

地形の立体視による林野火災の延焼予測

消防研究所第一研究部火災物理研究室長 山下 邦博

同 火災物理研究室 稲垣 実

1. はじめに

日本の林野火災はしばしば起伏の激しい所で発生する。そのような場所の林野火災では、地形の影響を受けて延焼方向の急変、延焼速度の増大あるいは予想外の場所で飛火が発生する。また、稜線や谷筋で自然焼け止まりが起きる。これらの場所の火災の記録、延焼状況の特徴分析あるいは延焼予測を行う場合には火災周辺の地形と火災の関係を検討しておくことが大切である。その際の地形表示では、等高線表示よりも地形を立体視した図面であれば地理不案内者にとっても火災の延焼状況を容易に把握することができる。コンピュータの普及に伴って多量のデータ処理が可能となり、林野火災の延焼予測が身近にあるコンピュータで行うことができるようになった。

林野火災の延焼予測をより広い範囲の用途に利用するには、予測精度を高めるとともに利用しやすい形にする必要がある。そこで火災現場付近の局地風の予測を組み込んだ延焼予測を行い、地形を立体視した図面に予測結果を表示する方式の基本構成について検討したのでその概要を紹介する。

2. 本予測法

2.1 本予測法の構成と入力データ

本予測法の概要を図1に示す。この予測法は、特定の対象地域について出火場所の座標と火災発生時の風向風速を与えることにより、立体視した地形図に一定時間毎の延焼範囲を色を変えて表示するもので、観察視点の方向と高度を任意に変えることができる。これは今までに実施されてきた幾つかの調査・研究の成果を組合せて予測し、その結果をコンピュータ技術を利用して作成するものである。この予測の手順は、図1に示す通り対象地域の必要データ（標高データ、樹種等）の収集・入力、森林の風の場の予測、火災拡大の予測及び地形を立体視した図面に延焼予測結果の表示である。この予測を始めるときの基本となる対象地域のデータ（地形高度、樹種）は消防本部で作成した林野火災の延焼状況図あるいは森林基本図等から読み取り数値化した。火災現場付近の風の場の予測は、気象庁気象研究所で開発したプログラムを使用し森林内部の風の予測は米国の研究結果を参考にした。林野火災の延焼拡大予測は自治省消防庁で開発したモデルを基礎としこれに消防研究所で実施して得た延焼速度式を組み込んだ。森林の風の場の予測は相当量の計算になるので、これにはミニコン：マイクロパッ

クスII（日本デジタルイクイップメント社製）を使用し、延焼予測と画像処理は普及率が高い理由からパソコン：PC-9801（日本電気（株）製）を使用した。

この研究では焼損面積が10ヘクタール以上の大規模林野火災を対象にしている。地図上の焼損面積を正方形の枠で区切り、この正方形を縦、横方向にそれぞれ50等分に分割（総計で $50 \times 50 = 2500$ メッシュ）して各格子点の地形高度を読み取った。地図から各格子点の標高を読み取るには、1/4000程度の地図を使用すればよい。なお、この作業はディジタイザ等を利用して行えば容易で、多くの地域の延焼予測が可能になる。

2.2 森林における風の場の予測

林野火災の延焼予測ではどの地点の風を代表値にするかが問題である。林野火災が発生した場合、近接市街地の観測データが参考値

として使われることが多い。林野火災は市街地の風ではなく、火災現場付近のしかも地表面に近い場所の風に左右される。特に複雑地形周辺から発生した火災は、地形の影響で生じた局地風の影響を強く受ける。この局地風は乱れの大きい流れであり、斜面上の位置と高度で大きく異なる。樹冠火（樹木全体が燃え上がる火災）では、火災拡大は森林の上層の風に左右される。一方、地表火（地表の落葉あるいは枯草が燃える火災）では火災拡大は森林内部の風に左右される。林野火災で圧倒的に多いのは地表火であり、この地表火の延焼性状を予測するため観測地点の値から、起伏のある場所のしかも森林内の風の予測が必要となる。現時点では、複雑地形周辺の森林内の風の正確な予測は非常に難しい課題である。

今までに開発された複雑地形周辺の風の場の予測法としては公害物質あるいは放射性物質の拡散状況を予測するための方法がある。但しこれら研究の対象領域の大きさは数百キロメートルのオーダーである。現段階では対象領域の大きさが数キロメートルのオーダーのものに対して風の場を正確に予測する手法はまだ開発されていない。

ここでは便宜的な方法として、昭和58年に気象庁気象研究所において、放射性物質の拡散を予測するときに開発されたプログラムを使って予測した。その手法は変分法を用いるもので、計算の精度向上と計算時間の短縮のため、スタガー格子の採用、鉛直方向のインプリシット解法、水平方向の2次元配列を1次元表示に並び変えることによる電算機のアレイプロセッサ有効利用等の工夫がなされた。

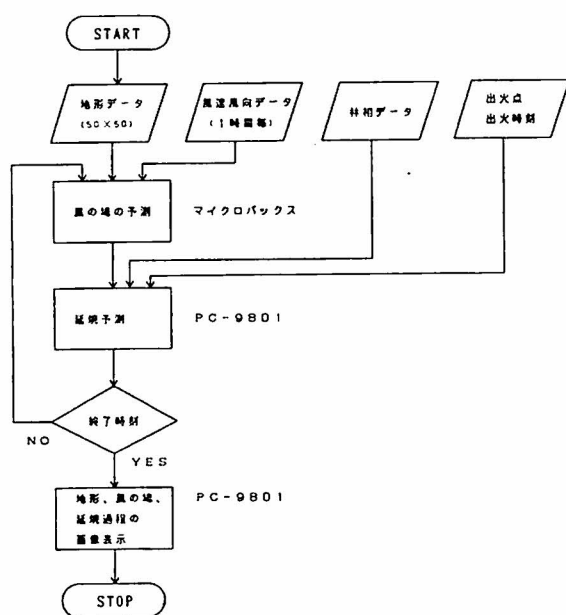


図1 本予測法の流れ図

上の方法で求められる風の場合はあくまでも森林上空の風である。森林内部の風は樹木の影響により相当弱くなる。F.A.Albini らは森林内部の地表面付近の風速は一定と仮定して次式で表現できるとした。

$$U_1/U_2 = 0.555 / \sqrt{3fL} \times \ln [(50 - 1.92L) / 0.39L]$$

この式で U_1 は森林内部の風速、 U_2 は森林上空の風速、 L は樹木の高さ、 f は樹冠密度に関係する定数で、0.05～0.30程度の値である。この式を使って森林上空の風から森林内部の風の強さをある程度予測することができる。地形で生じる渦を正確に予測することは難しく、これは今後の検討課題の一つである。

2.3 林野火災の延焼速度の検討

2.3.1 延焼速度に影響を与える因子

主延焼方向は一般には風下方向と一致するが、傾斜がある場所では、地形の影響を受けて主延焼方向は斜面上を上げる方向に変わる。主延焼方向の延焼速度は風速と傾斜角の他にも森林の状態（樹種、樹林密度、地被物の種類、地被物の含水率等）に依存する。延焼速度を増大させる因子として①強風 ②傾斜面 ③地被物の乾燥 ④燃え易い可燃物の堆積 ⑤飛火の発生等がある。気象要素のうち、相対湿度と気温・日射は、地被物の含水率に、また、日射・気温は森林気象に相当な影響を与える。一方、延焼速度を減少させる因子として消防活動、風速の減少、下り斜面、降雨による含水率の増大、燃えにくい可燃物の存在等がある。消防隊は稜線あるいは谷筋に沿って緊急防火線を構築することにより延焼を阻止することが多い。火勢がそれほど強くない場合には、消防活動が延焼を大きく変える。

また、風が強かったり、地被物が乾燥していると飛火が発生して延焼状況を大きくかえる。飛火延焼、消防活動効果及び焼け止まりを延焼予測の中に組み込むことが今後の課題である。

2.3.2 延焼速度と風速の関係

室内において模型斜面上に落葉を置いて燃やし、風と斜面が複合して延焼を速める場合の延焼速度と斜面上平均風速の関係を調べた。斜面上を風に煽られて燃え上る延焼速度 V_1 (m/分) は平均風速 (斜面上20cmの高さの値) U (m/秒) の関数として近似した。

$$V_1 = A \times U + B$$

この式で、係数 A と B は最小自乗法により斜面の傾斜 ($\tan \theta$) の関数として求めた。

$$A = 2.00 \tan^2 \theta + 2.16 \tan \theta + 1.24$$

$$B = 7.12 \tan^2 \theta + 1.44 \tan \theta + 0.25$$

この式のように、係数 A と B が傾斜の関数として複雑になるのは斜面と風が複合して延焼を高める為である。風上側及び風横側の延焼速度も風速と傾斜の関数として変わる。しかし、これらの方向では火災周辺にある森林地被物が加熱されるとき、輻射と対流加熱の影響が小さくなり、風速と傾斜に対する依存が弱まる。

風速が 6 m/s 以下の実験から風上方向、風横方向の延焼速度 V_2 、 V_3 は一定 ($V_2 = 0.4$ m/分、 $V_3 = 0.6$ m/分) と近似できた。

各方向の延焼速度 (V_1 、 V_2 、 V_3) から任意の方向の延焼速度を求めることができる。ここで得られた延焼速度はあくまでも落葉広葉樹の落葉に対する値である。可燃物が落葉広葉樹と異なる場合の延焼速度は落葉広

葉樹の延焼速度に比例すると仮定し、可燃物毎に比例係数を決めることで推定できる。

2.4 延焼予測結果の立体表示

延焼予測結果をパソコンで利用できる立体地図作製プログラム MAPS を利用して表示した。このプログラムを利用することにより一定時間毎の延焼範囲を立体地形図上にカラー表示（出火点を赤、それ以後の時間帯を順次、紫、緑、水色、黄、白）するとともに必要に応じて視点の方向、観察高度、観察距離、起伏の強弱を任意に設定できる。

富士山型の山の山麓で火災が発生したときの延焼予測結果について30分毎の延焼範囲を色をかえて図2に示す。コンピュータで山を回転させて任意の時間の火先線の位置を確かめることができるし、また、この図に示すように立体視した地形図に林道、川、溜池等を表示して林野火災防御図としての使い方もできる。

3. おわりに

林野火災に関する幾つかの研究成果を組合せて局地風を考慮した延焼予測法について検討し、その結果を立体視した地形図に表示できるようにした。この方式により地形環境と火災の関係を的確に表現できる。しかし、現時点ではまだ改善すべき点、たとえば延焼に及ぼす飛火と消防活動の効果の組み込み、より精度の高い延焼速度式の導出、山間部の局地風の予測精度向上等がある。これらの課題が解決され、また、データの入力方法の改善、通信による画像情報の伝達機器の普及、パソコンの容量増大、きめ細かい国土地理数値データの整備等の環境条件の変化とあいまって、将来、火災危険区域の予測、机上訓練等の広い分野に本方式の予測法が利用される可能性は高いと考えられる。

参 考 文 献

消防研究所：林野火災の飛火延焼に関する研究：
消防研究所研究資料第21号（昭和63年3月）

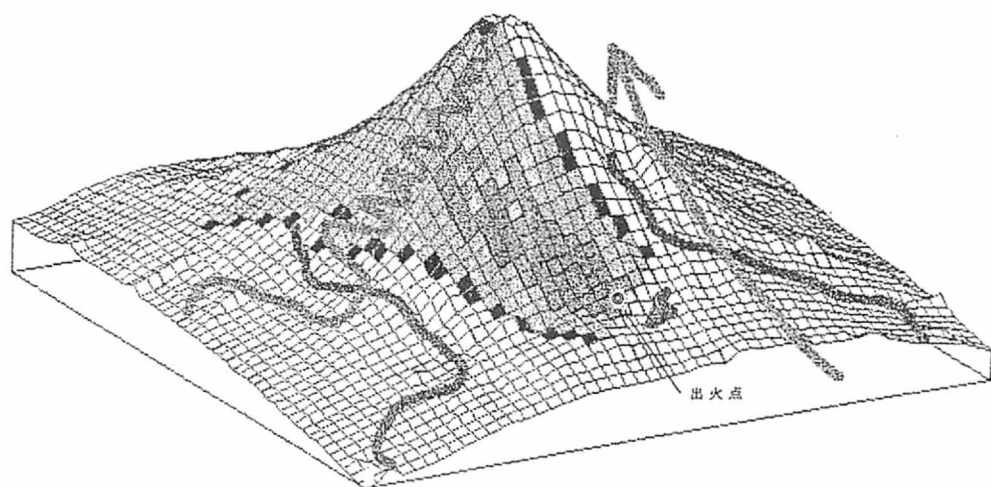


図2 富士山型の山の麓から出火した火災の延焼予測結果（出火点を赤とし、30分毎の延焼範囲を色をかえて表示した）。また、道路を茶色、川とため池を水色で示した。（原図はカラー表示）