

林野火災の延焼に及ぼすおもな地形要素と風向の重要性 ——各務原市の林野火災を例として——

小泉俊雄*¹・竹淵将人¹

小泉俊雄・竹淵将人：林野火災の延焼に及ぼすおもな地形要素と風向の重要性—各務原市の林野火災を例として— 日林誌 88：211～220, 2006 林野火災の延焼には風と地形が大きく関係する。特に、風向によって主延焼方向が変化するため、延焼区域を予測するにあたっては風向と地形の関係は重要である。本論文は、2002年4月に発生した岐阜県各務原市での林野火災をおもな事例として解析を行った。解析の考え方は、風に影響を及ぼすと考えられる地形要素を用いて対象とする地域の地形分類図を作成すれば、この地形分類図は、その地域の風力の分布を表現する風力分布図を示すことになる。したがって、風力分布図より風の流れの様子がわかり、それにより火災の延焼区域が予測できるはずであるというものである。本論文はこの考え方にしたがって解析し、林野火災の延焼に及ぼすおもな地形要素は、「地形の形状」、すなわち、険しい地形か、なだらかな地形かを表現する地形要素と、「地形が傾斜している方向を表現する地形要素」であることを提示した。また、風向が変化した場合の地形の効果（すなわち、風向と地形の複合影響）を定め、それに基づき解析を行った。その結果、風向は延焼区域を予測する際の大きな要素であり、風向の変化に応じて予測することが火災の延焼区域予測においては重要であることを実証した。

キーワード：延焼，各務原市，地形，風向，林野火災

Koizumi, T. and Takebuchi, M.: **Complex Influence of Wind and Topography in Predicting Area of Fire Spread for Forest Fires: As Exemplified by a Forest Fire in Kakamigahara City.** J. Jpn. For. Soc. 88: 211~220, 2006 The spread of forest fire is largely related to wind and topography. What is most important is the relationship between wind direction and topography in predicting the area of fire spread since the main direction of the fire spread changes with the direction of the wind. This thesis analyzes the forest fire which occurred in Kakamigahara City in Gifu Prefecture in April 2002 as a major example. The idea of the analysis is that the land form classification map shows the distribution of the wind power in the area if the land form classification map for the eligible area is drawn up by using topographical elements considered to influence the wind. In other words, the flow of the wind can be recognized from the distribution map of the wind power, by which the area of the fire spread is predictable. The analysis in this thesis is based on this idea, and main topographical elements contributing to the fire spread of the forest fires provide a "form of topography," namely, the topographical element representing steep or mild topography and "the topographical element representing direction where land is inclined." In addition, the effect of the topography when the direction of the wind is changed (that is, the complex influence of wind direction and topography) is defined, and analysis is made based on it. As a result, it proved that the direction of the wind comprises a large element when predicting the area of fire spread, and it is important to predict in accordance with the change of direction of the wind in predicting the area of fire spread.

Key words: forest fire, Kakamigahara City, spread, topography, wind direction

I. はじめに

2004年日本林学会誌 86(4)に、菅沼秀樹らによる「林野火災応急対応シミュレーションモデルの検証—各務原市の林野火災を例として—」の論文(10)が発表された。この論文は1997年に国土庁災害対策総合推進調整費によって、消防庁、森林総合研究所、国際航業株式会社の共同研究で開発されたソフトウェアの適合性の検証を各務原市の林野火災を例として行い、林野火災の延焼を予測するためにはどのような因子が重要になってくるかなどの研究を行ったものである。その中で菅沼らは、「風向によって主延焼方向が変化するに伴い、受ける地形の影響が異なって最終的な延焼動態が変化したと考えられる。よってデータ

上では風向が優位な因子と判定されたが、実際は風向にしたがって変化する主延焼方向と地形の複合因子が、延焼動態に有意な差異をもたらしたと考えられる。正確な林野火災の延焼予測には、風向と地形の複合影響について詳細に予測できることが重要である」と述べ、風向と地形の関係が林野火災の延焼予測の研究において重要であることを述べている。このことに関し、著者(小泉)らも各務原市の林野火災を例として菅沼らとは別の手法であるが、特に風向と地形(局所地形)を主要な要素として林野火災の延焼区域予測の研究を行い論文として発表してきた(11)。今回、その論文に改良を加えた結果を示すとともに、各務原市の他に著者らが行った広島県竹原市、群馬県万場町の林野火災への適応例(5, 7)とあわせて、林野火災の延焼に

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: koizumi.toshio@it-chiba.ac.jp

¹ 千葉工業大学工学部建築都市環境学科 (275-0016 習志野市津田沼 2-17-1)

Department of Architecture and Civil Engineering, Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino 275-0016, Japan. (2005年8月2日受付; 2006年1月6日受理)

及ぼす主要な地形要素を示し、予測にあたっての風向と地形の重要性とこれらの複合影響について提示する。

II. 局所地形と風および延焼速度を考慮した 林野火災延焼区域予測法

大矢雅彦は洪水に関係する地形を分析し、洪水地形分類図を作成した(9)。たまたま作成後まもなく伊勢湾台風が名古屋を襲い、大矢が推定した洪水の区域が実際と一致し、その有効性が示された。洪水地形分類図の思想は、海岸付近で仮定した高波の高さよりも標高の低い場所を指定しておけばそこが洪水区域であるということである。そこで、この思想に基づき局所地形を解析することにより林野火災延焼区域予測法を試みた。すなわち、林野火災の延焼には風が影響し、風は地形の影響を受けるので、風に影響を及ぼすと考えられる地形を基に、風に関する地形分類図を作成すればそれは風力分布図を示すものであり、風力分布図を利用することにより、火災の延焼区域が予測できるはずであるというものである。

本論文における林野火災延焼区域予測法の全体構成を図-1に示す。まず風に影響を及ぼすと考えられる地形因子をもとに風力地形分類図を作成する。そして林野火災時に観測または想定された風向を設定し、風力地形分類図の各地形がその風向に対して火災を助長させる地形なのか、弱める地形なのかを判定し、「地形を基にした火災危険度地域区分図」を作成する。風向の設定に当たっては観測された風向の変化に応じて設定する。また、観測された延焼状況(出火、飛び火時間、風速、風向、延焼時間)をもとに、延焼方向、延焼速度、延焼時間、延焼距離を算出し、

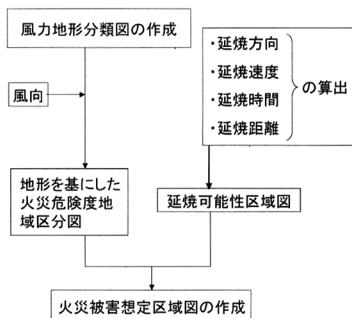


図-1. 林野火災延焼区域予測法の全体構成

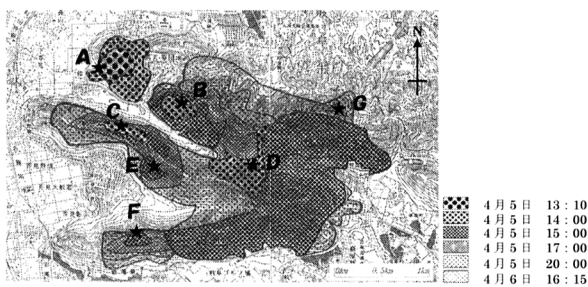


図-2. 火災動態図

「延焼可能性区域図」を作成する。この算出には消防庁の研究成果を用いた(3)。そして「地形を基にした火災危険度地域区分図」と「延焼可能性区域図」を重ね合わせて「火災被害想定区域図」を作成するものである。なお、本手法は実際に火災が起きた後に地形、林相、風、飛火の情報から火災の延焼区域を予測したものである。ここには消防活動は考慮していない。

III. 各務原市の林野火災への適応

本章についての詳細は参考文献(6, 8)を参照されたい。ここでは概要を示す。

1. 火災の概要

2002年4月5日13時10分頃、岐阜県岐阜市・各務原市に林野火災が発生した。火災は岐阜市芥見7丁目地先より出火し延焼拡大した。火災は5日13時10分頃から同日20時頃までおもに延焼した。図-2に火災動態図、表-1に岐阜地方気象台の風向・風速のデータを基に著者が設定した5日20時までの延焼状況を示す。なお、図中A~Gは表-1の出火、飛火の地点に対応している。

出火時間および鎮火時間

- ・出火日時：2002年4月5日13時10分頃
- ・覚知時間：2002年4月5日13時26分
- ・鎮圧時間：2002年4月6日10時58分
- ・鎮火時間：2002年4月6日16時15分

2. 風力地形分類図の作成

風力地形分類図の作成に当たっては著者のこれまでの研究成果を引用する(1)。すなわち、局所的な風力分布に及ぼすおもな地形要素は下記の6個の地形因子を用いて数量化分析3類を行い、険しい地形かなだらかな地形かを表す「形状の主成分」と、地形がどの方位に傾斜しているかを

表-1. 延焼状況(主に延焼したと考えられる5日20時まで)

地点	出火・飛火時刻	風向	風速 (m/s)	延焼時間 (h)	備考
A	5日 13:10	N	5.2	2.3	出火
B	5日 14:00	N	5.5	1.5	飛火
C	5日 14:00	N	5.5	1.5	飛火
D	5日 14:00	N	5.5	1.5	飛火
E	5日 15:00	N	5.8	0.5	飛火
F	5日 15:00	N	5.8	0.5	飛火
G	5日 17:00	W	6.4	3	飛火

地点	風向変化①	風向	風速 (m/s)	延焼時間 (h)
A	5日 15:30	NW	6.7	1.5
B	5日 15:30	NW	6.7	1.5
C	5日 15:30	NW	6.7	1.5
D	5日 15:30	NW	6.7	1.5
E	5日 15:30	NW	6.7	1.5
F	5日 15:30	NW	6.7	1.5

地点	風向変化②	風向	風速 (m/s)	延焼時間 (h)
A	5日 17:00	W	6.4	3
B	5日 17:00	W	6.4	3
C	5日 17:00	W	6.4	3
D	5日 17:00	W	6.4	3
E	5日 17:00	W	6.4	3
F	5日 17:00	W	6.4	3

表-2. 数量化分析3類による計算結果

地形因子	特性番号	特性数量				
		第I主成分	第II主成分	第III主成分	第IV主成分	第V主成分
斜面形態						
等斉斜面	1	0.89743	-0.85066	0.43753	-1.06174	0.51613
凸型斜面	2	-1.17042	-0.34470	-0.92590	3.64270	-4.00212
凹型斜面	3	-1.20947	6.61888	-0.01270	-1.44104	8.23753
傾斜 (°)						
~3.0	4	1.41908	-0.62547	0.17383	-2.01281	0.29973
3.1~7.5	5	-0.91840	-1.03161	0.78527	5.02491	4.70453
7.6~15.0	6	-1.39852	3.13810	-0.06054	-0.32638	-2.76135
15.0~	7	-1.45793	3.00645	-3.79074	-2.38898	-7.47018
斜面の方位						
N	8	-0.97989	0.69104	5.89494	0.76811	-1.01310
NE	9	-0.97816	1.91627	6.67230	-0.81553	-3.44003
E	10	-0.67546	-0.30100	4.09351	-3.94677	1.23337
SE	11	-0.63785	-0.09590	-0.65729	-3.79907	5.68538
S	12	-0.86270	0.18652	-5.65018	-1.35612	-1.26144
SW	13	-0.77589	-0.48994	-5.73038	1.57305	1.03093
W	14	-0.61101	-0.93019	-1.47752	1.69576	8.67883
NW	15	-0.59306	-1.04835	2.25639	3.54205	4.63360
ナシ	16	2.53675	0.62315	0.12365	-0.53962	-1.35644
起伏量 (m)						
~25	17	3.35854	2.09584	-0.63812	2.71410	-2.64261
25~55	18	0.31744	-2.64809	0.74877	-5.74260	2.00359
55~130	19	-0.70860	-1.60188	0.72528	5.89264	2.98423
130~	20	-1.39327	3.81004	-0.93737	-1.25116	-2.02631
標高 (m)						
~50	21	1.67806	0.13177	-0.82544	3.08223	-1.26400
50~90	22	-0.34535	-2.53094	-0.18840	-2.72944	2.13775
90~170	23	-0.98319	1.11010	1.97583	0.92968	-2.05827
170~319	24	-1.41038	8.00193	-0.56488	-3.71714	6.16278
高地の方位						
N	25	-0.76163	-0.61699	-0.76821	-0.08104	-0.61572
NE	26	-0.73900	-0.74222	-1.38725	0.74288	0.00316
E	27	-0.72963	-0.63428	-0.59381	0.59418	-0.71177
SE	28	-0.69915	-0.51798	3.72368	0.19663	-1.10764
S	29	-0.74418	-0.51928	3.79867	-0.57734	-1.84383
SW	30	-0.78362	-0.28044	2.17946	-1.73268	-1.31198
W	31	-0.65969	-0.94556	-2.24157	-0.63968	-0.53405
NW	32	-0.67484	-0.84777	-3.34834	-0.69942	-0.71814
ナシ	33	2.97467	3.33600	0.22652	1.62434	2.01577
相関係数		0.74779	0.51985	0.45973	0.42184	0.40719

表す「傾斜方位の主成分」であり、これらの主成分を用いて描いた地形分類図は風力の分布を表現するというものである。

斜面形態：正方形内の斜面の垂直断面形を等斉斜面，凸型斜面，凹型斜面に分類する。

傾斜：正方形内の最大傾斜方向の傾斜角。

斜面の方位：測点と同一等高線が正方形と交わる点と測点を結んだ線によってできる角度の二等分線の方向であり，方位は8方位の他に「方位なし」を含む9方位で表す。方位なしとは測点と同一等高線が正方形と交わることのない場合である。

起伏量：正方形内の最高点と最低点との標高差。

標高：測点の海拔。

高地の方位：測点からみて，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示す因子。仰角 α 以上の土地を高地とし，高地の方位とは高地が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。

数量化分析3類の計算結果を表-2に示す。表-3は第I主成分の地形を表す因子（斜面形態・傾斜・起伏量・標高）のみを取り出し特性数量（主成分得点）の大小順に並べたものである。これによると特性数量は大きくなるほど傾斜が小さく，起伏量が小さく，標高が低くなり，等斉斜面となっている。逆に特性数量が小さくなるほど，傾斜が大きく，起伏量が大きく，標高が高く，凸型斜面，凹型斜面となっている。すなわち，この特性数量は地形の形状，すなわち険しさの程度を表現しているものと解釈すると，特性数量が大きいほど標高が低くなだらかな地形を表し，特性数量が小さくなるに連れて，標高は高くなり険しい地形になることがわかる。このことは実際の地形の形状ともよく一致している。本論文においては，第I主成分を形状の主成分と定義し，全測点について特性数量が0を境にそれ以上をなだらかな地形，それ以下を険しい地形とした。

表-4は第III主成分と第IV主成分の方位を表す因子（斜

表-3. 第I主成分の特性数量(地形を表す因子)を大小順に並べたもの

特性	起伏量 ~25	標高 ~50	傾斜 ~3.0	斜面形態 等斉斜面	起伏量 25~55	標高 50~90	起伏量 55~130	傾斜 3.1~7.5	標高 90~170	斜面形態 凸型斜面	斜面形態 凹型斜面	傾斜 7.6~15.0	起伏量 130~	標高 170~319	傾斜 15.0~
特性数量	3.36	1.68	1.42	0.90	0.32	-0.35	-0.71	-0.92	-0.98	-1.17	-1.21	-1.39	-1.40	-1.41	-1.46

表-4. 第III, 第IV主成分の特性数量(方位を表す因子)を大小順に並べたもの

第III主成分																		
特性	斜面の 方位 NE	斜面の 方位 N	斜面の 方位 E	高地の 方位 S	高地の 方位 SE	斜面の 方位 NW	高地の 方位 SW	高地の 方位 ナシ	斜面の 方位 ナシ	高地の 方位 E	斜面の 方位 SE	高地の 方位 N	高地の 方位 NE	斜面の 方位 W	高地の 方位 W	高地の 方位 NW	斜面の 方位 S	斜面の 方位 SW
特性数量	6.67	5.89	4.09	3.80	3.72	2.26	2.18	0.23	0.12	-0.59	-0.66	-0.77	-1.39	-1.48	-2.24	-3.35	-5.65	-5.73

第IV主成分																		
特性	斜面の 方位 NW	斜面の 方位 W	高地の 方位 ナシ	斜面の 方位 SW	斜面の 方位 N	高地の 方位 NE	高地の 方位 E	高地の 方位 SE	高地の 方位 N	斜面の 方位 ナシ	高地の 方位 S	高地の 方位 W	高地の 方位 NW	斜面の 方位 NE	斜面の 方位 S	高地の 方位 SW	斜面の 方位 SE	斜面の 方位 E
特性数量	3.54	1.70	1.62	1.57	0.77	0.74	0.59	0.20	-0.08	-0.54	-0.58	-0.64	-0.70	-0.82	-1.36	-1.73	-3.80	-3.95

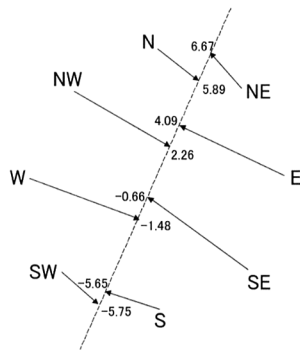


図-3. 第III主成分の斜面の方位の投影模式図(南北傾斜方位の主成分)

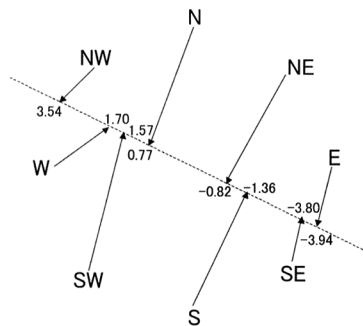


図-4. 第IV主成分の斜面の方位の投影模式図(東西傾斜方位の主成分)

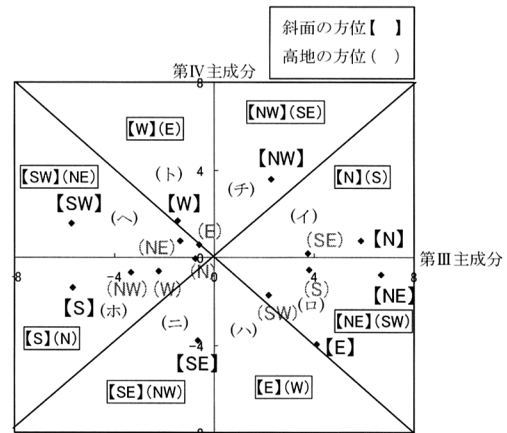


図-5. 第III主成分と第IV主成分の特性値の2次元散布図

面の方位と高地の方位)の特性数量を大小順に並べたものである。これによると、たとえば第III主成分のみだと斜面の方位 NE の近くに高地の方位 SW が位置するといったいわば斜面の方位と高地の方位とが対応した状態で並んでいる。また、図-3 は斜面の方位を例にとり、特性群の並び方を、幾何学的にみてもみたものであり、斜面の方位の 8

方位の特性数量を北北東と南南西を結ぶ線上に投影したときの各方位の位置関係を示したものである。これによると、特性数量のプラス側は斜面の方位を北にとる傾向があり、マイナス側は南にとる傾向があることが分かる。そこで本論文においては第III主成分は南に傾斜している測点と北に傾斜している測点を分ける傾斜方位の主成分(南北傾斜方位の主成分)と定義した。図-4 は同様に解析したものであり、第IV主成分は東に傾斜している測点と西に傾斜している測点を分ける傾斜方位の主成分(東西傾斜方位の主成分)であると定義した。図-5 は第III主成分と第IV主成分の特性数量を組み合わせて2次元平面としてプロットしたものである。図中の(イ)の象限は斜面の方位を N にもち、高地の方位を S にもつ要素の強い地域である。すなわち、第I主成分によって地形がなだらかな地形か、険しい地形かに分け、第III, 第IV主成分によって地形がどの方向に傾斜しているかに分けて、風力地形分類図を作成し

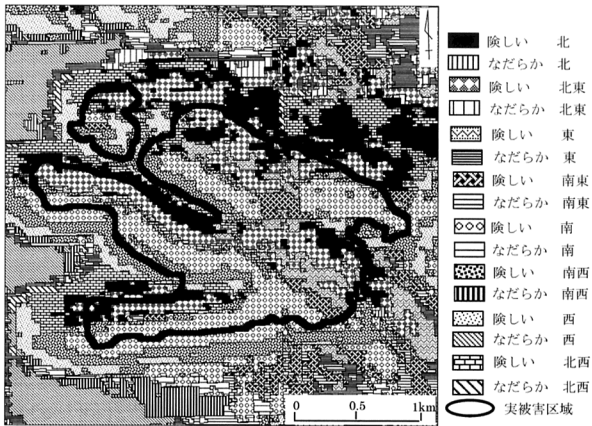


図-6. 風力地形分類図

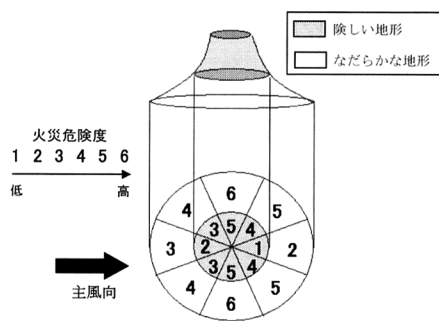


図-7. 火災危険度判定基準

た。その結果を図-6に示す。なお、第II主成分と第V主成分については該当しない主成分であったので解析から外した。

3. 地形を基にした火災危険度地域区分図の作成

図-6を基に、地形を基にした火災危険度地域区分図を作成する。すなわち、図-6の地形構造は「形状の主成分」と、「傾斜方位の主成分」の二つの要素から成り立っていることから、この二つの要素を基に各地形構造が火災に対して延焼しやすい地形か、そうでない地形かを判定する。判定にあたっては傾斜方位による風力への影響は円錐地形を例にとると簡略化してうまく表現できると考え、円錐地形を図-7のように傾斜方位によって8方位の領域に分け、それぞれの風力に対する相対的な危険度を流体力学的な知識をもとに定めた。形状については引用文献(3)の中で、風速と傾斜度に対する主延焼速度の関係が示されている。この文献において傾斜度を地形の形状と考えると風速が小さい場合、傾斜度が小さい方(なたらかな地形)が主延焼速度が大きく(危険)、風速が大きい場合、傾斜度が大きい方(険しい地形)が主延焼速度が大きく(危険)と考えられる。本論文の場合は火災時の平均風速が6.1 m/sと小さいことから形状についてはなたらかな地形の方が険しい地形よりも危険度が高いとした。本論文ではこれらの組み合わせにより、地形をもとにした火災危険度判定基準を作

表-5. 地形を基にした火災危険度判定基準

風力区分	地域特性
1	高地が測点に対して主風向側に存在し、かつ険しい地域。
2	高地が測点に対して主風向側に存在し、かつなたらかな地域。および高地が主風向と反対側に存在し、かつ険しい地域。
3	高地が測点に対して主風向と反対側に存在し、かつなたらかな地域。および高地が主風向と斜め反対側に存在し、かつ険しい地域。また、高地がなく、なたらかな地域。
4	高地が測点に対して主風向と斜め反対側に存在し、かつなたらかな地域。および高地が主風向側に斜めに存在し、かつ険しい地域。
5	高地が測点に対して主風向側に斜めに存在し、かつなたらかな地域。および高地が主風向と平行に存在し、かつ険しい地域。
6	高地が測点に対して主風向と平行に存在し、かつなたらかな地域。

風力区分の数値が大きいくほど、火災危険度は高い。

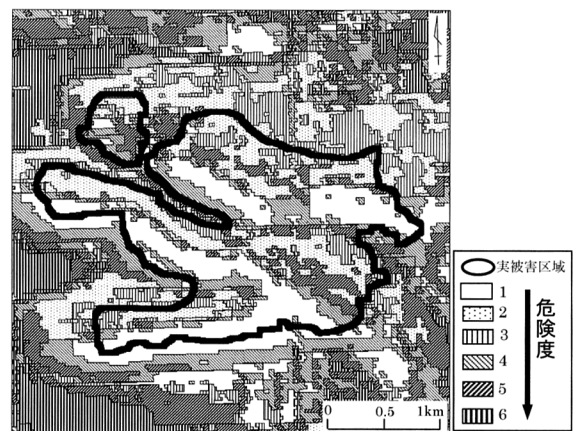


図-8. 地形を基にした火災危険度地域区分図(風向:北)

成した。なお、判定にあたっては、周囲に高地のないなたらかな地形を基準(危険度3)とし、地域ごとの相対的な危険度を定め、危険度は6段階にて表現し、危険度の高いほど危険性が高いとした。ここで、風力と火災危険度との関係については、火災危険度とは延焼のしやすさであるため、風力が大きいほど延焼しやすいとした。表-5にこのようにして作成した火災危険度判定基準を示す。

図-8に風力地形分類図を基に延焼時の主風向である北風を吹かせた場合の火災危険度地域区分図を示す。すなわち、例えば風力地形分類図のある区分の地形が主風向(この場合は北風)に対して、高地の反対側に存在し、かつ険しい場合は危険度1(風力区分1)となる。本手法は、任意の風向を吹かせた場合その風向に応じた火災危険度地域区分図を作成できる。

4. 延焼可能性区域図および火災被害想定区域図の作成

自治省消防庁、消防研究所の研究成果(3)を用いて延焼方向、延焼速度、延焼距離を算出した。

① 延焼方向の算出

延焼方向については、図-9に示すように三つの方向を考える。

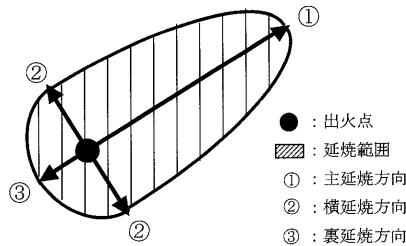
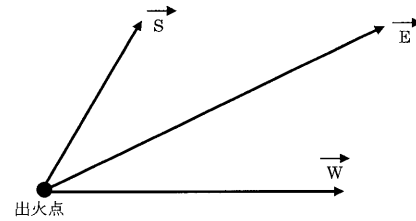


図-9. 延焼方向

図 10. 主延焼ベクトル (\vec{E}), 最大傾斜ベクトル (\vec{S}), 風ベクトル (\vec{W})

主延焼方向：地形図上で、出火地点から延焼拡大の距離が最大となる方向。この方向の延焼速度を主延焼速度とする。

裏延焼方向：「主延焼方向」と 180° をなす方向。この方向の延焼速度を裏延焼速度とする。

横延焼方向：「主延焼方向」と 90° をなす方向。この方向の延焼速度を横延焼速度とする。

主延焼方向を算定する方法として、主延焼方向への地況と風の規定力を定めて、主延焼方向を求める方法を考える。すなわち、最大傾斜方向と傾斜角（度）を組み合わせたベクトルを \vec{S} （最大傾斜ベクトル）、風速（m/s）と風向を組み合わせたベクトルを \vec{W} （風ベクトル）と表すと、主延焼速度（m/h）に主延焼方向を組み合わせたベクトル \vec{E} （主延焼ベクトル）は、図-10 に示すように、

$$\vec{S} + \vec{W} = \vec{E} \quad (1)$$

となる。しかし、最大傾斜ベクトル、風ベクトルが主延焼ベクトルに及ぼす規定力は異なると考えられるため、最大傾斜、風の係数を p 、 q とおくと、式 (1) は、

$$p \cdot \vec{S} + q \cdot \vec{W} = \vec{E} \quad (2)$$

となる。ここで、 p 、 q は、最大傾斜、風の主延焼方向の規定力を意味するものである。

各ベクトルを x 、 y 成分で表すと、

主延焼ベクトル $\vec{E} : (E_x, E_y)$

最大傾斜ベクトル $\vec{S} : (S_x, S_y)$

風ベクトル $\vec{W} : (W_x, W_y)$

となり、式 (2) より、

$$\begin{aligned} p \cdot S_x + q \cdot W_x &= E_x \\ p \cdot S_y + q \cdot W_y &= E_y \end{aligned} \quad (3)$$

となる。なお、本論文では規定力 p 、 q を過去の実火災例の平均値より、

$$p = 4.37, \quad q = 21.57$$

とした。

各ベクトルの x 、 y 成分は、以下のとおりである。

$$\begin{aligned} E_x &= \text{主延焼速度 (m/h)} \times \cos(\theta_E) \\ E_y &= \text{主延焼速度 (m/h)} \times \sin(\theta_E) \\ S_x &= \text{傾斜角 (度)} \times \cos(\theta_S) \\ S_y &= \text{傾斜角 (度)} \times \sin(\theta_S) \\ W_x &= \text{風速 (m/s)} \times \cos(\theta_W) \\ W_y &= \text{風速 (m/s)} \times \sin(\theta_W) \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 θ_E ：主延焼方向、 θ_S ：最大傾斜方向、 θ_W ：風向であり、これらはすべて、北を 0° とした時計回りの角度である。また、傾斜角は鉛直角である。

以上のことをもとに主延焼方向を次の手順により求めた。

- 1) 最大傾斜と風の x 、 y 成分 (S_x, S_y), (W_x, W_y) を計算する。
- 2) 式 (3) へ 1) の x 、 y 成分を代入し、主延焼ベクトルの x 、 y 成分 (E_x, E_y) を求める。
- 3) 逆三角関数 $\tan^{-1}(E_x/E_y)$ (5)

より角度を求め、北からの時計回りの角度に変換し、主延焼方向を求める。

② 延焼速度の算出

主延焼速度と関係のある要因は、傾斜角と風速であり、これらの 2 要因と主延焼速度との関係については線形の関係があると考えられている。本論文では下記の式 (6) を用いて延焼速度 (V_e) を算出した。

$$\begin{aligned} V_e = \{ &66.10 + 1.44 \cdot S \cdot \cos(\theta_E - \theta_S) \\ &+ 51.30 \cdot W \cdot \cos(\theta_E - \theta_S) \} \cdot S_p \end{aligned} \quad (6)$$

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 ：最大延焼方向（北から時計回りの角度）、 θ_W ：風向（北から時計回りの角度）、 S ：傾斜角（最大傾斜方向の角度（度））、 W ：風速 (m/s)、 S_p ：樹林別の重み = 1

なお、引用文献 (3) によると、樹林別の重みは、針葉樹林 0.92、広葉樹林 1.15、森林以外（無立木地、伐採跡地等）1.06 であるが、本論文では、①現地調査の結果より、現地の植生は針葉樹林の区域、広葉樹林の区域として明確に区別されるような状況ではなく針広混交林であったこと、②環境庁自然保護局の自然環境情報 GIS、第二版、1993 年 3 月の植生図 (4) を入手し検討したが、延焼被害区域はすべて、「モチツツジ-アカマツ群落」の区域と記載されており、針葉樹林の区域と広葉樹林の区域に分けることができなかったことから、現実により近い情報で解析することが良いと考え樹林別の重みは 1 とした。

また、横延焼速度 (V_s)、裏延焼速度 (V_b) は、式 (7) により求めた。

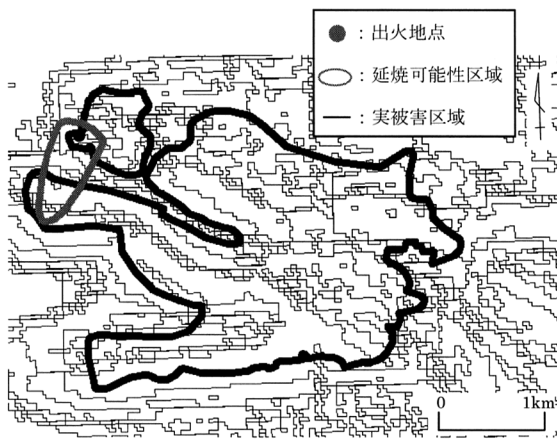
$$\begin{aligned} V_s &= V_e \cdot 10^{-0.12 \cdot W} \\ V_b &= V_e \cdot 10^{-0.214 \cdot W} \end{aligned} \quad (7)$$

③ 延焼距離の算出

延焼距離については延焼速度に延焼時間を掛けることによって算出される。

延焼可能性区域図の作成にあたっては図-2のA~Gの各地点について、表-1に示す風向、風速、延焼時間、風向変化に基づき主延焼距離、横延焼距離、裏延焼距離を定めて、これをフリーハンドで結んで作成した。A点を例にとり詳しく説明する。図-11はA点における出火時の5日13時10分から5日15時30分までの延焼可能性区域図であり、図-12は延焼可能性区域図と「地形を基にした火災危険度地域区分図」とを重ね合わせたものである。図-13は火災被害想定区域図である。火災被害想定区域図の作成にあたっては、図-12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にその区域に接しているかつその区域よりも危険度の高い区域に延焼し、危険度の低い区域には延焼しないと仮定した。すなわち、危険度が高いとは火災が延焼しやすいということであるので、延焼がどの方向に（どの区域）に進むかについては危険度

の高い区域に進むとして想定図を描いたものである。図-14は、表-1において風向変化①と示した風向が変化した5日15時30分から5日17時00分までの延焼可能性区域を示したものである。ここで、本論文では、風向が変化した場合については、風向が変化する前の火災被害想定区域（この場合では図-13）の延焼線上に、被害想定区域を囲むように4点を適当に定め、それぞれの点上で延焼可能性区域図を描き、その図の外側をフリーハンドで結ぶことにより、その時点での延焼可能性区域図として作成する。図-15がこのようにして作成した5日17時00分までの火災被害想定区域図である。図-16は表-1に示す風向変化②における延焼可能性区域図であり、図-17は、5日20時00分までの火災被害想定区域図である。そして図-18が、おもに燃えたと考えられる5日の13時10分から5日の20時00分までのA点からG点のものを全て重ね合わせた火災被害想定区域図である。図-18の結果より、被害想定区域は実被害区域をよく表示しており、本手法の有効性が考えら



5日13:10~5日15:30

風向N, 風速5.2m/s, 延焼時間2.3時間

図-11. A点における延焼可能性区域図

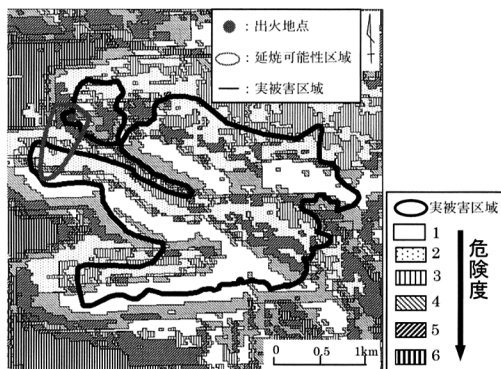


図-12. 延焼可能性区域図と地形を基にした火災危険度地域区分図との重ね合わせ (A点)

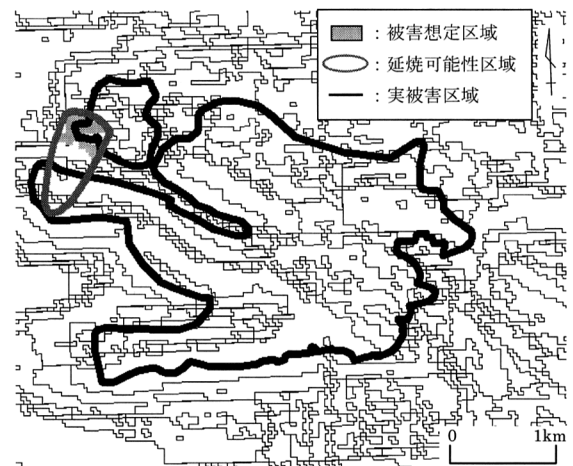


図-13. 5日15:30までの火災被害想定区域図 (A点)

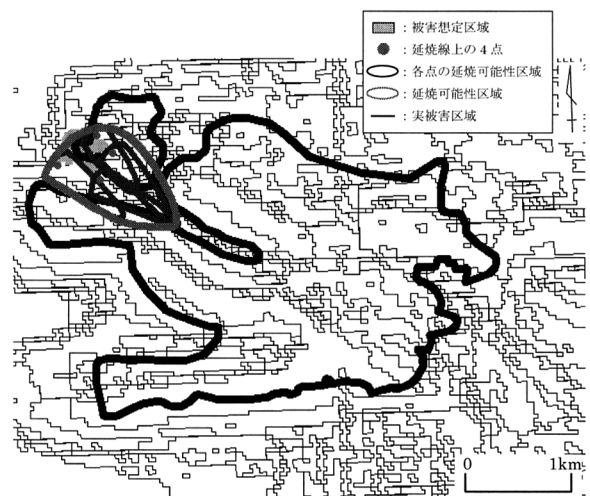


図-14. 風向変化①における延焼可能性区域図 (A点)

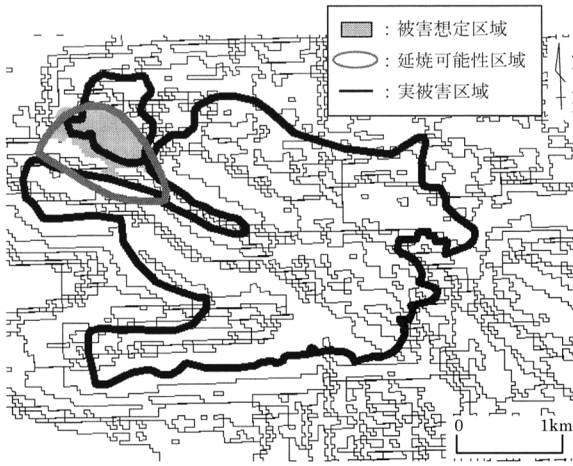


図-15. 5日17:00までの火災被害想定区域図(A点)

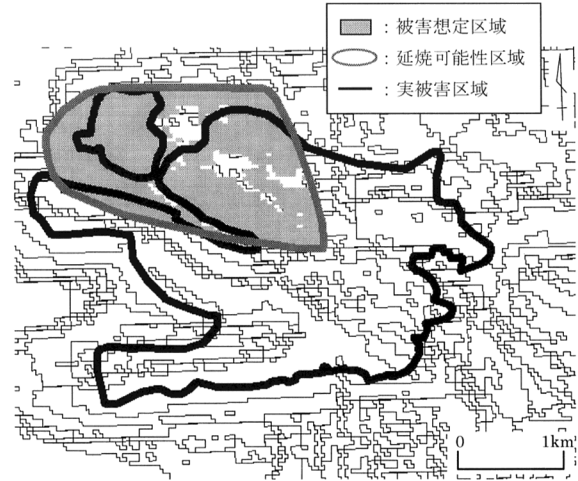


図-17. 5日20:00までの火災被害想定区域図(A点)

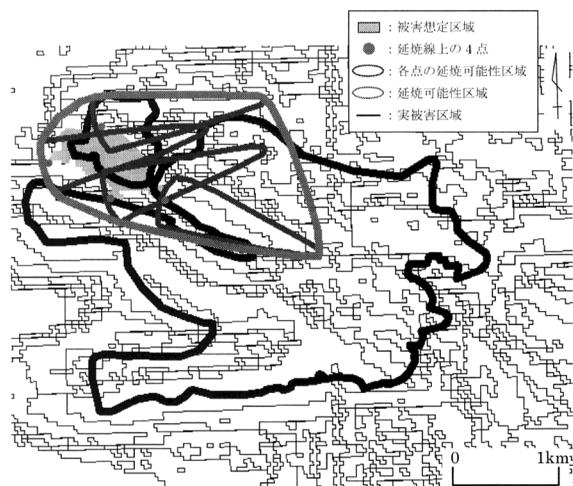


図-16. 風向変化②における延焼可能性区域図(A点)

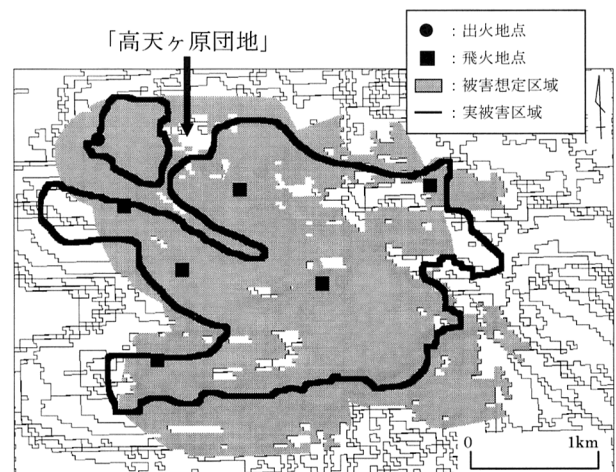


図-18. 火災被害想定区域図(全体)

主に燃えた時間まで(5日13:10~5日20:00)。

れる。なお、図-18は飛火地点であるB点からG点を考慮したものであるが、図-17は飛火を考慮しないものである。飛火を考慮しない場合は予測精度が大幅に低下し、予測には飛火の情報が重要であることがわかる。

5. 考 察

本論文と菅沼らの論文(10)の予測に用いたおもな条件を表-6のように整理する。

図-18に示した本論文における火災被害想定区域図(全体)をもとに、本論文の予測結果を菅沼らの論文の予測に用いた条件と比較しながら考察してみる。

- (1) 実被害区域と想定区域を比較すると、西側と東側の一部に実被害を想定できない部分がみられるが、総じてよく想定していることがわかる。
- (2) 出火点Aのひと山越えて東側に位置する高天ヶ原団地が延焼を免れた状況が明確に提示できた。このことは本手法の有効性を示す一つであると考えられる。
- (3) 図-19は火災被害想定区域図と地形図を重ね合わ

せたものであるが、この図より実被害をうまく想定していない場所をみるに、総じて南側斜面という特徴がみられる。今回の火災時の主風向が北風であったことを考慮すると、南側斜面の危険度が低く判定されていることも考えられる。消防活動に携わった方の話しによると、当時は現地では観測された風速以上の風が吹いており、尾根から裾野へ火が下がる動態をみせたとのことである。また、尾根の南側斜面にいわゆる舞風(図-20参照)という火災旋風が生じ、風がよどみ、さらに火勢を増す原因となったのではないかとのことであった。このことは、本論文における危険度判定基準に改良を加える必要があることを指摘するものとする。

- (4) 延焼範囲の推定に関し、本論文と菅沼らの論文(10)と比較してみる。菅沼らの出火から8時間後(5日19時10分、この時間頃までがよく燃えたと考えられる)までの推定範囲に比べ、本論文で示した図-17の範囲の方

表-6. 本論文と菅沼らの論文の予測に用いた条件の比較

予測条件	本論文	菅沼らの論文(8)
風向・風速データ	岐阜気象台のデータ。岐阜気象台は火災現場より南西の方向約10 kmの位置にあり、周囲には風を遮るものはない。なお、本論文で各務原消防署のデータを用いなかった理由は各務原消防署の風向、風速計の近くに各務原市役所の建物があり、この影響が入ってきていると考えたからである。	各務原消防署の林野火災発生期間中の1時間最頻度風向と1時間平均風速より北西の風8 m/sに固定。ただし、4, 6, 8, 10 m/sでも実施し比較している。
延焼状況	現地調査のデータを採用。	現地調査のデータを採用。
予測に用いた風向・風速・延焼時	出火・飛火地点ごとに風向の変化に伴い変化させた。	出火から鎮火まで21時間に固定。
飛び火時刻と位置	現地調査(消防署のデータ)をもとに設定。	計算より予測。
地形データ	国土地理院発行の数値地図50 mメッシュ(標高)。	国土地理院発行の20万分の1数値地図および数値地図50 mメッシュ(標高)。
植生	樹林の区別なし。重み1。	針葉樹林, 陽樹, 鬱閉林, 高樹高, 成木など詳細に分類。
消防活動	考慮していない。	考慮していない。

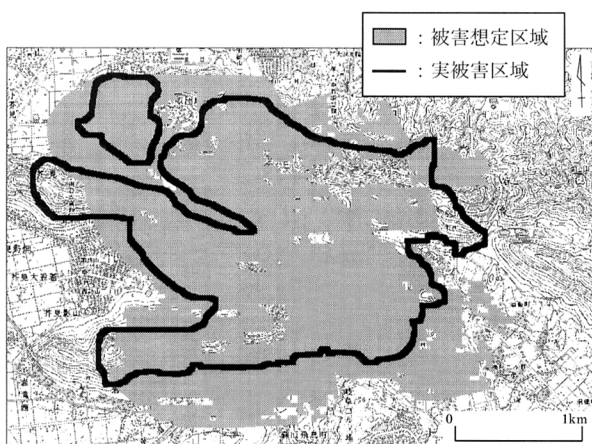


図-19. 火災被害想定区域図と地形図の重ね合わせ

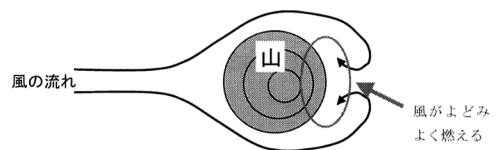


図-20. 舞風

地点の地表の状況の情報が欠けている場合が多い。本論文の手法の中には飛び火の予測法がないので今後取り入れ必要がある。

IV. ま と め

本論文は林野火災の延焼に及ぼすおもな地形要素と風向の重要性について各務原市の林野火災を例にして記述してきたが、著者等はこの方法とほぼ同じ方法で群馬県万場町および広島県竹原市の林野火災の延焼予測を行い本手法の有効性を確認してきた(5, 7)。これらの結果も含めて次のようにまとめられる。

- (1) おもな地形要素として、地形が険しいか、なだらかかを表現する「形状の主成分」と、地形の傾斜方位を表現する「傾斜方位の主成分」が考えられる。
- (2) 風向は延焼区域を予測する際の大きな要素となる。風向の変化に応じて予測することが重要である。
- (3) 本論文で示した火災危険度判定基準は、菅沼らのいう「風向と地形の複合影響」を示すものと考えられる。
- (4) 飛び火の情報は重要である。飛び火の予測手法を確立する必要がある。
- (5) 本論文で示した手法は入力する情報が出火・飛び火地点と時間、地形、風向、風速、延焼時間、植生であり、菅沼らの論文にある「林野火災応急シミュレーション」に比べ入力情報は非常に少ない。飛び火の情報が入力できないなど不備な点も多いが、林野火災の延焼予測に有益な一手法と考えられる。なお、植生との関連については今後さらに実情に即した情報を入力し検討していく必要がある。

なお、本手法を他の林野火災にも適用させ検証すると

が実被害区域を良く表現している。また、菅沼らの、出火から21時間後(6日, 10時10分, この時間は消防署により鎮圧が確認された時間とほぼ一致)までの推定範囲は、本論文の図-17の範囲とほぼ同じであることがわかる。これらの結果より、本論文は菅沼らとは異なり、風向の変化にしたがって解析を行ったことが良い結果をもたらしたのと考えられる。

(5) 飛び火地点およびその時刻の情報を取り入れて解析した結果が良い結果をもたらした。飛び火の情報は林野火災の延焼予測には重要な要素と考えられる。飛び火の予測(どのような状況で発生するか、飛び火距離、飛び火方向)については今のところ採用すべき有効な手法がないのが現状であるが(2)、飛び火の発生要因としては飛び火が飛び出す地点での燃焼の激しさ、着火地点に適当な着火物があること、着火を容易にする風速があることなどが考えられる。既存の林野火災の記録を丹念に調べてみるのも一つの方法かと考えられる。飛び火のデータとして、飛び火の着火点は記録や消防士の聞き取り調査などから知ることができることはあるが、飛び火が飛び出した地点は不明あるいは曖昧であることがほとんどであり、飛び火が発生した時点での気象状況、飛び火が飛び出した地点と落下した

もに、予測精度向上を図るつもりである。

本研究にあたり、岐阜市消防本部、岐阜市防災対策課、各務原市消防本部、各務原市水と緑推進課、岐阜県危機管理室、岐阜県土地対策室、岐阜県環境保全課、(株)帝国建設コンサルタントより多くの資料の提供とご協力をいただきました。心より御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 羽倉弘人・小泉俊雄 (1983) 暴風災害に関する地形分類法と暴風災害予測法—台風災害におよぼす局所地形の影響に関する研究 (IV)—. 日本建築学会論文報告集 第332号:1-10.
- (2) 稲垣 實・山下邦博・田村裕之 (1990) 林野火災における飛び火と飛び火を考慮に入れた延焼シミュレーション. 消防研究所報告 第69号:47-53.
- (3) 自治省消防庁 (1985) 林野火災拡大危険区域予測調査 (昭和59年度) 報告書. 1-95.
- (4) 環境庁自然保護局 (1993) 自然環境情報 GIS 第二版.
- (5) 小泉俊雄 (1997) 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—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 47(1・2):33-43.
- (6) 小泉俊雄 (2003) 2002年春に発生した林野火災4件の調査報告. 日本火災学会誌「火災」53(3):21-27.
- (7) 小泉俊雄・家城啓輔 (2000) 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—. 日本火災学会論文集 50(2):9-22.
- (8) 小泉俊雄・藤井隆行・野口卓穂 (2003) 2002年4月5日岐阜県岐阜市・各務原市, 3月21日長野県松本市, 3月17日宮城県丸森町, 3月21日千葉県成田市・栄町に発生した林野火災の被害調査. 千葉工業大学研究報告 理工編 50:133-180.
- (9) 大矢雅彦編 (1983) 地形分類の手法と展開. 古今書院, 東京. 120-124.
- (10) 菅沼秀樹・阿部征雄・吉武 孝 (2004) 「林野火災応急対策シミュレーション」モデルの検証—各務原市林野火災を例に—. 日林誌 86:337-348.
- (11) 竹淵将人・三井幸仁・小泉俊雄 (2004) 局所地形と風および延焼速度を考慮した林野火災延焼区域予測法に関する研究—岐阜県岐阜市および各務原市の林野火災を例として—. 応用測量論文集 15:117-124.