

だいち 2号 SAR 干渉解析により捉えられた
平成 26 年 (2014 年) 長野県北部の地震に伴う地殻変動と地表変形
Crustal and surface deformation of the northern Nagano earthquake in 2014
detected by InSAR using ALOS-2 data

測地部 森下遊・山田晋也・山中雅之・吉川忠男・和田弘人
Geodetic Department Yu MORISHITA, Shinya YAMADA, Masayuki Yamanaka,
Tadao KIKKAWA and Kozin WADA

地理地殻活動研究センター

矢来博司・中埜貴元・飛田幹男・小林知勝・中島秀敏・神谷泉
Geography and Crustal Dynamics Research Center
Hiroshi YARAI, Takayuki NAKANO, Mikio TOBITA, Tomokazu KOBAYASHI,
Hidetoshi NAKAJIMA and Izumi KAMIYA

要 旨

国土地理院は、大規模地震発生時に、地震に伴う地殻変動を把握するため、陸域観測技術衛星「だいち」の SAR データを使用して、SAR 干渉解析を実施してきた。2011 年 5 月にだいちの運用を終了したが、2014 年 5 月にはだいちの後継機である「だいち 2号」が打ち上げられ、再び SAR 干渉解析に必要なデータを取得することが可能になった。

2014 年 11 月 22 日に長野県北部を震源とする地震が発生した。地震に伴う地殻変動を把握するため、だいち 2号の緊急観測を要請し、緊急解析を実施した。この地震がだいち 2号にとって初めての地震に伴う地殻変動を捉えた事例となった。だいち 2号はだいちよりも災害対応の迅速性が大きく向上しており、迅速に SAR データを入手することができた。SAR 干渉解析結果から、地震に伴う地殻変動や地表地震断層等の地表変形の詳細を把握することができ、また、断層モデルの推定に貢献した。

1. はじめに

合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar, 以下「SAR」という。) は、合成開口という技術により空間分解能を高めたマイクロ波レーダーであり、航空機や人工衛星にアンテナが搭載される。干渉 SAR は、SAR による観測をほぼ同じアンテナの位置から地表の同一地点に対して 2 回以上実施し、反射波の位相差を計算することによって、地表の標高や変動量を面的に計測することができる技術である。一般的に、人工衛星による干渉 SAR では、一度に数十～数百 km の範囲の変動を、数 m～数十 m の空間分解能で、数 mm～数 cm の精度で検出することができる。

国土地理院は、2006 年 1 月～2011 年 5 月に運用された陸域観測技術衛星「だいち」の SAR データを使用して、地盤沈下や地すべりによる地盤変動及び火山活動による地殻変動の監視を目的として、SAR

干渉解析を定常的に実施していた。また、大規模地震が発生した際には、地震に伴う地殻変動の把握等を目的として、緊急解析を実施した(雨貝ほか, 2007; 鈴木ほか, 2008; 雨貝ほか, 2008; 山中ほか, 2011)。

だいちの運用終了以降、新たな SAR データを使用した SAR 干渉解析は実施できなくなっていたが、2014 年 5 月にだいちの後継機である「だいち 2号」が打ち上げられた。国土地理院では、だいち 2号の SAR データを使用して、変動監視を目的とした定常的な SAR 干渉解析及び発災時における緊急解析を再び実施していく予定である。

本稿では、だいち 2号にとって最初の地震に伴う地殻変動を捉えた事例となった、2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分頃に発生した長野県北部を震源とする地震 (M6.7, 震源の深さ約 5km, 最大震度 6 弱) に関して、だいち 2号の緊急観測と緊急解析、断層モデル及び現地調査について報告する。

2. だいち 2号による緊急観測

2.1 だいち 2号

だいち 2号は、だいちの後継機として宇宙航空研究開発機構 (以下「JAXA」という。) により開発され、2014 年 5 月 24 日に打ち上げられた。約 2 か月半の初期機能確認運用期間を経て、8 月 4 日から、限られた観測リソースを有効活用するために定められた基本観測シナリオに基づく時間的・空間的に系統的な観測を開始し、観測データを蓄積している。

干渉 SAR によって変動を検出するためには、変動発生前後の観測データが必要となる。様々な方向及び角度からの地震前の観測データがあれば、地震後に SAR 干渉解析可能な観測データ取得機会が増加し、迅速に地殻変動を検出できる可能性が高くなる。発災後対応の迅速性を向上させるため、打ち上げ後約 1 年間は、様々な方向及び角度からの観測データを蓄積する、災害用ベースマップ観測期間となつて

いる (JAXA/ALOS-2 プロジェクト, 2014). 今回の地震は, その期間の途中で発生したものである.

だいち 2 号は, だいちと比較して, 多くの点で性能が向上している (表-1). 空間分解能の向上により, より詳細に地表面の状態を把握することができるようになった. また, 回帰日数の短縮や左右観測が可能になったことにより, 観測可能領域が拡大し, 災害対応の迅速性が大きく向上した. 災害用ベースマップ整備後は, 最長でも発災後 74 時間以内に SAR 干渉解析可能な観測が実施できるようになる (JAXA/ALOS-2 プロジェクト, 2014).

表-1 だいち 2 号とだいちの主要な性能の違い

	だいち 2 号	だいち
空間分解能	3m	10m
回帰日数	14 日	46 日
電波照射方向	左右可能	右のみ
垂直基線長*	1km 以内	最長 10km 超

*同一地点を複数回観測する際の衛星の位置のずれのうち, 衛星—地表視線方向 (Line of Sight, 以下「LOS」という.) に直交する成分. 短いほど SAR 干渉解析にとって好条件となる.

2.2 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ

国土地理院と JAXA は, だいち 2 号のデータを用いた地理空間情報の整備及び高度利用を連携して推進することを目的として, 2014 年 4 月 7 日に協定を締結した. 協定では, 役割分担やデータの提供について規定するとともに, JAXA が実施している防災利用実証実験の一つである, 地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ (以下「地震 WG」という.) についても規定している. 国土地理院が地震 WG を設置し, 地震発生時には, 事務局として実験協力者からの緊急観測の提案の取りまとめを行い, JAXA へ緊急観測を要請することができる. JAXA は観測の可能性を検討し, 可能であると判断した場合は緊急観測を実施し, データを提供することとなっている.

2.3 緊急観測の要請と観測実施

今回の地震は, 地震 WG としてだいち 2 号の緊急観測を要請した最初の事例となった. 地震発生直後, 事務局である国土地理院が震源周辺における地震前の観測データを検索し, それらと SAR 干渉解析可能な観測日時を計算した. 地震発生から 1 時間半後の 23 時 38 分に, 地震 WG 内でメールにより緊急観測の案を共有し, 実験協力者の賛同を得て, JAXA へ 4 件の緊急観測を要請した (表-2, 図-1). 4 件全ての要請は採用され, 緊急観測が実施された.

表-2 緊急観測要請内容

観測日時	衛星進行方向	電波照射方向	仰角	干渉ペア記号	地震前観測日
11/24 11:29	南行	右	53.3°	(i)	9/29
11/25 11:48	南行	右	38.2°	(ii)	9/30
				(iii)	10/14
11/27 12:30	南行	左	32.4°	(iv)	10/2
11/28 23:40	北行	右	35.4°	(v)	9/19

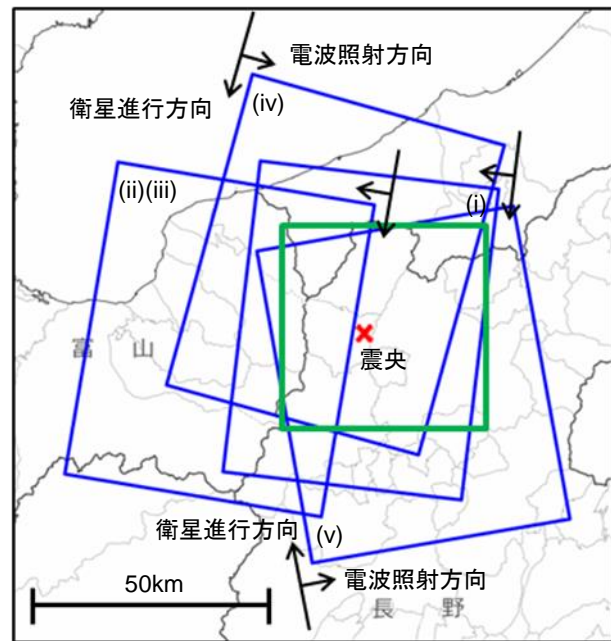


図-1 緊急観測要請範囲 (青枠). (i)~(v)は表-2 中の干渉ペア記号に対応する. 緑枠は図-2~図-6 の表示範囲を示す.

だいち 2 号が災害用ベースマップ観測を開始してから約 3 か月半しか経過していなかったこともあり, 当該地域における地震前の観測データは限定的であった. それにもかかわらず, 最初の SAR 干渉解析のための緊急観測は発災後約 37 時間後に実施され, だいちの事例と比較すると非常に迅速であった (表-3). さらに, 6 日間で 4 回も SAR 干渉解析可能な緊急観測が実施され, 迅速性だけではなく頻度の面でも, だいちよりも優れていることを示した. 今回の事例により, 地震災害対応におけるだいち 2 号の能力の高さが実証されたといえる. 災害用ベースマップ整備後は, さらに効果的な緊急対応が期待できる.

表-3 緊急観測の迅速性及び頻度の比較

地震発生日時 地震名	地震後初観測日時 (経過時間)	地震後観測 回数/期間
2007/3/25 9:42 能登半島地震	2007/4/10 22:26 (17.5 日)	2 回/46 日 (=0.3 回/週)
2007/7/16 10:13 新潟県中越沖地震	2007/7/19 10:13 (3.0 日)	2 回/14 日 (=1 回/週)
2008/6/14 8:43 岩手・宮城内陸地震	2008/6/23 21:57 (9.6 日)	2 回/10 日 (=1.4 回/週)
2011/3/11 14:46 東北地方太平洋沖地震	2011/3/15 21:55 (4.3 日)	10 回/38 日 (=1.8 回/週)
2014/11/22 22:08 長野県北部	2014/11/24 11:29 (1.6 日)	4 回/6 日 (=4.7 回/週)

3. SAR 干渉解析

3.1 SAR 干渉解析の実施

迅速に解析に着手するため、地震前の観測データはあらかじめ入手し、解析の準備をしておいた。地震後の観測データは、緊急観測が実施された後、1～2 時間でオンラインにより提供され、すぐに解析を開始することができた（ペア(v)を除く）。

ペア(i)の地震前観測データには欠損があり、通常の画像再生処理では変動域を含まない南側の範囲しか再生できなかった。そこで、北側に可能な限り拡張するよう工夫して画像再生処理を実施した。

ペア(ii)(iii)の観測範囲は、通常の画像再生処理では変動域を含まない西側の範囲のみであったため、東側に可能な限り拡張するよう工夫して画像再生処理を実施した。

ペア(v)については、地震前観測データの生産処理に不具合が発生し、しばらくデータが提供されなかったが、2015 年 1 月下旬にデータが提供され、解析を実施することができた。

解析には、国土地理院が開発したソフトウェア「新 GSISAR」を使用した。新 GSISAR はだいちの時代から使用してきたが、並列処理や様々な誤差低減処理機能を実装する等、年々バージョンアップを重ねてきた。また、解析機器の性能も時代とともに大幅に向上してきた。だいち 2 号はだいちよりも空間分解能が高いため、データ量も多くなるが、これらの解析システムにより、高速で解析を実施することができた。

SAR 干渉解析において、地形縞を除去するための標高データ (DEM) は「GSII10mDEHMJapan」(飛田, 2009) を使用した。対流圏誤差を低減するため、数値気象モデルを用いた対流圏誤差低減処理を適用した(小林ほか, 2014)。軌道誤差等に起因する長波長の誤差を低減するため、GEONET データを使用した GNSS 補正を適用した(飛田ほか, 2005)。なお、GNSS 補正にはある程度の期間に渡る地震後の GEONET データが必要であったため、緊急観測直後の解析では GNSS 補正は適用できず、暫定結果として取り

扱った。数日後に十分な GEONET データが蓄積されてから暫定結果に対して GNSS 補正を適用し、最終結果とした。これ以降は、最終結果を示すものとする。

3.2 SAR 干渉解析結果

震央を中心とする東西約 30km、南北約 30km の範囲で地殻変動が検出された(図-2～6)。特に、既知の神城断層北端付近の東側で顕著な変動が見られ、最大で 1m 程度の LOS 方向の変動があったと推定される。

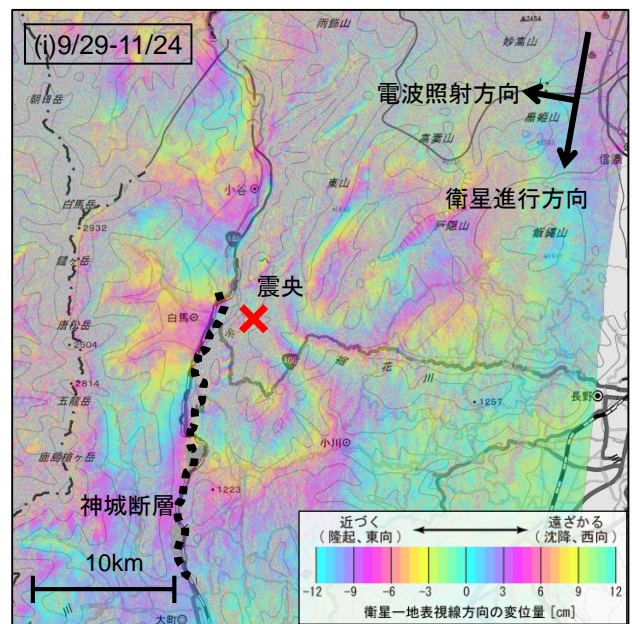


図-2 ペア(i)の SAR 干渉画像。神城断層は、都市圏活断層図「白馬岳」(澤ほか, 1999)、「大町」(東郷ほか, 1999) からトレースしたものである。

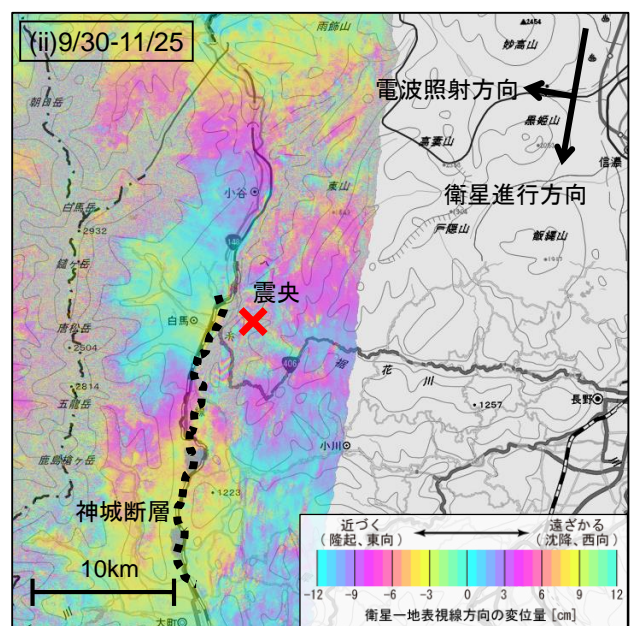


図-3 ペア(ii)の SAR 干渉画像

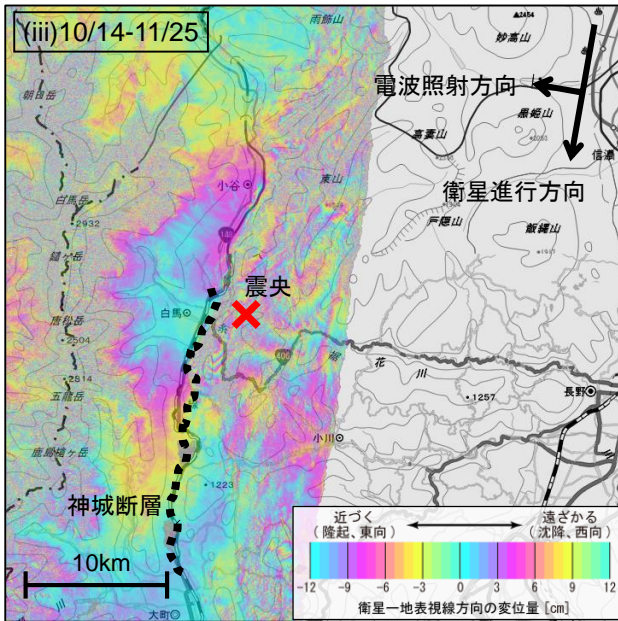


図-4 ペア(iii)の SAR 干渉画像

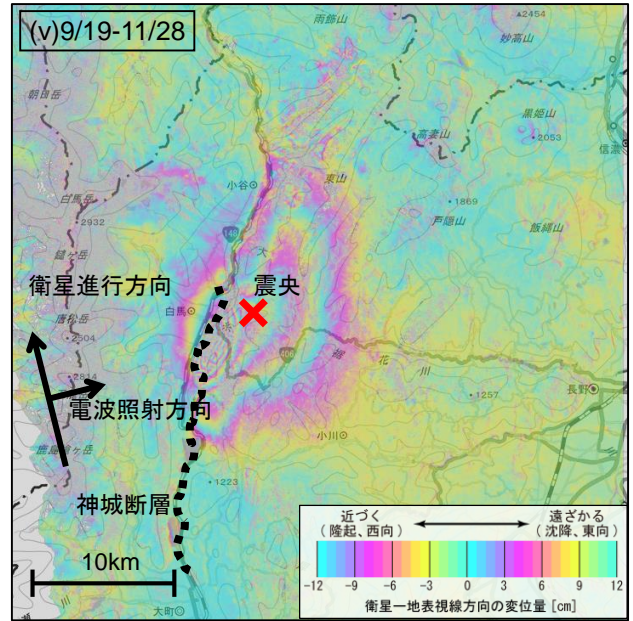


図-6 ペア(v)の SAR 干渉画像

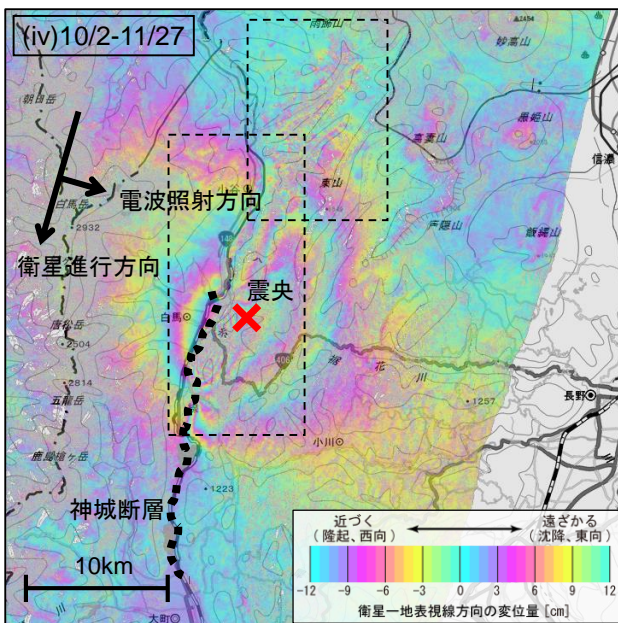


図-5 ペア(iv)の SAR 干渉画像。黒破線枠は図-7 及び図-8 の範囲を示す。

SAR 干渉画像において、急激な色の変化は、地表地震断層等、地表変位量が急激に変化する位置を示す。今回の解析結果では、南北に縦断するように急激な色の変化のある場所が見られ、その位置は、様々な機関が実施した現地調査により把握された地表断層位置（廣内ほか，2014；岡田ほか，2014；勝部ほか，2014）と調和的であった（図-7）。震源断層の長さは約 20km であると推定され、南側の約 10km は既知の神城断層の位置と良く一致している。

地殻変動が集中している地域よりも北側の、小谷村の姫川より東側の山間部では、小規模だが明瞭な

色の変化が数多く見られた（図-8）。これらは地すべりによる変動を表している可能性がある。

3.3 解析結果の公開

ペア(v)を除く緊急解析の結果は、観測から 1~2 日後には、地理院地図の上乗せ情報として公開した（国土院，2014）。地理院地図とは、国土院が提供しているウェブ地図であり、空中写真や震央の位置等、様々な地理空間情報を表示することができる。SAR 干渉画像単独で公開するのではなく、他の地理空間情報と重ね合わせて表示できるようにしたこと、地表地震断層位置との比較や、地すべりによる変動が疑われる場所の地形を把握することが容易となった。

また、11 月 28 日に開催された第 205 回地震予知連絡会において、ペア(iv)の解析結果も含めた資料を提出した。発災から 6 日、観測からわずか 1 日という短時間にもかかわらず、解析結果の報告をすることができた。このような迅速な対応は、だいち 2 号の迅速性向上や解析システムの発展によって可能になった。今後の地震災害に対しても、同程度もしくはより迅速な対応が可能であると考えられる。

4. SAR 干渉解析結果が示唆する断層運動

それぞれの干渉画像に見られる位相変化分布から、今回の地震の断層運動について以下のように考察できる。

衛星が東南東上空から西北西方向を観測しているペア(i)において、広域での位相変化分布を見ると、神城断層の西側で LOS 短縮 (= 隆起 and/or 東方への変位)、断層の東側では北東側で LOS 短縮と南東側

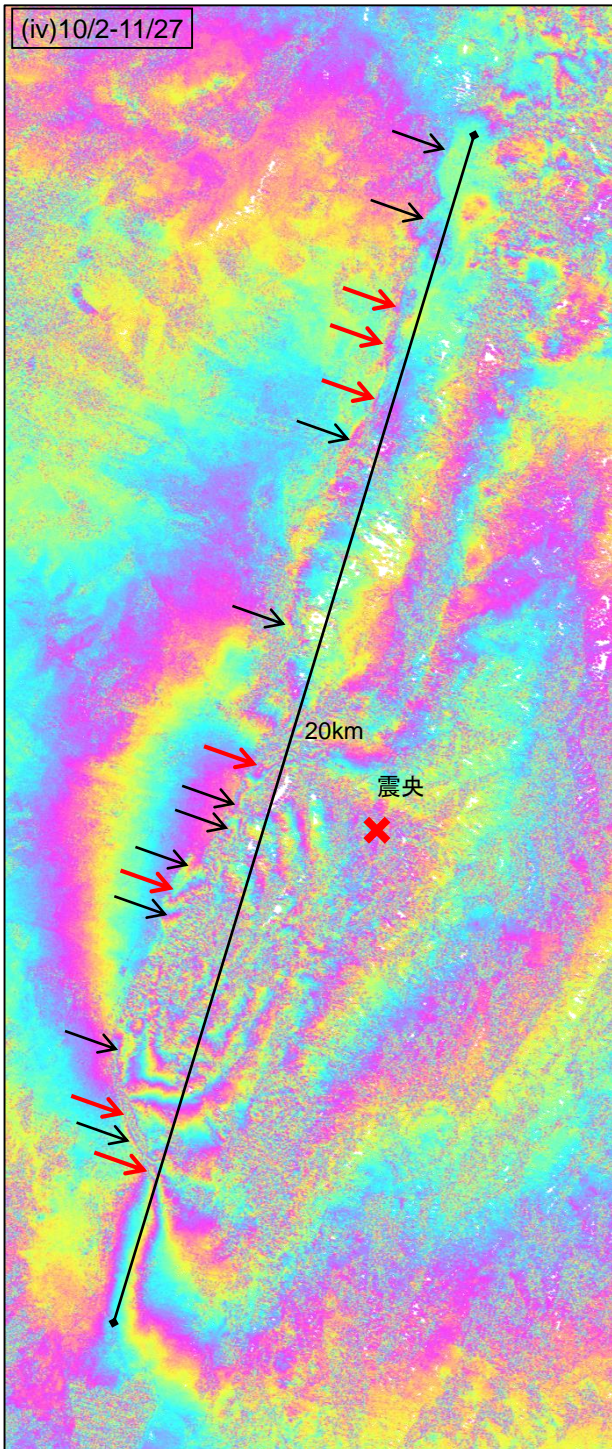


図-7 ペア(iv)の SAR 干渉画像の震央付近の拡大図。矢印は急激に色が変わっている場所を示す。そのうち、赤矢印は国土地理院が現地調査を行った箇所を示す。

で LOS 伸張 (=沈降 and/or 西方への変位) が見られる。これらの特徴は、断層面はやや高角で東傾斜であり、断層運動は左横ずれ成分と逆断層成分をそれぞれ含んでいることを示唆している。これは、この地震の CMT 解 (例えば気象庁, 2014) とも整合している。

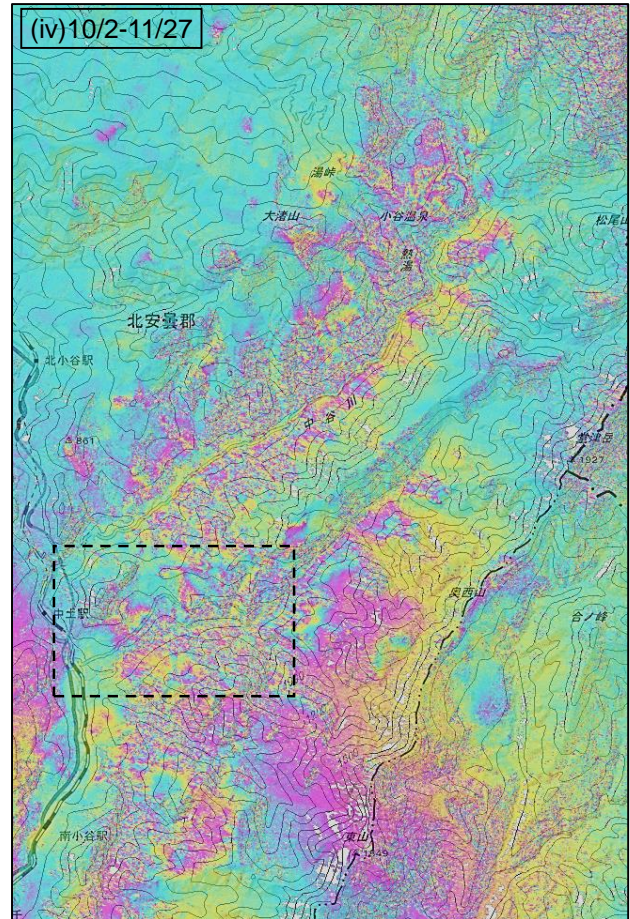


図-8 ペア(iv)の SAR 干渉画像の小谷村の姫川より東部の拡大図。小規模だが明瞭な色の変化は、地すべりによる変動を表している可能性がある。黒破線枠は図-11 の範囲を示す。

ペア(i)とは逆に衛星が西北西上空から東南東方向を観測しているペア(iv)や、西南西上空から東北東方向を観測するペア(v)では、広域での位相変化分布は神城断層を境にして西側で LOS 伸張、東側で LOS 短縮を示している。これは、やや高角の東傾斜の逆断層運動と調和的な変動である。ただし、ペア(iv)や(v)の観測方向では、断層傾斜角が中程度～高角の場合に左横ずれ成分に対する感度が低くなるため、実際には左横ずれ成分を含むものの、逆断層運動を示す位相変化のみが顕著に表れたという可能性もある。

また、全てのペアで、地表地震断層付近の東側で大きな変動を示す干渉縞の集中が見られる。ペア(iv)および(v)に見られる位相変化分布は断層の走向方向に伸びる同心円状であり、低角～中程度の傾斜角で、幅が約 2~3km の逆断層滑りを強く示唆している。ペア(i)ではやや干渉性が劣るため明瞭ではないが、断層に近い領域で LOS 短縮、その東側では LOS 伸張の傾向が見られており、こちらもペア(i)と同様に、低角～中程度の傾斜角の逆断層滑りと調和的なパターンである。

従って、広域の位相変化分布からはやや高角の断層面、地表地震断層近傍の位相変化分布からは低角～中程度の傾斜角の断層面が想定されるため、今回の干渉画像に見られる位相変化分布の特徴を単一の傾斜角を持つ断層面での滑りで説明することは難しい。

以上から、断層面の傾斜角は、広域に地殻変動を及ぼす深い部分ではやや高角、地表地震断層近傍の浅い部分ではやや低角と考えられる。なお、Double Difference 法による高精度な震源決定結果(気象庁, 2015)でも浅部でやや低角、深部で高角となる傾向が見られている。

5. 現地調査

SAR 干渉画像の妥当性を検証するため、SAR 干渉画像において色が急激に変化する境界付近(図-7 赤矢印地点)や地すべり性の変動を捉えていると考えられる箇所(図-8 黒破線枠内: 土谷川右岸の県道 330 号線)について、2014 年 12 月 2~3 日にかけて現地調査を実施した。

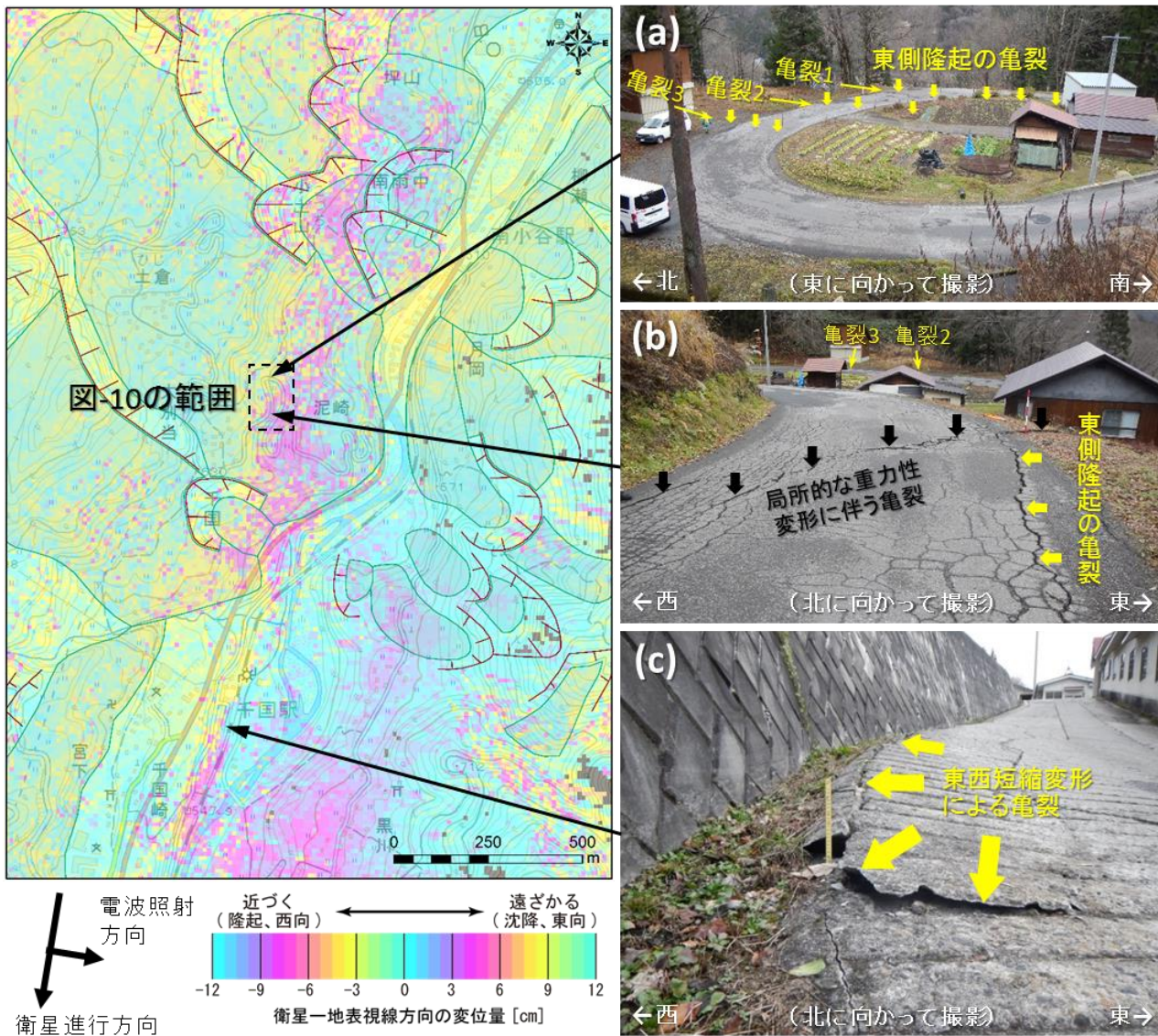


図-9 小谷村南部の SAR 干渉画像 ((iv) のペア) と地すべり地形分布図(防災科学技術研究所, 2000) の重ね合わせと現地調査結果。(a) 小谷村泥崎地区で確認した走向 NE から N25°E の 3 列の短縮性亀裂(黄色矢印部)。亀裂 1 と亀裂 2 の地表変形は、東側隆起が卓越し、南側の耕作地及び家屋(車庫)まで変位が続いている。(b) 小谷村泥崎地区の東側隆起の亀裂(黄色矢印部)と局所的な重力性変形に伴う亀裂(黒矢印部)。東側隆起の亀裂は、(a) の亀裂 2 の延長線上に位置する。(c) JR 千国駅西側の路面で確認したほぼ南北方向の走向を持つ東西短縮変形による隆起と頂部亀裂。写真右上に見える屋根付き歩道上にも、写真の亀裂と平行な隆起と頂部亀裂を確認。

5.1 小谷村周辺での調査結果

小谷村周辺での SAR 干渉画像と現地調査の結果を図-9, 10 に示す。小谷村泥崎地区から千国地区につながる市道やその周辺の耕作地、家屋（車庫）の土台、水路等を横断するように、NS から N25°E の走向を持つ東側隆起の 3 列の短縮性亀裂が確認された（図-9(a), 図-10(a)~(d)）。また、その亀裂の南側延長線上の水田畦道やアスファルト道路にも東側隆起の亀裂が確認された（図-9(b), 図-10(f)）。同地点は、大きな地すべり土塊の下方内部に位置しており（防災科学技術研究所, 2000）、近傍には局所的な重力性変形に伴う亀裂も見られる（図-9(b)）。しかし、前述の短縮性亀裂は東側が最大 10cm 隆起しており、周囲の地形から考えても地すべり性の短縮変形とは異なることから、地表地震断層の可能性が示唆される。また、この地点から南方へ色の急激な変化が続いている JR 千国駅周辺においても、ほぼ NS 走向の短縮変形が、コンクリート路面と駅に付随する屋根付きのアスファルト歩道で確認でき（図-9(c)）、同様の変形の可能性が考えられる。中野ほか（2002）によると、これらの地表変形の近くには姫川断層があり、それが活動した可能性もある。この地域では、(iv)のペアの干渉画像が他の干渉画像に比べて、現地との対応が良かった。なお、同様の色の変化が現れている小谷村坪山地区、南雨中地区、千国崎地区も調査したが、明瞭な地表変形は確認できなかった。

小谷村を流れる土谷川右岸の県道 330 号線においては、地すべり性変動を示す干渉縞と現地との対応を調査した。調査結果を図-11 に示す。干渉縞にはノイズが多く、地すべり性変動の形状は明瞭ではないが、地すべり性変動の可能性のある干渉縞の地点のアスファルト道路や擁壁等には、多数の開口亀裂や一部の短縮変形が確認できた。ただし、この地域には多数の地すべり地形が存在しており（防災科学技術研究所, 2000）、それら土塊の変動によるものなのか、より局所的な道路盛土等の変動によるものなのかは現段階では区別できていない。

5.2 白馬村周辺での調査結果

白馬村周辺での SAR 干渉画像と現地調査の結果を図-12, 13 に示す。この地域では、他機関が地表地震断層の出現を多数報告しており、色の変化箇所と調和的であることは先にも述べたが、ここではより詳細な位置関係を報告する。

白馬村北城地区塩島付近（図-12）では、3 箇所のアスファルト道路を横断する地表地震断層を確認した。同地区にある城山という小丘の北東側の道路では、走向 N55°E で南東側隆起の変形が見られた（図-12(a)）。城山の南東側の道路及び耕作地では、走向 N30°E で南東側隆起の変形が確認できた（図-12(b)）。

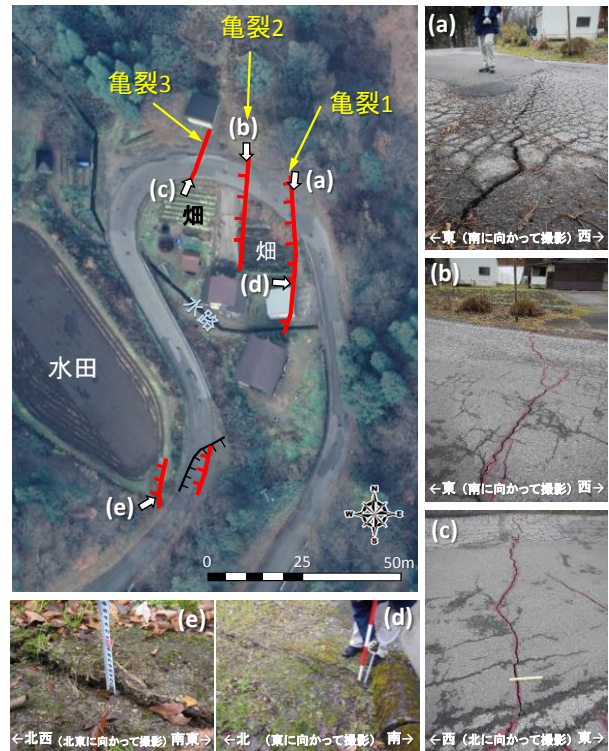


図-10 小谷村泥崎地区の地表変形の詳細図（背景は 2014 年 11 月 24 日アジア航測（株）撮影空中写真）。図中の白矢印は写真（a）～（e）の撮影位置と撮影方向。（a）亀裂 1（走向 NS、上下変位約 10cm の東側隆起）。（b）亀裂 2（走向 N6°E、開口幅 1~2cm、上下変位約 2cm の東側隆起）。（c）亀裂 3（走向 N25°E、開口幅約 1cm）。（d）亀裂 1（上下変位約 10cm の東側隆起）。亀裂の手前（西）側に水が溜まっていた。（e）水田の畦道に見られた東側隆起の段差亀裂（上下変位約 3cm）。亀裂 3 の延長部に位置する。

上下変位量は約 80cm である（廣内ほか, 2014）。また、松川左岸の道路では、走向 N32°E で南東側隆起の変形が見られた（図-12(c)）。ここでは約 40cm の左横ずれも確認できた。この地点では、(iii)のペアの SAR 干渉画像の方が、他の干渉画像に比べて現地との対応が良かった。

白馬村北城地区の白馬村社会体育館周辺（JR 白馬駅南方；図-13）でも、SAR 干渉画像で色が急激に変化している箇所において、アスファルト道路及びその側溝、水田、擁壁等に、東側隆起の短縮変形や開口亀裂が確認できた。短縮変形の短縮量は約 15cm であった。この地点においては、(iii)と(iv)のペアのいずれも、現地との対応が良かった。

その他、白馬村神城地区飯田から堀之内にかけての SAR 干渉画像の色の变化箇所において、水田やアスファルト道路を横切る地表地震断層を確認した。

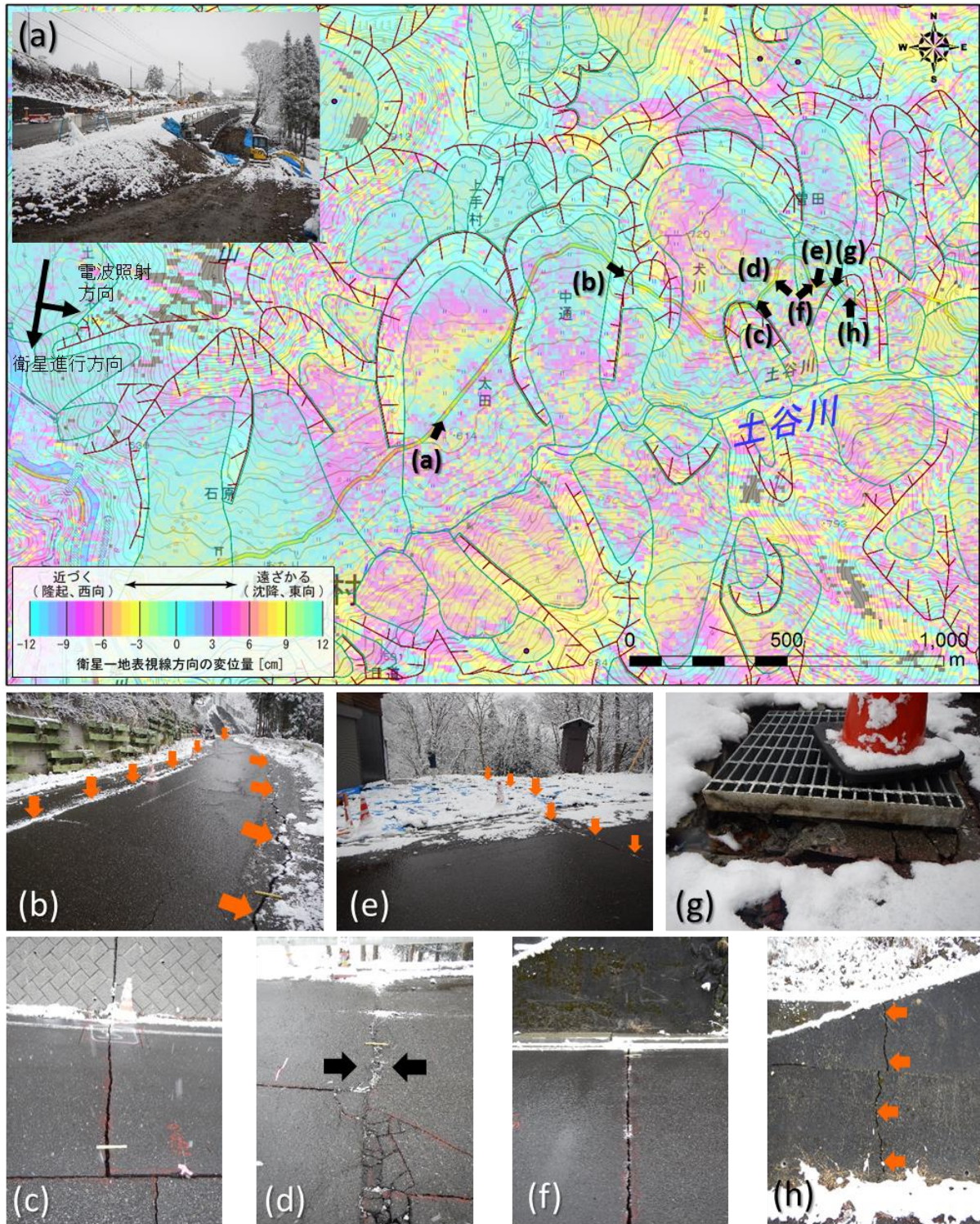


図-11 小谷村北部，土谷川右岸の県道 330 号線周辺の SAR 干渉画像 (iv) のペア) と地すべり地形分布図 (防災科学技術研究所，2000) の重ね合わせと現地調査結果。SAR 干渉画像中の黒矢印は，写真 (a) ~ (h) の撮影位置と撮影方向。(a) 今回の地震前から実施されている地すべり対策工事現場。(b) 道路の重力性変形 (赤矢印が開口亀裂及び段差の位置)。地すべり地形の境界部に相当し，繰り返し補修されている痕跡があった。(c) 道路及び擁壁の開口亀裂。地すべり地形の境界部に相当。(d) 道路の短縮変形 (黒矢印は短縮方向)。この付近の家屋のほとんどには「要注意」の張り紙がされていた。(e) 道路及びその脇の敷地の開口亀裂 (赤矢印の位置)。写真奥の敷地は道路面より約 12cm 沈下していた。(f) 道路の開口亀裂。(g) 道路脇の集水樹の圧縮性変形による鉄蓋の浮き上がり。(h) 擁壁の開口亀裂。擁壁下の道路にも多数の亀裂を確認。

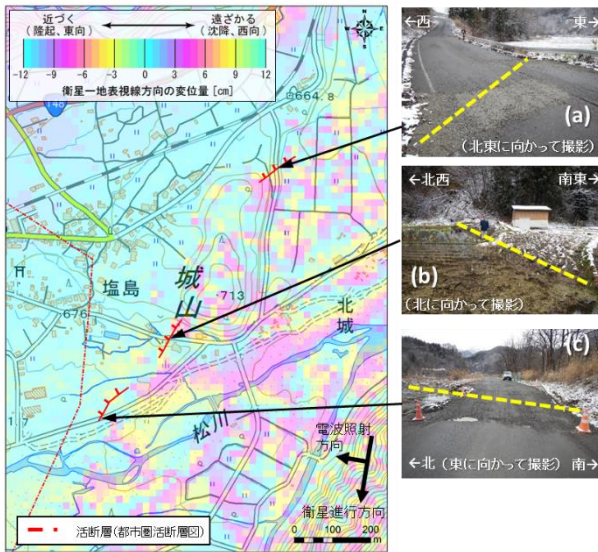


図-12 白馬村北城地区塩島付近の SAR 干渉画像 ((iii)のペア) と現地調査結果. (a) 道路に南東側隆起の上下変位 (走向 N55°E). (b) 城山の南側の耕作地 (写真) から道路及びその南側の空地にかけて、南東側隆起の上下変位 (走向 N30°E). (c) 道路及びその北側の空地に南東側隆起の上下変位 (走向 N32°E, 左横ずれ成分約 40cm). 空地内で屈曲し、走向が東西方向に近づく.

5.3 現地調査のまとめ

SAR 干渉画像における色の急変部を中心に現地調査を実施した結果、白馬村周辺では地表地震断層の出現箇所と色の急変部がほぼ一致することが確認できたとともに、小谷村泥崎地区や JR 千国駅付近では、重力性変形では説明が難しい東上がりの上下変位を新たに確認することができた。この上下変位は、この付近にある姫川断層の活動によるものである可能性がある。また、地すべり性変動を示す干渉縞が現れた小谷村北部の土谷川右岸での調査では、アスファルト道路や擁壁等に多数の開口亀裂や一部の短縮変形を確認したが、干渉縞との関係は明瞭ではなく、今後、既存の地すべり地形との関係も含めたさらなる分析が必要である。

6. まとめ

長野県北部の地震に伴う地殻変動を捉えるため、地震 WG として最初のだいち 2 号の緊急観測を要請し、緊急解析を実施した。SAR 干渉画像によって、地震に伴う地殻変動や地表地震断層等の地表変形の詳細を把握することができた。だいちよりも性能が向上したことで、非常に迅速に対応することができた。今後の地震災害に対しても、今回と同程度もしくははより効果的な対応が期待できる。

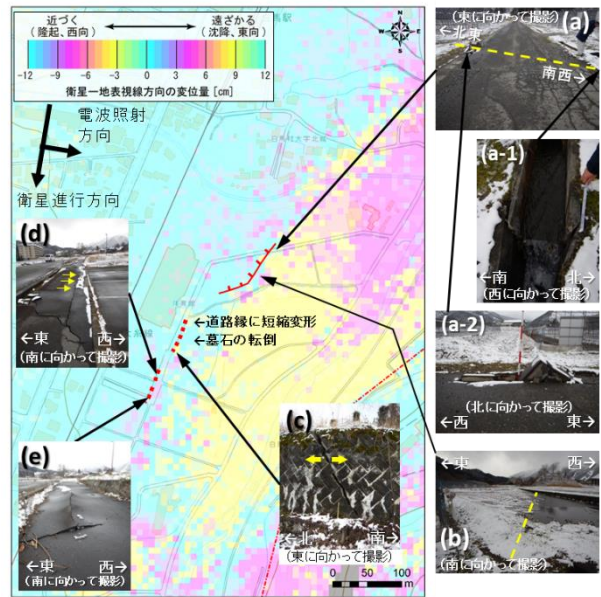


図-13 白馬村北城地区の白馬村社会体育館付近の SAR 干渉画像 ((iv)のペア) と現地調査結果.

(a) アスファルト道路の短縮変形 (走向 N35°E, 南東側隆起). 道路両脇の側溝 (a-1, a-2) の短縮量は約 15cm. (b) 水田内の南東側隆起の上下変位. (a) の地点から南に向かって撮影. 途中で屈曲して走向が N85°E に変化.

(c) 擁壁の開口亀裂 (開口幅 5cm. 南側が南西方向に 5cm はらみ出し). (d) アスファルト面の短縮変形 (東側が西側に約 20cm 乗り上げ). (e) アスファルト面の短縮変形に伴う隆起亀裂.

謝辞

ここで使用しただいち 2 号の原初データの所有権は、JAXA にあります。これらのデータは、だいち 2 号に関する国土院と JAXA の間の協定に基づき提供されました。地震後の観測データは、地震 SAR 解析 WG の活動によって得られました。数値気象モデルは、「電子基準点等観測データ及び数値予報格子点データの交換に関する細部取り決め協議書」に基づき、気象庁から提供されました。現地調査においては、小谷村役場及び (独) 産業技術総合研究所から情報を提供頂きました。この場を借りて、御礼申し上げます。

(公開日：平成 27 年 3 月 4 日)

参考文献

- 雨貝知美, 鈴木啓, 和田弘人, 藤原みどり, 飛田幹男, 矢来博司 (2008) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 20 年 (2008 年) 岩手・宮城内陸地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.
- 雨貝知美, 和田弘人, 藤原みどり, 鈴木啓, 飛田幹男, 矢来博司 (2007) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震に伴う地殻・地盤変動の検出, 国土地理院時報, 113, 3-11.
- 防災科学技術研究所 (2000) : 地すべり地形分布図「白馬岳」, 防災科学技術研究所研究資料第 200 号.
- 廣内大助, 杉戸信彦, 清水龍来 (2014) : 2014 年 11 月 22 日長野県神城断層地震における地表変位について (速報), http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201411_nagano02.pdf (accessed 5 Jan 2015).
- JAXA/ALOS-2 プロジェクト (2014) : ALOS-2 基本観測シナリオ (第 1 版) -A 改訂-, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/obs/scenario/ALOS-2_Basic_Observation_Scenario_First-Ed_J_v00_A.pdf (accessed 5 Jan. 2015)
- 勝部亜矢, 近藤久雄, 加瀬祐子, 谷口薫 (2014) : 第三報地表地震断層緊急調査報告 (2), <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141209.html> (accessed 5 Jan 2015).
- 気象庁 (2014) : 発震機構 (精査後) CMT 解 2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分 長野県北部 M6.7, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/cmt/fig/cmt20141122220817.html> (accessed 5 Jan. 2015).
- 気象庁 (2015) : 地震予知連絡会会報, 93, (印刷中).
- 小林知勝, 石本正芳, 飛田幹男, 矢来博司 (2014) : SAR 干渉解析のための数値気象モデルを用いた大気遅延誤差の低減処理ツールの開発, 国土地理院時報, 125, 31-38.
- 国土地理院 (2014) : 長野県北部を震源とする地震に関する情報, <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquake-index.html> (accessed 2 Feb 2015).
- 中野俊, 竹内誠, 吉川敏之, 長森英明, 刈谷愛彦, 奥村晃史, 田口雄作 (2002) : 5 万分 1 地質図幅「白馬岳」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 岡田真介, 石村大輔, 丹羽雄一, 遠田晋次 (2014) : 長野県北部の地震にともなう地表地震断層, http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209_report_nagano.pdf (accessed 5 Jan 2015).
- 澤祥, 東郷正美, 今泉俊文, 池田安隆, 松多信尚 (1999) : 都市圏活断層図「白馬岳」, 国土地理院技術資料 D.1-No.368.
- 鈴木啓, 雨貝知美, 藤原みどり, 和田弘人, 飛田幹男, 矢来博司 (2008) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 114, 47-53.
- 飛田幹男 (2009) : 地殻変動計測のための SAR 画像分析の高度化に関する研究 (第 3 年次), 平成 21 年度国土地理院調査研究年報, <http://www.gsi.go.jp/common/000057644.pdf> (accessed 22 Jan 2015) .
- 飛田幹男, 宗包浩志, 松坂茂, 加藤敏, 矢来博司, 村上亮, 藤原智, 中川弘之, 小澤拓 (2005) : 干渉合成開口レーダの解析技術に関する研究, 国土地理院時報, 106, 37-49.
- 東郷正美, 池田安隆, 今泉俊文, 澤祥, 松多信尚 (1999) : 都市圏活断層図「大町」, 国土地理院技術資料 D.1-No.368.
- 山中雅之, 野口優子, 鈴木啓, 宮原伐折羅, 石原操, 小林知勝, 飛田幹男 (2011) : 衛星合成開口レーダーを用いた平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動の検出, 国土地理院時報, 117, 15-20.