

第 4 章 だいち 2 号により観測された西之島の山体変形*

IV Ground deformation and lava effusion at Nishinoshima observed using ALOS-2/PALSAR-2**

4.1 はじめに

2014 年 5 月 24 日に種子島宇宙センターから打ち上げられた陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」(ALOS-2) は、「だいち」(ALOS) の後継機として、災害状況把握、農林漁業、海洋観測、資源探査等の多目的利用が期待されている地球観測衛星である。先代の ALOS が 2 つの光学センサと合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar ; SAR) で構成されていたのに対し、ALOS-2 は SAR に特化した衛星であり、搭載された SAR センサも ALOS に比べて分解能や観測可能領域が改良された高性能マイクロ波センサ PALSAR-2 (Phased Array-type L-band Synthetic Aperture Radar type 2) を用いている。PALSAR-2 が有している L バンド (1.2GHz) 帯の電波は、長い波長の特徴から木の枝葉などを透過して地表面まで到達するため、地表形状を観測するのに適している。さらに、ALOS-2 は ALOS に比べて衛星の軌道制御も優れており、コヒーレント (可干渉) 性の高さを利用した SAR 干渉解析については、引続き地殻変動観測に非常に強力な手法として活用が期待されている。

2013 年 11 月 20 日、伊豆・小笠原諸島の西之島の南東約 200 m 付近において、海上自衛隊及び海上保安庁により噴火活動が確認された (気象庁, 2013 ; 海上保安庁, 2013)。約 1 か月後には、西之島新島 (以下、旧西之島と呼ぶ) と接合していることが確認され (海上保安庁, 2013)、翌 2014 年 1 月には、300~600 ton/day の二酸化硫黄の放出が海上自衛隊の協力による気象庁の観測で確認されるなど活発な火山活動が継続した。その後も、溶岩噴出を繰り返し、周辺への陸域の拡大がなされていたが、2015 年 11 月 17 日のブルカノ式噴火以降は確認されていない。残念ながら、噴火活動当初の ALOS-2 による観測データはないが、衛星打ち上げ後の校正観測を経た 2014 年 8 月以降、複数の観測モードによる観測が実施された。気象研究所では、気象庁と国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が締結している「火山活動の評価及び噴火活動の把握に関する共同研究」の協定に基づき、火山噴火予知連絡会の衛星解析グループ (通称：火山 WG) 経由で西之島周辺の SAR データを入手し、一連の火山活動における衛星データの解析を行ったので、これらの結果について以下に述べる。

4.2 解析データ及び方法

使用したデータは、すべて火山 WG から AUIG-2 (ALOS User Interface Gateway) を通じて入手した。入手したデータは、2014 年 8 月 9 日から 2016 年 7 月 22 日のレベル 1.1 データ 53 シーンを使用し、国立研究開発法人防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された RINC (Ozawa et al., 2016) を用いて再生及び干渉処理を行った。一般的に、レーダー画像の解析においては、SAR アンテナの熱雑音に起因するスペckルノイズが発生する。このノイズを低減させる方法のひとつにマルチルック処理によるコントラスト向上の方法があるが、この処理は空間分解能の犠牲を伴う。本解析では、分解能が概ね 5m 程度になるように各パスにおけるルック数を決定した。また、干渉処理の際には地形縞を除去するために、別の方法で得られた地形データが必要となるが、本解析では国土地理院の技術資料 C1-No.448, 453, 458, 462 を各観測時期に応じて使用した (国土地理院, 2016)。

4.3 解析結果

4.3.1 強度画像による解析

SAR 強度画像は、衛星から対象物に向けて照射されたマイクロ波の後方散乱強度を画像化したものである。後方散乱強度とは、マイクロ波の波長のほか、対象物への入射角、表面粗度、誘電率などの違いにより、衛星に返ってくる

* 安藤 忍 (地震津波研究部) ** Shinobu Ando

電波の強度を示したものであり、電波の照射方向に垂直な斜面や市街地等では、強い後方散乱が得られ、より明るい強度画像が得られる。一方、照射方向に並行な斜面や水面等では、弱い後方散乱となり結果として暗い強度画像が得られる。以上から、海上にある離島の陸域の観測については、SAR 強度画像の時系列を調べることにより、その推移を把握することが可能であり、2011 年の霧島山新燃岳噴火の際には、火口周辺警報の根拠となった（安藤, 2013）。

Fig. 4.1 に、ALOS-2/PALSAR-2 で撮像された西之島周辺における SAR 強度画像を示した。各々の撮像日時及び入射角等を Table 4.1 に示す。これによれば、一部、やや不鮮明な強度画像もあるが、陸域の拡大方向や拡大率について詳細に判読することができ、以下に時系列的に状況を記載する。2014 年 8 月、陸域の拡大は主に東側が中心であったが、9 月には拡大方向は北側が変わった。さらに 12 月にかけて北西へ拡大したあと、2015 年 3 月には再び東側へ陸域を拡大した。その後は、4 月から 6 月にかけて南東側に拡大し、以降、見かけ上の陸域の拡張は確認できなくなった。Fig. 4.2 に各強度画像から算出した陸域面積の時系列変化を示す。これによれば、ALOS-2/PALSAR-2 による観測が開始された 2014 年 8 月を基準とした場合、2014 年 12 月末には約 1.7 倍、2015 年 3 月初めには約 1.8 倍、2015 年 6 月末には約 2 倍まで拡大し、それ以降は微小な増減はあるものの概ね変化していないことが分かった。一方で、2015 年 3 月以降、比較的高頻度で撮像されているスポットライトモードの加色混合法（飛田・他, 2006）を用いた強度画像比較図（Fig. 4.3）によれば、2015 年 6 月から 10 月にかけて、火砕丘周辺を中心に若干の強度変化が確認できることから、少なくともこの期間中は、マグマの流出などの地表面変化に影響を与える火山活動は継続していたと考えられる。さらに、旧西之島の南東側にある噴火口の位置は、得られたすべての SAR 強度画像において不変であることから、一連の火山活動に伴う溶岩噴出はほぼ同じ火口を使用していたと推察される。

4.3.2 相関画像による解析

異なる二時期に撮像された SAR データを用いた干渉処理により、その期間における地殻変動を検出することが可能である。その際、正確に位置合わせした二時期のデータについての相関度を調べることにより、地表の状態を把握することが可能である。すなわち、ほとんど地表変化がなかった場所については、相関度が高く、逆に溶岩が流下したなど、対象域に著しく変化が生じた場合は低い相関度を示す。相関度は 0 から 1 の範囲で表現され、ここでは 0.2 以下を低相関度領域と定義する。Fig. 4.4.1～4.4.5 にパス毎に整理した相関画像を示す。二時期の間隔はペアによって異なるため単純な比較は難しいが、2015 年 6 月末までのペアでは、島全域に非相関部分が見られるのに対し、2015 年 10 月初めまでのペアについては、主に南東側を中心に相関度が低い部分が集中していることが分かる。さらに、2015 年 10 月以降は、低相関度地域は、中央火砕丘付近に限られており、その面積は徐々に小さくなっていることが判読できる。低相関度領域の面積変化を示した Fig. 4.2 でも 2015 年 10 月以降のペアで低相関領域の顕著な低下が認められる。これは、海上保安庁等による定期観測結果ともよく調和しており、火山活動が低調になったことを示している。

4.3.3 干渉画像による解析

二時期の差分干渉解析結果をパス毎に整理し Fig. 4.5.1～4.5.5 に示す。2015 年 3 月以降、高頻度で観測されている path14 について見てみると、2015 年 10 月頃までのペアでは、非干渉領域を示すモザイク状の部分が多いのに対し、それ以降のペアでは、中央火砕丘のごく近傍を除いて非干渉領域は認められないことが分かる。また、非干渉領域と干渉領域の境界近傍では、総じて衛星視線方向伸張の位相変化が検出されていることも特徴のひとつであり、この傾向は、他の path16, 17 及び 125 でも同様の傾向が見られている。相関画像の結果を合わせて考えると、非干渉領域はおそらく溶岩の流出域（経路）に相当していると考えられる。従って、この非干渉領域部分では、溶岩の流下移動に伴う顕著な地盤沈下が進行しているため干渉することはできないと考えられ、結果として、その隣接の干渉部分において衛星視線方向伸張の位相変化が検出されていると推測される。なお、2015 年 10 月以降では、主に中央火砕丘近

傍のみで衛星視線方向伸張の位相変化が検出されていることが分かる。この時期の相関画像 (Fig. 4.4.1~4.4.5) を比較すると、低相関度の部分はほとんどなく、陸域においてはほぼ全面的な干渉性が得られていることが分かる。このことから、活動当初は海岸付近まで到達するような激しい溶岩流出を繰り返していたが、徐々に中央火砕丘付近のみに影響を及ぼす程度の低調な火山活動に変化したため、溶岩の流出量が少なくなったもしくは冷却圧縮による位相変化が生じている可能性がある。path16, 17 及び 125 の干渉解析結果については、各ペアの撮像間隔が長いこともあり、その様相は path14 とは少々異なるが、検出された干渉縞の傾向は概ねよく一致していることが分かった。さらに、特筆すべき点として、2016 年 5 月末以降に撮像された SAR データとの干渉解析結果では、中央火砕丘の南東側を中心とした同心円状の衛星視線方向伸張の干渉縞が認められる。この干渉縞はすべてのパスにおいて確認でき、それまでのペアで得られた干渉縞の様相とは明らかに異なる。スポットライトモード (path14) における変動量は、約 6 サイクル (=約 72cm) と見積もられた。この変化を詳細に調べるために、概ね同時期の異なる観測パスの結果を組み合わせ Fujiwara et. al. (2000) の手法を用いた 2.5 次元解析を行った。Fig. 4.6.1 及び 2 に path17 と path125 (U2-8) 及び path14 と path125 (U2-7) の結果を示す。組み合わせたペアの入射角や観測期間が異なるため変動量は異なるが、いずれも中央火砕丘の南東側を中心に、沈降 (準上下方向) 圧縮 (準東西方向) の変動量が得られた。これらの結果から、少なくとも 2016 年 5 月以降にマグマを供給していた地下圧力源において収縮センスの応力が働いたのではないかと考えられる。

4.4 収縮源の推定

スポットライトモード (path14) で観測された 2016 年 2 月 19 日と 7 月 8 日のペアによる干渉解析結果を使い、MaGCAP-V (気象研究所地震火山研究部, 2013) を用いた収縮源の推定を試みた。局所的な同心円状の干渉縞以外の位相変化が重畳しているため収縮源部分のみによる干渉縞の再現は難しいが、球状 (Mogi, 1958) 及びシル状 (Okada, 1985) を仮定したインバージョン推定を行った (Fig. 4.7 及び Table 4.2)。また、得られた現象の範囲が小さいため、リサンプリング方法は指定せず、干渉処理結果をアンラップしたのち、5 pixel 毎に間引きしたデータを使用した。その結果、球状収縮源を仮定した場合は、 $6.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (海面下 142.5 m)、シル状収縮源を仮定した場合は、 $236 \text{ m} \times 51.9 \text{ m}$ の大きさで $1.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ (海面下 45.7 m) と計算された。いずれのモデルを仮定した場合でも、海面下の非常に浅い部分において 10^4 程度の収縮源を仮定することで、局所的な干渉縞の説明が可能であることが分かった。

謝辞

本解析で用いた ALOS-2/PALSAR-2 level 1.1 データは、火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験 (衛星解析グループ) に基づいて、JAXA にて観測・提供されたものである。ALOS-2/PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析には、国立研究開発法人防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された“RINC”及び国土地理院技術資料 C1-No.448, 453, 458, 462 を使用した。なお、解析結果については、GMT (Generic Mapping Tools; Wessel and Smith, 1998) を使用した。関係者各位には、ここに記して御礼申し上げる。

参考文献

- 安藤忍, 2013: ALOS 「だいち」 により観測された霧島山新燃岳山頂火口の変化について, 験震時報, **77**, 97-110.
海上保安庁, 2013: 西之島周辺海域における噴火の概況, 火山噴火予知連絡会会報, **117**, 117-123.
気象研究所地震火山研究部, 2013: 火山用地殻活動解析支援ソフトウェア MaGCAP-V の機能強化, 気象研究所技術報

告, **69**, 168-179.

気象庁, 2013: 西之島の火山活動 (2013 年 10 月～2014 年 2 月 12 日) , 火山噴火予知連絡会会報, **117**, 104-109.

国土地理院, 2016: <http://www.gsi.go.jp/gyoumu/gyoumu41000.html> (2016/8/18).

飛田幹男・今給黎哲郎・水藤尚・加藤敏・林文・村上亮, 2006: 衛星 SAR 画像分析による 2004・2005 年スマトラ沖地震に伴う隆起沈降域の把握, *国土地理院時報*, **109**, 21-32.

Fujiwara, S., T. Nishimura, M. Murakami, H. Nakagawa, M. Tobita and P. A. Rosen, 2000: 2.5-D surface deformation of M6.1 earthquake near Mt Iwate detected by SAR interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 2049-2052.

Mogi, K., 1958: Relations between the eruptions of various volcanoes and the deformations of the ground surfaces around them, *Bull Earthquake Res Inst.*, **36**, 99-134.

Okada, Y., 1985: Surface deformation to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **75**, 1135-1154.

Ozawa, T., E. Fujita, H. Ueda., 2016: Crustal deformation associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and its effect on the magma system of Aso volcano, *Earth Planets Space*, **68**, 186. doi:10.1186/s40623-016-0563-5.

Wessel P., W. H. F. Smith, 1998: New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, **79**, 579. doi:10.1029/98EO00426.

Table 4.1 ALOS-2/PALSAR-2 metadata. 'D' and 'A' represent descending and ascending orbits, respectively. 'Inc. Angle' represents the incident angle of microwaves on the island.

表 4.1 解析した ALOS-2/PALSAR-2 データ. D 及び A はそれぞれ Descending 及び Ascending を示す. 入射角は地表面におけるマイクロ波の角度を示す.

Scene (Path - Frame)	Mode	Beam No.	Orbit	Observation	Date	Cross-Track (deg)	Inc. Angle (deg)	Looks (Range×Azimuth)
17-3070	SM1	U2-6	D	Right	09-Aug-2014	N79W	31.5	2 × 3
125-530	SM1	U2-7	A	Right	31-Aug-2014	N79E	34.3	2 × 2
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	29-Sep-2014	N80W	42.9	2 × 2
125-530	SM1	U2-6	A	Right	09-Nov-2014	N79E	34.3	2 × 2
120-570	SM1	U2-8	A	Left	24-Dec-2014	N104W	39.1	2 × 2
22-3030	SM1	U2-9	D	Left	07-Jan-2015	N105E	41.5	2 × 2
125-530	SM1	U2-6	A	Right	01-Mar-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	06-Mar-2015	N82W	58.7	3 × 5
125-530	SM1	U2-7	A	Right	15-Mar-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	20-Mar-2015	N82W	58.7	3 × 5
15-3080	SM1	U3-12	D	Right	25-Mar-2015	N81W	51.8	3 × 2
15-3080	SM1	U3-13	D	Right	08-Apr-2015	N81W	51.8	3 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	17-Apr-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	15-May-2015	N82W	58.7	3 × 5
125-530	SM1	U2-6	A	Right	07-Jun-2015	N79E	34.3	2 × 2
125-530	SM1	U2-7	A	Right	21-Jun-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	26-Jun-2015	N82W	58.7	3 × 5
23-3020	SM1	U3-12	D	Left	29-Jun-2015	N105E	50.5	3 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	10-Jul-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	24-Jul-2015	N82W	58.7	3 × 5
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	03-Aug-2015	N80W	42.9	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	07-Aug-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	21-Aug-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	04-Sep-2015	N82W	58.7	3 × 5
17-3070	SM1	U2-6	D	Right	05-Sep-2015	N79W	31.5	2 × 3
125-530	SM2	FP6-5	A	Right	13-Sep-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	18-Sep-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	02-Oct-2015	N82W	58.7	3 × 5
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	12-Oct-2015	N80W	42.9	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	16-Oct-2015	N82W	58.7	3 × 5
125-530	SM1	U2-6	A	Right	25-Oct-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	30-Oct-2015	N82W	58.7	3 × 5
125-530	SM1	U2-6	A	Right	08-Nov-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	13-Nov-2015	N82W	58.7	3 × 5
17-3070	SM1	U2-6	D	Right	14-Nov-2015	N79W	31.5	2 × 3
125-530	SM1	U2-7	A	Right	22-Nov-2015	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	27-Nov-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	11-Dec-2015	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	25-Dec-2015	N82W	58.7	3 × 5
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	04-Jan-2016	N80W	42.9	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	22-Jan-2016	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	05-Feb-2016	N82W	58.7	3 × 5
125-530	SM1	U2-6	A	Right	14-Feb-2016	N79E	34.3	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	19-Feb-2016	N82W	58.7	3 × 5
17-3070	SM1	U2-6	D	Right	20-Feb-2016	N79W	31.5	2 × 3
125-530	SM1	U2-7	A	Right	28-Feb-2016	N79E	34.3	2 × 2
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	11-Apr-2016	N80W	42.9	2 × 2
17-3070	SM1	U2-6	D	Right	28-May-2016	N79W	31.5	2 × 3
125-530	SM1	U2-6	A	Right	05-Jun-2016	N79E	34.3	2 × 2
125-530	SM1	U2-7	A	Right	19-Jun-2016	N79E	34.3	2 × 2
16-3070	SM1	U2-9	D	Right	04-Jul-2016	N80W	42.9	2 × 2
14-3081	SPT	-	D	Right	08-Jul-2016	N82W	58.7	3 × 5
14-3081	SPT	-	D	Right	22-Jul-2016	N82W	58.7	3 × 5

Table 4.2 Optimal solution of the estimated contraction source by MaGCAP-V software.

表 4.2 MaGCAP-V で計算した収縮源の最適解.

Model	Volume (m^3)	Opening (m)	Latitude ^a (degree)	Longitude ^a (degree)	Below sea level ^a (m)	Length (m)	Width (m)	Strike (degree)	Dip (degree)	RSS
Mogi	6.18×10^4	-	27.24	140.88	142.50	-	-	-	-	8.10
Okada	1.76×10^4	1.44	27.24	140.88	45.70	235.56	51.90	40.85	79.83	6.21

^a Location of the center of the source.

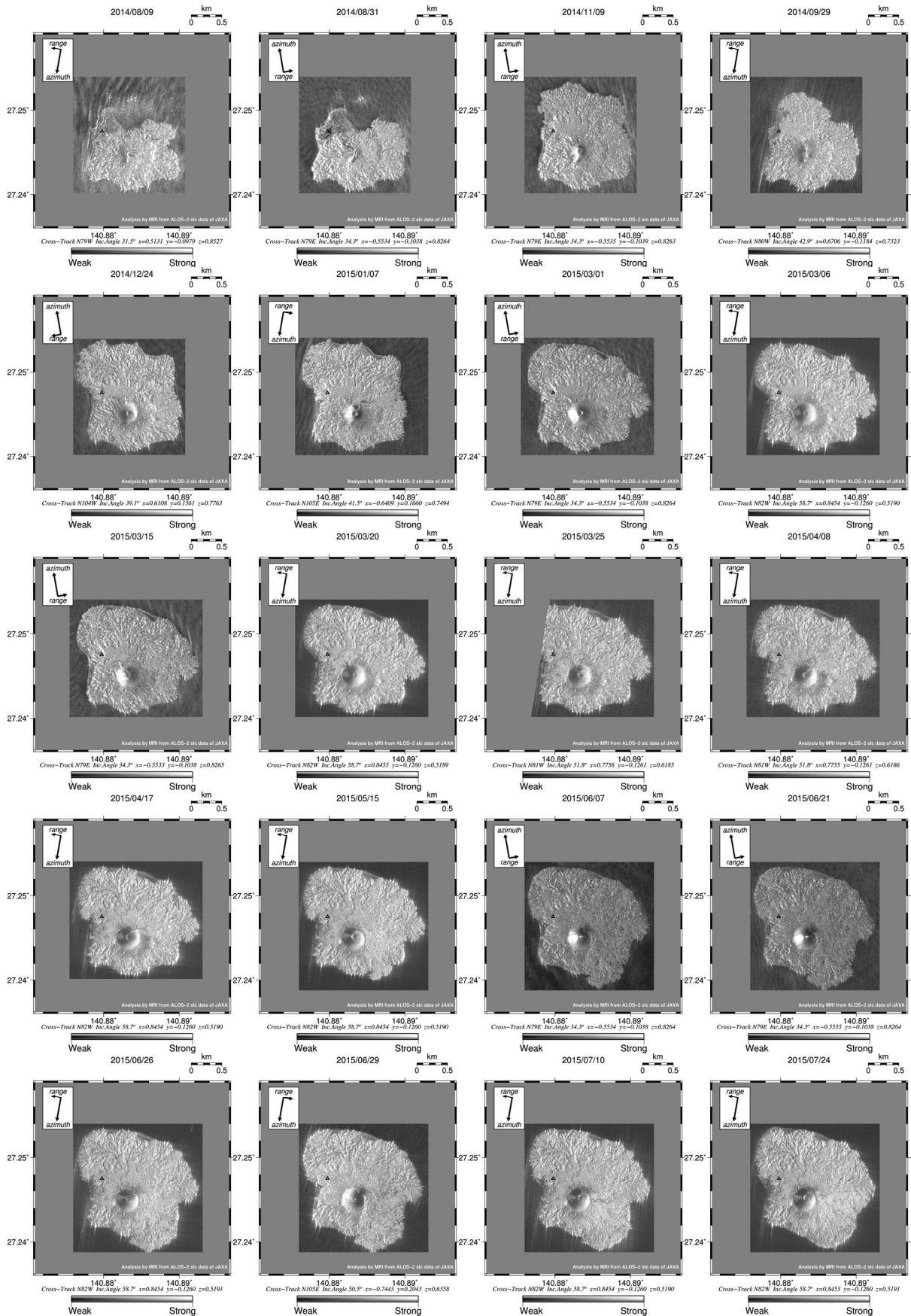


Fig. 4.1 Amplitude images generated from SAR data acquired during August 2014 to July 2015. The black triangle indicates the former summit of Nishinoshima Island. Values of x, y, and z at the bottom of each of the amplitude image indicate a unit vector in the direction of the satellite from the ground surface.

図 4.1 SAR データから再生された強度画像 (2014 年 8 月から 2015 年 7 月). 黒三角は旧西之島の山頂を示す. 各強度画像の下に記載されている x, y, z 値は地表から衛星方向の単位ベクトルを示す.

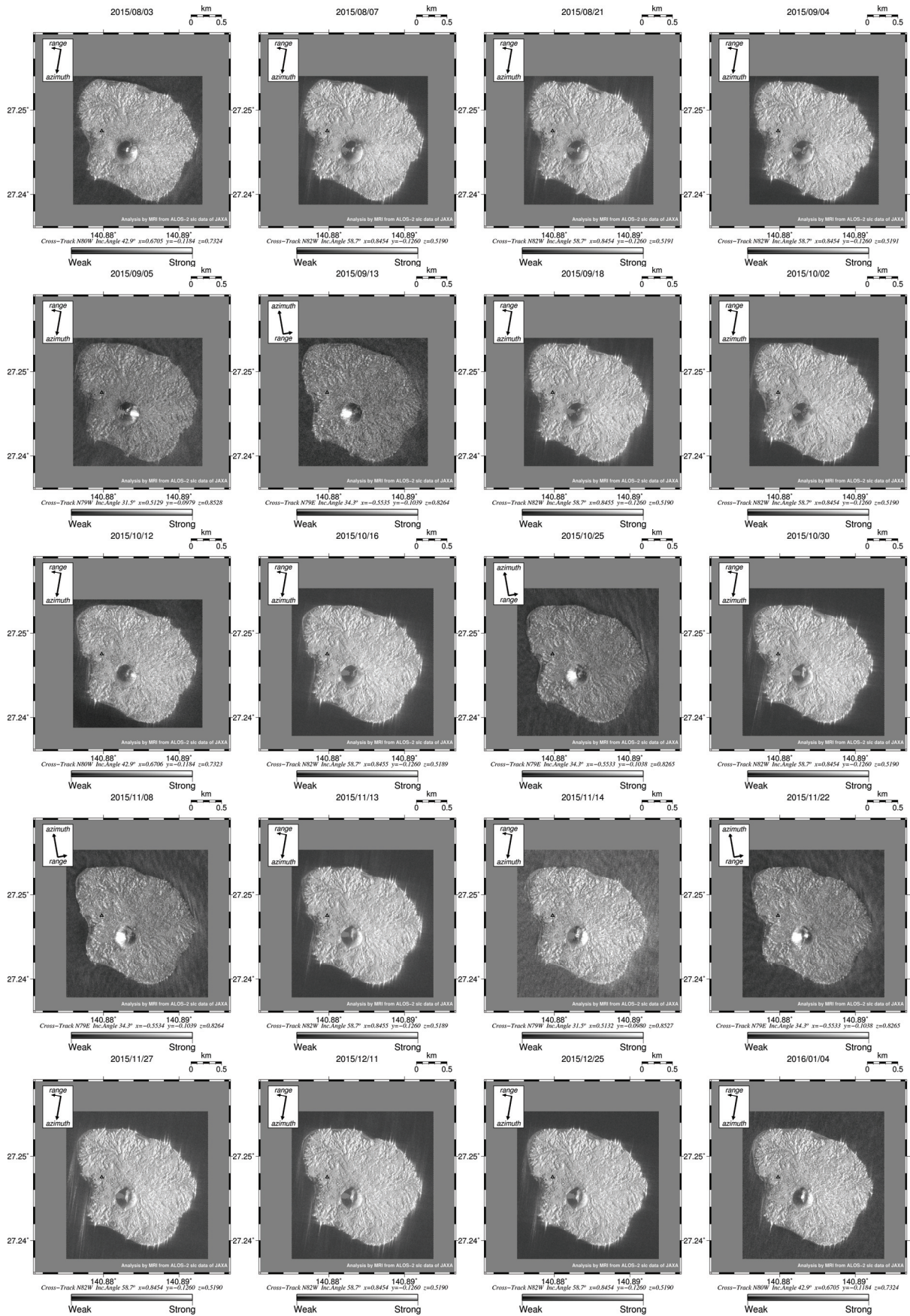


Fig. 4.1 (Continued) Amplitude images generated from SAR data acquired during August 2015 to January 2016.
 図 4.1 (続き) SAR データから再生された強度画像 (2015 年 8 月から 2016 年 1 月).

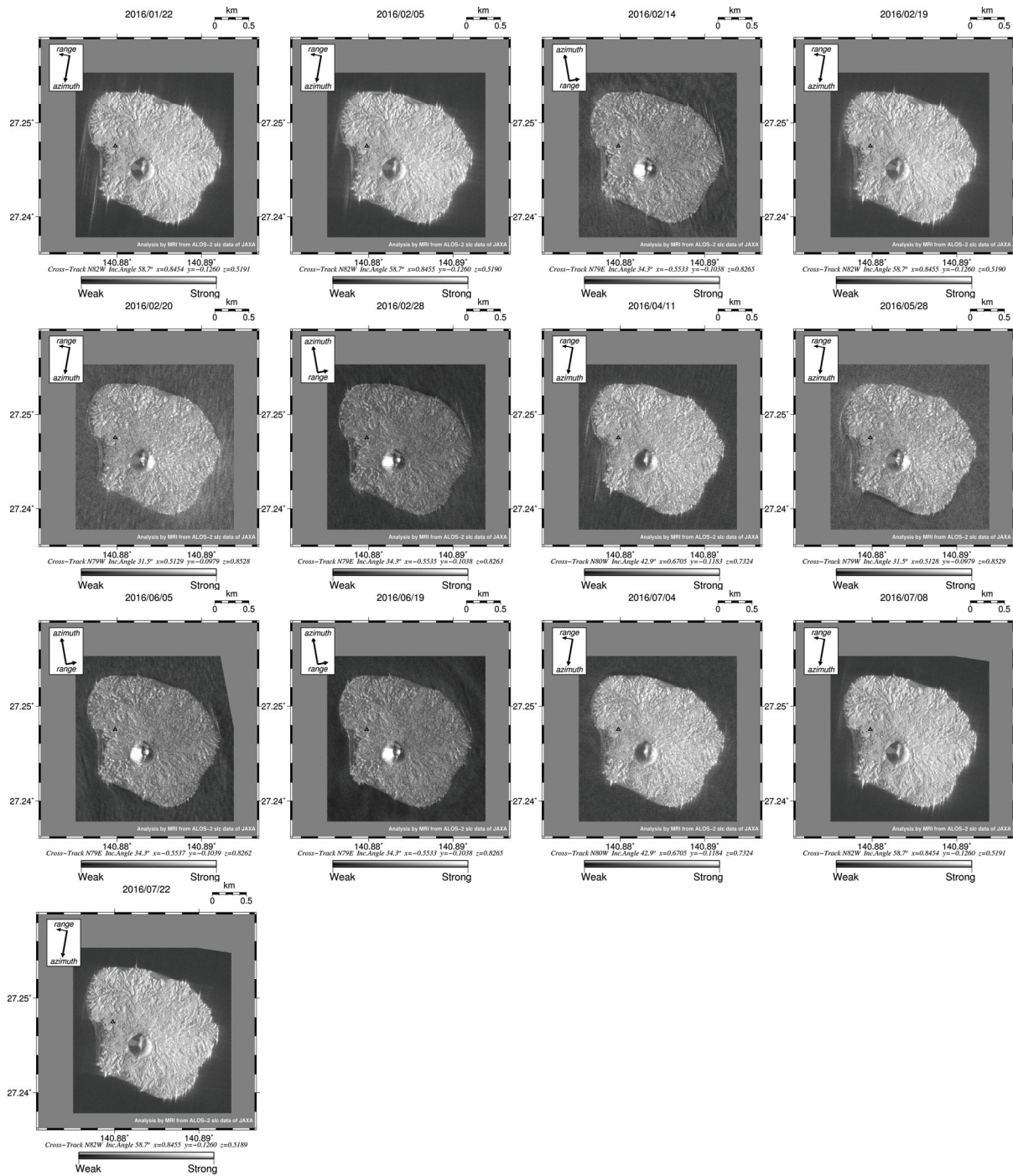


Fig. 4.1 (Continued) Amplitude images generated from SAR data acquired during January to July 2016.
 図 4.1 (続き) SAR データから再生された強度画像 (2016 年 1 月から 7 月).

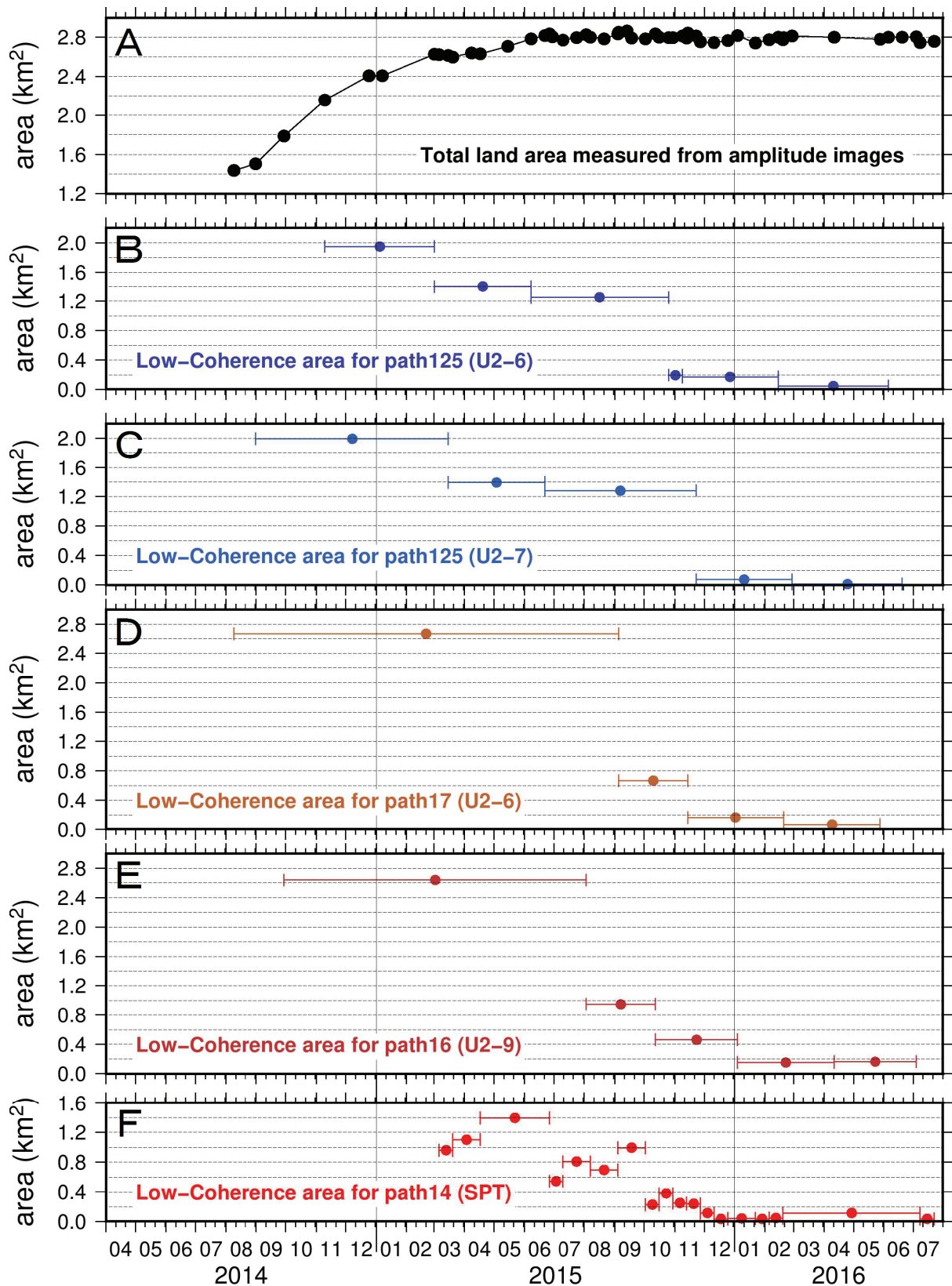


Fig. 4.2 Land area time series. (A) Time series of total land area measured from amplitude images of each path. Time series of the extent of low coherence areas on (B) path 125 (U2-6), (C) path 125 (U2-7), (D) path 17 (U2-6), (E) path 16 (U2-9), and (F) path 14 (Sport light mode).

図 4.2 A : 全てのパスについての陸域面積の時間推移。B : パス 125 (U2-6) の低相関度面積の時間推移。C : パス 125 (U2-7) の低相関度面積の時間推移。D : パス 17 (U2-6) の低相関度面積の時間推移。E : パス 16 (U2-9) の低相関度面積の時間推移。F : パス 14 (スポットライトモード) の低相関度面積の時間推移。

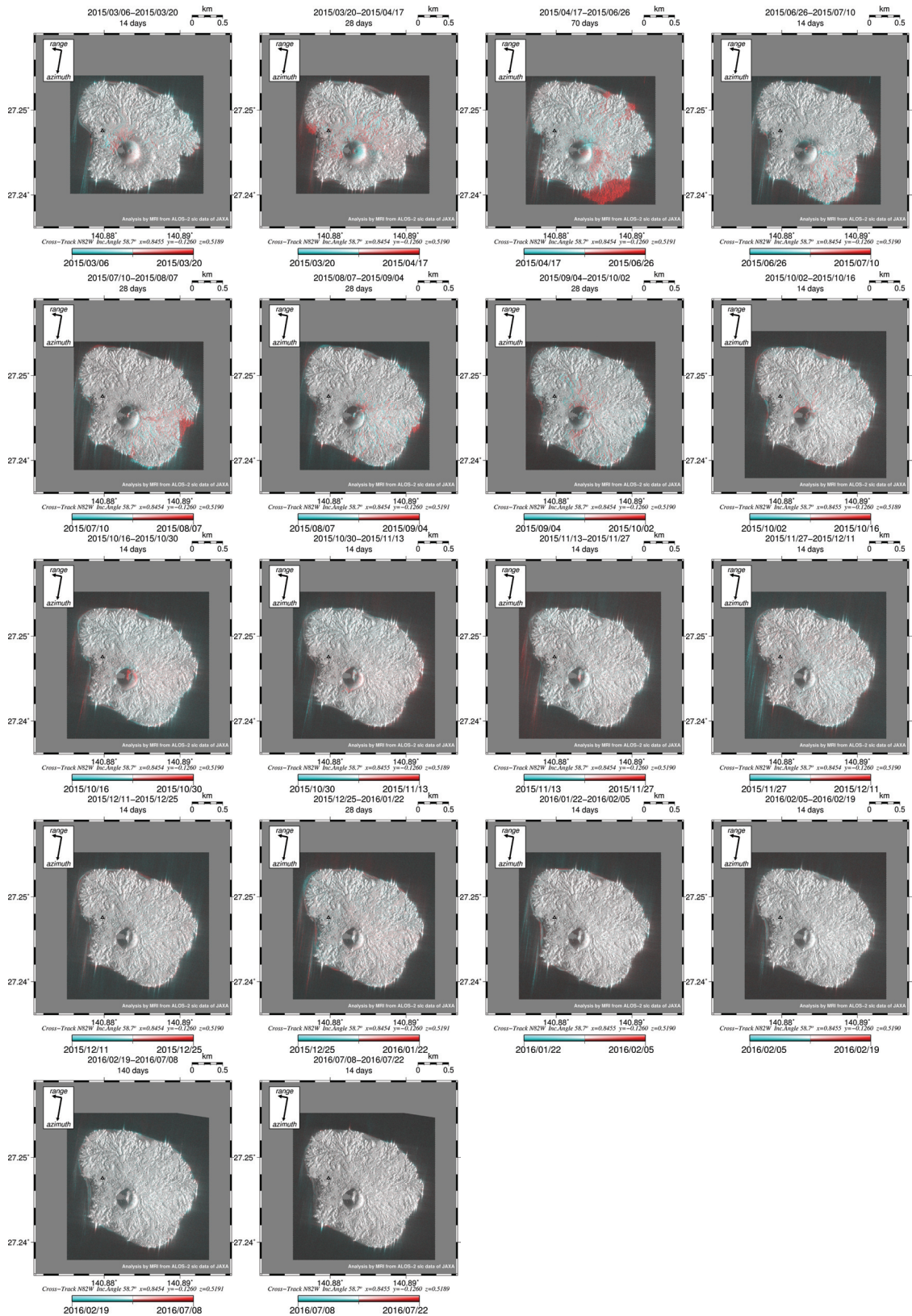


Fig. 4.3 Ground surface changes extracted by an additive color process using amplitude images on Path 14. We first assigned the amplitude image of the pre-observation data to variations in cyan; (R, G, B) = (0%, 100%, 100%). We then assigned the amplitude image of the post-observation data to variations in red; (R, G, B) = (100%, 0%, 0%). When the two images are combined, areas where backscatter increased, decreased, and remained unchanged during the observational period are shown in red, cyan, and gray, respectively.

図 4.3 パス 14 の強度画像を用いた加色混合法により抽出した地表面変化。まず、以前に観測されたデータの強度画像をシアン色に割当て、次に後で観測されたデータを赤色に割当てる。これら 2 つの画像を合成させることで、後方散乱強度の増加、減少、変化なしについて、赤色、シアン色、灰色にそれぞれ変化する。

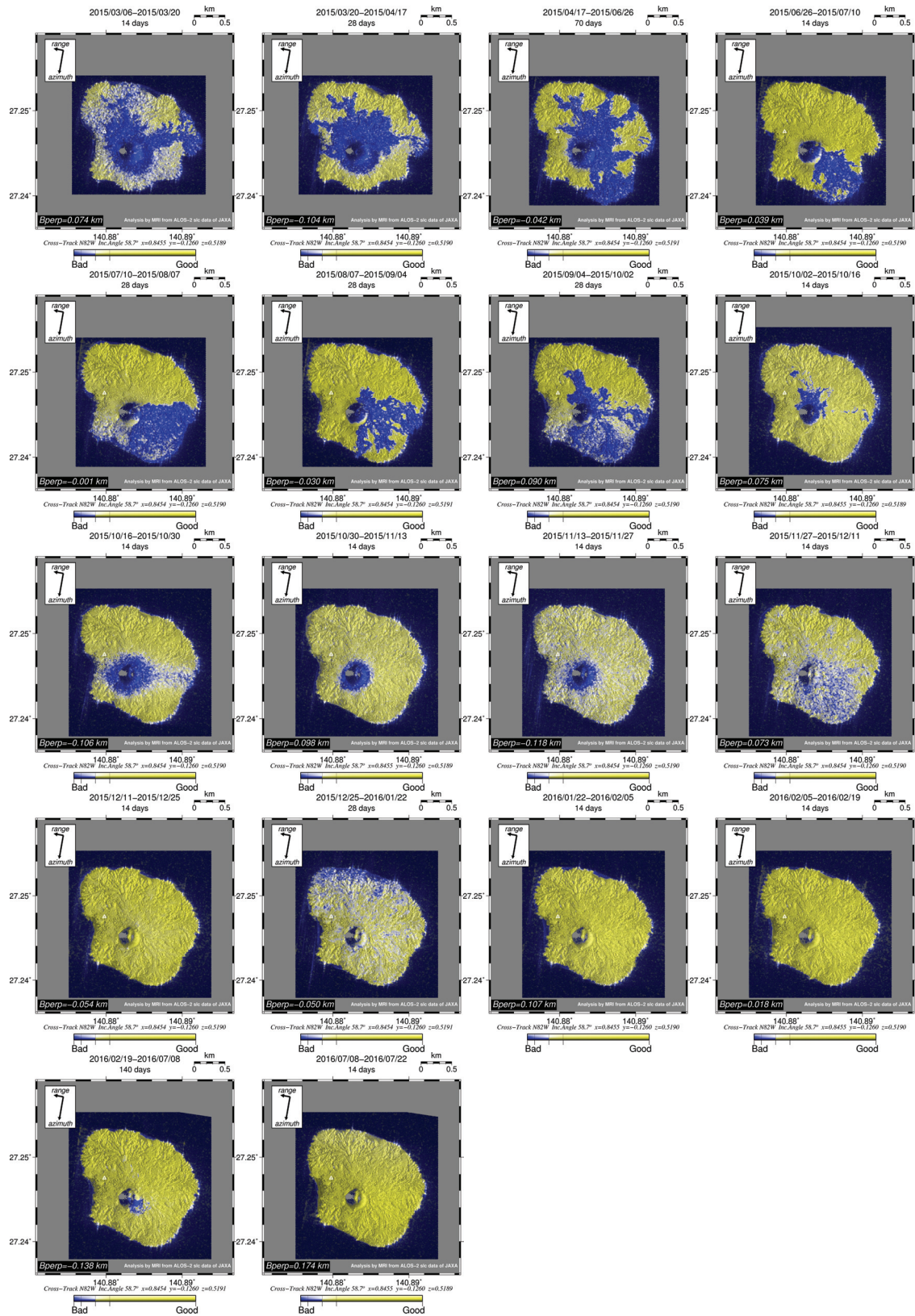


Fig. 4.4.1 Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. Yellow and blue indicate high and low coherence areas, respectively.

図 4.4.1 パス 14 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された相関画像。黄色は高相関、青色は低相関領域を示す。

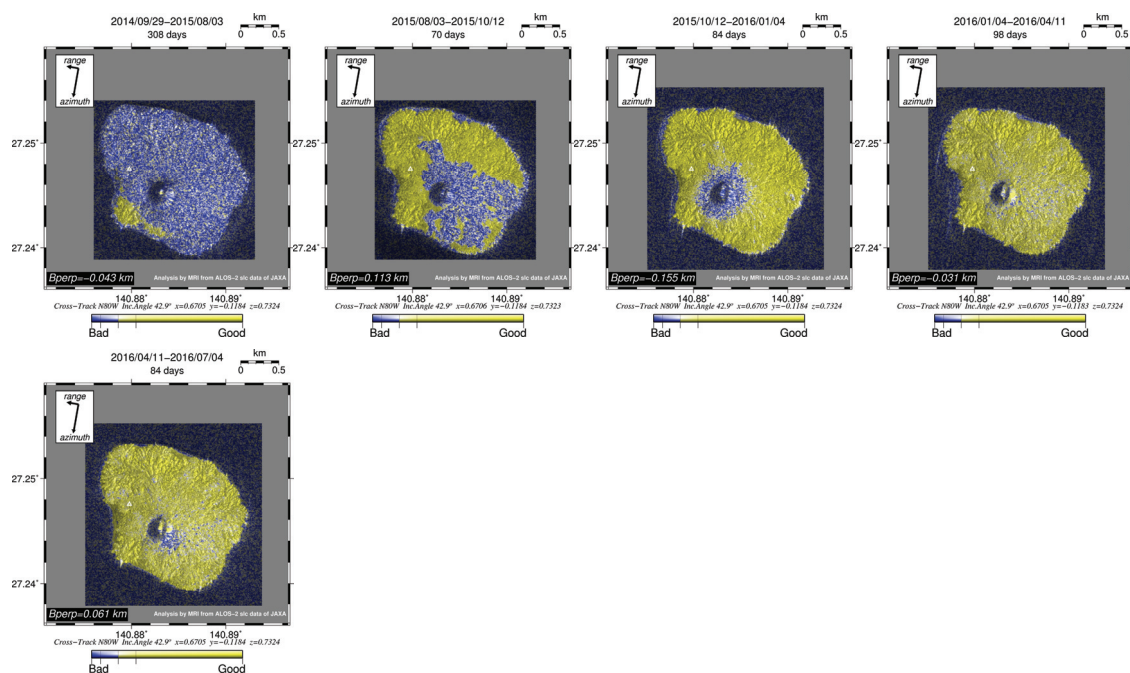


Fig. 4.4.2 Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 16. Colors are as in Fig. 4.4.1.
 図 4.4.2 パス 16 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された相関画像。カラスケールは図 4.4.1 に同じ。

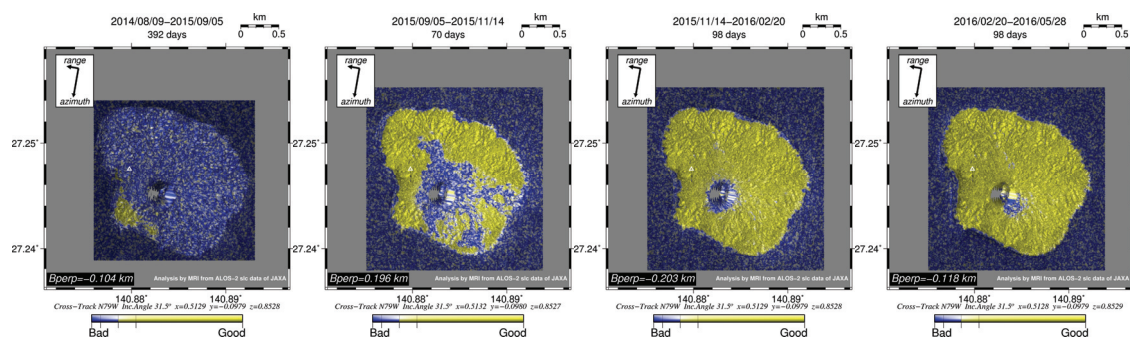


Fig. 4.4.3 Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 17. Colors are as in Fig. 4.4.1.
 図 4.4.3 パス 17 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された相関画像。カラスケールは図 4.4.1 に同じ。

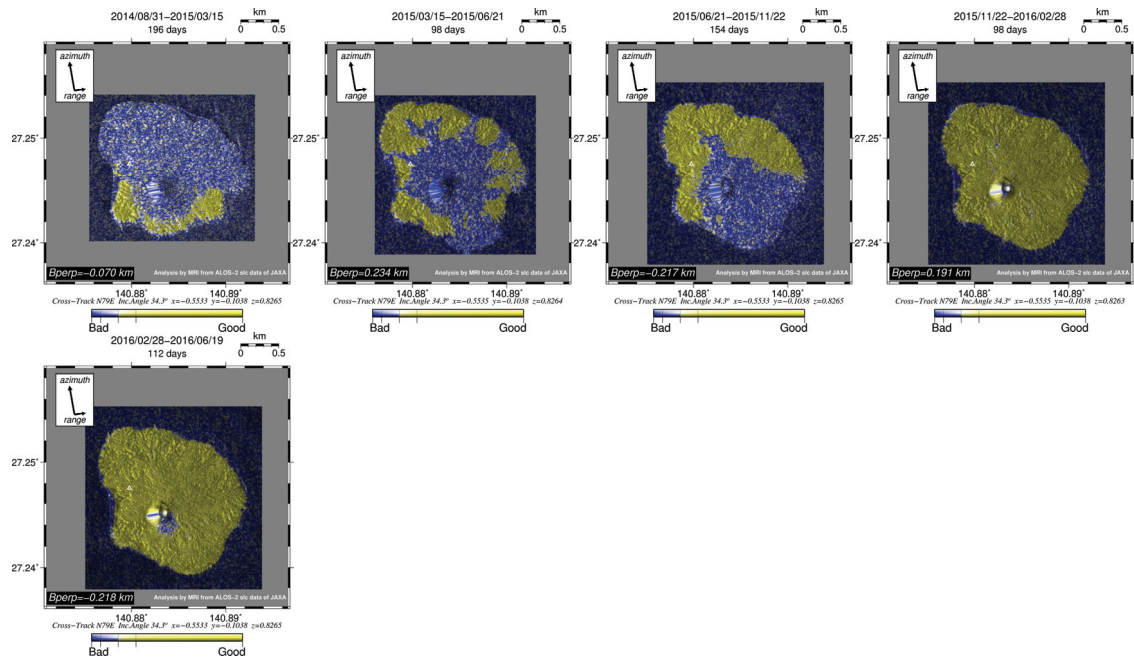


Fig. 4.4.4 Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 125 (U2-7). Colors are as in Fig. 4.4.1.
 図 4.4.4 パス 125(U2-7)の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された相関画像。カラスケールは図 4.4.1 に同じ。

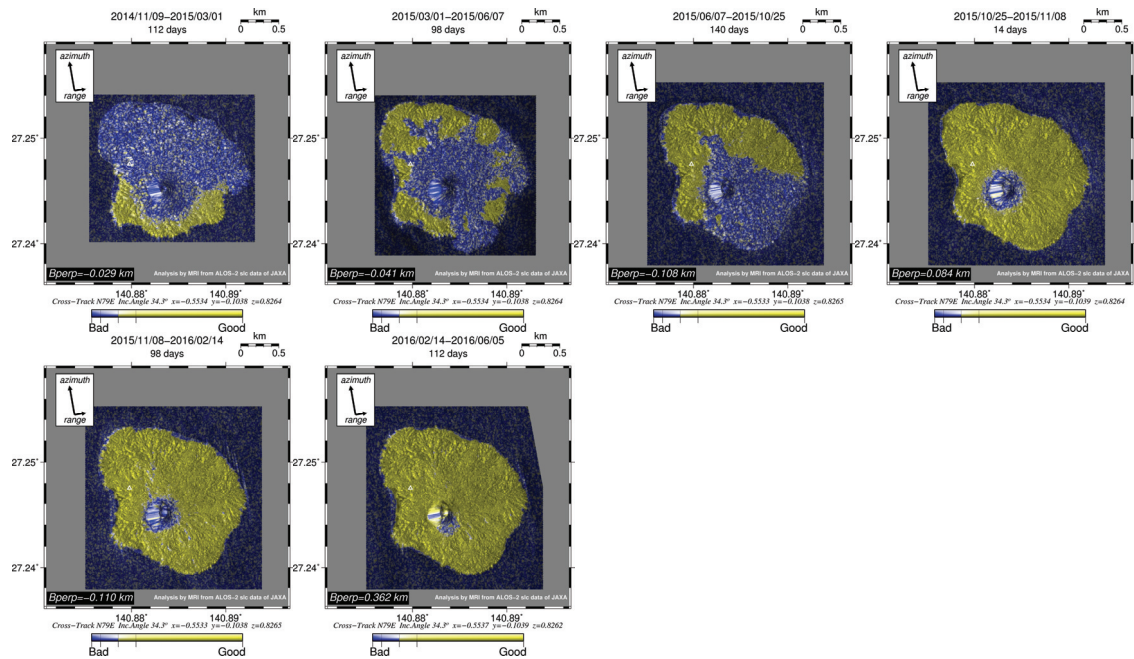


Fig. 4.4.5 Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 125 (U2-6). Colors are as in Fig. 4.4.1.
 図 4.4.5 パス 125(U2-6)の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された相関画像。カラスケールは図 4.4.1 に同じ。

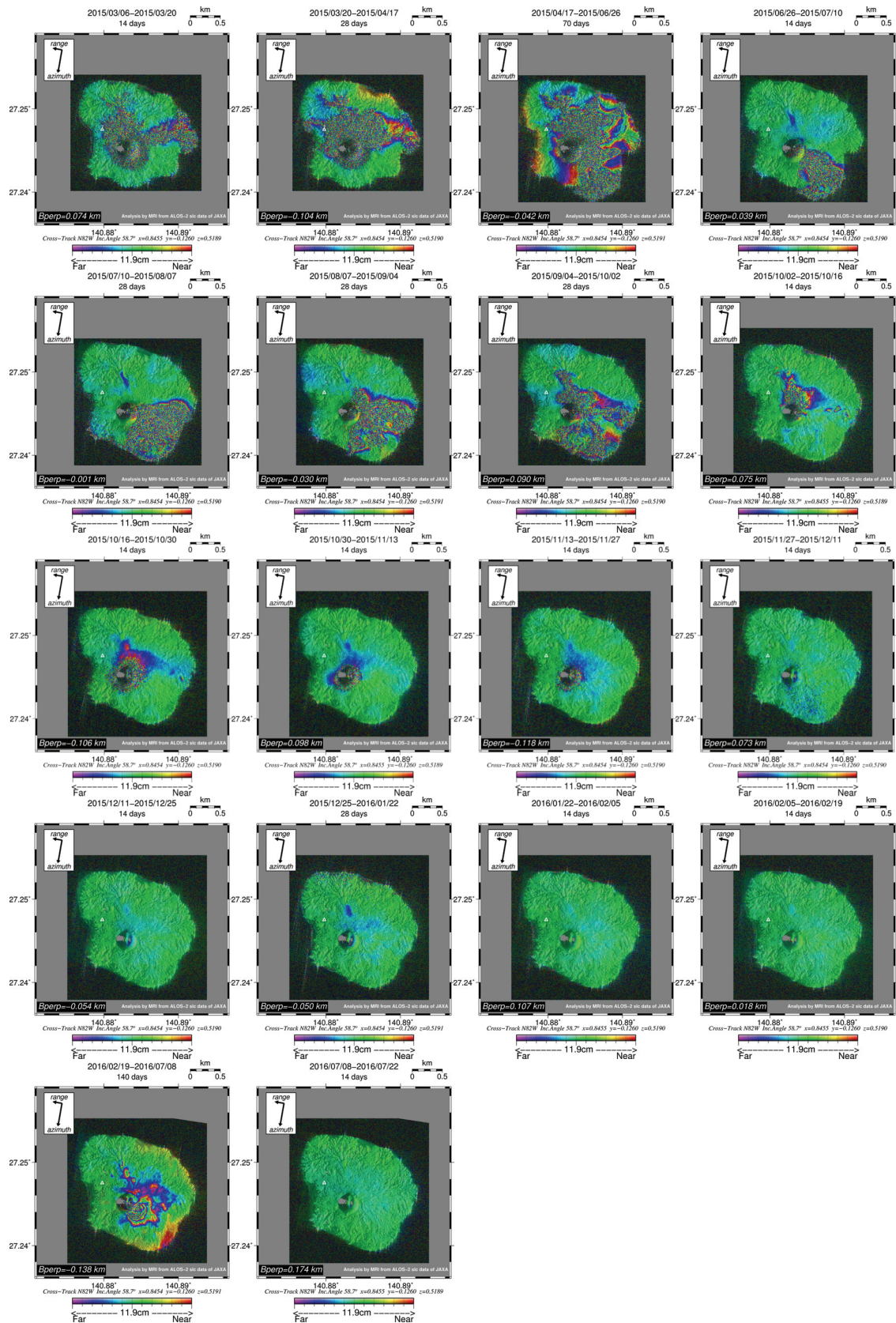


Fig. 4.5.1 Ground displacement Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. The white triangle indicates the former summit of Nishinoshima Island. One full repetition of the color scale represents a displacement of 11.9 cm in the line of sight (LOS) of the satellite.

図 4.5.1 パス 14 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された干渉画像。白三角は旧西之島の山頂を示す。フルカラースケールは視線方向 (LOS) において 11.9 cm を示す。

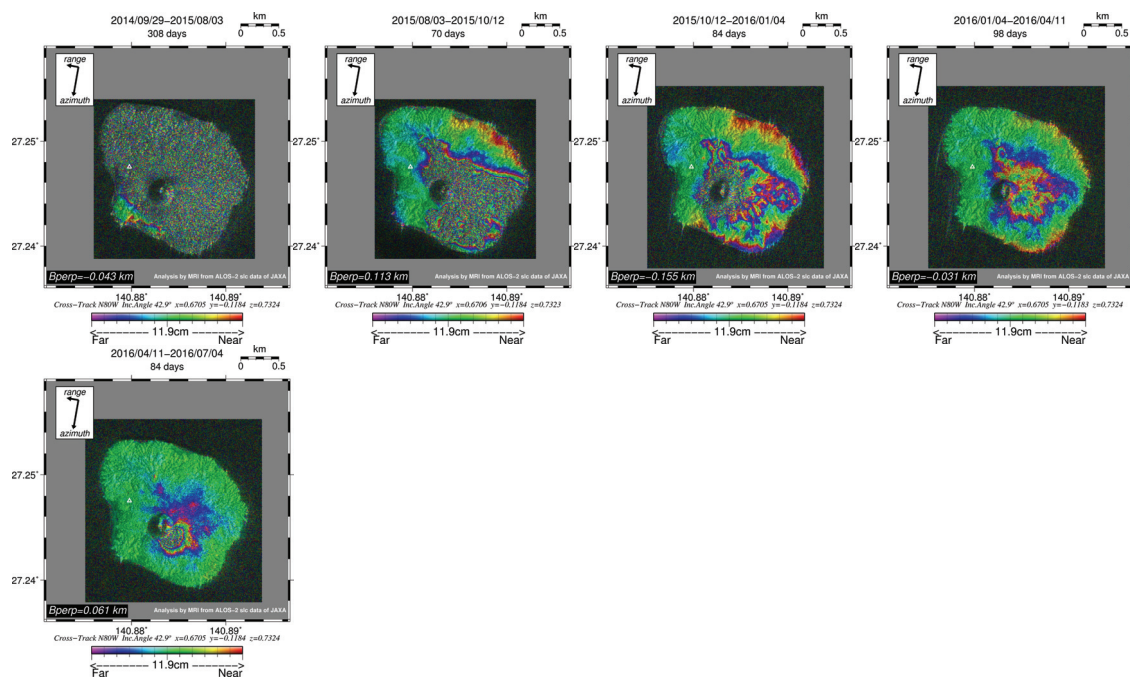


Fig. 4.5.2 Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 16. The color scale is the same as in Fig. 4.5.1.

図 4.5.2 パス 16 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された干渉画像。フルカラースケールは図 4.5.1 に同じ。

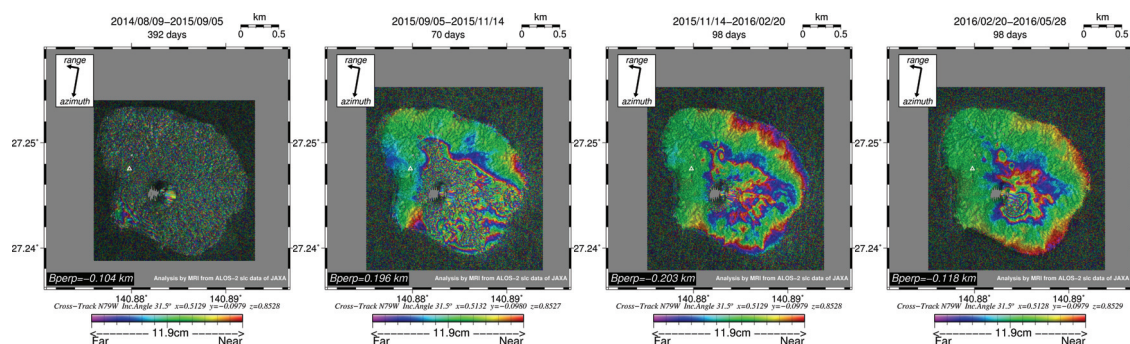


Fig. 4.5.3 Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 17. The color scale is the same as in Fig. 4.5.1.

図 4.5.3 パス 17 の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された干渉画像。フルカラースケールは図 4.5.1 に同じ。

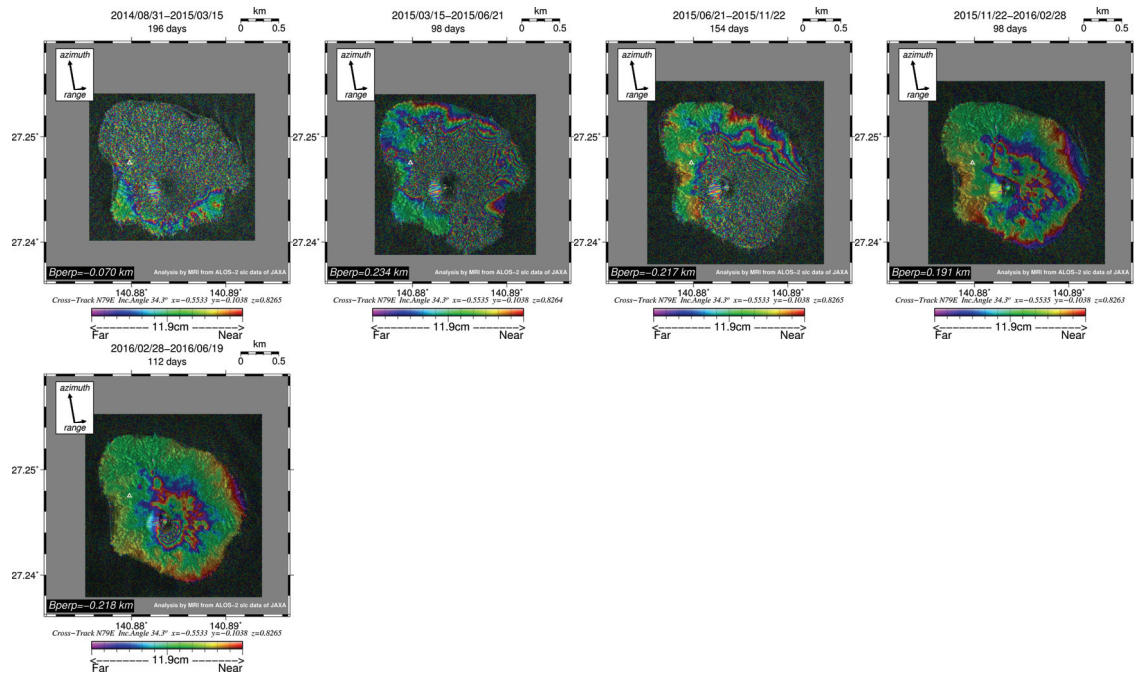


Fig. 4.5.4 Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 125 (U2-7). The color scale is the same as in Fig. 4.5.1.

図 4.5.4 パス 125(U2-7)の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された干渉画像。フルカラースケールは図 4.5.1 に同じ。

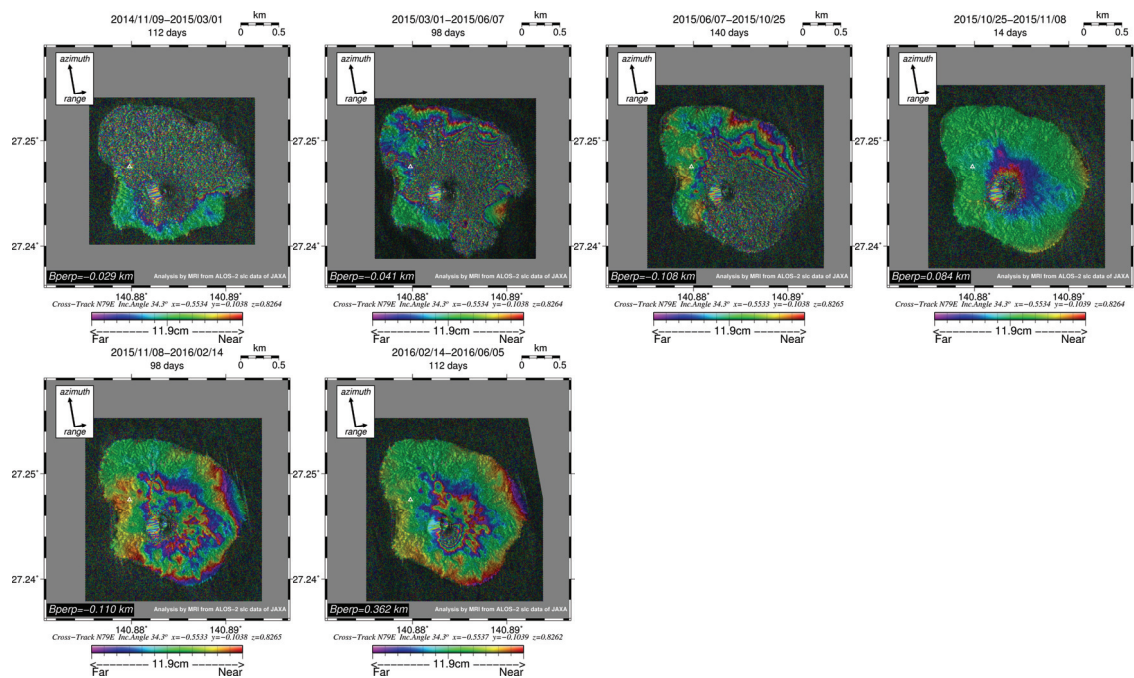


Fig. 4.5.5 Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 125 (U2-6). The color scale is the same as in Fig. 4.5.1.

図 4.5.5 パス 125(U2-6)の ALOS-2/PALSAR-2 データから生成された干渉画像。フルカラースケールは図 4.5.1 に同じ。

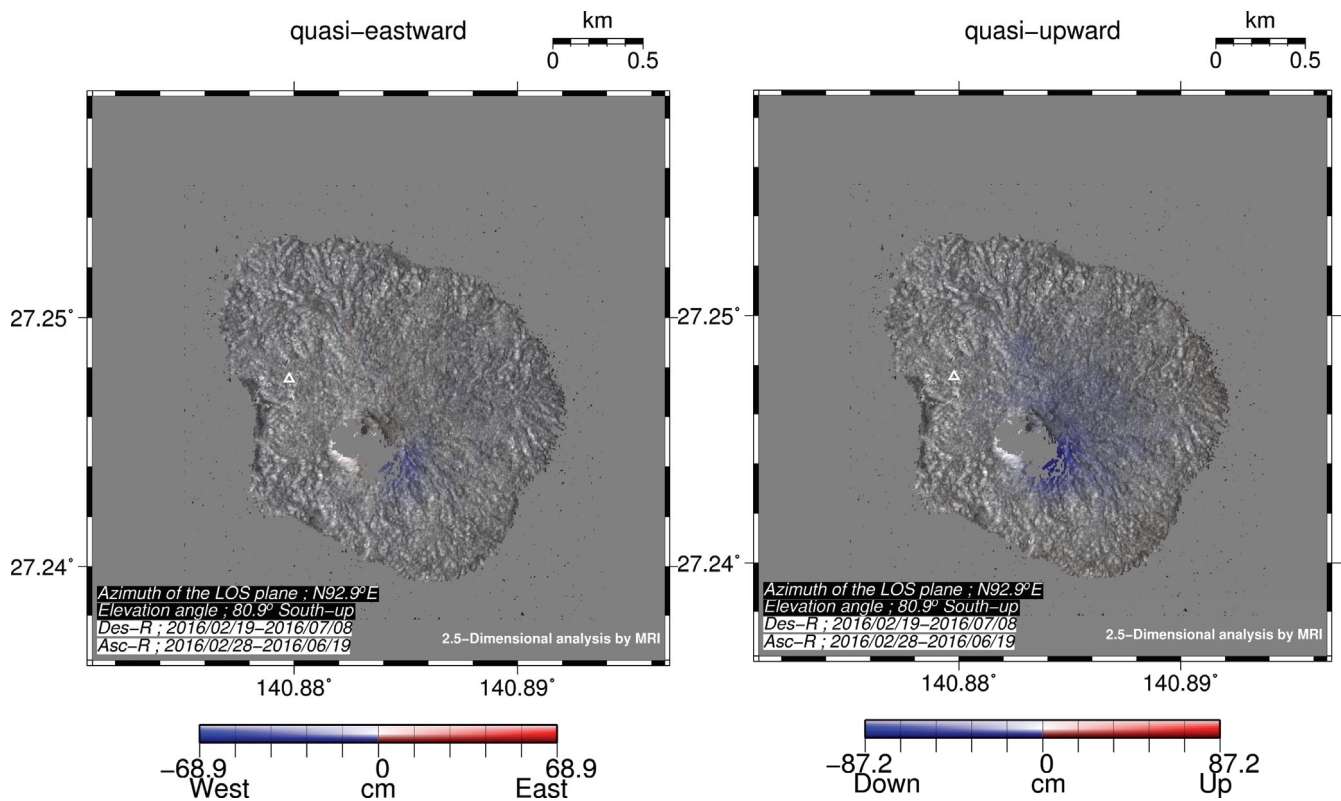


Fig. 4.6.1 Quasi east-west (left) and up-down (right) components of displacement generated from interferograms of the path 14 and 125 (U2-7).

図 4.6.1 パス 14 と 125(U2-7)の干渉画像から作成された準東西（左）と準上下（右）変位成分。

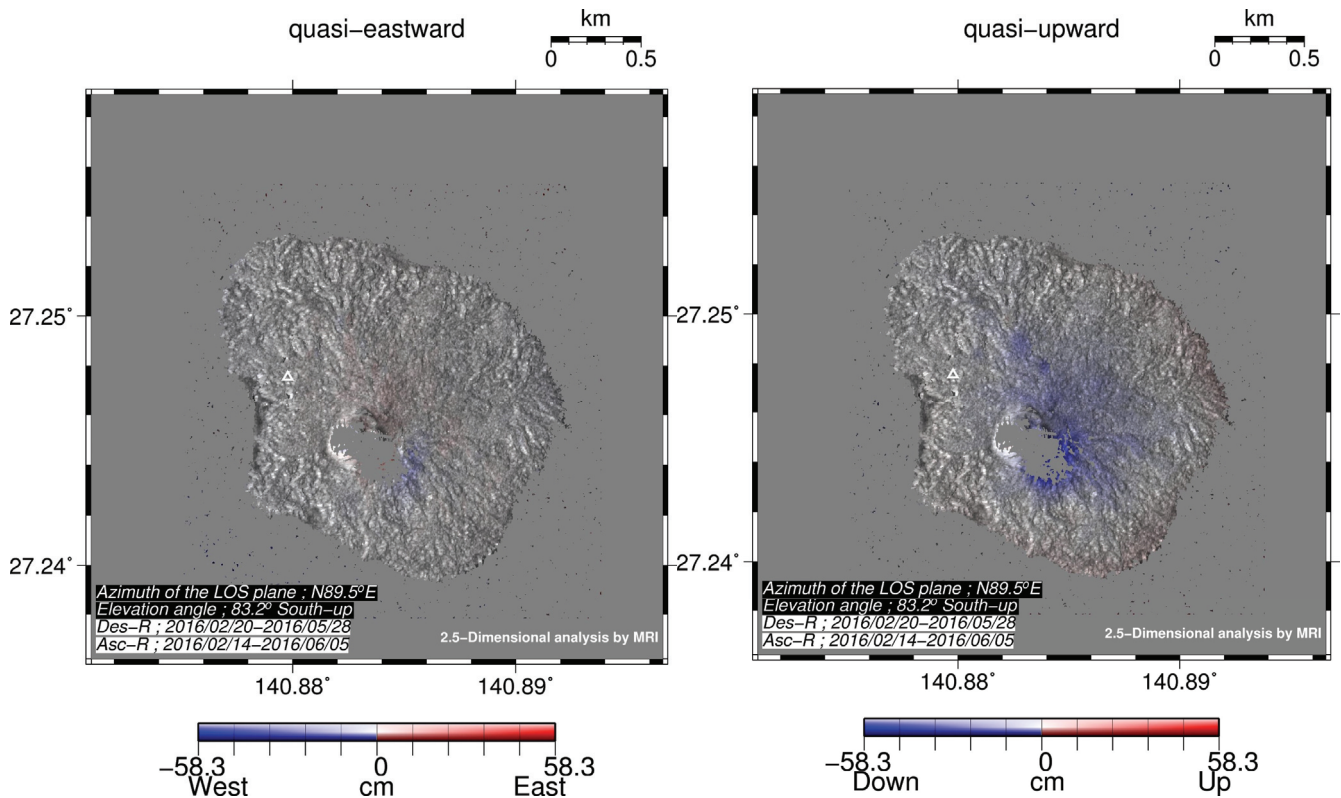


Fig. 4.6.2 Quasi east-west (left) and up-down (right) components of displacement generated from interferograms of the path 17 and 125 (U2-6).

図 4.6.2 パス 17 と 125(U2-6)の干渉画像から作成された準東西（左）と準上下（右）変位成分。

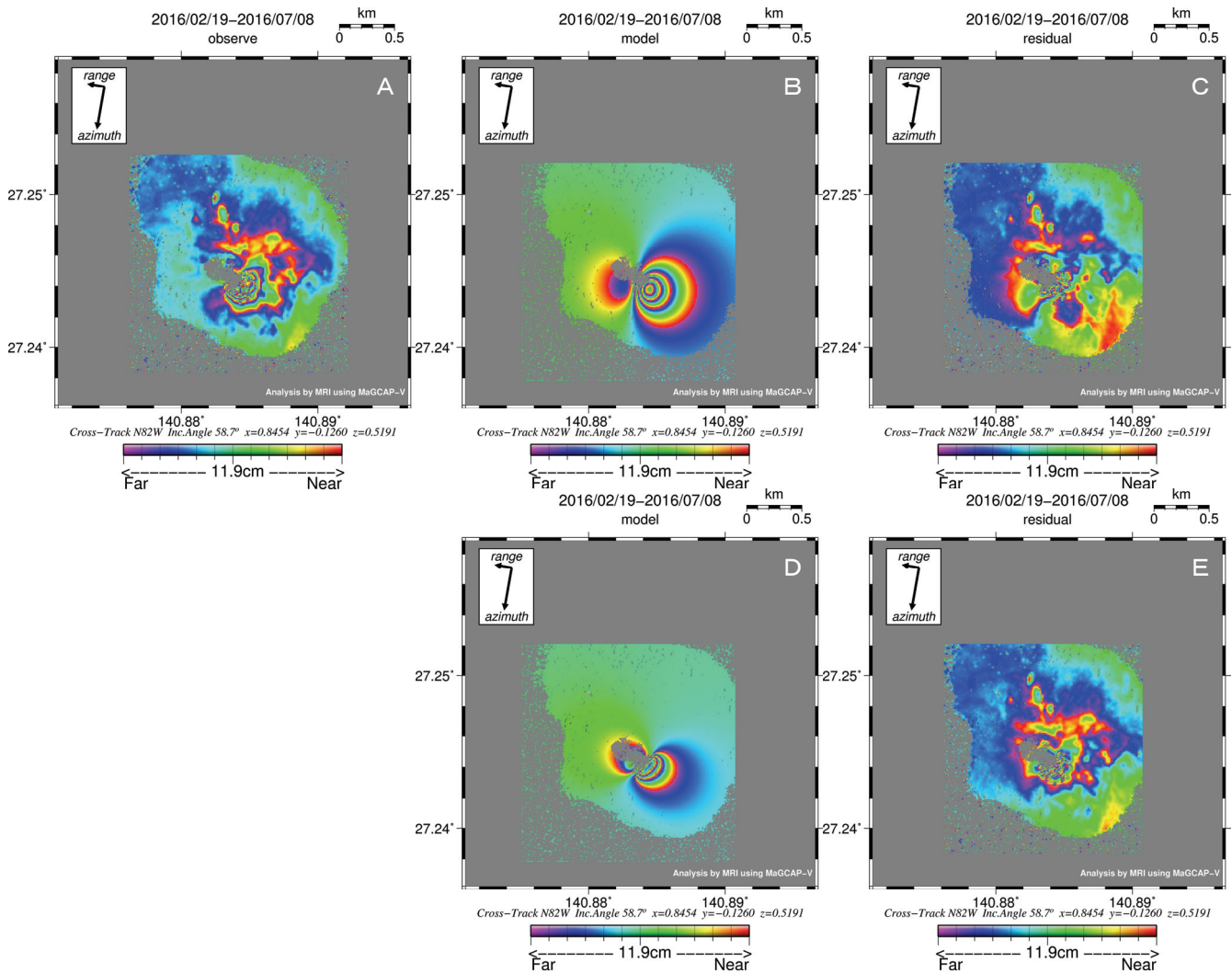


Fig. 4.7 Modeling of SAR interferometric data using MaGCAP-V software. (A) Interferogram of ground displacement during February to July 2016. (B) The fringe pattern estimated by a Mogi-type point source fit to Fig. 4.7-A. (C) The residual between the Mogi model (Fig. 4.7-B) and the observed data (Fig. 4.7-A). (D) The fringe pattern estimated by an Okada-type opening source fit to Fig. 4.7-A. (E) The residual between the Okada model (Fig. 4.7-D) and the observed data (Fig. 4.7-A).

図 4.7 MAGCAP-V を用いた SAR 干渉モデル. A : 2016 年 2 月から 7 月の干渉画像. B : 図 4.7A にフィッティングするように茂木モデルによって推定されたフリンジパターン. C : モデル (図 4.7B) と観測データ (図 4.7A) の残差. D : 図 4.7A にフィッティングするように岡田モデルによって推定されたフリンジパターン. E : モデル (図 4.7D) と観測データ (図 4.7A) の残差.