse Town, is used as a base map).

よる気温分布から求めたヒートアイランド強度と臨時に設けた都市と郊外の2地点の観測結果から得られるものとは同一には扱えないとしている。

以上のことから、本研究では1年間にわたり気温の移動観測をもとに詳細な都市内外の気温分布を調べ、ヒートアイランド強度の月最大値および、郊外の地点として水田域と果樹園域を選んだ場合のヒートアイランド強度の月平均値の年変化について検討したので、その結果をここに報告する。

2. 方法

2.1 調査対象地区

調査を行った小布施町は長野県の北部に位置し、1997年8月現在では総面積19.07 km²、総人口1万2千人の都市である。第1図は調査対象地域を示し、昭和63年修正小布施都市計画基本図より作成した。後に示す図もこの基本図を利用して作図を行った。小布施町の西側には千曲川が南北に流れ、市街地の東側には比高約400 mの雁田山がある(標高759 m, 第1図▲

印)。市街地は長野電鉄小布施駅(地点28, 以下「駅」という)の南東にある。この地域には高層ビルはなく、市街地は2~3階建ての建物からなる商店街である。市街地を取り巻く郊外にはリンゴを中心とする果樹園が広がり、北側には見渡す限りに広がる水田域がある。水田に水が張られる出来事は5月末に水田域全体に一度に行われたのに対し、水を抜く作業は9月1日から9月下旬にかけて、稲の生育状況に合わせて水田毎に徐々に行われた。

これ以外の地域は、住宅地と裸地が混在する。地形的には扇状地で、比較的平坦な地形になっている。また、都会のような交通渋滞はなく、夜間の交通量はきわめて少ない。

2.2 測定方法

観測は、第1図に見られる地点番号順に自動車で移動しながら、あらかじめ決められた34地点で測定する移動観測である。観測地点間の最大標高差は60 mであるが、これによる気温分布への影響は無視できるとし、標高差による補正は行わなかった。なお、観測地点は

Tab.1 Observation time and associated meteorological data at Nagano Local Meteorological Observatory (NLMO).

No.	Observation		NLMO			No.	Observation		NLMO		
	Date	Time	Time	WD	WS(m/s)		Date	Time	Time	WD	WS(m/s)
1	960929	15:03-15:41	15:20	W	4.0	78	970412	19:44-20:18	20:00	NW	0.9
2	960929	19:28-20:05	19:50	W	3.5	79	970412	20:46-21:18	21:00	NW	1.6
3	961002	20:55-21:31	21:10	W	4.5	80	970413	19:43-20:17	20:00	E	1.3
4	961015	20:26-21:01	20:40	ESE	1.8	81	970413	20:39-21:12	21:00	NE	1.3
5	961016	19:34-20:10	19:50	NNE	1.8	82	970414	19:46-20:21	20:00	N	2.7
6	961017	20:41-21:17	21:00	WSW	3.3	83	970414	20:39-21:09	20:50	ENE	1.6
7	961020	20:51-21:25	21:10	W	1.7	84	970415	19:44-20:15	20:00	NNW	5.6
8	961021	20:37-21:15	21:00	W	1.6	85	970415	20:43-21:13	21:00	NE	2.2
9	961022	20:42-21:13	21:00	W	1.9	86	970416	19:41-20:17	20:00	NE	3.4
10	961023	20:35-21:08	20:50	WSW	4.8	87	970416	20:48-21:20	21:00	ENE	2.6
11	961024	20:50-21:20	21:10	W	5.6	88	970419	19:48-20:20	20:00	E	2.6
12	961025	20:34-21:10	20:50	S	1.8	89	970419	20:46-21:17	21:00	S	1.0
13	961027	20:39-21:09	20:50	W	4.7	90	970420	19:47-20:21	20:00	SW	0.8
14	961030	20:36-21:10	20:50	ENE	2.5	91	970505	20:42-21:15	21:00	W	1.8
15	961103	21:54-22:27	22:10	WSW	1.0	92	970506	20:42-21:17	21:00	WNE	1.5
16	961103	22:32-23:05	22:50	SW	0.7	93	970510	14:40-15:16	15:00	NNW	0.9
17	961114	20:31-21:05	20:50	N	1.1	94	970510	20:41-21:14	21:00	W	0.5
18	961114	21:33-22:04	21:50	W	2.3	95	970511	14:38-15:14	15:00	N	5.3
19	961116	20:41-21:15	21:00	ENE	1.4	96	970511	20:47-21:20	21:00	ENE	2.1
20	961116	21:31-22:03	21:50	NNE	1.3	97	970512	14:49-15:26	15:00	N	5.0
21	961118	20:43-21:15	20:50	WNW	1.1	98	970512	20:47-21:19	21:00	WNW	1.3
22	961118	21:36-22:05	21:50	NNE	0.6	99	970516	14:48-15:24	15:10	N	3.6
23	961119	20:41-21:16	21:00	NW	1.4	100	970517	14:39-15:17	15:00	NNE	5.9
24	961119	21:38-22:10	21:50	SE	0.5	101	970517	20:41-21:16	21:00	WNW	2.1
25	961125	19:44-20:15	20:00	N	1.4	102	970518	20:41-21:15	21:00	WSW	0.9
26	961126	21:36-22:07	21:50	W	5.6	103	970601	03:09-03:52	03:30	E	1.1
27	961128	21:36-22:05	21:50	N	1.5	104	970601	05:05-05:48	05:30	ESE	0.5
28	961130	20:48-21:18	21:00	ESE	0.9	105	970601	13:47-14:30	14:10	N	4.3
29	961130	21:33-22:02	21:50	ESE	0.6	106	970601	14:49-15:25	15:10	NNW	5.8
30	961206	21:35-22:10	21:50	S	0.7	107	970601	20:57-21:42	21:20	WNW	1.5
31	961207	19:43-20:14	20:00	WNW	1.8	108	970607	14:44-15:20	15:10	N	4.3
32	961207	20:37-21:09	20:50	W	1.5	109	970607	20:44-21:20	21:00	NW	1.9
33	961208	19:36-20:09	19:50	W	1.1	110	970607	21:32-22:14	22:00	W	1.2
34	961208	20:43-21:13	21:00	NNW	0.6	111	970607	23:41-00:23	00:00	WNW	1.4
35	961220	20:34-21:11	20:50	W	1.6	112	970608	02:38-03:15	03:00	W	1.7
36	961220	21:40-22:16	22:00	WSW	1.6	113	970608	05:41-06:18	06:00	ENE	0.8
37	961221	21:33-22:05	21:50	WNW	2.6	114	970608	14:44-15:20	15:00	WSW	7.8
38	961224	21:48-22:17	22:00	W	1.0	115	970612	14:58-15:28	15:00	NNW	6.6
39	961227	19:43-20:17	20:00	WSW	3.2	116	970614	14:55-15:30	15:10	N	7.4
40	961227	20:46-21:17	21:00	E	1.2	117	970614	20:48-21:25	21:10	WNW	1.6
41	961229	18:33-19:06	18:50	W	1.8	118	970616	20:41-21:19	21:00	E	1.1
42	961229	19:38-20:11	19:50	W	2.9	119	970621	15:06-15:37	15:20	NE	4.6
43	961230	18:58-19:30	19:10	W	1.1	120	970621	20:48-21:20	21:00	ENE	0.7
44	961230	19:37-20:11	19:50	WNW	1.1	121	970624	14:52-15:26	15:10	N	3.8
45	970104	20:41-21:24	21:00	WNW	0.9	122	970704	21:17-21:52	21:30	W	1.9
46	970106	20:38-21:14	21:00	WSW	5.9	123	970718	21:07-21:45	21:30	WNW	1.9
47	970106	21:39-22:12	22:00	WSW	5.5	124	970719	14:49-15:28	15:10	N	1.6
48	970110	21:15-21:58	21:40	ESE	1.9	125	970719	20:58-21:35	21:20	ENE	0.5
49	970113	19:46-20:22	20:00	W	2.0	126	970720	14:44-15:20	15:00	NE	2.5
50	970113	20:47-21:19	21:00	W	1.9	127	970721	14:36-15:13	14:50	N	5.0
51	970116	19:36-20:16	20:00	ESE	0.5	128	970810	20:46-21:21	21:00	E	0.9
52	970116	20:37-21:11	21:00	NNE	0.6	129	970811	14:47-15:23	15:10	N	2.2
53	970117	19:45-20:18	20:00	W	1.1	130	970812	14:46-15:28	15:10	N	5.7
54	970117	20:41-21:14	21:00	W	0.8	131	970816	14:48-15:27	15:10	W	5.5
55	970201	20:45-21:25	21:10	W	1.9	132	970817	14:42-15:19	15:00	S	1.7
56	970205	19:51-20:28	20:10	WNW	0.6	133	970818	20:44-21:21	21:00	WSW	6.2
57	970205	20:56-21:34	21:20	W	1.8	134	970819	14:44-15:17	15:00	N	4.0
58	970209	19:53-20:23	20:10	NNW	2.9	135	970820	20:44-21:20	21:00	SE	1.0
59	970209	20:41-21:18	21:00	SSE	0.8	136	970821	14:36-15:11	14:50	N	4.4
60	970213	19:43-20:25	20:00	N	2.0	137	970822	21:02-21:36	21:20	ESE	1.5
61	970215	20:35-21:17	21:00	NNE	1.5	138	970823	14:45-15:24	15:00	NNE	5.8
62	970223	19:34-20:17	20:00	SE	1.0	139	970823	20:44-21:21	21:00	W	0.7
63	970223	20:45-21:25	21:10	W	1.7	140	970827	20:56-21:29	21:10	W	2.0
64	970320	19:45-20:15	20:00	SW	1.1	141	970828	13:28-14:00	13:40	N	4.7
65	970320	20:46-21:18	21:00	W	1.9	142	970829	14:03-14:42	14:20	N	5.3
66	970322	19:45-20:16	20:00	E	4.1	143	970830	14:16-14:56	14:40	N	6.9
67	970322	20:39-21:11	21:00	NNW	1.1	144	970830	20:52-21:28	21:10	NNW	2.1
68	970324	19:44-20:15	20:00	NNW	2.6	145	970901	13:27-14:06	13:50	ENE	2.5
69	970324	20:36-21:06	20:50	NNW	2.4	146	970919	21:28-22:02	21:50	NNE	2.1
70	970325	19:41-20:14	20:00	NW	0.9	147	970920	13:30-14:12	13:50	ENE	1.7
71	970325	20:40-21:12	21:00	W	1.8	148	970924	20:36-21:16	21:00	SSW	0.6
72	970327	19:44-20:15	20:00	NE	2.7	149	970929	14:58-15:33	15:20	E	5.1
73	970327	20:40-21:11	21:00	NNE	1.4	150	970929	20:58-21:34	21:20	WNW	1.7
74	970328	19:48-20:18	20:00	SSE	1.8	151	970930	20:55-21:29	21:10	WNW	1.8
75	970328	20:37-21:07	21:00	WNW	1.4	152	971001	14:48-14:29	14:10	ENE	2.2
76	970401	19:43-20:15	20:00	ESE	1.3	153	971001	20:36-21:12	20:50	W	3.0
77	970401	20:38-21:08	21:00	W	0.7						

全てアスファルトの舗装道路上の地点である。

センサはサーミスタ温度センサ（日置電機（株）製、9021-01）を用いた。これを3mの延長コードにより車内にあるハンドヘルドコンピュータパソコン（エプソン製、HC-40）と接続し、示度をパソコンに読みとらせた。観測終了後、RS232Cケーブルを経由してデスクトップ型パソコン（NEC製、PC9821Xa7）にデータ転送を行った。このデータはフロッピーディスクに保存して、表計算ソフトでデータの解析を行った。

直径107mm・厚さ3mm・長さ360mmの円筒形の塩化ビニルパイプで作られた放射よけの中に、センサをプラスチックの板とワニぐちクリップを用いて固定した。日中センサの感温部が高温にならないように、塩化ビニルパイプの外側をアルミシートで覆い、放射よけを作った。

この放射よけ塩化ビニルパイプと直径80mm・長さ3200mmの塩化ビニルパイプをコネクタにより接続し、センサ部が前部バンパ上方地上高150cmになるように自動車のルーフキャリアに固定した。この位置はセンサがエンジンから生じる熱の影響をもっとも受けにくい位置とされる（佐橋、1983）。また、走行しながら測定を行うので特別な通風装置はつけていない。

ヒートアイランドの観測では、都市と郊外で気温変化に違いがあるので、理想的には同時観測が望ましい。しかし、ヒートアイランドの調査では古くから移動観測法が採用されている。それは既存のルーチン観測網の密度では不十分であるために、測器の台数や観測人数を揃えられないという理由による。移動観測は便宜的な方法であり、精度は0.5°C程度であると指摘される（田宮、1979）。

スタートの地点とした第1図の地点1において再度観測終了時に観測を行った。この間約40分を要するが、この間の気温変化の仕方が直線的であるとし、さらに他の観測点の気温変化も同様であると仮定し、観測時間帯の中央の時刻になるように測定値を補正した。

風向・風速と雲量は、小布施町南西約12kmにある長野地方気象台（第1図◎印）で観測された値を用いた。

2.3 調査日の状況

観測は、観測開始時に晴れ間が見える15時と21時前後に実施した。したがって、観測は必ずしも快晴あるいは晴れの天気の時だけでなく曇りの時もあった。逆に観測を中止した後で晴れてきたという日もあった。夜間の観測は1996年9月から翌年の10月にかけて、昼間の

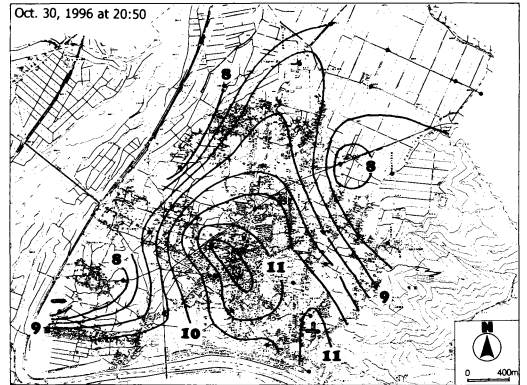


Fig. 2 Horizontal air temperature distribution (°C) in Obuse on October 30, 1996 at 20:50 Japan Standard Time (JST). Winds ENE 2.5 m/s, skies clear. Isotherms are time-corrected temperatures (°C).

観測は1997年5月から9月にかけて、延べ153回おこなった（第1表）。なお、表のNLMOは長野地方気象台を示す。

1月と2月では小布施町の市街地及び郊外の道路面はともに雪で覆われた。地面に育つ草は4月から、果樹園における木の葉は5月から芽吹き、11月頃まで見られた。木の高さは自動車の高さより2～3倍高く、気温の測定は果樹キャノピー内の気温を測定していることになる。水田域は6月から8月の期間は灌水されていた。9月には稲穂が見られ、10月には収穫される。この期間以外の水田域は裸地になる。

3. 結果

3.1 特徴的な気温分布

夜間において明瞭にヒートアイランドが出現した時の気温分布を第2図に示す。観測は1996年10月30日20時36分から21時10分に行われた。同日の20時50分における長野地方気象台の観測では、東北東の風2.5 m/sが吹き、21時の雲量は0であった。市街地を中心に高温域が生じ、それを取り巻くように等温線が認められる。最も低温となった地域は地点12と13を中心とする果樹園域であった。

次に、積雪期における例を第3図に示す。観測は1997年1月10日21時15分から21時58分にかけて行った。当日の21時40分における長野地方気象台の観測では、東南東の風1.9 m/sが吹いていた。そして21時の雲量は1であった。高温域は積雪がなかった例の第2図と同

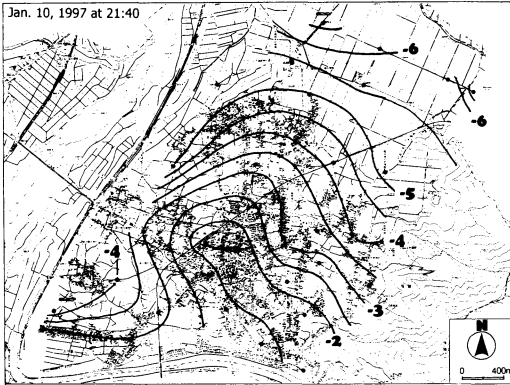


Fig. 3 The same as Fig. 2 but for on January 10, 1997 at 21:40 JST, with a clear sky and ESE wind of 1.9 m/s.

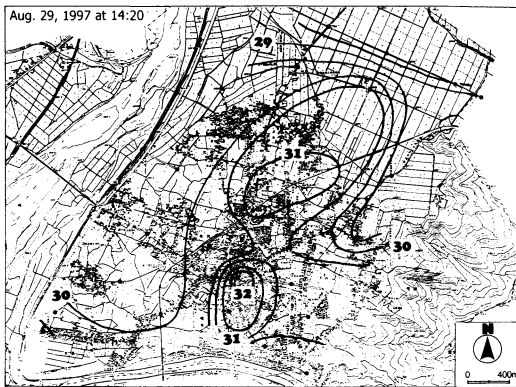


Fig. 4 The same as Fig. 2 but for on August 29, 1997 at 14:20 JST, with a fine sky and N Wind of 5.3 m/s.

様に駅南東側に生じている。低温域は果樹園域も低いものの、地点4～7の水田域の方がより低温になった。

次に日中における灌水期の気温分布を第4図に示す。観測は1997年8月29日14時03分から14時42分にかけて行われた。同日の14時20分における長野地方気象台では、5.3 m/sの北の風が吹いていた。15時の雲量は7であった。全体として駅南東側に高温域が生じ、水田域が最低温部であるのがわかる。しかし、市街地以外でも局所的に高温域が見られる。この傾向は非灌水期においても認められ、日中の気温分布の特徴である。

3.2 ヒートアイランド強度の月最大値(極値)の年変化

Oke (1973) によればヒートアイランド強度 $\Delta Tu-r$ は都市における最も高い気温とその回りの郊外にお

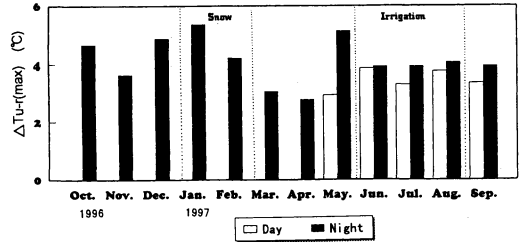


Fig. 5 Seasonal variation of the maximum heat island intensity.

る最も低い気温の差と定義される。

都市と郊外で各1地点ずつ選ぶOke (1973) の上記の方法により、観測毎にヒートアイランド強度を算出し、月ごとに分類して、さらに日中と夜間の観測を分けて $\Delta Tu-r$ の月最大値を求めた(第5図)。なお、都市における地点とは17, 18, 27, 28とし、郊外の地点はそれ以外の地点とした。ただし、ここで述べる月最大値及び以下に述べる月平均値は、前述のように観測開始時に晴れ間が見える日における夜間は21時前後、日中は15時前後の平均である。そのため、雨が多く降る月は少なくなることもあり、月によって観測データ数に偏りがある。

夜間における $\Delta Tu-r$ の月最大値は1月・5月が 5°C 以上の大きな値になった。どちらの月も特別に1回だけ突出した大きな値が出現したのではなくその値に準じた観測例も複数例ある。榊原(1994)の埼玉県越谷市の結果では、5月は小さく、今回の結果と一致しない。一方、3月・4月は小さい。また、水田域における灌水や冬季に見られた積雪による $\Delta Tu-r$ の月最大値に与える影響は認められない。

日中の $\Delta Tu-r$ の月最大値は6月が 4°C 程度と最も大きく、ついで8月であった。灌水がなかった5月は最も低く、夜間の $\Delta Tu-r$ の月最大値との差は顕著になった。一方、6月から9月における $\Delta Tu-r$ の月最大値は夜間と比べ幾分小さいものの大きな差異は見られない。

3.3 郊外地点の選び方の違いによる平均のヒートアイランド強度

郊外といっても土地被覆は異なり、郊外地点の選び方がヒートアイランド強度にどのような影響を持つかを調べる。都市の代表地点に17, 18, 27, 28を選び、果樹園域を代表とする地点として地点10, 12, 13, 22の4地点を、水田域の観測点として地点4, 5, 6, 7の4地点を、水田と果樹園の混合域として地点8,

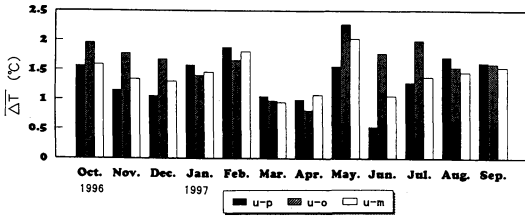


Fig. 6 Seasonal variation in monthly mean daytime urban-paddy field difference, urban-orchard, urban-mixed land in air temperature from October in 1996 to September in 1997.

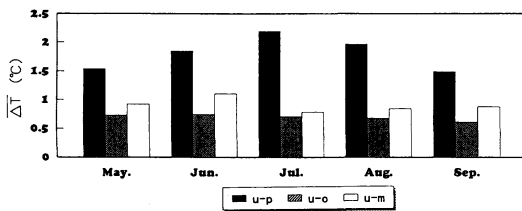


Fig. 7 Monthly mean daytime air temperatures differences between an urban area and other three areas, paddy fields, orchards, and mixed lands from May to September in 1997.

9, 23の3地点を選んだ。この判断の基準には、先に述べた都市計画基本図の土地利用記号と現地調査を併用した。このようにして土地利用別選ばれた複数地点の平均気温をそれぞれ求め、郊外の代表として果樹園を選んだ時の都市との気温差を $\overline{\Delta T_{u-o}}$ とし、郊外を水田、郊外を混合域とした場合の気温差をそれぞれ $\overline{\Delta T_{u-p}}$ と $\overline{\Delta T_{u-m}}$ とした。

この方法で得られた夜間における月平均値の年変化を第6図に示す。郊外を果樹園とした場合の気温差 $\overline{\Delta T_{u-o}}$ は5月が一番大きく、ついで7月、10月となった。3月と4月は逆に小さい。郊外を水田に採用した場合の気温差 $\overline{\Delta T_{u-p}}$ は2月が一番大きく、ついで8月となり、6月・3月・4月は小さいことが分かる。また、5月～7月と10月～12月は $\overline{\Delta T_{u-o}}$ と $\overline{\Delta T_{u-p}}$ の差が大きく、 $\overline{\Delta T_{u-m}}$ はそれらの中間の値になった。しかし、1月・2月の積雪及び6月～8月の灌水の影響は読みとれない。

次に、日中における郊外の取り方の違いがヒートアイランド強度に与える影響を第7図に示す。観測を行なった5月から9月を通して郊外を水田とした場合が大きく、その大きさは7月が最大である。また、郊外

Tab. 2 The ratios of average urban-paddy field air temperature differences ($\overline{\Delta T_{u-p}}$), urban-orchard ($\overline{\Delta T_{u-o}}$) and urban-mixed land ($\overline{\Delta T_{u-m}}$) over heat island intensities ($\overline{\Delta T_{u-r}}$).

Average	$\frac{\overline{\Delta T_{u-p}}}{\overline{\Delta T_{u-r}}}$	$\frac{\overline{\Delta T_{u-o}}}{\overline{\Delta T_{u-r}}}$	$\frac{\overline{\Delta T_{u-m}}}{\overline{\Delta T_{u-r}}}$
Day/			
May & Sep	0.63	0.31	0.38
Jun-Aug	0.67	0.24	0.32
Night/			
Sep-Dec	0.48	0.66	0.53
Jan & Feb	0.61	0.54	0.57
Mar-May	0.53	0.55	0.58
Jun-Aug	0.39	0.65	0.46

を果樹園とした場合は水田とした場合よりはるかに小さく半分以下である。また、郊外の地点に混合域を選んだ気温差 $\overline{\Delta T_{u-m}}$ は $\overline{\Delta T_{u-o}}$ と $\overline{\Delta T_{u-p}}$ の間の値になった。

ここで1年を6つの期間に分ける。夜間においては1年を9月から12月の積雪前、1月と2月の積雪期、3月から5月の積雪後、6月から8月の灌水期の4つに、昼間の観測は5月から9月であったので、灌水期の6月・7月・8月と非灌水期の5月・9月の2つである。

先に示した都市と郊外の気温差 $\overline{\Delta T_{u-m}}$ 、 $\overline{\Delta T_{u-o}}$ 、 $\overline{\Delta T_{u-p}}$ それぞれについて、上記期間毎に平均を求める。同じくそれぞれの観測毎に求めた都市と郊外の最大気温差 $\overline{\Delta T_{u-r}}$ を上記期間毎に平均した。この両者の比を観測期間毎昼夜別にまとめたのが第2表である。本論ではこの値を強度比と呼ぶ。表から分かるように日中の果樹園の強度比が0.31および0.24と一番小さい。また、日中に最も大きな強度比が得られたのは水田域を郊外とした場合である。

一方、夜間では1月と2月に水がなくなった水田域を郊外とした場合における強度比は大きく、果樹園域を郊外とした場合は6月から12月にかけて大きい。

郊外を混合域とした強度比は、3月から5月を除き、郊外を水田域とした場合と果樹園とした場合の間の値になった。3月から5月だけ異なる結果になったのは、この期間における水田域と果樹園域、混合域を郊外にした場合の強度比はあまり差がないので誤差範囲内かもしれない。

4. 考察

積雪や灌水の有無によるヒートアイランドの月最大値への明瞭な影響は認められなかった。前述のように大畑ほか(1985)は積雪があるとヒートアイランドは明瞭に出現することを指摘している。その理由として彼らの観測した都市では降雪後融雪するのに対し、郊外では雪がそのまま残っているからと述べている。ところが、今回の観測した小布施町では、積雪があった1・2月の小布施町の道路は市街地内外ともに雪が残って圧雪路になっていたので、大畑ほか(1985)のケースとは異なる。河村(1977)によれば、都市と郊外がともに雪で覆われる積雪地域のケースにおいて、都市内外の気温差は小さくなる傾向があると指摘している。今回のケースも都市内外ともに積雪で道路が覆われたが、同じ結果にならなかった。河村(1977)が述べた説の典拠が不明なので、異なる結果になった状況を比較することは困難である。

ここで、地表面被覆が同一の雪で完全に覆われたと仮定し、それでもヒートアイランドが生じる原因には(1)人工熱もしくは(2)都市表面形状によることが考えられる。小布施の人工熱は大都市と比べかなり低いと見なせるので、都市表面形状の影響が有力である。たとえば、郊外で生じた逆転層が都市に達すると、都市における建物群の凹凸により逆転層を混合し、都市上空の暖かい空気が地上付近に下がるというモデルが考えられる(田宮・大山, 1981)。ただし、このモデルは夜間ヒートアイランドの成因についての説明である。

次に、郊外を水田域とする場合、夏季の6月から8月における夜間のヒートアイランド強度は同月の日中より 0.2°C 程度しか大きさは変わらないことも注目すべき点である。同様な解析をヒートアイランド強度の月最大値でなく月平均した値でも行ったが、同じ結果になった。日中に最も大きな強度比が得られたのは水田域を郊外とした場合である。これは、水田域の水面及び稲の葉面における蒸発散が活発に行われ、日中水田域の気温が上がりにくくした結果と考えられる。一方、果樹園でも蒸発散が行われていることが予想できるが、水田と比べ潜熱の影響が小さいと思われる。

これまでにも夏季日中のヒートアイランドが夜間と同程度になるとした榊原ほか(1996)の報告があり、人間生活に影響の大きい夏季日中のヒートアイランドの緩和に関する研究は今後重要になるとと思われる。ただし、日中の気温分布パターンは夜間のものと同じと

いうことでない。

ΔT_{u-r} の月最大値および月平均値の年間最大値はともに5月に観測された。月最大値が生じた1997年5月18日の気象条件は雲量0で 0.9 m/s の風速というヒートアイランド発生には好条件であったのは間違いないが、雲量0で 0.9 m/s 以下の風速であった観測例は9例存在し、それらは必ずしも大きなヒートアイランド強度になっていない。月平均で考えると、5月は確かに移動性高気圧によりヒートアイランドが明瞭になることが予想できるが、観測を行った1年間において、雲量は12月～2月が低く、5月は6番目であった。一方、風速では6月がもっとも小さく、5月は4番目に風が弱い月であった。このことからして必ずしも雲量と風速という気象条件から説明できない。

都市におけるエネルギー消費量があまり期待できない季節に年間最大値が生じたことはヒートアイランドの成因を考える上で注目すべきことであろう。小布施町のような小都市のヒートアイランドは東京のような大都市と比べ、人工熱がヒートアイランド形成に果たす役割は小さいと考えられるからである。この点に関して引き続き検討が必要である。

Fukuoka(1983)やPark(1987)により提案された日本における都市規模とヒートアイランド強度の関係は再検討すべきであろう。彼らの論文では1万2千人規模の都市におけるヒートアイランド強度の年間最大値は北米で 5.5°C 、西欧で 4.3°C であるのに対し、日本や韓国では 1.0°C であるが、今回の小布施町では 5.6°C という欧米の都市のケースに匹敵する値になった。なお、 5°C 以上のヒートアイランド強度が生じたケースはこの他に1例あり、 4°C 以上のケースでは10例見られた。日本における都市規模に対するヒートアイランド強度が彼らが示した値より大きいという指摘は越谷市(榊原, 1994; 榊原ほか, 1996)や長野市(榊原ほか, 1998)でもあり、日本の都市においても人口の対数とヒートアイランド強度の年間最大値の関係が、30万人規模の都市を境に折れ曲がるのではなく、欧米の都市と同様な関係がある可能性がある。

Oke *et al.* (1991)は、アジアの都市では都市規模とヒートアイランド強度の関係が欧米の都市と異なる理由の一つとして水田が郊外に広がることをあげている。今回の結果でも、水田の影響は夏季日中に大きく現れることが示されたが、ヒートアイランド強度の最大値に影響を与えるほどではなかった。彼らの別の指摘では、日本における都市規模とヒートアイランド強

度の関係の元となったおのおのの都市における観測結果において、観測事例数が不足していることと冬季を中心とする偏った観測期間であったことを指摘している。しかし、今回の結果では欧米で1年間のうち最もヒートアイランドが明瞭に出現するという夏季において、ヒートアイランド強度の最大値は生じなかったため、後者の指摘は必ずしも当を得たものになっていない。

5. おわりに

長野県小布施町における観測結果に基づき、郊外の土地被覆の違いや季節変化とヒートアイランド強度の関係を検討した結果、次のことが明らかになった。

- (1) 夜間気温分布の特徴として、高温域は市街地とされる駅南東部に見られたが、最低温域は5月から7月と10月から12月では水田域に、ほかの期間では果樹園域に見られた。
- (2) 日中の場合は灌水期と非灌水期ともに、駅南東側が高温域に、駅北側の水田域が低温域になり、市街地中心部以外にも高温域が生じるなど、市街地を取り巻くような島状の等温線にならなかった。
- (3) 積雪や灌水という土地被覆の季節変化がヒートアイランド強度の年変化に与える明瞭な影響は認められない。
- (4) 夏季日中のヒートアイランド強度の月最大値は夏季夜間と同程度であった。
- (5) ヒートアイランド強度の年間最大値は5.4°Cであった。この値は従来指摘された1万2千人規模の日本の都市におけるヒートアイランド強度よりはるかに大きな値であり、北米の都市と同程度である。

今後ヒートアイランド強度を用いて都市効果の一般化を図るには、都市そのものを調べることと同様に郊外の環境に着目すべきだろう。また、日本における都市規模とヒートアイランド強度の関係では、小布施町のような10万人規模以下の観測事例が不足している。両者の関係を明らかにするためにも、小規模都市においてヒートアイランドの調査をすることが必要であろう。

謝 辞

長野地方気象台の方々には気象データ提供に際し、ご協力を頂いた。また、本論に有益なコメントを頂いた査読者の方々及び編集委員の方に謝意を表します。

参 考 文 献

- Fukuoka, Y., 1983: Physical climatological discussion on causal factors of urban temperature, *Memiors of the Faculty of Integrated Art and Science*, (8), Hiroshima Univ., 157-178.
- 播磨屋敏夫, 谷口 恭, 大平貴祐, 平松 親, 1985: 積雪期のヒートアイランド (I) —観測—, 北海道大学地球物理学研究報告, (45), 1-14.
- 河村 武, 1977: 都市気候の分布の実態, 都市気候に関する最近の展望, 気象研究ノート, (133), 26-47.
- Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island, *Atmos. Environ.*, 7, 769-779.
- Oke, T. R., G. T. Johnson, D. G. Steyn and I. D. Watson, 1991: Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night Part 2: diagnosis of causation, *Boundary-Layer Meteorol.*, 56, 339-358.
- 大畑哲夫, 田中洋一, 渡辺興亜, 樋口敬二, 1985: 積雪都市のヒート・アイランド現象, *天気*, 32, 87-95.
- Park, H., 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments, *Environ. Res. Center Papers*, 11, 1-79.
- 榊原保志, 1994: 越谷市に見られるヒートアイランド強度—郊外が水田の場合—, *天気*, 41, 515-523.
- 榊原保志, 原 芳生, 加藤俊洋, 1996: 越谷市南東部における臨時定点観測によるヒートアイランド強度の特徴, *天気*, 43, 537-543.
- 榊原保志, 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.
- 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—特に自動車の影響を中心に—, *天気*, 30, 509-514.
- 田宮兵衛, 1979: 小気候・局地気象—特に移動観測の方法について—, *天気*, 26, 633-640.
- 田宮兵衛, 大山秀樹, 1981: 小集落に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.

The Relationship between Heat Island Intensity and Rural Land Coverage in Obuse, Nagano

Yasushi Sakakibara*

* Faculty of Education, Shinshu University, Nagano 380-8544, Japan.
E-mail : ysakaki@gipwc.shinshu-u.ac.jp

(Received 12 May 1998 ; Accepted 25 June 1999)

Abstract

Automobile traverses were used 153 times to gather air temperature data in Obuse, Nagano, which is surrounded by a large number of paddy fields and orchards in order to make clear the feature of urban heat island. Using the horizontal pattern of air temperature and the monthly average and the monthly maximum of heat island intensity, the roles of rural land coverage such as paddy fields, orchards and mixed-use lands in the appearance of heat islands were investigated. In the nighttime, paddy fields had the lowest air temperature area in the snowy season, but orchards had the lowest air temperature from May to July and from October to December. The effect which snow coverage on rural and urban areas and irrigation of paddy fields have on seasonal variation of heat island intensities was not seen. The daytime heat island intensities are almost similar to those in the nighttime in summer. The maximum heat island intensity of 5.4°C in settlements whose population is at least twelve thousand, was significantly larger than that of the same-sized cities in Japan shown by Fukuoka (1983) and Park (1987), and nearly equal to that of North American settlements pointed out by Oke (1973).

気象集誌論文投稿予定調査について

例年通り日本学術振興会に学術出版助成金の申請をする時期が参りました。この助成金無しには、気象集誌の出版の継続は困難です。この申請のための、来年度の気象集誌の出版予定リストの作成資料として1999年11月から2000年12月までの間に投稿される予定の論文につき、下記の書式でお知らせ下さい。投稿予定の方は必ず通知して下さい。出版予定数が少ないと、補助金が減額され、出版が困難となります。

締め切り：10月31日

- (1) 著者：名と姓（ローマ字）：
(2) 所属機関名（英語）：

(3) 論文題名（英語）：

(4) 予定印刷ページ数：

印刷ページ数 = (原稿枚数 + 図表枚数) / 3

(5) 投稿予定時期： 年 月

気象集誌編集委員長

二宮 洸三

送付先：〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1

東京大学気候システム研究センター

二宮 洸三

Fax : 03-5453-3964