だいち2号のデータを用いた西之島の地表面変化*

Surface changes Nishinoshima volcano revealed by ALOS-2/PALSAR-2 data

気象庁気象研究所**
Meteorological Research Institute, JMA

１．はじめに

2019 年 11 月以降に西之島周辺で撮影された ALOS-2/PALSAR-2 データについて，島の地形変化や陸域面積の推移について解析を行った。また，高頻度で観測されている高分解能のスポットライト（以下，SPT という）モードの SAR データを用いた溶岩の噴出率についても考察したので，以下報告する。

２．解析結果

陸域面積の推移解析に使用したデータを第１図に示す。また，高頻度の観測を継続している SPT モードについて，直近の撮像ペアにおける干渉画像，相関画像および強度画像の結果を第２，３，４図に示す。さらに SAR データから見積もった溶岩噴出率について第１表にまとめた。

○干渉画像解析（第２図）：

第IV期噴火活動のうち，2020 年６月 19 日までの噴火では，溶岩流下に伴うと考えらえる非干渉領域が明瞭に観測され，その領域近傍では，衛星視線方向伸長の位相変化が顕著に検出された。これは溶岩流下により既存の地形が沈降しているほか，流下した溶岩そのものの冷却収縮による影響が考えられる。その後，2020 年７月３日から９月 11 日までのデータでは，降灰主体の火山活動に移行したことが原因で干渉領域と非干渉領域の差は不明瞭となったが，以降のペアでは，再び比較的良好な干渉画像が得られた。しかしながら，例えば，2021 年５月 21 日と６月４日のペアのように，中央火砕丘から海岸線にかけて延びる非干渉領域が時々認められた。また，北東部と南側では局所的な衛星視線方向伸長の位相変化が継続的に認められた。火山活動の中心である地形変化が最も大きい中央火砕丘では，ペアによって位相変化もバラエティに富んでいる。ただし，干渉処理の際に使用した地形データの影響も考えられるため解釈には注意が必要である。なお，対象領域が狭いため，干渉処理における対流圏遅延補正はおこなっていない。

○相関画像解析（第３図）：

第IV期噴火活動の解析において，低相関度領域として明瞭に検出されている場所は，干渉画像において非干渉領域が解析された場所とよく対応している。中央火砕丘部分は噴火時の噴石などによる変化が主体と考えられるが，山麓から海岸にかけての低相関度領域は，溶岩流下域に該当する変化が主体であると考えられる。2020 年７月 31 日までのペアについて，島の一部を除いて低相関度領域が徐々に拡大し，９月 11 日までペアにおいては，ほぼ全島的に低い相関度領域が占めた。それ以降のペアでは，噴火前と比べて相関度は低いものの，少なくとも地形変化を伴うような噴火活動は発生していないと推定される。2021 年５月 21 日と６月４日のペアでは，溶岩が流下した時のような明瞭なコントラストはなく，おそらく降灰主体の火山活動が一時的にあったと考えられる。以後のペアにおいても，時々同様な解析結果が得られる場合があり，各々，降灰主体の噴火活動があったと考えられる。また，低相関度領域は火山活動の中心であり，地形変化が著しいと考えられる中央火砕丘内側と外側の北西～西側領域を中心に継続的に確認できるが，時折全方位の海岸付近において低相関度領域が認められる場合がある。これらの要因は，台風接近など悪天時の波浪などの浸食による海岸線の衰退や形状変化によるものと考えられる。

○強度画像解析（第４図）：

各ペアにおける強度画像について古い方をシアン色に，新しい方を赤色に割り当て，加色混合法による変化を調べた。後方散乱強度が増加したことを示す赤色が強調された場所は，陸域が拡大した場合な

＊　2024 年 10 月 31 日受付

＊＊　安藤　忍

どの検出に有効である。一方で，特に島内において赤色が強調されていた場合，その直前ペアの解析において，シアン色が強調されていれば，噴火に伴う降灰の堆積などにより，後方散乱強度が一時的に低下した場所と推察できる。2020 年６月 19 日と７月３日のペアでは，北から東にかけてシアン色が支配的であるが，相関画像解析の結果も考慮すると南南西方向において，明瞭な溶岩流下が認められた。７月３日と 17 日のペアでは，島の北側において古い日付の後方散乱強度が支配的であることを示すシアン色領域が拡大しているが，中央火砕丘の形状が大きく変化していることがわかる。また，７月 17 日と 31 日のペアでは，前のペアでシアン色だった部分において黒色に変化しており，降灰による影響が継続していることを示唆しているほか，島の南側においてもシアン色の広がっており，中央火砕丘においてもさらに形状が変化していることが確認できる。その後，７月 31 日と８月 14 日のペアでは，降灰による影響領域の拡大が確認でき，少なくとも８月 14 日にかけて降灰主体の噴火活動が支配的で，全島的に徐々に影響が拡がったと考えられる。その後，８月 28 日にかけて島の北西部，９月 11 日にかけてそれ以外の場所で赤色が支配的な状態になり，徐々に後方散乱強度の回復が認められた。以降のペアでは，例えば，2021 年８月 13 日から 11 月５日にかけて確認できるように，主に中央火砕丘周辺において後方散乱強度が低下し，直後のペアで回復するケースが時折確認でき，一時的に降灰を主体とした噴火活動があったことを示唆する結果が得られているが，特に海岸線において陸域を拡大するような地形変化は認められない。

○活動経過図（第５図）：

PALSAR-2 の観測開始以降における，強度画像による陸域面積，相関画像による低相関度領域，CIRC[1] および GCOMC[2] による温度変化の時系列結果を示す。強度画像から読み取った陸域面積は，2020 年８月をピークに微減状態が継続している（2024/3/22 現在）。この原因はにわかには分からないが，台風などによる気象擾乱を原因とした海岸の浸食によるものと考えられる。低相関度領域の面積は，2020 年の第IV期噴火以後において特にばらつきが大きいが，降灰を伴う噴火や相関度を計算したペアの撮影間隔の長さが影響している可能性も高い。少なくとも SAR データを使用した解析では，2021，2022，2023 年の噴火において，明らかな溶岩流下は認められず，2020 年の第IV期が溶岩を噴出した最後の噴火であると考えられる。また，CIRC による温度変化では，2020 年８月の噴火に応じて高温の検出がされているほか，2021 年 11 月や 2023 年 3 月頃にも一時的に高温が検出されている。一方，GCOMC の観測では，2020 年８月前後の高温は検出されているが，その後は，目立った高温は検出されていない。これは，各センサにおける分解能の差も影響していると考えられる。

○溶岩噴出率および噴出量（第１表）：

SPT モードの相関画像と強度画像から，溶岩流下域（面積）を算出し，仮定した溶岩層厚（陸域：2.5～5m，海域：10m）[3]を使って，各噴火ステージにおける溶岩噴出率を計算した。撮像間隔が 14 日以上のペアについては，必然的に過少見積もりとなることに注意が必要であるが，2019 年 12 月に開始した第Ⅳ期噴火活動は，平均 0.18～0.32×$10^6$$m^3$/日の噴出率と計算され，2013 年 11 月～2015 年 12 月の第Ⅰ期噴火活動と同程度の溶岩噴出を伴う噴火活動だったことがわかった。

謝辞

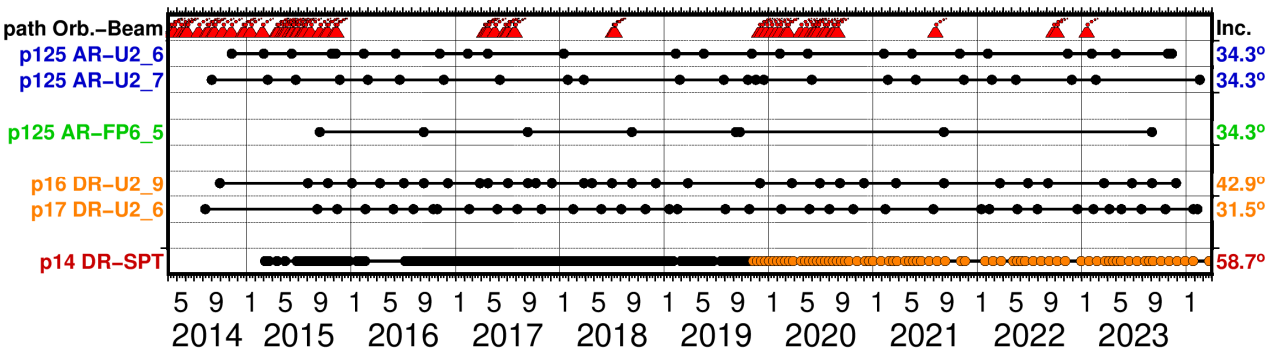
本解析で用いた PALSAR-2 データは，火山噴火予知連絡会が中心となって進めている防災利用実証実験（衛星解析グループ）に基づいて，宇宙航空研究開発機構（JAXA）にて観測・提供されたものである。PALSAR-2 に関する原初データの所有権は JAXA にある。PALSAR-2 の解析ソフトウェアは，防災科学技術研究所の小澤拓氏により開発された *RINC* を使用した。また，処理の過程や結果の描画においては，国土地理院技術資料 C1-No.489 および 515 から作成された地形データを使用した。本解析で用いた CIRC および GCMC のデータは，JAXA の火山活動・林野火災速報システムから提供された。ここに記して御礼申し上げます。

[1] 森林火災や火山などの観測を目的とした地球観測用小型赤外カメラの名称で，ALOS-2 などに搭載し運用されていたが，2023 年２月末に運用終了された。

[2] 気候変動の観測を目的とした人工衛星（和名：しきさい）の名称で，多波長光学放射計を搭載している。

[3] 東京大学地震研究所 http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/2017/04/21/2013%E5%B9%B411%E6%9C%8821%E6%97%A5%E8%A5%BF%E4%B9%8B%E5%B3%B6%E3%81%AE%E5%99%B4%E7%81%AB%E6%B4%BB%E5%8B%95/#20170428funshutsu （2024 年９月 25 日参照）

西之島

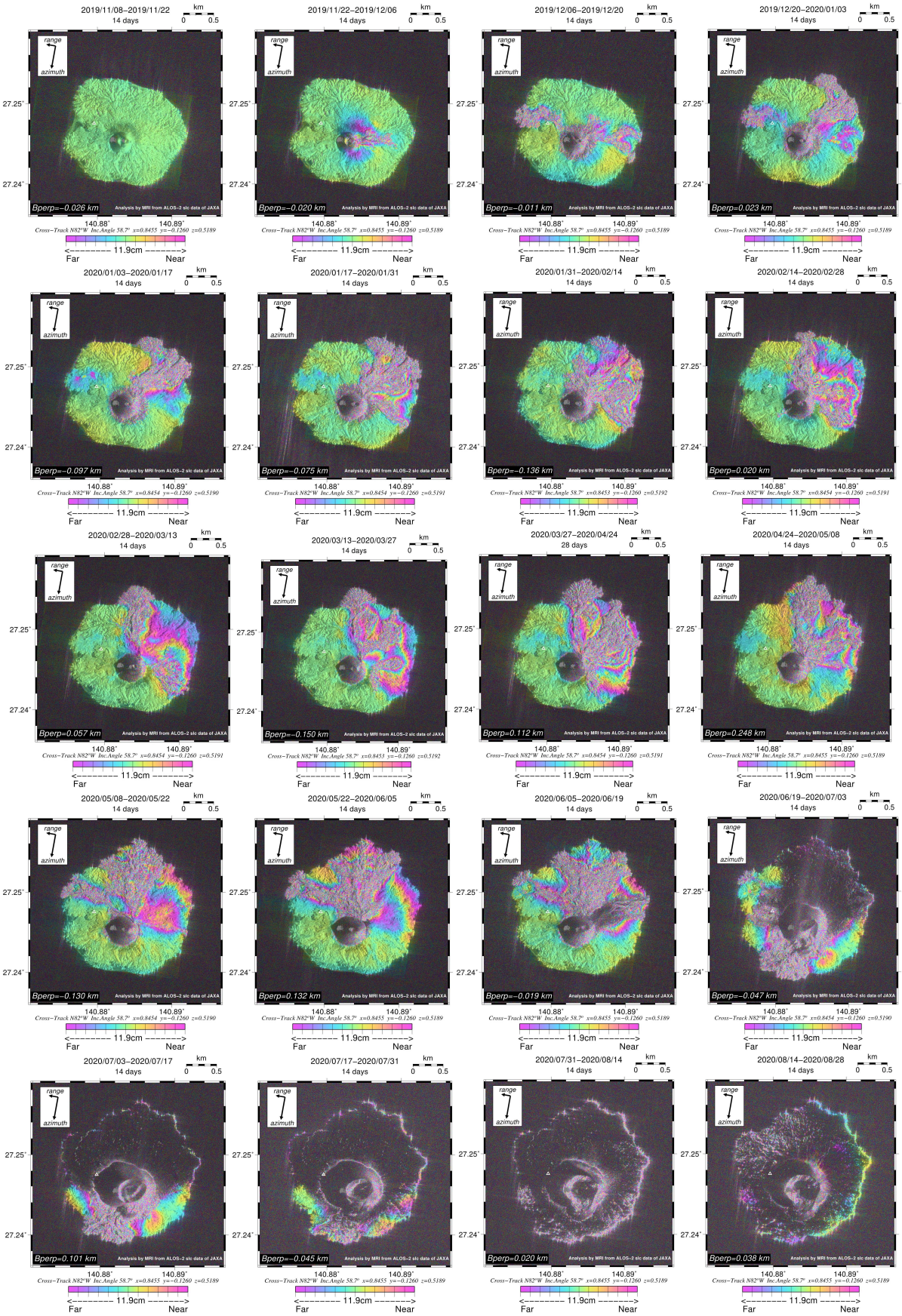


第 1 図　解析に使用したデータ
AR：北行右観測，DR：南行右観測を示す。path14 の SPT モードのうち，第２，３，４図において干渉画像解析，相関画像解析，強度画像解析に使用したデータをオレンジで示す。
Fig. 1. ALOS-2/PALSAR-2 data used in this study
AR: Ascending orbit and right looking, DR: Descending orbit and right looking, orange circles indicate the data used for interferometry, coherence and amplitude analysis in Fig. 2, 3 and 4.

第 1 表　溶岩噴出率および噴出量の計算結果
Table 1. Calculated lava eruption rate and volume

Eruption stage on Nishinoshima	Eruption rate (10^4m^3/day)		DRE of eruption volume (10^4m^3)	Eruption Magnitude※4
	Average	Max		
1st stage※1 2013.11-2015.12	20	50	> 10,000	> 4.5
2nd stage (120 days) 2017.4.20-2017.8.18 (2017.4.20-2017.7.31)※2	9～16 (15)※2	17～29	1,100～1,900 (1,600)※2	3.4～3.7
3rd stage (18 days) 2018.7.12-2018.7.30	3～6	3～7	50～100	2.1～2.4
4th stage (268days) 2019.12.5-2020.8.28	18～32	30～54	4,700～8,500	4.1～4.3
Reference: Nishinoshima eruption from 1973 to 1974 Shinmaedake eruption on 2011 Miyakejima eruption on 2000 Unzen eruption from 1991 to 1995			 > 1,700※3 > 1,000※1 > 260※1 > 21,000※1	 > 3.6 > 3.4※1 > 2.8※1 > 4.7※1

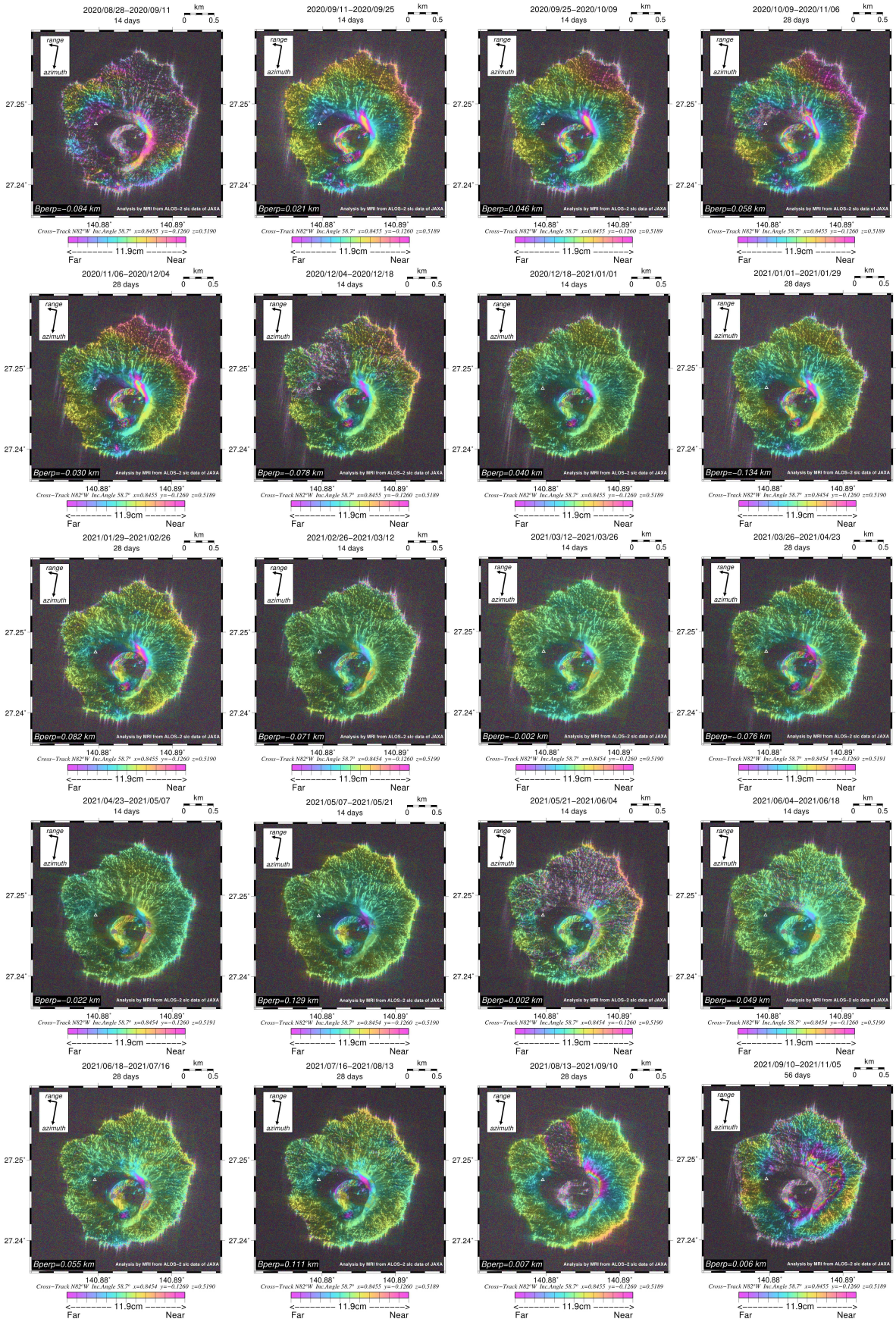
※1: Maeno F, Yasuda A, Nakano S, Yoshimoto M, Ohminato T, Watanabe A, Kaneko T, Nakada S and Takeo M (2018) Formation process of a new volcanic island at Nishinoshima, Ogasawara, Japan, inferred from eruptive products. Journal of Advanced Marine Science and Technology Society, 24, 1, 35-44. https://doi.org/10.14928/amstec.24.1_35 (in Japanese)
※2: Kaneko, T., Maeno, F., Yasuda, A., Takeo, M. and Takasaki K (2019) The 2017 Nishinoshima eruption: combined analysis using Himawari-8 and multiple high-resolution satellite images. Earth, Planets and Space, 71, 140. https://doi.org/10.1186/s40623-019-1121-8.
※3: Japan meteorological Association (2013) National catalogue of the active volcanoes in Japan (the 4th edition). https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/souran_eng/menu.htm
※4: The specific gravity of the lava is 2.5g/cm3. The value Calculated by Hayakawa (1993) formula: Eruption magnitude = log m - 7 (m: mass of eruption). https://doi.org/10.18940/kazan.38.6_223 (in Japanese).



第２図　path14 による干渉解析結果（2019 年 11 月～2020 年８月）

Fig. 2. Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From November 2019 to August 2020)

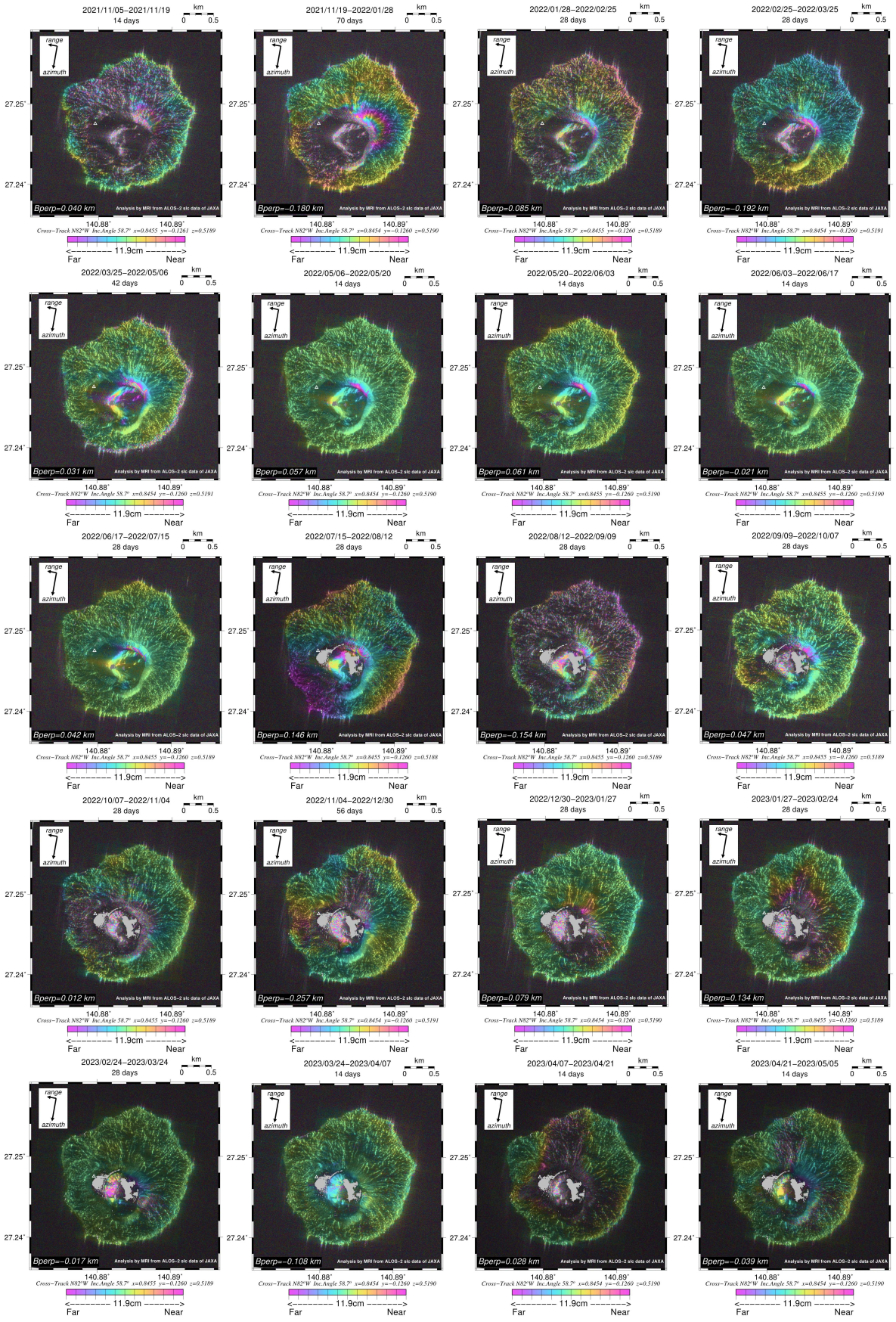
西之島



第２図　path14 による干渉解析結果（2020 年８月～2021 年 11 月）

Fig. 2. Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From August 2020 to November 2021)

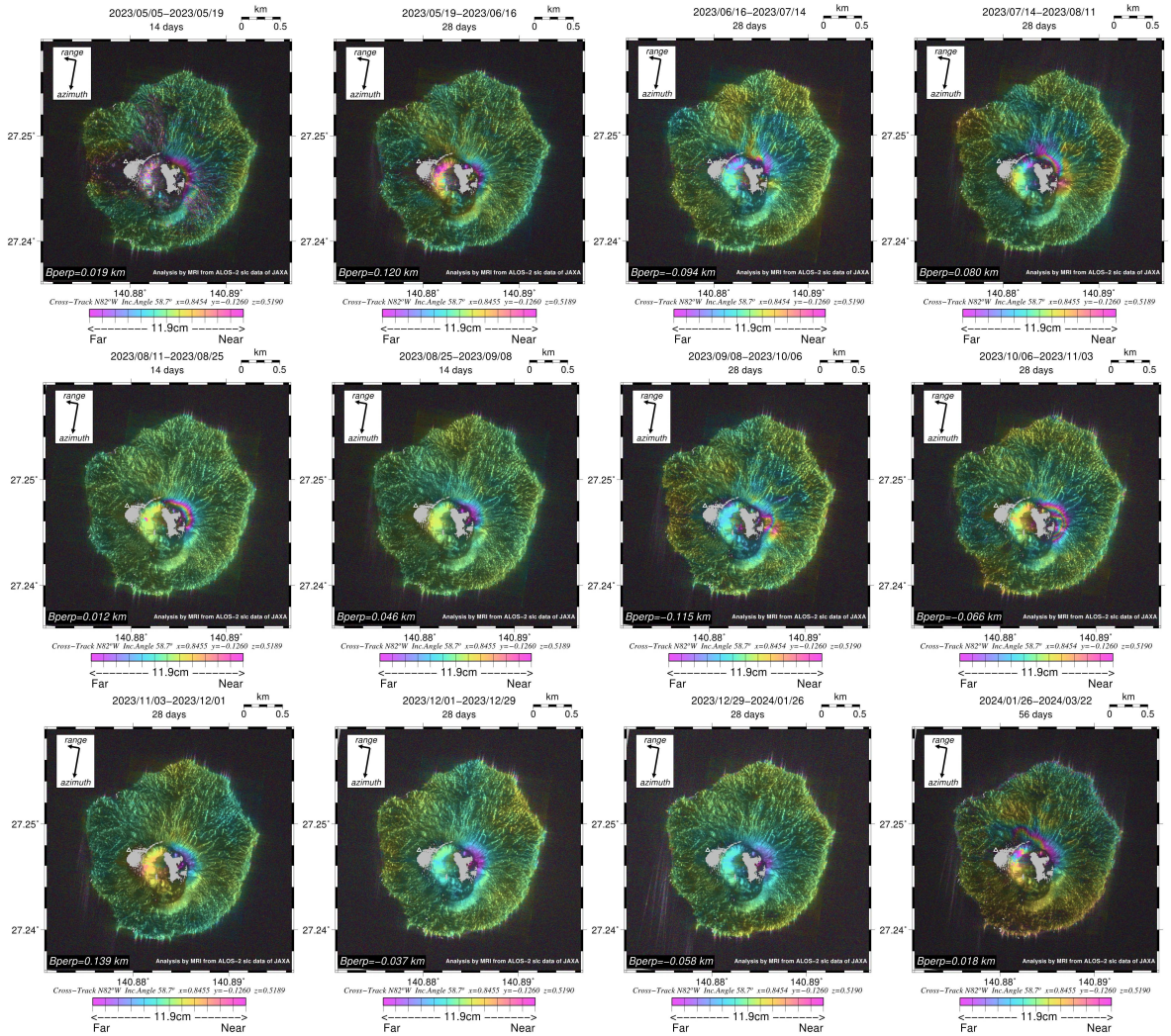
西之島



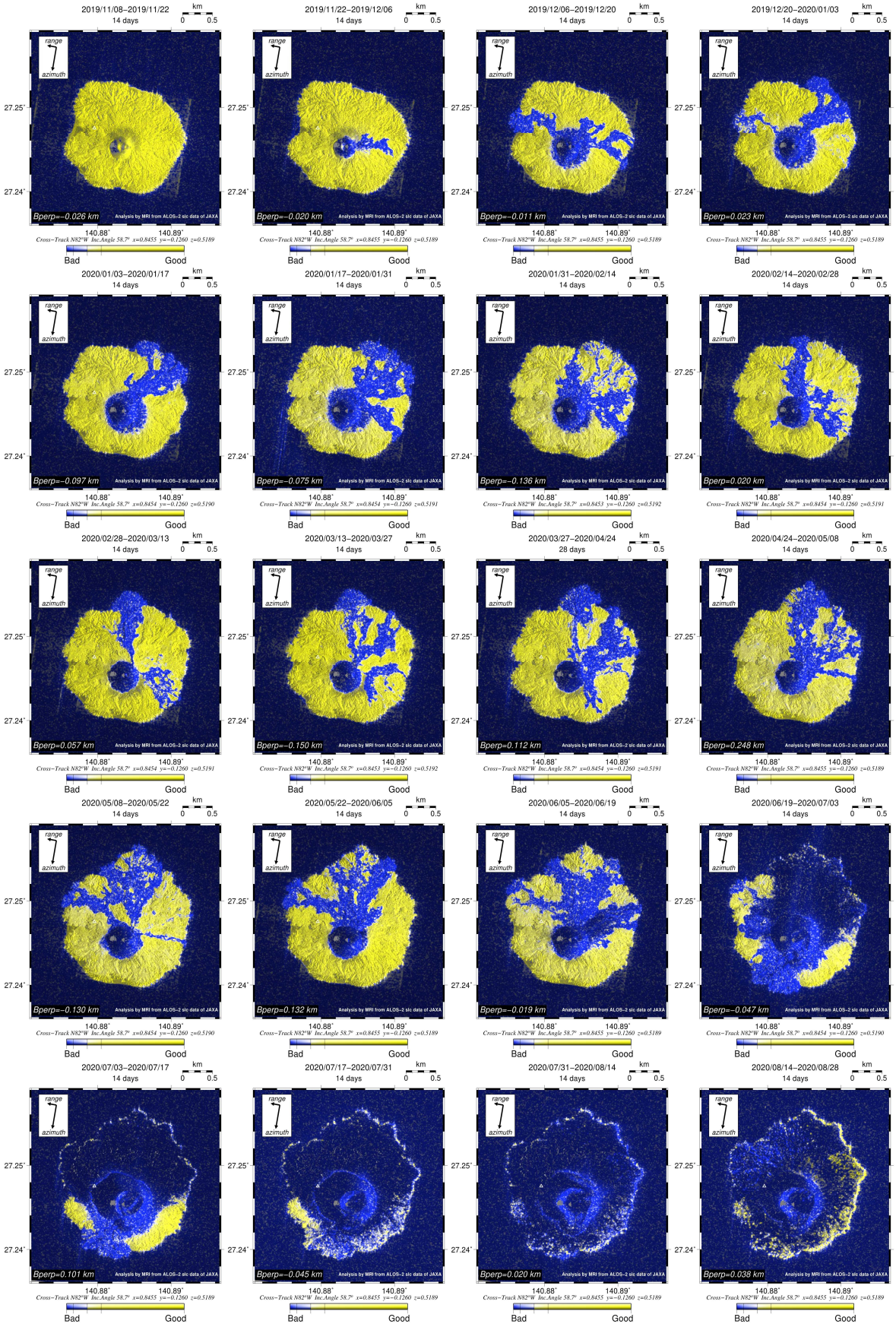
第２図　path14 による干渉解析結果（2021 年 11 月～2023 年５月）

Fig. 2. Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From November 2021 to May 2023)

西之島



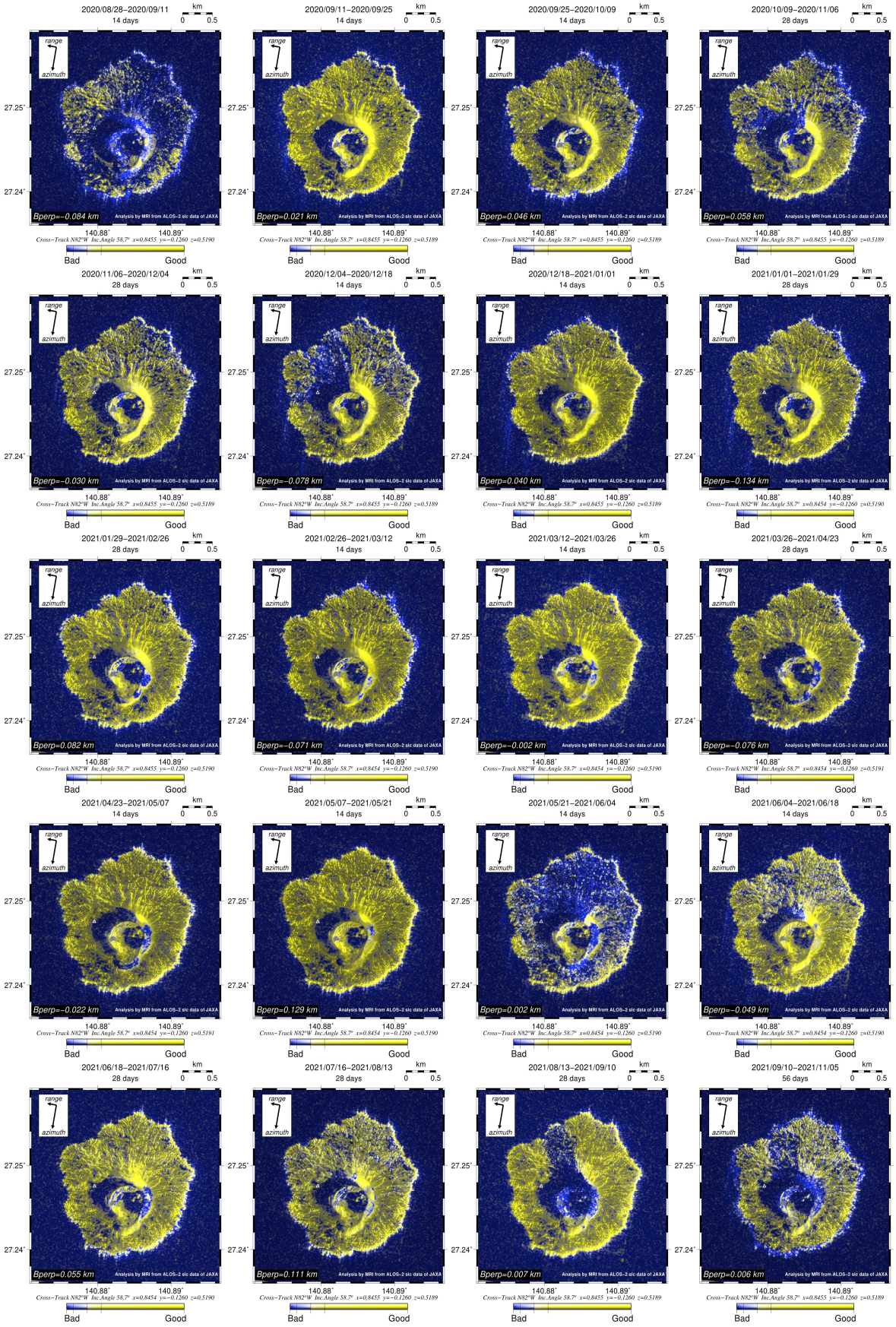
第２図　path14 による干渉解析結果（2023 年５月～2024 年３月）
図中の白三角形は旧西之島山頂位置を示す。フルカラースケールは視線方向（LOS）において 11.9cm を示す。
Fig. 2. Interferograms generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From May 2023 to March 2024)
White triangle indicates the old summit. One full repetition of the color scale represents a displacement of 11.9 cm in the line of sight (LOS) of the satellite.



第３図　path14 による相関画像解析結果（2019 年 11 月～2020 年８月）

Fig. 3. Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From November 2019 to August 2020)

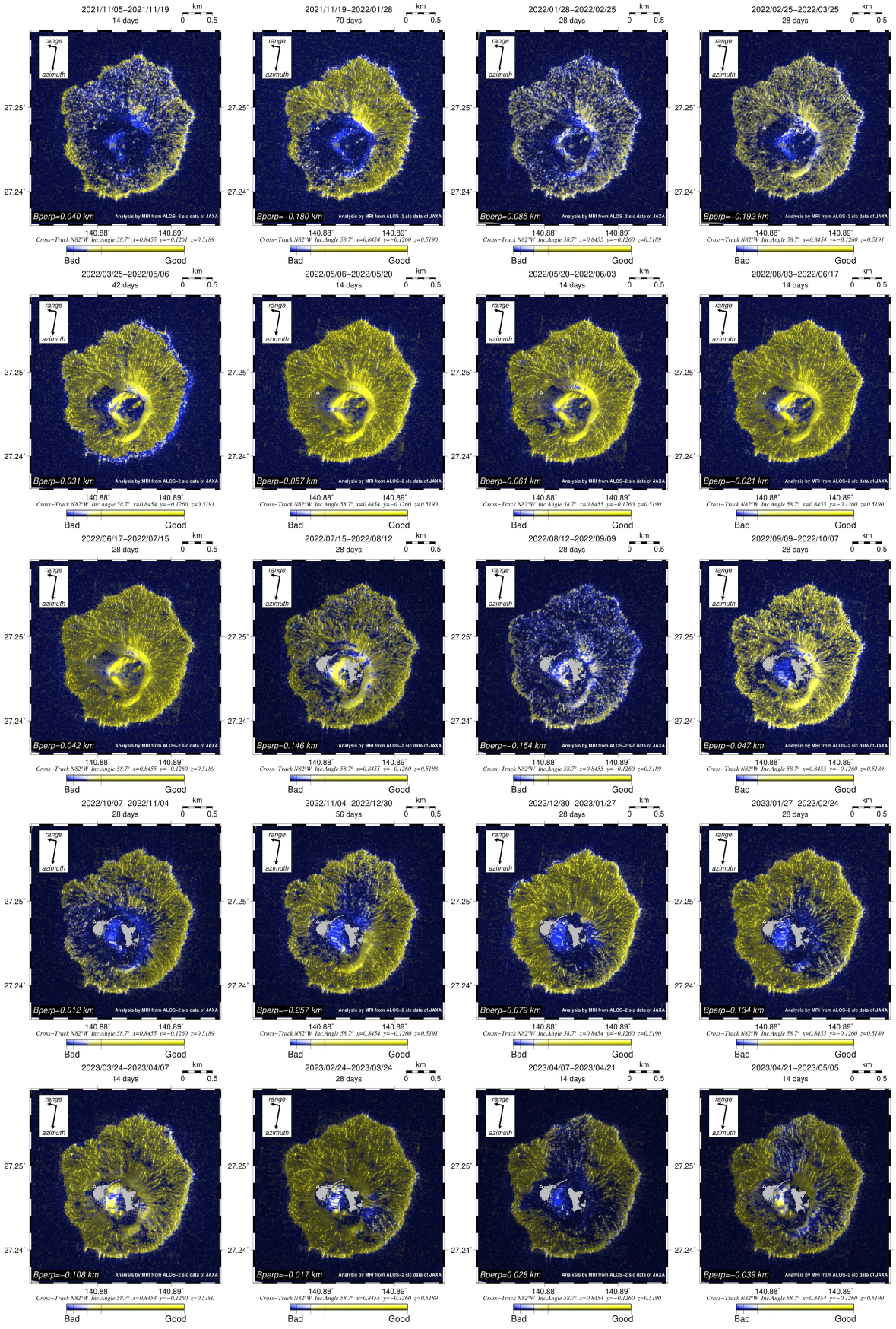
西之島



第 3 図　path14 による相関画像解析結果（2020 年 8 月～2021 年 11 月）

Fig. 3. Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From August 2020 to November 2021)

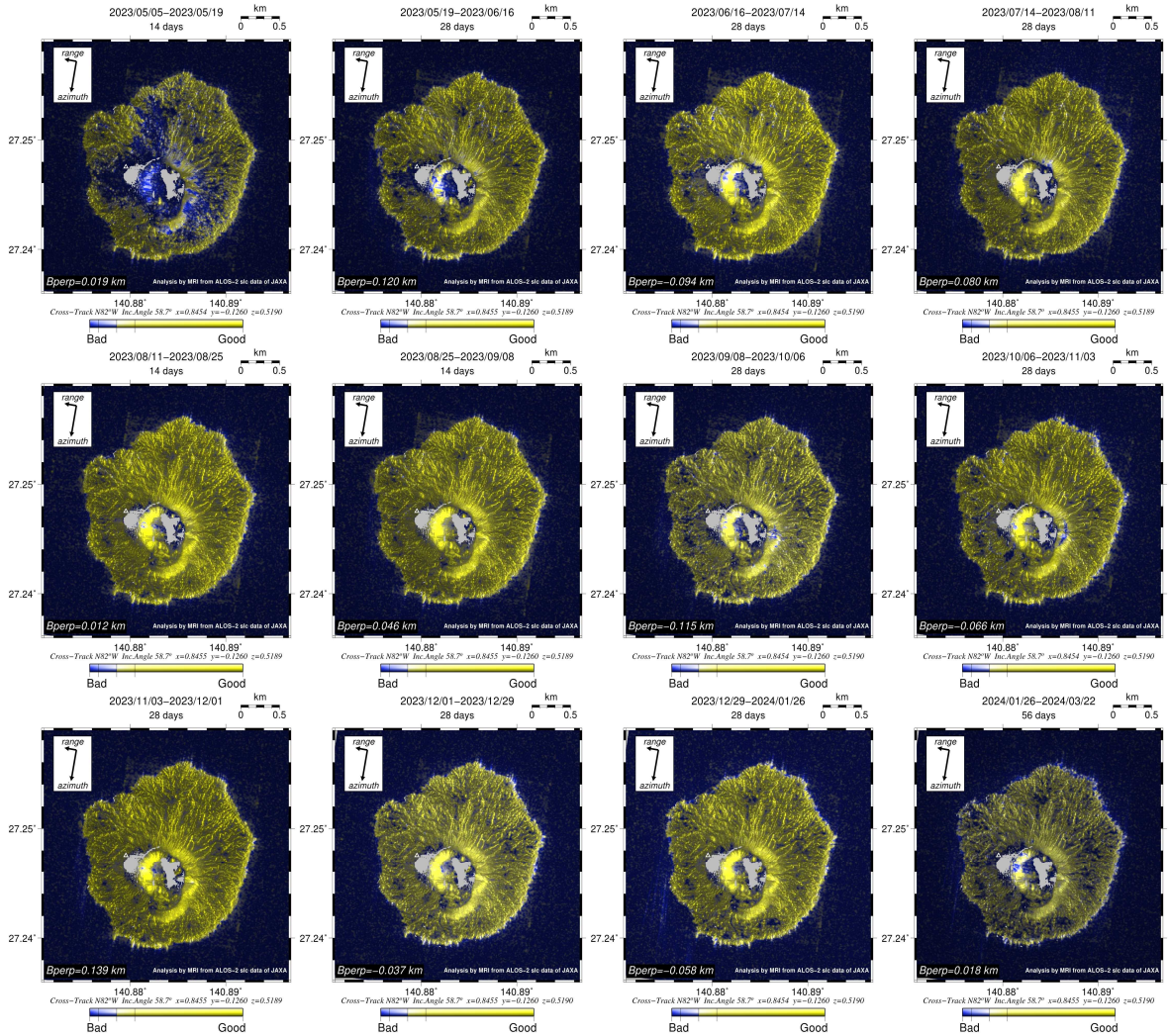
西之島



第３図　path14 による相関画像解析結果（2021 年 11 月～2023 年５月）

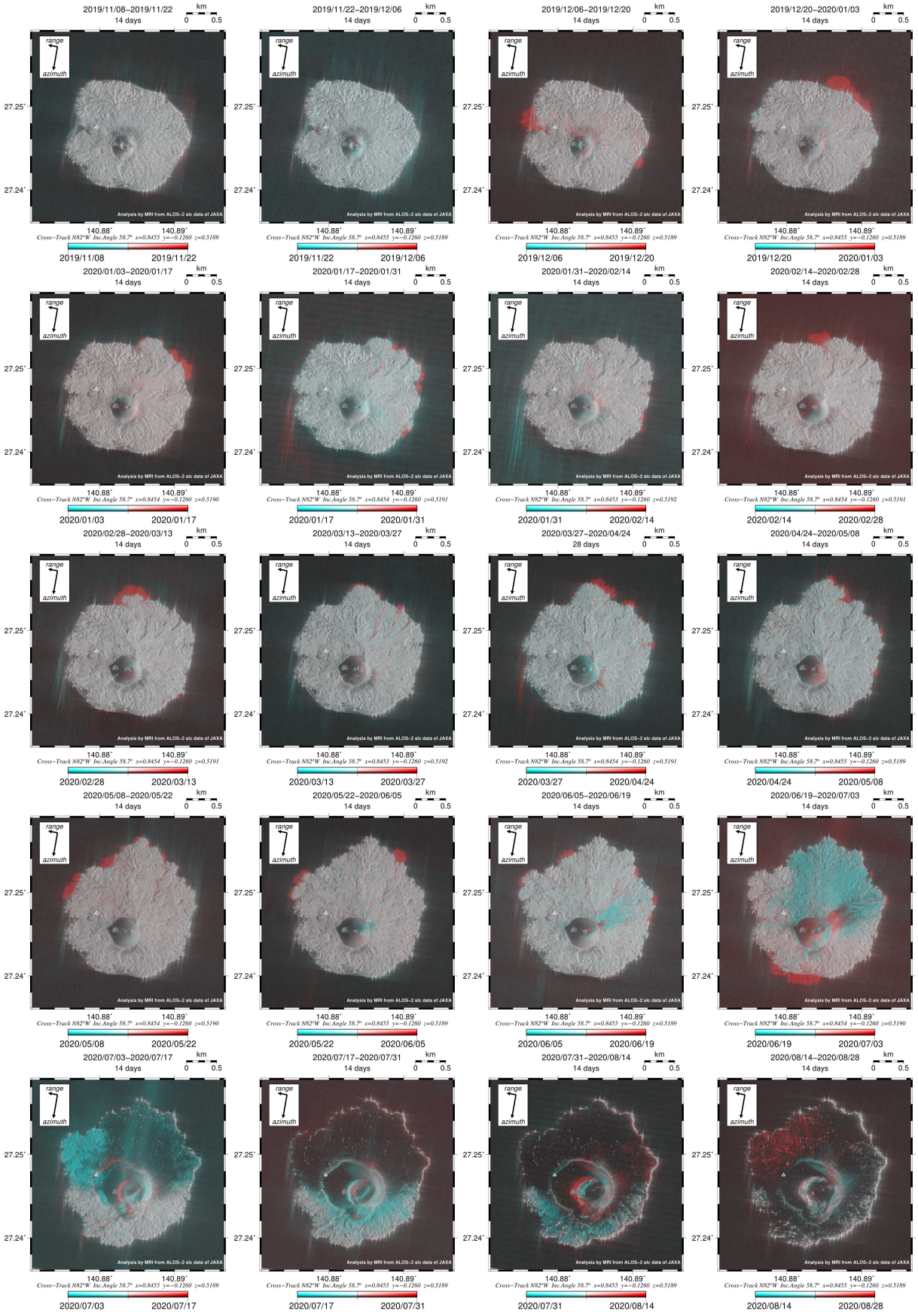
Fig. 3. Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From November 2021 to May 2023)

西之島



第３図　path14 による相関画像解析結果（2023 年５月～2024 年３月）
図中の白三角形は旧西之島山頂位置を示す。

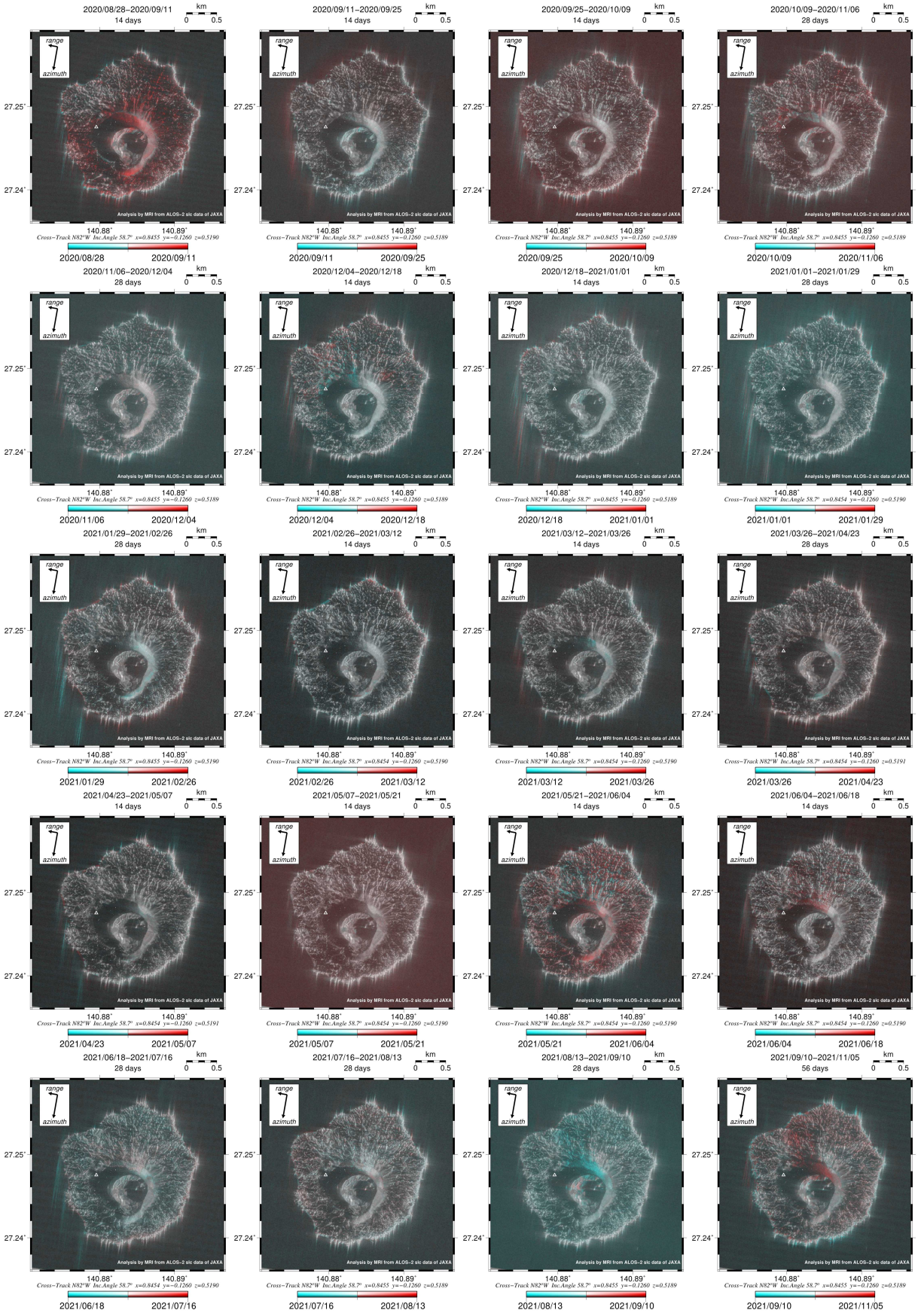
Fig. 3. Coherence images generated from ALOS-2/PALSAR-2 data for path 14. (From May 2023 to March 2024)
The legend in the figure is the same Fig. 2.



第 4 図　path14 による強度画像解析結果（2019 年 11 月～2020 年 8 月）

Fig. 4. Gound surface changes extracted by an additive color process using amplitude images of ALOS-2/PALSAR-2 data for Path 14. (From November 2019 to August 2020)

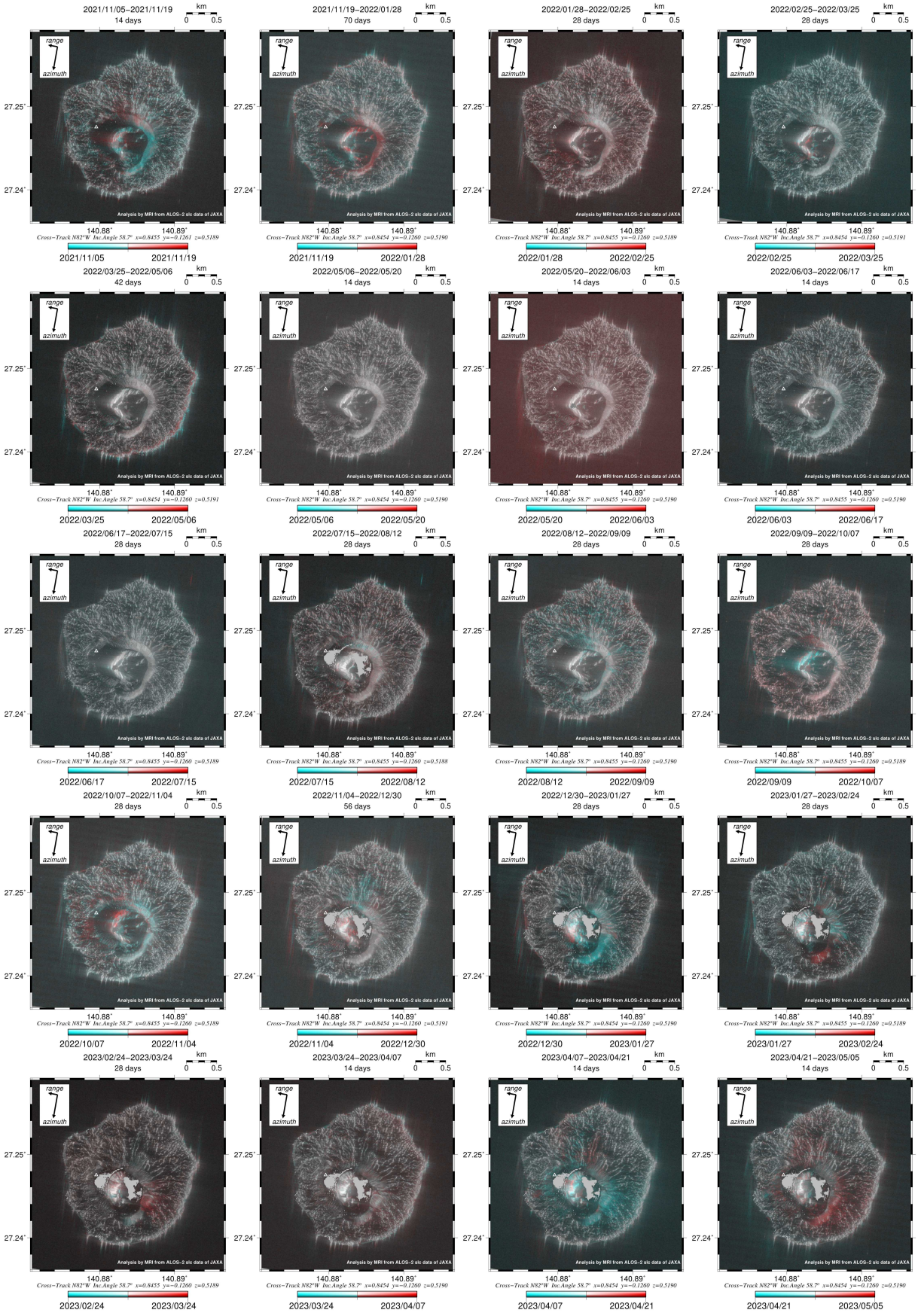
西之島



第 4 図　path14 による強度画像解析結果（2020 年 8 月～2021 年 11 月）

Fig. 4. Gound surface changes extracted by an additive color process using amplitude images of ALOS-2/PALSAR-2 data for Path 14. (From August 2019 to November 2021)

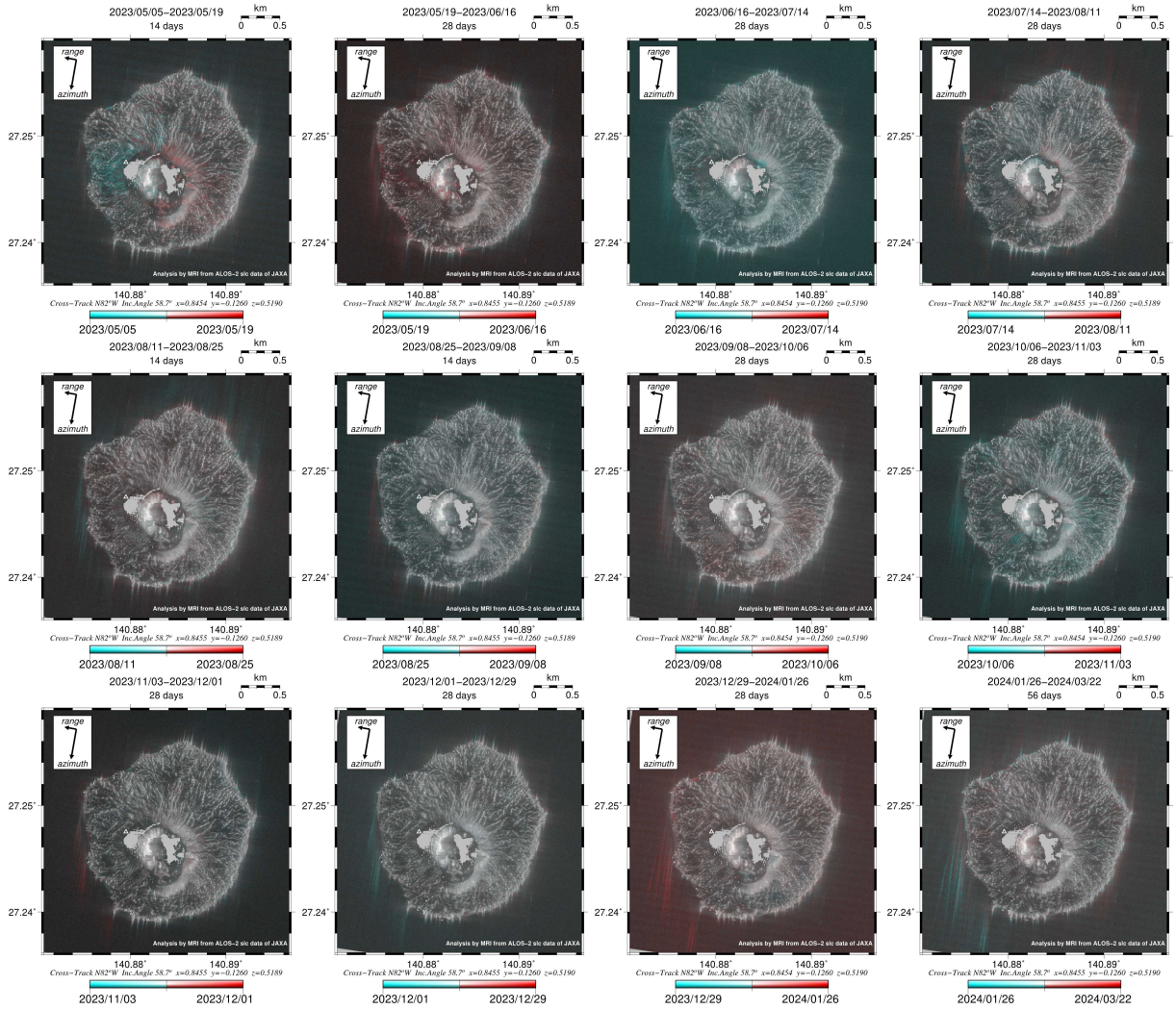
西之島



第 4 図　path14 による強度画像解析結果（2021 年 11 月～2023 年 5 月）

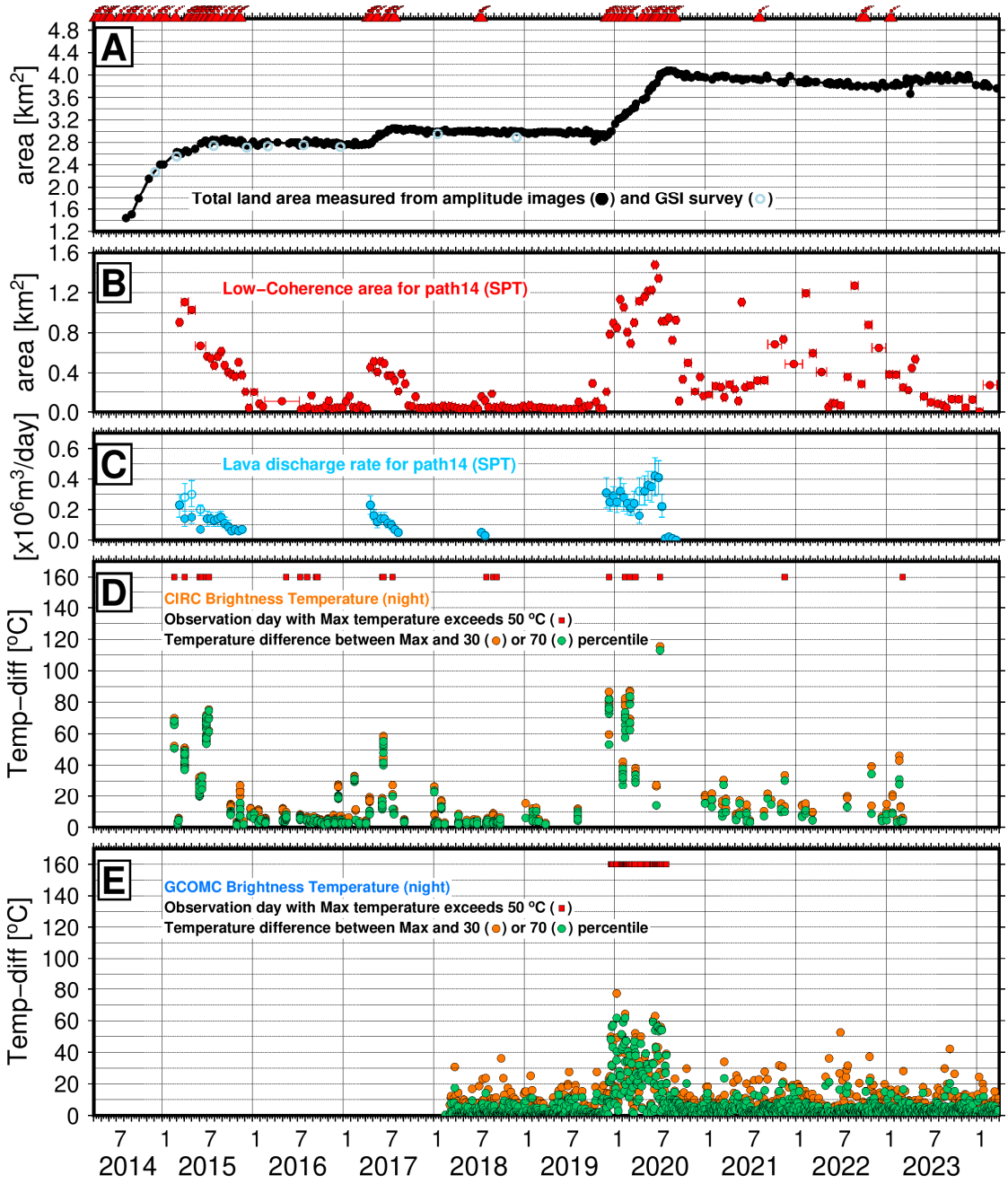
Fig. 4. Gound surface changes extracted by an additive color process using amplitude images of ALOS-2/PALSAR-2 data for Path 14. (From November 2021 to May 2023)

西之島



第４図　path14 による強度画像解析結果（2023 年５月～2024 年３月）
図中の白三角形は旧西之島山頂位置を示す。

Fig. 4. Gound surface changes extracted by an additive color process using amplitude images of ALOS-2/PALSAR-2 data for Path 14. (From May 2023 to March 2024)
The legend in the figure is the same Fig. 2.



第５図　西之島における推移変化（A：すべてのパスの強度画像から算出した陸域面積，B：path14 の低相関度領域，C：溶岩噴出率，D：CIRC により検出された温度推移，E：GCOMC により検出された温度推移）
A：2019 年 12 月の再噴火以降は陸域の拡大が継続しており，直近では約 3.9km^2 まで拡大した。噴火マークは，海上保安庁により火山噴火予知連絡会に報告された資料から読みとった。○は国土地理院で実施された空中写真等の計測結果による面積を示す。
B：概ね 2 週間毎に撮像されている Path14 を用いた低相関度領域は，2019 年 12 月の再噴火以降は約 0.7～1.4km^2，2023 年以降は 0.5km^2 で推移している。
C：強度画像の比較と相関画像の結果から溶岩流の面積を算出し，仮定された溶岩の厚さ（陸域 2.5～5m，海域 10m）を使って日換算した溶岩噴出率を計算した。○は撮像間隔が 14 日以上のため，過少見積もりしている可能性があるため，当該期間に応じて整数倍で算出した値を示す。2020 年８月以降の溶岩流下はない。
D：CIRC により観測された西之島周辺（旧山頂から半径 3km）の温度推移（最新データは 2023/3/8）。
E：GCOMC により観測された西之島周辺（旧山頂から半径 3km）の温度推移（最新データは 2024/3/28）。
■は最高温度 50℃以上の観測日，●は最高温度と 30 パーセンタイル値の差分温度，●は最高温度と 70 パーセンタイル値の差分温度を示す。差分温度が高いほど局所的，低いほど広範な熱異常を示しているとみなせる。
Fig. 5. Time series data in Nishinoshima (A: land area calculated from amplitude images of all paths, B: low coherence

area of path 14, C: lava eruption rate, D: temperature change detected by CIRC, E: temperature change detected by GCOMC)
A: The land area has continued to expand since the re-eruption in December 2019, and has recently expanded to about 3.9 km^2. The eruption event was read from the materials reported by the Japan Coast Guard to the Coordinating Committee for Prediction of Volcanic Eruptions. The blue circles indicate the area based on the results of measurements such as aerial photographs conducted by the Geospatial Information Authority of Japan.
B: The low coherence area using Path 14, which is imaged approximately every two weeks, has been about 0.7 to 1.4 km^2 since the re-eruption in December 2019, and has been 0.5 km^2 since 2023.
C: The lava flow area was calculated from the comparison of amplitude images and the coherence image results, and the daily lava eruption rate was calculated using the assumed lava thickness (2.5 to 5 m on land, 10 m on sea). The light blue open circle indicates a value calculated by multiplying the value by an integer according to the period, as there is a possibility of underestimation due to the imaging interval of 14 days or more. There has been no lava flow since August 2020.
D: Surface temperature trends around Nishinoshima (3 km radius from the old summit) observed by CIRC (latest data: 2023/3/8).
E: Surface temperature trends around Nishinoshima (3 km radius from the old summit) observed by GCOMC (latest data: 2024/3/28).
The red square indicates the date of observation when the maximum surface temperature was 50°C or higher, the red circle indicates the difference between the maximum surface temperature and the 30th percentile value, and the green circle indicates the difference between the maximum surface temperature and the 70th percentile value. A high difference temperature indicates a localized geothermal anomaly, while a low difference temperature indicates a widespread geothermal anomaly.