

東京都における自動車排ガス大気汚染に 影響を及ぼす都市効果*

増原孝明**

要旨

本研究では、東京都の CO データー、気象データーおよびタワーデーターを用いて、高濃度日の濃度示数（高濃度日の特別平均濃度／年間の特別平均濃度）の時間変化パターンと特に夕刻～夜間の都市のヒートアイランドの影響について時・空間的に検討した。

この結果、夕刻～夜間の濃度示数ピーク時刻が郊外部より都心部が遅れ、都心部ではその周辺部よりピーク値が小さくなることを見出した。この原因として、西部の山岳に近い地域以外では冷却量の違いに伴う地上付近の大気安定度差が重要であり、西部の山岳近くの地域では、これに加えて山風の吹出しが早いことによる換気効果の増大が重要であると想定された。また、このような地域差の現われ始めるヒートアイランド強度が、21時で約 4°C 程度であることが判明した。

1. はじめに

都市域では都市構造やヒートアイランドの影響によって郊外より乱流強度が大きい (Bowne and Ball, 1970; Graham, 1968等) といわれ、これに伴って大気汚染物質の拡散幅も増大し、不安定傾向を示すという報告が種々のエアートレーサー実験によってなされている。(Csanady *et al.*, 1968; McElroy., 1969; 佐藤, 1973等)。

汚染質の正規型分布を仮定し、lid の効果を無視すると、地上付近の煙源に対する煙流軸上濃度分布は次のようになる。

$$C \doteq \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \quad (1)$$

但し、 Q は排出量、 u は平均風速、 σ_y 、 σ_z は水平、鉛直方向の汚染質拡散幅である。従って拡散幅の増大は、他の条件が変わらない場合、地上源に対しては濃度の減少を意味する。Guedalia *et al.* (1980) はラドン濃度の夜間ピーク値が郊外部より都心部で小さい原因を、都市と郊外の夜間安定度の違いが反映したものであるとした。一方、都心部ではヒートアイランドに伴う求心系気流により、汚染質が集積し濃度が増大するという報告

もある (大喜多, 1959; 齊藤・千葉, 1987)。また、都市のビル谷間では風速が減少し、濃度が増大する効果も考えられる。

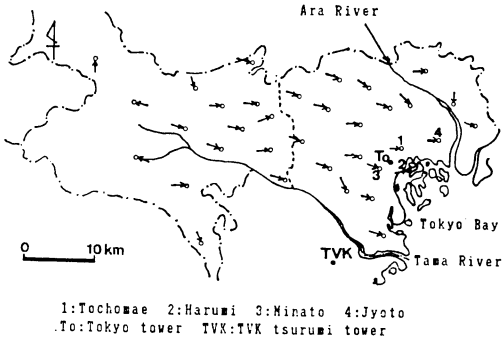
このように、大気汚染物質の濃度分布に対する都市の影響に関しては、都市特有の条件や実験データーの不足のために不明確な点が多い。実際の大気汚染シミュレーションにおいても、単純化された安定度等の修正のみを行っており、都市的效果の地域的スケール、時間変化、季節変化等は考慮するのが困難である。

本報では東京都を例にとり、広域高濃度日のデーターを用いて、これらの都市的效果の実態を時・空間的に明らかにした後、このような濃度パターンを形成する気象学的要因の検討を行うことを目的とした。大気汚染物質は、その大部分が自動車排ガス起源であるため都市の地表付近の影響が現われやすく、化学的にも安定である CO を選定した。

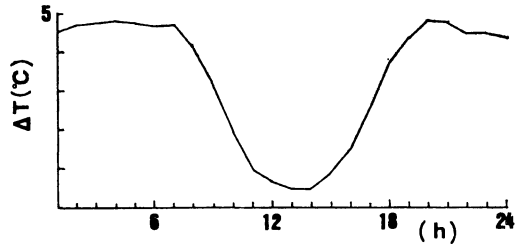
この研究で主に用いられたデーターは、1981年度の東京都一般環境監視測定局（一般局と称す）の特別 CO 濃度、風向、風速、気温データーおよび同年度の TVK 鶴見タワーの特別気温データー（高度 15 m, 52 m, 89 m, 125 m）、風速データー（高度 15 m）、東京タワーの特別気温データー（高度 4 m, 64 m, 103 m, 169 m）等である。各測定局、タワーの位置を第 1 図に示す。この図には、各一般局近傍の特定道路の濃度への影響をチェックするために、最高濃度を示す風向が示されている。

* Urban influence on the automobile air pollution in Tokyo.

** Takaaki Masuhara, 東京都立大学地理学教室。
——1988年3月24日受領——
——1989年11月20日受理——



第1図 各測定局配置図。矢印は濃度が最大となる風向を示す。また、破線は都区部境界を示す。



第2図 高濃度日のヒートアイランド強度の時間的变化。

各一般局がそれぞれ特定の汚染源の影響を強く受けていれば、この風向はばらつくはずであるが、実際は西部の3地点を除き西～北西風系を示す。従って、全般的には特定煙源の影響は少なく、気象条件の影響が大きいといえる。但し、西部の3地点は西側が山間部であり、影響する煙源の方向による差が現われている可能性がある。

なお、本報では地域名として都心部、郊外部等が使用されているが、大まかな意味で、前者は後述するヒートアイランドのほぼ中心域付近に位置する都庁前、晴海、港、城東等の測定局を含む地域およびその近傍を指し、後者は第1図に示す都区部外の地域を指すものとする。

2. 広域高濃度日の設定

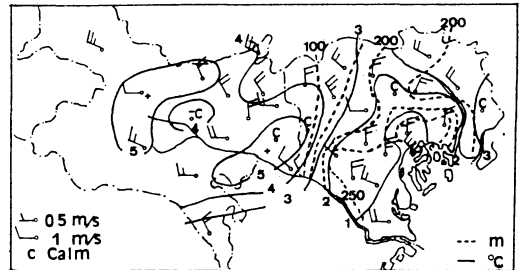
各一般局の日平均値と年平均値とから、各日別の基準化濃度を求め、この地域平均値の値を順位指標とした。すなわち、

$$\bar{U}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (C_{j,i} - \bar{C}_j) / \sigma_j \quad (2)$$

但し、 $C_{j,i}$ は i 日の j 地点の日平均濃度値、 \bar{C}_j は j 地点の年平均濃度値、 σ_j は j 地点の濃度標準偏差、 n は地点数、 \bar{U}_i は i 日の平均基準化濃度である。この \bar{U}_i の上位20位を選び、その出現状況を月別に集計した。この結果、高濃度日は11月、12月で16ケースを占め、圧倒的に晩秋期～初冬期に多いことが判明した。

3. 広域高濃度日の濃度分布とヒートアイランドの概要

本節では、前節で選定された広域高濃度日について、ヒートアイランドと濃度分布との関連について概説す

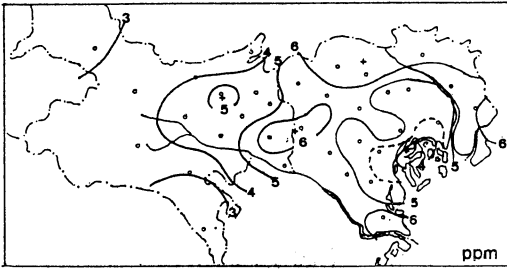


第3図 高濃度日21時の TVK タワー (125 m) の気温と各一般局との気温差平均、各一般局での最多風向とその風向の平均風速、ヒートアイランド平均高度の推定値の分布。

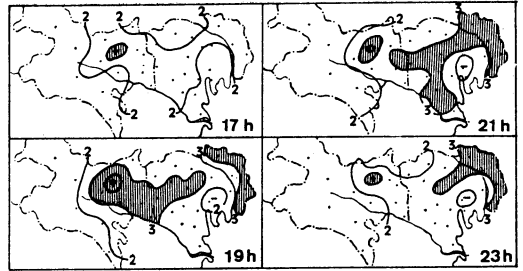
る。

ヒートアイランド指標としては、ヒートアイランドの中心付近に位置する都庁前、晴海、港の3測定局の特別平均気温と都区部外の測定局の特別平均気温の低い方から3位の平均値との差 (ΔT) を用いた。また、ヒートアイランド高度 (h) は、 $h = \Delta\theta / (\gamma_r - \gamma_u)$ として求めた。ここで、 $\Delta\theta$ は各地の温位と都区部外の低い方から3位の平均温位との差、 γ_r, γ_u はそれぞれ郊外部および都心部の代表温位勾配を示し、郊外部は TVK タワーの、都心部は東京タワーの4高度の高濃度日特別平均値を用い、最小二乗法により決定された。この方法を用いて h を決定すると、かなり誤差を伴うが、第3図の都心付近のヒートアイランド高度が、気象庁の南関東大気環境調査 (1977) での1976年3月におけるヒートアイランド典型日21時の都心部 (大手町) の低層ゾンデ観測結果 (約 250m) に近い値をとっているため、少なくとも都心部付近の値は妥当であると思える。

第2～3図から、時間的には、ヒートアイランド強度が11～15時の日中は0に近く、17時頃から急激に増大



第4図 高濃度日午後の平均濃度ピーク値の分布



第5図 a 高濃度日の平均濃度示数の分布の時刻別変化.

し、20時以降はほぼ一定の値(4~5°C)になっている点が指摘される。また、西部の都区部境界付近で気温水平傾度の増大とヒートアイランド高度の急降下がみられる。しかし、ヒートアイランド特有の求心系気流は明瞭でない。第3図と第4図とを比較すると、ヒートアイランド中心部の都心付近でやや濃度が低く、むしろその周辺部で濃度が高くなっている点の特徴である。

次に、ここで求めたヒートアイランド高度が濃度に重要な影響を及ぼし得るかという点を簡単な方法でチェックしてみる。

地上煙源に対してヒートアイランド上面での完全反射を仮定し、リッド高さ(l)を考慮した場合の正規型プリューム式での地上軸上濃度(C_l)と(1)式の C との比をとると、

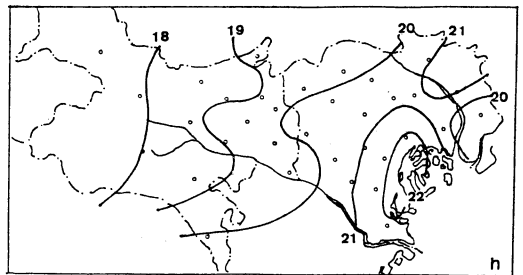
$$C_l/C = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{-2nl^2/\sigma_z^2} \quad (3)$$

となる。この比を σ_z に安定度 D のバスキューギフォード図近似式(環境庁, 1982)を用いて $l=100\text{ m}$, 200 m について計算してみると、リッド影響が10%程度に達するのはそれぞれ煙源風下約5 km および約14 km となる。従って、ヒートアイランド高度そのものは地上付近を発生源とする汚染質の拡散にはさほど大きな意味を持たないと思われる。

4. 高濃度日の濃度示数

高濃度日について、各時刻別、地点別に濃度示数 CI (=毎日の各時刻別濃度/年間の各時刻別平均濃度)を定義し、高濃度日全体での平均値を求めた。この CI を用いることにより、日サイクルで変動する排出源の影響が軽減され、さらに平均的气象日変化の影響が除去されるため、対象とする時間帯での特殊な気象条件の大気汚染に対する影響度の時間推移状況を比較し易くなる。

第5図 a から、高濃度示数域が夕刻に郊外部で発生



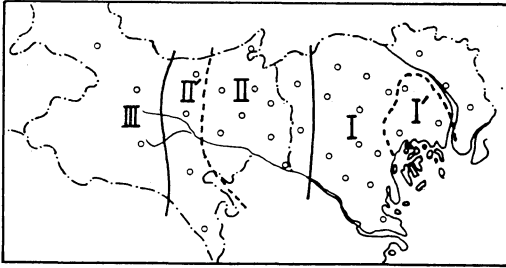
第5図 b 高濃度日の平均濃度示数の午後のピーク時刻の分布.

し、徐々に都区部に侵入して19~21時頃まで領域を拡大していく点および都心域が CI が低い地域となっている点の特徴的である。また、第5図 b に示すように、 CI のピーク時刻も都心部では郊外部の西部地域より3~4時間程度遅くなっている。このピーク値の移動速度は約2.5 m/s であり、高濃度日夕刻(16~24時)の全域平均風速1.4 m/s と比較してかなり大きいことから、これを移流による汚染質輸送と結びつけるのは無理がある。

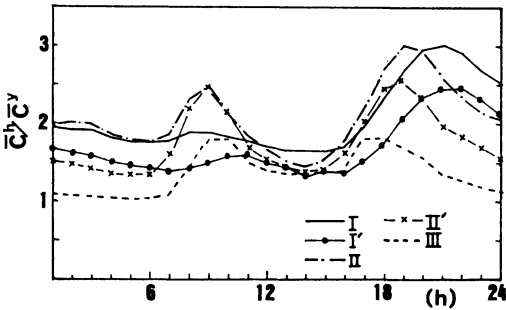
次に、 CI の時刻別変化パターンの地域差を客観的に集計するため、高濃度日の時刻別平均濃度示数データから各一般局間で相関行列を作成し、これを指標として群平均法によるクラスター分析を行った。この結果、東京都はかなり明瞭に南北の境界線をもつ3地域(I~III)に区分され、また、若干の例外を除き、I, II地域はさらに2地域に区分された(第6図)。今後は、この3地域の区分I~IIIと、I, II地域の亜区分I', II'とを集計単位として使用することにする。

この第6図と第7図とを比較すると、以下の点が注目すべき特徴としてあげられる。

- (1) I や I' 地域以外では午前9時頃にピークがある



第6図 高濃度日の平均濃度示数を用いたクラスター分析地域区分図。



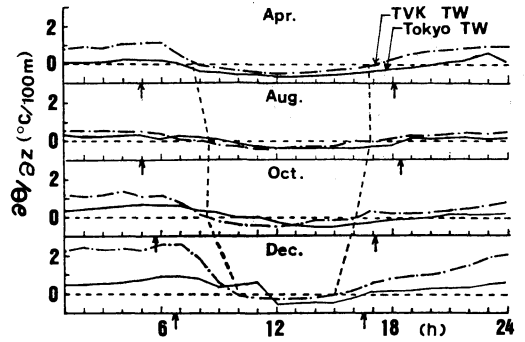
第7図 高濃度日の平均濃度示数の各地域別平均値の時刻別変化。I～IIIは第6図の地域区分と対応。

が、その後は16時頃まで地域差は夜間に比べると少ない。

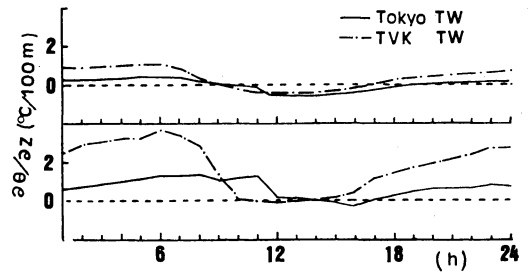
(2) 午後のピークは郊外部→都心部に行くに従って遅くなる。そして、このピークの大きさはⅢ地域は小さく、Ⅰ、Ⅱ地域は大きくほぼ同程度であるが、都心部に近いⅠ'地域ではピーク値がⅠ、Ⅱより小さい。

5. タワーデーターによる安定度の比較

本節では、都心部を代表すると思われる東京タワーと郊外の住宅地域を代表すると思われる TVK タワーのデーターとを比較することにより、主に都心部と郊外部との大気安定度差に注目した解析を行った。大気安定度パラメーターとしては、モニンオブコフ長、リチャードソン数やバルクリチャードソン数、鉛直温位勾配等が考えられる。このうちモニンオブコフ長は、フラックスの直接測定がない場合はリチャードソン数やバルクリチャードソン数の関数として求めるのが一般的である(気象庁, 1977)ところが各時刻別のバルクリチャードソン数



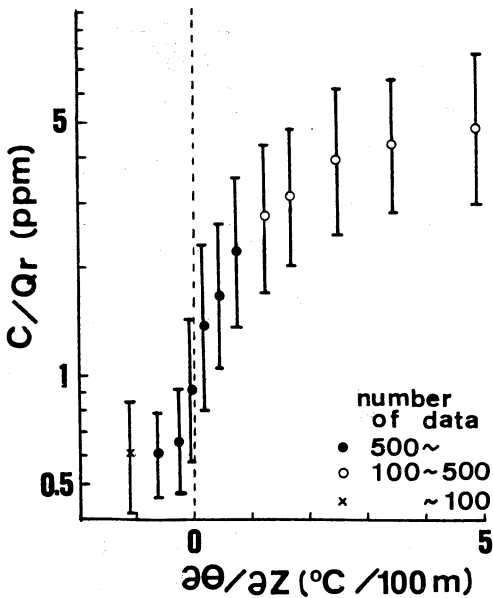
第8図a 東京タワーとTVKタワーでの月別平均鉛直温位傾度。矢印は日の出、日の入時刻。点線はTVKタワーが中立になる時刻を連ねたもの。



第8図b 東京タワーとTVKタワーでの年間平均(上図)及び高濃度日平均(下図)の鉛直温位傾度。

とCO濃度との関係は鉛直温位傾度に比べて必ずしもよくはない場合が多い(Remsberg and Woodbury, 1983, 増原, 1985)。従って、ここでは取り扱いが簡単な鉛直温位傾度を用いた。本節で使われる温位傾度は、月別または高濃度日の各時刻の平均温位(4高度のデーター)に最小二乗法を適用して求めたものである。

第8図aから、全般的には破線で囲まれた日中の時間帯(中立～不安定側)では両タワーの差は少ないが、冬季の夜間が東京タワーの方がTVKに比べてかなり中立に近く、不安定から安定に移行する時刻も東京タワーの方が2時間程度遅れていることがわかる。このような夕刻～夜間の安定度差は高濃度日の場合にはさらに明瞭になり、TVKタワーでは東京タワーに比べて早い時刻にしかも急速に逆転層が発達している(第8図b)。

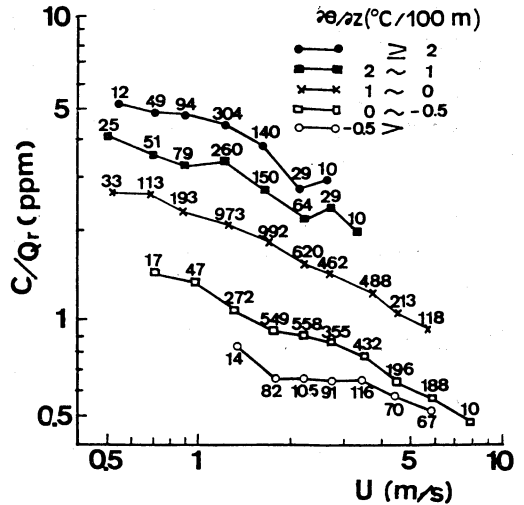


第9図a TVK タワー鉛直温位傾度と修正濃度 (\bar{C}/Q_r) の関係。タテ棒は標準偏差を示す。

6. 濃度と大気安定度、風速の関連 (年間の比較)

本節では濃度と気象データとの相互関連を年間のデータで調べておく。ここでは大気安定度の指標に用いた鉛直温位傾度計算用気温データとしてTVKタワー125m高と15m高のものを採用した。これは種々の高度のタワーデータを用いて濃度との相関を検討した結果、これらの高度を用いた場合がもっとも相関が良好であったためである。濃度指標は、一般局の特別全平均値 (\bar{C}) を岡本・塩沢 (1977) が東京都データを用いて求めた日平均CO排出量に対する各特別の排出量比 (Q_r) で割った値 (\bar{C}/Q_r) とした。実際、この \bar{C}/Q_r を用いた方が \bar{C} を用いるよりも鉛直温位傾度 ($\partial\theta/\partial z$) との相関が良好であった ($\ln \bar{C}/Q_r$ と $\partial\theta/\partial z$ との相関係数は0.69, $\ln \bar{C}$ と $\partial\theta/\partial z$ との相関係数は0.43)。

第9図aから、温位傾度 $-0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ 以下の不安定側では安定度は濃度にあまり影響を及ぼさず、 $0\sim 1^\circ\text{C}/100\text{m}$ 付近でもっとも影響が大きく、 $2^\circ\text{C}/100\text{m}$ 程度以上の強安定状態では再び影響度がやや弱まる傾向が読み取れる。また、第9図bから、 1.2m/s 程度以下の弱風安定時には濃度はあまり変化していないことがわかる。このような状況は安達 (1985) の報告にある弱風安



第9図b 大気安定度階級別の全一般局特別平均風速と修正濃度 (\bar{C}/Q_r) の関係。数字はデータ数を示す。

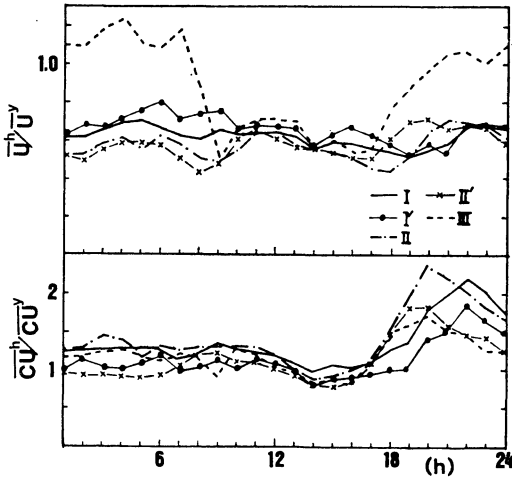
定時の拡散実験結果にも現われており、弱風安定状態での煙流主軸の波動的メanderingの影響で汚染物の拡散幅が風速の減少と共に増大する効果が一因とも考えられるが、今後検討を要する課題である。

7. 高濃度日における濃度示数と気象データとの関連

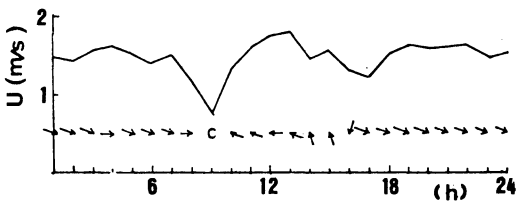
ここでは第4節におけるCIの時間変化にみられる特徴をもたらす気象学的要因を考察してみる。

第10図には地域平均した高濃度日の一般局平均風速、平均濃度フラックス (いずれも時刻別年平均値で基準化されたもの) が示されている。Ⅲ地域は夜間の風速が年平均値と同じか多少強目であるが、それ以外は日中夜間とも年間の約0.6倍程度の風速である点、第7図でみられた午前、午後のCIピークのうち、午前ものはフラックス比には現われていない点等が特徴である。

地上濃度が式(1)で表わされるとすれば、フラックス比ではCIと比較して風速による換気効果の影響が軽減されていると考えられる。従って、午前中のCIのピークは相対風速がピーク時間近くで減少していることが原因と想定される。実風速は地域Ⅲ以外ではこの時間にさほど減少しないことを考慮すると、この相対的弱風は、年間と比較して高濃度日は夜間に強い逆転層が発達するために日中の混合層発達が遅れ、上空の運動量が下層に輸送される時間が遅れるためであると思われる。但



第10図 各地域別の高濃度日の基準化平均風速（上図），基準化平均濃度フラックス（下図）の時刻別変化。I～IIIは第6図の地域区分と対応。

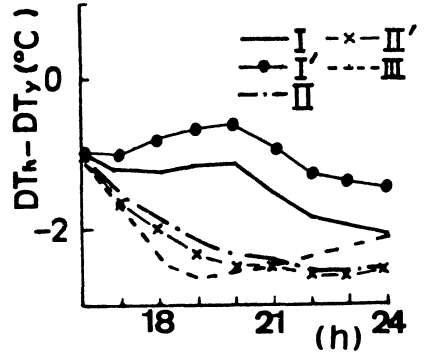


第11図 高濃度日の地域III（第6図）の平均風速と最多風向の時刻別変化（Cは静穏を示す）。

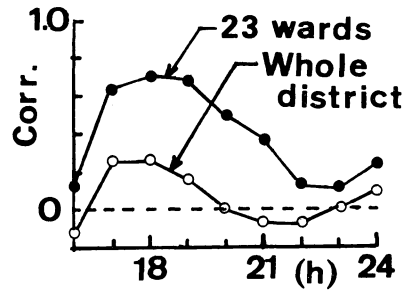
し、地域IIIに関してはこのピーク時刻が山風→谷風に変化する時刻に一致するため弱風となるもようである。（第11図）

一方、夕刻～夜間のピーク値に関しては風速の換気効果の減少だけでは説明できない。

風速が弱い夜間では顕熱輸送が小さく、地表付近の冷却量が逆転の成長に関係していると考えられる（Yamada, 1979）。この点を確認するために、高濃度日20日分の日没～日の出の夜間の時間帯について、時別のTVKタワーのデータ（125 m 高と15 m 高）を用いて、鉛直温位傾度と最下層の風速、1時間当の気温変化率、日没近い時刻からの冷却量（冷却を負とした）との相関関係を求めた。この結果、風速、気温変化率、冷却量との相関係数はそれぞれ -0.36 、 -0.08 、 -0.66 であり、予想通り冷却量との相関がもっとも高くなっていた。そ

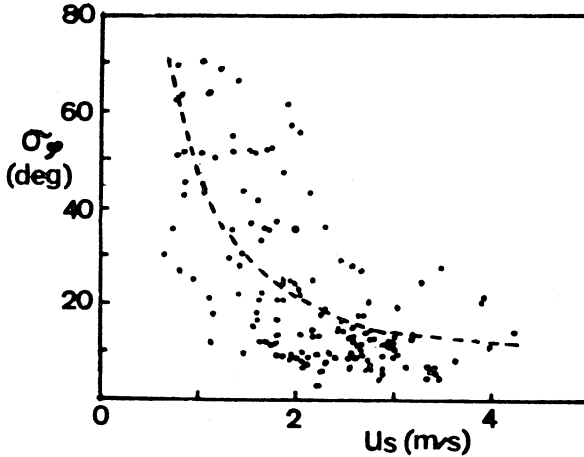


第12図 高濃度日の年間平均に対する地域別平均相対冷却量の時刻別変化。I～IIIは第6図の地域区分と対応。



第13図 高濃度日の平均濃度示数と相対冷却量の相関係数の時刻別変化（都区部と全地域）。

こで高濃度日と年間について、日没近くの時刻との気温差の平均を求め、前者から後者を差引いた相対冷却量を第12図に示した。この図から、I、I'地域とその他の地域では対照的な変化傾向を示しているのがわかる。すなわち、前者は20時頃まではあまり相対冷却量が変化せず、それ以降変化量が大きくなるのに対し、後者では18～20時頃までは変化量が大きく、それ以降ほとんど変化していない。この都心に近い地域で20時以降冷却量が增大する原因については現在検討中であるが、恐らく郊外部からの安定な冷たい陸風がヒートアイランド内に流入することが寄与しているものと思われる。いずれにせよこのような事情を考えると、夕刻～CIのピーク時刻頃までの時間帯では、山風の影響を早くから受ける西部の山岳に近い地域を除けば、主に地上付近の大気冷却による安定度の増大効果が濃度に影響していると思われる。また、前節で述べたように、濃度と安定度との関係

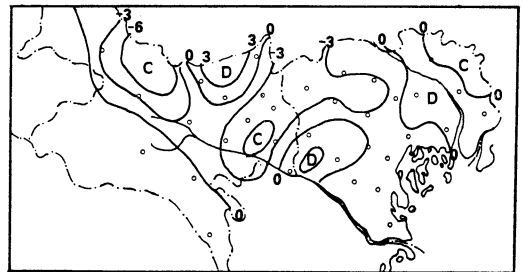


第14図 スカラー平均風速と風向変動標準偏差（1時間値）との関係（山本等，1984の論文より抜粋）。

は中立～安定状態で顕著で，強安定状態ではややうすれてくるために，高濃度日のように大気安定化が年間より早い時刻に急速に進行する場合にはCIのピークが早目にかつ顕著に現われるものと推察される。この濃度と安定度との関係をふまえると，大気安定化によるCIの地域差が現われ易いのは，大気が中立～安定に移行する時間帯であると考えられる。このことは第13図に示すように，平均相対冷却量とCIとの時刻別空間相関係数が，ヒートアイランドの影響を受けるとされる都区部において，17～20時の逆転層成長期に高くなっている点からも裏付けられる。そして，逆転層がある程度成長した後は安定度の効果も小さくなり，相対的に風の換気効果の影響がやや増大すると予想される。

Riehl and Herkhof (1972) は，都市域の大きい粗度やヒートアイランド内の浮力上昇に起因する上昇流もたらす地上付近の汚染質の除去効果を friction-stovepipe 効果と名付けた。この効果について考察する目的で，高濃度日の時別平均発散量を算出した。発散量の算出には藤部・浅井 (1979) の方法を用いた。この手法の説明についてはここでは省略する。なお，格子間隔は緯度2分（約3.7 km）とした。

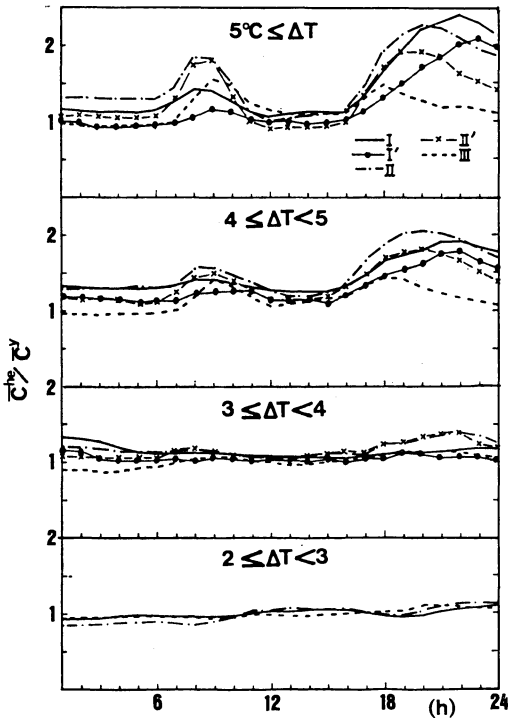
一般局の風速は10分間のスカラー平均値であるので，弱風時では風向のばらつきのためベクトル平均値より大き目になると考えられる。この点を次の方法で補正した。すなわち，濃度と等しいサンプリングタイム1時間の風向の正規型確率密度関数を導入し， $\sigma_\varphi \ll \pi$ と仮定して風の u 成分を求めると，



第15図 高濃度日21時の平均発散量(単位は $10^{-5}s^{-1}$)。

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{u_s}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}} \cos(\bar{\varphi} + \varphi) d\varphi \\
 &\doteq \frac{u_s}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}} \cos(\bar{\varphi} + \varphi) d\varphi \\
 &= u_s e^{-\frac{\sigma_\varphi^2}{2}} \cdot \cos \bar{\varphi} \tag{4}
 \end{aligned}$$

となる。上式で u_s はスカラー平均風速， $\bar{\varphi}$ は東から反時計回りに計った平均風向， φ は平均風向からの風向のずれ， σ_φ は1時間の風向変動の標準偏差である。 v 成分についても同様に， $v \doteq u_s e^{-\sigma_\varphi^2/2} \sin \bar{\varphi}$ が得られる。 σ_φ としては便宜的に山本等 (1984) の筑波研究学園都市内の1981年冬の夜間データから求められた関係 (第14図)， $\sigma_\varphi = \pi / (4 u_s)$ を用いた。この式では $u_s = 1 \text{ m/s}$ で風速が元の値の約70%， $u_s = 0.5 \text{ m/s}$ で約30%となる。求められた高濃度日の21時の発散量 (第15図) から，



第16図 ヒートアイランド強度 (ΔT) 別の地域別平均濃度示数の時刻別変化。I～Ⅳは第6図の地域区分と対応、 ΔT が 2°C 以上 3°C 未満のケース (最下段) は地域差が少ないので、3区分のみ示してある。

ヒートアイランドの顕著な夜間に、ヒートアイランド中心付近では必ずしも収束域になっておらず、むしろ都区部境界付近で収束が強くなっている点が見られる。なお、これとは別に、高濃度日の時刻別の相対発散量 (高濃度日平均発散量/年間平均発散量) も求めてみたが、事情は同様であった。このことと、ヒートアイランドの強い夜間より大気が不安定な日中の方が都心部への収束気流がむしろ強くなるという一連の報告結果 (藤部・浅井, 1979; Ivanyi and Mersich, 1982) とを考慮すると、第5図にみられる夕刻～夜間の CI 分布の変化を friction-stovepipe 効果と結びつけるのは無理があると思われる。

8. ヒートアイランド強度と濃度示数

最後に、ヒートアイランド強度別に分類集計された日々の平均 CI の時間変化を比較することにより、ヒートアイランド強度と CI との関係をさらに定量的に明らか

にしておく。ヒートアイランド指標は第3節で述べた方法で求め、21時の都心部と郊外部との気温差を用いている。また、風速条件をそろえるため、19～21時の一般局全地点の平均風速が 2 m/s 未満の弱風時のみを対象とした。各階級毎の CI の時刻別変化を第16図に示す。ヒートアイランド強度 $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ 程度までは地域差は小さいが、 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 程度でかなり明瞭に地域差や高濃度日のケースでみられたようなピーク時間のずれが出現している。

以上のように、都市域における自動車排ガス濃度分布にヒートアイランド形成に伴う安定度の違いがかなり重要な役割を示していることが暗示される。

9. あとがき

本研究では、東京都の一般環境監視測定局の CO データー、気象データー、TVK タワー、東京タワーの気象データーを用いて、高濃度日の時別平均濃度示数 CI (=高濃度日の時別平均濃度/年間時別平均濃度) を計算し、その時・空間的变化およびそれをもたらす気象学的要因について検討した。

この結果、夕刻～夜間の CI ピーク時刻は郊外部で早く、都心部で遅くなっており、都心部では周辺部よりピーク値が小さいことが判明した。これらの原因として、西部の山岳に近い地域以外については、郊外地域と都心に近い地域との地上付近の大気冷却量の違いからくる大気安定度差とこれに伴う拡散幅の違いが重要な役割を果たし、西部の山岳近くの地域については、冷却が早いことに加えて、山風の吹出しが早いことによる風の換気効果の増大が重要であると想定された。最後に、ヒートアイランド強度 (ΔT) を指標として CI 分布の地域差が出現する目安の温度差を求めた結果、21時の ΔT が 4°C 程度で地域差がかなり出現し始めることが判明した。

謝辞

本稿をまとめるに当たり、終始御指導していただいた東京都立大学前島郁雄教授、適切な助言をして下さった日本気象協会安達隆史博士に深く感謝します。

また、資料提供に便宜をはかっていただいた東京都大気保全局、神奈川県大気環境部の方々にも感謝します。

文献

安達隆史, 1985: 大気汚染濃度予測のための上層風と拡散パラメーターの推定法の研究, 東北大学大

- 学院博士論文.
- Bowne, N.E. and J.T. Ball, 1970: Observational comparison of rural and urban boundary layer turbulence, *J. App. Met.*, **19**, 862-873.
- Csanady, G.T., G.R. Hilst and N.E. Bowne, 1968: Turbulent diffusion from a cross-wind line source in shear flow at Fort Wayne, Indiana, *Atm. Env.*, **2**, 273-294.
- 藤部文昭, 浅井富雄, 1979: 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, *天気*, **26**, 697-701.
- Graham, I.R., 1968: An analysis of turbulence statistics at Fort Wane, Indiana, *J. App. Met.*, **7**, 90-93.
- Guedalia, D., A.Ntsila., A. Druilhet and J. Fontan, 1980: Monitoring of the atmospheric stability above an urban and suburban site using sodar and radon measurement, *J. App. Met.*, **19**, 839-848.
- Ivanyi Zs. and I. Mersich, 1982: Simulation of the urban air pollution based on a numerical UBL model, *Atm. Env.*, **16**, 1835-1849.
- 環境庁, 1982: 窒素酸化物総量規制マニュアル.
- 気象庁, 1977: 南関東大気環境調査報告書(Ⅱ).
- 増原孝明, 1985: 東京都内におけるCO濃度と拡散パラメーターの関連, 日本気象学会春季大会予稿集, 228.
- Mcelroy, J.L., 1969: A comparative study of urban and rural dispersion, *J. App. Met.*, **8**, 19-31.
- 岡本真一, 塩沢清茂, 1977: 交差点付近の一酸化炭素を対象とした大気汚染モデルに関する研究, *大気汚染研究*, **12**, 189-206.
- 大喜多敏一, 1959: 旭川市における大気汚染の実態, 旭川市役所.
- Remsberg, E and G.E. Woodbury., 1983: Stability of the surface layer and its relation to the dispersion of primary pollutants in St. Louis, *J. Climate App. Met.*, **22**, 244-255.
- Riehl, H. and D. Herkhof., 1972: Some aspect of Denver air pollution meteorology, *J. App. Met.*, **11**, 1040-1046.
- 斎藤武雄, 千葉秀樹, 1987: 都市大気における汚染物質および道路粉じんの3次元挙動とヒートアイランド, *天気*, **34**, 195-204.
- 佐藤純次, 1973: 都市域における拡散, *大気汚染研究*, **8**, 395.
- Yamada, T., 1979: Prediction of the nocturnal surface inversion height, *J. App. Met.*, **18**, 526-531.
- 山本 晋, 水野建樹, 林 正康, 横山長之, 1984: 弱風時の拡散モデルについての一考察, *公害*, **19**, 313-325.