木造密集市街地の抽出方法に関する研究・神戸市

都市の火災危険度予測についての考察

A FEASIBILITY STUDY OF EXTRACTION METHOD OF DENSELY CROWDED
AREAS WITH WOODEN BUILDINGS IN THE KOBE GOVERNMENT

Considering of evaluation of urban fire hazard

片山 律*, 小泉俊雄**, 東海林 理有***

Ritsu KATAYAMA, Toshio KOIZUMI and Masato SHOZI

At 5:46 a.m. on January 17th, 1995, the worst disaster in postwar Japan changed Kobe. The ratio of the Kobe Government's houses destroyed by fire came to 98.9% in all of the burned out area. The reason for this is that it was a man-made disaster compared with the direct course of this great earthquake. As it turned out, the houses and other buildings densely packed in the narrow streets in the city center may have been the main factor of this Kobe urban disaster. Therefore, we feel that it would be good to improve the realizability of regional disaster prevention. This paper examines a report on districts suffering damage, and various analysis of building types derived from aerial photogrammetric surveying, Urban geographic information system and remote sensing in Kobe city, all of which must be taken into account in the determination of districts at risk before an earthquake occurs.

Keywords: Urban Disaster Prevention Project, Great Hanshin Earthquake, Aerial Photograph, GIS, Remote Sensing

都市防災計画, 兵庫県南部地震, 空中写真, GIS, リモートセンシング

1. 研究の前提

1995年1月17日M7.2の兵庫県南部地震いわゆる阪神大震災が発生したことは周知の事実である。これにより発生した火災による家屋焼失件数は7,456棟であり中でも神戸市内の家屋焼失件数は7,377棟であり実に全体の98.9%をも占めた。風向、風速が比較的穏やかな中でのこの現実には直接の原因が地震に要因を発するものの、密集市街地における木造建築物の混在化・道路狭小等の要因も考えられ人災であるとの指摘も否めず、地理情報の充実とそれに伴う地域危険度評価技術の研究が急務であると考えられる(写真1)。

写真1 建物が密集している。又、道幅は車1台通るのが精一杯であり、大規模火災を引き起こした原因であろう

そこで本研究では兵庫県南部地震を事例として空中写真判読及び地理情報システム解析、リモートセンシング等を用いてそれらの手法の特徴及びそれぞれが持つ解析能力の有効性の考察を通して、火災延焼危険地区の指摘・抽出を行うことを目的として以下に示す研究展開を行った。

2. 研究の目的

研究展開にあたっては、以下に示す3つの分析手法の有効性を検討することを目的に、研究を進めた。

①空中写真による建物構造種別分類からの分析手法

震災前の空中写真を判読することにより、そこから理解できる建物構造種別分類から火災延焼危険地区の検出を行う分析手法である。

②リモートセンシング解析による土地被覆分類からの分析手法

衛星画像データを用いてのリモートセンシング解析により概括的な土地被覆分類から同様の危険地区予測を行う手法である。

③GISを用いた危険地区の抽出手法

建設省作成の被害調査¹⁾から求められた様々な地理情報を用いて同様に危険地区を予測する手法である。

以上の3手法を用いて火災延焼危険地区の抽出を行い、各々の手法の有効性及び特徴を理解することを研究目的とした。

* 千葉工業大学建築学科 専任講師・工修

** 千葉工業大学土木工学科 教授・工博

*** 千葉工業大学大学院土木工学専攻

Lecturer, Dept. of Architecture, Chiba Institute of Technology, M. Eng.
Prof., Dept. of Civil Engineering, Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.
Graduate School, Dept. of Civil Engineering, Chiba Institute of Technology

3. 研究展開

3.1 建物構造種別の分類

建物構造種別の理解にあたっては、1/2,500 地形図、1/2,000 住宅地図、震災前の 1992 年撮影神戸市全域の 1/10,000 パンクロ航空写真、及び現地調査 (1995.05.20～27) から得た資料及びデータを基にして建物構造種別分類図の作成を行った。

3.1.1 空中写真判読による分類図の作成

神戸市全域の空中写真を実体鏡^①を用いて実体視し判読を行った。実体鏡による実体視とは、ステレオで撮影された 2 枚 1 組の空中写真と実体鏡を通しての目視により建物構造種別とその高さを判読した。判読にあたっては 3 階以上の建物は高さで構造種別を容易に判読できるが、平屋及び 2 階建ての木造建築物は木造か非木造か等の構造種別の確定は甚だ難しい。一方、オープンスペースとしての空地、公園、駐車場等は住宅地図を併用することによりその判読は可能である。このように、空中写真を用いての構造種別分類は上空からの屋根材の判読及び高さの判読に左右される。表 1 に判読の鍵となった点を示すとともに、これにより作成された新長田駅南口の空中写真判読図を図 1 に示す。

3.1.2 現地調査に基づく分類図の作成

神戸市内の現地調査によって残存建物の構造種別を空中写真判読結果と相違ないかを詳細に把握した。新長田駅南口の現地調査図を図 2 に示す。

3.1.3 建物構造種別分類図の作成

空中写真による構造種別分類、住宅地図、及び現地調査図を比較しながら、判読状況を確かなものとして図 3 に示す詳細な建物構造種別分類図を作成した。

表 1 建物構造種別の判読の鍵

土地被覆種別	判読の鍵
木造建築物	<ul style="list-style-type: none"> ・地図上では実線で記載 ・形は単純である ・平屋、二階建の区別は実体鏡で判別
非木造建築物	<ul style="list-style-type: none"> ・地図上では太枠で記載 ・3階以上では地図に数字で記載 ・規模が大きい
オープンスペース 空地、公園、駐車場	<ul style="list-style-type: none"> ・空中写真で判読 ・住宅地図で判読 ・建築物が来ている可能性が有る→住宅地図を見る

図 3 建物構造種別分類図

3.1.4 判読結果の正解率について

表 2 に建物構造種別分類図作成における判読状況結果を示す。表の上段は、実体鏡、地形図によって判読したものに住宅地図を重ね合わせた値である。表の下段は事前に実体鏡、地形図の 2 つだけを使用して判読した値である。木造以外の構造物では 3 階以上の判読状況は良いが、2 階以下での判読は難しい。また、木造は平屋及び 2 階以上どちらも判読状況は 75% 程度でその判読の難しいことを表している。オープンスペースにおいては判読不可の物は無くほとんど空中写真からの判読は可能であった。

表 2 建物構造種別判読状況(新長田駅南)

構造種別	調査個数	判読可	判読不可	正解率%
木造	平屋	4 (3)	3 (1)	75 (75)
	2階	33 (24)	25 (9)	76 (73)
木造 以外	2階以下	10 (4)	7 (6)	70 (40)
	3階以上	32 (28)	29 (4)	91 (88)
Open space	4	4 (4)	0 (0)	100 (100)

上段：実体鏡、地形図、住宅地図 使用

下段()：実体鏡、地形図 使用

3.1.5 建物構造種別分類図から見た地区特性

表 3 に今回調査した 4 つの研究対象地区の神戸市長田区、兵庫区、灘区、東灘区の地区別建物構成比率から見た地区特性を示す。これによると、火災発件数の多かった長田地区、灘地区に関しては、オープンスペース率が低く、木造構造比率が高いことが分かり、被害状況から勘案すると、都市災害における市民生活の安全性は利用可能な緩衝帯としてのオープンスペースの有無に左右されると思われる。

表 3 研究対象地区の地区特性(建物構成比率)

建物構造種別		長田区	兵庫区	灘区	東灘区
		%	%	%	%
木造構造物	1F	5	4	9	5
	2F～	32	39	25	19
非木造構造物	1,2F	25	8	20	10
	3,4F	12	11	15	11
	5F～	7	2	6	5
オープンスペース		19	36	25	50

図 1 空中写真判読図(新長田駅南)

図 2 現地調査図(新長田駅南)

3.2 リモートセンシング解析

3.2.1 建物構造種別分類図をランドトゥールースとした土地被覆分類

リモートセンシングとは、太陽光の反射波や物体の発する放射波をセンサーにより受信し、その物体の性質を同定する技術である。リモートセンシング衛星画像を用いることにより、空中写真や地域データベース(土地利用図等)よりも短い周期で最新の情報を得る事が出来る。このようなリモートセンシングの情報抽出の効用性に着目し災害前の神戸市における土地被覆分類を行った。

先の空中写真の実体視及び現地調査によって作成された建物構造種別分類図をランドトゥールースデータとして、衛星画像からのリモートセンシングデータを基に、各分類クラス別のスペクトル値を同定して種々の土地被覆分類を詳細に調査した。用いたデータは 1984 年 9 月 6 日撮影の Landsat TM データの画像である。分類項目は木造密集地区、非木造密集地区、オープンスペース(緑地、裸地)、水域による分類を行った。この結果得られたものが図 4 のバンド別のスペクトル値であり、そこから導き出された土地被覆分類図を図 5 に示す。

土地被覆分類図と建物構造種別分類図を重ねて比較してみると概ねの一致はあるものの未分類部分を多く含んでいる。よって、リモートセンシング解析上での土地被覆分類図の精度向上に向けては、次の研究展開で示す各分類クラス別の構成材料でのスペクトル値を分光反射計を用いて詳細に把握しなければならないという問題点を得た。

図 4 クラス別スペクトル値

図 5 建物構造種別からの土地被覆分類図

3.2.2 分光反射計による追求

リモートセンシング解析上でのより良い分類精度を得るために、分光反射計を用いて各種の土地被覆材料すなわち木造屋根材、RC 構造物、オープンスペース(緑地、裸地)、水域等のそれぞれの材料による分光反射特性を知ることが目的として、分光反射実験を行い、より正確な土地被覆分類を行った。

分光反射実験では、標準白色板と土地被覆分類項目材料を用意して、適切な日射量が臨める場所にて、分光反射計によりその反射率を 3 回測定してその平均値を測定値とした。図 6 に今回の実験フローを示す。又、実験に使用した土地被覆分類項目での実験材料の品目・色彩と材料品名でのその測定場所を示したものが表 4 である。

図 6 分光反射実験フロー

表 4 分光反射実験試料

構造種別	種別	測定場所	色
木造構造物	平板厚型スレート		黒×3
			茶×2
			パールグレー×2
			深緑
			濃赤
			明緑
非木造構造物	和瓦		灰
			黒
			黒
RC構造物	防水層	津田沼校舎4号館屋上	緑
		津田沼校舎4号館屋上	白
		芝園校舎屋上	灰
オープンスペース	コンクリート敷	芝園校舎屋上	灰
		津田沼校舎歩道	赤・灰・白
		新習志野駅周辺	白
	タイル	芝園校舎	レンガ
		津田沼校舎駐車場	
		津田沼校舎グラウンド	
緑域	アスファルト	芝園校舎	
		津田沼校舎	
		芝園校舎	
水域	土	津田沼校舎	
		芝園校舎	
		芝園校舎池	
	砂利道	菊田川	

3.2.3 修正域値による土地被覆分類精度の理解

分光反射実験により得られた各種構成材料の各バンド別測定反射率の
木造屋根材料での結果を示したものが図7である。

図7 分類域値と反射率

図7で示されたものは木造屋根材の域値を表したもので、左側にあるグラフは今回の分光反射実験で得られた各種木造屋根材の反射率であり、右側にある実線で示された折れ線グラフは初期の段階で作成した建物構造種別分類図をグランドトゥールースデータとして求めた各バンド別スペクトル値の上限域と下限域を示したものである。

以上のようにして様々な実験材料を基にした反射率及びスペクトル値からバンド5~7については上限及び下限を修正域値とし、バンド1~4については反射率×255を上限及び下限の値と比較し修正域値とした。表5に示す分類クラス別のバンド別修正域値一覧を用いて再度土地被覆分類を行った結果が図8の修正域値・土地被覆分類図である。なお、今回の採用バンドは3,4,7を用いた。3,4バンドは植生域を表し、4,7バンドは都市化を検知することの効用性からこれらのバンドを選定した。

表5 修正域値一覧

分類クラス	BAND1	BAND2	BAND3	BAND4	BAND5	BAND6	BAND7
木造 Lower	88	37	40	37	53	173	30
木造 Upper	111	49	60	59	77	187	52
分光器 平均Data 1~15	58.89	61.296	61.536	70.844	*	*	*
修正 Lower	88	37	40	37	53	173	30
修正 Upper	111	61	62	70	77	187	52
RC Lower	84	35	38	30	41	165	24
RC Upper	108	47	57	53	65	191	46
分光器 平均Data 21~24	38.666	51.224	49.186	60.723	*	*	*
修正 Lower	84	35	38	30	41	165	24
修正 Upper	108	51	57	61	65	191	46
裸地 Lower	81	32	32	38	44	173	26
裸地 Upper	171	95	140	118	212	189	127
分光器 平均Data 25~30	42.766	53.400	59.780	68.495	*	*	*
修正 Lower	81	32	32	38	44	173	26
修正 Upper	171	95	140	118	212	189	127
緑地 Lower	68	27	21	42	40	173	17
緑地 Upper	102	47	56	100	93	185	57
分光器 平均Data 18~20	12.513	29.288	28.702	102.939	*	*	*
修正 Lower	68	27	21	42	40	173	17
修正 Upper	102	47	56	100	93	185	57

図8 修正域値を用いた土地被覆分類図

3.2.4 リモートセンシングによる土地被覆分類の判読精度

今回の分光反射実験により算出された域値修正値による土地被覆分類での画像上での画素数と先の建物構造種別分類図での画像上画素数の相対比率から判読精度の考察を行った。

$$\text{判読精度(\%)} = \frac{\text{土地被覆分類図(Pixel)}}{\text{建物構造種別(Pixel)}} \times 100$$

3.1での建物構造種別分類図と今回3.2で示したリモートセンシングの土地被覆分類から求めた判読精度の状況を表6に示す。

表6 土地被覆分類の判読精度

		土地被覆分類図				判読精度
		木造構造物	非木造構造物	裸地・緑域	計	
建物構造種別分類図	木造構造物	449	148	175	772	58.2%
	非木造構造物	565	170	331	1066	15.9%
	裸地・緑域	445	108	291	844	34.5%
計		1459	426	797	2682	

判読精度を考察すると、リモートセンシングによる解析では木造構造物では58.2%及び裸地・緑域では34.5%の重なりがあり、概ね判読精度は良いものの、非木造構造物での15.9%を勘案するとその判読精度が悪いことが分かる。このことから、密集市街地での各建築物の屋根材の分類精度向上には困難さが残る結果を得た。すなわち、分光反射計が1~4バンドは可視光、近赤外の測定であり、屋根材料としての岩質変化の特質を知る短波長赤外・バンド7が取れていない。また、非木造(RC)と道路との反射特性の類似による分類誤差と言えよう。よって、今回の分光反射実験によって未分類領域の解消には寄与し、木造構造物の分類精度向上に役立ったが、非木造の分類精度の向上を図らなければ木造密集地区抽出精度の向上にはつながらないとの課題を得た。しかしながら、リモートセンシング解析は簡便な手法にて概略的な土地被覆の把握には有効であるとの考察点を得た。

3.3 総合危険地区の予測

3.3.1 危険要因調査項目の選定

本研究で扱う対象地区は木造が密集している市街地状況を呈している。木造密集市街地が必ず火災延焼の危険があるとは言えないが、しかし今回の地震において火災が起き延焼した地区は木造密集地であるため、火災延焼危険に繋がる項目を選定し危険度ランクの検討を行った。3.1で求めた建物構造種別分類図及び平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書²⁾、また

神戸市消防局発行・神戸市最適消防力調査報告書³⁾から、火災・延焼危険予測に繋がると思われる様々な要因項目を選定し、町丁目単位で GIS データベース化を行った。なお、ベクターデータとしては国土地理院の数値地図 10000 総合を用いた。選定した調査項目を表 7 に示す。

表 7 調査項目

1	人口密度	17	ネット容積率
2	事業所数密度	18	戦前建築物率
3	住宅地面積率	19	延床面積(W)
4	平均ガス消費量	20	延床面積(LG)
5	出火件数	21	延床面積(CB)
6	焼損面積	22	延床面積(RC)
7	放水開始時間	23	建築件数(W)
8	死者数	24	建築件数(LG)
9	傷者数	25	建築件数(CB)
10	10年間焼損面積	26	建築件数(RC)
11	10年間物的損害額	27	総棟数
12	10年間総損害額	28	宅地面積
13	木造率	29	土地面積
14	防火造率	30	町丁目面積
15	耐火造率	31	棟当宅地面積
16	延焼速度比	32	オープンスペース率

3.3.2 総合危険度の算出・危険地区予測図の作成

火災危険予測に繋がると思われる様々な調査項目と火災延焼地区がどの様に重なり合っているかの被害を及ぼしたかを判断評価するためには調査項目を段階分けする必要がある。そこで、3.3.1 で選定した各調査項目のそれぞれの値の最大値・最小値の差から 5 段階にランク分けを行いそれぞれの項目での火災延焼予測につながる危険度ランクとした。更に総合危険度の選定にあたっては、先の建物構造種別分類の結果を考察して、“木造率”・“オープンスペース率”を選定し、また延焼の拡大には延焼速度も関係することから浜田の“延焼速度比”⁴⁾の 1 項目を加えてこれら 3 項目を総合危険度として選定し、それぞれの危険度ランクの和の値を 5 段階にランク分けすることにより危険予測図を作成した。それらの危険地区予測図を図 9 に示す。

図 9 火災危険地区予測図

3.3.3 火災ランク図の作成

3.3.2 で検出した総合危険度としての危険地区予測評価が妥当かどうか判断するため、阪神大震災状況下での火災状況図を国土地理院発行の兵庫県南部地震被害現況図⁵⁾より作成した。しかし、火災状況図は単に町丁目

領域での延焼火災状況を示しているため、次いで町丁目毎の火災面積と町丁目面積との割合から火災焼失率を算出して今回の火災ランク図を作成した(図 10)。

このようにして、面的な広がりとしての火災状況を単位面積あたりの火災焼失率として罹災の強弱から火災ランク図として作成した。

図 10 火災ランク図

3.3.4 総合危険度予測の信頼性の判定とその検討

総合危険度予測がどの程度信頼でき、どの程度評価にばらつきがあるかを先に示した木造率・オープンスペース率・延焼速度比から求めた総合危険度と今回罹災した火災地区の火災ランク図との重ね合わせを相対比較してその重なった地区の重合性(ヒット率)を算定した。それらを求めた表が表 8 である。

表 8. 危険予測の信頼性の判定結果

⑤ 危険度予測-火災ランク				火災ランク-危険度予測			
総合危険度	地区数	火災 ランク⑤	ヒット率	火災ランク	地区数	総合 危険度⑤	ヒット率
⑤	21	9	42.86%	⑤	11	9	81.82%
④	21	2	9.52%	④	13	7	53.85%
③	20	0	0.00%	③	17	2	11.76%
②	5	0	0.00%	②	11	0	0.00%
①	4	0	0.00%	①	19	3	15.79%
④ 危険度予測-火災ランク				火災ランク-危険度予測			
総合危険度	地区数	火災 ランク④	ヒット率	火災ランク	地区数	総合 危険度④	ヒット率
⑤	21	7	33.33%	⑤	11	2	18.18%
④	21	6	28.57%	④	13	6	46.15%
③	20	0	0.00%	③	17	7	41.18%
②	5	0	0.00%	②	11	2	18.18%
①	4	0	0.00%	①	19	4	21.05%
③ 危険度予測-火災ランク				火災ランク-危険度予測			
総合危険度	地区数	火災 ランク③	ヒット率	火災ランク	地区数	総合 危険度③	ヒット率
⑤	21	2	9.52%	⑤	11	0	0.00%
④	21	7	33.33%	④	13	0	0.00%
③	20	6	30.00%	③	17	6	35.29%
②	5	1	20.00%	②	11	6	54.55%
①	4	1	25.00%	①	19	8	42.11%

図 9 と図 10 を比べて考察してみると危険予測図に表示された総合危険度 ⑤④③の地区は大規模な火災のあった火災ランク図⑤④③の地区と概ね一致している事が分かる。尚、危険予測図出来た地区は 46 地区であり、火災規模が比較的大きかった地区は 35 地区であり重合率(ヒット率)は 76.1% となった。

このことから市街地における木造建築物の密集性やオープンスペースの割合が地震における火災・延焼に大きく影響を与えている事、またそれらの要因を読み取ることにより火災危険地区予測はある程度可能であることを理解した。しかし総合危険度ランクを⑤④③まで読み取らなければ火災危

危険予測に繋がらない現状であり危険度ランクを⑤④までの2段階で読み込めば予測が可能になるように今回の地理情報システムによる危険度予測の精度の向上に努めなければならないことを理解した。

4 意見及び考察

4.1 建物構造種別分類図

3.1で作成した建物構造種別分類図における各町丁目単位の木造建築物の占有率から木造密集の度合いをランク分けしたものを図11に示す。この結果、図10に示した火災ランク図との重ね合わせを比較してみても概ねの一致が認められ危険予測出来た地区は今回調査した長田・須磨地区では38地区であり、そのうち火災の大きかった地区は27地区であり予測率は71.1%となった。

図11 建物構造種別による木造建築物ランク図

一方、3.1.3 建物構造種別分類図の作成で述べたように、木造以外での2階以下及び木造平屋での判読精度が更に向上したものとすれば、総合危険度の予測率は上がると思われるため、空中写真分析では低層建物(1~2階)での建物種別の判読精度向上が望まれる。

4.2 リモートセンシングによる土地被覆分類

同様にリモートセンシングによる土地被覆分類から求めた結果を基にして、木造のみのピクセル数(図12)と火災ランク図との重なりを比較したところその重なり率は58%であった。一般に概括的な把握とされてきたリモートセンシング解析でも6割近い予測が出来ることを鑑みると、その利便性は評価でき、非木造建造物の未分類領域の消化と木造建造物の精度向上を図れば更なる危険度予測に繋がるであろう。

図12 リモートセンシングによる土地被覆分類図(木造のみ)

4.3 総合危険地区の予測

危険地区予測図と火災ランク図の比較から火災危険予測出来た地区では長田・須磨地区では76.1%との報告を既にした。

この予測率に着目すると、危険地区の予測がされたからと言って火災が

起きるとは限らないが火災が起きた所は木造率・延焼速度比が高く、オープンスペース率が低い地区であることが理解出来た。よって、木造密集市街地の防災整備法案の早期の実施による防災性の向上が望まれる。

5 まとめ

本稿の研究では、木造密集市街地での火災危険度の予測について、空中写真解析(建物構造種別)・リモートセンシング解析(土地被覆)・地理情報システム解析(GIS)を行ったが、それぞれでの火災危険予測率は71.1%,58%,76.1%であった。リモートセンシング解析による予測率は他の7割の予測からすると58%と精度は落ちる。TMデータの1ピクセルは30m四方であり、この1ピクセルの中で、木造か木造以外かを判読する事は難しいが、都市化かそれ以外かを的確に判断する手法の開発が必要であろう。リモートセンシング解析による予測率が60%近くの値が得られている事を考えると、他の手法に比べ予測率が落ちるとはいえ、空中写真解析での調査労力の膨大さ及びGIS解析での情報項目取得の困難さ等から比べると、リモートセンシングを用いた解析手法は、定期的に撮影が行なわれ最新の情報を得ることが出来る簡便な火災危険地区予測の手法は都市域における広範囲な地震時火災の概略的災害予測手段として有効である事を理解した。今回は主に長田・須磨地区での考察を行ったが、同手法によって他地域への展開も可能であると考えられる。

この様に、木造密集市街地での火災危険予測を3つの分析手法で提示したが、今後は分析能力向上もさることながら各分析手法の利点と問題点を更に追求していかなければならないという課題を得た。

一方、研究による予測に終わることなく、危険物の除去を促し、耐火建築物への建て替えという、防災街区の取り組みの課題解決が急務であることは言うまでもない。

補注

- (1) 実体鏡：空中写真2枚(互いに60%重ね合わせる)に実体鏡を使用することで立体視し、そこから建物構造種別と建物高さを判読する。例えば、建物高さは周囲の高さとの見比べによる相対評価となるため、視線分離には訓練を要する。

参考文献

- 1) 建設省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書，1995.08
- 2) 国土院：平成7年兵庫県南部地震災害現況図第Ⅱ版，1995.04
- 3) 近畿大学工学部：神戸市消防局：神戸市最適消防力調査報告書概要，1985.03.30
- 4) 浜田 稔：火災(中田 金一編)，共立出版，1989

(1997年8月27日原稿受理，1998年6月10日採用決定)