

大規模住宅団地における気温分布とヒートアイランド強度について — 埼玉県南東部三郷団地を例に —

戸塚 裕一

地理学専攻 2004 年 3 月卒業

I はじめに

都市特有の気候現象の一つとして、都心が郊外より高温となるヒートアイランド現象がある。しかし都市を対象とすると、一般的には都市面積が大きくなればなるほど、その面積内の地表形態、被覆状況、人間活動とそれに伴う熱源の分布などに差異を生じ、統一的取扱いが難しくなる(田宮 1968)。それはつまり逆に都市面積が小さくなるほど、それらの差異は小さくなり、統一的取扱いが可能であることを示唆している。

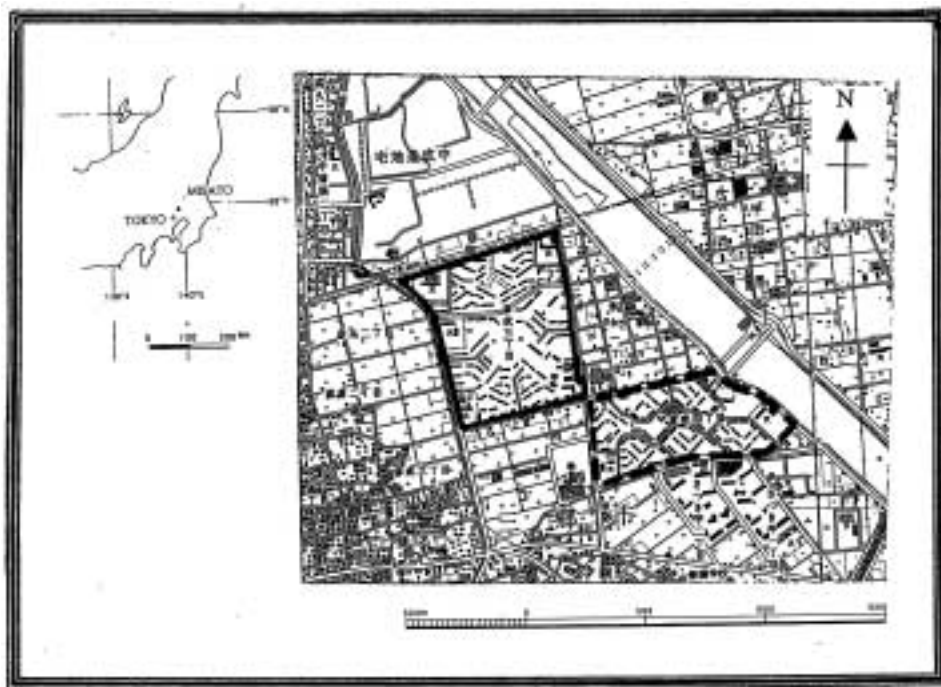
広い平坦地に均質な住宅が集まってできた住宅団地は、ヒートアイランド現象を単純化された条件下で理解する上で適した研究対象である。これまでの研究で田宮(1968)は東京都保谷市・東久留米市・田無市にまたがるひばりヶ丘団地で、また榊原(1982)は埼玉県草加市に位置する松原団地で調査を行い、小規模なヒートアイランド現象、いわゆる団地気温、を認めている。しかし両方の団地共、周辺の土地利用状況は必ずしも単純とは言えず、ひばりヶ丘団地では団地西側から北側にかけて空き地ないし畑地であったが、北東および南側には住宅・商店が密集し、東側には工場がある。また松原団地周辺には畑があるとともに一般住宅も多く、さらに草加バイパ

スという交通量の激しい道路(研究当時の交通量はおおよそ 55,000 台/日)が接している。すなわち、これらの団地には内部に団地以外の明らかな熱源は存在しないものの、周辺の土地利用状況をみると、近くに団地とは異なる大きな熱源が存在する。

そこで本研究では、熱容量の大きいコンクリートを主体とした団地内部と田畑で覆われた周辺部で構成され、団地内外で地表形態に明確な違いのある大規模住宅団地を調査対象地域として選定し調査することで、団地内外の気温差、つまりヒートアイランド強度の出現状況を確認し、これまでのヒートアイランド現象の研究で用いられたヒートアイランド強度と都市規模との関係(Oke 1978, 福岡 1983)を住宅団地に適用して議論する。

II 調査地域と調査方法

調査対象の三郷団地は埼玉県南東部の三郷市北端に位置し(第 1 図)、従来研究されてきた住宅団地の規模と比べても格段に大規模である。1973 年に完成し、当時は「東洋一のマンモス団地」と呼ばれた。この団地は第 1 図に示すように、二つの部分で構成されている。便宜上、彦成三丁目の団地部分(実線)を「団地①」、彦成四丁目の団地部分(破線)



第1図 埼玉県三郷団地の位置

注1) 図中の実線部分は団地①、破線部分は団地②

注2) 地図は国土地理院発行地形図二万五千分の一の越谷と流山の一部を組合せ作成

を「団地②」とすると、団地①には約 5,500 世帯（人口約 12,000 人）、団地②は約 3,500 世帯（人口約 8,000 人）が居住する。団地①・②を合わせると世帯数約 9,000（人口は約 20,000 人）で、小都市並みの規模をもつ住宅団地である。団地周辺の地形は平坦で、周辺の土地利用状況も水田・畑地・造成地・跡地が大部分を占め、それが団地を囲む形となっている。

現地観測は、ヒートアイランド現象が明確に現れる風の無い・晴れの日を実施した。また、団地周辺の水田は季節によっては湛水され、熱収支に影響が生じることを考慮して、水田の湛水期を除外することで観測条件の均質化を図った。

2003 年 2 月上旬と 9 月上旬に計 18 回の移動観測を行った（第 1 表）。観測地点の全 55 地点（第 2 図）を、デジタル温度計（安立計器のアルメル・クロメル熱電対式温度計）を用い、1 回の移動観測に約 45 分かけて観測データを得た。観測時刻は気温の時間的変動が少なく、ヒートアイランド強度が一般に強くなる夜間（日没後約 2・3 時間経過後）の 22 時と早朝（日の出前）の 4 時の定時刻、そして夜間から早朝にかけての 2 時間毎に設定し、定時刻と経時変化での気温分布を求め、冬季・夏季の季節別、22 時・4 時の時刻別気温の平均偏差分布を求めた。

平均偏差の算出法は、例えば冬季の 22 時に行った計 3 回の観測の場合、得られた 3 回

第1表 観測日と天気概要

観測月日	観測時間	三郷消防署観測の気象データ			
		時刻	気温(℃)	風向	風速(m/s)
2月6日	21:50～22:34	22時	2.9	NW	0.8
2月7日	03:50～04:37	4時	0.4	NNW	2.0
	21:50～22:35	22時	4.0	ENE	1.4
2月8日	03:50～04:34	4時	0.8	NW	0.8
2月13日	19:50～20:35	20時	6.0	NNE	2.3
	21:50～22:36	22時	4.7	NNE	1.1
2月14日	23:50～00:35	0時	3.1	WNW	0.9
	01:50～02:37	2時	2.4	NW	1.1
	03:50～04:34	4時	1.0	SE	0.7
	19:50～20:34	20時	24.3	E	2.2
9月4日	21:50～22:35	22時	23.5	ESE	2.0
	23:50～00:32	0時	22.2	NNE	0.9
9月5日	01:50～02:33	2時	21.4	静穏	0.0
	03:50～04:34	4時	21.4	静穏	0.0
	21:50～22:34	22時	24.2	ESE	1.5
	03:50～04:34	4時	22.0	E	0.5
9月6日	21:50～22:34	22時	27.6	NNE	0.8
	03:50～04:33	4時	21.8	NNE	5.9

注1) 気温は時間平均のもの

注2) 風向と風速は10分間平均のもの

×55地点の合計165個のデータを使用して求めた。また団地気温に影響する要因として、コンクリートやアスファルトなどの非透水性被覆を考え、各観測地点を中心とする半径100mの円内に含まれる非透水性面積の比率を算出し(第2表)、団地気温と非透水性面積率との相関関係を求めた。

Ⅲ 調査結果と考察

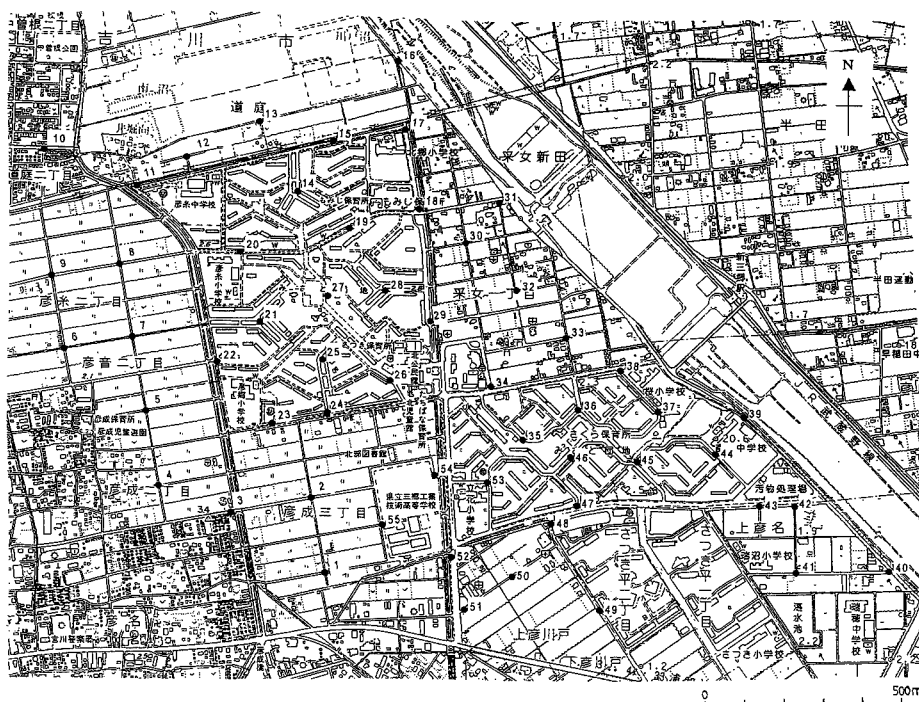
1. 三郷団地の気温分布

団地内外の気温差が最も顕著に現れた気温分布の例として、全18回の観測の中で2003年2月14日の4時のものを示す(第3図)。調査日の前日(2月13日)の三郷団地周辺の気象概況は、団地の南東約3km離れた三郷

消防署の気象データの日平均から、気温5.1℃、東北東の1.9m/sの風、晴れで、観測当時も晴れであった。第3図の気温分布を見ると、団地①には1.0℃～3.0℃の等温線で囲まれた島状の高温域が明確に現れており、団地②にも1.5℃～2.0℃の高温域が島状に分布している。団地内外の気温差を等温線の最高値と最低値の差で示すと、5.5℃の大きな値となっている。また、0.5℃の等温線は団地①と②の輪郭と一致する。

2. 三郷団地の季節・時刻別気温分布

次に観測結果を冬季(2月上旬)・夏季(9月上旬)の季節別、22時・4時の時刻別に分類し、55地点のそれぞれの平均値を算出し、そこから季節・時刻毎の平均値を引い



第2図 観測地点と地点番号

注1) 番号は観測ルート順

注2) 地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用

て平均偏差を求めることで、季節・時刻別の気温分布を表し、三郷団地における気温分布の一般化を図った（第4図～第8図）。

(1) 冬季夜間（22時）の気温分布

冬季の22時に実施した3回の観測から得られた、3回×55地点の合計165個のデータ（以下の気温分布も同じデータ数）をもとに、気温の平均偏差分布図を示す（第4図）。この図によると、全地点の平均を示す0℃線は、団地①外縁部の西側と北側に沿って団地②の北側に向かって走っている。それを境に内側のプラスの高温域は団地部分、特に団地①に大きく出現している。一方0℃線の外側の低温域は大部分が団地周辺部に現れ、団地①北

側の境界付近で急な温度変化が生じている。

第8図のaの図から、気温と非透水性面積率との間に危険率1%で有意な正の相関関係（ $r=0.573$, $n=55$ ）が見られる。

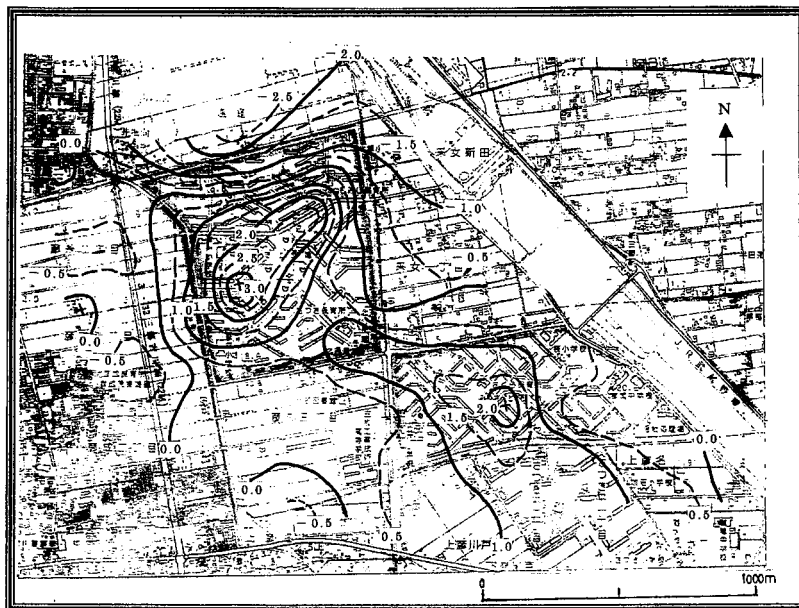
(2) 冬季早朝（4時）の気温分布

同様に、冬季早朝（4:00）の気温の平均偏差分布図では（第5図）、先に示した2月14日の4時の気温分布図（第3図）に現れていた団地①・②にまたがる高温域が、第5図にも団地部分にかかる+0.5℃線として現れ、その内側の団地内部には+1.0℃線の島状の高温域が分布し、団地内部が冬季に高頻度で高温域を形成していることがわかる。また0℃線も団地①の境界付近を走っており、

第2表 各観測地点中心周辺の非透水性・透水性面積の割合

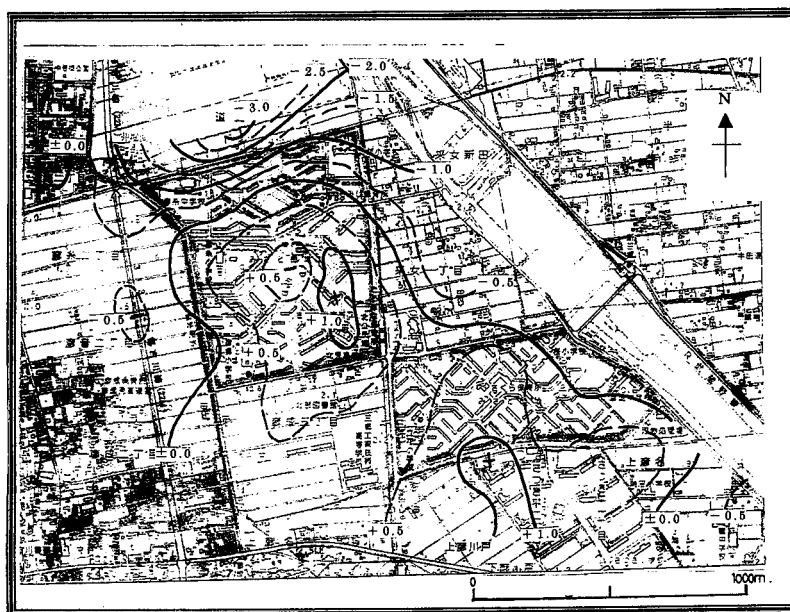
地点番号	非透水性面積比	透水性面積比	地点番号	非透水性面積比	透水性面積比
1	42.4	57.6	29	67.9	32.1
2	32.8	67.2	30	60.2	39.8
3	55.0	45.0	31	57.9	42.1
4	21.4	78.6	32	36.3	63.7
5	7.5	92.5	33	67.8	32.2
6	18.1	81.9	34	94.7	5.3
7	6.6	93.4	35	69.5	30.5
8	11.6	88.4	36	87.8	12.2
9	15.1	84.9	37	54.4	45.6
10	82.2	17.8	38	87.2	12.8
11	53.7	46.3	39	34.3	65.7
12	37.1	62.9	40	42.4	57.6
13	13.9	86.1	41	54.4	45.6
14	61.7	38.3	42	67.7	32.3
15	54.6	45.4	43	88.4	11.6
16	11.9	88.1	44	54.5	45.5
17	42.4	57.6	45	75.3	24.7
18	73.3	26.7	46	82.0	18.0
19	57.7	42.3	47	75.6	24.4
20	58.5	41.5	48	83.4	16.6
21	70.1	29.9	49	67.2	32.8
22	58.8	41.2	50	38.2	61.8
23	55.4	44.6	51	53.3	46.7
24	61.5	38.5	52	70.8	29.2
25	60.0	40.0	53	83.8	16.2
26	76.4	23.6	54	37.4	62.6
27	45.6	54.4	55	47.6	52.4
28	60.5	39.5			

注) 標柱の単位は%



第3図 2003年2月14日の4時における気温分布

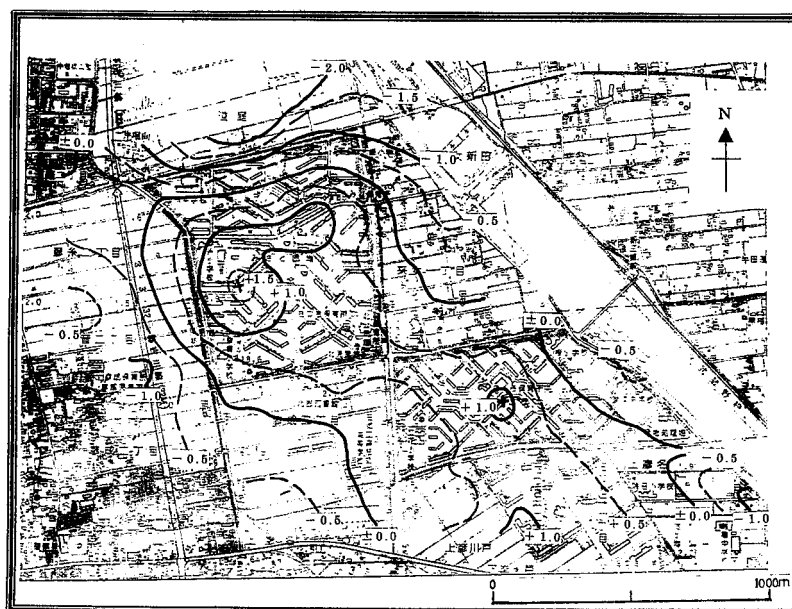
注) 地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用



第4図 冬季夜間（22時）の気温分布

注1）冬季22時に実施した3回の観測による平均偏差を示す。

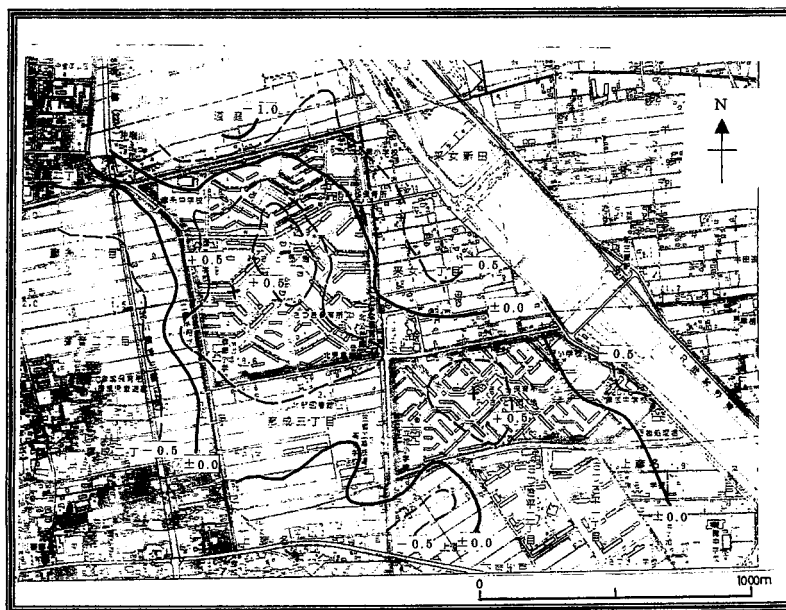
注2）地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用。単位は℃



第5図 冬季早朝（4時）の気温分布

注1）冬季4時に実施した3回の観測による平均偏差を示す。

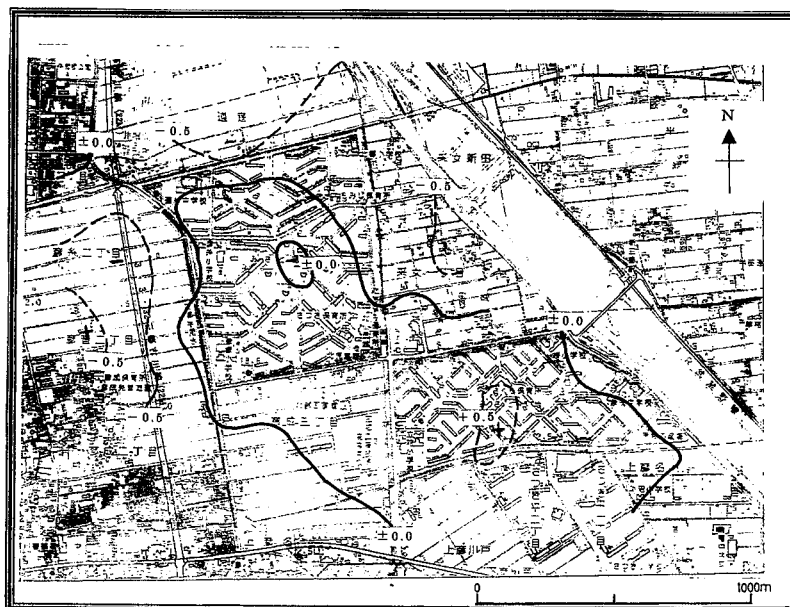
注2）地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用。単位は℃



第6図 夏季夜間（22時）の気温分布

注1）夏季22時に実施した3回の観測による平均偏差を示す。

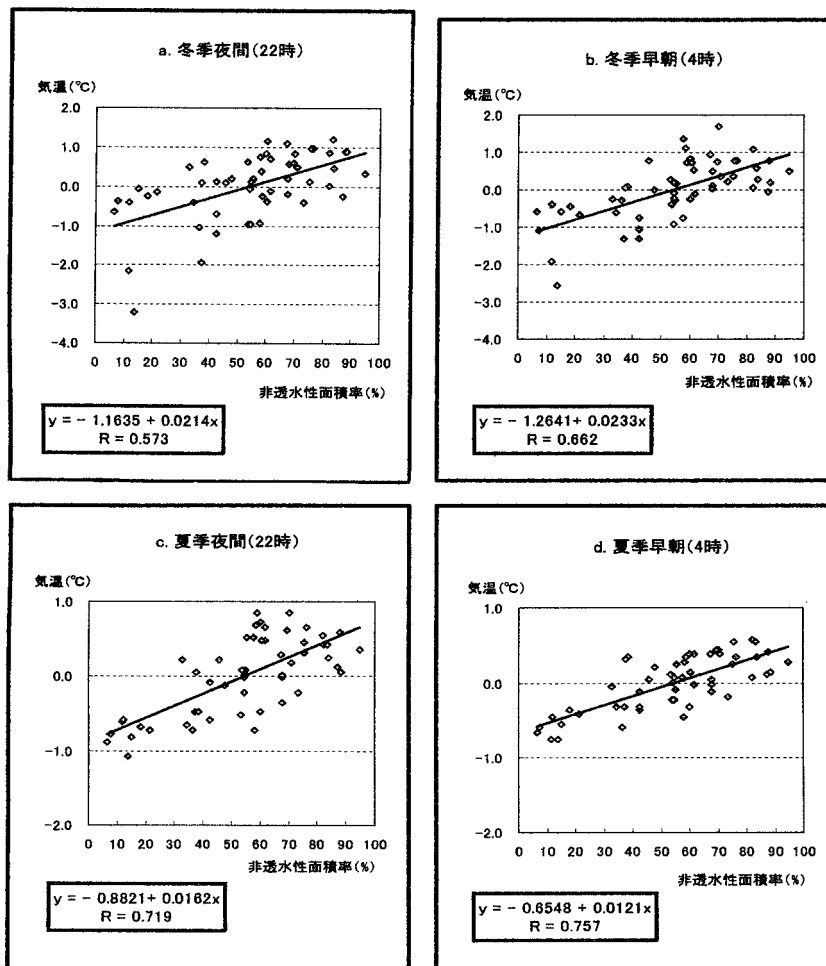
注2）地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用。単位は℃



第7図 夏冬季早朝（4時）の気温分布

注1）夏季4時に実施した3回の観測による平均偏差を示す。

注2）地図は三郷市一万分の一都市計画図の一部を使用。単位は℃



第8図 季節・時刻別の気温偏差と非透水面積率との関係

そこでは等温線が密になり気温が急変している。この時間における気温と非透水性面積率の関係も(第8図のb)、危険率1%の有意な正の相関が求められた($r=0.662$, $n=55$)。

(3) 夏季夜間(22時)の気温分布

夏季夜間(22:00)の気温の平均偏差分布では(第6図)、+0.5°C線の高温域が団地①・②に大きく島状に分布しており、またそれを囲むように0°C線が団地①・②にまたがって

現れ、また団地①外縁部では、その北側を沿うように等温線が走っている。また、気温と非透水性面積率との間に(第8図のc)、強い正の相関関係が示された($r=0.719$, $n=55$)。

(4) 夏季早朝(4時)の気温分布

夏季早朝(4:00)の分布図では(第7図)、夏季夜間と比べ等温線の数も少なく、団地内にも目立った高温域は現れていない。しかし0°C線は、団地①の外縁部に沿って走ってお

り、またそれは2月14日の4時の気温分布図(第3図)や冬季早朝の気温分布図(第5図)にも見られた団地①と②にまたがる特徴的な分布の形を示している。気温と非透水性面積率との相関は $r=0.757$ ($n=55$) と、強い正の相関関係(危険率1%)が求められた(第8図のd)。

以上のように三郷団地における一般化された気温分布図の各季節別・時刻別の結果から、団地部分では団地周辺部と比べ、夜間から早朝にかけて、1年を通して気温の平均偏差がプラスの高温域を形成していることがわかった。また、プラスの高温域とマイナスの低温域の境を成す所が、団地部分の外縁部とほぼ重なり合う形で存在し、団地部分が熱源として作用し、団地部分とその周辺との境に温度変化を生じさせていることが理解できる。また夏季には、冬季と比べ同心円の島状高温域の形成は弱まることが確認できた。

さらに、団地内外の非透水性面積の占める割合と気温との関係を求めたいずれの結果から、正の強い相関関係が示されており、非透水性面積の割合が高い所、つまり団地部分ほど気温が高く、偏差でもプラスの傾向が多く、巨大なコンクリートの塊である住宅団地が熱源として働く大きな要因であると推測された。

3. ヒートアイランド強度と都市規模の比較

都市気温と人口との関係についてこれまでに行われた研究例は少なくない。Oke (1978)や福岡(1983)は都市全体の人口数を都市気温または、ヒートアイランドの形成に寄与する人工熱量に比例する指標と考え、都心と郊外との気温差(ヒートアイランド強度)と都

市人口との関係を示した。ヒートアイランド強度はその結果、Oke (1978)ら自らの観測値に基づく北米と西欧の主要都市と、日本各地で観測されたヒートアイランド強度の最大値を人口との関係で図化した結果、特に日本の場合、小都市では人口増に伴うヒートアイランド強度の上昇は小さいが、人口30万人の中規模都市から大都市では北米諸都市よりも急激な昇温現象が認められるとしている(福岡1983, 朴1987)。

ヒートアイランド現象の存在が確認された本研究の調査地域である三郷団地の団地内・外の気温差、つまりヒートアイランド強度はどのくらいの都市規模に当てはまるのかを検討してみる。

榊原(1994)はヒートアイランド強度を求める方法として、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取り、斉藤(1997)は市街地内部の最高気温の地点と郊外の最低気温の地点との気温差で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。しかし後者の方法で都市と郊外の地点をそれぞれ1地点でのみ代表させるのはデータの信頼性において不安が残るため、本研究では前者の方法で三郷団地のヒートアイランド強度を求めることとする。

先ず団地内部と団地外部の観測地点を、景観やヒートアイランド現象が顕著に現れた時の気温分布図、また観測地点それぞれの非透水性面積率も参考にし、次のように分類した。

- 団地内部(地点番号): 14・19・20・21・
25・28・35・36・
45・46

○団地外部（地点番号）：1・2・5・6・
7・8・9・13・
16・32・50

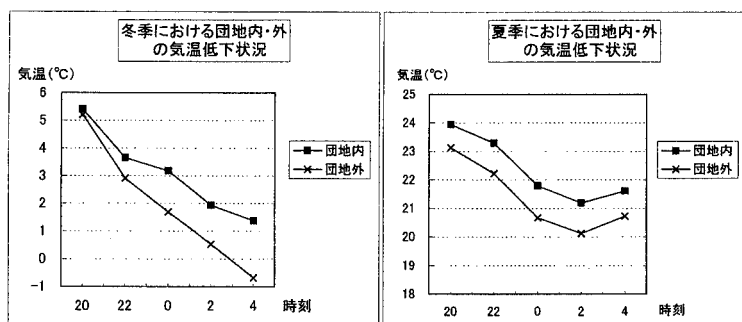
次に分類した地点の平均気温を求め、団地内部の平均気温と団地外部の平均気温との差をヒートアイランド強度とした。最も高いヒートアイランド強度が出現した日時は2月8日4時の2.2℃で、次いで2月14日4時の2.1℃、2月6日22時・7日22時・14日0時の1.5℃の順となっており、特に冬季早朝に団地内外で大きな気温差が生じてヒートアイランド現象が明瞭に現れることが理解される。一方夏季においては9月5日22時の1.3℃が最高で、次いで9月6日22時の1.2℃、9月4日22時・5日0時・5日2時の1.1℃であり、2.0℃以上のヒートアイランド強度は現れていない。

団地気温が確認された三郷団地内外の気温差は冬季に強く、観測中最大2.2℃を記録し、その出現時刻は早朝、日の出前に現れた。一方、夏季の出現時刻は冬季とは異なり、日の出前よりもむしろ、真夜中に強いヒートアイランド強度が出現することが多く、これは榊

原（1994）の越谷市でのヒートアイランド強度の研究からも同様の結果が示された。

このように団地内部と外部で、気温に大きく差が出る理由として、団地内部と外部の日没から夜間にかけての気温低下状況の違いが考えられる。第9-1, 2図は先に分類した団地内部に位置する10地点と、団地外部に位置する11地点それぞれの平均気温を夜間から早朝にかけての2時間毎の経時変化から求めて作成したものである。

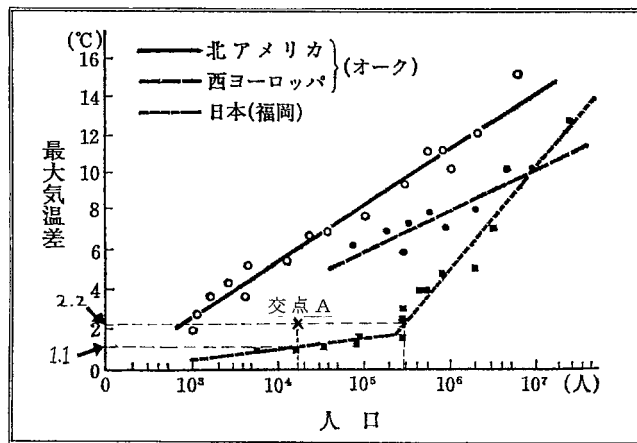
第9-1図は冬季観測の経時変化で、団地内部と団地外部で、観測開始の20時から22時までの間で、団地内部は $-0.014^{\circ}\text{C}/\text{分}$ で団地外部は $-0.019^{\circ}\text{C}/\text{分}$ となり、ともに気温が大きく低下している。しかしそれ以降、団地内部と外部では、気温の下がり方に大きな差が認められる。団地内部では、0時から2時の間 $-0.011^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の気温低下量があることを除けば、4時まで $-0.004^{\circ}\text{C}/\text{分}$ の割合であり、日の出前に近づくにつれ気温は下がるが、その傾きは小さく、一方の団地外部の気温低下が22時から4時までの $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{分}$ で直線状に下がる傾向と比べて、その違いは明瞭で、気温差は22時以降に強くなり、



第9-1, 9-2図 三郷団地内部と外部の気温低下状況

注1) 第9-1図でデータは2月13日～14日の経時変化のものを使用

注2) 第9-2図でデータは9月4日～5日の経時変化のものを使用



第10図 都内内外の最大気温差と人口数との関係

出典：福岡（1983）の図に加筆

4時に最大幅を示した。

一方、夏季の第9-2図では22時から0時に団地内外ともに気温低下量は $-0.013^{\circ}\text{C}/\text{分}$ と、ある程度大きく出ているが、それ以外の20時から22時・0時から2時において団地内外では、 $-0.005^{\circ}\text{C}/\text{分} \sim -0.008^{\circ}\text{C}/\text{分}$ となっており、気温低下量は小さく、その傾向もほぼ同じである。この結果、図からわかるように冬季とは違い、観測開始から団地内外に気温差はあるものの、その日没後の気温差がそのまま深夜まで続くため、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。

今回の冬季観測で示された最大 2.2°C のヒートアイランド強度を、都市規模（都市人口）と最大ヒートアイランド強度との関係を示したOke（1978）や福岡（1983）の結果に当てはめると（第10図）、三郷団地は人口43.8万人を有する日本の中規模都市に相当することがわかる。三郷団地の人口約2万人に相当する日本の都市のヒートアイランド強度は、

第10図から最大 1.1°C であることを考えると、この団地はその2倍のヒートアイランド強度を有することになる。また、その最大気温差 2.2°C と人口約2万人との交点Aを示すと、福岡（1983）が示した日本の都市の回帰直線から推定されるヒートアイランド強度より高い値を示した。しかし、この交点Aについては今後観測を続けることで、さらに上方に出てくる可能性もあり、このような人口とヒートアイランド強度との一般化された関係を示すには、より詳細で長期的な調査が求められる。

2000年度（平成12年）国勢調査によれば、43.8万人に近い、日本の都市は、44.3万人の栃木県宇都宮市、44.8万人の千葉県市川市、43万人の岡山県倉敷市、43.6万人の大分県大分市があり、いずれも地方の大規模中核都市である。ただし、これらの都市は人口数のみで比較、判断したもので、各都市の都市域の形、人口集中地区（DID）の形態、地形などを考慮に入れていない。

IV おわりに

埼玉県南東部三郷市に立地する三郷団地において移動観測法による気温の観測を冬季・夏季の延べ18回行った結果、地域スケールの小さい住宅団地では団地内部を中心として、団地部分に沿った形の明瞭な島状の高温域すなわちヒートアイランド現象（いわゆる団地気温）が、冬季と夏季の対照的な季節のほとんどの観測日において出現した。また気温と非透水性面積率との相関関係を求めた結果、ほとんどの観測日で正の強い相関関係が見られ、非透水性面積の占める割合が高い所ほど気温が高く表れ、巨大なコンクリートの塊である住宅団地そのものが熱源として気温分布に作用していることが認められた。

また、団地気温が確認された三郷団地内外の気温差、つまりヒートアイランド強度は冬季に強く、その出現時刻は早朝（日の出前）であった。一方、夏季の出現時刻は冬季とは異なり、早朝（日の出前）よりもむしろ真夜中に強いヒートアイランド強度が出現することが多く、これは榊原（1994）の越谷市でのヒートアイランド強度の研究とも一致した。

今回の冬季観測で示された最大 2.2°C のヒートアイランド強度を、人口数と最大ヒートアイランド強度との関係を示した Oke（1978）・福岡（1983）の結果に当てはめると、三郷団地は人口43.8万人を有する日本の中規模都市に相当することがわかった。三郷団地の人口（約2万人）に相当する日本の都市のヒートアイランド強度は、この図から最大 1.1°C であることを考えると、この団地はその2倍のヒートアイランド強度を有することになる。

大きなヒートアイランド強度の出現時刻が

冬季と夏季とで異なる点や、今回観測されたヒートアイランド強度を最大ヒートアイランド強度として Oke（1978）・福岡（1983）の図に当てはめられるかどうかという問題、さらにはヒートアイランド強度と人口との関係を示す図の普遍性については、今後さらに詳しい分析が必要であろう。

参考文献

- Oke, T. R. (1978) : Boundary Layer Climates, New York : Wiley. 372 p.
(訳本：オーク (1980) : 境界層の気候, 朝倉書店)
- 斉藤 武雄 (1997) : ヒートアイランド, 講談社, 205 p.
- 榊原 保志 (1982) : 草加松原団地における小気候学的調査ーヒートドライアイランドを中心にしてー, 天気, 29, 141-150.
- 榊原 保志 (1994) : 越谷市に見られるヒートアイランド強度ー郊外が水田の場合ー, 天気, 41, 515-523.
- 田宮 兵衛 (1968) : 住宅団地における夜の気温分布について, 地理学評論, 41, 695-703.
- 朴 恵淑 (1987) : 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, 地理学評論, 60, 238-250.
- 福岡 義隆 (1983) : 都市の規模とヒートアイランド, 地理, 28 (12), 34-42.