

都市における熱的環境に関する研究 (その 4)

—自然風中における熱拡散実験(1)—

岡 建 雄
小 宮 英 孝

Research on Thermal Environments in Urban Areas (Part 4) —Experimental Study of Heat Diffusion over Urban Model in Real Atmosphere (1)—

Tatsuo Oka
Hidetaka Komiya

Abstract

The object of this report is to obtain the relation between meteorological factors and heat diffusion over an urban model in the real Atmosphere. For this purpose, data analyses were carried out on temperature profiles and wind velocities over the urban model which was devised so that it could be heated, while flow vizualizations and theoretical simulations were also made. The effects on heat diffusion of wind velocity, diffusion factors, atmospheric stability and natural convection were then found. The authors believe these results will serve as fundamental data for environmental assessment using this kind of model and for theoretical simulation.

概 要

本報告は自然風中に都市模型を想定した発熱体を設置し、模型上の温度分布・風速等のデータ解析、可視化実験及び理論計算より、気象条件と熱拡散現象との相関を見い出そうとしたものである。この結果、風速、拡散係数、大気安定度、自然対流と熱拡散との関係が明らかになった。ここで得られた結果は、今後環境アセスメントの一手法としての模型実験によるシミュレーション及び理論計算との比較検討のための基礎資料になると思われる。

1. はじめに

都市個有の気候としてのヒート・アイランド現象は都市の熱的廃棄系としてとらえられる。煙霧や細塵等大気の組成自体も一因と言われるが、都市地域と郊外の地表構成材料の相違(第1次破壊系)及びエネルギー消費による発熱量(第2次破壊系)の相違が主たる要因とされている。このような都市規模熱拡散現象を解析する手法として、実測は最も直接的な測定データを得られるが、発生熱量の推定や統一的な測定が困難である場合が多い。模型実験は実際の熱拡散現象との相似性が問題とされるが、不確定要素も少なく、測定が容易であるため単純な解析を行なう事が出来る。

本報告は自然風中に発熱体を設置し、風速等気象条

件と熱拡散現象との相関を見い出そうとしたものであり、今後この種の模型を用いたシミュレーションや理論計算との比較検討のための基礎的資料となるものである。

2. 実験装置と実験方法

実験装置と測定点を図—1～2に示す。

2.1. 発熱体

4m×4mの発熱体を技術研究所内の草地に設置した。発熱体は16のユニットから成り、各ユニットの出力は5kW/m²計80kWである。ユニットは内部にニクロム線を並べ、上部に熱を均一にするために3mm銅板を敷き、その上に波型の0.5mm銅板を重ね、都市模型とした。また下方に熱が逃げるのを防ぐために、ユ

上 i 点の温度 t_a : 外気温度 $\sum_{i=1}^m V_i$: 模型上 $5m \times 5m \times 0.85m (z)$ の格子体積。

図-4は H_m と Δt_s (表面温度-外気温) 及びサーミスタ型風速計による風速を1分間隔の変動として示したものである。(a)は変動の激しい例であり、(b)は穏やかな例である。定性的には H_m は風速に反比例しており表面温度は変動が少ない。また図より10分間の平均値を用いれば、その平均的な熱拡散状態を把握出来ると思われる。

3.2. 拡散係数

拡散係数の算出はサーミスタ型風速計の1秒間隔の風速データを用い、(2)式より求めた。

$$D_m = \bar{u}^2 \int_0^{T_1} R(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots(2)$$

但し、 D_m : 水平方向拡散係数 u' : 風速の変動
 $R(\tau)$: 自己相関関数 T_1 : $R(\tau)$ が初めて0になるまでの時間

拡散係数は測定時間に比例し、増大して一定値に近づくことになる。図-5に測定時間と拡散係数の相関及び自己相関関数を示す。通常の測定では測定時間120秒前後で一定値となるが、bのように240秒前後で急激に増大する場合も見られた。これは平均風速が途中で大きく変化したもので、拡散係数算出の前提条件である定常エルゴート過程からはずれたものである。

図より本実験の拡散係数として5分間のデータで十分であると思われる。またサーミスタ型風速計は水平方向の風速に対して無指向性であるので実験の主風向に対する平均風速及び拡散係数はこれより小さい値になるとと思われる。

図-6に拡散係数と風速の相関を示す。風速と拡散

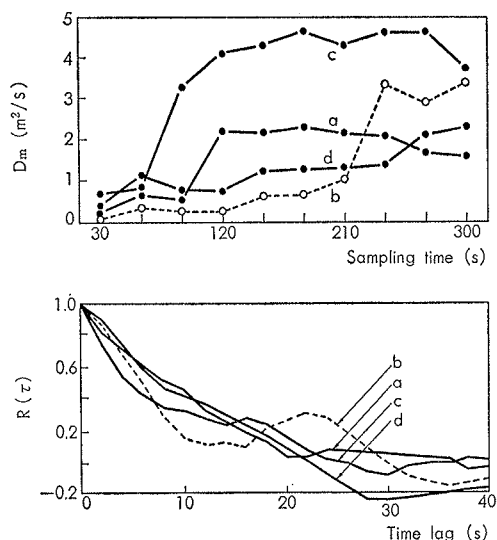


図-5 測定時間と拡散係数の相関・自己相関関数

係数の間には概略的には次式の見出しせる。

$$D_m = 2.1 \times V_m \quad \dots\dots\dots(3)$$

風速が1.5m/s以下では、ばらつきが大きい、これは弱風である上に、安定・不安定のデータが混存しているためである。またサーミスタ型風速計とプロペラ型風速計による拡散関数を比較した結果、模型周辺の空気は大気全体の状態を反映していると思われる。

3.3. H_m

図-8に H_m と地表0.1m及び0.85mの Δt の相関を示す。 Δt は模型中央5点(図-2, ijklm点)の平均温度から外気温を差し引いたものである。いずれの Δt も H_m に対し直線関係であるが傾きは異なる。図-7に H_m と Δt_s の相関を示す。同程度の Δt_s については拡散係数が小さい程、 H_m は増大する傾向にあり、拡散係数が3以下の H_m は3以上のものに比べ、1.2~1.5倍となる。これは拡散係数の小さいものは一般に大気が安定の場合のもので、垂直温度分布が安定以外のものとは異なり、高い位置まで高温のためである。また拡散係数が3以上の H_m は Δt_s と直線関係にあり、図-8と併せて考察すると H_m の拡散は垂直温度分布に左右されると言えよう。また小さい H_m は風速が最大時のものである。一方拡散係数が3以下のものは H_m と Δt_s の関係は不明瞭である。

図-9に風速と H_m 及び $H_m/\Delta t_s$ の相関を示す。いずれも、風速1m/s以上の場合、巨視的には反比例の関係が認められる。風速1m/s以下の場合、風速の減少に伴う H_m の増大は緩やかなものになる。以上の事から拡散係数は風速が弱い場合にもある程度の量は確保されており、相対的に拡散項が大きく、1m/s以上になった場合に拡散係数と風速が比例関係になり、相対的に風速項が大きくなると考えられる。

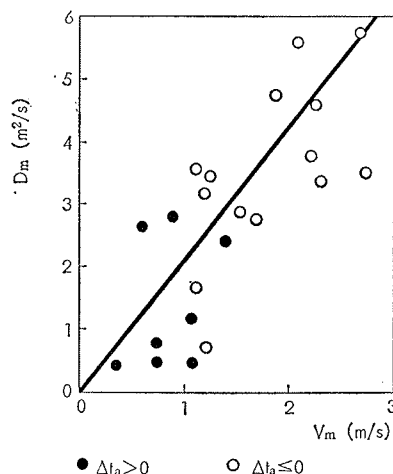


図-6 拡散係数と風速の相関

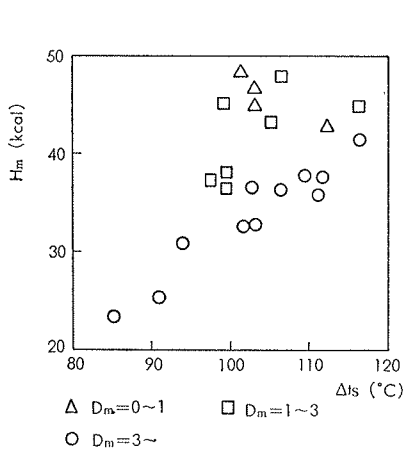


図-7 H_m と Δt_s の相関

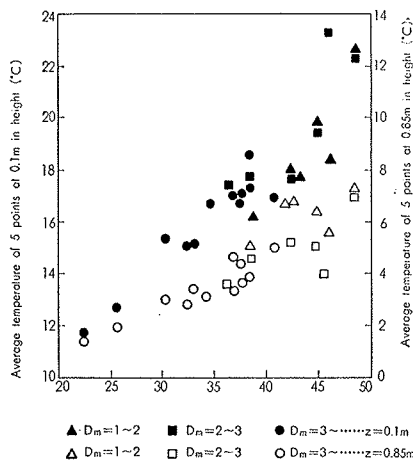


図-8 H_m と Δt の相関

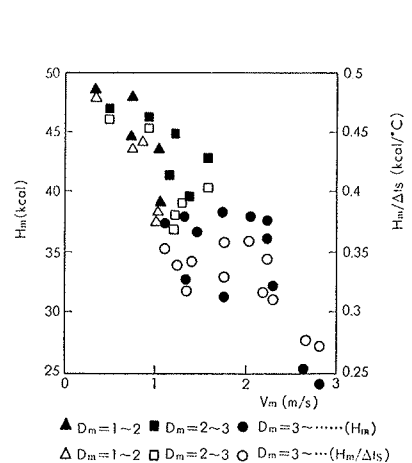


図-9 風速と H_m , $H_m/\Delta t_s$ の相関

3.4. 垂直温度分布

模型中央の温度分布から(4)式を用いて反復法でN値を求めた。N値と Δt_a の相関を図-10に示す。

$$\Delta t = \Delta t_0 (Z/Z_0)^{1/N} \dots\dots\dots(4)$$

但し、 Δt_0 : 基準高さから Z_0 m における Δt の値
 図より大気が不安定になる程、N値は増大することがわかる。この解析において通常のN値とするために、やむなく地表0.1mを基準高さ0とした。これは発熱体と空気の輻射熱交換³⁾及び風速が強くなった場合の一次元拡散近似の無理から生ずると思われる。

模型中央部の垂直温度分布が一次元拡散で近似出来るとすれば、垂直温度分布は風速に反比例することになる。図-11に模型中央の温度、中央5点(図-2 i j k l m点)の平均温度を風速 1m/s の場合に変換した頻度分布と前者の平均値を示す。図中に発熱量 $3916\text{ kcal/m}^2\text{h}$ を用いて、地表 0.85m の垂直方向の拡散係数 D_z を $0.3, 0.4, 0.5\text{ m}^2/\text{s}$ の場合について計算した温度分布を実線で示す。またこの場合拡散係数は高さに正比例し、地表面で0とした。ばらつきが大きいのは大気安定度の相違と拡散係数と風速が常には正比例していないためと思われる。巨視的には $0.4\text{ m}^2/\text{s}$ の拡散係数と一致しているが、水平方向は $2.1\text{ m}^2/\text{s}$ であり約5倍である。また垂直方向の拡散係数も一次元拡散で近似したため幾分大きく算出されている。

図-12, 13に比較的拡散係数が小さい場合、大きい場合の平面及び断面温度分布図を示す。これらの等温線は確率分布モデル¹⁾を描いたものであるが、測定点が少ないため、等温線が波打ったりわずかであるが断面と平面温度分布の不整合が見られる。また地表 $1 \sim 1.5\text{ m/s}$ で熱的影響は消滅している。風向が常に変化するため、風上側と思える方向にも熱が拡散している

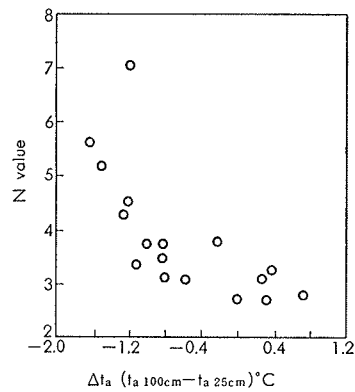


図-10 N値と Δt_a の相関

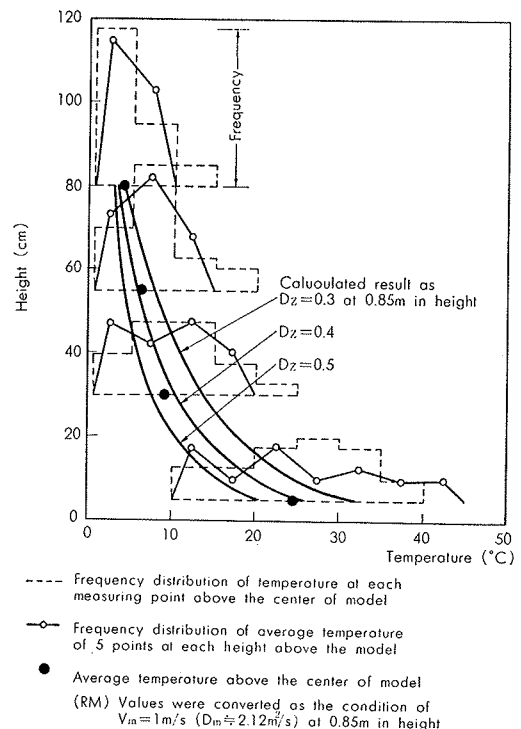
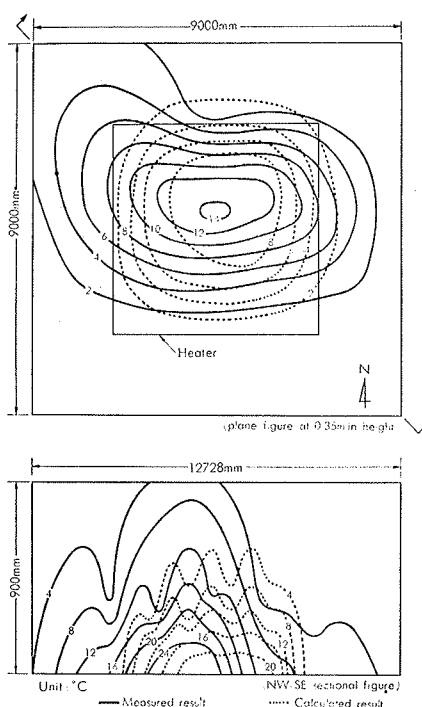
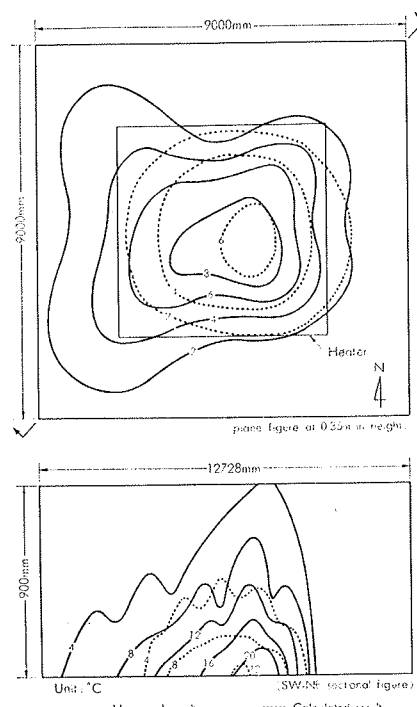


図-11 垂直温度分布 (計算値と実測値の比較)

が、絶対量として見れば、発熱体を離れると温度上昇はそれ程大きくない。図—12~13に風速分布は対数分布、水平方向の拡散係数は実験値を垂直方向の拡散係数は水平方向の0.2倍の値（各々高さ方向に正比例）を用いて拡散理論より算出した温度分布を点線で示す。実験値と比べて低い温度分布になっているがこれは既述のごとく拡散係数がいずれも大き目に出ているためと思われる。また分布型の整合も十分とは言えず、拡散関係や風向等更に検討を重ねる必要がある。



図—12 温度分布 (拡散係数 小)



図—13 温度分布 (拡散係数 大)

3.5. 可視化実験

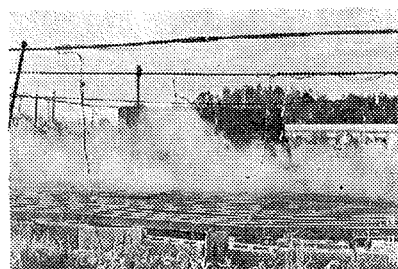
可視化実験は、メタルデヒド、発煙筒を用いて行なった。写真—1は、大気不安定、風速 1.5m/s 前後、写真—2は、大気安定、風速 1.0m/s 前後、写真—3は大気安定、風速 0.5m/s 以下のケースを示す。大気不安定の場合には、模型上全体にわたり煙が上下に拡散しながら流されている。大気安定で風速が 1.0m/s 前後の場合には、境界層が発達している状態がわかる。安定で風速が 0.5m/s の場合には、上昇気流が見られる。以上から自然対流の影響は風速が微弱である場合以外はずかであることがわかる。自然対流は数値計算においても最大数cmであった。

4. 結語

測定精度に関しては拡散係数をはじめ多くの問題点があり十分とは言えない。自然対流の影響は風速が微弱な場合以外には少なく、発熱体中央部においては一次元拡散で近似できる。なお相似則の検討、模型体のシュミレーションへの応用については次報に譲る。

参考文献

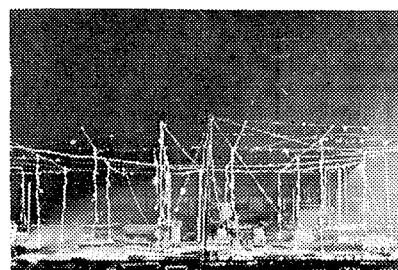
- 1) 尾島俊雄・岡建雄：都市規模熱拡散に関する研究 (その2, 7), 建築学会大会概便集, (1974~75)
- 2) 大気汚染ハンドブック(気象編), コロナ社
- 3) 山本義一：気象集誌, (1959. 4)



写真—1 昼 大気不安定 $V_m = 1.5\text{m/s}$



写真—2 夜 大気安定 $V_m = 1.0\text{m/s}$



写真—3 夜 大気安定 $V_m = 0.5\text{m/s}$