

# 東京都心における高温日の湿度の経年変化

藤 部 文 昭\*

## 要 旨

東京都心(大手町)における相対湿度と水蒸気圧の40年間(1961~2000年)の経年変化を日最高気温の段階別に調べた。その結果、日最高気温が33~36°Cの日には、それより気温の低い日に比べ、午後(15時)の相対湿度の経年変化率に数%/40年、水蒸気圧には0.5~1 hPa/40年の正偏差すなわち相対的な上昇傾向が認められた。この上昇傾向は、冷房による水蒸気排出の影響である可能性が示唆された。

### 1. はじめに

都市気候の特徴の1つとして相対湿度の低さがある(気象庁, 1994など)。水蒸気量についても、昼間に関しては都市域のほうが郊外に比べて少ないという報告が多く(Hage, 1975; Ackerman, 1987; Adebayo, 1991; Jauregui and Tejada, 1997; Deosthali, 2000など; 例外は Unger, 1999), 日本の都市においても同様である(藤部, 1986; 榊原, 2001など)。ただし経年的に見ると、東京など日本の大都市における湿度低下傾向は、近年はほぼ止まったことが指摘されている(小元ほか, 1994; 三澤, 1997)。

最近になって、東京都心のオフィス街では夏の日中に多量の水蒸気が放出されていることが分かってきた。神田ほか(1997)が8月に銀座で行った観測によれば、ビル屋上における日中の潜熱フラックスは200 W/m<sup>2</sup>前後に達し、顕熱フラックスと同程度である(地表からの放出分を含む)。また、ヒートアイランド実態解析調査検討委員会(2001; 以下「検討委」)の評価結果によると、夏季の千代田区における人為起源の潜熱排出量は日平均値で30 W/m<sup>2</sup>程度であり、人為起源の顕熱排出量のほぼ半分の大きさを持つ。この潜熱の大半は、ビルの冷房に使われる冷却塔から発生すると推定される。よって、気温が高い日の日中には、冷却塔

からの水蒸気排出が多くなって都心部が多湿傾向になる可能性が考えられよう。この可能性は、近年関心が高まってきた都市域の豪雨への影響という面からも興味深い問題である。

そこで本研究では、東京都心の相対湿度と水蒸気圧の経年変化を高温日に注目しながら調べた。

### 2. 資料と解析方法

東京とその周辺の気象官署の資料を使った。このうち東京の観測点(気象庁)は都心の千代田区大手町に位置する。対象期間は時刻別の資料がデジタル化されている1961年を起点として2000年までとした。この期間を通じて、相対湿度と水蒸気圧については少なくとも1日4回(03, 09, 15, 21時: 日本時間)の観測値が得られる。これに加え、湿度と関連が深い要素として気温を取り上げ、1日8回の資料を使った。

天気や風系による湿度の違いの影響を除くため、東京の日照時間が6時間以上で12時の風向が南東~南南西である日を「南風晴天日」として選び出した。南東~南南西というのは東京で夏の晴れた日の日中に吹く風の代表的な風向であり、「南風晴天日」を選んだことは暖候期の「普通の晴天日」を取り上げたことに他ならない。気温の指標としては東京の日最高気温を使い、これに基づいて対象日を3°Cずつの区分に分けた。日最高気温を使ったのは、日最低気温などに比べて都市化による影響が小さいからである(しかし、日最低気温を使っても以下に示すのとほぼ同じ結果が出た)。

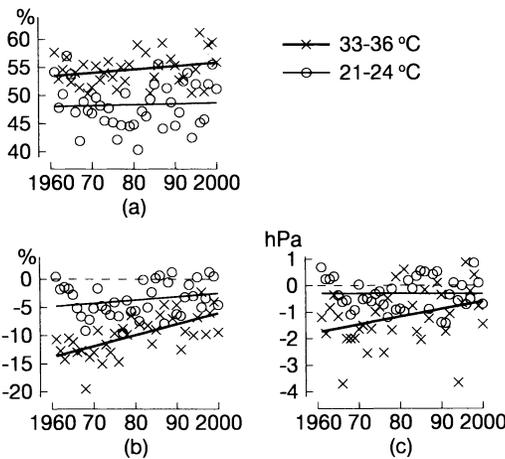
\* 気象研究所予報研究部, ffujibe@mri-jma.go.jp

—2002年2月13日受領—

—2002年4月4日受理—

第1表 南風晴天日の気温区分別・月別の日数 (1961~2000年の総数)。1月と12月は該当日なし。

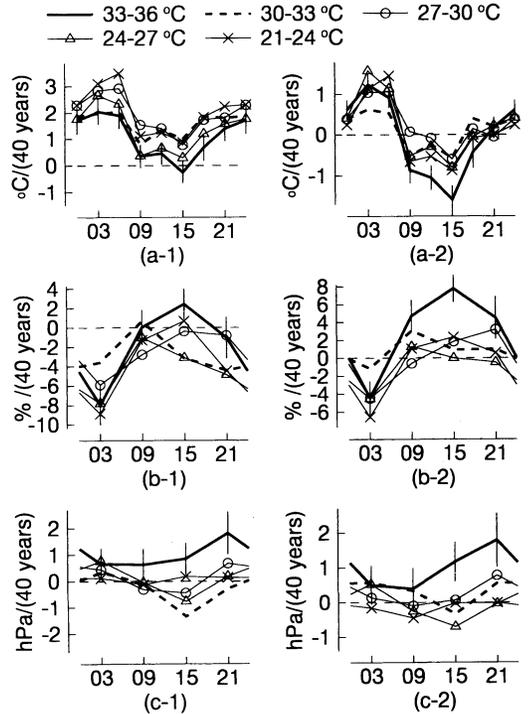
月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	計
21-24°C	1	7	115	146	7	1	0	3	47	13	340
24-27°C	0	2	41	197	116	7	0	22	40	9	434
27-30°C	0	0	0	53	134	53	12	53	11	0	316
30-33°C	0	0	0	6	44	232	281	88	1	0	652
33-36°C	0	0	0	0	4	89	171	18	0	0	282
36°C-	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	6



第1図 南風晴天日のうち日最高気温33~36°Cと21~24°Cの日の経年変化。a:東京(大手町)の15時の相対湿度, b:それと周辺7地点平均との差, c:東京の15時の水蒸気圧と周辺7地点平均との差。いずれも各年の該当日の平均値と1次回帰直線を表示してある。

第1表は、気温区分別・月別の対象日数を示す。日最高気温33~36°C (33°C以上36°C未満の意味; 以下同様) の日の92%は7月と8月である。日最高気温36°C以上の日は例数がごく少ないので解析には含めなかった。

以上の準備の後、各要素の経年変化を気温区分ごとかつ時刻ごとに求めた。その際、(1) 東京の観測値をそのまま使った場合 (ただし気温については当日09時の館野850 hPa 気温との差を利用) と、(2) 広域的な年々変動を除くため東京の値と周辺の7地点 (前橋、水戸、秩父、銚子、網代、勝浦、大島) の平均値との差を使った場合との、2通りの計算をした。経年変化率の計算に当たっては、まず年ごとの平均値を求め、これに1次回帰を施した。

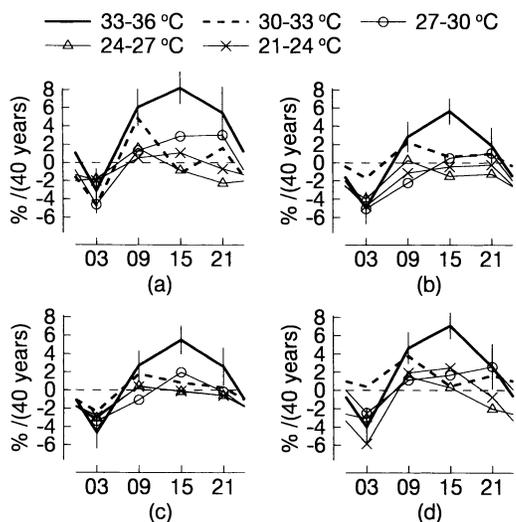


第2図 南風晴天日の温度帯別・時刻別の経年変化率。a-1:東京(大手町)の気温と館野の850 hPaの気温(09時)との差, a-2:東京の気温と周辺7地点平均との差, b-1:東京の相対湿度, b-2:それと周辺7地点平均との差, c-1:東京の水蒸気圧, c-2:それと周辺7地点平均との差。33~36°Cのものについては標準偏差の範囲を縦棒で表示した。

3. 結果

第1図は、南風晴天日のうち日最高気温33~36°Cと21~24°Cの日について、15時の相対湿度と水蒸気圧の経年変化を示す。周辺との差をとらないナマの相対湿度(第1図a)は、21~24°Cの日はほぼ横ばいであるが、33~36°Cの日はやや上昇傾向である。周辺7地点の平均との差を見ると(第1図b)、両方の温度帯の日ともに相対湿度は上がっている。これは、湿度の低下傾向が東京では止まり中小都市ではまだ続いているという小元ほか(1994)の指摘と符合するが、33~36°Cの日のほうが上昇率が大きい。水蒸気圧(第1図c)にも同様の傾向が見られる。

第2図は、南風晴天日の気温・相対湿度・水蒸気圧について、1次回帰で求めた経年変化率を時刻別に示したものである。日最高気温33~36°Cの日はその他の日に比べ、午後(15時)の気温の変化率に0.5°C/(40年)



第3図 第2図b-2と同じ、ただし対象日は a: 日照時間 $\geq$ 10時間で12時の風向=南東~南南西, b: 日照時間 $\geq$ 6時間で風向条件なし, c: 日照・風向とも条件なし, d: 第2図と同条件で土休日と8月13~15日を除く日。

程度の負偏差(相対的な低下)があり、相対湿度と水蒸気圧の変化率にはそれぞれ数%/ (40年) と0.5~1 hPa/(40年)の正偏差(相対的な上昇)がある。この傾向は周辺7地点との差をとってもとらなくても(気温については、周辺7地点平均との差も850 hPa 気温との差も)共通して認められる。一方、日最高気温30~33°Cの日を30°C未満の日と比べると、09時の相対湿度や水蒸気圧(周辺7地点平均との差)には若干の正偏差があるが、15時には偏差が見られない。

第3図a-cは、第2図b-2で示した相対湿度の経年変化率(周辺7地点平均との差)を、日照時間と風向に関する条件を変えて求めたものである。日最高気温33~36°Cの日の15時の正偏差は、大きさは少しずつ異なるが各条件に共通して認められる。また第3図dは、南風晴天日のうち平日だけを対象にした場合のものであるが、土休日を含む場合(第2図b-2)とほぼ同じ結果になっている。なお日最高気温33~36°Cの日数は第2図の282例に対し、a: 145例, b: 426例, c: 486例, d: 186例である。

#### 4. 議論

高温日の湿度やその経年変化率の正偏差が、人為的な水蒸気排出によるものであり得るかどうかを、顕熱

排出による気温変化の評価結果を参考にしながら検討してみる。

近藤(2001)の数値シミュレーションによると、人為的排熱による東京都心部の昇温量は0.76°Cである。Ichinose *et al.* (1999)の同様の研究によると、夏の大手町の気温に対する顕熱排出の影響は0.3~0.4°Cである(上記論文のFig. 12からの読み取り)。またFujibe (1988)は休日の大手町の気温が平日よりも0.2~0.3°C低いことを示している。休日の顕熱排出量が平日の数割減であるとすれば(これを支持する観測事実として、神田ほか(1997)の銀座での観測結果によると日曜日の顕熱フラックスは平日の2~3割減である)、顕熱排出による平日の正味の昇温量は0.5~1°Cと推定できる。これらの気温偏差を顕熱エネルギーの増加量に換算する(すなわち、空気の設定比熱=1 kJ/(kg·K)を掛ける)と、それぞれ0.76 kJ/kg, 0.3~0.4 kJ/kg, 0.5~1 kJ/kgという値になる。

一方、第1節で紹介した検討委(2001)の評価結果や神田ほか(1997)の観測結果から、東京都心における夏の日中の潜熱排出量は顕熱排出量の半分ないし同程度と推測される。これらに基づき、人為的排出による潜熱エネルギーの増加量を、顕熱よりもやや小さめとして0.5 kJ/kgと仮定すれば、水蒸気量の増加量は(水の凝結熱=2.5 MJ/kgで割って)0.2 g/kg程度であり、水蒸気圧は0.3 hPa程度、相対湿度は1%程度の増加になる。検討委(2001)の評価は夏季一般を対象にしたものであり(具体的な期間は評価の基になった各種データによって異なる)、神田ほか(1997)の観測は日最高気温が30~31°C台の日に行われたものであるが、もっと気温の高い日には冷却塔からの水蒸気排出量が増すと予想されるので、今回の解析で得られた数%の相対湿度の増加は“あってもおかしくはない”値である。

なお、今回の解析では平日だけを対象にした場合(第3図d)と土休日を含めた場合(第2図b-2)との経年変化率の違いは検出されなかったが、これは都心の湿度に曜日差がないことを必ずしも意味しない。平日と土休日の湿度差を検出するためには、もっと精度の高い解析方法が必要である。

残された問題点としては、日最高気温30~33°Cの日には湿度偏差がほとんど見られないことが挙げられる。また、33~36°Cの日の相対湿度の正偏差はある程度まで気温の負偏差に対応したものであるが(水蒸気量が同じなら、0.5°Cの気温偏差は2%弱の相対湿度偏

差に対応), この負偏差の理由がはっきりしない。冷房による排熱の多くが潜熱の形をとるため正味として冷却効果が働くとも考えられるが, まだ可能性の段階である。これらの問題は, 水蒸気排出が豪雨発生に及ぼす影響の有無と併せ, 今後の検討課題としたい。

### 謝辞

都市域の熱収支について, 建築研究所の足永靖信氏のご教示を頂いた。ここに感謝します。資料は気象研究所所蔵の CD-ROM を利用した。

### 参考文献

- Ackerman, B., 1987: Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity, *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 427-430.
- Adebayo, Y. R., 1991: Day-time effects of urbanization on relative humidity and vapour pressure in a tropical city, *Theor. Appl. Climatol.*, **43**, 17-30.
- Deosthali, V., 2000: Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune city, India, *Atmos. Environ.*, **34**, 2745-2754.
- 藤部文昭, 1986: 水蒸気圧の日変化に見られる都市効果—東京と大阪について—, *研究時報*, **37**, 337-339.
- Fujibe, F., 1988: Weekday-weekend differences of urban climates Part 3: Temperature and wind fields around Tokyo and Osaka, *J. Meteor. Soc. Japan*, **66**, 377-385.
- Hage, K. D., 1975: Urban-rural humidity differences, *J. Appl. Meteor.*, **14**, 1277-1283.
- ヒートアイランド実態解析調査検討委員会, 2001: 平成12年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について, 環境情報科学センター, 62-68.
- Ichinose, T., K. Shimodozono and K. Hanaki, 1999: Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmos. Environ.*, **33**, 3897-3909.
- Jauregui, E. and A. Tejada, 1997: Urban-rural humidity contrasts in Mexico City, *Int. J. Climatol.*, **17**, 187-196.
- 神田 学, 高柳百合子, 横山 仁, 森脇 亮, 1997: 銀座オフィスビル街における熱収支特性, *水文・水資源学会誌*, **13**, 329-336.
- 気象庁, 1994: 近年における世界の異常気象と気候変動～その実態と見通し～(V), 気象庁, 444pp., 303-313.
- 近藤裕昭, 2001: 人間空間の気象学, 朝倉書店, 113-124.
- 三澤 正, 1997: 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, (8), 17-24.
- 小元敬男, 鱧谷 憲, 巖香姫, 1994: わが国の都市の近年の湿度変化, *水文・水資源学会誌*, **10**, 106-113.
- 榊原保志, 2001: 長野県小布施町における市街地と郊外の水蒸気圧差の特徴, *天気*, **48**, 151-158.
- Unger, J., 1999: Urban-rural air humidity differences in Szeged, Hungary, *Int. J. Climatol.*, **19**, 1509-1515.

## Long-term Humidity Changes on Hot Days in the Central Part of Tokyo

Fumiaki FUJIBE\*

\* *Meteorological Research Institute, Tsukuba 305-0052, Japan. E-mail: ffujibe@mri-jma.go.jp*

(Received 13 February 2002: Accepted 4 April 2002)

### Abstract

Long-term trends of relative humidity and vapor pressure in the central part of Tokyo were evaluated from forty years' data, which were stratified with daily maximum temperature. It was found that the changing rates of relative humidity and vapor pressure for days with maximum temperature of 33-36°C showed a positive anomaly of a few percent and 0.5-1 hPa per 40 years, respectively, in comparison to those for days with lower temperature. This fact suggests the effect of water vapor emission from cooling towers on urban humidity.