

山火事燃焼機構の研究

第1報 連続する燃材の延焼性と密度との関係*

中村貞一 (造林学研究室)

Sadaiti NAKAMURA

Studies on the Combustive Mechanism of Forest Fires

1. On the Relations between Density and Flame Advancement in Fires of Continuous Combustibles

1. 研究目的

植物性材料の引火性・延焼速度を左右する因子としては、(1)含水率 (2)比重 (3)気温 (4)相対湿度 (5)風向 (6)風速 (7)材料の空間配置・集積度 (8)酸素の濃度・拡散速度と、かなり多くの因子の参加が考えられる。山火事の behavior や延焼の速度を取扱う場合には、さらにこのほかに、(9) 燃焼をはげしくするような気象条件 (blow-up がおこりやすい気層温度勾配・気圧配置) がかわる。

含水率・気温・相対湿度・風向風速が、植物性材料の引火・延焼におよぼす影響については、すでにある程度の研究⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾がなされており、木材の見かけの比重と発火性(発火時間)との関係についても、近年秋田⁽⁷⁾の研究によりかなり明らかになった。

しかし材料の空間配置・集積度が、引火・延焼にどのような影響をおよぼすかの実験的研究は、まだ非常に不十分であって、わずかに斜面に火がはい上るときの延焼速度の増大について、みるべき研究があるにすぎない。

⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

材料の空間配置と延焼速度の関係は、山火事については、林内可燃物の集積の仕方 — 大小・粗密さまざまの材料の立体的分布のいろいろの形 — が、前述の(1)~(6)の関与因子とからみあって、引火延焼の仕方・強度・速度に、どのようなかわりをもつか、その関連と物理機構を明らかにすることがわれわれの目標である。その第1着手として、もっとも単純な場合、すなわちほぼ均質な木質材料を全乾にして、無風の室内に、連続に、水平にならべ、一端から点火延焼させる一連の実験を報告する。容器のつめこみ密度をいろいろ変えることによ

て、密度—延焼速度曲線や、密度—燃焼継続時間曲線をみいだそうとしたのである。

報告のまえに、ごく簡単な一つの推論をしてみる。

固体表面の燃焼の拡がり方は、温度伝導についての Fourier の式にでてくる常数 a —Maxwell によれば、温度伝導率—に対応して変化すると考えるのは自然であるが、それが許されるとすれば、延焼速度 r は温度伝導率 a の関数となり、 a をさらに熱伝導率 k 、比熱 c 、比重 ρ であらわすと⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

$$a = \frac{k}{c\rho} \quad (1)$$

となる。 ε , c , k は温度により変る常数であり、また a , c は含水率によって大きく変動するが、同一の材料について、含水率を一定にし、かつ定常燃焼を取扱うかぎり、 a , c , k はほぼ一定とみなして差支えない。したがって、上述の仮定が正しければ、 r が燃材の密度 ρ に逆比例して変動することは、大にありうるという推論がなりたつであろう。実験の結果は、ほどこれを支持するようにみえる。

2. 実験方法

1. 試料には木毛、パルプ(山陽パルプKK, 厚0.95 mm) インシュレーションボード(日本ハードボードKK, 厚12mm), ノコズ, チップ, 細断した綿布, 落葉などをつかったが、ノコズ, 落葉は延焼中によく立ち消えるので、のちに除外した。

2. 密度(材料のつまり工合)と延焼速度などとの関係を見るのであるから、試料の容積・重量を簡単に精密に測定する必要があるので、図1のような長方形の金属製燃焼箱(4×3×50cm³)と、円筒形の燃焼箱(φ15 cm, 厚4.5 cm)をつくり、できるだけ均一に材料をつめたうえ、箱からはみだす部分を切りすて、容積測定

* この研究は昭和35年度文部省科学研究費(各個。中村貞一63153)による研究の一部分である。

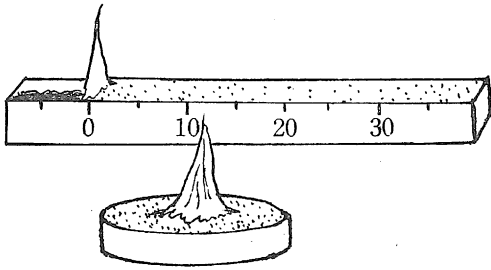


Fig. 1. 2種の金属性の燃焼箱
Apparatuses for measurements of
(a) advancing velocity of flames and
(b) fire durations.

の正確さを期した。

3. 延焼速度の測定法. 恒温乾燥器で105°C, 24時間以上乾燥させた試料を, 無風の室内で, 燃焼箱のなかで点火し, 延焼させる. 初期燃焼の不揃いをさけるために点火位置から焰が約5cm移動したところから測定を始め, 始点から15cmと30cmはなれた点で延焼速度を Stop watch で計測し, 加重平均して, 平均速度 (cm/sec) を算出した。

4. 燃焼継続時間測定. 円形容器の中心に点火, 焰が高さ約3cmになったところで火源をはなし, 測定を開始し, 中心点で材料が燃えつきるまでの時間をはかった。

3. 実験結果

1. 密度—延焼速度曲線

植物性の材料4種類(木毛, 綿布くず, インシュレーションボード, パルプ)について, 密度 ρ を $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-1} \text{g/cm}^3$ の範囲でいろいろ変えて, 30cmはなれた2点間の延焼速度を測った. 測定回数17回. その結果は表1のとおりで, 図2のようにX軸に延焼速度 r を, Y軸に $1/\log \rho$ をとると, —試料の材質・形状・粗密に相当大きな差異があるにもかかわらず—ほぼ一直線にのる. これはすなわち, 試料の種類がちがっても(すべて木材に由来する材料ではあるが) 延焼速度はほぼ密度に逆比例することをしめす。

2. 密度—燃焼継続時間曲線

円形燃焼箱をつかって, 3種の試料(木毛, 綿布くず, チップ)にいろいろの密度を与えて点火, 中心点の燃材が燃えきるまでの時間を燃焼継続時間Dとする. 結果は表2のとおりであるが, Dの対数値と, 密度 ρ の対数値を座標の両軸にとると, 測定値は図3のように直線にのる. これは, 堆積した植物性材料の, ある地点における燃焼継続時間は, 材料の種類にかかわらず, 密度にほぼ比例することをしめすものといえる。

Table 1. 連続な材料の密度—延焼速度試験
Relations between fuel-density and advancing velocity of flames, in fires of continuous combustibles.

Species of fuel	density ρ 10g·cm ⁻³	$\frac{1}{\log \rho}$	flame advancement time(sec)		average advancing velocity cm·sec ⁻¹
			15	30	
wood wool	5	1.43	15	32	0.97
"	6	1.29	13.5	27	1.11
"	7	1.18	14	34	0.97
"	8	1.11	21	41	0.72
"	12	0.92	23.5	47	0.64
"	18	0.80	22	45	0.675
"	23	0.74	24	53	0.595
"	27	0.70	29.5	55	0.525
"	33	0.66	27	58	0.535
"	38	0.63	34.5	66	0.445
"	55	0.58	38	77	0.392
cotton rags	73	0.54	70.5	137	0.216
"	123	0.48	88	165	0.171
"	133	0.47	100	192	0.153
insulation board	360	0.39	380	—	0.040
pulp	450	0.38	285	—	0.053

4. 考察

1. つめこみ密度を極度に小さくすると——木毛で $2 \times 10^{-3} \text{g/cm}^3$ ぐらい——延焼速度は図2の曲線をはずれてややおそくなり, さらに減らすと, 延焼が中断しやすくなることは, 試料の連続性が失われはじめたことを意味する. 不連続な材料の延焼は, つぎの報告にとりあげるが, 延焼速度最大の密度が存在する.⁽⁴⁾ 反対に, あまりに密度が大になりすぎると, 延焼途中で立消えしやすい. これは空気の供給が不十分になるためと思われる。

2. 密度—延焼速度曲線と, 密度—燃焼継続時間曲線を総合してみても考えられることは, 密度以外の条件が同一ならば, 燃材が compact に集合している場合には, 延焼速度は比較的小さいが, 一地点での燃焼継続時間は長い. したがって燃焼強度は強くなるであろう. 燃材が疎な場合には, 一地点を早く燃えすぎて, 延焼速度が速くなるが, 燃焼強度は低下するであろうという推測がなりたつ. 森林火災において, 燃材密度が密であって, しかも延焼速度が速い場合がときたまみられるとすれば, それは風速が強くはたらくとか, 気層の温度勾配が不安定で, blow-up をみきおこし, さかんに飛火したとかの事態が加わったためではないかと推察される。

3. 木材の発火時間と密度との関係について, 秋田⁽⁵⁾

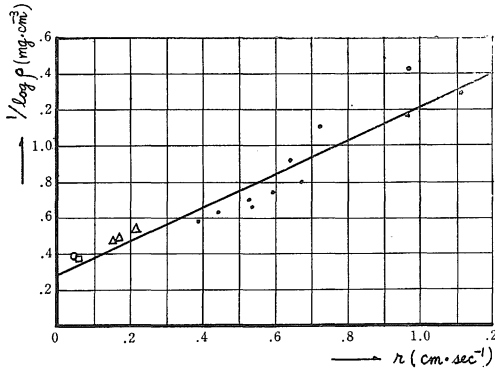


Fig. 2. 植物性材料の密度と延焼速度との関係
Relations between density and flame advancing velocity

- 木毛 wood wool
- △ 綿布くず cotton rags
- insulation board
- パルプ wood pulps

Table 2. 連続な材料の密度—燃焼継続時間試験
Relations between fuel-density and burning duration, in fires of continuous combustibles

Species of fuel	density ρ $10^{-3} \cdot \text{cm}^{-3}$	average duration of burning sec
wood wool	2.7	9
"	4.1	17
"	4.2	13
"	6.0	29
"	8.1	38
"	8.3	37
"	9.3	48
"	9.8	61
"	10.2	63
"	12	70
"	13	77
"	13.5	84
cotton rags	29	200 (3'20")
"	36	330 (5'30")
chips	99.5	810 (13'30")
"	107	1 020 (17')

の実験によると、みかけの密度が小さいほど、発火時間を短縮されるということで、これは一見筆者の実験結果と矛盾するように見える。これは木材の場合は、空隙が非常に小さく、かつ閉じられているので、空隙内での対流による熱の逸散が少なく——空気が断熱の方向にはたらく——、空隙の大きい方が熱の蓄積がはやくなって、発火時間が短縮されるが、筆者の実験の場合は、空隙がすべてつながっているため、対流による熱の逸散があり、空気が断熱と反対の方向に作用する結果、空隙の多

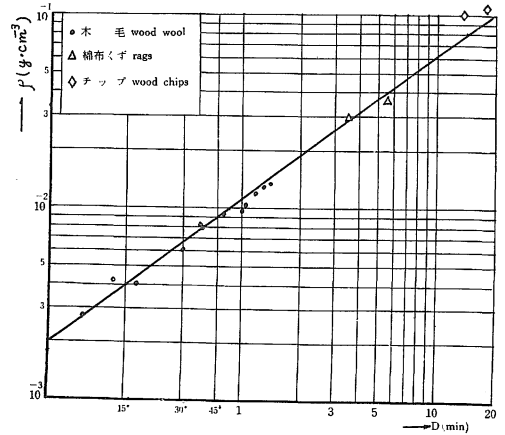


Fig. 3 密度と燃焼継続時間との関係
Relations between density ρ and burning duration D.

い方が延焼速度が速くなるのもと解せられ、矛盾にはならない。

5. ま と め

1. 植物性材料の密度がほぼ均一で、連続性のある場合に、密度の大小が延焼性とどういふ関係をもつかを明らかにするために、金属製の2種類の箱（長方形と円筒形）に、木毛・パルプ・チップなど数種の材料（全乾）を均質につめて、無風の室内で点火し、延焼性を測定した。
2. 密度を $5 \times 10^{-3} \sim 5 \sim 10^{-1} \text{g/cm}^3$ の範囲で変化させて、30cm の区間の延焼速度を測った結果は、図2のとおり、材料の材質・形にはあまり関係なく、密度 ρ と平均延焼速度 r との間には $r = \frac{k_1}{\log \rho} + a$ の関係がみいだされた。
3. 容器内の一地点の燃焼継続時間 D は、図3のとおり $\log D = k_2 \log \rho + b$ の曲線にのる。
4. この実験結果は、山火事延焼速度の解明に、一つの手がかりをあたえるであろう。

引 用 文 献

1. 日本火災学会：火災便覧 1955, p. 150, 199, 219, 699.
2. 畠山久尚：火災と気象 1947.
3. 横井鎮男：火災 3 (1) : 10, 1953.
4. 浜田稔外 3 : 火災の研究 I 1951, p. 35-44, II 1953, p. 153-162.
5. Davis, R. P., Krumm, W. R. : Forest Fire, New York, 1959 p. 90-160.

- | | |
|--|--|
| 6. Byram, G. M. : U. S. Forest. Serv. South-east Forest Expt. Sta. Paper 35 , 1954.
7. 秋田一雄 : 消防研究所報告 9 (1-2) : 80, 1959.
8. 金原寿郎 : 日本學術振興会第23特別委員会報告
9. 金原寿郎 : 火災の科学 1949, p. 187. | 10. 堀三陽 : 日本火災学会論文集 3 (1) : 18, 4 (1) : 115, 4 (3) : 85.
11. 川下研介 : 熱伝導論 1941, p. 8.
12. 前田敏男 : 建築学大系 8 1959, p. 290.
13. 中村貞一 : 島根農大研報 11 (A):1962, 77-79. |
|--|--|

Summary

To study what an influence exerts the fuel density on advancing flame fronts of forest fires, the author tested some woody materials, i. e. wood wool, wood pulp and others, stuffed in a vessel in homogeneous continuity under a complete dry condition, measuring the following articles in a windtight laboratory ;

- (1) velocity of advancing flames in a rectangular vessel ($4 \times 3 \times 50 \text{cm}^3$), and
- (2) fire durations in a round vessel (ϕ 15cm, 4.5cm deep).

Of the former measurements, shown in Fig. 2, he supposed the following equation for between distribution density ρ and average fire advancing velocity r ,

$$r = \frac{k_1}{\log \rho} + a$$

Here k_1 and a are constants.

Of the latter measurements, shown in Fig. 3, he found a following equation for burning duration D at the centre in a vessel,

$$\log D = k_2 \log \rho + b$$

Here k_2 and b are constants.