

人工衛星を用いた名古屋市の地表面温度の測定

久恒 邦裕

Measuring Surface Temperatures in Nagoya City Using Satellites

Kunihiro Hisatsune

気候変動に対して緩和と適応の対策が取られているが、特に適応について、地域の実情に即した対応が必要となる。しかし、気候変動の指標である気温は限られた地点で測定されており、様々な環境の詳細を把握することは困難である。そのため、人工衛星によるリモートセンシングで地表面温度 (LST) を面的に把握する試みがある。今回は名古屋市の LST を人工衛星データから算出し、夏季と冬季に分けて調査した。全期間において、緑地や田園等で LST が低かった。また、昼間には高層建築物の多いところでは LST が低下しており、建物の影の影響が確認できた。一方、夜間の LST を見ると、繁華街や高層建築物が立ち並ぶ地域で高くなっており、ヒートアイランドの影響が顕著に現れた。

はじめに

気候変動は世界的な環境問題であり、その影響は地球全体に現れている。その対策としては、＜緩和＞と＜適応＞の、大きく二つの方針がある。国では、省エネや再生可能エネルギーの活用等を目的とする＜緩和＞には地球温暖化対策推進法を定め、熱中症や災害等の対策などを目的とした＜適応＞には気候変動適応法で対応している。名古屋市でも“低炭素都市 2050 なごや戦略第2次実行計画”¹⁾において、＜緩和＞対策として温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 2030 年度までに 27%削減を中期目標として掲げている。また、＜適応＞対策についても、国の策定した適応計画を踏まえ、より地域の実情に根差した取組を取りまとめている。＜適応＞対策は、上記の通り地域で影響や可能な取り組みが異なることから、気候変動の実態を地域ごとに細かく把握することが前提となる。

また、温室効果ガスによる気候変動とは別で、都市部の気温 (Air Temperature: 以降、AT) については、以前よりヒートアイランド現象の影響が指摘されている (たとえば、名古屋については大和田ら²⁾)。ヒートアイランドとは、人口が密集した都市部において、郊外よりも AT が高くなる現象であり、Howard³⁾によりロンドンでの実態が示されて以降、世界各地で報告されている。ヒートアイランドは数 km レベルでの AT 変化が議論されており、実態解明には詳細な AT の把握が必

要である。

気候変動やヒートアイランドの影響として筆頭に挙げられるのが AT であり、各地域の実態を把握するためには、上記の通り詳細な AT の測定が必要となる。一般的に AT のデータとして用いられるのは地域気象観測システム (以降、アメダス) で測定されたデータだが、観測地点はおおむね 17 km 間隔で設置されている⁴⁾。複数の市町村毎に 1 か所設置されているのが現状であり、名古屋市内においても 1 か所のみである。そのため、市内の分布を把握することはできない。名古屋市の土地は、おおむね住宅や商業施設などが占めるが、東部に緑地が点在し、南部には工場地帯が広がり、西部には田園地帯も有する。このような多岐にわたる環境を、1 か所で代表するのは困難であり、本来は多地点での観測が望ましい。しかし、コスト等を勘案すると、当該体制を整備することは難しい。

面的な観測を行う手法として、近年、リモートセンシングが注目を集めている。リモートセンシングとは“調査対象の物体、地域、現象に接触していない装置によって取得されたデータの分析を通じて、その物体、地域、現象に関する情報を得る科学と技術”⁵⁾で、広義では目視による対象の観察などが挙げられるが、一般的には飛行機や人工衛星などを用いて上空から地上を観測したり、船舶等によって海底などを調査したりする手法を指す。飛行機や人工衛星によるリモートセンシングでは、可視光領域の波長に加えて多くの波長に

よる調査が行われており、その特性に応じた様々な情報が収集されている。その一つに地表面温度 (Land Surface Temperature: 以降, LST) があり、主として 10 μm 付近の熱赤外領域の波長を使用している。

LST と AT の関連について、Muramatsu et al.⁶⁾は日射と LST および AT の変動を、地表面状態と併せて解析してその関係性を明らかにしている。また、Tao et al.⁷⁾は中国における山岳部および都市部の LST と AT を比較し、さらに都市部のヒートアイランド現象について解析している。都市部を解析したものとしては、村本ら⁸⁾が衛星データで東京都内のヒートアイランド現象を解析した報告がある。いずれも、LST と AT には一定の相関が認められ、LST を用いた解析の有効性が明らかとなっている。

そこで、本検討では人工衛星の観測データを用いて、名古屋市の LST について解析を行い、ヒートアイランド現象の観測や AT との相関を確認した。

方 法

1. 人工衛星データ

本検討で用いたデータは、気候変動観測衛星しきさい (GCOM-C) の地表面温度プロダクト (レベル 2) を使用した。しきさいは、数日に 1 度同じ軌道を通り、現地時間午前 10 時半前後または午後 10 時半前後に上空を通過して観測している。そのため、以降に示す日中および夜間のデータは当該時間のものとなる。データの解像度は約 250 m 四方で 1 ポイントとなる。

データは地球観測衛星データ提供システム (G-Portal)⁹⁾からタイル番号 0529 のデータをダウンロードし、緯度経度投影を行い、LST 計算等に用いた。緯度経度投影は、ハンドブック¹⁰⁾に従い、以下の式を用いた。

$$d = 180.0 / \text{lin}_{\text{tile}} / \text{vtile}_{\text{num}}$$

$$NL = 180.0 / d$$

$$NP_0 = 2 \times \text{NINT} [180.0 / d]$$

$$\text{lin}_{\text{total}} = \text{lin} + (\text{vtile} \times \text{lin}_{\text{tile}})$$

$$\text{col}_{\text{total}} = \text{col} + (\text{htile} \times \text{col}_{\text{tile}})$$

$$\text{lat} = 90.0 - (\text{lin}_{\text{total}} + 0.5) \times d$$

$$NP_i = NP_0 \times \cos(\text{lat})$$

$$\text{lon} = 360.0 / NP_i \times (\text{col}_{\text{total}} - NP_0 / 2 + 0.5)$$

ここで lin_{tile} は縦方向の 1 タイルの画素数、 $\text{vtile}_{\text{num}}$

は縦方向の総タイル数、 lin は画素の縦方向の画素番号、 vtile は縦方向のタイル番号、 col は画素の横方向の画素番号、 htile は横方向のタイル番号、 col_{tile} は横方向の 1 タイルの画素数、 lat は求めたい緯度、 lon は求めたい経度である。また、 $\text{NINT} []$ は四捨五入・整数化の処理を意味する。

人工衛星によるリモートセンシングデータは、雲によって阻害されるため、観測時に雲がある地点はデータが欠測となる。そのため期間平均を計算する際には、地点ごとにデータ数にばらつきが発生するが、今回はそのまま単純平均を計算した。

後に示す図において、一部データの抜けている点 (白い点) があるが、そこはデータが無いポイントであり、なんらかのセンサーの異常が考えられる。

計算処理および解析は Python (ver. 3.9.7)¹¹⁾ および R (ver. 4.1.3)¹²⁾ を用いて行った。

2. 気象データ

気象のデータは、気象庁の Web サイト¹³⁾からダウンロードした。

3. データ解析対象期間

解析は 2021 年度のデータを使用した。夏季のデータは 7 月から 9 月を、冬季のデータは 12 月から 2 月を採用した。本検討では、晴天の日を対象として LST データを収集するため、その判定を気象庁のデータで行った。日中のデータは、9 時から 12 時のうち 8 割以上の時間で日照が確認された日を対象とした。夜間は、日中に暖められた LST の影響を反映させるため、12 時から 16 時のうち、8 割以上の時間で日照が確認された日を対象とした。

4. 土地利用区分データ

LST の分布を土地利用と比較するため、国土数値情報で公開されている土地利用細分メッシュデータ (平成 28 年版, 世界測地系)¹⁴⁾を使用した。土地利用種別は簡略化し、田およびその他の農用地を<田・畑>、森林を<緑地>、建物用地を<建物用地>、河川地及び湖沼、海浜および海水域を<河川・海>とし、その他の種別をまとめて<その他>で示した。

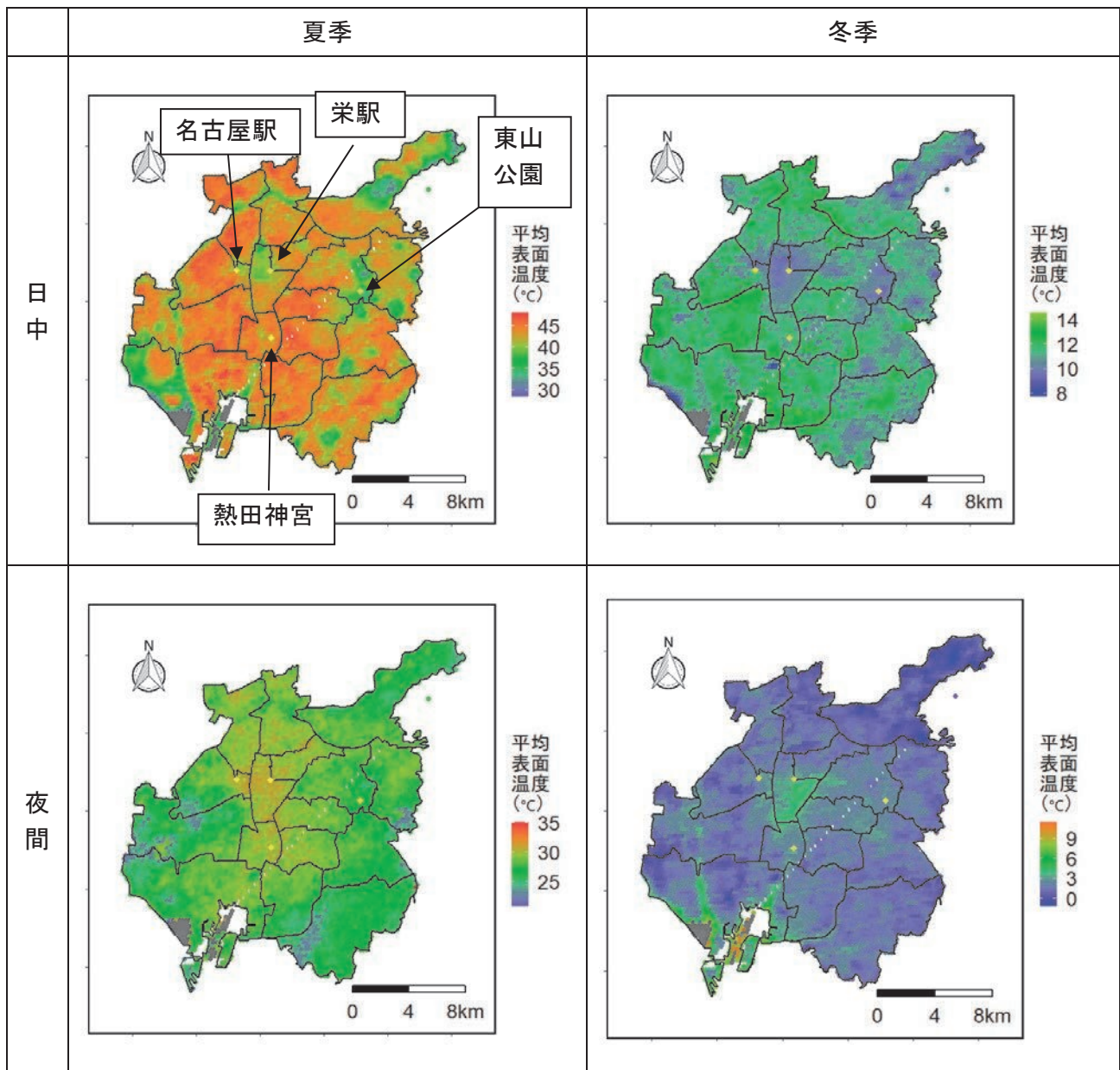


図1 平均化した名古屋市の地表面温度

結果と考察

1. 名古屋市内の LST

解析対象は、夏季の日中が 24 日間、夜間は 34 日間で、冬季はそれぞれ 14 日間、30 日間となった。

図1にそれぞれの期間で平均化した LST を図示した。暖色系の色は相対的に高温であることを示し、寒色系の色は相対的に低温であることを意味する。地図には繁華街や緑地の位置の目安となる施設 (名古屋駅、栄駅、東山公園および熱田神宮) を黄色の点で示した。

全体的な温度が最も高かったのは夏季の日中になる。おおむね 40℃以上を示したが、一部 30℃後半の

範囲が局所的に確認された。一部の低温域の状況を確認するため、土地利用データを図2に示した。両者を比較すると LST が低温を示した地域は<田・畑>や<緑地>および<河川・海>となっており、土地利用状況が LST に大きく影響していることが明らかとなった。それらの地域は周辺と比較してもおおむね 5℃以上の差が見られ、重要なクールスポットとして機能していると考えられる。しかし、栄駅の西側には目立った緑地が存在しないにもかかわらず、LST は低い値を示した。さらに詳細に確認するため、当該地域を拡大したのが図3である。位置の参考として名古屋城、名古屋駅、白川公園および栄駅の場所を黄色の点で示した。名古屋城の北側には名城公園があり、その周辺の低い

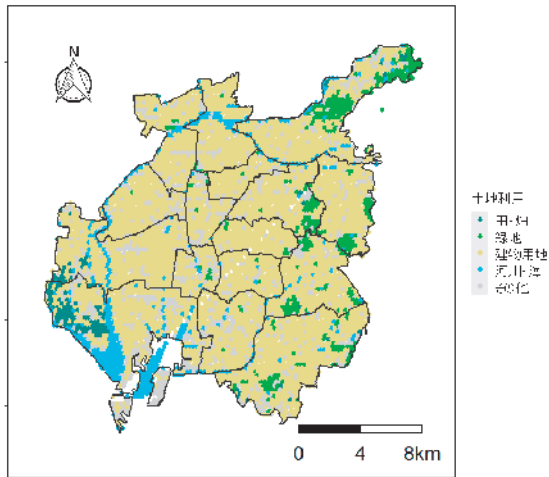
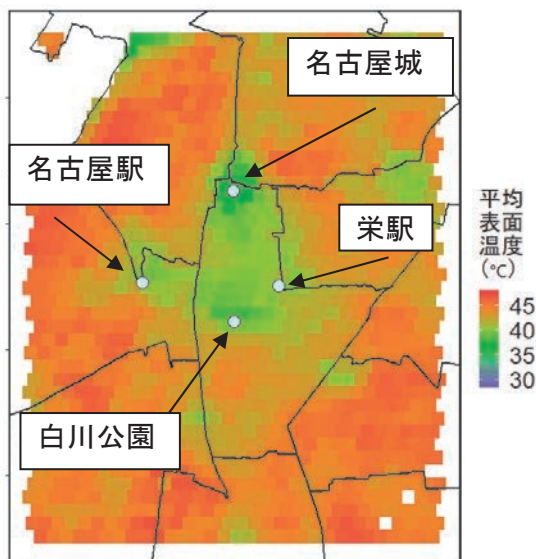


図2 土地利用データ

LSTは植生によるものだと考えられる。しかし、名古屋駅や栄駅で挟まれた地域はビルが立ち並ぶ繁華街・オフィス街であり、アスファルトやコンクリートの影響で高温になりやすい環境だが、実際には上記のようにLSTは低かった。そのため、当該地域の低いLSTは建築物によってできた影の影響だと推察される。先行研究¹⁵⁾においても同様の現象が観測されており、一般的に、日中においてはこのような地域も影によるクールスポットが発生している。

一方、夏季の夜間は図3でみた名古屋駅から栄駅にかけての地域で高いLSTが観測された。日中に緑地等で見られたクールスポットの地域は、おおむね平均的な温度(30℃以下)が観測されているのに対し、図3で示した地域は周辺と比較してLSTが高く、いわゆるヒートアイランド現象が観察された。これは、日中に

図3 平均化した名古屋市の地表面温度
(夏季の日中)の拡大図

影をつくったコンクリートの建築物が蓄熱し、その熱が夜間に放出された影響と考えられる。

冬季の日中は、全体的なLSTは低いものの、相対的にLSTの高い地域や低い地域の配置は夏季と同様であり、田・畑、緑地や河川・海に加えて、名古屋駅から栄駅にかけての地域で低いLSTが観測された。

一方、冬季の夜間は名古屋駅から栄駅にかけての地域で相対的に高いLSTが観測されており、夏季と同様にヒートアイランド現象が確認された。なお、この期間では河川・海に該当する部分も高いLSTが観測された。これは比熱容量の高い水($4.1 \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-1}$)¹⁶⁾が、比熱容量の低いアスファルト($1.42 \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-1}$)¹⁷⁾やコンクリート($2.07 \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-1}$)¹⁷⁾と比較して温度低下が緩やかなためと考えられる。

2. 名古屋地方気象台のLSTとATの比較

名古屋地方気象台で観測されたATと、地域周辺のLSTを比較するため、両者の散布図を図4に示した。

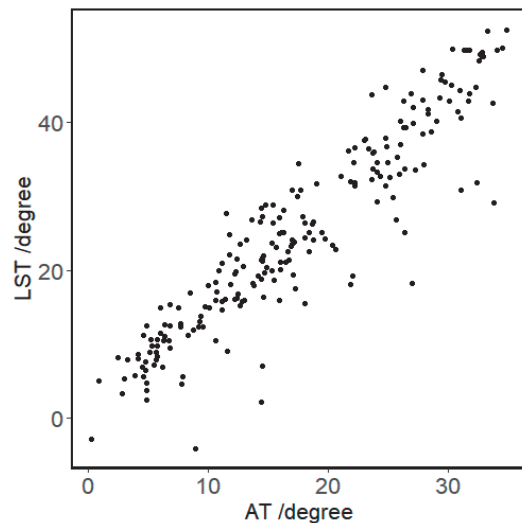


図4 名古屋地方気象台のLSTとATの比較

直線回帰分析の結果は、傾き1.4で切片が1.1となった。決定係数は0.89を示し、両者には強い相関が認められた。Tao et al.⁷⁾が中国の都市部で測定したLSTとATの比較でも決定係数が0.931と報告されており、同様に高い相関が報告されている。このことから、LSTからATを推定できる可能性が示唆された。ただし、図2で示す通り土地利用状況は多岐にわたり、推定時にはそれらの条件も考慮する必要があると考えられる。

ま と め

気候変動観測衛星しきさいのデータから算出した LST を用い、名古屋市内の分布について解析を行った。日中、緑地や河川などは年間を通して周辺よりも LST が低かった。都心部も LST が低くなったが、これは建物の影の影響だと考えられる。一方、都心部では夜間には周辺よりも LST が高くなり、ヒートアイランド現象が確認できた。

名古屋地方気象台における LST と AT を比較したところ、両者には強い相関が確認できた。

謝 辞

LST データ (GCOM-C で測定されたデータから計算された LST データ) は、宇宙航空研究開発機構より提供を受けました。土地利用データは「国土数値情報」(国土交通省) をもとに作成しました。ここに謝意を表します。

文 献

- 1) 名古屋市：低炭素都市なごや戦略第2次実行計画，p. 32-99 (2018)
- 2) 大和田道雄，大和田春樹編：都市環境の気候学，p. 43-60，古今書院（東京）(2018)
- 3) Haward, L.: Seven Lectures on Meteorology, Cambridge University Press (Cambridge) (1837)
- 4) <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html> (2023年9月29日アクセス)
- 5) Lillesand T, Kiefer R, Chipman J.: Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley (Chichester) (2004)
- 6) K. Muramatsu, Y. Kikuoka, M. Daiigo, N. Fujiwara : The Diurnal Time Series Relationship between Surface/Air Temperature and Global Solar Irradiance, J. Remote Sens. Soc. Japan, 21, 410-422 (2001)
- 7) Tao Sun, Ranhao Sun : Liding Chen, The Trend Inconsistency between Land Surface Temperature and Near Surface Air Temperature in Assessing Urban Heat Island Effects, Remote Sens., 12, 1271-1283 (2020)
- 8) 村本 準，羽柴 秀樹：高分解能衛星画像と LANDSAT8/TIRS画像による都心域の詳細土地被覆と熱環境の分析，土木学会論文集F3 (土木情報学)，72，II23-II23 (2016)
- 9) <https://gportal.jaxa.jp/gpr/?lang=ja> (2023年9月29日アクセス)
- 10) 宇宙航空研究開発機構：気候変動観測衛星「しきさい」 (GCOM-C) データ利用ハンドブック 初版，4-15 (2018)
- 11) Python Software Foundation: Python Language Reference (2021), Available at <https://docs.python.org/3/reference/index.html>
- 12) R Core Team.: R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2022). URL <https://www.R-project.org/>.
- 13) [https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php\(2023年9月8日アクセス\)](https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php(2023年9月8日アクセス))
- 14) <https://nlftp.mlit.go.jp/index.html> (2023年9月8日アクセス)
- 15) 中山裕則，高田雅仁：衛星熱赤外データによる東京都市圏の地表温度分布特性の分布，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，54，53-62 (2019)
- 16) https://tpds.db.aist.go.jp/prop_mat_summary_j.html, (2023年9月29日アクセス)
- 17) 浅枝隆，藤野毅：舗装面の熱収支と蓄熱特性について，水文・水資源学会誌，5，3-7 (1992)

