

霧島山周辺の地殻変動*

Crustal Deformations around Kirishima Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第1図から第5図は、霧島山周辺におけるGNSS連続観測結果である。

第1-1図上段に基線図の配置を、中段に各観測局の保守履歴を示した。第1-1図下段及び第1-2図は、第1-1図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、左列は最近約5年間（2013年5月～2018年5月）の時系列、右列は最近約1年間（2017年5月～2018年5月）の時系列である。

第2-1図では上段に東に位置する「野尻」から各点への基線図の配置を、中段に各観測局の保守履歴を示した。第2-1図下段及び第2-2図は、第2-1図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、第1-1図下段及び第1-2図同様に、左列は最近約5年間（2013年5月～2018年5月）の時系列、右列は最近約1年間（2017年5月～2018年5月）の時系列である。

第3図の上段に硫黄山、韓国岳、新燃岳を囲む基線図の配置を示した。第3図下段は、第3図上段に示した基線の基線長変化グラフであり、最近約21年間（1997年1月～2018年5月）の時系列である。

第4図は、「野尻」から硫黄山周辺への基線図の配置を左下に示し、左上及び右段に最近約9か月間（2017年9月～2018年6月）の基線の3成分変化グラフを示した。2018年3月の新燃岳の噴火以降に霧島山を挟む基線での伸びが継続していたが、5月頃から伸びの傾向がやや鈍化している。

第5図は、霧島山周辺の電子基準点、気象庁及び防災科学技術研究所のGNSS観測点の統合解析から得られた水平変動ベクトル図であり、「野尻」を固定局としている。第5図上段に最近3ヶ月間（2018年2月～2018年5月）を、下段に最近1年間（2017年5月～2018年5月）を示した。

第6図は、「だいち2号」のSAR時系列解析結果、第1表はその解析の諸元情報である。第6-1図から第6-3図は霧島山周辺の解析結果を、第6-4図から第6-6図上段は硫黄山の拡大図を、第6-7図は新燃岳の拡大図を示した。硫黄山において、2018年1月以降の(a)、(b)では、硫黄山南部で膨張とみられる衛星に近づく変動が見られる。4月の硫黄山の噴火前後の(c)～(f)では、硫黄山南部及びその西側で膨張とみられる衛星に近づく変動が見られる。4月の硫黄山の噴火後の(g)では、硫黄山南部及びその西側で膨張とみられる衛星に近づく変動が小さくなり、(h)、(j)では、収縮とみられる衛星から遠ざかる変動が見られる。新燃岳において、3月以降の(a)～(f)では、新燃岳火口周辺で火砕物等の影響とみられる非干渉領域が見られる。4月下旬以降の(g)～(j)では新燃岳火口内で収縮と見られる変動が見られる。

第7図は、「だいち2号」のSAR強度画像結果、第2表はその画像の諸元情報である。第7-1図から第7-3図上段まではSAR強度画像を、第7-3図下段はSAR強度画像から判読した地形変化領域を示したものである。新燃岳火口内の溶岩は、北西側で火口縁を越えている。火口外への流出は3月9日に始まったが、流出速度は非常にゆっくりであった。溶岩は新燃岳火口の一面に広がっており、その直径は約700mとなっている。(h)で新燃岳火口中央部付近に直径約100mの地形変化を検出、(j)で新燃岳火口東部に長さ約200mの地形変化を検出した。

第8図は、GNSS観測データに基づき、時間依存のインバージョン手法により霧島地域の変動源を茂木ソースと仮定して体積の増減を時系列的に推定した結果である。上段は推定に用いた観測点の配置

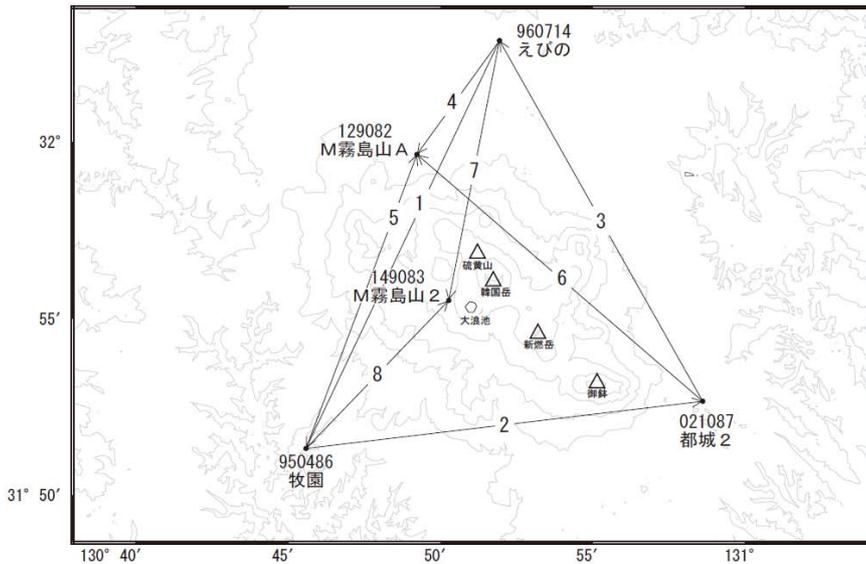
* 2018年7月20日受付

と変動源の位置図で、下段は推定された体積増減の時系列である。2011年及び2018年に噴火により、一時的に体積が著しく膨張及び収縮したが、全体として変動源は膨張傾向にある。第8-2図及び第8-3図は推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値を比較した時系列グラフである。このモデルから推定した計算値は比較的よく再現されている。

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」に関する国土地理院とJAXAの間の協定に基づき提供されました。

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)



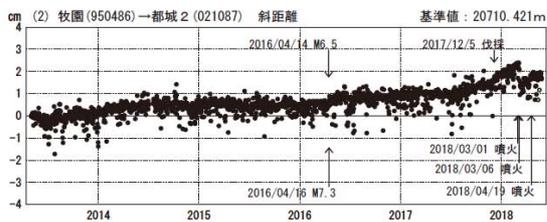
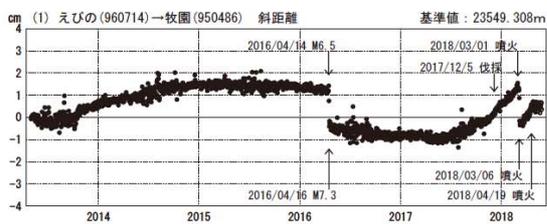
霧島山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
950486	牧園	20131013	伐採
		20150622	受信機交換
		20171205	伐採
960714	えびの	20140814	伐採
021087	都城2	20130913	受信機交換
		20140616	受信機交換
		20140717	受信機交換

点番号	点名	日付	保守内容
129082	M霧島山A	20140514	受信機交換
		20141021	受信機交換
		20150909	受信機交換
149083	M霧島山2	20141021	新設
		20150909	受信機交換

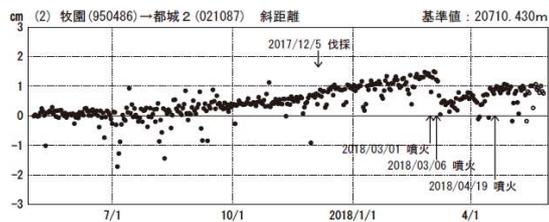
基線変化グラフ

期間: 2013/05/01~2018/05/26 JST



基線変化グラフ

期間: 2017/05/01~2018/05/26 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

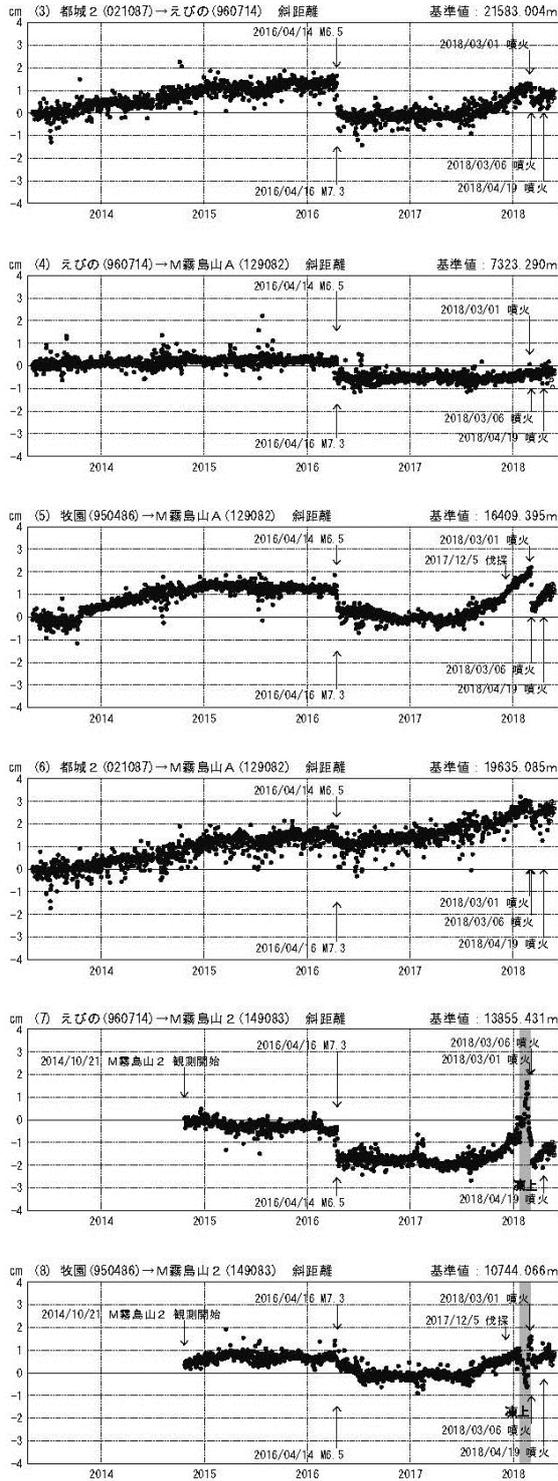
国土地理院

第 1-1 図 霧島山周辺の GNSS 連続観測基線図 (上段)、観測局の保守履歴 (中段)、
基線変化グラフ (下段 左列: 2013 年 5 月~2018 年 5 月、右列: 2017 年 5 月~2018 年 5 月)

Fig.1-1 (upper) Site location map of the GNSS continuous observation network around Kirishima Volcano;
(middle) History of site maintenance; (lower) Time series of baseline length (left) from May 2013 to May 2018,
(right) from May 2017 to May 2018.

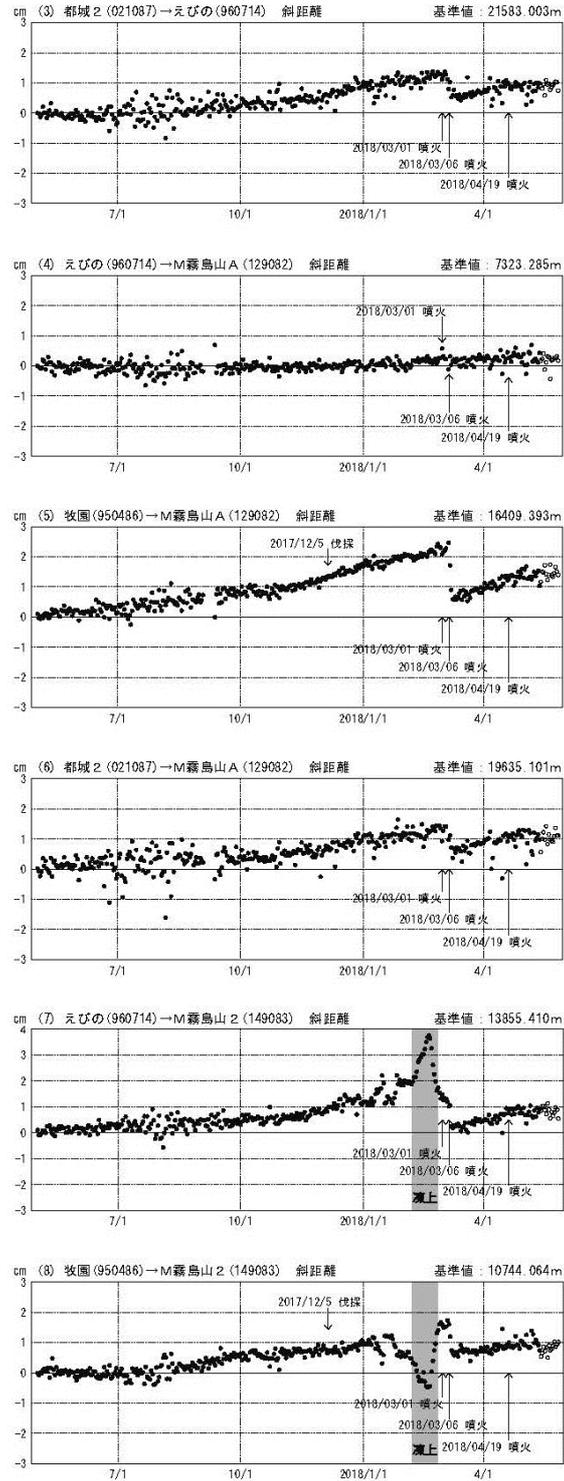
基線変化グラフ

期間：2013/05/01~2018/05/26 JST



基線変化グラフ

期間：2017/05/01~2018/05/26 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

国土地理院

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

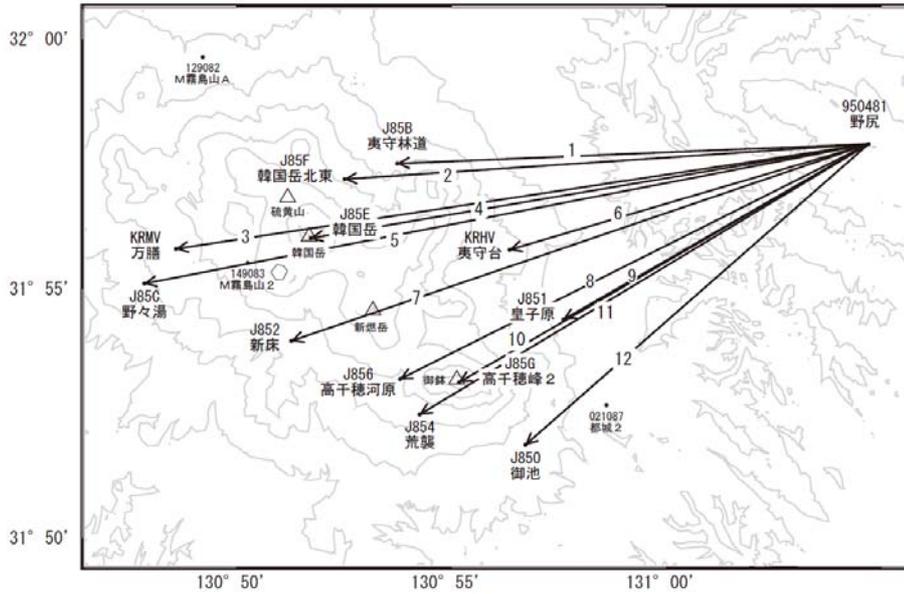
第1-2 図 霧島山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ

(左列：2013年5月~2018年5月、右列：2017年5月~2018年5月)

Fig.1-2 Time series of baseline length by continuous GNSS observation around Kirishima Volcano;

(left) from May 2013 to May 2018, (right) from May 2017 to May 2018.

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)

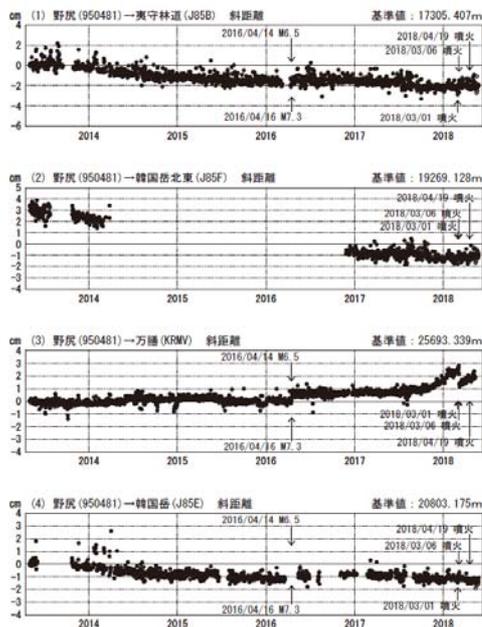


霧島山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
950481	野尻	20131205	アンテナ交換

基線変化グラフ

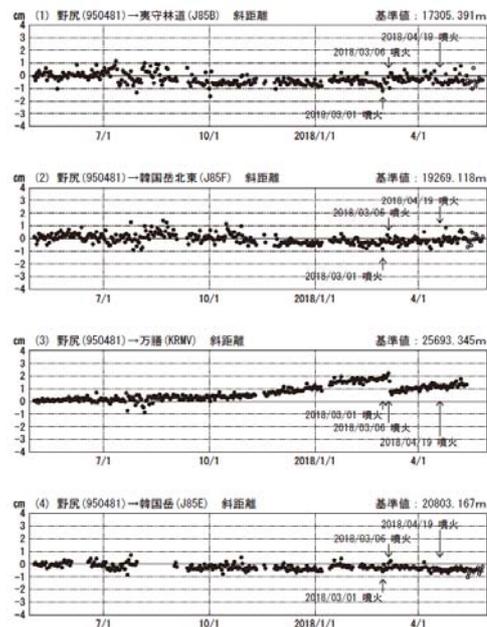
期間: 2013/05/01~2018/05/26 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

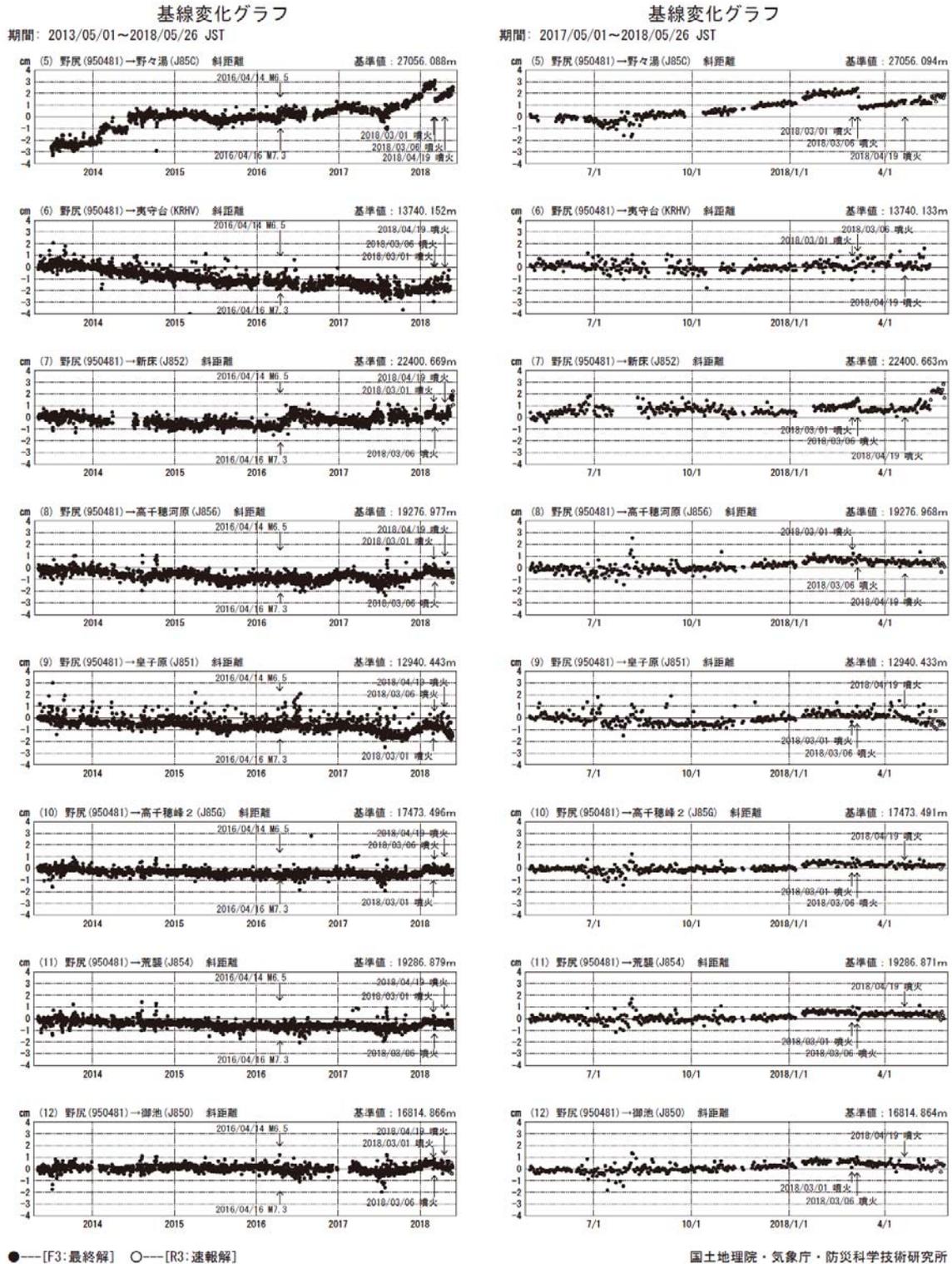
基線変化グラフ

期間: 2017/05/01~2018/05/26 JST



国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第 2-1 図 霧島山周辺の GNSS 連続観測基線図 (上段)、観測局の保守履歴 (中段)、
基線変化グラフ (下段 左列: 2013 年 5 月~2018 年 5 月、右列: 2017 年 5 月~2018 年 5 月)
Fig.2-1 (upper) Site location map of the GNSS continuous observation network around Kirishima Volcano;
(middle) History of site maintenance; (lower) Time series of baseline length
(left) from May 2013 to May 2018, (right) from May 2017 to May 2018.



※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

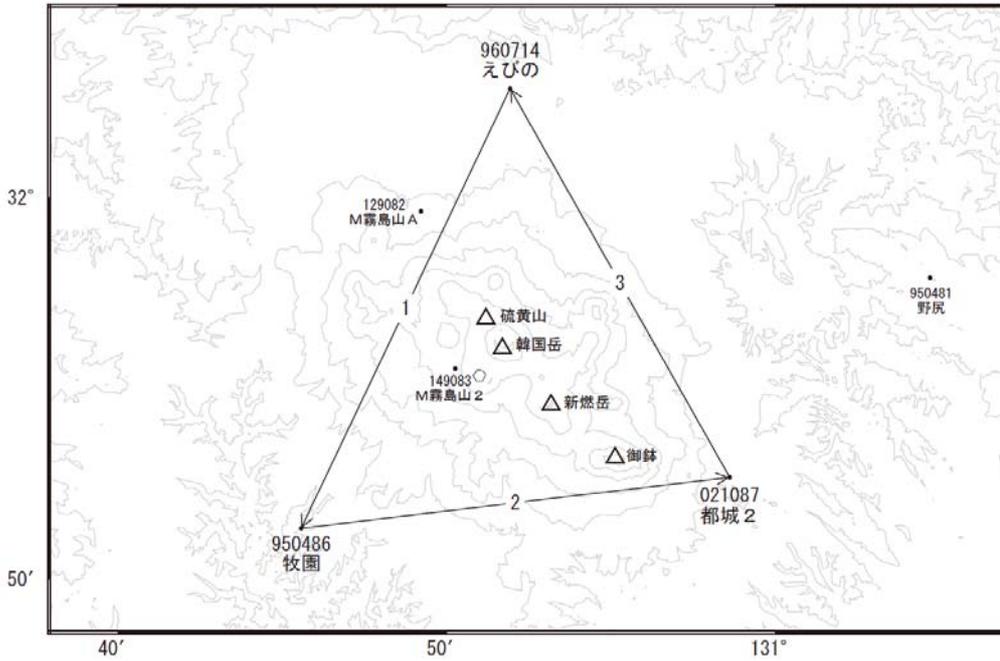
第2-2 図 霧島山周辺のGNSS連続観測による基線変化グラフ

(左列: 2013年5月~2018年5月、右列: 2017年5月~2018年5月)

Fig.2-2 Time series of baseline length by continuous GNSS observation around Kirishima Volcano;

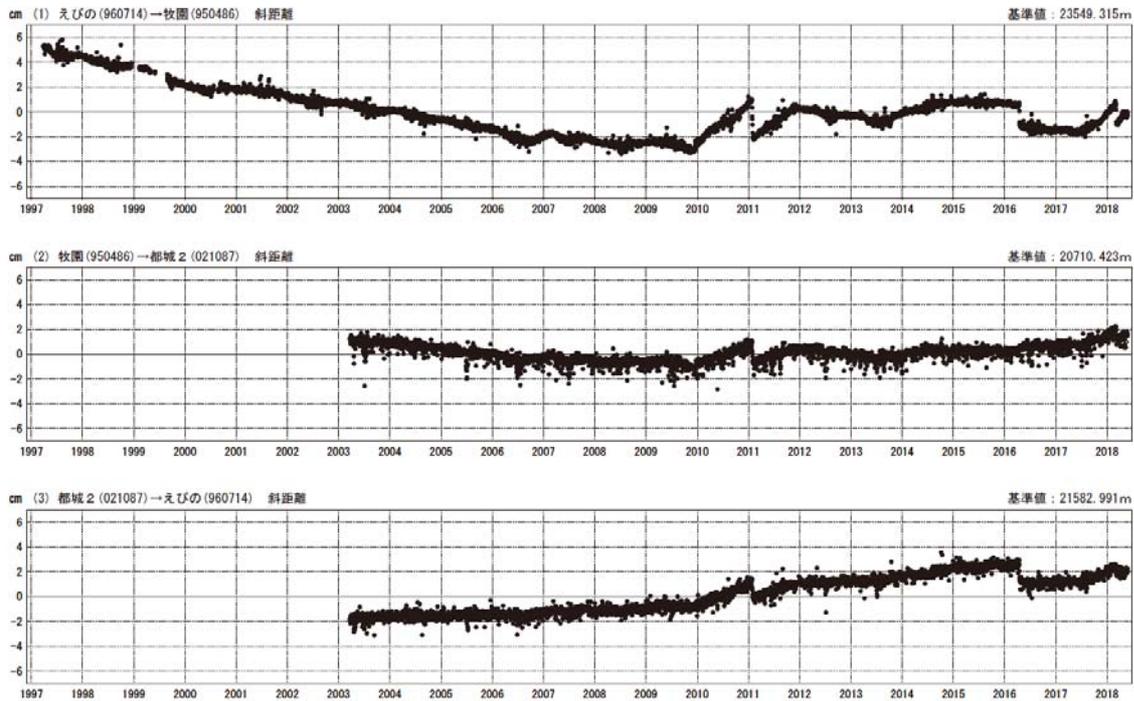
(left) from May 2013 to May 2018, (right) from May 2017 to May 2018.

霧島山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(3)



基線変化グラフ

期間: 1997/01/01~2018/05/26 JST



●—[F3:最終解] ○—[R3:速報解]

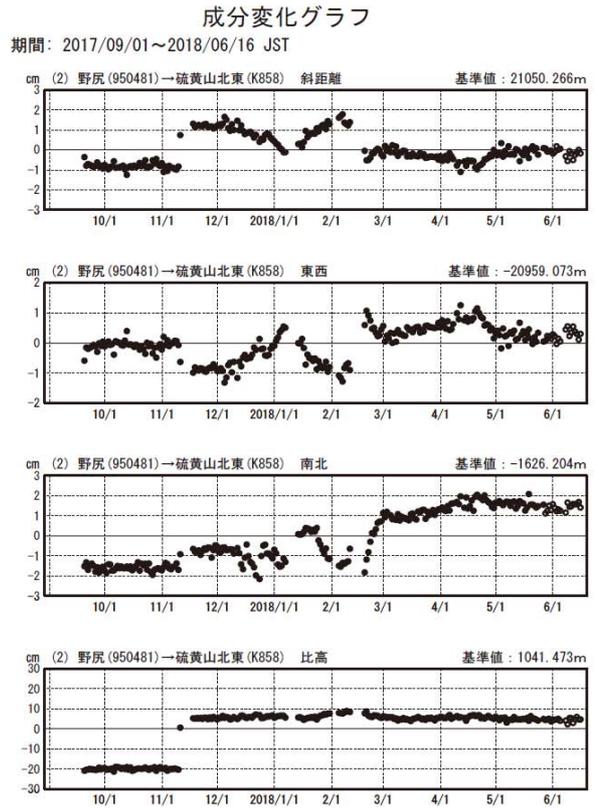
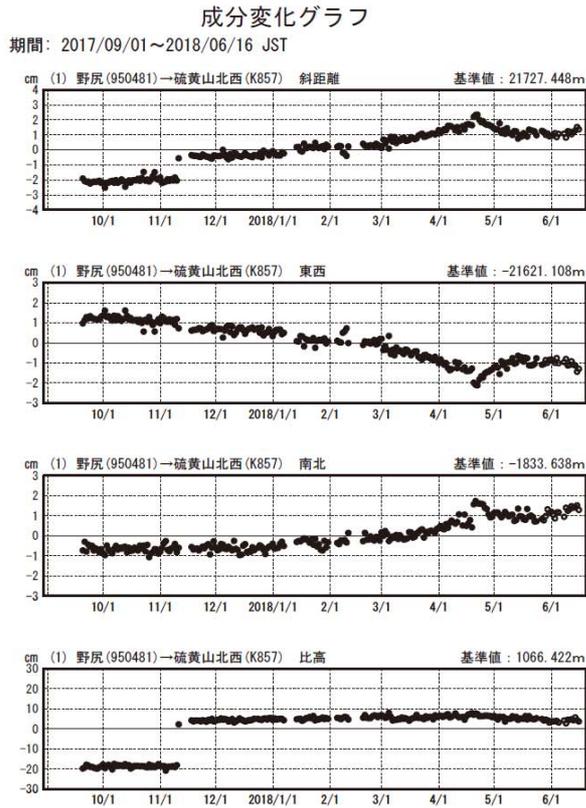
国土地理院

※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

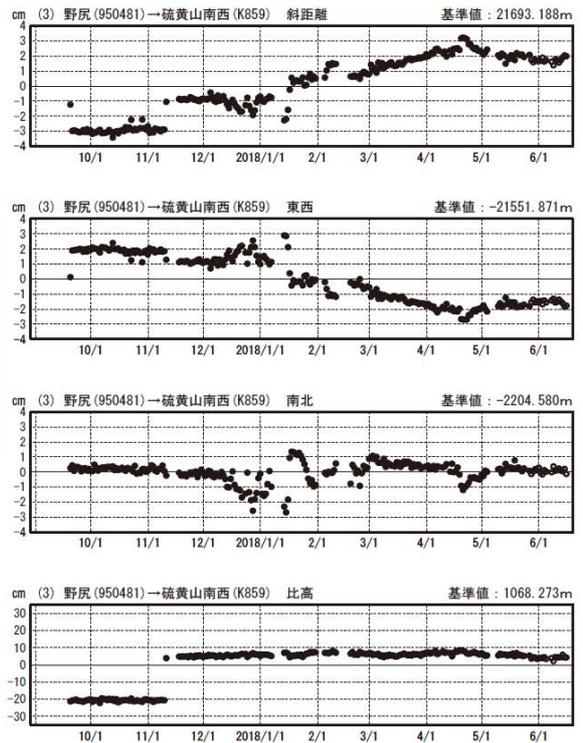
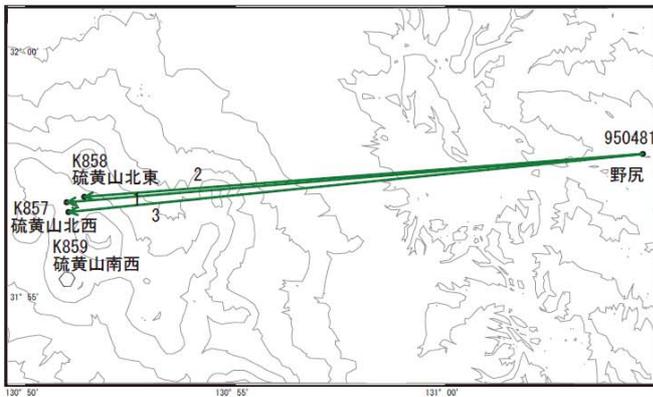
第3図 霧島山周辺のGNSS連続観測基線図(上段)と基線変化グラフ(下段 1997年1月~2018年5月)

Fig.3 (upper) Site location map of the continuous GNSS observation network around Kirishima Volcano;

(lower) Time series of baseline length of continuous GNSS observation from January 1997 to May 2018.



霧島山(硫黄山)周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(4)



※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

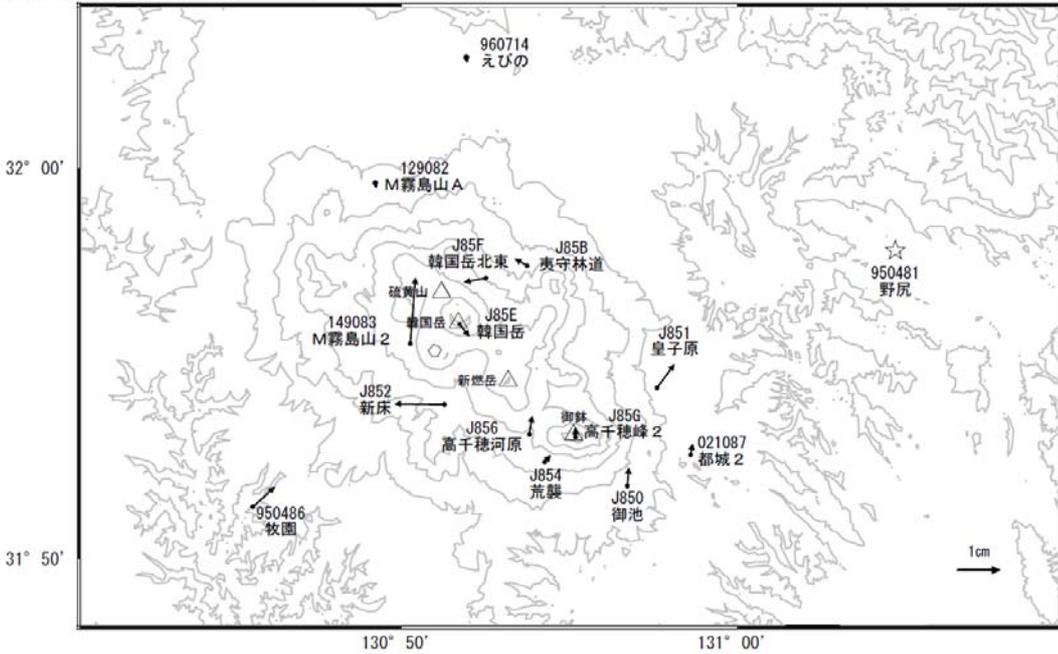
●—[F3] ○—[R3:速報解]

第4図 霧島山周辺のGNSS連続観測による3成分変化グラフ(2017年9月～2018年6月)

Fig.4 Time series of E-W, N-S and vertical components by continuous GNSS observation around Kirishima Volcano from September 2017 to June 2018.

霧島山周辺の地殻変動(水平:3か月)

基準期間:2018/02/17~2018/02/26[F3:最終解]
比較期間:2018/05/17~2018/05/26[R3:速報解]

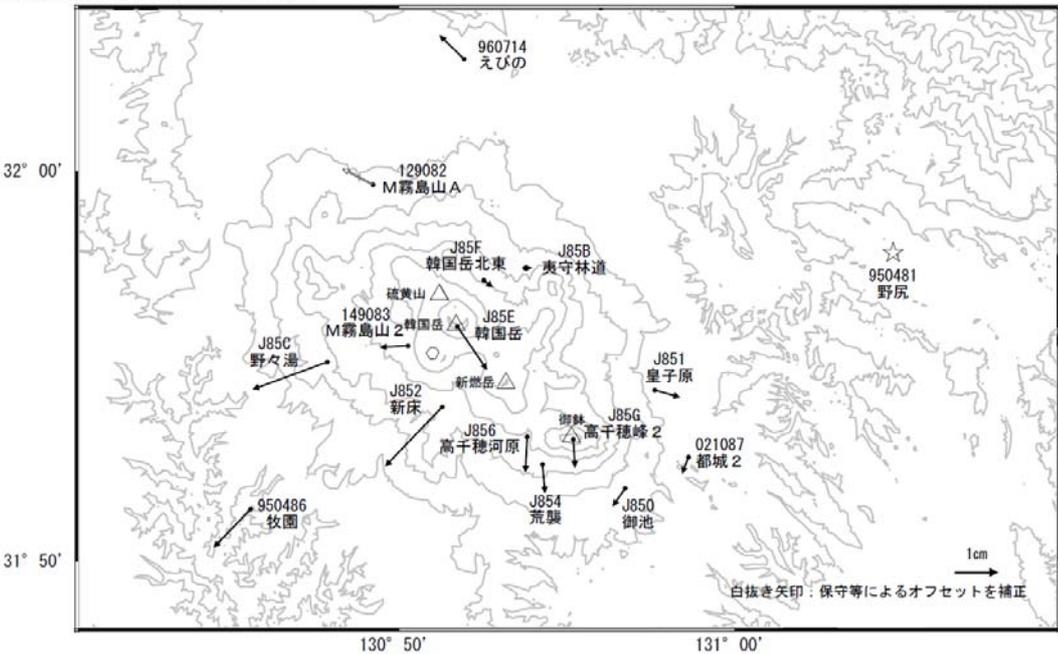


☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

霧島山周辺の地殻変動(水平:1年)

基準期間:2017/05/17~2017/05/26[F3:最終解]
比較期間:2018/05/17~2018/05/26[R3:速報解]



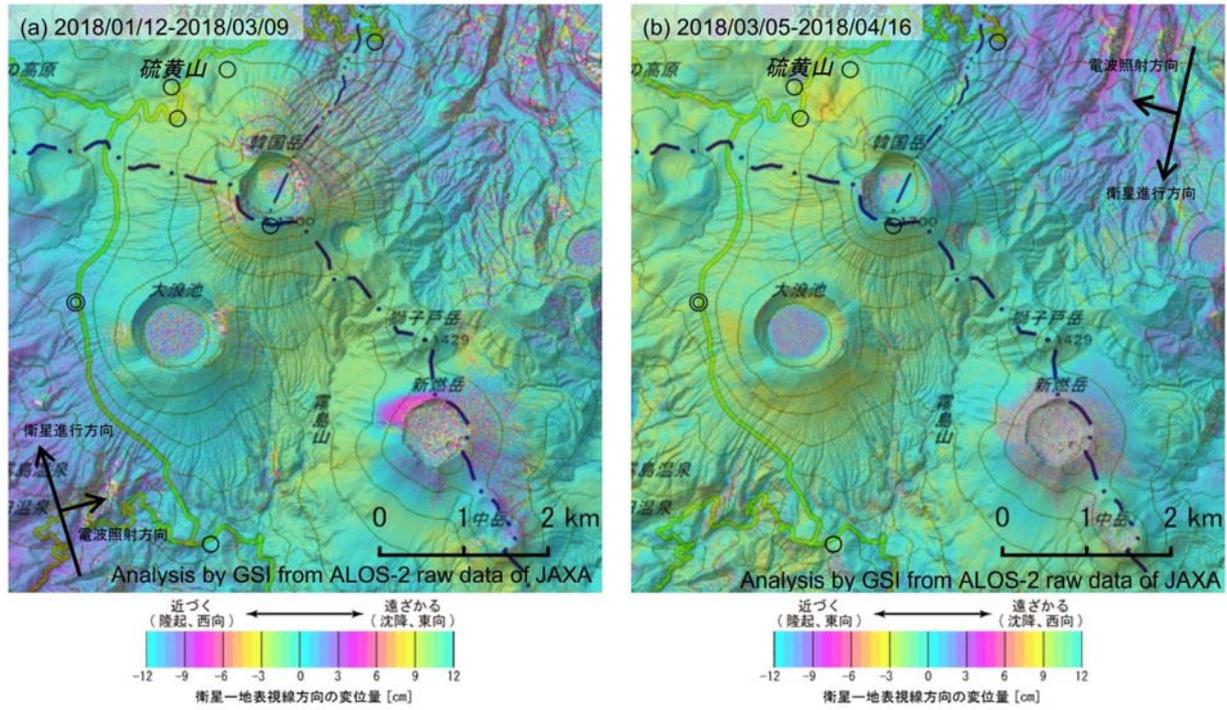
☆ 固定局:野尻(950481)

国土地理院・気象庁・防災科学技術研究所

第5図 霧島山周辺の電子基準点・気象庁・防災科学技術研究所 GNSS 観測点の統合解析による水平変動ベクトル図(上段:2018年2月~2018年5月、下段:2017年5月~2018年5月)

Fig.5 Horizontal displacement of GEONET, JMA and NIED stations by the combined analyzing system around Kirishima Volcano;

(upper) from February 2017 to May 2018, (lower) from May 2017 to May 2018.

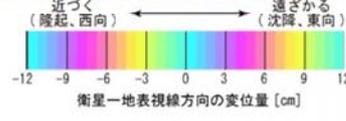
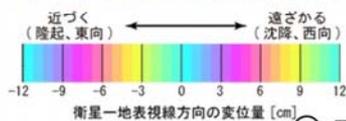
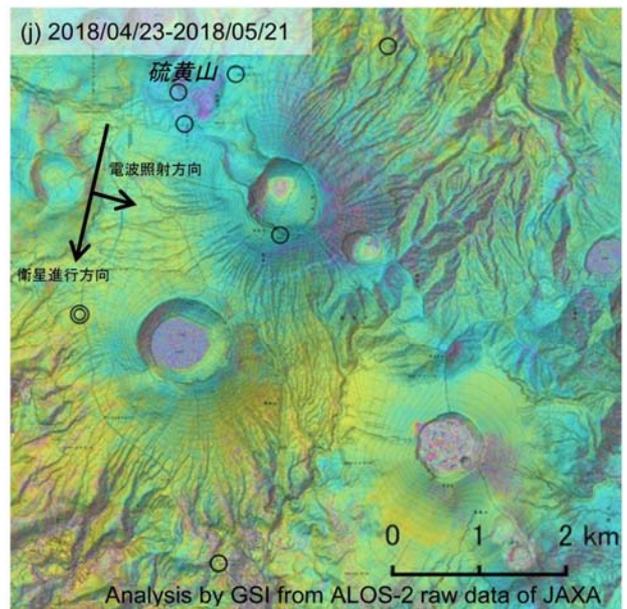
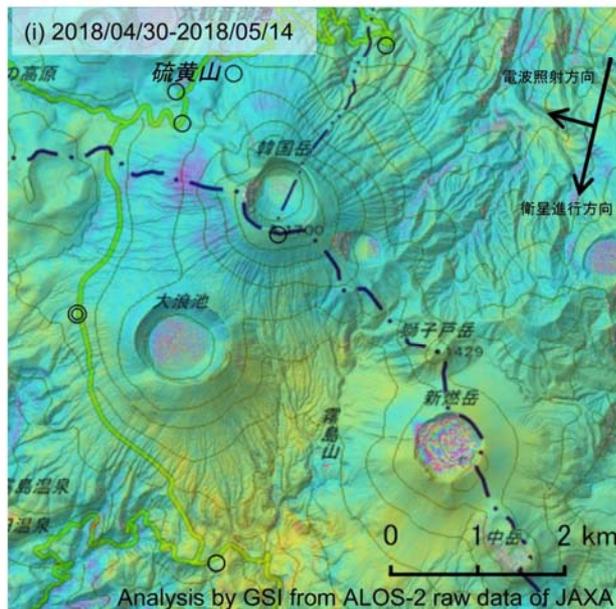
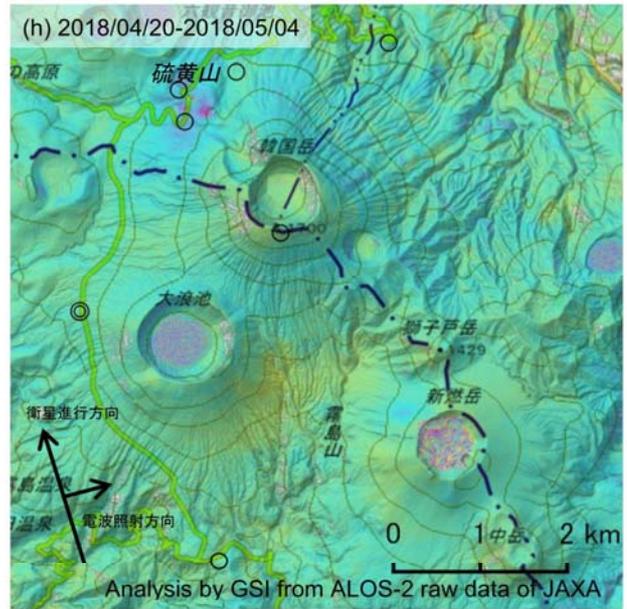
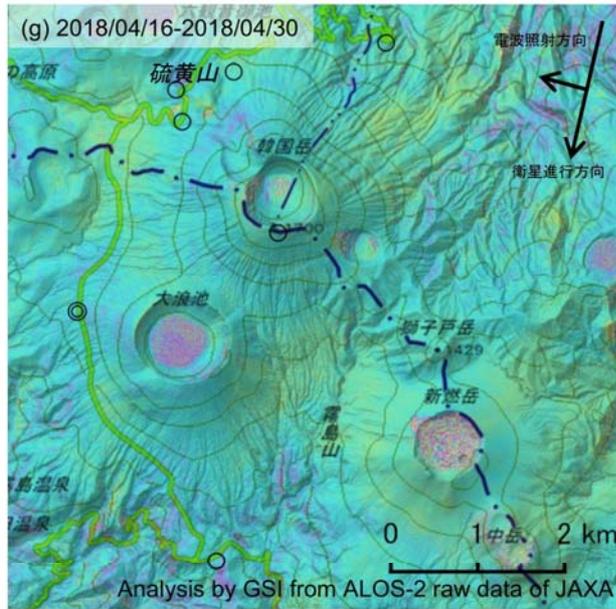


- ◎ 国土地理院 GNSS 観測点
- 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用了たデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第 6-1 図 「だいち 2 号」 PALSAR-2 による霧島山周辺地域の解析結果
 Fig.6-1 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.



- ◎ 国土地理院 GNSS 観測点
- 国土地理院以外の GNSS 観測点

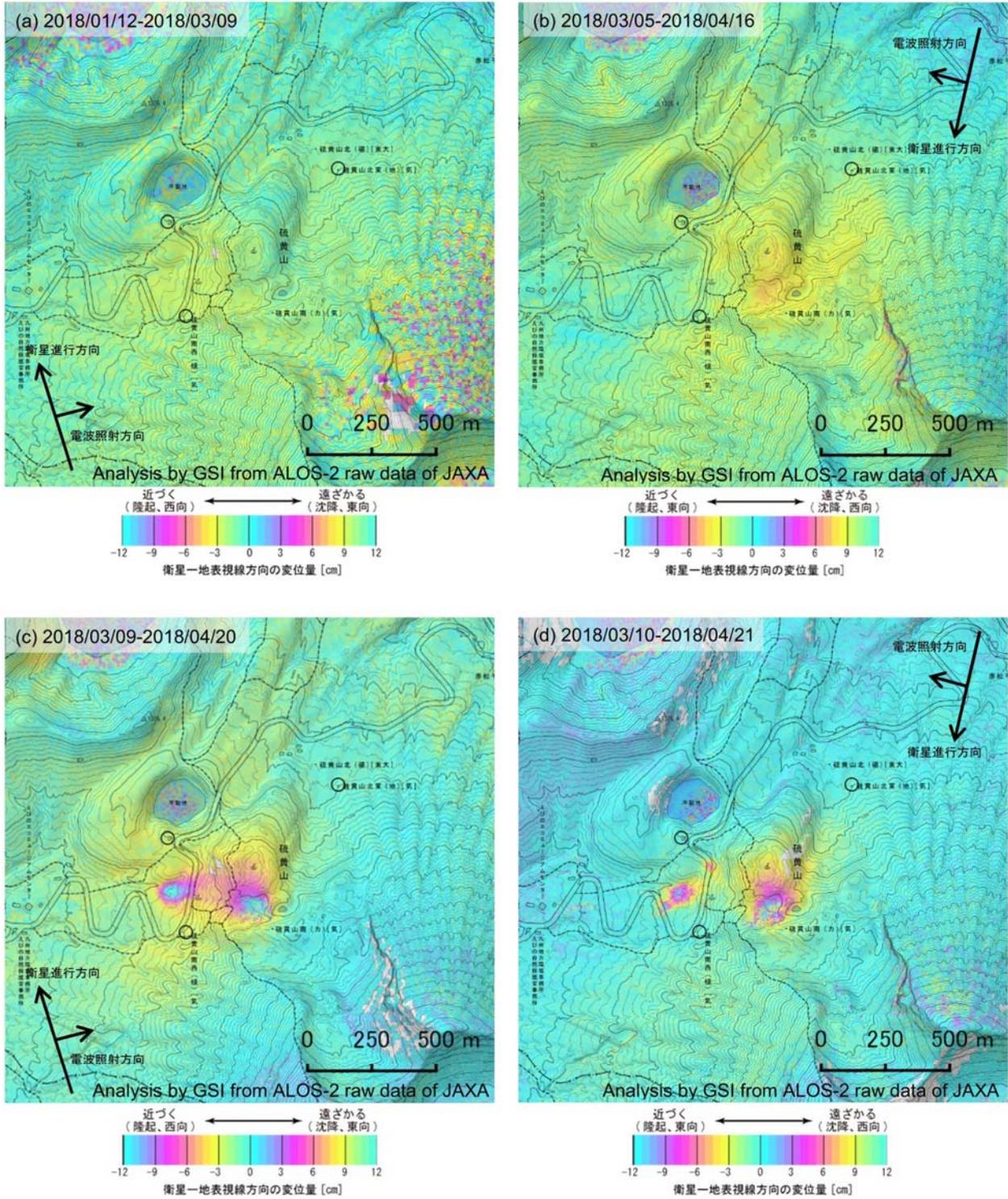
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第6-3図 「だいち2号」 PALSAR-2 による霧島山周辺地域の解析結果

Fig.6-3 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.

【硫黄山の拡大図】



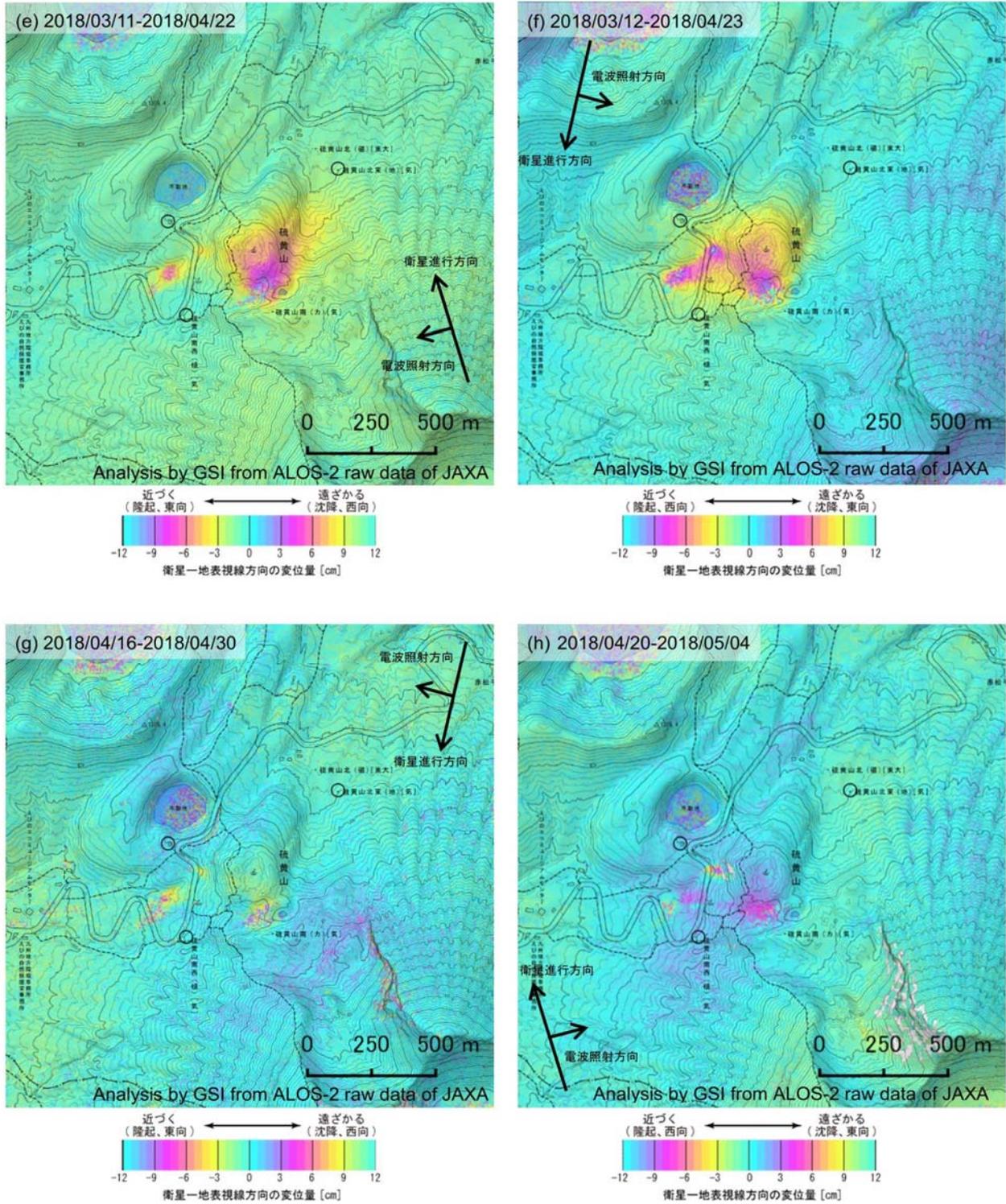
背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第6-4図 「だいち2号」PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果

Fig.6-4 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.



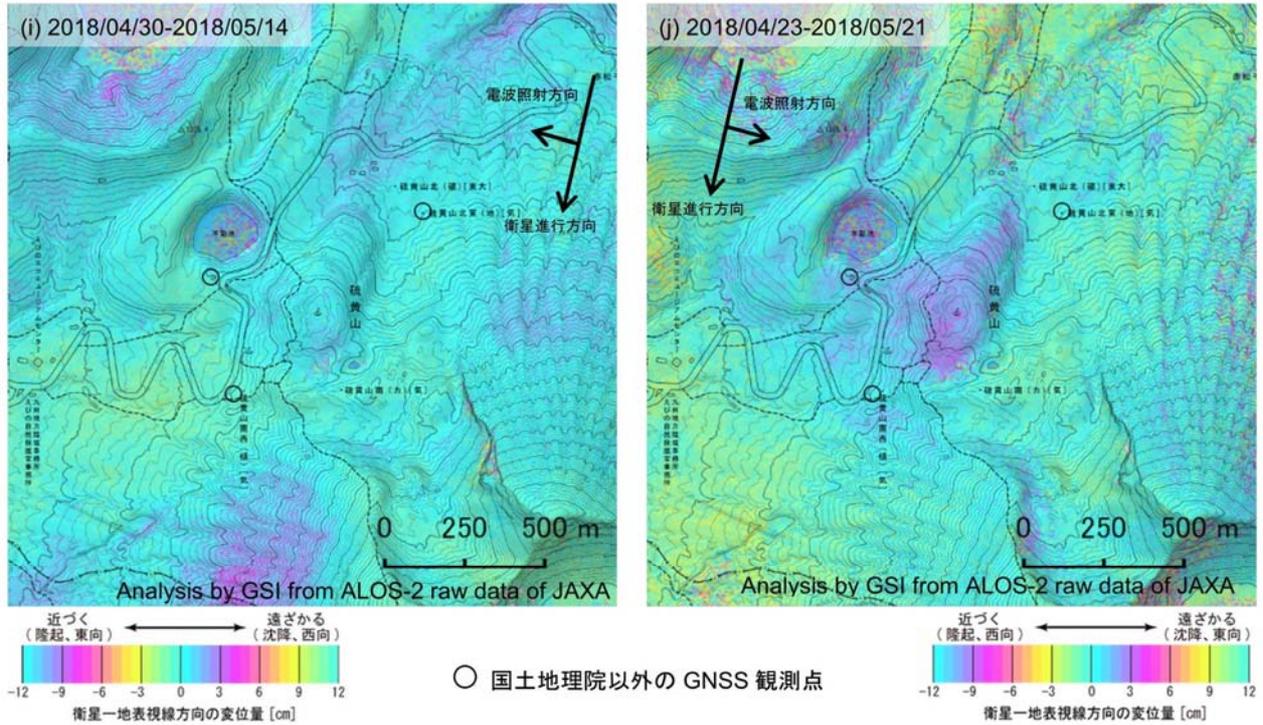
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

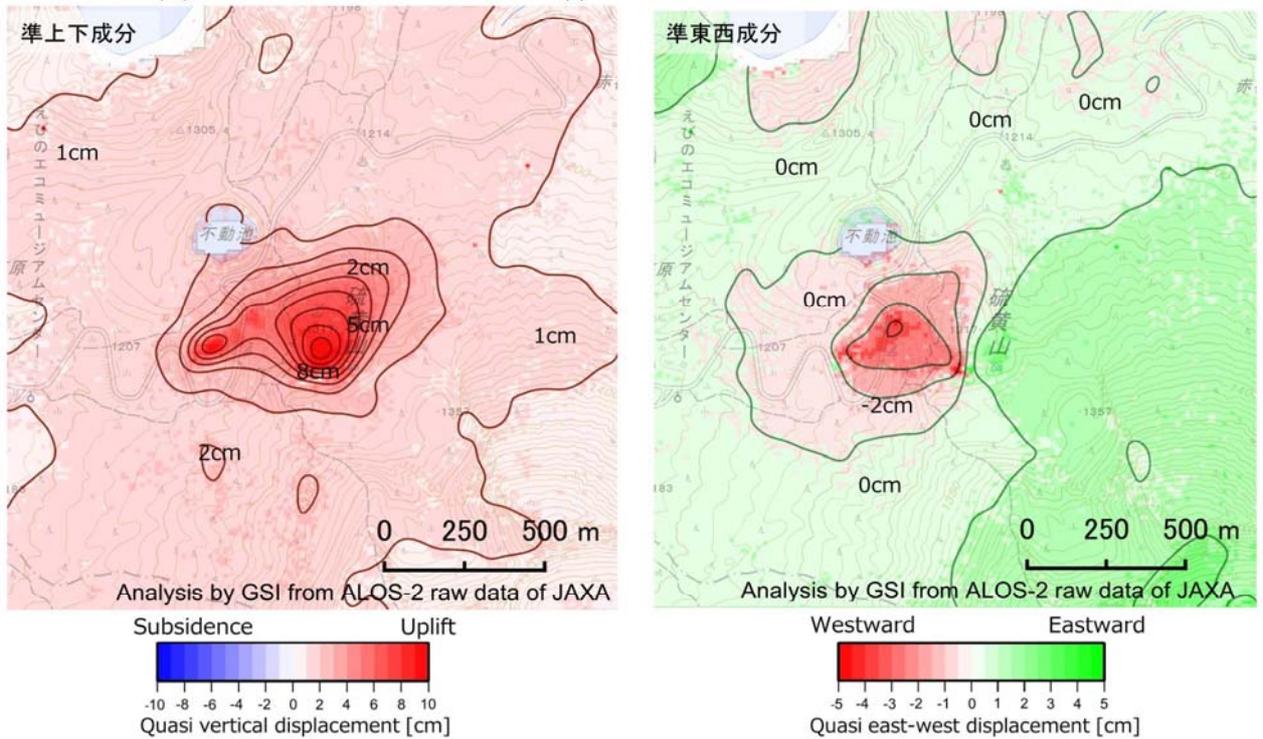
第6-5図 「だいち2号」PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果

Fig.6-5 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.



背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

【参考 (e) 2018/03/11-2018/04/22 と(f) 2018/03/12-2018/04/23 の2.5次元解析結果】



※2018/04/22 と 04/23 の間に地殻変動があるとみられるので上の図の変動は実際と異なる場合があります。

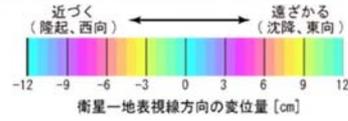
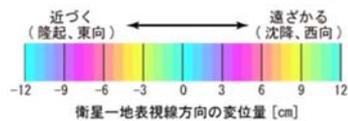
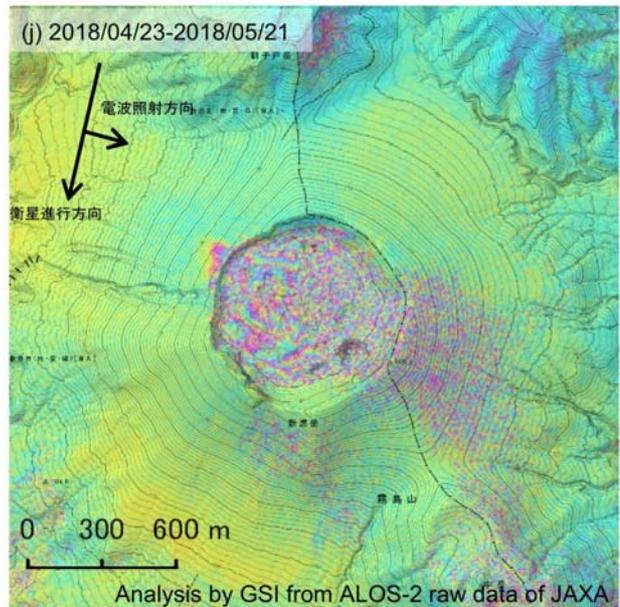
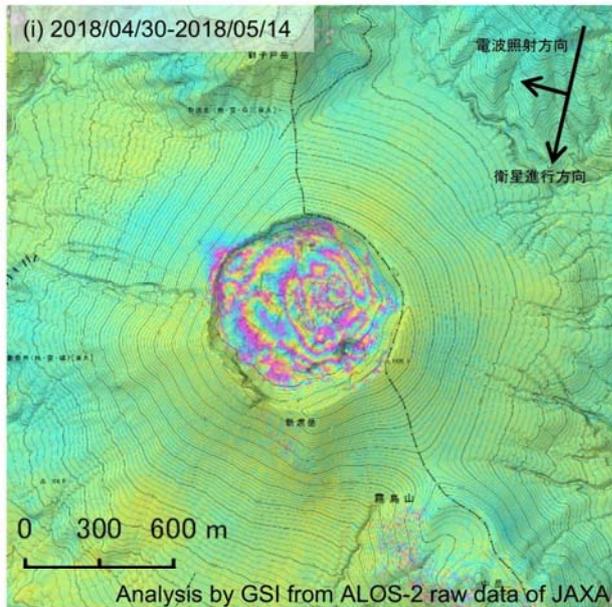
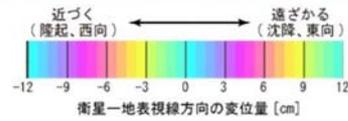
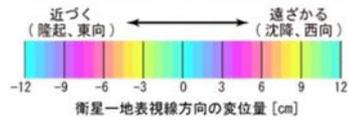
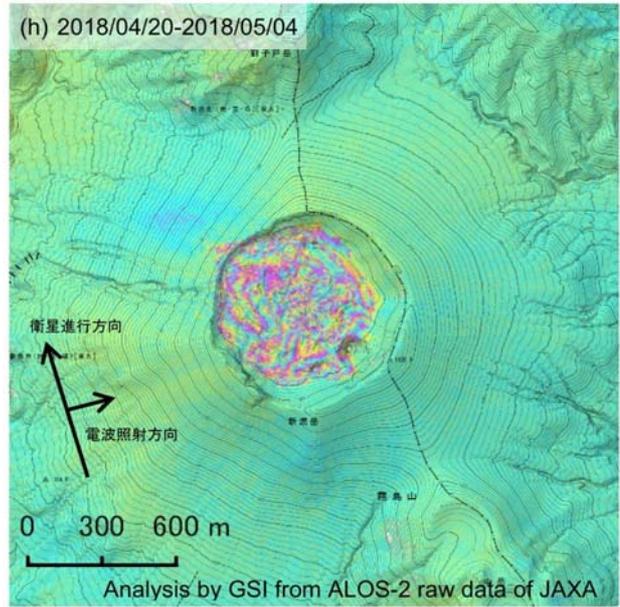
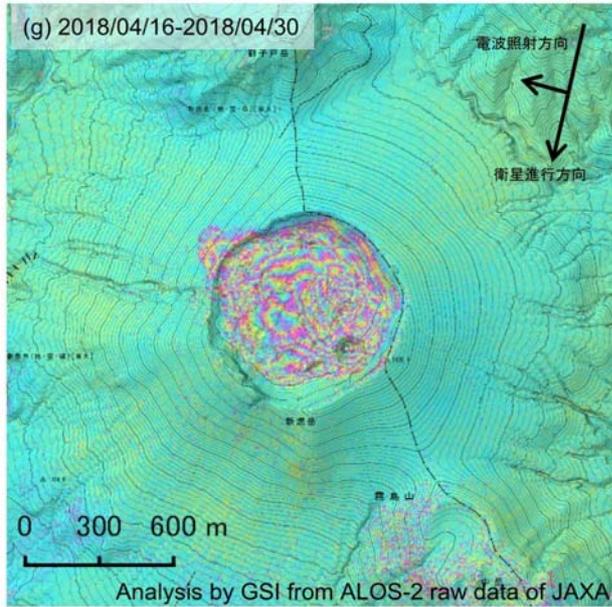
背景：地理院地図 標準地図 準上下成分、準東西成分ともコンター間隔 1cm

本解析でを使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第6-6図 「だいち2号」 PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析結果

Fig.6-6 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.

【新燃岳の拡大図】



背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第 6-7 図 「だいち 2 号」 PALSAR-2 による霧島山周辺地域の解析結果

Fig.6-7 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.

第1表 「だいち2号」 PALSAR-2による霧島山周辺地域の解析の諸元情報

Table 1. Information on Analyzed SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/01/12 2018/03/09 0:12 頃 (56 日間)	2018/03/05 2018/04/16 12:19 頃 (42 日間)	2018/03/09 2018/04/20 0:12 頃 (42 日間)	2018/03/10 2018/04/21 12:26 頃 (42 日間)	2018/03/11 2018/04/22 23:37 頃 (42 日間)
衛星進行方向	北行	南行	北行	南行	北行
電波照射方向	右	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	SPT-SPT	U-U
入射角	32.1°	35.5°	32.1°	22.8°	38.5°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	- 225 m	- 185 m	- 15 m	+ 8 m	- 9 m

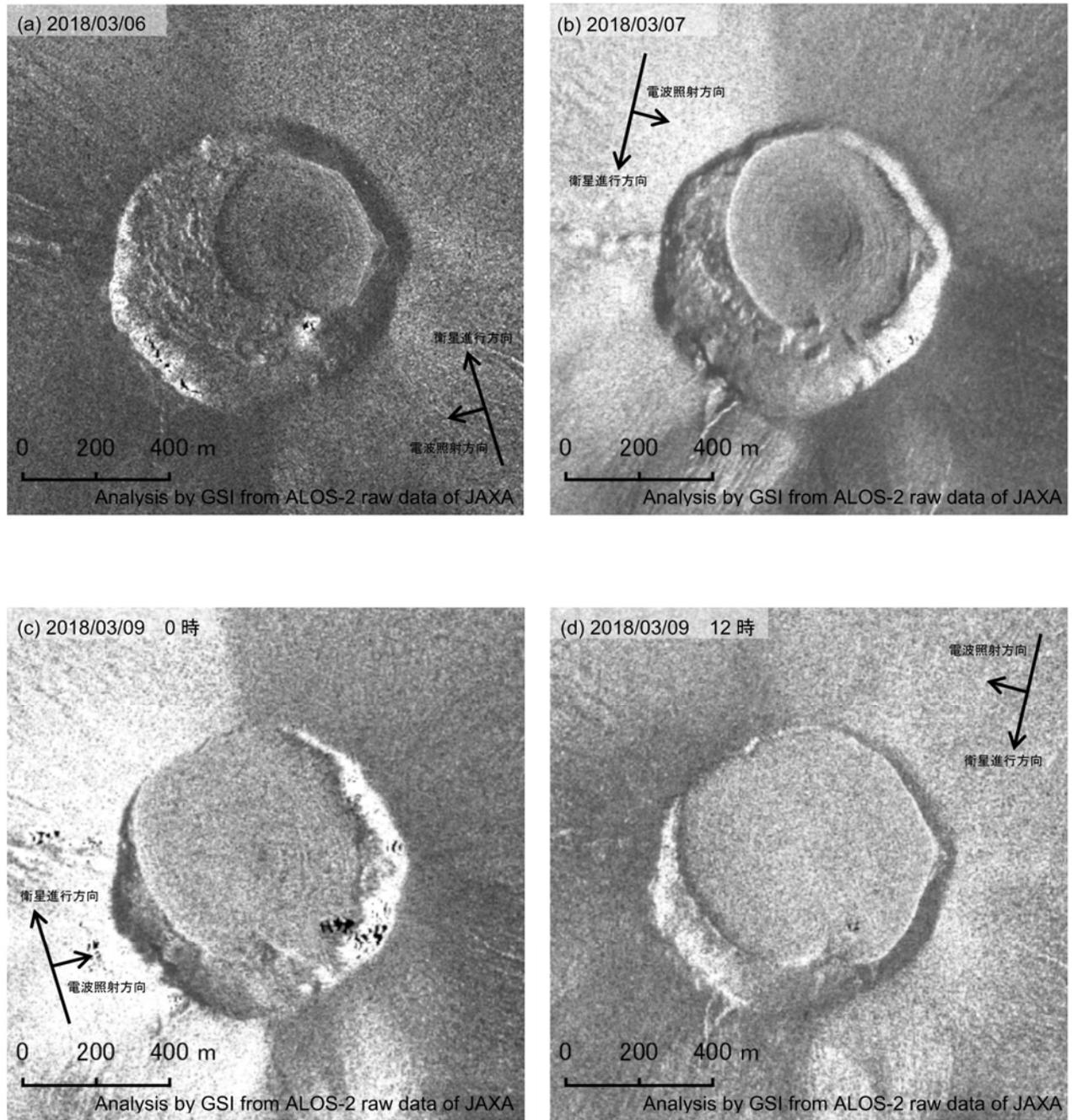
*U: 高分解能(3m)モード

*SPT: スポットライト(1-3m)モード

	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/03/12 2018/04/23 13:07 頃 (42 日間)	2018/04/16 2018/04/30 12:19 頃 (14 日間)	2018/04/20 2018/05/04 0:12 頃 (14 日間)	2018/04/30 2018/05/14 12:19 頃 (14 日間)	2018/04/23 2018/05/21 13:07 頃 (28 日間)
衛星進行方向	南行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	左	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	53.2°	35.5°	32.1°	35.5°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	- 73 m	- 107 m	+ 36 m	- 73 m	+ 194 m

*U: 高分解能(3m)モード

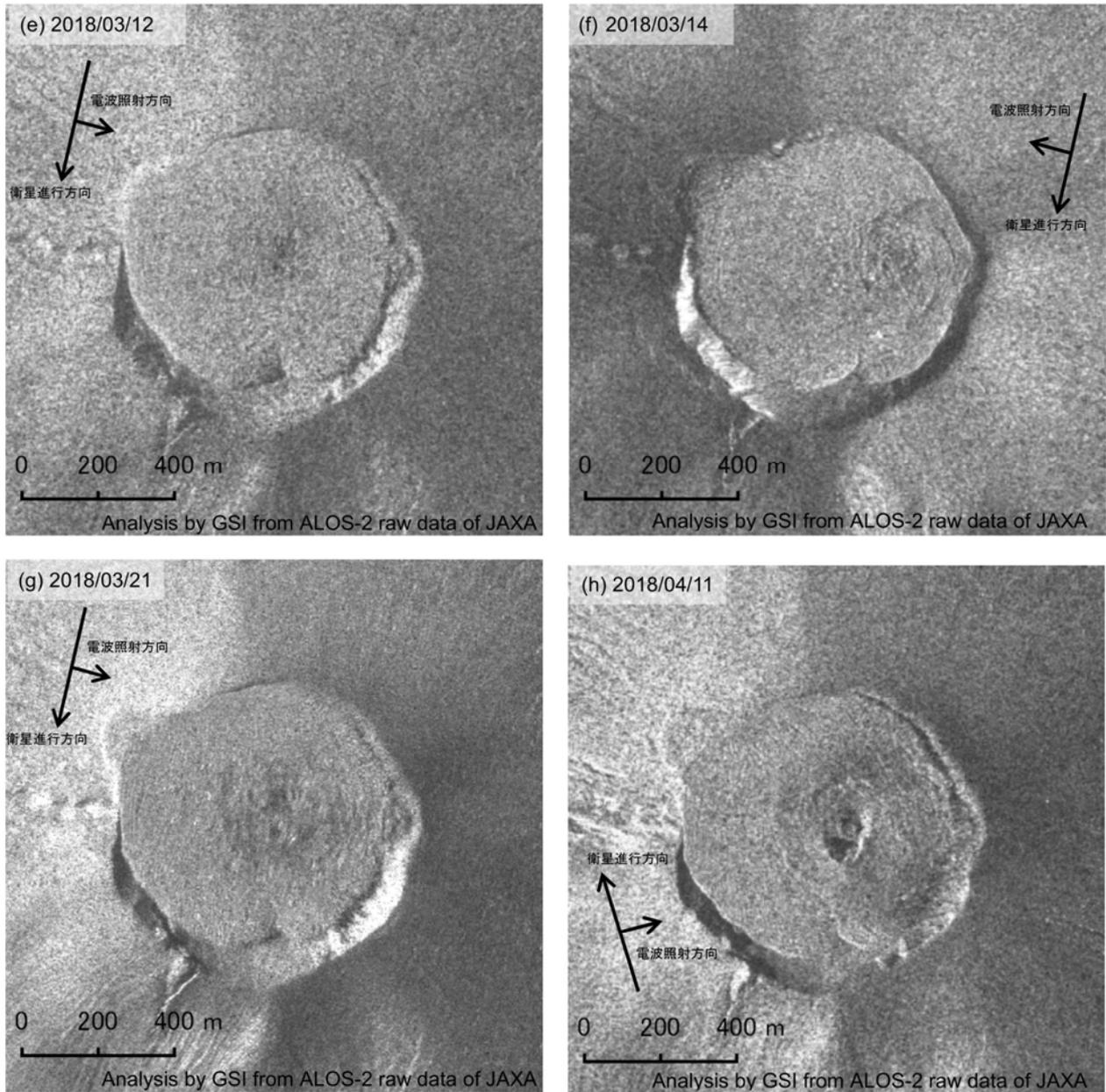
本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。



本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第7-1図 「だいち2号」 PALSAR-2による霧島山周辺地域の SAR 強度画像

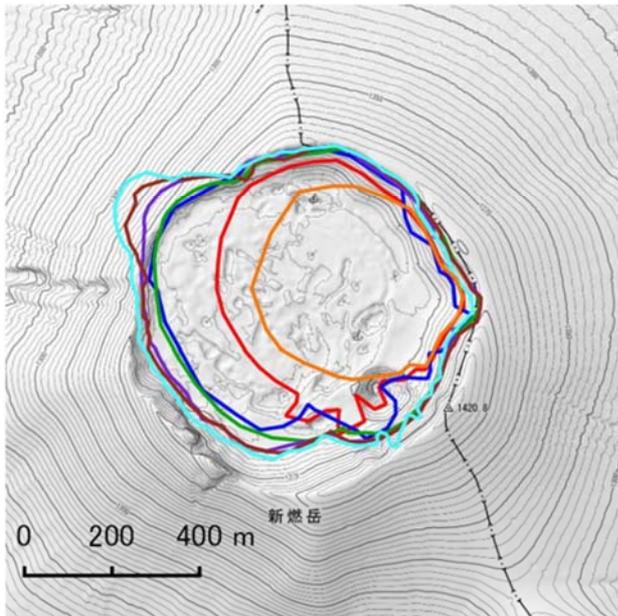
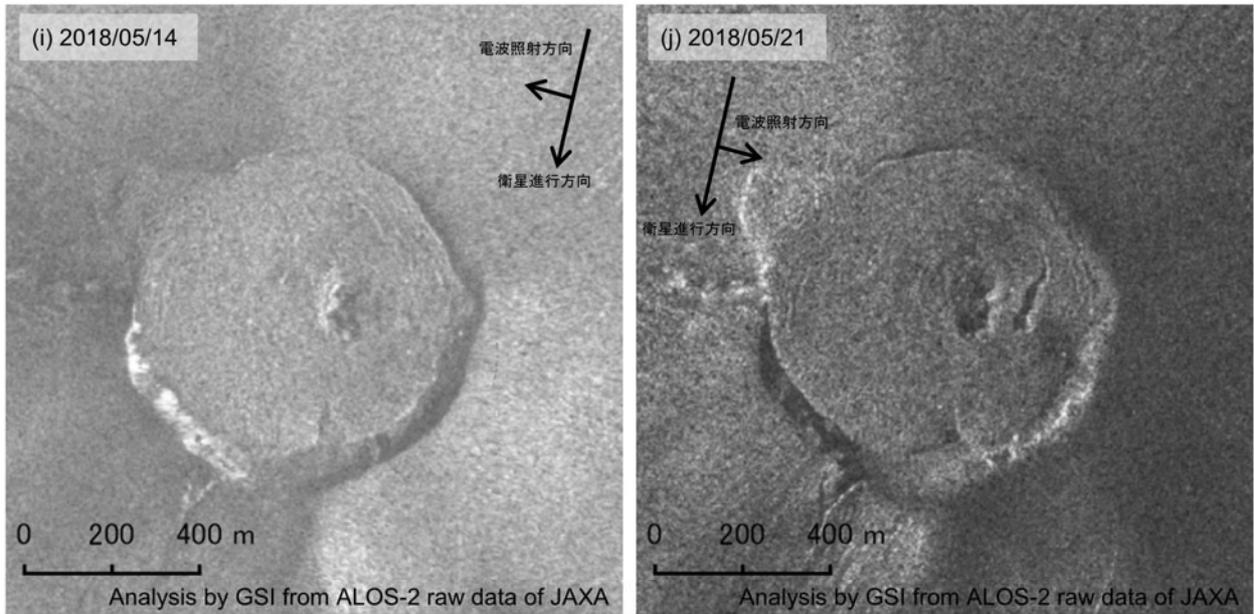
Fig.7-1 SAR Intensity images of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.



本解析で使用了データの一部分は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第7-2図 「だいち2号」PALSAR-2による霧島山周辺地域のSAR強度画像

Fig.7-2 SAR Intensity images of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.



橙線は 3月06日
 赤線は 3月07日
 青線は 3月09日 0:12頃
 緑線は 3月09日 12:05頃
 紫線は 3月12日
 茶線は 3月14日
 水色線は 3月21日

SAR 強度画像から判読した地形変化領域

背景：地理院地図 火山基本図・陰影起伏図・傾斜量図

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

第 7-3 図 「だいち 2 号」 PALSAR-2 による霧島山周辺地域の SAR 強度画像

Fig.7-3 SAR Intensity images of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.

第2表 「だいち2号」 PALSAR-2 による霧島山周辺地域の解析の諸元情報

Table 2. Information on Analyzed SAR Intensity images of ALOS-2 PALSAR-2 around Kirishima Volcano.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/03/06 23:30 頃	2018/03/07 13:00 頃	2018/03/09 0:12 頃	2018/03/09 12:05 頃	2018/03/12 13:07 頃
衛星進行方向	北行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	左	左	右	右	左
観測モード*	U	SPT	U	U	U
入射角	47.8°	45.4°	32.1°	53.6°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH

*U: 高分解能(3m)モード

*SPT: スポットライト(1-3m)モード

	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/03/14 12:12 頃	2018/03/21 13:00 頃	2018/04/11 0:19 頃	2018/05/14 12:19 頃	2018/05/21 13:07 頃
衛星進行方向	南行	南行	北行	南行	南行
電波照射方向	右	左	右	右	左
観測モード*	U	SPT	U	U	U
入射角	45.7°	45.4°	42.9°	35.5°	53.2°
偏波	HH	HH	HH	HH	HH

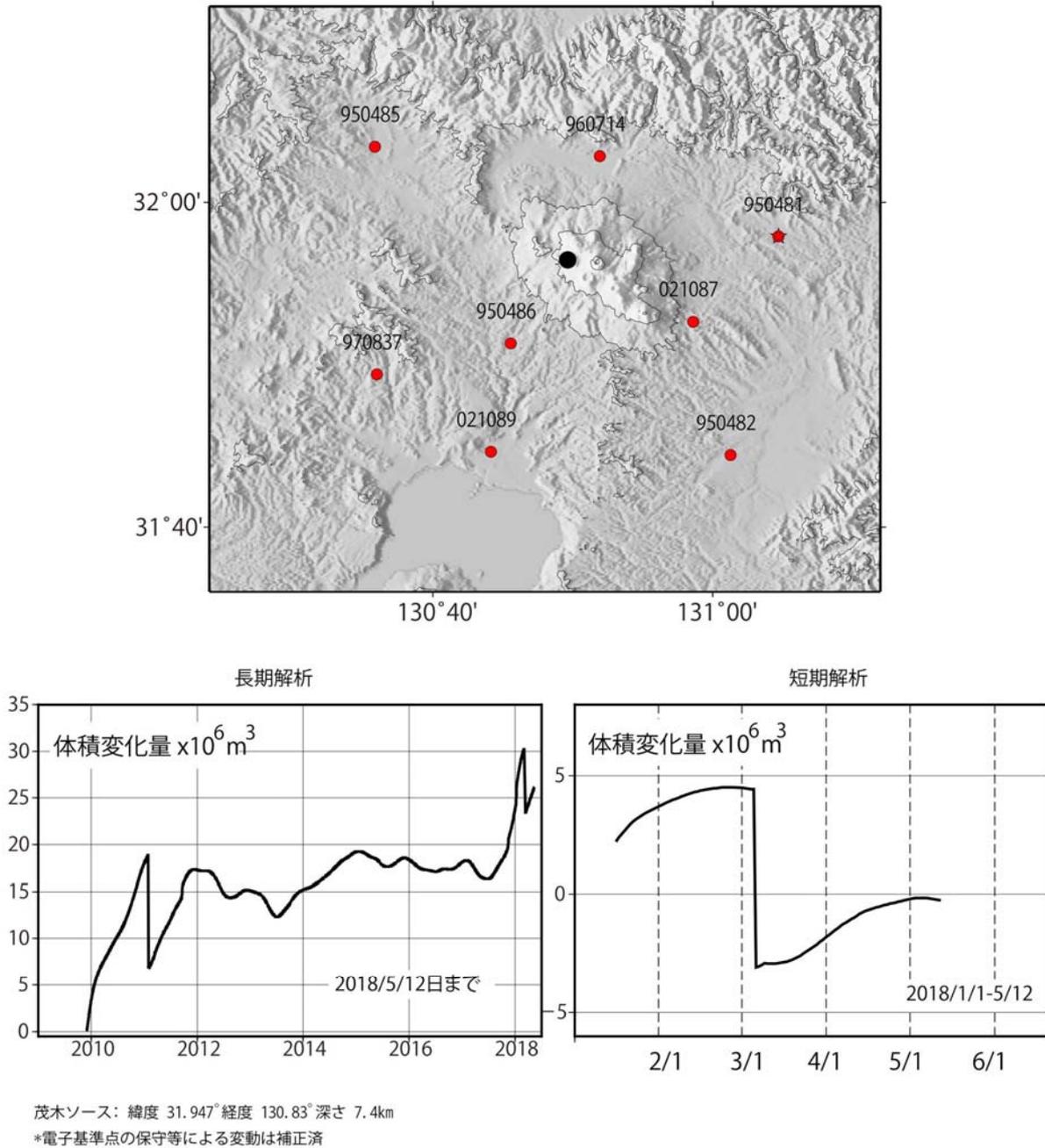
*U: 高分解能(3m)モード

*SPT: スポットライト(1-3m)モード

本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。

霧島地域の茂木ソースの位置と体積変化

時間依存のインバージョン解析

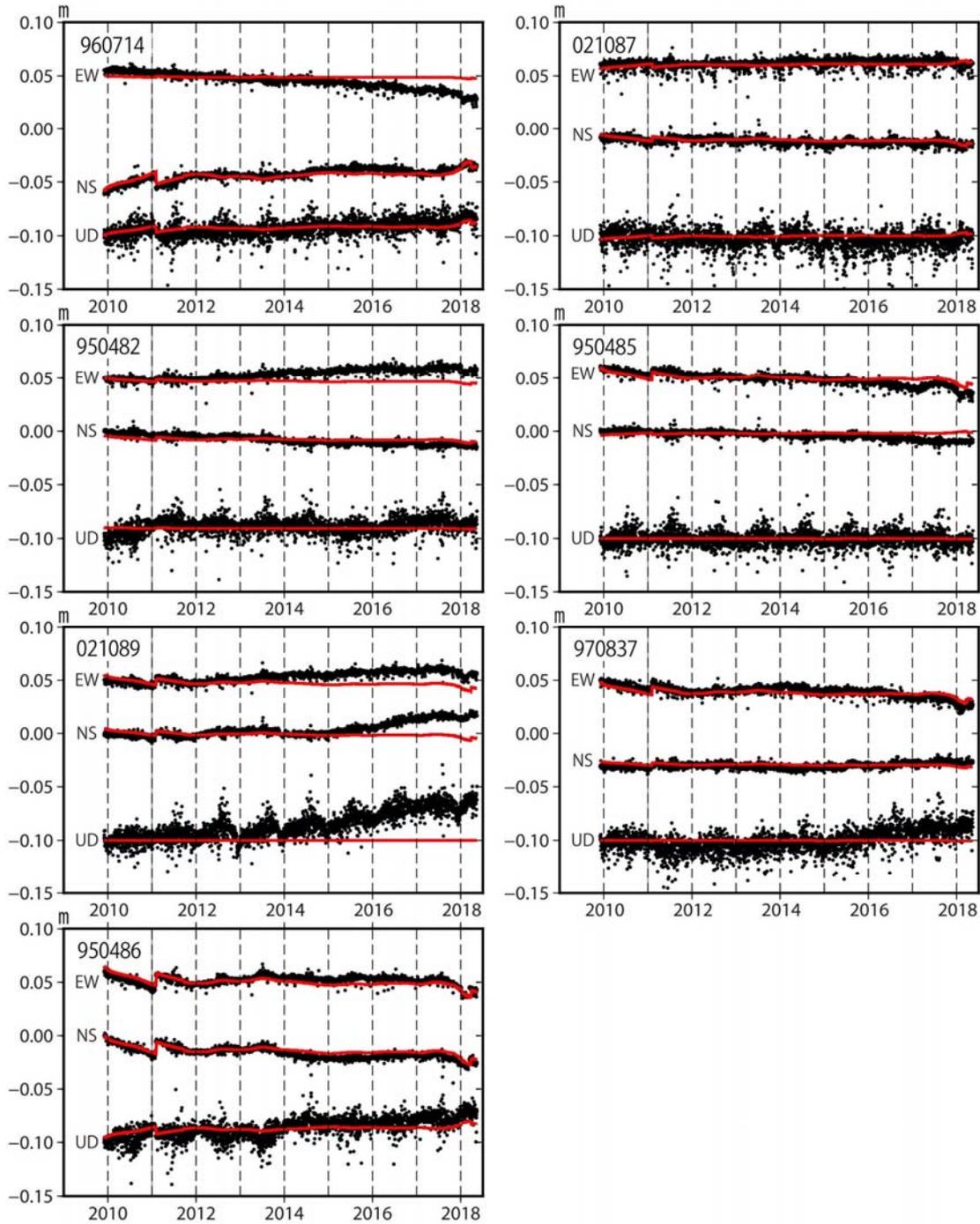


第 8-1 図 時間依存インバージョンの手法による霧島地域の変動源の体積変化推定
 (上段: 推定に用いた観測点 (赤点)、固定点 (星印) の配置と茂木ソースの位置 (黒丸)、
 下段: 推定された茂木ソース体積の時間変化)

Fig.8-1 Estimation of the volume change of Mogi-source around Kirishima Volcano by the time dependent inversion method;
 (upper) distribution of GNSS observation sites (red dots) and fixed site (star) used for the inversion and Mogi-source (black circle), (lower) Time series of estimated volume of Mogi-source.

霧島地域観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)(1)

時間依存のインバージョン



固定局950481. EW, NS, UDは東西、南北、上下変動. 周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

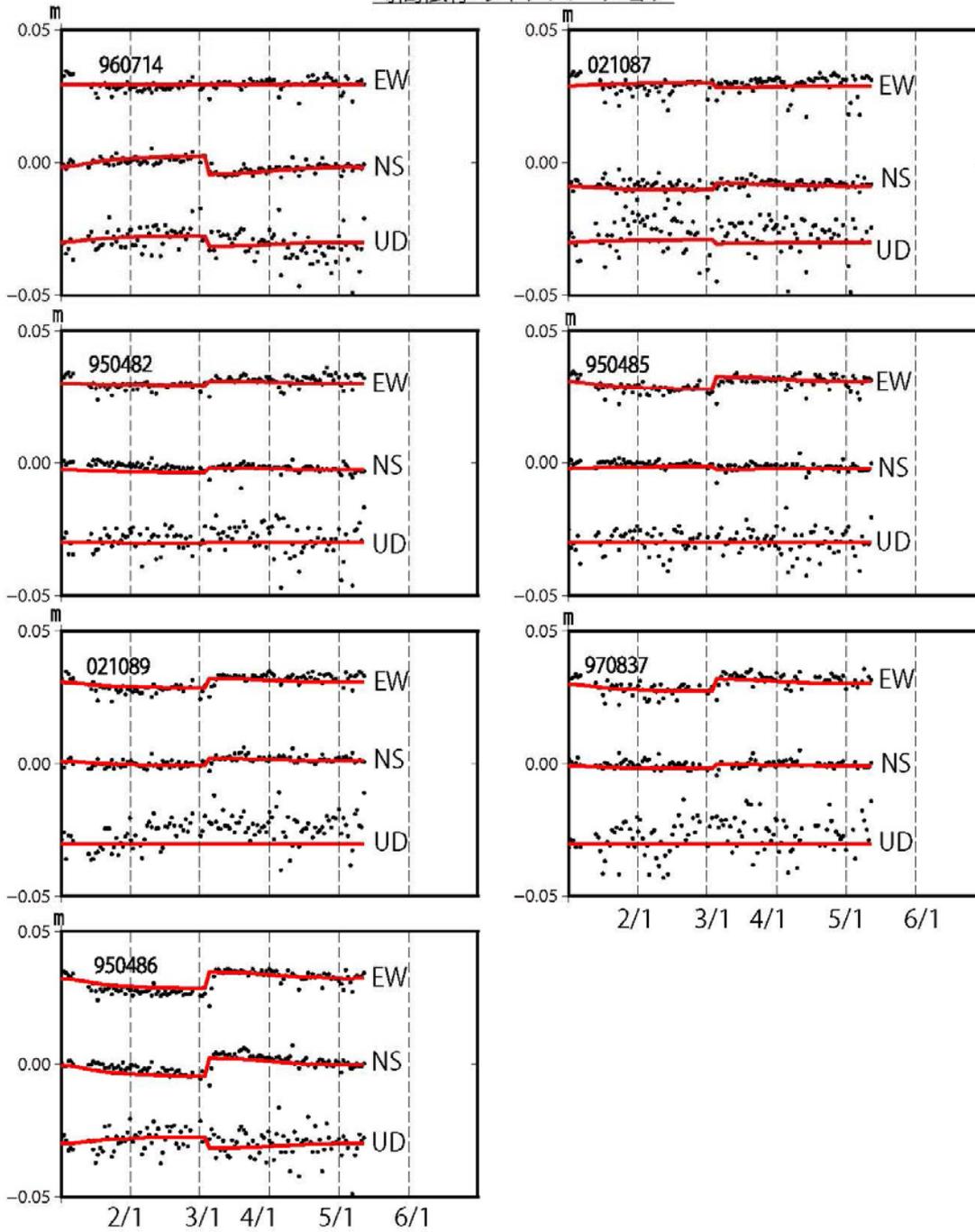
*熊本地震の変動は補正済み

第 8-2 図 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(赤実線)と観測値(黒点)の比較

Fig.8-2 Comparison of calculated deformation from the estimated Mogi-source (red lines) and observed deformation (black dots).

霧島地域観測点の座標時系列(黒丸)と計算値(赤線)(2)

時間依存のインバージョン



固定局950481. EW, NS, UDは東西、南北、上下変動. 周期成分は除いている.

*電子基準点の保守等による変動は補正済み

*熊本地震の変動は補正済み

第 8-3 図 推定された茂木ソースによる地殻変動計算値(赤実線)と観測値(黒点)の比較

Fig.8-3 Comparison of calculated deformation from the estimated Mogi-source (red lines) and observed deformation (black dots).