

QuickBird 衛星画像を用いた 2007 年ペルー・ピスコ地震の建物被害把握

Visual Damage Interpretation of Buildings Using QuickBird Images Following the 2007 Pisco, Peru Earthquake

08TM0341 松崎 志津子
Shizuko Matsuzaki

指導教員 山崎 文雄

SYNOPSIS

A strong earthquake struck the city of Pisco in the coastal region of central Peru on 15 August 2007. The earthquake brought massive destruction to the region of Ica and Lima. QuickBird, a high-resolution satellite, captured a clear image of the city of Pisco both before and after the earthquake. In this paper, using these images, the author performed visual damage detection of buildings. The visual damage interpretation was carried out building by building, comparing the pre-event and post-event images. Then the damage grades of about 10,800 buildings were determined. The result of the damage inspection was compared with field survey data and also with the result of visual damage inspection from aerial photographs, and the accuracy of damage inspection was studied. The results show that about 70% of seriously damaged buildings and more than 80% of collapsed buildings were detected. Some amount of omission error was observed due to the limitation of vertical images.

1. はじめに

人工衛星リモートセンシングは、航空写真に比べると解像度では劣るものの、一度にはるかに広い地域を観測できる特徴がある。同じ地域を繰り返し観測して時間変化を把握できる利点を生かし、災害時早期に被害状況を把握し広域的な被害を推定することは、防災利用の中でも最も期待されている。しかし、地震時の建物被害把握を目的とした場合、衛星画像の活用はまだ始まってから日が浅く、適用性の検討は充分には行われていない。

そこで本研究では、衛星画像から判読できる被害状況のレベルを明らかにし、災害直後の被害把握に対する衛星画像の有効性を検討するために、2007年8月にペルー太平洋岸を襲ったピスコ地震の QuickBird 衛星画像を用いて、建物被害の把握を行った。地震前後の2時期の画像を目視で比較し、約12,000棟の建物1棟ずつその被害レベルを判定した後、その結果を地上からの被害調査結果と比較した。また航空写真による目視被害判読結果とも比較した。

QuickBird 衛星画像の目視判読による建物被害把握は Kouchi ら¹⁾が2003年5月のアルジェリア地震で約1,400棟について、また矢野ら²⁾が2003年12月のイラン・バム地震で約12,000棟について目視判読を行い、崩壊等の被害ランクの高い建物では判読精度は高いが、被害の小さい建物については多少の誤判読が出ることを指摘した。本研究では、比較する地上調査に一つの地区(ピスコ郡ピスコ地区)のほぼ全ての被害状況データを入手することができたので、より実用段階を考慮した適用性の検討を目的とする。

2. 対象地域と研究の流れ

2007年8月15日、ペルー国太平洋岸のイカ州沿岸部においてマグニチュード7.9の地震が発生した(USGS³⁾「2007年ペルー・ピスコ地震」とする)。ペルー国家統計情報局(INEI)によると、イカ州とリマ州南部を中心に約600人の

死者と1,000人以上の負傷者、9万棟以上の倒壊家屋が出る大災害となり、震源から北に約200km離れた首都のリマでも大きな揺れが観測された。

本研究の対象地域は、イカ州のうち震源に近く被害の大きかったピスコ郡の中心ピスコ地区とする。この地区は人口約5万4千人で太平洋に面している。

ペルー国立工科大学のペルー日本地震防災センター(CISMID)によると、この地区の建物の約16%はアドベ(日干しレンガ)造、約71%が焼成レンガ造で、両者を合わせて組積造建物が全体の87%を占める。組積造は一般に靱性に乏しく架構の変形から一気に崩壊する。しかし、ペルーの焼成レンガ造の場合は、鉄筋コンクリート(RC)による柱梁で壁を補強した枠組み組積造(コンファインド・メーソンリー)であり、また床もRCスラブであるので、建物全体の水平剛性は比較的大きい。今回の地震でも、アドベ造の建物に被害が多くみられた。町は街路に対して奥に細長い敷地が密集しているが、戸境壁は共有せず別々に建設するのが普通である。

図1に地震12日後の QuickBird 衛星画像を、図2に地震前後の衛星画像の部分拡大を示す。崩壊した建物の大部分は瓦礫がそのまま放置されているが、場所によっては片付けられて更地になっており、テントなど仮設の住まいが確認できる場所もある。瓦礫はおもに、壁材である日干しレンガが焼成レンガ、RCガラ、アドベ造屋根材の竹や泥で、雨が降らないこの地方では屋根瓦はほとんど使用されていない。



図1 地震後の QuickBird 衛星画像 (CISMID 提供)



図2 地震前後の QuickBird 画像の一部(CISMID 提供)

図3に衛星画像の目視判読と精度検証の作業の流れを示す。まず便宜上対象の地区を25のブロックに分け、判定する区画の大きさと形状を確認するために敷地データを衛星画像に重ね、地震約2ヶ月前と地震12日後の衛星画像を比較して1棟ずつ被害レベルを判読する。被害レベルは既往の研究にならい、GrünthalによるEMS1998⁴⁾を使用した(図3)。衛星画像判読ではG1とG2の判別は困難として、無被害もこれに含めた。判読した結果をGISで集計し、地上からの被害調査と比較して、その精度の検証をエラーマトリクスを用いて行った。さらに一部地域については、地震前衛星画像と地震翌日の航空写真から目視被害判読を行い、衛星画像のみによる判読と比較をした。

判読に用いた衛星画像及び航空写真、敷地GISデータ、比較検証用の地上被害調査データは、CISMIDから提供を受けた。また、筆者が地震の約4週間後に行った現地調査結果も使用した。なお地上被害調査は、被害レベル分類をEMS1998でなくCISMID独自の4段階(Sin dano-Leve-Severo-Grave)によっており、両者の関係を表1に示す。

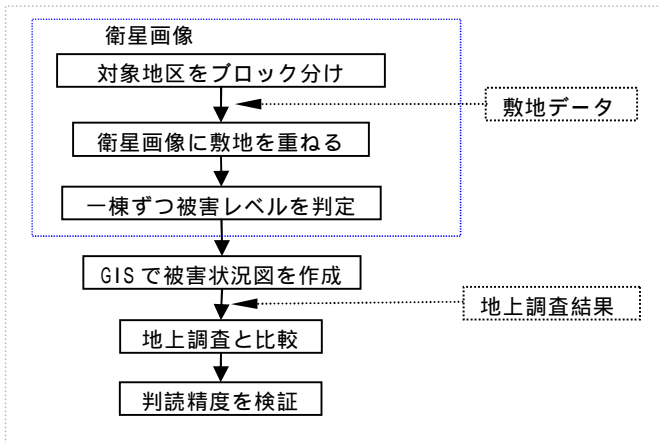


図3 衛星画像による目視判読と精度検証作業の流れ

G1		Grade1	わずかな仕上げの落下
G2		Grade2	かなり大きな仕上げの崩落
G3		Grade3	大きく広範囲な壁のクラック、非構造部材の損傷
G4		Grade4	壁の深刻な損傷、屋根床の一部崩落
G5		Grade5	全体の崩壊

図4 European Macroseismic Scale 1998 の組構造被害分類

表1 2つの被害分類における被害レベルの関係

CISMID 4段階被害レベル	EMS1998
SIN DAÑO (no damage : 被害なし)	G1,G2
LEVE (slight : 軽度の被害)	
SEVERO (severe : 著しい被害)	G3
GRAVE (serious : 深刻な被害、崩壊)	G4,G5

3. QuickBird 衛星画像を使用した目視判読結果

判読者により被害目視判読結果に差が出ることは既往の研究より知られているが、今回は一人で全てを行い、極力地上調査結果を見ないように作業した。図5に判読作業の結果を示す。甚大な被害であるG5ランクの建物は西側の海沿いと中央よりやや東側の旧市街に多い。図中の大きな敷地は主に学校や病院、郊外の工場である。

全12,079区画のうち、地上調査でNoData(調査結果なし)となっている建物1,149区画、及び地震以前から空地であるのに崩壊と判断されていた104区画は除外し10,826区画を精度評価の対象とした。1時間の作業で130~250区画を判読し、総作業時間として約65時間を費やした。

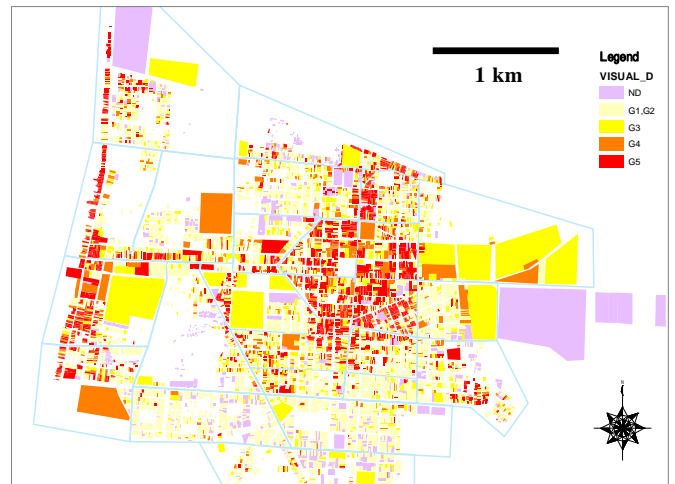


図5 全区画の目視判読結果のGIS表示

表2 衛星画像判読結果と地上調査の比較

地上調査 \ QB	被害なし or軽度	著しい被害	崩壊	Sum
G1,G2	4900	735	725	6360
G3	714	266	240	1220
G4,G5	570	501	2175	3246
Sum	6184	1502	3140	10826

は地上調査と画像判読の一致部分

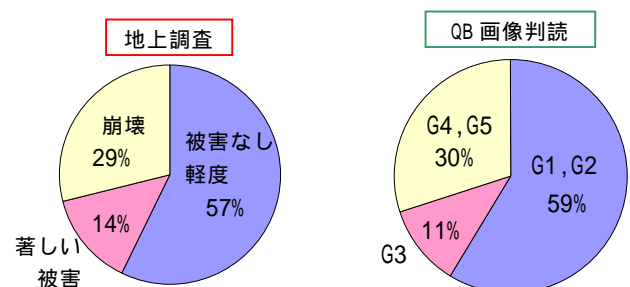


図6 調査方法別の各被害ランクの割合

判読精度評価にはエラー・マトリクスを用いる(表 3)．行列の縦方向で算出した精度がプロデューサ精度で，地上調査から見て実際の被害の何%が正しく判読されたかを示す．また，横方向で算出したものがユーザ精度で，行った判読の何%が正しい判読であったかの信頼度を表す．対角方向の成分の合計を総数で除したものは総合精度と呼ばれる．

表 4 に衛星画像を用いた目視判読結果の精度を示す．プロデューサ精度，ユーザ精度ともに 70%以下という結果になった．プロデューサ精度が低いことは誤判読によるカウントもれの多さを表し，ユーザ精度が低いことは判読結果の正解率の低さを表す．

崩壊状態の建物は，それほど時間を要せず容易にそれと判断することが可能であるが，中程度の被害の場合はどのランクに該当するかの判断が難しく，著しい被害(G3)の精度は 20%前後と著しく低い．また表 4 の対角方向より右上の数値が左下の数値より多く，被害を幾分か小さめに判定する傾向がわかる．

表 3 エラー・マトリクスによる精度の評価

	地上調査				User's Accuracy	
	被害なし or 軽度	著しい被害	崩壊	Sum		
QB	G1,G2	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₁ /C ₁₄
	G1,G2	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₁ /C ₂₄
	G1,G2	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₁ /C ₃₄
	Sum	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	
Producer's Accuracy		C ₁₁ /C ₄₁	C ₁₂ /C ₄₂	C ₁₃ /C ₄₃		

Overall accuracy = (C₁₁ + C₂₂ + C₃₃) / C₄₄

プロデューサ精度 = 実際の被害のうち何%を正しく判読できたか
 ユーザ精度 = 行った目視判読のうち何%が正しく判読されたか

表 4 衛星画像による判読精度の評価

地上調査 QB	被害なし or 軽度	著しい被害	崩壊	sum	User's accuracy
G1,G2	4900	735	725	6360	77.0%
G3	714	266	240	1220	21.8%
G4,G5	570	501	2175	3246	67.0%
Sum	6184	1502	3140	10826	
Producer's accuracy	79.2%	17.7%	69.3%		

Overall accuracy 67.7%

4. 航空写真を使用した目視判読との比較

衛星画像での全区画判読の精度を確認するため，地震翌日の航空写真と事前の衛星画像を用いて被害判読を行った．そしてそれを事前・事後の衛星画像のみで判読した場合と比較した．対象エリアは比較的被害の大きかった町中心部(セントロ)のプラサ・デ・アルマス周辺 425 区画とする．

図 7 に使用したそれぞれの画像の一部分を示す．QuickBird のパンシャープン画像の解像度は 0.61m であるが，航空写真の解像度は 0.2m 程度と判断され，かなり低空より撮影されたことが想像できる．衛星画像ではおおまかにしか判断できない変化が，航空画像によればどの部分

のどの程度の被害であるのか詳細に確認することができる．例えば，衛星画像では幾分の変化としか判断できない被害が，実は屋根が半分も崩落していたなどである．

表 5 と表 6 にそれぞれの判読精度を示した．航空写真は 2 枚のモザイク写真を使用したため，画像が切れて判読のできなかった建物が 5 区画あり 420 区画の判読となっている．衛星画像判読と航空写真判読との精度を比較すると，航空写真を用いた場合で，崩壊レベル(G4,G5)で約 12%，著しい被害レベル(G3)において約 8%，総合精度でも 9%の精度の上昇がみられる．解像度の変化が判読精度の向上に大いに関係することがわかる．

図 8~図 11 に，判読結果 4 分類と地上調査結果 4 分類の被害ランクの割合をグラフに示した．今回の検討では，G4 と G5 の判定を地上調査の崩壊ランクとしまとめて精度を算出しているが，G5(崩壊)レベルに限るとどのケースでも高い精度を示しており，大きい被害の把握に関しては衛星画像利用の価値があるといえる．

全区画判読結果よりも総合精度が高いことは，被害の大きかったエリアを選択したことによるものと思われる．また高解像度の航空写真を使用しても誤判読になる例として，画像では屋根形状や建物影に変化がみられないが，壁を構成するレンガ類が全て崩落して崩壊と判断された建物があった．画像情報は鉛直方向からの観測情報のみとなるので，壁柱などの部材の被害は判断しづらい．同様の理由で中小規模の被害も判読が難しい．



図 7 QB 衛星画像と航空写真の比較(画像の一部分: CISMID 提供)

表 5 衛星画像のみによる判読精度の評価(ビスコ中心部)

地上調査 QB	被害なし or 軽度	著しい被害	崩壊	sum	User's accuracy
G1,G2	59	15	36	110	53.6%
G3	14	5	18	37	13.5%
G4,G5	22	20	236	278	84.9%
Sum	95	40	290	425	
Producer's accuracy	62.1%	12.5%	81.4%		

Overall accuracy 70.6%

表 6 航空写真による判読精度の評価(ビスコ中心部)

地上調査 Aerial	被害なし or 軽度	著しい被害	崩壊	sum	User's accuracy
G1,G2	61	3	10	74	82.4%
G3	15	8	10	33	24.2%
G4,G5	18	29	266	313	85.0%
Sum	94	40	286	420	
Producer's accuracy	64.9%	20.0%	93.0%		

Overall accuracy 79.8%

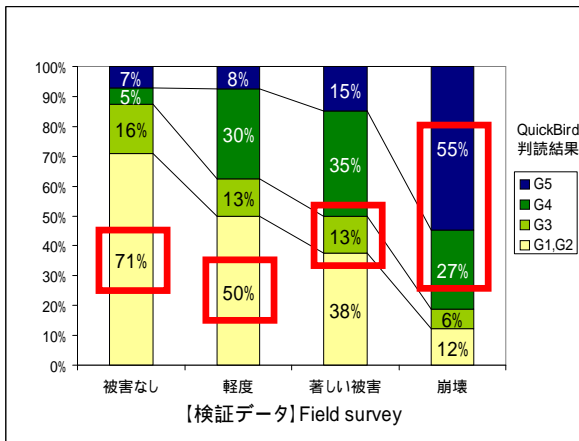


図8 地上調査を基準としたQB衛星画像判読の被災度割合 (プロデューサ精度を示す)

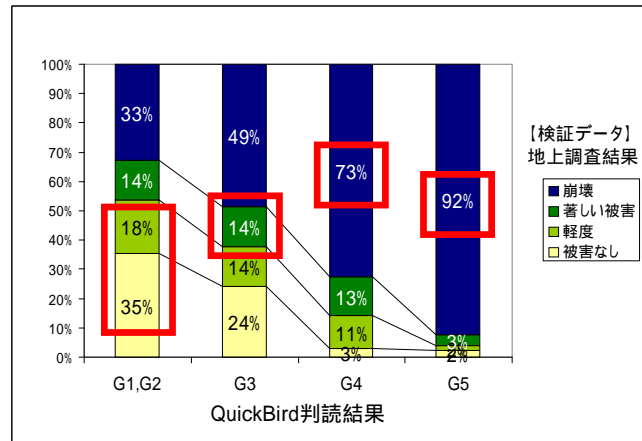


図9 目視判読を基準としたQB衛星画像判読の被災度割合 (ユーザ精度を示す)

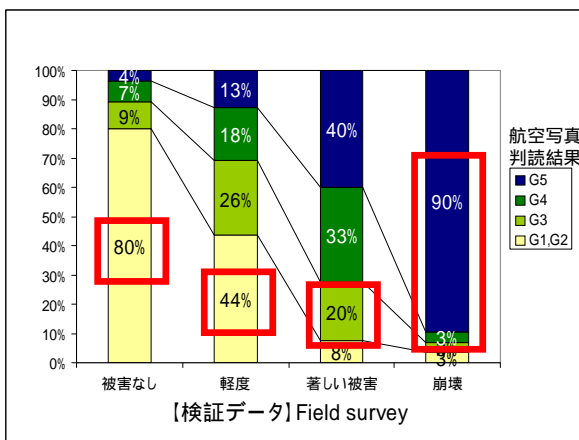


図10 地上調査を基準とした航空写真判読の被災度割合 (プロデューサ精度を示す)

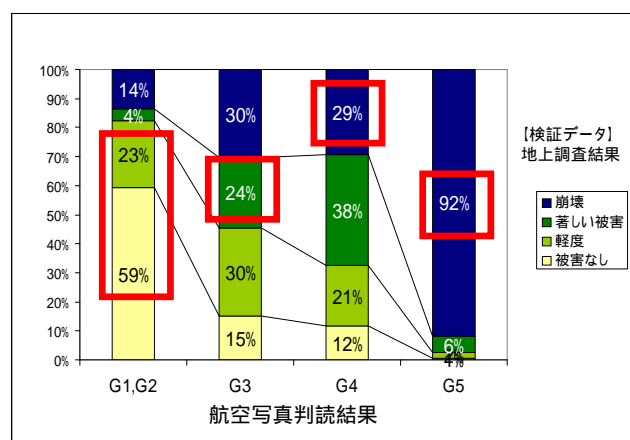


図11 目視判読を基準とした航空写真判読の被災度割合 (ユーザ精度を示す)

□ は画像目視と地上調査が一致した部分を示す(ピスコ中心部)

5. まとめ

本研究では、2007年8月のペルー・ピスコ地震を事例に、地震前後の2時期の QuickBird 衛星画像を用いて、目視による建物被害の把握を行い、その結果を地上からの被害調査結果と比較した。その結果、衛星画像による判読では被害レベルを若干小さめに判定する傾向があるものの、崩壊レベルの被害についてはその約70%を判読することができた。しかし軽微・中程度の被害や、上空からでは観察できない壁・柱などの鉛直方向部材の被害は誤判読の傾向がみられた。また航空写真による目視被害判読結果とも比較した結果、高い被害ランク(崩壊)のみを把握するには衛星画像による目視判読でも80%以上の高い精度を有するという結果が得られた。

今後は、目視判読で崩壊と判断された軽微被害建物の分析や、画像判読と地上調査それぞれの被害分類の詳細な比較など、より精度を高める検討を行うべきと考えられる。航空写真判読と衛星写真判読との比較も、今回は被害の大きかった地域を対象として実施したが、中規模被害の地域や小さな被害しか確認されなかった地域でも検討することが必要である。また、本研究の被害判読結果は画像処理による被害の自動抽出を行う場合の比較資料として有用なものと

考えられる。

被災現場を歩いて被害を調査することは確実ではあるが画像判読とは比較にならないほど時間と人手を必要とし、混乱する現地で建物データなど様々な資料や機材を携えながら適正な被害判定を行うのは容易ではない。衛星画像の利用技術が進歩して、被害把握システムに活用されていくことが強く望まれている。

参考文献

- 1) Kouchi, K., Yamazaki, F., Kohiyama, M., Matsuoka, M., and Muraoka, N.: Damage Detection from QuickBird High-Resolution Satellite Images for the 2003 Boumerdes, Algeria Earthquake, Proc. 1st Asia Conference on Earthquake Engineering, Vol.2, pp.215-226, 2004
- 2) 矢野嘉久, 山崎文雄, 松岡昌志: 高解像度衛星によるイラン・バム地震の被害把握, 日本地震工学会大会-2004 梗概集, pp.454-455, 2004
- 3) United States Geological Survey's (USGS) Earthquake Hazards Program, URL: <http://earthquake.usgs.gov/>
- 4) Grünthal, G.: European Macroseismic Scale 1998, European Seismological Commission, 1998