

## 中国・四川省，北川地区における FORMOSAT-2 画像を用いた地震による斜面崩壊の判読

国土地理院地理地殻活動研究センター

佐藤 浩

(米国地質調査所／国立地震情報センター客員研究員)

### 1. はじめに

2008 年 5 月 12 日，中華人民共和国・四川省西部で M7.9 の地震が発生した。震源の位置は，北緯 30.986°，東経 103.364°，深さ 19km である<sup>1)</sup>。

四川省は亜熱帯モンスーン気候区に位置する<sup>2)</sup>。四川地方における降雨に伴う土砂災害の月別死者数は，2005 年～2007 年の 3 年間積算で，7 月は 5 月・6 月よりも比較的高い 80 人超となっている<sup>3)</sup>。梅雨期を控え，今回の地震による崩壊斜面の拡大，斜面に残存する崩積土の再流動，河道閉塞箇所の決壊など，今後の土砂移動に関わる災害の多発が懸念される。わが国でも，2004 年新潟県中越地震 (M6.8) で旧山古志村を中心に多数の斜面崩壊が生じた<sup>4)</sup>ことは記憶に新しい。わが国の地震による斜面防災を考える上でも，今回の地震によって生じた斜面崩壊を看過することはできない。

地震による斜面崩壊を判読してその分布を把握するために，迅速かつ容易に入手できる比較的解像度の高いカラー衛星画像を検索した。2005 年パキスタン北部地震では，地震発生直後に被災地区周辺のコノス画像が Web で無償公開され，グーグルアースがクイックバード衛星画像を公開した。現地からの状況が得にくい地域であっても，Web から得られる衛星画像が被災地区の情報を迅速に収集するための重要な情報源になることが指摘されている<sup>5)</sup>。

今回の地震による斜面崩壊を示した衛星画像を最初に伝えたのは，5 月 15 日付けの台湾・中央通訊社であった<sup>6) 7)</sup>。その報道では，北川付近の地震前後の FORMOSAT-2 衛星画像が比較され，斜面崩壊が北川の市街地の一部を直撃したこと，市街地近傍の河道が斜面崩壊によって閉塞され，堰水域上流部の村が浸水を始めている (唐家山堰塞湖<sup>8)</sup>) ことを示していた。筆者は，5 月 20 日に，この FORMOSAT-2 衛星画像がグーグルアース上で一般に無償で公開されていることに気づいた。そこで，無償で公開されている FORMOSAT-2 画像のうち，鮮明で雲域が比較的少ないカラー画像 (解像度 8m) がカバーする北川付近を対象地区とした。

1) <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan>

2) <http://japanese.china.org.cn/japanese/ri-difang/sichuan.htm>

3) <http://daveslandslideblog.blogspot.com/2008/05/sichuan-landslide-problems-seasonal.html>

4) Chigira M, Yagi H, 2006, Geological and geomorphological characteristics of landslides triggered by the 2004 Mid Niigata prefecture earthquake in Japan, Engineering Geology, 82, 202-221.

5) <http://www.soc.nii.ac.jp/ajg/ejgeo/228694une.pdf>

6) <http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/080515/5/z93r.html>

7) [http://www.ntrnu.org.my/info\\_detail.php?info\\_type=News&info\\_id=1815](http://www.ntrnu.org.my/info_detail.php?info_type=News&info_id=1815)

8) [http://news.xinhuanet.com/english/2008-05/31/content\\_8291553.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2008-05/31/content_8291553.htm)

### 2. 対象地区

対象地区は，震央から北東に 130km 離れている。図—1 に，対象地区の標高を示す。標高データは，米国航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration) の FTP サイト<sup>9)</sup>から無償でダウンロードした約 90m 解像度の数値地形モデル (Digital Elevation Model: DEM)，SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 3-DEM に基づく。赤いほど標高が高く，青いほど標高が低い。ダウンロードした SRTM3-DEM に標高値が欠

けている (No data) 箇所が広い範囲 (具体的には, 108km<sup>2</sup>以上) で認められたので, その部分は図-1の黒色で示した.

対象地区は南西隅で最も高く, その主尾根は約2,000m~3,200mである. そして, 南東隅付近から排出する河川に向かって低くなっている. 河谷の標高は700m~1,200mであるので, 比高は約1,300m~2,000mである.

9) <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm>

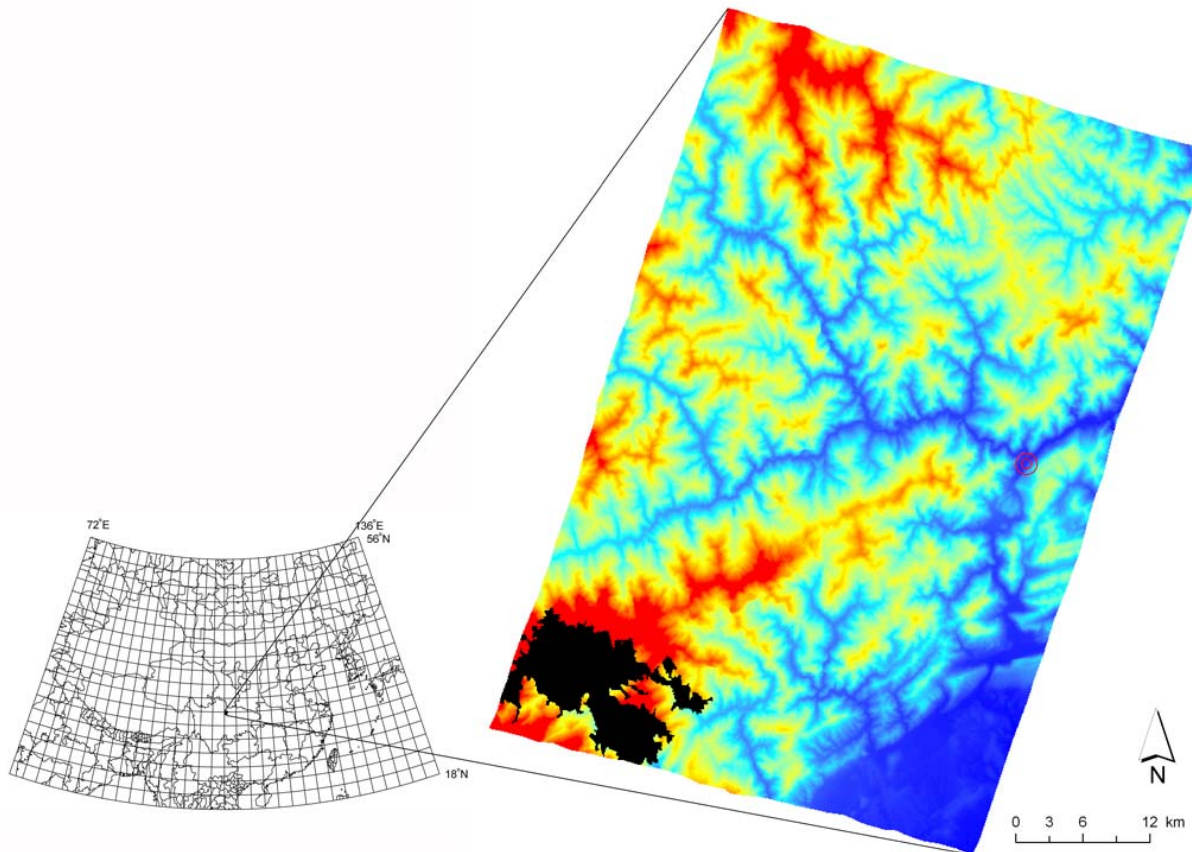


図-1 対象地区の標高. 赤の◎は, 北川を示す.

### 3. FORMOSAT-2 衛星画像の判読と結果

グーグルアース上で認められる FORMOSAT-2 画像の位置は, 地形に合わされているものの, 河川が山腹を這ったり, 崩壊源が谷底に認められるなど, 必ずしも正確には位置が合っていない. しかし, 地震による斜面崩壊分布を迅速に把握しようとしたため, あえてグーグルアース上でその崩壊源の分布をマッピングした. 崩壊をいくつかのタイプに分類することは難しかった. 画像の撮影日は5月15日であり, 東西約45km×南北約67kmの約3,015km<sup>2</sup>の範囲が撮影されている (図-1).

地震前後の FORMOSAT-2 画像の比較<sup>6)</sup>から, 対象地区の斜面には地震前に生じた斜面崩壊の跡のあることが判ったので, 本来であれば, 地震前の FORMOSAT-2 画像あるいはこれより細かい解像度の衛星画像と比較しながら, 地震で生じた斜面崩壊を判読すべきである. ところが, そのような地震前の衛星画像は本稿では使えなかったので, 判読により, 以下を満たすものを地震による斜面崩壊と考えた. 1) 崩積土が明瞭に斜面基部に認められて, 道路や擁壁のような人工物や河川を被覆あるいは破壊している場合, 2) 周囲の斜面崩壊が薄茶色に映っていても, それと対照的に明るい橙色あるいは白っぽく映っている場合, 3) 周囲の斜面崩壊が薄茶色に映っていても, それとは対照的に暗褐色に映っている場合, 4) 土砂の移動した痕跡が明瞭に認められる場合.

崩壊源の位置を特定するために, なるべく接近したグーグルアースの鳥瞰図をコンピュータの画面で示すとともに, その位置を誤らないように, 四方から判読してその位置を特定した. また, FORMOSAT-2 画像の位

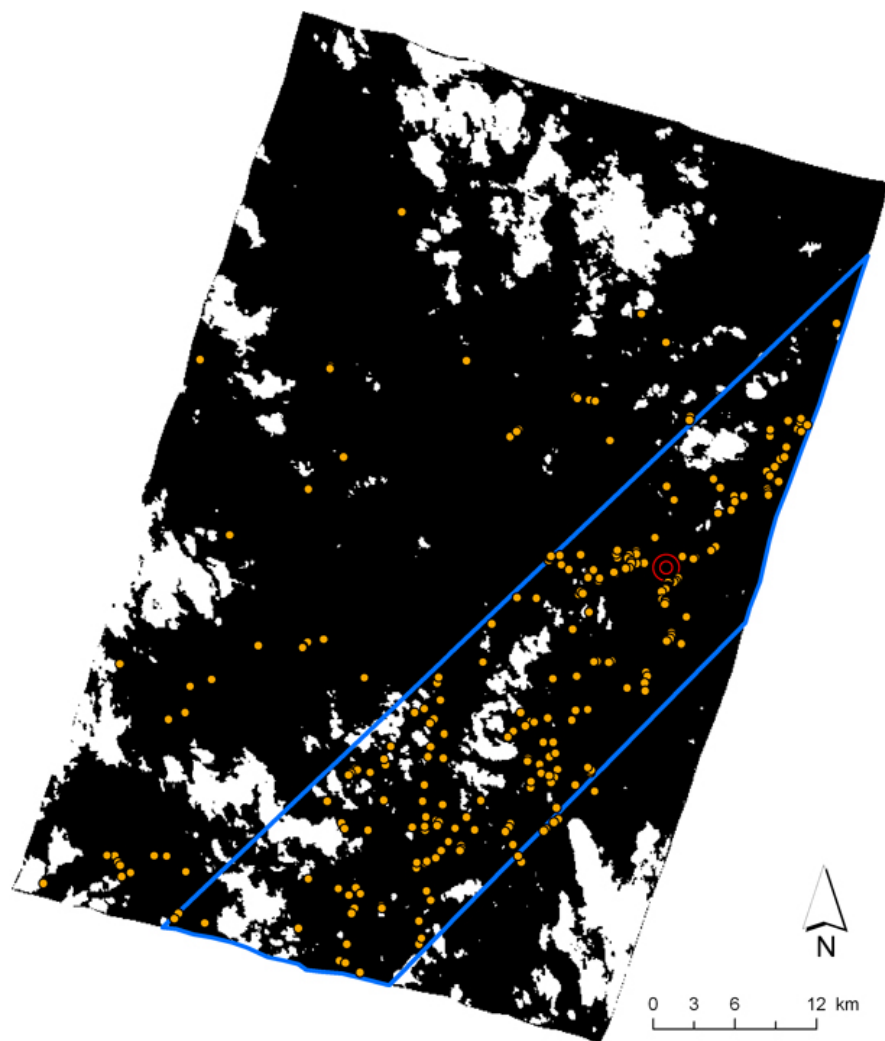
置がグーグルアースの鳥瞰図の地形に反して明らかにずれている場合は、地形を読みながら、合理的な位置を推定した。

判読した斜面崩壊の分布を図—2に示す。その箇所数は257であった。図—2から、斜面崩壊は対象地区にまんべんなく分布しているのではなく、南東に集中していることが判った。図—2において、その崩壊集中帯を青枠で示す。

FORMOSAT-2 から判読された斜面崩壊の規模は8m×8mより大きい。実際には、ある程度、規模が小さくないと上述の判断が難しい。実際にどの程度の規模の斜面崩壊を抽出したのか厳密に述べることは困難であるので、ここでは、サンプルとして試みに10個の斜面崩壊のサイズをグーグルアース上で計測したところ、計測値の分布は、傾斜方向で240m~831m、傾斜方向と直交する方向で40m~217mであった。したがって、今回判読対象とした斜面崩壊の規模は、それらの平均値を参照して、500m（傾斜方向）×100m（傾斜方向と直交する方向）、つまり、5haである。

図—2の白色で示したのは、FORMOSAT-2画像に映っていた雲域である。次の手順で雲域を抽出した。

グーグルアース上で対象地区全域のFORMOSAT-2画像をコンピュータの20インチの画面いっぱい拡大して、その画像からカラー画像データを取得した。解像度は90mであった。その画像データを256階調のグレースケール画像に変換し、画素値のしきい値を254, 250, 240, 230, 220, 210, 200, 190と8つの場合に分けて、さらに二値化した。つまり、8種類の二値化画像を得たことになる。FORMOSAT-2画像で斜面崩壊の判読が困難だと判断される雲域の分布を説明するのに最適なものは、しきい値を200としたときの二値化画像であった。従って、判読対象範囲は、図—2の黒色で示した約2,536km<sup>2</sup>である。



図—2 今回の地震による斜面崩壊の分布（橙色の点）と、FORMOSAT-2画像の雲域（白）。青枠は斜面崩壊の集中域。赤の◎は、北川を示す。

図—2で、青枠で囲まれた黒色の範囲は667km<sup>2</sup>であり、そしてその中には207箇所の斜面崩壊が含まれている。そこで、崩壊密度は207箇所/667km<sup>2</sup> = 0.3箇所/km<sup>2</sup>となった。中越地震の場合には7タイプの斜面崩壊が分類され、その中でも崩壊面積が平均2.5haのタイプの斜面崩壊は、崩壊集中域における崩壊密度が0.4箇所/km<sup>2</sup>~0.6箇所/km<sup>2</sup>であった<sup>10)</sup>。今回の地震のほうが中越地震よりもマグニチュードが大きいことから判断して、本稿の対象地区で、もし、今回特定したサイズ5haより小さいサイズの斜面崩壊を抽出すれば、崩壊集中域における崩壊密度は0.3箇所/km<sup>2</sup>より高くなることが予想される。

10) 関口辰夫・佐藤 浩, 2006, 新潟県中越地震における斜面崩壊の特徴と分布, 日本地すべり学会誌, 43(3), 142-154.

#### 4. おわりに

本稿の対象地区は、断層面における震源から北東に向かう破壊の2番目のステージ、すなわち断層面の右横ずれすべり<sup>11)</sup>の影響を受けている。地殻変動を明らかにするため、中国の国家測絵局は5月29日、地震前後のGPS連続観測データの分析を行っていることを明らかにした<sup>12)</sup>。現時点では、地表変位の向きや地表地震断層の位置に関するデータを得ていないことから、それらのデータと斜面崩壊の位置の関わりを議論することは今後の課題である。

11) [http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press\\_HP/yagi/EQ/20080512/](http://www.geo.tsukuba.ac.jp/press_HP/yagi/EQ/20080512/)

12) [http://news.xinhuanet.com/newscenter/2008-05/29/content\\_8278241.htm](http://news.xinhuanet.com/newscenter/2008-05/29/content_8278241.htm)