

アメダスで見た最近の日本の温暖化

大河内 康正* 水本 剛**

Recent Warming in Japan Estimated from AMeDAS

Yasumasa Okochi^{*1}, Tsuyoshi Mizumoto^{*2}

The global warming is one of the biggest issues that mankind is facing. Japan is no exception to the global warming. In this report, using AMeDAS data for recent 28 years published on the internet by Japan Meteorological Agency, we estimate the rising rates of average temperatures in Japan area. The average rising rate of temperature per 100 years in all areas of Japan is 4.5 °C. Although the distinction between the global warming and urban heat island effect is difficult, the centennial rising rate of temperature in Japan area is currently estimated to be greater than 4.0°C due to global warming.

キーワード： 地球温暖化、日本の温暖化、都市化、ヒートアイランド

Keywords : Global Warming, Warming in Japan area, Urbanization, Heat island

1. はじめに

最近 100 年間にわたり地球全体の平均気温は徐々に上昇している。この「地球温暖化」は、人間活動によって排出された二酸化炭素などの温室効果気体の蓄積による効果が、主な原因であると考えられる。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) は、2007 年の第 4 次報告書^{(1),(2)}の中で「地球温暖化は、疑う余地がない」としており、公表されている全球の気温データからは平均 0.67°C/100 年(決定係数 0.79) の上昇率が認められる。

日本では、アメダス観測点の充実が図られ、1976 年以降については、日本全国の詳細なデータが蓄積されている。しかし、アメダス観測点においても、人為的な影響を除くように配慮されているものの、ほとんどの観測点が人間の居住地域にあることから、温暖化を調べるには人間活動が地球を暖めているのではなく観測点付近を暖めているに過ぎないのではないかという疑惑も否定できないという問題もある。近藤純正⁽³⁾は、観測点の移転・観測地点の周囲の環境変化、観測方法・測器の変更などを詳細に調査し、温暖化の評価として、観測地点の整備と実施および注意深いデータの取り扱いの必要性を指摘し、都市温暖化量などを推定している。

人間活動の影響の中で人口集中による「ヒートアイランド現象」は、バックグラウンドとなる「地球温暖化」に加えて、都市の人々の熱環境を悪化させている。ここで、ヒートアイランド現象とは、都市部でのエネルギー消費量の増大に伴う排熱、およびアスファルトやコンクリートを素材とした街づくり、緑地面積の減少などによる乾燥化により都市の気温が郊外に比べ平均的に高くなることをいう。

温暖化と都市化はどちらも人間活動の結果であり、いずれも気温の上昇をもたらすという意味で密接な関係がある。実際の観測値では、広範囲に全球的な温度上昇をもたらすグローバルな温暖化より、都市部の集中的な温度上昇をもたらすローカルなヒートアイランドの影響が大きい場合もあると思われるが、この両者は重なって厳密には分離できない。

ここでは、近藤の観測点のデータを温暖化評価に使うことの問題点の指摘にもかかわらず、できるだけ多数のアメダスデータを解析することにより、日本の温暖化の最近の現状と動向を考察する。また、ヒートアイランドとの分離を試みる。

本研究は、これまでの一連の研究⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾を継承し、対象地域をさらに日本全国のアメダスデータに拡大した。また、日本各地の地方ごとの気候特性や近年の気温上昇率および気候の温暖化の現状を調べた。

2. 使用データ

気象庁の自動化された「地域気象観測システム」アメダス⁽⁷⁾ (AMeDAS) は「Automated Meteorological Data Acquisition

*建築社会デザイン工学科

〒866-8501 熊本県八代市平山新町2637

Department of Architecture and Civil Engineering, 2627,Hirayama-shinmachi, Yatsusiro, Kumamoto 866-8501

**三菱地所藤和コミュニティ株

Mitsubishi Jisho Towa Community Ltd.

System」の略で、降水量、気温、風向風速、日照時間などの気象状況を時間的、局所的に監視し気象災害の防止・軽減に重要な役割を果たしている。1974年11月から運用を開始し、その後の整備により降水量を観測する観測所は現在全国に約1,300ヶ所あり、このうち約850ヶ所（約21km間隔）では降水量に加えて、風向・風速、気温、日照時間を観測している。このほか、雪の多い地方の約290ヶ所では積雪の深さも観測している。

気象観測データはインターネット上の気象庁のWeb⁽⁷⁾に公開されており、Webから必要なデータをダウンロードすることにより利用した。

本研究で使用したデータは、気温を計測しているアメダス観測局の内、欠測の少ない826地点を選んだ。しかし、全領域平均を考察することを考えて、観測地点の変更のあった数地点については観測点も近隣であれば修正なしに継続データとして利用することにし、出来る限り利用した。

時系列解析には、おもに1980年から2007年までの28年間の日最高気温、日平均気温、日最低気温の年平均値データを使用した。ここで、日平均気温とは、一日24時間の正時に計測された24個のデータの平均値である。また、日最低気温および日最高気温とは、アメダスデータでは、1日24回の気温観測中の最低値と最高値としていたが、2003年以降では10分おきのデータの最高および最低値から、2009年からは任意時刻の最低値および最高値に変更されている。このため、最近の日最高気温は高めに、また日最低気温は低めの値となることが多くなっている。経年変化解析には、この点も注意が必要である。

年間の欠測データの取り扱いについては、データの精度にばらつきがあるので、結果的に欠測データの影響が最小になるように配慮し、前後の年間データから内挿した。また、期間の初年または末年の欠測データについては翌年または前年と同じ値として全てのデータに欠測による空白を作らないようにした。

3. 日本の平均気温の緯度・経度と高度変化

年平均気温は、観測点のある高度や緯度と関係していることは知られている。次の回帰分析により、観測された期間全体の平均気温 T と基準の温度 T_0 の関係を表す。

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

ただし、 a, b, c は、気温の高度 z (m)、緯度 ϕ (deg)、経度 φ (deg)の依存性を表す係数である。日本全国の28年間のアメダス平均値の回帰分析から求めた変数の値を表1に示した。標準誤差も同時に示している。平均気温の高度依存性は $a=-5.9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ と高度とともに温度は下がる。対流圏の標準的気温減率の $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ よりやや小さい値となった。また緯度依存性は $b=-1.01^{\circ}\text{C}/\text{deg}$ と緯度が 1° 増えると気温は 1°C ほど下がる(決定係数 $R^2=0.970$)。経度依存性は $c=0.09^{\circ}\text{C}/\text{deg}$ と東に行くほど気温は上がるが、符号も地方によって

表1 地方ごとの28年間の平均気温の高度 a 、緯度 b ・経度 c の依存性

Table 1. Average temperature for 28 years dependence on altitude a , latitude b and longitude c in each area of Japan

地方	観測点数	高度 a ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	緯度 b ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)	経度 c ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)
北海道	155	-5.0±0.4	-0.51±0.06	-0.51±0.04
東北	142	-6.2±0.2	-0.75±0.04	-0.32±0.07
関東	83	-5.9±0.2	-1.25±0.11	-0.31±0.11
中部	135	-6.1±0.1	-1.07±0.05	0.23±0.06
近畿	71	-7.8±0.4	-1.19±0.13	-0.04±0.11
中国・四国	115	-8.1±0.3	-0.96±0.06	0.18±0.05
九州	93	-6.5±0.3	-0.88±0.06	-0.20±0.08
沖縄・離島	32	-8.1±0.1	-0.73±0.02	0.05±0.01
全国	826	-5.9±0.1	-1.01±0.01	0.09±0.01

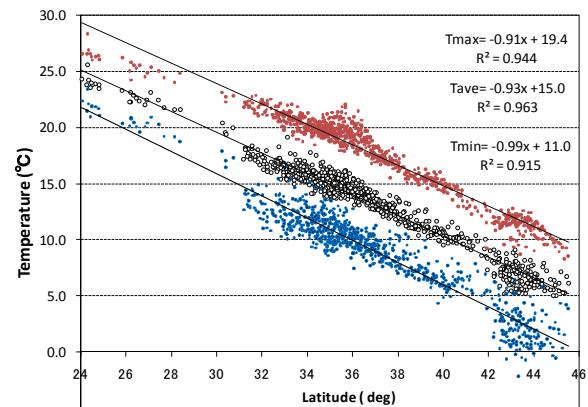


図1 日平均気温、日最高気温、日最低気温の28年間の平均値の緯度依存性

Fig. 1 Latitude dependence of the average of daily average, the daily maximum, and the daily minimum temperatures for 28 years.

異なり緯度依存性と比較して1ケタほど小さい。経度依存性を無視すると $a=-5.8^{\circ}\text{C}/\text{km}$, $b=-0.93^{\circ}\text{C}/\text{deg}$ と評価される($R^2=0.967$)。

表1には、気温について全般的な高度・緯度・経度の依存性の基本情報を得るために地方ごとに係数値を示している。高度変化については、全般的に、高緯度ほど温度減率が小さくなる傾向がみられる。特に北海道では鉛直温度減率が小さく、地上気温は高緯度ほど下がるが、東側に行くにつれ低温になる経度依存が顕著にみられる。東北地方でも相対的に経度依存性が強いが、緯度依存性と比較して1/2以下である。その他地域での経度依存性は緯度と比べて1/4以下の小さな量である。このように、平均気温では高度と緯度が重要である。図1は、日最高気温、平均気温および日最低気温の平均値の緯度変化の関係を見たものである。すべての観測値は大体直線上に乗っており、ほぼ平行である。沖縄や離島などの30°付近より低緯度では、日最高気温の値が緯度から予想されるものより低く、日最低気温は、予想値より高い傾向がみられる。また、中部山岳地帯や北

海道ではばらつきが大きい。

4. 日本の気候温暖化解析

IPCC の第 4 次報告書⁽⁸⁾によると、今後の地球温暖化の予測は二酸化炭素を主とする温室効果ガスの増加の仕方によって異なるとしている。図 2 は、二酸化炭素増加について、いくつかのシナリオを仮定して求めたそれぞれの地球温暖化量の予測値を示す。図は各国の研究機関がモデル(16~21 モデル)を構築して独立に計算した結果で、中心の濃いラインがその平均である。ただし 2100 年には二酸化炭素濃度は一定になると仮定している。計算結果には、薄い色領域で示した変化の幅があるものの「地域間の格差が縮小し環境保全と経済発展が地球規模で両立する社会」(B1)では 1.8°C の気温上昇に対して、「化石エネルギー源を重視し高い経済成長を実現する社会」(A2)では 4.0°C の気温上昇を予測している。現実の状況に近いと思われる A1B シナリオの場合の温暖化量は、最尤推定値 2.9°C 、推定区間は $1.9\text{--}4.4^{\circ}\text{C}$ と推定されている。

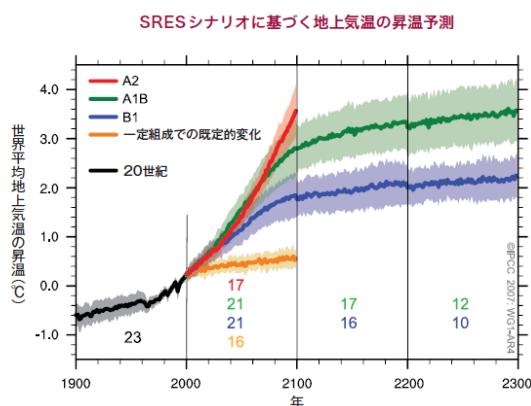


図 2 IPCC 第 4 時報告書による地球温暖化量の予測⁽⁸⁾

Fig.2 Global warming predictions by IPCC forth report.⁽⁸⁾

地球温暖化量は全地球の平均量であり、地域によって、また年々変動するため単純ではない。そのため、国内で販売されている一般書では、都市のヒートアイランドは起こっているが、「地球温暖化は起こっていない」とするもの⁽⁹⁾や、逆に気象庁のデータが温暖化していないように配慮して「低めの評価をしている」と主張するもの⁽¹⁰⁾もある。このような、一般書の誤った認識に対してデータを解析することによって反論することも、研究者としての勤めであろうと考える。そこで、まず本報告では日本域の全観測点について平均気温ならびに日本各地の気温変動をまとめて、地方ごとにどのような違いがあるのか比較して検討する。

4.1 日本全国の状況

図 3 に日本全国 826 地点のアメダスデータの単純平均した経年変化を示す。年々変動は大きいが、日最高、日平均、日最低気温は、それぞれ 100 年あたり 5.7°C 、 4.5°C 、 4.3°C

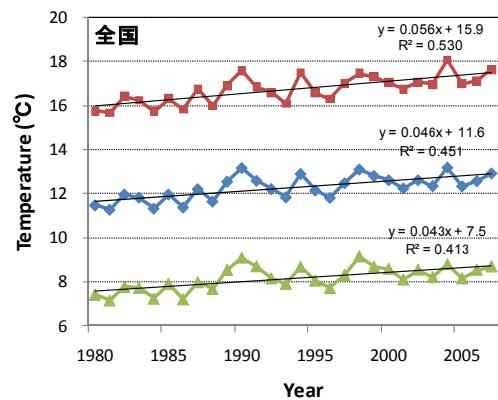


図 3 全国の日最高、日平均、日最低気温の経年変化

Fig.3 Change in annual average of the daily maximum, the daily average, the daily minimum temperatures in all Japan area.

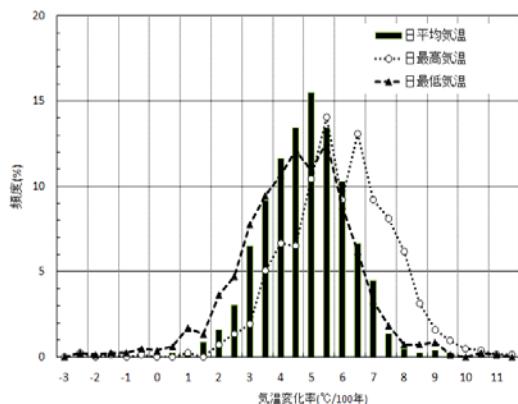


図 4 日本全国の日最高・日平均・日最低気温の 100 年あたり上昇率の頻度分布

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

の割合で上昇している。日最高気温の上昇が最も大きい。

図 4 は、28 年間のアメダスデータから求めた 100 年当たりの日最高、日平均、および日最低気温の上昇率の全観測地点の相対頻度である。刻み幅は $0.5^{\circ}\text{C}/100$ 年である。全国の平均気温の上昇率の平均は $4.5^{\circ}\text{C}/100$ 年で、約 68% は $3.5\text{--}5.5^{\circ}\text{C}/100$ 年の範囲にある。平均気温の上昇率が負値を示すのは、鳥羽(三重)のみで $-0.02^{\circ}\text{C}/100$ 年である。次に小さいのは、神流(群馬) $0.21^{\circ}\text{C}/100$ 年、宇登呂 $0.68^{\circ}\text{C}/100$ 年、寺泊(新潟) $0.72^{\circ}\text{C}/100$ 年であった。大きい方では、枚方(大阪) $10.2^{\circ}\text{C}/100$ 年、奄美大島 $9.0^{\circ}\text{C}/100$ 年、龍神(和歌山) $8.8^{\circ}\text{C}/100$ 年である。

最高気温の上昇率の全国平均値は $5.7^{\circ}\text{C}/100$ 年、上昇率が負の値を示すのは神流(群馬) $-3.1^{\circ}\text{C}/100$ 年、白滝(北海道) $-1.0^{\circ}\text{C}/100$ 年、勝山(福井) $-0.71^{\circ}\text{C}/100$ 年の 3 点であ

る。特に大きい値を示したのは、須崎(高知) $14.7^{\circ}\text{C}/100$ 年、飯館(福島) $11.0^{\circ}\text{C}/100$ 年、龍神(和歌山) $10.3^{\circ}\text{C}/100$ 年である。最高気温の上昇率は、平均値の上昇率の分布と比較して大きい方にシフトした分布となっている。

最低気温の上昇率の全国平均値は $4.3^{\circ}\text{C}/100$ 年である。負値を示す観測点は、全国で 15 か所、その中で北海道が 9 カ所である。低下率が大きいのは、宇登呂(北海道) $-3.0^{\circ}\text{C}/100$ 年、鳥羽(三重) $-2.6^{\circ}\text{C}/100$ 年、上札内(北海道) $-2.4^{\circ}\text{C}/100$ 年である。大きい方では、奥尻(北海道)・枚方(大阪) $10.7^{\circ}\text{C}/100$ 年、赤石(兵庫) $10.4^{\circ}\text{C}/100$ 年、神戸(兵庫) $10.3^{\circ}\text{C}/100$ 年である。

日本の平均気温の変化について現在の傾向を維持すれば IPCC の第 4 次報告の上昇率範囲($1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}/100$ 年上昇)の上限に近い気温上昇率で変化している。

図 5 には緯度と全アメダス観測点での気温上昇率の関係を示した。アメダス観測点の所在地の緯度の最頻値は北緯 35.5 度であり、その周辺に集まっている。ばらつきも 35 度前後が最も大きい。気温上昇率の緯度分布をみると、分散が大きく信頼度は低いが、全体的な傾向として緯度が高いほど上昇率は小さくなっている。しかし、低緯度の離島を含む沖縄は、 $3^{\circ}\text{C}/100$ 年程度とやや小さい。 35 度付近の大きな分散については都市化や山岳地形などの影響も考えられる。

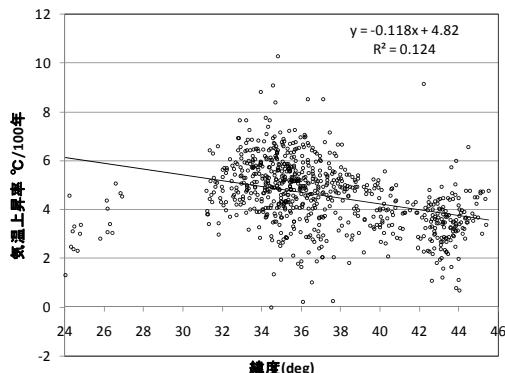


図 5 年平均気温の 100 年あたり上昇率の緯度変化

Fig.5 Dependence of centenary change rates of the annual average temperature on latitude.

4.2 地方ごとの状況

次に地方ごとの気温変化をみたものが図 6 である。北海道は、1990 年前後で急激な気温ジャンプが起こっており、前後の期間はそれぞれ一定の温度の周りで変化しているように見える。全体としての上昇率は他地方に比較して小さい。同様の傾向は東北地方でも見られる。それ以外の地方では、それぞれ多少の差はあるものの直線近似が比較的当てはまる。九州や中国・四国地方は類似した変動をしており、気温の上昇率は比較的大きく信頼度も高い傾向がある。

表 2 地方ごとの日最高気温、平均気温、日最低気温の 100 年あたりの気温変化率

Table 2. Centenary change of the daily maximum, the daily average and the daily minimum temperatures in each area.

地方	日最高気温の変化率	平均気温の変化率	日最低気温の変化率
北海道	4.2 ± 1.3	3.5 ± 1.3	3.2 ± 1.3
東北	5.3 ± 1.3	4.4 ± 1.2	4.4 ± 1.1
関東	6.0 ± 1.1	5.1 ± 1.1	4.8 ± 1.2
中部	5.8 ± 1.2	4.5 ± 1.1	4.3 ± 1.1
近畿	6.2 ± 1.1	5.2 ± 1.0	5.0 ± 1.1
中国・四国	6.7 ± 1.3	5.2 ± 1.0	4.8 ± 1.0
九州	6.7 ± 0.9	5.3 ± 0.9	4.7 ± 0.9
沖縄・離島	4.2 ± 0.6	3.6 ± 0.7	3.5 ± 0.7
全国	5.7 ± 1.1	4.5 ± 1.0	4.3 ± 1.0

沖縄・離島地域では、直線性は良いが、上昇率は平均気温でやや小さめである。これらをまとめて示したのが、表 2 である。日本国内で見ると、北海道や東北などの北日本の気温上昇率は $3.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}/100$ 年と小さく、九州や中国四国地方では $5.1^{\circ}\text{C}/100$ 年以上と大きい傾向がみられる。一方さらに南方の沖縄および小笠原諸島などを含む離島地域の気温上昇率は、北海道と同程度の小さな値となっている。また、関東地方は、周りの東北地方や中部地方より高く、都市化の影響も考えられる。中部・近畿地方には上昇率がマイナスになっている地点もあるが、ほぼすべての全国の観測地点で日最高、日平均、および日最低気温の上昇が確認される。上昇率は日最高、日平均、日最低気温の順に大きくなっている。特に日最高気温の上昇率は高く、中国・四国地方および九州地方は $6.7\sim 6.8^{\circ}\text{C}/100$ 年となっている。

4.3 バックグラウンドとしての温暖化量

図 7 は全国 55 地点の島岬の 28 年 (1980 - 2007 年) の気温変化である。全国にわたって抽出した半島および島の観測地点：宗谷岬、焼尻、納沙布、えりも岬、奥尻、大間、江ノ島、飛島、御前崎、石廊崎、伊良湖、粟島、弾崎、相川、羽茂、家島、潮岬、玉野、久比、西郷、海士、安下庄、多度津、大三島、室戸岬、清水、蒲江、巖原、有川、福江、口之津、青島、中甑、枕崎、大島、三宅島、八丈島、父島、新島、南鳥島、種子島、屋久島、名瀬、沖永良部、上中、尾之間、古仁屋、伊仙、伊是名、渡嘉敷、与那国島、波照間、吳市蒲刈、生口島、知方学。全国の広い範囲から選ばれた島や岬は都市化の影響が少ない海洋の環境下にあると思われる。この場合も日最高、日平均、日最低気温は、それぞれ 100 年あたり $5.0 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$, $4.2 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$, $3.7 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ の割合で上昇している。全観測点で最も小さな上昇率を示したのは、八丈島で日平均値の上昇率は 100 年あたり $0.47 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ であった。最大値は伊豆大島の $8.6 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ であった。

図 8 は、気象庁が日本の代表点として指定している 17 地点の同期間の変化をみたものである。代表観測点は全国の広い範囲から、都市化の影響が少なく、観測点の移転など

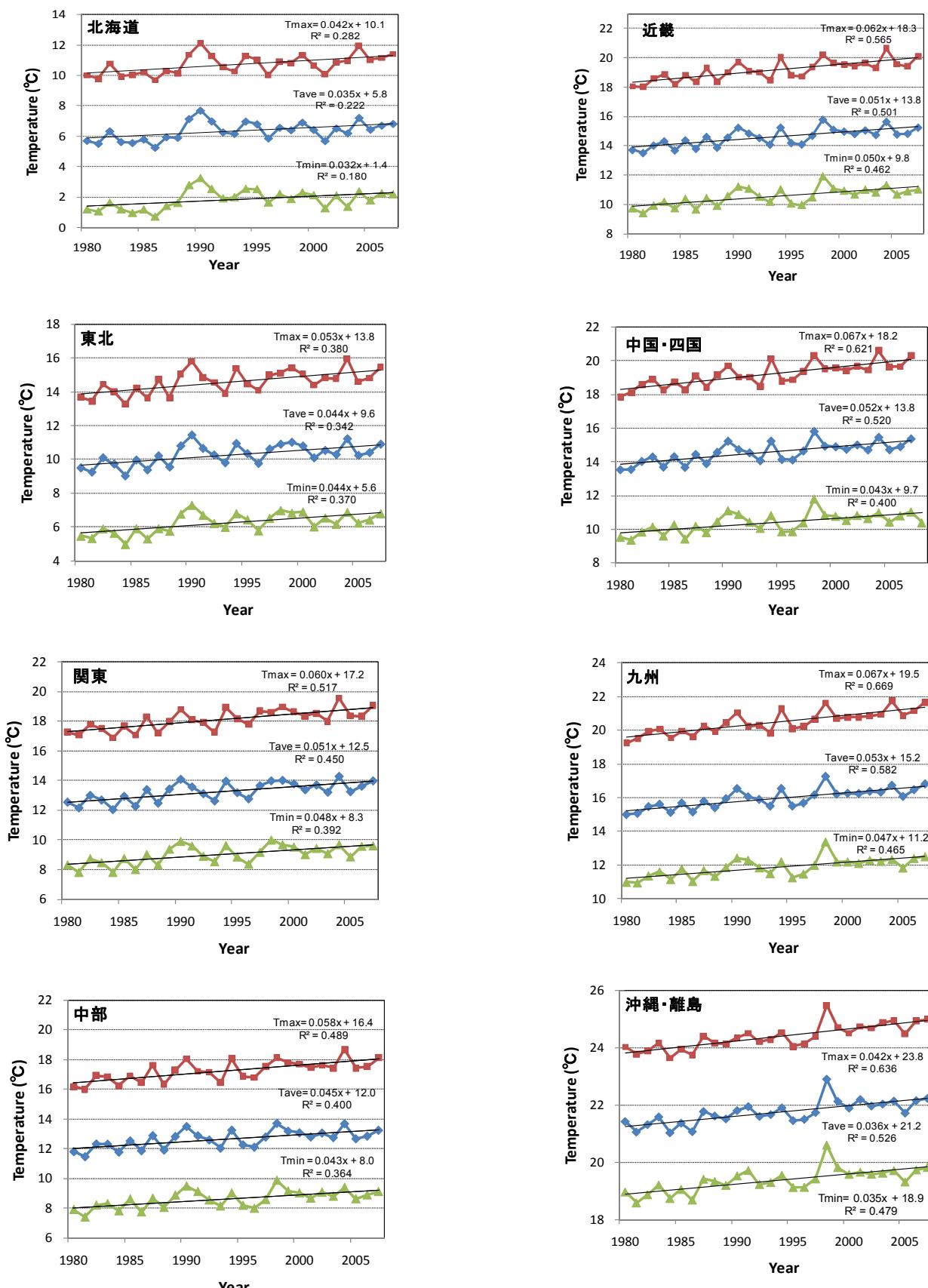


図 6 日本全国の日最高、日平均、日最低気温の年間平均値の地域別経年変化

Fig.6 Annual change of the daily maximum, the daily average, and the daily minimum temperatures in each area of Japan.

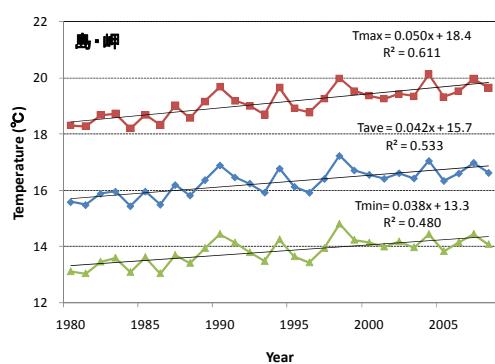


図 7 島や岬 55 地点の日最高気温、日平均気温、日最低気温の平均値の経年変化

Fig.7 Inter annual change in the average of the daily maximum, the daily average, and daily minimum temperatures of 55 observatory points in islands and peninsula.

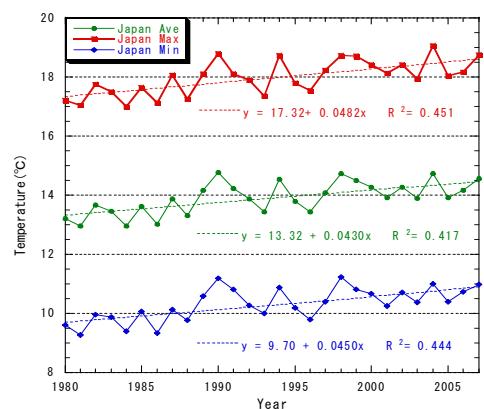


図 8 日本の代表点 17 観測点での日最高気温、日平均気温、日最低気温の平均値の経年変化

Fig.8 Inter annual change in the average of the daily maximum, the daily average and the daily minimum temperatures in 17 representative observatories of Japan areas.

がなくデータが連続的にとれている地点が選ばれており、網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、長野、水戸、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島の 17 地点である。

これらの代表点の平均値については、アメダス全国平均と比べるとやや小さく日最高、日平均、日最低気温は、それぞれ 100 年あたり $4.8 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $4.3 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $4.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ の平均割合で上昇している。全アメダス平均値より小さい。

4.4 都市化の影響

次に、人間活動と気温の関係を調べる際、都市名で設置されている観測点で人口の推移を追跡可能な地点をピックアップして 285 地点の人口と気温の関係を調べた。人口密度も関係があると思われるが、最近では特に市町村合併な

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。全体の都市の指標として、エネルギー消費の総体として人口で代表させるものと考える。参照した人口は、インターネットで公開されている日本全国の都市 784 の人口⁽¹¹⁾および自治省、住民基本台帳人口要覧⁽¹²⁾による都市人口の推移である。図 9 は、アメダス観測点のある 285 都市における人口と気温偏差の関係を示している。ここで、気温偏差とは、実測気温と地方ごとの回帰分析による予測値との差を表したものであり、この値がプラスであればその観測点の気温偏差は高いと言える。

対象とした全都市の人口の平均は約 20 万人であり、全期間の気温偏差の平均値は $0.2 \sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 上昇している。人口 10 万人以下の都市の数は多くかつ偏差の変動の幅も大きい。図 9 からわかるように、人口が多いほど気温が上昇する傾向がみられ、100 万人当たり、 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 0.7^{\circ}\text{C}$ 程度日最高、日平均、日最低気温の年平均値が上昇している。すなわち人口増加は、都市の気温を上昇させている。都市気温は、ヒートアイランド現象の影響を受けている。

同様に、表 3 には、都市の気温を目的変数とし、説明変数が緯度、経度、高度および人口とした回帰分析を行い、それぞれの寄与率と標準誤差を示した。表 3 の回帰分析結果からも都市の年平均気温は 100 万人当たり 0.6°C 前後の上昇を示しており、図 9 の都市人口と気温偏差の結果と同程度となっている。都市化の影響は、最低気温がもっとも大きな上昇を示し 100 万人当たり 0.7°C に達している。

ところで、都市の人口は、気温上昇率にも影響を与えているのだろうか。図 10 は 285 地点の 30 年平均人口と各地点の 100 年あたりの気温上昇率の関係を示した。年平均気温上昇率では 100 万人当たり $0.7^{\circ}\text{C}/100$ 年の上昇を示している。しかし、日最高気温の人口の寄与では、ほとんど 0 であり、日最低気温に対しては 1.2°C 引き上げている。都市の人口が気温上昇率を引き上げているということは、何を意味しているのであろうか。まず、考えられるのは人々の生活レベルの向上によりエネルギー消費が年々増大していることである⁽¹³⁾。都市温度の上昇要因となる消費エネルギーの増大は、人口の集中する都市においてより顕著となる。また、都市では大都市ほど人口増加がみられる。図 11 は、前記の都市に対する 1979 年から 2009 年の期間の平均人口と都市の人口変化数との関係を見たものである。市町村の合併などで、現実の人口増加の状況を反映していない場合も考えられるので、全国的な大合併前の 1979-1999 年の期間について人口増加率を推定している。人口の多い都市ほど人口が増加している傾向が見られる(ここでは示さないが人口密度についても、人口が多い都市ほど人口密度も高い傾向がある)。このことから、都市で気温上昇率が高いことは、人口増加も一因であると解釈できる。図 10 において都市データの人口 0 の極限をとっても、年平均気温上昇率は全アメダス平均値より大きな $4.9^{\circ}\text{C}/100$ 年となり、上昇率に都市バイアスが残る。なお、都市の観測点の平均上昇率が $5.0^{\circ}\text{C}/100$ 年に対して、都市名のつかない残りの 541 地点の

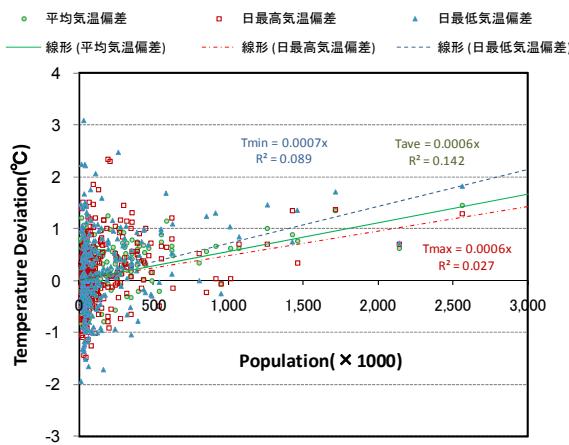


図9 都市の30年平均人口と28年間の日平均、日最高、日最低気温の平均偏差の関係

Fig.9 Relationship between average urban population and the daily average, the daily maximum, and the daily minimum temperature anomalies.

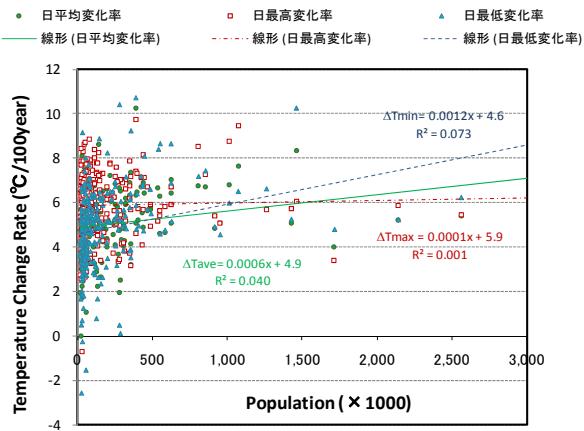


図10 平均人口と日平均、日最高、日最低気温の100年あたりの上昇率の関係

Fig.10 Relationship between urban population and the daily average, the daily maximum, and the daily minimum centennial change rates of temperature.

観測点の平均上昇率は $4.3^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ であった。上昇率の都市のバイアスは $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ 程度と見積もられる。同様の気温上昇率に対する回帰分析の結果を表4に示した。

4.5 溫暖化の鉛直構造および緯度変化

$4.5^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ の変化率を持つ気温上昇率の高度変化をみると、表4から、気温上昇率は高度とともに小さくなり、 1000m 当たり 0.9°C 減少する。気温上昇は、 5km 程度まで及んでいくことになる。気温は全国平均では高度 1km 当たり -5.9°C の低下率であった。図12は、全観測点での鉛直温度減率の経年変化である。ただし、鉛直変化以外の変数については、

表3 観測点のある285都市の28年間の平均気温の経度、緯度、高度および人口の依存性

Table 3. Urban average temperatures for 28 years dependence on longitude, latitude, altitude, and population in 285 urban observatories.

都市の気温	日最高気温	平均気温	日最低気温
経度 ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)	0.13 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.02
緯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)	-1.05 ± 0.02	-1.01 ± 0.02	-1.01 ± 0.03
高度 ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	-2.8 ± 0.3	-5.6 ± 0.2	-7.4 ± 0.4
人口 ($^{\circ}\text{C}/100\text{万人}$)	0.60 ± 0.11	0.60 ± 0.09	0.74 ± 0.14

表4 観測点のある285都市における100年あたりの気温上昇率と経度、緯度、高度および人口の依存性

Table 4. Urban average temperature rising rates for 28 years dependence on longitude, latitude, altitude, and population in 285 urban observatories.

都市の気温変化率	日最高気温の変化率	平均気温の変化率	日最低気温の変化率
経度 ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)	0.01 ± 0.04	0.06 ± 0.03	0.10 ± 0.04
緯度 ($^{\circ}\text{C}/\text{deg}$)	-0.18 ± 0.05	-0.20 ± 0.04	-0.22 ± 0.06
高度 ($^{\circ}\text{C}/\text{km}$)	-0.3 ± 0.7	-0.9 ± 0.6	-0.9 ± 0.8
人口 ($^{\circ}\text{C}/100\text{万人}$)	0.0 ± 0.2	0.6 ± 0.2	1.2 ± 0.3

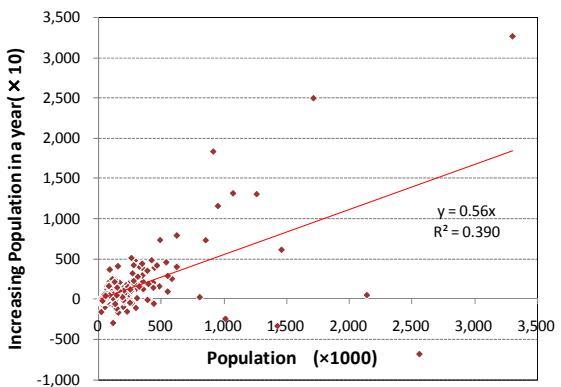


図11 都市の30年平均人口と1年間あたりの増加人口の関係

Fig.11 Relationship between urban population and its annual increasing population for 30 years.

表1の回帰係数を仮定する。図12より、 100年 あたり $-0.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (都市データのみの場合 $-0.9^{\circ}\text{C}/\text{km}$)だけ鉛直勾配は増大する。これは、上層では下層ほど気温は上昇しないため鉛直方向の不安定は強められることを示している。

表4では、気温上昇率に対して、説明変数を緯度、経度、高度とともに人口を考えた。人口は、前節に述べたような理由で気温上昇率にも寄与しており、人口 100万人 当たり日最高 $0.0^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ 、日平均 $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ 、日最低 $1.2^{\circ}\text{C}/100\text{年}$ のさらなる増大を示した。ここでも都市化の影響は、日最低気温に大きく表れる。

図13は全観測点での平均気温の緯度変化率についての経

年変化である。ただし、緯度変化以外の変数については、表1の回帰係数を仮定する。図13より緯度方向の変化率では、緯度が1°北にいくと0.1°C(都市データのみの場合は0.2°C)だけ気温上昇率は弱まる。すなわち、南北方向の気温差は拡大する。

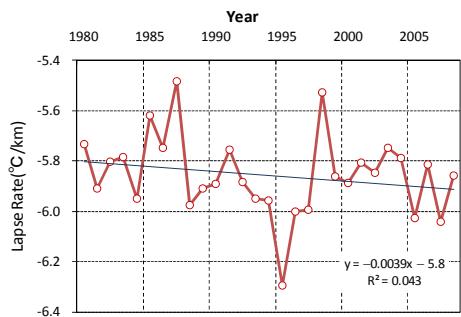


図12 鉛直気温減率(deg/km)の経年変化

Fig.11 Annual variation in temperature lapse rate(deg/km).

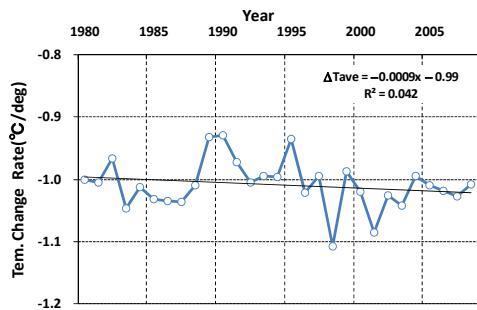


図13 気温の緯度変化(°C/deg)の経年変化

Fig.12 Annual variation in temperature change rate depending on latitude (°C/deg).

5. 結論

日本全域での温暖化の現状を最近のアメダス観測所の28年間のデータを用いて調べた。

地域別の気温上昇率をみると、九州地方や中国・四国、近畿地方などの西南日本の上昇率は大きく、北海道、東北地方や離島を含む沖縄地方では比較的小さくなっている。関東地方の気温上昇率は東北地方や中部地方などの周りの地域の上昇率よりも高く、都市の人口増加が影響を与えていた可能性がある。しかし、都市化の影響は、100万人増加当たり100年の上昇率にして0.6°C程度と見積もられ、特に大きいというわけではない。全国平均4.5°Cの上昇率は地球温暖化の影響が主要なものであると考えられる。

日最高、日平均、日最低気温の平均値の上昇率については、日最高気温の気温上昇率が最も大きい。これは温暖化が、より高温となる日最高気温に大きな影響を与えるため、より強調されるものと考えられる。都市化の影響は日最低

気温および日最低気温上昇率に大きく表れる。

地球温暖化について日本全国の気温変動についていろいろな観点から解析を行った結果、100年あたりの日本の平均気温の上昇率を推定する基礎となる代表値には、次のものが考えられる。

・全国アメダス観測点の平均値	4.5°C
・都市名のつかない観測点の平均値	4.3°C
・気象庁代表17地点平均値	4.3°C
・全国の島・岬などの平均値	4.2°C

これらのことから、日本におけるバックグラウンドとしての平均気温の現在の上昇率は、小さく見積もっても100年あたり4.0°C前後であると考えられる。

温暖化の空間構造については、高度が高くなるにつれ気温上昇率は小さくなり、下層ほど温度が上がり不安定を強めている。また、南北温度差は大きくなる傾向がみられる。

今後の課題としては、できるだけ長期間かつ最新のデータを取り入れ、使用したデータの欠測部分の取り扱いやミスの修正の方法など再検討し、均質かつ厳密なデータになるよう検討を行い評価の精度をより上げていきたいと考えている。また、温暖化の他の気象要素への影響についても検討したい。

最後に、研究遂行にあたり、地球温暖化について議論した共通教育科・岩尾航希先生および平成20年度卒業生パンウォンサ・ニランドーン(豊橋技術科学大学)君に感謝します。

文 献

- (1) 気象庁ホームページ、「気象統計情報、地球環境気候」.(2008). (<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html>)
- (2) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), “Climate Change 2007”, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 996 (2007).
- (3) 近藤純正ホームページ、「研究の指針」, (2009). (<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/kenkyo00.html>)
- (4) 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, pp15-22, (2003)
- (5) 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, pp35-42, (2005)
- (6) 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, pp1-8, (2009)
- (7) 気象庁ホームページ、「気象統計情報」, 「地球環境気候」.(2008). (<http://www.jma.go.jp>)
- (8) IPCC, 「第4次評価報告書第一作業部会報告書技術要約」(Technical Summary)(訳, 気象庁), 気象庁, pp74,(2008)
- (9) 武田邦彦, 「環境問題はなぜウソがまかり通るのか3」”1章1節 都市のヒートアイランド現象と温暖化を混同してはいけない”, 洋泉社, (2008).pp24-44
- (10) 船瀬俊介, 「気象大異変 人類滅滅へのカウントダウン」”政府発表の最高気温は操作された数値だった”, リヨン社(2005), pp25-30.
- (11) uub, 「全国784市の2008年10月1日の推計人口に基づく人口ランキング」, (2009) (<http://uub.jp/rnk/rnk.cgi?T=c&S=j>)
- (12) 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).
- (13) 経済産業省資源エネルギー庁: 「エネルギー白書 2006(HTML) 国内エネルギー動向」, (2009), <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2006EnergyHTML>

(平成21年9月25日受付)