

高解像度衛星画像による 2003 年アルジェリア地震の都市被害把握

Detection of urban damages due to the 2003 Algeria earthquake using high-resolution satellite images

胡内健一*・小檜山雅之**・山崎文雄**

Kenichi KOUCHI, Masayuki KOHIYAMA and Fumio YAMAZAKI

1. はじめに

近年, リモートセンシング技術の発達により, 都市部における災害危険度評価や自然災害による被害把握に利用する試みがなされてきている. とくに地震等の災害直後における早期被害把握は, 緊急対応や応急復旧計画の立案のためにきわめて重要である. 松岡らは, 兵庫県南部地震(1995)による被害地域における人工衛星光学センサ画像¹⁾, SAR 強度画像²⁾の特徴について分析し, 衛星画像による建物被害地域の抽出の可能性を示している. しかし, これらの画像の分解能は 20 m から 30 m であり, 構造物の被害を 1 棟ごとに把握することは困難である.

一方, 2001 年 10 月に打ち上げられた商業用人工衛星 QuickBird は, 最大で 0.6 m の地表分解能を持ち, 都市部の画像では構造物の形状が詳細に識別できる. したがって, 災害直後にこれらの高解像度衛星画像を利用し, 建物や土木構造物の被害を把握することができると考えられる. そこで本研究では, 2003 年 5 月 21 日に発生したアルジェリア地震の主な被災地である Boumerdes 市を捉えた QuickBird 衛星画像を用いて被害がどの程度把握できるのか分析を行った.

2. アルジェリア地震と被災地の衛星画像

2003 年 5 月 21 日, マグニチュード 6.8 の地震がアルジェリア地中海沿岸部を襲った. 震源は首都アルジェから東に約 50 km に位置する Boumerdes 市の沖合いで, 北緯 37.02 度, 東経 3.76 度, 深さ約 10 km の地点であった(図 1). 地震発生から約 1 ヶ月後の報告(<http://www.reliefweb.int>)によれば, 死者 2,276 人, 負傷者 11,000 人以上, 家を失った人は約 150,000 人にのぼる.

本研究で用いた Boumerdes 市の QuickBird 画像は, 2002

*東京大学大学院 工学系研究科

**東京大学生産技術研究所 人間・社会部門

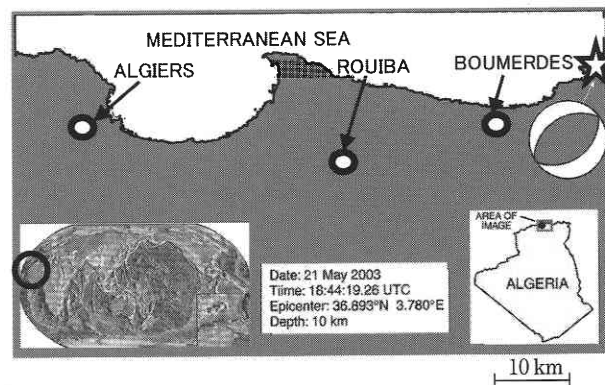
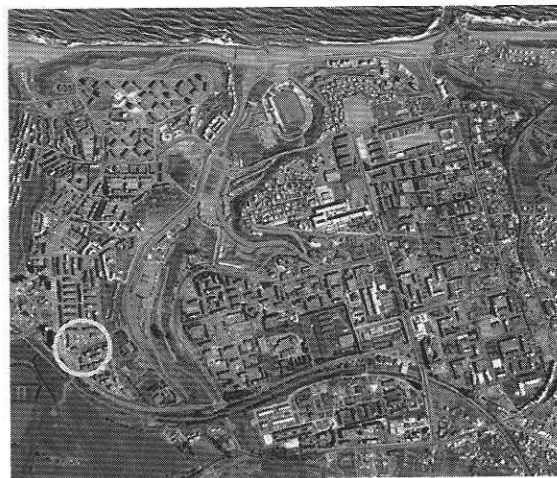


図1 アルジェリア北部(☆印が震源地)

図2 Boumerdes 市のパンシャープン画像.
撮影日: 2003 年 5 月 23 日

年 4 月 22 日(地震発生の約 1 年前), 2003 年 5 月 23 日(同 2 日後), 6 月 18 日(同 28 日後)に撮影されたものである. これらは, 地震前後両時期の被災地の状況を捉えた初の高解像度衛星画像であると考えられる.



図3 被害地域の画像例 (図2の○の部分). 撮影日: 左から2002年4月22日, 2003年5月23日, 2003年6月18日

QuickBird は, 撮影間隔を短くするためにセンサの撮影角度を変えることが可能である. 今回得られた画像の撮影角度は時期の古いものから, 鉛直方向を基準にそれぞれ 11.2°, 24.3°, 7.8°であった. したがって, 地震前後の画像は, とくに高い建物や画像の周辺部で完全には重ね合わせることができないため, 画像処理により変化を自動抽出して被害判読を行うことは容易ではない. さらに画像によって構造物の影の形が異なるため, 自動判読をさらに困難なものにしている. そのため, 高解像度画像の被害判読は, 現段階では目視によることが多い³⁾.

本研究では, まずパングロマトイック画像 (解像度 0.6 m) とマルチスペクトル画像 (解像度 2.4 m) から, HIS 変換法によりパンシャープン画像 (解像度 0.6 m) を作成した (図2). このカラー画像により, 個々の建物を詳細に識別することができる. 3つの撮影時期の画像それぞれについてパンシャープン画像を作成し, これらを用いて目視による地震被害の判読を行った. 図3に, Boumerdes 市の中でもとくに被害の大きかった地域の拡大画像を示す. 地震2日後の建物の崩壊状況と28日後の壊れた建物の撤去の状況が見て取れる.

3. 目視による建物被害判読方法

以上の画像を用いて, 建物被害の目視判読を行った. その際, 図4に示す The European Macroseismic Scale (EMS) の基準に従って被害を分類した. また, 建物被害判読のフローを図5に示す. まず, 地震直後の画像のみから被害を判読し, 判読が困難だったものについては地震前の画像との比較により判読した. また, 地震後の画像で被害を判読したものについても地震前の画像と比較して検証した.

4. 目視による被害判読の結果

図5のフローに従い建物被害を判読したところ, 図6の

Classification of damage to buildings of reinforced concrete	
	Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage)
	Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage)
	Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage)
	Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)
	Grade 5: Destruction (very heavy structural damage)

図4 RC構造物の被害の分類 (http://www.gfz-potsdam.de/pb5/pb53/projekt/ems/eng/core/emsa_cor.htm)

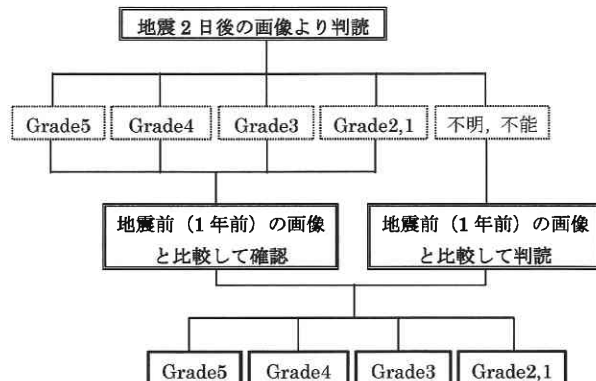


図5 被害判読フロー

ような結果が得られた。全建物 3446 棟中、地震直後の画像のみから判読した場合、「Grade 5」(建物の崩壊・倒壊)が 47 棟、「Grade 4」(部分的な崩壊、大きな損傷)が 29 棟、「Grade 3」(部分的な損傷、建物周辺に瓦礫)が 70 棟、不明・判読不能が 551 棟となった。次に、不明となったものについて地震前(1年前)の画像と比較して判読し、さらに全体について地震前の画像と比較して検証した。その結果、「Grade 5」が 71 棟、「Grade 4」が 54 棟、「Grade 3」が 261 棟となった。そして、残りの建物を「Grade 2,1」に分類した。

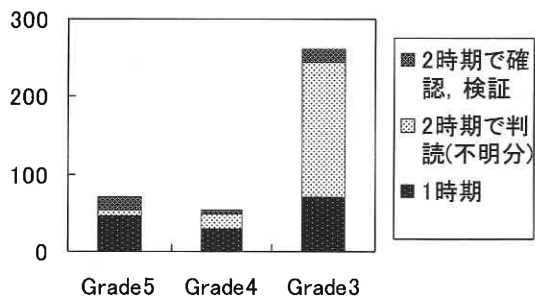


図6 建物被害の判読結果

被害のレベルと衛星画像における被害の見え方、さらに、現地の被災建物の写真との関係を図7に示す。衛星画像上で星印が Grade 5、菱形が Grade 4、三角形が Grade 3、丸が Grade 2,1 を示している。

aの建物は衛星画像から Grade 5と判断したが、写真からも Grade 5であるということが確認できる。一方、bの建物は衛星画像からは Grade 4と判断したが、写真では1階が完全に潰れていることから、Grade 5であると考えられる。このように高層の建物の下部が真下に圧壊しているような場合など、被害の程度の判読が困難な場合がある。また、瓦礫が建物の影に隠れてしまい、破壊の仕方によって大きな被害はない (Grade 2,1)と判断されてしまう可能性もある。

c, dは大学の建物である。cの建物については衛星画像から Grade 5と判定され、このことは写真からも確認できる。一方、dについては被害があることが衛星画像からは全く分からないが、現地調査によるとこの建物も相当の被害を受けていた。写真からも大きなひび割れや積み上げられた瓦礫が確認できる。この例から、Grade 3程度から被害を判定することが困難になってくると言える。

なお、*印の部分に、被災者のためのテントが設置され

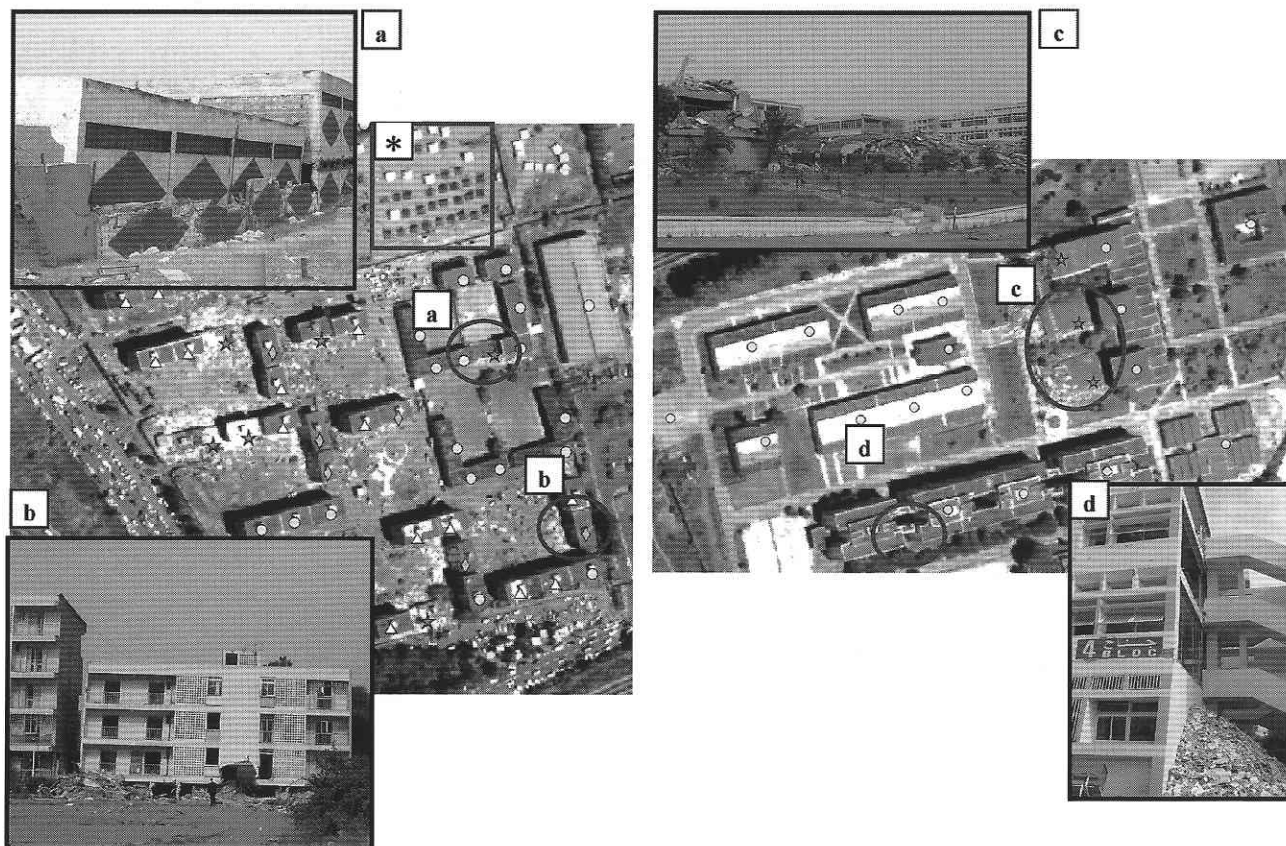


図7 衛星画像と現地写真との比較 (地上写真撮影: 目黒公郎助教授)

研 究 速 報

ていることが読み取れる。

以上の結果をもとに、衛星画像により判別した建物被害レベル、主要道路を境界とした31区画の区画ごとの被害率 (Grade 5, Grade 4, Grade 3の合計被害棟数/全建物棟

数)、地震2日後と28日後におけるテントの位置と各区画のテント数を図8に示す。

bの被害率分布より、川沿いの地域の被害が大きいなどの被害の特徴を把握することができる。また、現地調査における微動観測の結果⁴⁾と比較すると、地盤条件が良好と評価された地域の被害率は比較的小さく、地盤条件が悪いと評価された地域の何箇所かは被害率の大きい地域であることがわかった。このことから、局所的な地盤特性による地震動の増幅が建物被害に影響を与えたと考えられる。

また、避難用テントは地震2日後の画像から284個、28日後の画像から3150個抽出された。テントの数や分布などの情報から、応急対応や復旧の状況も把握することができる。

5. お わ り に

高解像度衛星画像を用いた地震被害把握に関し、2003年5月に発生したアルジェリア地震の被災地 Boumerdes 市の建物被害について分析を行った。地震2日後と地震1年前の画像から目視により被害を判読した結果、崩壊 (Grade 5)、部分的崩壊 (Grade 4) は良好に分類できたが、一部損傷・瓦礫 (Grade 3) は困難であった。また、被災者用テントも画像から読み取ることができた。

今後、被害把握や復旧計画支援への実用化に向けて、地震1ヶ月後の画像との比較、現地調査による被害率との比較などを行い、今回の結果の精度を検証する予定である。

謝 辞

QuickBird 画像は米国 Earthquake Engineering Research Institute より提供された。東京大学生産技術研究所目黒公郎助教授には、アルジェリア地震の現地調査による資料・情報を提供していただいた。記して謝意を申し上げる。

(2003年9月11日受理)

参 考 文 献

- 1) 松岡昌志, 山崎文雄, 翠川三郎: 1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星光学センサ画像の特徴, 土木学会論文集, No. 668/I-54, pp. 177-185, 2001. 1
- 2) 松岡昌志, 山崎文雄: 1995年兵庫県南部地震での被害地域における人工衛星 SAR 強度画像の特徴, 日本建築学会構造系論文集, No. 546, pp. 55-61, 2001. 8
- 3) 小川直樹, 山崎文雄: 航空写真を用いた兵庫県南部地震における建物被害の目視判読, 地域安全学会論文集, Vol. 2, pp. 119-128, 2000. 11
- 4) 小長井一男, 目黒公郎, 小野祐輔, S.A.E.S. Elkholy : 2003年アルジェリア北部の地震 報告4: BOUMERDESでの震度分布について, 宮城県沖の地震・アルジェリア地震被害調査報告概要集, pp. 71-75, 2003. 8

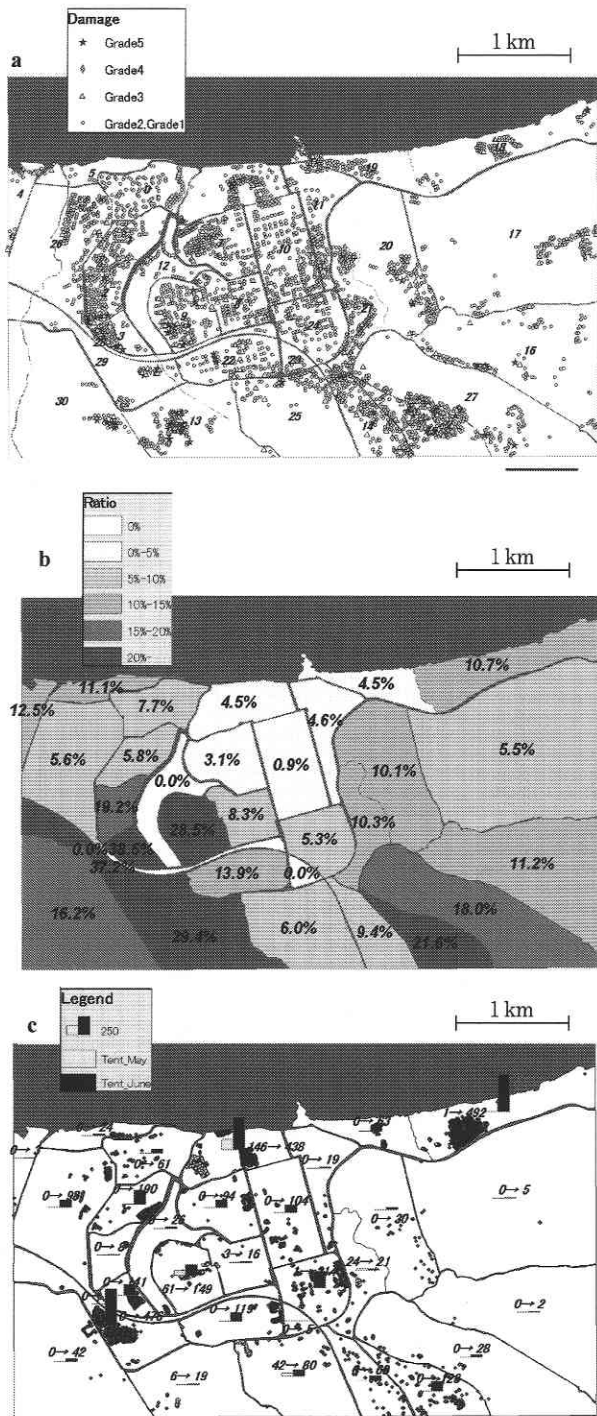


図8 a: 全建物の被害判読結果, b: 区画ごとの被害率, c: テントの分布と区画ごとのテント数