

- 26 垂直航空写真の輪郭線情報に基づく建物被害エリアの判別 に関する基礎的研究

A Basic Study on Detection of Debris of Damaged Area Based on Outline Information of Vertical Aerial Photographs

安部真理子¹・成行義文²・源貴志³・平尾潔⁴

Abe Mariko, Nariyuki Yoshifumi, Minamoto Takashi, and Hirao Kiyoshi

抄録： 兵庫県南部地震発生（1995年）の翌日に撮影された神戸市における被害地区の空中写真を用い、それらのエッジ情報から得られる輪郭線画像の特徴を利用して、建物被害エリアを抽出する一手法を提案した。輪郭線画像としては、輪郭線抽出画像に加え、それらの画像に細線化あるいは太線化の処理を行った計3種類の画像を対象とし、また各画像の特性値として、輪郭線ピクセル数・フラクタル次元・要素数に着目した。画像分割メッシュの各特性値による順位付け結果と目視判読による瓦礫部メッシュの抽出結果との比較より、太線化処理（1回）された画像のフラクタル次元が瓦礫部判別指標として最も適していることが分かった。また、フラクタル次元の適切な閾値設定により、瓦礫部占有率の比較的低いメッシュは抽出されにくいものの、瓦礫エリアを判断するのに十分な精度で瓦礫部メッシュを抽出できることが明らかとなった。

Abstract: This paper deals with automated detection method of collapsed wooden house areas based on outline information of aerial photographs taken just after earthquakes. In addition to original outline images, thinning and thickening of those images were made. These three kinds of images were divided into square meshes with proper sizes respectively. Fractional dimension, number of pixels which compose outlines and number of elements divided by outlines were considered as characteristic parameters of outline of each mesh. From analytical results, it was found that debris areas were accurately detected based on the fractional dimension of outline images thickened once.

キーワード： 木造家屋瓦礫部、垂直航空写真、フラクタル次元、輪郭線、兵庫県南部地震、自動抽出

Keywords : debris of wooden house, vertical aerial photograph, fractional dimension, outline, The 1995 Kobe earthquake, automated detection

1. はじめに

地震発生直後の被害状況を迅速かつ適確に把握することは防災上極めて重要である。しかし、都市直下型地震などの大規模災害においては被害が広域にわたることから、被害状況の全体像の把握は容易ではなく、多大な時間と労力を要する。そこで、即時性を活かせる空中写真を用いて被害地区を迅速に把握するための研究が近年数多く成されている^{1)~4)}。三富らは海外で発生した地震後の空撮映像の静止画像を用いてマルチレベルスライス法により建物被害地域の自動抽出を試みている¹⁾。また同方法の改良のために色彩情報とエッジ情報

以外にテクスチャを指標として導入し、抽出法の改善を図っている²⁾。さらに、リアルタイム地震防災への応用を目指して最尤法を用いた手法を提案している³⁾。成行らは、色情報の指標としてCIE L*a*b*表色系のa*値およびb*値を、またエッジ情報の指標としてフラクタル次元に注目し、それらの指標の組合せにより比較的精度良く建物瓦礫部を判別する手法を提案している⁴⁾。これらの手法はいずれも色情報とエッジ情報に基づいているが、色情報は一般に撮影時における天候あるいは被写体の含水状況等によって変化するため、被害部の抽出精度が大きくばらつくことが予想される。このような問題は、三富ら^{2), 3)}によっても既に指摘されており、彼らは前述の

1 : 学生会員 徳島大学大学院 先端技術科学教育部 知的力学システム工学専攻
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町二丁目1番地)

2 : 正会員 博(工) 徳島大学 助教授 大学院ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町二丁目1番地, Tel :088-656-7326, E-mail : nariyuki@ce.tokushima-u.ac.jp)

3 : 学生会員 徳島大学大学院 工学研究科 建設工学専攻
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町二丁目1番地)

4 : フェロー会員 工博 徳島大学 教授 ソシオテクノサイエンス研究部 エコシステムデザイン部門
(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町二丁目1番地)



図-1 原画像



図-2 輪郭線画像

ような撮影条件の不安定さを回避するためにエッジ情報のみを利用する手法を提案している。本研究では、リアルタイム地震防災に対して、より実用的な木造家屋倒壊地区の自動抽出システムを構築するための基礎的研究として、エッジ情報から検出された線要素である輪郭線情報のみから建物被害エリアを判別する手法について検討を行った。

2. 輪郭線画像における特性値

図-1は兵庫県南部地震直後に撮影された神戸市須磨区近辺の垂直航空写真の一つである。これを輪郭抽出後、ノイズ除去すると図-2のようになる⁴⁾。

本研究では、輪郭線画像をメッシュ分割し、各要素画像の特性パラメータとして以下3種類のパラメータを用いた。

(1) フラクタル次元

複雑さを定量的に表す量がフラクタル次元である⁵⁾。フラクタルに用いられる次元の定義はさまざまな種類がある。それは、すべての図形、現象などに対して適用可能な次元の定義がまだ考案されておらず、対象となるものによって、次元の算出方法を変えているのが現状だからである。現在の段階では非整数値をとりうる次元算出の定義をまとめてフラクタル次元と呼んでいる。本研究で用いたフラクタル次元の方法は図形を正方形などの特徴的な長さを持つ基本的な図形によって近似することを考える。この方法はコンピュータで計算するのに適した方法で、ボックスカウンティング法という名でよく知られた方法である⁴⁾。

(2) 輪郭線ピクセル数

輪郭線画像から読み取れる情報として、輪郭線ピクセル数がある。輪郭線画像は二値化された画像である。よって、輪郭としての線をピクセル数で表すことで輪郭線ピクセル数としての値が得られる。

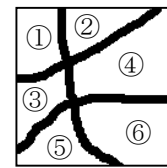


図-3 要素数6個の例

(3) 要素数

輪郭線によって囲まれた各部分を画像要素と考え、この数を要素数とした。例えば、図-3のような輪郭線画像の要素数は6個である。

3. 分析用輪郭線情報を得るための画像処理

(1) 細線化

細線化とは、二値化画像を幅1ピクセルの線画像に変換する処理である。エッジ検出によって得られた画像は、元の画像の変化が穏やかな場合には幅が広がる。輪郭検出の閾値を高くすると幅は狭くなるが、緩やかな変化を検出できない。したがって、輪郭検出処理後に細線化を行うことで、太さが不ぞろいの輪郭線を同一の太さの線に整えることができる。図-4は実際の瓦礫部分と瓦礫部分以外の画像である。エッジ検出したままで輪郭線ピクセル数を求めた場合は両方も同じ値になっているが、細線化を行うことにより瓦礫部分の値の方が高くなっている。細線化を行うことで、このような瓦礫部分と瓦礫部分以外の値に差が付けられるのではないかと考えられる。

(2) 太線化

細線化によって幅1ピクセルの線画像にしたものを幅3ピクセルの線画像に変換する処理である。この処理によって複雑な部分の線要素がより強調される。また、太線化は1回行うごとに幅が2ピクセルずつ増えていく。細線化の場合と同様に、太線化を行うことで、

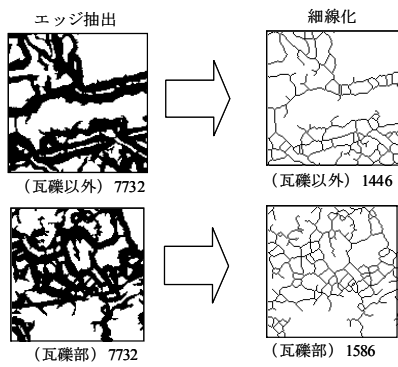


図-4 細線化 (輪郭線ピクセル数)

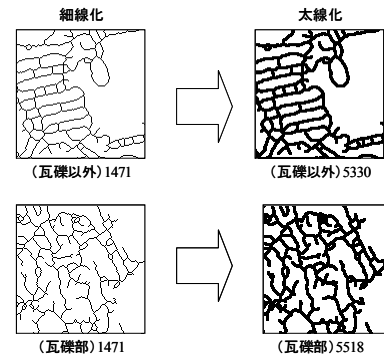


図-5 太線化 (輪郭線ピクセル数)



(a) 画像 1

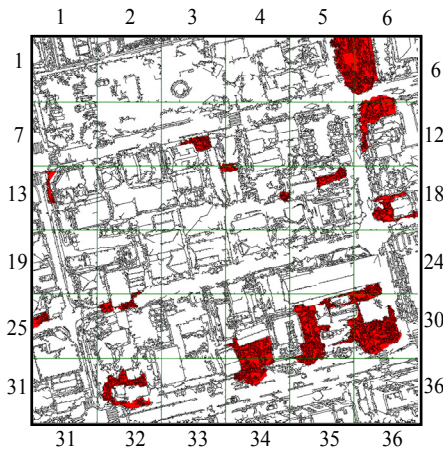


(b) 画像 2

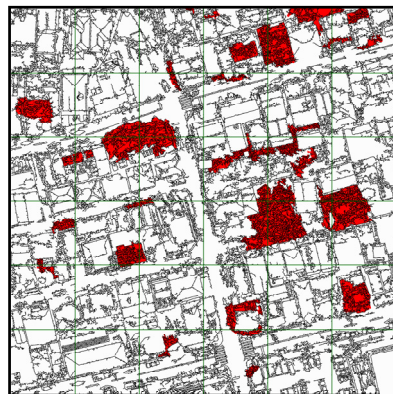


(c) 画像 3

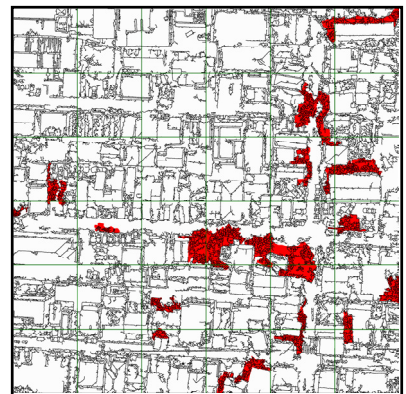
図-6 空中写真



(a) 画像 1



(b) 画像 2



(c) 画像 3

図-7 瓦礫部の目視判読と輪郭線画像の重ね合わせ

瓦礫部分と瓦礫部分以外で特性値に差が付くと考えられる。例を図-5に示す。

4. 各特性値による瓦礫部抽出方法

(1) 目視判読による瓦礫部分の判定

本研究では、図-6(a)~(c)に示す3枚の空中写真を用いた。これらは、神戸市須磨区周辺の空中写真⁶⁾をスキャナにより取り込んだものである。画像の大き

さは一辺が3072ピクセル、実際の距離にして約200mの正方形である。空中写真を利用した目視判読では、倒壊した建物で見られる瓦礫状態が被害を受けた部分を判読するうえで大きな目安となっている⁷⁾。本研究での判断基準としては、明らかに瓦礫であると思われる部分のみに絞込み屋根の形状を保ったままのものは瓦礫には含まなかった。画像1~3を目視により瓦礫と判読した部分を赤で示し、輪郭線画像に重ね合わせて示したものが図-7(a)~(c)である。

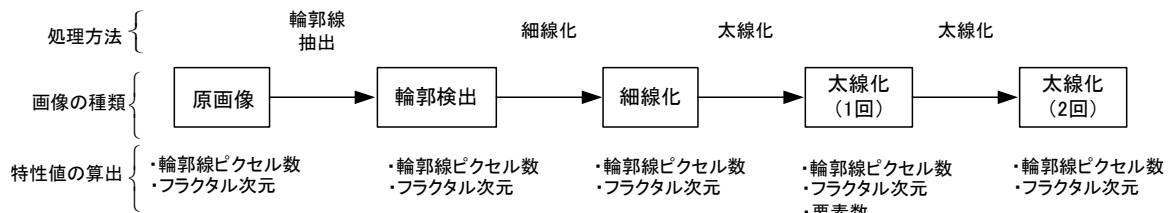


図-8 画像処理と特性値算出の流れ

表-1 瓦礫部占有率

メッシュ 番号	瓦礫部占有率			メッシュ 番号	瓦礫部占有率			メッシュ 番号	瓦礫部占有率		
	画像1	画像2	画像3		画像1	画像2	画像3		画像1	画像2	画像3
1	0%	0%	0%	13	4%	3%	9%	25	4%	3%	0%
2	0%	0%	0%	14	0%	19%	0%	26	7%	0%	0%
3	0%	2%	0%	15	1%	12%	0%	27	0%	0%	6%
4	0%	18%	0%	16	3%	17%	0%	28	15%	11%	2%
5	20%	35%	5%	17	6%	26%	14%	29	34%	0%	14%
6	30%	11%	10%	18	12%	10%	12%	30	37%	18%	11%
7	0%	17%	0%	19	0%	6%	5%	31	0%	0%	0%
8	0%	9%	0%	20	0%	12%	0%	32	19%	0%	0%
9	7%	16%	0%	21	0%	3%	14%	33	0%	4%	3%
10	1%	4%	0%	22	0%	18%	32%	34	17%	3%	12%
11	0%	4%	23%	23	0%	38%	17%	35	3%	0%	6%
12	19%	0%	0%	24	2%	23%	0%	36	0%	0%	3%

また、瓦礫部を抽出するにあたっては画像をメッシュ分割し、瓦礫部を含むメッシュを抽出対象メッシュとして考える。メッシュサイズとしては、建物被害箇所をすべて囲むことのできるサイズとして 36 分割 (512 ピクセル×512 ピクセル)、最小の瓦礫部を囲むことのできるサイズとして 576 分割 (128 ピクセル×128 ピクセル) サイズの 2 つの場合について検討した。なお、メッシュ分割した画像は 図-7 (a) のように番号付けを行った。

(2) 各特性値による要素画像の順位付け

まず空中写真のエッジ情報から輪郭線を抽出し、次いで輪郭線画像の各特性値を算出する。前述のように分割されたメッシュごとに算出した特性値の大きい順にメッシュの順位付けを行う。3章において示したように、特性値を算出する際の輪郭線画像としては、輪郭線抽出原画像に加えて、それに細線化ならびに太線化の処理を行った画像についても同様な検討を行った。図-8 のような流れにより、各処理を行うごとに特性値を算出する。

(3) 瓦礫部抽出率の算出法

順位付けの妥当性を検討する指標として瓦礫部抽出率を考える。まず各画像で目視判読により抽出されたメッシュ数と同数の上位メッシュを各特性パラメータに基づき瓦礫部として抽出されたメッシュとし、次いでそれらに含まれる瓦礫部メッシュの割合を瓦礫部抽出率として算定する。

5. 36 分割画像での瓦礫部抽出

各メッシュが 36 分割 (512 ピクセル×512 ピクセル) の場合の瓦礫部抽出率の算出を行った。表-1 はメ

ッシュ番号 (図-7 (a) 参照) と各メッシュでの瓦礫部占有率を示したものである。ここで、瓦礫部占有率とは 1 つのメッシュの全ピクセル数に対する瓦礫部分のピクセル数の割合のことである。36 分割の場合、瓦礫部を含むメッシュをすべて抽出対象メッシュと考えると、表-1 より画像 1, 2, 3 での抽出対象メッシュはそれぞれ 19 箇所, 26 箇所, 18 箇所である。しかし、メッシュ分割により瓦礫部が細分されることで生じることが微小な瓦礫部を含むメッシュを抽出対象とすることはあまり実用的ではないと考えられる。そこで、ここでは瓦礫の散乱規模が比較的大きい瓦礫占有率 10% 以上のメッシュを抽出対象とすることとした。このときの画像 1 での抽出対象メッシュは 9 箇所である。各特性値と処理方法ごとに算出した結果を順位付けし上位 9 番までを抽出したものとして瓦礫部抽出率を求める。結果は表-2 のようになる。○印が抽出されたメッシュを表している。輪郭線抽出した画像でフラクタル次元を算出した場合は、他に比べて抽出率が低い。この場合以外は、順位付けしたときに多少の順位変動はあるが、9 位までに出現するメッシュはほぼ同じである。抽出対象以外で抽出された (誤判別) メッシュ (表-2 参照) の主な被写体は表-3 のようになっている。これらの内、No. 1, 11, 13, 17 はすべての場合で上位となっている。これらは、建物上面や側面が輪郭線としての線情報が多いことに起因している。また、道路部分の横断歩道やラインもメッシュに含まれることで影響を及ぼすと考えられる。

画像 2, 画像 3 についても同様に各値を算出し順位付けを行う。画像 2 で抽出したいメッシュは 16 箇所

表-2 画像1 瓦礫部抽出結果

メッシュ番号	占有率	輪郭線ピクセル数				フラクタル次元				要素数
		輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	
5	20%									○
6	30%		○	○	○		○	○	○	
12	19%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18	12%									
28	15%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
29	34%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30	41%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
32	19%	○								
34	17%									
上位9位以内抽出対象以外のメッシュ番号		1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17	1・11・13・17
(A)		55.6%	55.6%	55.6%	55.6%	44.4%	55.6%	55.6%	55.6%	55.6%
(B)		61.9%	67.2%	67.2%	67.2%	52.7%	67.2%	67.2%	67.2%	62.1%

抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数 544456ピクセル
 (A) 上位9以内における抽出率
 (B) 抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数に対する抽出メッシュの瓦礫部ピクセル数

表-3 メッシュに含まれる構成要素

メッシュ番号	構成要素
1	建物側面・自動車
11	自動車・道路(ライン)
13	建物上面・道路(横断歩道)
17	建物上面
31	建物上面・道路(横断歩道)

ある。16位までに出現したメッシュについての結果を表-4として示す。メッシュにいくつかの建物が密集しているため、順位付けの結果上位に出現しているものが多い。また、自動車や横断歩道、建物の側面は輪郭線ピクセル数も多く、フラクタル次元としても高い値となりやすいと考えられる。No. 28 が上位に出現しない理由としては、同じメッシュ内に含まれる構成要素が輪郭線情報として少ないことが影響していると考えられる。

画像3において抽出したいのは10箇所である。瓦礫部メッシュとしての選択数が10個であるので、上位10位までに出現したメッシュについての結果を表-5として示す。No. 18 が上位に出現しない理由としては、メッシュ内に含まれる他の構成要素の輪郭線情報が少ないことが考えられる。それに加えて、選択メッシュ画像以外で上位に出現しているものは、メッシュ内にいくつかの建物が密集し、自動車が多く含まれているために、輪郭線情報が多くなったためだと考えられる。

これら3つの画像に対する結果から、被害箇所画像メッシュとして選定されたにもかかわらず抽出されにくいメッシュが存在する理由として、抽出対象メッシュを考える際に1つのメッシュに対しての瓦礫部の占める割合が36分割(512ピクセル×512ピクセル)画像では小さくなりやすいことや、輪郭検出の際に瓦礫の大きさなどの影響で輪郭線情報が多くないことが考

表-4 画像2 瓦礫部抽出結果

メッシュ番号	占有率	輪郭線ピクセル数				フラクタル次元				要素数
		輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	
4	18%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	35%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	11%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7	17%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	16%					○	○	○	○	○
14	19%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15	12%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16	17%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	26%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18	10%					○				
20	12%		○	○	○	○	○	○	○	○
22	18%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23	38%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24	24%							○	○	○
28	11%									
30	18%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
上位16位以内抽出対象以外のメッシュ番号		3・11・13・21・34・36	3・11・21・34・36	3・11・13・21・34	3・11・13・21・34	3・11・18・21・34・36	3・11・34・36	3・34・36	3・11・34・36	3・21・34・36
(A)		62.5%	75.0%	75.0%	75.0%	75.0%	81.3%	81.3%	81.3%	68.8%
(B)		76.1%	80.1%	80.1%	80.1%	81.0%	89.6%	93.2%	89.6%	81.3%

抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数 78774ピクセル
 (A) 上位16以内における抽出率
 (B) 抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数に対する抽出メッシュの瓦礫部ピクセル数

表-5 画像3 瓦礫部抽出結果

メッシュ番号	占有率	輪郭線ピクセル数				フラクタル次元				要素数
		輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	輪郭検出	細線化	太線化(1回)	太線化(2回)	
6	10%						○	○	○	
11	23%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	14%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18	12%									
21	14%									
22	32%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23	17%	○	○	○	○	○	○	○	○	○
29	14%		○	○						
30	11%					○	○	○	○	○
34	12%				○		○	○	○	
上位10位以内抽出対象以外のメッシュ番号		12・20・24・27・32	12・24・36	12・24・36	12・24・36	1・20・26・27	1・36	27・36	12・36	5・20・24・27・35・36
(A)		40.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	70.0%	70.0%	70.0%	50.0%
(B)		54.0%	63.0%	63.0%	61.3%	60.9%	74.2%	74.2%	74.2%	60.9%

抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数 417401ピクセル
 (A) 上位10以内における抽出率
 (B) 抽出対象画像の瓦礫部ピクセル数に対する抽出メッシュの瓦礫部ピクセル数

えられる。また、それと同時に、36分割で行ったものは、瓦礫以外の構成要素である道路や建物の輪郭線の影響によって順位が変わると考えられる。

表-2, 4, 5より、画像間で若干抽出率の差はあるが、太線化処理を1回行った輪郭線画像に対してフラクタル次元を用いて判別した場合に比較的良好な抽出結果となっている。そこでこの場合に注目して3画像間の共通の閾値を考える。表-6は上位10位までの結果を示したものである。画像3のフラクタル次元の値が他の画像に比べて低いことが分かる。このように、36分割サイズでは画像間の特性値に差があることから閾値の設定は難しいと考えられる。

表-6 フラクタル次元

順位	画像1		画像2		画像3	
	メッシュ番号	フラクタル次元	メッシュ番号	フラクタル次元	メッシュ番号	フラクタル次元
1	29	1.697	23	1.713	11	1.643
2	30	1.691	17	1.699	22	1.633
3	1	1.671	4	1.696	17	1.622
4	11	1.660	5	1.679	6	1.616
5	28	1.656	36	1.678	13	1.613
6	13	1.655	22	1.677	30	1.611
7	12	1.651	16	1.673	23	1.610
8	17	1.651	34	1.672	34	1.604
9	6	1.644	3	1.664	36	1.604
10	32	1.640	14	1.663	27	1.598

表-7 瓦礫部抽出率

指標	処理方法	瓦礫部抽出率					
		画像1		画像2		画像3	
		瓦礫を含む すべて	瓦礫占有 率10%以上	瓦礫を含む すべて	瓦礫占有 率10%以上	瓦礫を含む すべて	瓦礫占有 率10%以上
輪郭線 ピクセル 数	輪郭検出	41.7%	40.0%	57.4%	53.4%	45.0%	42.1%
	細線化	46.7%	41.2%	57.4%	55.9%	43.1%	47.4%
	太線化 (1回)	49.2%	44.7%	59.9%	58.5%	43.1%	47.4%
	太線化 (2回)	48.3%	44.7%	60.5%	57.6%	43.1%	46.1%
フラクタル 次元	輪郭検出	45.0%	41.2%	57.4%	50.0%	45.9%	39.5%
	細線化	49.2%	44.7%	55.6%	54.2%	44.0%	47.4%
	太線化 (1回)	50.0%	48.2%	58.6%	56.8%	45.0%	50.0%
	太線化 (2回)	49.2%	47.1%	59.3%	55.9%	45.0%	50.0%
要素数	太線化 (1回)	47.5%	47.1%	59.3%	56.8%	49.5%	51.3%

6. 576 分割画像での瓦礫部抽出

このサイズで分割した場合、画像1の抽出対象メッシュは120箇所である。特性値ごとに順位付けされた上位120位までを抽出対象メッシュとし瓦礫部抽出率を算出する。しかし、瓦礫部はメッシュで分割されることがあるため、ほんのわずかな部分でもメッシュに瓦礫が含まれていれば、抽出対象メッシュとして選出されている。例えば、瓦礫占有率10%未満のメッシュについては瓦礫部分とせず、これらのメッシュを抽出対象から省くと、画像1の抽出されるべきメッシュは85箇所になる。瓦礫部抽出率は上位85位までを抽出したものとして算出する。画像1について瓦礫部分を含んだすべてのメッシュを選出した場合と瓦礫占有率10%以上のメッシュを選出した場合での結果は表-7のようになる。処理方法や画像による違いはあるものの、瓦礫部抽出率は5割程度となっている。しかし、これは、瓦礫はメッシュで分割されてしまうことによって、瓦礫占有率の低いメッシュが多くなってしまふことが抽出率を低くする要因だと考えられる。このとき、最も瓦礫部抽出率が高くなるのは太線化(1回)処理をしたときのフラクタル次元によって順位付けを行ったときである。

画像2、画像3についても同様に瓦礫部抽出率を算出する。瓦礫が含まれている部分として選出されるメッシュは画像2の場合162箇所、画像3の場合109箇所である。瓦礫占有率が10%未満のメッシュを省くと、抽出されるべきメッシュとして選出されるのは、画像2では118箇所、画像3では76箇所になる。画像2に対しては上位163位と118位まで、画像3に対しては上位109位と76位までをそれぞれ抽出したとし、瓦礫部抽出率を算出する。このときの結果は表-7のようになる。

画像1の場合に最も瓦礫部抽出率が高くなるのはフラクタル次元によって順位付けを行ったときであるが、

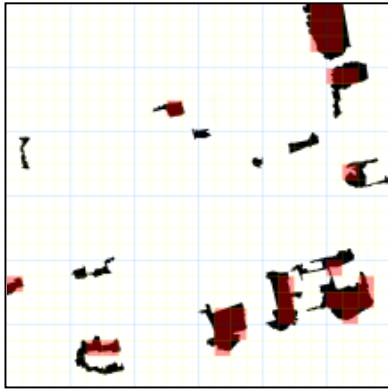
画像2では輪郭線ピクセル数、画像3では要素数によって順位付けを行った場合である。瓦礫占有率が10%未満のメッシュを除いたときも、それほど抽出率が上がっているとはいえない。

7. 閾値による瓦礫部抽出

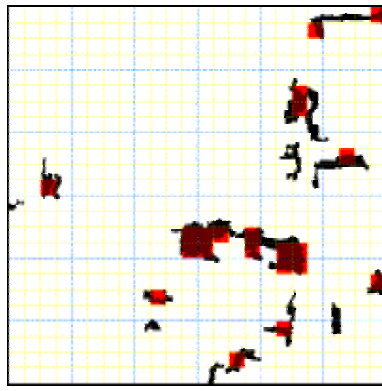
瓦礫部分がメッシュ分割されることを考え、瓦礫部占有率に注目することにする。瓦礫部占有率が高ければ、輪郭線としての複雑な範囲も広くなると考えられ、輪郭線ピクセル数・フラクタル次元・要素数としても順位が上位になるはずである。そこで、瓦礫部占有率ごとに、瓦礫部抽出率を算出し、これをもとに3つの画像に共通する閾値設定について考えていくことにする。図-9(a)は画像1において、瓦礫占有率50%以上のメッシュを示したものである。小さい部分の瓦礫部分は選択されていないものの、ある程度抽出されているように思われる。画像2、画像3について、瓦礫占有率50%以上のメッシュを示したものが図-9(b)(c)である。瓦礫占有率が50%以上のメッシュは、画像2は43箇所、画像3は20箇所である。この場合の瓦礫部抽出率を算出してみると表-8のようになる。3画像に共通して太線化(1回)処理を行ったときのフラクタル次元により順位付けをしたものが最も良い抽出率となっている。

瓦礫部占有率が大きいメッシュの方が輪郭線として複雑となる範囲も広く、順位付けでも上位に位置するはずである。そこで、ある程度瓦礫部占有率が高いところに注目することにした。1つのメッシュの瓦礫部占有率が50%以上を抽出対象メッシュとし、フラクタル次元に基づくそれらの抽出率が8割程度であれば、瓦礫部を比較的精度よく推定できると仮定し、この場合の各画像での各特性値の算出結果を表-9に示す。

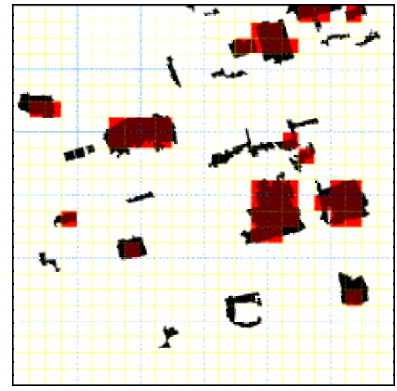
表-9より各画像で考えるならば、抽出率が良いといえるのはフラクタル次元を算出した場合で、処理は



(a) 画像1



(b) 画像2



(c) 画像3

図-9 瓦礫部占有率 50%以上のメッシュ

表-8 瓦礫部占有率 50%以上のメッシュでの抽出率

指標	処理	画像1	画像2	画像3
輪郭線 ピクセル数	輪郭検出	33.3%	60.5%	25.0%
	細線化	48.1%	58.1%	50.0%
	太線化 (1回)	55.6%	65.1%	50.0%
	太線化 (2回)	51.9%	62.8%	45.0%
フラクタル 次元	輪郭検出	33.3%	60.5%	30.0%
	細線化	55.6%	65.1%	45.0%
	太線化 (1回)	59.3%	65.1%	55.0%
	太線化 (2回)	55.6%	65.1%	45.0%
要素数	太線化 (1回)	51.9%	62.8%	40.0%

表-9 瓦礫部占有率 50%以上で抽出率 8割を超えるときの値

指標	処理方法	画像1		画像2		画像3	
		順位	値	順位	値	順位	値
輪郭線 ピクセル 数	輪郭検出	85	7074	102	7245	71	6421
	細線化	68	1433	72	1531	45	1335
	太線化 (1回)	57	5324	67	5611	44	4868
	太線化 (2回)	55	8351	68	8739	42	7754
フラクタル 次元	輪郭検出	88	1.830	112	1.793	77	1.764
	細線化	64	1.456	76	1.444	42	1.410
	太線化 (1回)	54	1.741	67	1.731	31	1.704
	太線化 (2回)	58	1.847	68	1.838	31	1.819
要素数	太線化 (1回)	88	48	88	55	52	39

太線化（1回）を行った場合である。しかし、閾値は3枚の画像でフラクタル次元の差が小さくなるように選ぶこととした。これは、画像によっては、瓦礫部が含まれないメッシュが多く抽出されたり、瓦礫部メッシュの抽出が極端に少なくなったりするのを防ぐためである。表-9より、太線化処理を2回行った画像での臨界フラクタル次元が各画像間で最も差が小さいことが分かる。したがって、最小値である画像3の1.819を閾値とすることにした。順位付けした際に、この閾値以上のフラクタル次元をもつメッシュを瓦礫部メッシュとして抽出する。

この抽出結果を瓦礫部分と共にメッシュ上に示したものが図-10(a)～(c)である。抽出メッシュ数は画像1が74箇所、画像2が108箇所、画像3が31箇所となっている。これらの内、瓦礫部をわずかでも含んでいるメッシュの数は、それぞれ画像1が47箇所、画像2が75箇所、画像3が25箇所である。目視判読による瓦礫部抽出結果と閾値による抽出メッシュの関係を見ると、すべてが抽出されることは難しいものの画像1、画像2、画像3共に、抽出された部分のメッシュから瓦礫部分を判断できる結果だと思われる。しかし、閾値

を最小値にとっているため瓦礫部分以外のところも多くなってしまっている。

瓦礫部以外で抽出されるのは、図-11のように、主に建物側面・建物上面や自動車が含まれるときである。建物側面が空撮画像内に写りこんでいる場合、窓付近の輪郭線の形状が複雑になり、輪郭線が多くなることで瓦礫部分との判断がつかなくなっていると考えられる。自動車がメッシュに含まれる場合も、128ピクセル×128ピクセルサイズで考えたとき、瓦礫部分との差がつきにくくなっている。これら2つの要素がメッシュに入り込むことによって、順位付けを行った際に高順位となり、それぞれの抽出率を低くしているといえる。128ピクセル×128ピクセルサイズでは、どの画像においても、このような瓦礫部以外が抽出されてしまう結果となった。

8. 結論

本研究は、震後の垂直航空写真の輪郭情報のみから建物被害エリアを自動的に抽出する手法について検討したものである。兵庫県南部地震の翌日に撮影された

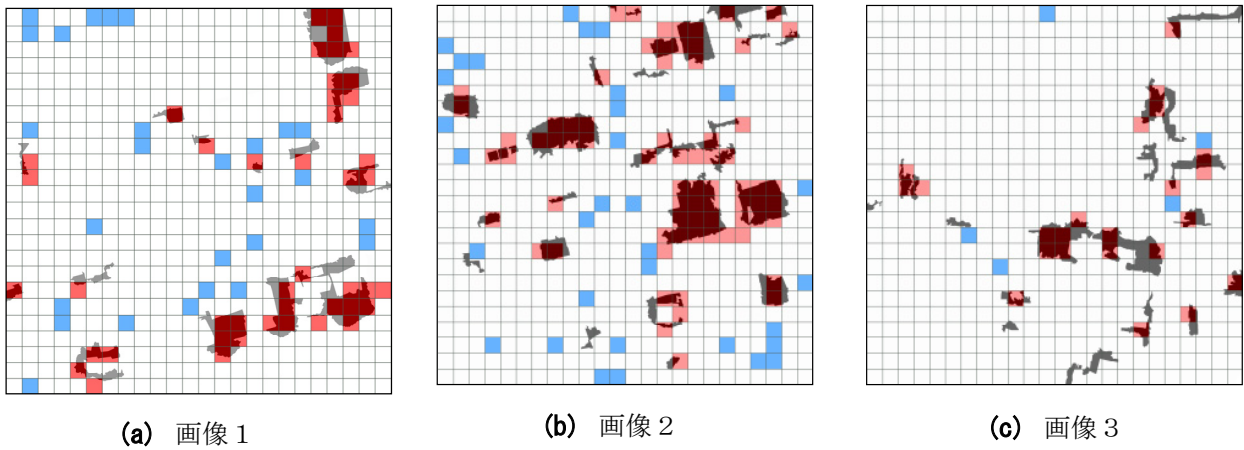


図-10 抽出結果

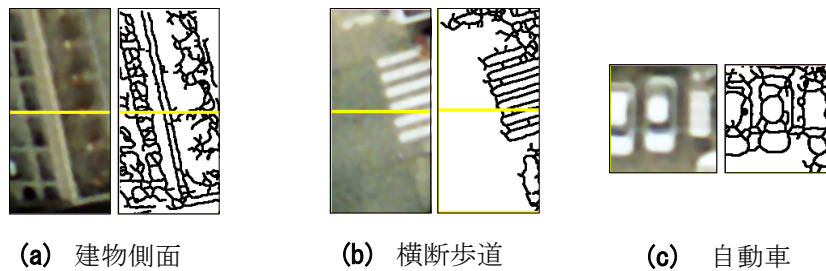


図-11 瓦礫部以外の画像とその輪郭線

3枚の航空写真の輪郭線画像ならびにそれらをそれぞれ細線化ならびに太線化処理した輪郭線画像をメッシュ分割し、フラクタル次元、輪郭線ピクセル数および輪郭線による分割要素数を画像特性指標として、各メッシュの指標値を求め、瓦礫部の抽出精度等について比較検討した。得られた主な知見を以下に列挙する。

- 1) 輪郭線画像の細線化ならびに太線化は瓦礫部を含む分割メッシュの抽出精度向上に効果がある。
- 2) 太線化処理を1回行った輪郭線画像に対するフラクタル次元が、画像の違いによる変動が最も小さく、共通の閾値を設定した場合の瓦礫部の抽出精度が最も高い。この場合の3種の画像における抽出メッシュ数に対する瓦礫部を含むメッシュ数の割合は、それぞれ約64%、69%および81%であった。すべての瓦礫部を抽出することは難しいものの、いずれも抽出されたメッシュから瓦礫の分布状況を推定するのに十分な抽出率であると思われる。
- 3) 建物側面や自動車がメッシュに含まれるとき、これらのエッジ情報が瓦礫部と似たものとなり、瓦礫部と同様に抽出されてしまう場合がある。

本研究で扱った輪郭線ピクセル数、フラクタル次元ならびに要素数を指標とした順位付けのみでは、建物側面や自動車の形状と瓦礫部の形状を区別することが難しい。しかし、建物側面や自動車の輪郭線形状には

瓦礫部とは違った特徴がある。今後、それらの違いの識別方法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 最近の地震災害の空撮画像を用いた建物被害地域の自動抽出の試み, 土木学会論文集, No. 703/I-59, pp. 267-278, 2002年4月.
- 2) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 空撮画像を用いた汎用的な建物被害抽出法に関する考察, 土木学会論文集, No. 710/I-60, pp. 413-425, 2002年7月.
- 3) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 最尤法を用いた空撮画像からの建物被害抽出とその早期被害把握への応用, 土木学会論文集, No. 717/I-61, pp. 137-148, 2002年10月.
- 4) 成行義文, 永井啓介, 平尾潔, 源貴志: 垂直航空写真を用いた木造建物倒壊箇所の自動抽出, 土木情報利用技術論文集, vol. 4, pp. 145-156, 2005年.
- 5) 高安英樹: フラクタル, 朝倉書店, 1986年4月.
- 6) アジア航測(株): 阪神・淡路大震災 航空写真集, 1995年6月.
- 7) 青木久・長谷川弘忠・山崎文雄・関本泉: 空撮映像を用いた地震被害建物分布の自動抽出, 日本リモートセンシング学会 第28回学術講演会論文集, pp. 89-92, 2000年5月.

(2006.5.19受付)