

大阪市における19世紀末以降の気候変化の月間比較

Comparison of Monthly Climate Change in Osaka City since Late 19th Century

今井 長兵衛¹

Abstract

This paper analyzed monthly climate change in Osaka City, central Japan, during the period from 1883 to 2006. During these 124 years, the monthly means of daily mean, maximum and minimum air temperature increased at the rates (°C per 100 years) of 1.50-2.46, 0.934-2.14, and 1.92-3.34, respectively, while the decrease rates (% per 100 years) of the relative humidity were 8.01-15.0. The rate of temperature increase was higher in monthly minimum temperature than in maximum temperature in all of 12 months. The increase rate of monthly mean temperature was higher in December-May than in June-November, that of monthly average of daily maximum temperature was higher in February-August than in September-January, and that of monthly average of daily minimum temperature was higher in October-May than in June-September. The decrease rate of monthly mean relative humidity was higher in October-May than in June-September. Further analysis revealed that the trend of monthly mean temperature can be divided into two partial trends in six months and into three partial trends in two months (January and February). The trends of monthly average of daily maximum temperature could be divided into two partial trends in April, June and September-November, and those of daily minimum temperature into two partial trends in eight months, and into three partial trends in December-February. The trends of monthly mean humidity could be divided into two partial trends in April and in June-September, and into three partial trends in October-March and May. Trend comparison among monthly rainfall, duration of sunshine, temperature and humidity suggested that the influence of urbanization on the long term climate change was much more drastic than that of natural condition such as rainfall and duration of sunshine.

和文要旨

大阪市における各月の気候変化を1883年から2006年にいたる124年間のデータを用いて解析した。月平均気温、日最高気温月平均および日最低気温月平均は、それぞれ、100年あたり1.50~2.46°C、0.934~2.14°Cおよび1.92~3.34°C上昇し、相対湿度は100年あたり8.01~15.0%低下し、上昇速度と低下速度の月による変動が大きかった。気温上昇速度はすべての月において最高気温より最低気温のほうが大きかった。月平均気温の上昇速度は6月~11月より12月~5月のほうが大きく、日最高気温月平均のそれは9月~1月より2月~8月が大きく、日最低気温月平均のそれは6月~9月より10月~5月が大きかった。相対湿度の低下速度は6月~9月より10月~5月が速かった。また、多くの気象パラメータのトレンドが多くる月において2または3の部分トレンドに分割できることがわかった。気象パラメータ間のトレンドの比較から、大阪市における長期気候変動は、いずれの月においても、降水量や日照時間のような自然要因では説明できず、都市化の影響を強く受けてきたことが示唆された。

キーワード：トレンド分析 Trend analysis, ヒートアイランド Heat island
都市化 Urbanization

¹ Chobei IMAI 千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科 (受理日：2009年10月1日)

I. 緒 言

公衆衛生に関わる病原微生物であれ、その他の動植物であれ、生物が生息地に定着・繁殖するには、その地域の気候に適応しなければならないことは言うまでもない。この100年余りの間の気候変動や今後予測される気候変動[1]は、在来生物に新たな気候環境への適応を強いるばかりか、外来生物の侵入・定着にもその地域の従来の気候とは異なる条件への適応を要求する。

気候の季節変動が著しい温帯地域においては、生物の気候適応は各季節、ひいては各月（いずれも人為的に定められた期間ではあるが、気候などの自然現象の推移の一時期であるという意味で、自然的な存在という一面を持つ。）の気候に対する適応として実現されなければならない、いずれかの月の気候へ適応できない種の定着は不可能となる。したがって、生物に対する気候変動の影響を生態学的視点から論じるには、各月の気候変動を明らかにし、比較検討することが不可欠である。

気候学の専門家による解析としては、IPCC と日本の気象庁による全世界、北半球、南半球、ヨーロッパ等の広域における季節別気候変動の報告や日本の気象庁による全国、北日本、東日本、西日本および南西諸島における季節別気候変動解析結果などが公表されている[1,2]。しかし、IPCC 報告書は、世界の地域別平均値に対する都市化の影響は無視できるレベルにとどまっていると述べており[1]、気象庁報告は都市化の影響がきわめて軽微と考えられる日本国内17地点で得られた結果に基づいている[2]。

このような状況は都市化の影響を受けない条件での温暖化の実態把握に力点がおかれてきた帰結であり、結果として、都市化が進展した地域の気候変動の解析は不十分なレベルにとどまってきたと言わざるを得ない。気候学者にとっては、特定都市の気候変動の月別解析などは、最寒月や最暖月を除くと、取り組むに値しない研究課題なのかもしれない。しかし、都市生態学の展開のためには、都市域の気候変動の詳細な情報取得が不可欠だと著者は考える。

著者はこれまで、大阪市における2月[3]、4月[4]、8月[5]および10月[4]の気候変動を解析し、気候変動のトレンドが解析月ごと異なることなどを示した。本論文では大阪市における1月から12月までの各月の気候長期トレンドを比較検討することにより、都市化による気候変動の実態の一端を明らかにする。

II. 用いたデータと解析法

1. 解析に用いた気象データ

気象データは、大阪管区気象台編『大阪の気象百年[6]』ならびに『気象月報』より引用した。解析に用いたパラメーターは、各月の月平均気温、日最高気温月平均、日最低気温月平均、月平均相対湿度、月間降水量および月間日照時間である。月間日照時間は通年の観測が始まった1890年から、その他のデータは観測が始まった1883年から、いずれも2006年までの観測値を用いた。

気象庁の気象観測統計指針[7]に従い、1985年以前の月間日照時間のデータは元のデータから15.0時間を差し引いて補正した。これは、1986年1月1日に従来のジョルダン式日照計から回転式日照計へ観測機器が変更されたことに伴うものである。また、観測機器変更月である1950年1月の平均湿度のデータを解析から除外した。

2. トレンド分析の方法

年を説明変数 X 、気象データを従属変数 Y とする一次回帰分析[8]を行った。全期間（1883～2006年、月間日照時間は1890～2006年）のトレンドを求めるとともに、全期間のトレンドを2分割または3分割できる場合には、分割したそれぞれのトレンドも求めた。

トレンドの分割は、トレンドをグラフ化して転換年の存在が示唆された場合に行った。トレンドの転換年と目される年の前後の西暦年号末尾が0または5の年以前の期間とそれぞれの年の翌年（西暦年号末尾が1または6の年）以後の期間に分割して回帰分析を行った。分割によって得られた2本の回帰直線の傾きに対して Aspin-Welch の t 検定を行い、最も有意確率が高かった（ P 値が小さかった）分割法に従ってトレンドを分割した。トレンドを3分割

する場合は、第1と第2トレンドとの間の傾きの差の有意確率と第2と第3トレンドとの間の傾きの差の有意確率の和が最小になる分割法を最適解として採用した。

通期および分割したそれぞれの期間についてトレンド直線の傾き（100年あたり変化率）の平均値（点推定値）と95%信頼区間を算出した。変化率の月間比較にも、Aspin-Welchの t 検定を用いた。これらの統計的検定では、有意確率 $P < 0.05$ を有意水準として採用した。

なお、Table 1, Table 3, Table 4および Table 6では、2番目に出現したトレンドであっても、時間の経過を考慮し、転換年が1940年以後に出現した場合には"3rd trend"として記載しているが、本文では転換年のいかに関わらず2番目に出現したトレンドを「第2のトレンド」と呼んでいる。

III. 結果と考察

1. 気温の変化

(1) 124年間のトレンド

大阪市における1883～2006年の124年間における3つの気温パラメーターの変化をそれぞれ1本のトレンド直線で表すと、すべての月で統計的に有意な上昇傾向が認められたが、月別の上昇率（ $^{\circ}\text{C}/100$ 年）は月平均気温では1.50～2.46、日最高気温月平均では0.934～2.14、日最低気温月平均では1.92～3.34となり、月による顕著な差異が認められた（Tables 1-3）。また、季節を問わず、いずれの月においても、日最低気温月平均の上昇率が最も高く、月平均気温がこれに次ぎ、日最高気温月平均が最も低いという結果が得られた（Tables 1-3）。このことから、平均気温の上昇は主として最低気温の上昇によって生じたことがわかる。

気温の上昇率は、月平均気温では12～5月が6～11月より、日最高気温月平均では2～8月が9～1月より、日最低気温月平均では10～5月が6～9月より、それぞれ大きいという傾向が認められた（Tables 1-3）。やや詳細に見ると、上昇率は、月平均気温では7～9月に低くて4～5月と12月が高く（Table 1）、日最高気温月平均では1月と9～10月に低くて4～6月に高く（Table 2）、日最低気温月平均では7～9月に低くて5月と11～12月に高かった（Table 3）。

これらから、最低気温の上昇は5月と晩秋から初冬に顕著で、最高気温の上昇は4～6月に顕著であったこと、および平均気温の上昇率は最低気温と最高気温の上昇がともに顕著であった5月に最も高くなったことがわかる。したがって、各月の最低気温の上昇が年平均気温の上昇に寄与してきたのは上述のとおりであるが、特段に寄与してきたのは、4～6月の最高気温の上昇、および5月と晩秋～初冬の最低気温の上昇であろうと推察される。

Table 1 Trends of monthly mean temperature in Osaka City from 1883 to 2006

Month	Rate of change in 1st trend	1st turning year	Rate of change in 2nd trend	2nd turning year	Rate of change in 3rd trend	Rate of change in whole period
Jan.	4.83 (1.63～8.03)	1915	-3.93 (-8.72～-0.852)	1945	3.14 (1.71～4.56)	2.00 (1.48～2.53)
Feb.	5.06 (0.625～9.49)	1915	-5.69 (-10.4～-1.00)	1945	2.97 (1.12～4.81)	2.20 (1.57～2.82)
Mar.	0.726 (-0.928～2.38)	-	-	1945	3.85 (2.34～5.35)	2.06 (1.49～2.62)
Apr.	-0.303 (-1.59～0.984)	-	-	1940	3.47 (2.06～4.89)	2.09 (1.58～2.60)
May	-	-	-	-	-	2.46 (2.10～2.83)
June	1.02 (0.0398～2.00)	-	-	1950	3.28 (1.97～4.59)	1.78 (1.38～2.18)
July	-	-	-	-	-	1.56 (1.02～2.09)
Aug.	-	-	-	-	-	1.56 (1.17～1.96)
Sep.	1.02 (0.123～1.92)	-	-	1970	6.24 (3.02～9.46)	1.50 (0.961～2.04)
Oct.	0.994 (-0.129～2.12)	-	-	1945	3.84 (2.55～5.12)	1.94 (1.50～2.37)
Nov.	1.69 (0.544～2.84)	-	-	1960	4.57 (2.32～6.83)	1.69 (0.544～2.84)
Dec.	-	-	-	-	-	2.23 (1.68～2.78)

Rate of change ($^{\circ}\text{C}$ per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses.

Turning years imply the years of trend change.

Table 2 Trends of monthly average of daily maximum temperature in Osaka City from 1883 to 2006

Month	Rate of change in 1st trend	1st turning year	Rate of change in 2nd trend	Rate of change in whole period
Jan.	-	-	-	0.934 (0.388~1.48)
Feb.	-	-	-	1.34 (1.57~2.82)
Mar.	-	-	-	1.46 (0.861~2.05)
Apr.	-1.01 (-3.36~1.34)	1925	2.25 (1.15~3.34)	1.73 (1.18~2.27)
May	-	-	-	2.14 (1.68~2.60)
June	-1.43 (-3.86~-0.999)	1925	1.70 (0.832~2.58)	1.57 (1.09~2.05)
July	-	-	-	1.42 (0.763~2.08)
Aug.	-	-	-	1.28 (0.778~1.78)
Sep.	0.914 (-0.127~1.95)	1970	6.52 (2.84~10.2)	0.970 (0.351~1.59)
Oct.	0.594 (-0.0660~1.25)	1980	7.50 (2.71~12.3)	0.981 (0.510~1.45)
Nov.	1.29 (0.382~2.20)	1970	5.50 (2.05~8.94)	1.18 (0.638~1.73)
Dec.	-	-	-	1.00 (0.408~1.60)

Rate of change (°C per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses. Turning years imply the years of trend change.

Table 3 Trends of monthly average of daily minimum temperature in Osaka City from 1883 to 2006

Month	Rate of change in 1st trend	1st turning year	Rate of change in 2nd trend	2nd turning year	Rate of change in 3rd trend	Rate of change in whole period
Jan.	6.65 (2.99~10.3)	1915	-5.78 (-10.2~-1.34)	1945	4.75 (3.33~6.17)	2.78 (2.23~3.34)
Feb.	6.91 (2.82~11.0)	1915	-7.14 (-12.3~-2.00)	1945	4.61 (2.85~6.37)	2.93 (2.29~3.56)
Mar.	0.658 (-0.994~2.31)	-	-	1945	5.38 (3.83~6.93)	2.82 (2.23~3.42)
Apr.	-0.357 (-1.91~1.20)	-	-	1940	5.34 (0.796~6.93)	2.74 (2.13~3.35)
May	1.94 (0.815~3.07)	-	-	1945	4.43 (3.33~5.52)	3.27 (2.87~3.67)
June	0.974 (-0.293~2.24)	-	-	1945	4.00 (2.79~5.21)	2.33 (1.88~2.78)
July	-	-	-	-	-	1.92 (1.43~2.41)
Aug.	1.02 (-0.0340~2.07)	-	-	1945	3.37 (2.26~4.48)	2.19 (1.80~2.58)
Sep.	0.530 (-0.967~2.03)	-	-	1945	4.42 (2.83~6.01)	2.13 (1.56~2.69)
Oct.	1.01 (-0.553~2.58)	-	-	1945	5.64 (4.16~7.13)	2.90 (2.33~3.47)
Nov.	1.56 (0.0655~3.06)	-	-	1955	5.82 (3.74~7.91)	3.34 (2.70~3.99)
Dec.	5.69 (2.31~9.07)	1920	-6.23 (-12.0~-0.420)	1945	4.79 (3.26~6.33)	3.09 (2.53~3.65)

Rate of change (°C per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses.

Turning years imply the years of trend change.

(2) 月平均気温のトレンド分析

月平均気温は、5月、7~8月、および12月において、複数のトレンドには分割できず、1本のトレンド直線のみで表された (Fig. 1)。トレンド直線の傾き、すなわち上昇率 (°C/100年) は、信頼区間を考慮すると、5月 (2.46)、12月 (2.23) > 7、8月 (1.56) となった (Table 1)。

トレンド直線を2つに分割できたのは、3~4月、6月、9~11月であった (Fig. 1)。1883年から始まる第1のトレンドでは、3~4月と10月は上昇も低下もせずに「平衡状態」で推移したが、それ以外の6月、9月および11月には緩やかな上昇傾向が認められた (Table 1)。第1のトレンドにおいて平衡状態で推移した月には転換年が早期の1940年または1945年に出現し、上昇傾向が認められた月には、転換年が1950年以後に出現している。また、転換年以後に始まる第2のトレンド (Table 1 では "3rd trend" と記載) では、該当するすべての月で、顕著な上昇傾向 (い

ずれも統計的に有意)が認められている (Table 1)。

それに対し、1月と2月では、ともに1915年と1945年の2つの転換年を持つ3つのトレンドに分割することができた (Fig. 1、Table 1)。第1のトレンドでは顕著な上昇傾向、1915~1945年に認められた第2のトレンドでは第1トレンドでの上昇分を相殺するような顕著な低下傾向、1945年以後の第3トレンドでは第1トレンドより緩やかではあるが顕著な上昇傾向 (いずれも統計的に有意)が認められている (Fig. 1、Table 1)。

これらを通覧すると、1883~2006年の上昇率が最も高かった5月と2番目に高かった12月の平均気温は、この124年間、一定の高い上昇率で推移し、上昇率が最も低かった7月と8月は一定の低い上昇率で推移したことがわかる。また、トレンドが2分割または3分割できたその他の8カ月は1940年から1970年の間に始まった期間に顕著な上昇が生じたといえる。

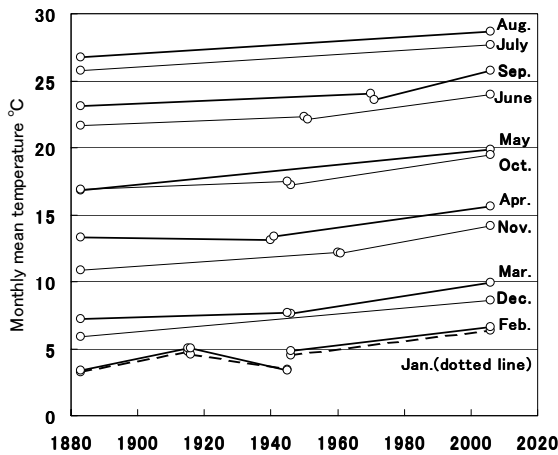


Fig. 1 Yearly trends in monthly mean air temperature in Osaka City from 1883 to 2006. Open circles imply the start and end points of trend lines.

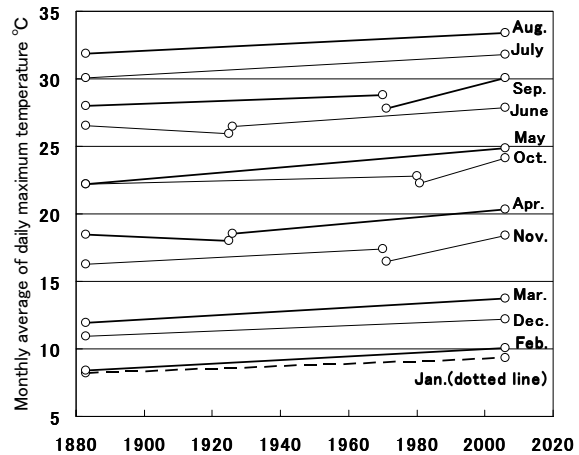


Fig. 2 Yearly trends in monthly average of daily maximum air temperature in Osaka City from 1883 to 2006. For further explanation, see legend of Fig. 1.

(3) 日最高気温月平均のトレンド分析

日最高気温月平均は1~3月、5月、7~8月および12月において、複数のトレンドに分割できず、1本のトレンド直線で表された (Fig. 2)。トレンド直線の傾きは5月>3、7月>2、8月>1、12月となった (Table 2)。

トレンド直線を2つに分割できたのは、4月、6月、9~11月であった (Fig. 2)。これらのうち、トレンドの転換年が最も早く出現したのは4月と6月の1925年であり、それ以外は、9月と11月の1970年、10月の1980年と、転換年が大幅に遅れて出現した。第1のトレンドにおける傾きは6月がマイナス (95%信頼区間: -3.86~-0.999) の値となり、この月には1883年から1925年まで日最高気温月平均が低下傾向で推移した。一方、4月と9~10月には、第1のトレンドにおいて上昇傾向も低下傾向も認められなかったが、11月には1883年から1970年まで緩やかな上昇傾向が認められた (Table 2)。第2のトレンドでは、いずれの月でも第1のトレンドより急激な上昇が認められ、その傾向は、1970年または1980年に転換年を迎えた9~11月でとくに顕著であった (Table 2)。

トレンドを3つに分割できる月は存在しなかった (Fig. 2)。

日最高気温月平均と月平均気温との最も顕著な相違は、月平均気温では3分割できた1月と2月、および、2分割できた3月の日最高気温月平均が1つのトレンドであらわされた点にある (Fig. 2、Table 2)。

日最高気温月平均は、月平均気温と同様、複数のトレンドに分割できなかった5月に最も顕著な上昇傾向を示し、同じく1つのトレンドであらわされた1月に最も緩やかな上昇傾向が認められたが、1970年または1980年を転換年として2分割された9~11月にも上昇率は低かった (Table 2)。

これらから、5月を除く他の月の日最高気温の1883~2006年の期間における上昇は総じて緩やかであったが、1970年ころから秋 (9~11月) の上昇率が高まっていることがわかる。

(4) 日最低気温月平均のトレンド分割

日最低気温月平均は、7月においてのみ、複数のトレンドに分割できず、1本のトレンド直線で表され、その傾きは1.92で最も低かったが、統計的に有意な上昇傾向が認められた (Fig. 3, Table 3)。

トレンド直線を2つに分割できたのは、3~6月、および8~11月であった (Fig. 3)。これらのうち、トレンドの転換年が最も早かったのは4月の1940年で、最も遅かったのは11月の1955年であったが、それ以外はすべて1945年にトレンドが転換した (Fig. 3, Table 3)。信頼区間を考慮すると、第1のトレンドで有意な上昇傾向が認められたのは、5月と11月であり、その他の月においては有意な上昇傾向も低下傾向も認められず、平衡状態で推移したといえる (Table 3)。

それに対し、1~2月および12月のトレンドは3つに分割することができた。1月と2月は、月平均気温と同様に、第1の転換点が1915年、第2の転換点が1945年に認められた (Fig. 3, Table 3)。そして、3つのトレンド直線のいずれにおいても、両月間で傾きの有意差は認められなかった (Table 3)。

これらから、7月を除く各月の日最低気温は、1~2月と12月には1883~1915 (または1920) 年に上昇、1945年にかけて低下した後、2006年まで上昇傾向で推移したといえる。また、それ以外の月においては、1945年ころまで平衡状態あるいは緩やかな上昇傾向で推移した後、2006年まで顕著な速度で上昇して現在に至っているといえる。

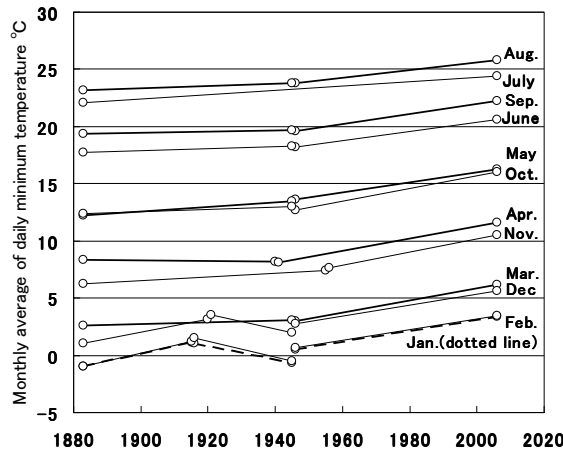


Fig. 3 Yearly trends in monthly average of daily minimum air temperature in Osaka City from 1883 to 2006. For further explanation, see legend of Fig. 1.

2. 月平均相対湿度

(1) 124年間のトレンド

全期間を1本のトレンド直線で表した場合の月平均相対湿度の低下率（%/100年）は、いずれの月においても統計的に有意であった（Table 4）。月間比較では、10～5月の低下率が6～9月の低下率より大きい傾向が認められた（Table 4）。これをやや詳細に検討すると、4月の低下率は2月、5～10月および12月より統計的に有意に大きかった。また、点推定値と比較すると、低下率が最も大きかったのは4月の15.0で、3月の低下率（13.5）がそれに次いだ。一方、低下率が最も小さかったのは7月の8.01で、8月の9.17年がそれに次いでいる（Table 4）。

Table 4 Trends of monthly mean relative humidity in Osaka City from 1883 to 2006

Month	Rate of change in 1st trend	1st turning year	Rate of change in 2nd trend	2nd turning year	Rate of change in 3rd trend	Rate of change in whole period
Jan.	-9.47 (-14.2~-47.1)	1945	-36.2 (-46.0~-26.4)	1980	5.95 (-7.87~19.8)	-12.7 (-14.4~-11.0)
Feb.	-5.60 (-10.0~-1.19)	1940	-28.4 (-36.2~-20.5)	1980	3.69 (-11.7~19.1)	-11.8 (-13.3~-10.2)
Mar.	-5.62 (-9.38~-1.86)	1945	-39.8 (-51.7~-28.0)	1975	-5.20 (-17.6~7.22)	-13.5 (-15.1~-11.9)
Apr.	-4.22 (-8.96~0.527)	1935	-18.4 (-22.2~-14.6)	-	-	-15.0 (-16.6~-13.3)
May	0.574 (-4.95~6.09)	1925	-21.1 (-27.6~-14.5)	1975	1.33 (-13.2~15.9)	-11.3 (-13.0~-9.65)
June	5.42 (-2.70~13.5)	1925	-11.4 (-14.5~-8.34)	-	-	-9.29 (-11.0~-7.58)
July	2.40 (-2.72~7.53)	1935	-11.4 (-15.1~-7.81)	-	-	-8.01 (-9.61~-6.41)
Aug.	0.161 (-4.32~4.64)	1935	-13.7 (-16.6~-10.8)	-	-	-9.17 (-10.5~-7.81)
Sep.	-2.16 (-6.15~1.83)	1940	-16.8 (-20.4~-13.2)	-	-	-10.5 (-11.9~-9.01)
Oct.	-4.81 (-8.47~-1.16)	1935	-28.9 (-35.3~-22.5)	1975	2.14 (-9.22~13.5)	-12.5 (-13.9~-11.0)
Nov.	-2.33 (-5.83~1.17)	1940	-30.3 (-40.4~-28.2)	1970	-1.34 (-12.4~9.75)	-12.9 (-14.5~-11.2)
Dec.	-0.00923 (-5.08~5.06)	1940	-36.8 (-48.7~-24.9)	1975	0.0806 (-10.9~11.0)	-11.0 (-12.9~-9.16)

Rate of change (% per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses.

Turning years imply the years of trend change.

(2)トレンド分析

月平均相対湿度は、気温とは異なり、すべての月で低下傾向を示し、なおかつ、複数のトレンド直線で表すことができた（Fig. 4）。

トレンド直線を2つに分割できたのは、4月と6～9月であった（Fig. 4）。これらのうち、トレンドの転換年が最も早かったのは6月の1925年であり、最も遅かったのは9月の1940年であった（Table 4）。信頼区間を考慮すると、第1のトレンドで統計的に有意な低下傾向を示した月は認められなかったが、第2のトレンドでは該当するすべての月で有意な低下傾向が認められた（Table 4）。

それに対し、1～3月、5月および10～12月のトレンドは3つに分割することができた。これらのうち、第1のトレンド転換年は5月の1925年が最も早く、1月と3月の1945年が最も遅かった。また、第2の転換点は11月の1970年が最も早く、1月と2月の1980年が最も遅かった（Table 4）。信頼区間を考慮すると、第1のトレンドで統計的に有意な低下傾向を示したのは、1～3月と10月であり、第2のトレンドで有意な低下傾向を示したのは、1～3月、5月、10～12月であったが、第3のトレンドではいずれの月においても、有意な低下あるいは上昇傾向は認められなかった（Table 4）。

これらから、月平均相対湿度の各月のトレンドは、1925～1945年に第1の転換年を持つ点で相互に類似しており、第1のトレンドでは平衡状態あるいは緩やかな低下傾向で推移したといえる。また、第1の転換年以後2006年まで1つのトレンドで推移した月は、第1のトレンドよりは高いものの比較的緩やかな低下傾向であったが、1970～1980年に第2の転換年が認められた月では、第2のトレンドで急激な低下傾向を示した後、第3のトレンドでは平衡状態で推移した。すなわち、1970～1980年を境に湿度の低下傾向に歯止めがかかった月が1年に7ヵ月存在しており、経年で見れば、大阪市の大気乾燥化が若干緩やかになっていると思われる。

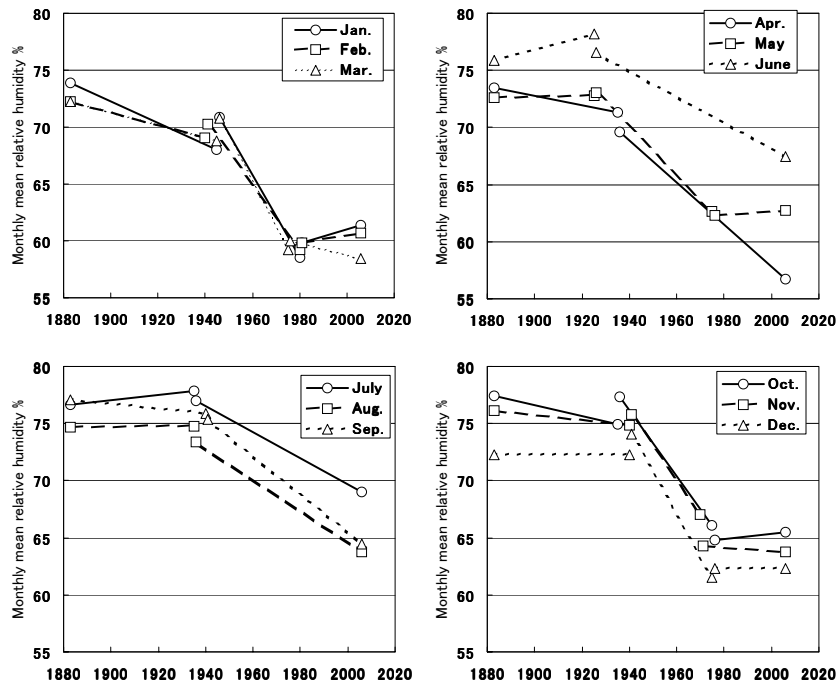


Fig. 4 Yearly trends in monthly mean relative air humidity in Osaka City from 1883 to 2006. Three symbols (open circles, open rectangles and open triangles) imply the start and end points of trend lines.

3. 月間降水量

月間降水量は、気温や湿度とは異なり、すべての月においてトレンドを分割することができなかった (Fig. 5)。1883年から2006年の間に統計的に有意な減少傾向を示したのは、4月であり、それ以外の月においては、有意な増

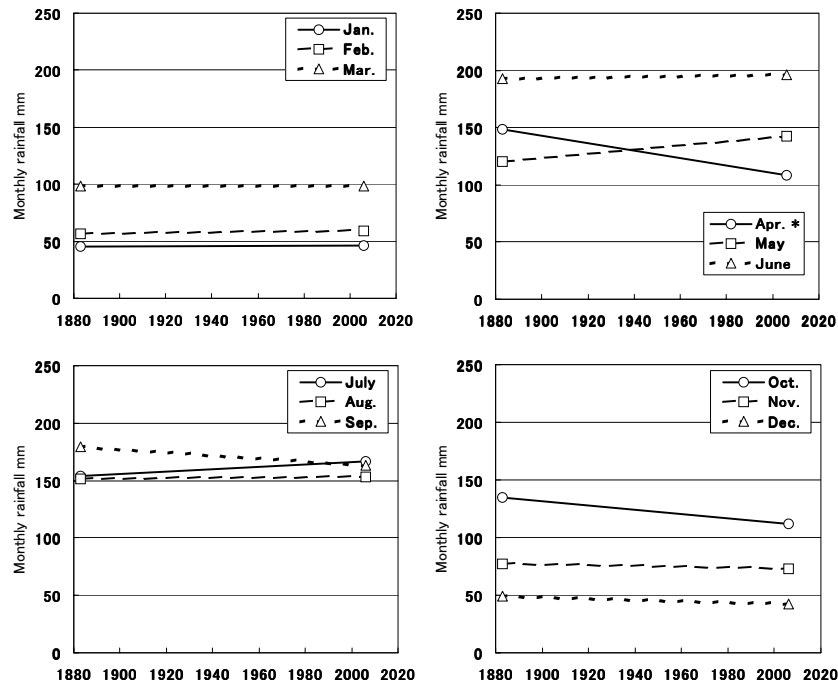


Fig. 5 Yearly trends in monthly rainfall. For further explanation, see legend of Fig. 4.

加傾向や減少傾向は認められなかった。(Table 5)。

4月を除く月間降水量に統計的に有意な変化が認められなかった一因として、降水量の年次変動が大きいことがあげられるであろう。

Table 5 Trends of monthly rainfall in Osaka City from 1883 to 2006

Month	Rate of change in whole period	Month	Rate of change in whole period
Jan.	0.705 (-13.2~14.6)	July	10.4 (-43.4~64.2)
Feb.	1.94 (-15.5~19.3)	Aug.	-1.30 (-37.2~34.6)
Mar.	0.0274 (-18.0~18.0)	Sep.	-13.4 (-58.9~32.1)
Apr.	-32.1 (-57.6~-6.55)	Oct.	-18.5 (-51.7~14.7)
May	18.1 (-13.6~49.7)	Nov.	-3.70 (-24.1~16.7)
June	3.28 (-41.6~48.2)	Dec.	-5.90 (-19.5~7.66)

Rate of change (mm per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses.

4. 月間日照時間

月間日照時間は、今回の方法では4~5月、7月および11~12月が2分割され、3月、6月および8月が3分割された。しかし、トレンドの転換年の前後で前のトレンド直線の終点と後のトレンド直線の始点が大きく離れた位置にプロットされる場合が多く、分割の妥当性に疑問が生じたので、図示しなかった。この原因は各月における月間日照時間の年次変動が激しかったことであろうと推察される。

上記を考慮し、Table 6にも全期間(1890~2006年)の結果だけを示した。変化率(時間/100年)の95%信頼区間を考慮すると、日照時間は7~8月に統計的に有意な減少傾向、12月に増加傾向が認められたが、その他の月においては、増加傾向も減少傾向も示さず、平衡状態が維持されていた。これらから、1890年から2006年まで、日照時間は夏に短縮傾向、冬に延伸傾向を示してきたといえよう。

Table 6 Trends of monthly duration of sunshine in Osaka City from 1890 to 2006

Month	Rate of change in whole period	Month	Rate of change in whole period
Jan.	0.105 (-0.0114~0.221)	July	-0.0834 (-0.101~-0.0662)
Feb.	0.0596 (-0.0644~0.184)	Aug.	-0.279 (-0.469~-0.0901)
Mar.	0.0188 (-0.118~0.0691)	Sep.	-0.0499 (-0.211~0.111)
Apr.	0.130 (-0.0140~0.274)	Oct.	-0.112 (-0.0241~0.249)
May	-0.0217 (-0.205~0.162)	Nov.	0.0275 (-0.0743~0.129)
June	-0.140 (-0.345~0.0639)	Dec.	0.134 (0.0300~0.239)

Rate of change (hour per 100 years) is shown as mean and its 95% confidence interval in parentheses.

5. 降雨・日照と気温のトレンドの関係

気温や湿度に影響を及ぼすと考えられる主要な自然的要因として、降雨と日照があげられる。通常、降雨は気温を低下させ、日照は気温を上昇させると考えるのが自然であろう。ここでは全期間(1883年または1890年から2006年)のトレンド分析の結果に基づき、降雨・日照のトレンドと気温のトレンドとの関係を考察する。

平均気温(第1位)、日最高気温月平均(第1位)および日最低気温月平均(第2位)の上昇率がすべて高かった5月には、降水量と日照時間は平衡状態で推移している。このことから、5月の急激な気温上昇には、降水量や日照時間以外の「別の要因」の強力な寄与が示唆される。同様に、降水量と日照時間が平衡状態で推移した1~3月、6月、および9~11月の気温上昇は、降水量や日照時間以外の要因によっているものと考えられる。

日最高気温月平均の上昇率(2位)が高く、日最低気温月平均の上昇率(8位)が低かった4月には、日照時間は平衡状態にあり、降水量は減少傾向を示している。この場合には、降水量の減少が日最高気温の上昇に参与している可能性がある。

日最高気温月平均の上昇率が中位(第5位)で、日最低気温月平均の上昇率が最も低かった7月には、降水量は平衡状態にあり、日照時間は減少傾向を示している。また、日最高気温月平均の上昇率が中位(第7位)、日最低気温月平均の上昇率が下位(第10位)であった8月にも、降水量は平衡状態にあり、日照時間は減少傾向を示している。これらから、夏季においては日照時間の減少が日最高気温の上昇に対して抑制的に働いた可能性が考えられるが、日最低気温との関連性は不明である。

日最高気温月平均の上昇率が下位(第9位)で、日最低気温月平均の上昇率が上位(第3位)であった12月には、降水量は平衡状態にあり、日照時間は増加傾向を示している。日照時間の増加にもかかわらず日最高気温の上昇が抑制されている理由は不明である。今井[3]は、日照時間の値は日照による輻射熱量の多少を反映するとともに、晴天時の日中における放射冷却の強度をも反映し、日照時間と日最高気温月平均の間には、輻射熱の暖め効果が卓越すると正の相関、放射冷却効果が卓越すると負の相関が認められることを示唆している。冬季12月には輻射熱の暖め効果が弱く、日中の放射冷却効果が卓越するために、日照時間の増加にもかかわらず日最高気温の上昇が抑制されていたのかもしれない。

6. 降雨・日照と湿度のトレンドの関係

ここでは全期間のトレンド分析の結果に基づき、降雨・日照のトレンドと相対湿度のトレンドとの関係を考察する。

降水量と日照時間が平衡状態で推移した1~3月、6月、および9~11月の相対湿度の低下率(%/100年)は、9.29~13.5であり、降水量や日照時間のトレンドとは関係なく、この124年間に湿度が低下してきたことが推察される。

相対湿度の低下率が15.0で最も大きかった4月には、日照時間は平衡状態で推移し、降水量だけが減少傾向を示した。4月においては、降水量の減少が湿度の低下傾向に促進的に働いたものと思われる。

相対湿度の低下率が他の月より小さかった7月(低下率:8.01)と8月(9.17)においては、降水量は平衡状態で推移し、日照時間が減少傾向を示している。このことから、少なくとも夏季においては、日照時間の減少は相対湿度の低下傾向に抑制的に働くと推察される。

相対湿度の低下率が11.0で全体の第8位であった12月には、降水量は平衡状態で推移し、日照時間が増加傾向を示している。少なくとも冬季における日照時間の増加は、相対湿度の低下傾向に促進的には働かないものと思われる。通常、水蒸気圧が一定であれば、気温が高いほど相対湿度は低下する。これらと今井[3]における考察とを考え合わせると、冬季12月には輻射熱の暖め効果が弱くて日中の放射冷却効果が卓越するため、日照時間の増加にもかかわらず日最高気温の上昇、ひいては平均気温の上昇が抑制され、結果として相対湿度の低下が抑制されているといえるかもしれない。

7. 温暖化・都市化の影響

地球の平均地表気温は、1906年から2005年までの100年間に0.74℃上昇し、後半50年間の上昇速度は100年あたり1.4℃であった。また、1979年以後の陸域の気温上昇速度は海域のおよそ2倍に達している[1]。

都市化の影響がきわめて軽微と考えられる日本国内17地点での1898年~2004年における100年あたり上昇率は、年平均気温が1.06℃、日最高気温年平均が0.71℃、および、日最低気温年平均が1.42℃と推定されている[2]。

一方、都市化の影響を顕著に受けると想定される都市域では、1901年~2000年の100年間に年平均気温が東京で約3.0℃、ニューヨークで約1.6℃上昇し[9]、熊本と東京の1960年以降の年平均気温上昇率はともに100年あたり3.4℃であった[10]。熱帯のジャカルタ都市部でも1866年~1993年に年平均気温が1.65℃(100年あたり1.3℃)上昇している[11]。また、Fujibeは日本の60都市における1891年~1992年の気候経年変化を総括し、日最低気温の100年あたり上昇率は大都市で2~5℃、中小都市で1℃であるとしている[12]。これら大都市における気温の顕著な上昇は、地球温暖化[1]にヒートアイランド現象[13,14]が加わった結果と考えられる。

湿度の長期変化の報告は、気温の長期変化の報告より少ないが、東京や埼玉県熊谷市からの記録があり、いずれも

年平均湿度の顕著な低下が報告されている[15,16]。

本論文では、トレンド分析の手法を用いて大阪市における19世紀末からの月別の気候変化の解明を試みた。その結果、月別の上昇率(°C/100年)は月平均気温では1.50~2.46、日最高気温月平均では0.934~2.14、日最低気温月平均では1.92~3.34となり、月による顕著な差異が認められた(Tables 1-3)。また、最低気温の上昇は5月と晩秋から初冬に顕著で、最高気温の上昇は4~6月に顕著であったこと、および平均気温の上昇率は最低気温と最高気温の上昇がともに顕著であった5月に最も高くなったことなどを明らかにした。本論文のように月別の傾向を検討した業績は、著者の知る限り他にないので、他の地域の結果と比較検討することはできない。それでも、他地域の年平均気温の結果[9-12, 15,16]と比較すると、大阪市における気温上昇と湿度低下がきわめて顕著であることがわかる。

今回の検討により、この気温上昇と湿度低下は、おもには降水量や日照時間の推移とは無関係に生じ、降水量や日照時間の変化は長期変動を若干抑制したり促進したりする方向に働いているに過ぎないことが示唆された。このことから、気温上昇と湿度低下は、温暖化と都市化の影響が重なって引き起こされたことが強く示唆される。都市化の影響が軽微な地域でも気温は上昇しているが[1,2]、都市化が激しく進行している地域では、上昇の程度がより激しい[9-11]ことから、都市化によるヒートアイランド現象の影響が如実に現れていると考えるのが妥当である。

今後、温暖化や都市化の進行に伴い、熱帯病の病原体や媒介者を含む南方系の外来生物の侵入に注意を払う必要性がますます高まっており、それらの定着リスクを詳細に評価するうえで、本論文で示した月別の気候変動に関する情報が重要な役割を果たすであろう。

参考文献

- 1) IPCC. The IPCC's Scientific Assessment. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>; 2007.
- 2) 気象庁. 異常気象レポート2005.
http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/index2.html
- 3) 今井長兵衛. 大阪市における19世紀末以降の冬季2月気候変化. 生活衛生 2007; 51:304-316.
- 4) 今井長兵衛. 大阪市における19世紀末以降の春季4月および秋季10月気候変化. 生活衛生 2007; 51:375-383.
- 5) 今井長兵衛. 大阪市における19世紀末以降の夏季8月気候変化. 生活衛生 2007; 51: 160-171.
- 6) 大阪管区気象台編. 大阪の気象百年. 大阪: 日本気象協会関西本部; 1982.
- 7) 気象庁編. 気象観測統計指針; 2005.
(気象庁ホームページ http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_all.pdf)
- 8) 中村 繁, 北村幸房. 気象データマニュアル. 東京: 丸善; 1987.
- 9) 三上岳彦. ヒートアイランドの実態と影響. 環境管理 2003; 39: 551-555.
- 10) 齊藤郁雄, 久保隆太郎, 酒井孝司, 石原 修. 熊本市における気温・湿度分布の長期定点観測: 第1報中規模都市のヒートアイランド現象に関する研究. 日本建築学会環境系論文集 2007; 611: 59-66.
- 11) Harger JRF. Air-temperature variations and ENSO effects in Indonesia, the Philippines and El Salvador: ENSO patterns and changes from 1866-1993. Atmospheric Environment 1995; 29: 1919-1942.
- 12) Fujibe F. Temperature rising trends at Japanese cities during the last hundred years and their relationships with population, population increase rates, and daily temperature ranges. Papers in Meteorology and Geophysics 1995; 46 (2): 35-55.
- 13) Bornstein RD. Observation of the urban heat island effect in New York City. Journal of Applied Meteorology 1968; 7: 575-582.
- 14) 浜田 崇, 鈴木智恵子. シリーズ「ヒートアイランド」その2: 都市気候に及ぼす緑地・水面の効果. 生活衛生 1996; 40: 3-11.
- 15) 原田 朗. 大気汚染と気候の変化. 東京: 東京堂出版; 1982.
- 16) 三澤 正. 東京・横浜における今世紀の相対湿度の永年変化. 千葉大学教育学部地理学研究報告 1997; 8: 17-24.