桜島周辺の地殻変動*

Crustal Deformations around Sakurajima Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第１図及び第２図は、桜島周辺における GNSS 連続観測結果である。

第 1-1 図上段に基線の配置を、下段に各観測局の保守履歴を示した。

第 1-2 図上段は、第 1-1 図に示した基線の基線長変化グラフ（2018 年 11 月～2023 年 11 月）で、上段は長期の時系列、下段は短期の時系列である。

第２図上段は、桜島周辺の基線の配置、中下段は上段に示した基線の比高変化グラフである。長期的には鹿児島（錦江）湾を挟む基線及び桜島島内の基線で伸びが見られる。

第３図は、南九州地方及び桜島周辺の GNSS 観測点における変動ベクトル図であり、上段に最近３か月間（2023 年８月～2023 年 11 月）を、下段に最近１年間（2022 年 11 月～2023 年 11 月）を示した。「樋脇」を固定局としている。第 3-1 図は南九州地方の水平変動ベクトル図、第 3-2 図及び第 3-3 図はそれぞれ桜島周辺の水平変動ベクトル図、上下変動ベクトル図である。

第４図は「だいち２号」の SAR 干渉解析結果である。ノイズレベルを超える変動は見られない。

第５図は、「だいち２号」の干渉 SAR 時系列解析結果である。桜島の地点 A 周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られる。

第６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桜島島内の変動源を茂木ソース１、姶良カルデラの変動源を茂木ソース２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。第 6-1 図上段は推定に用いた観測点の配置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。桜島島内の変動源（茂木ソース１）は、2014 年初め頃から膨張傾向となっており、近年も緩やかに膨張が続いている。姶良カルデラの変動源（茂木ソース２）は膨張が継続している。

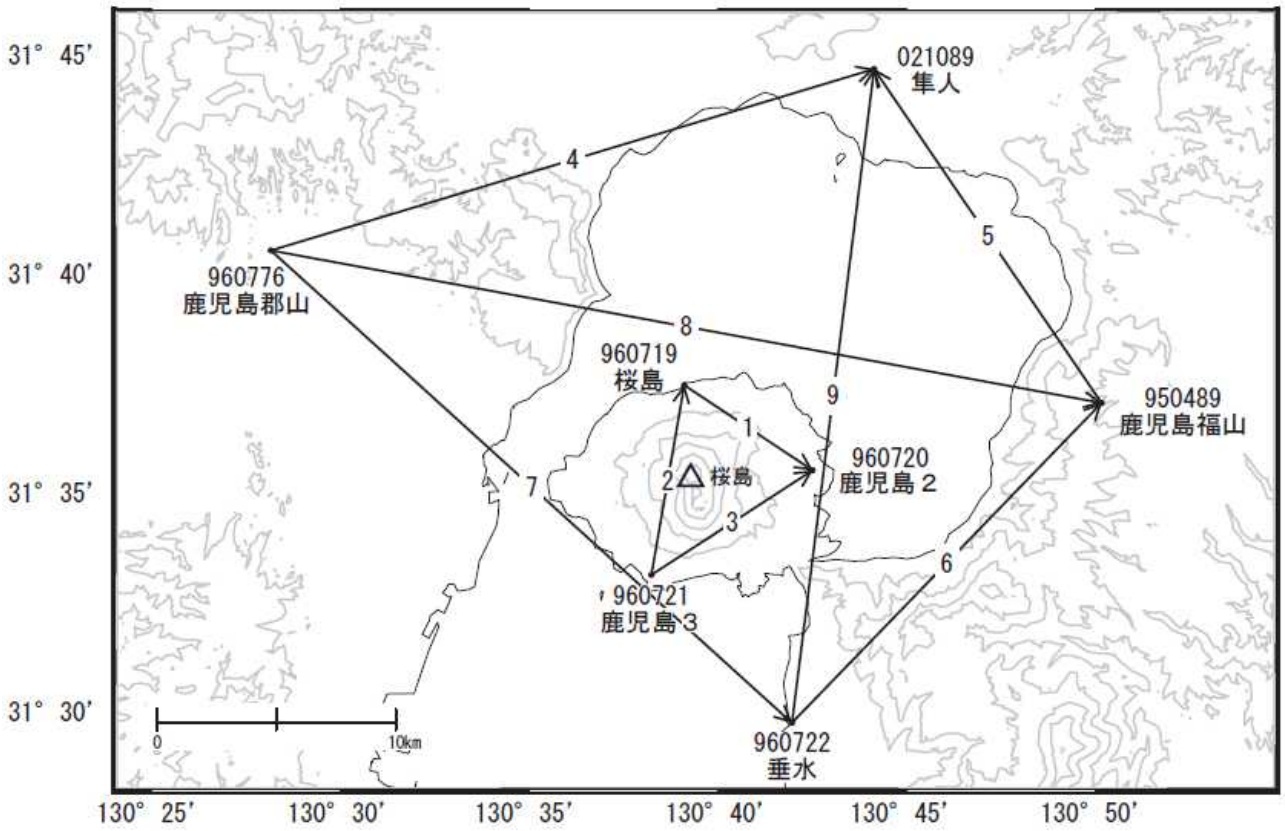
第 6-2 図及び第 6-3 図は、推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値の比較であり、第 6-2 図は時系列グラフ、第 6-3 図はベクトル図である。このモデルから推定した計算値は比較的よく再現されている。なお、960720「鹿児島２」の上下変動の計算値は観測値と系統的にずれているが、この観測点は昭和(1946 年)溶岩流の上にあり、局所的な圧密沈下を反映していることが原因と考えられる。

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。

＊　2024年11月11日受付

桜島周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(1)



桜島周辺の各観測局情報

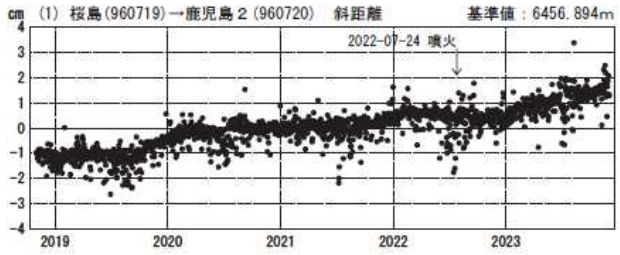
点番号	点名	日付	保守内容
960719	桜島	2021-01-12	アンテナ更新・レドーム交換
		2023-02-02	受信機更新
960720	鹿児島2	2023-11-07	アンテナ更新・受信機更新
960776	鹿児島郡山	2020-12-14	伐採
		2021-04-19	アンテナ交換
		2023-01-31	アンテナ更新・受信機更新
021089	隼人	2019-09-30	受信機更新
950489	鹿児島福山	2021-12-09	受信機更新
960722	垂水	2021-12-09	受信機更新
		2023-02-02	アンテナ更新

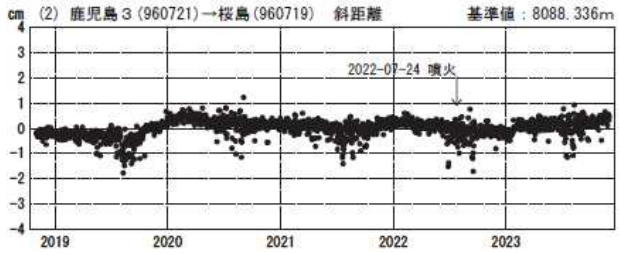
第 1-1 図　桜島周辺の GNSS 連続観測基線図（上段）と観測局の保守履歴（下段）

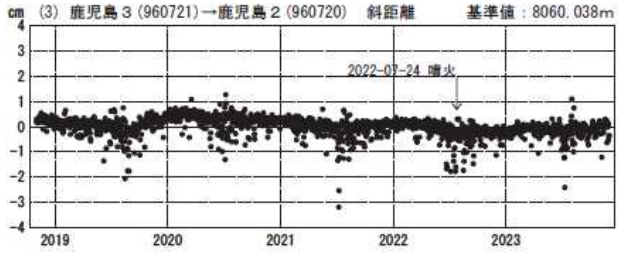
Fig.1-1 (upper) Site location map of the GNSS continuous observation network around Sakurajima Volcano; (lower) History of site maintenance.

基線変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01～2023-11-30 JST

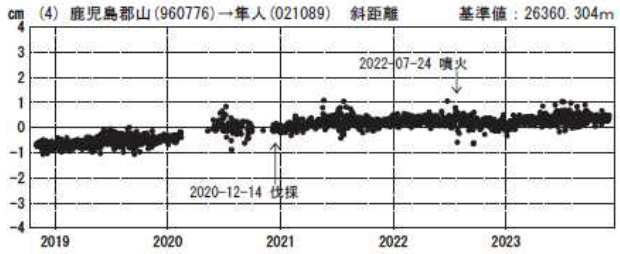


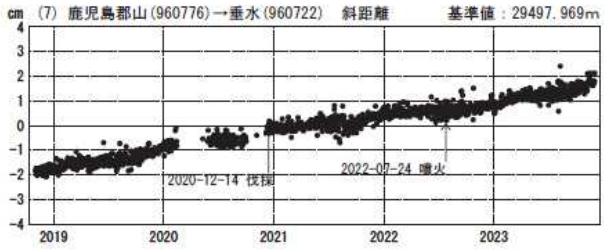


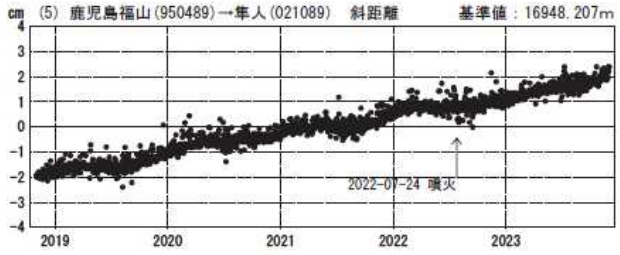


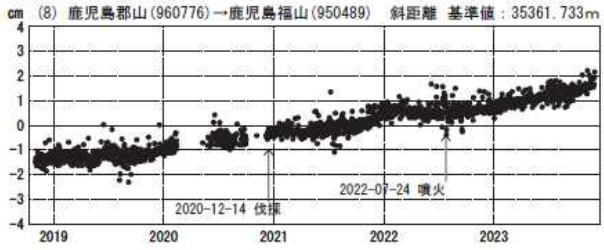
基線変化グラフ（長期）

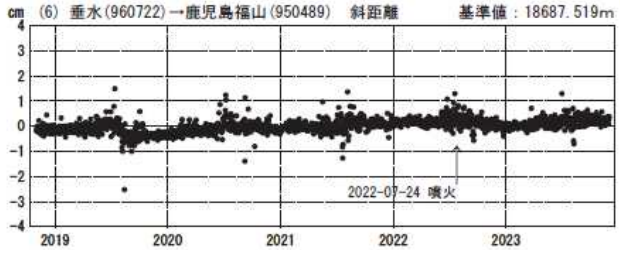
期間：2018-11-01～2023-11-30 JST

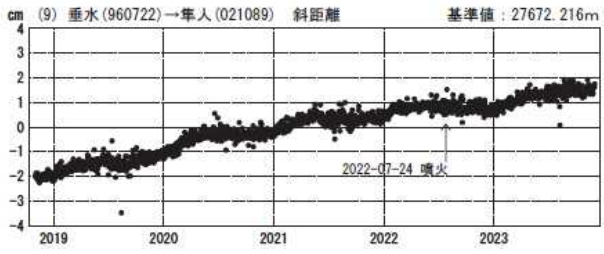










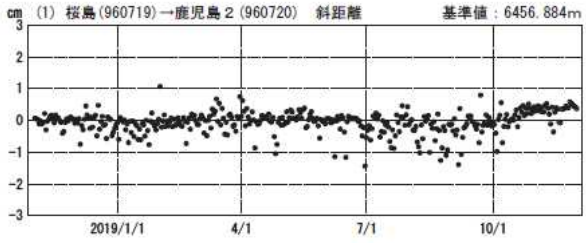


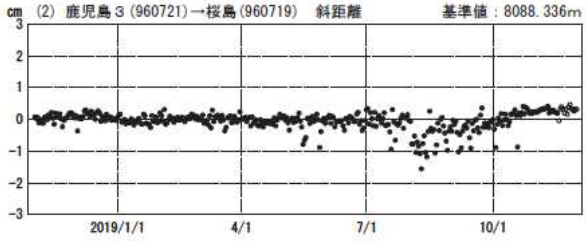
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

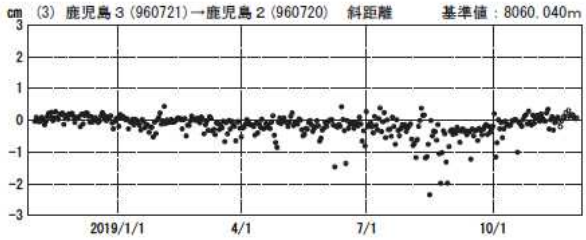
桜島

基線変化グラフ（短期）

期間：2018/11/01～2019/11/30 JST

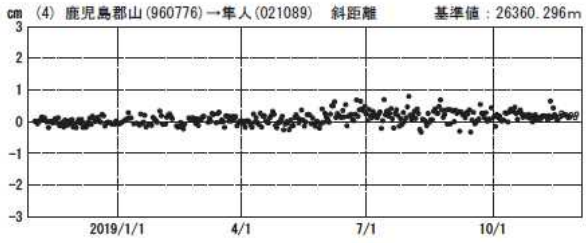


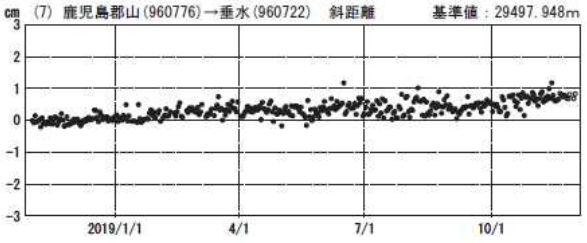


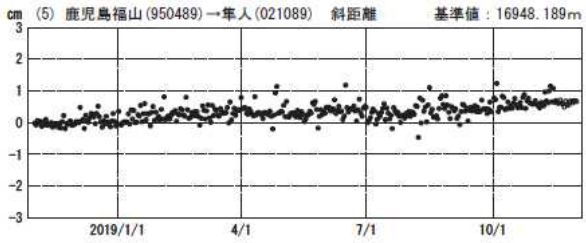


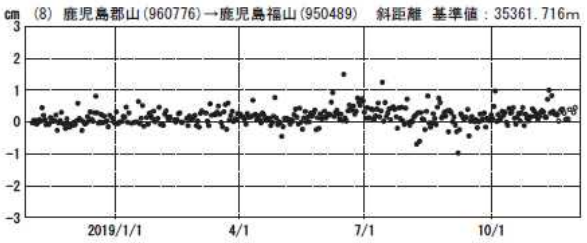
基線変化グラフ（短期）

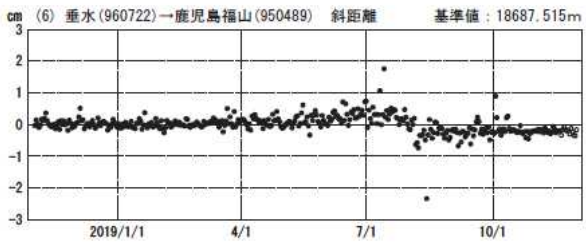
期間：2018/11/01～2019/11/30 JST

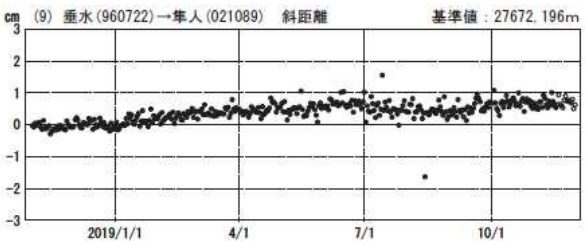












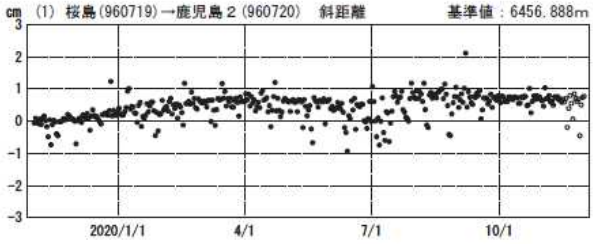
●---[F3:最終解]　○---[R3:速報解]

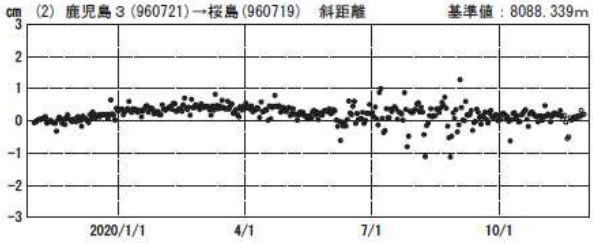
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

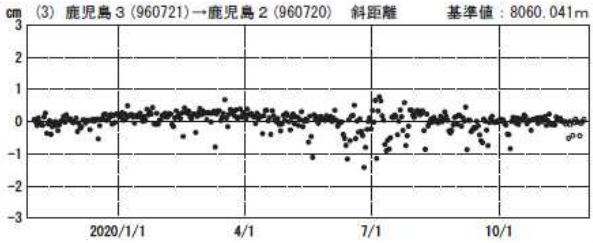
桜島

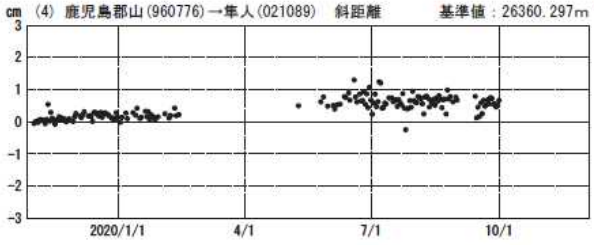
基線変化グラフ（短期）

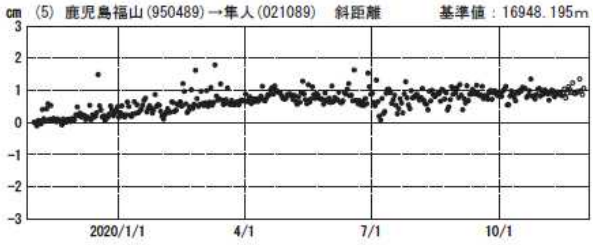
期間：2019/11/01～2020/11/30 JST

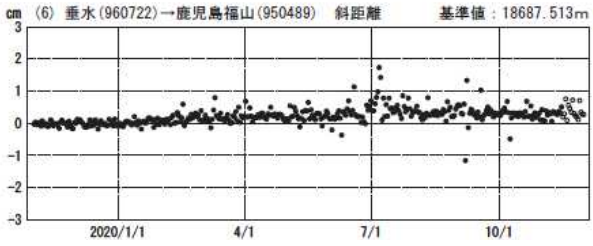






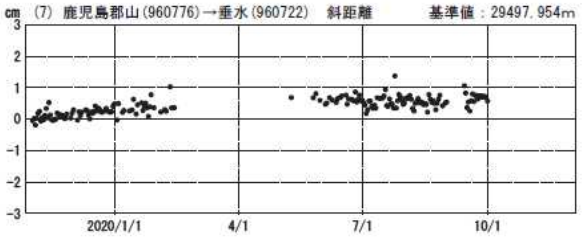


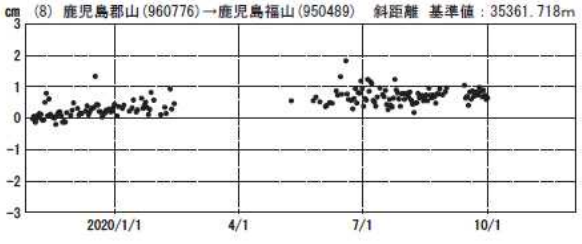


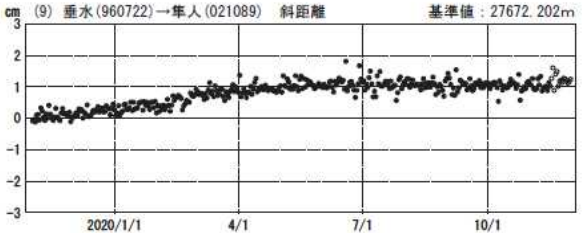


基線変化グラフ（短期）

期間：2019/11/01～2020/11/30 JST







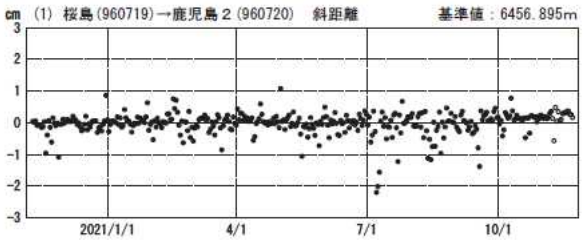
●---[F3:最終解]　○---[R3:速報解]

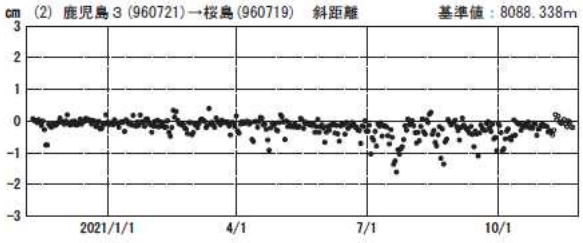
※[R3:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

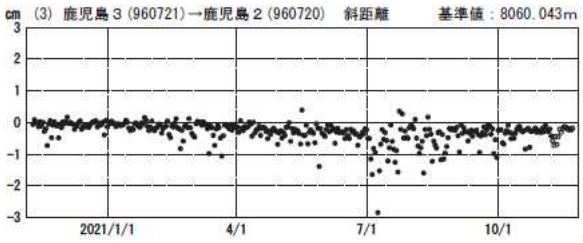
桜島

基線変化グラフ（短期）

期間：2020/11/01～2021/11/21 JST

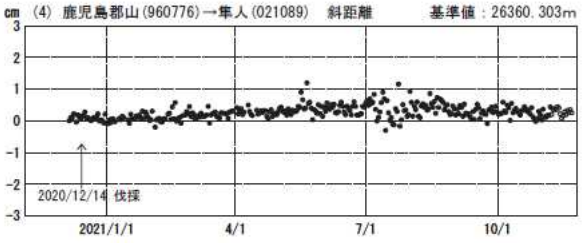


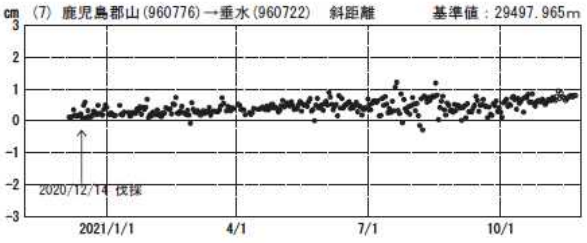


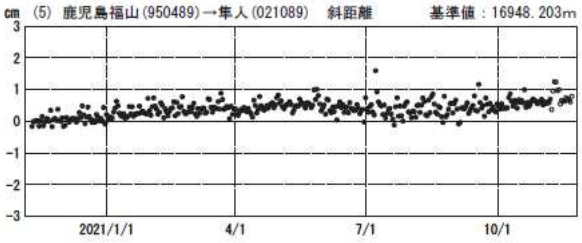


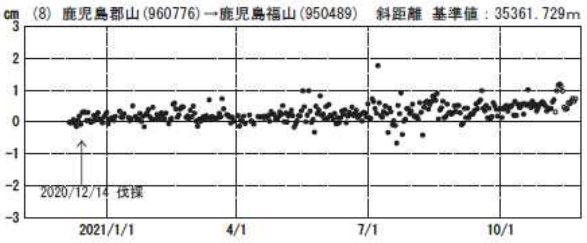
基線変化グラフ（短期）

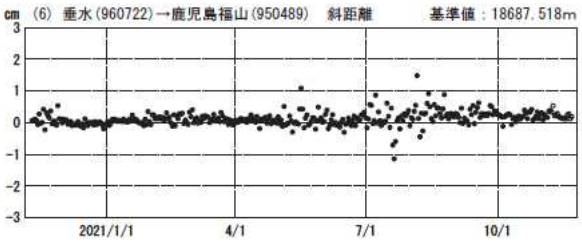
期間：2020/11/01～2021/11/21 JST

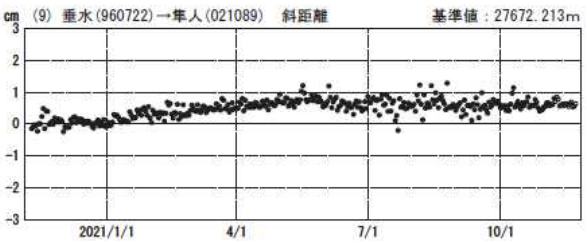










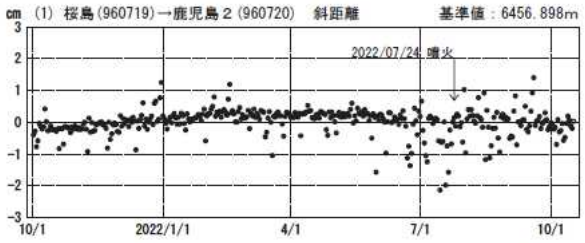


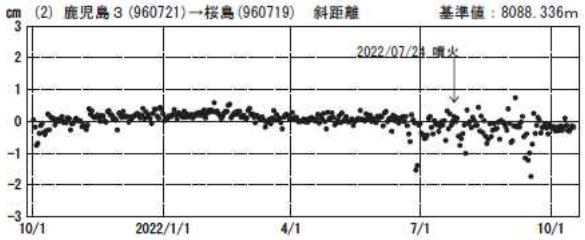
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

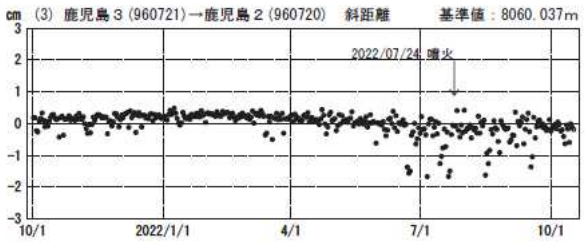
桜島

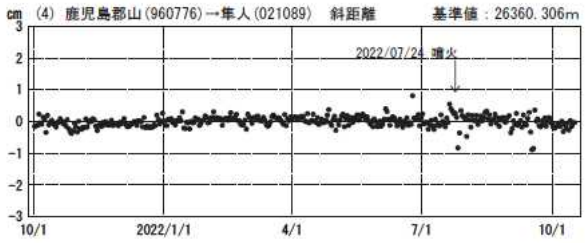
基線変化グラフ（短期）

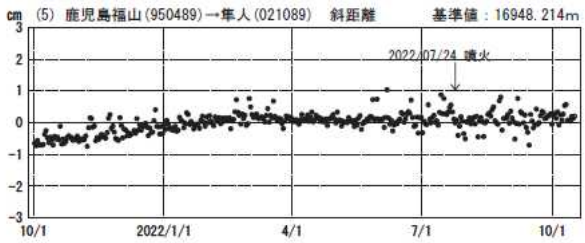
期間：2021/10/01～2022/10/16 JST

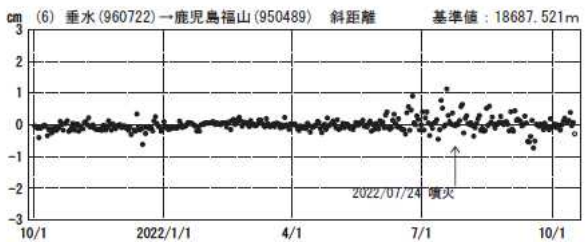






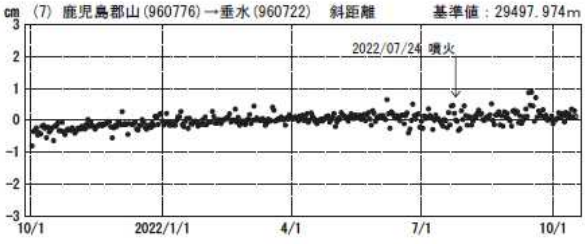


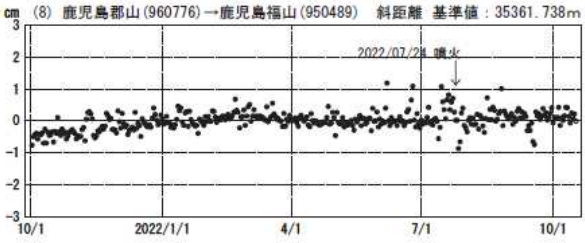


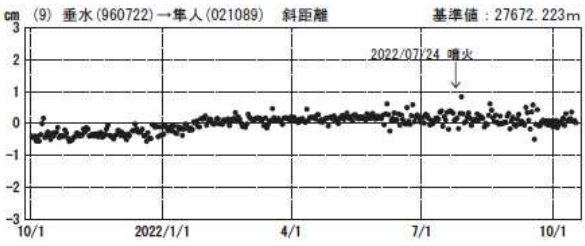


基線変化グラフ（短期）

期間：2021/10/01～2022/10/16 JST





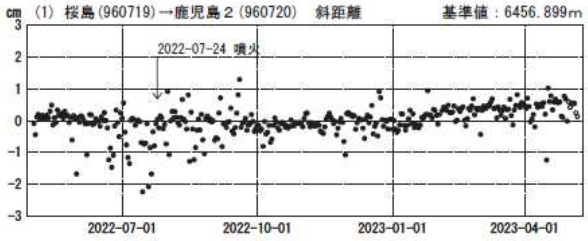


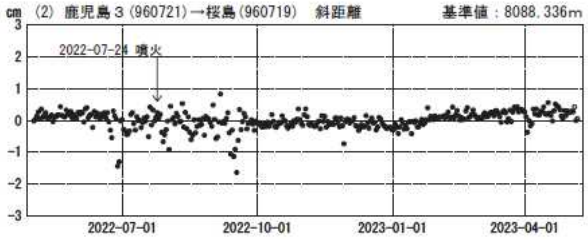
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

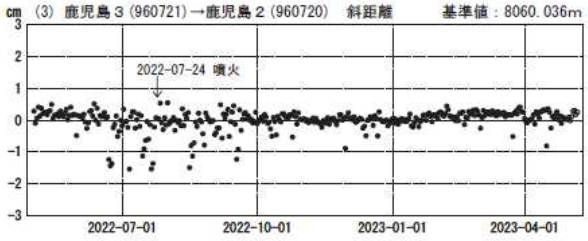
桜島

基線変化グラフ（短期）

期間：2022-05-01～2023-05-06 JST

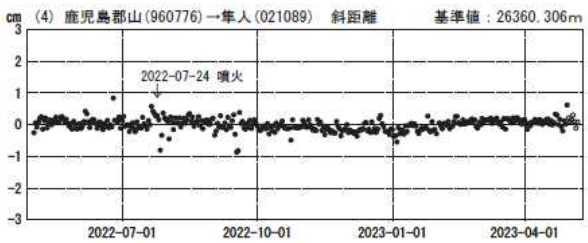


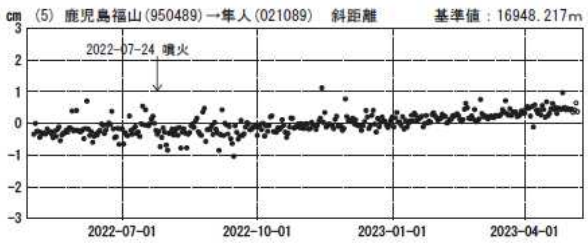


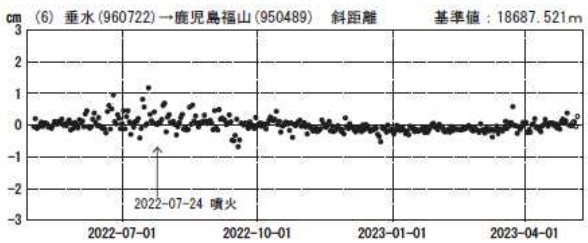


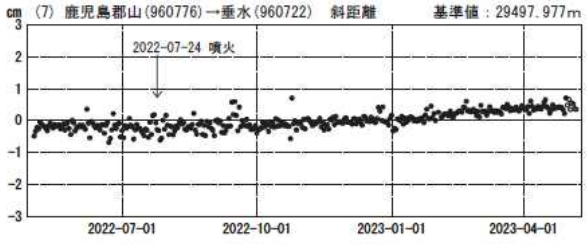
基線変化グラフ（短期）

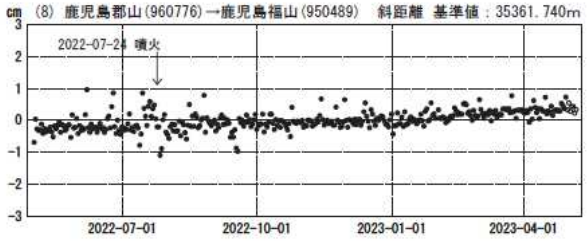
期間：2022-05-01～2023-05-06 JST

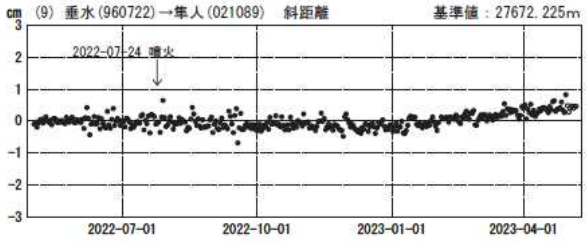






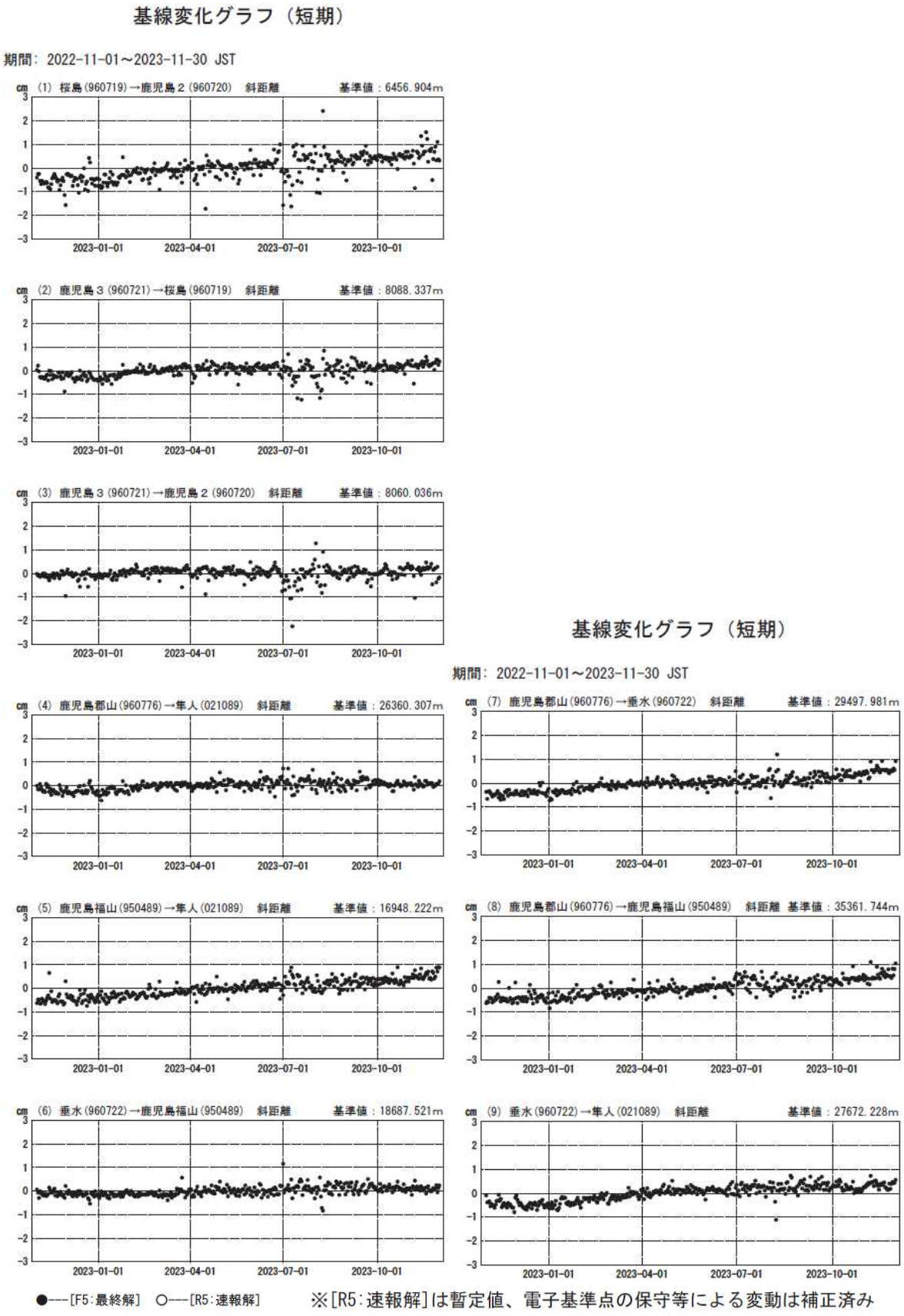






●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

桜島

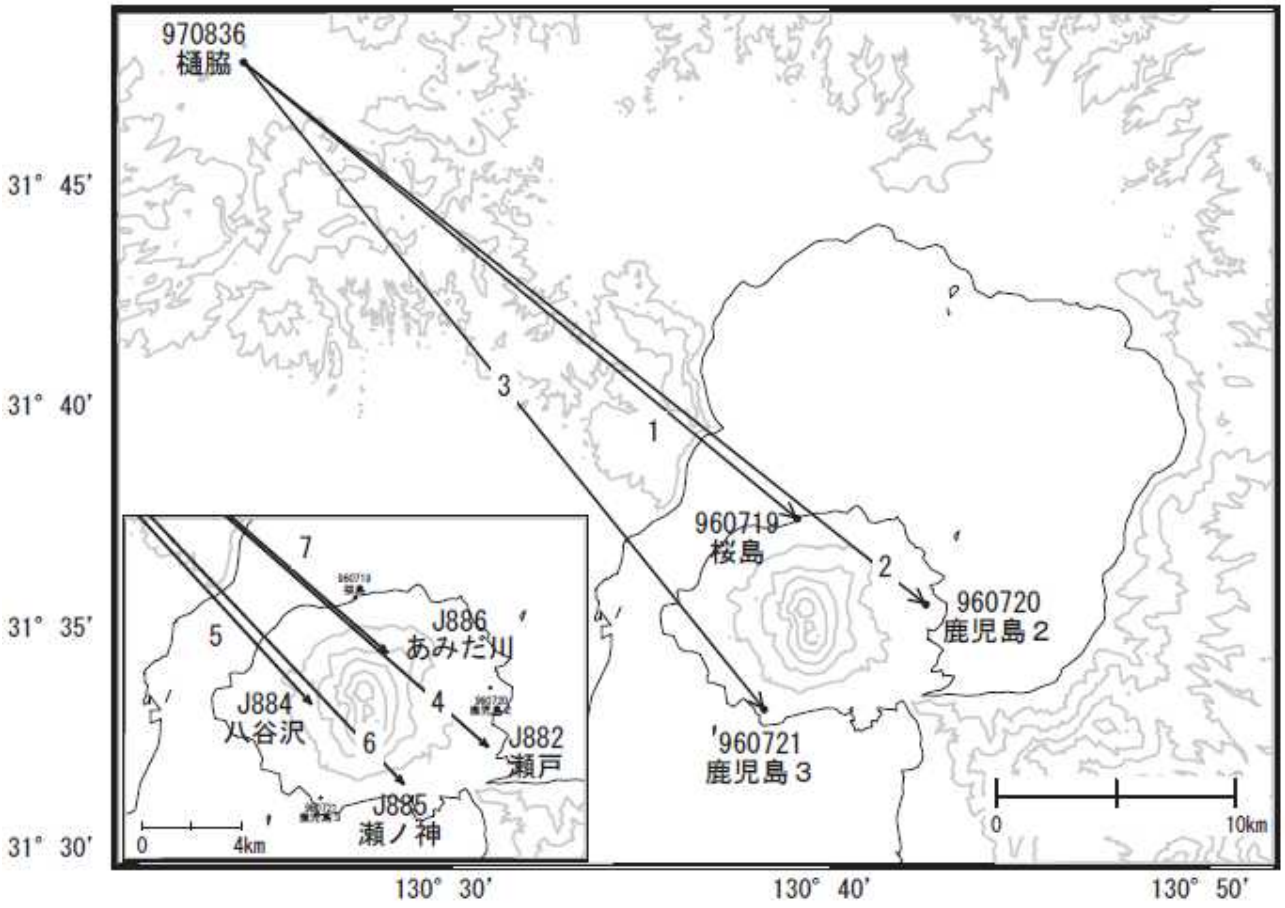


第 1-2 図　桜島周辺の GNSS 連続観測による基線変化グラフ（2018 年 11 月～2023 年 11 月）

Fig.1-2 Time series of baseline length by continuous GNSS observation around Sakurajima Volcano from November 2018 to November 2023.

桜島

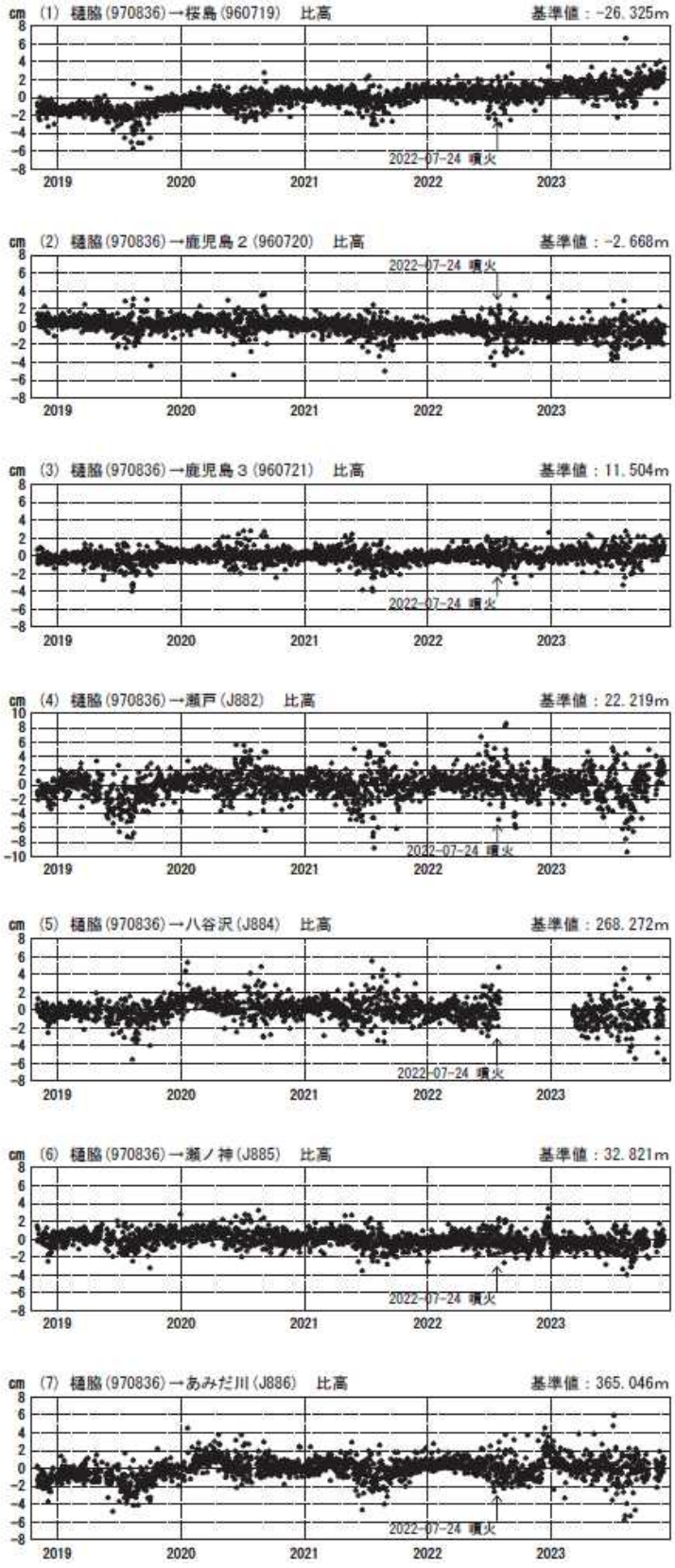
桜島周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図(2)



桜島

比高変化グラフ（長期）

期間：2018-11-01～2023-11-30 JST

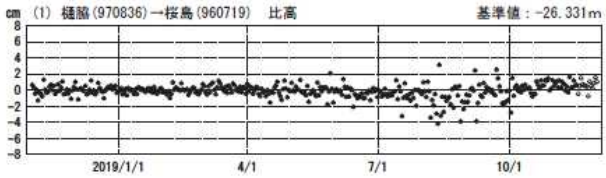


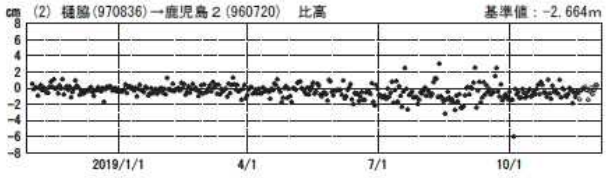
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]　　※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

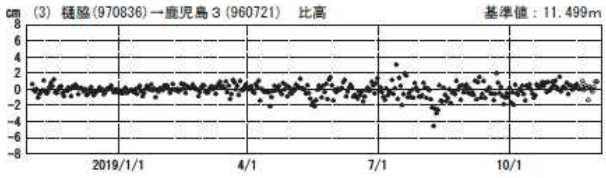
桜島

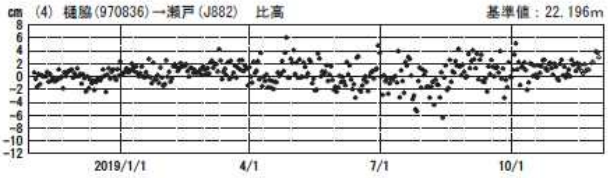
比高変化グラフ（短期）

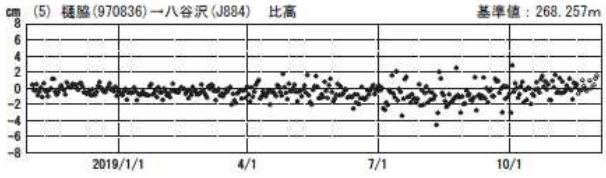
期間：2018/11/01～2019/11/30 JST

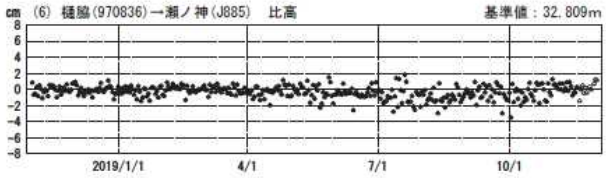


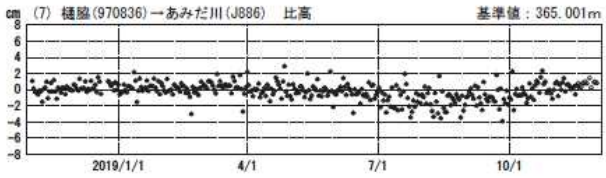






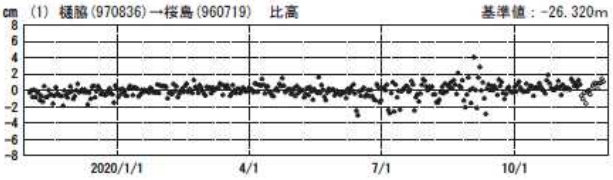


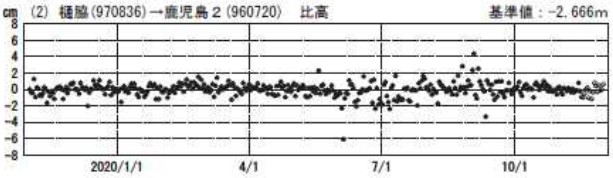


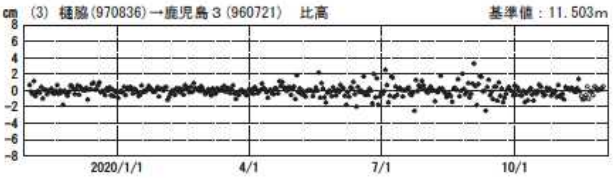


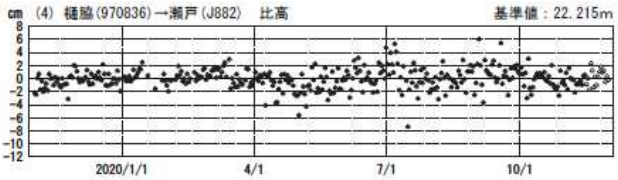
比高変化グラフ（短期）

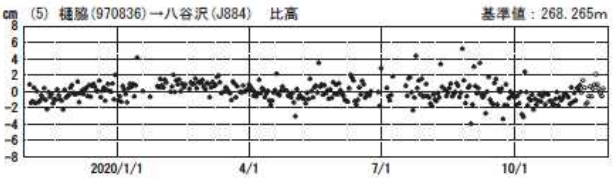
期間：2019/11/01～2020/11/30 JST

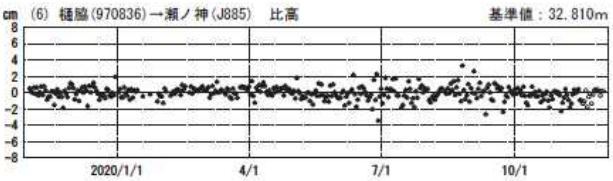


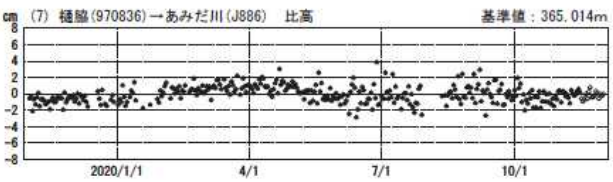












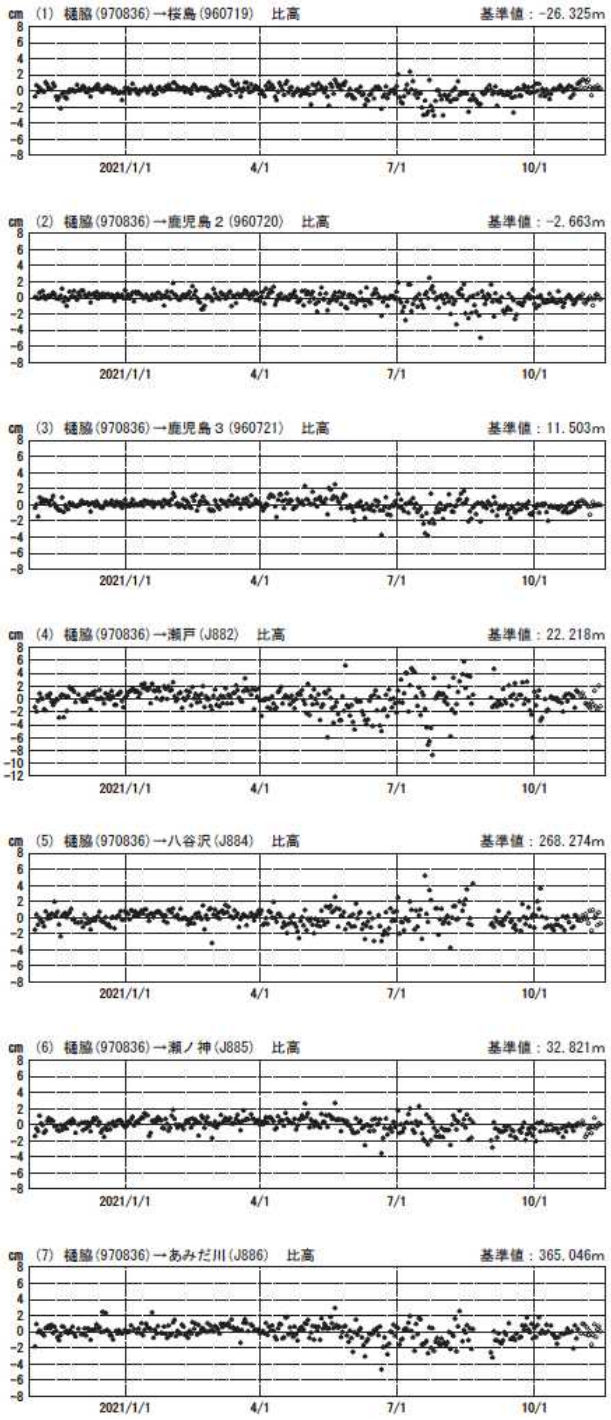
●---[F3:最終解]　○---[R3:速報解]

※[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

桜島

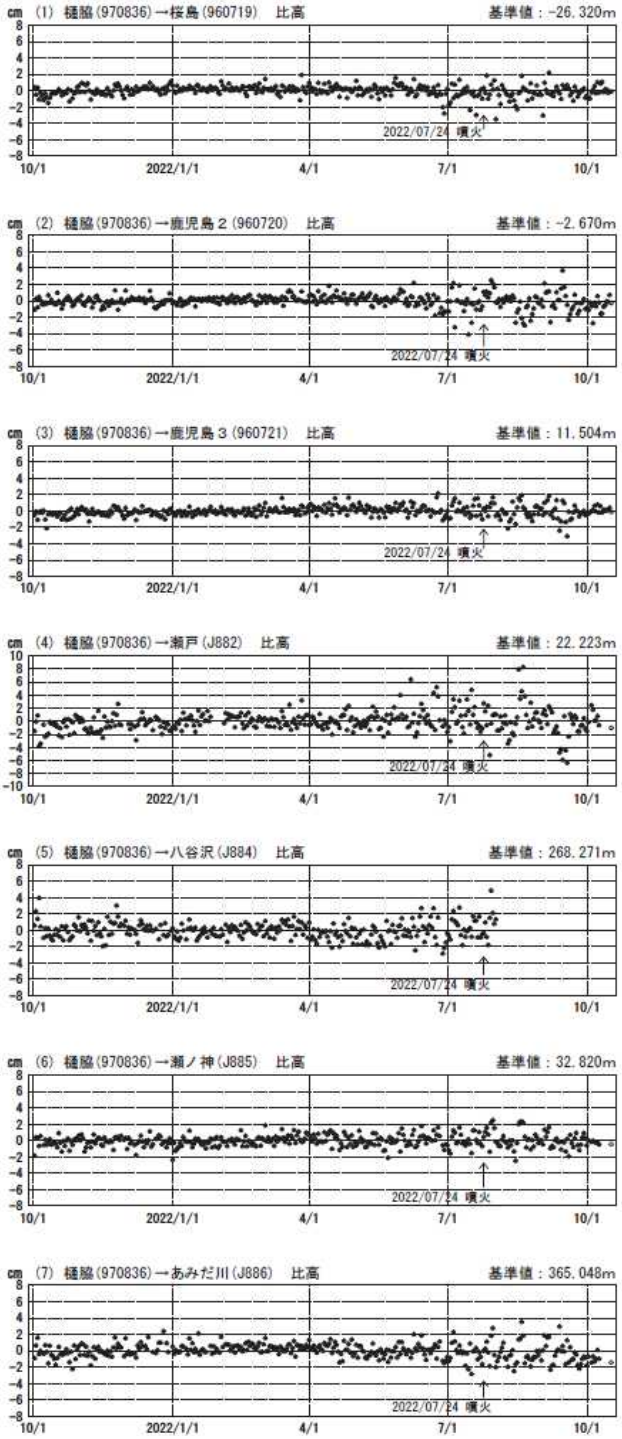
比高変化グラフ（短期）

期間：2020/11/01～2021/11/13 JST



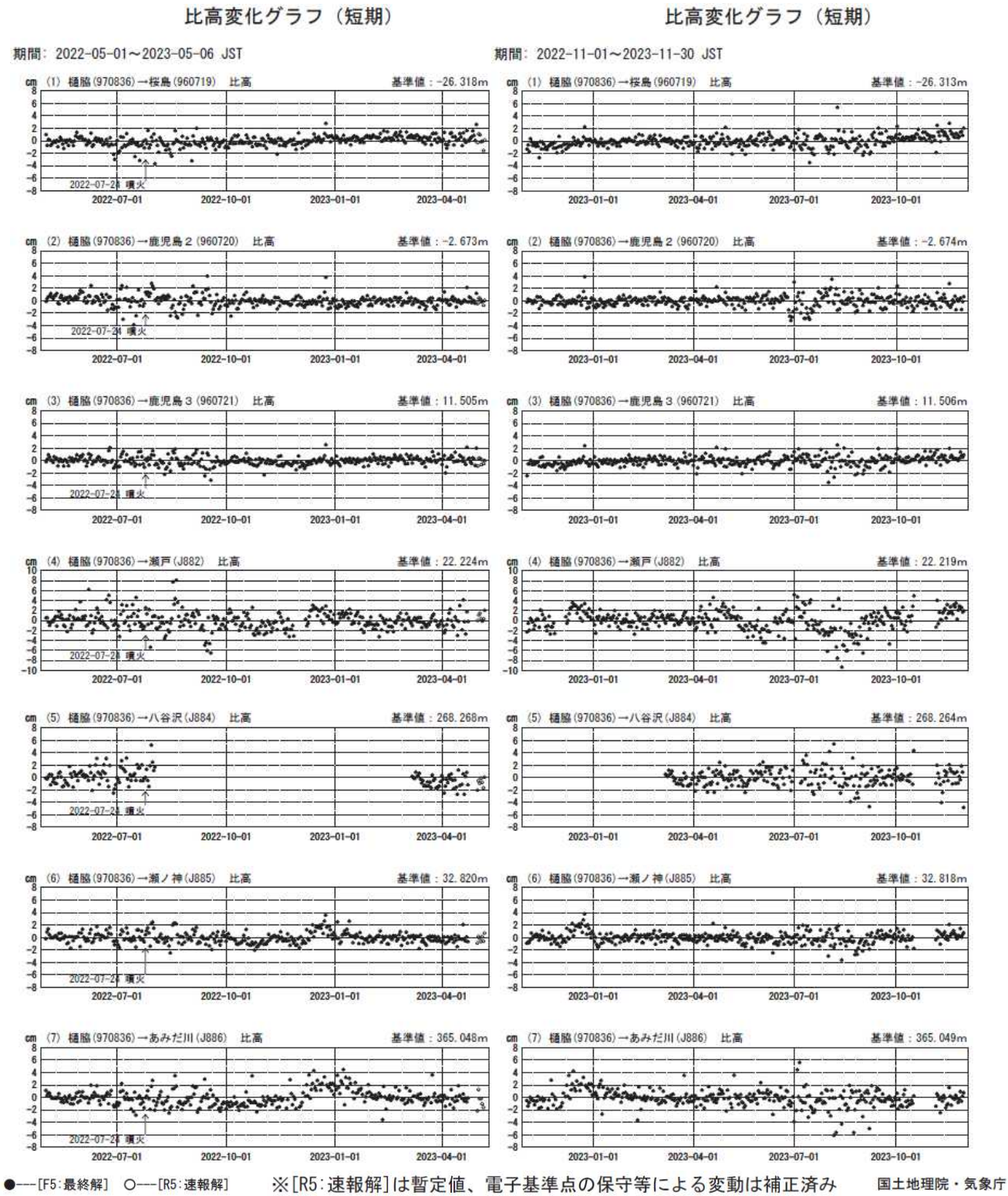
比高変化グラフ（短期）

期間：2021/10/01～2022/10/16 JST



●----[F5:最終解]　○----[R5:速報解]　　※[R5: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

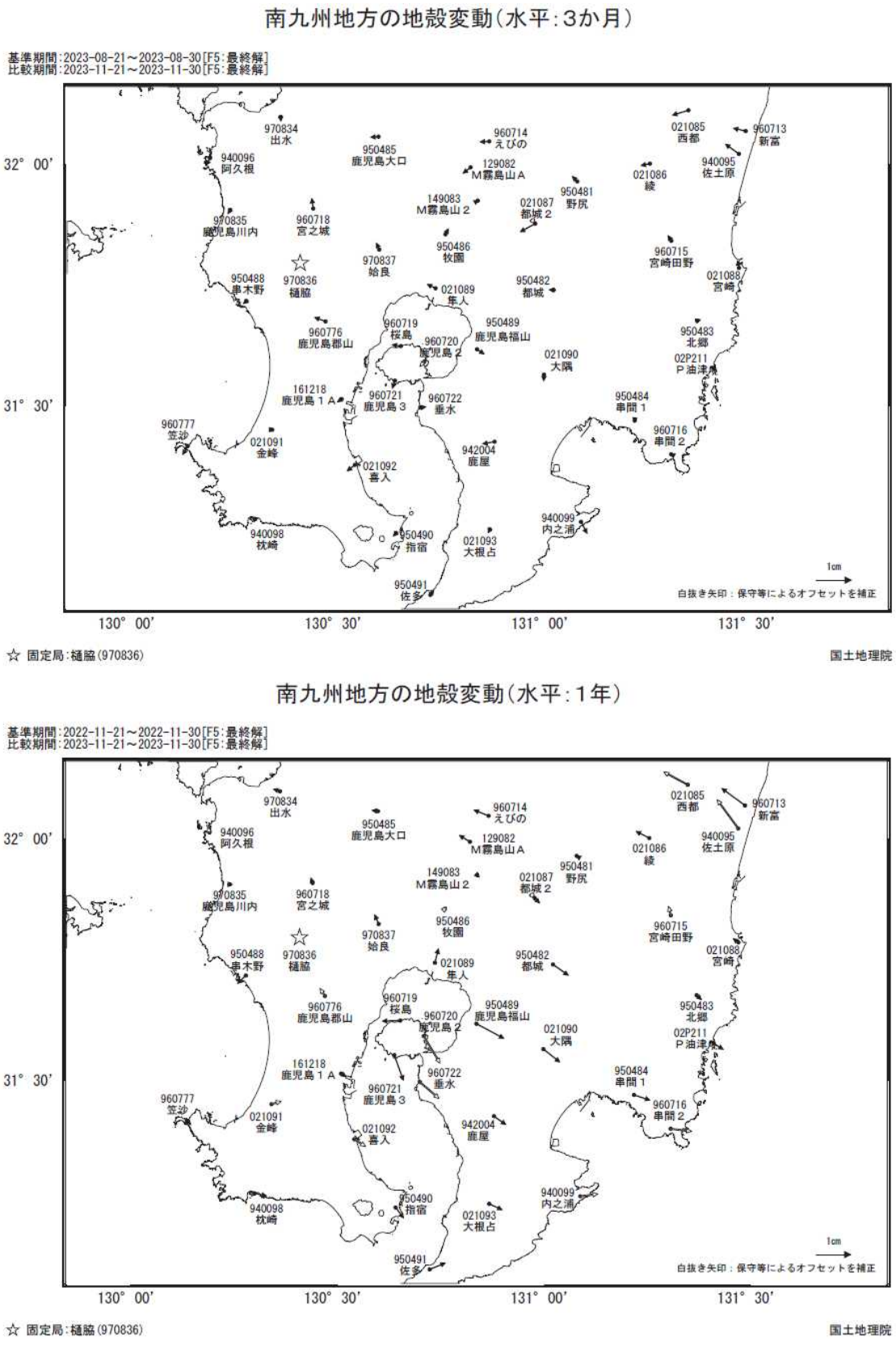
桜島



第２図　桜島周辺の GNSS 連続観測基線図（上段）と GNSS 連続観測結果（2018 年 11 月～2023 年 11 月）（中下段）

Fig.2　(upper) Site location map of the GNSS continuous observation network around Sakurajima Volcano; (middle and lower) Results of continuous GNSS observation around Sakurajima Volcano;Time series of relative height from November 2018 to November 2023.

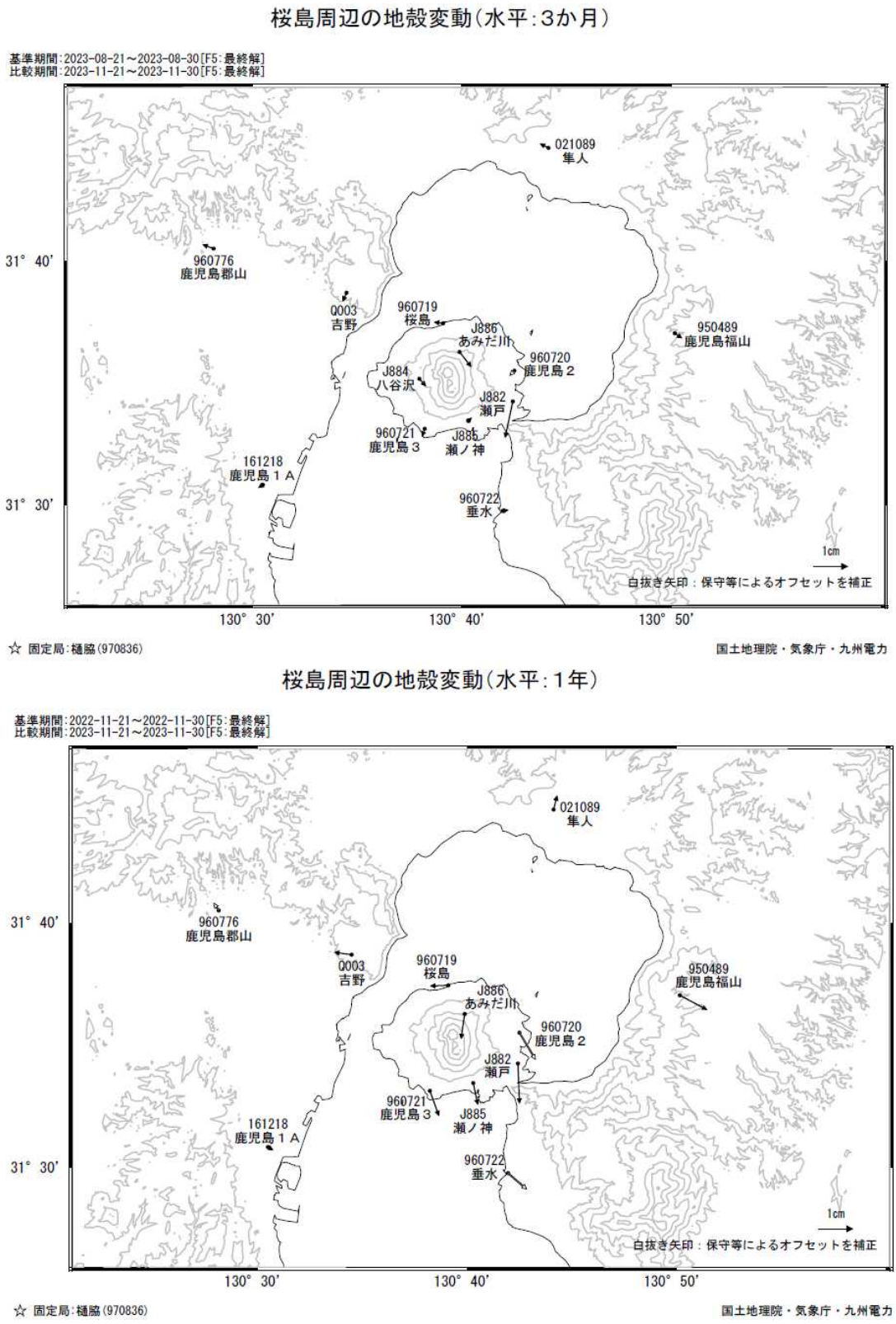
桜島



第 3-1 図　南九州地方における GNSS 観測点の水平変動ベクトル図

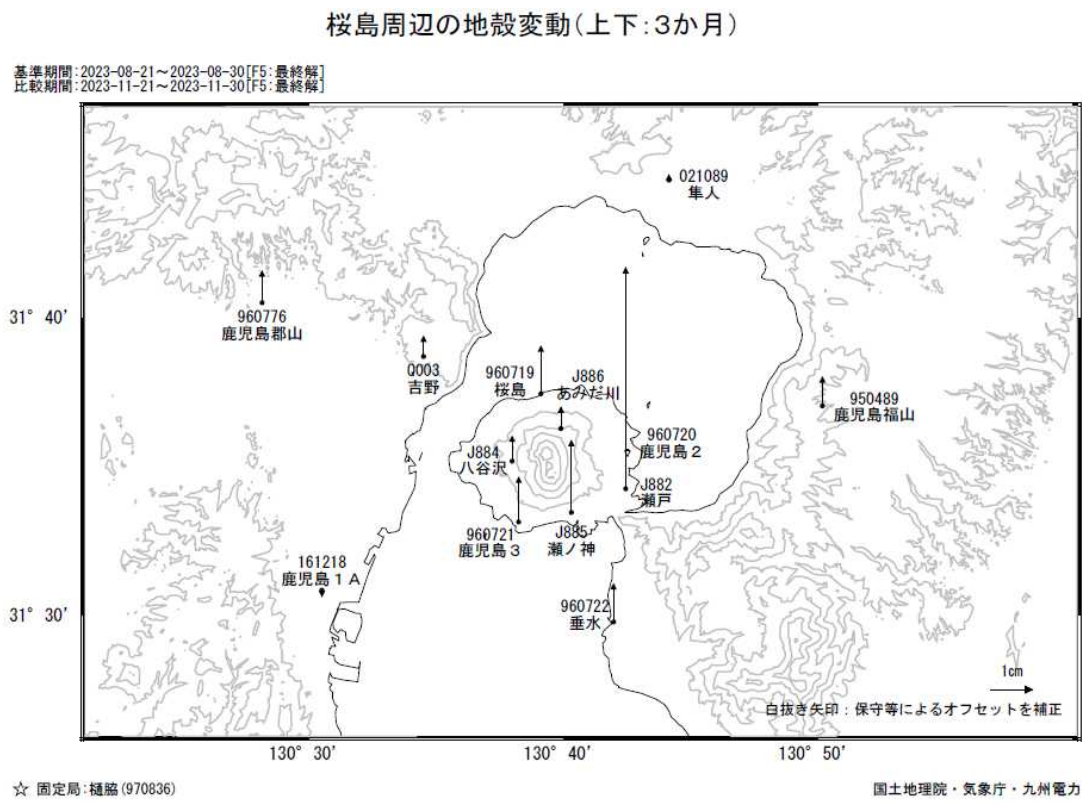
（上段：2023 年 8 月～2023 年 11 月、下段：2022 年 11 月～2023 年 11 月）

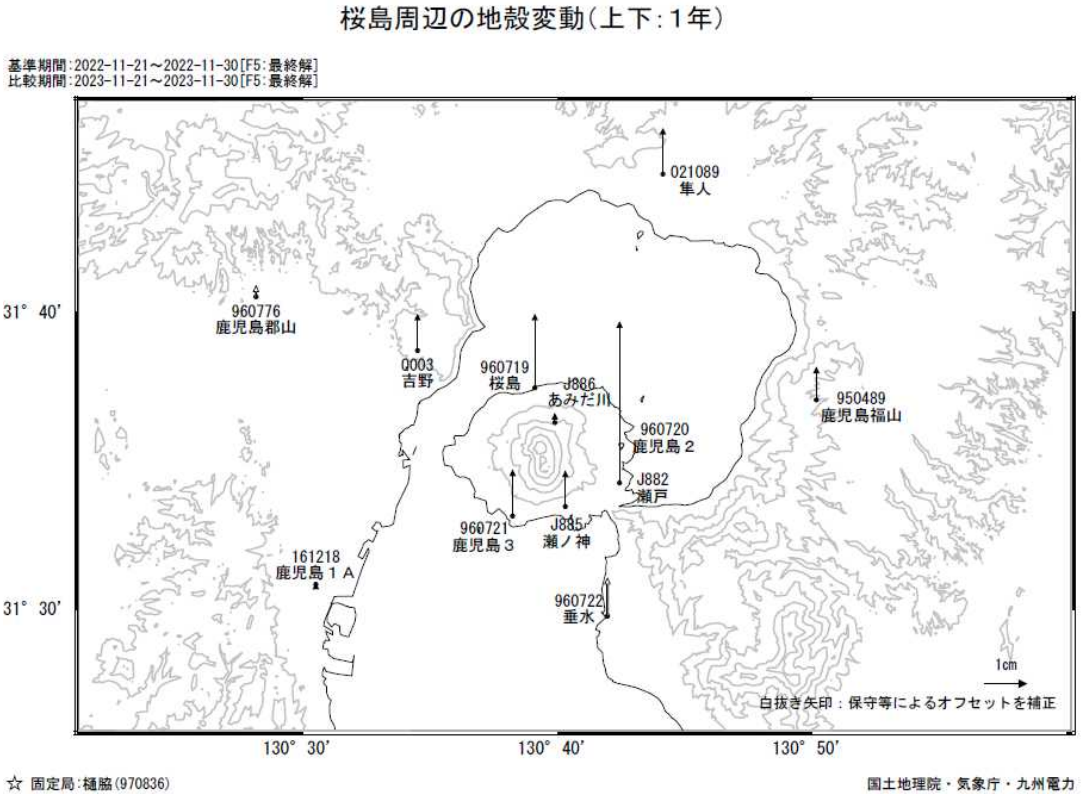
Fig.3-1 Horizontal displacements of GNSS stations around Southern Kyushu around Sakurajima Volcano; (upper) from August 2023 to November 2023, (lower) from November 2022 to November 2023.



第 3-2 図　桜島周辺の電子基準点・気象庁・九州電力 GNSS 観測点の統合解析による水平変動ベクトル図
（上段：2023 年 8 月～2023 年 11 月、下段：2022 年 11 月～2023 年 11 月）

Fig.3-2 Horizontal displacements of GEONET, JMA and Kyushu Electric Power Company,Incorporated stations by combined analyzing system around Sakurajima Volcano; (upper) from August 2023 to November 2023, (lower) from November 2022 to November 2023.

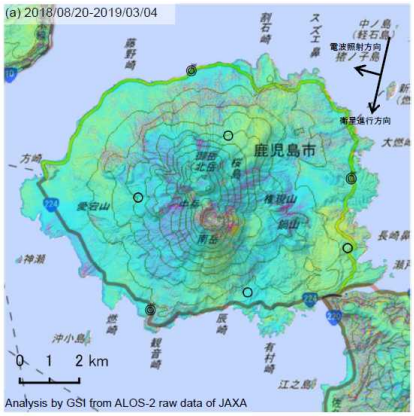




第 3-3 図　桜島周辺の電子基準点・気象庁・九州電力 GNSS 観測点の統合解析による上下変動ベクトル図
（上段：2023 年 8 月～2023 年 11 月、下段：2022 年 11 月～2023 年 11 月）

Fig.3-3 Vertical displacements of GEONET, JMA and Kyushu Electric Power Company,Incorporated stations by combined analyzing system around Sakurajima Volcano; (upper) from August 2023 to November 2023, (lower) from November 2022 to November 2023.

桜島

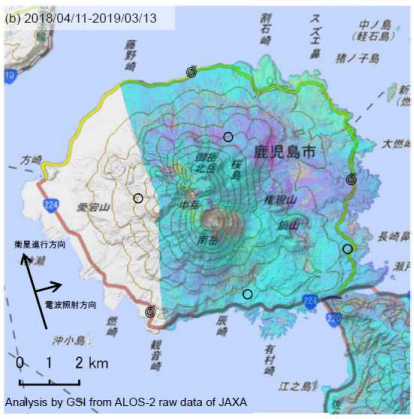


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/08/20 2019/03/04 12:19 頃 (196 日間)	2018/04/11 2019/03/13 00:18 頃 (336 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U	U-U
入射角	36.4°	41.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 369 m	- 137 m

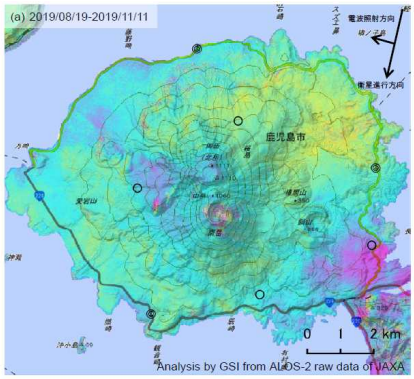
*U: 高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院 GNSS 観測点
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

近づく（隆起、東向） ⟷ 遠ざかる（沈降、西向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]



背景:地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

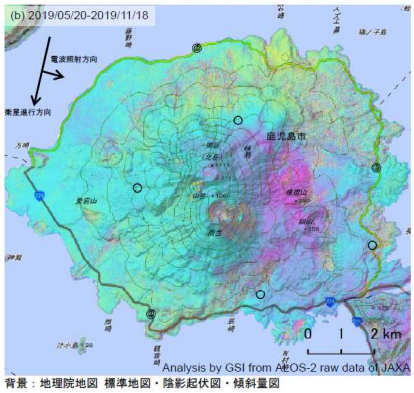


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/08/19 2019/11/11 12:19 頃 (84 日間)	2019/05/20 2019/11/18 13:07 頃 (182 日間)
衛星進行方向	南行	南行
電波照射方向	右	左
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U	U-U
入射角	36.4°	52.8°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 84 m	+ 262 m

*U: 高分解能(3m)モード

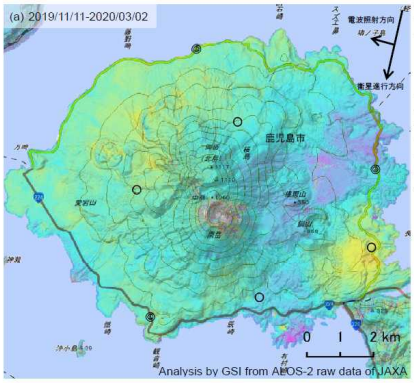
◎ 国土地理院 GNSS 観測点
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

近づく（隆起、東向） ⟷ 遠ざかる（沈降、西向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]



近づく（隆起、西向） ⟷ 遠ざかる（沈降、東向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

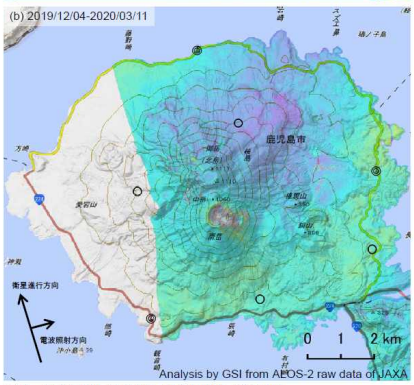


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/11/11 2020/03/02 12:19 頃 (112 日間)	2019/12/04 2020/03/11 00:18 頃 (98 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U	U-U
入射角	36.4°	41.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 624 m	- 186 m

*U: 高分解能(3m)モード

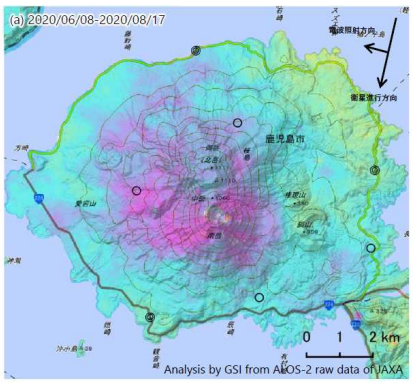
◎ 国土地理院 GNSS 観測点
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点

近づく（隆起、東向） ⟷ 遠ざかる（沈降、西向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]



近づく（隆起、西向） ⟷ 遠ざかる（沈降、東向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

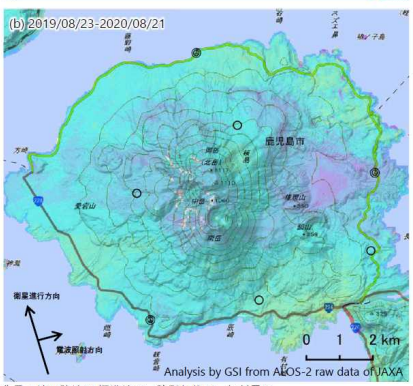


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/06/08 2020/08/17 12:19頃 (70日間)	2019/08/23 2020/08/21 0:11頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	36.4°	30.1°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 137m	- 281m

* U：高分解能(3m)モード
H：高分解能(6m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

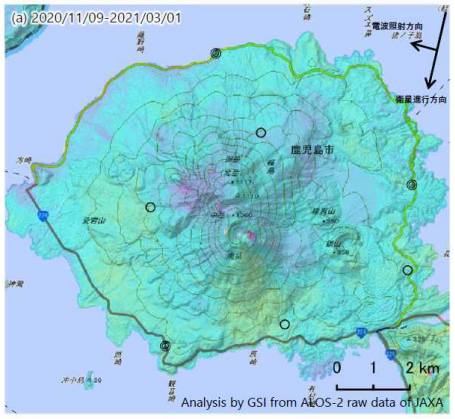
近づく（隆起、東向） ⟷ 遠ざかる（沈降、西向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]



近づく（隆起、西向） ⟷ 遠ざかる（沈降、東向）
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12
衛星ー地表視線方向の変位量 [cm]

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

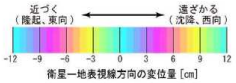
桜島

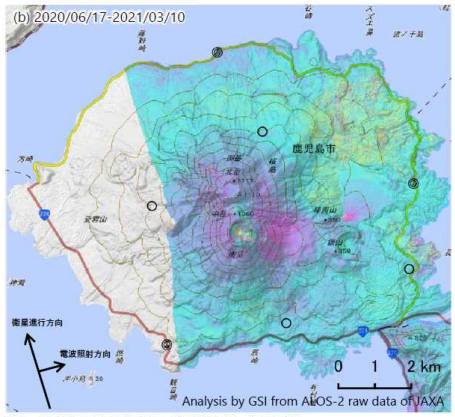


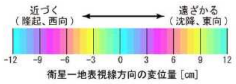
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/11/09 2021/03/01 12:19頃 (112日間)	2020/06/17 2021/03/10 0:18頃 (266日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	36.4°	41.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 173m	+ 82m

* U：高分解能(3m)モード

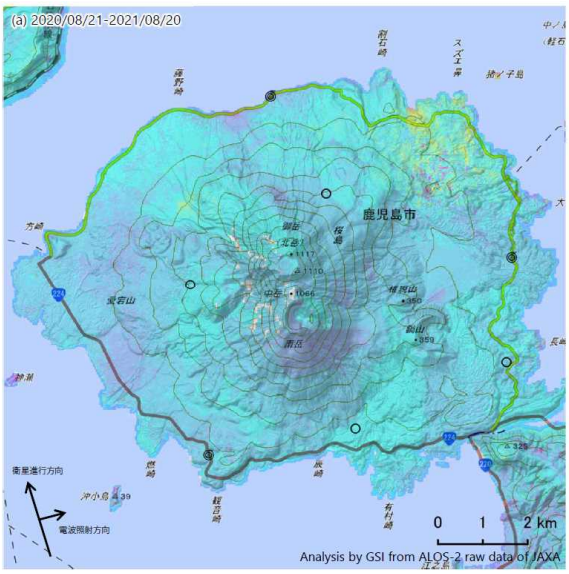
◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点





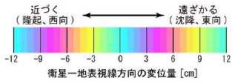


背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図



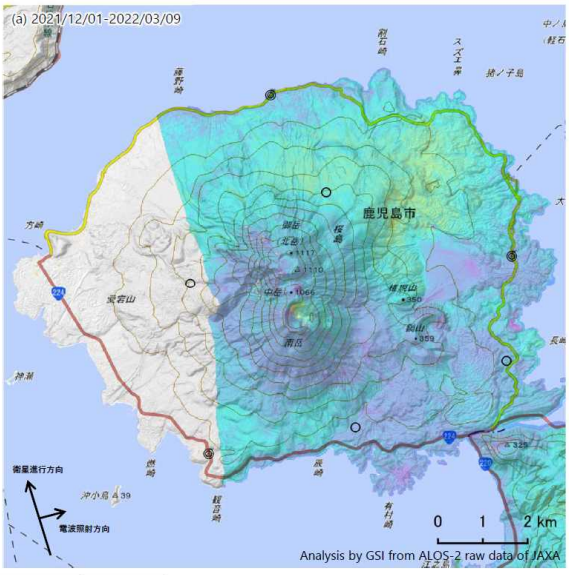
	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2020/08/21 2021/08/20 0:11頃 (364日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	H-H
入射角	30.1°
偏波	HH
垂直基線長	+ 107m

* H：高分解能(6m)モード



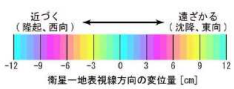
◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図



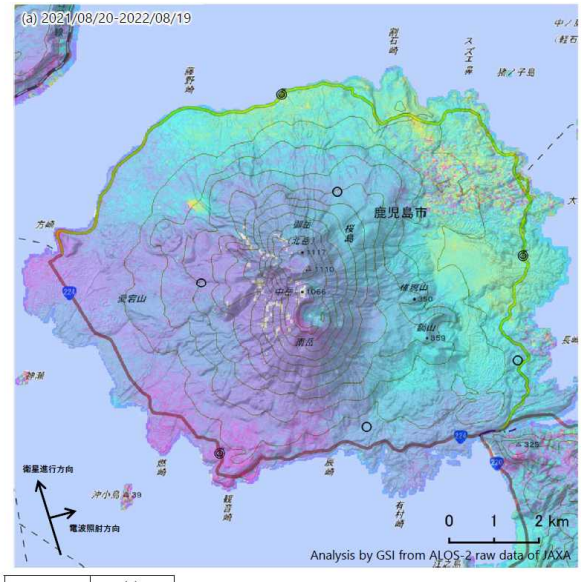
	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/12/01 2022/03/09 0:18頃 (98日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U-U
入射角	41.4°
偏波	HH
垂直基線長	+ 50m

* U：高分解能(3m)モード



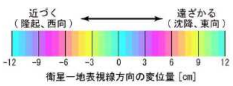
◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図



	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/08/20 2022/08/19 0:11頃 (364日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	H-H
入射角	30.1°
偏波	HH
垂直基線長	+ 49m

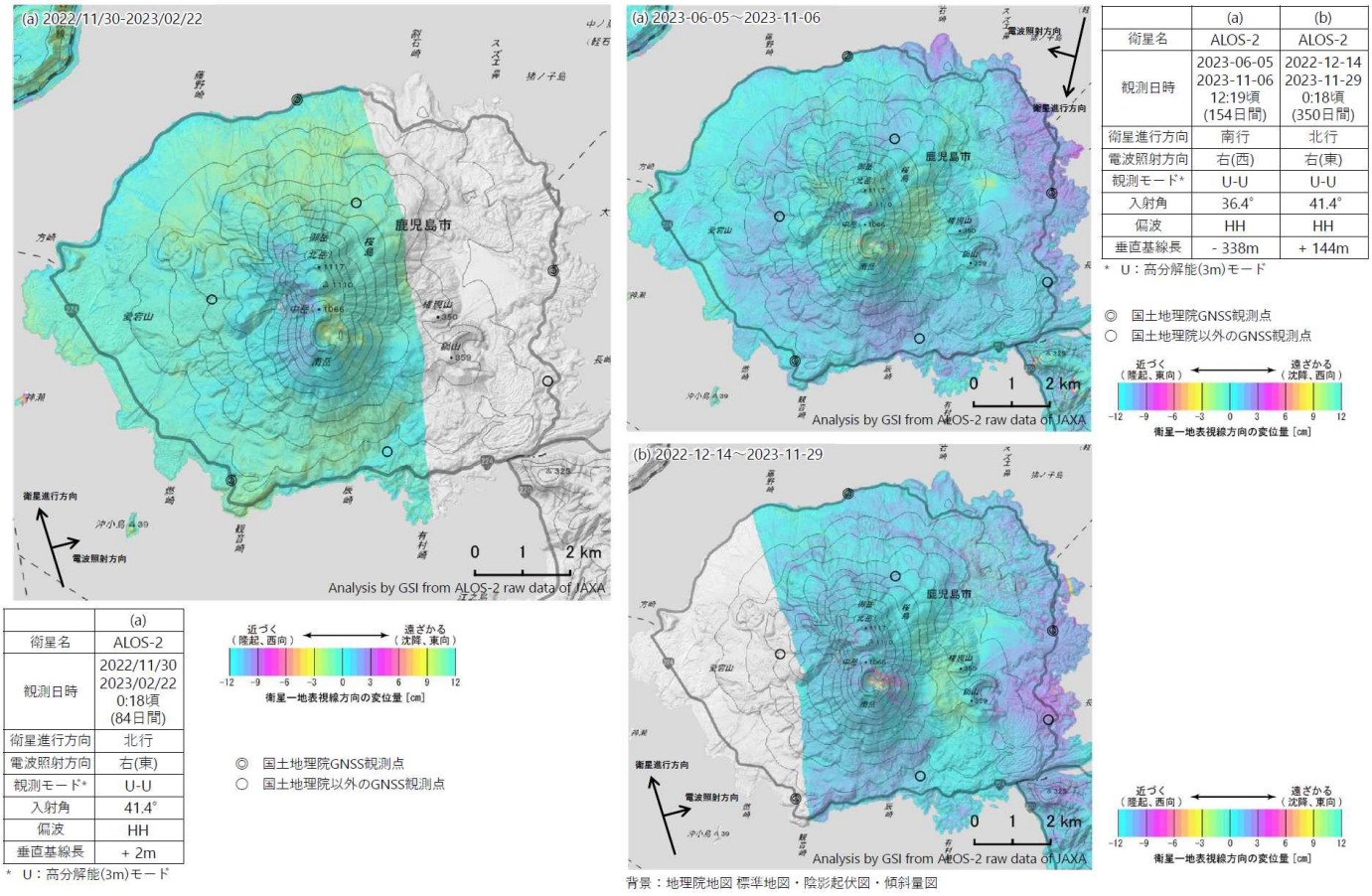
* H：高分解能(6m)モード



◎ 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

桜島



	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2022/11/30 2023/02/22 0:18頃 (84日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U-U
入射角	41.4°
偏波	HH
垂直基線長	+ 2m

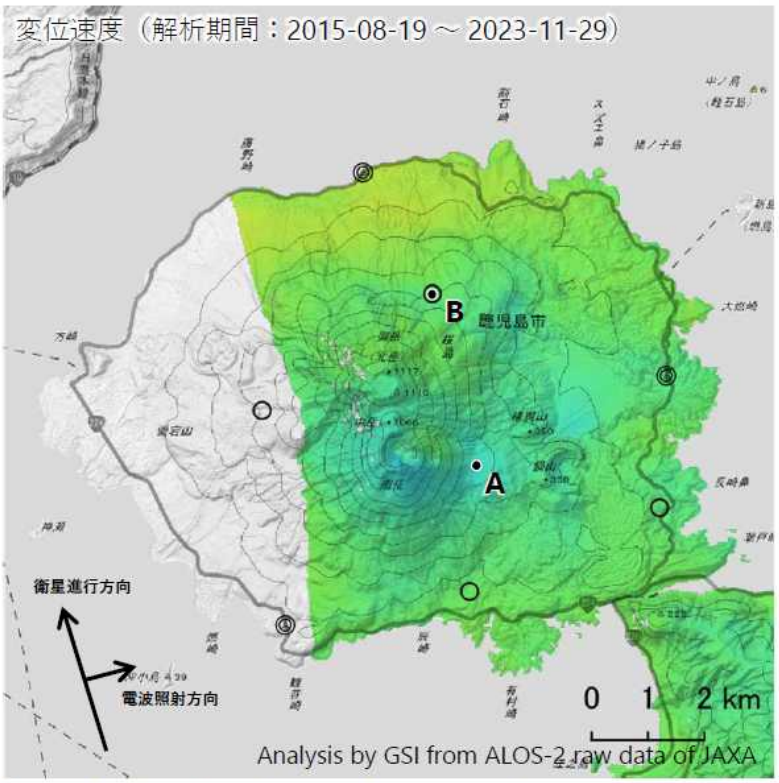
＊ U：高分解能(3m)モード

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2023-06-05 2023-11-06 12:19頃 (154日間)	2022-12-14 2023-11-29 0:18頃 (350日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	36.4°	41.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 338m	+ 144m

＊ U：高分解能(3m)モード

第４図　「だいち２号」PALSAR-2による桜島周辺地域の解析結果

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

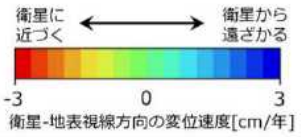


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015-08-19 ～ 2023-11-29 (3024日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右(東)
観測モード*	U
入射角	41.4°
偏波	HH
データ数	45
干渉ペア数	198

＊　U：高分解能(3m)モード

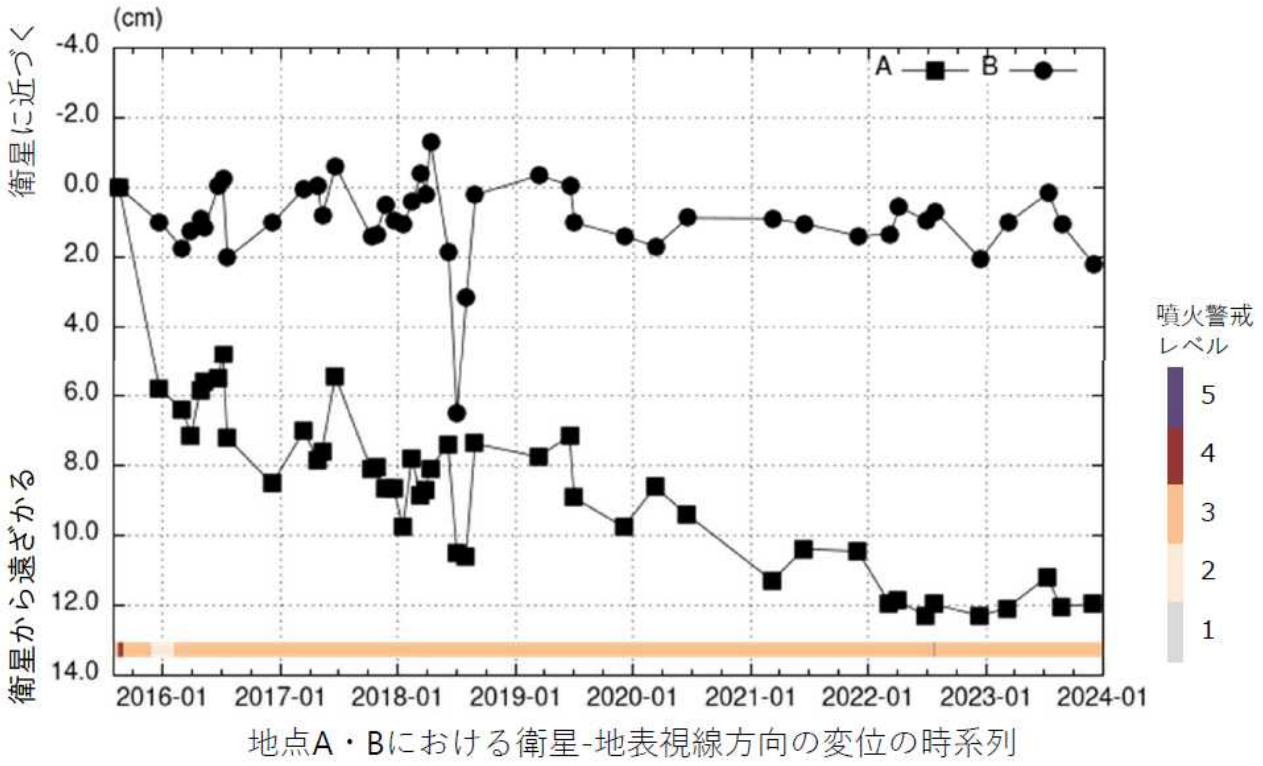
◎　国土地理院GNSS観測点

○　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　※参照点は電子基準点「鹿児島福山」付近

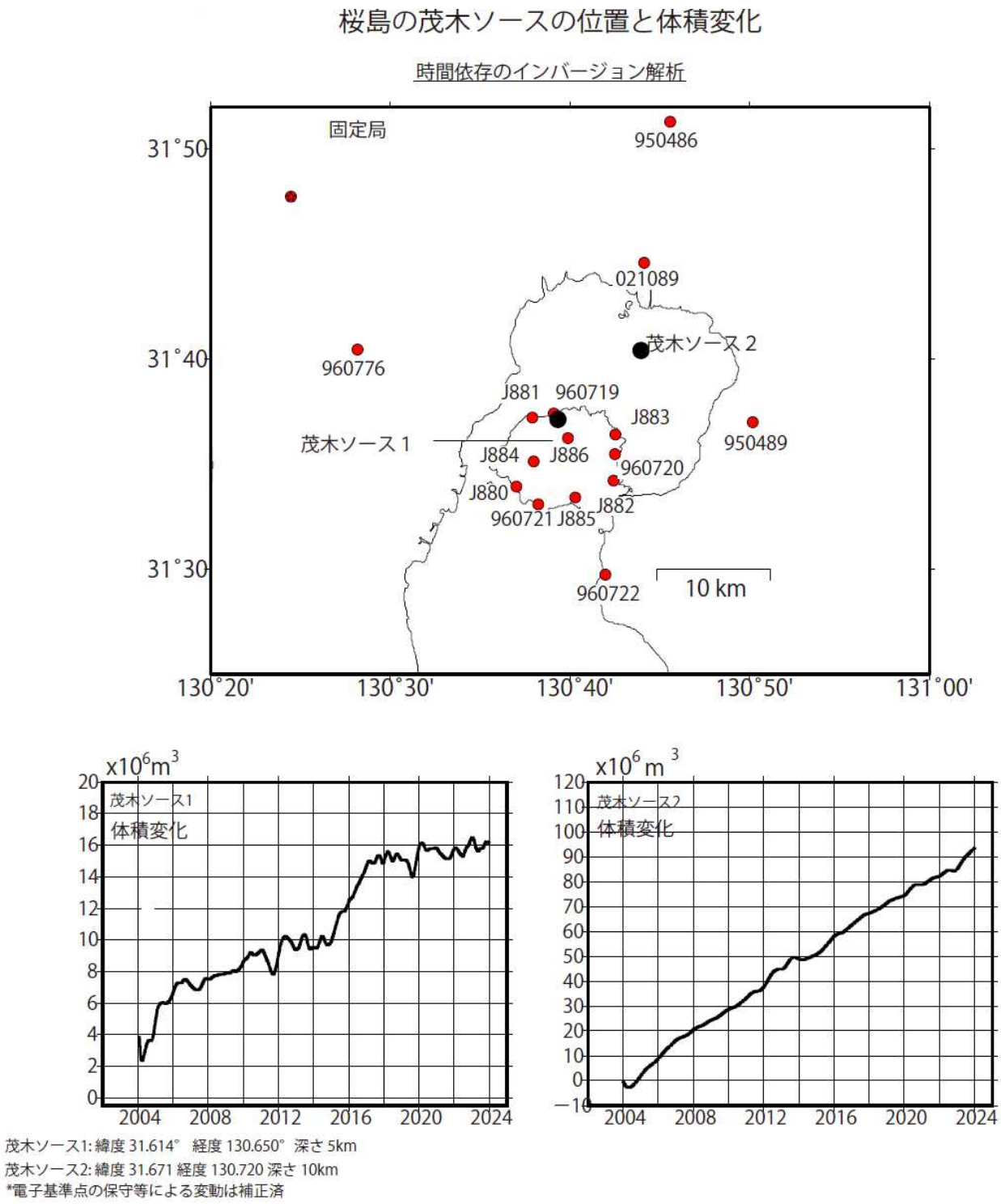
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法



第５図　「だいち２号」PALSAR-2による桜島周辺地域の時系列解析結果

Fig.5 Time-Series Interferometric SAR of ALOS-2 PALSAR-2 around Sakurajima Volcano.

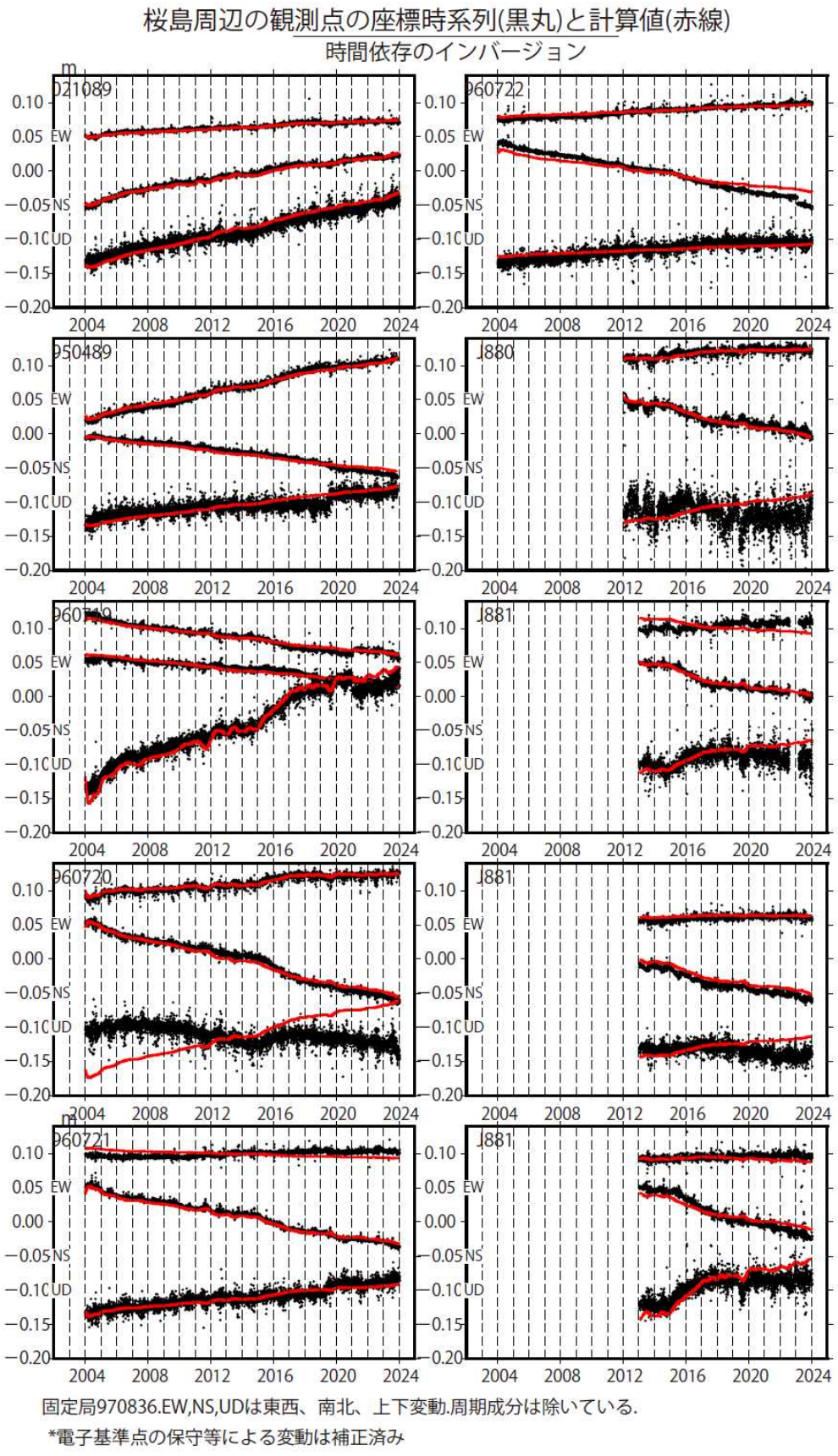
桜島



第 6-1 図　時間依存インバージョンの手法による桜島の変動源の体積変化推定・茂木ソース２つを仮定
（上段：推定に用いた観測点（赤点）の配置と茂木ソースの位置（黒丸）、
下段左、推定された茂木ソース体積の時間変化・桜島直下、
下段右、推定された茂木ソース体積の時間変化・姶良カルデラ深部）

Fig.6-1 Estimation of the volume change of Mogi-source by the time dependent inversion method, assuming two Mogi sources; (upper) distribution of GNSS observation sites (red dots) used for the inversion and Mogi-sources (black circles), (lower left) Time series of estimated volume, Mogi-source under the summit of Sakurajima volcano, (lower right) Time series of estimated volume, Mogi-source under the Aira caldera.

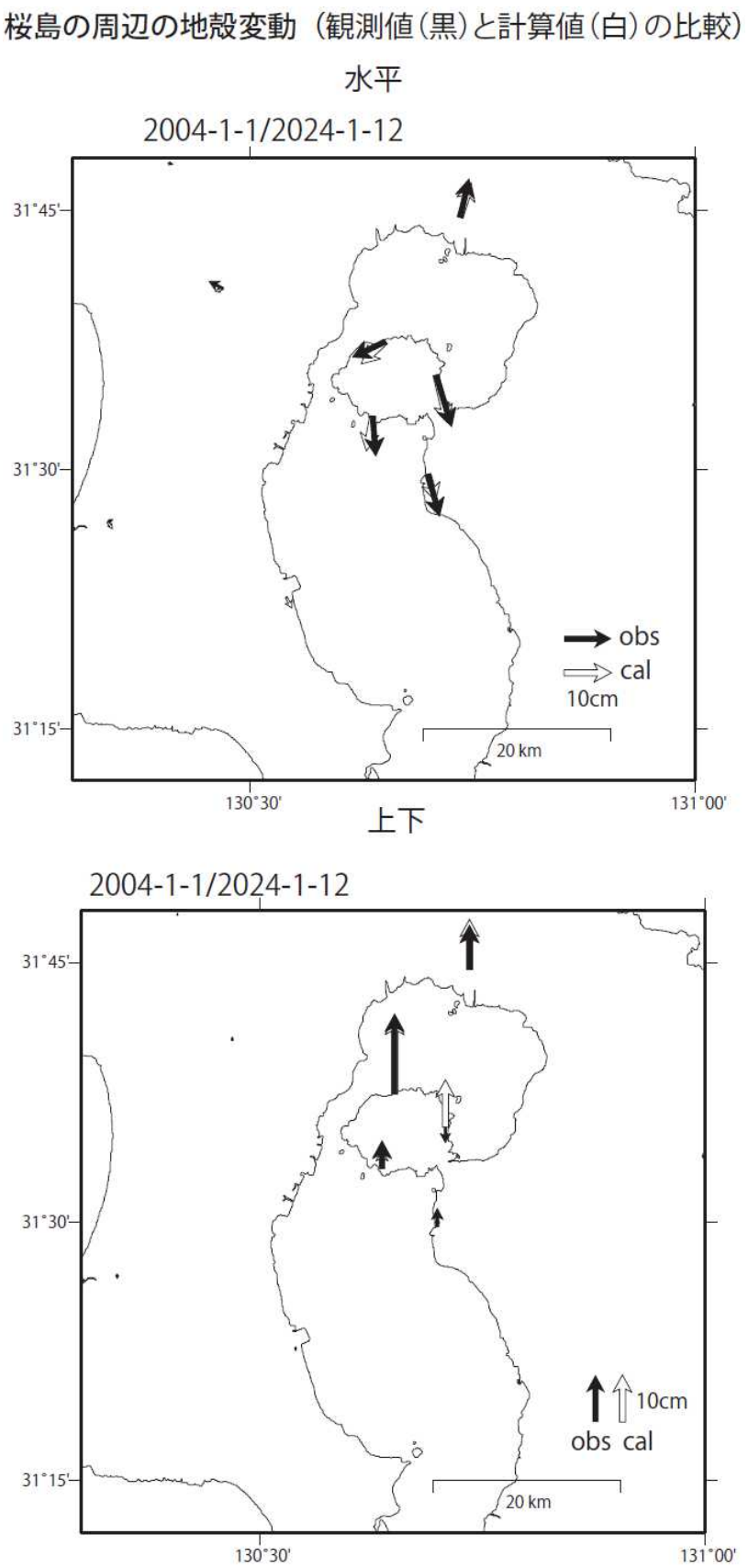
桜島



第 6-2 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.6-2 Comparison of calculated deformation from the estimated Mogi-source (red lines) and observed deformation (black dots).

桜島



第6−3図　推定された茂木ソースによる地殻変動計算値（白）と観測値（黒）の比較

Fig.6-3 Comparison of calculated deformation from the estimated Mogi-source (white) and observed deformation (black)