

## 火災周辺温度分布の研究 (第3報)

辻 英 機\*  
小 方 義 信\*

### 1. はじめに

大地震に伴う多発火災、それに続いて起る合流火災等の位置、火災周辺温度分布、火災の規模等を把握することができれば、消防機関は都民に対して適切な避難情報を提供できるし、又これによって効果的な部隊運用が可能となるであろう。

この目的のためには上空からの観測が最も有効な手段と考えられる。そこで機上から火災周辺温度分布等の情報をとらえる手段として赤外線撮像装置を用いた消防的応用の研究を継続して実施した。

初年度(第1報)においては、各種物質の放射率に関する一連の実験、及び屋外における実火災の撮像実験が行なわれ、次年度(第2報)においては煙の放射率に関する実験、煙による温度減衰実験が行われた。

51年度は、①大気による赤外線の減衰量測定実験、②煙濃度と煙層距離による赤外線の減衰量測定実験、を行なったので、その結果を報告する。

なお、赤外線の検出器には InSb (インジウムアンチモン) が使われており、赤外線エネルギーは液体窒素を表示温度源とした電気信号により温度に変換されて表示される。したがって赤外線の減衰は、温度の減衰となって表示される。

### 2. 実 験

#### (1) 大気による赤外線の減衰量測定実験

##### ア 実験の必要性

赤外線が大気中を伝播してくると、途中で大気を構成する水蒸気、炭酸ガス、浮遊微粒子等によって吸収・散乱又は再輻射を受け検出器に入ってくる時は当初のエネルギーよりも減衰している。本研究の目的は遠隔測定であるから、大気による影響は不可避な問題である。赤外線の大気による影響について図1に示す。

#### イ 実験方法

撮像距離は、将来上空から測温する場合の最低高度に相当する 120m を選び、測温被写体は都市を構成している最も普遍的な素材であるコンクリートと木材を使った。その模様を図2に示す。

実験日 昭和51年10月6日

天気 晴 湿度 50%

昭和51年10月7日

天気 晴 湿度 45%

撮像距離 120m

伏角 10°33'

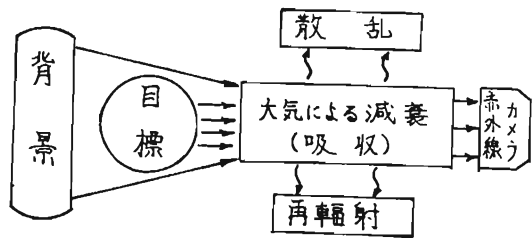


図1 赤外線の大気による影響

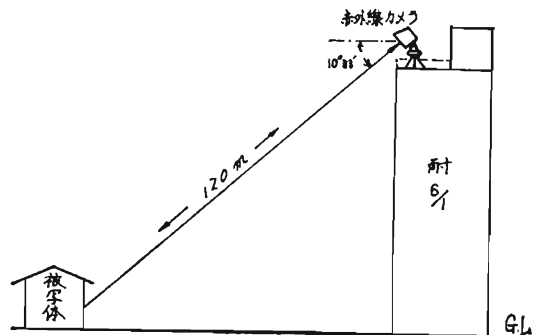


図2 実験装置

\* 第一研究室

被写体 コンクリート壁及び木材

検出装置 キヤノンKK, CT-4B 赤外線撮像装置  
被写体にはサーモカップルを取り付け、気温の上昇に伴って上昇していく被写体の温度をペンレコーダーで記録する。赤外線撮像装置による被写体の温度（以下「映像温度」という。）被写体の真温度から温度降下量（温度の減衰量）を測定する。

ウ 実験結果

実験結果を表1～表4に表わし各々のグラフを図3～図6で示す。実験は湿度の異なる日を選んで2日行なったが、定性的な理論が示すとおり水蒸気が多い程多く減衰しているのが確認された。グラフ上の破線は赤外線の減衰がないものと仮定した場合の理想的な直線であり、その値から実測値までの差が温度の減衰量である。実測値はかなり正確な直線を示しており、湿度50%で最大減衰量3.5°C、45%で2.7°Cであった。

表1 大気による減衰状況

被写体 コンクリート壁  
相対湿度 50%

真 温 度	映 像 温 度	減 衰 量
21.7°C	18.2°C	3.5°C
24.2	21.9	2.3
25.1	23.5	1.6
26.7	23.7	3.0
28.1	25.4	2.7
30.3	27.6	2.7
32.2	30.2	2.0
33.3	31.9	1.4

(注) 真温度とはサーモカップルで測定した被写体の表面温度である。

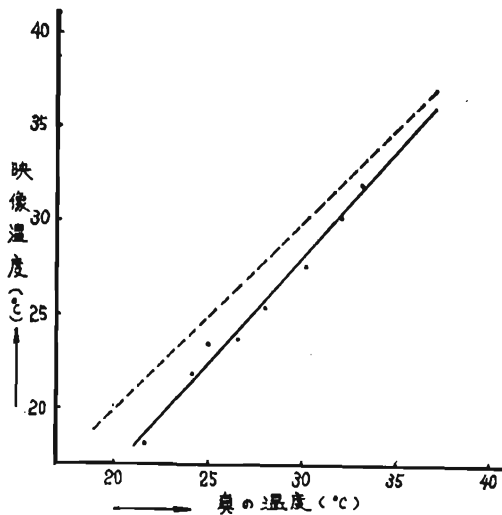


図3 表1のグラフ

表2 大気による減衰状況

被写体 木材  
相対湿度 50%

真 温 度	映 像 温 度	減 衰 量
21.1°C	19.2°C	1.9°C
22.7	20.7	2.0
24.8	23.1	1.7
26.5	24.0	2.5
29.1	26.6	2.5
30.3	28.1	2.2
31.2	29.4	1.8
33.5	32.0	1.5

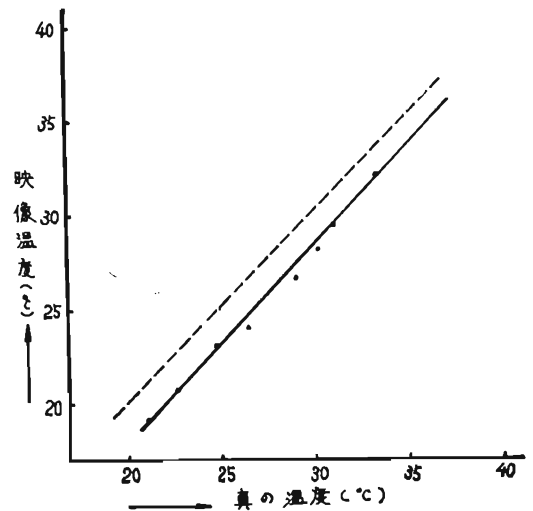


図4 表2のグラフ

表3 大気による減衰状況

被写体 コンクリート壁  
相対湿度 45%

真 温 度	映 像 温 度	減 衰 量
20.8°C	19.8°C	1.0°C
22.9	22.0	0.9
25.5	24.8	0.7
28.1	27.1	1.0
29.7	28.7	1.0
31.3	30.0	1.3
32.7	31.4	1.3
34.6	34.1	0.5

エ 考察

本実験の結果から、撮像距離120m、湿度50%又は45%という条件で行なえば最大減衰量が3.5°C又は2.7°Cであるから、実用上この程度の差は、消防活動情報又は避難情報としての目的からみて無視できる量

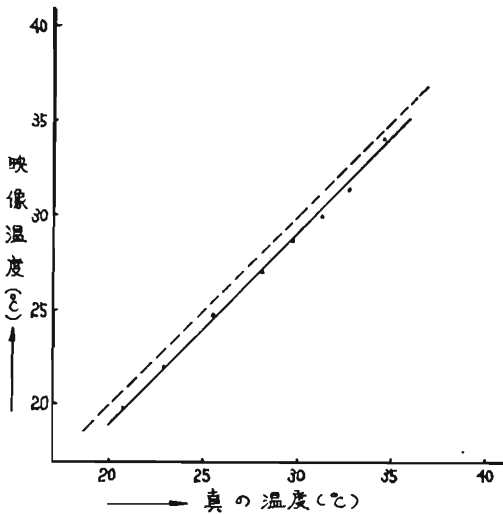


図 5 表 3 のグラフ

表 4 大気による減衰状況

被写体 木板  
 相対湿度 45%

真 温 度	映 像 温 度	減 衰 量
25.9°C	23.7°C	2.2°C
27.7	25.7	2.0
29.3	26.3	3.0
30.8	29.4	1.4
31.8	29.5	2.3
34.3	32.2	2.1
34.8	33.5	1.3
36.8	34.1	2.7

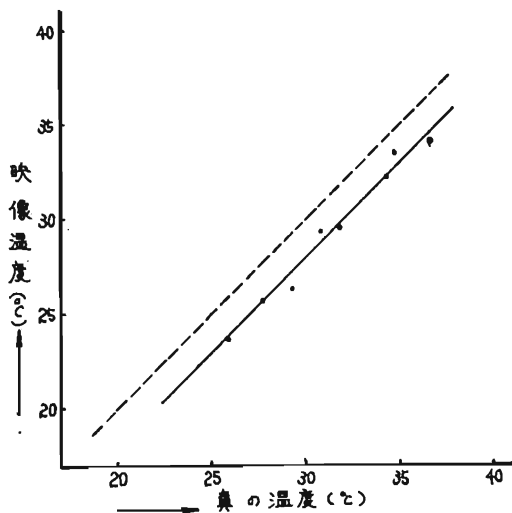


図 6 表 4 のグラフ

であると思料される。

赤外線を検出することによって、測温をする場合は、被写体の放射率によって補正を必要とするが都市を構成する物質は種々雑多であり、本研究の目的である上空からの二次元温度パターンの観測には放射率の補正は不可能であり現実的でない。この目的のためには全ての被写体の放射率を1とするのが現実的であるため放射率を1として実験を行なった。このための誤差も実測値には含まれている。

湿度は実験中においても変動があるため、最大湿度をとった、被写体の温度と気温との間に関連性があるか否か調べたが特定な関連性は得られなかった。

オ 今後の課題

赤外線の大気による減衰は減衰要因である水蒸気、炭酸ガス等による影響が複雑に絡み合っているから理論的に減衰量を算出することは困難である。この困難性に対して2つの解決策がある。その1は水蒸気等をよく通過する波長を検出する検出器を選ぶことである。Te Hg Cd という検出器は大気の窓を利用しているため減衰が僅少である。その2は東京地方における年最高湿度時の減衰量を最大誤差としてとらえておくことである。この2つを今後の検討課題とする。

(2) 煙濃度と煙層距離による赤外線の減衰量測定実験

ア 実験の必要性

上記のように赤外線は水蒸気等によって影響を受けるが煙によっても減衰する。減衰要因である煙層距離が長い程又、煙濃度が濃い程多く減衰することが予想されるが、本実験は煙層距離と煙濃度をパラメーターとして減衰量(降下温度)を測定したものである。

イ 実験装置

煙を発生させる装置として図7の実験箱を作成した。この中には発煙器具(電熱器)3個、煙濃度測定用の光電セル2個、煙払はん用のファン3個を取り付けた。さらに1m、2m、3m毎に観測用の窓をつけ、各窓は透過性のよいマイラーフィルムで密封し、右端には沸騰している水を入れた容器(以下「基準温度源」という)を2個設置した。

ウ 実験方法

発煙材としては生成煙の粒子径が小さい木くずと線香、粒子径の大きい発煙筒とウエスを選んだ。これらの煙を箱に充満させ、ついで徐々に排煙し、その状況をグラフで記録した。適当な濃度の時1m、2m、3mの観測窓から基準温度(100°C)を赤外線撮像装置で測温し温度の降下量を測定した。

エ 実験結果

各発煙材別の減衰傾向を図8～図11で示す。この結

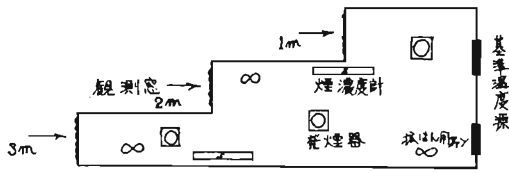


図7 実験装置

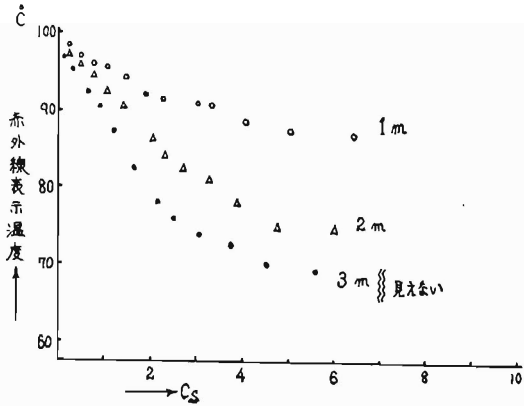


図8 「木くず」の減衰傾向

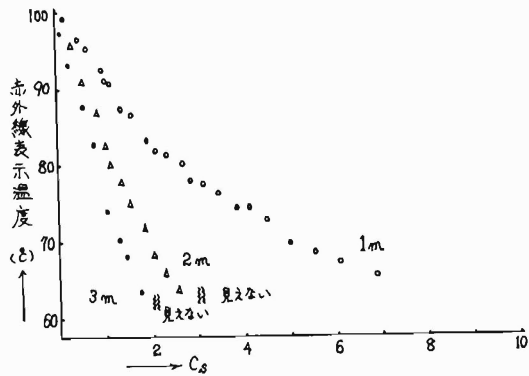


図9 発煙筒の減衰傾向

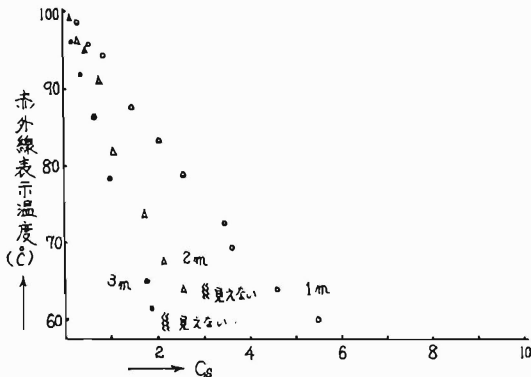


図10 ウエスの減衰傾向

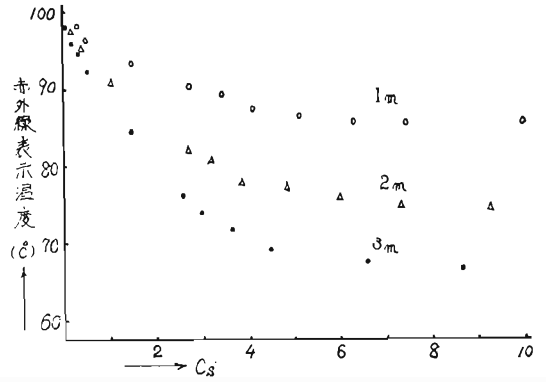


図11 線香の減衰傾向

果から一般的に確認することができることは、発煙材によって減衰傾向が異なるという事である。

線香、木くずの煙は粒子径が小さいため減衰が比較的緩慢であるが、ウエス、発煙筒の煙は粒子径が大きいため急激な減衰傾向を示す。煙濃度が一定以上になると赤外線を検出することができない。100°Cの物体から放射される赤外線の検出可能範囲を表5で示す。写真1, 2, 3は基準温度源の映像である。

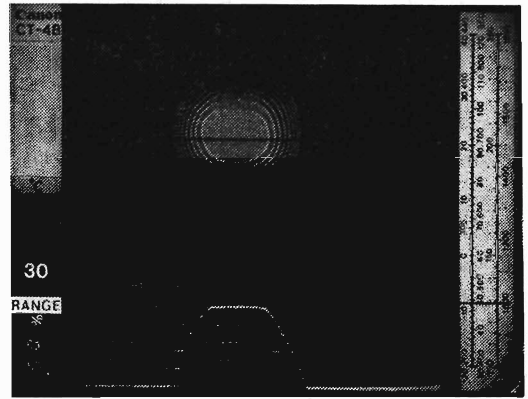


写真1

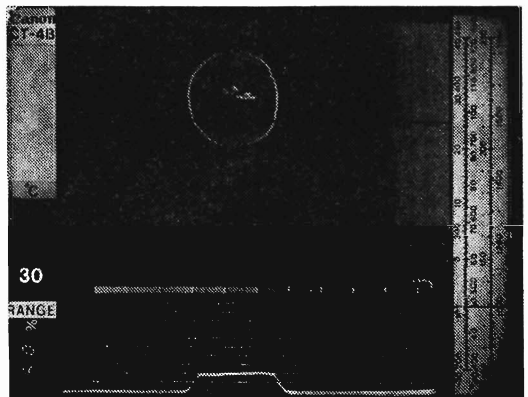


写真2

表 5 検 知 可 能 範 囲

	木  く  ず	線  香	ウ  エ  ス	発  煙  筒
1 m	Cs = 7 以上 (V. L = 38cm 以下)	Cs = 10以上 (V. L = 27cm 以下)	Cs = 7 以上 (V. L = 38cm 以下)	Cs = 7 以上 (V. L = 38cm 以下)
2 m	Cs = 7 以上 (V. L = 38cm 以下)	Cs = 10以上 (V. L = 27cm 以下)	Cs = 3 まで (V. L = 90cm 以上)	Cs = 3 まで (V. L = 90cm 以上)
3 m	Cs = 6 まで (V. L = 45cm 以上)	Cs = 10以上 (V. L = 27cm 以下)	Cs = 2 まで (V. L = 140cm 以上)	Cs = 2 まで (V. L = 140cm 以上)

(注) Cs: 相対減光係数  
V. L: 煙中での見通し距離 ( $V. L = 2.7/Cs$ )



写真 3

次に各発煙材の煙の減衰傾向を、1 m、2 m、3 m 毎に同一座標軸にプロットしたグラフを図12～図14に示す。このグラフによると各煙層距離共通に線香と木くずは同一状態の減衰を示しており、発煙筒とウエスの煙も同一の減衰傾向を示している。ここで線香型の煙と発煙筒型の煙に大別しよう。

煙層距離が2倍、3倍になると温度減衰量も2倍、3倍になるかを、発煙筒型と線香型において調べたのが表6と表7である。この表から多少のばらつきがあるものの煙層距離が2倍、3倍になると温度減衰量も1 mの時の2倍、3倍になるといってよいであろう。この実験では最大3 mの減衰傾向を調べたものであるが、これよりも大きい距離に対しても上記の事実が適合するものと考えてよいだろう。これに基づいて書かれたグラフが図15と図16である。

オ 結論

本実験から次のことがいえる。

- (イ) 赤外線の見減衰傾向は煙の種類によって異なる。
- (ロ) 煙濃度が一定以上になると、もはや赤外線を検出することができない。
- (ハ) 発煙筒とウエスの煙及び線香と木くずの煙はそれぞれ同一の減衰効果を及ぼす。
- (ニ) 同一煙、同一濃度では温度減衰量は煙層距離に

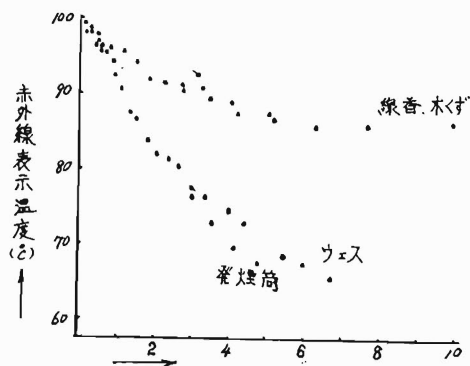


図12 煙層距離 1 mの減衰傾向

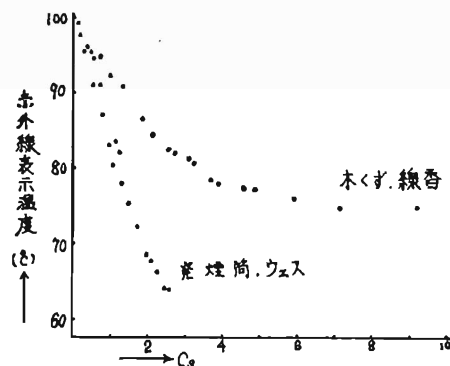


図13 煙層距離 2 mの減衰傾向

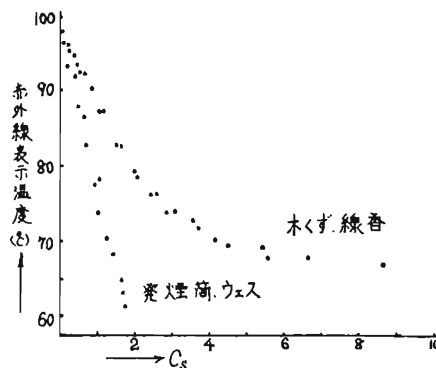


図14 煙層距離 3 mの減衰傾向

表 6 発煙筒型煙の減衰比

Cs	距離	
	2 m	3 m
3.0	1.94	2.80
2.5	1.95	2.79
2.0	1.96	2.85
1.5	1.97	3.02
1.0	1.97	3.10
0.5	2.02	3.00
0.2	2.14	3.27

減衰比とは 1 m の時の減衰量で 2 m, 3 m の減衰量をそれぞれ除したものである。

表 7 線香型煙の減衰比

Cs	距離	
	2 m	3 m
3.0	1.90	2.78
2.5	1.94	2.79
2.0	1.90	2.81
1.5	1.88	2.76
1.0	2.08	3.01
0.5	1.94	2.91
0.2	1.91	2.90

比例する。

考 察

結論(=)に基づいて書かれたグラフが図 15 と図 16 である。これは煙層距離をパラメータとして、横軸に煙濃度、縦軸に温度減衰量(-dT)を表わす。例えば発煙筒型の煙においては Cs = 2 (見通し距離 1.3 m) 厚さ 3 m の時は 50°C 近く減衰することになる。

グラフ上の破線は 100°C の物体から放射される赤外線を検出できる限界を示す。

上空から地上の温度を観測することが本研究の目的であるが、大火災の場合には濃煙が地表面を覆いかくし、しかも煙の厚さも、煙濃度も時々刻々と変化するので、上空から煙層の下にあたる地表面温度を測定することは困難である。

3. おわりに

本研究の目的は上空からの温度測定である。赤外線を利用したリモートセンシング技術は農業、海洋、気象等の分野で現在実用化されている。消防的応用としてはアメリカで山火事の発見、監視に利用されているが一般火災での利用はその例をみない。都市の地表面温度を測定した例は多くみられるが、映像温度がその地点における真温度とどの程度一致するかは不明である。いずれにしても遠隔測定によって測温する場合は正確な温度を目的とするよりマクロな温度分布をみる

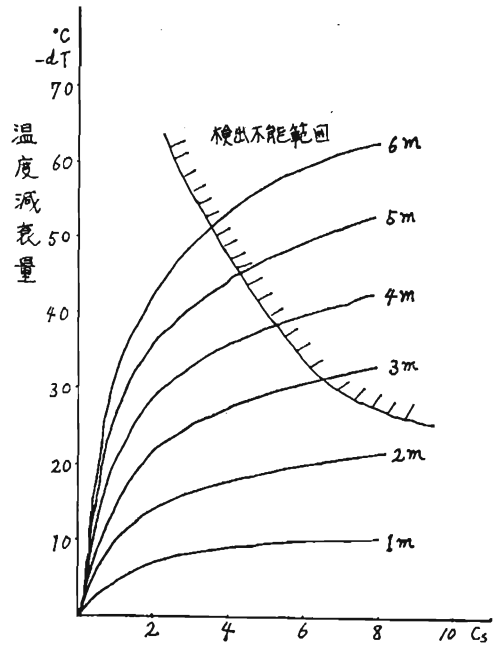


図 15 煙の距離別減衰量(線香型)

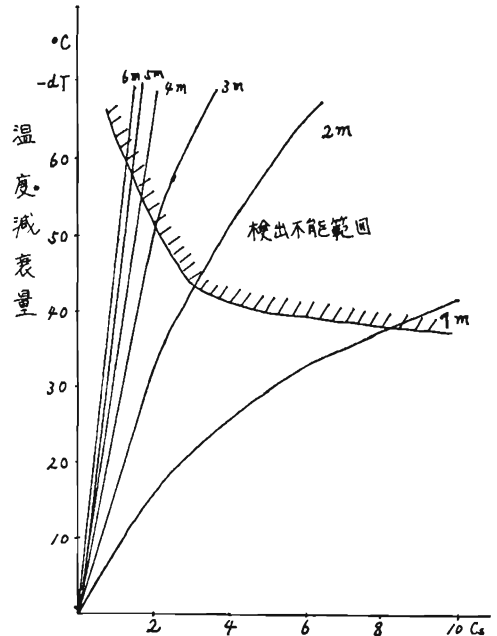


図 16 煙の距離別減衰量(発煙筒型)

ことが有益なことであろう。赤外線技術は大きく進歩しており、可視光から遠赤外までを 12ch にわけて撮像するマルチスペクトル、スキャナーが開発されており、さらには、雲、濃煙を通過して地表面を観察できる SLAR (side looking airborne RADAR) も開発されている。

今後これらリモートセンシング技術は消防活動の面

においても、充分利用する価値があるものと思われる。

### 参 考 文 献

和田正信：赤外線工学

藤井澄蔵：赤外サーモグラフィとその応用

藤井澄蔵：航空機搭載用赤外線カメラ装置

土屋 巖：都市のリモートセンシング

松野久也：リモートセンシング概説