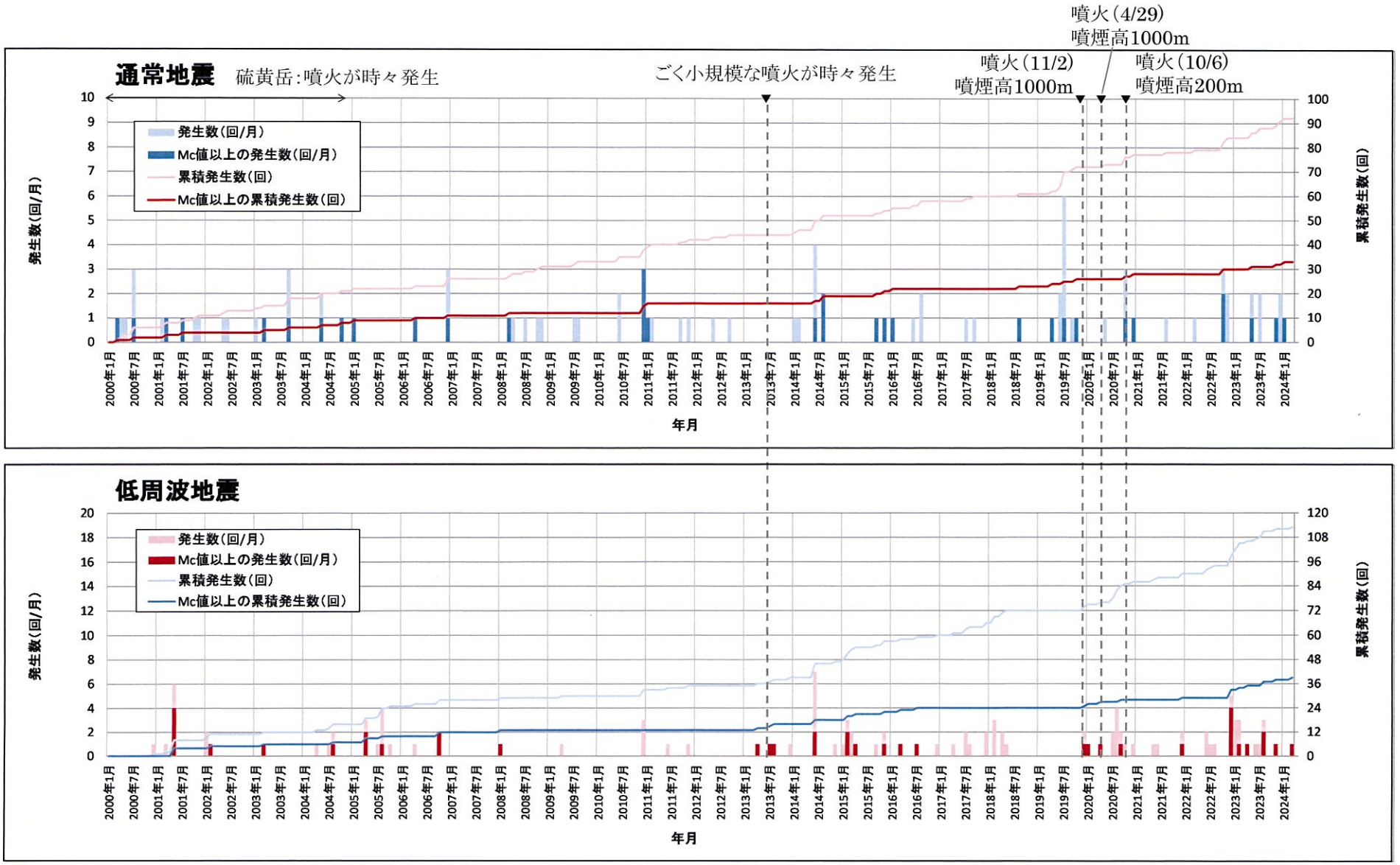
⑤ 鬼界 [モニタリング項目のまとめ]

・各監視項目において、有意な変化は認められない。
・また、マグマ供給を示唆する地殻変動は認められるが、マグマ供給率は0.01km^3/年を超過しないことから、活動状況に変化はないと評価した。（当社監視レベル：平常）

監視項目		データ	評価
①主な監視項目	地震活動	・一元化処理震源データ※（気象庁、大学、防災科学技術研究所） データ期間：2000.1.1～2024.3.31（※ 2000年～2021年までは，地震月報（カタログ編）の震源データを使用）	・地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない。 ・地震発生数の急激な変化は認められない。 （P123～129）
	地殻変動・地盤変動	・[GNSS] 電子基準点データ提供サービス（データ期間：2000.1.1～2024.3.31） ・[衛星観測]国土地理院　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島，国土地理院　地理院地図（解析：国土地理院　原初データ所有：JAXA） ・[傾斜計・伸縮計] 気象庁　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島	・カルデラへのマグマ供給を示唆する地殻変動は認められるが、マグマ供給率は0.01km^3/年を超過しない。 ・既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない。 ・既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない。 ・傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない。 （P130～142）
	火山ガス・熱活動（表面活動）	・気象庁　令和5年（2023 年）の薩摩硫黄島の火山活動 ・気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和6年3月）	・既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない。 ・火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められない。 （P143～145）
②その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	※2023年度には噴火は発生していない。	・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められない。 ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない。
	噴火様式	※2023年度には噴火は発生していない。	・噴煙柱高度が数十km 程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない。
	地下構造	※①主な監視項目に有意な変化は認められない。なお、文献調査による新知見がないことも確認。	・地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない。
備　考		・気象庁噴火警戒レベル（2024/3/31現在）：薩摩硫黄島　（レベル2（火口周辺規制））	

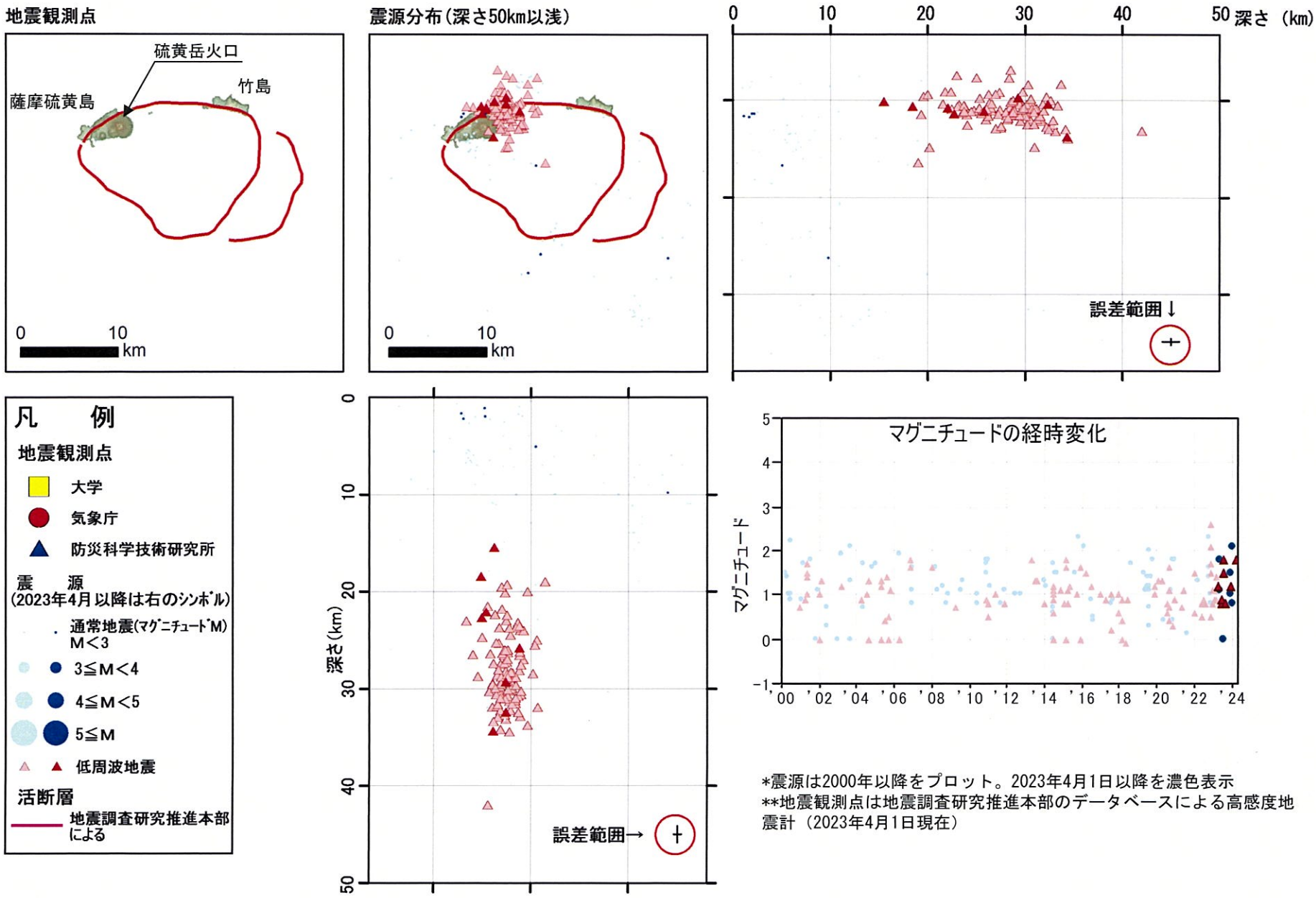
⑤ 鬼界［主な監視項目：地震活動（2000年以降の地震発生数の推移）］

・2023年度の地震活動（発生数、位置、規模等）は、過去と比較して有意な変化は認められない。



〔 Mc値（2000～2023年データ使用）〕通常地震：1.5　低周波地震：1.2

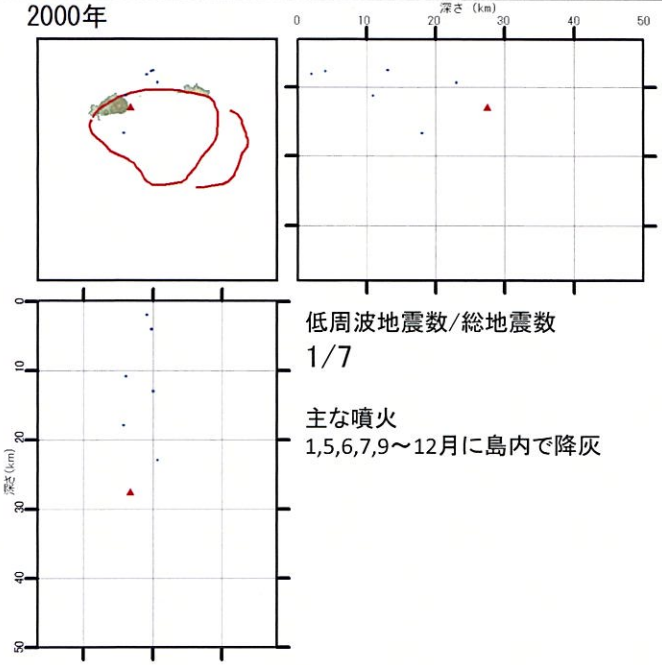
⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（震源分布とﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞの経時変化）]



*震源は2000年以降をプロット。2023年4月1日以降を濃色表示
**地震観測点は地震調査研究推進本部のデータベースによる高感度地震計（2023年4月1日現在）

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（2000年以降の震源分布の推移）]

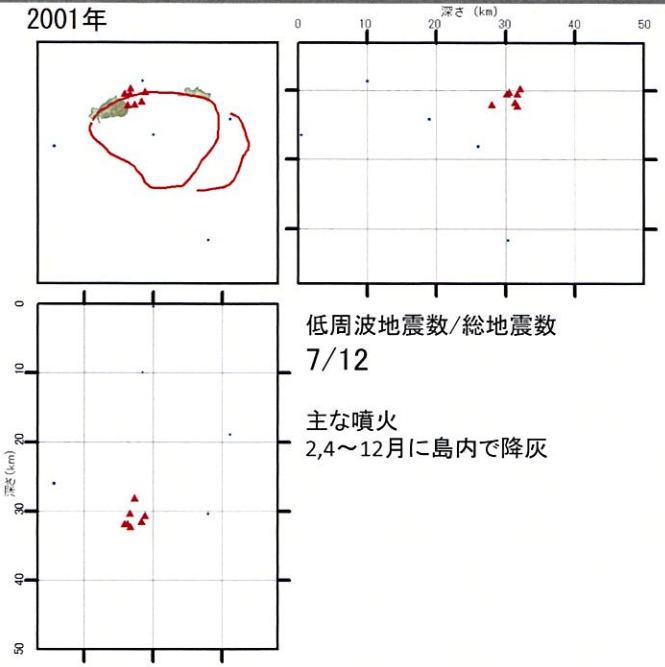
2000年



低周波地震数/総地震数
1/7

主な噴火
1,5,6,7,9～12月に島内で降灰

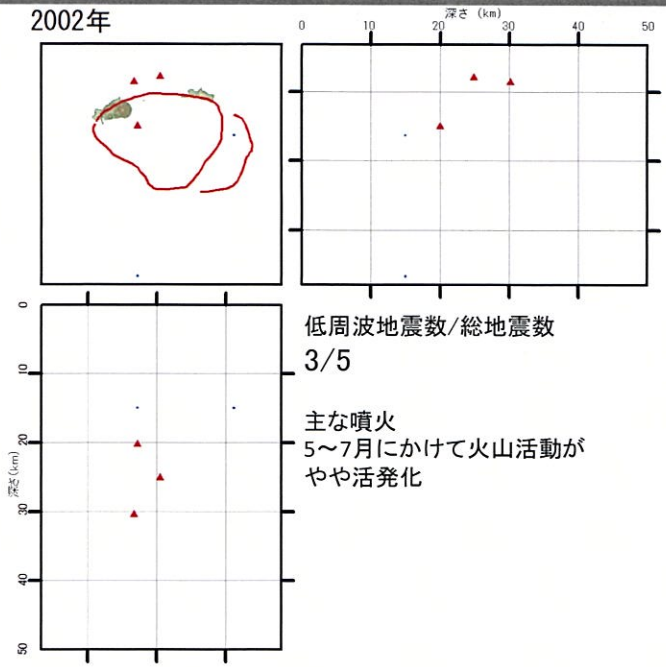
2001年



低周波地震数/総地震数
7/12

主な噴火
2,4～12月に島内で降灰

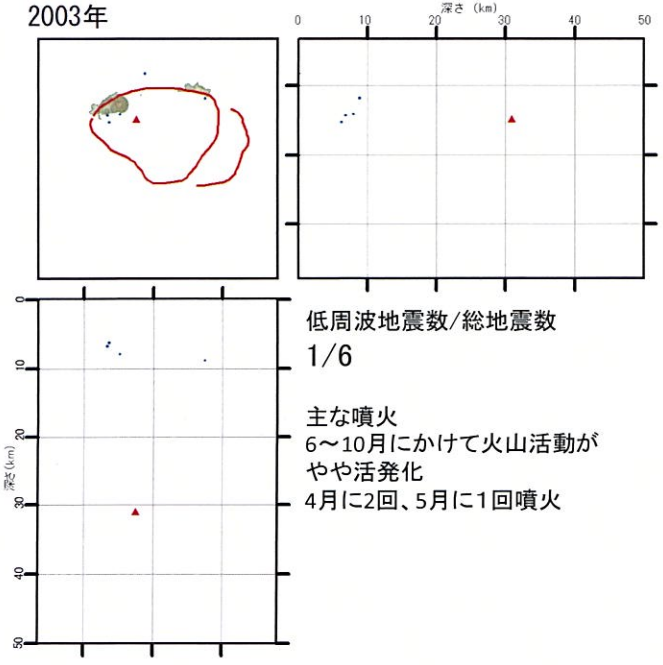
2002年



低周波地震数/総地震数
3/5

主な噴火
5～7月にかけて火山活動がやや活発化

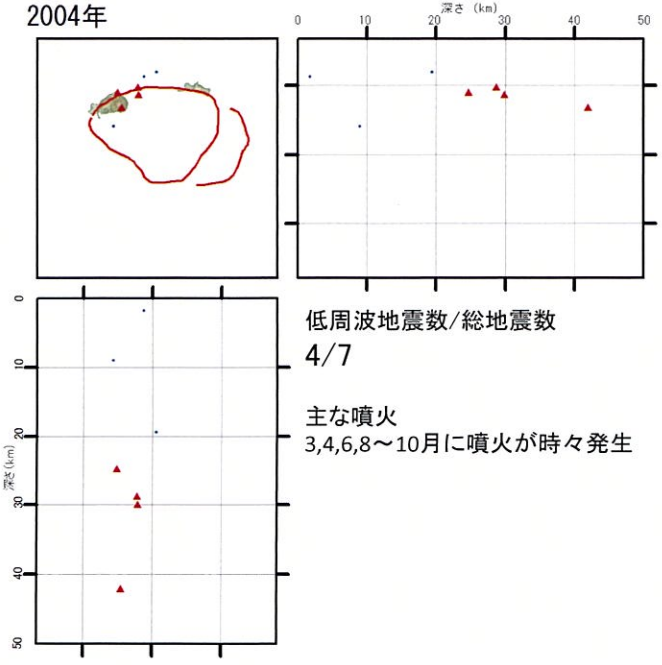
2003年



低周波地震数/総地震数
1/6

主な噴火
6～10月にかけて火山活動がやや活発化
4月に2回、5月に1回噴火

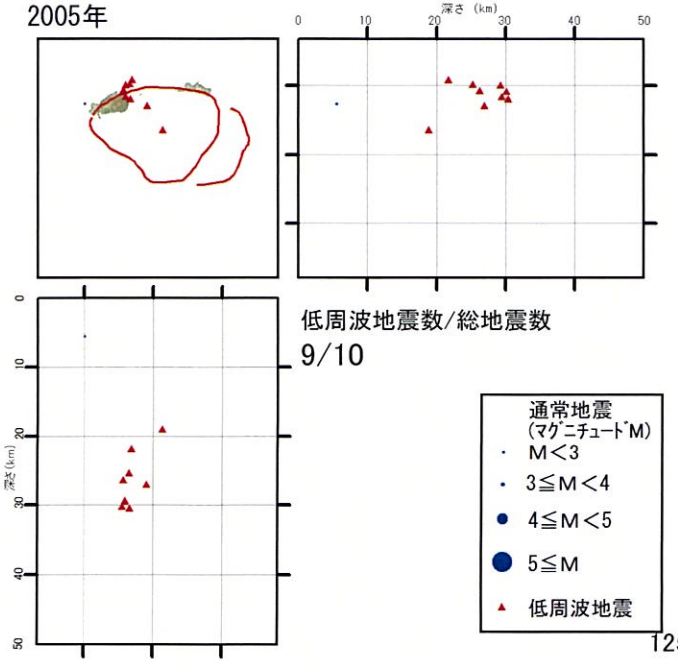
2004年



低周波地震数/総地震数
4/7

主な噴火
3,4,6,8～10月に噴火が時々発生

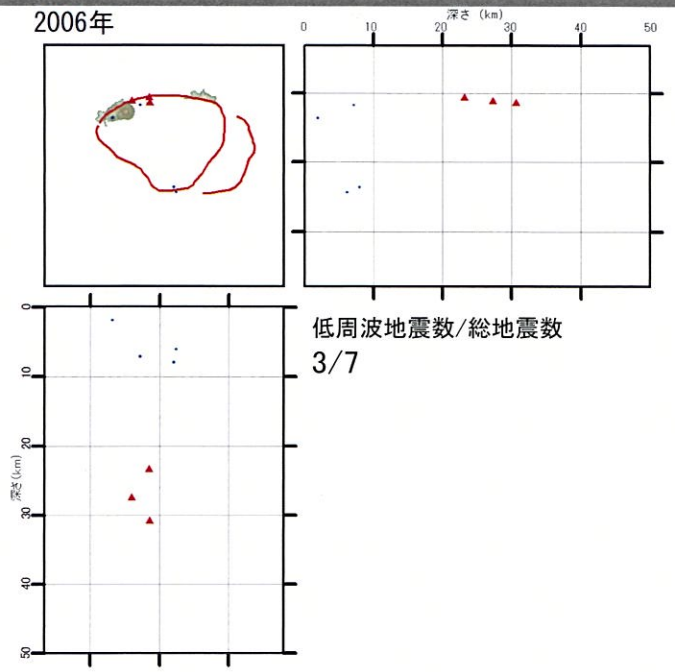
2005年



低周波地震数/総地震数
9/10

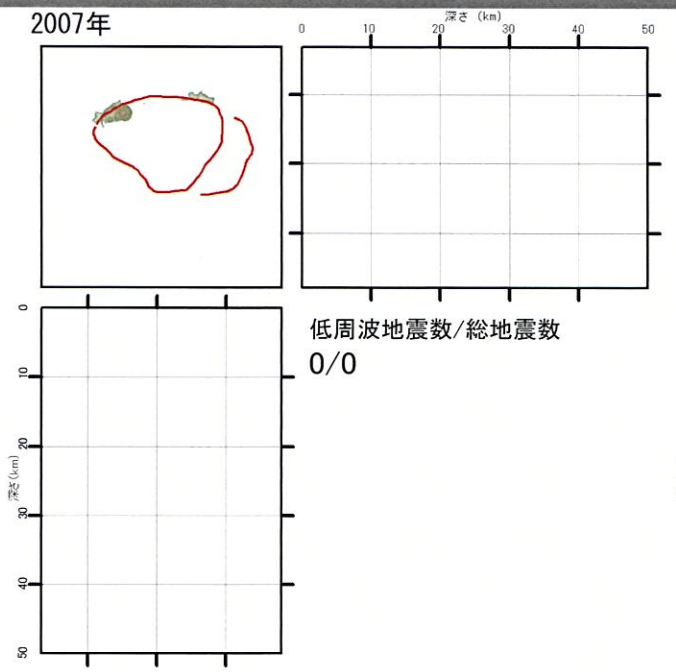
⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（2000年以降の震源分布の推移）]

2006年



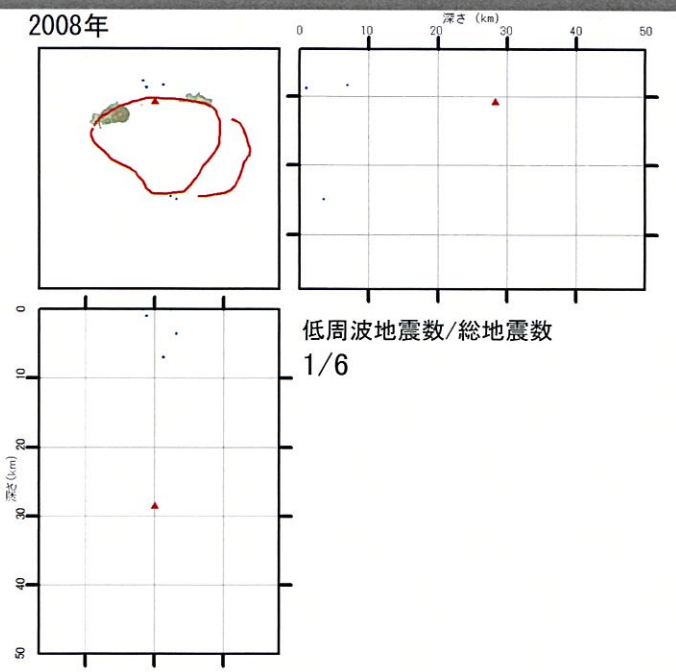
低周波地震数/総地震数
3/7

2007年



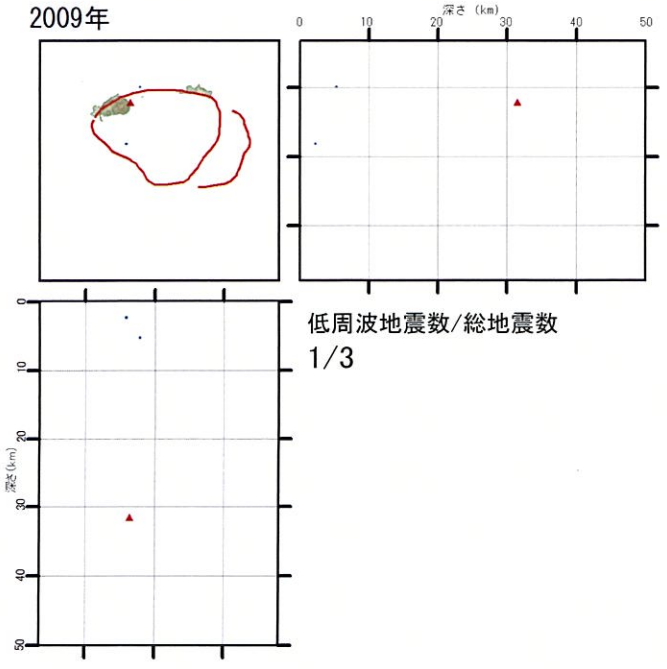
低周波地震数/総地震数
0/0

2008年



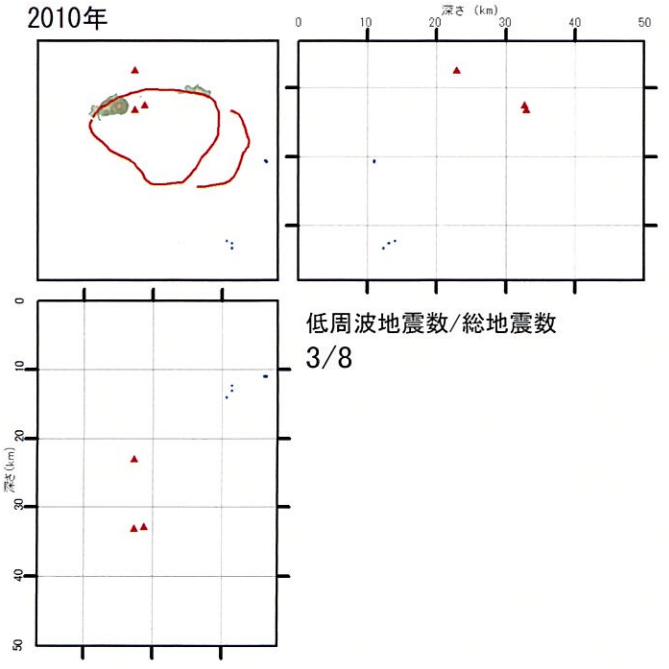
低周波地震数/総地震数
1/6

2009年



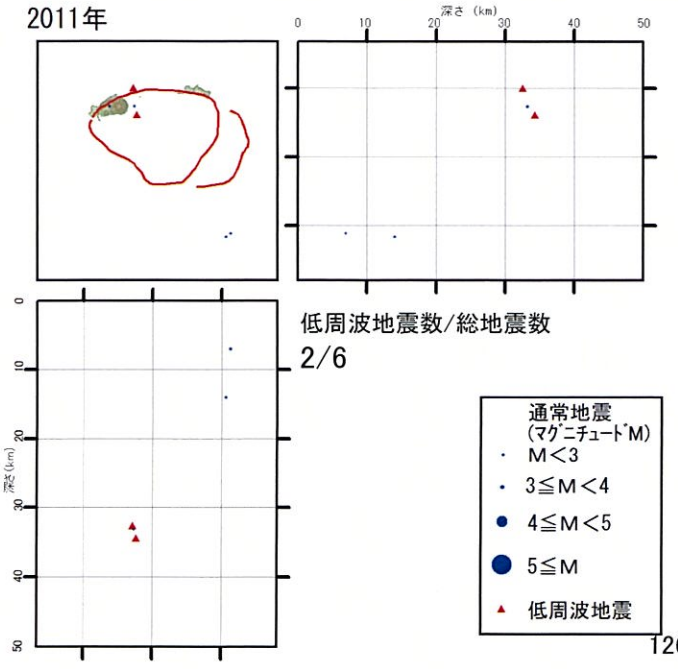
低周波地震数/総地震数
1/3

2010年



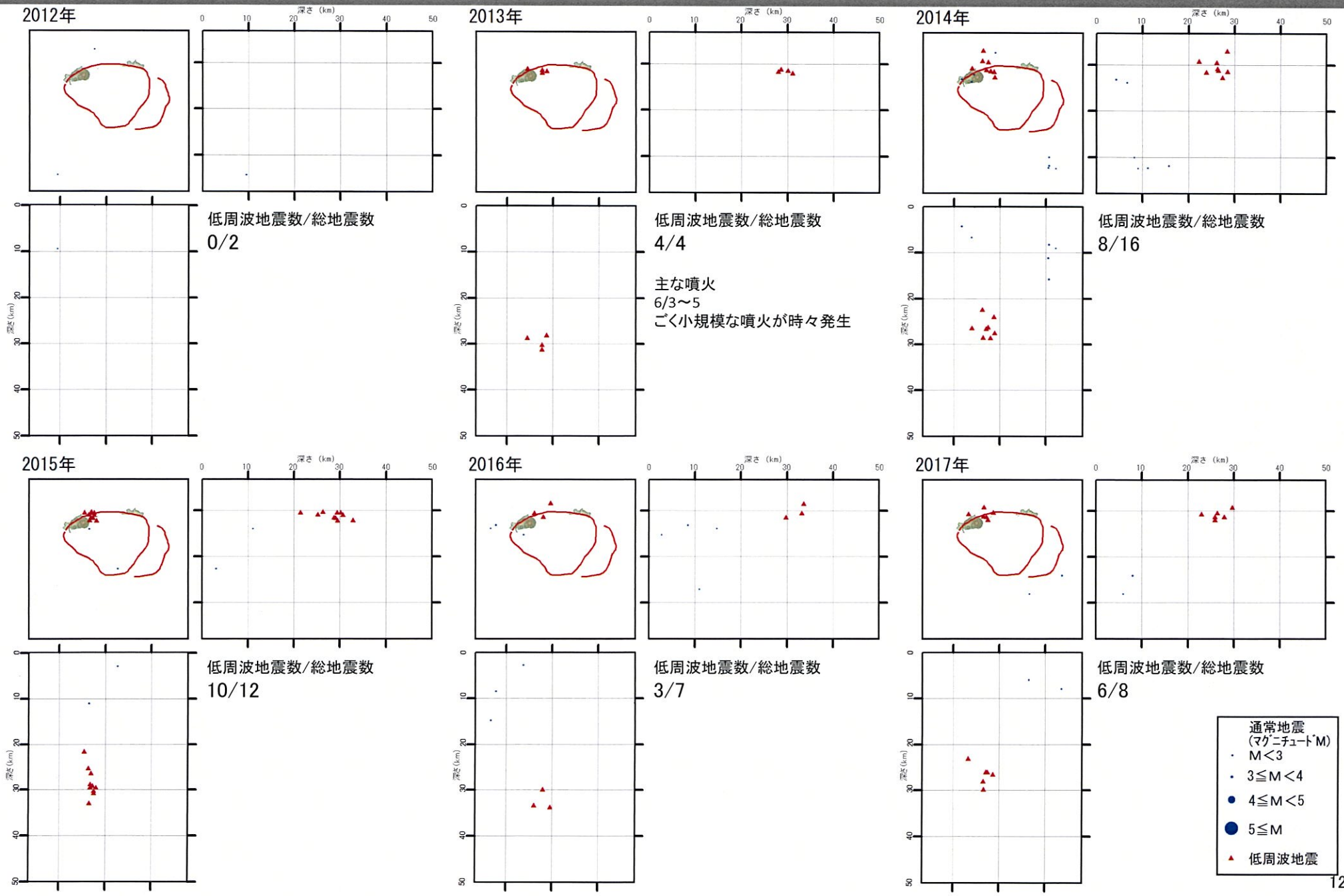
低周波地震数/総地震数
3/8

2011年

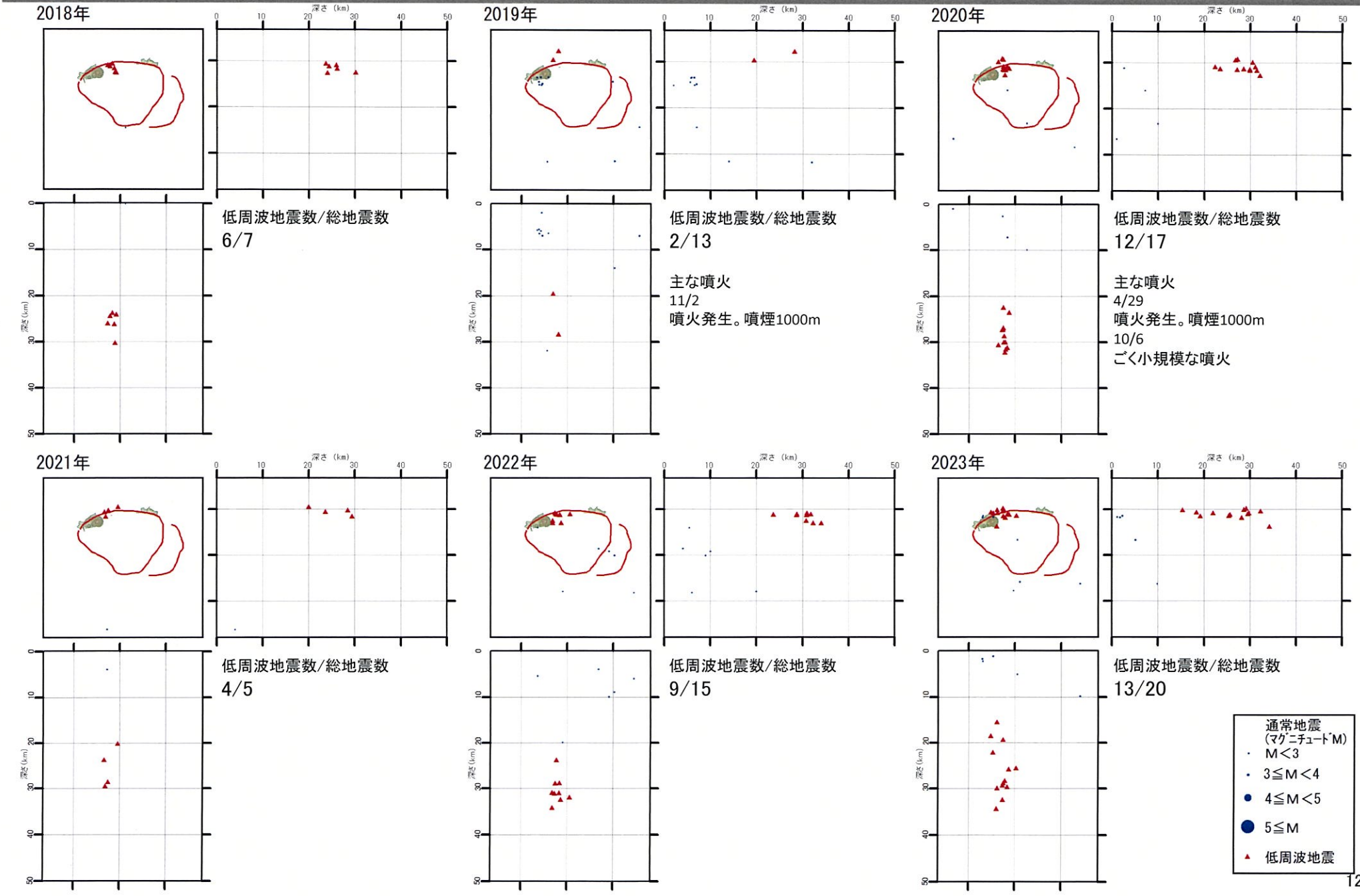


低周波地震数/総地震数
2/6

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（2000年以降の震源分布の推移）]

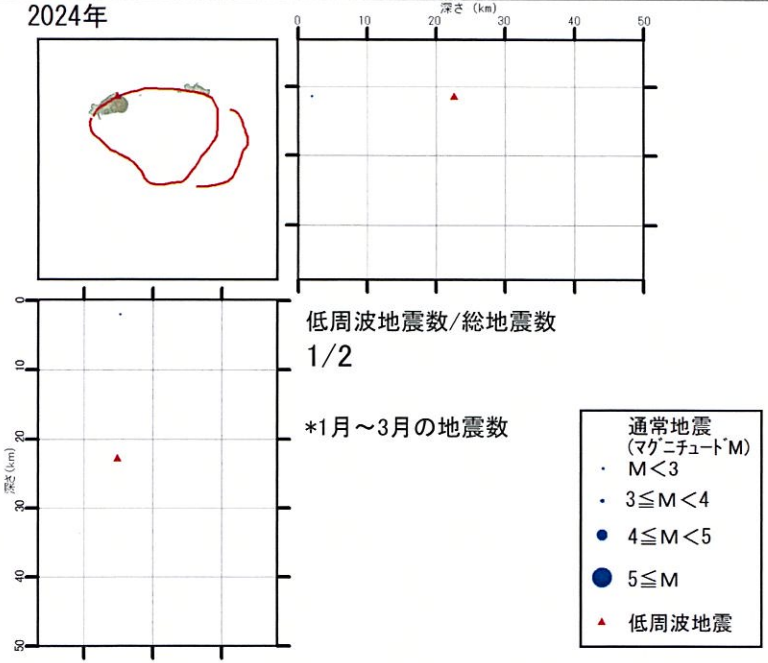


⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（2000年以降の震源分布の推移）]



⑤ 鬼界 [主な監視項目：地震活動（2000年以降の震源分布の推移）]

2024年



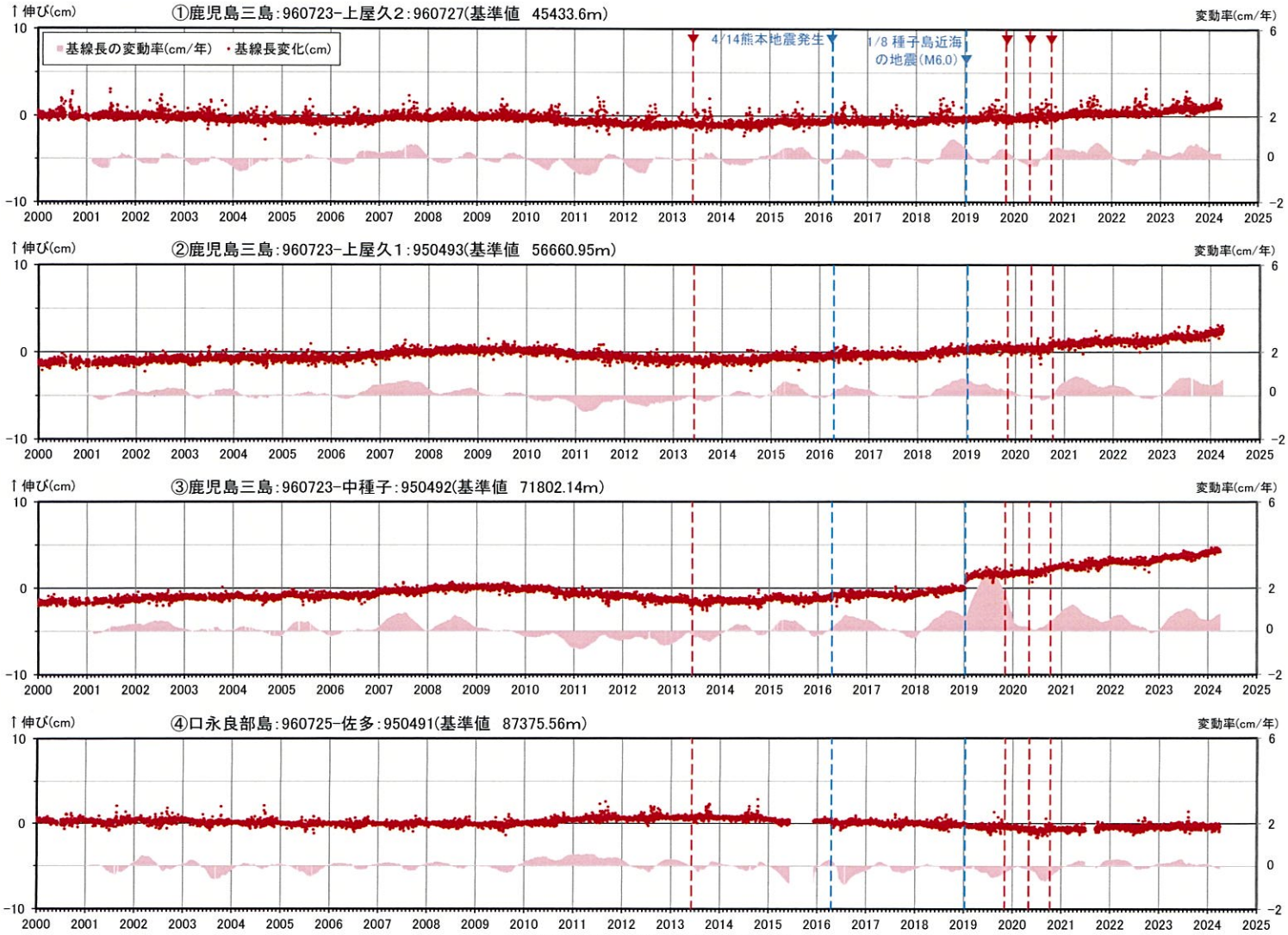
低周波地震数/総地震数
1/2

*1月～3月の地震数

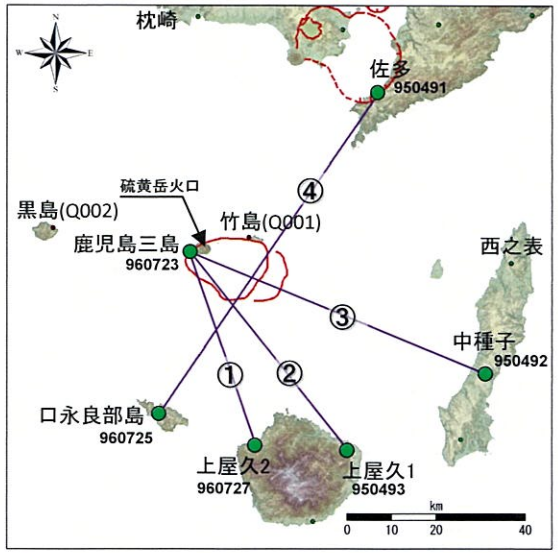
通常地震
（ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞM）
M＜3
3≦M＜4
4≦M＜5
5≦M
低周波地震

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS基線長変化）]

・2023年度の基線長変化について、鹿児島三島及び竹島を起点とする基線に、2022年8月頃から2023年8月上旬及び2023年10月以降鬼界へのマグマ供給を示唆する伸びと縮みの傾向が認められるが、過去と比較して急激な傾向の変化は認められない。今後の地殻変動に留意していく。



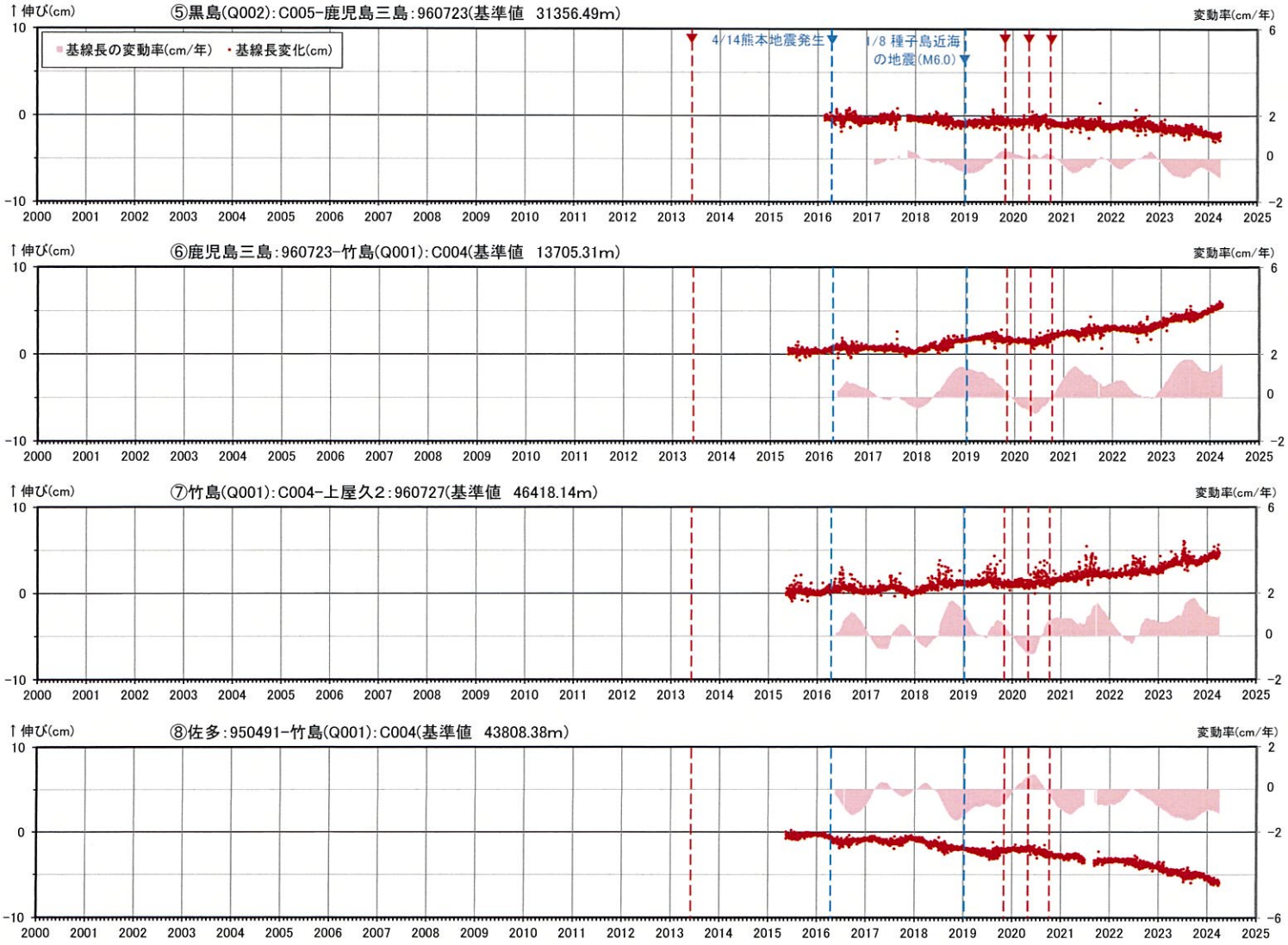
基線①～④の時系列変化



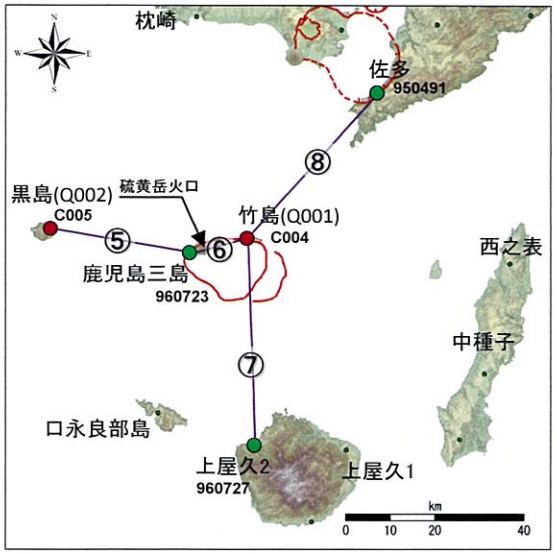
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 口永良部島地点については、2015年5月29日の噴火の影響で停電が発生したことで、6月7日以降欠測、停電が解消した12月2日から観測を再開
※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS基線長変化）]



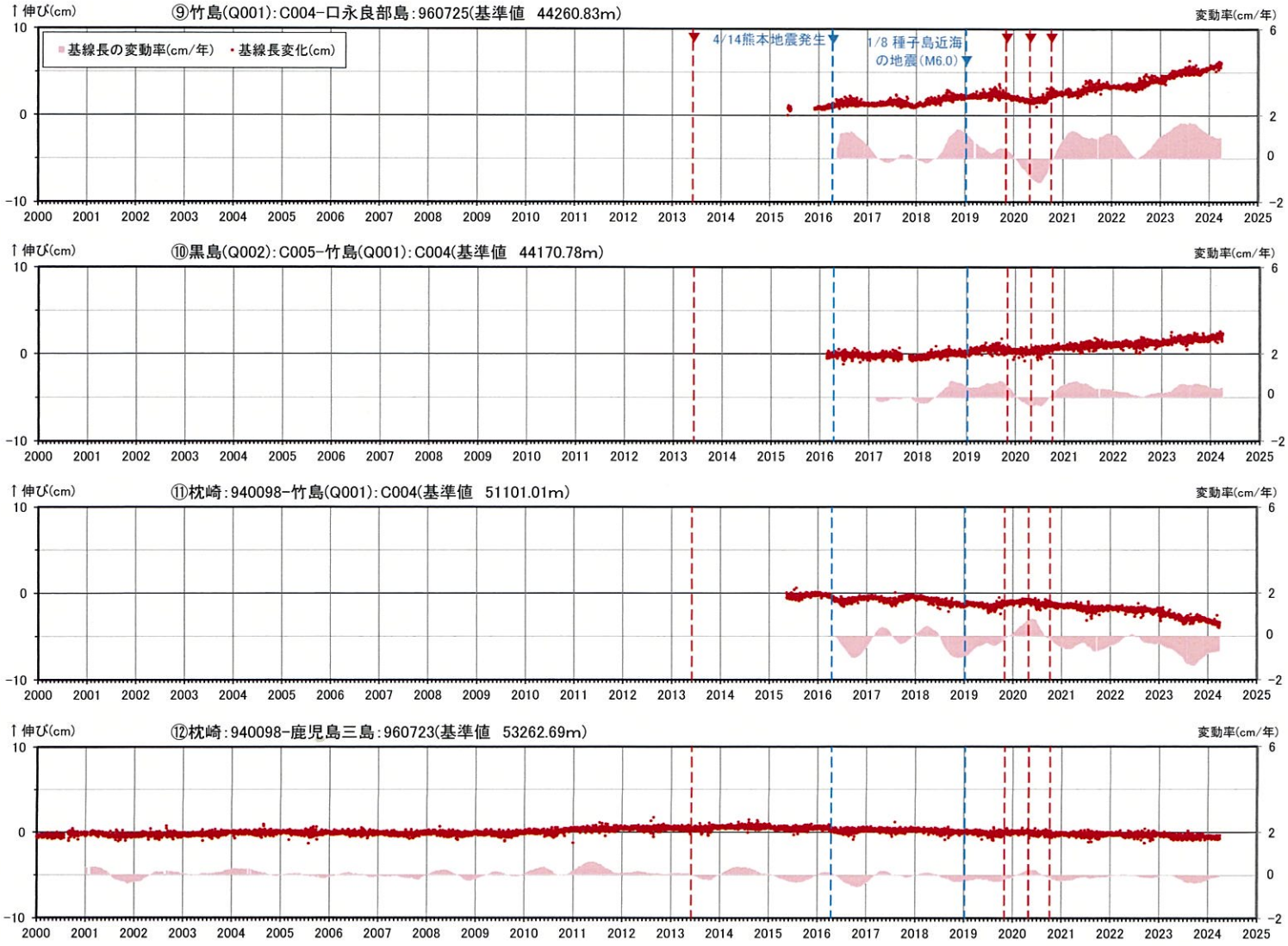
基線⑤～⑧の時系列変化



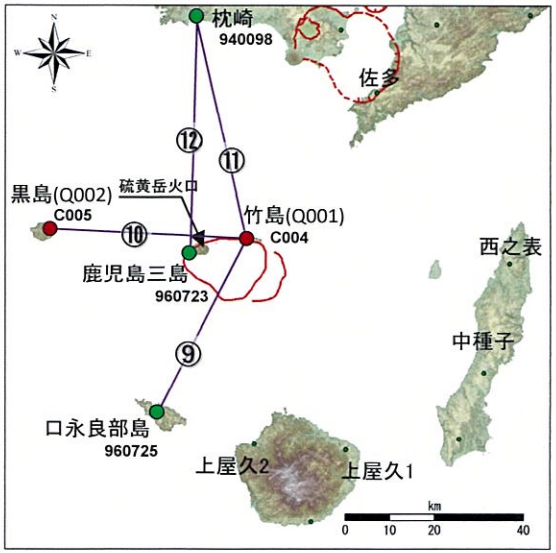
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

※1 基線⑤は 2016年2月22日の基線長を、基線⑥～⑧は2015年5月14日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
※4 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS基線長変化）]



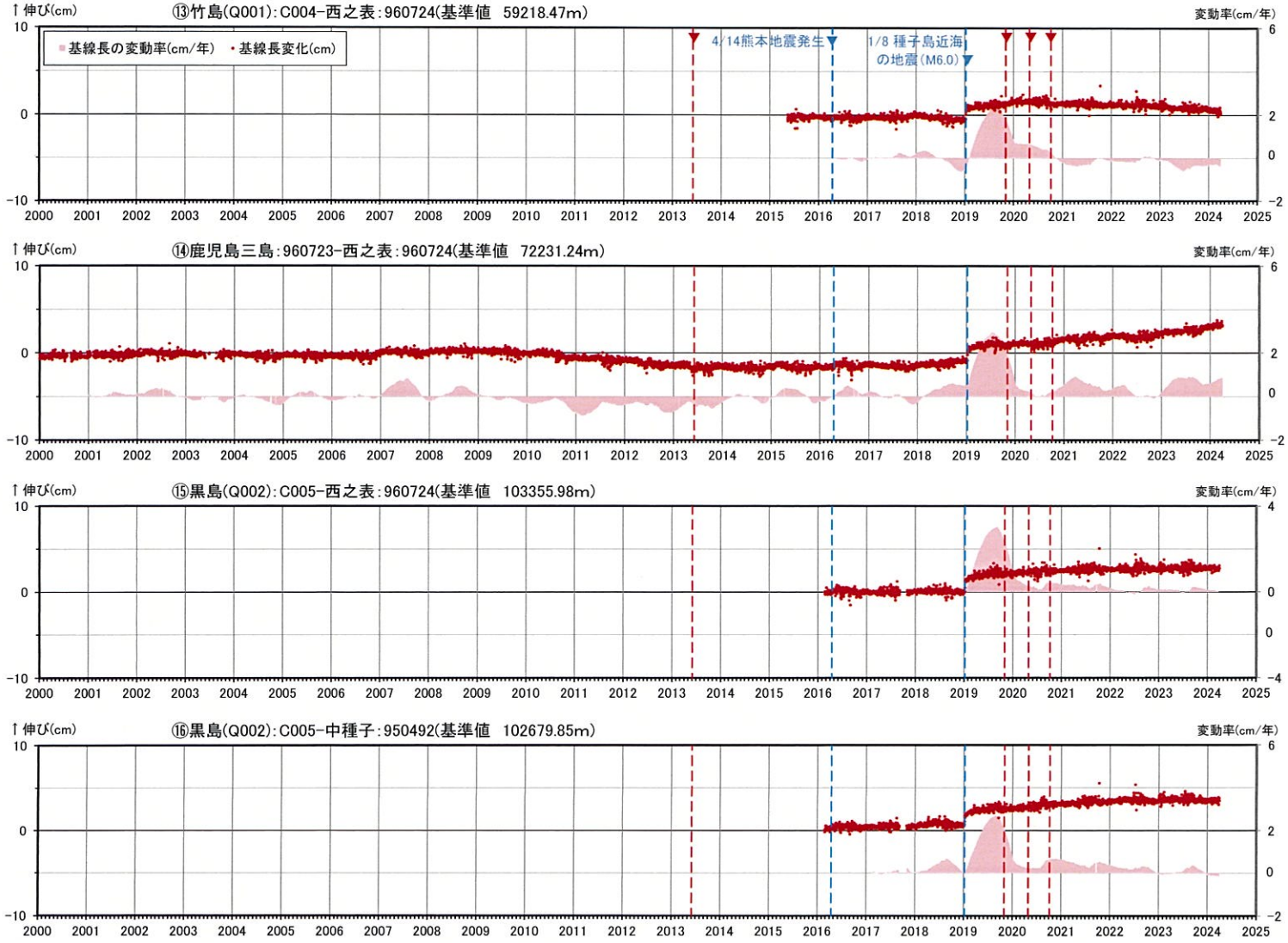
基線⑨～⑫の時系列変化



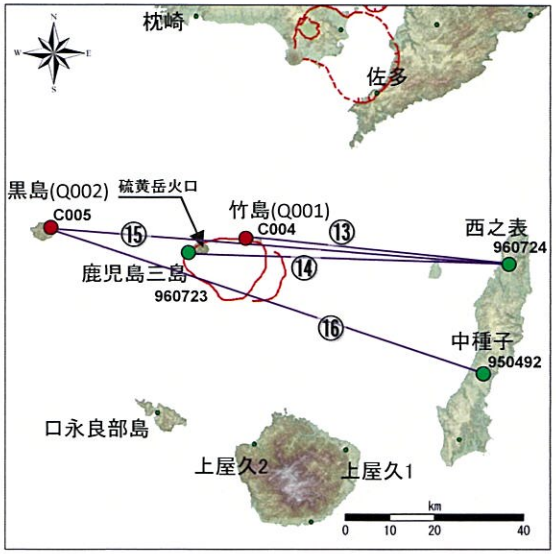
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

※1 基線⑨、⑪は2015年5月14日の基線長を、基線⑩は2016年2月22日の基線長を、基線⑫は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 口永良部島地点については、2015年5月29日の噴火の影響で停電が発生したことで、6月7日以降欠測、停電が解消した12月2日から観測を再開
※4 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS基線長変化）]



基線⑬～⑯の時系列変化

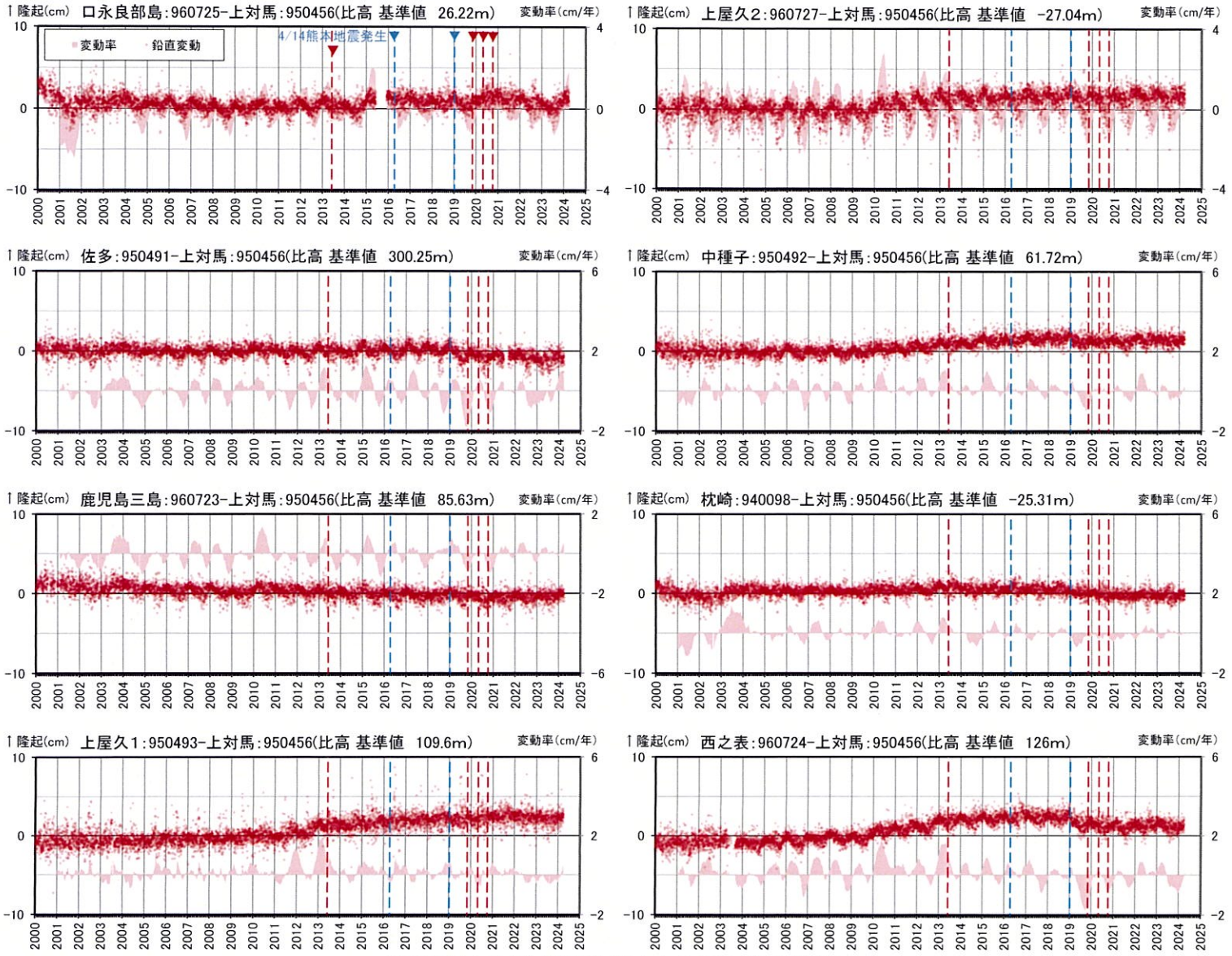


● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

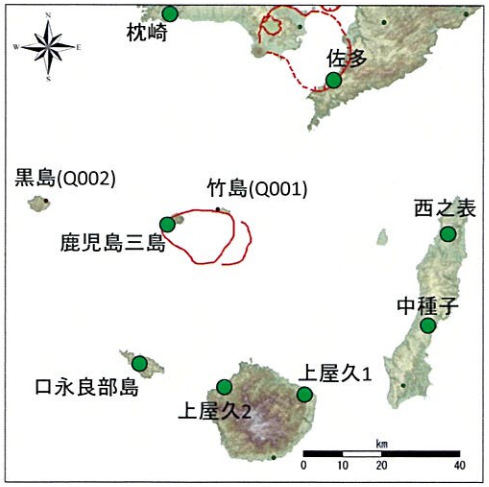
※1基線⑬は2015年5月14日の基線長を、基線⑮は2016年2月22日の基線長を、基線⑯は2016年2月23日の基線長を、基線⑭は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
※4 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS各観測点の鉛直変動）]

・2023年度の鉛直変動は、鬼界へのマグマ供給を示唆する広範囲の隆起傾向は認められず、過去と比較して急激な傾向の変化は認められない。



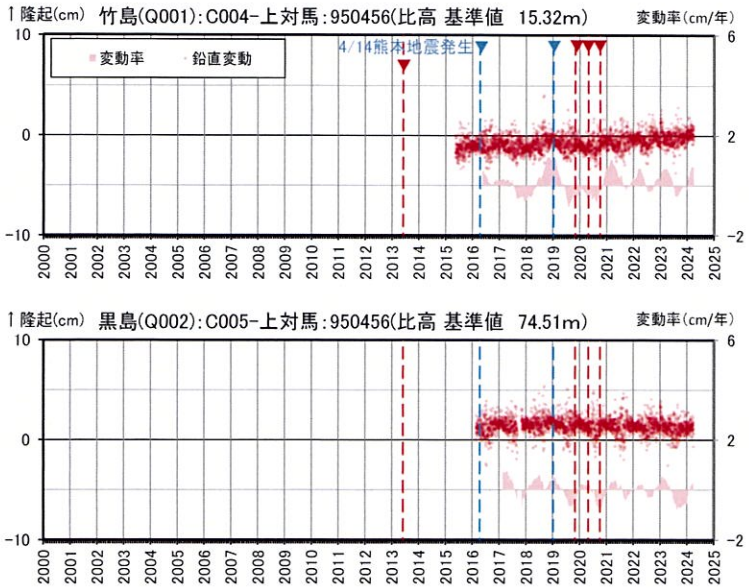
950456（上対馬）を固定点とした比高の時系列変化



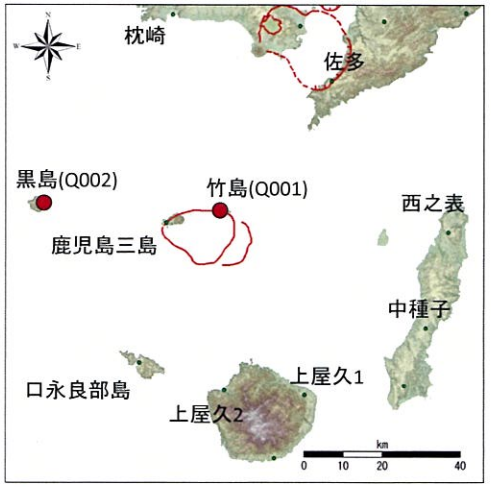
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

※1 2010年1月1日での950456（上対馬）との比高を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 口永良部島地点については、2015年5月29日の噴火の影響で停電が発生したことで、6月7日以降欠測、停電が解消した12月2日から観測を再開
※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS各観測点の鉛直変動）]



950456（上対馬）を固定点とした比高の時系列変化

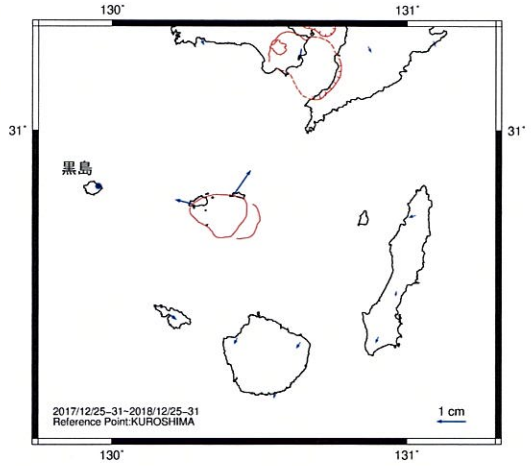


● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

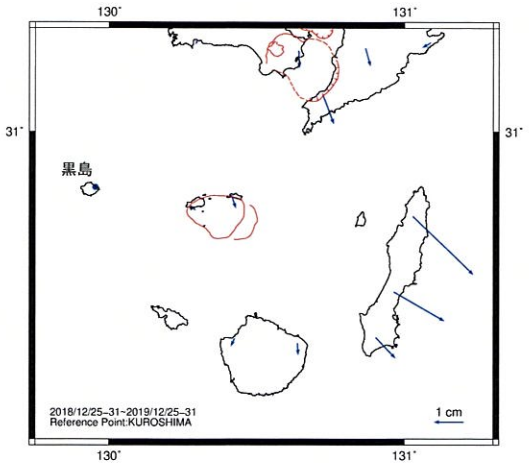
※1 竹島(Q001)は2015年5月14日、黒島(Q002)は2016年2月22日での上対馬(950456)との比高を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
※4 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界［主な監視項目：地殻変動・地盤変動（GNSS水平変動ベクトル）］

- 鬼界周辺の地殻変動の向きを把握するため、黒島を固定点とした2018年以降の水平変動ベクトルを整理した。
- 鹿児島三島及び竹島において、2018年、2020年、2021年、2022年及び2023年には、カルデラ領域内から外向きの地殻変動が認められるが、過去と比較して急激な傾向の変化は認められない。

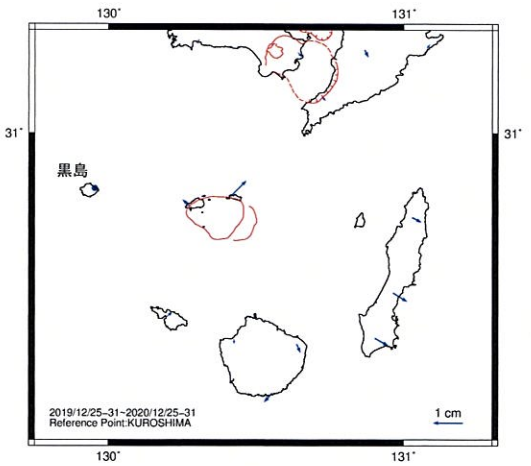


2018年の地殻変動

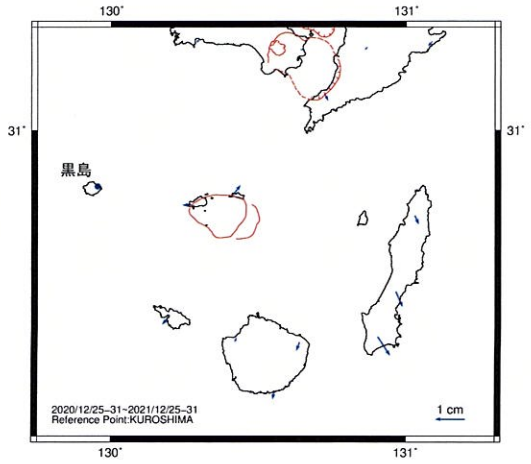


2019年の地殻変動

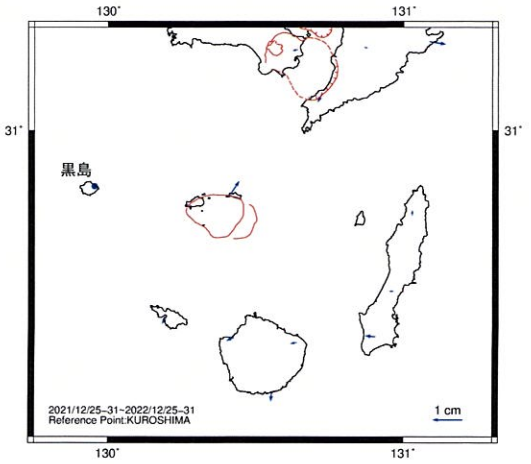
（2019.1）種子島近海の地震：M6.0



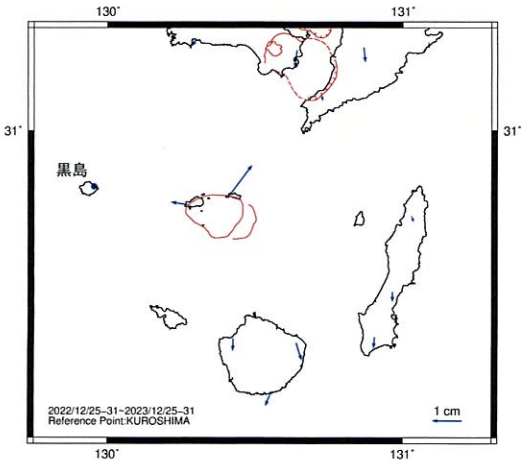
2020年の地殻変動



2021年の地殻変動



2022年の地殻変動



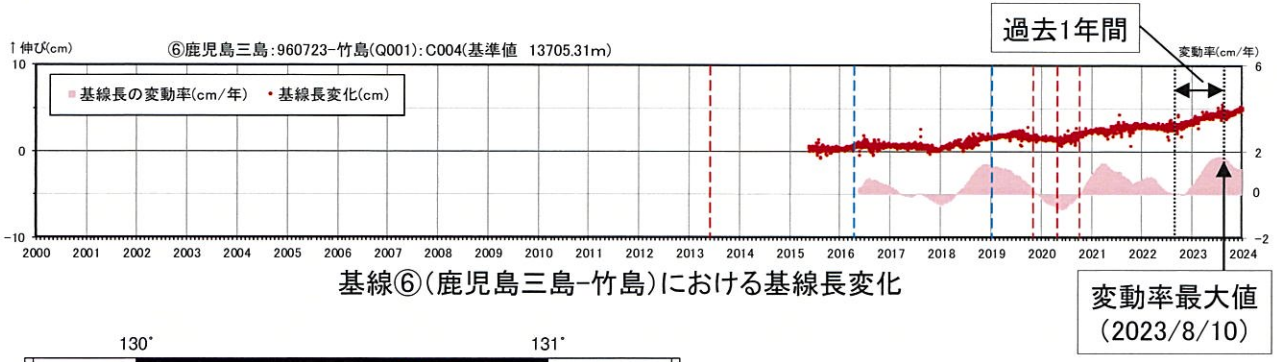
2023年の地殻変動

※ 当年12/25～31の平均水平変位と前年12/25～31の平均水平変位の差を1年間の変位として求めた。

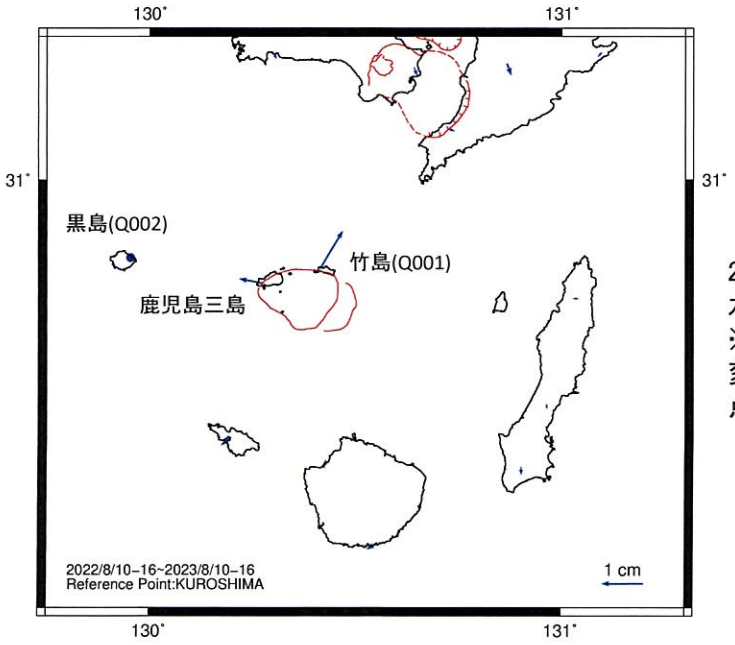
⑤ 鬼界［主な監視項目：地殻変動（GNSS　マグマ供給率算定）］

・2023年度の基線長変化やベクトル図からはカルデラへのマグマ供給を示唆する変動が認められ、基線⑥（鹿児島三島-竹島）における変動率が過去最大値をとっていることから、「鹿児島三島」及び「竹島」の水平、鉛直変動のデータを用いて茂木モデルを仮定し圧力源位置を推定し、体積変化率（マグマ供給率）の算定を行った。

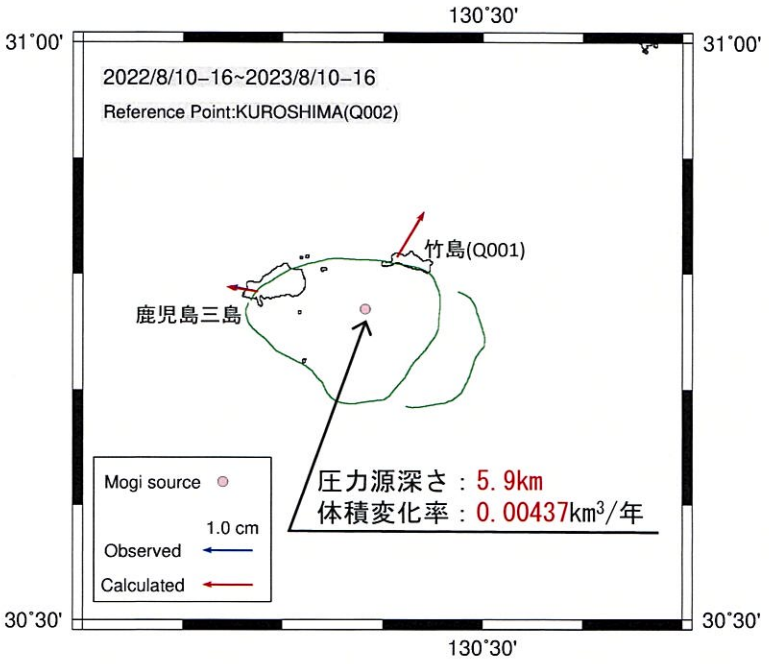
・圧力源はカルデラ中心のやや北東側、深さ5.9kmの位置に推定され、体積変化率（マグマ供給率）は0.00437km^3/年である。

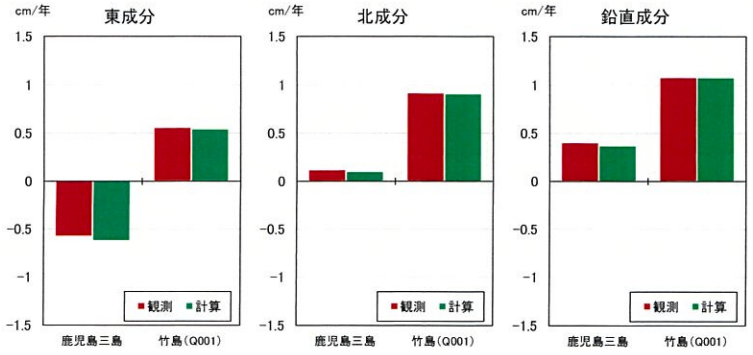


基線⑥（鹿児島三島-竹島）における基線長変化



2022年8月10日～2023年8月10日の
水平変位ベクトル（固定点：黒島）
※基線⑥において、2023年の期間のうち
変動率が最大となった2023年8月10日を終
点とし、過去1年分の変動を対象とした。



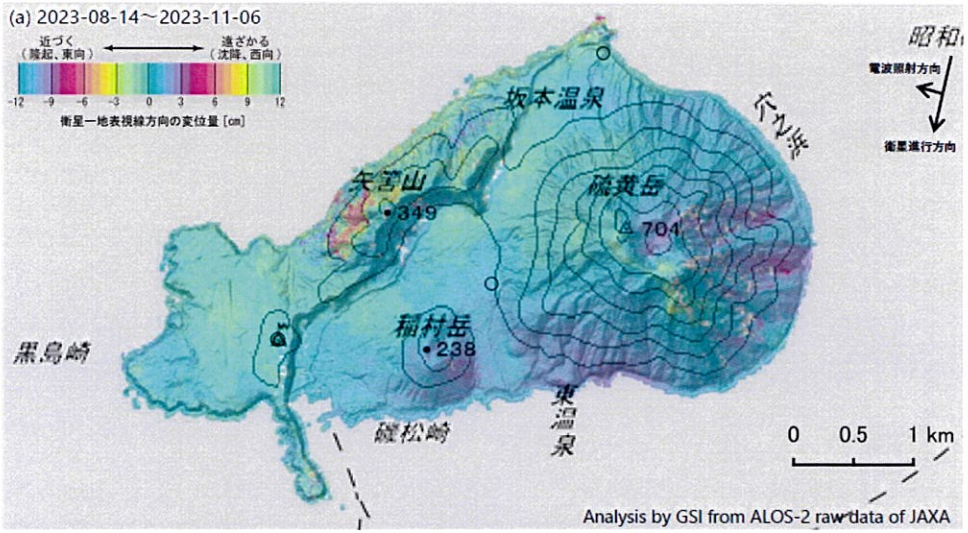


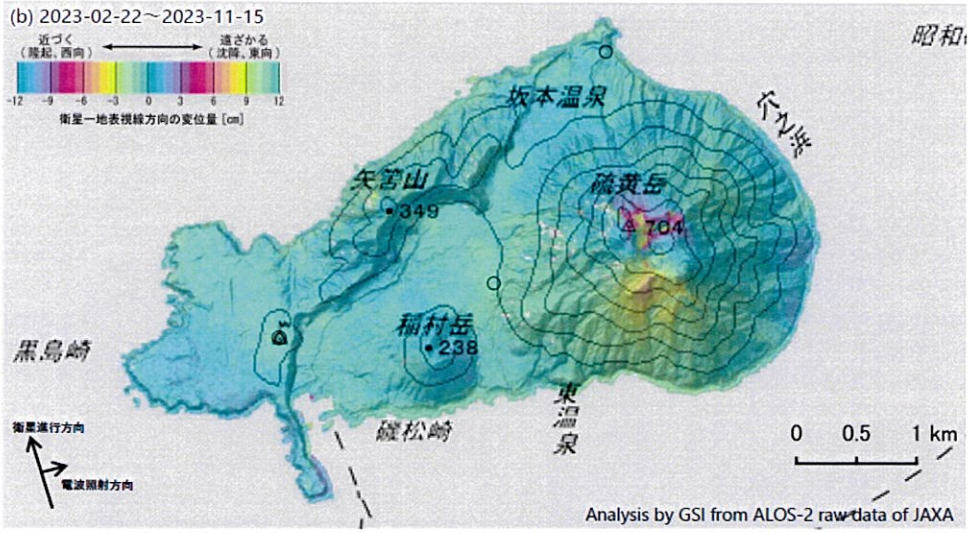
観測値と推定した圧力源における計算値との比較

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（衛星観測）]

・既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない。

(b)では、硫黄岳火口周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。（国土地理院　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島）





◎ 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

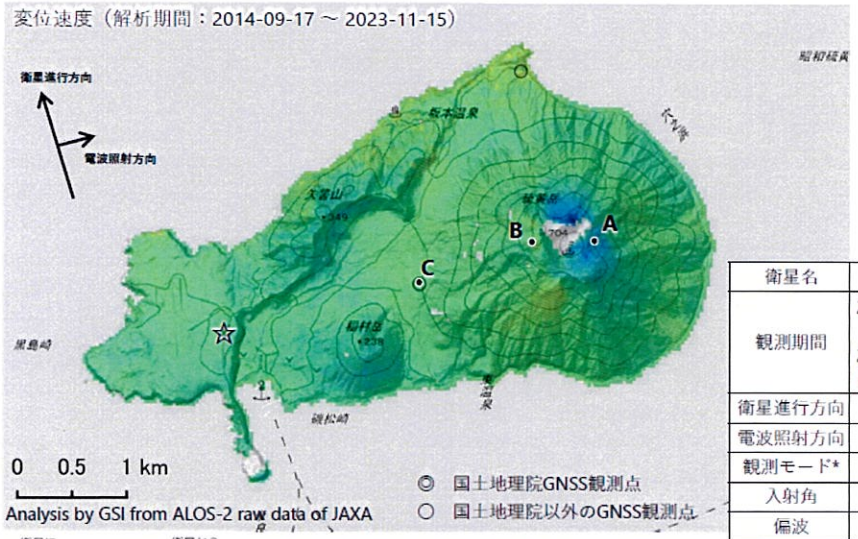
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2023-08-14 2023-11-06 12:19頃 (84日間)	2023-02-22 2023-11-15 0:18頃 (266日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	37.5°	38.3°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 58 m	- 98 m

* U：高分解能(3m)モード

薩摩硫黄島のSAR干渉解析結果について
国土地理院　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島

⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（衛星観測）]

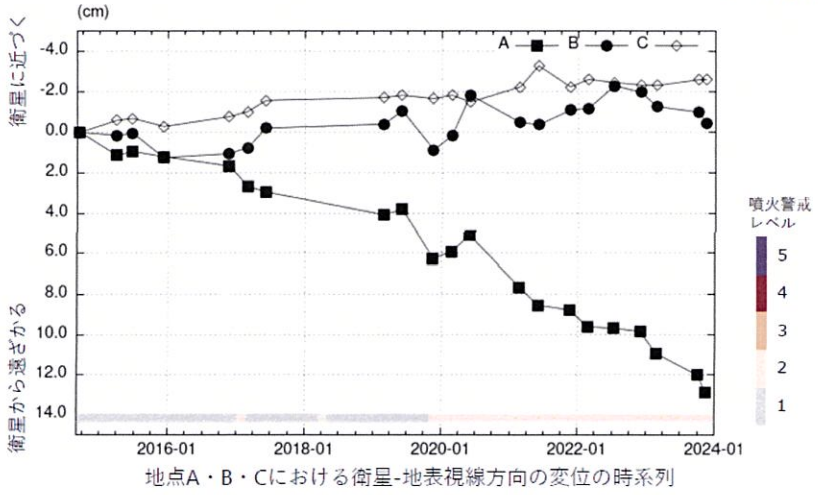
硫黄岳の地点A周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます。（国土地理院　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島）



衛星名	ALOS-2
観測期間	2014-09-17 ～ 2023-11-15 (3346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	38.3°
偏波	HH
データ数	21
干渉ペア数	61

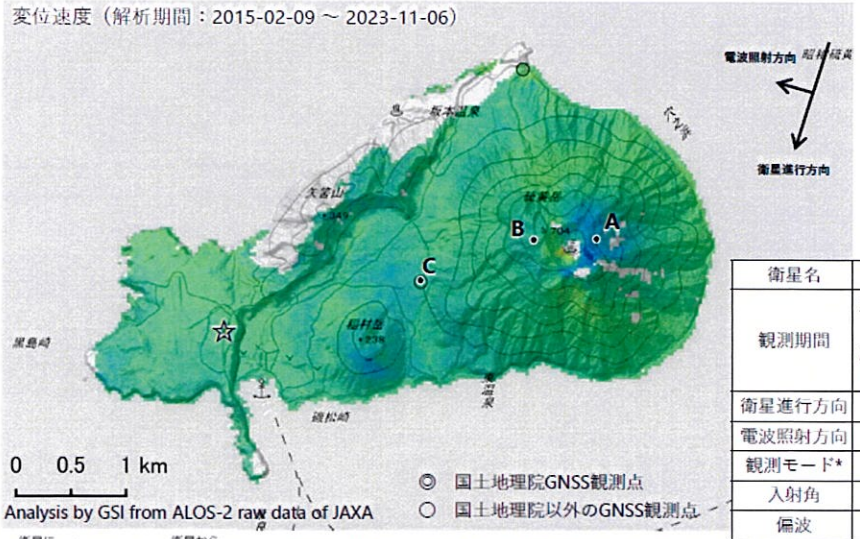
背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法
※参照点は電子基準点「鹿児島三島」付近（☆）

* U：高分解能(3m)モード



地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

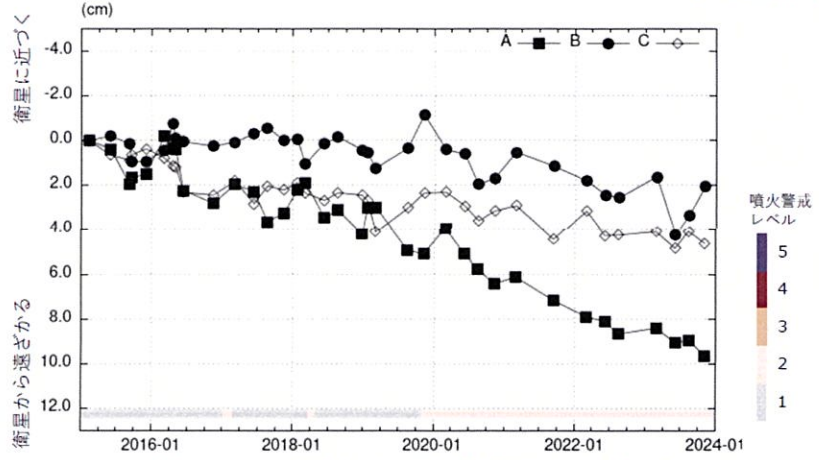
本解析で使用したデータの一部は、火山噴火予知連絡会衛星解析グループの活動を通して得られたものです。



衛星名	ALOS-2
観測期間	2015-02-09 ～ 2023-11-06 (3192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	36
干渉ペア数	84

背景：地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図
干渉SAR時系列解析手法：SBAS法
※参照点は電子基準点「鹿児島三島」付近（☆）

* U：高分解能(3m)モード



地点A・B・Cにおける衛星-地表視線方向の変位の時系列

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。

薩摩硫黄島のSAR干渉解析結果について　国土地理院　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島

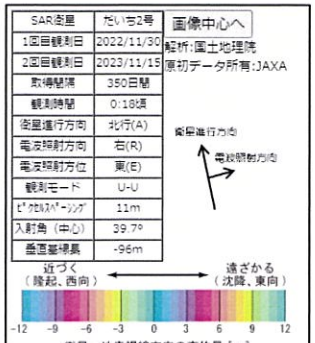
⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（衛星観測）]

硫黄岳火口周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。（国土地理院による判読結果）

SAR衛星	だいち2号
1回目観測日	2022/11/30
2回目観測日	2023/11/15
取得間隔	350日間
観測時間	0:18頃
衛星進行方向	北行(A)
電波照射方向	右(R)
電波照射方位	東(E)
観測モード	U-U
ﾋﾟｸｾﾙｽﾍﾟｰｼﾝｸﾞ	11m
入射角（中心）	39.7°
垂直基線長	-96m

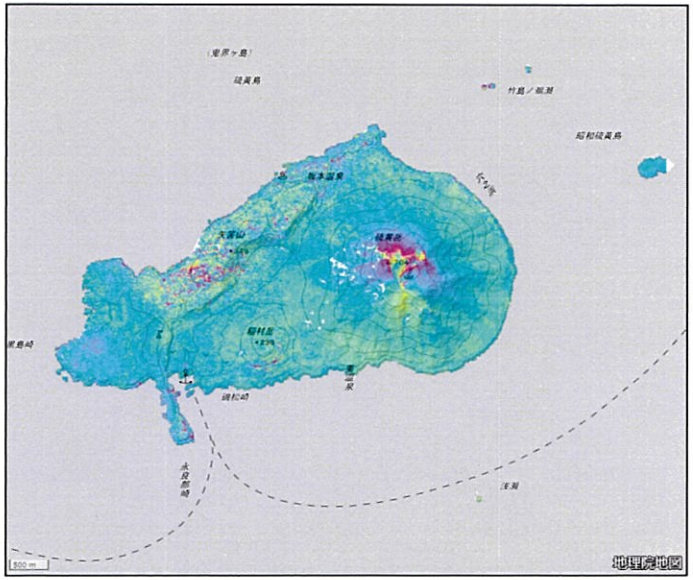
画像中心へ

解析：国土地理院
原初データ所有：JAXA



判読結果：
・硫黄岳火口周辺に衛星から遠ざかる変動が見られます。

※判読結果は火山噴火予知連絡会資料に掲載されたものです。

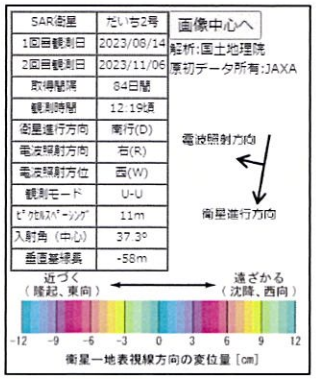


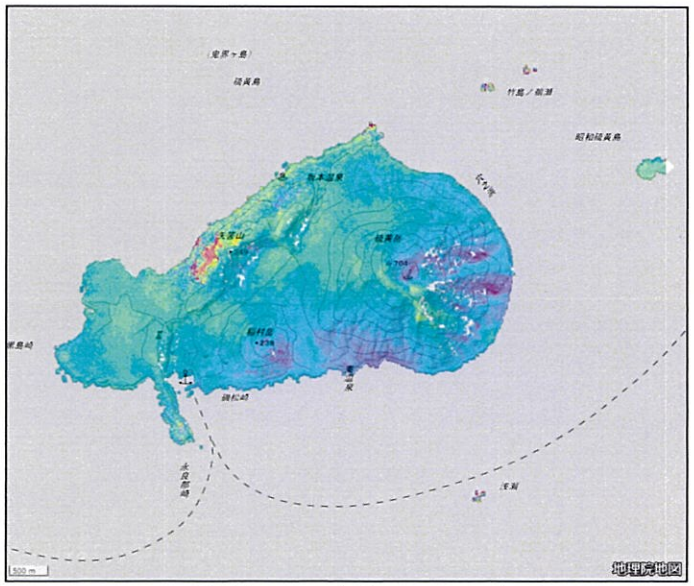
北行：2022/11/30～2023/11/15

SAR衛星	だいち2号
1回目観測日	2023/06/14
2回目観測日	2023/11/06
取得間隔	84日間
観測時間	12:19頃
衛星進行方向	南行(D)
電波照射方向	右(R)
電波照射方位	西(W)
観測モード	U-U
ﾋﾟｸｾﾙｽﾍﾟｰｼﾝｸﾞ	11m
入射角（中心）	37.3°
垂直基線長	-58m

画像中心へ

解析：国土地理院
原初データ所有：JAXA

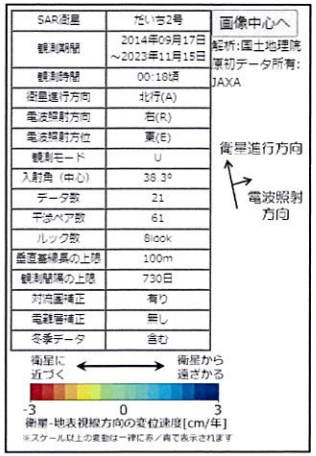


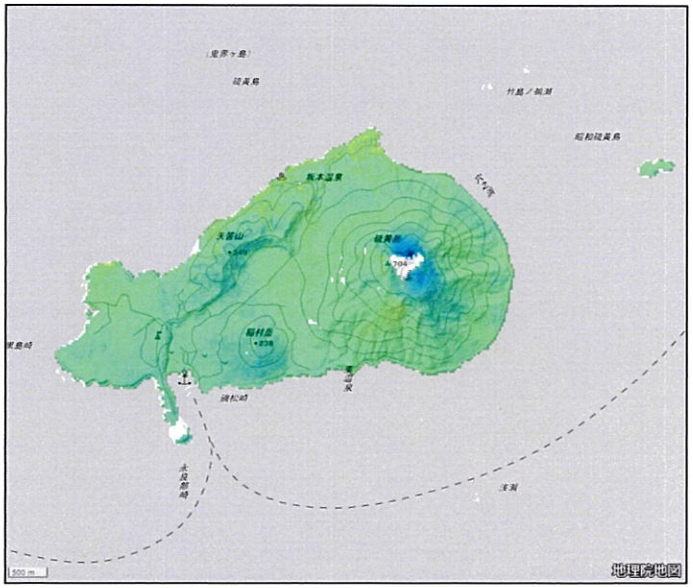


南行：2023/8/14～2023/11/6

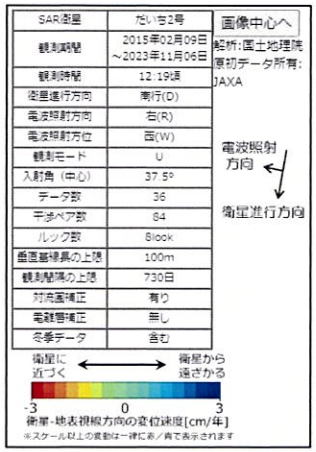
国土地理院による干渉SAR解析結果
国土地理院　地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）（解析：国土地理院　原初データ所有：JAXA）

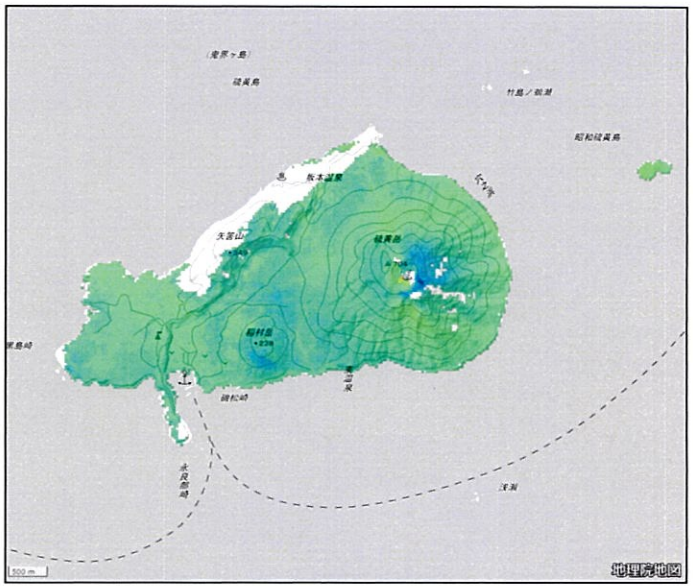
⑤ 鬼界 [主な監視項目：地殻変動・地盤変動（衛星観測）]





北行：2014/9/17～2023/11/15





南行：2015/2/9～2023/11/6

国土地理院による干渉SAR時系列解析結果
国土地理院　地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）（解析：国土地理院　原初データ所有：JAXA）

⑤ 鬼界［主な監視項目：地殻変動・地盤変動（傾斜計・伸縮計）］

・傾斜計・伸縮計による急激な傾向の変化は認められない。

・火山活動に起因すると考えられる変動は認められない。（気象庁　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島）

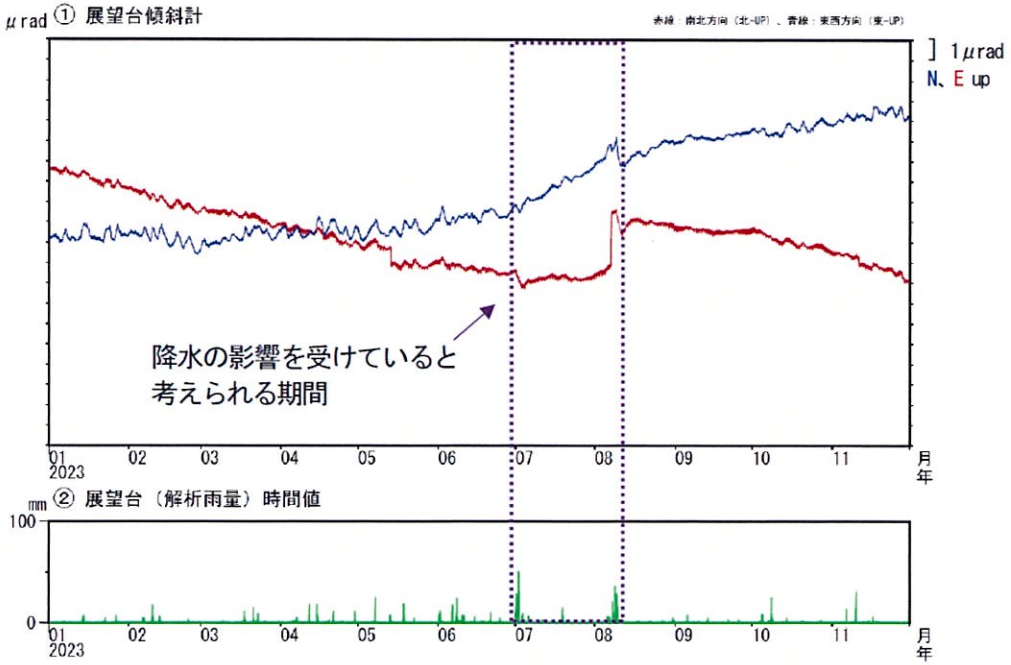


図６　薩摩硫黄島　展望台傾斜計の傾斜変動（2023 年１月～2023 年 11 月 30 日）

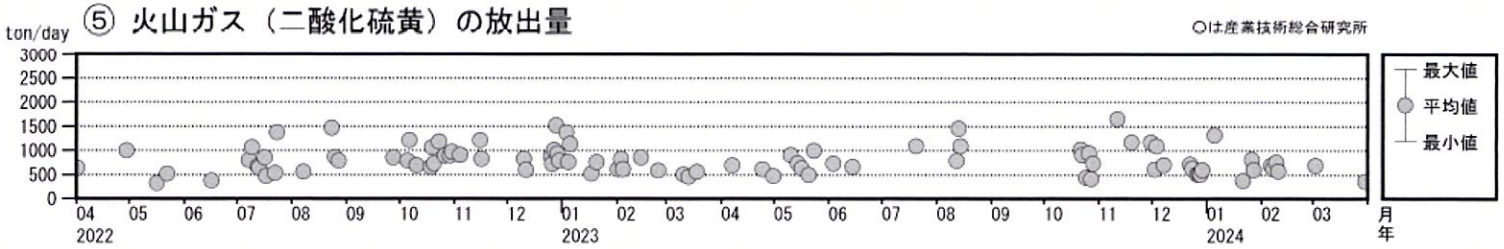
＜2023 年６月～2023 年 11 月 30 日の状況＞
火山活動に起因すると考えられる変動は認められない。

気象庁　第153回火山噴火予知連絡会資料　薩摩硫黄島

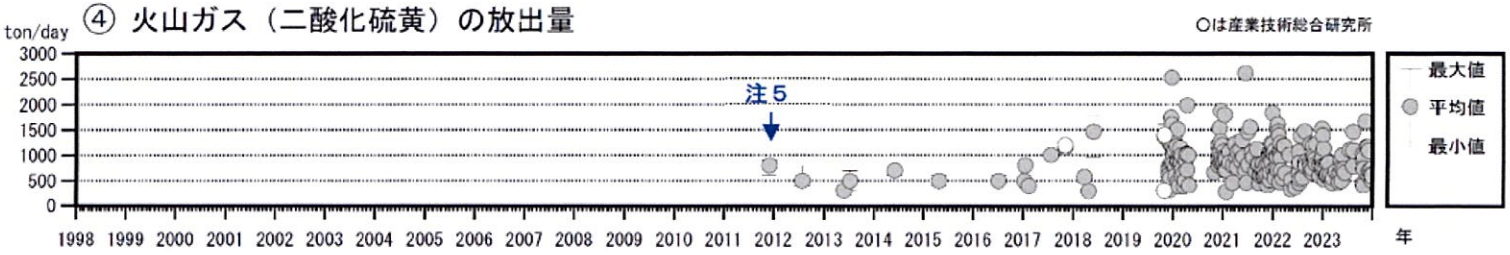
⑤ 鬼界［主な監視項目：火山ガス・熱活動（表面活動）］

・過去からの長期的な傾向と比較して、既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない。
・過去からの長期的な傾向と比較して、火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められない。

・東京大学大学院理学系研究科、京都大学防災研究所、三島村及び気象庁が実施した観測では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、１日あたり400～1,700 トンと１日あたり1,000 トン前後の状態で経過しました（2022 年：300～1,600 トン）。（気象庁　令和５年（2023 年）の薩摩硫黄島の火山活動）
・東京大学大学院理学系研究科、京都大学防災研究所、三島村及び気象庁が実施した観測では、火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、１日あたり400～700 トン（２月：600～800 トン）でした。長期的には１日あたり1,000 トン前後の状態が継続しています。（気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和６年３月））



2022 年４月～2024 年 ３ 月（気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和６年３月））



注５　2011 年 11 月 26 日：気象庁による火山ガス（二酸化硫黄）放出量の観測開始。2019 年 12 月から東京大学大学院理学系研究科、京都大学防災研究所、三島村及び気象庁による観測開始。

1998 年１月～2023 年 12 月（気象庁　令和５年（2023 年）の薩摩硫黄島の火山活動）

⑤ 鬼界［主な監視項目：火山ガス・熱活動（表面活動）］

・海上自衛隊第１航空群、九州地方整備局、第十管区海上保安本部及び鹿児島県の協力により上空からの観測を実施しました（１月11 日、３月８日、８月21 日、８月23 日、10 月17 日）。観測においては、硫黄岳火口から白色の噴煙が上がっているのを確認しました。また火口周辺及び山体斜面の一部から噴気が上がっているのを確認しました。これまでの観測と比較して特段の変化はありませんでした。薩摩硫黄島の周辺海域では引き続き、火山活動に伴うと考えられる変色水を確認しました。11 月７日から11 日にかけて実施した現地調査では、噴煙の状況や地熱域の分布などに特段の変化は認められませんでした。（気象庁　令和５年（2023 年）の薩摩硫黄島の火山活動）

・（2024年3月）13 日に九州地方整備局の協力により実施した上空からの観測では、硫黄岳及びその周辺で噴気を観測しました。赤外熱映像装置による観測では硫黄岳火口及びその周辺の地熱域が認められました。前回の観測（2023 年３月８日）と比較して、噴気の状況及び地熱域の分布に特段の変化は認められませんでした。（気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和６年３月））

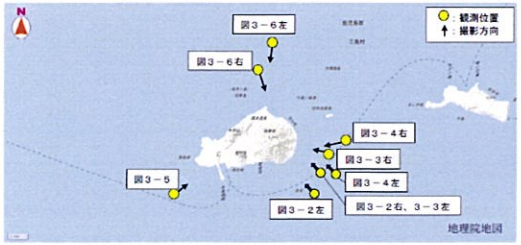


図 3-1　薩摩硫黄島　観測位置及び撮影方向



図 3-4　薩摩硫黄島　硫黄岳火口縁東側及び東側山腹の状況（左：１月 11 日、右：2022 年１月 17 日）
硫黄岳山頂火口縁東側（赤破線内）及び東側山腹（橙破線内）では前回の観測（2022 年１月 17 日）様に白色の噴気が上がっているのを確認しました。

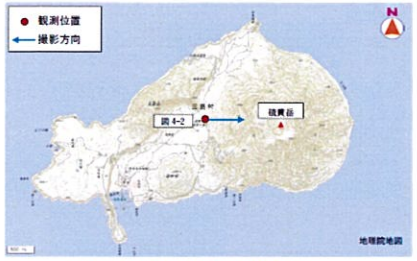


図 4-1　薩摩硫黄島　観測位置及び撮影方向

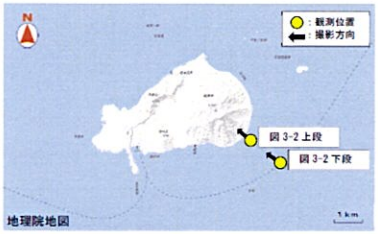


図 3-1　薩摩硫黄島　観測位置及び撮影方向

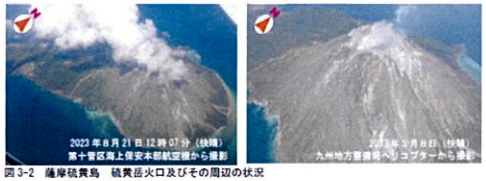


図 3-2　薩摩硫黄島　硫黄岳火口及びその周辺の状況
・硫黄岳火口内から白色の噴煙が火口縁上約 200～300m まで上がるのを観測しました。
・薩摩硫黄島の周辺海域で、火山活動に伴うと考えられる変色水を確認しました。



図 3-5　薩摩硫黄島　硫黄岳南西側登山道周辺の状況（左：１月 11 日、右：2022 年１月 17 日）
硫黄岳南西側の噴気地帯（赤破線内）から白色の噴気が上がっているのを確認しました。

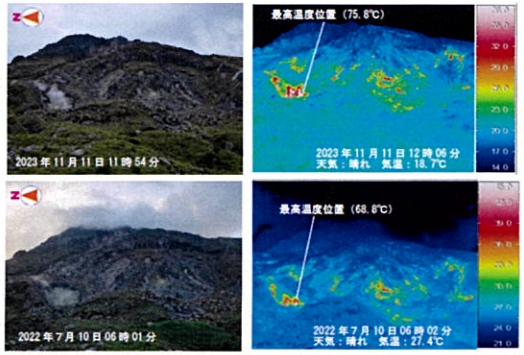


図 4-2　薩摩硫黄島　硫黄岳の状況
噴気の状況や地熱域に特段の変化は見られませんでした。

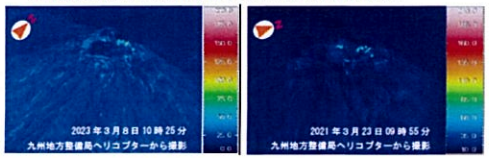


図 3-3　薩摩硫黄島　硫黄岳火口及びその周辺の状況
赤外熱映像装置による観測では硫黄岳火口及びその周辺の地熱域が認められましたが、前回の観測（2021 年３月 23 日）と比較して、分布に特段の変化は認められませんでした。



図 3-6　薩摩硫黄島　硫黄岳北側山腹の状況（左：１月 11 日、右：2022 年１月 17 日）
硫黄岳北側山腹（赤破線内）から白色の噴気が上がっているのを確認しました。

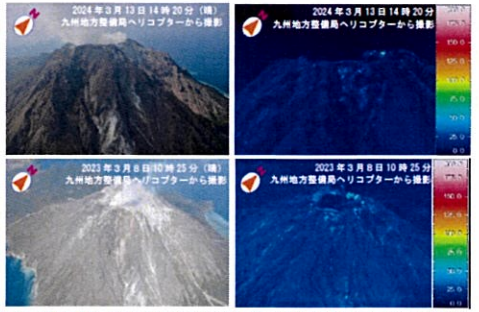


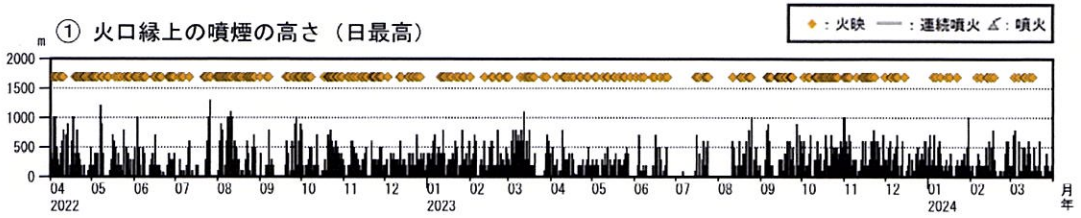
図 3-2　薩摩硫黄島　硫黄岳火口及びその周辺の状況（九州地方整備局ヘリコプターから撮影）
・13 日に九州地方整備局の協力により実施した上空からの観測では、硫黄岳及びその周辺で噴気を観測しました。前回の観測（2023 年３月８日）と比較して特段の変化は認められませんでした。
・赤外熱映像装置による観測では、硫黄岳及びその周辺で地熱域を確認しました。前回の観測（2023 年３月８日）と比較して、地熱域の分布に特段の変化は認められませんでした。

気象庁　令和５年（2023 年）の薩摩硫黄島の火山活動

気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和６年３月）

⑤ 鬼界［主な監視項目：火山ガス・熱活動（表面活動）］

・硫黄岳火口では、噴火は観測されませんでした。硫黄岳火口では、白色の噴煙が概ね火口縁上1,000m以下の高さで経過しました（最高：1,100m以上）。概ね年間を通して夜間に高感度の監視カメラで火映を観測しました。（気象庁　令和5年（2023年）の薩摩硫黄島の火山活動）
・硫黄岳火口では、白色の噴煙が最高で火口縁上800m（2月：800m）まで上がりました。また、夜間に高感度の監視カメラで火映を観測しました。（気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和6年3月））



気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和6年3月）



図1　薩摩硫黄島　噴煙の状況（3月4日　岩ノ上監視カメラ）
白色の噴煙が最高で火口縁上800m（2月：800m）まで上がりました。

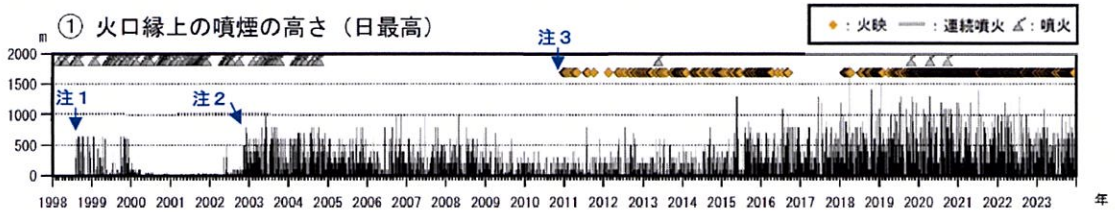


図6　薩摩硫黄島　火山活動経過図（1998年1月～2023年12月）

注1　1998年8月1日：三島村役場硫黄島出張所から気象庁へ通報開始。
注2　2002年11月16日：気象庁が設置した監視カメラによる観測開始。
注3　気象庁が設置した監視カメラの高感度化により火映の観測が可能となりました。

気象庁　令和5年（2023年）の薩摩硫黄島の火山活動

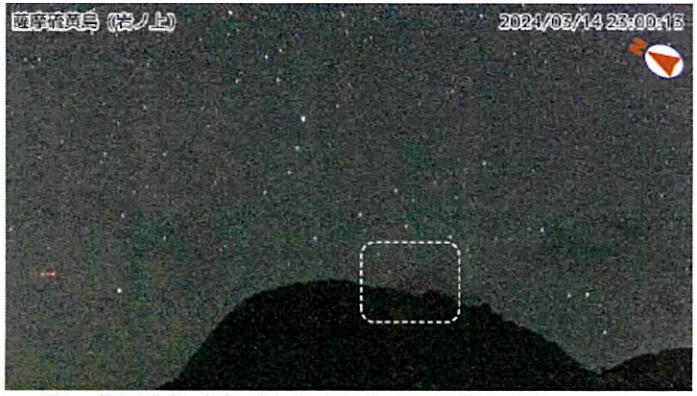


図2　薩摩硫黄島　火映の状況（3月14日　岩ノ上監視カメラ）
夜間に高感度の監視カメラで火映（白破線内）を観測しました。

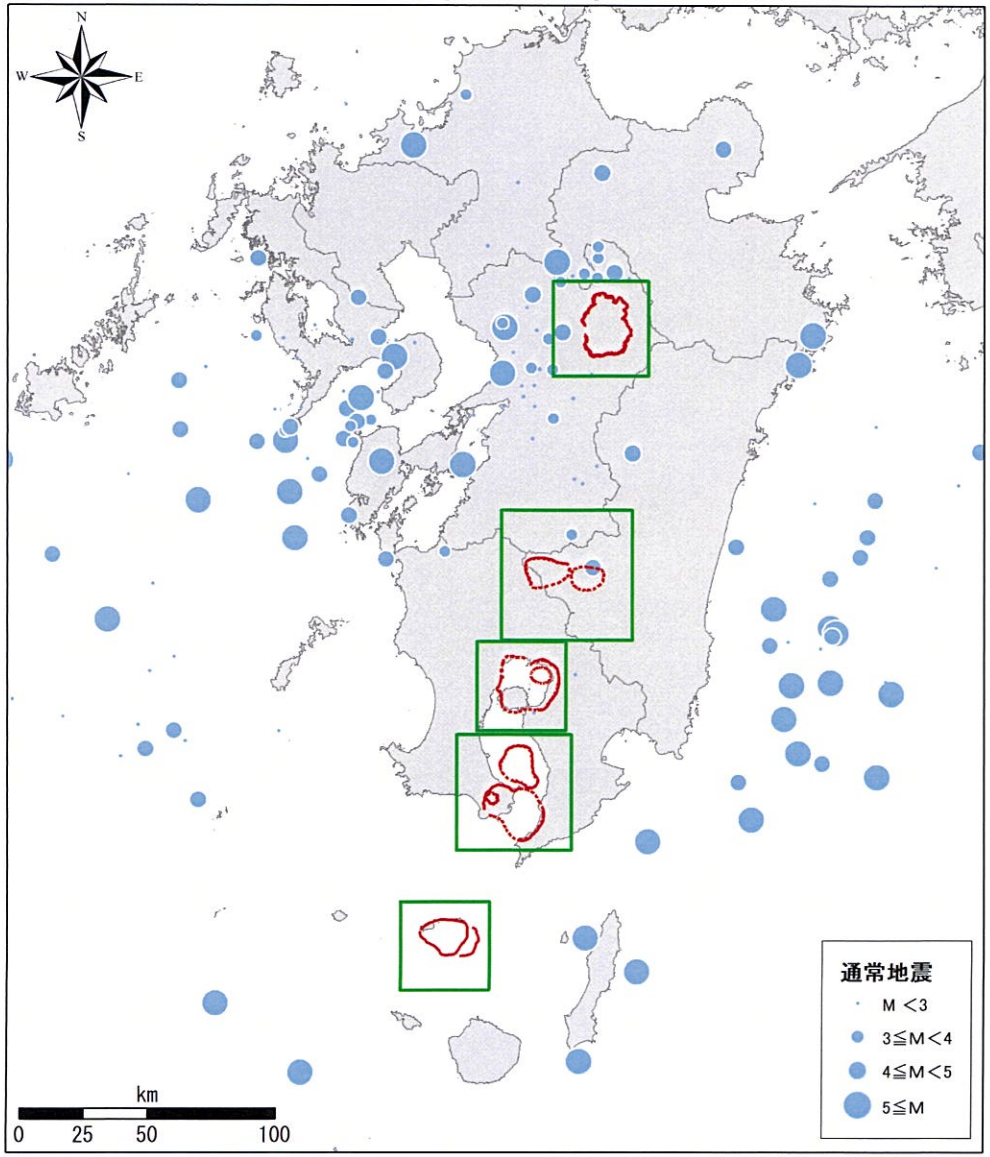
気象庁　薩摩硫黄島の火山活動解説資料（令和6年3月）

余　　白

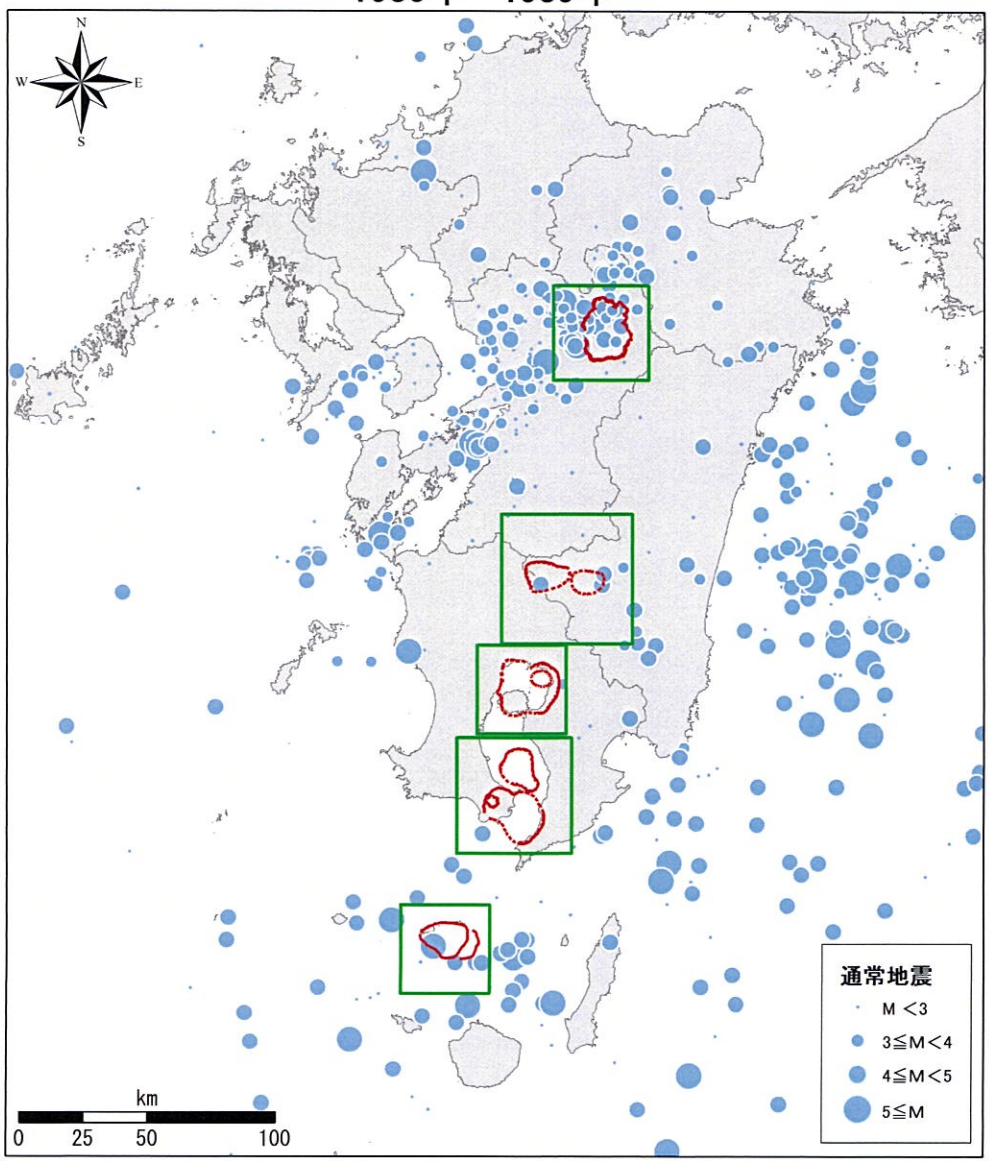
【参考1】九州全域の地震活動

- 九州全域での地震活動を把握するために、過去の地震活動を整理した。

1923年～1929年



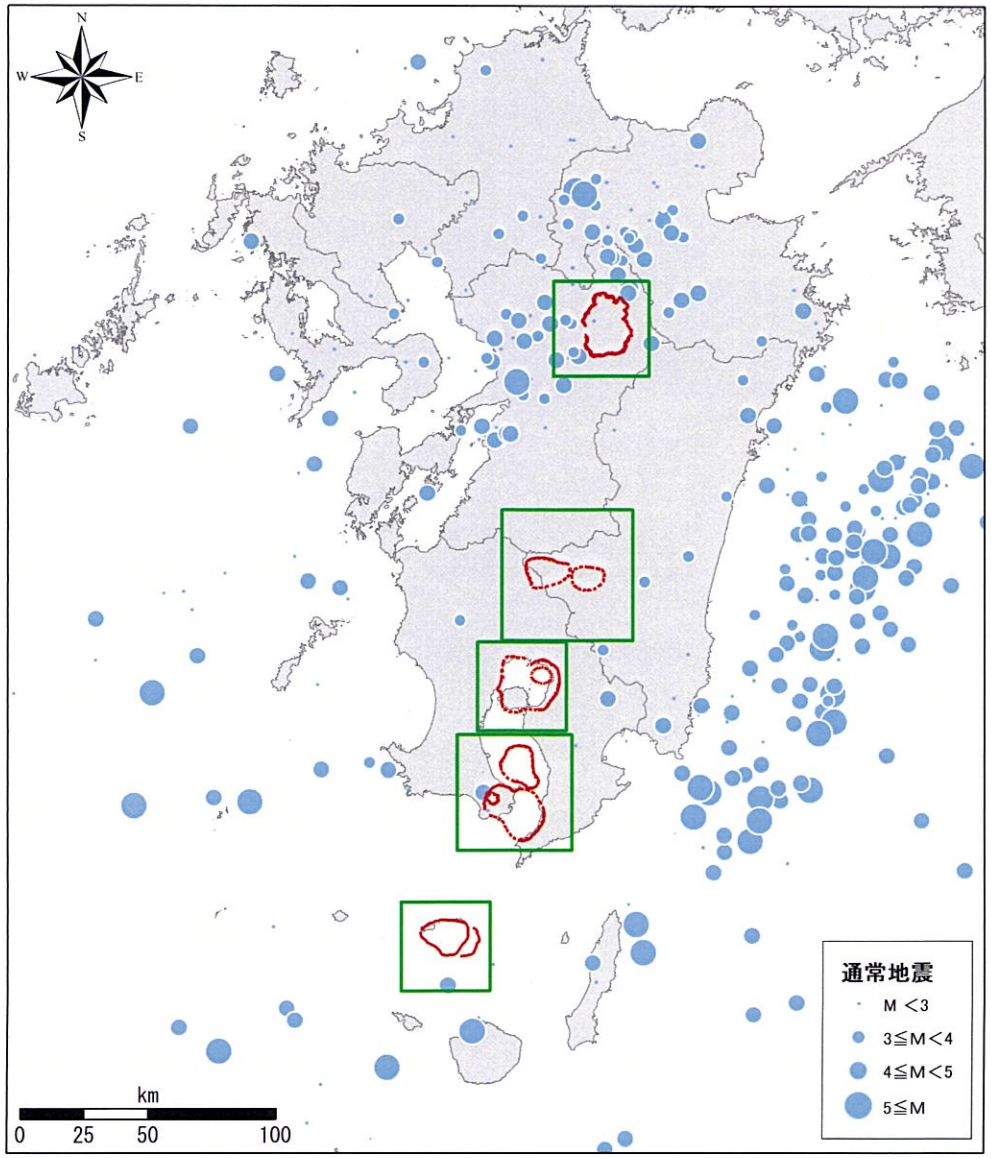
1930年～1939年



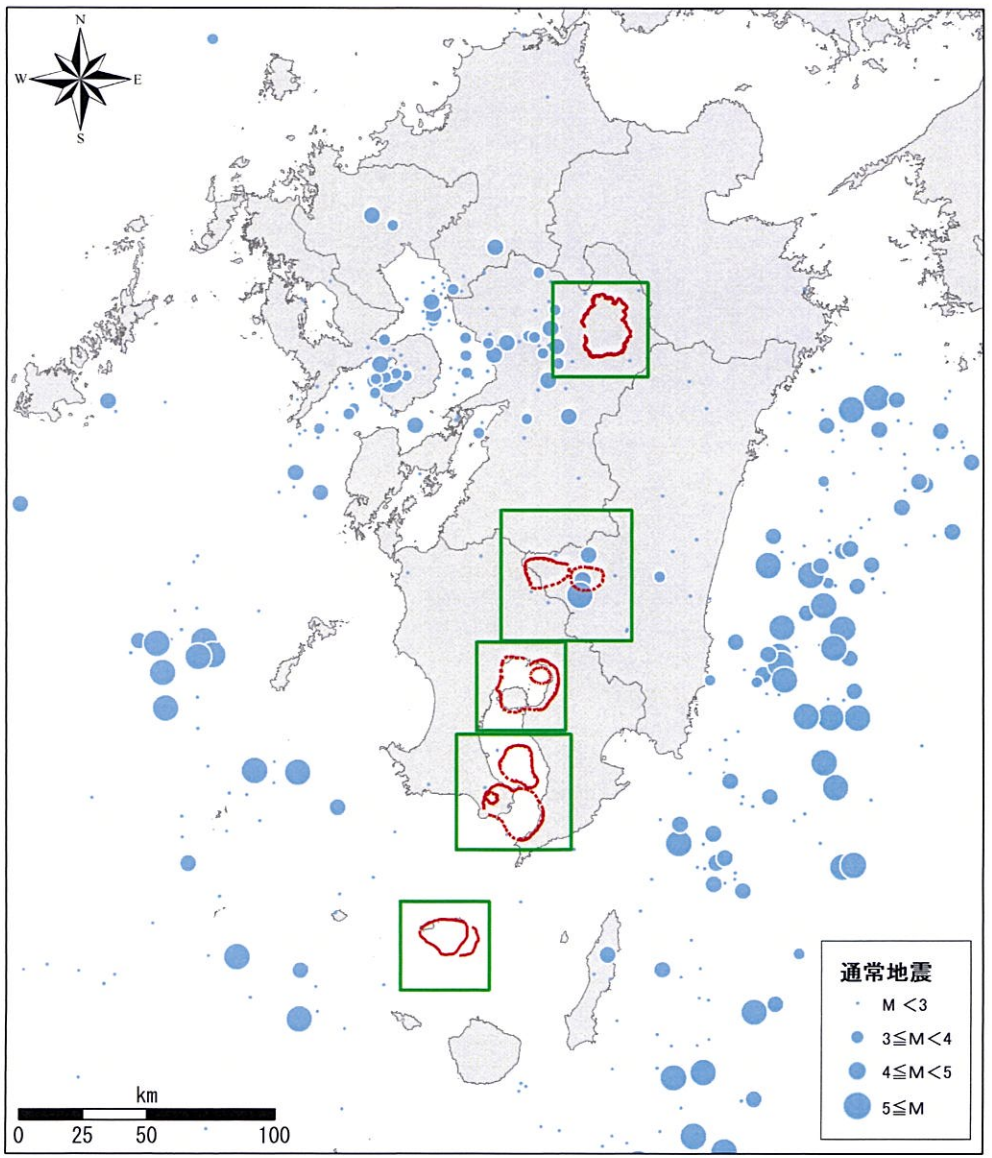
※震源は、気象庁、地震月報（カタログ編）の震源データのうち，九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1940年～1949年



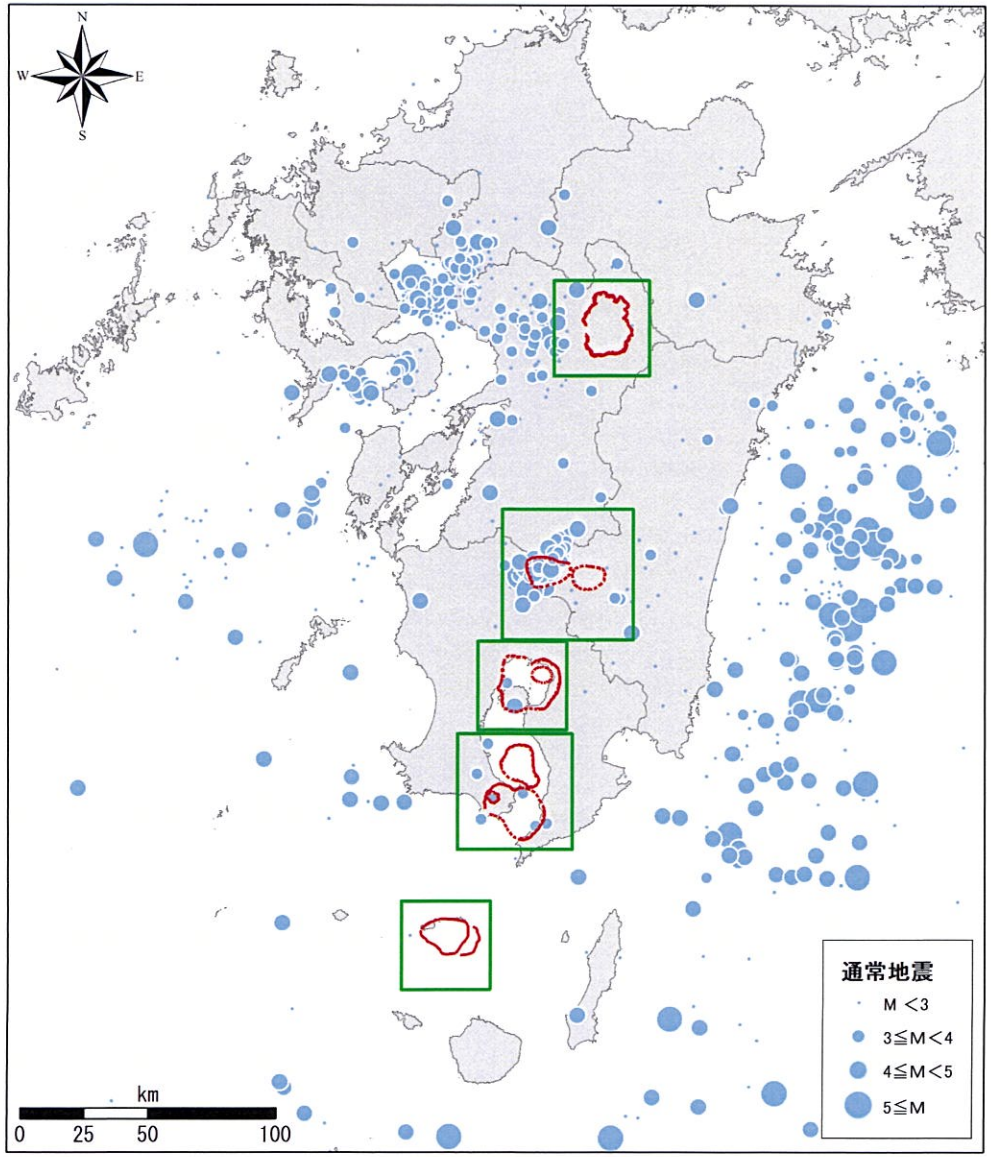
1950年～1959年



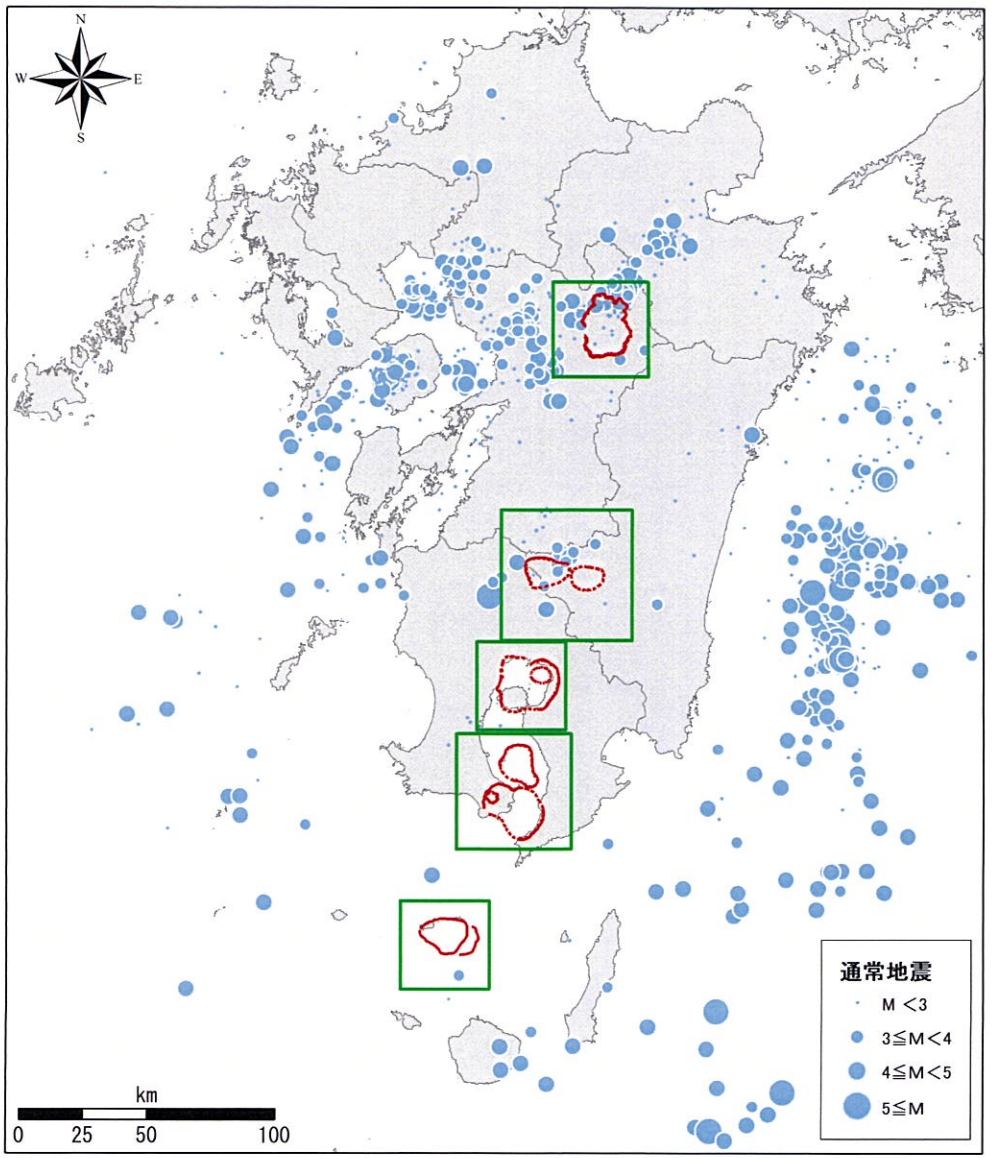
※震源は、気象庁、地震月報（カタログ編）の震源データのうち，九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1960年～1969年



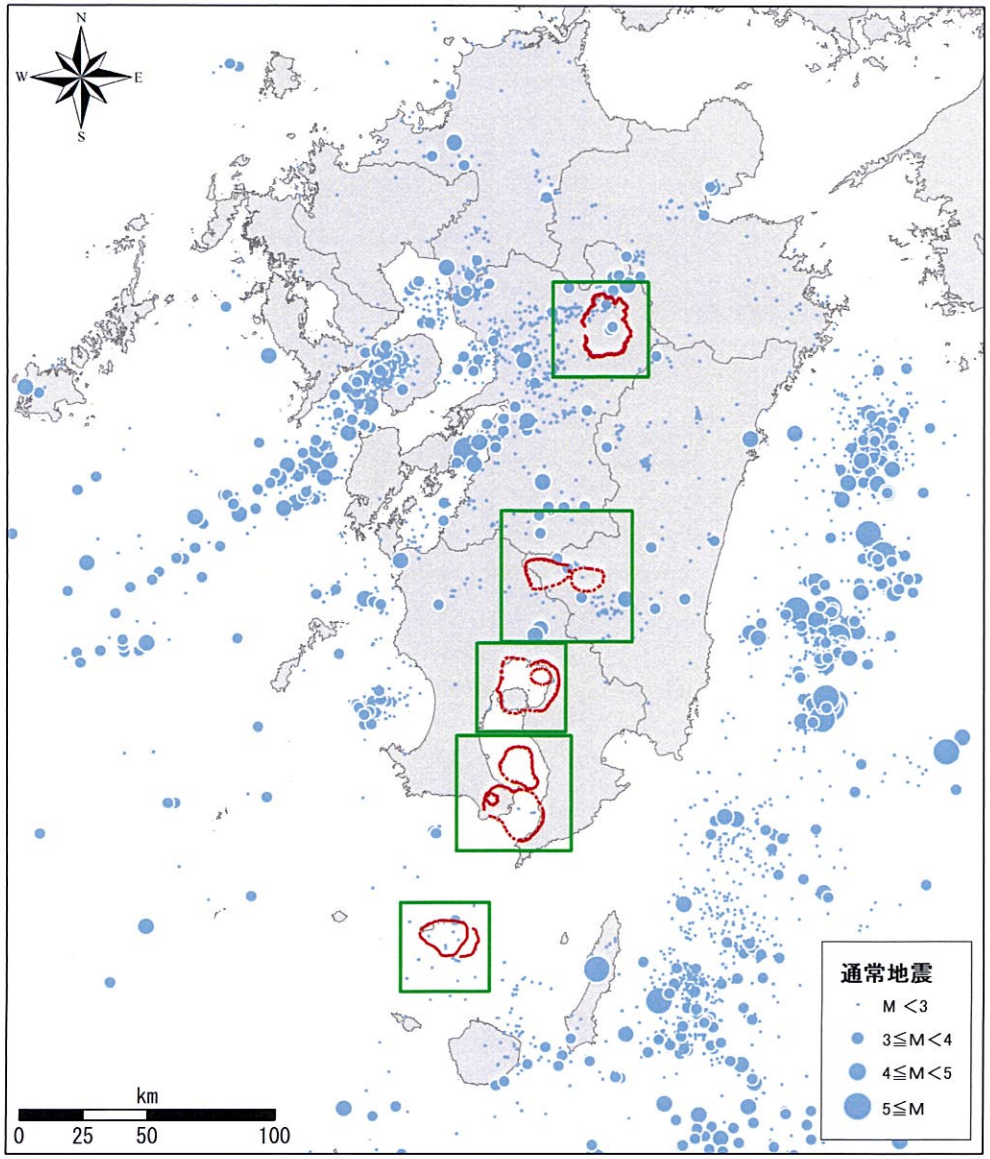
1970年～1979年



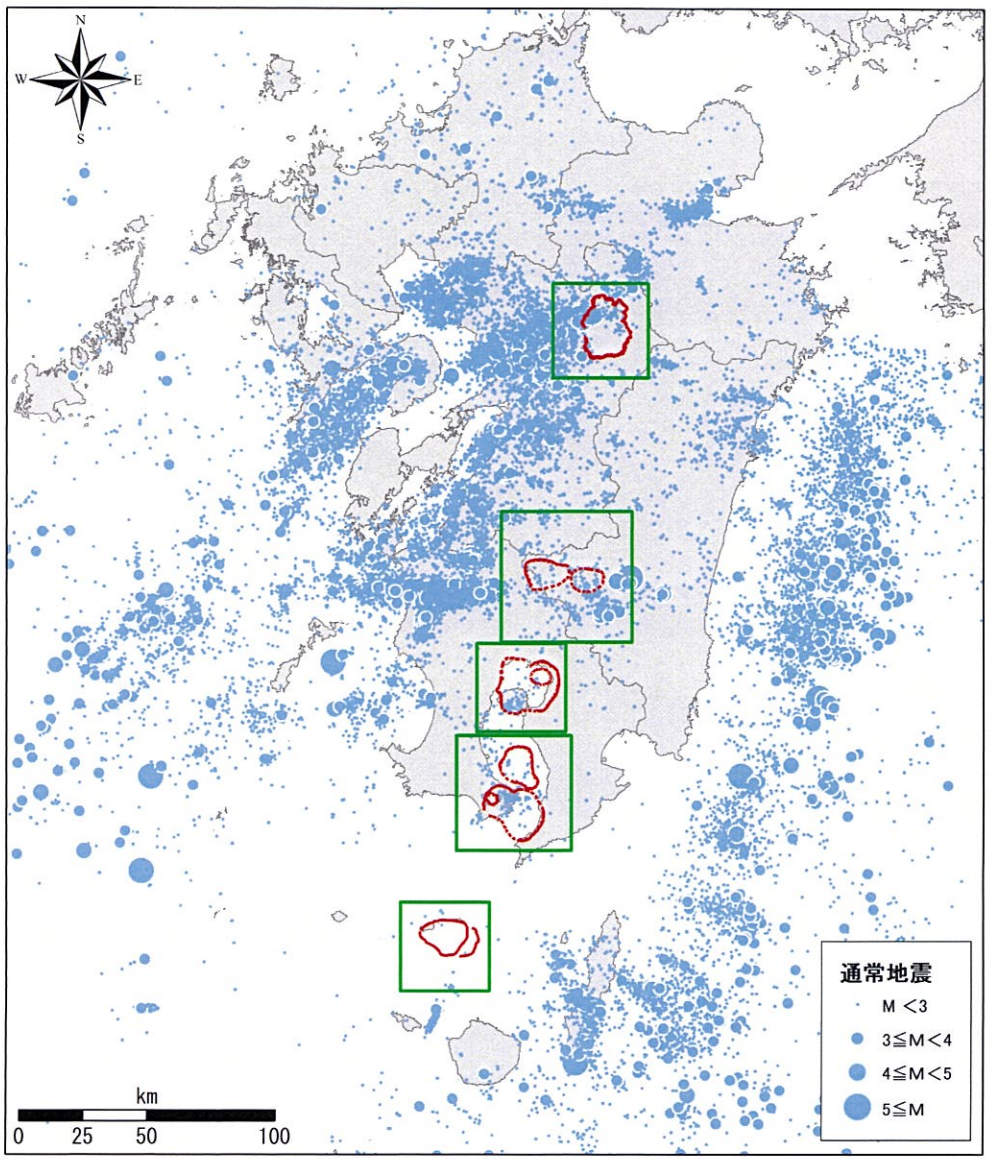
※震源は、気象庁、地震月報（カタログ編）の震源データのうち，九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1980年～1989年



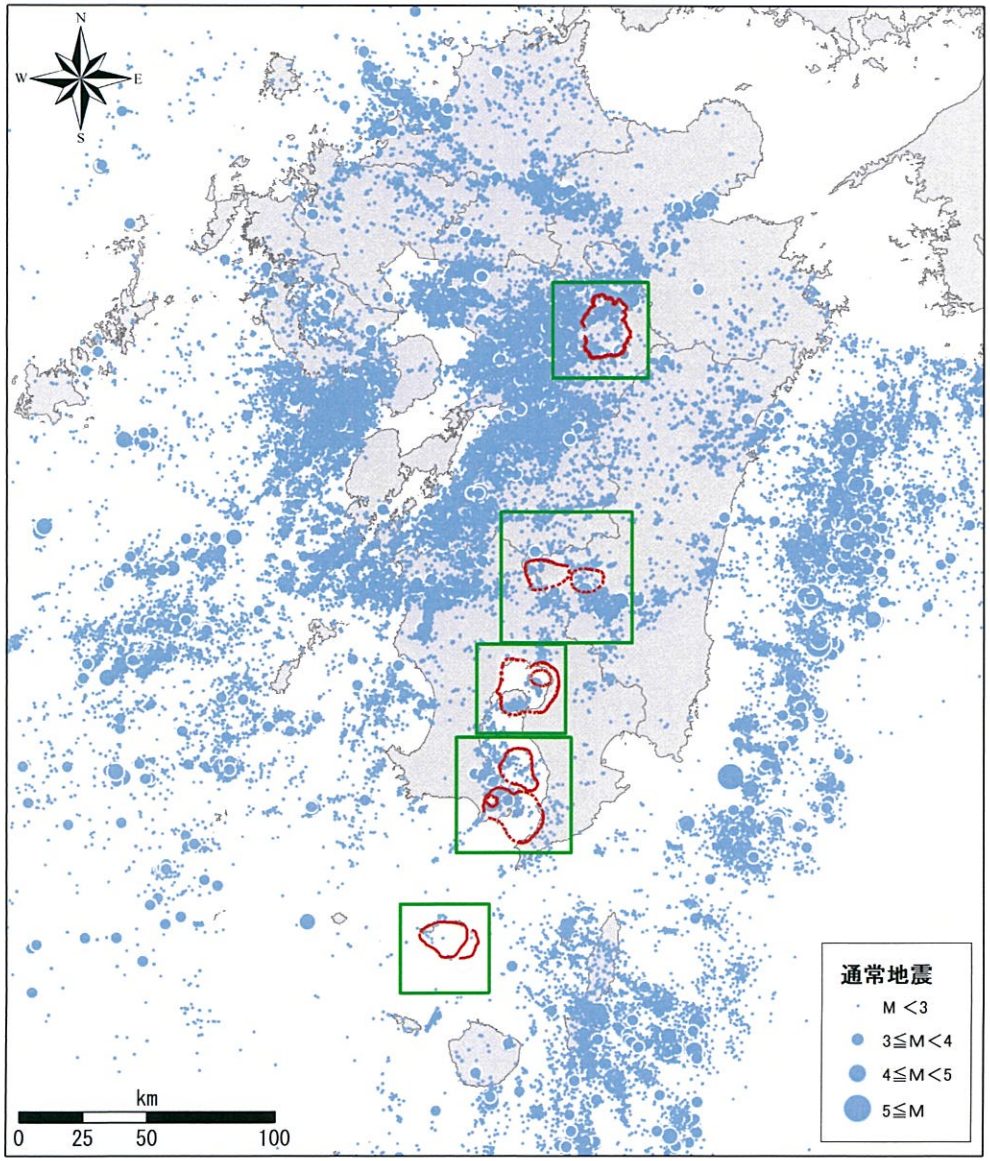
1990年～1999年



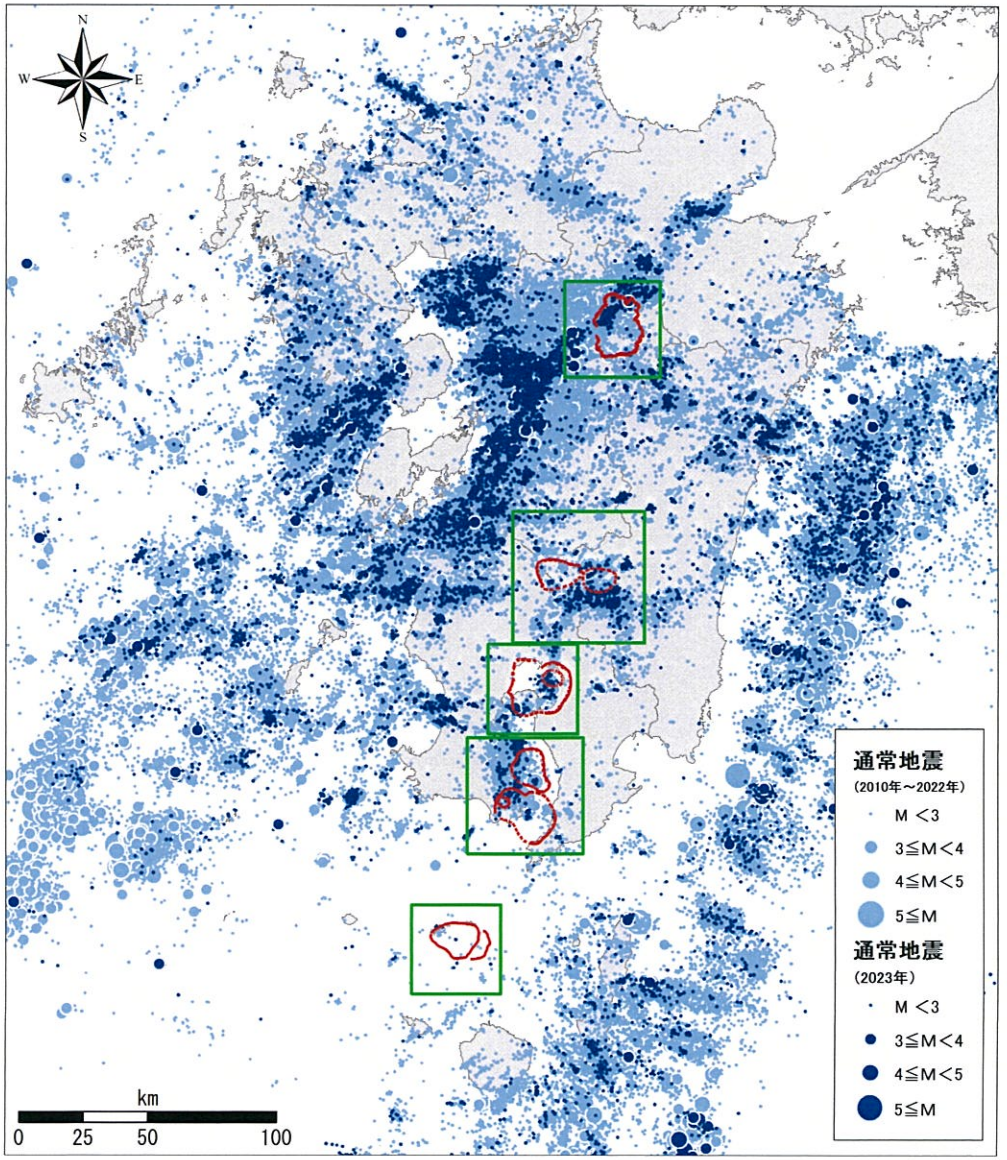
※震源は、気象庁、地震月報（カタログ編）の震源データのうち，九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

2000年～2009年



2010年～2023年

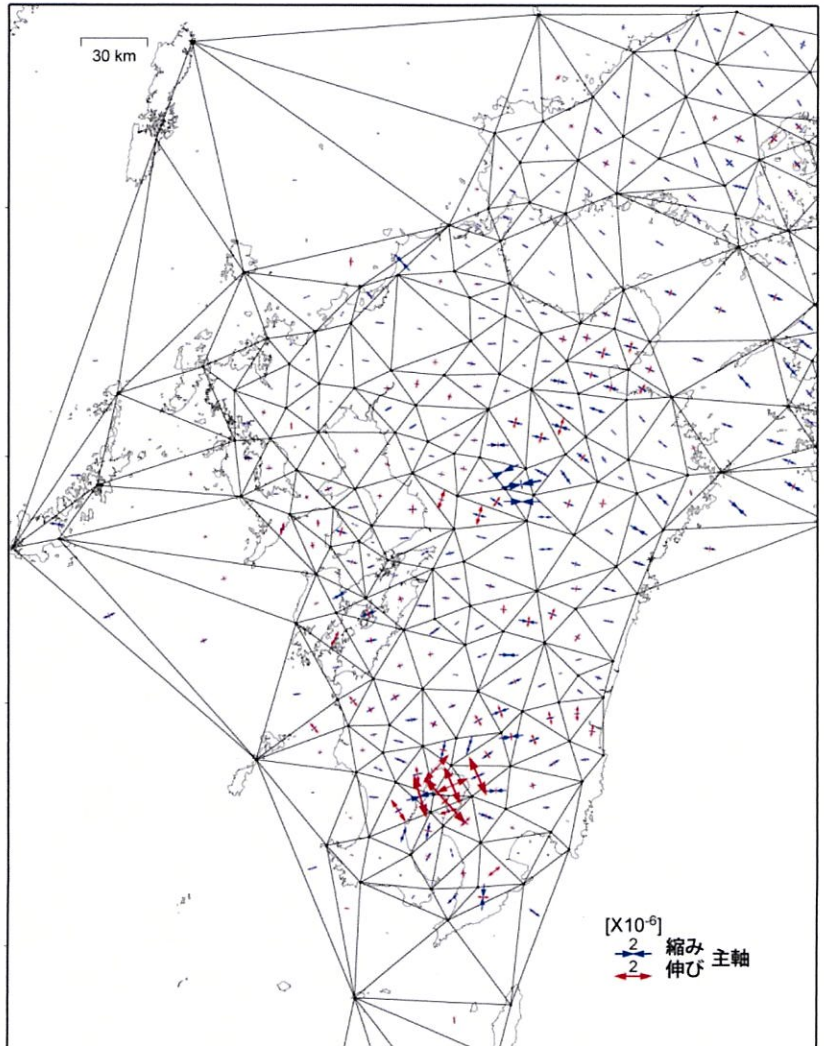


※震源は、気象庁、地震月報（カタログ編）の震源データ及び一元化処理震源データ（2022年～2023年）のうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

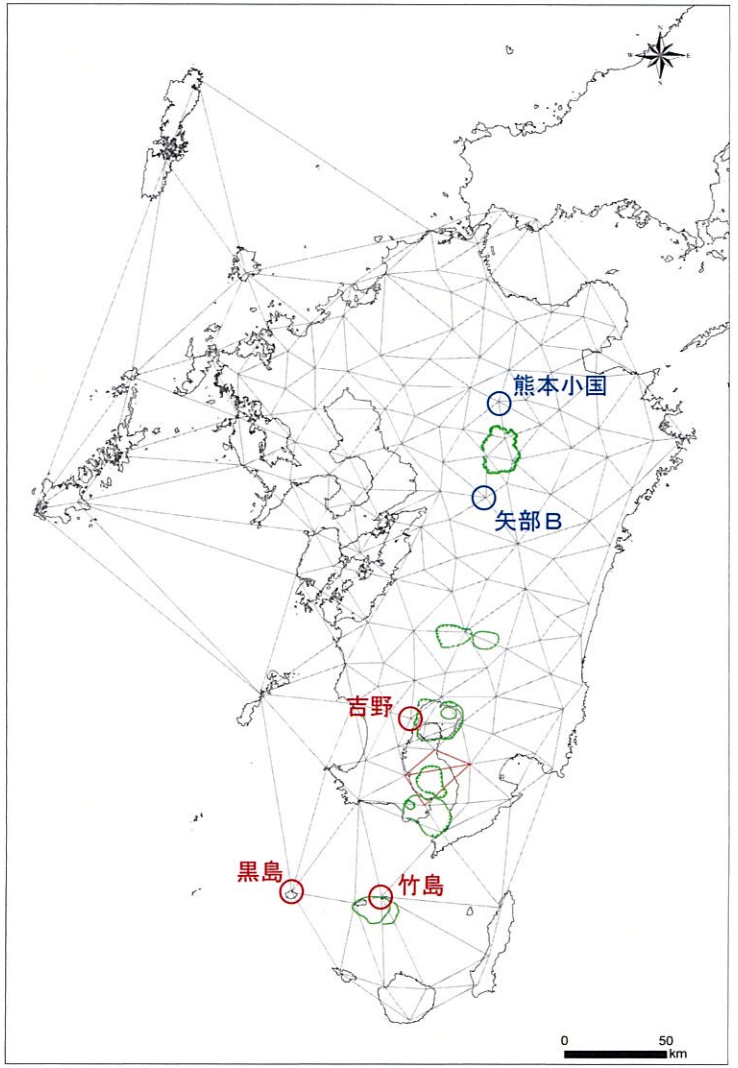
【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[概　要]

・地殻変動評価において、基線長変化によるカルデラ火山周辺の局所的な変動だけでなく、九州全体の大局的な変動についても確認していくことが重要であることから、九州のひずみ分布を確認した。

・解析メッシュについては、地震調査委員会(2013)を基に、GNSS局「熊本小国」「矢部B」や当社GNSS局「竹島」、「黒島」、「吉野」の追加等、阿多カルデラに係るメッシュでの桜島の影響を少なくする等、修正したメッシュの切り方に変更した。



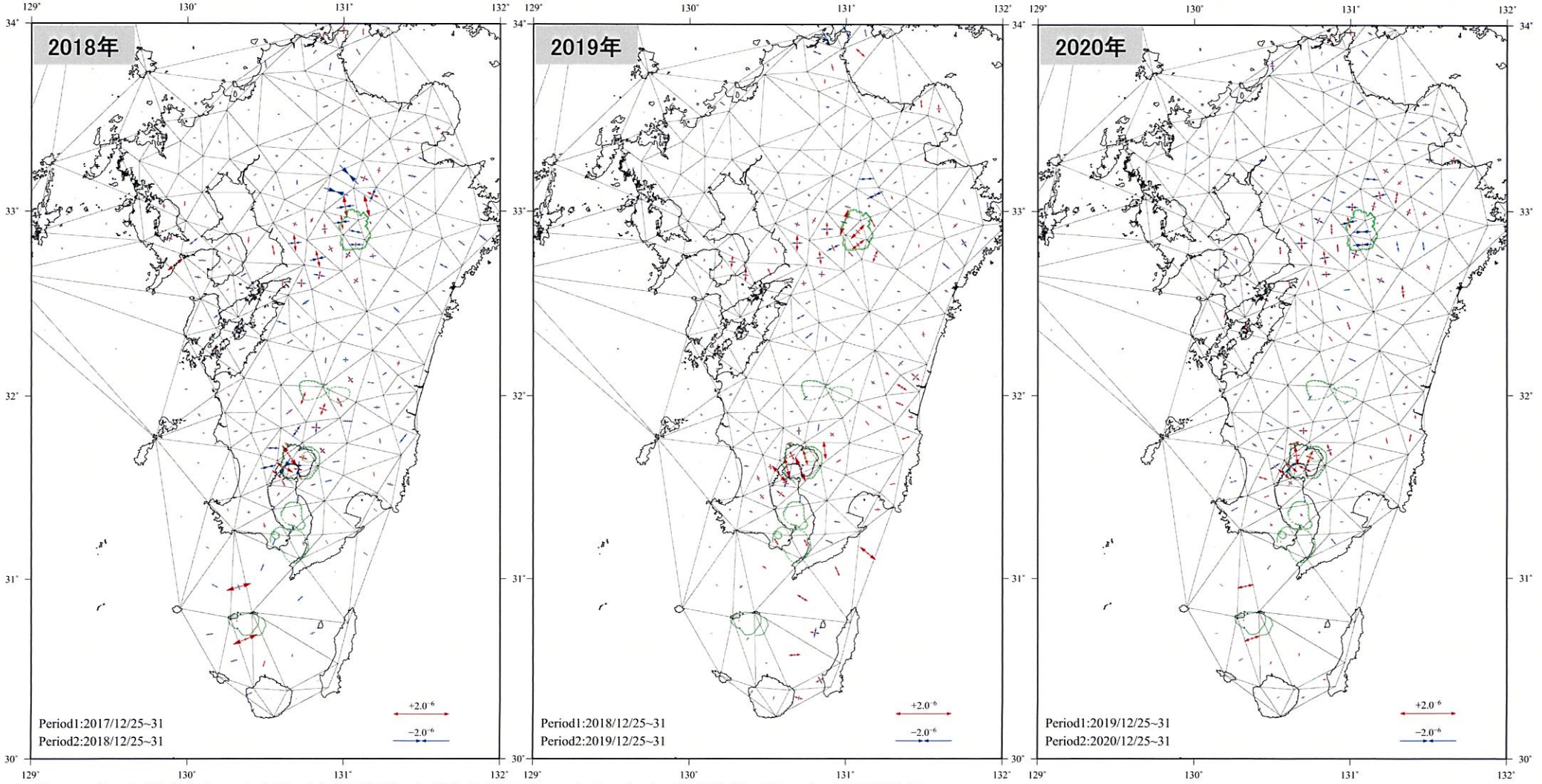
地震調査委員会(2013)の解析メッシュ【九州地域の活断層の長期評価(第一版)】



当社の解析メッシュ

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[水平ひずみ速度分布]

・2023年度において、阿蘇カルデラ周辺では水平ひずみが小さくなっており、概ね熊本地震前の状態に戻っている。また、カルデラ内の水平ひずみは昨年同様に収縮の傾向が認められる。姶良カルデラ及び鬼界周辺では、火山の影響と考えられる膨張傾向が認められ、加久藤・小林カルデラ及び阿多カルデラでは顕著な水平ひずみは認められない。

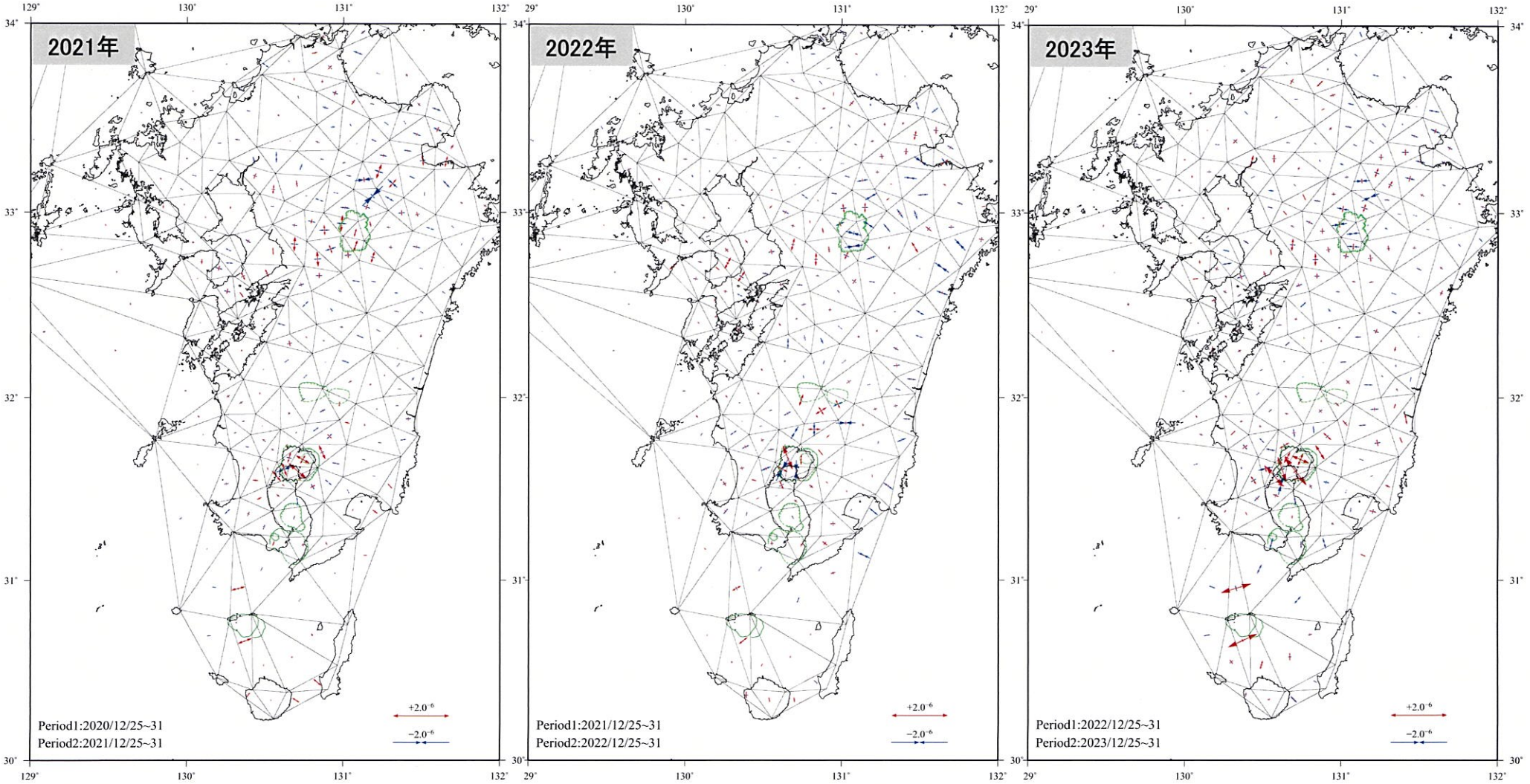


※1 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1～7 までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※2 2019年のひずみ場において、矢部Aの代わりに新設された矢部B(2019/3/7運用開始)を用いて三角形を作成、多久を含む三角形のひずみは2019/12/1～7 までのデータで作成(多久は2019/12/9運用停止)、北九州2を含む三角形のひずみは2019/12/14～20 までのデータで作成(北九州2は2019/12/21～2020/1/7で断続的にデータ欠如)

※3 2020年のひずみ場において、多久の代わりに新設された多久A(2020/9/3運用開始)を用いて三角形を作成、北九州2を含む三角形のひずみは2020/1/8～14 から2020/12/27～ 2021/1/2のデータで作成(北九州2は2021/1/3～2021/4/17で断続的にデータが欠如) 、姶良を含む三角形のひずみは2020/9/24～30 までのデータで作成(姶良は2020/2/14～9/12、2020/10/1～2021/3/24でデータ欠如)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[水平ひずみ速度分布]

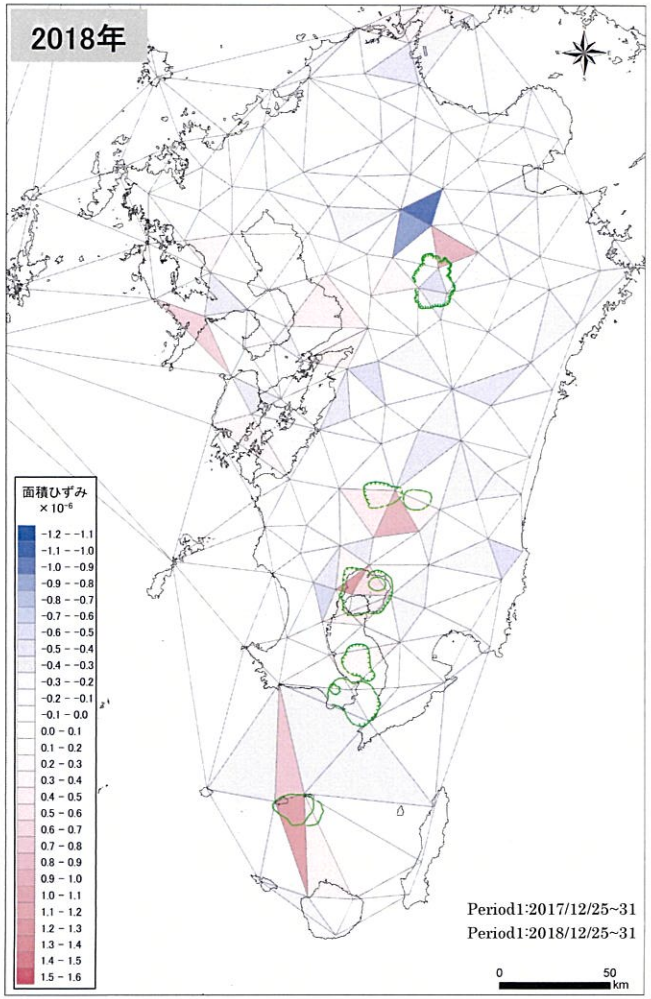


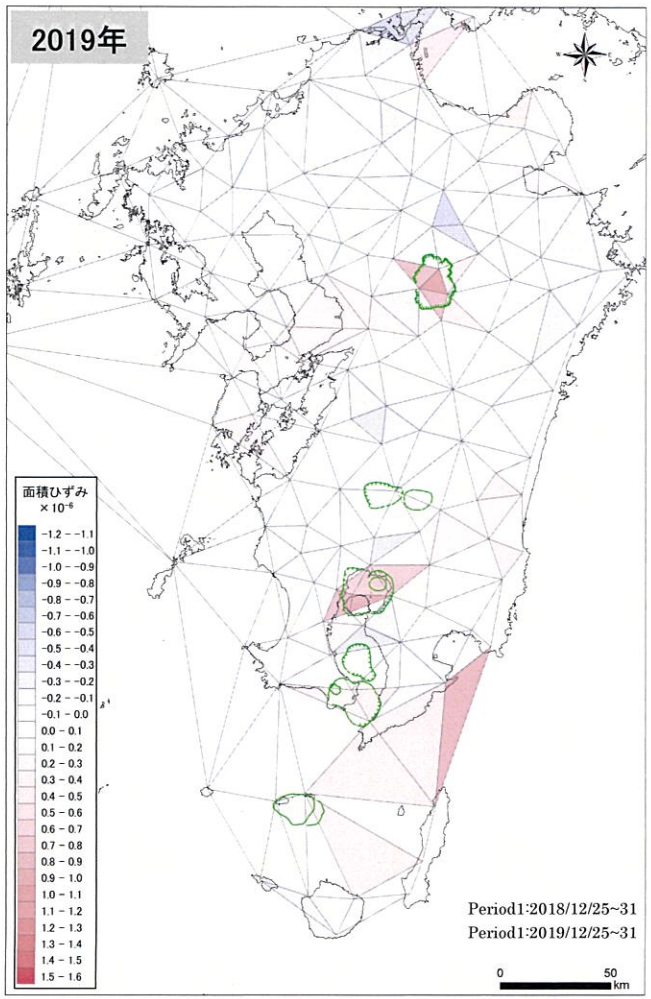
※1 2021年のひずみ場において、北九州2を含む三角形のひずみは2021/4/18～24 からのデータで作成(2021/1/3～2021/4/17で断続的にデータが欠如)、姶良を含む三角形のひずみは2021/3/25～31 からのデータで作成(2020/10/1～2021/3/24でデータ欠如)

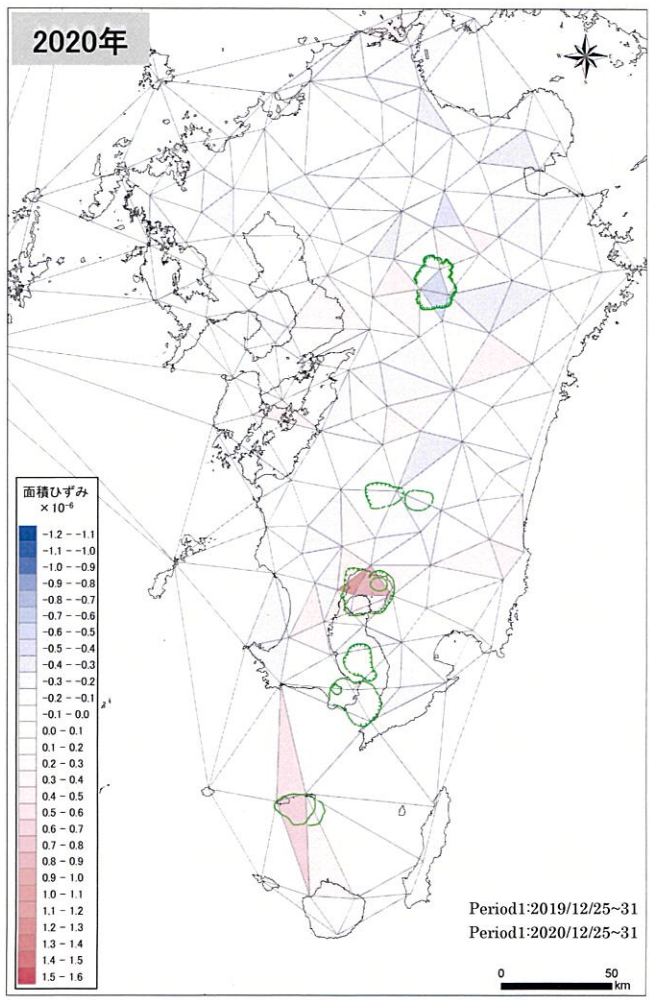
※2 2023年のひずみ場において、日向を含む三角形のひずみは2023/9/1～7 までのデータで作成(日向は2023/9/8運用停止)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[面積ひずみ分布]

・2023年度において、姶良カルデラ、鬼界では膨張する面積ひずみが認められ、昨年度よりも顕著な膨張傾向が認められる。阿蘇カルデラでは昨年同様に収縮の傾向が認められる。加久藤・小林カルデラ及び阿多カルデラでは顕著な面積ひずみは認められない。





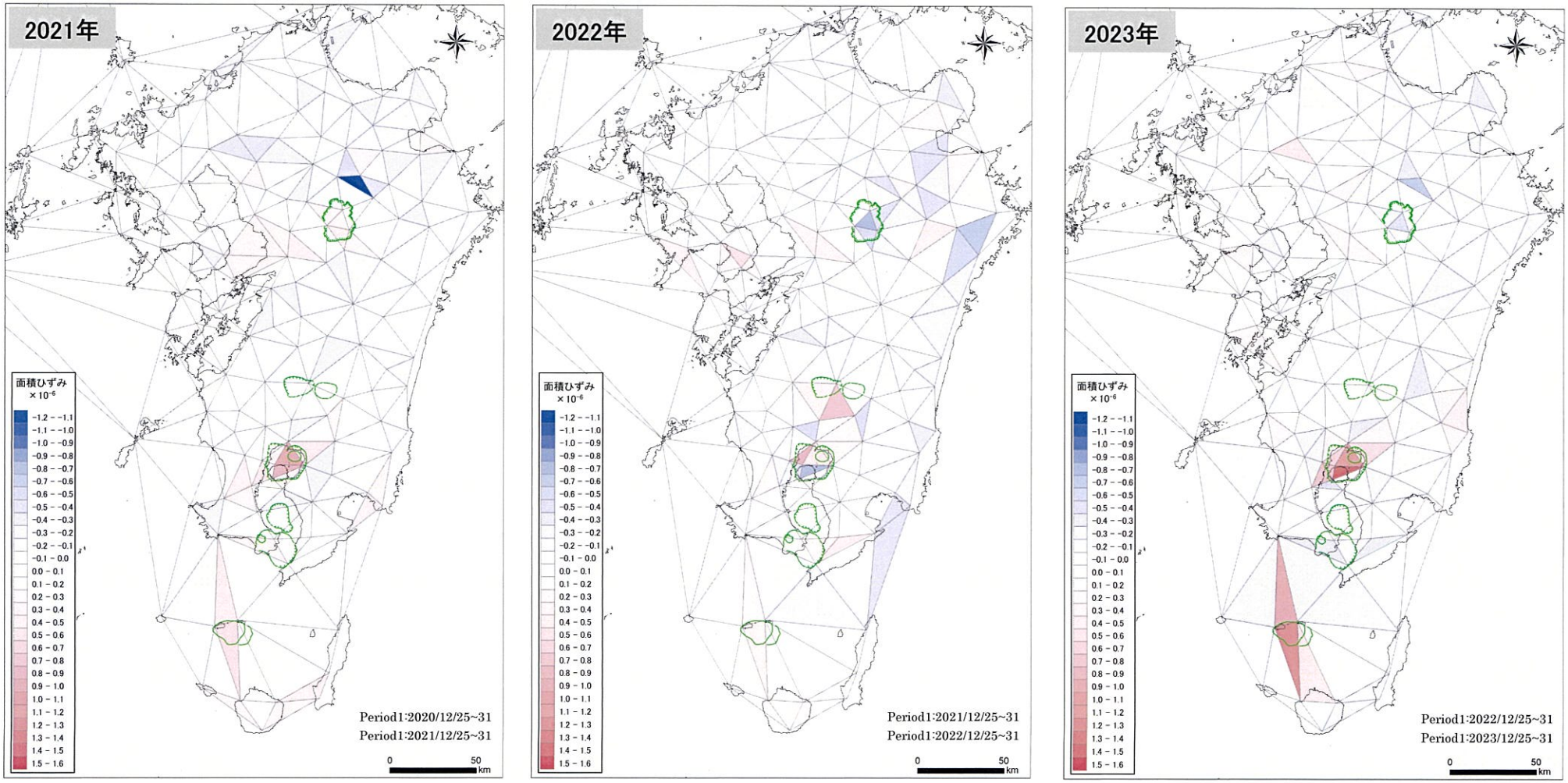


※1 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1～7 までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※2 2019年のひずみ場において、矢部Aの代わりに新設された矢部B(2019/3/7運用開始)を用いて三角形を作成、多久を含む三角形のひずみは2019/12/1～7 までのデータで作成(多久は2019/12/9運用停止)、北九州2を含む三角形のひずみは2019/12/14～20 までのデータで作成(北九州2は2019/12/21～2020/1/7で断続的にデータ欠如)

※3 2020年のひずみ場において、多久の代わりに新設された多久A(2020/9/3運用開始)を用いて三角形を作成、北九州2を含む三角形のひずみは2020/1/8～14 から2020/12/27～ 2021/1/2のデータで作成(北九州2は2021/1/3～2021/4/17で断続的にデータが欠如) 、姶良を含む三角形のひずみは2020/9/24～30 までのデータで作成(姶良は2020/2/14～9/12、2020/10/1～2021/3/24でデータ欠如)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[面積ひずみ分布]

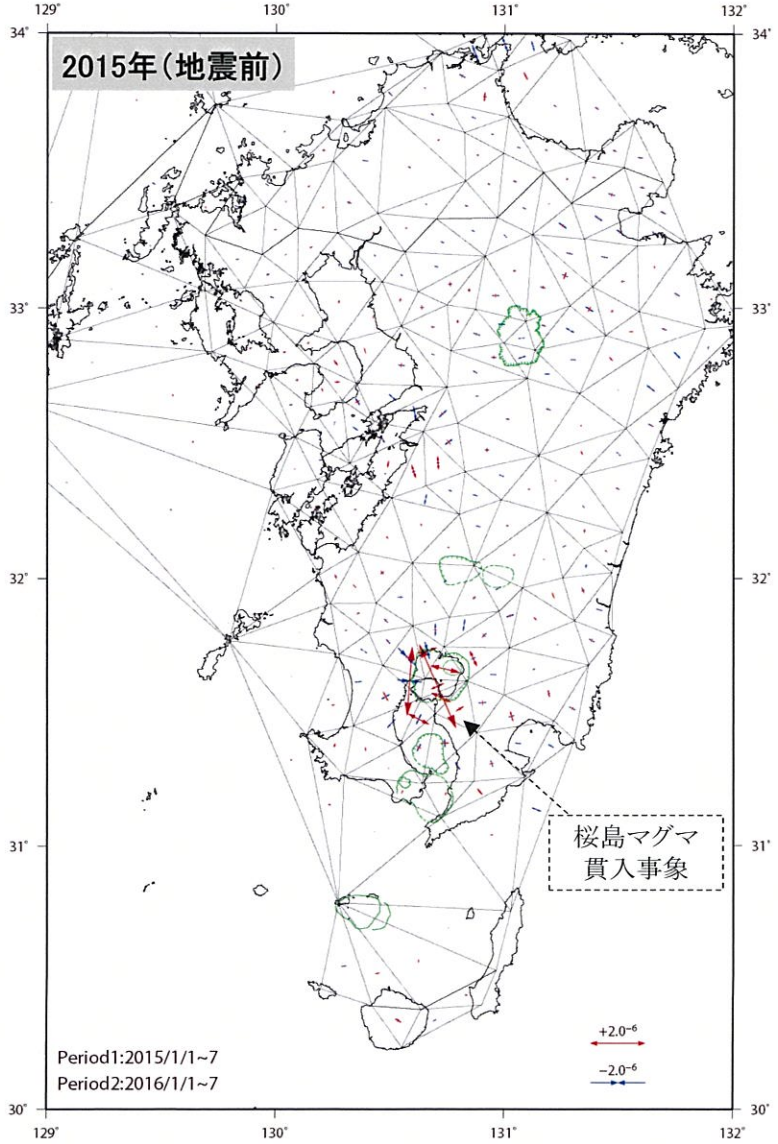


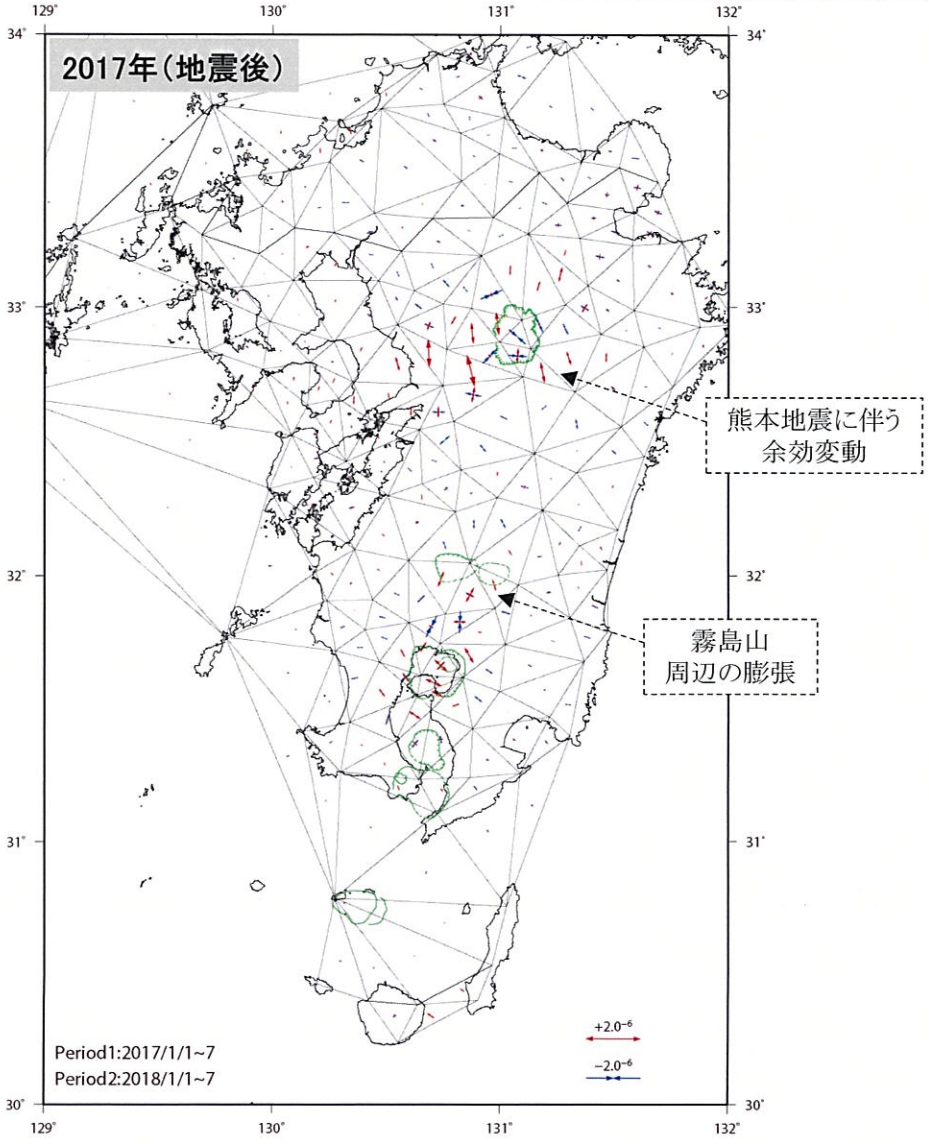
※1 2021年のひずみ場において、北九州2を含む三角形のひずみは2021/4/18～24 からのデータで作成(2021/1/3～2021/4/17で断続的にデータが欠如)、姶良を含む三角形のひずみは2021/3/25～31 からのデータで作成(2020/10/1～2021/3/24でデータ欠如)

※2 2023年のひずみ場において、日向を含む三角形のひずみは2023/9/1～7 までのデータで作成(日向は2023/9/8運用停止)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場（熊本地震前後のひずみ場[水平ひずみ速度分布]）

・阿蘇カルデラ周辺では、熊本地震に伴う余効変動が限られた範囲で認められるものの、九州全域のひずみ分布については、熊本地震前後で大きな違いは認められない。





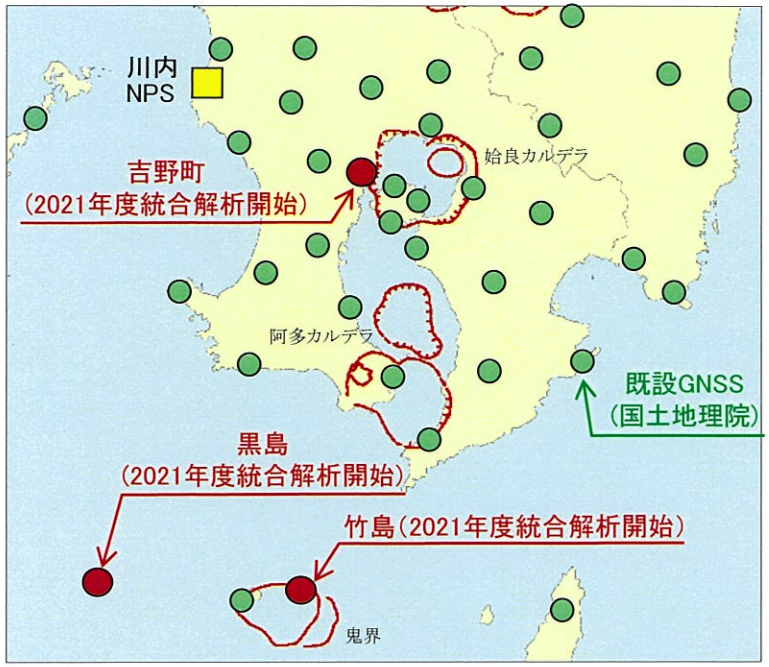
※ 地震調査委員会（2013）と同様の解析メッシュにて熊本地震前後のひずみ場の比較を実施

【参考3】当社GNSS機器による観測

・地殻変動データに係る精度の向上を図ることを目的に、鹿児島県内3箇所（2014年度：竹島、2015年度：黒島、2016年度：吉野町）にGNSS機器を設置し、観測データを蓄積してモニタリング評価の補完を行っている。

・当該観測点は既に民間等電子基準点（A級）として登録されており、2021年10月1日より全国の電子基準点との統合解析結果が国土地理院のホームページにて公開されている。

※解析結果は、「3．モニタリング評価結果」に国土地理院GNSS機器による観測結果とともに記載。



設置地点の位置図



竹島の機器設置状況



黒島の機器設置状況



吉野町の機器設置状況

【参考4】知見の収集結果

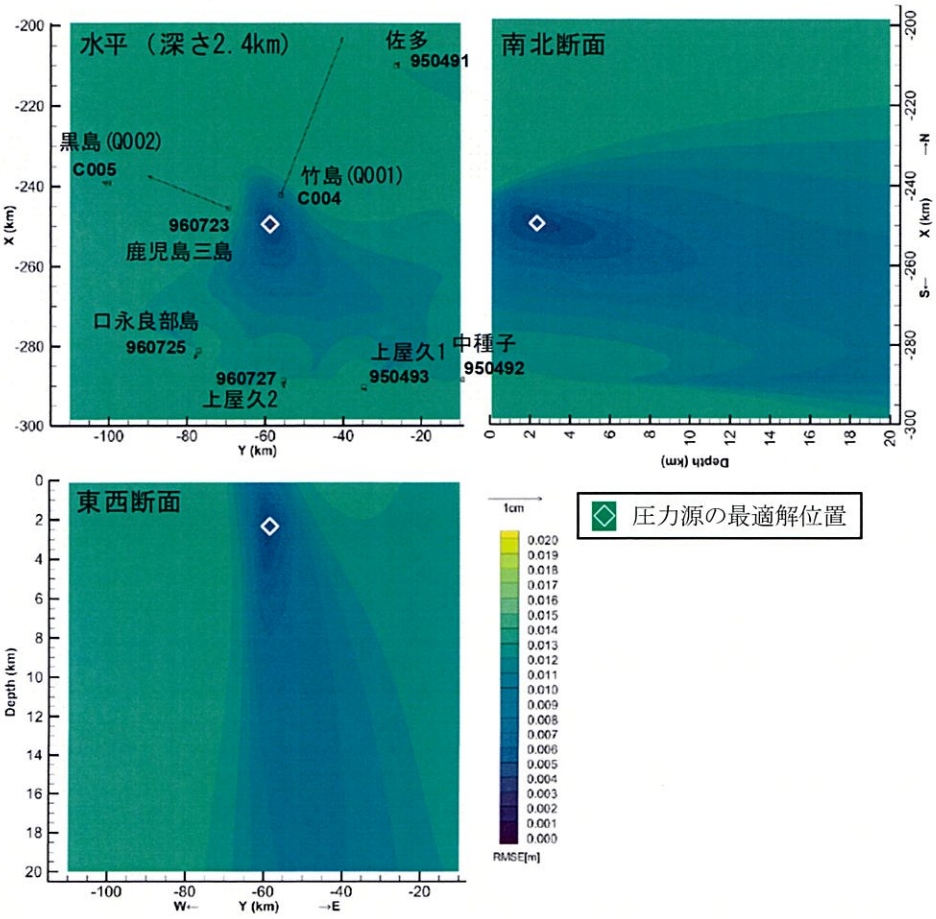
・これまでに収集した知見を以下に整理した。
・2023年度は、姶良カルデラにおいてMiyamachi et al. (2023)を追加した。

阿蘇カルデラ	[地下構造/比抵抗] 高倉ほか(2000),Matsushima et al. (2020),Hata et al. (2018),Aizawa et al. (2021) [地下構造/地震波速度] Sudo and Kong (2001),Abe et al. (2017),Huang et al. (2018),木村ほか(2019),Shito et al. (2020)	[岩石学] 三好ほか(2005), 三好(2013), Miyagi et al. (2023) [地質学] 小林(2017) [地球化学] 森川ほか(2019), 安池ほか(2019), Kawaguchi et al. (2021) [測地学] 大倉(2017), Hashimoto (2020), Niu and Song (2021) [地温勾配][地殻熱流量] 産総研(2019) [キュリー点深度] 大久保 (1984)
加久藤・小林カルデラ	[地下構造/比抵抗] 鍵山ほか(1997), Goto et al.(1997), Aizawa et al.(2014) [地下構造/地震波速度]長岡ほか(2019),澁谷ほか(2019), Shito et al. (2020), Nishida et al. (2020)	[地質学] 小林(2017) [測地学] 大倉(2017) [地温勾配][地殻熱流量] 産総研(2019) [キュリー点深度] 大久保 (1984)
姶良カルデラ	[地下構造/比抵抗] — [地下構造/地震波速度] Alanis et al. (2012),井口(2017),安池ほか(2019),澁谷ほか(2019),筒井ほか(2021),為栗ほか(2022),Miyamachi et al.(2023)	[岩石学] 関口ほか(2014) [地質学] 小林(2017),小林(2019) [測地学]井口ほか(2008),井口ほか(2011),井口ほか(2013),山本ほか(2013), Hickey et al. (2016),味喜ほか(2021) [地温勾配][地殻熱流量] 産総研(2019) [キュリー点深度] 大久保 (1984) [重力] 山本ほか(2014)
阿多カルデラ	[地下構造/比抵抗] — [地下構造/地震波速度] 西ほか(2001),澁谷ほか(2019),海野ほか(2019)	[地質学] 小林(2017) [測地学] 大倉(2017) [地温勾配][地殻熱流量] 産総研(2019) [キュリー点深度] 大久保 (1984)
鬼界	[地下構造/比抵抗] — [地下構造/地震波速度] 長屋ほか(2023)	[岩石学] 前野ほか(2002), Hamada et al. (2023) [地質学] 小林(2017) [地球化学] 篠原ほか(2008),斎藤(2017) [測地学] 井口ほか(2002) [キュリー点深度] 大久保 (1984)

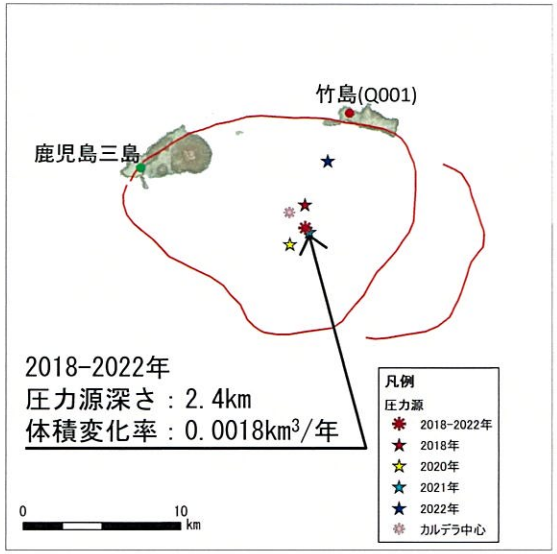
（中・長期的取組み）

1. 鬼界における2018～2022年の累積変動

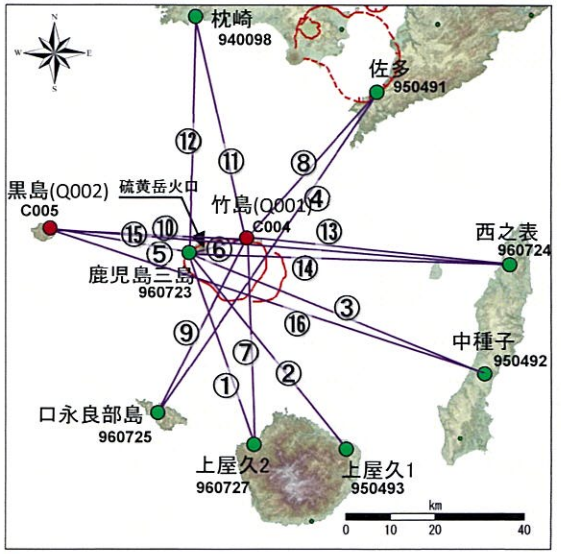
・昨年度報告では2018年、2020年、2021年、2022年のそれぞれ1年毎のデータにおいて、茂木モデルを仮定し、基線長と鉛直変位のそれぞれのRMSE（観測値と計算値の二乗平均平方根誤差）を指標として圧力源位置を推定し、体積変化率（マグマ供給率）の算定を行った。
・今年度では、2018～2022年の累積の変動に対し同様の検討を実施した。なお、鬼界における基線は2019年種子島近海の地震による影響を大きく受けているため、地震時の変動はオフセットして計算に使用した。
・圧力源位置は、昨年度報告で推定された位置と概ね同じ水平位置に推定され、深さはやや浅く2.4kmに求められた。また、マグマ供給率は約0.0018km^3/年である。「竹島」と、特に「鹿児島三島」では鉛直変動が小さく、1年程度の期間のデータではGNSSデータの鉛直成分の誤差も考慮すると、誤差が及ぼす影響が大きいため、複数年データを使用して変動量を累積することで、より精度良く圧力源位置を推定できたと考えられる。



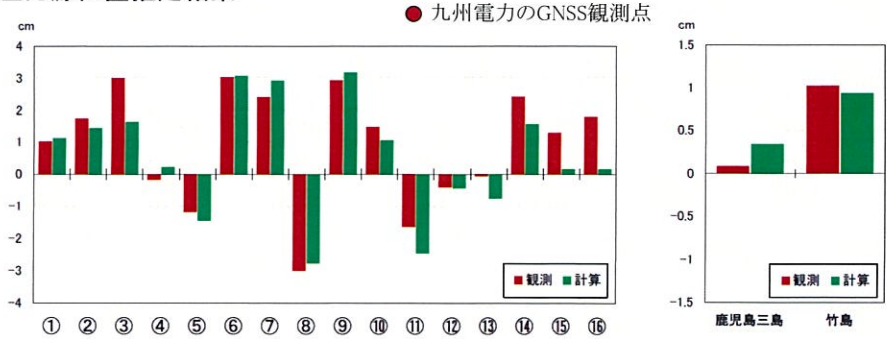
深さ2.4kmにおける水平断面及び南北、東西断面のRMSE



圧力源位置推定結果



● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

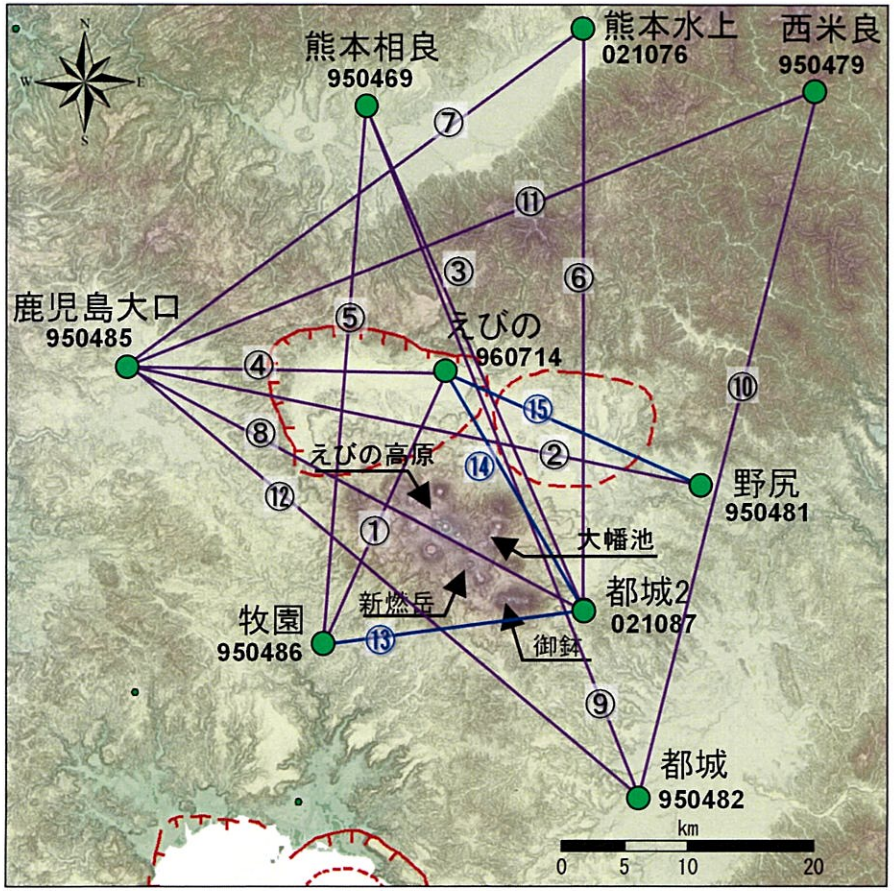


観測値と計算結果の比較（左：基線長変化、右：鉛直変位）

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

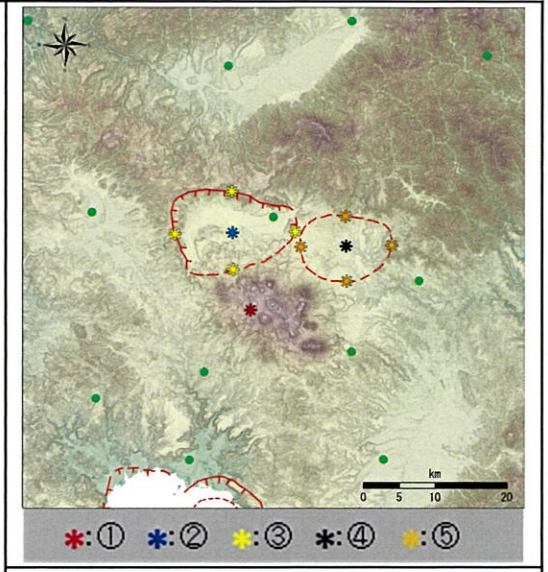
・加久藤・小林カルデラにおける基線長変化は、新燃岳のマグマ溜まりによる影響を大きく受けるため、これらを区別するために新たな基線⑬～⑮を追加し検知能力の検討を行うこととした。

・検知能力の検討として、Nakao et al. (2013)による新燃岳の圧力源位置と、加久藤・小林カルデラそれぞれで仮定した圧力源位置において、0.05km^3/年のマグマ供給があった場合の基線長変化量を計算し、変化量や基線ごとの変動の傾向について比較を行った。



● 国土地理院のGNSS観測点

現在の基線①～⑫と新たに追加する基線⑬～⑮

圧力源位置	 ①Nakao et al.(2013) ②加久藤カルデラの中心 ③加久藤カルデラリムの東西南北 ④小林カルデラの中心 ⑤小林カルデラリムの東西南北
圧力源深度	10km※1
マグマ供給率	0.05km^3/年※2

※1 破局的噴火を発生させる珪長質マグマ溜まりは深度10km以浅にあると考えられるため、10kmに設定した

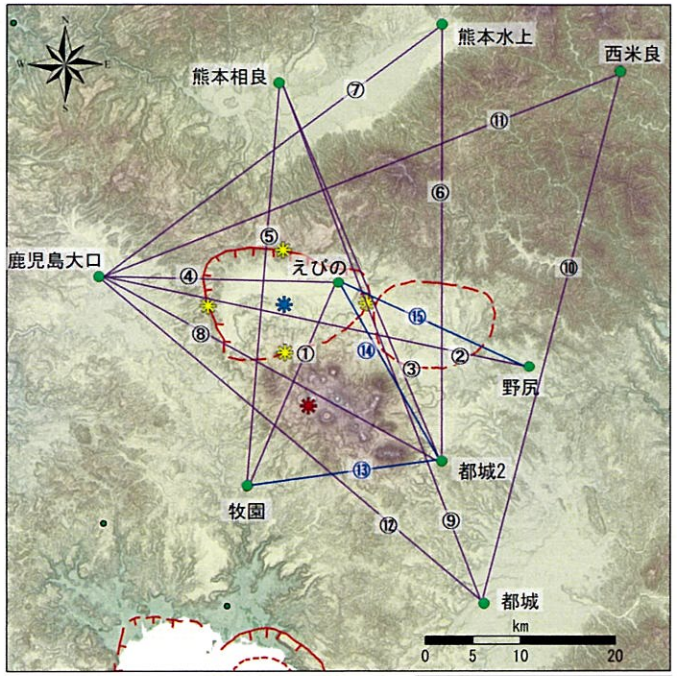
※2 Druitt et al.(2012)によるマグマ供給率の最小値

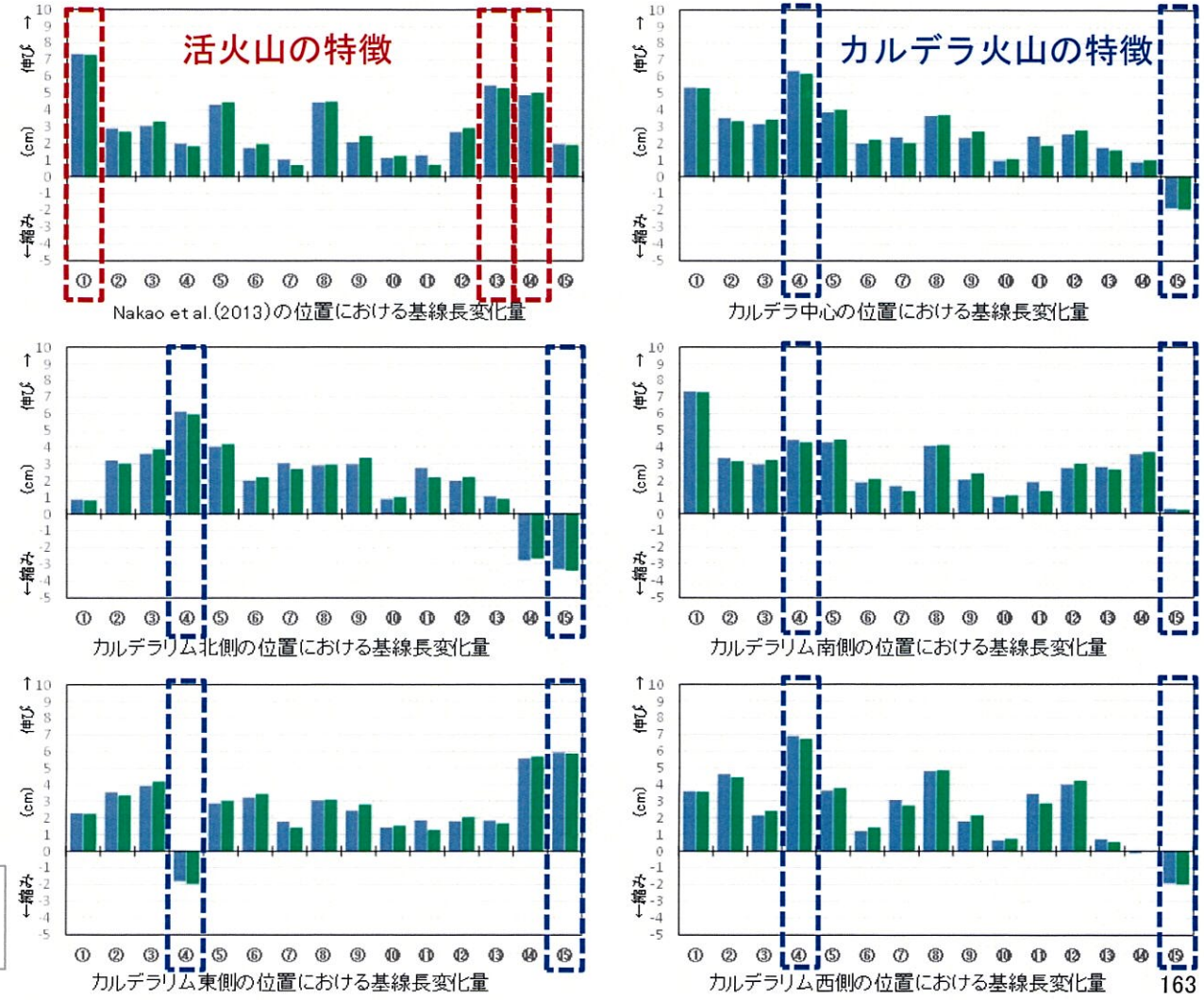
基線長検知能力検討のために仮定した圧力源位置

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・加久藤カルデラにおいて、カルデラ中心及びカルデラリム東西南北の計5地点、深さ10kmに圧力源を仮定し、それぞれの圧力源において0.05km^3/年のマグマ供給があった場合の基線長変化量を計算した。

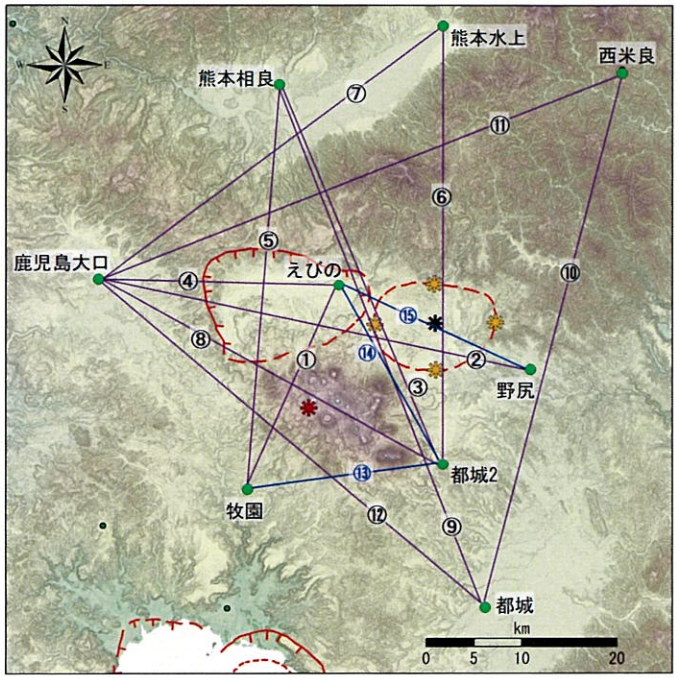
・新燃岳を囲む基線①、⑬及び⑭については、Nakao et al.(2013)による圧力源にマグマ供給があれば大きな変化量と伸びの傾向を示す一方、カルデラ火山に圧力源を推定した場合、基線④、⑮を主な特徴として大きく異なる変動傾向を示している。





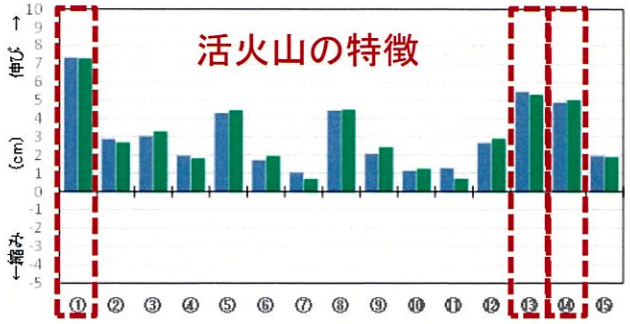
2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

- 小林カルデラにおいて、カルデラ中心及びカルデラリム東西南北の計5地点、深さ10kmに圧力源を仮定し、それぞれの圧力源において0.05km^3/年のマグマ供給があった場合の基線長変化量を計算した。
- 小林カルデラに圧力源を推定した場合、基線④、⑮を主な特徴として活火山の圧力源とは大きく異なる変動傾向を示している。
- これらのことから、新たな追加基線によって、カルデラ火山と活火山をより区別することができるようになると考えられる。

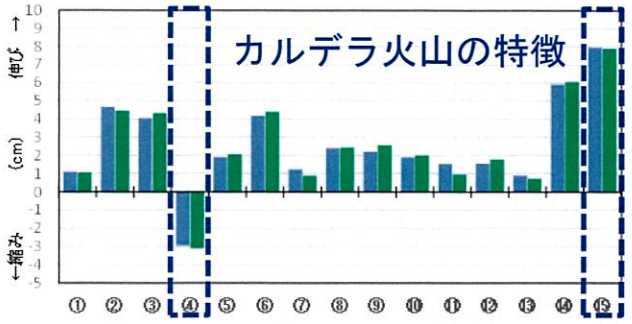


青線・番号の基線⑬～⑮を新規追加

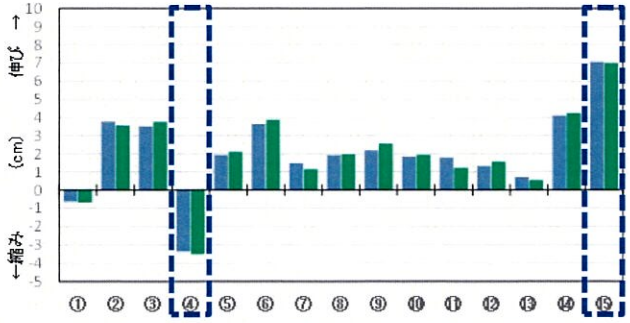
✱ Nakao et al.(2013)
✱ 小林カルデラの中心
✱ 小林カルデラリムの東西南北



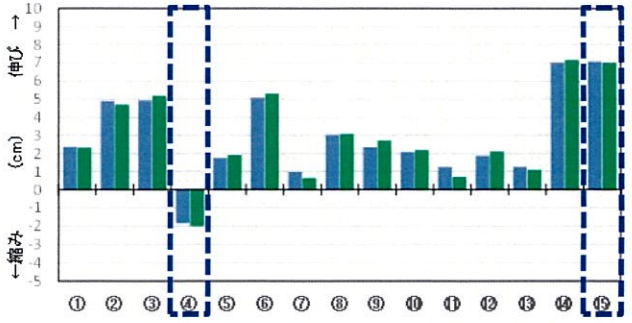
Nakao et al.(2013)の位置における基線長変化量



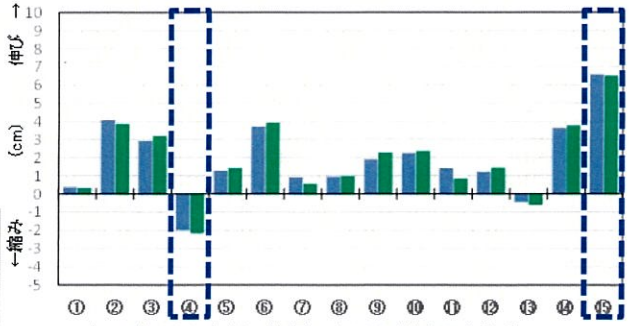
カルデラ中心の位置における基線長変化量



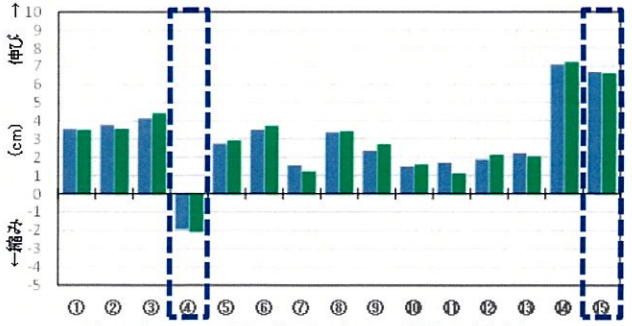
カルデラリム北側の位置における基線長変化量



カルデラリム南側の位置における基線長変化量



カルデラリム東側の位置における基線長変化量



カルデラリム西側の位置における基線長変化量

茂木モデルによる基線長変化量
茂木モデルに広域地殻変動値を加えた基線長変化量

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・次に、加久藤・小林カルデラの現在の基線長変化の状態を確認するため、広域地殻変動、南方にある姶良カルデラの変動による影響及び霧島（活火山）の活動による地殻変動の除去を試みた。以下にそのフローを示す。

＜解析フロー＞

熊本地震時の変動をオフセット

加久藤・小林カルデラの基線長変化（観測点）の熊本地震時の変化量を除去

⇩

広域地殻変動除去

全観測点の広域地殻変動を除去（九州電力，2021の検討手法）

⇩

姶良カルデラからの影響を除去

計算した観測点に与える姶良カルデラの日毎変化量を全観測点の変化から除去し、霧島からの影響のみの観測点変化を作成

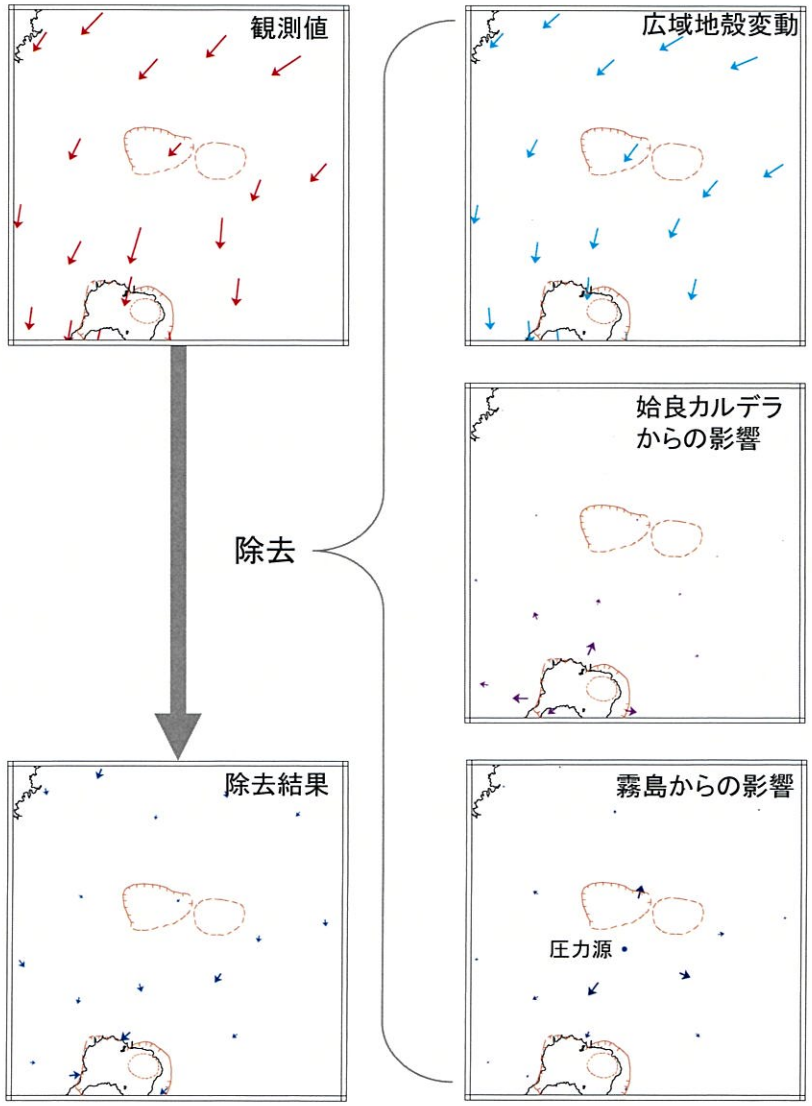
⇩

霧島からの影響を除去

計算した観測点に与える霧島の日毎変化量を全観測点（基線）の変化から除去し、霧島からの影響を除去

⇩

全ての影響を除去した基線長変化の変動を確認



・姶良カルデラ基線②（鹿児島郡山-鹿児島福山）の基線長変化の日変化量を計算
・茂木モデルを仮定※1し、日変化量を日供給量に変換
・日供給量で茂木モデルを仮定※1し、全観測点に与える変化量を日毎に計算（日変化量）

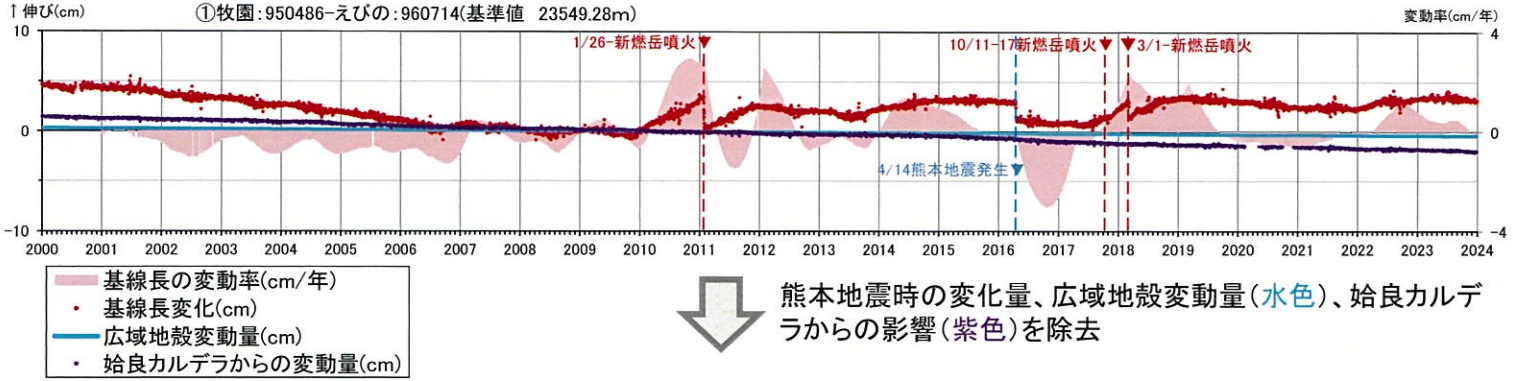
※1 井口ほか(2008)の圧力源位置を使用

・霧島山の圧力源に大きく影響される基線①、⑬、⑭を使用し、3基線長変化の平均日変化量に対し茂木モデルを仮定※2して 日供給量に変換
・日供給量で茂木モデルを仮定※2して、全観測点に与える変化量を日毎に計算（日変化量）

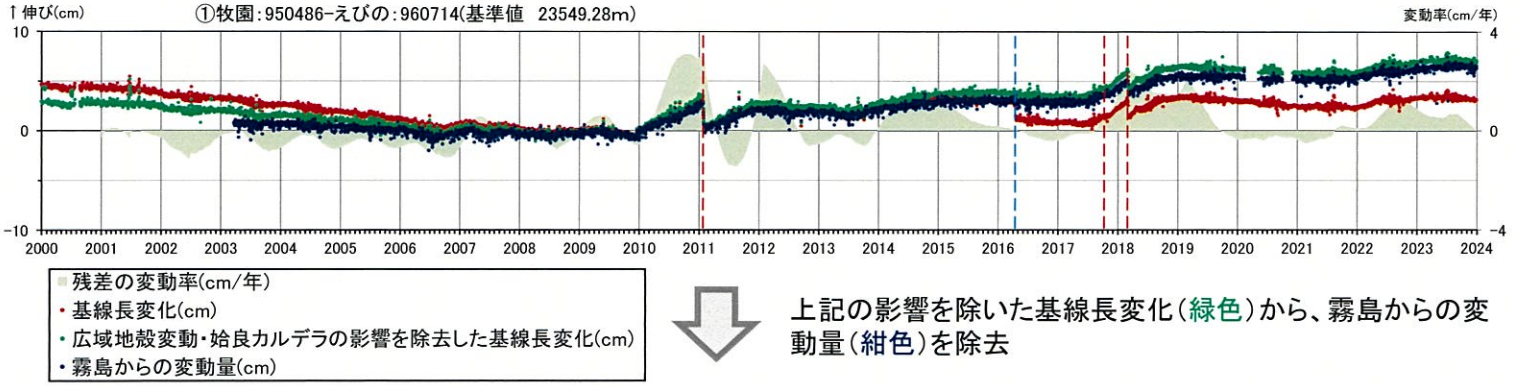
※2 Nakao et al.(2013)の圧力源位置を使用

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

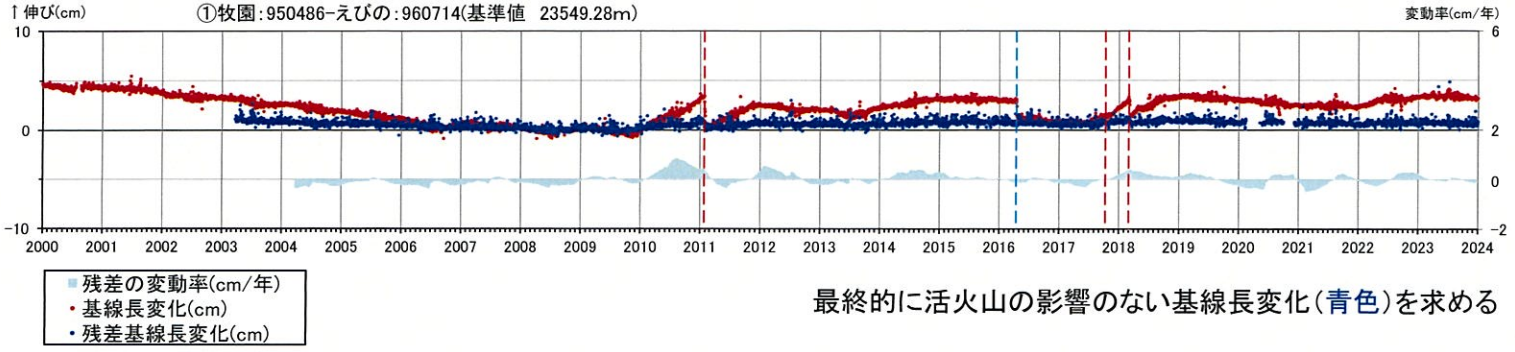
・前頁のフローに従い各影響を除去した基線長変化の例として基線①を示す。
・基線①、⑬、⑭の平均から霧島山の圧力源から推定される変動量を見積もっているため、基線はフラットになっている。



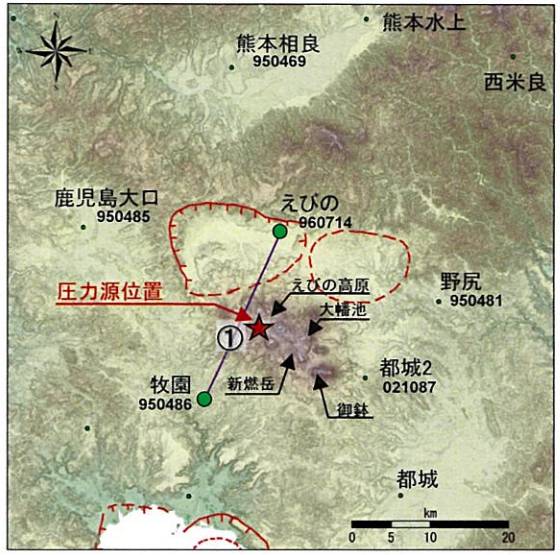
熊本地震時の変化量、広域地殻変動量(水色)、姶良カルデラからの影響(紫色)を除去



上記の影響を除いた基線長変化(緑色)から、霧島からの変動量(紺色)を除去



最終的に活火山の影響のない基線長変化(青色)を求める

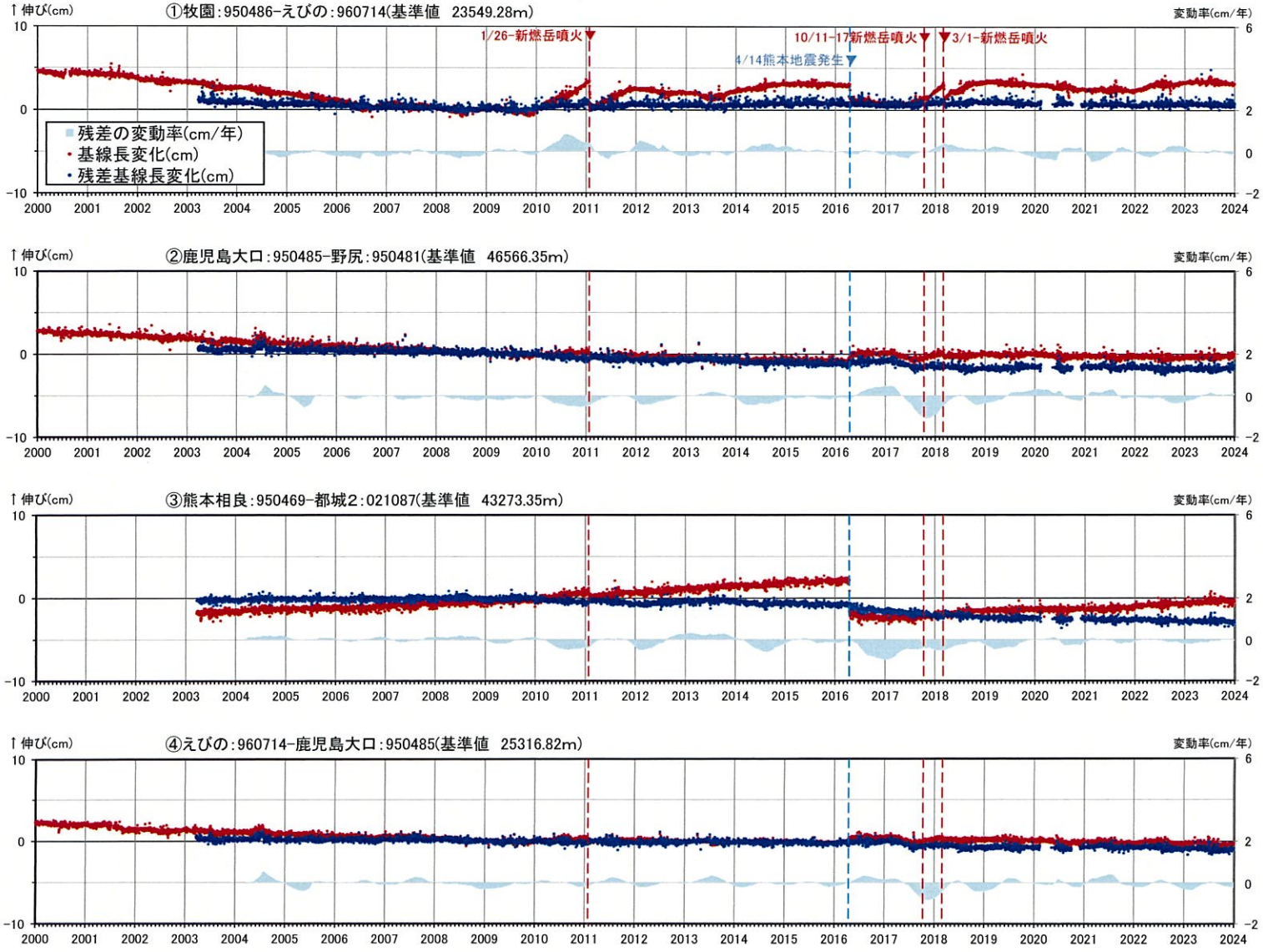


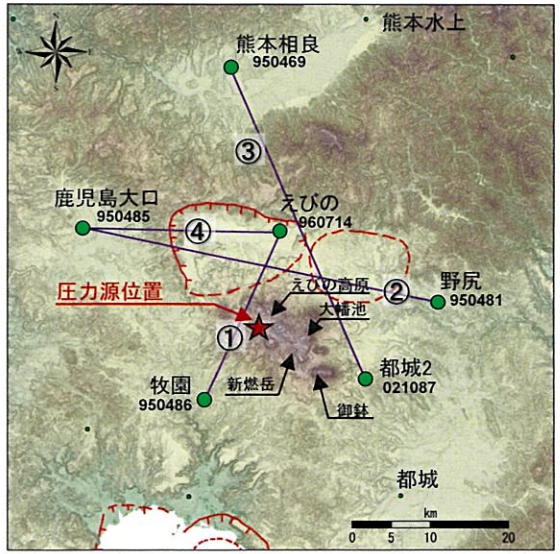
● 国土地理院のGNSS観測点

※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 赤色の▼は主な噴火

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・基線①～④の計算結果を示す。基線③は熊本地震の余効変動が認められるが概ねフラットである。基線②、④については、2017年に顕著な変動が認められるが、以降の他基線においても「鹿児島大口」を含む基線で同時期に変動が認められるため、「鹿児島大口」固有の変動の影響と考えられ、この変動以外は概ねフラットである。



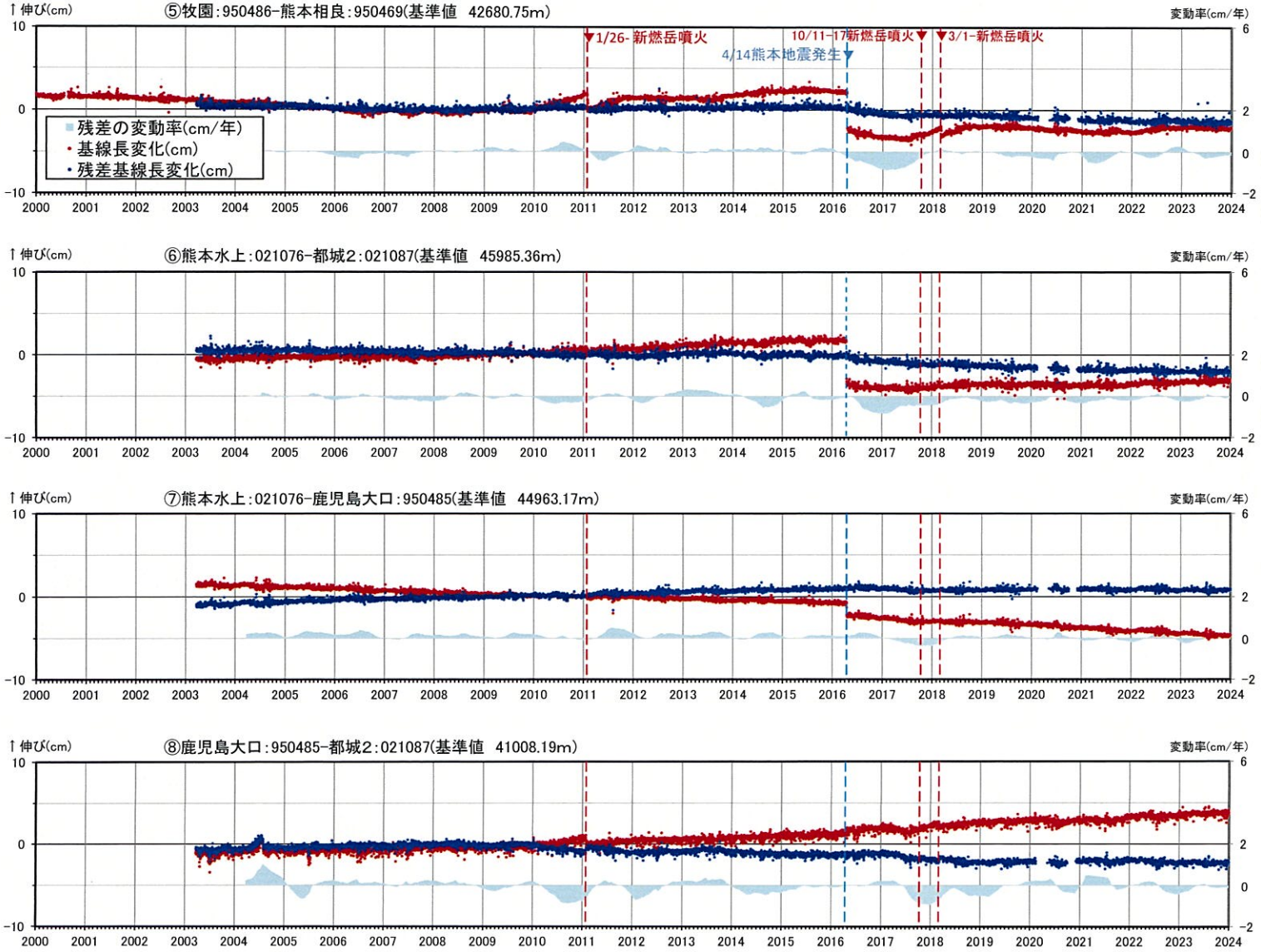


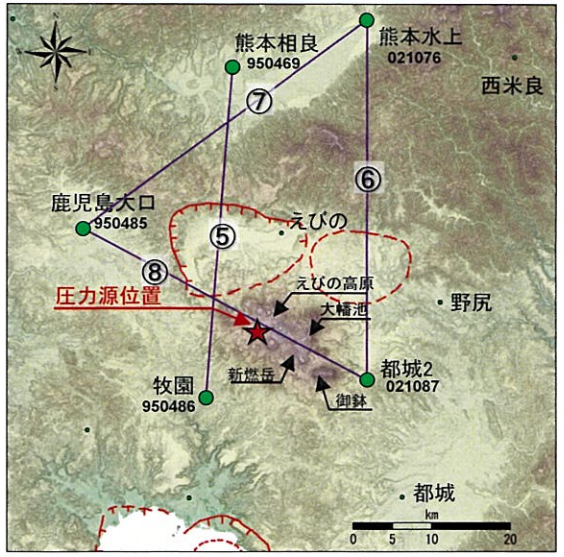
● 国土地理院のGNSS観測点

※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 赤色の▼は主な噴火

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・基線⑤～⑧の計算結果を示す。基線⑤、⑥、⑦は熊本地震の余効変動が認められるが概ねフラットである。基線⑧は前頁で述べた通り「鹿児島大口」の局地的な変動による影響と考えられる。



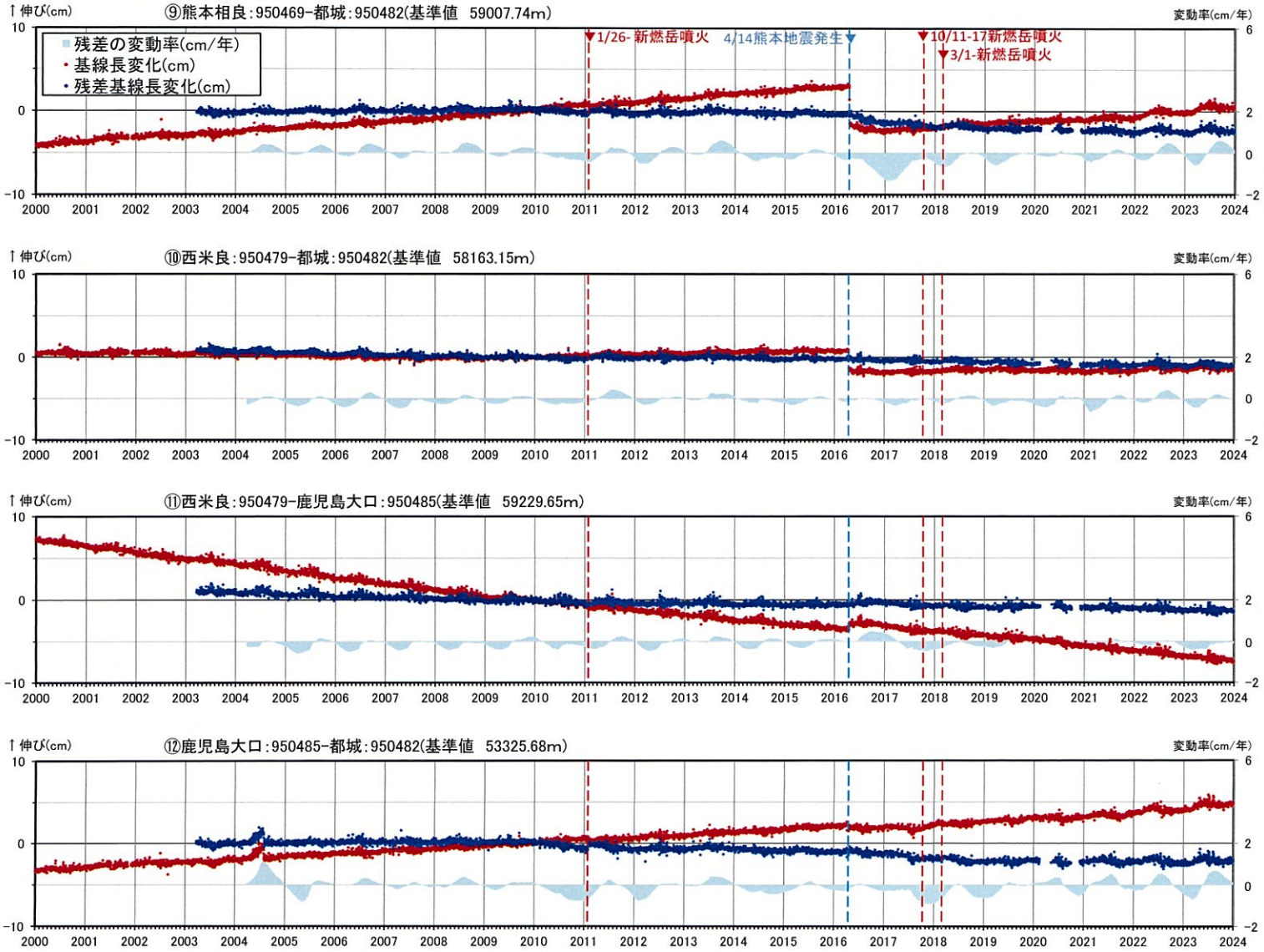


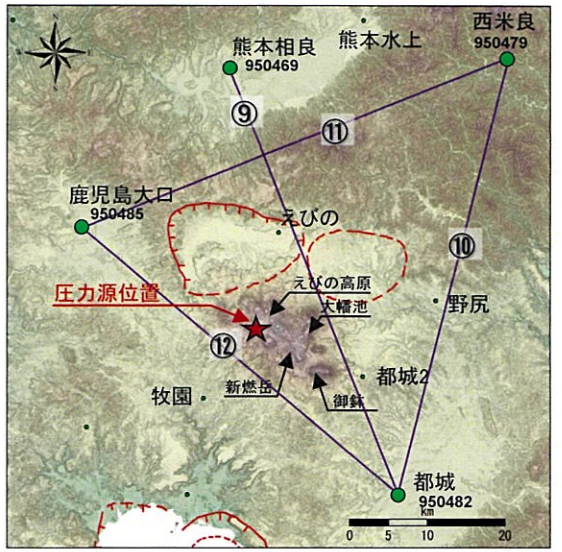
● 国土地理院のGNSS観測点

※1　2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2　変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3　赤色の▼は主な噴火

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・基線⑨～⑫の計算結果を示す。基線⑨は熊本地震の余効変動が認められるが、基線⑩、⑪ともに概ねフラットである。基線⑫も前項同様「鹿児島大口」の局地的な変動による影響を受けている。また、基線⑨、⑩、⑫の2021年頃からの周期的な変動は、「都城」の季節変動を表していると考えられる。



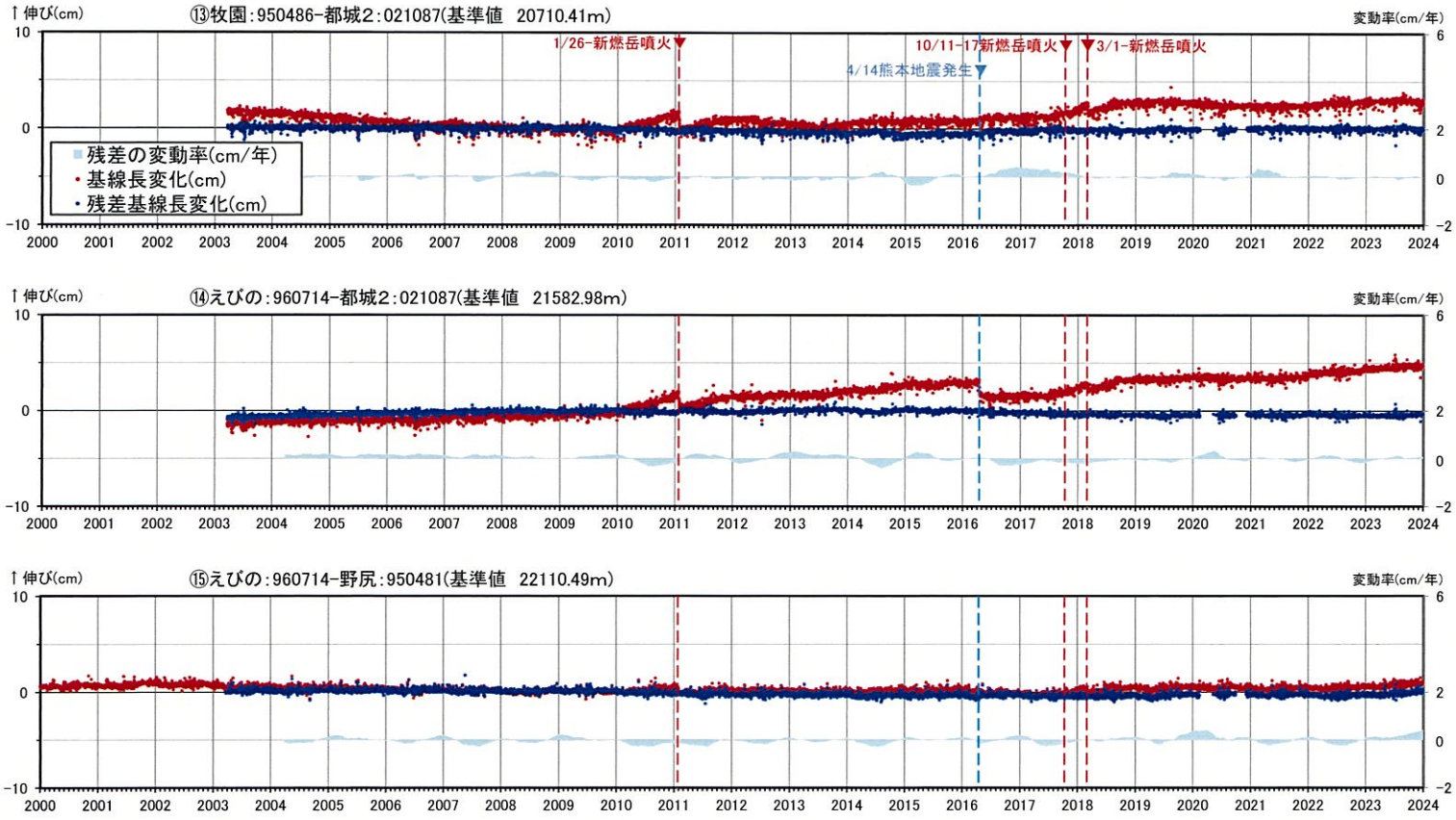


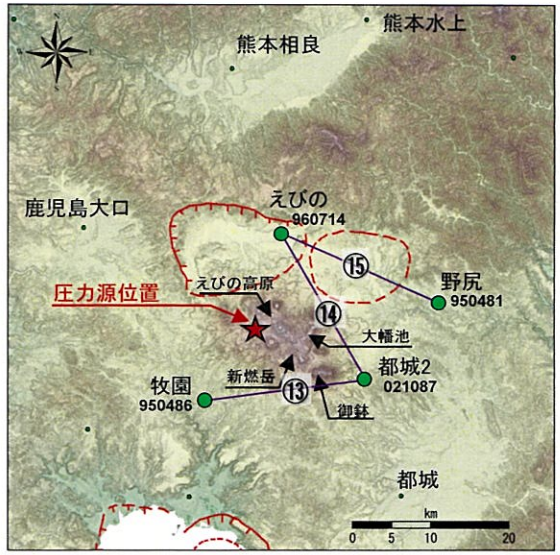
● 国土地理院のGNSS観測点

※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 赤色の▼は主な噴火

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

・基線⑬～⑮の計算結果を示す。これらは今回新規追加した基線であり、基線⑬及び基線⑭は霧島の変動の計算に使用していることもあり基線はフラットになっているが、計算に使用していない基線⑮もフラットになっている。



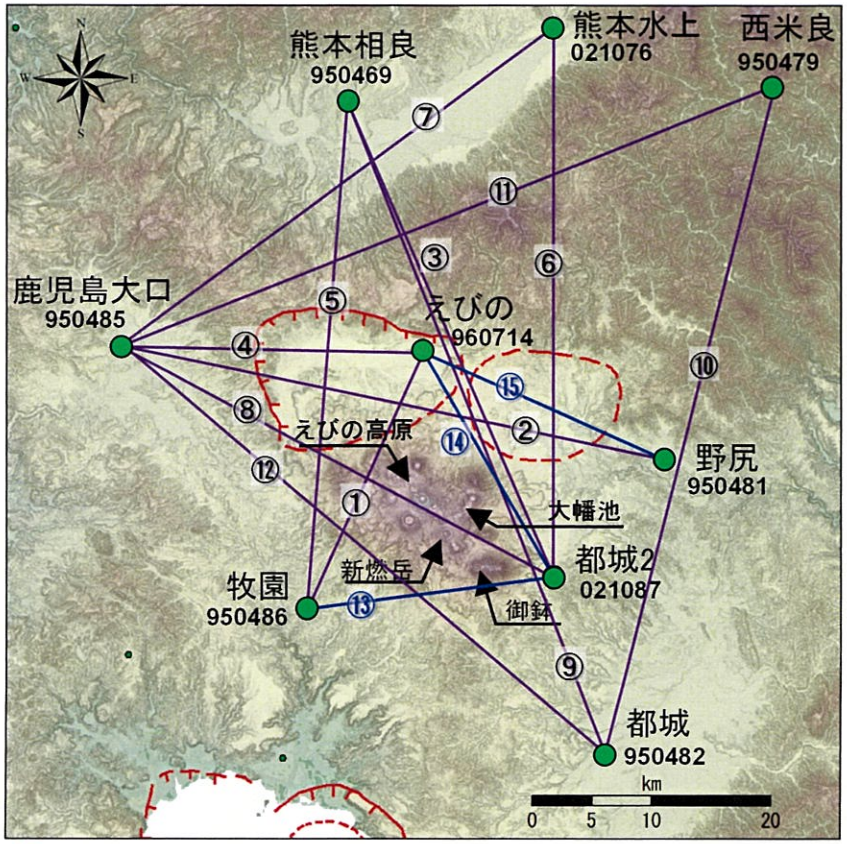


● 国土地理院のGNSS観測点

※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
※3 赤色の▼は主な噴火

2. 加久藤・小林カルデラにおける基線配置の検討

- 新規に追加した基線⑬、⑭は新燃岳のマグマ溜まりによる地殻変動をよく反映していると考えられる。また、基線⑮は小林カルデラを東西に横切るような基線であるが、小林カルデラだけでなく加久藤カルデラに仮定した圧力源による変動もよく捉えることができている。さらに、圧力源ごとの変動傾向も異なるため、活火山とカルデラの影響を分離できていると考えられる。
- 現在の基線に影響を及ぼしている事象を把握するため、広域地殻変動や姶良カルデラ、霧島山による地殻変動を算定し、各基線から差し引いて影響を検討した。結果として、各基線は概ねフラットとなり、これらの変動による影響をほぼ除去することができ、現在は上記以外の原因による変動は生じていないと考えられる。
- 今後、基線⑬～⑮を加えて基線長変化のモニタリングを行っていく。



● 国土地理院のGNSS観測点

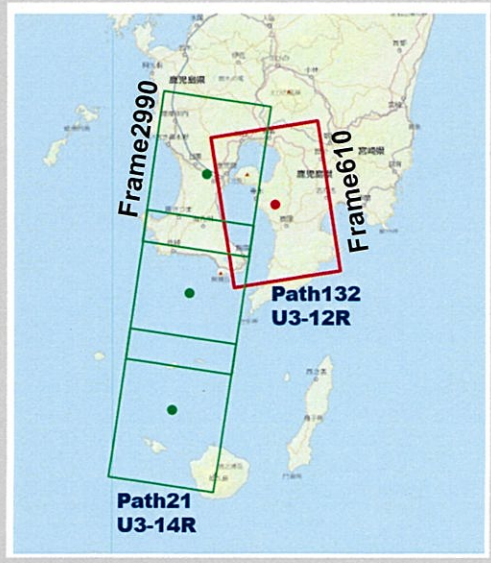
現在の基線①～⑫と新たに追加する基線⑬～⑮

余　白

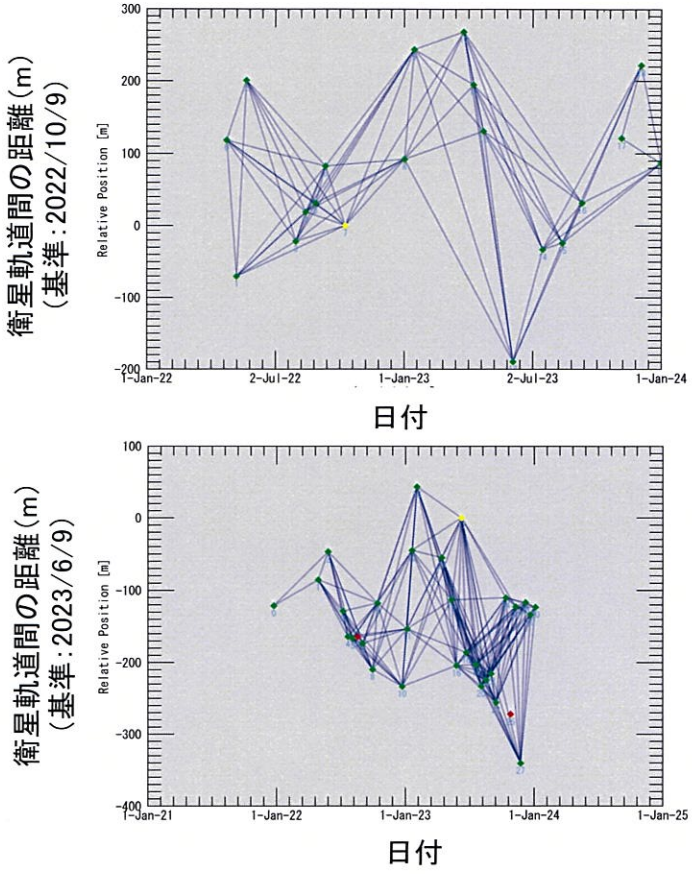
3. 干渉SAR時系列解析

・昨年まで使用していたSentinel-1（Cバンド）は、2022年以降北行軌道のデータが取得できなくなったことから、両軌道でのデータ取得可能なALOS-2（Lバンド）を利用し、姶良カルデラ周辺を対象としたSBAS法による干渉SAR時系列解析（対象期間：2021.12.24～2024.1.5）を実施した。なお、大気ノイズ補正は昨年度と同様にGACOSのデータを利用した。

＜解析条件＞

解析手法	SBAS法
大気ノイズ補正	GACOS（Yu et al., 2017）のデータを利用
対象期間	北行軌道：2022.4.24～2023.12.31 南行軌道：2021.12.24～2024.1.5
衛星種別	ALOS-2（Lバンド）：JAXA
使用シーン数	北行軌道：20シーン 南行軌道：29シーン
解析対象範囲	 北行軌道：Path132、Frame610 南行軌道：Path21、Frame2990

＜コネクショングラフ（上：北行軌道、下：南行軌道）＞

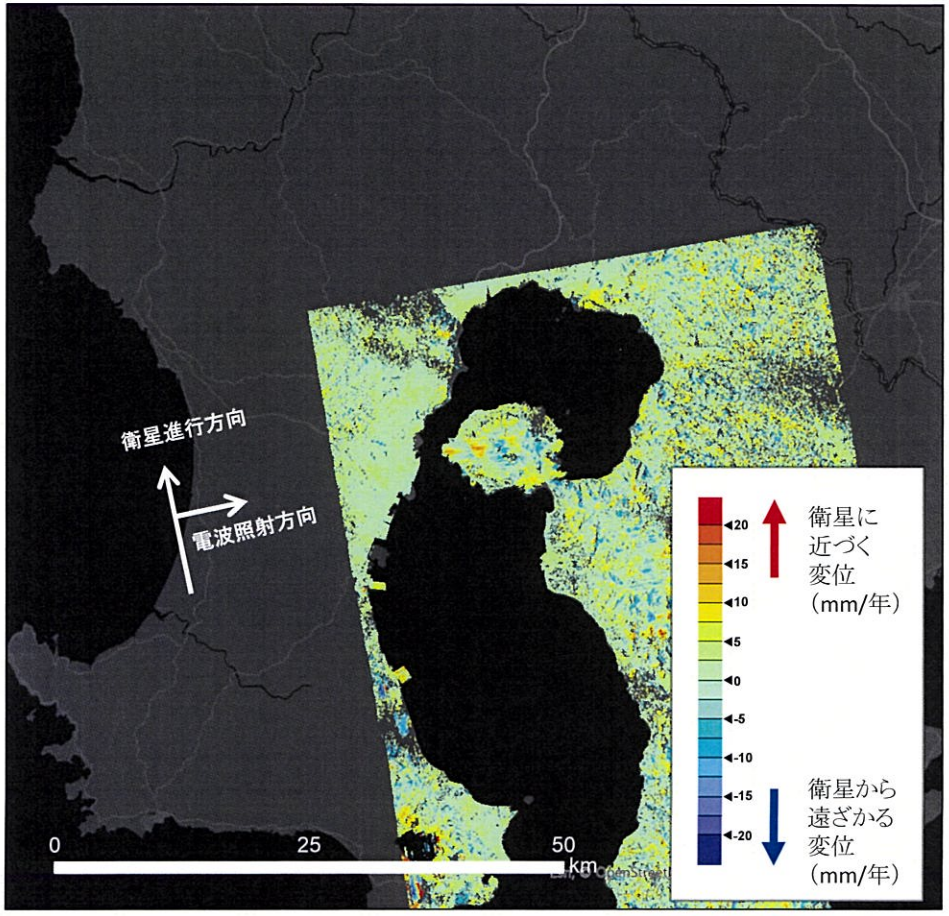


※1 グラフ中の黄色の点は基準となる衛星画像、赤色の点は解析から除外した衛星画像、緑の各点はその他の衛星画像の取得日における基準に対する衛星軌道間の距離を示す。
※2 青線は干渉ペアを示す。SBAS法による解析においては、衛星軌道間の距離及び観測日の間隔が小さい衛星画像同士を干渉させる。
※3 本報告で用いたALOS-2データは、だいち観測データ事業化実証プロジェクト・2023年度ALOS-2事業化実証を通じて、（国研）宇宙航空研究開発機構（JAXA）から提供を受けた。

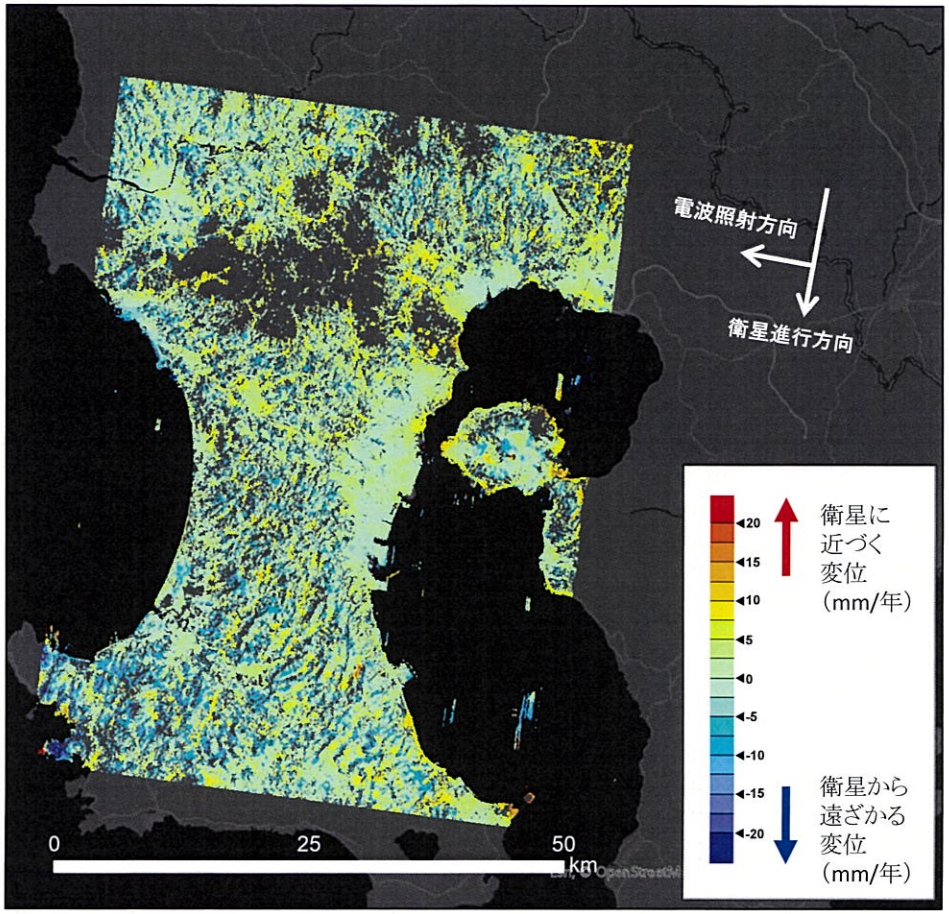
3. 干渉SAR時系列解析[衛星視線方向]

- 北行軌道と南行軌道の衛星視線方向の変動について、解析結果を以下に示す。
- 約2年分のデータを用いた変位速度であり全体的に変位は小さいものの、桜島や姶良カルデラ縁で衛星視線方向に近づく若干の変位が認められる。

【北行軌道】



【南行軌道】

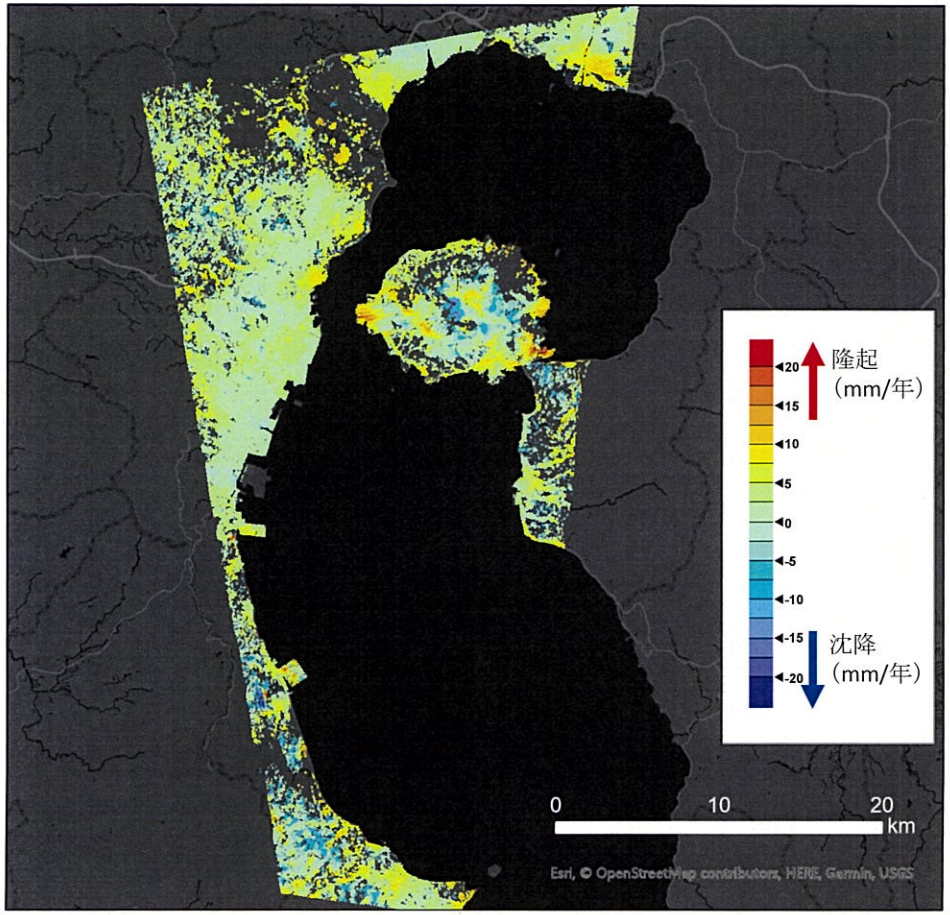


干渉SAR時系列解析による2022年から2023年の衛星視線方向の変位

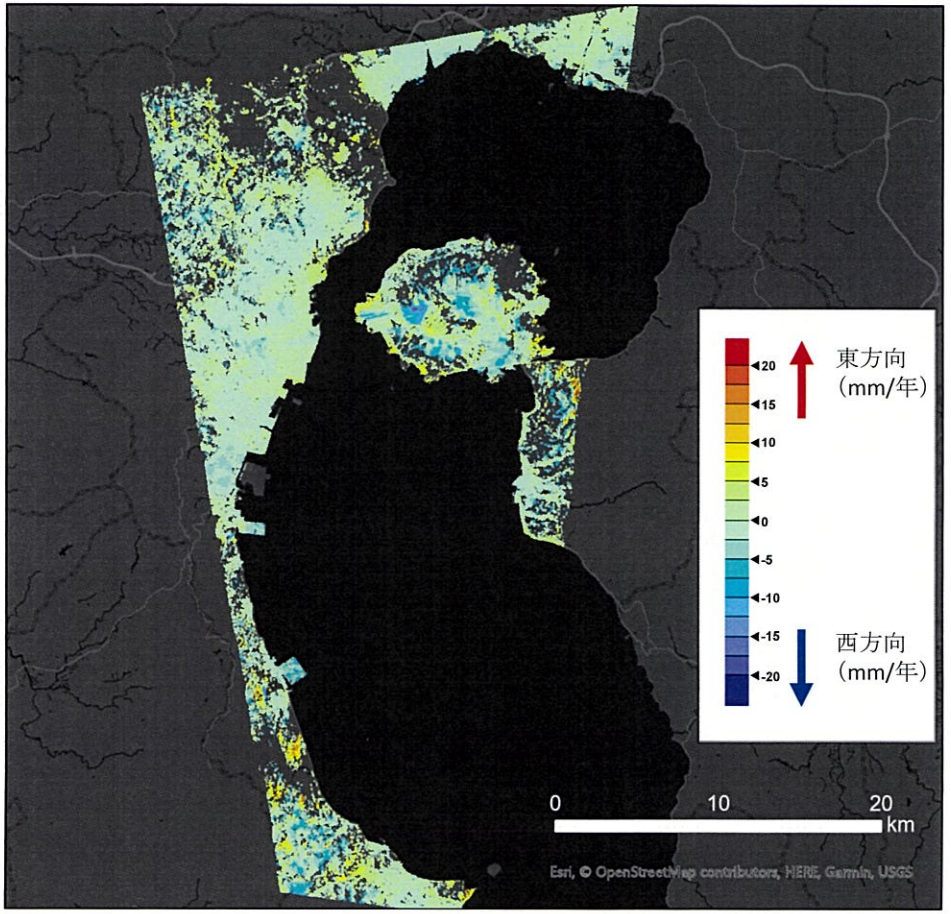
3. 干渉SAR時系列解析[2.5次元解析]

- 干渉SAR解析では、同一の解析期間における異なる視線方向のデータを複数組み合わせることにより、その地点の準上下、準東西方向の変位を分離することが可能である(2.5次元解析)。解析結果を以下に示す。
- ALOS-2における北行側と南行側の軌道の関係上、2.5次元解析の結果では、姶良カルデラ東縁は解析範囲外となる。
- 準上下方向の変位として、姶良カルデラ縁では隆起の傾向、桜島では隆起・沈降が混在する傾向が認められる。
- 準東西方向の変位は、準上下方向の変位ほど大きくはないものの、桜島では西方向の変位の傾向が認められる。

【準上下方向】



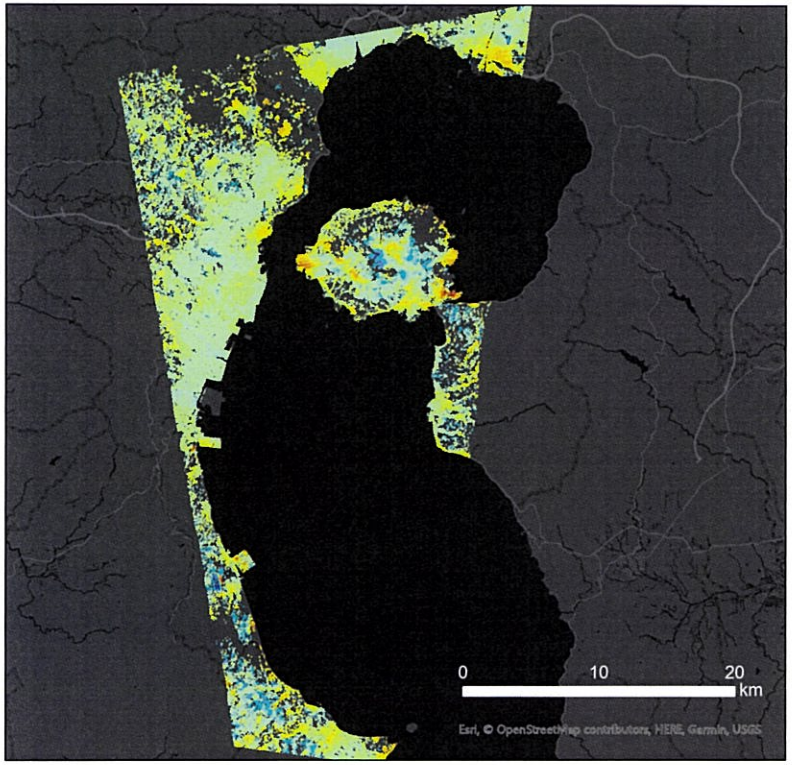
【準東西方向】

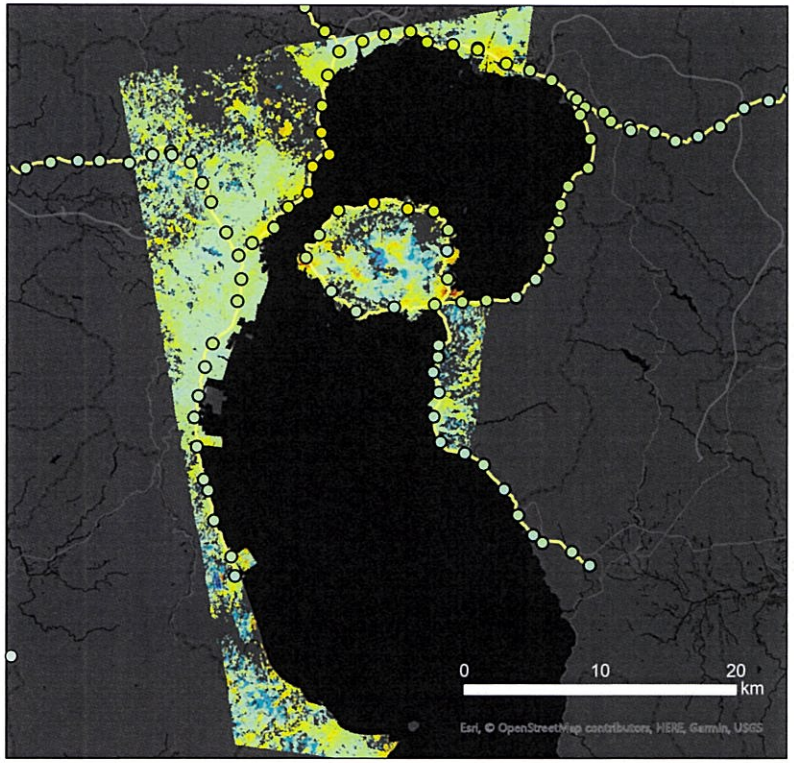


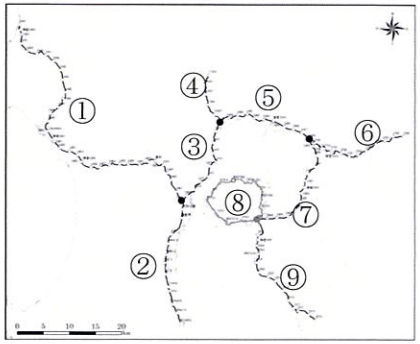
干渉SAR時系列解析による2022年から2023年の地殻変動

3. 干渉SAR時系列解析[2.5次元解析と水準測量結果との比較]

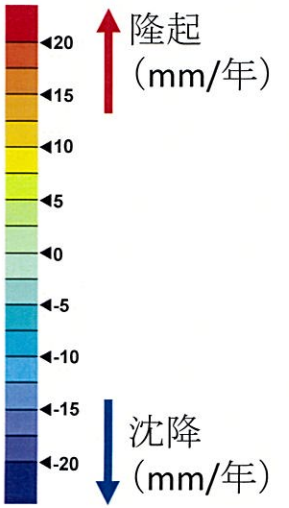
- 2.5次元解析結果による鉛直変位速度は、水準測量(2021.11-2023.11)による鉛直変位速度と比較して、面的には概ね整合的である。測線で比較した場合、ばらつきはあるものの、カルデラ縁(測線③、⑤)や桜島(測線⑧)のように変位速度が大きい範囲については、概ね整合的である。



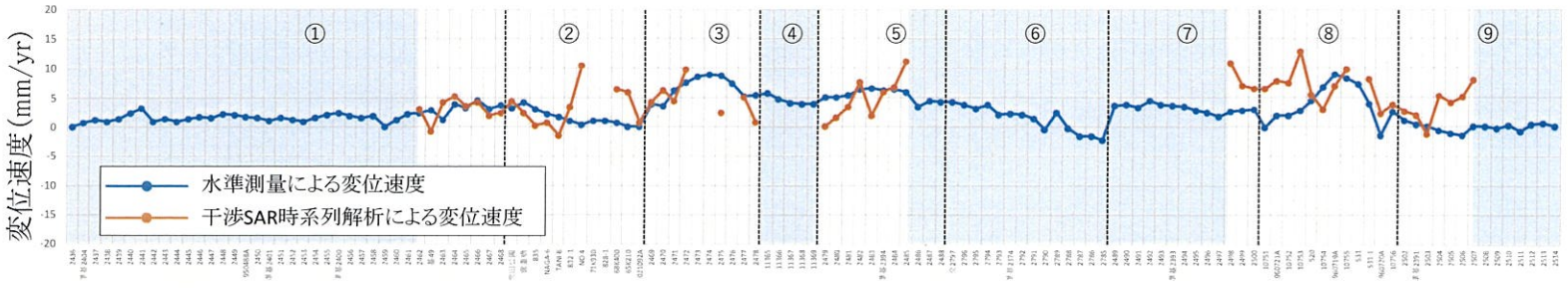




水準測量路線



○ 水準測量(2021.11-2023.11)から得られた上下方向の変位速度

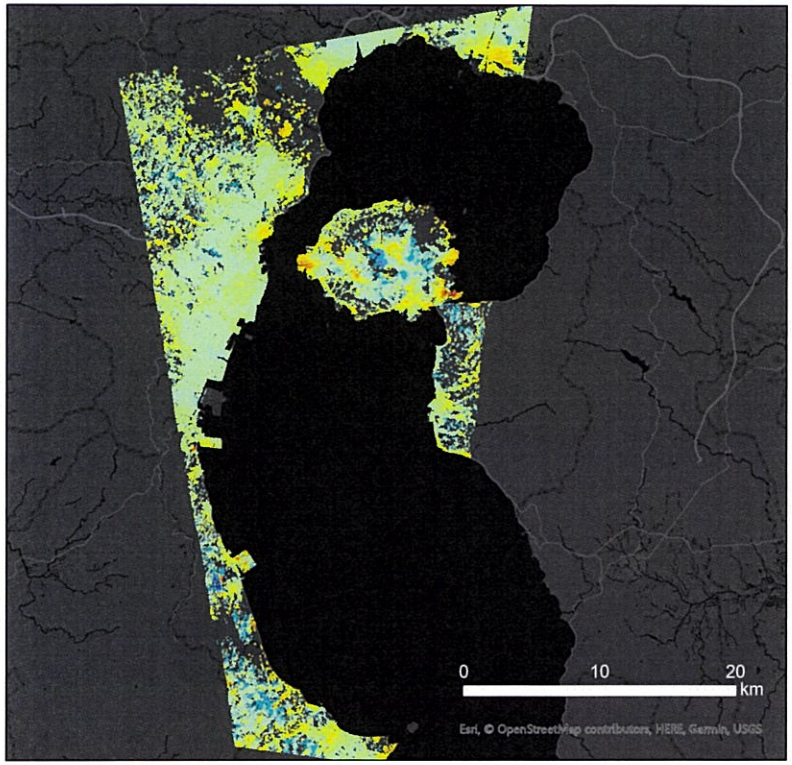


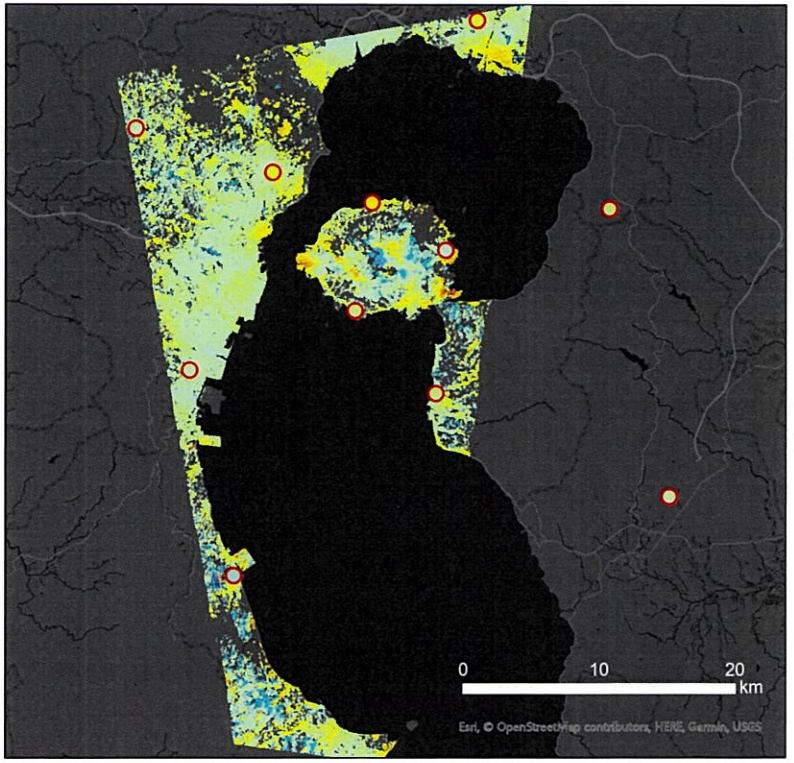
※1 水準測量の測点から半径100m内にあるSARの解析点の最も近いものを抽出。
※2 グラフの着色域はSARの解析範囲外

干渉SAR時系列解析と水準測量の比較(左:水準測量結果なし、右:水準測量結果あり)

3. 干渉SAR時系列解析[2.5次元解析とGNSS観測結果との比較]

- 2.5次元解析結果による鉛直変位速度は、GNSS観測による鉛直変位速度(固定点:鹿児島川内)と比較して、いずれの地点においても概ね整合的である。



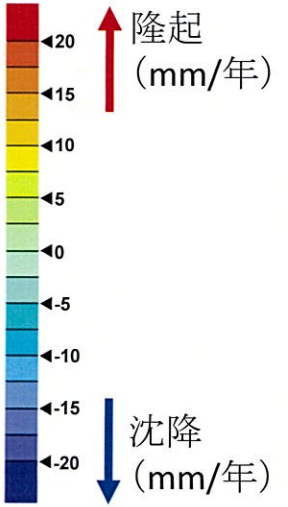


○ GNSS観測(2022.1～2023.12)から得られた上下方向の変位速度。鹿児島川内を固定点とする。

干渉SAR時系列解析とGNSS観測の比較(左:GNSS観測結果なし、右:GNSS観測結果あり)



GNSS観測点位置

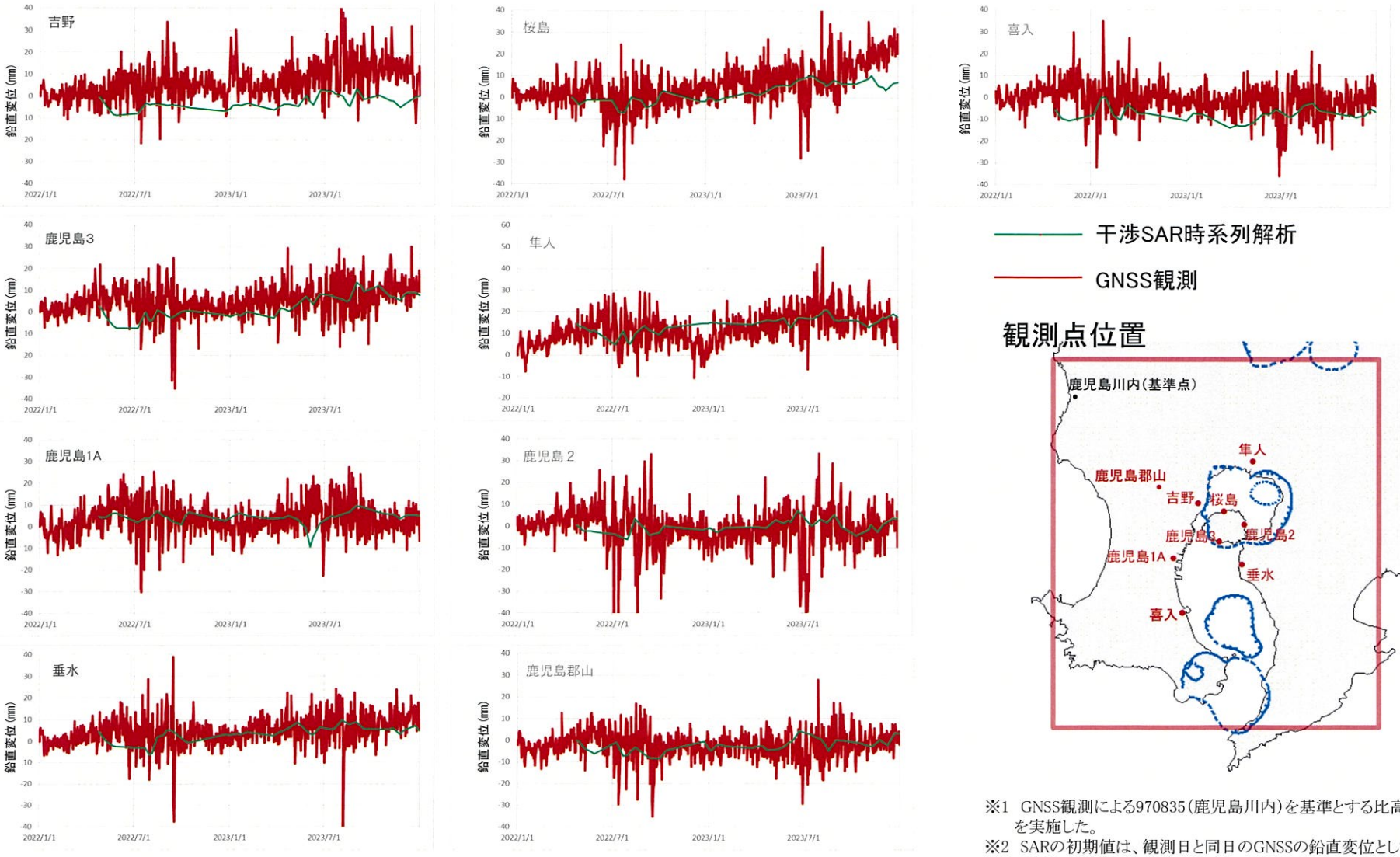


隆起
(mm/年)

沈降
(mm/年)

3. 干渉SAR時系列解析[2.5次元解析とGNSS観測結果との比較]

- 干渉SAR時系列解析の結果をGNSS観測による比高の時系列変化を比較した結果、GNSS観測結果に概ね整合する結果となった。ただし、「吉野」や「桜島」の2023年後半はやや乖離する結果となった。

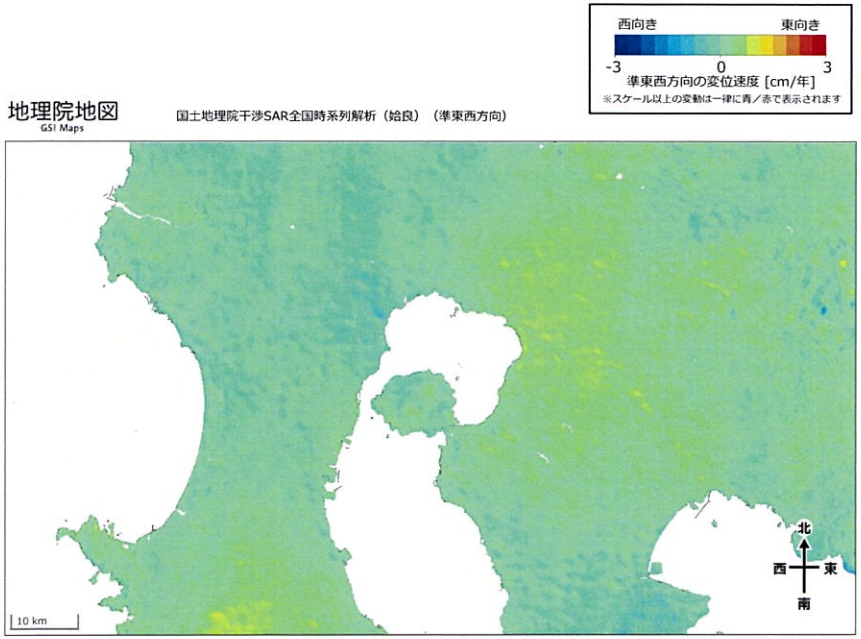


※1　GNSS観測による970835（鹿児島川内）を基準とする比高を算出し、比較を実施した。
※2　SARの初期値は、観測日と同日のGNSSの鉛直変位とした。

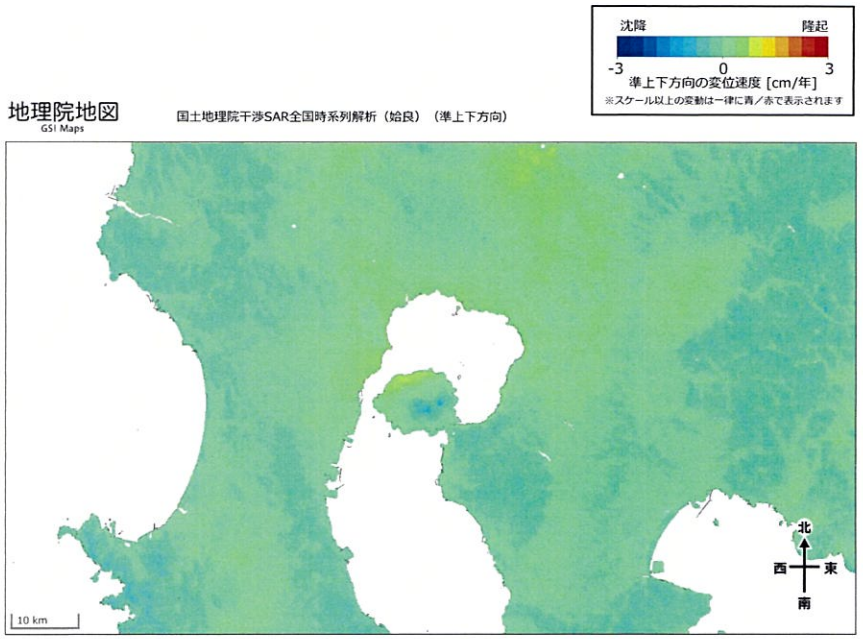
姶良カルデラ周辺のGNSS観測点における干渉SAR時系列解析とGNSS観測の比較

【補足】国土地理院による干渉SAR全国時系列解析結果

- 国土地理院が実施した、ALOS-2データ(2014年～2022年)を用いた干渉SAR全国時系列解析における、姶良カルデラ周辺の準東西方向及び準上下方向の平均的な変位速度(cm/年)を示す。
- 解析においては、大規模な地震に伴う地殻・地盤変動や広域地殻変動は推定し除去しているため、火山活動等の局所的な変動(概ね数百m～数十kmの空間的な広がりをもつ変動)の把握に適している。
- 準上下方向の結果から、桜島においては南東部に沈降、北西部に隆起の傾向が見られる。また、姶良カルデラ縁やその周辺においては、全体として隆起する傾向が認められる。



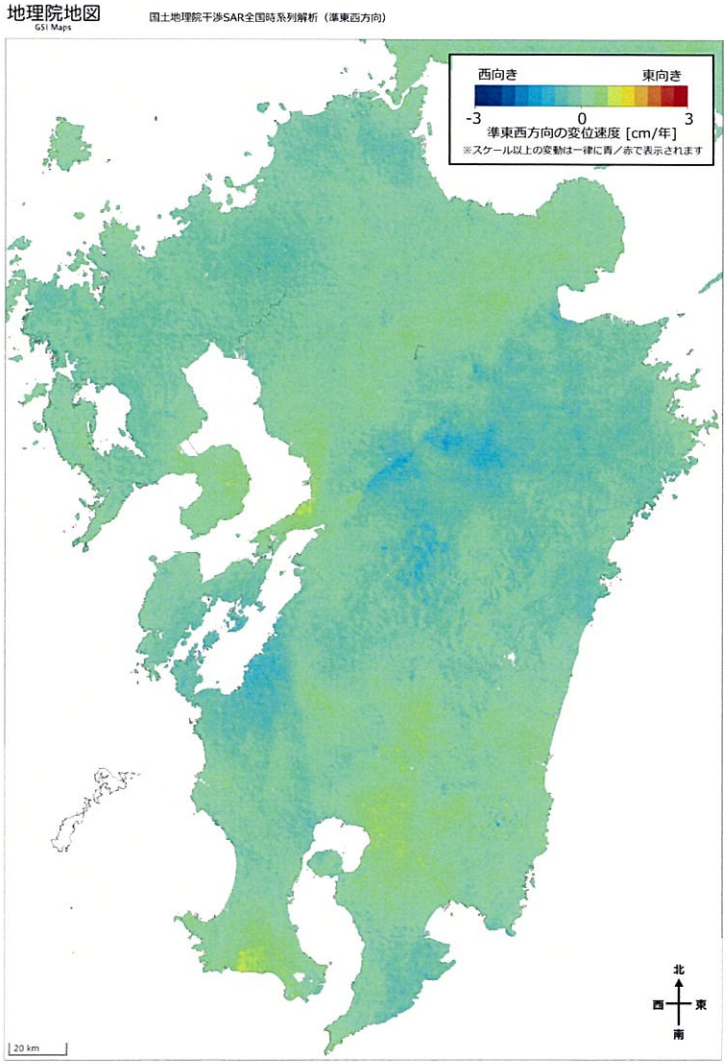
変位速度(cm/年)(準東西方向)



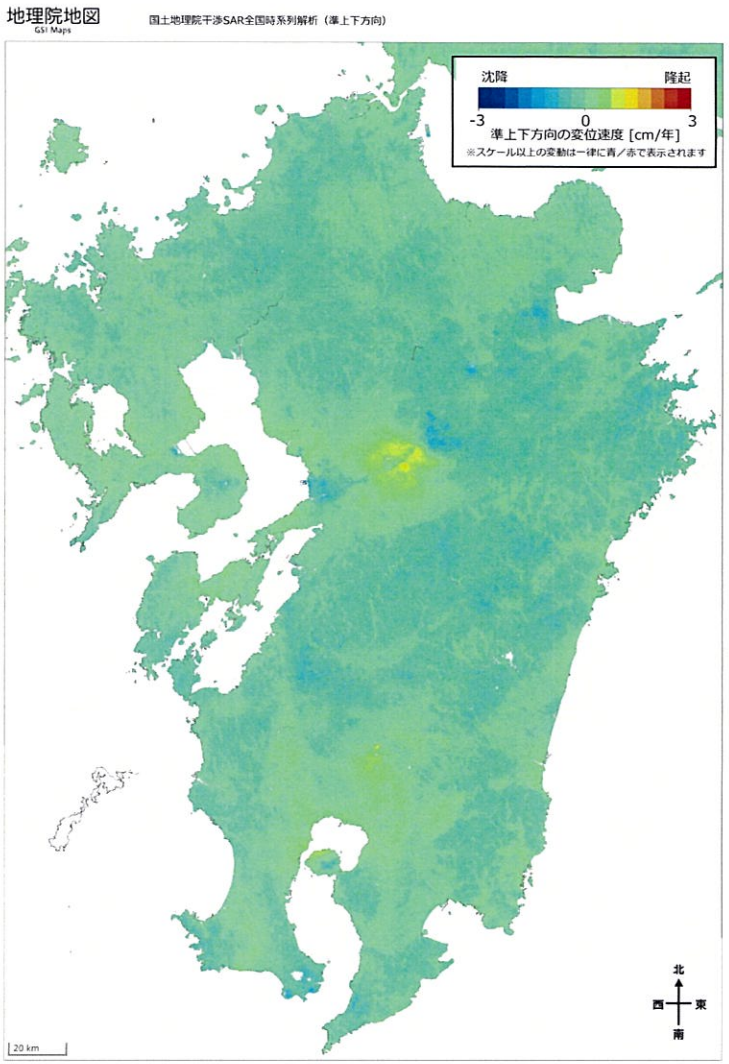
変位速度(cm/年)(準上下方向)

国土地理院による干渉SAR時系列解析結果
国土地理院　地理院地図(https://maps.gsi.go.jp/)　(解析:国土地理院　原初データ所有:JAXA)

【補足】国土地理院による干渉SAR全国時系列解析結果



変位速度（cm/年）（準東西方向）



変位速度（cm/年）（準上下方向）

国土地理院による干渉SAR時系列解析結果
国土地理院　地理院地図（https://maps.gsi.go.jp/）（解析：国土地理院　原初データ所有：JAXA）

3. 干渉SAR時系列解析[まとめ]

・これまで検討を行ってきたSentinel-1（Cバンド）のデータについては、2022年以降北行軌道のデータが取得できなくなり、2.5次元解析の実施ができないことから、今年度はALOS-2の約2年間のデータを用いて検討を行った。
・干渉SAR時系列解析による変動は、水準測量結果やGNSSデータの鉛直変動と比較すると一致しない地点はあるが、SARの解析精度（±数mm）からすれば概ね整合していると考えられる。
・引き続き、干渉SAR時系列解析については検討を行っていく。

余　白