

投稿論文
Paper
(In Japanese)

延焼シミュレーションによる新居浜市近郊林野の防災道計画

PLANNING OF DISASTER PREVENTION ROAD BY FOREST FIRE SIMULATION IN NIIHAMA

深川良一*・室 達朗**・中尾武史***

By Ryoichi FUKAGAWA, Tatsuro MURO and Takeshi NAKAO

A disaster prevention road, which is used also for a fire prevention zone, is thought as one of the important countermeasures from the point of view of civil engineers. The plan of the disaster prevention road, the location of which minimizes the area burned under some constraint condition, can be made in the following order: (1) formulation of alternative plans, (2) fire simulation against each alternative plan, (3) evaluation of the area burned in each alternative plan and selection of the optimum solution. The fire prevention roads on Mt. Kaneko, in Niihama city, are employed as an example of the decision procedures taken in planning a fire prevention road. Four kinds of the countermeasures placing the disaster prevention road within the forest are proposed and are evaluated by use of the forest fire simulation model. The effect of the constraint condition on the result of simulation is also scrutinized. Finally a guide to planning disaster prevention roads is proposed.

Keywords: forest fire, simulation, disaster prevention road, optimum solution

1. 緒 言

都市近郊の林野は森林資源としての資産価値が一般に低いため、手入れの行き届いていないことが多い。結果的に燃えやすい地被物が増加し、火災に対して脆弱になる。ひとたび林野火災が発生すれば火災域は広大なものとなり、林野火災の延焼阻止および監視のため膨大な消防力が必要となる。このことは消防力を拘束することを意味し、地域全体の防火体制の柔軟性を低下させる。したがって都市近郊における林野火災の延焼を阻止することは都市防災上も重要な課題となり得る。林野火災に対する防災対策としては種々のものを考えることができるが、防火帯を兼ねた防災道や消防水利施設の配置など土木工学的な対策も重要であろう。これらの対策はいずれも比較的行しやすく効果的であると考えられる。本論文では防災道の配置に焦点を当てたが、想定した各種の防災道配置計画案の検討・評価に際しては、もし林野の資産価値が均一であるとすれば、火災による焼損面積がパラメーターとなる。すなわち、ある制約条件のもとで

焼損面積を最小とする防災道配置計画案が望ましい。そのような計画は以下の手順で策定できる。①代替案の立案とその暫定指針の決定。②各案に対する延焼シミュレーション。③焼損面積による評価と最適案の決定。このような策定方法は一般性をもつはずである。その適用例として新居浜市の河北山系金子山をとりあげ、有効性を実証的に示した。あわせて防災道配置計画立案の指針を提言した。

2. 林野火災の概観

(1) 林野火災に関する従来の研究

わが国では春先など乾燥しやすい時期に林野火災が多発している。特に瀬戸内海地方は Fig. 1¹⁾ からわかるように林野火災の頻発地域である。1985年以降愛媛県での大規模火災に限定しても Table 1 に挙げたような火災が発生している。

このように頻発する林野火災に対して従来より多くの研究がなされてきたが、林野火災の延焼形態を直接観察した資料が集積されるようになったのは、比較的最近のことである。それ以前の火災に関する研究としては、たとえば、戦前に芝山の草焼きなどの機会に延焼形態を観測した研究^{2),3)}や、可燃液体の表面に沿った燃焼、または油を塗布した半紙に対する燃焼実験に関する研究^{4),5)}

* 正会員 工博 愛媛大学講師 工学部海洋工学科
(〒790 松山市文京町3)

** 正会員 工博 愛媛大学教授(同上)

*** 学生会員 愛媛大学大学院生(同上)

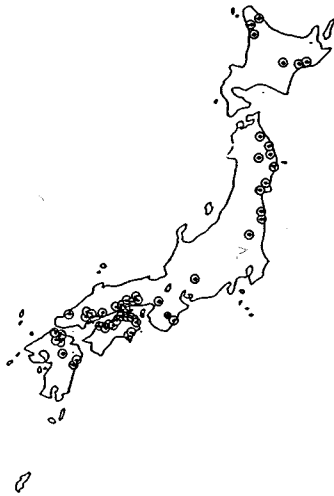


Fig.1 The occurrence of large-scale forest fire (greater than 50 ha) (1977~1985)¹¹⁾
(Remark ; one point at Kitakyushu city represents 16 points).

Table 1 The main forest fires which occurred in Ehime Pref. during 1985~1987.

Period	Damaged region	Burned area (ha)	Amount of damage (million Yen)
1985, 2/2~5	Kawanoe Toyohama and Ohnohara in Kagawa Pref.	391	350
1986, 4/6~7	Niihama	239	84
1987, 2/28~3/3	Ohmishina	299	130

などがあつた。また敗戦直後にはそのような火災に関する知見が鈴木⁶⁾によってまとめられた。これらの研究では林野火災は定性的に、延焼部が火出点から風向に沿って流され、風向とおおむね同じ方向を長軸とし、これと直交する方向を短軸とする菱形または楕円に近い形状をなすことが明らかにされた。また地形的な要素については、一般に火災は低所から高所へ向かうことが多く、谷間や尾根を越えた向こう側の下り斜面があまり燃えないことがわかった。また、気象と林野火災の関係などについても先駆的な研究⁷⁾がみられた。

これらに対して実際の林野火災の結果に基づいた実証的研究も特に最近に至って多くみられるようになってきた(たとえば参考文献8))。それによれば、①風向と主傾斜方向の関係が火災の拡大の方向と面積の拡大の重要な因子である、②火災の範囲は風向と並んで尾根線や谷間などの大地形に支配されている、③風速が大きくて飛び火を発生するようになると火災は急速に拡大する、④風速が大きいときは微地形はほとんど影響しないが、風

速が小さいと微地形の影響が卓越する、などということが延焼動態図の検討などから明らかにされている。

以上のような林野火災に対する定性的研究に対して定量的なそれは緒についたばかりである。都市火災については、各種の延焼シミュレーションモデル(藤田のモデル^{9),10)}、岡田らのモデル^{11),12)}、佐々木らのモデル¹³⁾などが提案され、大震時の火災延焼シミュレーションシステムが木俣¹⁴⁾により開発されている。さらに建築学的見地より保野ら^{15)~17)}は焼損面積と消防力の関係についても論じている。特に木俣の研究は藤田のモデルを任意の方向における延焼速度式の決定に用い、さらに出火後経過時間の影響などについて詳細なモデルを構成している。このような都市火災のモデルと林野火災のモデルでは以下の点で大きく異なることが予想できる。

① 都市火災に関して重要となった木造混成比、建蔽率および隣接構造物との距離などの要因¹⁵⁾が林野火災では均一であると仮定できる。

② 都市火災では暗黙のうちに認められた風向と主延焼方向の一致やほとんど無視できた延焼方向、速度に対する地形の影響などが林野火災に関しては重要になる。

林野火災の定量的研究は上記の二点を踏まえうえて都市火災における研究を参考とすることができる。

(2) 林野火災対策としての土木計画学的手法

従来の研究は延焼過程の解明が主で、防災対策に関しては経験によることが多い。そこで林野火災に対する防災計画の立案において土木計画学的手法の導入を考えた。土木工学的な対策として、防災道(防火帯を兼ねる)や消防水利施設の配置を考えることができる。これらは既存の消防力の展開を容易にし、また延焼を阻止し得る可能性があるという意味で防災能力の向上に貢献する。本論文では結局、防災道によって焼損面積を低減する防災対策に着目した。消防水利施設網の配置は費用対効果の面から考えて得策ではないと思われるため考慮しなかった。また航空機(特に、ヘリコプター)の運用拠点を設けることはかなり効果的であるが、航空機の維持などのための経費が過大で実施できる地方自治体は少ないためこれも考慮対象外とした。

防災道は火災現場への接近路として機能するだけでなく、防災道に沿って消防力を展開できるので、防火帯としての効果もかなり期待できる。そのような防災道網を対象地域に張りめぐらすことができれば最善であるが、地形的な制約や予算的な制約から実施可能な計画案は限られてくる。その限られた案の中から、評価基準を「一定時間後の平均焼損面積を最小にする」ことにおいて、いくつかの制約条件のもとで最適な計画案を選択するものとした。

3. 防災道配置計画評価のためのシミュレーション

(1) 林野火災延焼シミュレーション

さきに2.(1)で述べた要因と地形や風の情報を考慮して、林野火災の延焼域を時間の経過とともに順次拡大させれば、任意の時間が経過した後の焼損域を予測することが可能であろう。ここでは日本林業技術協会が自治省消防庁の委託を受けて作成したプログラム(原プログラムとよぶ、林野火災拡大危険区域予測調査報告書¹⁰⁾)に若干の改良を加えてシミュレーションに用いた。原プログラムは、延焼拡大要因のみを考慮しており延焼阻止要因を考慮するためにはプログラムを一部修正する必要があった。原プログラムは以下のような考察に基づき作成されている。まず1982年から1984年にかけて発生した林野火災59件から、主延焼方向 θ_E (deg)、主延焼速度 V_E (m/h)、地図上における斜面の最大傾斜方位 θ_S (deg)、その方位に対する傾斜度 S (deg)を読み取った。また風速 W (m/s)、風向 θ_w (真北から時計回りに取った角であり、北向きを Y 方向の正、東向きを X 方向の正とする)も同時に記録された。これらに対する統計解析により主延焼方向(真北から時計回りに取った角、Fig.2参照)の算出式と主延焼速度式、横および裏延焼速度式が得られている。ここに横延焼とは主延焼方向に対して直交する方向の延焼を、また裏延焼とは主延焼方向と反対方向の延焼を指す。以上の延焼速度・方向の算定に必要な変数をTable 2に示す。ベクトル W, S, E については添字 x, y を付けて x 方向、 y 方向の成分であることを示す。さらに任意の方向への延焼速度 V は既存のモデル⁹⁾の一部を参考にして、主延焼方向と裏延焼方向で異なる楕円で近似することを考えている。

これらの基本式に従ってシミュレーションの延焼算定を進めているが、その式と手順はFig.3にフローチャートとして示した。このフローチャートの主延焼方向推定式中の係数 p, q は59件の実火災事例ごとに主延焼、最

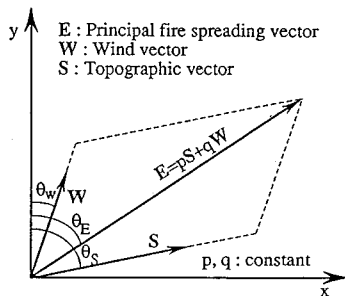


Fig.2 Determination of the principal direction along which the fire spreads from wind and topographic vectors.

Table 2 Variables used in analysis.

		Item	Variable	Unit	Remark
Vector	wind	Wind direction	θ_w	deg	*
		Wind velocity	W	m/s	—
	Topography	Azimuth of maximum inclination	θ_s	deg	*
		Angle of inclination	S	deg	—
scalar	Principal fire spreading	Azimuth	θ_E	deg	—
		Parameter needed in determining θ_E	E	—	—
		Principal fire spreading speed	V_E	m/h	—
scalar	Fire spreading speed	Fire spreading speed to side direction	V_L	m/h	**
		Fire spreading speed to back direction	V_B	m/h	***

- * : Clockwise direction (from North to East) is taken positive.
- ** : Perpendicular direction to principal fire spreading direction
- *** : Opposite direction to principal fire spreading direction

Table 3 Difference between original program and the improved program.

	The factors affecting fire spread	The effect of obstruction on fire spread	Topographic information
The original program	1.Topography 2.Wind speed and direction	Without consideration	Azimuth and angle, of maximum inclination
The improved program	the same column as above	Disaster prevention road	calculation from altitudes

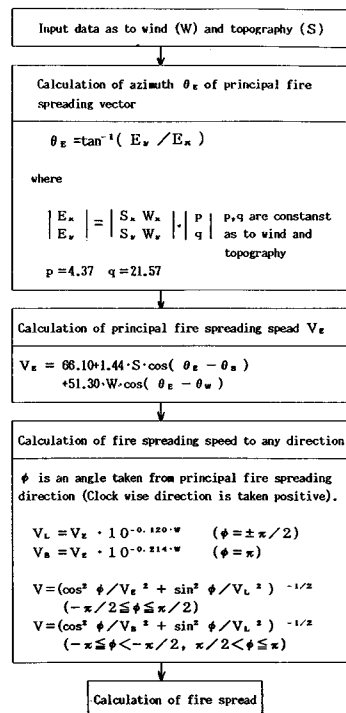


Fig.3 Flow chart for simulation of fire spread.

大傾斜、風の各ベクトル成分を推定式に代入して決定しその平均値を取っている。この推定式による算定方向と実火災の主延焼方向の相関係数は0.86と報告されている。また主延焼速度式は、主延焼速度と傾斜度、主延焼速度と風速の関係より、主延焼速度 (V_E) と傾斜度の主延焼方向成分 ($S \cos(\theta_E - \theta_s)$)、風速の主延焼方向成分 ($W \cos(\theta_E - \theta_s)$) の間に線形関係があると仮定して重回帰分析を行った結果である。重相関係数は0.48と報告されている。なお、以上の回帰により得られた推定式は、植生などの地域的特性を考慮していないため、さらに改良の余地がある。

このような原プログラムと今回の評価に使用したプログラムの相違点について Table 3 に示し、次節でその詳細を述べる。

(2) 延焼阻止要因の挿入

延焼拡大要因のみを考慮したシミュレーションプログラムに延焼阻止要因として防火帯のような燃焼しない部分(たとえば、既設防火線、交通施設、河川など)の影響を考慮した。

シミュレーションプログラム上での処理は、燃焼しない部分(不燃化ゾーン)そのものに関するものと不燃化ゾーンと延焼算定の開始点とに関するものから構成されている。Fig. 3 に即していうなら、不燃化ゾーンでは $V=0$ となり、そのため火災が隣接したメッシュに伝播しないことになる。前者に関してはまず不燃化メッシュの位置を表わす変数を記憶させ、次に延焼算定を行おうとするメッシュの位置を表わす変数と比較して同位置ならばそのメッシュの延焼算定は実行しないようにした。後者に関しては、延焼算定を行う範囲内(延焼算定の開始点となるメッシュとその周囲の9個のメッシュ)にある延焼算定の開始点に隣接した不燃化メッシュに対する延焼算定を行わないことにした。以上のような判定に際してはその中心点により各メッシュを代表させている。

また、出火させたメッシュに隣接したメッシュはきわめて早期に延焼が進行してくるものと仮定し、不燃化ゾーンがあったとしても消防力の配備が間に合わず機能

しないものとして処理した。

(3) 地形情報の入力について

原プログラムにおいては地形情報である山腹斜面の最大傾斜方向とその傾斜度は地図上において直接読み取ったが、本論文で使用したプログラムではこれを簡便化するため、四角形であるメッシュを2つの直角二等辺三角形に分割し、各節点の高度情報から幾何学演算によりそれぞれの三角形の最大傾斜方向と傾斜度を算定し平均をとって各メッシュの地形情報とした。Fig. 4 に従って説明するなら、点1, 2, 3と点2, 3, 4によって決定される平面の最大傾斜方向と傾斜角をそれぞれ計算し平均することになる。

4. 新居浜市における防災道配置計画案とその評価

(1) 新居浜市とその最多風向と平均風速

解析対象地域として愛媛県新居浜市の河北山系金子山を取り上げた。瀬戸内海に面した工業都市新居浜市は愛媛県における林野火災の多発地帯として知られており、1977年から1988年までの統計によれば愛媛県内において林野火災件数において9.2%、焼損面積において53.4%を占めている。特に河北山系金子山では1978~1988年の間に37件の林野火災が発生している。

新居浜市河北山系金子山での延焼シミュレーションの風向、風速の入力データは、新居浜市での気象観測のデータ(観測点は新居浜市消防本部)²⁰⁾を利用して決定した(Fig. 5)。新居浜市の3, 4, 5月の最多風向および平均風速は南南東、3(m/s)であり、これらのデータを4.(3)以後のシミュレーションについては採用した。

(2) 適合性の評価

シミュレーションプログラムの適合性の評価を、新居浜市の河北山系金子山付近で1986年4月6~7日に発生した林野火災について行った。概要、出火点、および延焼動態図を Fig. 7 (1) に示す。シミュレーションに際

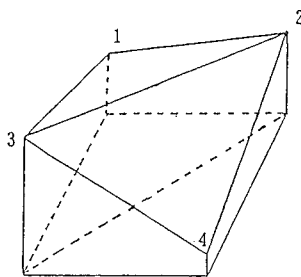


Fig. 4 Simplified expression of hill surface by use of triangles.

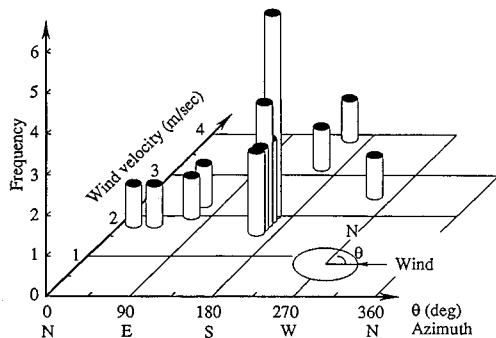


Fig. 5 Most frequent wind direction and average wind velocity during March~May in Niihama city.

しては、対象地域を $30 \times 25 = 750$ 個（うち 401 個が可燃メッシュ）の一辺 100 (m) の正方形メッシュに分割し演算を実施した。風向、風速という気象条件は、記録された火災当日のデータを利用した (Table 4)。

この例では出火 15 時間後の焼損面積を比較すると、実際の火災では 239 (ha) であったがシミュレーションでは 339 (ha) となった。地形の影響が如実に現われているが、延焼域の概形 (Fig. 7 (2)) は実際の火災 (Fig. 7 (1)) のものと類似しているように思われる。主延焼方向に対して側方への延焼がやや大きいのが、これがシミュレーションでの焼損面積の評価が過大になった原因であると考えている。この火災では 1978 年の大規模火災のあと配置された作業道が消防力の展開に有効であった。一部の火災延焼は作業道を利用した速やかな消防活動により阻止することができている。実際の火災とシミュレーションの結果の比較から、このシミュレーションは焼損域を幾分過大に見積もる傾向のあることがわかった。これは基本式による推定において当初から延焼域拡大の上限 (安全側の値) を求めることに主眼を置いていたためであろう。主延焼速度に対する横および裏延焼速度が観測値の上限を通るような指数関数として規定されているのである。ただし、Fig. 7 の火災延焼動態の観測結果は火災現場の消防隊員のラフな情報 (詳細な情報を収集することは現場では不可能に近い) に基づいて作成されておりかなりの誤差を含み得る。出火後 0~2 時間という時間帯を除けば、延焼域の概形は地形や風の影響をよく反映して一応の相似性を示していることを考慮すれば、今後のシミュレーションには大きな問題はな

いと現段階では判断できよう。

(3) シミュレーションにおける出火点の数と配置

出火点をランダムに 50, 100, 150, 200, 300, 500 個選び、それぞれの出火点数に対応する平均焼損面積の傾向を調べた (Fig. 8)。

各回数シミュレーションの平均値および平均値土標準偏差を示したのが Fig. 9 である。Fig. 9 中にはすべての出火可能点より出火させた場合の全平均焼損面積も示している。これを見ると出火点数 15 までに平均のばらつきが急速に縮小しているが、200 回のときにばらつき

Table 4 Wind direction and Speed in Niihama City during 6th and 7th April in 1986.

Hour	14	15	16	17	18	19	20	21
Wind direction	→	↗	→	↗	↗	↗	↗	↗
	V	VSV	V	VSV	VSV	VSV	VSV	VSV
Wind speed (m/s)	9	11	9	9	7	8	7	6

Hour	22	23	0	1	2	3	4	5
Wind direction	↗	→	↘	↓	↘	↘	↘	↘
	VSV	V	NRV	N	NW	NW	VNV	NV
Wind speed (m/s)	8	9	6	4	3	3	3	3

Hour	6	7	8	9	10	11	12
Wind direction	↖	↖	↖		↗	→	→
	SSE	SE	SSE	—	VSV	V	V
Wind speed (m/s)	1	1	1	0	3	4	4



Fig. 6 Analyzed area (Mt. Kaneko in Niihama City).

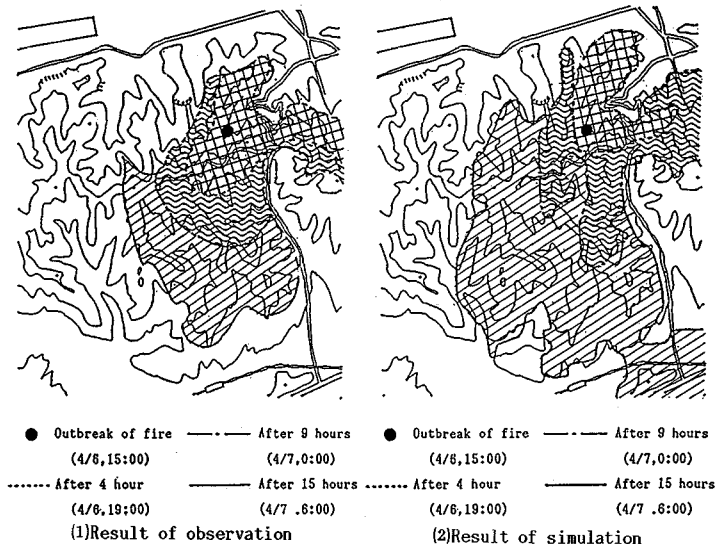


Fig. 7 Fire spread.

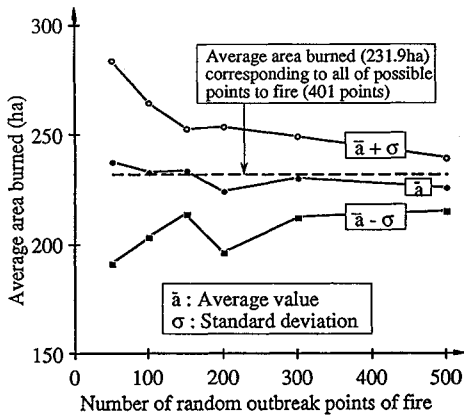


Fig. 8 Relation between number of random outbreak points of fire and average area burned.

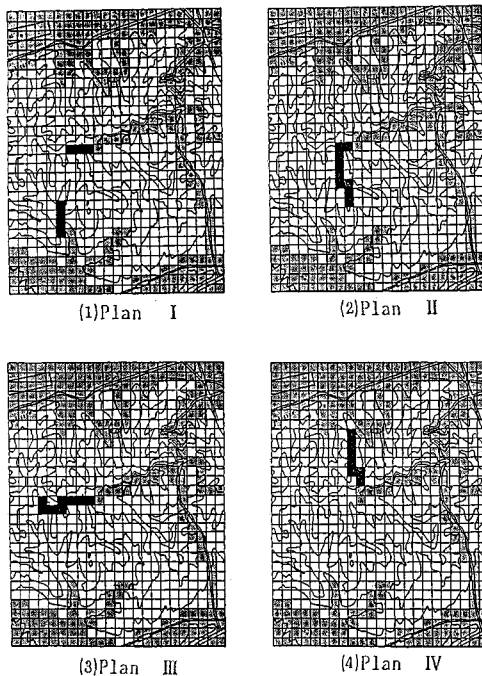


Fig. 9 Alternative plans for disaster prevention road planning (dark shadow : new non-flammable zone due to disaster prevention road, light shadow : existing non-flammable zone, remainder : inflammable zone).

がやや拡大している。しかし、いずれの出火点数に対しても平均焼損面積はほぼ一定の値を示しているため、シミュレーションの出火回数は100回程度で十分であると考えた。このケースでは合計100回のシミュレーションを行うことになる。

(4) 条件設定

ここでは制約条件としてまず施工の際の財政的制約条件について考える。適用対象とした新居浜市の昭和61

年度決算などを参考にして、林道に関する経費支出が可能と思われる農林水産業費の2%程度なら防災道(林道)の建設費(すなわち財政的制約条件)として投入できると考える。ここで想定している防災道は、幅員およそ4mで、舗装あるいは側溝などを施さない単純な構造のものである。緊急時に消防車両が通行できることが最低限の条件である。シミュレーションにおいては一辺100mのメッシュを想定しているため、結果的に幅100mの不燃ゾーンを想定することになるが、防災道を中心として±50m程度の領域は消火が容易であると判断されるため、さほど非現実的な仮定ではない。防災メカニズムとしては、したがって、緊急時にはこれらの防災道を用いて、消防用車両の速やかな通行およびそれに伴う速やかな消火活動が可能になる、ということを仮定することになる。実際には消防車両の移動などに要する時間的な要因を考慮しなければならないが、本論文ではそれらを考慮していない。金額自体はかなり流動的であるが、道路を防災用と限定するのではなく、林業用あるいは農業用などとしても利用する簡便な多目的道路として位置付ければ支出は可能となる。この仮定から建設可能な防災道延長は1000mと想定した。

(5) 防災道配置計画とシミュレーションの実行例

防災道配置計画案の立案は、地図上において防災道の施工が可能と判断される地形を考慮して行った。その際の指針として、

- ① 既存の交通施設(主として林道あるいは工事用道路)と接続させる。
- ② 尾根線沿いに配置する。

の2つを考えた。この理由は、①は消防力の進入を容易にするために必要な条件であり、②は防火帯配置の一般的指針であり、先に述べたように焼損域の広がり方は大地形に支配されるからである。また延焼速度も上り斜面から下り斜面への変化点である尾根線で減少するので消防活動の安全性を確保できる。そこで①、②を念頭においてⅠ～Ⅳ案の4つの防災道配置計画案を立案した。ここで相違点が明瞭であるようないくつかの特徴的な代替案を提示することは必ずしも容易ではない。先に述べたようにおのおのの代替案が地形的要因の影響を強く受けるからである。しかし各案の特徴を勘案すれば、planⅠ:アクセス重視型、planⅡ:風向平行型、planⅢ:風向直交型、planⅣ:閉鎖型となる。以下に各案の特徴を述べる。

Ⅰ案における防災道は2つの部分から成り、火災現場への進入を山頂側からと山麓側から行えるようにした。地形との対応はFig.9(1)に示したように中継所のある山頂から300(m)尾根沿いに既設の道路(中継所の保守用)を延長し(東西方向)、一方西大谷川沿いの既

設の道路が山中で幅員が減少しているのを拡幅して約400 (m) の防災道を南北方向に設ける。これらによりこの案の防災道延長は水平面への投影長さとして約800 (m) となる。これらの特徴に着目してこの案をアクセス重視型とよぶことにする。ただしこの案は防災道が風向に平行なものと直交したものを両方を備えているので、あとの案との対比のうえで混合型とよぶこともできる。

Ⅱ案ではⅠ案の尾根の部分さらに南方へ600 (m) 延長した。これは尾根に沿って施工するので総延長が約900 (m) になってもよいと考えたからである。Ⅱ案は消防力の展開の容易性に着目したⅠ案のような案と、防火帯としての防災道延長を増加させた案との比較を試みたものである。Fig. 9 (2) に防災道配置図を示す。この案での防災道配置は風向に平行なので、風向平行型の配置といえることができる。

Ⅰ案、Ⅱ案はともに防災道の方角と風向がほぼ同じであるが、主延焼方向が風向によって強く規定されることを考えれば、最も早く延焼の進行する主延焼方向の延焼を抑制できないため焼損面積が増えることが予想される。そこで主延焼方向への延焼を阻害するように風向に直交する方向に防災道を配置する案 (Ⅲ案) と、これまでの案が防災道によって区画を閉鎖しきれず開放された部分を有していたのに対し、これを閉鎖するように防災道を配置した案 (Ⅳ案) を想定し比較してみる。

Ⅲ案はⅡ案で南へ下っていた防災道を西へ向かって尾根沿いに約900 (m) 延長したもので、風向に規定される傾向が強い主延焼方向の延焼の低減を図った (Fig. 9 (3) 参照)。このような特徴から風向直交型の配置であることは明白である。

Ⅳ案は防災道によって、ある区画を完全に閉鎖し火災の延焼から守ることができ、また火災をその内側に封じ込め得る区画の設定を試みた (Fig. 9 (4) 参照)。そこでこのような配置を閉鎖型とよぶことにする。

5. 解析結果および考察

(1) 代替案の評価

以上に挙げた各案について前節で述べたように12時間後の焼損面積を算定した。その結果得られた焼損面積と標準偏差をTable 5に示した。防災道を配置しなかった場合の平均焼損面積が231.9 (ha) であるから、どの案によっても約30~50 (ha) の焼損面積を低減できることになる。結果的にplan Ⅳを除けば焼損面積に大きな差が現われなかったのは興味深い。このことは防災道の効果は風向に対する角度よりもむしろ、対象領域内における防災道の位置および延長距離に依存していると判断できる。もう少し詳細にみると、Table 5から第Ⅱ案または第Ⅲ案が平均焼損面積はそれぞれ180.22 (ha)、

Table 5 Result of fire simulation.

Plan	Area burned (ha)	Standard deviation (ha)
I	182.0	21.57
II	180.22	21.14
III	179.39	23.40
IV	194.17	20.54

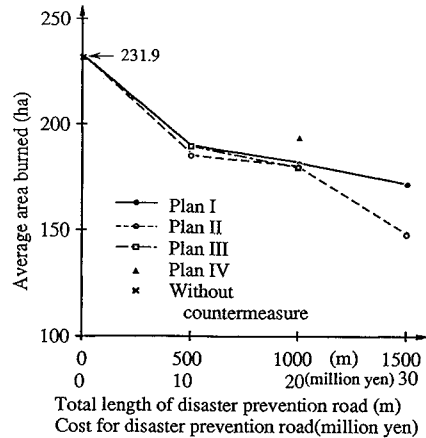


Fig. 10 Relation between the length of disaster prevention road and the average area burned.

179.32 (ha) と小さいことがわかる。とりあえず第Ⅲ案が焼損面積が最少で、標準偏差も他と比べて問題とするほど大きくないと思われるので、焼損面積最少で決めるなら4案の中では最適と判断できよう。閉鎖型の防災道については、明らかに閉鎖された領域の消火に対しては有効であると考えられるが、全体としてみればあまり有効な対策ではないと判断できる。

対象地域では昭和53年と61年に林野火災が発生したとその焼損面積はおのおの661 (ha)、239 (ha) であった。また防災道を配置しなかった場合の平均焼損面積と比較しても焼損面積を少なくとも50 (ha) 程度は低減できることになる。

(2) 制約条件の変動について

前章では財政的制約条件から防災道延長を1000 (m) に固定して考えた。しかし実際に林野火災対策に対して投入できる予算は流動的である。そこで防災道延長を増減 (1500 (m)、500 (m)) して、防災道配置計画の拡大または縮小が可能なものについてその有効性について考慮してみた。1000 (m) について行った評価と対照できるようにできるだけⅠ~Ⅳ案の防災道配置を各配置案の方針に沿って延長または短縮した案について平均焼損面積を求めるものとする。その結果をFig. 10にまとめた。

a) 防災道延長の場合

Fig. 9 (1)~(4) から防災道を延長する案としてⅠ、

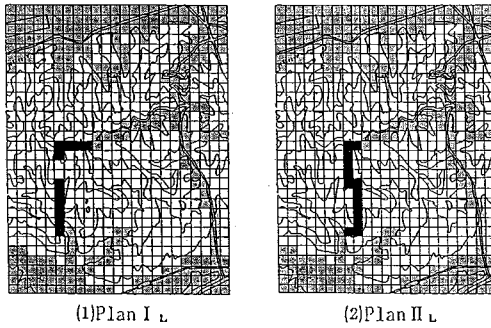


Fig. 11 Alternative plans for disaster prevention road planning under different constraints.

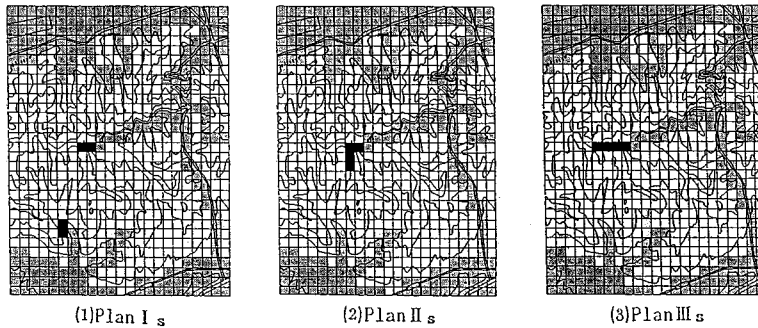


Fig. 12 Alternative plans for disaster prevention road planning under different constraints.

Ⅱ案を考える。防災道を延長した案をそれぞれⅠ_L案、Ⅱ_L案とよぶことにし、その配置を Fig. 11 (1), (2) に示す。

Ⅱ_L案は風向平行型としての防災道延長の拡大を図った。この案では防災道が南に向かって延長されたので防災道によって地区が閉鎖されるようになった。これに対してⅠ_L案では防災道を延長した割に地区に対する閉鎖効果はあまり現われていない。

平均焼損面積はⅠ_L案では172.19 (ha)、Ⅱ_L案では148.19 (ha)であった。また標準偏差はおのこの10.085 (ha)、9.513 (ha)となった。この結果からⅡ_L案による平均焼損面積の低減が顕著であった。これは防災道の延長により林野の地区的閉鎖性が高まったためであろう。

b) 防災道縮小の場合

ここではⅠ～Ⅲ案について防災道を縮小した案をそれぞれⅠ_s、Ⅱ_s、Ⅲ_s案として評価を行った。各案は防災道の延長を約半分にしている。防災道配置計画案を Fig. 12 (1)～(3) に示す。この場合、平均焼損面積はⅠ_s案について190.31 (ha)、Ⅱ_s案について185.25 (ha)、Ⅲ_s案について189.63 (ha)となり、目立った差はみられなかった。この傾向は Table 5 の傾向とほぼ一致して

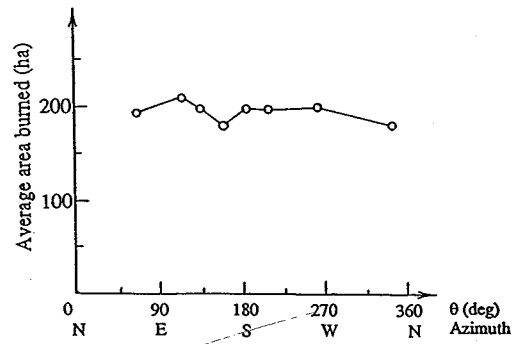


Fig. 13 Relation between the average area burned and wind direction.

いる。

a), b) から考えて多額の投資をすれば有効であるのはいうまでもないが、500 (m) 程度の配置でもそれなりの効果があることがわかった。また Fig. 10 で各案を検討するとⅠ案は投資額増大の効果があまり顕著に現われない。これに対してⅡ案では1500 (m) に増やしたときの平均焼損面積減少は相対的に顕著にみられた。しかしこれは防災道の延長によって地区閉鎖効果が強まったことにもよっていると考えられる。

(3) 風向の変動について

本研究においてシミュレーションでは入力気象データとして風向：南南東、風速3 mを採用した。Ⅲ案について、風向を変動させて、シミュレーションを行った。その結果を Fig. 13 に示した。

この図から風速3 mについては、総じて風向に対する変動は小さいものの、風向：南南東および北北西で焼損面積が最小値を取ることがわかった。結局Ⅲ案のような風向直交型の配置は、防災道に直交するような風向に対して有効であることが明らかになった。

6. 結 論

本論文では林野火災に対する各種の防災対策のうち、

土木工学的な手法として防災道配置計画に注目した。防災道の配置については、林野火災の延焼域が主に尾根や河谷といった大地形によって支配されていることなどから、尾根に沿って行るのがよいとされている。実際の地形ではそのような尾根の数は多いため防災道配置計画は多くの選択肢をもつことになる。複数の代替案の中から経済的にも妥当といえる適当な計画案の選択を行うため、林野火災延焼シミュレーションによる焼損面積の推定を行った。このような土木計画的な手法の導入は、防災効果を表現するし、適切な防災道配置計画の選択に有益であることを実証できた。以下得られた主要な成果を挙げると、

(1) 本研究では新居浜市河北山系金子山を対象地域として取り上げ、防災道配置計画評価のための林野火災延焼シミュレーションにおける出火点としてランダムな100点をとり、100回の延焼計算より成る1組のシミュレーションにより平均焼損面積(100回平均値)を算定し防災道配置計画案の評価を行った。この手法は先に述べたように計算の結果も十分信用でき、また標準偏差も問題とするほどは大きくない。また計算時間の面からもこの程度の出火点数で十分である。

(2) 防災道配置計画立案の指針として以下のことが明らかになった。

a) 防災道を風向に対して直交させる風向直交型、平行に配置する風向平行型およびそれらの混合型(アクセス重視型でもある)の3案については、防災効果にはほとんど差がみられなかった。このことは、防災道の効果は、風向に対する角度よりもむしろ、対象領域内における防災道の配置および延長距離に依存していると判断できる。ただし平均焼損面積最小で評価するなら風向直交型が最適と判断できよう。

b) 重要地区に関してはその区域を囲んでしまうように防災道を配置することは有効である。しかしそのような投資の効果は少額では著しく局地的なものとなる。

(3) 条件設定の変動に関する考慮から林野火災対策としての防災道の配置は500(m)程度でも十分な効果を発揮することがわかった。林野火災が多発する地区や林野火災が都市火災に発展しやすいところについては、限定された予算によってでも防災道を建設する価値のあることがわかった。

(4) 風向直交型の防災道配置は、風向の変動に関する考慮から、風向に直交する方向の延焼阻止に対して有効であることがわかった。

今後の課題としては飛び火の影響を考慮する手法の考案が必要である。また林野火災対策としての防災道配置計画に対する評価のためには、大規模林野火災発生と風

向、風速の関連に関する気象学的検証も重要であろう。

謝 辞：本論文の作成にあたり適切なご助言を賜った愛媛大学工学部 柏谷増男教授、同 朝倉康夫講師、林野火災の資料を提供していただき、また所轄消防機関を紹介していただいた愛媛県地方振興部交通消防課 間下尚之氏、今治地区事務組合消防本部、越智郡島部消防事務組合消防本部の方々、特に林野火災に関する貴重な経験をご教示いただいた新居浜市消防本部消防長 岡田美喜雄氏、同警防課長 佐々木和夫氏、アメダスの資料を提供していただいた松山地方気象台の方々、文献調査にご協力いただいた愛媛県林業試験場の方々、最後に本研究の遂行にあたって林野火災延焼シミュレーションプログラムの利用を認めていただいた日本林業技術協会のご好意に心から感謝の意を表します。

参 考 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)、第98回日本林学会論文集、pp.585~587, 1987.
- 2) 浅田常三郎・本出英三郎・松村敏雄：若草山焼きの測定に就いて(2)、応用物理第十巻、pp.354~361, 1941.
- 3) 菱田厚介・島山久尚・御厨敏彦：月島の葦焼実験、気象集誌第二集第二十巻第一号、pp.28~35, 1942.
- 4) 金原壽郎：液体における沿面燃焼の現象(第一報)、理化学研究所彙報九集七号、pp.561~570, 1930.
- 5) 鈴木清太郎・金原壽郎：紙の燃焼(1)、応用物理第十巻、pp.252~255, 1941.
- 6) 鈴木清太郎：火災学、地球出版社、昭和23年(1948).
- 7) Terada, T. and Utigasaki, C.: Forest Fire and Weather, Institute of Physical and Chemical Research, Vol.18, pp.205~225, 1932.
- 8) 岸原信義・下村栄二・小川 滋・松山礼太郎：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(Ⅰ)、第97回日本林学会論文集、pp.555~556, 1986.
- 9) 藤田隆史：大震災時における住民避難の最適化、計測自動制御学会論文集11-5, pp.501~507, 1975.
- 10) 藤田隆史：火災の延焼シミュレーション、災害の研究Ⅷ、損害保険料算定会、pp.380, 1975.
- 11) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻 正矩：大震災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究(1)、日本建築学会論文報告集、275, pp.141~148, 1979.
- 12) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻 正矩：大震災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究(2)、日本建築学会論文報告集、308, pp.110~119, 1981.
- 13) 佐々木弘明・神 忠久：都市火災の延焼確率とそのシミュレーション、消防研究所報告、47, pp.9~27, 1973.
- 14) 木俣 昇：大震災時火災の延焼シミュレーション・システムの開発について、金沢大学工学部紀要15巻2号、pp.21~32, 1982.

- 15) 保野建治郎・大森豊裕：消防力に関する研究，近畿大学工学部研究報告 No. 8, pp. 149~155, 1974.
 - 16) 保野建治郎・難波義郎・高井広行：建物火災と消防力に関する基礎的研究，近畿大学工学部 20 周年記念論文集, pp. 245~250, 1978.
 - 17) 保野建治郎・高井広行・難波義郎：建物火災の延焼速度に関する 2, 3 の考察，近畿大学工学部研究報告 No. 14, pp. 97~101, 1980.
 - 18) 木俣 昇・二神 透：火災延焼シミュレーション・システムの要因分析について，金沢大学工学部紀要 20 巻 1 号, pp. 71~78, 1987.
 - 19) 日本林業技術協会：林野火災拡大危険区域予測調査報告書，自治省消防庁, pp. 88~95, 1985.
 - 20) 日本気象協会愛媛県支部：愛媛県気象月報（松山地方気象台監修），昭和 60, 61 年 3, 4, 5 月, 1985, 86.
(1989. 1. 5・受付)
-