

# 2005年福岡県西方沖地震による 玄界島の建物被害地域の自動抽出

三富 創<sup>1</sup>・松岡 昌志<sup>2</sup>・山崎 文雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>アジア航測株式会社 事業推進本部 (〒215-0004 川崎市麻生区万福寺1-2-2)

E-mail: hj.mitomi@ajiko.co.jp

<sup>2</sup> (独) 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター チームリーダー  
(〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2 ひと未来館)

E-mail: matsuoka@edm.bosai.go.jp

<sup>3</sup>千葉大学 工学部 都市環境システム学科 教授 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail: yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

2005年福岡県西方沖地震の翌日に撮影された空撮画像を用いて、建物被害地域の自動抽出を試みた。自動抽出の検証データを作成するため、事前に目視判読を行った。抽出指標は7×7画素領域を単位としたエッジ強度の分散、エッジ方向の最頻度、エッジ強度の同時生起行列から求まる角2次モーメントおよびエントロピーの4指標とし、1995年兵庫県南部地震の倒壊建物の特徴づけたしきい値を適用した。この手法では樹木や草木が繁茂した状態を誤って抽出する可能性があることから、色相による緑系色の除去を行った。色相を含まない4指標と色相を含む5指標の2通りについて、マルチレベルスライス法による画素の抽出と63×63画素のテクスチャ解析を行い、自動抽出の結果と目視判読の結果を比較した。

**Key Words :** the 2005 Fukuokaken-Seiho-Oki Earthquake, Genkai Island, building damage, automated damage detection, aerial image

## 1. はじめに

2005年3月20日午前10時53分、福岡市の北西約40kmの玄界灘を震源とするマグニチュード7.0の地震が発生した。最大震度6弱を記録した福岡市内では、ブロック塀の倒壊により1名の犠牲者が発生したほか、オフィス街ではビルの窓ガラスが割れ、その飛散による負傷者等が発生した。震源に近い玄界島では急斜面に立地する住家の多くが損壊し、全島避難を余儀なくされた。主な被害原因は、宅地造成のための石積擁壁が脆弱であったため、擁壁崩壊とともに背後の盛土地盤が崩落したことによる<sup>1)</sup>。

筆者らは、航空機やヘリコプターから撮影された空撮画像を用いて、画像処理による建物被害地域の抽出する手法の開発を行ってきた<sup>2)</sup>。この手法では地震後に撮影された画像しか用いないため、あらかじめ地震前の画像を用意しなくても迅速に被害地域を把握することが可能である。

本報告では、地震の翌日に撮影された玄界島の空撮画像から建物被害地域の抽出を試みた結果と課題について整理した。

## 2. 空撮画像と目視判読

被害抽出に用いた空撮画像の撮影位置を図-1、画像を図-2に示す。位置図の背景には国土交通省国土地理院が提供する電子国土<sup>3)</sup>を利用した。これらの空撮画像は、地震の翌日、飛行高度300~400mの軽飛行機上から一眼レフカメラ (PENTAX67) により斜め下方を撮影・現像した写真を電子化し、地上解像度約10cmに調整したものである。

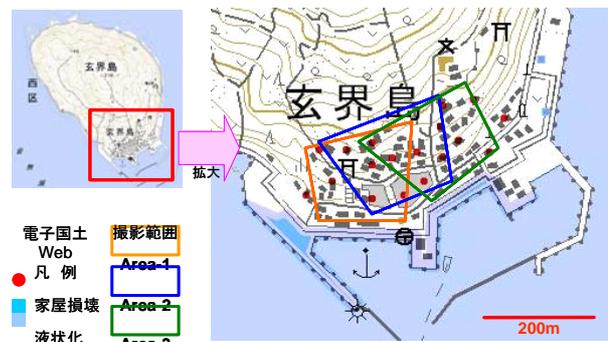


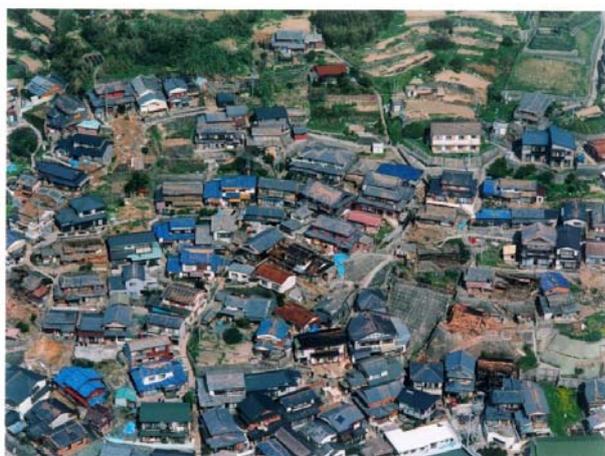
図-1 空撮画像の位置図 (背景の地図と家屋損壊・液状化の分布は電子国土 Web<sup>3)</sup> より引用)



(a) Area-1



(a) Area-1



(b) Area-2



(b) Area-2



(c) Area-3



(c) Area-3

図-2 本研究で用いた空撮画像

図-3 目視判読による倒壊・擁壁崩壊の抽出結果（橙）と緑に関するトレーニングデータ位置（緑）

斜め撮影の画像は、建物上部の情報に加えて建物側面部の情報の取得が可能である。2万5千分の1の地形図から読み取れる玄界島の住家地域は、10度以上の傾斜地に立地している。そのため、平地に立地した住宅地よりも建物の側面情報が得られやすく、鉛直下方を撮影する垂直写真よりも家屋の損壊状況を詳細に把握できる。

自動抽出の検証用データとするため、空撮画像の目視判読を行った。長谷川ら<sup>4)</sup>は1995年兵庫県南部地震で被災した木造家屋の全壊の程度を整理した岡田・高井<sup>5)</sup>の基準に則り、1995年兵庫県南部地震の建物被害を斜め撮影の空撮ハイビジョン画像を用いて目視判読を行った。本報告においても倒壊建物の

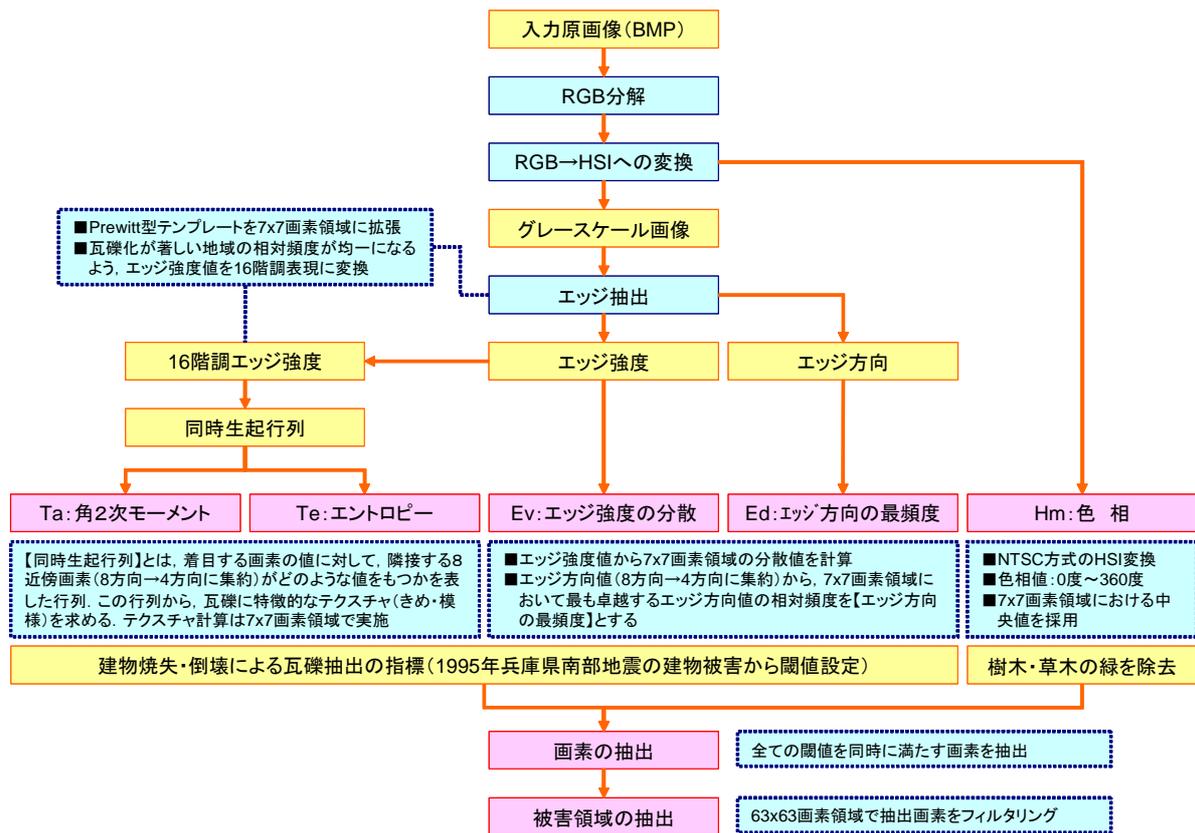


図-4 本報告における建物被害を抽出する処理の流れ

表-1 被害抽出に用いる指標としきい値<sup>2)</sup>

指標	しきい値
<i>Ev</i> エッジ強度の分散	$2.0 \times 10^5 - 6.8 \times 10^5$
<i>Ed</i> エッジ方向の最頻度	0.30 - 0.60
<i>Ta</i> 角二次モーメント	$0.74 \times 10^{-2} - 6.6 \times 10^{-2}$
<i>Te</i> エントロピー	3.4 - 4.2
<i>Hm</i> 色相	165 - 265

判読基準を長谷川ら<sup>4)</sup>にならった。また、玄界島の住家が分布する地域では擁壁の崩壊にともなう建物被害が画像から読み取れた。よって、本報告では、とくに住家が分布する地域での擁壁崩壊や小規模な斜面崩壊が発生した領域についても目視で抽出した。目視判読の結果を図-3に示す。

### 3. 被害抽出手法

#### (1) 全体の流れ

本報告で適用した被害抽出の流れを図-4に示す。三富ら<sup>2)</sup>は、1995年兵庫県南部地震の後に撮影された空撮画像を用いて、木造倒壊建物が示す画像上の特徴を表-1に示す指標としきい値で特徴づけた。具体的には、倒壊建物の瓦礫が呈する輪郭の乱れを、7×7画素領域におけるエッジ強度の分散*Ev*、エッジ方向の最頻度*Ed*、同時生起行列から求まる角二次モ

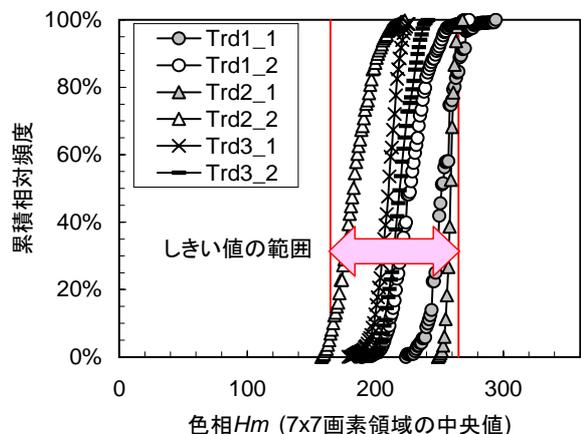


図-5 色相中央値 *Hm* に対する各トレーニングデータの累積相対頻度分布

メント*Ta*とエントロピー*Te*を被害抽出に用いる指標とした。次に、表-1のしきい値全てを満たす画素を被害とみなして抽出し（マルチレベルスライス法）、小さめの木造住家1棟をおおよそ近似する領域に含まれる抽出画素の割合（*Rpx*値）を計算した。建物被害地域は、*Rpx*値にしきい値を設けて抽出される領域とした。三富ら<sup>2)</sup>は*Rpx*値30%以上の場合を建物被害地域とみなした。なお、この手法は、地上解像度が10cm程度の高解像度画像の場合、樹木を誤って抽出する傾向にあることがわかってきた<sup>6)</sup>。よって、本報告では樹木の影響を考慮した場合について検討することとした。

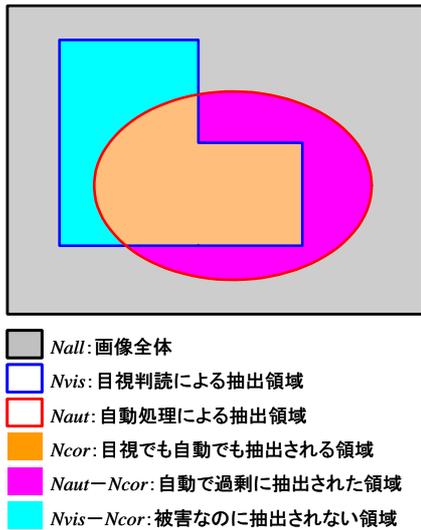


図-6 抽出精度を評価するために用いる指標の概念図

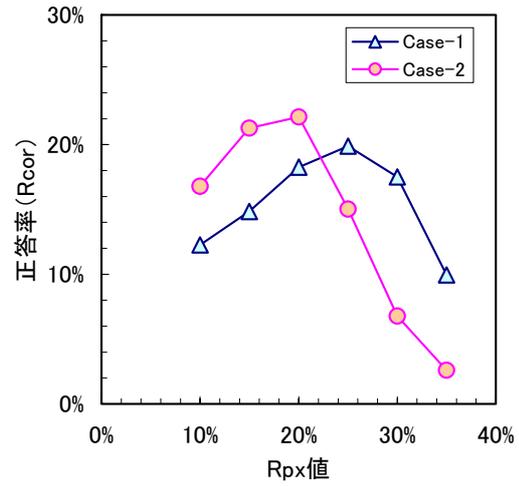


図-7  $R_{px}$  値に対する正答率の分布

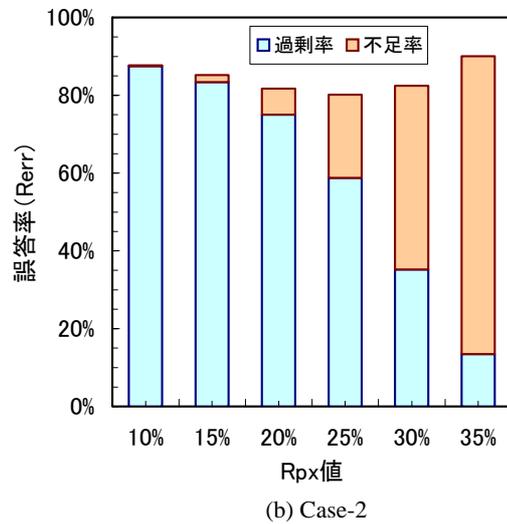
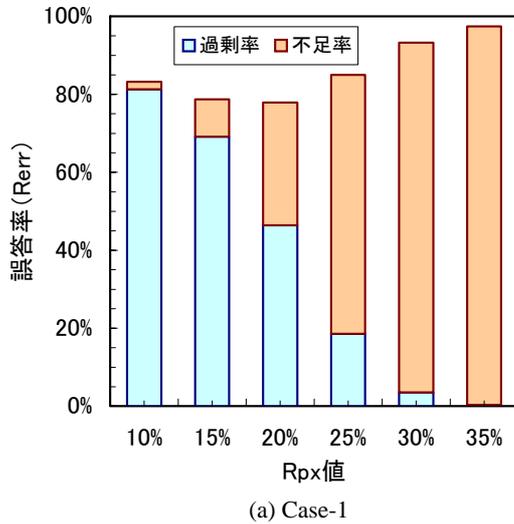


図-8  $R_{px}$  値に対する誤答率と過剰率・不足率の関係

## (2) 樹木等の除去

斜め撮影の空撮画像から図-3に示す $50 \times 50$ 画素領域をトレーニングデータとして抽出し、以下の方法で色相 $H$ を計算した<sup>7)</sup>。

$$H = \tan^{-1}(C_1/C_2) \quad (1)$$

$$C_1 = 0.70R - 0.59G - 0.11B \quad (2)$$

$$C_2 = -0.30R - 0.59G + 0.89B \quad (3)$$

$R, G, B$ は入力するビットマップ (BMP) 形式の原画像における $R$ 値,  $G$ 値,  $B$ 値を表す。青木ら<sup>8)</sup>は、上式から計算された色相から $7 \times 7$ 画素領域の中央値を計算し、色相中央値 $H_m$ を被害抽出の指標としている。本報告では、草木の緑を除去するために $7 \times 7$ 画素領域の色相中央値 $H_m$ を計算した。図-5は、草木の緑に関する計6種類のトレーニングデータについて、色相中央値 $H_m$ に対する累積相対頻度分布を描いたものである。三富ら<sup>2)</sup>は、表-1に示したエッ

ジに関する各指標のしきい値を求める際、累積相対頻度20%~80%のデータから直線近似し、累積0%と100%で交わる値をしきい値とした、これにならない、累積0%との交点がもっとも小さくなる $Trd2-2$ と、もっとも大きくなる $Trd1-1$ から、色相中央値 $H_m$  165度~265度を草木の緑を除去するためのしきい値とした。

## 4. 被害抽出結果とその評価

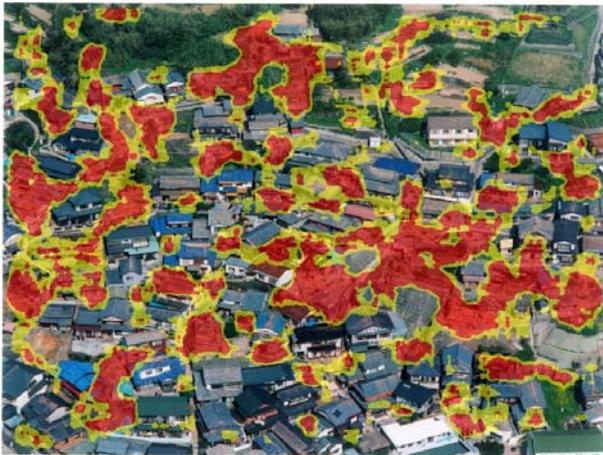
これまでの研究<sup>2), 8)</sup>では、地上解像度約10cmの斜め撮影画像に対して $63 \times 63$ 画素領域を $R_{px}$ 値計算の範囲とした。本報告においてもこれにならない、マルチレベルスライス法の適用後、 $63 \times 63$ 画素領域における $R_{px}$ 値計算を行った。なお、本報告では、 $R_{px}$ 値を10%~35%の間を5%刻みで変化させて被害抽出を行い、 $R_{px}$ 値ごとに以下に示す指標を求めた。



(a) Area-1



(a) Area-1



(b) Area-2



(b) Area-2



(c) Area-3



(c) Area-3

図-9 従来手法<sup>2)</sup>による被害抽出結果 [Case-1]

図-10 緑の除去を考慮した被害抽出結果 [Case-2]

正答率：  $R_{cor} = N_{cor} / (N_{vis} + N_{aut} - N_{cor})$  (4)

過剰率：  $R_{ovr} = (N_{aut} - N_{cor}) / (N_{vis} + N_{aut} - N_{cor})$  (5)

不足率：  $R_{ins} = (N_{vis} - N_{cor}) / (N_{vis} + N_{aut} - N_{cor})$  (6)

誤答率：  $R_{err} = R_{ovr} + R_{ins} = 1 - R_{cor}$  (7)

目視領域に含まれる抽出画素の割合：

$$R_{c/v} = N_{cor} / N_{vis} \quad (8)$$

ここで、

$N_{vis}$ ：目視判読により抽出した領域の画素数

$N_{aut}$ ：自動処理により抽出した領域の画素数

$N_{cor}$ ：目視と自動の両方で抽出される領域の画素数

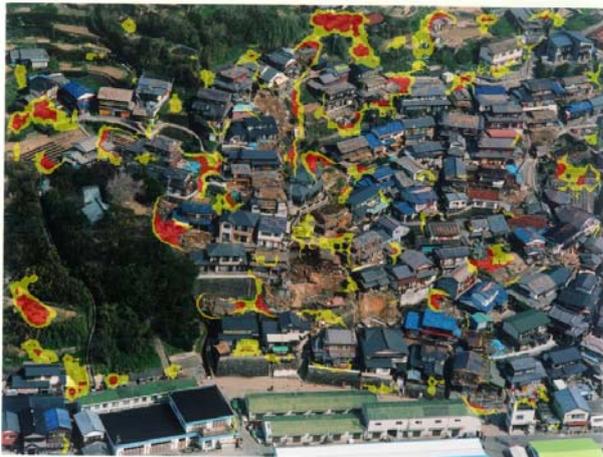
表-2 被害抽出のしきい値とした  $R_{px}$  値での抽出精度

ケース	$R_{px}$	正答率 $R_{cor}$	過剰率 $R_{ovr}$	不足率 $R_{ins}$	誤答率 $R_{err}$	$R_{c/v}$	備考
Case-1	20%	18.3%	75.0%	6.7%	81.7%	73.1%	図-9の黄領域 ( $20\% \leq R_{px} < 25\%$ )
	25%	19.9%	58.8%	21.3%	80.1%	48.2%	図-9の赤領域 ( $25\% \leq R_{px}$ )
Case-2	15%	21.3%	69.1%	9.6%	78.7%	69.0%	図-10の黄領域 ( $15\% \leq R_{px} < 20\%$ )
	20%	22.1%	46.4%	31.5%	77.9%	41.3%	図-10の赤領域 ( $20\% \leq R_{px}$ )

Case-1 : 緑の影響を考慮しない従来的手法を適用した場合

Case-2 : 緑の影響を考慮して色相  $H_m$  を指標に加えた場合

$R_{c/v}$  : 目視判読領域に占める抽出画素の割合



(a) Area-1



(b) Area-2



(c) Area-3

図-11 緑の除去を考慮した結果 (図-10) と比較して従来手法<sup>2)</sup> (図-9) が過剰に抽出した領域

これらの指標の概念を図-6に示す。

緑除去を考慮しない従来的手法を[Case-1]、緑除去を考慮した手法を[Case-2]として、それぞれの正答率、過剰率、不足率を計算した。正答率を図-7、各ケースの過剰率と不足率を図-8に示し、以下のように整理した。

- ①  $R_{px}$  値に対する正答率の変化は凸型となる。

- ② 正答率は全体的に低く、誤答率が高い。
- ③  $R_{px}$  値が小さいほど過剰率が高く、 $R_{px}$  値が大きいほど不足率が高い。
- ④ 正答率の最大値は[Case-1]のとき  $R_{px}$  値25%で19.9%、[Case-2]のとき  $R_{px}$  値20%で22.1%ある。

正答率が低い (誤答率が高い) 主な理由は以下のとおりである。

- ① 屋根に葺き土がみえる住家は瓦礫域のようにみえるが、目視判読で倒壊としていないため、過剰に抽出される領域となる可能性がある。
- ② 擁壁が崩壊している領域は段々畑と類似しており、過剰に抽出される可能性がある。
- ③ 建物側面に瓦礫が発生しても屋根の形状が崩れていない場合、建物側面は被害、屋根部分は無被害と判定される。その結果、不足率が高まる。
- ④ 擁壁崩壊のうち瓦礫部分は被害と判定されるが、崩壊した斜面の滑らかな部分は無被害と判定される。その結果、不足率が高まる。

目視判読の領域内に自動抽出された画素が含まれる割合  $R_{c/v}$  を求めると、[Case-1]で  $R_{px}$  値25%のとき48.2%、[Case-2]で  $R_{px}$  値20%のとき41.3%となる。つまり、正答率が最大となるときの  $R_{px}$  値以上を建物被害抽出のしきい値とすれば、目視判読した領域

のうち4割から5割は抽出できる。

[Case-1]と[Case-2]の被害抽出結果を図-9と図-10にそれぞれ示す。表示色のもととなったRpx値での正答率、過剰率、不足率、誤答率およびRc/hを表-2に示す。いずれも正答率が高く誤答率は低いが、黄色の範囲を定めたRpx値では[Case-1]、[Case-2]ともにRc/h~70%、すなわち、目視判読領域における抽出画素の割合は7割を占める。図-11は、緑除去の効果を比較するために、[Case-1]の結果から[Case-2]の結果を引いた残りの領域である。建物被害と直接関係のない段々畑や擁壁および草木などが、従来手法の[Case-1]では十分除去されないことがわかった。この結果は、[Case-1]の過剰率が[Case-2]と比べて高いことを裏付けるものである。

## 5. 結論と今後の課題

2005年福岡県西方沖地震で被災した玄界島の空撮画像を用いて建物被害地域の自動抽出を試みた。これまでは木造建物の倒壊により発生した瓦礫の輪郭情報を被害抽出の指標としていたが、それに色相の情報を加えることを誤抽出の低減策とした。その結果、従来の方法に加えて色相の情報（色相）で緑を省くと、主に建物が分布している地域を中心として、草木の緑を効果的に除去した被害抽出が可能となった。こうした対策は、都市の住宅地域における公園や街路樹、住宅敷地内の草木など、都市内緑被の誤抽出の効果を低減させる可能性がある。

現状では、自動処理によって過剰に抽出される画素、または建物被害なのに抽出されない画素が相当数存在する。大まかな被害抽出ならば本報告の手法でも対応可能だが、正答率を高めるため、被害建物をより効果的に特徴づけ、それ以外の要素は抽出しないような指標を検討する必要がある。

現在運用されている消防用のヘリコプター搭載の

ビデオカメラはNTSC方式であり、地上解像度10cmを実現させるためには、ごく低高度で1ショットあたりの撮影範囲がせまい画像を取得せざるを得ない。一方、鉛直下方を撮影する垂直写真を用いた場合、プラットフォームの飛行高度が高くなることから、1ショットあたりの撮影範囲が斜め撮影の場合よりも広い。しかし、垂直写真では建物の側面情報の取得が困難である。よって、明瞭に瓦礫が発生した木造住家の抽出は期待できるが、屋根の形状が残る層崩壊した建物の抽出は困難な可能性がある。垂直写真を用いた建物被害抽出も今後取り組む予定である。

## 参考文献

- 1) 土木学会: 福岡県西方沖地震・土木学会被害調査団速報第2報, 2005.
- 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方法に関する考察, 土木学会論文集, No.710/I-60, pp.413-425, 2002.
- 3) 国土交通省国土地理院: 電子国土ポータル(玄界島).
- 4) 長谷川弘志, 山崎文雄, 松岡昌志: 空撮ハイビジョン映像を用いた兵庫県南部地震による建物被害の目視判読, 土木学会論文集, No.682/I-56, pp.257-265, 2001.
- 5) 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と被害パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.65-72, 1999.
- 6) 三富創, 松岡昌志, 山崎文雄: 航空写真を用いた建物被害地域の抽出手法の適用範囲に関する検討, 土木学会第60回年次学術講演会講演概要集, 2005(発表予定).
- 7) 井上誠喜, 八木伸行, 林正樹, 中須英輔, 三谷公二, 奥井誠人: C言語で学ぶ実践画像処理, (株) オーム社, 1999.
- 8) 青木久, 松岡昌志, 山崎文雄: 空撮画像を用いた地震による被害建物の抽出, 写真測量とリモートセンシング, Vol.40, No.4, pp.27-36, 2001.

(2005. 6. 15 受付)