

林野火災大規模化の機構解明に関する研究

林野火災動態図の解析

小川 滋*・井上章二*・岸原信義**・下村栄二**

The mechanism of the spreading of a large forest fire

Analysis from a survey map of forest fire movement

Shigeru OGAWA*, Shoji INOUE*,
Nobuyoshi KISHIHARA** and Eiji SHIMOMURA**

Summary: The factors affecting the spread of large forest fires were investigated, using survey maps of fire movement of several recent large forest fires in Hiroshima Prefecture.

The results are summarized as follows:

1. The predominant direction of the spread of a fire was closely connected with the azimuth of a slope. But any relationship was not recognized between the predominant directions of the spread of fire and wind.
2. The speed of the spread of a fire was neither related to the maximum gradient of the slope or the wind speed.
3. The predominant direction of the spread of a fire was expressed with a high accuracy by an experimental equation treated in vectors.

要旨 林野火災大規模化の機構を解明するため、広島県における大規模林野火災の事例より、火災動態と風向、風速、地形等との関係から燃焼拡大の要因についての検討を行い、以下の結果が得られた。

1. 主燃焼方向は最大傾斜方向と相関関係を示すが、主風向との関係は明確ではない。
2. 主燃焼速度と最大傾斜角および風速との間に、一定の傾向は認められない。
3. 主燃焼方向については、最大傾斜ベクトルおよび風ベクトルとを合成したベクトルで表わすことによって、適合度の高い実験式が得られた。

* 林業生産工学・生態系制御工学 Forest Production Engineering & Forest Geo-ecosystem Control Engineering

** 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Technology, Saga University

I はじめに

林野火災の問題は、燃焼件数に対して燃焼面積が非常に大きい大規模林野火災にあることは著者らの報告¹⁾に示したとおりである。それゆえ、林野火災の大規模化の機構解明は、燃焼拡大防止及び予防にとって重要な課題である。そこで本研究では、燃焼拡大の機構の解明を目的とし、林野火災多発地域である広島県における大規模林野火災の火災動態図をもとに、燃焼拡大化に関する要因について検討した。

II 資 料

表一 1 広島県林野火災動態解析資料

番号	年・月・日	火災場所	燃焼面積 (ha)	燃焼時間 (h)	平均燃焼面積 速度(ha/h)	風向	斜面方位	平均風速(最大) (m/s)
1	48.3.24	福山市走島町	92.0	23.5	3.9	西	南西	6.7(12.0)
2	48.4.3	福山市神村町	27.8	4.3	6.5	南	北	2.7(3.5)
3	57.5.26	福山市神村町	17.0	6.1	2.7	南	北	6.4(7.0)
4	53.10.21	安芸郡坂町	121.0	43.2	2.8	北	南	7.7
5	56.1.20	豊田郡豊浜村	80.0	37.0	2.1	北西	南	5.0(8.0)
6	48.11.30	三原市沼田東町	48.0	35.6	1.3	北	北	5.1(21.0)
7	49.1.13	呉市阿賀町	74.0	25.4	2.9	西南西	北西	3.3(5.2)
8	52.3.1	呉市仁方町	12.4	5.9	2.1	西南西	西	2.4(3.3)
9	53.11.28	呉市広町	21.9	18.0	1.2	北西	南東	5.2(18.7)
10	54.3.7	呉市仁方宮上町	55.0	19.1	2.8	西南西	東	1.4(3.0)
11	55.2.14	豊田郡川尻町	104.0	38.6	2.6	北	北西	2.0
12	60.8.27	呉市郷原町	9.9	6.6	1.5	南	西	3.0
13	60.11.13	呉市吉浦町	73.5	19.5	3.7	西	南西	3.1(7.0)
14	61.4.14	呉市仁方町	17.8	9.1	1.9	南西	北東	5.0(13.0)

昭和48年から61年までに、広島県内で発生した林野火災のうち、各市町村消防署が消防庁に報告した、焼失面積10ha程度以上の林野火災対策資料を収集し解析資料とした。その資料のうち火災動態図が明確な資料は14件であった。表一1に、解析対象とした林野火災の特性を示す。火災発生場所は、瀬戸内海の沿岸の里山に集中しており、最近の大規模林野火災の特徴を示している。なお、解析に必要な火災延焼中の時間単位の風向・風速は、火災場所最寄りのアメダス資料を用いた。火災場所とアメダス観測所との距離は、最短で約3km、最長で約18km、平均約10kmである。

III 燃焼拡大化の要因の計測と解析方法

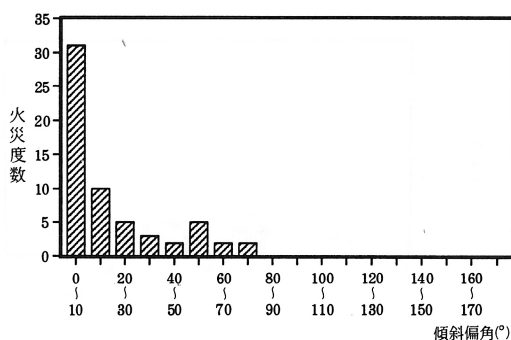
火災動態図をもとに、燃焼拡大の動態調査区分時間毎に燃焼拡大面積、主燃焼方向、最大傾斜方向、最大傾斜角を計測した。初期の主燃焼方向は、火災動態図の最初の等時延焼線に囲まれた焼損範囲内で、出火点から燃焼拡大の距離が最大となる方向とした。それ以降の時点での主燃焼方向は、各等時延焼線において、原則として出火点からの距離が最大となる地点を選定し、前時点における選定地点からの方向とした。しかし、動態図から、主燃焼方向が明確に読み取れるも

の、あるいは動態図に記載されているものについては、その方向を主燃焼方向とした。その方向における拡大距離と焼損拡大時間から主燃焼速度 (m/h) を算定した。また、その拡大部分の斜面の最大傾斜方向と最大傾斜角を火災動態地形図 (縮尺1万分の1から5千分の1) で計測した。ここで、等時延焼線に囲まれる部分の形状がほぼ相似形になっており、燃焼方向が推定できない時間帯 (この場合は、燃え下がりが多い) については、主燃焼方向の計測を行っていない。なお、方向はすべて北を0°とし時計回りの方位角としている。

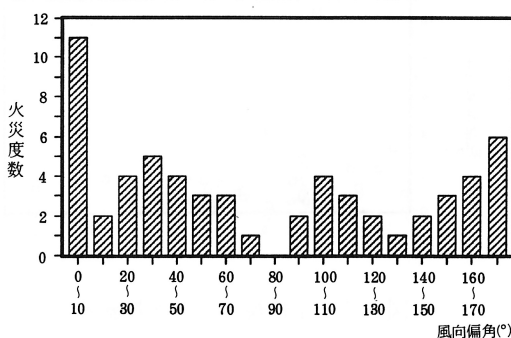
主として小規模林野火災 (焼損面積5 ha未満) の資料をもとに、燃焼拡大要因を用いて解析を行った、林野庁による林野火災拡大危険区域予測調査 (予測調査と呼ぶ) の研究結果²⁾と本研究を対照するため、解析は同じ方法を用いた。しかし、この予測調査では、火災拡大要因は出火初期あるいは全焼損範囲について計測しているため、火災動態図で燃焼拡大の各時間区分ごとに、つまり時系列的に火災の延焼拡大を計測した本研究の要因とは若干異なる。すなわち、予測調査では、焼損範囲は、出火から最初の等時延焼線までか、全範囲をとっており、風向・風速要因はその火災時間帯での平均値、地形要因は出火点から100mの範囲で計測されている。

IV 主燃焼方向と地形および風向・風速要因

1. 最大傾斜方向



図一 傾斜偏角による火災の度数分布

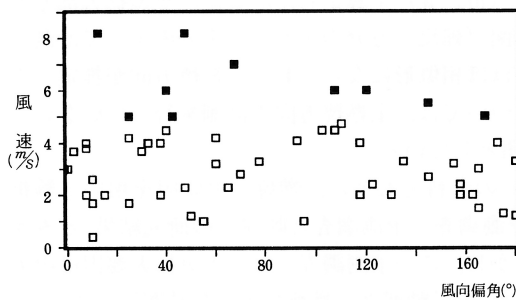


図二 風向偏角による火災の度数分布

主燃焼方向と斜面の最大傾斜方向との方位角の差 (傾斜偏角と呼ぶ) の度数分布を図一1に示す。傾斜偏角0~10°で全資料数の50%程度を占め、偏角が大きくなると度数が減少する傾向がみられる。つまり、最大傾斜方向と燃焼方向との関係は相関が高いと考えられる。これは、林野火災が傾斜地で発生するため、火災による空気の上昇気流が山頂に向い、その風の方向に燃焼が拡大することを示していると考えられる。

2. 風 向

ここで用いた風向は、前述のアメダス観測所での最多風向であり主風向と呼ぶことにする。主燃焼方向と主風向の方位角の差 (風向偏角と呼ぶ) の度数分布を図二に示す。燃焼の拡大方向は、主風向に大きく影響されるのが一般的と考えられるが、図二をみるかぎりでは主風向に影響されているとはいいがたい。また、風向偏角と風速との関係を図三に示すが、両者に明確な関係は認められない。しかし、風速5 m/s以上の場合、風速が大きくなると風向偏角が小さくなる傾向が見受けられる。これは、強風の時は、主風向がその地域のある程度の範囲で卓越していることを示していると考えられる。また、発生直後の主燃焼方向と主風向との関係も明確ではなかった。これらは、用いた主



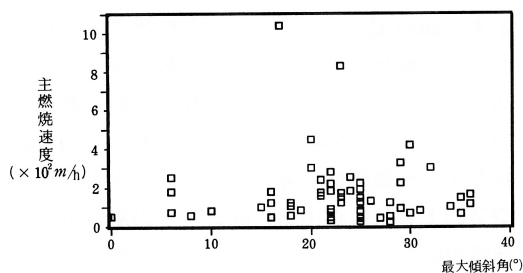
図—3 風向偏角と風速

風向資料が、前述のように火災発生地点最寄りのアメダス観測所であり、火災発生地点の正確な主風向を示していないということも十分考えられるので、これでもって主燃焼方向が主風向と関係がないということとはできない。今後、より詳細な火災現場付近の風向観測資料との調査解析が必要とされる。

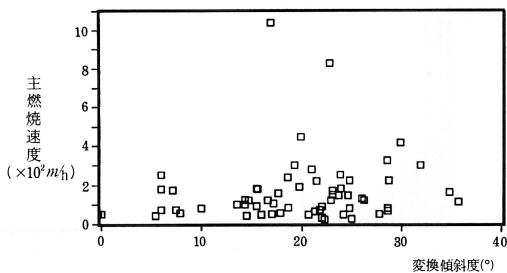
予測調査においても燃焼方向と最大傾斜方向との関係は、かなり明瞭に認められている。しかしながら、風向との関係では、風速が強くなると燃焼方向に影響を与えているようであるが、その関係はあまり明確ではない。

V 主燃焼速度と地形および風向・風速要因

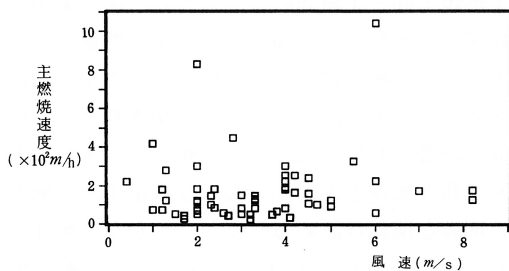
1. 最大傾斜角



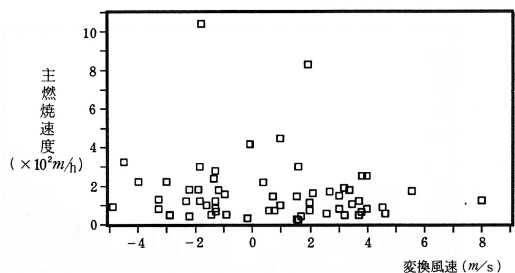
図—4 主燃焼速度と最大傾斜角



図—5 主燃焼速度と変換傾斜度



図—6 主燃焼速度と風速



図—7 主燃焼速度と変換風速

主燃焼速度と最大傾斜角との関係を図-4に示す。一般に最大傾斜角が大きくなれば、火災による上昇流により燃焼速度が大きくなることが考えられるが、図-4ではその傾向は明瞭ではない。また、最大傾斜角の方向性を考慮して、最大傾斜角の主燃焼方向成分のベクトル量を(1)式で求め、変換傾斜度とした。

$$\vec{T D} = \vec{D} \times \cos \theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $\vec{T D}$ ：変換傾斜度、 \vec{D} ：最大傾斜角、 θ ：傾斜偏角である。

主燃焼速度と変換傾斜度の関係を図-5に示す。図-1に示されているように、燃焼方向と傾斜方向の間にはかなり相関があるものの、燃焼の速度にはあまり関係していないという結果となった。

2. 風 速

主燃焼速度と風速との関係を図-6に示す。また、風速の主燃焼方向成分を示すため、変換風速を(2)式で求め、主燃焼速度との関係を示すと、図-7のとおりである。

$$\vec{T W} = \vec{W} \times \cos \alpha \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $\vec{T W}$ ：変換風速、 \vec{W} ：風速、 α ：風向偏角である。

図-6、図-7に示されているように、燃焼速度と風速の関係は明瞭ではない。これは、前述のように、風速の観測地点が火災現場と離れており正確な主風向風速となっていないことによるものと考えられる。

予測調査では、主燃焼速度と変換傾斜度、とくに変換風速との関係はかなり明瞭に認められるようであるが、本研究ではここで示したとおり明確ではない。

VI 主燃焼方向の推定

主燃焼方向について、最大傾斜方向、及び約5 m/s程度以上の風速時では主風向が影響していると考えられたので、風向・風速要因を含めて主燃焼方向の推定式を求めることとした。これは、予測調査での解析結果との比較の意味もあり、風向・風速要因を含めている。予測調査の解析と同様に、主燃焼方向の燃焼ベクトル \vec{E} を、最大傾斜角と最大傾斜方向による最大傾斜ベクトル \vec{S} 、及び風向風速による風ベクトル \vec{W} を用いて、(3)式のように表わす。

$$p \vec{S} + q \vec{W} = \vec{E} \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 p 、 q は、 \vec{E} に及ぼす \vec{S} 、 \vec{W} の影響度を表わす補正係数である。

また、各ベクトルを x 成分(南北)、 y 成分(東西)で表示すると(3)式は(4)、(5)式で表わされる。

$$p S_x + q W_x = E_x \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$p S_y + q W_y = E_y \quad \dots\dots\dots(5)$$

そこで、燃焼動態図等により計測された各要因を用いて、(4)、(5)式より、連立一次方程式として係数 p 、 q を求めた。つまり、 E 、 S 、 W について、 x 成分、 y 成分を次のように与えた。

$$E_x = (\text{主燃焼速度}) \times \cos \theta_e \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$E_y = (\text{主燃焼速度}) \times \sin \theta_e \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$S_x = (\text{最大傾斜角}) \times \cos \theta_s \quad \dots\dots\dots(8)$$

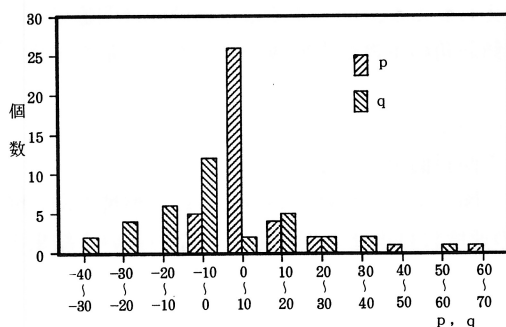
$$S_y = (\text{最大傾斜角}) \times \sin \theta_s \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$W_x = (\text{風速}) \times \cos \theta_w \quad \dots\dots\dots(10)$$

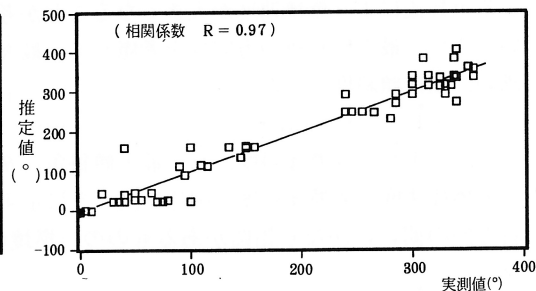
$$W_y = (\text{風速}) \times \sin \theta_w \quad \dots\dots\dots(11)$$

ここで、 θ_e ：主燃焼方向、 θ_s ：最大傾斜方向、 θ_w ：主風向である。

各実測の主燃焼ベクトルと最大傾斜ベクトル、風ベクトルから求められた p 、 q の計算値の度



図—8 係数 p, q の値の分布



図—9 燃焼方向の推定値と実測値

数分布を図—8に示す。また、 p 、 q の平均値は、それぞれ11.07と3.40である。この p 、 q の平均値を用いて求められた主燃焼方向の計算値と実測値の比較を図—9に示す。この図から明らかのように、この実験式の適合度が高いことがわかる。しかし、 p 、 q の値からもわかるように、最大傾斜ベクトルの方が風ベクトルに対し3倍程度影響が大きくなってきている。また、予測調査では $p=4.37$ 、 $q=21.57$ が得られており、本研究とは全く逆の結果を与えており、風向・風速の影響について、今後さらに検討していく必要がある。

Ⅶ お わ り に

本研究は、林野火災の大規模化の要因とその機構の解明のため、燃焼に影響を与える地形及び風向・風速要因について検討を加えた。燃焼方向については、地形要因として最大傾斜角とその方向の影響が明確に示され、風向・風速要因として風速の強いときの風向が関与していることが推定された。これらの関係から燃焼方向については、風向・風速要因と地形要因からかなり適合度の高い実験式が導かれた。しかし、燃焼速度については、この解析で用いた地形、風向・風速要因とも関係が明瞭でなく、ここでは燃焼速度の推定については解析しなかった。予測調査の研究では、燃焼速度の推定も可能な程度の燃焼速度と風向・風速、地形要因の関係が得られている。本研究において、これらの要因間の関係が明確でなく、結果にバラツキが生じた原因の一つとして、火災毎の平均値でなく、火災動態図の燃焼拡大調査時間毎に時系列的に計測された要因を用いたことが挙げられる。しかし、最も大きな原因は、火災時点での風向と風速が精度よく計測されていないことによるものと考えられる。この風向と風速は、地形要因と関係が深いと考えられ、今後、現地での火入れ実験等で地形要因と気象要因の燃焼拡大に及ぼす影響について研究をすすめていく予定である。

引 用 文 献

- 1) 岸原信義・小川 滋・井上章二・鈴木教幸：林野火災大規模化の要因解明と火災跡地の環境保全（水・土保全）に関する研究（Ⅳ）。98回日林論：585～587，1987
- 2) 消防庁：林野火災拡大危険区域予測調査報告書。95pp，1985

(1988年7月30日受理)