

2. 3 都市間比較による温度上昇分の推定

1) 検討手法

表2-6に示す都市化指標を対象とし、三大都市圏の気象観測点（アメダス、環境省気象観測点）の中心から同心円状に1km～10kmにおける各々の都市化指標を算出し、温度指標（日平均気温、日最高気温、22～24時気温）との関係を分析した。検討対象とした気象観測点の地点図を図2-2に示す。検討の詳細は下記の通りである。

中部圏や近畿圏はアメダス局の数が首都圏に比べて少ないため、環境省の気象観測データ¹⁾（2005～2009年）を追加し、アメダスも含め環境省気象観測点の観測期間に合わせ2005～2009年の5年間の気温データを用いたが、細密数値情報（中部圏1997年、近畿圏1996年）等の都市化指標算出に用いたデータとは10年程度の差がある。図2-1より中部圏・近畿圏における近年の転入超過数にほとんど変化がないため、この間における都市化による変化はないとみなした。

なお、温度指標については、第1章で熱中症との関連性が確認された日最高気温と日平均気温、及びヒートアイランド現象による上昇が指摘されている²⁾夜間気温について検討を行った。

対象地域：三大都市圏の細密数値情報データ整備地域（図1に地点図を示す）

対象期間：首都圏 1993～1997年7月及び8月

中部圏及び近畿圏 2005～2009年7月及び8月

温度指標：日平均気温、日最高気温、

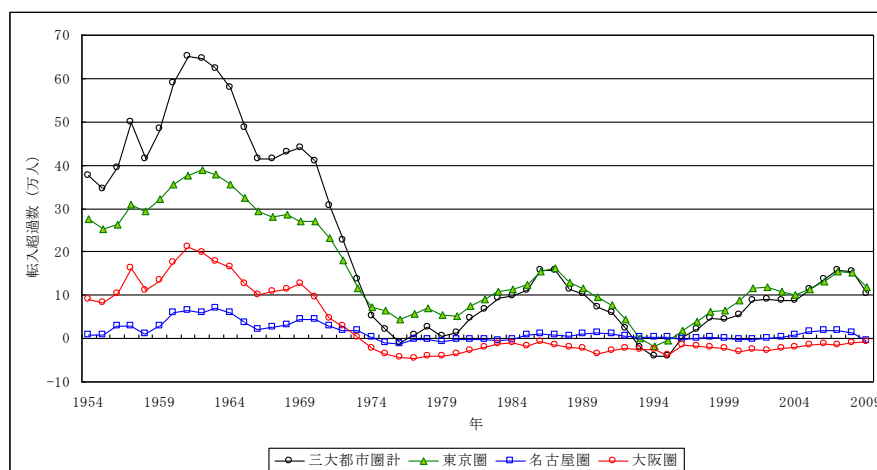
22～24時気温（各観測点における降雨時の値は除く）

都市化指標(※)：首都圏 人工被覆率(舗装+建物)、天空率、人工排熱フラックス

中部圏及び近畿圏 人工被覆率(舗装+建物)、天空率

都市化指標の算出領域：アメダス・環境省観測地点を中心とした約1、3、5、7、10km圏

(※) 都市化指標の算出方法は参考資料2-3に記載した。



注) 東京圏：東京都, 神奈川県, 埼玉県, 千葉県 名古屋圏：愛知県, 岐阜県, 三重県 大阪圏：大阪府, 兵庫県, 京都府, 奈良県

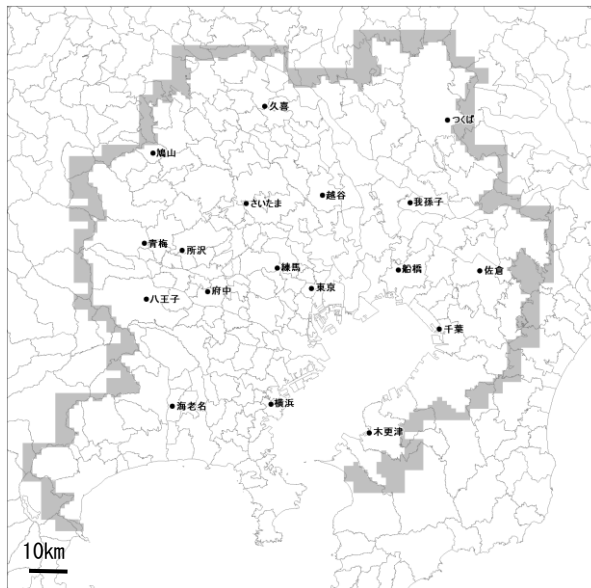
図2-1 三大都市圏における転入超過数の推移（総務省：住民基本台帳人口移動報告）

¹ 環境省気象観測データ (http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/wm/index.html)

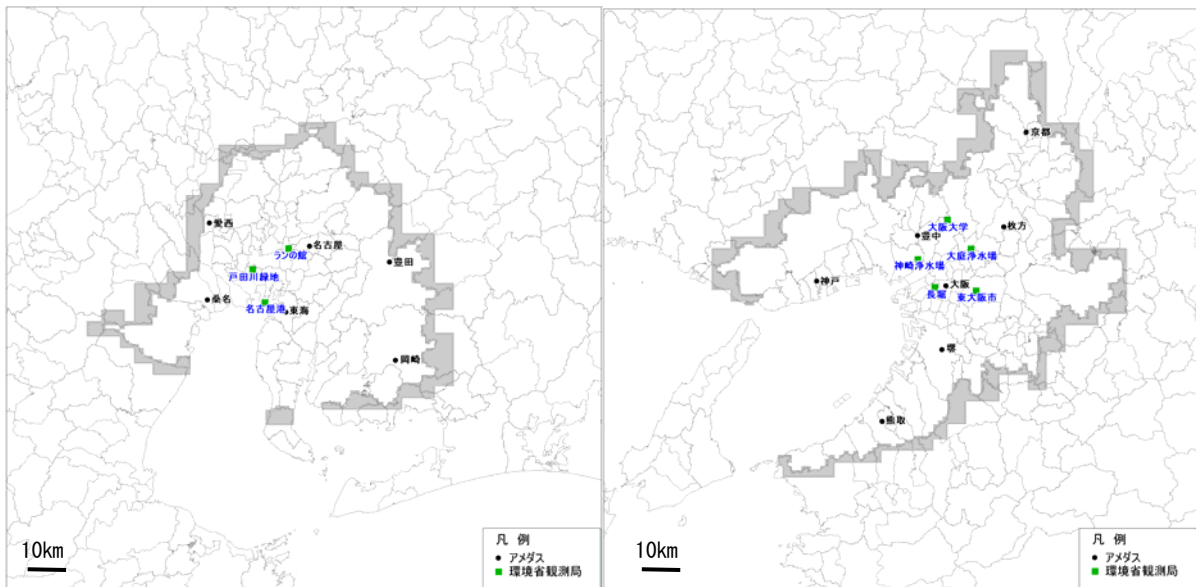
² 環境省：ヒートアイランド対策ガイドライン，平成21年3月

表 2-6 ヒートアイランドの要因と都市化指標

ヒートアイランドの要因	都市化指標
地表面被覆の人工化	人工被覆率（舗装＋建物）
都市形態の変化	天空率
人工排熱の増加	人工排熱



首都圏（アメダス 18 点）



中部圏（アメダス 6 点＋環境省気象観測点 3 点）

近畿圏（アメダス 7 点＋環境省気象観測点 5 点）

図 2-2 検討対象気象観測点（アメダス、環境省気象観測点）

なお、都市化指標と気温の関係について検討を行う際には、気温の時間変動パターンが異なっており、地勢的な影響を強く受けていると考えられる地点は除外した。図2-3に首都圏のアメダスの平均気温（1993～1997年の7月、8月）及び中部圏・近畿圏のアメダス・環境省観測地点の平均気温（2005～2009年の7月、8月）の時刻変動を示す。首都圏では、辻堂、小田原、三浦の3局はいずれも気温の日較差が小さく、かつ最高気温も低いことから除外した。これは、相模湾（外洋）の沿岸に位置しているためと考えられる。また、中部圏の四日市や近畿圏の南港野鳥園は最高気温を含めた午後からの気温が低く、近畿圏の奈良は夜間の気温が他の局に比べかなり低いことから除外した。

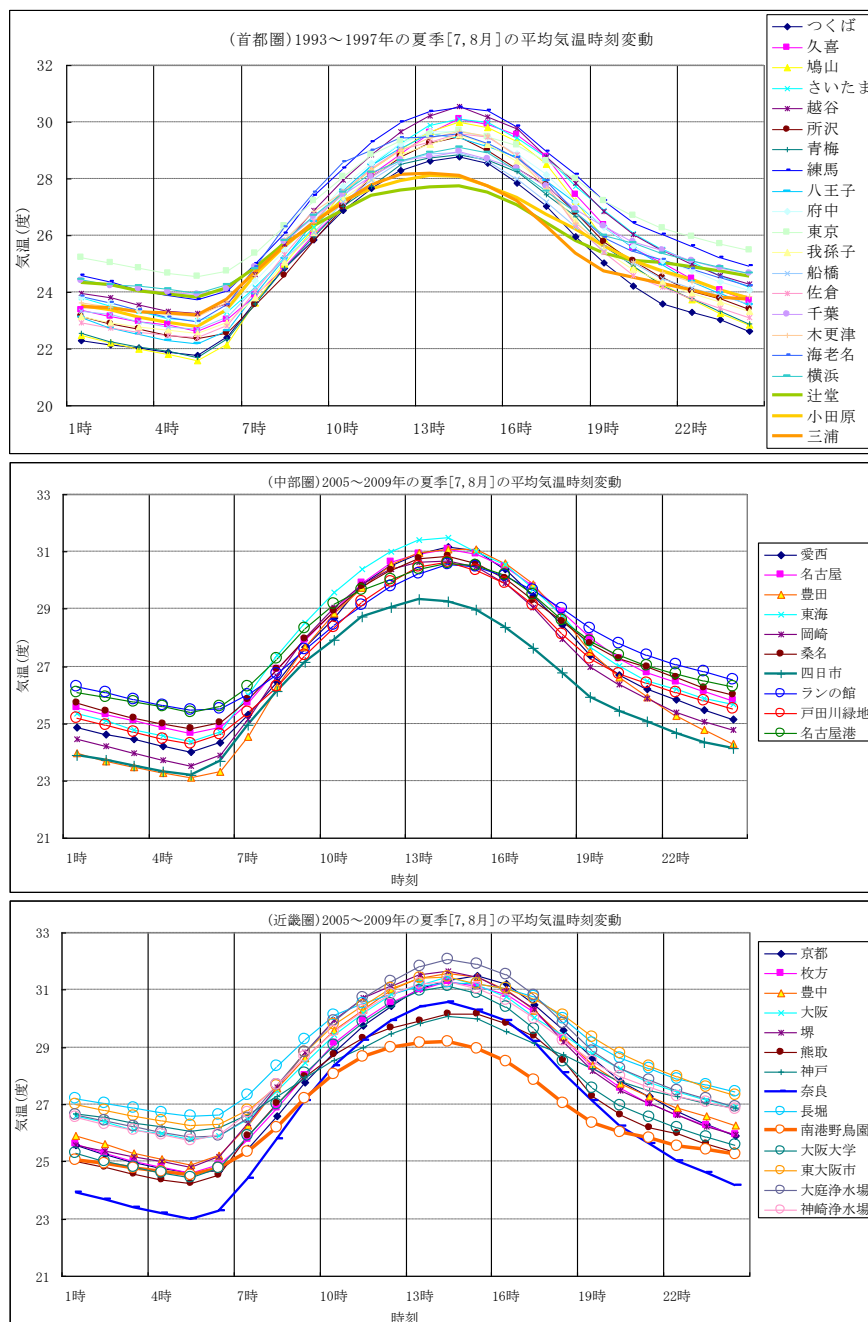


図2-3 首都圏・中部圏・近畿圏の気象観測点における時刻別平均気温（夏季5年間）

2) 都市化指標と温度指標の関係

各都市圏において、気象観測点周辺の都市化指標と日平均気温の相互の関係を検討した結果、都市化指標と日平均気温には相関が見られるとともに、都市化指標相互の相関が非常に高いことが確認された(表2-7)。そのため、複数の都市化指標を用いた重回帰分析による気温との関係の検討は多重共線性の問題により適切な結果が得られなかった。(詳細は参考資料2-4参照)

そこで、都市化による温度上昇分の推定は、表2-7において最も相関の高い人工被覆率により都市化指標を代表させ、日平均気温との単回帰分析により行うことを基本とした。ここで、図2-4及び図2-5に示すように人工被覆率が増加すると、天空率が減少し、人工排熱が増加するという関係が成立している。人工被覆率の変化と天空率の変化や人工排熱の変化が相互に連動するため、人工被覆率は都市形態や人工排熱の相互変化も加味された都市化代表指標であるといえる。

表2-7 気象観測点(アメダス・環境省観測点)周辺の都市化指標と日平均気温の相関関係

<首都圏(アメダス5km圏)>

	気温	人工被覆率	天空率	人工排熱
気温	1			
人工被覆率	0.812	1		
天空率	-0.727	-0.942	1	
人工排熱	0.715	0.930	-0.850	1

<中部圏(アメダス・環境省観測点5km圏)>

	気温	人工被覆率	天空率
気温	1		
人工被覆率	0.728	1	
天空率	-0.519	-0.943	1

<近畿圏(アメダス・環境省観測点5km圏)>

	気温	人工被覆率	天空率
気温	1		
人工被覆率	0.890	1	
天空率	-0.882	-0.994	1

気象観測点周辺の人工被覆率の算出距離毎に人工被覆率と日平均気温との関係について単回帰分析を行った結果、首都圏、近畿圏、中部圏のいずれも5km圏において、決定係数 R^2 が最も高く、P-値(回帰係数が0である確率)が最も小さいため、概ね5km圏で人工被覆率と日平均気温の関係が見られることを確認した(表2-8(a))。そこで、5km圏における人工被覆率と日平均気温、日最高気温、22~24時気温の関係について検討したところ、図2-6~図2-8に示す関係が得られた。

一方、首都圏において同様に人工排熱フラックスと日平均気温との関係について単回帰分析を行った結果、10km圏の相関が最も高かった(表2-8(b))。人工排熱フラックスと日平均気温、日最高気温、22~24時気温の関係を図2-9に示す。

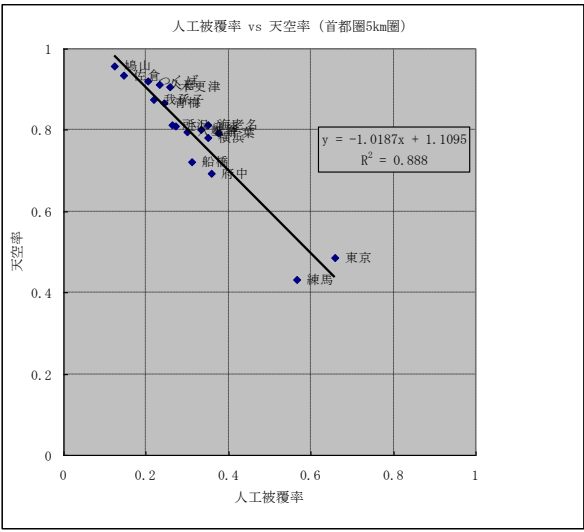
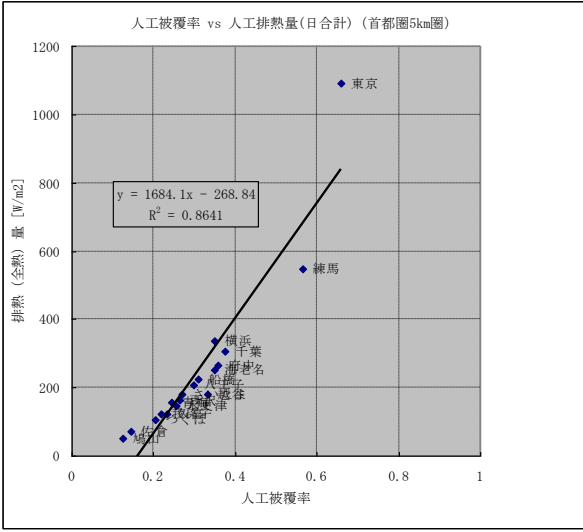


図 2-4 人工被覆率と他の都市化指標 (人工排熱及び天空率) の関係 (首都圏)

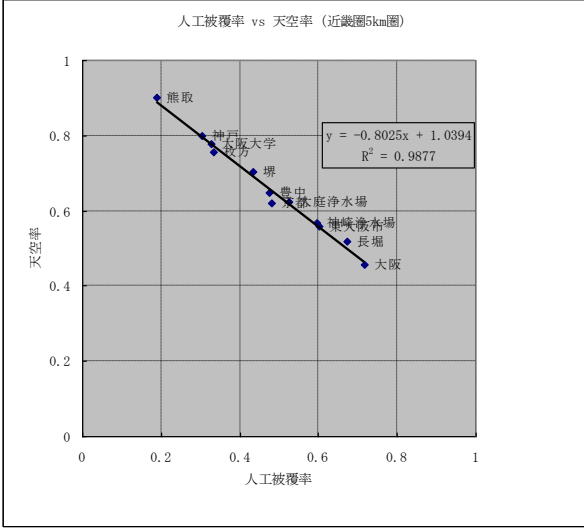
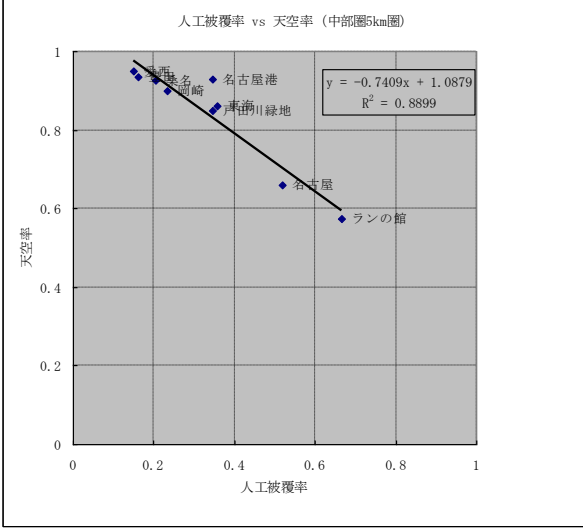


図 2-5 人工被覆率と天空率の関係 (中部圏及び近畿圏)

表 2-8 気象観測点からの距離帯別の都市化指標と日平均気温の単回帰分析結果

(a) 人工被覆率

<首都圏>

距離帯	相関 R	決定 R2	標準誤差	観測数	係数	係数の標準誤差	t	P-値	切片
1km	0.609	0.371	0.434	18	1.834	0.597	3.070	0.00732	25.026
3km	0.744	0.553	0.366	18	2.546	0.572	4.452	0.00040	24.790
5km	0.812	0.659	0.320	18	3.268	0.588	5.556	0.00004	24.607
7km	0.811	0.657	0.320	18	3.424	0.619	5.535	0.00005	24.612
10km	0.788	0.621	0.337	18	3.590	0.701	5.118	0.00010	24.632

<中部圏>

距離帯	相関 R	決定 R2	標準誤差	観測数	係数	係数の標準誤差	t	P-値	切片
1km	0.540	0.292	0.556	9	1.725	1.017	1.697	0.13344	26.268
3km	0.702	0.493	0.470	9	2.441	0.936	2.609	0.03498	26.035
5km	0.728	0.530	0.453	9	2.622	0.934	2.808	0.02622	26.013
7km	0.719	0.517	0.459	9	2.803	1.024	2.737	0.02906	26.019
10km	0.717	0.514	0.460	9	3.089	1.135	2.721	0.02974	25.991

<近畿圏>

距離帯	相関 R	決定 R2	標準誤差	観測数	係数	係数の標準誤差	t	P-値	切片
1km	0.761	0.579	0.486	12	2.959	0.797	3.710	0.00404	26.308
3km	0.885	0.784	0.348	12	3.682	0.611	6.023	0.00013	25.949
5km	0.890	0.792	0.342	12	3.946	0.640	6.163	0.00011	25.965
7km	0.866	0.750	0.375	12	3.904	0.713	5.474	0.00027	26.139
10km	0.829	0.687	0.419	12	3.841	0.819	4.689	0.00086	26.333

(b) 人工排熱フラックス

<首都圏>

距離帯	相関 R	決定 R2	標準誤差	観測数	係数	係数の標準誤差	t	P-値	切片
1km	0.637	0.406	0.422	18	0.001	0.000	3.307	0.00446	25.351
3km	0.657	0.432	0.412	18	0.001	0.000	3.489	0.00303	25.315
5km	0.715	0.512	0.382	18	0.002	0.000	4.094	0.00085	25.217
7km	0.742	0.550	0.367	18	0.002	0.000	4.426	0.00042	25.173
10km	0.756	0.572	0.358	18	0.002	0.001	4.620	0.00028	25.119

【パラメータの説明】

- ・重相関 R(相関 R) 重相関係数(相関係数) : 1に近いほどよく近似されたモデルである
- ・重決定 R2(決定 R2) 重決定係数(決定係数) : 説明変数による当てはまりの良さを表し、R の 2 乗に等しいエラーの平均的なばらつきの推定値
- ・標準誤差 回帰係数-説明変数 1 単位の増加に対する被説明変数への効果の推定値
- ・係数 係数の不確かさ
- ・係数の標準誤差 標準誤差で割ることで基準精度で評価した係数 (= 係数/係数の標準誤差)
- ・t 係数が 0 となる確率
- ・P-値

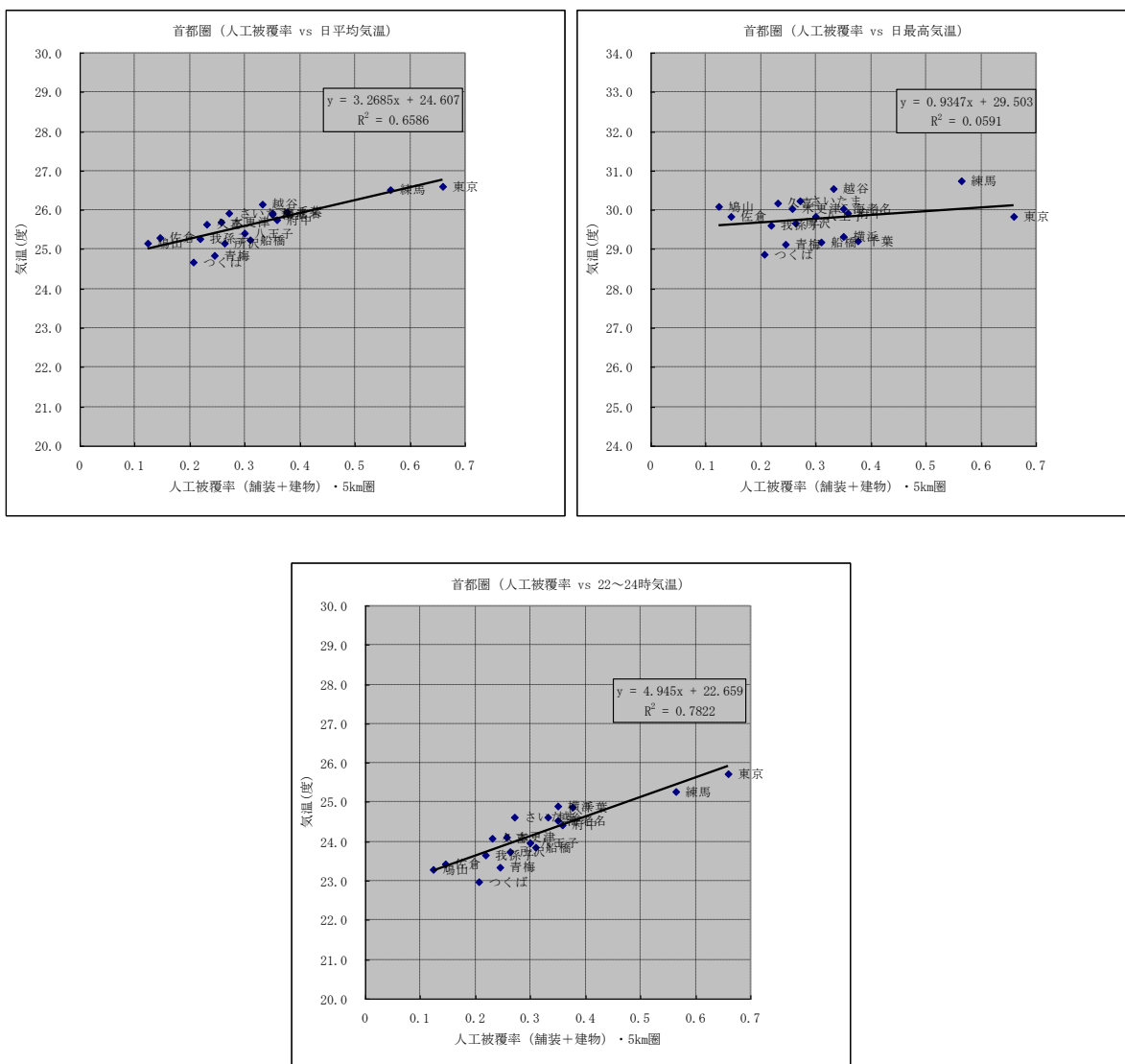


図 2-6 人工被覆率と日平均気温、日最高気温、22~24 時気温との関係
(首都圏 : 5km 圏)

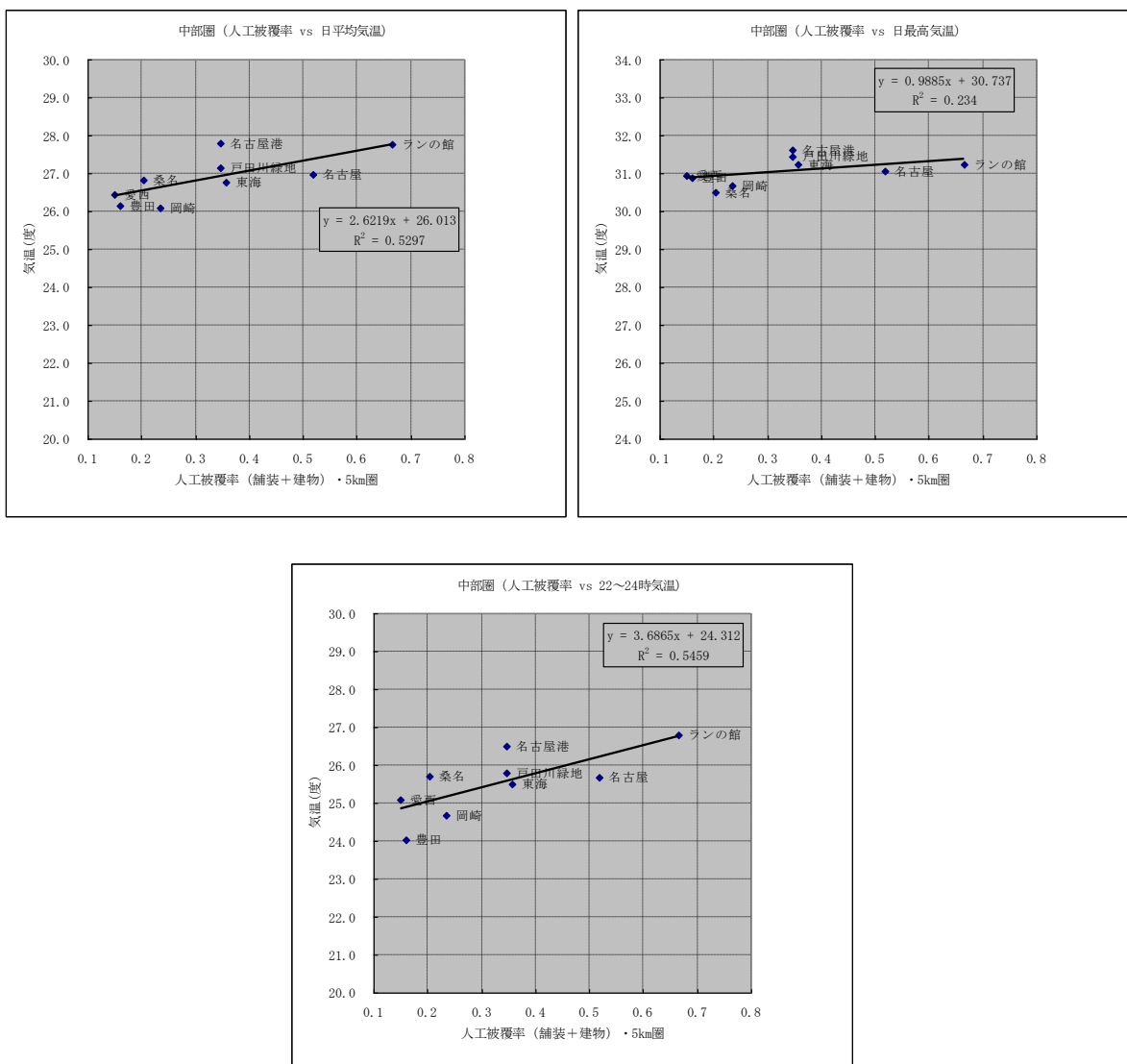


図 2-7 人工被覆率と日平均気温、日最高気温、22~24 時気温との関係
(中部圏 : 5km 圏)

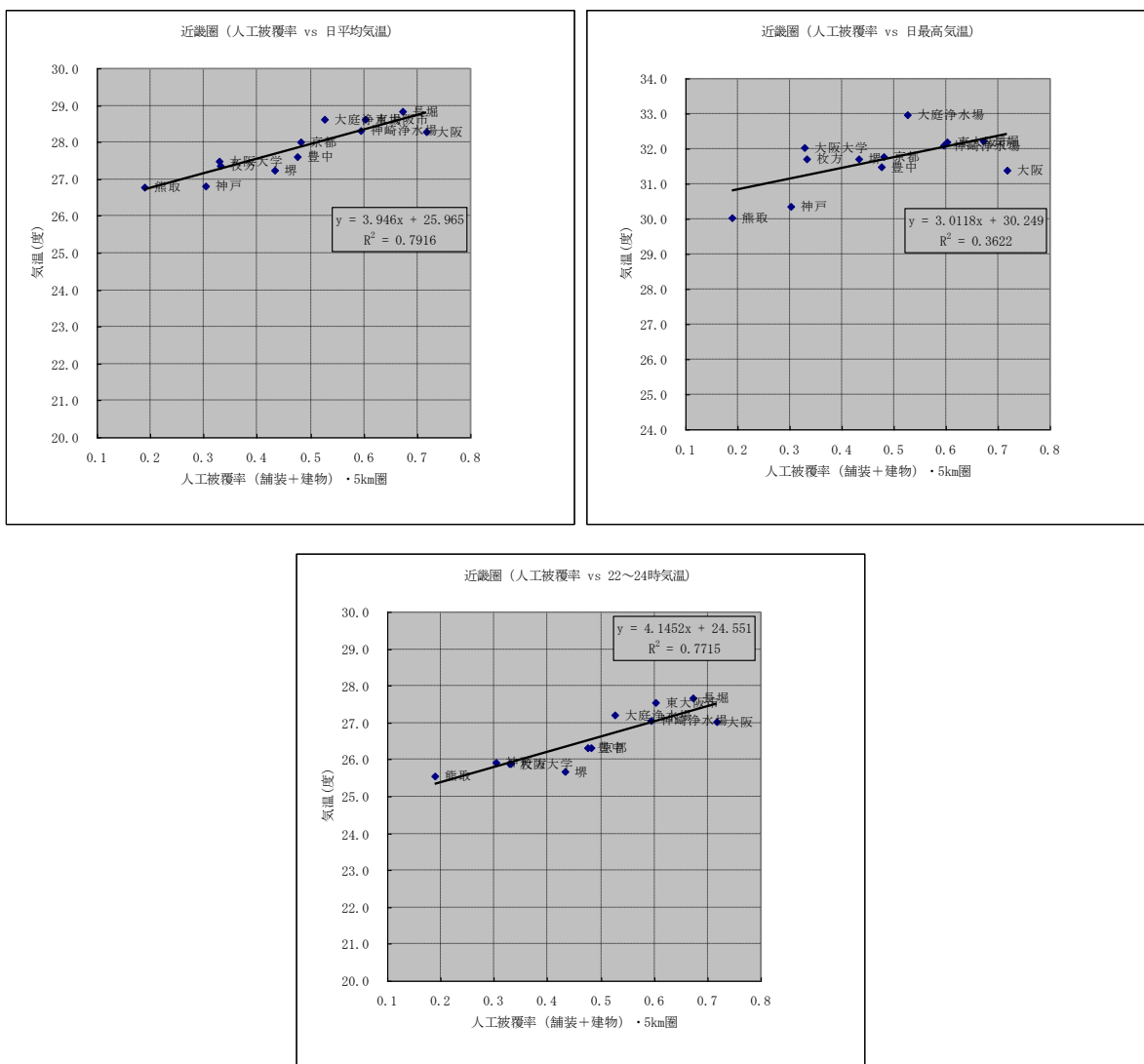


図 2-8 人工被覆率と日平均気温、日最高気温、22~24 時気温との関係
(近畿圏 : 5km 圏)

図2-6～図2-8より、5km圏における人工被覆率と日平均気温及び22～24時気温の間の相関係数はおよそ0.5以上であった。これらの回帰式の傾きを用いることにより、三大都市圏の各地域において都市化指標（人工被覆率）の変化に対する日平均気温や22～24時気温の変化が推定可能となる。各地域における都市化指標（人工被覆率）0.1の変化に対する都市化による気温変化 ΔT を表2-9に示す。

表2-9 都市化指標（人工被覆率）0.1の変化に対する都市化による気温変化 ΔT

気温区分	地域	回帰式の傾き	都市化による気温変化 ΔT (°C)	備考
日平均気温	首都圏	3.3	0.33	5km圏
	中部圏	2.6	0.26	5km圏
	近畿圏	3.9	0.39	5km圏
22～24時気温	首都圏	4.9	0.49	5km圏
	中部圏	3.7	0.37	5km圏
	近畿圏	4.1	0.41	5km圏

注) 都市化指標（人工被覆率）は、都市形態や人工排熱の相互変化も加味された都市化代表指標

一方、日最高気温については近畿圏を除いて人工被覆率との明瞭な関係は確認できなかった。夏季の日最高気温は、フェーン現象や内陸性の高温化等の広域の気候変動要因による影響が大きく、都市化による昇温の寄与分が見えにくいためと推察される。そのため、人工被覆率の変化から日最高気温の変化を直接推定することは難しかった。そこで本調査では、地点ごとの日平均気温と日最高気温の間に高い相関関係があることを踏まえ、地勢的な違いの影響を排除した上で日平均気温の温度上昇分を用いて日最高気温の温度上昇分を推定する方法を検討したが、都市化の影響により日最高気温と日平均気温が必ずしも同じ変化をする訳ではないことから、日平均気温と日最高気温の関係から、日最高気温の温度上昇分を推定することは適切ではないと考えた（詳細は参考資料2-5参照）。

また、首都圏においては人工排熱フラックスについても人工被覆率の場合と同様に、日平均気温及び22～24時気温との関係が見られ、日最高気温との関係は確認できなかった（図2-9）。

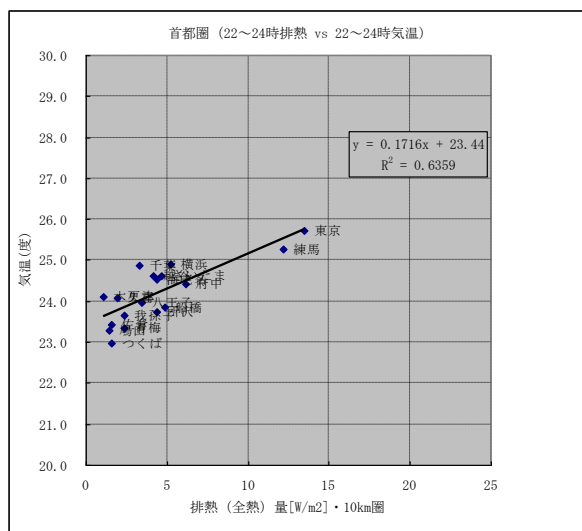
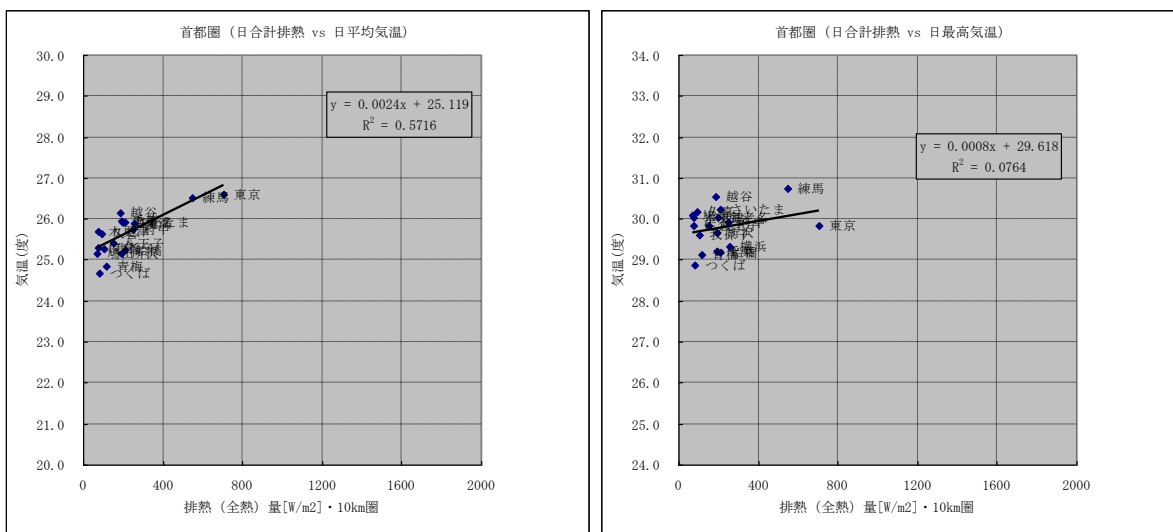


図 2-9 人工排熱フラックスと日平均気温、日最高気温、22～24 時気温との関係
(首都圏：10km 圏)

3) 都市化による温度上昇分の推定結果の留意点

三大都市圏の気象観測点周辺の都市化指標と気温の関係により検討した都市化による温度上昇分の推定結果については、以下の点に留意する必要がある。

- ・都市と郊外の空間的な気温差の把握において、海岸沿い等、地勢的特徴により他の観測点と気温の日変化の傾向が異なる地点は排除して分析したものの、地勢的な要因による誤差は残る可能性がある。
- ・都市化指標の変化による熱中症搬送数の影響量の推定においては、都市形態や人工排熱の相互変化も含んだ都市化代表指標である人工被覆率を用いている。そのため、人工被覆率の影響を評価すると言った場合、人工排熱や都市形態の変化を含む総合的な都市化の影響を評価していることに留意する必要がある。

2. 4 都市化による温度上昇分の推定のまとめ

本調査では、以下の5通りの手法により、都市化と温度上昇の関係を解析した。

- 気温の経年変化と人口の経年変化の関係性の検討
- DID データを用いた都市化指標と気温の関係の経年的傾向の把握
- 単回帰分析を用いた都市間比較による温度上昇分の推定（日平均気温、夜間気温）
- 重回帰分析を用いた都市間比較による温度上昇分の推定
- 都市間比較を行うための日最高気温の温度上昇分の推定

その結果、単回帰分析を用いた都市間比較による温度上昇分の推定により、多くの仮定は含まれているものの、人工被覆率を都市化の代表指標として、日平均気温及び夜間(22-24 時)気温との関係性を得ることができた。

次章では、本章で得られた都市化指標と日平均気温の関係性を活用し、ヒートアイランド対策を実施した場合の気温上昇低減量を見積もると共に、第1章で得られた熱中症と日平均気温の関係を用いて、人口当たり熱中症搬送数の減少量を見積もった。

