

防火植栽の基礎的研究

中 村 貞 一

Fundamental studies on fire protection plantings

by

Sadaiti Nakamura

目 次

は し が き 11頁

第1部 植木の抗火力(測定と比較)

1. 植木の抗火力に関連する諸性能の測定	12
1. 1. は じ め に	12
1. 2. 木の葉の引火性	12
1. 2. 1. 着 火	
1. 2. 2. 木の葉の燃焼過程と燃焼の型	
a. 燃焼型と着焰性試験	
b. 着焰性による樹種の分類	
c. 考 察	
1. 3. 植木の引火時間試験	15
1. 3. 1. 引火性の尺度としての引火時間	
1. 3. 2. 小型電気炉による引火時間試験	
1. 3. 3. 大型ガス炉による引火時間試験	
1. 3. 4. 引火時間について小型大型両試験の比較	
1. 3. 5. 引火時間を尺度とした樹種の分類	
1. 4. 植木の葉の乾燥速度(定温加熱)	20
1. 4. 1. 抗火力と乾燥速度	
1. 4. 2. 実験装置・操作	
1. 4. 3. 乾燥速度の比較方法	
1. 4. 4. 考 察	
1. 5. 防火植栽の熱透過度	25
1. 6. 総 括	25
2. 火災実験による植木の抗火力の測定	26
2. 1. は じ め に	
2. 2. 火災の規模・性状	
2. 3. 実験方法と装置	
2. 4. 実 験 結 果	
2. 5. 考 察	
2. 6. 要 約	

第2部 植木の火事熱遮り効果の計算法

1. 熱照度の計算法	33
1. 1. は じ め に	33
1. 2. 完全拡散面熱源からうける熱照度(一般式)	33
1. 3. 立体角投射の法則による熱照度計算	34
1. 3. 1. 立体角投射の法則	

1. 3. 2. 球熱源からの熱照度	
1. 3. 3. 円柱熱源からの熱照度	
1. 4. 錐面積分法による熱照度計算	36
1. 4. 1. 錐面積分法	
1. 4. 2. 矩形面熱源からうける熱照度	
1. 5. 熱 伝 達 率	37
1. 5. 1. 熱 伝 達 率	
1. 5. 2. 熱伝達率の計算	
1. 5. 2. 1. 矩形面熱源からの熱伝達率(1)	
1. 5. 2. 2. 矩形面熱源からの熱伝達率(2)	
1. 5. 2. 3. 球熱源からの熱伝達率	
1. 5. 2. 4. 円柱熱源からの熱伝達率	
1. 6. 障害物のあるときの熱伝達率	39
1. 6. 1. 球障害物をもつ矩形面熱源による熱伝達率(1)	
1. 6. 2. 円柱形障害物をもつ矩形面熱源による熱伝達率	
1. 6. 3. 球障害物をもつ矩形面熱源による熱伝達率(2)	
2. 植木の火事放射熱遮り効果の推定計算法	43
2. 1. は じ め に	43
2. 2. 計算の可能性と前提	43
2. 3. 植木を障害物とする火事熱伝達率計算法	43
2. 3. 1. 立体角カメラを利用する計算法	
2. 3. 2. 植木を球とみなした推定計算法	
2. 3. 3. 植木を円柱とみなした推定計算法	
2. 4. 植木を障害物とする熱照度計算法	50
3. 植木の火事熱遮り効果	51
3. 1. は じ め に	51
3. 2. 1棟火事の熱遮りについて植木の効果の推定計算	51
3. 2. 1. 木造2階建住宅火事(1)	
3. 2. 2. 木造2階建住宅火事(2)	
3. 2. 3. 木造2階建学校型建築の火事	
3. 2. 4. 考 察	
4. 要 約	56
引 用 文 献	56
英 文 梗 概	57

は し が き

都市が不燃構造でおおいつくされない限り防火植栽の必要はなくならないであろう。まして山林は不燃構造とする可能性すらまず疑問である。

日本の防火植栽ないしは植木の抗火力の研究は関東大震災の焼跡の調査にはじまるといつても過言ではないほど新しく、主として大火事や戦災地の焼跡調査の帰納的取まとめが主となつてきた。第2次世界戦争の進展につれて、防火植栽についても実験的研究が要望され、にわかに各研究機関でこれに着手されたのであつたが、実験は木の葉の含水率の比較測定に始つて、木の葉の発焰の遅速の比較に着手した程度で終戦となつたようであつた。そして戦後は実験を主体とする防火植栽の研究がつづけられているのは林業試験場の井上桂氏の外には寡聞にして承知していない。外国にもまず見あたらない。

防火植栽を「計画」するについては抗火力の大きい樹種の発見とならんで、植栽によつてどれだけ火事の熱照度が低下するか（熱放射の伝達率が植栽によつてへらされるか）を計算した上で必要な植栽量をはじき出すだけの数量的計画性があるべきである。筆者の意図するこの目標に到達するにはまだ道はやや遠いが一応いままでに断片的に造園雑誌、火災学会論文集、林学会誌などにそのときどきに発表してきたものを整頓し、必要な補いと訂正をふくめて、多少とも一貫したものに取まとめたのが本稿である。

第1部においては、火事における植木の抗火力の程度——炎上する建物から周辺への火焰や放射熱の分布に対応して示される植木の抵抗力——をまず明かにすること、さらに各樹種が示す抗火力の大小をするために着焰性、引火時間、乾燥速度の比較試験を行い、それをもとに抗火力の判定を試みた。

第2部においては、火事の放射熱の外方への直接伝達率を計算する方法を見出すこと、それには熱放射の伝達は照明と同じ法則にしたがうから、照明計算の分野の成果をある程度利用した。そして火焰面と受熱点との間に植木という熱障害物が入ってくる場合に熱伝達の計算で植木をいかにとり扱つたらよいか、そのような場合の計算法を展開した。それによつて防火植栽がある場合の熱伝達率の計算ができるし、また植栽の熱遮断の効率を計算できる。そしてこの計算法に従つて標準的な一棟火事の場合の植木の防熱効果を試算してみた。

もともと火事には不定常な因子が相当入ってくるので、熱伝達の計算などをするにはある程度假定を設けて、その上にたつて立論することはやむをえない。それで假定の設け方になお再考を要する点もあらうかと思われ、各専門家のご批判を仰ぐことができれば幸である。

ほそそとしてこの研究がここに辿りつくまでには恩師関口鉄太郎教授のご指導はもとより直接教えと庇護をうけた先学は数限りもないが、とりわけ堀内三郎技官、細井守技官、藤田金一郎博士、川越邦雄技官、岡田喜義博士、杉原彦一助教授、竹崎嘉真博士、富塚清博士、渡辺要博士、森脇竜雄氏、小坂立夫氏の諸氏にはいろいろのご指導とご高配とをえた。また実験については京都大学造園学研究室の諸氏ならびに鈴木忠義、宇野佐、鎌田基、糸賀黎の諸氏のご助力を仰いだ。ここに謹んで深い感謝を捧げる。そして本稿をまとめる機会を与えられた梶田演習林長、上田教授に厚く謝意を申しのべる。

なお本研究に要した費用の一部は昭和25年度科学研究費交付金ならびに昭和29年度科学研究助成金に仰いだものである。

第1部 植木の抗火力（測定と比較）

1. 植木の抗火力に関連ある諸性能の測定

1. 1. はじめに

熱に対する植物の強さは、生物学的には加熱によつて細胞が生活力を失う限界温度（maximal temperature）が最も問題となり、これについては Lepeschkin, W. (1912), Kanitz, A. (1915), Matisse, G. (1919), Collander, R. (1924), Bělehrádek, J. (1935)¹⁾, Sapper, I. (1935), 浜田・増山 (1952)²⁾, Heilbrunn, L. V. (1952)³⁾ その他多数の研究がある。防火植栽の問題としても、植木がうける傷みの立場からは限界温度は大切な問題ではあるが、火事の延焼を防ぐという効用の立場に立てば、植木が熱や焔にたいして家屋の楯となる役目を失わない限界条件をはつきりさせることが問題のかなめとなるであろう。

植木がはげしく加熱されると、体内に——ことに枝葉に——保つていた豊富な水分を段々失い、著しくしおれをみせ、ついで葉に引火して黒焦げになるか焼失してしまう。防火植栽の効用（延焼防止）の立場からは、この引火の段階こそ防火の機能を失う限界として最も重要であつて、植木の引火と加熱の量及び時間との関係、またこの限界に至りつくまでの植木の水分の減り方（乾燥速度）、さらに木の葉が引火の際にあらわす燃焼の型及び引火の難易について樹種にあらわれる様々の個性などを、都市の庭・公園・道路などにふつう使われる植木について、また山火事防止のためには林木について調べておくことが防火植栽を考究する基礎として一応必要であろう。

この分野における先人の実験的研究としては、外国にはまだその研究あるをきかず、日本では筆者の知る範囲では、天日による樹葉の乾燥の遅速について佐藤の樹種比較試験（1944, 針葉樹14種, 広葉樹42種）⁴⁾があり、定温加熱による樹葉の乾燥の遅速の樹種比較試験において細井（1944, 51種）⁵⁾と、木村・加藤（1947, 針葉樹13種, 広葉樹62種）⁶⁾が見出される。なお上記の各氏はいずれも併せて樹葉の含水率を測定している。

また樹葉の燃焼については井上・中元⁷⁾（1950）の研究があり、樹葉の発焔に至るまでの経過の観察と電気炉の口に金網をのせ木葉（37種）を焙り、その燃焼状況、発焔に至る平均時間・不発焔の現象の発生する率などを取扱つている。

上記の諸研究をもつてしてもこの分野の探究はまだ全く緒についたばかりであるので、筆者もまた先人の開拓地を拡げることと、新しい装置の工夫によるいくつかの試験を試み、植木の葉の乾燥速度・引火性・引火時間などについてなるべく多数の樹種にわたつて比較試験を行つた。

1. 2. 木の葉の引火性

1. 2. 1. 着火

木の葉を高温で加熱するとふつうは焔をたてて燃える。しかしこのような燃え方のほかに、焔をたてないで着火することもあるし、口火によつて引火する場合もある。これらすべてをひつくるめて広義の着火と名付ける。着火をさらに細分するについては秋田の分類をもとに、つぎのように定義することとする。

着火 (ignition) 加熱によつて自然に（口火なしに）焔をたてて燃焼する現象。

引火 (flashing) 加熱の途中でスパークとか高温の固体とかの口火や火種を与えたとき、急に焔をたてて燃焼をおこす現象。

無焔着火 (flameless ignition または carbon ignition) 加熱によつて生成された炭素に火がつく現象。

機構としては木の葉に火のつく現象は以上の3つでつくされる。

しかし着火にあたつて焰をたてるか否かにとくに注目する場合には、**着焰**(着火と引火を包括する)と**無焰着火**の2に区分するのが便利⁹⁾なこともある。本稿においてもときには便宜上この分類を用いるであらう。

1. 2. 2. 木の葉の燃焼過程と燃焼の型

加熱によつて木の葉のうける変化は、 $50^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 程度の低い加熱では木の葉は徐々に鮮緑色を失いつつ乾燥してゆき、温度を上げると、ついで炭化をはじめ、加熱度に応じて淡褐色から黒褐色の焦げ色がつき、変色は加熱時間に応じて表面から次第に内部に侵透してゆく。そして 300°C をこえる頃から燃焼は急にはげしくなり、燃焼の仕方が樹種によつていろいろ異つてきて、いくつかの型が区別されるに至る。しかし 550°C 以上に加熱温度を高めると、樹種の間の差異はまた縮つて、殆んど一様に鋭い連続的小爆音をあげ、水蒸気を吹出してから著焰して燃え去る。

a. 燃焼型と着焰性試験

燃焼の過程に樹種による型の相違を見出すのに都合のよいのは $500^{\circ}\sim 550^{\circ}\text{C}$ であつて、横型管状電気炉 (1.5kw 17頁の1. 2図) をつかつて実験したところでは木の葉の燃焼の過程に3段階の区分ができる。

第1段 まず水蒸気あるいはそれとガスの混合気をふきだす。その際に爆音をともなう樹種(B型)と伴わない樹種(A型)がある。

第2段 水蒸気がほぼ出つくすと煙をあげはじめ、そのうちに葉の一端に無焰火がつく(口火のない場合)

第3段 無焰火が拡大する途中(口火があればこの過程が省かれる場合が多い)で突如、音をたてて焰をあげ燃焼速度を急に速める場合と、徐々に燃えひろがつて、焰はついに出すことなく灰に化してしまう場合とある。

そこで第1段の燃焼にあらわれる型を次のように分類する。

A型 爆音を伴わない。

A₁ はげしく蒸気・ガスをふき出す。

A₂ 静かに気体をふきだす(髪をひねるような音を伴うことあり)

B型 爆音を伴う。

B₁ 鋭いやや大きい爆音を数回だす。

B₂ 小さい爆音をつづけて沢山だす。

B₃ におい爆音をたてて葉の面がはがれ大きな気泡をつくる。

今のべた型の例を2~3あげてみる。(詳しくは表1.1.を参照されたい)

A₁ モチ、ネズミモチ、ユズリハ、ツバキなど。

A₂ アカマツ、クロマツ、サカキ、サンゴジュ、キンモクセイ、アジサイなど多数。

B₁ ヒイラギ、イヌマキ、カヤ、カナメモチ、イチョウなど。

B₂ アラカシ、ヒノキ、イチイ、マテバシイ、ウバメガシ、ヤツデ、ヤマザクラなど。

B₃ アオキ。

燃焼第3段において焰を伴うか否か(着焰か無焰着火か)は樹種によつてそのどちらかとハッキリ分類できる定性的性質ではなく、実験をくり返すと着焰と無焰着火が混るのであるが、着焰回数⁹⁾の確率において樹種の特性が見出される。

加熱温度 500°C と 550°C について、その実験結果をつぎに示す。(表1.1.)

b. 着焰性による樹種の分類

防火植栽といつても火焰に直接触れる時間が長くつづけばついに燃えてしまう運命にあるが、その際にももし焰をたてずにもえる(無焰着火)樹種があれば防火樹木として非常に役立つであらう。例えば建物に接近した植栽は楯となつて建物がうける熱照度を著しく低下させる。木造建築の火事の火

表 1.1. 植木の着火性比較試験

樹 種	着火回数 (繰返 7 回実験)			550°C	燃焼型
	500°C		平均		
	値				
針 葉 樹					
1. アカマツ	7. 7. 7.		7	7	A ₂
2. アスナロ	0. 0.		0	6	B ₂
3. ダイオウシヨウ	6. 4. 4.		5	7	A ₂
4. ヒマラヤシーダ	5.		—	7	A ₂
5. ヒノキ	4.		—	7	B ₂
6. イヌマキ	2. 1.		2	6	B ₁
7. イチイ	2. 4.		3	7	B ₂
8. カ ヤ	3.		—	7	B ₁
9. コウヤマキ	1. 1.		1	7	B ₁
10. コウヨウザン	1. 3.		2	6	B ₁
11. クロマツ	7. 6.		7	7	A ₂
12. サワラ	1. 0.		1	7	B ₂
13. ス ギ	5. 3.		4	6	B ₁
広 葉 樹					
14. アオキ	1. 2. 1.		2	6	B ₃
15. アラカシ	5.		—	7	B ₂
16. ヒイラギ	1. 0.		1	7	B ₁
17. ヒサカキ	2. 3.		3	7	B ₂
18. イヌツゲ	2.		—	6	B ₁
19. カナメモチ	2. 2.		2	7	B ₁
20. キンモクセイ	5. 4. 5.		5	7	A ₂
21. クロガネモチ	0. 0.		0	7	B ₁
22. ク ス	2. 3.		3	7	A ₂
23. クチナシ	3.		—	7	B ₁
24. キョウチクトウ	0. 2.		1	6	A ₂
25. マサキ	0. 1. 0.		1	7	B ₁
26. マテバシイ	4.		—	7	B ₂
27. モツコク	3.		—	6	B ₁
28. モ チ	5. 4.		4	7	A ₁
29. ネズミモチ	2.		—	7	A ₁
30. サカキ	3.		—	7	A ₂
31. サンゴジュ	2. 0. 0. 2.		1	5	A ₂
32. サザンカ	0. 0.		0	5	B ₁
33. シ イ	1. 3. 3. 3.		3	7	A ₂
34. シキミ	0. 2.		1	7	A ₁ (又はB ₁)
35. シヤリンバイ	2.		—	7	B ₁
36. タイサンボク	5.		—	7	B ₂
37. タラヨウ	3.		—	7	A ₂
38. トベラ	2. 5.		3	6	B ₁
39. ツバキ	5. 4.		4	7	A ₁
40. ツブラジイ	2.		—	7	B ₂
41. ウバメガシ	2. 3.		3	7	B ₂
42. ヤマモモ	0. 0. 2.		1	7	B ₁
43. ヤツデ	0. 0. 1.		1	7	B ₂
44. ユズリハ	1. 1.		1	7	A ₁

盛りは普通ごく短時間 (3~6 分間) であるから、熱照度の低下は建物引火の阻止あるいは時間的引伸しとなつて、結局それが延焼阻止の効果をもつことが實際上多いのである。しかし植栽自身が途中で引火し着火燃焼をおこすようでは建物延焼阻止を全うしない。また防火植栽の外側が焰の出にくい樹種で構成されてあれば、より内側の植栽の延焼の時間的引伸しに役立ち、植栽全体の防火的価値を著しく高めることが考えられる。

表 1.1. をみると加熱が 550°C を越えるほど強烈であれば、どの樹種も引火を免れないが、500°C では樹種の違いに著しい差ができて引火の難易について大略の分類ができる。

以下に分類をしてみよう。
(500°C 加熱)

1. 着火燃焼の傾が大きいもの

アカマツ、クロマツが典型的で、ダイオウシヨウ、*ヒマラヤシーダ、アラカシ、キンモクセイ、マダケ、オカメザサ、タイサンボク、カエデなど。

2. 無焰着火の傾が大きいもの

アスナロ、コウヤマキ、ヒイラギ、*クロガネモチ、マサ

*これまでの書物に大王松はもえても焰をださない (文献(10) p. 135)、ヒイラギが比較的に燃えやすく、且つ燃えるとき焰をだして火を他の木に伝えやすい (文献(10) p. 136, (11) p. 1, 233) という記載があるが、この実験では少しちがった結果があらわれている。

キ, サンゴジュ, サワラ, サザンカ, シキミ, ヤマモモ, ヤツデ, ユズリハが優秀で, ついでアオキ, ハコネウツギ, イヌマキ, イヌツゲ, イチジク, カナメモチ, コウヨウザン, ミズキ, ネズミモチ, シヤリンバイなど。

3. 中位のもの

アジサイ, ヒノキ, ヒサカキ, イチイ, イチョウ, カヤ, ケヤキ, クス, クチナシ, マテバシイ, モツコク, モチ, サカキ, シイ, スギ, スズカケ, タラヨウ, トベラ, ツバキ, ウバメガシなど。

c. 考 察

木の葉の着火機構はつぎのようであろう。^{12) 13)} 加熱によつて熱分解が起こり, 種々の可燃性気体と液体微粒子が生成されると同時に固体の炭素を生じる。この分解生成物の可燃性気体に空気が混つて必要な濃度の可燃性混合気が生じる。そこへさらに着火のために必要なエネルギーの蓄積が加わると混合気は着火し焰をだして燃焼を始める。あるいはスパーク, 口火など別の源からエネルギーが十分に供給されると引火が生じる。ところが分解生成ガスの散逸がはげしいか, 着火に必要なエネルギーが十分与えられないか, 酸素不足であつたりすると, 着火や引火はついにおこらず, 表面に炭を生じていわゆる焦げの現象だけがおこる。この固体の炭素は適当な加熱の下では空気中の酸素と反応して表面燃焼をはじめ。この炭素の燃焼の現象が無焰着火であつて, 混合気の濃度には無関係であり, 酸素(主として空気)の供給にかかる点で着火や引火と異なる。

この実験で, 木の葉が着火や引火をせず無焰着火をする場合がおこる原因としては, 引火に必要な口火は決して不十分とは思えないから, 分解生成ガスの散逸, あるいは蒸発する水分による混合気の稀釈がおこつて, 可燃性混合気が着火に必要な濃度に達しない結果と推定される。

無焰着火の現象を物理化学的に解明することはこの研究の目標を外れるのでこれ以上の追求はやめる。

1. 3. 植木の引火時間試験

1. 3. 1. 引火性の尺度としての引火時間

加熱をはじめてから口火により引火するまでに要する時間を引火時間と呼ぶことにし, 定常加熱の下で木の葉の引火時間と加熱の強さとの間の関係を求めたのが図1.1.¹⁴⁾である。一見して明かに引火時間の対数と加熱の強さの対数とは直線関係にある。そして4の樹種について各直線にはほぼ平行関係がみとめられるから, 少なくともある範囲(1,600~6,600 Kcal/m²hr)では, 引火時間は加熱の強さに無関係に引火性の大小をあらわす一つの尺度となる。これは加熱の強さを温度で表しても同じ¹⁵⁾く成り立つことで, 最近, 秋田氏が木材について 500°~800°C の範囲で同じくこの関係が成り立つことを発表している。

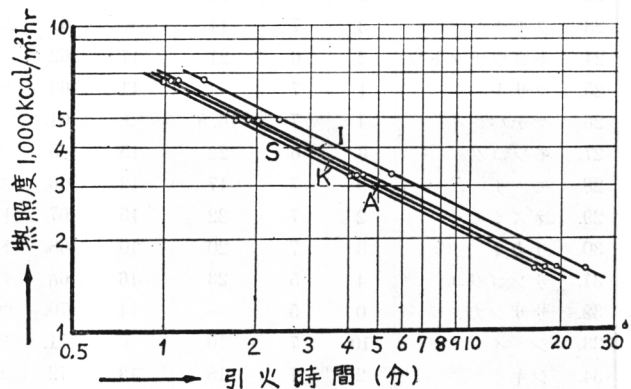
植木の抗火力を定量的にあらわしたり, 防火植栽に適する樹種を選択しようとするとき, この引火時間を樹種比較の一つの尺度にとるのが便利である。

1. 3. 2. 小型電気炉による引火時間試験

管状電気炉の炉内中央部で定常加熱の下に74樹種の木葉の引火に要する時間を測定したものである。

a. 実験の装置と操作

図 1.1. 加熱の強さと木の葉の引火時間との関係



A. アラカシ I. イチョウ K. クス S. シイ

表 1.2. 植木の引火時間比較試験 (500°C及550°C加熱)

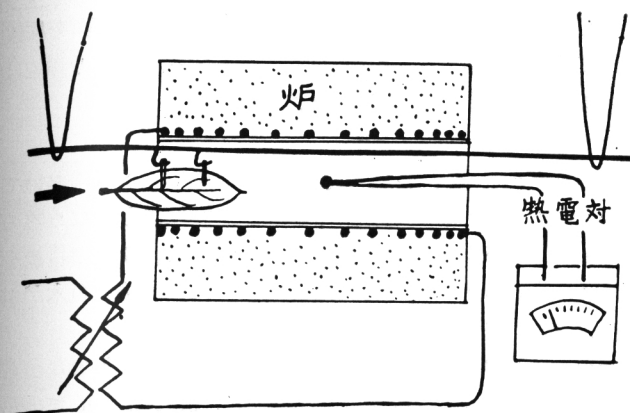
樹 種	引火回数*		引火時間平均値 (秒)		樹 種	引火回数*		引火時間平均値 (秒)	
	500°C	550°C	500°C	550°C		500°C	550°C	500°C	550°C
針 葉 樹					38. トベラ	7	6	16	13.5
1. アカマツ	21	7	27	14.5	39 ツバキ	9	7	18.5	13
2. アスナロ	0	6	—	15	40. ツブラジイ	2	7	10	8
3. ダイオウシヨウ	14	7	34	18	41. ウバメガシ	5	7	15.5	9
4. ヒマラヤシーダ	5	7	16	12.5	42. ヤマモモ	2	7	11	9
5. ヒノキ	4	7	30	16	43. ヤツデ	1	7	—	18.5
6. イヌマキ	3	6	27	13	44. ユズリハ	2	7	22.5	15.5
7. イチイ	6	7	40	18	落 葉 樹				
8. カ ヤ	3	7	24	15.5	45. アオギリ	5		7.5	
9. コウヤマキ	2	7	25	15	46. アジサイ	9		19	
10. コウヨウザン	4	6	21.5	17	47. エノキ	7		8	
11. クロマツ	13	7	28	15	48. エンジュ	5		9.5	
12. サワラ	1	7	30	17	49. ハユネウツギ	4		15	
13. ス ギ	8	6	22	15	50. ハクモクレン	7		12	
常緑広葉樹					51. フ ウ	7		10	
14. アオキ	4	6	15	12	52. イイギリ	5		13	
15. アラカシ	5	7	13	9	53. イヌエンジュ	5		10	
16. ヒイラギ	1	7	28	16	54. イロハカエデ	5		10	
17. ヒサカキ	5	7	15	12	55. イタヤカエデ	7		7.5	
18. イヌツゲ	2	6	18	14	56. イチジク	5		16	
19. カナメモチ	4	7	16	11.5	57. イチヨウ	7		15	
20. キンモクセイ	14	7	11	7	58. ケヤキ	7		7	
21. クログネモチ	0	7	—	15	59. コナラ	7		11	
22. ク ス	5	7	11	8	60. ミズキ	9		13	
23. クチナシ	3	7	14	8	61. ムクノキ	7		7.5	
24. キヨウチクトウ	2	6	21	17	62. ニセアカシヤ	7		8	
25. マサキ	1	7	—	11	63. センダン	7		10	
26. マテバシイ	4	7	16.5	9	64. シダレヤナギ	7		9.5	
27. モツコク	3	6	22	15	65. ソメイヨシノ	7		8.5	
28. モ チ	9	7	17	13	66. スズカケノキ	7		11.5	
29. ネズミモチ	2	7	22	15	67. トチノキ	5		10	
30. サカキ	3	7	20	10	68. トウカエデ	7		9.5	
31. サンゴジユ	4	5	23	16	66. チヤンチン	7		11.5	
32. サザンカ	0	5	—	14	70. ウツギ	7		19	
33. シ イ	10	7	10	8	71. ヤマザヤラ	7		8.5	
34. シキミ	2	7	18	13	72. ユリノキ	7		11.5	
35. シヤリンバイ	2	7	18	14	竹 類				
36. タイサンボク	5	7	17	13	73. マダケ	7		5.5	
37. タラヨウ	3	7	21	14	74. オカメザサ	7		5.5	

備 考 * 各樹種について実験繰返回数はもつと多く、7～28回の範囲であるが、無焰着火に終わった回数は除外してあるから、引火回数の少い樹種が生じた。

横型管状炉 (1.5 KW, 内径 7 cm) を加熱し、変圧器の操作によつて所要温度に保つてゆく。炉内温度はアルメル・クロメル熱電対で知る。

直径 8mm の鉄棒に鉤をつけ、鉤にピンをつるし試料をこれで挟み、棒をすべらせることによつて試料を炉の中央部へ送りこむ (図 1.2.) 炉内でとまる試料の位置を毎回同一に保つことに特に苦心を

図 1.2. 引火時間実験装置



払った。点火用口火としては先を細めたガラス管から噴き出すガスの小焰（長さ約 1.5cm）をつかつた。試料を炉に送りこんだのち、口火を 5～2 秒おきに接近させて試料が引火するに要する時間を stop watch ではかる。

b. 実験結果

加熱温度を 500°C と 550°C とし引火時間を表 1.2. にしめす。

1. 3. 3. 大型ガス炉による引火時間試験

前にのべたように（1.3.1），木の葉の引火性の大小をあらわすについて引火時間はその一つの尺度となりうるものであり，前節において小型電気炉をつかつて，同一加熱条件で多数の樹種の葉の引火時間比較試験を行いその結果をのべた。

しかしながらにぶん小型電気炉加熱試験——以下，小型試験と略称する——は炉管の内径に制約されて，枝からもし一枚ずつの葉について測定せざるをえなかつた。土に根を下した生きた木についている多数の葉が，火事するときこの小型試験の場合とあまり違わぬ抗火力を示すかどうかは一応実証的にたしかめてみる必要があろう。火事ないし実物大の火災実験でこれを確かめることはとても許されないが，実際の火事になるだけ近い状況で実験吟味してみる方法として，大型ガス炉をつかつてハチつきの植木の全形のままあるいは大枝を試料として葉の引火時間を測定することを思いつき，その機会をえたので両試験の結果を比較して，さきにえた実験値に吟味を加えた。

a. 実験装置と測定方法

加熱装置（図 1.3. 1.4）.

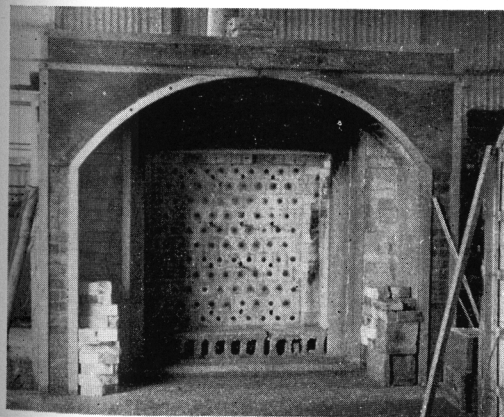


図 1.3. 耐火試験用ガス加熱炉（建築研究所）

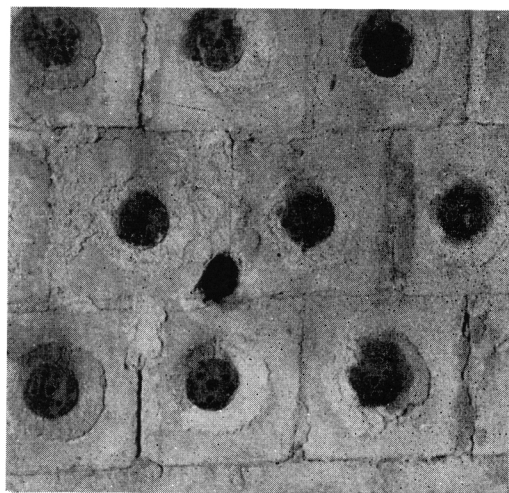


図 1.4. 同 右 部分図（ガス孔を示す）

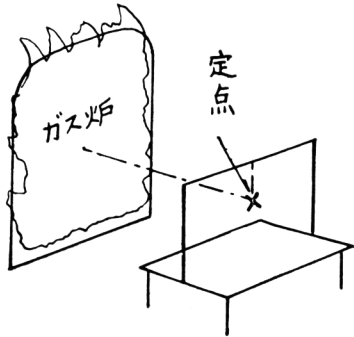
建設省建築研究所で建築材料の耐火試験用にこしらえた大型ガス加熱炉の使用の便を与えられた。その構造は耐火煉瓦の壁面上に縦 95cm 横 105cm に 105 個のガスバーナーが間隔 10cm で千鳥模様

に配列してある。1つのバーナーは直径7mmのガス孔を中心としてその周囲の9個の小孔からなり、点火すると集つて1のガス焰を形ずくる。そしてすべてのバーナーがまた全体として1火焰面を構成する。加熱の強さと加熱面の温度分布は壁体裏側のコックの調節で任意に加減できる。構造の詳細はこれと同型の東大建築学教室の加熱炉について詳細な文献があるからそれにゆずる。^{15) 16)}

測定方法(図1.5).

炉の加熱面の中央前方(80cm)に定点を設け試料の置き場所とする。加熱の強さは、定点において加熱面に平行な面が 0.95 W/cm^2 の熱照度をうけるように調節したがコックの開閉にともなう熱のtime-lagで2~3%の動揺はさけられなかつた。加熱の目標を 0.95 W/cm^2 にしたのは、前に行つた家屋火災実験で植木が引火したときの実測値から割り出したものである。

図1.5. 大型試験の測定方法



測定の前後にサーモパイルで定点の熱照度をたしかめながら、試料の中心を定点において葉の引火時間をstop watchではかる。引火の口火にはガラス管の先を細めて豆粒大のガス焰を点じたものを用意し5秒おきの間隔で試料に近づけた。

b. 試料及び結果

植木10種類18本(高さ70~150cm)を1部はハチつきのまま加熱し引火させ、1部は20~30cmの枝に切取つて試料とした。樹種はさきの小型試験をおこなつた樹種74のうちから20種類をえらびだしたのであるが、実験に当つて全部は入手できなかつ

表1.3. 大型ガス炉による植木引火時間比較試験(1)(試料: 切枝)

群	番号	樹種	熱照度 W/cm^2	回数	引火時間		備考	小型試験の引火時間(秒) 550°C加熱
					値(分)	平均値(分)		
A _s	1	アスナロ	0.965	3	2'40"~3'10"	2'53"		15
	2	サワラ	0.95	5	2'50"~3'0"	2'56"		17
D _s	3	アカマツ	0.95	5	2'30"~3'10"	2'48"	引火後の延焼猛烈	14.5
	4	クロマツ	0.95	5	2'10"~2'50"	2'26"	"	15
A _k	5	サンゴジュ	0.965	4	2'35"~3'0"	2'46"	口火をとり去ると消えやすい	16
	6	サザンカ	0.925	5	2'30"~2'50"	2'38"		14
	7	シキミ	0.95	4	2'30"~2'55"	2'36"		13
D _k	9	キンモクセイ	0.965	5	1'40"~1'50"	1'44"	引火後の延焼猛烈	7
	10	クス	0.965	4	1'40"~2'00"	1'52"	"	8
M		スギ板*	0.975	3	1'50"~2'0"	1'55"	植木と木材の比較のため	

* 火災による木材の延焼については文献17及11を参照されたい

たので10種類について行つた。なお木の葉と比較するために木片——表面のあらい白味のスギ板、厚み7mm 大きさ6cm×15cm, 気乾——を加えた。

引火時間の実験結果は、植木全形試験と切枝試験とにわけて表1.3.及び1.4.に示す。

1.3.4. 引火時間について小型大型両試験の比較

小型試験による引火時間の樹種間の順位から、実際の火事の際の引火時間の順位がおおよそ推定できるかどうかを判定する一資料として、引火時間について小型大型両試験の相関関係をしらべてみる。

小型試験による引火時間をA群(表1.3第9欄)、大型試験のをB群(同第7欄)とすると両群の相関関係は図1.6.のとおりで、両群の相関係数rは

表 1.4. 大型ガス炉による植木の引火時間比較試験 (2) (試料: 全形植木)

群	番号	樹 種	熱照度 W/cm ²	回数	引 火 時 間		備 考	小型試験の引火時間(秒) 550°C加熱
					値 (分)	平均値 (分)		
A _s	1	アスナロ	0.975	1	3'00"			15
D _s	3	アカマツ	"	1	2'35"		引火後の延焼猛烈	14.5
	4	クロマツ	"	1	3'00"		"	15
A _k	5	サンゴジユ	"	2	2'55"~3'00"	3'00"		16
	6	サザンカ	"	2	1'50"~2'00"	1'55"	枝葉の少い貧弱な木	14
	7	シキミ	"	2	2'40"~2'50"	2'45"		13
	8	ヒイラギ	"	2	3'00"~3'20"	3'10"		16
D _k	9	キンモクセイ	"	2	1'35"~1'45"	1'40"	引火後の延焼猛烈	7

$$r = 0.935$$

となる。標本数 $N=10$ $\alpha=0.02$ の危険率で r の有意水準は 0.72 であるから、 $\alpha \leq 0.02$ の危険率で両群の相関関係は有意とみとめられる。

r は標本相関係数であるから、これからさらに母集団相関係数 ρ を推定してみると

信頼度 0.95 で $0.72 < \rho < 0.98$

0.98 で $0.65 < \rho < 0.985$

がえられ、この両引火試験に共通な樹種については相当高い相関がみとめられる。

大型試験の樹種の選び方が、小標本論を適用できるような完全な任意標本とはいいがたいから、小型試験の全樹種について大型試験を行つたとしたら、上にのべたほどの高い相関率がえられるとはいえないが、しかし小型試験の結果から実際の火事の際の抗火力を推定しても、まるで見当ちがいの推測は出てこないであろうというみきわめをつける役には立つたと思う。

1. 3. 5. 引火時間を尺度とした樹種の分類

引火時間についての小型大型両試験の結果である表 1.2, 1.3 及び 1.4 を参考として、引火時間の遅速によつて樹種を 3 段階に分類したものが表 1.5 である。

表 1.5 樹種別引火遅速等級表

A 級——引火所要時間の大きなもの——

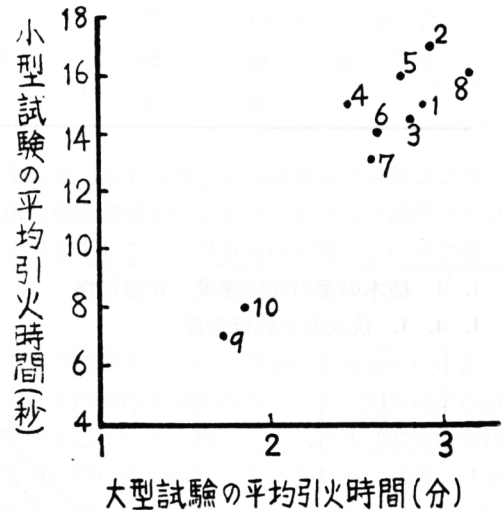
(針葉) アカマツ*, アスナロ, ダイオウシユウ*, ヒノキ, イヌマキ, イチイ, カヤ*, コウヤマキ, コウヨウザン, クロマツ*, サワラ, スギ* (常緑広葉) ヒイラギ, クロガネモチ, キョウウチクトウ, マサキ, モツコク, ネズミモチ, サカキ, サンゴジユ, サザンカ, タラヨウ, ヤツデ, ユズリハ, (落葉) アジサイ, ウツギ.

注意.* 印のものは引火後火勢が猛烈であるから防火樹には不適である。

B 級——中等度——

(針葉) ヒマラヤシダ, (常緑広葉) アオキ, アラカシ, ヒサカキ, イヌツゲ, カナメモチ, クチナシ, マテバシイ, モチ, シキミ, シャリンバイ, タイサンボク*, トベラ, ツバキ, ウバメガシ,

図 1.6. 引火時間に関する小型大型両試験の相関関係図



(落葉) ハコネウツギ, ハクモクレン, イイギリ, イチジク, イチョウ, ミズキ, スズカケノキ, チャンチン, ユリノキ。

C級——引火所要時間の短いもの——

(常緑広葉) キンモクセイ*, クス*, シイ, ツブラジイ, ヤマモモ (落葉) アオギリ, エノキ, エンジュ, フウ, イヌエンジュ, イロハカエデ, イタヤカエデ, ケヤキ, コナラ, ムクノキ, ニセアカシヤ, センダン, シダレヤナギ, ソメイヨシノ, トチノキ, トウカエデ, ヤマザクラ, (竹類) マダケ, オカメザサ。

注意 * 印のものは引火後とくに火勢がはげしい。

次に上表の樹種を針葉樹広葉樹などにまとめて考察してみよう。まず類別平均引火時間を求めると表 1.6. がえられる。

表 1.6. 類別平均引火時間

類 別	樹 種 数	500°C引火時間 (秒)	平均 値 (秒)	不 偏 分 散
針 葉 樹	12	16~40	27	38.8
常 緑 広 葉 樹	27	10~28	17	20.3
落 葉 樹	28	7.5~19	11	10.9
竹 類	2	5.5	5.5	—

ここに見られる類別の平均値の差は、推計学的計算をまつまでもなく大きな差であつて、引火時間だけに問題を限れば、針葉樹>常緑広葉樹>落葉樹>竹類の傾向は否めない。ただしこれは概括した大勢であつて、個々の樹種についてはすでに上の分類でのべた通りである。

1. 4. 植木の葉の乾燥速度 (定温加熱)

1. 4. 1. 抗火力と乾燥速度

火事るとき植木が建物への延焼を阻む役割をするが、その役割の大部分は葉によつて果される。多数の葉が展開してつくる熱遮断面が楯のように建物のうける熱照度を低下させるのである。それで木の葉が脱落したり、引火し燃えさつてしまつては植木の抗火力は消滅に近いものとなる。葉が引火したり、縮れて小さくなるなどの最悪の場合にたち至るまえに、葉は熱のために極度に乾燥している過程があるはずである。葉の乾燥速度を調べるのはそういう意味で植木の抗火力の考察の一基礎資料となるであろう。

これからのべる実験は1944年に細井守氏によつて手をつけられ51樹種について乾燥速度などの比較試験がすまされたのを筆者が引きつぎ、さらに80種余を追加実験して129樹種としたものであつて、以下便宜上細井氏の実験値を含めて表を作成しようと思う。

1. 4. 2. 実験装置・操作

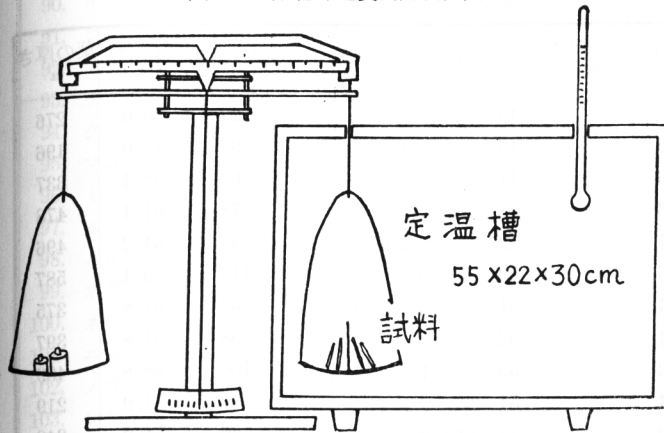
a. 装 置 (図 1.7)

梅井式水分乾燥測定器 (島津製) を用いた。その構造は定温槽——内法で $(55 \times 22 \times 30) \text{cm}^3$ ——と組合せになつた天秤 (感量 0.01g) があり、天秤の片方の皿だけが定温槽の中に入っている。試料は皿にのせたまま乾燥させ、その重量を槽外ではかる。

b. 試 料 と 操 作

実験のつど生立木から枝を切りとつてきて、葉を2~5gとり、皿にのせて乾燥を開始する。最も注意をそそいだ点は枝を切りとつてから実験開始までの間の乾燥をできるだけ抑えることと、天秤皿への葉ののせ方である。葉は臥せないで、立ててのせ、葉の両面から乾燥するようにつとめた。加熱温度は $105^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ である。重量の計り方は槽外で予め測つておき、定温槽に入れると同時に天秤の平衡を保たせた上、stop watch をおし、つぎに一定量の分銅を皿から取除く。そこで傾いた天秤が

図 1.7. 葉乾燥速度測定装置図



乾燥につれて再び平衡を回復する時刻を読みとり、さらに一定量の分銅をへらし同じ操作をくり返す。

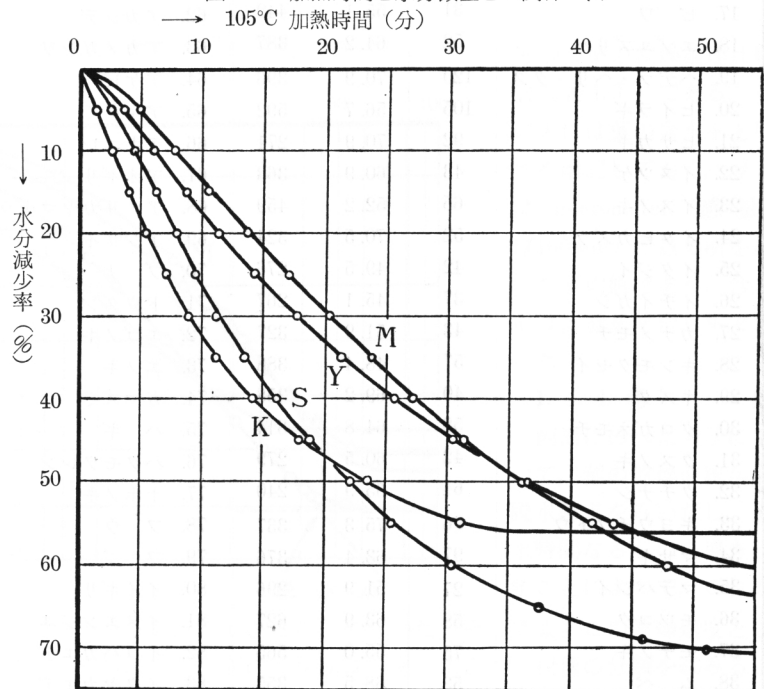
この実験方法で乾燥速度に大きい影響をすると思われる因子は、槽内の湿度と試料のおき方であるが、前者を一定にすることは難しいので槽の容積(36300 cm^3)に比べて非常に少量の試料を用いて湿度がなるべく上らぬようつとめたにとどまる。

1. 4. [3. 乾燥速度の比較方法

測定値を水分の減量と加熱時間を両軸にとつて図に画くと(図 1.8) 最初はほぼ直線的に減少するが、まもなく曲線は上向きとなり、極めて滑かに平衡水分に落つく。本来、自由水分の消失する時点は明確な数字にはしにくいものである。しかしこのグラフをみても、各樹種の乾燥速度の遅速は傾向として明につかむことができる。

ここでグラフを変形して、横軸に時間の対数値をとつてみると図 1.9 をえる*。こうすると最初下向きの曲線ではじまるが、やがてほぼ直線となつて進み、平衡水分に近づくところで急に上向きに移つて平衡水分におちつく。もしこのグラフに手を加えて、乾燥の直線部分と平衡水分の直線とを交らせるならば、その交点は明確な時点となる。そしてこれを自由水分消失の時点と近似的にみなしても実用上差支えはないであろう。そこでこの点を脱水点と名付け、脱水点に到達するに要した時間を脱水時間ときめるならば、脱水時間の測定によつ

図 1.8. 加熱時間と水分減量との関係 (1)



K. クヌギ M. モツコク S. サンゴジュ Y. ヤマモモ

て多くの樹種の乾燥の遅速を定量的に比較することがはじめて可能となる。こうして作成したのが樹

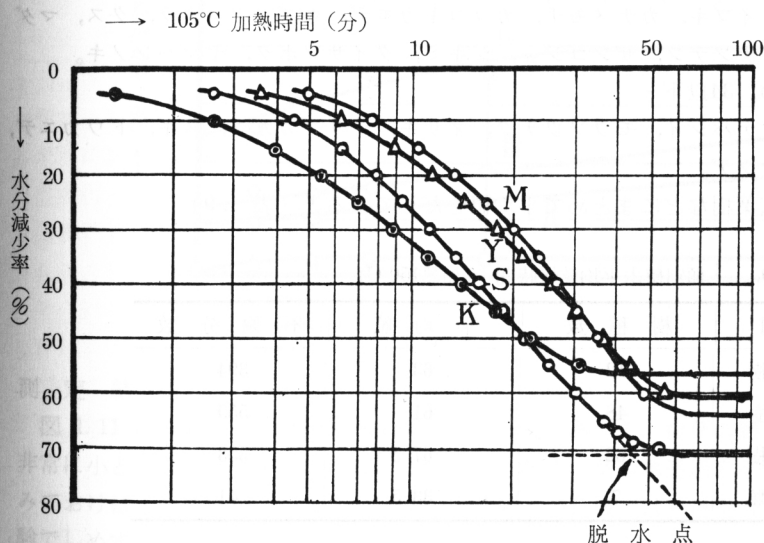
* 含水率と水分減少速度 ($\text{g}/\text{cm}^3\text{min}$) を両軸にとる普通の表し方は種々の材料に固有の乾燥特性が明かになるが、多くの材料の比較をこれによつて定量的に行うことは出来ない。

表 1.7. 植木の葉の乾燥遅速比較表

樹 種	105°C 脱水時間 分	含水率 %	葉の厚さ μ	樹 種	105°C 脱水時間 (分)	含水率 (%)	葉の厚さ μ
針 葉 樹				45. シリブカガシ	29	50.0	276
1. アカマツ	43	58.5	—	46. シロダモ	97	72.0	196
2. アスナロ	75	54.6	—	47. ソヨゴ	62	52.4	337
3. ヒマラヤシダー	41	58.3	—	48. シヤリンバイ	78	61.4	478
4. ヒノキ	78	57.1	—	49. タイサンボク	35	64.2	496
5. イヌマキ	75	61.6	—	50. タラヨウ	118	59.1	587
6. カイズカイブキ	45	55.4	—	51. テイカカズラ	63	61.8	375
7. コノテガシワ	77	56.1	—	52. トラベ	58	54.8	397
8. コウヤマキ	73	62.3	—	53. ツバキ	100	58.8	409
9. コウヨウザン	100	60.4	—	54. ツブラジイ	31	51.9	219
10. クロマツ	51	60.2	—	55. ツルグミ	56	64.9	340
11. ナ ギ	63	59.2	395	56. ウバメガシ	72	53.1	374
12. ス ギ	34	60.2	—	57. ヤブニツケイ	50	49.2	304
常緑広葉樹				58. ヤマモモ	57	59.7	234
13. アオキ	46	69.5	328	59. ヤツデ	28	67.4	410
14. アラカシ	54	50.3	366	60. ユーカリノキ	51	58.6	311
15. アセビ	70	54.2	366	落 葉 樹			
16. ビナンカズラ	58	80.4	264	61. アベマキ	68	56.1	155
17. ビ ワ	31	55.1	442	62. アカシデ	60	61.4	104
18. エゾユズリハ	52	64.2	387	63. アカメガシワ	48	65.2	223
19. ヘデラ・ヘリックス	120	70.9	396	64. アケビ	110	61.5	198
20. ヒイラギ	105	56.7	592	65. アキグミ	70	66.3	220
21. ヒサカキ	92	70.9	271	66. アキニレ	95	63.2	250
22. イヌツゲ	43	60.9	363	67. アオギリ	66	64.8	225
23. イスノキ	65	52.2	459	68. アメリカヤマナラシ	63	69.5	200
24. イタビカズラ	52	70.5	324	69. アジサイ	77	84.0	340
25. イタジイ	42	49.5	276	70. ブ ナ	72	59.9	140
26. イチイガシ	37	45.1	267	71. ドウダン	62	64.2	334
27. カナメモチ	43	51.9	327	72. エゴノキ	120	70.8	163
28. キンモクセイ	57	48.4	388	73. エノキ	60	53.8	278
29. キズタ	40	69.2	358	74. ガマズミ	50	54.3	175
30. クロガネモチ	58	64.8	314	75. ハ ギ	75	72.8	141
31. クスノキ	42	60.5	279	76. ハクモクレン	67	73.5	201
32. クチナシ	64	65.9	240	77. ホホノキ	73	67.1	290
33. キョウチクトウ	96	75.3	337	78. フ ウ	88	67.2	174
34. マサキ	97	63.4	376	79. フ ジ	45	66.3	117
35. マテバシイ	27	51.9	296	80. イイギリ	93	63.3	271
36. モツコク	58	63.9	627	81. イヌエンジュ	85	64.9	209
37. モチノキ	75	55.0	565	82. イロハカエデ	56	62.5	176
38. ム ベ	53	68.5	355	83. イタヤカエデ	42	61.7	126
39. ナナメノキ	65	59.7	196	84. イチジク	66	74.0	367
40. ナンテン	40	53.5	246	85. イチヨウ	66	70.1	279
41. ピラカンサ	75	57.6	282	86. カラタチ	64	65.2	218
42. サンゴジュ	45	70.0	301	87. カラコギカエデ	42	52.3	157
43. サザンカ	83	59.7	390	88. カツラ	78	73.3	228
44. シキミ	44	57.0	434	89. ケヤキ	80	59.4	204

90. キリ	67	76.4	194	111. ソメイヨシノ	65	62.2	194
91. コブシ	57	71.2	248	112. ツツジ	67	62.0	251
92. コナラ	49	53.7	122	113. トチ	28	74.1	148
93. クヌギ	34	56.6	164	114. トウカエデ	34	56.7	126
94. クリ	70	62.1	153	115. ツタ	105	78.6	179
95. マユミ	66	62.0	213	116. ウツギ	82	76.6	213
96. ミズキ	62	65.6	218	117. ウワミズザクラ	75	65.1	140
97. ムクゲ	47	72.8	260	118. ヤマハンノキ	46	66.9	197
98. ムクノキ	46	59.1	167	119. ヤマザクラ	94	61.0	234
99. ネグンドカエデ	98	72.6	145	120. ヤシヤブシ	75	61.3	190
100. ネム	49	68.5	216	121. ユリノキ	70	80.9	167
101. ニセアカシヤ	61	66.4	148	122. ザイフリボク	50	51.6	188
102. ノウゼンカズラ	61	78.6	148	竹類			
103. レンギョウ	64	78.8	207	123. ハチク	42	61.5	89
104. サンシユウ	85	72.1	160	124. クマザサ	23	48.9	180
105. サルスベリ	95	69.6	258	125. マダケ	40	61.4	123
106. サワグルミ	66	67.4	213	126. モウソウチク	31	59.9	86
107. シダレヤナギ	52	62.4	166	127. ネザサ	30	56.8	133
108. シナノキ	98	64.8	193	128. オカメザサ	35	56.9	117
109. シンジュ	62	59.1	182	129. ヤダケ	32	49.0	208
110. スズカケノキ	73	77.1	217				

図 1.9. 加熱時間と水分減量との関係 (2)



種別の葉の乾燥遅速比較表(表 1.7)である。この表には葉の含水率と厚さを附記しておく。厚さは micrometer (感量 1/100mm) で数カ所を計った平均値であり、含水率は湿量基準含水率で示した。

1.4.4. 考察

前節にのべた方法に従って、葉の乾燥曲線から脱水時点をみだし、脱水時間なるものを導き出すことによって、これを

尺度として樹種の中の乾燥速度の大小を一応比較できることになった。そこでまずこの乾燥速度とときに取上げた引火性の大小との相関を検討し、つぎに乾燥速度の大小によって樹種の分類を試みる。

(a) 乾燥速度と引火時間との相関

引火時間に関する表 1.2 と脱水時間に関する表 1.7 との両者に共通な樹種が 60 種あるから、それを取り出して各樹種について対応させ、A 群 (500°C 引火時間) と B 群 (105°C 脱水時間) との間の相関係数を計算して

$$r(A, B) = +0.255$$

をえた。標本数 $N=60$ 、自由度 $n=58$ のとき信頼度 $\alpha=0.95$ の有意水準は 0.253 であるから、

r(A, B)はまず有意とみとめられる。

b) 乾燥時間を尺度とした樹種の乾燥速度の等級

105°C 定温加熱による脱水時間を尺度として 130 樹種を分類すると表 1.8 がえられる。

表 1.8. 樹種別植木乾燥速度等級表 (樹名の配列は A, B, C 順)

A 級——乾燥速度おそく 105°C 脱水時間75分以上のもの——

アケビ, アキニレ, アスナロ, アジサイ, エゴノキ, ハギ, ヘデラ・ヘリックス, ヒイラギ, ヒノキ, ヒサカキ, フウ, イイギリ, イヌエンジュ, イヌマキ, カツラ, ケヤキ, コノテガシワ, コウヨウザン, キョウチクトウ, マサキ, モチノキ, ネグンドカエデ, ピラカンサ, サンシュユ, サルスベリ, サザンカ, シナノキ, シロダモ, タラヨウ, ツバキ, ツタ, ウツギ, ウワミズザクラ, ヤマザクラ, ヤシヤブシ。

B 級——中等度。74~50 ——

アベマキ, アカシデ, アキグミ, アオギリ, アメリカヤマナラシ, アラカシ, アセビ, ビナンカズラ, ブナ, ドウダン, エノキ, エゾユズリハ, ガマズミ, ハクモクレン, ホウ, イタビカズラ, イスノキ, イチジク, イチヨウ, イロハカエデ, カラタチ, キンモクセイ, キリ, コブシ, コウヤマキ, クリ, クロガネモチ, クロマツ, クチナシ, マユミ, ミズキ, モツコク, ムベ, ナギ, ナナメノキ, ニセアカシヤ, レンギョウ, サワグルミ, シダレヤナギ, シンジュ, ソメイヨシノ, ソヨゴ, スズカケノキ, シャリンバイ, テイカカズラ, トベラ, ツツジ, ツルグミ, ウバメガシ, ヤブニツケイ, ヤマモモ, ユーカリノキ, ユリノキ, ザイフリボク。

C 級——やや乾燥の早いもの。49~35 ——

アカマツ, アカメガシワ, アオキ, ハチク, ヒマラヤシード, フジ, イヌツゲ, イタジイ, イチイガシ, イタヤカエデ, カイズカイブキ, カナメモチ, カラコギカエデ, キズタ, コナラ, クス, マダケ, ムクゲ, ムクノキ, ネム, ナンテン, サンゴジュ, シキミ, タイサンボク, ヤマハンノキ。

D 級——非常に乾燥の早いもの。34以下 ——

ビワ, クマザサ, クヌギ, マテバシイ, モウソウチク, ネザキ, シリブカガシ, スギ, トウカエデ, トチ, ツブラジイ, ヤダケ, ヤツデ。

なお上記の樹種を針葉樹, 広葉樹などにまとめて平均値をだしてみると (表 1.9)

表 1.9. 類別植木平均乾燥時間 (加熱150°C)

類 別	樹 種 数	平 均 値	不 偏 分 数
針 葉 樹	12	63	394
常 緑 広 葉 樹	48	61	559
落 葉 樹	62	67.5	353
竹 類	7	33.5	41

この4類別の平均値の間に推計学的に差があるかどうかをみるために, 全変動, 級間変動, 級内変動を計算し, 分散比を求めてみると, 竹類だけに他の3者との差が認められ, 針葉, 常緑広葉, 落葉の3類の間では「同母集団の標本である」という帰無仮説が棄てられないことになる。(危険率0.05)

前にのべた引火時間については針葉, 常緑広葉, 落葉の3類の平均値にそれぞれ差がみとめられたのであるが, ここで脱水時間については3類の間に差がみとめがたいという結果になった。この両実験の結果を統一してどう解釈すべきかはいま明確にはわからない。たとえば高温加熱において乾燥過程は非常に早く完了し, 引火時間については乾燥速度の影響はいちじるしくなく, 何かもつとほかに支配的因子があるのではなからうかとも考えられる。

1. 5. 防火植栽の熱透過度

後にのべるような植木の火事熱遮断効果の計算を試みる場合には、植木の断熱スクリーンとしての効率を計上しなければならぬ。植木の断熱効率は1つは植栽が薄い場合に葉の分布の不均等によつてできる隙間の問題であり、もう1つは葉、ないしは植栽の熱透過度の問題である。

1. 5. 1. 木の葉の熱透過率の測定

測定方法

銅板と針金でこしらえた図 1.10 のような枠に試料の葉をクリップで固定し、横型管状電気炉（内径 7 cm）の前面約 20cm の距りに炉口に平行におき、葉のうしろ 1 cm に thermopile を据える。葉をへだてた熱照度と、葉をとり去った場の熱照度とを測定し、その比の百分率をもつて葉の熱透過率とする。

試料はヒノキ、ヤツデ（厚さ 390μ ）、ビワ（ 440μ ）の葉を用いた。このうちヒノキは構造上、葉の隙間が多いから3重にかさねたが、なお針の穴ほどの隙間は無数に残った。

測定場所の熱照度は $5,000\sim 8,000 \text{ Kcal/m}^2\text{hr}$ の範囲であつた。

図 1.10. 熱透過率の測定枠

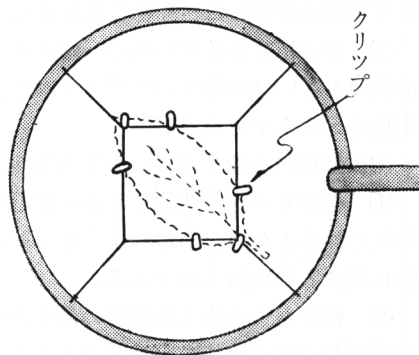
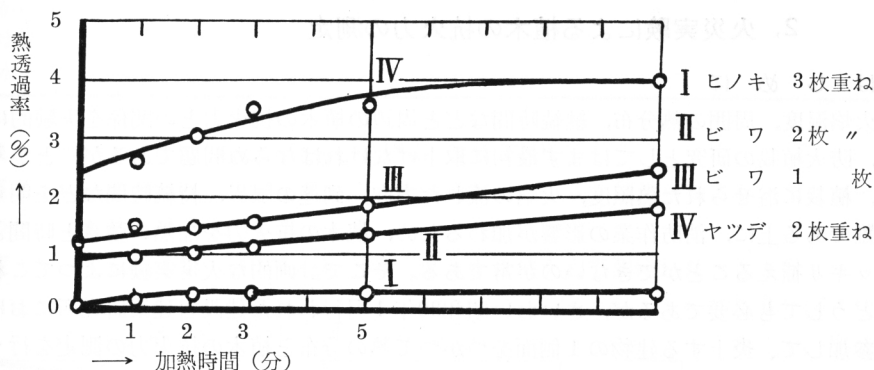


図 1.11. 植木の葉の熱透過率



測定結果

図 1.11 にみるとおり葉の断熱効果はかなり大であつて、樹葉の層を2～3層ぐぐれば熱透過率は非常に小となり、ヒノキの場合など1%以下となる。葉の熱透過率を概算で見積る場合には、5%とみておけば十分に安全といえよう。葉の密な植木の背後では熱透過は negligible であることは後の実験でしめす。

1. 6. とりまとめ

この章では植木の抗火力に関連をもつ木の葉の性質、能力について観察と測定を行い、かつそれを基に樹種の比較分類を試みた。ところで葉の無焰着火性（逆の観点からは発焰性）、引火時間、乾燥速度のそれぞれにあらわれる樹種の優劣（延焼阻止の観点からみて）は必ずしも傾向として一致せず、例えば引火時間では優秀とみとめられるものが、発焰性で難点を示したり、ときに甚しく交錯している。したがって延焼の阻止という目的に対して上記の比較尺度がいかなる場面で役立ち、いかなる条件において特性を発揮するかを究めておく必要がある。

引火時間を比較尺度として利用するに最もふさわしい典型的場面は

(1) 火源と植木の位置の関係が、葉の引火可能の限界に近いところで、植木が引火するか否かの岐れ目が加熱の継続時間にかかっているような環境であろう。引火可能距離は火焰面の大きさや風速に応じて定まるが、後にのべるようにふつう木造の一棟火事程度では、2～3分断続的に焰の到達する範囲までを引火可能の限界とみなして大過ないから（後述2.5.参照）、その限界附近から外では、植木の延焼がおこるか否かは主として葉の引火時間の長短にかかることとなる。

(2) 火焰にさらされる時間がごく短時間と予想される場所、例えば市街地では板葺の掛小屋など燃え落ちの早い建物の周囲、山火事の場合ではカヤ、ササなどの草生地で火線が迅速に移行する場所などでは引火時間の長い樹種であれば引火せずに終るであろう。

(3) 防火植栽が散在的あるいは孤立的で、たとえ1カ所の植栽に延焼し炎上することがあつても他の植栽あるいは建物への影響が少い場合は、発焰性をあまり考慮しなくとも引火時間において優秀な樹種をえらんで差支えない。

次に無焰着火性（逆にいつて発焰性）に主として顧慮を払わねばならぬ場合は

(1) 保護すべき構造物に非常に接近した植栽であつて、一旦植木に延焼すれば、却つて構造物への延焼の仲介となりかねないような位置、したがつて建物密集地域の小空地に植える防火植栽では発焰性に対する吟味は大切である。

(2) 幅をもつた防火樹林帯の最も外側を構成する植木に発焰性の少ない樹種を選べば、全体としての樹林帯の防火機能を高めるであろう。

防火植栽選択の指標としては乾燥速度のもつ意義は第2義的であつて、尺度としての引火時間の補いとして参考資料となる程度である。

2, 火災実験による植木の抗火力の測定

2. 1. は じ め に

火災の火焰温度、周囲の熱分布、継続時間などと周辺の植木の抗火力との関係を実験的に明かにすることは、防火植栽の研究としてはまず最初に取上げなければならぬ問題であるが、とかく火事の跡の調査は、植栽に浴せられた熱照度、火焰の流れた方向、到達の限界、持続時間などを明らかにすることが困難である上に、消防作業の影響が加わるため、植木の抗火力を加熱の強さと時間との関連においてハッキリ捕えることができないのが常である。そこで計画的な火災実験によつてこれを究明することがどうしても必要であるが、さいわい昭和30年1月行われた建設省建築研究所における総合火災実験に参加して、炎上する建物の1側面をつかつて熱の分布と植木の抗火力の測定を行う機会を与えられた。この実験については終始適切な指導と便宜を与えられた藤田金一郎博士、川越邦雄技官、観測と測定を手伝っていただいた鈴木忠義、鎌田基、糸賀黎の諸氏に負うところ大であり、謹んでここに深謝します。できれば同様の火災実験を繰返し行い、結果の信頼度を高めたいのであるが、経費のかかる実験であつて容易には企てられぬので、ただ1回の実験ではあるが次のべる。

2. 2. 火災の規模性状

実験に供した建物は建設省建築研究所試作の鉄骨コンクリート造り2階建（図2.1）の1階部である。

建物諸元 間口奥行ともに4.2m、高さ7.73m（地上から2階床上まで3.92m）。床面積16m²窓は南北にありともに高さ2.19m、巾2.84m。

構 造 鉄骨軽量コンクリート造。木造床組畳敷。木造野地防火天井。スチールサッシュ窓。2階床はP・Sコンクリート床版。

燃 料 気乾の廃木材800kg（50kg/m²）を畳上で、半分は壁にそつて燃えやすく積上げ、残りを室1面に配る。南側窓に白木綿をカーテン状にはる。

点 火 昭和30年1月28日13時40分。カーテンの下で点火。

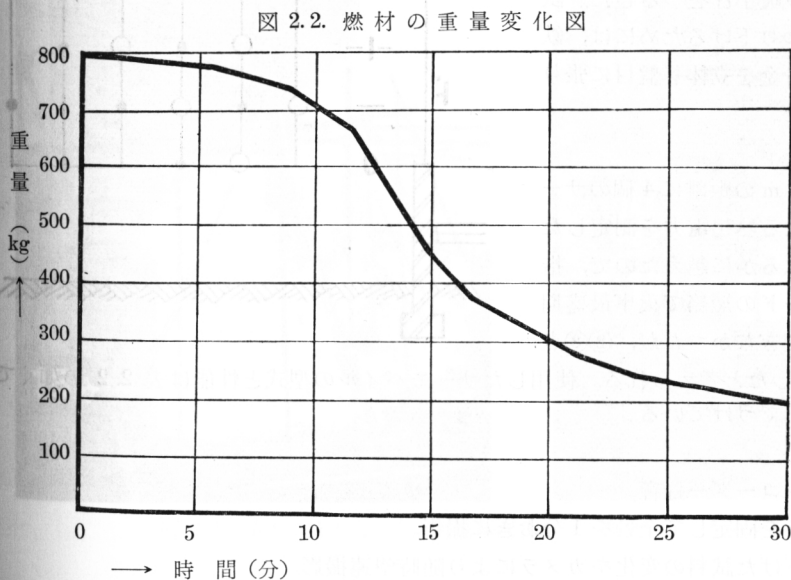
表 2.1. 火 災 中 の 観 察 事 項

時間	火 事 の 経 過	植 木	木 片
0分	南側窓下に点火。17秒窓ガラス割れ始める。		
1分	火は一畳程度。焰の高さ 1m		
4分	火は1～2畳程度に拡大。焰高 2m		
5分	焰は壁に沿って上り天井に達す	最前列 (1m) 中央上部萎れ始め	
7分			木片まだ発煙せず
8 ³⁰	南側から焰噴出約 50cm	1m列上半中央が焰に触れ始める	
9分	南側焰の出 2m弱。ガラスどんどん割れ落ちる。	1.5m 列上半が焰に触れ始める	
10分	天井の落下音はげしくなる。	1m 列上半中央葉が燃え落つ 1.5m 列上半焰にあふられる	
11分	南側焰の出 2～2.5m 焰の傾き大凡 45° 高さ 2階半ばに達す	2.5m 列上半が焰に触れ始める	1.5m 列中央引火
12分	焰の出は 2～2.5m	2m 列上部葉燃え始める 3m 列は異状なし	2m 列引火 3m 列まで発煙 2.5m 列引火
13分	焰は室一ぱいに渦巻く。焰の出は 3m見学者熱のため 15mまで後退	2m 列まで葉の燃落ち約半数	2.5m 列まで多数木片延焼中
14分	南側では火勢最盛。焰の出 3～3.5m	3m 列上中央の葉燃える	3m 列より前全部引火又は延焼中。3.5mの足場丸太発煙
15分	焰の出 3m		
16分	焰の出がへりやや下火に向う		4mの補強丸太前面焦げる
17分	天井が見えだす	葉は過半が燃え落つ	3m 列まで大半焼夫
18分	窓からの焰の噴出全くなくなる		
20分	火は畳の上で焚火状に燃える		
30分	注水消火		

気 象 薄曇，風速 1m/sec 以下。風向 ESE 乃至 ENE。

火事の経過 経過の記録は 1) 写真 2) 肉眼スケッチ 3) 観察事項のテープレコーダー録音を併せ行つた。主な観察事項を表 2.1 に示す。

燃焼速度 床組を抵抗歪計 (SR-4) 応用の荷重計 4 台で支えて測定した火災進行に伴う燃材の重量



量変化図 (図 2.2) でみると、燃焼速度が非常に速く、点火後 10～20 分の 10 分間に約 400 kg (燃料の半分) を焼失し、最盛期には 70 kg/min の速度で 25 分間に 600kg を燃えつくした。総発生量は約 23×10^4 Kcal/min と推定される。

室内火事温度

室内 25 点の測定値をまとめると、室の中央高以上は殆んど一斉に 5 分頃から急に温度上

昇し、室の下部は遅れて10分頃から一層急速度に上昇し、頂点は上部で 1100°C 、下部で 1000°C を示した(13~16分)。この室内上部の画いた温度曲線は JIS A1301 の木造家屋火災標準曲線(1級)には近いものであった。

輻射熱 後述の「熱照度測定」を参照。

要するに、今まで耐火造火災は温度が低く継続時間が長いものとされてきたが、この火事の経過は燃焼速度からみても、室内温度の推移からみても木造火屋火災に非常に近く、短時間にはげしい燃え方をした火事であつて、原因は建物の窓高が高く、窓面積が非常に大きいところにあると推定された。なお2階床版を火が貫通せず1階に止つたので、室内の火焰流は殆んどすべて南北2面の窓を通して進り出た。

2. 3. 実験方法と装置

装 置

建物1階(図 2.1)の南面ガラス窓(高さ 2.19m×幅 2.84m)の正面で上下 3.5m 奥行 3.5m の範囲の空間に一定の間隔で図 2.3 及び 2.1 のように60本の植木の枝葉を配置し、そのすき間にスギ板の小片を比較のためにつり下げた。

試 料

(1) マサキの20~30枚の葉のついた枝(平均含水率59%)を植木から切り取り、長さ 25cm 前後につくつて、水をみたした小瓶に挿し、予定の位置60カ所に針金でつるす。

(2) 気乾状態の粗面のスギ板(厚さ 0.75cm, 12cm×3cm)の片面に科研サーモペイント No. 5 (50°C 変色), No. 8 (80°C 変色), No. 30 (300°C 変色)を並べて塗り、番号を白エナメルで表示した。

配 置

マサキの枝は間隔が上下左右各1mになるよう、また前列のものの背後に重ならぬよう互いがいに配列し、そのすき間にスギ板小片をつるした。試料を計画の位置に正しくつり下げするためには、鉄アングルで枠をつくり、針金を立体基盤目に張りわたして交点につり下げた。

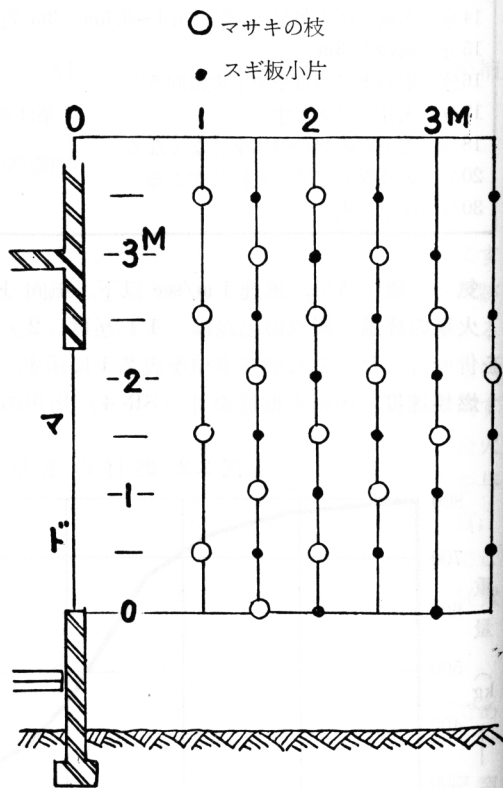
熱 照 度 測 定

窓から 2.25m, 4m, 6m の距離に4個のサーモパイルを据えて受熱による熱起電力を測定した(図 2.4)。火勢が予想をはるかに越えたので、指針のスケールアウトやリードの短絡で火事最盛期の熱照度を捉えることができなかったが、②③点でも頂点は $1\text{W}/\text{cm}^2$ に達したと考えられる。使用したサーモパイルの型式と性能は表 2.2 の如くで、校正は電気試験所大阪支所でうけている。

観 測 手 段

- (1) 観測事項のテープレコーダー録音。
- (2) 戸外の定点にカメラを固定して全景を1分おきに撮影。
- (3) 火焰の伸び、釣り下げた試料の変化をカメラにより随時望遠撮影。

図 2.3. 樹 枝・木 片 配 置 図



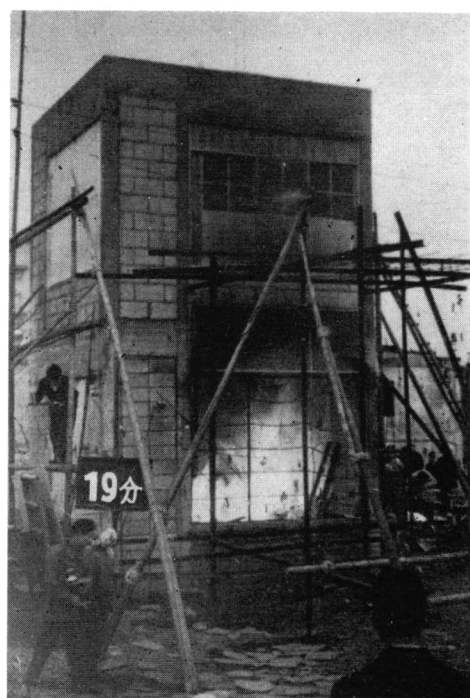
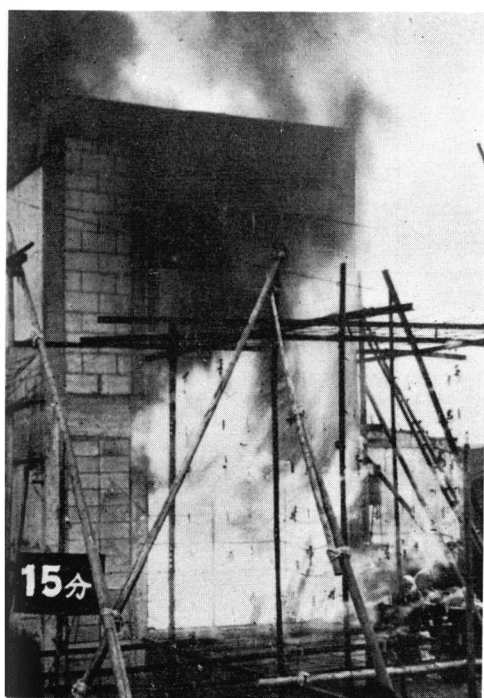
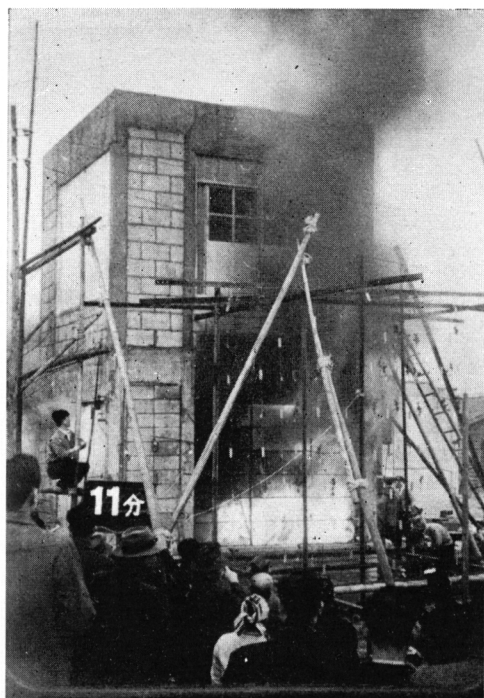


図 2.1. 植木の耐火力の火災実験状況 (1) ——カラーフィルムから転写——

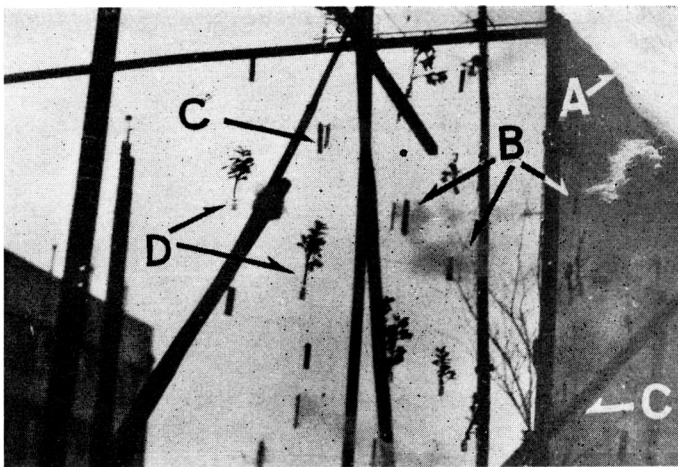


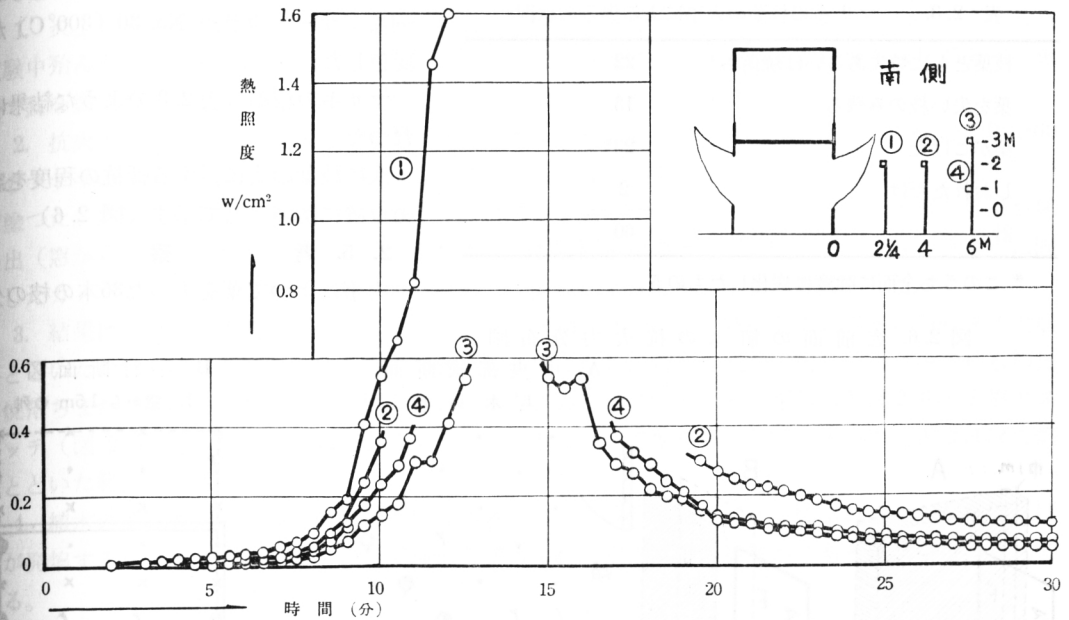
図 2.7. (上) 2.8. (下) 植木の抗火力の実験実況 (2) (3)

原画はカラーフィルムで木片の発焰など焰の色でよく判別できる。単色のこの写真でも板片に比べてマサキの枝葉の抗火力の大であることはわかるであろう（点火後13分頃の状態）

- A 火焰——火源の建物は右方にある
- B 発煙している木片
- C 焰をだしている木片
- D 木葉はついに燃えなかつた

- (4) 火焰と煙の形及び窓からの突出角度を毎分スケッチした (図 2.5)
 (5) 消火後、試料を点検して変化の状況を観察記録, 写真撮影。

図 2.4. 火災周辺の熱照度



備考 ①号パイルは $2.4 W/cm^2$ まで上昇して (12分20秒頃) リードが短終し以後測定不能
 ②③④は最盛時にスケールアウトした。

図 2.5. 焰のスケッチ

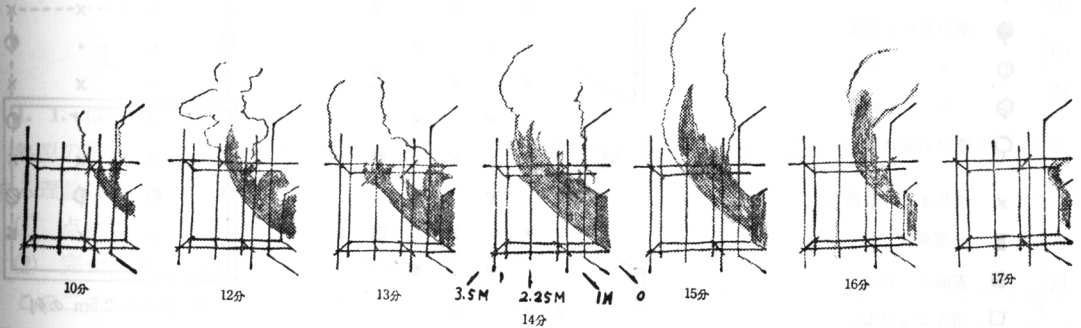


表 2.2. サーモパイルの型式と性能

型	エレメント の数	金属の組合せ	電圧感度* $mV/W/cm^2$		内部抵抗 Ω
			600°C	1000°C	
Moll	18	Manganin-constantan	89(750°C)	93	15
Moll	18	Fe-constantan	56	63	27
受熱片型	4	Bi-Sb-Te-Bi	—	159	23
受熱片型	4	同上	129	164	24

備考 * ポテンシオメーターによる

2. 4. 実験結果

耐火構造の火事としては予想以上に烈しく燃え、窓からの焰の出も大きく、13~16分の間は前方約3~3.5m まで火焰がとどいたので、つり下げた小枝と板片の約半数が焰に没する有様で、スギ板片

表 2.3. マサキの枝葉の火事による傷みの状況

枝葉ともに焼失あるいは焼落ち	22
葉を失い枝のみ残る	13
葉がこげた	23*
しおれただけ	2
計	60

* このうち全面に強度に炭化したもの5。

の $\frac{3}{4}$ は引火し燃落ち、残った木片も3m列までサーモカラー No. 30 (300°C) が変色した。

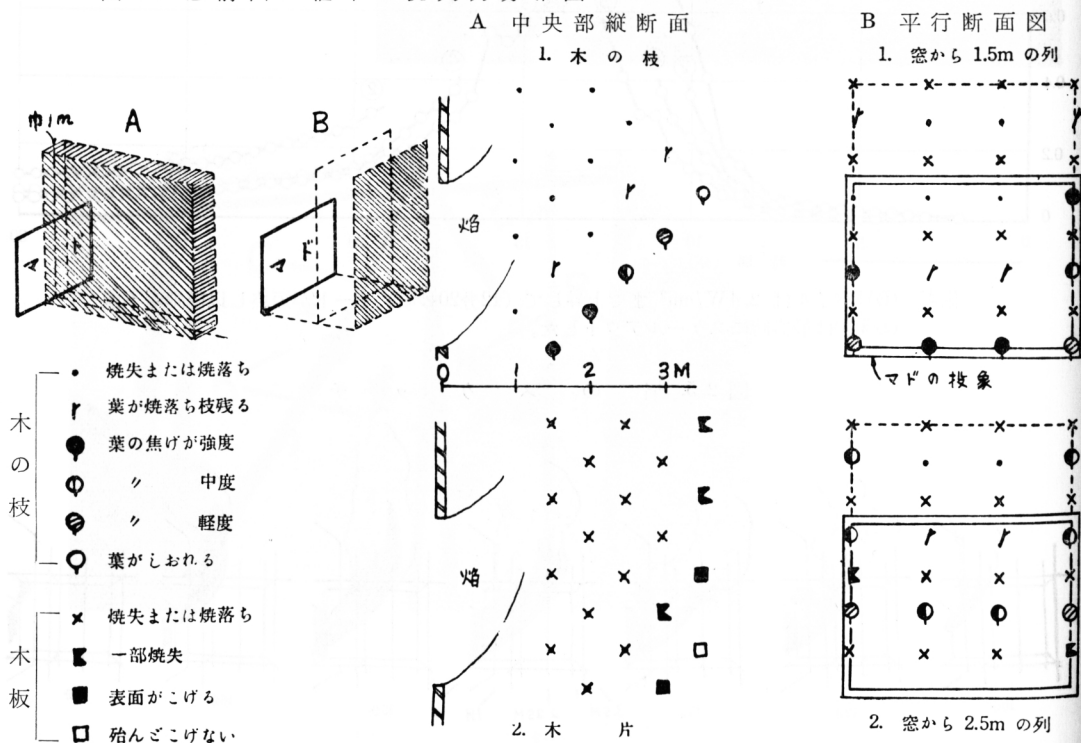
マサキの枝葉は表 2.3 のような結果になった。

次に枝葉の火に対する抵抗の程度を窓の位置に関連させて示す (図 2.6)

2. 5. 考 察

火事によつて葉を失った35本の枝の分

図 2.6. 窓前面の植木の抗火力分布図



布をみると、焰のとどいた範囲とほぼ一致していることがわかつた。木材は必ずしも焰にふれなくても熱放射だけでも発焰することが実験で明かにされているが、植木は大火災の場合は別として、普通の一棟火事程度の加熱条件では、たとえ加熱によつてひどく焦げても (炭化)、焰にふれる (引火) ことがなければ葉は燃えないとしてよいと思われる。これについて本実験中に捕えた写真 (図 2.7. 及び 2.8.) が参考になるし、また室内実験の結果でみると、約10秒で葉の表面が炭化するほどの強度の加熱を5分間続けても、加熱だけでは発焰しないが、これも上記の推論を裏書きするものであろう。

火事は無風に近かつたが、窓からの焰の出が約 45° の傾斜角で 3 m の距りまでとどいた時間がほぼ 3 分間つづいた。ふつうの木造火事では屋根が燃えぬけるので、ある程度の風速 (3.5~4 m) の風下でこの程度の傾きがみられるであろう*。

* 風方向の建物の厚みを 5 m として計算した。

2.6. 要 約

これは建設省建築研究所の行った耐火造火災実験に参加して、火事の熱や焰に対して植木がどの程度に耐えるかを確かめるために、窓前面に立体的に等間隔に配置した植木の枝葉の抗火力を実験したものである。

1. 炎上させたのは鉄骨軽量コンクリート造り建物の1階部で、南北におおの約6m²の窓がある。実験中殆んど無風であつたが、燃焼速度はかなり大で最盛期には70kg/minの速度を示し25分間に重量で $\frac{3}{4}$ を燃えつくした。室内上部の温度変化は木造家屋火災標準曲線には近い曲線を示した。

2. 抗火力の実験装置は南側窓の正面上下奥行各3.5mの範囲の空間に上下左右各1mの間隔で60本のマサキの枝葉を配置し、その隙間に比較のためスギ板小片をつるし、サーモペイント3種を並べて塗つた。熱照度を測定するためにいろいろの距離に4個のサーモパイルを据えた。火事の経過や焰の出(窓からの流出距離及び角度)をするために(1)観測事項のテープレコーダー録音。(2)定点に固定したカメラによる連続撮影と臨機の望遠撮影。(3)肉眼によるスケッチなどを併用した。

3. 結果は火事が予想以上にはげしく燃え、点火後13~16分の間は窓の前方約3~3.5mまで火焰がとどいたので、つり下げた小枝と板片の約半数が焰に没し、板片は $\frac{3}{4}$ が引火し、マサキの枝も約 $\frac{1}{2}$ が焼落ちまたは葉を失つた。枝葉の抗火力の程度を窓の位置に関連させて図示した図2.6と火焰のスケッチ(図2.5)とを比較してもわかるように、火事によつて葉を失つた35本の枝の分布はほぼ火焰のとどいた範囲と一致している。

4. 植木の葉は普通の一棟火事の程度では加熱によつてひどく焦げても焰にふれることがなければ葉が発焰することはまずないと、この実験から認められ、室内実験の結果からもそれが裏付けされている。

5. 植木の葉は普通の粗面の木板よりは抗火力がややまさる。少なくとも同等以上であるとみとめられる。

第2部 植木の火事熱遮り効果の計算法

1. 熱照度の計算法

1.1. はじめに

熱源の形・大きさ・熱放射の強さ・熱源からの距離などを知つて任意の受熱点がうける熱量を計算する理論は

- (1) 点熱源についての距離の逆二乗の法則と、
- (2) 完全拡散面についての Lambert の余弦法則

この二つから出発してこれを組合せることにより、拡がりのある熱源についても、その形が単純な場合には簡便に熱照度を計算する方法がいろいろ展開されてきた。そして熱放射は原理的に照明と同じ法則に従うものであるから、照明計算についての最近の成果の中に熱照度の計算に転用できるものが少なくない。

1.2. 完全拡散面熱源からうける熱照度(一般式)^{31) 32) 33) 34) 35)}

1.1 図において熱源 S は完全に乱反射をし、表面の熱輝度が方向に関して一様な面即ち完全拡散面であるとする。 S の微小面積 dS の熱放射の強さを J 、熱発散度を R 、熱輝度を B 、熱照度を E とすれば、面 S の法線と α をなす方向の熱放射の強さ $J\alpha$ は Lambert の余弦の法則から

$$dJ\alpha = \frac{R}{\pi} \cos\alpha \cdot dS = B \cos\alpha \cdot dS$$

である。受熱面 T 上の任意の一点 P がうける直接熱照度 E_p (以下単に熱照度という) は入射方向

が法線と β の角度をなすときは

$$dEp = \frac{dJ_{\alpha} \cos \beta}{r^2} = \frac{B \cos \alpha \cdot dS \cdot \cos \beta}{r^2}$$

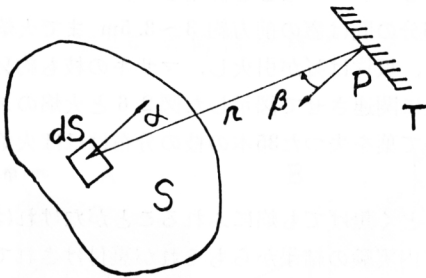
であるから熱源 S による P 点のうける熱照度 Ep は

$$Ep = \int_{(S)} dEp = \int_{(S)} \frac{B \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot dS}{r^2} = \frac{1}{\pi} \int_{(S)} \frac{R \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot dS}{r^2} \quad (1.1)$$

もし熱源 S が全面に一樣な密度で放射をしている等熱輝度面である場合には

$$Ep = B \int_{(S)} \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot dS}{r^2} = \frac{R}{\pi} \int_{(S)} \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot dS}{r^2} \quad (1.2)$$

1. 1. 図



(1.1) 式は任意の形をした完全拡散面熱源に対する任意の点の熱照度を求める一般式である。理論的にはこの方法によることがいつも可能なはずであるが実際には熱源の形が複雑になると積分が困難となる。したがって計算を容易にするためにいろいろの工夫が提案されている。

a) 直接積分法 (または表面積分法) ……(1.2) 式をそのまま計算するもの。

b) 立体角投射法則による方法 (Solid angle projection method)。……後述 1.3.

c) 立体角による方法…… Waldram diagram^{33) 35)} や Higbie, H. 提唱の protractor method^{33) 35)} など。

d) 錐面積分法 (または境界積分法) (contour integration method) ……後述 1.4.

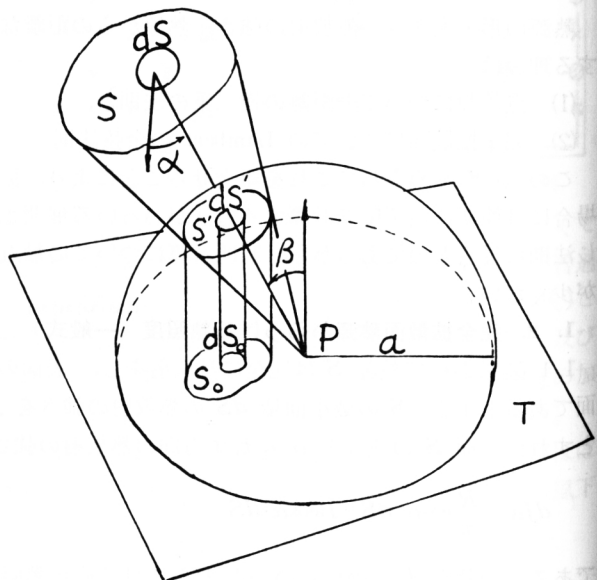
これらの諸方法は実用上の便利さからいつでも同じとはいえないが、しかしいかなる場合にも他にまさる万能な方法もない。これらのうち次節にのべる立体角投射の法則による方法が、熱源の形がどのようなものであっても図学的解法あるいは特殊のカメラを利用することによって、殆んどあらゆる場合の計算を可能にする点で便利であることが多い。また直線図形の面熱源の場合には (a) あるいは (b) の方法に基く計算図表* を利用することも便利である。

1. 3. 立体角投射の法則による熱照度計算

1. 3. 1. 立体角投射の法則

1.2 図において S を完全拡散面熱源とし、受熱面 T 上の任意の一点を P とする。 P 点のうける熱照度を求めるには P を中心とする半径 a の球面を考え、 P を頂点とし S を底とする錐体が球面をきりとる面積を S' 、その S' の T 面上の正射影を S_0 とする。熱源面 S の微小面積 dS についても同じように球面上及び T 面上に dS' 、 dS_0 を求める。そうすると完全拡散面熱源においては次式が成立つ。

1. 2. 図



* 例えば、文献 36. P. 39~44. 文献 35. P. 181, 181.

$$Ep = R \frac{M_0}{\pi a^2}$$

この場合の M_0 の図形は 1.4 図で斜面を施した半月形となり, θ , θ_1 , θ_2 及び α を 1.4 図のようにとれば, その面積は

$$M_0 = \frac{\pi a^2}{2} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) = \frac{\pi a^2}{2} \{ \cos (\theta - \alpha) - \cos (\theta + \alpha) \} \\ = \pi a^2 \sin \alpha \sin \theta \quad (1.8)$$

ゆえに P 点のうける熱照度 Ep は

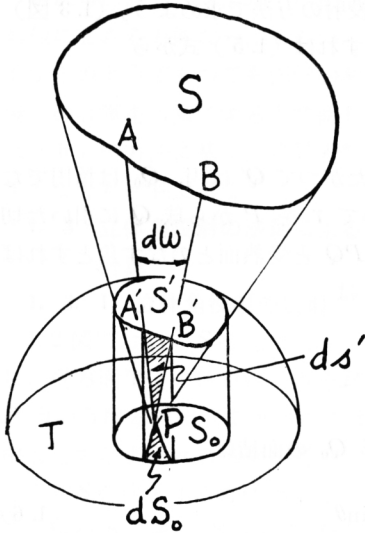
$$Ep = R \sin \alpha \sin \theta \quad (1.9)$$

1. 4. 錐面積分法による熱照度計算

1. 4. 1. 錐面積分法

熱源 S に対する受熱点 P のうける熱照度を求めるに 1.5 図において P を中心とし半径 a の半球面をえがき, P を頂点とし S を底とする錐体が半球面をきりとつてつくる図形を S' とし S' の受熱面 T 上の正投影象を S_0 とする。 S の境界線上に微小部分 AB をとり, AB に対応する S' 及び S_0 上の微小部分をそれぞれ $A'B'$, A_0B_0 , またこれらと P とで作られる三角形をそれぞれ ds , ds' , ds_0 とする。なお $\angle APB$ を $d\omega$ とし, 面 PAB と受熱面 T とがなす角を δ とすれば

1. 5. 図



$$dS_0 = ds' \cos \delta = \frac{a \cdot \overline{A'B'}}{2} \cos \delta = \frac{a}{2} \cdot a d\omega \cdot \cos \delta \\ = \frac{a^2}{2} d\omega \cdot \cos \delta \quad (1.10)$$

P 点のうける熱照度 Ep は (1.5) 及び (1.10) 式から

$$Ep = \frac{1}{a^2} \int_{(S_0)} B \cdot dS_0 = \frac{1}{a^2} \int_{(S_0)} B \cdot \frac{a^2}{2} d\omega \cdot \cos \delta \\ = \frac{1}{2} \int_{(S_0)} B d\omega \cdot \cos \delta \quad (1.11)$$

熱源が等熱輝度面であれば

$$Ep = \frac{B}{2} \int_{(S_0)} d\omega \cdot \cos \delta = \frac{R}{2\pi} \int_{(S_0)} d\omega \cdot \cos \delta \quad (1.12)$$

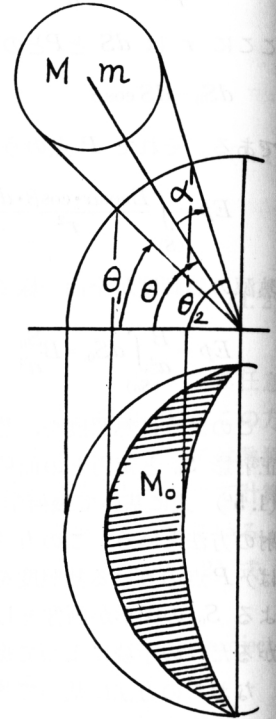
錐面積分法は $\cos \delta$ がある範囲の間一定であるとき, 従つて熱源が直線図形の場合に利用価値が多い。

1. 4. 2. 矩形面熱源からうける熱照度 (熱源面と受熱面が平行の場合)

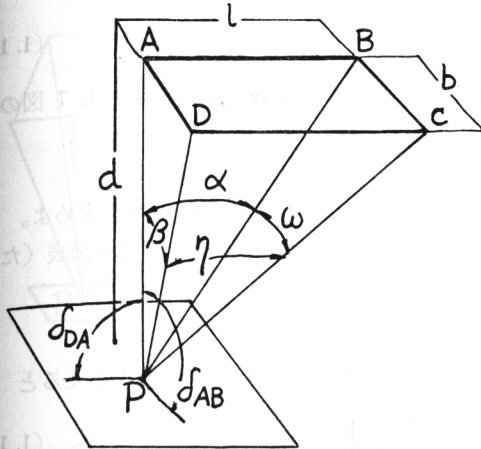
矩形面熱源 $S(ABCD)$ があり, 1 隅 A から S 面にたてた垂線上に P 点がある場合に P 点のうける熱照度 Ep を錐面積分法によつて求めるには α , β , γ , ω を 1.6 図のようにとれば (1.12) 式から

$$Ep = \frac{R}{2\pi} (\alpha \cos \delta_{AB} + \omega \cos \delta_{BC} + \gamma \cos \delta_{CD} + \beta \cos \delta_{DA})$$

1. 4. 図



1. 6. 図



ところで

$$\cos \delta_{AB} = 0, \quad \cos \delta_{DA} = 0$$

$$\therefore \alpha \cos \delta_{AB} = \gamma \cos \delta_{DA} = 0$$

また

$$\cos \delta_{BC} = \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}} = \sin \alpha$$

$$\cos \delta_{CD} = \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2}} = \sin \beta.$$

$$\therefore Ep = \frac{R}{2\pi} (\omega \sin \alpha + \eta \sin \beta)$$

(1.13)

1. 5. 熱伝達率

1. 5. 1. 熱伝達率

受熱面がうける直接熱照度 Ep について熱源の熱発散度 R を 100 とする百分率であらわした割合を熱伝達率となすけて A であらわすものとする。

$$A = \frac{Ep}{R} \times 100 [\%]$$

(1.14)

(1.5') 式から

$$\frac{Ep}{R} = \frac{S_0}{\pi a^2}$$

$$\therefore AP = \frac{S_0}{\pi a^2} \times 100 [\%]$$

(1.15)

すなわち立体角投射図形をつくれれば火焰面の立体角投射像 S_0 と全円の面積 πa^2 との比が熱伝達率 A をあらわしているのである。

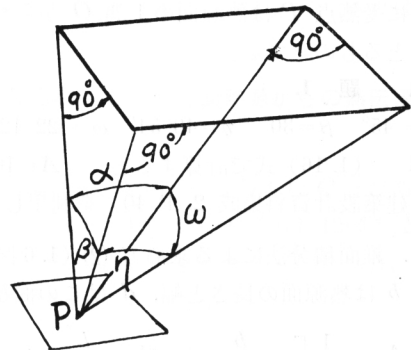
これから後にのべる熱伝達率の計算はすべて完全拡散面熱源についての熱照度一般式 (1.2) を基礎にするものであるが、実際の計算は 1.2 節にあげた実用的解法 (a) (b) (d) のうちから熱源の形に一番適した解法を利用していくこととする。

1. 5. 2. 熱伝達率の計算

1. 5. 2. 1. 矩形面熱源からの熱伝達率 (1) —— 熱源面と受熱面が平行の場合 ——

a. 錐面積分法による求め方 (1) (1.4.1, 1.4.2 参照)

1. 7. 図



(1.14) 及び (1.13) 式から

$$A_p = \frac{1}{2\pi} (\omega \cdot \sin \alpha + \eta \cdot \sin \beta) \times 100 \quad (1.16)$$

ここに受熱点 P は熱源面の 1 隅 O からたてた法線上にあるものとし角 $\alpha, \beta, \eta, \omega$ を 1.7 図のようにとるものとする。

例題 1.

$\alpha = 45^\circ$ $\beta = 30^\circ$ $\eta = 40^\circ 54'$ $\omega = 122^\circ 12'$ として熱源 S について P 点の熱伝達率を求めよ。

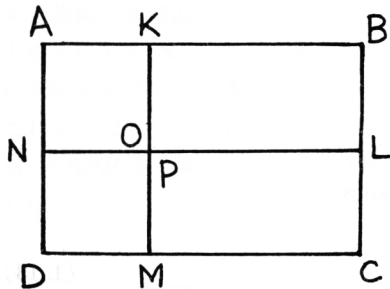
解 (1.16) 式で計算すると $A = 10.04\%$, また照明計算 (昼光率) のため計算図表 (たとえば建築設計資料集成 2. P. 40) を利用して求めてみると $A = 10\%$.

b. 錐面積分法による求め方 (2) (1.6 図参照)

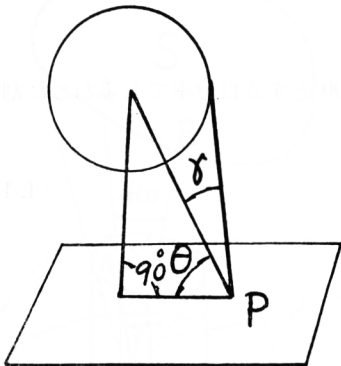
l, b は熱源面の長さとし幅, d はこの面から P 点までの距離として (1.16) 式を書きかえると

$$A_p = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{b}{\sqrt{d^2 + b^2}} \tan^{-1} \frac{l}{\sqrt{d^2 + b^2}} + \frac{l}{\sqrt{d^2 + l^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{d^2 + l^2}} \right] \times 100 \quad (1.17)$$

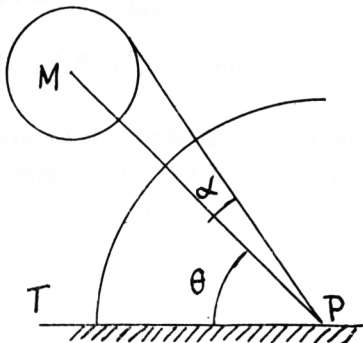
1. 8. 図



1. 9. 図



1. 10. 図



例題 2.

熱源面の $b = 2m$ $l = 2m$ $d = 4m$ として P 点の熱伝達率を求めよ。

解 照明計算用の計算図表 — 例えば建築設計資料集成 2. P. 40 あるいは建築大系 8 巻 P. 181 — によつて求めると

$$A_p = 5.9\%$$

1. 5. 2. 2. 矩形面熱源からの熱伝達率 (2)

熱源面と受熱面とが平行でも P 点から熱源面に下した垂線の足が面上 (あるいは面の延長上) の一点 O である場合には O によつて分割される 4 つの矩形を各々熱源とみなして, 4 つの面の和あるいは差の形に導いて計算すればよい。例えば 1.8 図の場合には次式のように区分して求める。

$$A_p = A_{AKON} + A_{OKBL} + A_{OLCM} + A_{OMDN} \quad (1.18)$$

1. 5. 2. 3. 球熱源からの熱伝達率

r 及び θ を 1.9 図のようにとれば, P 点における A_p は (1.14) 及び (1.7) 式から

$$A_p = \frac{E_p}{R} \times 100 = 100 \sin^2 \gamma \sin \theta \quad (1.19)$$

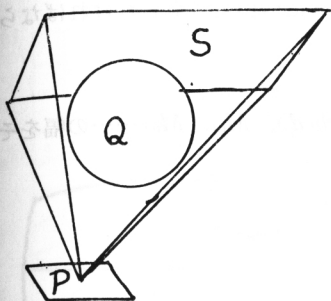
1. 5. 2. 4. 円柱熱源からの熱伝達率

1.10 図において M は円柱形熱源で受熱面に平行に無限の長さをもつものとし, α 及び θ を図のようにとれば, P 点における A_p は (1.14) 及び (1.9) 式から

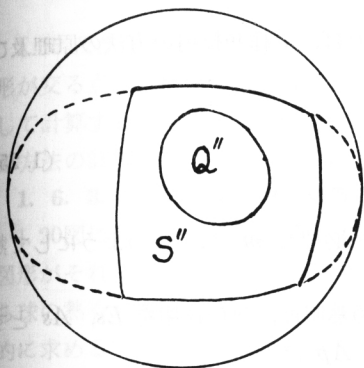
$$A_p = 100 \sin \alpha \sin \theta \quad (1.20)$$

1. 6. 障害物のあるときの熱伝達率

1. 11. 図



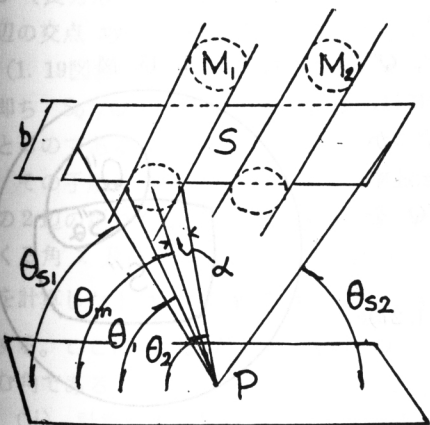
1. 12. 図



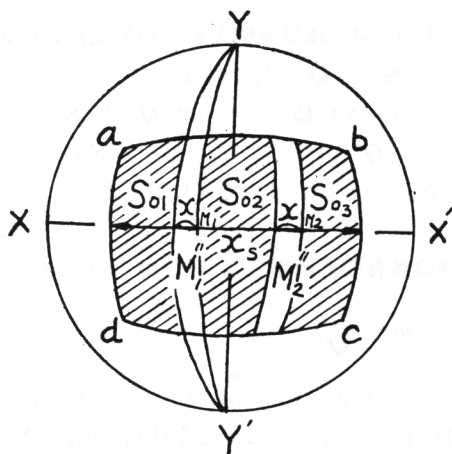
の差として計算できる。

1. 6. 2. 円柱形障害物をもつ矩形面熱源からの熱伝達率

1. 13. 図



1. 14. 図



1.13図にみるように矩形面熱源 S と円柱形障害物 $M_1, M_2, \dots, M_n$ があつて $M_1 M_2 \dots M_n$ が S の1辺 b に平行に無限の長さをもつていとき、 P 点についての $S, M_1, M_2, \dots, M_n$ の立体角投射図形は1.14図の $S'' (abcd), M_1'', M_2'', \dots, M_n''$ のようになり P 点についての有効熱源面の立体角投射図形は1.14図の斜線を施した部分の合計 S_0 となる。

熱源と受熱点とのあいだに障害物がおかれている場合の熱照度あるいは熱伝達率の計算の方法も、原理としては有効熱源面（障害物に妨げられずに受熱点に直接はたらく熱源部分）の立体角投射図形を求めることさえできれば計算は可能である。

1. 6. 1. 球障害物をもつ矩形面熱源からの熱伝達率 (1)

1.11図のように矩形面熱源 S と球障害物 Q とがあり、 P 点におけるその立体角投射図がそれぞれ1.12図の S'' と Q'' であり、 Q'' が S'' の輪郭の中にあるとした場合には、 P 点のうける熱照度は (1.5') 式から

$$Ep = \frac{R}{\pi a^2} (S'' - Q'') \quad (1.21)$$

さて S および Q がそれぞれ独立の熱源であると考えた場合の熱照度を E_s 及び E_Q 、熱伝達率を A_s 及び A_Q とすれば、(1.21) 式は次式にかきかえられる。

$$\left. \begin{aligned} Ep &= E_s - E_Q \\ Ap &= A_s - A_Q \end{aligned} \right\} \quad (1.22)$$

すなわちこの場合の P 点の熱照度と熱伝達率は、 S と Q とを独立の熱源とみて算出した熱照度あるいは熱伝達率

$$S_0 = S_{01} + S_{02} + S_{03} + \cdots + S_{0n} \quad (1.23)$$

そこで S_0 の面積の計算法は正確には $S_{01}, S_{02}, S_{03}, \cdots, S_{0n}$ の各々について計算しなければならぬが、略算としては

$$S_0 = S'' - (M_{01} + M_{02} + \cdots + M_{0n})$$

となるような $M_{01}, M_{02}, \cdots$ を考え、 XX' 軸上ではかつた S'' ($abcd$), $M_{01}, M_{02}, \cdots$ の幅をそれぞれ $x_S, x_{M1}, x_{M2}, \cdots$ とすれば、

$$\begin{cases} S_0 = (1-m)S'' \\ m = \frac{x_{M1} + x_{M2} + \cdots + x_{Mn}}{x_S} \end{cases} \quad (1.24)$$

として (1.24) 式によつて近似値をえるのが簡便である。(1.24) 式の m を円柱の熱有効遮断率となすけることにする。

m の計算は $\theta_{s1}, \theta_{s2}, \theta_m, \theta_1$ 及び θ_2 を 1.13 図のとおりにとれば、立体角投射の方法の原理及び (1.8) 式から

$$x_S = a(\cos\theta_{s1} + \cos\theta_{s2}) \quad (1.25)$$

$$x_{M1} = a(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) = 2a \sin\alpha \sin\theta_m$$

$x_{M2}, \cdots, x_{Mn}$ は x_{M1} と同様の方法で算出される。 S_0 を算出するに必要な m は、このようにして熱源が受熱点となす角を見出せば近似計算ができる。

そこで円柱による障害をうけないとき火焰面からうける P 点の熱照度、熱伝達率を Es, As とすれば、円柱に遮られる P 点のうける熱照度 Ep および熱伝達率 Ap は

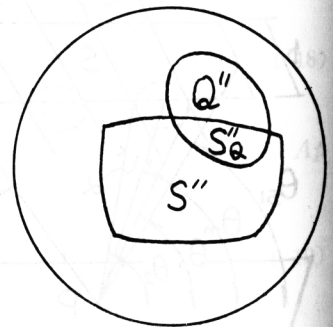
$$\begin{aligned} Ep &= R \frac{S_0}{\pi a^2} = R \frac{(1-m)S''}{\pi a^2} = (1-m)Es \\ Ap &= \frac{S_0}{\pi a^2} = (1-m) \frac{S''}{\pi a^2} = (1-m)As \end{aligned} \quad (1.26)$$

1. 6. 3. 球障害物をもつ矩形面熱源による熱伝達率 (2)

面 S , 球 Q に対する P 点についての立体角投射図が S'', Q'' であるとき 1.15 図のように Q'' が S'' の外へはみだす場合には、 S'' と Q'' の重りあう共通部分 $S''Q''$ だけが熱を遮るに役立つから $S''Q''$ の面積を求めて (1.21) 式によつて熱照度または熱伝達率を算出しなければならぬ。ここに障害物 Q について $S''Q''/Q''$ を球の熱有効遮断率となす m であらわすものとする。

$$m = \frac{S''Q''}{Q''} \quad (1.27)$$

1. 15. 図



S'' の面積あるいは m の求め方としては次の諸方法がある。

(1) 図学的手続によつて立体角投射図 S'', Q'' を作図した上、

$S''Q''$ の面積を planimeter で求める方法。

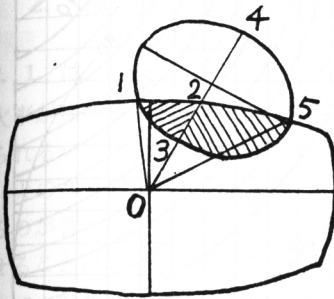
(2) 幾何学的計算法

(3) 近似計算法

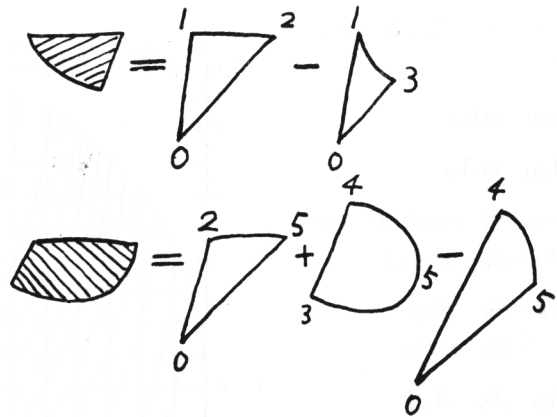
以下に (2) (3) の計算法を簡単にのべる。

1. 6. 3. 1. 幾何学的計算法

1. 16. 図



1. 17. 図



1. 15 及び 1. 16. 図において S' は楕円弧に囲まれており Q' は楕円であるから、 S' 、 Q' の両図形が交る点が両楕円の軸となす角を計算した上で、 S_q'' の面積を楕円扇形の面積の和あるいは差として計算する。例えば 1. 16図については 1. 17図に図解した通りの図形に分解して面積を求める。その方法の詳細はかつて筆者が文献37にのべておいた。

1. 6. 3. 2. 球形障害物の熱有効遮断率の近似計算法

1. 20図において矩形熱源 S ($ABCD$) と球 Q (中心 Q) に対する受熱点 P についての立体角投射図形がそれぞれ S' 及び Q' であつて、 S' と Q' の重なり部分を S_q'' とすれば、 S_q''/Q'' すなわち球の熱有効遮断率 m を簡単な計算によつて近似的に求める実用解法である。

計 算 法

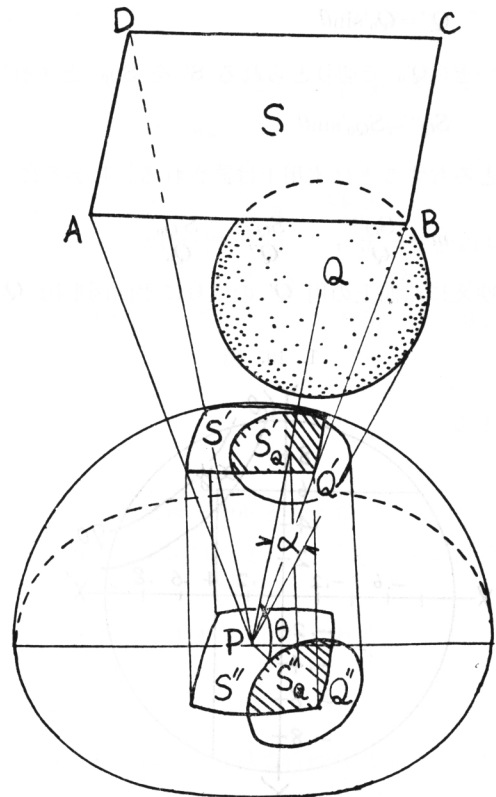
(I) 熱源 S と球 Q の単位球面上の透視像を S' 及び Q' 、その重なり部分を S_q'' とする。 Q' の中心を原点とする直交座標を想定し、座標軸 XX' 、 YY' が S' (長方形) の二辺にそれぞれ平行し、かつ S' の二辺の交点 xy が座標の第1象限に入るようによければ、(1. 19図参照) xy の座標から球の熱有効遮断率 m 即ち S_q''/Q'' を計算図表 (1. 18図) で直ちに読みとるのである。

その手順をのべると (i) 直交する2軸からの S' の2辺の距りを知るために、軸と2辺が P 点でつくる角 χ 及び ϕ を測るかあるいは直接 $\sin\chi$ 、 $\sin\phi$ を計算した上 x 及び y を $x = \frac{\sin\chi}{\sin\alpha}$ 、 $y = \frac{\sin\phi}{\sin\alpha}$ とする。ここに α は P 点において Q' の半径をはさむ角である。

(ii) 計算図表 (1. 18図) の上で x 、 y を座標とする点 (x, y) を求め、その点を曲線群 (m の価) の指標で読みとればそれが $100m$ の近似値である。

(2) m が求められれば E_P 及び A_P の計算ができる。即ち Q からうける熱照度を E_Q 、熱伝達率を A_Q 、重なり部分 S_q によるものを E_{S_q} 、 A_{S_q} と

1. 20. 図



すれば球 Q の P における頂角が余り大でない範囲では

$$E_{SQ} \doteq m E_Q$$

$$A_{SQ} \doteq m A_Q$$

したがって求める P 点のうける E_P , A_P は

$$E_P = E_S - E_{SQ}$$

$$\doteq E_S - m E_Q$$

$$A_P = A_S - A_{SQ}$$

$$\doteq A_S - m A_Q \quad (1.28)$$

〔証明〕 熱源 S 及び球 Q の立体角投射図を S'' 及び Q'' とし、単位球面上の透視像を S' 及び Q' とする (1.20図)。球面上の図形 Q' は円であるから、 Q' と共通の輪郭をもつた平面図形 Q_0' が必ずある。そして

$$Q'' = Q_0' \sin \theta$$

つぎに Q_0' で切りとられる S' を S_{Q_0}' とすれば、球 Q の P における頂角が余り大でない限り

$$S_{Q''} \doteq S_{Q_0}' \sin \theta$$

とみなすことは実用上は許される。しかるに

$$m = \frac{S_{Q''}}{Q''}, \quad \frac{S_{Q''}}{Q''} = \frac{S_{Q_0}'}{Q_0'}$$

ゆえに球面上の円 Q' の代りに平面図形円 Q_0' を用いて実用上は

$$m \doteq \frac{S_{Q_0}'}{Q_0'} \quad (1.29)$$

とみなしうる。

例 題 3.

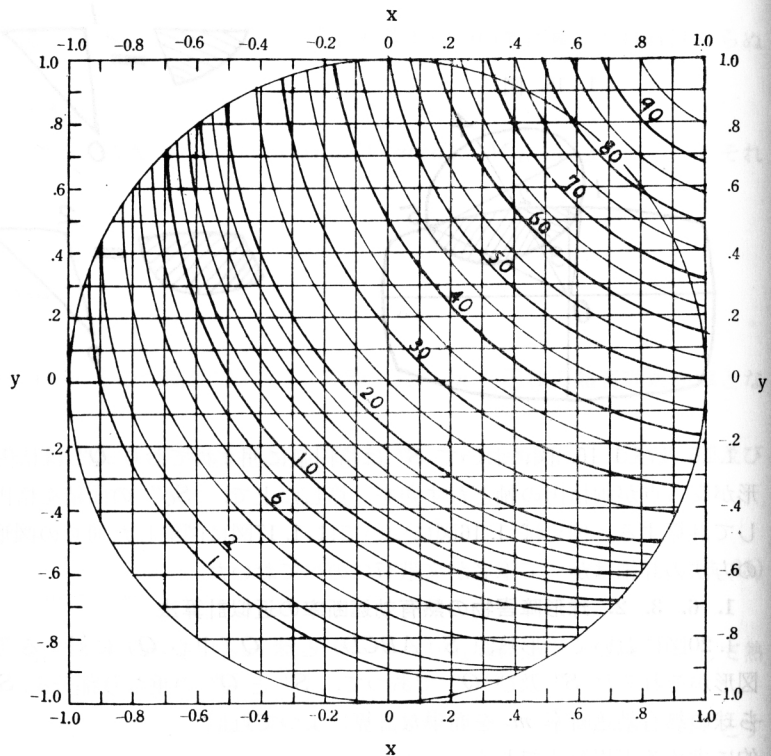
熱源 S 及び球 Q について P 点における角度が $\alpha = 16^\circ$ $\chi = +6^\circ 20'$ $\phi = +9^\circ 30'$ であった。球の熱有効遮断率 m はいくらか？

解 (1.19図参照)

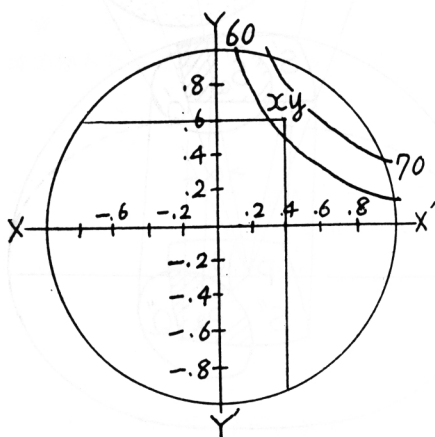
$$x = \frac{\sin \chi}{\sin \alpha} = \frac{+0.1103}{0.2756} = +0.4$$

$$y = \frac{\sin \phi}{\sin \alpha} = \frac{+0.1650}{0.2756} = +0.6$$

1. 18. 図 球の熱有効遮断率 m 計算図



1. 19. 図



1.18図の計算図表で m を求めると

$$m = 0.63$$

2. 植木の火事放射熱遮り効果の推定計算法

2. 1. は じ め に

火事が建物から建物へ延焼していく媒介となるものとしては、焰・放射熱・火の粉・火流などが考えられるが、遠く離れた地点の火の粉による飛火を除けば延焼はまず放射熱で予め相当に加熱せられて、火のつく素地が十分に出来上つているところへ焰・火流・火の粉が触れて着火するという道筋をとるのが普通である。したがって延焼を阻む方法として、できるならば受熱壁のうける熱照度を低下させることは、いつの場合にも基礎としてまず考慮しなければならぬ大切な事柄である。

2. 2. 計算の可能性と前提

火事からうける熱照度を計算するに必要な因子は (1.4) 式すなわち

$$E_P = \frac{1}{a^2} \int_{(S_0)} B \cdot dS_0 \quad (2.1)$$

からわかる通り (1) 火焰面の微小部分の熱輝度 (2) 火焰面の形と面積 (3) 熱源と受熱点との間の角関係 以上の3つをすることが必要である。受熱点が発火温度に達するか否かを知るためには、なおその上に (4) 受熱の継続時間 (5) 受熱面の吸収能 が必要となる。

これらの因子のうち (5) は恒数であり (4) は火事の規模 (1 棟火事・軒並火事・大火事など)、燃える建物の種類 (木造・コンクリート造など) に応じて最大受熱の継続時間がほぼ定めてくるから、ここで取扱う問題としては (4) (5) は範囲の外において、(1) (2) (3) の因子をとり上げて熱照度と熱伝達率を専ら考えることとする。

一つの火事の全期間を通じてみれば (1) (2) (3) は刻々に移り変わり、火事の経過には個体的偏差がいろいろあつてその見積も困難であるが、「延焼の危険」ということに問題を限れば、危険はまず火事のまつ盛り頃が最大であるから見積りも不可能ではなくなる。火事のまつ盛りにおいては、火焰面の形もある時間一定に保たれ、その形・面積もほぼ想定ができる。したがって熱源と受熱点との間の角関係もその時間中はほぼ一定とみなすことができる。ただ熱源の熱輝度は火事の盛りにも火焰面の微小部分の位置によつて強弱にいくらかの開きが依然としてある。したがって真実にできるだけ近ずけるためには (2.1) 式の形で E_P を積分すべきであるが、実際問題としてはそのような積分は計算の煩わしさにたえない。そこで

$$E_P = \frac{B}{a^2} \int_{(S_0)} dS \quad (2.2)$$

この形の積分、即ち火焰面全体が一樣の熱輝度をもつと仮定しなくては実用的といえない。

つまり次の2つの仮定をおくことによつて、延焼防止の基礎としての熱照度および熱伝達率の計算ができることとなる。

- (1) 火事の盛りにはしばらくの間 (1~2 分) 火焰面の形と面積がほぼ一定に保たれる。
- (2) 火焰面は全面が一樣の熱輝度をもつ完全拡散面である。

2. 3. 植木を障害物とする火事熱伝達率計算法

火焰面の前面に熱の障害物として植木がある場合の熱照度や熱伝達率の計算の特殊な点がいくつかあげられる。

- (1) 植木の形が複雑であつて計算に便でないこと。
- (2) 植木の占めている空間に透間が多いのが普通であるし、植木の葉自体も熱を透過する。即ち完全な熱の遮断体ではない。

これらの困難を切り抜けるには

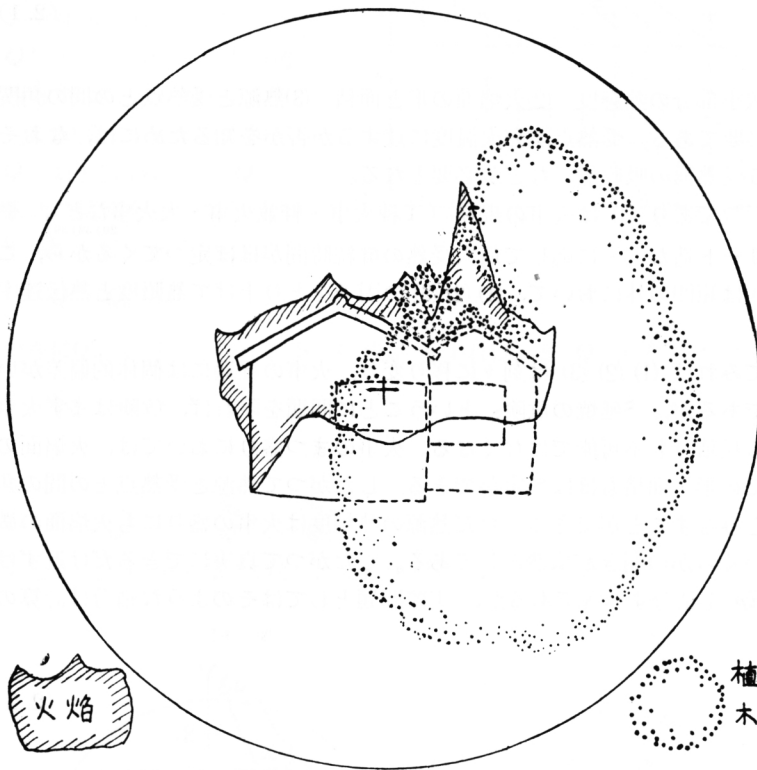
- (1) 複雑な形でもそのまま立体角投射図のつくれるような手段を利用する。(例えば立体角投射カメラ)
- (2) あるいは複雑な形を単純な形に整理し、おきかえて(1.6)にのべた障害物のあるときの熱伝達率計算法を適用する。
- (3) どちらの場合にも透間や葉の熱透過率は係数によつて加減する。

このようにして計算が可能となる。

2. 3. 1. 立体角カメラを利用する計算法

2.1 図は国家消防庁消防研究所の第5回火災実験に参加して筆者が行つた植木の火事熱遮り効果の

2. 1. 図火災の立体角投射図(消防研究所第5回火災実験)



実験にとりかかる前に予め立体角投射カメラ(35頁参照)によつて写した写真を基礎としてつくつた、建物と植木の立体角投射図である。建物・植木及びカメラの位置についてのデータは次のとおりである。

建物：木造平家8坪、瓦葺(1部分トントン葺)板壁、可燃物量 3,420kg (木材 3,120kg + 燃え代 300kg) 総発生熱量約 10^7 Kcal/m²hr.

気象：晴、気温約28°C 湿度66%。現場の風向風速は火事の盛りまで殆んど無風、焼落ちる頃から風速 1m 前後の風下寄りとなる。

植木：モチノキ、高さ 13.5尺、枝張り直径6.4~7.2尺

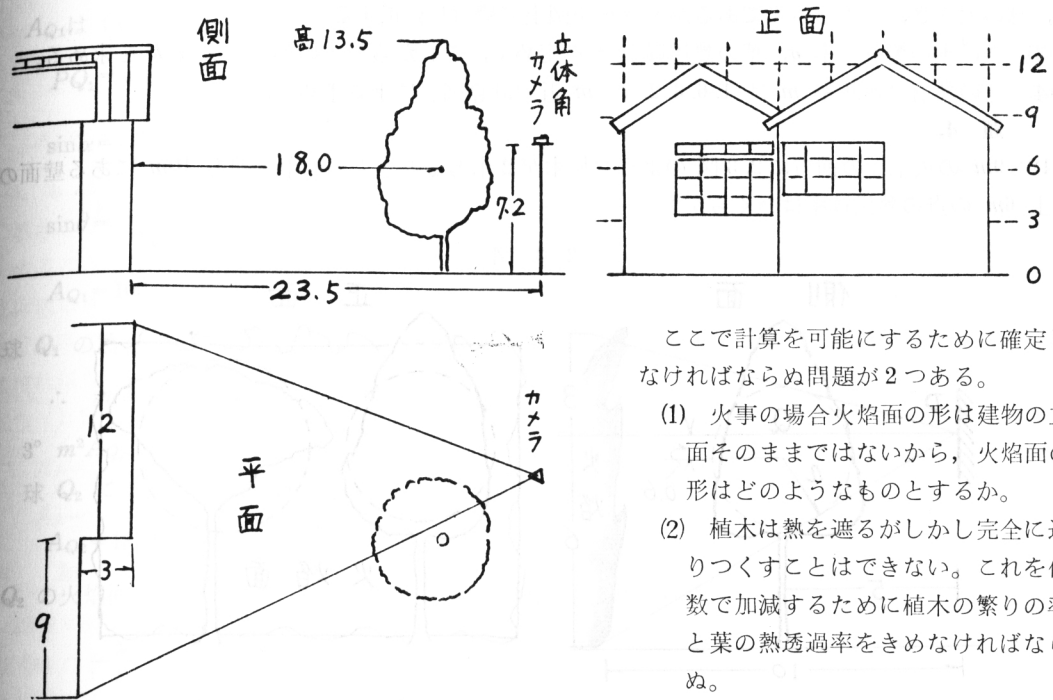
カメラの位置：2.2図に示したとおりである。

2.1 図の火焰面の熱放射の強さが全面一様に R であるとし、火焰面のうち受熱点 P に対し有効にはたらく部分の立体角投射図面積を $S' - ks$ とすれば(1.5')式から

$$E_P = \frac{R}{\pi a^2} (S' - ks) \quad (2.3)$$

$$A_P = \frac{100}{\pi a^2} (S' - ks) [\%]$$

2. 2. 図 消研第5回火災実験の立体角関係図



ここで計算を可能にするために確定しなければならぬ問題が2つある。

- (1) 火事の場合火焰面の形は建物の立面そのままではないから、火焰面の形はどのようなものとするか。
- (2) 植木は熱を遮るがしかし完全に遮りつくすことはできない。これを係数で加減するために植木の繁りの率と葉の熱透過率をきめなければならぬ。

火焰面の形は火事のまつ盛りだけに問

題を限つても、その形や高さは火事の規模によりそのときの風速により変つてくる。^{(22) (38) (39)}ここでは火事の経過を撮影した写真から火事のまつ盛りの画面をえらんで、これに合せて火焰面を記入した。

植木の繁りの率 σ について、この実験に用いた植木について測定したところ $\sigma=0.95$ であった。葉の熱透過率 τ は $\tau=0.02$ とする(第1部1.5参照)。従つて植木の熱遮断係数 k は

$$k=\sigma(1-\tau)=0.95(1-0.02)=0.931$$

である。2.1図について planimeter を用いて面積を計算し、(2.3)式から

$$A_P=6.2\%$$

2. 3. 2. 植木を球とみなした推定計算法

現実の植木の形は決して球形あるいは円柱形ではないが、植木のかわりに適当な大きさの球あるいは円柱をおきかえることによつておよその遮断効果をしることができる。植木のかわりにいかなる大きさの球をどの位置に想定するかは多少の経験が必要であつて、熱放射の理論についての一応の会得も前提となる。想定すべき球 Q の大きさと位置がきまれば (1.28) 式に植木の熱遮断係数 k を加味して次式から E および A を計算することができる。

$$E_P=E_S-k \cdot m E_Q$$

$$A_P=A_S-k \cdot m A_Q \quad (2.4)$$

但し $k=\sigma(1-\tau)$

植木を球におきかえる方法及び計算の手順をつぎにのべる。

- (1) まず受熱点・熱源・植木の3つの間の位置関係をしめす平面図および立面図を用意する。
- (2) 平面図及び立面図から植木が熱遮断に有効にはたらく部分を推定できるから、その範囲の植木

の体積のおきかえを主眼として球の半径を適当に仮定し、位置をえらび平面図及び立面図上に球を描き、球の大きさ、位置が適当であるかどうかを図上で検討し修正する。

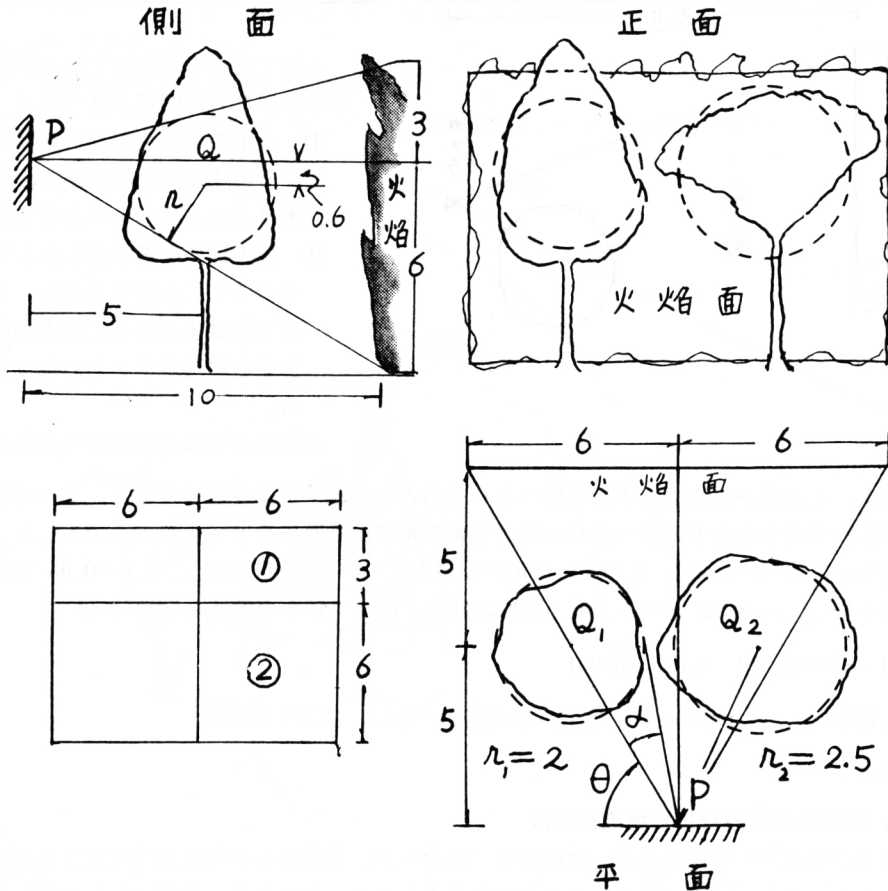
(3) 次に木の繁りの率 σ 、葉の熱透過率 τ を定めて、これから植木の熱遮断係数 k を求める。

(4) 球の熱有効遮断率 m は 1.6.3.2. の m 近似計算図表により求める。

例題 4.

12×9m の火焰面の前方に 2.3 図のような植木が 2 木あるとき火焰面中央前方 10m にある壁面の地上 6m の点の熱伝達率はいくらか？

2. 3. 図



解 計算はまず火焰面からの熱伝達率、植木 Q_1 及び Q_2 による熱遮断率をそれぞれ別に計算する。

1° 火焰面からの熱伝達率 A_s

火焰面を 4 つの面にわけて (1.5.2.2 参照) 直接昼光率算定図表*を利用して計算する。

l = 火焰面の長さ b = 火焰面の幅 d = 火焰面と受熱点との距離 とすれば

火焰面区分	l	b	d	A
①	6	3	10	4.5
②	6	6	10	7.7
			12.2	$A_1 + A_2$

$$A_s = 2(A_1 + A_2) = 24.4$$

* 例えば建築設計資料集成 2. p. 40. あるいは建築学大系 8 巻 p. 181.

2° 球 Q_1 による熱伝達率 $m_1 A_{Q_1}$

A_{Q_1} は (1.19) 式により計算する。

$$\overline{PQ_1} = \sqrt{5^2 + 3^2 + 0.6^2} = 5.87$$

$$\sin \alpha = \frac{r_1}{PQ_1} = \frac{2}{5.87} = 0.34$$

$$\sin \theta = \frac{1/2 d}{PQ_1} = \frac{5}{5.87} = 0.85$$

$$A_{Q_1} = 100 \sin^2 \alpha \sin \theta = 9.9$$

球 Q_1 の熱有効遮断率 m (1.6.3 参照) は $m_1 = 0.5$

$$\therefore m_1 A_{Q_1} = 5 (\%)$$

3° $m^2 A_{Q_2}$

球 Q_2 による熱伝達率 A_{Q_2} は A_{Q_1} と同様の計算法で

$$A_{Q_2} = 18.3$$

Q_2 の火焰面遮断の状況は 1.6.3.2 の m 近似計算図表をつかつて

$$\frac{x}{r_2} = +0.2 \quad \frac{y}{r_2} = +0.56$$

$$\therefore m_2 = 0.52$$

$$m_2 A_{Q_2} = 0.52 \times 18.3 = 9.5$$

4° 植木の熱遮断係数 k

$$k = \sigma(1 - \tau) = 0.8(1 - 0.05) = 0.76$$

5° P 点の熱伝達率 A_P は (2.4) 式から

$$A_P = A_S - k \cdot m \cdot A_Q = 24.4 - 0.76(5 + 9.5) = 13.4 [\%]$$

例 題 5.

消防研究所第5回火災実験 (2.3.1 参照) の場合に、植木を球とみなして受熱点第2号のうける熱伝達率を算出せよ (2.4図)

解

1° 火焰面による熱伝達率 A_S

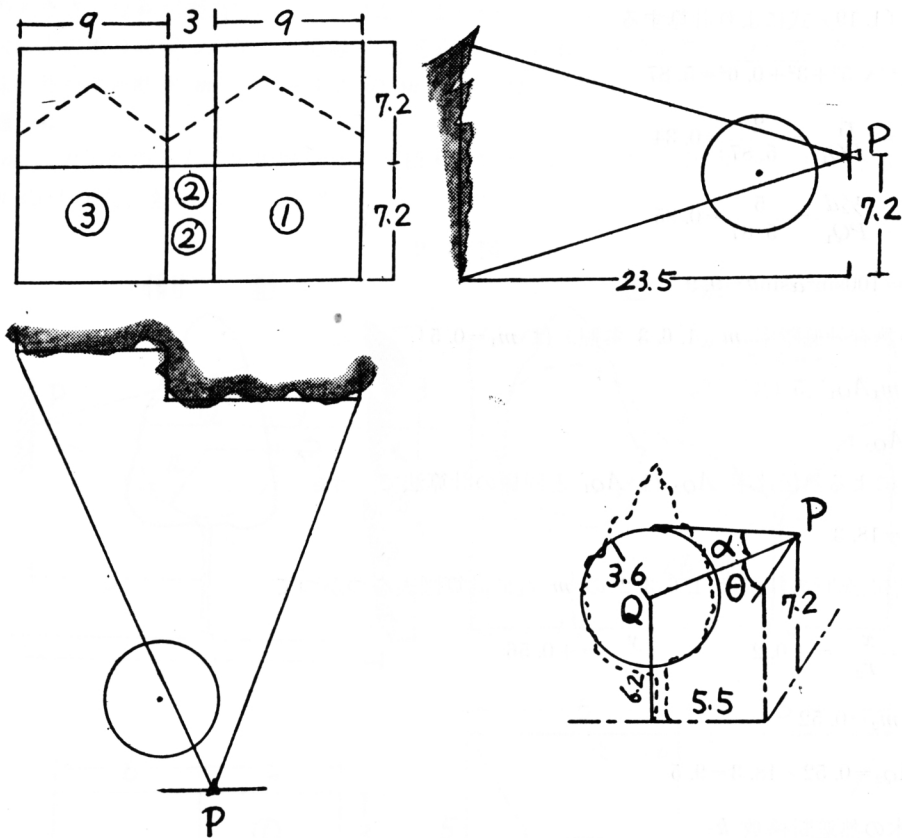
火焰面の高さ $b = \text{棟高} \times 1.2 = 14.4$ 尺とし、受熱点の地上高は 7.2 尺である。直接日光率計算図表 (例題4の註参照) を利用して計算すれば

火焰面区分	1	b	d	A	
①	9	7.2	23.5	3.2	A_1
②	3	7.2	23.5	1.2	A_2
③	12	7.2	26.5	3.4	A_3
④	3	7.2	26.5	0.9	A_2'

$$A_s = 2(A_1 + A_2 + A_3 - A_2') = 13.8^*$$

* ③の棟が①のより3尺後退しているのでこのような計算になる。

2. 4. 図



$2^\circ \quad mA_Q$

植木を 2.4 図のような位置をしめる球 Q (半径 3.6 尺) におきかえて Q による熱伝達率 A_Q を計算する

$$\overline{PQ} = \sqrt{5.5^2 + 3^2 + 1^2} = 6.35$$

$$\sin \gamma = \frac{3.6}{6.35} = 0.57$$

$$\sin \theta = \frac{5.5}{6.35} = 0.87$$

$$\therefore A_Q = 100 \sin^2 \gamma \sin \theta = 28.3\%$$

球 Q の熱有効遮断率 m を前に 1.6.3.2 にのべた方法で m 近似計算図表をつかつて計算すれば

$$x = \frac{-0.25}{3.6} = -0.07$$

$$y = \frac{0.75}{3.6} = +0.2$$

$$\therefore m = 0.285$$

したがって

$$mA_Q = 0.285 \times 28.3 = 8.1$$

$$3^\circ \quad k = \sigma(1 - \tau) = 0.95(1 - 0.02) = 0.93$$

4° P 点のうける熱照度 A_P は

$$A_P = A_S - k \cdot m \cdot A_Q = 13.8 - 0.93 \times 8.1 = 6.3 \text{ [\%]}$$

2. 3. 3. 植木を円柱とみなした推定計算法

植木を球とみなす場合とはほぼ同じ手続をふむのであるが、植木の代りに想定する円柱の長さを有限とすることは計算が煩わしく実用的でないから、長さ無限と想定する。円柱の長さが無限であれば計算は球の場合よりもすこし簡単となる。計算の方法は 1. 6. 2 の円柱形障害物をもつ矩形面熱源からの熱伝達率の計算法がそのまま適用され、ただ異なるのは球の場合と同様植木の熱遮断係数 k を加味しなければならないことである。

即ち (1. 26) 式から

$$E_P = (1 - km) E_S$$

$$A_P = (1 - km) A_S$$

例 題 6.

12. 3×30m の火焰面の前方 6m へだてて 2. 5 図のような円柱状植木が 3 本あるとき、火焰面の中央前方 12m にある壁面の地上 7. 2m の点の熱伝達率はいくらか？

解

1° 火焰面による熱伝達率 A_S

火焰面区分	l	b	d	A
①	15	1.5	12	8.2 A_1
②	15	7.2	12	11.0 A_2
				19.2 $A_1 + A_2$

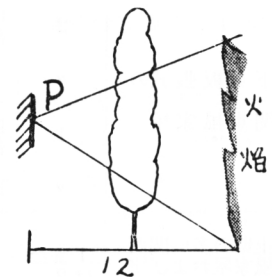
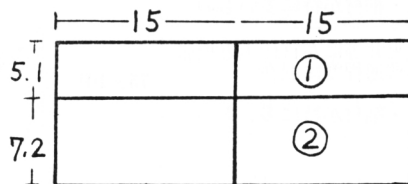
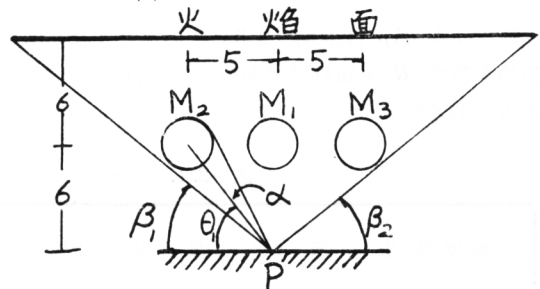
$$A_s = 2(A_1 + A_2) = 38.4$$

2° mA_M

植木を直径 3m で長さ無限の円柱 M_1 , M_2 , M_3 におきかえて、円柱による熱有効遮断率 m を計算する (1. 6. 2 参照)

	M_1	M_2	M_3
PQ	6	$\sqrt{5^2 + 6^2} = 7.81$	7.81
$\sin \alpha$	0.25	0.192	0.192
$\sin \theta$	1	0.77	0.77
$\frac{x_M}{2a} = \sin \alpha \sin \theta$	0.25	0.15	0.15

2. 5. 図



$$\frac{x_S}{2a} = \cos\beta_1 + \cos\beta_2 = 0.78$$

$$m = \frac{(x_{M1} + x_{M2} + x_{M3})}{x_S} = (0.25 + 0.15 \times 2) \div 0.78 = 0.71$$

$$3^\circ \quad k = \sigma(1 - \tau) = 0.8(1 - 0.05) = 0.76$$

4° P 点のうける熱伝達率 A_P は (2.5) 式から

$$A_P = (1 - km)A_S = (1 - 0.71 \times 0.76) \times 38.4 = 17.6 (\%)$$

2. 4. 植木を障害物とする熱照度計算法

(1.14) 式から熱照度 E_P は

$$E_P = R \times \frac{1}{100} A_P \quad (2.6)$$

熱伝達率 A_P は前節 (2.3) にのべた手続によつて求めることが出来るから、残るところは火焰面の熱発散度 R を知れば熱照度の計算が可能となる。 R の値は藤田金一郎博士の研究によれば次表のようである*。

表 2.1. 火焰の熱発散度 R と火焰面係数の基準

家屋外周	階 数	家 屋 内 部	R		火焰面係数 k **		
			Kcal/m ² hr	W/cm ² *	風下	風上	無風
下見板張式の 関東風家屋	2	内壁天井等に左官仕上と板張部が普通程度に混在	100×10^3	11.6	0.7	0.3	0.6
	"	薄板・細材が特に多いもの			1.0	0.5	0.85
	1	内壁天井等に左官仕上と板張部が普通程度に混在	75×10^3	8.7	0.9	0.45	0.8
	"	薄板・細材が特に多いもの			1.35	0.65	1.0
土壁の多い関西 風家屋および防 火木造	1 また は 2	—	50×10^3	5.8	開口および屋根立面積 合計に対して		
					150	100	120

* Kcal/m²・hr から筆者が換算した

** この欄は筆者がつけ加えた

この R の値は火災のまつ盛りの火焰そのものについて与えたものであり、燃えている建物の立面全体を火焰面とみなしたのではない。すなわち同時に炎上している範囲の建物の立面積（土台から屋根頂まで）を F として火焰の立面積を S とすれば

$$S = k \times 1.2F \quad (\text{但し } k \text{ は火焰面係数}) \quad (2.7)$$

であり、 R はこのような S についての値である。

熱伝達の障害物を考えに入れるには、火焰面と受熱点の角関係をできるだけ真実に近づけて計算する必要があるから、ここに意図している計算法のためには、筆者は火焰面としては、幅は同時に炎上する範囲の建物幅をとり高さは立面の 1.2 倍を火焰の高さとみなすのを適当と考える。そして (2.6) 式において R の代りに kR を入れて

* 文献 20. p. 661 及文献 39. p. 167.

$$E_P = kR \times \frac{1}{100} A_P \quad (2.6')$$

として、火焰面係数 k を建築構造、風向風速に応じて加減すればほぼ正浩な推定値がえられるであろう。藤田博士の R 値を用いるに必要な k の値を筆者が算出して 2.1 表に加えておいた。

例題 7.

2.3.2 にのべた消研第 5 回火災実験の場合に P 点のうける熱照度はいくらか？

解

$R = 8.7 \text{ W/cm}^2$ $k = 1.0$ (無風) として 2.3.2 で求めた A_P から (2.6') 式によつて E_P を算出すると

$$E_P = (8.7 \times 0.062) \text{ W/cm}^2 = 0.54 \text{ W/cm}^2$$

3. 植木の火事熱遮り効果

3.1. はじめに

建物の前面に木を植えることによつて、火事のとほきに熱放射がさえぎられ、ひいては延焼を防ぐ助けとなりうるかをみるために、これから 2 ~ 3 の具体的な場面を想定して熱伝達率の軽減率を推定計算してみる。

非常に大規模な火事の延焼を防ぐには都市計画的にいろいろの防火方法を併せ用いなければならぬ¹⁾ 又そのような場合には植木は一团のまとまつた林でなければ延焼の防止に役立つとは期待できないから、防火樹林の形で考える必要があるが、小規模な火事、いわゆる 1 棟火事の程度であれば、前面の数本の植木でも木造建物の保護にはかなり役立つことが明かになるであろう。

以下に木造建物の 1 棟火事として典型的と考えられる 2 階建住宅 2 例、2 階建学校型建築 1 例につ

いて計算する。

各例に共通の想定はつぎのとおりである。

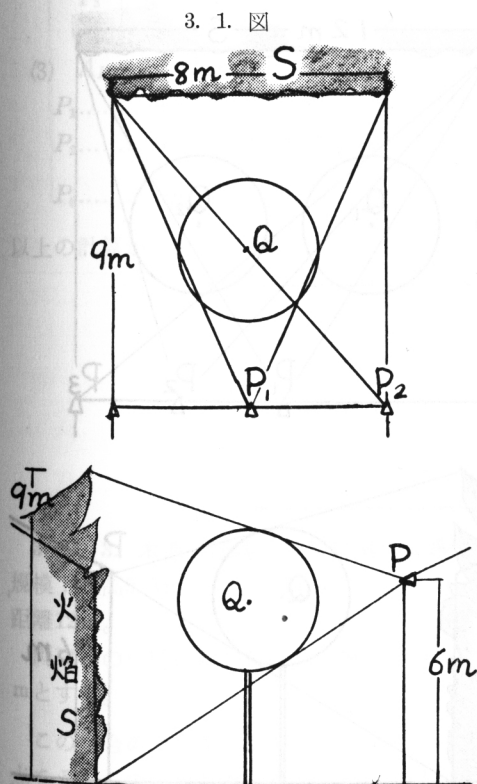
- (1) 火事のまつ盛りにおける火焰面の大きさは 桁行 $\times$ (1.2 倍の棟高) とみなす。
- (2) 火焰面と受熱面は平行にあるものとする。
- (3) 火源の建物の外周は素肌板張で、特に防火仕上は施してないものとし、内部の構造は内壁・間仕切・天井等に左官仕上及び板張部分が普通に混合しているものとする。
- (4) 植木の繁りの率は 80%，木の葉の熱透過率は 5% とする。

3.2. 1 棟火事の熱遮りについて植木の効果の推算

3.2.1. 木造 2 階建住宅 (店舗) 火事 (1)

建物の規模：棟高 7.5 m，火焰高 9 m，間口 8 m，奥行 5 ~ 6 m，可燃物量 110 ~ 140 kg/m²，受熱点との距り 9 m。

植木の位置は両建物の中間中央で 3.1 図のように存在し、形は球形半径 2 m とし、火焰に向きあう建物の軒先を最もよく遮るような位置に樹冠があるものとする。防火被覆がなく素肌木造の建物



が延焼をうけやすい最も危険な部位は軒の附近であるとして⁴¹⁾いるから受熱点を軒高の線上に3点えらんで計算すると次表のようになる。

計 算：

(1) 火焰面 S からの熱伝達率 A_S (1.5.2.2 参照)

	1	b	d	A		A_S
P_1	4	3	9	4.0	A_1	$A_S = 2(A_1 + A_2)$ $= 21$
	4	6	9	6.5	A_2	
P_2	8	3	9	6.2	A_1	$A_S = A_1 + A_2$ $= 16.6$
	8	6	9	10.4	A_2	

(2) 球 Q からの熱伝達率。 $mA_Q = m \cdot \sin^2 \gamma \sin \theta \times 100$ (1.5.2.3 参照)

	$\overline{PQ}$	$\sin \gamma$	$\sin \gamma$	$\sin \theta$	A_Q	m	mA_Q
P_1	$\sqrt{4.5^2 + 0.5^2} = 4.53$	0.442	0.1954	0.994	19.4	1	19.4
P_2	$\sqrt{4.5^2 + 4^2 + 0.5^2} = 6.04$	0.331	0.1095	0.745	8.15	0.5	4.1

(3) $A_P = A_S - k \cdot m \cdot A_Q$ (但し $k = 0.8(1 - 0.05) = 0.76$)

$P_1 \dots \dots \dots A_P = 21 - 0.76 \times 19.4 = 6.3$ (%)

$P_2 \dots \dots \dots A_P = 16.6 - 0.76 \times 4.1 = 13.5$ (%)

以上の計算から次の表がえられる。

	A_P (%)	
	P_1	P_2
① 植木のないとき	21	16.6
② 植木のあるとき	6.3	13.5
植木の熱遮断率* (%)	70	19

* 植木の熱遮断率 $= \frac{① - ②}{①} \times 100$

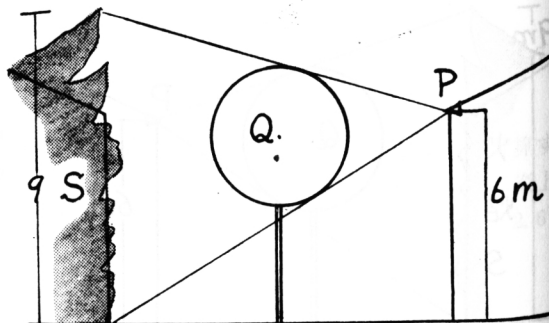
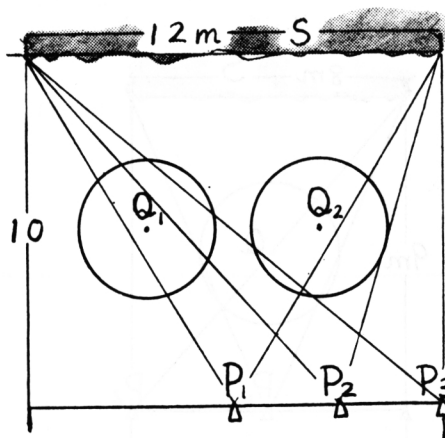
3. 2. 2. 木造2階建住宅 (店舗)

火事 (2)

規模：棟高7.5m, 火焰高9m, 間口12m, 奥行6m, 可燃物量110~140kg/m² 受熱面との距り10m

両建物の中に2本の球形の植木があり、ともに枝張りが4mである。3.2図のように軒高6mに受熱点を3点えらんで熱伝達率を計算する。

3. 2. 図



計 算 :

(1) A_s

	1	b	d	A		
P ₁	6	3	10	4.3	A ₁	$A_s = 2(A_1 + A_2)$ = 23.6
	6	6	10	7.5	A ₂	
P ₂	3	3	10	2.6	A ₁	$A_s = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ = 22.0
	9	3	10	5.5	A ₂	
	3	6	10	4.3	A ₃	
	9	6	10	9.6	A ₄	
P ₃	12	3	10	6.0	A ₁	$A_s = A_1 + A_2$ = 17.0
	12	6	10	11.0	A ₂	

(2) $m \cdot A_Q = m \cdot \sin^2 \gamma \sin \theta \times 100$

		PQ	$\sin \gamma$	$\sin^2 \gamma$	$\sin \theta$	A _Q	m	mA _Q
P ₁	Q ₁	$\sqrt{5^2 + 2.5^2 + 0.6^2} = 5.62$	0.356	0.127	0.89	11.3	0.67	7.6
	Q ₂	Q ₁ に同じ	"	"	"	"	"	"
P ₂	Q ₁	$\sqrt{5^2 + 5.5^2 + 0.6^2} = 7.46$	0.268	0.072	0.67	4.8	0.3	1.5
	Q ₂	$\sqrt{5^2 + 0.5^2 + 0.6^2} = 5.06$	0.396	0.157	0.99	15.5	1	15.5
P ₃	Q ₁	$\sqrt{5^2 + 3.5^2 + 0.6^2} = 6.13$	0.326	0.106	0.82	8.6	0.92	7.9

(3) $A_P = A_s - k \cdot mA_Q$ (但し $k = 0.76$)P₁..... $A_P = 23.6 - 0.76 \times 7.6 \times 2 = 12.1$ P₂..... $A_P = 22.0 - 0.76 \times (15.5 + 1.5) = 9.5$ P₃..... $A_P = 17.0 - 0.76 \times 7.9 = 11.0$

以上の計算から次の表がえられる。

	P ₁ (中央)	P ₂	P ₃ (端)
植木のないとき	23.6	22.0	17.0
植木のあるとき	12.1	9.5	11.0
植木の熱遮断率 (%)	49	58.5	35

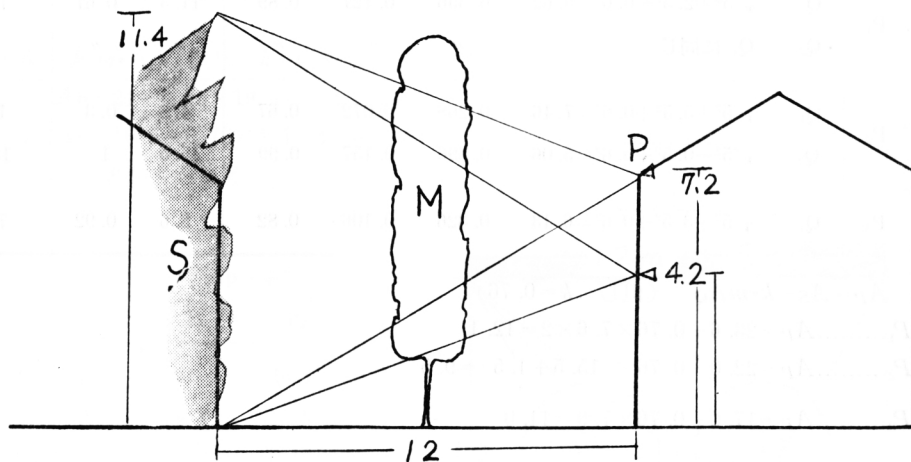
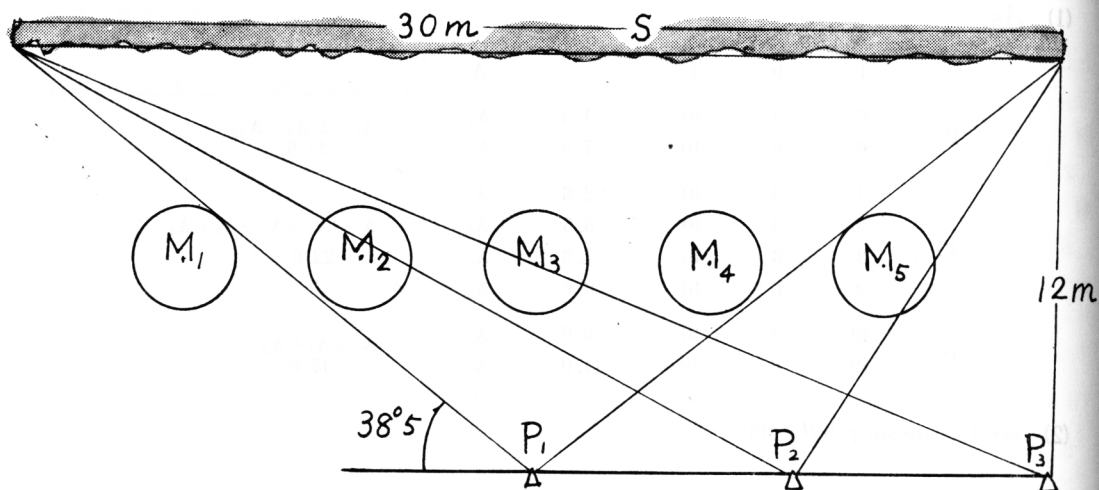
3. 2. 3. 木造2階建学校型建築の火事

規模: 棟高9.5m, 火焰高11.4m, 桁行30m, 奥行8~8.5m, 可燃物量110~140kg/m², 受熱面との距離12m。

両建物の中に建物に平行に植木が1列にある。樹の形は円柱型でその直径3m, 植木の間隔は5mとする。

この場合の受熱率の計算は2.3.3にのべた方法による。地上7.2mの軒高及び地上4.2mに受熱点をえらんで計算した熱伝達率は次のとおりである。

3. 3. 図



計 算：

(1) A_S

	l	b	d	A		
P_1	15	7.2	12	11.0	A_1	$A_S = 2(A_1 + A_2)$ $= 36.4$
	15	4.2	12	7.2	A_2	
P_2	7.5	7.2	22	7.8	A_1	$A_S = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ $= 32.2$
	7.5	4.2	12	5.1	A_2	
	22.5	7.2	12	11.8	A_3	
	22.5	4.2	12	7.5	A_4	
P_3	30	7.2	12	12.2	A_1	$A_S = A_1 + A_2$ $= 20.1$
	30	4.2	12	7.9	A_2	

$$(2) \quad x_s = a(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)$$

	θ_1	θ_2	x_s
P ₁	38°5	38°5	1.56a
P ₂	28°	58°	1.41a
P ₃	21°5	90°	0.93a

$$(3) \quad x_m = 2a \sin\alpha \sin\theta$$

		①	②	③	④	⑤	⑥
		$\sin\alpha$	$\sin\theta$	$\sin\alpha \sin\theta$	遮断係数	③×④	Σx_M
P ₁	M ₃	0.25	1	0.25	1	0.25	1.1a
	M ₂	0.192	0.77	0.148	1	0.148	
	M ₄	M ₂ に同じ	"	"	1	"	
P ₂	M ₃	0.156	0.624	0.097	1	0.097	1.0a
	M ₄	0.23	0.923	0.214	1	0.212	
	M ₅	M ₄ に同じ	"	"	0.9	0.192	
P ₃	M ₃	0.093	0.37	0.035	0.5	0.017	0.46a
	M ₄	0.129	0.515	0.065	1	0.065	
	M ₅	0.192	0.77	0.148	1	0.148	

$$(4) \quad m = \frac{\Sigma x_m}{x_s}$$

	m	km (k=0.76)	1-km
P ₁	0.71	0.54	0.46
P ₂	0.71	0.54	0.46
P ₃	0.495	0.375	0.625

$$(5) \quad A_P = (1 - km) A_S$$

$$P_1 \dots \dots \dots A_P = 0.46 \times 36.4 = 16.7$$

$$P_2 \dots \dots \dots A_P = 0.46 \times 32.2 = 14.8$$

$$P_3 \dots \dots \dots A_P = 0.625 \times 20.1 = 12.6$$

	P ₁	P ₂	P ₃
植木のないとき	36.4	32.2	20.1
植木のあるとき	16.7	14.8	12.6
植木の熱遮断率 (%)	54	54	37.5

3. 2. 4. 考 察

実際に火事がおこった場合に各点のうける熱伝達率は、火事の規模により、燃え方の相違によつて必ずしも同一ではないとしても、火事のまつ盛りの熱源の熱放射の強さに対して受熱点を受取る熱伝達率のおおよそは上の計算例から——これらはいくつかの仮定の下に引出された数字ではあるが——ほぼ見当がつくであろう。すなわち植木のない場合に火事に向きあっている壁面上で一番多く熱をうけるであろう点（それは多くの場合、火焰面の中央線に向きあう壁の軒の高さのあたりであろう）の熱伝達率を基準にとつて、受熱面上のどの点もが基準量の $\frac{1}{2}$ 以上はうけないように植木によつて保護するには、そう多くの植栽量は必ずしも入用でなく、上の例にみる程度の少い植え方でも、この植木が引火することさえなければ、ほぼその目的を達しているといえよう。

植木の形について考えると、同じ半径をもつのであれば明らかに球よりは円柱型の方が熱を遮る力が大きいため、球と同じ効果をもたせるにはやや半径の小さい円柱でたりる。そのどちらの形を用いるのが適するかは陽当り、風通し、目隠しの要求、樹種、保護すべき壁面の状況を総合的に考えてきめるべきであるから、この問題は別の機会に考えることにして、ここでは住宅風建築には球形を用い校舎風建築では棟高が高く、火焰面が大で熱伝達率の大きいことなどを主として考慮して円柱形を用いて計算した。

4. 要 約

1. 火事の延焼防止に植木を用いる計画をするには、植木を熱源の前面に植えこむことによつて、火事を受熱がどのように低下するかを見積計算できるようにすることがのぞましい。すなわち熱源の形、大きさ、熱放射の強さ、受熱点までの隔り、防火用の植木の位置、形、大きさ等の諸元を知つて、任意の受熱点に熱源からうける熱照度・熱伝達率をおおよそ推算できることが必要である。本章において筆者はその計算法をあらわすものである。

まず放射熱の伝達についてその法則・計算理論を本文の理解に必要な程度と範囲で略述した。それで熱源の形としては矩形面・球形・円柱形の熱源からの熱伝達の計算法と、熱源と受熱点との間に障害物がおかれた場合の熱伝達率の計算の方法に主力がそそがれた。

2. つぎに、この熱伝達の計算法を火事の熱放射が植木によつて遮られるとき植木の効果の推定計算に適用する仕方、その計算法の特長をとりあげ、この推算を可能にするために解決しなければならない諸問題をとりあげた。まず火事の機構・経過には定常状態が非常に短く、不定常な面が多いため推定計算を困難にしているが、防火植栽の問題にとつては「延焼の危険」に焦点がおかれるから、火事の勢のまつ盛りの一番定常状態に近い期間に観点をしほることができ、それによつて推定計算の上に実際の簡便な処理法を見出し提案した。また植木の形・輪郭が複雑であつては計算に不便であるから、これを球形あるいは円柱形とみなすことによつて取扱いを簡単にし、また植木の輪郭が部分的に熱遮断に働くような場合の実用的計算法（球形あるいは円柱形障害物の熱有効遮断率の計算法）を編み出した。さらに植木の葉の繁りについて、透間の問題、熱透過率の問題を実証的に解決して、植木の火事熱遮断効果の推定計算の可能なところまで導いた。

3. つぎにこの推定計算法をつかつて、標準的な建物（想定）3例について1棟火事において植木が発揮する防火の効果を推定計算してみた。それによつて疎な防火植栽によつても相当の熱遮断効果のあることが知られるであろう。

引 用 文 献

1. Belehrádek, J. (1935). Temperature and living matter. Berlin.
2. Masuyama, J. & Hamada, M. (1952), Plant death by heat action. Mem. Col. Agr. Kyoto Univ. 64
3. Heilbrunn, L. V. (1954), An outline of general physiology. p. 478~491.
4. 佐藤敬二 (1944), 樹木の耐火性研究 山林 744 p. 4~11.

5. 細井 守 (1944), 防火樹の基礎的研究——葉の含水量及び加熱による水分減小速度について 京大農学部卒業論文 (未刊)
6. 木村英夫・加藤和男 (1948), 樹木の防火性に関する研究, 造園雑誌 11 (1) p. 11~15.
7. 井上 桂・中元六雄 (1950), 樹葉の燃焼. 日本林学会誌 33 (4). p. 125~131.
8. 秋田一雄 (1955), 木材の着火性に関する研究 (4). 火災学会論文集 4 (2) p. 55~58.
9. 森本 博 (1956), 木材の着火性試験方法 木材工業 110. p. 225.
10. 田中八百八 (1935), 火災 (岩波防災科学 5 卷) p. 115~155.
11. 日本火災学会 (1955), 火災便覧.
12. 漆原・尾沢 (1950), 引火点及発火点 (化学実験 3 卷) p. 462~529.
13. 秋田一雄 (1953), 木材の着火性に関する研究 (1) 火災学会論文集 3 (1) p. 1~3.
14. 中村貞一 (1949), 樹林の防火力の研究 II. 1. 造園雑誌 13 (1) p. 18.
15. 内田祥文 (1940), 建築学会論文集 19号 p. 64~72.
16. 同 (1954), 建築と火災. p. 153~155.
17. 藤田金一郎 (1954), 火災輻射標準曲線加熱をうける杉枝の温度上昇. 建築学会論文集48号 p. 119.
18. 川越邦雄 (1955), 軽量鉄骨造の火災実験 (1 階部).
19. 同 (1955), 耐火構造内の火災の性状 (5) 火災学会論文集 5 (1) 9~12.
20. 日本火災学会 (1955), 火災便覧. p. 140.
21. 中村貞一 (1949), 樹林の防火力の研究 II. 1. 造園雑誌 13 (1). p. 17.
22. 浜田 稔 (1952), 風による焰の傾きに関する研究. 火災学会論文集 1 (2). p. 41.
23. Moon, P. (1936), The scientific basis of illuminating engineering.
24. 大賀真二 (1942), 伝熱諸論とその応用.
25. 平山 嵩 (1948), 建築設計理論.
26. 渡辺 要 (1949), 建築計画の研究 I 昼光照明.
27. 小木曾定彰 (1955), 建築学大系 8 卷 II 照明学. p. 164~185.
28. 日本建築学会 (1951), 建築設計資料集成 2. p. 39~42.
29. 中村貞一 (1951), 日本火災学会論文集 1 卷 1 号 p. 21~23.
30. 藤田金一郎 (1950), 火災と建築要覧.
31. 建築技術研究会 (1951), 建築の防災 p. 159~203.
32. 中村貞一 (1951), 日本火災学会論文集 1 卷 2 号 p. 49~51.
33. 空本吉造 (1946), 火災防禦戦術.

Résumé

In a fundamental research project for fire protection of wooden buildings in urban districts, and for forest fire breaks in Japan, the writer attempted to throw some light on two subjects; one, the fire resistance of the leaves of various commonly grown trees, two, a device to estimate the heat shielding efficiency of plantings as the means for fire protection.

The first part, entitled "Fire Resistance of the Leaves of Various Commonly Used Trees" consists of two chapters. Chapter 1 covers measurements of some properties affecting fire resistance of tree leaves as carried out with 120 species, including tests of flammability and combustion types (1.1 and 1.2). Section 1.3 covers tests of the comparative time required for the flaming up of leaves, and Sec. 1.4 covers experiments on the comparative dehydrating velocity at a temperature 110°C of various commonly used trees. Nine original tables show the comparative results of tests of these properties as possessed by various trees. The writer examined conditions which might serve as a successful index of the fire resistance of leaves. The comparative flaming time was found to be generally the best index (Sec. 1.6).

In the second chapter is reported experimental studies on fire resistance of plantings in front of a building with flames issuing from its windows. This experiment was held in January, 1955. It was sponsored by the Architectural Research Institute of the Ministry of Construction, with the cooperation of specialists in various fields. An experimental incendiary fire was created in a fireproof building which has a floor space of 16 square meters and windows of six square meters on opposite sides. To study the fire resistance of leaves around such a building, 60 twigs of *Evonymus japonica* and, for contrast, pieces of dry wood, were hung, being spaced regularly in a three dimensional pattern (Figs. 1.1 and 1.3).

Measurements of heat radiation and many photographs of flames bursting out of the building were taken. The results obtained are shown in Fig. 2.8. The writer noted that the areas in which the *Evonymus* twigs were burned seemed to coincide approximately with the reach of the flames, but that many of the dry wood pieces were burned at a distance far beyond the reach of the flames, (Figs. 2.9 and 2.10)

In the second part, entitled "How to Estimate the Heat Shielding Efficiency of Fire Protection Plantings" the writer's aim is to find a means for estimating the heat shielding efficiency of plantings in front of fire, provided there are available such necessary data as the size and heat radiation of the fire source, the distance and relative position of the area to be shielded, the kind of plantings and the heat source.

In Chapter 1 he develops formulae for the computation of heat radiation, using the solid angle projection method and the contour integration method. He describes with special fullness the methods for estimating rectangular, spherical and cylindrical sources, and the computation formulae to be used when radiation is interfered with by some obstacles. In Chapter 2 the writer tries to settle some problems arising from the practical application of these formulae in practice, such as estimating the standard size and heat radiation of the fire source, the practical treatment to be followed when dealing with irregular shapes of foliage plantings, the heat transmissibility of leaves and so on. He develops a short cut for such estimating.

In Chapter 3 the writer computes several examples of the heat shielding efficiency of plantings in front of standard sized buildings on fire.