水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 7, No. 2 (1994) PP. 106-113

わが国の都市の近年の湿度変化

Recent Changes in Trends of Humidity of Japanese Cities

小元敬男*・鱧谷 憲*・巖香姫* (大阪府立大学農学部)

Yukio OMOTO, Ken HAMOTANI, Hyang Hee UM College of Agriculture, Univ. Osaka Prefecture

Rapid decrease in relative humidity at urban climatological stations in Japan during 1950's and 1960's abruptly ended around 1970. Since then the annual mean of relative humidity has remained at almost the same level excepting interannual variation. The recent trends are even suggestive of its increase for data at stations in big cities such as Tokyo and Osaka. It is important to note that apparent decreasing trends prevail recent years at stations in rural areas instead. The differences between urban climatological stations with near-by rural stations in both relative humidity and vapor pressure are decreasing recent 10~20 years. It is shown that during the rapid drying period both the effects of water vapor pressure decrease and temperature rise worked effectively. The recent decrease in urban-rural difference due not only to drying of rural areas noted above but also to increase in the water vapour contents in the urban atmosphere, latter by human activities. At the present urban-rural difference in relative humidity at Tokyo and Osaka are largely attributable to urban warming. It is also demonstrated that urban drying reduces discomfort from hot and humid climate in summer at large cities west of Tokyo.

Key words: urban climate, humidity, drying, water vapor, discomfort index.

日本の都市の気象台のデータは1950年代と1960年代に急速な乾燥化を示したが、1970年頃に変化傾向が急変し、年間の変動を除いて以後ほぼ一定になっている。東京や大阪のデータは相対湿度の増加傾向すら示唆している。一方、非都市域の気象官署では最近明瞭な乾燥化が観測されている。このため相対湿度及び水蒸気圧の都市内外差は近年、減少傾向になっている。急速な乾燥化の起こっていた時期には、水蒸気量の減少と昇温が同時に相対湿度を低下させていた。最近の湿度の都市内外差の減少は非都市域の乾燥化という相対的なものだけではなく、様々な人間活動による都市大気への水蒸気の放出量の増加の効果も寄与している。今日の東京及び大阪における都心部と郊外の相対湿度の差はほぼ温度差に起因している。わが国の大都市における乾燥化は夏の蒸し暑さを僅かではあるが和らげる効果をもたらしている。

キーワード：都市気候、相対湿度、乾燥化、水蒸気、不快指数。

I. はじめに

わが国では大都市は都市気候のためにかなり乾燥しており、乾燥化は現在も進行中であると一般に考えられている。そして、これによって環境は更に悪化すると懸念する向きもある。確かに、東京や大阪における今日の相対湿度は戦前に比べるとかなり低い。しかし、それは1950年代から1960年代にかけての急速な乾燥化の影響が残っているからであって、

例えば東京や大阪では1970年前後から、年々の変動はあるが相対湿度の低下傾向はほとんど見られなくなっている(小元, 1982; 1983; 1988)。西日本の大都市における乾燥化は、夏の蒸し暑さを和らげる効果を持っており、環境悪化とは言えないのである。

ここで湿度に関連する用語の定義について触れておきたい。俗に湿度と呼ばれているのは相対湿度で、その定義は「実際の水蒸気圧の同温度の飽和水蒸気圧にたいする百分比」である。湿度は正しくは「大

*大阪府立大学農学部 〒593 堺市学園町1-1

College of Agriculture, Univ. Osaka Prefecture. 1-1 Gakuencho, Sakai City, 593

気がどれくらい水蒸気をふくむかを量的にしめす概念」(斉藤, 1985)である。大気中の水蒸気量の表現法は幾つもあり、気象学系では単位体積中の水蒸気量(g/m^3)を、工学系では単位質量のしめり空気に含まれる水蒸気量(kg/kg)を絶対湿度と定義している。なお工学系の絶対湿度は気象学系の比湿に対応する〔括弧内は単位〕。

都市の湿度に関する文献は相対湿度に注目しているものが多く、乾燥化が強調されがちである。一方、水蒸気圧・絶対湿度など水蒸気量に注目した論文では、夜間と早朝には市街地の方が郊外よりも湿っていることを指摘する(Chandler, 1967; Hage, 1975; Hilberg, 1978; Ackerman, 1987; Lee, 1991)。わが国の大都市については乾燥化に注目している論文や報告が圧倒的に多いが、関口(1963)はヒートアイランドの発達した早朝、都心部では郊外よりも相対湿度が低かったにもかかわらず水蒸気圧はむしろ高かった観測例を示している。なお乾燥・半乾燥気候の地域における灌漑によって緑化された都市では、日中夜間を問わずwet islandになっていると考えられるが具体例の報告は手元にない。

II. わが国の大・中都市における相対湿度の変化

大都市の都心に位置する東京及び大阪の両管区気象台ならびに、小都市または非都市域の観測所である勝浦及び洲本の両測候所の相対湿度の推移を図一に示す。年平均値の変動は比較的小さいこともあって、都市気象台におけるトレンドの不連続的な変化が一目で判る。東京など関東の都市では1940年

代後半から50年代始めにかけて一時的に相対湿度の高かった時期があった。これを終戦前後のわが国の疲弊による産業活動の低下の影響と見る向きもあるが(荒川, 1969; 荒川ら, 1970)、小元・體谷(1982)の都市効果の計算結果は、この期間の相対湿度の増加はむしろ自然変化による分が大きいことを示唆している。

1950年代に入ってからわが国の急速な復興、特に工業化と市街地の拡大は国内諸都市に著しい乾燥化をもたらした。この期間に東京と大阪では年平均相対湿度が約11%低下した。乾燥化の開始年はほぼ同じで1948~1950年であるが、その終了は東京の1966年に対して大阪は1973年と約7年の遅れがある。なお、両都市の相対湿度の回復傾向は1985年あたりで終わり再び乾燥化の兆しがみえるようにも思われる。京都の年平均湿度の都市効果は盆地の影響もあって人口の割に大きい。変化傾向は東京及び大阪とは異なり、短周期の増減を繰り返しながら、今世紀初頭から最近まで下がり続けている。

関東の中都市にある気象官署でも変化量は小さいが東京・大阪と似た相対湿度の変化が観測されている(図二)。これらの都市の気象官署は、1950年代の始め頃まではどちらかという市街地の外にあった。今日もやはり都心とは言えないが市街地に位置する観測所と見られるようになっている。このような市街地と観測地点との位置関係の変化も無視できない。気象台・測候所の値がどのくらいその都市の代表値と見なせるかは重要かつ難しい問題である。

東京と大阪の乾燥化が収まっている近年、勝浦と洲本で相対湿度の低下が観測されるようになった

図一 東京・大阪・勝浦及び洲本における年平均相対湿度の推移

図二 京都・前橋・熊谷・宇都宮における年平均相対湿度の推移

表一 1 関東及び近畿における気象官署の年平均相対湿度の変化傾向の例
(1971-1990の一次回帰係数; %/yr)
[危険率*は0.05; **は0.025]

関 東		近 畿	
東 京	+0.023	大 阪	+0.030
勝 浦	-0.100*	洲 本	-0.097**
館 野	+0.012	神 戸	+0.004
宇 都 宮	-0.066	奈 良	-0.125**
日 光	-0.123	京 都	-0.020
白 河	-0.059	豊 岡	-0.074*
熊 谷	+0.002	彦 根	-0.074*
秩 父	-0.091*	上 野	-0.155**

(図-1)。表一1に大・中都市の気象官署とそれぞれに比較的近い官署の1971~1990年の20年間の年平均相対湿度の一次回帰式の係数を示す。東京及び大阪にはかなり大きな+値が得られており、神戸、熊谷及び館野も+である。しかし期間が短いこともあって変化傾向の有意性を調べてみると、危険率5%では、+すなわち湿潤化傾向が有意と判定される地点はない。これに対して小都市あるいは都市気候の影響のない官署で減少傾向つまり乾燥化が有意と判定された所が数カ所ある(表一1)。都市気候の影響のあまりない観測所の相対湿度が確実に低下していることも興味深い、その原因の分析などは省略する。

Ⅲ. 相対湿度変化における温度効果と水蒸気効果

乾燥化の説明に主に用いられる相対湿度は水蒸気量と気温の関数であり、その変化の解明にはどうしても水蒸気量及び気温それぞれの乾燥化への寄与の評価が必要であり、以下にその評価結果を示す。これに使用した方法による他の事例は解説などに示してきたが(小元, 1983; 1988), 結果のみを示した場合が多かったので、以下にその方法を簡単に説明する。

1) 都市効果の評価法

注目の都市気象台Aにおける気温(T), 相対湿度(H), 水蒸気圧(V)など気候要素の観測値 $M_o(A)$ を、都市気候の影響がなければ観測されたであろう値 $M_n(A)$ [以下でこれを自然値と呼ぶ]と都市効果 $M_v(A)$ の和と考える。すなわち、

$$M_o(A) = M_n(A) + M_v(A) \quad (1)$$

左辺は観測値で問題ないが、右辺の2項については少なくとも一方を何らかの方法で求めなければならない。小元・熊谷(1979)は*i*年におけるA気象台の自然値と都市効果を以下のようにして求めることを提案した。まず、自然値について、Aの比較的近くにある都市気候の影響を受けていない観測所Cのデータを用いて次式から求める。すなわち、

$$M_n(A)_i = M_o(A)_i + \Delta M_{30}(A, C) - \Delta M_5(A, C)_i. \quad (2)$$

ここで、

$$\Delta_{30}M(A, C) = \overline{M_o(A)}_i^{30} - \overline{M_o(C)}_i^{30} \quad (3)$$

$$\Delta M_5(A, C)_i = \overline{M_o(A)}_i^5 - \overline{M_o(C)}_i^5 \quad (4)$$

但し、 $1 \leq i \leq 30$

なお(——)^mは*m*年平均を意味する。 $\Delta M_5(A, C)_i$ は*i*年を中心とする5年間におけるAとCの差の平均値である。 $\Delta_{30}M(A, C)$ はAとCのデータセットが得られる最初の30年間の両地点の差の平均値であり、A・C間に自然状態で存在するであろう気候差と仮定される。このことは、 $i = 1 \sim 30$ の期間におけるAの平均都市効果は0と仮定することに相当する。勿論、実際はそうでなくその分の過少評価になる。この問題については改めて検討する。からA気象台における都市効果 $\Delta M_v(A)$ は、式(1), (2)から次式で表される。

$$\Delta M_v(A)_i = \Delta_5 M(A, C)_i - \Delta M_{30}(A, C) \quad (5)$$

本式は*i*年における都市効果はその年を中心とした5年平均値として求められることを意味する。単年度の値を求めようとすると、信頼性に問題のある年毎の大きな変動があらわれるために好ましくない。3年平均で十分かも知れないがこの種の研究では一般に5年移動平均が用いられるのでこのようにした。

さて、真の都市効果を $\Delta M^*_v(A)_i$ とすると、上記の種々の仮定や気候データの性質上、

$$\Delta M^*_v(A)_i = \Delta M_v(A)_i + E \quad (6)$$

となることが考えられる。ここでEは誤差に相当するものであるが、それを、 $\Delta M_{30}(A, C)$ の導入に係わる誤差 E_1 、5年移動平均を用いることによる誤差 E_2 、その他の原因による誤差 E_3 とすると次式のように表される。すなわち、

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (7)$$

ここで E_2 と E_3 は評価が極めて困難なのでとりあえず無視して、

$$E = E_1 = E^* \quad (8)$$

と仮定し、それに伴ってこの補正をおこなった都市効果を $\Delta M^*_v(A)_i$ と書く。すなわち、

$$\Delta M_t(A)_i = \Delta M_v(A)_i + E^* \quad (9)$$

である。

さて、注目の気象台Aの観測暦が長くとも比較観測所Cの観測暦が短ければ、 $i=1$ は比較的近年になり $i \leq 30$ の期間にAのデータはすでに相当都市気候の影響を受けおり、 E^* の値がかなり大くなる可能性がある。しかし、これを求める客観的な方法はなく、準経験的に推定するのが関の山である。そこで、これによる誤差をできるだけ小さくする目的で、Aの近くで近年まであまり都市気候の影響を受けていないと考えられる気象台Bの観測値を自然値化し〔式(2)~(4)においてAをBで置き換える。Cは同じであっても別の地点であってもよい〕、その値を用いてAの自然値あるいは都市効果を求める方法が考案された(小元・體谷, 1979; 1980)。本報では東京につい

図一3 東京の年平均相対湿度変化にたいする気温と水蒸気量の都市効果の寄与

図一4 大阪の8月平均相対湿度変化にたいする気温と水蒸気量の都市効果の寄与

ては横浜をB, 勝浦をCに; 大阪については神戸をB, 洲本をCとして計算した。

2) 相対湿度変化における水蒸気効果と温度効果

相対湿度 H は水蒸気量 V と気温 T の関数であり、一般に注目されている相対湿度の都市効果〔 ΔH_v , $\Delta H_v(A)_i$ の省略形, 以下同様〕は水蒸気量に対する都市効果 ΔH_v と気温に対する都市効果の寄与 ΔH_r の和と考えることが出来る。すなわち,

$$\Delta H_v = \Delta H_v + \Delta H_r \quad (10)$$

ここで ΔH_v は相対湿度の累年値から直接計算することができる。また、 ΔH_v と ΔH_r はそれぞれ気温と水蒸気圧あるいは相対湿度の累年値から、飽和水蒸気圧と気温の関係を表すGoff-Gratchの式(気象ハンドブック編集委員会, 1979)を用いて、独立に計算することができる。しかし、実際の評価に必要な ΔH_t の

図一5 大阪及び洲本の8月平均水蒸気圧の差の推移。実線は毎年の値、破線は5年移動平均値

図一6 宇都宮の年平均相対湿度の変化にたいする気温と水蒸気量の都市効果の寄与 (観測値・自然値ともに5年移動平均値)

分析に関しては大きな問題が生じる。それは図-3, 4, 6 でそのように示されているように、ほんらい、

$$\Delta H_v^* = \Delta H_v^* + \Delta H_v^* \quad (1)$$

であるべきであるが、補正項の推定において各項を独立に求めると、

$$E_h^* = E_h^* + E_h^*$$

が成立し難いのである。ここで、添字 h , v 及び r はそれぞれ相対湿度、水蒸気圧及び気温に対する補正項を意味する。したがって、今回はきわめて乱暴であるが経験的に、 $E_h^* = E_h^*$ については、大都市(東京・大阪)で-2%, 中都市(宇都宮)は-1%とし、 $E_h^* = E_h^*$ すなわち、 $E_h^* = 0$ と置いて計算した結果を示す。したがって図-3, 4, 6 に示された結果については、傾向的に大きな誤りはないであろうが、定量的よりむしろ定性的な解釈しかできないと理解するのが無難である。

なお、気温と飽和水蒸気圧の関係はいうまでもなく非線形である。そこで気温と水蒸気圧それぞれの月平均値及び年平均値から求めた相対湿度の月平均及び年平均値と、観測値によるそれぞれの平均値を比較した。その結果、気温と水蒸気圧の月平均値から求めた ΔH_v の月平均値にはあまり大きな誤差を生じないであろうが、それぞれの年平均値をそのまま用いて計算した ΔH_v の年平均値は実際とかなり異なる値になることが判った。本研究における ΔH_v の年平均に関わる計算は月平均値から求めたものである。

3) 解析例

図-3, 4, 6 にそれぞれ東京(年平均)、大阪(8月)および宇都宮(年平均)における相対湿度の都市効果の分析結果を示す。上に述べたように都市効果は5年移動平均と等価の形で計算されるので、各図の観測値及び自然値にも5年移動平均の平滑化をほどこしてある。

まず、東京について述べると図-3の年平均値は平滑化によって急激な乾燥化の時期とその前後のゆるやかな変化が良く示されており、水蒸気効果と温度効果の変化も判りやすい。本図から東京の乾燥化について次の3点を指摘することができる。すなわち：(1)急速な乾燥化の期間には昇温と水蒸気量の減少が同時に起こっていたこと；(2)相対湿度低下が収まっている期間には水蒸気効果が減少したこと；(3)現在も都市内外の相対湿度差は大きいこれは主に温度効果によるものであることである。

大阪の相対湿度の都市効果の年変化は東京とかな

り似てはいるが、水蒸気効果が残っているように思われる。ただし、これには若干の補足説明が必要と思われる。図-4に大阪(8月)における相対湿度の都市効果の分析結果を示す。実質的に5年移動平均をほどこしてあるにも関わらず変動が大きく全体像がつかみ難いが、夏1ヵ月の値とは言ってもまだかなり水蒸気効果が残っているように見える。図-5は大阪と洲本の8月平均水蒸気圧の差の推移を示す。1970年代初めに減少傾向は増加傾向に転じており、昇温が依然つづいている中で相対湿度の都市効果がほぼ一定に保たれている理由は水蒸気量の増加にほかならないことは明白である。単年度ではあるが、1990年8月の平均水蒸気圧は大阪の方が洲本よりも0.1hPa高かった。この時の両地点の相対湿度の差9%は全く温度差の効果であることが明かである。図-4において近年の部分に1~2%の水蒸気効果が残っていることがこれと矛盾するようであるが、次の二点のためと理解することができよう。まず、大阪と洲本の温度差が全て都市効果でない点である。1921-1950年の8月平均気温で大阪の方が1.2°C高い。この期間の大阪の ΔT_v すなわち気温に対する都市効果は小さく、自然状態でも大阪の8月平均気温は1°C近く洲本より高い可能性がある。次に、 ΔH_v は5年移動平均的な値であり、1990年8月の平均水蒸気圧は大阪と洲本の値で一致しているが、その前後では大阪は洲本より若干低く(図-5)それが計算上残っているのである。

中都市の乾燥化の例として宇都宮の年平均相対湿度の変化の解析結果を図-6に示す。都市効果の計算における比較地点として距離的には日光が近いが、1982~84年の期間に顕著な相対湿度の低下が観測されているので不都合を生じる。そこでNNE約80kmの白河を対照地点に用いた。自然値に対する補正量 E^* は先に述べたように-1%である。1940年代の部分では温度効果・水蒸気効果共に今日の逆になっているが、これは先に述べた仮定のためであろう。宇都宮の乾燥化が終わったのは1970年代の後半に入ってからであるが、その後の年平均相対湿度のゆるやかな増加傾向は東京・大阪の場合と同様に水蒸気効果の減少によるものと考えられる。

IV. 湿度のトレンドの変化の原因

都市の乾燥化の主因としてまず指摘されるのが地表面の改変である。すなわち、市街地化は樹木を伐採して地表を不透水性物質で覆うことであり、これ

によって地表面から大気への水蒸気の供給量が著しく減少すると考えられるからである。確かにこのプロセスは乾燥化をもたらす。日本の大都市の市街化域は拡大の一途を辿っており、これは一方的な湿度低下をもたらす。更に、最近やや鈍ってきたとはいえほとんどの都市で続いている気温上昇の傾向も、相対湿度の低下傾向をもたらす。ところがこれまで示してきたように、市街地の拡大と昇温の双方が進行中であるにもかかわらず、都市の急速な相対湿度の低下傾向は1970年前後に突然終り、以後ほぼ一定の見方によっては上昇傾向に転じている。

市街地の拡大に伴い、蒸発散量の減少による乾燥化の速度は都心部で鈍り始めて当然であるが、それによって変化傾向が逆転することは起こり得ない筈である。それが起こったことは、都市の相対湿度を制御する有力な因子が上記の2因子の他にもあり、それは湿度の増加傾向をもたらすものであることを示唆している。都市における相対湿度の低下率の減少が都市気候の影響をあまり受けていない観測所での低下率の増加と同じ期間に発生していることは、この因子が人間活動に関連していることはほぼ間違いない。

都市大気の相対湿度の変化の理解には、注目の空間の大気の水収支の計算が理想的であることはいうまでもない。しかし、観測精度と観測値の地域代表性、観測点の密度、更には湧源の量的評価などを考慮すると、現状では信頼できる計算結果を得ることは難しい。ここでは、単に考え方を示し、近年における相対湿度の都市内外差の減少の主因を列挙するに止める。

次の点をまず認識する必要がある。(a)議論は全て地上気象観測データ、すなわち地上約1.5mの観測値に基づいていること；(b)東京、大阪など都市名で表現されている変化ではあるが、観測地点1ヵ所の値であり地域代表性に問題があること；(c)調査期間に観測方法や測器の変更がありその影響が累年データに含まれているが、これらについての補正は行われていないこと；(d)湿度のデータは気温に比べて精度に難があることである。

ここで、(a)、(b)及び(c)はほぼ全ての気象要素について言えることなので、(d)について若干説明しておきたい。館野高層气象台とその南西4kmに位置する農業環境技術研究所の気温及び相対湿度について1982～1990年の期間における月平均値の推移に関する研究は、月平均気温の期間平均からの偏差値は気

温の場合には両地点まったく一致するが、相対湿度には一時期(1983—1987)前者のデータには全く見られない特異な変化が後者に記録されていることが見いだされた(小元・河村, 1993)。変化の様相からこれが観測方法や測器の変更によるものでないことも明らかであった。この変化の原因は後者の観測施設付近の開発の影響と推定されるが、具体的には判っていない。都市の気候に関する記述で、例えば一般に「東京では」の表現で与えられる値は東京管区气象台の観測値であり、本報でも都市名で説明している値は全てその名を冠した気象官署のものである。それがどの程度その都市の値と考えてよいかは、上記のような局所効果を無視しても、観測所と市街地との相対的位置関係を考慮する必要がある。

以上の問題はあるが、近年わが国の都市で相対湿度の都市内外差の減少の主因は、(1)都市における人間活動の放出する水蒸気が著しく増えたこと及び、(2)都市で相対湿度の低下が止まっている時期に郊外の田園地域における湿度は緩やかながらも下がりつづけているという相対的な変化の二つであると考えられる。ただ、(2)も前者があるから起こっているとも言えるので、実質的には(1)のみを考慮すればよい。

都市内における水蒸気の主な放出源は次の3種類に分類することができそうである。(1)化石燃料の燃焼(CO_2 と共に H_2O も放出される)；(2)煮炊・湯沸かしなど水及びそれを含むものの加熱；(3)冷暖房機その他水冷式加熱機器の冷却が考えられる。これらそれぞれの廃出量が評価されてもそれがどれ位都市湿度を高めるかの評価が残っているため重要度の順位も定め難いが、最近特に増加の傾向にあるのは(3)であろう。湿度の変化傾向の急変の起こった1970年代頃には(1)の寄与が急速に増えていたと推測される。

最近、東京と大阪では再び相対湿度の都市内外差の増加の気配が見られる。特に東京では1985年以降顕著な年平均相対湿度の低下が観測されている。気候データにみられる変動の解明のために、前記(a)～(b)の困難はあるが、やはり都市大気の水収支の定量的評価が望まれる。

V. 湿度変化の都市環境への影響

本論から若干外れるが、誤解されてもいるようなので、ここで相対湿度の変化の都市の環境への影響について述べてみたい。都市の乾燥化にしばしば砂漠化という表現が用いられるが、これは乾燥化は環境悪化であるという印象を与えている。砂漠化の議

表一 大阪と洲本の8月における15時の平均不快指数

	大 阪				洲 本	
	実 際		加 湿		実 際	
	H	DI	H	DI	H	DI
1970	59.5	81.0	70.1	82.8	70.1	80.0
1980	65.3	78.8	81.2	81.8	81.2	77.2
1990	51.7	82.7	61.2	84.9	61.2	80.6

図一 大阪及び洲本における毎日15時の不快指数の8月平均値の推移

論に相対湿度を用いること自体が間違いであることは、南米やメキシコ太平洋岸の砂漠地域に年平均相対湿度が東京や大阪より高い70%の気象観測所があることから明白である。そこが砂漠なのは、頻繁に霧や層雲が発生するが、雨が降らないためである。このような極端な例は別として、以下に、乾燥化がはたして環境悪化かという問題について Thom (1959) の不快指数 (DI) を用いて検討する。

体感気候で不快さを表す指数は Kawamura ら (1992) がリトスアップしただけでも10指に余り、気温と湿度の二要素から決定される指数も DI の他に数種類ある。DI が同じ条件でも、真夏の昼頃は、直射日光を浴びているかいないか、あるいは風が吹いているかいないかで体を感じる暑さが非常に違うことは誰もが経験することである。ここでは各種不快指数の優劣の議論は省略して、大気湿度の体感気候に与える影響だけを考えてみたい。この目的には DI で十分である。常識的に夏は乾燥しているほど良く、冬は湿っているほど良い。ただ DI は冬の寒さを対象としていないので、ここでは大阪の夏季を例に湿度変化が実際にどのような影響を不快指数に与えたかについて述べる。

湿度の測定法あるいはその用途によって DI には幾つかの計算方法がある。式(4a), (4b), (4c)に

Kawamura ら (1992) の挙げた式を示す。

$$DI = 0.81T + 0.01H (0.99T - 14.3) + 46.3 \quad (4a)$$

$$DI = 0.72(T + T_w) + 40.6 \quad (4b)$$

$$DI = T + \frac{1}{3}T_d + 41.7 \quad (4c)$$

ここで T , T_w , T_d はそれぞれ気温(乾球温度), 湿球温度, 露点温度で H は相対湿度で、単位は温度が°C, 相対湿度は%で与えられる。気温と湿度条件が同じであっても3式は違う値を与える。蛇足かも知れないが、気温が0°C, 相対湿度が100%の場合に3式のそれぞれが与える値を比較すれば、これが日本の冬季に使えないことはすぐに判る。

説明し易さの点では、一般になじまれている相対湿度 (H) を用いる式(4a)が便利である。表一 2 に大阪と洲本における1970, 1980, 1990年の3年について8月の毎日15時の H と DI の平均値の推移を示す。ここで大阪の加湿の欄には気温はそのまま相対湿度を洲本と同じにして計算した DI を掲げた。先にも述べたように、表現が国や人によって違うが、一般には、 DI の値が75~80ならば一部の人が不快、80~85の範囲ではかなりの人が不快、85以上となると全員不快あるいは耐えがたい不快とされている。その基準からすると実際の相対湿度変化に見る不快さ(蒸し暑さ)の増減はさほど大きくないが、乾燥化が環境悪化でないことは間違いない。

図一 7 に8月の毎日15時の大阪と洲本における不快指数の平均値の推移を示す。5年移動平均でいうと、大阪の乾燥化の最も進んだ期間には両者の差がほとんど無くなっている。年別に言うならば8月15時の値で、1968, 1970, 1972, 1973年には両者の関係は逆転している。 DI に気温の効果が大きく働いていることを認識するのも重要である。例えば、都市気候の緩和を目的とした計画において街路樹による制御は、湿度の増加をもたらすがそれによって更に蒸し暑くなるとは限らない。蒸散による冷却効果に加えて日陰を作るからである。湿度は若干増加するであろうが街路樹がビル街の気象環境の改善に寄与することは間違いないであろう。

VI. む す び

都市大気に含まれる水蒸気量の変化について気候学的観点からの分析を試みた。ごく最近の僅かな期間を除くと、日本の大都市と中都市では乾燥化は約20年来止まっている。ところが同じ期間に、都市気

候の影響の少ない観測所では明らかに相対湿度が低下している。市街地の拡大と昇温効果を考慮すると郊外との相対湿度の差が広がって当然の時期に、それが逆に減少していることは、都市内で人間活動の廃出する水蒸気量の増加を示唆している。それらの定量的評価なしには断定できないが、化石燃料消費量の増大、空調機器を含め各種熱機関の冷却水の蒸発量の増大、増える人口と日常生活での煮炊などによる水蒸気を発生する行為の増加などがこれを引き起こしている可能性がある。

人間活動の激化による都市内での水蒸気の放出量の増加が、樹木を取り払いそこを不透水性の物質で覆う市街化区域の拡大による地表からの水蒸気の供給量の減少を上回ってきたと考えても無理はないのではなかろうか。本論文では、また乾燥化が環境悪化ではなく、僅かながらも夏の蒸し暑さを軽減することを不快指数の推移から示した。しかしながら体感気候に対する湿度の寄与はあまり大きくなく、それが湿度の増加になっても、日陰を提供し、潜熱の吸収による冷却効果を持つ街路樹を増やすとか樹木の豊かな公園緑地を拡大することは気候環境の改良になると判断してよいであろう。いずれにしても上記について観測と数値実験による都市大気の水収支についての定量的評価・予測が必要である。

引用文献

- 1) Ackerman, B. (1987): Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **26**, pp. 427-430.
- 2) 荒川秀俊 (1969): 東京の都市化と湿度・温度の変わり, *天気*, **16**, pp. 23-24.
- 3) 荒川秀俊・片桐勝男・常岡好枝・貝山久子・吉見則子 (1970): 日本の大都市における気温と湿度の経年変化, *天気*, **17**, pp. 239-241.
- 4) Chandler, T.J. (1967): Absolute and relative humidities in towns, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **48**, 394-399.
- 5) Hage, K.D. (1975): Urban-rural humidity differences, *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 1277-1283.
- 6) Hilberg, S.D. (1978): Diurnal temperature and moisture cycles, *Ill. State Water Survey Bull.*, **63**, 25-42.
- 7) Kawamura, T., Ono H.P. and Iwakuma, T. (1992): Geographical distribution of discomfort index over the world, *Sci. Rept. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba. Sec. A.* **13**, 113-136.
- 8) 気象ハンドブック編集委員会 (1979): 気象ハンドブック, 朝倉書店, p. 664.
- 9) Lee, D.O. (1991): Urban-rural humidity differences in London, *Int. J. Clim.*, **11**, 577-582.
- 10) 小元敬男・鯉谷 憲 (1979): 気象官署のデータからの都市気候効果の消去の試み, *農業気象*, **35**, pp. 93-96.
- 11) 小元敬男・鯉谷 憲 (1980): 気象官署のデータからの都市気候効果の消去の試み(2), *農業気象*, **36**, pp. 203-206.
- 12) 小元敬男・鯉谷 憲 (1982): 日本の都市気象台における近年の湿度の低下について, *天気*, **29**, pp. 73-80.
- 13) 小元敬男 (1983): 東京と京都にみる都市気候の変動, *地理*, **28** (12), pp. 26-33.
- 14) 小元敬男 (1988): 都市と気候, *気象研究ノート*, No.162, 211-231.
- 15) 小元敬男・河村 武 (1993): 都市域の拡大が大気湿度に及ぼす影響, 文部省「人間—環境系」重点領域研究, 研究報告集, G082-N38B-01, 都市人工空間における健康影響サーベイランスシステム研究報告, 研究代表者 四ツ柳隆夫, pp. 106-119.
- 16) 斉藤直輔 (1985): 湿度, 気候学・気象学辞典, (吉野正敏ら編), 二宮書店, pp. 220-221.
- 17) 関口 武 (1963): 平野にある都市内外の気候分布——岐阜県大垣市の場合について, *東京教育大学地理学研究報告*, **7**, 193-240.
- 18) Thom, E.C. (1959): The discomfort index, *Weatherwise*, **12**, 57-60.
(1993年9月30日受付, 1993年11月8日受理)