

林野火災におよぼす局所地形の影響に関する研究 —広島県竹原市の林野火災を例として—

小泉俊雄*, 家城啓輔**

(平成12年3月6日受付, 平成12年3月10日受理, 平成12年10月16日修正受理)

Study on the Relationship between Local Topography and Damage caused by Forest Fires System —The Forest Fire in Takehara-city, 1994—

Tosio KOIZUMI* and Keisuki YASIRO**

*Department of Civil Engineering, Chiba Institute of Technology
Tsudanuma 2-17-1, Narashino-shi, Chiba 275-0016, Japan

**Bureau of Finance, Tokyo Metropolitan Government
Nishishinjuku 2-8-1, Shinjuku-ku, Tokyo 163-8001, Japan

Abstract

On August 11, 1994, a forest fire occurred in Takehara-city, Hiroshima Prefecture, Japan. The fire was repressed once, but it rekindled because of strong winds from a typhoon and a large drought. 378ha were burnt before it was extinguished, and the damage amounted to about 500 million yen, becoming the largest in Japan in terms of the amount of damage.

The authors here present a damaged district forecast method for forest fires by which the influence of limited geographical features is considered ahead, based on the example of a forest fire which occurred in Manba-city, Gunma Prefecture, Japan, in April, 1993. This paper analyzed the forest fire that occurred in Takehara-city and, new findings were added to the technique presented before, a new technique is developed, and improvement of accuracy is aimed at.

The analytical items newly adopted in this paper are as follows:

- (1) The wind direction and the velocity of the wind are set in detail, and analysis which corresponds to the change in the wind direction and the velocity of the wind is attempted.
- (2) A device and improvements are added to the extraction method of the geographical features factor.
- (3) More detailed numeric geographical features data are used and analyzed.
- (4) Information on the woods aspect is added to the analysis.

The effectiveness of this technique additionally confirmed the assertion formerly announced as a result of these changes.

1. 序論

著者らは先に1993年4月27日群馬県万場町で発生した林野火災を例にとり、局所地形解析と火災の延焼速度を考慮した林野火災における被害区域予測法を提示した¹⁾。本論文は1994年8月11日広島県竹原市で発生

* 千葉工業大学土木学科
(〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1)

** 東京都財務局
(〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)

した林野火災をもとに、先の論文で提示した手法に新しい知見を加え、手法を発展させ、精度の向上を図ったものである。具体的には、次の項目を新たに取入れ解析を行った。なお、本論文は先の論文との解析方法の比較を目的としたものではない。

(i) 気象情報のより詳細なデータの導入による解析
先の論文¹⁾では風向・風速のデータの数少なく、かつ、気象観測所の立地が良くなかったため、風の影響を十分に取入れた解析としては不十分な面があった。本論文ではこの反省の上により確かな風向・風速を詳細に設定し、風向・風速の変化に対応した解析法を試み、その有効性を提示した。

(ii) 地形因子の抽出法の工夫・改善

地形因子のうち、高地の方位の地形因子の抽出法に工夫・改善を加えた。

(iii) より詳細な数値地形データの採用

先の論文¹⁾では250m メッシュの数値地形データを用いたが、本論文では50m メッシュの数値地形データを採用し、より詳細な地形解析を取り入れた。

(iv) 林相の効果

本手法におよぼす林相の効果について検討した。

本論文における林野火災被害区域予測法の全体構成を示すと Fig. 1 のようになる。この方法は大筋においては先の論文の手法を踏襲したものであり、まず最初に火災の延焼拡大には風と地形が関係している事をもとに、風に影響をおよぼすと考えられる地形因子を用いて、対象とする地域の地形構造を分析し、風に関する地形分類図(風力地形分類図)を作成する。そして分類された各々の地域の地形構造が、その地域に火災の延焼をもたらす風向に対してどのように作用するか(火災を助長させる構造なのか、弱める構造なのか)を判定し、地域ごとの火災の延焼に関する相対的危険

度を定める「地形を基にした火災危険度地域区分図」を作成する。また、林相について考慮した上で火災の延焼方向、延焼速度、延焼距離を算出し、風力地形分類図と組み合わせて「延焼拡大予想図」を作成する。次に、地形を基にした火災危険度地域区分図と延焼拡大予想図を重ね合わせて、「火災被害区域想定図」を作成し、火災の被害区域を予測するものである。なお、本論文における予測法は、実際の延焼中に起こった飛び火などの事象を組み込んだ形になっており、現実に火災が起きた後に地形、林相、風の情報などから、理論的に推定される方法を用いて延焼速度などを検証する形での使用を念頭に置いて解析したものである。

2. 竹原市の概要と火災の概要

(1) 竹原市の位置と地形

竹原市は、広島県の瀬戸内海沿岸部のほぼ中央に位置する。三方を200~300m 級の山々に囲まれ、屈曲した海岸線にまで山が迫っている地形である。

(2) 火災概要^{2),3)}

①出火日時および鎮火日時

- ・出火日時：1994年8月11日15時33分
- ・鎮圧日時：12日17時20分
- ・再燃日時：12日23時26分
- ・鎮圧日時：15日17時00分
- ・鎮火日時：20日14時00分

②火災場所および概況

- ・火災場所：広島県竹原市および三原市の山林
- ・火元の位置：竹原市福田町大乘の通称、高丸山(172m)の7合目付近
- ・地被物：手入れ不足による下草およびシダの繁茂
- ・植生の状況：針葉樹(マツ、スギ、ヒノキ)17%、混交樹(マツ、カシ、クヌギ)83%

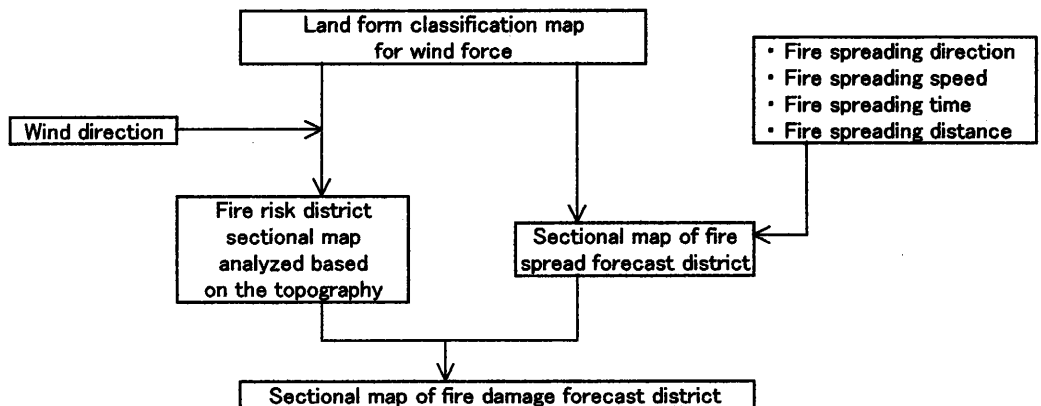


Fig. 1 Flow of the damage district forecast method for forest fires

人工林12%, 天然林82%

③被害状況

- ・ 負傷者：3名（消防団員）
- ・ 山林焼失面積：378ha（竹原市357ha, 三原市21ha）
- ・ 損害額：5億87万円

④消火活動の概要

林野火災発生のお知らせ後、竹原広域消防本部、三原市消防本部や消防団等が消火活動を行ったが、折りからの強風に加え渇水による水利不足によって飛火延焼拡大し地上消火活動が困難になったことから、陸上自衛隊等のヘリコプターによる空中消火も行われた。

⑤大規模火災となった主な理由

- ・ 異常渇水による水利不足
- ・ 台風9414号の接近による強風
- ・ 消火活動を妨げる地被物の堆積

(3) 被害区域図

Fig. 2, Fig. 3に被害区域図を示す。この図は、広島県竹原広域消防本部が調査・作成した火災延焼状況図²⁾をもとに、著者が別の地図に写しかえたものである。

(4) 火災時の気象状況

被害区域周辺の気象観測地点のうち、障害物等がなく火災現場の風向・風速をよく表していると考えられる電源開発竹原火力発電所の煙突上の風向・風速計（標高175m）および広島県環境大気測定局の気象データ（福田区民館、高崎）により、火災時の気象状況を考察する（Fig. 4, Fig. 5）。

出火時（8月11日15時）の風向はほぼ東で、風速は竹原火力発電所で10m/s前後で、福田区民館と高崎では5m/s程度であった。その後風は弱まる傾向にはなかったが、風向にはほとんど変化がみられない。23時頃から風向が東北東を中心に北東～東の風が13日午前中まで吹いた。この頃の竹原火力発電所の風速は5～6m/sで始まり、12日朝は3～4m/s、9時から12時は7～

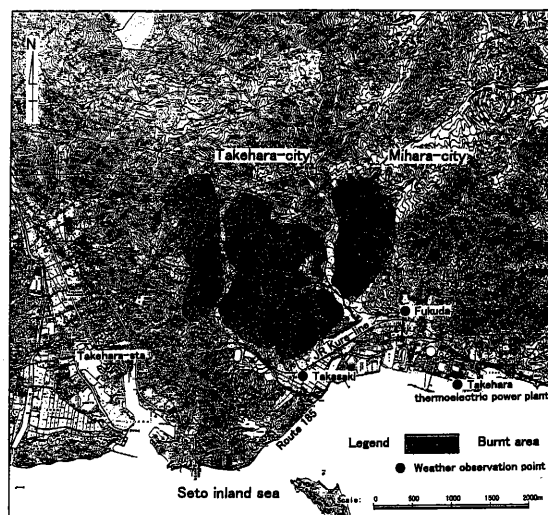


Fig. 2 Burnt area, topographic analysis area, weather observation point

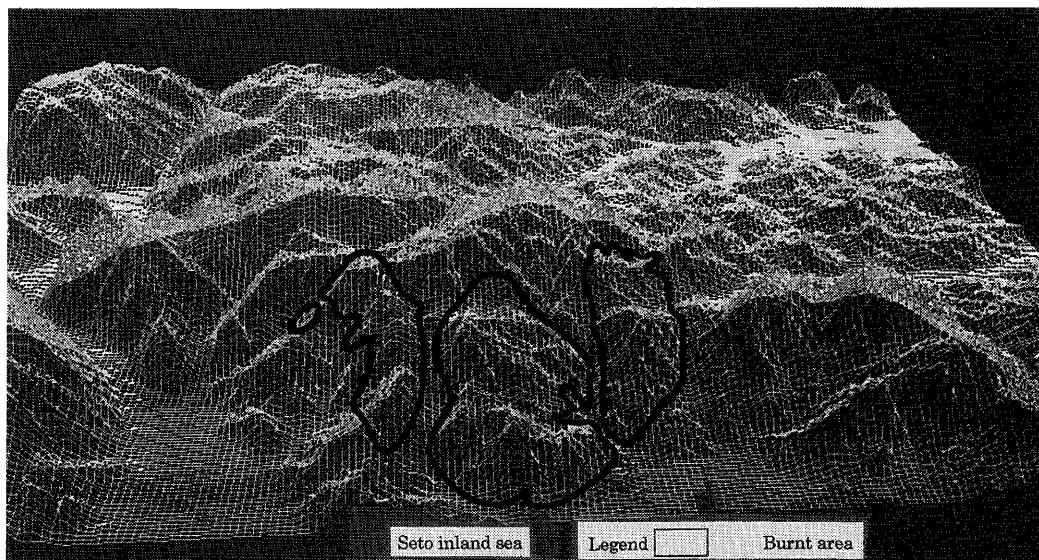


Fig. 3 Bird's - eye view map around burnt area

8 m/s、そして午後からは再び10m/s 前後の風が吹くようになった。この間17時20分に火は一時鎮圧されたものの、23時26分には再燃している。この風は13日朝に6 m/s 弱まで弱まったものの、10時以降は8 m/s 以上の比較的強い風に戻っている。また他の2つの気象観測地点においても気象値そのものには若干の違いがあるが、竹原火力発電所と似たような傾向になっている。なお、13日6時20分には広島県南部に強風波浪注意報が発令されている。13日の午後からは東よりの風で、19時頃からは東北東も加わり、特に竹原火力発電所ではこの傾向が14日9時頃まで続いている。その後昼にかけては、南東風になっている。風速は竹原火力発電所では8 m/s 以上、福田区民館と高崎では5 m/s 前後が13日遅くまで続いた後、一旦は弱くなり14日5時には強風波浪注意報も解除されたものの、竹原火力発電所では9時頃から再び強くなっている。そして、14日午後からは風が弱くなるとともに、風向きも東を中心に

数時間おきに変化するようになり、15日17時00分に鎮圧された。なお、火災発生時には台風9414号が接近中のため、再燃中、広島県南部に強風波浪注意報が発令されていた。

(5) 林相状況

先の論文の研究結果¹⁾から、林野火災の被害区域の想定を行うには、林相の状況を考慮する必要性が指摘された。そこで本論文では林相について検討を行った。

今回の林野火災で焼失した森林は、天然針葉樹のネズミサシをはじめ、マツ、スギ、カシ、クヌギなどが混在する混交林で覆われており、また下草にはシダが密生し極めて燃えやすい状況となっていた。被害区域周辺の林相図を Fig.6に示す。この図は広島県が1983年に調査し1985年に発行したものを編集したものである。この林相図と Fig.2の被害区域図より、焼失面積の大半は針葉樹で、西側では広葉樹が混在していたことがわかる。

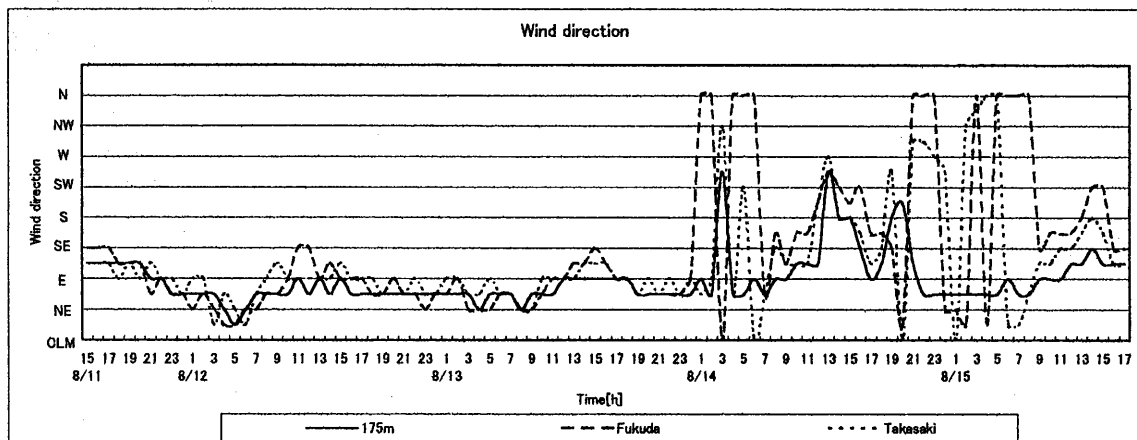


Fig. 4 Wind direction

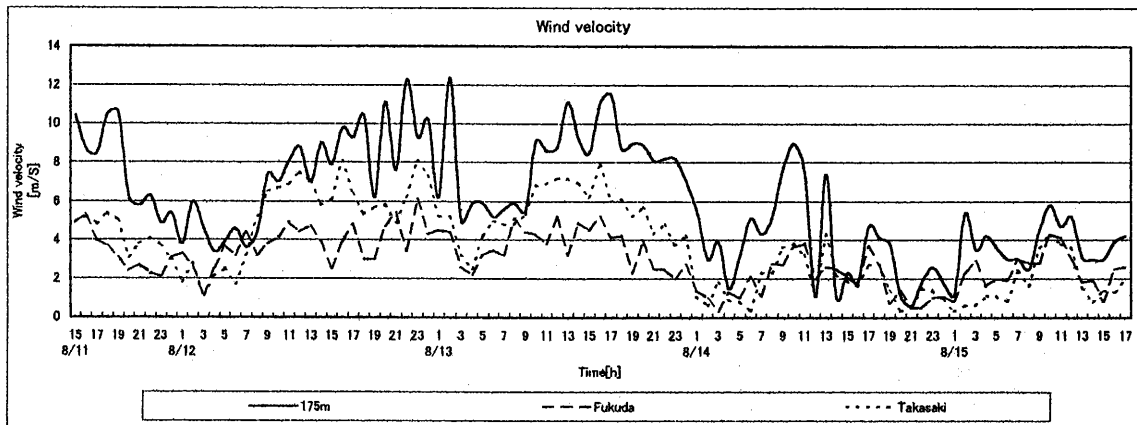


Fig. 5 Wind velocity

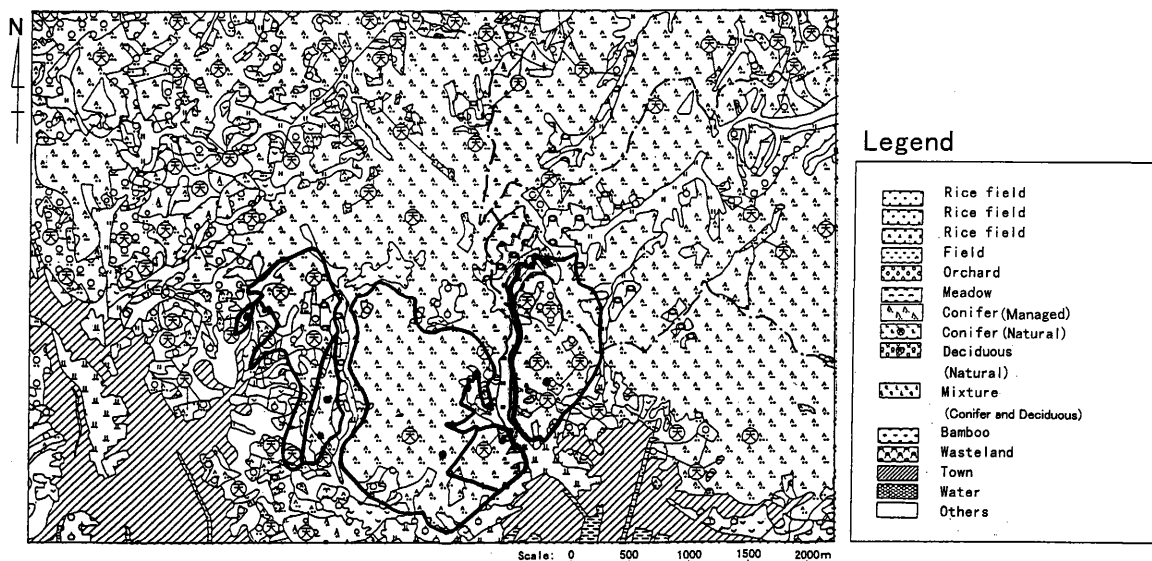
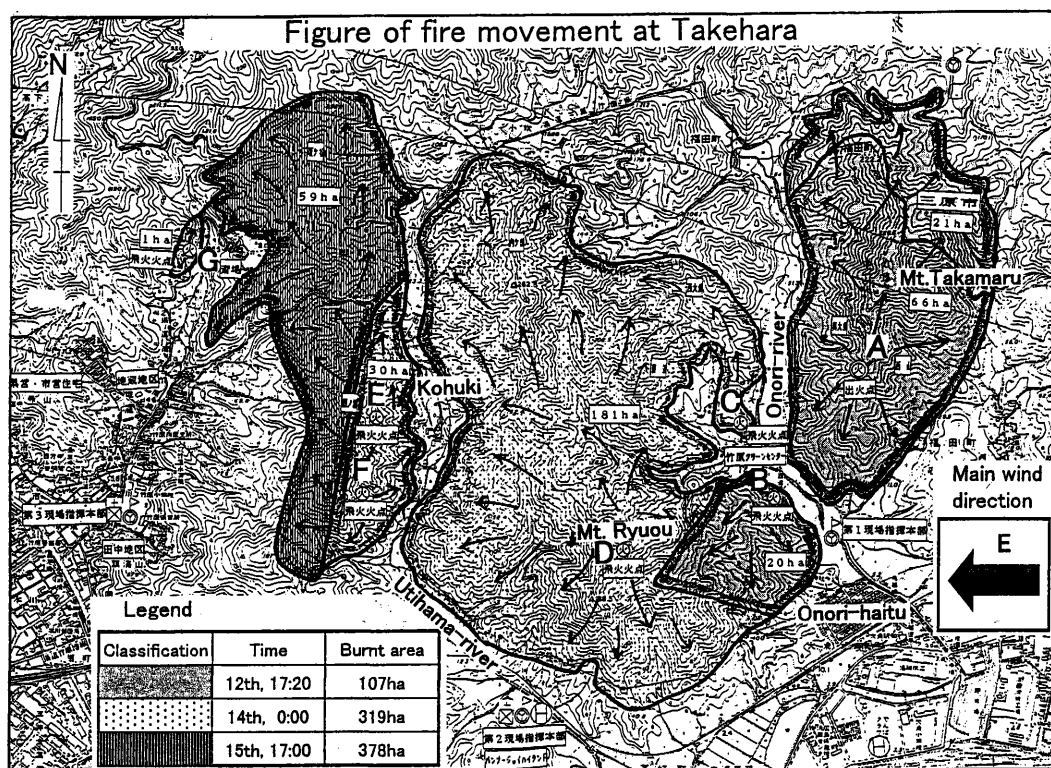


Fig. 6 Figure of woods aspect around the burnt area



Time of fire outbreak 15:33, August 11, 1994
 Time of repression of fire 17:20, August 12, 1994
 Time of fire recurrence 23:26, August 12, 1994
 Time of repression of fire 17:00, August 15, 1994

A : Fire outbreak point (Analysis point)
 B~G: Fire spark point (Analysis point)

Fig. 7 Figure of fire movement

(6) 火災延焼状況

Fig.7に火災延焼状況図²⁾を示す。この図をもとに火災の延焼状況を述べる。

1994年8月11日15時30分頃、通称、高丸山(172m)の7合目付近から出火した火(A)は、10m/s前後の東南東の風を受けて150mの谷間(大乘川)を越え西隣の竜王山(143m)東側斜面に飛火(B)し、火は高崎町の大乗ハイツまで迫った。12日の17時20分までに竹原市側86ha、三原市側21haを焼失し一時鎮圧した。しかし、下草や膝のあたりまで重なる枯れ葉の下層に残っていた火が強風にあおられ飛火し、12日の23時30分頃2ヶ所(C、D)から再燃。消防力を大量投入して延焼を阻止しようとしたが、少雨に伴う極度の乾燥状態と強風により尾根伝いに異様な速さで延焼拡大した。そして、内浜川を越えて竜王山の西側E、FそしてGに飛び火し、山間部の同市小梨町小吹地区の民家が一時火に包まれた。14日の0時までには212haを焼失した。鎮火した15日の17時までに残る59haが焼失し、5日間の全焼損面積は378haとなった。

3. 風力地形分類図の作成

火災の延焼拡大には風の影響が大きい、その風は地形、特に局所的な地形による影響を大きく受けると考えられる。そこで本論文においては**Fig. 8**に示すように風に影響をおよぼすと考えられる地形因子を抽出し、これらの地形因子が総合して表現している地形要素(主成分)を数量化理論3類を用いて算出し、これに基づき風力地形分類図を作成する。そして地形分類図の各地形が設定された風向に対して火災が延焼しやすい地形か、そうでない地形かを判定し、地形を基に

した火災危険度地域区分図を作成する。ここで、作成手法は先の論文¹⁾と同じであるが、先の論文においては建設省国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)のデータを用いたものの、計算処理上の制限から5個とばしの250mメッシュ(測点の間隔250m)としたデータを用いた。しかし本論文においては50mメッシュ(測点の間隔50m)のものを用い、より詳細な地形情報のもとで解析が行えるように改良した。また、地形因子の抽出に当っては、特に高地の方位の抽出法に工夫・改善を加えた。

(1) 地形因子の抽出

地形因子とは、対象とする地点の地形ではなく、その測点を中心にある領域を考え、その領域内の地形を測点で代表したものである。したがって地形因子を定量的に表現するには測点を中心にある領域を考えなければならない。

Fig. 2に示す被害区域を中心とした約7km四方を解析対象に、地形因子の抽出領域に際しては被害区域北側の5つの山(標高357.6m~403.2m)より成長曲線を作成し、これらの平均から1辺1,750mの矩形とした。抽出した地形因子は先の論文¹⁾と同じ斜面形態、傾斜、斜面の方位、起伏量、標高および高地の方位である。

(2) 高地の方位の抽出法

高地の方位とは測点から見て、どの方向にどれだけ測点より高い地形が連なっているかを表す因子である。本論文では仰角 α 以上の土地を高地という。**Fig. 9**の様に高地が8方位の「どこに」、「どれだけ存在するか」によってその方位を定める。「どれだけ存在するか」とは、8方位軸を中心とした45度の領域(図中に示す Θ

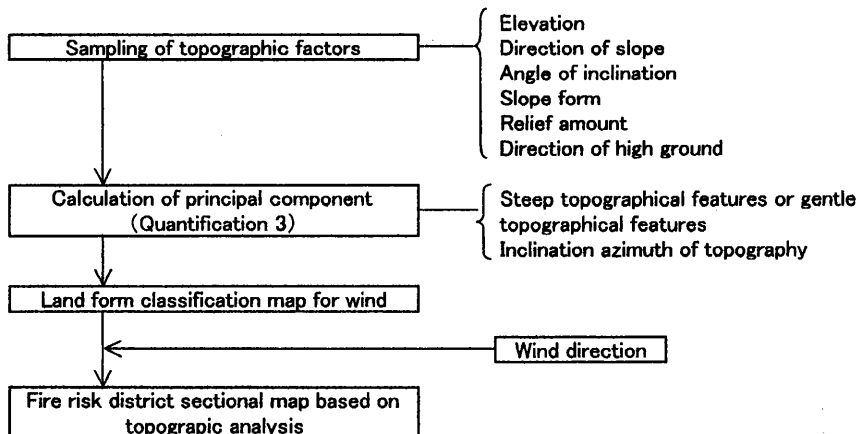


Fig. 8 Land form classification map for wind and fire risk district sectional map based on topographic analysis

の領域)を100%とした時、その領域を含んで存在する連続した高地の占める割合である。本論文ではこれを「範囲」と呼ぶ。高地の方位は仰角と範囲によって定められることとし、これに基づき「方位なし」を含む9方位で表す。先の論文¹⁾の万場においては仰角6度以上、範囲150%以上を高地とし、本論文の竹原においては仰角3度以上、範囲60%以上を高地と定義した。

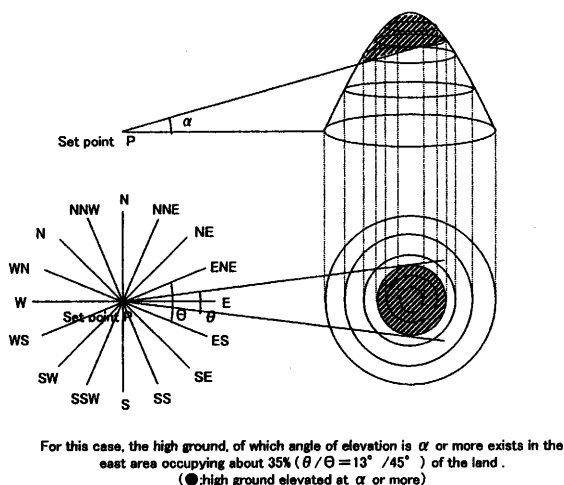


Fig. 9 Measurement method for azimuth of high ground

①万場における高地の方位の抽出法

成長曲線により求めた地形因子を抽出する1辺2,250mの矩形を、Fig. 10に示すように経緯度方向にそれぞれ3分割、計9分割した。そして各分割した区域(図中Lで示した区域)において平均した値をFig. 11に示すように測点Pの周囲8方位の標高(R1~R8)とした。さらに、隣り合う2つの標高値を平均してその中間の方位の標高とした。なお、測点Pの区域だけは平均せず、測点の標高をそのまま用いた。これをもとに、測点周囲の16方位における仰角を以下の式により求めた。

ある方位における仰角=

$$\left(\tan^{-1} \frac{\text{ある方位における標高} - \text{測点の標高}}{\text{測点からの距離}} \right) \times \frac{180}{\pi}$$

範囲はFig. 12のように、あらかじめ定めた仰角の値を満たした方位(16方位)がどれ位連続しているかで範囲を定める。8方位軸を中心とした45°の領域を100%とした基準で以下のように定めた。

45°の領域内に仰角の値を満たした方位が

1点のみ存在 : 33%

45°の領域内に仰角の値を満たした方位が

2点連続して存在 : 67%

45°の領域内に仰角の値を満たした方位が

3点連続して存在 :

隣接する領域に仰角の値を満たした方位がない

: 100%

隣接する領域を含めて仰角の値を満たした方位が

4点連続して存在 : 150%

隣接する領域を含めて仰角の値を満たした方位が

5点連続して存在 : 200%

(以下同様)

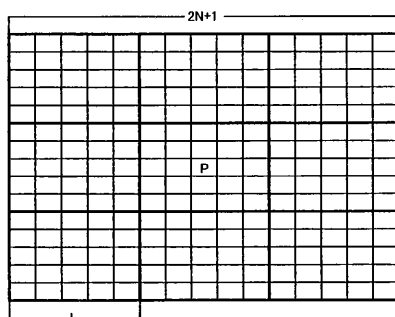


Fig. 10 Slice method of altitude data

R1	R8	R7
R2	P	R6
R3	R4	R5

Fig. 11 District chart of altitude data

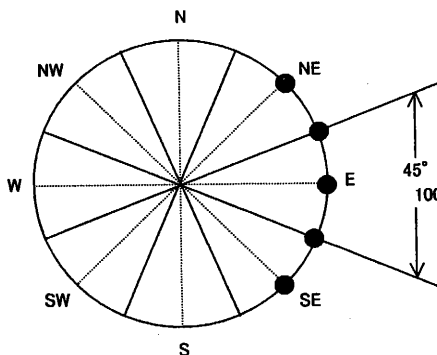


Fig. 12 Measurement method for azimuth of high ground (Manba)

②竹原における高地の方位の抽出法

万場における高地の方位の解析では解析計算が容易な反面、16方位における仰角を求める際に平均した標高を用いるために、本来高地とはならない小さい谷も高地として判定してしまうこともあり、またその逆に本来高地となる小山を高地として判定しないなど欠点があった。

そこで竹原の場合は平均した標高を用いることなく、50mメッシュの数値地形データをそのまま用いて仰角を求めた（Fig. 13参照）。そして、設定した仰角 α に該当するメッシュ点が生じた場合、測点とそのメッシュ点との方位角（北からの右回りの角度）を求めた。そしてFig. 13のように8方位軸を中心とした45°の領域を100%とした基準で以下のように定めた。

45°の領域内に仰角の値を満たした角度が

n 点連続して存在： $(n \text{ 個}/45\text{個}) \times 100(\%)$

45°の領域内に仰角の値を満たした角度が全て存在：

隣接する領域に仰角の値を満たした角度がない

：100%

隣接する領域を含めて仰角の値を満たした角度が
n 点連続して存在： $(1 + (n \text{ 個}/45\text{個})) \times 100(\%)$

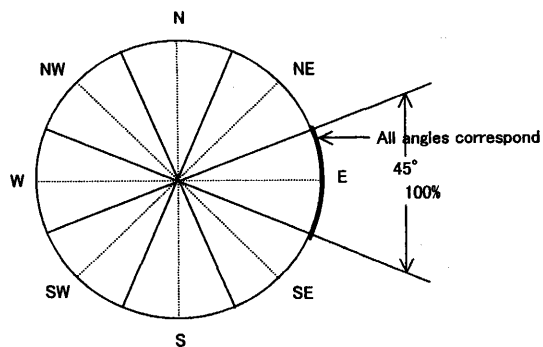


Fig. 13 Measurement method for azimuth of high ground (Takehara)

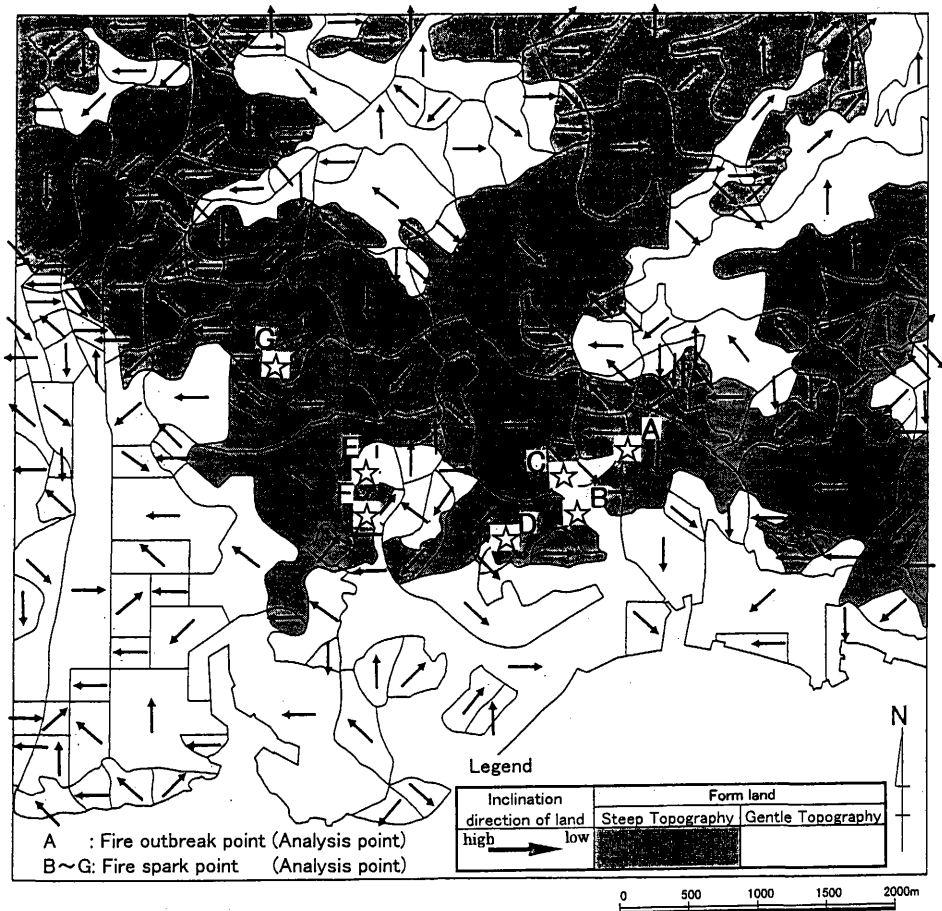


Fig. 14 Form land classification map for wind force, points of fire outbreak and spark of a fire

(3) 地形分類

先の論文¹⁾同様、数量化理論3類を行い、形状の主成分（地形が険しいか、なだらかなかを表す）と、傾斜方位の主成分（地形がどの方位に傾斜しているかを表す）を算出し、Fig. 14に示す「風力地形分類図」を作成した。図の中で色の濃い部分は険しい地形であり、色の白い部分はなだらかな地形を表す。また矢印の方向は地形が傾斜している方位を表し、矢印の方が低いことを示す（8方位）。

(4) 地形を基にした火災危険度地域区分図の作成

作成された風力地形分類図をもとに、「地形を基にした火災危険度地域区分図」を作成した。Fig. 15とTable 1に火災危険度判定基準を示す。ここでFig. 15の●は傾斜がない平坦な地形を表す。作成は先の論文¹⁾の手法に準じて行ったが、火災危険度判定基準についての形状の取り扱いについては万場¹⁾の時とは異なり、険しい地形の方が、なだらかな地形よりも火の回りが大きいと考え危険度が高いとした。この根拠は次の通りである。

参考文献¹⁾において、「主延焼速度」に対する「風速」と「地形の傾斜角」との関係がFig. 16のように示されている。この図において傾斜角を地形の形状と考えると、風速が小さい場合、傾斜角の小さい地形、すなわちなだらかな地形の方が主延焼速度が大きい（危険）と考えられ、反対に風速が大きい場合、傾斜角の大きい地形、すなわち険しい地形の方が主延焼速度が大きい（危険）と考えられる。竹原における気象データを見ると、風速は比較的大きく、この事から険しい地形の方が危険度が高いとした。

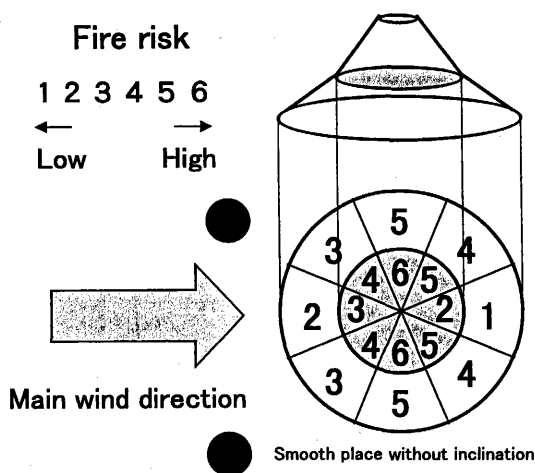


Fig. 15 Fire risk judgement based on topographic analysis (schematic diagram)

Fig. 17はFig. 14の風力地形分類図をもとに東の風を吹かせた場合の火災危険度地域区分図である。本手法は任意の風向に対して「地形を基にした火災危険度地域区分図」を描くことができる。

Table 1 Fire risk judgement analyzed based on the topography

Fire risk	Characteristic of district
1	There are highlands on the main wind direction side to the measurement point, and a gentle topography area.
2	There are highlands on the main wind direction side to the measurement point and a steep topography area, as well as highlands on the main wind direction on the opposite side to the measurement point and a gentle topography area.
3	There are highlands on the main wind direction opposite side to the measurement point and a steep topography area, as well as highlands on the main wind direction diagonal opposite side to the measurement point and a gentle topography area beyond which there are not highlands.
4	There are highlands on the main wind direction diagonal opposite side to the measurement point and a steep topography area, as well as highlands on the main wind direction diagonal side to the measurement point and a gentle topography area.
5	There are highlands on the main wind direction diagonal side to the measurement point and a steep topography area, as well as highlands at right angles to the main wind direction to the measurement point and a gentle topography area.
6	There are highlands at right angles to the main wind direction to the measurement point and a steep topography area.

Note: Area of large numerical value of fire risk is more dangerous than area of small numerical value of fire risk.

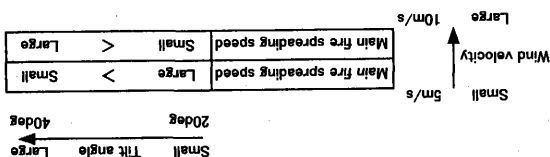


Fig. 16 Relationship between tilt angle and wind velocity for main fire spreading speed

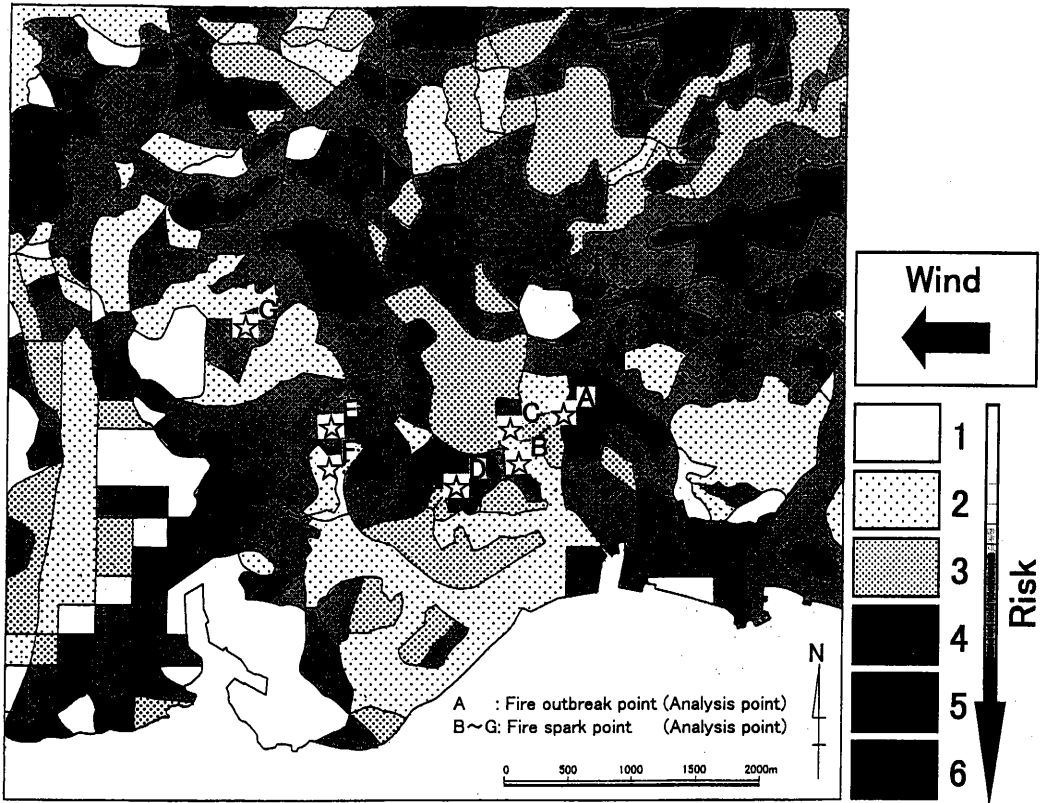


Fig. 17 Fire risk district sectional map analyzed based on the topography (win direction: east)

4. 延焼拡大予想図の作成

「地形を基にした火災危険度地域区分図」に、火災の延焼方向、延焼速度、延焼時間および延焼距離を考慮し、「延焼拡大予想図」の作成を行った。

(1) 延焼方向、延焼速度、延焼距離の算出

火災の延焼方向、延焼速度、延焼距離の算出方法は先の論文¹⁾に準じて行った。風向、風速の設定にあたっては、本来は火災現場近くの、地形、地物の影響の少ない地上での値を用いるべきであるが、火災現場が山中であったためこれらを十分に満たすものはなかった。そこで、先に述べたように被害区域周辺の気象観測地点のうち、比較的障害物等の影響が少ないと考えられ、計器の設置高さが火災現場の標高にほぼ等しい竹原火力発電所を最有力候補とし、福田区民館、高崎のデータを参考に設定した。すなわち、風向に関しては Fig. 4 に見るように、3つの観測所の値がほぼ等しいことからこれらの観測所の値の平均値を採用した。また風速に関しては Fig. 5 より、電源開発竹原火力発電所のデータをもとにした。

延焼時間については、Fig. 4, Fig. 5をもとに、出火時刻・飛火時刻から風向がほぼ変わっていない時間だけその風向によって延焼するものと仮定し、延焼速度式の風速は、延焼時間の平均風速とした。本論文において設定した出火時刻、飛火時刻、延焼時間、風速、風向を Table 2に示す。また、延焼速度の算出には林相の影響も考慮して行った。すなわち下記の延焼速度の算出式において、式中に示す樹林別の重みの値を文献^{4), 5)}により定めて解析を行った。

$$V_e = \{66.10 + 1.44 \cdot S \cdot \cos(\theta_E - \theta_S) + 51.30 \cdot W \cdot \cos(\theta_E - \theta_W)\} \cdot S_P$$

ここで、 V_e : 主延焼速度 (m/h)

θ_E : 主延焼方向 (北から時計回りの角度)

θ_S : 最大傾斜角方向 (")

θ_W : 風向 (")

S : 傾斜角 (最大傾斜方向の角度 (度))

W : 風速 (m/s)

Table 2 Fire spread direction, speed, times

	Fire outbreak date	Fire spark time (o'clock)	Fire spreading time(h)	Wind velocity (m/s)	Maximum inclination direction θ_s (deg)	Tilt angle of maximum inclination direction S(deg)	Wind direction θ_w (deg)
A	Aug.11 '94	15:33	11.5	6.8	358.0	4.9	270(E)
B	Aug.11 '94	23:27	3.6	4.9	320.9	4.6	270(E)
C	Aug.12 '94	23:26	24.6	8.2	322.2	4.9	270(E)
D	Aug.13 '94	1:00	23.0	8.1	334.1	4.1	270(E)
E	Aug.13 '94	16:00	17.0	6.7	49.5	4.2	270(E)
F	Aug.13 '94	16:00	17.0	6.7	43.3	3.7	270(E)
G	Aug.13 '94	17:10	6.8	8.7	34.7	7.1	270(E)
	Main fire spreading direction θ_E (deg)	Conifer			Deciduous		
		Main fire spreading speed V_e (m/h)	Side fire spreading speed V_s (m/h)	Opposite fire spreading speed V_b (m/h)	Main fire spreading speed V_e (m/h)	Side fire spreading speed V_s (m/h)	Opposite fire spreading speed V_b (m/h)
A	98	-258	-39	-9	-322	-49	-11
B	98	-173	-45	-15	-216	-56	-19
C	95	-329	-34	-6	-411	-43	-7
D	95	-323	-34	-6	-403	-43	-7
E	95	-250	-39	-9	-313	-49	-12
F	95	-251	-39	-9	-314	-49	-12
G	99	-341	-31	-5	-426	-39	-6
	Excluding the forest						
	Main fire spreading speed V_e (m/h)	Side fire spreading speed V_s (m/h)	Opposite fire spreading speed V_b (m/h)				
A	-297	-45	-10				
B	-199	-51	-18				
C	-379	-39	-7				
D	-372	-40	-7				
E	-288	-45	-11				
F	-289	-45	-11				
G	-393	-36	-5				

A~G: Fire outbreak and fire spark points(Analysis points)

 S_P : 樹林別の重み=0.92 (針葉樹林)

1.15 (広葉樹林)

1.06 (森林以外)

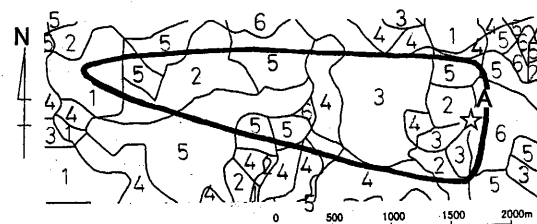
(2) 延焼拡大予想図の作成

各点における「延焼拡大予想図」の作成を先の論文に準じて行った。すなわち主延焼速度、横延焼速度、裏延焼速度を求め(横延焼速度 $V_s = V_e \cdot 10^{-0.12w}$, 裏延焼速度 $V_b = V_e \cdot 10^{-0.124w}$), これに延焼時間を掛けて主延焼距離、横延焼距離、裏延焼距離を定めた。延焼時間については上述したように気象データをもとに風向がほぼ変化していない時間だけその風向によって延焼するとして時間を算出した。定めた各距離をフリーハンドで結び延焼拡大予想図の範囲とした。一例としてA点における延焼拡大想定図と地形を基にした火災危険度地域区分図を重ね合わせたものをFig. 18に示す。

(3) 飛び火の発生と風速との関係

強風下では飛び火延焼が被害区域を左右する。特に発生場所と発生時刻の風速が重要と考えられる。残念ながら本論文においては飛び火が着地した場所(B~G)は分かるが、これらの飛び火が発生した場所の特定は出来なかった。しかしながらTable 2に示す飛び

火時刻およびその時の風速より、大まかに飛び火の発生と風速との関係を考察するに、飛び火の発生時の平均風速は5 m/s から8 m/s であることが分かる。この風速は、気象庁の風力階級によると地上において砂ほこりが立ち、紙片が舞い上がり、小枝が動く風速に相当する。飛び火の発生と風速との関係については今後さらなる研究が必要であるが、有用なデータとも考えられる。なお、本論文における予測法には、飛び火の予測は考慮していない。



The Arabic numerals in this figure show the degree of risk

Fig. 18 Sectional map of fire spread forecast district (point A)

5. 火災被害区域想定図の作成

出火地点 A から飛火地点 G の各点における「延焼拡大予想図」と、出火時刻、飛火時刻時のそれぞれの風向の「地形を基にした火災危険度地域区分図」との重ね合わせを行った。そのうちの A 点についてのものを Fig. 19 に示す。

「火災被害区域想定図」の作成にあたっては、先の論文同様に、この重ね合わせた図において、出火地点および飛火地点で燃えた火は、その区域を燃やした後、その区域よりも危険度の同じか高い区域に延焼し、危険度の低い区域には延焼しないと仮定した。この根拠は、危険度の高い区域とは他の区域に比べて火の回りが大きいという事であるので、ある点で燃えた火はその点と同じ危険度の区域か、それよりも危険度の高い区域に延焼すると考えたものである。すなわち、出火地点 A 点で示すと、Fig. 19 において A 点の区域は危険度 3 の区域であり、危険度の同じ区域は西南西側の危険度 3 の区域、またこれより危険な区域は A 点の北から東、そして南にかけて存在する危険度 6 の区域である。したがって火は A 点より西南西側の危険度 3 と危険度 6 の区域に延焼する。

Fig. 20 がこのようにして作成した A 点における出火時の風向が一定の時間における「被害区域想定図」である。ドットで表現された区域が想定された被害区域である。すなわち、東風のもとで A 点で燃えた火はドットで示した区域にしか延焼しない事を示すものである。ここで、先の論文では、気象情報が不十分であった事もあり、各点における延焼時間においては、出火時刻・飛び火時刻から風向がほぼ変わっていない時間だけ延焼するものと仮定し、延焼速度式の風速は、延焼時間の平均風速とした。また風向に関しては、出火時刻、飛び火時刻の風向とした。これに対し

て本論文においては、風向、風速の変化に対応した解析法を試みた。すなわち、Fig. 21 に示すように、Fig. 20 で示した被害区域想定図の端の線を延焼線と仮定し、風向が変化した後の風向について延焼方向、延焼距離を前述と同様に設定していき、これを鎮圧時まで繰り返すと、A 点における被害区域想定図が描ける。ここで延焼線上のすべてについて延焼方向、延焼距離を算出することは作業労力上困難であるので、本論文では

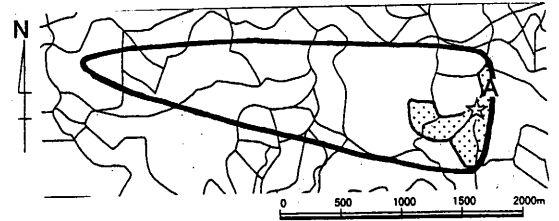


Fig. 20 Sectional map of fire spread forecast district (point A)

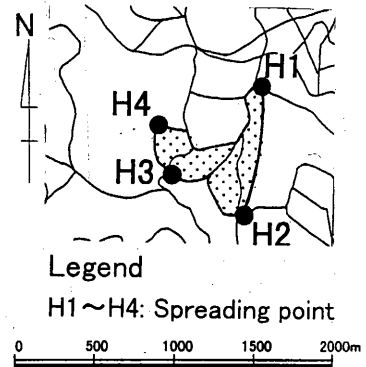


Fig. 21 Analysis point on spreading line of change for the first wind in point A (3:00, August 12th)

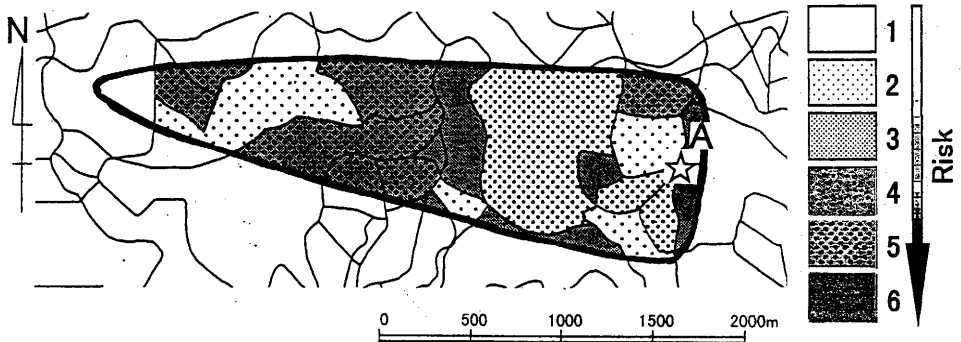


Fig. 19 Combination of sectional map of fire spread forecast district and fire risk district sectional map based on topographic analysis (point A. wind direction: east)

延焼線の端である H1, H2, H3, H4 の点で延焼線を代表させて計算を行った。このようにして作成した A～G のすべての図を重ねあわせたものが Fig. 22 である。なお、この図には実際に延焼した被害区域図を上から重ねてある。

この図が本論文にいう最終的な「火災被害区域想定図」である。この図を先の論文の最終的な想定図と比較すると、本論文の方が実被害地を良く想定しており精度が良くなっている事が分かる。

この図において黒い部分は実際に燃えた区域であり、ドットで示した部分は火災被害区域として想定された区域である。この図より西側部分において実被害区域と想定区域の境界の不一致が顕著であるが、全体的に見るに実被害区域と想定区域はほぼ一致し、かつ実被害区域が想定区域の中に含まれることから、本手法の有効性が評価できると考えられる。

西側部分において境界の不一致が顕著であった理由を考察するに、火は東から西に延焼しており、出火から最終的な鎮火まで 9 日間が経過している。本論文で用いた延焼区域の想定方法は、先ず出火点（飛び火点を含む）での延焼区域を想定し、その想定した区域をもとに更に延焼区域を想定するという方法を取る。従って想定誤差は時間と共に累積していく事となり、時間の経過の大きい西側において想定精度が低下した事が考えられる。また、時間の経過にともなう消防活動の充実も考えられる。特に Fig. 2, Fig. 7 でも分かるように西側には竹原の市街地が迫っており、著者の消防署での聞き取り調査においても民家への延焼は何としても食い止めなければならないという消防活動の体制があった。

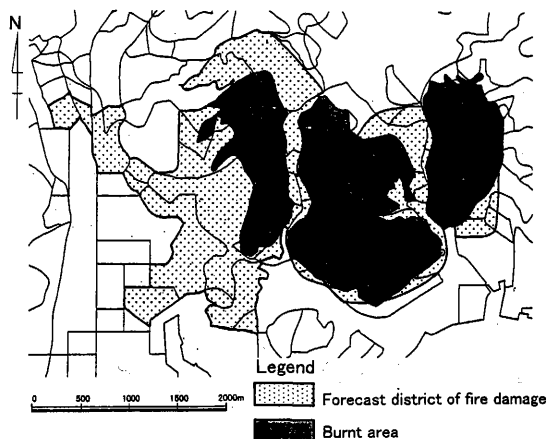


Fig. 22 Sectional map of fire damage forecast district (whole area)

以上の事から、より精度を高めるためには累積誤差の防止と消防活動の導入を考える必要があると思われる。

6. 結論

本論文は林野火災の延焼を地形解析を基に推定する方法について研究したものである。先の論文（万場）および本論文（竹原）を通して次のような結論を得た。

- (1) 本論文で提示した火災被害区域想定図は実際の被害区域をほぼ推定したのとなっており、本手法の有効性が確認された。
- (2) 林野火災の延焼には地形が大きく影響している。特に、地形が険しいか、なだらかかを表現する地形の形状の情報と、地形がどの方向に傾斜しているかを示す情報に風向、風速を与えることにより、林野火災の被害区域が予測できることを示した。
- (3) 火災被害区域想定図の作成にあたって、延焼拡大想定図と、地形を基にした火災危険度地域区分図を重ね合わせた際に、火は危険度の低い区域、すなわち、燃えている区域よりも危険度の低い区域には延焼しないと仮定したが、この仮定の妥当性が確認されたと考えられる。
- (4) 今回の竹原の解析と前回の万場の解析とを比較すると、竹原の方の精度が良くなっている。この最も大きな理由は、風向・風速が万場に比べてより正確にかつ詳細に設定できたためと考えられる。このことから、本手法の適用にあたっては風向、風速の設定が重要と考えられる。

7. おわりに

地形を解析する場合、山脈や地理的位置、海からの距離といった広域的な地形は風に大まかな影響を与え、小地域の地形（局所地形）や谷筋、稜線、小山、崖といったいわゆる微地形はより細かな影響を与えるとの考え方から、広域的な地形から微地形までを総合的に解析する事が有効と考えられる。しかしながら本論文は局所地形のみを対象にし、微地形や広域的な地形については扱っていない。したがって、本論文で提示した手法は局所地形という条件下において有効と考える。

本論文における最終的な目標は「予測」にある。そのためには消防活動や飛び火、時間の経過に伴う想定誤差の累積などの不確定要素を含みながら進行する現象の予測が必要になる。今後の方向付けとして、これらの不確定要素をいかに組み込み、リアルタイムに延焼を予測していくかの手法の確立が必要となる。従っ

て、現時点での本論文における予測法は非常に粗い近似法となる。現時点での利用としては、あらかじめ全国の風力地形分類図を作成しておき、飛び火を含む出火地点が分かった場合に、消防活動を考慮しない場合での延焼範囲（飛び火地点の予測は除く）を予測する方法として利用することは可能と考える。

謝辞

今回の林野火災の調査にあたり、広島県林業試験場 東敏生氏、弓場憲生氏、竹原広域消防本部岡段圭司氏、土田勇氏、三原市消防本部滑秀徳氏、吉川勝司氏、水野興宣氏をはじめ広島県県民生活部、広島県竹原土木事務所、広島県呉農林事務所、気象庁福山測候所、呉測候所、竹原市役所、電源開発竹原火力発電所、佐渡農園佐渡文武氏、その他多くの関係の方々より多大なご協力とご配慮をいただきました。ここに心より厚く御礼申し上げます。

なお、本研究は平成10年度、11年度、12年度の文部省科学研究費により行われたものである。

参考文献

- 1) 小泉俊雄：局所地形および延焼速度を考慮した林野火災被害区域予測法に関する研究，一群馬県万場町の林野火災を例として，日本火災学会論文集，Vol. 47，1・2，33～43（1997）。
- 2) 広島県竹原広域消防本部：竹原市福田町林野火災（平成6年8月11日～20日）（1994）。
- 3) 広島県呉農林事務所：竹原市大規模林野火災報告書（平成6年8月11日～20日）（1994）。
- 4) 自治省消防庁：林野火災拡大危険区域予測調査（昭和59年度）報告書（1985）。
- 5) 消防庁消防研究所：パソコンを用いた林野火災の拡大予測に関する研究（1990）。