

# 人工衛星を活用した名古屋における夏季の気温の測定

久恒 邦裕

## Measurement of Summer Temperatures in Nagoya Using Artificial 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、近年では人工衛星によるリモートセンシングで得られた面的データを活用する試みがある。今回はリモートセンシングデータ等を入力データにし、機械学習を用いて名古屋市の夏季の気温推定を行った。手法はニューラルネットワークとランダムフォレストを用いた。両手法で得られた結果を比較したところ、ランダムフォレストの方が推定能力は高かった。推定した気温は、午前中で名古屋市全域において30度を超過しており、酷暑の様子が明らかとなった。地理的には東側でやや高い傾向が示され、この影響はエアロゾル光学的厚さの傾向と類似していた。

### 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<sup>1)</sup>」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<sup>2)</sup>)。ヒートアイランド現象とは、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、Howard<sup>3)</sup>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。ヒートアイランド現象は地上数 km の範囲の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現象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<sup>4)</sup>。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<sup>5)</sup> 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<sup>6)</sup>で、広義では目視による対象の観察なども含まれるが、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  $\mu\text{m}$  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.<sup>6)</sup>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.<sup>7)</sup>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<sup>8)</sup>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。

筆者は以前、名古屋市内の LST の分布について報告を行っている<sup>9)</sup>が、前述のとおり LST と AT には密接な関連がある。そこで今回は LST を含めた情報を入力値として、非線形な回帰が可能な機械学習によって AT の推定を行う方法について検討した。

## 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 時半前後に上空を通過して観測している。そのため、以降に示すデータは当該時間のものとなる。データの解像度は LST が約 250 m (0.002 degree) 四方で、エアロゾル光学的厚さ (以降, AOD) で約 1 km (0.008 degree) 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)<sup>10)</sup>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。詳細な方法は、ハンドブック<sup>11)</sup>および既報<sup>9)</sup>の手法を用いた。

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。

人工衛星データの処理は Python (ver. 3.9.7)<sup>12)</sup>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<sup>13)</sup>からダウンロードした。

### 3. データ解析対象期間

解析は 2025 年度のデータを使用した。夏季のデータは 6 月から 9 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。

### 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)<sup>14)</sup>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。

### 5. 標高データ

各地点の標高データは、標高・傾斜度 5 次メッシュデータ<sup>14)</sup>を使用した。データは 2011 年に整備されたものを使用した。

### 6. 気温の推定方法

気温の推定には、機械学習の一つであるニューラルネットワーク (以下, NN) または、ランダムフォレスト (以下, RF) を用いた。計算ソフトは R version 4.4.0<sup>15)</sup>を使用した。機械学習は caret (ver. 7.0.1) を使用し、データの前処理等についても、適宜必要なパッケージを使用した。

入力値はリモートセンシングで取得した LST と AOD の他、土地利用状況、標高および湿度を用いた。教師データは、GCOM-C データのタイル番号 0529 に含まれる気象観測所における上記のデータを用いた。当該範囲は、おおむね宮城県気仙沼市付近から長崎県

長崎市付近までを結ぶ直線よりも南側の領域（ただし、沖縄県は除く）となっており、東北以南の太平洋側の地域および中央アルプス等の山岳地帯を中心とした地点が、学習データに含まれる。ただし、富士山については予備検討でデータの特徴が大きく異なることが判明したため、排除した。また、範囲内であっても、天候により衛星データが取得できていない地点は除外したため、日によって採用した地点は異なる。

気象観測所近辺の LST については、データが紐づけされている緯度経度と比較して、気象観測所と緯度経度の差の合計が 0.005 度未満の地点のデータを、気象観測所における LST および AOD として採用した。また、気象データについては、人工衛星の通過速度が経度方向で一定であると仮定し、気象観測所ごとに通過時間を計算し 10 分値データで最も直近のものを採用した。そのため、各地点において採用した気象データの時間は異なる。

学習期間は今回の推定期間と同じ 2025 年 6 月 1 日から 9 月 30 日までを使用した。

データはランダムに選出した 8 割を訓練データとし、残りをテストデータとした。テストデータを用いた推定能力の評価としては、決定係数（以降、 $R^2$ ）および二乗平均平方根誤差（以降、RMSE）を用いた。

## 結果と考察

### 1. 教師データの AT と LST について

6 月 1 日から 9 月 30 日までの教師データについて、AT と LST の関係性をグラフで図 1 に示した。図中の破線は、1 : 1 の関係性を示す。データは地点の重複を

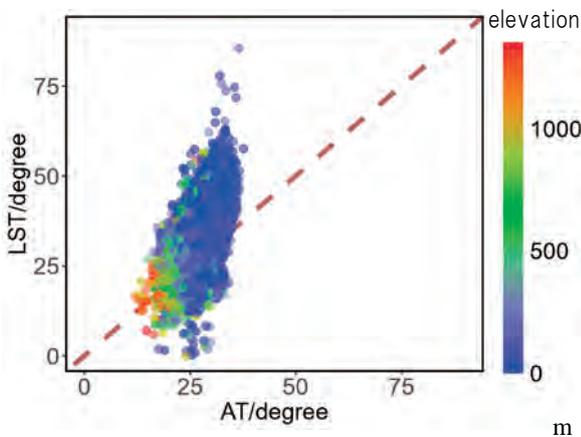


図 1 気象台における AT（気温）および LST（地表面温度）の比較

含む 17719 データをプロットした。また、各地点の標高をプロットの色で示した。AT に対しては LST が高くなることが多く、単回帰分析では傾き 1.50、切片 -6.84 となった。以前報告した、名古屋地方気象台における AT と LST の比較<sup>2)</sup>では、傾き 1.4、切片が 1.1 となっており、傾きについて同等の結果であった。

標高については、高くなるにつれて AT : LST = 1 : 1 の線に近づく傾向が示された。

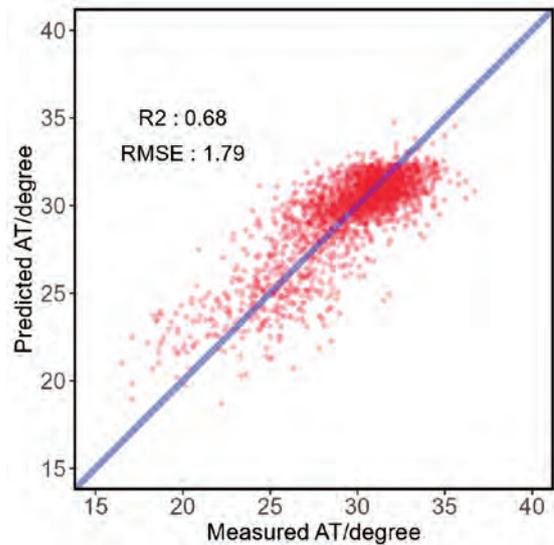


図 2 気象台における気温の測定値および推定値の比較 (NN)

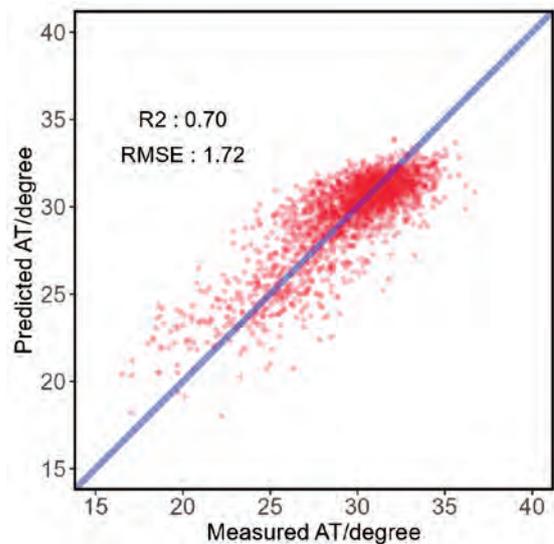


図 3 気象台における気温の測定値および推定値の比較 (RF)

## 2. ATの推定結果について

テストデータのATの推定結果について、NNでの結果を図2に、RFでの結果を図3に示した。

データは1:1の線の周りに集まり、R2はNNで0.68、RFで0.70となりRFの方がやや高くなった。またRMSEはNNが1.79、RFで1.72、わずかながらRFの性能が高かった。プロットを見ると、NNで推定したATの方が頭打ちとなっており、高温時の推定が難しいと考えられる。総合的に勘案して、今回の結果ではRFでやや性能が高かった。

推定性能はランダムに選出される訓練データに依るので、妥当性を評価するため当該過程を450回繰り返した場合のR<sup>2</sup>およびRMSEの比較を箱ひげ図で図4に示した。RFの方はR<sup>2</sup>が大きくRMSEが小さくなり、精度が高いことが示された。

両手法の差異の有意性を検証した。前処理としてデータの正規性および等分散性の検定を行ったが、有意水準0.05でクリアしなかった。そのため、R<sup>2</sup>とRMSEのデータに対しては、ノンパラメトリックな手法であるウィルコクソン符号付順位検定を実施した。その結果、手法の違いにより、中央値にはいずれも有意な差が認められ (R<sup>2</sup>: V=0, p=<2.2e-16, 95% CI[-0.029, -0.027], RMSE: V=101475, p=<2.2e-16, 95% CI[0.081, 0.087]), 手法としてのRFの優位性が確認できた。

## 3. 名古屋市内のATの推定結果について

名古屋市内の全域の推定気温 (predAT) を、RFによって推定した。推定時刻は10-11時頃で、晴天の日のみを抽出した6月から9月までの平均値を示している。LSTや標高データなどは各地点のデータを使用した。湿度は名古屋地方気象台のデータを全域に適用した。結果を図5に示した。

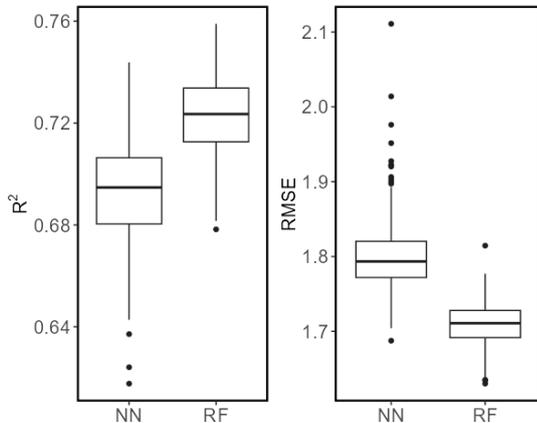


図4 NNおよびRFの推定精度の確認

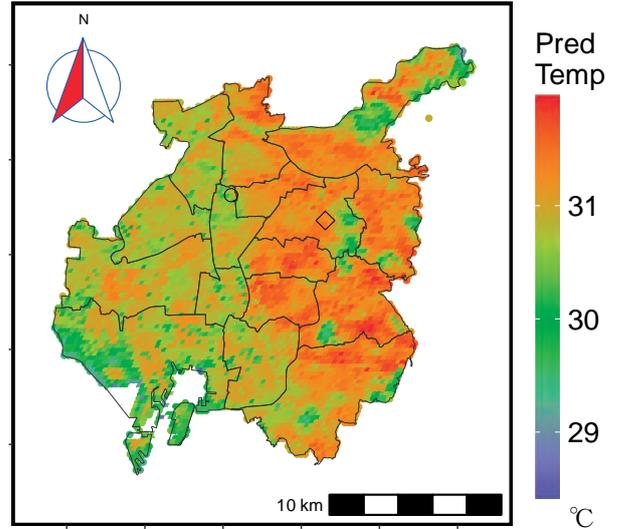


図5 名古屋市内全域の推定気温

昼前の段階で、すでにほとんどのところが30度以上となっており、早い段階でpredATが上昇していた。地理的には、おおむね中心を境に、東部で気温が高い傾向が示された。以前、名古屋の中心部に近い名古屋市役所西 (図5の○印) と郊外の名古屋地方気象台 (図5の◇印) で気温を比較したところ、日中は両地点の気温が同等またはやや郊外部が高くなる傾向が示されており<sup>16)</sup>、今回の結果と矛盾しない。

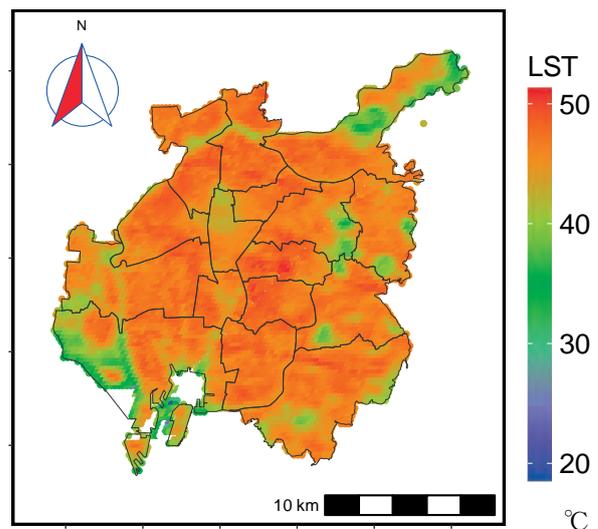


図6 名古屋市内全域のLST

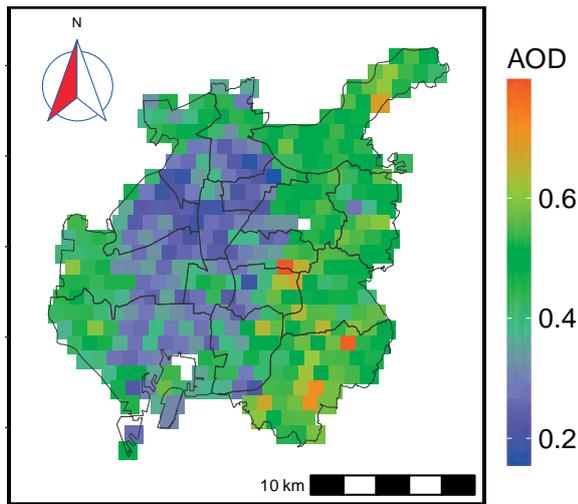


図7 名古屋市内全域のAOD

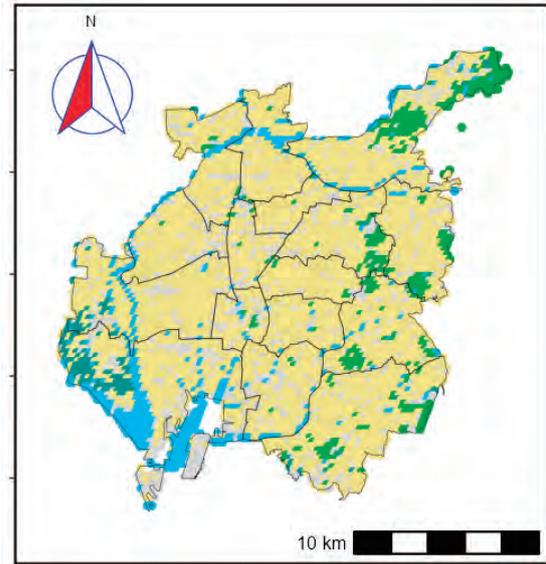
本検討ではRFを用いているので、入力データと出力データが単純な関係にはないので一概には評価できないが、入力データについても同様に検証期間の平均値を図に示した。

図6にはLSTの結果を示した。全体的に45度以上を示しており、一部の緑地等でクールスポットが点在することが確認できた。predATと比較すると、東西の傾向はみられなかった。

図7にはAODのデータを示した。AODデータは東部で高く西部で低い傾向が示された。日ごとのAODの分布のパターンは様々で、全市的にほぼ同じAODである日や、図7のように東西で勾配があるパターンが混在していた。そのため、常に図7のような状態にあるわけではないが、平均すると東西の勾配が明らかとなった。都心部である西側と比較して郊外の東側の方でAODが高い原因は、不明である。

AODの分布はpredATの傾向のパターンと類似しており、predATへの影響が示唆された。前述のとおり、RFではpredATとAODの関係を直接的に計算していないので単純な比較はできない。そのうえで考察すると、高いAODが物理化学的にpredATの上昇に直接影響しているのではなく、LSTの値が光学的に影響を受けていると考えられる。LSTは赤外領域の波長の強弱により測定されているため、大気中のエアロゾル等が多く電磁波が散乱されやすい場合、人工衛星に到達する電磁波が減少し、LSTが低く見積もられる可能性が高い。RFでは、当該影響が補正されたと推察する。

その他、図8には土地利用データを、図9には標高を示した。土地利用データは緑地等の影響がpredATと対応しているが、これはLSTでも同様であった。標高については、単純な影響は確認できなかった。



土地利用状況

- 農地
- 建物用地
- 緑地
- 河川・海
- その他

図8 名古屋市内全域の土地利用データ

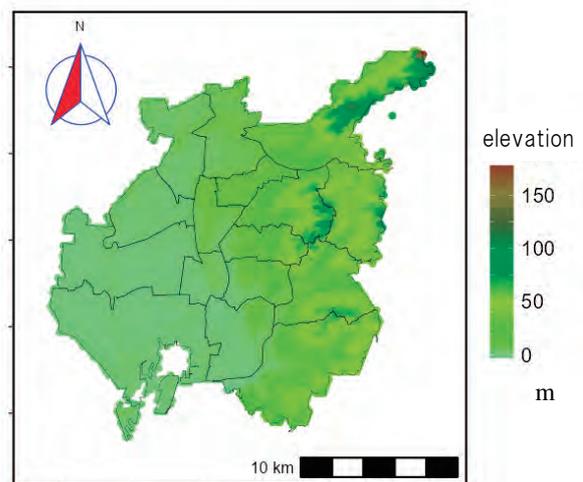


図9 名古屋市内全域の標高

## 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を基に、名古屋市内の夏季(6-9月)の気温分布について推定を行った。午前中にほとんどの地点で30度を超えており、夏季の厳しい高温が市内全域で確認できた。地域的には東部の方がやや高い傾向が示された。

## 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) Muramatsu K., Kikuoka Y., Daigo M. and Fujiwara N.: The Diurnal Time Series Relationship between Surface/Air Temperature and Global Solar Irradiance, J. Remote Sens. Soc. Japan, 21, 410-422 (2001)
- 7) Sun T., Sun R. and Chen L.: 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) 久恒邦裕, 人工衛星を用いた名古屋市の地表面温度の測定, 名古屋市環境科学調査センター年報, 12, 12-17 (2023)
- 10) <https://gportal.jaxa.jp/gpr/?lang=ja> (2024年10月7日アクセス)
- 11) 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)
- 12) Python Software Foundation: Python Language Reference (2021), Available at <https://docs.python.org/3/reference/index.html>
- 13) <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php> (2025年10月7日アクセス)
- 14) <https://nlftp.mlit.go.jp/index.html> (2025年10月7日アクセス)
- 15) R Core Team.: R : A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2024). URL <https://www.R-project.org/>.
- 16) 久恒邦裕, 名古屋市内の中心部および郊外部における気温の比較(第2報), 名古屋市環境科学調査センター年報, 11, 14-19 (2022)