

越谷市南東部における市街地と水田域の水蒸気圧差の特徴*

榑 原 保 志**

要 旨

著しい都市化を示す景観が、郊外の典型である水田域に接する例として埼玉県越谷市を選び、自動車の移動観測による水蒸気圧の観測を延べ59回行った。その結果、冬季は夏季と比べ日較差は小さく、都市と郊外の有意な差は認められないことが見出された。その他の季節では、ほぼ都市の水蒸気圧は郊外より低い。その差は夏季に、また日中に最も大きく、最大で 4.8 hPa の水蒸気圧差が認められた。

1. はじめに

都市気温形成に果たす役割が大きい潜熱フラックスや、モデリングをする際に重要なパラメータになる水蒸気の量について研究する必要がある。他方、都市環境の一つの指標である水蒸気量の実態把握は都市計画立案に際しての資料として重要であろう。

これまでに、Hage (1975) が都市内外の観測所の湿度資料を30日間比較し、夜間絶対湿度は都市域で高い傾向があることを報告している。面的に把握する研究では Chandler (1967) は真夜中に都市域が高水蒸気圧となっていることを報告していることがオーク (1981) より紹介されている。

立体構造に関しては、小園 (1987) が秋季の快晴、静穏な日に係留気球を用いて観測を行い、高さ 1 m では都市域の絶対湿度が郊外より高くなる現象は認められなかったものの、上空ではわずかながら都市域の方は高くなる場合があることを指摘した。

一方、Hage (1975) は昼間については都市域の水蒸気圧が郊外より低いことを示しており、Landsberg (1981) も 7 月の平均値が都市が郊外より低くなる研究例を紹介している。日本では Aida and Yaji (1979) が冬季の夜間について、榑原 (1982) が冬季の午後から夕方にかけて都市域の水蒸気が郊外よりも低いこと

を指摘している。

このように水蒸気量の都市内外の差に関してはいくつかの説がある。この理由として観測時刻・季節や郊外環境等の条件の違いも含まれていることが予想され、結論を出すにはまだ多くの観測の積み重ねが必要と思われる。

本研究は、郊外に水田域を持つ埼玉県越谷市南東部において、1992年 7 月から 1994 年 8 月に 22 日間にわたり 59 回の観測を行った結果から、都市内外の水蒸気圧の日変化や年変化の特徴を把握することを目的とする。

2. 観測方法

2.1 観測対象地域

越谷市は埼玉県南東部にある人口約 29 万人の都市である (平成 4 年 1 月)。当市は南北を通る東武伊勢崎線の駅を中心に東京のベッドタウンとして発展している。しかし、東京から 25 km 圏内という近さにも関わらず鉄道を挟んで西側と東側に水田域が随所に見られる。特に越谷市南東部には大規模な水田域と都市化の進展が著しい地区 (南越谷駅周辺) が共存するので、本研究の対象とした (第 1 図)。ここでは気温についても調査し、これについては別に報告した (榑原, 1994)。観測地の概略・観測方法・時差補正の方法に関して重なる部分もあり、前報に記載されていない内容を中心に述べることにする。

2.2 測器、観測方法、調査日の気象状況

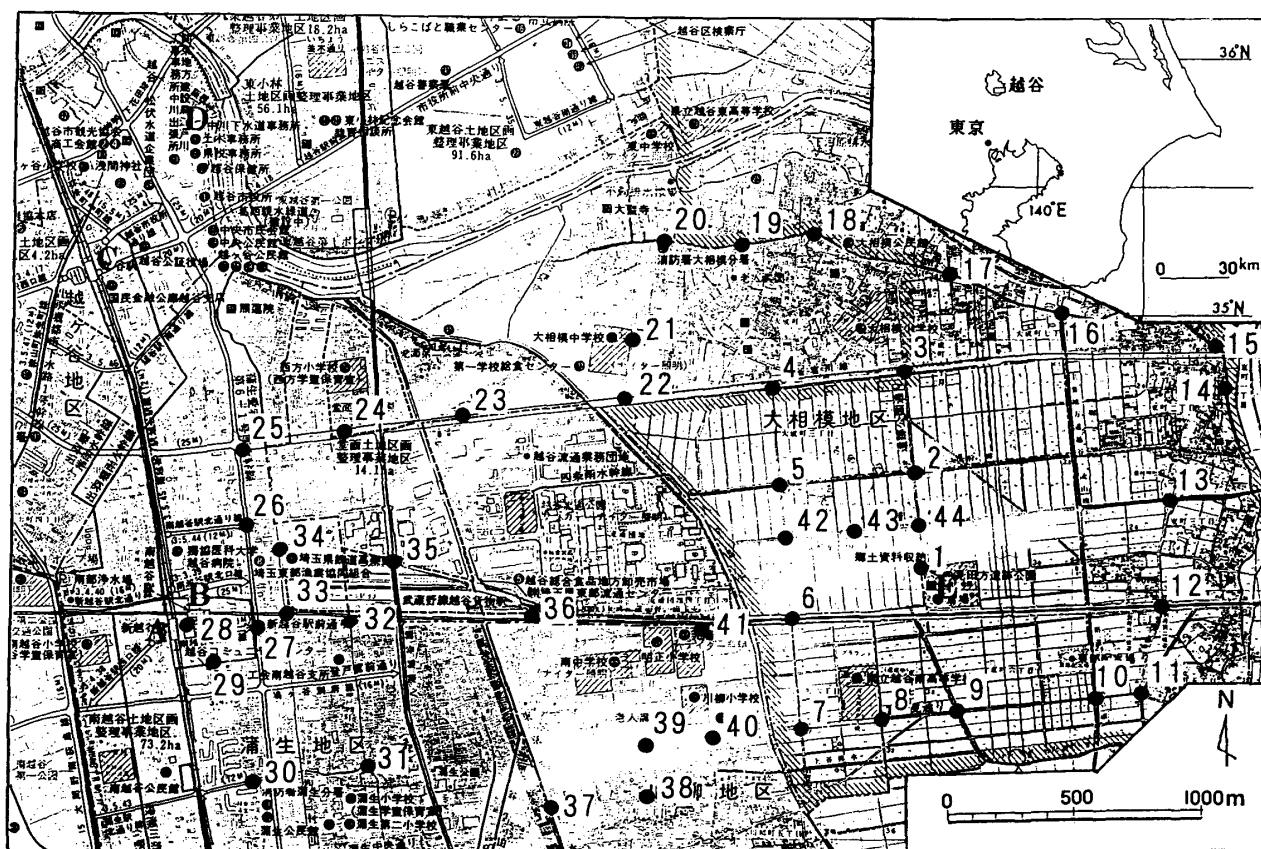
水蒸気圧の測定は 2 本のサーミスター (日置電機 (株) 製, 9021-01) を用いた。乾球用のセンサーはそのままで、湿球用のサーミスターの先端部をガーゼで

* The feature of water vapor pressure difference between urban and rural with a paddy field in the southeast part of Koshigaya city.

** Yasushi Sakakibara, 信州大学教育学部.

——1994年 9 月 20 日受領——

——1995年 1 月 20 日受理——



第1図 研究対象地区の概観 A：新越谷駅，B：南越谷駅，C：越谷駅，D：アメダス越谷，E：見田方遺跡公園，●印は観測地点。

包み，ガーゼの一端をサーミスターの下に取り付けた直径1cm長さ4cmの円筒形をしたプラスチック製の水溜の中に入れた。これによりガーゼがいつも濡れているように保った。なお，走行しながら測定を行うので特別な通風装置は付けていない。

水蒸気圧の算出はスプリング (Sprung) の公式 (山本, 1978) による。

移動観測による水蒸気圧の時差補正に関しては個々の観測値から水蒸気を算出してから時差補正を行う方法を採用したが，乾球湿球の示度を別々に時差補正してから水蒸気圧を算出したらどうなるかということも考えられ，今後検討されるべき課題であろう。

観測は(1)1992年7月23/24日に9回，(2)8月11日に3回，(3)11月3日に4回，(4)11月14日に4回，(5)12月26/27日に8回，(6)1993年2月20/21日に3回，(7)5月4/5日に9回，(8)1994年4月23～27日に8回，(9)4月30日に1回，(10)5月3日に1回，(11)5月7/8日に5回，(12)8月18/19日に4回，延べ22日にわたり59回行った(第1表)。(1)(2)の観測では水田域に水が引かれ，稲が出穂していたが，(3)

～(6)の観測では水がなくなり，裸地となっていた。(7)の観測では水が再び引かれ，田植え作業がみられた。(8)(9)では裸地であり，(10)(11)は水が張られた直後で，田植えの作業が見られた。(12)には十分水が張られ稲穂がよく育っていた。

観測日は風が弱く快晴と予想される日に実施した。以下5例を除き，天候の条件は満たされていた。(4)の後半11月14日の夜に郊外で霧が発生した。(6)では2月20日の19時頃から雲が出現し，22時頃から完全に空が雲でおおわれ，この状態が翌朝まで続いた。また，(8)の観測では1994年4月23日には日中雨がぱらつき，夜半は雨が降った。24日はようやく明け方雨がやんだが，路面は濡れていた。日中は曇であった。(9)の4月30日と(10)の5月3日の両日は曇っていたが午後弱い降水が見られた。風はいずれの日も3m/s以下であった。

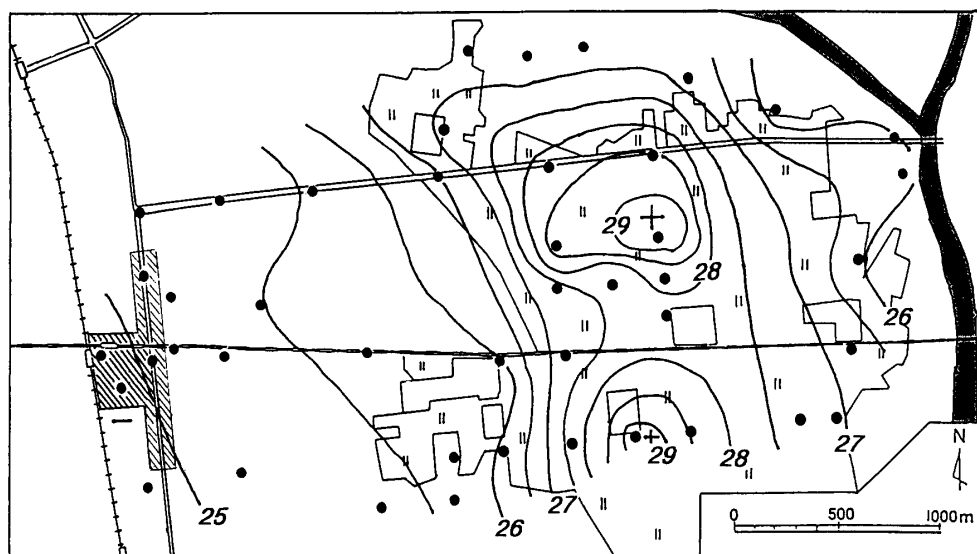
3. 特徴的な観測例

まず，59回の観測のうち都市と郊外の水蒸気圧の差が最も大きい例(1994年8月18日12時58分～13時36分，

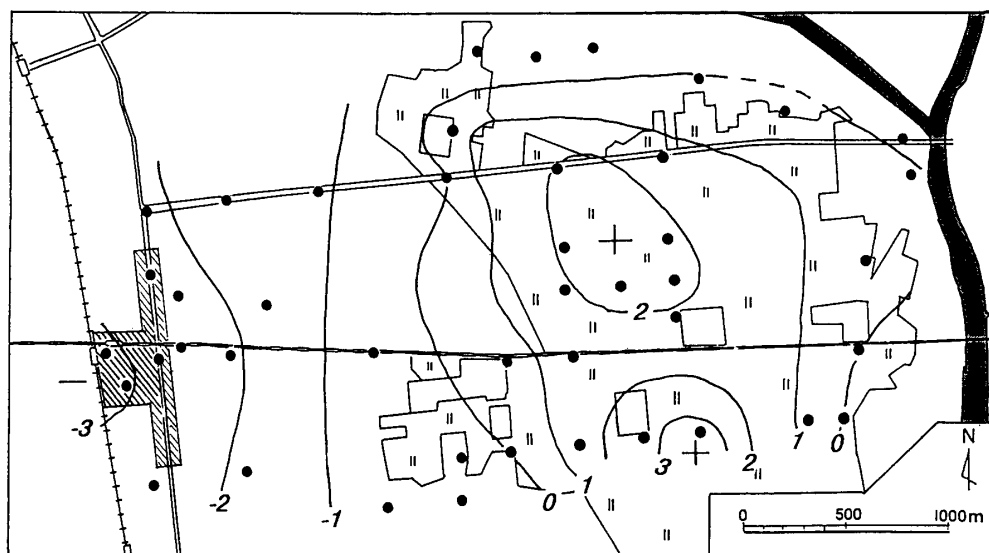
第1表 調査日の気象状況

観測 Run No.	観測日	観測時間	分類	アメダス越谷で観測された気象条件					水蒸気圧 差 hPa
				時刻 h	気温℃	日照	風向	風速 m/s	
(1)	920723	1521-1616	○	16	34.0	1.0	SSE	3	-1.7
		1818-1905	○	19	29.2	0	SSE	3	-0.9
		2109-2144	●	21	26.6	0	SSE	3	-0.4
		2351-0024	●	0	25.2	0	ENE	1	-0.2
		0252-0320	●	3	25.0	0	—	0	-0.3
		0552-0625	○	6	25.4	0	—	0	-1.7
		0855-0932	○	9	28.8	0.5	ENE	1	-1.2
		1318-1359	○	14	33.0	1.0	SE	3	-2.1
		1600-1640	○	16	31.6	0	ESE	2	-0.9
(2)	920811	1505-1543	○	15	26.1	0.4	E	3	-1.0
		1809-1849	○	18	24.2	0	ENE	3	-0.9
		1958-2030	●	20	23.2	0	E	1	-0.8
(3)	921103	1325-1411	○	14	17.4	1.0	S	2	-0.1
		1557-1635	○	16	16.8	0.5	SW	2	0
		1733-1817	●	18	15.6	0	S	1	0
		2201-2235	●	22	10.1	0	—	0	0
(4)	921114	1422-1508	○	15	19.0	1.0	ESE	1	-0.8
		1722-1805	●	18	14.8	0	E	1	0.6
		2000-2038	●	20	12.9	0	E	1	0.8
		2117-2152	●	22	11.0	0	—	0	1.2
		1043-1125	○	11	7.3	1.0	NNE	1	0.1
(5)	921226	1411-1452	○	15	10.6	1.0	NW	2	0
		1627-1715	●	17	7.6	0	—	0	0.1
		1756-1838	●	18	5.8	0	—	0	0.3
		2012-2049	●	21	3.1	0	—	0	0.2
		2250-2329	●	23	3.1	0	NW	1	0.2
		0857-0933	○	9	2.9	0.4	ENE	1	-0.4
		1040-1118	○	11	8.9	0.9	WSW	1	-0.4
		1449-1527	○	15	10.3	1.0	NNE	3	-0.1
		1657-1742	○	17	8.6	0.8	E	2	-0.2
(6)	930221	0542-0613	●	6	2.2	0	NW	2	-0.1
		1111-1152	○	12	17.3	0.7	E	2	-0.8
		1302-1337	○	13	17.9	1.0	SE	2	-1.4
		1459-1537	○	15	17.7	0.9	ENE	3	-0.7
		1706-1744	○	17	14.9	0	E	3	-0.5
		1900-1940	●	19	12.7	0	SE	2	-0.4
		2111-2150	●	22	9.8	0	ENE	2	-0.3
		0210-0245	●	2	9.1	0	N	1	-0.1
		0454-0522	○	5	9.5	0	—	0	-0.3
		0706-0741	○	7	10.7	0	—	0	-0.2
(7)	930504	0900-0935	○	9	13.6	1.0	S	1	-0.2
		1415-1502	○	15	18.7	0	ESE	2	0
		1404-1444	○	14	20.4	0	NE	2	0
		2157-2240	●	22	16.9	0	—	0	0
		1354-1438	○	14	23.2	0.6	SSW	2	0.1
		2135-2212	●	22	14.8	0	ENE	2	-0.3
		1342-1429	○	14	20.7	0.2	SE	3	-0.4
		2137-2211	●	22	15.7	0	ENE	1	0.4
		1419-1508	○	15	18.8	0	ESE	3	0.7
		1342-1417	○	14	14.8	0	ESE	1	-0.3
(8)	940423	1351-1436	○	14	25.0	0.7	SSW	2	-0.6
		2157-2237	●	22	19.8	0	—	0	-1.9
		0348-0428	○	4	15.4	0	—	0	-0.9
		1238-1316	○	13	28.3	1.0	SSW	2	-1.4
		1338-1421	○	14	28.6	1.0	SSW	2	-2.2
(9)	940424	0454-0532	○	5	24.7	0	—	0	-0.8
		1258-1336	○	13	33.9	0.9	SSE	2	-3.0
		2345-0027	●	24	27.7	0	S	2	0
		0440-0513	○	5	25.5	0	WNW	2	-0.5

分類は○が日中、●が夜間を示す。水蒸気圧差は文中の②の方法により算出した。



第2図 都市と郊外で明瞭な水蒸気圧の違いがみられたときの水平分布
(1992年7月23日, 13:18-13:57, 単位: hPa, ●印は観測地点).



第3図 各観測平均値からの偏差の平均値分布 (単位: 0.1 hPa).

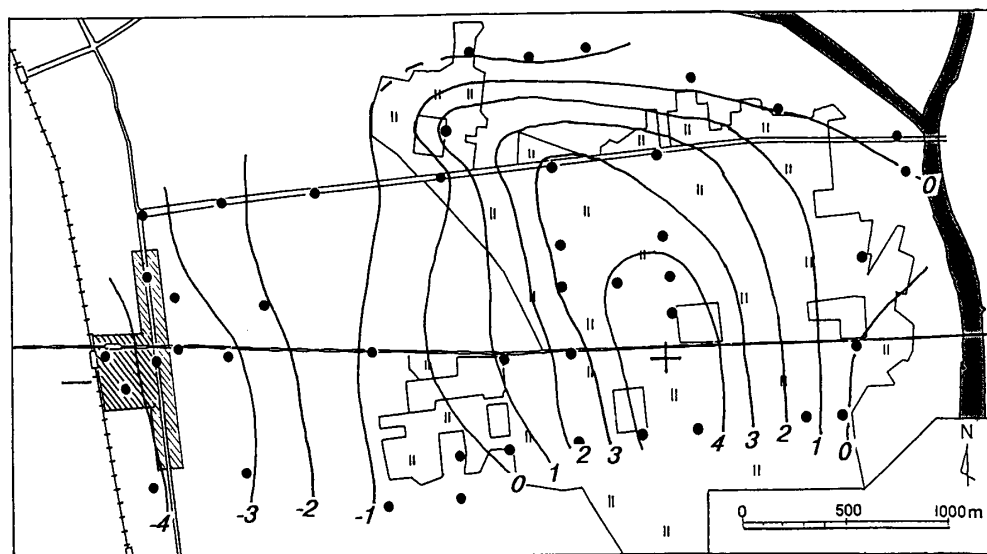
第2図)を示す。ただし、「」印は水田域、斜線域は景観から都市化していると判断した地区を示す。なお、この地区はこの周辺でもっとも高温を示す地区でもある(榊原, 1994)。

当日はよく晴れていたが、南南東の2 m/sの風が吹いていた。図から分かるように、南越谷駅を中心に低水蒸気圧域があり、見田方遺跡公園の南と北側の両方に高水蒸気圧域が見られる。また、都市と郊外の最大水蒸気圧差は4.8 hPaであった。

4. 平均状態

各観測の平均値からの地点別の偏差をとり、その59回の観測についての平均値分布を第3図に示す。ただし、この平均は観測結果全部の数学的な平均であり、「もっともよく起こる状態」や「普通に見られる状態」を意味しない。

南越谷駅周辺に低水蒸気圧域が見られ、見田方遺跡公園北西と南西の郊外域に高水蒸気圧域が認められた。第2図に示した典型的状態における特徴には一般性があることが分かる。



第4図 日中の各観測平均値からの偏差の平均値分布 (単位: 0.1 hPa).

次に, 日中に行われた観測37回の平均値分布を示す(第4図). ただし, 観測時間帯中央の時刻が日の出から日の入りの時間に分類されるとき「日中」, そうでないとき「夜間」とした. したがって, 日中に分類されたものの中には日の出直後の観測例も含まれる.

図から分かるように南越谷駅周辺に低水蒸気圧域が見られる. 全データの平均分布図と比べると, 見田方遺跡公園の南北両側に見られた高水蒸気圧域が一緒になっている以外は, その特徴が強調された形である. 一方, 夜間はその傾向は弱まり, 都市域が郊外と比べ, わずかに低水蒸気圧になっているものの, その差が小さいため空間分布パターンの特徴を指摘するのは困難である(図なし).

5. 都市と郊外の水蒸気圧差

5.1 日変化

都市と郊外の水蒸気圧の日変化を第1表に示された離散的観測結果から検討する. ここで, 都市と郊外の地点をどう決めるかという問題がある.

都市と郊外の地点をそれぞれ一地点で代表させることはデータの信頼において不安が残る. それぞれの地域から数地点を選び, 平均値を算出する方法もとられている(田宮, 大山, 1981; 小林, 1990). そこで, 地点の選び方に次の2つの方法を考え, 平均値に与える影響を検討する.

①全地域を都市と郊外に分類する方法; 水田域に囲まれた, あるいは隣接する地点を郊外の地点とし, それ以外を都市とした.

②景観から判断し, 典型的と思われる数地点を都市と郊外に分けて選出する方法; 郊外の地点として第1図の2・5・42・43・44, 都市の地点として26・27・28・29を選出した. 地点28は駅前ロータリー, 地点29はこの界隈で一番の大規模店舗の前, 地点26・27は共に駅に近い幹線道路沿いのビルの前の地点である.

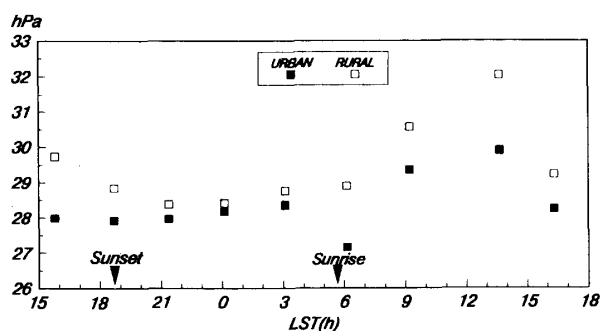
まず特定の観測について①の方法による都市の平均値を求める. 次に②の方法で都市の平均値を算出し, その差(②-①)を計算する. 全ての観測についてこの計算を行い, 都市における地点の選び方による差の平均値, 標準誤差と標準偏差を算出した. 同様に郊外の地点について求めた. その結果, 都市で 0.139 ± 0.045 hPa ($\sigma=0.345$), 郊外で 0.011 ± 0.019 hPa ($\sigma=0.148$) となった.

郊外の平均値, 標準誤差や標準偏差が, 都市と比べいずれも小さいのは, 郊外に選ばれた地点が一面水田域になっており, 地点の取り方に景観の差異が見られないためと考えられる.

②は①と比べ都市と郊外の差を明瞭に示すので, 本研究では②の方法を採用した.

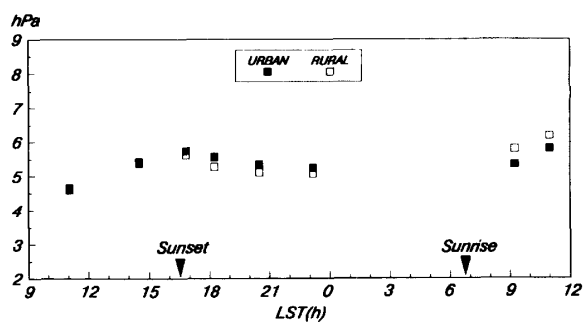
夏季と冬季の観測例の中から, 観測間隔が密であった事例を一つずつ選び, 日変化のパターンを検討する.

夏季の場合には, 一日中都市域のほうが郊外より低いことが分かる(第5図). 都市は郊外に比べ, 日中はより乾燥し夜間は少し湿気が多いとする Hage (1975) の報告と一致しない. 日変化では都市も郊外も日中高くなり, その差は大きい, 夜間はどちらも低くなり, その差は小さい. また, 郊外で日没前に, 都市で日没



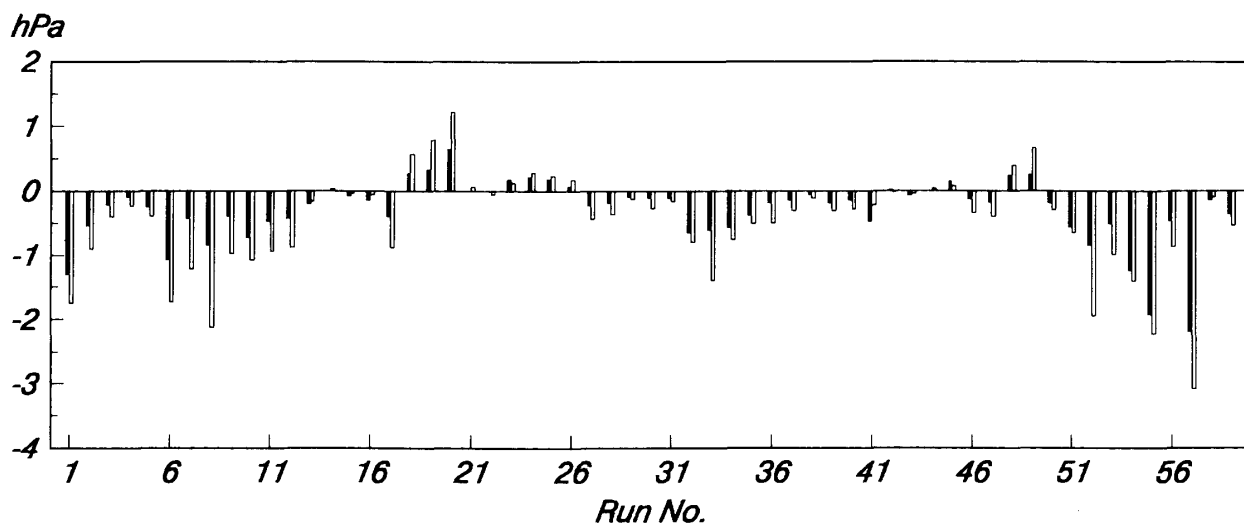
第5図 夏季における都市と郊外の水蒸気圧の日変化 (1992年7月23/24日)

■：都市, □：郊外.



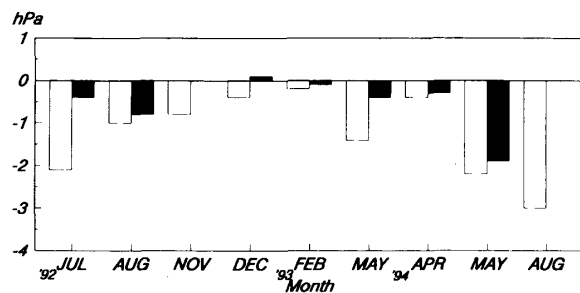
第6図 冬季における都市と郊外の水蒸気圧の日変化 (1992年12月26/27日)

■：都市, □：郊外.



第7図 都市と郊外の地点の取り方の違いによる水蒸気圧差の違い

■：全データを都市と郊外に分けた時の都市と郊外の平均の差
□：景観から選ばれた時の都市と郊外の平均の差.



第8図 都市と郊外の水蒸気圧差の年変化

□：日中, ■：夜間.

前後に急激な上昇が見られるとする Hage (1975) の結果と一致しない. 今後日変化パターンに関して観測の積み上げが必要であろう.

一方, 冬季は都市と郊外の差は非常に小さく, 日変

化の振幅は夏季より小さい (第6図).

5.2 年変化

第1表に示した観測結果を時系列に並べ, 都市と郊外の水蒸気圧差の年変化を検討する. 水田域で観測された水蒸気圧の平均を W_r とし, 都市域の平均値を W_u とし, 都市と郊外の水蒸気圧差 ΔW_{u-r} を次のようにして求めた.

$$\Delta W_{u-r} = W_u - W_r$$

この場合都市と郊外の地点の取り方により, ΔW_{u-r} の値が変わることについて, 先に述べた2つの方法により ΔW_{u-r} を算出し, 観測順に並べたものが第7図である. 図から分かるように ΔW_{u-r} の変化パターンとしては, おおむね両者の方法による違いは認められない. しかし, ②による値の方が①より大きくなる傾向がある.

そこで、ここでも②の方法を採り、それぞれの観測を日中と夜間に分類し、月毎に ΔW_{u-r} の最小値を求めた(第8図)。ただし、NOVと'94AUGの夜間の値は0である。

図から分かるように、 ΔW_{u-r} は一年を通し、ほとんどマイナスであることから、都市は郊外より低水蒸気圧であることが分かる。また、夏季の水蒸気圧の強度は大きく、冬季は小さい傾向が読みとれる。

さらに一般に日中は夜間と比べ、都市内外の水蒸気圧差は大きい。

6. おわりに

以上述べたように、都市域とそれに接した水田域では一年を通してほぼ都市が郊外より日中も夜間も低水蒸気圧である。また、季節では夏季に、一日では日中に都市と郊外の差は明瞭になることが分かった。

また、水蒸気圧の差が大きい時期は水田に水が張られている時期に符合する。このことは夏季の日中水田域で蒸発散が盛んになり、水蒸気圧が高くなった結果、その差が大きくなったものと考ええる。

さらに、水田における夏季の晴天日の熱収支は放射収支の108.6%が潜熱フラックスに利用されるという報告例があること(福岡ほか, 1990)、同地区では夏季の日中にヒートアイランド強度が一年の中で最大になること(櫛原, 1994)からも推論できる。

しかし、水田の水蒸気の効果については水田に水が張られる前後に観測時間間隔をより短くした調査が必要であろう。

都市と郊外の水蒸気圧の差を考える場合、本研究では郊外の代表的景観に水田を考えたが、もう一つの景観である畑を伴う都市において調査が必要であろう。その際、作物の種類、土壌水分量、散水の量や間隔などをどのように類型化するかという問題があり、今後の課題である。

謝 辞

今回の調査に多大な便宜をはかっていただいた越谷市役所の皆様に厚く御礼を申し上げます。また、本論作成にあたりお茶の水女子大学田宮兵衛教授には貴重なコメントをいただきました。ここに謝意を表します。

なお、本研究は平成4年度文部省科学研究費補助金(奨励研究(C))を使用した。

参 考 文 献

- Aida, M. and M. Yaji, 1979: Observations of atmospheric downward radiation on the Tokyo area, *Boundary Layer Met.*, **16**, 453-465.
- Chandler, T. J., 1967: Absolute and relative humidities in towns, *Bull. Amer. Met. Soc.*, **48**, 394-399.
- 福岡義隆, 張 一平, 鳥居 淳, 1990: 水田と畑における熱収支の違い, *中国・四国の農業気象*, **3**, 1-10.
- Hage, K. D., 1975: Urban-rural humidity differences, *J. Appl. Met.*, **14**, 1277-1282.
- 小林 守, 1990: 関東平野の諸都市の都市規模と都市ヒートアイランド強度, 都市化の進展に伴う都市気候の変化に関する研究(西沢利栄編), 昭和61年度~平成元年度科学研究費補助金(一般研究(A))研究成果報告書, 51-61.
- 小園 修, 1987: 土浦市におけるヒートアイランドの立体構造, *地理学評論*, **60**, 757-764.
- Landsberg, L. E., 1981: *The Urban Climate*, International Geophysics Series, **28**, Academic Press, N. Y., 275 pp.
- オーク, 1981: 境界層の気候(斎藤直輔・新田 尚訳), 朝倉書店, 228-230.
- 櫛原保志, 1982: 草加松原団地における小気候学的調査—ヒートドライアイランドを中心にして—, *天気*, **29**, 141-150.
- 櫛原保志, 1994: 越谷市に見られるヒートアイランド強度~郊外が水田の場合, *天気*, **41**, 101-109.
- 田宮兵衛, 大山秀樹, 1981: 小集落に夜間発生するヒートアイランドの実態と成因について, *地理学評論*, **54**, 1-21.
- 山本義一, 1978: 気象学概論, 朝倉書店, 235 pp.