

山火事燃焼機構の研究

第3報 燃焼面の勾配と延焼速度との関係*

中 村 貞 一**

Sadaiti NAKAMURA

Studies on the Combustive Mechanism of Forest Fires.

3. Relationship between Inclination of a Slope and a Rate of Fire Spread

はじめに

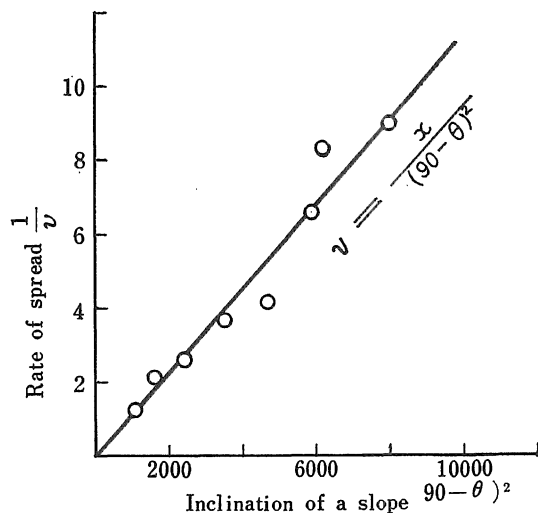
山火事では、山腹の傾斜角が延焼速度に大きな関係をもっているが、燃焼面の勾配の大小と延焼速度の増加率との関係を定量的に測定することは、野外実験ではむずかしく、公表された研究はまだないようである。室内モデル実験としては、紙を試料とし、傾斜面上の燃焼に関する有名な寺田現象⁽¹⁾、紙の燃焼についての金原の報告⁽²⁾、鈴木・金原の実験⁽³⁾などがあるが、これらは斜面上の延焼図形とか、風速と延焼速度との関係に、実験の焦点

がおかれていて、傾斜角と延焼速度の関係の測定ではなかった。後者については、立花⁽⁴⁾のセルロイド板を材料とする斜面上の延焼速度の実験があって、図-1の結果が報告されている。山火事の燃焼材料とセルロイド板では、燃焼性がやゝちがうし、また立花の実験の追試を試みる意味もあって、筆者は木毛を材料にえらんで、室内小実験をおこなった。立花と同様な上り斜面の延焼のほか、下り斜面の実験もくわえ、結果を統一的に解析して実験式にまとめたが、数式は立花とはやゝ異つたものとなった。

実験は昭和35. 7. 20. - 9. 10. の期間に行なつた。

実験方法

1. 試料には包装用木毛を用いたが、比較のために、木質の均質な材料である線香(平均直径1.783mm)を加えた。
2. 木毛の燃焼容器として、第1報の実験に用いた長方形金属箱(4×3×50cm³)をつかい、延焼速度の測定法は第1報の場合と全く同様で、105°Cで24時間乾燥させた試料を、箱に均一密度につめこみ、無風状態で15、30cm区間の延焼速度を計測し、加重平均で速度を算出した。燃焼はすべて有焰燃焼で、焰がたち消えすることはなかった。
3. 敷きならべた木毛試料面の傾斜角と延焼速度との関係をしらべるには、面の傾斜角の測定が肝要であるが、試料面の傾斜角を正確に直接測定するのは困難なので、箱を固定してあるアズベスト台板面の傾斜角の測定(クリノメータ使用)でこれに代えた。
4. 線香についても、焰をだしている状態の燃焼速度を測定した。焰がたち消えて、無焰燃焼にうつつた場合には測定を中止した。傾斜角の調整は、(1)まず台板の傾斜角を測定する。(2)つぎに、台板には無関係に支持



第1図 傾斜角とセルロイド板の延焼速度との関係(立花太郎原図)

Fig. 1. Relationship between inclination angle of a slope and a rate of fire spread on celluloid boards (the original by Dr. TATIBANA)

* 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)による研究の一部である。

** 造林学研究室

腕に一端を固定してある長さ約14cmの線香を、腕の調節によって台板に平行においた。しかし燃焼の途中で線香の形が多少ひずむのは避けられなかった。したがって線香では、傾斜角の精度がおちている。

5. 燃焼面の勾配をできるだけ広く変化させて、延焼速度を測定した。延焼速度は、風速・含水率にはもちろん、集積密度⁽⁶⁾・大気湿度にも影響されるから、少なくとも1シリーズの実験のあいだは、できるだけ含水率と密度をそろえるよう、材料処理・装置に注意するとともに、1シリーズの実験は必ず連続して一気に行なった。

結果と考察

延焼速度は、燃焼面の勾配の増加につれてふえていくが、勾配がますますつれて、焰が段々斜面に接近するので、火前線の位置の確認が困難になって、60°をこすと測定はむづかしくなる。測定可能な勾配範囲で、木毛につきるシリーズ、線香につき1シリーズ行なった実験結果

表1. 斜面上の延焼速度(1)——木毛No.1.*

Table 1. Rate of flame spread on various slopes (1) Experiment No. 1 for wood wool

面の傾き Inclination of a slope degree	延焼時間 Required time for spreading in a distance of		平均延焼 速度 Average rate of spread cm/sec	増加率(水 平面基準) Increase of rate-of- spread cor- responding to inclinat- ions %
	15cm	30cm		
0°	25"	55"	0.56	100
"	26	57		
11	29	55	0.53	95
17	25	43	0.65	116
23	17.5	33	0.88	157
30	18	35	0.925	165
"	16	31		
"	15	30		
40	11	26	1.16	207
"	14	28	1.62	290
50	9	18		
"	9	20		
60	6	11	2.61	466
"	5.5	12		

* 詰めこみ密度 0.0275g/cm³

果が表1.~表4.である。

燃焼面の勾配 θ と平均延焼速度 v との関係は、木毛および線香について、室内実験では、ほぼ次式がなりたつ。

$$v\theta = v_0 C^{\theta} \dots\dots\dots (1)$$

ここに

θ : 燃焼面の勾配(角度). 下り斜面の勾配は負の値をもつものとする。

V_{θ} : 勾配 θ の面上の平均延焼速度 cm/sec

V_0 : 水平面上の平均延焼速度 cm/sec

C : 延焼係数

延焼係数 C は、燃焼材料の燃焼性の相違——たとえば木質材料とセルロイドとの相違——に応じて変動する。同一材料でも、集積密度に応じて、 C は多少変動するように観察されるが、この点はさらに深く検討する必要がある。

木毛のNo.2, No.3, 線香のNo.4について、測定値と(1)式による計算値を対応させたのが図2である。なお図中に、立花の論文にみえるセルロイドに関する実験

表2. 斜面上の延焼速度(2)——木毛No.2.*

Table 2. Rate of flame spread on various slopes (2) Experiment No. 2 for wood wool

面の傾き Inclination of a slope degree	延焼時間 Required time for spreading in a distance of		平均延焼 速度 Average rate of spread cm/sec	増加率(水 平面基準) Increase of rate-of- spread cor- responding to inclinat- ions %
	15cm	30cm		
57	7.5"	15"	2.00	350
45	10	19	1.54	270
35	13	26	1.15	202
24	20	38	0.77	135
12	20.5	40	0.74	130
4	24	48	0.625	110
0	—	—	—	100
-4	26	54	0.565	94
-12	24	57	0.52	91
-23	29	56	0.51	89
-32	34	66	0.45	79
-40	36.5	67	0.43	75
-50	40.5	77	0.38	67

* 詰めこみ密度 0.0275g/cm³

値(表.5)もプロットしてある。C=1.0303 とすれば、この測定が(1)式に大体合致することが知られる^註

延焼実験は、上り斜面と下り斜面の両方について行なったが、角度にともなう延焼速度の増加率は、上り斜面と下り斜面でハッキリ違うように観察された。それで図.2には、Cの値を両斜面でそれぞれかえて曲線をえがいてある。

角度による延焼速度の増加率が、上り斜面と下り斜面でことなるとすれば、そのメカニズムはおそらく、つぎのように説明されよう。斜面の勾配がますますつれて、延焼がひきおこす斜面沿いの上昇風が増大するのであるが、上り勾配では、風向が火焰の進行方向と一致するために加速的にはたらし、下り勾配では、風向が火焰の進行方向と相反するために、それが減速的にはたらくものと考えられる。

実験に用いた試料——立花の実験したセルロイドも加えて——について、算定した延焼係数Cの値が表.6である。

この報告は室内実験にすぎないが、燃焼面の勾配と延焼速度の増減の関係の大略はつかむことができたとおも

表3. 斜面上の延焼速度(3)——木毛No.3.※

Table 3. Rate of flame spread on various slopes (3) Experiment No. 3 for wood wool

面の傾き Inclination of a slope degree	延焼時間 Required time for spreading in a distance of 15cm	平均延焼速度 Average rate of spread cm/sec	増加率(水 平面基準) Increase of rate-of- spread cor- responding to inclin- ations %
50	8	1.87	325
40	10.5	1.43	248
30	13	1.16	200
20	20	0.75	130
10	22	0.68	118
0	26	0.58	100
-10	27	0.56	96
-30	28	0.54	93
-50	33	0.46	79

※ 詰めこみ密度 0.017g/cm³

註 立花の実測値は図.1でわかるとおり $Y=X/(90-\theta)$ 式にも非常によく合致するとはいえない。

表4. 傾斜させた線香の延焼速度

Table 4. Rate of flame spread on incense sticks in inclined situation.

勾配 Inclina- tion of a slope degree	延焼時間 Required time for spreading in a distance of		平均延焼速度 Average rate of spread cm/sec	増加率(水 平面基準) Increase of rate-of- spread cor- responding to inclin- ations %
	15cm	30cm		
60°	最大 10.5"	25"	0.497	485
		
50	最小8.5	20	0.364	354
	15	28		
40	12.5	27	0.285	278
	18.5	35		
30	17	33	0.238	232
	22.5	45		
20	21	41	0.164	160
	29	68		
10	32	...	0.129	126
	37	77		
5	43.5	88	0.120	117
	39	84		
0	50	100	0.1025	100
	47	99		
-5	54	110	0.094	92
	49.5	108		
-10	66	130	0.077	75
	63	130		
-20	85	174	0.069	67
	83	170		
-30	98	193	0.052	51
	94	190		
-40	108	235	0.044	43
	110	230		

う。しかし明らかなことは、このような小規模な実験での延焼速度は、山火事の延焼速度に比べると非常に小さい。したがって、実寸の山火事で延焼係数Cがやはり同じくらいの値をとるのか、それともよほどちがってくるかは、別の方法でさらに確める必要がある。

つぎに燃焼面の勾配の影響の仕方は、延焼につれて面に沿う上昇風がおこり、それによって延焼速度が強められる。しかも上昇風の強さは勾配の大小に比例するものとすれば、延焼速度に対する勾配の影響は、風速の延焼に対する干渉とあい通じるものであると考えてもよさそ

表5. 斜面上の延焼速度(4)——セルロイド板※

Table 5. Rate of flame spread on various slopes (4) Experiment for celluloid board

面の傾き Inclination of a slope degree	延焼速度 Average rate of spread cm/sec	増加率(水平面基準) Increase of rate of spread corresponding to inclinations %
60	0.773	700
50	0.453	412
40	0.362	330
30	0.280	254
20	0.230	209
15	0.160	145
10	0.117	106
0	0.110	100

※ 立花太郎4)による

表6. 延焼係数 C の値

Table 6. Values of a fire spread coefficient C.

燃焼材料 Fuel materials	勾配の種別 Classification of slopes	延焼係数 C	係数の対数值 log C
木毛No.2 Wood wool No.2	上り斜面 ascending slope	1.0214	0.00918
	下り斜面 descending slope	1.0077	0.00331
木毛No.3 Wood wool No.3	asc. slope	1.0231	0.00992
	desc. slope	1.0044	0.00191
線香 Incense sticks	asc. slope	1.0269	0.01153
	desc. slope	1.0228	0.00980
セルロイド板 Celluloidboard	asc. slope	1.0303	0.01297

うである。もしそうであれば、延焼速度に関して、勾配と風速のそれぞれの影響を統一的に把握して、斜面上の延焼現象を、平坦面上で風速をうけている延焼に換算する可能性が生れるのではなからうか。

ま と め

1. 山火事で、山腹の勾配が延焼速度に及ぼす影響を推量する資料として、木毛を材料とした室内実験を行なった。
2. 金属製の燃焼箱の中で、燃焼面の勾配を上り勾配60°から下り勾配-50°までの範囲でいろいろ変化させて、延焼速度を測定した結果、表.1.~表.4.をえた。
3. 実験結果を統一的に説明しうる実験式として

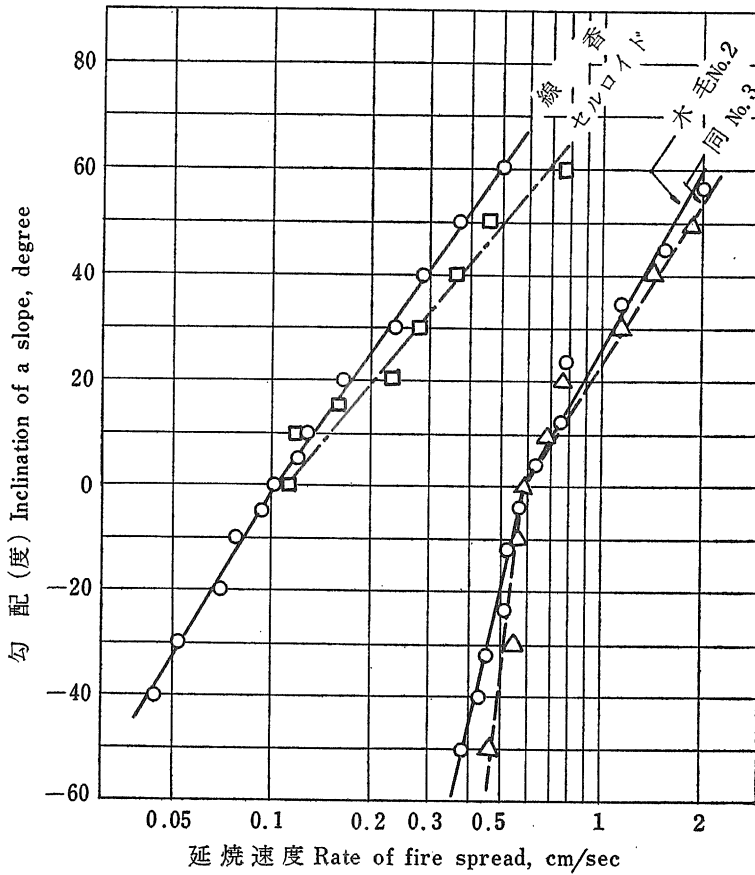
$$v_{\theta} = v_0 C^{\theta}$$

をみちびきだした。この式は著者の実験だけでなく、立花のセルロイド板についての実験にも大体合致する。

4. 同一材料についても、上り勾配と下り勾配では延焼速度がはっきりちがうように観測され、上式の延焼係数Cが、上り下りの両勾配で値を異にするとみとめられた。

引用文献

1. 寺田寅彦：理研彙報9：551, 1930
2. 金原寿郎：日本學術振興会第23特別委員会報告
3. 鈴木清太郎：火災学 昭24 東京 地球出版, 67
4. 立花太郎：応用物理10 (8)：361-365, (9)：419~421
5. 中村貞一：島根農大研報11：73~76, 1963



第2図 燃燒面の勾配と延焼速度との関係

Fig. 2. Relationship between inclination of a slope and a rate of fire spread.

- 線香
- セルロイド
- 木毛 No.2
- △ 同 No.3

Summary

In forest fires on mountainsides an angle of inclination is one of the chief factors affecting rate of spread. The author made some experiments to study close relationship between inclination of a slope and a rate of fire spread.

He set a fire on dry wood wool, stuffed uniformly in a rectangular vessel ($4 \times 3 \times 50\text{cm}^3$) in various inclined situations. Angle of inclination of a slope has been varied in a wide range, ranging from $+60^\circ$ to -50° . Table 1.~6. and Figure 2 are the results obtained. He studied also a rate of spread on incense sticks.

As an empirical formula to be fit in both of his experiments and some other tests which were carried by Dr. TATIBANA in 1941, he submitted a following equation:

$$v_\theta = v_0 C^\theta$$

Here v_θ is a rate of spread in cm per second on a slope, inclined θ degree from a horizontal plane, on which v_0 is a rate of spread. C is a coefficient of a rate of spread which will be given to each fuel. The suffix θ is inclination of a slope, being measured by the degree.