

標準的な居室内の火災性状に関する研究

森尻 宏* , 飯田 明彦* , 富田 功*

概 要

一般的な居室の燃焼性状を究明し、燃焼実験を行なうには、居室内収容物の実態把握が不可欠である。このことから、平成13年に東京消防庁管内で共同住宅から発生した部分焼以上の火災100件について居室内収容物の大きさや種類、配置場所等について調査を行い、このうち居室から出火した82件の火災について、出火室内の収容物をデータベース化した。本研究ではこの調査を行った母集団を標準的居室と定義し、標準的燃焼速度について言及するとともに、統計的考察を行った。

(1) 結果

ア 出火室の平均容積	24.9立法メートル
イ 平均床面積	10.8平方メートル
ウ 平均居室表面積	51.4平方メートル
エ 家具の平均個数	5.4個
オ 各居室内家具の合計体積(平均値)	2.1立法メートル
カ 各居室内家具の合計表面積	9.5平方メートル

(2) 結論

開放系家具と閉鎖系家具の表面積の合計値を求め、多変量解析の主成分分析手法を用いて統計処理を行った結果、発熱速度と主成分得点(閉鎖系家具と開放系家具の表面積から求めたベクトル値)との間に相関関係があることがわかった。

1 はじめに

火災初期において、居室内の家具や収納物等は、燃焼の拡大・進展に大きな役割を果たすとともに、消防活動や都民の初期消火、避難行動などにも大きな影響を与える。また、家具の種類、量、配置、空間に占める比率、材質等も、室内の燃焼性状や有毒ガスの発生、消火方法、時期等にかかわってくる。

家具等の燃焼性状に関しては、固有の家具の燃焼性状や材質による有毒ガスの発生状況、居室内家具の配置状況の調査等について、過去にさまざまな研究がなされている。

しかしながら、居室内の家具等の量と配置が実際に室内の燃焼性状にどのような影響を与えるか、実火災との比較検証までは行われていない。

本研究では、居室で発生した実火災を調査し、標準的な居室内の収容物についてその種類、量、体積比等について統計的に集計を行い、燃焼実験における基礎的データを作成するとともに、過去に行われた実験から、家具等の燃焼による総合的な危険性等を把握し、標準的な居

室内の火災性状の解明資料とすることを目的とした。

2 調査方法

本研究では、東京消防庁の各消防署から予防部調査課に報告された火災原因調査書をもとに、共同住宅における出火区画の間取り、家具等収容物の個数、配置場所、形体と体積、隣接家具の個数等について調査を行った。

家具の配置状況と大きさ、量、位置関係、種類等が延焼経路に対し、どのような影響を与えるかを究明するため、調査書に記載された延焼火災の出火室平面図及び立面図から、出火室の面積、家具等の配置状況、出火箇所から家具までの距離等について、以下に示す方法で各調査書よりデータを抽出し、単純化することでデータベースを作成し、集計した。

(1) 調査対象火災

平成13年1月～6月に、東京消防庁管内で共同住宅から発生した部分焼以上の火災100件の内、台所、外壁等屋外から出火した火災を除き、82件を調査対象火災とした。

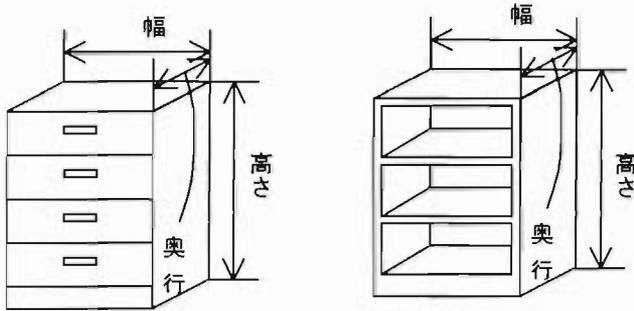
* 第一研究室

(2) 調査対象とした家具

調査対象の家具は、居室内の収容物のうち、川越ほか(1978)による研究の対象となった収容物とした。本研究では、家具の空間的な位置関係を検討するため、電化製品、ふとん等も家具の一種(収容物)として扱った。

(3) 家具の計測

図2.1のように、各家具について、それぞれ体積、表面積を算出するのに必要な寸法を読み取り、直方体として単純化した。



タンス (閉鎖系家具)

棚 (開放系家具)

図 2.1 家具の寸法の計測

(4) 家具の配置

図2.2に示すように、家具の配置をパターン化し、分類した。縦線で示された家具が調査対象家具、点で示された家具が隣接する家具とした。これについては、後に述べる家具の表面積の計算に利用するため、図中に示す分類番号ごとにデータとして入力し、同様に単純化した家具のモデルとあわせて処理した。

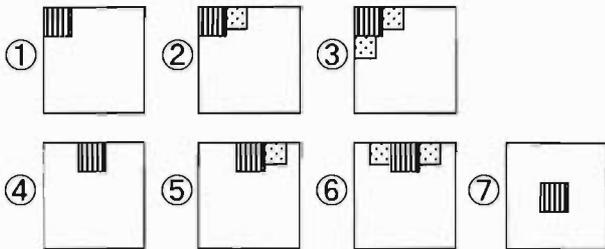


図 2.2 居室内の家具の配置パターン模式図

(5) 家具の分類

ここでは、空間的な配置や容積等について検討するため、「川越ほか(1978): 単一燃焼による家具の燃焼・発煙特性」の分類に基づき、家具を「開放系」、「閉鎖系」の2種類に分類した。形態の分類に注目するため、開放型は「テーブル」、「書棚」のように内部の構造が露出していて、表面積が大きいものをさす。閉鎖型は「タンス」、「マット」のように、引き出し、扉等を開放しない限り内部が露出しないタイプのもので、表面積が小さいものである。

3 結果

(1) 対象居室の建物構造

調査対象となった建物の構造については、図3.1及び表3.1のように、耐火造54.88%、防火造39.02%、木造2.44%という結果になった。

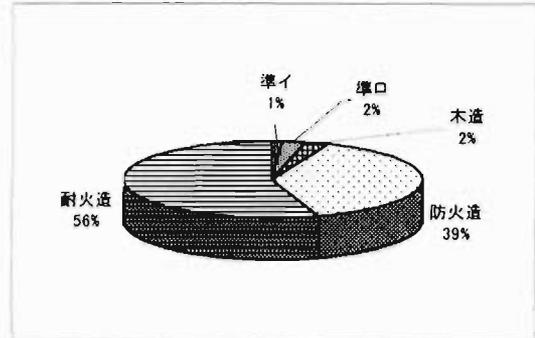


図 3.1 建築構造別件数

表 3.1 調査対象の建築構造

建築構造	件数	割合 (%)
耐火造	45	54.88
防火造	32	39.02
木造	2	2.44
準口	2	2.44
準イ	1	1.23
計	82	

(2) 出火室の間取

出火室の間取りとその形態については、通常ワンルームと呼ばれる居室形態が和室と洋室を併せると約75.4%という結果になった。

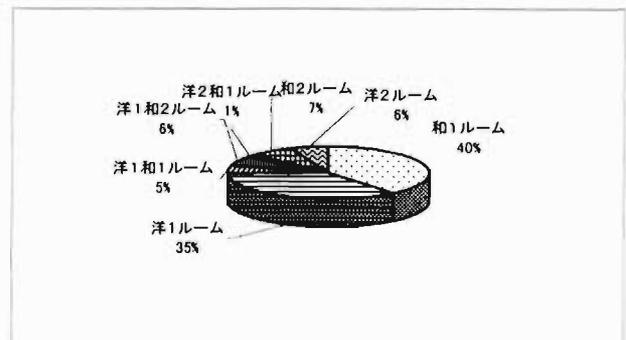


図 3.2 出火室の間取

表 3.2 出火区画の構成

間取り	個数	割合 (%)
和 1 部屋	32	39.02
洋 1 部屋	29	35.37
洋 1 和 1 部屋	4	4.88
洋 1 和 2 部屋	5	6.10
洋 2 和 1 部屋	1	1.22
和 2 部屋	6	7.32
洋 2 部屋	5	6.10
計	82	

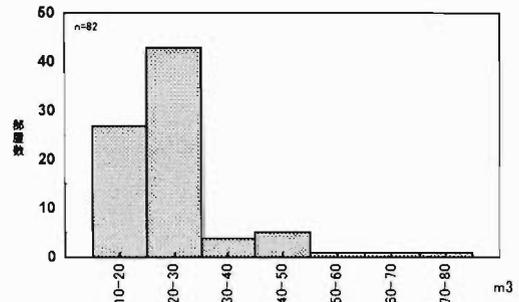


図 3.4 居室容積のヒストグラム

(3) 居室床面積

床面積は図 3.3、表 3.3 に示す通り、5~15 m²の範囲内に収まることがわかった。

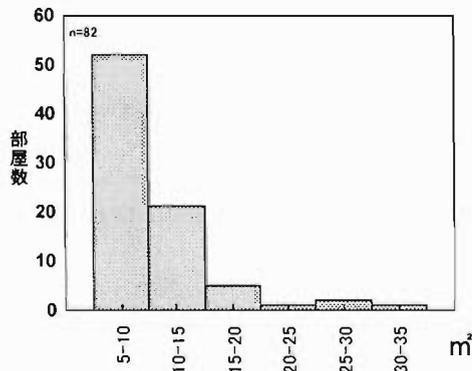


図 3.3 居室床面積のヒストグラム

表 3.3 居室床面積の内容

最小値	7
最大値	34.5
合計	887.3800
要素数	82
平均値	10.8217
メジアン	9.86
標準偏差	4.7787
分散	22.8361

(4) 居室の容積

居室の容積は、天井高を 2.3m として算出した値を使用した。その結果、図 3.4、表 3.4 に示すように平均が 24.89 m³ で、峰が左側、右に裾を引いた分布となった。

表 3.4 居室容積の内容

最小値	16.1
最大値	79.35
合計	2040.974
要素数	82
平均値	24.8899
メジアン	22.678
標準偏差	10.9910
分散	120.8029

(5) 居室の表面積

各居室の表面積を計測した結果について、床面積は調査書の計測値から、壁面の面積については、高さを 2.3m とし、底辺の長さを床面積の平方根から算出 (以下の式) した。

$$\text{居室の表面積} = (\text{床面積} + 2 \times \text{高さ} \times \sqrt{\text{床面積}}) \times 2$$

この結果について、図 3.5、表 3.5 に示す通り、居室表面積の分布は峰が左端に、裾は右側に引く形態となる。

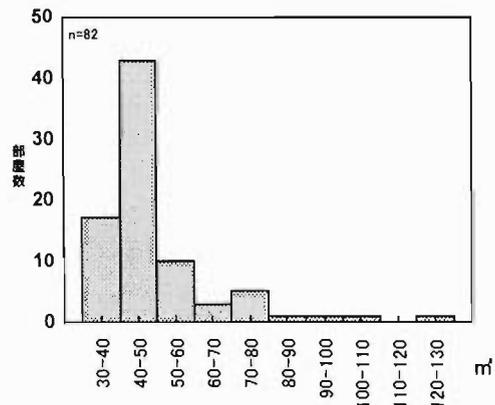


図 3.5 居室表面積のヒストグラム

表 3.5 居室表面積の内容

最小値	38.3409
最大値	123.0378
合計	4213.8342
要素数	82
平均値	51.3882
レンジ	48.6079
標準偏差	15.1475
分散	229.4470

(6) 家具の個数

今回の調査では、図 3.6、表 3.6 に示す通り各室 4～6 個以上の家具が置かれていることがわかった。ヒストグラムで表現すると、峰が中央でやや右に裾を引いた形態となる。

また、それぞれ洋室、和室内に設置される家具の個数について、家具の構成と分類別に比較をした。その結果、洋室については、図 3.7-a、図 3.7-b、表 3-7 に示す通りであるが、書棚や棚といった開放系家具の個数は 96 個(44%)、電化製品やたんすといった閉鎖系家具の個数は 126 個(56%)、和室は、図 3.8-a、図 3.8-b、表 3-8 に示すように、開放系家具の個数は 99 個(44%)、閉鎖系家具の個数は 125 個(56%)となり、開放系家具と閉鎖系家具の個数について、居室の和洋様式別に大きな違いは認められなかった。いずれにしても、収容家具等は電化製品、棚、書棚、たんす、ふとんの占める比率が高いことがわかる。

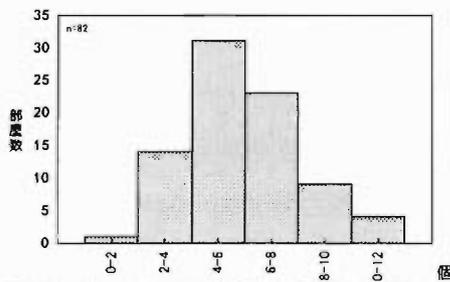


図 3.6 各室内家具の個数のヒストグラム

表 3.6 各室内家具の個数の内容

最小値	0
最大値	10
合計	445
要素数	82
平均値	5.4268
レンジ	5.5
標準偏差	2.0729
分散	4.2970

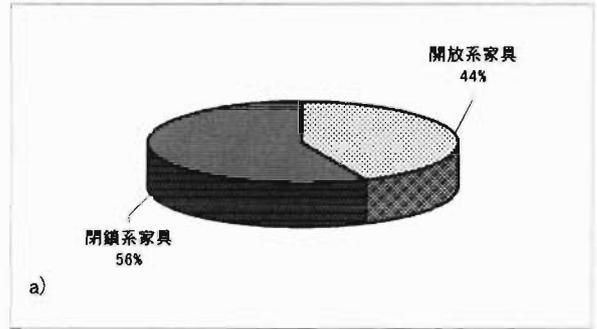


図 3.7-a 洋室における閉鎖系家具と開放系家具の比率

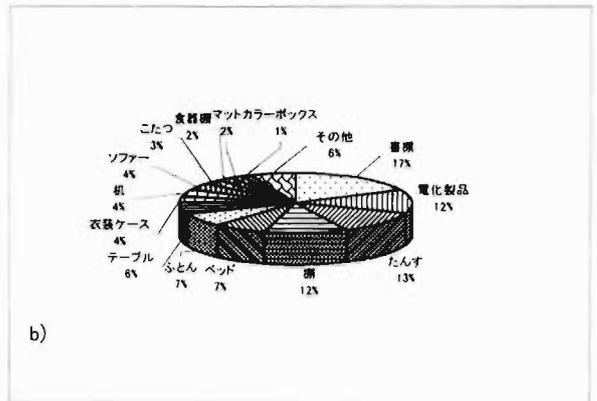


図 3.7-b 洋室における収容家具の比率

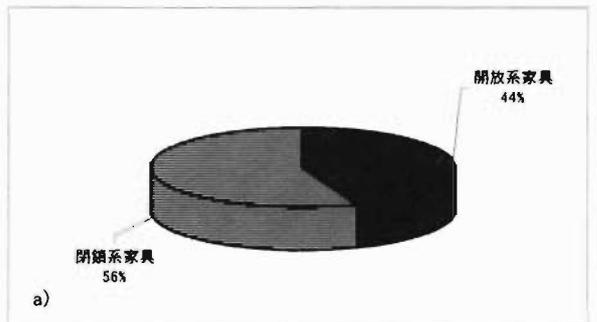


図 3.8-a 和室における閉鎖系家具と開放系家具の比率

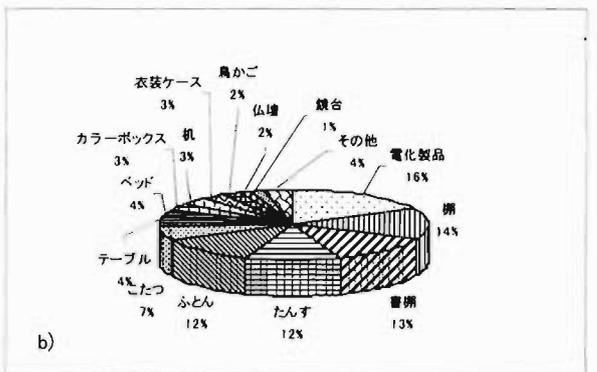


図 3.8-b 和室における収容家具の比率

表 3.7 洋室内の家具の構成

洋室内収容物	計測数	割合 (%)	分類
書棚	39	17.57	開放系
電化製品	28	12.61	閉鎖系
たんす	28	12.61	閉鎖系
棚	26	11.71	開放系
ベッド	16	7.21	閉鎖系
ふとん	16	7.21	閉鎖系
テーブル	14	6.31	開放系
衣装ケース	8	3.60	閉鎖系
机	8	3.60	開放系
ソファ	8	3.60	閉鎖系
こたつ	6	2.70	開放系
食器棚	4	1.80	閉鎖系
マット	4	1.80	閉鎖系
カラーボックス	3	1.35	閉鎖系
仏壇	2	0.90	閉鎖系
ストーブ	2	0.90	閉鎖系
いす	2	0.90	開放系
ピアノ	2	0.90	閉鎖系
小物入れ	1	0.45	閉鎖系
その他	5	2.25	
計	222		

表 3.8 和室内の家具の構成

和室内収容物	計測数	割合 (%)	分類
電化製品	39	17.41	閉鎖系
棚	32	14.29	開放系
書棚	28	12.50	開放系
たんす	26	11.61	閉鎖系
ふとん	26	11.61	閉鎖系
こたつ	15	6.70	開放系
テーブル	10	4.46	開放系
ベッド	8	3.57	閉鎖系
カラーボックス	7	3.13	開放系
机	7	3.13	開放系
衣装ケース	6	2.68	閉鎖系
鳥かご	5	2.23	開放系
仏壇	4	1.79	閉鎖系
鏡台	3	1.34	閉鎖系
ソファ	2	0.89	閉鎖系
座いす	2	0.89	開放系
小物入れ	1	0.45	閉鎖系
ストーブ	1	0.45	閉鎖系
茶タンス	1	0.45	閉鎖系
食器棚	1	0.45	閉鎖系
計	224		

(7) 家具の表面積

ここでは、各室内家具の総表面積について表 3.9 に示した方法で算出し、分類と比較を試みた。全家具の表面積は図 3.10 に示したが、これは両裾に均等に分布する。開放系(図 3.11)、閉鎖系(図 3.12)の両方の家具は右に裾を引く分布を示すが、開放系家具は峰が左端にあ

ることから表面積が小さい傾向にあることがわかる。また、図 3.11、図 3.12 の合計が図 3.10 と一致しないのは、各室ごとの開放系家具と閉鎖系家具の個数と表面積がそれぞれのグラフに対応しないため、単純な合計にならないことが理由である。表 3.11 に示す通り、閉鎖系の表面積の合計は開放系のものに比べ約 1.58 倍になった。

表 3.9 家具の配置パターン別表面積測定方法

図 2.2 のパターン	表面積の計算法方法
①	幅×奥行き + 幅×高さ + 奥行き×高さ
②	幅×奥行き + 幅×高さ
③	幅×奥行き
④	幅×奥行き + 幅×高さ + 2(奥行き×高さ)
⑤	幅×奥行き + 幅×高さ + 奥行き×高さ
⑥	幅×奥行き + 幅×高さ
⑦	幅×奥行き + 2(幅×高さ + 奥行き×高さ)

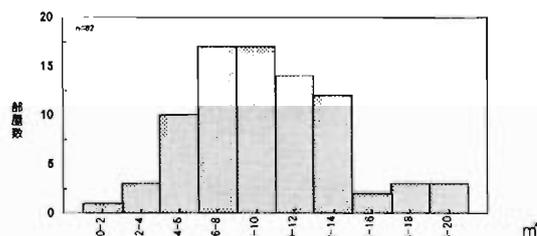


図 3.10 各室内の家具の総表面積分布

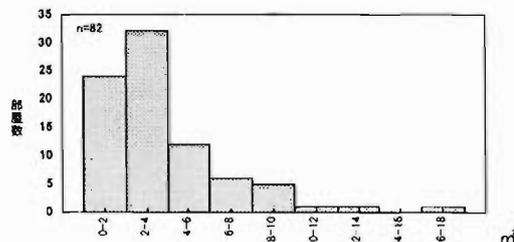


図 3.11 開放系家具の表面積

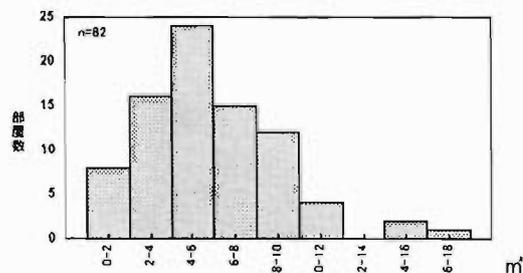


図 3.12 閉鎖系家具の表面積

本研究では、「開放系」、「閉鎖系」2種類の表面積の関連性を検討するために、多変量解析の手法、主成分分析を試みた。主成分分析とは、ある問題に複数の要因が予想される時にそれらの要因を総合的に処理するための手法である。ここでは、「開放系家具の表面積」(第1主成分)と「閉鎖系家具の表面積」(第2主成分)の2成分について、主成分分析の結果得られた各室の主成分得点と家具の総体積、総表面積とを比較する。主成分得点の順にそれぞれ各室の総体積、総表面積を並べ替えたものをグラフ化したのが図 3.13 である。その結果、主成分得点の増加に伴い、開放系家具の表面積は増加し、閉鎖系家具は減少しているのがわかるが、体積との関連と変化は特に認められない。なお、このグラフについての解釈は考察で述べる。

表 3.12 各居室に設置される家具の総体積等の統計分析結果

	総体積	総表面積	開放系家具表面積(第一主成分)	閉鎖系家具表面積(第二主成分)
最小値	0	0	0	0
最大値	7.9	19.67	17.46	16.46
合計	168.97	775.59	299.77	475.83
要素数	82	82	82	82
平均値	2.0606	9.4585	3.6558	5.8027
平均	4.5361	12.0663	1.7075	4.2338
標準偏差	1.2821	3.8889	3.1068	3.2720
分散	1.6438	15.1235	9.6519	10.7057

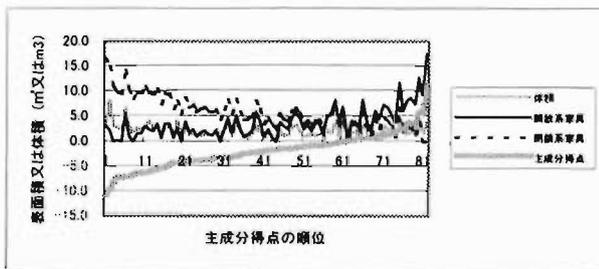


図 3.13 主成分分析の結果(横軸の数値は主成分得点について昇順)

(8) 予想される燃焼量

火災性状の解析においては、多くの場合、燃焼速度は換気因子、床面積について換気という観点から求められることが多い。区画内の可燃物の燃焼速度が熱的条件や燃料表面積に無関係に換気量のみで決定されるとした若干制限のある川越の式(川越ほか(1963))や換気支配条件と燃料支配条件に区別した Harmathy ほか(1972)の例がある。

燃焼物の表面積を対象としているため、本研究では Bullen ほか(1987)の式を用いて算出する。重量減少速度 m_p [g/s]は、熱を受けて可燃物の部分が熱分解し気体となって雰囲気中に逃げ去っていく速度である。定常

の燃焼を仮想すれば、可燃物への正味の入射熱流束 q_f [kW/m²]と可燃物の熱分解潜熱 L_v [kJ/kg]を用いて、 $m_p = q_f \cdot A_f \cdot L_v$ の関係がある。

なお、 q_f は、区画火災の場合に、温度が 1,000°C (1273K)に達したときに、輻射が 150 [kW/m²]になるとされる、燃焼速度 m_p が、換気因子のみでは決定されず、上式に示す通り可燃物表面積に比例することを示している。

ここでは、熱分解潜熱として、取り上げたサンプルには木材以外の家具も多数存在したが、開放系家具は木質のものが圧倒的に多く、先の項目で述べた成分分析の結果から、開放系のほうが閉鎖系家具と比較して開放系家具の効果が大きいと判断できるため、木材の $L_v = 1340$ [kJ/kg]を採用した。各室の家具の表面積による燃焼速度の算出結果を図 5.4 に示す。

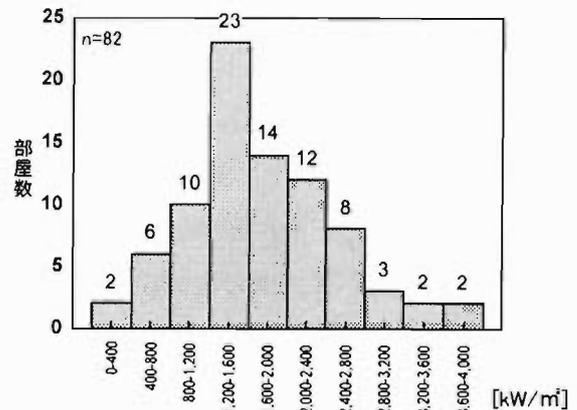


図 5.4 予想される燃焼速度の分布

表 5.4 予想される燃焼速度の分布

最小値	0
最大値	3909.9
合計	141685.3986
要素数	82
平均値	1727.8707
平均	2490.3563
標準偏差	754.8467
分散	569793.5578

4 考察

以上本研究で集計した結果について検討する。

建物構造を分類した結果、耐火造と防火造の比率が多く、木造家屋が少なくなったのは、調査対象物の用途を共同住宅としたことに起因すると考えられる。

居室の容積、床面積、表面積についてはいずれもほとんどが床面積 4.5 畳～6 畳であったために、分布に偏りが生じた可能性は否めない。

居室一部屋について、家具の個数は 5～6 個の場合が最も多く、最多で 10 個設置されているものもあった。和室・洋室両方で比較したところ、家具の個数の差は特に認められなかった。また、和洋室ともに開放系家具、

閉鎖系家具の両者の比率についても、44%、56%という結果となり、ほとんど同様の結果が得られた。このことは、調査対象がほとんど居室一部屋かそれに近い部屋であったため、特徴に差が生じなかったと考えられる。

家具の表面積を合計した分布については、峰は中央にあるが、左に裾を引く形状で、開放系家具のモードは2～4 m²、閉鎖系家具は4～6 m²で、いずれも右に袖を引く同様の分布を示すが、開放系家具は右端に峰がよる形状となっている。

家具の種別は、表 3.7、3.8 に示す通り、椅子、机、テーブル、ソファなどといった形態的にも、材質的にも多種多様となっている。そのため、従来から懸案となっているが、いまだ最適な測定方法がなく重要な要素でもある燃焼物としての家具の表面積について、関連性を見出すため図 3.13 に示す主成分分析をしたものである。各室収容家具の体積、表面積について、主成分得点の低いものから順にグラフ化したものである。このグラフから、主成分得点が、燃焼物である家具の表面積の指標であるとするならば、開放系家具の表面積の増加、閉鎖系家具の表面積の減少が全体としての家具（燃焼物）の表面積の増加すなわち発熱速度の増加につながると考えられる。実際は、開放系家具の表面積はここで測定した数値より大きいと、主成分分析の結果（主成分得点）に多大な影響を与えると考えられる。過去の調査研究では、表面積について具体的に評価できていないことを考えると、この主成分分析結果について研究を行っていくことの重要性が見出される。

燃焼速度については、以前は家具の燃焼性状は、その構成材料の特性、家具の形状や寸法、および着火の方法に依存し、著しく複雑であるため、実用的な予測手段は現存せず、将来的にも究明は難しいとされている。しかし、いくつかの報告で様々な発熱パターンについてデータが求められている。一方で、本研究では出火室からのデータを利用し、空間的要素を重視して、Bullen ほか（1987）の式を利用した。その結果として、数値的には推測値に近い数値となった。これは、今後研究を進めるにあたり、実験値と比較・検討を行うためのよい材料となった。

5 まとめ

本研究では、当庁管内の一定期間内に発生した火災事例について特に一般的居室の収容物である家具の表面積に着目して、データを集計したものである。

家具については、燃焼性状について多くの問題を抱えているため、一つの結論に到達できていないのが現状である。それは、構成材料、形状、発熱機構が多岐にわたり、近年の OA 機器等電化製品の普及に伴う新種の家具が普及しつつあるため、より複雑化しているためである。

今回は、具体的な家具の燃焼実験を前にした、調査

研究として標準的な居室にみられる家具等収容物について、当庁が作成した火災原因調査書から読み取った出火室内のデータをもとに集計した結果から、空間的要素について検討を試みたものである。

今後はこれを踏まえ、より具体的な結果を得るために詳細なデータを入手する必要がある。火源そのものと火源の位置データ等を扱い、居室空間について検討を深める必要がある。このように、居室に対する燃焼量、燃焼速度をより詳細に把握できれば、居室の潜在的な危険性の把握、フラッシュオーバーに達する時間の見積もりなど、消防隊にとって活同上の安全管理に有効な知識につながっていくと考えられる。

更には、燃焼実験を通じて家具の詳細な燃焼パターンなど個別の基礎データを集積していくべきであろう。火源情報（燃焼物、位置等）等調査結果からのデータ入力の実を図ることで、シミュレーションに利用できるようデータベース化し、より現実に即した居室の燃焼性状把握に近づけていくことができるものと思われる。

参考文献：

- 1) 田中ほか(1993)：建築火災安全工学入門
- 2) 長谷見雄二(1988)：火事場のサイエンス
- 3) 日本火災学会編(1997)：火災便覧第3版
- 4) 川越ほか(1963)：壁体の熱伝導率の違いによるコンクリート造建物内の火災温度曲線の推定，日本火災学会論文集，Vol. 13, No. 1
- 5) Harmathy *et al.* (1972)：A New Look at Compartment Fires, Part I/Part II, Fire Technology, Vol. 8
- 6) Bullen *et al.* (1987)：Compartment Fires with Non-cellulosic Fuels, 17th Symposium (International) on Combustion, 1139-1147
- 7) 川越ほか(1978)：単一燃焼による家具の燃焼・発煙特性（東京理科大学卒業論文）

STUDY OF ORDINARY INDOOR FIRES

Hiroshi MORIJIRI*, Akihiko IDA* and Isao TOMITA* .

Abstract

The property of ordinary indoor fires depends on the kind and number of furniture pieces in the experiment room. We have investigated the 82 fires that occurred in TOKYO .

The statistical result in this report is about standard combustion speed.

Average volume of the room	24.9 m ³
Average floorage of the room	10.8 m ²
Average room surface area	51.4 m ²
Average number of furniture in one room	5.4
Volume of the furniture in total	2.1 m ³
Surface area of the furniture	9.5 m ²

* First Laboratory