

煙およびガス拡散と避難上の安全距離に関する研究

小 島 正 臣*

はじめに

大地震が発生すると、火災が多発拡大し、市街地大火へと発展することが考えられ住民の生命をおびやかすようになる。これら住民の避難に対する安全性については熱気流や輻射熱と併せて濃煙や有毒ガスの問題が大きく取り上げられる。

そこで今回は火災により発生する煙やガスの流動拡散性状を把握する第一段階として、煙、ガスを搬送する熱気流の拡散状況を実験によりとらえ、次に行なう煙およびガスの拡散実験を実施するための資料とする。そして、この3つの領域の相互関係を明らかにし、現場における危険範囲の決定、さらには住民の避難誘導および消防隊員による防ぎよ線の設定条件の資料を得ようとするものである。

相似法則

強風下の大火火流に関する相似則を東北工大教授、藤田金一郎博士の理論をもとに運用すると市街地大火の1/100の相似則は次のようになる。

1 運用手順

$$\text{無次元風速} \Omega = U_0 / \left(\frac{Q_0 g}{C_p P_0 T_0} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (1)$$

※イギリス火災研究所 R.H Thomas

Ω_m 模型 = Ω_r 実大 (模型と実大火とで Ω を同一にする)

を満足するように U_0 , Q_0 , ρ_0 , を定める。従つて(2)式が得られる。

$$\frac{U_{or}}{U_{om}} = (\rho_{om} / \rho_{or})^{1/3} (Q_{or} / Q_{om})^{1/3} \dots \dots \dots (2)$$

m : f 模型 : 実大火災

U_0 風速 m/sec

ρ 密度 kg/m³

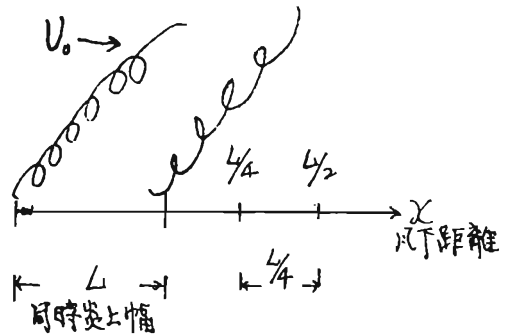
C_p 比熱 0.23kcal/kg°C

T_0 周気, 風の温度 °K (絶対温度)

g 重力の加速度 9.8m/sec²

(2)式の ρ (密度) は模型も実大火の場合も未確定

であるから概行の研究から推定する。 ρ は温度によつてきまり、その温度は熱源からの距離によつて支配されるから標準点は市街地大火を線状熱源と見た場合の火先(以下火先線という)より風下への距離で風下方向同時炎上幅(L:以下同時炎上幅という)の1/2~1/4の区間とする。この区間における平均温度に対応する密度を標準密度(ρ_0)とし、風下全域の代表値とする。(下図参照)



2 熱量発生速度 Q_{om} の計算

実大火災の風速(U_{or}), 模型実験時の風速(U_{om})ならびに実大火の発生熱量速度(Q_{or} : kcal/msec)に対する模型実験に与えるべき熱量発生速度(Q_{om} : kcal/msec)を求める。

(1) 風速 (U_0)

$U_{or} = 10\text{m/sec}, 15\text{m/sec}$

$U_{om} = 1\text{m/sec}, 1.5\text{m/sec}$

(2) 熱量発生速度 (Q_0)

$Q_{or} = 26,050\text{kcal/msec}$ ($U_{or} = 15\text{m/sec}$ のとき)

$Q_{or} = 15,600\text{kcal/msec}$ ($U_{or} = 10\text{m/sec}$ のとき)

ただし街区全域がすべてモルタル防火木造, 収容可燃物は普通のとき。

Q_{or} 値は同時炎上地区の風向方向の幅Lに正比例すると考えてよいため $Q_{or} \propto L \propto U_{or}$ となる。

(3) $q_m = Q_{om} / L_m$ の計算

$Q_0 = qL$ において(2)式を次のように変形する。

$$q_m = q_r \left(\frac{U_{om}}{U_{or}} \right)^3 \left(\frac{\rho_m}{\rho_r} \right) \left(\frac{L_r}{L_m} \right) \dots \dots \dots (2')$$

* 第一研究室

実大火記録統計より L_m を求めると下表のようになる。

U_{or}	V_f (大火延焼速度)	L_f ($V_f \times 15$ min)※	L_m
15m/sec	8.3m/min	125m	1.25m
10m/sec	5.0m/min	75m	0.75m

※15minは一棟火災の主要期の時間

q_r と ρ_r と推定した ρ_m は

$$Q_{or} = 26,050 \text{ kcal/msec}$$

$$q_r = Q_{or} / L_f = 26,050 / 125 = 208 \text{ kcal/m}^2\text{sec}$$

$$\rho_m / \rho_r = \frac{\Delta\theta_{maxf} + 300}{\Delta\theta_{maxm} + 300} = 1.12$$

$$\Delta\theta_{maxf} = 150^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{maxm} = 100^\circ\text{C} \quad \text{ただし } m/f = 1/60 \text{ のとき}$$

(2) 式中の L_f/L_m は $L_f/L_m = 100/1$ (縮率1/100)

であるから整理すると

$$q_m = 100q_r \left(\frac{\rho_m}{\rho_r} \right) / \left(\frac{U_{or}}{U_{om}} \right)^3 \text{ となる。}$$

(4) q_m (kcal/m²sec) の計算結果

実風速 \ 模擬風速	$U_{om} = 1.0 \text{ m/sec}$	$U_{om} = 1.5 \text{ m/sec}$
$U_{or} = 10 \text{ m/sec}$	23.296 kcal/m ² sec	
$U_{or} = 15 \text{ m/sec}$		23.296 kcal/m ² sec

3 燃焼計画

前2 熱量発生速度 Q_{om} の計算で求めた、模擬実験上必要とする地面1m²当りの熱量発生速度 q_m (kcal/m²sec) に、燃料として灯油をあてはめて計算すると次のようになる。

$$H \text{ (kg当りの発熱量)} \times \rho \text{ (密度)} \times V \text{ (燃速)} \\ = 10,300 \text{ kcal/kg} \times 800 \text{ kg/m}^3 \times 0.000033 \text{ m/sec} \\ = 271.92 \text{ kcal/m}^2\text{sec}$$

実験上必要とする地面1m²当りの熱量発生速度は23kcal/m²secであるから、灯油の燃焼面積は地面1m²当り $23/271.92 = 0.0882 \text{ m}^2$ とすれば良いわけである。

模擬市街地 (1/100) 火災実験

1 実験概要

(1) 実験日時

昭和47年12月21日～同年同月26日の間

(2) 実験場所

東京都渋谷区幡ヶ谷一丁目13番20号
消防科学研究所構内

(3) 実験装置

ア 風洞

側壁のみを高さ3mまで塩化ビニール板で囲んだ風洞で、測定位置付近の断面は18m²、ファンの部分は7.4m²となつている。

ファンは7.4m²の垂直断面に圧力換気扇12個を設置し、その後方には配電盤を設け、スライダックにより自由に電圧を変え、測定位置付近の風速を調整できるようにした。(写真1, 2 参照)

写真1

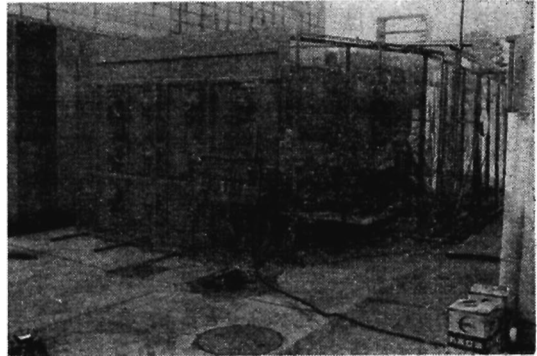
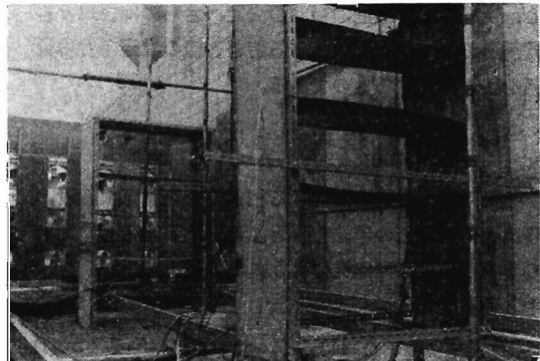


写真2



イ 熱源 (模擬市街地大火)

熱源の燃焼形態および規模は前相似則によりA, B, Cの3種類とし、そのA種は風速10m/sec、同時炎上幅125m、火先線375mを想定し、1.25m (同時炎上幅) × 3.75m (火先線) の鉄製燃焼台上に直径15cmの灯油を入れた燃焼器を23個配列して、熱量発生速度を23kcal/m²sec (風速1.0m/sec) とした市街地大火災1/100の模擬火災である。(写真3参照)

B種は風速15m/sec、同時炎上幅75m、火先線225mを想定したもので、燃焼台0.75m (同時炎上幅) × 2.25m (火先線) に燃焼器8個配列したものである。C種は想定した同時炎上幅および火先線の長さ、そして風速値はB種と同じであるが、火先線の中間に幅員30mの道路があ

写真3



る場合を想定したものである。熱量発生速度はB種、C種ともA種同様23kcal/m²sec（風速1.5m/sec）で、市街地大火災の1/100模擬火災である。

2 実験項目

- (1) 熱源風下の熱気流の拡散と煙拡散の性状をとらえ、相互の関係を調べる。
- (2) 熱源風下の煙拡散と燃焼生成ガスの拡散相互関係を調べる。

3 実験（測定）方法

(1) 温度上昇の測定

アルメル、クロメル熱電対をデジタル温度計に接続し、上昇温度を記録せしめた。測定したところは熱源風下距離60cm、230cm、480cmの位置とし、鉛直方向の温度分布を等間隔（30cm）に各10点ずつ測定した。記録された温度は燃焼最盛期の安定した値を読み取って、その点の温度とした。

(2) 煙濃度の測定

写真2のように外部光をしゃへいし、光電導セル(cds)の前方に白熱電球を点灯して、この間に煙が介入した場合の光起電力をペン書き自記記録計に記録せしめた。そして煙濃度としての減光係数は次の式で求めた。

$$C_s = \frac{1}{\ell} \log_e \frac{I_0}{I}$$

ただし C_s ; 煙濃度（減光係数）

ℓ ; 光電導セル(cds)と白熱電球の距離

e ; 自然対数のベース

I_0 ; 無煙の場合の光電導セル起電力

I ; 煙が介入した場合の光電導セル起電力

煙濃度の測定は熱源風下距離1m、2m、3m、4m、5mの位置とし、各8点ずつ鉛直方向の煙濃度分布を測定した。

(3) CO₂濃度の測定

ポンプにより吸引した燃焼生成ガスをCO₂ガス赤外線分析器によつて分析し、ペン書き自記記録計に記録せしめた。

測定位置は熱源風下距離0m、1m、2mとし、その位置の鉛直方向のガス濃度を測定した。1点のガス濃度を測定するには、その点にガス採集管を定置後、安定するまでの測定の移動はさせないことにした。

4 実験結果および考察

実験結果は1、実験概要3、実験装置アに記載のとおり、燃焼形態および規模をA、B、Cの3種としたので、それぞれの実験をA実験、B実験、C実験とし整理した。

(1) 煙の拡散について

大火時の同時炎上区域を地面上に無限に延びた直線とし、火先の一点を座標の原点にとり、風下方向をx軸、鉛直方向をz軸、火線の方向をy軸とすると、火線はyの正負両方向に無限に延びているから、この現象をxz面内の二次元の問題として扱うことにする。

熱を含まない煙などの拡散の場合には濃度最大の位置は当然z=0なる地表面に並ぶはずであり、また、この実験のように熱を含ませると煙は水平x面に対し傾きが生じ、それは水平風速と上昇気流速度のベクトルの合成方向に拡散するものと思われる。そして熱源風下の各距離で測定した煙濃度が同一鉛直面内で最高となる高さを熱源から風下距離に対してプロットすると煙濃度の主軸線が示されるものと思われる。

このような考えのもとにA実験、B実験、C実験を整理すると図1~1、図2~1、図3~1のようになる。

A実験の場合の図1~1を見ると同一鉛直面内で煙濃度最大の熱源風下距離1mでは50cmの高さであり、そして2m、3m、4m、5mの風下距離ではそれぞれ60cm、180cm、100~180cm、180cmの高さとなつており、 $Z = w/u^2$ （U；水平風速、W；熱気流の上昇速度）なる直線上には並ばず、そして円錐上に上下、左右に拡散してない。このような結果が生じたことは熱気流が中立状態（温度が高さによつて比例的に下降する状態）となつていないことが主原因と思われ、後に示す熱気流の拡散状態からも同われ、大気の乱流条件が時々刻々変動し、拡散状態もそれに従つて変化したと思われる。

煙濃度の最高値を示す鉛直方向の位置は風下方向に行くに従つて、熱気流の関係からして変化す

熱源の風下に於ける煙濃度分布 (Cs濃度)

表1~1 A実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	60cm	100cm	140cm	180cm	220cm	260cm	340cm
1 m	0.2357	0.2702	0.2053	0.1257	0.1966	0.1966	0.1157	0.1316
2 "	0.1241	0.1350	0.1314	0.1193	0.1265	0.1048	0.0797	—
3 "	0.0754	0.0809	0.0812	0.0765	0.1068	0.0811	0.0931	0.0818
4 "	0.1061	0.1285	0.1407	0.1408	0.1433	0.1179	0.0864	0.0974
5 "	0.0614	0.0737	0.1029	0.0842	0.1726	0.1160	0.0864	0.1423

表2~1 B実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	60cm	100cm	140cm	180cm	220cm	260cm	340cm
1 m	0.2132	0.1770	0.1096	0.0286	0.0598	0.0199	0.0140	0.0594
2 "	0.1331	0.1275	0.1015	0.0663	0.0500	0.0319	0.0237	0.0143
3 "	0.0970	0.0907	0.0865	0.0716	0.0770	0.0498	0.0537	0.0466
4 "	0.0696	0.0688	0.0674	0.0564	0.0541	0.0515	0.0343	0.0149
5 "	0.0408	0.0373	0.0534	0.0502	0.1343	0.0652	0.0505	0.0894

表3~1 C実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	60cm	100cm	140cm	180cm	220cm	260cm	340cm
1 m	0.2734	0.2350	0.0347	0.0164	0.0699	0.0248	0.0216	0.0283
2 "	0.1141	0.1192	0.1008	0.0733	0.0698	0.0227	0.0256	0.0146
3 "	0.0756	0.0737	0.073	0.0661	0.063	0.0488	0.0469	0.0491
4 "	0.067	0.0689	0.0529	0.0462	0.0492	0.0530	0.0276	0.0161
5 "	0.0584	0.0560	0.0657	0.0462	0.1229	0.0317	0.0300	0.0303

図1~1

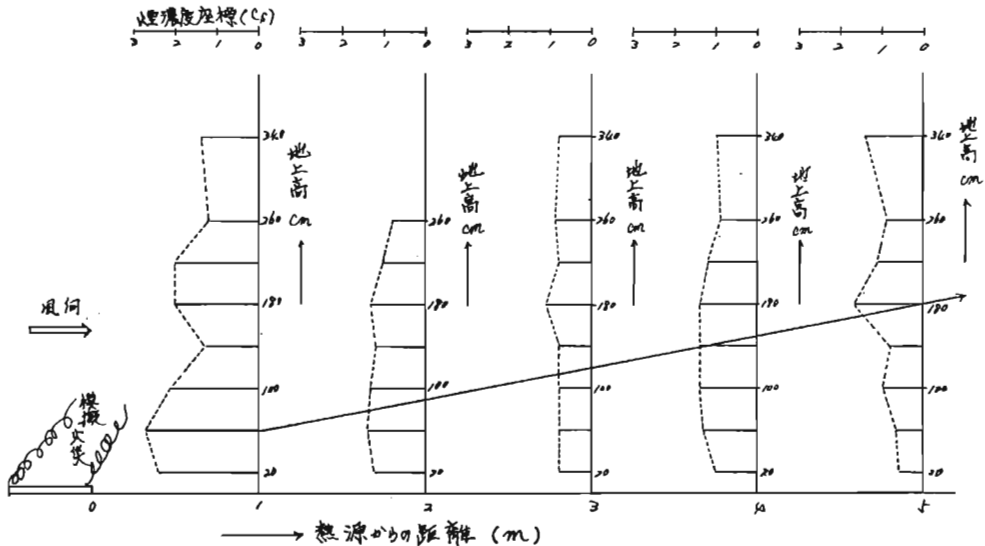


図2-1

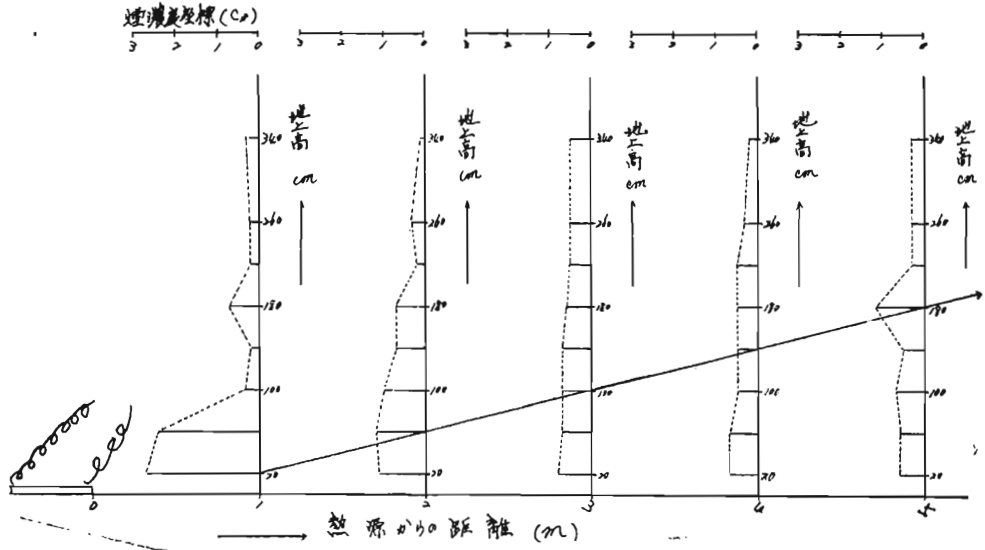
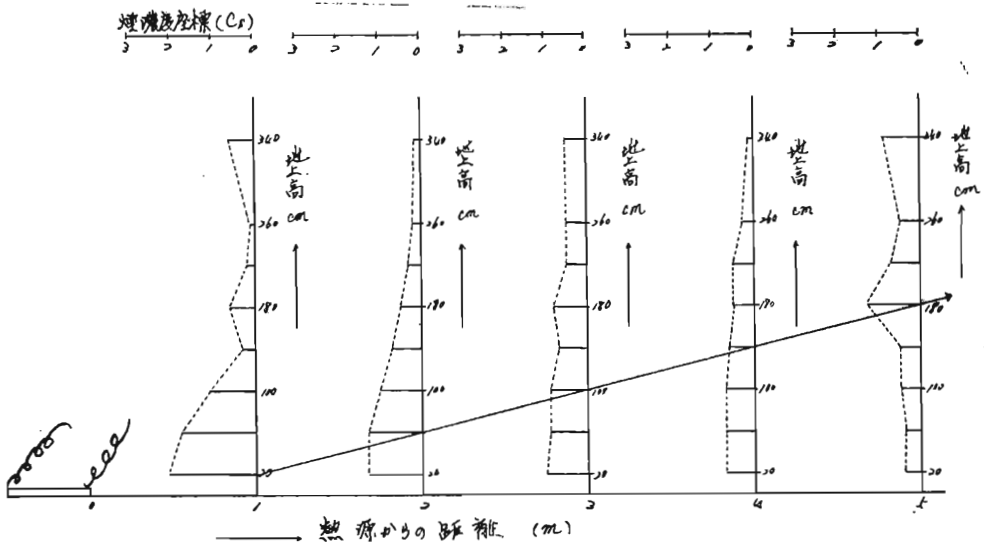


図3-1



るが煙濃度そのものの変動は余りない。煙の流れ角は先きに述べたように鉛直方向の濃度最大の位置が不規則ではあるが敢えて直線を引くと、その直線式は $Z = 0.3x$ となり、傾き角度 ($\tan\alpha$) は $16^\circ 42'$ となっている。

BおよびC実験の場合の煙濃度分布図、図2~1、図3~1を見ると、この実験は実験風速を 1.5m/sec としたため相似法則により想定した市街地火災の燃焼形態および規模が実験Aに比較し小さくなっており、そして後に熱気流の拡散の項で述べるが、実験計画ではA、B、C実験とも熱量発生速度 ($\text{kcal/m}^2\text{sec}$) が同値でなくてはなら

ないのに実際には変つているので熱源風下の煙濃度は幾分低い値となつている。熱源風下の煙濃度分布はBおよびC実験ともA実験と同様に不規則な分布をしている。しかしA実験同様に濃度最大の位置と思われるところを直線で結ぶとB実験、C実験とも、その直線式は $Z = 0.4x$ となり、傾き角 (煙の流れ角) は $21^\circ 42'$ という結果が得られA実験より 5° 上昇している。

(2) 熱気流の拡散について

ア、熱気流の軸線の位置

熱気流の拡散も煙拡散同様 x Z 面内の二次元の問題として取扱い、熱源風下の各距離で熱気

熱源風下に於ける温度分布 (温度上昇値°C)

表 1~2 A実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	50cm	80cm	110cm	140cm	170cm	200cm	230cm	260cm	290cm
60cm	29.82	36.18	28.30	23.46	17.92	14.02	10.18	8.46	6.38	5.28
230 "	8.28	10.08	9.64	10.76	9.68	7.62	6.42	5.52	6.2	4.8
480 "	2.30	3.64	4.36	4.62	5.66	5.88	5.68	5.66	5.08	4.22

表 2~2 B実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	50cm	80cm	110cm	140cm	170cm	200cm	230cm	260cm	290cm
60cm	21.30	20.22	10.64	7.06	5.22	4.50	2.20	2.18	1.62	1.22
230 "	6.56	7.78	6.54	5.62	3.94	2.34	1.72	1.28	1.00	0.86
480 "	2.70	3.54	4.10	4.34	4.16	3.48	2.78	2.18	1.80	1.82

表 3~2 C実験

風下距離 \ 垂直距離	20cm	50cm	80cm	110cm	140cm	170cm	200cm	230cm	260cm	290cm
60cm	10.94	13.64	8.54	6.58	5.16	4.12	2.78	2.42	1.74	1.36
230 "	5.28	5.54	4.82	4.14	3.06	1.94	1.62	1.32	1.08	0.86
480 "	6.52	7.40	7.56	6.88	6.60	5.72	4.92	4.20	3.56	3.32

図 1-2

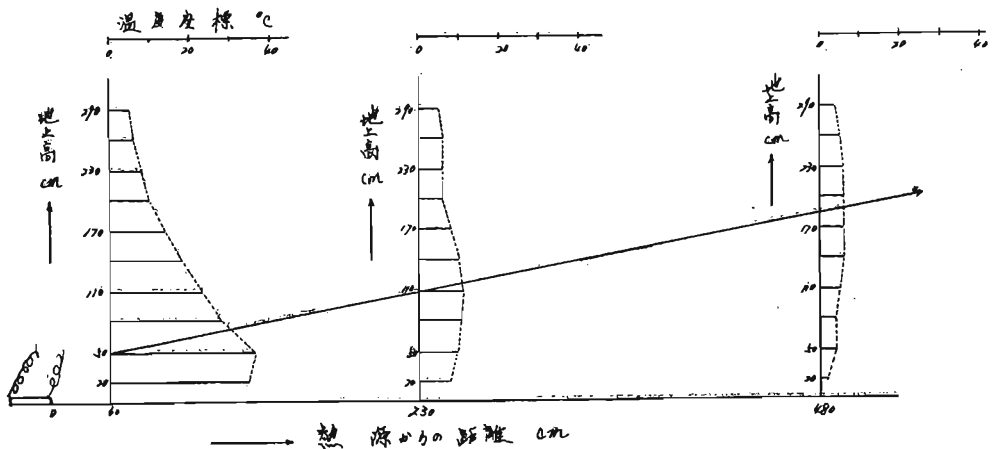


図2-2

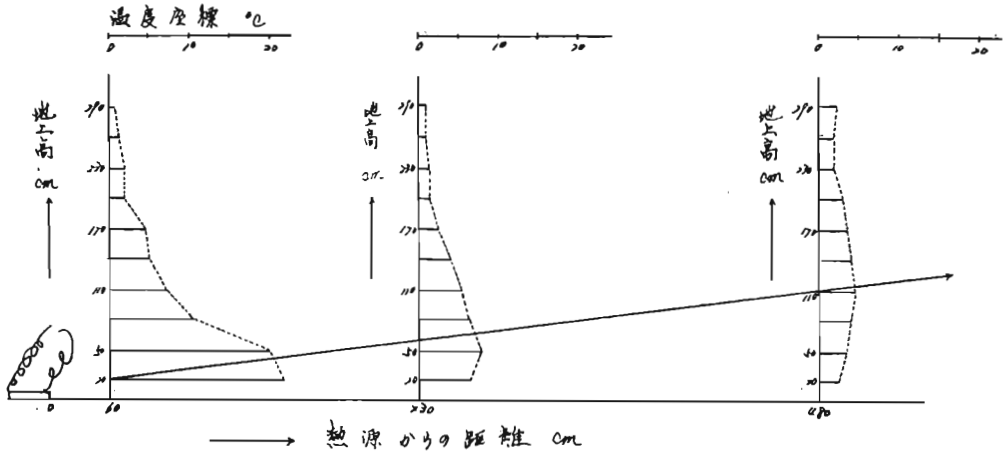
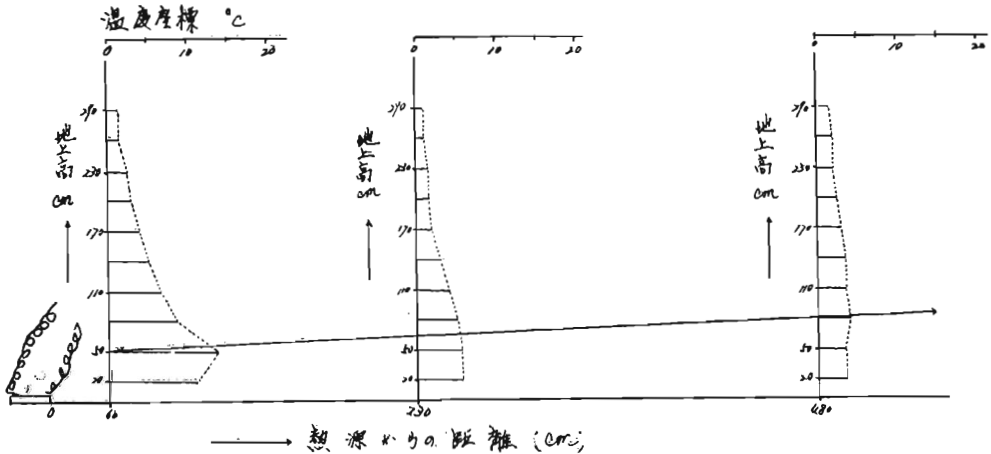


図3-2



流温度の鉛直方向の分布を測定し、同一鉛直面内で温度が最高となる時の高さを熱源からの風下距離に対してプロットすると図1~2, 図2~2, 図3~2のようになる。

A実験の場合の図1~2を見ると温度が最高になる位置を結ぶ線(軸線と仮称する。)の高さは、熱源からの風下距離に比例すると見てよい結果が得られた。しかし軸線に沿つての温度分布は一定した下降が見られず、これは熱気流に含まれている熱量が風下に行くにつれて風洞の周壁から放射または対流によつて失われたこと、また風洞内の風がかなり乱れていたことを示すものと思われる。図1~2に見る温度の最高なる位置を結ぶ直線式は $Z = 0.319x$ で、傾き、すなわち熱気流の拡散角($\tan\alpha$)は $17^\circ 42'$ となつている。

BおよびC実験の熱源風下の温度分布図、図

2~2, 図3~2を見ると熱源風下、同一鉛直面内の温度分布はA実験と同様な傾向を示しているが、軸線の傾きはB実験が $12^\circ 21'$ 、C実験が $4^\circ 7'$ であり、A実験に比較しかなり小さく、C実験などは地表面 $Z = 0$ に近いかたちとなつている。

図1~2, 図2~2, 図3~2の熱源の風下に於ける温度分布図は同一鉛直面内の測定したデータを平均化したもので、熱気流の軸線が求めにくいので軸線の方線式を $Z = ax + b$ とおき最小自乗法により求めると、A実験は図1~3に、そしてBおよびC実験は図2~3, 図3~3に示すような結果が得られた。

軸線の方程式はA実験が $Z = 0.37x + 17$ 、B実験が $Z = 0.24x + 7$ 、そしてC実験は $Z = 0.052x + 44$ となつた。また軸線の傾きはA実験が $20^\circ 20'$ 、B実験が $13^\circ 30'$ 、C実験が $0^\circ 20'$

図1-3

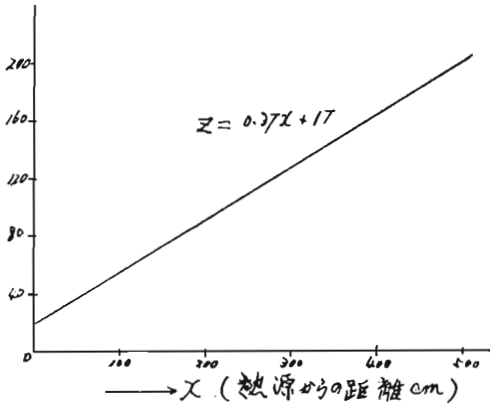


図2-3

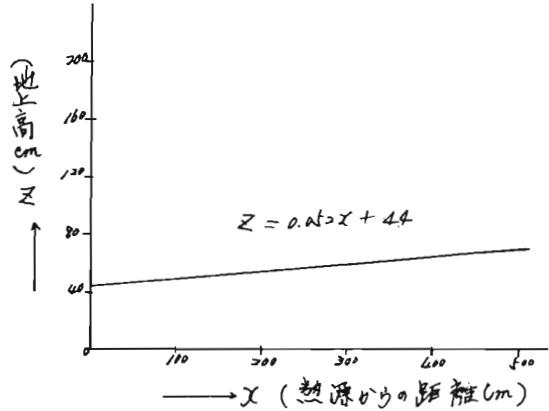
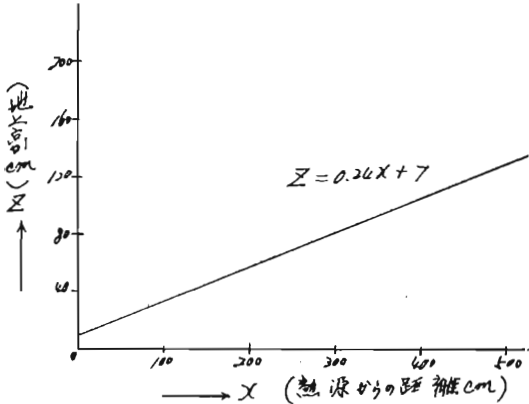


図3-3



となりA実験は先きに述べた拡散角より大きくなり、B、C実験は小さくなった。

イ、熱気流からの熱損失量

今回使用した風洞は熱源側にファンを取りつけた送風式のものであり、相当な風の乱れがあると思われるが熱気流の温度が上昇しても、風洞内の風速値は変わらないと仮定し、任意の鉛直断面内を単位時間に通過する熱量を求めると、熱量Qは

$$Q = \sum C \rho \theta_i U_i dZ_i \text{ で表わされる。}$$

C ; 比熱 0.23kcal/kg°C

ρ ; 密度 kg/m³

θ_i ; 温度上昇値 °C

U_i ; 風速 m/sec

この式を用い鉛直断面内の通過熱量を計算するとA実験は表1~3、B実験は表2~3、C実験は表3~3のような結果が得られた。

熱源風下の鉛直断面を単位時間に通過する熱量 (cal/cmsec)

表1~3 A実験 (風速1.0m/sec 一定とする。)

鉛直断面 風下距離	0~20cm	20~50cm	50~80cm	80~110cm	110~140cm	140~170cm	170~200cm	200~230cm	230~260cm	260~290cm	合計
60cm	0.1237	0.2204	0.1769	0.1491	0.1160	0.0921	0.06772	0.05662	0.04302	0.03574	1.08121
230cm	0.03697	0.06709	0.06425	0.07143	0.0645	0.05115	0.04328	0.03733	0.04183	0.03255	0.5173
480cm	0.01049	0.02479	0.02961	0.03135	0.03826	0.03972	0.03839	0.03826	0.03441	0.02867	0.28916
平均値											0.629

表2~3 B実験 (風速1.5m/sec 一定とする。)

鉛直断面 風下距離	0~20cm	20~50cm	50~80cm	80~110cm	110~140cm	140~170cm	170~200cm	200~230cm	230~260cm	260~290cm	合計
60cm	0.1363	0.1948	0.1060	0.0712	0.0530	0.0458	0.0226	0.0224	0.0167	0.0126	0.6814
230cm	0.0443	0.0783	0.0661	0.0570	0.0402	0.0240	0.0177	0.0132	0.0103	0.0089	0.36
480cm	0.0184	0.0362	0.0418	0.0442	0.0424	0.0356	0.0285	0.0224	0.0185	0.0187	0.3067
平均値											0.449

表 3-3 C 実験 (風速 1.5 m/sec 一定とする。)

鉛直断面 風下距離	0~20cm	20~50cm	50~80cm	80~110cm	110~140cm	140~170cm	170~200cm	200~230cm	230~260cm	260~290cm	合計
60cm	0.07258	0.1345	0.08511	0.0665	0.05242	0.04201	0.02483	0.01789	0.01401	0.02848	0.53893
230cm	0.03574	0.0562	0.04902	0.04221	0.03132	0.01994	0.01667	0.0136	0.01113	0.008879	0.284709
480cm	0.04394	0.07457	0.07614	0.06946	0.0677	0.05799	0.05002	0.04281	0.03637	0.03395	0.55195

平均値 0.459

風速が温度に無関係としてしまうことは厳密には正しくないのであるが高温度の気流の風速値を実際測定していないのが残念であった。

実験 A の場合の表 1~3 によると熱源風下 60 cm の鉛直断面に於ける熱通過は 1.0812 cal/cmsec であり、市街地模型実験の熱源 (灯油) の熱量発生速度は 2.3 cal/cmsec に設定したわけであるので、熱源から熱気流に伝達した熱量は 47% ということになる。熱源風下各点の鉛直面を通過する熱量は 230 cm の地点で 0.5173 cal/cmsec、480 cm の地点で 0.28916 cal/cmsec となっており、60 cm の地点の 1.0812 cal/cmsec と比較すると 230 cm の地点で 52.2%、480 cm の地点で 73.3%、通過熱量が気流の熱損失のため減少している。

B 実験の表 2-3、C 実験の表 3-3 を見ると、B および C 実験の想定した市街地模型実験は熱源規模は同一であるが、燃焼形態が異なるので、市街地模型より発生した熱量 (23 cal/cmsec) が熱気流に含まれたのは熱源風下 60 cm 距離で B 実験が 29.6%、C 実験が 23.4% という差が生じている。

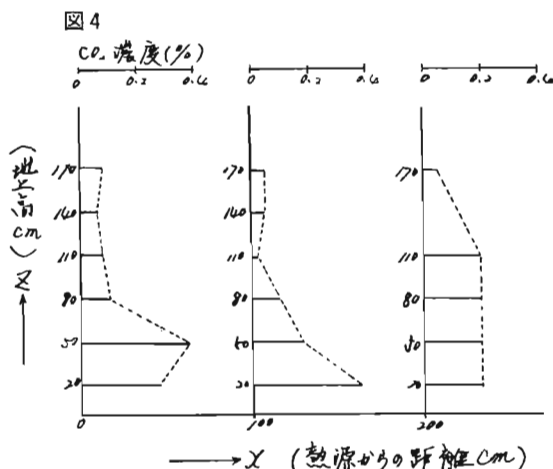
熱源風下の鉛直断面を通過する熱量の損失は B および C 実験とも同じく、風下距離 60~230 cm の間に 47.2% 減少している。

鉛直断面を単位時間に通過する熱量の平均値は A 実験が 0.629 cal/cmsec、B および C 実験は各々 0.449 cal/cmsec、0.459 cal/cmsec という値になっている。

(3) 燃焼生成ガス (CO₂) の拡散

熱源風下の各距離で CO₂ 濃度の鉛直方向の分布を測定し、風下距離に対してプロットすると図 4 のようになる。

図 4 によると同一鉛直断面内に於ける CO₂ 濃度の最大の位置は熱源風下距離 60 cm で地表面上 50 cm の位置となり、熱源風下距離 230 cm、480 cm では、いずれもの 20 cm の高さで同位置となっている。これによると熱源近傍では上昇熱気流とガス自身の浮



力のため上昇しているが風下に行くに従って次第に下降していることがわかる。煙および熱気流の拡散の場合は自分自身の浮力のため風下に行くに従って上昇していたのに反して、このような結果が得られたことは CO₂ の密度が大きいため熱源近傍では上昇するが、それより離れるとすぐに地表面に舞い降りてしまうものと思われる。

CO の濃度も測定する予定であったが発生量が少なく測定器に記録できないので中止した。しかし CO の拡散はその密度が空気と同値であるので熱気流と同様な拡散が行なわれるものと思われる。

(4) 煙拡散と熱気流の拡散について

煙拡散と熱気流の拡散は前(1)(2)で、それぞれ述べたとおりであり、整理すると A 実験の場合、煙拡散の主軸線 (熱源風下の鉛直方向煙濃度分布で濃度最大の位置を結ぶ線。)の水平面に対する傾きは 16°42' で、熱気流の主軸線 (線温度が最高になる位置を結ぶ線。)のそれは 17°42' という結果が得られたわけで、その傾角の差は 1°である。このことから煙と熱気流は同じ傾きで拡散することが明らかであると思われる。そして拡散係数が大きい程、また火源から遠くなる程、分布曲線は扁平に

なる。

BおよびC実験は、その拡散がA実験とは異なり、煙拡散の主軸線の傾きが熱気流の拡散の主軸線の傾きより 10° 以上大きくなっている。このような結果になったことは熱源の規模に問題があるものと思われる。それは、B、C実験はA実験と燃焼形態および熱源の規模が異なるとはゆえ、風速を変え、計算上、熱量発生速度(cal/cmsec)は同値となるようにしたのであるが燃料(灯油)の燃焼速度に相当な差が生じ、熱気流の上昇速度に対し、水平風速がまさっていたため主軸線傾きが極度に小さくなったものと思われる。

A、B、C実験を通じ熱気流および煙拡散の主軸の傾きが小さかったことは模擬市街地火災の火先線の長さが測定位置に比べ少なかったものと思われる。

煙と温度の熱源風下同一鉛直面の分布から、その拡散性状を比較するつもりであったが、いずれも不正規な分布を呈し、検討するに至らなかったのは残念に思われた。

(5) 煙および熱気流の拡散と燃焼生成ガス(CO₂)の拡散について

煙および熱気流の拡散は、ほぼ同様に自分自身の浮力のために風下に行くにつれ上昇し、上昇の仕方は風速が強くなる程小さく、そして煙濃度および温度が最高になる位置を結ぶ線の高さは風下距離に比例するものと見てよい結果を得たが、ガス拡散(CO₂)は熱源近傍では同様な傾向がみられるが次第に下降し、地表面に到達する。しかしこれはCO₂ガスの場合で空気と密度が同値であるCOガスなどは煙および熱気流と同様な拡散をするものと思われる。

5. 実大市街地火災への適用

塩化ビニール板で側壁のみを囲んだ送風式の風洞で、風の乱れはもちろん自然風の影響をかなり受けているので大火火流の相似則のもとに実験を行ったとは言え、いろんな問題があるが、風速10m/secの強風時、同時炎上幅(風下方向の炎上幅)125m、火先線(風横方向の炎上幅)の市街地火災(街区全域すべてモルタル防火木造、収容可燃物は普通るとき)を想定したA実験の場合、熱源風下地表面上20cmの高さに於ける温度上昇の平均値($\Delta\theta$)を計算したところ次の結果が得られた。

熱源風下距離	60m	$\Delta\theta = 30^\circ\text{C}$
"	230m	$\Delta\theta = 8.3^\circ\text{C}$
"	480m	$\Delta\theta = 2.3^\circ\text{C}$

また熱源風下の鉛直断面を通過する熱量Qを理論式より計算すると

熱源風下距離	60m	$Q = 0.1237\text{cal/cmsec}$
"	230m	$Q = 0.03697\text{cal/cmsec}$
"	480m	$Q = 0.01049\text{cal/cmsec}$

という結果が得られ地表面上20mのところを通過する熱量は

熱源風下距離	60m	$Q = 0.006\text{cal/cm}^2\text{sec}$
"	230m	$Q = 0.002\text{cal/cm}^2\text{sec}$
"	480m	$Q = 0.0005\text{cal/cm}^2\text{sec}$

という結果になる。

以上のデータをもとに人間への危険性を述べると労働衛生ハンドブック等によれば 33°C ならば温度100%でも人間は耐えられ、 50°C (温度45%)となると70分が限度とあるが、実験結果によれば熱源風下距離60mで温度上昇 30°C となるわけで、これは外気温度が含まれてないので、例えば常温 20°C を加算すると 50°C ということになり、相当な影響があると思われる。

また通過熱量の危険性について述べるならアメリカ、ファイヤー、リサーチの報告によると人間が皮ふを出している場合、長時間にわたって耐えられる熱量は $0.06\text{cal/cm}^2\text{sec}$ 程度以下ということなので、先きに記した数値と比較するといずれも安全ということになる。しかし実験結果より記した熱量は実測値ではなくして理論計算値であるので注意を要する。

おわりに

この種の研究で、一番の問題点は実大火災実験ができず、風洞または野外模型実験によつて実大火災の場合を推定するのが現状で、熱気流の拡散等については、流体力学の乱流理論を、この種研究に導入し、数多くの実験が行なわれ、熱源風下の温度分布式等が確立されているが未だ未開拓の分野が極めて多い。

本研究においても1/100の野外模型実験から実大火災を推定したものであるため、市街地火災に近似した実大火災実験により、さらに精度の高いデータの収集が望まれる。また市街地火災より発生する煙、ガスの拡散等については学界でも未だ研究が行なわれていない分野であるが、本年度は安全な避難のための有効な資料を得るため、火災時に発生する有毒ガスのうち、実験に使用可能なガスを流して、これに熱を与え、その濃度の変化状況を把握して、人命に対する安全限界を究明するよう努める予定である。