

関東地方における局地風に関する研究

第2部：東京のヒートアイランドに伴う地上風系*

藤部文昭** 浅井富雄**

要旨

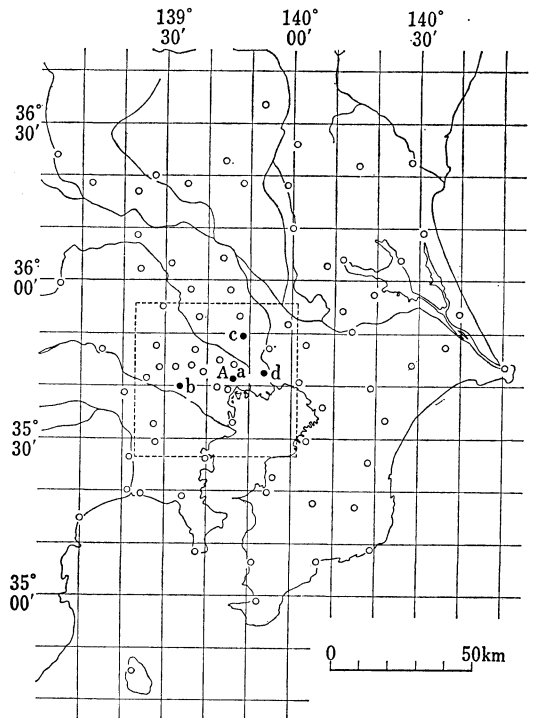
関東地方の局地風系に関する解析的研究の一部として、「南関東大気環境調査」で収集された2年間の地上気象観測資料を使って静穏に近い状態の下における東京付近の地上風の分布を調べた。その結果、都心部に収束する低気圧性の風が天気や昼夜を問わず存在することが確認された。平均的に見て、都心と郊外の気温差は約 1.3°C であり、都心部へ吹き込む風の風速は約 0.2 m/sec 、都心部における風の水平収束は約 $5 \times 10^{-5}\text{ sec}^{-1}$ である。

1. はじめに

近年、都市の巨大化・高密度化に伴い、人間活動が都市の気候に及ぼす影響、とりわけ都市のヒートアイランド現象が各地で見出されるようになった。都市気温の上昇による都市のヒートアイランド化は、当然局地風系にも影響を与えるはずである。ヒートアイランドに伴う風の実態については、すでに世界のいくつかの都市を対象にした研究がなされ、静穏に近い状態の下で郊外から都心に向かう country wind (都市風とも呼ばれるが、郊外風とも呼ぶのが妥当)が見出されている (Garstang *et al.*, 1975; Shreffler, 1978)。日本では、旭川を対象にした Okita (1960) の研究がある。また、東京におけるこの風の存在は河村 (1977) によって見出されており、それによると、夜間の静穏時に都心部に吹き込む風速 1 m/sec 程度の低気圧性の風が現われる。今回は、この風の性状をさらに明らかにするために、長期間の資料を使った解析を行なった。

2. 資料

気象庁と環境庁が1974年から1976年にかけて合同で実



第1図 地上風観測点の配置図。

* A study of local winds in Kanto District, Part II: A surface wind system associated with the Tokyo heat island.

** Fumiaki Fujibe, Tomio Asai, 東京大学海洋研究所

—1979年8月15日受領—

—1979年9月14日受理—

施した「南関東大気環境調査」の中で、4年間 (1973~1976年) にわたる3時間毎の地上気象観測資料 (気象庁, 1976~1977) が収集された。観測点の配置は年によって異なるので、今回はこの中から1974~1975年の2年間の

資料を採用した。地上風の観測点は約80個あり、その配置は第1図に示される。

3. 解析方法

まず、2年間のうちから東京付近の風が弱い時、すなわち、第1図のAの字を囲む6地点の平均風が1m/sec未滿の時(約900回)を選び出した。そして、風の資料を時刻別・観測点別に集計し、各時刻毎の各観測点における標本平均風を求めた。次に、スケールの大きい風系の影響を除くために、各観測点から25km以内にある観測点の風の平均からの偏差をとった。最後に、スケールの小さい不規則さを除くために、水平方向に平滑化を行なった。

風と同時に、都市内外の気温差を調べた。気温差としては、大手町(第1図のa)の気温と、都心から約15km離れた調布、草加、江戸川(b, c, d)の気温の平均との差を用いた。ただし1974年の草加の資料に不備があるので、1975年の資料だけを用いた。

また、天気別の調査も行なった。この場合は、「東京の気候表」(日本気象協会)に記載されている半日毎の記録を用いて資料を天気別に分類し、その後の上で述べた方法を適用した。

風の平滑化は以下の手順で行なった。まず、1辺の長さが緯度にして2分(約3.7km)の正方形の格子を作り、格子点上の風Vを次式を用いて内挿により求めた。

$$V = \sum_{i=1}^n R_i^{-2} V_i / \sum_{i=1}^n R_i^{-2} \quad (1)$$

nは観測点数を、R_iはi番目の観測点から格子点までの距離を、V_iはi番目の観測点における風を表わす。次に、各格子点上の風を次式を用いて平滑化した。

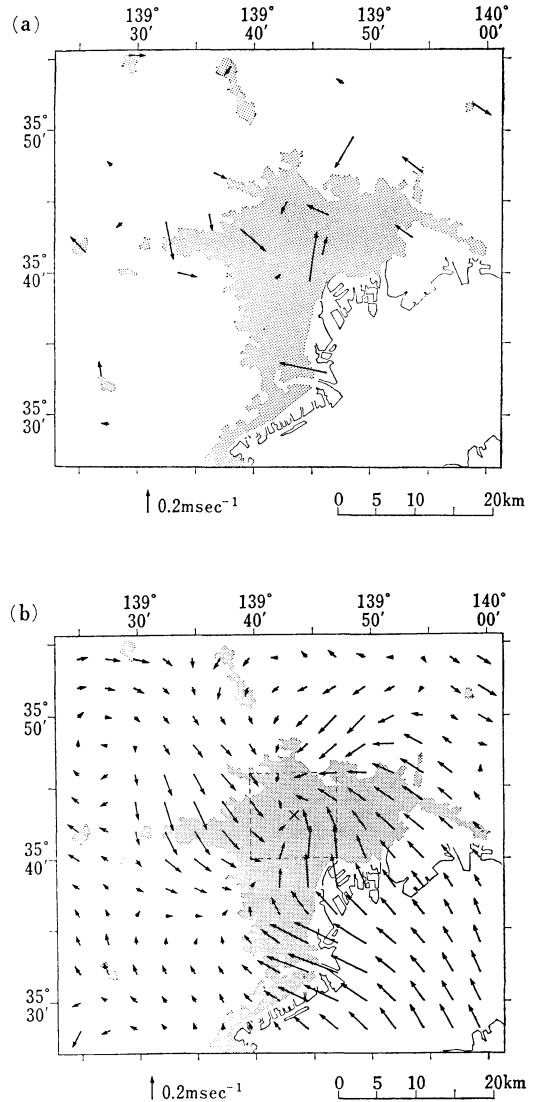
$$V_{j,k} = \frac{1}{16} (V_{j+1,k+1} + V_{j-1,k+1} + V_{j+1,k-1} + V_{j-1,k-1}) + \frac{1}{8} (V_{j+1,k} + V_{j-1,k} + V_{j,k+1} + V_{j,k-1}) + \frac{1}{4} V_{j,k} \quad (2)$$

V_{j,k}は格子点(j,k)における風を表わす。最後に、内挿・平滑化による値の減少を補うため、得られた値を2倍した。

4. 結果および考察

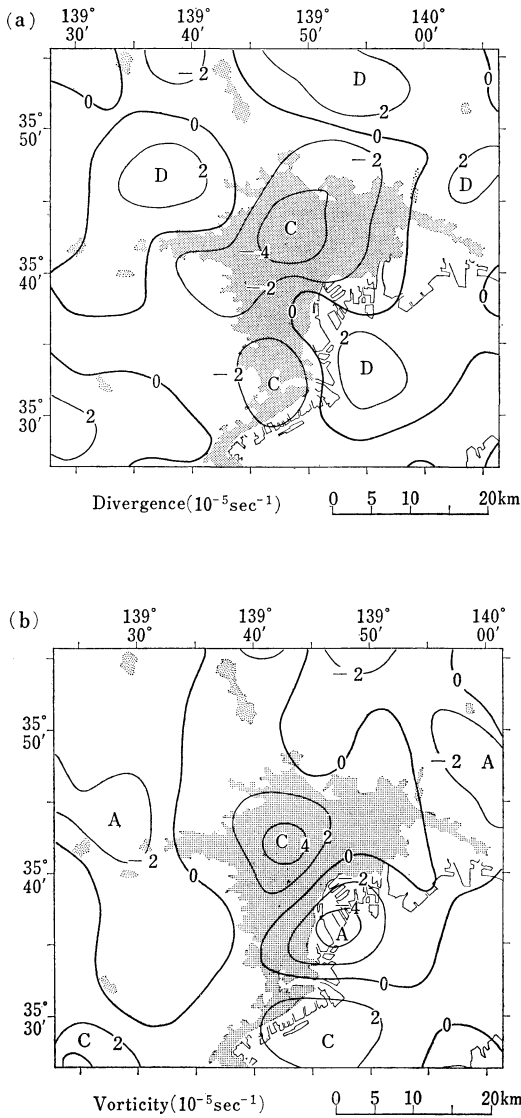
4.1. 結果

第2図は、平均的な風、すなわち時刻について平均し



第2図 静穏に近い状態の下における東京付近(第1図の中央の枠内)の平均的な風の分布。影の部分は市街地。(a)は平滑化する前の、(b)は後の状態。

た結果得られた風の分布を示したもので、a, bはそれぞれ平滑化の前と後の状態である。第3図は、水平発散(以下「発散」と言う)と渦度の鉛直成分(以下「渦度」と言う)の分布図である。郊外から都心に向かう0.2m/sec程度の低気圧性の風が存在し、都心部における収束



第3図 第2図bから求めた発散(a)と渦度(b)の分布。影の部分は市街地。

および渦度は共に約 $5 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$ である。都市内外の気温差は約 1.3°C である。

天気別および時刻別に見ても、定性的には同じ結果が得られるが、都心部に吹き込む風の強さや都市内外の気温差は天気や時刻によって異なる。第1表は、都心部における収束と渦度の大きさを、晴と雨の場合について昼夜別に示したものである。都市内外の気温差が大きいほ

ど都心部における収束が強いとは限らず、むしろ気温差の小さい晴れた日の昼間に強い収束が現われる。

4.2. 結果の信頼性に関する検討

4.2.1. 有意性

結果の有意性を左右する要因の一つは、統計回数である。しかし今の場合、統計回数は充分大きい(合計約900回)ので、結果の有意性はこの点では保証される。

むしろ、問題になるのは資料の代表性である。一般に、ごく局地的な影響によって、個々の地点で観測される風とその周囲数 km の平均的な風の間には差(以下「誤差」と呼ぶ)が存在する。結果の有意性、すなわち都心部に収束する低気圧性の風の実在性は、それが誤差によって作り出される確率の大小にかかっている。誤差は観測点毎にランダムであろうから、乱数を用いてランダムな風速分布を与え、都心部における収束や渦度を計算すれば、この確率を見積もることができる。第1表のPの値は、このような試行を1万回行ない、都心部(第2図bの中央の枠内)における収束と渦度が共に4.1節で得られた現実の値を越えた回数を%で表わしたものである。乱数の標準偏差には、都心(第2図bの×印)から40km以内にある31地点の風の標準偏差を用い、また、乱数の確率分布としては3種類、すなわち、正規分布、一様分布および次式で表わされる分布を用いた。

$$f(x) = \frac{2}{\pi\sigma\left(1 + \frac{x^2}{\sigma^2}\right)^2} \quad (\sigma \text{ は標準偏差}) \quad (3)$$

(3)式を用いたのは、大きな値が出やすい性質に注目したためである。第1表のPの値から結果の有意性は十分に保証され、郊外から都心へ向かう低気圧性の風の存在が確認される。

4.2.2. 内挿と平滑化の影響

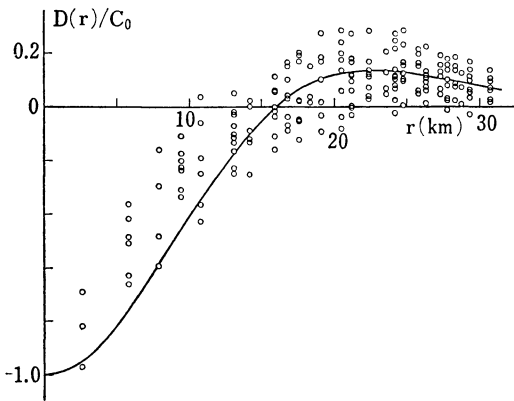
第2図のbをaと見比べると、スケールの小さい不規則さは除かれているが、全体的な気流のパターンはほぼ保たれている。また、簡単な関数で表わされる現実的な風の分布を与え、内挿・平滑化の前後における発散分布を比べてみたが、大きな差はなかった。1例を第4図に示す。これらのことから、風の内挿や平滑化によって風およびその発散の分布が受ける変形の度合は小さいと判断される。

4.3. 考察

今回得られた結果には、St. Louisを対象にした Shreffler (1978) の統計的研究の結果と共通する点がいくつかある。中でも注目されるのは、晴れた日の場合、都市内外の気温差は夜間の方が大きいにもかかわらず、都

第1表 天気別・昼夜別にみたヒートアイランドとそれに伴う風系の性質。晴とは「東京の気候表」に「快晴」「晴」または「晴一時曇」と記載されている場合、雨とは「晴」の文字がなく降水を示す文字がある場合。昼とは09~18時、夜とは21~06時。都心部とは第2図bの中央の枠内。Pの意味については4.2.1節参照。

天	気		全	晴		雨	
	昼	夜		昼	夜	昼	夜
	都市内外の気温差 (°C)		1.3	0.8	2.7	1.0	0.9
	都心部における収束 (10^{-5}sec^{-1})		4.2	6.8	3.5	5.3	2.2
	都心部における渦度 (10^{-5}sec^{-1})		3.2	4.6	1.1	3.2	2.3
P (%)	正規乱数		0.02	0.02	1.55	0.02	0.23
	一様乱数		0.00	0.03	1.53	0.00	0.21
	(3)式の乱数		0.01	0.05	1.13	0.02	0.15



第4図 風を内挿・平滑化する前後の発散分布の比較。最初に与えた風の分布は次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{C_0}{2} r e^{-\left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

r は都心 (第2図bの×印) からの距離, u, v はそれぞれ, 都心を原点とした動径方向および角度方向の風速. $R=16\text{ km}$. これに伴う発散分布,

$$D(r) = C_0 \left[-1 + \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] e^{-\left(\frac{r}{R}\right)^2}$$

が実線で, また, 風を内挿・平滑化した後の発散分布が白丸で示される。

心部における収束は昼間の方が強いことである。Takano (1977) の数値実験でも同様の結果が得られている。このことを説明し得る要因として, Shreffler は, 大気下層における安定度と乱流拡散の強さの日変化を挙げている。東京に関しては, 海陸風系の存在がもう一つの要因

として挙げられる。日中に海風前線が東京を横切って停滞することはしばしばあり, 昼間に現われる強い収束には多かれ少なかれ海風前線が寄与しているであろうと思われる。

一方, 海陸風系に及ぼすヒートアイランドの影響がしばしば問題になる。Takano (1977) の数値実験では, ヒートアイランドに伴う $1 \sim 3\text{ m/sec}$ の風によって, 海陸風循環が著しく変形されるという結果が得られている。しかし, この結果にはヒートアイランドの影響が強すぎると思われる。現実には, ヒートアイランドに伴う風はもっと弱く, それのはっきりと見られるのは, 海陸風などが弱まった静穏時に限られる (河村, 1977)。

一般風が存在すると, ヒートアイランドに伴う地上の収束域は風下へ吹き流されると予想される (Olfe・Lee, 1971; Kimura, 1976)。また, Sawai (1978) の数値実験は, 一般風がある程度以上強くなると, 都市内外の温度差よりもむしろ地面摩擦の差が重要なることを示している。しかし, これらの状況に対応する解析的研究はまだきわめて不充分である。今回は, 一般風が存在すると風の観測値の代表性が悪くなるため, 一般風が吹いている場合について調べることはできなかった。

いずれにしても, ヒートアイランドとそれに伴う風系が天気や時刻によってどのように変化し, それが海陸風系とどう関係するかは, 今後解明すべき問題である。また, 一般風の下における都市周辺の風系を調べるためには, 十分に密な観測網に基づく解析が必要である。

5. まとめ

静穏に近い状態の下で、東京の都心に向かう低気圧性の風が天気・時刻によらず存在する。平均的に見ると、風速は約 0.2 m/sec, 都心部における収束は約 $5 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$ である。強い収束は都市内外の気温差が小さい晴れた日の昼間に現われるが、このことには安定度や乱流拡散の強さの日変化のほか、海陸風系が影響している可能性がある。

謝辞

本研究で使用した南関東大気環境調査地上気象観測資料を提供して下さった気象庁および環境庁の関係各位に謝意を表す。なお、研究費の一部として文部省科学研究費補助金の交付を受けた。

文献

Garstang, M., P.D. Tyson and G.D. Emmitt, 1975: The structure of heat islands, Review of Geophys. and Space Phys., 13, 139-165.
河村 武, 1977: 都市気候の分布の実態, 気象研究

ノート, 133, 26-47.
Kimura, R., 1976: Effects of general flows on a heat island convection, Part 1: linear theory for the uniform flow, J. Met. Soc. Japan, 54, 308-320.
気象庁, 1976~1977: 南関東大気環境調査地上気象観測資料 (全5冊), 気象庁。
Okita, T., 1960: Estimation of direction of air flow from observation of rime ice, J. Met. Soc. Japan, 38, 207-209.
Olfe, D.B. and R.L. Lee, 1971: Linearized calculations of urban heat island convection effects, J. Atmos. Sci., 28, 1374-1388.
Sawai, T., 1978: Formation of the urban air mass and the associated local circulation, J. Met. Soc. Japan, 56, 159-174.
Shreffler, J.H., 1978: Detection of centripetal heat-island circulations from tower data in St. Louis, Bound.-Layer Met., 15, 229-242.
Takano, K., 1977: Three-dimensional numerical modelling of the land and sea breezes and the urban heat island in the Kanto Plain, Sc. D. Thesis, Tokyo Univ.

(p. 702 より続く)

注文の際、資料集の名前と一緒に記号 “AGPS Cat. No. 79 9210 X” を書いて頂きたい。送料は、船便の場合

2 豪ドルである。なお、資料集を見たい方は、浅井教授に申し出て頂きたい。

各方面での活用を期待している。 (藤部文昭)