

都市気象官署における長期気温上昇率の時刻別・気象条件別評価 —JRA-55 データを利用した 52 年間の解析—

Evaluation of Long-term Temperature Trends at Urban Meteorological Stations in Japan with Respect to Time of the Day and Weather Conditions: Analysis Using the JRA-55 Data.

工藤佳奈子*1 藤部文昭*2
Kanako Kudo Fumiaki Fujibe

*1 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba
(現所属: 日本気象協会 Present affiliation: Japan Weather Association)

*2 気象庁気象研究所 Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
(現所属: 首都大学東京 Present affiliation: Tokyo Metropolitan University)

Corresponding author: Fumiaki FUJIBE, ffujibe.bs@gmail.com

ABSTRACT

Data at 106 surface observation stations of the Japan Meteorological Agency and the Japanese 55-year reanalysis (JRA-55) for 52 years (1961 to 2012) were analyzed in order to evaluate urban-induced temperature trends with attention to the dependence on time of the day and weather conditions. Stations were categorized into four groups according to the population of municipalities in which they are located. For the nighttime of fine and weak wind days, the departure of observed surface temperature from the reanalysis 850hPa temperature, δT , has a positive trend which tends to increase with population, with values of 0.02–0.05 °C/year for the group of cities with population over a million. On the other hand, δT trends are generally small in the daytime and on days without sunshine. These features agree with the climatology of urban heat islands, which are enhanced in the nighttime under a fine and calm condition, indicating the influence of urbanization on long-term temperature trends at cities in Japan. However, δT trends have seasonal differences with larger values in spring and summer in comparison to autumn and winter, irrespective of time of the day and city population. This fact implies the contribution of some other factors than urbanization on δT trends, although their attribution will require further research.

キーワード: 気温トレンド, 都市高温化, JRA-55

Key Words : Temperature trend, Urban warming, JRA-55

1. はじめに

地球温暖化の進行に伴い、地球上の気温は長期的に上昇しつつある⁽¹⁾⁽²⁾。一方、都市の観測所ではヒートアイランドの進展に伴う気温上昇が加わる⁽³⁾⁽⁴⁾。後者を定量的に評価することは、地球温暖化をはじめとする広域的な気候変動の実態把握と、都市気象の実態把握の両方にとって重要である。

都市効果、すなわち都市のさまざまな熱収支変化による気温の上昇率を評価する方法の1つは、都市の観測所の気温と、近隣の都市化されていない場所の気温との差を調べることである。Fujibe⁽⁵⁾⁽⁶⁾はアメダス地点の気温上昇率とその周辺の人口密度との関係を調べ、人口密度の高い場所ほど気温上昇率の大きい傾向があること、また、無降水時や

弱風時のほうがその傾向が強いことを示した。これは、都市ヒートアイランドが大都市ほど顕著であり、晴天時や弱風時に顕在化する傾向があること⁽³⁾と符合する。また、Fujibe⁽⁷⁾は区内観測による月別の気温データをデジタル化し、都市気象官署の気温上昇率を約100年間について評価した^(注1)。しかし、アメダスはデータ期間が1970年代末からの30余年間に限られ、区内観測の気温は今のところ月平均値の利用にとどまる。都市効果による気温上昇率を数十年にわたって時刻別・気象条件別に評価するためには、日・時刻別で、かつ広域代表性のあるデータが必要である。

アメリカや中国では、都市効果による長期気温変動を評価する手法として OMR (Observation minus reanalysis) が使われることがある⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾。これは、長期再解析による地上気温の解析値を利用し、観測値と解析値との差の長期変化か

ら都市の寄与を評価しようとするものである。長期再解析とは、過去の観測データに最新の数値予報モデルを適用し、過去の大気状態を再現するものであり、気象庁やヨーロッパ中期予報センター (ECMWF)、アメリカ環境予報センター/大気研究センター (NCEP/NCAR) が行っている。再解析の過程では上空 (ゾンデ観測や衛星観測) を含む広範囲のデータが使われるので、地上気温の解析値は広域の状態を代表することが期待できる。特に、NCEP/NCAR の再解析には地上気温の観測値が使われていない (地上気温は、上空の観測値や地上気圧データ等に基づいて算出される) ため、その地上気温の解析値は都市の影響を受けないバックグラウンド値として OMR に好んで使われる。ただ、NCEP/NCAR の再解析は 1979 年の衛星データの導入前後で品質が異なるなど、長期的な均質性に関わる問題が指摘されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹²⁾。

日本では、2007 年に気象庁 25 年長期再解析 (JRA-25) が作られたのに続き、2014 年には起点を 1958 年まで遡った気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55) が完成した。JRA-55 では、解析値の品質を向上させるさまざまな取り組みが行われており、ゾンデの変遷に伴う観測バイアスの補正もなされている⁽¹³⁾。また、長期的な均質性をはかるため、ゾンデなど従来型の観測データのみを使用した JRA-55C も作られている⁽¹⁴⁾ (以下、図 2 に関する記述を除き、JRA-55 と JRA-55C を併せて JRA-55 と表記する)。JRA-55 は 50 年以上にわたる質の高い解析データとして、気候変動の研究への活用が期待される。地上気温の解析値には都市の影響が含まれ得るが、上空の解析には地上気温の観測値は同化されていないので、都市効果による地上気温上昇の影響を受けることはない。

本研究では、JRA-55 による 850hPa のデータを使うことにより、52 年間にわたる気象官署の気温データから、都市効果による上昇率の時刻別・気象状態別の評価を試みた。

2. 資料と解析方法

2.1 資料

気象官署の地上気温と日照時間の観測値、および JRA-55 の 850hPa の気温と風の解析値を使った。対象期間は、気象官署の日・時別データが整備されている 1961 年以降、2012 年までとした。

(1) 気象官署資料

気温は、JRA-55 の解析時刻と同じ 03, 09, 15, 21 時 (日本時間、以下同じ) の値を使った。対象地点は、気象庁観測部情報管理室の地上気象観測統計値ファイルに基づき、地点の移動などによる統計切断がない全国の 106 地点とした。図 1 にその分布を示す。

日照時間については、上記 106 地点の日別値を使った。日照時間の測器は、1986 年以降にジョルダン式日照計から回転式日照計へ順次変更され、これによって観測値の不均質が生じている⁽¹⁵⁾。そこで、次式⁽¹⁶⁾によりジョルダン式日

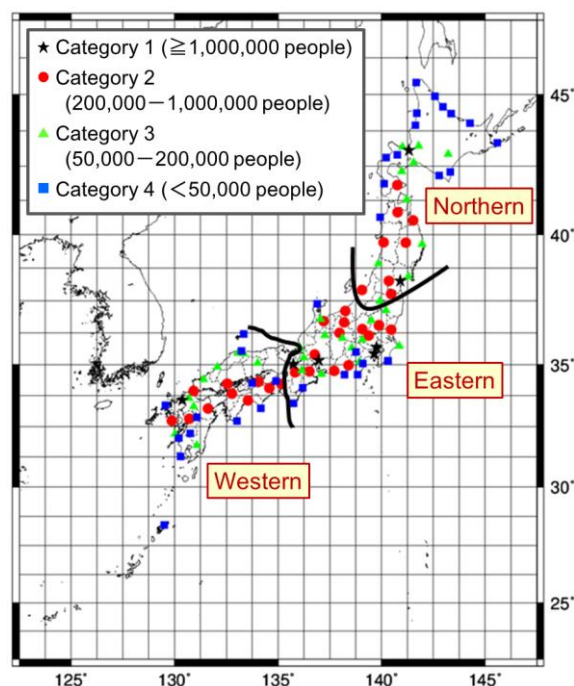


図 1: 解析に使われた地上気象官署 106 地点。市町村人口により 4 つのカテゴリーに分け、また、北・東・西日本に区分した。縦横線は JRA-55 の 1.25° 格子を表す。

照計の観測値を回転式日照計による値に変換した。

$$S = S_j \times \text{Min} \left(1, 1 - \frac{0.41}{1 + S_j/5.67} + 0.01S_j \right) \quad (1)$$

ここで S は補正後の日照時間、 S_j はジョルダン式日照計で計測された日照時間である。また、日照率の計算には気象観測統計指針⁽¹⁷⁾ による可照時間の式を使った。

(2) JRA-55 資料

緯度・経度 1.25°メッシュの 03, 09, 15, 21 時のデータのうち、850hPa の値を使った。気温および風の東西・南北成分を、それぞれ下記の方法で気象官署 p の値に内挿した。

$$z_p = \frac{\sum_i w_{ip} z_i}{\sum_i w_{ip}} \quad (2)$$

ここで z_p は求める内挿値、 z_i は格子点 i の JRA 値で、 Σ は官署から 200km 以内の格子点についての和である。200km という値は、JRA-55 の解像度が 1.25°すなわち百数十 km であることから、官署の各方位の JRA 値を取り込めるように設定したものである。 w_{ip} は以下の式で与えた。

$$w_{ip} = \frac{1}{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2} \quad (3)$$

x_p, y_p は官署 p の座標、 x_i, y_i は格子点 i の座標である。

なお、JRA-55には2.5°メッシュのデータもあるが、これを使っても1.25°メッシュのデータを使った場合と以後の結果にほとんど差がなかった。

2.2 解析手法

以下、地上気温から850hPa気温を引いたものを δT と表記する。これの各季節・各時刻のトレンドを、下記の要領で人口カテゴリー別かつ気象条件別に評価した。

(1) 市町村人口によるカテゴリー設定

気象官署を市町村の人口に基づいて4つのカテゴリーに区分した。人口としては、2010年の国勢調査による市町村人口を利用した。東京については特別区の人口を用いた。カテゴリー1は人口100万人以上(7地点=東京、横浜、名古屋、札幌、京都、福岡、仙台)、カテゴリー2は人口20万人以上100万人未満(32地点)、カテゴリー3は人口5万人以上20万人未満(32地点)、カテゴリー4は人口5万人未満(35地点)とした。これらの閾値は、カテゴリー2~4に含まれる地点数がほぼ均等になるように設定した。

(2) 季節と気象条件の設定

季節は、3~5月を春、6~8月を夏、9~11月を秋、1,2,12月を冬とした。

気温上昇率と気象条件との関係を知るため、晴天弱風日と不照日(日照がない日)を抽出し、それぞれにおける δT のトレンドを求めた。晴天弱風日の条件は、a. 日照率が60%以上であること、b. 09時の850hPa風速が10m/s以下であることとした(09時の値を使うことに深い意味はなく、他の時刻のものを用いても結果に大きな変化はないと考えられる)。不照日の条件は日照時間が0時間であることとした。

(3) δT トレンドの計算

以下の手順による。

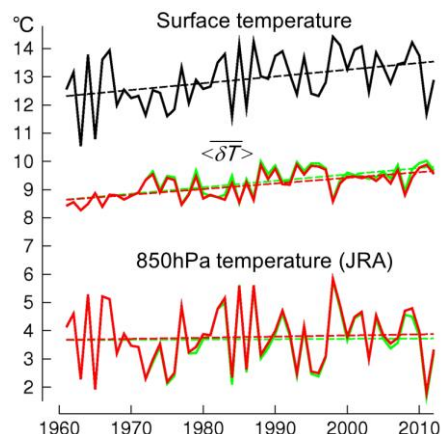


図2: カテゴリー1(人口100万以上;7地点平均)における春(3~5月)の晴天弱風日の地上気温と、その上空へ内挿したJRAの850hPa気温、および両者の差 $\langle \delta T \rangle$ の経年変化。点線はそれぞれの1次回帰を表す。いずれも03, 09, 15, 21時の平均。850hPa気温については、JRA-55Cによるものを赤、JRA-55によるものを黄緑で示す。

- 地点ごとに、各季節の各気象条件日を抽出し、 δT の季節平均値 $\langle \delta T \rangle$ を求める。 $\langle \delta T \rangle$ は地点・年・季節・時刻・気象条件の関数である。
- カテゴリー内の $\langle \delta T \rangle$ を地点について平均する(以下 $\overline{\langle \delta T \rangle}$ と表記する)。 $\overline{\langle \delta T \rangle}$ はカテゴリー・年・季節・時刻・気象条件の関数である。
- 最小2乗法を使って、 $\overline{\langle \delta T \rangle}$ の経年変化の1次トレンド(以下「 δT トレンド」と表記する)とその信頼幅を求める。また、上記aから直接cへ進むことにより、地点ごとの δT トレンドを求めた。

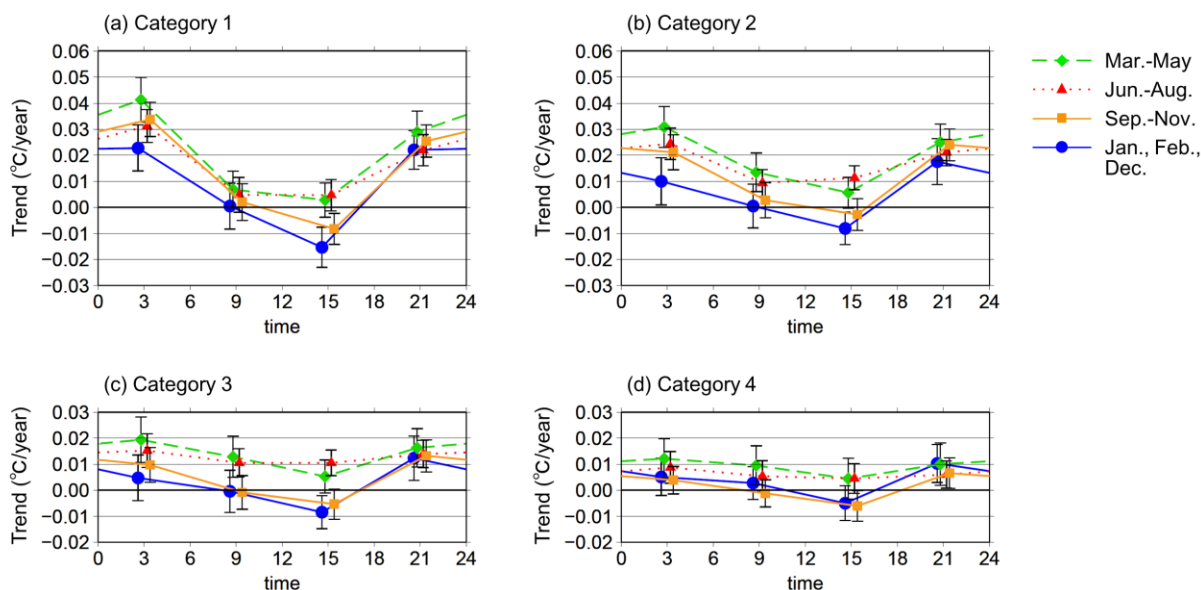


図3: 各カテゴリーにおける晴天弱風日の季節別・時刻別の δT トレンド。縦棒は95%信頼区間。

表 1: 晴天弱風日の季節別の δT トレンド ($^{\circ}\text{C}/\text{年}$).

カテゴリー	時刻	春 3~5月	夏 6~8月	秋 9~11月	冬 12,12月
1	03時	0.041	0.031	0.034	0.023
	15時	0.003	0.005	-0.008	-0.015
2	03時	0.031	0.024	0.021	0.010
	15時	0.006	0.011	-0.003	-0.008
3	03時	0.019	0.015	0.010	0.005
	15時	0.005	0.011	-0.005	-0.008
4	03時	0.012	0.009	0.004	0.005
	15時	0.004	0.005	-0.006	-0.005

表 2: 表 1 と同じ, ただし不照日.

カテゴリー	時刻	春 3~5月	夏 6~8月	秋 9~11月	冬 12,12月
1	03時	0.018	0.012	0.017	0.017
	15時	0.008	0.007	0.004	-0.003
2	03時	0.013	0.010	0.012	0.009
	15時	0.011	0.011	0.006	0.001
3	03時	0.008	0.005	0.006	0.006
	15時	0.013	0.010	0.003	0.000
4	03時	0.005	0.002	0.002	0.001
	15時	0.009	0.006	0.004	0.000

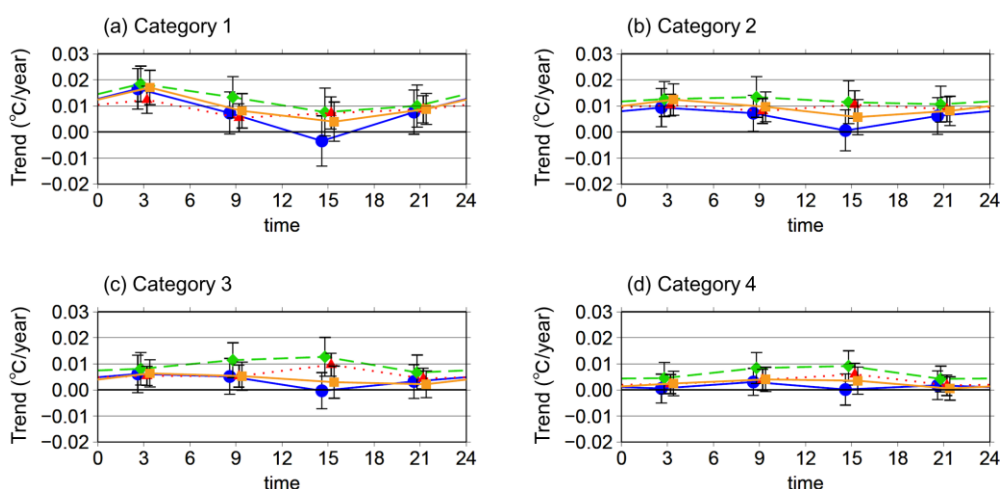


図 4: 図 3 と同じ, ただし不照日.

なお, 日本海側の一部地点では, 冬に晴天弱風日のない年があった. そこで, 各カテゴリーの冬の δT トレンドは, これらの地点を除いて求めた. 春, 夏, 秋についてはそれらの地点も解析対象に含めた.

3. 結果

3.1 晴天弱風日と不照日の比較

図 2 は, 人口カテゴリー1 について, 春の晴天弱風日の地上気温と 850hPa 気温の経年変化を示す. 年々変動のパターンは互いによく似ているが, 地上気温のほうが長期的な上昇傾向が大きく, 1 次トレンドの値は 850hPa 気温が JRA-55C では $0.004^{\circ}\text{C}/\text{年}$, JRA-55 では $0.001^{\circ}\text{C}/\text{年}$ であるのに対し, 地上気温は $0.024^{\circ}\text{C}/\text{年}$ である. この結果, 地上と 850hPa の差, すなわち $\langle\delta T\rangle$ の値は長期的に上昇しており, δT トレンドは JRA-55C を基準にすると $0.020^{\circ}\text{C}/\text{年}$, JRA-55 を基準にすれば $0.023^{\circ}\text{C}/\text{年}$ である.

上記における JRA-55 と JRA-55C のトレンドの差は $0.003^{\circ}\text{C}/\text{年}$ である. 他の季節も, そして不照日も同程度である. $0.003^{\circ}\text{C}/\text{年}$ という値は 100 年当たり 0.3°C であり, 全

球平均気温の上昇率が 100 年当たり 1°C 程度であることを考えると, 地球温暖化の精密な評価にとって無視できるとは言えない. しかし, 今回の解析における δT トレンドの 95%信頼幅は $0.1^{\circ}\text{C}/\text{年}$ のオーダーであり (図 3 以降を参照), これに比べれば JRA-55 と JRA-55C のトレンド差は小さく, どちらを使っても結果に大きな違いは生じない (一部, 統計的な有意性が変化するところはある). 以下, より高い均質性が期待される JRA-55C を使った結果を示す.

図 3 は, 人口カテゴリーごとに各季節・時刻の δT トレンドを示したものである. 03 時と 15 時については表 1 に値を示す. カテゴリー1 について見ると, 夜間 (03, 21 時) のトレンドはすべての季節に有意に正であり, $0.02\sim 0.05^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の大きさを持つ. 一方, 昼間 (09, 15 時) のトレンドは値が小さく, 秋の 15 時には $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$, 冬の 15 時には $-0.015^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の有意な負のトレンドがある. カテゴリー2~4 についても, 夜間のトレンドは正であり, その値はカテゴリー2 では $0.015\sim 0.04^{\circ}\text{C}/\text{年}$, カテゴリー3 では $0.01\sim 0.025^{\circ}\text{C}/\text{年}$, カテゴリー4 では $0.01\sim 0.02^{\circ}\text{C}/\text{年}$ である. 季節変化に着目すると, 人口カテゴリーや時刻によらず秋や冬よりも春や夏にトレンドの値が大きい傾向があり, カテゴリー2, 3

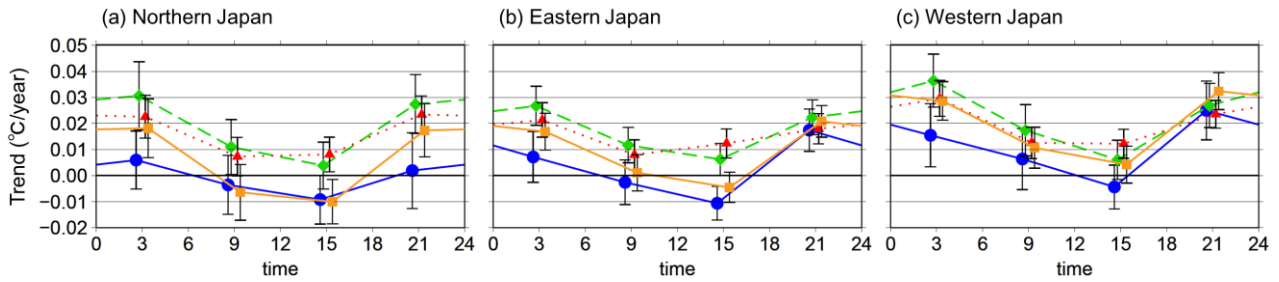


図 5: 各地域のカテゴリ-2 の地点における δT トレンド. 晴天弱風日.

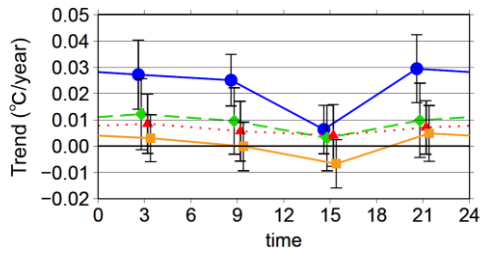


図 6: 北日本のカテゴリ-4 地点における δT トレンド. 晴天弱風日.

では冬の 15 時に有意な負のトレンドがある. この季節差に関しては 3.3 で再度取り上げる.

図 4 と表 2 は, 不照日の δT トレンドを示す. 晴天弱風日に比べて夜間のトレンドが小さく, 03 時の δT トレンドはカテゴリ-1 では $0.015^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度, カテゴリ-2 では $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度である. 季節別に見ると, 昼間は冬よりも春や夏の δT トレンドが大きい傾向にあるが, 晴天弱風日ほど季節差は目立たず, 夜間は季節間のトレンド差がほとんどない.

3.2 地域的特性

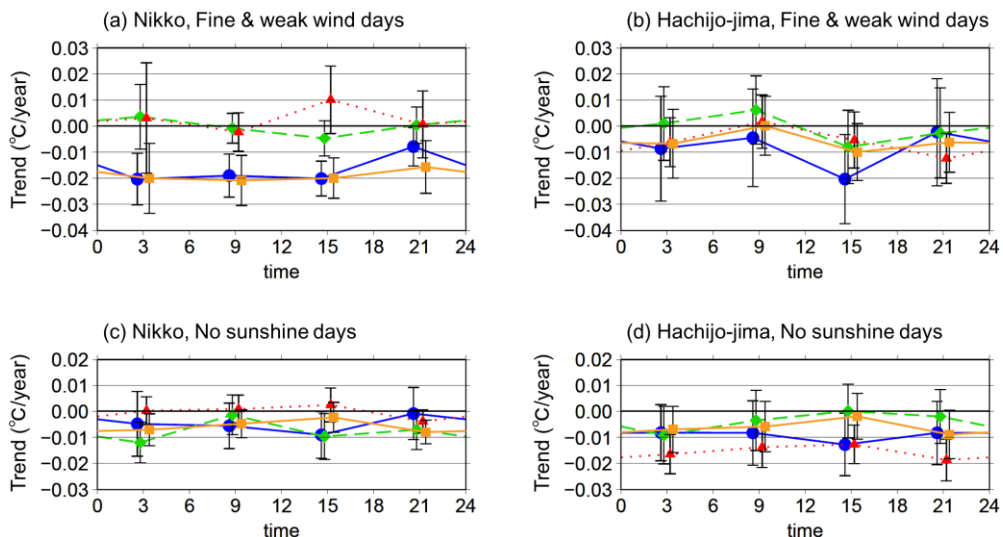


図 7: 日光と八丈島における δT トレンド. 上段は晴天弱風日, 下段は不照日.

図 5 は, カテゴリ-2 の晴天弱風日の δT トレンドを北日本・東日本・西日本に分けて示したものである. 結果が目立った地域差はなく, 各地域とも夜間のトレンドが昼間より大きい傾向がある. また, 春・夏のトレンドが秋・冬より大きいことも各地域に共通し, 15 時には北日本の秋のトレンドと東日本の冬のトレンドがともに $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の有意な負の値を持つ. 一方, 東日本では春と夏の 15 時に $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の正のトレンドがある. 図は省略するが, カテゴリ-3 についても夜間のトレンドが小さめであることを除き, 図 5 と似た結果が得られる.

カテゴリ-4 では夜間のトレンドがさらに小さいが, 北日本についてはカテゴリ-2, 3 とは異なり, 冬のトレンドが 15 時を除いて $0.03^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の大きな値を持つ (図 6). 地点ごとに調べてみると, これは主としてオホーツク海側や日本海側に見られる特徴である.

3.3 季節に依存する広域的な δT トレンド

これまでの結果から分かるように, δT トレンドには季節差があり, 春や夏のトレンドが秋や冬と比較して大きい傾向が, 時刻や人口カテゴリを問わずほぼ全国的に認められる. このような季節依存のかつ広域的なトレンドの存在

を確認するため、都市化の影響をほとんど受けないと考えられる地点の中から日光（標高 1291.9m）と八丈島を例に取り、その δT トレンドを図7に示す。晴天弱風日の場合、日光では春と夏はほぼ0であるのに対し、秋と冬は21時を除いて $-0.02^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の有意な負のトレンドがある。一方、不照日はトレンドの季節差が小さく、ほぼ0から $-0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ の範囲に入っている。八丈島では日光ほど顕著な季節差はないが、晴天弱風日のトレンドはやはり冬に小さく、冬の15時には $-0.02^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度の有意な負のトレンドがある。

4. 議論

4.1 気温トレンドにおける都市効果成分について

気候データに含まれる都市の影響は、長期気候変動の検出に関連してしばしば議論になってきた。Peterson⁽¹⁸⁾はデータに含まれ得る不均質性を理由として、都市効果による昇温について懐疑的な主張を展開した。また、Parker⁽¹⁹⁾は世界の気候観測点の大半において、強風時と弱風時との気温上昇率に差がないことを示し、これらの地点の昇温傾向に都市効果が影響していないことを論じた。一方、Fujibe⁽⁶⁾はアメダス資料を使って人口密度が大きい地点ほど気温上昇率が大きい傾向があること、すなわち日本の都市の気温上昇傾向に都市効果が寄与していることを示した。また、Fujibe⁽⁶⁾はアメダス地点の気温上昇率を気圧傾度別・降水の有無別に調べ、都市の観測点では気圧傾度の大きいときよりも小さいときに、また降水のあるときよりもないときに、気温の上昇率が大きいことを示した。このことは、ヒートアイランドが弱風・無降水時に顕在化する傾向と整合し、気温上昇傾向に対する都市効果の寄与を裏づける。本研究は、時刻別・気象条件別のトレンド評価を1960年代まで遡って行い、晴天弱風日夜間の δT トレンドが人口の大きいカテゴリほど大きいこと、ただし不照日には小さいこと（図3、4）を示すことにより、過去半世紀にわたる日本の都市の気温変動に都市効果が影響していることを確認したものである。

量的に見ると、人口100万以上のカテゴリにおける晴天弱風日の夜間（03、21時）の δT トレンドは $0.02\sim 0.05^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 、不照日は $0.015^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度である。国内大都市における夜間気温や日最低気温の長期上昇率については、気象条件を特定しない解析例がいくつかあり、非都市地点の値からの偏差として $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ 程度⁽⁹⁾、また、広域変動を含む値として $3\sim 5^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ ⁽⁴⁾という値が報告されている。本研究で得られた数値はこれらと矛盾しない大きさである。

昼間は夜間に比べて δT トレンドは小さいが、東日本のカテゴリ2、3の地点では、春～夏の15時に $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 程度という昼間としては大きなトレンドがある。これは地点ごとに見ると関東平野とその周辺で顕著である。春～夏季の関東平野では、午後に都市効果による広域的な昇温（広域ヒートアイランド）が認められており⁽⁹⁾、上記の結果はこれに対応する変化と見なすことができる。

一方、秋や冬の15時には δT トレンドが負となる傾向があった。これは一見すると、都市の高温化という通説に反する。しかし、地上気温や衛星による観測データを使った研究の中には昼間の都心部の低温域を示したものがあり⁽²⁰⁾⁽²¹⁾、その成因の1つとして建物による日陰の増加が考えられている⁽²²⁾。このような例から見て、今回の解析で15時に負の δT トレンドが見出されたことは一概に不可解だとは言えない。とは言え、このトレンドが都市の低温化を表すと言い切ることも現状では避けるべきであり、次節で論ずる季節依存的・広域的なトレンドを勘案して考えていくべきであろう。

最後に、850hPa気温そのものに対する都市化の影響の有無について議論する。ヒートアイランドの高さは通常は数百m以下であり⁽⁹⁾、850hPaの気温は都市の影響を受けないことが期待できる。とは言え、昼間の混合層における熱拡散によって、ヒートアイランドが850hPaまで達する可能性も完全には否定できない。これまでに850hPa気温を広域変動の指標と見なして都市効果等を評価した研究例としては、ゾンデで観測された850hPa気温を基準として夏季の地上気温の都市化トレンドを評価したFujibe⁽¹⁶⁾や、主成分分析で抽出された地上気温変動と850hPaの気温変動とを比較した日下ほか⁽²³⁾がある。このうちFujibe⁽¹⁶⁾は、850hPaに代えて700hPaの気温を基準にしても、地上気温のトレンドに実質的な違いが生じないことを示した（Fig.20）。この結果は、850hPa気温における都市化の影響が小さいことを示唆するものである。ただし、都市化の影響の有無とは別の理由から地上気温と850hPa気温のトレンドの比較には注意が必要であり、これについては4.2で取り上げる。

4.2 季節依存的・広域的な δT トレンドについて

図3や図5で見たように、晴天弱風日の δT トレンドは秋や冬に比べて春や夏に大きい傾向がある。この季節差は昼夜を問わず、また、人口の大小を問わず広域に見られるものであり、都市に原因があるとは考えにくい。このことを裏づけるように、山岳や島嶼の官署（日光、八丈島）でも同様の季節依存的なトレンドが認められる。気象条件別に見ると、季節依存的・広域的な δT トレンドは晴天弱風日に顕著であり、不照日は目立たない。

このようなトレンドを作り出す要因は不明である。あり得る因子としては、大気境界層に関わる何らかのプロセスやデータのバイアスが考えられるが、いずれも確証はない（例えば海面水温の影響だとすると、季節差が内陸地点にも現れることや、不照日には目立たないことの説明が難しい。また、再解析に使われたゾンデの日射バイアスだとすると、夜間にも季節差ができることが説明できない）。なお、地上気温と850hPa気温の時系列（図2）を見ると、季節平均気温の年々変動は互いによく似通っていて、両者の差の時系列に目立った不連続はなく、人為的な要因によるデータの不連続を示す証拠は認められない。一般に、観測データを使った都市気候の研究において、ヒートアイランドの影響

とは考えにくい説明困難なシグナルが現れることは時としてある。今回のものもその1つであり、性急な解釈を求めると、まず実態をよく確かめていくことが必要であろう。

要因が何であれ、地上と対流圏下層とで気温トレンドが異なる可能性があることは注意が必要であり、地上気温と850hPa 気温のトレンドを比べる際には解析の結果を慎重に解釈することが求められる。実際、Fujibe⁽¹⁶⁾の結果においても850hPaを基準とした地上気温のトレンドが15時に負になる地点があり (Fig.4), トレンドの原因が都市効果だけではない可能性が示唆される。

なお、カテゴリ4の北日本では冬季、特に夜間に有意な正の δT トレンドが認められる。この特徴を示す地点は北海道のオホーツク海側や日本海側に多いことから、冬季の大きなトレンドの要因として、海氷域面積の長期変化⁽²⁾や、海水温の変動などによる地域的な気温変動が関係している可能性が考えられよう。

5. まとめ

日本の気温の長期変動における都市効果の寄与を評価するため、地上気象官署の気温と気象庁55年長期再解析(JRA-55)の850hPa気温の差(δT)を利用し、時刻別・気象条件別のトレンドを求めた。解析には全国106の気象官署における1961~2012年の03, 09, 15, 21時のデータを使い、市町村人口によって地点を4つのカテゴリに分類した。気象条件については、日照時間と850hPa風速データを使って晴天弱風日と不照日目を定義した。

得られた結果によると、晴天弱風日の夜間(03, 21時)の δT トレンドは人口の大きいカテゴリほど大きい傾向がある。これに対して昼間は総じて δT トレンドが小さく、また、不照日も δT トレンドが小さい。このような特徴は晴れて風の弱い夜に顕在化するヒートアイランドの性質と一致し、過去半世紀にわたる日本の都市の気温変動に対する都市効果の影響を裏づける。しかし、晴天弱風日には秋季や冬季よりも春季や夏季の δT トレンドが大きい傾向が、時刻や人口カテゴリによらずほぼ全国的に認められ、 δT トレンドに対して都市化以外の要因も寄与している可能性が考えられる。

謝辞

本研究は第1著者による平成26年度筑波大学大学院生命環境科学研究科の修士論文として、同大学院と気象研究所の連携大学院制度の下で行われたものである。ご指導・ご助言を頂いた同大学院の日下博幸准教授、田中博教授ほか大気分野の皆様、および気象研究所研究員の皆様に深く感謝申し上げます。JRA-55データの取り扱いについては気象研究所気候研究部の釜堀弘隆室長から多くのご助言を頂きました。併せて感謝致します。

注

1) 区内観測は、1970年代まで全国で行われてきた気温・降水量を中心とする観測であり、地点数は1000を超える。1970年代後半、アメダス(地域気象観測システム)による自動観測網の展開によって廃止された。なお、気象官署(気象庁の気象台・測候所)も区内観測やアメダスの一部になっている。

参考文献

- (1) IPCC, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers (2013). (気象庁訳, 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書第1作業部会報告, 政策決定者向け要約(2014))
- (2) 気象庁, 気候変動監視レポート2014(2015), 気象庁, 70pp.
- (3) 藤部文昭, 観測データから見た日本の都市気候, 気象研究ノート, 244(2012), pp.1-23.
- (4) 気象庁, ヒートアイランド監視報告(平成26年)(2015), 気象庁, 58pp.
- (5) F. Fujibe, Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan, *Int. J. Climatol.*, 29-12(2009), pp.1811-1822.
- (6) F. Fujibe, Dependence of long-term temperature trends on wind and precipitation at urban stations in Japan, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 90-4(2012), pp.525-534.
- (7) F. Fujibe, Evaluation of background and urban warming trends based on centennial temperature data in Japan, *Pap. Meteorol. Geophys.*, 63(2012), pp.43-56.
- (8) E. Kalnay and M. Cai, Impact of urbanization and land-use change on climate, *Nature*, 423(2003), pp.528-531.
- (9) E. Kalnay, M. Cai, H. Li and J. Tobin, Estimation of the impact land-surface forcings on temperature trends in eastern United States, *J. Geophys. Res.*, 111-D6(2006), D06106, doi:10.1029/2005JD006555.
- (10) Y.-K. Lim, M. Cai, E. Kalnay and L. Zhou, Observational evidence of sensitivity of surface climate changes to land types and urbanization, *Geophys. Res. Lett.*, 32-22(2005), L22712, doi: 10.1029/2005GL024267.
- (11) X. Yang, Y. Hou and B. Chen, Observed surface warming induced by urbanization in east China, *J. Geophys. Res.*, 116-D14(2011), D14113, doi: 10.1029/2010JD015452.
- (12) R. Kistler, E. Kalnay, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, M. Kanamitsu, V. Kousky, H. van den Dool, R. Jenne and M. Fiorino, The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 82-2(2001), pp.247-268.
- (13) S. Kobayashi, Y. Ota, Y. Harada, A. Ebata, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka and K. Takahashi, The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 93-1(2015), pp.5-48.
- (14) C. Kobayashi, H. Endo, Y. Ota, S. Kobayashi, H. Onoda, Y. Harada, K. Onogi and H. Kamahori, Preliminary results of the JRA-55C, an atmospheric reanalysis assimilating conventional observations only,

SOLA, 10 (2014), pp.78-82.

- (15) 勝山 税, 回転式日照計とジョルダン式日照計の同時比較観測結果—両日照計資料の取り扱いについて, 測候時報, 54-4 (1987), pp.169-183.
- (16) F. Fujibe, Boundary layer features of the 1994 hot summer in Japan, J. Meteorol. Soc. Jpn., 74-2 (1996), pp.259-272.
- (17) 気象庁, 気象観測統計の解説 (2015), 気象庁, 128pp.
- (18) T. C. Peterson, Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found, J. Clim., 16-18 (2003), pp.2941-2959.
- (19) D. E. Parker, A demonstration that large-scale warming is not urban, J. Clim., 19-12 (2006), pp.2882-2895.
- (20) 近藤昭彦・開発一郎, 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 (1995), pp.225-238.
- (21) 重田祥範・大橋唯太, 岡山市を対象とした細密な気象観測によるヒートアイランド強度の解析, 天気, 56-6 (2009), pp.443-454.
- (22) 菅原広史・成田健一・三上岳彦・本條 毅・石井康一郎, 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性, 天気, 53-5 (2006), pp.393-404.
- (23) 日下博幸・西森基貴・安成哲三, 最高・最低気温偏差の季節性を利用した都市化に伴う気温上昇率の推定, 天気, 45-5 (1998), pp.369-378.

(Received July 30, 2015, Accepted Sep 3, 2015)