

## 都市とその周辺における気候変動

岩嶋 樹也・村松 久史・西 憲敬・木田 秀次・森 二郎

### LONG-TERM CLIMATIC TREND IN THE URBAN AREA AND ITS SURROUNDING REGIONS

By Tatsuya IWASHIMA, Hisafumi MURAMATSU, Noriyuki NISHI, Hideji KIDA and Jiro MORI

#### Synopsis

For an understanding of the expected impacts of the urbanization and the increasing green-house gases, we make a preliminary analysis of long-term trends of the daily maximum and minimum surface air temperatures and the diurnal temperature range at several stations in the urban area and its surrounding sub-urban or rural regions.

At most observing sites except a few stations in local cities we can find the rising long-term trend of minimum temperature and the decreasing trend of diurnal temperature range; and such long-term trends are seen even in the non-urban area, such as Shionomisaki and Mt. Ibuki. From the present preliminary analysis we may conclude that the warming trend of the minimum temperature and the decreased diurnal temperature range in the urban area are mostly due to the urbanization, and that the slightly increasing trend in the rural or mountain region may be largely attributed to the increase of green-house gases.

#### 1. 序

ここ50年ほどの間に、日本の大都市やその周辺における自然環境は急速かつ大きく変貌した。これに伴って気候がどのようにどの程度変わってきたのだろうか。このような地域的な気候の長期的変動について実態の詳細を明らかにしておくことは、全地球的に増大している”温室効果気体の影響（いわゆる温暖化問題）”を検討するためにも重要である。その際に基礎となる、空間的・時間的に密で均質かつ良質な観測データを気象官署以外のものを含めて広範囲かつ長期にわたって確保することはなかなか困難である。現状では、時間的あるいは空間的に不揃いのデータであっても有効に使うことを考えるべきである。この可能性をさぐるための予備的研究として、いくつかの気象官署以外の気温観測データも加えて都市域内とその周辺における長期変動の実態についてやや詳しく調べることにする。

#### 2. 気温の長期変動

大都市の気温は、建築物も含めた地表部の人工的な改変に伴って、上昇している。都市化の影響は、最高気温より最低気温に対して、より大きく現れ、平均気温も上昇する傾向が知られている<sup>1)</sup>。岩嶋ら<sup>2)</sup>は京都市とその周辺の気象官署およびそれ以外の官署の気温（年平均日最高・最低気温、平均気温）観測データも利用して、”京都市と周辺の気温変動の実態”について調べた。日最高・最低気温および両者の差である日

変化の大きさ（気温日較差）の長期変化を調べて、以下のような問題点について述べた。以前には都市化の影響をみるために、近くのやや小さな都市の気象官署（例えば、京都に対して彦根など）の資料が使われていた。しかし、(1) 長期的にみるとこのような小都市においても“都市化”はかなり進行している。ここ 10 数年は特に顕著になってきており、基準とはならない。明らかに都市化の影響がなさそうな箇所（先例では伊吹山など）の観測資料を使用すべきであろう（Figs. 1, 2）。また、(2) 京都市の中心部に比較的近い観測点においても、ごく近傍の環境によるものと推論される差異が認められた（市街地からは離れている比叡山の山頂においても一見“都市化”に似た気温変化が見られた：Fig. 3）。このように、都市毎に気温上昇の空間的・時間的变化の程度が異なり、各都市の領域内で一様に変化しているわけではないが、広い都市域で共通した変化傾向がみられる。日本の 7 都市の年平均気温（年平均日最高・日最低気温）を調べた佐橋と徐<sup>3)</sup>の結果では、岡山の記録を除いて、「日最低気温が上昇し、日最高気温はやや上昇気味か横ばいであり、場合によっては下降」というほぼ共通する都市化に伴う特徴を有している。(3) 岡山の気温変化は、日最高気温が上昇しているが、日最低気温は、観測場所の移動があった最近の 10 年間程を除いて、やや下降気味であった（Fig. 4）。[最近、吉野<sup>4)</sup>は、日本全国の気象官署のデータから都市化の影響を議論して、日最高気温にはその影響が殆どみられない、と結論している。] このような点に着目して、京都・岡山や近郊都市とその近傍の幾つかの官署のデータを加えて、さらに詳しく変動の実態を調べることとした。その際に、都市化の影響として減少傾向が指摘されている相対湿度など、気温以外の気象要素の変動についても調べる。

京都市内においても場所（市街地か近郊か）によって都市化の進行程度・時期が異なっている様子を最近の 10 年間について、京都地方気象台と京都市衛生局の 4 観測点・旧京都大学理学部附属気候変動実験施設における年平均気温日較差で示した（Fig. 5）。京都タワーのように日最低気温が大きい低下傾向を示す場合もみられたが、これらは以前の記録がなくて期間も充分長くないので、今後も続くものかどうか、あるいは一時的なものか、今後追加される記録での検討を待つべきのものであろう。さらに約 50 年にわたる観測資料によって、京都市の都市化を検討する際に比較基準とされていた彦根（地方気象台）においても都市化が進んでいること（Fig. 2）、明らかに都市化が認められない近傍の山岳観測点（伊吹山測候所）を使用すべきであることを述べた。しかしながら、比叡山（Fig. 3）のように郊外の山岳観測点であってもあたかも都市化が進行しているかにみえる箇所もあった。これは、日最高気温・最低気温や日較差の長期にわたる変化傾向が市街地からどのような距離にあるかということと同時に各場所の状況に大きく依存していることを示している。これらのデータに、京都大学農学部附属農場や附属演習林など 4 観測点の約 60 年にわたる観測資料（Fig. 6）を加えて、まず 1980 年以降の変化傾向についてまとめたものが Table 1 である。程度の大小はあるが、市街地のみならず、人口の密集した地域からは遠く離れており、明らかに市街地の影響がないと考えられる箇所まではほぼ全域で日最低気温の上昇が認められる。長期的に見た場合にはどうか。市街地から離れている例として、割合高い山岳であり周囲には大きな都市のない伊吹山や人口の集中した都市部からは遠く離れている潮岬について検討してみることにする。それぞれ Figs. 7, 8 のようになっており、都市部と比べると程度がかなり小さいとはいえ、日最低気温の上昇傾向と日較差の減少傾向が認められる。長期にわたる変化傾向はどうかについてまとめると Table 2 のようになる。ただし、京都地方気象台のように 100 年をこえる期間のデータが得られる観測点であっても途中で観測場所の移転があった箇所もあり、また短い期間の観測記録しか得られなかった箇所（津山など）もあった。さらに Table 1 や Fig. 4 から知られるように岡山は最近 10 年間とそれ以前では大きく変化傾向が異なっているのでこの部分を除いて、ここでは 1945 年以降についてのみの変化傾向をみることにした。

市街地から離れるに従って日最低気温の上昇程度が小さくなっており、市街地の影響が殆どないと考えられる芦生では最近の 5 年間程を除くと殆ど変化がないようにみえる。日最高気温は北白川の本部地区ではやや上昇傾向であり、芦生演習林ではやや下降傾向、市街地に近い上賀茂では明瞭な下降傾向が認められる。

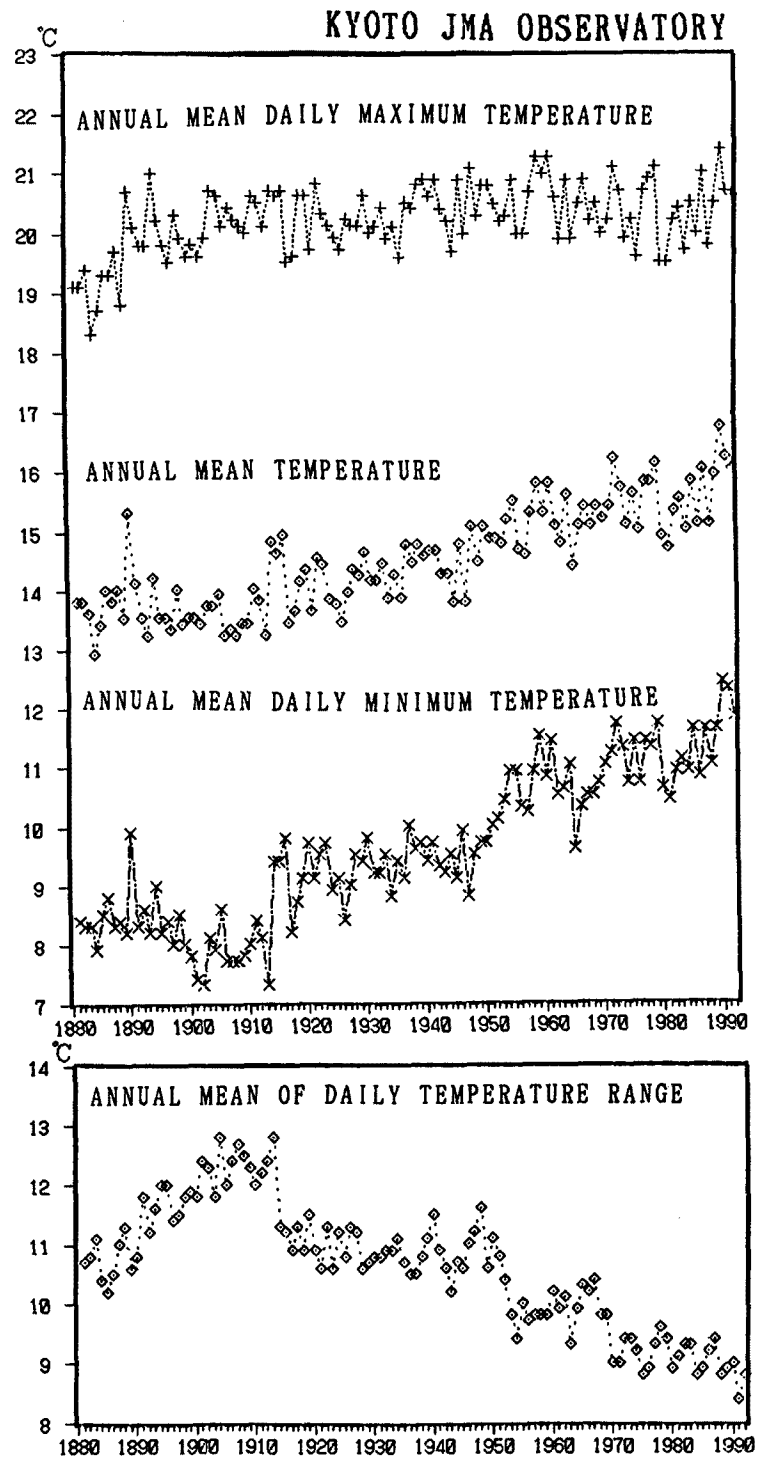


Fig. 1 Time series of maximum, minimum and mean temperature and the diurnal temperature range at Kyoto, JMA Observatory.

日較差をみると、いずれの観測点でも下降傾向にある：上賀茂や芦生では、1950～1960年頃に大きな変化がみられるが、これを除いて比べるべきかもしれない。日最高気温の場合には、市街地にあっても上昇傾向

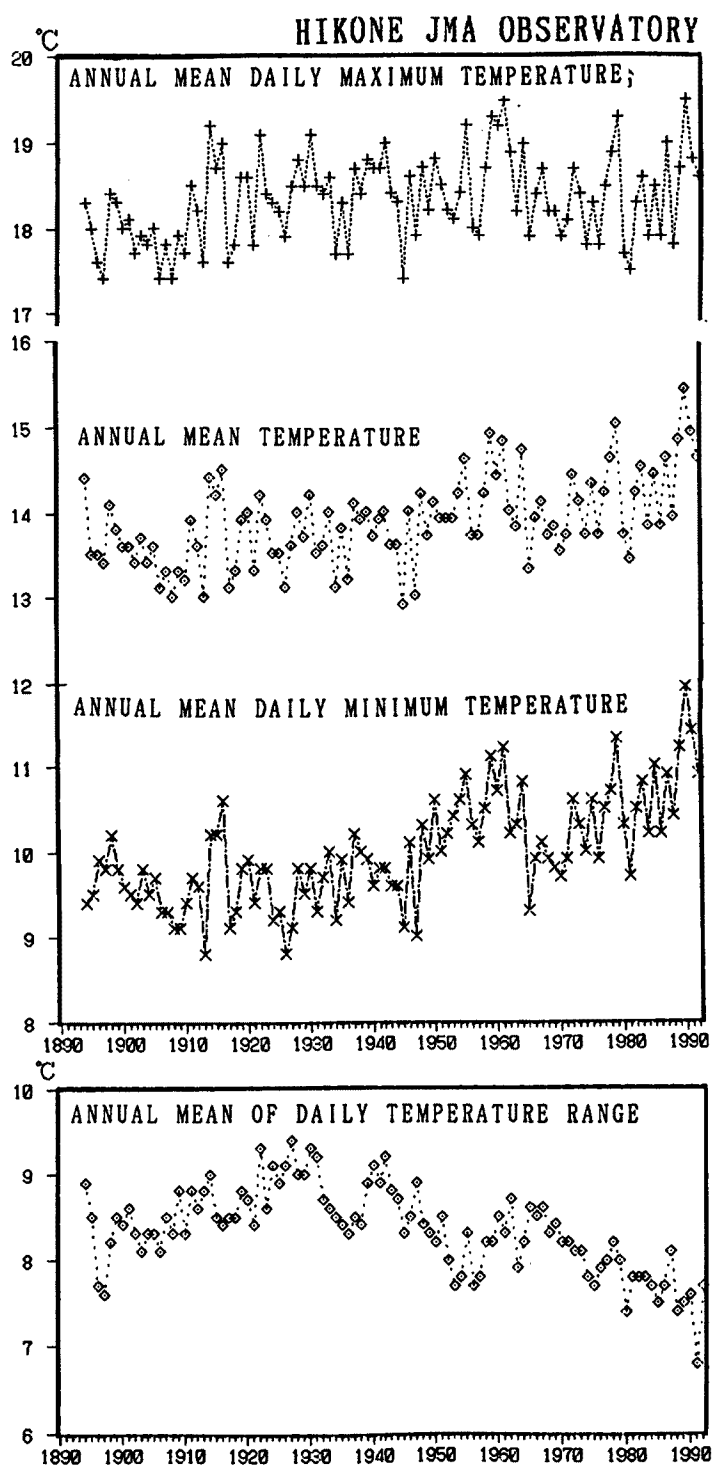


Fig. 2 Same as Fig. 1, except at Hikone, JMA Observatory.

を示す場合と下降傾向の場合がみられるが、可能なら雲量や日照時間などの気候要素について合わせ検討することが必要であろう。Plantico *et al.*<sup>5)</sup> による米国の場合には雲量の増加傾向と日最高気温の下降傾向

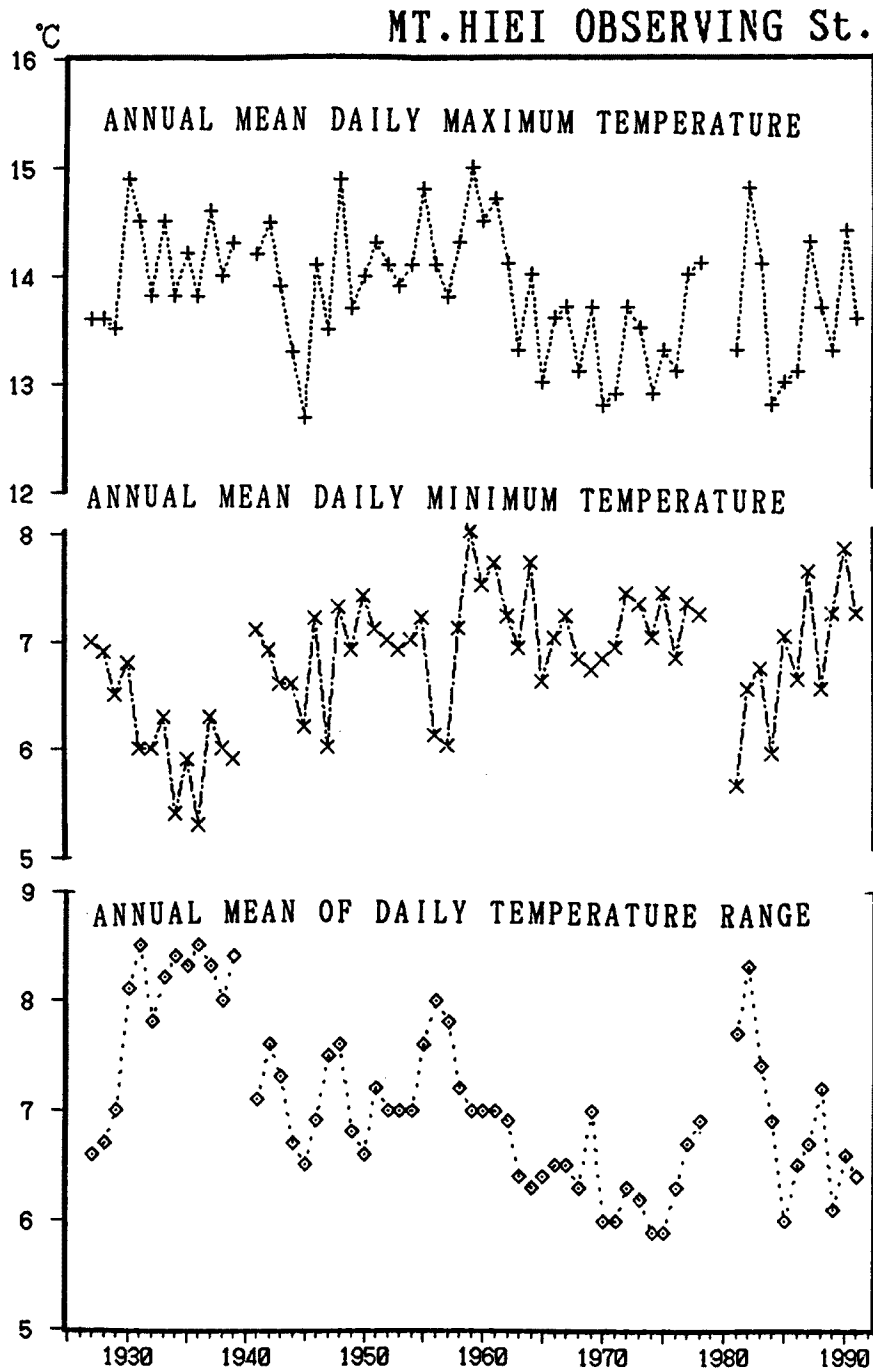


Fig. 3 Time series of maximum and minimum temperature and the diurnal temperature range at Mt.Hiei Observing Station.

が対応しているようである。しかし、京都地方気象台の場合には、ここでは図に示さないが、雲量の長期間にわたる傾向としては殆ど変化がみられなかった。上記の岡山や津山などでは、(観測場所の移転後の最近10年ほどを除いて) 日最高(最低)気温が上昇(下降)傾向と他の都市とその周辺部とは逆の傾向を示している。この原因としては、上記のような雲量・日照時間等以外に、風の影響も考えられる。都市部の日最高気温が風速の増大によって下がる傾向にあるとの指摘もある(蔵重<sup>6)</sup>)。これも今後詳細な検討を加える

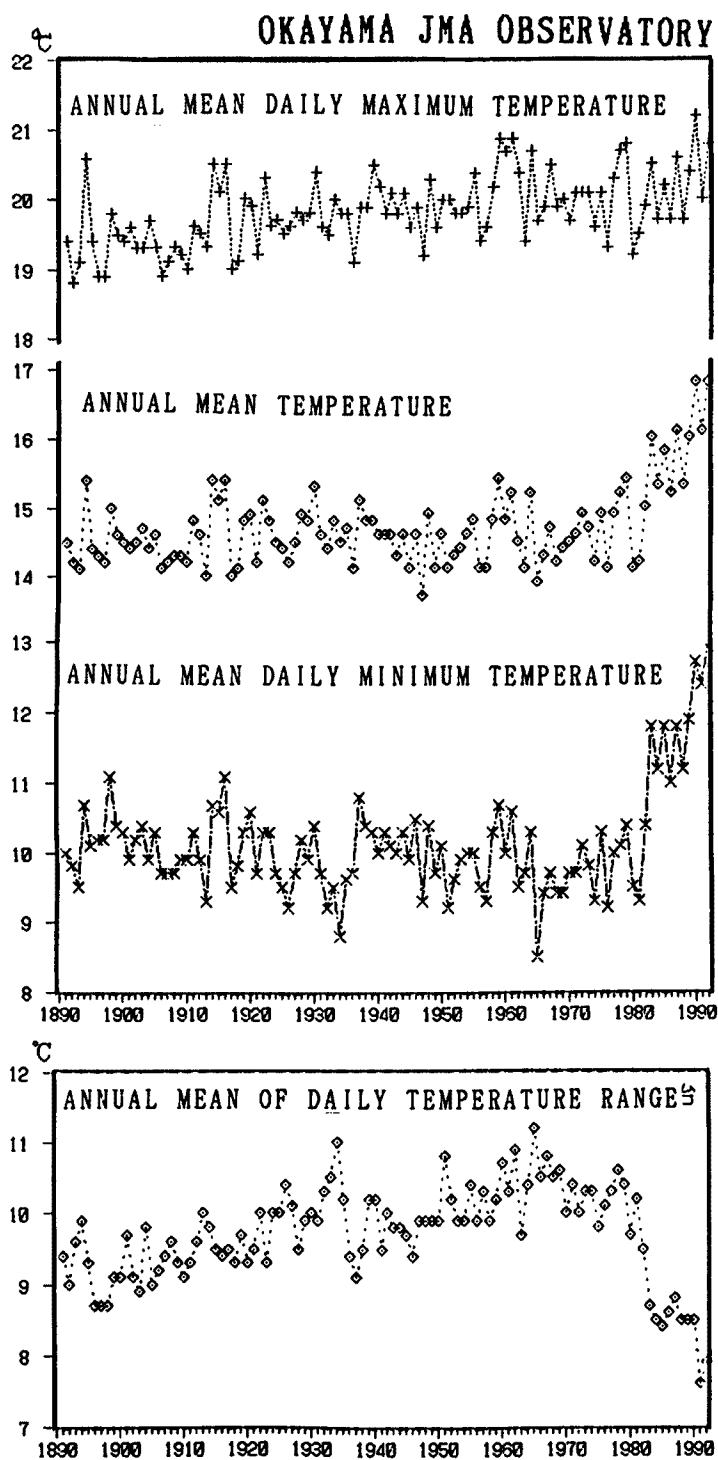


Fig. 4 Same as Fig. 1, except at Okayama, JMA Observatory.

べき点である。小元・鯉谷<sup>7)</sup>が提案したように都市化による影響部分を自然変動から分離する方法を採用するにはもちろんのこと、上記のような検討を進めるためにも、市街地内のみならず郊外における観測が今後も長期にわたって続けられることを期待したい。

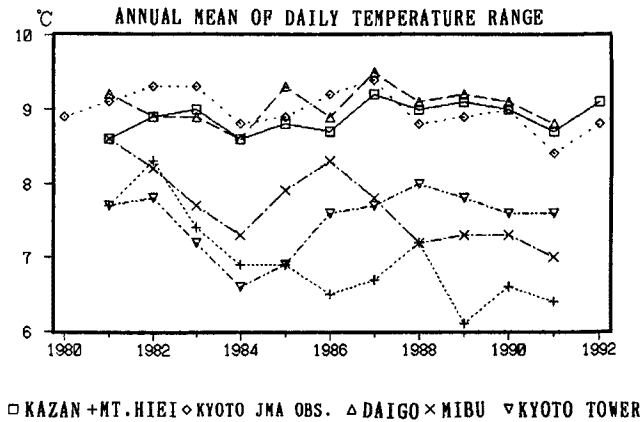


Fig. 5 Time series of the annual mean diurnal temperature range at several observing stations in Kyoto area: Kazan (Lab. Climatic Change Res. Kyoto Univ.); Kyoto (Kyoto JMA Obs.) ; Mt.Hiei (Kyoto JMA Obs. and Kyoto-shi); Daigo, Mibu and Kyoto Tower (Kyoto-shi).

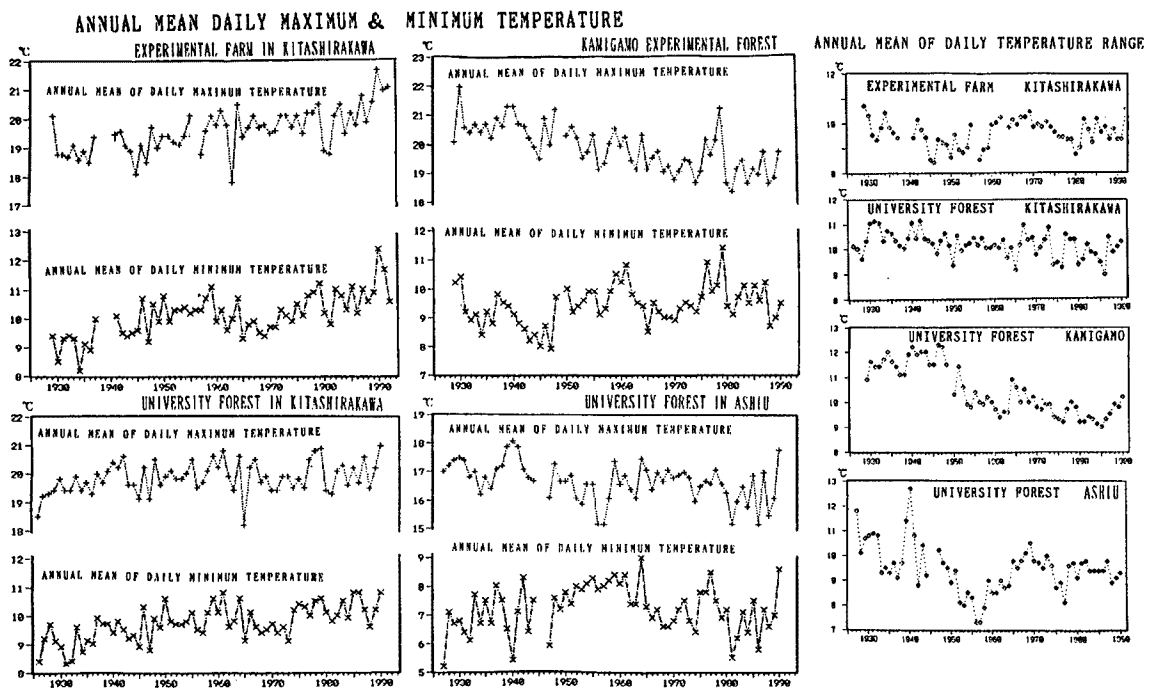


Fig. 6 Same as Fig. 3, but at several observing sites attached to Faculty of Agriculture, Kyoto University : Experimental Farm in Kitashirakawa, University Forest in Kitashirakawa, Kamigamo Experimental Forest and University Forest in Ashiu.

Table 1 Magnitude of increasing and decreasing tendency of the maximum and minimum temperature and the diurnal range for the years after 1980: JMA Stations (Kyoto, Sonobe, Hikone, Mt.Ibuki, Otsu, Shionomisaki, Okayama and Tsuyama); Kyoto University (Kazan:Laboratory for Climatic Change Research, Faculty of Science; Kitashirakawa A: Experimental Farm; Ashiu, Kamigamo and Kitashirakawa B: Experimental Forest, Faculty of Agriculture); Mt.Hiei Obs. Station of Health Bureau, Kyoto-shi. The unit is  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{year}$ .

| Obs.Site        | Tmax | Tmin | Range |
|-----------------|------|------|-------|
| Hikone          | 7.5  | 10.5 | -3    |
| Mt.Ibuki        | 13   | 11   | 2     |
| Otsu            | 8    | 9    | -1    |
| Kyoto           | 7    | 11   | -4    |
| Sonobe          | 10   | 12   | -2    |
| Shionomisaki    | 7.5  | 9.5  | -2    |
| Okayama         | 9    | 19   | -10   |
| Tsuyama         | 3    | 4    | -1    |
| Mt.Hiei         | -2   | 18   | -20   |
| Kazan           | 8    | 7    | 1     |
| Ashiu           | 12   | 14   | -2    |
| Kamigamo        | 3    | -4   | 7     |
| Kitashirakawa A | 7    | 8    | -1    |
| Kitashirakawa B | 4.5  | 3    | 1.5   |

Table 2 Magnitude of increasing and decreasing tendency of the maximum and minimum temperature and the diurnal range for the years after 1945: JMA Stations (Kyoto, Sonobe, Hikone, Mt.Ibuki, Shionomisaki, Okayama and Tsuyama); Kyoto University (Kitashirakawa A: Experimental Farm; Ashiu, Kamigamo and Kitashirakawa B: Experimental Forest, Faculty of Agriculture); Mt.Hiei Obs. Station of JMA and Health Bureau, Kyoto-shi. The unit is  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{year}$ .

| Obs.Site        | Tmax | Tmin | Range |
|-----------------|------|------|-------|
| Hikone          | -1.0 | 1.5  | -2.5  |
| Mt.Ibuki        | -1.6 | 0    | -1.6  |
| Kyoto           | -0.2 | 3.8  | -4    |
| Sonobe          | -4.5 | -3.4 | -1.1  |
| Shionomisaki    | -0.6 | 0.6  | -1.2  |
| Okayama         | 0.8  | -0.8 | 1.6   |
| Tsuyama         | 0.5  | -0.6 | 1.1   |
| Mt.Hiei         | -3.4 | 1.4  | -4.8  |
| Ashiu           | -2.3 | 1.0  | -3.3  |
| Kamigamo        | -2.4 | 2.0  | -4.4  |
| Kitashirakawa A | 2    | 2.4  | -0.4  |
| Kitashirakawa B | 1.2  | 3    | -1.8  |

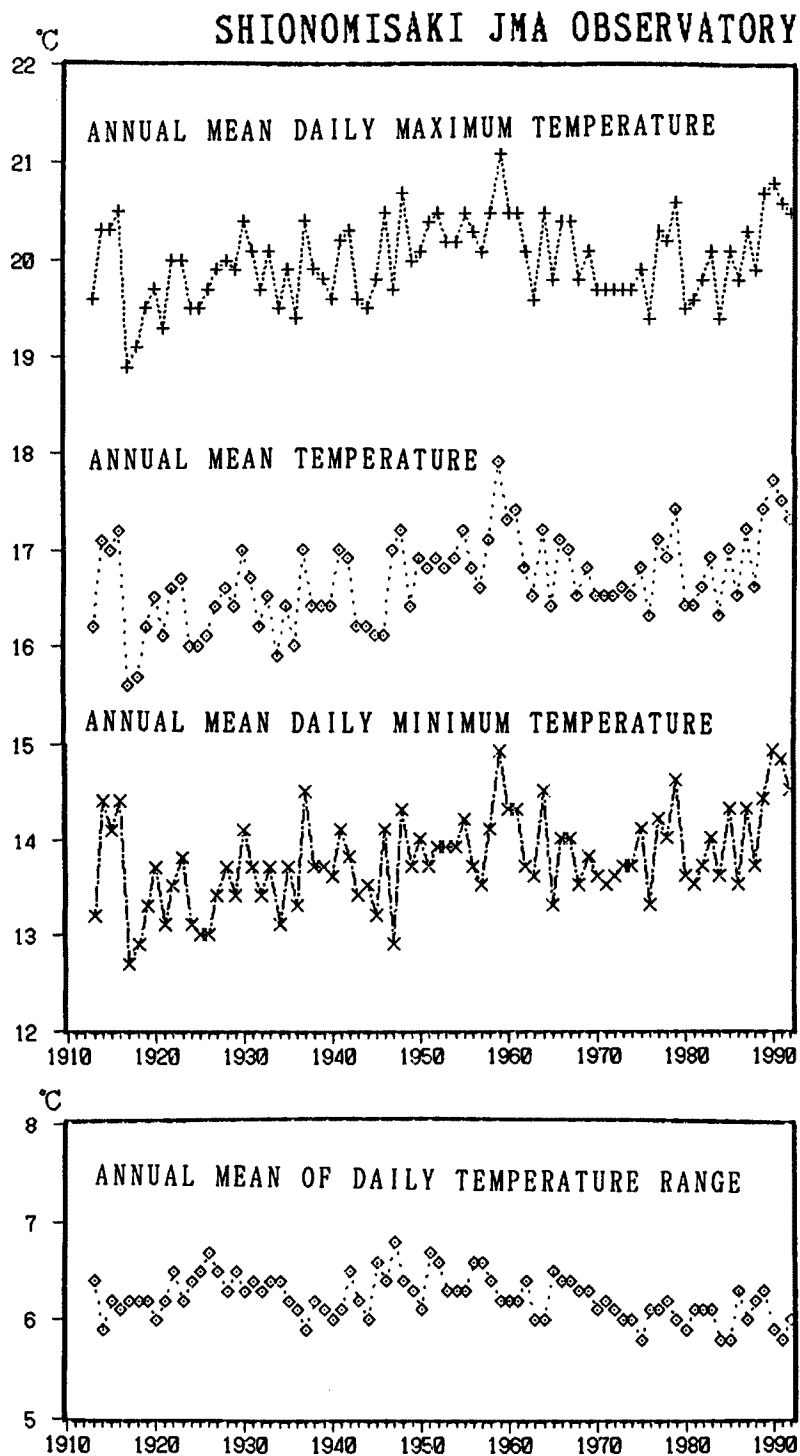


Fig. 7 Same as Fig. 1, except at Shionomisaki, JMA Observatory.

ここでは、資料の関係もあって Bücher & Dessens<sup>8)</sup> がピレネー山脈の高山観測点データで行った解析ほどに詳しい検討を加えてはいない。しかしながら、伊吹山や潮岬などの観測点では都市化の影響がほとんど

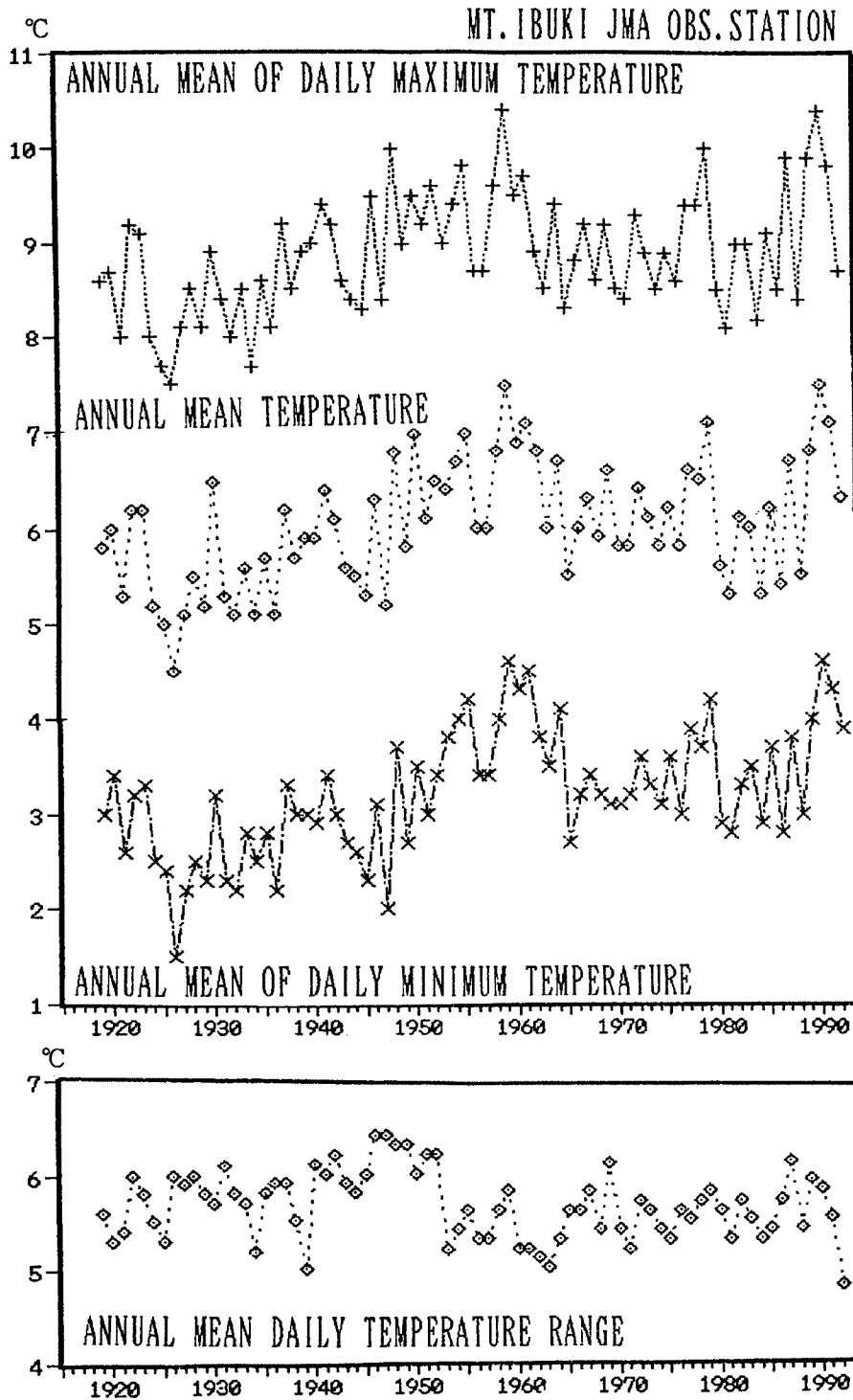


Fig. 8 Same as Fig. 1, except at Mt. Ibuki, JMA Observatory.

ないと考えられるので、上記のような長期にわたっての気温変化傾向は大部分が二酸化炭素などの温室効果気体の増加によるものである、との作業仮説を採用しても良さそうである。

### 3. 日平均相対湿度の長期変動

都市化の影響が顕著にみられる気象要素としては、気温以外に相対湿度がよく知られている。残念ながら、気象官署以外にはきちんとした日平均湿度の長期にわたる観測資料が少ない。上記でみた観測点の中で湿度の記録のある気象官署では Fig. 9 のようになり、気温と同様に 1945 年以降の長期変化傾向をみると Table 3 のようになった。いずれの気象官署においても明かな減少傾向が認められる。気温の場合に他都市とは異なった変化を示した岡山や津山などにおいても減少傾向を示している。このような傾向が広範囲において一様にみられるのかどうか、大いに興味ある今後検討すべき問題の一つである。

### 4. 議論と結び

多くの都市域の日最低気温の年平均値には、長期的に上昇傾向がみられた。これに対して年平均日最高気温は、変化が殆ど見られなかったり、上昇傾向の程度が小さく、所によっては下降傾向を示す観測点も見られた。従って年平均した気温日較差は減少傾向であった。平均気温に対応するものとして、京都・彦根・伊吹山・潮岬・岡山における相対湿度の長期変動をみると、明瞭な長期的減少傾向がみられた。このように伊吹山や潮岬の気温や湿度にも都市部と類似の変化傾向が見られた。これは、中間に雲などの影響が介在するにしても“温室効果気体増加の影響”による部分が大きいものと推論される。岡山や津山（岡山より短い期間の 40～50 年分のデータではあるが）では、最近の約 10 年を除いて、上記のように日最高気温が上昇、日最低気温は下降傾向を示し、他都市とは異なった気温変化傾向であった。このような傾向がこの地域全体で広く見られるのかどうか、また観測点が人口の集中した都市中心部から離れていたためかどうか、雲量・風速などの他の気象要素の長期的変化から全域における統一的な説明が可能なのかどうか、さらに詳細な検討が必要である。ここで得られた結果は、観測点

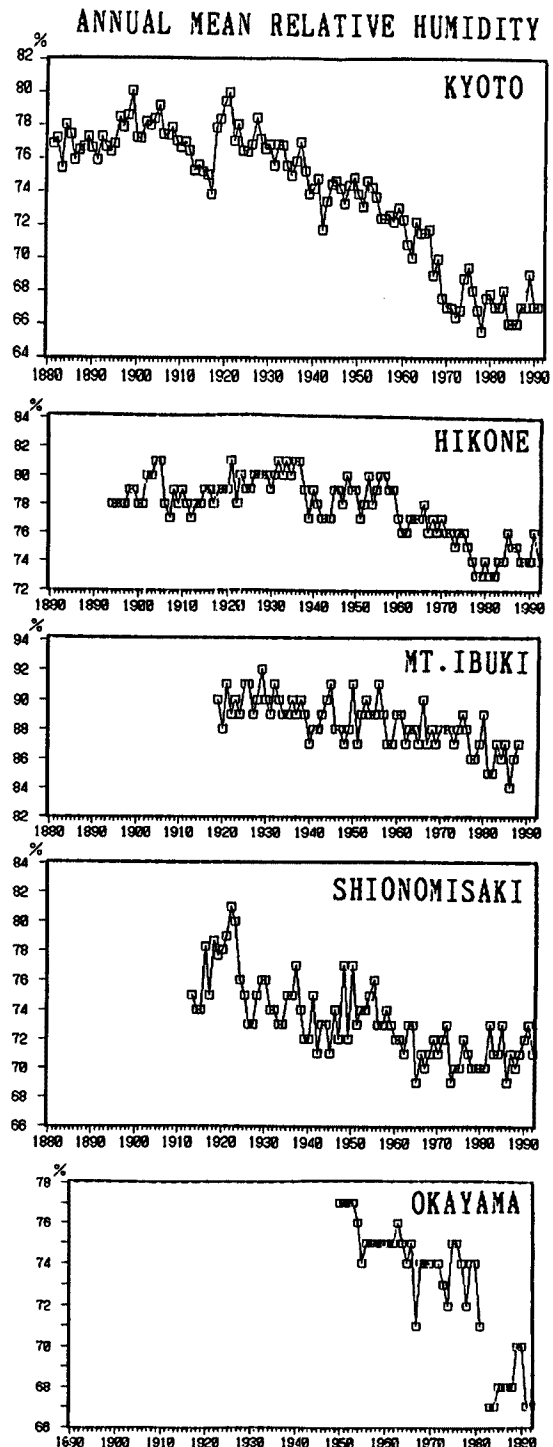


Fig. 9 Time series of the annual mean relative humidity at JMA observatories : Kyoto, Hikone, Mt.Ibuki, Shionomisaki and Okayama.

が都市部内のどの辺りにあるかの位置によって傾向が大きく異なることもあり、従って都市部に偏りがちの気象官署だけのデータに頼る研究には限界があること、さらにできる限り各都市域と周辺部におけるきめ細かな観測が欠かせないことを示している。Wang *et al.*<sup>8)</sup> や Karl *et al.*<sup>9)</sup> のように広範な地域での同様な議論を進めるには基本的に欠かせないことであろう。また、ここでは資料の都合により一部の観測点についてのみ、他の気象要素

の中での相対湿度・風速・雲量・日照時間についても予備的に検討したが、全ての観測点について Plantico *et al.*<sup>5)</sup> などが行ったような詳細な解析を試みていない。資料に制約があるが、今後の研究課題である。

Table 3 Decreasing tendency of the relative humidity for the years after 1945: JMA Stations (Kyoto, Hikone, Mt.Ibuki, Shionomisaki and Okayama). The unit is 0.01 %/year.

| Obs.Site     | RH (0.01 %/year) |
|--------------|------------------|
| Hikone       | -13              |
| Mt.Ibuki     | -6.5             |
| Kyoto        | -18              |
| Shionomisaki | -8               |
| Okayama      | -14              |

## 謝 辞

比叡山における気象観測データの収集に当たっては大阪管区気象台調査課長武田尚之氏に大変お世話になった。京都市衛生公害研究所からは、京都市内において展開している観測網からのデータを京都市衛生局高橋政和氏のお世話で提供して頂いた。また、京都大学農学部農業工学教室かんがい排水学研究室の農場における観測データや、京都大学農学部附属演習林（本部地区・上賀茂試験地・芦生）における気象観測データを使用させて頂いた。記して、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Landsberg, H. : The Urban Climate, Academic Press, 1981, 275pp.
- 2) 岩嶋樹也・村松久史・高橋政和・西憲敬・木田秀次・森二郎：京都市とその周辺部における気温の長期変動，日本気象学会関西支部例会要旨集，第 65 号，1993，pp.28-31.
- 3) 佐橋謙・徐麗栄：日本各地の日最高・最低気温の長期変動，日本気象学会関西支部例会要旨集，第 58 号，1991，pp.36-38.
- 4) 吉野泰生：日最高・最低気温の永年変化に与える都市化の影響，天気，第 41 巻，3 号，1994，pp.123-135.
- 5) Plantico, M., T. R. Karl, G. Kukla and J. Gavin : Is recent climate change across the United States related to rising levels of anthropogenic greenhouse gases?, J. Geophys. Res., Vol. 95, 1990, pp.16617-16637.
- 6) 蔵重一彦：中都市の気温分布について，中央気象台月報，第 19 巻，1943，pp.495-498.
- 7) 小元敬男・鯉谷憲：京阪神地区の気象台の観測値に見られる都市気候の影響，日本気象学会関西支部例会要旨集，第 12 号，1979，pp.7-11.
- 8) Bücher, A. and J. Dessens : Secular trend of surface temperature at an elevated observatory in the Pyrenees, J. Climate, Vol. 4, 1991, pp.859-868.
- 9) Wang, W.-Ch., Z. Zeng and T. R. Karl : Urban heat islands in China, Geophys. Res. Lett., Vol. 17, 1990, pp.2377-2380.
- 10) Karl, T.R., G.Kukla, V.N.Razuvayev, M.J.Changery, R.G.Quayle, R.R.Heim, Jr., D.R.Easterling, and C.B.Fu : Global warming : Evidence for asymmetric diurnal temperature change, Geophys.Res. Lett., Vol. 18, 1991, pp.2253-2256.