2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う災害の特徴
Characteristic of Disaster Triggered by the Nagano-Niigata Border Earthquake

地理地殻活動研究センター　中埜貴元・小荒井　衛・乙井康成・小林知勝
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Takayuki NAKANO, Mamoru KOARAI, Kosei OTOI and Tomokazu KOBAYASHI

要　旨

2011 年 3 月 12 日に長野県と新潟県の県境付近で発生した地震（M6.7）では，斜面崩壊や地盤変状，構造物被害等が多発した．それらの被害をマッピングすると，大局的な分布に偏りがあるように見えたため，現地調査を行うとともに，主に斜面崩壊・地盤変状箇所と地形･地質,想定される活断層の位置，干渉合成開口レーダー（干渉 SAR）で捉えられた干渉縞等を GIS 上で重ね合わせて，それらの関連を検討した．

その結果，地盤変状，斜面崩壊等の被害は，信濃川（千曲川）流域とその左岸の山間地域及び志久見川西側の栄村山間地で多発しており，想定される震源断層（逆断層）の上盤側で，かつ干渉 SAR で検出された M6.7 の本震とその約 30 分後に発生した最大余震（M5.9）による地殻変動発生領域に分布していることが分かった．道路の変状・亀裂等の地盤変状のほとんどは，盛土等の重力性変状で説明可能であったが，一部，黒澤ほか（2011）が地表地震断層として報告している箇所や十日町市の大厳寺高原キャンプ場の駐車場では，テクトニックな変動の可能性も示唆された．津南町大井平地区から亀岡地区にかけての宮野原断層周辺では，断層線に沿って地すべりや盛土の重力性変状等の集中が見られ，その活断層自体が能動的に活動していなくても，活断層近辺に斜面崩壊や地盤変状等が集中する傾向があることが示された．その他，建物倒壊被害は，栄村の千曲川沿いの狭い段丘上かつ本震と最大余震による SAR 干渉縞が重合する集落に集中しており，地形や余震の影響が示唆された．

以上の特徴は，従来から指摘されている「逆断層の上盤側で被害が大きい」という現象と一致するとともに，干渉 SAR で捉えられるような地殻変動領域で被害が多く発生する可能性を示唆している．

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（M9.0）の翌日に，それに誘発されるように長野県と新潟県の県境付近で M6.7 の地震が発生した．この地震では，死者こそ出なかったものの，斜面崩壊や地盤変状，構造物被害等が多発した．それらの被害については，各機関が現地調査等に基づき報告している（例えば，土木研究所土砂管理研究グループ，2011a, b ; 京都大学防災研究所，2011 ; 黒澤ほか，2011 ; 松多ほか，2011a ; 新潟大学災害・復興科学研究所，2011 ; 豊田，2011）．また，国土地理院では，2011 年 6 月 23 日，24 日，7 月 21 日に現地調査を実施し,他機関が報告した被害の確認のほか，報告されていない被害について概括的に調査した．これらにより収集した被害地点をマッピングすると，大局的な分布に偏りがあるように見えたため, 主に斜面崩壊, 地盤変状と地形･地質，想定される起震断層の位置，干渉合成開口レーダー（以下,「干渉 SAR」という.）で捉えられた地殻変動を示す干渉縞等を GIS 上で重ね合わせて，それらの関連を検討した．

本稿では,現地で撮影した写真等を踏まえながら，他機関による報告が少ない地点を中心に，その被害の特徴を報告するとともに，被害全体の分布の特徴を検討した結果について報告する．

2. 主な調査項目と調査範囲

調査は，長野県栄村，新潟県十日町市，津南町において，各機関により被害が報告されている地域とその周辺及び SAR 干渉画像の干渉縞の不連続箇所を中心に，次の点に留意して実施した．

1) 地表地震断層の出現の有無（既報箇所や SAR 干渉画像の局所的変動箇所等を中心に）
2) 斜面崩壊の分布とその特徴（地質や想定活断層との位置関係等）
3) 液状化や地盤変状の発生の有無（既報箇所や SAR 干渉画像の局所的変動箇所）
4) 構造物の壊滅的被害の分布状況（地形・地質や想定活断層との位置関係等）

調査ルートを図-1 に示す．現地では，斜面崩壊等による通行止めの道路が多いうえ，対象範囲も広いことから，全域の調査はできていないが，各機関が被害を報告している箇所は概ねカバーした．

3. 地震・地殻変動の概要と被災地域の地形・地質的特長

この地震の震源は，長野県栄村と新潟県津南町の境界付近の深さ約 8km に位置し，発震機構は北西－南東方向に圧縮軸を持つ南東傾斜の逆断層型（防災

図-1　調査ルート（図中赤線部．背景は電子国土基本図）

科学技術研究所，2011）で，最大震度は栄村の震度6強，以下十日町市と津南町の震度6弱となっている．国土地理院が陸域観測技術衛星「だいち」（ALOS）に搭載されたLバンド合成開口レーダー（PALSAR）の観測データを用いて解析したSAR干渉画像（図-2）では，3月12日3時59分頃の本震による地殻変動のほか，その南側に同日4時31分に発生した余震（M5.9）による地殻変動も検出されている．本震に伴う地殻変動による干渉領域は，積雪の影響か，モザイク状の非干渉域が広がっているが，衛星に近づく変動（隆起または西へ移動）を示す半ドーナツ状の干渉縞が，図-2のA地点を中心に確認できる．余震に伴う地殻変動による干渉縞（図-2のB地点）は明瞭で，こちらも衛星に近づく変動（隆起または西へ移動）を示している．また，国土地理院によるGPS連続観測（国土地理院，2011）では，電子基準点「松之山」が北東方向に約39cm移動し，約23cm隆起していた．

今回の被災地域の信濃川右岸（特に津南町～十日町市）には，更新世中～後期の段丘面が発達しているが，栄村付近では河川に沿った狭い範囲にのみ段丘面が見られる．信濃川左岸側の山間部は，後期鮮新世～前期更新世の魚沼層群（凝灰角礫岩，礫，砂，シルト層）と後期中新世の黒色泥岩砂岩，デイサイ

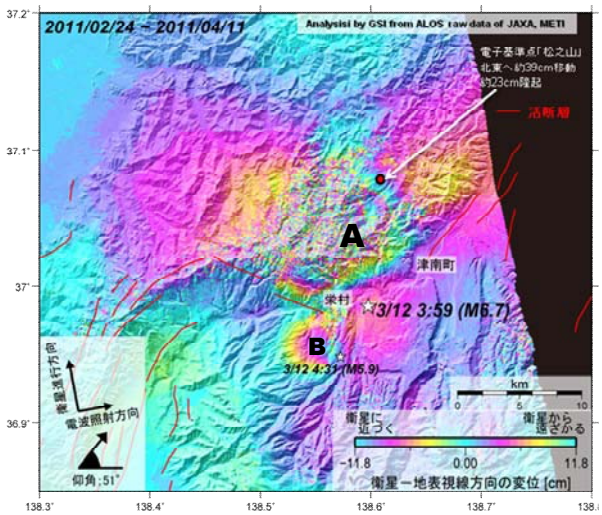

図-2　SAR干渉画像

ト質凝灰岩が広く分布し，北北東－南南西方向の褶曲構造と多数の地すべり地が発達している（島津・立石，1993；竹内ほか，2000；防災科学技術研究所，2004）．また，震源付近には東北東－西南西走向の宮野原断層が認定されている（活断層研究会編，1991；池田ほか編，2002）．

4. 被害状況

現地調査により確認した斜面崩壊，地すべり，地盤変状（道路変状，亀裂，マンホール抜け上がり，液状化等）等の被害と，各機関が報告している被害の分布状況を地形図及びSAR干渉画像に重ねたものを図-3に示す．以下，各地点の被害とその特徴について記す．

4.1 津南町大井平～亀岡地区（宮野原断層周辺）

この地域は，図-3中のA地点付近である．同地域の地形図を図-4に示す．

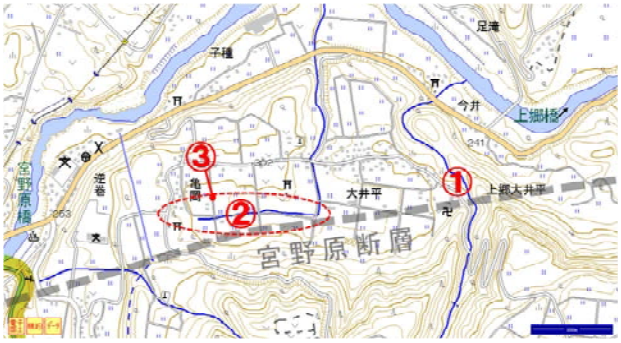

図-4　津南町大井平～亀岡地区周辺の地形図（電子国土基本図を使用）．灰色破線は宮野原断層のおおよその位置を示している．

4.1.1 大井平地区の地すべり（図-4①地点）

大井平地区の寺院の駐車場と民家の背後の畑が地

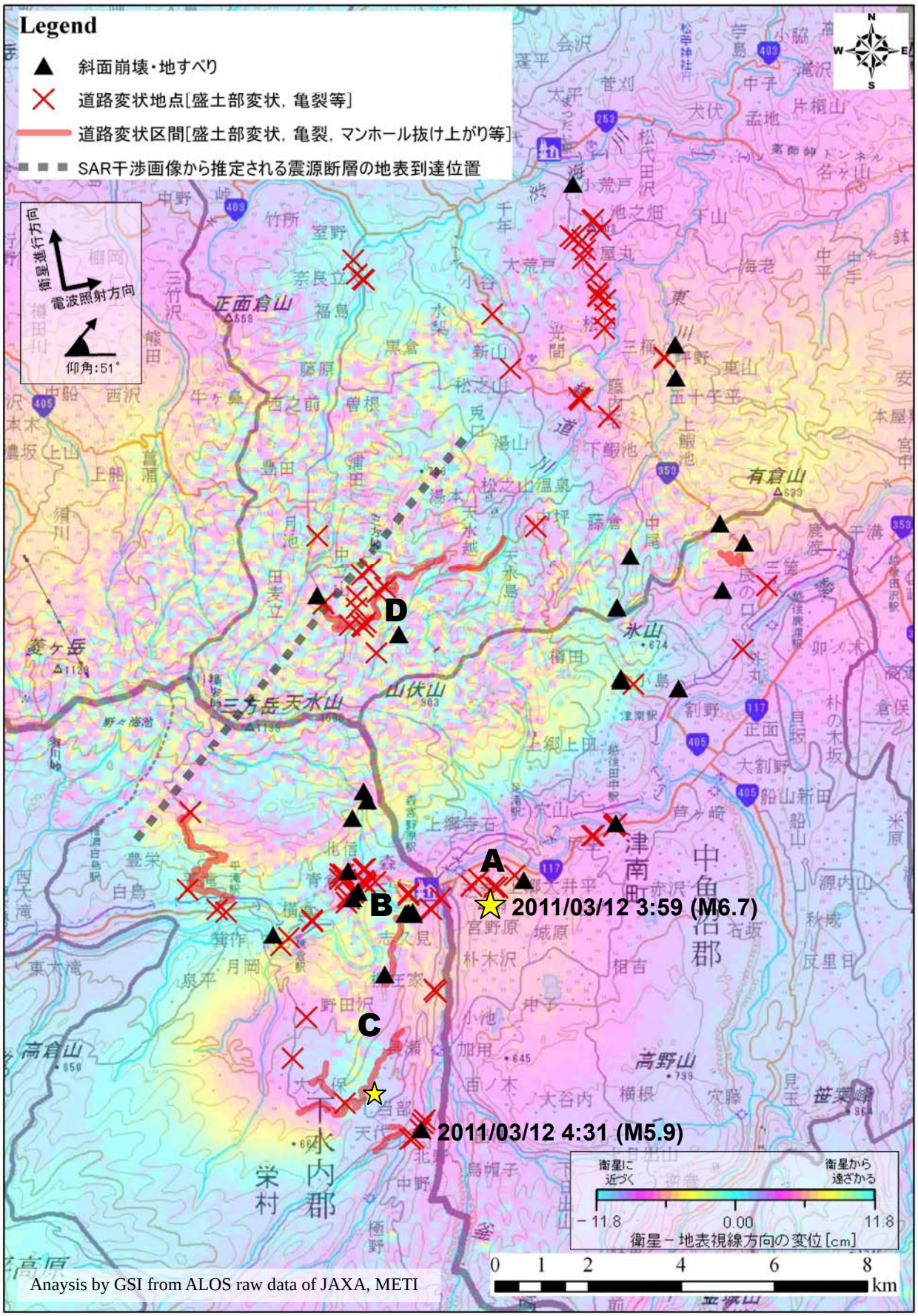

図-3　SAR 干渉画像と主な被害分布（星印が本震と最大余震の震央，背景は電子国土基本図）

写真-1　河道を閉塞した地すべり土塊の全容（大井平地区）

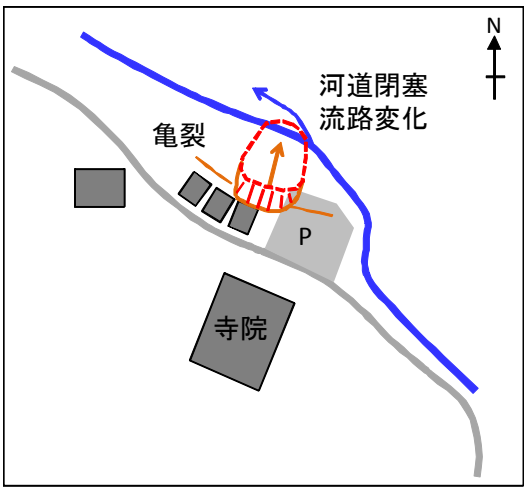

図-5　大井平地区の地すべりの模式図

写真-2　車庫土台部の開口亀裂（大井平地区）

すべり的に崩落し，崩壊土が河道を閉塞し，流路が変化している（写真-1，図-5）．滑落崖上部の民家（主に車庫等）は，崩壊による地盤変状で谷側へ傾斜し，道路や側溝にも開口亀裂等が見られた（写真-2）．

4.1.2 大井平～亀岡地区にかけての地盤変状（図-4 ②地点）

宮野原断層の断層線（撓曲地形）周辺の水田や道路の盛土部の多くで重力性の変状が発生し，道路では圧縮性亀裂が，水田の畦（土手）にははらみ出し変形が確認された（写真-3，4）．一部の休耕田では，開口亀裂に沿って噴砂（噴土）が確認された（写真-5，6）．また，道路上のマンホールの多くが 5～10cm 程度抜け上がっていた．

写真-3　農道における重力性変状による路面の圧縮性亀裂（大井平地区）．路面の舗装部分（コンクリート）が写真奥（南側）から手前（北側）に向かって移動している．

写真-4　水田における重力性変状による畦（土手）のはらみ出し（亀岡地区）．写真左が北方向．

写真-5　重力性変状（亀裂、はらみ出し）が見られた盛土状の休耕田（大井平地区）．休耕田面には亀裂に沿って噴土が確認された．写真奥が南方向．

写真-6　休耕田面で見られた亀裂と噴土（大井平地区）

4.1.3 松多ほか（2011a,b）が報告した地表地震断層の可能性のある道路の変状（図-4③地点，写真-7）

この道路の変状は，写真-7 の左上写真の亀裂の段差が約 5cm で，人が立っている箇所付近に網目状の亀裂があり，写真奥から手前方向に圧縮性の力が働いたことが伺えた．写真-7 の右上写真のように，道路脇の水田には円弧上の亀裂があり，畦（土手）が下方へはらみ出していることから，断層性の運動によるものではなく，重力性の変状と判断できる．

写真-7　松多ほか（2011a, b）が報告した道路変状（亀岡地区）．写真奥が北方向．

以上の地域の地盤変状の多くは，重力性の変状で説明できるが，断層線（撓曲地形）に沿って重力性の変状や地すべりが発生していることから，小荒井ほか（2012）でも報告されているように，近傍で大規模な地震が生じた際には，その活断層自体が能動的に活動していなくても，活断層近辺に斜面崩壊や地盤変状等が集中する傾向があることを示唆している．

4.2 栄村森、青倉、横倉地区（千曲川左岸段丘上）

この地域は，図-3 中の B 地点付近である．同地域の地形図を図-6 に示す．

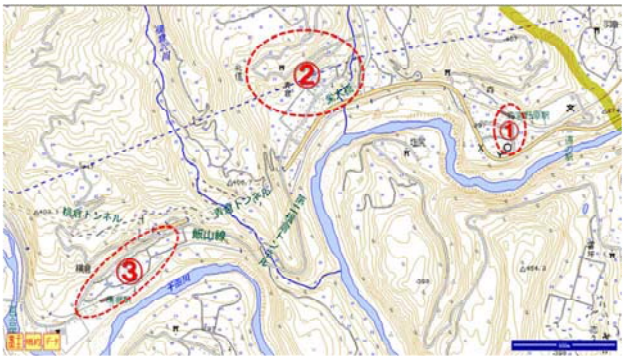

図-6　栄村森・青倉・横倉地区周辺の地形図（電子国土基本図を使用）

4.2.1 栄村森地区（図-6①地点）

森地区では，国道 117 号線と JR 森宮野原駅とを結ぶ南北方向の道路沿いで，家屋の全壊や半壊，地盤変状（開口亀裂，地盤沈下等）が多発していた（写真-8）．JR 森宮野原駅周辺では，埋設管の埋戻し土部分で液状化（噴砂）被害も発生していた（写真-9）．

森地区は千曲川の段丘面上に位置するが，被害の多い南北方向の道路を境に東側下がりの緩斜面が形成されている．南北方向の道路沿いの家屋は，この緩斜面に沿った盛土上にあり（写真-10，図-7），この盛土地盤が東側（下方）へ重力性の変状を起こしたことにより被害が大きくなった可能性が高い．以上については，豊田（2011）も報告・指摘している．

写真-8　家屋土台部の開口亀裂（森地区）

写真-9　JR 森宮野原駅の液状化被害．埋設管等の埋戻し部分が液状化により沈下している．

写真-10　森地区の被災家屋が載る盛土．写真の撮影方向は図-7 中に示している．

図-7　森地区の盛土状地形．背景は電子国土 Web システムによる 1976 年撮影の空中写真．図中黒矢印が地形の傾動方向を示している．赤色マスク部分がおおよその盛土位置．黄色矢印は写真-10 の撮影方向．

4.2.2 栄村青倉地区（図-6②地点）

青倉地区は，長野県による調査で最も全壊家屋の多い地区で（14 棟），建物被害のほか橋梁接続部で段差等も生じていた（写真-11, 12）．松多ほか（2011b）でも報告されているように，全半壊家屋は国道 117 号線に近い段丘の縁で多く見られた．集落背後の山間部（スキー場へ登る道路沿い）では，地すべり性変状や斜面崩壊も多発していた（写真-13，14）．この地すべり性変状域は，防災科学技術研究所（2004）の地すべり地形分布図の大規模な地すべり土塊上に位置し，そこに建設された道路盛土等が部分的に滑動変動したものと思われる．

写真-11　被災家屋（青倉地区）

写真-12　橋梁接続部の段差（青倉地区）

写真-13　青倉地区集落背後の山間部道路に見られた変状．道路盛土部が写真左側から右側方向に変動し，路面に開口亀裂が発生している．

写真-14　青倉地区集落背後の山間部道路に見られた地すべり．道路法面が崩壊して，道路を半分以上塞いでいる．

4.2.3 栄村横倉地区（図-6③地点）

横倉地区では，家屋の倒壊のほか，道路法面や路肩の変状，擁壁のはらみ出しが多数見られた（写真-15，16）．また，横倉地区から国道 117 号線へつながる県道 408 号線の洞門部分の上方斜面で斜面崩壊が発生し，洞門が押し潰されて通行止めとなっていた．

写真-15　被災家屋（横倉地区）

写真-16　擁壁のはらみ出し（横倉地区）

以上の 3 地区は，いずれも千曲川沿いの狭い段丘面（森及び青倉地区は更新世後期の正面段丘，横倉地区は完新世の大割野段丘）上に位置しており，その地形が被害と関係している可能性があるが，SAR 干渉画像（図-3）を見ると，これらの地区は 2011 年 3 月 12 日の 3 時 59 分に発生した本震による地殻変動域と同日 4 時 31 分の余震による地殻変動域が重なる部分に位置しており，両方の変動が重複したことにより被害が増大した可能性がある．実際，青倉地区住民へのヒアリングでは，余震によって倒壊した家屋が数軒確認されている（松多，私信）．

4.3 栄村雪坪，堀切，天池地区周辺（最大余震（M5.9）による干渉 SAR 変動域）

この地域は，図-3 中の C 地点付近である．同地域を拡大したものを図-8 に示す．

4.3.1 栄村雪坪地区及びその周辺（図-8①地点）

雪坪地区からその西方の塩尻地区または小滝地区へ抜ける林道では，斜面崩壊や路面の変状が多数見られた（写真-17，18）．路面の変状のほとんどは，盛土部の重力性変動によるものであった．また，雪坪地区北方の水田にも多数の亀裂（主に南北方向で，一部北東－南西方向）が見られ，北東－南西方向の亀裂部分で亀裂の深さを確認するためと思われる小さなトレンチが亀裂に直交する形で掘られていた（写真-19）．このトレンチの断面を見ると，亀裂は深さ 50cm 付近まで続いており，それより深部には断層様の地質境界が見られた．亀裂の南東側では段丘礫を含む砂礫層が地表付近まで堆積しているのに対し，亀裂の北西側では土壌が 70cm ほど堆積し，その下位に軽石を含むローム質の堆積層が見られた（図-9）．この地点は，最大余震による SAR 干渉縞

東縁の不連続部の延長線上に位置するが，小トレンチ壁面で見られた断層様変位（南東上がり）と SAR 干渉縞から推定される断層変位（西側上がり）とは逆センスになっている．

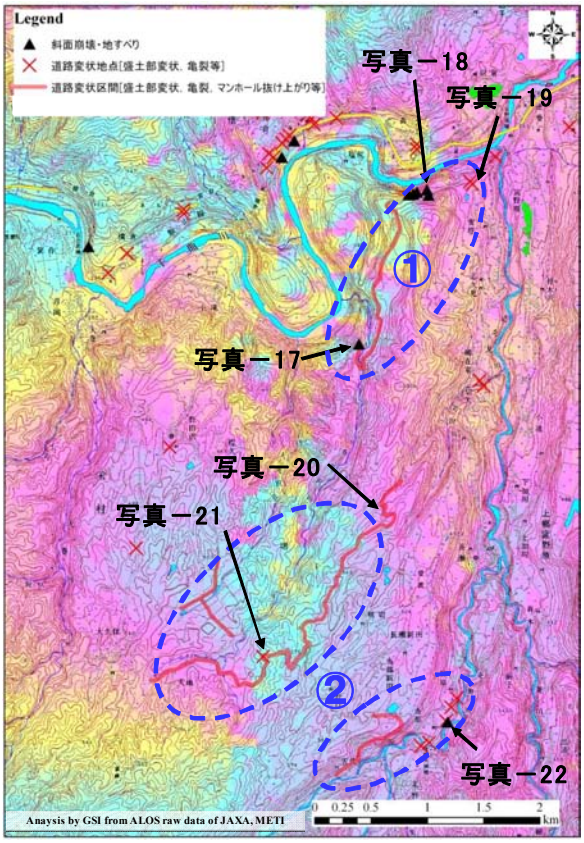

図-8　図-3 における栄村雪坪・堀切・天池地区周辺の拡大図（背景は数値地図 25000（地図画像）「信濃森」）．

写真-17　雪坪地区と小滝地区を結ぶ林道に見られた地すべり（写真撮影位置は図-8 参照）．写真の左側（西側）から右側（東側）へ崩落しており，道路が完全に寸断されていた．

写真-18　雪坪地区と小滝地区を結ぶ林道に見られた斜面崩壊（写真撮影位置は図-8 参照）．調査時点で道路上の崩壊土砂は片付けられていた．表層崩壊だが，雪崩防止柵ごと崩落していた．

写真-19　雪坪地区の水田に掘られた小さなトレンチ（写真撮影位置は図-8 参照）．長さ約 1.5m，幅約 0.5m，深さ約 1m で，長辺が北西－南東方向．

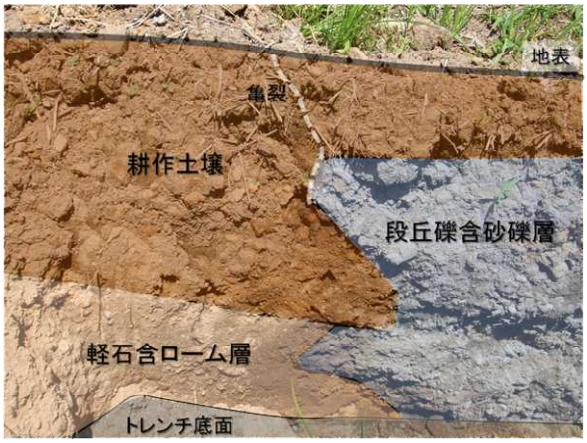

図-9　雪坪地区の水田トレンチの北西壁面解釈図

以上の斜面崩壊や路面の変状は，最大余震（M5.9）によるドーナツ状の干渉 SAR 変動域の東縁部周辺に分布している．

4.3.2 栄村堀切～天池地区周辺（図-8②地点）

この地域では，道路盛土部の重力性変状が多数確認された（写真-20，21）．これらの変状は，最大余震（M5.9）によるドーナツ状の干渉 SAR 変動域の東縁部周辺に分布している．また，志久見川～北野川左岸沿いの県道 507 号線では，盛土状の路肩の崩落や橋梁接合部の段差が見られた（写真-22）．

写真-20　堀切地区西部の農道に見られた亀裂（写真撮影位置は図-8 参照）．亀裂の手前側（西側）が盛土になっており，盛土部が沈下したことによる．

写真-21　天池地区東方の道路（県道 407 号線）に見られた変状（写真撮影位置は図-8 参照）．尾根部を回り込むカーブ部分で，尾根が地すべり的に写真右奥側（西側）に変動したことにより道路に開口亀裂が発生した模様．

写真-22　当部地区の県道 507 号線沿いで見られた斜面崩壊（写真撮影位置は図-8 参照）．崩壊により路肩が崩落し，路面に変状が生じていた．

以上の地域の斜面崩壊や道路の重力性変状の多くは，最大余震（M5.9）によるドーナツ状の SAR 干渉縞の急変部（不連続部）にあたる東縁部周辺に分布しており，本震に加えて余震による揺れや地殻変動がトリガーとなって発生した可能性がある．

4.4　十日町市松之山天水越地区～大厳寺高原（SAR 干渉縞から推定される本震（M6.7）の震源断層の推定地表到達域及び黒澤ほか（2011）による地表地震断層出現報告地域）

この地域は，図-3 中の D 地点付近である．図-3 の同地域を拡大したものを図-10 に示す．

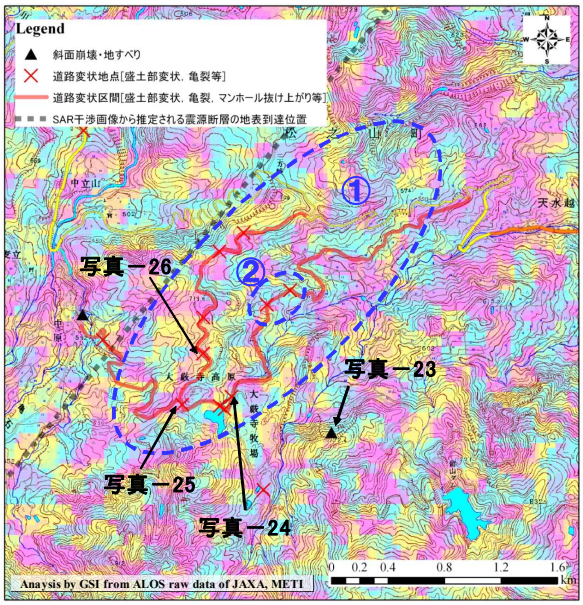

図-10　図-3 における十日町市松之山天水越地区～大厳寺高原周辺の拡大図（背景は数値地図 25000（地図画像）「松之山温泉」）

4.4.1 SAR 干渉縞から推定される本震（M6.7）の震源断層の推定地表到達域（図-10①地点）

SAR 干渉縞から推定される本震（M6.7）の震源断層の推定地表到達域直上では，地表地震断層を示す地表変状は確認できなかったが，その東側，すなわち断層の上盤側（SAR 干渉縞中心付近の非干渉域）では，斜面崩壊や道路面の変状（盛土部変動，亀裂等）が多数見られた（写真-23，24）．

大厳寺高原キャンプ場の駐車場及びその東側の道路では，規模の大きい開口亀裂が見られた（写真-25，図-11）．駐車場で見られた開口亀裂は，開口幅最大約 20cm で，北上がり左横ずれ成分を持っていた．この成分は地形から想定される変動方向とは逆方向（谷側が隆起，または山側が沈降）で，防災科学技術研究所（2004）の地すべり地形分布図「松之山温泉」で認定されている地すべり方向ともセンスが異なることから，何らかの構造的な運動に起因している可能性もある．

また，大厳寺高原から北方に伸びる広域農道では，道路盛土等の重力性変動では説明しにくい圧縮性の亀裂が複数確認された（写真-26）．ただし，その圧縮軸方向はまちまちであるうえ，地すべり地形分布図ではこの地域に小さな地すべり地が多数認定されていることから，それら地すべりの滑動による圧縮変形の可能性が高い．

写真-23　大厳寺牧場東方の山地斜面の斜面崩壊（崩壊位置は図-10 参照）．松之山天水越地区から望む．

写真-24　大厳寺牧場西側の道路に見られた段差（写真撮影位置は図-10 参照）．写真奥（南東方向）に見える補修痕部分で 50cm 程度の段差があり，写真手前側が沈下している（沈下部分が盛土）．

写真-25　大厳寺高原キャンプ場の駐車場に見られた開口亀裂（写真撮影位置は図-10 参照）．駐車場の北側（写真左側）が谷斜面になっているが，亀裂の北側が隆起（または南側が沈降）している．

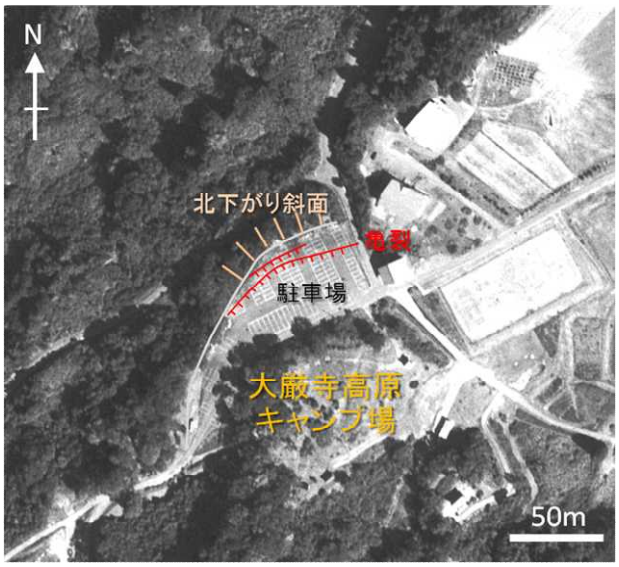

図-11　大厳寺高原キャンプ場の駐車場に見られた開口亀裂（写真-25 地点）の模式分布図

写真-26　大厳寺高原から北方に伸びる広域農道で見られた圧縮性の亀裂（写真撮影位置は図－10 参照）．写真右（北西）から左（南東）に向かってアスファルトが乗り上げている．右横ずれ成分を持つ．

4.4.2 黒澤ほか（2011）による地表地震断層出現報告地域（図-10②地点）

黒澤ほか（2011）は，松之山天水越集落と大厳寺高原を結ぶ農道及びその周辺の水田において，地表地震断層と思われる地表変状を報告している．同地域の地盤変状分布を図-12 に示す. 図の A～E 地点の状況は以下のとおりである．

1) A 地点：この付近では，アスファルト道路と側溝に亀裂が見られ，道路と側溝の間は開口していた．また，水田脇の水路のつなぎ目には圧壊の痕跡が確認できた．黒澤ほか（2011）はこの地点で田植え前の水田を横断する線状の地表変状を報告しているが，我々の調査時には田植え済みで確認できなかった．

2) B 地点：アスファルト道路を横断するように北東下がりの段差が確認された．その南東方向延長部の水路には, はらみ出しによる変状が見られた. また，北西方向延長部の水田の畦（土手）には，大規模な補修痕が見られ，未耕作の水田の東側半分が水没していた．

3) C 地点：コンクリート製道路を横断するように，東下がりの段差が見られ，その延長部の側溝にも亀裂が発生していた．水田の土手には補修痕とはらみ出しが見られた．

4) D 地点：黒澤ほか（2011）は，この地点の田植え前の水田で，水田を横断する線状の地表変状を報告しているが，我々の調査時には田植え済みで水田面に地表変状は確認できなかった. ただ, 水田の畦（土手）に西下がりの亀裂や補修痕が見られ，その下部ははらみ出していた．

5) E 地点：B 地点の道路の亀裂の北東延長線上の水田の畦（土手）に補修痕が見られた．

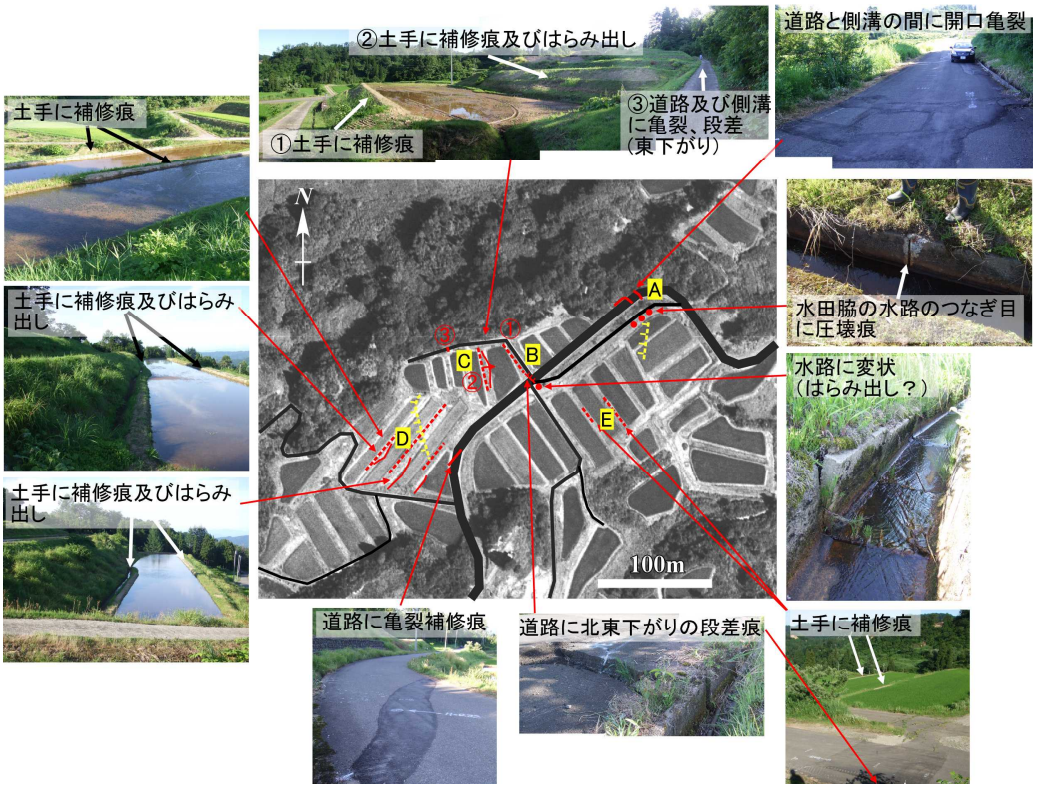

図-12　松之山天水越集落と大厳寺高原を結ぶ農道及びその周辺の水田の地盤変状分布. 背景は 2005 年国土地理院撮影の空中写真．赤実線：亀裂等の変状，赤破線：補修痕，黄破線：黒澤ほか（2011）から推定される地表変位.

図-12 の変状分布図に防災科学技術研究所（2004）の地すべり地形分布を重ねたものを図-13 に，同地域の 1976 年撮影の空中写真を図-14 に示す．これらを見ると，同地域は地すべりの発達地帯で，かつ，現在の水田は盛土造成によるものであることがわかる．B，C，D 地点の変状箇所は地すべりの滑落崖や崩積土の上端部付近に相当し，変位の方向からみてもこれらの再滑動，または盛土部の重力性変動による変状の可能性が高い．ただし，D 地点の変位は西下がりであり，崩積土の滑動方向とは異なることから，テクトニックな変位の可能性もある．A 地点は多少位置がずれているが，B 地点付近を頂部とする崩積土が滑動したことによる圧縮により生じた変状が現れている可能性がある．E 地点は 2 つの崩積土の境界付近に相当し，やはり崩積土の滑動により生じた変状と考えられる．

以上から推定される変状のトレースと変位の向きを図-13 中に青線で示した．ここでは B～E 地点と C 地点の変状を分けているが，E から C 地点につながる一連の変状の可能性もある．また，A 地点の変状について，松多ほか（2011b）は局所的な土塊のローテンションによる変状の可能性を指摘している．いずれにしても，この地域の地盤変状の多くは，重力性の変状で説明できるが，一部の変状についてはテクトニックな変動の可能性もあり，さらなる検討が必要である．

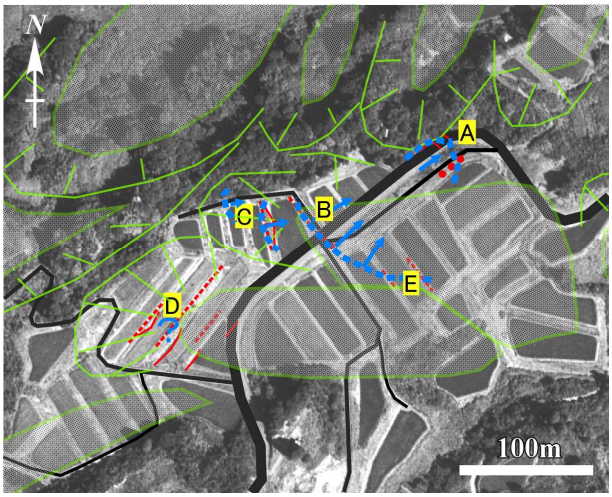

図-13　図-12 の地盤変状分布に地すべり分布（黄緑線）を重ねた図．青線が推定される変状のトレースと変位の向き．

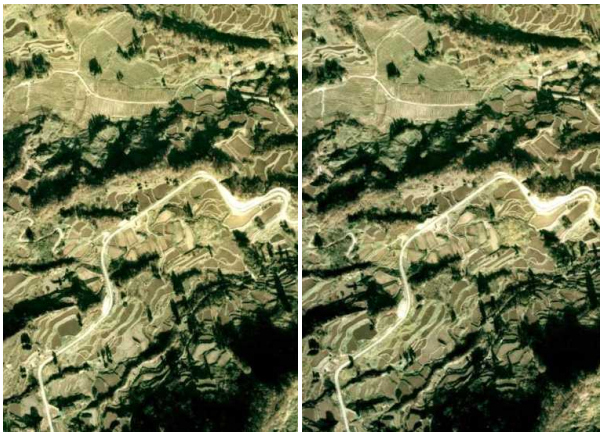

図-14　図-12 の地域の 1976 年国土地理院撮影の空中写真（CCB-76-5，C11A-12, 13．実体視可能）．

5. 斜面崩壊・地すべり・地盤変状分布と地質，SAR 干渉縞との関連

斜面崩壊，地すべり及び地盤変状箇所と地質図（島津・立石，1993；竹内ほか，2000）とを重ね合わせたものを図-15 に示す．斜面崩壊や地すべりは，未固結の海成砂層・泥層や河成礫層・砂礫シルト層から成る魚沼層群で多く発生している傾向が多少見られるが，予察的な空中写真判読で斜面崩壊が多数確認された範囲も含めると，同地域全体で発生しており，顕著な傾向は見られない．地盤変状は，信濃川沿いとその左岸の山間地，及び志久見川西側の山間地の道路が分布している地域全体で発生しているが，松之山背斜の両翼部に多い傾向がある．

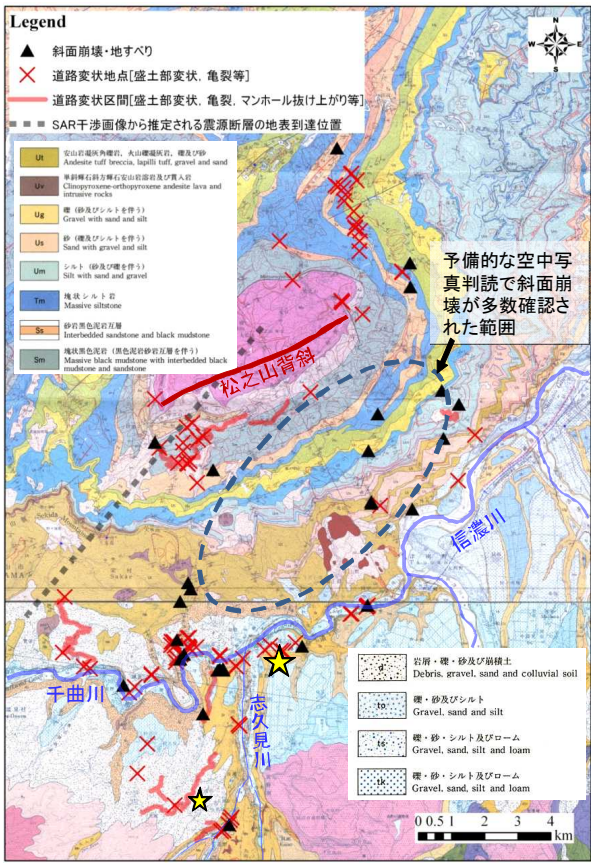

図-15　被害分布と地質図との重ね合わせ．星印は本震と最大余震の震央．

一方，SAR 干渉縞と被害分布との比較（図-3）では，地盤変状や斜面崩壊は，M6.7 の本震及びその 30 分後に発生した M5.9 の最大余震に伴う地殻変動を示す SAR 干渉縞の縁辺部（信濃川左岸の山間地や志久見川西側の栄村山間地）や，震源断層の推定地表到達域東側（十日町市松之山地区周辺）で多発している傾向が見られる．3 章でも述べたように，SAR 干渉縞は，本震の震源断層の推定地表到達域の東側が隆起または西側へ移動していることを，また，最大余震の干渉縞は東縁を不連続部として，その西側が隆起または西側へ移動していることを示している（図-16）．このような変動パターンは，それぞれの干渉縞の直下で，南東傾斜の断層面における逆断層すべり，西傾斜の断層面における逆断層すべりが起きると概ね再現が可能である．両地域の被害の多発域はいずれも SAR 干渉縞から推定される逆断層の上盤側にあたる．

また，もう少し狭い領域で見ると，4.1 節でも述べたように，既存の活断層（宮野原断層）に沿って被害が多発している．

以上から，被害多発地域は干渉 SAR で検出された干渉縞から想定される震源断層（逆断層）の上盤側で，かつ，本震及び最大余震に伴う地殻変動発生領域を示す SAR 干渉縞の範囲に合致し，その領域に近い既存活断層沿いに集中していると言える．これは，従来から指摘されている「逆断層の上盤側で被害が大きい」という現象と一致するとともに，干渉 SAR で捉えられるような地殻変動領域及び既存活断層近傍で被害が多く発生する可能性を示唆している．

6. まとめ

2011 年 3 月 12 日に長野県と新潟県の県境付近で発生した地震の被害について，各地点の被害の特徴をまとめるとともに，その分布と地形や地質，干渉 SAR で検出された地殻変動領域，想定震源断層の位置との関係を分析した．その結果，今回の地震による斜面崩壊・地すべりや地盤変状は，想定される震源断層（逆断層）の上盤側で，かつ，本震及び最大余震に伴う地殻変動発生領域を示す SAR 干渉縞の範囲に合致しており，それらの地域で被害が多発する可能性が示された．また，既存の活断層近傍では，その活断層自体が能動的に活動しなくても，周辺で大きな地震が発生した際には活断層に沿って地盤変状等の被害が集中することが分かった．家屋被害については，干渉 SAR で検出された本震と最大余震による地殻変動領域が重なる千曲川沿いの狭い段丘上に集中しており，地形や余震の影響が示唆された．

以上，今回の地震は未知の活断層の活動により発生したと考えられ，防災上の想定は困難であるが，少なくとも既知の活断層（逆断層）については，その上盤側の地域で地震被害が大きくなることが想定されることから，活断層近傍と併せて地震防災計画において留意する必要がある．今後は，空中写真判読により，さらに広域の斜面崩壊等をマッピングし，それらも含めた被害の分布特性を分析する予定である．最後に，今回の地震で被災した皆様に，心よりお見舞い申し上げると共に，早急の復旧・復興を祈念しております．

謝　辞

本研究を進めるにあたり，名古屋大学の松多信尚特任研究員，（独）産業総合技術研究所の小松原琢主任研究員，福岡教育大学の黒木貴一教授から，有益なご意見を賜った．ここに記して感謝いたします．なお，本研究の一部に，科学研究費補助金（研究課題番号：22500994）を使用した．

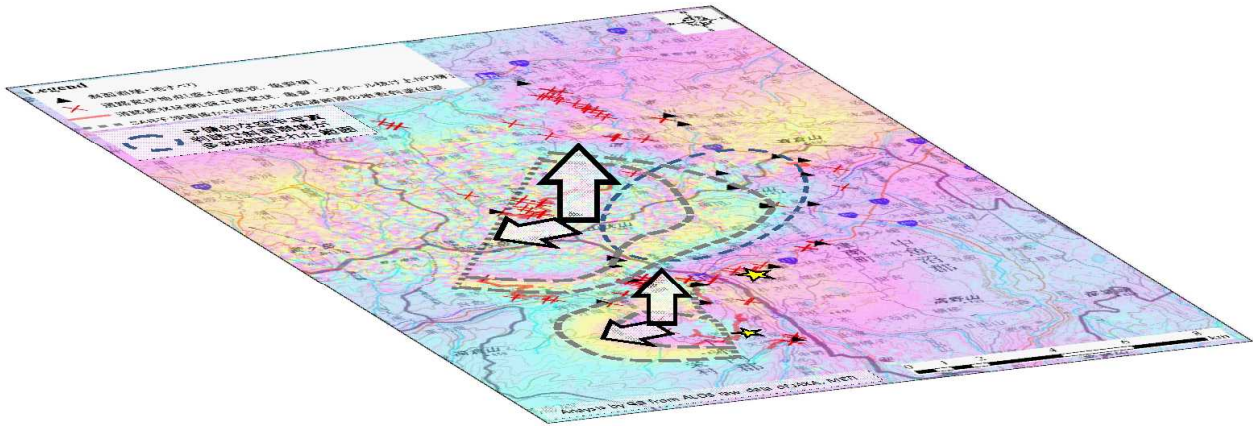

図-16　SAR 干渉画像における地殻変動の模式図（図-3 を基に南東側から鳥瞰的に表現）．灰色破線で囲まれた範囲が隆起または西側へ移動したと推定される．星印は本震と最大余震の震央．

参 考 文 献

防災科学技術研究所（2004）：2 万 5 千分 1 地すべり地形分布図「松之山温泉」，5 万分 1 地すべり地形分布図「苗場山」，5 万分の 1 地すべり地形分布図第 17 集「長岡・高田」図集.

防災科学技術研究所（2011）：2011 年 3 月 12 日・4 月 12 日 長野県北部の地震，http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano110312/ (accessed 1 Feb.2012) .

土木研究所土砂管理研究グループ（2011a）：長野県北部等地震調査報告（速報），http://www.pwri.go.jp/team/niigata/sokuho_03_jishin_nagano.pdf (accessed 1 Feb.2012) .

土木研究所土砂管理研究グループ（2011b）：3 月 12 日の長野県北部の地震で発生した土砂災害融雪後の現地調査報告（第 2 報），http://www.pwri.go.jp/team/niigata/sokuho_04_jishin_nagano.pdf (accessed 1 Feb.2012).

池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編（2002）：第四紀逆断層アトラス，東京大学出版会.

活断層研究会編（1991）：新編日本の活断層－分布図と資料，東京大学出版会.

小荒井衛・中埜貴元・岡谷隆基・小林知勝・乙井康成（2012）：東北地方太平洋沖地震により誘発された地震の被害の特徴，第 21 回環境地質シンポジウム予稿集，45-50.

国土地理院（2011）：平成 23 年（2011 年）3 月 12 日 3 時 59 分頃の長野県北部の地震に伴う地殻変動について，http://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_naganohokubu.html (accessed 1 Feb.2012) .

黒澤英樹・阿部恒平・渡邊貴央・三輪敦志（2011）：2011 年 3 月 12 日・4 月 12 日長野県北部の地震に伴い出現した地表地震断層の現地調査報告（速報），応用地質（株）技術トピックス，http://www.oyoene-db.com/web/topics_h_003.html (accessed 1 Feb.2012) .

京都大学防災研究所（2011）：2011 年長野県北部地震による斜面災害の調査報告（速報），http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/web_j/saigai/20110406_jiban.pdf (accessed 1 Feb.2012) .

松多信尚・杉戸信彦・廣内大助（2011a）：2011 年 3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地表変状（速報），http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201103_Nagano-Niigata_eq.pdf (accessed 1 Feb.2012) .

松多信尚・廣内大助・杉戸信彦・竹下欣宏（2011b）：3 月 12 日長野県・新潟県県境付近の地震に伴う地変と被災の状況，シンポジウム「2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う内陸活断層の挙動と地震活動・地殻変動」及び日本活断層学会 2011 年度秋季学術大会講演予稿集，11-14.

新潟大学災害・復興科学研究所（2011）：長野県・新潟県境付近の地震による土砂災害調査報告，http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/wp-content/uploads/2011/06/landslides_20110410-11.pdf (accessed 1 Feb.2012) .

島津光夫・立石雅昭（1993）：5 万分 1 地質図幅「苗場山」，地域地質研究報告，地質調査所.

竹内圭史・吉川敏之・釜井俊孝（2000）：5 万分 1 地質図幅「松之山温泉」，地域地質研究報告，地質調査所.

豊田浩史（2011）：2011 年長野県北部地震被害調査報告（第一報），http://www.jsce.or.jp/branch/kanto/index_topics/jisin/201105_jisin_nagano_kita_1.pdf (accessed 1 Feb.2012) .