

衛星による都市化の進展に伴う気候環境 の変化に関する研究

——多摩川中流部における都市について——

1 9 9 5 年

山 下 脩 二

東京学芸大学地理学研究室

目 次

1. ま え が き	1
2. 都市環境把握の意義と研究の背景	2
3. ランドサットデータについて	3
4. 衛星画像の解析ソフト	5
4-1 ランドサットTM解析ソフトの使用法	5
4-2 リモート10とローチア	15
4-3 OM-SAT	16
4-4 テラマールシステム (Terra-Mar/JGL system)	16
5. グラウンドトゥースデータの取得	18
5-1 地表面温度分布	18
5-2 東京西郊、立川・府中・多摩市のヒートアイランド	28
6. ランドサットデータの画像処理	46
6-1 MSS : 83-5-18	46
6-2 TM : 92-3-31	47
6-3 TM : 1990年11月5日	48
6-4 TM : 1993年5月21日	48
6-5 TM : 1995年1月23日	49
6-6 夜間の熱映像	49
7. 都市化による環境変化の研究	67
7-1 立川市における気温分布と水蒸気圧の関係について	67
7-2 衛星画像を利用した都市化による環境の変化に関する研究	85
7-3 都市における河川・緑地が周辺の熱環境に及ぼす影響	128
8. 結 語	160
8-1 衛星データから温度の換算	160
8-2 地表面温度の重要性と今後の課題	161

研究組織

研究代表者	山下 脩二：東京学芸大学教育学部
研究分担者	関根 清：岐阜大学教育学部
	榊原 保志：目黒区立第九中学校（現信州大学教育学部）
	原 芳生：大正大学文学部

1. ま え が き

人類は利便性と快適性を追求するあまりに自然に対して様々な改変をしてきた。その最も典型的な例が都市である。都市は自然とはかけ離れた存在であり、人類が地球上に溢れんばかりに住みつき、文明を発達させることができたのは都市を創造したからにはかならない。しかし、現在までのところ都市化が進展すればするほど、生活環境はトータルとして悪化していると言わざるを得ない。そしてその最も身近なものの一つが気候環境である。都市の気候は、人類が都市を創造したために、周辺のルーラルな気候とは異なったものになっている。この都市に特有な気候を都市気候といい、最も顕著に、ほとんどすべての都市で出現するのが都心部が高温となるヒートアイランドである。人間活動の地球に対する究極的な影響は温暖化であり、その最も集約されたものが都市の温暖化であるヒートアイランド現象である。ヒートアイランド現象の解決がひいては地球の温暖化問題の解決になるといっても過言ではない。

一方、近年のリモートセンシング技術の発達は目覚ましいものがある。中でも地球観測は、人工衛星の主要な目的の一つになっており、今後の研究には欠かすことができないことはいうまでもない。現在までのところ、地表面状態の把握は、資源衛星として打ち上げられた、飛行高度が低く、気象衛星等と比べて解像度が良いランドサットデータにほとんどが頼っている。また、ランドサットデータはすでに10年以上の蓄積があり、地球環境の変化の研究にも利用されるようになった。

さて、都市の気候環境の研究については今さらいうまでもないことではあるが長い研究の歴史がある。多摩川の中流部に位置する都市についても観測的な研究がなされている。都市気候の研究はキャニオンレベルの現象から小・中スケールの現象に対応するものであり、従来のスケール毎に層別化して法則化しようとする考え方では捉え切れない複雑な現象である。そこで一つの有効な手段として考えられるのがリモートセンシングである。リモートセンシングの中では、都市のスケールから考えると航空機による観測が最も適しているが、継続的な観測をすることは非常に困難である。地表面を把握するためのリモートセンシングで最も一般的なものはランドサットによるものである。ランドサットは同時・広域性と反復性にその特徴がある。都市気候現象は現象の特異性よりも気候的な特性、つまり定常的に発生している現象であるので、衛星データの適用が可能になれば都市気候現象の研究は大いに進展することが期待できる。ランドサットについては現段階では解像度が若干良くないことと、地表面上では常に晴天のことは少なく、またランドサットの通過時刻が午前9時頃と、夜間の午後9時頃であるために、データが限られることである。それはともかくとしても、地球上空から広範囲を同時に観測できるということとは大きなメリットであることには変りない。

2. 都市環境把握の意義と研究の背景

都市気候が今日ほど様々な方面から注目されている時代はない。つまり、それだけ都市の気候環境が社会問題化しているということである。なぜなら、地球の将来を左右する地球環境問題もその元凶は都市であり、環境の問題が最も集約的に出現しているのも都市である。人類が益々都市に集まっている現在人間が人間らしく生きるためにどのような都市にすべきかは重大なテーマである。現在の都市気候、特にヒートアイランドの研究は、都市キャニオン内の熱・水循環、都市大気内の構造、衛星から捉えたヒートアイランドのように各スケールに対応して行われているが、さらに重要なことはこれらのスケール間の相互作用を明らかにすることである。そして、緑地や街路樹、河川、水体の役割を明らかにし、アメニティ都市はいかにあるべきかを構想することが21世紀に向けての役目である。

以上のような構想のもとに、従来の地上における観測と、人工衛星による上空からのデータを組み合わせ都市の気候環境を明らかにすることである。しかし、ランドサット等のリモートセンシング技術による都市環境の把握はあくまで相対的なもので、かつ温度情報の解像度は他の植生等の情報よりもよくないが、今後ますます衛星によるデータ収集が進むことは確実である。衛星の利点は広範囲に同時に均質な情報が得られること、一定間隔で観測がなされるので経年的な変化をみることができることである。欠点は、温度情報についていえば地表面温度であり、環境としての気温ではないことである。また、雲などがあれば地表面の情報が得られないことである。また、衛星データは当然相対的なものであり、より有効なデータとするために絶対的な情報に変換する必要がある。そのためには衛星情報に対応した地表面情報、つまりグラントルースを得ることが必要である。この必要性は初期の頃より主張されていたが、テストサイトにおける基準化だけでほとんど十分になされているとはいえない。温度環境（ヒートアイランド）についていえば、衛星観測－地表面温度－環境気温という変換が必要である。当然なことながら、都市域における（環境）気温そのものの研究は古くから行われているが、今後の衛星技術の進歩からだけでなく、都市環境の監視という面からも上述の変換過程を定量的に研究することは必須のことである。

3. ランドサットデータについて

ランドサットは、地球探査衛星として1972年7月23日にアメリカ航空宇宙局（NASA）によって打ち上げられたものである。現在は5号までが打ち上げられ、4号（1982年7月16日打ち上げ）まではすでに機能を停止している。ランドサット5号は1984年3月1日に打ち上げられたもので、その飛行高度は高度700kmである。ランドサット4、5号は地方平均太陽時、午前9時39分に赤道を北から南へ通過し、約99分で地球を一周する。1日に14+9/16周回り、16日間で全地球の観測を終了する。

ランドサット4、5号は観測機器として、MSS（Multi Spectral Scanner：多重分光走査放射計）とTM（Thematic Mapper）を搭載している。TMは4号から搭載されたもので、MSSに比べて、より高い解像度、より先鋭な波長分解能、幾何学的精度の向上および優れたラジオメトリック精度・分解能をもっている。つまり、より高度な品質のデータを得るために改良された多重スペクトル走査放射計である。

MSSは4つのスペクトルバンド、TMは7つのスペクトルバンドで同時に観測し、それぞれ256段階のデジタル値として記録される。TMの各バンドは次の波長帯域をもっている。

バンド1	0.45—0.52 μm	（ 青 ）
2	0.52—0.60	（ 緑 ）
3	0.63—0.69	（ 赤 ）
4	0.76—0.90	（近赤外）
5	1.55—1.75	（中間赤外）
6	10.40—12.50	（熱赤外）
7	2.08—2.35	（中間赤外）

MSSは4つの波長帯をもち、4（0.495—0.605 μm ）、5（0.603—0.698 μm ）、6（0.701—0.813 μm ）、7（0.808—1.023 μm ）である。大体において、TMのバンド2、3、4に相当する波長域を観測しているとみなせる。以下に各バンドの特徴を簡単に示す（坪根、1991）。

TMのバンド1は沿岸水の状態や落葉樹と針葉樹の判別に使われる。大気散乱の影響を最も受けやすく、日々の気象条件や季節の変化などに大きく左右される。バンド2は緑に見える可視域の波長帯で、水域と植物の区別はつかないが、新設の道路や鉄道などが識別できる。バンド3は赤に見える可視域の波長帯で、水陸の境界がはっきりしている。また、植物域は濃くはっきり見える。バンド4は近赤外域で陸と海の輝度差がはっきりしている。植物の調査に用いられる。街路網の判読が可能だが小水路との区別は難しい。高層建築物の集まっている地域が濃く見える。バンド5は中間赤外域で、植物や土壌の水分含有量の推定に用いる。雲と雪の判別、水陸の境界、小水路などの識別が可能である。空き地や草地は白く見える。高層建築物の集まっている地域は濃く見える。バンド6は遠赤外域の波長帯で、いわ

ゆる熱バンドと呼ばれているもので、地表面の熱分布が把握できる。バンド7は中間赤外域の波長帯である。地質における熱水変質地域の識別を目的としている。植物域と水域は区別がつかず同様に見える。空き地は白く、高層建築物の集まっている地域は濃く見える。

ランドサットから送られてくる画像データは、センサーの感度特性のばらつき等に起因するラジオメトリックな歪みに対する補正と衛星の軌道や姿勢の変動と地球の自転などに起因する幾何学的な歪みに対する補正を行った後、CCT (Computer Compatible Tape : 計算機適合テープ) に格納されている。TMデータの補正後の分解能は28.5m×28.5m (バンド6のみ114m×114m) である。ランドサットのデータは横185km、縦170kmの定められた画像にフレーミングされたシーンと呼ばれる単位で取り扱われている。MSSデータの分解能は57m×57mである。

ランドサットデータの利用には、上述の各バンド単独の特徴を利用する以外に、3つのバンドを選び、それぞれに赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の3色を割当て、各バンドのレベル値をR、G、Bの濃淡で表し、3枚の画像を重ね合わせるにより様々な特徴を表示することができる。これを合成カラー画像といい、よく使われるバンドの組合せは以下の通りである。

- (1) トウルカラー : バンド1に青色、バンド2に緑色、バンド3に赤を着色。
人間が目で見ている色に近い色で表示される。河川や海域の現象を観察するのに適している。道路や人工建造物の判別ができる。
- (2) フォールスカラー : バンド2に青色、バンド3に緑色、バンド4に赤色を着色。
活力のある植物ほど赤く見える。裸地や草地などは白く見え、住宅地が多くなると青色となり、密集している市街地は紺色が濃くなる。
- (3) ナチュラルカラー : バンド2に青色、バンド3は赤色、バンド4に緑色を割り当てたもので、自然の色に近く表示され、森林や草地は緑になる。陸域と海域の区別がはっきりしている。

以上のような画像表示の他に、いくつかのバンドのレベル値を他のバンドのレベル値と演算することによって、対象物をよりはっきりと抽出することができるなど、様々な方法がある。

4. 衛星画像の解析ソフト

榊原保志(目黒九中)

4-1 ランドサットTM解析ソフトの使用法

4-1-1 メニューの選択

衛星が撮りだした地表面の反射強度は1～256までの数値でフロッピーディスクにIBMフォーマットと呼ばれる形式で納められている。パソコンPC9801を利用して、このデータを読み、画像として出力するもっとも簡単な方法はパソコンを購入すると標準で添付されている NEC製のN88BASICを利用することである。それはこのBASICのフォーマットはIBMフォーマットと互換性があるという理由による。今回用いたソフトはRESTECのフロッピーディスクフォーマット説明書に記載されている。サンプルプログラム〈SLIC98〉を修正して、N88日本語BASICで作成した。

システムをAドライブにランドサットデータをBドライブに入れ、立ち上げると、ドライブの指定を聞いてきますので、ここでは「1」と入力します。ファイル選択メニューが出力されます。

4-1-2 各バンドにおける疑似カラー表示

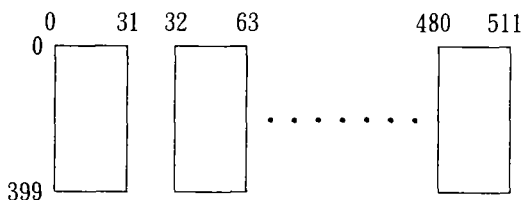
ここでFile〈PSEUDO.BAS〉を選択すると、レベルスライスする上限と下限の値の入力を求めてきます。各バンドのCCT値のヒストグラムから判断して、これらの値を決定します。

注) このプログラムは「パソコンによるリモートセンシングデータ解析」の中のプログラムです。

4-1-3 各バンドの値表示

File〈LOOKDABAS〉を選択すると、希望するバンド番号を聞いてきますので、数字を入力します。すると32ピクセルごとに出力されます。

File〈LOOKDA01.〉はその値を印刷するプログラムです。



4-1-4 NVI値カラー表示

ランドサットに搭載されている光学センサーTMは写真画像と異なり、可視領域から近赤外領域まで7つのバンドに分けて観測している。光学センサーで物質により分光反射率が異なることを利用して、植物を抽出する。植物はほかの物質と比べ可視(赤)域で太陽光を吸収して、近赤外域で強い反射を示す。そこで、近赤外(TMのバンド4)と可視(赤)域(バンド3)のバンド間で演算を行い、

その演算値を植生の質的あるいは量的な指標とすることで、その指数から1ピクセル内の緑被率*1を推定できる。たとえば、McBratney and Moore (1985)は潜在ピクセル内の緑地割合の推定方法を報告し、さらに、本條・高倉 (1987) は、ファジークラスタリングの分類手法を応用して、緑地の推定を行い、それとグランドトルースとの比較により衛星データの有用性を示した。

植生指数はバンド3とバンド4の比演算(バンド3/バンド4)で求める場合もあるが(樋口、1991)、植生指数は次に示すNVI (Normalized Vegetation Index) と呼ばれる指数が一般に用いられている。本研究でもこれを用いた。

$$NVI = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \times 100 + 100 \quad (1)$$

つまり、TMのバンド3とバンド4を各ピクセル毎に読み込み、上記の演算を行うことにより、植生の分布を推定できる。本ソフトの使用法は次の通りである。

- (1) メインメニューで〈NVI11.BAS〉で選ぶ。
- (2) 各段階間にわけて表示するか指定する。
- (3) 各段階間の境界値をデータ値の低い順に指定する。
(100を中心に最初に10ステップで指定してみて、値を変えて何度か繰り返す。)
- (4) すると画面にNVIのカラー画像が表示される。
- (5) 印刷する場合は〈NVI12.BAS〉を選択し、同様な手順で境界値を決めてやると、〈LOOKDA01〉と同じ形式で印刷されます。

*1 緑被とは樹木や草本で覆われている部分で、緑被率とは単位区域内の緑被の占める割合をいう(田代、1988)。

4-1-5 バンド6の温度への換算

ランドサットのTMのデータではバンド6が地表や海面の温度分布を調査するのに利用できる。レベル値の数値は先に述べたように温度ではなく、0-255の無次元値である。この値を温度に換算する方法として、宇宙開発事業団地球観測センター(1992)はグランドトルースに基づき次のような式を提案している。

$$(aY + b) Y + c = dX \quad (2)$$

ただし、Yは表面温度(K)、Xはデジタル値、 $a = 5.1292/100000$ 、 $b = -0.014651$ 、 $c = 1.47852$ 、 $d = -1.40654/255$ である。この式によるとランドサットTMバンド6では高くても70℃ぐらいまでしか読みとれないことがわかる。また、温度分解能は約0.4℃である。

Digital= 80	T=-4.217834	Digital= 146	T= 27.29214	Digital= 212	T= 52.46674
Digital= 81	T=-3.664337	Digital= 147	T= 27.7103	Digital= 213	T= 52.81653
Digital= 82	T=-3.113983	Digital= 148	T= 28.12708	Digital= 214	T= 53.16553
Digital= 83	T=-2.566681	Digital= 149	T= 28.54254	Digital= 215	T= 53.5137
Digital= 84	T=-2.0224	Digital= 150	T= 28.9567	Digital= 216	T= 53.86108
Digital= 85	T=-1.48114	Digital= 151	T= 29.36948	Digital= 217	T= 54.20773
Digital= 86	T=-.942749	Digital= 152	T= 29.78104	Digital= 218	T= 54.55359
Digital= 87	T=-.4072571	Digital= 153	T= 30.19122	Digital= 219	T= 54.89865
Digital= 88	T= .1253967	Digital= 154	T= 30.60016	Digital= 220	T= 55.24298
Digital= 89	T= .6552429	Digital= 155	T= 31.00784	Digital= 221	T= 55.58658
Digital= 90	T= 1.182373	Digital= 156	T= 31.41428	Digital= 222	T= 55.92941
Digital= 91	T= 1.706787	Digital= 157	T= 31.81946	Digital= 223	T= 56.27145
Digital= 92	T= 2.228546	Digital= 158	T= 32.22342	Digital= 224	T= 56.61279
Digital= 93	T= 2.747681	Digital= 159	T= 32.62616	Digital= 225	T= 56.95337
Digital= 94	T= 3.264221	Digital= 160	T= 33.02765	Digital= 226	T= 57.29324
Digital= 95	T= 3.778259	Digital= 161	T= 33.42798	Digital= 227	T= 57.63235
Digital= 96	T= 4.289734	Digital= 162	T= 33.82715	Digital= 228	T= 57.97079
Digital= 97	T= 4.798767	Digital= 163	T= 34.2251	Digital= 229	T= 58.30844
Digital= 98	T= 5.305359	Digital= 164	T= 34.62189	Digital= 230	T= 58.64545
Digital= 99	T= 5.80957	Digital= 165	T= 35.01752	Digital= 231	T= 58.98172
Digital= 100	T= 6.311401	Digital= 166	T= 35.41199	Digital= 232	T= 59.31726
Digital= 101	T= 6.810883	Digital= 167	T= 35.80536	Digital= 233	T= 59.65216
Digital= 102	T= 7.308075	Digital= 168	T= 36.19757	Digital= 234	T= 59.98633
Digital= 103	T= 7.802979	Digital= 169	T= 36.58868	Digital= 235	T= 60.31976
Digital= 104	T= 8.295685	Digital= 170	T= 36.97867	Digital= 236	T= 60.65256
Digital= 105	T= 8.786163	Digital= 171	T= 37.36761	Digital= 237	T= 60.98468
Digital= 106	T= 9.274445	Digital= 172	T= 37.7554	Digital= 238	T= 61.3161
Digital= 107	T= 9.76059	Digital= 173	T= 38.14212	Digital= 239	T= 61.64685
Digital= 108	T= 10.2446	Digital= 174	T= 38.52777	Digital= 240	T= 61.97693
Digital= 109	T= 10.72653	Digital= 175	T= 38.91238	Digital= 241	T= 62.3063
Digital= 110	T= 11.20639	Digital= 176	T= 39.2959	Digital= 242	T= 62.63507
Digital= 111	T= 11.6842	Digital= 177	T= 39.67844	Digital= 243	T= 62.96317
Digital= 112	T= 12.16	Digital= 178	T= 40.05988	Digital= 244	T= 63.29059
Digital= 113	T= 12.63382	Digital= 179	T= 40.44031	Digital= 245	T= 63.61737
Digital= 114	T= 13.10565	Digital= 180	T= 40.81973	Digital= 246	T= 63.94351
Digital= 115	T= 13.57556	Digital= 181	T= 41.19812	Digital= 247	T= 64.26901
Digital= 116	T= 14.04352	Digital= 182	T= 41.5755	Digital= 248	T= 64.59384
Digital= 117	T= 14.50961	Digital= 183	T= 41.95193	Digital= 249	T= 64.91809
Digital= 118	T= 14.97382	Digital= 184	T= 42.32733	Digital= 250	T= 65.2417
Digital= 119	T= 15.43619	Digital= 185	T= 42.70178	Digital= 251	T= 65.56464
Digital= 120	T= 15.89673	Digital= 186	T= 43.07523	Digital= 252	T= 65.88696
Digital= 121	T= 16.35547	Digital= 187	T= 43.44775	Digital= 253	T= 66.20868
Digital= 122	T= 16.81241	Digital= 188	T= 43.81927	Digital= 254	T= 66.52975
Digital= 123	T= 17.26758	Digital= 189	T= 44.18988	Digital= 255	T= 66.85028
Digital= 124	T= 17.72104	Digital= 190	T= 44.55951		
Digital= 125	T= 18.17276	Digital= 191	T= 44.92822		
Digital= 126	T= 18.62277	Digital= 192	T= 45.29602		
Digital= 127	T= 19.07108	Digital= 193	T= 45.66284		
Digital= 128	T= 19.51773	Digital= 194	T= 46.02884		
Digital= 129	T= 19.96274	Digital= 195	T= 46.39386		
Digital= 130	T= 20.40613	Digital= 196	T= 46.758		
Digital= 131	T= 20.8479	Digital= 197	T= 47.12122		
Digital= 132	T= 21.28806	Digital= 198	T= 47.48358		
Digital= 133	T= 21.72668	Digital= 199	T= 47.84506		
Digital= 134	T= 22.1637	Digital= 200	T= 48.20563		
Digital= 135	T= 22.59921	Digital= 201	T= 48.56537		
Digital= 136	T= 23.03317	Digital= 202	T= 48.92422		
Digital= 137	T= 23.46561	Digital= 203	T= 49.28226		
Digital= 138	T= 23.89655	Digital= 204	T= 49.6394		
Digital= 139	T= 24.32602	Digital= 205	T= 49.99573		
Digital= 140	T= 24.75403	Digital= 206	T= 50.3512		
Digital= 141	T= 25.1806	Digital= 207	T= 50.70584		
Digital= 142	T= 25.60571	Digital= 208	T= 51.05963		
Digital= 143	T= 26.02942	Digital= 209	T= 51.41266		
Digital= 144	T= 26.45172	Digital= 210	T= 51.76483		
Digital= 145	T= 26.87262	Digital= 211	T= 52.11621		

```

10 '
20 ' slic 98 ver.3
30 ' LANDSAT TM NVI
40 '1993 3. 3
50 '
60 '
70 'LOOK NVI VALUE
80 'save"NVI11.BAS",a
90 '
100 DIM LEV3(256),LEV4(256)
110 FIELD #0,128 AS A$, 128 AS B$
120 I=0:J=0:K=0:Y=0
130 '
140 DEF SEG=VARPTR(A$,1)
150 AD=PEEK(VARPTR(A$)+3)*256+PEEK(VARPTR(A$)+2)
160 I=PEEK(VARPTR(A$)+1):IF I=0 THEN 140
170 DEF SEG=&H60
180 DIM C(8),TH(8,1),TB(255)
190 SCREEN 3,0,0,1:CONSOLE 0,25,0,1:WIDTH 80,25
200 FOR I=0 TO 7:COLOR=(I,I):NEXT
210 '
220 CLS 3:COLOR 7
230 PRINT TAB(10);"■■■■■■■■ LANDSAT TM NVI          ■■■■■■■■"
240 LOCATE 0,3
250 'INPUT "DRINE No. ? >",DRV
260 DRV=2
270 '
280 ' ■■ HEDDER CHECK ■■
290 '
300 DUM$=DSKI$(DRV,0,1,1)
310 IF MID$(A$,69,6)="RESTEC" THEN 340
320 BEEP :PRINT " THIS DISK IS NOT LANDSAT/MOS FLOPPY DISK !!!":GOTO 240
330 '
340 IF MID$(B$,12,1)="M" THEN SAT$="LANDSAT":SENSOR$="MSS"
350 IF MID$(B$,12,1)="T" THEN SAT$="LANDSAT":SENSOR$="TM"
360 IF MID$(B$,12,1)="E" THEN SAT$="MOS":SENSOR$="MESSR"
370 IF MID$(B$,12,1)="V" THEN SAT$="MOS":SENSOR$="VTIR"
380 '
390 FMT$=MID$(A$,34,3)
400 NCH=VAL(MID$(A$,37,4))
410 BNDTBL$=MID$(B$,14,7)
420 NVOL=VAL(MID$(B$,89,4)):IF NVOL=0 THEN NVOL=1
430 VOL=VAL(MID$(B$,93,4)):IF VOL=0 THEN VOL=1
440 '
450 LOCATE 0,6
460 PRINT "----- MOS-1 /LANDSAT FLOPPY DISK -----"
470 PRINT "-----          HEADER CONTENTS          -----"
480 PRINT
490 PRINT SAT$;"-";MID$(B$,63,1);" ";SENSOR$;"          VOL";VOL;"/";NVOL
500 PRINT
510 PRINT "LINE(ST,EN,INT)    ....";MID$(A$,1,4);" ";MID$(A$,5,8)
520 PRINT "LINES    ....";MID$(A$,13,4)
530 PRINT "PIXEL (ST,EN,INT)    ....";MID$(A$,17,4);" ";MID$(A$,21,8)
540 PRINT "PIXELS    ....";MID$(A$,29,4)
550 PRINT "FORMAT    ....";FMT$
560 PRINT
570 PRINT MID$(A$,89)+LEFT$(B$,11):PRINT MID$(B$,12,65)
580 '
590 LOCATE 0,22:COLOR 6
600 'INPUT "DISPLAY BAND NO. ? >" ,Y$
610 Y3$="3":Y4$="4"
620 CH3=INSTR(1,BNDTBL$,Y3$)
630 CH4=INSTR(1,BNDTBL$,Y4$)
640 'IF CH=0 OR Y$="" THEN BEEP:GOTO 580
650 'GOTO 1000
660 '■■■ THRESHOLD INPUT

```

```

670 '
680 PRINT:PRINT:COLOR 6
690 INPUT "NUMBER OF RANK ? (2-8) >",NR
700 IF NR<2 OR NR>8 THEN BEEP:GOTO 690
710 '
720 PRINT :COLOR 7
730 FOR I=1 TO NR-1
740     PRINT "Threshold level of RANK(0-255)";I;:INPUT " >",K
750     IF K<TH(I-1,1) OR K<0 OR K>255 THEN BEEP:GOTO 740
760     TH(I,1)=K
770 NEXT
780 '
790 PRINT :PRINT
800 PRINT "[ ]=0 ";
810 FOR I=0 TO 7
820 COLOR I:PRINT" ■■■";:COLOR 7 :PRINT "=";I;
830 NEXT
840 '
850 PRINT :PRINT
860 FOR I=1 TO NR
870     PRINT "COLOR of RANK(0-7)";I;:INPUT " >",C(I)
880     IF C(I)<0 OR C(I)>7 THEN BEEP:GOTO 870
890 NEXT
900 '
910 FOR I=2 TO NR
920     TH(I,0)=TH(I-1,1)+1
930 NEXT
940 TH(1,0)=0:TH(NR,1)=255
950 FOR I=1 TO NR
960     FOR K=TH(I,0) TO TH(I,1):TB(K)=C(I):NEXT K
970 NEXT I
980 'FROM 620
990 '■■■ start point calculation ■■■
1000 '
1010 YS=0 :YE=399
1020 V=VOL
1030 IF SENSOR$="VTIR" THEN 1230
1040 IF FMAT$="BSQ" THEN 1110
1050 '
1060 TRK=1:SID=0:SCT=CH*2+1
1070 IF NVOL=2 THEN YE=199
1080 IF VOL<>1 THEN VOL=1:GOSUB 2020
1090 GOTO 1350
1100 '
1110 SCT=3
1120 'ON CH GOTO 1100,1110,1120,1130,1140,1150,1160
1130 'TRK=1:SID=0:VOL=1: GOTO 1170
1140 'TRK=16:SID=1:VOL=1:GOTO 1170
1150 TRK3=32:SID3=0:VOL=1
1160 TRK4=47 :SID4=1 :VOL=1 :GOTO 1200
1170 'TRK =1 :SID3=0:VOL=2:GOTO 1170
1180 'TRK =16:SID3=1:VOL=2:GOTO 1170
1190 'TRK=32:SID=0:VOL=2
1200 IF V<> VOL THEN GOSUB 2020
1210 GOTO 1350
1220 '
1230 PRINT
1240 INPUT "Display start LINE no. ? (1-801) >",L
1250 IF L<1 OR L>801 THEN BEEP:GOTO 1230
1260 IF FMAT$="BSQ" THEN VOL=CH:J=L*2+1:GOTO 1290
1270 VOL=(L-1)¥400+1:L=L-(VOL-1)*400:YE=400-L
1280 J=(L-1)*NCH*2+CH*2+1
1290 TRK=(J-1)¥52+1:J=J MOD 52
1300 IF J>26 THEN SID=1:SCT=J-26 ELSE SID=0 :SCT=J
1310 IF VOL<>V THEN GOSUB 2020
1320 '

```

```

1330 '■■■ image display ■■■
1340 '
1350 CLS 1:COLOR 7
1360 PRINT " ■■ TM NVI ■■ "
1370 'PRINT "(TM4-TM3)/(TM4+TM3)*100+100 "
1380 PRINT SAT$;"-";MID$(B$,63,1);" ";SENSOR$
1390 PRINT "SCENE...";MID$(A$,115,8)
1400 PRINT "DATA...";MID$(A$,89,7)
1410 'PRINT "BAND...";MID$(BNDTBL$,CH,1)
1420 PRINT
1430 PRINT
1440 PRINT "*MONITOR *":PRINT
1442 LOCATE 0,11 :PRINT "[LEGEND]"
1450 FOR I=1 TO NR
1460 LOCATE 0,11+I:COLOR C(I):PRINT "■■■ ";:COLOR 7
1470 PRINT USING"### ~###";TH(I,0),TH(I,1)
1480 NEXT
1490 '
1500 S=NCH*2
1510 FOR Y=YS TO YE
1520   DUM$=DSKI$(DRV,SID3,TRK3,SCT)
1530   FOR I=0 TO 255
1540     LEV3(I)=PEEK(AD+I)
1545   'STOP
1550   NEXT I
1560   DUM$=DSKI$(DRV,SID4,TRK4,SCT)
1570   FOR I=0 TO 255
1580     LEV4(I)=PEEK(AD+I)
1590   NEXT I
1600   FOR I=0 TO 255
1610     NVIL= (LEV4(I)-LEV3(I))/(LEV4(I)+LEV3(I))*100+100
1620     LOCATE 0,5:PRINT "LINE=";Y
1630     LOCATE 0,6:PRINT "PIKC=";I
1640     LOCATE 0,7 :PRINT "NVI=" ;NVIL
1641   ' LOCATE 0,11:PRINT "SCT=" ;SCT
1642   ' LOCATE 0,12:PRINT "TRK4=" ;TRK4
1644     PSET(I+128,Y),TB(NVIL)
1646   'NEXT I
1650   NEXT I
1660   DUM$=DSKI$(DRV,SID3,TRK3,SCT+1)
1670   FOR I=0 TO 255
1680     LEV3(I)=PEEK(AD+I)
1690   NEXT I
1700   DUM$=DSKI$(DRV,SID4,TRK4,SCT+1)
1710   FOR I=0 TO 255
1720     LEV4(I)=PEEK(AD+I)
1730   NEXT I
1740   FOR I=0 TO 255
1750     NVIR= (LEV4(I)-LEV3(I))/(LEV4(I)+LEV3(I))*100+100
1760   ' LOCATE 0,11:PRINT "LINE=";Y
1770     LOCATE 0,8 :PRINT "PIKC=";I+256
1780     LOCATE 0,9 :PRINT "NVI=" ;NVIR
1782   ' LOCATE 0,15:PRINT "SCT=" ;SCT
1783   ' LOCATE 0,16:PRINT "TRK4=" ;TRK4
1784     PSET(I+384,Y),TB(NVIR)
1790   NEXT I
1800     SCT=SCT+S:IF SCT < 26 THEN 1820
1810 SCT=SCT-26
1812 IF SID3=0 THEN SID3=1 ELSE SID3=0:TRK3=TRK3+1
1814 IF SID4=0 THEN SID4=1 ELSE SID4=0:TRK4=TRK4+1
1820 NEXT Y
1830 '
1840 IF YE=399 THEN 1910
1850 VOL=VOL+1:GOSUB 2020
1860 YS=YE+1:YE=399
1870 TRK=1:SID=0:SCT=CH*2+1:GOTO 1510

```

```

1880 '
1890 '■■      END
1900 '
1910 BEEP:COLOR 7
1920 LOCATE 0,21:PRINT "[R]:RESTART"
1930 LOCATE 0,22:PRINT "[X]:EXIT  "
1940 Y%=INPUT$(1)
1950 IF Y%="R" THEN 220
1960 IF Y%<>"X" THEN 1900
1970 LOCATE 0,21
1980 RUN "FILE04.BAS"
1990 '
2000 '■■      Volume change      ■■
2010 '
2020 PRINT :COLOR 6
2030 PRINT "Set Volume";VOL;"    on Drive";DRV;" ,and push [RETURN] key";
2040 BEEP:INPUT " ",Y$
2050 PRINT CHR$(30);SPACE$(75)
2060 DUM%=DSKI$(DRV,0,1,1)
2070 IF VAL(MID$(B$,93,4))<> VOL THEN 2020
2080 RETURN

```

```

10 'PSEUDO COLOR DISPLAY
20 'N88BASIC
30 'save "PSEUDO.BAS",A
50 '
60 '
70 SCREEN 3,0,0,1: CONSOLE 0,25,0,1 : CLS 3
80 DEFINT A-Z
90 FIELD #0,128 AS A$,128 AS B$
100 S=VARPTR(#0,1) : DEF SEG=S
110 P=VARPTR(#0) : ADR=PEEK(P+32)+256*PEEK(P+33)
120 DIM T(255),C(7)
130 GOSUB *COLSET
140 '
150 '
160 '
170 INPUT "Drive No.=";DR
180 ST=52+2
190 INPUT "Display ch (0-3)=";CH
200 GOSUB *TABSET
210 '
220 CLS
230 FOR L=0 TO 399
240 'LN=ST+L*8+(CH*2-1) 'FOR BIL
242 LN=ST+L*2+CH*2*402+1 'FOR BSQ
244 LOCATE 70,0:PRINT "LN=";LN
250 GOSUB *DISKREAD
260 '
270 FOR P=0 TO 255
280 D=PEEK(ADR+P)
290 PSET (P,L),T(D)
300 NEXT P
360 '
370 GOSUB *DISKREAD2
380 '
390 FOR P=0 TO 255
400 D=PEEK(ADR+P)
410 PSET(P+256,L),T(D)
420 NEXT P
430 '
440 NEXT L
450 END
460 '
470 *COLSET
480 RESTORE *COLCODE
490 FOR I=0 TO 7
500 READ CL
510 C(I)=CL
520 NEXT I
530 RETURN
540 '
610 *COLCODE
620 DATA 0,1,5,4,6,2,3,7
630 ' K B C G Y R P W
640 '
650 *TABSET
660 INPUT "Low CCT level(0-254) =";LL: IF LL<0 OR LL>255 THEN 660
670 INPUT "High CCT level =";HH: IF HH<LL OR HH>255 THEN 670
680 FOR I=0 TO LL : T(I)=C(0) :NEXT I
690 FOR I=HH TO 255: T(I)=C(7):NEXT I
700 FOR K=0 TO 7
710 L1=LL+((HH-LL+1)/8)*K
720 H1=LL+((HH-LL+1)/8)*(K+1)
730 FOR I=L1 TO H1 : T(I)=C(K) :NEXT I
740 NEXT K
750 FOR I=1 TO 7: COLOR=(I,I):NEXT
760 RETURN

```

```
770 '
780 *DISKREAD
790 TR=(LN-1)¥52
800 SE=((LN-1) MOD 26)+1
810 SU=((LN-1)¥26) MOD 2
820 DUMMY$=DSKI$(DR, SU, TR, SE)
822 LOCATE 70,1:PRINT "TRACK=";TR
824 LOCATE 70,2:PRINT "SECTOR";SE
830 RETURN
840 *DISKREAD2
850 DUMMY$=DSKI$(DR, SU, TR, SE+1)
860 RETURN
```

PS= 0

**0*¥92*¥96¥104*¥98*¥94*¥91*¥89*¥92*¥89*¥91*¥90¥102¥100*¥88*¥91*¥86*¥95*¥96*¥88*¥90*¥91*¥91*¥88*¥80*¥86*¥92*¥89*¥91*¥87*¥85*¥84*¥89
**1*¥87*¥96*¥98*¥96¥100¥105¥105*¥96*¥87*¥94*¥93*¥90*¥96*¥96*¥98¥108¥104*¥90*¥82*¥88*¥89*¥86*¥85*¥87*¥88*¥92*¥93*¥88*¥88*¥88*¥84*¥86
**2*¥86*¥88*¥94*¥98*¥89¥100¥100*¥94*¥92*¥96*¥94*¥85*¥90*¥98*¥98*¥92*¥94*¥96*¥86*¥86*¥87*¥86*¥89*¥88*¥88*¥88*¥94*¥92*¥86*¥84*¥88*¥96
**3*¥92*¥89*¥96¥104*¥94*¥92*¥88*¥88*¥96*¥94*¥92*¥86*¥89*¥93*¥90*¥87*¥89*¥89*¥86*¥87*¥89*¥89*¥83*¥84*¥92*¥96*¥92*¥85*¥95*¥97¥100
**4*¥90*¥92*¥92*¥95*¥94*¥90*¥88*¥88*¥92*¥91*¥88*¥86*¥89*¥91*¥87*¥86*¥89*¥90*¥86*¥88*¥91*¥88*¥87*¥88*¥84*¥90*¥96*¥94*¥91*¥95*¥93*¥94
**5*¥92*¥94*¥92*¥88*¥90*¥90*¥90*¥94*¥92*¥84*¥88*¥84*¥87*¥88*¥88*¥89*¥88*¥92*¥88*¥92*¥94*¥92*¥86*¥87*¥92*¥92*¥86*¥94*¥91*¥90*¥88*¥89
**6*¥89*¥94*¥91*¥89*¥92*¥94*¥91*¥92*¥92*¥86*¥88*¥91*¥86*¥89*¥89*¥91*¥84*¥88*¥88*¥89*¥92*¥92*¥84*¥84*¥94*¥94*¥89*¥89*¥90*¥88*¥89
**7*¥84*¥89*¥94*¥91*¥91*¥96*¥91*¥86*¥92*¥90*¥88*¥90*¥88*¥88*¥89*¥86*¥85*¥86*¥88*¥91*¥89*¥88*¥86*¥89*¥90*¥90*¥88*¥89*¥91*¥90*¥90*¥90
**8*¥91*¥89*¥92*¥94*¥92*¥90*¥89*¥86*¥87*¥88*¥84*¥88*¥91*¥89*¥87*¥86*¥88*¥87*¥88*¥91*¥92*¥85*¥84*¥89*¥90*¥94*¥90*¥89*¥92*¥86*¥91*¥91
**9*¥102*¥94*¥89*¥95*¥94*¥85*¥88*¥89*¥86*¥87*¥86*¥92*¥94*¥93*¥89*¥89*¥86*¥88*¥89*¥91*¥88*¥83*¥87*¥92*¥96*¥98¥100*¥89*¥90*¥87¥104¥108
10¥100¥100¥106¥102¥91*¥83*¥86*¥87*¥88*¥91*¥90*¥93*¥94*¥94*¥96*¥89*¥86*¥93*¥996*¥91*¥87*¥88*¥92*¥94*¥94*¥90*¥98*¥91*¥95¥110¥110¥116
11¥98¥109¥123¥115*¥93*¥90*¥89*¥86*¥87*¥89*¥89*¥89*¥91*¥94*¥98*¥92*¥88*¥92*¥89*¥88*¥86*¥93*¥93*¥88*¥89*¥88*¥91*¥98¥100¥113*¥90*¥98
12¥104¥113¥121¥122¥117¥104¥86*¥85*¥87*¥88*¥85*¥88*¥85*¥90*¥89*¥88*¥89*¥84*¥87*¥93*¥92*¥86*¥86*¥88*¥90*¥86*¥88*¥89*¥80*¥77*¥85*¥82
13¥111¥117¥118¥114¥102¥96*¥94*¥86*¥90*¥92*¥87*¥92*¥84*¥89*¥83*¥91*¥87*¥83*¥82*¥88*¥96*¥92*¥88*¥88*¥87*¥87*¥91*¥92*¥87*¥85*¥86*¥84
14¥118¥124¥110¥104¥104¥100¥98*¥89*¥91*¥90*¥86*¥91*¥85*¥86*¥88*¥84*¥86*¥88*¥94*¥94*¥88*¥87*¥85*¥85*¥92*¥88*¥88*¥91*¥97*¥88*¥85*¥84
15¥96*¥98*¥98*¥95*¥96¥104¥100*¥85*¥87*¥89*¥87*¥89*¥87*¥90*¥89*¥91*¥96*¥92*¥90*¥88*¥94*¥96*¥89*¥88*¥92*¥96*¥91*¥88*¥95*¥88*¥84*¥86
16¥100¥105¥102¥86*¥86*¥91*¥92*¥88*¥83*¥85*¥90*¥95*¥88*¥90*¥89*¥98*¥91*¥88*¥94*¥90*¥90*¥96*¥91¥100¥104¥102*¥92*¥87*¥93*¥89*¥88*¥84
17¥98¥108¥117¥102*¥93*¥98*¥98*¥92*¥89*¥92*¥87*¥92*¥87*¥84*¥94¥102*¥93*¥89*¥90*¥90*¥93*¥96*¥98¥109¥109¥100*¥87*¥85*¥87*¥81*¥80*¥93
18¥98¥109¥117¥111¥107¥108¥102*¥98*¥95*¥92*¥89*¥88*¥89*¥94*¥96*¥91*¥95*¥94*¥994*¥92*¥92*¥92*¥92*¥98*¥98*¥88*¥85*¥84*¥92*¥92*¥76*¥89
*19

4-2 リモート10とローチア

ここでは衛星、主としてランドサットの画像データの解析ソフトのうち、研究当初に用いたソフトについて簡単に説明する。これらのソフトは本研究では最終的には利用することはなかったが、衛星画像データを利用するうえで必然的に必要なものであり、衛星データを初めて利用する場合には必須であると考えられるので、ここに簡単に取り上げておく。

まず、リモート10であるが、このソフトは衛星データの配給元であるリモートセンシング技術センターで開発されたものである。フロッピーディスクで供給されるデータを読みだし、様々な処理を行うものである。特徴はB I L形式のデータ配列に対してプログラムされたもので、通常のP C 98シリーズのパソコンで作動させることができる。また、ローチアというソフトは基本的にはリモート10と同じ程度であるが、データの配列がB S Qのものに対して作動する。以上はディスプレイ上に一応の画像を出すことはできるが、画像の輝度値を読み出すことには不便であり、また画像の印刷はシャガールという装置を使って写真撮影することになるが、画像が小さいという欠点があるので、小地域での活用には不向きな面がある。



図4-2-1 OM-SATの処理メニュー画面

4-3 OM-SAT

本システムは沢瀉電子株式会社がランドサット画像処理ソフトウェアとして開発したもので、カラー表示するためにサピエンス社製のカラーボードが組み込んだシステムで、NEC9801シリーズの仕様になっている。図4-2-1にOM-SATの処理項目のメニュー画面を示した。オプションとして地図データとのマッチングなどができる拡張処理メニューがあることである。画像データの輝度値を表示することができるが、この画面のハードコピーができないことが欠点である。また、カラー画像の印刷は、インクジェット方式のカラープリンターが対応機種になっているが、このプリンターは維持管理が不便であり、プリントの出来具合に比して割高である。

4-4 テラマールシステム (Terra-Mar/JGL system)

4-4-1 はじめに

テラマールシステムはランドサットなどの人工衛星データを画像処理し、解析するシステムと同時に、最近特に進歩が著しい地理情報システム(GIS)と結合している点が大きな特徴である。つまり、地理情報(地表の数値情報が地理的な基準で分類・整理されている情報をいう)を自由なデザインの地図情報に変換し(地図化する)、それをさらに衛星画像に重ね合わせることができることである。簡単にいえば、衛星や航空機などからのデータと地上の地理情報を地図を媒介にリンクさせることができることである。本システムのもう一つの特徴は夜間のTMデータを処理することができることである。夜間のデータは磁気テープであるために簡単には画像処理できないが、地理情報とリンクできるソフトを内蔵している。その結果、都市気候、特にヒートアイランドの研究に必要な夜間の熱情報を得ることができる。

4-4-2 テラマールの特徴

① 汎用システム(MS-DOS上で作動できるもの)であること。

現在の汎用システムであるMS-DOS上で動くものでないと現在の東京学芸大学地理学研究室の体制では使いこなすことが出来ない。つまり、コンピュータマシンの専門家はいないので、汎用性のあるシステム以外は利用できない。

② 衛星データをフロッピーディスクでも、磁気テープでも取り扱いが可能であること。

ランドサットの昼間のデータは通常フロッピーで供給されるが、都市環境把握のためには夜間の衛星データが絶対的に必要である。ランドサットの夜間データは磁気テープのみでしか手に入れることができない。また、大量のデータを利用するには磁気テープが便利である。

③ 地理情報(GIS)とリンクできること。

地理情報は官庁をはじめ、様々な機関でデータベースとして蓄積されており、テラマールは地理情報とのリンクが可能である。

④ メンテナンスが容易であること。

画像情報や地理情報の処理・解析結果が重要であり、メインシステムと周辺機器を含めて一括したシステム構成であることが望ましい。

4-4-3 他機種との比較検討

リモートセンシングデータの画像処理や解析などはユーザーによって様々であり、その境界があるわけではない。例えば、最も末端のユーザーならばすでにすべて処理・解析されて結果だけが示された、いわゆる印刷された画像で、各種の雑誌にはしばしば掲載されているものもユーザーの一つである。つまり、スーパーユーザーとかエンドユーザーとかいっても、ユーザーの設備や能力、目的によって様々である。目的は地表の地理情報と衛星データをリンクさせて、地域環境の把握をしようとするものである。ヒートアイランドの研究に活用できる。その場合、スーパーユーザーから手にはいる夜間のデータは磁気テープまでである。磁気テープを含めた衛星データと地表面の地理情報データをリンクさせるシステムがこのテラマールシステムである。

このシステムを構成する方法には大別して二つの方法がある。一つはMicroimageはMS-DOSを用いたIBM/PC（現在大部分のパソコンで使用されている）系のもので、現状では最も汎用性が高い。もう一つはIDIMSといい、ワークステーションを利用したもので、UNIX系（基本言語が異なる）である。サンクエア(株)とかサンフォト(株)という会社があるが、基本的にはIDIMSと同じである。ワークステーションを使ったこのシステムのUNIX系はスーパーユーザーのような専門家がいないと難しく、将来はこのシステムが汎用性を持つ可能性はあるが、現状においては特殊であり、さらにMicroimageに比べて高価であることも問題である。なお、地球環境総合研究所は、米国Microimage社との独占的契約をしている。

5. グラウンドトランスデータの取得

5-1 地表面温度分布

地表面温度については、赤外線放射温度計によって測定したが、測器が（ミノルタ505）1台のみであり、東京学芸大学構内において様々な地表面を設定して観測した。本測器は視野角2度であるため約1mの高さから観測した（山下、1981）。

観測した場所は、東京学芸大学人文研究棟（9階建）の屋上で周辺の様々な表面の温度を測定した。屋上面、南側のけやき並木の樹冠面、人文研究棟とけやき並木の間のアスファルト面、東側のけやき並木樹冠面、人文研究棟南側の第1部学務棟屋上面、北東側の生協屋上面、その南側の生協前アスファルト面、北側A号館2階と3階の間の壁面、人文研究棟屋上モーター室の東側壁面、西側壁面、丸井国分寺店（南西側）の壁面、大学南西側樹冠面、自然科学研究棟の東側壁面と北側壁面の14ヶ所と、地上においては人文研究棟北側のアスファルト面とその両側の芝生面、北側にあるB号館の2階と3階の間の南向き壁面と人文研究棟の2階と3階の間の北向き壁面の5ヶ所である。観測は1ヶ所につき3回観測し、その平均値を求め表面温度とした。視野角2度であり、測定対象物面と測定者との距離が大きい場合はその影響を当然考えなければならないが、今回の場合は相対値の比較ということで考慮はしていない。最も、以前の研究で距離が1.5m以下の場合はほとんど差がないことが判明している。観測したのは、1993年1月13日、2月12日、3月2日、4月17日である。

1993年1月13日の観測はランドサットの昼間（実際は午前中）の観測にあわせて実施したものである。冬の朝方のため、気温は1～2℃で、地表面温度は大体が0～1℃で、表面物質の違いによる差は大きくはない。一方、壁面の温度は向きによって明瞭な差が出現したのが特徴である。東西壁面の違い、南北壁面の違いは朝方の太陽光の影響を受けて明瞭である。特に大きな差が出現したのは人文研究棟屋上に設置されている第2部屋上モーター室の東側壁面の8時の値である。他の表面との差が4℃以上にも達している。また、自然館の東側壁面と北側壁面は夜間はほぼ同じ値であるが、日の出とともに昇温に差が出現している。国分寺丸井の東側壁面は太陽光の影響が若干早く（7時47分）現われているのは位置が異なるためである。

1993年2月12日の観測は、夜間のランドサットにあわせて実施したもので、20時から22時にかけてのグラウンドトランスとして実施したものである。気温は人文研究棟屋上では約5℃前後で一定であるが、地上では5℃から3℃以下にまで下降しており、屋上と地上の違いを示している。一方、表面温度は気温のように下降せず、時間の経過とともに上昇さえしている。第1部屋上面と生協屋上面は3階建と2階建の建物であり、状況に大きな差はないが、20時36分と21時21分に著しい昇温を記録しているのが興味を引くが、原因は不明である。地上での観測では、南向きの壁面がこの時間を通して高い温度を示しているのは、昼間の短波長放射の吸収量の違いが起因していると思われる。

1993年3月2日の観測は昼間のグラントルースとして実施したものである。午前中の昇温は順調である。最も表面温度が高いのが第1部屋上面で9時31分には20℃を超えている。次いで昇温が大きいのが生協の屋上面である。興味深いのは9階建の人文研究棟屋上面よりも地上のアスファルト面（道路面）の方が昇温が大きいことである。なお、10時50分より12時までの温度変化も調べたみたが、この間の変化は小さく、若干ではあるが降温している場合もある。観測地点番号の11から14までの11時23分以降の表面温度がほとんど同じ値を示しているが、いずれの対象物も南西方向にあり、その間の距離とも関係しているかもしれない。

1993年4月17日は夜間のグラントルースの例である。気温の変動をみても分かるとおおり、非常に緩やかに降温している状況である。約2時間の観測時間中に気温で約1℃の降温である。表面温度も気温と同様時刻変化は非常に小さいことが分かる。しかし、そんな中でも、芝生面の温度は他の表面の温度よりは期間を通じて低い。また、生協屋上面も約10℃前後で推移し、芝生面と似たような変動をしている。

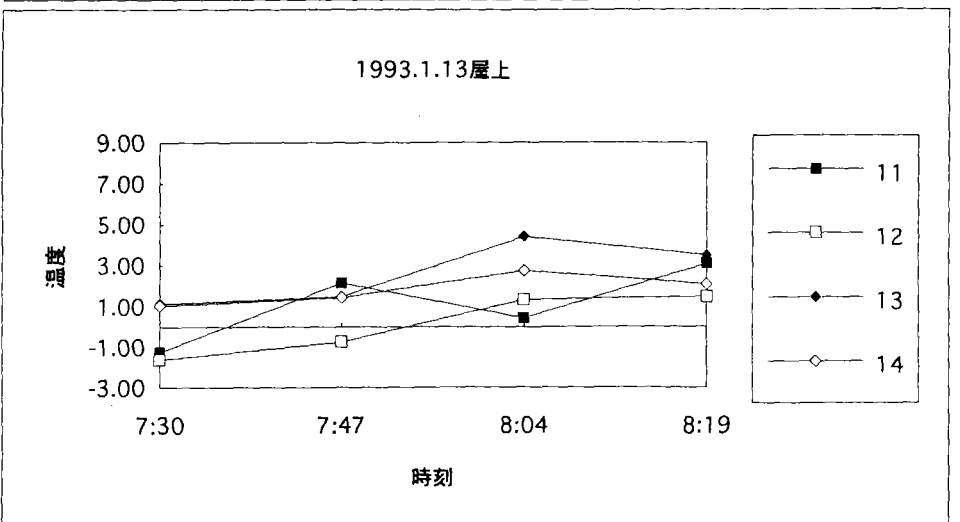
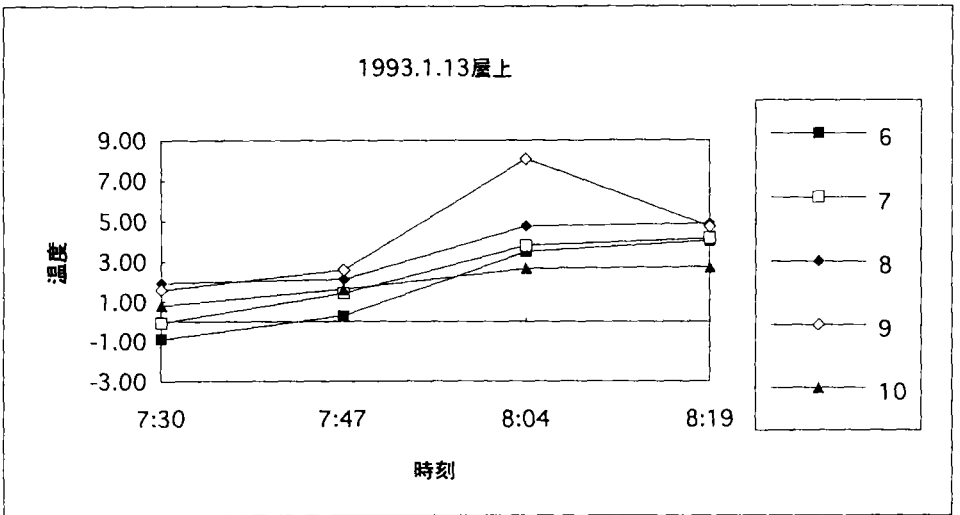
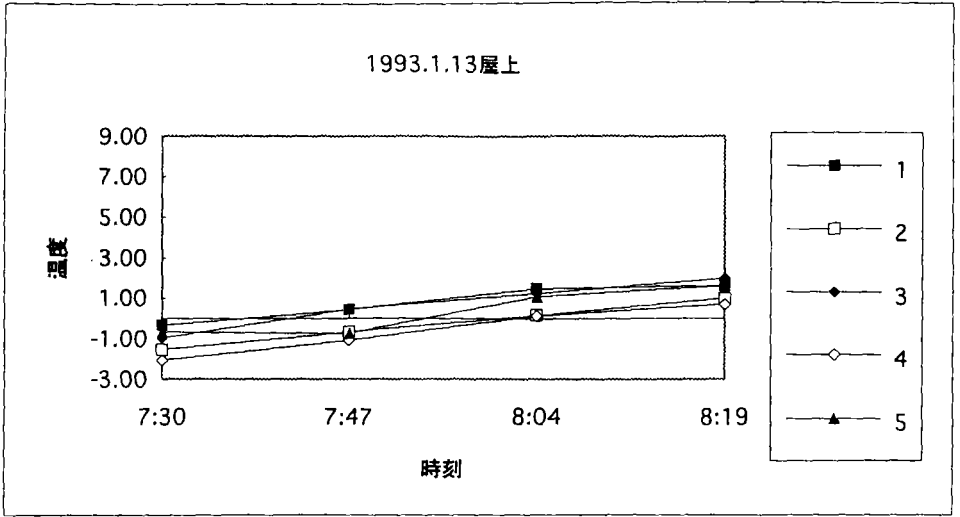


図5-1(a) 1993年1月13日における屋間の表面温度

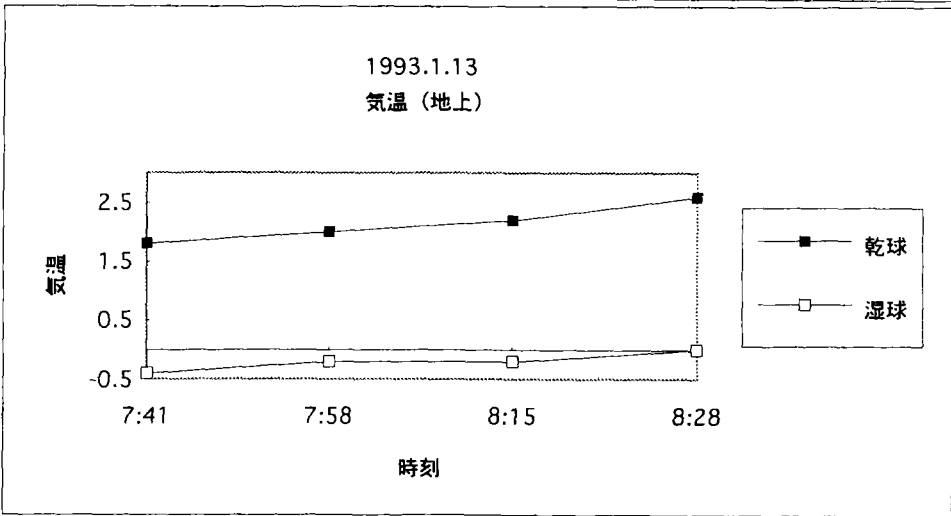
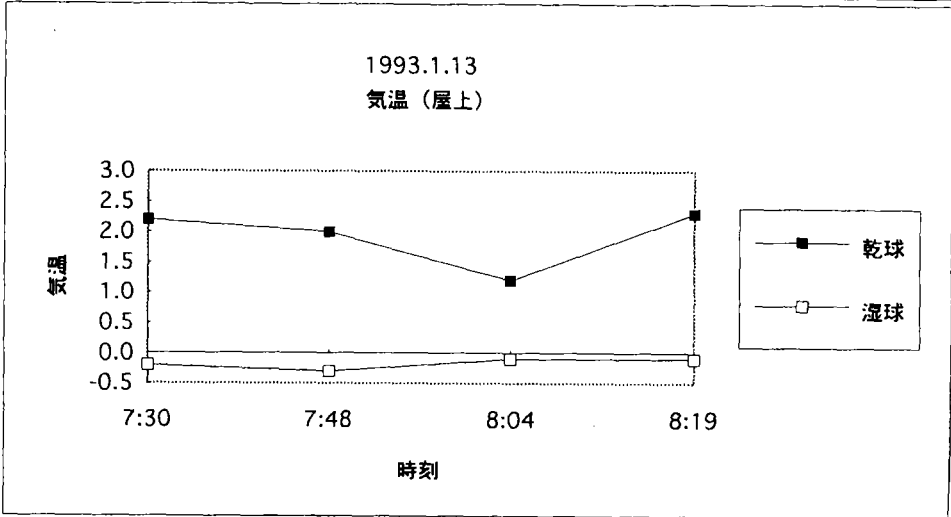
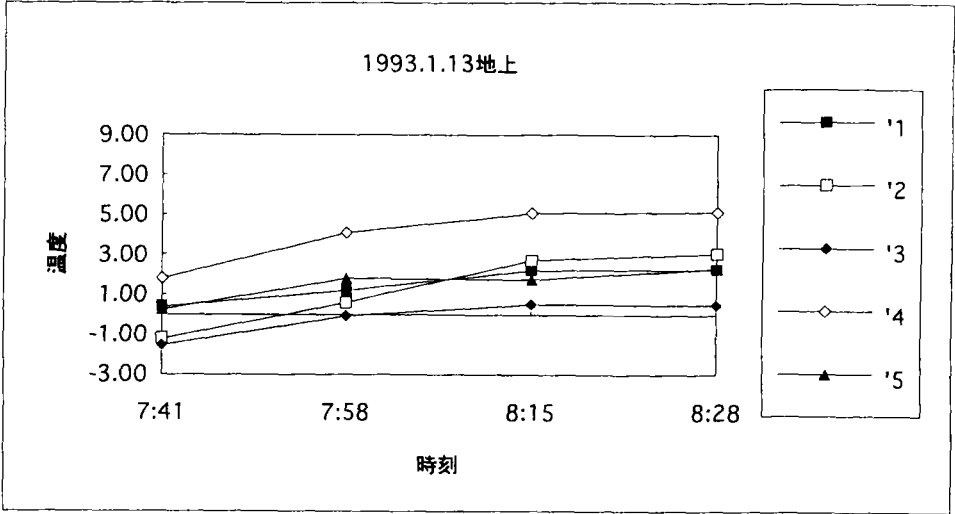


図 5 - 1 (b) 1993年1月13日における昼間の表面温度と気温

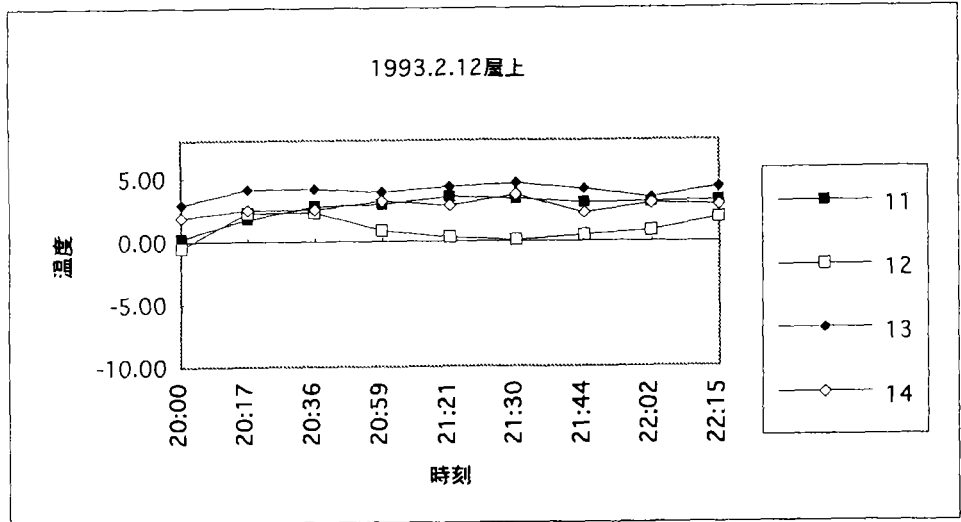
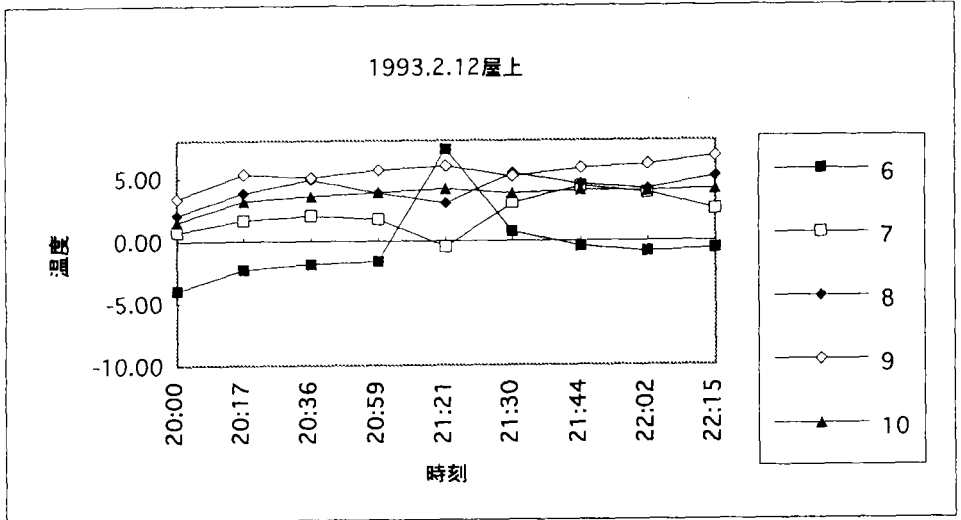
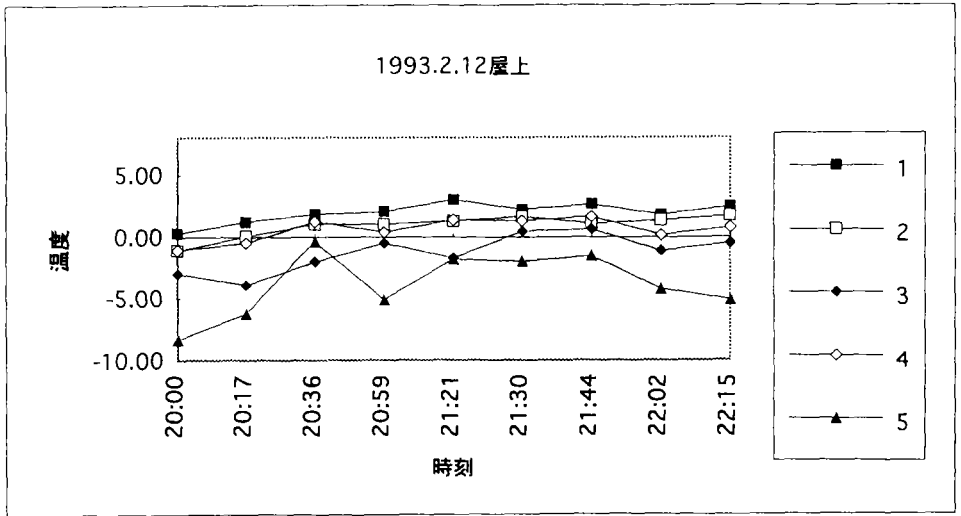


図 5 - 2 (a) 1993年 2月12日における夜間の表面温度

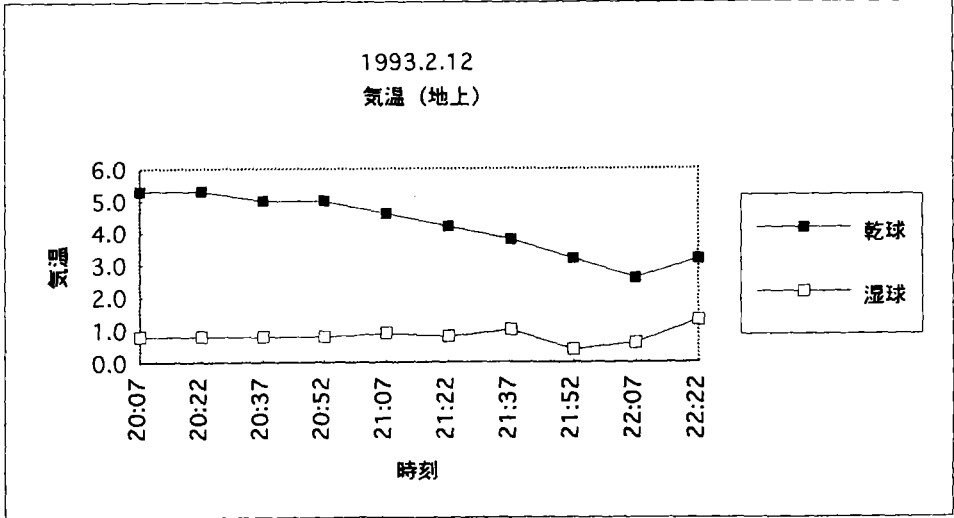
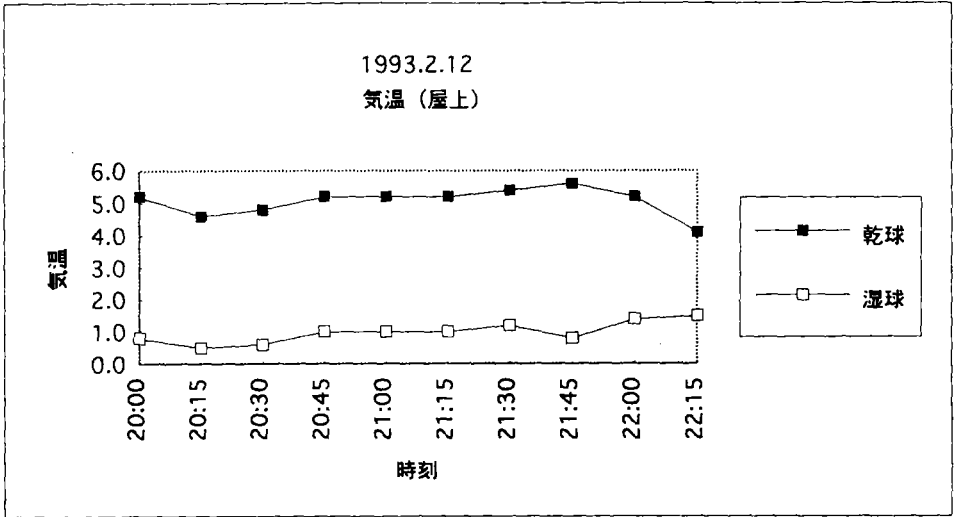
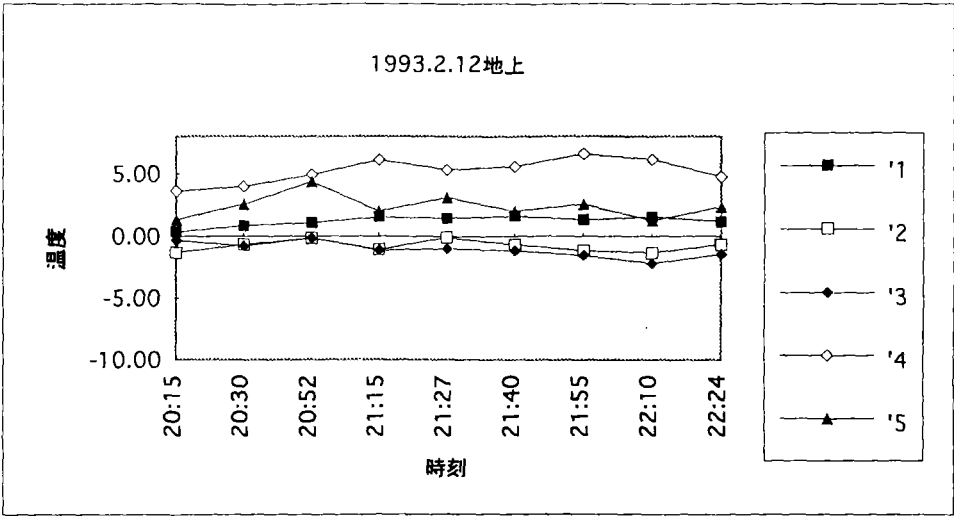


図5-2(b) 1993年2月12日における夜間の表面温度と気温

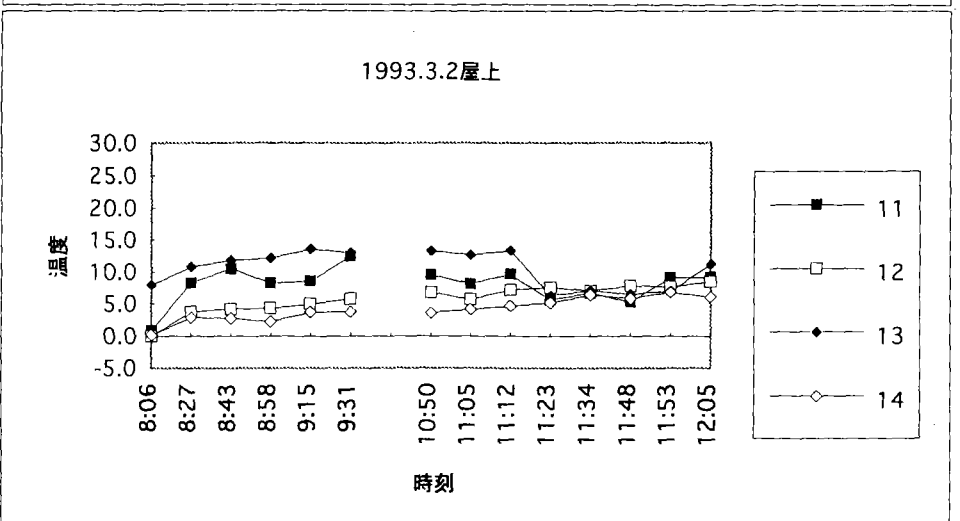
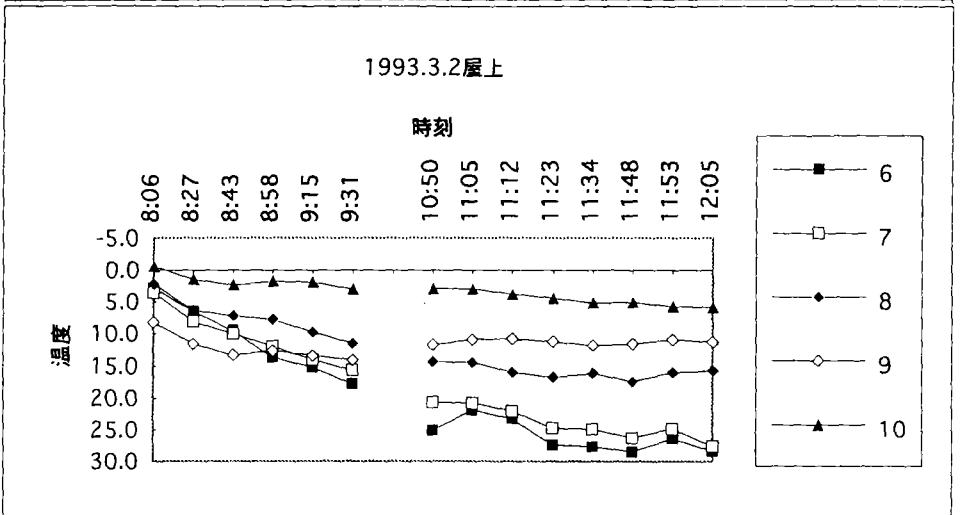
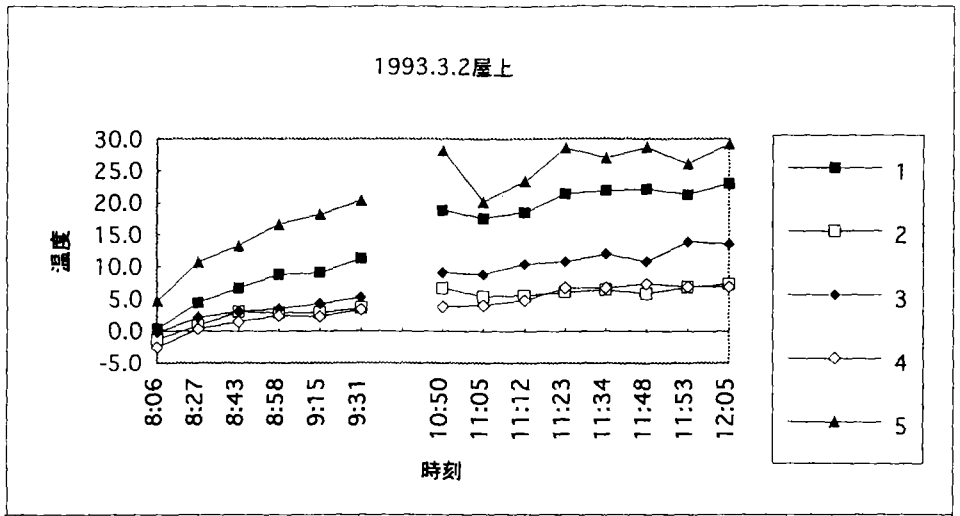


図 5 - 3 (a) 1993年 3月 2 日における屋間の表面温度

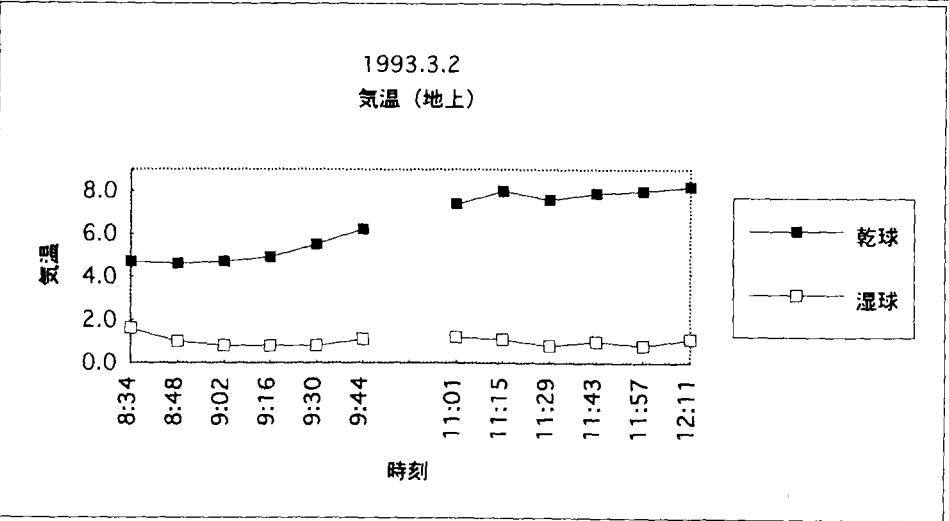
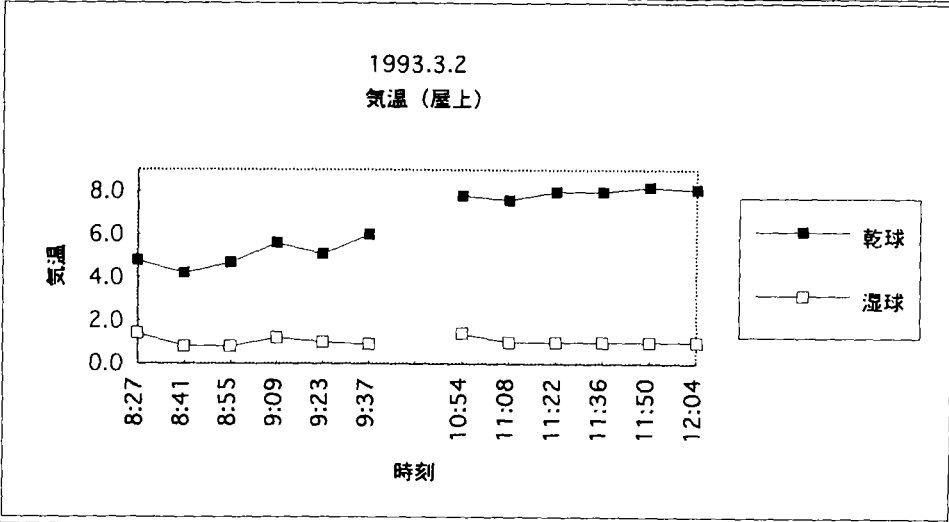
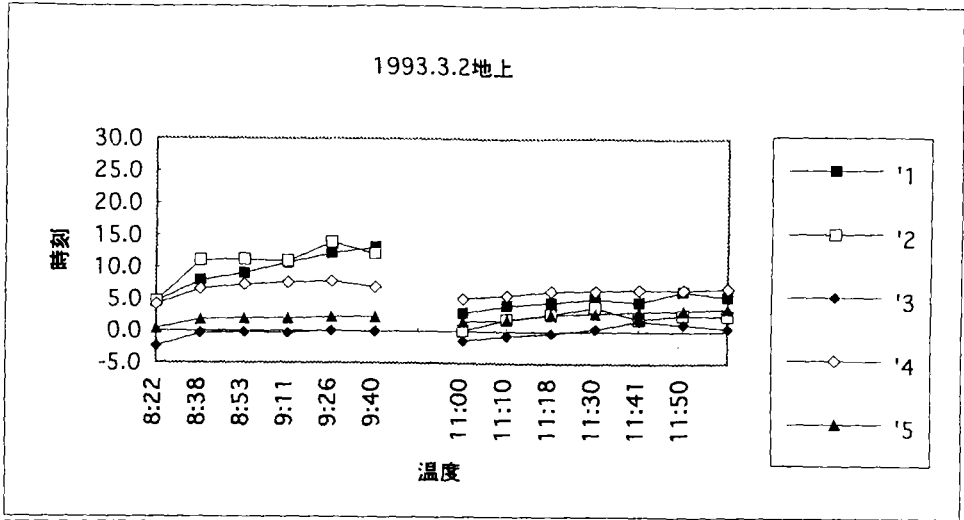


図5-3(b) 1993年3月2日における昼間の表面温度と気温図

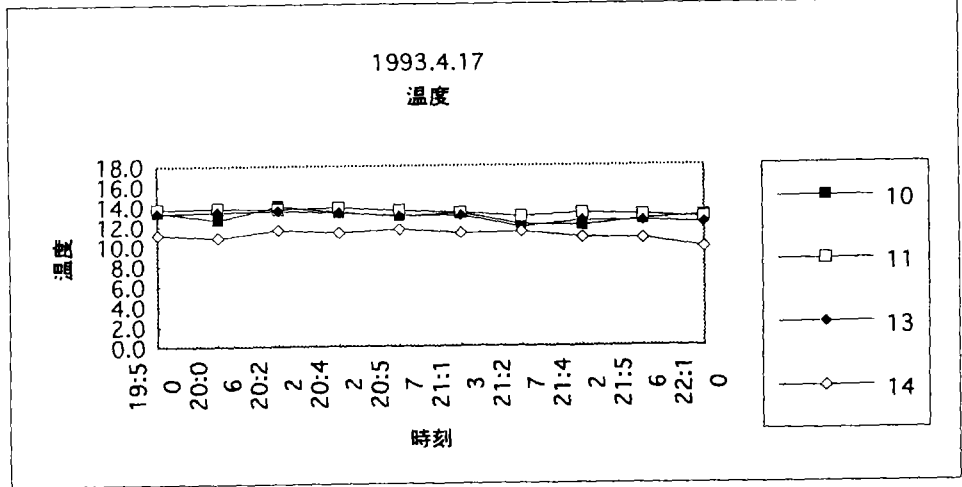
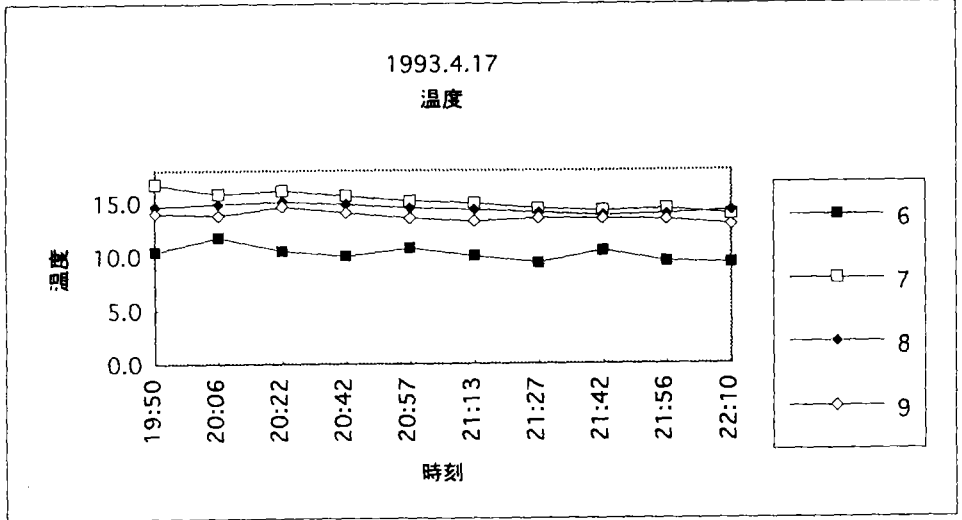
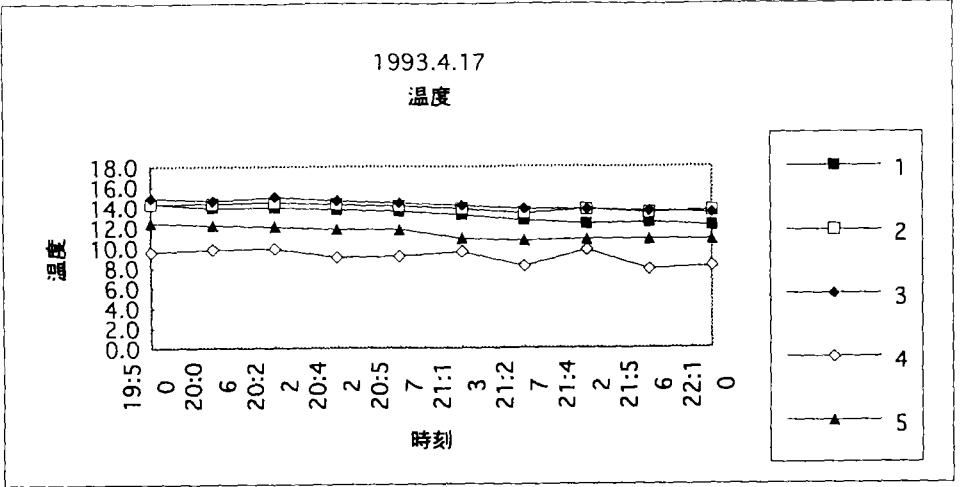


図 5 - 4 (a) 1993年 4 月 17 日における夜間の表面温度

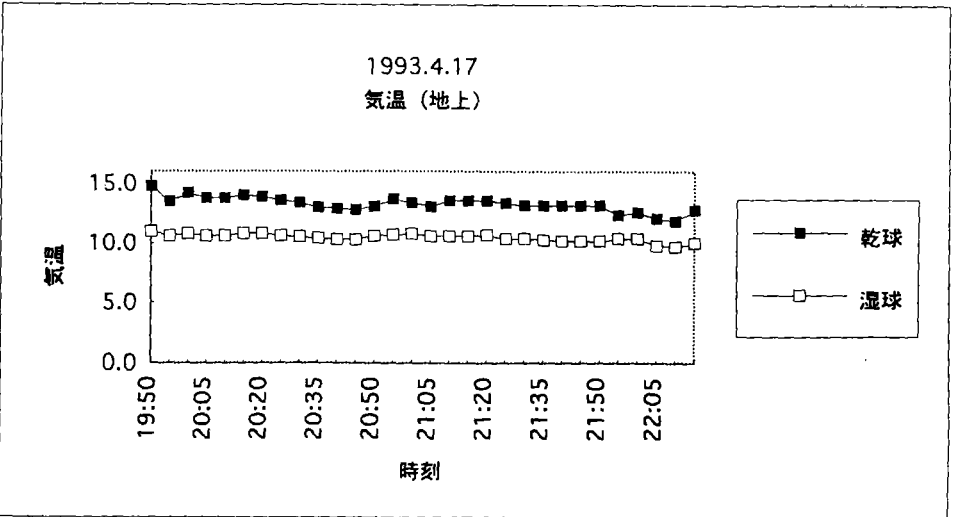
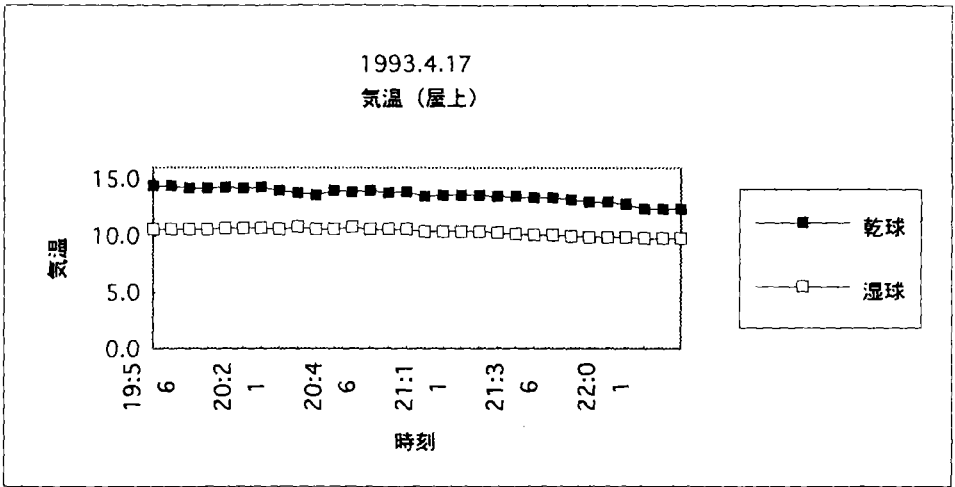
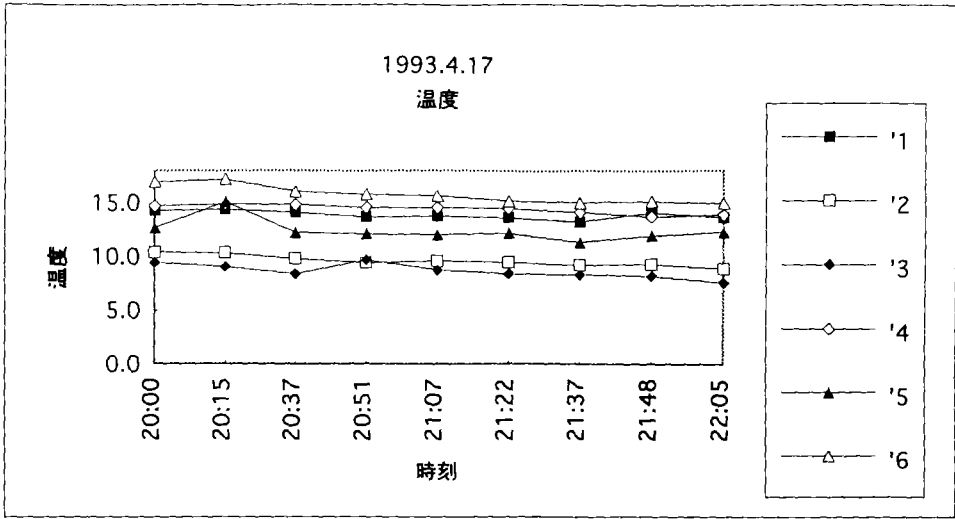


図 5 - 4 (b) 1993年 4月17日における夜間の表面温度と気温

5-2 東京西郊、立川・府中・多摩市のヒートアイランド

原 芳 生

5-2-1

近年、都市化の進展に伴い、ヒートアイランド現象をはじめとする都市気候の発生が著しい、本報告は、都市の環境（自然・人文環境）の違いによって、ヒートアイランドの発生に、どのように差ができるかを、同時刻に複数の都市を観測することによって考察することを目的とした。

5-2-2

観測地域として、東京西郊の立川・府中・多摩の3市を選んだ。1990年の国勢調査によれば、人口はそれぞれ15.3万人、20.9万人、14.4万人である。立川・府中の両都市については10年前の調査からそれぞれ、1.1万人、1.7万人の人口増があった。

5-2-3

1992年～93年に観測期間を設定した。従来、ヒートアイランドは冬の夜間に顕著に現れるとされていたが、近年になり、冷房設備の普及に伴い、夏にも顕著に現れるようになったといわれるため、冬と夏の両方で観測を実施した。観測時刻は、LANDSAT衛星のデータとの比較を考慮して、衛星の飛行時間に合わせ、朝（午前9時頃）と夜（午後8時頃）に設定した。雲が少なくないと良い衛星画像が得られないため、合計12回だけ、3地域同時に観測を実施することができた（表5-5-1）。

各地域とも1時間以内に、自動車による移動観測が終了するよう行われた（各々約40地点で観測：図5-5-1、図5-5-2、図5-5-3）。定点は小金井市の東京学芸大学に置いた。サーミスタの感熱部に覆いをつけ、自動車の先端上部に据え付け、移動中にのみ気温の測定を行った。サーミスタ素子をハンドヘルドコンピューター（EPSON:HC-40）に接続して計測する方法と、デジタルサーミスタ温度計（カーメイトKK、製造、H7668）を読み取る方法を併用した。乾球温度と湿球温度を測り、実測値は、器差補正・時刻補正を行い、各地域の気温分布を求めた。

表 5 - 5 - 1 多摩川流域ヒートアイランド観測実施一覧

No.	DATE	TIME	立 川	府 中	多 摩	基準時刻
1	1992. 2. 10 (MON)	NIGHT	B	HC-40(S)	C	20 : 25
2	1992. 3. 13 (FRI)	NIGHT	B	HC-40(S)	C, HC-40(2)	19 : 45
3	1992. 7. 3 (FRI)	NIGHT	HC-40(1)	HC-40(S)	欠	20 : 00
4	1992. 7. 27 (MON)	NIGHT	HC-40(1)	HC-40(S)	HC-40(2)	20 : 30
5	1992. 7. 28 (TUE)	DAY	HC-40(1)	HC-40(S)	HC-40(2)	09 : 00
6	1992. 8. 6 (THU)	DAY	HC-40(2)	HC-40(S)	HC-40(2)	09 : 00
7	1992. 12. 28 (MON)	DAY	HC-40(1)	欠	HC-40(2)	
8	1993. 1. 13 (WED)	DAY	HC-40(1)	欠	HC-40(2)	
9	1993. 1. 27 (WED)	NIGHT	HC-40(1)	HC-40(S)	HC-40(2)	20 : 07
10	1993. 2. 12 (FRI)	NIGHT	HC-40(1)	HC-40(S)	HC-40(2)	20 : 07
11	1993. 3. 2 (TUE)	DAY	HC-40(1)	HC-40(1)	欠	
12	1993. 4. 17 (SAT)	NIGHT	HC-40(1)	HC-40(S)	欠	

表 5 - 5 - 2 ヒートアイランド強度一覧 (補正後)

No.	DATE	TIME	立 川	府 中	多 摩	LANDSAT	基準時刻
1	1992. 2. 10 (MON)	NIGHT	3.7	2.7	5.6		20 : 25
2	1992. 3. 13 (FRI)	NIGHT	3.0	1.3	3.4		19 : 45
3	1992. 7. 3 (FRI)	NIGHT	2.7		-		20 : 00
4	1992. 7. 27 (MON)	NIGHT	2.0	2.2	2.7		20 : 30
5	1992. 7. 28 (TUE)	DAY	2.5	2.4	2.9		09 : 00
6	1992. 8. 6 (THU)	DAY	2.8	4.3	3.9		09 : 00
7	1992. 12. 28 (MON)	DAY		-			
8	1993. 1. 13 (WED)	DAY		-			
9	1993. 1. 27 (WED)	NIGHT	1.7	1.1	2.1		20 : 07
10	1993. 2. 12 (FRI)	NIGHT	4.0		4.9		20 : 07
11	1993. 3. 2 (TUE)	DAY		-	-		
12	1993. 4. 17 (SAT)	NIGHT			-		
		平均	2.8	2.3	3.6		
		最高	4.0	4.3	5.6		
		最低	1.7	1.1	2.1		
		平均(冬)	3.1	1.7	4.0		
		平均(夏)	2.5	3.0	3.2		
		平均(夜)	2.9	1.8	3.7		
		平均(朝)	2.7	3.4	3.4		

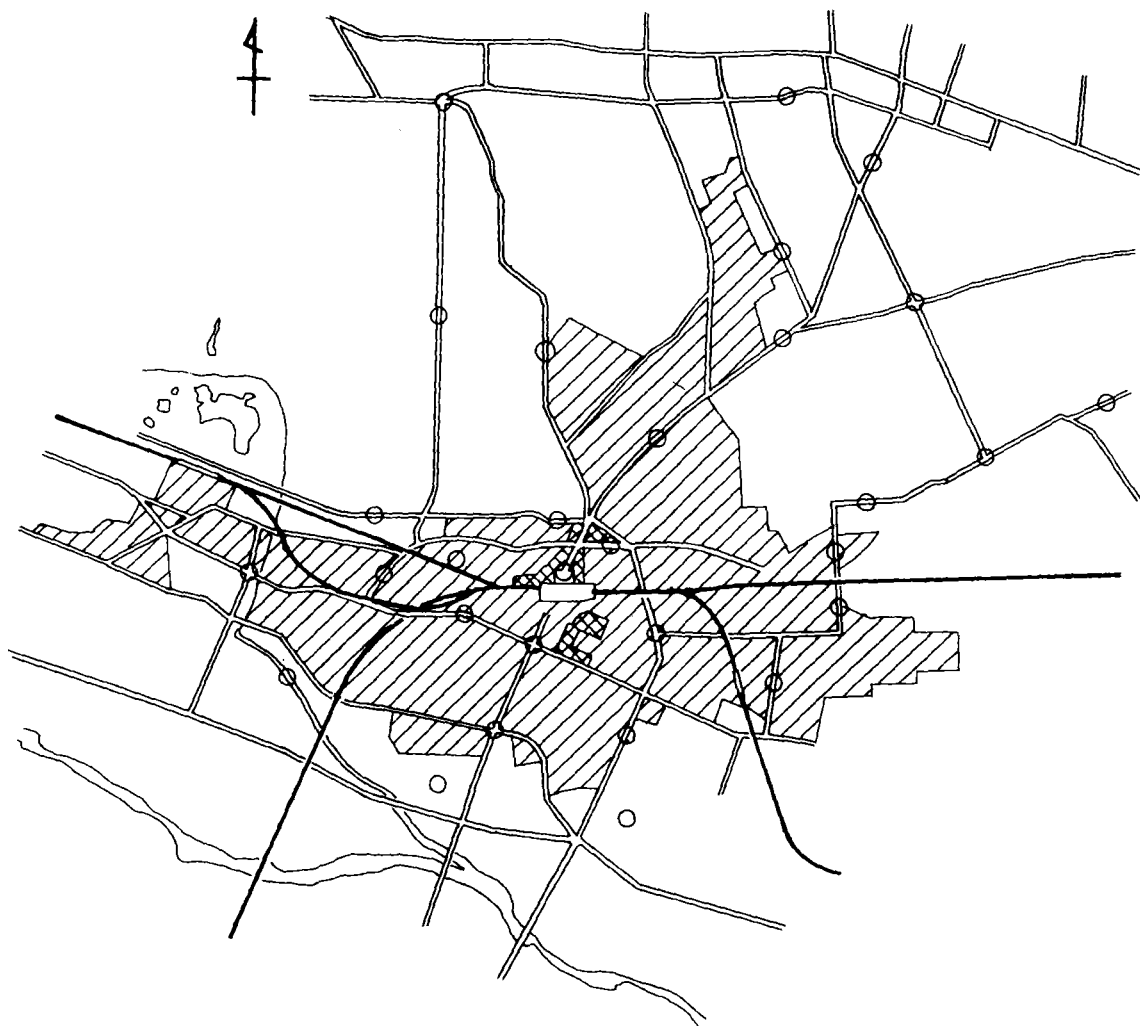


図 5 - 5 - 1 立川における気温の移動観測地点

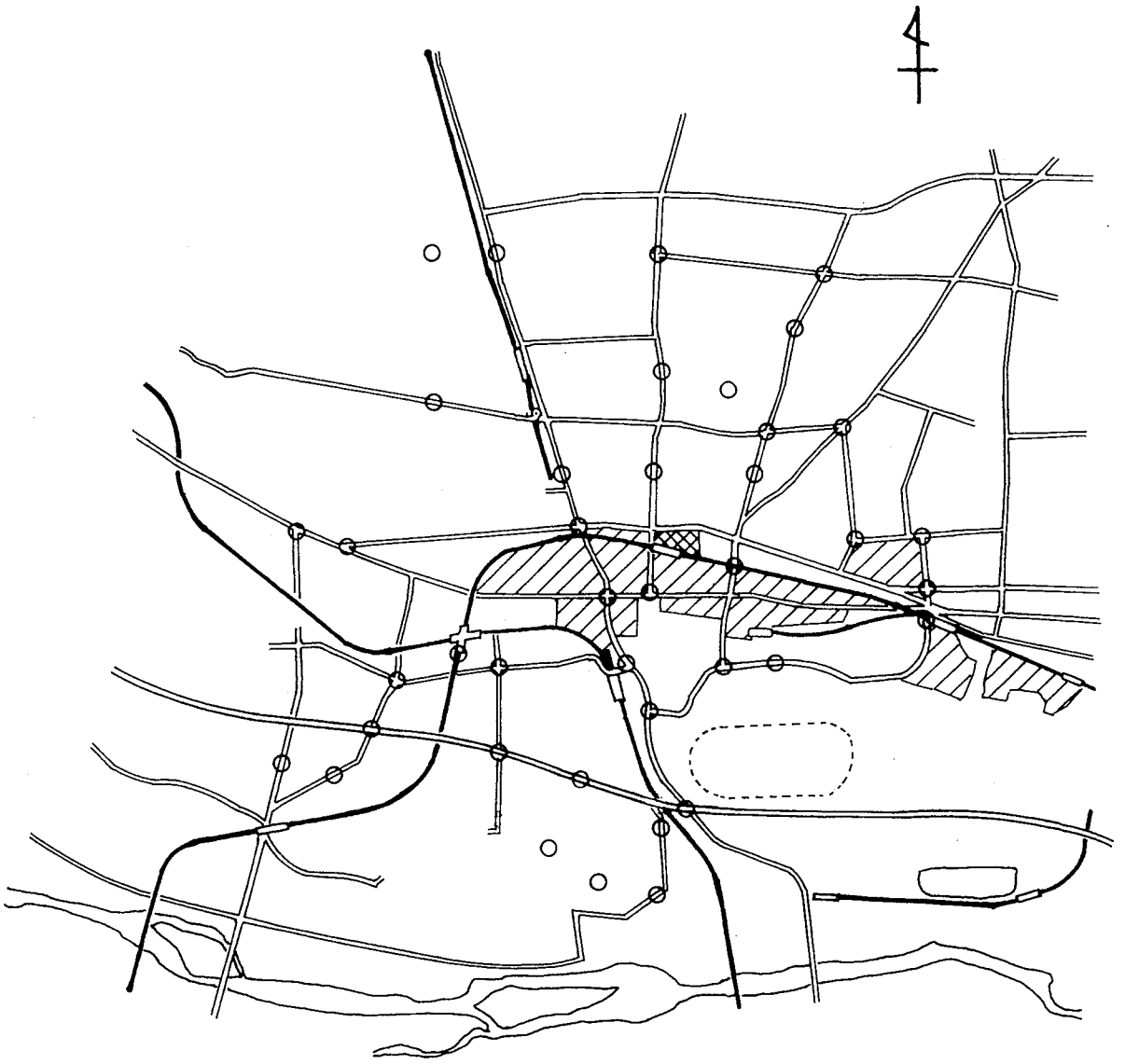


図 5 - 5 - 2 府中における気温の移動観測地点

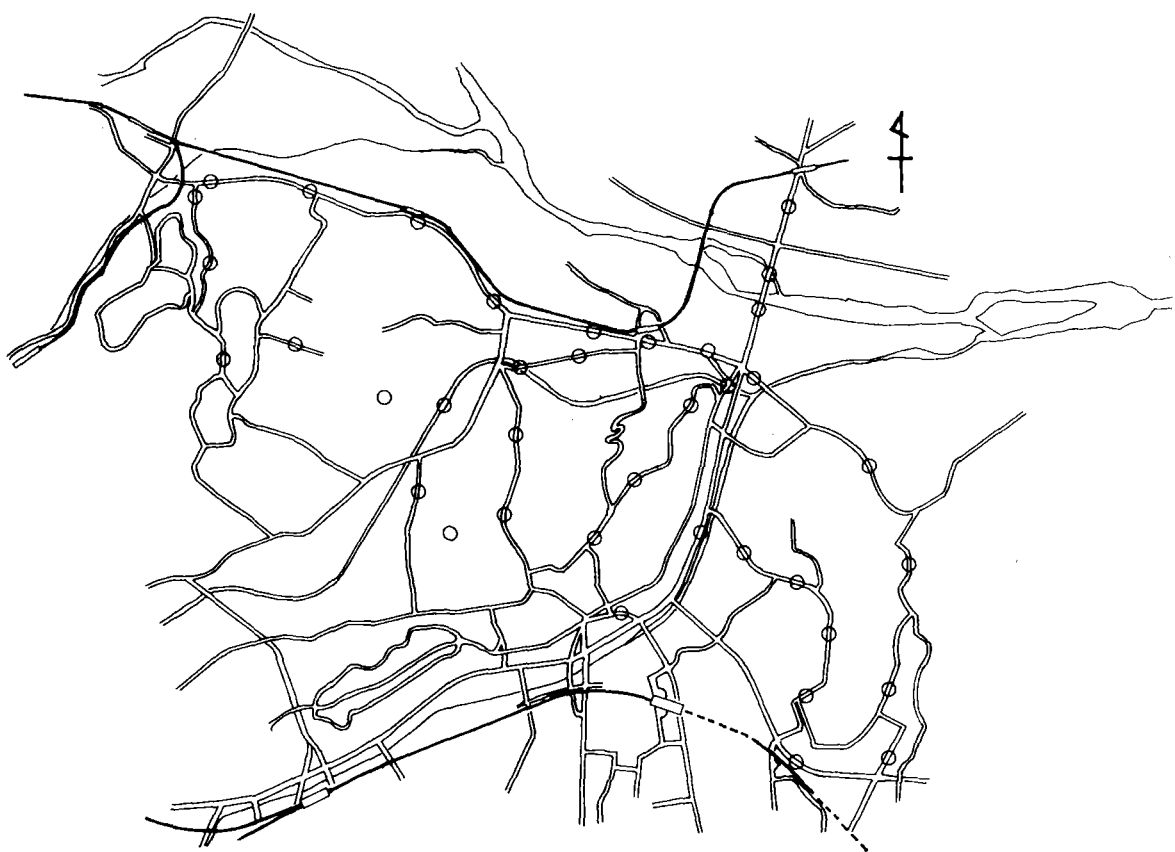


図 5 - 5 - 3 多摩における気温の移動観測地点

5-2-4

立川市域においては、JR立川駅付近が、高層の建築物が集中して、交通量も多く、常に高温域となっている。その高温域の広がりも、道路に沿って北東方向へ拡大していく傾向が見られる。(図5-5-4、5、8、9、10、11)。駅北西部の旧立川飛行場跡地にあたる、広域防災基地や昭和記念公園周辺は、距離的には中心部から離れてはいない。しかし、ゆったりとした土地利用(建物の間隔が広い)であり、緑地も多く、常に低温域が出現している。ヒートアイランド強度(市街地の最高気温と郊外の最低気温の差)が最高になったのは冬の夜間で、4.0℃であった(図5-5-11)。立川においては冬の夜間がヒートアイランド強度が大きくなる傾向が見られた。ヒートアイランド強度が最小なのは、図6-2-10の場合で1.7℃であった。

府中市においては、京王線府中駅を中心に東西に細長く市街地が発達しているため、高温域もその方向に広がる傾向が見られる(図5-5-12、14、15、17)。駅の南側の近く旧甲州街道に面した大國魂神社や、さらにその南にある東京競馬場に緑地が多いため、局地的に低温域が出現しやすくなっている(図5-5-14、16)。最大のヒートアイランド強度を観測したのは、夏の朝で4.3℃であった(図5-5-16)。府中においては、夏のほうがヒートアイランド強度が大きい。ヒートアイランド強度が最小であったのは、図5-2-17の場合で1.1℃であった。

多摩市においては(一部日野市を含む)、多摩川の沖積低地に位置する、京王線の聖蹟桜ヶ丘駅が市街地の中心となる。地形的には他の2市とは異なり、その大部分は多摩丘陵であり、そこに乞田川や大栗川が形成した北東-南西方向の谷底平野が発達している。その乞田川の低地に、幹線道路である片側2車線(一部3車線)の鎌倉街道と京王相模原線・小田急多摩線が通っている。高温域は、その低地沿いに発生することが多い(図5-5-18、19、21、22)。多摩ニュータウンなど存在するが、丘陵地の斜面が低温域になる。ヒートアイランド強度は、他の2市より大きく、府中市より平均で1.3℃高くなっている。最大のヒートアイランド強度が観測されたのは、図6-2-18の冬の夜間で5.6℃もあった。最小でも2.1℃(図5-5-24)であった。多摩市においても、立川市と同じように冬の夜間にヒートアイランド強度が大きくなる傾向がみられる。

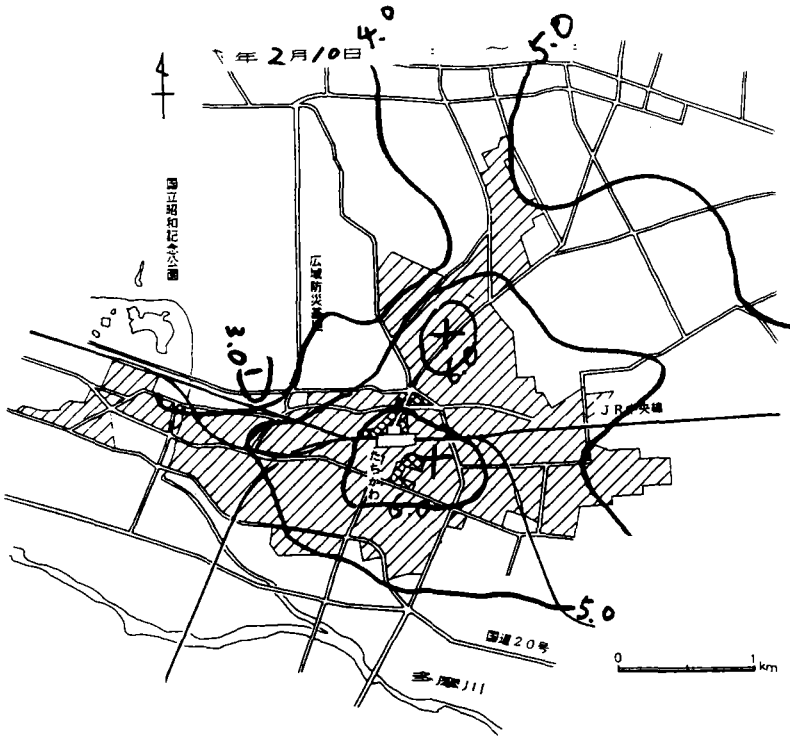


図 5-5-4

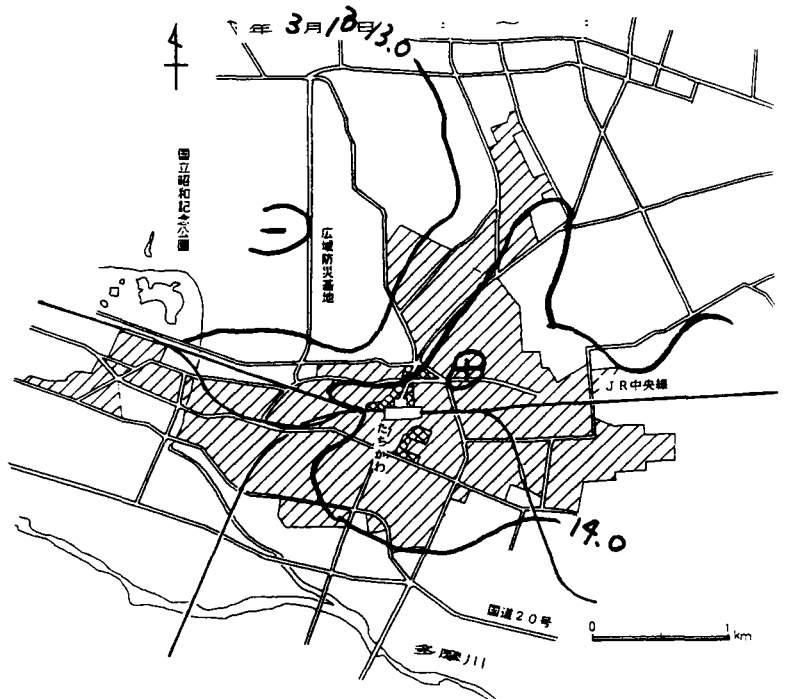


図 5-5-5

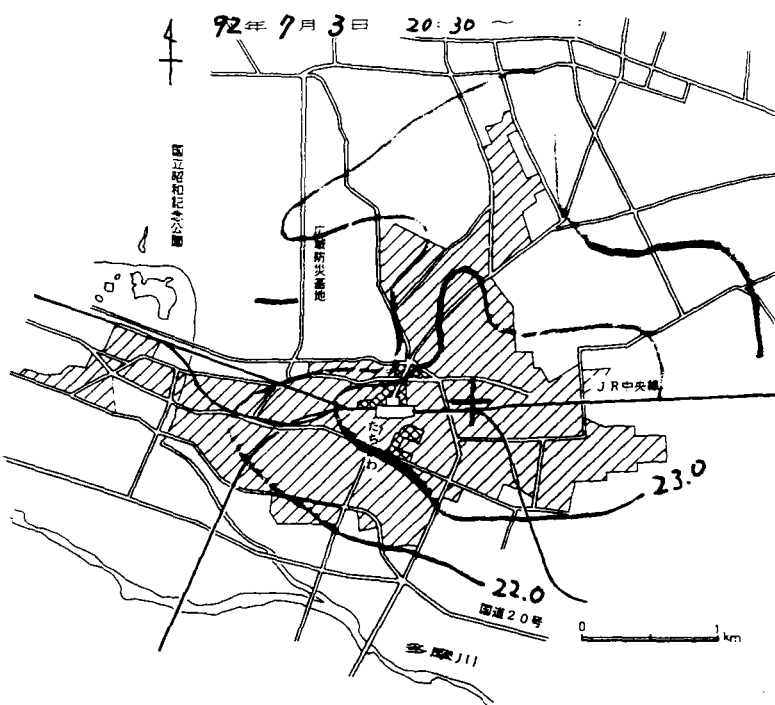


図 5 - 5 - 6

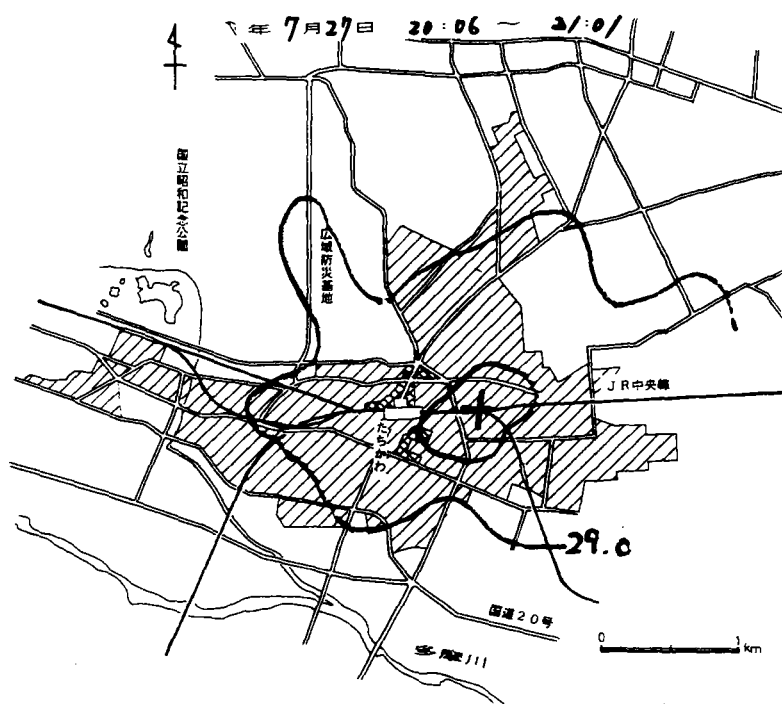


図 5 - 5 - 7

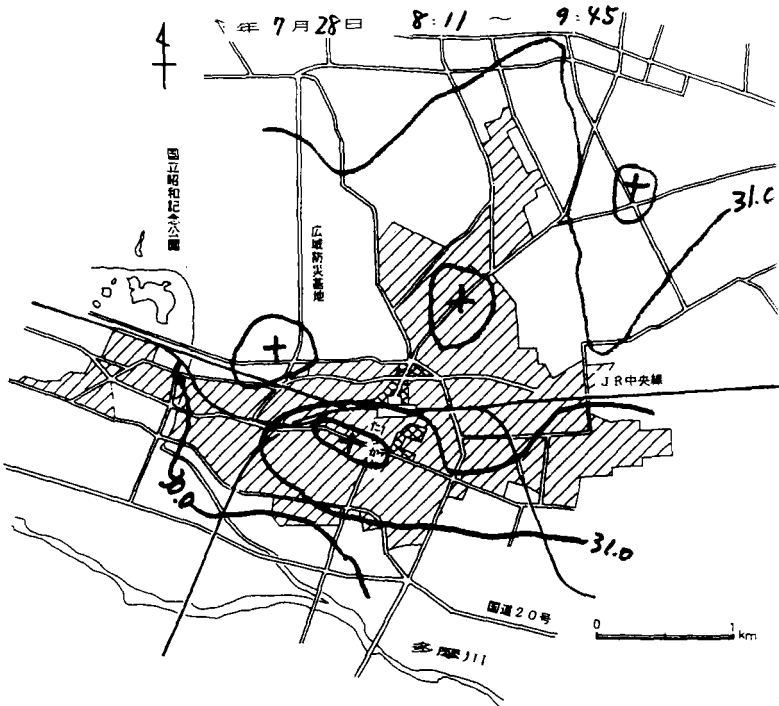


図5-5-8

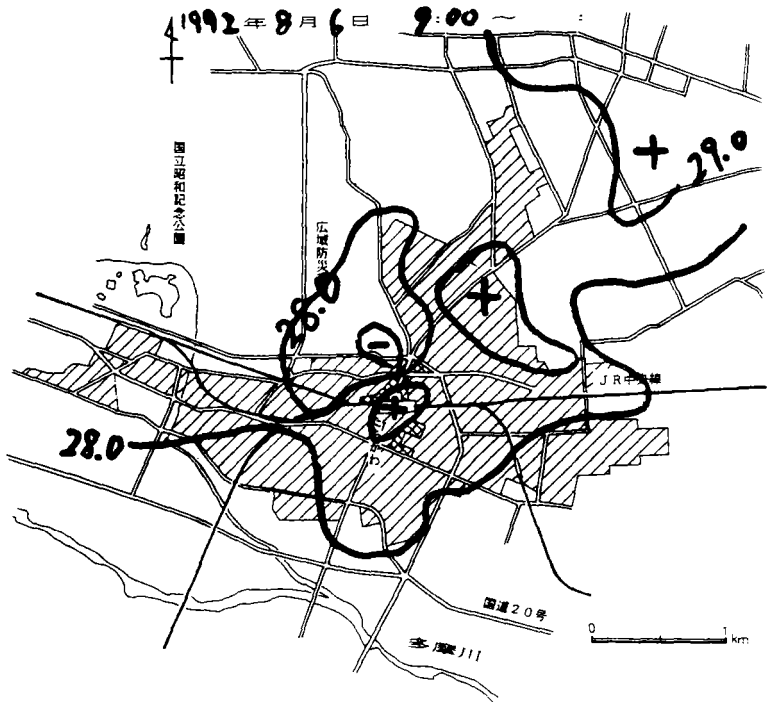


図5-5-9

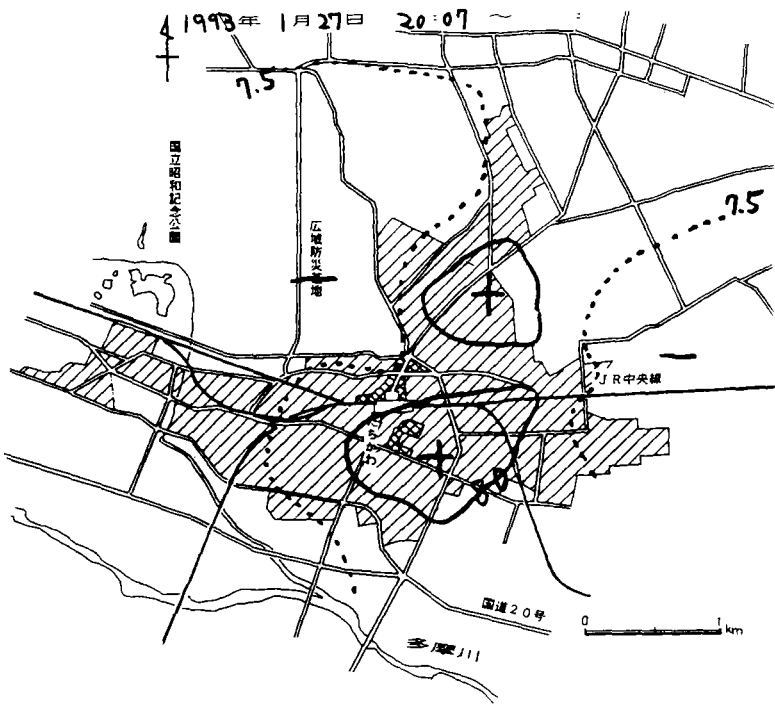


図5-5-10

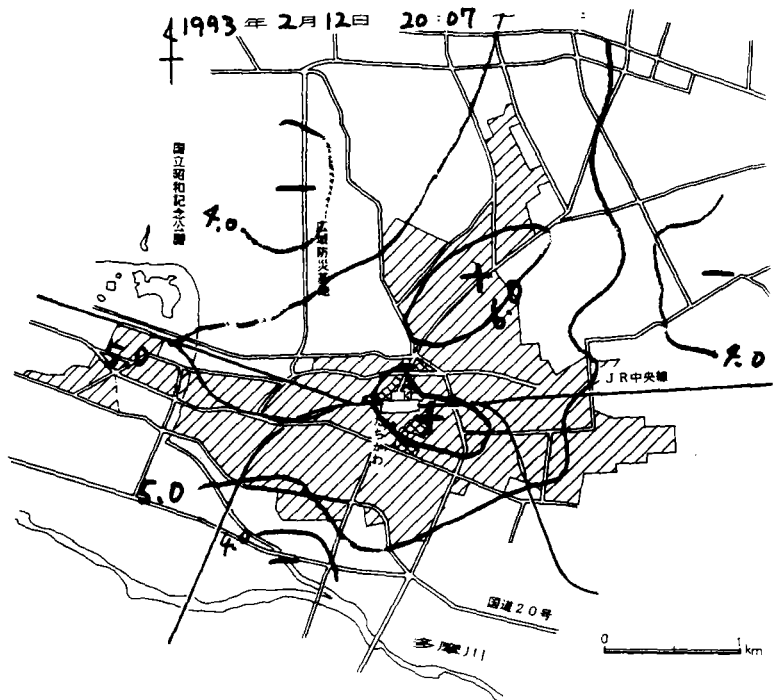


図5-5-11

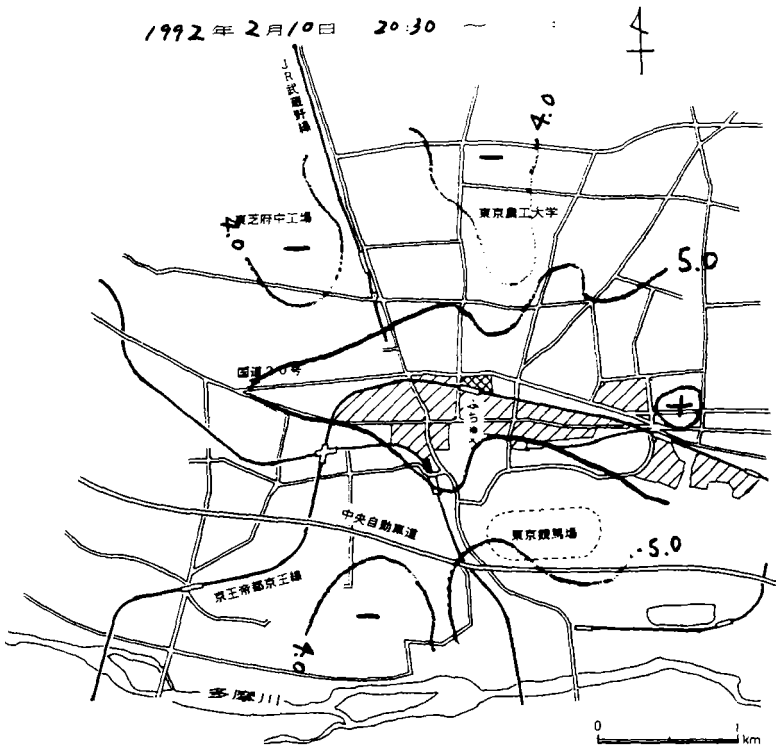


図 5 - 5 - 12

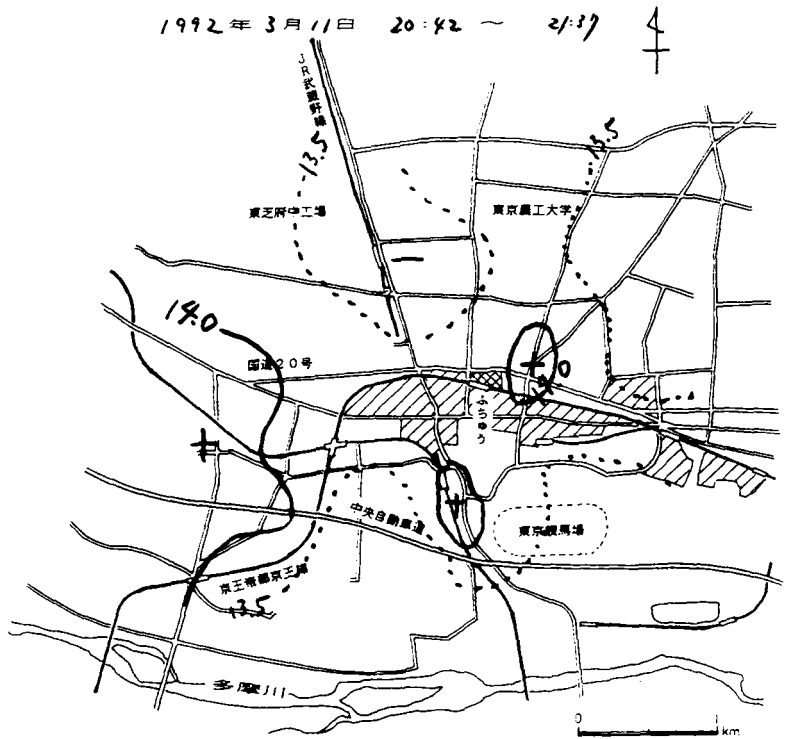


図 5 - 5 - 13

1992年7月27日 21:02 ~ 21:44

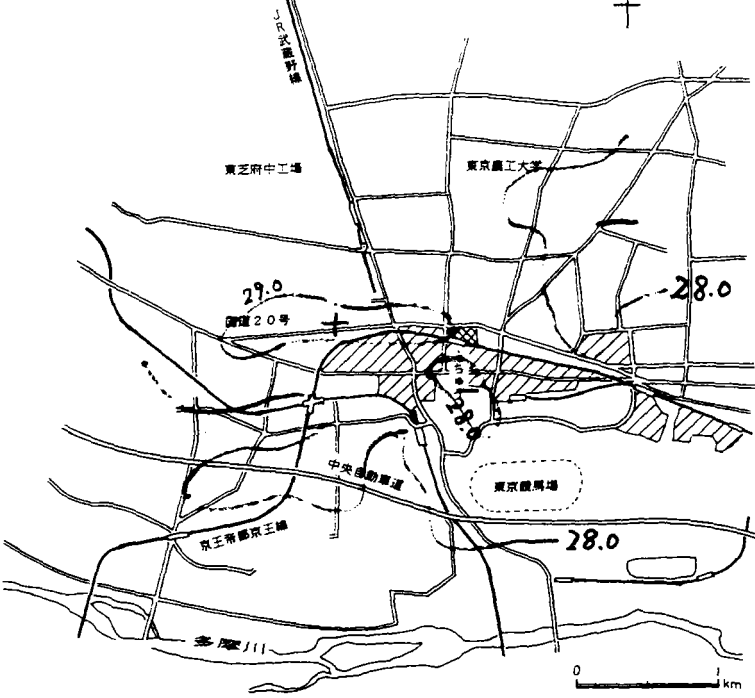


図 5 - 5 - 14

1992年7月28日 8:18 ~ 9:07

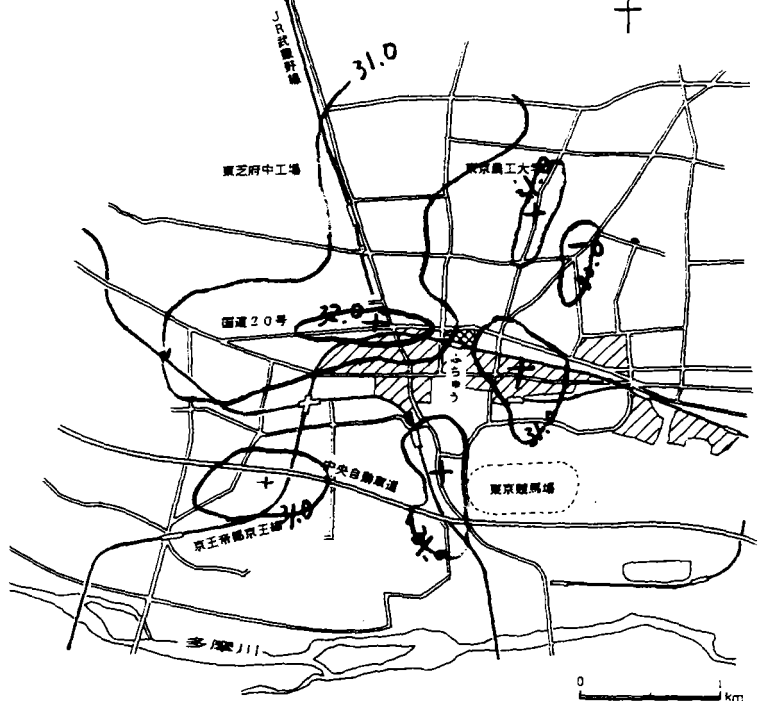


図 5 - 5 - 15

1992年8月6日 9:00 ~

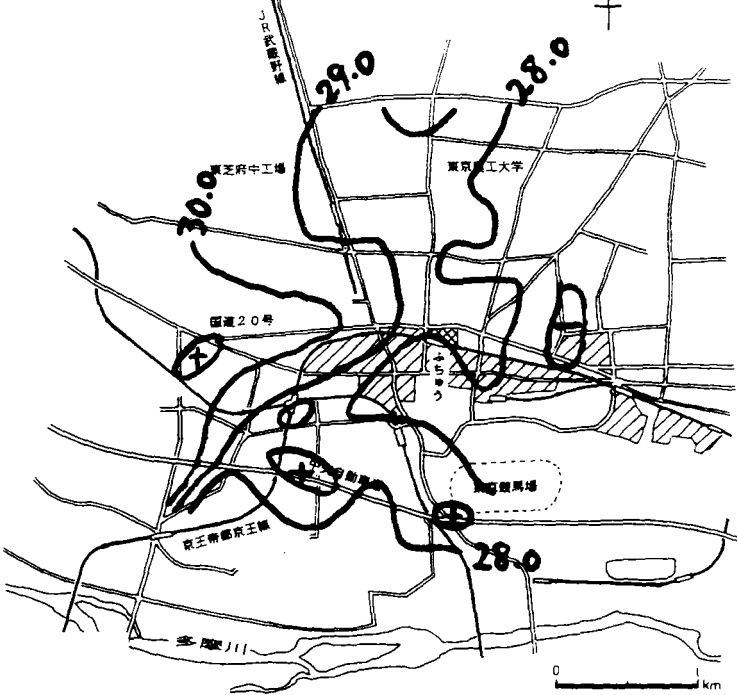


図 5 - 5 - 16

1993年1月27日 20:07 ~

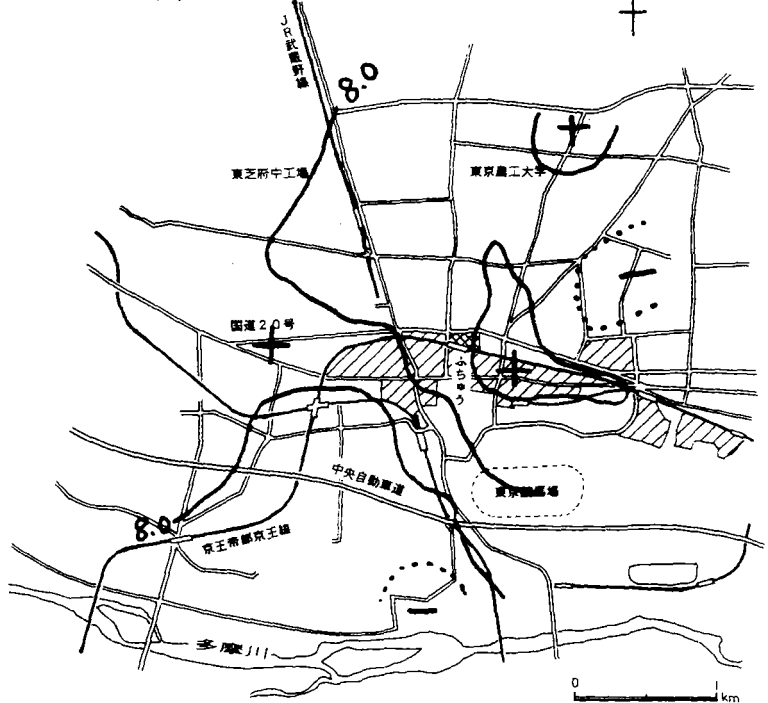


図 5 - 5 - 17

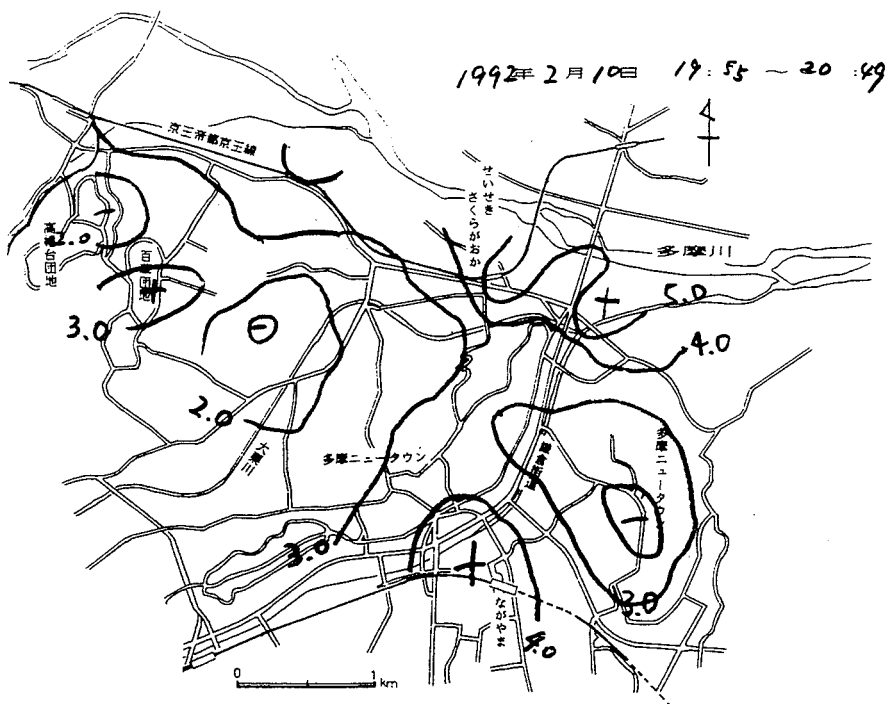


図 5 - 5 - 18

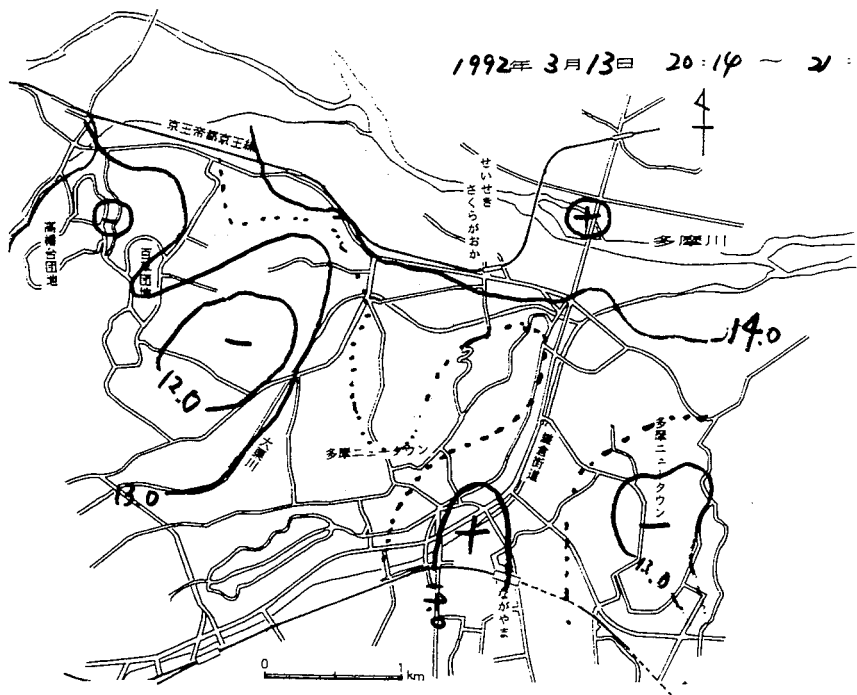


図 5 - 5 - 19

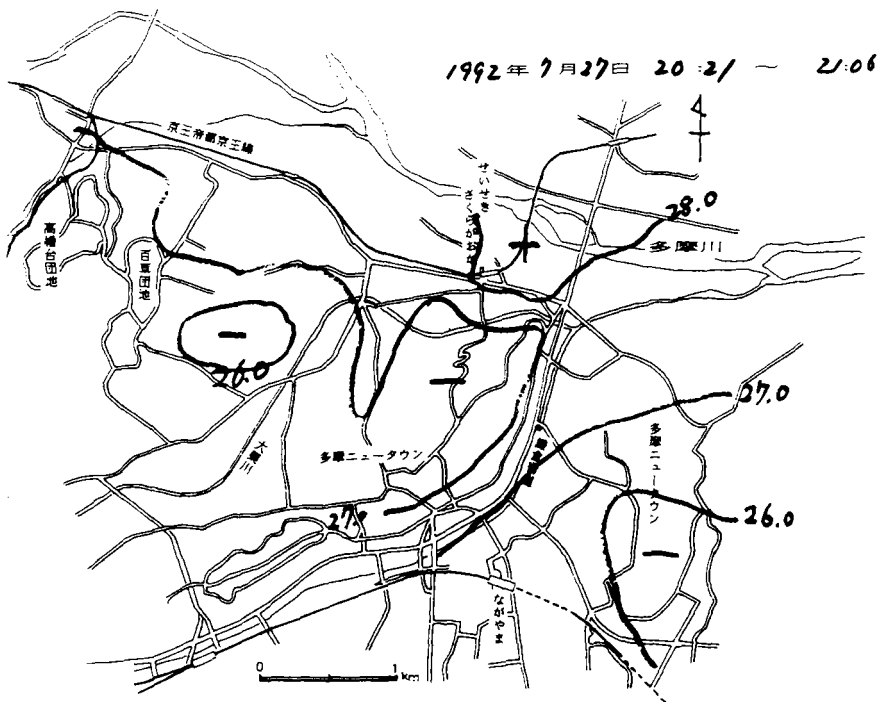


図 5 - 5 - 20

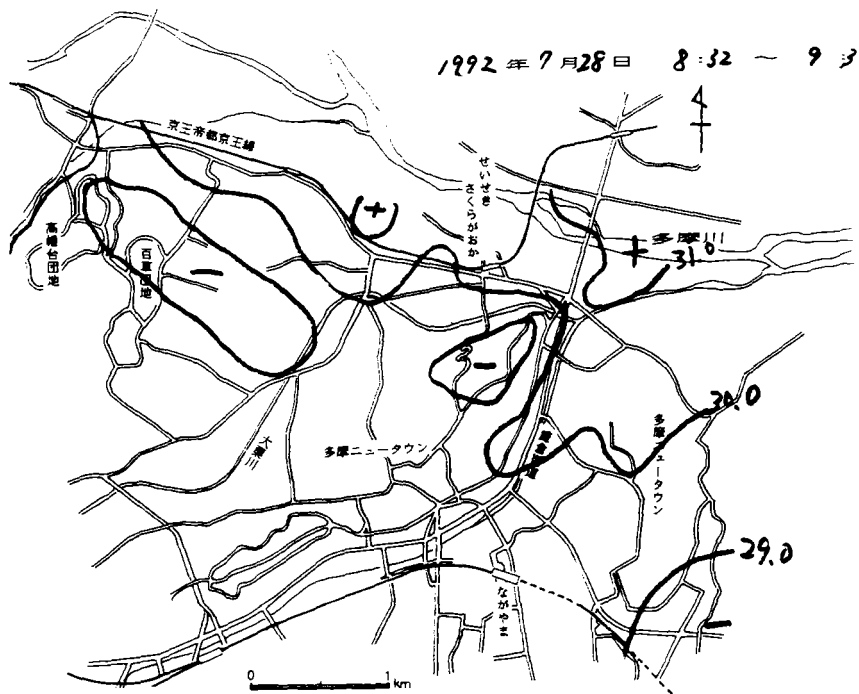


図 5 - 5 - 21

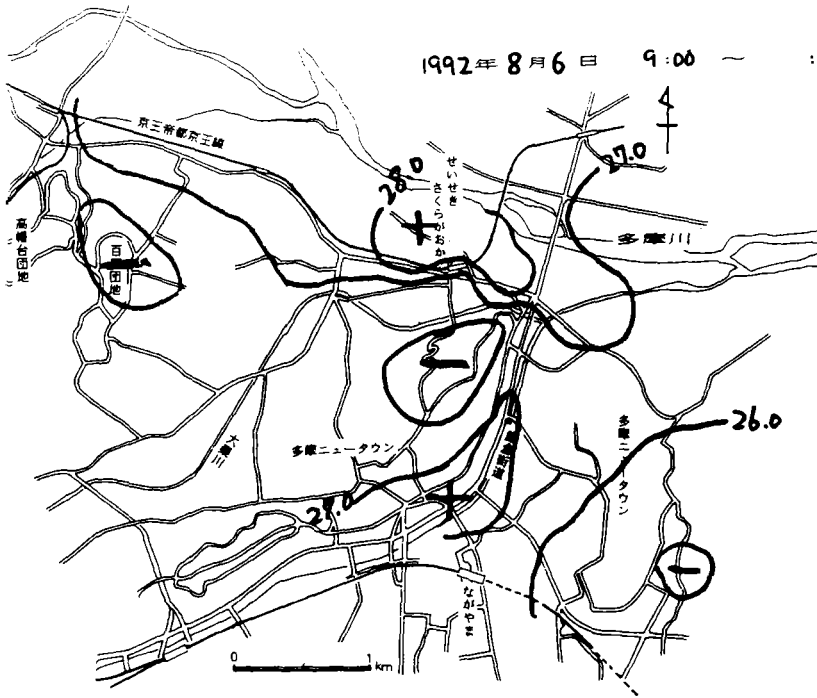


図 5 - 5 - 22

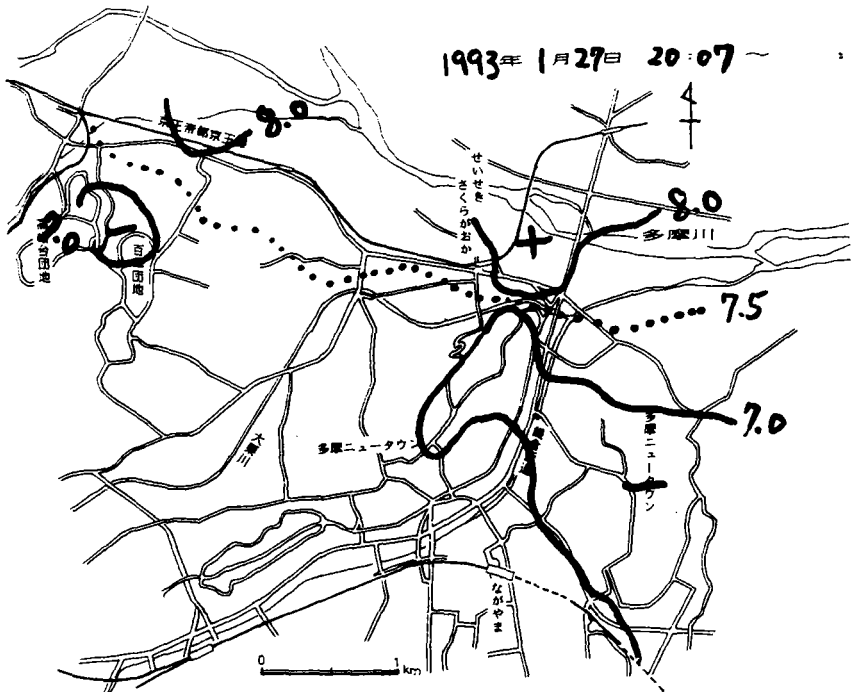


図 5 - 5 - 23

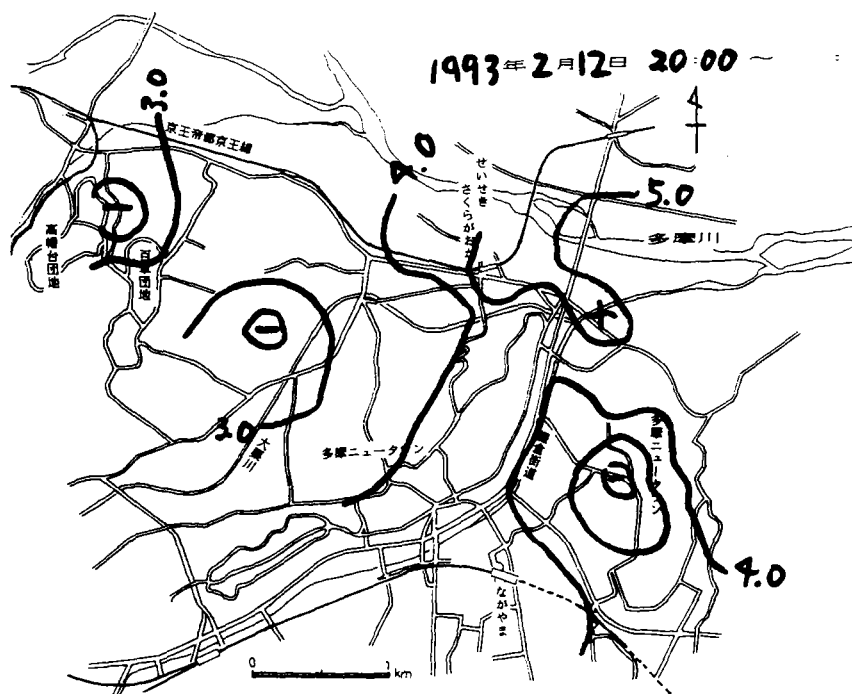


図 5 - 5 - 24

5 - 2 - 5

立川市と府中市においては、鉄道の駅（JR立川駅：京王線府中駅）を中心とした市街地の部分に高温域が出現した。しかし、多摩市（一部日野市の東部も含む）においては、多摩川沿いの低地にある駅（京王線聖蹟桜ヶ丘駅）周辺の市街地よりは、丘陵地の谷沿いにある幹線道路（鎌倉街道）沿いに高温域が出現した。立川・府中の両市は、市街地と交通量の多い幹線道路とが近接しているため、両方の効果で高温域が形成されている。しかし、多摩市の場合、両者（市街地と幹線道路）が離れており、鎌倉街道の交通量が多いため、より高温になったと考えられる。

しかし、ヒートアイランド強度においては異なる。立川で1.7~4.0℃(平均2.8℃) 府中で1.1~4.3℃(平均2.3℃)程度の差が生じているが、多摩市では、ヒートアイランド強度も2.1~5.6℃(平均3.6℃)と他の2市よりも大きい。立川・府中の両市は、段丘崖は存在するものの平坦な洪積台地・河岸段丘上に市街地が広がっている。これに対し、多摩市は丘陵地であり、市街地が比較的小さく、谷底平野に幹線道路が通り、斜面に緑地（森林）が多い。地形的条件で熱が拡散しにくいことと、郊外に相当する場で気温が上昇しにくいためにこのような違いが出現したと考えられる。

立川市と多摩市においては、冬季のほうがヒートアイランド強度が大きくなるが、府中市では夏の

ほうが大きい。夜間におけるヒートアイランド強度は、各地域とも冬季の方が大きくなっている。

相対湿度とヒートアイランドの関係を見ると、高温域が湿度が低くなり、低温域で湿度が高くなり乾燥している(図5-5-25)。

10年前(1982~83)にも、観測方法は異なるが立川市と府中市で気温の観測を行った。共に市街化された地域や高層の建築物は増加したり、土地利用は変化している。しかし、立川市においては、高温域の規模は大きくなっているが、府中市においてははっきりとした拡大はみられなかった。

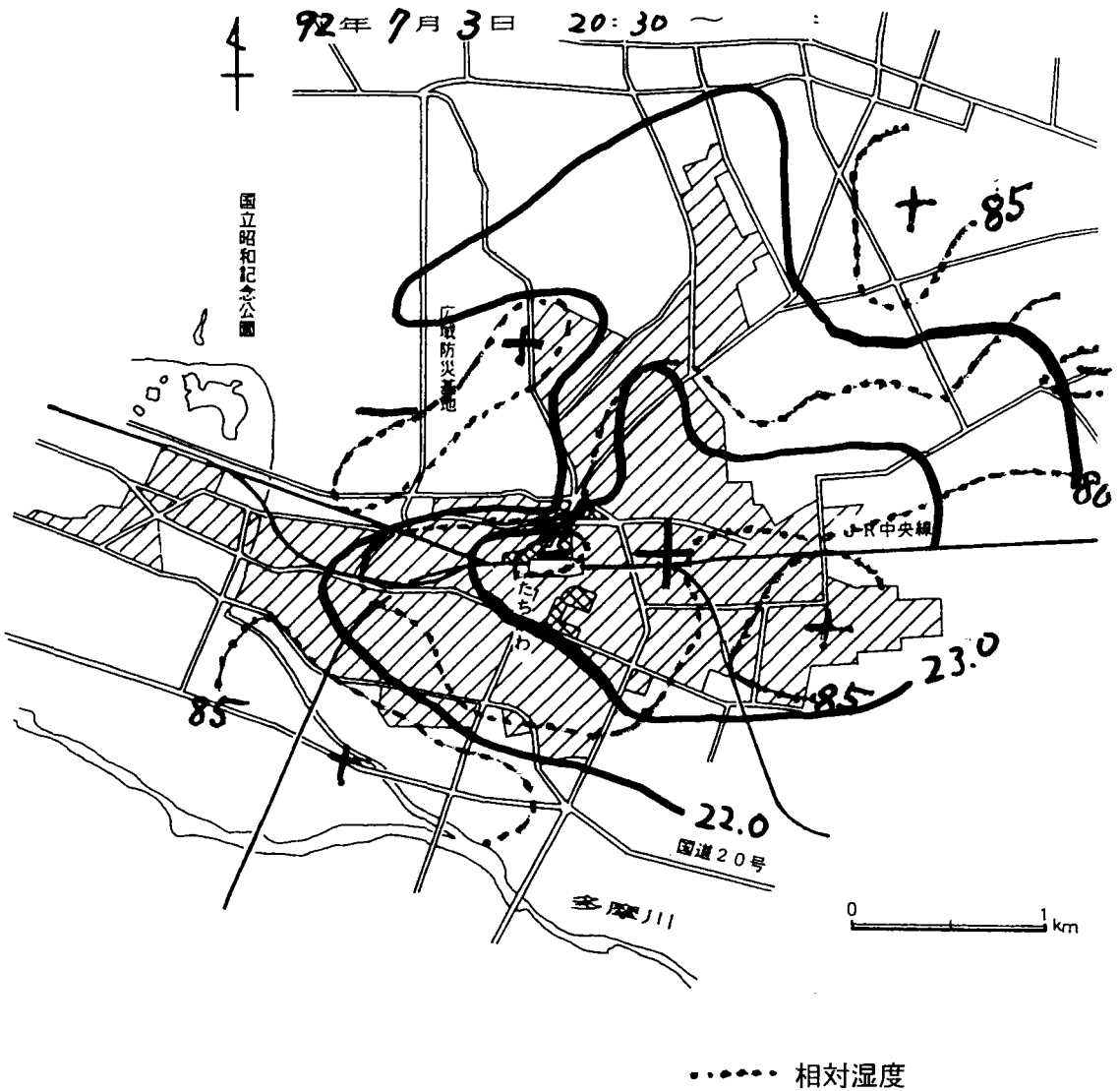


図5-5-25 立川における相対湿度の水平分布

6. ランドサットデータの画像処理

6-1 MSS : 83-5-18

ランドサット4号、5号に搭載されているセンサーであるMSSによって観測されたデータを画像処理したものをここでは示す。使用したソフトはOM-SATでシャガールというハードコピー装置によってプリントしたもので、国士舘大学地理学教室の長谷川研究室にて行ったものである。データは1983年5月18日のものである。

No.1 : フォールスカラーで $R=7$ 、 $G=5$ 、 $B=4$ と割り当てて合成カラー画像を作成したものである。赤色が植生部分を示し、白色が裸地、または雲か雪である。青色が市街地で、暗い青は水面である。左下の赤色部分は山地であり、黒色の陰の部分が谷である。五日市街道沿いに黒緑色が連なっているが、何を示しているかは分からない。多摩川、秋川などの水路は少し濃い青色になっている。山地と丘陵以外はほとんどが青色となっている。

No.2 : ナチュラルカラーで、 $R=5$ 、 $G=7$ 、 $B=4$ の合成カラー画像である。緑色が森林植生を示し、濃い青色は水面または貯水池である。赤紫色は市街地を示している。多摩川の河川敷はNo.1のフォールスカラーよりは判別しやすい。谷の陰の部分は黒色になっている。

No.3 : 輝度値の各バンドにおけるヒストグラムを示したものである。この場合、MSSであるので、ch1からch4まではバンドの3、4、5と7である。各バンドの輝度値がどのような頻度分布になっているかを示したものである。

No.4 : MSS-4のシュードカラー画像である。黄色や赤色が植生を表わしている。フォールスカラーやナチュラルカラーの植生部分が活力度によって細分化されたものである。狭山丘陵、阿須山丘陵、草花丘陵、加住丘陵、多摩丘陵などの丘陵部分は森林の活力度が弱く、黄色が多くなっている。河川がやや不明瞭であり、全体的に場所の確認が困難である。濃赤色は市街地ないし住宅地を示す。

No.5 : MSS-4のシュードカラーの部分拡大画像である。No.4の立川から府中にかけての地域を拡大したものである。細部の地表面状態の違いが良く表現されているが、その違いが何を示すのかは実際の地表面状態を詳細に調査しなければならない。

№6：MSS-7のシュードカラー画像、白色・赤紫色は植生を示す。狭山湖や多摩川の水面は黒色で、多摩川の河道が明瞭に表現されている。濃青色は人工構築物を示し、府中街道もはっきりと示されている。この画像は水面と陸域の区別ができるのと、植物量の判別が可能となる。

№7：MSS-7のシュードカラーの部分拡大画像で、№6の立川から府中にかけての地域である。多摩川が明瞭に示されているので対応は比較的容易である。立川駅付近と立川基地跡が黒色ではっきりと区別できる。府中競馬場の形も明瞭である。小金井公園は白色と赤紫色に表現されている。府中市街地や立川市街地が濃青色で示されている。

№8：MSS-7のフレームシュードカラー画像である。この画像は地表水などの水の分布把握に利用される。例えば、多摩川は赤色ではっきりと認めることができる。狭山丘陵の狭山湖の赤色と森林の赤紫色もはっきり区別できる。また、道路も判別可能で、府中街道や甲州街道は赤色で、五日市街道、新青梅街道、浦所街道は青紫色となっている。

6-2 TM：92-3-31

以下も同様に国土館大学長谷川研究室にて画像処理し、プリントアウトしたものである。

№9：TMのバンド1、2、3、4の各々の輝度値のヒストグラムを示したものである。Chの1、2、3、4が各バンドの1、2、3、4に相当する。

№10：TM-6のフレームシュードカラー画像である。インターナル2の等頻度分割したものである。TMのバンド6は温度情報であり、多摩川流域の熱映像を示していることになる。水面が明瞭に示されている。

№11：TM-6のフレームシュードカラー画像である。インターナル1の等間隔分割したものである。東京湾や狭山湖などの広域の水面の表面温度は低いことが分かる。河川や森林の表面温度は次に低い値を示しているが、同じ温度範囲に入っている。市街地や畑地、水田は次の二つの温度範囲に入っているが、それらの判別はこの画像からは判別は不可能である。赤色は相模原台地、多摩川河口付近、武蔵野台地扇頂～扇央、荒川沿岸の戸田市や板橋区付近である。黄色は多摩丘陵や都心部で温度的には低い値を示している。白色はより高い温度レベルを示すもので、日産東村山工場などが相当する。

No.12：TM-6のフレームシュードカラー画像で、等頻度分割したものである。No.11の黄色の範囲（16.8～21.3℃）を5等分したもので非常に細かく分割されている。八王子市東部から町田市西部や都心部が低い温度を示している。多摩丘陵東部や荒川沿いもやや低い温度を示している。この画像では、武蔵野台地などの平坦部の違いは細かく表現されているが、水面と山地植生部分との違いは区別できていない。

No.13：TM-6のフレームシュードカラー画像で、インターナル1の等頻度分割したものを拡大したものである。範囲はNo.12の多摩川青梅から狛江付近までを拡大したものであるが、多摩川は水量が少ないせいか、川筋が連続していない、日産東村山工場、日野自動車羽村工場、多摩動物園などが高い温度範囲を示している。

6-3 TM：1990年11月5日

これらの3枚の画像は都立大学の近藤昭彦博士に依頼して、都立大学のテラマールによって作成した画像である。図6-3-1はトルーカラー画像で、BGR=123を割り当てたヒストグラムストレッチ（強調）画像である。図6-3-2はフォールスカラー画像で、BGR=234のヒストグラムストレッチ画像である。図6-3-3は同じ地域の同じ日の熱映像で、BGR=666としたリアーストストレッチ画像である。つまり、濃淡が表面温度の高低を示しているが、地域の認定が必ずしも明瞭ではない。

6-4 TM：1993年5月21日

図6-4-1はランドサットTMのフルシーン画像である。磁気テープで供給されるもので、1シーンと呼ばれ、幅185km*170kmの広さである。位置の確認をするために対応する地図を透明シートも付けてある。このシーンはパス（縦方向）とロウ（横方向）の数字で表示され、東京を中心とする関東地方はパス107、ロウ35で表示されている。この画像は、TMの7つのバンドのうち、R（赤）にバンド4、G（緑）にバンド3、B（青）にバンド1を割り当てて画像処理したもので、フォールスカラー画像の一種である。通常の可視画像とは違って植生のところが赤色に、市街地は薄い青白色で、雲は白く、水面は濃い青色になっている。

図6-4-1の画像を立川・府中を中心にして4倍にズームアップしたものが図6-4-2である（Screenにおける中心部のLineは763、Pixelは273、FileではLine4747、Pixel17963で、以下の画像も同じである）。TM画像であるため1ピクセルは30m*30mの大きさで、ピクセルの大きさが判定することができる。参考までに8倍、16倍の画像を同じ場所を中心部にして画像処理したものが図6-4

－ 3、図 6－4－4 である。テラマールシステムでは最大16倍まで拡大できる。この画像は $64 \times 64 = 4096$ のピクセル(画素) からなっている。この一つ一つに対してデジタルデータが256階調で示されている。これらの一つ一つのピクセルが何を示しているかは、地上のデータに基づいて解釈しなければならない。今回の研究では地表面温度を対象としたので、地上被覆のグラントルースは実施していないので、具体的な土地利用を認定することはできない。しかし、ランドサットデータの利用には、地上でのグラントルースの調査がいかに重要かということを示している。

6－5 TM：1985年1月23日

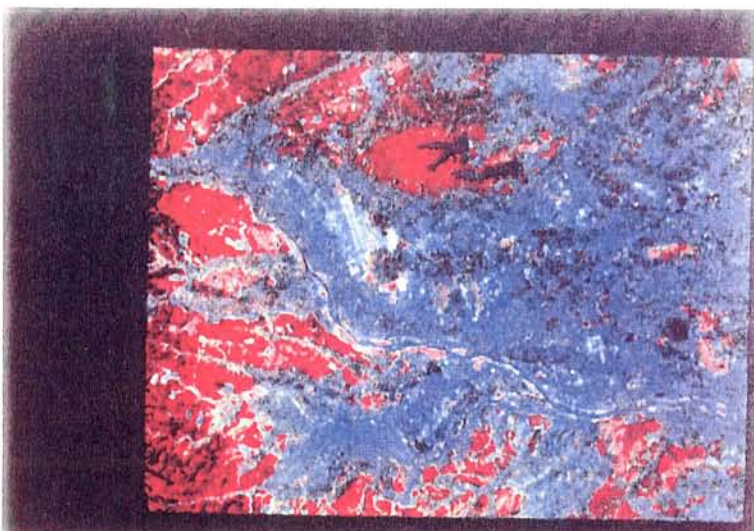
東京およびその周辺における昼間（実際は午前8時頃）の熱画像処理をしたものが図 6－5－1 である。TMセンサーのバンド6をそれぞれBGRに振り分けたものである。黒い部分が温度が低く、白い部分が温度が高い部分である。冬季の地表面温度は複雑で、いわゆる気温に出現するようなヒートアイランドの特徴を示さない（近藤他、1993）。本画像でも東京都心部でも必ずしも高温になっておらず、どちらかといえば周辺部の方が高い温度を示している。

この画像の中から、狭山湖、立川、府中にかけての地域を4倍に拡大して取り出したのが図 6－5－2 である。多摩川の位置や横田の米軍飛行場や立川に高温部が出現している。画像の下から4分の1程度のところに、東西に白線が走っているが、これはデータ上の傷（欠陥）によるものと思われる。さらに、府中付近を中心に16倍に拡大して取り出したのが図 6－5－3 である。1ピクセルが $30\text{m} \times 30\text{m}$ であるが、バンド6の解像度は $120\text{m} \times 120\text{m}$ であるので実際にはデータは粗くなっている。

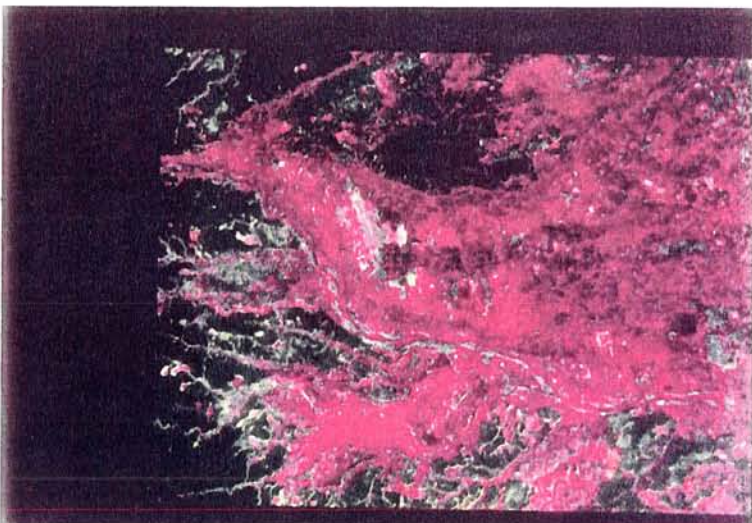
6－6 夜間の熱映像

この画像は1993年4月17日にランドサット5号が観測したTMの熱バンドを東京学芸大学地理学研究室のテラマールシステムを使って加藤俊洋（当時東京学芸大学大学院）によって画像処理したものである。この場合、バンド6に赤、緑、青の等頻度で分割したものである。赤色の部分が温度が高いところで、青色が温度の低いところ、緑は中間的なところである。都心部や副都心の新宿や渋谷、池袋の高温が明瞭に処理されている。また、その外側に散在する中小の都市もヒートアイランドを形成していることが読み取れる。さらに、東京湾に流入する河川水の高温もはっきりと写し出されている。

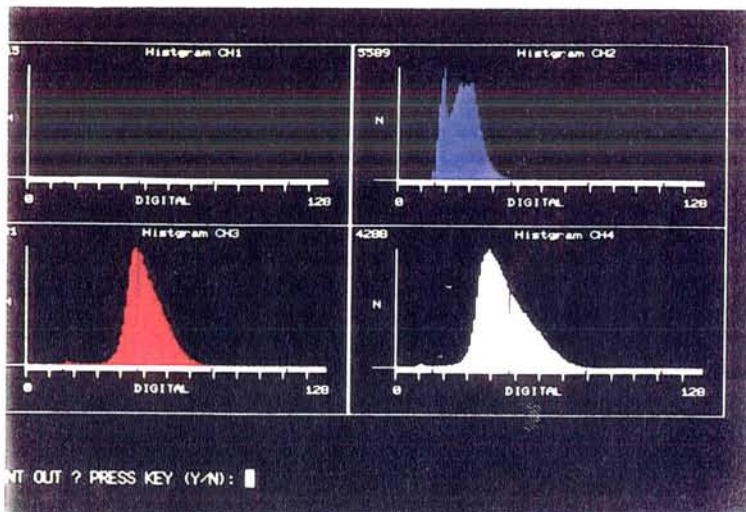
1



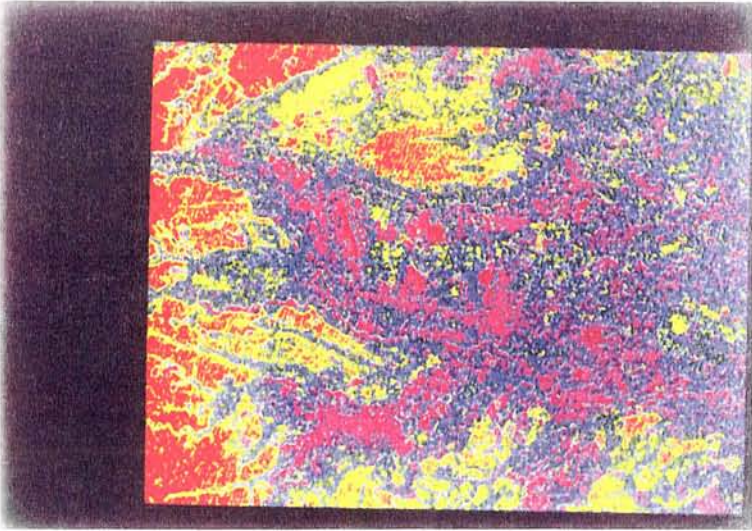
2



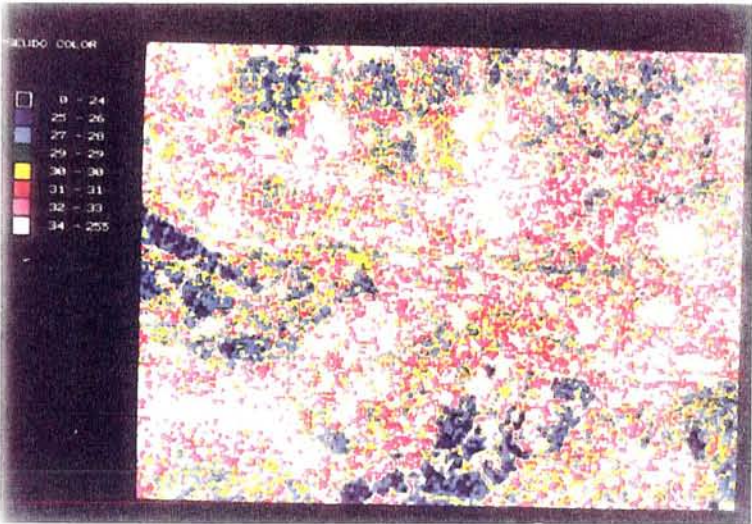
3



4



5



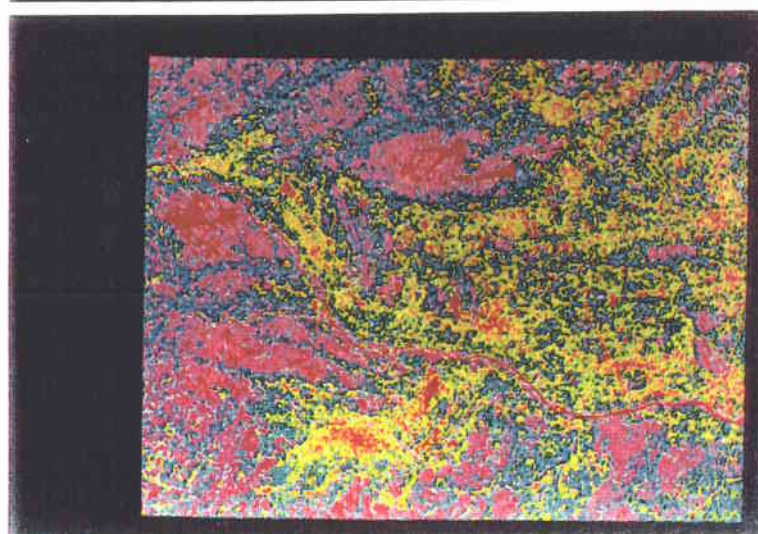
6



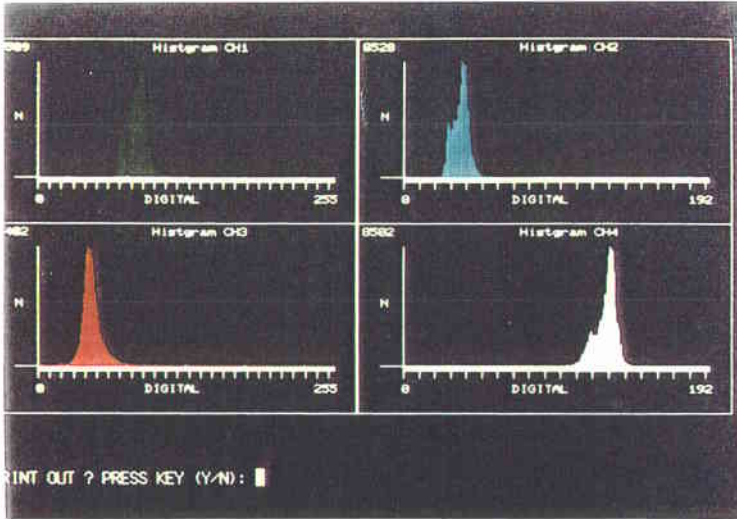
7



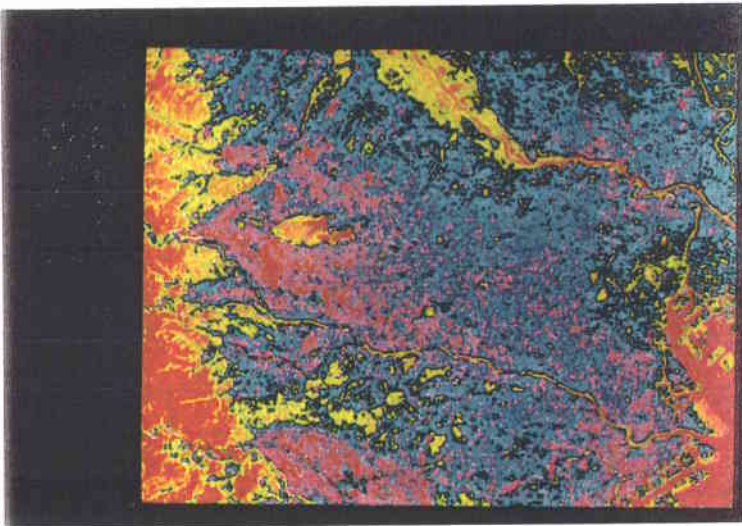
8



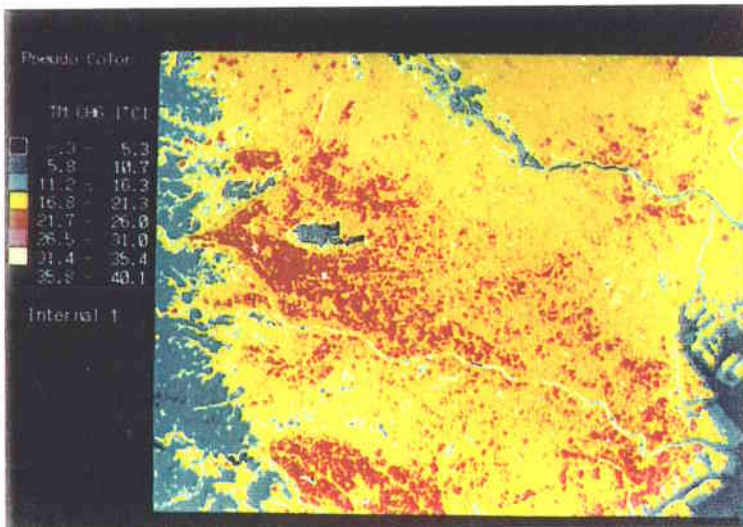
9



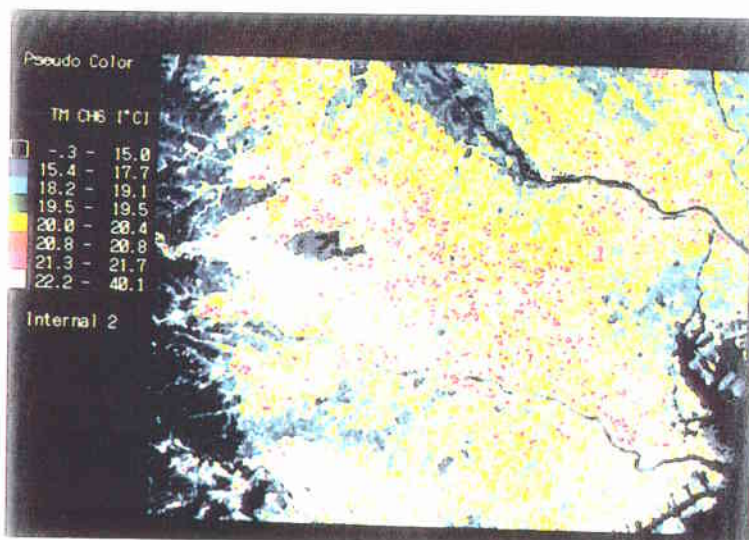
10



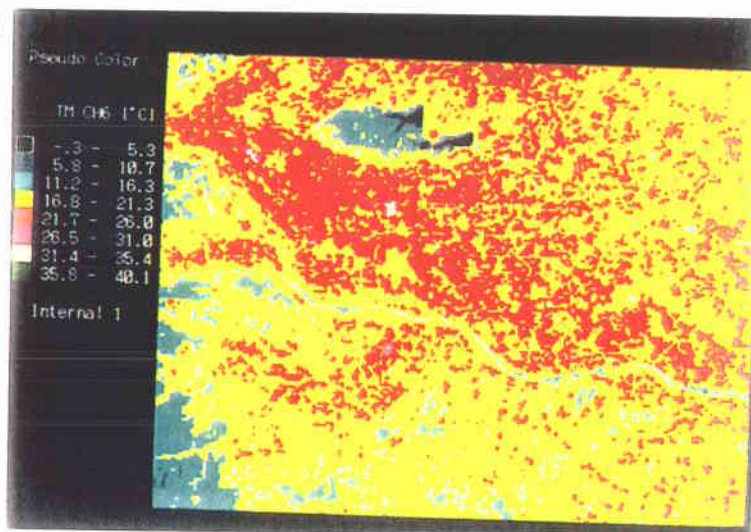
11



12



13



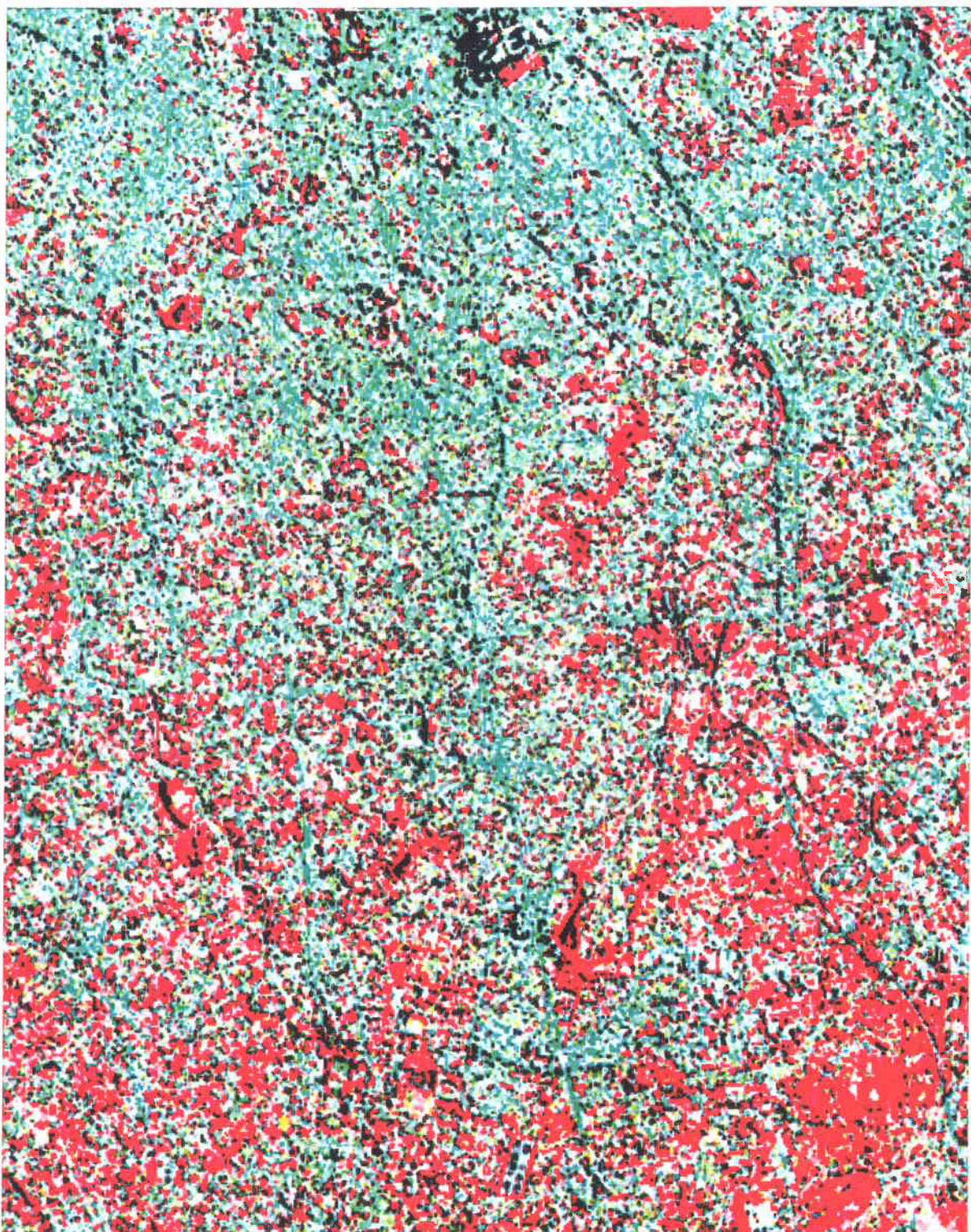


図 6 - 3 - 1 東京西部のトルーカラー画像



図 6 - 3 - 2 東京西部のフォールスカラー画像



図 6 -- 3 -- 3 東京西部の熱映像



図 6 - 4 - 1 1993年 5 月 21 日の関東平野の
TMフォールスカラー画像 (RGB=431)

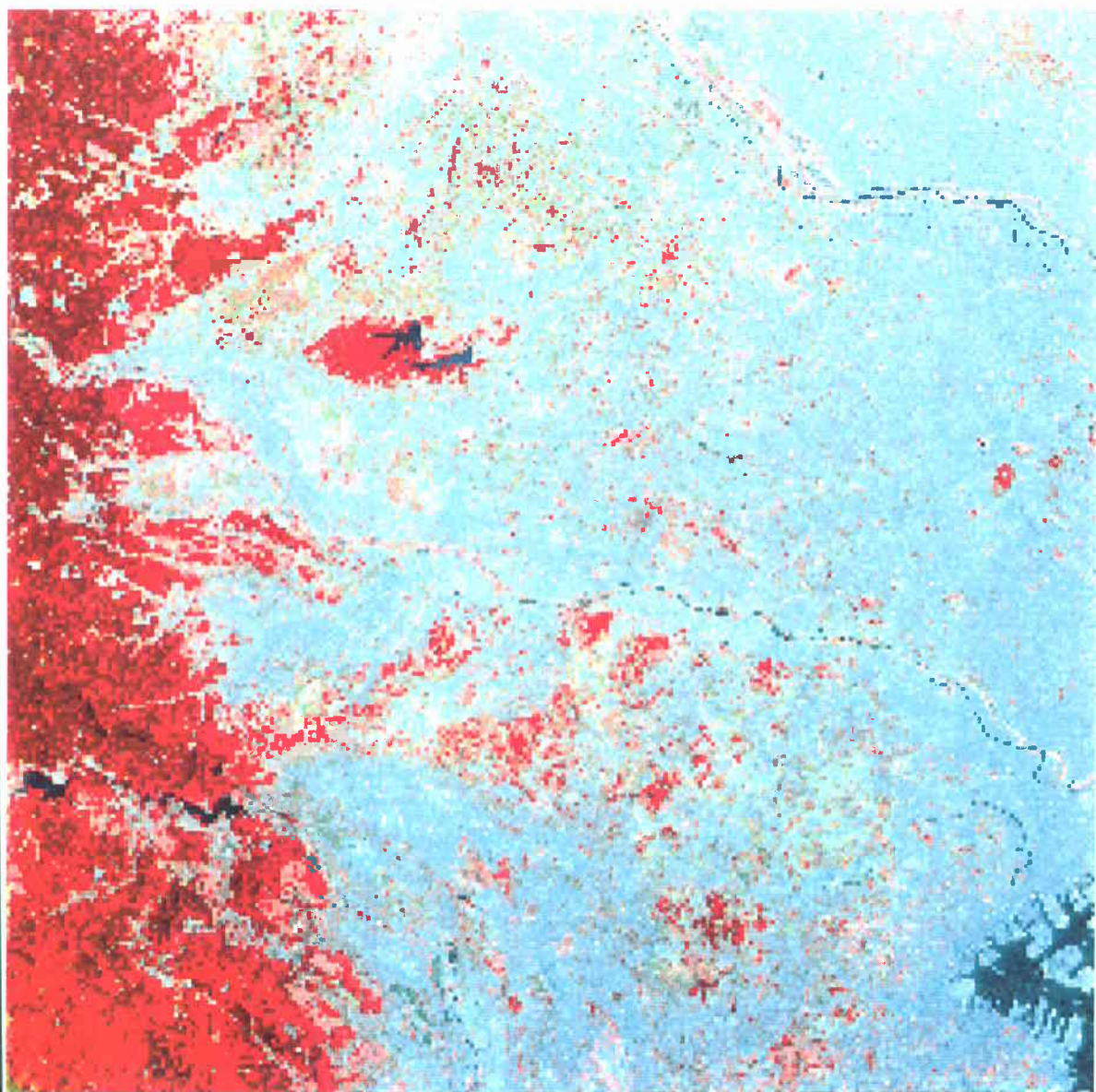


図6-4-2 TM930521の関東西部の画像 (Zoom=4)

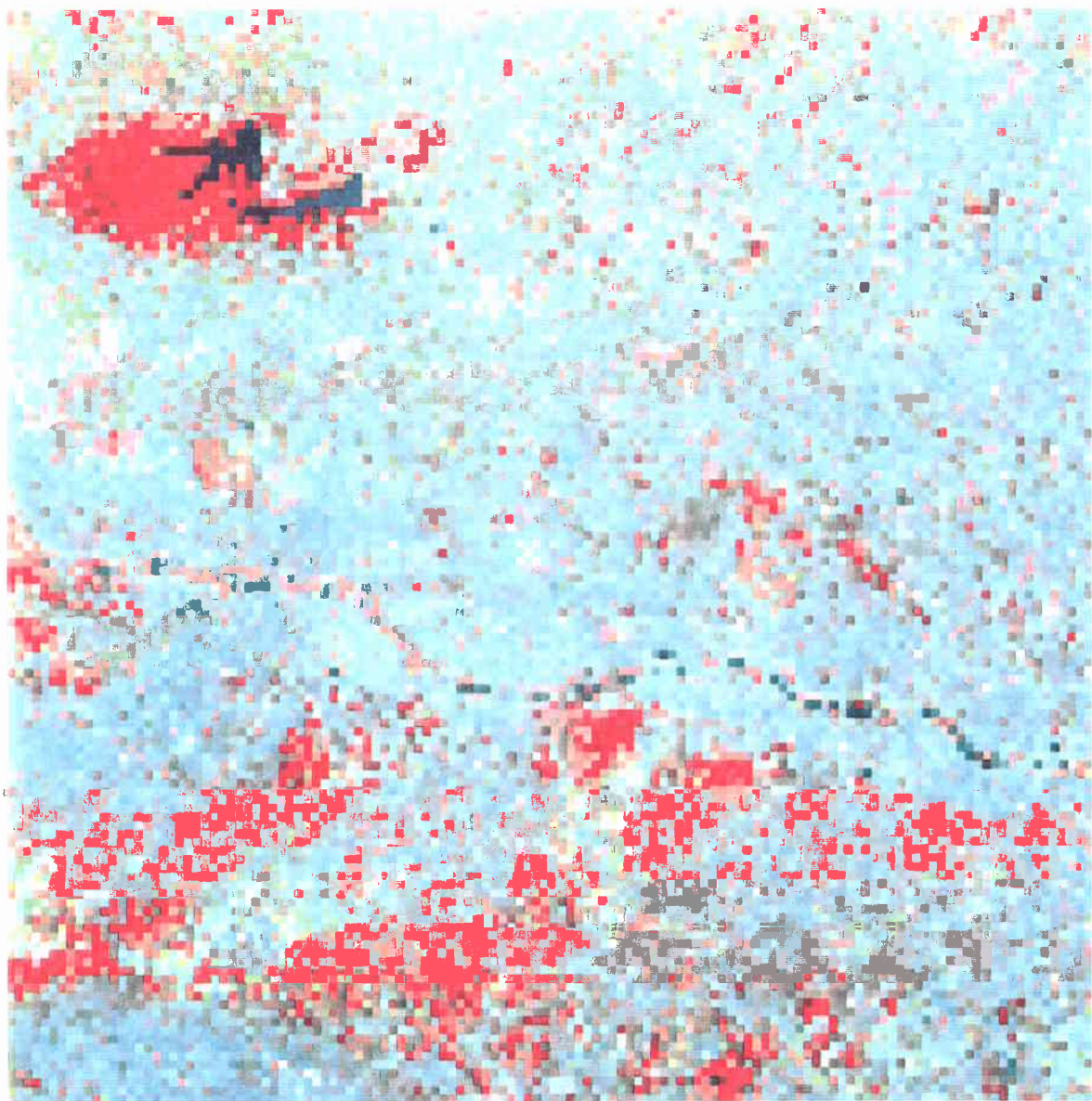


図6-4-3 TM930521の立川から府中の画像（Zoom=8）

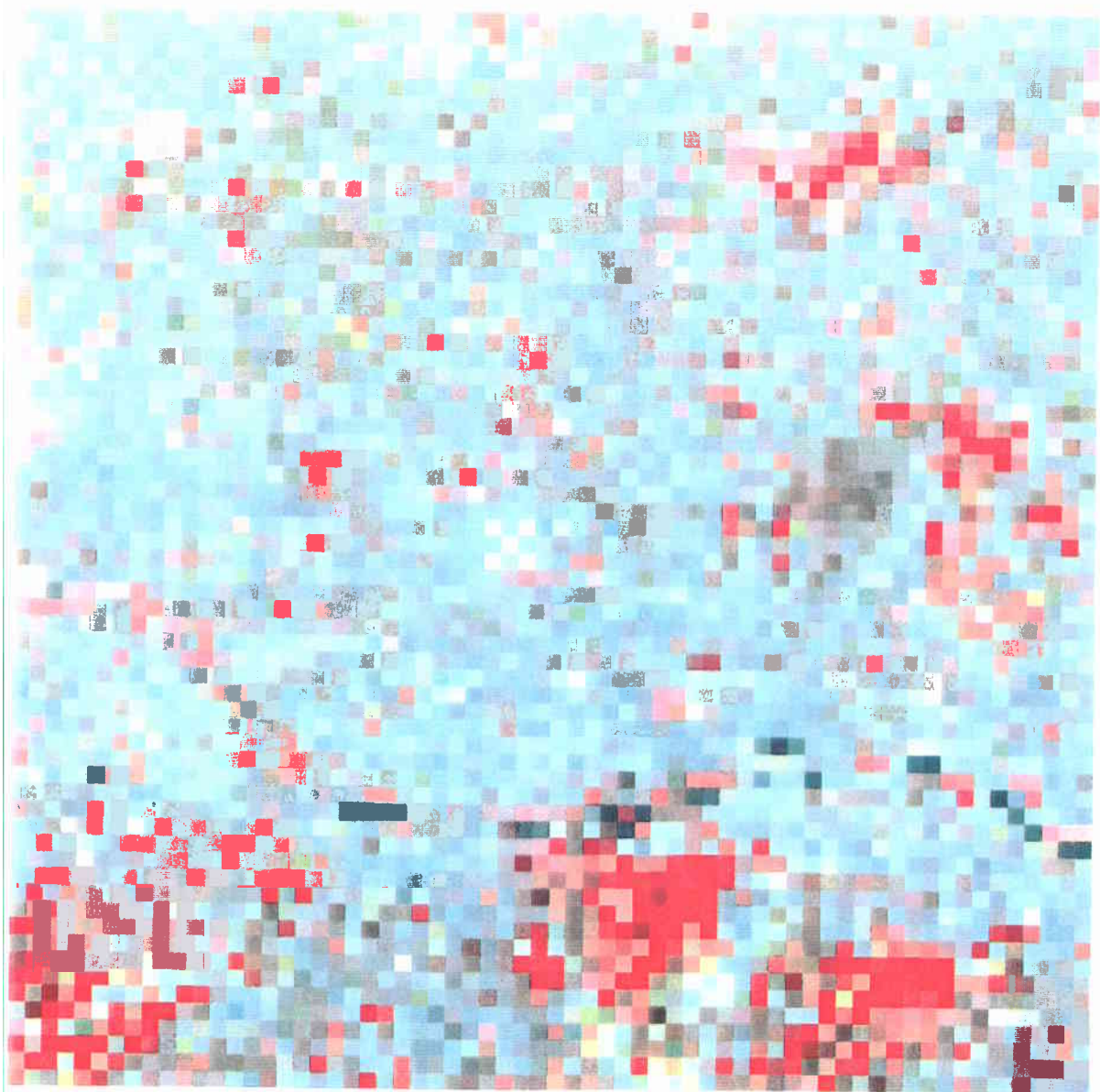


図6-4-4 TM930521の府中・多摩の画像 (Zoom=16)

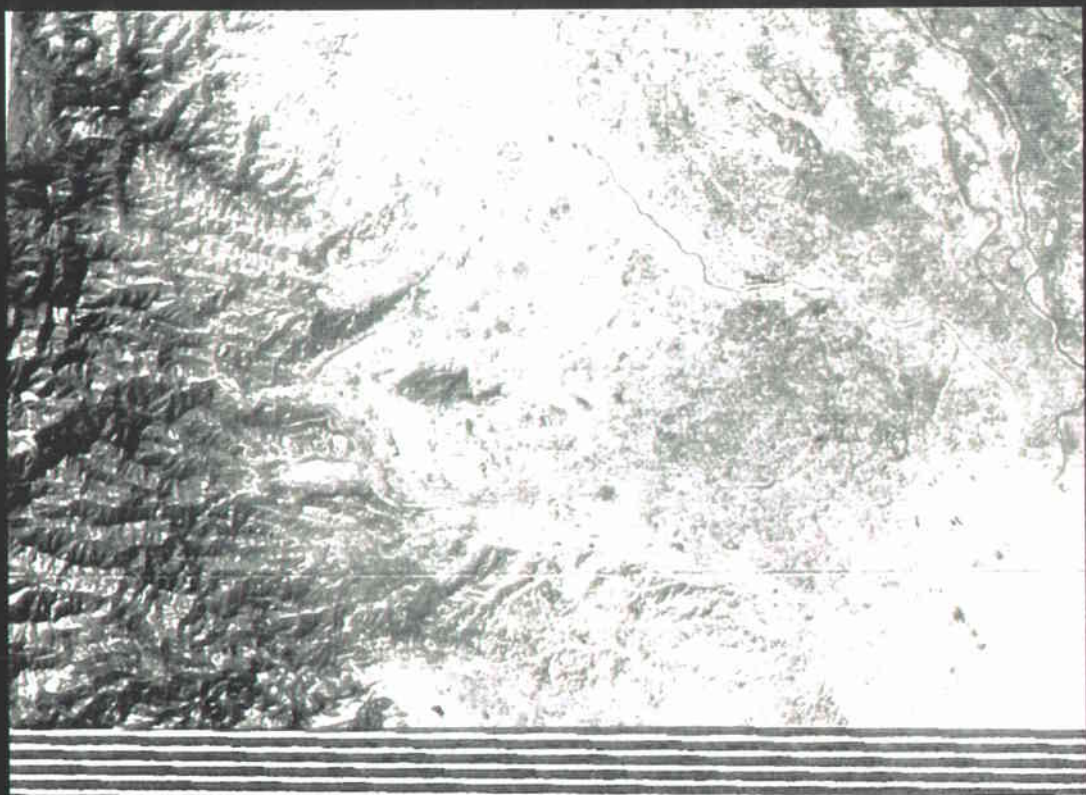


図 6-5-1 TM850123 の熱画像 (バンド6)



図6-5-2 TM850123の立川・府中の拡大熱画像 (Zoom=4)

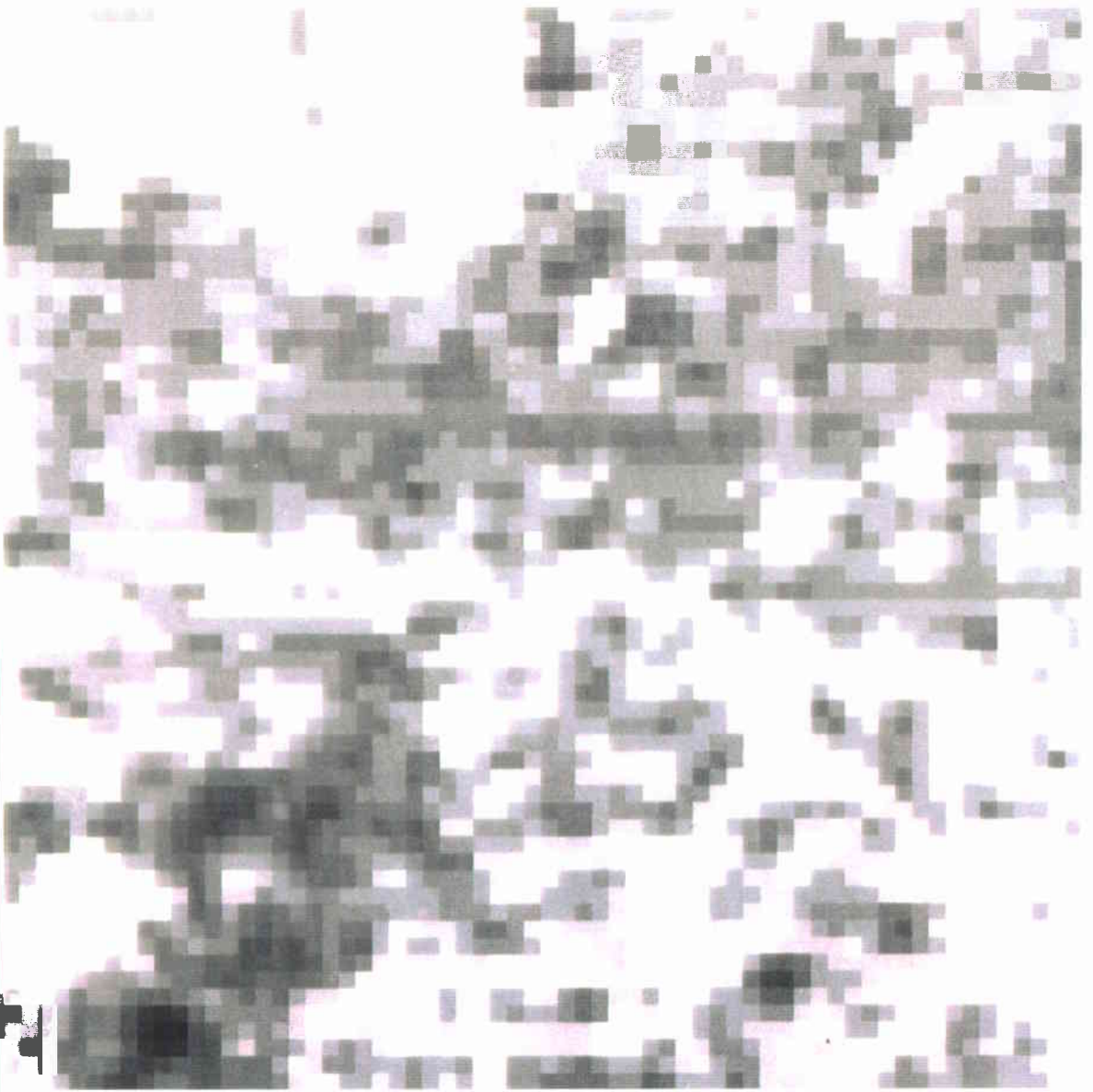


図 6 - 5 - 3 TM850123 の府中を中心にした拡大熱画像 (Zoom=16)

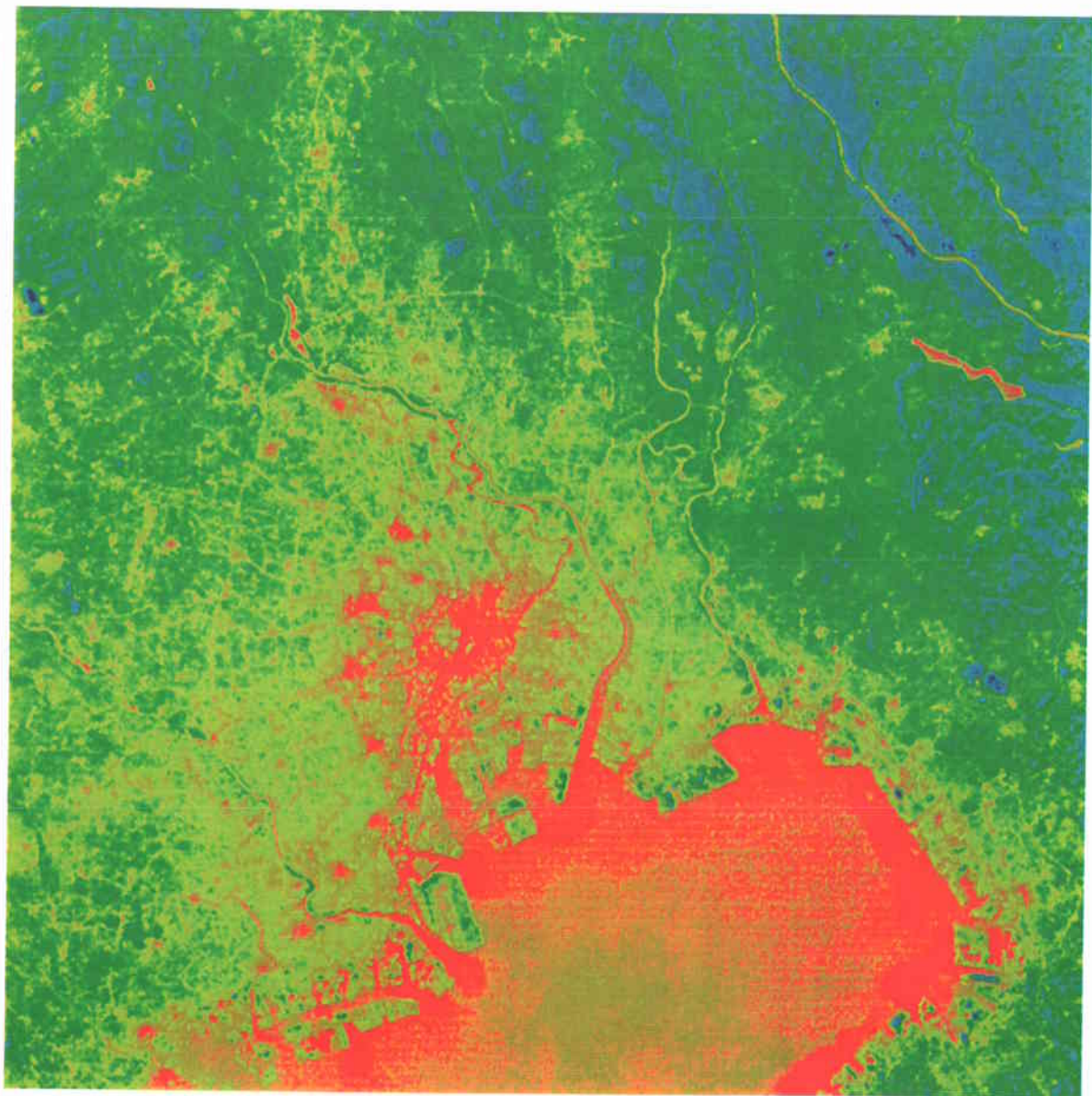


図 6 - 6 - 1 東京大都市圏の夜間の熱映像カラー画像

7. 都市化による環境変化の研究

7-1 立川市における気温分布と水蒸気圧の関係について

加藤 俊洋

7-1-1 本研究の目的

本研究では、一般的な住宅地とコンクリートを多用した商業用の建築物の集中する2種類の地域を設定し、併せて緑地も考慮に入れて水蒸気の分布を測定することにより、水分の蒸発による気温の低下について調査を行った。特に住宅地が都市域の気温に対してどのような場合に影響をおよぼしているのかということについて考察することを目的とする。

7-1-2 調査地域の概要と調査方法

2.1 調査地域の概要

立川市は、①独立した都市であり、周辺からの気温への影響が少ないことと、②市街部と郊外との境界が明瞭であるので上記目的を遂行するのに適している。立川市は東京の西部多摩地区に位置し、この地域の中核的役割を果たしている。JR中央線立川駅を中心として南北に商業地区が集中しており、その東側を南北に立川通りが通っていて、この地域での主要な交通路である。図中において立川駅周辺の斜線部分は比較的高層建築物が特徴的な領域を示す。また、立川駅北口から北西側には、立川飛行場跡地とその一角にある昭和記念公園が広大な緑地としての役割を果たしている。地形的にも、地域内においては北西から南東方向へ傾斜しているが比高15m以内で、高度による誤差はごくわずかで影響はほとんどないものとみなすことができる。

2.2 調査方法

調査方法として、主に自動車による移動観測を用いた。観測項目は乾湿球温度であり、全32地点で計測を行った(図7-1-1)。図中の数字は観測地点番号を表している。観測機器としてサーミスタ温度計を各1本ずつ使用し、これをエプソン製のハンドヘルドコンピュータHC-40に接続し、自記録させた。サーミスタの感部は日射による影響を防ぐために、直径10cm、長さ1mの日射よけを施した塩ビパイプの内部に設置し、自動車の上部(地上高約1.6m)に固定した。自動車から排出される熱の影響を受けないようにサーミスタ部分は屋根の前方に出した。観測時には、周囲の自動車の影響を受けないように、車間距離は20~30mとした。計測時には原則として時速約40kmで走行し、計測は常に走行中に行った。なお、誤差を小さくするために、1回目の測定を行った2秒後に2回目の測定を行い、平均値をその地点の観測値とした。

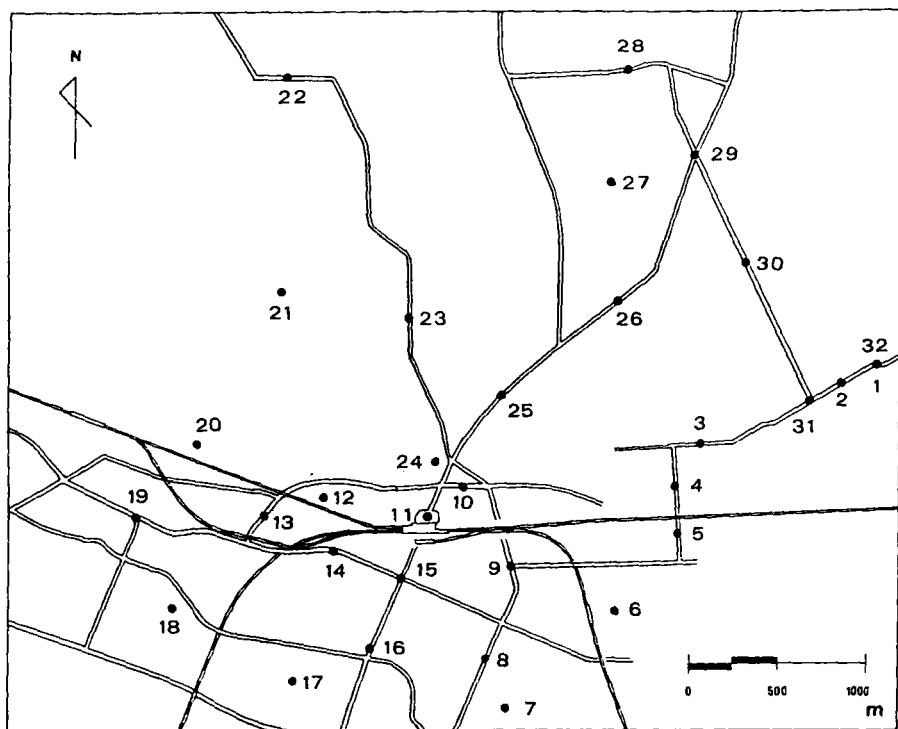


図7-1-1 立川における移動観測地点分布

2. 3 各数値の算出方法

前節の方法によって得られた観測値は、開始と終了では約1時間強（夜間は約50分）の時間差が生じている。このため、時刻による補正を行う必要性が生じる。図2における地点1と地点32は同一地点であり、この2点の値を比較し、その間の気温の変化率が一定である（一次関数で表される）と仮定することにより、補正値を算出した。具体的には以下の式を用いて補正値 TP_i は求められる。

$$TP_i = t_{pi} - (t_{p1} - t_{p32}) / (t_i - t_{32}) * (t_i - (t_1 + t_{32}) / 2)$$

上式において、 t_{pi} , t_{p1} , t_{p32} はそれぞれ地点 i , 1, 32での気温、 t_i , t_1 , t_{32} はそれぞれ地点 i , 1, 32での観測時刻を表している。水蒸気圧についても同様の補正を行った。

また、水蒸気圧の算出については、以下の方法を用いた。

$$E_s = 6.11 \times 10^8 e^{(b+T') / (a+T')}$$

上式において E_s は乾球温度 T' に対する飽和水蒸気圧、 a , b は定数（ $a = 7.5$, $b = 237.5$ ）である。

この式は実験的に求められたもので、回帰的に表現でき、次のように3次式で表すことができる。

$$E_s = (1013/760) \times 4.57388x^3 / 10000 + 3.42833x^2 / 1000 + 0.39925x + 4.45812$$

以上の式から水蒸気圧 e (hPa) は次の式で求められる。

$$e = E_s - 0.667 (T_A - T_B)$$

ここで $(T_A - T_B)$ は乾球温度と湿球温度の差である。

観測機器の検定は、乾球温度用と湿球温度用のサーミスタについて補正を行った。温度と電気抵抗との相関係数はそれぞれ -0.99902 と -0.9995 という相関が得られた。

7-1-3 観測結果

3.1 観測日時と天気概況

観測日時と当日の天気の概況は次の通りである。

1992年7月27日～28日の天候は概ね晴れであった。日中は南寄りに $1 \sim 2$ m/s の風が吹き、夜間は北寄りの風が $0 \sim 1$ m/s であった。朝から雲はほとんどなく、午前中一時雲がかかる程度であった。

9月11日～12日は朝から晴れたり曇ったりを繰り返し、 $1 \sim 3$ m/s の風が北北西から北北東の間で常時吹いていた。11日の日照時間の合計は7.5時間であり、季節を考えるとそれほど多いとはいえない。

12月27～28日は1日中晴れ、ほぼ快晴といってよいほどであった。正午をはさんで約3時間は南西の風が $2 \sim 3$ m/s で吹いていたが、それ以降は翌日の日の出時まで比較的安定しており、無風ないし 1 m/s の北西の風が吹いていた。

3.2 夏季の観測結果 (図7-1-2～3)

気温分布は昼夜で異なる分布を示した。日中は立川駅の北側部分で低温になる一方、すぐ北西側の緑地および南側の地域を中心として全体的に高温域を形成する傾向がみられた。立川駅の北側部分で特に、午後2時くらいまでに周辺に比較して約 2°C 低温となっているのは、観測当日の天候が、多少の雲があったにせよ、全体として晴れており、朝から日照時間の累計が大きかったことを考えると、日射の当たる部分と当たらない部分との地表面の昇温度合が異なったためと考えられる。立川駅の北口周辺部には7～8階程度の高層建築物が集中しており、この季節の太陽高度が高いことを考慮に入れても、北口のロータリーやその北側の部分は日陰になる場所が多く、これらを考えた場合、日中は地表1.6m付近の気温に対しては、人間活動による影響よりも日射による地表面温度の上昇が原因となって引き起こされる気温の上昇の方が影響力として大きいことが考えられる。

以上のような分布も日没近くから崩れ始め、日射の影響がなくなる夜間にかけて日中とは逆の分布を示すようになる。日射によって日中熱を蓄えた建物などから、徐々に大気へ熱を放出していくため、

夜明けまで常に気温は周辺に比較すると、約1℃程度高くなる。同様の傾向は立川駅の北東から東の方向へ約2 kmの距離にある一般的な住宅地でも見られ、昼夜を通して（日中は太陽によって、また夜間は家屋から出される熱によって）気温が高くなっていることが認められた。

水蒸気圧は、1日を通して数値的には27hPa前後で上下しており、大きな変化はない。日中は中央線を囲むように等値線が東方向から張り出し、東西で約2 hPaの差が生じている。この状態は日中はあまり変化せず、時折立川駅の南北で0.5～1.5hPa高い地点が発生している。夜間になるとこの傾向は崩れ始め、調査地域内での高低は1～1.5hPa程度になる。夜半過ぎに全体的に最も値が高くなり、東側の住宅地で最高値である29.0hPaを記録した。7月28日の朝には、東高西低の傾向は全くなり、代わって立川駅の北側から高い部分が張り出している。この日は、観測毎に水蒸気圧の分布は変動し、特定の分布はみられなかった。

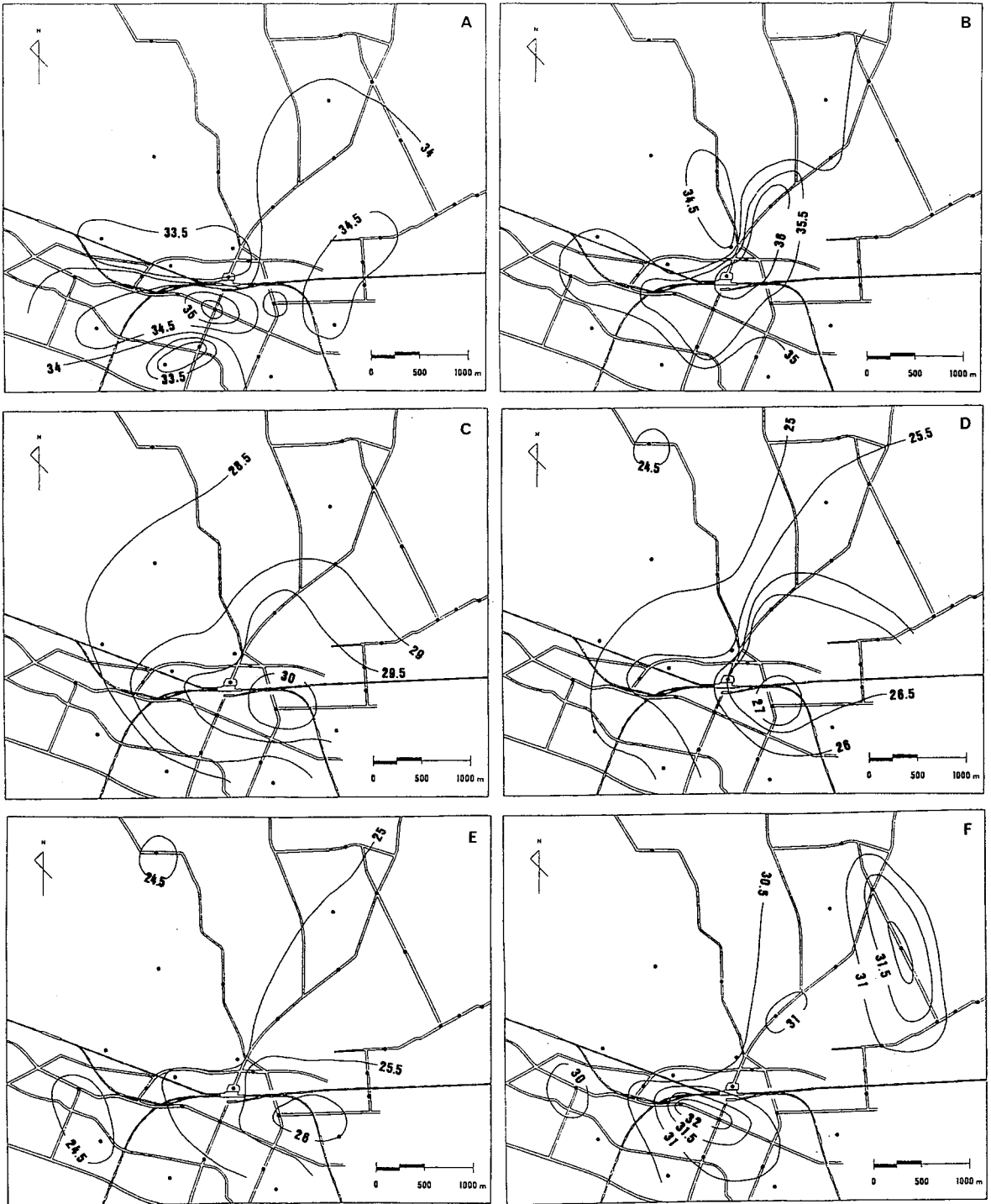


図7-1-2 立川における夏季のヒートアイランド

(A : 11h, B : 15h, C : 20h, D : 01h, E : 04h, F : 08h)

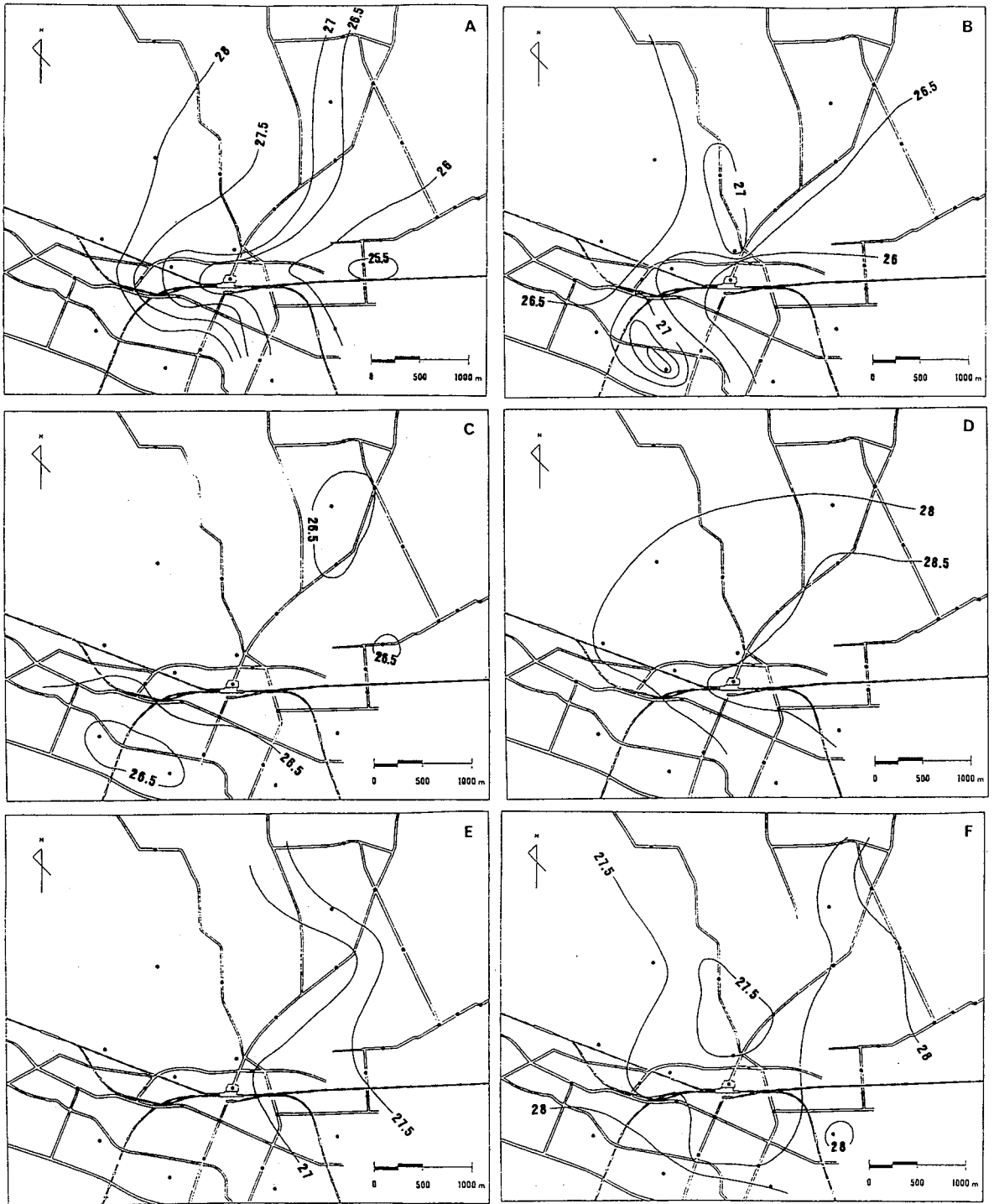


図 7-1-3 立川における夏季の水蒸気圧の分布

(A : 11h, B : 15h, C : 20h, D : 01h, E : 04h, F : 08h)

3. 3 秋季の観測結果(図7-1-4~5)

前節の観測日から2ヶ月弱経過しているが、気温分布は7月のものと似た様相を呈している。日中は7月同様に立川駅の北側部分で低温となり、特に午前中の観測では約1.5℃ほど低く、最低気温を記録した。北西側の緑地との境界付近では温度傾度が大きくなっている。なお、7月と比べて、周辺との気温差が大きく、低温域が拡大している。これはこの時期の方が太陽の南中高度が低くなるために、日射の影響を受けない日陰の部分が拡大したためと考えられる。

この状態が日没以降になって変化し、気温の高低が逆転するようになる。立川駅周辺の部およびそこから南東に位置する立川通りの地点を中心としてヒートアイランドが形成されている。しかしながら、周辺との気温差はそれほど小さくなく、0.5~1℃程度である。当日は夜間になってから常時無風ないし1m/s程度の風であったので、郊外からの大気の流れは考慮に入れなくてもほとんど問題ないと考えられる。この時には市内全域において気温差は1℃強であり、したがって日中に比べてヒートアイランド強度も小さくなっている。時刻の経過とともに若干変化し、高温域も移動しているが、ヒートアイランド強度は変わらず明け方まで同様の状態が持続した。

水蒸気圧分布は、夕方に立川飛行場の中心付近で15hPaを記録したのを最高として平均して11hPaで推移していた。日中の方が地域内では高低が明瞭になっている。立川駅の北側付近(特に立川通り)において最低値を記録しており、この時の値は12.5hPaである。一方、立川駅南側の立川通りにおいて14hPa以上の高い値を記録し、気温分布と一部対応している。この状態が日没付近から変化し始め、全域で1.5hPa程度の差に収まって安定している。夜半過ぎには、立川駅を中心とする南北に約1kmの範囲で9hPa以下と低くなっているのに対して、周辺では徐々に高くなっていき北東の住宅地では再び立川駅と同程度の低い値を記録した。12日の午前5時の時点では、前日の日中と同様に分布が明瞭になっているが、北東側の高い値を示す地域が拡大し、住宅地の一部で低くなっている部分が異なっている。立川飛行場の中心付近で9.7hPaを記録し、この時間帯の最高値となっているが、昼夜を通してみるとこの部分は変化が少なく比較的安定しているとみなすことができるであろう。

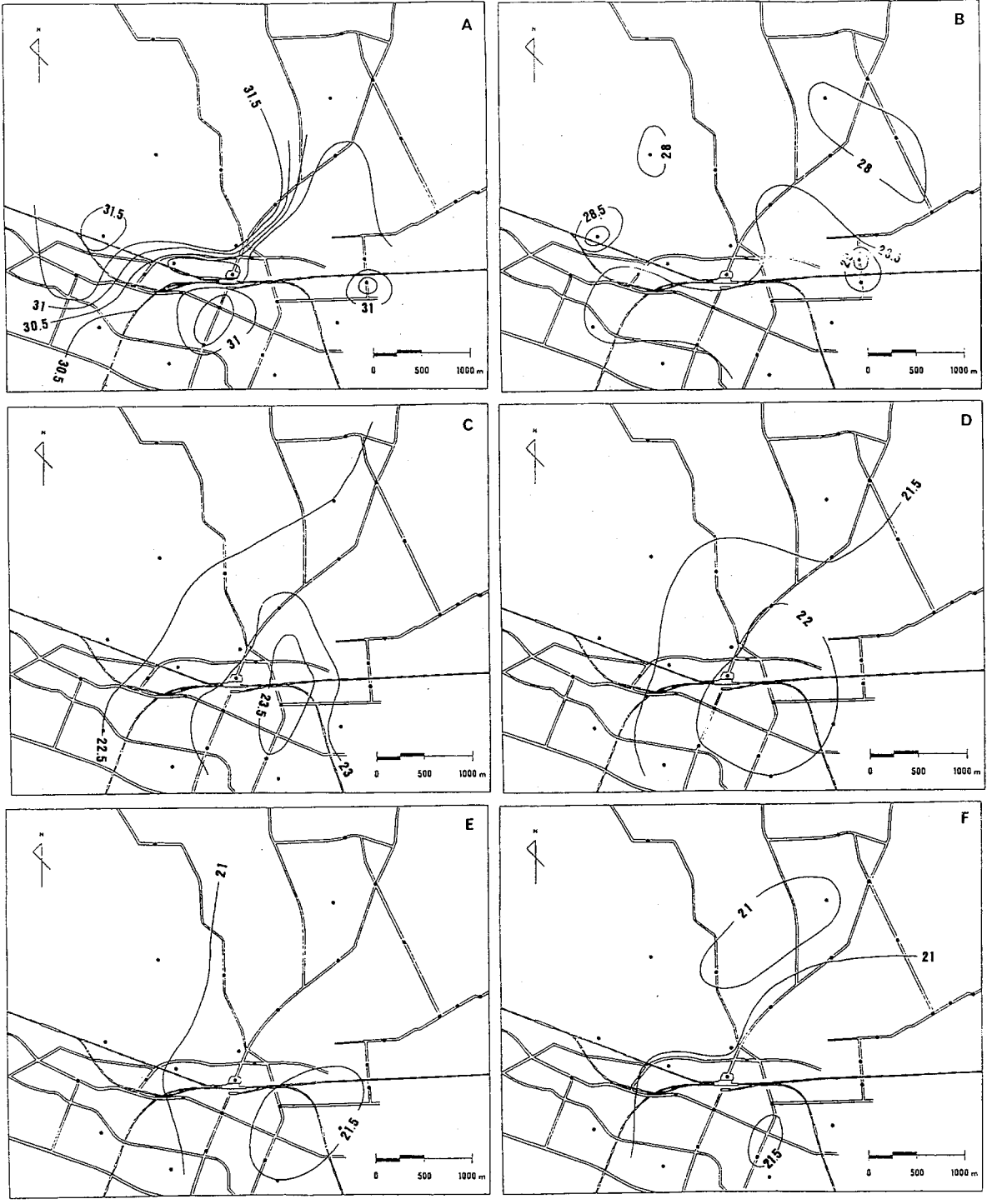


図7-1-4 立川における秋季のヒートアイランド

(A : 11h, B : 15h, C : 20h, D : 23h, E : 02h, F : 05h)

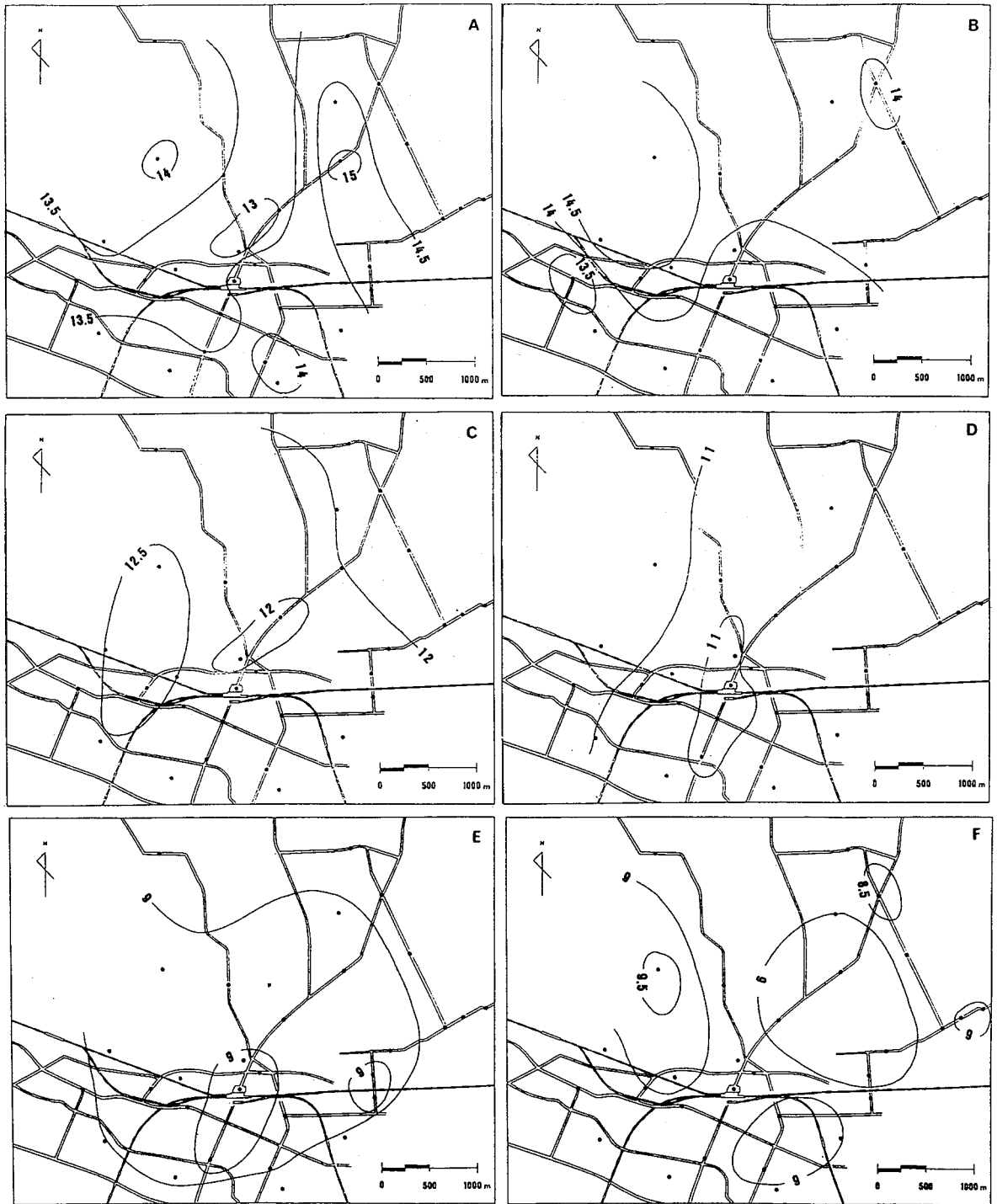


図7-1-5 立川における秋季の水蒸気圧の分布

(A : 11h, B : 15h, C : 20h, D : 23h, E : 02h, F : 05h)

3. 4 冬季の観測結果 (図7-1-6~7)

気温分布は、夏季・秋季とは全く異なり時刻に関係なく1日中一定の状態を保っている。以前に見られた日射による影響はこの時期には小さく、代わって人間活動によって様々な形で排出される熱により建築物の集中している地域で気温が上昇する傾向をみせている。高温域は立川駅とその周辺に発生し、周辺部と比較して約2~2.5℃高くなっている。この状態は明け方まで続き、特に午前5時にはヒートアイランド強度が最も大きくなり、4.3℃を記録した。この時の最高気温は立川駅南東の立川通りで5.2℃、最低気温は立川飛行場の北側で0.9℃であった。この結果は、従来からいわれているように、冬季の日の出前に最もヒートアイランドがその特徴を表すという部分に適合している。しかしながら、この結果からは冬季に限ったものであると考えるのが適当ではないかと思われる。

水蒸気圧分布は、この時期は蒸発量が少ないことから全体的に大きな差は生じていない。違いをより明確にするために、冬季に限って等値線は0.2hPa間隔で描いている。図から、1日を通して市街部が低いレベルで推移していることがわかる。全体的には5~7hPaの範囲で変化しており、緑地や住宅地などの周辺部で若干変化している。この傾向は夜間の方が明瞭である。27日の午後8時および28日の午前8時の水蒸気圧は市街部で周辺よりも約0.2hPa低くなっている。一方、北東の住宅地では市街部よりも低い地であるが、立川駅の北西側にある緑地と比較すると2~2.5hPa程度高い値を示している。

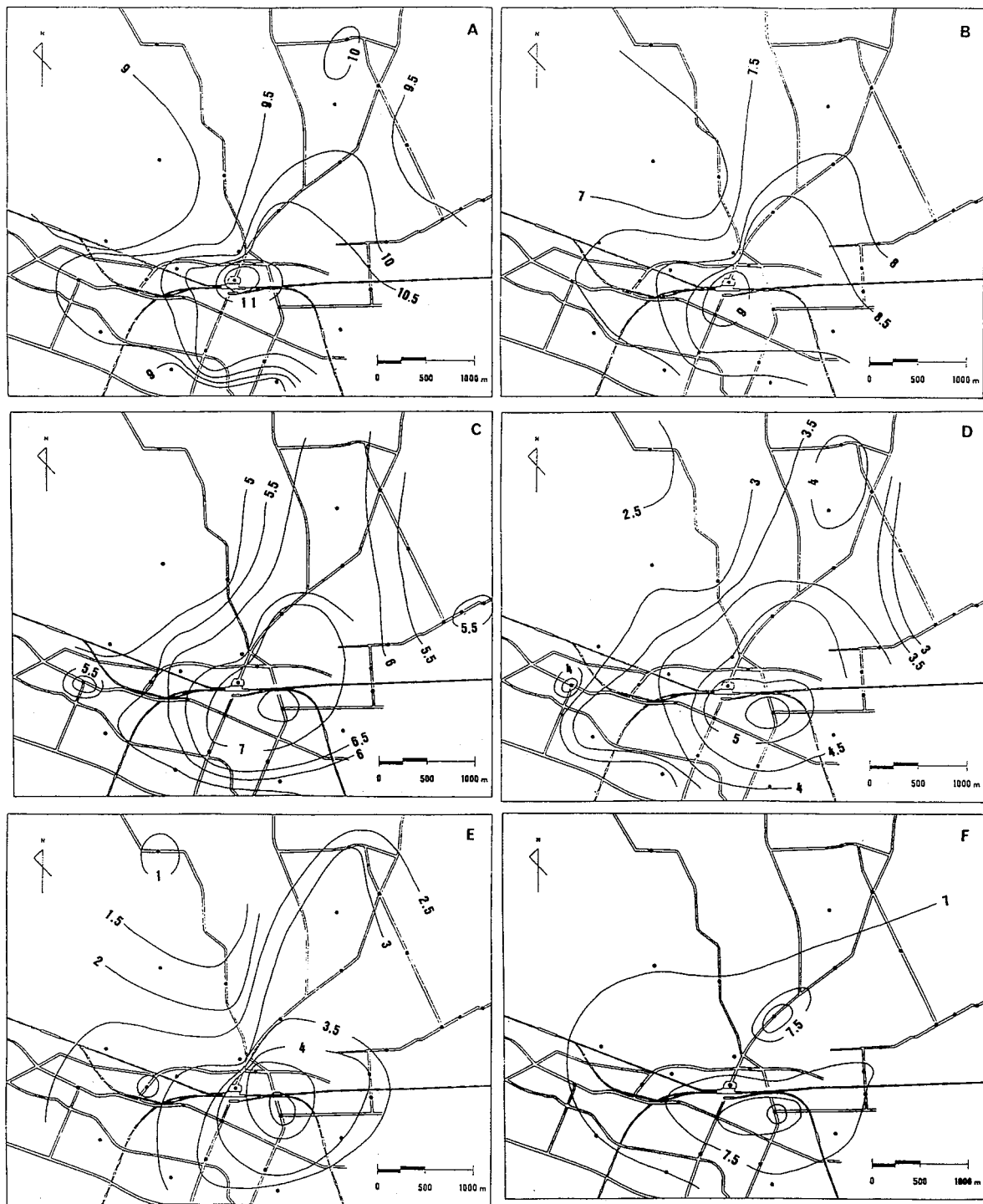


図7-1-6 立川における冬季のヒートアイランド

(A : 17h, B : 20h, C : 23h, D : 02h, E : 05h, F : 08h)

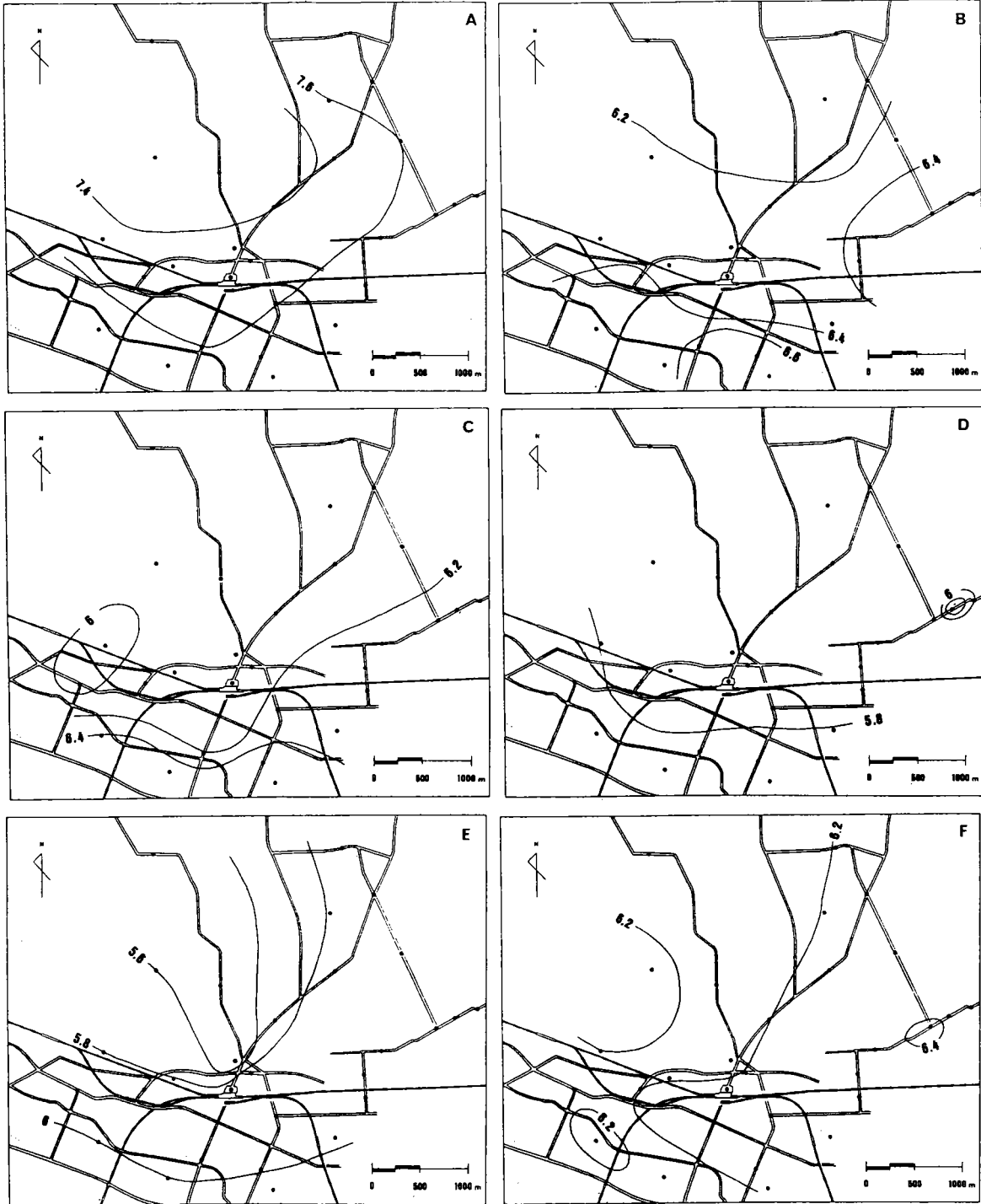


図 7-1-7 立川における冬季の水蒸気圧の分布

(A : 17h, B : 20h, C : 23h, D : 02h, E : 05h, F : 08h)

7-1-4 考 察

前章で示した気温分布および水蒸気圧分布を比較すると、水蒸気圧の変化が気温のそれに比べて大きいことがわかる。夏季と秋季については昼夜で全く反対になることがある。

水蒸気圧は乾湿球温度の差に比例することがわかっているが、これは言い換えれば、大気中にどの程度の水蒸気が放出されているかを測ることができるということにもなる。一般的には、水分が蒸発する時には相応の熱が必要であり、それ故に水分の蒸発にともなって周囲の大気もしくは地面などの熱が奪われ、結果として温度が低下することになる。本研究では地上約1.6mの地点において観測を行っていることから、水蒸気圧はこの高度における水分の蒸発を表していることになる。この場合は、顕熱が蒸発に用いられているために気温が低下することになる。したがって、水蒸気圧が相対的に高い地点については、周囲よりも蒸発に関しては抑制されているために、比較的気温が高くなる傾向がみられる。

ここで、調査地域内において3種類の特徴的な領域を設定し、水蒸気圧の時間変化を比較した。まず第1に立川駅を中心として南北に広がる高層建築物が並ぶ地域、これを市街地の代表とした。(地点11)第2にそのすぐ北西側に存在する立川飛行場跡地および昭和記念公園付近を緑地の代表とした(地点24-27)。最後に、地域内において最も多くの面積を占めており、一般住宅地が存在し密集している、北東～東側の地域を北東住宅地として設定した(地点31-36)。各季節について各領域の水蒸気圧の時間変化を示したものが図7-1-8である。気温も同じ領域についての時間変化を表している(図7-1-9)。グラフ中の数値はそれぞれ同時刻における全観測地点の水蒸気圧の平均値からの偏差を示している。

以上から判断できることは、夏季と秋季は同じ変化傾向を示し、昼夜で高低の逆転が起きている。これは冬季の場合とは全く異なっている。冬季の場合、昼夜を通して市街地とその他の地域とでは明らかに蒸発の傾向が異なっている。市街地のみが平均から常に高い値を示し、時刻に関係なく蒸発が抑えられている。一方、緑地と住宅地とは平均を下回っていることから、相対的に蒸発量は多く気温の低下に水分の蒸発が影響を与えていることが推察される。

昼夜を通して市街地が水蒸気圧が高いことについては、従来からいわれているように、冬季の高温域の形成が自動車の排気ガスや建物などの暖房に使用される熱によるものであることを示唆している。

夏季と秋季ではその上下には違いはあるものの、ともに昼夜で逆の変化を見せる傾向がある。夏季の場合、日中は緑地および市街部が平均から2～6hPa程度高く、蒸発が土地利用にかかわらず抑えられていることがわかる。日没後はこの傾向が変化し、20時には場所による高低差は一時的にほとんどなくなる。その後、再び差が広がり始め、逆に市街部が平均以下に、住宅地の方が高くなる。このことは、夜間に蒸発が作用して気温に対し影響を与える地域が住宅地内から市街部および緑地の部分に移動したものと考えることができ、気温の低下に対して役割が交代したものと推察される。

緑地では、相対的に日中蒸発が抑えられ、夜間に蒸発し、市街部の近辺に存在し冷源として作用し

ているのではないかとと思われる。その傾向は日の出前の午前4時付近がもっとも強く出ているが、この時には市街部についても緑地と同様の値が記録され、住宅地のみが約3.5hPaほど高い値を示している。このことから考えると、夏季に限って夜間は、気温の上昇に対して蒸発はそれほど大きな影響力を持たないのではないかと考えられる。なぜならば、夜間を通して市街部と住宅地とでは気温差がせいぜい0.5℃程度で、ほとんど差がないとみなせるからである。

秋季の場合、日中は市街部が低い値を示し、住宅地および緑地が平均を上回っている。この時の気温分布は市街部のみが周辺から2℃程度低く、その他の地域で高温であった。単純には緑地や住宅地では蒸発量が市街部に比較して相対的に多くはないともみなせ、日射の影響を考慮に入れると、日中は緑地では蒸発量が多いが、気温上昇のために相対的に市街部よりも高い値を示しているのではないかとということが考えられる。その根拠として、日没付近から夜半前までは同様の傾向が続くが三者の違いが小さくなっていることが挙げられる。緑地は常に平均から上回っており、地域内において蒸発が盛んに行われていることを示している。一方住宅地は、日中こそ市街部よりも高い値を示しているものの、夜間になると市街部よりも低くなり蒸発が抑えられていることがわかる。

冬季の水蒸気圧の時間変化では市街地が常に高く、緑地と住宅地が平均から下回っている。このときの気温分布は同様に市街地が高温になっており、緑地や住宅地は低温もしくはそれほど気温の上昇は認められず、明け方に特にヒートアイランド強度が大きくなっている。このことは冬季に限って認められることであり、Oke (1991) の言うように、日本では従来からヒートアイランドの観測が冬季を中心として行われてきたことによる判断が基準となって、「冬季の明け方に強度がもっとも大きくなる」という説がでし上がったのではないかとと思われる。この他にも長野県小布施町や埼玉県越谷市での観測でも気温分布を見た場合、夜間よりも日中の方が同様の現象が確認されている。実際、夏季および秋季のヒートアイランド強度は大きくなっており、このことは従来からいわれていることが単純には当てはまらないことを示している。日中は人工熱の発生によるヒートアイランドの形成よりも日射による地表面温度の上昇による影響の方が大きく、郊外では水分の蒸発による気温低下を上回る気温上昇が起り、逆に市街地ではもともと水分の少ないことから蒸発による気温の低下は考慮に入らず気温はさらに上昇すると予想される。特に高層建築物が並び日陰が生じることによって立川駅の北口周辺部において低温となることが考えられる。

水蒸気圧と気温との直接の関係はどの季節においても、全く見られないというわけではない。むしろ、市街地や緑地では対応関係が認められるが、住宅地に関しては昼夜によって気温変化に対して水蒸気の用いられかたが異なっているのではないかと考えられる。つまり、日中は気温は市街地と緑地の間で変化をするが、水蒸気圧はそれらよりも高くなったり低くなったりしており、このことは蒸発以外の要因によって気温が決定されていることを表している。夜間については、夏季には比較的市街地に近い変化をするものの、室内に冷房などに使用される機械から外気に対して排出される熱によって気温の上昇が引き起こされている可能性が考えられる。秋季に関しても市街地に近い変化を見せて

いるが、こちらは市街地よりも水蒸気圧がほとんどの場合低くなっており、その一方で気温の差はほとんど生じていないことから、この時期には住宅地内では水分の蒸発によって市街地と同じレベルまで気温の低下がなされているものと考えられる。

以上のことから、気温分布と水蒸気圧の分布とを比較した場合、土地利用の種別によってかなり異なり、気温の上昇を抑えたりまたその反対について、蒸発が少なからず影響をもっていることがわかる。特に住宅地については、その他の緑地と市街地とは異なり、日中と夜間とでは気温の上昇に蒸発が関わる部分が大きく、夜間には本来上昇すると思われるはずの気温が蒸発によって市街地と同じレベルにまで抑えられていることが推測される。

7-1-5 おわりに

本研究の目的として、水蒸気圧の分布から住宅地および市街部、緑地の3種類について水分の蒸発による気温低下への影響を考察したが、結果として季節による変動が大きいことがわかった。また、日中および夜間では、それぞれの領域での蒸発が気温に対して与える影響が異なることが判明した。夏季は、住宅地が日中は市街部に比較して低温になっているが、夜間になってから同程度の気温を示す市街部よりも蒸発が多いことがわかった。また秋季は、水蒸気圧が昼夜を通してさほど変化しなかったが、それでも日中は緑地で高く市街部と住宅地では低くなっている。特に夜間になってからは、常に住宅地が市街部より低くなっていた。冬季に関しては、蒸発による気温の低下については見られず、昼夜を通して市街部で気温・水蒸気圧ともに高く、反対に緑地および住宅地では低くなっている。

しかしながら、水蒸気圧の変化について調べる場合、ある高度のみの観測では上下方向の移動については測ることができない。少なくとも2つの高度で計測することによって上下方向の水蒸気の移動について変化を見ることができる。今回の調査についてはこの点に関して不足しており、今後の課題として残される。また、地上付近の観測だけでなく、上層の大気についても同様の観測を行うことによって、地表面付近での都市大気の動きと都市上空での大気の移動について比較を行うことが可能となり、水蒸気の移動を考慮に入れた都市大気の循環構造の解明ができるであろう。

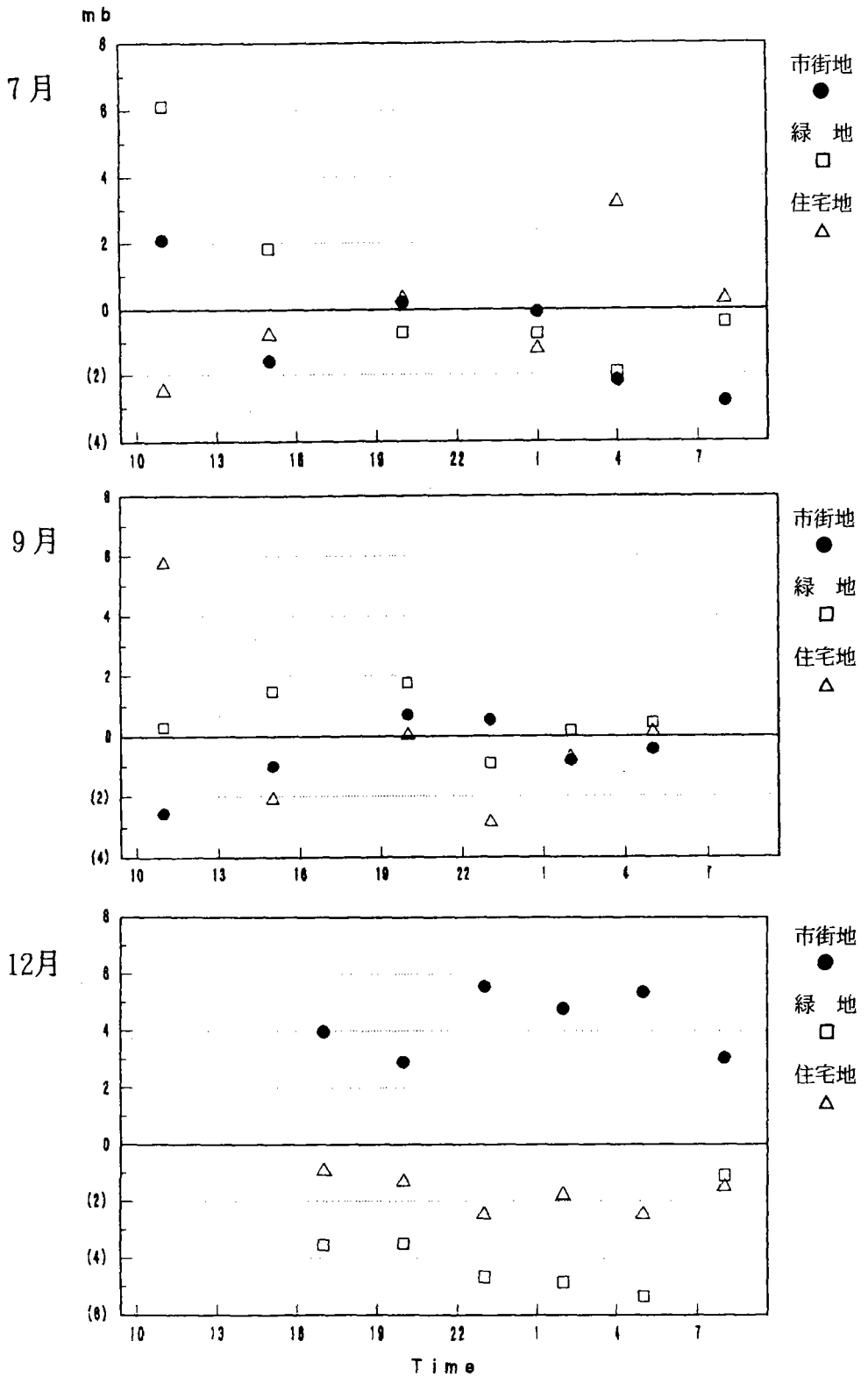


図 7-1-8 地表被覆別の水蒸気圧の時間変化

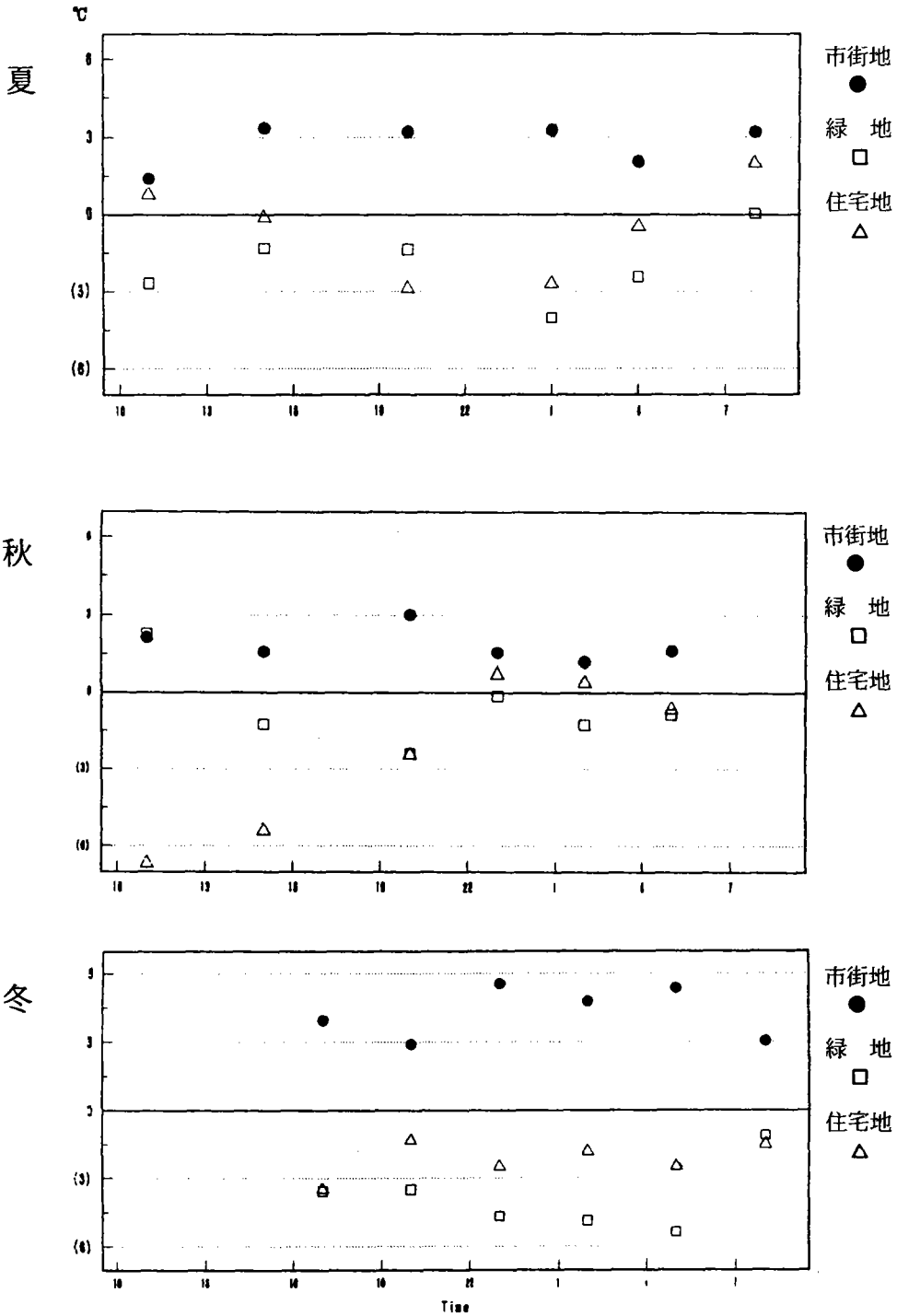


図7-1-9 地表被覆別の気温の時間変化

〈 参 考 文 献 〉

- 関根 清 (1981) : Roughness parameter とヒートアイランド、都市気候の形成要因に関する応用地理学的研究、東学大)、84-87
- 高橋 百之 (1958) : 日本の中小都市における気温分布と家屋密度、地理評 32-6、305-312
- 鳥居 淳・福岡 義隆・高橋日出男 (1992) : 住宅団地周辺の土地利用とヒートアイランド強度について、広島大学総合科学部紀要Ⅳ 第17巻、121-135
- 西沢 利栄 (1958) : 都市気温におよぼす建築物の影響、資源研彙報、48、40-48
- 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
- 水越 充治・山下 脩二 (1985) : 『気候学入門』、古今書院、144頁
- 吉岡 正敏 (1986) : 『新版 小気候』、地人書館、298頁
- 山下 脩二 (1984) : 多摩川流域の都市におけるヒートアイランドの気候学的研究、とうきゅう環境浄化財団研究助成、No.66, 118頁
- P. W. Summers (1965) : AN URBAN HEAT ISLAND MODEL
- T. R. Oke (1973) : City size and the urban heat island. Atmospheric Environment, 7, 769-779

7-2 衛星画像を利用した都市化による環境の変化に関する研究

— 東京多摩地域として —

大塚 雅 樹

7-2-1 はじめに

近年、環境問題がマスコミなどにおいても大きく取り上げられ、自然と環境に対する関心が研究者のみならず一般の人々の間でも高まっている。その中でも都市の環境は身近な問題として興味、関心をもたれるとともに、様々な分野で多くの研究がなされている。

都市の機能の拡大と人口の集中などが急速に進行することにより、特に東京などの大都市では都市部のみで日常生活の空間を求めることが困難になり、都市周辺部に生活空間を求めるようになってきた。このことから、都市の環境についての研究には単に都市空間だけでなく、そこに活動する人々の生活空間（都市周辺部）についても考察する必要があるといえる。

多摩地域と呼ばれる地域は、東京の大都市圏といえる東京23区域の西に位置し、周辺部のいわゆるベットタウンとして発達してきた。これまでも、都市の研究として東京が多く使われてきたが、多くは都市中心部といわれる東京23区内についての研究であり、その周辺部についての研究はあまり進んでいない。しかしながら、前段でも述べたとおり、都市で生活する人々の日常生活の場が都市の中心部から周辺部へと移ってきている現在、都市周辺部の地域について研究することは、生活環境という点などから見た場合など、ある意味では都市中心部の研究よりも必要であるといえる。ただ、都市周辺部の研究が中心部の研究に比較して遅れている理由は、研究者の意識が都市周辺部に向けられていないということよりも、都市域の拡大に伴い、対象とするべき都市空間が拡大したために、その空間を均一な条件で扱うことが難しいため、対象地域が都市周辺部までとれないこと、都市周辺部には森林などの自然が未だに都市中心部に比べて多く残り、調査の難しい地域が多いことなどが、原因として考えられる。

このような状況の中で、1972年に打ち上げられたアメリカ合衆国の人工衛星ランドサットは、広範囲を均一な精度で短時間に調査することが可能であり、一定の周期で、反復して観測している。樋口（1991）は東京23区内の小規模緑被を含む緑被の定量的な把握に衛星データを利用している。このことから、ランドサットデータの利用は、東京のような大規模の都市環境を把握する上で有効であると考えられる。また、竹内（1992）は多摩ニュータウンにおいて都市の緑地の変化を衛星データからモニタリングしている。このことから近年になって開発が急速に行われた都市周辺部などの環境の時間的な変化の様子を捉えることにも有効であると考えられる。

本研究では、ランドサットTMデータを用い、東京の西部、一般に多摩地域と呼ばれる地域のなかでも多摩センター周辺を中心とした地域をとりあげ、2時期のデータを比較することにより、開発による緑被、住宅などの土地利用の変化、地表面温度分布の特徴の変化などをグラントゥルースの

結果などとも合わせ明らかにするとともに、都市化に伴う熱環境の変化についても考察することを目的とする。なお、緑被とは樹木や草木で覆われている部分を差し、緑被率とは単位区域辺りの緑被の占める割合をいう（田代、1988）。

7-2-2 調査地域の概要

調査対象地域として選定する地域に必要な条件を考えると、東京大都市圏の周辺部に位置し、勤務地が一般に東京大都市圏となり、いわゆるベッドタウンと呼ばれる地域で、近年住宅開発などの都市化により、その地域の環境の変化が著しいと考えられる地域であることが必要である。また、ランドサット5号のTMデータ（L5）は、1984年4月6日から受信を開始したため、1984年4月6日以降と現在を比較して、特にその時期の環境の変化が大きいと思われる地域を選定する必要がある。

上記の条件を満たす地域の一つとして東京西部の多摩地域を選定した（図7-2-1）。この地域は、多摩川の南部に連なる丘陵地である多摩丘陵と、多摩川を挟んで北側に広がる武蔵野台地とからなる地域であり、図7-2-1の南部の京王帝都相模原線、小田急多摩線沿線の地域は現在、宅地の造成などを行っている開発途上の地域であり、北部の中央線沿線の地域は比較的以前から都市の郊外部として開発が進行しており都市化している地域である。今後、便宜上、調査地域（図7-2-1）の南半分を多摩地域、北半分を立川地域と呼ぶことにする。図1からわかるとおり、以前から開発が行われている地域（立川地域）と現在開発途上の地域（多摩地域）とが比較的近い距離に隣接することにより、2時期のデータの比較が容易になる。例えば、現在開発途上の地域で得られた2時期のデータに差異が見られた場合、それだけでは季節や大気の影響による差異と環境の変化による差異との区別を行うことは難しいが、都市化が既に行われているため環境の変化のない地域で2時期のデータを比較することにより、季節や大気などの差異を抽出することが出来、開発途上の地域での環境の変化を見ることが容易になる。

さらに、調査地域の中でも多摩センターを中心にした地域については、1960年代以降大規模な住宅開発が行われ、現在も宅地の造成の進んでいる地域であることから、都市化に伴う環境の変化をみるうえで適した地域として、特にグランドトゥールズとして気温の移動観測を行う地域とした（図7-2-2）。松井ら(1990)によると、多摩丘陵の土地利用は、かつては農用林などとして利用されていたと考えられるコナラやクヌギなどの二次林である広葉樹林が多かったが、1950年以降になると農用林としての価値のなくなった広葉樹林が減少し、針葉樹林や低密市街地の増加が見られた。1970年以降には林地が減少し、大規模土地改変を伴う集合住宅地、ゴルフ場の出現が認められ、土地改変の途中の状態であると考えられる荒れ地、草地が増大している。このことから、現在も森林の減少や大規模な住宅地、ゴルフ場の造成などによる都市化は進行していると考えられ、その程度や環境への影響を把握する必要がある。

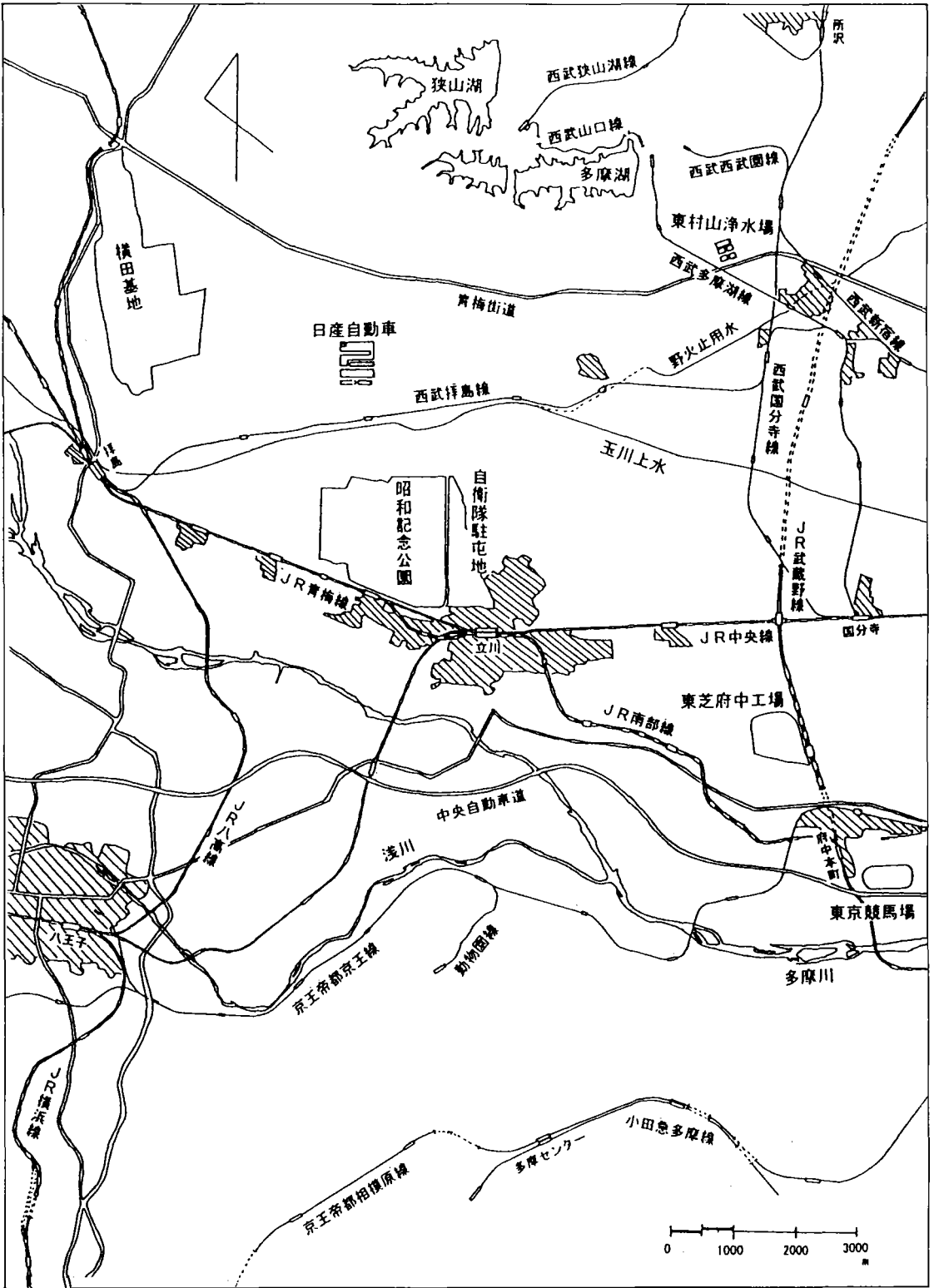


図 7-2-1 調査地域

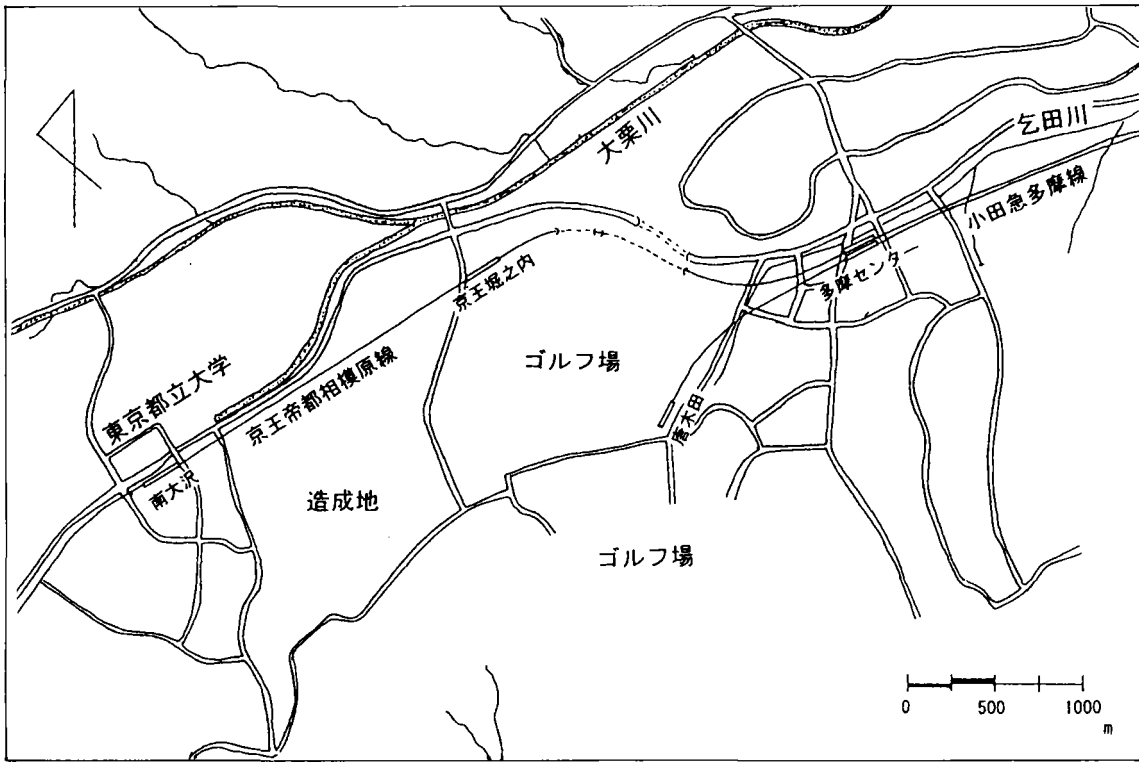


図 7-2-2 グランドトルース観測地域

7-2-3 研究方法

(1) ランドサットTMデータ

利用するランドサットデータは1984年7月31日、1992年8月6日に関東地方を観測したランドサットTMデータである。データの選定には、宇宙観測事業団地球観測センターのEOC-IIS (Earth Observation Center Information System)によりパソコン通信で提供されているインベントリ情報システムを利用した。インベントリ情報システムとは地球観測衛星データの観測日、品質、雲量、保存場所、保存状態などの在庫管理情報がオンラインで入手出来るシステムである。

データをある程度絞り込んだ後、ランドサットデータの配付を行っているリモート・センシング技術センターにおいて、各シーン毎のTM画像の歪み補正済のカラー合成写真を実際に見ながら、研究対象地域である多摩地域の雲のかかり具合、およびフロッピィディスクに切り出すデータの範囲を決定した。この場合、注意しなくてはならない点を以下に示す。雲量については、単に雲量のみで画像を抽出すると、たとえシーン全体での雲量は少なくとも研究の対象とする地域に雲がかかっておりデータの利用が出来ない場合や、逆に雲量が多くても研究対象地域には雲がなく、雲量の多い地域でも十分利用できる場合がある。実際、本研究で利用した1992年8月6日のデータは雲量60%であるが、

研究対象地域である多摩地域は図からわかるとおり雲が無いのでこのデータを利用している。シーンからフロッピーディスクに切り出す範囲の決定については、必ず切り出すデータと同じ写真を見て決定することが必要である。これは、同一のパスローウであっても日付の違いにより、データの収められている範囲が微妙に違うためである。

以上の結果、ランドサットTMデータとして1984年7月31日、1982年8月6日のデータを選定し、調査対象地域を切り出したフロッピーディスクを用意した。データの概要を表7-2-1に表す。

表7-2-1 使用ランドサットTMフロッピーデータの概要

観測年月日	衛星	撮影時刻	PIXEL-LINE	太陽仰角	太陽方位角	間引き率	範囲
1984/7/31	L 5	09:45' 0	1700-4600	57°	115°	× 1	立川
1984/7/31	L 5	09:45' 0	1800-5000	57°	115°	× 1	多摩
1992/8/6	L 5	09:38' 3	1700-4500	55°	116°	× 1	立川
1992/8/6	L 5	09:38' 3	1800-4900	55°	116°	× 1	多摩

* 太陽方位角は、宇宙開発事業団において真北から時計回りに計った太陽の方位角

この2時期のランドサットTMデータを利用してバンド1から4の各バンドから3バンドを組み合わせた合成画像、および各バンドのシュードカラー表示画像を元に土地利用の変化を、バンド6ではシュードカラー画像を元に地表面温度分布を求める。合成画像表示には、トゥルーカラー、フォールスカラー、ナチュラルカラー合成画像表示をフレームバッファを用いてR、G、B各256段階の1,600万色表示を行う。バンド3とバンド4の比を用いたNVI (Normalized Vegetation Index)値のカラー表示には8色表示で行った。この画像処理には坪根(1991)の「パソコンによる人工衛星データの画像処理」に付属のプログラム、および、榊原(1993)の「ランドサットTM解析ソフト」(NVI値カラー表示に使用)に一部修正を加えたプログラムを利用した。画像処理のプログラムの実行にはフレームバッファ使用の画像処理はNEC製PC-9801VM、その他の画像処理はEPSON製PC-486SEを使用した。表示した画像の取り込みには、画像を表示したディスプレイを写真撮影した。

今回の画像表示に用いたパソコンで画像を表示する場合、標準の発色数は16色表示までの機能しか持ち合わせていないため、一般に1,600万色のフルカラーといわれる画像表示は、パソコンにフレームバッファと呼ばれるハードウェアを追加することにより可能となる。フレームバッファはR、G、Bをそれぞれ256階調に分解出来、これを合成することにより(256×256×256)1,600万色を表示するハードウェアである。ランドサットの3つのバンドを合成した合成カラー表示を行う際には、データの値がレベル値全体に分布していないため、そのままR、G、Bの濃度値とすると鮮明な画像を得ることが出来ない。このため、各バンドのデータの値の散らばり具合をヒストグラムを用いて調べ、そ

の最小値を濃度 0、最大値を濃度 255 となるようにデータの変換を行う。データの変換式 (式 1) を以下に示す。

$$C = 256 / (high - low + 1) \times (e - low) \dots\dots\dots (1)$$

(C : レベル値変換後の濃度値 high : データの最大値
 e : データのレベル値 low : データの最小値)

この変換により、データの値が濃度値範囲全体に分布するようになるため、合成した画像のコントラストが強調され鮮明な画像を得ることが出来る。

シュードカラー画像表示は、単一バンドの画像に対して、データの値の階調を明るさの濃度ではなく、色に対応させた画像表示である。データの最小値と最大値の間をしきい値とし、その間を幾つかの領域に分割し、それぞれに任意の色をつけて画像を表示させる。本研究においては画像の判別の容易さなどを考えて、8色に分割したシュードカラー画像表示を行った。

NVI 値画像表示は植生指数 (緑被率) を求めるための手法のひとつである。NVI は図からわかるように、植物の分光反射率が他の物質と比較して、TMバンド 3 の領域 (赤にみえる可視の波長帯) では光を吸収し、TMバンド 4 の領域 (近赤外域の波長等) では強い反射を示すという特徴を利用して植生を抽出する手法である。1ピクセルの NVI の算出式 (式 2) は以下のとおりである。

$$NVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3) \times 100 + 100 \dots\dots\dots (2)$$

(TM4 : TMバンド 4 のデータのレベル値
 TM3 : TMバンド 3 のデータのレベル値)

この NVI の値により植生の分析が推定出来る。このほかにも植生の抽出方法として本條・高倉 (1987) が用いているファジークラスタリング、樋口 (1991) によるバンド 3 とバンド 4 の比演算を用いる方法なども試みられており、現在確立された緑被率の推定方法があるわけではないが、NVI が用いられることが多い。NVI 値の画像表示もシュードカラー画像表示と同様、NVI 値を 8色に分割した画像表示を行った。以上の方法により 1984年 7月 31日、1992年 8月 6日のランドサット TM データの画像から、2時間の土地利用の変化を比較する。また、TMバンド 6 を用いて、地表面温度の分布をシュードカラー表示を行った。この画像と合成カラー画像とから土地利用の変化と地表面温度分布との関係を調べることが出来る。ただし、TMバンド 6 の値は 0 から 255 までのデジタル値であるので、データの値を温度に変換する必要がある。宇宙開発事業団地球観測センター (1990) によると、TMの熱バンドのデータにおける放射輝度 R (mW/cm²・sr・μm) と絶対温度 T (K) の関係は以下の式 (式 3) になる。

$$R = 5.1292 \times 10^{-5} T - 1.7651 \times 10^{-2} T + 1.6023 \dots\dots\dots (3)$$

この式にTMバンド6のデータの値を代入すると絶対温度を求めることが出来る。この式から、デジタル値0に対応する温度は200K、デジタル値255に対応する温度は340Kであることがわかる。0Kは -273.15°C であるからTMバンド6で観測出来る温度の範囲はおよそ -70°C から 70°C までの間である。また、温度分解能はおよそ 0.5°C である。

(2) グラントトゥルース

ランドサットデータによる地表面温度分布と地上で観測した気温分布との関係について考察するため、1993年8月5日に多摩センター周辺で地上での気温観測を行った(図7-2-2)。観測はサーミスタ温度計を利用した自動車による移動観測をアスマン式通風乾湿計による定点観測を行った。観測は乾湿球温度について行った。

自動車による移動観測は、観測地域内の54地点について観測を行った。観測地点を図6に示す。観測方法は、サーミスタ温度計を乾球用、湿球用にそれぞれ1本用意し、これをエプソン製ハンドヘルドコンピュータHC-40に接続し、計測を行った。サーミスタの感部は、直径10cm、長さ1mの塩化ビニール製のパイプの中に設置し、自動車の上部に固定した。これは日射による影響を防ぐためであり、パイプには日射を反射させるため、表面にアルミホイルを巻き付けてある。さらに、自動車から排出される熱の影響を防ぐため、サーミスタの感部は自動車の屋根よりも前方になるように配置してある。観測時においては周囲の自動車の排気ガスがサーミスタの感部に直接かかるといけないように、車間距離を20から30m取り計測を行った。計測時には原則として時速40kmの走行中に行い、サーミスタに自然通風があるようにして計測を行った。通風装置は取り付けしていないので、停車中には計測を行っていない。また、計測による誤差を出来るだけ小さくするために各観測地点毎に2秒の間隔を開けて2回の計測を行っている。各地点の計測値は、この2回の計測値の平均として算出した。

アスマン式通風乾湿計による定点観測は、自動車による移動観測の計測値に対する時刻による補正、および地点毎の気温の変化率の差異を調べるという2つの目的で、多摩センター駅周辺と京王線南大沢駅周辺の2地点(図7-2-3)で5分毎に連続観測を行った。

また、ランドサットTMバンド6の地表面温度の値は1ピクセルが $114\text{m} \times 114\text{m}$ であり、他のバンドに比べて範囲が大きいので、特に都市のような様々な構成物質が密集している地域ではその値が何を示しているのかがわかりにくくなる。このため、温度データの値の妥当性が問題になる。このことについて考察するため、1993年9月20日、9月27日に神奈川県相模原市においてミノルタ製放射温度計による地表面温度の観測を行った(図7-2-4)。さらに、ランドサットTMデータの観測日の2時期の気象データを出来るだけ同様なものとして考察出来るようにするため、観測地域内の所沢、府中のアメダスデータを利用して、ランドサットの観測日の数日前からの天気を調べた。

観測機器の検定には、サーミスタの検定については加藤(1993)の研究に用いたものと同様の機器を使用したため、加藤の検定による補正值を利用した。この補正值の求め方を以下に示す。検定には 0 から 40°C の範囲において水温を約 3°C の幅で上下に変化させ、その時の水温とサーミスタの電気抵

抗値を求める。温度とサーミスタの抵抗値は負の相関をする（温度の上昇に対して、サーミスタの抵抗値は対数関数的に下降する）ため、温度の値とサーミスタの抵抗値を回帰させることにより、0 から40℃の範囲において精度の高い観測を行うことが出来る。2本のサーミスタの相関係数は、 -0.99902 、 -0.9995 であり、観測値の信頼性は高いといえる。

アスマン式通風乾湿計の検定は、温度計に付属の検査書の値を用いて観測値の補正を行った。放射温度計の検定については0 から40℃の範囲において水温を約3℃幅で上下に変化させ、水温と放射温度計の値を読み取り1次の回帰線を作成して補正値を求めた。

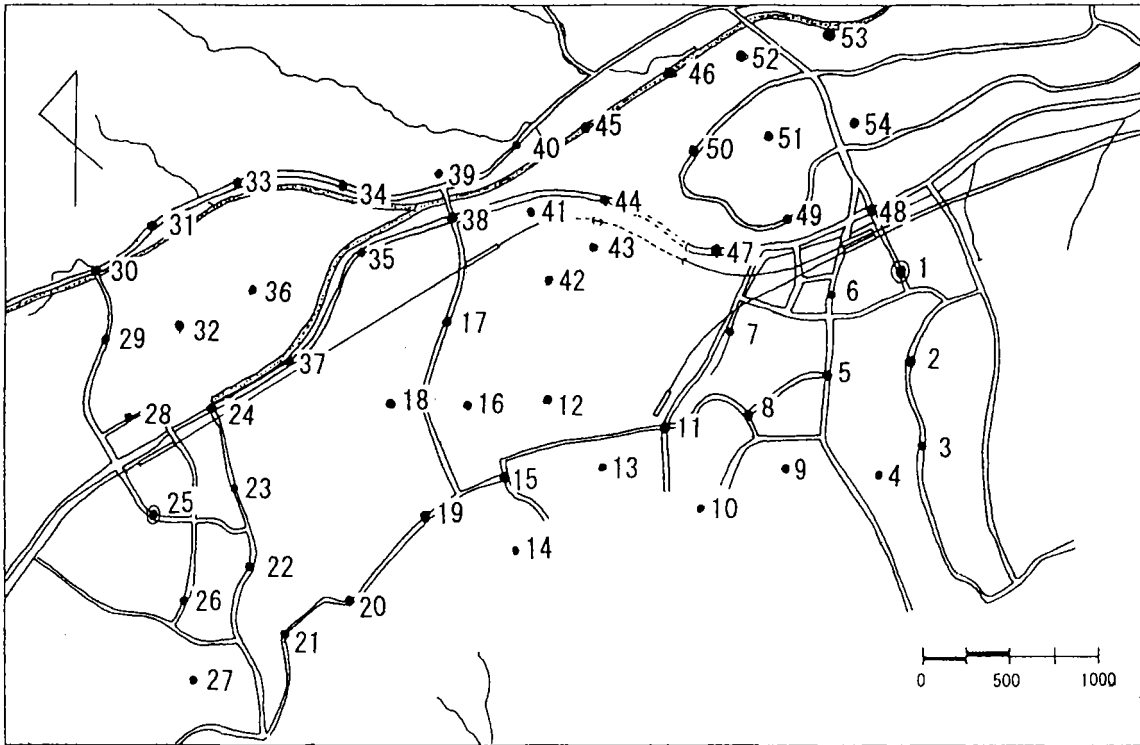


図7-2-3 グラントルース観測点

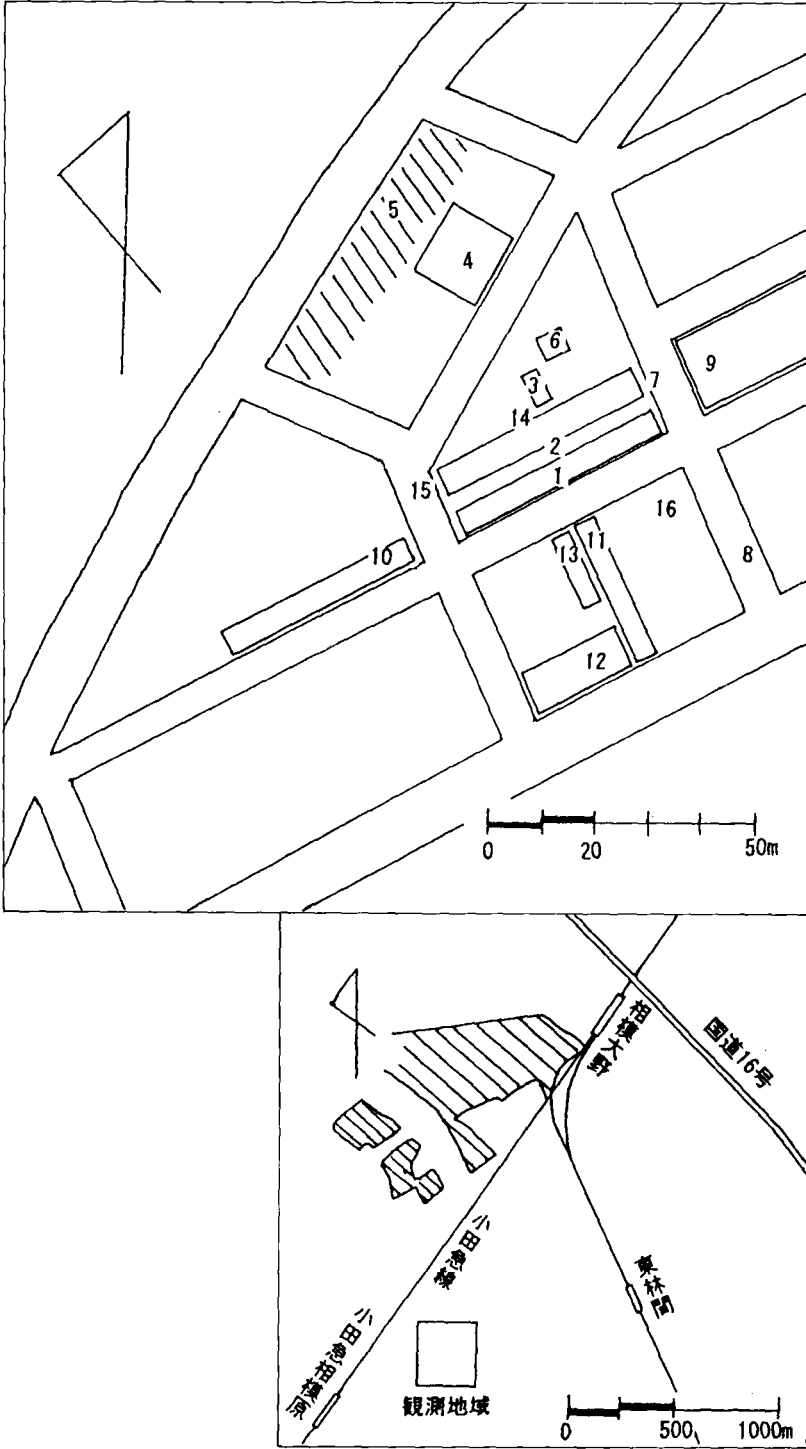


図 7 - 2 - 4 地表面温度観測地域および観測点

7-2-4 結果と考察

(1) 衛星画像の判読

各ランドサットTMデータのバンド1、バンド2、バンド3、バンド4、バンド6のそれぞれのバンドのヒストグラムおよびシュードカラー画像を1984年の立川地域は図7-2-5~14に、1984年の多摩地域は図7-2-15~24に、1992年の立川地域は図7-2-25~34に、1992年の多摩地域は図7-2-35~44に示す。

ヒストグラムは、ランドサットTMの各バンド毎に格納されているデータのレベル値の散らばり具合を示している。グラフの横軸にレベル値を横軸に各データの最大頻度が100%になるようなグラフとなっている。最大頻度はそれぞれの図中に示してある。ヒストグラムの立川地域、多摩地域での1984年と1992年との比較を行う。図7-2-9、図7-2-19、図7-2-29、図7-2-39ではヒストグラムの山が2つに別れているのが見て取れる。これは、反射特性のグラフと重ね合わせてみることで、レベル値の低い山の部分が植物を表し、レベル値の高い山の部分が市街地を表すことが読み取れる。立川地域では、1984年と1992年の画像のどちらもレベル値の低い方の山、つまり植物域がレベル値の高い方の山、市街区域に比べてほぼ半分程度であるのが読み取れる。この地域は多摩湖、狭山湖周辺や昭和記念公園など緑の地域が多い印象を受けるが、大陸には市街区域が多いことがわかる。また、1984年と1993年のヒストグラムの傾向が変わっていないことから、立川地域は以前から都市化が進行しているため、緑地と市街地との比率に変化が無い地域であるということがわかる。多摩地域は、1984年の画像では植物域、都市域がほぼ半分ずつであるが、1992年では都市域を100としたときの植物域が75と植物の急激な減少が見て取れる。これは住宅地等の造成に伴い、丘陵地の植生である2次林が減少したことによるものであろう。多摩地域は、このまま開発が進行すると、今後の開発に伴い立川地域と同様に市街区域の半分ほどに植物域が減少して行くものと思われる。その他の図からは各地域、各年においての顕著な差はみられなかった。

シュードカラー画像では、各レベル地の地理的分布が読み取れる。バンド1の図7-2-6、図7-2-26で、湖の堆積物の様子が多摩湖、狭山湖の辺りで読み取れる。また、バンド1は植物の反射が強いバンドであるため、植物が白く、はっきりと写っていることが図7-2-12、図7-2-22、図7-2-32、図7-2-42で良くわかる。さらに、バンド6では温度の違いを示すので、構成物質の違いがはっきりと出る。図7-2-14、図7-2-34、では狭山湖の東の端にある西武球場が他のバンドではわかりにくい、回りが植物が多く温度が低くなっているため、構成物質の違う西武球場は温度が高くなっているためはっきりとわかる。図7-2-24、図7-2-44の多摩地域の温度バンドの画像では、高温部と市街地域とが良く対応していることがわかる。立川地域の画像の中で図7-2-10、図7-2-12、図7-2-30、図7-2-32のバンド3、1では、横田基地の滑走路周辺の草地がはっきりと出ているが、図7-2-14、図7-2-34のバンド6で見ると回りの温度を下げる働きをほとんどしていないことがわかる。同様な草地であると思われる昭和記念公園の草地では、周

圃の温度が下がっているので、草地に何か質的な違いがあるのか、または基地から出る熱が多量であるため草地の冷却の効果がないためか、と考えられる。バンド6の多摩地域についてはグランドトゥールの結果とシュードカラー画像とを照らし合わせ、第2節において考察を行う。

次にバンド1から4までのヒストグラムから、それぞれしきい値を求め、その値を元に3種類の合成カラー画像表示を行った。しきい値一覧を表7-2-2に、合成カラー画像を図7-2-45~56に示す。

表7-2-2 ランドサットデータのしきい値

	立川(1981)	立川(1992)	多摩(1981)	多摩(1992)
バンド1	96-160	80-120	96-152	78-120
バンド2	32-64	32-56	37-64	32-56
バンド3	24-72	28-64	30-72	30-64
バンド4	16-112	16-96	32-128	36-96

トゥルーカラー画像の図が図7-2-45~48で、これはちょうど人間が空中から地上を見たのと同じ色に見えるようにバンド1から3を合成した画像なので、シュードカラー画像や他の合成カラー画像では対象物の判別が難しいときに、この画像と合わせてみることによって、対象物の判別が容易になる。図7-2-47、図7-2-48では、造成地の赤土が茶色に見えることから、現在開発が進行している地域がよくわかる。1984年の時点では八王子の北部でも茶色の部分が認められるが1992年にはほぼ造成が終了しているようにみえる。多摩センター周辺では森林が大きく減少していることがよくわかり、残っている緑はゴルフ場のものだけである。南大沢周辺でも1984年の画像で中心的に造成の行われていた駅の南西部の造成はほぼ終わり、都立大近辺、駅南東部に造成地が広がっている。

フォールスカラー画像の図が図7-2-49~48で、これは植物の所が赤になり、市街地は青からグレーとコントラストがはっきりするようにバンド2から4を合成したもので植物と市街地の区別が非常にわかりやすい。また、雲は白くくっきりと写り、トゥルーカラー画像などでは市街地と雲が重なった場合にどちらも白っぽく写るため判別が難しいことがあるが、フォールスカラー画像と合わせることで、対象物が市街地であるか雲であるかがはっきりする。図7-2-51などで雲がはっきり写っているのが確認できる。図7-2-49、図7-2-50の立川地域では、多摩湖、狭山湖、横田基地、昭和記念公園などの大規模な緑地、草地はシュードカラー画像でも比較的容易に判別出来たが、フォールスカラー画像を用いることによりそれ以外の部分、小規模の緑地が判別しやすくなっている。図7-2-49、図7-2-50で特に、玉川上水、野火止用水に添った緑地がはっきり見える。図7-2-51、図7-2-52の多摩地域では、南大沢周辺の緑地の減少が特にはっきりみえるが、八王子

北部の造成地では図7-2-51の1984年の画像と住宅地が完成したと思われる図7-2-52の1992年の画像にあまり差が見られない。多摩川に添った河原の草地の緑の量の大きさも、周辺部の緑の減少を考えると貴重であると思われる。

ナチュラルカラー画像の図が図7-2-53～56で、これはフォールスカラー画像とR、G、Bの配置を変えただけのものであるが、植物が緑に見えるなどのことより、フォールスカラー画像より人間の見た目に近い画像が得られる。ナチュラルカラー合成がランドサットMSSなどのように青に対応する波長を観測していないセンサーのデータを解析する場合には、トゥルーカラー合成が行えないため、実際の対象物を判別するのに便利であったが、TMではトゥルーカラー合成が行えるため、活用されることが少ないが、密集した市街地ほど濃く紫色で表されるため、市街地の判別には便利である。また、MSSだけで観測を行っていた時期との比較を行う場合にも有効な合成であると思われる。図7-2-53から図7-2-55の画像を見ると、立川、府中、八王子といった都市から比べると多摩センター周辺にはまだ住宅地が密集しているとはいえない。

さらに、バンド3とバンド4の演算(式2)よりNVIを求めた(図7-2-57～60)。NVI画像を見ると合成カラー画像などでは同じ様に見えていた緑の質の違いが見えてくる。図7-2-57、図7-2-58から狭山湖西部、多摩丘陵の未造成地が最も濃く反応している。人の手の入っている地域、昭和記念公園などは、森林に比べて、NVIの値が低い。図7-2-59、図7-2-60から1984年に比べて1992年では開発の進行によりNVIの値の高い地域の割合は減少しているものの、どちらの画像でもNVIの値の高い開発の行われていないものと思われる地域が立川地域に比べて多くあることがわかる。

(2) 熱環境の変化

多摩地域においては、特に地表面温度分布と気温との関係を見るために自動車による移動観測と、多摩センター駅、南大沢駅近辺での定点観測を行った。定点観測の結果を図66に、移動観測により作成した気温分布図を図67に示す。定点観測と自動車による移動観測を組み合わせる目的は、地域による気温の温度上昇率にどの程度差があるかをみるために開発の進んでいる多摩センター周辺と現在開発が進められている南大沢周辺を選びだし同時に観測を行い、さらに自動車による移動観測により得られた値の時刻補正を行う目的で行った。

定点観測の結果を示した図7-2-61から、多摩センター駅周辺を南大沢駅周辺ではほぼ気温の値、気温の上昇率ともにほとんど差がない結果であることがわかる。多摩センター駅周辺の方が、南大沢駅周辺よりも早くから開けており、南大沢駅周辺はまだ造成地の赤土が見える所もあるというように、両者には開発の度合は視覚的には差が感じられたが、それが気温の変化になって現れるほどの差ではないのかもしれない。

多摩センター周辺の移動観測の結果は、図7-2-62から駅周辺部が他の地域に比べ、やや気温が高い傾向は見受けられるが、それよりも鉄道の北側に走る道路沿いの地域に高温部が目立ち、気温が

高い傾向がある。これは、自動車からの排熱などの影響と考えられる。したがって、この地域では宅地化による気温への影響よりも交通量の増大による影響が大きいのではないかと考えられる。地表面温度とTMバンド6との関係を見るために神奈川県相模原市で1993年9月20日と27日に行った地表面温度の観測では、アスファルトの部分で表面温度が高くなっており、ランドサットTMデータバンド6の図7-2-24、図7-2-44では、鉄道沿線の宅地化した地域での表面温度の高い所が認められるので、気温に何等かの影響を与えているのではないかと考えたが、現在の所、あまり影響は大きくないようである。

7-2-5 おわりに

ランドサットTMデータを用いて、東京多摩地域の都市化による環境の変換について、おもに合成画像、シュードカラー画像からの読み取り、グランドトゥールースとしての気温観測、地表面温度観測の結果との比較などからいくつかの点について見てきた。

その結果、多摩センター周辺地域の植生の減退、宅地開発地域の増大などを視覚的に把握することが出来、立川地域と多摩地域での比較において、開発の進行度や進行の早さなどを見て取ることが出来た。また、多摩センター周辺地域の開発による気温上昇への影響は、ランドサットによる地表面温度の観測においては、宅地、ゴルフ場の造成などの都市化による地表面温度の開発による市街地域での高温化が見られたが、自動車による移動観測などのグランドトゥールースと比較することにより、気温が上昇している高温部は、道路周辺にあることから、気温の上昇に対する影響は、現在の所、地表面被覆の変化よりも交通量の増加による上昇の方が大きいことがわかった。

今後の課題としては、データから今回見てきた様々な変化の様子を定量的な変化として捉えることにより、細かい変化の様子をとらえること。季節毎のデータを利用し季節毎の植生の周囲の環境に与える影響を考察することで植生の環境に与える影響の季節変化を読み取ることなどがあげられる。

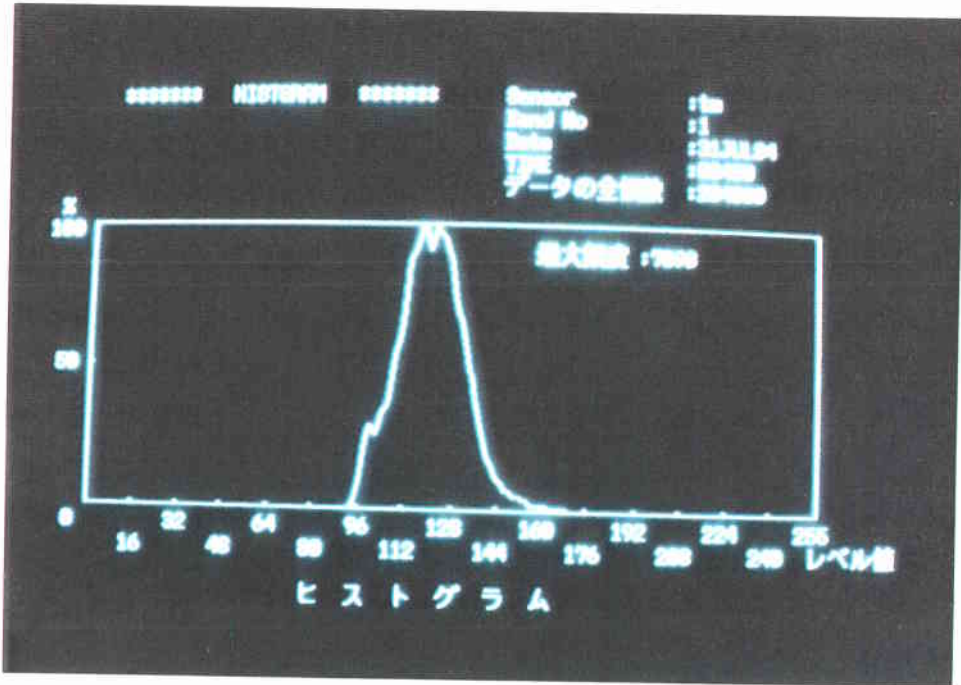


図7-2-5 TMバンド 1ヒストグラム 立川地域 (1984)

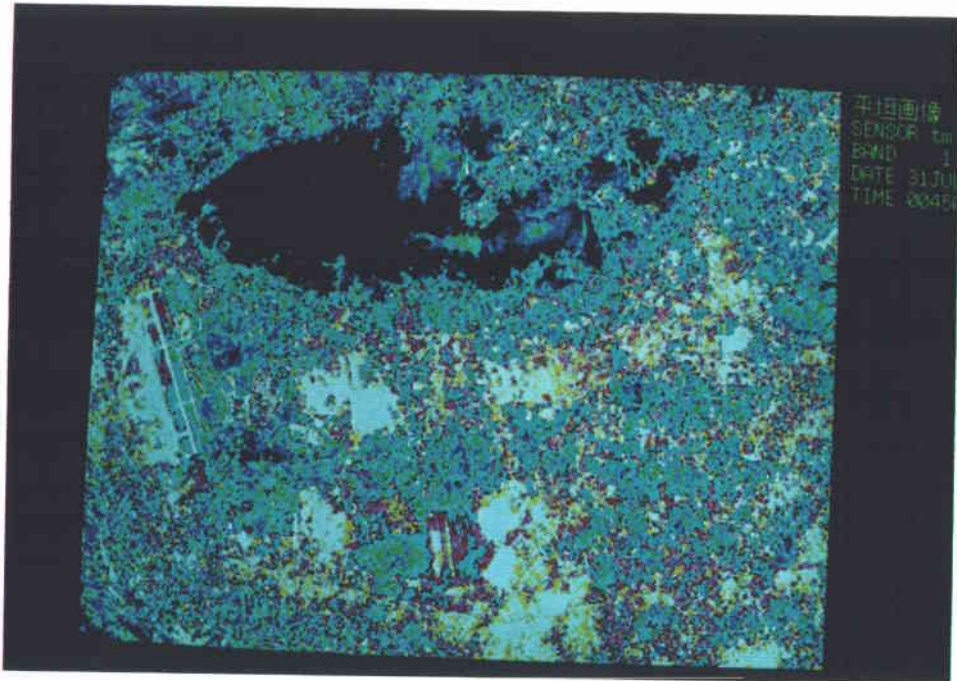


図7-2-6 TMバンド 1シュードカラー表示 立川地域 (1984)

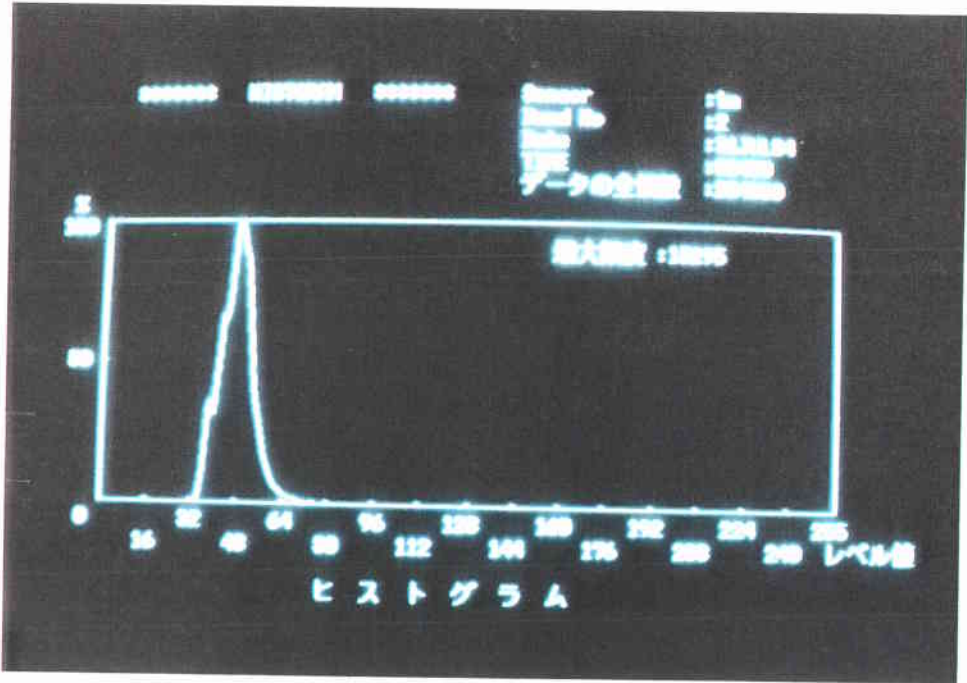


図7-2-7 TMバンド 2ヒストグラム 立川地域 (1984)

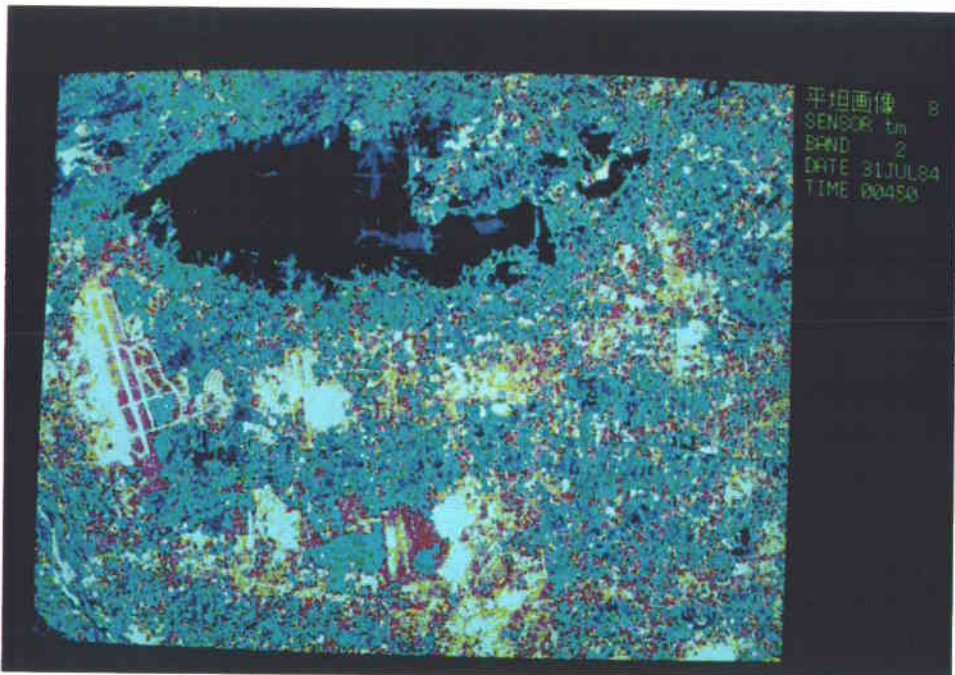


図7-2-8 TMバンド 2シュードカラー表示 立川地域 (1984)

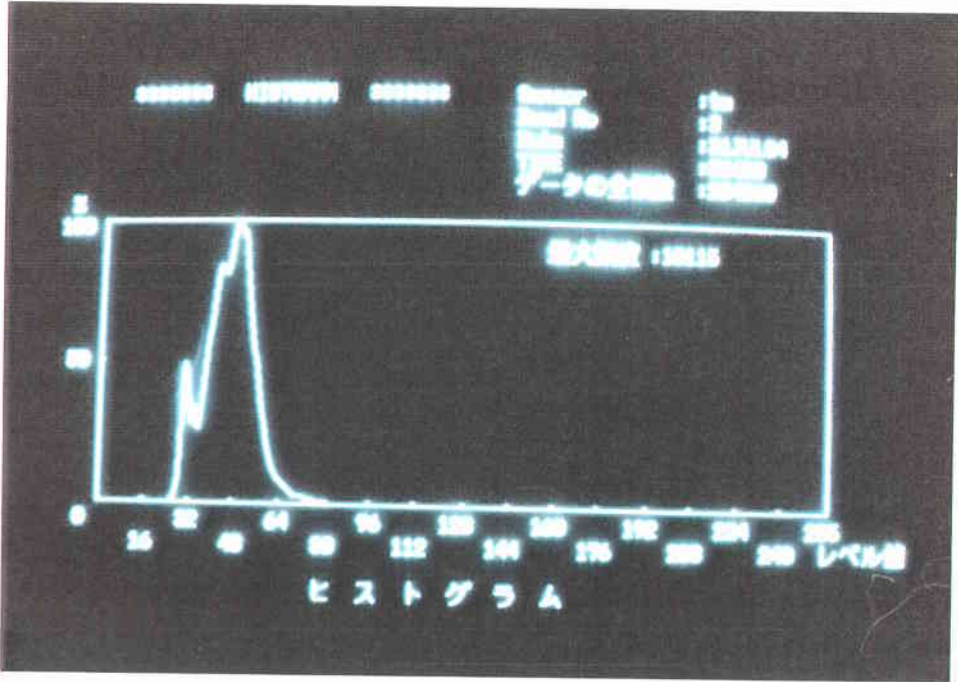


図7-2-9 TMバンド 3ヒストグラム 立川地域 (1984)

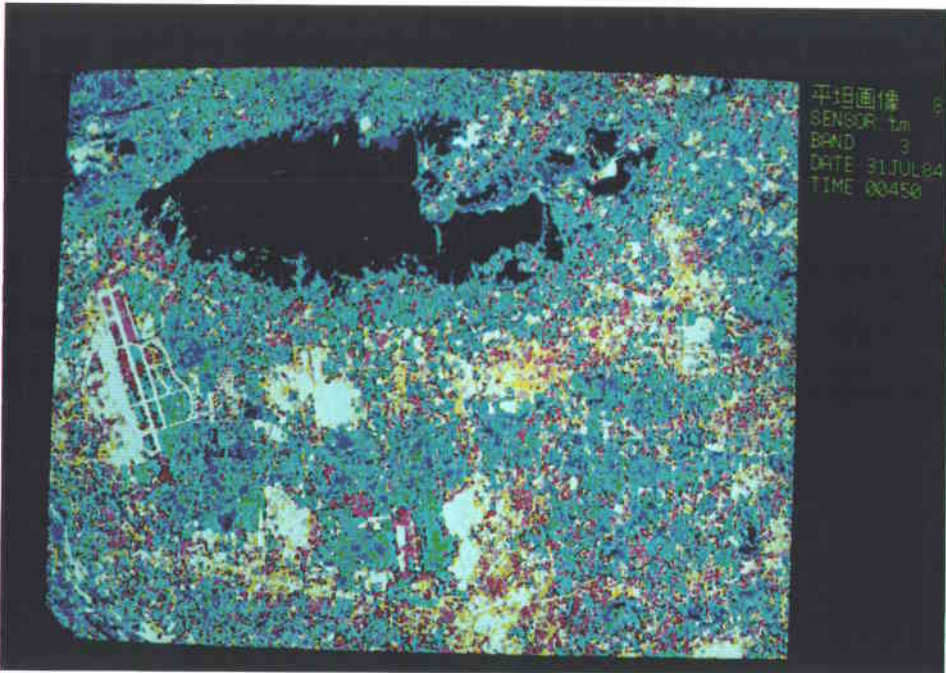


図7-2-10 TMバンド 3 シュードカラー表示 立川地域 (1984)

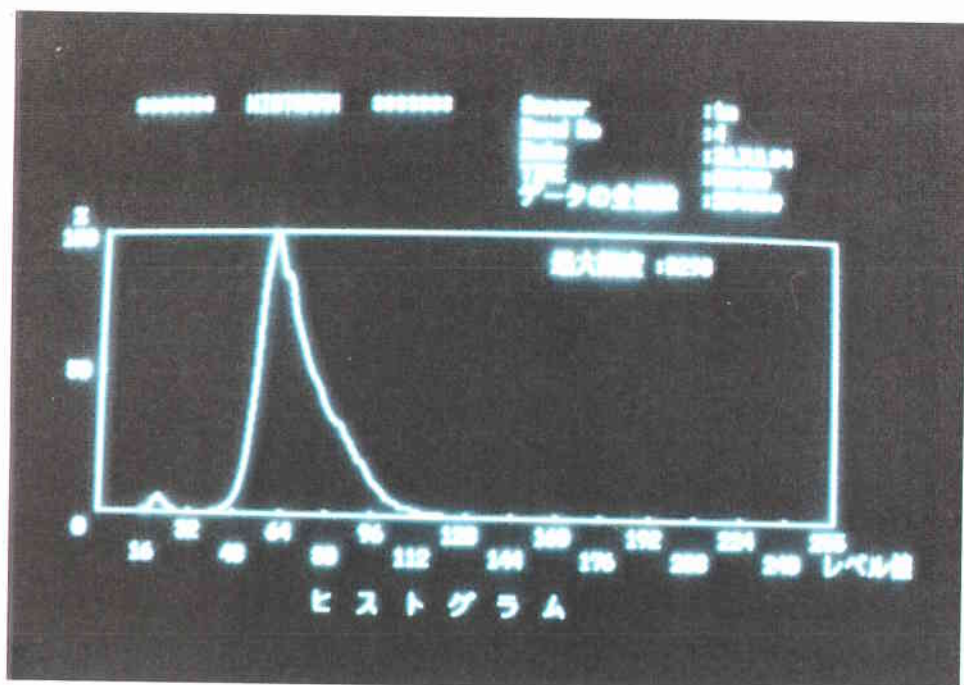


図 7-2-11 TMバンド 4 ヒストグラム 立川地域 (1984)



図 7-2-12 TMバンド 4 シュードカラー表示 立川地域 (1984)

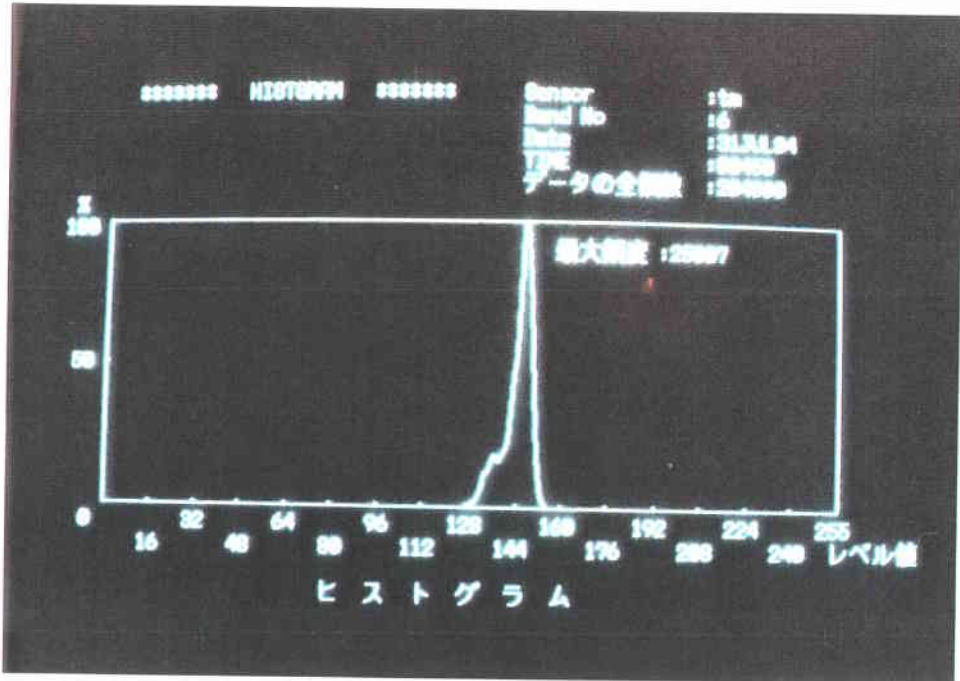


図7-2-13 TMバンド 6ヒストグラム 立川地域 (1984)

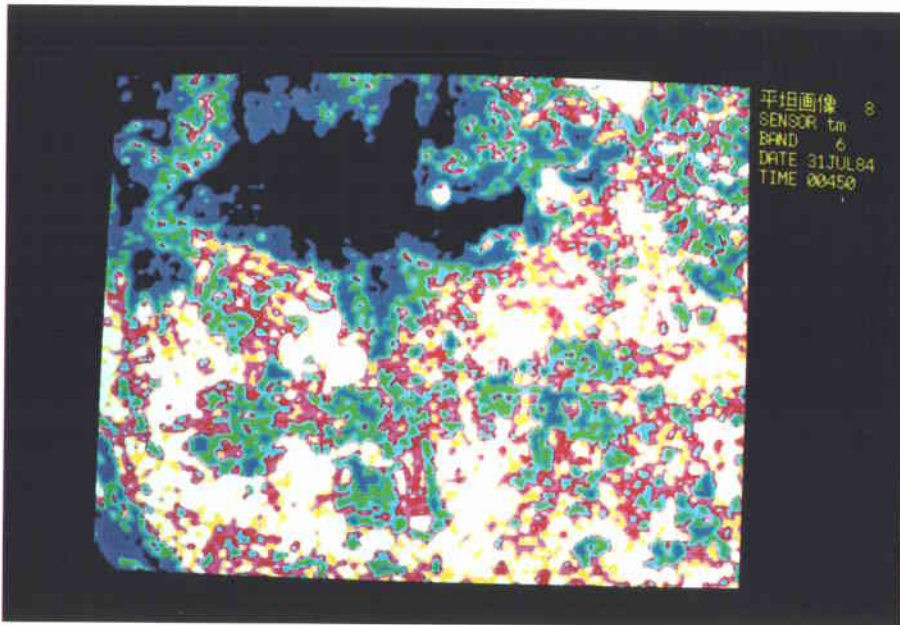


図7-2-14 TMバンド 6シュードカラー表示 立川地域 (1984)

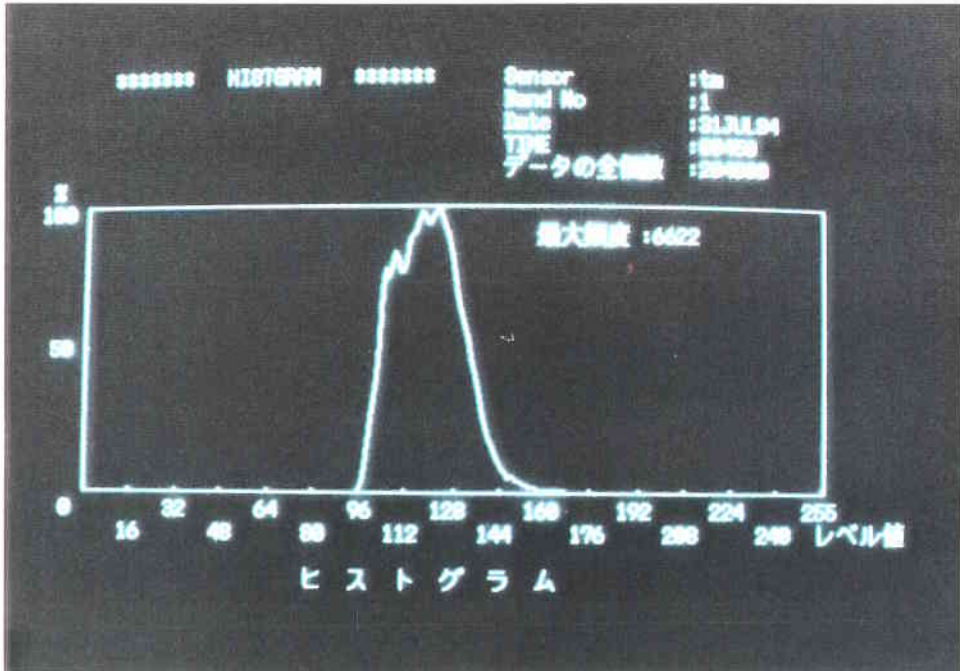


図 7-2-15 TMバンド 1 ヒストグラム 多摩地域 (1984)

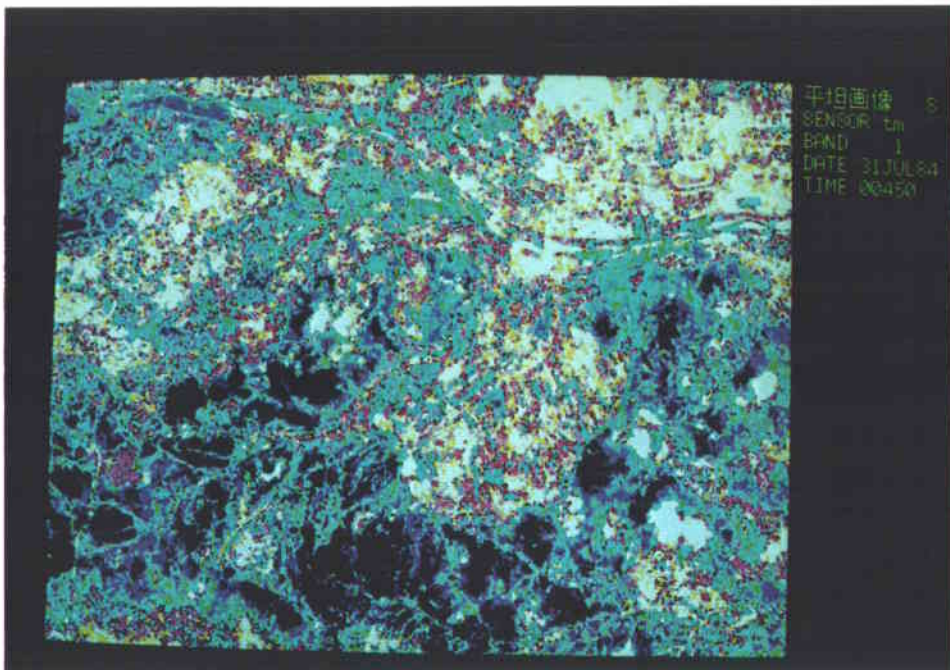


図 7-2-16 TMバンド 1 シュードカラー表示 多摩地域 (1984)

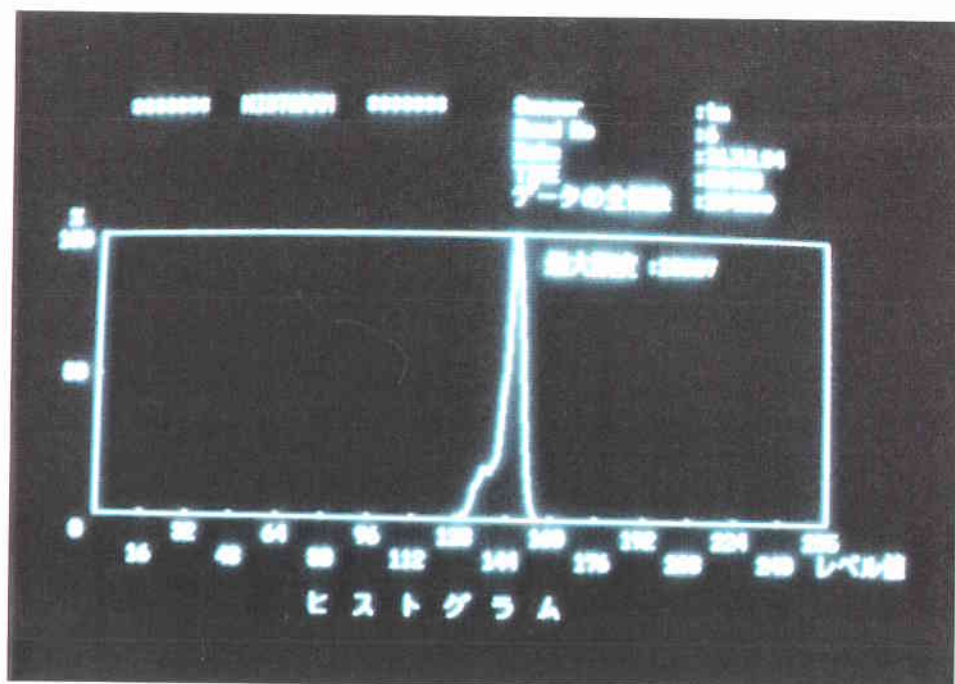


図7-2-17 TMバンド 2 ヒストグラム 多摩地域 (1984)

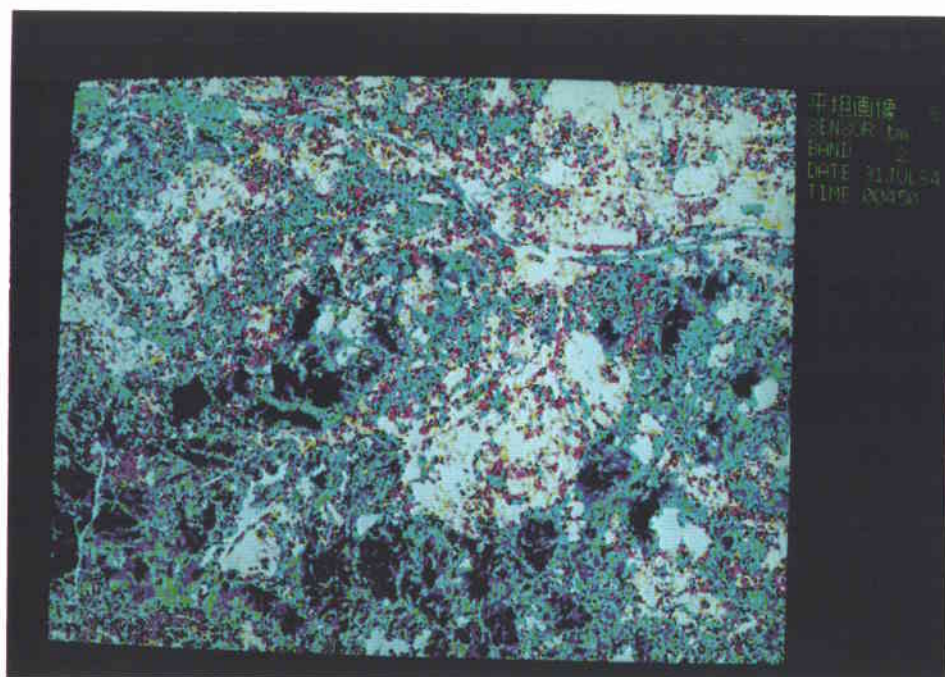


図7-2-18 TMバンド 2 シュードカラー表示 多摩地域 (1984)

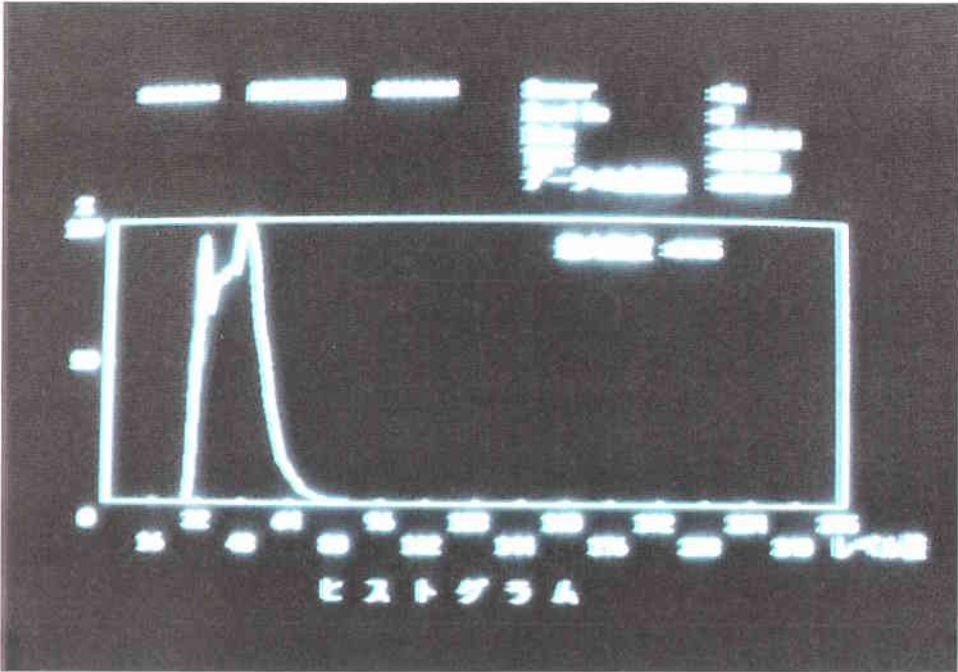


図 7 - 2 - 19 TMバンド 3 ヒストグラム 多摩地域 (1984)

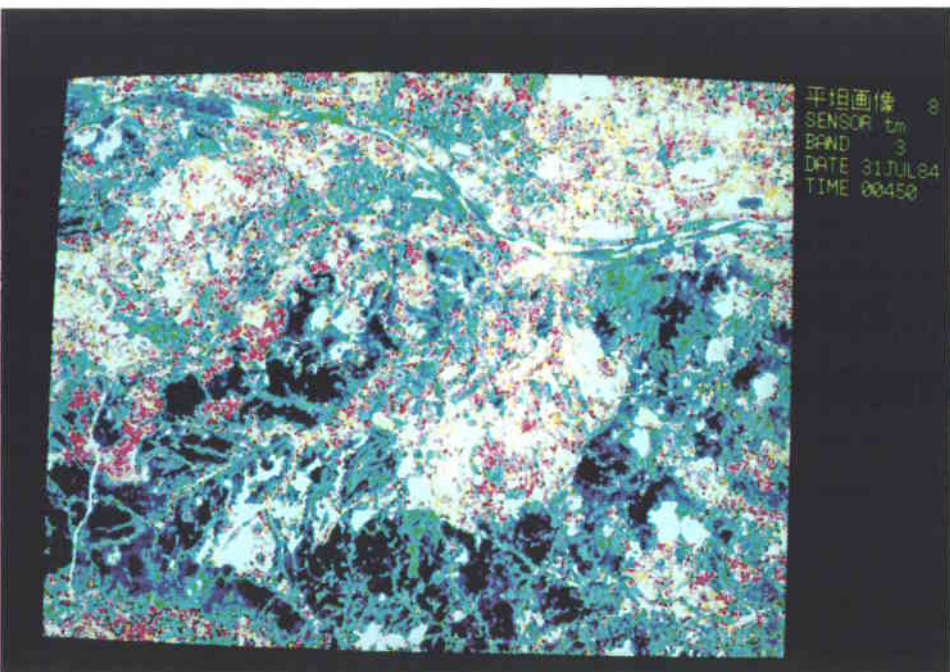


図 7 - 2 - 20 TMバンド 3 シュードカラー表示 多摩地域 (1984)

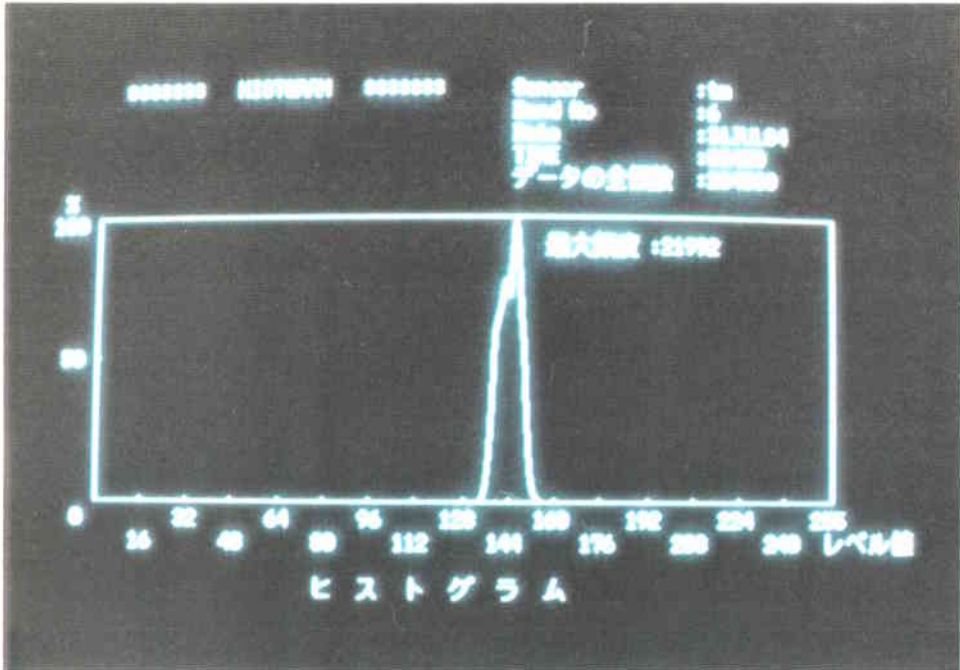


図 7 - 2 - 23 TMバンド 6 ヒストグラム 多摩地域 (1984)

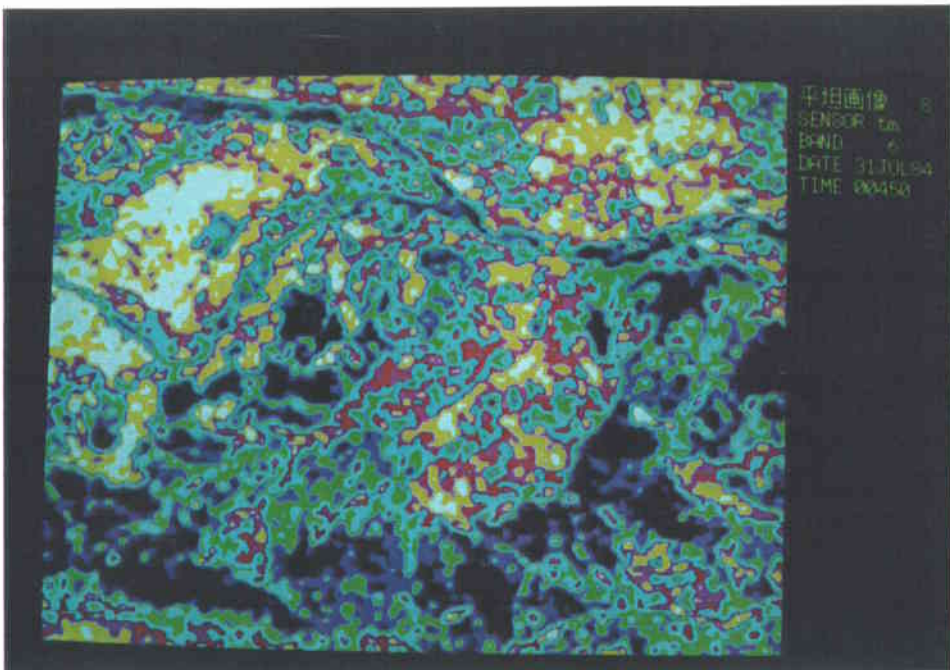


図 7 - 2 - 24 TMバンド 6 シュードカラー表示 多摩地域 (1984)

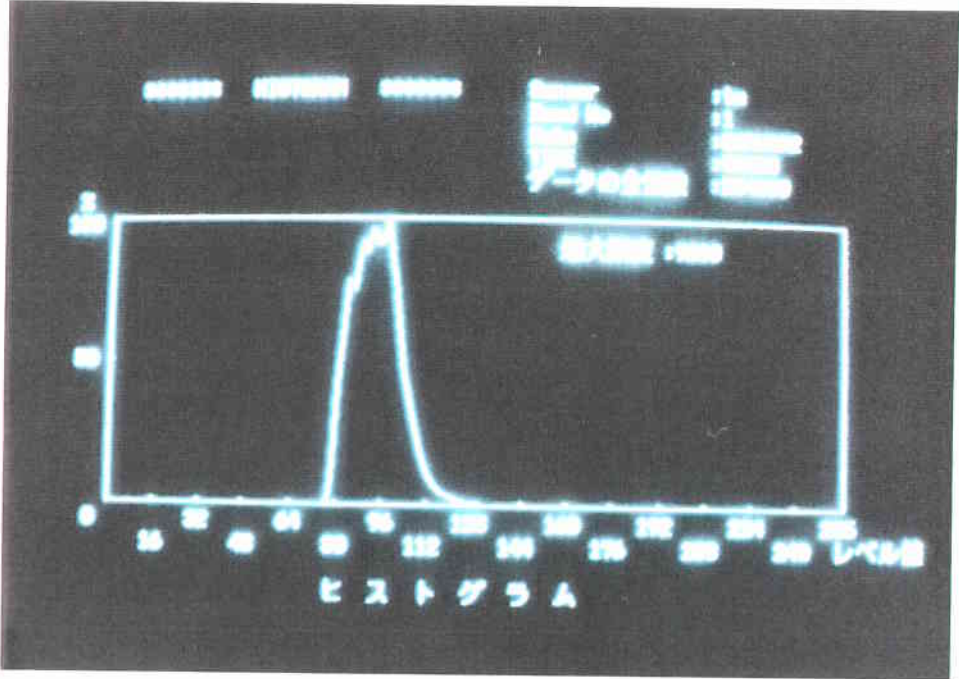


図7-2-25 TMバンド 1ヒストグラム 立川地域 (1992)

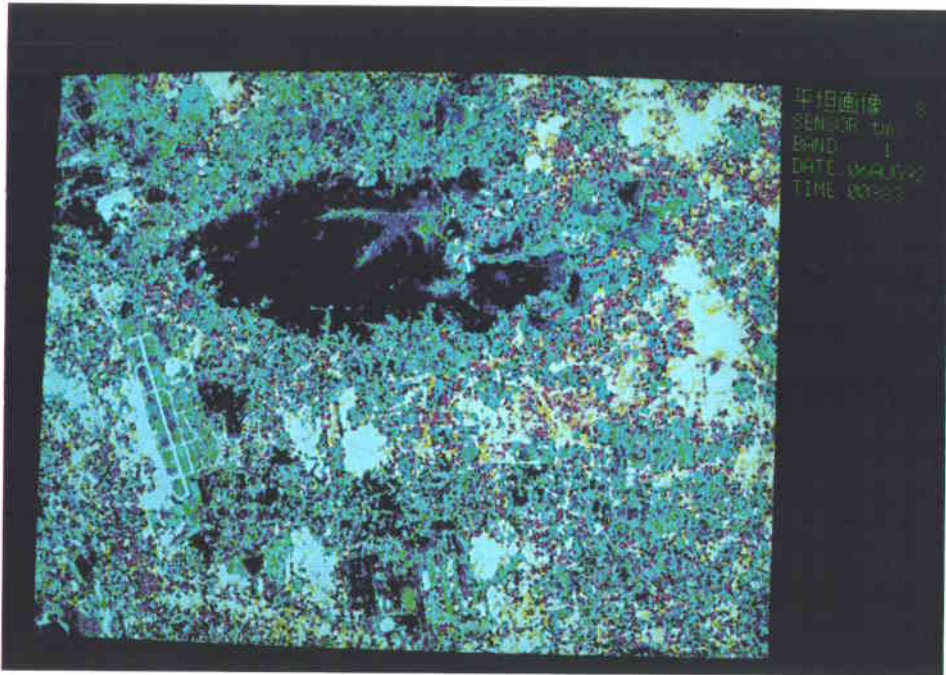


図7-2-26 TMバンド 1シュードカラー表示 立川地域 (1992)

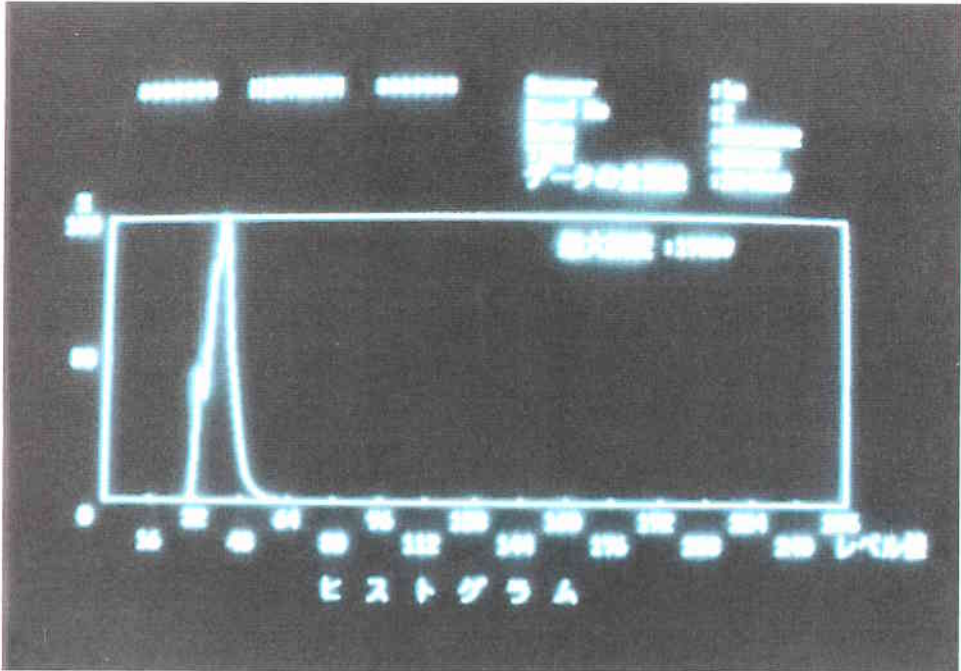


図 7 - 2 - 27 TMバンド 2 ヒストグラム 立川地域 (1992)

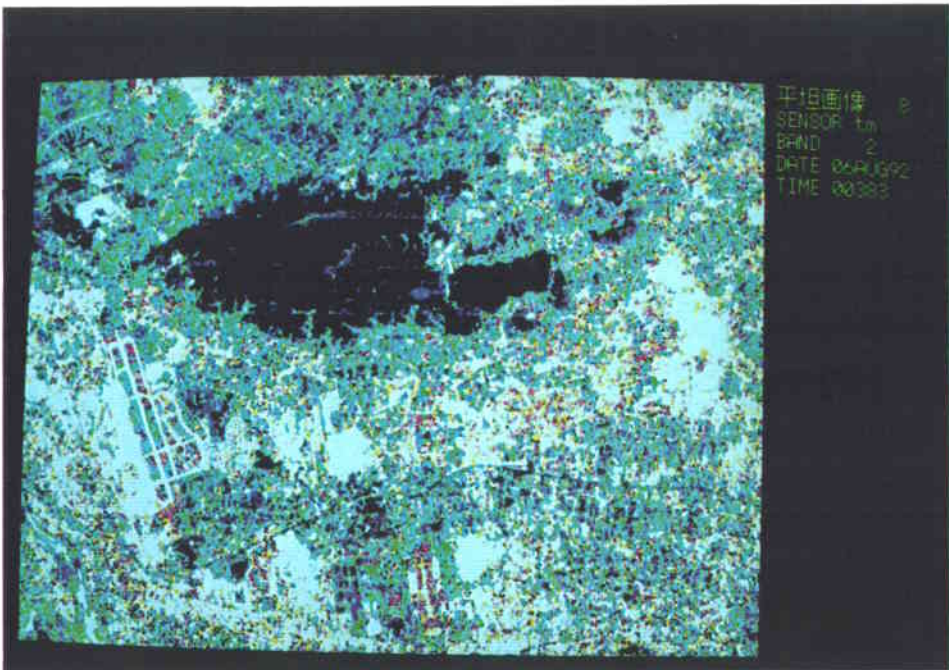


図 7 - 2 - 28 TMバンド 2 シュードカラー表示 立川地域 (1992)

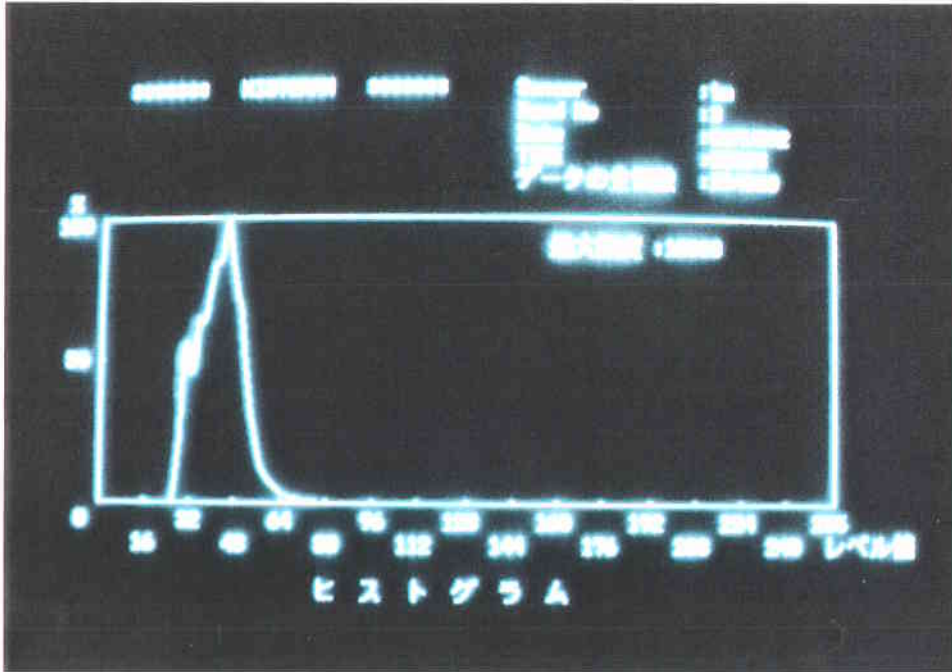


図7-2-29 TMバンド 3ヒストグラム 立川地域 (1992)

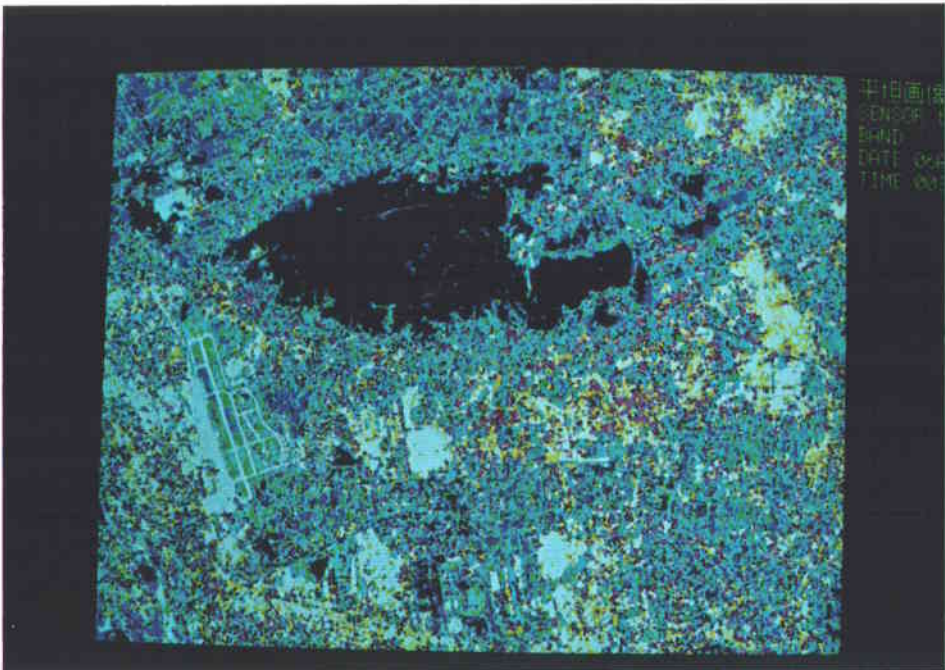


図7-2-30 TMバンド 3シュードカラー表示 立川地域 (1992)

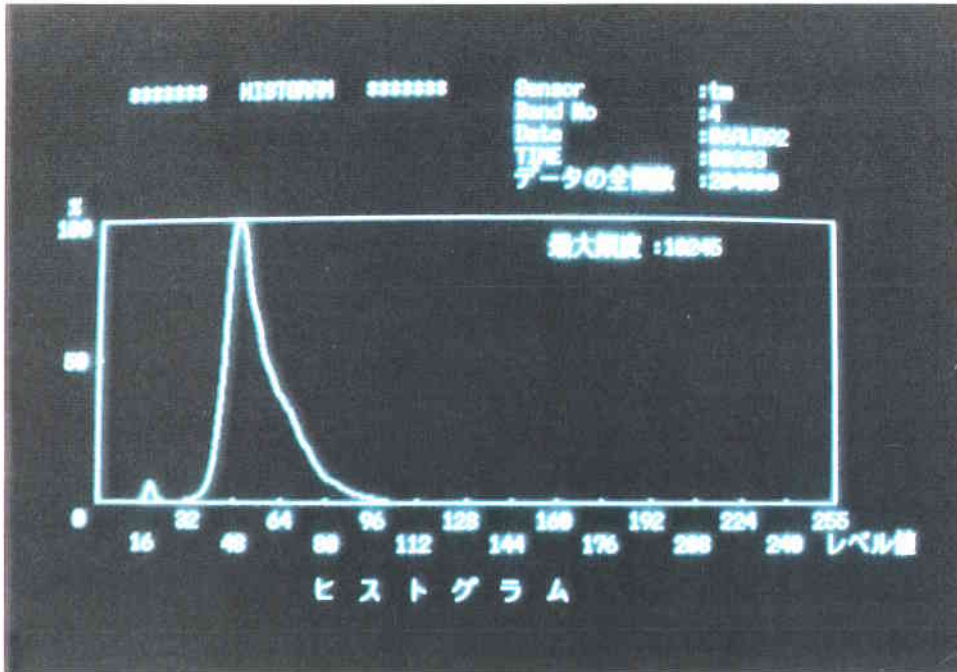


図 7 - 2 - 31 TMバンド 4 ヒストグラム 立川地域 (1992)



図 7 - 2 - 32 TMバンド 4 シュードカラー表示 立川地域 (1992)

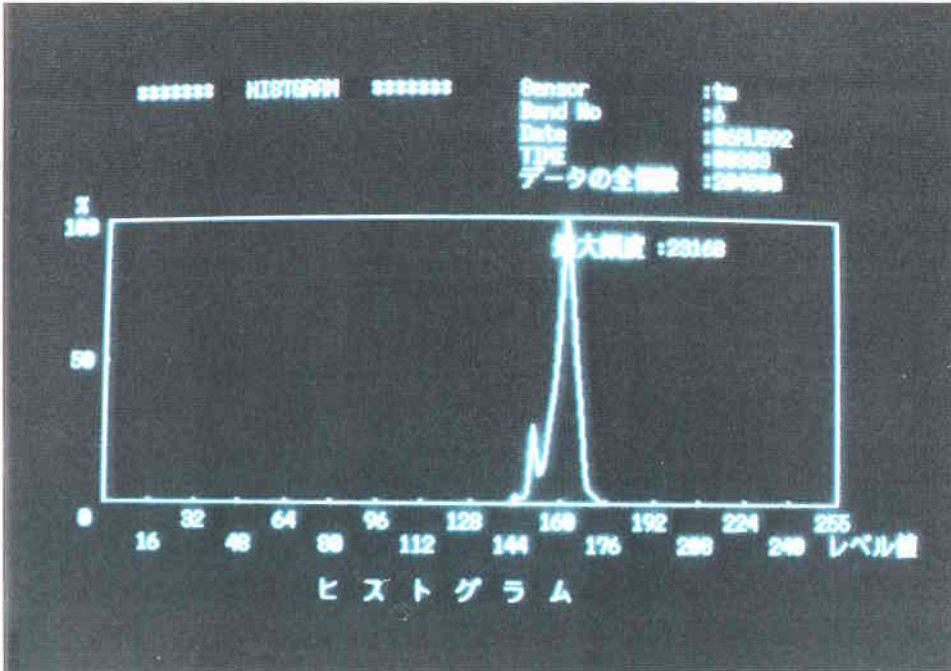


図 7-2-33 TMバンド 6 ヒストグラム 立川地域 (1992)

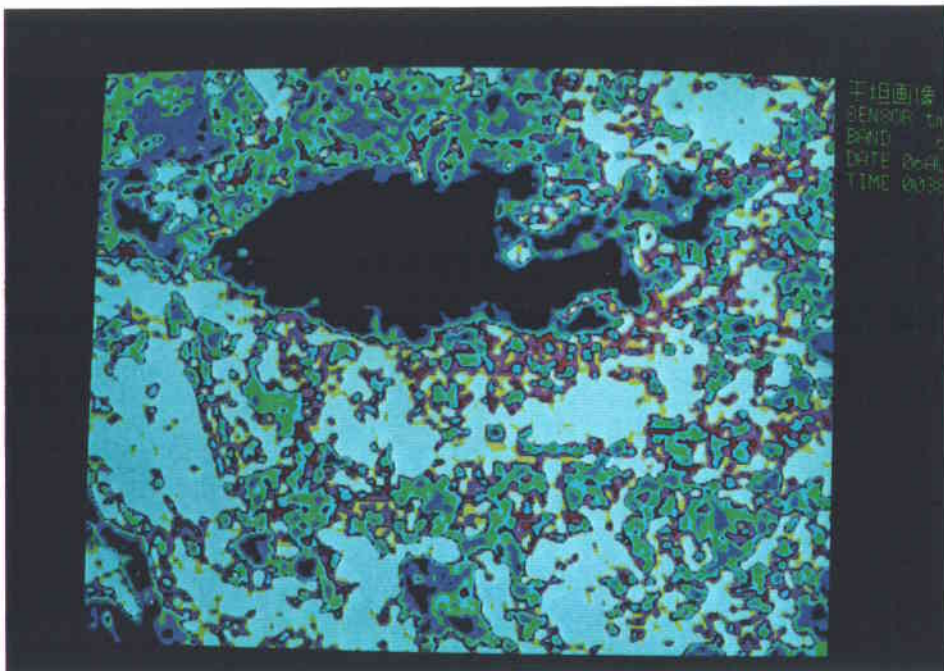


図 7-2-34 TMバンド 6 シュードカラー表示 立川地域 (1992)

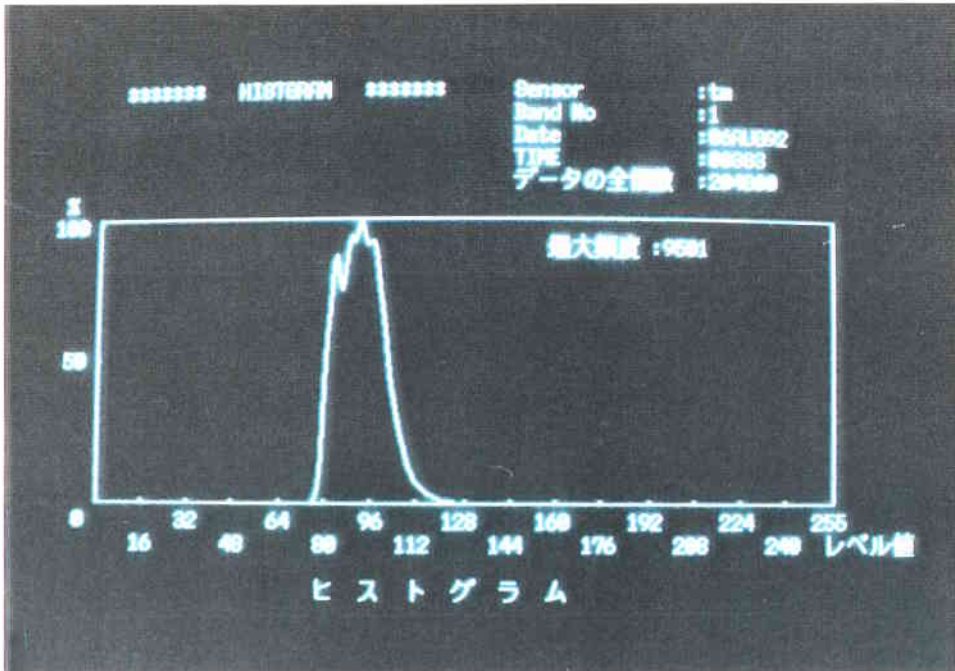


図 7-2-35 TMバンド 1 ヒストグラム 多摩地域 (1992)

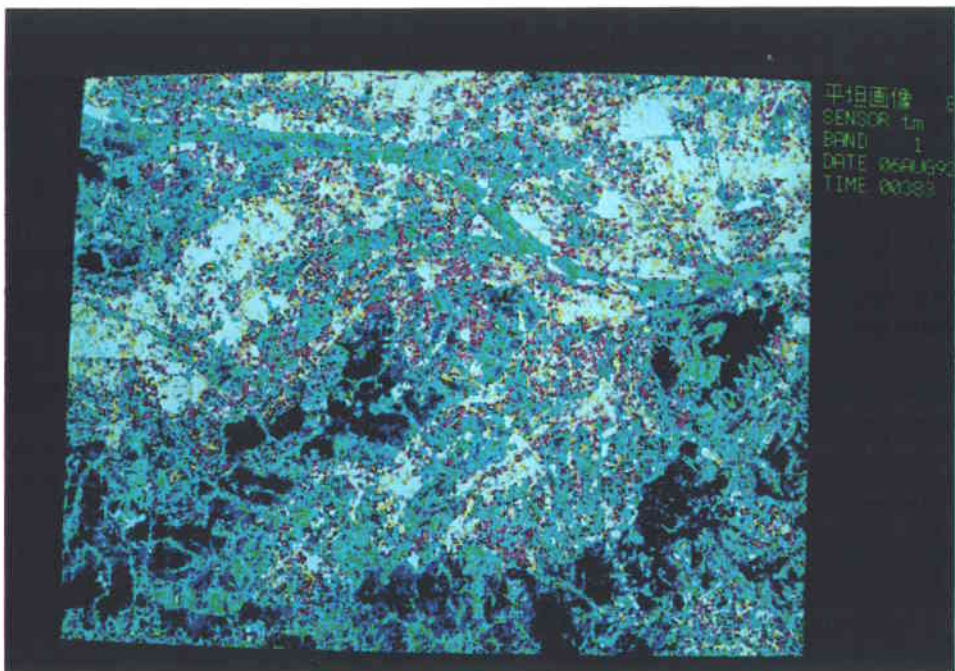


図 7-2-36 TMバンド 1 シュードカラー表示 多摩地域 (1992)

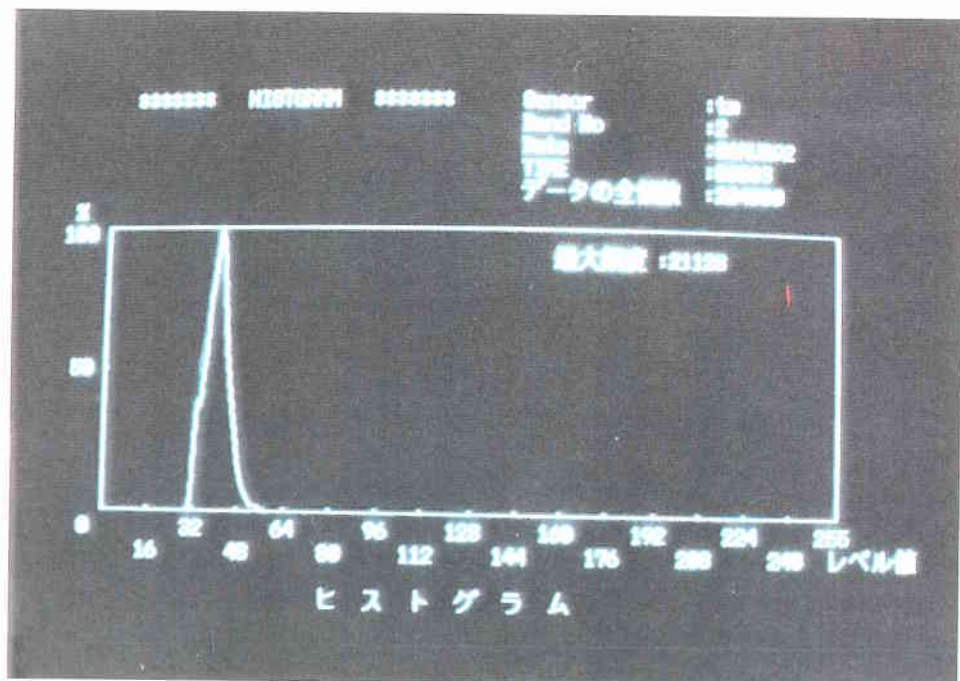


図 7-2-37 TMバンド 2 ヒストグラム 多摩地域 (1992)

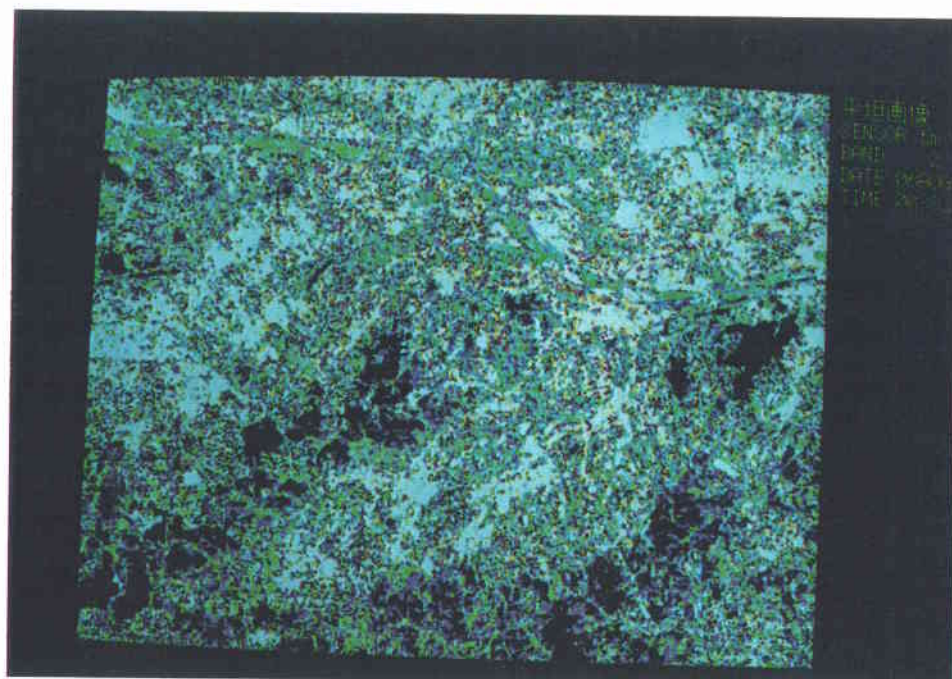


図 7-2-38 TMバンド 2 シュードカラー表示 多摩地域 (1992)

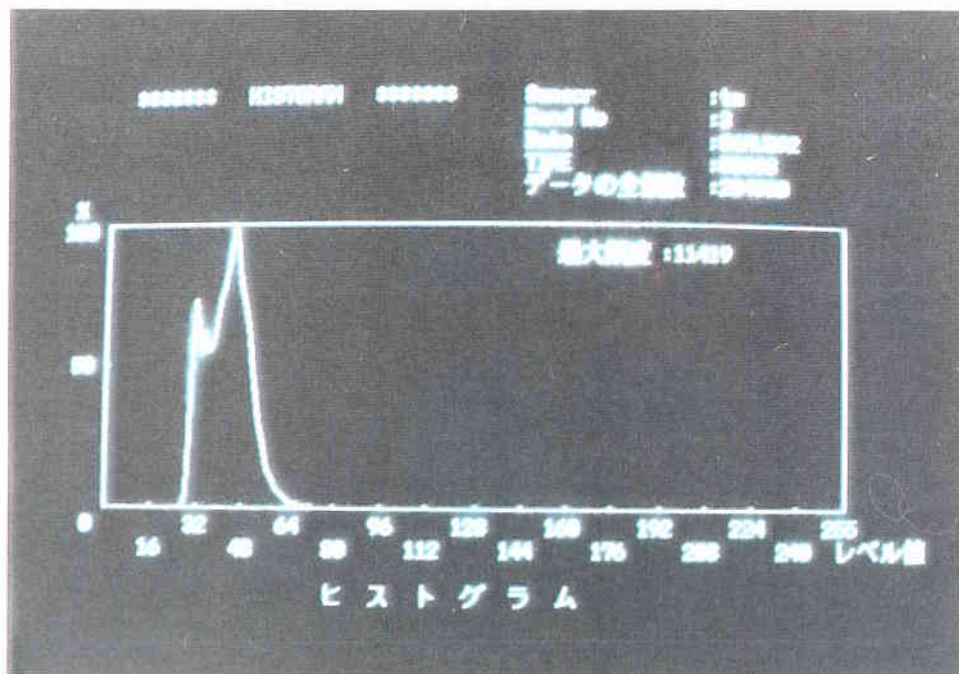


図 7-2-39 TMバンド 3 ヒストグラム 多摩地域 (1992)

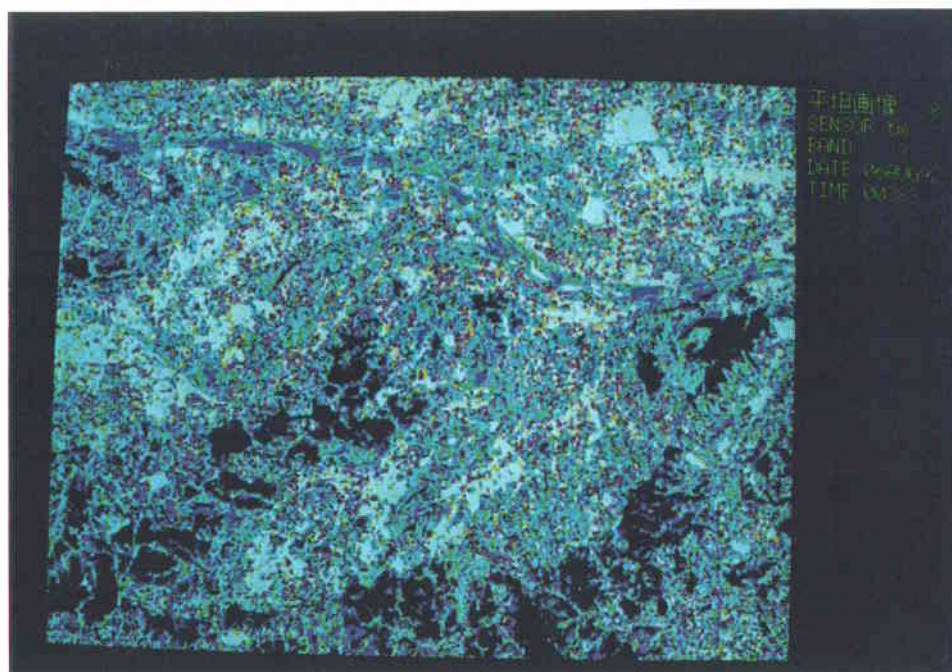


図 7-2-40 TMバンド 3 シュードカラー表示 多摩地域 (1992)

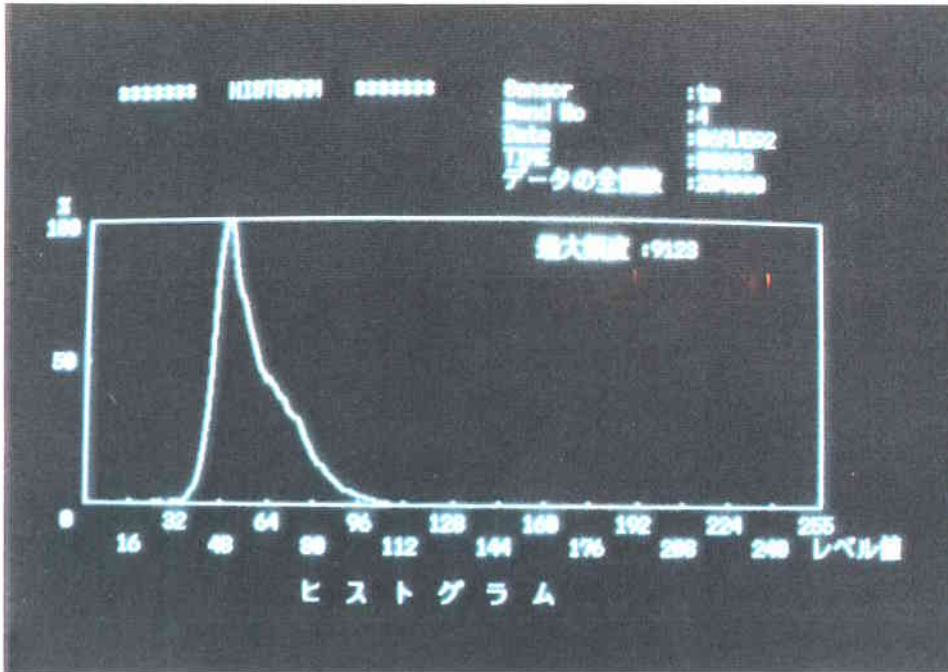


図 7-2-41 TMバンド 4 ヒストグラム 多摩地域 (1992)

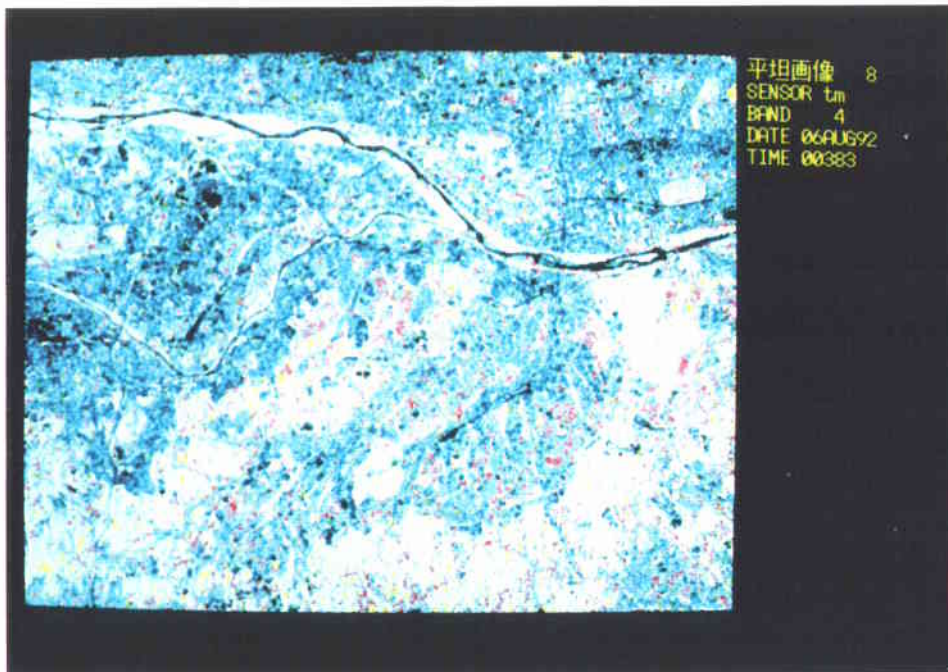


図 7-2-42 TMバンド 4 シュードカラー表示 多摩地域 (1992)

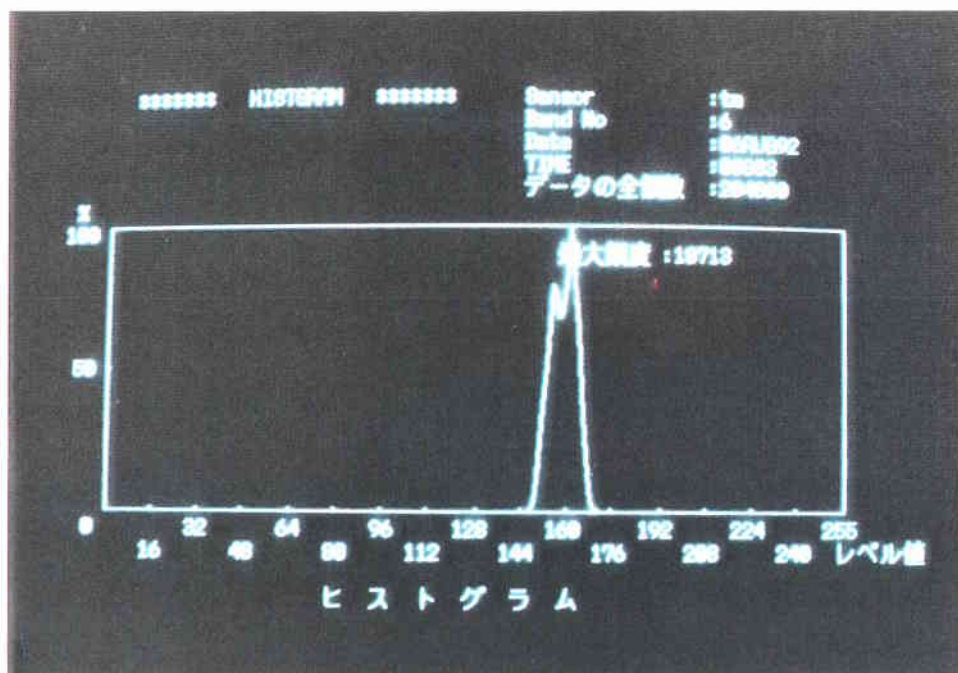


図 7-2-43 TMバンド 6 ヒストグラム 多摩地域 (1992)

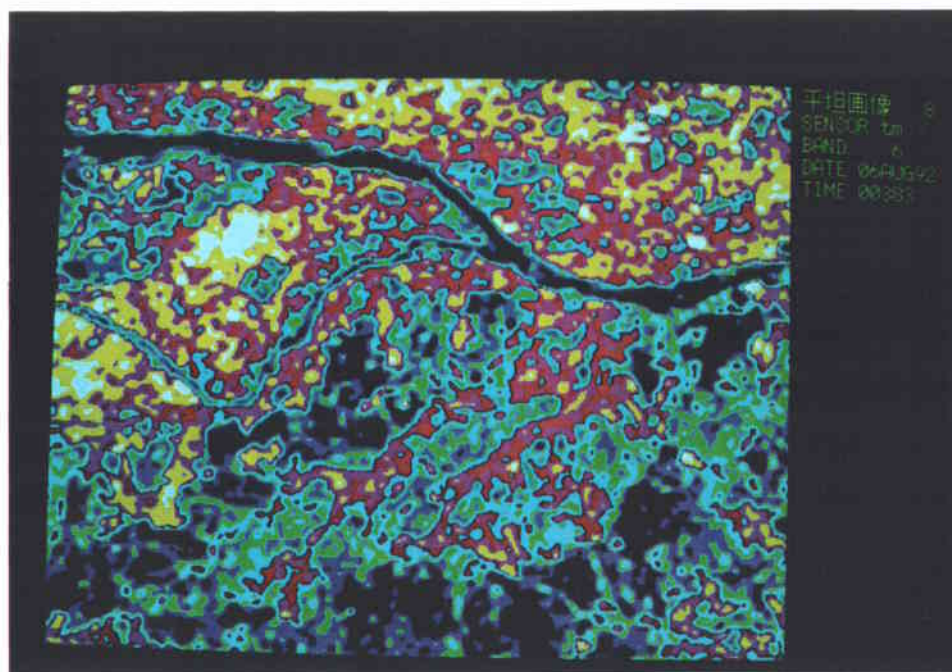


図 7-2-44 TMバンド 6 シュードカラー表示 多摩地域 (1992)

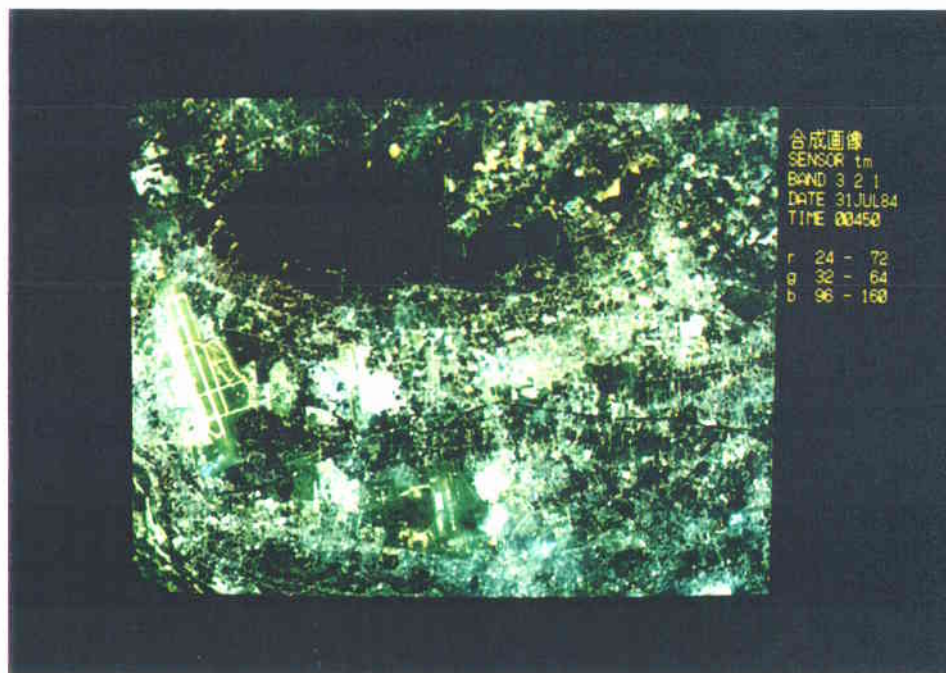


図 7 - 2 - 45 フォールスカラー画像 立川地域 (1984)

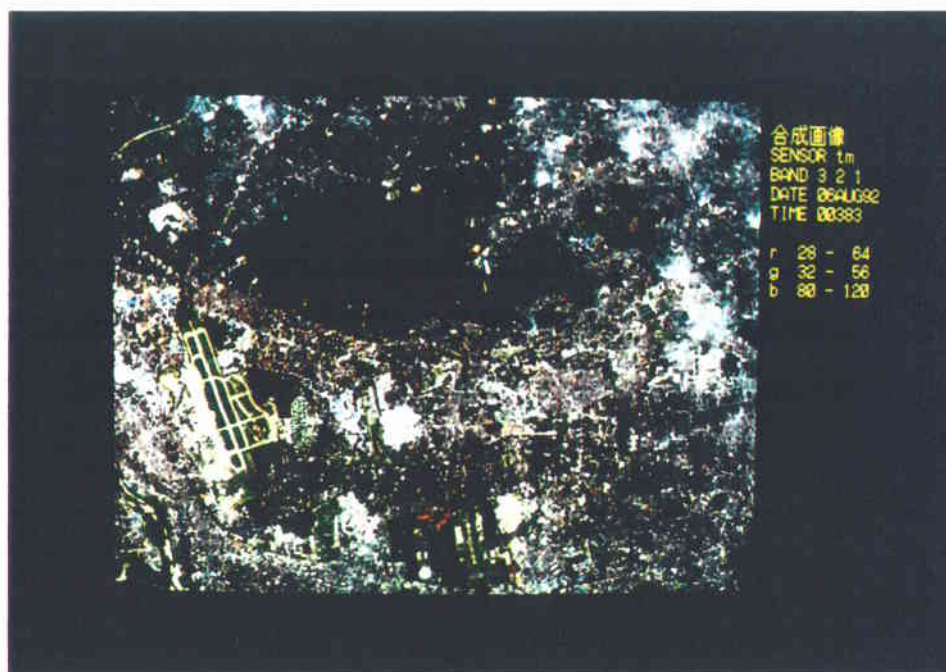


図 7 - 2 - 46 フォールスカラー画像 立川地域 (1992)

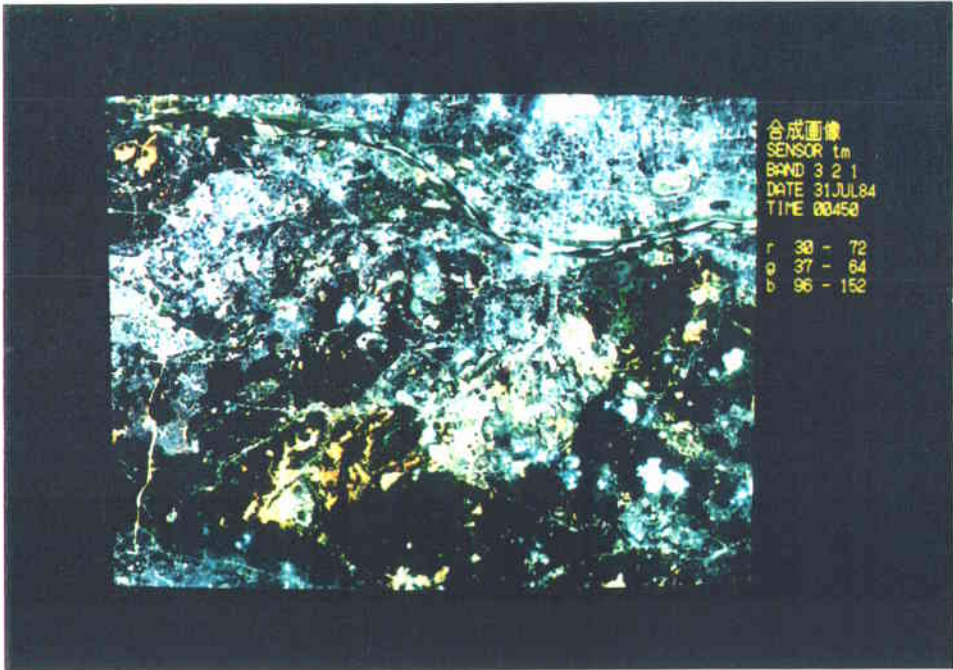


図 7 - 2 - 47 フォールスカラー画像 多摩地域 (1984)

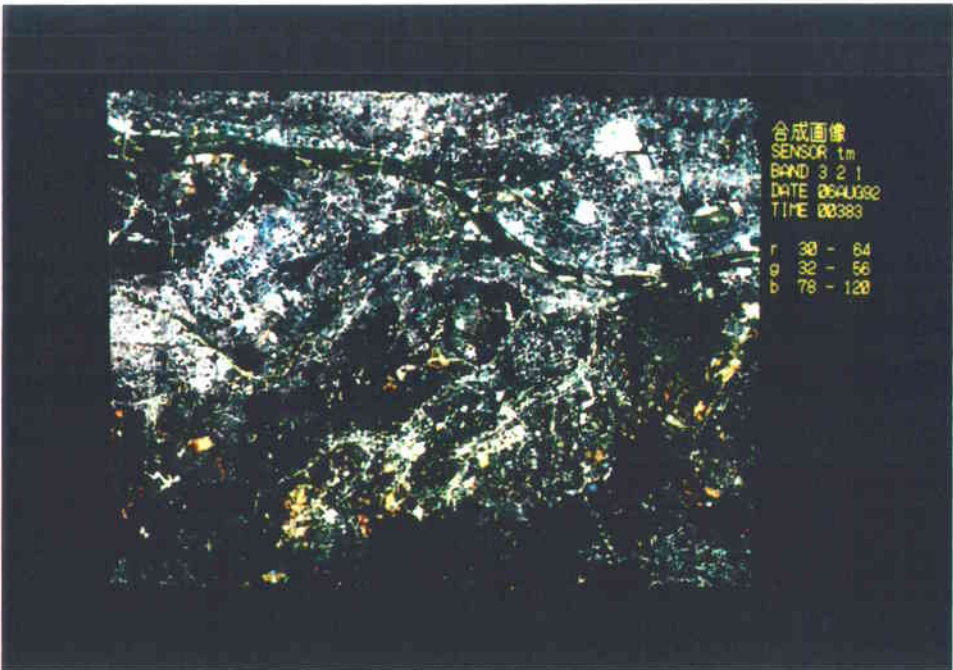


図 7 - 2 - 48 フォールスカラー画像 多摩地域 (1992)



図 7 - 2 - 49 フォールスカラー画像 立川地域 (1984)



図 7 - 2 - 50 フォールスカラー画像 立川地域 (1992)

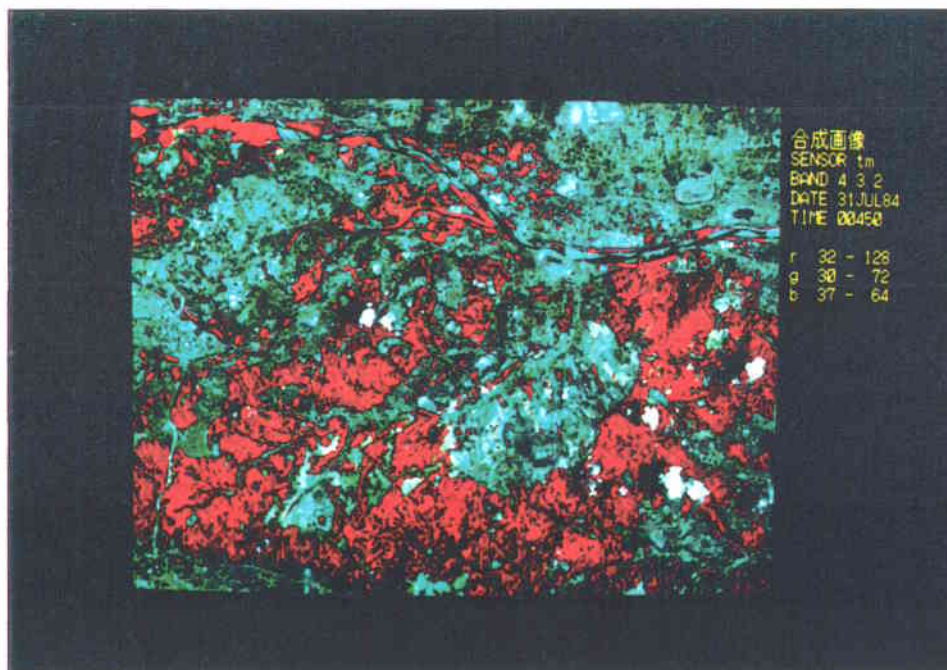


図 7 - 2 - 51 フォールスカラー画像 多摩地域 (1984)

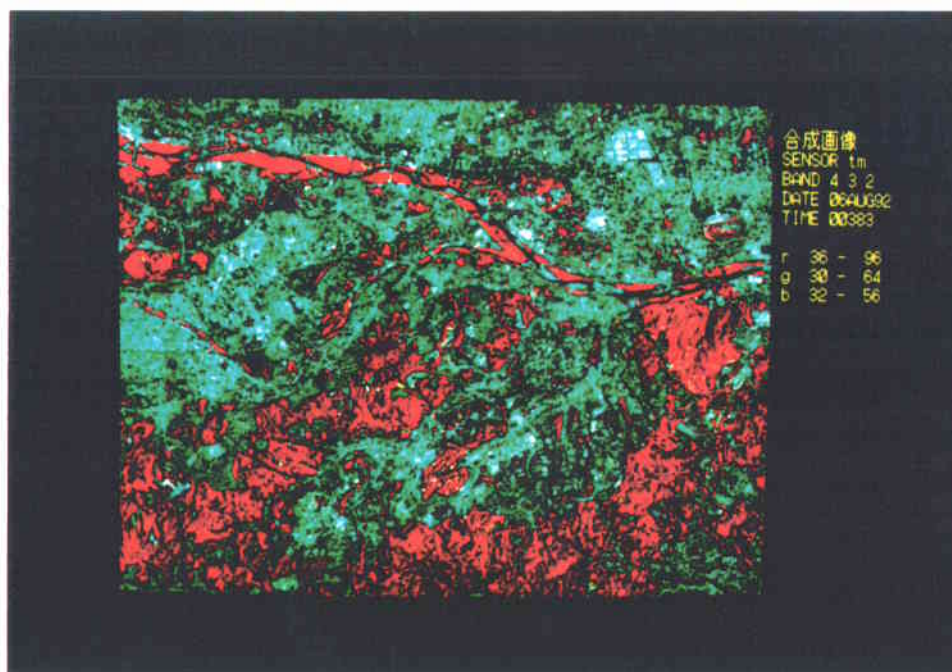


図 7 - 2 - 52 フォールスカラー画像 多摩地域 (1992)



図 7 - 2 - 53 ナチュラルカラー画像 立川地域 (1984)



図 7 - 2 - 54 ナチュラルカラー画像 立川地域 (1992)

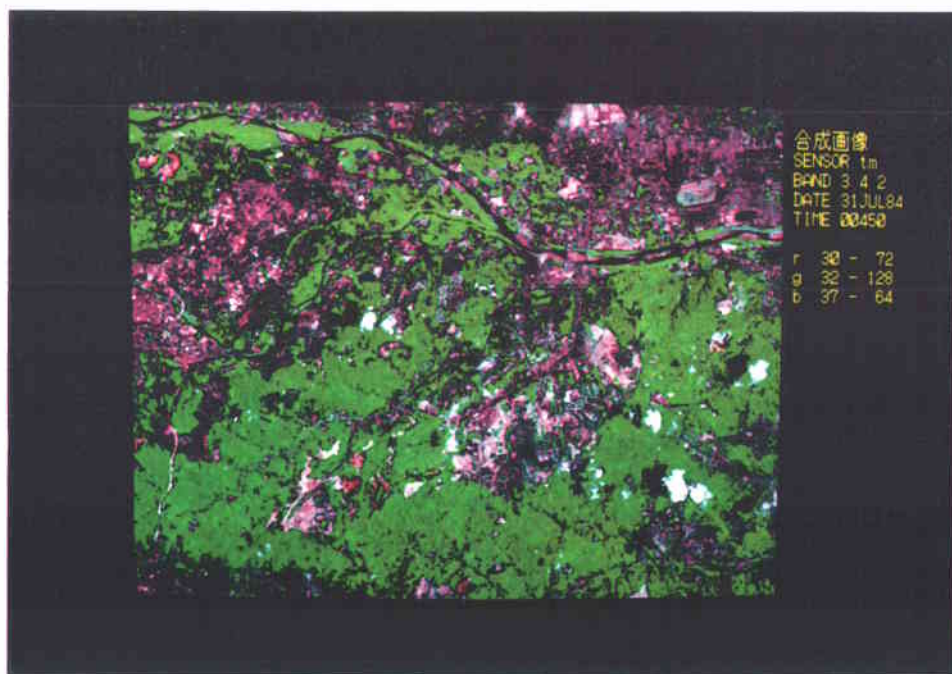


図 7 - 2 - 55 ナチュラルカラー画像 多摩地域 (1984)

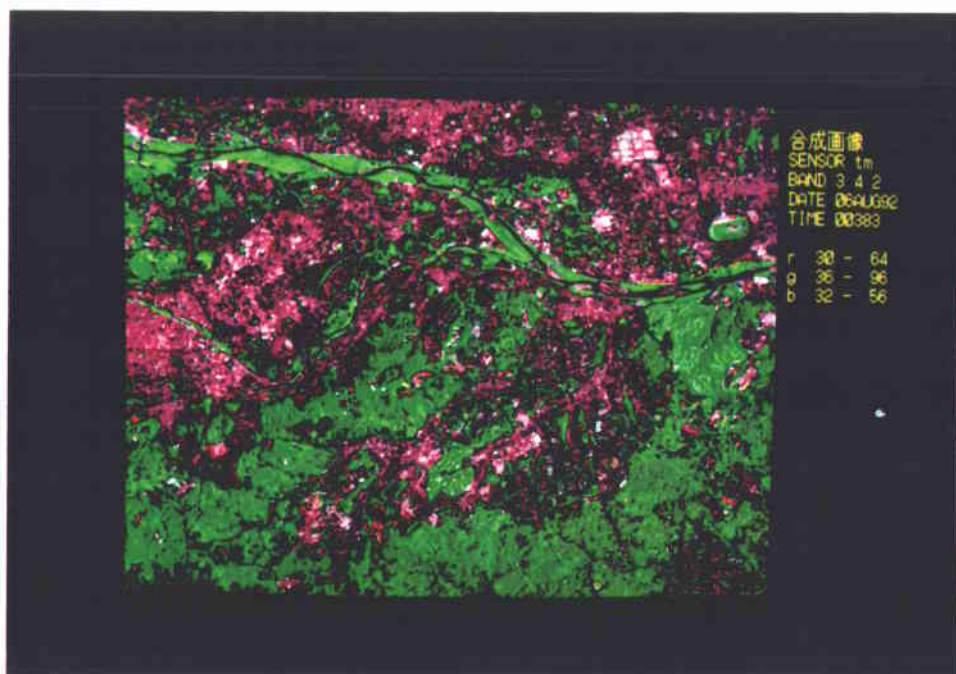


図 7 - 2 - 56 ナチュラルカラー画像 多摩地域 (1992)

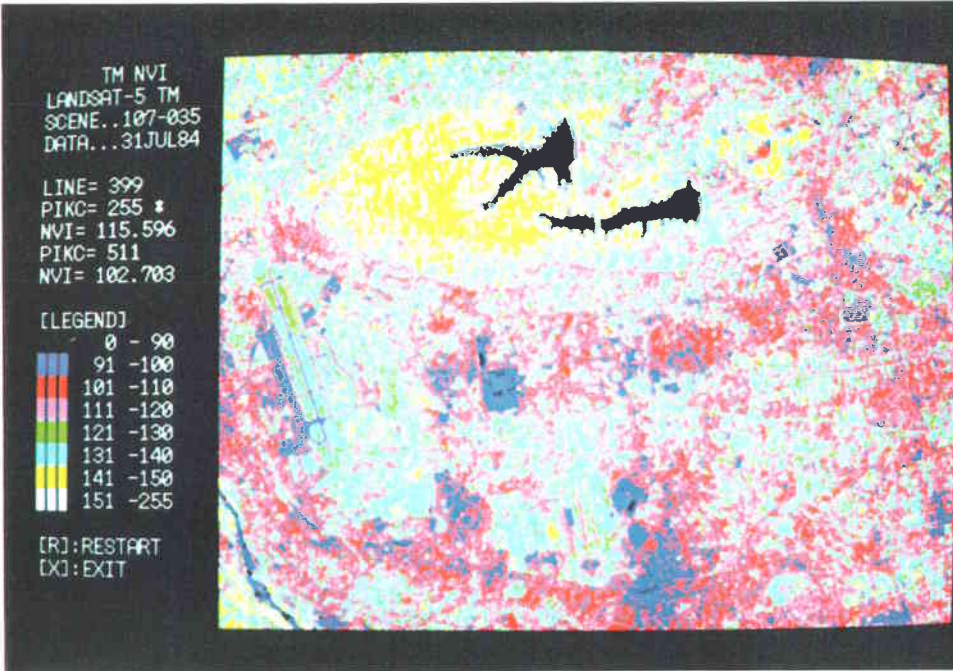


图 7-2-57 NVI 值图像表示 立川地域 (1984)

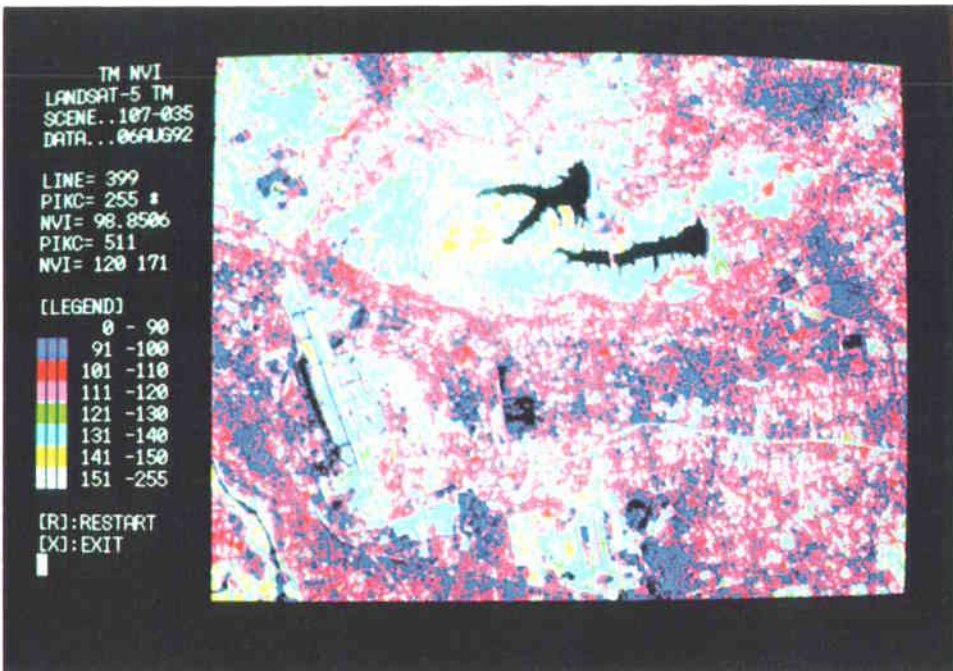


图 7-2-58 NVI 值图像表示 立川地域 (1992)

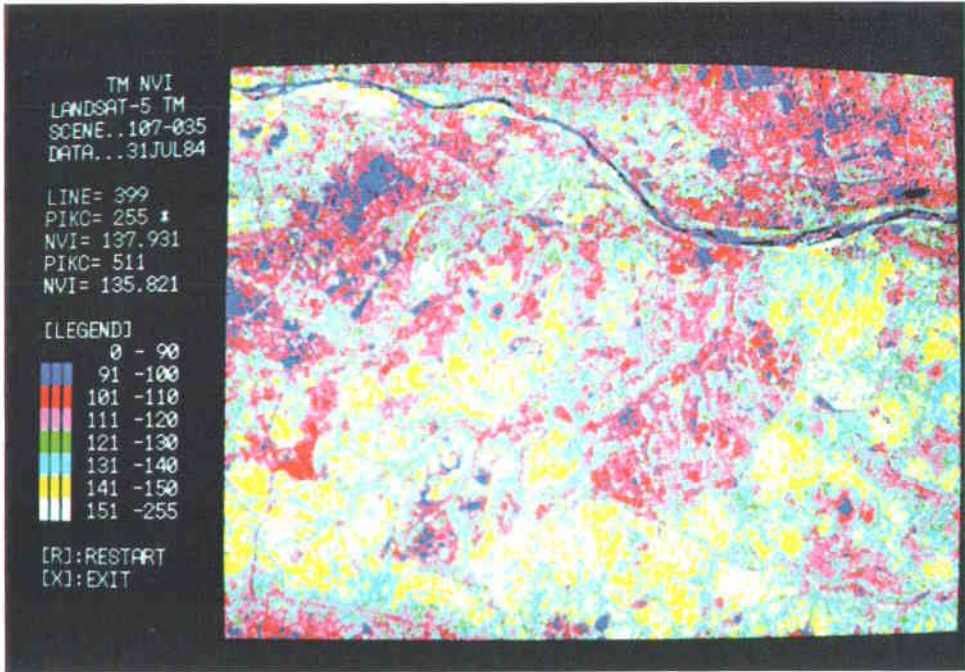


图 7 - 2 - 59 NVI 值图像表示 多摩地域 (1984)

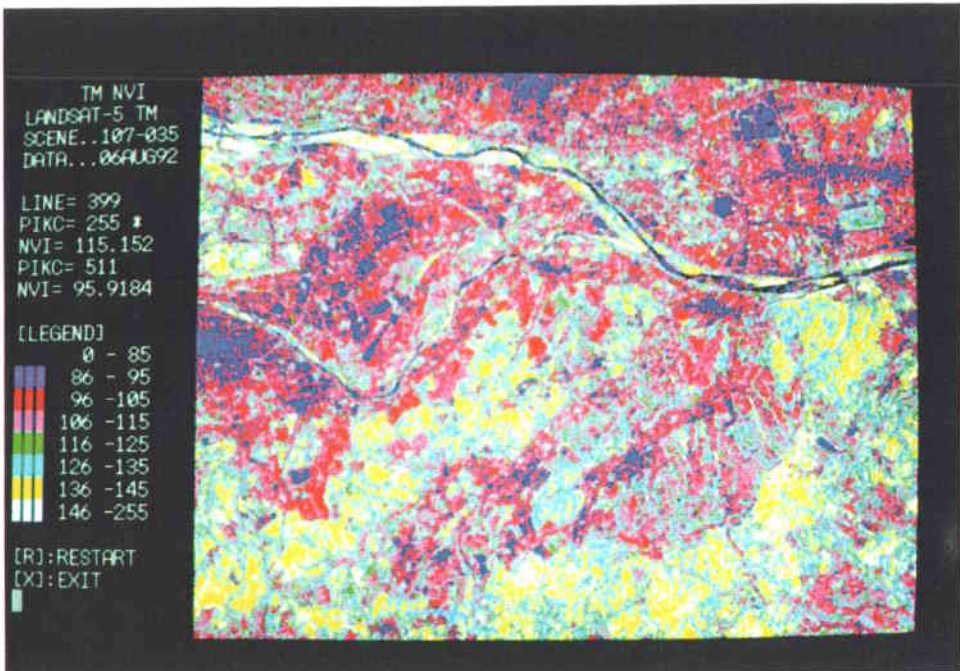


图 7 - 2 - 60 NVI 值图像表示 多摩地域 (1992)

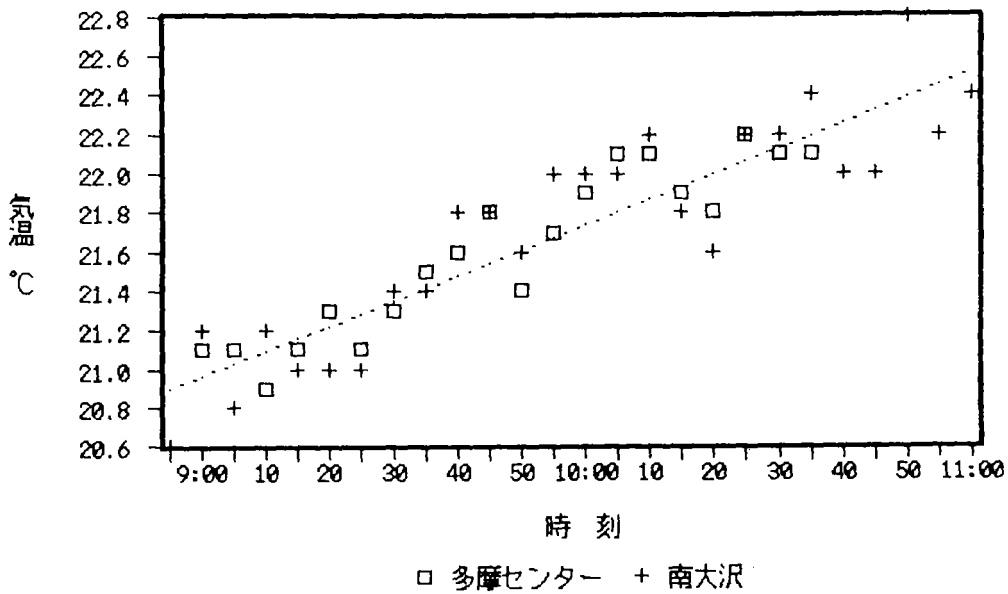


図7-2-61 多摩センター駅、南大沢駅周辺の定点観測結果

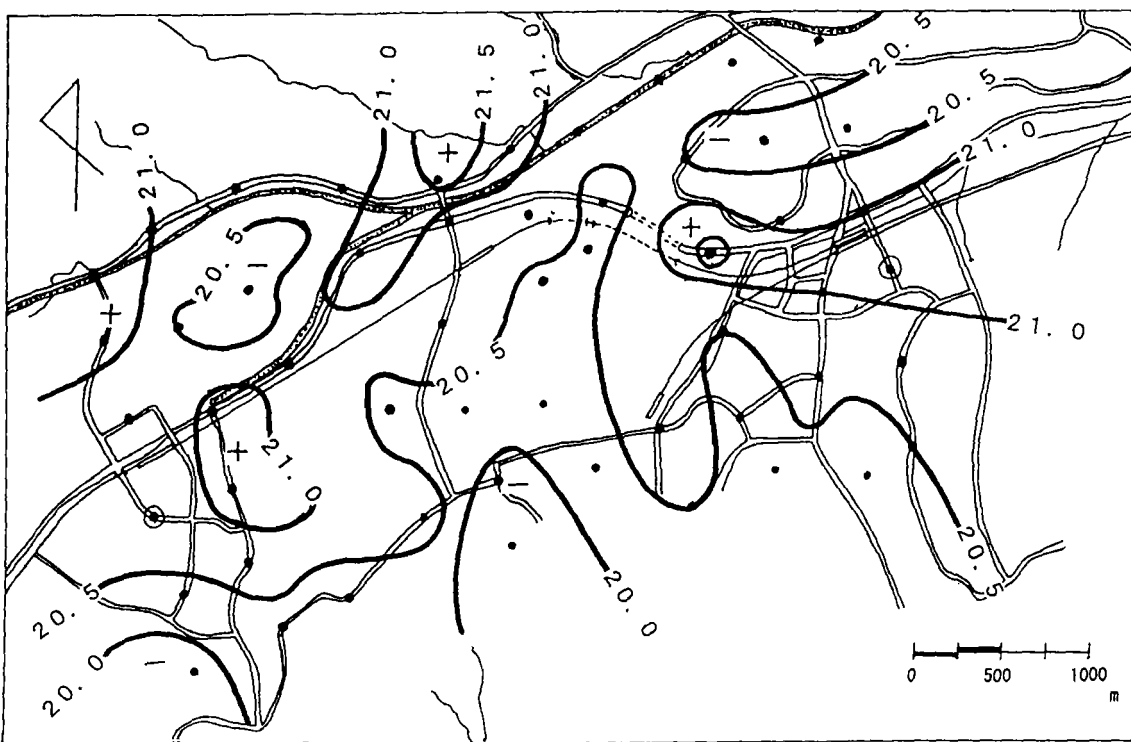


図7-2-62 多摩周辺の移動観測結果

7-3 都市における河川・緑地が周辺の熱環境に及ぼす影響

加藤 俊 洋

第1章 はじめに

現在都市計画を考える上で、都市内部で発生した様々な熱を緩和する方法、つまり特に夏季を中心とした気温緩和を目的として、現状把握と対策としての緑地の有効性に重点が置かれるようになってきた。都市内部の気温を緩和するために緑地や水体が有効であることは明らかであるが、現状ではごく限られた範囲内での観測結果であり（山田・丸田・中村、1992）、必ずしもその結果を他地域に反映できるとはいえない。

この問題を解消するために、現在ではランドサットの熱バンドデータを利用した、広範囲の地表面温度の把握が試みられている（近藤・菅野・三上、1992など）が、様々な問題点も指摘されており、現状では実用段階にまで至っていない。

本研究では、緑地と河川が都市の熱環境に与える影響を把握することを目的とし、以下の手順を進める。(1)河川及び緑地の影響を実際の観測などによって定量的に把握することと、(2)ランドサットデータを用いて、NVI(Normalized Vegetation Index)などの算出から植物の活力度などの確認を行う。さらに、従来個別に行われてきたこれらの研究結果をつなぎあわせて、気温に対しての緑地や河川などの影響の大きさについて、多変量解析を導入して明らかにする。

第2章 調査方法

第1節 調査方法

調査方法として、地表面の状態を把握するためのものと大気の状態を把握するためのものとの二通りに分けられる。

地表面状態については、土地利用図からの緑被率と土地利用状況の把握と、ランドサットデータからのNVI(Normalized Vegetation Index)による植物の活力度の把握を行った。さらに、市街地での建築物などの影響を調べるために天空比(Sky-View)を調査した。

(a) 土地利用図からの判別

土地利用図からは緑被率及び市街地の判別が主目的であるが、これは国土地理院発行の3万分の1の東京都広域土地利用図を用いて判別した。1991年時点での土地利用を表しており、後のランドサットデータとの比較においても、時間的な差が2年間に収まっており、経年変化を調べる場合が10年単位であることを考えると、この差は比較する際については問題にはならないと考える。

調査地域内のすべてにおいて土地利用の判別を行ったが、その際に一辺が250mのメッシュに区切ることによって、その中で25%以上を占める土地利用をそのメッシュを代表するものとして扱っている。メッシュの中に25%を超える土地利用がない場合には、その他として扱い、緑地部分の面積だ

けは百分率で表すこととした。したがって、緑地が存在するとしても、面積にして約1.5ha以上でなければ、緑地として認識されないことになる。これによって、住宅地内の小さな公園や街路樹などについてはその影響を無視することになるが、その場合の気温に対しての影響は、住宅によるものが大きいと、問題にならないと思われる。さらに、建築物の判別に際し、一般住宅地と高層建築物とを分類しているが、これは建築物の種類によって気温に対する影響が異なる（加藤、1992）ことから必要と思われる。

(b) 天空比 (Sky-View)

地表面から大気への長波放射は、気温に対して少なからぬ影響力を持っているが、特に日射のなくなる夜間には大気中への熱の供給源として働いており、地表面に障害物がない場合には、大気への放射量は多くなる。つまり、地表面からの放射によって熱が大気中に移動することにより、地表面付近の気温は低下することになる。逆に障害物が存在すれば、地表面から大気中への放射は妨げられ、熱が移動する量は少なくなる。このことに、地表面からどの程度の割合で空が見えるかを表す天空比が関係している。

天空比の測定は、移動観測地点において、その中でも特徴的であると考えられる。緑地と河川、そして市街地及び住宅地において数点サンプルを取り上げ、移動観測地点に可能な限り近い場所で計測した。円形魚眼レンズを取り付けた35mmカメラを三脚にセットし、地上高約40cmの高さで撮影を行った。撮影場所は、市街地に限り、特に交通量の多い地点などにおいては、気温の観測地点とは若干ずれている箇所がある。これは物理的に撮影不可能な場所であったため、地点を付近に移動したが、撮影された結果は、その地点を代表するものとみなした。これは、建築物の地表面の構成状態に左右される事項であるから、この点に留意して、観測地点とのずれが生じないように配慮して撮影した。

(c) ランドサットデータの利用

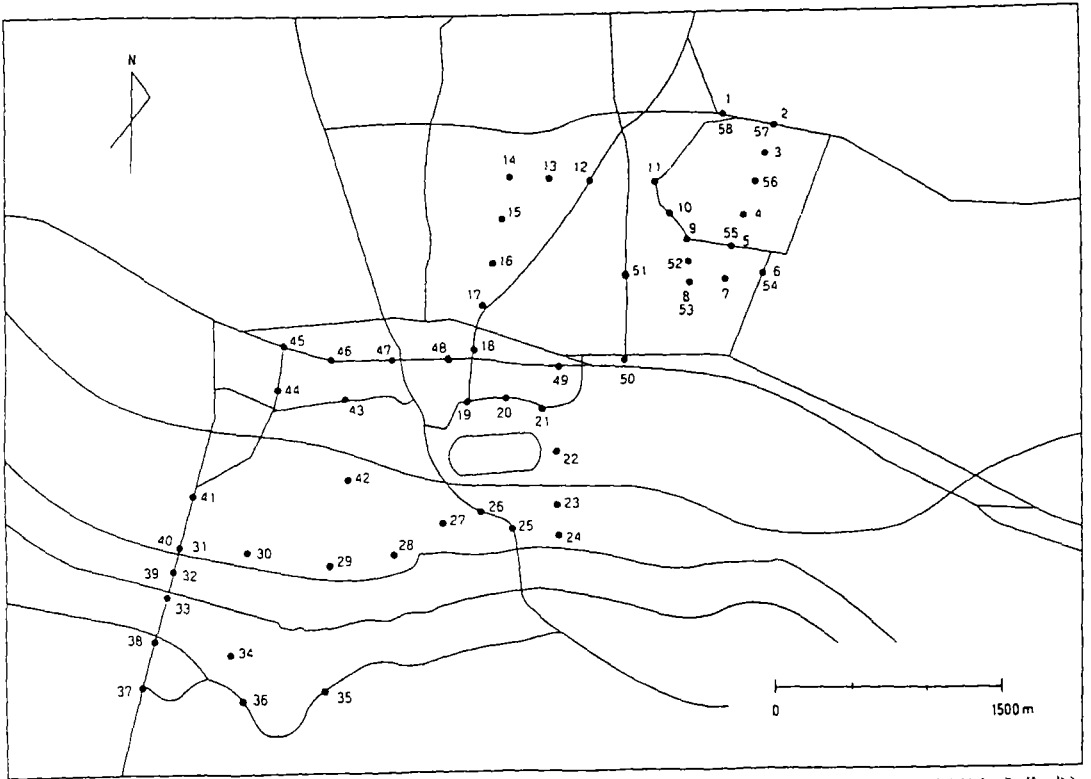
植物の活力度を表す指標として、ランドサットデータから得られるNVI (Normalized Vegetation Index)を算出した。

一方、大気の状態については、移動観測及び定点観測を行った。移動観測を採用した理由は、(1)定点観測に比較して同時間で広範囲を計測可能であるということと、(2)広範囲の計測による取得データは、近辺気温の代表値と考えることができるからである。しかしながら、定点での気温の時間変化を追うことは不可能であることから、これを補うものとして、アメダスのデータ（府中）を定点値として利用した。

計測地点数は全部で58地点であり（図1）、そのすべてが道路上に設定された。乾湿球温度を計測することにより、相対湿度と水蒸気圧が算出可能であることから、これらを併せることにより、潜熱の移動による緑地などの周辺気温への影響を推測することが可能となる。

移動観測の方法は前述の場合と同じ方法を採用した。さらに、放射温度計については、ミルノタ製の赤外放射温度計を使用している。これは、地表面からの放射温度を測定しており、主に路面・裸

地・空について計測している。路面の放射温度を計測する際には、地上約1mから直角にセンサーを向けて計測した。なお、この放射温度計はセンサーの入射角が非常に狭い(1.2度)のため、わずかなずれによって結果がかなり左右されるため、周囲の4回の測定結果の平均を以て、その地点の代表値とした。



(1/50000 地形図から作成)

図1 移動観測地点

第2節 観測地域の選定と概要

本研究では、東京都府中市を中心とする、多摩地区を選定した。この地域は、典型的な郊外住宅地が広がっており、府中市からその北東部の小金井市にかけては、明確な郊外は存在していないが、緑地を含みながら住宅地が存在している。

調査範囲は、図2の範囲であり、東西に約7.5km、南北に約6kmの範囲である。この内部において、移動観測および定点観測などを行った。

府中市は、住宅都市の多い多摩地区にあって、比較的産業活動の盛んな都市である。大手の電気メーカーが工場を保有しており、周辺には関連業種の工場が数多く存在している。産業活動が盛んであ

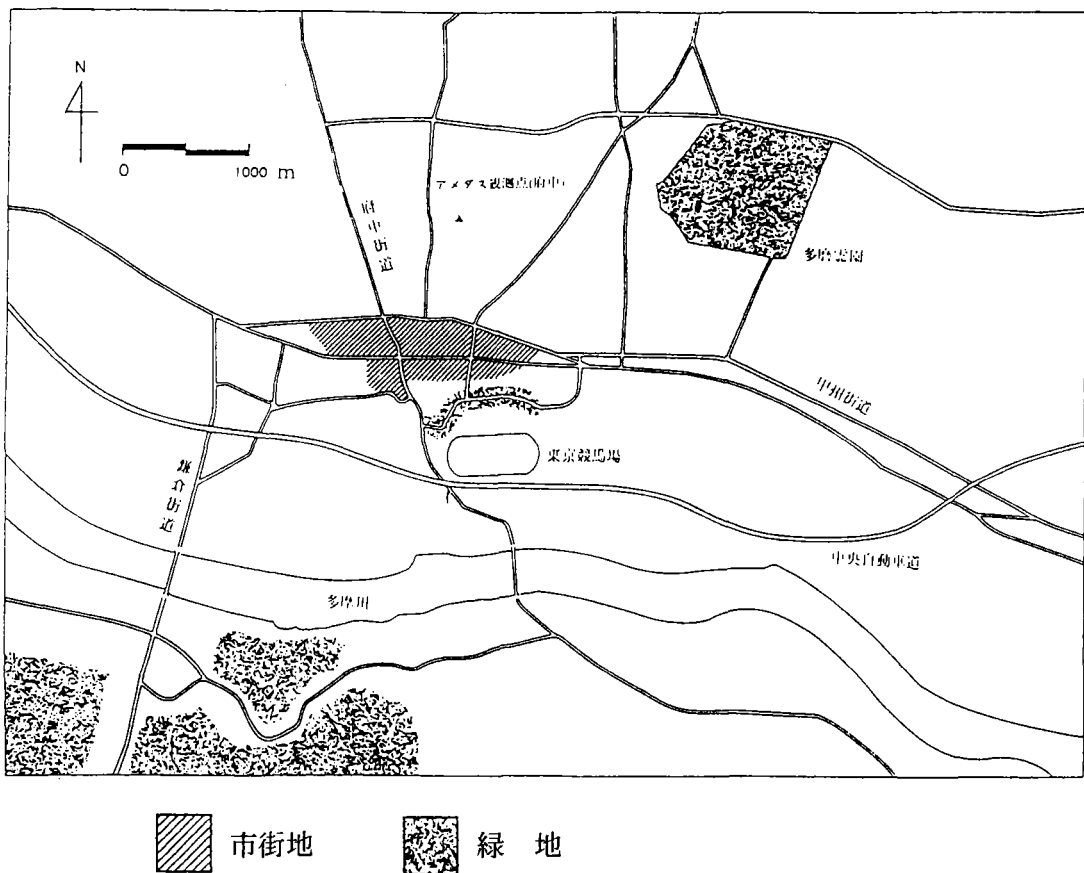


図2 調査地域範囲

ることからもわかるように、府中市を南北に通過している主要道路である府中街道は、連日のように渋滞が激しく、さらにこれが引き金となって、この付近一帯の道路混雑の主要原因となっている。旧甲州街道付近には高層建築物が並び、府中市の中心部としての役割を果たしている。旧甲州街道から外れた地域には、主に住宅地が存在しており、高層建築物は点在するものの、まとまった形では認められない。

また、隣接する小金井市と、多摩川を隔てて府中市南方の多摩市は、それぞれ夜間人口の多い住宅都市としての性格が色濃く、府中市ほどの産業活動は見られない。

調査地域内において、南部を多摩川が西から東へ流下しており、その南北には幅が約100m程度で河川敷が広がっている。多摩川を横切る鎌倉街道にかかる関戸橋付近で最も河川敷の面積が大きくなる。

緑地については、河川敷に若干存在する草地を初めとして、市街地の内部にあるものとして、府中

市の南部にある東京競馬場北側の街路樹と小金井市南東部に位置する多摩霊園にある程度の面積を有している。この他については、市街地内部に存在するものの、地図上で、また衛星データから判別可能なほどの面積を有するほどには至っておらず、本研究では緑地としては除外した。緑地に関しては、それぞれの構成物による相違が問題となるが、この点については、天空比の調査・解析段階で区別した。

第3節 観測日時と天気概況

表1に挙げるように、1994年8月からの1ヶ月間と10月11日、および12月17日に観測を実施している。8月の観測は断続的に行っており、3～10日間隔で実施している。1994年8月は全般的に晴天日が多く、また、各地で最高気温を記録したことからもわかるように、太平洋高気圧の勢力が非常に強かった。そのため、夜間になっても、気温が25℃以下に低下しない日が続いた。

観測日は、原則として晴天日を選んでおり、雲量が5/10以下であることが条件となった。さらに、風のある日は日射などによる日中の気温上昇の影響が打ち消されやすいため、これを避けて、無風状態もしくは2.3m/s以下の日を選択して観測を実施した。概ね、表中の観測日はこれらの条件に適合しており、観測結果を同列に見た場合でも、天候条件に関しては問題ないものと思われる。

なお、基準となる気象要素は、アメダスの府中の値を使用しており、これは、図2からわかるように、観測地点が市街地から外れているものの、その結果はほぼ府中市としての値を代表していると思われることから、この値を基準値として採用している。

第3章 調査結果

本章では、地表面と大気との二つに分類し、調査結果について述べる。第1節は地表面構成要素による被覆状態およびそれによって決定される天空比についての結果である。第2節では、大気状態を表すものとして、気温・相対湿度・水蒸気圧のそれぞれの分布を表す。

第1節 地表面

(1) 緑被率分布

1991年時点の調査地域内の緑被率を図5に表す。図4は、地域内における土地利用を、一辺が250mのメッシュに区切って評価したものである。この中には緑地の他にも、建築物の種類によって市街地を住宅地と商業地に分類しており、さらには、水面なども考慮に入れて分類を行っている。

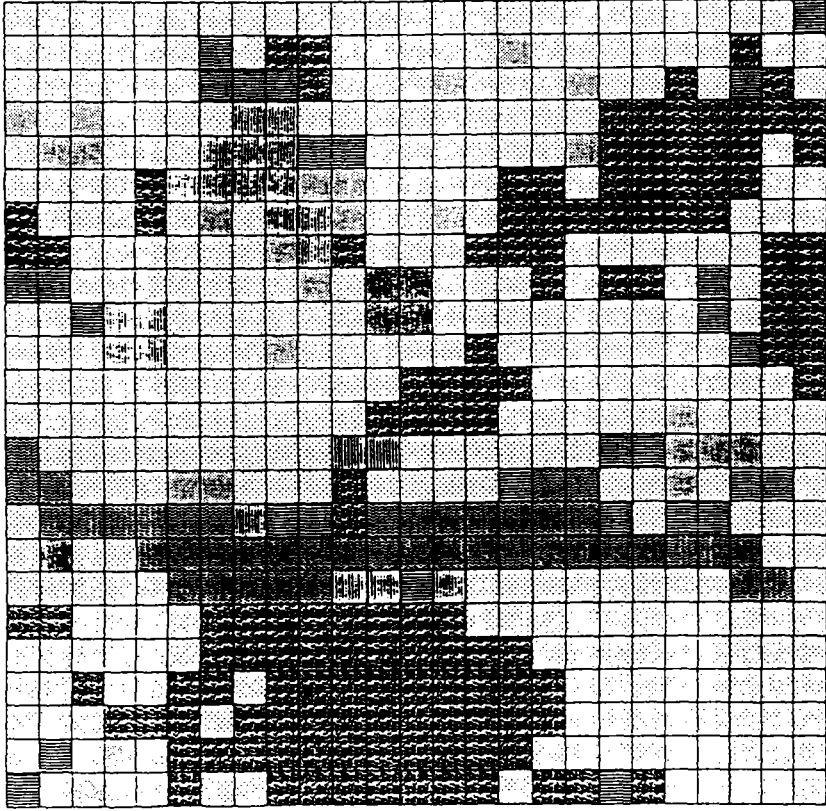
緑地として認められるのは、小金井市南東部の多摩霊園と、東京競馬場及びその北側の街路樹部分である。この他には、多摩市側の川崎街道沿いの多摩丘陵部分である。これ以外では、緑地として地図上で認められる地域は府中北部でわずかに存在するものの、住宅地内部の公園等に代表されるように、面積的には少ないものが点在している。市街地内部に存在するものとしては、したがって多摩霊園と東京競馬場付近の緑地が面積として大きい、それ以外では特に認められていない。これら二つ

表 1 移動観測実施日と気象要素

月 日	時 刻	天 候	風向・風速	日照時間	分布図作成
8 / 3	10 : 00	快 晴	SSW : 1 m/s	1.0	
	15 : 00	曇	SSW : 3 m/s	0.0	○
8 / 9	10 : 00	薄 曇	SSW : 3 m/s	0.2	○
	15 : 00	快 晴	SSW : 5 m/s	1.0	○
	20 : 00	晴	S : 3 m/s	—	
8 / 11	15 : 00	晴 / 曇	SSW : 4 m/s	0.3	○
	20 : 00	晴	SSW : 1 m/s	—	○
8 / 17	13 : 00	晴	E : 2 m/s	1.0	○
	19 : 00	晴	SSW : 3 m/s	—	○
8 / 22	10 : 00	曇	NNE : 1 m/s	0.0	
	15 : 00	曇	N W : 1 m/s	0.0	
	20 : 00	曇	N : 1 m/s	—	
8 / 23	10 : 00	晴 / 曇	NNE : 1 m/s	0.2	
	15 : 00	晴 / 曇	N E : 1 m/s	0.1	
	20 : 00	曇	—	—	
8 / 28	10 : 00	晴	S W : 1 m/s	1.0	
	15 : 00	晴	S : 3 m/s	1.0	
8 / 29	10 : 00	晴	N : 1 m/s	1.0	
	15 : 00	曇	SSW : 3 m/s	0.0	
10 / 7	10 : 00	晴	NNE : 2 m/s	0.0	
	15 : 00	晴	N E : 1 m/s	0.0	
12 / 17	10 : 00	快 晴	N E : 1 m/s	1.0	○
	15 : 00	快 晴	S E : 2 m/s	1.0	○
	19 : 00	快 晴	—	—	○

(注 1) 気象要素はアメダス府中の値を使用した。

(注 2) 風向・風速は観測時刻の 1 時間平均値、日照時間は 1 時間に対する割合。









- | | |
|---|---|
|  住宅地 |  公園・緑地 |
|  高層建築物 |  河川 |
|  商業地 |  その他 |
|  工場 | |

図4 土地利用分類

の地域では、緑被率が70%を超えており、十分な緑地として土地利用図上では判断される。

また、その一方で、他の土地利用状況を含めた図5では、府中市において、旧甲州街道沿いおよび甲州街道沿いの商業地とその北側の住宅地では、緑地が少なくなっている。産業としての中心部であることから、旧甲州街道沿いには高層建築物が並び、市街地内部の公園としての性格が色濃い大国魂神社付近の緑地を除いては他に認められない。

その他、調査地域内では、大部分を住宅地が占めており、住宅地の中にも高層の建築物は点在するものの、低層住宅がその大部分を占めており、住宅地が低層であるものとみなしてもさしつかえない。

しくはそれに可能な限り近い地点に設定しているが、必ずしも道路の中央部分ではないため、道路の中央部分とは天空比では値が異なってくることもある。市街地部分では、場所によって同一点の設定が不可能なところがあったが、このような場合には、結果には若干の誤差が生じている可能性があると思われる。しかしながら、周囲に高層建築物が存在しない場合には、その誤差は1%未満に収まるため、1%のオーダーで解析を行う場合には、問題とはならない。

一方の郊外では、多摩川の河川敷に代表されるように、天空比は高くなる傾向にあり、80%以上の値を示す地点もあった。これは、宅地などが存在しないことが大きな理由であるが、それに加えて、緑地であっても、樹高の高いものが存在しないことが理由として挙げられる。これは、多摩川の河川敷と多摩霊園や東京競馬場などの緑地とを比較した場合に、みてとれる。これらの地点では天空比が低くなっているが、これは街路樹などの樹冠部が夏季にはかなり日射を遮る形に繁っており、このために天空比が低くなっている。その反対に冬季には、落葉したことによって、天空比が高くなることもあるが、これに対応するのが多摩霊園である。

それとは別に、東京競馬場内部や多摩川の河川敷などに代表されるように、樹高の高い草本がないことが影響している。主として芝が植えられているために、一年を通じて天空比には変化がない。したがって、これらの草本がある地点では天空比は高くなっているが、多摩霊園や東京競馬場の北側街路樹などのように、緑地として存在しながら、天空比が低い場合には、これを一括して市街地の結果と併せて考えることはせずに、分類して考察の対象とする必要がある。

(3) ランドサットデータからの地表面状態の把握

ランドサットデータを使用した地表面状態の把握は、すでに数多くの研究によって試みられているように、NVIを代表とする植生指標を用いることによる被覆状態の評価が一般的である。本研究においても、この手法を用いて植生の評価を行った。

調査地域内における植生の分布は、図6に示すように、ランドサットデータとしてその存在が認められるものは住宅内部にも点在する形で存在するようにみえるが、実際には現地調査等を通して確認すると緑地以外を表している。画像に現れるのはデータ一つの解像度が約30m四方（1ピクセル）の平均値として数値化されているためであるが、画面情報として現れない程度の面積が、1ピクセルの面積の半分以下である450㎡以下である場合には、緑地としての影響力は無視できると考えられるため、緑地として認識されるものは少なくとも1ピクセル以上の面積を持った範囲とみなすことができる。

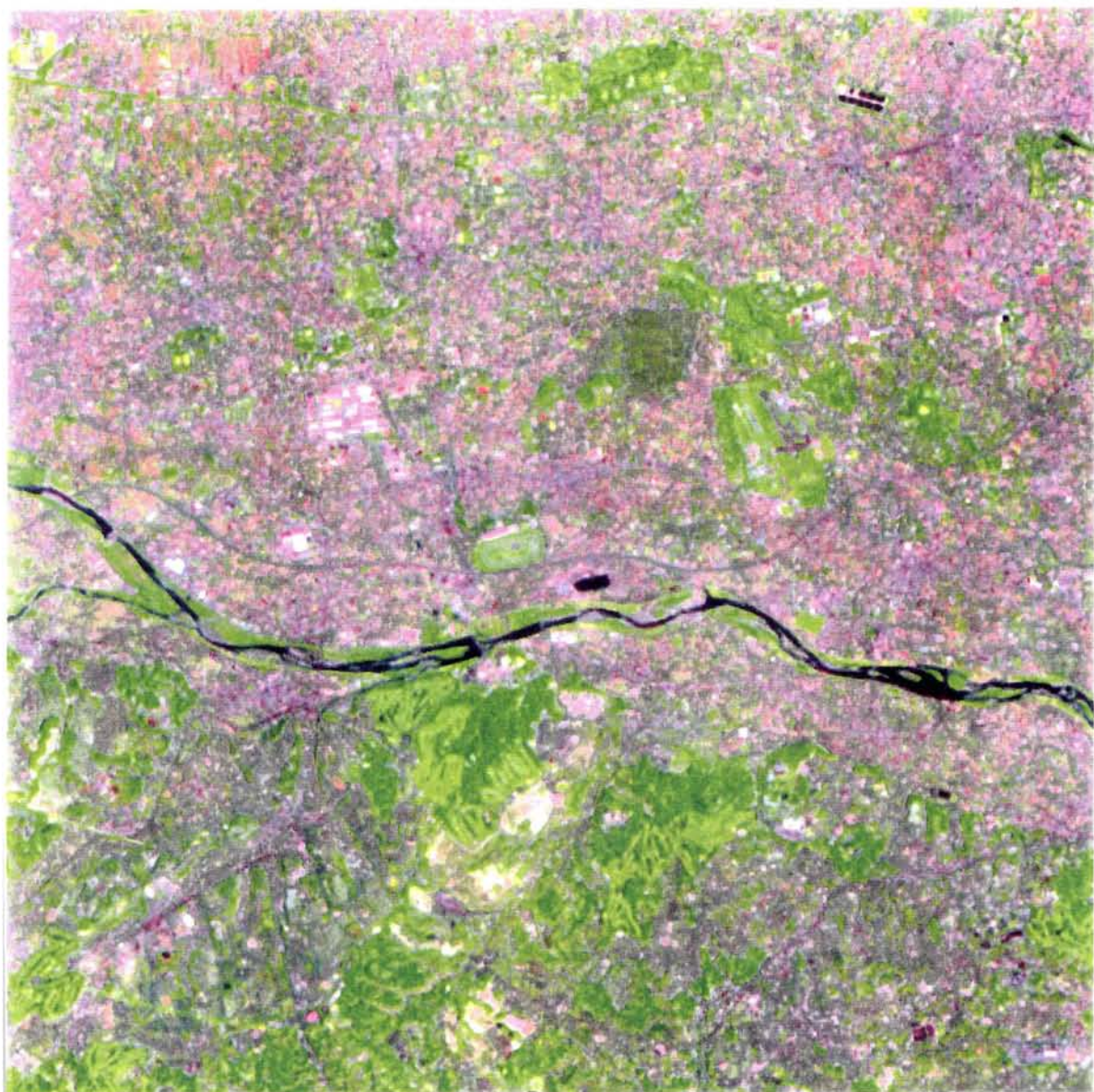


図6 ランドサット画像から判別した緑地の分布

土地利用図からの判別による緑地の判別とランドサットデータから認識される緑地域はほとんどの場合において一致しており、NVIを用いて植生量を評価することについては問題はないと思われる。ただし、土地利用図からの判別は1991年時点のデータを元にしており、ランドサットデータが1993年のものを使用していることから、若干の土地利用の変化に伴う緑地の消滅・造成があるものと思われるが、現実的には2年の差は、経年変化を追う場合で10年以上を対象としていることから、同時期の植生を表すものとみなしてさしつかえない。また、この2年間には、調査地域内においては、ランドサットデータに現れるような植生の変化は認められず、したがって、このことから、同一のものとして扱って問題ないと思われる。

NVIは、表2に示されるように、緑地で高く130～150程度であり、逆に市街地や住宅地では90以下が多くなっている。

表2 天空比とNVIの地点（地域）毎の値

地 点	天 空 比	N V I
多 摩 霊 園	55 ～ 75	130 ～ 140
多 摩 霊 園 西 側	30 ～ 50	145 ～ 155
多 摩 川 河 川 敷	75 ～ 85	130 ～ 145
東 京 競 馬 場 北 側	40 ～ 55	110 ～ 150
府 中 市 街 地	55 ～ 65	85 ～ 100
府 中 市 住 宅 地	55 ～ 70	100 ～ 115

主な緑地域の分布として認められるものは、多摩霊園をはじめとする公園等の緑地であるが、この他にも多摩川河川敷や東京競馬場北側の街路樹などに緑地が認められる。東京競馬場の敷地内部にはNVI値として緑地と認められるものがあるが、これは構成されるものが芝であり、したがって、他の地域と同列には考えられないこと及び内部で実際に観測を行うことが不可能なため、考察の対象からは除外した。この他、多摩市側において、川崎街道沿いに多摩丘陵の緑地帯が広がっている。この付近は東部に米軍施設があり、造成が行われており、その付近一帯は緑地が一部で減少しているものの、他の地域では多摩センター駅付近などと比較すると、宅地化がさほど進んでおらず、従って相対的に多く残存している。

その他の緑地としては、住宅地内部の小規模な公園等に認められるが、調査地域内では数が少なく、面積的にも上記の緑地と比較すると少ない、また、住宅地内部にあるため、気温に対する効果は宅地が密集することによる発熱量の増加を打ち消すものとは考えにくいことと、ランドサットデータとして認識されるものはほとんどないために、考察対象からは除外した。

第2節 大 気

移動観測の結果について、以下に示す。全観測時について、気温分布および相対湿度・水蒸気圧を算出しており、これらによって、平面的な大気の状態が把握できる。なお、この節のすべての図について、測定値そのものを図中の数値として扱ってはいない。全地点の平均値を算出した上で、そこからの残差をとったものを記入しているため、季節や時刻による差を吸収でき、相対的な関係としてそれぞれを比較することが可能である。

表3には、掲載した分布に関して、平均値と最高値と最低値との差を示している。

なお、各節で挙げられた結果の図は、全観測のものではない。比較的、この地域の気温等の傾向が表れていると判断される日時のものに限って掲載した。ただし、次章では、全観測の結果を用いて解析を行った。

表3 移動観測の結果（平均、最高－最低）

図番号の 末尾英字	気 温 (°C)		相対湿度 (%)		水蒸気圧 (hPa)	
	平 均	最高－最低	平 均	最高－最低	平 均	最高－最低
a	35.9	3.12	40.2	5.66	26.4	3.21
b	34.1	4.27	51.7	4.75	28.7	2.08
c	32.5	2.92	48.8	5.04	25.7	1.67
d	32.4	3.04	54.3	8.09	27.0	3.42
e	28.6	1.95	65.8	5.09	27.4	1.25
f	35.3	4.49	34.5	6.64	23.2	3.86
g	28.8	1.55	64.5	3.68	27.0	1.44
h	6.0	1.91	23.1	3.32	2.8	0.68
i	7.4	2.33	23.1	5.27	3.3	0.71
j	3.3	4.85	50.2	15.62	4.2	1.09

(1) 気温分布

図7では、アメダスの観測結果を示す。1994年8月のみの結果であるが、特に前半は夜間でも気温が25°C以下にならない日が連続した。日中は30°Cを超える時が多く、移動観測の実施日は、このような条件にあっている。

定点観測でも、図8に示されるように、市街地では高く、逆に郊外では低くなる傾向にあることが認められる。特に、夜間になってから市街地では気温の低下が緩やかなのに対して、緑地では20時の時点ですでに氷点下になるなど、低下割合が大きい。表面温度に関しても、アスファルトで高くなるが、裸地に関しては、緑地の方が変化が大きく、日没付近から急激に温度が低下している。

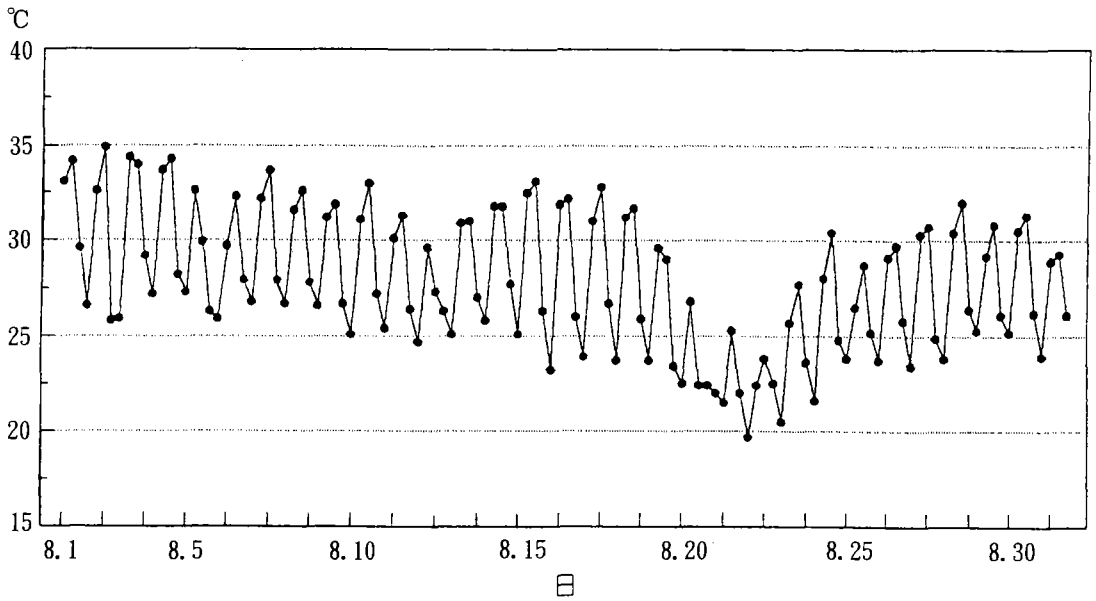


図7 アメダスの気温変化
(府中, 1994年8月1日~31日)

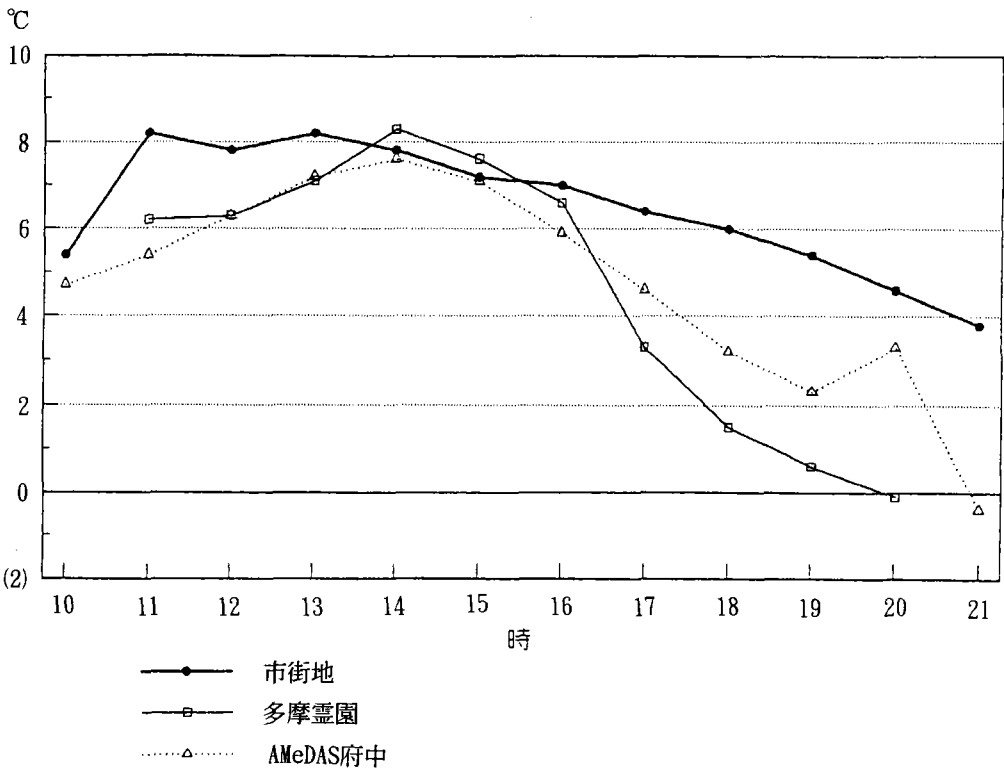


図8 気温の定点観測の結果 (1994/12/17)

移動観測での乾球温度については、図9aに示されるが、全般的に、昼間の方が地域内で差が明確に表れている。特に、夏季の分布からみるとわかるように、市街地と郊外との差は明瞭である。冬季には、逆に夜間の方が気温差が明瞭に表れており、この点では夏季と冬季では高温部の出現パターンに違いがみられる (Oke, 1991) という結果と一致している。

一日の変化では、連続観測ではないために細かくみることはできないが、午前と午後ではわずかながらではあるが差が生じている。夏季については、午前よりも午後の方が水蒸気圧が下がったことと相対湿度が下がったことからわかるように、乾球温度に差が生じていることが、地域内で気温差を生じさせていることの理由になる。このため、午前よりも午後の方が郊外と市街地では気温差が出現しやすくなっており、特に郊外の緑地部分で気温の低下を引き起こしているものと思われる。

多摩霊園と東京競馬場付近の気温が周辺に比較して1℃以上下回っており、この部分は緑地が存在するため、明らかに緑地の影響として気温の低下が起こっているとみなすことができる。その一方で、市街地部分と一般的な住宅地では、相対的に高くなる傾向になり、平均を2℃以上上回っている地点も存在するなど、高温化が認められる。

移動観測を行っている関係上、計測地点は道路上に限定されるが、アスファルトからの影響は極力抑えてあり、結果については気温を表しているとみなしてさしつかえないのであるが、場所によっては、例えば、府中街道や旧甲州街道の一部などでの計測などは、自動車の排気ガスによる気温の上昇も考えられる。この場合、影響を受けたことがセンサーの誤差として現れているのか、それとも定常的にその地点付近の気温が、排気ガスが多く排出されることによって上昇しているのか、という点についての議論が分かれるが、本研究では、慢性的な交通渋滞を考えた場合に、この地点付近では定常的に高温化していると判断した。

また、1994年8月は連日のように高温が続いたが、市街地内部で風が発生することが少なく、ほぼ無風状態に等しく、午前中から午後にかけて、日中の風速変化はほとんど生じなかった。このため、日射による影響は、風が生じた場合に比較して大きくなり、結果としてさらに市街地と郊外との気温差を生じさせるものとなったと考えられる。

多摩川の河川敷付近では気温が低下しているが、これは観測を無風もしくはそれに準じる条件下で行ったにもかかわらず、この領域では風が生じていたことによる結果であろうと考えられる。アメダス点と多摩川河川敷とは同傾向の風向風速を示した。市街地部分で無風状態に近い (< 1 m/s) 場合であっても、多摩川付近では、常に3～4 m/sの西風(南西～北西を含む)が吹いていたことを考えると、河川に沿って生じた風により、気温の低下が引き起こされたものと考えられる。河川の影響としては、水による直接的なものは考えにくいですが、間接的に風の発生によって気温の低下が起きた場合に、無風状態におかれる市街地との相対的な差が生じるのではないかと考えられる。

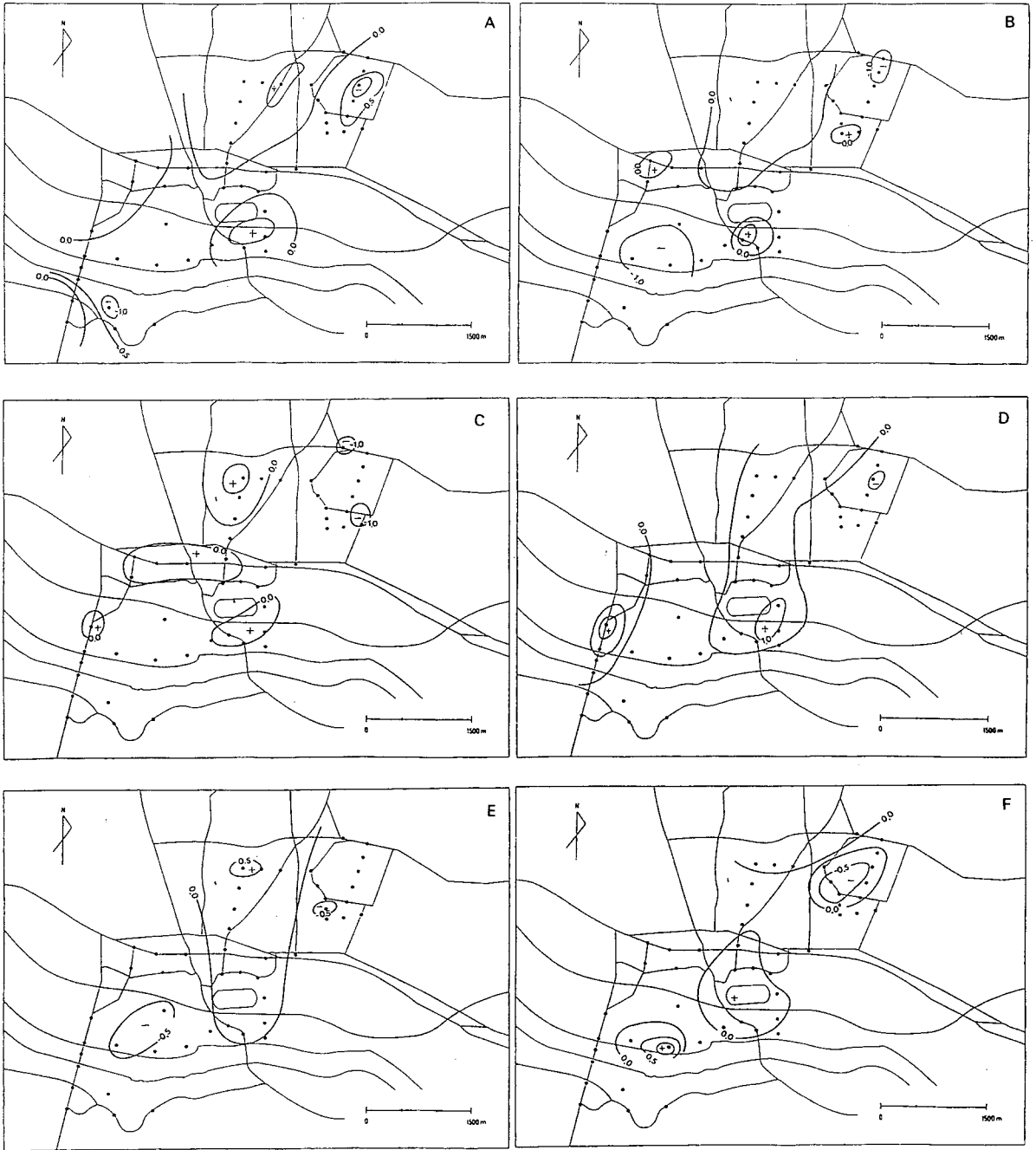


図9-a 気温の水平分布

(a : 1994. 8. 3, 15:00, b : 8. 9, 10:00, c : 8. 9, 15:00,
 d : 8. 11, 15:00, e : 8. 11, 20:00, f : 8. 17, 13:00)

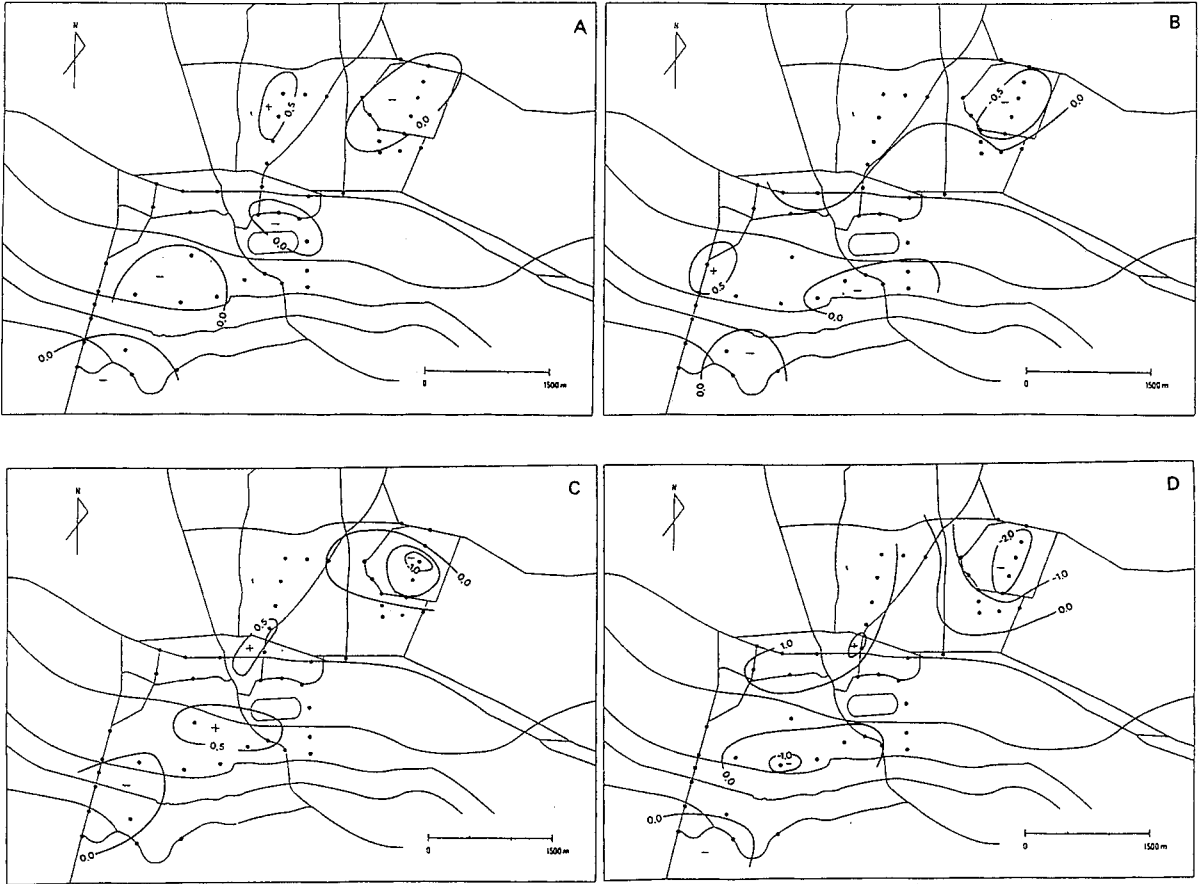


図9 - b 気温の水平分布

(a : 1994. 8. 17, 20:00,

b : 12. 17, 10:00,

c : 12. 17, 15:00,

d : 12. 17, 19:00)

(2) 相対湿度分布

相対湿度は、乾湿球温度を利用して算出されるものであり、基本的に気温分布とよく対応する。湿球温度は地域を通じて全般的に大きな変化をしないが、乾球温度が市街地で高くなり、郊外で低くなる傾向にある。したがって、相対湿度としては、両者の差が大きいほど低くなる傾向にある。

ただし、乾球温度の違いによって飽和水蒸気圧に違いがあるため、必ずしも両者の差が同じであれば相対湿度も同じであるとは限らない。乾球温度が高ければ、それだけ飽和水蒸気量が多くなるため、それだけ水蒸気の蒸発量が増加し、相対湿度が低下する傾向にある。

図10a～図10jに示されるように、市街地で低く、逆に郊外では高くなる傾向にはあるが、気温との完全な対応を示すのではなく、住宅地内部などでは、気温が高くなるにもかかわらず、湿度が高くなることがわかる。市街地部分で相対湿度が低くなることから、相対的に乾燥傾向にあることがわかるが、地表面がアスファルトで覆われた部分が多いために、水分が元から少ないことが考えられる。相対湿度の場合、同じ日の観測であっても、午前と午後とではその傾向に違いがみられ、午前中には高く、午後には低くなる傾向にある。これは、水蒸気圧と併せて考えた場合に、午前中は日射による水分の蒸発があるものの依然として地表面付近には残っており、それらのことから、大気中に水分が存在するために、相対湿度が高くなるものと思われる。一方で、午後になってからは、日射による水分の蒸発が加速され、すでに地表面付近には蒸発すべき水分が少なくなり、それにもかかわらず日射によって気温が上昇するために、相対的に午前に比較して湿度が低くなったものと考えられる。

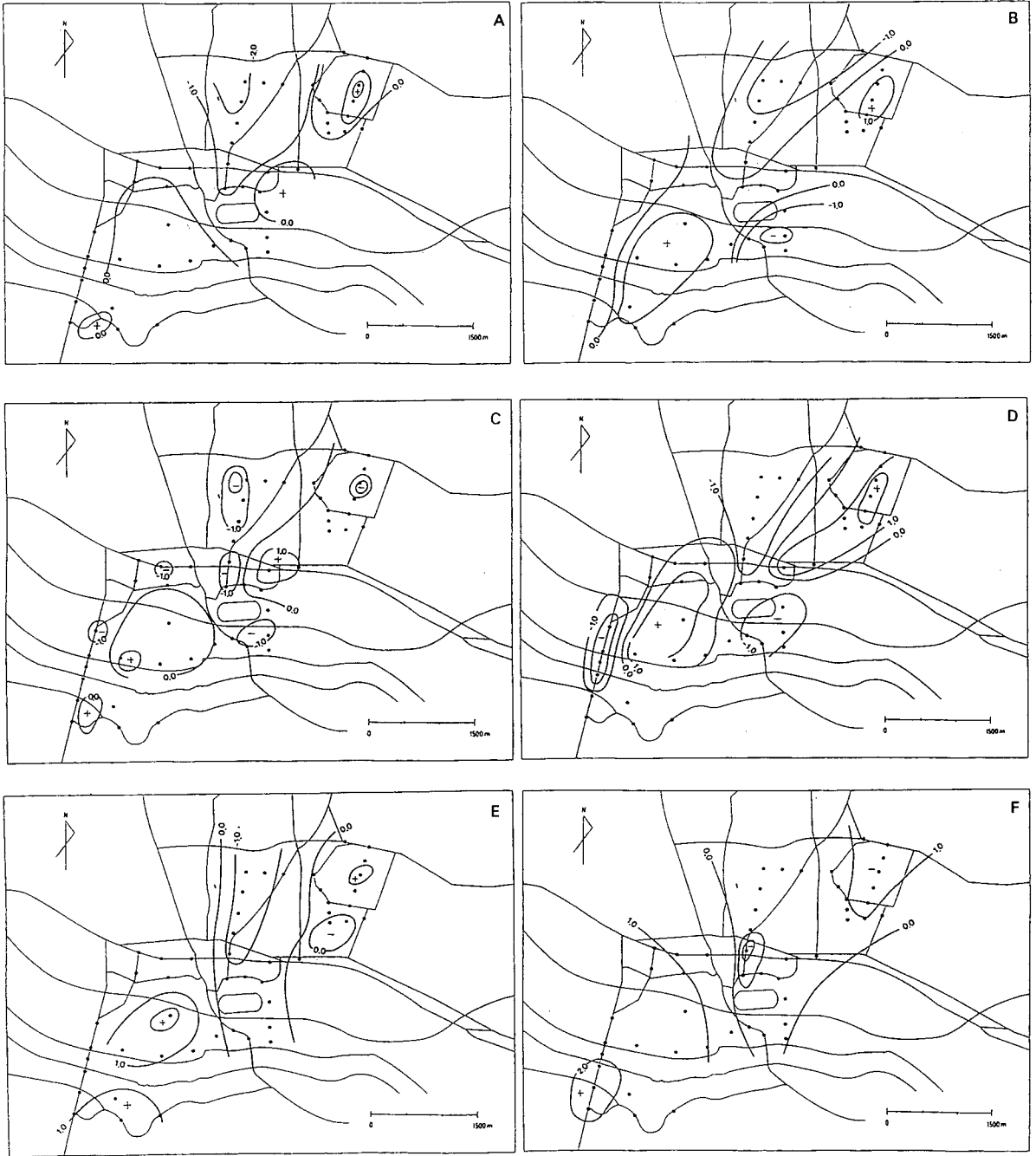


図10-a 相対温度の水平分布

(a : 1994. 8. 3, 15:00, b : 8. 9, 10:00, c : 8. 9, 15:00,
 d : 8. 11, 15:00, e : 8. 11, 20:00, f : 8. 17, 13:00)

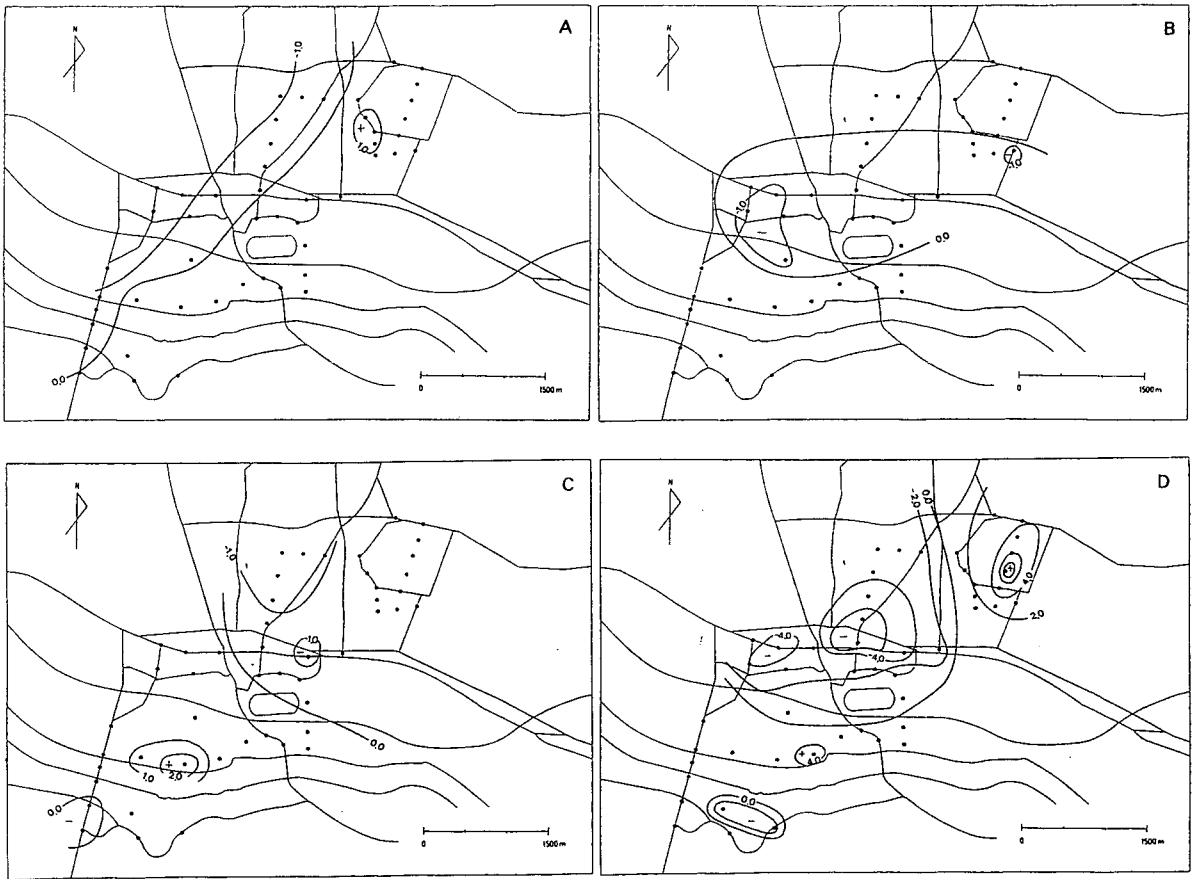


図10－b 相対湿度の水平分布

(a : 1994. 8. 17, 19:00,

b : 12. 17, 10:00,

c : 12. 17, 15:00,

d : 12. 17, 19:00)

(3) 水蒸気圧分布

水蒸気圧も、相対湿度と同様にして乾湿球温度から算出され、式(3)にそれぞれの結果を代入したものを水蒸気圧として取り扱っている。こちらは、相対湿度とは異なっており、水蒸気圧の絶対値を表しており、季節による変化を確認することが可能である。気温が高ければ飽和水蒸気圧は大きくなり、したがって水蒸気圧も高い値を示すようになる。逆に、冬季は気温が低いため、水蒸気圧は低くなり、地域内における各地点の平均からの残差は小さくなり、ほとんど差は認められない(図11a~図11J)。

夏季の結果からは、水蒸気圧の地点差がみられ、一般に緑地を含む郊外で高くなり、反対に市街地では低くなる傾向になることが認められる。このことは日中と夜間でも異なるが、加藤(1992)の結果にもあるように、郊外と市街地では地表面構成物質に差異があり、市街地ではアスファルトなどの非透水性物質によって、大気中への水分の移動が抑制されることが理由として挙げられる。その反対に、郊外ではアスファルトに覆われる地表面が存在するものの、面積的にはそれ以外の、例えば裸地などの透水性物質で構成されていることが挙げられ、結果的に、日中は日射によって地表面から水分が蒸発することによって大気中へ潜熱として熱が移動するようになり、地表面温度が低下することが考えられる。定点観測によって地表面の放射温度を計測した(図12)が、ここからは、アスファルト温度は市街地と緑地内では変わらないものの、裸地などでは明確に差が認められる。

水蒸気圧の日変化に関しては、さほど違いが認められない。前日の天候などによっては、例えば降雨などによって、量的に影響を受けることが考えられるが、1994年8月の気温は各地で最高記録を更新するなどの結果からもわかるように、連日の快晴が続き、通常見受けられる夕刻の、一時的な降雨さえもなかったほどであった。このことからわかるように、8月に限っては平年に比べ、水分の不足は明らかであり、この時期の水蒸気圧の一ヶ月間の変化はさほど見られない。

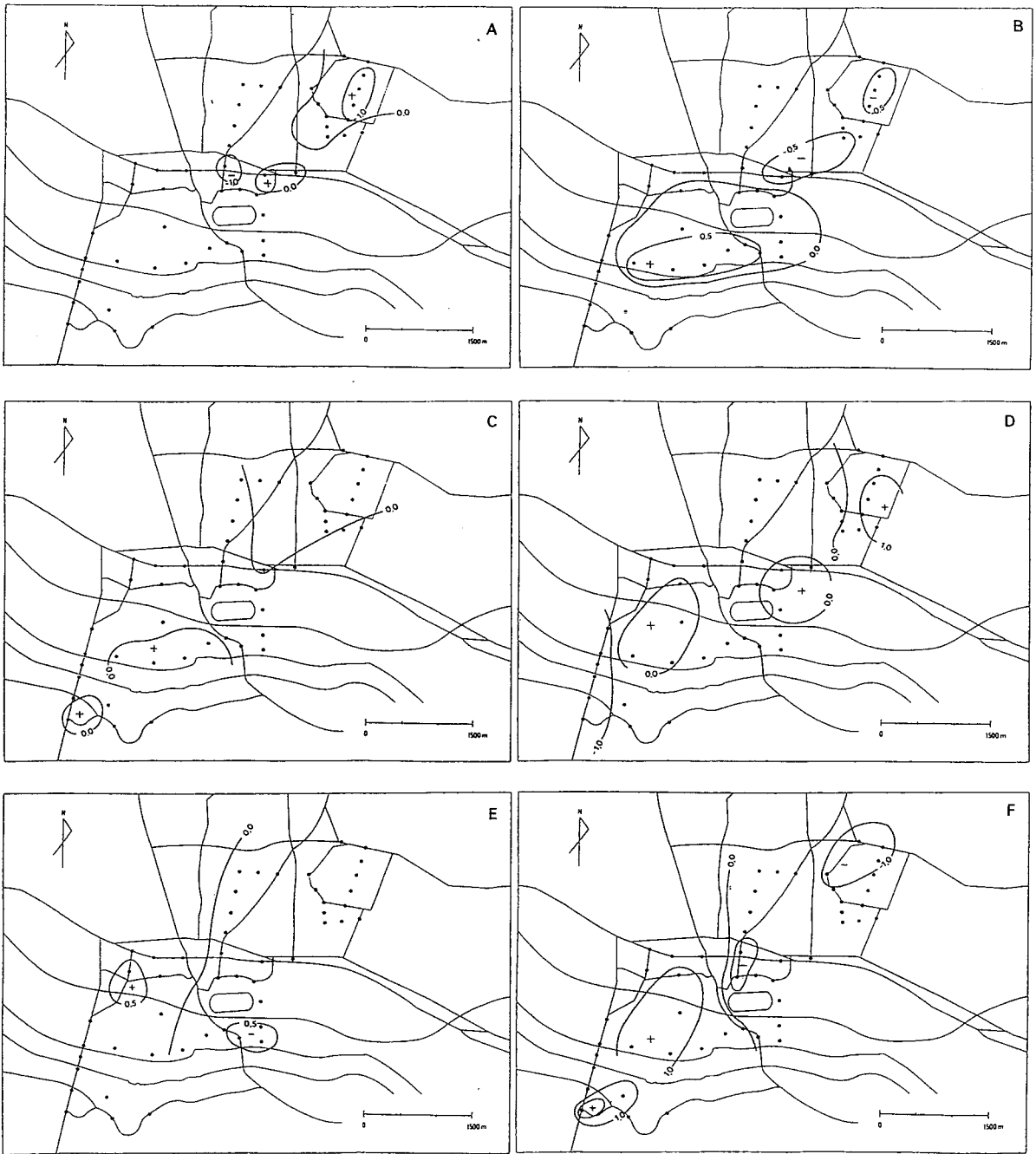


図11-a 水蒸気圧の水平分布

(a : 1994. 8. 3, 15:00, b : 8. 9, 10:00, c : 8. 9, 15:00,
 d : 8. 11, 15:00, e : 8. 11, 20:00, f : 8. 17, 13:00)

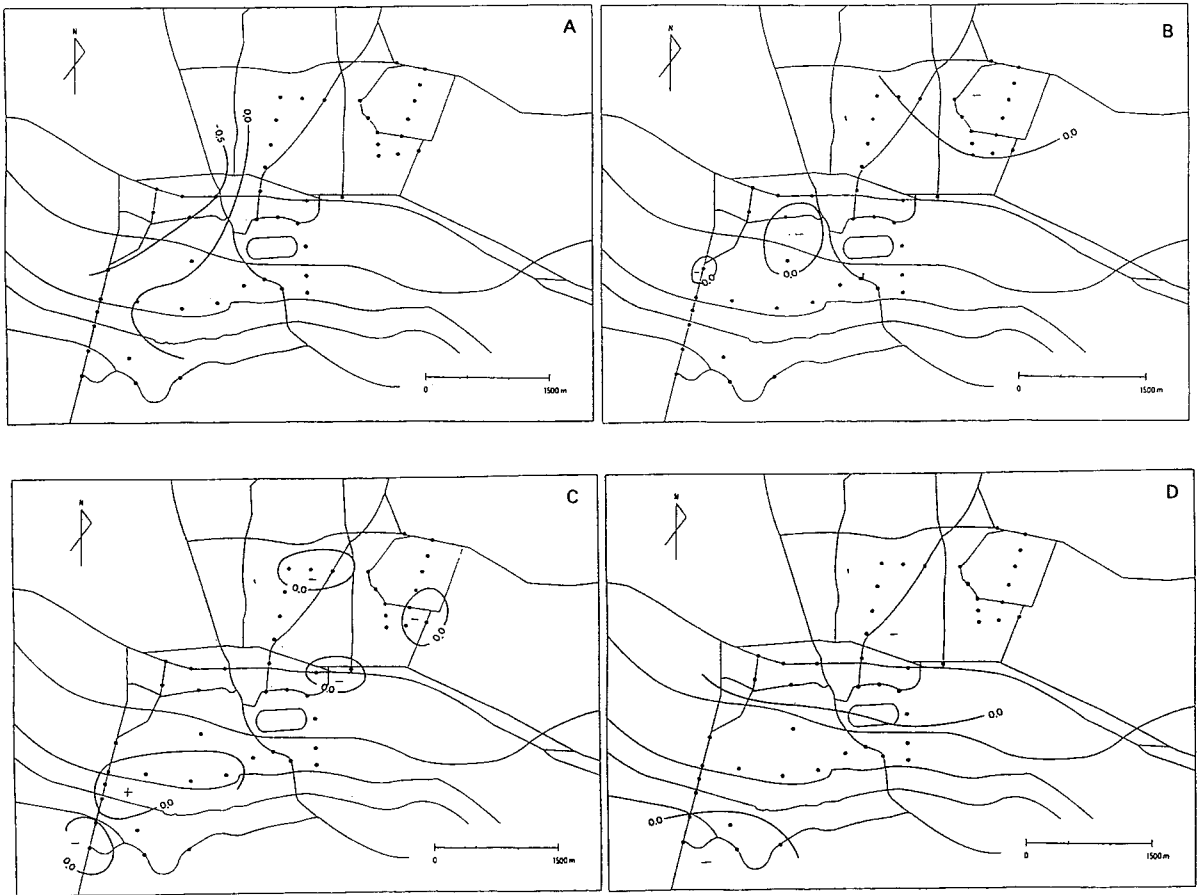


図11-b 水蒸気圧の水平分布

(a : 1994. 8. 17, 19:00,

b : 12. 17, 10:00,

c : 12. 17, 15:00,

d : 12. 17, 19:00)

第4章 考 察

第1節 各要素及び土地利用の違いによる気温降下

本節では、土地利用の違いによって気温降下の割合を考察することとする。地表面状態の違いを緑被率・天空比・NVIによって表したが、地表面のみに着目した場合、路面もしくは裸地であるかの違いが大きく影響する。

図12に示されるように、市街地の代表として府中市内（図1の48番付近）を取り上げ、緑地の代表として多摩霊園内（図1の56番付近）を取り上げた。それぞれについて路面と裸地の表面温度を計測しているが、それぞれの傾向として市街地では気温の降下割合が相対的に小さい。最高気温出現時を境として、それまでの上下関係が逆転していることが認められる。日没付近からは緑地の裸地部分では氷点下となり、表面温度としては最低値を記録している。日没の約1時間前からは、市街地・緑地に関わらず表面温度は低下しているが、裸地・路面による低下割合の違いは特に認められない。午前中に緑地でともに市街地を上回っているが、これは日射の影響と考えられる。市街地での観測地点は南側に建築物があるために日陰となり、結果的に表面温度が上昇しなかったものと予想される。また、日没付近から緑地での表面温度の低下が著しいのは放射が市街地に比較してより一層進んだためとみなすことができる。

また、図14a～14jに示されるように、緑被率・天空比・NVIと気温との関係を各々についてみると、夏季と冬季では若干の傾向の違いが認められる。それぞれの要素の数が異なるために一概にはいえないものの、緑被率・NVIについては同傾向を示し、相関係数は比較的高い。一方で天空比については、負の相関を示してはいるが、図14hのように正の相関を示すこともあったため、気温との関係はほとんどないものと考えられる。図中の各回帰線は便宜的に描いたものであり、必ずしも相関係数が高いことを前提にはしていない。また、天空比は市街地と緑地を区別していないために、除外して考えることが適当であると思われる。

緑被率は、その回帰線の傾きから判断すると、30～40%付近を境として正負が逆転している。またNVIについても、110～120付近を境として逆転しており、これは季節に関わらず一定している。緑被率・NVIについては、ほとんどの観測においても同程度の傾きであり負の相関を示していることから、両者を用いる限りでは季節による差を考慮せずとも一括して扱うことができると判断した。どちらも相互に関係しており、一方の変化に対して他方が同様の変化をみせることから、これらを併せて考慮することが必要であると思われる。緑被率については土地利用図からの読み取りであって、季節差を考慮していないものであるが、NVIについては、撮影日によって値が異なる。季節変化を表していると考えられることから、両者をそれぞれ変数として扱うことによって、季節差を考慮に入れた解析を行うことが可能であると考えられる。

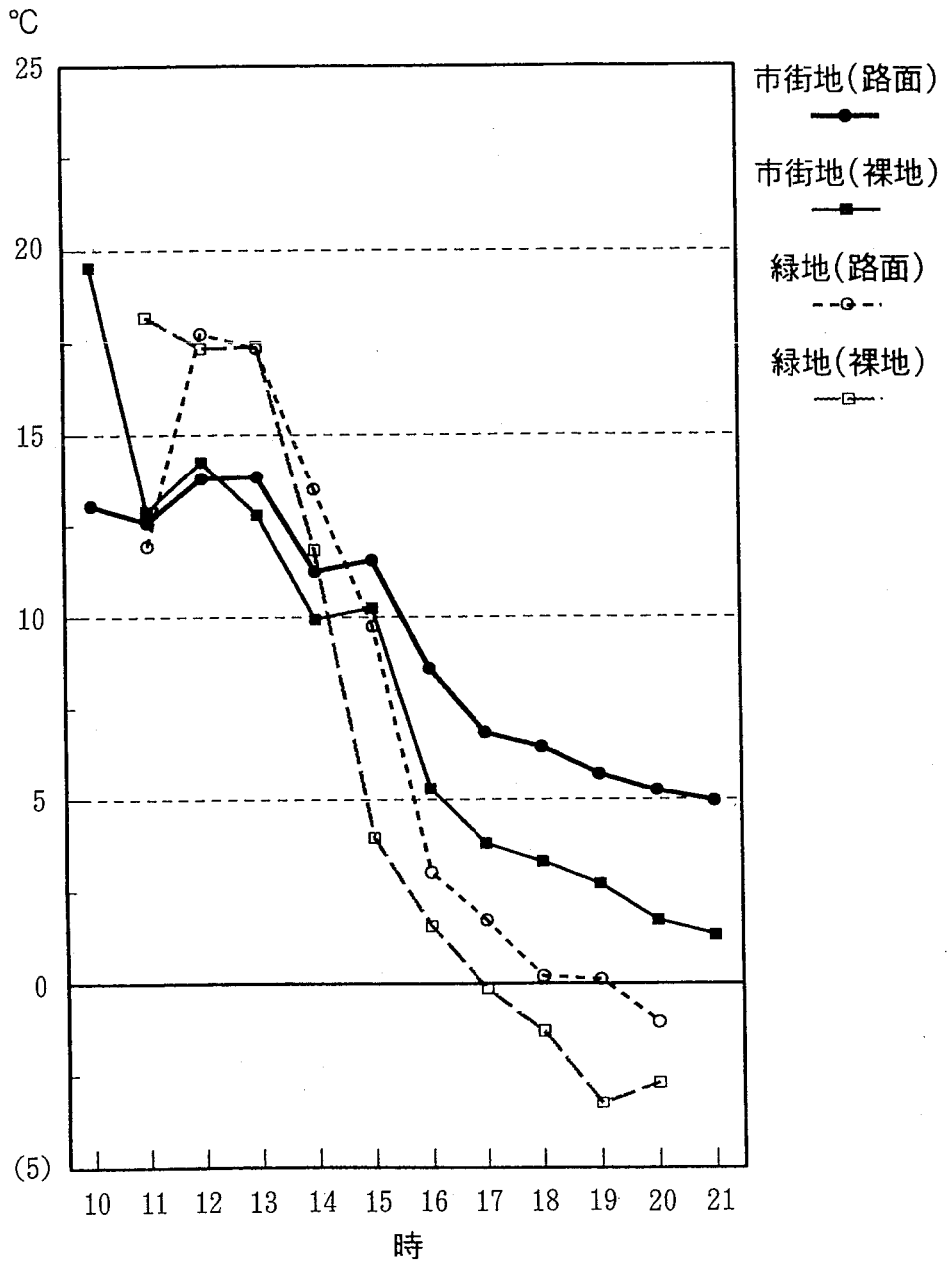


図12 定点観測の結果 (表面温度)
(1994/12/17)

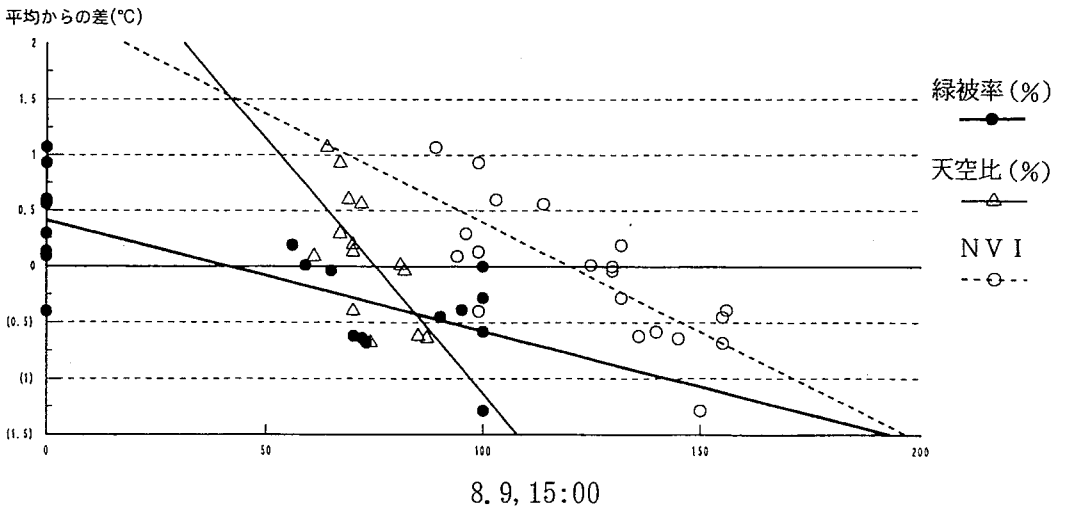
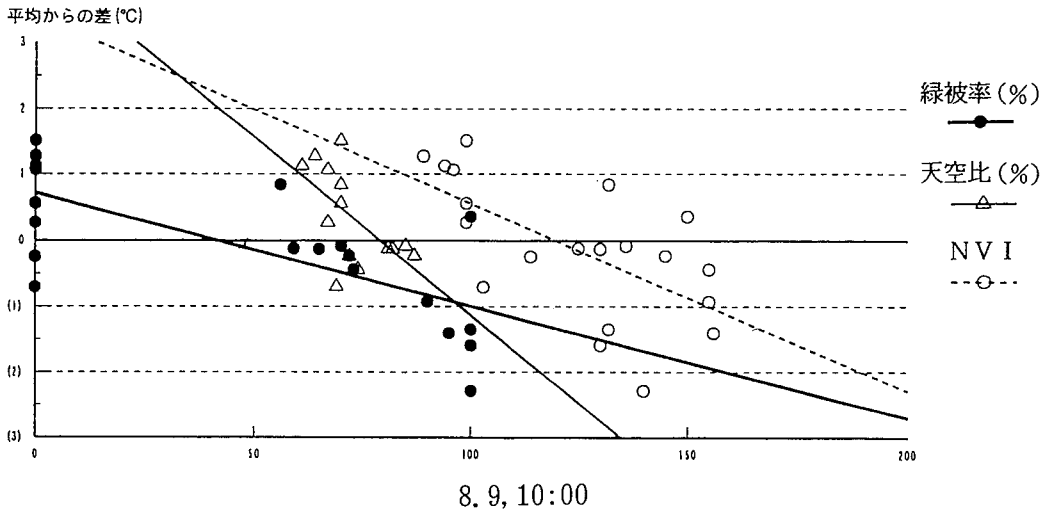
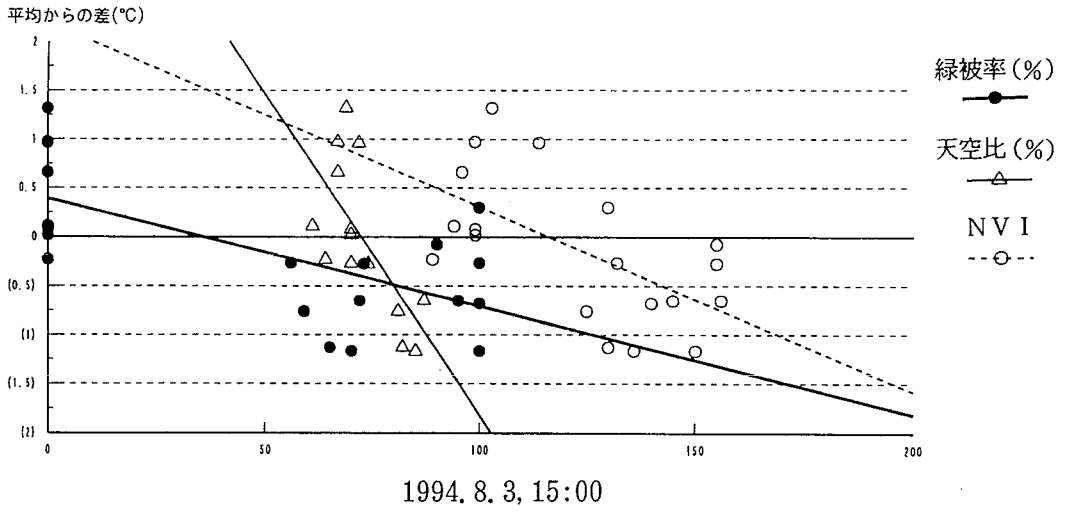


図13-a 緑被率、天空比、NVIと気温の関係

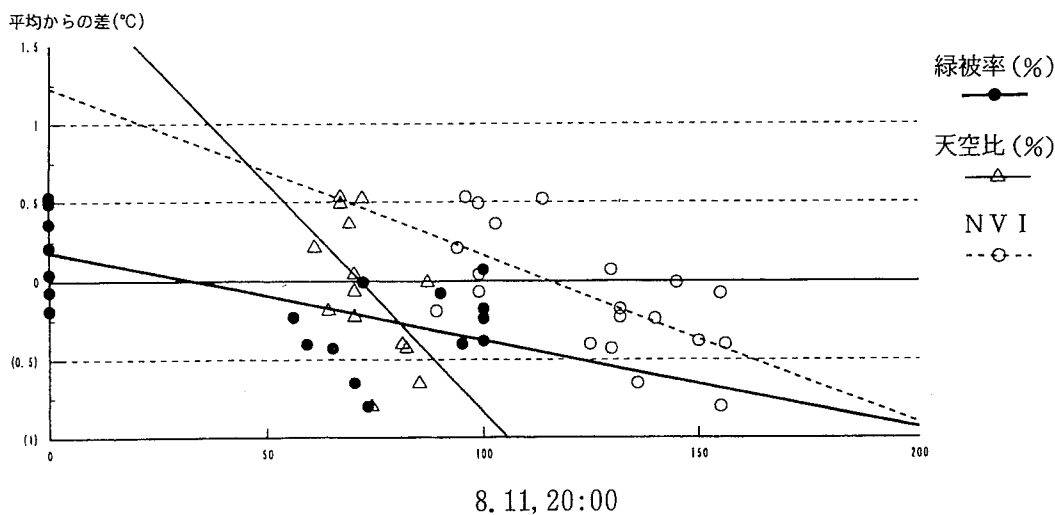
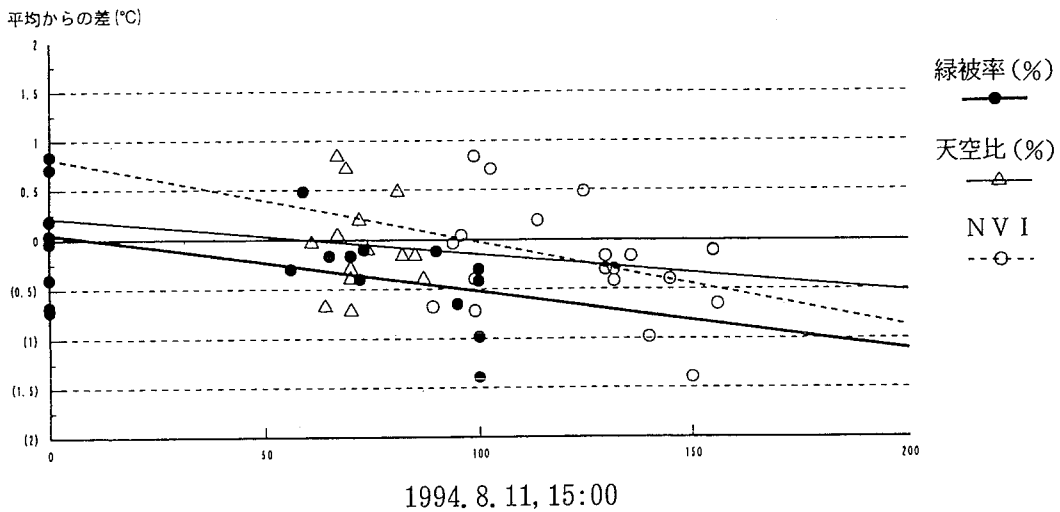


図13-b 緑被率、天空比、NVIと気温の関係

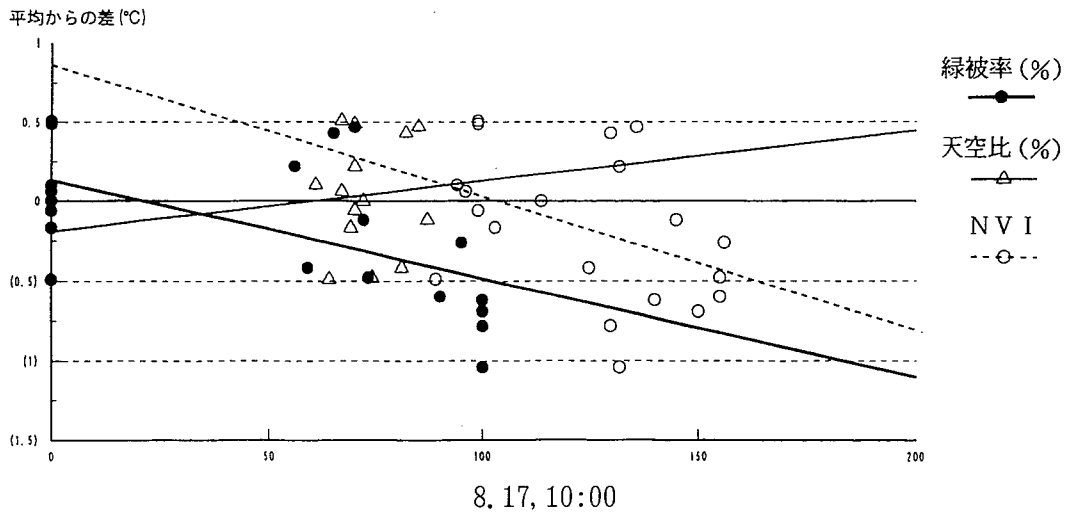
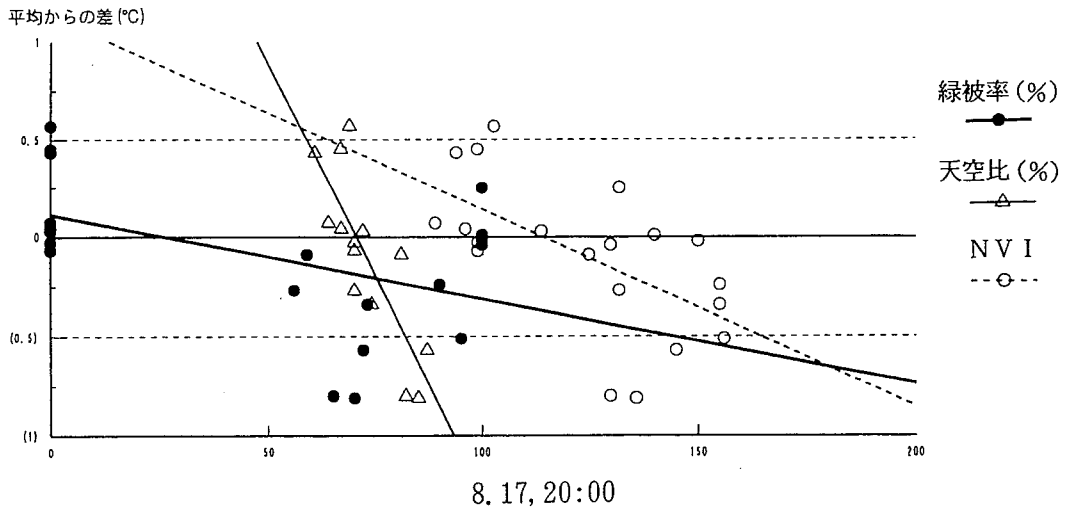
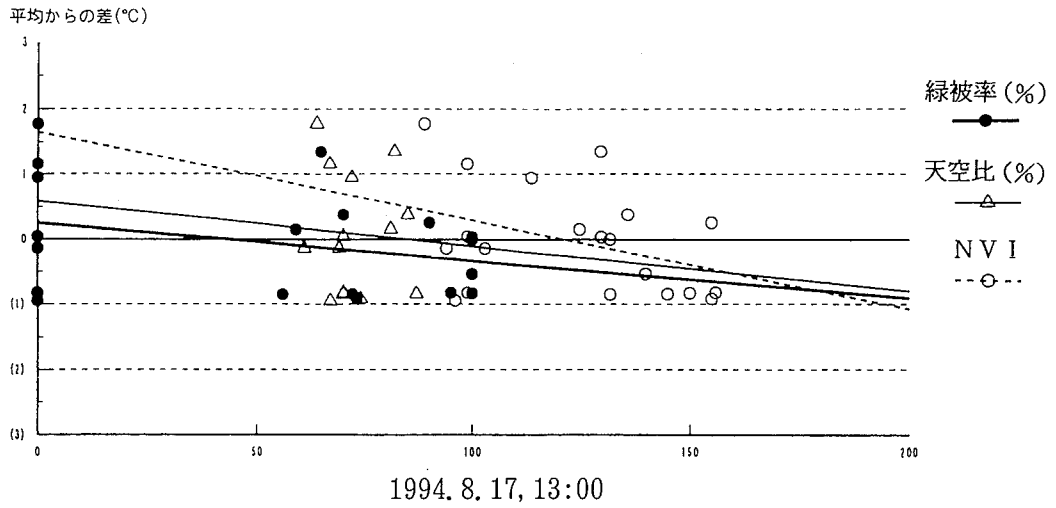


図14-c 緑被率、天空比、NVIと気温の関係

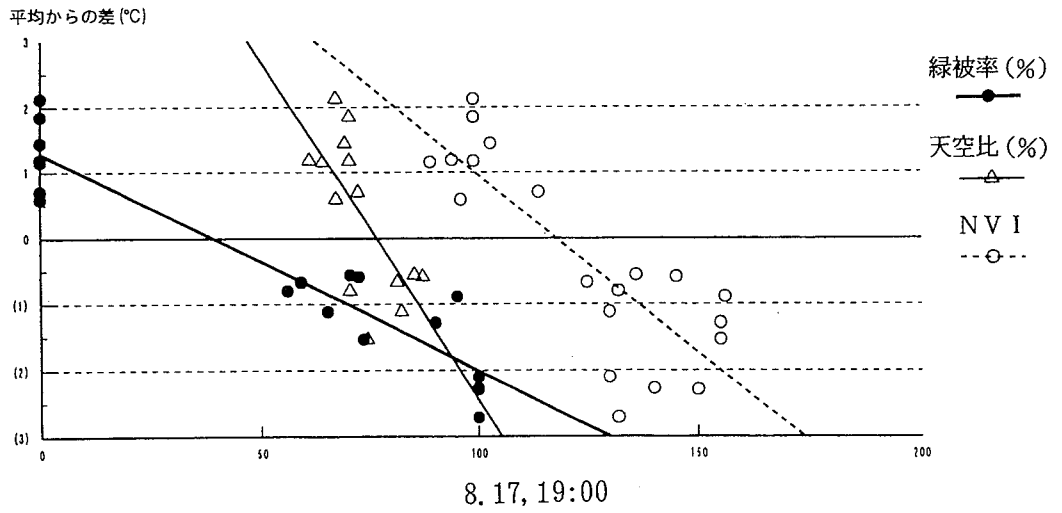
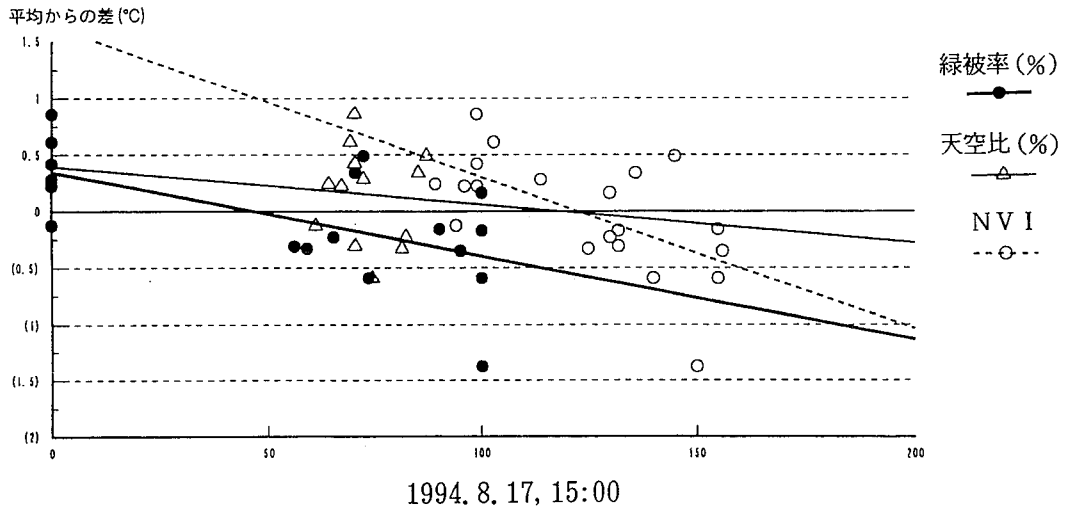


図14-d 緑被率、天空比、NVIと気温の関係

第2節 熱環境への河川と緑地の影響

回帰分析と因子分析の方法を採用して、各地点について気温および緑被率・天空比・NVIとを因子分析および重回帰分析によって解析した。天空比については、全地点で計測されていないので、計測された地点のみ（25地点）を対象として、解析を行っている。したがって、移動観測によって得られた結果のすべてについて、因子分析の結果が適用できるとは言い難いが、緑地部分などについては、一つの傾向として表せるものと判断した。

変量として取り上げた気温は、絶対値としての気温ではなく、地域内での相対的な関係を示すような形である。平均からの残差を以て、その指標とした。これによって、地域内での気温変化の割合を各変数との関係において確認することが可能である。

表7に示したように、データとして採用した全地点における各因子は、相関係数の行列として表されている。この中で、特に緑被率と気温との対応関係が見られ、 -0.87 となり、負の強い相関を示している。また因子負荷が他の因子に比較して大きい傾向にある。

またNVIについても同様の傾向が見られ、 -0.81 と強い負の相関を示している。因子負荷量は 0.97 と、緑被率よりも若干高い値を示しており、共通性も緑被率の2倍近くあり、変量としての気温に対して大きく関係していると判断される。

また、地点によって因子ごとの変質傾向が現れており、それぞれの因子が地点ごとによって影響をおよぼす度合いも異なってくることを確認される。特に、河川の影響として考えられる多摩川の場合、緑被率およびNVIの双方が気温の低下に関係していると思われる。その反対に、緑地ではNVIの方が若干緑被率を上回っているため、NVIが関係しているものと思われる。さらに、市街地および住宅地では、緑被率およびNVIと天空比は、すべてにわたって減少する。そのため、この結果をすべての地点にわたって適用することに対しては、問題が生じる可能性もあるが、気温の平均値に対する関係を算出していることから、地域内での気温について表しているものと判断できる。

しかしながら、天空比に限り、因子負荷量は負の値を示し、共通性も 0.05 ときわめて低く、気温との間に相関は見られなかった。これは、本研究での対象としている観測時刻が主に日中であり、長波放射の影響を反映すると思われる天空比の寄与は、日中に限っては他の因子に比較してほとんどないものと考えられるからである。

天空比がこのような低い結果を示したことには、さらにもう一つの要因が考えられるが、それは値を低下させる要因となっているものが、建築物であるか草本であるかということである。この点については、十分な分類方法を持たなかったため、構成要素の違いによる評価の分類はできなかった。そこで、影響評価の観点から、この地域に対する気温低下の割合を算出する段階では、天空比は日中の気温との関係が非常に低いことと、緑地と市街地とではその要素が異なることから因子分析と重回帰分析から除外し、緑被率とNVIのみを利用して、評価する、2変数と1変数との関係での重回帰分析を行った（表28）。

以上のことを考慮に入れ緑被率およびN V I と気温との関係を線形一次回帰式で表した場合、

$$T = 0.0080 * \text{緑被率} + (-0.0032) * \text{N V I} + 0.6781 \dots\dots\dots (10)$$

によって、この地域での平均気温に対する変化の割合を把握することが可能となる。

緑被率とN V Iのみで分析を行ったため、市街地は考慮に入れられていないが、式(6)を市街地部分に適用したところ、概ね平均を上回る値が算出される。

表 4 各因子の共通性・負荷量一覧

変 数	共通性	因子負荷量		因 子	固有値	%
緑 被 率	0.541	0.736	0.000	1	2.3882	90.2
天 空 比	0.050	-0.149	-0.166	2	0.2580	9.8
N V I	1.047	0.972	0.320	3	0.0000	0.0
気 温	1.008	-0.938	0.358	(4)	-0.0000	-0.0
合 計	2.591	-		-	2.6463	100.0

表 5 各変数間の相関係数

	緑 被 率	天 空 比	N V I	気 温
緑 被 率	1.0000	-	-	-
天 空 比	-0.1386	1.0000	-	-
N V I	0.9041	-0.1447	1.0000	-
気 温	-0.8729	-0.0000	-0.8180	1.0000

第5章 おわりに

本研究では、緑地と水面が都市の熱環境に与える影響を調べることを目的とした。地表面と大気とは、密接に関係していることから、地表面から大気に対する影響を調べ評価することは、地表面構成物質の相違による気温変化の相違を通して、緑地や水面などの市街地部分にはさほど存在しない領域の存在が、気温低下に対して有効な手段となるべきことを定量的に把握するための手がかりとなるものである。

主に、地表面の構成状態によって左右される緑被率・天空比・NVIを用いて、気温の移動観測と併せて考えることによって、相関関係をみる形で分析を行った。その結果、一年を通じて蒸散がもっとも活発な、夏季の日中には、市街地と緑地の存在する郊外とでは明瞭な気温差が現れ、両者の気温差は時によって3.5℃以上になることがあった。NVIについても土地利用図上から判別した緑被率によく対応しており、植生指標として用いることについて問題がないものとみなすことができた。

また、このような分布結果をふまえて、地表面状態を表す要素と気温とを因子分析を用いて解析した。それによると、気温に対して、各変数がそれぞれ地点ごとに異なった影響の度合いをみせ、特に緑被率とNVIに関しては比較的よい対応を示したが、天空比に関しては、日中の観測に限って対応は見られなかった。

このことから、気温低下に対する影響を緑被率とNVIから判断することとし、線形一次の重回帰分析を行った結果、

$$T = -0.0080 \text{緑被率} + (-0.0032) * \text{NVI} + 0.6781$$

によって、この地域での気温低下の割合および傾向を表すことが可能となった。

天空比の評価と土地利用図上でのメッシュの設定方法に若干の再考が必要であるが、観測以外の観点から間接的に気温低下を評価するための一手段として有効なものであると考えられる。

8. 結 語

8-1 衛星データから温度の換算

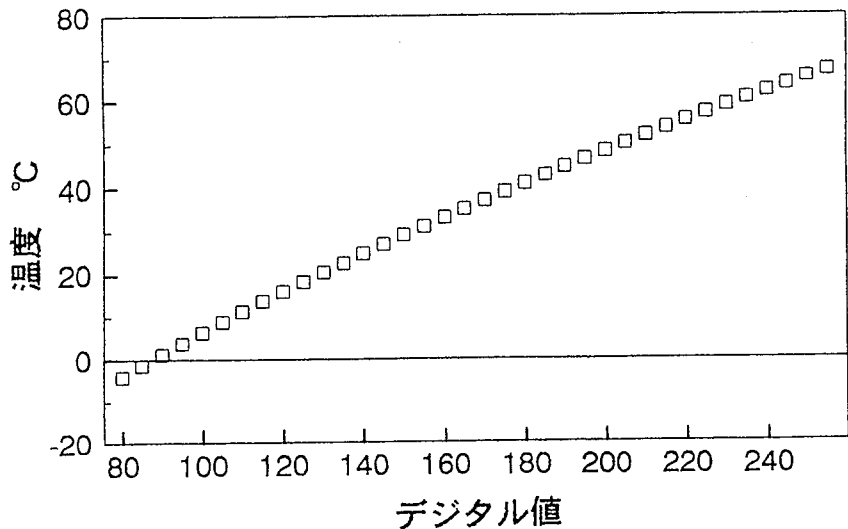
榑原保士

ランドサットに搭載されている光学センサーTMは写真画像と異なり、可視領域から熱赤外領域まで7つのバンドに分けて観測している。そのうち、バンド6は熱バンドと呼ばれ、地表面や海面の温度情報を提供する。

フロッピーディスクに記録されている値は温度の値でなく、0～255の無次元CCT値である。この値を温度に換算する方法として、宇宙開発事業団地球観測センター（1992）はグランドトルースに基づき、次のような式を提案している。

$$(aY+b)Y+c=dX \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、Yは表面温度（K）、Xはバンド6のCCT値、 $a=5.1292/100000$ 、 $b=-0.014651$ 、 $c=1.47852$ 、 $d=-1.40654/255$ である。この式を解き、グラフにしたものが第3図である。これによるとランドサットTMバンド6では高くても70℃ぐらいまでしか読み取れない。また、温度に換算したCCT値のインターバルから温度分解能は約0.4℃であることが分かった。



第1図 ランドサット衛星バンド6のCCT値と表面温度との関係

ここで注意すべきことは得られる測定値が気温ではなく、衛星がとらえた地表面温度だということである。たとえば樹木の場合は樹幹部の表面温度を示している。しかも特定の場所の温度ではなく、120m×120mメッシュの平均温度である。

そのため地表面が複雑なところではランドサットから得た温度を地表面の何と対応させたらよいか決定するのが難しい。たとえば、ヒートアイランドは冬の静夜に顕著に出現する現象と考えられているが、Roth et al.(1989)は、冬季の衛星による熱画像ではヒートアイランドは都市に高温域は認められない事実から、衛星画像から得た都市域の高温域は従来調べられているヒートアイランドとは意味が違うことを指摘した。

8-2 地表面温度の重要性と今後の課題

山下 脩 二

地表面は放射エネルギーが熱エネルギーに変換される面で、その結果が熱収支であり、また、熱収支の結果が地表面温度や気温ということになる。日常生活に直接影響する都市ヒートアイランドは一般に気温に出現するものをいい、都市の温暖化現象として解決すべき急務の問題となっている。一方、地表面は大気と大地の干渉面であり、気候環境、言い替えるならば気温を決定する重要な因子である。つまり、地表面温度が気温の形成に重要な役割をしていることである。地表面温度と気温との関係は、その重要性が古くから論じられてきたがいまだ解決されていない問題である。論じられても研究が進展しなかった理由は、表面温度の測定が非常に困難であったためである。

本研究では衛星データによってヒートアイランドの把握を試みたものであるが、衛星データによって得られる地表面温度分布は都市ヒートアイランドの一つの側面を表現していることには違いないが、通常の移動観測などによって得られるヒートアイランドとは異なったものである。結局は地表面温度と気温との関係が、都市表面のような複雑地表面で定量的に求めることが必要となる。ランドサットデータから得られた地表面データと、地上で観測したグランドトゥースのデータとの関係を求めることは今回必ずしも成功したとはいえない。というのは、ランドサットは月2回の特定の日にしか観測せず、しかも夜間のデータは現在利用価値が低く、宇宙開発事業団での観測が少ないなどの理由と、当日必ずしも天気が良いとは限らないなどの理由であった。

しかし、より重要なことはランドサットデータと気温を結び付ける地表面温度の観測を赤外線放射温度計に依存したことである。この計器は精度は良いが、視野角2度で、非常に狭い範囲を1点観測するだけであり、広域・同時性のランドサットデータと関連づけることは非常に困難である。研究を進めるなかで、地表面温度を連続的に観測する装置としてサーモグラフィの開発が進み、実用化が進んでいることが判明した。本研究ではランドサットデータの画像処理等に力を注いではしたが、今後はこのサーモグラフィを利用した研究が必須である。この装置も非常に高価であり、都市気候環境の観測にはそれなりの高所を選定するなどの課題が残っている。

ともあれ、都市ヒートアイランドを解明することは、人類の大部分が居住しており、今後ますます人口集中が進む都市域の生活環境を改善し、アメニティの維持にも必要なことである。

謝 辞

本研究の推進にあたり、とうきゅう環境浄化財団のご理解とご援助を受けたことを心より感謝いたします。特に、ランドサットデータの画像処理には多くの時間を要したにも係わらず、研究報告書の提出期限の延期を快く許可して頂いたことを感謝致します。宇宙開発事業団所有のランドサットデータはリモートセンシング技術センターを通して研究者用特別価格で取得したものであり、記して感謝いたします。また、ランドサット画像処理等については、東京都立大学近藤昭彦氏（現筑波大学助教授）、国土館大学長谷川均教授・野口泰生教授、農林水産省農業環境技術研究所今川俊明氏・山川修治氏、(株)数理計画小泉正明氏、リモートセンシング技術センター稲永麻子氏、目黒区立第九中学校池下誠教諭など多数の方々にお世話になった。ここに心より感謝いたします。

本研究の遂行にあたり、朝夕の気候観測を実施したが、多くの学生諸君にお世話になった。快く観測に協力していただいたことをここに記して感謝します。

（すでにほとんどの学生諸君は卒業し、社会人となっているが、当時の所属で示す）

東京学芸大学大学院：佐藤 祐 ・ 加藤 俊洋 ・ 王 怒瀾

東京学芸大学：大塚 雅樹 ・ 小野 周子 ・ 中塚 純

稲垣美知子 ・ 綱取 貴夫 ・ 新島 信幸

野村 千尋 ・ 外館 洋文 ・ 渡辺英一郎

上柳田光広

参 考 文 献

- 金井裕・近藤昭彦（1993）：衛星データと地理情報システムを用いた多摩川流域およびその周辺における鳥類繁殖分布状態の変化と環境変動との相互関連分析。18p.
- 川島茂人（1991）：研究レビュー『リモートセンシングによる熱環境、熱収支、蒸発散の評価』。
天気、38、351-362.
- 久保幸男（1994）：環境データロギングシステムの開発。文部省科学研究費報告書、慶應大学、52p.
- 黒瀬義孝・林陽生（1993）：四国地域を対象にした熱画像情報による冬季・放射冷却下の気温分布の把握。農業気象、49(1)、11-17.
- 近藤昭彦・菅野洋光・三上岳彦（1992）：ランドサットTM夜間熱映像とDMTの重ね合せによる斜面温暖帯の解析。日本リモートセンシング学会誌、Vol. 12, No. 2, 33-42.
- 近藤昭彦（1993）：リモートセンシングと地理情報システムの地下水調査への応用。地下水学会誌、35(1)、37-52.
- 近藤昭彦・栗原昭子・三上岳彦（1993）：ランドサットデータによる関東平野の諸都市のヒートアイランド強度の解析。日本リモートセンシング学会誌、Vol. 13, No. 2, 32-42.
- 近藤昭彦・開発一郎（1995）：広島市市街地におけるランドサットデータによる輝度温度と気温および都市キャノピー層の構造との対応関係。地学雑誌、104(2)、225-238.
- 生研フォーラム（1993）：宇宙からの地球環境モニタリング(第1回)。東京大学生産技術研究所、122p.
- 竹内章司（1992）：衛星画像による都市域の緑地の破壊／再生過程のモニタリング。日本リモートセンシング学会第12回学術講演会文集、17-18.
- 土屋巖他（1980）：ランドサット磁気テープによる霞ヶ浦富栄養化現象の数値解析。写真測量とリモートセンシング、Vol. 19, No. 3, 4-13.
- 土屋 巖（1982）：NOAA-6による大都市および中都市ヒートアイランドの検出。日本リモートセンシング学会第2回学術講演会論文集、197-200.
- 坪井治広（1991）：パソコンによる人工衛星データの画像処理。森北出版、129p.
- 日本リモートセンシング研究会（1981）：画像の処理と解析。共立出版、267p.
- 日本建築学会リモートセンシング小委員会（1993）：都市建築環境のリモートセンシング。基礎編、応用編。都市設備シンポジウム資料。
- 長谷川均（1987）：REMOTE SENSING NOTE、国土館大学地理学科『リモートセンシング』実習テキスト、42p.
- 樋口知子（1991）：リモートセンシングによる東京23区の緑被の増減の把握。お茶の水地理、32号、34-40.

- 広瀬葉子他 (1994) : 人工衛星データを用いた都市の熱分布と植物分布の解析。第7回環境科学論文集、24-28.
- 堀口郁夫・谷 宏・森川俊次 (1985) : 農業気象における人工衛星データの利用に関する研究(2)気温と赤外放射温度計による地表面温度との関係。農業気象、40(4)、379-385.
- 堀口郁夫・谷 宏・元木敏博 (1986) : 農業気象における人工衛星データの利用に関する研究(3)GMS (ひまわり) 赤外データによる地域分類と小地域の気温測定。農業気象、42(2)、129-135.
- 本條毅・高倉直 (1987) : ランドサットTMデータによる都市内緑地の抽出。造園雑誌、50(5)、305-309.
- 本條毅・高倉直 (1987) : 緑地が都市内熱環境に及ぼす影響(2)リモートセンシングによる緑地の抽出と表面温度の解析。農業気象、43(1)、31-36.
- 松岡延浩・山崎憲章・中山敬一・今 久・谷 宏 (1992) : 人工衛星データを利用した夜間冷却の評価。農業気象、48(3)、277-283.
- 依田浩敏・渡辺浩文 (1992) : 都市広域におけるランドサットデータと地上実測データによる地表面温度分布比較研究。日本リモートセンシング学会第12回学術講演会論文集、19-20.
- 力丸 厚他 (1989) : 都市域の熱分布に及ぼす緑被特性の影響(4)-緑地効果の地域特性抽出-日本写真測量学会年次学術講演会、65-68.
- Moran, M. S. et al (1989) : Mapping surface energy balance components by combining Landsat Thematic Mapper and ground-based meteorological data. Remote Sensing of Environment, Vol. 30, 77-87.
- Roth, M. and T. R. Oke (1989) : Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. Int. J. Remote Sensing, Vol. 10, No. 11, 1699-1720.