

## 日本の都市の温暖化と地球温暖化

大河内 康正\*・湯ノ口 哲平\*\*

## Urban and Global Warming in Japan

Yasumasa Okochi\*, Teppei Yunokuchi\*\*

The purpose of the present study is to evaluate the annual rising rate of the annual average temperature and the monthly average temperature, at urban area of Japan in recent years. Further, this report attempts to understand the climate change in Japan and to estimate the current state of global warming. The daily mean temperature, the daily maximum temperature, and the daily minimum temperature for 59 years were analyzed from 1950 to 2008 using the meteorological observation data that the Japan Meteorological Agency being published on the internet. Moreover, the influence of the economic activity in Japan was examined by analysis on the relationship between the rising rates of the temperatures and the local temperature. Annual average temperature of 47 observatories picked up in Japan is rising at the rate of 2.5°C/100years. This includes global warming at 1.7°C/100years and urbanized effect at 0.8°C/100years. Some monthly mean temperatures have a bigger annual rising rate.

キーワード：地球温暖化，都市温暖化，ヒートアイランド，月ごとの上昇率

Keywords：Global warming, Urban warning, Heat island, Monthly rising rate

## 1. はじめに

日本各地の平均気温は、年々上昇してきている。2010年9月、気象庁は同年の日本の夏（6月～8月）の平均気温は平年値より1.6°C高く、統計を開始した1898年以降の113年間での高温観測記録を更新した<sup>(1)</sup>、と発表した。太平洋高気圧の勢力が強かった点やジェット気流が北方に位置していた点などが直接的原因と考えられるが、基本的には地球温暖化の影響も大きいと考えられる。

地球温暖化とは、世界的に観測網が整備された最近100年間の地球全体の平均気温が徐々に上昇している現象を指している。特に最近数十年間に、地球温暖化は、上昇傾向を強めている。これは、人間の経済活動や日常の活動によって排出された二酸化炭素などの温室効果ガスの蓄積が主な原因であると考えられている。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2007年の第4

次統合報告書の中で、「地球温暖化は、疑う余地がない」<sup>(2)</sup>としている。実際に公表されている全球の平均気温データ<sup>(3)</sup>からは平均0.7°C/100年の上昇率が認められる。

観測点の温度上昇傾向を示すのは、地球温暖化ばかりでなく、局所的な温暖化も存在する。都市部では、エネルギーの消費量の増大による排熱、アスファルトやコンクリートを素材とした街づくりによる蓄熱、都市化に伴う緑地面積の減少による蒸発量の減少などにより都市中心部の気温が郊外と比べて平均的に高くなっている。これをヒートアイランド現象と言う。特に夏季には、空調機のエネルギー消費が増大し、そのことが都市の高温化をもたらす空調負荷がさらに高まるという悪循環を生み出す<sup>(4)</sup>。このように、観測地点の温度変化には、バックグラウンドとなる「地球温暖化」に加えて、都市部では人口集中による「ヒートアイランド現象」も含まれている。

地球温暖化と都市化の違いは、地球温暖化が二酸化炭素などの温室効果ガスの増加によりグローバルに起こるのに対して、都市化によるヒートアイランドは人間の活動による人工排熱などによってローカルに起こる。地球温暖化量は、地域によっても異なるが、ヒートアイランドは都市の規模などによって大きく異なり、地球温暖化量より地域差が大

\*建築社会デザイン工学科

〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627

Dept. of Architecture and Civil Engineering, 2627, Hirayama-shinmachi, Yatsushiro, Kumamoto 866-8501

\*\*鹿児島大学工学部建築学科

Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, 890-8580

きいと考えられる。ここでは、人口と気温上昇の関係についても調べ、両者の区別を試みる。

日本における地球温暖化について、気象庁は、日本の代表として17観測点の傾向から温暖化率は約 $1.1^{\circ}\text{C}/100$ 年と評価している<sup>(5)</sup>。これまで都市化と地球温暖化の解析を目的にした研究では、野口(1994)<sup>(6)</sup>が34気象官署、39年間(1950-1988年)について、また、日下ほか(1998)<sup>(7)</sup>は24気象官署、34年間(1963-1996)について解析を行い、都市化の影響は、バックグラウンドの地球温暖化量と比較して無視できない大きさであり、日最低気温に顕著に表れ、日最高気温には影響が少ないことを指摘している。さらに Fujibe (2009)<sup>(8)</sup>は561アメダス観測点、27年間(1979-2006)、同様に大河内・水本(2009)<sup>(9)</sup>は、826アメダス観測点、28年間(1980-2008)の詳細な解析を行い、野口らの指摘を追認するとともに、都市化の影響を評価し、日本における最近の地球温暖化量は、 $3-4^{\circ}\text{C}/100$ 年にも達することを指摘している。

本論文では、日本の気象データを通してより最近の日本における地球温暖化率を考察する目的で、日本全国の代表的気象官署のデータを解析する。これまで九州および日本の温暖化についての一連の研究<sup>(9)-(12)</sup>と関連して、本研究では60年程度の中長期的な変化を調べる。そのため、日本で観測が開始されて以来集積されている、地方気象台など代表的気象官署で計測された134年間の観測値の内、47地点の最近59年間を主な調査対象とした。さらに、観測期間の違いによる上昇率の違いの比較、月ごとの上昇率の違い、人口と上昇率の関係などを調べ、日本の温暖化の現状について考察し評価を行った。

## 2. 使用データについて

本研究では、対象領域を日本国内に限定した。日本の気象官署は、2010年4月現在、管区气象台、地方气象台、測候所、特別地域気象観測所など156ヶ所存在している。その中から、解析に使用した観測データは、長期的に安定して観測されている県庁所在地を中心とした気象官署から全国47地点を選んだ。観測期間は、最も長いものでは、1875年から2009年までの134年間である。データは気象庁のホームページ<sup>(13)</sup>に2009年5月以降2010年1月までに公開された過去の気象統計情報を参照した。

採用した47観測地点は、網走、札幌、青森、秋田、盛岡、山形、仙台、新潟、福島、富山、前橋、宇都宮、水戸、秩父、東京、千葉、長野、甲府、横浜、金沢、福井、岐阜、静岡、京都、彦根、鳥取、岡山、神戸、大阪、奈良、津、松江、広島、高松、徳島、和歌山、山口、松山、高知、福岡、佐賀、大分、長崎、熊本、宮崎、鹿児島、那覇である。

季節的な特徴の解析には、各観測点の月ごとの日平均気

温、日最高気温、日最低気温の年平均値と風速の年平均値の集計データ<sup>(13)</sup>を使用した。

また、人間のエネルギー消費活動と気温の関係を調べるために、インターネットに掲載されている各観測地点の都市の人口<sup>(15)</sup>データを参照した。

## 3. 平均気温の緯度・経度・高度変化

年平均気温は、観測点のある高度や緯度と大きく関係している。期間全体の平均気温を $T$ 、基準の温度を $T_0$ （緯度 $35^{\circ}$ 、海拔0mの気温）とし、海拔高度 $z$ (m)、と緯度差 $\Delta\phi$ (deg)を用いて $T$ を次の一次式で表わす。

$$T = T_0 + az + b\Delta\phi \quad (1)$$

ただし $a, b$ は、気温の高度 $z$ (m)、緯度 $\phi$ (deg)の依存性を示す係数である。平均気温について、式(1)の係数 $a = -5.12 \mp 0.94 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、 $b = -0.86 \mp 0.26 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{deg}$ であった。ただし、 $\mp$ 以下は標準誤差を表している。これらの値は、大河内・水本のアメダスの結果<sup>(9)</sup>と比較すると有意な差ではないが、両者とも絶対値はやや小さい値となった。

図1は、日最高気温、日平均気温および日最低気温について高度補正( $-5.12 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )をしたもので、それぞれの平均値と緯度変化の関係を示した。すべての観測値は、ほぼ直線上に乗っており、日最高気温、日平均気温および日最低気温の平均値は、緯度 $1^{\circ}$ 当たり、それぞれ $0.84^{\circ}\text{C}$ 、 $0.86^{\circ}\text{C}$ 、 $0.88^{\circ}\text{C}$ 程度低下している。左端の沖縄の気温は回帰直線から少し外れ、日最高気温の値は緯度から予測されるものよりも低く、日最低気温は予測される値より高くなり、変動幅が小さくなっている。

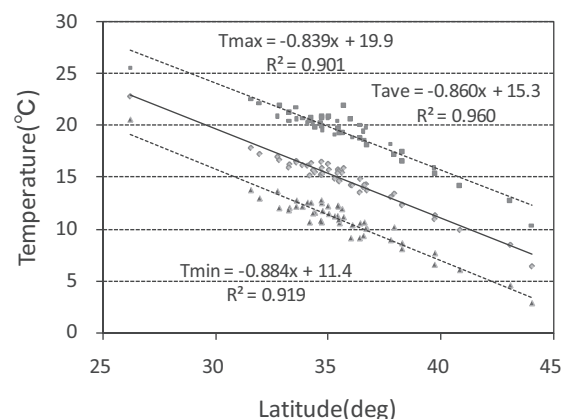


図1 日平均気温、日最高気温、日最低気温の59年間平均値の緯度依存性

Fig.1 Latitude dependence of the daily average, the daily maximum, and the daily minimum temperatures for 59 years.

### 3.1 日本全国の温暖化の状況

大河内・水本<sup>(9)</sup>による日本全国のアメダスの最近 28 年間のデータ解析によると、100 年当たり 4.0℃以上の平均気温の上昇が認められる。また、上昇率の大きさでは、日最高気温の上昇率が最も大きく、日最低気温の上昇率が最も小さい値を示した。

これらの結果を受けて、ここでは、さらに過去にさかのぼり 1950-2008 年の 59 年間の変化を見てみることにする。図 2 に日本全国 47 地点の観測データの単純平均した気温の経年変化を示す。年々変動は大きいですが、日最高、日平均、日最低気温の上昇率は、それぞれ  $1.7 \pm 0.4^\circ\text{C}/100$  年、 $2.5 \pm 0.3^\circ\text{C}/100$  年、 $3.0 \pm 0.4^\circ\text{C}/100$  年である。大河内・水本<sup>(9)</sup>の解析で示された平均気温  $4.0^\circ\text{C}/100$  年より小さく、指摘された傾向に反して、日最低気温の上昇率が最大、日最高気温の上昇率が最小となった。これらの違いの原因を以下で考えてみる。

1980 年以降の急激な温度上昇傾向は図 2 から推察される。図 3 は 2008 年時点から過去 30、60、90 年間の月ごとの気温変化率を、それぞれ日最高、日平均、日最低気温で見たものである。内側から順に、過去 90、60、30 年となっており、いずれも現在に近い短期間で見たときほど上昇率は大きくなっている。特に過去 30 年間の上昇率は過去 60 年間、90 年間と比べて大きく上昇しており、大河内・水本<sup>(9)</sup>の結果と同程度である。図 2 の結果と大河内・水本<sup>(9)</sup>の違いは、解析期間の長さの違いによるものと考えられる。日本の温暖化のペースは経済の成長などの何らかの要因のため加速している可能性が示唆される。

月ごとの気温上昇率から季節的な傾向を見る。上昇率はどの月をとってもプラスである。過去 30 年間で上昇率が大きかった月は 2 月、9 月および 10 月である。また、日最高気温の増加率は 3 月についても  $6^\circ\text{C}/100$  年以上の増加率となっている。春先や、秋口に高くなっており、季節的に早く暑くなり、遅くまで暑さが続く傾向がみられる。

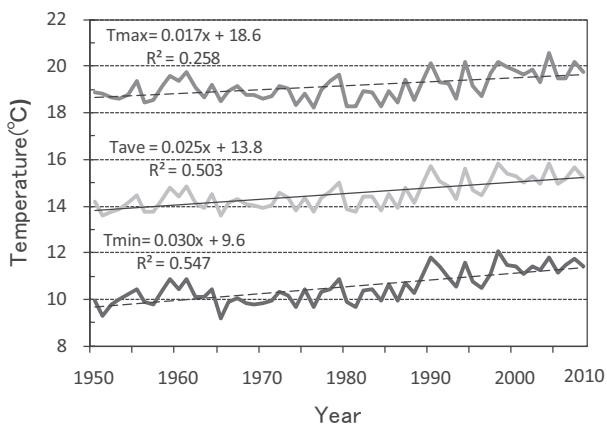


図 2 全国の日最高・日平均・日最低気温の年平均値の経年変化

Fig.2 Change in annual average of the daily maximum, the daily average, the daily minimum temperatures in Japan area.

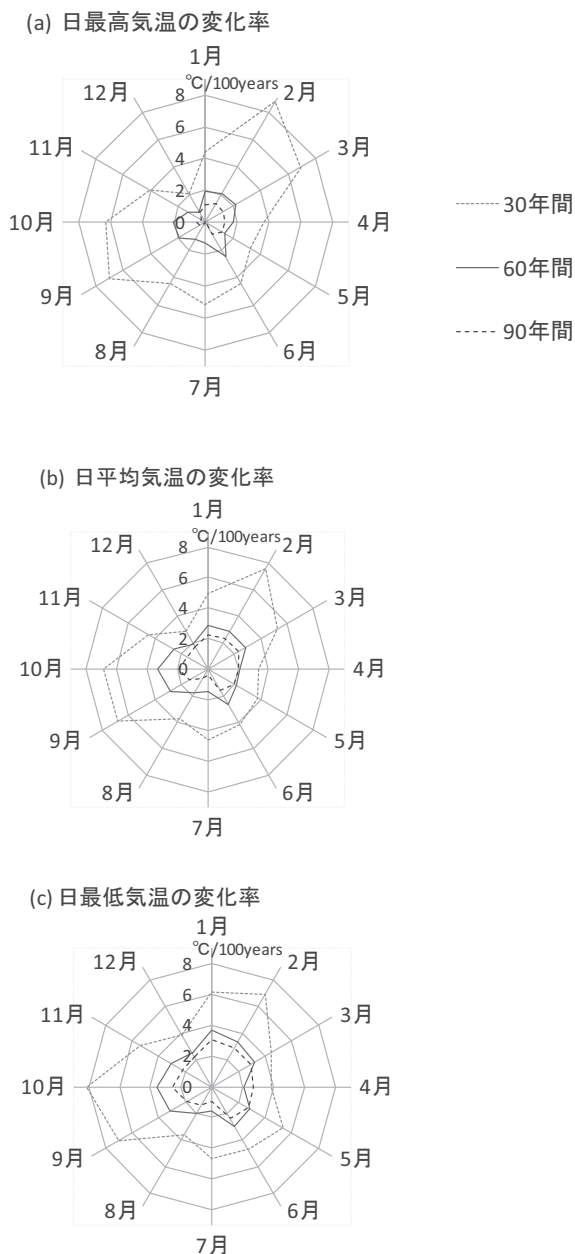


図 3 30、60、90 年間の (a) 日最高、(b) 日平均、(c) 日最低気温の月平均値の年変化率

Fig.3 Annual change rate in monthly average for 30, 60, 90 years of (a) the daily maximum, (b) the daily average and (c) the daily minimum temperatures.

また、全体的にみると、日最低気温の上昇率が大きいことが分かる。このことは、後に見るように都市化によるヒートアイランドと関係するものと考えられる。

図 4 は、1950 年から 2008 年までの 59 年間の気象観測データから求めた 100 年あたりの日最高、日平均、日最低気温の年平均値の上昇率の全観測地点の相対頻度 (%) である。刻み幅は  $0.5^\circ\text{C}$  である。全国の日最高気温の上昇率の平均は

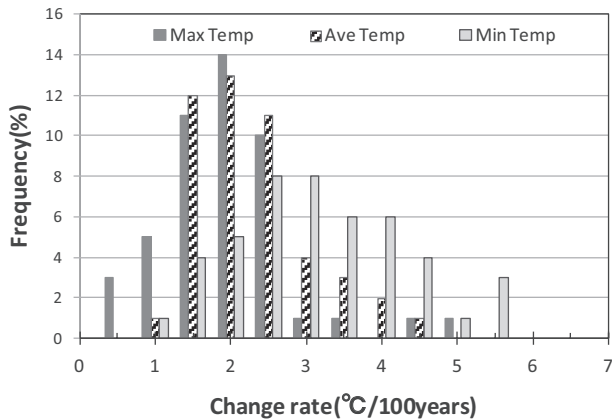


図 4 100 年あたりの日最高・日平均・日最低温度の、年平均値の上昇率の頻度分布

Fig.4 Frequency percentage of centenary change rates in the average of the daily maximum, the daily average and the daily minimum temperatures.

1.7°C/100 年で、約 74%は 1.5~2.5°C/100 年の範囲にある。日平均気温の上昇率の平均は 2.5°C/100 年で、約 60%は 2.0~3.0°C/100 年の範囲にある。日最低気温の上昇率の平均は 3.0°C/100 年で、約 47%は 2.5~3.5°C/100 年の範囲にある。日最低気温の上昇率が大きい観測点が多いことが分かる。大河内・水本<sup>(9)</sup>は、人口の多い都市域で最低気温の上昇が著しいことを指摘しており、今回対象とした観測点が、県庁所在地を中心とする大都市に集中していることから日最低気温が大きい地点が多いことで、今回の集計では日最低気温の上昇が著しい理由が説明できる。近年、日最高気温の上昇率は、日最低気温の上昇率の 60%程度しかなく、気温日較差は小さくなる傾向がある。近年の降雪量の減少によるスキー場の雪不足や、年間の熱帯夜の日数の増加等は、最低気温の上昇が一因であると考えられる。

### 3.2 都市化の影響

観測点の長期的な気温上昇には、温室効果ガスによる地球温暖化以外に、人間の経済活動に伴う人口排熱などの都市化の影響が考えられる。両者を分離して考えるには、都市化の影響を評価する必要がある。

人間の活動が気温上昇に与える影響を評価するため、指標として簡単に入手可能なデータとして人口を考える。人口密度も 1つの指標だが、考慮すべき範囲が不明確である点、全体を見ると市町村合併などにより観測地点の面積が大きく変わり、それに伴う人口密度の変化が著しい点から、採用しにくい。都市化率については、東京などの大都市以外は公表されていないようである。人口については、インターネットで公開されている現在の人口および文献で調査した過去の人口を調べ、期間(最近 30 年)の平均的な人口を推定した<sup>(14), (15)</sup>。

表 1 は全国 47 地点の、1951 年から 2008 年までの日最高・

日平均・日最低気温のそれぞれの平均値に対する原因変数を経度、緯度、高度、人口とした回帰分析の結果である。日最高・日平均・日最低気温の平均値の経度依存性は、東に 1° 移動するごとに約 0.1°C だけ気温が上がる。緯度については、緯度が 1° 北に移動するにつれ約 1.0°C だけ気温は低下する。経度依存性は緯度依存性に比べて 10 分の 1 ではない。高度については、日最高気温の高度依存性は有意ではないが平均で約 1.1°C 下がる。日平均気温は 1km 高くなると約 5.7°C 下がり、対流圏の気温減率に近い値を示す。日最低気温については、日平均気温の場合より大きく 1km あたり約 8.4°C だけ下がる。これらの依存関係については気候学的にある程度は予想される量である。

都市化の影響を見るため人口依存性について見てみる。日最高・日平均・日最低気温の平均値は、いずれも人口が増えると 100 万人あたり、0.05°C、0.13°C、0.19°C 上昇している。ただし最高気温の上昇率は小さく有意ではない。これらは、大河内・水本<sup>(9)</sup>の結果 0.60°C、0.60°C、0.74°C、と比べると小さな値となっている。これは、期間 59 年と長

表 1 観測点のある 47 都市の 59 年間の各平均気温の緯度、経度、高度および人口の依存性

Table 1. Urban average temperatures for 59 years dependence on longitude, latitude, altitude, and population in 47 urban observatories.

説明変数	日最高気温	日平均気温	日最低気温
経度 (°C/deg)	0.10 ± 0.05	0.11 ± 0.03	0.14 ± 0.05
緯度 (°C/deg)	-0.97 ± 0.07	-0.99 ± 0.04	-1.03 ± 0.07
高度 (°C/km)	-1.1 ± 1.3	-5.7 ± 0.8	-8.4 ± 1.3
人口 (°C/100万人)	0.05 ± 0.08	0.13 ± 0.05	0.19 ± 0.08

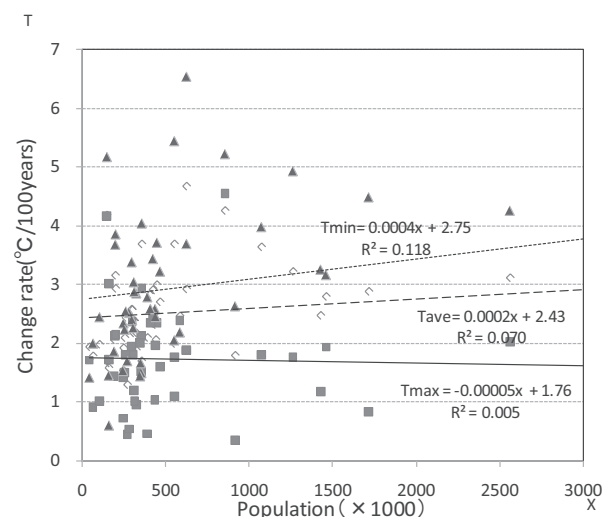


図 5 都市人口と日平均、日最高、日最低気温の 100 年あたりの上昇率の関係

Fig.5 Relationship between urban population and the daily average, the daily maximum, and the daily minimum centenary change rates of temperature.

表2 観測点のある47都市の59年間の各平均気温上昇率の緯度、経度、高度および人口の依存性

Table 2. Urban average temperature rising rates for 59 years dependence on latitude, longitude, altitude, and population in 47 urban observatories.

説明変数	日最高気温	日平均気温	日最低気温
経度(°C/deg)	-0.02±0.07	-0.05±0.06	-0.09±0.09
緯度(°C/deg)	-0.03±0.09	0.00±0.07	0.04±0.12
高度(°C/km)	-1.1±1.7	-1.6±1.4	-2.2±2.3
人口(°C/100万人)	-0.05±0.11	0.17±0.09	0.36±0.15

いため人口の変化も大きかったことや彼らの採用した都市のデータ数285と比べると今回は47と少なくとも十分な精度が得られなかったことによると考えられる。

図5は全国47地点の過去59年間の日最高・日平均・日最低気温のそれぞれの年平均上昇率と人口の関係を表したものである。人口がゼロの極限では、日最高、日平均、日最低気温の上昇率は、それぞれ1.76°C/100年、2.43°C/100年、2.75°C/100年を示している。また、日最低気温および日平均気温の年平均上昇率は、人口が100万人増えるごとにそれぞれ0.4°C/100年、0.2°C/100年の上昇率の増加傾向があるが、日最高気温の年平均上昇率については、むしろ0.05°C/100年の低下となり、ほとんど人口との関連は見られない。

表2は、図5と同様であるが、観測点のある47都市の59年間の各平均気温上昇率への人口のほか、緯度、経度、高度の依存性を回帰分析したものである。その結果、表1の場合とは異なり各日平均気温上昇率については緯度、経度、高度への有意な依存性は見られない。日最高気温の上昇率に対しては、有意ではないが、日平均気温、日最低気温の上昇率の変化に対して人口のみが有意な関係があると言える。大河内・水本<sup>9)</sup>の対応する値は、それぞれ100万人当たり0.6°C/100年、1.2°C/100年であった。近年の経済の発展や、都市化に伴い人工排熱が増大し、気温上昇率を加速している様子が推察される。

以上の考察から日最高気温への都市化の影響が小さいとすると、図2で述べた日最高気温の上昇率1.7±0.4°C/100年は地球温暖化率と言うことになる。これは、一日を通して存在するので、日平均気温はもちろんのこと日最低気温にも含まれる。一方、日最低気温の上昇には都市化の影響が大きく表れる。3.0±0.4°C/100年の日最低気温上昇率の内1.7±0.4°C/100年が地球温暖化、1.3±0.5°C/100年が都市化の影響と見積もられる。日平均気温が、おおよそ日最高気温と日最低気温の平均なので、日平均気温上昇への都市化の影響は、日最低気温の上昇率の半分が寄与すると考えると、0.7±0.3°C程度と見積もられる。すなわち、日平均気温の上昇率2.5±0.3°C/100年には、地球温暖化の影響1.7±0.4°C/100年のほか、都市化の影響0.7±0.3°C/100年程度が含まれるものと解釈できる。

### 3.3 平均気温と気温変化率の関係

前節の議論から人間の経済活動が、観測地点の平均気温を押し上げていることが想像される。エネルギー消費の中で季節的に大きく違いのあるものの一つが、暖房や冷房などの空調に使うエネルギーである。

本節では、エネルギー消費と気温の上昇率が関係あると考へて、冷暖房を意識して気温と気温上昇率の関係を調べてみる。図6は、全国47地点の、1951年から2008年までの期間の月平均気温と日最高・日平均・日最低気温の上昇率との関係を表したものである。

全体を眺めてみると、4月から10月および12月では、日最低気温、日平均気温、日最低気温のすべてで気温の高い地域ほど各日平均気温上昇率も大きいことが分かる。これは主に暑い夏では、気温が高いほど、冷房に使うエネルギーが増大することが一因と考えられる。一方、1月、2月では、ばらつきは大きいものの気温が高いほど各日平均気温上昇率が低下している。すなわち日最低気温、日平均気温、日最低気温の平均のすべてで、気温が低いほど上昇率は大きくなっていることが分かる。これは寒い地域ほど、暖房機器のエネルギー使用が増加することが一因と考えられる。さらに3月と11月については、両者の中間のパターンを示し、日最低気温は気温が高いほど上昇率は増加し、日最高気温は気温が高いほど上昇率は低下している。日平均気温については、大きな変化を示さない。

年間を通して、日最低気温の上昇率が最大であり、同時に各日平均気温上昇率の平均気温依存性もほとんどの月で大きくなっている。これらのことは人間のエネルギー消費の影響を暗示している。特に空調に使われるエネルギーについての情報を含むように思われる。

月ごとに変化の様子を詳細に見てみる。最初に日最低気温の変化率に着目する。前に記したように気温が高い地域ほど各日平均気温上昇率が減少するのは1月と2月で、1月の日最低気温が10°C上がる毎に0.75°C/100年だけ日最低気温上昇率が減少する。3月から12月までは日平均気温が高い地域ほど変化率の増加が大きくなっている。最も上昇率が大きくなっているのは8月で、日最低気温が10°C上がる毎に2.3°C/100年の上昇率の増加である。5月から10月まではいずれも、日最低気温が10°C上がる毎に1.5°C/100年～2.0°C/100年ほどの上昇率の増加となっている。それ以外の月は1.3°C/100年以下の上昇率の増加である。これは、5月から10月は気温が高いため、冷房機器が普及し、高温時の使用率が高くなってきたためと思われる。

次に日最高気温の上昇率について考えてみる。日最高気温が高い地域ほど日最高気温上昇率が減少するのは1月、2月、3月、11月である。11月は10°C日最高気温が高くなる毎に1.01°C/100年の割合で日最高気温上昇率が減少する。冬季ではあるが12月は日最高気温上昇率の平均日最高気温依存性は小さくなっている。残りの月は平均気温が高い地域ほど上昇率は増加しており、最も上昇率の傾きが大きなのは7月で、気温が10°C上がる毎に1.99°C/100年の上昇率

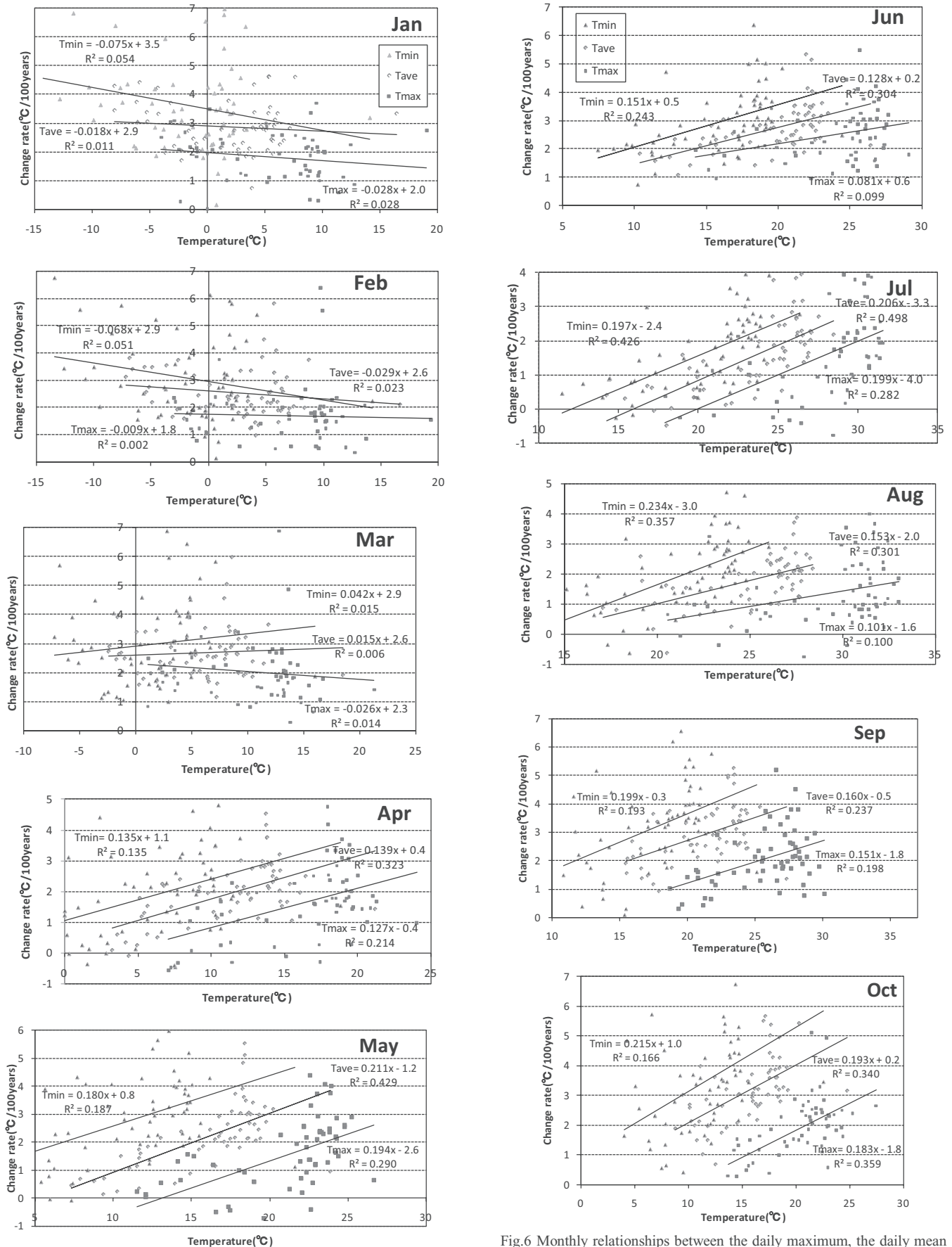


図6 月ごとの日最高、日平均、日最低気温の平均気温とそれぞれの気温の上昇率の関係

Fig.6 Monthly relationships between the daily maximum, the daily mean and the daily minimum temperatures, and their rising rates of temperature.

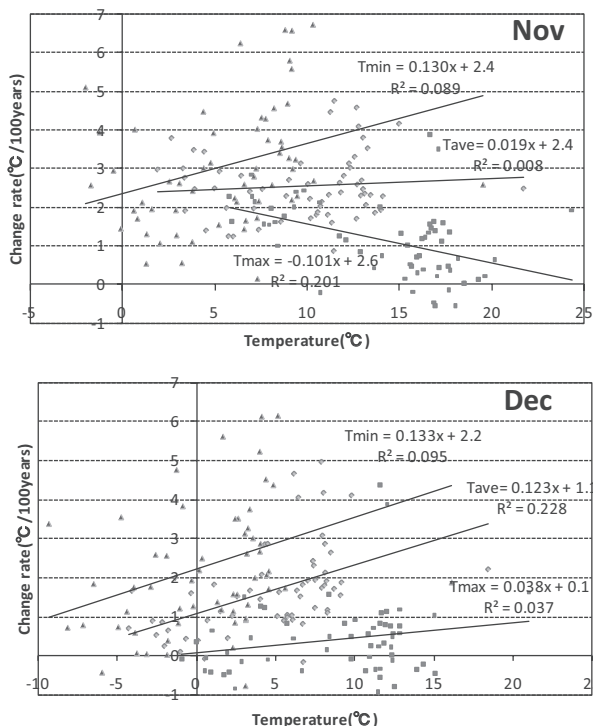


図6 前ページのつづき

Fig.6 Continued to previous page.

の増加を示している。これらの結果は、空調設備や冷房機器の普及を印象づけるものである。

### 3.4 気温と風速の関係

本論文では、日本全域の長期的な気温の変化を調べようとしているのだが、ローカルなヒートアイランドなど観測地点独自の特徴的な環境の影響も存在する。本節では、日最高気温や日最低気温に影響を与える、観測地点の「風通しの良さ」として平均風速について考えてみる。

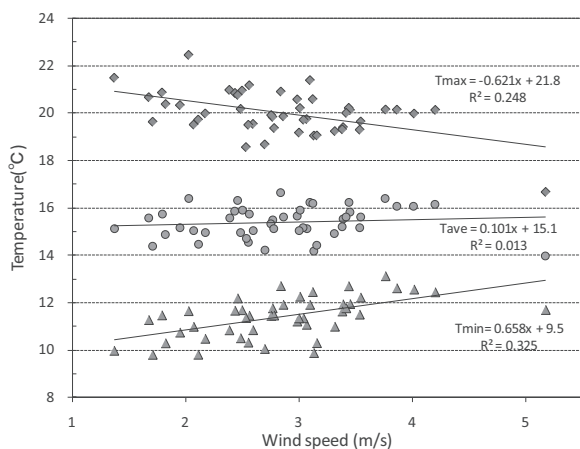


図7 補正された気温と風速の関係

Fig.7 Relationship the revised average temperature and the average wind speed.

表3 日最高、日平均、日最低気温と風速の回帰直線係数とその誤差

Table 3 Regression line showing the relationship between the daily maximum, the daily average and the daily minimum temperatures, and the wind speed.

回帰直線	係数	標準誤差	t	P-値
日最高気温	-0.62	0.16	-3.86	0.00036
日平均気温	0.10	0.13	0.76	0.44955
日最低気温	0.66	0.14	4.65	0.00003

図7は、全国47地点の、1951年から2008年までの58年間の日最高・日平均・日最低気温のそれぞれの緯度・高度を補正した各日平均気温と年平均風速の関係を表したものである。ここで風速のデータがあるのは1951年以降であり、本節では58年間とした。一般には、風速と気温とは独立な変数のはずであるが、図7は日最高気温の年平均は、風速が強まるにつれて低下する傾向があるのに対して日最低気温は風速が強まるにつれて上昇する傾向を示している。また日平均気温は風速とともにわずかながら上昇している。日最高気温は一般に日中14時前後に記録され、日中は地表が温められ風速が弱い場合には熱がこもるが、風速が強まると上空のより低温の大気とかけ混ぜられる。このため風速が強まるにつれて日最高気温は下がるものと考えられる。一般的に日最低気温については、地表面の放射冷却に伴って下層大気の気温が低下するため夜明け前に記録されるが、風速が強まるにつれて上層の温かい大気との混合が起こり気温は上昇する。

このように、気温日較差と風速の関係については、風速が強くなると、気温日較差が小さくなると言える。また日平均気温については、風速の影響が少ない点から言っても、信頼性が高いといえることができる。

表3は図7における風速の回帰直線の標準誤差および係数のt分布での値およびその値以上にずれる確率P値を示したものである。日最高気温、日平均気温、日最低気温は、それぞれ1m/s風速が強まると0.62°C低下、0.10°C上昇、0.66°C上昇という傾向を示している。統計上有意(P値が0.05以下)と思われるものは、日最低気温および日最高気温であり、日平均気温への風速の影響は大きくない。このことから、日最高気温や日最低気温を議論するときには、観測環境にも注意が必要である。ここでは示していないが、人口と風速には弱い正の相関がある。

日本の温暖化の特徴として、大河内・水本<sup>(9)</sup>によると、日最高、日平均、日最低気温の上昇傾向の内、最も大きくなったのは日最高気温の上昇率であった。彼らは、1980年から2007年までの28年間の日本全国のアメダス観測所826地点から平均気温上昇率を求めており、人口の多い都市部だけでなく、過疎地域のデータも数多く入っている。本研究では、主に県庁所在地を中心とする都市部の全国47地点

から気温上昇率を計算している。都市部ではアスファルトやコンクリートでの舗装面積が大きく、日中にためられた熱が夜間でも放出されるため、舗装面積が少ない地域と比べて最低気温が高くなるものと考えられる。本研究では1950年から2008年までの59年間のデータより気温の上昇率を求めており、この期間は都市化が進んだ時期にあたり、舗装率も高くなっていったと推察される。

大河内・渡辺ら<sup>(12)</sup>は、九州地方全域の都市部と都市部以外の平均気温の日変化を求めて、午前中の気温差はあまり見られないが、昼過ぎから夜明け前までの夜間にかけて都市部と都市部以外の気温差が顕著になり、都市の冷却が遅れ、最低気温の上昇をもたらすことを示した。また九州地方では、九州地方の都市部とそれ以外の風速の日変化を求めたところ、都市部が一日を通して風が強いことも分かった。九州の都市においては、風は最低気温の上昇をもたらす要因の一つであると考えられる。

このように長期的、気温の変化を考察するには、風通しの良さなど観測所付近の環境も影響する可能性もあるので注意が必要である。日最高気温および日最低気温は、風速などに影響を受けやすいが、日平均気温については、信頼性は比較的高いといえる。

#### 4. 結論

1950年から2008年までの59年間の県庁所在地を中心とする全国47地点の観測データより求められた、日本の温暖化について、次のようなことが分かった。日最高気温、日平均気温、日最低気温のそれぞれの上昇率は、100年あたり1.7°C、2.5°C、3.0°Cの割合であった。

人口で代表される都市化の影響については日最低気温の上昇に顕著にあらわれ、日最高気温にはほとんど影響がない。日最高気温の上昇分は、主に地球温暖化の影響と考えられる。地球温暖化の影響は、日変化のすべてに影響を与えると考えると、解析した平均気温上昇率 2.5°C/100年の内、都市化の影響0.6~0.8°C/100年、地球温暖化などの影響1.7°C/100年程度に分離できる。気象庁によると、日本における100年間の温暖化量は1.1°Cと見積もられている。両者の違いは、今回の結果がより最近の59年間によるものであり、最近の傾向を反映した差と考えられる。

都市の人間活動の影響について、(1)人口が増えると、日平均気温の上昇がみられ、上昇率では特に日最低気温上昇率も大きくなる。(2)各日平均気温上昇率に冷暖房に対応する気温や季節に対する変化が見られる、(3)集計期間を30年、60年、90年と変化させると、現在に近い期間ほど各日平均気温上昇率は大きくなっている。温暖化は、最近ほど強くなっている。

月ごとの温暖化では、2月、9月、10月が大きな上昇率を示している。平均気温で見た地域別では、夏は気温の高い地域の上昇率が大きくなる傾向があり、冬は気温の低い地域ほど大きくなる傾向がみられる。このことは、人々の生活レベルの向上による空調機の普及と使用量の増大が関係

しているものと考えられる。

都市化の影響は、日最低気温の上昇に顕著に表れる。観測点の平均風速と補正した気温の関係は、風速が強くなると日最高気温は低く、日最低気温は高くなる傾向が見られる。日平均気温に対しては、風速の影響は小さく信頼性は高いと考えられる。

今後は、他の気象官署のデータも取り込むなど解析するデータ数を増加して、より確実性の高い評価となることが望まれる。一方では、欠測データの処理や観測地点の移転、観測方法、観測機器の変更などデータの精査についても検討を加えたい。

#### 謝辞

研究遂行にあたり、熊本高専大気環境解析研究室の平成21年度卒業生、杉田卓也君と宮崎勇太君、専攻科の松浦宏昭君のご協力に厚くお礼申し上げます。また、貴重な助言をいただいた、熊本高専共通教育科岩尾航希講師に感謝申し上げます。

(平成22年9月26日受付)

#### 参考文献

- (1) 気象庁ホームページ, ホーム, 新着情報, 平成22年9月1日 (<http://www.jma.go.jp>) (2010).
- (2) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): "Climate Change 2007", Cambridge University Press, Cambridge, pp996 (2007).
- (3) 気象庁ホームページ, 気象統計情報, 地球環境気候. (<http://www.jma.go.jp>) (2010.9.1).
- (4) 環境情報科学センター, 平成18年度 ヒートアイランド現象の実態把握及び対策評価手法に関する調査報告書, pp102 (2007).
- (5) 気象庁, 20世紀の日本の気候, 財務省印刷局, pp116 (2002).
- (6) 野口泰生, 日最高・日最低気温の永年変化に与える都市化の影響, 天気, 41, 123-135(1994).
- (7) 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, 369-378(1998).
- (8) Fujibe, F., Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan, *Inter. Jour. Climatology*, 29, 1811-1822 (2009).
- (9) 大河内康正・水本剛, アメダスで見た最近の日本温暖化, 熊本高等専門学校研究紀要, 1号, 31-38 (2009).
- (10) 大河内康正, 今村大輔, 桑原勝洋, 九州地域の気候的特徴と変化, 八代高専紀要, 25号, 15-22(2003).
- (11) 大河内康正, 三角健太, 小川裕士: 九州地方の気候温暖化, 八代高専紀要, 27号, 35-42(2005).
- (12) 大河内康正・渡辺龍貴・松本大輝: 九州地方の温暖化とヒートアイランド, 八代高専紀要, 31号, 1-8 (2009).
- (13) 気象庁ホームページ, 気象統計情報, 過去の気象データ検索 (<http://www.jma.go.jp>) (2009).
- (14) 自治省, 「住民基本台帳人口要覧」, (「中学校社会科地図」, 帝国書院, 1979, 1991, 1995, 1999年版統計資料による).
- (15) 地理情報検索サイト「都道府県市区町村」 (<http://uub.jp/rnk/setai.html>) (2009).