

〈論説〉モデル的な造成住宅地におけるヒート アイランドの実態

佐藤, 典人 / 中山, 孝之 / 清水, 一哉 / 松本, 隆尚 /
SATO, Norihito / NAKAYAMA, Takayuki / SHIMIZU, Kazuya /
MATSUMOTO, Takahisa

(出版者 / Publisher)

法政大学地理学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

JOURNAL of THE GEOGRAPHICAL SOCIETY OF HOSEI UNIVERSITY / 法政地理

(巻 / Volume)

18

(開始ページ / Start Page)

45

(終了ページ / End Page)

66

(発行年 / Year)

1990-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026106>

モデル的な造成住宅地における ヒートアイランドの実態

佐藤 典人・中山 孝之
清水 一哉・松本 隆尚

- I はじめに
- II 観測方法と観測地域
 - 1. 観測方法
 - 2. 市原市・若宮団地の概要
 - 3. 四街道市・千代田団地の概要
 - 4. 木更津市・シーアイタウンの概要

- III 結果と考察
 - 1. 若宮団地の観測結果と考察
 - 2. 千代田団地の観測結果と考察
 - 3. シーアイタウンの観測結果と考察
- IV おわりに

I はじめに

一般に自然状態にある地表面では、短・長波収支が、昼間にプラス、夜間にマイナスとなるが、現実にはそう単純でない。それというのも、我々人間が生活を営んでいくうえで、特定地域に集中して住んだり、地表、ならびに地被状態を様々に改変したり、あるいは構築物を建造したりするために、地表面が自然状態を保持している可能性は少なく、そのこと自体の影響が放射収支に及ぶからである。このような人間生活や活動の直接、ないし間接的な原因に伴う大気への集中的、かつ局地的な影響の度合いから見れば、人口が多く、家屋が密集している都市地域は、その最たる場と言える。したがって、都市地域ではその影響により特有な大気現象が生じがちになり、今日ではそれを「都市気候」と呼称するに至っている。

この都市地域固有の大気現象に最初に着目したのは L. Howard(1833) であるとされ、ロンドンを対象にした気温の観測結果からその現象を指摘している。それ以来、都市の大気現象、とりわ

け気温の分布には多くの関心が払われており、A. Sundborg (1950) や F. S. Duckworth et al. (1954), あるいは L. E. Landsberg (1956), R. D. Bornstein (1968) などの報文は、都市気候研究史上、見逃し得ないものとなっている。一方、わが国においても、三沢・吉村 (1931) や佐々倉 (1932) などの研究に端を発して以来、先人により数多くの研究成果が報じられてきている事実は、周知のことであろう。

ところで、都市地域の大気現象のうちでもっとも注目され、またこれまでたびたび考究されてきた現象は、市街地が郊外に比較して相対的に気温が高くなる、いわゆる「heat-island」 (= ヒートアイランド) 現象であろう。この現象の発生原因にはいくつかの事柄が想定されるが、

①都市域における緑地・裸地面積の減少と不透水域の拡大により、蒸発散に伴う潜熱の損失量低下。

②都市域を構成する物質の変化に起因する日射量の吸収増大と夜間の熱放出量の増加。

③人間活動に付随するエネルギー消費量の増加とその排熱量の増大。

などが、その主たる要因であると同時に、それらが複雑に絡み合った姿であると考えられることには異論があるまい。

ヒートアイランド現象の大きな特徴は、市街地と郊外との境界付近において気温が急激に変化すること、すなわち等温線が密になることである(水越・山下:1985)。しかし、往々にしてわが国の都市域では市街地のスプロール的拡大が進行しているせい、この縁辺部での気温変化がそれほど顕著でない傾向にある。また、一般に都市域には多種多様な建造物があるため、都市表面の粗度(roughness)が大きく、それが市街地下層大気中に熱を蓄積させやすい。それゆえ、この粗度の大きさがヒートアイランド現象を一層助長することになる(高橋ほか:1981)。さらに、小盆地的な地形形態をなす地域に位置する都市においては、ヒートアイランド現象が明瞭に出現しやすい夜間の気象条件と、山風の吹送や冷気の流出、ないしは冷気湖形成などのそれとに共通性があることから、ヒートアイランド現象はなおさら複雑な様相を呈しやすい(佐藤:1985)。

そこで、現実には諸々の規定要因が錯綜した姿とうけとめられるこのヒートアイランド現象に対し、想定される要因をできるだけ絞るといった単純化を施して検討することが、ひとつの実像解明手段として考えられる。本稿は、その視点からの研究の一環として、まず前述したような条件、つまり市街地と郊外における地被状態の明確な直線的違い、市街地表面の粗度の一様性、地形形態の類似性、などに着目して対象地を選定し、ヒートアイランドの実態把握を当面の目的として定めたものである。したがって、この単純化を通しての因果関係に対する定量的な解析は、次段階の目標に据えている。本稿のような観点から従来の研究を概観した場合、画一的な集合住宅団地を対象にした田宮(1968)や大和田ほか(1979)の研究は、興味深いものであるし、さらに田宮・大山(1981)による小集落のヒートアイランドの形成メカニズムにまで言及した成果は、貴重で、かつ示唆に富むものである。また、最近では鳥居・福岡(1988)が岐阜県各務原市の団地の事例を報じている。

II 観測方法と観測地域

さきに述べた本研究の視点に適合する地域として、造成住宅地に着眼した。具体的には、前項に記した条件を満足する住宅地として、いずれも千葉県内にある若宮団地(市原市)、千代田団地(四街道市)、シーアイタウン(木更津市)の3つの造成一般住宅地を調査対象とした。以下に観測方法と観測地域に関して若干述べる。

1. 観測方法

これら3つの観測対象地域における観測は、後述のように年次こそ違いますが、いずれも晩秋というヒートアイランド現象が比較的明確に発現しやすい時期を選んで実施し、その方法もほぼ同一にした。すなわち、定点観測と移動観測を併用するものであり、前者には自記録温度計(太田計器製)、ないしアスマン通風乾湿計と中浅式風向・風速計を、後者にはサーミスター温度計を各々使用した。なお、後者では、短時間の間に多測点観測をする必要性から自動車を利用したが、その際、サーミスター温度計の感温部を、すべて車の左前方バンパーからの高さ1.2mの位置に設置した。これは、車の左最前部がもっともその車自身の熱的影響が少なく、せいぜい0.1℃以内であるとされること(佐橋:1983)を考慮したことによる。なお、その感温部は、車の走行による自然通風が可能な形態の筒を放射よけで包み、その中に取り付けた。移動観測中の車の運転においては、時速30km前後の速度を維持するように努め、測器の読み取りは走行時のみに限定した。一般住宅地での夜間観測であったことから、前方車両の温度的影響を除去するための運転操作は無用であった。車による1回の移動観測に要した時間は、いずれの場合にも45分前後であった。

移動観測から得た測定値には、あらかじめ行なった検定に基づいて器差補正をし、その後に時刻補正を施した。一般に時刻補正をするか否かの妥当性は、おのおのの観測の状況によって異なるが、本研究では、移動点の値に定点の気温変化量

を加減するという通常の方法を採用してその補正を実施した。ただし、どの定点に対していずれの移動点を補正するかが、次の問題になるが、事前に実行した予備観測結果を念頭に入れ、市街地と郊外を区別して補正するほかは、至近な定点に該当させる方法で、本質的に支障がないと判明した。一方、毎回の観測における補正すべき時刻の選定については、各観測毎に前・中・後半の時刻にそれぞれ補正し、それらの気温の分布傾向に大差がないことを確認したうえで、各観測時間のほぼ中間の時刻に補正することにした。また、時刻補正の適正さを吟味する狙いから、移動観測の経路設定においては、複数の移動点をそのつど重複して観測するように心がけた。

なお、各観測対象地域の近傍に存在する気象官署、消防署などの気象データは、随時、収集し、参照することにした。

2. 市原市・若宮団地の概要

首都圏のペットタウンとして開発された一般住宅団地のひとつである市原市の若宮団地は、東京湾の沿岸から4 kmほど内陸の台地を造成してつくったものである。この団地は南北1,200 m、東西600 mの広がりを持つ海拔10 m前後の平坦地にあり、その面積はおよそ70万 m^2 である。この地域は、観測実施当時(1982, 11)の常住人口が6,651人で、1,882世帯あり、団地内の小学校(3階建て)を除けば、すべて2階建て以下の一般住宅と長屋住宅から構成されている。しかも、その住宅は、単位面積に対する占有率が20~30%の割合で、規則的に配列されている。それゆえ、もっとも代表性のあるモデル的な住宅地のひとつと言えよう。団地周辺の土地利用を見ると、西郊を中心に水田が広がっているのとは対照的に、東側は畑地となっている。そのため、地被状態から申せば、団地の南・北辺よりも東・西辺の方がより明瞭に境されていることになる。

この若宮団地において、1982年10月末から予備的に観測を継続し、その結果を踏まえつつ1982年11月18日~19日にかけて6回、同11月20日~21日にわたり7回と合計13回の気温の移動観測を夜間

を中心に実施した。11月18日~19日にかけての対象地域の天気は、夜半の23時頃と未明の3時前後に一時的に雲が広がったものの、中心示度1022 mbの移動性の高気圧に覆われて、おおむね晴天であった。それゆえ、風速も小さく、風向にも一定性が見られなかった。これに対し、11月20日~21日にかけては、南岸低気圧が東方海上に抜けて、その後1024 mbの高気圧が張り出してきた。もっともこの高気圧の中心がやや北偏していたため、対象地域では北東の風が1.0~2.0 m/s程度吹送していた。しかし、21日午前3時以降は無風状態に変わった。

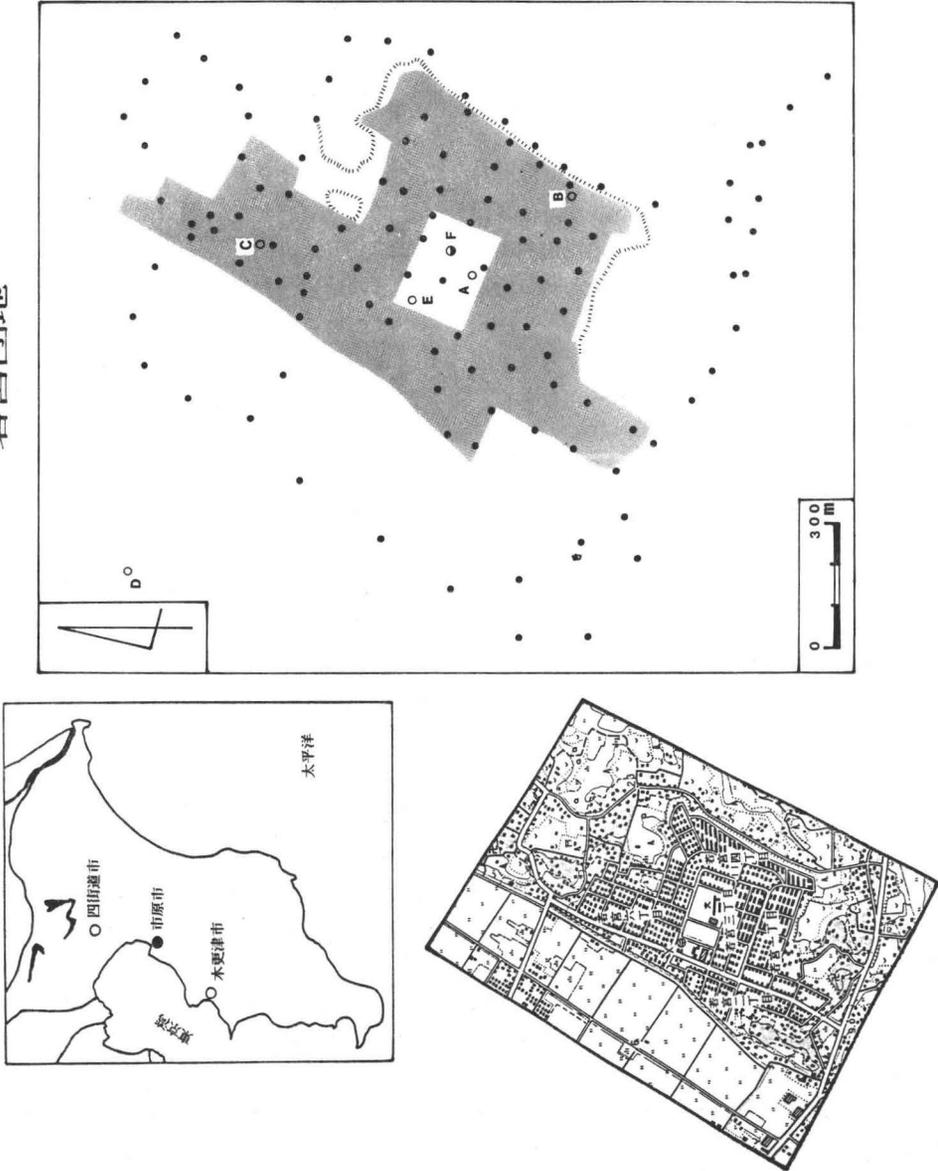
この地域の測定地点数は120点であり、団地内では100 m^2 に1点の割合で設定した。なお、定点は6点あり(第1図)、小学校の校庭に相当する定点(F)では、簡易気球を用いて高度約50 mまで気温の垂直観測をあわせ実施した。さらに、市原市環境監視センター網のひとつである八幡地点の気象データを必要に応じて使用した。

3. 四街道市・千代田団地の概要

千葉市の北東およそ12 kmの平坦な台地上に造成された四街道市・千代田団地は、ほぼ1 km四方、すなわち90万 m^2 の面積を持つ、中規模の孤立的な一般住宅団地である。この団地は中央に並立している小・中学校を除けば、ほとんど2階建ての住宅から成り、人口約1万人で2626世帯(いずれも観測実施当時)を保有している。団地の周辺には、畑地や雑木林が多く、水田は、海拔20~30 mの台地を刻む北側と西方の谷の谷底(比高5 m程度)にわずかに存在しているにすぎない。したがって造成された住宅地と周囲の耕地とは、明瞭に地被状態が異なっているし、しかもその境界が幾何学的である。ただし、この団地を、本研究で観測対象としたほかの2つのモデル的な住宅地と比較した場合、大きく違うのは、ほぼ団地を分断するような形でNNW~SSE方向に主要地方道の千葉~臼井~印西線が走っていることである。この道路は、片側2車線の計4車線と幅員があり、朝夕の交通量のみならず昼間のそれもおおよそ平均して500台/時と多い。この影響が本稿で扱う

第1図 市原市・若宮団地の位置と観測点の分布

若宮団地



(図中のA～Fが定点観測点、黒丸が移動観測点を示す。網目区域が住宅地を指す)

第2図：四街道市・千代田団地の位置と観測点の分布



(図中の R～V が定点観測点，黒丸が移動観測点を示す。直線 a～a' は第14図左のアイソプレッス断面の位置である。網目区域が住宅地，梨子地部分が谷を指す)

ヒートアイランド現象に係わって関心を抱く事項である。

この団地を対象とした観測は、1986年11月12日～13日と同11月19日～21日にかけての連続2昼夜の延べ5日間にわたって夜間を中心に行われた。11月12日～13日の対象地域の天気は、日中覆っていた高気圧が東進し、しだいにその後面に入ったため、夜半過ぎには曇天になった。そのため早朝の冷え込みは緩和された。これに対し、11月19日～21日の期間は、当初、冬型の気圧配置であったものの次第にそれが緩み、移動性の高気圧に覆われたため、風も弱く穏やかな晴天であった。

この地域の観測地点は、団地内でほぼ100㎡に1点の割合で計72点、郊外で200㎡に1点の割合で計50点の合計122点である。なお定点は5地点であり、これに南西2kmの距離にある四街道市消防本部の気温と風の測定値を加味した(第2図)。

4. 木更津市・シーアイタウンの概要

木更津市の南方、君津市との市境に近い位置に造成されたこのシーアイタウンは、東西およそ1,500m、南北500mの約74万㎡もの面積を持つ一般住宅地である。観測実施時点では、全区画中の73%に相当する1450世帯(約6,000人)がほとんど2階建ての住宅に入居している一方、学校用地や未入居地域は裸地として残存していた。しかし、入居地域、未入居地域はある程度分かれており、無秩序な虫食い状態ではない。この観測対象地域がほかの2つの団地に比べ、大きく趣を異にしている点は、海拔25～70mの丘陵に造成したため宅地の地表面が北～北西に緩く傾斜していることである。この地域を本研究の対象地として着目したのはまさにこの点にある。海拔高度が増す団地の東～南東側周辺には雑木林の丘陵が存在し、南端には急崖を介して浅い谷が隣接している。

この団地を対象とした観測は、1983年11月15～16日にかけて行なった予備観測の結果を踏まえ、比較的気象条件に恵まれた同12月4日～5日に6回、6日～7日に7回の計13回、夜間を中心を実施された。4日～5日にかけての対象地域の天気は、西高東低の、いわゆる冬型気圧配置のため北

寄りの風が夜半前まで吹送し晴天であったが、その後少し雲が広がった。また、6日～7日にかけては、弱い冬型の気圧配置になり、昼夜間とも晴天で早朝の冷え込みが厳しかった。

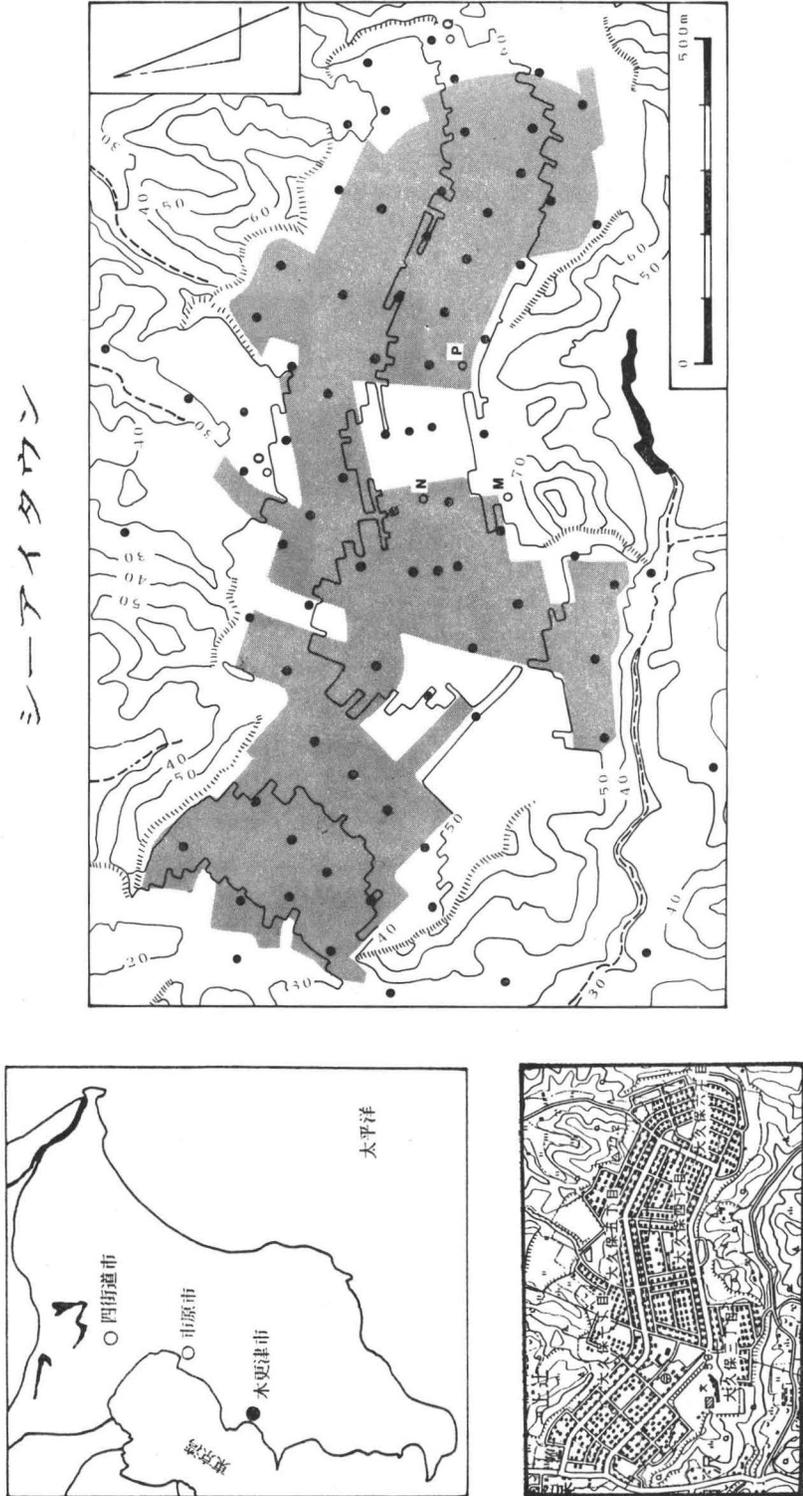
この地域の観測地点数は83点であり、定点は5点である(第3図)。なお、団地西方1.5kmにある木更津市公害観測所(畑沢小学校)の気象観測データも適宜使用した。

III 結果と考察

1. 若宮団地の観測結果と考察

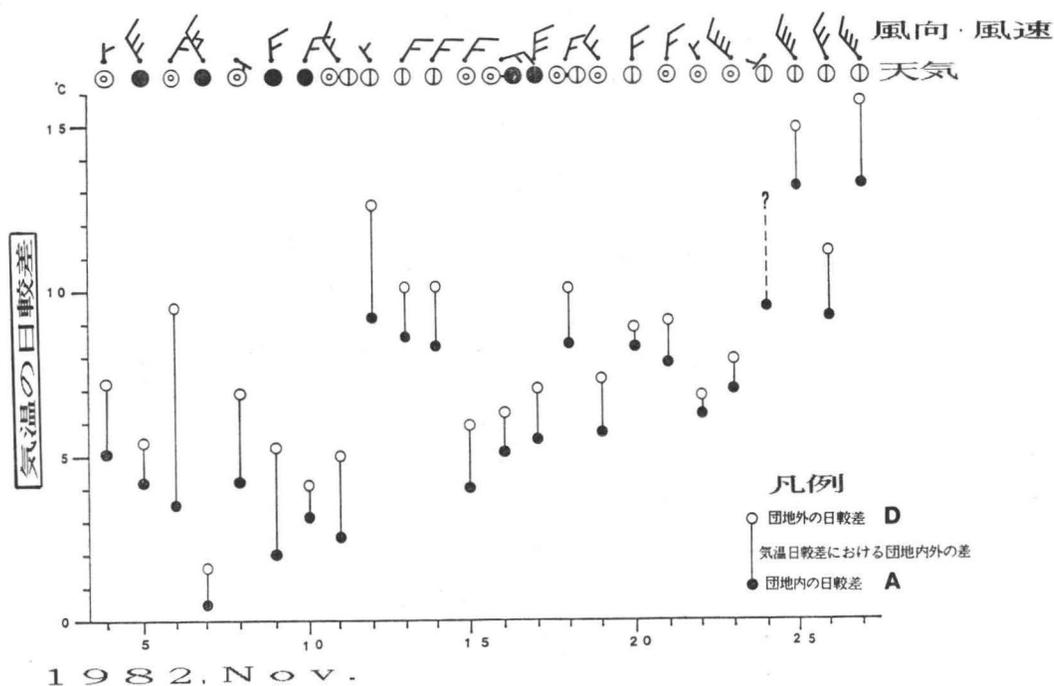
団地内外における気温の日変化、日較差などにまず注目した。そのため第1図のA～Dの定点に1982年11月のほぼ1カ月にわたって設置した自記録温度計のデータを照合した。これによると、気温の日変化に発現する団地内外の相違は日々の天候や風の状況によって特徴的に変わることが理解された。つまり、11月13日など(11月17, 18, 26日などもこの日に類似している)のような晴天の場合には、午前中の昇温の仕方に近似性がある反面、午後の気温降下に大きな違いが生ずる。それは団地内部の地点では気温が緩やかに降下するのに対し、郊外で急落することである。1時間当りの気温降下量は、日没直後がもっとも大きい。この点については従来にも指摘されている事柄である。さらに同様の天候下では団地内外を問わず夜半を中心として昇温が見られ、気温日変化曲線でひとつの極大を呈している。この昇温時に呼応し、無風状態を介しながらも風向の著しい変化が現れている。該当日の天気図から前線通過に絡む風向の急変ではありえない。事実、前掲の日は晴天であったがゆえにむしろ高気圧に覆われるか、その張り出しに相当している日に限定されている。このことから即座に、海陸風循環の交替に係わる現象であることを想起されるかもしれない。そこで、風向を詳細に検討したものの、これまで把握されてきている南関東の海陸風の吹送方向に常に一致している様子でもない(東～南系統の風と幅があり一定性がない)し、加えて夜半では海陸風の交替時刻として遅すぎるきらいがある。

第3図：木更津市・シーアイトウンの位置と観測点の分布



(図中のM～Qが定点観測点、黒丸が移動観測点を示す。網目区域が住宅地、実線が10m間隔の等高線、鎖線が河川、ハッチが崖を指す)

第4図：若宮団地内外における気温日較差の日変化

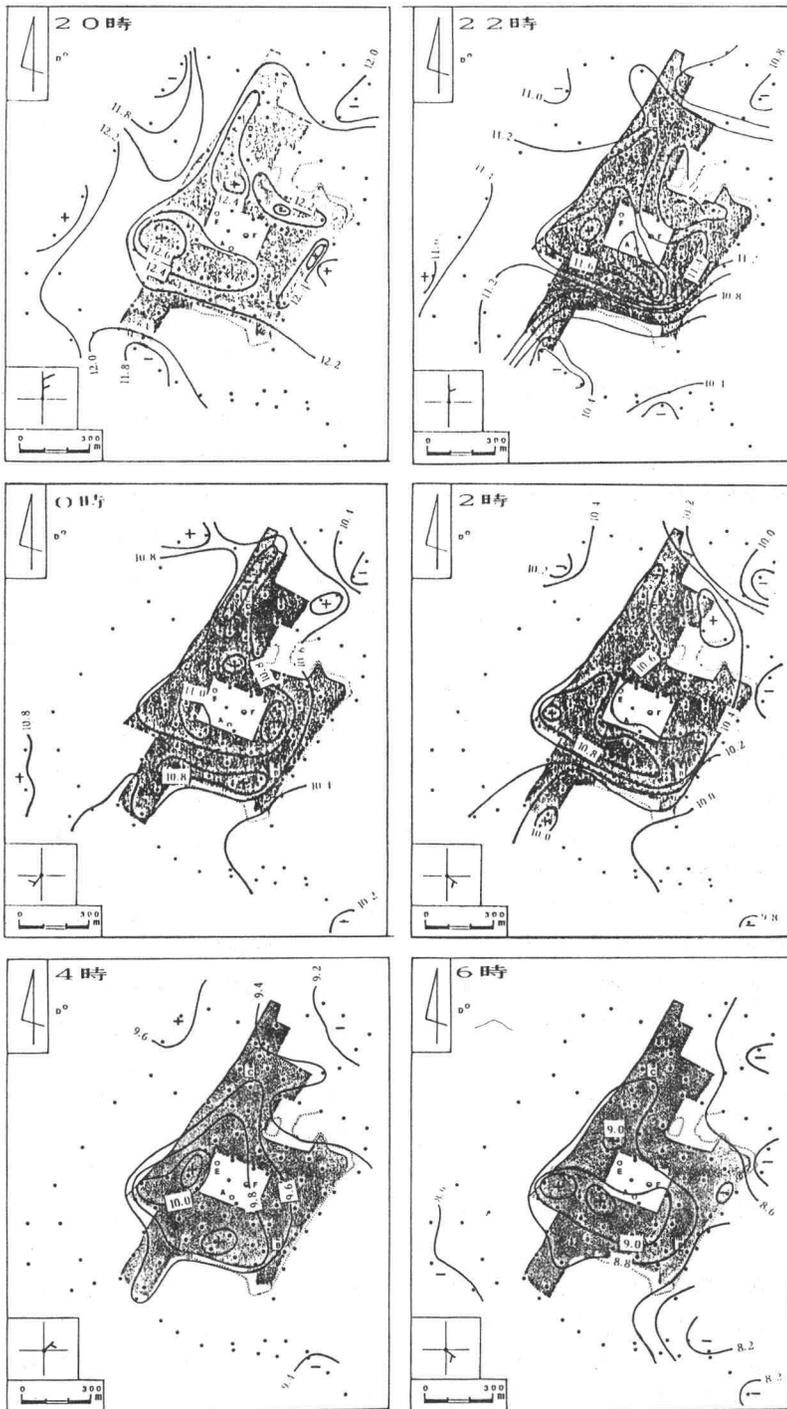


(団地内は定点A, 団地外は定点Dの気温観測値を使用)

しかしながら、南関東の海風は東京湾、および鹿島灘方面という2つの異なる方向から侵入している公算が強いことと、対象地域の位置や房総半島の陸地としての熱的影響力の小ささを考慮すれば、日々の気象条件との関連から当該地域の海風に相当する風向が、東系統から南寄りのそれまでと幅を持って出現する可能性のあることは容易に否定できない。もっとも海陸風の交替時刻が夜半という点に関して、現段階では明確な根拠もなく言及できない。ただ現実には、晴夜のみ風向の変転に歩調を合わせて夜間昇温が起こっているのも事実であるから、ある種の循環系に付随して生起していると思わせざるをえない。上述してきた晴天日とは違い、11月16日や19日などのような曇雨天のもとでは、団地内外の気温の日変化は昼夜の

別なくほぼ同一であるし、夜間昇温も明確でない。一般的に、都市気候現象における気温の日較差は市街地で小さく郊外で大きいと言われている。そこで団地内の定点Aと団地外の定点Dの記録をもとに、11月4日から27日までのそれぞれの気温日較差、ならびにその2定点間の日較差の差を天気と風も併記して図化した(第4図)。この図によると、当然のことながら悪天日に日較差が小さく、晴天の際にそれが大きい傾向にある。とくに25日前後のように、冬型の気圧配置で太平洋側は晴天が続き、早朝の冷え込みが厳しい日の日較差が甚しく大きい。団地内外の日較差の差に視点を変わると、悪天日にその差が縮むぎざしにあるし、晴天でも強風の場合はそれに類似している。逆言すれば、概して晴天・弱風、ないしそれに近

第5図：若宮団地における夜間の気温分布



(1982年11月18日夕方から19日早朝にかけての結果。等温線の間隔は0.2℃で表示)

い気象条件下で2地点間の差が大きくなりがちである(6, 8, 12, 24日など)。とりもなおさず、この条件はヒートアイランド現象が表出しやすい条件にもあてはまる。しかし、この差の大きさをそのままヒートアイランドの強さに置換するわけにはいかない。その解釈が通用するのは、ヒートアイランド現象により団地内外で夜間から早朝にかけての最低気温値に大きな開きが生じた場合のみであることは、敢えて申すまでもないだろう。その意味からも団地周辺の気温分布を知る必要性が出てくる。

若宮団地を対象とした気温の移動観測は、1982年11月18日～19日にかけてと20～21日にかけての2晩、計13回実施したことは、既述のとおりである。比較的、気象条件に恵まれた18～19日にかけての観測結果(6回)を第5図に示した。当夜は弱風であったことも手伝って、20時から6時に至るすべての気温分布図において、団地内に明瞭な高温が識別された。時系列的に20時から見ていくと、団地中央に位置する小学校のオープンスペースを取り囲むように高温域が形成されている様子を伺える。最低温域は北西の団地外にあり、団地内外の最大気温差(=ヒートアイランド強度と表現可能)は1.0℃に達している。22時には、団地内外の最大気温差が益々広がり、1.8℃にも及んでいる。20時頃からの北寄りの風(風力的には1前後程度)に影響されてか高温域が南偏しているとともに、団地の北側で低温域がやや南進気味にある。それに加え、団地南縁部での気温傾度がとりわけ大きく、水平距離がわずか200mで1.2℃の気温差となっている。この時刻あたりまでは、前述のように日没後の気温の急降下における団地内外の差が団地内のヒートアイランド形成にそのまま直結していると判断される。19日0時には団地南縁部での気温勾配はいささかゆるやかになったものの、小学校を包囲する高温域は依然として維持されている。それに団地外の気温分布は多少単純になってきた。2時には、高温域が団地の西と南に特定される一方、南縁部を典型とした団地縁辺での気温の明白な違いが認識される。このような分布状態は、気温の絶対値の低下は見られて

も、その後の4時や6時の早朝にまで持続している。その間の団地内外の最大気温差は拡大せず、0時以降は0.6～0.8℃のまま早朝の6時に至っている。これは夜半過ぎ一時的ながら雲が広がったことに係わっているかもしれない。しかし、気温そのものは日の出直後まで低下し続けているし、団地内外ともに20時から6時までの気温低下量そのものは、それぞれともに最大値で3.4℃とほぼ等しいことから考えて、日没後から20時頃までの間における団地内外の気温低下量の相違が、少なくともこの場合のヒートアイランド形成の根本的原因と想定される。この日の定点Aと定点Dの自記録温度計の変化を見れば、まさしく18時前後に双方の変化曲線が交差し、日中と夜間における両地点の気温の高低が逆転するポイントになっている。つまり、日没前後の気温降下の様相が団地内外で顕著に異なっているわけである。榊原(1982)も同様の言及をしている。なお、昇温時にこの気温変化曲線が交差する時刻は午前8時頃に生じている。

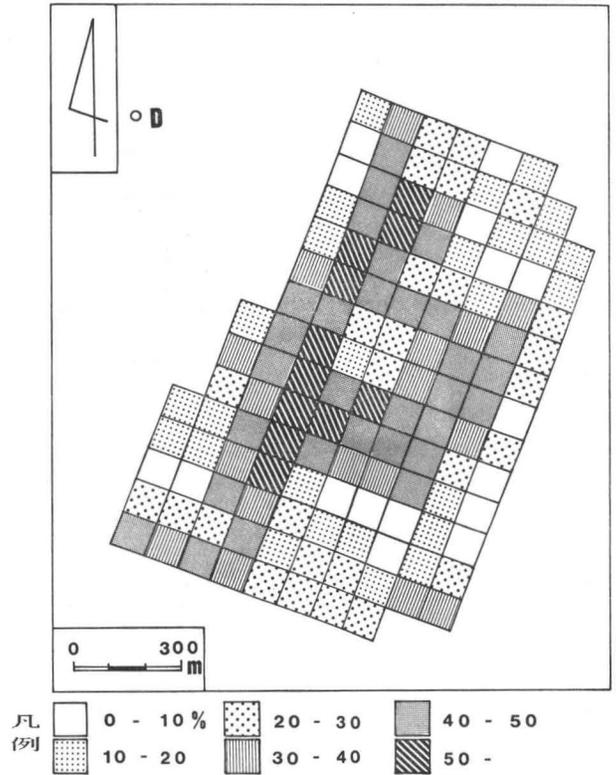
これに対し11月20～21日にかけての観測結果に着目すると、団地内の高温は同様に現出しているものの18～19日ほど歴然としたヒートアイランド形成には至っていない。つまり、団地内外の気温差も先に対比しあまり大きくない。この説明は当夜、晴天ではあったけれども風速2～3m/sの風が明け方まで間断なく吹送していたことに求められるだろう。事実、23時頃には団地外で4m/sの、団地内でも2.3m/sの風速を各々観測している。この夜間としては見逃しえない風速の継続が、先に提示した第4図で20～21日の団地内外の気温日較差の差を晴天の割合には小さくしていることにも作用したのだろう。

上述のことから、とりわけ第5図の示唆する内容と、日中は団地外が夜間は団地内がそれぞれ高温になり、高温域出現でいわば転位していること、対象地域の住宅はほぼ均質で粗度が一定であり、かつ18～19日当夜は微風で終始したこと、攪拌や熱的移流効果が望めないこと、自記録計による気温の連続観測結果に依拠する限り、団地内の人間活動に伴う排熱の影響はその活動がもっと

も集中しやすい早朝や夕刻時においてさえも、とりたてて気温急昇というような形では確認できないこと、さらには団地内外で日没後の気温降下に際立った相違が存在していること、などの諸点を併合するならば、この団地のヒートアイランド形成には、以下の内容が強く働いているように推察される。つまり、昼間の短波放射による熱が一旦、団地内の建物や道路などに吸収・蓄積され、放射収支が負になる日没後あたりからその放出が期待できるか否かの点で、団地内外の決定的な差異が存在するために夜間の団地内高温が保持されるという解釈である。

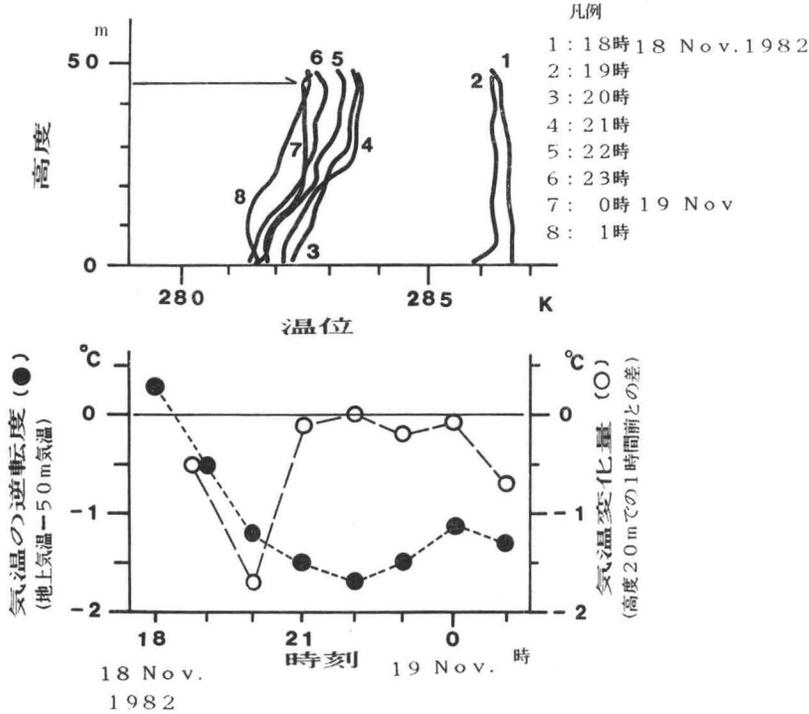
第5図を再度見てみよう。団地内の高温域は団地南西部を中心に終始、定常的に発現している。このような高温域の偏在理由をいまま少し検討してみたい。既に述べたように団地内の建物は小学校を除けばすべて2階建て以下の住宅である。そのため粗度はほぼ均一と考えてよい。そこでほとんど同一の建物群から構成されている対象地域の性格を念頭に入れ、家屋密度分布をまず調査した。市原市発行の2500分の1地形図(1980年発行)を使用し、これに実長100mのメッシュをかけて、各メッシュ毎に家屋密度を算出した。この場合、メッシュをかける基点によっては、道路位置などとの関連から最終的な分布図に違いが生ずる可能性がある。幸いにも若宮団地では住宅や道路が規則的に配置されている関係上、そのメッシュのかけ方に起因する家屋密度分布の食い違いは極めて少なかった。得られた家屋密度分布図(図は省略した)では、おもに団地の北部に30~40%の高密度域がある以外は、その分布に大差がなかった。これは規則的に配列された住宅地であるがゆえに、ある意味では当然かもしれない。したがって、先に示した第5図の高温域と家屋密度分布とは整合しているとは言いきれない。そこで裸地面積と不透水域という観点から、地表被覆率に注目した。ベースとなる地形図やメッ

第6図：若宮団地における地表被覆率分布



シユサイズは家屋密度の場合と同じである。この地表被覆率にはアスファルトやコンクリートで覆われた舗装道路などが算入される。第6図が求められた分布図である。この図は家屋密度の図とは趣を異にし、団地内での地域差を明示している。詳述すれば、団地西部をおよそ南北に伸びる50%以上の高被覆率域を根幹とし、それに連なって南と北にこれに準ずるメッシュが存在している。小学校の校庭は団地内に空洞が開いたように低被覆率域となっていることも確認できる。さらには団地南部の縁辺域では被覆率40%前後と10%以下のメッシュが隣接していることから、第5図に表現された団地南縁部の気温傾度の著しさも無理なく容認しうる。それゆえ、少なくとも団地内に夜間形

第7図：若宮団地における温位の垂直分布（上）と気温の
接地逆転度・気温変化量の時間的推移（下）



(1982年11月18日～19日の結果。気温の接地逆転度は黒丸，気温変化量は白丸)

成される一貫した高温域は，地表被覆率と分布の面によく対応していると言明できる。この事実とこれまで言及してきた内容とから舗装道路を典型とする不透水域は，熱容量的にその気温への影響を無視できるものではないと推断される。

さて，ヒートアイランド形成時に団地内の気象要素は垂直的にどのような状況にあるのかここで触れてみたい。簡易気球を用いた観測に対し，スペース的に支障のない小学校校庭において18日18時から垂直的観測を実施した。測器の都合上，19日夜半過ぎまで，かつ高度50mまでの測定を遂行した。まず温位の分布を時系列的に第7図上に示した。この図から18時にはほぼ等温であったものが，19時になるとごく地表付近で接地逆転の気配を見せている。それが20時になると飛躍的に全層気温低下するのみならず接地逆転層の上限が一気

に30mにまで到達している。21時にはこの逆転が一層明瞭になっている。その後，夜半までは30m層より高い高度においての気温低下がそれ以下の層に比較して大きく，温位にしてほぼ1Kの低下となっているものの，19時から20時にかけてのような急変は現れていない。したがって見かけ上，0時には接地逆転層の上端は15～20mほどの高度にまで下がり，それに引き続く1時には，15m高度でもっとも低温になっている。そのため15m以下で気温は逡減状態さえ呈するに及んでいる。このように地表付近の気温が10～15m層より相対的にやや高くなる兆候は0時頃から認められ，これがすでに前で説明した夜間昇温に合致していることは非常に興味深い。この1時の温位の垂直プロファイルは，その形態においてT. R. Oke(1978)が指摘した郊外の安定な大気が市街地を横断して

移流する場合に酷似している。しかし、観測当夜の風の測定値は地上のそれのみであるうえに、該当時刻の風速は弱風であることから、この場で明言することは避けたい。なお、この10~15m高度は若宮団地を構成している住宅の屋根面の平均高度より多少高いものである。

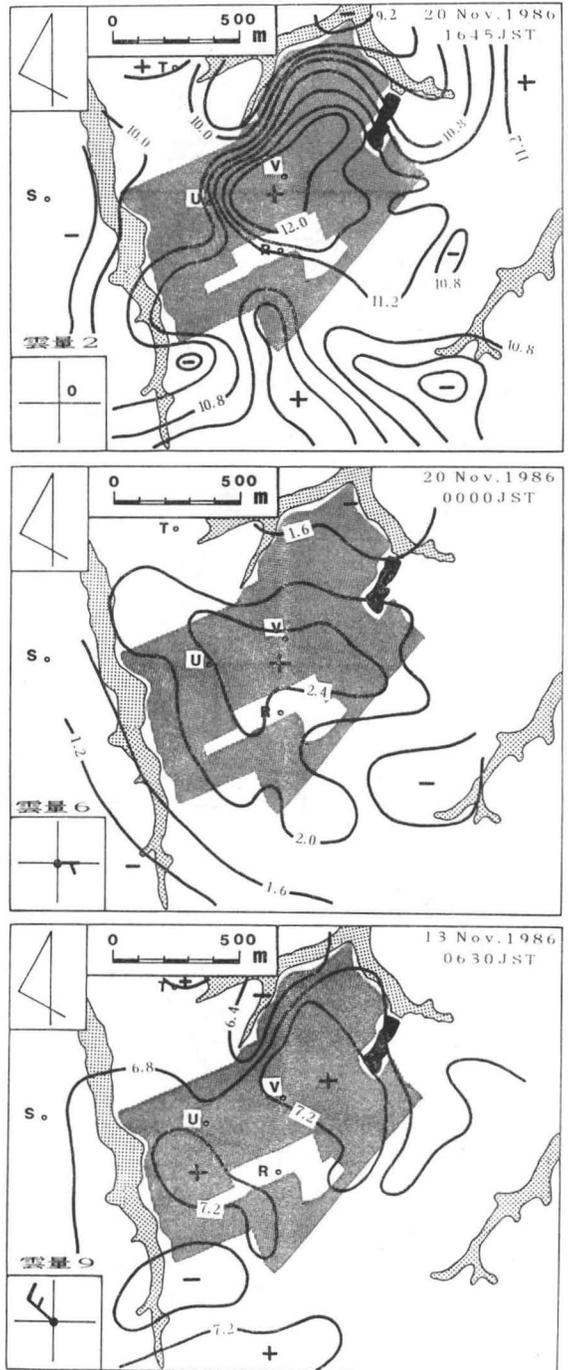
第7図下に地上と50m高度の気温差(図中:黒丸)という、いわば接地逆転の強度に充当するものと、高度20m層における1時間当りの気温変化量(図中:白丸)との時間的推移を示した。これに基づく限り、気温の逆転強度は20時まで急激に増すものの、その後はほとんど変化がなく、0時には逆に弱まってさえる。勿論、この0時前後の弱化は地表付近の気温上昇に帰着するものである。一方、1時間当りの気温変化量に目を転ずるとやはり20時までの低下量が極端に大きい反面、その後0時までは無変化に近い。そして1時には0.7℃ほどながら再び低下している。これらの事柄から、その地点の代表性に団地内の小学校という条件が付きながらも、気温の接地逆転の進行は、おもに高度20m層付近の気温低下に規定されており、しかもそれは日没後から20時頃までの気温降下によって大勢が決していると推量される。これが団地内の通常のありさまだと仮定すれば、団地外の気温低下量や接地逆転強度は、先に触れた自記録計での気温降下の様子などから推察して、さらに一層大きな値をとるものと言えよう。

2. 千代田団地の観測結果と考察

前項で述べたように、この団地では1986年11月に延べ5日間にわたる観測を実行した。その結果、計23回の移動観測を行い、それぞれの水平気温分布図を作成した。各移動観測ごとに風や雲量の条件が変化しているので、ここでは日時の枠を除去し、様々な視角から分布図を提示したい。

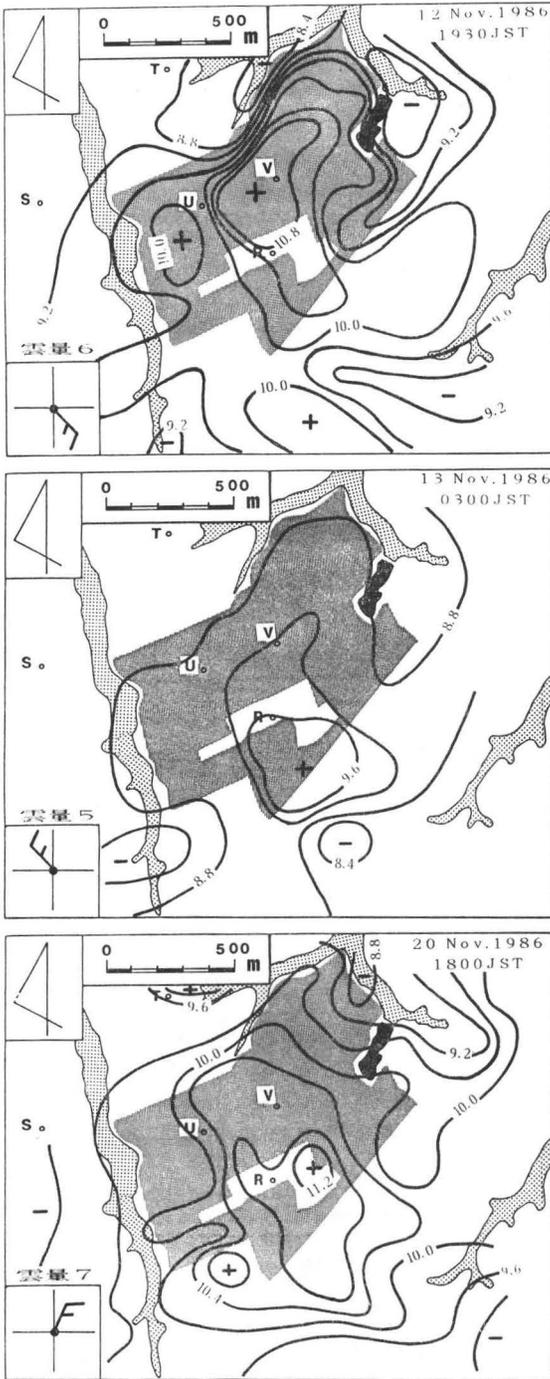
まず団地内に形成されるヒートアイランド強度に注視してみたい。第8図に日没時、夜半、早朝と時間帯の異なる3つの分布図を掲げた。同時にそれらは雲量や風速の点でも相違している。これらの図から明らかに団地内外の気温差は雲量の増

第8図:千代田団地における夜間気温の分布(1)



(等温線の間隔は0.4℃で表示。以下第9~11図も同様)

第9図：千代田団地における夜間気温の分布(2)



加とともに解消される傾向にあることを知れる。後述するように風力2程度でも団地内の高温が維持されている事例が多々あることから、この程度の風速の違いがもとで団地内の高温域が消失するとは考えにくい。第8図上の日没時のヒートアイランドの強さが目を引くけれども（平均的に見て、団地内外の気温差は2.0℃，最大気温差で2.2℃），これは先の若宮団地の例でも指摘されたように団地内外で日没後の気温降下の仕方に大きな開きがあるためと理解される。しかも団地外の低温域は、台地を刻む谷という地形的低所を中心に発生していることや無風，晴天という気象条件から想像して放射冷却の進展を暗示するものであろう。夜半の事例では、団地内外の気温差を別にすれば、もっとも一般的で単純な等温線のパターンを示している。また、早朝の例では、南部にも団地内と同程度の気温が発現していることから、もはや団地内に特定された高温とは認定しにくい。このように土地被覆が画定されている団地のヒートアイランド現象は、従来、都市域で指示されてきたように日の出前後が典型というのとは相違し、静穏晴夜で日没直後の数時間をもっとも顕著に現れると判断することはいささか早計であろうか。

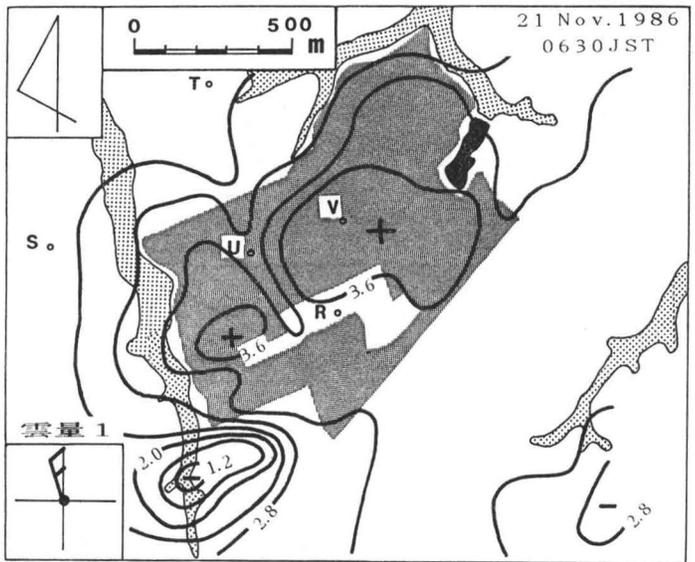
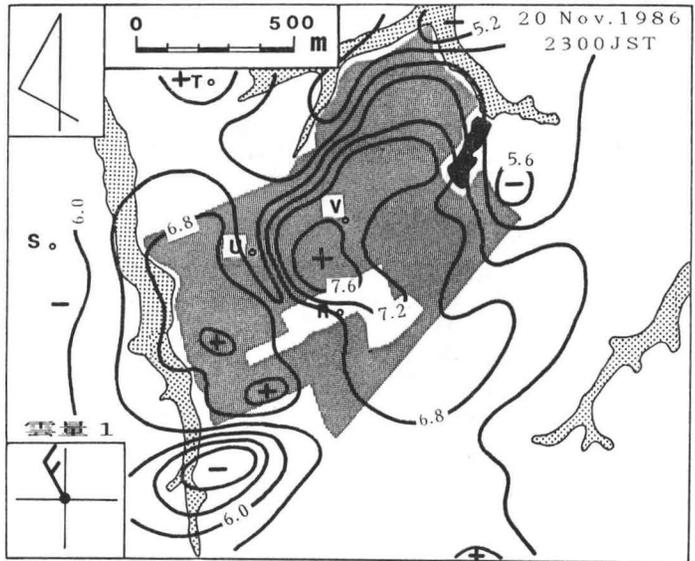
つぎに団地内に形成された高温域の移動という角度から眺めてみたい。第9図に雲量と風力では類似しながらも風向が異なる3例を提示した。団地内の高温域は、いずれも団地の中央からやや風下側に移行している様子を伺い知れる。とくに第9図上の例では、南寄りの風のため高温域が団地北側に流され、北接する谷底に日没後、形成される低温域と隣接した結果、水平距離200mで気温差が2.4℃にも増幅されている。

一般風が強い時、市街地上空のドーム状の高温層が風下側へ移動することは T. R. Oke (1982) によってモデル的に公表されている。本稿で得られた多くの分布図を検討すると、この風下側への高温域の流下は、その時の風速にのみ依存するような単純さではなく、それと気温の接地逆転の強度、換言すれば、大気の安定度との絡み合いで微妙に決定される姿を読み取れた。これに関与して第10図を例示した。時刻的には夜半と早朝の事例

であるが、風速に関しては先の第9図と似通っている。ただし、雲量が1の晴夜であることがまったく違う。これを見る限り団地内の高温域が必ずしも風下側へ追いやられているわけでもない。それに代わるように団地中央よりやや西寄り、団地内の高温域に食い込むような形で低温域が北方から舌状に侵入している様子が共通して認められた。この侵入位置は、前項でも確認した片側2車線の千葉～白井～印西線道路である。この時のヒートアイランド強度はともに最大2.4℃である。このように高温域が風下側へ移動しないのは、皆無と言えるほどの当夜の雲量の少なさと団地南西方の谷底部周辺の冷却具合、ならびにヒートアイランド強度から推測し、この時の気温の接地逆転度が強かった、つまり大気が成層的に安定していたことのアかしであろう。

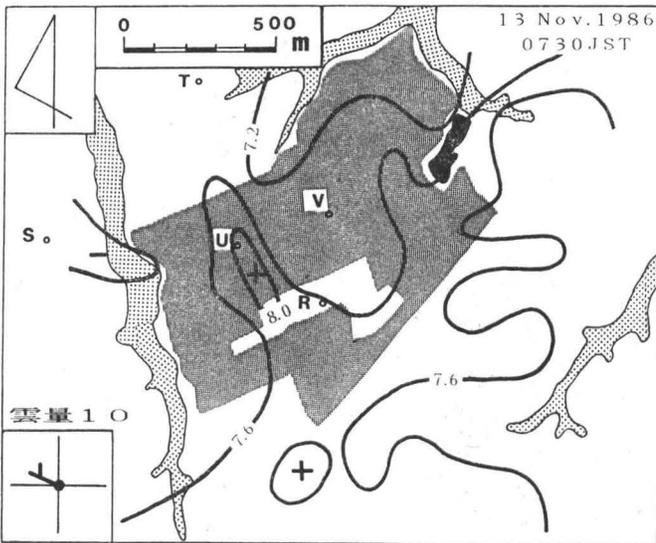
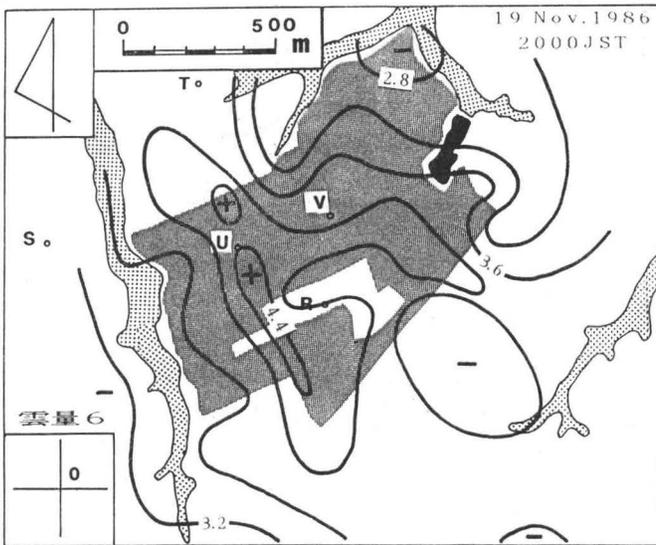
ところで、ある意味ではこの対象地域の特殊性でもあって、筆者らが注目した点でもあった団地を貫通している幅員ある道路の温度的影響はどうであろうか。付言するまでもなくこの場合は車両通行の影響を指している。第11図は気温分布にその影響が描出されている事例である。団地中央のやや西寄りに共通して高温の等温線が細長く走っている模様は、この団地の水平的形状に照合し、通常のヒートアイランドとしては不自然である。また時刻的にも車両通行量が多い時間帯である。その道路の団地内区域にのみこの影響に起因する高温域が残存するのは、団地外の田園裸地とちがって建物の粗度があるからであろう。これら双方の事例が通用している気象条件は、雲量が

第10図：千代田団地における夜間気温の分布(3)



多くて風が弱いことである。すなわち、地表面からの放射冷却が促進されにくく、しかも車両からの排熱がその場に残置されやすい条件と言える。このように相対的に高温を示しやすい団地内地域においても、なおかつ条件によってはこの千葉～

第11図：千代田団地における夜間気温の分布(4)



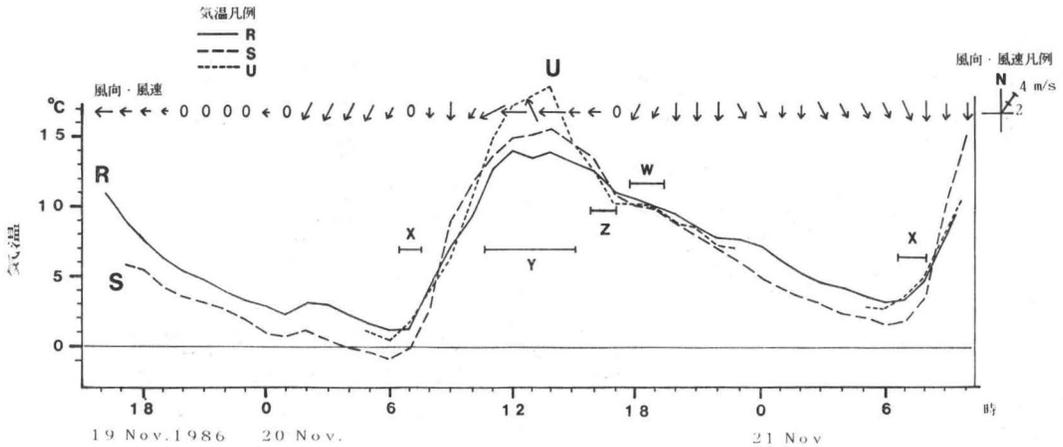
さを避けるため定点Uの曲線は必要最低限に留めた。念のために申せば、定点Rは団地内を代表する地点として、その反対に定点Sは団地外の地点として、また定点U（佐橋:1983 に従い道路から10メートル距離を置いた）は千葉～印西線の道路沿いの地点として各々この図に採用した。団地内と外を見比べると、昼間と夜間で気温の高低がお互い逆転することは既に若宮団地でも把握された事実である。さらに16時～17時（図中Z）の日没前後における気温急降下と団地内外でのその度合いの相違も先に記述したとおりである。ここで着眼したいのは定点RとUの相互関係である。昼間に定点RよりもUの気温が高いこと（図中Y）は歴然としており、その差は最大4.0℃以上にも達している。これは道路を通行する車両排熱の昇温効果もさることながら幅広い路面からの輻射熱も大いに関与したありさまであろう。さらに詳細に見れば、早朝7～8時（図中X）にもUの気温が一時的ながら高くなっている。また、夕方の18～19時にかけて（図中W）Uの気温は低下せずに横這いで推移していることが他の定点に対比して特徴的である。このような時間帯における定点Uの昇温の加速や降温の減速は、常識的に朝夕の車両通行量の集中的多さにその説明を求めうるだろう。そこでこの朝夕の時間帯に制限して定点UとRの気温差を便宜上、10日間にわたって算出した結果が第13図である。総じて曇天日に定点Rの気温が高く、晴天日にはその差が縮小、もしくは逆になっている。しかし、曇天日でも風速が大きければ16日のように両地点の

印西線の道路沿いが、通行車両が原因でもっとも高温になりがちな事象にしばらく焦点を当てたい。

まず第2図の定点R, S, Uにおける気温日変化曲線を吟味した（第12図）。もっとも図の煩雑

帯に制限して定点UとRの気温差を便宜上、10日間にわたって算出した結果が第13図である。総じて曇天日に定点Rの気温が高く、晴天日にはその差が縮小、もしくは逆になっている。しかし、曇天日でも風速が大きければ16日のように両地点の

第12図：千代田団地内外における気温の日変化曲線

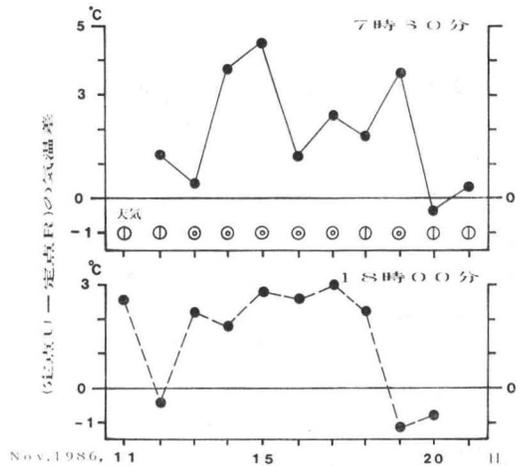


(1986年11月19日から21日にかけての定点R, S, Uにおける結果。なお、風速はベクトルで表示)

気温差は縮む兆しをみせる。この曇天・弱風の条件は、第11図で承知したことであり、道路に沿う高温域の発生と相対的な定点Uの高温とは現象的に矛盾するものではない。

車両通行が気温に及ぼす影響をさらに検証する目的から、千葉～印西線道路の通行量を2夜間を中心(12～13日, 20～21日)に計測した。この通行量測定は団地内の横断歩道橋上から車両の進行方向を無視して30分間毎の通過台数を集計する方法で遂行した。ただし、車両排熱の気温への影響という観点から車両の排気量を指標に据え、大型車両(バス, ダンプカーなど)は、普通車両の5倍として換算した。第14図右に20～21日にまたがる車両通行量の計測結果を掲示した。当然、この量は曜日に左右されるが、あらためてウィークデーの朝夕に集中する通行量の多さが鮮明となった。加えて通行量の集中度は朝の方が高い。これは第12図中の定点Uの気温変化曲線で、朝(図中X)の昇温が夕方(図中W)の降温よりも急激であることに合致する。この車両通行量と気温との適合を知るため、第14図左に距離・時間断面でのアイソプレスを併記した。ただし、距離断面a～a'は第2図中に明記しているように団地北縁の千葉～印西線道路に直交するものである。この断

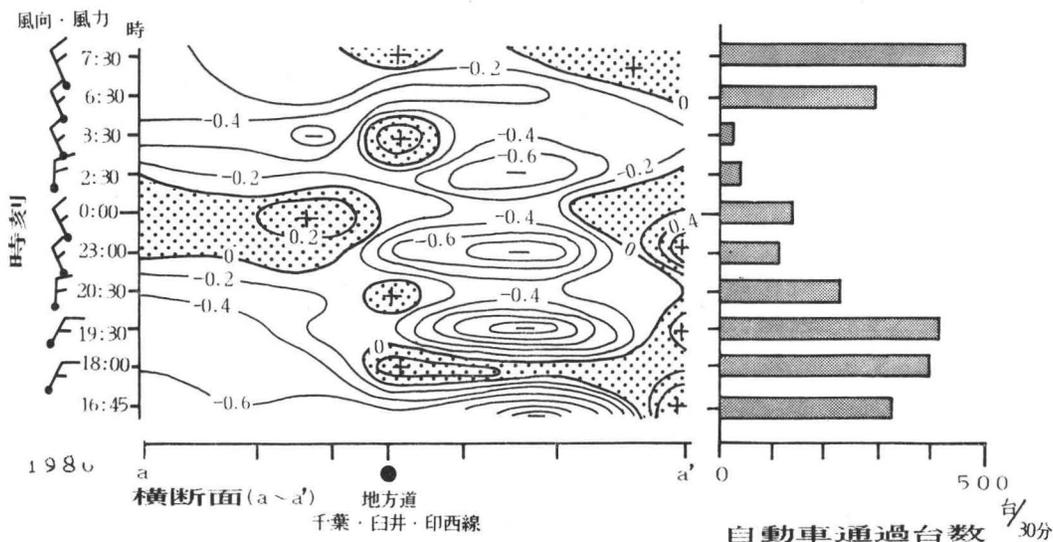
第13図：千代田団地内の定点U～R間の気温差とその日変化



(1986年11月11日～21日の朝夕の状況)

面を選択した根拠は、団地内のヒートアイランド現象が波及する可能性を除去し、車両通行量の効力のみを抽出しようとしたためである。また、このアイソプレスの等温線は団地内の全移動観測点の気温相加平均値に対する偏差で表示している。団地内にヒートアイランドが形成されていること

第14図：千代田団地における時間・距離断面の気温アイソプレス（左）と車両通過台数（右）



(1986年11月20日～21日の状況。なおアイソプレスの等値線は偏差で表示)

を考慮すれば、団地内の気温平均値は総じて高い値をとる可能性があり、この値に対する偏差でプラスの出現に注目することは、通行車両の気温への影響を検出する意味ではより確定的な側へ作用するはずである。この図から千葉～印西線道路付近には朝夕の時間帯を含め、時間的に不連続なプラス偏差域が現れており、しかも、21日未明（3時30分）のプラス偏差域以外は車両通行量の多さにほぼ一致している。なお、この道路の東側にマイナス偏差域が恒常的に発現しているのは団地に北接している谷部近辺で生成された冷気が、北寄りの風を背景に団地内に進出している事柄を物語っている。

かくて、これまでの内容から理解された事項は次のようになるだろう。つまり、千葉～印西線道路周辺の気温は、朝夕を典型として通行車両からの排熱の影響をこうむりやすく、その度合いは車両が短時間に集中する朝の方で大きいこと、また、その影響が団地内の気温分布で明確化されるのは曇天・無風時であること、しかし、日中の道

路沿いの高温暖化は、通行車両に伴う排熱のみで説明しきれないほどの値であること、などの諸点がそれに該当している。

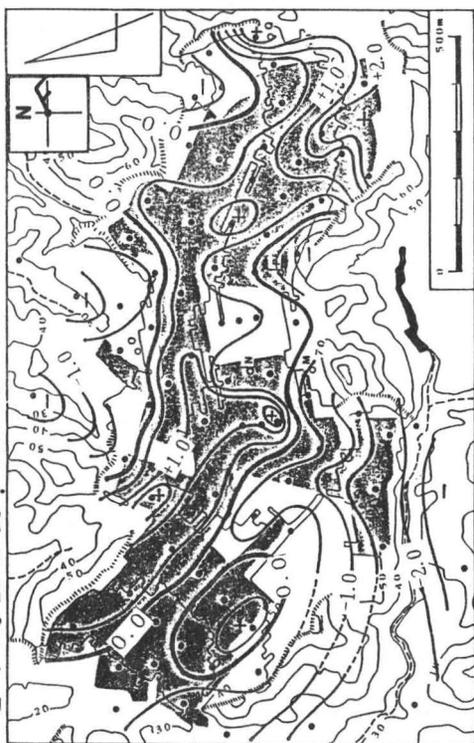
3. シーアイトウンの観測結果と考察

この団地では、予備観測の結果を踏まえて1983年12月上旬に延べ4日間にわたって観測を実施した。その間、計13回の移動観測が可能であった。ここでは冬型の気圧配置ながらも終日晴天であった12月6～7日にかけての状況を中心に述べる。

第15図に夕方、夜半、早朝という3つの時間帯の視点から気温分布図を選択して示した。なお、この図中の等温線は、補正を施した全移動観測点の気温値から算出した相加平均値をもとに、それからの偏差で表現している。これによると高温域の出現の仕方が、先に取り扱った2つの団地と様相を異にし、必ずしも住宅の分布に対応しているわけではない。第3図と照合しつつ見れば、団地内の高温域は住宅の有無にそれほどとらわれることなく、ほぼ南東から北西へ帯状に伸びている。

第15図：シーアイトウンにおける夜間気温の分布

17時30分、相加平均値：+3.43℃、標準偏差：1.06



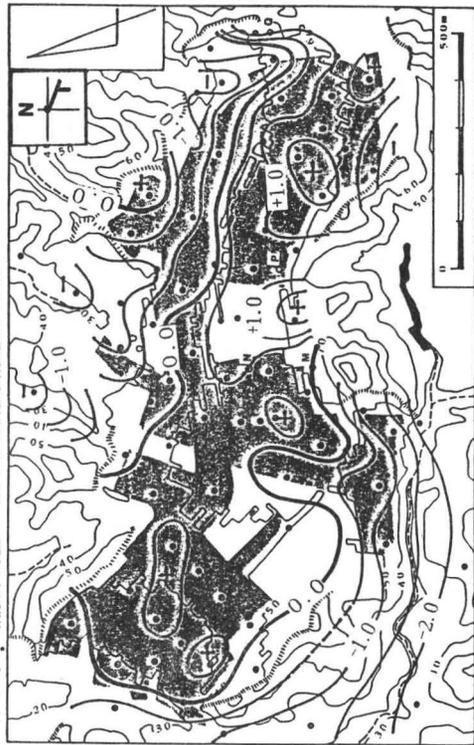
23時、相加平均値：-0.48℃、標準偏差：0.95



1時、相加平均値：-0.83℃、標準偏差：0.98



5時、相加平均値：-0.43℃、標準偏差：0.98



(1983年12月6日～7日の状況。等値線は0.5℃間隔の偏差で表示)

とりわけ $+1.0^{\circ}\text{C}$ 以上の偏差域は、団地東端部(標高が60m前後でもっとも高い)を核として標高50m以上の区域に特定可能である。

一方、負偏差域は、団地北部、南縁部、および西端部に生じやすく、いずれも地形的に低所であることが相似している。夕方17時30分と早朝5時の気温分布図を対照することから識別可能なように、等温線の走り方は時間の経過につれて単純化する。これは団地内のそれぞれにおいて日没後の気温低下の抑制のされた方が一様でないからであろう。実際、21時過ぎまで気温分布は複雑であると同時に、全観測点の気温値の標準偏差は1.0以上と大きい(最高は21時の1.77)。

この夜の観測を通じて入手できた7枚の気温分布図から気温偏差 $+1.0^{\circ}\text{C}$ と -1.0°C の等温線のみを選出して集積したのが第16図である。この図から前述の内容を支持するこの団地内での高温域と低温域の住みわけがなおよ一層、判然となった。さらにこの図において印象的なのは、団地中央のやや南寄りから偏差 -0.1°C の等温線が、より低位の北西方向へ舌状に、かつ定常的に伸びていることである。観測実施当時には、この舌状の負偏差域の一部とこれに西接して学校用地が裸地のままオープンスペースで放置されていた。これとこの北東隣りの公園などが、その粗度の小さいことも手伝って、低温域の形成、ならびに地表の最大傾斜に従属した冷氣塊の流下域を担っている。このことは第15図の気温分布図を時系列的に追跡しても捕らえられる。少なくとも、等温線の走り方を見る限り、当夜のように放射冷却が促進されやすい時には、この低温な気塊の源は団地の南に隣接し、西方に開けた谷と想定できる。宅地開発以前の地形では、対象地域の南部を縁どるように小高い丘陵が存在し、南に隣接するこの谷と画していたが、団地中央の南側部分が造成によって改変された。結果的に、これが南接する谷の空気塊との流通を助長した。事実、わずかな比高ながら丘陵の稜線が残置されている団地東、西の南側は気温の正偏差域になっている。これと反対の団地北側に現れる恒常的な負偏差域は、ともに北方に開けた谷の頭部に相当し、地形的な凹地である。それゆ

え、晴夜には重力的に重い冷氣が滞留しやすい。その冷氣はこの団地の傾斜地も含めた周囲の斜面から日没前後以降に供給されるのだろう。現実的にそれを教示する等値線の屈曲が第15図中にも見受けられる。最終的に空気塊の到達点は、物理的な安定状態であるから、その達成までは大気は動的である。日没後の気温分布図が複雑なのは、その動きを反映しているからであろう。また、21時以後に気温分布パターンが多少なりとも単純化し、気温観測値の標準偏差が小さくなるのは、空気塊が安定しつつある傍証だろう。したがって、斜面や谷間では低所に重い冷氣が、高所に軽い暖気がそれぞれ配置されることが、すなわち物理的な安定と同義になるゆえ、第15、16図に関連して述べたとおり、気温分布は住宅のそれにあまり規定されず、標高の高い地域に高温域が、その低い区域に低温域が各々位置するという、一見、不自然な分布形態をとることも無理なく受け入れられる。

以上のように本研究でこの団地に関心を寄せた理由でもあった丘陵を開削した傾斜地の住宅地では、ヒートアイランド現象が鮮明に発現する気象条件と冷氣の流出や斜面降下風の吹送が発生するそれとに類似性があるため、平坦地の住宅地と比較した場合、気温分布、ならびにその時間的推移が非常に複雑であると判明した。

IV おわりに

静穏晴夜、市街地や集落に形成されやすいとかねてから指摘されてきたヒートアイランド現象の追究を目的に据え、その現象に関与すると想定される諸因子の単純化を計る意味から、いくつかのモデル的な造成住宅地を対象に調査した。

その結果、住宅地内の高温域と地表被覆率との対応、日没直後の気温降下における住宅地内外の差異、高温域の風下側への流下と気温の接地逆転強度との関連、気温分布に対する通行車両の影響、ならびに傾斜地のヒートアイランドなどについて興味ある若干の知見を得た。

今後は、冒頭に記したようにこの調査結果をも

第16図：シーアイトウンにおける特定の気温等偏差線集積図



[凡例] ——— : +1.0°C, ——— : -1.0°C.

(太い実線が+1.0°C, 細い実線が-1.0°Cの等偏差線を指す。1983年12月6日～7日の7回の観測結果から作成)

とし、この現象に係わる相互の因果関係を定量的に把握することに腐心したい。

本稿は、日本地理学会・都市気候研究グループ第11回研究例会(1987年7月4日・法政大学にて開催)において発表した内容を骨子に加筆・補正したものである。発表の席上で有益なご助言を賜った研究例会参加者にこの

場を借りて御礼申しあげる次第である。また、観測調査の実施に際して便宜を計って頂いた関係機関、ならびに関係各位に対し、心から謝意を表したい。

なお、本稿のとりまとめに1986年度・法政大学国内研究員研究補助金、および1987年度・法政大学特別研究助成金の一部を使用した。

参考文献

- 大和田道雄・稲垣裕子・山田裕則(1979)：小規模住宅団地の気温と風の垂直的变化。愛知教育大学地理学報告. 48, pp1~10
- 榊原保志(1982)：草加松原団地における小気候学的調査。天気. 29-2, pp141~150
- 佐々倉航三(1932)：信濃大町付近の気温分布と日中変化について。地理評. 8-1, pp1~11
- 佐藤典人(1985)：多摩川水系浅川流域における気温の水平ならびに垂直分布と大気環境との関連に関する研究。働とうきゅう環境浄化財団研究助成. 第81号, 156ページ
- 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. 30-10, pp509~514
- 高橋百之ほか(1981)：大垣市のラフネスパラメーターについて。地理評. 54-10, pp579~594
- 田宮兵衛(1968)：住宅団地における夜間の気温分布について。地理評. 41-11, pp695~703
- 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。地理評. 54-1, pp1~21
- 鳥居 淳・福岡義隆(1988)：岐阜県各務原市内外団地における都市気候学的研究。日本地理学会予稿集. 34, pp92~93
- 三沢勝衛・吉村信吉(1931)：長野県上諏訪町付近の早朝の気温分布。地理評. 7-3, pp170~179
- 水越允治・山下脩二(1985)：『気候学入門』。古今書院. 144ページ
- Bornstein, R. D. (1968) : Observations on the urban heat island effect in New York City. J. Appl. Meteor., 7, pp575~582
- Duckworth, F. S. and J. S. Sandberg (1954) : The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients. B. A. M. S., 35, pp198~207
- Howard, L. (1833) : Climate of London deduced from meteorological observations. 3rd ed. in 3 Vols, Harvey & Darton, London
- Landsberg, H. E. (1956) : The climate of towns Man's Role in Changing the Face of the Earth. Univ. of Chicago Press, Chicago
- Landsberg, H. E. (1981) : The urban climate. Academic Press, New York
- Oke, T. R. (1978) : Boundary Layer Climates. Methuen & Co. Ltd., New York
- Oke, T. R. (1982) : The climate of urban area. (ただし、この文献は入手不能であったため、水越・山下：1985の「気候学入門」に依拠した)
- Sundborg, Å. (1950) : Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area. Tellus, 2, pp222~232