草津白根山周辺の地殻変動*

Crustal Deformations around Kusatsu-Shiranesan Volcano

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

第１図から第３図は、草津白根山周辺のGNSS観測結果である。

第１図上段に基線の配置を、下段に各観測点の保守履歴を示した。

第２図は、第１図に示した基線の基線長変化グラフ及び比高変化グラフであり、上段は長期（2017年10月～2022年10月）の時系列、下段は短期（2018年11月～2022年10月）の時系列である。

第３図は、草津白根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、「中之条」を固定局としている。第３図上段に最近３か月間（2022年７月～2022年10月）を、下段に最近１年間（2021年10月～2022年10月）を示した。顕著な地殻変動は観測されていない。

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。本白根山の地点A周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られる。

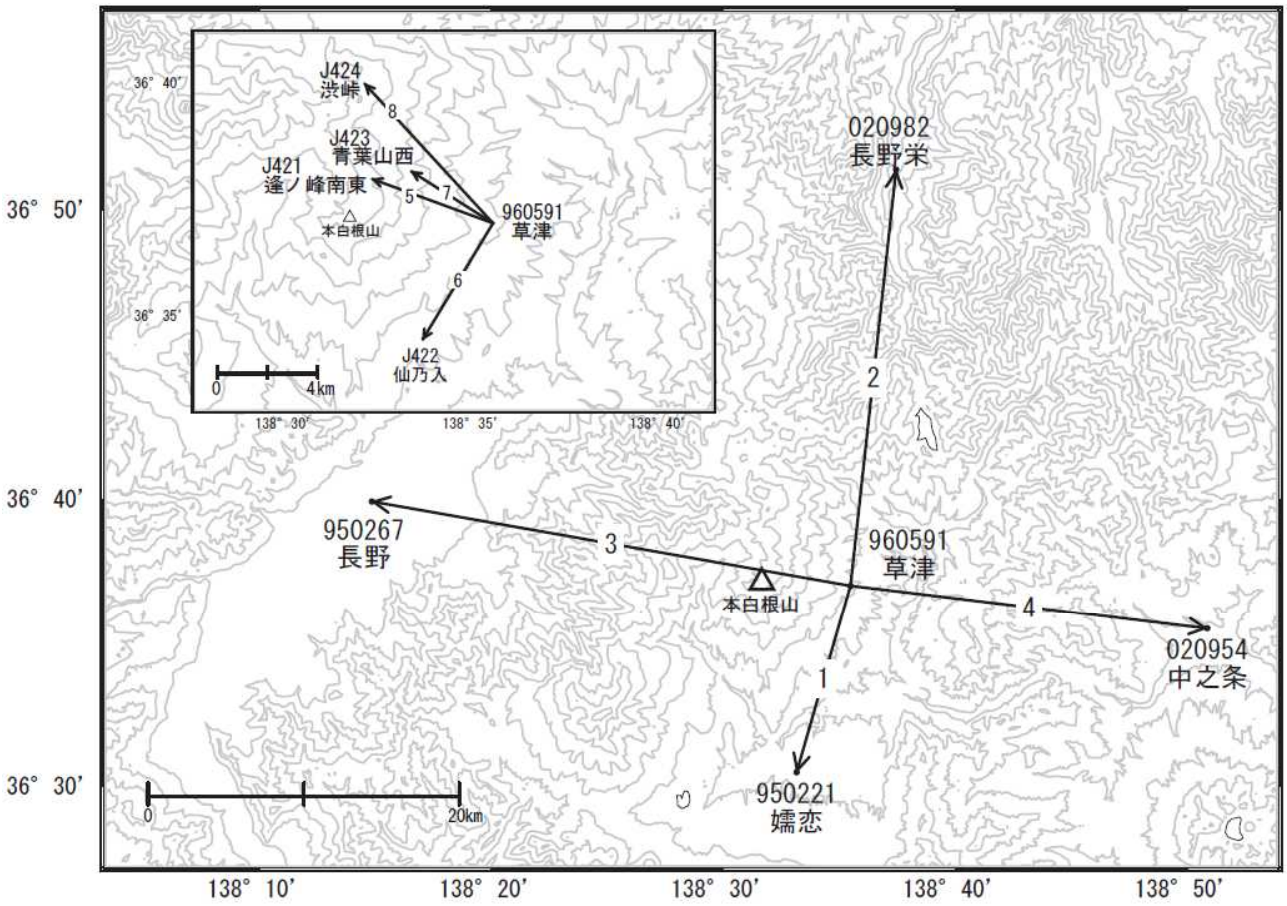
第６図は、GNSS観測から推定した草津白根山の地殻変動力源の位置と体積変化である。解析に使用するGNSS観測点の一部は、浅間山の活動の影響を受けるため、今回の解析では浅間山地域との同時解析を行った。第6-1図に地殻変動力源の位置と体積変化を示す。湯釜の北西約２kmの深さ約4.8kmに力源が推定されている（力源１）。力源１の体積変化は2021年初頭から鈍化している。第6-2図に、推定された各観測点の地殻変動（計算値）と観測値を比較した時系列グラフを示す。このモデルから推定した計算値は比較的よく再現されている。

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。

＊　2024年11月11日受付

草津白根山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



草津白根山周辺の各観測局情報

点番号	点名	日付	保守内容
960591	草津	20190725	伐採
020982	長野栄	20191018	受信機交換
950221	嬬恋	20191025	受信機交換
950267	長野	20201125	二重管化
		20201126	アンテナ交換・レドーム交換
		20211112	受信機交換

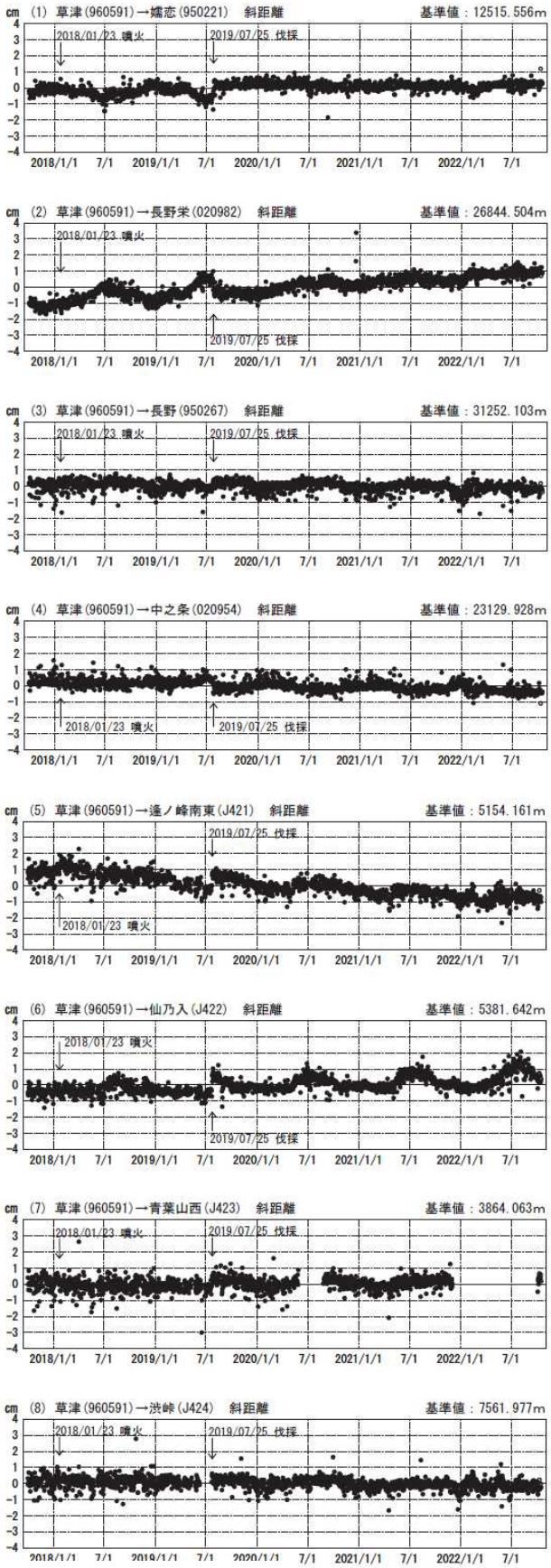
第１図　草津白根山周辺の GNSS 連続観測基線図（上段）と観測局の保守履歴（下段）

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

草津白根山

基線変化グラフ（長期）

期間：2017/10/01～2022/10/16 JST



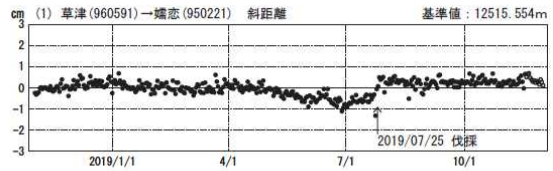
●---[F5：最終解]　○---[R5：速報解]

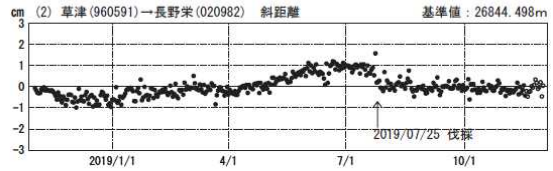
※[R5：速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

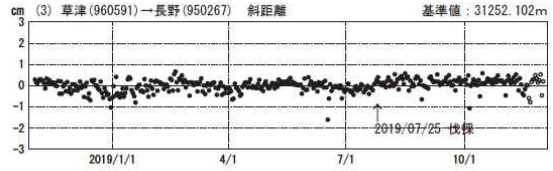
草津白根山

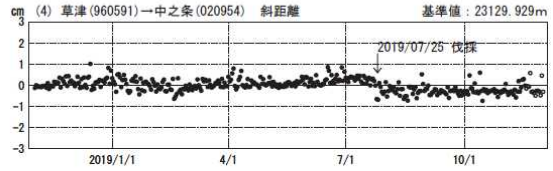
基線変化グラフ（短期）

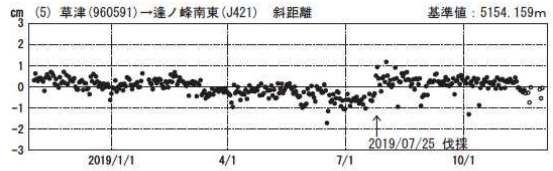
期間：2018/11/01～2019/11/30 JST

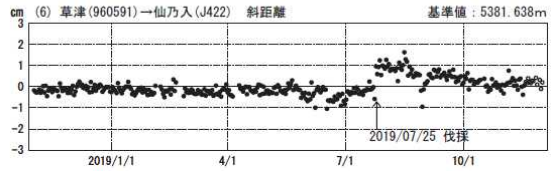


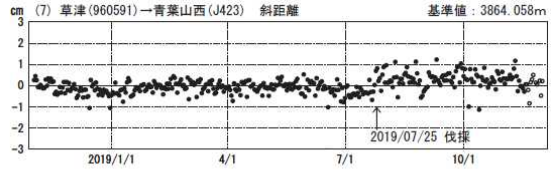


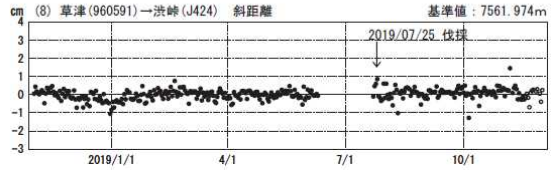






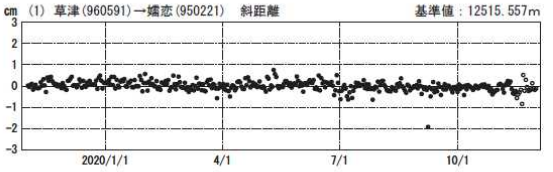


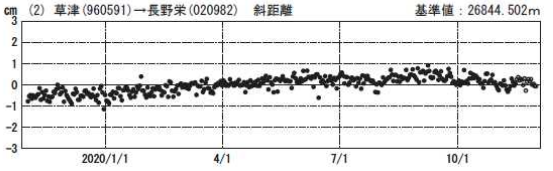


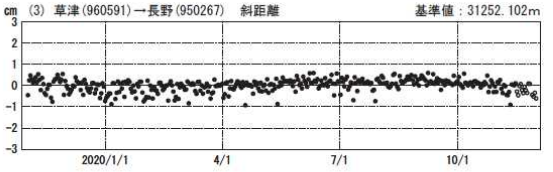


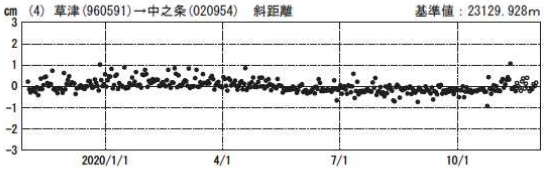
基線変化グラフ（短期）

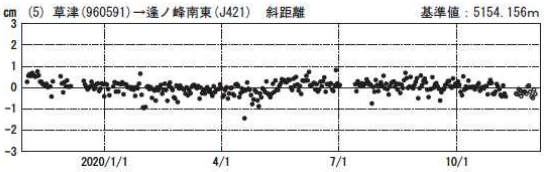
期間：2019/11/01～2020/11/30 JST

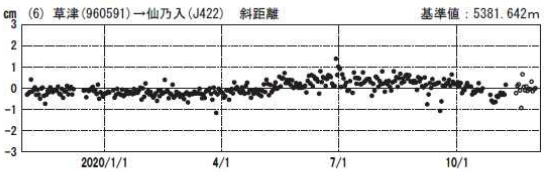


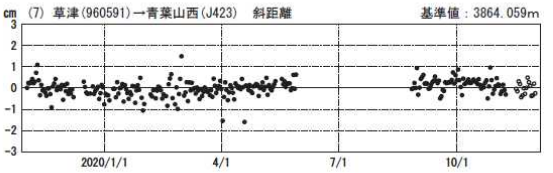


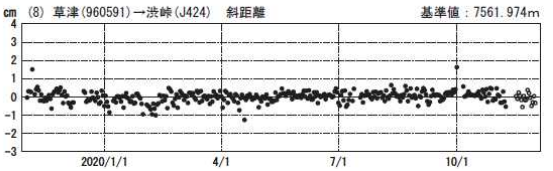








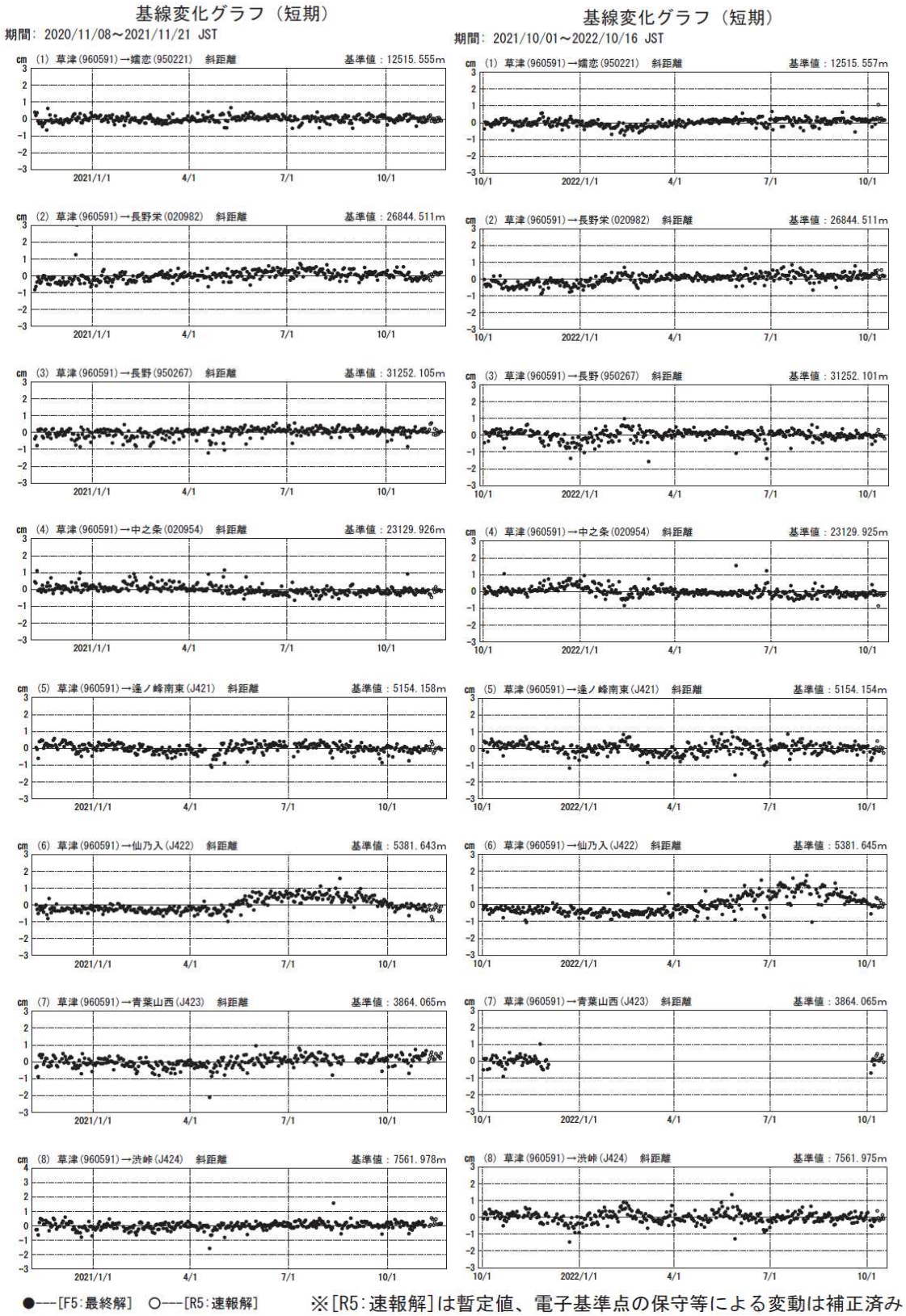




●---[F3:最終解]　○---[R3:速報解]

※[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

草津白根山

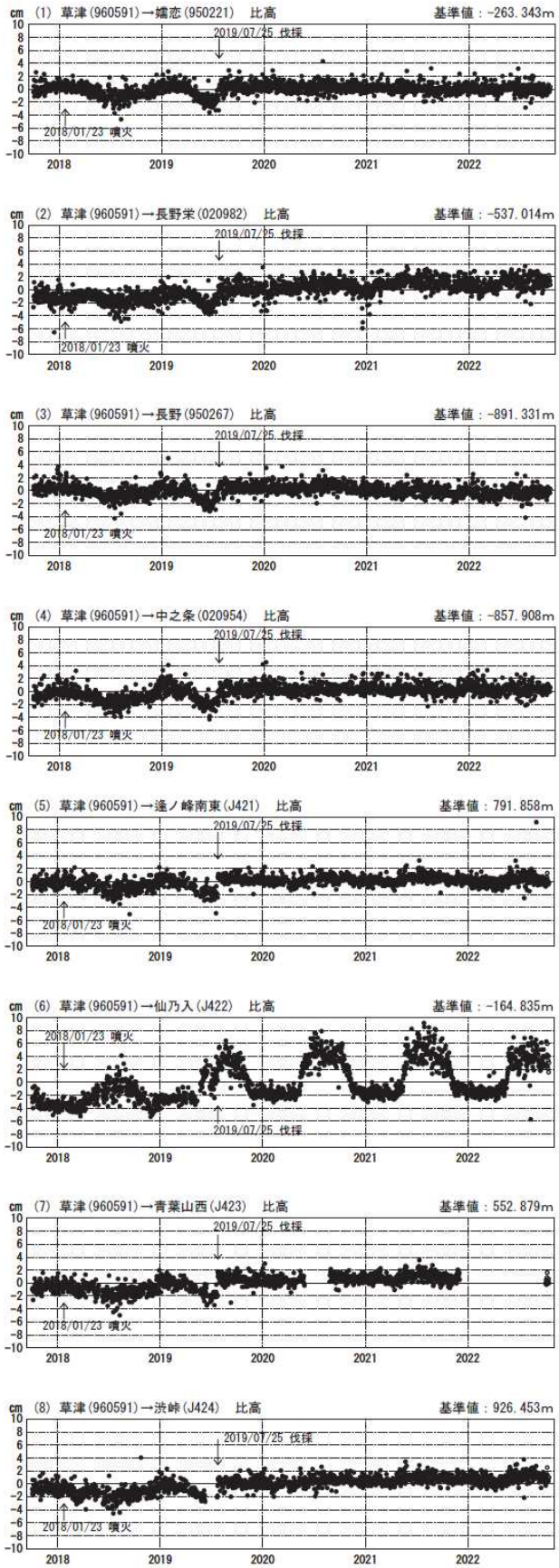


第 2-1 図　草津白根山周辺の GNSS 連続観測による基線変化グラフ
（上段：2017 年 10 月～2022 年 10 月、下段：2018 年 11 月～2022 年 10 月）

Fig.2-1 Time series of baseline length by continuous GNSS observation around Kusatsu-Shiranesan Volcano; (upper) from October 2017 to October 2022, (lower) from November 2018 to October 2022.

比高変化グラフ（長期）

期間：2017/10/01～2022/10/16 JST



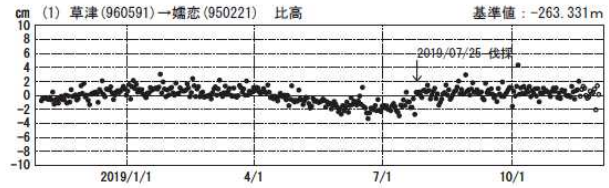
●---[F5:最終解]　○---[R5:速報解]

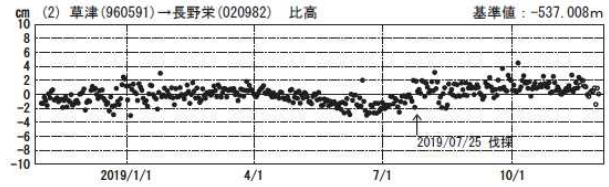
※[R5:速報解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み

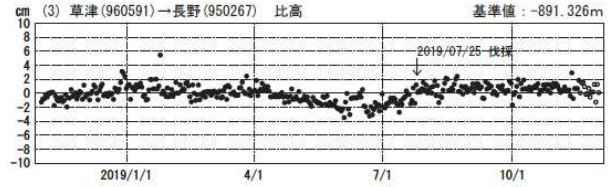
草津白根山

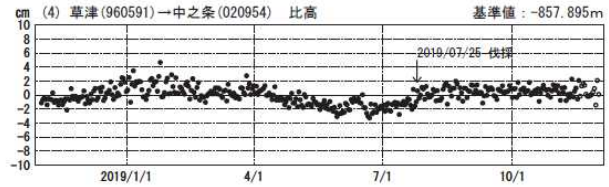
比高変化グラフ（短期）

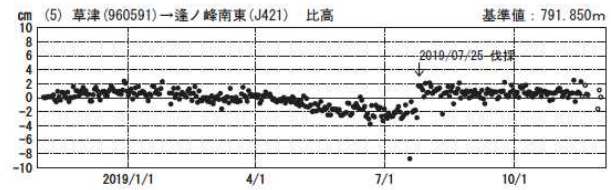
期間：2018/11/01～2019/11/30 JST

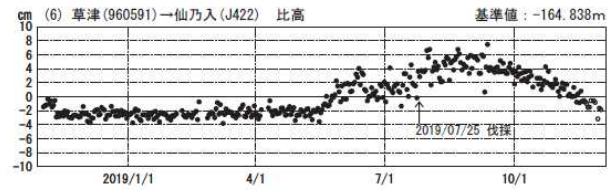


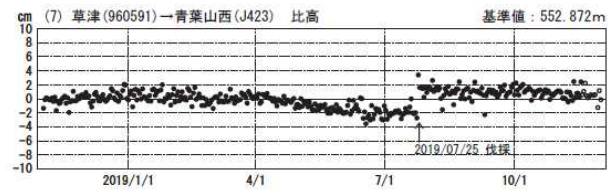


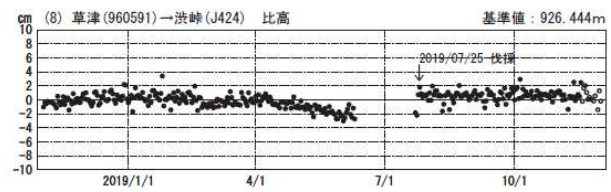






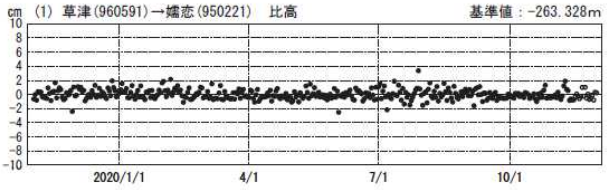


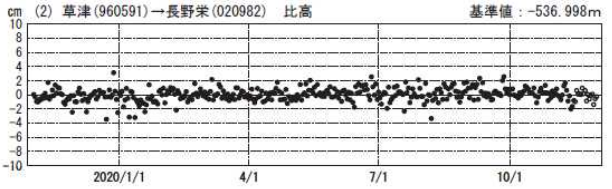


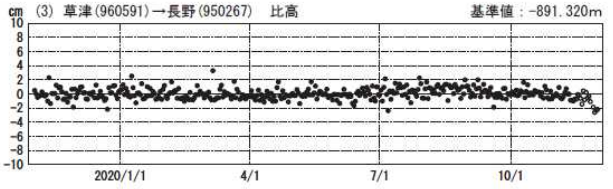


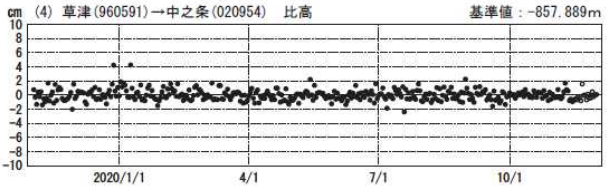
比高変化グラフ（短期）

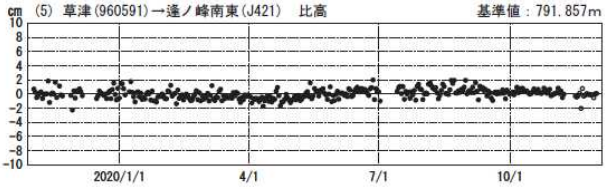
期間：2019/11/01～2020/11/30 JST

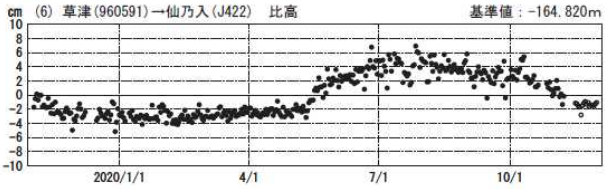


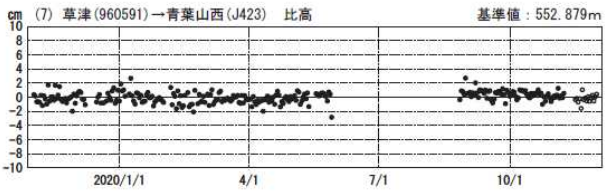


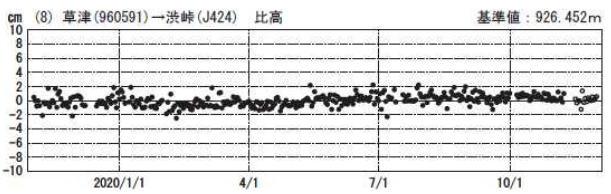








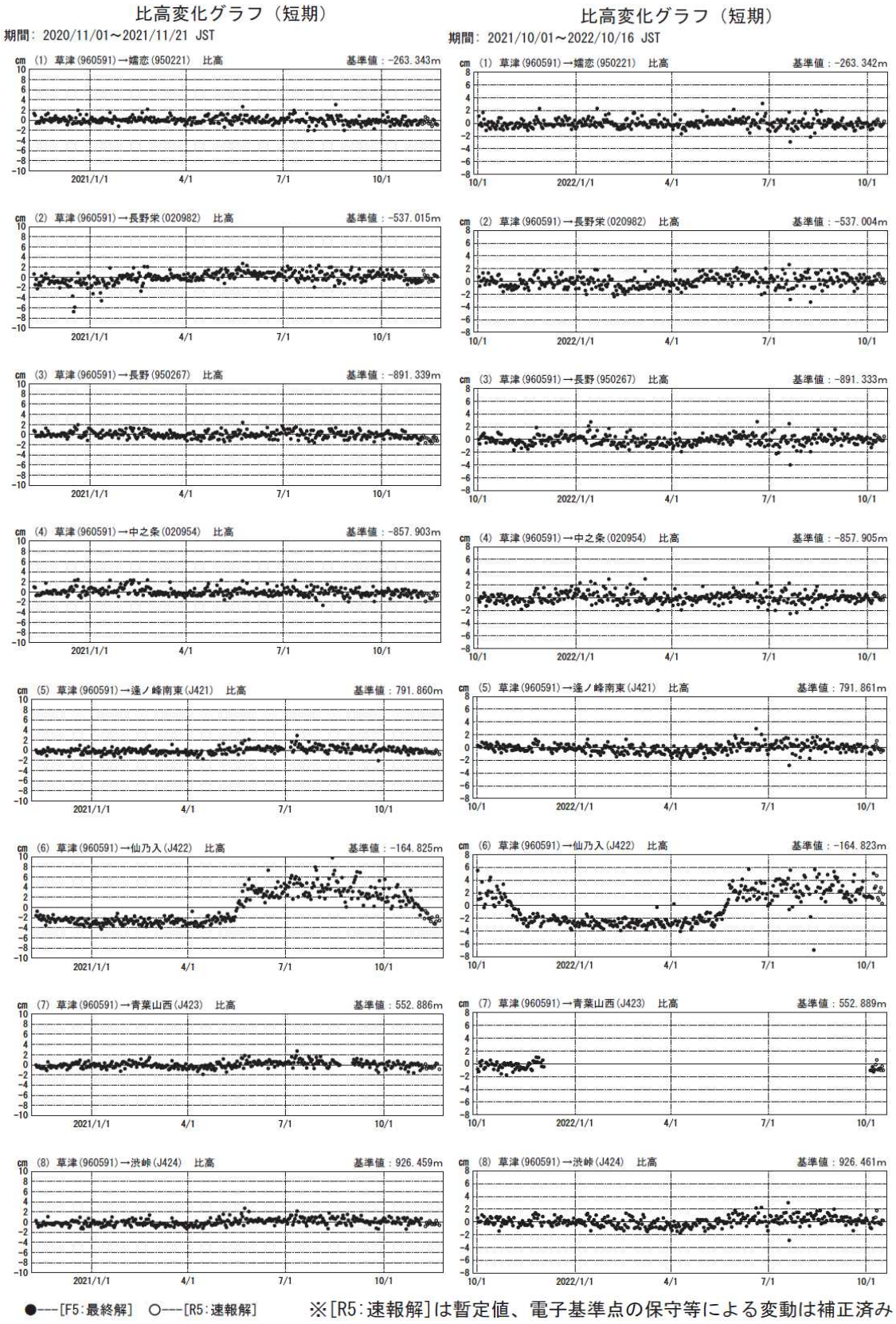




●---[F3:最終解]　○---[R3:速報解]

※[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

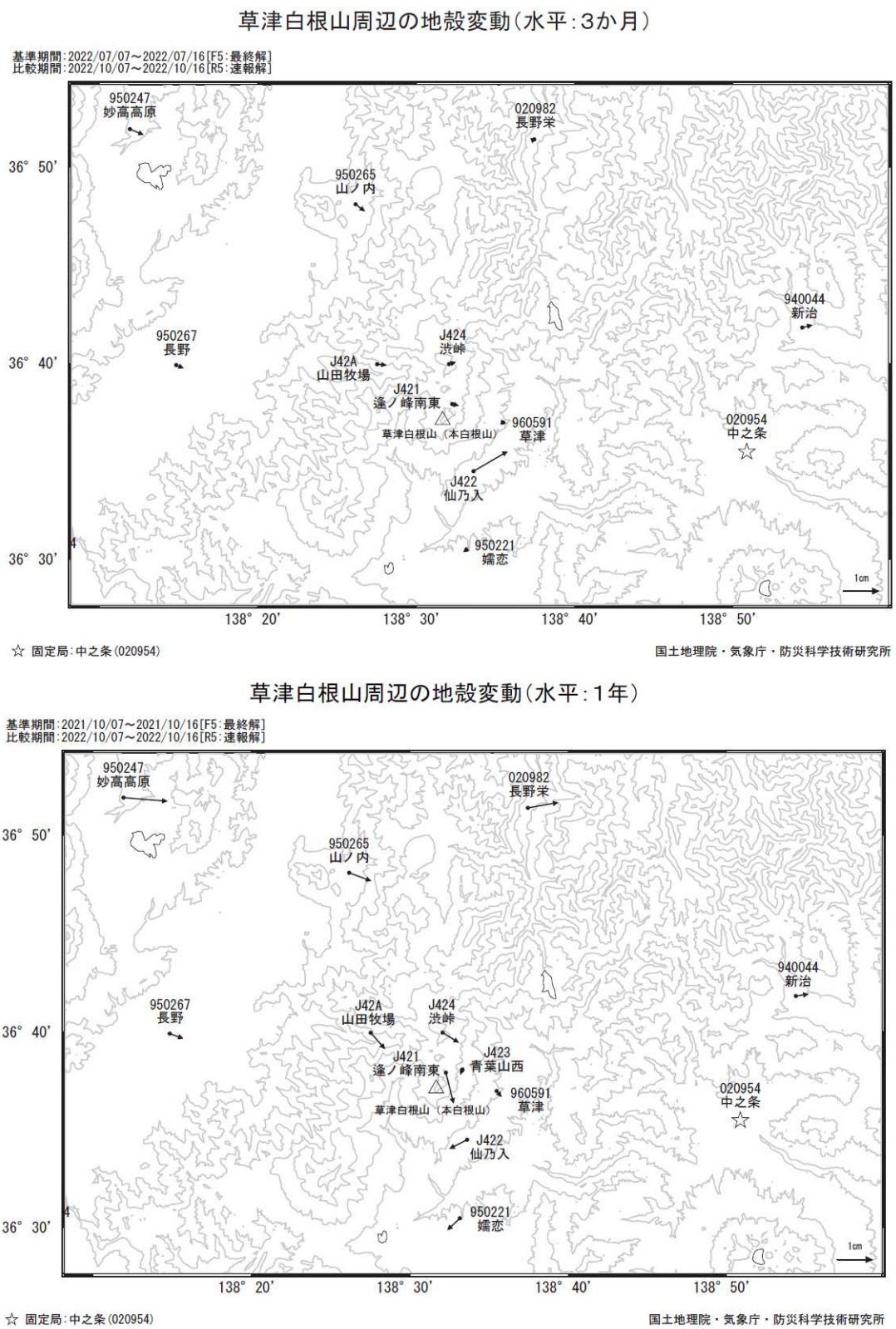
草津白根山



第 2-2 図　草津白根山周辺の GNSS 連続観測による比高変化グラフ
（上段：2017 年 10 月～2022 年 10 月、下段：2018 年 11 月～2022 年 10 月）

Fig.2-2 Time series of vertical components by continuous GNSS observation around Kusatsu-Shiranesan Volcano; (upper) from October 2017 to October 2022, (lower) from November 2018 to October 2022.

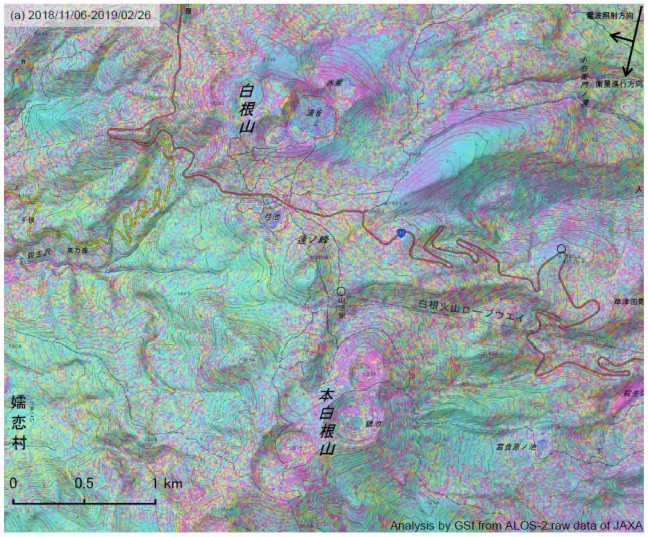
草津白根山



第３図　草津白根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：2022 年７月～2022 年 10 月、下段：2021 年 10 月～2022 年 10 月）

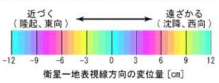
Fig.3 Horizontal displacement of GEONET, JMA and NIED stations by the combined analyzing system around Kusatsu-Shiranesan Volcano;
(upper) from July 2022 to October 2022, (lower) from October 2021 to October 2022.

草津白根山



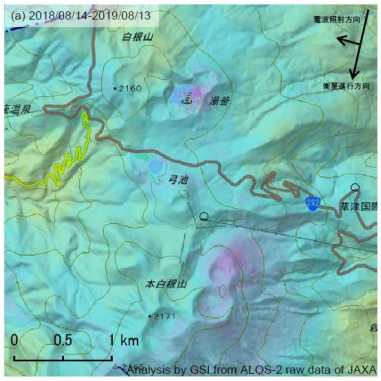
	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2018/11/06 2019/02/26 11:50 頃 (112 日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U
入射角	37.5°
偏波	HH
垂直基線長	+ 460m

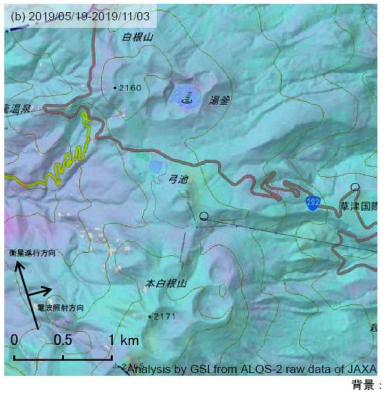
*U: 高分解能(3m)モード



○ 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

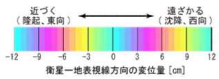


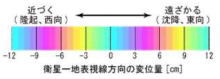


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2018/08/14 2019/08/13 11:50 頃 (364 日間)	2019/05/19 2019/11/03 23:38 頃 (168 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U	U-U
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 102 m	+ 50 m

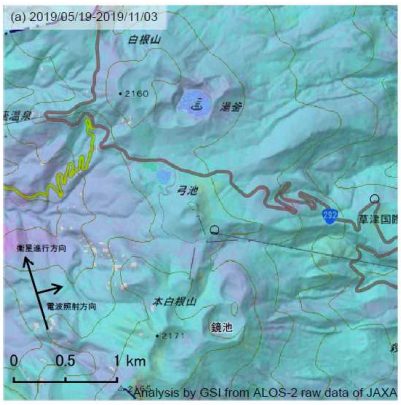
*U: 高分解能(3m)モード

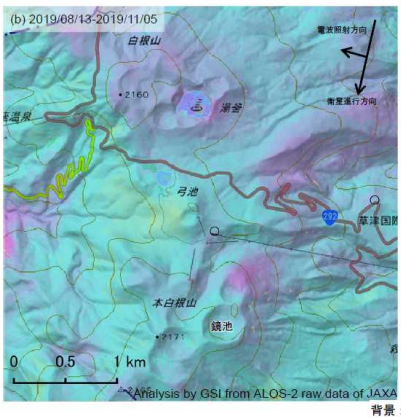
○ 国土地理院以外の GNSS 観測点





背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

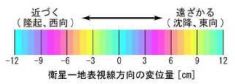


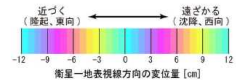


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/05/19 2019/11/03 23:38 頃 (168 日間)	2019/08/13 2019/11/05 11:50 頃 (84 日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右	右
観測ﾓｰﾄﾞ*	U-U	U-U
入射角	32.3°	37.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 50 m	+ 24 m

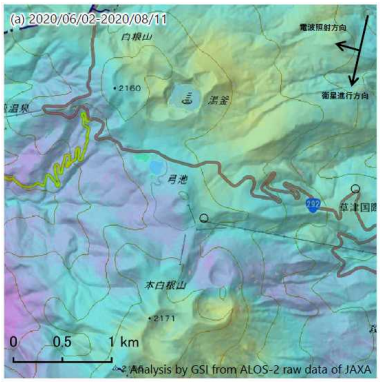
*U: 高分解能(3m)モード

○ 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

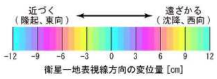


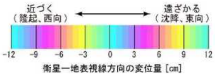


	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/06/02 2020/08/11 11:50頃 (70日間)	2018/08/26 2020/08/23 23:38頃 (728日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 124m	+ 120m

* U：高分解能(3m)モード
H：高分解能(6m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

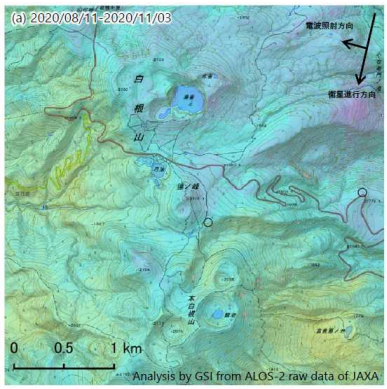




Analysis by GSI from ALOS-2 raw data of JAXA

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

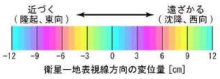
草津白根山

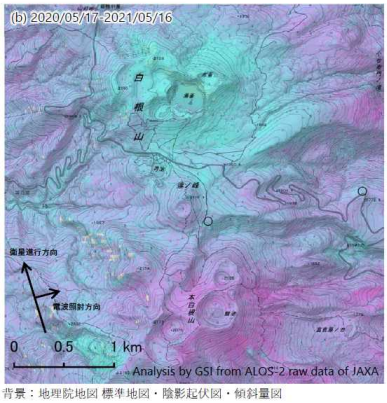


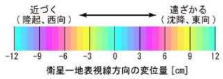
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/08/11 2020/11/03 11:50頃 (84日間)	2020/05/17 2021/05/16 23:38頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 42m	- 11m

* U：高分解能(3m)モード

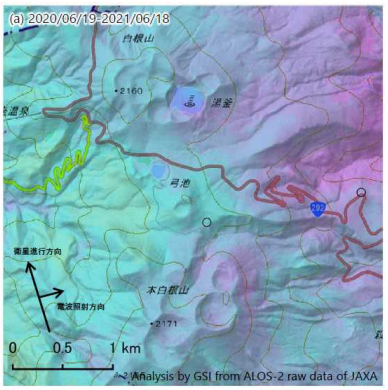
○ 国土地理院以外のGNSS観測点







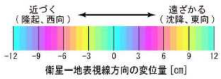
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

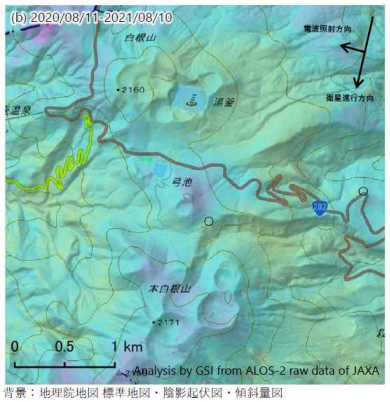


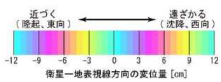
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/06/19 2021/06/18 23:45頃 (364日間)	2020/08/11 2021/08/10 11:50頃 (364日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	42.6°	37.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 34m	- 127m

* U：高分解能(3m)モード

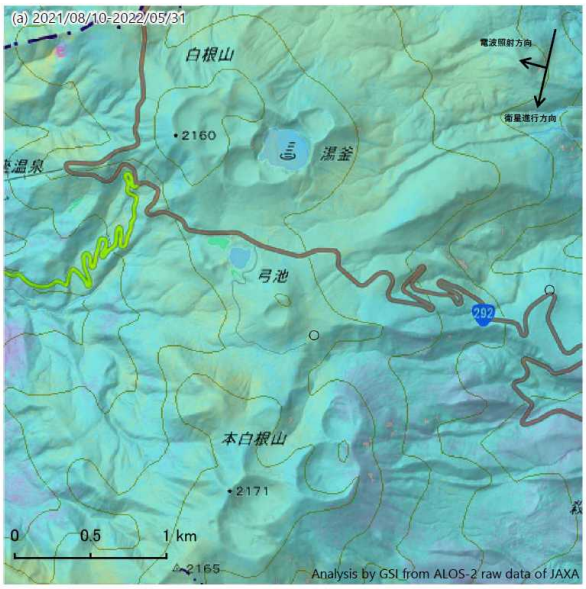
○ 国土地理院以外のGNSS観測点







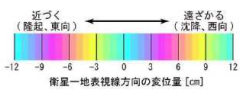
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

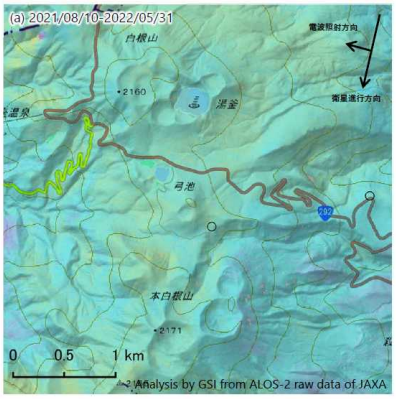


	(a)
衛星名	ALOS-2
観測日時	2021/08/10 2022/05/31 11:50頃 (294日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U-U
入射角	37.5°
偏波	HH
垂直基線長	+ 117m

* U：高分解能(3m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

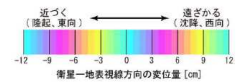


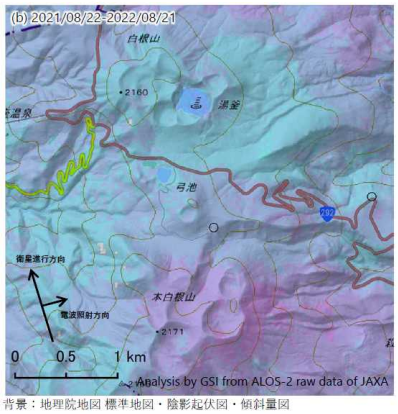


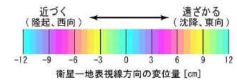
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/08/10 2022/05/31 11:50頃 (294日間)	2021/08/22 2022/08/21 23:38頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	37.5°	32.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 113m	- 46m

* U：高分解能(3m)モード
H：高分解能(6m)モード

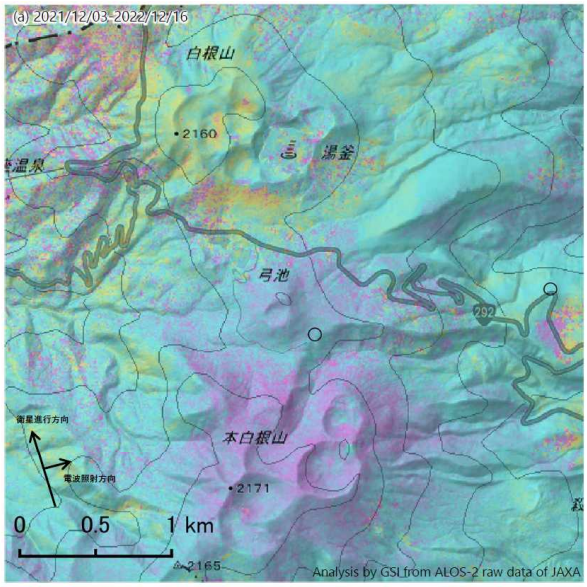
○ 国土地理院以外のGNSS観測点







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	2021/12/03 2022/12/16 23:45頃 (378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	42.6°
偏波	HH
垂直基線長	- 29m

* U：高分解能(3m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

近づく（隆起、西向）　遠ざかる（沈降、東向）

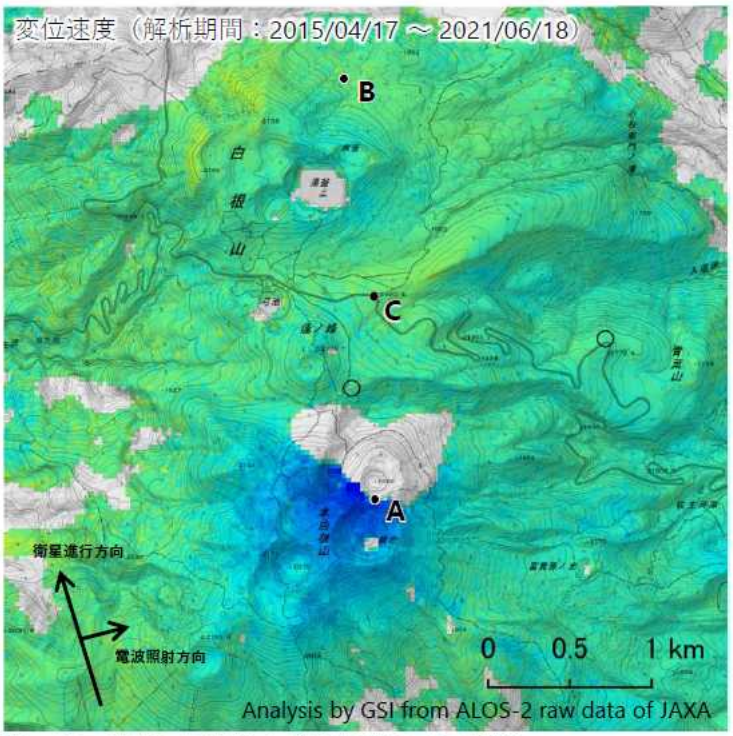
−12 −9 −6 −3 0 3 6 9 12

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

第４図　「だいち２号」PALSAR-2による草津白根山周辺地域の解析結果

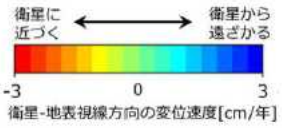
Fig.4 SAR Interferograms of ALOS-2 PALSAR-2 around Kusatsu-Shiranesan Volcano.



衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/04/17 ～ 2021/06/18 (2254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	42.6°
偏波	HH
データ数	11
干渉ペア数	16

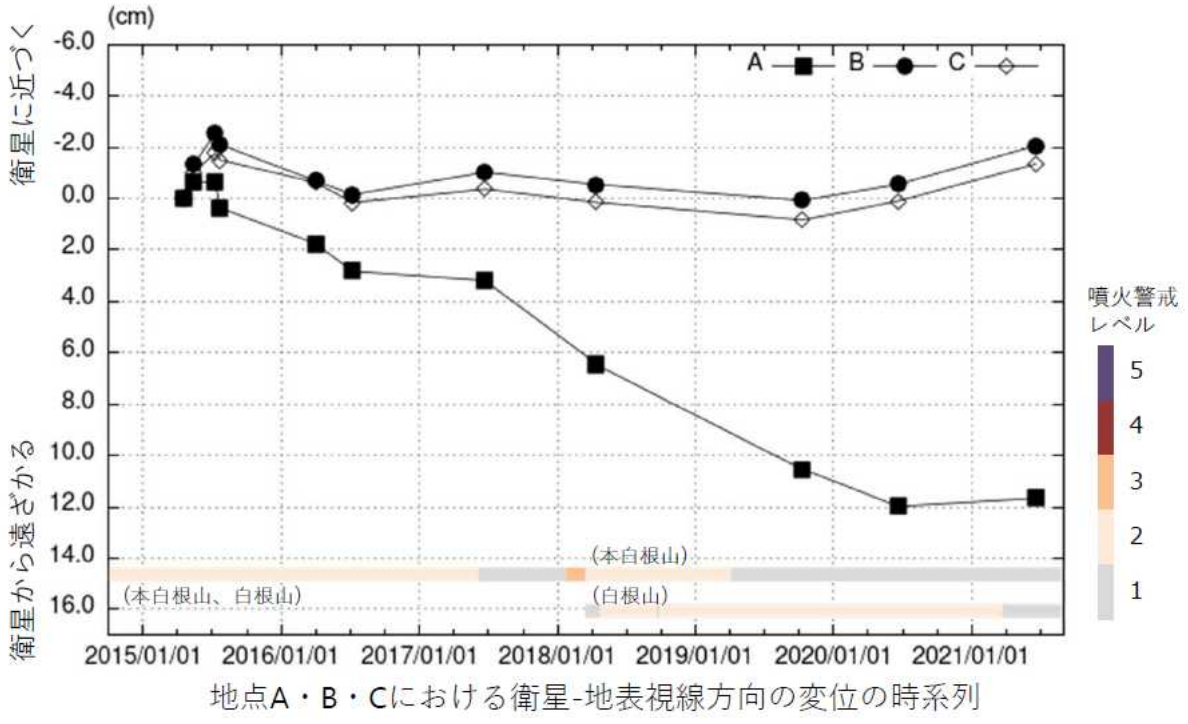
＊　U：高分解能(3m)モード

○　国土地理院以外のGNSS観測点



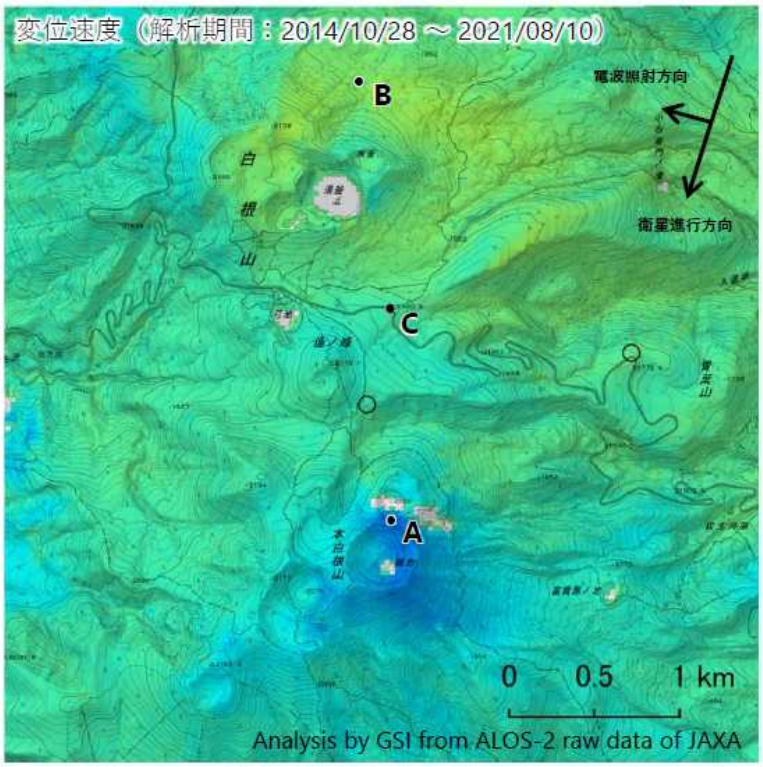
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図　※参照点は電子基準点「草津」付近

干渉SAR時系列解析手法：SBAS法



地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

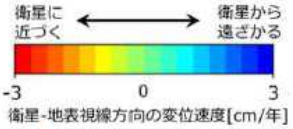
草津白根山



衛星名	ALOS-2
観測期間	2014/10/28 ～ 2021/08/10 (2478日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	37.5°
偏波	HH
データ数	22
干渉ペア数	59

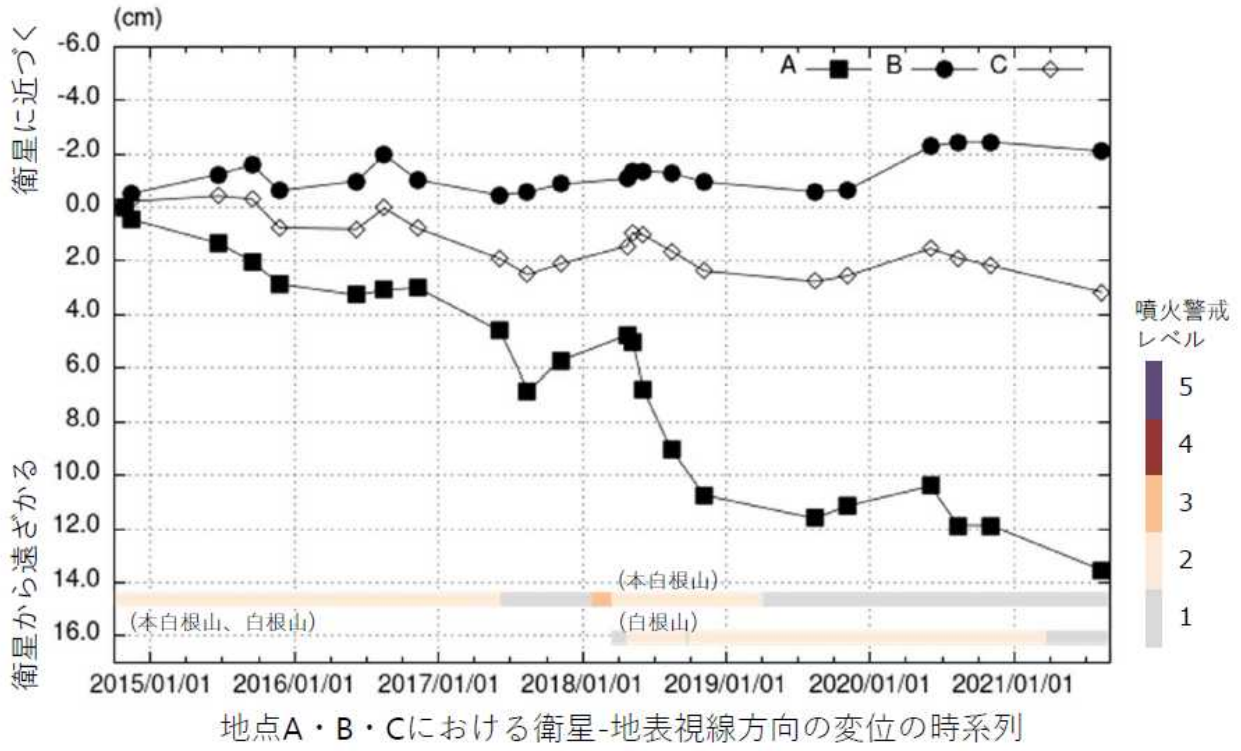
＊　U：高分解能(3m)モード

○　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「草津」付近

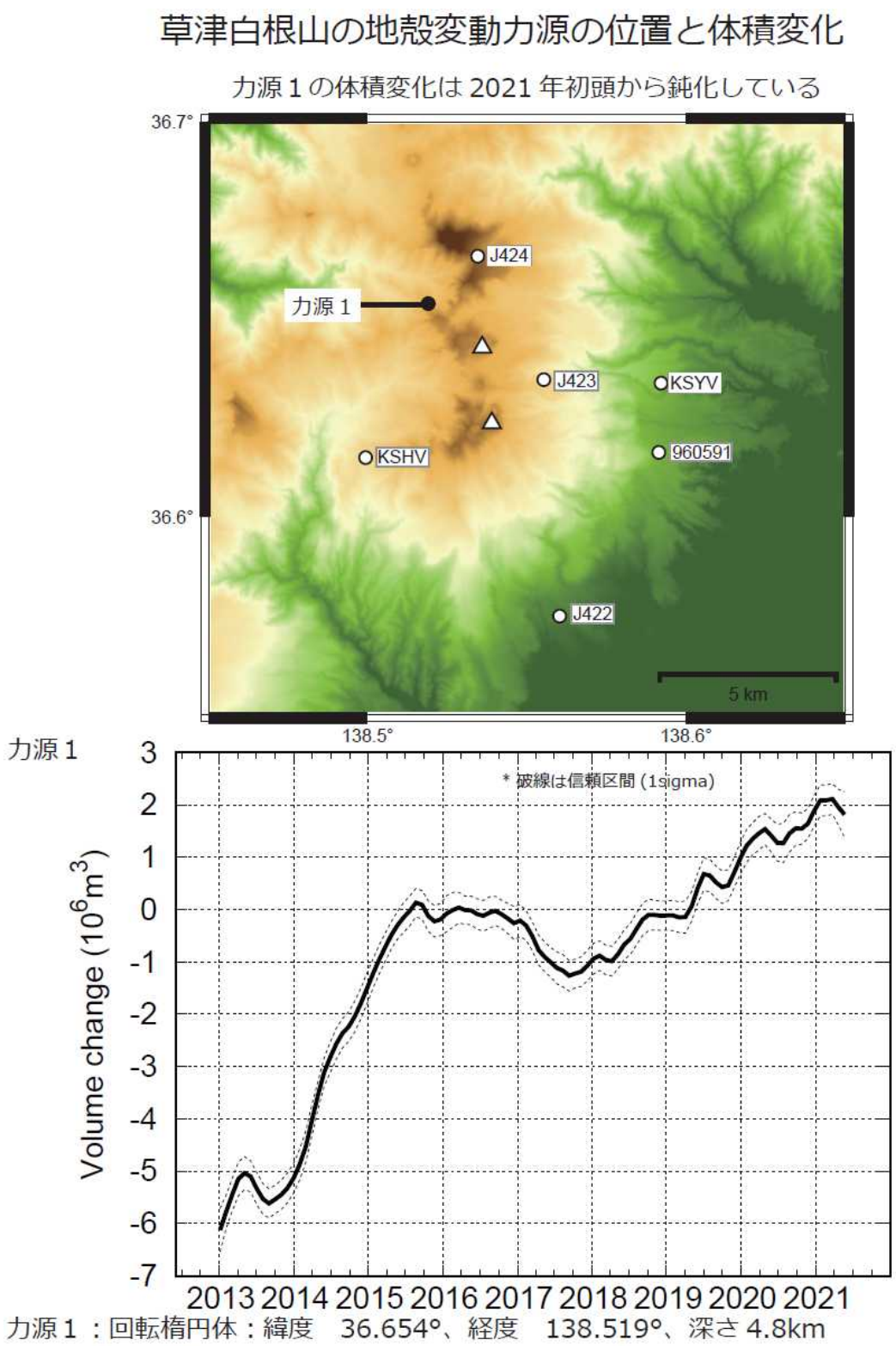
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法



第５図　「だいち２号」PALSAR-2による草津白根山周辺地域の時系列解析結果

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

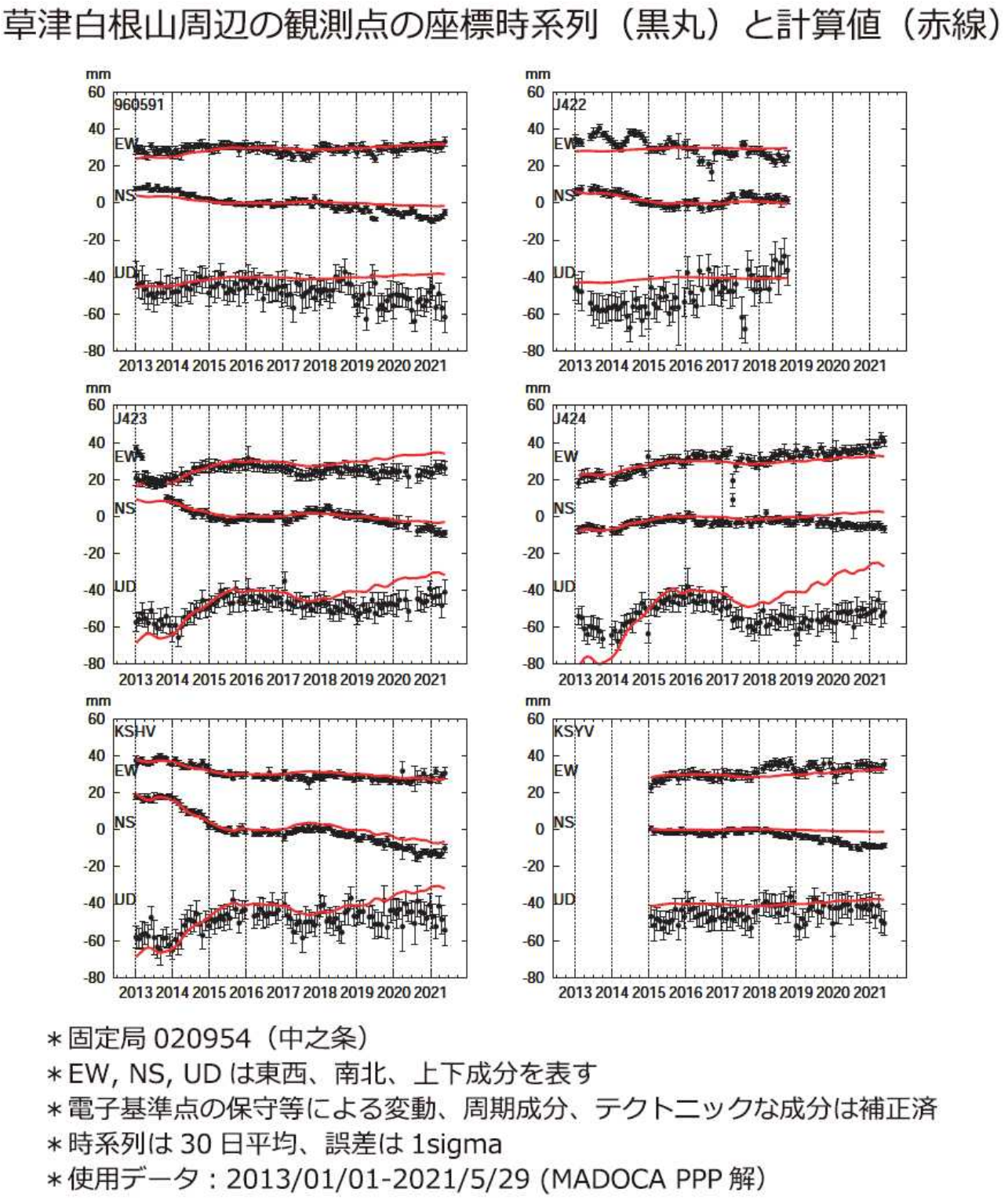
草津白根山



第6−1図　線形インバージョンによる草津白根山の地殻変動力源の体積変化推定
（上段：推定に用いた観測点（白丸）と地殻変動力源の位置（黒丸）
下段：推定された地殻変動力源の体積の時間変化）

Fig.6-1 Estimation of the volume change of deformation source around Kusatsu-Shiranesan by linear inversion method;
(upper) distribution of GNSS observation sites (white circle) and deformation source (black circle),
(lower) Time series of estimated volume of deformation source.

草津白根山



第 6-2 図　推定された力源による地殻変動　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 source (red lines) and observed deformation (black dots)