

## 東京都中央区佃における都市再開発の 進展に伴う気温の変化\*

榎原保志\*\*

### 要旨

都市再開発が行われた東京都中央区佃において、気温の観測が2つの方法で5年間にわたり行われた。

まず1時間毎のルーチン観測値から得られる月平均気温では、都市化の進展が小さいと考えられる大手町に対して、佃で気温上昇が認められた。晴天弱風という気象条件下の日最低気温でも、佃で相対的に気温上昇が見られ、その大きさは5年間で $0.54^{\circ}\text{C}$ であった。建物完成に伴う入居や橋の開通といったできごとに対応した気温のジャンプは認められず、いずれも上昇の仕方は緩やかであった。

次に、スクータを用いた都市再開発地区周辺の移動観測では、1990年以前には再開発地区外の幹線道路に高温域が見られたが、1993年には観測地点間の差異は小さくなった。都市再開発地区内外の代表的な地点における、1988年から1990年までの平均気温と1993年の平均気温による比較では、どちらの期間においても都市再開発地区内の方が低かったものの、都市開発地区内で相対的に $0.25^{\circ}\text{C}$ の上昇がみられた。このことから、都市再開発の進展に伴い気温上昇があったと判断できる。

### 1. はじめに

都市再開発による都市大気への影響を見積もることは都市計画にとって重要である。

この都市開発に伴い、①建物の建設、②車道や歩道の舗装、③入居、場所によっては④道路や橋の建設等が行われる。都市大気への影響を考えると、①は粗度の増大や天空比の縮小に伴う上向き長波放射量の減少(Oke, 1982 など)、都市幾何学的構造による都市のアルベドの減少(Aida, 1982)等を生じさせ、さらに①②では非透水性物質の増大、蒸発散量の減少、地表面構成物質の熱特性による蓄熱効果等が生じると考えられる。これらは建設工事の進展に伴い徐々に効果があるものと考えられる。③④ではそれぞれ生活用排熱や車からの排熱等による人工熱の影響が考えられ、入居や道路の開通を境に都市大気に影響を持つ可能性があ

る。

都市規模の増大によるヒートアイランドへの影響については、福岡ら(1993)が東広島市において1984年と1992年の気温分布から次のような報告を行っている。市街地面積の拡大に応じて高温域が広がったが、ヒートアイランド強度に有意な差は認められないとしている。

都市化には都市面積の拡大のほか都市再開発という形で進展するものがある。都市内では開発スペースが得にくいので、都市化は再開発という形で進行する。都市再開発は、対象地区周辺はすでに建物が立ち並んでいること、土地の有効利用という考えから建物は高層化するという特徴を持つ。

本研究では、都市再開発が行われた地区において継続した気温調査を行った結果を報告する。1989年1月から計画がほぼ終了する1993年12月までの月平均気温、そして晴天弱風時における日最低気温の時系列データから、都市再開発に伴い都市気温が急激に高まることあるのか、あるいは徐々に上昇するのかを評価する。次に都市再開発地区内外の気温分布から、都市再開発に伴い気温上昇が見られるかを検討する。

\* The change of air temperature with reurbanization in Tsukuda, Cyuo-ku, Tokyo.

\*\* Yasushi Sakakibara, 信州大学教育学部。

—1995年1月26日受領—

—1995年9月11日受理—

第1表 都市再開発に伴う建物竣工状況。( )内は建物の階数, 点線は工事期間を, ●印は竣工時を示す。

年	1988	1989	1990	1991	1992	1993
	●A(4)					
	●B(5)					
	●C(13)					
	●D(6)					
	●E(14)					
			●F(10)			
			●H(8)			
				●G(8)		
				●I(16)		
						●J(40)
				●K(37)		
				●L(37)		
						●M(33)
						●N(46)
						●O(橋)

2. 調査対象地域

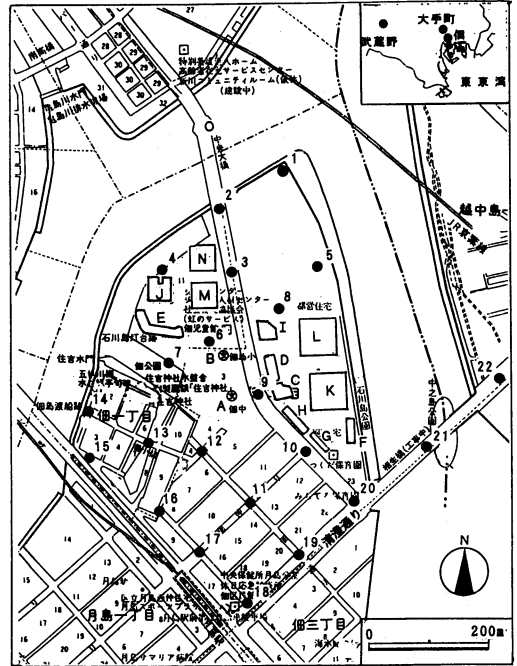
調査対象地区は東京都中央区佃における大川端リパシティと呼ばれる都市再開発地区である(第1図)。ここはもともと石川島播磨重工(株)の工場であったが、工場移転に伴い6.4 haの住宅等施設(戸数2500)と2.6 haの文化・商業施設からなる都市型街づくり計画が進められた\*1。

1986年から40階建て2棟、37階建て2棟を含む高層ビル14棟が次々に建てられ、1991年で総住戸数の87%に達する(第1表)。1988年には地下鉄有楽町線の新駅「月島駅」(第1図、地点17、18付近)が開設され、1993年夏には中央大橋(第1図のO点)が隅田川に完成した\*2。この橋ができるまでは都市再開発地区中央の道路(第1図の地点2、3、9、10、20を結ぶ道路)の一方が塞がれていたため、自動車は工事車両以外ほとんど見られなかった。

3. 観測方法

3.1 気温のルーチン観測

東京都中央区立佃中学校の百葉箱の中にサーミスタ温度計(石塚電気(株)製、502 AT)を設置し、通風を自然通風とした気温観測を1989年1月1日から1993年12月31日まで1時間毎に5年間にわたり実施した



第1図 調査対象地区。A-Nは建物、Oは中央大橋、●1-22は観測地点、都市再開発地区は1、4、7、A、10、20、F、5、1を順に結ぶ地域を示す。

(以下ここでの観測値を佃と呼ぶ)。このサーミスタ温度計は観測の前後で、経年変化が小さいと考えられる白金測温体(ソーア(株)製、TX-560)により温度補正を行った。その結果、サーミスタ温度計にはこの5年間に有意な系統的な変化は見られなかった\*3。

百葉箱は佃中学校校舎とその東側の道路との間にある歩道脇の緑地帯に設けられている。第1図では地点9のすぐ左隣になる。道路上の地点9における自動車の移動観測値と百葉箱の観測値を比べると、0.2°C以上の違いはなかった。ここは第1表からわかるように当地区で最初に再開発が行われた場所である。観測が始められた時点において地点9の両側には中層の建物が

\*1 はじめの計画では都市再開発地域の北東部(第1図の地点1、2、3、5を囲む地区)に文化・商業施設が1994年に完成する予定であったが、東京都の計画見直しにより、1994年末時点で基礎工事も着工されていない。

\*2 従来佃から東京駅に行くには迂回していたが、この橋の開通により直線で2 kmの距離になり、中央大橋は多くの交通量が見込まれる。

\*3 白金測温体は観測を始める半年前に購入したもので、精度保証期間内であったため、気象庁で検定を行わなかった。しかし、5年間の観測期間に、白金測温体自体が経年変化している可能性があるため、1995年6月に東京管区気象台測器課にデータ協力を得た。その結果、白金測温体の表示は-10°Cのとき-10.0、0°Cのとき-0.00、20°Cのとき19.9、30°Cのとき29.9を示すと報告を受けた。

並んでいた。佃中学校の校舎と校庭を挟んで西隣には2階建ての木造家屋からなる住宅地区がある。特に地点11, 13, 14周辺は典型的な江戸時代の町並みが残っているといわれており、景観の変化はほとんど見られなかった。

佃の都市再開発に伴う気温変化を評価するため、東京都千代田区大手町の東京管区気象台（以下大手町）と武蔵野市にある成蹊気象観測所（以下武蔵野）の観測値を採用した。どちらも周辺に再開発するスペースがないため、佃と比べ都市化の進行速度ははるかに遅いと考えられる。

### 3.2 スクータによる移動観測

観測ルートの中には狭い道も含まれるため、機動性に富むスクータ（本田技研工業（株）製、スペース125）を用いた。

乾電池とファンにより強制通風できる紙製放射除けの中にサーミスタセンサ（日置電機（株）製、9021-01）を入れ、それをスクータのウインドシールド（風防）の上部にガムテープで取り付け、サーミスタセンサを気象観測ユニット（越後電機（株）製、MDU）を介してハンドヘルドコンピュータ（エプソン製、HC-40）と接続して、気温を収録する。このシステムの説明は中川（1986）が詳しい。また、観測の前に、先に述べた白金測温体とデジタルマルチメータ（武田理研工業（株）、TR 6824）を利用して、サーミスタ常数を求めることで、この観測システムでは0.2°C以内の再現性を確認できた。

すべての観測が終了した後、ハンドヘルドコンピュータとデスクトップコンピュータ（NEC 製、PC9801VX）をRS232C ケーブルで接続し、観測デー

第2表 調査日の気象状況と気温差。気温差は都市再開発地区内外のそれぞれの代表的数地点における平均気温の差を示す。

No.	観測日	観測時刻	大手町で観測された気象条件		気温差 °C
			天気 (夜 18 h-6 h)	時刻 風速 m/s	
1	880607	2007-2014	晴	21 h 1.0	-0.4
2	0707	2151-2202	晴一時雨	21 h 5.5	-0.2
3	0712	2236-2248	曇時々雨	21 h 4.0	-0.3
4		2305-2316		24 h 2.0	-0.3
5	0807	0312-0326	曇後晴	3 h 2.1	-0.2
6		0332-0345			-0.1
7		0401-0415			-0.3
8	0816	0104-0115	雨後曇	24 h 5.0	-0.1
9	1023	2228-2241	曇	21 h 3.5	-0.1
10		2247-2300		24 h 3.3	-0.2
11	1228	0650-0701	晴	6 h 0.9	-0.6
12	890330	0245-0258	晴のち曇	3 h 4.4	-0.2
13		0442-0453			-0.2
14	0810	0343-0355	曇一時雨	3 h 2.6	-0.3
15	0830	0245-0258	曇一時晴	3 h 2.6	-0.5
16		0303-0316			-0.3
17		0326-0337			-0.4
18	900728	0159-0211	曇	2 h 3.3	-0.4
19	930325	1613-1631	晴一時曇	15 h 2.0	-0.2
20		1924-1946		19 h 3.0	0.2
21		2256-2317		24 h 2.8	0
22	0826	0419-0442	晴	4 h 2.1	0
23	0830	1926-1941	曇時々晴	20 h 3.1	-0.1
24		2242-2256		23 h 2.3	-0.1
25	0831	0241-0256	曇時々晴	3 h 2.8	-0.1
26		0528-0545		6 h 2.0	-0.2
27	1228	1953-2003	快晴	20 h 6.6	0
28		2155-2208		22 h 8.4	-0.1
29		2358-0007		24 h 4.3	0
30	1229	0158-0207	快晴	2 h 7.1	0
31		0534-0544		6 h 5.4	0
32		0640-0655		7 h 4.8	0.1

夕の転送を行った。また、観測地点毎に2秒間隔で2回気温の測定を行い、その平均を観測値とした。

第1図に示した地点番号順に移動し、観測地点総数22地点からなる観測ルートを設定した<sup>44</sup>。

観測時間は30分以内と短いで、時差補正は行っていない。ちなみに、観測の最後に再度、地点9で観測を行ったところ、すべての観測において0.2°C以上の差異は認められなかった。

また、観測実施の決定は筆者の都合の良い日の夕方に目視により天気を判断し、快晴か晴れになると思われる夜間を中心に1988年の7日間に11回、1989年の3日間に6回、1990年に1回、1993年の6日間に14回、延べ32回の観測を実施した(第2表)<sup>45</sup>。

## 4. 結果

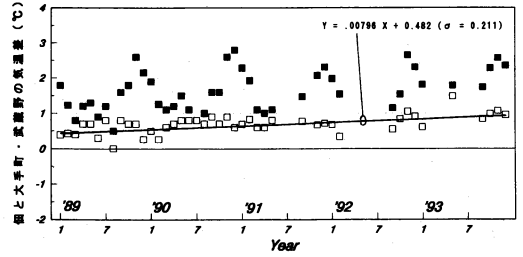
### 4.1 月平均気温差の推移

1989年1月から1993年12月までの、佃と大手町、そして佃と武蔵野の月平均気温差の推移を検討する(第2図)。月平均気温は3時から24時まで3時間毎の8回平均値より求めた日平均値から算出した。ただし、欠測が1つでも生じた月は記入していないので、解析データ数は44例である。なお、大手町の月平均気温は1991年から毎時の24回平均の日平均気温により求めるように切り替わったが、気象庁では変更に伴う差異はないとしている<sup>46</sup>ので、本研究でもそのまま使用した。

月平均気温において佃から大手町を引いた差では、1989年から1993年にかけて徐々に気温の上昇が見られる。佃から武蔵野を引いた場合も同様な傾向が見られる。しかし、後者の場合は気温差の推移の中に明瞭な季節変化、すなわち11月、12月の晩秋から初冬にかけての気温差は大きく、夏季に小さいことが認められる。これは、大手町と佃はどちらも海に近い場所に位置するのに対し、武蔵野はこれらより内陸にあるためと考えられる。

### 4.2 晴天弱風時における日最低気温差の推移

都市化による気温上昇が日最低気温において明瞭になることは多く報告されている(最近ではSakakibara



第2図 月平均気温差の推移。■：佃-武蔵野，□：佃-大手町

et al. (1991) や野口 (1994))。そこで、1時間毎の観測値から求めた日最低気温について佃と大手町を比較する。ヒートアイランドが顕著に出現する気象条件は風が弱く天気がよい日とされているので、夜間(18時～翌日の6時)に降水がなく、快晴または晴れが含まれる天気で、日平均風速が3m/s未満の日を解析の対象とした。大手町の日最低気温が早朝に生じない場合や佃で欠測がある日を除くと、解析に用いた総データ数は5年間で231例である(第3表)。

このデータを時系列的に並べたのが第3図である。図からわかるように緩やかな気温上昇が見られる。その程度を回帰線で推定すると、5年間で0.54°C、すなわち大手町と比べ0.108°C/年の上昇が見られたといえる。ただし、この回帰線は横軸が非等時間間隔なものを並べてあるので、厳密には時間と気温差の回帰線とはいえない。

解析したデータは10月から1月のものが多かったので、この期間に限定した時系列データから回帰線を求めても、5年間の上昇温度は同程度であった。

小野ほか (1994) は過去90年(1901-1990年)における年平均増加率において全国の中で東京が最も大きく、その値は0.027°C/年と報告している。さらに野口 (1994) は東京の戦後について1950年から1988年の観測資料から東京の最低気温上昇率を0.0523°C/年(年平均)および0.0857°C/年(冬季)と報告している。

上昇率の算出期間・算出対象・算出方法が異なるので単純には比較できないが、大手町の観測値よりもさらに0.108°C/年の上昇があったことは、本研究の対象とした都市再開発地区で大きな気温上昇があったといえよう。

調査期間の5年間に第1表に見られるように中高層マンションの建設、入居、橋の開通といった気温に影響を及ぼすと考えられるできごとがあるが、時系列

<sup>44</sup> No.4 から No.8 までの移動順路に不自然な点が見られるが、観測当時ここは工事現場や資材置き場になっており、観測ルートの設定には工夫が必要であったからである。

<sup>45</sup> 1991年と1992年には、著者の転勤のためしばらく観測できなかった。

<sup>46</sup> 気象庁天気相談所への電話による問い合わせによる。

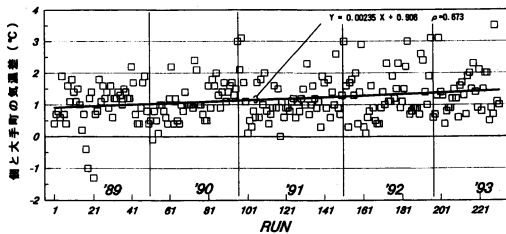
第3表 夜間に晴天弱風時の天気が生じた年別月別日数の内訳。

(a) 条件に合う日数

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年計
1989	2	1	4	2	3	4	5	3	5	8	8	9	54
1990	10	2	0	3	3	4	5	4	4	6	12	12	65
1991	10	6	4	4	5	5	9	1	6	7	6	12	75
1992	11	9	2	1	2	5	10	7	9	3	12	9	80
1993	7	8	6	3	3	4	3	5	5	7	11	8	70
計	40	26	16	13	16	22	32	20	29	31	49	50	344

(b) 解析日数

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年計
1989	1	1	4	2	2	3	5	3	3	8	8	7	47
1990	8	1	0	3	3	2	4	4	4	5	11	5	50
1991	9	4	1	3	4	4	0	0	6	3	5	11	50
1992	11	8	2	0	0	0	0	0	5	2	11	8	47
1993	6	0	0	0	0	0	0	5	5	5	9	7	37
計	35	14	7	8	9	9	9	12	23	23	44	38	231



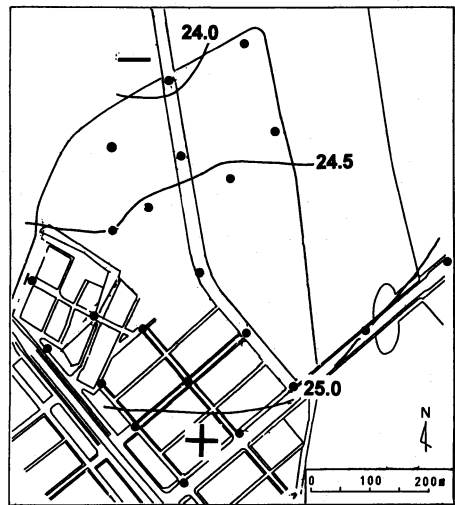
第3図 日最低気温における都市再開発に伴う都市気温の推移。

データから気温ジャンプといった形での影響は読みとれない。これは、橋の開通により交通量は以前より多くなったものの、当地区の幹線道路である清澄通りと同程度の交通量に至っていないことが理由の一つと考えられるが、このような解析方法では明瞭に見出せない現象かもしれない。

#### 4.3 都市再開発地区周辺の気温分布

都市再開発に伴う環境の変化が都市再開発地区内外の気温分布にどのような影響をもたらすかを検討する。観測した気温分布32例を分布の形から分類すると、1990年以前と1993年に分けられる。

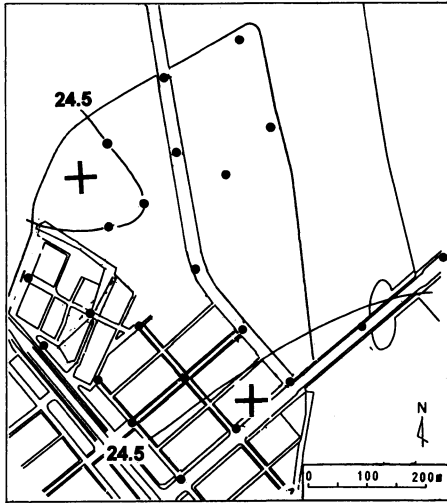
まず、1990年以前の一般的な例として1989年8月30日3時26分から3時37分に行われた観測結果を第4図に示す。図からわかるように都市再開発地区の南東側を南西から北東方向に走る清澄通り沿いに高温域が見られ、都市再開発地区北部との差は1°C生じている。これは、都市再開発地区北部は建設資材置き場や荒地になっていたのに対し、清澄通り周辺は建物が建ち並



第4図 1990年以前の気温分布の一例。1989年8月30日3時26分～3時37分、単位：°C、天気：曇一時晴、風速：2.6 m/s。

んでいたという土地利用の違いばかりでなく、幹線道路上の気温や二酸化窒素濃度は周辺の住宅地よりも高い(本田, 1991)という報告があるように自動車の排熱もその原因と考えられる。

次に1993年の例として、1993年8月31日早朝の観測結果を示す(第5図)。図からわかるように清澄通りがやや高温になっているものの、観測地点間の気温差が0.5°C以下と小さい。全般に1993年の気温分布では以前



第5図 1993年の気温分布の例。1993年8月31日 5時28分～5時45分、単位：℃、天気：曇り時々晴れ、風速：2.0 m/s.

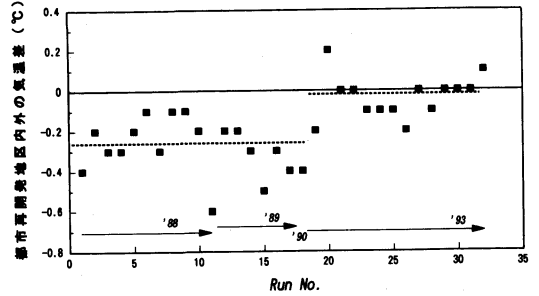
と比べ地点間の差が小さい。

4.4 都市再開発地区内外の気温差の推移

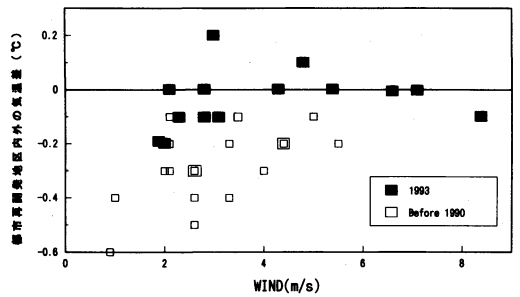
都市再開発地区中央を通る道路沿いの地点2, 3, 9(第1図参照)の平均値と、この5年間に景観変化がほとんど見られない再開発地区外の地点11, 13, 14の平均値を求め、両者の差を時系列に並べたのが第6図である。都市気候の季節依存性は従来から指摘されているので、本来ならば季節を分けて検討することが望ましいが、標本数が少ないので全般的傾向を見る。

図からわかるように、1988年から1990年までの気温差は1993年のものより大きく、平均で前者は $-0.27^{\circ}\text{C}$ 、後者は $-0.02^{\circ}\text{C}$ となった。すなわち都市再開発地区がマンションの建設や入居といった都市化の進展により、都市再開発地区外と比べ相対的に $0.25^{\circ}\text{C}$ の気温上昇が生じた結果といえる。

次に都市化の進展を風速に対する気温差から評価するため、1990年以前と1993年とに分類して、散布図を作った(第7図)。ただし、風速は大手町における観測値、縦軸は先の都市再開発地区内外の気温差である。第7図からわかるように、1990年以前では風が強くなると気温差がなくなる傾向が見られるものの、1993年では風速と気温差に相関は見られない。従来風速と都市と郊外の気温差には負の相関が見られることが指摘されている(たとえば、オーク(1981))ことからして、1993年に相関が見られなくなったことは都市再開発の



第6図 都市再開発地区内外気温差の推移。左の点線は1988年から1990年、右の点線は1993年の平均値を示す。



第7図 風速と都市再開発地区内外気温差の関係。

進展による結果を示唆している。

5. おわりに

都市再開発の進展に伴う気温の変化を検討するため、東京都中央区佃において気温観測を行った。大手町を基準にすると月平均気温では徐々に上昇が見られた。晴天弱風時における佃と大手町の日最低気温の差でも徐々に上昇が見られ、5年間で $0.54^{\circ}\text{C}$ であった。しかし、橋の開通や入居のような都市大気に影響を持つべきことに応じた明白な気温上昇は今回の解析では認められなかった。

都市再開発地区周辺の夜間における気温分布では、再開当初にはその再開発地区外より気温が低かったものの、後期には測定値間の違いは小さくなった。都市再開発地区内外にそれぞれの代表的数地点を選出して求めた平均気温からも、都市再開発地区における気温は再開発地区外と比べ相対的に $0.25^{\circ}\text{C}$ 上昇したことがわかった。

今回の報告では気温分布観測を中断した時期があり、その間に分布の形に変化が生じたため、前期と後期で比較を行ったが、今後の調査では定期的な観測が

ら気温分布の変化形態を捉えることが必要であろう。

### 謝 辞

本論文に対し貴重なコメントをくださったお茶の水女子大学教授田宮兵衛先生に感謝します。また、中央区立佃中学校教諭小沢伸行先生と中央区立日本橋中学校教諭保坂秀夫先生には移動観測やルーチン観測の保守点検を手伝っていただいた。成蹊気象観測所の宮下敦氏には観測資料提供でご配慮を賜った。さらに東京管区気象台測器課の方には白金測温体検査協力をいただいた。ここに謝意を表します。

### 参 考 文 献

- Aida, M., 1982: Urban albedo as a function of the urban structure—a model experiment, *Bound.-Layer. Meteor.* **23**, 405-413.
- 福岡義隆, 高橋日出男, 渡辺誠一, 増野 茂, 1993: 都市規模の増大に伴うヒートアイランドの変化, *日本地理学会予稿集*, **44**, 98-99.
- 本田麻由美, 1991: 大都市内部の気温分布の微細構造, お茶の水女子大学文教育学部卒業論文, 46pp.
- 中川清隆, 1986: ハンドヘルドコンピュータによるデジタル気象データ野外収録システムの開発, *地理*, **31**(9月増刊), 56-69.
- 野口泰生, 1994: 日最高・最低気温の永年変化に与える都市化の影響, *天気*, **41**, 123-135.
- オーク著, 1981: 境界層の気候, (斎藤直輔, 新田 尚訳) 朝倉書店, 325pp. (Oke T. R., 1978: *Boundary Layer Climates*, Methuen and Co. LTD, London).
- Oke, T. R., 1982: The energetic basis of the urban heat island, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **108**, 1-24.
- 小野恵淑, 安成哲三, 沖 理子, 尾田敏範, 1994: 地上気温変動の季節性に着目した都市気候成分の解析, *地理学評論*, **67A**, 561-574.
- Sakakibara, Y., Yamashita S. and Ono S., 1991: Temperature increase caused by urbanization since 1900 in Japanese cities, *Proc. International Symp. on Environ. Change and GIS*, 25-28, Aug. 1991, Asahikawa, Japan, **2**, 71-78.