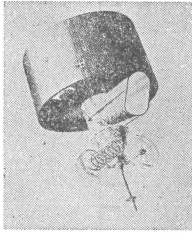


宇宙から見た気象——No. 35



ひまわり2号

地表面温度

徳野正己*

1. はじめに

人工衛星に搭載された熱赤外センサーは雲のない領域の地表面温度の情報を与えてくれる。そのため、衛星画像による地表面温度の解析がいままでいくつか行われている。

古くは、分解能 7.4 km の ITÖS-1 による都市ヒートアイランドの検出(Raō, 1972), 最近では分解能 500 m の HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) による都市の地表面温度と反射率の分布を解析したもの (Vukovich, 1983) などがある。

日本では、NOAA-6 による東京のヒートアイランドの検出(土屋, 1982) や、NOAA-7 による関東地方の地表面温度の解析(徳野, 高橋, 1984) がある。

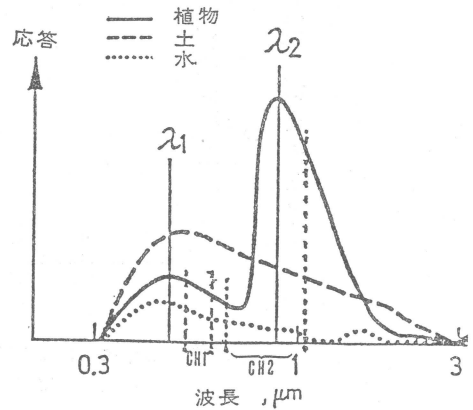
NOAA-7 は衛星直下で 1.1 km の分解能をもつ AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, 第1表に示したように5チャンネルよりなる) を搭載、1日2回(06Z帯および18Z帯)日本上空を通過し、観測をする。

各チャンネルのとらえる電磁波の特性は以下の通りである。

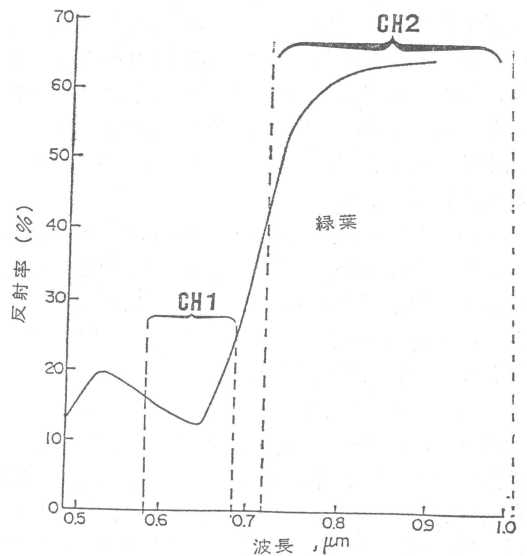
CH1 のとらえる可視光線 (0.58 μm ~0.68 μm) は、

第1表 NOAA-7 の AVHRR のチャンネル特性。

5チャンネル特性	
チャンネル	波長帯
1	0.58 - 0.68 μm
2	0.725 - 1.10 μm
3	3.55 - 3.93 μm
4	10.30 - 11.30 μm
5	11.50 - 12.50 μm

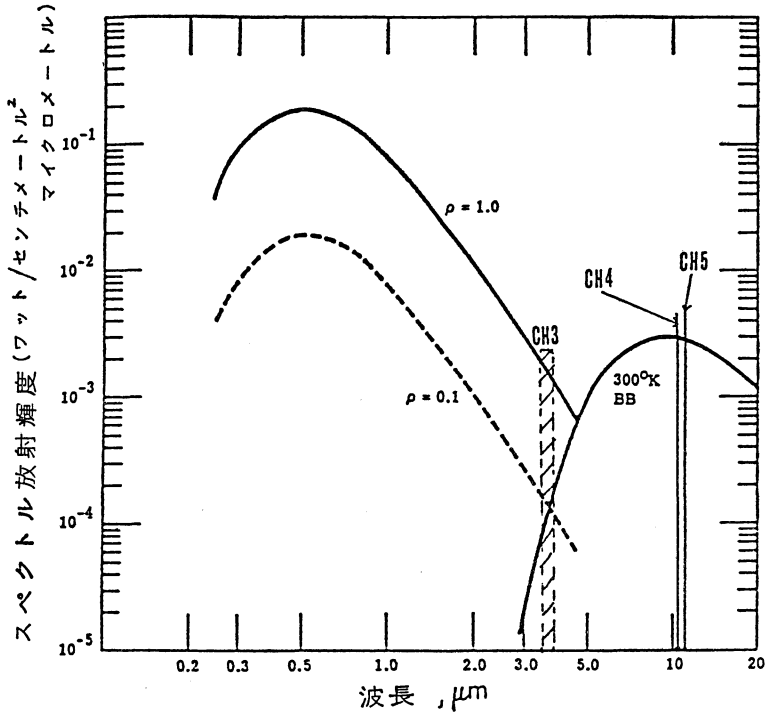


第1図 各波長別反射度 (Landgrebe, 1971).



第2図 緑葉(葉緑素)の各波長別応答曲線 (Hoffer と Johansen, 1969)

* Masami Tōkunō, 気象衛星センター管制課。



第3図 日中における各波長別反射輝度，および黒体の放射輝度。
 ρ は反射率を表す。

われわれの肉眼(およそ $0.4 \mu\text{m} \sim 0.7 \mu\text{m}$ 位の範囲の波長を感じる)と同じような特性をもっている。第1, 2, 6図に示すように緑葉やアスファルトの反射率は低い。

CH2のとらえる近赤外線 ($0.725 \mu\text{m} \sim 1.10 \mu\text{m}$) は、もや、かすみ、その他大気中の微細粒子によって影響を受けない。第1, 2, 6図に示すように植物の緑葉に強く反射され、逆に、人口建造物などによる反射は植物ほど強くない。

CH3のとらえる赤外線 ($3.55 \mu\text{m} \sim 3.93 \mu\text{m}$) は大気による減衰は少ない。日中は、第3図に示すように物体からの反射と熱赤外放射を同時に行い、 300°K 付近では両者のエネルギー量は少なく、反射率によって異なるがほとんど同じような値を示す。

CH4, 5のとらえる赤外線 ($10.30 \mu\text{m} \sim 11.30 \mu\text{m}$, および $11.50 \mu\text{m} \sim 12.50 \mu\text{m}$) は、第3図に示すように物体からの反射はなく熱赤外放射を行うのみで、 300°K 付近でそれらのエネルギー量は最大となり、昼夜地表面温度を測定するのに最適であるが、大気による減衰が大きい。

ここで示す例は夏季日中の都市域と森林地域が、以上

の特性をもつ NOAA-7 の AVHRR の各センサーでどのように観測されるかを見たものである。

2. 実例

口絵写真1~4は1984年7月4日0538Zに取得したもので、CH1, 2はアルベド値に、CH3, 4は等価黒体温度に変換し、さらに幾何学的補正を施した画像である。大気補正は施していない。

表示地域は東京都を中心とする関東地方である。

都市域、森林地域の各画像上での特徴を見ていく。

2.1. 都市域

写真4はCH4のカラー強調画像のためこの写真では必ずしも明瞭でないが、実際にはカラー強調で昇温地域 ($A_4 \sim M_4$) が明確に識別できる。概観的に見れば、東京湾岸沿いの大都市から郊外に広がる地域 ($A_4 \sim I_4$) と、中小都市周辺地域 ($J_4 \sim M_4$) に二分されるが、ここでは東京都とそれから郊外に広がる地域 ($B_4 \sim G_4$) について見ていく。

東京都から郊外に広がる昇温地域の顕著な特徴は、最大昇温地域が都心 (C_4 地域の南側) ではなく都心周辺

第2表 東京都の杉並区における1972年8月計測の地物別熱量測定値。

Item 項目	Rand heat class 温度区分階		Low 低温					High 高温		Total 計	Ave. heat 平均温度
	1	2	3	4	5	6	7				
水 Water	33	45	6						84	1.56	
樹木草地 Vegetation	2	76	59	6					143	2.46	
裸地 Bare Soil		2	8						10	2.8	
低住宅 Low Bilding	8	305	304	158	16	2	8		801	2.88	
高建築 High Bilding	14		5	26	2	2	8		57	3.42	
空地 Others				12	1				13	4.07	
道路 Road Railway				24		4	36		64	5.8	
計 Total	57	428	382	226	19	8	52		1,172	2.96	

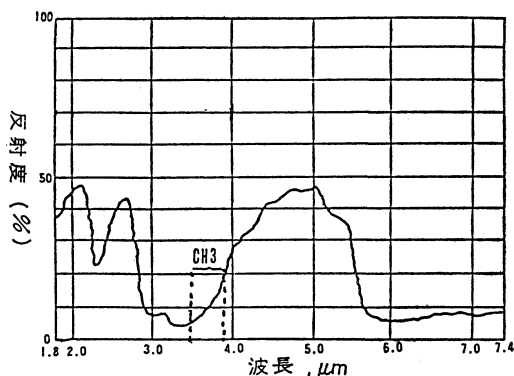
温度の1区分階は冬期においてはほぼ2~4°C, 夏期6°C以上達するものと思われる。すなわち平均温度階の値は最低温の水面を1としたときの温度比率を示し、たとえば道路は水面平均の(5.8/1.56) ほぼ3.8倍の熱量をもつ。または各階層間温度差を4度とすれば水面よりも(5.8-1.56)×4=16.5度高いと予測される。
: 熱測定表(東京, 杉並区)

地域より郊外に幹線道路に沿うように広がっていることである(B₄~G₄ 地域)。主要昇温地域が分離された形(C₄, F₄, G₄ 地域)になっているのは荒川と江戸川のためと考えられる。第2表からも道路の高温や川の低温が推測される。

高層建造物周辺は高層建造物による影の影響で極端に昇温しないと考えられてきている。都心のやや温度の低い地域は、地理的に見て高層建造物や緑地(皇居や新宿御苑など)などにおおわれた地域であるため、これらの影響でやや温度が低く観測されたものと推測される。

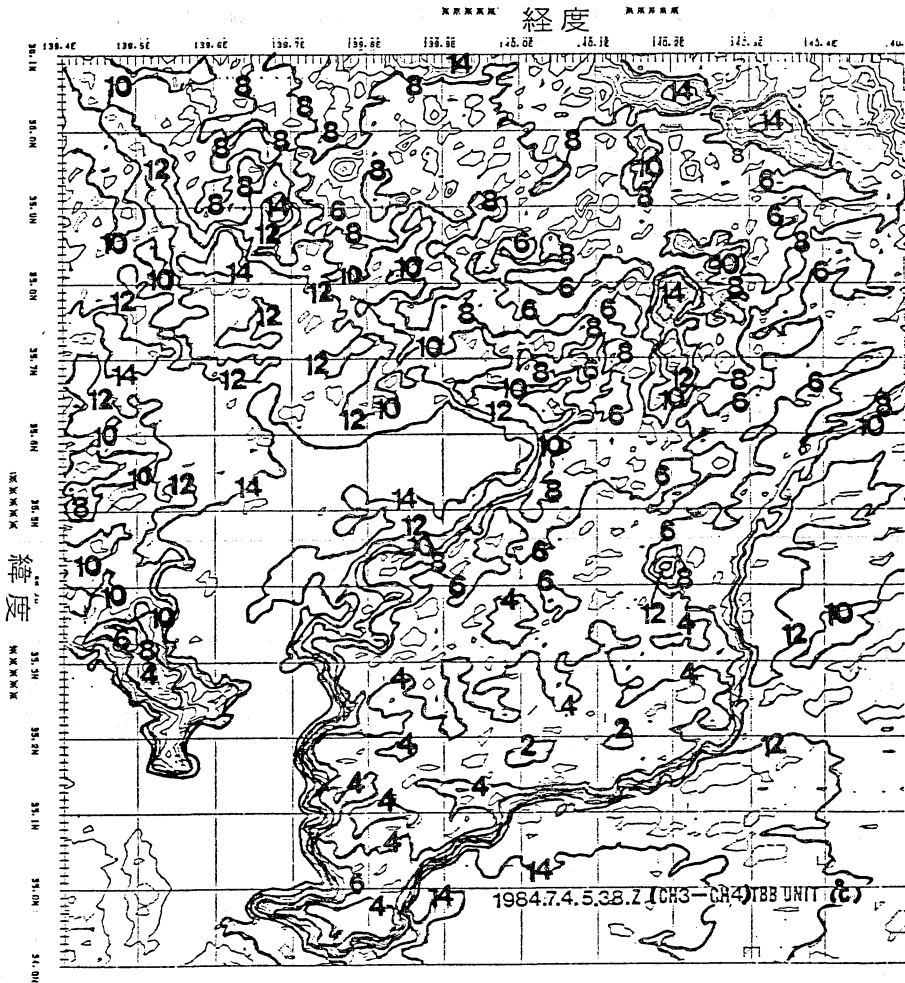
上記で述べた都市化の広がり、高層建造物群、緑地などがCH1, 2の画像(写真1および写真2)でどのように把握できるかを見る。

写真2では都市中央部(C₂ 地域)が顕著にアルベド値が低く、周辺地域(F₂, G₂)や幹線道路に沿う地域(D₂, E₂)がそれよりややアルベド値が高いものの近郊よりは低い。近赤外線の反射が人口建造物に対して弱いことより、都市化は上記のアルベド値の低い方向に広がっていると推測される。C₂ 地域の中央付近(N₂ 地域)にアルベド値の高い地域があらわれている。これは皇居から新宿御苑にかける緑地帯に対応している。



第4図 アスファルト道路の反射度。

写真1では都市域は周辺地域に比較してアルベド値が高く人口建造物の反射の影響が考えられるが、都心のやや温度の低い地域に対応してアルベド値の低い地域(N₁)があらわれている。これは緑地帯と高層建造物の影の影響も考えられる。D₁, E₁ 地域の北西方面に広がっているアルベド値の高い地域(O₁)は、写真2にあらわれてなく、この観測時間帯に熊谷市では「煙霧」を



第5図 (CH3-CH4) の緯度温度差, 等値線は 2°C 間隔。

観測しているので、可視光線による「煙霧」または「もや」の反射の影響と推測される。

最後に CH3 の画像 (写真3) であるが、昇温地域分布の傾向は CH4 と同じであるが、都市域と他地域との温度差が大きく昇温地域 (D_3 , E_3 , F_3) が幹線道路に沿って顕著にあらわれている点が異なっている。これは、第4図に示されるように、この波長帯の道路や人口建造物による反射が大きいと考えられるので、これらの影響が顕著にあらわれたものと推測される。

以上のことより、都市化が幹線道路に沿う形に広がっていることや、都心の緑地や高層建造物の状態などが衛星画像でよくとらえられている。

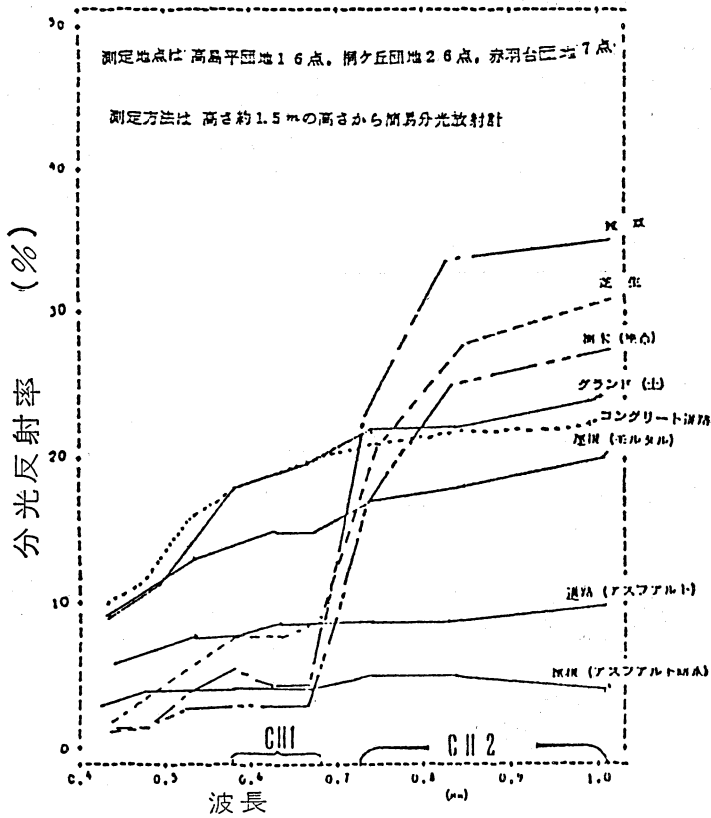
2.2. 森林地帯

房総半島を例にとる。

写真4はカラー強調画像を白黒に焼付けたため明瞭ではないが、実際には森林の密度に比例して温度が低くなっており、およそ $24\sim 28^{\circ}\text{C}$ を示している。都市域 (およそ $30\sim 32^{\circ}\text{C}$) との温度差はおよそ $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ である。

写真3では都市域 (およそ $42\sim 45^{\circ}\text{C}$) と比較して温度が極端に低くなっていて、およそ $28\sim 34^{\circ}\text{C}$ を示している。その差はおよそ $13\sim 14^{\circ}\text{C}$ である。

第5図に示されているように上記の2チャンネルの差は、森林地帯で $2\sim 6^{\circ}\text{C}$ 都心域で $12\sim 13^{\circ}\text{C}$ である。CH3は大気による減衰は小さく、逆にCH4は大きく実際の温度はこれより $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 高いと考えられる。そのため、CH3では森林による反射の影響が温度にして



第 6 図 東京都の団地（高島平団地，桐ヶ丘団地，赤羽台団地）における各波長別，地物別分光反射率。

0~3°C と小さく実際の森林地帯の温度に近いと推測される。

写真 2 では近赤外線の緑葉からの反射が強いため，都市域と比較してアルベド値が極端に高くなっており，また森林の密度の差もあらわれている。

逆に，写真 1 では可視光線の緑葉からの反射が弱いため，都市域と比較してアルベド値が極端に低くなっており，CH 2 同様に森林の密度の差もあらわれている。

以上のように，開発があまり進んでいない地域を各センサーは明確にとらえることができ，このような地域での都市化が行われている時，例えば茂原市周辺 (J₁, J₂, J₃, J₄ 地域) のように，写真 1, 3 では周辺より白く，写真 2 では黒く，写真 4 ではカラー強調であらわれているように，衛星画像で明確にとらえることができる。

文 献

Dönlald S. Löwe, 1976 : Nönpöhötögräphic öptical sensörs, Remöte sensing öf envirönmént, 155-160.

Fred M. Vukovich, 1983 : An analysis öf the gröund temperature and reflectivity pattern aböut St. Löuis, Missöuri, Using HCMM Satellite Data, J. Appl. Met., 22, 560-571.

松野久也, 1974 : リモートセンシング概説, 宇宙・高空・地上におけるリモートセンシング技術の研究開発と応用, 39-67.

中島 巖, 1974 : 植生環境のリモートセンシング, 宇宙・高空・地上におけるリモートセンシング技術の研究開発と応用, 91-110.

Raö, P.K., 1972 : Remöte sensing öf urban heat islands fröm an envirönméntal satellite, Bull. Amer. Met. Söc., 53, 647-648.

Stanley R. Schneider, David F. McGinnis Jr., James A. Gatlin, 1981 : Use öf NÖAA/AVHRR Visible and near-infrared data för land remöte

sensing, NÖAA Technical Repört NESS, 84, 31-40.

徳野正己, 高橋幸男, 1984: NÖAA-7 AVHRR による地表面温度の解析, 昭和59年度日本気象学会春季大会講演予稿集, 37.

土屋 敏, 1974: 都市のリモートセンシング, 宇宙・高空・地上におけるリモートセンシング技術

の研究開発と応用, 149-164.

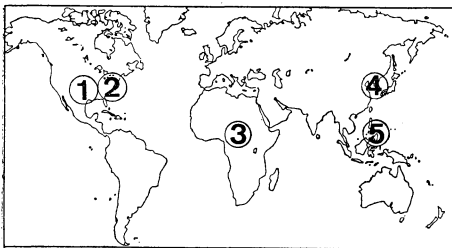
土屋 敏, 1982: NÖAA-6 AVHRR による都市ヒートアイランドの検出, 天気, 5, 81-83.

梅千野晃 (編集代表), 1980: 東京地区プロジェクト—標準データセッター, 日本国土海洋総合学術診断委員会, 財団法人 日本造船振興財団, 47-58.

NEWS

世界の異常天候とその影響評価 (11)

(Climate Impact Assessment, September 1984)



1. 合衆国中部——干ばつ軽減

合衆国中部の平原の諸州では軽い雨があり, 気温も低くなって干ばつから救われた。この結果冬小麦の生産の見込みは良かったが, 時期が遅かったので夏作物の被害は解消しなかった。内陸のテキサス州南部とオクラホマ州西部では土壌が乾燥しているため冬小麦の種蒔きが遅れている。干ばつが長引いたテキサス州中部では水供給への悪影響が現在も続いている。テキサス州オースティンでは, 今年に入って現在までの降水量は平年の45%である。

2. 合衆国ノースカロライナ州——ハリケーン

9月13日にハリケーン Diana がノースカロライナ州のフィア岬沖に接近し, 同州の沿岸部の広域に風水害をもたらした。ウィリントンでは450mmもの雨が降った。沿岸部での最大瞬間風速は190km/hr (約53m/秒)と伝えられている。被害額は2500万ドル~5000万ドルとみられる。

3. サハラ砂漠南方の地域——干ばつ

モーリタニア, セネガル北部, マリ, ブルキナ (旧オートボルタ), ニジェール, ナイジェリア北部, チャドでは, 9月は平年並の雨が降ったが, 干ばつの被害を受けている農作物や牧草にはほとんど良い効果はなかった。今年の凶作のため, 1985年にはサヘル地方の大部分で食糧不足が生じると予想されている。エチオピアでは, ウォロ州とチグレ州, ジェワ州の一部で農作物の成育が良くないため, 現在の食糧不足は来年に入ってもますますひどくなると思われる。エチオピアでは, 多数の餓死者が出ていると伝えられている。スーダンの一部の地域でも, 乾天のために, 食糧用の農作物が被害を受けている模様である。

4. 韓国——9月初めの洪水被害の報告

9月初めの洪水 (先月号を参照のこと) に関するその後の報告によれば, 死者は180人, 被害額は9500万ドルに達した。

5. フィリピン——台風11号の後遺症

9月1日に襲来した台風11号 (台風11号, 先月号を参照のこと) の被害を受けた地域では, 人々は十分な食物もないまま家に戻れない状況が続いている。死者と被害の最終報告はまだ発表されていない。

(注: 上記各項目の番号は図中の番号に対応している。)

(気象庁気候変動対策室 真野裕三)

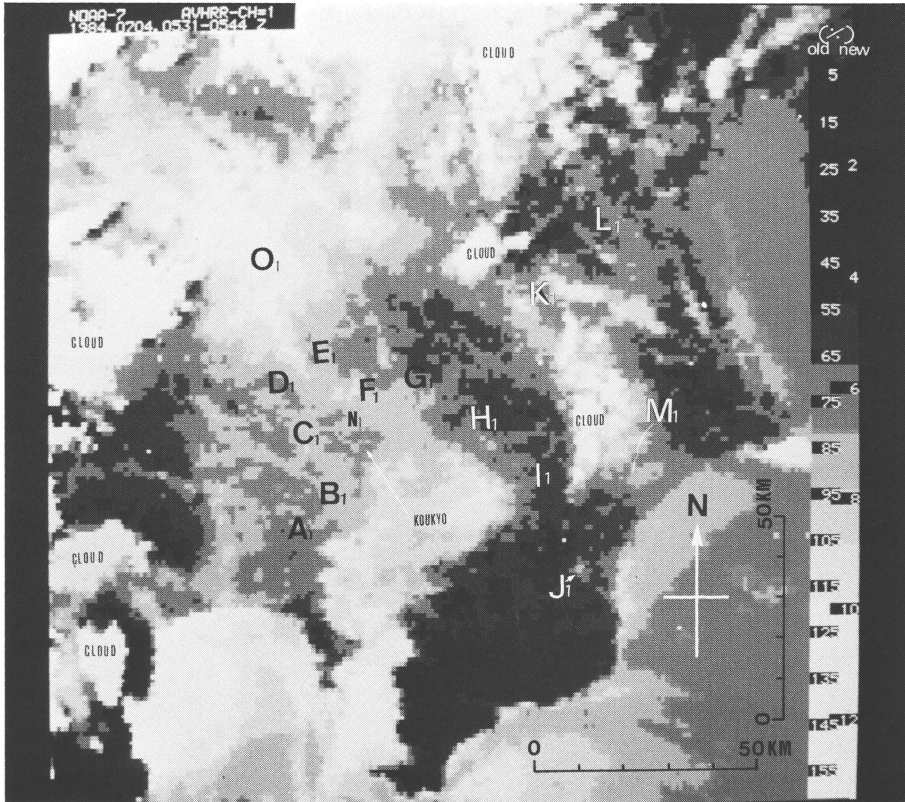


写真1 関東地域の可視画像 1984年7月4日0538Z, 測定波長は $0.55\sim 0.68\mu\text{m}$, 右側の帯はグレースケール, 実際のアルベドの階調, A₁~E₁, J₁ (6~8%), K₁~N₁ (6~7%), G₁ (5~8%), H₁, I₁ (5~7%).

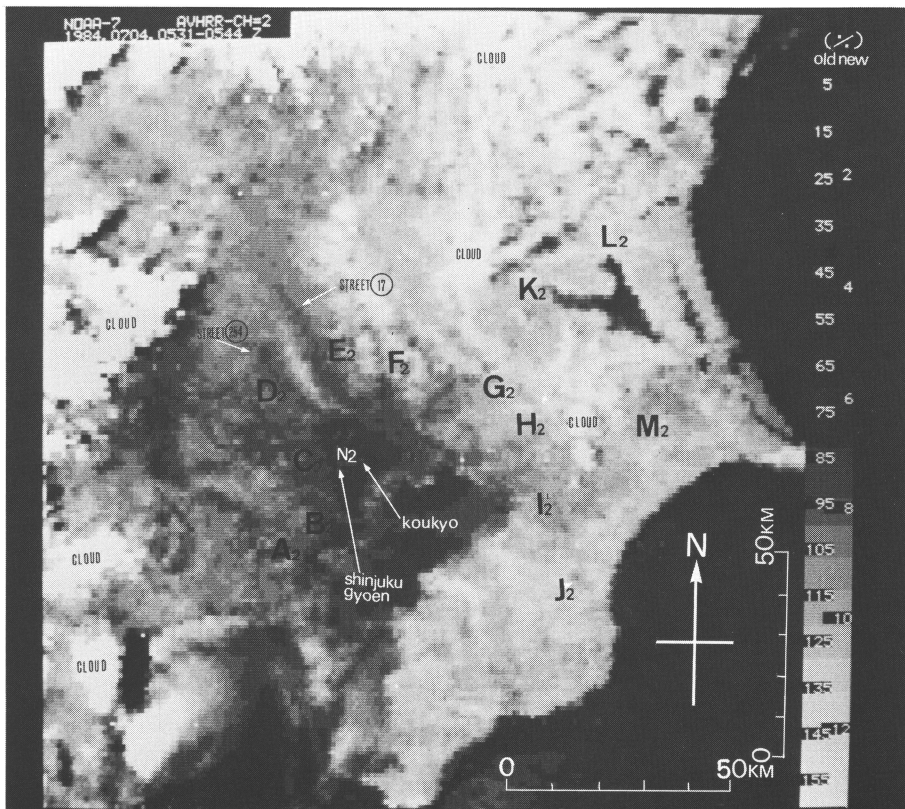


写真2 写真1と同じ, 但し, 近赤外画像で波長 $0.735\sim 1.1\mu\text{m}$, 又, C₂ (6~7%), B₂, D₂~F₂ (7~8%), A₂, G₂ (7~9%), H₂~J₂ (8~9%), K₂~M₂ (8~10%).

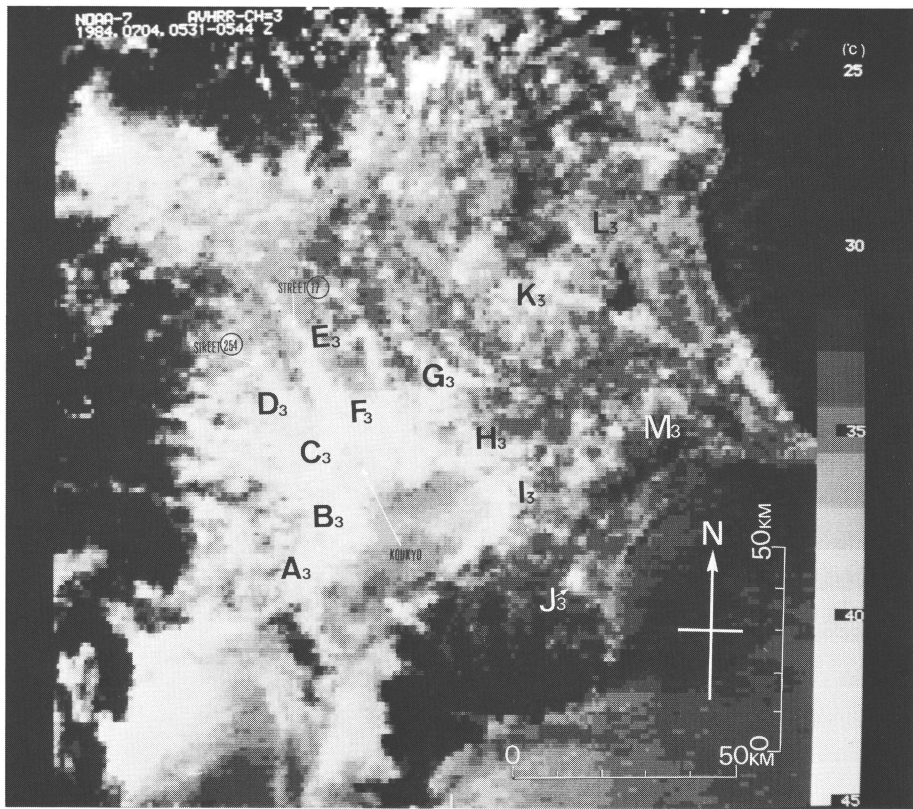


写真3 写真1と同じ、但し、赤外画像で波長 $3.5\sim 3.9\mu\text{m}$ 、又、 D_3 ($41\sim 42^\circ\text{C}$)、 A_3 、 B_3 、 E_3 、 H_3 、 $K_3\sim M_3$ ($42\sim 43^\circ\text{C}$)、 G_3 、 J_3 ($42\sim 44^\circ\text{C}$)、 C_3 、 F_3 、 I_3 ($42\sim 45^\circ\text{C}$)。

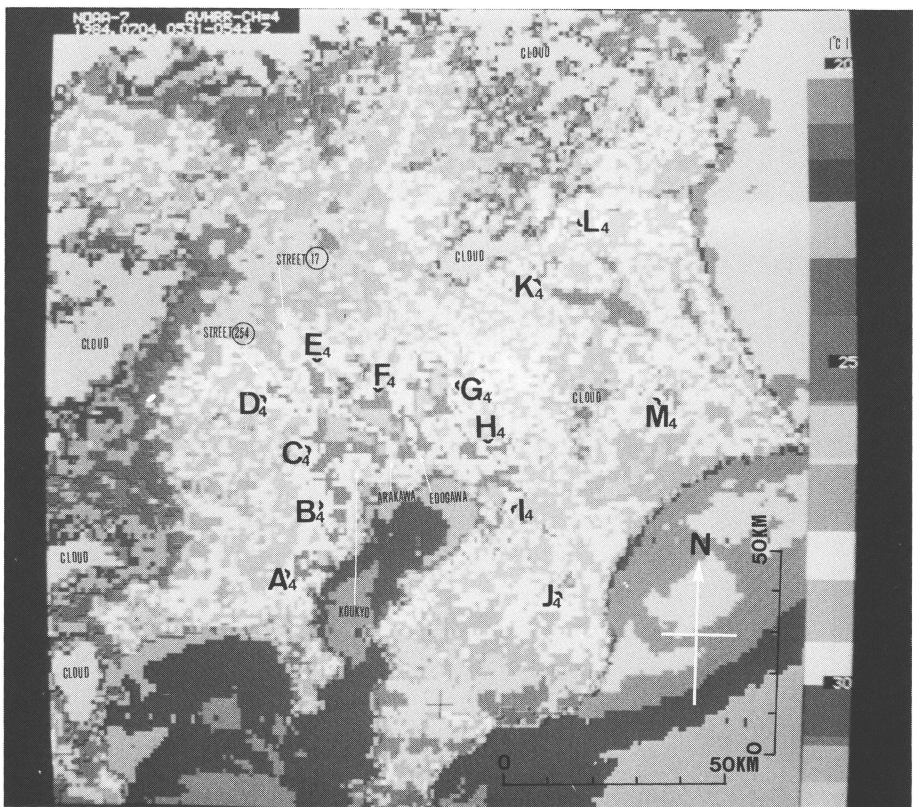


写真4 写真1と同じ、但し、赤外画像で波長 $10.5\sim 11.5\mu\text{m}$ 、又、 A_4 、 B_4 、 D_4 、 E_4 、 H_4 、 $J_4\sim M_4$ ($30\sim 31^\circ\text{C}$)、 C_4 、 F_4 、 G_4 ($31\sim 32^\circ\text{C}$)。