

NOAA-6 AVHRR による都市ヒートアイランドの検出*

土 屋 巖**

1. はじめに

人工衛星に搭載した熱赤外センサーによって、局地気流系に影響を与える都市ヒートアイランドを検出する試みがいくつかあった。分解能 7.4 km の ITOS-1 によるもの (Rao, 1972), NOAA-3 および -5 の分解能 1.1 km を使用したもの (Carlson *et al.*, 1977; Matson *et al.*, 1978, 1980), そして分解能 500 m の HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) を用いたもの (Price, 1979) などである。

人工衛星の地表熱データが CCT (Computer Compatible Tape) で得られたとき、輝度温度 T_{BB} に変換したうえで、真の地表温度 T_s を、

$$T_s = T_{BB} + \Delta T$$

によって求めることが多い。 ΔT は大気補正量とも呼ばれ、 T_{BB} 、可降水量および衛星天頂角の関数として求められる。しかし、田中ほか (1981) の例にも見られるように、可降水量の算出とその地域的代表性の仮定には、かなりの無理あるいは困難が存在し、大気中のエアロゾルその他の要因も加わって、真の ΔT を求めることはかなり難しい。他方、地表温度の実測資料が十分あるときは、それらを照合資料 (ground truth data) として、CCT 数値から T_s に換算する回帰式を作成する方法が実用的手段として提案できる。

航空機利用の熱赤外データの解析で、地上の照合資料に基づいた T_s の算出によって良い結果の得られた例があった (大嶋ほか, 1976; 土屋・松戸, 1977)。ここでは実測資料によって回帰式を作成する手法を NOAA-6 の AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) の熱赤外データに適用した。

AVHRR は日本気象協会から、気象庁が受信処理した CCT のコピーの形式で入手できるが、その第 4 チャンネルは波長 10.5~11.5 μm のいわゆる大気の窓領域であり、NE ΔT (Noise Equivalent differential Temperature) は 300 K に対して、0.12 K である (Lauriston *et al.*, 1977)。衛星真下の分解能 1.1 km は、ひまわりの 5 km より高く、HCMM が日本周辺を走査していない現状では、定常的に入手できる高精度広域地表熱データであるといえる。

照合資料としての実測値には、船舶の定時 (00 Z と 12 Z) 気象通報式に含まれる表層水温を地表温度とみなして使うが、単純化のために 10°C 前後の温度幅の範囲では、次に示すように、CCT 数値との間で単回帰式が成立するものと仮定した。

2. 1981年4月23日夜の東京のヒートアイランド

都市ヒートアイランドは典型的に発現した場合、特に夜から明けがたにかけてであるが、都心と郊外で数°C以上の気温差が発生する。気温と地表温度が同じになるとは限らないが、NOAA-6 の NE ΔT の数10倍であり、都心と郊外の地表温度 T_s の差として、かなり明白に表現できる可能性がある。この場合、 T_s の絶対値の精度よりも、都心と郊外の T_s の差の精度が重要である。

1981年4月23日を中心とする数十時間は、LANDSAT 画像その他によって、関東地方が快晴であり、東京を中心とした数十 km 四方以上の範囲にほとんど雲がないと判定できたので、夜間の都市ヒートアイランドが顕著に発生したことを検出できる可能性があった。

前述の船舶気象通報の海水温として、23日9時の印刷天気図資料欄記載の三陸沖と日本海 (低温水域として) と四国南方 (高温水域) のものを用い、それら海面に対応する NOAA-6 の CCT 数値との間に単回帰の関係が成立するとみなして (土屋, 1981),

$$T_s = -0.14T_c + 73.7 \quad (1)$$

* Detection of an urban heat island from the NOAA-6 AVHRR data.

** Iwao Tsuchiya, 国立公害研究所.

—1982年1月22日受領—

—1982年3月19日受理—

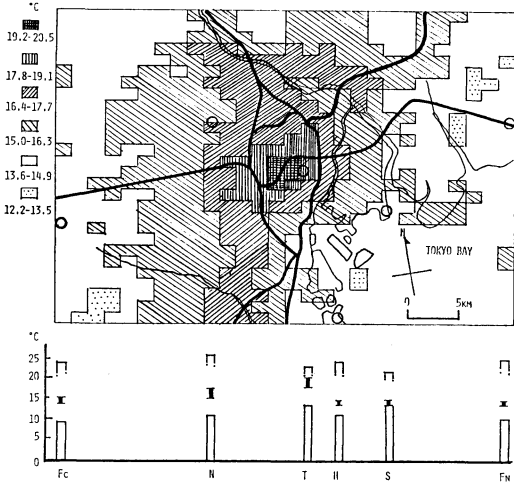
を得た。ここで地表（水面も含む）温度 T_s は $^{\circ}\text{C}$ で表現し、 T_c は CCT 数値である。この回帰式の妥当性は、NOAA-6 の通過時刻の8時の琵琶湖の水温測定値との照合によって確かめたが、6点の測定値 9.6, 10.7, 12.8, 10.6, 10.0 および 11.6°C に対し、算定値はそ

れぞれ 10.0, 11.4, 12.8, 11.4, 10.0 および 11.4°C であって、相関係数は 0.93 である。測定値は $1\sim 2\text{ km}^2$ の表面水温を代表するものとみなし、衛星算定水温 T_s はその水域に対応する画素の CCT 数値の中央値を T_c として (1) 式によって求めたものである。

なお、NOAA-6 画像の各画素についての地理的位置確認は、軌道が LANDSAT のように規則性がわかりやすくはなっていないので困難であるが、ここでは陸と海の境界が明白になる部分を基準にして、距離や方位を作図的に求めて、画像上の位置を地図に移した。広い地域では精度は落ちるが、数十 km の範囲では $1\sim 2\text{ km}$ の誤差になるとみられる。

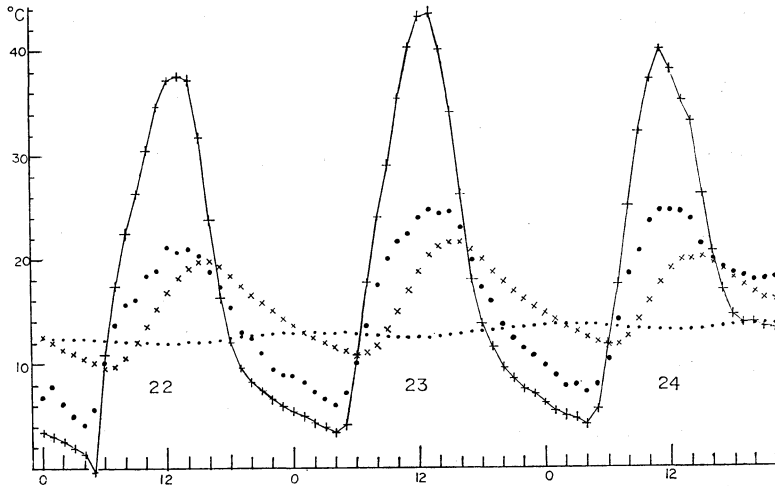
第1図は、NOAA-6 の軌道番号 9467, 1981年4月23日 19時31分日本上空（九州）を通過したものをを用い、(1) 式によって求めた東京周辺の地表温度の分布図である。都市の放射率は全体として、 $0.85\sim 0.95$ の範囲と考えられ (Oke, 1978), 水のはほぼ1.0よりやや低い程度で、放射率による T_s の補正は、 $NE\Delta T$ より小さいものといえる。また、都心と郊外の T_s の差を検出するのが目的であるため、(1) 式をそのまま適用した。図化に際して、CCT 数値を10ずつに区切ったため、温度区分は 1.4°C ごとである。メッシュが南北 1.1 km , 東西 1.6 km になっているのは、高度 833 km の衛星の軌道が九州上空にあるための東西の東京付近における伸びを、1画素に対応させたためである。

山手線に囲まれた都心部と周辺の船橋市や府中市など



第1図 NOAA-6 による東京周辺の地表面温度分布 (1981年4月23日19時30分)。

地域気象観測所 (○印, Fc 府中, N 中新井, T 東京管区気象台, H 羽田空港, S 新砂, Fn 船橋) については下段に23日最高気温, NOAA-6 算定地表面温度, 24日最低気温を上より順に示す。黒太線は国鉄を示す。



第2図 国立公害研究所（筑波）構内の地表面温度 (+), 気温 (●), および地中温度 (x—10 cm, ●—30 cm) の日変化 (1981年4月22~24日)。

の郊外地区との間には 5~8°C の温度差があり、都市ヒートアイランドが検出できた。なお、図には気象庁地域気象観測所の位置を記入し、その下部に各観測所の23日最高気温と24日最低気温を示した。最低気温に関してはヒートアイランド現象のあったことを示唆しているが、最高気温については判然としない。23日8時のNOAA-6についての第1図と同様の解析でも、都市部は高温であったが、日射の影響が強くなったと思われる高温部が都市以外の裸地や東向き斜面に現われており、島状になるヒートアイランドの形にはなっていなかった。時刻に数時間の差があるが、日中の気温分布でヒートアイランドが検出されにくいことを反映しているとも言える。

3. 地表温度と気温について

筑波(東京の北東約 60 km)のような郊外地区の、地表温度と気温との関係によって都市ヒートアイランドを外側から解明することも有効と考えられる。1978年5月以来の赤外放射温度計その他による観測を通年自動測定の実施している(土屋, 1979)、その記録に基づいて、1981年4月22日から24日までを、気温・地中温度とともに第2図に示した。23日の場合、午後2時を過ぎると、気温がまだ最高のものに近いのに、地表温度は急激に低下し、18時過ぎの日没までに約 30°C 下がって、衛星通過時刻には気温より約 4°C 低くなっている。大都市中心部の地表温度連続記録は知られていないが、地表の乾燥化と発熱などの人間活動によって、地表温度の低下量が少ないとすることが、気温が最低になる6時頃よりも10時間も前から、ヒートアイランド現象検出の説明となる。移流が少ない場合の気温は地表温度の変化についていくので、地表温度の時間的推移や分布の実態を知ることが、ヒートアイランド現象の解明にとって重要である。この短報では、NOAA-6による熱探査がそれを可能にしていることを示した。

文 献

- Carlson, T.N., J.N. Augustine and F.E. Boland, 1977: Potential application of satellite temperature measurements in the analysis of land use over urban areas, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **58**, 1301-1303.
- Lauriston, L., G.J., Nelson and F.W. Porto, 1979: Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers, NOAA Tech. Mem. NESS-107. 58+15 pp.
- Matson, M.E., P. McClain, D.F. McGinnis, Jr., and J.A. Pritchard, 1978: Satellite detection of urban heat islands, *Monthly Wea. Rev.*, **106**, 1725-1734.
- Oke, T.R., 1978: Boundary layer climates/齋藤・新田 訳 (1980): オーク境界層の気候, 朝倉書店, p. 217.
- 大嶋太市, 力丸 厚, 今関辰夫, 岩切 徹, 土屋 巖, 1976: 赤外熱映像による環境調査の基礎研究, 第2回リモートセンシングシンポジウム資料(計測自動制御学会), 61-64.
- Price, J.C., 1979: Assessment of the urban heat island effect through the use of satellite data, *Monthly Wea. Rev.*, **107**, 1554-1557.
- Rao, P.K., 1972: Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **53**, 647-648.
- 田中総太郎, 杉村俊郎, 木村 宏, 中山裕則, 二宮 泰, 1981: NOAA-6 による関西・中部地方の季節別地表温度分布地図作成と地理学的考察, *日本リモートセンシング学会誌*, **1**, 35-48.
- 土屋 巖, 松戸 修, 1977: 航空機熱映像を用いた地表環境変化の微細解析, 第3回リモートセンシングシンポジウム資料, 115-118.
- , 1979: 地表面温度とヒートアイランド現象, 1979年度春季大会講演予稿集(日本気象学会), 77.
- , 1981: NOAA-6 と LANDSAT の組合せによる環境情報の抽出, 第7回リモートセンシングシンポジウム資料, 181-184.