

衛星リモートセンシングによる 2008 年岩手・宮城内陸地震の災害検出

加藤 芳信 *

Disaster Detection of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 by using Satellite Remote Sensing

Yoshinobu Kato

The Iwate-Miyagi Nairiku earthquake of magnitude 7.2 on the Richter scale occurred in the Tohoku district in Japan on June 14, 2008. It caused many landslides, debris flows, etc. in the mountainous area. This paper describes the detection and analysis of seismic disasters in Iwate prefecture and Miyagi prefecture by using the satellite data of ALOS-PRISM/AVNIR-2/PALSAR. True-color, false-color, NDVI and pan-sharpen-true-color images are made by using AVNIR-2 and PRISM data. The composite color image, in which R is the PALSAR image after earthquake, and G and B are the PALSAR images before earthquake, is made. Main target sites are Aratozawa-dam area which was seriously damaged by the landslide, and Komanoyu-onsen area which was attacked by the huge debris flow from Mt. Higashi-Kurikoma.

Keywords: Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, disaster detection, landslide, debris flow, remote sensing, ALOS, AVNIR-2, PRISM, PALSAR, Aratozawa-dam, Komanoyu-onsen

1. はじめに

岩手・宮城内陸地震は、2008 年 6 月 14 日（土）8 時 43 分 JST に岩手県内陸南部の北緯 39 度 01.7 分，東経 140 度 52.8 分（岩手県，宮城県，秋田県の県境より北東約 12 km にある岩手県一関市巖美町付近）を震央として発生したマグニチュード 7.2（M7.2）の直下型（逆断層型）地震である[1,2]。震源の深さは約 8km で，最大震度は岩手県奥州市衣川区と宮城県栗原市一迫で観測された震度 6 強である。最大加速度は岩手県一関市巖美町祭時（まつるべ）にある防災科学技術研究所の一関西観測点（震源断層直上にある）で観測された 4022gal であり，この値は地震時に観測された地表最大加速度の世界記録として 2011 年 1 月にギネス(GUINNESS WORLD RECORDS)に認定されている[3]。総務省消防庁（2009 年 7 月 2 日発表）[4]によれば，人的被害は死者 17 名，行方不明者 6 名，負傷者 426 名であり，住家被害は全壊 30 棟，半壊 146 棟，一部損壊 2521 棟であり，火災は建物 4 件である。被害の傾向として，建物被害数が同規模の地震（例えば 1995 年 1 月 17 日発生の阪神・淡路大震災（M7.3，震度 7））と比べて少なく，山体崩壊，土砂崩れ，地滑り，土石流，河道閉塞などの土砂災害が多い。河道閉塞は磐井川（岩手県）5 箇所，一迫川（宮城県の花山ダム上流）7 箇所，二迫川（宮城県の荒砥沢ダム貯水池内）1 箇所，三迫川（宮城県の栗駒ダム上流）2 箇所である[5]。

岩手・宮城内陸地震のような山間地における直下型の大規模地震では，土砂災害が広い範囲で多数発生して道路や通信網を途絶させるため，地上からだけでは早期に被害の全体像を把握するのは難しい。また，河道閉塞による堰止湖（天然ダム）の決壊の危険性が長期に持続する場合等には，継続的なモニタリングが必要である。これらに対処する有効な方法の 1 つが衛星リモートセンシングである。光学センサによる観測では，昼間の画像で雲のない場所のみ被害の判読や解析ができるが，マイクロ波センサによる観測では，雲の有無や昼夜の区別なく被害の判読や解析ができる。

* 産業ビジネス学科

本文では、日本の陸域観測技術衛星 ALOS（日本名「だいち」）の光学センサ AVNIR-2（高性能可視近赤外放射計 2 型、解像度 10m）と PRISM（パングロマチック立体視センサ、解像度 2.5m），および、マイクロ波センサ PALSAR（フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ、解像度 12.5m）による衛星画像データを用いて、岩手・宮城内陸地震の災害の検出と解析を行う。使用したソフトウェアは、衛星リモートセンシング画像処理ソフトウェア ER Mapper 7.1 と GIS（地理情報システム）ソフトウェア Arc Map 9 である。なお、本文は文献[6]の発表を基に加筆したものである。

2. 光学センサ（AVNIR-2 と PRISM）データを用いた地震災害の検出と解析

使用した衛星データは次の 3 つである。仕様は GeoTiff，レベル 1B2，ジオコードットである。

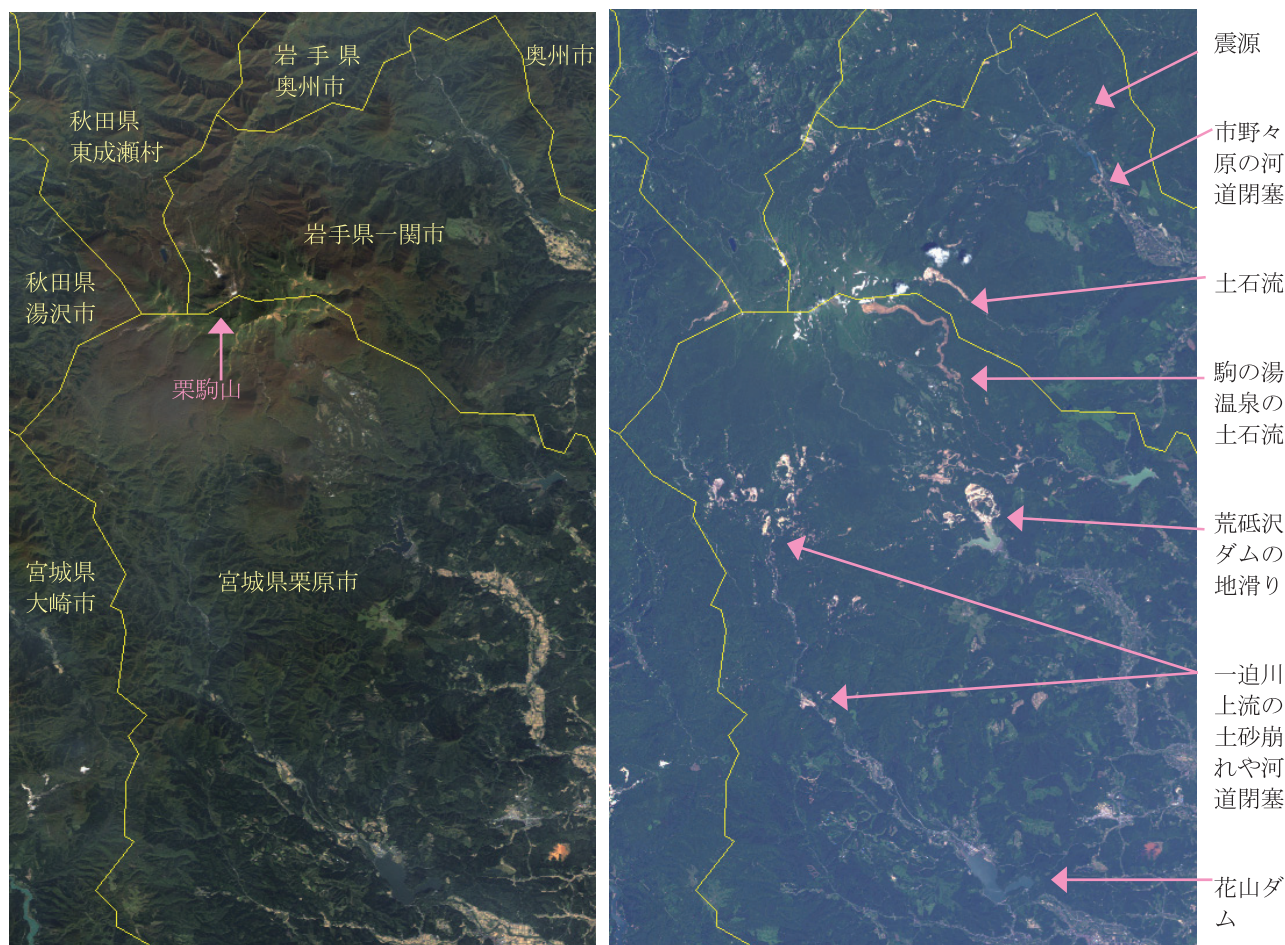
2006 年 10 月 17 日 1 時 53 分 UT AVNIR-2（ALAV2A038802790，シーンシフト 0）

2008 年 7 月 2 日 1 時 25 分 UT AVNIR-2（ALAV2A129822820，シーンシフト-4）

2008 年 7 月 2 日 1 時 25 分 UT PRISM（ALPSMW129822815，シーンシフト+1）

2. 1 AVNIR-2（解像度 10m）データによる地震災害検出

図 1～3 に、地震災害が多かった岩手県一関市と宮城県栗原市を中心とした範囲の 2006 年 10 月 17 日（地震前）と 2008 年 7 月 2 日（地震後）の画像を示す。位置関係を分かり易くするため、ER Mapper で画像処理した結果の画像を ArcMap で読み込み、地図と重ね表示してある。図 1 はトルーカラー画像（人間の目で見たと



(a)2006 年 10 月 17 日（地震前）

(b)2008 年 7 月 2 日（地震後）：地震被害の位置も示す

図 1. AVNIR-2 トルーカラー画像（RGB=band321，縦 32km，横 20km）

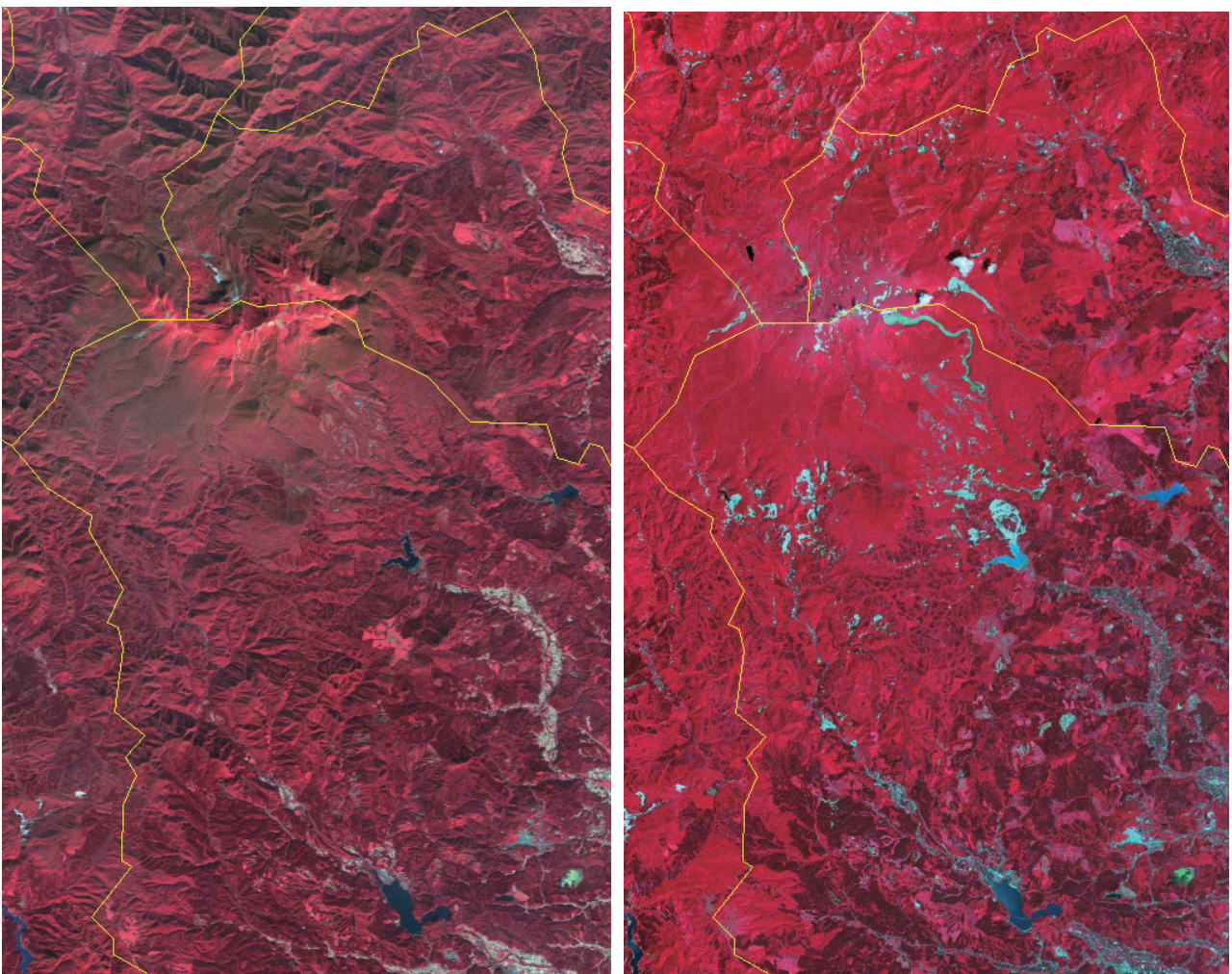
と同じような色で表示される。), 図 2 はフォールスカラー画像 (植物は赤く表示され, 元気なほど明るい赤になる。湖や川は青黒 (きれいな水) ~ 青白 (泥水) で表示される。土砂崩れ, 土石流, 裸地は明るい水色で表示される。雲は白く表示される。), 図 3 は NDVI (正規化植生指数) 画像 (植物の活性度が高いほど赤く表示される。) である。なお, $NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$ である。

2006 年 10 月 17 日の画像を見ると, 東北地方の秋だから高い山は紅葉しているためその部分は図 1(a) では茶色っぽく表示され, 図 2(a) では暗い赤, 図 3(a) では黄緑で表示されている。土砂崩れの場所は殆ど無い。

2008 年 7 月 2 日の画像を見ると, 夏だから植物は元気な (活性度が高い) ため, 山の植物が存在する所は図 2(b) では明るい赤, 図 3(b) では橙~赤で表示されている。2008 年 7 月 2 日の画像を 2006 年 10 月 17 日の画像と比較することにより, 土砂崩れ, 土石流の状況が図 1, 図 2, 図 3 のいずれでも検出でき, 特に図 2 (フォールスカラー画像) と図 3 (NDVI 画像) で容易に検出できる。土砂崩れによる河道閉塞 (堰止湖) の検出については, 大規模な箇所 (市野々原, 荒砥沢ダム上流など) は検出できるが, 一迫川上流で狭い箇所は, AVNIR-2 の解像度 10m では難しい。

2. 2 AVNIR-2 トルーカラー画像と GIS ソフトウェアによる駒の湯温泉の土石流の解析

宮城県栗原市栗駒沼倉の旅館「駒の湯温泉」では, 地震で発生した土石流により建物が押し流され, 倒壊し



(a)2006 年 10 月 17 日 (地震前)

(b)2008 年 7 月 2 日 (地震後)

図 2. AVNIR-2 フォールスカラー画像 (RGB=band432, 縦 32km, 横 20km)

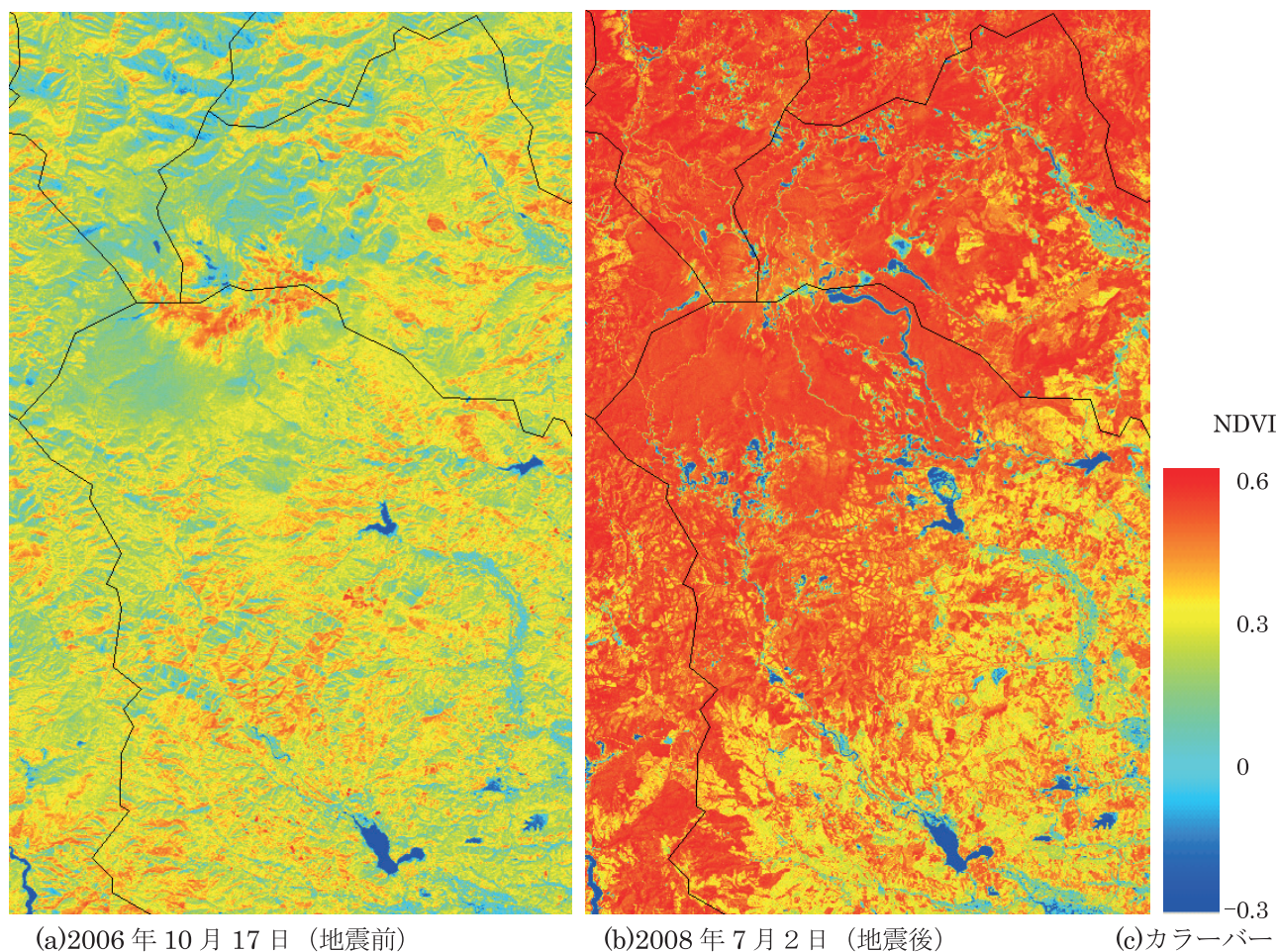


図3. AVNIR-2 NDVI画像 (NDVI表示範囲=-0.3~+0.6, 縦32km, 横20km)

た(死者7名)。文献[10,11,15,25]及び筆者による地図確認と画像処理結果(図4)より,土石流の発生状況をまとめると次のようである。(1)地震により東栗駒山(標高1627mの栗駒山の東側約1.1kmに位置する標高1434mの山)の標高約1360mの斜面で崩落した土砂(長さ約200m,最大幅約300m,最大厚さ約30m,崩壊土砂量約150万 m^3)が高低差約190mの斜面を下り,ドゾウ沢に到達した。(2)土砂は土石流となってドゾウ沢・裏沢の標高差約600mを流下し,駒の湯温泉の近くまで来た。(3)裏沢を挟んで駒の湯温泉側とは反対側の山がこの地震により崩れて裏沢をせき止めていたので,土石流は駒の湯温泉の場所(崩壊地から約4.8km地点の標高約580mの場所で,裏沢の谷底から約25mの高さにある)へ流れ込んだ。(4)砂防・地すべり技術センターのシミュレーションによれば,東栗駒山の崩落地から駒の湯温泉までの土砂の到達時間は約9分(土砂の流下速度は約10m/秒)であり,駒の湯温泉を襲った土石流の高さは約2mである[11]。

図4に,2008年7月2日のトルーカラー画像(図1(b))をGISソフトウェアArcMapで読み込み,東栗駒山の崩落地から駒の湯温泉までの土砂の流れた距離を計測している画面を示す。結果は5.02kmである。文献[15]の値(4.8km)は若干短いようである。図4で,崩落地近くの白いものは残雪(但し右上の地上に影があるものは雲)である。崩落には雪解けの水分が関係している[10]。

2. 3 パンシャープン画像とGISソフトウェアによる市野々原の河道閉塞の解析

2008年7月2日のPRISMデータとAVNIR-2データを用いて,明るさ情報をPRISM(解像度2.5m),色情報をAVNIR-2(解像度10m)で与えることにより,等価的な解像度2.5mのパンシャープン・トルーカラー画

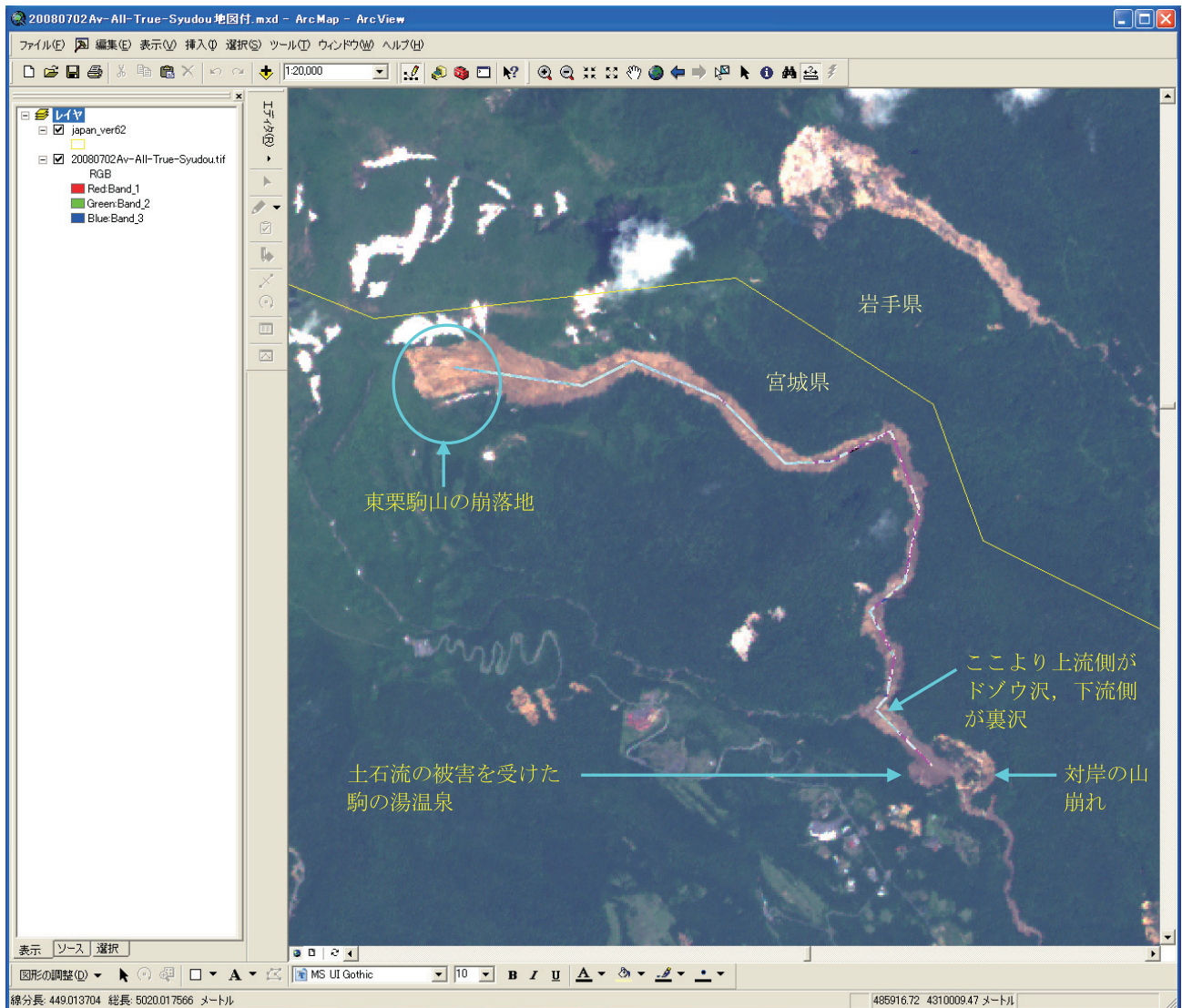


図 4. GIS ソフトウェアによる駒の湯温泉の土石流の解析画面（縦 4.9km, 横 5km）

像を作成した。その画像を GIS ソフトウェア ArcMap で読み込み、岩手県一関市巖美町市野々原の磐井川の河道閉塞を解析した。なお、6 月 14 日の地震による山崩れで川が閉塞した（土砂ダムになった）のであるが、6 月 21 日に仮排水路が完成し、土砂ダムの排水が始まっている（[25]の p.59 参照）。図 5 では仮排水路が見える。図 5 で、ピンク線で示した山崩れの幅は約 280m, 長さは約 320m である。増水した川幅（黄色線）は約 106m, 上流の川幅（水色線の場所）は約 30m である。堰き止めの影響による川の増水は、山崩れによる堰き止め箇所から（黄色線の所を經由して）水色線の所までの約 1.8km で認められる。なお、図 6（地震前の 2006 年 10 月 17 日の画像）を見れば分かるように、地震前でも図 5 の黄色線の所から上流約 500m までは川幅が広い（約 80m）。図 6 で薄い黄色の所は稲刈り後の田である。図 5 で田は濃い緑となっている。

2. 4 パンシャープン画像と GIS ソフトウェアによる荒砥沢ダム上流の大規模地すべりの解析

地震により荒砥沢ダムの上流に大規模な地すべりが発生した。この地すべりに関して、衛星リモートセンシングによる解析[6,8,9,12,13], 航空写真による解析[14,18], 現地調査報告[10,11,19,20,22], 災害地図作成[16,17,21], 解説[11], 論文発表[23], 災害復旧事業説明[24]などが行われている。文献[10,11,14,19,20,22,23]をまとめると、荒砥沢ダム上流の大規模地すべり（崩落地が複数個のブロック状になって移動）の規模は、



図 5. 岩手県一関市巖美町市野々原の山崩れによる磐井川の河道閉塞状況を示す 2008 年 7 月 2 日のパンシャープン・トルーカラー画像 (縦 2.7km, 横 2.5km, 等価解像度 2.5m)



図 6. 図 5 と同じ位置範囲の 2006 年 10 月 17 日の AVNIR-2 トルーカラー画像 (解像度 10m)

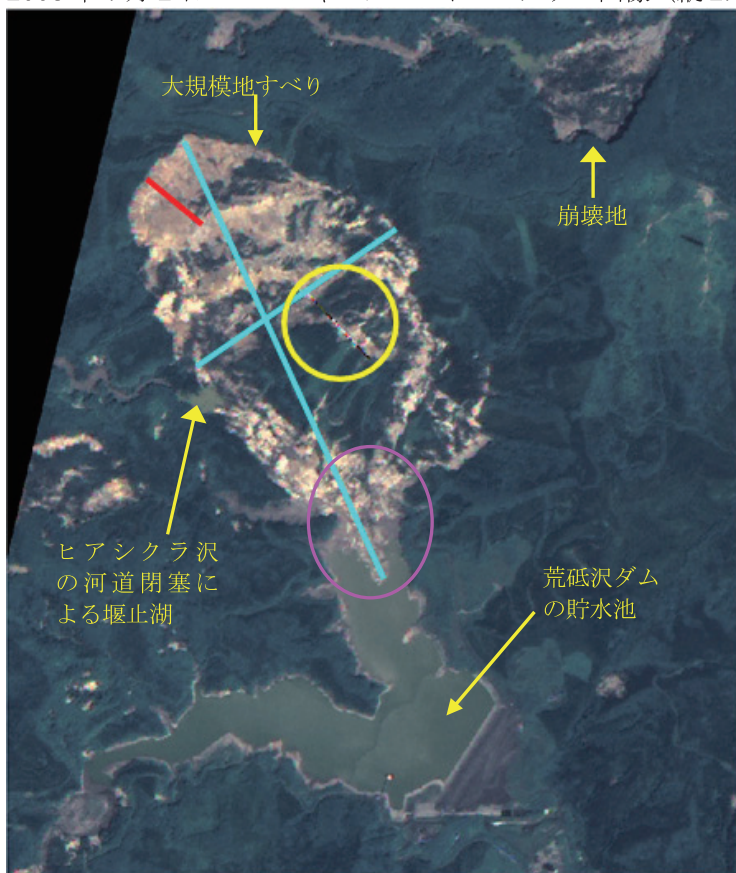


図 7. 宮城県栗原市栗駒文字荒砥沢の荒砥沢ダムと大規模地すべりの状況を示す 2008 年 7 月 2 日のパンシャープン・トルーカラー画像 (縦 2.95km, 横 2.5km, 等価解像度 2.5m)



図 8. 図 7 と同じ位置範囲の 2006 年 10 月 17 日の AVNIR-2 トルーカラー画像 (解像度 10m)

幅約 900m, 長さ約 1300m, 土砂量約 7000 万 m^3 , 最大深さ 148mであり, 崩落地の中で道路が水平距離で 300m 以上移動した箇所があると記されている。前節で作成した 2008 年 7 月 2 日のパンシャープン・トルーカラー画像(図 7)と 2006 年 10 月 17 日の AVNIR-2 トルーカラー画像(図 8)を GIS ソフトウェア ArcMap で読み込み, 荒砥沢ダム付近を解析した。図 7 の黄丸の中に右下方向の薄い線が見えるが, それは地震前後の道路の移動距離を計測している線である。移動距離は 306m と計測された。図 7 の水色の線は地すべりの幅と長さを計測した場所の線である。幅 840m, 長さ 1670m と計測された。土砂の一部(ピンク丸の中の土砂)は貯水池に流入している。文献[11]には, 地震のときに土砂(約 145 万 m^3)が貯水池に流入した衝撃で高さ約 3m の津波が発生したが, ダムの堰堤を越えなかったと記されている。文献[24]には, 荒砥沢ダムの総貯水容量は 1413 万 m^3 , 湛水面積は 0.76 km^2 であり, 荒砥沢ダム敷地内流入土砂量は全体で 422 万 m^3 , そのうち, 有効貯水容量より上部の流入土砂量 267 万 m^3 , 有効貯水容量内流入土砂量 150 万 m^3 , 堆砂容量内 5 万 m^3 であると記されている。従って, 貯水量の約 1 割の量の土砂が貯水池に入ったことになる。図 7 の赤線の真中付近が, 文献[14]に記された最大深さ 148m の場所である。図 7 にはヒアシクラ沢の河道閉塞による堰止湖も見える。

3. マイクロ波センサ (PALSAR) データを用いた地震災害の検出と解析

使用した衛星データは次の 3 つである。仕様は GeoTiff, レベル 1.5, ジオコードットである。

2007 年 6 月 21 日 13 時 00 分 UT PALSAR (ALPSRP074900770, シーンシフト 0)

2008 年 3 月 23 日 12 時 58 分 UT PALSAR (ALPSRP115160770, シーンシフト 0)

2008 年 6 月 23 日 12 時 57 分 UT PALSAR (ALPSRP128580770, シーンシフト 0)

3. 1 PALSAR 合成カラー画像による地震災害検出

文献[7]に記したように, マイクロ波センサ (PALSAR) データを用いた地震災害検出法としては, 「コンピュータ・ディスプレイ表示の RGB の R に地震後の PALSAR 画像, G と B に地震前の PALSAR 画像, を割当てた合成カラー画像」がよい。この方法は, 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。

本節では, 2007 年 6 月 21 日(地震前)と 2008 年 6 月 23 日(地震後)の PALSAR 画像を用いる。これら 2 つの画像は同じ季節の画像であるから, 地震災害以外は植生, 川・貯水池の水, 山の残雪など, ほぼ同じ様子と考えてよい。2 つの画像で違う部分が地震災害によるものと考えればよい。図 9 は R に 2008 年 6 月 23 日(地震後)の PALSAR 画像, G と B に 2007 年 6 月 21 日(地震前)の PALSAR 画像を割り当てた合成カラー画像である。山間部での画像判読は基本的に次のようである[7]。(1)黒い(暗い)所は, 地震前後の両方で, 川・貯水池などの静水面である, 滑らかな地表(雪面を含む)である, または, 衛星からの電波が届かない所である。

(2)白い(明るい)所は, 地震前後の両方で, 地表が凸凹である, または, 衛星(電波放射源)にほぼ垂直な面である。(3)赤色は, 地震後に地表が凸凹になった所(例えば, 地震前に水面であった所に, 地震により土砂が崩れて堆積したなど)である。(4)青緑は, 地震後に地表が滑らかになった所(例えば, 地すべりや土石流で地表面が滑らかに削られたり, 土砂が滑らかに堆積した所), または, 地震前は衛星からの電波が届いていたが, 地震後に電波が届かなくなった所(例えば, 地震による亀裂の深い所)である。

図 9 の表示範囲は図 1~3 とほぼ同じ(但し, 南側が短い)であるため, 図 1(b)のトルーカラー画像に示した災害場所が図 9 の PALSAR 合成カラー画像ではどのように見えるかが対比できる。図 9 の上側の水色丸の所では, 市野々原の河道閉塞とその付近の土砂崩れが検出できる(詳細は図 10 参照)。図 9 の真中付近の紫丸と黄

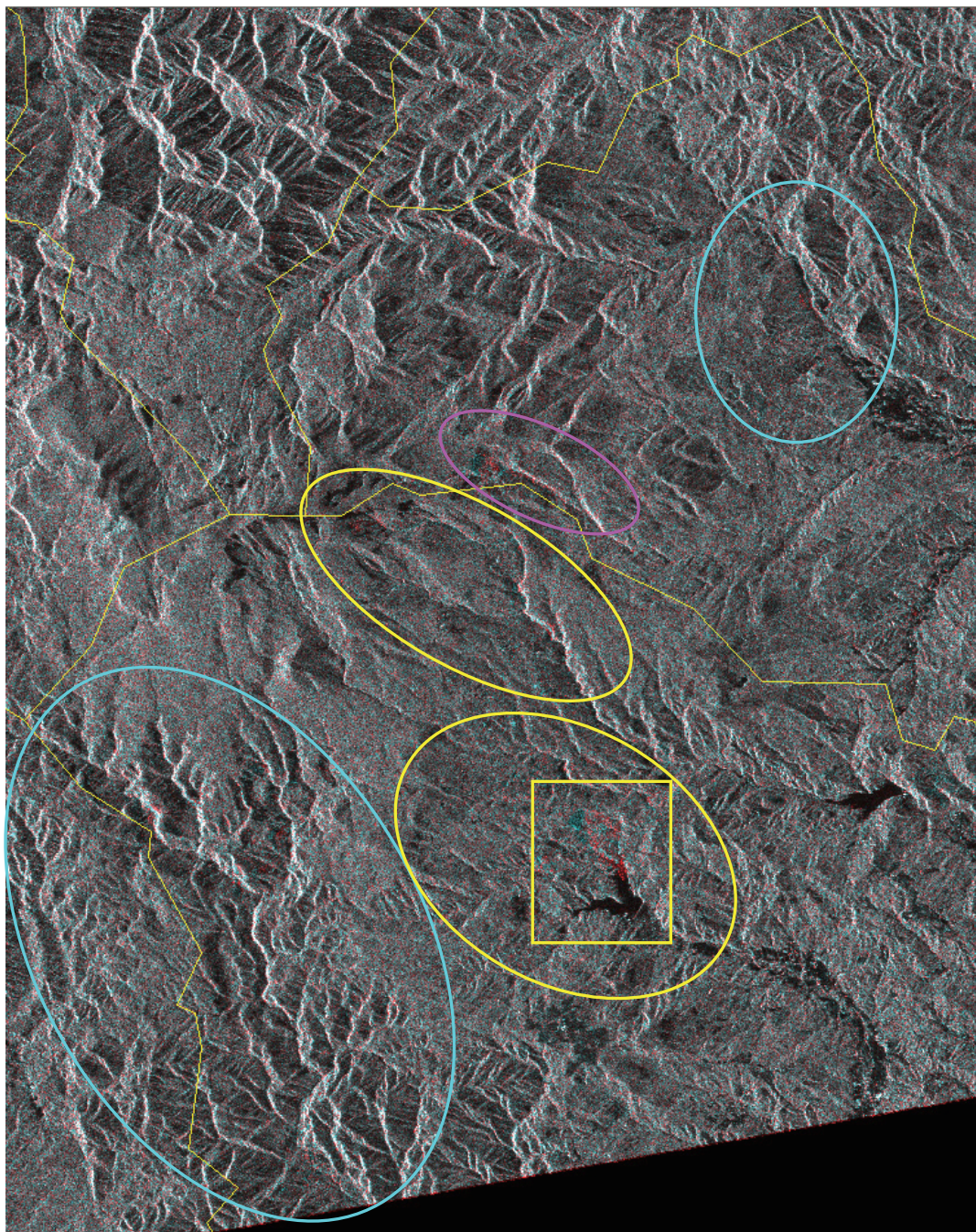


図 9. R に 2008 年 6 月 23 日の PALSAR 画像, G と B に 2007 年 6 月 21 日の PALSAR 画像を割り当てた PALSAR 合成カラー画像 (縦 25km, 横 20km)

色丸の所では, 駒の湯温泉の土石流とその北側の土石流が検出できる (詳細は図 11 参照)。図 9 の下側の水色丸の所では, 一迫川上流の土砂崩れが多数検出できる。図 9 の下側の黄色丸の所では, 荒砥沢ダム上流の大規模地すべり (図 9 の四角枠の所) や多数の土砂崩れが検出できる (詳細は図 12 参照)。

なお, 文献[12]では R に 2008 年 6 月 23 日の PALSAR 画像, G と B に 2008 年 3 月 23 日の PALSAR 画像を割り当てている。3 月 23 日の画像では栗駒山などの高所が積雪で地表面が滑らかとなり, その結果, RGB 合成カラー画像では 3 月 23 日の積雪の部分が赤く表示される。それは, 災害判読用の画像としては不都合である。R に割り当てるのが地震後の積雪のない画像であるならば, 本節のように, G と B には地震前の積雪のない画像を割り当てた方がよい。

3. 2 PALSAR 合成カラー画像による市野々原の河道閉塞の判読

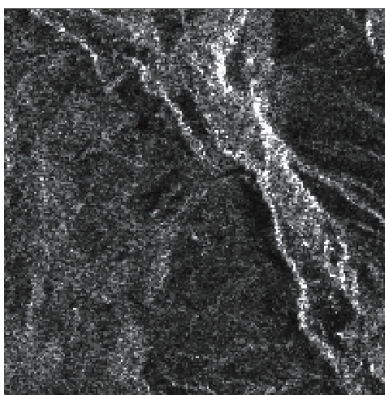
図 10(c)に、図 5 とほぼ同じ位置範囲の PALSAR 合成カラー画像を示す。画像判読が難しいが、黄丸の左 3/4 の部分（水色で表されている磐井川の左岸までの部分）が山崩れの範囲（大きめの赤点が多数ある）である。

3. 3 PALSAR 合成カラー画像による駒の湯温泉の土石流の判読

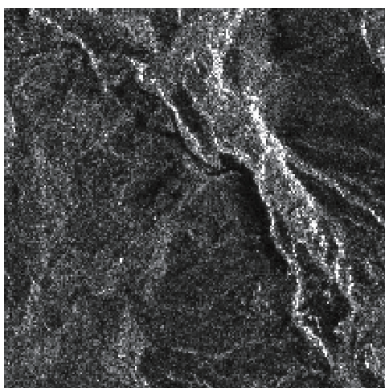
図 11(c)に、図 4 とほぼ同じ位置範囲の PALSAR 合成カラー画像を示す。PALSAR のオフナディア角は 34.3 度であり、PALSAR の観測原理上、標高の高い所が衛星側に近づくため、ArcMap による計測では、図 4 の横 5km に対し図 11 は横 6.1km と大きくなっている。縦は図 4 が 4.9km、図 11 が 5.1km で、ほぼ同じである。図 11(c)で、駒の湯温泉に被害を与えた土石流の発生源（崩落地）の部分には赤と青緑の点が多くあり、土砂災害が起こった場所であると判読できる。その周りには黒い部分が 9 箇所あるが、これらは 2007 年画像(a)と 2008 年画像(b)の両方で残雪である場所である。土石流が流下したドゾウ沢と裏沢には青緑色が多い。即ち、土石流によりこれらの沢が滑らかに削られたのである。図 11(c)の黄丸の部分（駒の湯温泉と対岸の山崩れの部分）は、赤と青緑の点が多くあり、土砂災害が起こった場所であると判読できる。

3. 4 PALSAR 合成カラー画像による荒砥沢ダム上流の大規模地すべりの判読

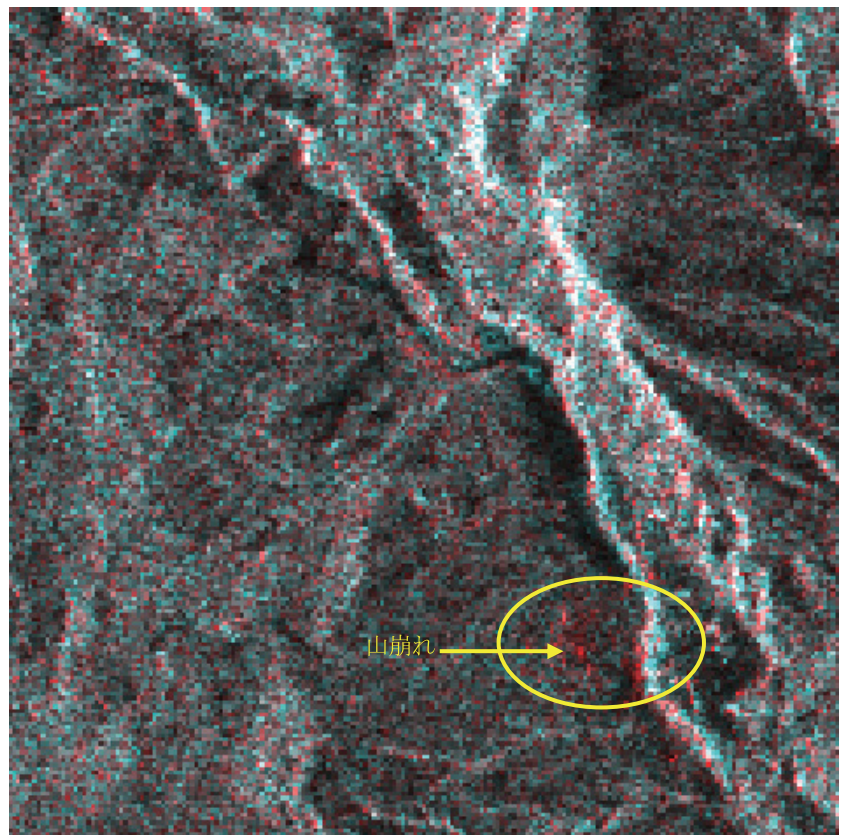
図 12(c)に、図 7 とほぼ同じ位置範囲の PALSAR 合成カラー画像を示す。左側の黄色線で囲った所は青緑である。これは地すべりで土砂がなくなったためである。中ほどの黄色線で囲った所に赤の点と青緑の点が多い。これは地すべりの主体部が複数のブロック状になって移動したためである。下側の黄丸で囲った所に赤点が多い。これは、地震前は水面であったが、地震により土砂が流入し堆積したためである。右上側の黄色丸で囲った所（赤の点と青緑の点が多い）は、大規模地すべりとは別の崩壊地である。



(a)2007 年 6 月 21 日

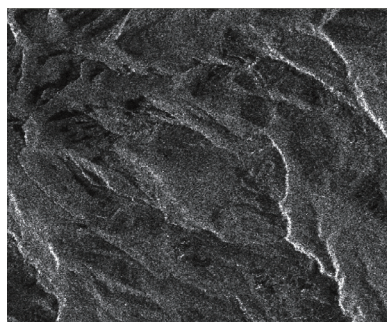


(b)2008 年 6 月 23 日

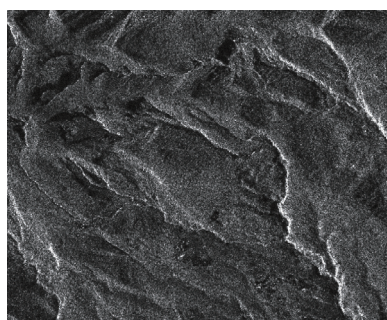


(c)合成カラー画像（R=2008 年 6 月 23 日画像，G,B=2007 年 6 月 21 日画像）

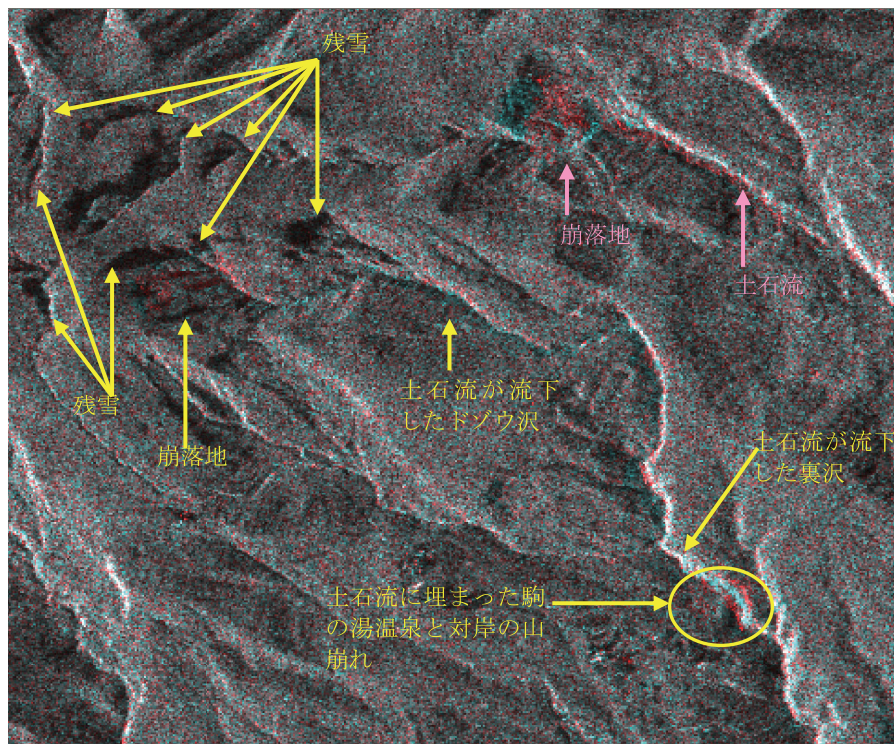
図 10. 市野々原の河道閉塞の PALSAR 合成カラー画像（縦 2.5km，横 2.5km）



(a)2007年6月21日

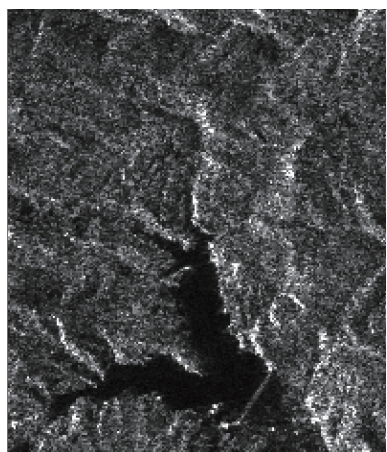


(b)2008年6月23日

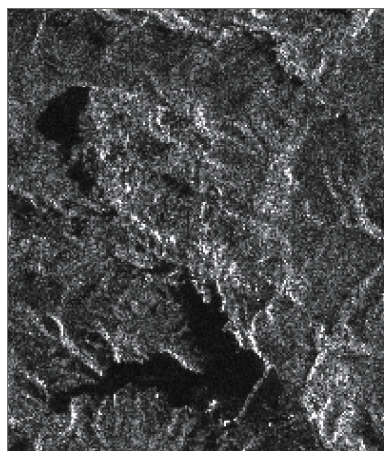


(c)合成カラー画像 (R=2008年6月23日画像, G,B=2007年6月21日画像)

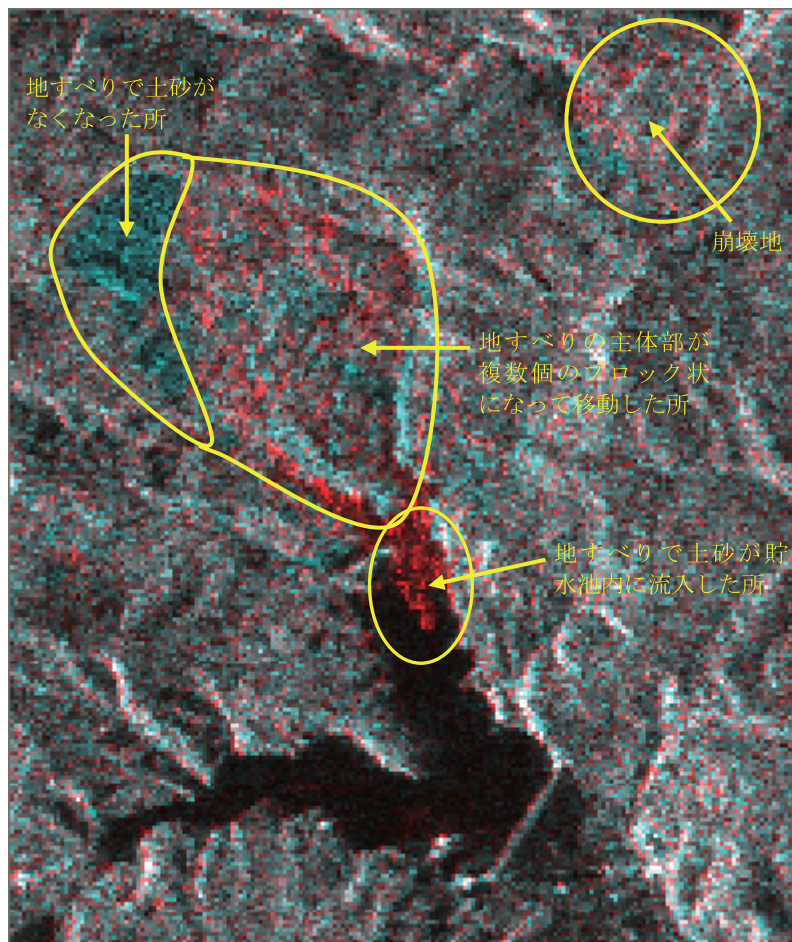
図 11. 駒の湯温泉の土石流の PALSAR 合成カラー画像 (縦 5.1km, 横 6.1km)



(a)2007年6月21日



(b)2008年6月23日



(c)合成カラー画像 (R=2008年6月23日画像, G,B=2007年6月21日画像)

図 12. 荒砥沢ダム上流の大規模地すべりの PALSAR 合成カラー画像 (縦 2.95km, 横 2.5km)

4. むすび

本研究では、2008 年 6 月 14 日発生の岩手・宮城内陸地震の災害検出と解析を ALOS 衛星の光学センサ（AVNIR-2 と PRISM）とマイクロ波センサ（PALSAR）のデータを用いて行った。特に、岩手県の市野々原の河道閉塞、宮城県の大崎の湯温泉の土石流、荒砥沢ダム上流の大規模地すべりについて詳細に解析した。解像度 10m の AVNIR-2 を用いた山間部の災害検出には、フォーカスカラー画像と NDVI 画像がよい（図 2, 3 参照）。災害の詳細を解析するには、解像度 10m の AVNIR-2 と解像度 2.5m の PRISM を組み合わせて作成したパンシャープン画像（等価解像度 2.5m）がよい（図 5, 7 参照）。衛星画像に GIS ソフトウェアを併用すると、被害箇所の距離、面積などが簡単に計測できる（図 4, 5, 7 参照）。PALSAR を用いた災害検出では、R に地震後の PALSAR 画像、G と B に地震前の PALSAR 画像を割当てた合成カラー画像がよい（図 9～12 参照）。この方法は、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。実際、衛星による地震災害画像取得の最初は 6 月 15 日、次は 6 月 17 日の ALOS 衛星 AVNIR-2 であったが、雲が多く一部の地域しか地表が見えなかった。光学センサによる雲が殆どない画像（解析に使える画像）取得は 7 月 2 日であった[13]。一方、マイクロ波センサ PALSAR による最初の画像取得は 6 月 23 日に行われ、ある程度の災害状況把握がなされたのである[12]。

謝辞 本研究は、文部科学省・平成 17～21 年度私立大学学術研究高度化推進事業・オープン・リサーチ・センター整備事業「次世代環境調和型科学技術の研究開発」（研究代表者：城田靖彦）、及び、文部科学省・平成 23～27 年度私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「北陸地域における環境の計測と保全に関する研究拠点形成」（研究代表者：深尾昌一郎）の助成を受けており、感謝する。研究で使用した ALOS 衛星データは株式会社 ビジョンテックより購入したが、衛星データの配布（DVD 作成）は財団法人 リモート・センシング技術センター（RESTEC）であり、衛星データの著作権は経済産業省及び宇宙航空研究開発機構（JAXA）にあることを記し、謝意を表す。

参考文献

- [1]気象庁：“「平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震」について（第 4 報）」，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0806/14d/h20iwate-miyagi-4.html>，および，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/0806/14d/kaisetsu200806141630.pdf>（2008 年 6 月 14 日）
- [2]気象庁：“災害時地震速報：平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震”，災害時自然現象報告書 2008 年第 1 号，
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_200801.pdf（2008 年 7 月 31 日）
- [3]防災科学技術研究所：“地震時の観測最大加速度のギネス認定”，http://www.bosai.go.jp/press/pdf/20110111_01.pdf（2011 年 1 月 11 日）
- [4]総務省消防庁：“平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震（第 78 報）」，<http://www.fdma.go.jp/detail/811.html>，および，
<http://www.fdma.go.jp/data/010906061520038874.pdf>（2009 年 7 月 2 日）
- [5]首相官邸：“平成 20 年（2008 年）岩手・宮城内陸地震について（平成 20 年 6 月 24 日）」，
http://www.kantei.go.jp/jp/kikikanri/jisin/iwate_miyagi/0806241900.pdf
- [6]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）
- [7]加藤芳信：“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”，福井工業大学研究紀要，第 41 号，

pp.63-72 (2011-06)

- [8]金田真一, 青井麻美, 沼田洋一, 小野田敏, 荒瀧和律, 斉藤和也: “SAR 画像マッチングによる平成 20 年岩手・宮城内陸地震の地すべり調査”, 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, pp.127-128 (2008-12)
- [9]米澤千夏, 齋藤元也, 千葉克己, 加藤徹: “2008 年岩手・宮城内陸地震による斜面災害の ALOS による継続観測”, 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, pp.209-210 (2009-05)
- [10]釜井俊孝: “平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震による斜面災害”, 自然災害科学, vol.27, no.2, pp.189-198 (2008-08)
- [11]伊藤和明: “岩手・宮城内陸地震と土砂災害”, sabo, vol.97, pp.5-9, 財団法人 砂防・地すべり技術センター (2009-01)
- [12] EORC, JAXA: “陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震の緊急観測結果について(4)”, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_iwatemiyagi_eq_080623_2.htm (2008 年 6 月 25 日)
- [13] EORC, JAXA: “陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)による平成 20 年(2008 年)岩手・宮城内陸地震の緊急観測結果について(5)”, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/img_up/jdis_iwatemiyagi_eq_080702.htm (2008 年 7 月 3 日)
- [14]国土交通省国土地理院: “平成 20 年(2008 年) 岩手・宮城内陸地震による被災地の空中写真を公開: 荒砥沢ダム上流の滑落崖の最大落差は 148m, 土砂が水平距離 300m 以上移動した箇所を確認”, <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60035.html> (平成 20 年 6 月 16 日), および, “空中写真”, http://photo.gsi.go.jp/topographic/bousai/photo_h20-iwatemiyagi/index_h20-iwatemiyagi.html
- [15]国土交通省国土地理院: “駒の湯温泉に被害を与えた土砂崩落地域を空中写真から確認: 約 150 万立方メートルの土砂が約 4.8 km にわたり沢を流下し、駒の湯周辺に堆積”, <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60030.html> (平成 20 年 6 月 18 日)
- [16]国土交通省国土地理院: “平成 20 年(2008 年) 岩手・宮城内陸地震 災害概況図 (速報 26)”, <http://www.gsi.go.jp/common/000041976.pdf> (2008 年 6 月 23 日)
- [17]国土交通省国土地理院: “2008 年岩手・宮城内陸地震災害状況図”, <http://www1.gsi.go.jp/geowww/saigaikiroku/0806-iwatemiyagi/image/gaiyou.pdf> (2008 年 7 月 17 日)
- [18] (国土交通省国土地理院) 小荒井衛, 神谷泉, 岩橋純子, 中埜貴元, 関口辰夫: “空中写真判読で把握した平成 20 年岩手・宮城内陸地震の地表変状”, <http://www.gsi.go.jp/common/000041979.pdf> (2008 年 7 月 16 日)
- [19]日本地すべり学会岩手・宮城内陸地震緊急調査団団長 檜垣大助: “平成 20 年岩手・宮城内陸地震 荒砥沢ダム上流地すべり調査報告”, http://wwwsoc.nii.ac.jp/thb-jls/download/h20eq_JLS2008a.pdf (2008 年 6 月 22 日)
- [20]日本地すべり学会岩手・宮城内陸地震緊急調査団団長 檜垣大助: “平成 20 年岩手・宮城内陸地震 荒砥沢ダム上流地すべりに関する現地踏査報告 (現地踏査実施日: 平成 20 年 7 月 6 日)”, http://wwwsoc.nii.ac.jp/thb-jls/download/h20eq_JLS2008b.pdf
- [21]八木浩司, 佐藤剛, 山科真一, 山崎孝成: “2008 年岩手・宮城内陸地震により発生した地すべり・崩壊分布図 Ver.1.2”, http://japan.landslide-soc.org/education/report/iwate_miyagi_EQ_080728.jpg, および, “判読範囲”, <http://japan.landslide-soc.org/education/report/handokuhani.pdf> (2008 年 7 月 28 日)
- [22]川辺孝幸, 風岡修, 香川淳, 楠田隆, 酒井豊, 古野邦雄, 吉田剛: “2008 年岩手・宮城内陸地震によって発生した荒砥沢ダム上流部の地すべり調査報告”, <http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/kawabe/www/2008iwtmyg/aratozawa/> (2008 年 7 月 24 日公開, 2009 年 10 月 29 日更新)
- [23]川辺孝幸: “2008 年岩手宮城内陸地震による地質災害について”, 山形応用地質, 第 29 号, pp.41-53, http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/kawabe/www/2008iwtmyg/yamaoyo_P41-P53S.pdf (2009-03)
- [24]農林水産省東北農政局・林野庁東北森林管理局・宮城県土木部: “荒砥沢ダム災害復旧事業のあらまし”, <http://www.pref.miyagi.jp/kasen/pdf/H210220arato-panf.pdf> (2009-02)
- [25]河北新報出版センター: 特別報道写真集 岩手・宮城内陸地震 (2008-07)

(平成 24 年 3 月 31 日受理)