研究ノート

近畿地方の都市化による温暖化

伊 東 瑠 衣*・増 田 啓 子**・増 田 富 士 雄***

要 旨

気象庁の気温観測データの解析から、近畿地方における都市の気温上昇は段階的に生じ、都市ごとに特有の気温変動を示すことが分かった。都市の気温上昇は冬季の日最低値への影響が最も大きい。一方、都市化（ヒートアイランド現象）による影響は、春季の日最低値に対して一番大きく、都市全体の気温上昇とは別の傾向を示す。1970年代以降の気温上昇では、秋季の特に9月の気温上昇が最も目立ち、夏季が長期化している。この傾向は加速しており、日本全体でもこの傾向が進行していると思われる。

キーワード：地球温暖化、ヒートアイランド現象、近畿地方、都市化

1. はじめに

2007年は暑い年であった。8月に埼玉県熊谷市で40.9℃という国内の過去最高気温が記録されたのをはじめ、各地で最高気温が更新された。この猛暑は多くの日本人に“地球温暖化”と“都市化”を実感させた。この年に出された『気候変動に関する政府間パネル(IPCC)』からの報告では、「地球の気候が温暖化しており、その原因が人間活動による温室効果ガスの増加にある」ことが断定された¹⁾。その報告によれば、世界の平均気温が過去100年間に0.7℃上昇しており、現在は過去1300年間でも最高で、特に最近50年間の昇温率は大きく、なかでも1995～2006年が最も温暖であるという。一方、わが国の大都市では、いわゆる“ヒートアイランド現象”と呼ばれる都市化に伴う温暖化が進行していることが知られている^{2, 3)}。例えば京都では平均気温が過去100年間に2.3℃、東京では約3℃も上昇している⁴⁾。地球温暖化の中で、都市化による影響はどのように現れてきたのだろうか？ ヒートアイランド現象の原因はいろいろ考えられているが³⁾、その変化像やメカニズムはまだ十分には解明されていない。

この研究では、近畿地方の都市について、過去の気温変動から都市化（ヒートアイランド現象）による影響を抽出することを試みた。その結果、都市化による影響は段階的に認められ、都市毎に異なる気温上昇パターンがあることが分かった。その気温上昇の原因は、都市や時代によって異なり、いくつか重なって発生したと思われる。また、季節ごとの気温上昇の傾向についても述べる。

2. データと解析法

気象庁が公開する気象データ⁵⁾から、対象地点の気温観測値のうち月平均値を用いた。

気温解析は、対象地点での観測開始からの月平均値から、年平均値を算出し行った。対象地点は大阪、京都、神戸、奈良、潮岬、彦根とし、枚方、京田辺、日本全体、北半球、世界全体の値とも比較した。気象庁データ⁵⁾については、大阪が1933年と1968年に、奈良が1953年に、神戸が1999年に観測地点の移動によるデータの中絶があるが、その前後の年月と周辺地点の気温変動を検討し、ここで扱うような気温の変動傾向の議論には補正が必要ないと判断した。

*同志社大学大学院工学研究科 Rui ITO

**龍谷大学経済学部 Keiko MASUDA

***同志社大学理工学部 Fujio MASUDA

2008年4月16日受付

2008年5月1日受理

都市化による影響を浮かび上がらせるため、すなわち、グローバルな地球温暖化の影響を除いた都市の気温上昇を捉えるため、三上(2003)が東京の都市化による気温上昇を千葉県銚子の気温との差で求めた方法を用いた⁶⁾。ここでは、近畿地方の都市の値から、都市化が進んでいない和歌山県潮岬や滋賀県彦根の値を引いた。

季節の平均値は、4季節の3ヶ月の月平均値を平均した値である。春季は3～5月、夏季は6～8月、秋季は9～11月、冬季は12～2月である。

3. 温暖化パターン

3.1 気温変動

観測値や移動平均値を時系列にプロットした気温変動曲線は、これまでも多く報告されている^{3, 4, 7)}。ここでは私たちが作成した気温変動曲線から分かる気温上昇の傾向を簡単に述べる。

世界の年平均気温は観測開始(1891年)から2007年までに約0.8℃上昇している。日本の平均気温は世界気温の1.5倍の上昇率で温暖化し、人口が集中する大阪や京都は世界全体の3倍以上に及ぶ。日本、大阪、京都の年平均気温は観測開始よりすでに昇温し始めており、1950年代以後スピードを増し、1980年代以降急上昇している。

世界全体と北半球、日本全体、潮岬の年平均気温の変動をみると、上昇幅や下降幅に違いがあるが、パターンは似ている。太平洋に面する潮岬の変動は、日本全体よりも世界全体のグローバルな気温変動パターンに近い。

3.2 気温差からみる都市化による影響

各都市とグローバルな変動を反映していると考えられる潮岬との気温差¹⁰⁾から求めた変動曲線から、都市化による気温変化をみる。潮岬は1912年以前のデータがないので、より長期的の変動の解析には、日本全体の平均気温の算出に用いられる17地点のうちの1地点である彦根を選んだ。

3.2.1 4都市と潮岬との日最高、日最低、日平均気温の気温差

変動傾向を気温差で比較すると、日最高気温、日平均気温、日最低気温の順で近畿の4都市(大阪、京都、神戸、奈良)の気温差が大きくなっ

ている(図1)。4都市の変動の違いは、日最高気温よりも日最低気温によく現れている。

潮岬との日最高気温の気温差には地域差が少なく、気温変動も小さいので、日最高気温は地球温暖化とほぼ同じ上昇率を示す(図1a)。

潮岬との日平均気温の気温差(図1b))は、大阪と神戸が1950年代まで、京都と奈良が1940年代までほぼ同じ上昇率であるが、1940年代以降、大阪と京都は上昇し、神戸と奈良との差を広げた。さらに古くからの変動を彦根との気温差でみると、都市化による影響が大阪では1950年代から、京都については1900年代にはすでに始まっていた。この上昇開始時期の違いは、地形や地理的位置、また都市化の進行度で生じると考えられる。大阪湾からの海風を受けることで気温上昇が緩和され、気温上昇を遅らせることが可能な大阪に比べ、

図1 4都市(大阪、京都、神戸、奈良)と潮岬の各気温の気温差の変動傾向
11年移動平均値で示す。

山に囲まれた盆地で暖まった空気の逃げ場がない京都は、気温上昇が早い時期から現れたと考えられる。京都は戦後の大都市への人口流入が起こる前から、中心地には住宅が建ち並び、田圃や畑が減少していたと思われる。大阪や京都は1970年代には気温上昇が一段落し、非常に緩やかな上昇に変わっている。神戸は安定した状態が1990年代中頃まで続き、その後他の3都市にはない急上昇が起こっている。この原因については後述する。奈良は、1960年代まではほぼ一定で、その後は潮岬の気温上昇の影響で下降した後、非常に緩やかに上昇している。

潮岬との日最低気温の年気温差の変動曲線(図1 c))からは、都市化による影響が日平均気温には反映されていない時期にでも、日最低気温にはすでに大きな変化が現れていたことが分かる。大阪も京都も1940年代から急な上昇が起こっている。彦根との差からさらに古い時代をみると、1900年代には大阪でも京都でもすでに日最低気温の上昇が始まっており、京都では1900～1920年代に過去100年間で最も激しい上昇を示す(図2)。1970年代中頃からの2段階目の上昇は大阪と京都どちらも緩やかで、大阪での変化はやや大きい。つまり京都よりも大阪で現在も都市化による温暖化が進行していることが分かる。神戸は1990年代中頃から急上昇が起こっている(図1 c))。

大阪と京都における日最低気温の年平均値の変動傾向でみられる3つの時期(1890～1900, 1940, 1980)での急激な上昇は、彦根と差をとった日最低気温の気温差から(図2)、前の2回と後の1回で内容が異なっている。前の2回は、日最低気温の気温差の変動で上昇が確認でき、その上昇率は日最低気温の年平均値の変動傾向と似るため都市化による気温上昇であり、後の

1回は日最低気温の気温差がほぼ一定になっているので、地球全体の温暖化による気温上昇であるといえる。

潮岬と差をとった3種類の気温差の変動傾向(図1)から、大阪と京都では段階的に都市化による影響が現れヒートアイランド現象が進行し、神戸や奈良ではほとんどこの影響はみられないことが分かった。神戸については大阪湾に面する港町であり、海風による気温上昇の緩和が働くため、奈良は盆地であるが都市自体があまり大きくないためと考えられる。

3種類の潮岬との気温差のなかでも、特に日最低気温の差に反映される急上昇は、ヒートアイランド現象の原因が端的に現れた結果である。住居となる建築物の増加も伴う人口増加についてみると、大阪市の人口⁸⁾は、1940年に現在までの最高人口である325万人に達したが、終戦直後の1945年には110万人まで減少した。戦後の復興や高度経済成長に伴い、大都市への大規模な人口流入で人口は急速に増加し、1965年には戦後最高の316万人になった。このような人口の増加とここで明らかにした気温の上昇は、互いの変動がよく一致している。人口増加や産業の転換に伴う建造物の増加、その容積や壁面積の増加、さらに外部との断熱効果の高い新しい住宅構造が、大阪や京都のヒートアイランド現象を促進させたと考えられ、大阪・京都(大都市型)では、3段階の気温上昇変化がみられた。初めに平面的な都市の拡大である都市化によって、次に立体的な都市の成長である都市化によって気温上昇し、これに地球全体の温暖化が加わってきたと考えている。平面的な都市の成長とは、都市に徐々に人口が集中し始め、田圃や畑などの緑地が住居を含む建築物などの人工地表面に変わり、都市面積が拡大することである。立体的な都市の成長とは、特に戦後の大都市への大規模な人口流入や高度経済成長に伴い、都市では高速道路、マンションやビルのようなそれまでよりも中高層の建造物が増加することである。実際には1970年代以降、大阪や京都では都市化による気温上昇があまり進行していない。

神戸はすでに述べたように1990年中頃から急激な気温上昇がみられる。1995年は1月に阪神大震災が起こり、古い家屋は倒壊し、マンションなど新しい建築物が増え、都市の様子が一変した。気温上昇が震災後に起こっていることから、大阪や京都でみられたのと同じ性質のヒートアイランド現象が都市の復興に伴って急激に発生した可能性がある。1999～2003年の神戸の

図2 4都市と彦根の日最低気温の気温差の変動傾向
11年移動平均値で示す。

大気中の二酸化炭素濃度の上昇率は、綾里で観測される人為的な影響を受けないものとはほぼ等しい⁹⁾。つまりこの期間の神戸における都市の気温上昇は二酸化炭素濃度の増減を伴わない現象が原因と考えられる。神戸（イベント型）は、災害という地域的な事件が原因で、都市形態や住宅の質が急変したことで急激に気温上昇したと考えている。

3.2.2 大阪と京都の段階的な温暖化

都市化による温暖化が進む大阪や京都で、潮岬との日最高気温の気温差とそれ以外の気温差で変動傾向が異なり、都市化による影響は日平均気温や日最低気温に顕著に現れることが分かる（図3）。すでに東京のヒートアイランド現象の研究^{4, 6, 7)}で、日最低気温の上昇率が日最高気温の2倍以上になっていることが報告されている。

大阪でも京都でも、すでに述べたように、都市化による影響は徐々にではなく段階的に進行してきた。大阪について日平均気温と日最低気温の気温差をみると、上昇の開始時期が幾分異なっている（図3）。1段目の上昇開始が、日平均気温は1950年代頃であり、日最低気温は1940年代頃である。上昇が緩やかになる2段目の開始は5年移動平均値で変動傾向をみると日最高気温についても同じ時期で一致した。京都でも2段目の開始時期は3種類の気温変動で一致する。上述したように、ここでみられる2段階の上昇のうち、1段目の上昇は都市化による影響、2段目の上昇は地球温暖化の影響が大きい。都市化による影響でみられるヒートアイランド現象は、都市ごとで起こるような狭い範囲での現象で、一方地球温暖化は比較にならないほどの広範囲での現象であり、原因もそれぞれ異なる。気温への反映されやすさの違いから、開始時期に差が生じた可能性がある。

気温の変動傾向より、日最高気温はあまり変化せず、日最低気温が上昇したことで日較差が小さくなったことが分かるが、都市化による影響がこれに寄与しているのは、大阪と京都では1970年代以前である。

3.2.3 近年急激に温暖化する枚方と京田辺

気温上昇が現在急激に進んでいるのは、近畿地方では枚方や京田辺である。観測データのある最近の約30年で比較すると、年平均気温が大阪と京都では約1.5℃上昇しているのに対し、京田辺ではこれら大都市とはほぼ同じ約1.6℃、枚方では2.6℃と大きく上昇している。潮岬との気温差から都市化による影響をみると、1970

図3 大阪と潮岬の各気温の年平均気温差の変動傾向
11年移動平均値で示す。

図4 4都市（大阪、京都、京田辺、枚方）と潮岬の年平均気温差の変動傾向
5年移動平均値で示す。

年代以降安定化した大阪や京都に対し、1980年代以降の枚方や京田辺は上昇率が大きい（図4）。このことは冬日の減少、熱帯夜や猛暑日の増加などの現象として現れている⁴⁾。枚方や京田辺では、宅地の拡大や交通網の発達など、最近の急速な都市化の影響が気温上昇に反映している。京田辺は人口が急増し、平成12～17年の近畿地方の増加率が第5位（7.4%）で、隣接する精華町（29.9%）と木津町（16.2%）は1、2位の人口増加率を記録している¹¹⁾。大阪、京都、神戸に対して、枚方や京田辺（近年都市化型）では、都市の平面的な拡大と立体的な成長の2つの都市化が大都市よりも遅れて起こったが、大都市で起こった2つの段階を一部では同時に発生させているため、進行が早く短期間で気温が急上昇しているといえよう。

4. 季節ごとの気温変動

4.1 季節別の上昇率

季節別の気温上昇率は、大阪と京都とともに日最低気温の冬季平均値で最大、大阪では日最高気温の秋季

平均値で、京都では冬季平均値で最低であった。その上昇率は大阪では最大が $3.7^{\circ}\text{C}/125\text{年}$ 、最小が $1.4^{\circ}\text{C}/125\text{年}$ である。京都では最大が $5.0^{\circ}\text{C}/127\text{年}$ 、最小が $0.8^{\circ}\text{C}/127\text{年}$ である。温暖化は冬季の日最低気温への影響が最も大きく、同じ冬季の日最高気温への影響が比較的小さい。つまり、冬季の日較差が小さくなってきている。この傾向は大阪と京都に限ったことで、東京では当てはまらない。東京での気温上昇率は1900年～2000年の100年間で、冬季の日最低気温が $+4.8^{\circ}\text{C}$ で最も大きく、夏季の日最高気温が $+1.4^{\circ}\text{C}$ で最も小さい⁶⁾。このような現象は全国的に現れているが、気温は都市ごとに違いがあることを理解した上で、都市化の季節への影響を近畿地方の大阪と京都と神戸についてみる。

4.2 潮岬との気温差でみる上昇率

大阪と京都について、潮岬との季節別の気温差では、最大の上昇率が日最低気温の春季に、最小の上昇率は日最高気温の秋季に現れた。これは観測値で季節別の気温上昇率をみたときの特徴とは異なるという興味深い傾向で、都市の温暖化全体に都市化によって生じる温暖化は従わず、別の傾向を示すことが分かる。

日最高気温、日平均気温、日最低気温それぞれで、潮岬との気温差の変動傾向を季節別に比較すると、大阪と京都で共通する点、さらにこの2都市と神戸が共通する点がみつかった。大阪と京都で共通する点は、最大と最小を示す上昇率の季節が同じことで、日最高気温では春季に最大、秋季に最小、日最低気温では春季に最大、夏季に最小であった。大阪と京都における都市化による影響は、春季の気温に対して最も大きい。この2都市は、日最高気温の気温差の変動傾向（1913～2007）で、秋季の上昇率が最小であったが、神戸を含めた3都市では1970年代以降、秋季の上昇率が一番大きい。日平均、日最低気温の季節別気温差でもこれと同じ傾向であった。年平均値での潮岬との気温差の変動では1970年代以降は、都市化による影響はあまりないように見受けられたが、季節別にみても秋季では1970年代以前より以降の方が上昇率の大きい都市があった。この30年間では秋季、特に9月の上昇率が一番大きく、夏季の長期化が考えられる。1970年以降のこれらの傾向は、3種類の年平均値でも同じ結果となった。

1970年代以降の9月の気温上昇に伴う夏季の長期化を考えるため、6～8月、7～9月、6～9月の変動

傾向を比較してみると（図5）、この長期化傾向は現在加速的に進んでいることが分かる。日最高、日平均、日最低気温の夏季平均値と、それらと潮岬との気温差でも同じ傾向が現れた。大阪、京都、神戸の3都市の観測値で変動傾向を比較すると、どちらも気温上昇はしているが、6～8月よりも7～9月の気温が高く、その差が徐々に広がってきている。その差を約30年前と現在で比較すると、平均 0.2°C で最大 0.4°C の拡大である。3都市と潮岬との夏季気温差の変動傾向からは、どちらも上昇率がプラスであるが、7～9月の方が大きい。神戸は、大阪や京都と異なり、この間に災害を経験したにもかかわらず、同様に7～9月の上昇率の方が大きいのは、都市ごとの気温上昇の原因に違いがあっても、夏季の長期化はどんな大都市にも現れる可能性がある。このような夏季の変化は東京でも知られている¹²⁾。1980年頃を境に日本の夏の季節推移が変化しているという。東京での真夏日の出現は1979年以前には7月下旬の梅雨明け直後に明らかなピークがあり、8月中旬以降は急激に減っていた。一方、1980年以降になるとピークは8月上旬になり、8月下旬での出現頻度が高く、8月いっぱい残暑が続く傾向にある。潮岬についても6～8月と7～9月の比較をしたところ、7～9月で気温が高く差が大きくなっている。潮岬の変動傾向は海水温とも関係するが、日本全体の変動傾向とよく一致するため、大都市のみならず日本全体で夏季の長期化が起こり、さらに厳しい残暑になっていくと思われる。

5. ま と め

近畿地方の都市について、都市化（ヒートアイランド現象）による影響を潮岬との気温差から求めた結果、

図5 大阪の日平均気温の期間別平均値の変動傾向
5年移動平均値で示す。

次のような新知見が得られた。都市の気温上昇は一様ではなく段階的に進行してきた。その原因は、平面的な都市の拡大、そして立体的な都市の成長といった質的に異なる都市化の相互作用による気温上昇に、現在急激に進行している地球全体の温暖化が加わっていると考えた。各都市の位置や地形などの地理的な影響や都市の規模、都市化の進行度が異なるため、気温上昇率や気温上昇の開始時期に差が生じ、各都市特有の気温変動があることが分かった。それらは大阪や京都の大都市型、神戸のイベント型、枚方や京田辺の近年都市化型などである。

実際の気温変動では、日最低気温への温暖化の影響が最大であり、都市の気温上昇は冬季の日最低気温へ、都市化による影響は春季の日最低気温に対して最大であった。1970年代以降では最大の上昇率を示したのは秋季で、特に9月の気温上昇が顕著で、夏季が長期化する傾向にある。この傾向は大都市だけではなく、日本全体で起こっている可能性がある。

参 考 文 献

1) 気象庁：IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書：

- 政策決定者向け要約、気象庁、24、2007。
- 2) 福井英一郎、和田憲夫：本邦の大都市における気温分布、地理学雑誌、17、354-372、1941。
 - 3) 三上岳彦：都市のヒートアイランド現象とその形成要因－東京首都圏の事例研究－、地学雑誌、114、(3)、496-506、2005。
 - 4) 増田啓子：人間活動による二つの温暖化、龍谷大学人間・科学・宗教オープンリサーチセンター編「仏教生命観に基づく人間科学の総合研究」、320-328、2004。
 - 5) 気象庁：“過去の気象データ検索”、(オンライン)、< <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> >、(参照日2008-03-01)。
 - 6) 三上岳彦：都市ヒートアイランドの実態－東京の事例を中心に－、環境情報科学、32、(3)、32-36、2003。
 - 7) 気象庁：異常気象レポート2005、気象庁、383、2006。
 - 8) 大阪市総合計画局編：大阪市統計書平成18年版、大阪市、14-15、2007。
 - 9) 神戸市環境保健研究所：地球温暖化問題について－神戸の現状“2004”－、(オンライン)、< <http://www.city.kobe.jp/cityoffice/18/menu03/h/kanken/kankyokagaku/topics/ondanka/index.htm> >、(参照日2008-03-01)。
 - 10) 増田啓子：地球温暖化とヒートアイランド現象による温暖化－世界・日本・近畿の気温の長期変動－、環境技術、37、(6)、384-390、2008。
 - 11) 総務省：市町村の人口、(オンライン)、< <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/youkei/03.htm> >、(参照日2008-03-01)。
 - 12) 松本淳、井上知栄：異常気象と地球温暖化、科学、75、(10)、1142-1145、2005。

Urban Warming in the Kinki region

Rui ITO, Keiko MASUDA, Fujio MASUDA

ABSTRACT

Each city has a peculiar pattern of temperature rise by the difference of the geographic location, the degree of progression for urbanization. The temperature rise pattern of the metropolis in the Kinki region, therefore, was led. Urban warming has a great influence on daily minimum temperature in winter. The influence with the progress of urbanization is given to the minimum temperature in spring. After 1970, the temperature rises in autumn, especially, in September. Summer has been prolonged.

Key Words : global warming, heat island, Kinki, urbanization