

I-2 土地可燃性情報の地図化システムの開発に関する研究

Study on Development of Information Mapping System for Regional Vulnerability to Fire Spreading.

木俣 昇*, 二神 透**, 大我晴敏***, 佐々木麻衣****

Noboru Kimata, Toru Futagami, Harutosi Oga, Mai Sasaki

[抄録] 地方の時代に相応しい独自の防災計画が可能となるには、地域の現状情報の獲得と計画案の評価を支援するシステムの整備が不可欠となる。本研究では、前者については解像度2mという「土地被覆分類図」の形で整備を前提にし、後者について、まず、それをさらに「属性メッシュマップ」の形に変換・生成することで、既開発の火災延焼シミュレーションとの連携化を行う。具体的には、この方式による実在の「属性メッシュマップ」と特殊なマップとを用いた20ケースの延焼面積の評価データを作成している。次に、これらの結果を被説明変数とし、木造建物比率と風速とブロック数とを説明変数とする重回帰モデルを構築し、決定係数で0.85という水準の結果を得ている。そして、地域の航空写真から出発し、土地可燃性指標を、この回帰式を用いて60mメッシュ単位で評価し、この指標のランク値を赤色の表示彩度差で地図情報化するシステムを開発している。最後に、K市での適用を行い、出力地図事例を示すとともに、その改善策の効果評価図も出力している。

[Abstract] As decentralization of power, local governments are pressed to draw up their own master plan. In this paper, we try to support their endeavor by presenting systems for fundamental data collection and for evaluation of alternatives on fire prevention planning. First, we develop an algorithm to transform "land use classification map" to "attributed-mesh map" and do 20 case simulation, applying fire spreading simulation system previously developed by authors to maps generated by the algorithm mentioned above. Secondly, we construct regression model based on these simulation results, in which wooden-building ratio, velocity of wind and number of regions blocked by firebreak are selected as independent variables, and we get a formula which determinant is 0.85. We define rank of regional vulnerability to fire spreading based on this regression estimate calculation. Finally, we show a mapping system of these regional data using chromatic difference of red-color and demonstrate to output such colored map applying the system to K-city. We also demonstrate to output reevaluation map of fire prevention alternative in this city.

[キーワード] 地方分権化, 地域防火計画, 土地被覆分類図, 火災延焼シミュレーション, 回帰モデル, 彩色化地図

[Keyword] vulnerability to fire spreading, decentralization of power, regional fire prevention plan, land use classification map, fire spreading simulation, regression model, colored map

1. まえがき

地方分権化の推進の実体化として、各自治体による独自のマスタープラン造りの取組みが進められている。それらが地方の独自色を備えたものとなるためには、計画の基礎データとなる情報整備が不可欠となる。国土交通省の「土地環境情報整備手法検討事業」¹⁾²⁾は、そのような基礎データの全国的な整備を目指しているといえよう。その整備手法の一つに、航空写真を基礎とする「土地被覆分類図」の作成法がある。この地図化情報は、航空写真の持つ広域性

と、作成手法の持つ精緻性により、地域全体の現状把握の強力な基盤となる。

著者らは、市街地火災に関しては、メッシュ型の火災延焼シミュレーションシステムの開発³⁾⁴⁾も行っている。その適用研究では、酒田・福光の両大火による検証を始め、福光復興計画の火災安全性の評価への適用や、防災緑地網の整備や防火区画計画への支援を提案して来ている^{5)~11)}。本研究では、この二つのシステム手法を連携化させ、自治体の火災に強い安全な街造りマスタープラン支援のための

* 正会員 金沢大学工学部土木建設工学科 教授 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20) tel:076-234-4914

** 正会員 学博 愛媛大学工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町3) tel:089-927-9837

*** 朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 企画管理部 (〒170-6070 豊島区東池袋 3-1-1 サンシャイン 60 43F) tel:03-3988-6811

**** 朝日航洋株式会社 空間情報事業本部 画像情報部 (〒350-1165 川越市南台 3-1-1) tel:0492-44-6495

土地可燃性情報の地図化システムを開発する。

まず、「土地被覆分類図」を基に、火災シミュレーションで使用する「属性メッシュマップ」の生成法を示す。生成した「属性メッシュマップ」は、シミュレーションの入力マップになるとともに、それ自身も防災地図情報として機能するものを目指す。次に、火災危険性の評価では、a) 出火リスク、b) 延焼リスク、c) 消防力の3側面が必要となるが、本研究の「土地可燃性指標」は、この中のb)の延焼リスクを評価するものとし、一連の火災延焼シミュレーション結果を基に評価算定モデル式を構築し、提案する。これは、火災延焼シミュレーションの実行をスキップすることで、各自治体での使用性を向上させる工夫として提案するものである。最後に、対象地域でこの指標を算定し、地図化するアルゴリズムを示し、事例研究として、K市での現状評価結果とその改善防災計画案について報告する。

2. 土地被覆分類による属性メッシュマップの生成
2-1 メッシュ型火災延焼シミュレーションシステムの概要

著者らは市街地火災の延焼に関するメッシュ型シミュレーションシステムを開発してきている^{3)~11)}。このシミュレーションは、対象地域を属性メッシュマップで表現し、その上で、各メッシュの属性と保持データを参照しつつ、出火メッシュから近傍メッシュへの延焼動態を記述するものである。本シミュレーションで識別処理されるメッシュ属性区分と、それぞれの保持データを表-1に、また、これらのメッシュ属性を判別する作業フローを図-1に示す^{4),12)}。

ここで、 $P[I,J]$ 、 $RC[I,J]$ 、 $G[I,J]$ 、 $RR[I,J]$ は、それぞれメッシュ $[I,J]$ における木造建物、耐火造建物、緑地、道路・水面部の面積で、 $GH[I,J]$ は、緑地の樹木高さである。保持データの p 、 rc 、 g は、まず、 $S[I,J]$ を $P[I,J]$ 、 $RC[I,J]$ 、および $G[I,J]$ の和とし、 SS を単位メッシュの面積として、図-1で求められる比率である。 gh は $GH[I,J]$ そのもので、 q は防火木造率で、地区のサンプル値が使用される。

図-1に示すように、属性Aは、木造建物が主なメッシュで、可燃扱いとなる。属性Bは、耐火造建物が主なメッシュで、不燃扱いとなる。一方、属性G

は、緑地が主なメッシュで、同時炎上火災の規模や保持データの樹木高さとの関係で可燃あるいは非燃扱いとなる。属性メッシュマップ上で取扱われる延焼形態は、図-2に示すように、(1)炎上メッシュの全ての一次近傍可燃メッシュAへの延焼、(2)空地メッシュを挟んだ風下二次可燃メッシュAへの延焼、および(3)炎上メッシュの風下・風横の一次近傍緑地メッシュGへの延焼の3つである。(1)については、保持データの木造・防火木造・耐火造比率と風速とをパラメータとする延焼速度式、(2)については、風速をパラメータとする延焼限界距離式、(3)については、

表-1 メッシュマップの属性区分

属性区分	記号	保持データ
可燃メッシュ	A	p, q, rc
不燃メッシュ	B	
緑地メッシュ	G	g, gh
空地メッシュ	" - "	

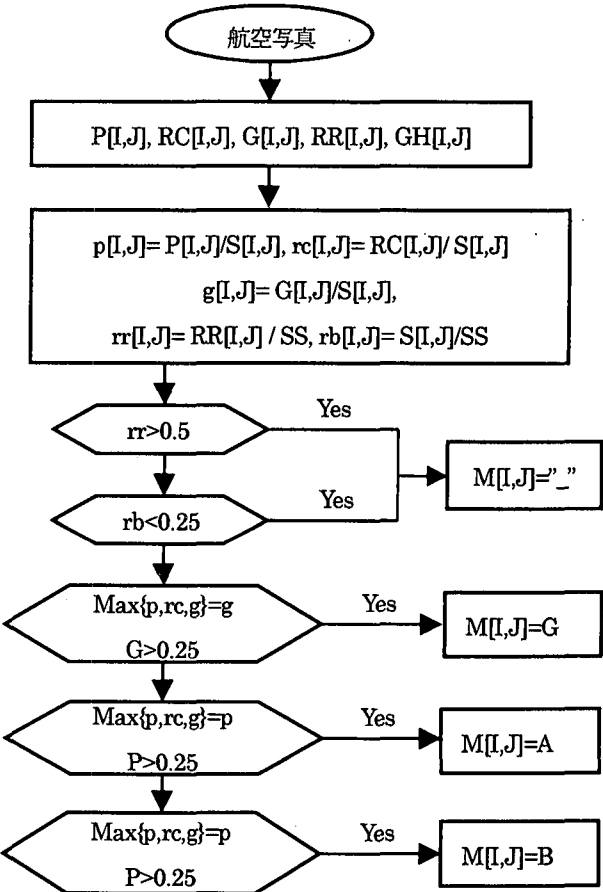


図-1 メッシュ属性の判別フロー

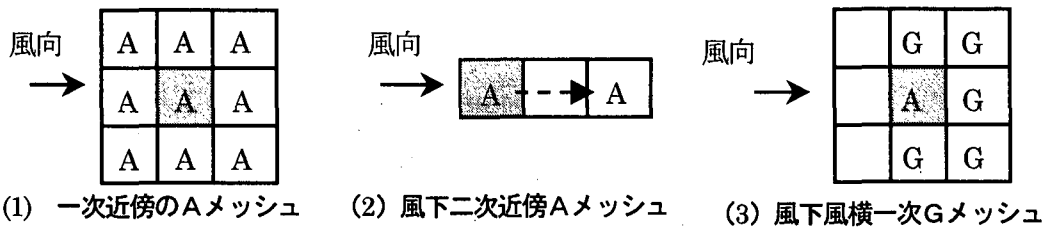


図-2 炎上メッシュからの延焼パターン

上述したように、同時炎上火災面からの輻射熱計算と、保持データの樹木高さ、および樹木の発火限界熱量値が延焼アルゴリズムに組み込まれている^{9),10)}。

本システムの検証は、酒田大火^{13),14)}と福光大火¹⁵⁾の再現性シミュレーションによって行っている。そして、風横方向では少し過大評価となるが、風下方向では十分な再現性を持つことを示している。ただし、これらのシミュレーションでは、飛び火については、その観測時刻に新たな出火点を設定する形で取り込んでいることを付記しておく。

2-2 属性メッシュマップの生成システム

「土地被覆分類図」では、土地被覆の分類は表-2に示す14区分が使用されている^{1),2)}。これらのデータ化は図-3に示すように、対象地域の航空写真から作成されるデジタルオルソ画像の二次元判読、及び土地被覆表層DTM(Digital Terrain Model)と数値地図50mメッシュデータ(地盤高)から算出される比高データの適用による三次元化によって行われる。二次元判読では、各画素に表-2の10区分の彩色を行う。さらに三次元化を行うことで14区分へと分類し、分類色で彩色することで、解像度2mの三次次元判読図である「土地被覆分類図」が作成される。

一方、火災延焼シミュレーションで使用する「属性メッシュマップ」での属性区分は、表-1に示した4つであり、その判別に必要なデータは、図-1のフローで入力となっている $P[I,J] \sim GH[I,J]$ の5つである。この5個の変量と表-2に示した土地被覆分類の14区分との対応は、表-3に示すように定めることができる。

建物については、二次元判読図に比高データを適用することにより、8m未満の2階建以下のものを木造、8m以上の中層以上は耐火造という妥当な認

定が可能となる。緑地については、火災延焼との関連から低木は含めるが、草地は含めない。また、比高データより、低木と高木の識別が可能であることから、緑地メッシュの保持データである樹木高さも採取可能となる。

火災延焼シミュレーションで使用する「属性メッシュマップ」の単位メッシュ長は、20mを基準としている。土地被覆分類図の解像度は1pixelが2mであり、従って、1メッシュは10pixel×10pixelで構成され、以下のように10pixel×10pixelの画像を集計することで、「属性メッシュマップ」の生成用データが得られることとなる。即ち、表-3の $P[I,J] \sim RR[I,J]$ の各々の面積 $X[I,J]$ は、

$$X[I,J] = (\text{分類項目の識別画素数}) \times (\text{画素面積}) \cdots (1)$$

となる。樹木高さの方は、ここでは、高木の平均高さを14m、低木を4mとして、

$$GH[I,J] = \{(\text{高木画素数}) \times 14 + (\text{低木画素数}) \times 4\} / \{(\text{高木画素数}) + (\text{低木画素数})\} \cdots (2)$$

で求めている。

「属性メッシュマップ」の生成は、式(1)と式(2)の形で集計によるメッシュデータ化の後に、図-1の判別フローを適用することで可能となる。今までは火災延焼シミュレーションの入力データはドットカウンタ法で作成していたが、この「土地被覆分類図」との連携化によって、その精度を大幅に向上させることが出来るようになった。

この「属性メッシュマップ」には、それ自身でも防災情報地図として機能することを目指すとした。そのための工夫として、ここでは属性区分の彩色は「土地被覆分類図」のものとは異なる系統色とした。付図-1に、「土地被覆分類図」とそれに対応する「属性メッシュマップ」の出力事例を示すが、赤色系の広がり、木造建物が密集する危険性な地域であり

表-2 土地被覆分類区分

番号	土地被覆 分類区分 (二次元)	土地被覆 分類区分 (三次元)	比高区分	分類色 (三次元)
1	建物	超高層建物	30m 以上	赤
2		高層建物	16m 以上 30m 未満	赤紫
3		中層建物	8m 以上 16m 未満	紫
4		一般家屋	8m 未満	薄紫
5	樹木	高木	8m 以上	緑
6		低木	8m 未満	黄緑
7	草地	草		薄緑
8	水田	水田		黄
9	畑地	畑地		カラシ
10	露出値	露出地		茶
11	海域	海域		濃青
12	河川	河川		青
13	湖池	湖池		水色
14	人工被覆 平坦地	人工被覆 平坦地		白

表-3 属性メッシュマップデータとの対応表

変数名	内 容	分 類 項 目 (番号)
P [ij]	木造建物面積	一般家屋 (4)
RC[ij]	耐火建物面積	中・高・超高層建物(1～3)
G [ij]	緑地面積	高木・低木(5～6)
RR[ij]	道路・水部面積	海域・河川・湖池・ 人工被覆平坦地 (11～14)
GH[ij]	緑地高さ	樹木高 (高木・低木)

濃い灰色や緑や水色で形成されるラインは、耐火造や緑地や空地から成る防災空間の存在の有無を示すことになる。この点でも連動化による情報効果を引き出すことが出来たとのでは考えている。

3. 土地可燃性指標算定モデルの構築

3-1 火災延焼シミュレーションによる基礎データの作成

土地可燃性は、火災危険性評価の3側面、a) 出火リスク、b) 延焼リスク、c) 消防力の中の b) の評価であり、その評価の基礎となる延焼面積のデータは、対象地域の航空写真から出発し、図-4に示す手順で、2-1 と 2-2 で概説した 2 つのシステムを適用することで作成することができる。

まず、対象地域の航空写真を基に 1km 四方の 15 地区の「土地被覆分類図」を作成し、2-2 で述べた方式で 15 枚の「属性メッシュマップ」を生成した。前述した付図-1 は、その中の 1 枚の部分図である。次に、シミュレーション条件の風速と風向に関して

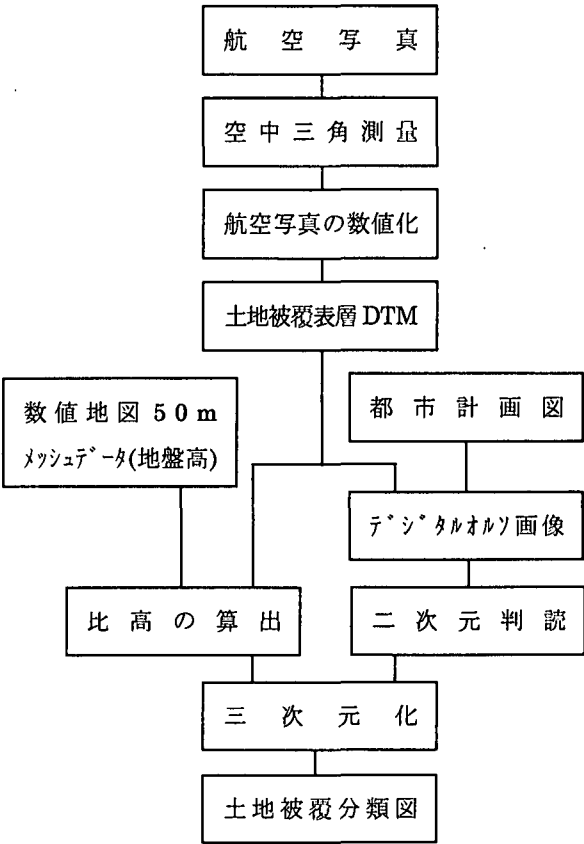


図-3 土地被覆分類図の作成手順

は、対象地域の冬期と夏期のデータを検討し、4つの地区では冬期と夏期で風速が異なるとして、マップとの組み合わせで 15 地区 19 ケースのシミュレーションを計画した。さらに、特殊なケースとして、全てが均質な可燃メッシュよりなる「属性メッシュマップ」を想定し、風速を 10m/s とするシミュレーションを加え、表-4 に示す合計 20 ケースのシミュレーション計算を実施することとした。

次に、出火点メッシュについては、マップの中央近辺の可燃メッシュ群から乱数を用いて設定する。この方式で出火点メッシュのみを変更し、各ケース 5 回の繰返し計算を実施し、150 分後の延焼面積を算出した。その結果を基に各ケースの平均値 EF_i と分散 VF_i を求め、それらを用いて延焼面積の評価値 Y_i を、

$$Y_i = EF_i + \sqrt{VF_i} \cdots (3)$$

と定義した。表-4 に 20 ケースのシミュレーション結果を示す。

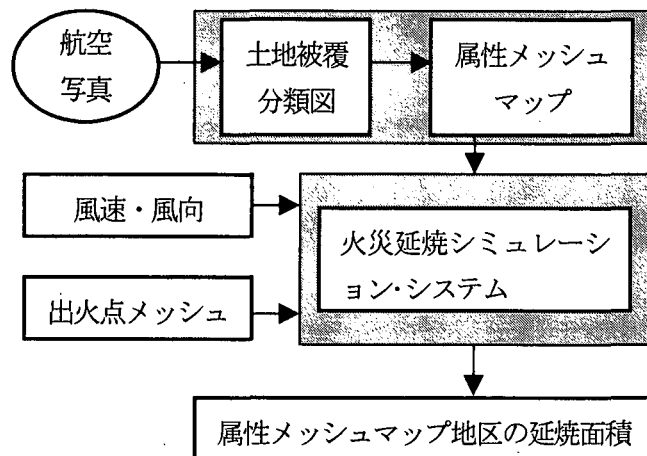


図-4 火災シミュレーションによる基礎データの作成フロー

3-2 土地可燃性指標の重回帰モデルの構成

式(3)の Y_i を直接何らかの基準で分級化することで、地区の土地可燃性指標をランク化することも考えられるだろう。例えば、基準は表-4 の特殊ケース、即ち全てが可燃メッシュという危険性の高い「属性メッシュマップ」の Y 値を使用してもよい。しかし、この方式だと地図化対象地域が広くなり、地区数が大きくなるに従って火災延焼シミュレーションの実行負担が大きくなる。そこで本節では、一種のメタモデルを構成し、シミュレーションの手順をスキップした土地可燃性指標の算定方式を検討する。

市街地火災の延焼性は、拡大化要因と拡大阻止要因とによって規定される。拡大化要因には、木造建物の密集性と風の強さが上げられる。土地可燃性評価では消防力を考慮しないとしているので、拡大阻止要因は、耐火造建物や樹木帯や道路・河川等の空地ということになる。著者らは、これらが連なり、ブロック帯を形成するとき、延焼拡大が阻まれるというシミュレーション結果を既に得ている^{9),10)}。そこで、火災延焼シミュレーションのメタモデルとして、表-4 の 20 ケースのシミュレーション結果を用い、上述の 2 つの延焼拡大化要因と 1 つの拡大阻止要因から成る重回帰モデルの構成を試みる。

即ち、被説明変数を表-4 の Y_i とし、説明変数を、
 X_{1i} : ケース i の属性メッシュマップの木造建物比率
 X_{2i} : ケース i の属性メッシュマップのブロック数
 X_{3i} : ケース i の風速

表-4 シミュレーションケースと結果

ケース	メッシュマップ (地区番号)	風速	EF	$\sqrt{VF}$	Y
1	1	7	163.2	51.5	214.7
2	2	7	138.1	61.7	199.8
3	3	7	131.9	72.3	204.2
4	4	7	265.3	92.2	357.5
5	5	8	124	74.6	198.6
6		7	101.8	60.2	162
7	6	8	95.6	24.0	119.6
8		7	67.6	21.2	88.8
9	7	8	234.6	56.0	290.6
10		7	237.6	50.1	287.7
11	8	8	139.4	67.2	206.6
12		7	142.8	21.9	164.7
13	9	6	48.6	22.1	70.7
14	10	6	148.6	58.6	207.2
15	11	6	231.0	88.8	319.8
16	12	6	195.8	59.3	255.1
17	13	7	66.3	24.8	91.1
18	14	7	138.8	46.6	185.4
19	15	7	148.4	76.7	225.1
20	純木造地区	10	—	—	663

とし、

$$Y_i = a_1 X_{1i} + a_2 X_{2i} + a_3 X_{3i} \cdots (4)$$

$$(i = 1, 2, \cdots 20)$$

の形で重回帰計算を行う。

説明変数内の X_{3i} は風速であり、表-4 に明示されている。 X_{1i} は木造建物比率であり、可燃メッシュ A が保持している木造率 $p[I, J]$ を「属性メッシュマップ」上で集計することで求められる。問題は、属性メッシュマップのブロック数 X_{2i} の算出である。

ここでいう「ブロック」とは、「可燃メッシュ群が不燃メッシュ B や緑地メッシュ G や空地メッシュ」によってほぼ囲まれている状態のことをいう。付図-1 を見れば、B(濃い灰色)や G(緑色)や「」(水色)でほぼ囲まれた A(赤色)群をいくつか識別することはできるだろう。

しかし、「ほぼ」の基準を図-5 のように例示したとしても、人によって判断が異なることが予想される。そこで、その主観性を排除するために、本研究では「属性メッシュマップ」のブロック数 X_{2i} の算出をできるだけ自動化する方式を開発する。図-6 にその基本フローを示す。

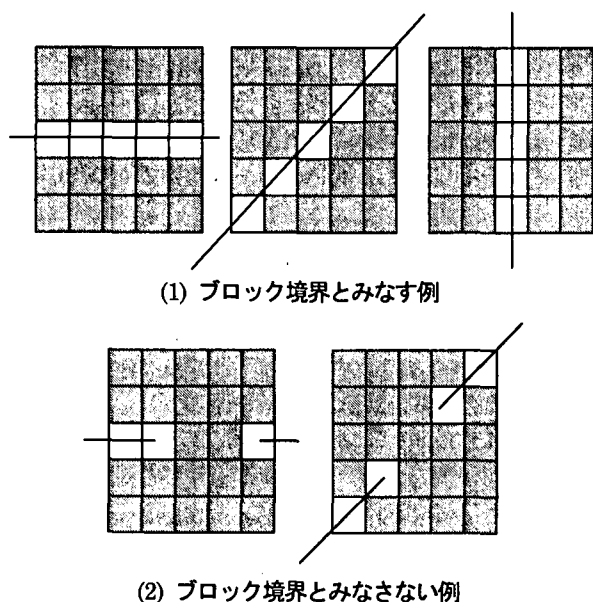


図-5 ブロック境界判断の基準図

自動ブロック数算出システムでは、まず、属性メッシュマップ上で、ブロックを作成しやすくするため、連続性を持たない可燃メッシュの収縮処理を行う。今回は、対象可燃メッシュの左右または上下各2メッシュ計4メッシュが可燃メッシュではないときに対象メッシュを収縮する処理を行った。次に、図-5の基準を遵守し可燃メッシュ群をブロックとして彩色し、作業用ブロックマップを作成した。小さなブロックの増加で土地被覆状態とブロックマップとの整合性が取れなくなることを防ぐため、可燃メッシュ数が6未満となる場合、ブロックとはしないこととした。現システムにおいて、このブロックを彩色する部分のみは手動で、ブロック数を算出する部分も色計測による自動となっている。

このシステムの場合と、人がブロック数を算出する場合の違いは、図-5の基準の遵守性にある。自動化システムの場合には、“ほぼ”の基準は遵守され、主観性は排除されることになるが、形成されるブロックの形状には考慮が及ばない。一方、人がブロック数を算出する場合には、“ほぼ”の基準を尊重しつつ、形成されるブロックの形を考慮する。ここに主観性が働くが、それは良い意味での経験による基準破棄であり、土地被覆状態と整合性をもつ形でのブロック認知につながる。しかし、本論文では、主観性の排除を重視し、図-6の算出システムを用いた土地可燃性指標評価のメタモデル構築を試みる。

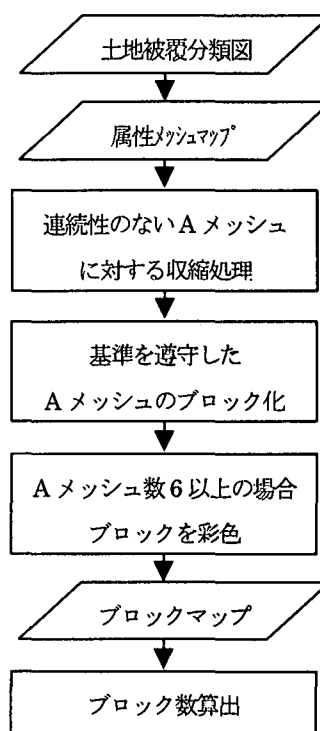


図-6 ブロック数算定の自動化フロー

まず、表-4の15の属性メッシュマップにこの方式を適用し、ブロック数 X_{2i} を算出した。その結果を、 X_{1i} と X_{3i} とともに表-5に示す。次に、この表を用いて回帰式計算を実施した。その結果を表-6に整理する。これより、延焼面積を評価する回帰式は、

$$Y = 8.88 X_1 - 9.46 X_2 + 3.57 X_3 \cdots (5)$$

となる。この決定係数は0.85で、重相関係数では0.92となり、一応の水準にある結果が得られた。

寄与性を見ると、 X_1 と X_2 とが大きく、ほぼ同等の寄与性を持ち、 X_3 が小さいという結果となっている。この意味でもブロック数 X_{2i} の算出から主観性を排除する自動化は重要な課題といえる。

表-5には、式(5)による延焼面積の予測結果からシミュレーションによる算定結果を引いた誤差も示した。正の誤差の場合は回帰式の方が過大評価、負の場合は過小評価となる。誤差に着目し、分類すると表-7のようになる。誤差のほとんど出ていないケースの地区は、不燃メッシュや緑地メッシュや空地メッシュが連続して存在し、妥当なブロック化が行われやすいマップとなっていた。誤差が30%程度あるケースの地区は、図-5の基準では不連続的なためブロックに認識されなかったり、小さなブロックが

表-5 20 ケースの回帰計算データと誤差

ケース	X ₁	X ₂	X ₃	Y	予測のY	誤差(%)
1	43	18	7	214.7	236.5	10.2
2	34	14	7	199.8	194.5	-2.7
3	45	18	7	204.2	254.3	24.5
4	54	14	7	357.5	372.0	4.1
5	36	15	8	198.6	206.3	3.9
6	36	15	7	162	202.8	25.2
7	33	16	8	119.6	170.2	42.3
8	33	16	7	88.8	166.6	87.7
9	36	6	8	290.6	291.5	0.3
10	36	6	7	287.7	287.9	0.1
11	37	16	8	206.6	205.7	-0.4
12	37	16	7	164.7	202.2	22.7
13	30	23	6	70.7	70.2	-0.7
14	45	16	6	207.2	269.6	30.1
15	39	9	6	319.8	282.6	-11.6
16	37	23	6	255.1	132.4	-48.1
17	25	24	7	91.1	19.9	-78.1
18	33	16	7	185.4	166.6	-10.1
19	37	17	7	225.1	192.7	-14.4
20	64	1	10	663	594.6	-10.3

表-6 回帰計算結果

項目	X ₁	X ₂	X ₃
係数	8.88	-9.46	3.57
標準誤差	1.56	1.72	9.61
T 検定	5.70	-5.52	0.37
決定係数	0.85		
重相関係数	0.92		

表-7 誤差タイプ別マップの整理

誤差タイプ	ケース	%	ブロック分布状況
～5%	2, 4, 5, 9, 10, 11, 13	35	どの地区もブロック分けが土地被覆状態と比較的整合性が取れている。
～15%	1, 15, 18, 19, 20	25	細分化した方が良いブロックが少数ある。
～30%	3, 6, 11, 14	20	細分化した方が良いブロックがある一方、小さすぎるブロックがある。
特殊 (+)	7(42%), 8(87%)	10	一つのブロックの中の連続する不燃、緑地、空地メッシュが考慮に入られていない。
(-)	16(-48%), 17(-78%)	10	小さなブロックが土地被覆状態と整合が取れていない。細長い形状のブロックが多い。

点化するマップとなっていた。特殊ケースの 1 つである地区 6 は、中央に河川があるため可燃メッシュ群が偏っていたり、比較的大きなブロックの中に緑地メッシュや不燃メッシュがあるなど、シミュレーションでは考慮されるが、本メタモデルでは取り扱い困難な要素を含むマップとなっていた。もう一方の特殊ケースの地区 12, 13 は、ブロックの条件を単純に可燃メッシュ数 6 以上としたために細長い可燃メッシュ群もブロックとされ、ブロック数が過大評価されたと考えられる。これらより、ブロック数の自動計測やメタモデルの改良に加え、簡便なメタモデル方式の適用条件の明確化も課題となる。

4. 土地可燃性指標の地図化システムの構築

4-1 指標地図化の基本アルゴリズム

式(5)はその誘導方法から明らかなように、1 km 四方の地区の延焼リスクを評価するものである。地域の土地可燃性情報の地図化では、このままでは少し評価地点が粗すぎる。そこで、本研究では 60m 四方、即ち 20m メッシュ 3×3 地区単位での評価地図化を目指すこととした。

土地可燃性は、延焼リスクを評価するものである。

従って、60m 四方の地区の評価に際してもその周辺状況を反映したものであることが求められる。そこで、図-7 に示すように評価対象の 3×3 地区の中心メッシュから 1 km 四方を考慮する周辺として、その延焼リスクを式(5)を用いて計算し、評価対象の 3×3 地区の土地可燃性指標を算出する方式を採用する。即ち、図-7 に示すように作業用の属性メッシュマップを用いて、評価対象 i の 3×3 メッシュを地図化対象の全域をカバーするように移動させ、その周辺 1 km 四方の属性メッシュマップを定め、式(5)の計算に必要な変量である木造建物比率 X_{1i} とブロック数 X_{2i} とを抽出し、指定された風速 X_{3i} 用いて式(5)の Y_i を算出する。そして、 Y_i を指標化し、当該の 3×3 地区のメッシュをそのランク色で彩色化するというアルゴリズムとなる。

X_{1i} の抽出は、周辺 1 km 四方の属性メッシュマップを作業用マップから切り出し、その中の可燃メッシュが保持している木造建物比率を集計するだけでよい。ブロック数 X_{2i} の抽出には、属性メッシュマップの処理が必要となる。作業用属性メッシュマップに対して、開発したブロックマップ作成の自動化アルゴリズムを適用し、作業用のブロックマップを

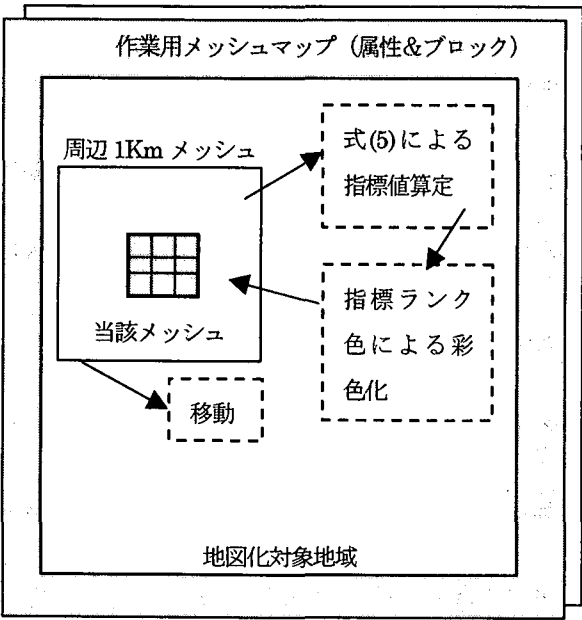


図-7 土地可燃性指標の地図化アルゴリズムの基

表-8 指標ランクの分級化

基準値	指標 ランク値
$Y \geq 1 \times SF$	1
$Y \geq 0.8 \times SF$	2
$Y \geq 0.6 \times SF$	3
$Y \geq 0.4 \times SF$	4
$Y < 0.4 \times SF$	5

生成する。そしてこのブロックマップも同時に切り出すことによって、 X_{2i} の算出も自動的に行われるシステムとした。

このアルゴリズムにおける Y_i の指標化と当該 3×3 地区のメッシュへの彩色化については以下の方式を採用する。式(5)の回帰式誘導の基礎とした火災延焼シミュレーションの検証は、酒田大火を用いて行っている。そこで、指標の基準値を酒田大火の延焼拡大時から 150 分後の延焼面積(SF)とし、表-8に示すような分級化基準により、算出した Y_i の指標化を行う。そして、指標値の表示は赤色系を用い、ランク値間の区別はその彩度差により表現する。

次に、メッシュへの彩色化については、2-2の属性メッシュマップの生成法で提案したメッシュ属性を反映した彩色化を前提に、算定された土地可燃性指標のランク色で、3×3のメッシュを彩色する。

3×3 メッシュ内には、一般的には可燃メッシュ

以外のメッシュも含まれる。可燃メッシュについては算定指標のランク色で彩色するのは当然として、他属性メッシュの彩色化については土地可燃性の情報地図の機能性から幾つかの考え方が出てくる。そこで本研究では、付図-2に示すように、
①属性メッシュマップで可燃メッシュのみを指標ランク色で彩色化する。
②3×3 全てのメッシュを指標ランク色で彩色化し、かつメッシュ境界をメッシュ属性色で彩色化するという 2 案が実行できるアルゴリズムとした。

4-2 地図化アルゴリズムの適用事例と考察

本研究では、K 市の東西 3.5km、南北 5km の地域の土地被覆分類図を作業用基盤マップとし、地図化対象をその中の東西 2.5km、南北 4km の 10km 平方の地域と設定し、本システムの適用を行った。

風速については表-9 に示すように、種々の統計があるが、ここでは平成 12 年 1 月～12 月の各月最大風速の平均値である 14.2 m/s を設定する。作業用マップと設定風速を用いて、対象地域の土地可燃性指標の彩色地図を、4-1 で述べた 2 つの彩色化方式で出力した。紙面の制約のために、付図-3 に②の彩色化方式による出力図を示す。

付図-3 は、中央の緑地帯周辺を除くと、ほとんど赤色となっており、土地可燃性が非常に高いという評価結果がでている。この地図での土地可燃性指標ランク値の度数分布は、表-10 のようになっており、数値的にも危険性が高いことが明らかである。

この指標の算定では、式(5)の係数が示すように、風速が大きいほど、木造建物比率が高いほど、そしてブロック数が少ないほど危険性が高くなる。これらの内、木造建物比率は精度の高いものである。一方、風速は設定したものであり、大きめのものを使用している。危険性の高い地図となった一因は、明らかにこの風速の設定にあるといえよう。また、開発途上の自動化アルゴリズムのために、ブロック数の算定値が小さめとなっていることも考えられる。

作業用の属性メッシュマップを自動化システムで処理したときのブロック数統計と、図-5 に示したブロック帯の形成基準を参照し、著者らが算定したも

表-9 風速統計

月別平均値(1961-1990) 日本気候表より抜粋

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	最大値	平均値
日最大風速	23.9	22.6	25.6	26.7	23.8	20.1	23.2	22.0	32.8	20.2	21.4	27.0	32.8	24.8
風速	2.4	2.2	2.1	2.2	2.1	1.8	1.7	1.7	1.8	1.8	2.1	2.3	2.4	2.0

平成 12 年 月別平均値 気象庁年報 平成 12 年全国気象表より抜粋

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	最大値	平均値
平均風速	4.6	4.7	4.7	4.6	3.5	3.0	3.4	3.0	3.6	3.4	4.2	4.7	4.7	4.0
最大風速	14.8	24.4	15.0	13.5	12.3	9.7	15.7	9.8	12.1	11.7	14.9	16.7	24.4	14.2

表-11 ブロック数の自動と

表-10 リスク度の度数分布

	メッシュ数	割合 (%)
リスク 1	22410	86.43
リスク 2	1701	6.56
リスク 3	1170	4.51
リスク 4	549	2.12
リスク 5	99	0.38

K 方式の比較表

	自動	K方式
平均	14.20	18.14
標準偏差	4.41	3.19
最小値	3	9
最大値	28	27
全体ブロック数	200	239

のとの比較表を表-11 に示す。総数で 16%, 平均で 21%, 自動化システムの方が少ない。また、最大値はほぼ一致するが、最小値では自動化システムの方がかなり少なくなっている。これらを考えると、ブロック数の過少評価が土地可燃性評価を過大にしているという面も否定できないだろう。

今回は、図-5 に示すような単純な基準による自動化を考えた。主観性を排除するという面では成果があったが、経験者が、ブロック帯の意味を考慮し、柔軟に判断をしているときの基準を取り込む工夫で、主観性を排除しつつ決定係数をさらに向上させる自動化アルゴリズム開発が課題となるだろう。

最後に、防災計画への支援事例の検討を行った。ここでの防災計画とは、目標とする土地可燃性指標ランクに改善させるための延焼阻止要因の増大化策である。具体的には、土地可燃性指標ランク値が高く、赤色メッシュが広がっている地区において、既存の不燃メッシュ(B)や緑地メッシュ(G)や空地メッシュ(〃)を活用し、ブロック帯を数多く形成するための可燃メッシュ群(A)のBやGや〃メッシュへの改変計画案を意味する。詳細は省略するが、付図-4 に、改変計画案の土地可燃性指標の再評価地図を、現状地図と対比して示す。

この指標での防災計画造りでの重要な点は、ある

地区の改善は、その地区の指標ランク値を改善するだけではなく、他地区の指標ランク値の改善をももたらすということである。しかも、2 m 解像度という高い精度を持つ土地被覆分類図を活用することで実現可能性の高い改変策の検討が可能となり、目標を定めてのマスタープラン造りとともに、地方の財源で一歩ずつ推進する計画造りの支援面でも寄与できると考えている。

5. あとがき

本研究では、まず地域の 2m の解像度を持つ「土地被覆分類図」から出発し、その「属性メッシュマップ」への変換を経て、既開発の火災延焼シミュレーションシステムとの連携化を図り、さらに、シミュレーション結果を用いた回帰モデルを誘導し、それに基づく土地可燃性指標の算出とその地図化システムを開発した。この「属性メッシュマップ」の生成方式は、火災延焼シミュレーションの入力マップの精度を大幅に向上させるとともに、それ自身も地域の木造建物の密集性や防火ブロック帯の形成性の全体像を把握する基礎地図として十分に機能することが示せた。土地可燃性指標の基礎となる回帰モデルについては、決定係数で 0.85、重相関係数で 0.92 という一応の水準の結果を得た。このモデルの説明変数は、木造建物比率と風速という拡大要因と、耐火造や緑地や空地の帯で形成されるブロック数という阻止要因であり、防災計画の具体的な代替案として、単に木造建物を耐火造のビルにするのではなく、緑地や空地を活用したブロックの形成というアイデアを内包したものとなっている。これは、伝統都市を抱える地方の防災計画にとっては重要な要件で

あり、それに答えるものであるといえよう。

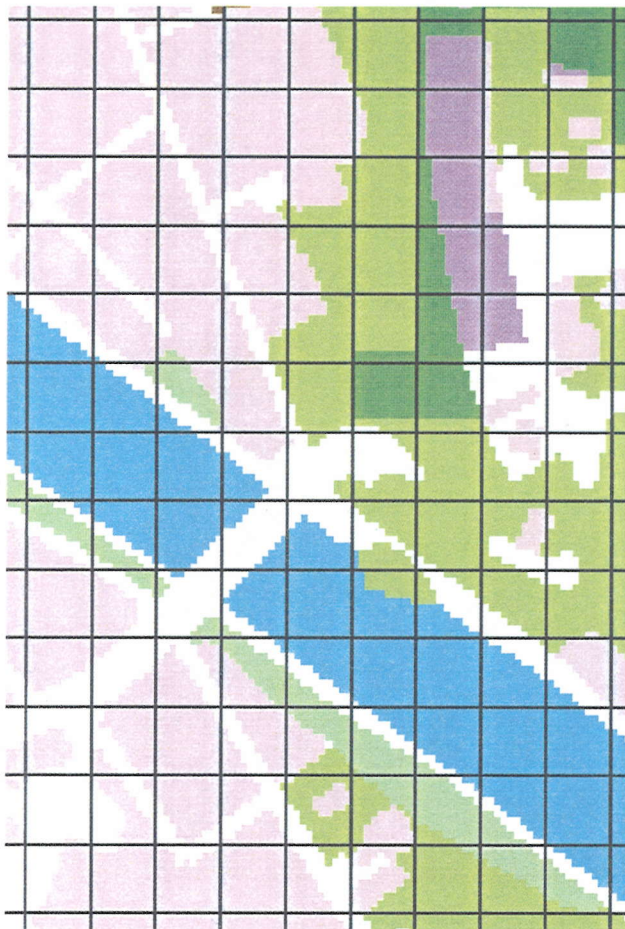
また、回帰モデルの導出に際して、ブロック数の算定から主観性を排除する自動化のアルゴリズムを開発し、その算定結果を使用した回帰計算を試みている。シミュレーション結果との誤差分析から、この方式の適用範囲問題に言及するとともに、改良点として、形成されたブロック形状の判断部の付加をの重要性も明らかにしている。

地図化システムの適用事例では、K 市を対象に 60m メッシュでの指標評価を行い、算定ランク値を赤色の彩度差で表示したカラーの出力地図を示した。中央に大きな緑地地域があり、耐火造による灰色の不燃メッシュ帯が道路沿いに展開し、周辺部に土地可燃性の高ランク色である彩度 100 の赤色の可燃メッシュが広がっており、この部分の防火計画が必要となることを明確に示すことができた。また、その一例として、不燃や緑地や空地への改変によるブロック帯の形成代替案の評価結果である出力図も示した。まだまだ課題はあるが、本システムが地方自治体による独自の防火計画の策定を支援する機能をいくつも持つことを示すことができたと考える。

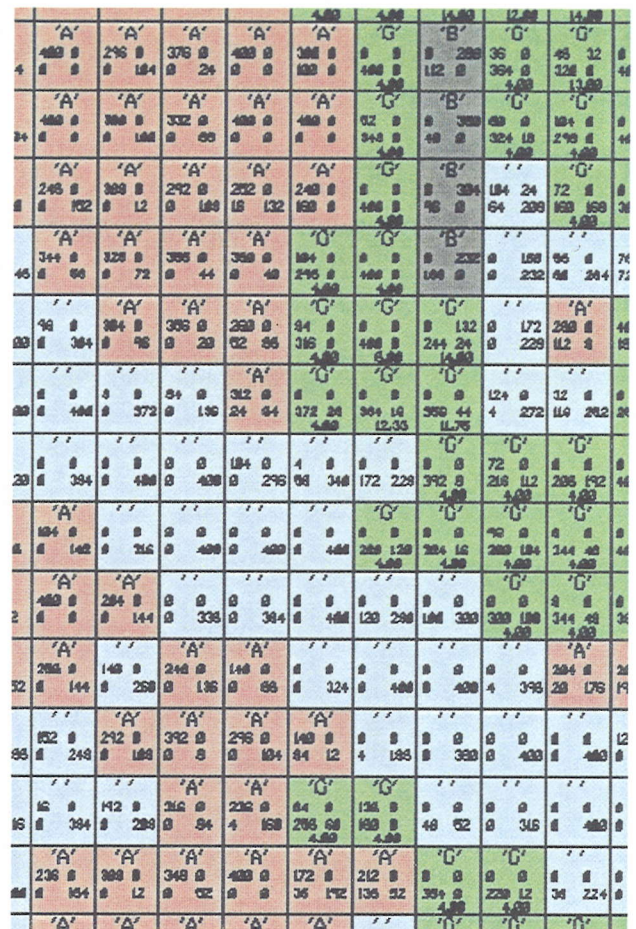
最後に、当面の課題を整理すると、まず、本システムの基礎となる土地可燃性指標の回帰モデル式の導出で使用する、ブロック数算定の自動化アルゴリズムの改良が上げられる。具体的な改良点は、上でも述べたように、ブロック形状の判断部アルゴリズムの追加である。これにより決定係数がさらに向上すると期待している。次は、出力地図の形式と指標ランクの彩色化の検討である。これについては、彩色化情報の読み取り実験等が必要になると考えている。防災代替案の形成や結果の活用法については、ほとんど触れなかったが、2m 解像度の「土地被覆分類図」を活かした実行可能なブロック帯の形成法や、河川や用水等を含む消防水利情報の表示化の検討も課題であると考えている。

6. 参考文献

- 1) 国土庁土地局：土地環境モデル事業・金沢地区モデル調査成果図，1999.3
- 2) 土地総合研究所：土地環境情報整備手法検討業務報告書，2000.3
- 3) 木俣昇：大震時火災の延焼シミュレーションの開発について，金沢大学工学部紀要，15-2，127～138，1982.11
- 4) 木俣昇：大震時避難計画のための火災延焼シミュレーション・システムに関する研究，土木計画学研究・論文集，2，125～132，1985.1
- 5) 木俣昇：大震時避難計画のためのメッシュ型火災延焼シミュレーション・システムに関する検証，J. of Operations Research Society of Japan，30-1，59～86，1987.3
- 6) 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，金沢大学工学部紀要，20-1，71～78，1987.3
- 7) 木俣昇，二神透：福光耐火のシミュレーションと復興計画の評価，金沢大学教育解法センター紀要，8，73～84，1988.3
- 8) 木俣昇，二神透：シミュレーションによる防災緑地網整備計画の支援システムに関する研究，土木情報システムシンポジウム講演集・「査読論文」，15，175～182，1990.
- 9) 木俣昇，二神透：防災緑地網整備計画支援のための火災延焼シミュレーション・システムの開発，土木学会論文集，449/IV-17，193～202，1992.7
- 10) 二神透，木俣昇：防災緑地網整備計画支援のための火災延焼シミュレーション・システムの拡張化に関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，17，353～360，2000.9
- 11) 二神透，財間圭史，木俣昇：シミュレーションを用いた地区防火区画支援システムに関する基礎的研究，土木計画学研究・論文集，17，353～360，2000.9
- 12) 小林正美：シミュレーション・モデルによる都市の防災化の研究，都市計画，別冊-9，97～102，1974
- 13) 酒田市建設部：酒田大火・復興建設のあゆみ，1979.
- 14) 山形県建築士会：酒田大火災害特集，山形県建築士会誌，67，1978
- 15) 福光大火編集委員会：福光大火誌，富山県福光町，1980
- 16) 日本火災学会編：火災便覧，共立出版，1997
- 17) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック，東京大学出版会，1999



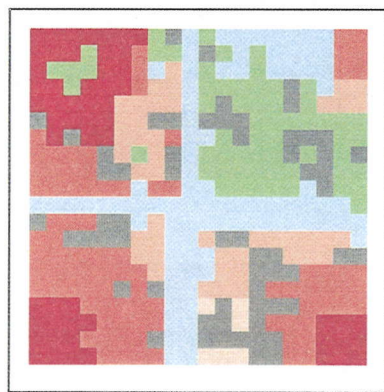
(1)土地被覆分類図(20m メッシュ)



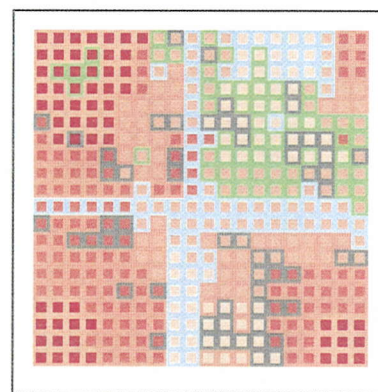
(2)属性メッシュマップ

付図-1 属性メッシュマップ出力図事例

可燃 不燃 緑地 空地



①可燃メッシュのみ指標ランクで彩色



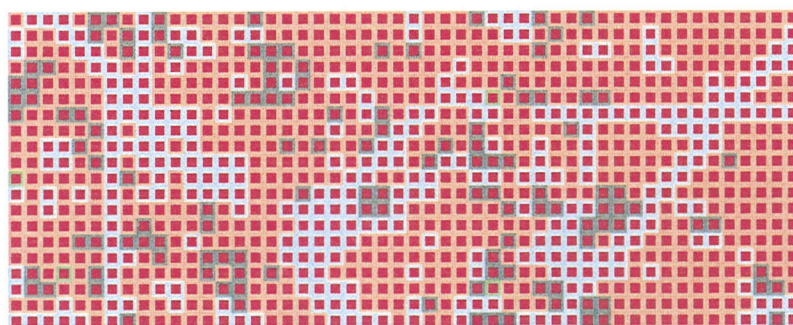
②全てのメッシュを指標ランクで彩色

付図-2 地図出力の2方式の例



■ ランク 1 ■ ランク 2 ■ ランク 3 ■ ランク 4 ■ ランク 5

付図-3 出力地図



(1)土地可燃性の現状評価図



(2)ブロック形成案の評価図

付図-4 代替案の評価比較図