

広島県における人口密度、植生、気象要因を用いた 林野火災発生危険度の予測

佐野 俊和・佐藤 晃由¹⁾

佐野俊和・佐藤晃由：広島県における人口密度、植生、気象要因を用いた林野火災発生危険度の予測、広島県林技セ研報38：9～24，2006。林野火災発生の主因である人為的要因や誘因としての気象要因等を用いて発生危険度を予測するための推定式を求めた。対象地は広島県で、10kmメッシュ単位の117メッシュに区分し、1998年から2002年までのメッシュ毎の林野火災発生率を目的変数とした。説明変数は人為的要因として人口密度、非気象環境要因として植生、そして、気象要因として実効湿度、実効降雨、MO（植生の含水率指標）を使用し、重回帰分析を行った。重回帰式による予測の精度を実際に発生した火災件数に対する適合度で評価した結果、人口密度、植生及び気象要因に実効湿度を用いた重回帰式の適合度が最も高かった。

[キーワード] 林野火災、火災発生危険度、人口密度、植生、実効湿度

Prediction of the forest fire occurrence danger rate by the population density, vegetation, and meteorological elements in Hiroshima Prefecture

Key words : forest fire, fire occurrence danger rate, population density, vegetation, effective humidity

1) 独立行政法人 消防研究所

1 はじめに

わが国では、毎年約3,000件の林野火災が発生し、近年の異常気象、森林荒廃、野外レジャー・ブームなどにより、しばしば大規模な林野火災に発展している。また、わが国の林野火災はほとんど人為的要因に基づいている。従って、そのような森林地域における火災発生危険度と拡大危険性を予測し、効率的な警戒体制を整備することが求められる。本研究は、このような林野火災の現状に対して、オンライン気象データベース、林野火災データベース、植生・地形データベース等を利用し、火災の発生の危険性と火災の拡大性状を予測する「林野火災発生危険度拡大予測システム」を開発することを目的としている。

林野火災の発生危険度の指標としては、実効湿度がよく用いられている（消防庁1986，消防庁・林野庁2003）。佐藤ら（2003）は、最小湿度、実効湿度、実効降雨を用いて火災発生危険度を市町村単位で面的に予測する手法について検討した。本報では、広島県を対象に、実効湿度、人口密度、植生を取り上げた新たな危険度指標について検討した。また、実効降雨、MO（植生の含水率指

標、後述）の適用についても検討した。

解析対象とした広島県は全国でも有数の林野火災多発県で、毎年全国平均の2～3倍に相当する林野火災が発生している。図-1は広島県における市区町村別1年あたりの林野火災発生件数の分布を表しているが、北部の中国山地沿いで少なく、降水量が少ない南部の瀬戸内海沿岸部にかけて件数が増加していることがわかる。南部では更に人口の多い広島市、呉市、東広島市、福山市の都市圏で多くなっている。このことは林野火災の発生件数

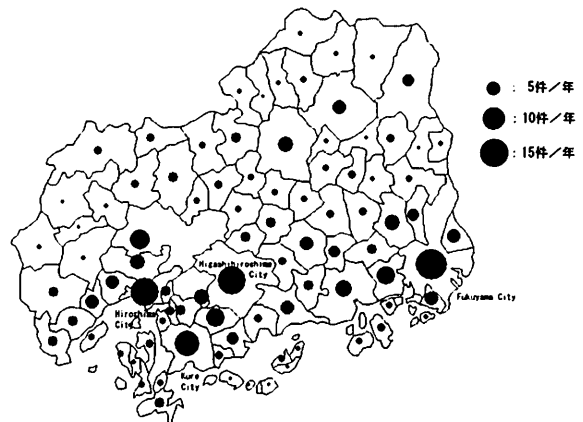


図-1 広島県の市区町村別1年あたりの林野火災件数
(1979年～2002年の平均)

には乾燥度合いを表す気象要因だけでなく、人口密度などの人為的要因も関係していると考えられる。こうした点からも、新たな多因子に基づく危険度指標を開発することの意味がある。

2 方法

2.1 予測式の作成のための重回帰分析

発生危険度の予測は標準地域メッシュの2次メッシュ(通称10kmメッシュ)毎の火災件数を目的変数とし、説明変数は人為的要因として人口密度、気象要因として実効湿度等の3つの要因、非気象要因として植生とし、重回帰分析を行って予測式を求める方法をとった。解析対象範囲の2次メッシュは117メッシュ存在するが、解析は火災件数が1998年から2002年までの5年間で1件以上発生した90メッシュを対象とした。

2.1.1 目的変数：森林率加重火災件数

目的変数は5年間に発生した720件の火災を2次メッシュ毎の発生件数に変換し、更にそれぞれのメッシュ毎に単年あたりに変換した件数を森林面積率(国土交通省国土数値情報土地利用メッシュ(国土交通省2003a)の森林面積をメッシュ面積で除して求めた)で除し重み付けをして森林率加重火災件数とした。これは島嶼部のメッシュと内陸部のメッシュの火災件数が同じ場合、島嶼部のメッシュの方が過小評価となるためと、広島市などの都市圏において、島状に存在する森林での火災も同様に過小評価となるため、これらを補正するものである。森林率加重火災件数の度数分布は極端なL字型であったため、対数変換し正規性を確保した。

2.1.2 説明変数1：人口密度

人口密度は市区町村別人口を国土交通省国土数値情報土地利用メッシュ(国土交通省2003a)の建物用地率から2次メッシュに比例配分して求めた。人口密度の度数分布は極端なL字型であったため、対数変換し正規性を確保した。

2.1.3 説明変数2：植生

植生は環境省自然環境保全基礎調査植生調査の3次メッシュ植生データ(環境省2002)から植物社会学的に分類された植生を林相により8タイプに類型分けし、タイプ毎に2次メッシュ内の出現割合を求めた階級区分別頻度データである。頻度データはメッシュごとに最大値の植

生階級値を100として他の植生階級値を相対値化した。

2.1.4 説明変数3：気象要因

気象要因は実効湿度、実効降雨、MOの3つを候補とし、重回帰分析の結果最も自由度調整済み決定係数が高いものを選ぶことにした。実効湿度および実効降雨の定数は $r=0.7$ 、 $n=10$ とした。また、これらの計算に用いた湿度及び降水量は当該メッシュに最も近い気象観測所と2番目に近い気象観測所、3番目に近い気象観測所の3観測所の気象データを用いて、以下の式で計算した。

$$Y=(H1/d1+H2/d2+H3/d3)/(1/d1+1/d2+1/d3)$$

H1：最も近い気象観測所の気象データ

d1：最も近い気象観測所までの距離

H2：2番目に近い気象観測所の気象データ

d2：2番目に近い気象観測所までの距離

H3：3番目に近い気象観測所の気象データ

d3：3番目に近い気象観測所までの距離

植生の含水率指標であるMO(Experimental Live Moisture)はアメリカ合衆国の林野火災危険度格付けシステム(NIFC 2003)で試験運用されている乾燥指標で、人工衛星NOAAのデータから得られるNDVI値(正規化植生指標)を用いて求められる相対的な植生の含水率の推定値である。本研究では国土交通省国土環境モニタリングシステムのNDVI-1ヶ月コンポジット画像(国土交通省2003b)を用いてBurganら(1997)の方法によって月単位でMOを求めた。なお、MOはNDVI値が低いほど植生の含水率が低く、火災が発生しやすい条件となることを利用した指数であるが、冬季に積雪地帯となる地域においては、地表面が雪で覆われて火災が発生しにくい条件であるにもかかわらず、NDVI値が低くなってしまいう問題点がある。この問題点を回避するために、人工衛星NOAAの1バンド(緑色バンド)の値に積雪地帯の閾値を設定し、12月から4月の積雪地帯のNDVI値をマスク処理によって夏季の湿潤な値に変換した。

3つの気象要因は、火災件数1件1件について発生日の値を求め、階級毎に積算した火災発生件数を年間を通じた値の出現頻度で除すことによって出火率に変換した(佐々木1982)。

火災発生と湿度との関係が深いことはよく知られている(火災便覧1997)が、湿度と火災件数との関係は、湿

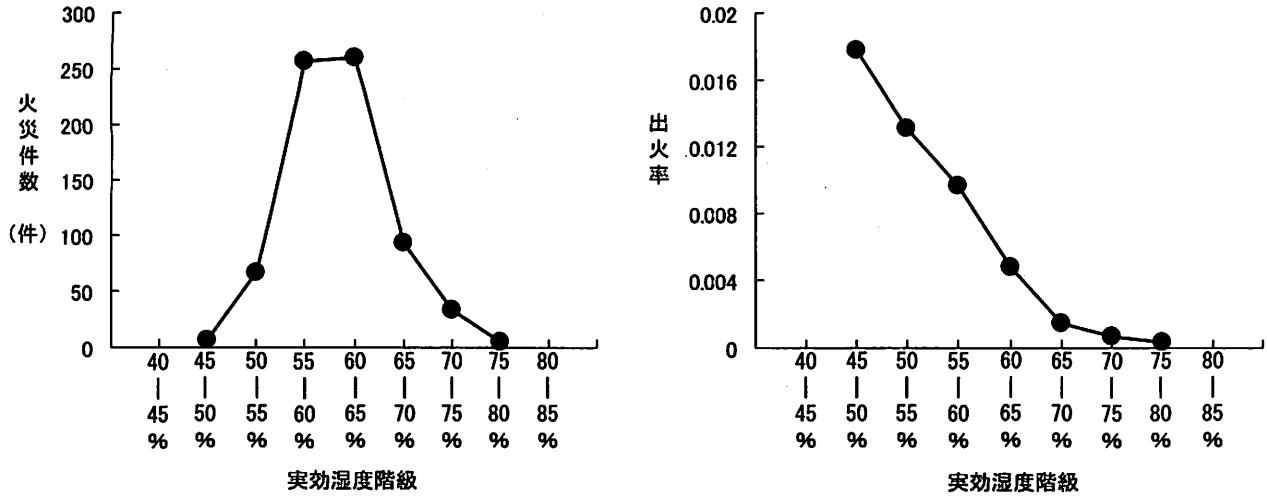


図-2 実効湿度と火災件数及び出火率との関係

度の低下に伴って火災の発生が増加するが、湿度がある点付近より低くなると逆に火災件数が減少するという傾向があることが知られている(佐々木1982)。これはある程度より低い湿度条件の出現日が殆どないため、そうした条件下に起こる火災も稀なものになってしまうためである。そこで、佐々木(1982)は湿度の関数としての火災発生割合を、(その湿度で発生した火災件数) / (その湿度の出現日数)と定義し、これを出火率と呼び、これと火災件数との関係から低湿度条件下で火災の発生が多くなることを示した。このことを今回解析対象とした広島県の1998年から2002年までの5年間の火災統計、実効湿度で見たものが図-2である。左図が横軸に実効湿度階級、縦軸に火災件数をとったもので、低湿度の実効湿度45～55%階級、55～65%階級で火災件数が少なくなっている。右図は縦軸に火災件数を発生日の実効湿度階級ごとに割り振り、階級ごとの実効湿度値の出現頻度で除した出火率をとったもので、実効湿度階級の低下とともに一貫して出火率は増加している。

データは気象要因の階級ごとの頻度値で、実効湿度は10%刻みで45%から85%までの4階級、実効降雨は2mm刻みで0mmから12mmまでの5階級(8～10mm階級は出現しなかったため、8～12mmにまとめた)、MOは30刻みで50から200までの5階級とした。値は人口密度、植生変数と比較して絶対値が小さいため、10,000倍して解析に使用した。以後、出火率の計算は同様な処理を行うことで統一した。解析用データセットは表-1に表した。

2.2 予測方法

発生危険度の予測は重回帰分析の結果得られる重回帰式を用いて行うが、人口密度及び植生はメッシュ毎に固

有の値を持つため、変化するのは気象要因のみとなる。予測式を求める際に使用した気象要因である出火率はそれぞれの気象値階級ごとの出火頻度を表すものであるが、予測では火災の起きる日を想定することはできないので、予測期間中に毎日同じ確率で火災が発生すると仮定した。それは「毎日1件火災が発生する」と仮定することであり、当該期間の気象値頻度が火災の発生する日の気象値頻度と同一となる。

重回帰分析では気象要因変数は実際に火災が発生した日の気象値からもとめた出火率であるが、予測に用いる変数は月単位の気象値の出現頻度から求めた出火率であるために変数のレンジが異なる。月単位の出火率をそのまま重回帰式にあてはめると過大な値が算出され、相対的に人口密度と植生の寄与度合いが下がり、重回帰分析の結果を反映しなくなる。そこで、月単位の出火率を階級ごとに平均値で除して、重回帰分析の際に使用したメッシュごとの出火率を掛け合わせた値を予測のための変数として用いることにした。これにより、この値の階級別平均値と、重回帰分析の際に使用したメッシュごとの出火率の階級別平均値とはほぼ同水準となり、他の説明変数に与える影響を軽減できる。変換は以下の式によった。

$$d = a \cdot b / c$$

d : 予測に用いる月単位の階級別出火率

a : 月単位で毎日1件火災が発生すると仮定した場合の出火率。これは階級別の年間出現頻度に対する、当該月の出現頻度の割合である。

b : 重回帰分析の際に使用したメッシュごとの出火率。これは階級別の年間出現頻度に対する、出火日の出

表-1 火災件数1件以上の2次メッシュデータ

2次メッシュコード	森林率加重火災件 log(森林率加重件数)	人口密度 log(人口密度+1)	植生										気象要因(出火率:気象値の関数)																
			草原・低木林		常緑針葉樹林		スギ・ヒノキ林		マツ林		落葉広葉樹林		常緑広葉樹林		竹林		非植生		実効風速					実効降雨					
			45~55%	55~65%	65~75%	75~85%	0~2mm	2~4mm	4~6mm	6~8mm	8~12mm	50~80	80~110	110~140	140~170	170~200													
513213	0.53	1.87	32	0	0	100	4	4	0	0	0	49	13	0	423	256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73	125	0	
513214	0.79	2.19	27	0	0	100	0	5	0	3	0	48	25	0	541	254	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	125	0	
513216	-0.10	1.55	14	0	0	100	0	57	0	0	0	12	0	0	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	
513221	-0.85	2.78	10	0	0	100	10	2	0	41	244	14	0	0	109	249	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	19	0	
513223	1.31	2.69	83	0	0	100	0	37	0	33	147	73	13	0	767	254	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83	188	
513224	1.07	3.16	34	0	0	74	0	4	0	100	0	84	26	0	895	249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	71	
513225	1.06	2.81	30	0	0	100	0	28	0	28	0	96	0	0	895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128	273	
513226	0.18	1.97	28	0	0	66	0	100	0	8	0	0	13	0	0	459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	0	
513227	-0.12	2.43	4	0	0	78	0	100	0	12	0	24	0	0	114	245	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	
513231	0.05	1.87	75	0	4	100	21	0	0	8	444	14	12	0	451	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	59	69	
513232	1.15	2.57	38	3	0	100	0	0	0	25	286	124	25	0	1329	251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	290	227	
513233	0.59	2.14	100	0	0	45	0	12	0	12	147	24	0	0	309	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	0	91	
513234	1.02	3.04	32	0	3	100	0	0	0	24	806	194	26	0	2085	531	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	409	429	
513235	1.18	2.56	78	0	10	100	0	4	0	8	597	241	40	58	2378	1061	0	0	0	0	0	0	0	0	500	542	500	286	
513236	0.48	2.37	58	0	0	100	4	19	0	13	0	12	13	0	99	263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	77	0
513237	0.61	2.32	27	0	0	100	0	57	0	20	0	12	13	0	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	33	0	
513240	-1.13	1.41	31	0	100	84	54	0	0	8	0	0	10	0	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0
513241	0.48	2.07	67	0	21	100	21	0	0	0	0	83	59	0	860	287	621	0	0	0	0	0	0	0	400	173	0	0	
513242	1.30	3.17	41	4	4	100	2	0	0	35	1111	178	24	0	1375	1635	529	0	0	0	0	0	0	0	0	412	0	0	
513243	1.58	3.83	30	0	0	29	0	0	0	100	455	289	85	0	2819	1630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	417	583	0	0
513244	1.70	3.34	28	0	4	100	2	0	0	55	455	427	37	0	3432	1114	0	0	0	0	0	0	0	0	500	769	0	0	
513245	1.30	2.51	89	0	4	100	9	0	0	11	303	277	118	0	2109	3039	556	0	0	0	0	0	0	0	222	689	167	0	
513246	0.20	1.96	45	0	0	100	35	2	0	0	145	38	13	0	507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333	70	0	0	
513247	0.54	2.55	53	0	0	100	16	2	0	5	588	72	0	0	932	246	0	0	0	0	0	0	0	0	53	237	0	0	
513252	-0.14	2.23	84	0	55	100	24	0	0	0	42	0	0	0	291	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0	
513253	1.31	3.37	86	0	0	100	2	0	2	36	357	108	70	0	1057	820	1170	0	0	0	0	0	0	0	500	217	286	0	
513254	1.29	3.06	46	0	8	100	10	0	0	29	1290	268	35	0	2235	865	1786	1149	0	0	0	0	0	0	0	0	250	569	0
513255	1.16	2.69	96	0	2	100	4	0	0	11	441	147	25	0	1484	290	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	342	300	
513256	1.00	2.70	37	0	2	100	13	0	0	10	588	170	83	0	1974	796	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	294	405	
513257	0.50	1.96	53	0	0	100	32	0	0	4	0	125	23	0	1026	248	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235	226	0	
513261	-0.65	1.51	86	0	78	11	100	0	0	3	0	0	12	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	
513263	0.50	2.91	23	0	23	100	15	0	0	5	392	69	46	0	954	0	592	0	0	0	0	0	0	0	0	48	270	0	
513264	0.34	2.80	40	0	5	100	13	0	0	3	0	68	0	0	470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	500	0	
513265	0.29	1.93	27	0	0	100	3	0	0	0	351	41	24	0	659	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	77	0	
513266	0.69	1.91	33	0	3	100	1	0	0	0	202	12	0	0	1374	529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	385	244	0	0
513267	0.49	1.77	28	0	0	100	0	0	0	0	233	128	0	0	906	0	0	1099	0	0	0	0	0	0	0	178	133	0	0
513271	-0.56	0.82	100	0	19	46	100	5	0	0	15	0	0	0	279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	
513273	0.13	1.94	57	0	14	100	33	0	0	0	204	42	12	0	378	277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	77	0	0
513274	0.08	2.07	56	0	7	100	56	0	0	14	0	55	0	0	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	75	0	0
513275	0.38	2.31	85	0	2	100	30	0	0	0	41	24	0	0	478	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	85	0	0
513276	0.39	1.54	36	0	9	100	0	0	0	0	816	69	0	0	683	539	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	167	0	0
513277	0.54	2.07	55	0	0	100	2	0	0	233	113	11	0	0	854	279	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	171	0	0
513330	1.33	2.53	39	0	0	100	5	95	0	5	0	108	11	0	827	258	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	105	59	0
513331	0.37	2.73	57	0	0	100	0	69	0	12	0	29	0	0	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0
513340	1.27	2.87	54	0	2	100	2	2	0	18	513	174	55	0	1801	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	429	176	361	0
513341	1.50	2.91	67	0	6	100	0	87	0	45	0	134	11	0	943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	200	118	0
513342	0.95	2.54	22	0	0	100	17	8	0	22	0	60	21	0	965	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118	125	71	0
513343	0.41	1.93	0	0	0	100	24	24	0	13	0	29	11	0	180	281	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	74	0
513350	0.59	1.98	28	0	0	100	4	1	0	0	256	161	11	0	1193	0	552	0	0	0	0	0	0	0	500	154	286	0	
513351	0.76	2.71	63	0	0	100	11	4	0	2	294	88	0	0	692	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500	0	148	0
513352	1.18	2.89	55	0	0	100	6	12	0	31	385	155	11	0	974	278	559	0	0	0	0	0	0	0	200	105	278	333	
513353	0.83	3.11	42	0	0	20	5	2	0	100	0	82	10	0	581	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109	500	0	0
513360	0.88	2.05	39	0	1	100	0	0	0	0	513	235	43	0	1624	1416	0	0	0	0	0	0	0	0	0	439	211	0	0
513361	0.60	2.35	28	0	1	100	12	0	0	4	0	118	32	0	1045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	348	0	0
513362	1.19	3.15	69	0	0	100	0	0	0	13	294	201	11	0	1420	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	500	0	0
513363	0.60	2.87	89	0	0	100	0	4	0	19	0	54	20	0	380	284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	0	0	0
513370	0.45	1.97	21	0	0	100	2	0	0	0	133	0	0	0	745	245	515	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	0	0
51																													

表-2 予測のための出火率計算例

			a : 実効湿度による月別(当該月の)出火率				b : 出火率(実効湿度)				c : 平均月別頻度				d : 予測に用いる月別出火率, $a \times b / c$			
			実効湿度階級				実効湿度階級				実効湿度階級				実効湿度階級			
年	月	2次メッシュコード	45~55%	55~65%	65~75%	75~85%	45~55%	55~65%	65~75%	75~85%	45~55%	55~65%	65~75%	75~85%	45~55%	55~65%	65~75%	75~85%
1998	3	513223	588	281	50	0	147	73	13	0	760	189	167	326	114	109	4	0
1998	3	513224	794	265	52	0	0	84	26	0	760	189	167	326	0	118	8	0
1998	3	513225	769	276	39	0	0	96	0	0	760	189	167	326	0	140	0	0
1998	7	513223	0	0	315	414	147	73	13	0	760	189	167	326	0	0	25	0
1998	7	513224	0	0	323	377	0	84	26	0	760	189	167	326	0	0	50	0
1998	7	513225	0	0	314	432	0	96	0	0	760	189	167	326	0	0	0	0

現頻度(5年間の積算値)の割合である。年月によらず一定値である。(表-1の出火率と同じ)

c : aの階級別全メッシュの5年間(117メッシュ×60ヶ月)の出火率の平均値。ただし、値ゼロは除外して計算した。

計算の例を気象要因に実効湿度を用いた場合について表-2に示した。表には6つの2次メッシュの計算例を示し、そのうち上3行は1998年3月の乾燥時期、下3行は同年7月の湿潤時期のものである。aは当該月の実効湿度から求めた出火率で、3月では低湿度階級の頻度が高く、7月では高湿度階級の頻度が高くなっている。bは重回帰分析で使用した5年間の出火率で、3月7月とも同じで、メッシュに固有の値となっている。cはaの平均値で、実効湿度階級ごとに固有の値となっている。3月の実効湿度階級75~85%のように値が0の場合は計算から除外した。cはdの予測に用いる出火率を計算する際に過大となる $a \times b$ の値を補正するためのものであるが、実効湿度階級45~55%や75~85%ではその出現頻度が低いため0値となる場合が多く、これを含めて計算した平均値では $a \times b$ 値の補正が十分でなく、重回帰分析に用いた出火率と予測に用いる出火率のレンジの差が大きく開いたままになるためである。

dはa, b, cを用いて計算した予測に用いる月単位の階級別出火率である。重回帰分析に用いたbの出火率とほぼ同程度のレンジの値が得られている。dはbの過去5年間に発生した火災の階級別頻度に対して予測しよう

とする月の湿度による出火率との積であるので、bの階級値が0の場合はaの同じ階級値が1以上であっても、その階級のdは0となる。例えば、3月の2次メッシュコード513224の実効湿度階級45~55%の場合、予測しようとする月のaの値は794であるがbの値は0であるのでdの値は0になる。また、bを年平均の出火率ととらえると、dの3月の乾燥期の値は低湿度階級で平均よりも大きな値をとり、7月の湿潤期の値は高湿度階級で平均よりも大きな値をとっていることが読み取れる。

3 結果と考察

3.1 予測式の作成のための重回帰分析

予測に用いる気象要因として最適なものを選ぶため、目的変数を森林率加重火災件数、説明変数を人口密度、植生、気象要因のうちの1つとして、3通りの組み合わせで重回帰分析を行った。結果は表-3のとおりで、説明変数の組み合わせが人口密度、植生、実効降雨の場合が最も重相関係数、自由度調整済み決定係数が高かった。しかし、3通りの組み合わせ間でこれらの値に有意な差は認められなかった($p > 0.05$)。そのため、予測式を求めるための重回帰分析結果からは、最適な予測式を決定することはできなかった。

3.2 予測結果と予測精度の検証

3.2.1 予測結果

図-3から図-9は1998年から2002年までの5年間の月ご

表-3 重回帰分析結果

説明変数の組み合わせ			重相関係数	自由度調整済み決定係数
人口密度	植生	実効湿度(出火率)	0.9551	0.8959
人口密度	植生	実効降雨(出火率)	0.9608	0.9077
人口密度	植生	M0(出火率)	0.9513	0.8863

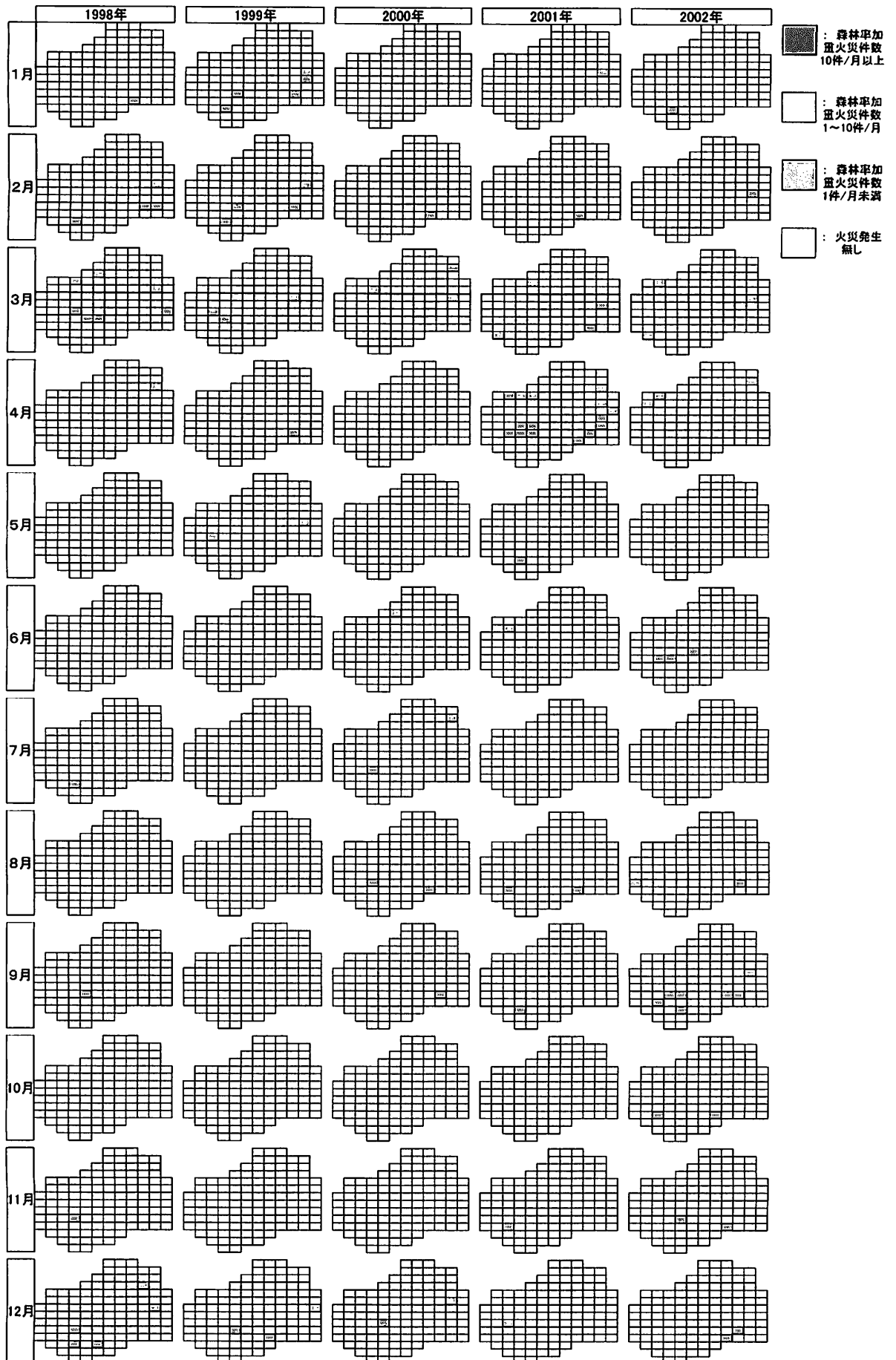


図-3 1998年～2002年の月ごとの2次メッシュ森林率加重火災件数の分布

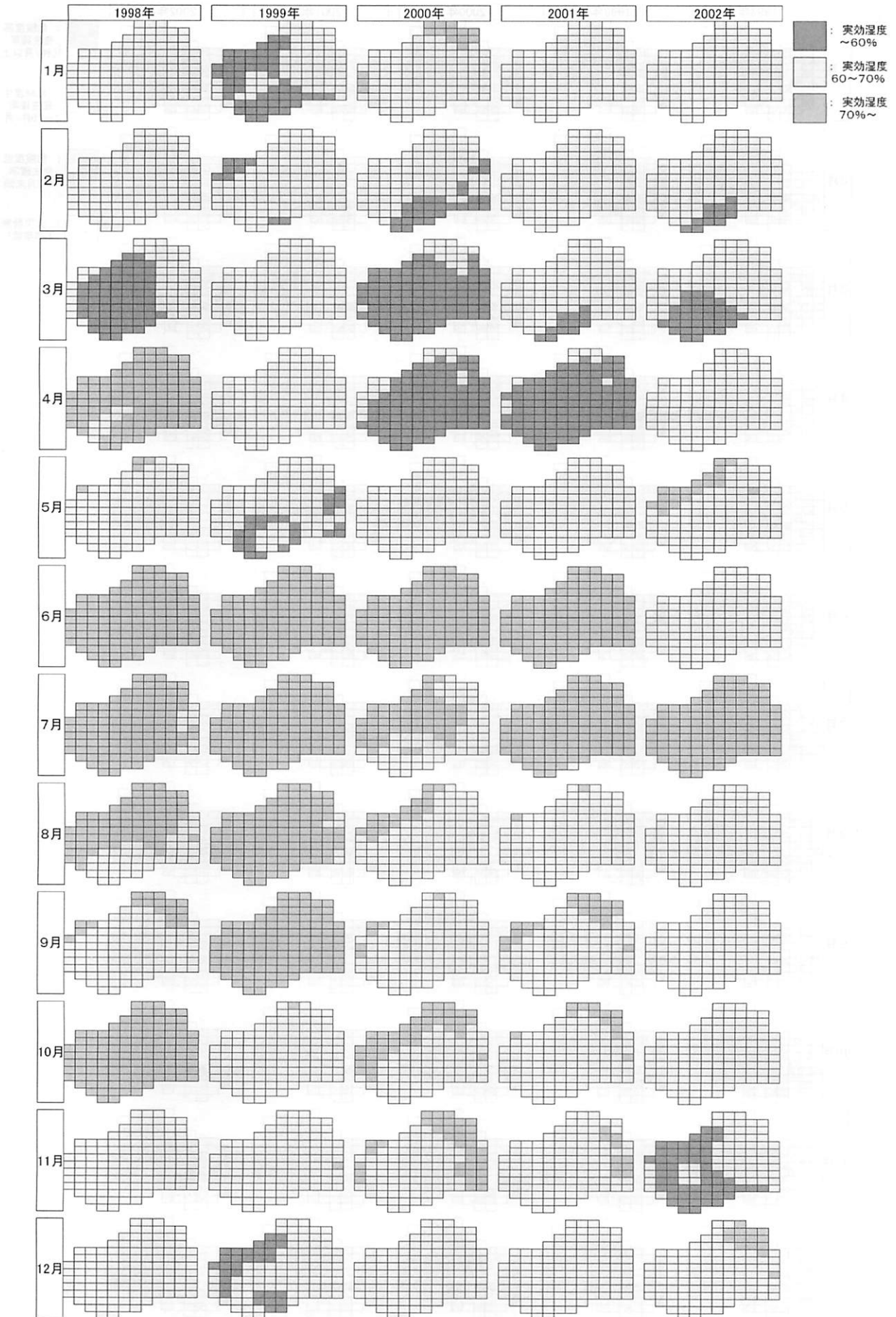


図-4 1998年～2002年の2次メッシュの月平均実効湿度の分布

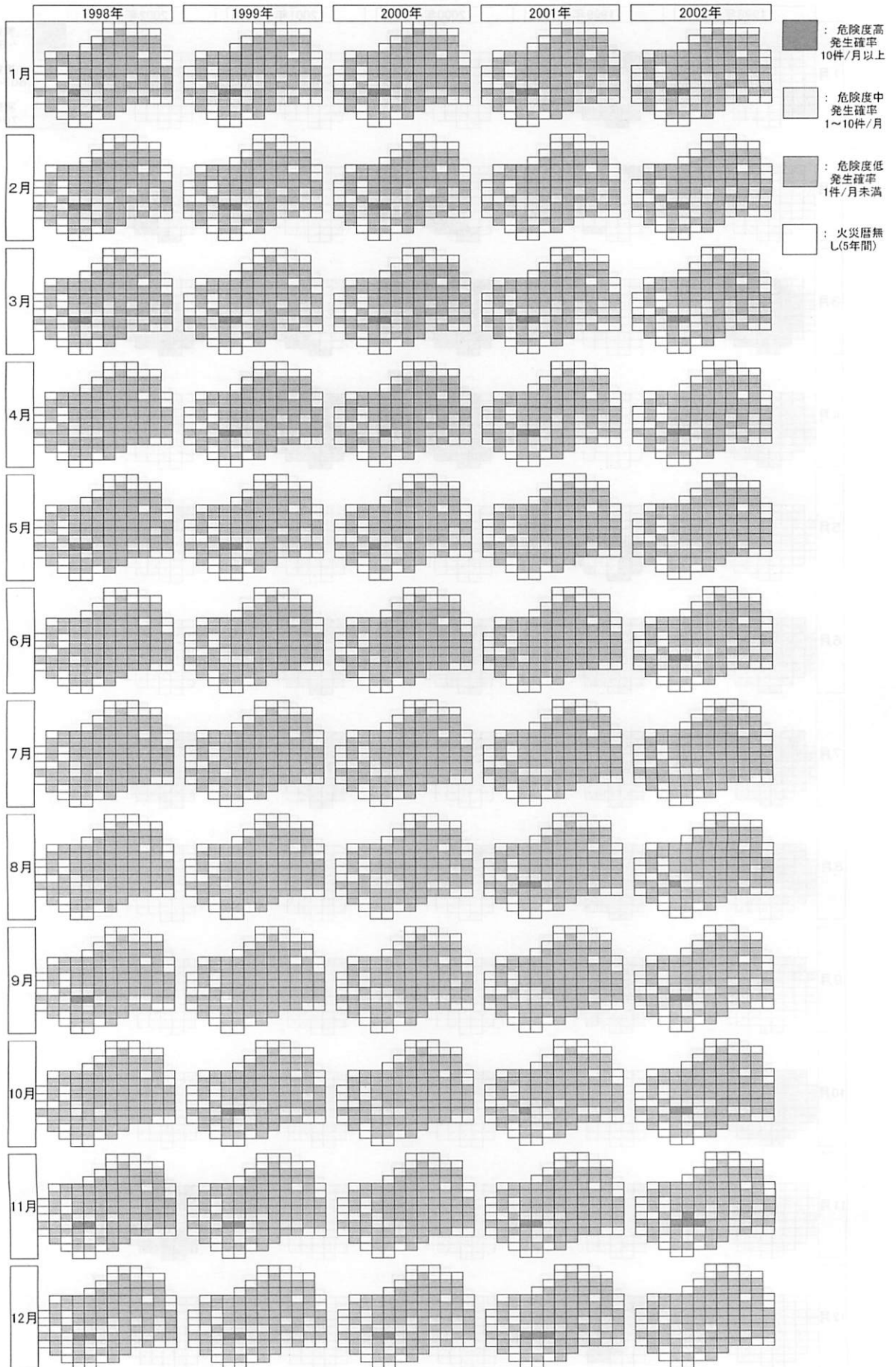


図-5 1998年～2002年の月ごとの2次メッシュ火災発生危険度予測値の分布 (気象要因：実効湿度)

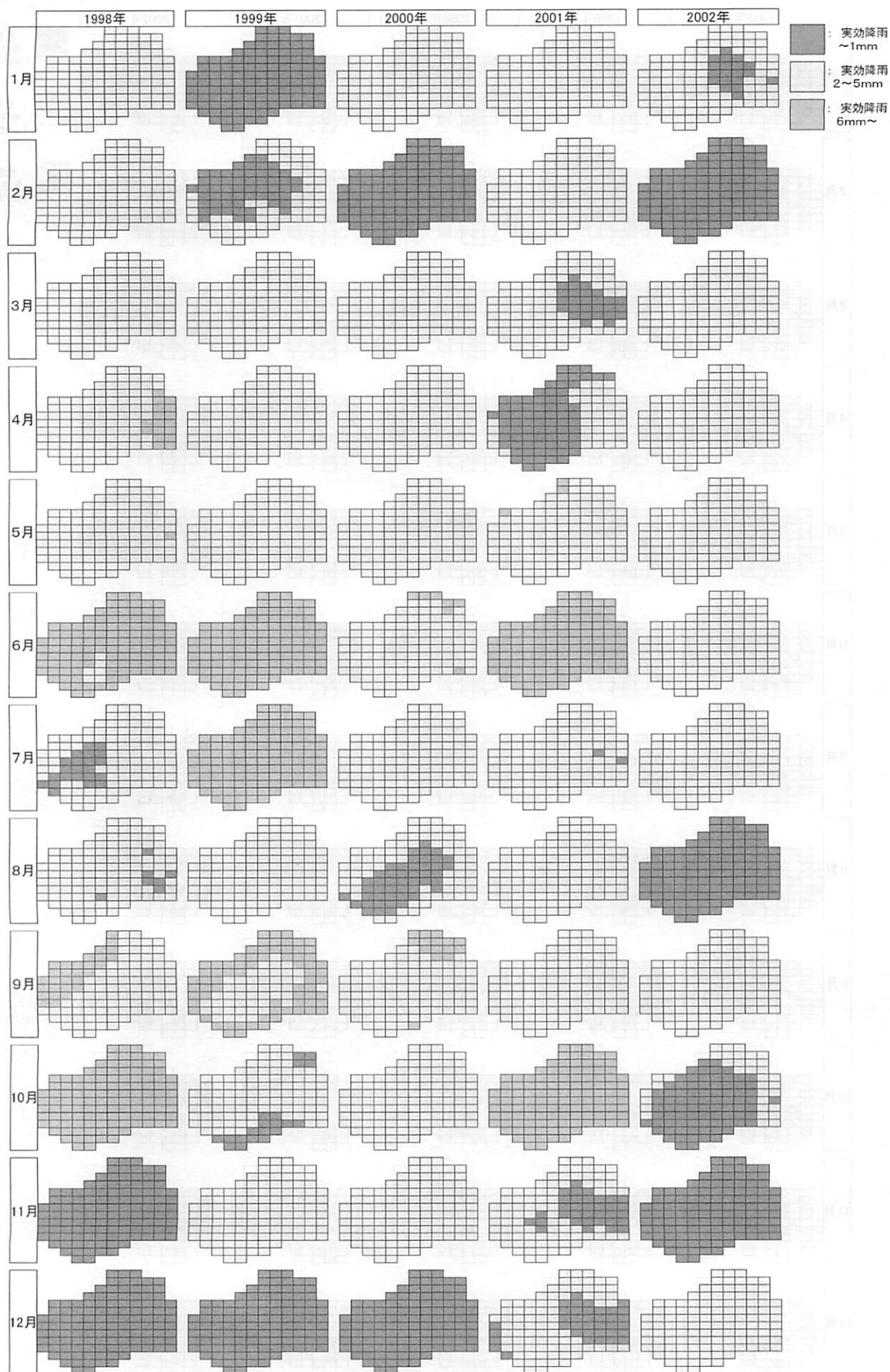


図-6 1998年～2002年の2次メッシュの月平均実効降雨の分布

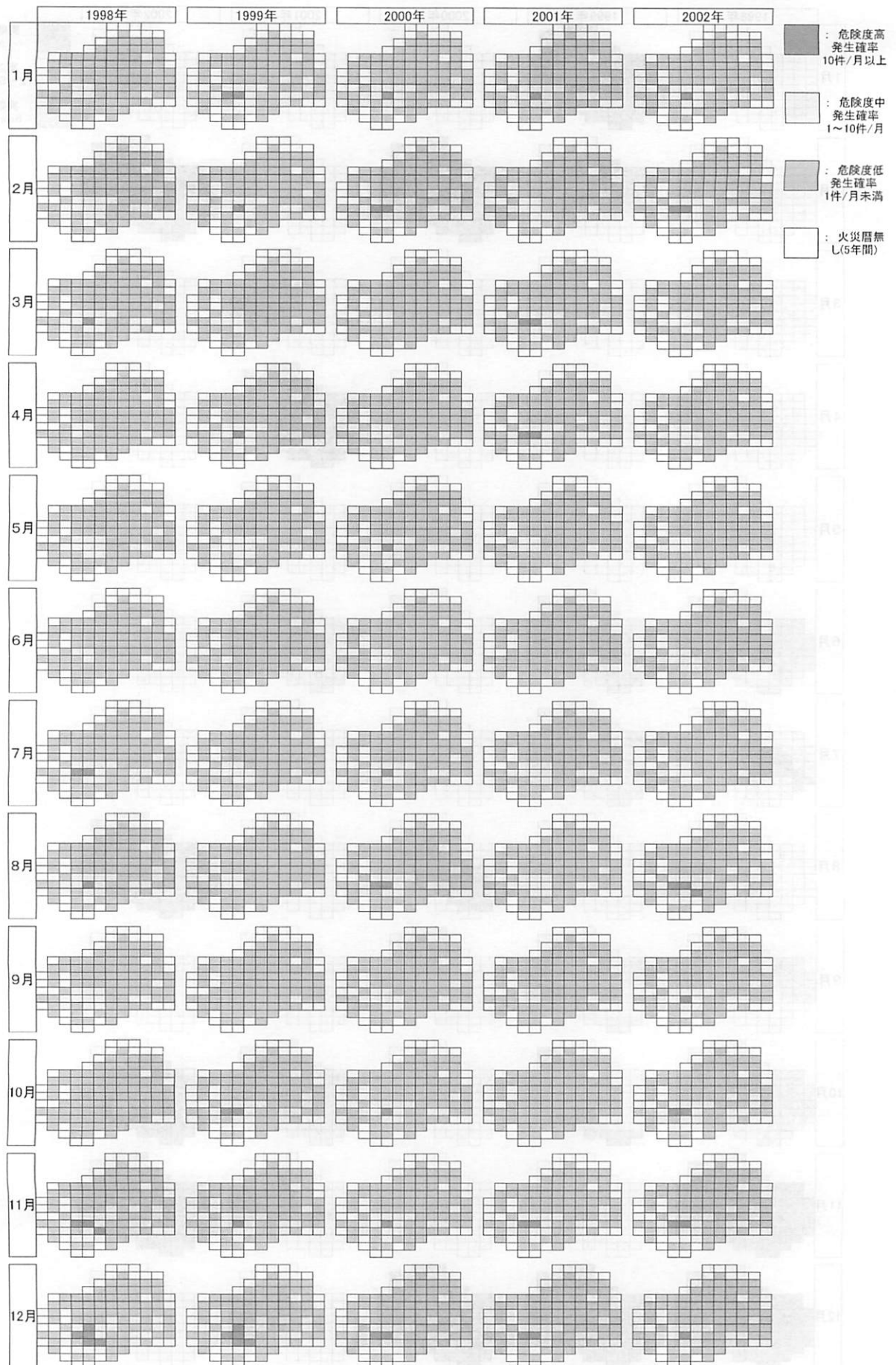


図-7 1998年～2002年の月ごとの2次メッシュ火災発生危険度予測値の分布 (気象要因：実効降雨)

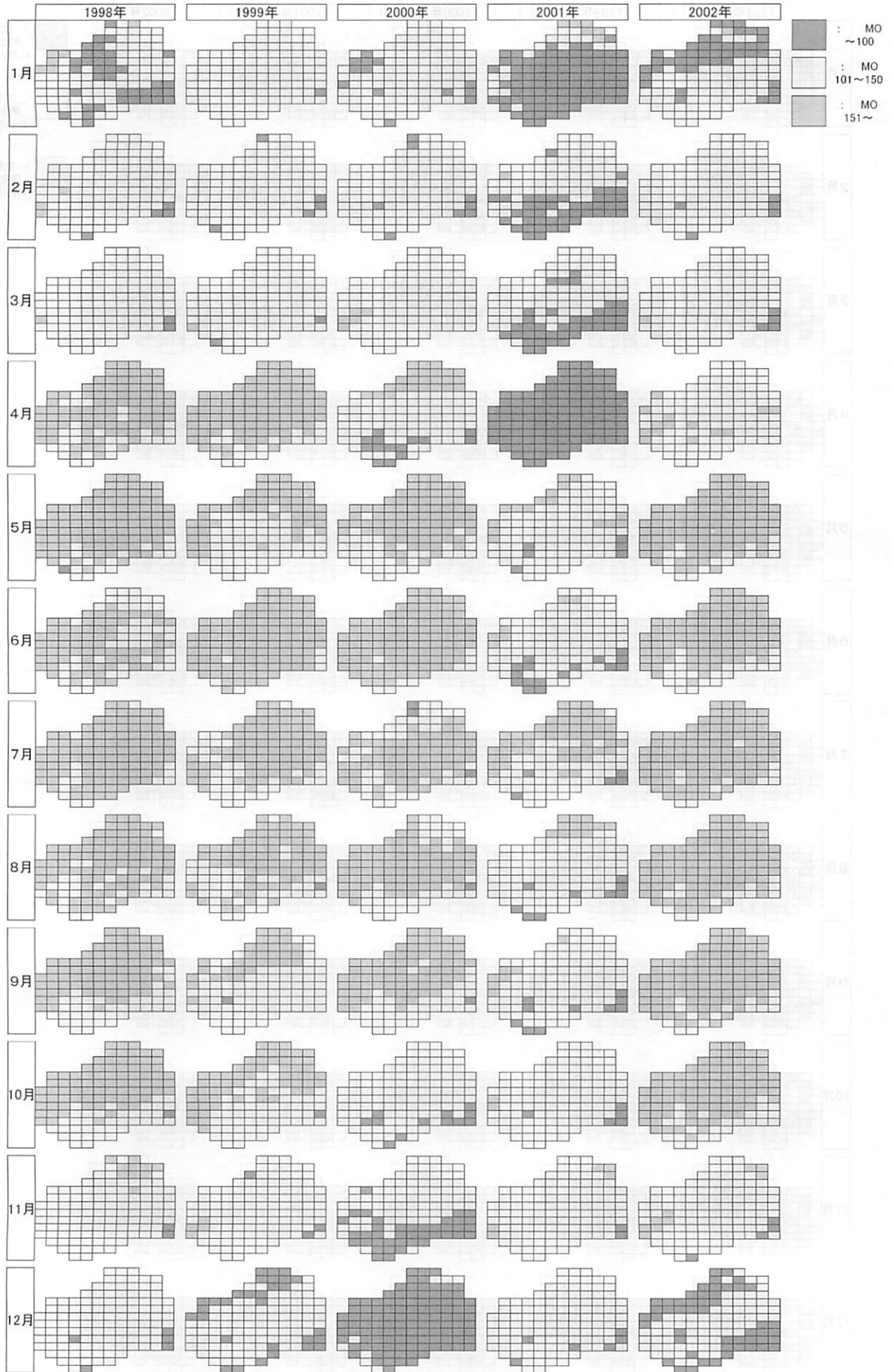


図-8 1998年~2002年の2次メッシュの月平均MOの分布

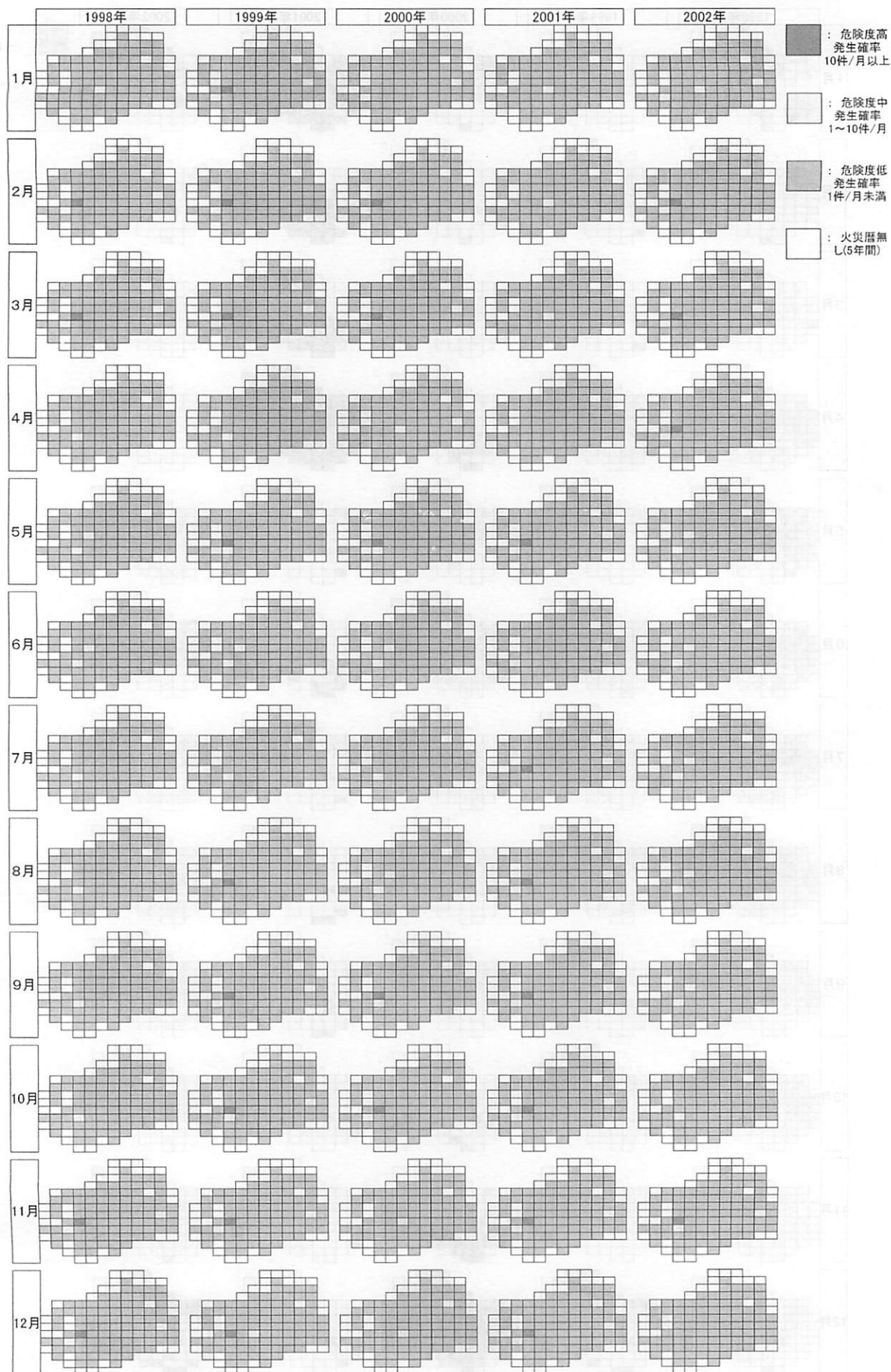


図-9 1998年~2002年の月ごとの2次メッシュ火災発生危険度予測値の分布 (気象要因: MO)

との森林率加重火災件数の2次メッシュ分布図(図-3)と3つの気象要因の2次メッシュ分布図(実効湿度:図-4, 実効降雨:図-6, MO:図-8), およびそれらの気象要因を変数に用いた予測値の2次メッシュ分布図(実効湿度:図-5, 実効降雨:図-7, MO:図-9)である。森林率加重火災件数は1件未満, 1件以上10件未満, 10件以上の3段階に区分した。予測値も同様に区分し, それぞれ危険度を低, 中, 高とした。気象要因は実効湿度が60%と70%を境に, 実効降雨が1mmと5mmを境に, MOが100と150を境に3区分とした。

林野火災の発生は月別変化が大きく, 一般的な傾向として1月から増加し4月にピークとなり, 5月から6月にかけて減少し, また8月にいくぶん増加するという季節変化をすることが知られている(火災便覧1997)。実効湿度を用いた予測(図-5)は, 年によるばらつきが多少あるものの12月から4月にかけて危険度の高い「高」および「中」のメッシュが多くなっており, 7月が年間を通じて危険度の高いメッシュが最も少なくなっている。実効降雨を用いた予測(図-7)は図-5と似た傾向であるが, 3月, 4月の危険度の高いメッシュがやや少なくなっており, 年間を通じて危険度の高いメッシュが最も少ない月は1ヶ月早い6月となっている。MOを用いた予測(図-9)は, 年間を通じて他の予測結果よりも危険度の高いメッシュが少なく, 季節変化も明瞭でない。

3. 2. 2 季節変動予測の精度検証

これらの予測結果の精度を検証するために, 季節変動とメッシュごとの予測位置精度の検証を行った。

季節変動の検証は月単位で森林率加重火災件数およびその予測値の平均値を求め, その推移を比較した。図-10は森林率加重火災件数の推移(最上列左), 森林率加重火災件数予測値の推移(2列目左: 気象要因に実効湿度を用いたケース)および両者の相関関係(2列目右)を表したものである。予測の精度が高ければ森林率加重火災発生件数との相関は高いはずである。同様に気象要因に実効湿度, MOを用いた場合についても比較した(図-10の3, 4列目)。これらの結果を比較すると, 実効湿度を用いた場合の相関係数が0.5560(決定係数=0.3091)と最も高く, 次いで, 実効降雨(相関係数=0.3572, 決定係数=0.1276), MO(相関係数=0.0889, 決定係数=0.0079)の順であった。実効降雨を使用した予測値は, 実効湿度を使用した場合よりも年間の季節変動が年によって大きく異なっており, このことが予測の適合度の低さにつながっていると考えられた。MOを使用

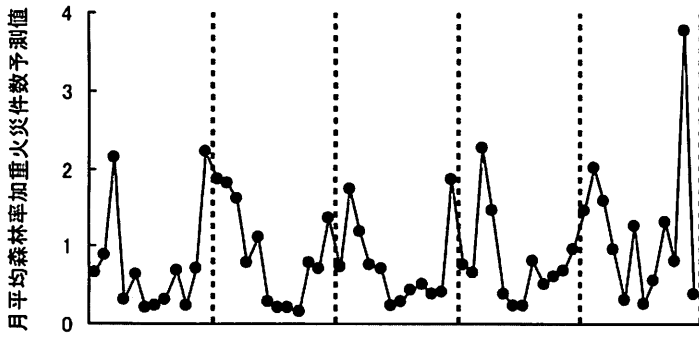
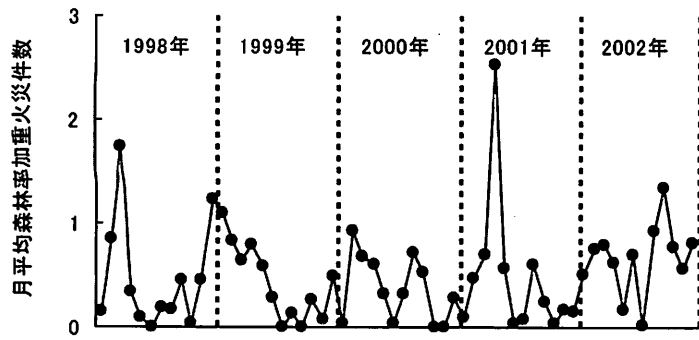
した予測値の推移はほぼ2値化された値が繰り返す結果となり, その季節変動は森林率加重火災件数の推移とは関連がないという結果となった。

これは予測方法に問題があるためと考えられた。出火率は5つに区分された階級の頻度分布に基づいているが, MO値は予測月あたり1つの値(表-2のa)しかないため, 表-2のbで出火率が複数階級に値が分布していても表-2のdで1つの階級のみ値となってしまうため, 予測値が過小となっていた。その上, 特定のメッシュ(513253, 広島市)の値が表-2のaとbで重なった場合に全メッシュ平均の100倍近い値をとり, これが月平均値を2倍に押し上げていた。この結果, aとbの重なりがある月と無い月とで予測値が2極化していた。こうしたことは実効湿度や実効降雨のように月あたりの値が28から31(月あたりの日数分)あれば, 表-2のaの値が複数階級に渡って分布するようになり, 予測値の2値化や過小化は起きないと考えられる。MOはその基となる人工衛星データに雲の影響を排除するために一定期間のデータをコンポジットする処理が行われている。その一定期間を1ヶ月から1週間に変更すれば, 月あたりのMO値数を1から4に増やすことが可能である。しかし, この数でMOから求める出火率の分布を表現するのに十分であるかどうかは検討を要する課題である。

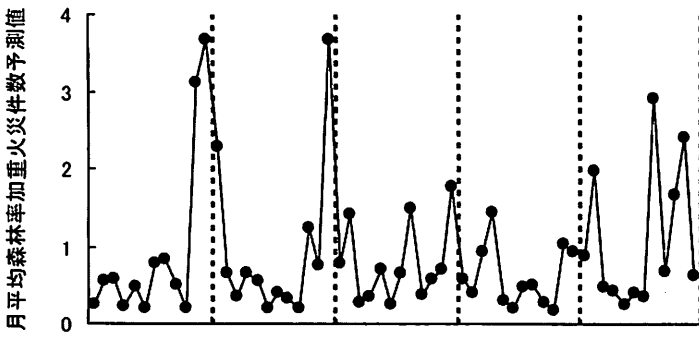
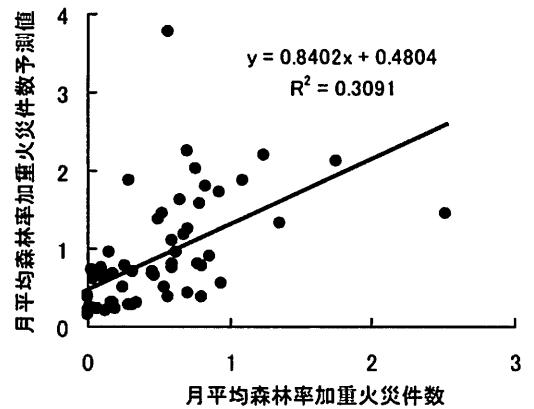
以上のことから, 季節変動を精度良く予測できるのは気象要因に実効湿度又は実効降雨を用いた予測値であると考えられた。両者の相関係数には有意な差は認められなかった($p>0.05$)ため, 最適な予測法を1つに決定することはできなかった。

3. 2. 3 メッシュごとの予測位置の精度検証

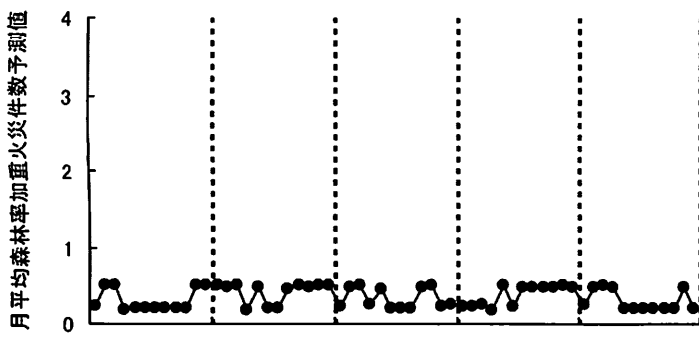
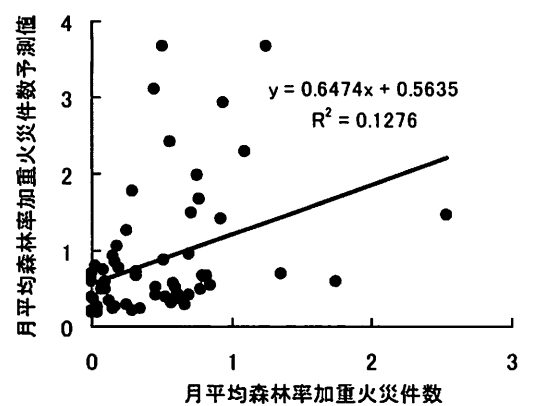
90個のメッシュごとの予測位置精度の検証を行うため, 月単位で全メッシュの内, 実際に火災が発生したメッシュと火災が1件以上発生すると予測されたメッシュ(予測値が1件未満の場合は未発生とした)が一致した割合を適合率とし, 百分率で表した(図-11)。気象要因に実効湿度を用いた予測は10月が約70%と最も高い適合率を示し, 次いで2月が約60%の適合率であった。また, 5月から8月の適合率は30~40%で年間を通じて最も低かった。実効湿度を用いた予測は11月が約70%と最も高い適合率を示し, 次いで2月, 7月, 9月, 12月が約50%の適合率であった。また, 3月から6月の適合率は約30%で年間を通じて最も低かった。MOを用いた予測はいずれの月も他の2つの方法による予測値を下回り, 特に火災多発期の1月から4月にかけての適合率が年間を通



説明変数に植生、人口密度、実効湿度（出火率）を用いたケース



説明変数に植生、人口密度、実効降雨（出火率）を用いたケース



説明変数に植生、人口密度、MO（出火率）を用いたケース

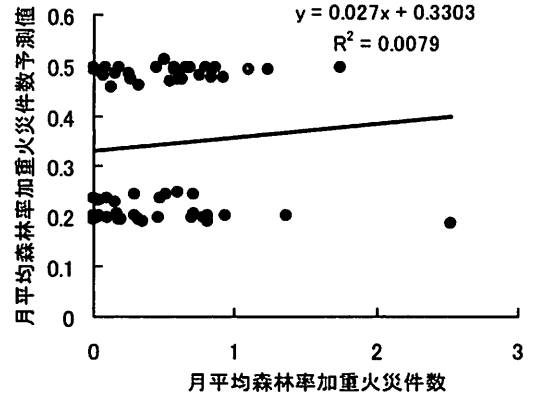


図-10 月平均森林加重火災発生件数とその予測値の推移、および両者の相関関係

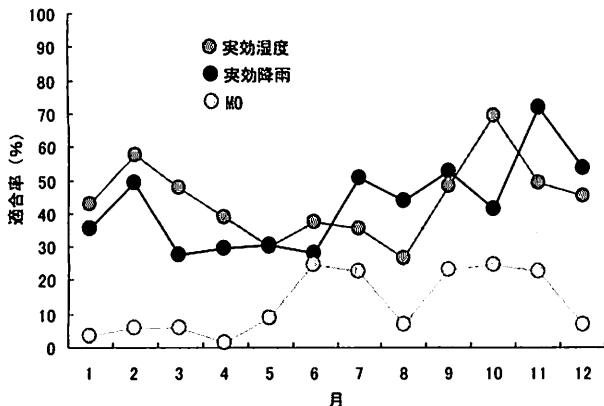


図-11 月平均火災発生件数とその予測値の推移、および両者の相関関係

じて最低の10%を下回る水準となっていた。以上のことから、予測位置精度の面からは気象要因に実効湿度を用いた予測と実効降雨を用いた予測とで適合度の値は拮抗していたが、火災発生ピークの3月、4月の適合率が高かった実効湿度を用いた予測が実用上は優位と考えられた。

以上の季節変動及び予測位置の検証からは統計学的には気象要因に実効湿度を用いた場合と実効降雨を用いた場合とでは予測精度に有意な差は認められない点もあったが、実効降雨を用いた予測結果では火災発生のピークである3月、4月の危険度が平均して1月、2月より若干低く予測される点が実用上問題であり、このことから気象要因に実効湿度を用いた予測法が実用上の選択と考えられる。

3.3 説明変数の寄与度合い

説明変数に人口密度、植生、実効湿度を用いた重回帰予測式の偏回帰係数は表-4にまとめた。

次に目的変数に対する説明変数の寄与度合いを偏相関係数で検証した。説明変数のうち植生と実効湿度は階級区分された複数の変数からなるため、そのままでは偏相関係数が算出できない。そこで、情報量の損失が多少あるものの、クラスター分析(最長距離法)によって植生と実効湿度を dendrogram 上でユークリッド平方距離が大きくなることを参考にカットラインを決めて、それぞれ16クラスの度数分布類型に分類した。こうして得られた変数は質的変数であるため、0/1のダミー変数に変換した上で説明変数に人口密度(単一の数量変数のため変換の必要は無い)も含めて目的変数を森林率加重火災件数とした重回帰分析を行った。その結果得られた標準化回帰係数を用いて植生と実効湿度について数量化理論第I類のサンプルスコアを導いた(青木2002)。この時点で植生と実効湿度は単一の数量変数への変換が完了する。そして、これに人口密度と森林率加重火災件数を加えた4変数(標準化した)で偏相関係数を求めた。

結果は表-4の通りで、森林率加重火災件数との偏相関係数は植生、実効湿度、人口密度の順で、植生の寄与度合いが最も高かった。偏相関係数はいずれも0.7前後の高い値を示し、1%水準でも有意であることから、3つの説明変数はそれぞれ森林率加重火災件数の予測に寄与しているといえた。

説明変数の中で植生と実効湿度(出火率)は更にカテゴリー区分があるため、標準化回帰係数によって寄与度

表-4 偏回帰係数と偏相関係数

		偏回帰係数	標準化偏回帰係数	偏相関係数
人口密度	log(人口密度+1)	0.28943	0.28647	0.6405
	草原・低木林	0.00178	0.06930	
植生	常緑針葉樹林	0.05320	0.04650	0.7592
	スギ・ヒノキ林	-0.00574	-0.17793	
	マツ林	-0.00040	-0.02006	
	落葉広葉樹林	-0.00340	-0.21143	
	常緑広葉樹林	0.00427	0.14568	
	竹林	-0.00198	-0.00080	
	非植生	0.00275	0.07825	
	実効湿度(出火率)	45~55%	0.00001	
	55~65%	0.00352	0.35888	
	65~75%	0.00412	0.10593	
	75~85%	-0.00358	-0.06121	
定数項		-0.53651		

合い(寄与率ではない)を見ることが出来る。植生では常緑広葉樹林、非植生、草原・低木林の順で正の大きな値を示しており、森林率加重件数を上げるのに寄与している。逆に落葉広葉樹林、スギ・ヒノキ林、マツ林の順で負の大きな値を示しており、森林率加重件数を下げるのに寄与している。本木ら(1991)は火災危険度の高い林況としてアカマツ、スギ、ヒノキなどの一斉林をあげているが、今回の解析結果では逆の結果となっている。また、福嶋ら(1983)は常緑植物は防火力の大きいものが多いと報告しているが、これも今回の解析結果では逆の結果となっている。

これは標準化回帰係数の値が高い常緑広葉樹林、非植生、草原・低木林の割合の高いメッシュが火災件数の多い南部に多く分布し、標準化回帰係数の値が低い落葉広葉樹林、スギ・ヒノキ林、マツ林の割合の高いメッシュが火災件数の少ない中北部に分布していたことを反映した結果であると考えられる。すなわち、2次メッシュ内における植生の出現割合は火災件数の多少とは直接に対応していないと考えられる。解析に用いるデータが3次メッシュデータであれば、植生は択一のカテゴリデータであるので、火災件数との1対1の対応で解析でき火災発生と植生との関係をより直接的に把握できる可能性がある。しかし、火災統計データの発生位置は市区町村の大字、字、番地という記載方法となっており、山間部では1km区画の3次メッシュで位置を特定することは極めて困難であり、解析に用いることのできる火災件数データを得ることができない。

実効湿度は55~65%階級が最も値が高く、次いで65~75%階級、75~85%階級と湿潤になるにつれて値が下がっている。最も乾燥している45~55%階級の値が低いのは実効湿度55%未満という環境の出現頻度の低さと、そうした環境下での火災発生事例の少なさによるものと考えられる。

引用文献

- 1) 青木繁伸(2002)数量化I類はダミー変数を用いた重回帰分析である。11pp. Web <<http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/LaTeX/sreg-qt1.pdf>>
- 2) Burgan, Robert E.; Hartford, Roberta A. (1997) Live vegetation moisture calculated from NDVI and used in fire danger rating. 13th Conf. on Fire and For. Met., Lorne, Australia, 1997. Jason Greenlee, ed. IAWF,

- Fairfield, WA 99012: 225~231.
- 3) 福嶋司・山岸匠・高橋啓二(1983)森林群落の構造からみた防火機能の評価I 森林群落を中心とした防火機能の評価方法.千葉大学園芸学部学術報告31: 101~106.
 - 4) 環境省生物多様性センター(2002)生物多様性情報システム. Web <http://www.biodic.go.jp/dload/mesh_vg.html>
 - 5) 国土交通省国土計画局(2003a)国土数値情報ダウンロードサービス. Web <<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>>
 - 6) 国土交通省国土地理院(2003b)国土環境モニタリング植生指標データのダウンロード. Web <http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/ndvi-download.html>
 - 7) 本木茂・山下邦博・後藤義明(1991)森林の防火機能.森林の公益的機能解説シリーズ⑭, pp.47~50. 日本治山治水協会, 東京.
 - 8) National Interagency Fire Center (2003) Wildland fire assessment system. Web <<http://www.fs.fed.us/land/wfas/>>
 - 9) 日本火災学会編(1997)火災便覧第3版, 298, pp.308~311. 共立出版, 東京.
 - 10) 佐々木弘明・笹原邦夫(1982)林野火災の出火率とその湿度依存性. 火災Vol.32 No.5(140):37~40
 - 11) 佐藤晃由・寒河江幸平・佐野俊和(2003)林野火災の発生拡大予測システムーその3.平成15年度日本火災学会研究発表会概要集: 454~457.
 - 12) 消防庁(1986)大規模林野火災発生予知システム開発調査報告書, pp.30~33. 消防庁, 東京
 - 13) 消防庁・林野庁(2003)林野火災対策に係る調査研究報告書, pp.59~66. 消防庁・林野庁, 東京