

衛星リモートセンシングによる2008年中国四川省汶川地震の災害検出

加藤 芳信*

Detection of Disasters of Wenchuan Earthquake in Sichuan, China in 2008 by using Satellite Remote Sensing

Yoshinobu Kato

On 12 May 2008, a severe earthquake of magnitude 8.0 on the Richter scale occurred in Wenchuan Country, Sichuan, China. It caused heavy losses in human life and property. The remote sensing technology has played an active role in Wenchuan earthquake monitoring and assessment. In this paper, the detection and the analysis of disasters in Beichuan Country where the earthquake damage was terrible, using the satellite data of ALOS-PRISM/AVNIR-2/PALSAR and TERRA-ASTER/MODIS, are described. The changes of Tangjia Mountain dammed lake in Beichuan Country are also shown. The satellite data from 31 March 2007 to 21 November 2009 are used.

Keywords: Wenchuan earthquake, Beichuan, Tangjia Mountain dammed lake, ALOS, AVNIR-2, PRISM, PALSAR, ASTER, MODIS, disaster detection, remote sensing

1. はじめに

2008年5月12日14時28分CST中国標準時(=15時28分JST日本標準時=6時28分UT世界標準時)に、中国四川省(Sichuan Province)汶川県(Wenchuan Country)を震源(北緯31度01分05秒, 東経103度36分05秒)とするマグニチュード8.0(M8.0)の巨大地震が発生した[1,2,6-13,15-24]。汶川地震の特徴は、(1)直下型・逆断層型の地震である、(2)震源が浅い(深さ約14Km)、(3)震度が大きい、(4)波及範囲が広い、(5)山間部における土砂災害(土砂崩れ, 地すべり, 山体崩壊, 土石流など)が多い、(6)土砂崩れ等による河道閉塞による大規模な堰塞湖(地震湖)の発生が29箇所[15]と多い、(7)水力発電ダムの被害が多い、(8)山間部および都市部における建物, 道路の被害が多い、(9)人的被害が大きい(2008年7月14日現在で死者69,197人, 行方不明者18,340人, 負傷者374,176人)、(10)家屋被害が多い(家屋倒壊約2万棟, 家屋損壊約415万棟), などである。

衛星リモートセンシングによる災害観測は、交通手段がないため、あるいは危険なため現地へ行けない場合でも、災害発生後迅速・広範囲に画像を取得できるので、非常に有用である[10,14]。衛星リモートセンシングによる地震災害や豪雨災害[3,4]の検出では、光学センサを利用したカラー画像、フォーカスカラー画像、NDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数)画像およびNDVI差画像などの方法で一般に行われている。しかし、マイクロ波センサを利用した災害検出[1,2,6,8,10,11,13]はそれほど一般的でない。マイクロ波センサは昼夜や天候に関係なく観測画像が使えるという特長がある。

本論文では、地球観測衛星ALOS(エーロス, 日本名だいち)のマイクロ波センサ(解像度12.5mのPALSAR)と光学センサ(解像度10mのAVNIR-2および解像度2.5mのPRISM)による汶川地震の災害検出を行う。具体的には地震災害検出に有用な衛星画像の処理方法を示し、更に処理画像の判読(画像から情報を読み取ること)を行う。汶川地震の被害範囲は広大なため、本論文では最も被害の大きかった地域の1つである四川省北川県(Beichuan Country)を主な研究対象とする。唐家山堰塞湖の貯水域の変化を示す画像(地震前の2007年3月31日から地震後の貯水を経て排水後の2009年11月21日まで)も示す。なお、本論文は文献[1,2]を基に加筆したものである。使用したソフトウェアはリモートセンシング画像解析用のER MapperとGIS用のArcMapである。

2. ALOS衛星のセンサと災害検出法

2.1 ALOS衛星のセンサの種類

日本の陸域観測技術衛星ALOS(エーロス, 日本名だいち)は次の3つの地球観測センサを搭載している。

* 電気電子情報工学科

- ①PRISM (パナクロマチック立体視センサ) : 光学センサ, 解像度 2.5m
 目的: 標高など地表の地形データを高精度で読み取る。
 観測波長帯: 0.52~0.77 μm の 1 バンド
- ②AVNIR-2 (高性能可視近赤外放射計 2 型) : 光学センサ, 解像度 10m
 目的: 土地の表面の状態や利用状況を知る。
 観測波長帯: band1 : 0.42~0.50 μm (青), band2 : 0.52~0.60 μm (緑),
 band3 : 0.61~0.69 μm (赤), band4 : 0.76~0.89 μm (近赤外)
- ③PALSAR (フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダー) : マイクロ波センサ, 解像度 12.5m
 目的: 昼夜・天候によらず観測を行う。

2. 2 災害検出に関する ALOS 衛星のマイクロ波センサ PALSAR の特性

- ①湖などの静水面では, 衛星からの放射電波は水面で反射して向こう側に行ってしまうため, 反射電波は衛星には戻らず, 画像は暗い (図 1(a)参照)。
- ②海などの波がある水面の場合は, 衛星からの放射電波は波で反射してある程度衛星に戻ってくるので, 画像はある程度明るい (図 1(b)参照)。
- ③校庭などの表面が平らな場所は画像が暗い。
- ④地表面が滑らかな所は凸凹の所よりも画像が暗い。
- ⑤高い物体または場所の画像位置は衛星側に寄る。
- ⑥鉄橋や鉄塔・電線などの金属物では強い反射電波が戻ってくることがある。
- ⑦鉄筋コンクリートのビルなどが樹立している場所の反射電波は強いので画像は明るい, 地震でビルなどが崩れると反射電波が弱くなり画像は暗くなる。
- ⑧L バンド(1270MHz)であるため山林の樹木に対しては, 幹には反応するが, 葉は透過する。従って, 地表の様子がある程度分かる。
- ⑨土砂崩れ等の場所では, 崩れ前より滑らかになった所は画像が暗くなり, 凸凹になった所は明るくなる場合が多い (但し, 衛星の放射電波角度と斜面の角度の関係で逆になる場合もある)。
- ⑩従って, 地震の前後で画像の明るさに変化があった場所は, 何らかの被害があった可能性が高い。

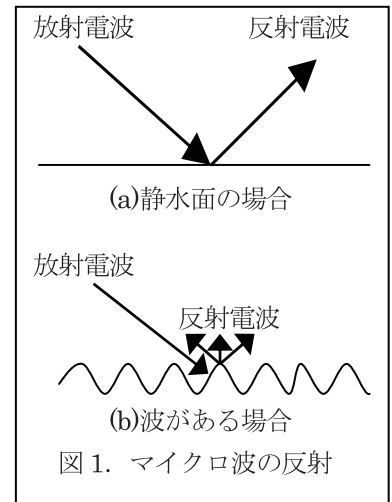


図 1. マイクロ波の反射

2. 3 マイクロ波センサによる地震災害検出法

これは, RGB 合成カラー画像の R に地震後の PALSAR 画像, G と B に地震前の PALSAR 画像, を割当てする方法[1,2]である (文献[6]とは RGB の割当て方が異なる)。この災害検出法は, 雨天や曇天あるいは夜間のため光学センサによる災害検出ができない場合でも, ある程度の災害検出ができる簡便かつ有用な方法である。

前節で記したことを考慮すると次のようになる。①地震前後の両方で川または湖の水である所は黒, 地震後に増水した部分は水色, 水が無くなった所は赤色になる。②地震によりビル・家屋が崩壊した所は水色になる。③土砂崩れ等で滑らかになった所 (削られた所) は水色, 凸凹になった所 (土砂がたまった所) は赤色になることが多い。

2. 4 解析に用いる衛星画像データ

本論文で解析に用いる衛星画像データを時系列順に記す。

- (1) 2007 年 3 月 31 日 (地震前約 1 年) ALOS 衛星の AVNIR-2 と PRISM
- (2) 2008 年 2 月 17 日 (地震前約 3 ヶ月) ALOS 衛星の PALSAR
- (3) 2008 年 5 月 12 日 (汶川県, 北川県を地震発生約 2 時間前に撮影) TERRA 衛星 MODIS (解像度 500m)
- (4) 2008 年 5 月 16 日 (地震後 4 日目) ALOS 衛星の AVNIR-2
- (5) 2008 年 5 月 19 日 (地震後 7 日目) ALOS 衛星の PALSAR
- (6) 2008 年 6 月 4 日 (地震後約 1 ヶ月) ALOS 衛星の AVNIR-2
- (7) 2008 年 7 月 4 日 (地震後約 2 ヶ月) ALOS 衛星の PALSAR
- (8) 2008 年 8 月 11 日 (地震後約 3 ヶ月) TERRA 衛星 ASTER の VNIR (解像度 15m)
- (9) 2009 年 2 月 19 日 (地震後約 9 ヶ月) ALOS 衛星の PALSAR
- (10) 2009 年 11 月 21 日 (地震後約 1 年半) ALOS 衛星の PRISM

3. 汶川地震の災害解析を行う場所である四川省北川県と唐家山堰塞湖に関する事項

汶川地震の災害解析に関する研究報告・論文として文献[1,2,6-13]があり、本（中国語）として[15,16]がある。また、全体的な現地調査報告・論文として文献[17-20]がある。本節では、本論文の解析対象場所である北川県（唐家山堰塞湖を含む）について、次節以降に必要な事項を記す。

3.1 北川県に関する事項

汶川地震の震源は、四川盆地とチベット高原の境界付近で北東から南西方向に延びる長さ約 300km の龍門山断層帯 (Longmen Shan Thrust Zone) [5]に位置する[10,11,19-21]。本研究で解析の対象とする北川県はこの断層帯上に位置する。この付近の山はかなり急峻である。例えば、2008 年 5 月 18 日の Web 記事「AFP BB News: 中国・四川大地震、雨による被害拡大に懸念」に掲載されている北川県曲山鎮の災害状況を示す写真の 1 つ (<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2392597/2937547>) を見ると、崩れた山の斜面の角度は 45 度くらいである。また、文献[12]には、北川県付近には海拔の高い山が多くあり、斜面の傾斜度が 0 度から 60 度まであり、最も多いのは 30 度前後の傾斜であると記されている。山の傾斜が日本の山とは比べ物にならないくらい急なので、衛星リモートセンシングのトゥルーカラー画像の読み取りには注意を要する（例えば、山の上部和下部を逆に判断してしまうことがある）。なお、汶川地震の震源、龍門山断層帯、北川県、綿陽市などの位置関係を示す図は、文献[20]の図-1、図-8 および 2008 年 5 月 21 日 Web 記事「【図解】中国・四川大地震の断層 (<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2394224/2953171>) を参照されたい。

北川県（面積 2,869km²、人口 16 万人）では 8,605 人が死亡・行方不明になり、家屋の倒壊率は約 80%であった[15]。特に被害の大きかった場所は曲山鎮（県政府がある町で北川県城とも言う。北緯 31 度 49 分 55 秒、東経 104 度 27 分 24 秒）で、住民約 13,000 人のうち約 8,000 人が死亡・行方不明になった。曲山鎮は震源地から約 120km 北東の位置にある。曲山鎮から北西へ約 3.2km 上流の唐家山では汶川地震により大規模な地すべりがおこり、湔江（センコウ, Jiangjiang River: 綿陽市 (Mianyang City) を流れる涪江 (フウコウ, Fujiang River) の支流) が堰き止められ、ダム湖「唐家山堰塞湖 (Tangjia Mountain dammed lake)」が形成された。

3.2 唐家山堰塞湖に関する事項

唐家山堰塞湖の水位や貯水量等に関して発表されている最初の日時 5 月 19 日の貯水量は約 0.3 億 m³ (本[16]p.67) であり、5 月 23 日の貯水量は約 1 億 m³ (本[16]p.68) である。2008 年 5 月 26 日の Web 記事「全力排險唐家山堰塞湖(図) (http://www.wxrb.com/pub/wxxcm/gjss/2008gn/200805/t20080526_255565.htm)」によれば、堰塞体の大きさは幅 611m、長さ 803m、高さ 82~124m (別の Web 記事[23]では幅 611.8m、長さ 803.4m、体積約 2037 万 m³ と記載) であり、堰頂の最低位置は海拔 752m であり、5 月 24 日の堰塞湖の水位は海拔 723m、貯水量は 1.28 億 m³ であると記されている。水位は毎日約 2m ずつ上昇している。本[16]p.69 によれば 5 月 27 日 8 時の水位は 727.02m、堰塞体前の水深は 60.37m、土手と水面の距離は 23.18m である。従って堰頂の最低位置は海拔 750m が正しいことになる。文献[11]によれば 5 月 30 日の水深は 64.37m、貯水量は 1.71 億 m³ である。

唐家山堰塞湖が決壊すると下流の綿陽市街の約 100 万人が多大な被害を受けることになるので、5 月 26 日に唐家山堰塞湖の堰塞体に排水路を作る工事が開始され、6 月 3 日に設計流量 1000~2000m³/秒の幅 50m、長さ 475m、深さ 12m の排水路が完成した。6 月 5 日 Web 記事「<四川大地震>決壊可能性 93%、排水路完成も決壊防げず—唐家山せき止め湖 (<http://www.recordchina.co.jp/group/g20041.html>)」によれば、6 月 3 日 16 時の水位は 736.9m、土手と水面の距離は 3.14m、貯水量は 2.08 億 m³ である。

6 月 7 日より排水路による排水が開始され、10 日に排水が成功した[22-24]。7 日の排水開始の堰塞湖の様子は 6 月 9 日 Web 記事[22]の写真参照されたい。6 月 8 日 Web 記事「<四川大地震>せき止め湖、水位上昇止まらず、専門家を再び現地へ—綿陽市唐家山 (<http://www.recordchina.co.jp/group/g20193.html>)」によれば、排水開始後も堰塞湖へ流入する水の量が 115m³/秒で、排水路による排水量 16.3m³/秒と滲水排出量 25m³/秒の合計より多いため水位は上昇し、8 日正午に水位は 741.82m、貯水量は 2.4 億 m³ になった。6 月 10 日 Web 記事「<四川大地震>排水中の唐家山せき止め湖、ダム本体に亀裂 (<http://www.recordchina.co.jp/group/g20262.html>)」によれば、最高水位は 10 日 1 時 30 分 743.1m であった。10 日の大量排水の様子は 6 月 11 日 Web 記事[23,24]の写真参照されたい。Web 記事[23]には地震発生後から 6 月 10 日までの堰塞湖に関する出来事が書かれている。10 日の大量排水

による曲山鎮の増水や綿陽市を流れる涪江の増水の様子は、6月11日Web記事「四川大地震 せき止め湖の排水が加速 (<http://www.afpbb.com/article/disaster-accidents-crime/disaster/2403281/3018764>)」に詳しい。

唐家山堰塞湖の排水量の時間的変化をまとめると次のようである。6月7日7時頃より水が流れだし、流量は、7日7時8分1m³/秒、8日20時30m³/秒、9日8時48m³/秒、9日17時81m³/秒、10日8時700m³/秒、12時頃6420m³/秒(最大流量)、20時290m³/秒であった。排水により10日20時に貯水量は1.1億m³に減少し、水位は約20m低下して海拔719.48mになり、排水路の幅は145mに拡大していた。下流の綿陽市街を流れる涪江の水位は10日15時15分に最高水位を終え、綿陽市街は洪水の危機を脱した。6月12日のWeb記事「堰止め湖の貯水量が1億立方メートル以下に (<http://japanese.cri.cn/151/2008/06/12/1@120123.htm>)」によれば、6月11日の唐家山堰塞湖の貯水量は約0.9億m³に減少している。この日以降の唐家山堰塞湖の水位や貯水量等の発表は見当たらない。

4. MODISによる地震直前の画像

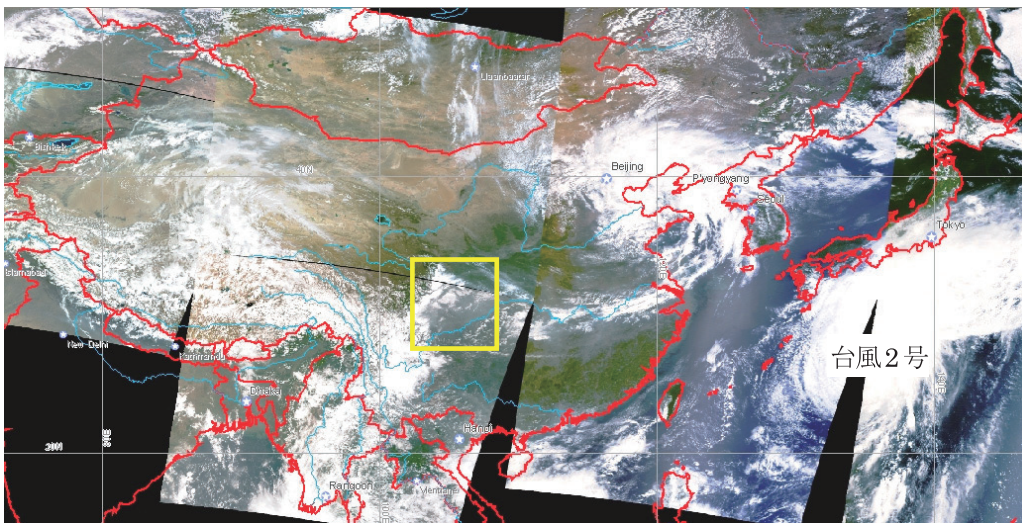
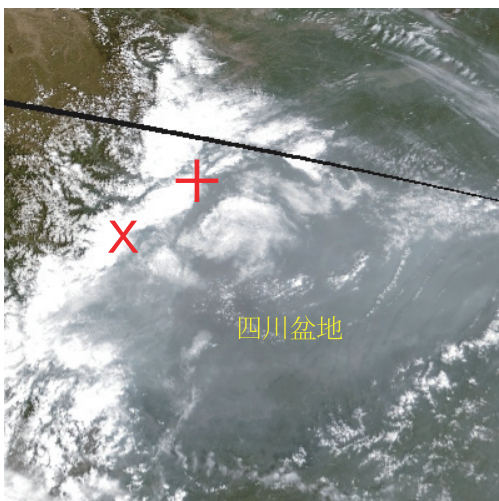


図2に地震当日のTERRA衛星MODIS画像を示す。右側2つのパスは福井工業大学あわらキャンパスの衛星受信設備で受信したデータ、左側2つのパスはNASA (<http://wist.echo.nasa.gov/>) から入手したデータを使用した。北川県、汶川県は4時15分

図2. 2008年5月12日0時51分～5時55分 UT のMODIS トルーカラー・モザイク画像 (北緯52度～15度, 東経73度～147度)

UT頃(地震発生約2時間前)



に撮影された。図2では衛星画像と地図(20度ごとの緯度経度線, 首都, 国境と海岸線(赤), 川と湖(水色))を重ね表示してある。図2の真中付近の黄色四角枠は四川省付近であり、この部分を図3に拡大表示する。赤色+印は北川県曲山鎮, 赤色X印は汶川県の震源地の位置を示す。北川県, 汶川県付近は雲がかかっている地上の様子が見えない。また、四川盆地全体も薄い雲に覆われていて地上の様子が殆ど見えない。なお、地震発生当日の衛星画像を示した論文や報道は見当たらないので、図2, 図3は貴重である。

図3. 四川省の北川県曲山鎮(+印), 汶川県の震源地(X印)と四川盆地付近のMODIS トルーカラー画像(縦710km, 横610km, 北緯34度0分～27度36分, 東経102度0分～108度24分)

5. 光学センサ (AVNIR-2, PRISM) による汶川地震の災害検出

四川省北川県付近の衛星画像ではMODIS等も含めて、雲量が小さい画像は少ない。図4は2008年6月4日(地震後約1ヶ月)のALOS衛星画像で、雲が少なく地上がかなりはっきり見える画像である。図4に解析場所を黄色および赤色の四角枠で示す。即ち、上側の黄色四角枠は第7節での唐家山堰塞湖の貯水域の変化解析の場所、上側の赤色四角枠は本節と次節での唐家山の地すべりと堰塞体の解析と曲山鎮の被害解析の場所、左下の黄色四角枠は

本節での最大規模の地すべり場所の解析の場所，である。

図 5 は Google マップによる漩坪郷～唐家山堰塞体～曲山鎮付近の地形（地震前）である。図 5 より漩坪郷の標高は約 700～720m，唐家山の地すべりによる堰塞体が形成された場所の地震前の河川付近の標高は約 680m，曲山鎮の町の標高は約 640m である。

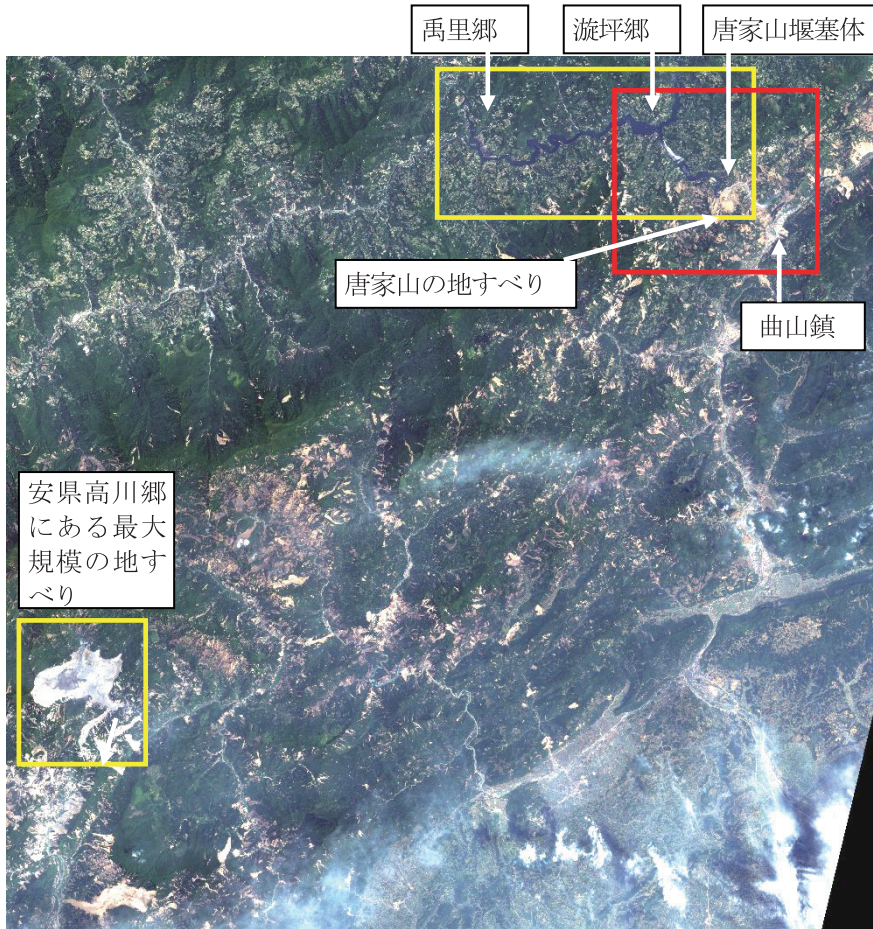


図 4. 2008 年 6 月 4 日の AVNIR-2 によるカラー画像
（北緯 31 度 54 分 0 秒～31 度 32 分 30 秒，東経 104 度 5 分 0 秒～
104 度 30 分 30 秒，縦 40km，横 40km）。

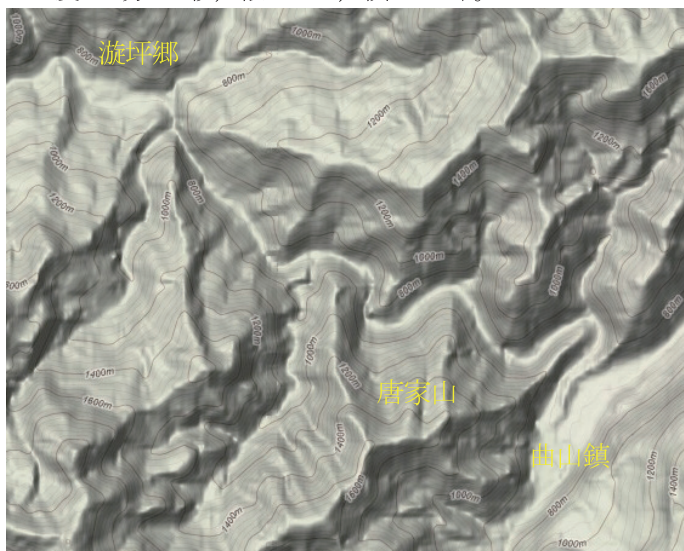


図 5. Google マップ (<http://maps.google.co.jp>) による
漩坪郷～唐家山堰塞体～曲山鎮付近の地形と等高線
（横 8.5km，縦 7km，土砂崩れ等の場所や増水の高さ等の
解析に用いる）

鎮の町の標高は約 640m である。

図 6 は地震前の 2007 年 3 月 31 日北川県付近の AVNIR-2 によるカラー画像（R:G:B=band 3:2:1）である。曲山鎮付近には薄雲がかかっている。黄色四角枠で示す曲山鎮付近をより鮮明な画像にするため，AVNIR-2（解像度 10m）カラー画像と PRISM（解像度 2.5m）モノクロ画像を組合せて，等価的に 2.5m 解像となるパンシャープン・カラー画像 [4] を作成した（図 7 参照）。図 7（地震前）と地震後の画像を比較することにより，曲山鎮の地震被害の程度が分かる。

図 8 は，図 6 と同じ範囲の 2008 年 5 月 16 日の AVNIR-2 によるカラー画像である。雲が多い画像であるが，唐家山の地すべりと，それによる川（湔江）の堰き止めが見える。水は濁っている。

図 9 は 2008 年 6 月 4 日のカラー画像である。地震後 23 日経過したので，川の水はきれいである。図 9 の中央黄丸の所で，唐家山の地すべりにより，川（湔江）が堰き止められ，堰塞湖を形成していることがはっきりと見える。堰塞体の北側でしみ出した少量の水が流れている（画像では黒く見える）。南側には幅 50m，長さ 475m，深さ 12m の排水路（画像ではオレンジに見える）が見える。画像を計測すると次のようであった。唐家山の地すべりの幅は 612.1m，長さ（真上から見た水平距離）は最小 631.5m，最大 805.5m である。堰塞体の最大幅は 502.9m，最大長は 637.5m である。建設された排水路の長さは 477.5m である。

緑丸の所は貯水により川幅が最大になった場所（漩坪郷）で，川幅は最大 600m である。第 3.2 節に記したことから，唐家山堰塞湖の水位は約 738m と推測される。漩坪郷の集落は標高が約 700～720m なので，図 9 でも明らかなように完全に水没



図 6. 2007年3月31日北川県の様子 (AVNIR-2 トルーカラー画像, 東経 104 度 22 分 50 秒~104 度 28 分 15 秒, 北緯 31 度 52 分 45 秒~31 度 48 分 59 秒, 横 8.5km, 縦 7km)



図 7. 2007年3月31日曲山鎮の様子 (PRISM と AVNIR-2 によるパンシャープン・トルーカラー画像, 横 2.1km, 縦 3km)

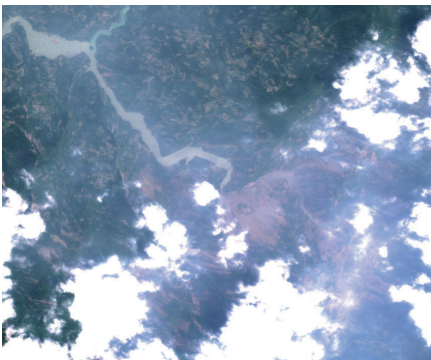


図 8. 2008年5月16日北川県の様子 (AVNIR-2 トルーカラー画像, 横 8.5km, 縦 7km)

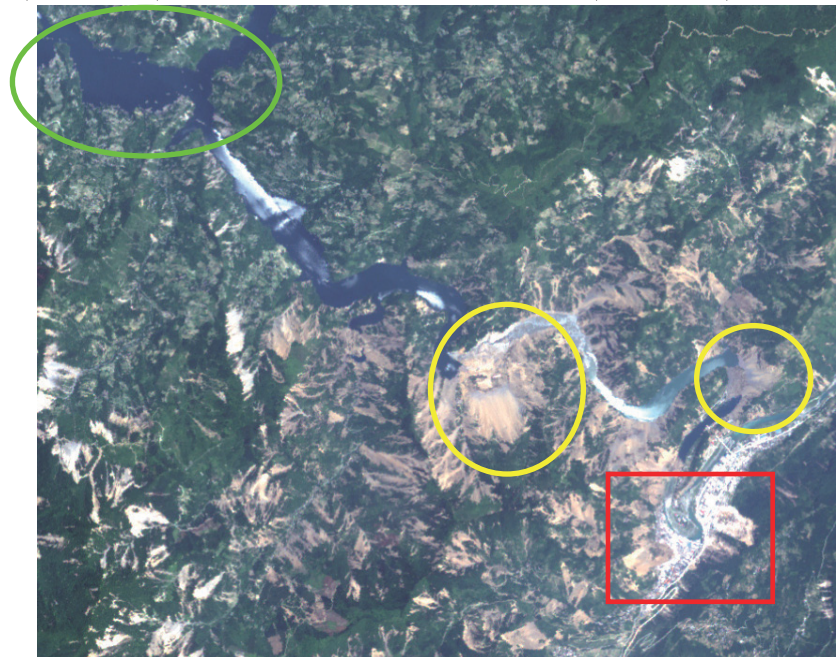


図 9. 2008年6月4日北川県の様子 (AVNIR-2 トルーカラー画像, 横 8.5km, 縦 7km)

している。右側黄丸の所でも土砂崩れにより川が堰き止められている。これにより苦竹水力発電所は浸水している。

赤色四角枠の所 (曲山鎮) を図 10 に拡大表示する。地震で沢山の建物が崩壊しており, 2つの大規模な土砂崩れが町の一部を覆っている。図 7 と比較した画像計測では, 町を覆った土砂の面積は, 図 10 の左側 (西側) の土砂崩れで赤線より右の部分が約 3.9 万 m^2 , 右側 (東側) の土砂崩れで紫線より左上の部分が約 2.7 万 m^2 である。現地調査報告[19]によれば, 崩壊した西側斜面は平均勾配約 35 度, 高さ約 300m, 長さ約 430m, 幅 400m, 推定平均深 30m, 推定土砂量約 520 万 m^3 であり, 崩壊した東側斜面は平均勾配約 40 度, 高さ約 300m, 長さ約 400m, 幅 400m, 推定平均深 20m,

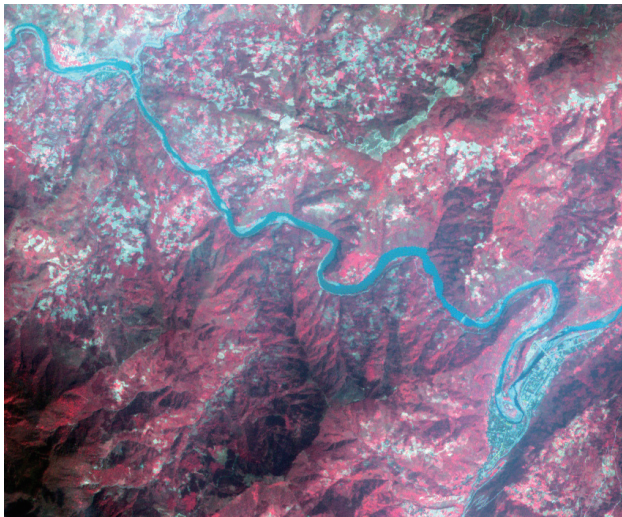


図 10. 図 9 の曲山鎮の一部を拡大 (横 1.8km, 縦 1.5km)

推定土砂量約 320 万 m^3 である。曲山鎮では建物崩壊と土砂崩れ等により約 8,000 人が犠牲になっている。

6 月 4 日の画像で安県高川郷にある最大規模の地すべり (図 4 左下, 北緯 31 度 38 分, 東経 104 度 7 分) の面積を計測した。長方形とみなして, 幅 1.79km, 長さ 4.40km で面積 7.876 km^2 となった。文献[16]p.59 では 8.79 km^2 と記されているので妥当な値である。なお, 文献[7]の約 10 km^2 は大きすぎる値である。

図 11 は AVNIR-2 によるフォールスカラー画像 (R:G:B=band 4:3:2) である。植物は赤く表示される。図 11(a) で赤 (植物がある) で, 図 11(b) で水色 (植物がない) の所が, 土砂災害の場所である。川の水については, 図 11(a) では青色 (band2 が優勢ということなので, トルーカラーでは緑色が優勢, 即ち水は泥水でないということ) であるが, 図 11(b) では黒 (図 9 のTRUEカラーでは青色である。フォールスカラーでは band1 (青) を用いないため,

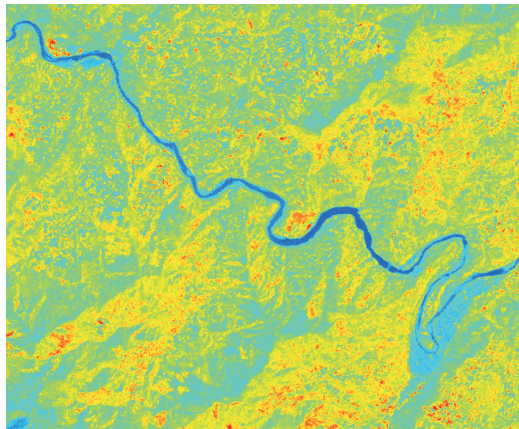


(a)2007 年 3 月 31 日北川県 (横 8.5km, 縦 7km)

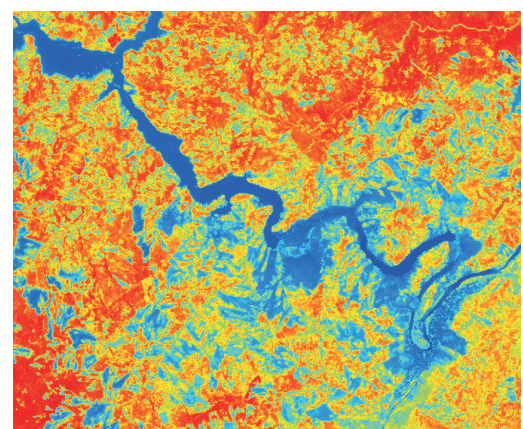
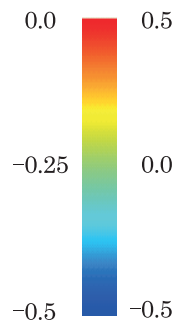


(b)2008 年 6 月 4 日北川県 (横 8.5km, 縦 7km)

図 11. AVNIR-2 のフォールスカラー画像 (R:G:B=band 4:3:2) による地震災害の検出



(a)2007 年 3 月 31 日北川県 (横 8.5km, 縦 7km)



(b)2008 年 6 月 4 日北川県 (横 8.5km, 縦 7km)

図 12. NDVI 画像による地震災害の検出: $NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$

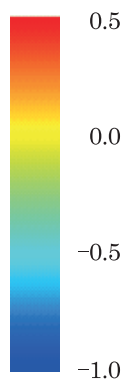
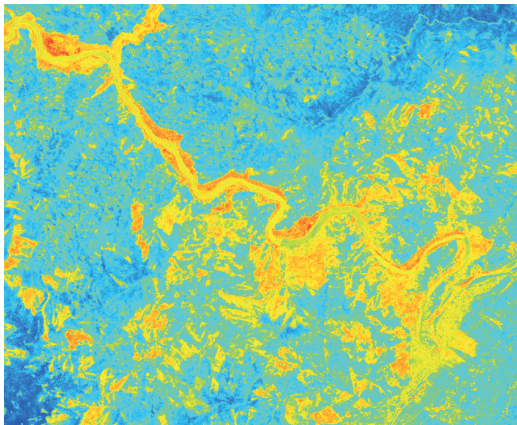


図 13. NDVI 差画像 (2007 年 3 月 31 日 NDVI - 2008 年 6 月 4 日 NDVI) による地震災害の検出 (横 8.5km, 縦 7km)

暗くなる)である。画像を見比べることにより、川の水の増水・断水の様子、泥水か綺麗な水かなどが分かる。

図12はNDVI画像である。図12(a)で植物(黄緑~赤)であるが、図12(b)で植物でない所(青)が、土砂災害、川の増水の場所である。図13は地震前の2007年3月31日のNDVIと地震後の2008年6月4日のNDVIの差をとった画像である。黄~赤の所が、地震災害の場所と判定される。NDVI差画像による地震災害の検出は、豪雨災害の検出[3,4]と同様に、植物エリアで有効である(植物が存在しないエリアでは有効でない)。

6. マイクロ波センサ(PALSAR)による汶川地震の災害検出

図14は2008年2月17日(地震前約3ヶ月)のPALSAR画像である。黄丸で示す曲山鎮の町の所の画像の粒が粗い。即ち、ビルなどの建物が建っている。図15は地震直後の5月19日のPALSAR画像である。黄丸で示す曲山鎮の町の所の画像の粒が細かくなっている。即ち、地震により建物が崩壊したと判読される。

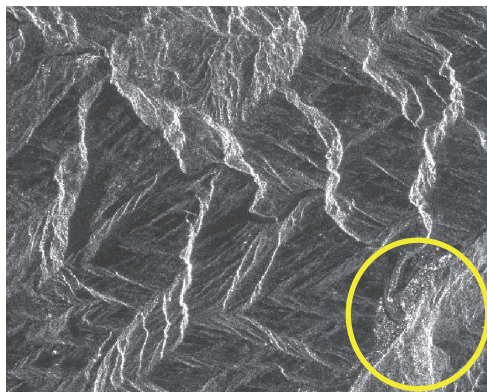


図14. 2008年2月17日北川県PALSAR画像
(横8.72km, 縦7.07km)

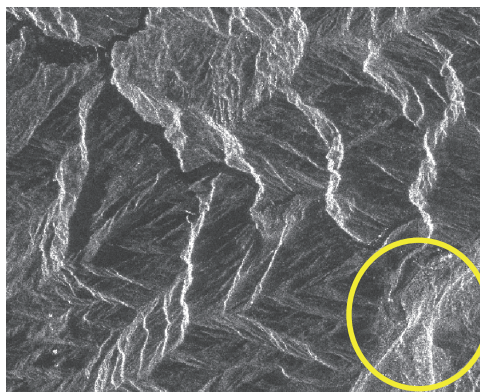


図15. 2008年5月19日北川県PALSAR画像
(横8.8km, 縦7.13km)

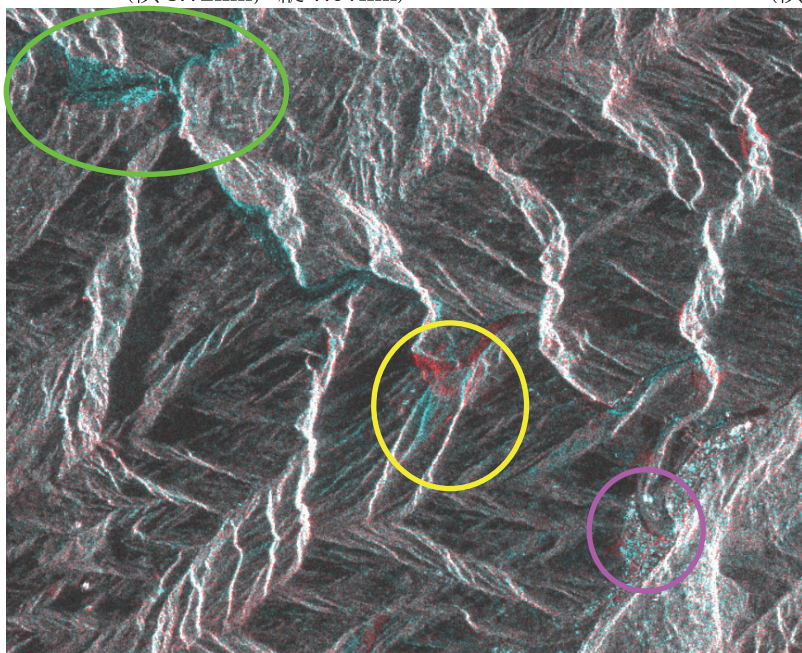


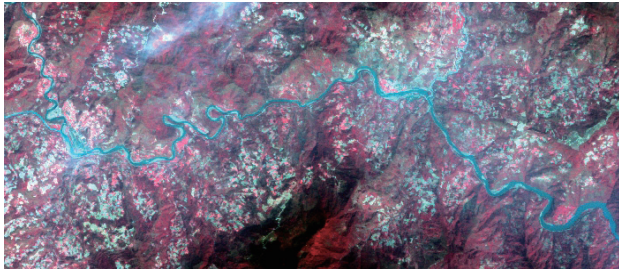
図16. PALSARによる地震災害検出画像(横8.5km, 縦7km):
R=2008年5月19日(地震後)のPALSAR画像, G=B=2008年2月17日(地震前)のPALSAR画像としたRGB合成カラー画像

図16は、RGBカラー表示のRに地震後の図15の画像、GとBに地震前の図14の画像を割り当てたRGB合成カラー画像である。図16の緑丸の所では、堰き止めにより増水した部分が水色ではっきりと表示されている。黄丸の所で、青い部分は唐家山で土砂が崩れて滑らかになった斜面であり、赤い部分は崩れた土砂により形成された堰塞体である。川(岷江)が堰き止められたことにより、上流(図では左上)側がダム湖になっている(画像では増水部分が川に沿って水色で表示)。紫丸の所では主に、地震前に建物がなかった所に地震後に山から崩れた土砂がたまった所が赤色、建物が崩壊または土砂に埋まった所が水色になっている。紫丸から右上に続くのが町であるが、水色の粒が多くあるので建物が多く崩壊したと判読できる。

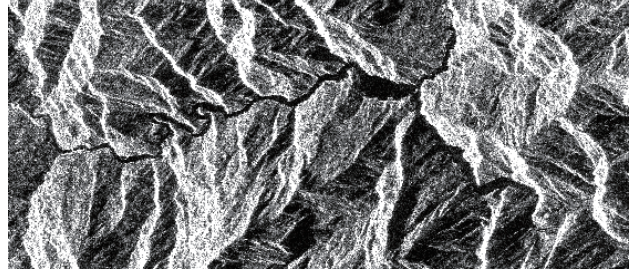
7. 唐家山堰塞湖の貯水域の変化

川や湖の水の範囲を見るにはトゥルーカラー画像よりもフォールスカラー画像の方が良い。図17ではAVNIR-2とASTERの場合はフォールスカラー画像を用いる。PRISMとPALSARは単バンドなのでモノクロ画像である。禹里郷(標高約720~750m)は2008年5月16日の画像では浸水していないが、6月4日の画像で浸水している(本[16]p.151の5月27日写真で低地が浸水している)。漩坪郷(標高約700~720m)は5月16日の画像で水没して

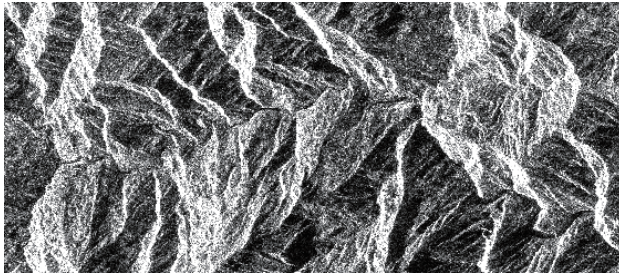
いる（台湾衛星 Formosat-2 の 5 月 14 日画像[9]で浸水している）。6 月 10 日の堰塞湖の排水後も、堰塞体を流れる水の底面は地震前の川底よりずっと高いので、図 17(6)～(9)に示すように貯水域は 2008 年 5 月 16 日の画像とほぼ同じである。なお、2008 年 6 月 10 日の堰塞湖の排水以降の画像は他の論文や報道等にはないので貴重である。



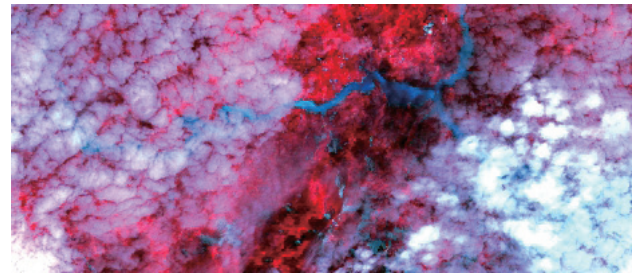
(1) 2007 年 3 月 31 日（地震前約 1 年）AVNIR-2



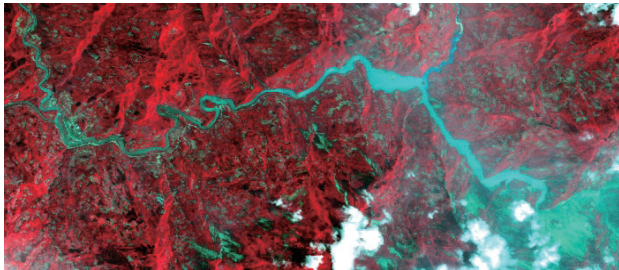
(6) 2008 年 7 月 4 日（地震後約 2 ヶ月）PALSAR



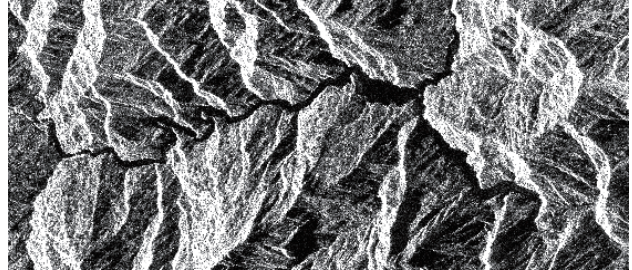
(2) 2008 年 2 月 17 日（地震前約 3 ヶ月）PALSAR



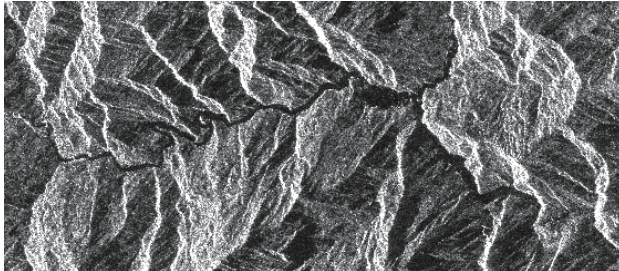
(7) 2008 年 8 月 11 日（地震後約 3 ヶ月）ASTER



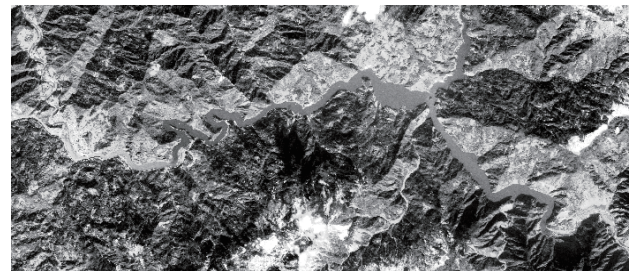
(3) 2008 年 5 月 16 日（地震後 4 日目）AVNIR-2



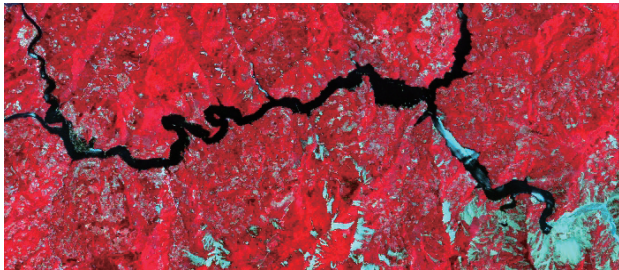
(8) 2009 年 2 月 19 日（地震後約 9 ヶ月）PALSAR



(4) 2008 年 5 月 19 日（地震後 7 日目）PALSAR



(9) 2009 年 11 月 21 日（地震後約 1 年半）PRISM



(5) 2008 年 6 月 4 日（地震後約 1 ヶ月）AVNIR-2

図 17. 唐家山堰塞湖の貯水域の変化を示す画像（縦 6km, 横 14km）：PALSAR 画像では水面は黒く表示される。2008 年 6 月 10 日の堰塞湖の排水以降も、貯水域は同年 5 月 16 日の画像とほぼ同じであることに注意。

8. むすび

第 2 節では災害検出に関するマイクロ波センサの特性を述べ、簡便かつ有用な地震災害検出法（RGB 合成カラー画像の R に地震後の PALSAR 画像，G と B に地震前の PALSAR 画像を割当てる方法）を示した。第 3 節では研究対象の北川県に関して記した。第 4 節では地震直前（北川県，汶川県を地震発生約 2 時間前に撮影）の MODIS

トルーカラー画像を示した。第5節ではALOS衛星の光学センサ,第6節ではマイクロ波センサのデータを用いて,汶川地震の最大被害地域の1つである北川県(曲山鎮~唐家山堰塞湖~漩坪郷~禹里郷付近)の種々の地震災害検出画像の作成と判読を行い,また,他の論文,報告書,報道等との比較を行い,巨大地震災害の幾つかの様相を明らかにした。第7節では唐家山堰塞湖の貯水域の変化を2007年3月31日から2009年11月21日までの画像を用いて示し,2008年6月10日の排水後も5月16日の画像とほぼ同じ貯水域であることを述べた。

参考文献

- [1] 加藤芳信：“ALOS衛星マイクロ波センサによる中国四川汶川地震の災害検出と光学センサによる対応確認”，平成20年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集CD-ROM, H-14 (2008-09)
- [2] 加藤芳信：“衛星リモートセンシングによる地震災害の検出法～中国四川地震と岩手・宮城内陸地震の災害検出～”，北陸技術交流テクノフェア2008, オープンテクノロジーマーケット(技術研究発表), No.14 (2008-10)
- [3] Yoshinobu Kato：“Possibility of descriptions of Fukui heavy rainfall and resulted disasters by using remote sensing”，Proceedings of SPIE, vol.6412, pp. 641212/1-10 (2006-12)
- [4] 加藤芳信：“リモートセンシングによる2004年7月福井豪雨と2006年7月豪雨の解析”，福井工業大学研究紀要, 第37号, 第1部, pp. 335-342 (2007-05)
- [5] 鈴木尉元：“中国四川省の龍門山衝上断層・ナップ帯”，地質ニュース, 417号, pp.6-17 (1989-05)
- [6] JAXA EORC：“陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)搭載のLバンド合成開口レーダ(PALSAR; パルサー)による中国四川省で発生した地震に関する観測結果について”，http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_china_eq_080519.htm (2008-05)
- [7] JAXA EORC：“PRISMとAVNIR-2による中国四川省で発生した地震に関する観測結果(6)”，http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_china_eq_080604.htm (2008-06)
- [8] 産業技術総合研究所地質調査総合センター：“平成20年(2008年)中国・四川省地震速報”，http://www.gsj.jp/jishin/china_080512/index.html (2009年8月31日更新)
- [9] NASA：“Earth Observatory: Earthquake Near Chengdu, China”，<http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=19953> (last updated: 03 Feb 2010)
- [10] 宮城洋介, 島田政信, 田殿武雄, 磯口治, 大木真人：“ALOSによる2008年5月12日中国四川省地震に関する災害観測”，日本リモートセンシング学会誌, Vol.28, No.4, pp.357-360 (2008-09)
- [11] Xiaoqian Cheng, Wen Wang, Tao Yu and Zhuyan Ren：“Damage analysis of 12 May 2008 Sichuan earthquake with satellite data”，Proceedings of SPIE, vol.7154, pp.71540B/1-9 (2008-12)
- [12] リュウ・ウェン, 山崎文雄：“ALOS-AVNIR2画像を用いた2008年中国四川地震における斜面崩壊の検出”，日本リモートセンシング学会第45回(平成20年度秋季)学術講演会論文集, I3, pp.105-106 (2008-12)
- [13] 宮脇正典, 山口志野, 木村恒一：“PALSAR ScanSARインタフェロメトリによる2008年中国四川地震の地殻変動抽出”，日本リモートセンシング学会第45回(平成20年度秋季)学術講演会論文集, U11, pp.133-134 (2008-12)
- [14] 島村秀樹, 朱林：“地震災害時のリモートセンシング技術の活用”，日本リモートセンシング学会第46回(平成21年度春季)学術講演会論文集, S8, pp.91-94 (2009-05)
- [15] 中国科学院地理科学与資源研究所(編制)：“汶川地震区域簡明地図冊”，星球地图出版社(中国, 北京)(2008-07)
- [16] 郭華東(主編)：“汶川地震災害遥感图集”，科学出版社(中国, 北京)(2008-09)
- [17] Fawu Wang：“First Time Investigation on Landslides Triggered by 12 May 2008 Wenchuan Earthquake, China(中国四川大地震による斜面災害の調査)”，日本地すべり学会, <http://japan.landslide-soc.org/education/report/Wenchuan-earthquake-wfw.pdf> (2008-06)
- [18] 鶴飼恵三, 蔡飛, 山田正雄：“2008年5月に四川省汶川で発生した大地震報告”，日本地すべり学会, <http://japan.landslide-soc.org/education/report/shisen-eq.pdf> (2008-08)
- [19] 小長井一男, 土屋智, 石川芳治, 汪發武：“2008年5月12日四川省汶川地震と土砂災害”，生産研究, vol.60, no.6, pp.525-530, 東京大学生産技術研究所(2008)
- [20] 川島一彦, 高橋良和, 葛漢彬, 呉智深, 張建東：“2008年中国四川地震による橋梁の被害”，土木学会論文集A, vol.65, no.3, pp.825-843 (2009-09)
- [21] ウィキペディア(フリー百科事典)：“四川大地震”，<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9B%9B%E5%B7%9D%E5%A4%A7%E5%9C%B0%E9%9C%87>
- [22] Searchina：“四川大地震：唐家山地震湖の排水作業が実施中”，http://news.searchina.ne.jp/disp.cgi?y=2008&d=0609&f=national_0609_022.shtml (2008-06-09)
- [23] 北京科普之窗：“一切为了人民的生命安全-写在唐家山堰塞湖成功泄洪之际(图)”，<http://www.bjcp.gov.cn/bjcpzc/kpwx/173714.shtml> (2008-06-11)
- [24] 新聞湖北_荆楚网：“唐家山堰塞湖排险打了大胜仗(图)”，<http://news.cnhubei.com/ctdsb/ctdsbsgk/ctdsb13/200806/t339975.shtml> (2008-06-11)

(平成23年3月31日受理)