

2020年6月18日

原子力規制委員会 殿

九州電力株式会社

代表取締役 社長執行役員 池辺 和弘

川内原子力発電所及び玄海原子力発電所
火山活動のモニタリング評価結果について（報告）

川内原子力発電所原子炉施設保安規定及び玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリング評価結果について、別紙のとおり、とりまとめましたのでご報告いたします。

別紙

川内原子力発電所及び玄海原子力発電所
火山活動のモニタリング評価結果の報告について

川内原子力発電所及び玄海原子力発電所
火山活動のモニタリング評価結果の報告について

川内原子力発電所原子炉施設保安規定及び玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に基づき、火山活動のモニタリング評価結果について、下記のとおり報告します。

記

1. 対象火山

モニタリング対象の火山は、阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ、鬼界の5つのカルデラ火山とした。

2. 評価期間

評価期間は、2019年4月1日から2020年3月31日とした。

3. 評価方法及び評価結果

(添付資料)

(1) 評価方法

国土地理院及び気象庁が公表した火山に関する評価及び国土地理院の地殻変動情報及び気象庁の一元化处理震源データ等を収集・分析することで、対象火山の活動状況の変化について評価した。

(2) 評価結果

評価期間を通じて地殻変動及び地震活動に有意な変化は認められないことから、対象火山の活動状況に変化はないと評価した。

対象火山	総合評価 (活動状況の変化)
阿蘇カルデラ	なし
加久藤・小林カルデラ	なし
始良カルデラ	なし
阿多カルデラ	なし
鬼界	なし

添付資料

川内原子力発電所及び玄海原子力発電所
火山活動のモニタリング評価結果 (2019年度報告)

以上

川内原子力発電所及び玄海原子力発電所 火山活動のモニタリング評価結果 (2019年度報告)

2020年6月18日
九州電力株式会社

目次

1. モニタリングの概要	P 3
2. モニタリング評価結果	P 5
3. モニタリング確認結果	P 8
① 阿蘇カルデラ	P 9
② 加久藤・小林カルデラ	P 25
③ 始良カルデラ	P 39
④ 阿多カルデラ	P 57
⑤ 鬼界	P 69
参考1. 国土地理院の地殻変動データ修正に伴う当社評価結果への影響	P80
参考2. 地震活動における評価範囲の再検討	P83

*本資料で用いている図面の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、数値地図50mメッシュ(標高)を使用したものである。(承認番号 平25情使、第333号)
上記地図を第三者がさらに複製又は使用する場合には、国土地理院の長の承認を得なければならない。

目次

(中・長期的取組みについて)

1. 広域地殻変動の影響検討	P92
2. カルデラ火山周辺のひずみ場検討	P100
3. 加久藤・小林カルデラ周辺の鉛直変動の検討	P102
4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果	P106
5. 当社GNSS機器による観測結果	P112
6. 基線長検知能力の検討	P120

(原子力規制委員会の火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」を踏まえた整理)

①主な監視項目[地震活動 地殻変動・地盤変動 火山ガス・熱活動]	P138
②その他の監視項目[噴出場所及び噴出物 噴火様式 地下構造]	P160

*本資料で用いている図面の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、数値地図50mメッシュ(標高)を使用したものである。(承認番号 平25情使、第333号)
上記地図を第三者がさらに複製又は使用する場合には、国土地理院の長の承認を得なければならない。

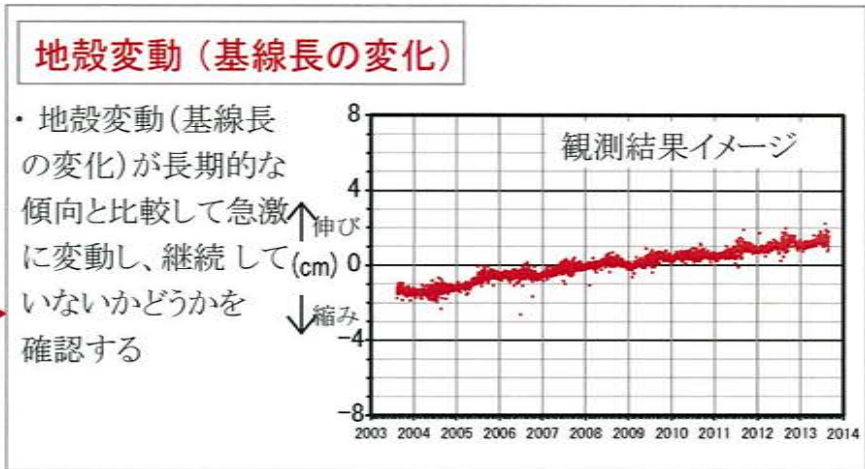
1. モニタリングの概要 [評価方法]

[I 活火山に関する公的機関の評価]

① 評価の収集

発行機関	対象	資料名 (URL)
国土地理院	2019年4月度～ 2020年3月度	火山周辺地域における地殻変動 (http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/kazan_index.html)
気象庁	2019年 12月23・24日 開催	第145回 火山噴火予知連絡会資料 (https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/CCPVE/CCPVE08.html)
	2019年(年報) 2019年4月～ 2020年3月(月報)	火山活動解説資料(九州地方の火山) (http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.php)

※ 異常が出た場合等に臨時で発表される不定期情報も逃さず収集

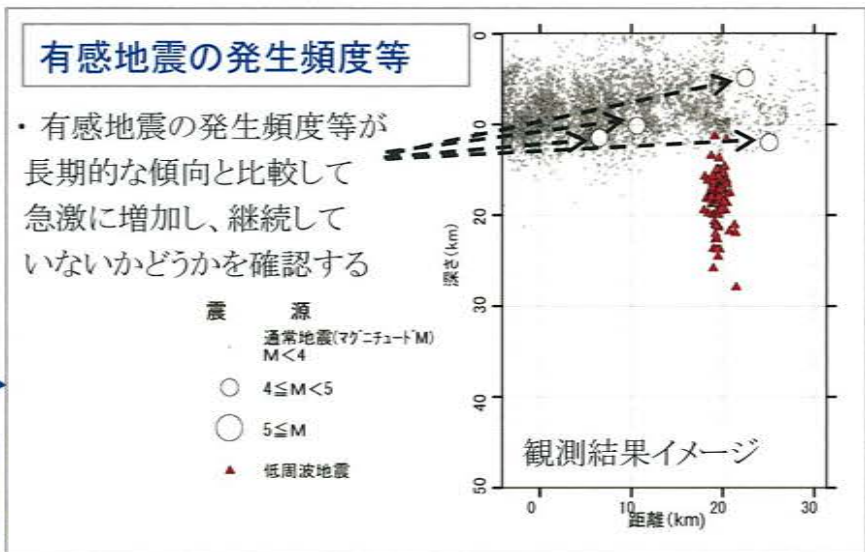


[II 当社の評価]

① データの収集 ⇒ ② 分析 ⇒ ③ 評価

発行機関	対象	データ名 (URL)
国土地理院	2000.1.1 ～ 2020.3.31	電子基準点データ提供サービス (http://terras.gsi.go.jp/)
気象庁	2000.1.1 ～ 2020.3.31	一元化处理震源データ(気象庁、大学、防災科学技術研究所)※ (http://www.hinet.bosai.go.jp/?LANG=ja)

※ 2000年～2017年4月までは、地震月報(カタログ編)の震源データ (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html>)を使用



[III 総合評価]

・活火山に関する公的機関の評価及び当社の評価等に基づき、カルデラの活動状況の変化を総合的に判断 1回/月

・なお評価結果については火山の専門家に助言を頂く 1回/年

1. モニタリングの概要 [監視レベルの移行判断基準と監視体制]

監視レベル	判断基準		監視体制	
	マグマ供給率 (×0.01km ³ /年)			
平常	□	1未満 ^{※1}	<ul style="list-style-type: none"> GNSS連続観測による基線長変化 地震観測による震源分布 	変化の原因等の検討 マグマ供給率に変化が生じた場合、火山専門家等の助言を得ながら必要に応じて監視レベルを移行
注意	↓ マグマ供給率の増加	1～5未満 ^{※2}	<ul style="list-style-type: none"> GNSS連続観測による基線長変化 地震観測による震源分布 	変化の原因等の検討 長期にわたり(1～3年程度)マグマ供給率が1を超える場合は、火山専門家等の助言を得ながら必要に応じて詳細観測を実施
警戒		5～10未満 ^{※3}	詳細観測の実施 (GNSSの増設等による圧力源の検討) ↓ 異常の原因等の検討	後カルデラの活動 → 継続監視
緊急				活動的なマグマ溜まりの特定 ↓ カルデラの活動 → 対処準備・燃料体等の搬出等
		10～	詳細観測の実施 (GNSSの増設等による圧力源の検討)	対処準備・燃料体等の搬出等

※1 始良カルデラ周辺のGPS観測結果等から得られる、ここ数百年の地殻変動量及びマグマ供給率
 ※2 Druitt et al., 2012によるマグマ供給率の最小値(0.05km³/年)を警戒体制に移行する基準値として適用
 ※3 Druitt et al., 2012によるマグマ供給率の中央値(0.10km³/年)を適用

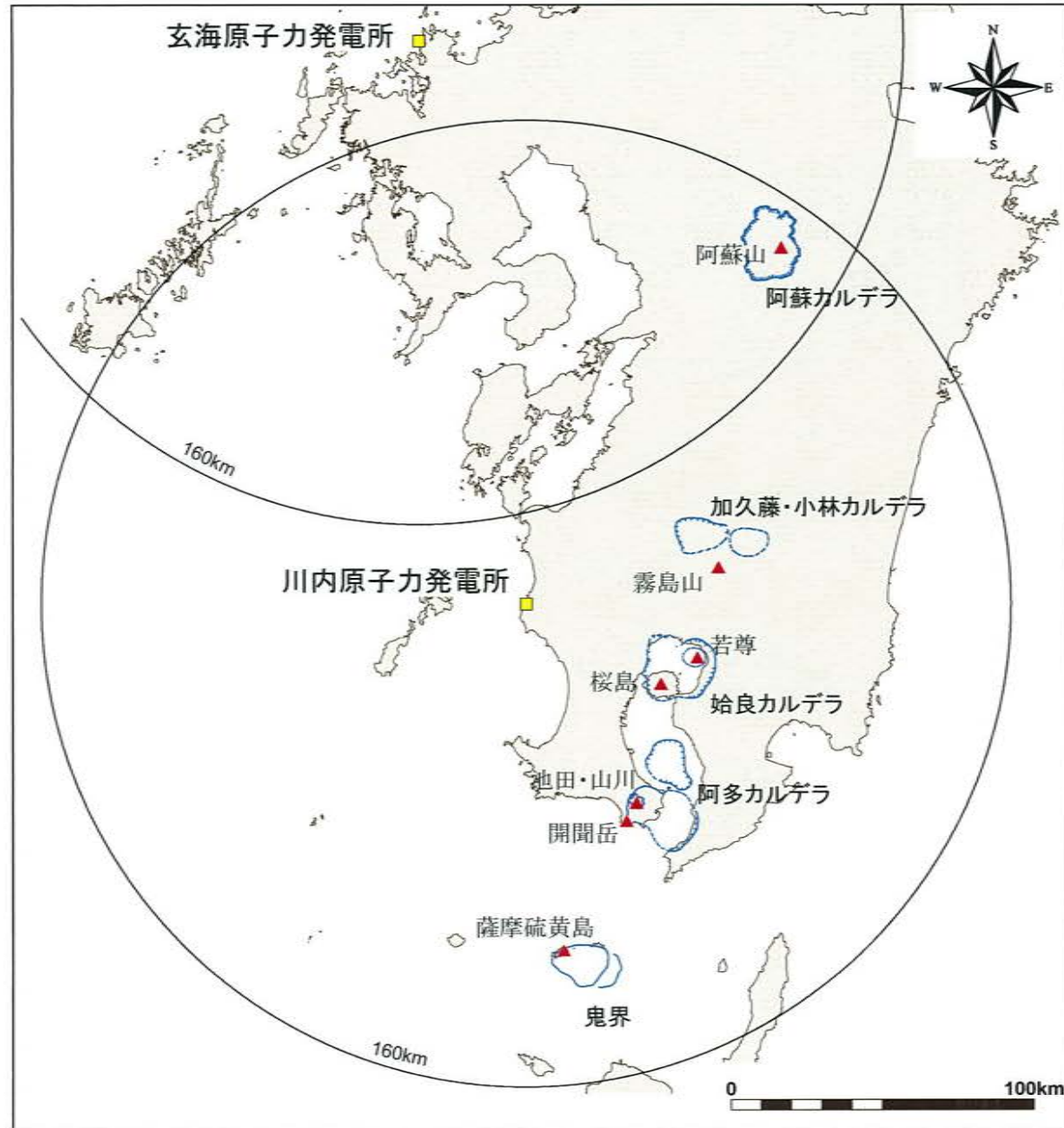
2. モニタリング評価結果

- 公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析し、2019年度の対象火山*の活動状況を確認した。
- 各カルデラ火山において、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化は認められないことから、現時点での対象火山の活動状況に変化はないと評価した。

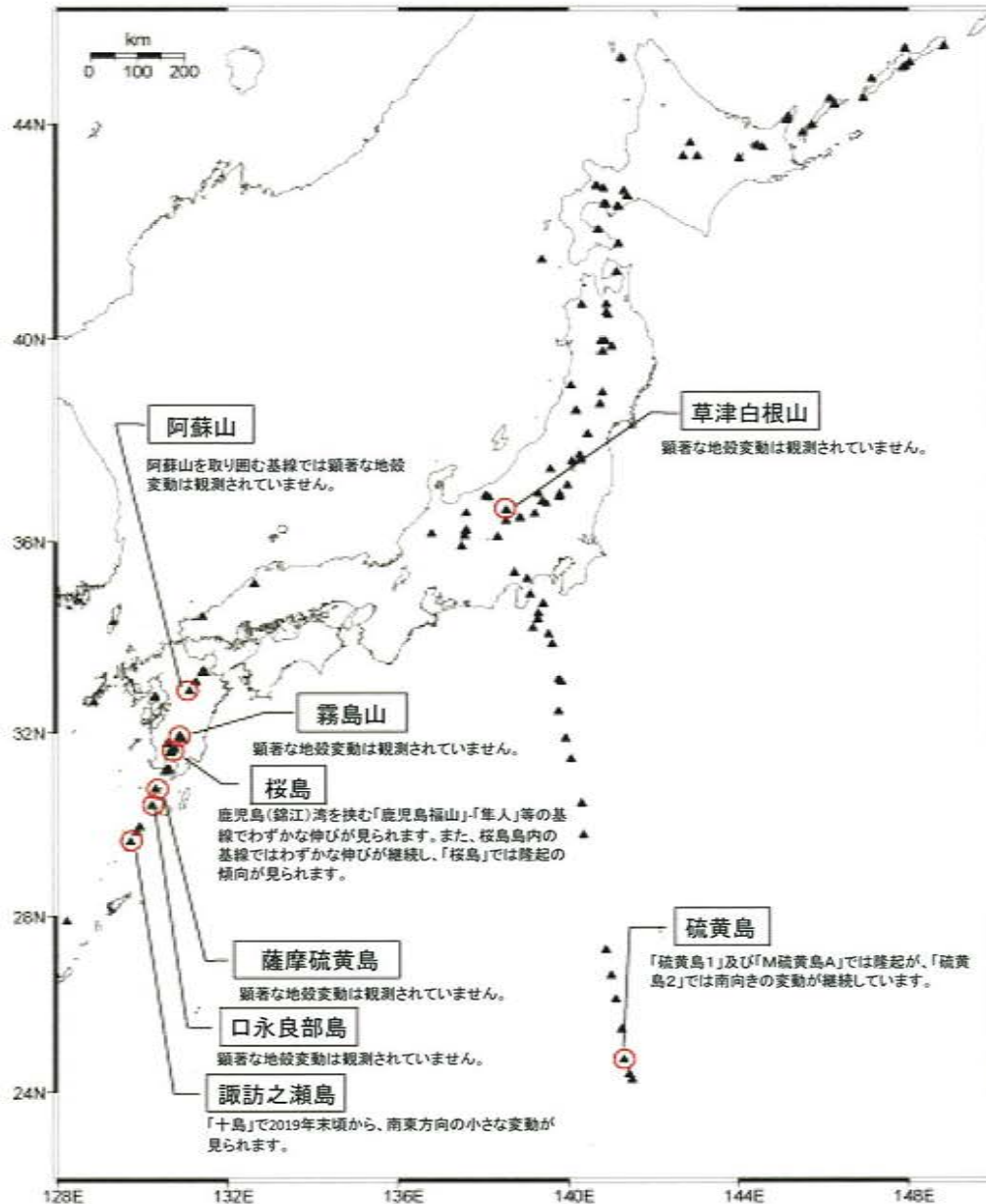
対象火山	活火山に関する公的機関の評価		当社の評価 (国土地理院GNSS観測による基線変化及び気象庁一元化処理データを使用)			総合評価 活動状況 の変化
	気象庁噴火警戒レベル (下線の火山は対象外)	(気象庁火山噴火予知連絡会資料、 火山活動解説資料)	監視レベル	地殻変動	地震活動	
阿蘇 カルデラ	阿蘇山 レベル2 (火口周辺規制)	<ul style="list-style-type: none"> 阿蘇山では断続的に噴火が継続している。 火山性地震、孤立型微動、火山ガス放出量が多い状態で経過している。 GNSS連続観測では、深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線の伸びは停滞している。 	平常	<ul style="list-style-type: none"> カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。 	<ul style="list-style-type: none"> 熊本地震の余震が認められるものの、過去の地震活動と比較して減少傾向にある。 	なし
加久藤 ・小林 カルデラ	霧島山【新燃岳】 レベル2 (火口周辺規制) 霧島山【御鉢】 霧島山【えびの高原周辺】 レベル1 (活火山であることに留意)	<ul style="list-style-type: none"> 噴火は観測されていない。 火山性地震は、2019年11月以降増減を繰り返しているが、2020年2月に入り増加する頻度が多くなっている。 火山ガス放出量は少ない状態で経過している。 GNSS連続観測では、霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる基線の伸びは2019年2月以降停滞している。 	平常	<ul style="list-style-type: none"> カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。 	<ul style="list-style-type: none"> 2018年12月に加久藤カルデラ内で発生した地震(M3.4)の余震が認められるものの、その後は減少している。 	なし
始良 カルデラ	桜島 レベル3 (入山規制) 荻尊 活火山であることに留意	<ul style="list-style-type: none"> 南岳山頂火口の噴火活動は活発な状態となっている。 火山性地震の年回数は前年と同程度であった。 火山ガス放出量が多い状態で経過している。 広域のGNSS連続観測では、始良カルデラ(鹿児島湾奥部)の地下深部の膨張を示す一部の基線で、2019年9月以降わずかな伸びが認められており、始良カルデラ(鹿児島湾奥部)の地下深部では、長期にわたり供給されたマグマが蓄積した状態がみられている。 	注意	<ul style="list-style-type: none"> カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められるが、2019年度の基線長の変動率に有意な変化は認められない。 警戒監視の移行判断基準(0.05km³/年≒5cm/年)には達していない。 監視レベルは、過去3年間のマグマ供給率が約0.01km³/年であることから、注意を継続する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2020年3月に桜島南西部で多くの地震が認められた。過去にも、同様の地震が発生しているものの、今後の地震活動に留意していく。 	なし
阿多 カルデラ	開聞岳 活火山であることに留意 池田・山川 活火山であることに留意	<ul style="list-style-type: none"> 開聞岳および池田・山川において、火山活動の特段の変化はなく、噴火の兆候はみられない。 	平常	<ul style="list-style-type: none"> カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。 	<ul style="list-style-type: none"> 2019年8月に南側のカルデラで多くの地震が発生したものの、その後は減少している。 	なし
鬼界	薩摩硫黄島 レベル2 (火口周辺規制)	<ul style="list-style-type: none"> 硫黄岳で11月2日に噴火が発生したが、その後は噴火は発生しておらず、地震や微動の発生状況や地殻変動に特段の変化はない。 	平常	<ul style="list-style-type: none"> カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の地震活動と比較して有意な変化は認められない。 	なし

* 本報告における対象火山は、阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ及び鬼界の5つのカルデラ火山とする

【参考】 モニタリング対象のカルデラ火山



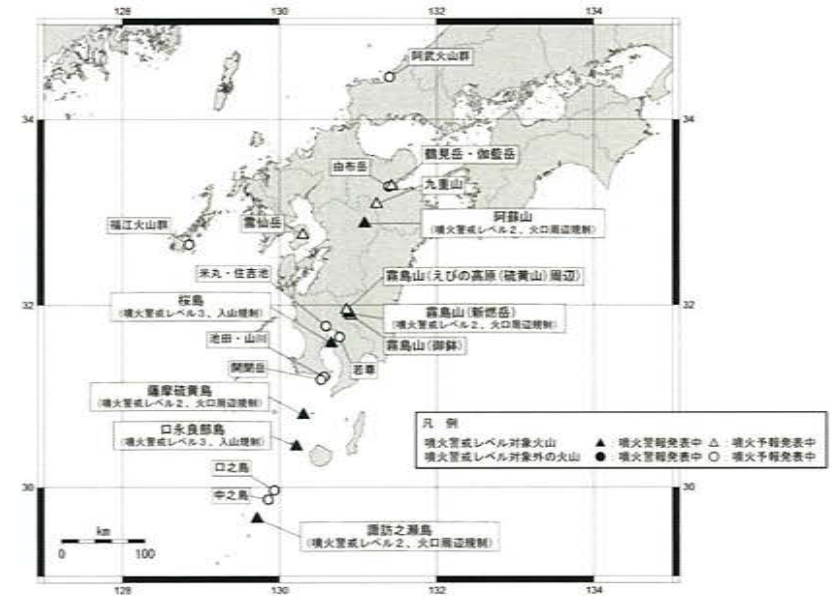
【補足】 国土地理院の地殻変動図 気象庁の火山概況



国土地理院: 火山周辺地域の地殻変動(2020年3月)

噴火警報及び噴火予報の発表状況(令和2年3月31日現在)

警報・予報	噴火警戒レベル及びキーワード	該当火山
火口周辺警報	レベル3(入山規制)	桜島、口永良部島
	レベル2(火口周辺規制)	阿蘇山、霧島山(新燃岳)、薩摩硫黄島、諏訪之瀬島
噴火予報	レベル1(活火山であることに留意)	鶴見岳・伽藍岳、九重山、雲仙岳、霧島山(えびの高原(硫黄山)周辺)、霧島山(御鉢)
	活火山であることに留意	阿武火山群、由布岳、福江火山群、霧島山、米丸・住吉池、若尊、池田・山川、開闢岳、口之島、中之島



噴火警戒レベルは、地域防災計画等でその活用が定められている火山で運用されています。

気象庁: 月間火山概況(2020年3月)

3. モニタリング確認結果

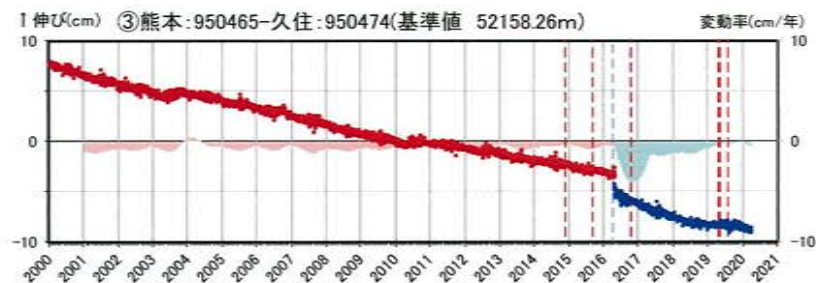
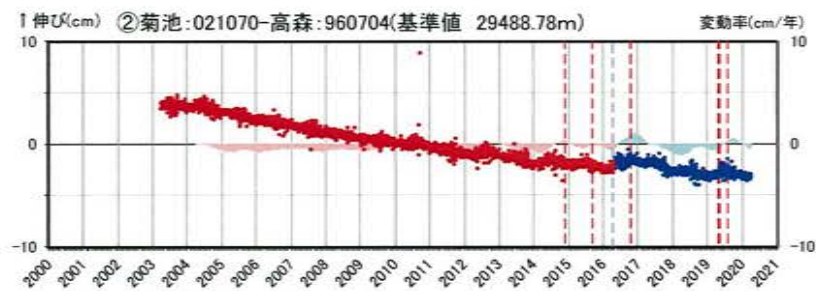
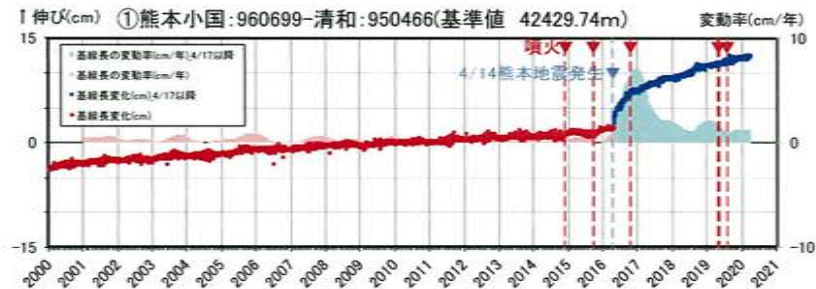
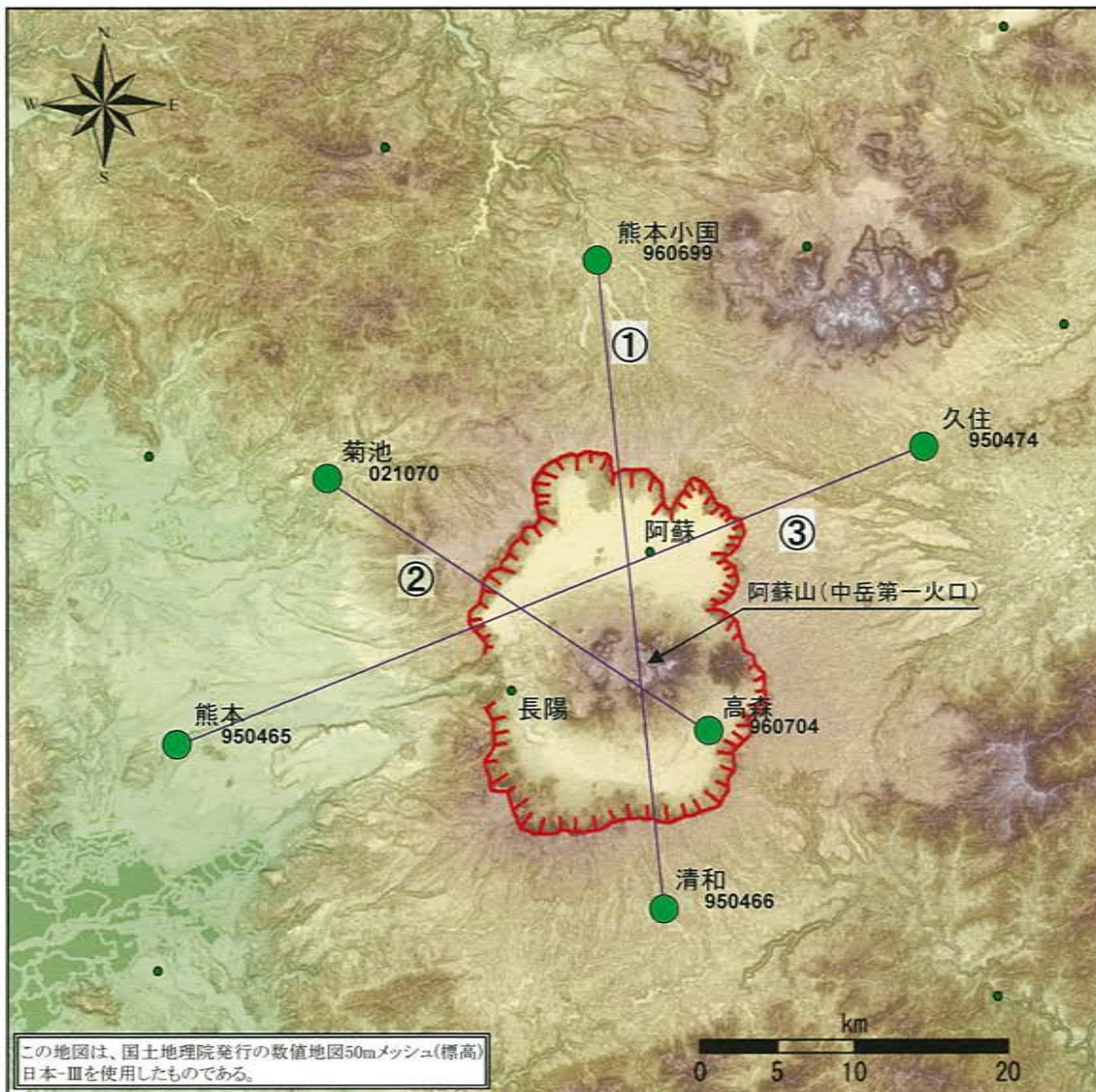
① 阿蘇カルデラ [活火山に関する公的機関の評価概要]

○阿蘇山（出典：火山活動解説資料 2019年 年報、火山活動解説資料 2020年3月）

- ・阿蘇山では、4月16日に中岳第一火口で噴火が発生し、その後時々噴火が発生した。5月3日には噴煙が最高で2,000mまで上がった。また、7月26日の噴火以降、断続的に噴火が継続している。これらの噴火に伴う大きな噴石は観測されていない。
- ・火山性微動の振幅は、2月上旬頃から3月上旬にかけてやや大きい状態で経過し、7月から8月にかけては、噴火前に一時的に大きくなるなど変動を繰り返した。10月下旬には、2019年の噴火活動開始後最も大きな状態となった。その後は概ねやや大きい状態で経過した。火山性地震及び孤立型微動は、多い状態で経過した。
- ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、2月以降、概ね多い状態で経過した。3月中旬、4月から5月にかけてと、7月26日の噴火後には一時的に非常に多い状態となった。9月中旬以降は次第に増大し、10月以降からは非常に多い状態で経過した。
- ・傾斜計では、火山活動の活発化を示唆する変化は認められない。
- ・GNSS 連続観測では、深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線の伸びは停滞している。

① 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

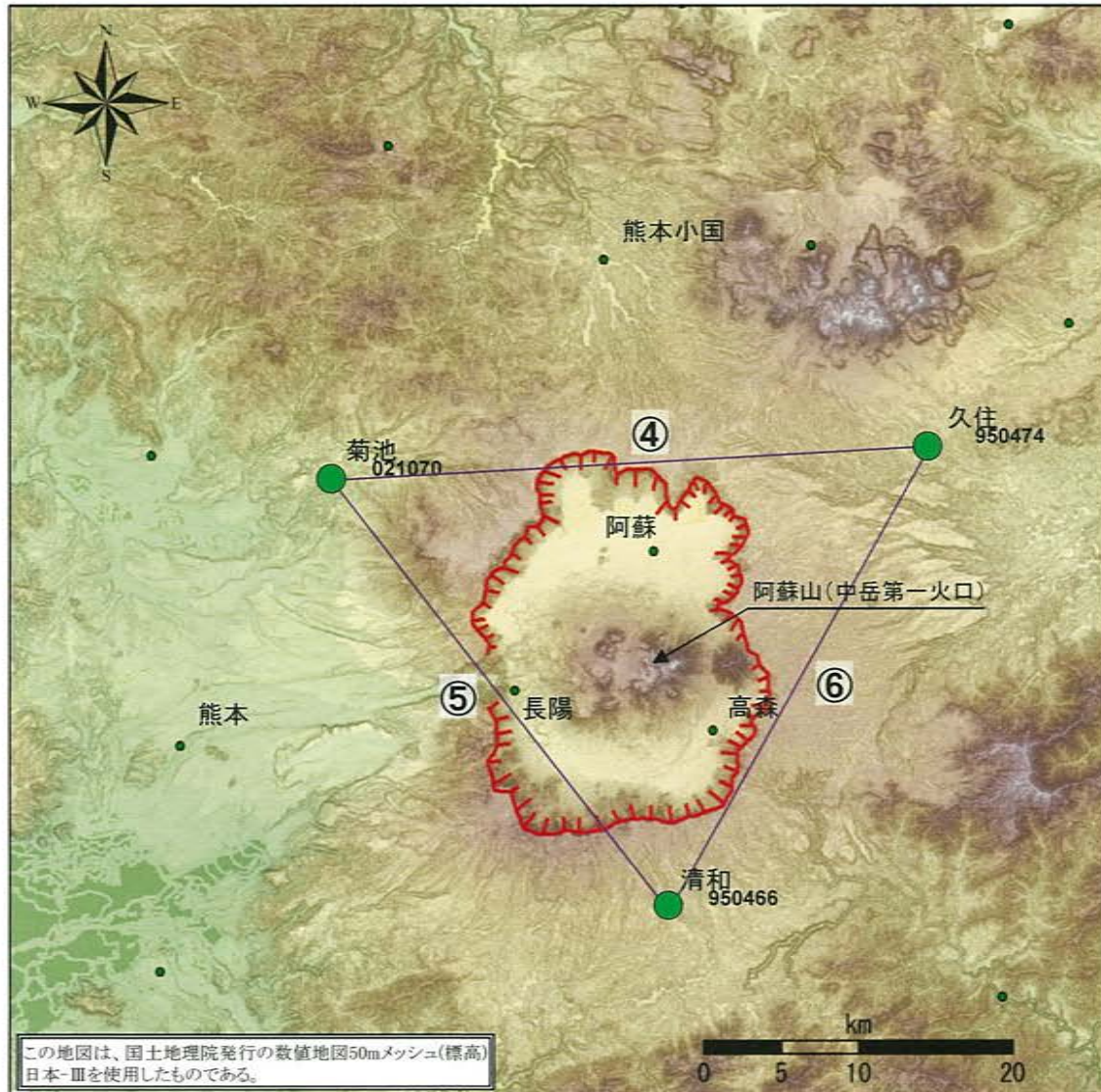
・ 2019年度の基線長変化は、阿蘇カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。



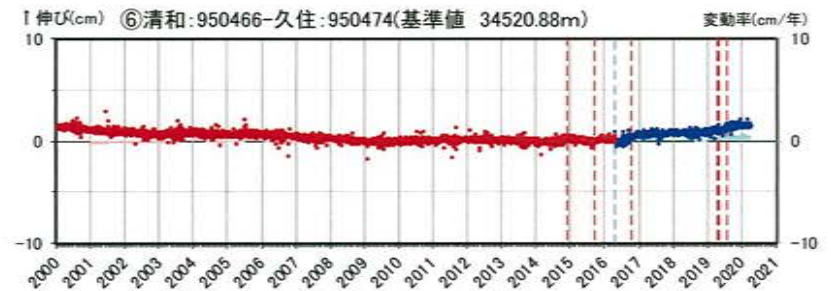
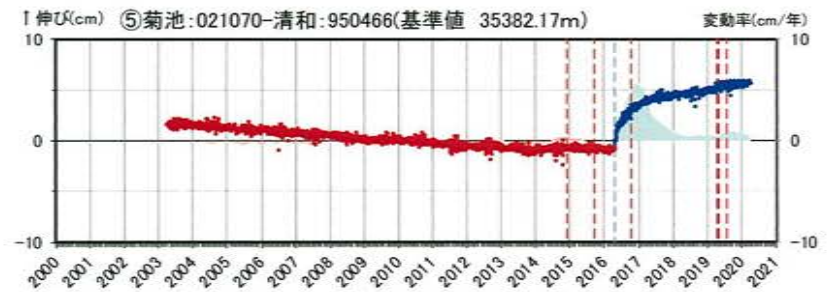
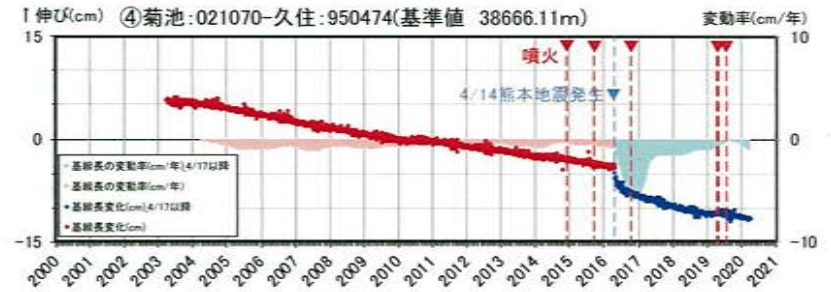
基線①～③の時系列変化
(熊本地震発生時の変動を補正して図示)

※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

① 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



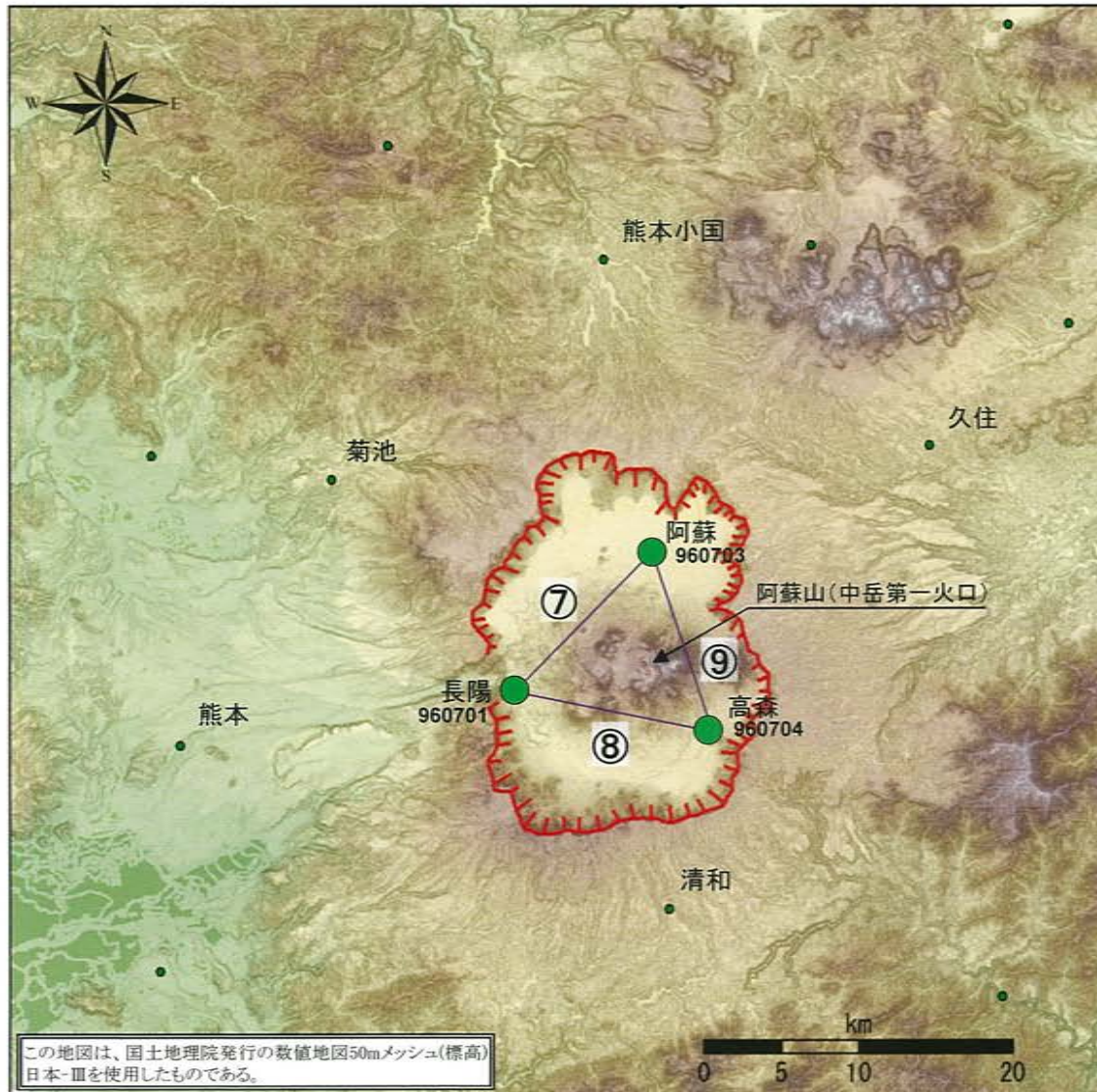
● 国土地理院のGNSS観測点



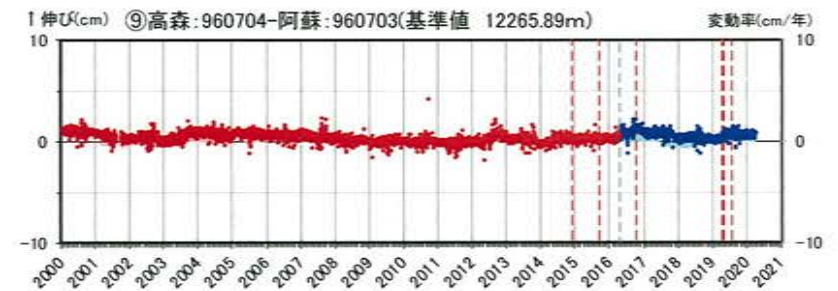
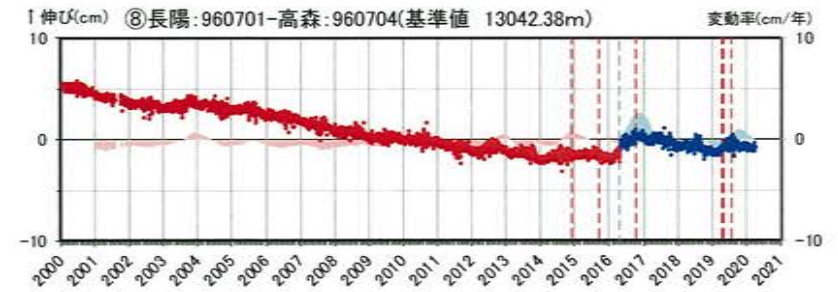
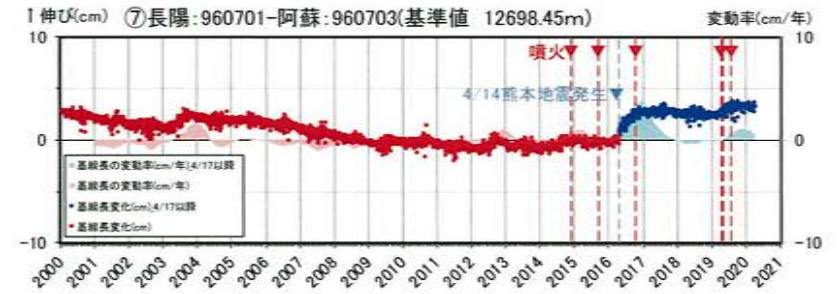
基線④～⑥の時系列変化
(熊本地震発生時の変動を補正して図示)

※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

① 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



● 国土地理院のGNSS観測点

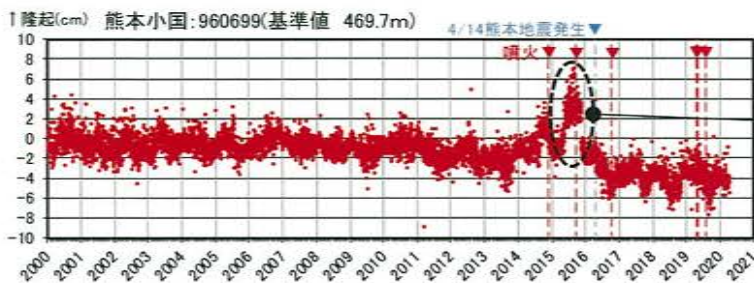
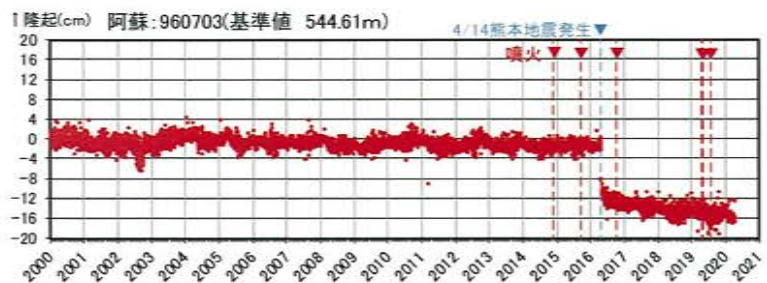


基線⑦～⑨の時系列変化
(熊本地震発生時の変動を補正して図示)

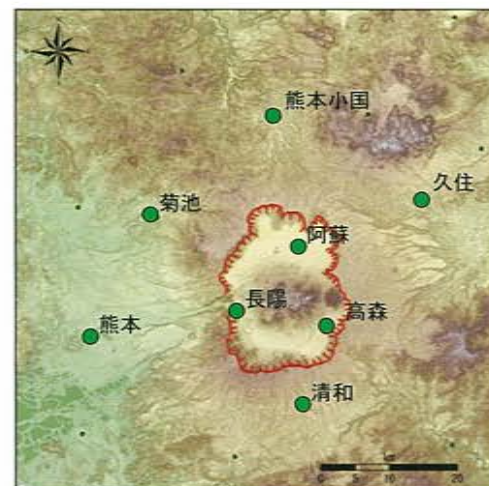
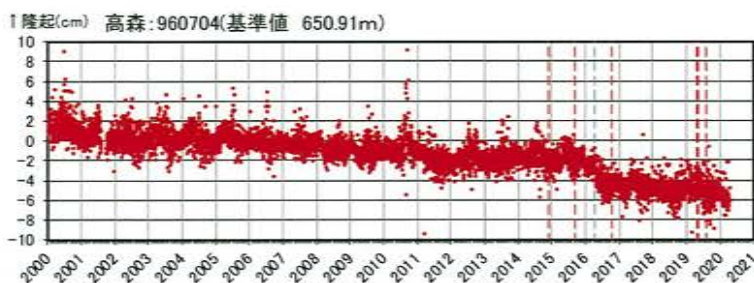
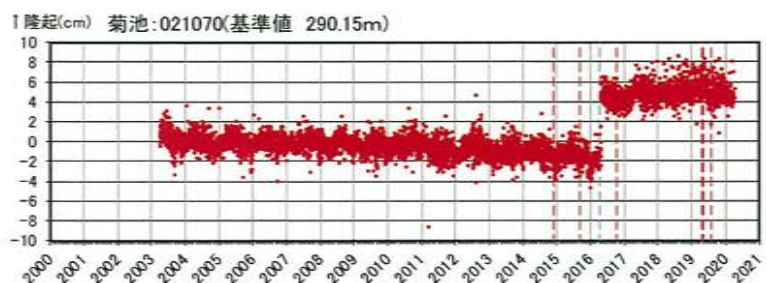
※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
 ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出

① 阿蘇カルデラ [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

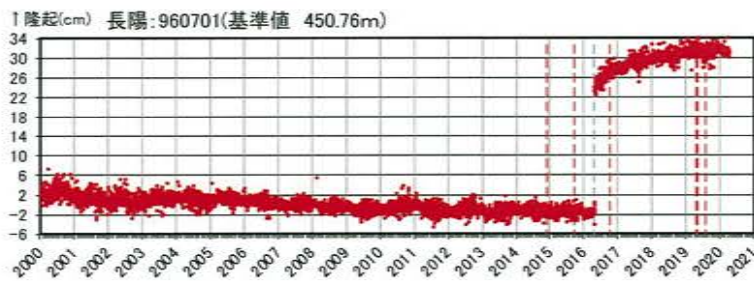
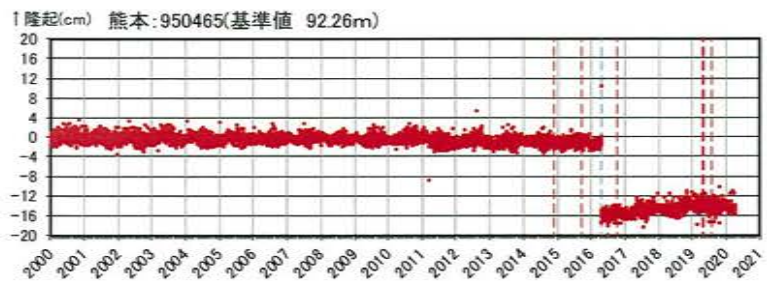
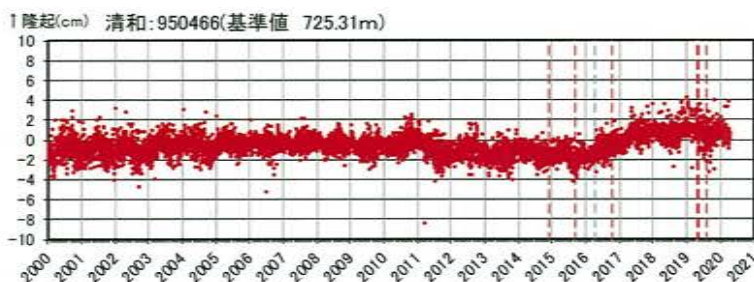
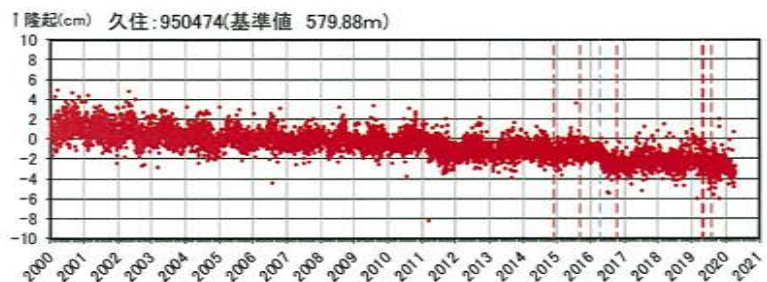
・ 2019年度の鉛直変動は、阿蘇カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向は認められない。



GNSS観測点周辺の樹木により衛星の補足状況が悪くなり、鉛直変動が大きくなったと思われる。
2015年11月に樹木の伐採が実施された後は、鉛直変動が小さくなっている。



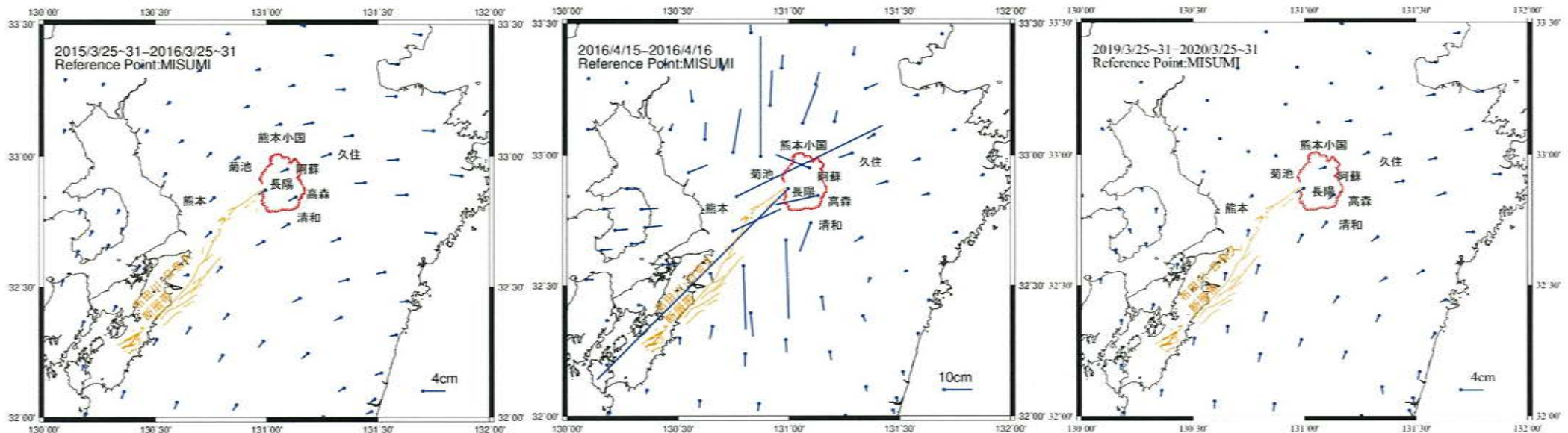
※上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。



2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

【参考】熊本地震の影響 [地殻変動: 水平変動ベクトル]

- 熊本地震の本震発生(2016年4月16日M7.3)に伴って、布田川・日奈久断層帯沿いに右横ずれの大きな地殻変動が認められ、断層を境に、北側では北向き、南側では南向きの変動が生じている。
- 熊本地震後の地殻変動については、「余効変動が地震発生後3年経った現在も継続している(文部科学省研究開発局・九州大学(2019))」ことが示されているものの、過去1年の地殻変動は、本震前と比較して地震断層北側の一部の点の変動方向は異なるが、地震前の状態に概ね戻っている。



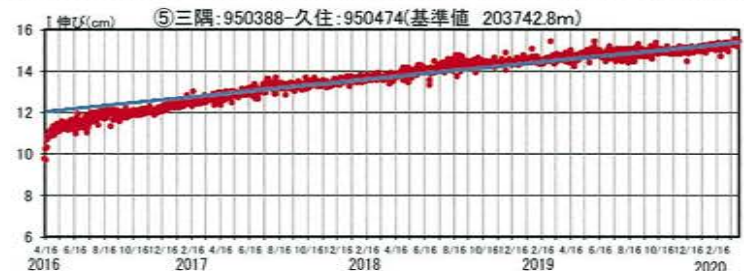
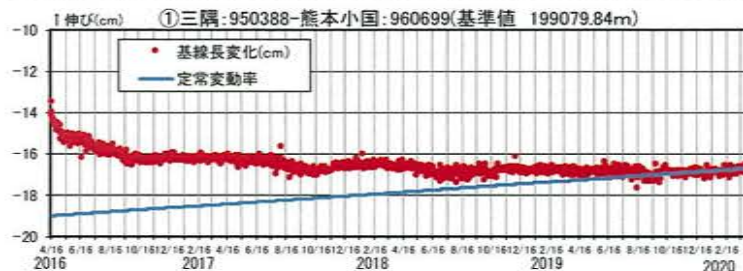
本震前の地殻変動

本震時の地殻変動

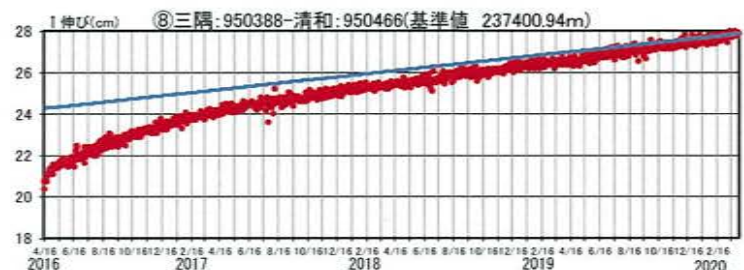
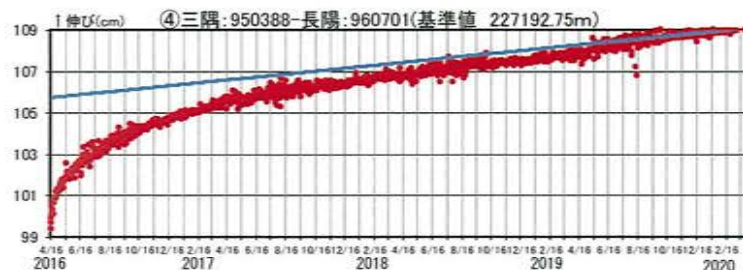
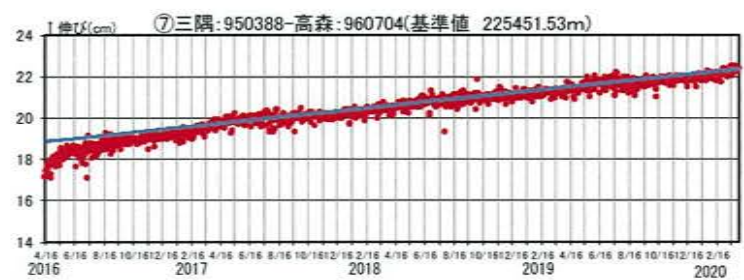
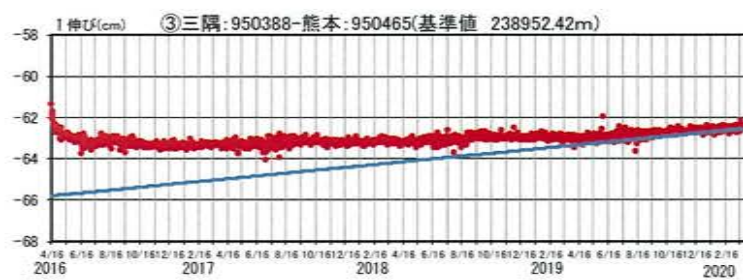
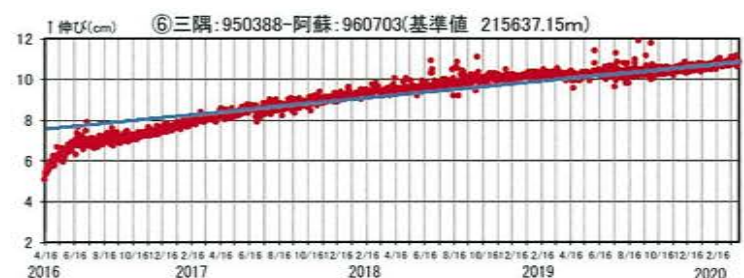
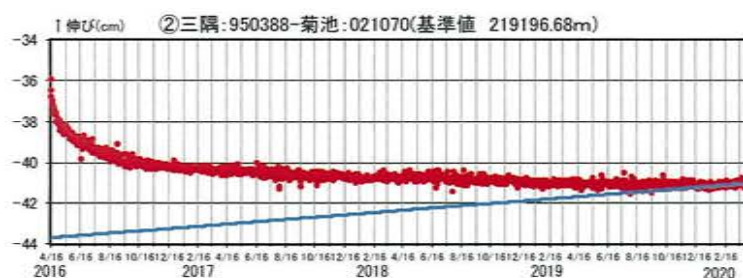
過去1年の地殻変動

【参考】熊本地震の影響 [地殻変動：三隅と各観測点の基線長変化]

・ 基線長変化は、すべての基線において定常変動率と過去1年間の基線長変化が同様の傾向を示していることから、地震前の状態に概ね戻っている。



電子基準点の位置図



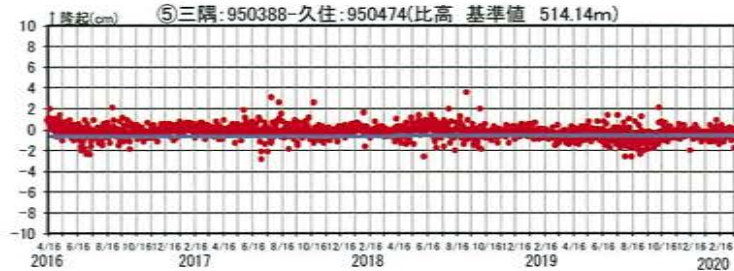
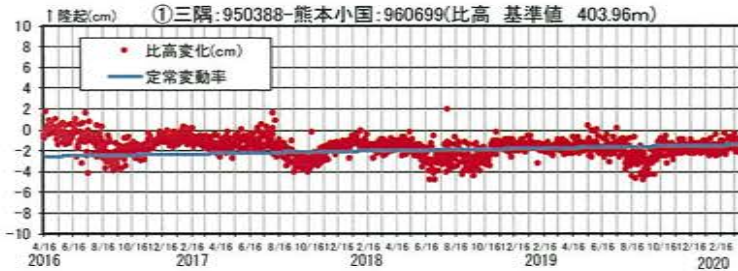
GNSS連続観測による基線長変化【2016年4月16日～2020年3月31日】

※1 固定点：三隅(島根県)

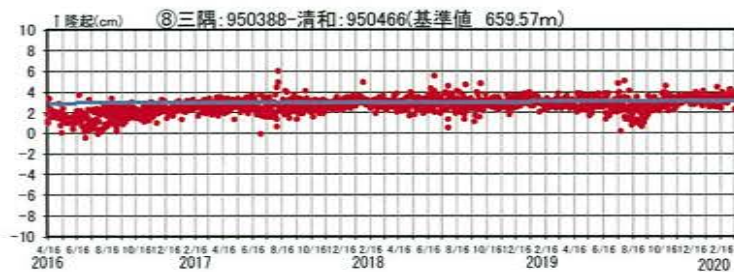
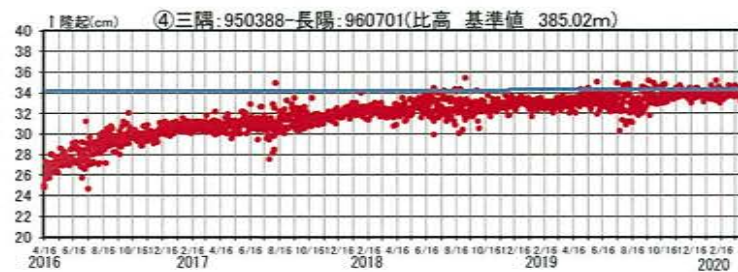
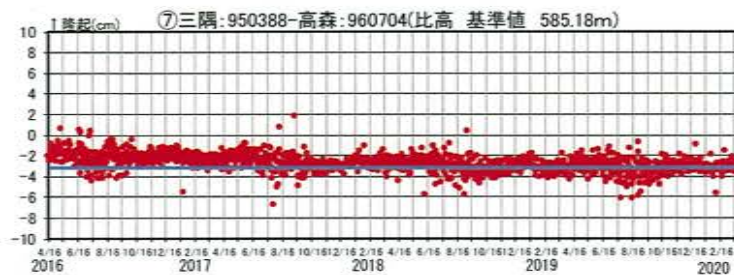
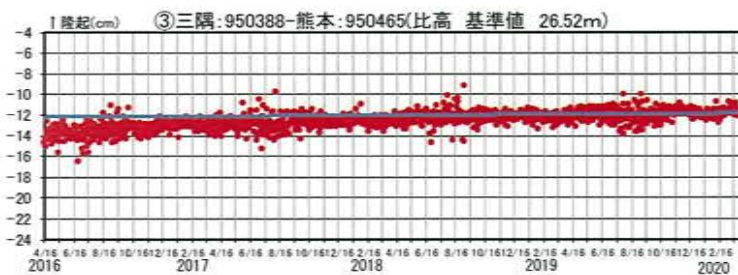
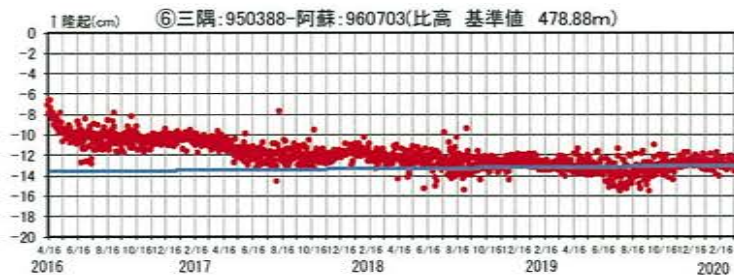
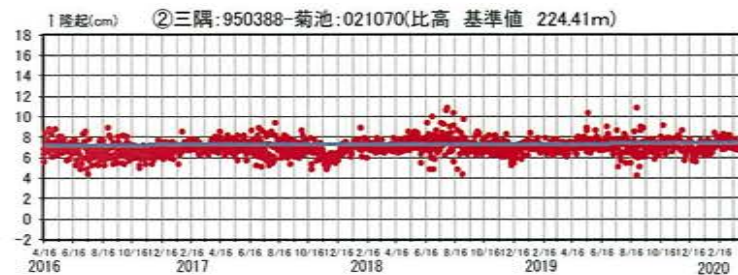
※2 定常変動率は熊本地震前(2006年12月18日～2016年3月31日)の基線長変化のグラフの傾きを示す。

【参考】熊本地震の影響 [地殻変動：三隅と各観測点の比高変化]

・比高変化は、すべての観測点において定常変動率と過去1年間の比高変化が同様の傾向を示していることから、地震前の状態に概ね戻っている。



電子基準点の位置図



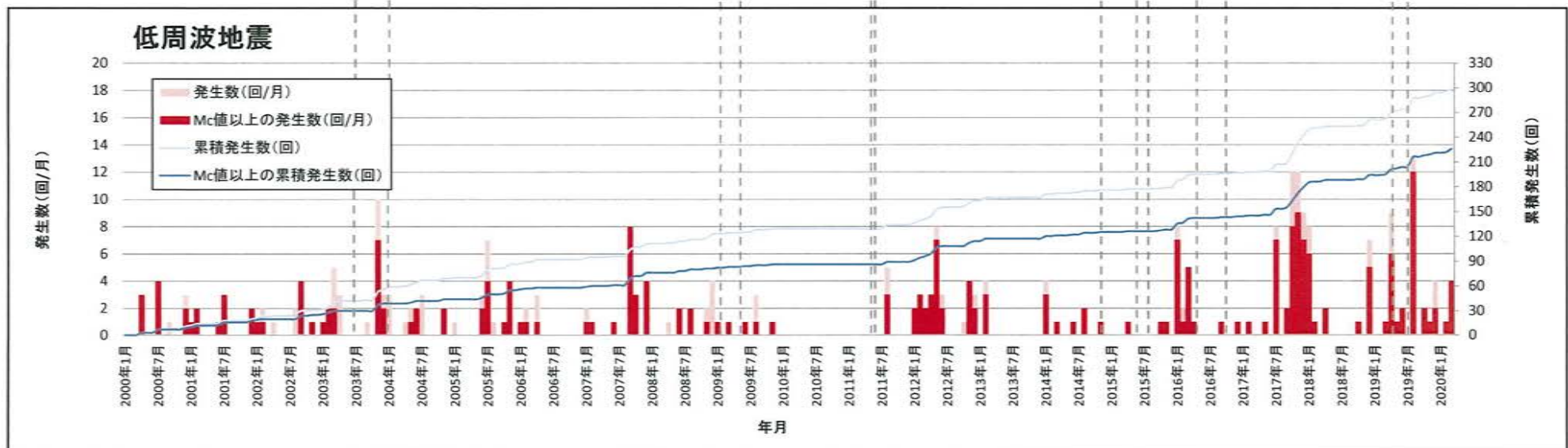
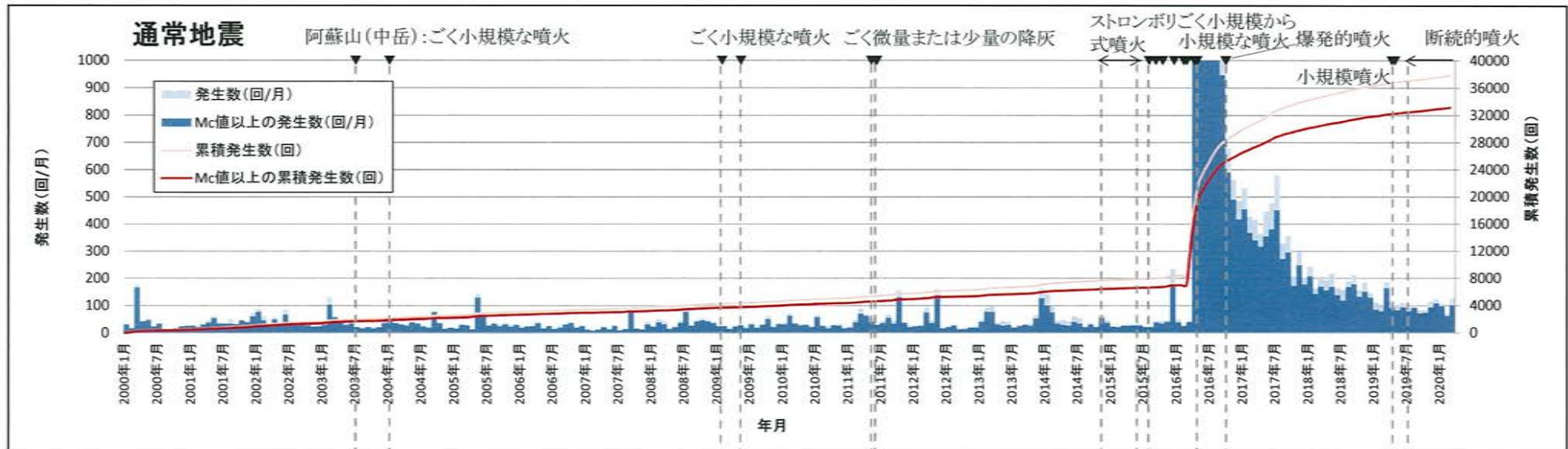
GNSS連続観測による比高変化【2016年4月16日～2020年3月31日】

※1 固定点:三隅(島根県)

※2 定常変動率は熊本地震前(2006年12月18日～2016年3月31日)の比高変化のグラフの傾きを示す。

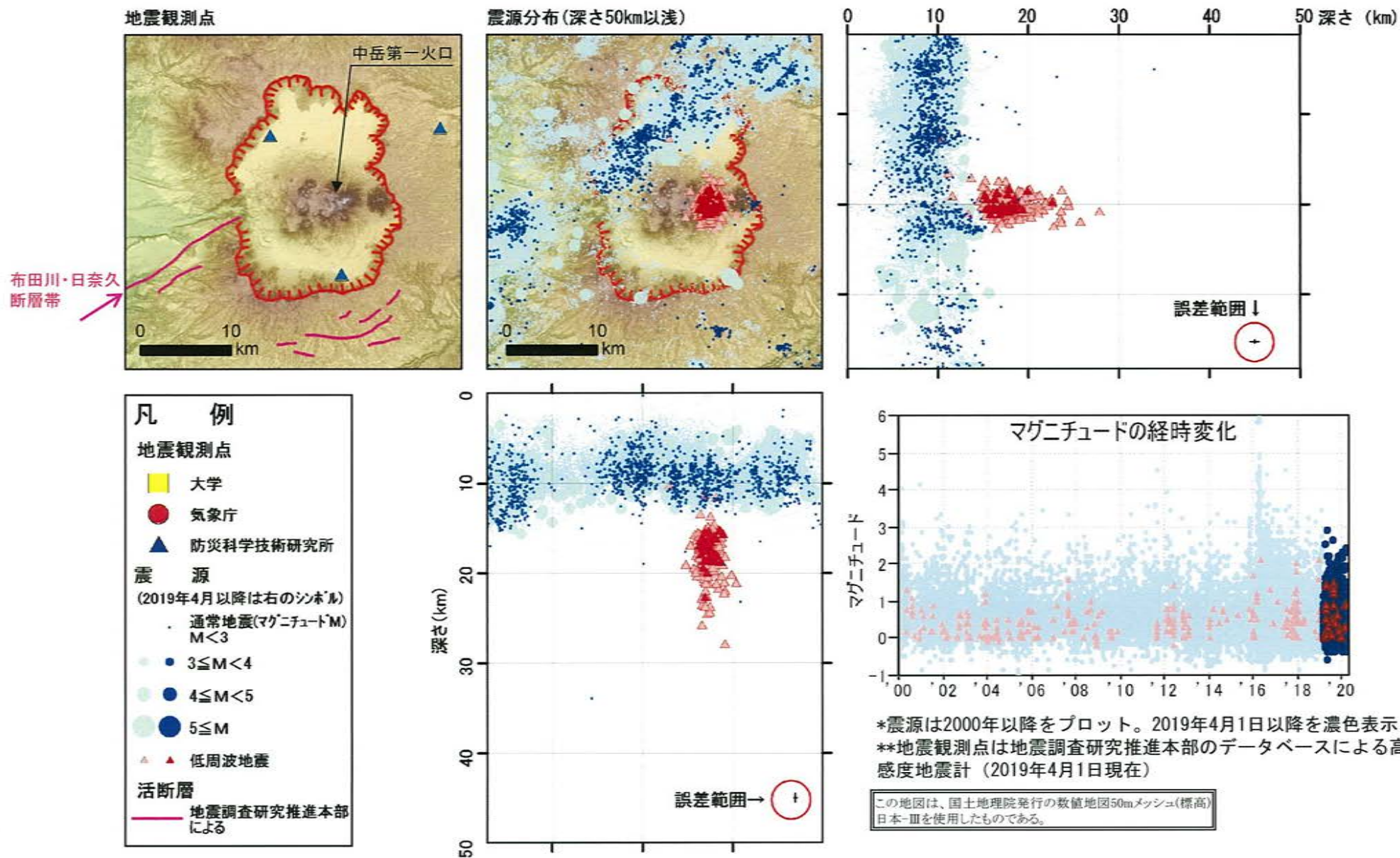
① 阿蘇カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

・ 2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、布田川・日奈久断層帯及びその延長部における熊本地震の余震が認められるものの、発生数は過去1年と比較して減少傾向にある。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。

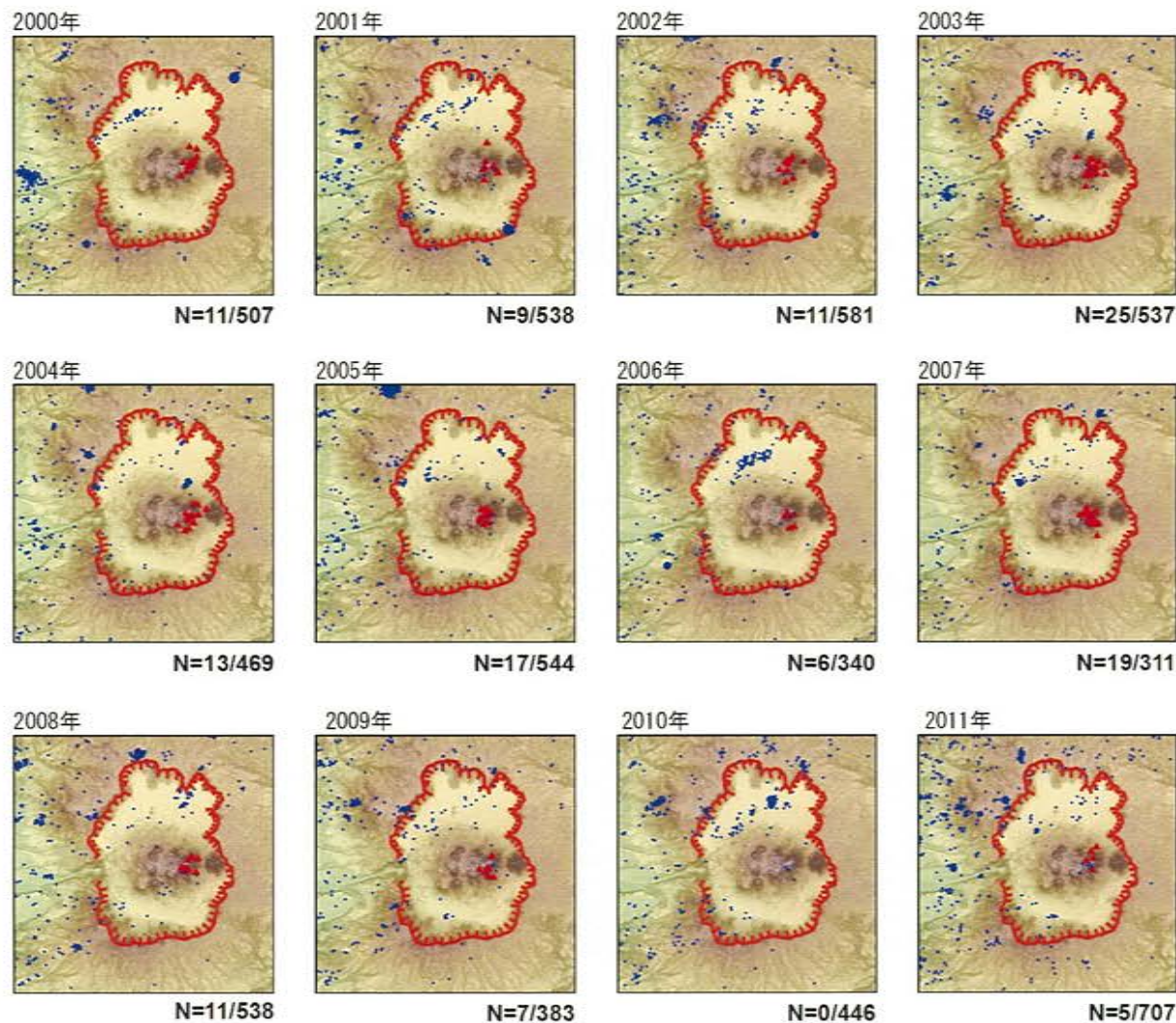


[Mc値(2000~2019年データ使用)] 通常地震: 0.1 低周波地震: 0.2

① 阿蘇カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]



① 阿蘇カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



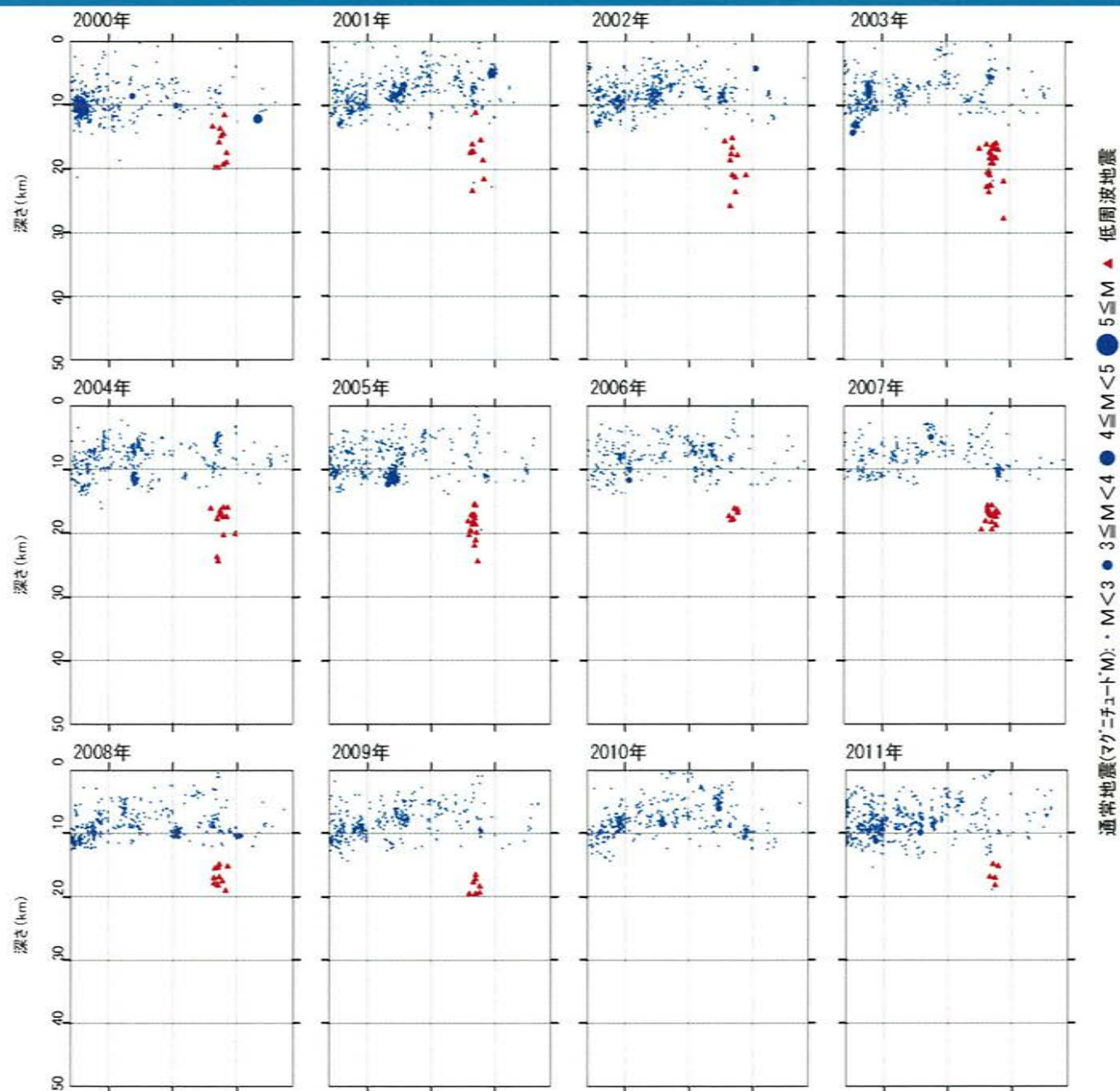
通常地震(マグニチュード): $M < 3$ (●) $3 \leq M < 4$ (●) $4 \leq M < 5$ (●) $5 \leq M$ (▲) 低周波地震

最近の主な噴火
 2003年7月10日 ごく小規模な噴火
 2004年1月14日 ごく小規模な噴火
 2009年2月4日 ごく小規模な噴火
 2009年5月19日 ごく微量の降灰
 2011年5月15日～6月9日 ごく少量の火山灰を放出
 2011年6月15日 ごく少量の降灰

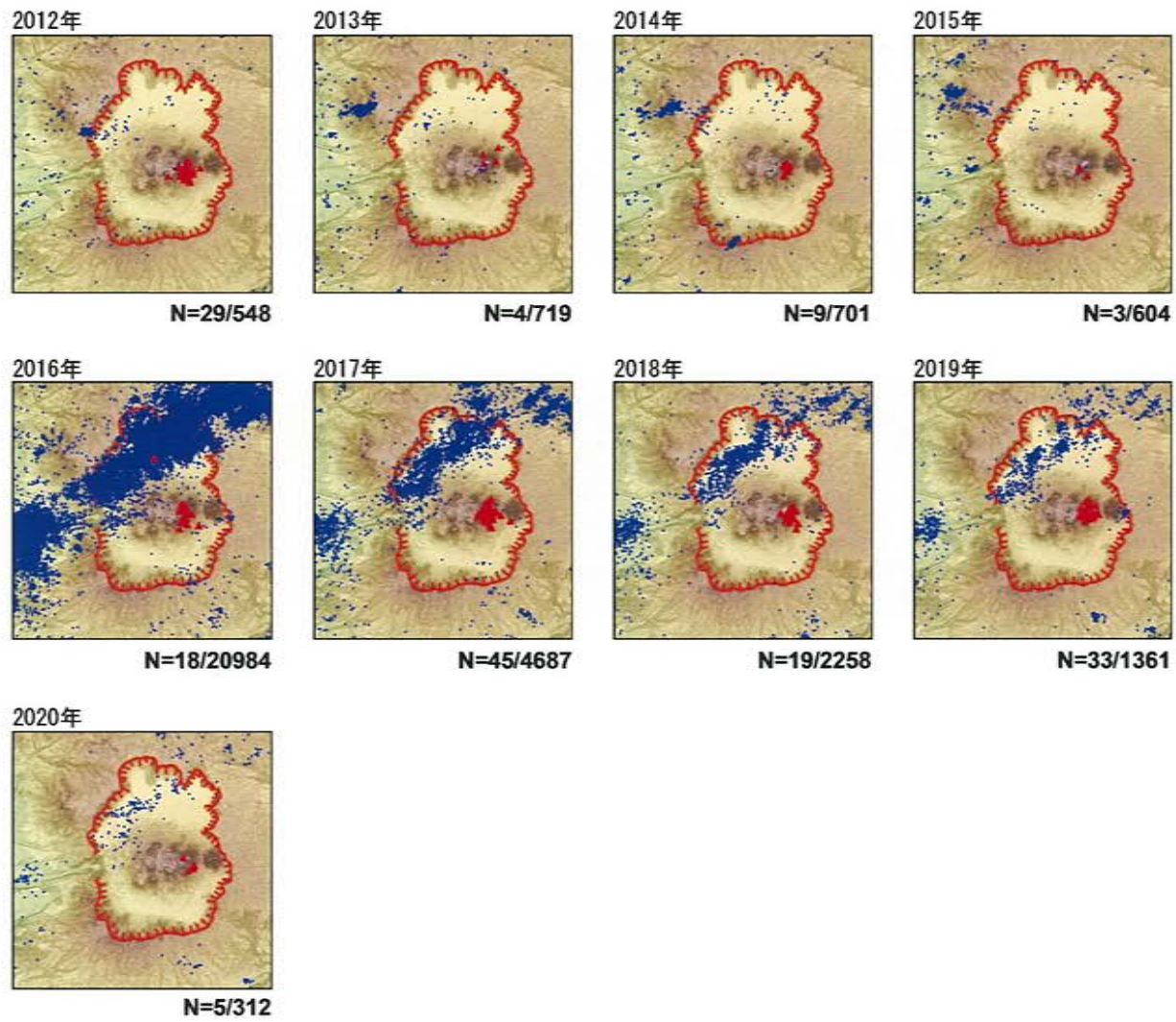
*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

① 阿蘇カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



① 阿蘇カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



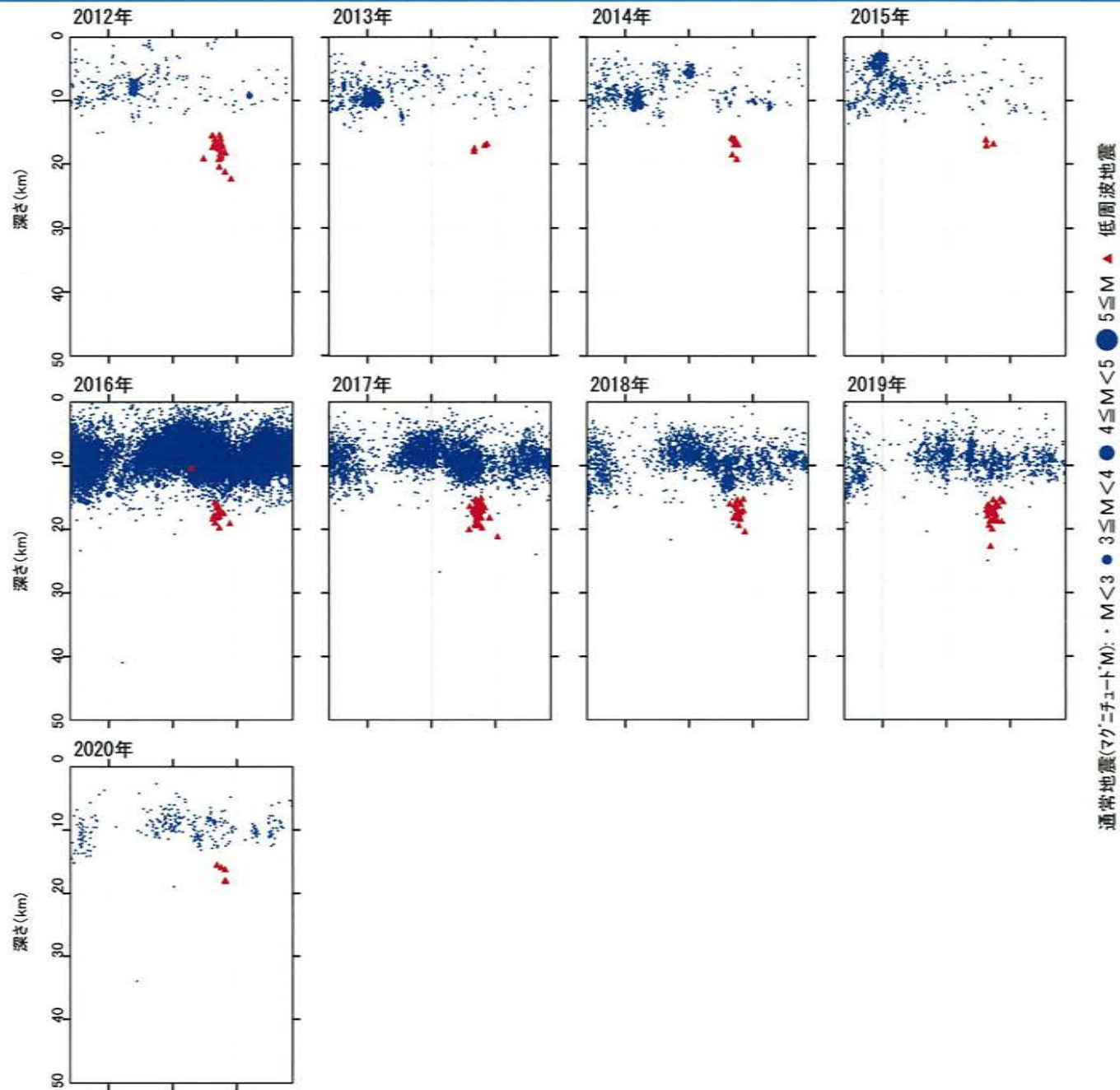
通常地震(マグニチュード): $M < 3$ ● $3 \leq M < 4$ ● $4 \leq M < 5$ ● $5 \leq M$ ▲ 低周波地震

- 最近の主な噴火**
- 2014年11月25日～5月21日 ストロンボリ式噴火
 - 2015年8月8日 ごく小規模な噴火
 - 2015年9月14日～10月23日 連続的な噴火
 - 2015年12月25日 空振を伴う噴火
 - 2016年2、3、4、5月 ごく小規模から小規模な噴火
 - 2016年10月8日 爆発的噴火
 - 2019年4月16日 小規模な噴火
 - 2019年5月3日 噴煙2000mまで上昇
 - 2019年7月26日以降 断続的に噴火が継続

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。
ただし、2020年は3月31日までのもの。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

① 阿蘇カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



① 阿蘇カルデラ [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 阿蘇山では断続的に噴火が継続している。
- ・ 火山性地震、孤立型微動、火山ガス放出量が多い状態で経過している。
- ・ GNSS連続観測では、深部にマグマだまりがあると考えられている草千里を挟む基線の伸びは停滞している。

【当社の評価(既存観測網によるデータ)】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2019年度の基線長変化は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、熊本地震の余震が認められるものの、発生数は過去と比較して減少傾向にある。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。

阿蘇カルデラについては、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2019年度は、活火山である阿蘇山の火山活動は活発であったものの、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

余 白

② 加久藤・小林カルデラ [活火山に関する公的機関の評価概要]

○霧島山

【新燃岳】(出典:火山活動解説資料 2019年、火山活動解説資料 2020年3月)

- ・ 新燃岳では、2018年6月28日以降、噴火は観測されていない。
- ・ 火口直下を震源とする火山性地震の回数は、2019年11月以降増減を繰り返しており、2月以降は増加する頻度と回数が多くなっている。また、2月20日や3月2日には、振幅の小さな継続時間の短い火山性微動が観測されている。
- ・ 火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は1月以降は検出限界未満と少ない状態で経過している。現地調査では噴煙などの表面現象に特段の変化は認められていない。
- ・ 新燃岳近傍の傾斜計では山体隆起を示す顕著な変化は観測されていない。
- ・ GNSS連続観測では、霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる基線の伸びは2019年2月以降停滞している。

【御鉢】(出典:火山活動解説資料 2019年 年報、火山活動解説資料 2020年3月)

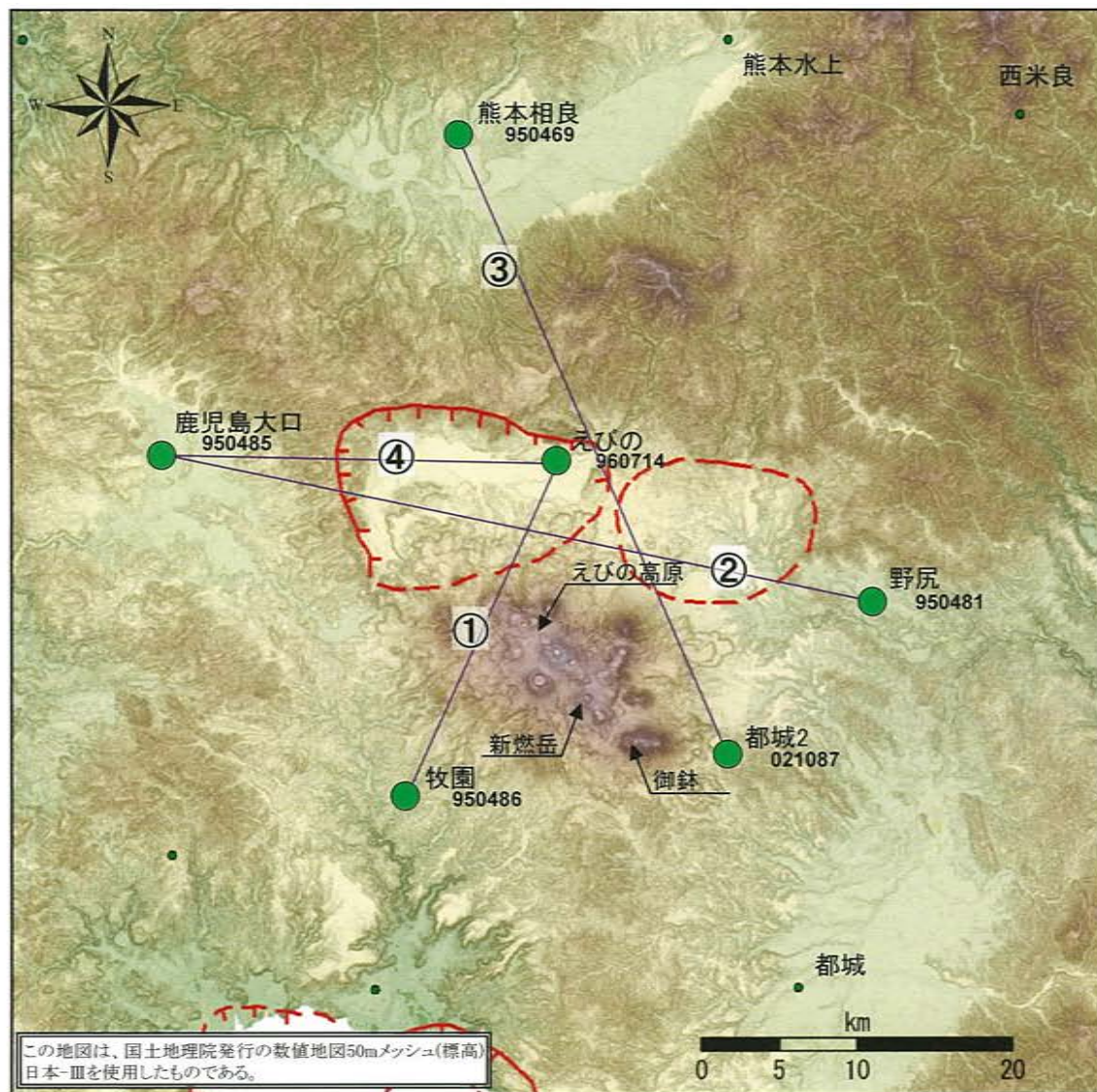
- ・ 火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められない。

【えびの高原(硫黄山)周辺】(出典:火山活動解説資料 2019年 年報、火山活動解説資料 2020年3月)

- ・ 2018年4月27日以降、硫黄山では噴火は観測されていないが、硫黄山の南側の噴気地帯や西側500m付近では、引き続き活発な噴気活動が続いている。
- ・ 繰り返し実施した現地調査では、硫黄山の南側における活発な噴気活動を確認し、赤外熱映像装置による観測では、硫黄山周辺の噴気地帯でこれまでと同様に地熱域を確認したが、2019年1月以降は噴気域及び地熱域のさらなる拡大は認められていない。
- ・ 硫黄山付近では、4月以降、ごく微小な地震を含む火山性地震は少ない状態で経過した。火山性微動は観測されていない。韓国岳近傍とその周辺では、2018年8月頃から地震が増加し、その後も引き続き地震活動がみられている。
- ・ GNSS連続観測では、硫黄山近傍の基線の伸びは2019年2月頃から停滞もしくはわずかに収縮している。2018年3月中旬以降継続していた霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる基線の伸びは2019年2月以降停滞している。
- ・ 火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり10トン未満と少ない状態だった。
- ・ 全磁力観測では、観測を開始した2016年2月以降、硫黄山周辺の地下で熱消磁現象の進行を示す全磁力変動が観測されているが、その変動は2019年4月頃から鈍化している。

② 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

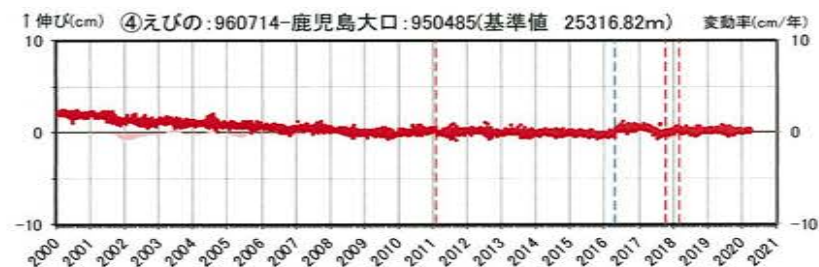
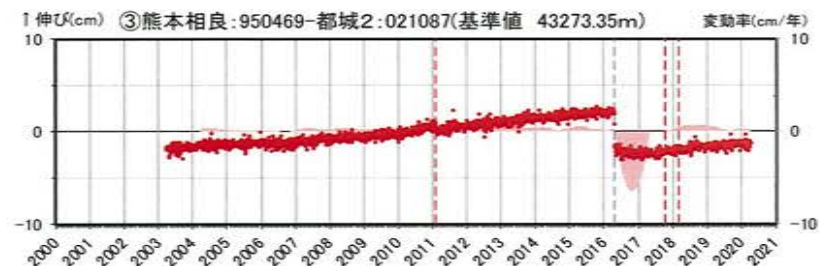
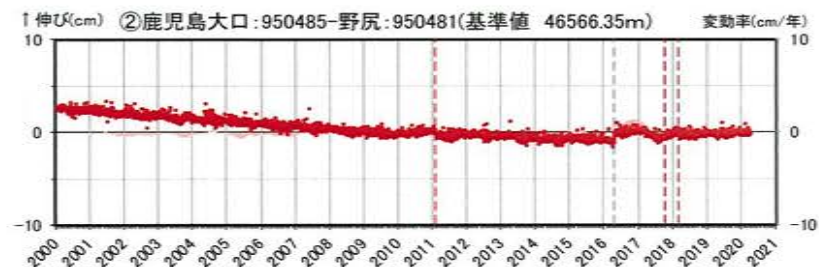
- 2019年度の基線長変化は、加久藤・小林カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。



● 国土地理院のGNSS観測点

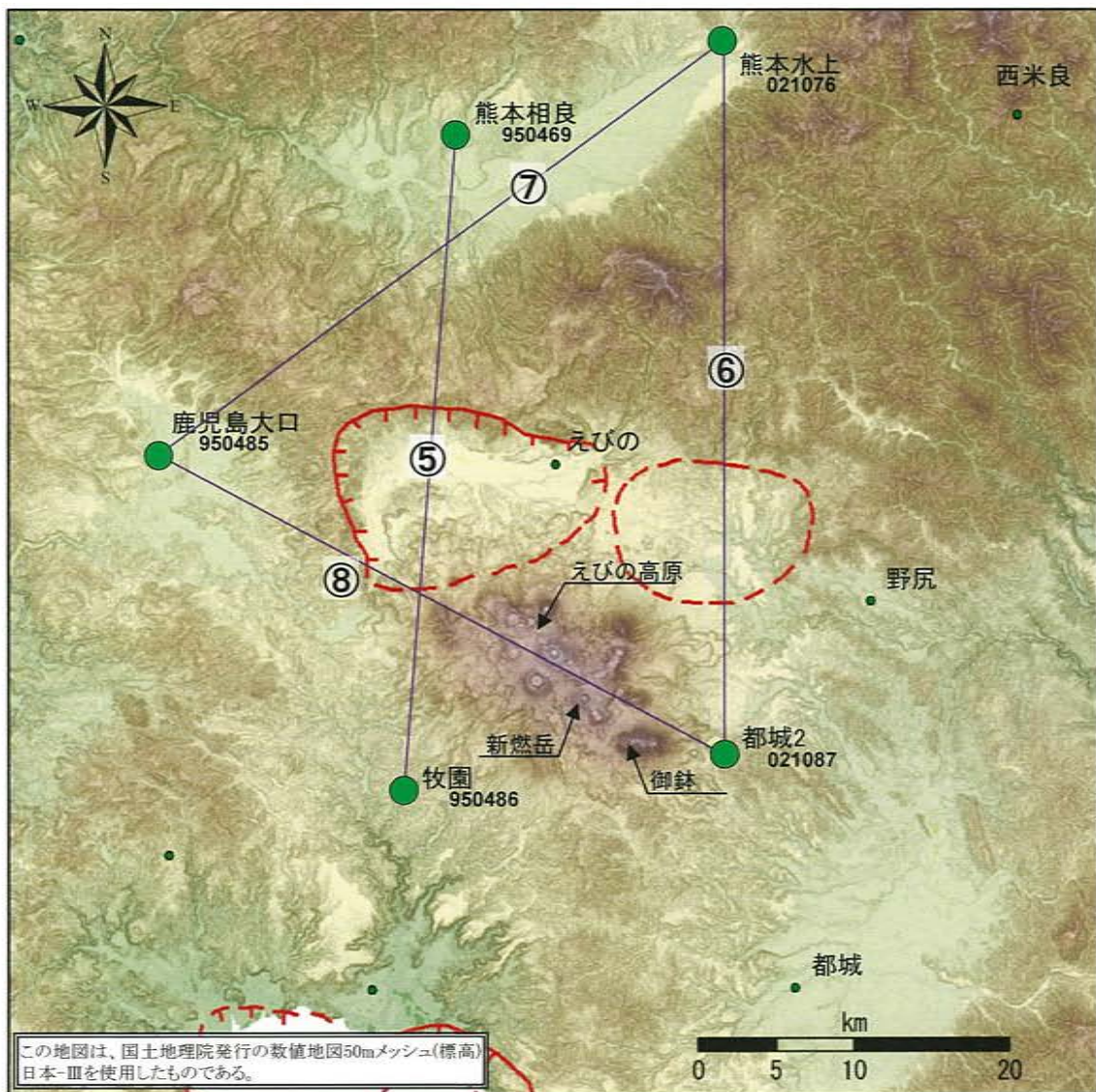
※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示

※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

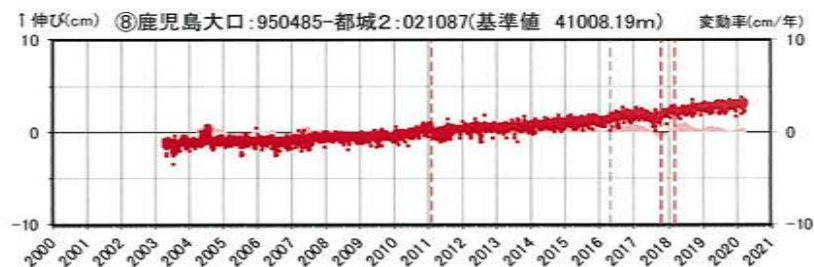
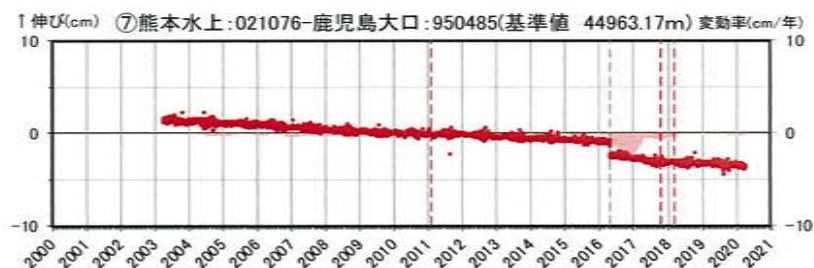
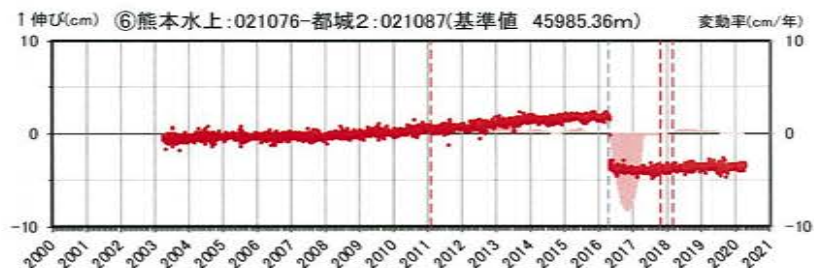
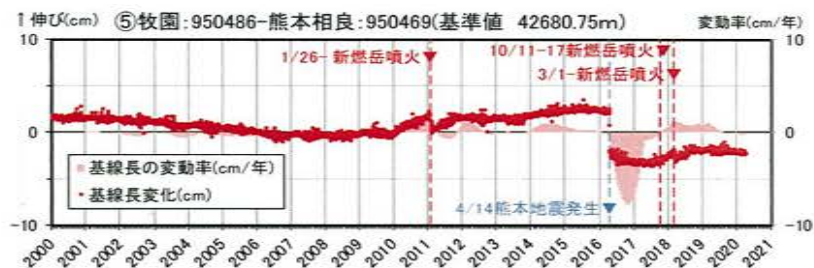


基線①~④の時系列変化

② 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



● 国土地理院のGNSS観測点

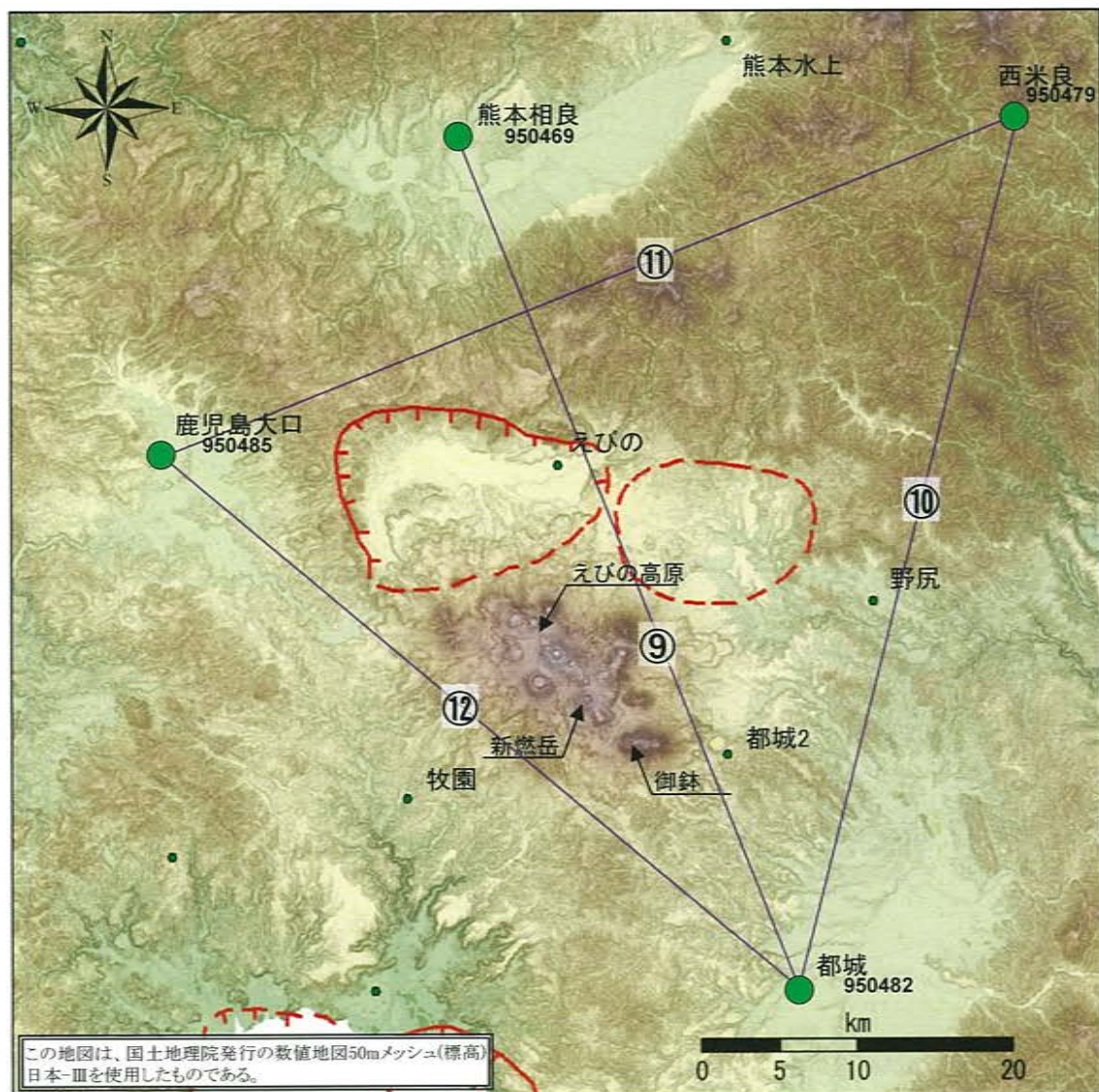


基線⑤~⑧の時系列変化

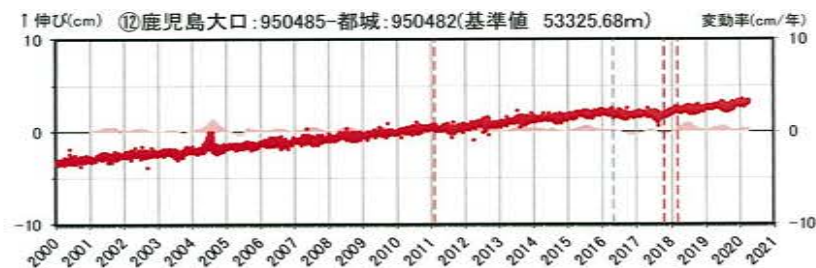
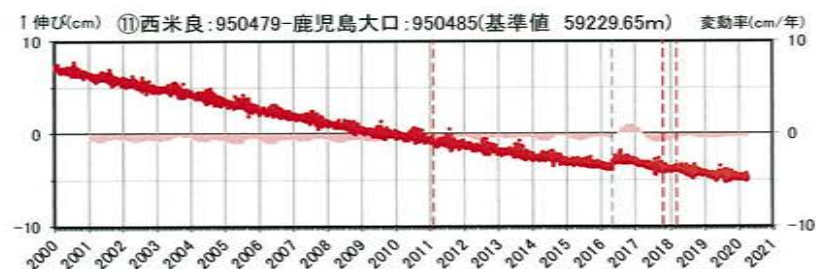
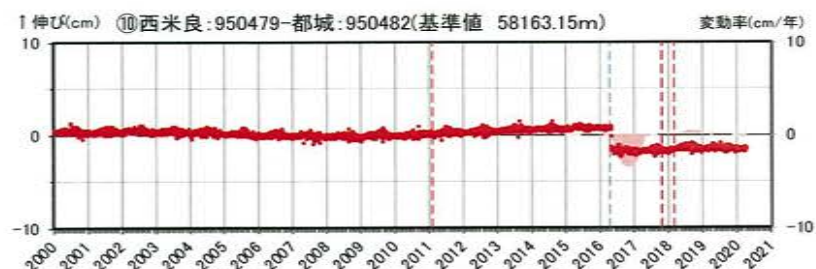
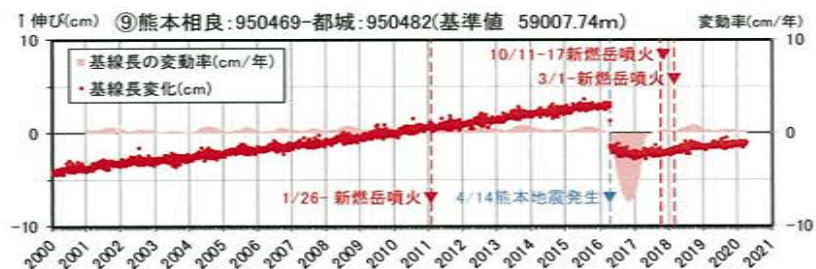
※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示

※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

② 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



● 国土地理院のGNSS観測点

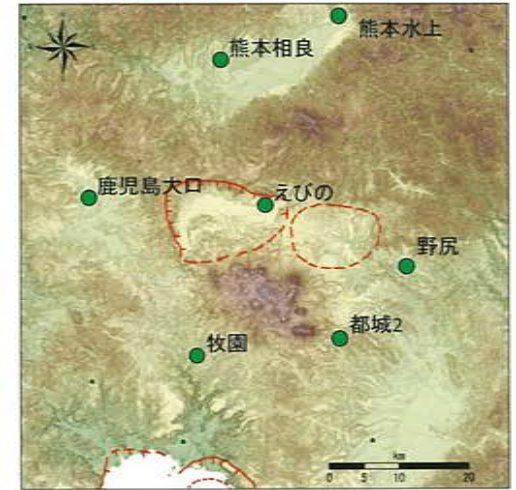
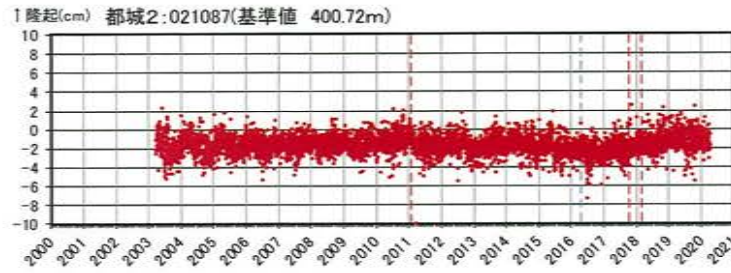
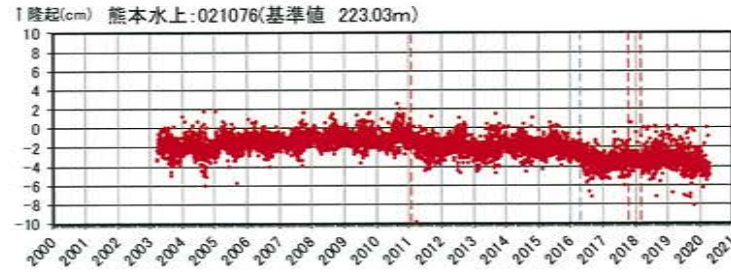
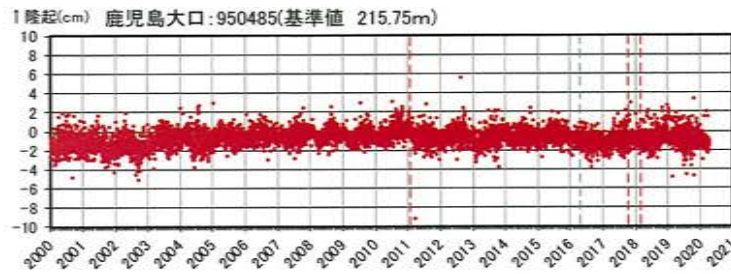
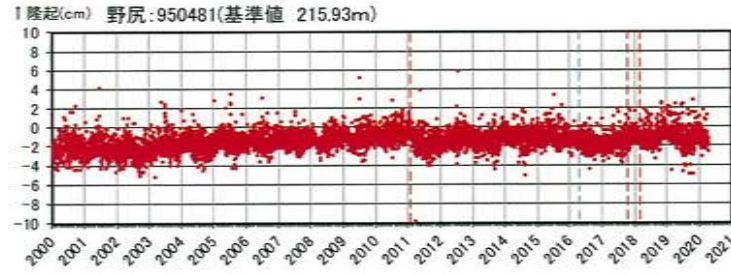
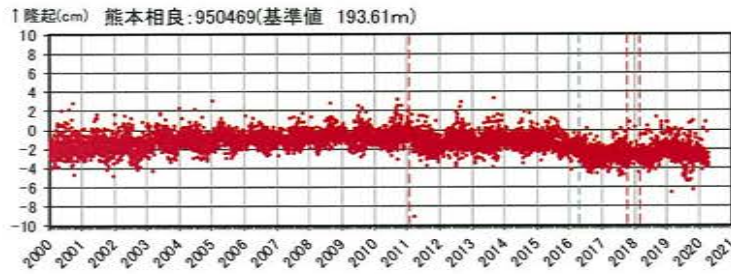
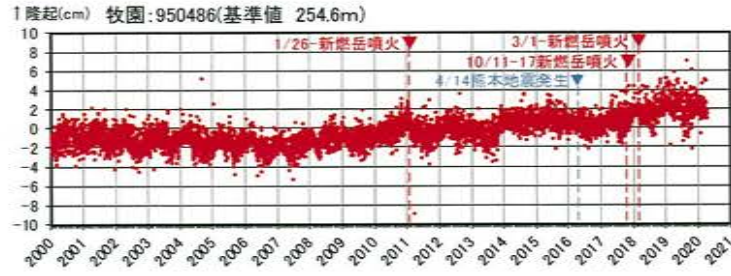
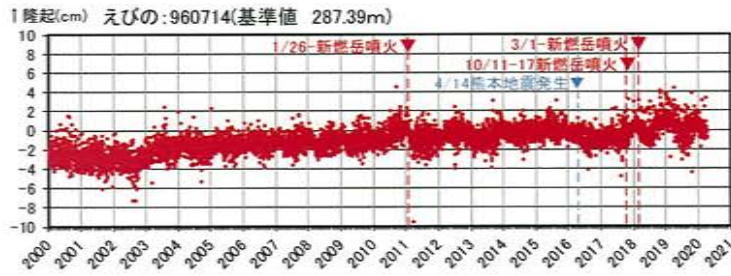


基線⑨~⑫の時系列変化

※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

② 加久藤・小林カルデラ [地殻変動:各観測点の鉛直変動]

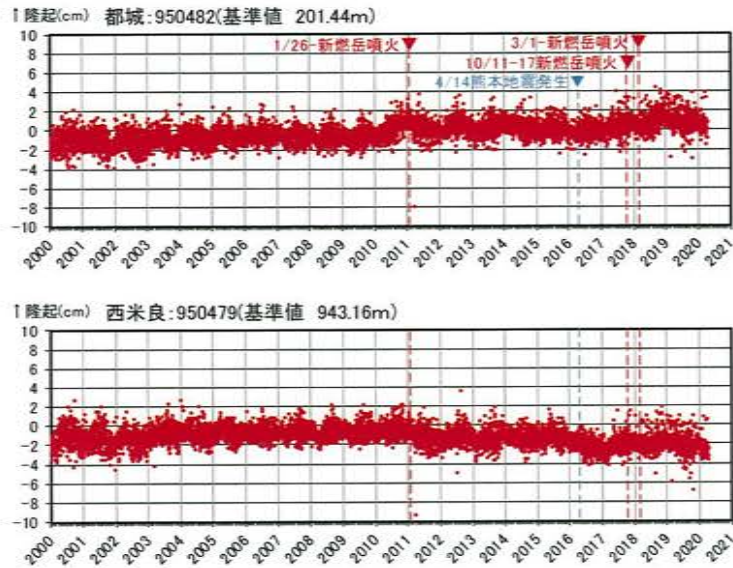
・2019年度の鉛直変動は、加久藤・小林カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向は認められない。



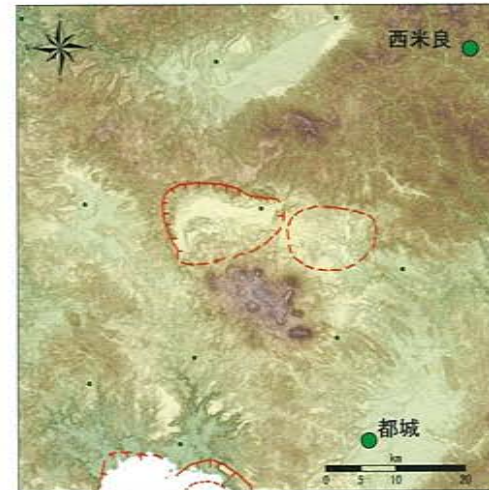
※上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

② 加久藤・小林カルデラ [地殻変動:各観測点の鉛直変動]



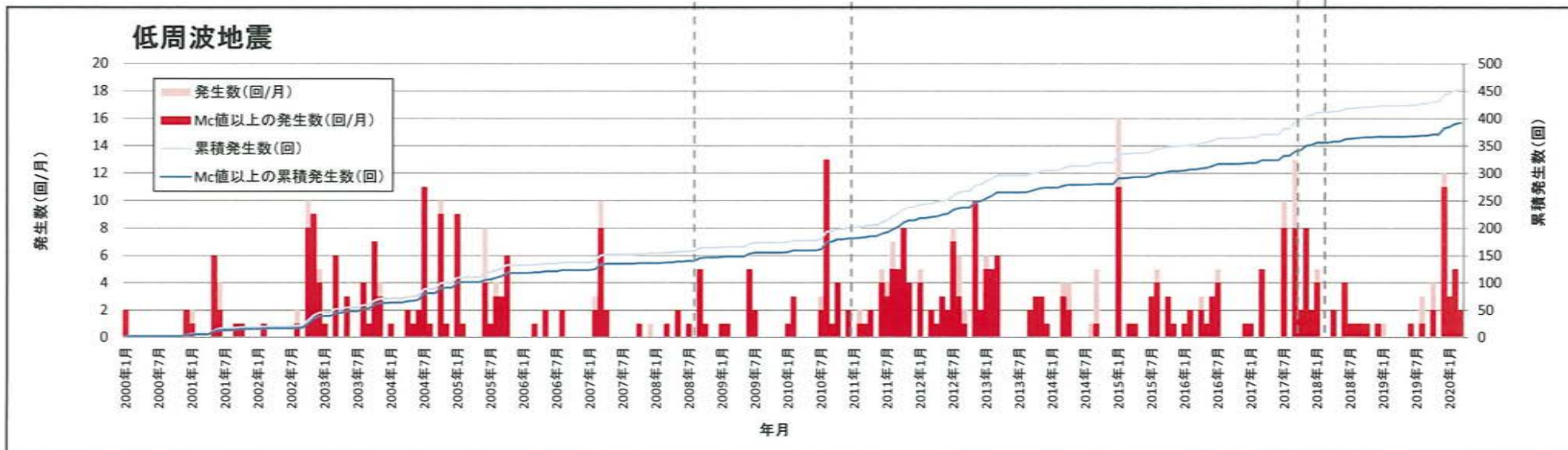
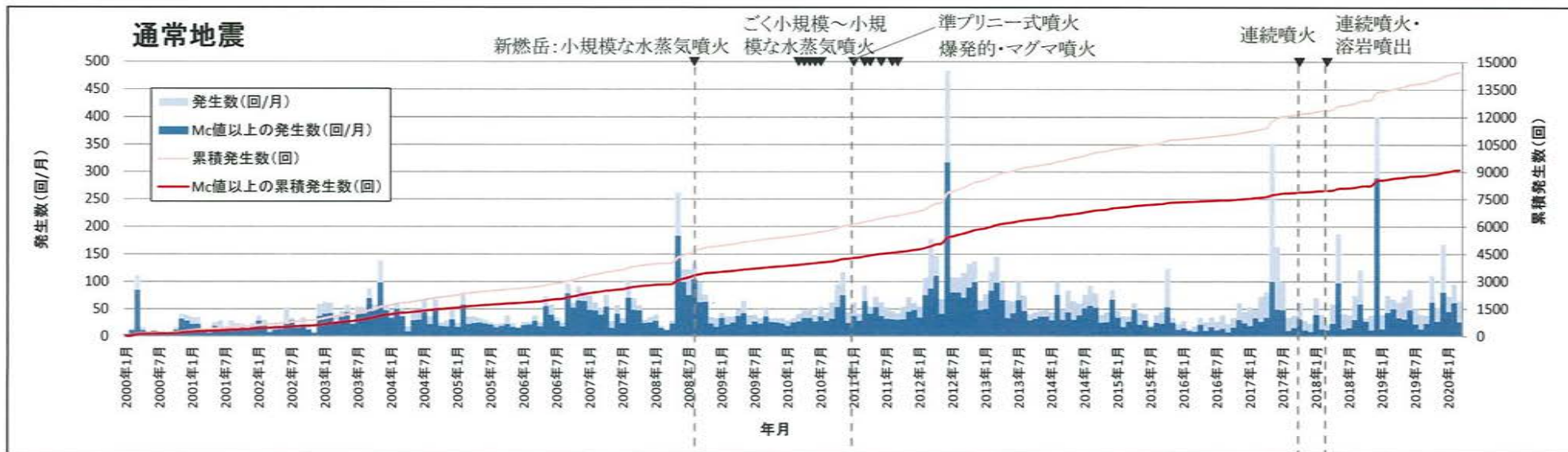
2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量



※上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

② 加久藤・小林カルデラ [地震活動:2000年以降の地震発生数の推移]

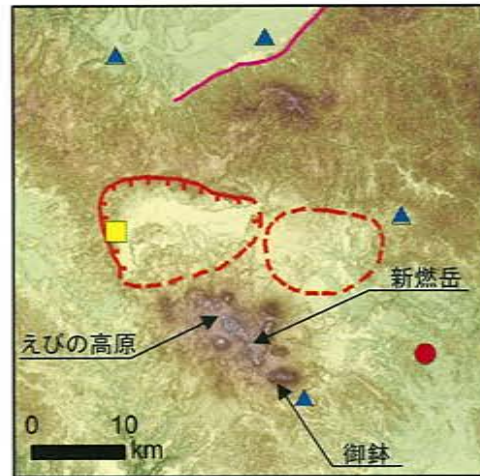
- 2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2018年12月に加久藤カルデラ内で発生した地震(M3.4)の余震が認められるものの、その後は減少している。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。



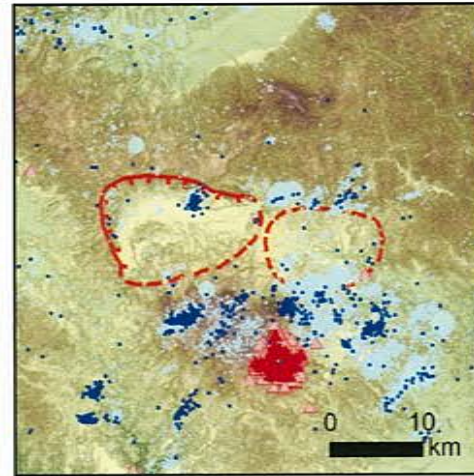
[Mc値(2000～2019年データ使用)] 通常地震 : 0.3 低周波地震 : 0.0

② 加久藤・小林カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

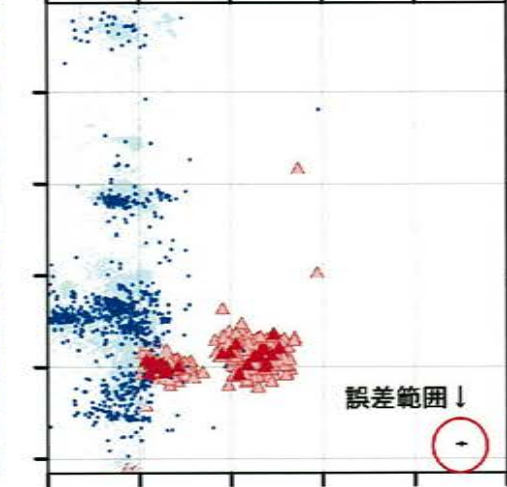
地震観測点



震源分布 (深さ50km以浅)



0 10 20 30 40 50 深さ (km)



凡 例

地震観測点

- 大学
- 気象庁
- ▲ 防災科学技術研究所

震 源

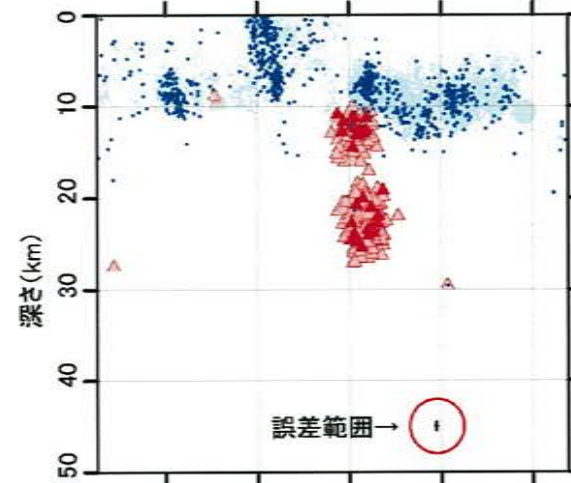
(2019年4月以降は右のシンボル)

- 通常地震(マグニチュードM) M < 3
- 3 ≤ M < 4
- 4 ≤ M < 5
- 5 ≤ M

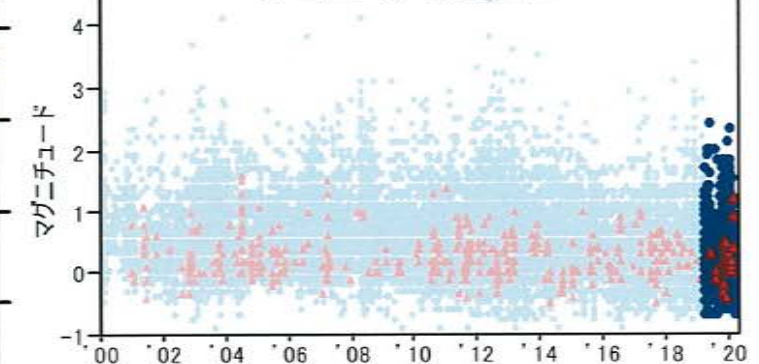
▲ ▲ 低周波地震

活断層

— 地震調査研究推進本部による



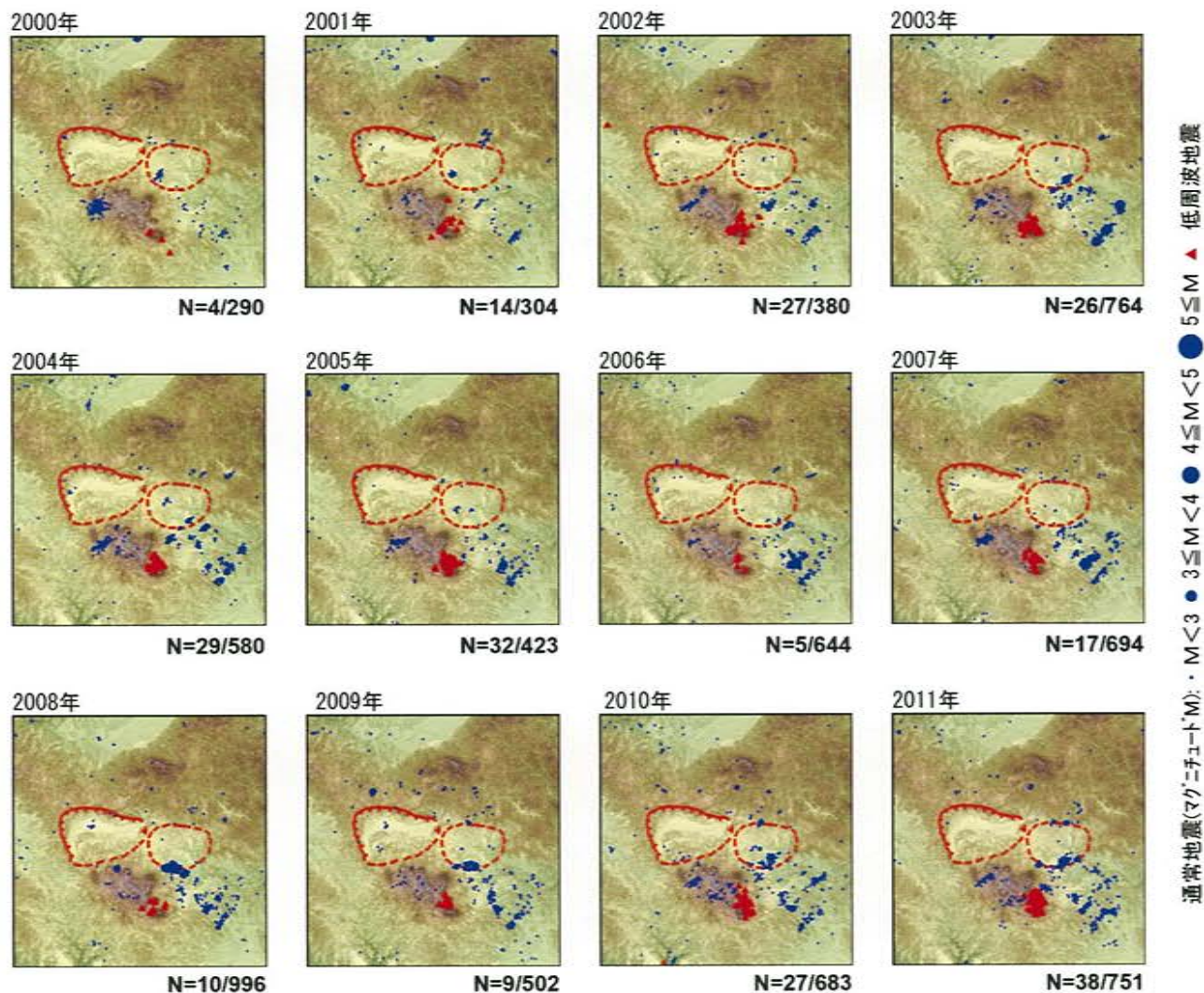
マグニチュードの経時変化



*震源は2000年以降をプロット。2019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 (2019年4月1日現在)

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

② 加久藤・小林カルデラ [地震活動:2000年以降の地震発生数の推移]



最近の主な噴火

2008年 小規模:水蒸気噴火

8月22日 新燃岳、小林市方面へ降灰

2010年 水蒸気噴火

3月30日、4月17日、5月27日、6月27日、6月28日

7月5日、7月10日

新燃岳でごく小規模～小規模噴火を繰り返す

2011年 中規模:マグマ水蒸気噴火

1月19日 小規模な噴火

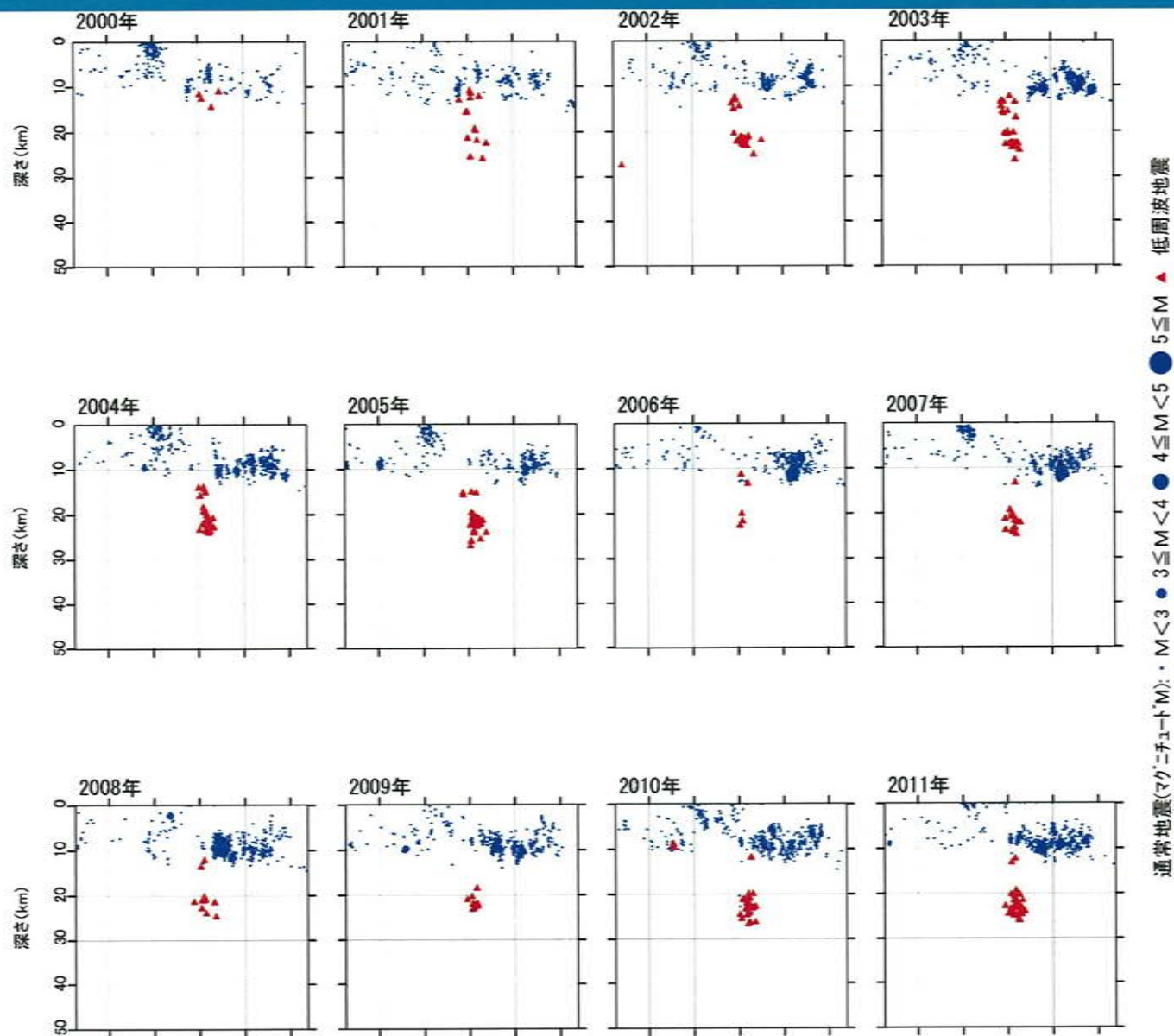
1月26日～27日 準プリニー式噴火

1月27日～3月1日 プルカノ式噴火

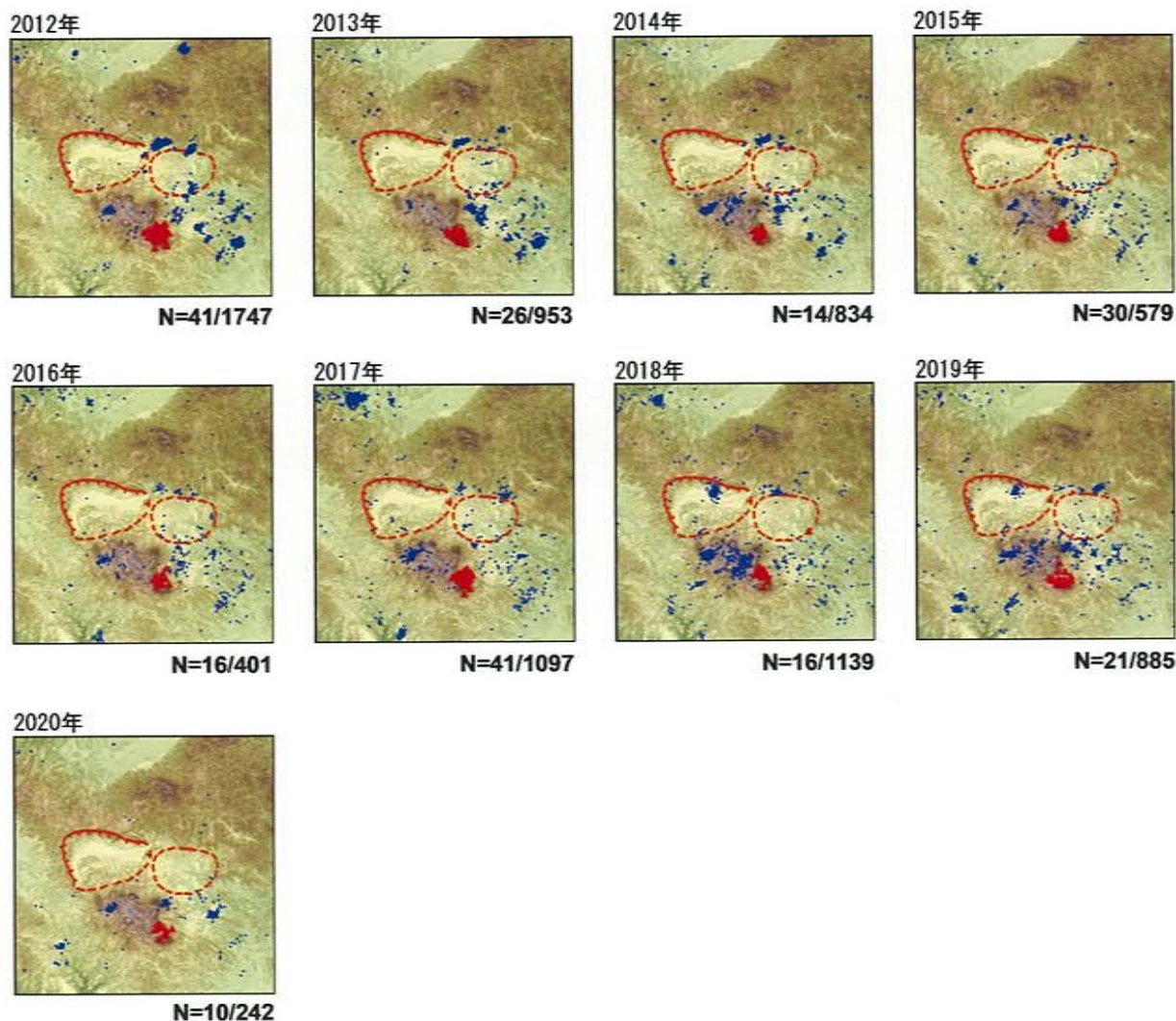
*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

② 加久藤・小林カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



② 加久藤・小林カルデラ [地震活動:2000年以降の地震発生数の推移]



通常地震(マグニチュード): ● M<3 ● 3≦M<4 ● 4≦M<5 ● 5≦M ▲ 低周波地震

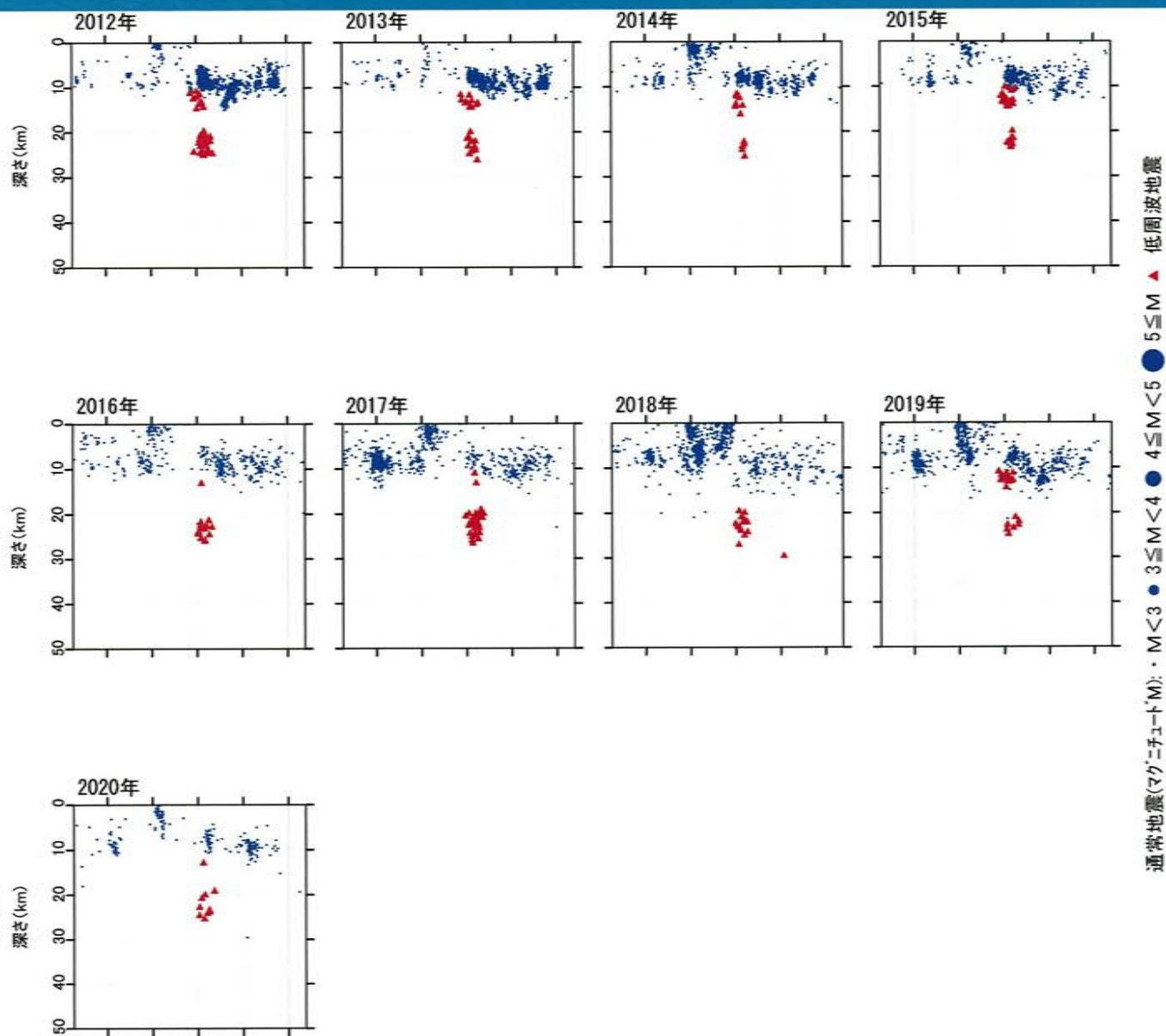
最近の主な噴火

- 2017年 10月11日～17日 小規模噴火
- 2018年 3月1日～ 小規模噴火
- 2018年 3月6日～ 爆発的噴火、溶岩蓄積・流出
- 2018年 3月25日 小規模火砕流発生
- 2018年 4月5日 小規模火砕流発生
- (6月28日以降、噴火は観測されていない;新燃岳)
- (4月27日以降、噴火は観測されていない;硫黄山)

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。
ただし、2020年は3月31日までのもの。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

② 加久藤・小林カルデラ [地震活動:2000年以降の地震発生数の推移]



② 加久藤・小林カルデラ [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 噴火は観測されていない。
- ・ 火山性地震は、2019年11月以降増減を繰り返しているが、2020年2月に入り増加する頻度が多くなっている。
- ・ 火山ガス放出量は少ない状態で経過している。
- ・ GNSS連続観測では、霧島山の深い場所でのマグマの蓄積を示すと考えられる基線の伸びは2019年2月以降停滞している。

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2019年度の基線長変化は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2018年12月に加久藤カルデラ内で発生した地震(M3.4)の余震が認められるものの、減少している。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。

加久藤・小林カルデラについては、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2019年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

余 白

③ 始良カルデラ [活火山に関する公的機関の評価概要]

○桜島（出典：火山活動解説資料 2019年 年報、火山活動解説資料 2020年3月）

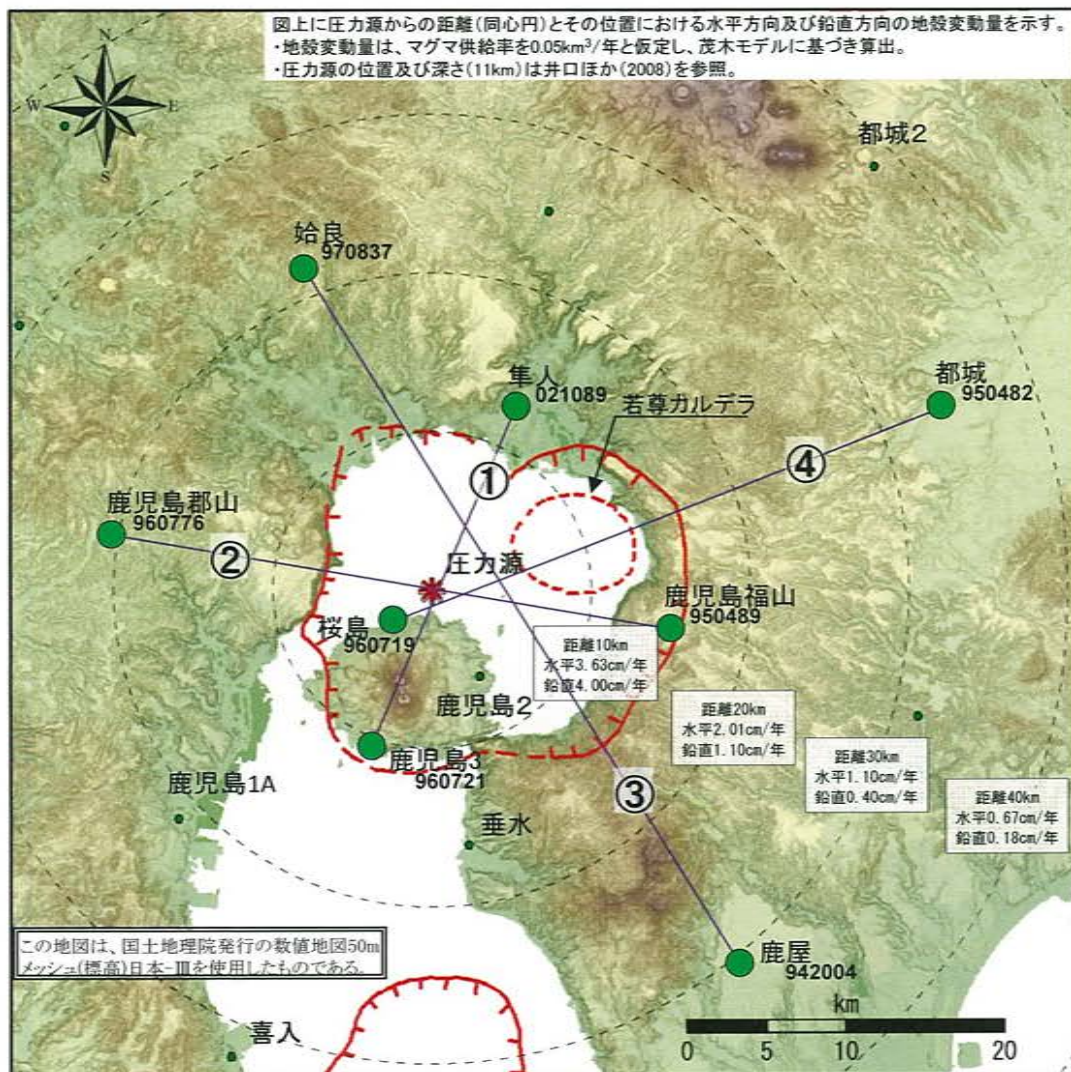
- ・南岳山頂火口では、噴火活動が2018年11月頃から1月頃にかけて活発となったが、その後はやや低下していた。9月以降は再び活発な状態となっている。年間で噴火が393回発生し、このうち爆発は228回でした。噴煙は最高で火口縁上5,500mまで上がった。弾道を描いて飛散する大きな噴石は最大で4合目（南岳山頂火口より1,300～1,700m）まで達した。また、同火口では高感度の監視カメラで火映を時々観測した。
- ・昭和火口では、噴火は観測されなかった。
- ・火山性地震の年回数は3,959回で、前年（2018年：3,811回）と同程度であった。震源は、主に南岳直下の深さ0～4km付近に分布し、時々桜島東部の深さ5～7km付近及び桜島南西部の深さ7～10km付近にも分布した。
- ・1日あたりの火山ガス（二酸化硫黄）の放出量は、9月以降多い状態で経過した。
- ・鹿児島県が実施している降灰の観測データから推定した桜島の火山灰月別噴出量は、噴火活動が活発となった9月以降、やや増加した。
- ・桜島島内の傾斜計及び伸縮計では、9月上旬頃から山体の隆起・膨張が観測されていたが、一部の傾斜計及び伸縮計では2020年3月頃から停滞している。
- ・GNSS連続観測では、桜島島内の基線で9月頃から山体膨張と考えられる変化が観測されている。広域のGNSS連続観測では、始良カルデラ（鹿児島湾奥部）の地下深部の膨張を示す一部の基線で、2019年9月以降わずかな伸びが認められており、始良カルデラ（鹿児島湾奥部）の地下深部では、長期にわたり供給されたマグマが蓄積した状態がみられている。

○若尊（出典：第145回 火山噴火予知連絡会資料）

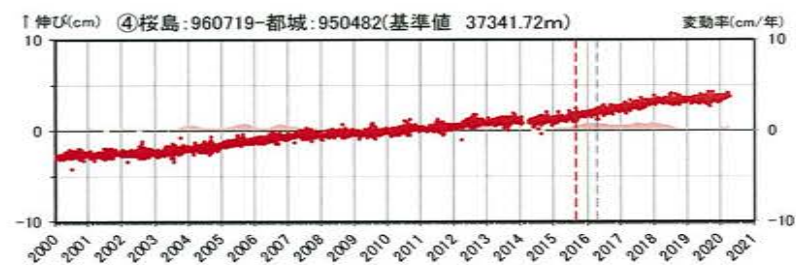
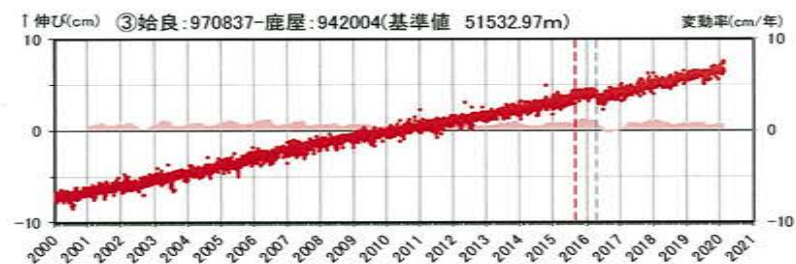
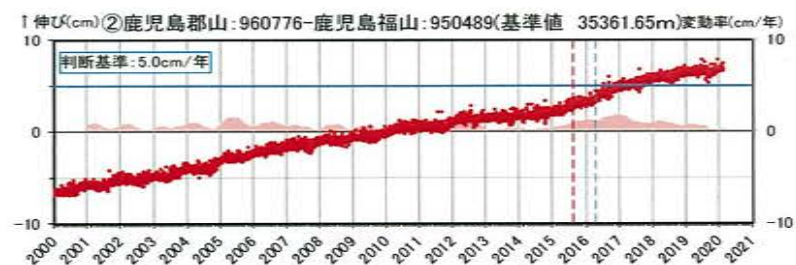
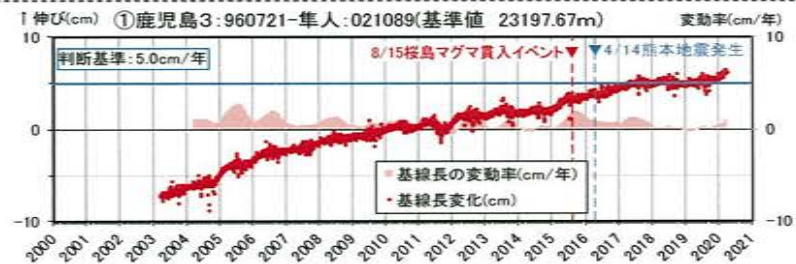
- ・若尊の周辺領域で時々地震が発生した。その他の火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候はみられない。

③ 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

- ・始良カルデラ周辺の基線で、マグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められるが、2019年度の基線長の変動率に有意な変化は認められない。
- ・基線①、②の変動率は、警戒監視の移行判断基準値(マグマ供給率 $0.05\text{km}^3/\text{年}$ ⇨ 基線長変動率 $5\text{cm}/\text{年}$)に達していない。
- ・なお、基線①、②の変動率から求めた、過去3年間のマグマ供給率は約 $0.01\text{km}^3/\text{年}$ であることから、監視レベルは「注意」を継続する。

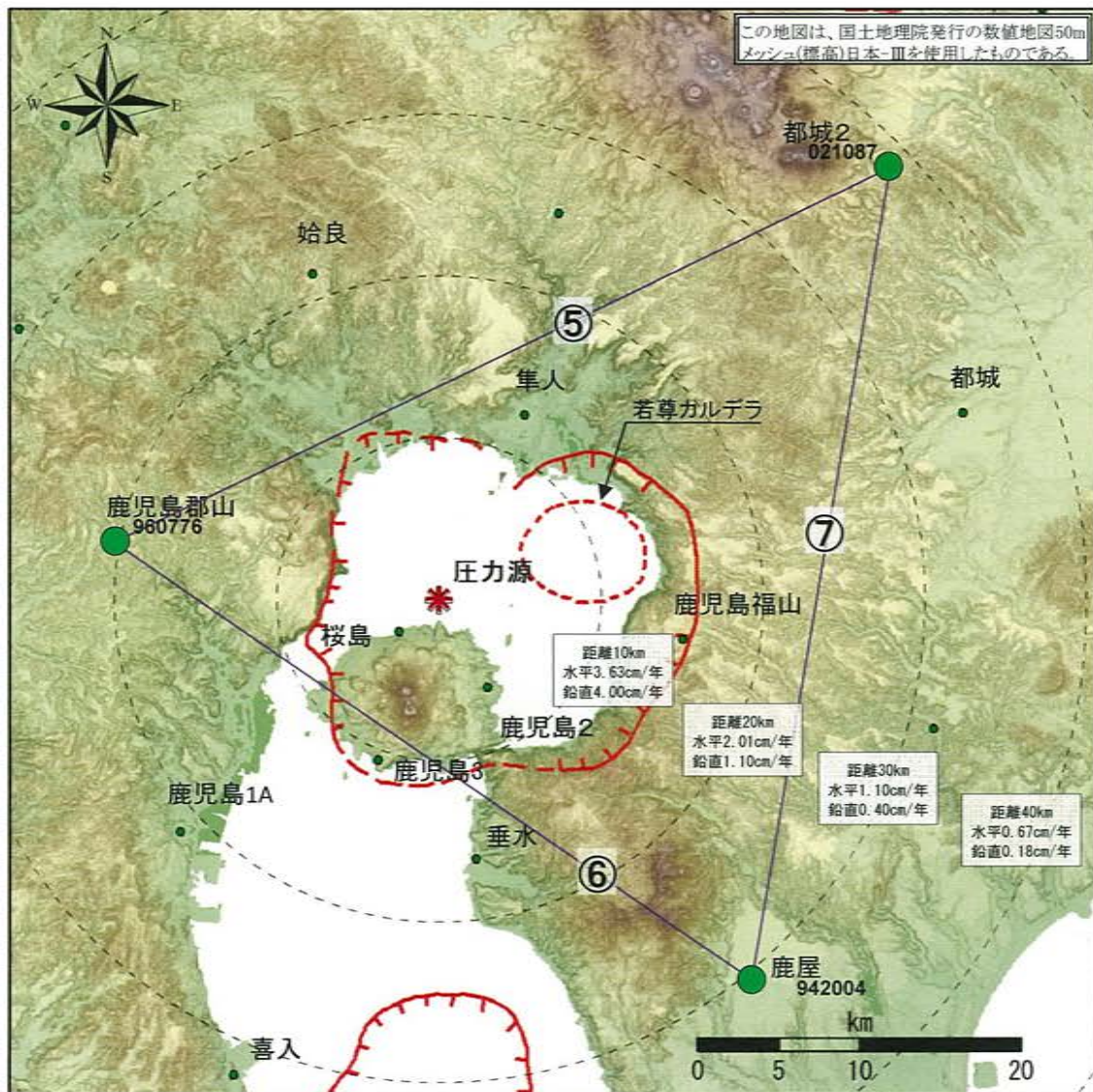


● 国土地理院のGNSS観測点 ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
 ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出 ※3 鹿児島郡山と始良の座標値は2020年2月14日以降未公開

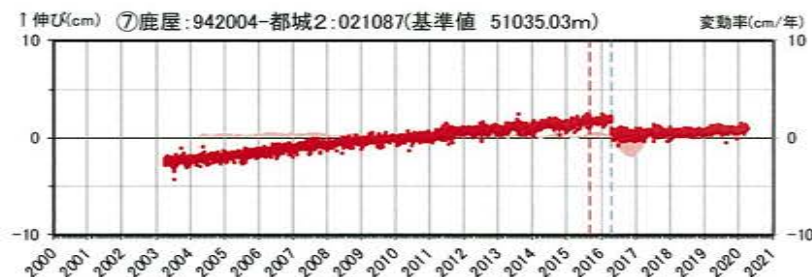
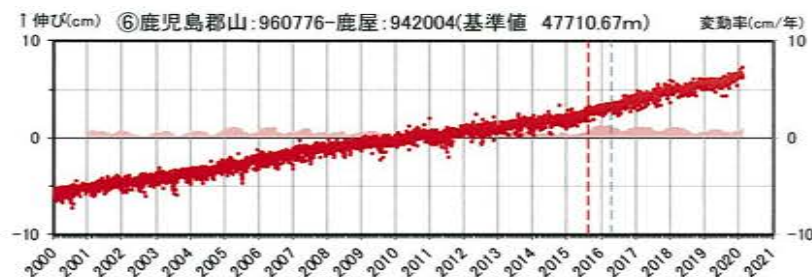
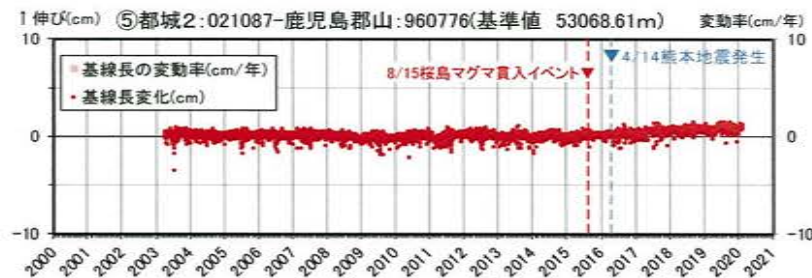


基線①～④の時系列変化

③ 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



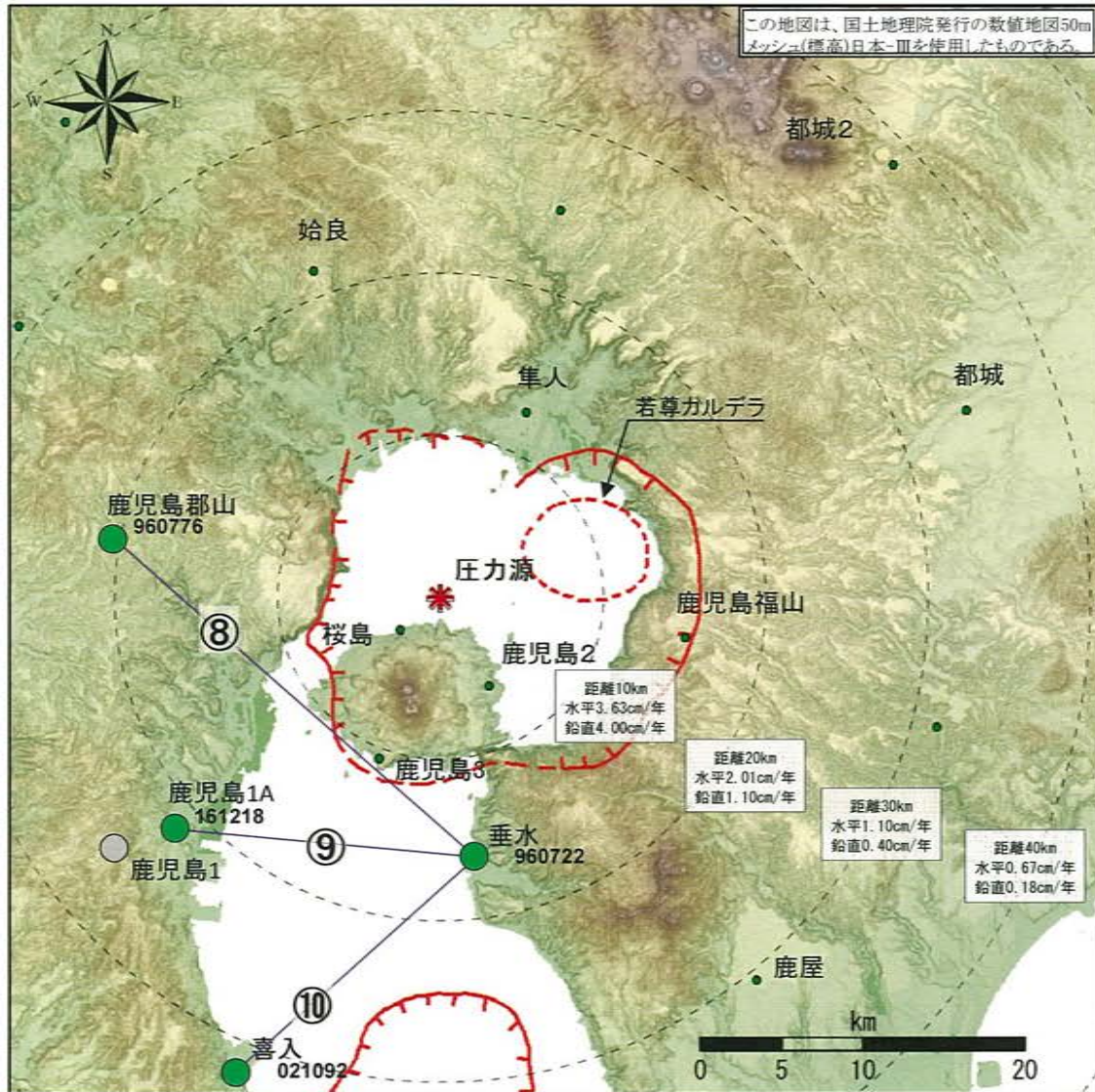
● 国土地理院のGNSS観測点



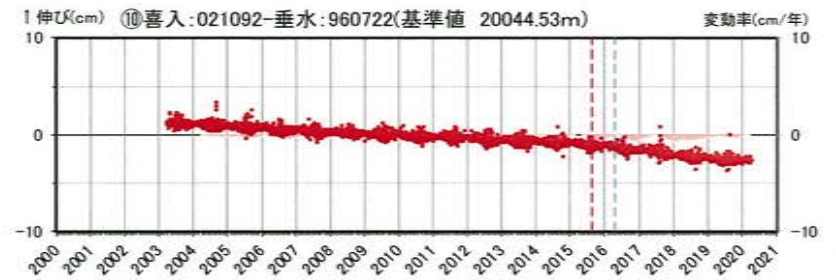
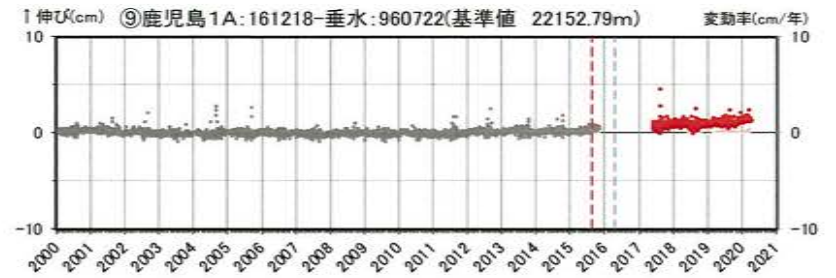
基線⑤～⑦の時系列変化

- ※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 鹿児島郡山の座標値は2020年2月14日以降未公開

③ 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



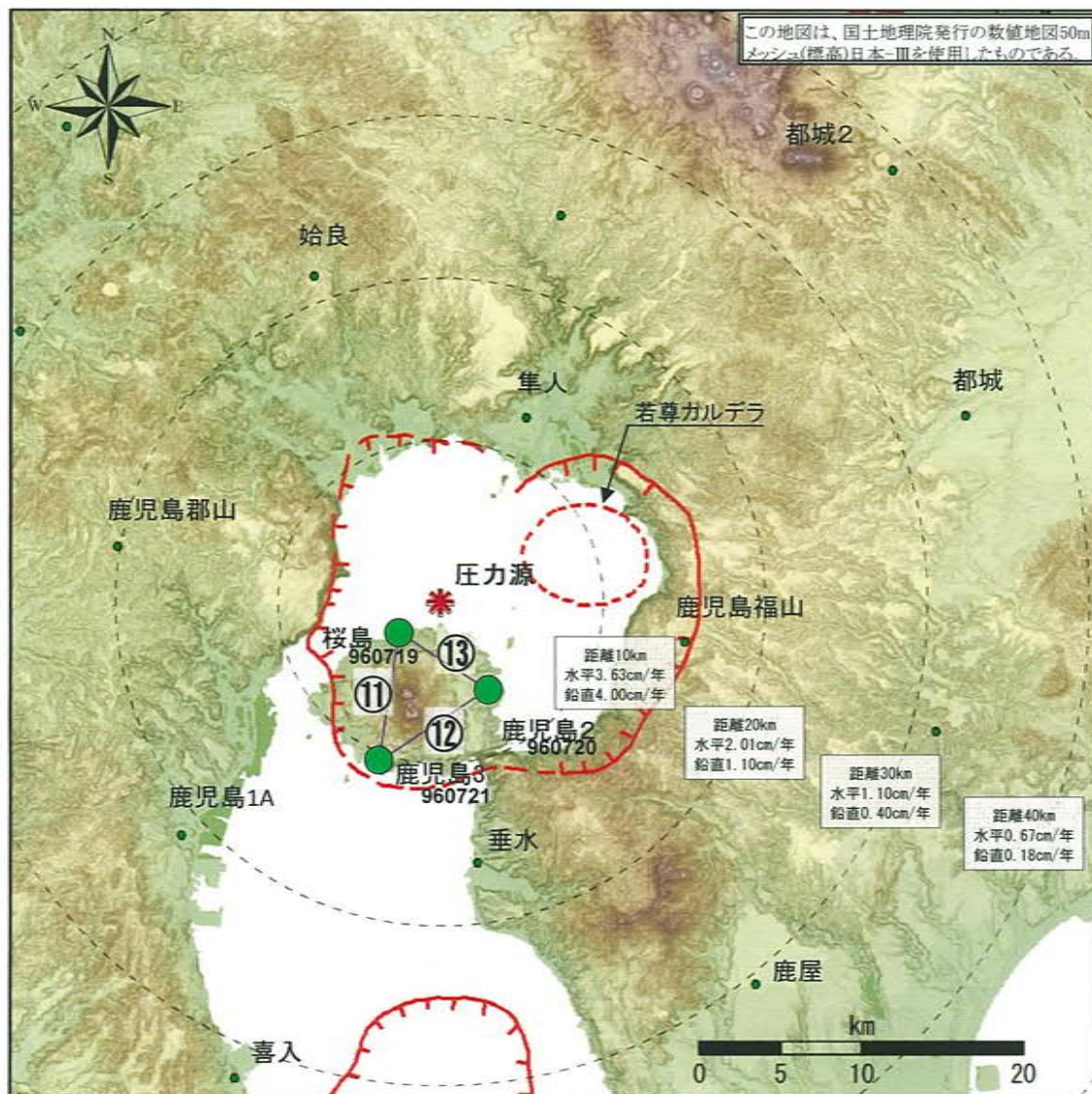
● 国土地理院のGNSS観測点



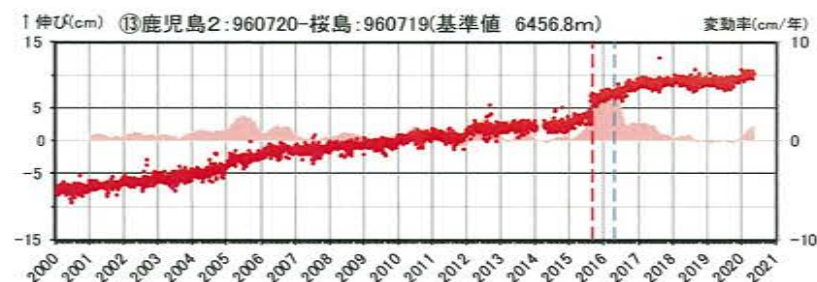
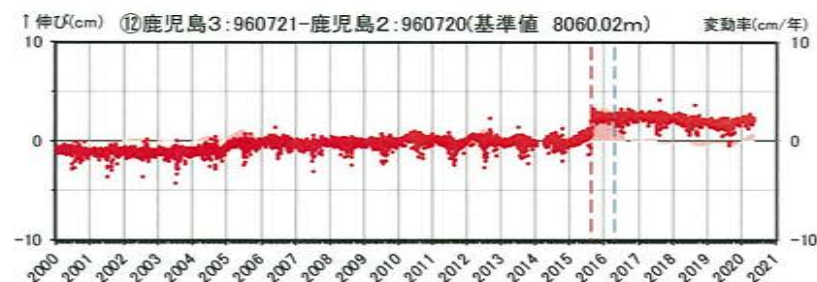
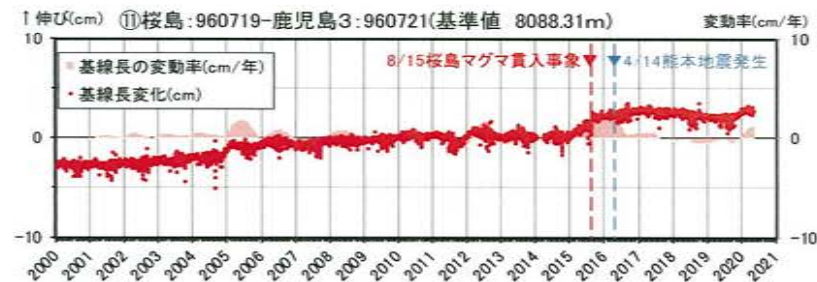
基線⑧~⑩の時系列変化

- ※1 鹿児島1地点については、観測設備の不具合により、2015年11月5日以降データが取得できない状態であったが、2017年5月23日以降、移設して鹿児島1Aとして観測を開始。2000年から2015年は鹿児島1-垂水の基線長変化の観測データ(灰色)。
- ※2 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
- ※3 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
- ※4 鹿児島郡山の座標値は2020年2月14日以降未公開

③ 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



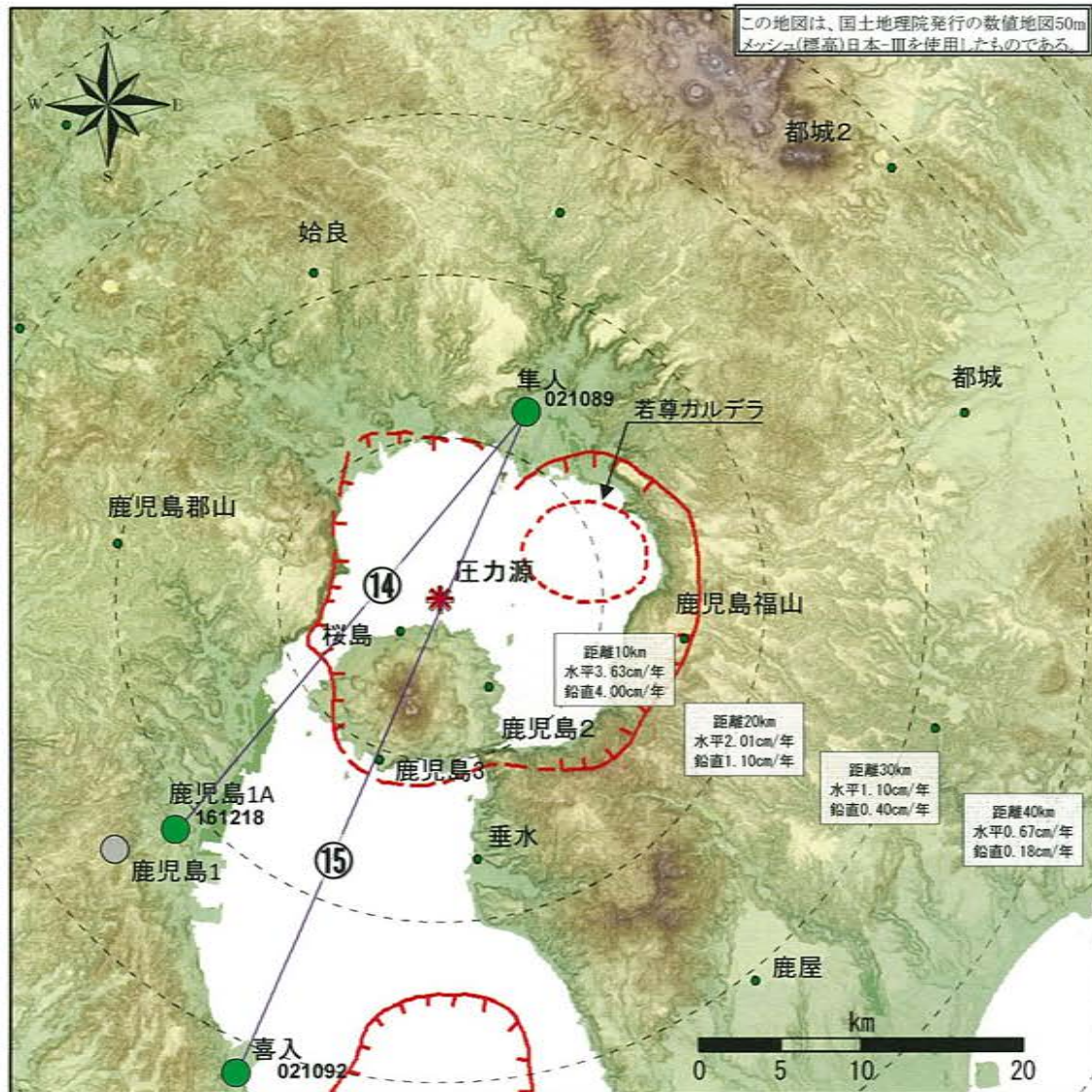
● 国土地理院のGNSS観測点



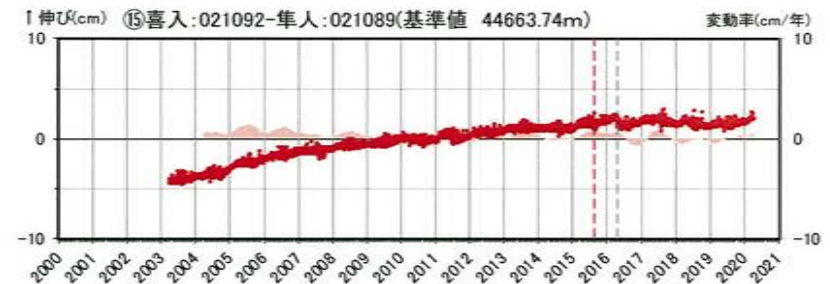
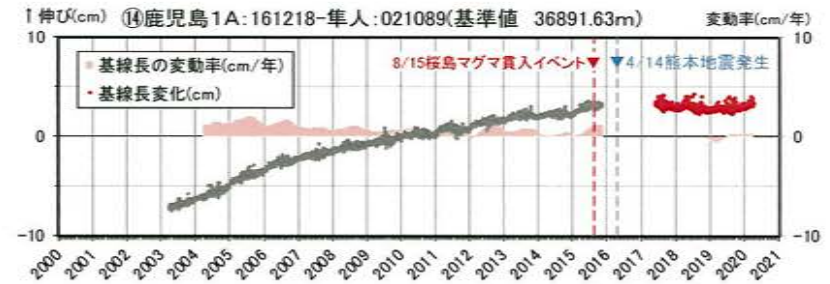
基線⑪～⑬の時系列変化

※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 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



● 国土地理院のGNSS観測点



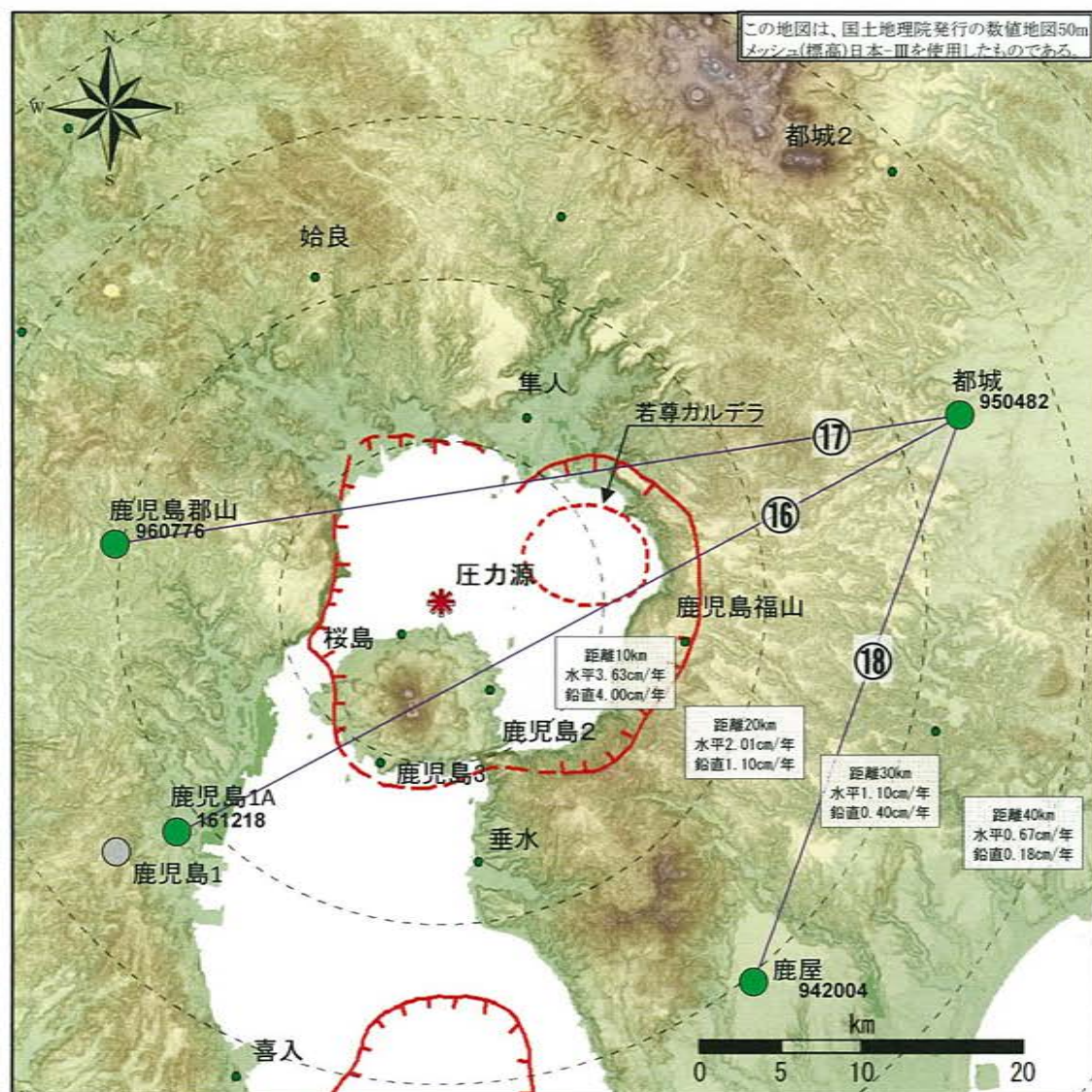
基線⑭～⑮の時系列変化

※1 鹿兒島1地点については、観測設備の不具合により、2015年11月5日以降データが取得できない状態であったが、2017年5月23日以降、移設して鹿兒島1Aとして観測を開始。2000年から2015年は鹿兒島1-垂水の基線長変化の観測データ(灰色)。

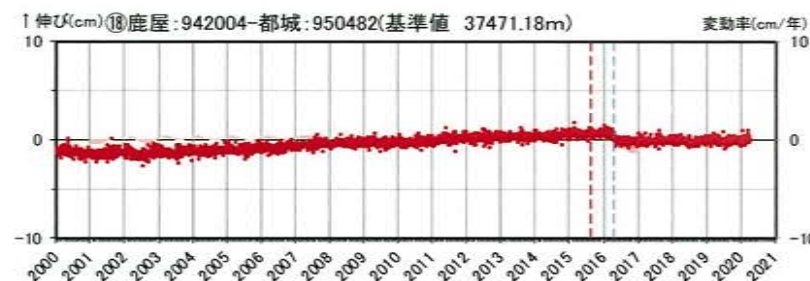
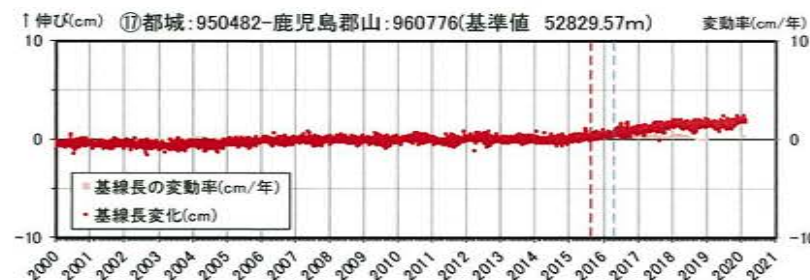
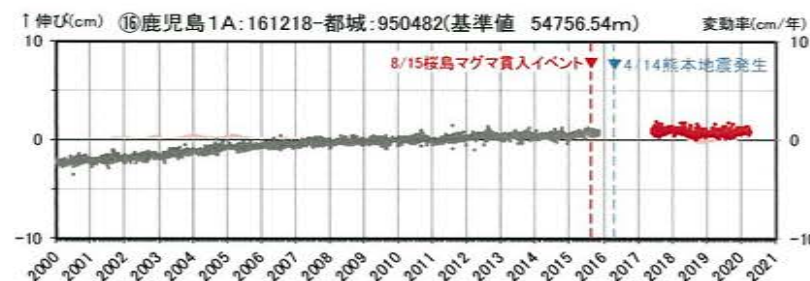
※2 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示

※3 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 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



● 国土地理院のGNSS観測点

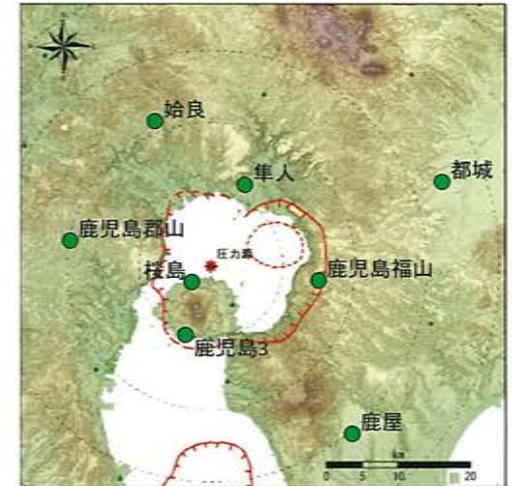
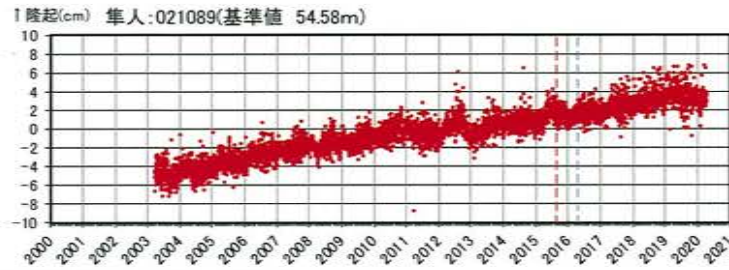
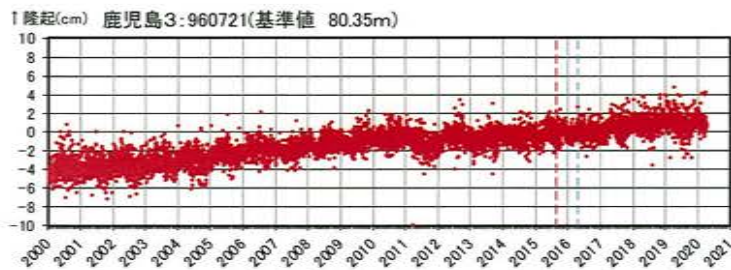
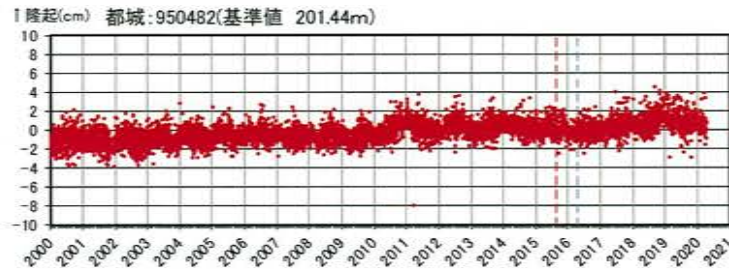
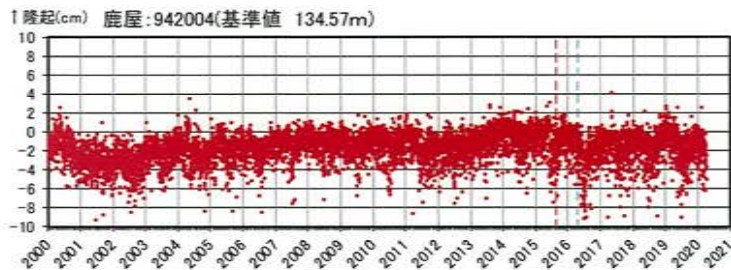
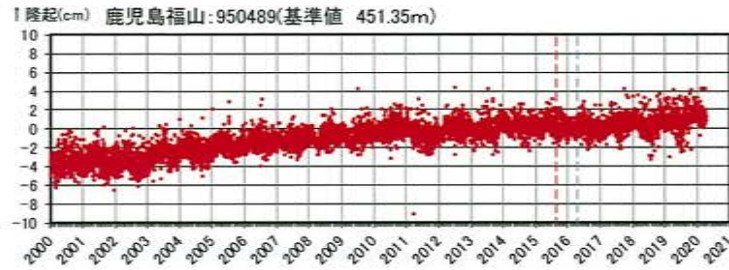
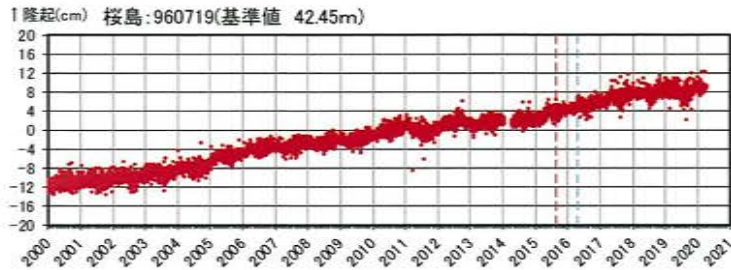
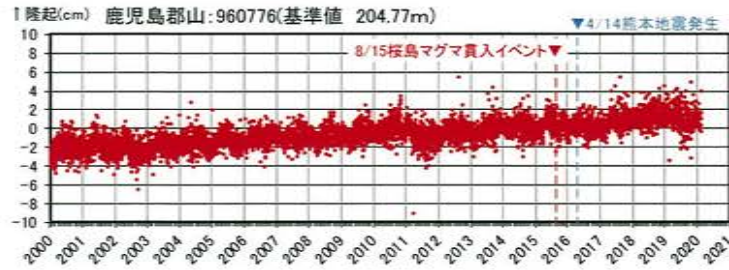
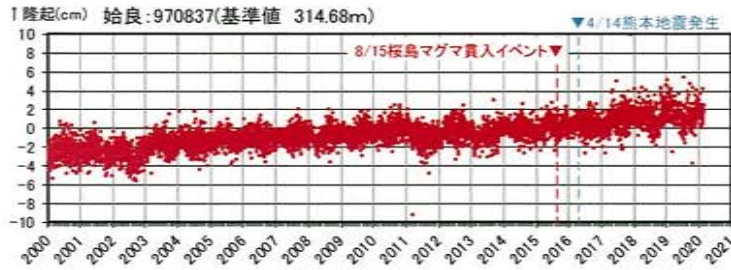


基線①⑥～①⑧の時系列変化

- ※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 鹿児島郡山の座標値は2020年2月14日以降未公開

③ 始良カルデラ [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

・2019年度の鉛直変動は、始良カルデラ周辺の多くの点でマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向が認められるが、過去と比較して有意な変化は認められない。

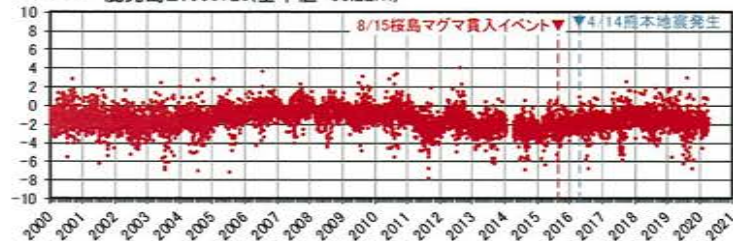


※1 上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである
 ※2 鹿児島郡山と始良の座標値は2020年2月14日以降未公開

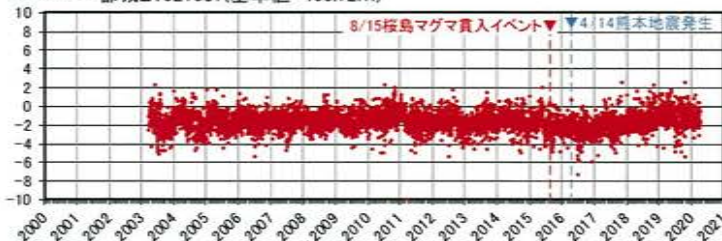
2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

③ 始良カルデラ [地殻変動:各観測点の鉛直変動]

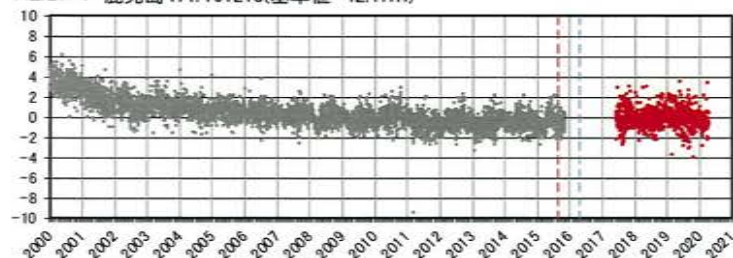
↑ 隆起(cm) 鹿児島2:960720(基準値 66.22m)



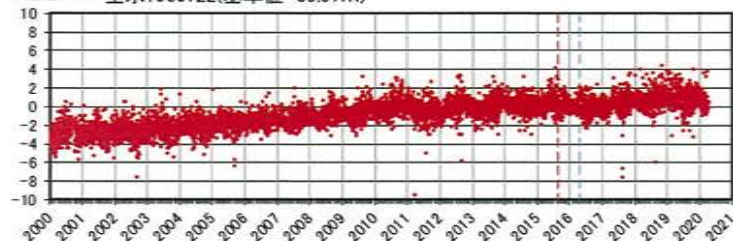
↑ 隆起(cm) 都城2:021087(基準値 400.72m)



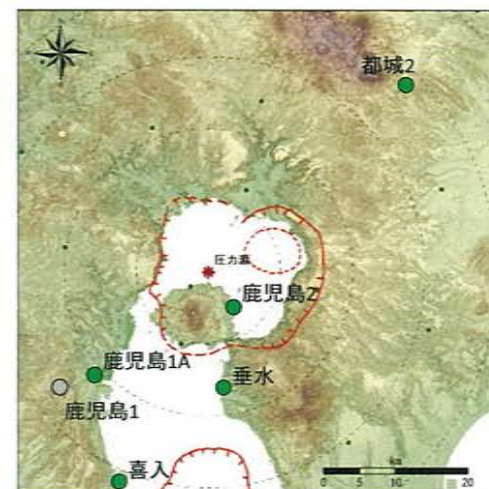
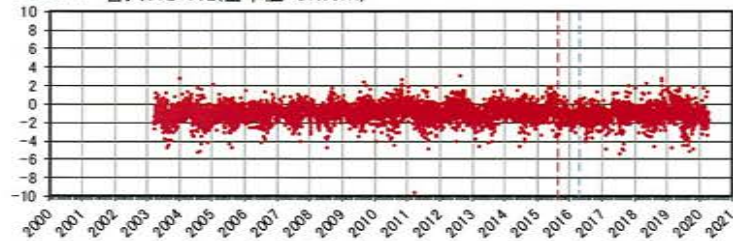
↑ 隆起(cm) 鹿児島1A:161218(基準値 42.47m)



↑ 隆起(cm) 垂水:960722(基準値 39.97m)



↑ 隆起(cm) 喜入:021092(基準値 87.09m)



- ※1 鹿児島1地点については、観測設備の不具合により、2015年11月5日以降データが取得できない状態であったが、2017年5月23日以降、移設して鹿児島1Aとして観測を開始。2000年から2015年は鹿児島1の観測データ(灰色)。鹿児島1Aの基準値は観測期間の平均値
- ※2 上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

③ 始良カルデラ [監視レベルの移行判断基準と監視体制]

監視体制の移行基準値(0.05km³/年)を始良カルデラに適用した場合、水平方向の地殻変動の変動率はKozono et al., 2013の式から5cm/年に相当する(圧力源上を通る2測線から算出)。

供給率と水平変位量との関係式(Kozono et al., 2013)

$$\Delta V_G = \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{d} u_z$$

$$= \frac{\pi}{1-\nu} \frac{(r^2 + d^2)^{3/2}}{r} u_r$$

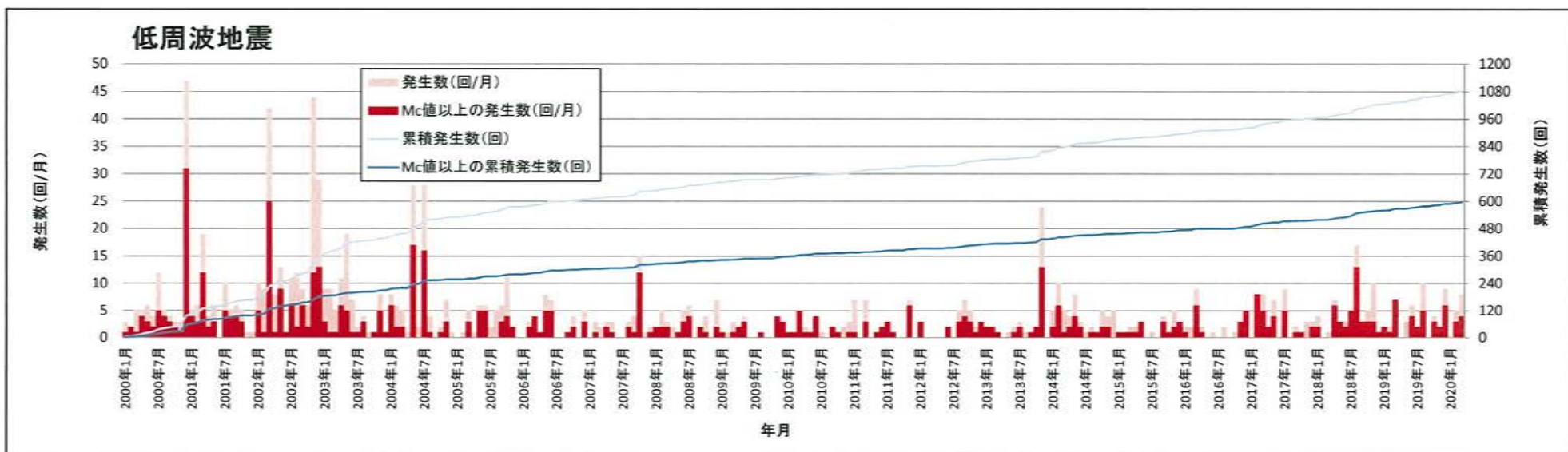
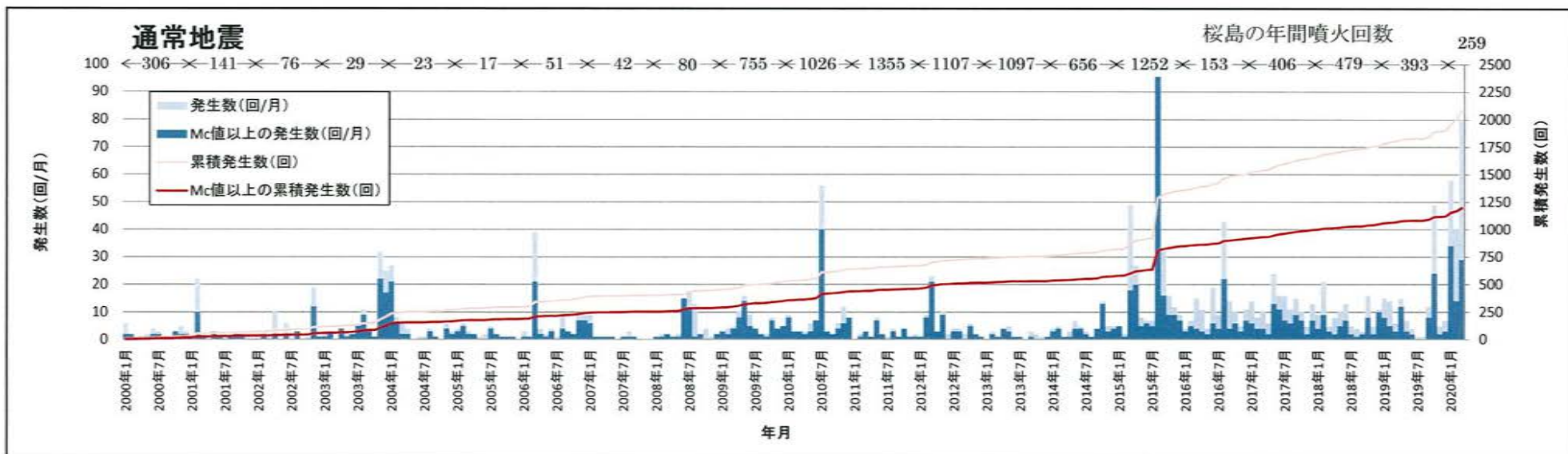
$$= \frac{\pi}{3(1-\nu)} \frac{(r^2 + d^2)^{5/2}}{rd} \frac{\partial u_z}{\partial r}$$



項目	単位	観測点				備考	
		鹿児島3 ↔ 隼人	鹿児島福山 ↔ 鹿児島郡山				
入力値	ΔV_G 体積変化 (マグマ供給率)	km ³ /年	0.05				Druitt et al. (2012) を参照
	ν ポアソン比	-	0.25				江頭ほか (1997) を参照
	r 圧力源から観測点までの水平投影距離	km	10.6	12.6	15.2	20.1	井口ほか (2008) を参照
	d 圧力源の深さ	km	11.0				井口ほか (2013) を参照
出力値	Ur	各地点	3.5	3.2	2.7	2.0	
	-	地殻変動の変動率	6.8		4.7		
	-	平均 (2つの基線長)	5.7 (≒5.0が移行判断基準値)				

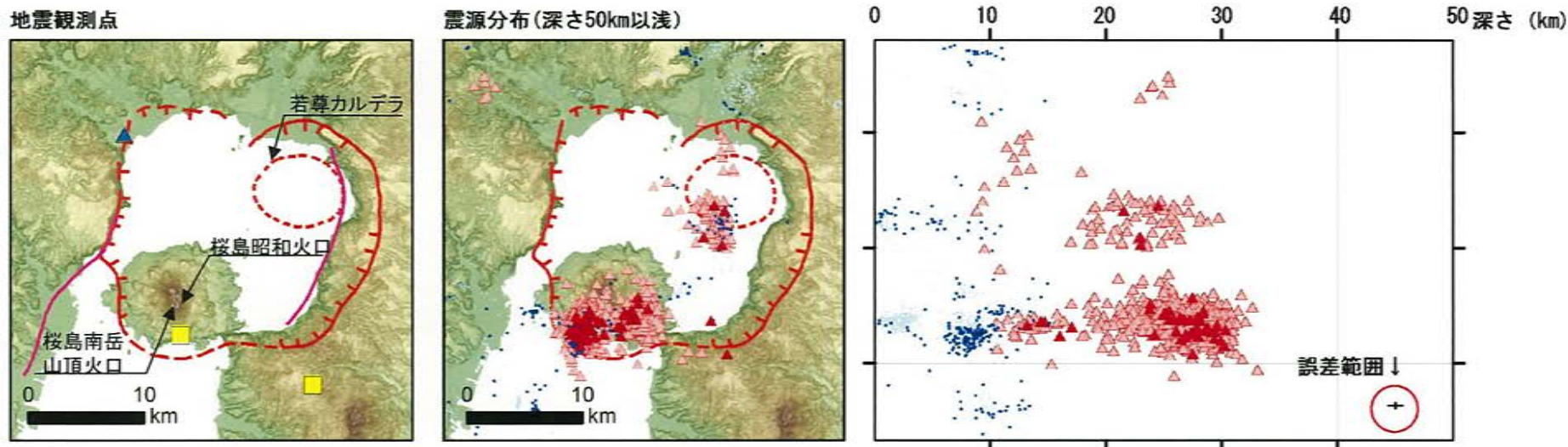
③ 始良カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

- ・ 2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2020年3月に桜島南西部で多くの地震が認められた。過去にも、同様の地震が発生しているものの、今後の地震活動に留意していく。

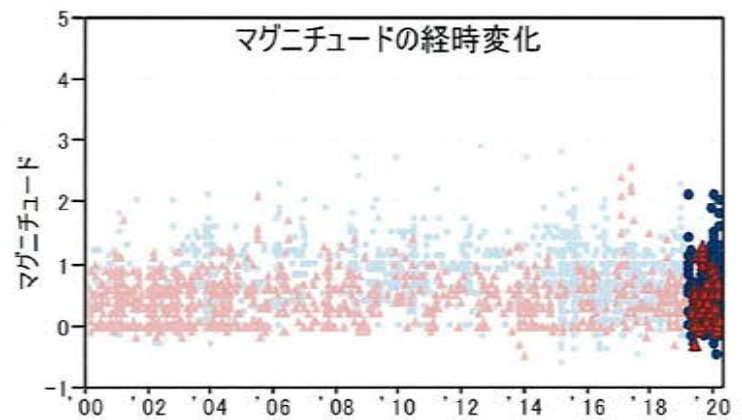
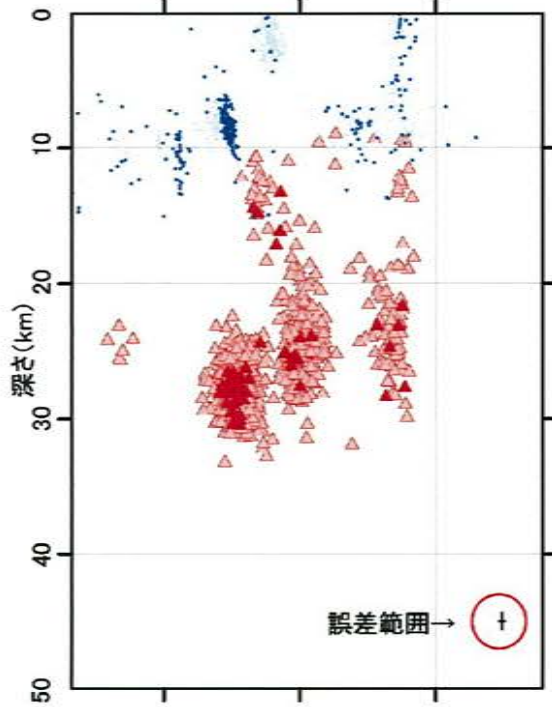


[Mc値(2000~2019年データ使用)] 通常地震: 0.6 低周波地震: 0.4

③ 始良カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]



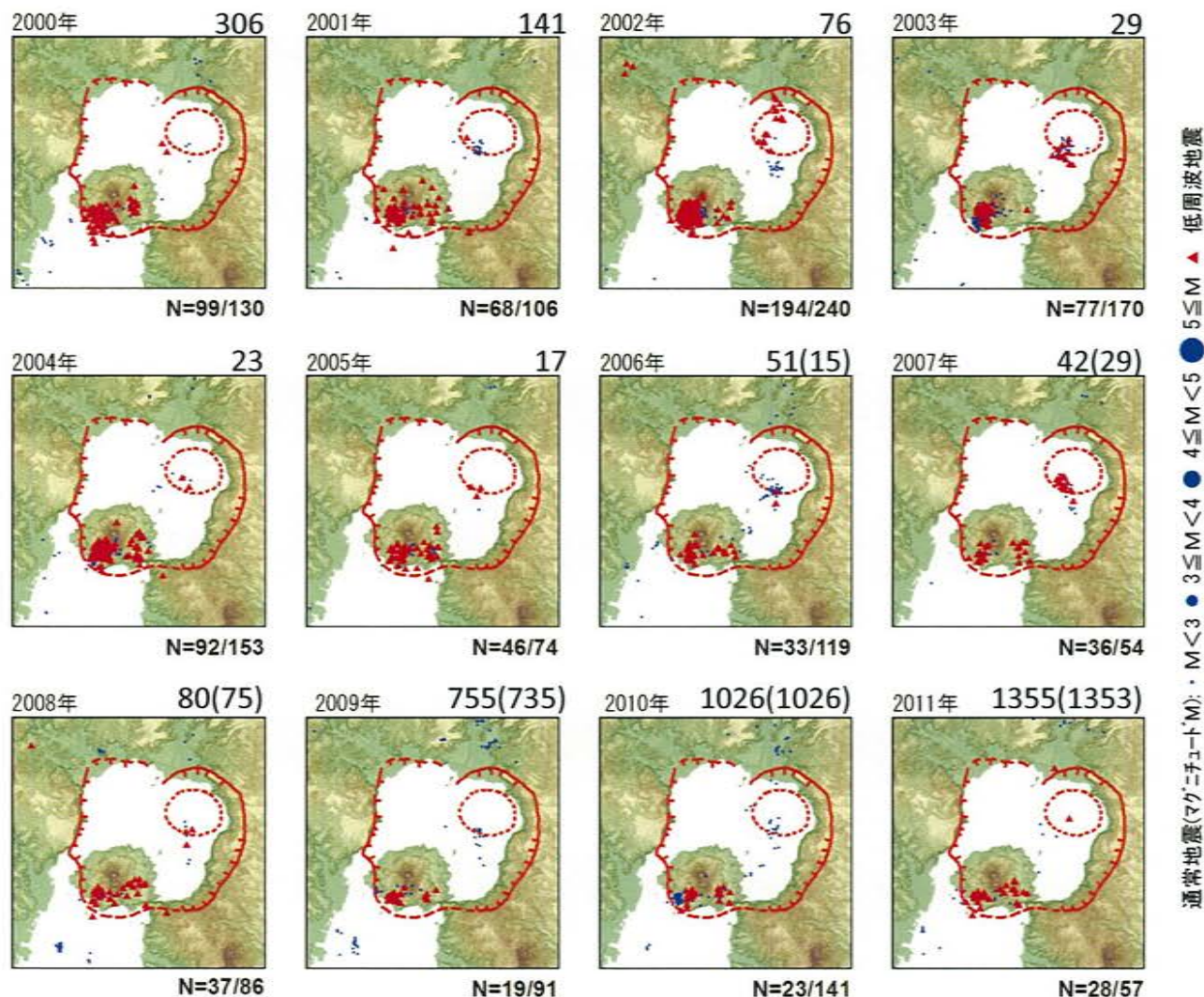
- 凡 例**
- 地震観測点**
- 大学
 - 気象庁
 - ▲ 防災科学技術研究所
- 震 源**
- (2019年4月以降は右のシンボル)
- 通常地震(マグニチュードM $M < 3$)
 - $3 \leq M < 4$
 - $4 \leq M < 5$
 - $5 \leq M$
 - ▲ 低周波地震
- 活断層**
- 地震調査研究推進本部による



*震源は2000年以降をプロット。2019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(2019年4月1日現在)

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

③ 始良カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



最近の主な噴火

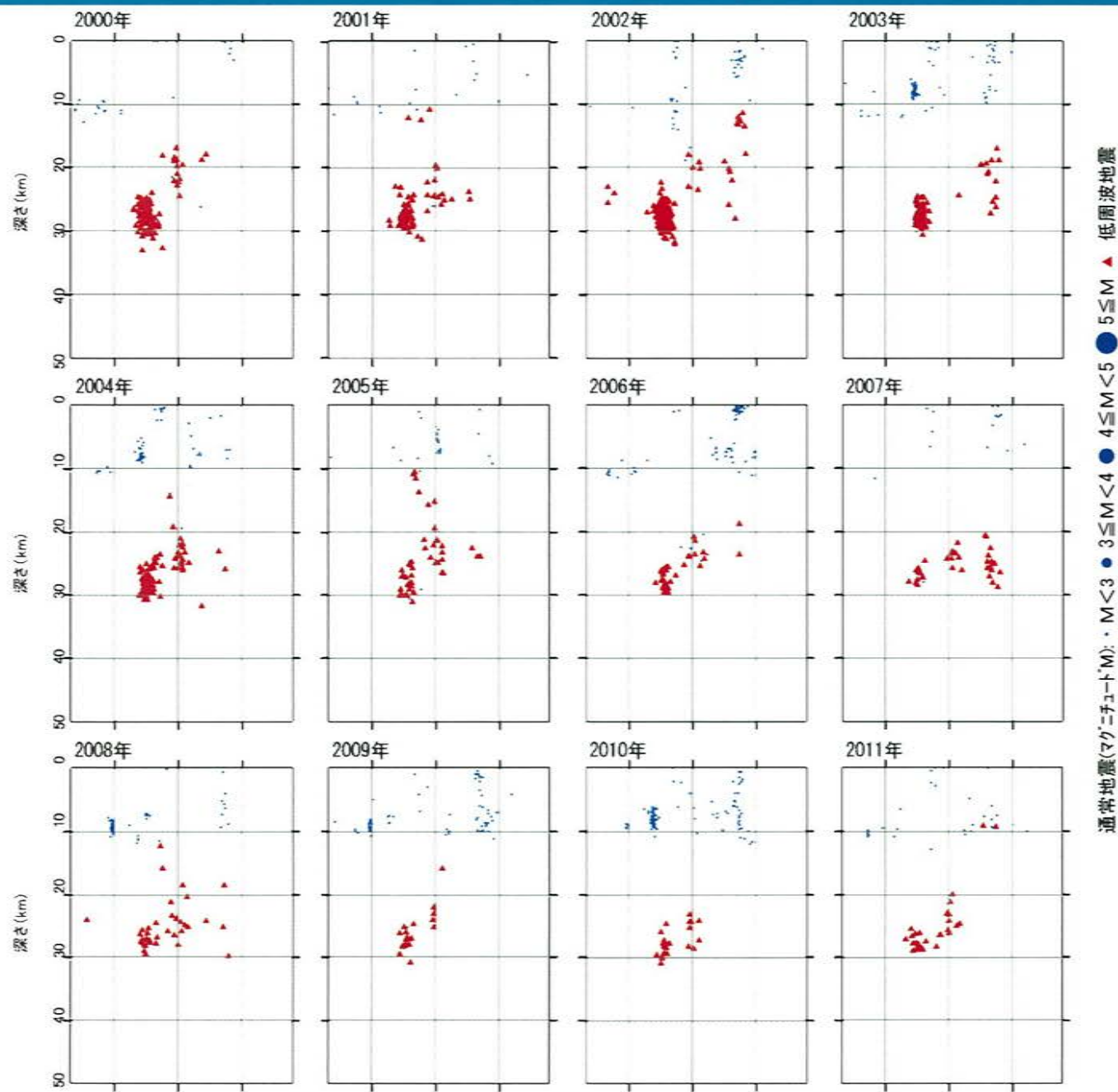
1955年以降、噴火(ブルカノ式噴火、連続噴火)が継続している。噴火は南岳山頂で発生していたが、2006年以降昭和火口でも噴火が発生するようになった。2009年以降は噴火回数がやや多い状態が継続した。

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

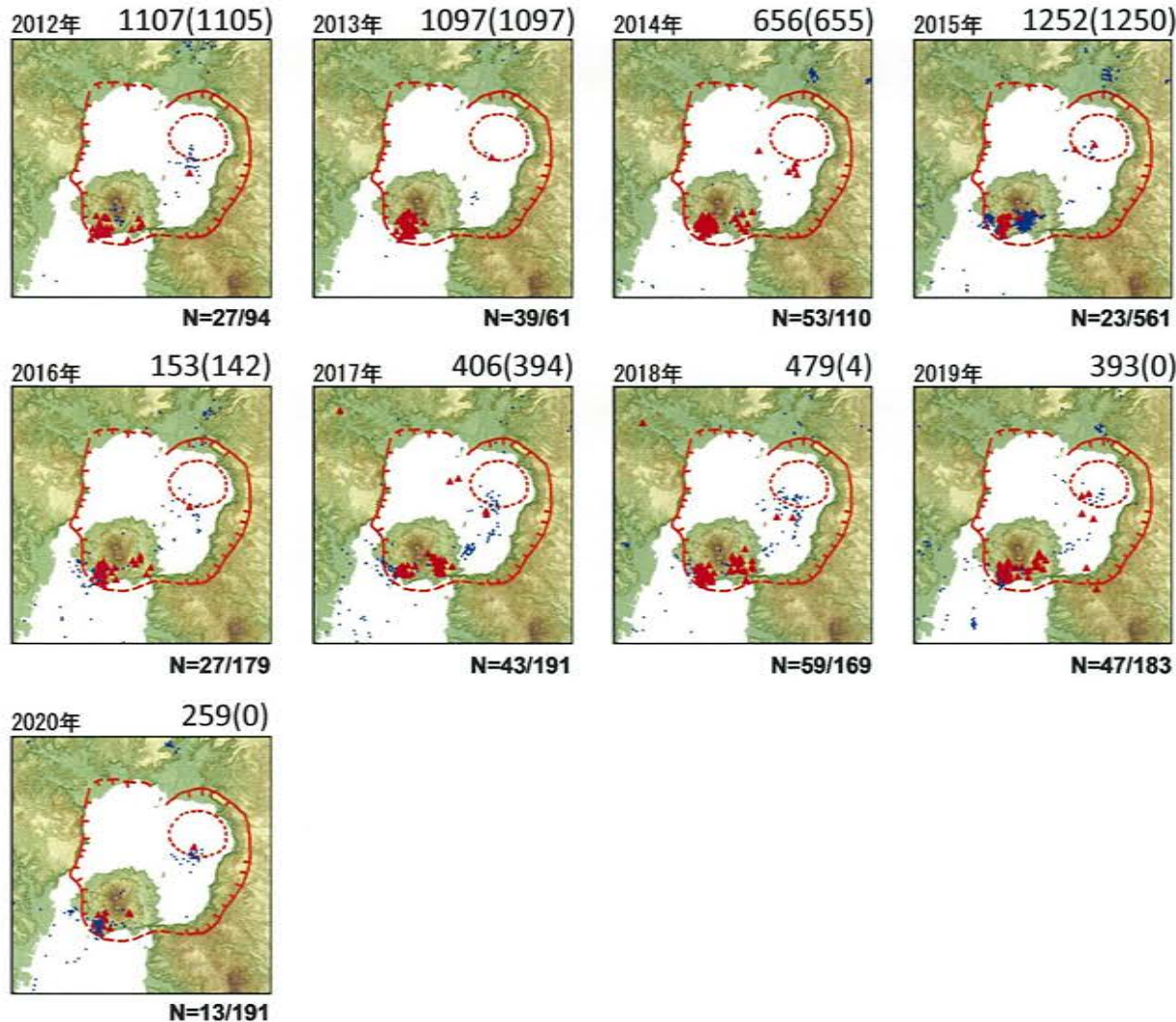
**各図の右上の数値は桜島の噴火回数、カッコ内は昭和火口における噴火回数。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

③ 始良カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



③ 始良カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



低周波地震
5 ≤ M ▲
● 5 ≤ M
● 4 ≤ M < 5
● 3 ≤ M < 4
● M < 3
通常地震(マグニチュードM)

最近の主な噴火

- ・2009年以降は噴火回数がやや多い状態が継続していたが、2015年9月29日以降は、南岳山頂火口も含めて噴火は観測されていない。
- ・2016年2月以降は爆発的噴火や小規模な噴火が時々発生した。
- ・南岳山頂火口では2018年3月以降噴火が継続している。一方、昭和火口では2019年には噴火は観測されていない。

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

ただし、2020年は3月31日までのもの。

**各図の右上の数値は桜島の噴火回数、カッコ内は昭和火口における噴火回数。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

③ 始良カルデラ [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 南岳山頂火口の噴火活動は活発な状態となっている。
- ・ 火山性地震の年回数は前年と同程度であった。
- ・ 火山ガス放出量は多い状態で経過している。
- ・ 広域のGNSS 連続観測では、始良カルデラ(鹿児島湾奥部)の地下深部の膨張を示す一部の基線で、2019年9月以降わずかな伸びが認められており、始良カルデラ(鹿児島湾奥部)の地下深部では、長期にわたり供給されたマグマが蓄積した状態がみられている。

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2019年度の基線長の変動率は、これまでと同様にマグマ供給を示唆する変動が認められるものの、監視体制の移行判断基準(0.05km³/年≒5cm/年)を十分下回っている。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2020年3月に桜島南西部で多くの地震が認められた。過去にも、同様の地震が発生しているものの、今後の地震活動に留意していく。

始良カルデラについては、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、これまでと同様にマグマ供給を示唆する変動が認められるものの、2019年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

監視体制は、マグマ供給を示唆する変動が引き続き認められることから、現状の注意時体制を継続する。

余 白

④ 阿多カルデラ [活火山に関する公的機関の評価概要]

○開聞岳（出典：第145回 火山噴火予知連絡会資料）

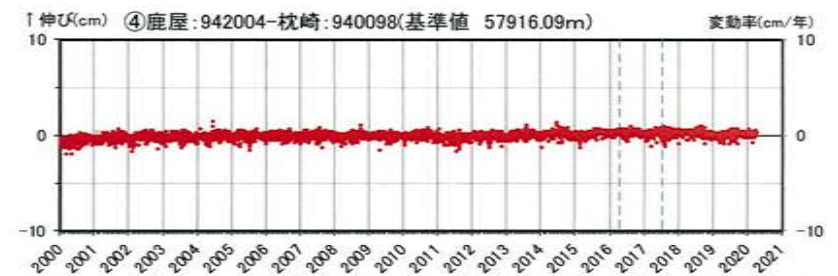
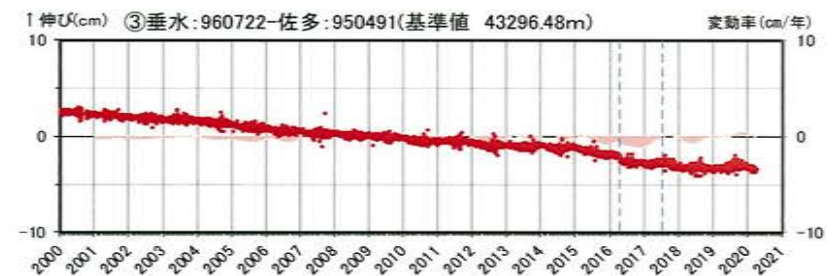
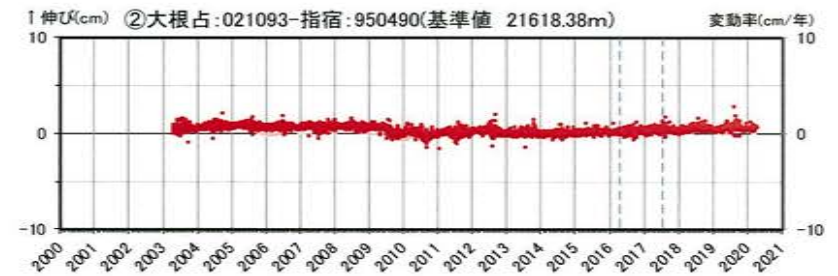
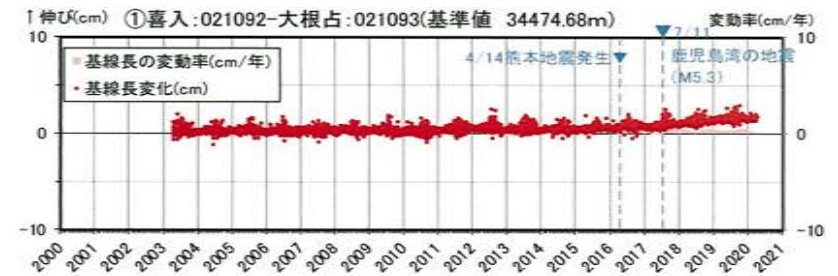
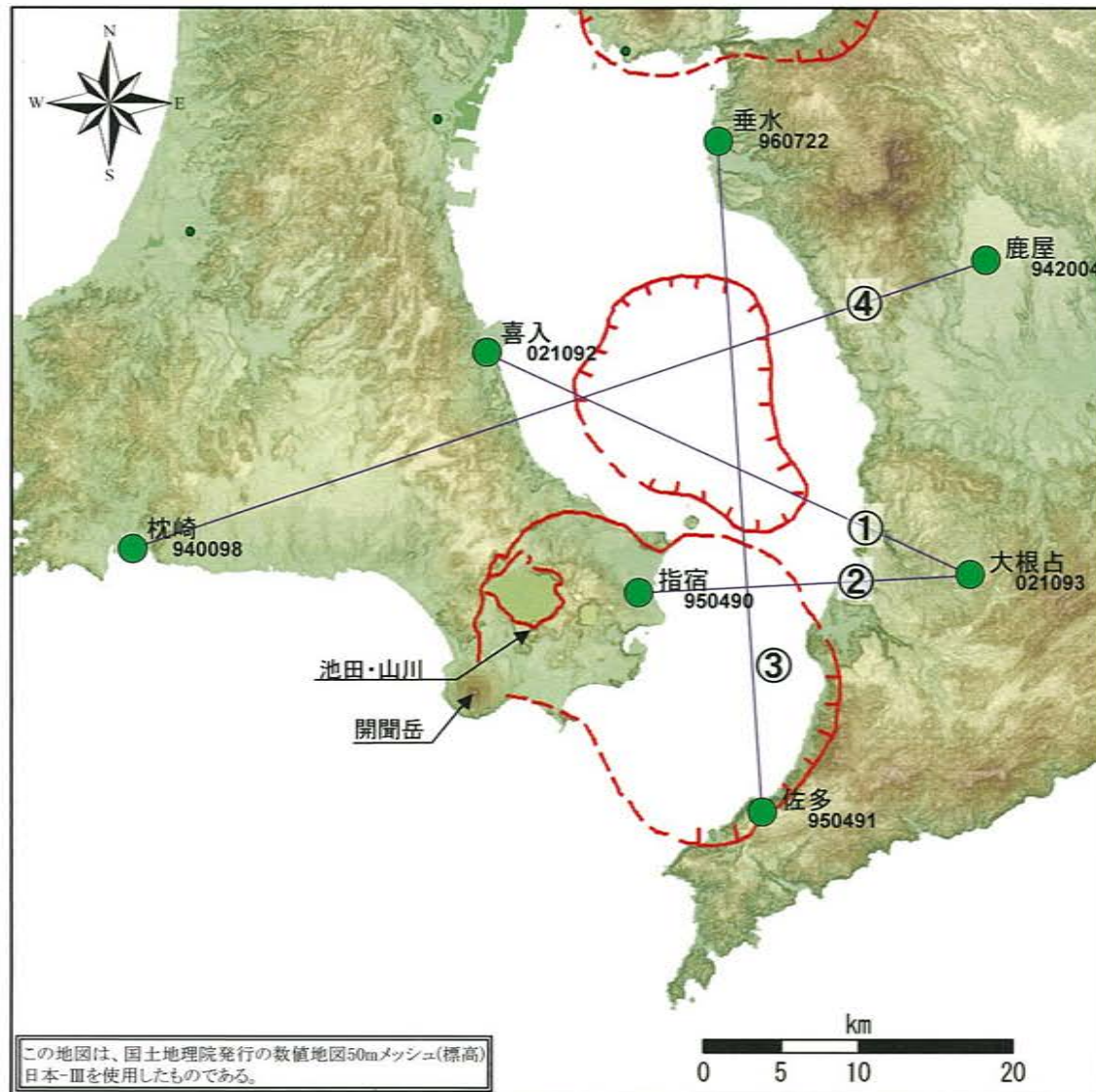
- ・火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候はみられない。

○池田・山川（出典：第145回 火山噴火予知連絡会資料）

- ・火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候はみられない。

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

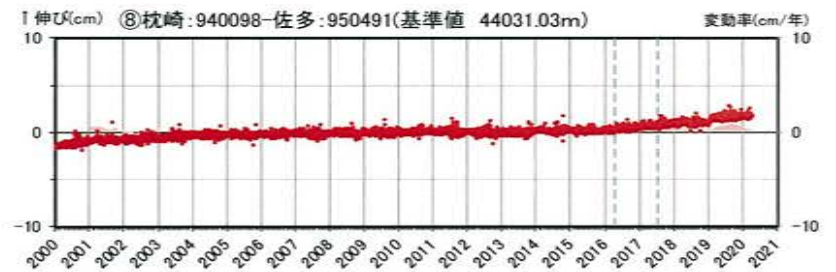
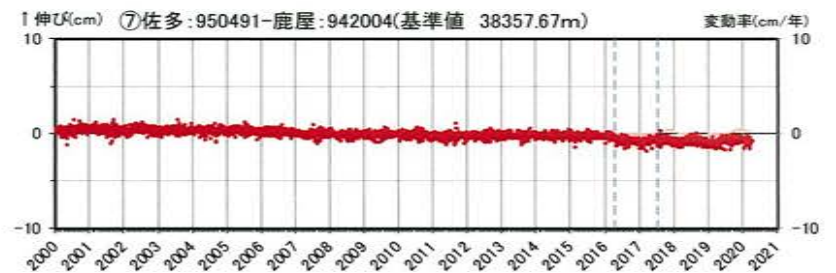
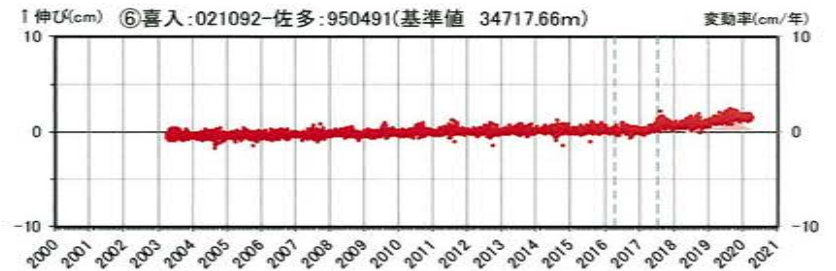
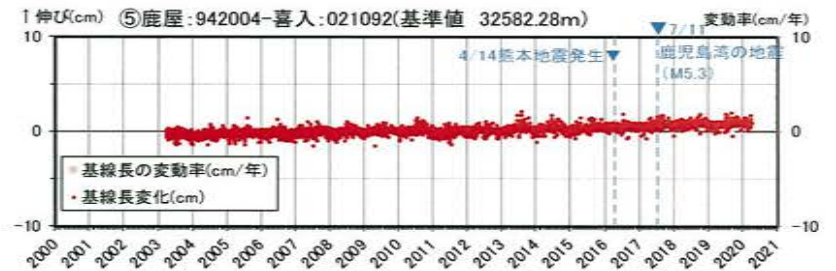
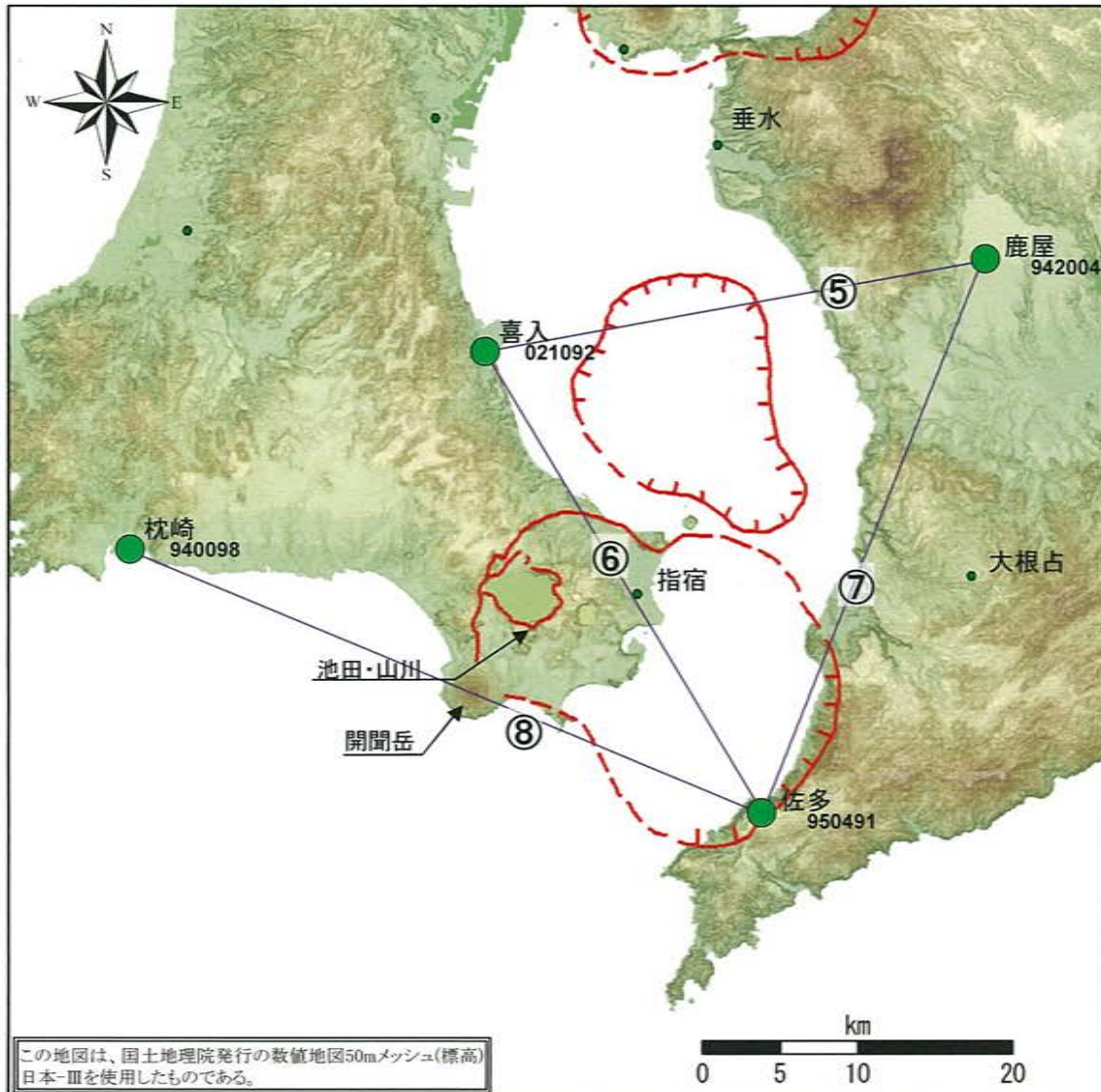
・ 2019年度の基線長変化は、阿多カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。



基線①～④の時系列変化

※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

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

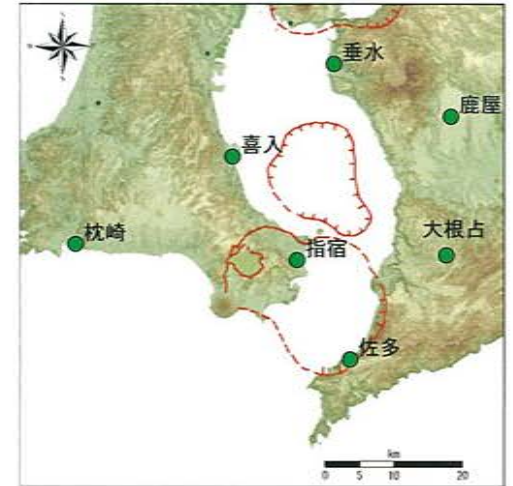
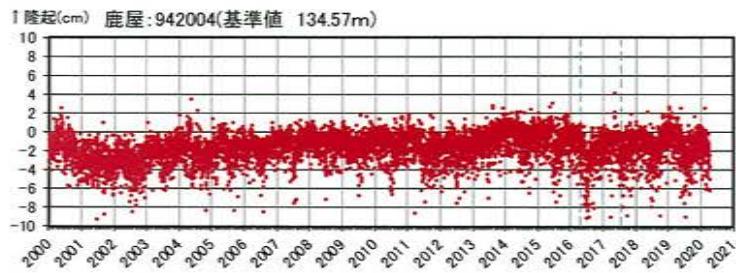
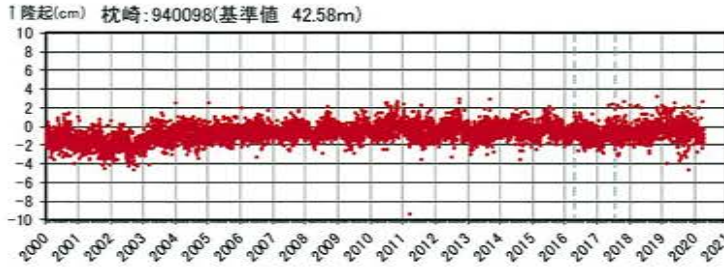
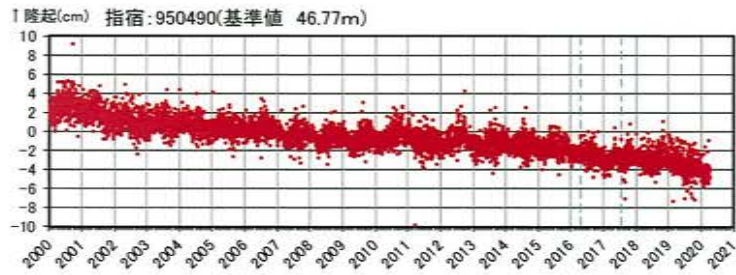
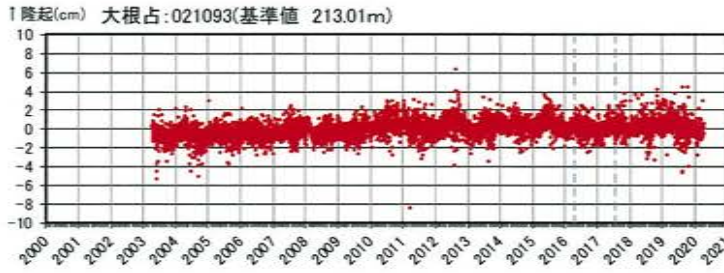
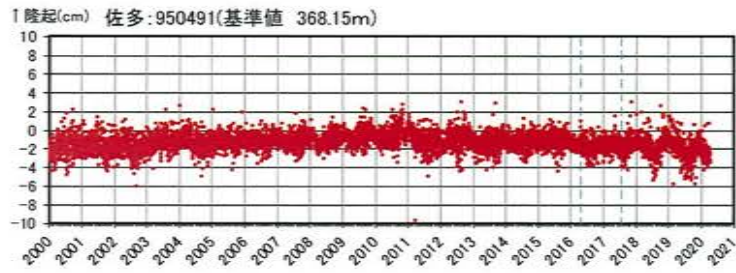
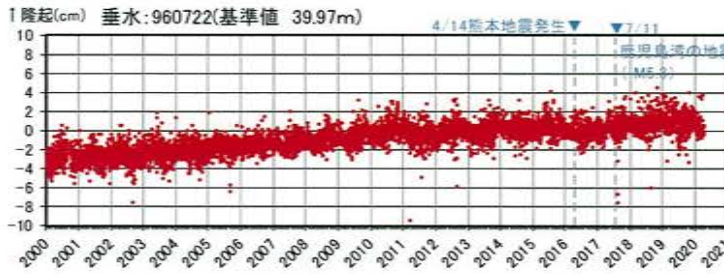
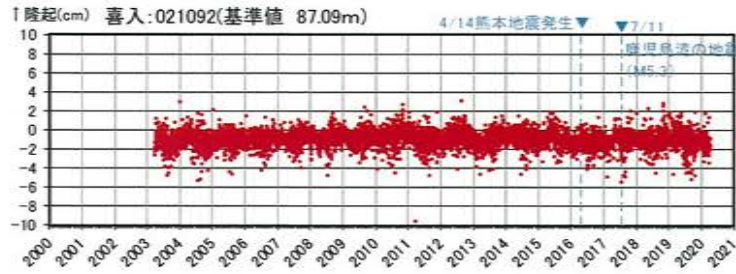


基線⑤～⑧の時系列変化

※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

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

・ 2019年度の鉛直変動は、阿多カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向は認められない。

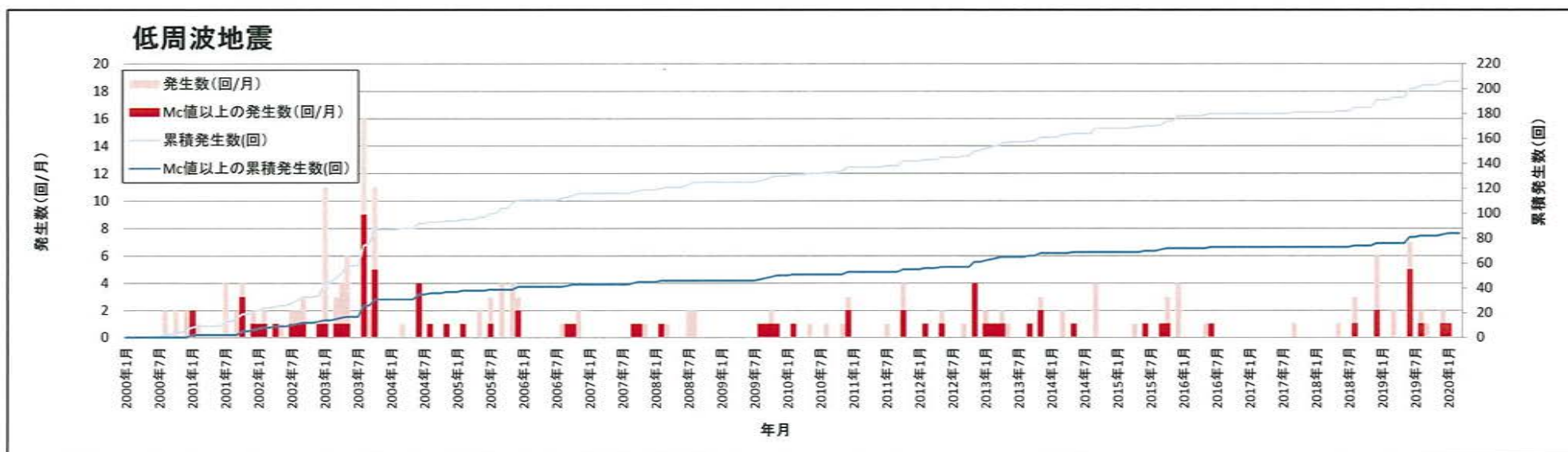
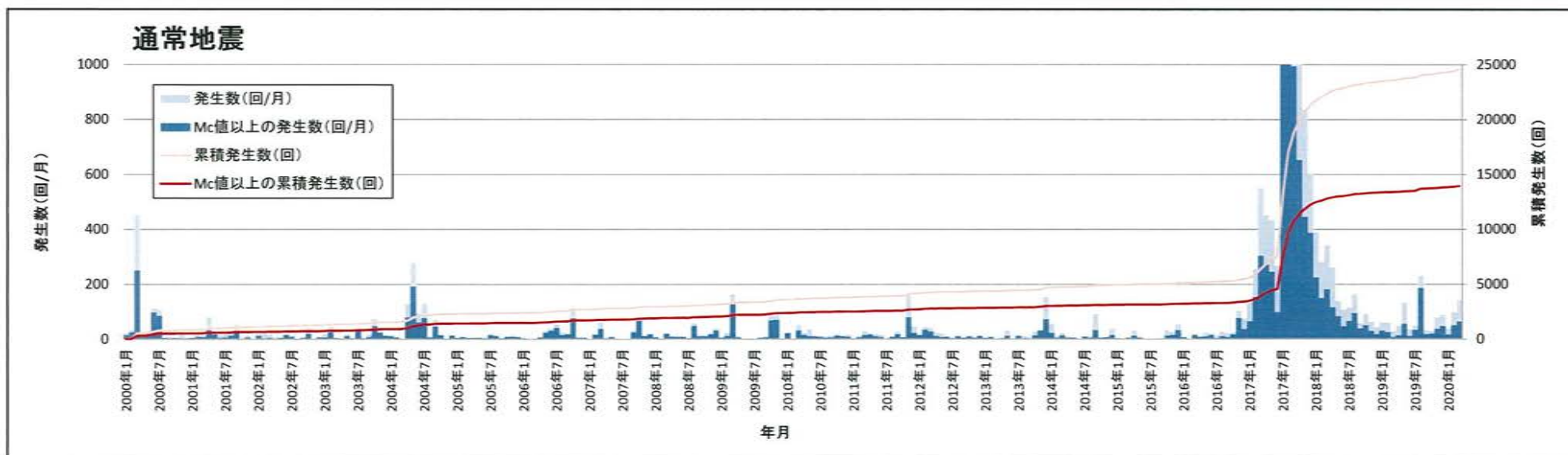


※上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

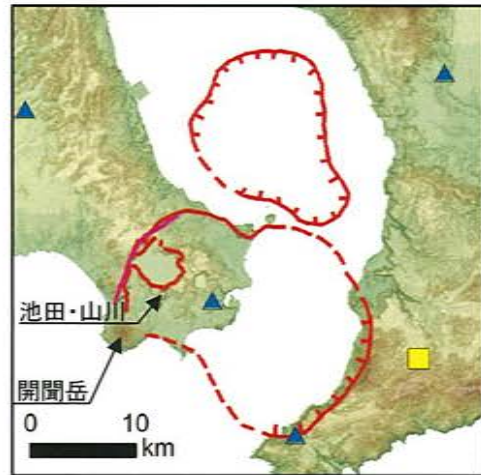
- ・ 2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2019年8月に南側のカルデラで多くの地震が発生したものの、その後は減少している。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。



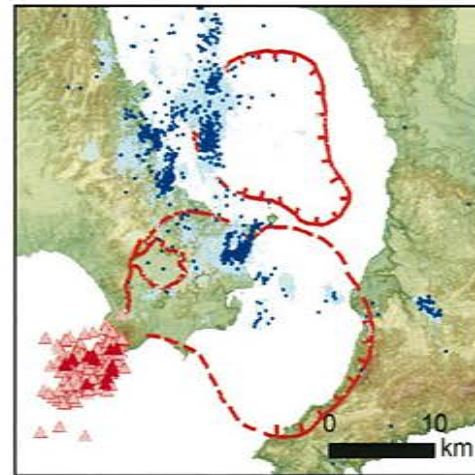
[Mc値(2000~2019年データ使用)] 通常地震 : 0.6 低周波地震 : 0.9

④ 阿多カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

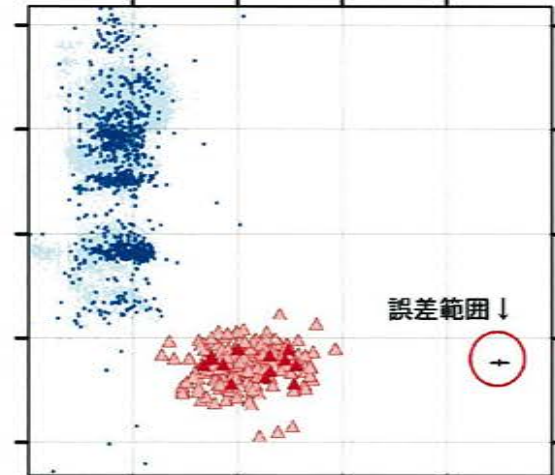
地震観測点



震源分布 (深さ50km以浅)



0 10 20 30 40 50 深さ (km)



凡 例

地震観測点

- 大学
- 気象庁
- 防災科学技術研究所

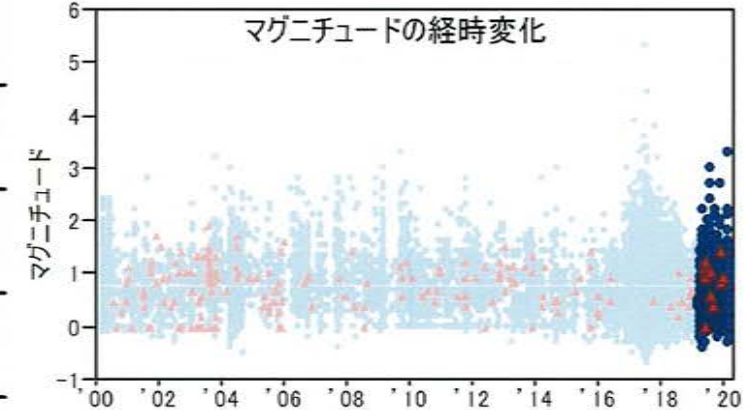
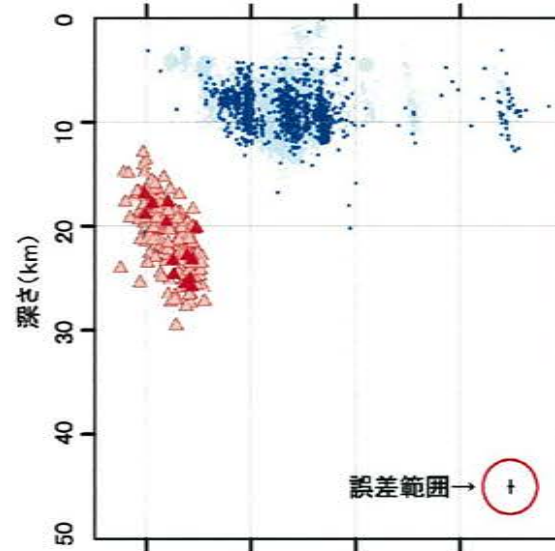
震 源

(2019年4月以降は右のシンボル)

- 通常地震(マグニチュードM) M<3
- 3 ≤ M < 4
- 4 ≤ M < 5
- 5 ≤ M
- 低周波地震

活断層

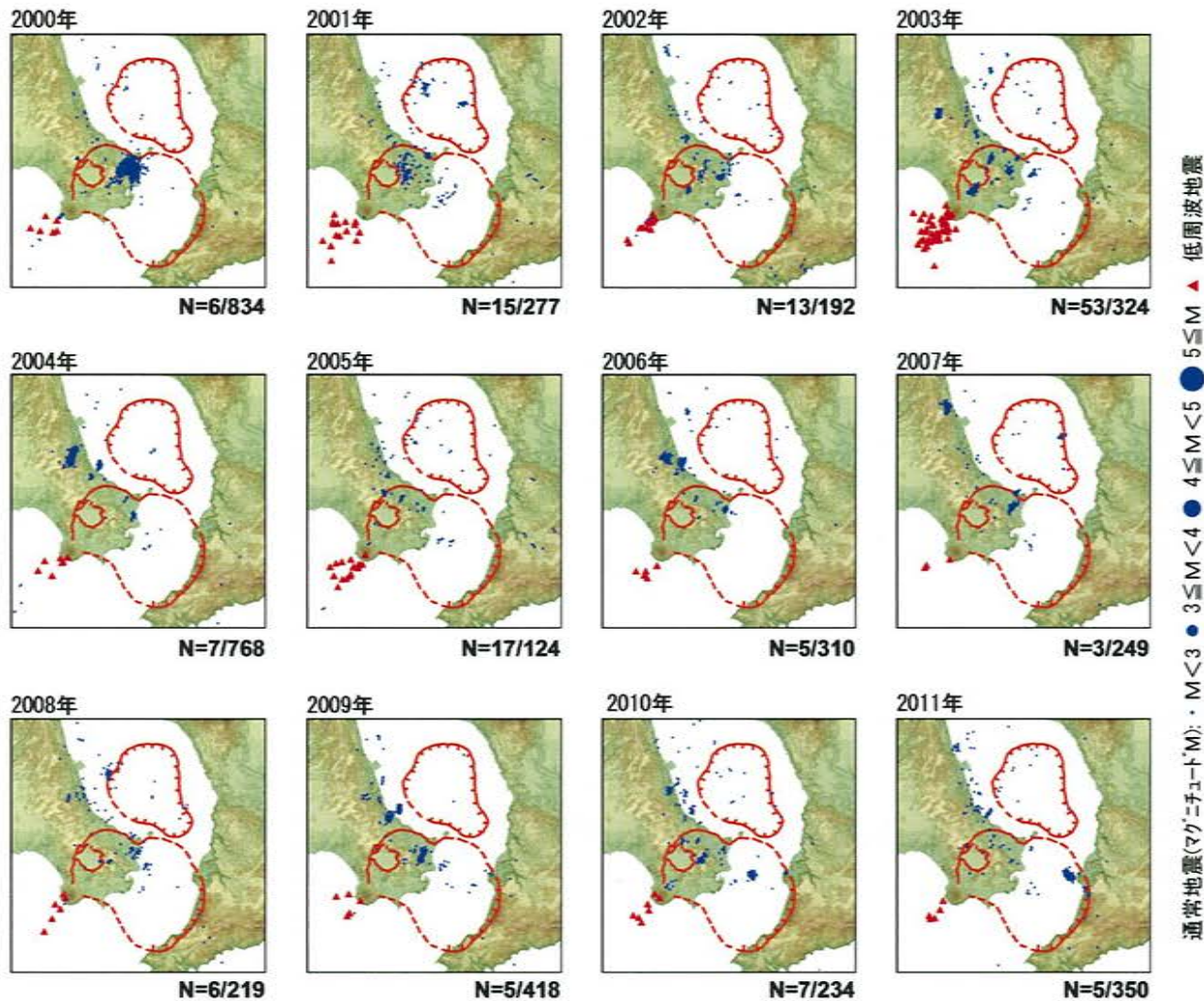
地震調査研究推進本部による



*震源は2000年以降をプロット。2019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 (2019年4月1日現在)

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

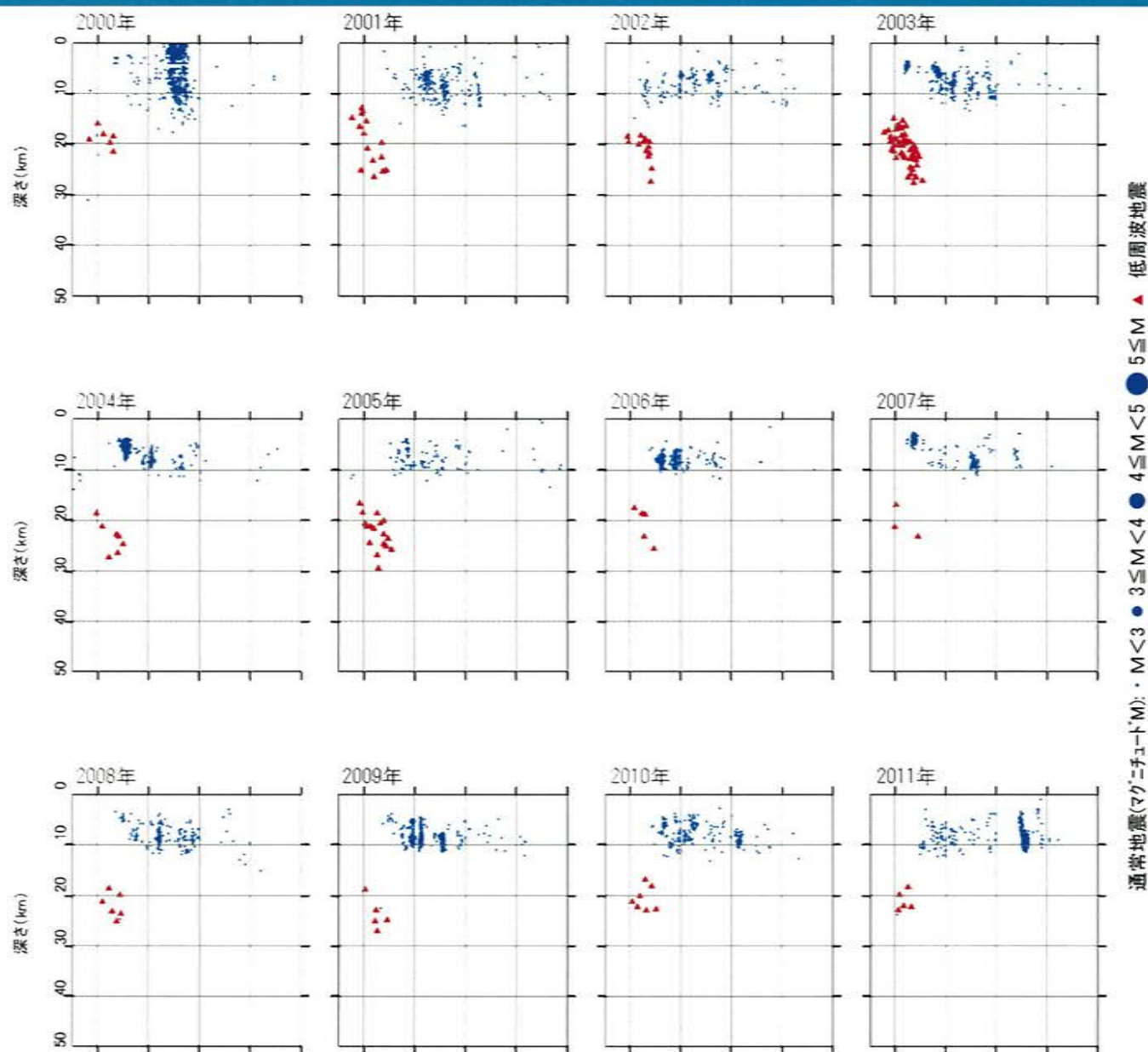


最近の主な噴火
西暦885年の噴火以降、顕著な火山活動は発生していない。

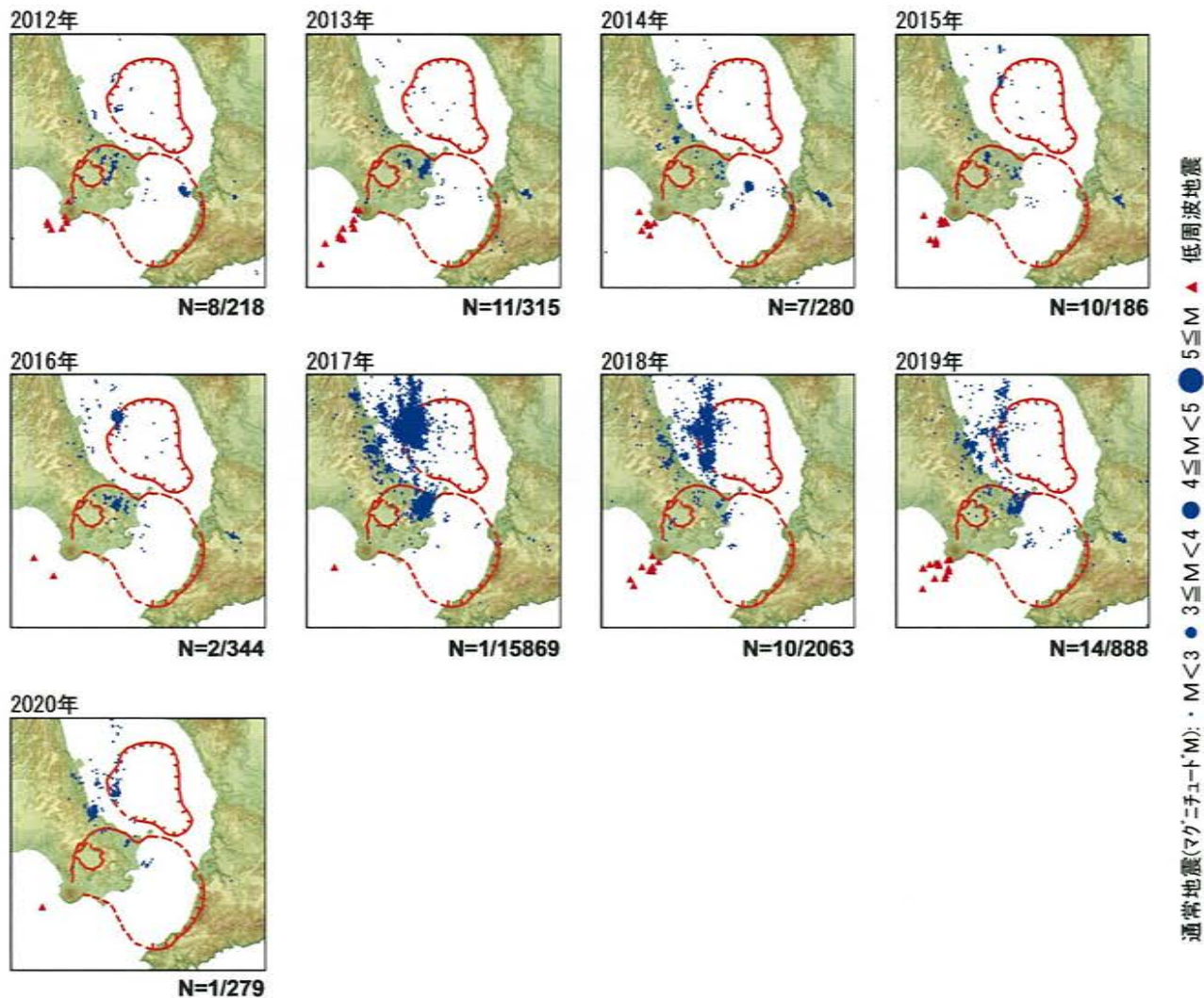
*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

④ 阿多カルデラ [地震活動:2000年以降の地震発生数の推移]



④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

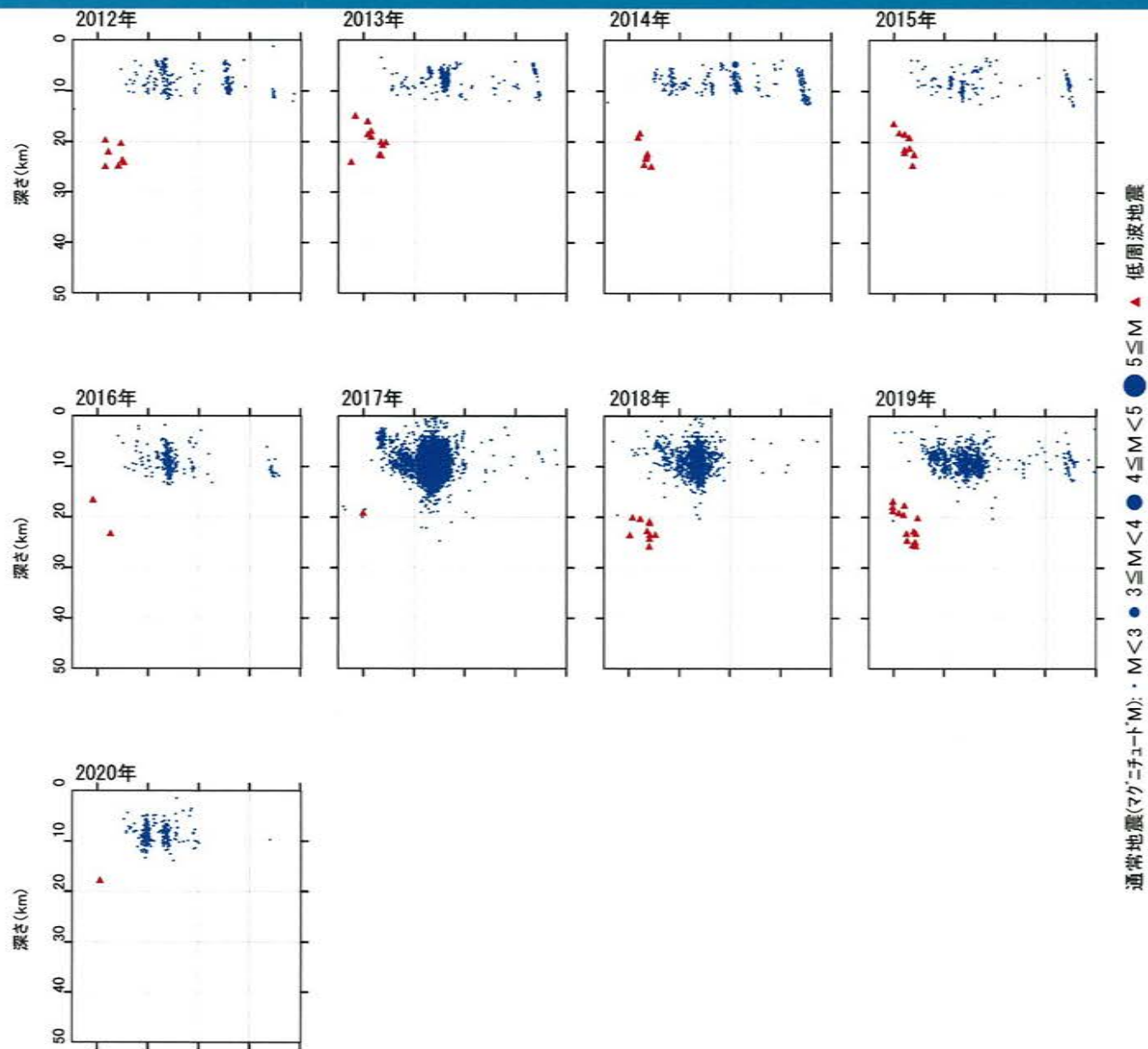


最近の主な噴火
西暦885年の噴火以降、顕著な火山活動は発生していない。

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。ただし、2020年は3月31日までのもの。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



④ 阿多カルデラ [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 開聞岳および池田・山川において、火山活動の特段の変化はなく、噴火の兆候はみられない。

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2019年度は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2019年8月に南側のカルデラで多くの地震が発生したものの、その後は減少している。なお、位置と規模に有意な変化は認められない。

阿多カルデラについては、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2019年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

余 白

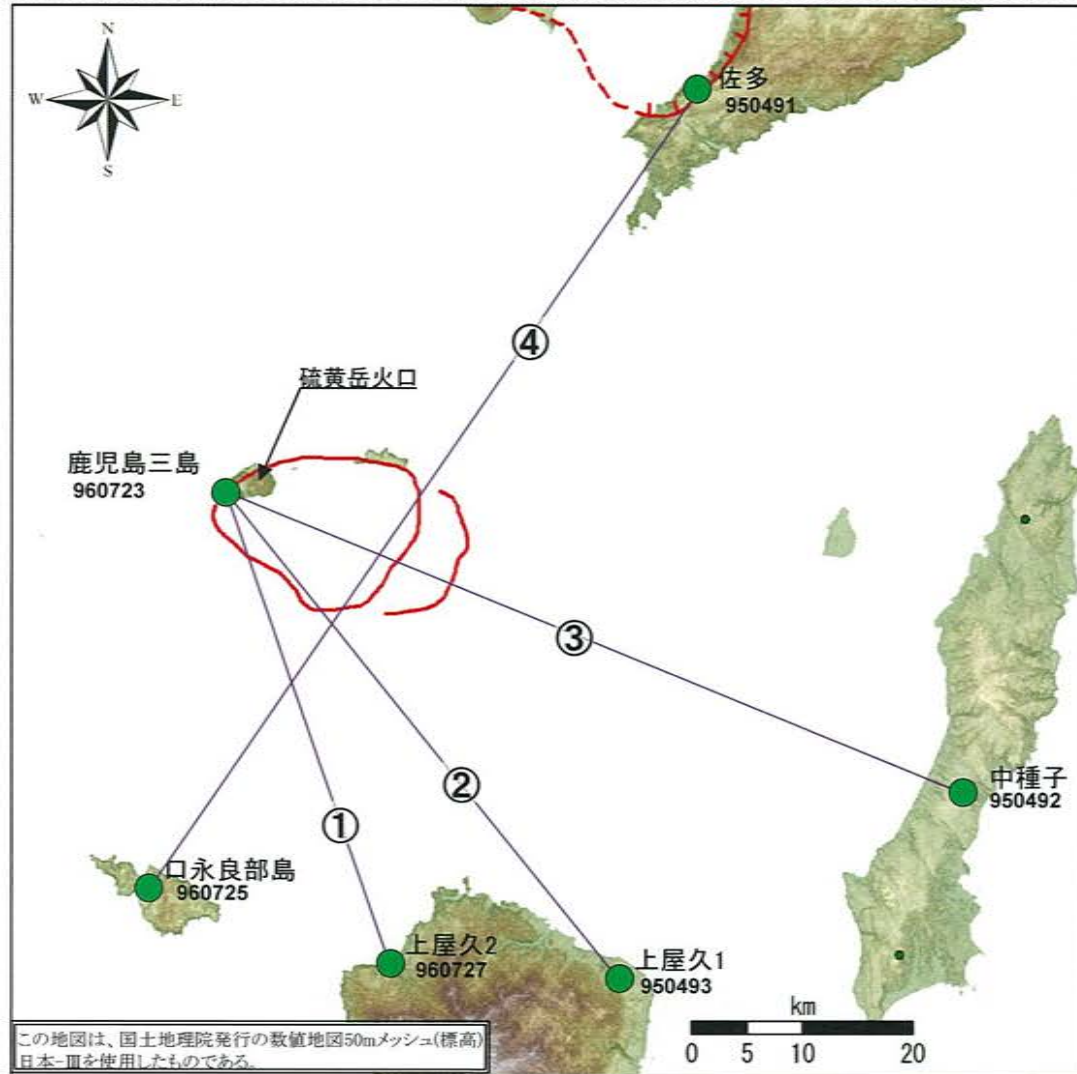
⑤ 鬼界 [活火山に関する公的機関の評価概要]

○薩摩硫黄島（出典：火山活動解説資料 2019年 年報、火山活動解説資料 2020年3月）

- ・薩摩硫黄島では、硫黄岳で、11月2日17時35分に噴火が発生した。噴火に伴う灰白色の噴煙が火口縁上1,000mをわずかに超える程度まで上がったが、火砕流や噴石は観測されなかった。
- ・11月3日に第十管区海上保安本部の協力により実施した上空からの観測や、11月3日から7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なかったが、11月6日に実施した現地調査では、火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり1,300トンと、やや多い状態であった。
- ・傾斜計やGNSS連続観測では、火山活動に伴う特段の変化は認められなかった。
- ・その後、噴火は発生しておらず、地震や微動の発生状況や地殻変動の状況に特段の変化はないが、夜間に火映が観測され、時折噴煙が高くなるなど、長期的には熱活動が高まった状態が続いている。

⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

- 2019年度の基線長変化は、鬼界へのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。

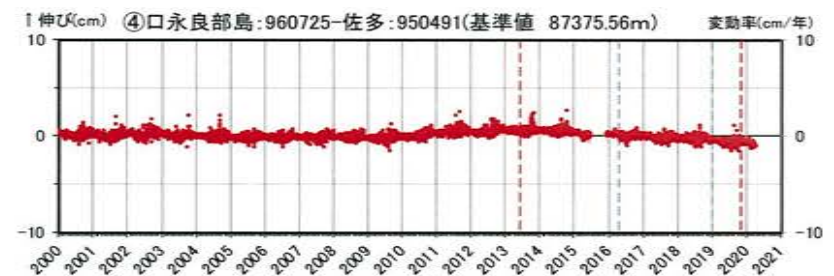
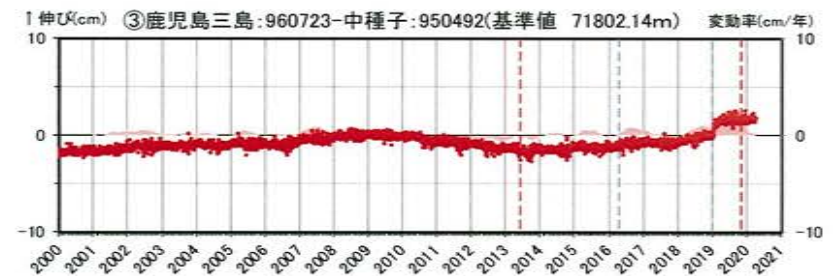
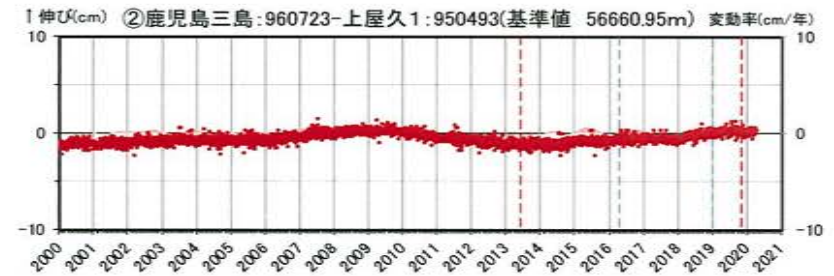
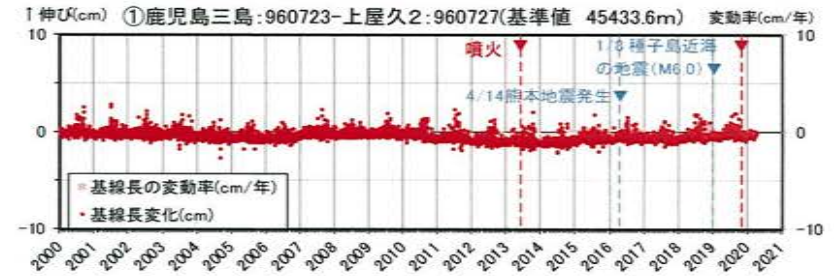


※1 ● 国土地理院のGNSS観測点

※2 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

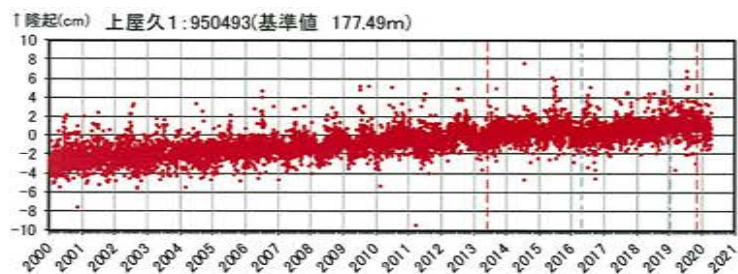
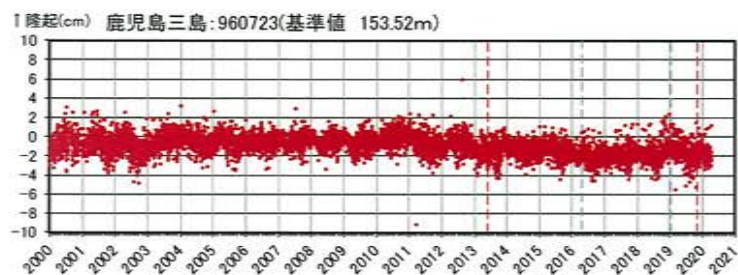
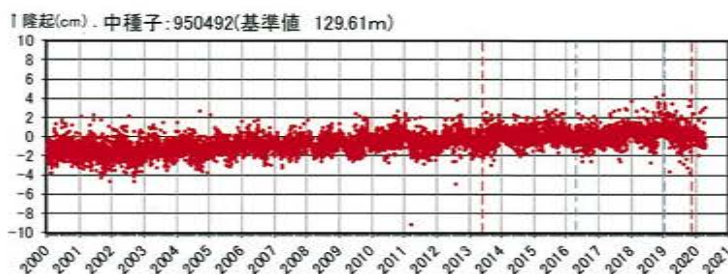
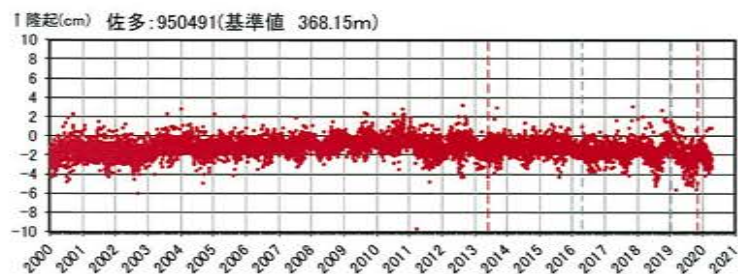
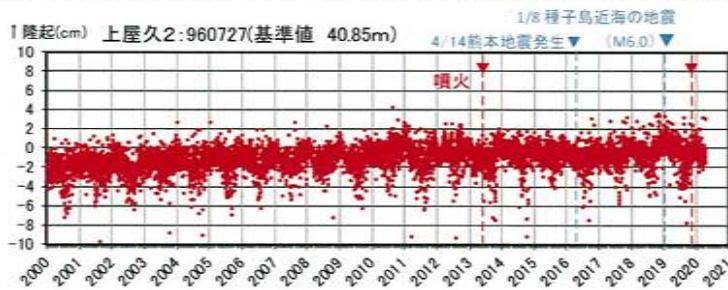
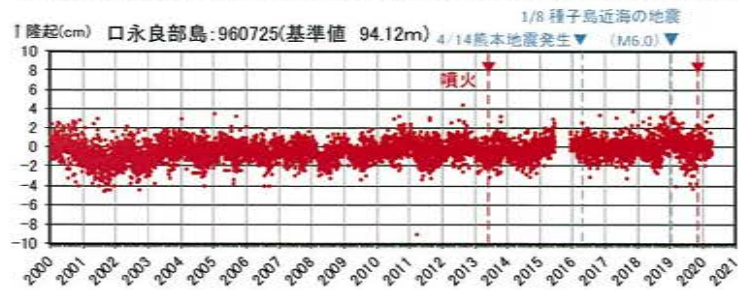
※3 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示

※4 変動率は直近1年間の毎日の変動量の傾きを示している



⑤ 鬼界 [地殻変動:各観測点の鉛直変動]

・ 2019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での隆起傾向は認められない。



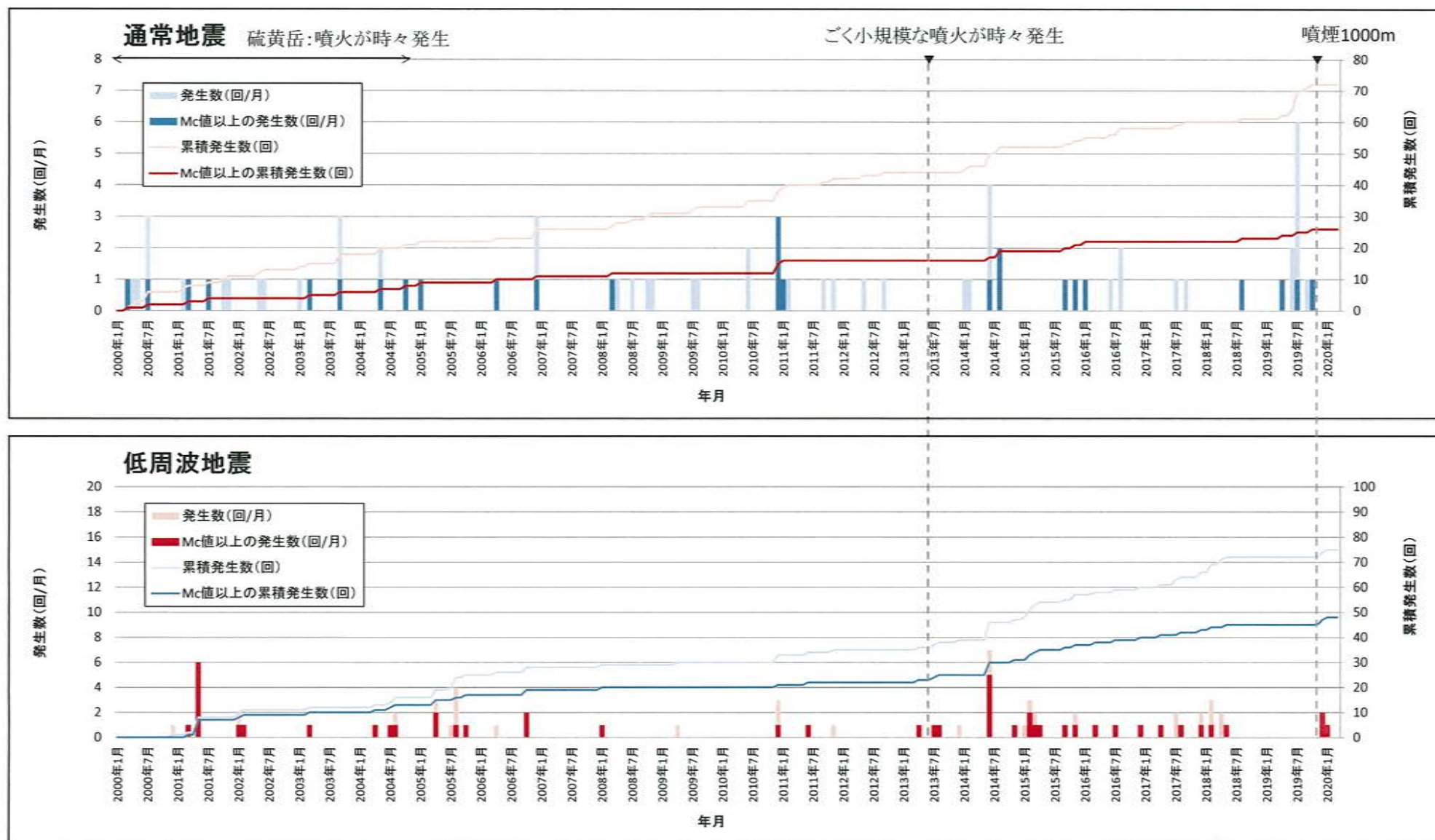
※上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

余 白

⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

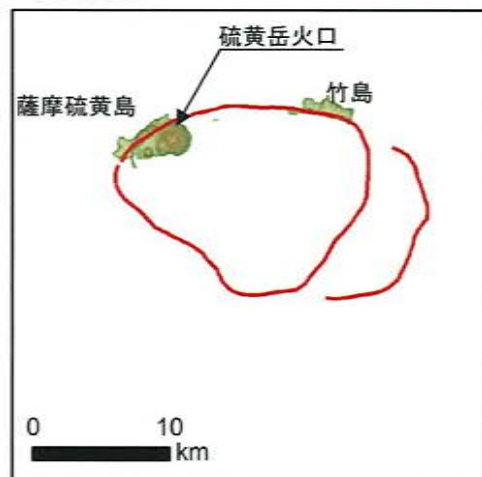
・ 2019年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、過去と比較して有意な変化は認められない。



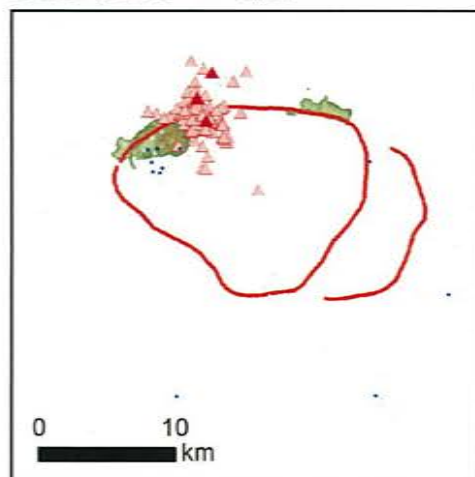
[Mc値(2000~2019年データ使用)] 通常地震: 1.5 低周波地震: 0.9

⑤ 鬼界 [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

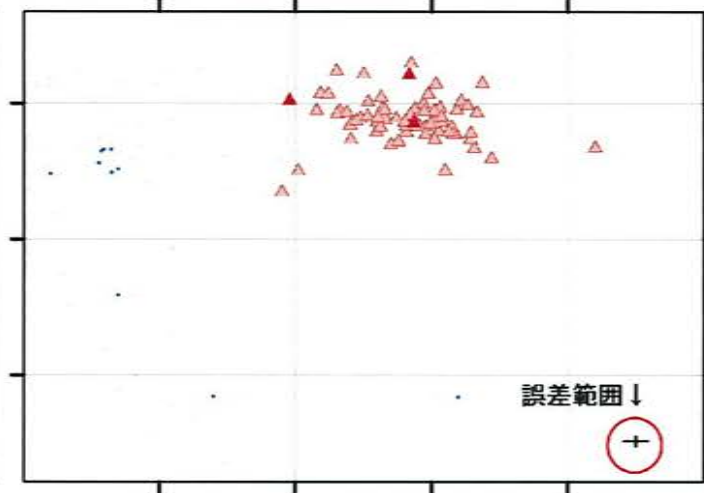
地震観測点



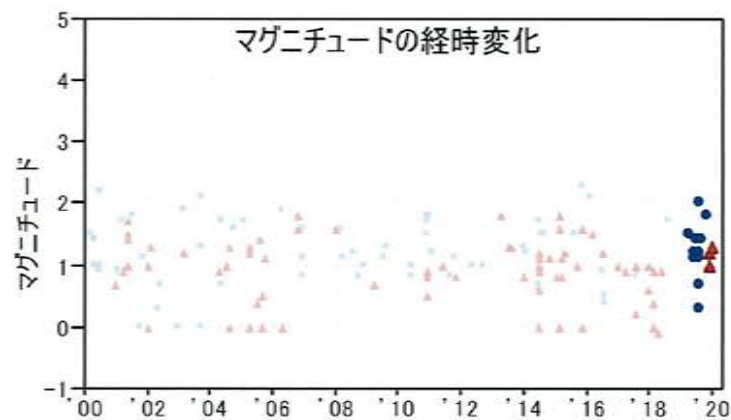
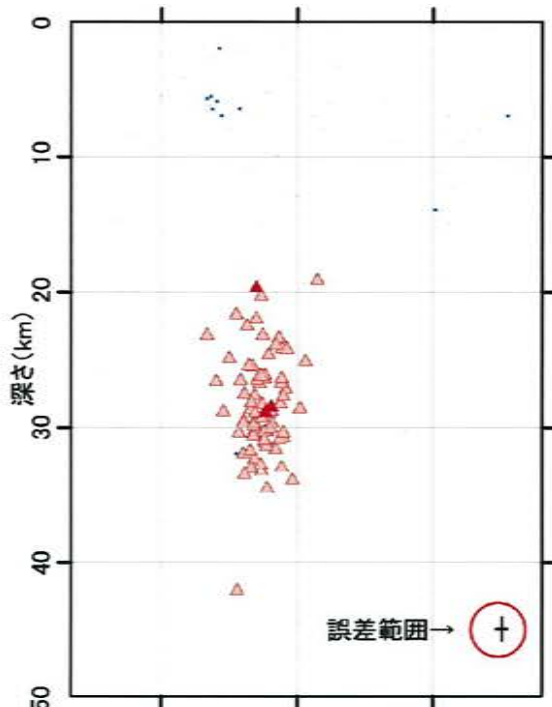
震源分布(深さ50km以浅)



0 10 20 30 40 50 深さ (km)



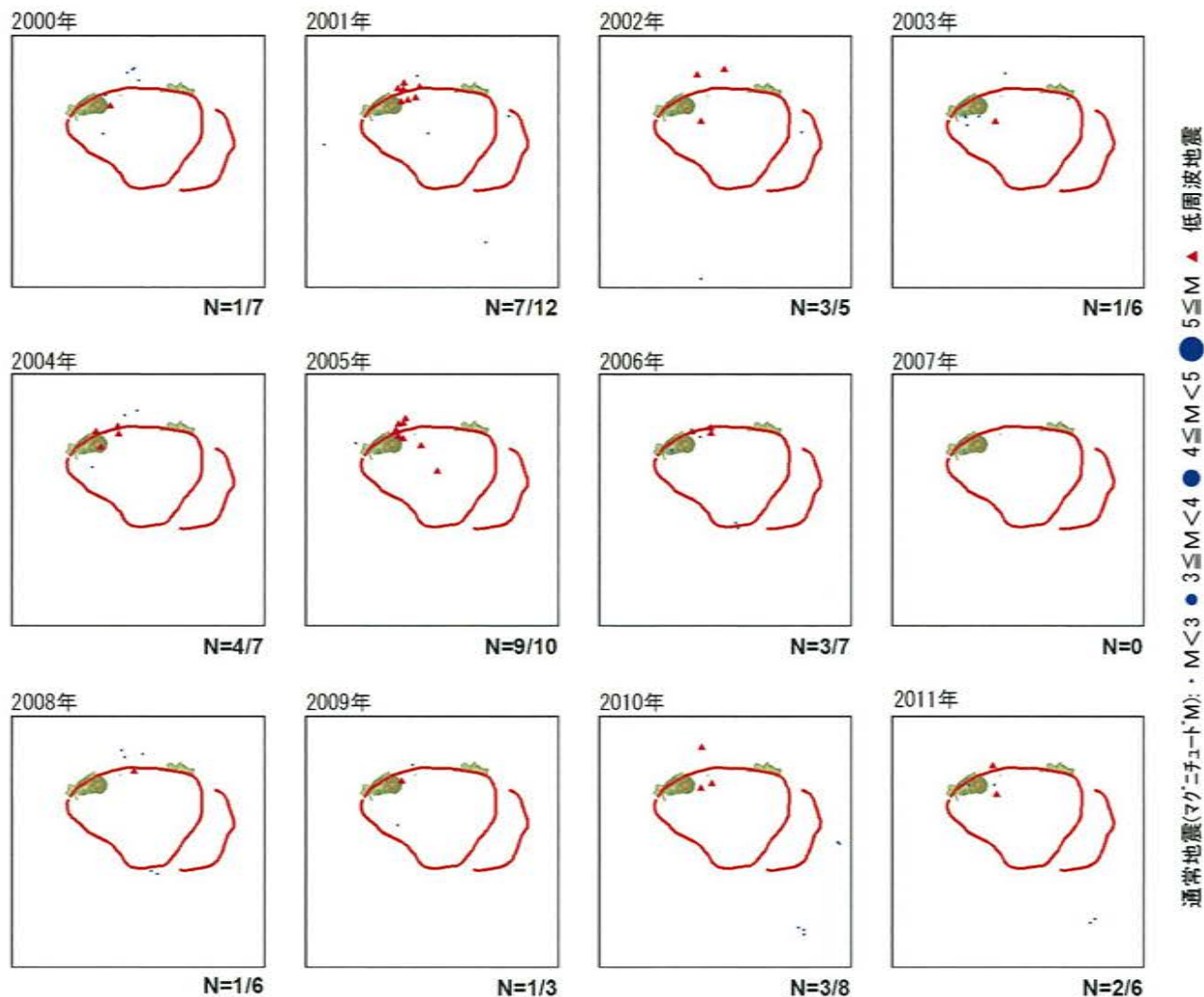
- 凡 例**
- 地震観測点**
- 大学
 - 気象庁
 - ▲ 防災科学技術研究所
- 震 源**
(2019年4月以降は右のシンボル)
- 通常地震(マグニチュード)M<3
 - 3 ≤ M < 4
 - 4 ≤ M < 5
 - 5 ≤ M
 - ▲ 低周波地震
- 活断層**
- 地震調査研究推進本部による



*震源は2000年以降をプロット。2019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(2019年4月1日現在)

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



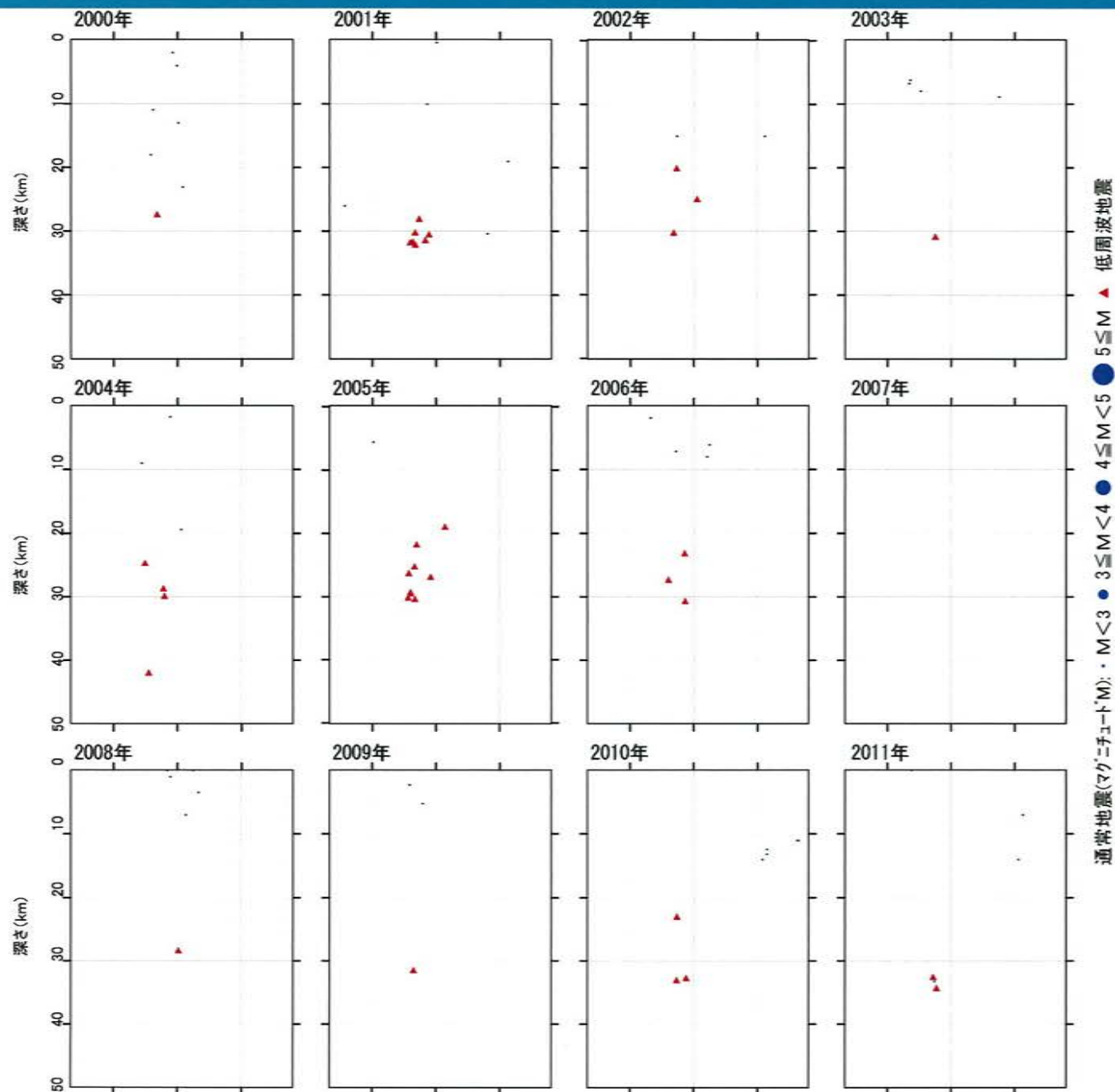
最近の主な噴火

- 2000年 1,5,6,7,9~12月に島内で降灰
- 2001年 2,4~12月に島内で降灰
- 2002年 5~7月にかけて火山活動がやや活発化
- 2003年 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 3,4,6,8~10月に噴火が時々発生

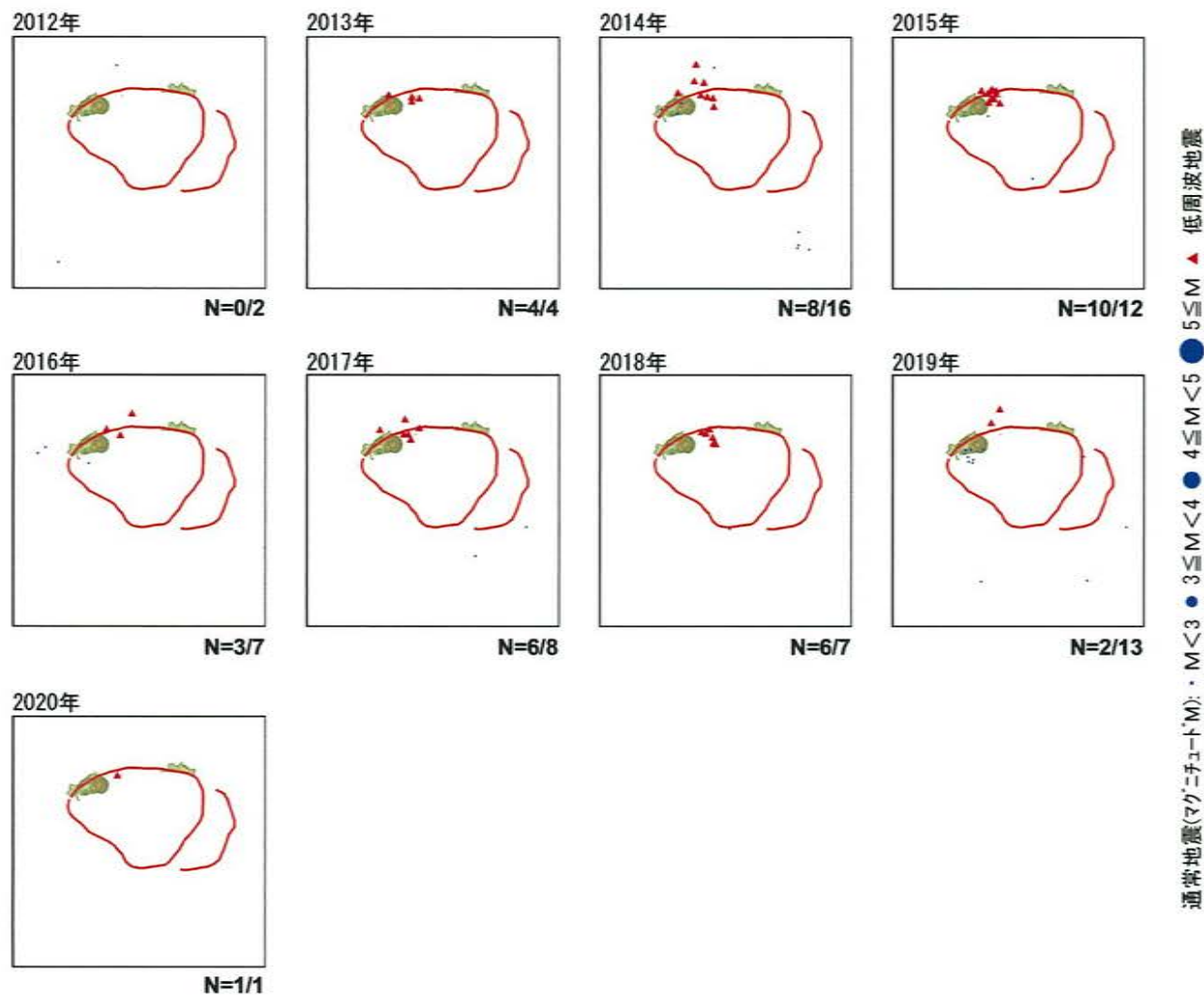
*各図の右下の数値は範囲内の該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



最近の主な噴火

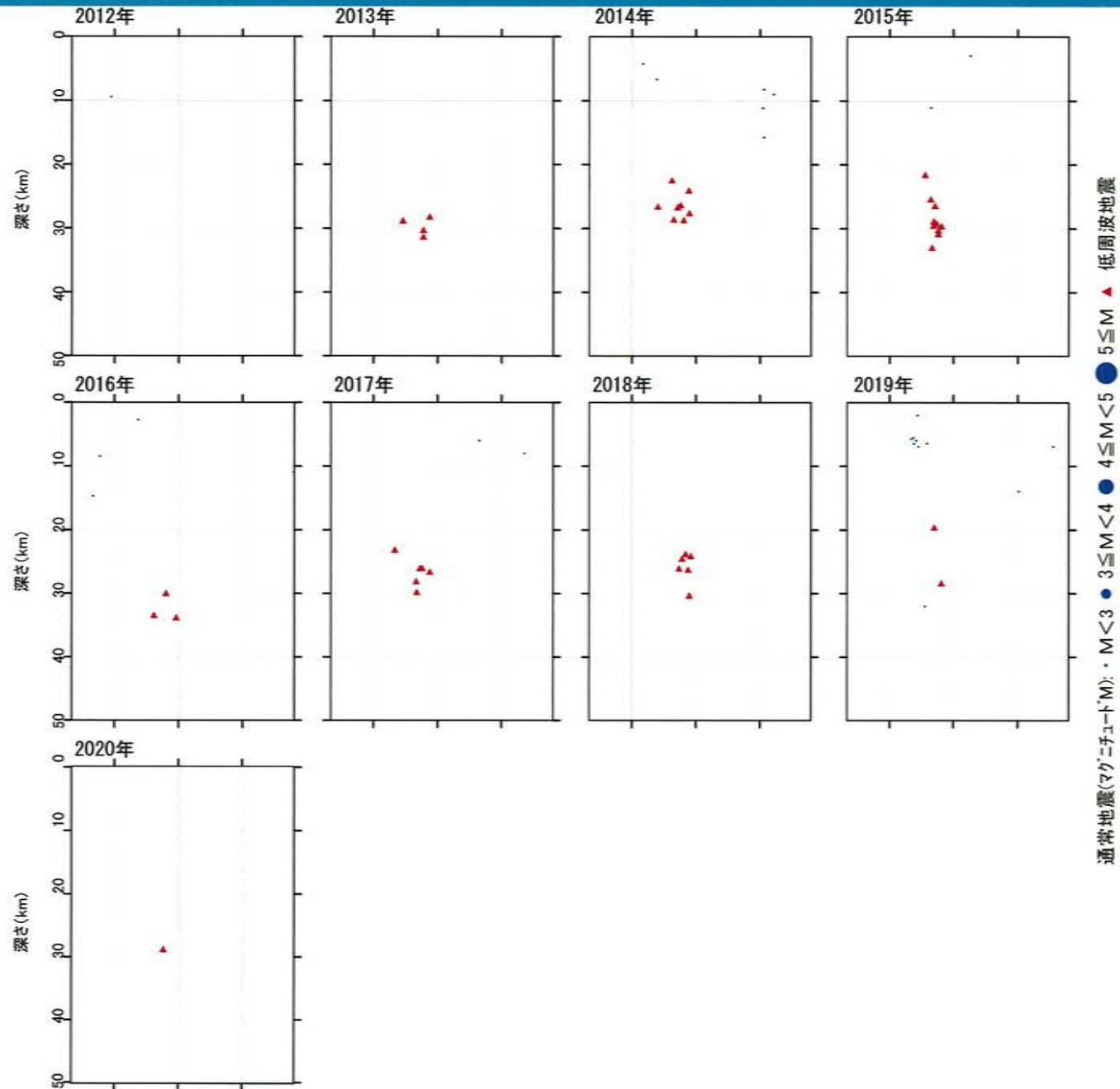
2013年 6月3日から5日にかけてごく小規模な噴火
が時々発生

2019年11月2日 噴火発生。噴煙1000m

*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。
ただし、2020年は3月31日までのもの。

この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである。

⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]



⑤ 鬼界 [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 硫黄岳で11月2日に噴火が発生したが、その後は噴火は発生しておらず、地震や微動の発生状況や地殻変動に特段の変化はない。

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2019年度の基線長変化は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2019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。

鬼界については、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2019年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

参考1. 国土地理院の地殻変動データ修正に伴う当社評価結果への影響

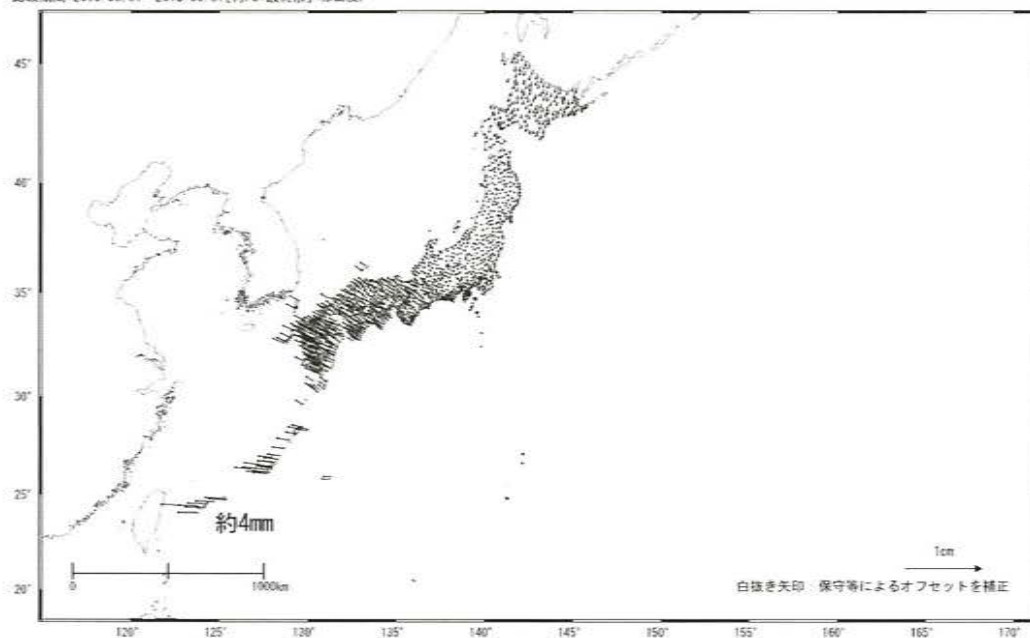
- 国土地理院の2018年1月24日から2019年10月7日までの地殻変動データについて、解析値と再解析値(正しい値)に較差※があったことが公表(2020年1月23日)されたことを受けて、当社の2017年度及び2018年度の火山活動のモニタリング評価結果への影響について確認を行った。

※データ修正前後で、水平方向で最大4mm程度、上下方向で最大7mm程度の差

- 地殻変動データ(基線長変化と鉛直変動)について、データ修正前と修正後を比較したところ、大差はなく、これまでの当社の評価結果に影響は無いことを確認した。なお、国土地理院においても、これまでに国土地理院が公表してきた地殻変動の評価に変更を要するほどの差は見られないとしている。

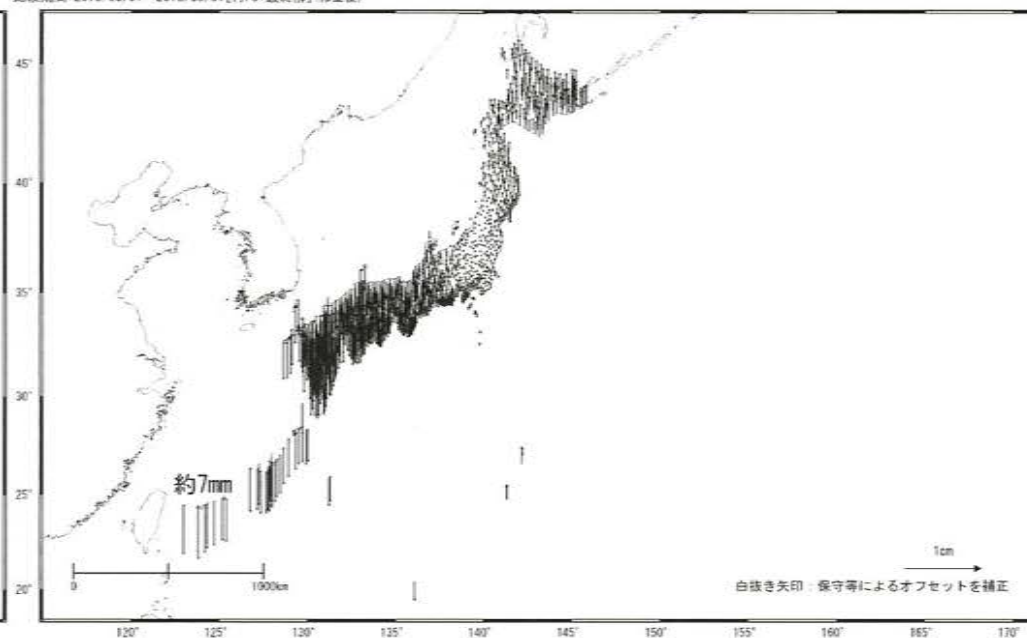
【解析値と再解析値(正しい値)との較差(国土地理院HPより抜粋)】

基準期間: 2018/05/01~2018/05/07[F3:最終解](修正前)
比較期間: 2018/05/01~2018/05/07[再F3:最終解](修正後)



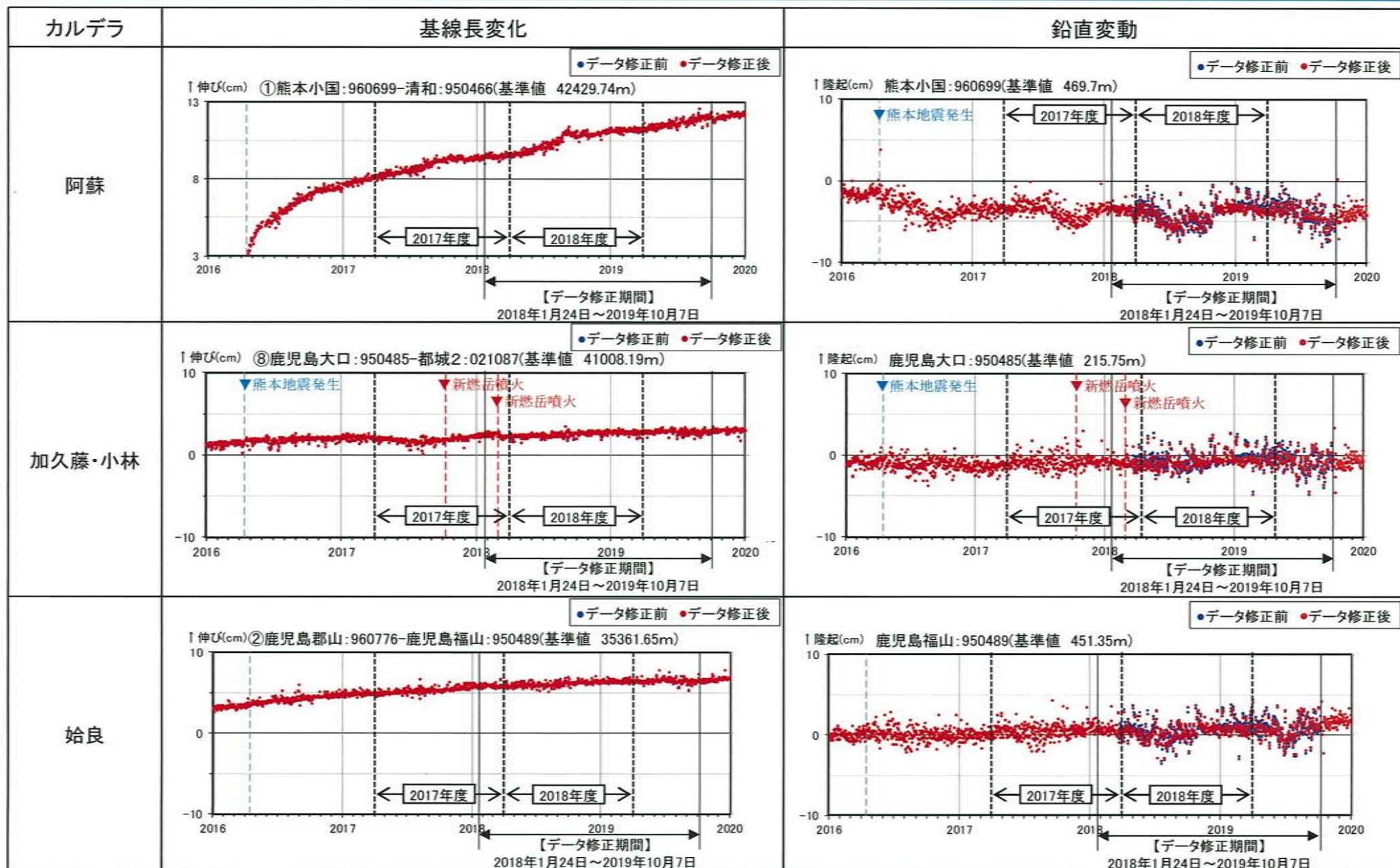
地殻変動(水平)

基準期間: 2018/05/01~2018/05/07[F3:最終解](修正前)
比較期間: 2018/05/01~2018/05/07[再F3:最終解](修正後)

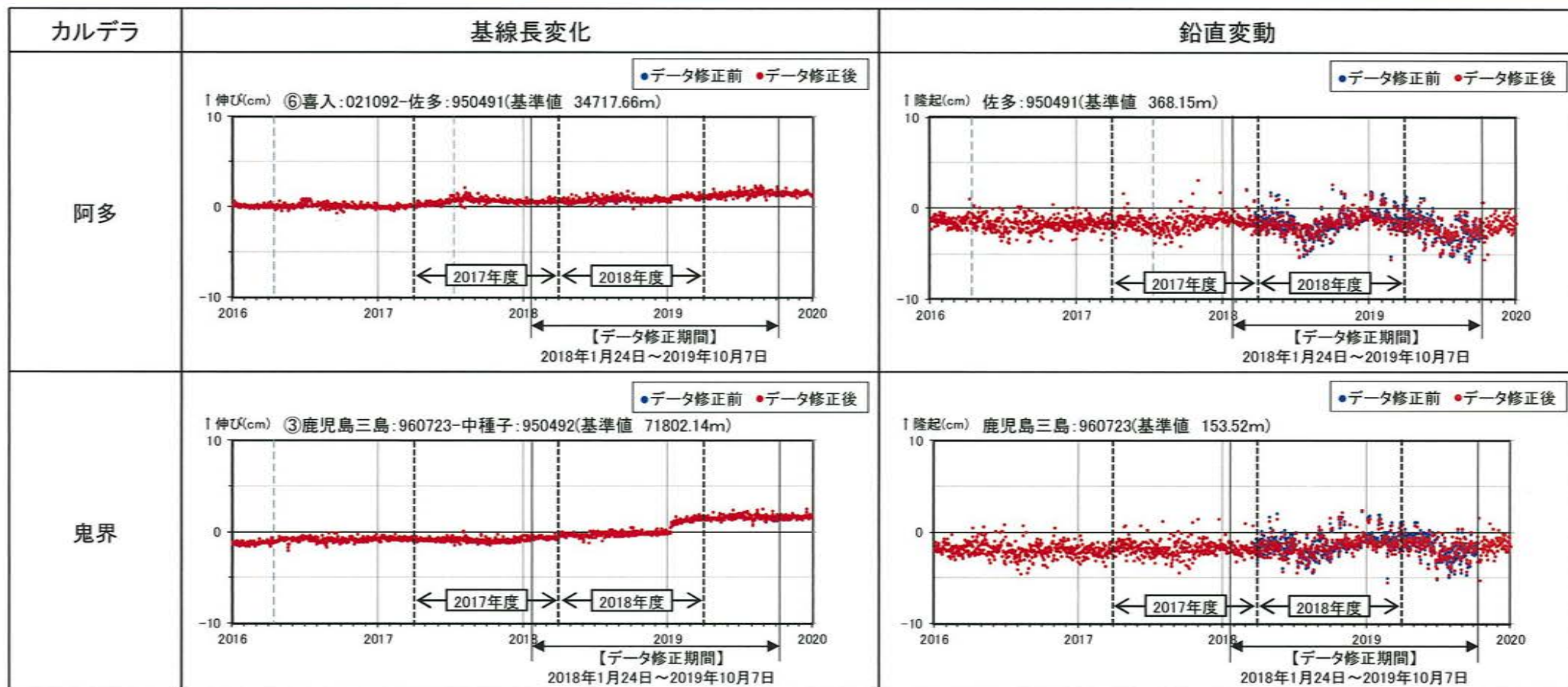


地殻変動(上下)

参考1. 国土地理院の地殻変動データ修正に伴う当社評価結果への影響



参考1. 国土地理院の地殻変動データ修正に伴う当社評価結果への影響

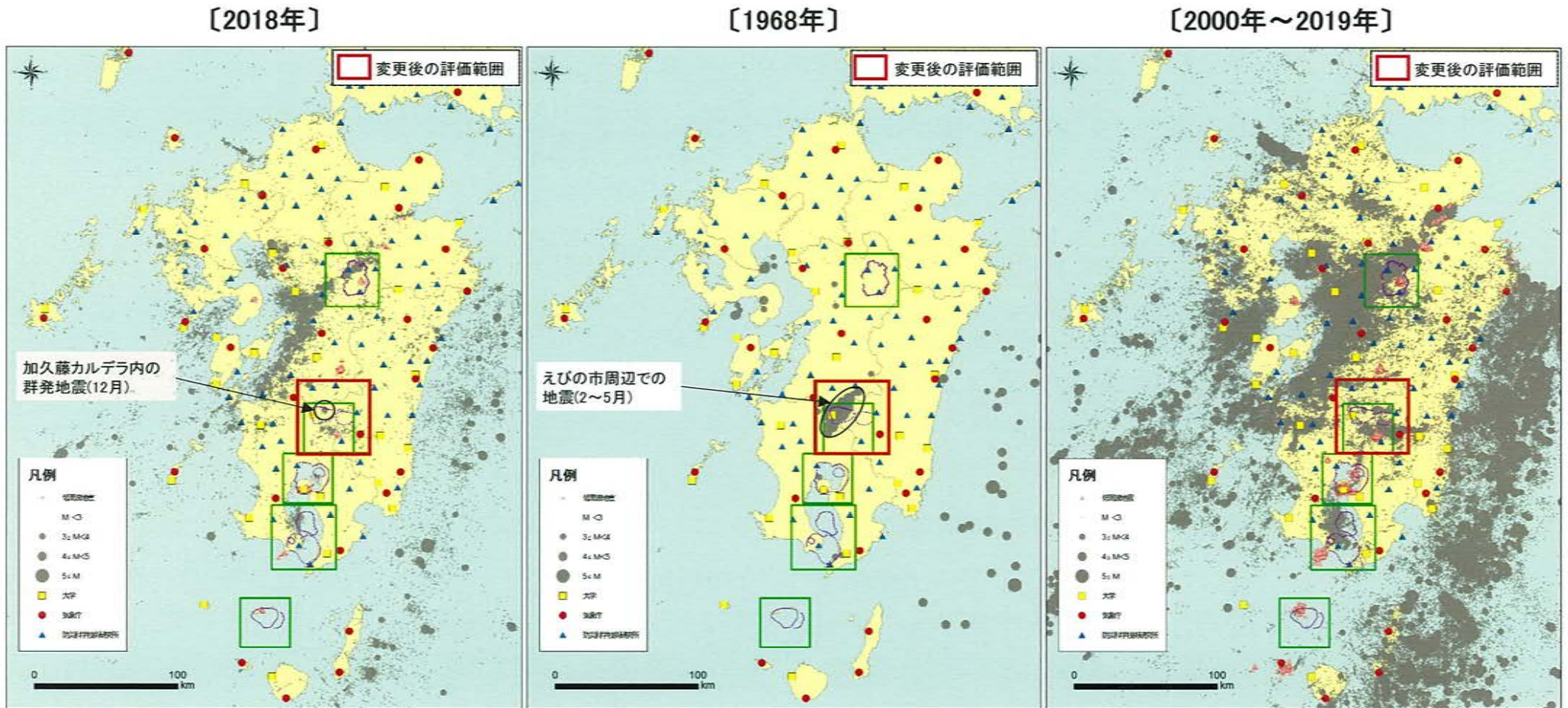


参考2. 地震活動における評価範囲の再検討

- 過去に発生した地震位置を踏まえ、各カルデラの地震活動の評価範囲の再検討を行った。
- 加久藤・小林カルデラの評価範囲について、2018年12月に加久藤カルデラ内で発生した群発地震が評価範囲の北側境界近傍に位置していたことから、1968年にえびの市周辺で発生した地震の位置を踏まえた上で、範囲を広げることとする。
- 他のカルデラの評価範囲については、2000年以降の範囲周辺における群発地震(2016年熊本地震を除く)が見られないことから、変更はしないものの、九州全域の地震活動を注視しながら必要に応じて検討していく。

カルデラ	変更前		変更後	
	評価範囲の考え方	範囲	評価範囲の考え方	範囲
加久藤・小林	加久藤カルデラ、小林カルデラ、霧島山を含む範囲	34km×34km	左記の範囲に加え、1968年にえびの市周辺で発生した地震の位置を含めるように範囲を拡大	51km×51km
阿蘇	カルデラを含む範囲	34km×34km	変更なし (九州全域の地震活動を注視しながら必要に応じて検討)	34km×34km
始良	カルデラを含む範囲	34km×34km		34km×34km
阿多	北側と南側のカルデラを含む範囲	45km×45km		45km×45km
鬼界	カルデラを含む範囲	34km×34km		34km×34km

参考2. 地震活動における評価範囲の再検討



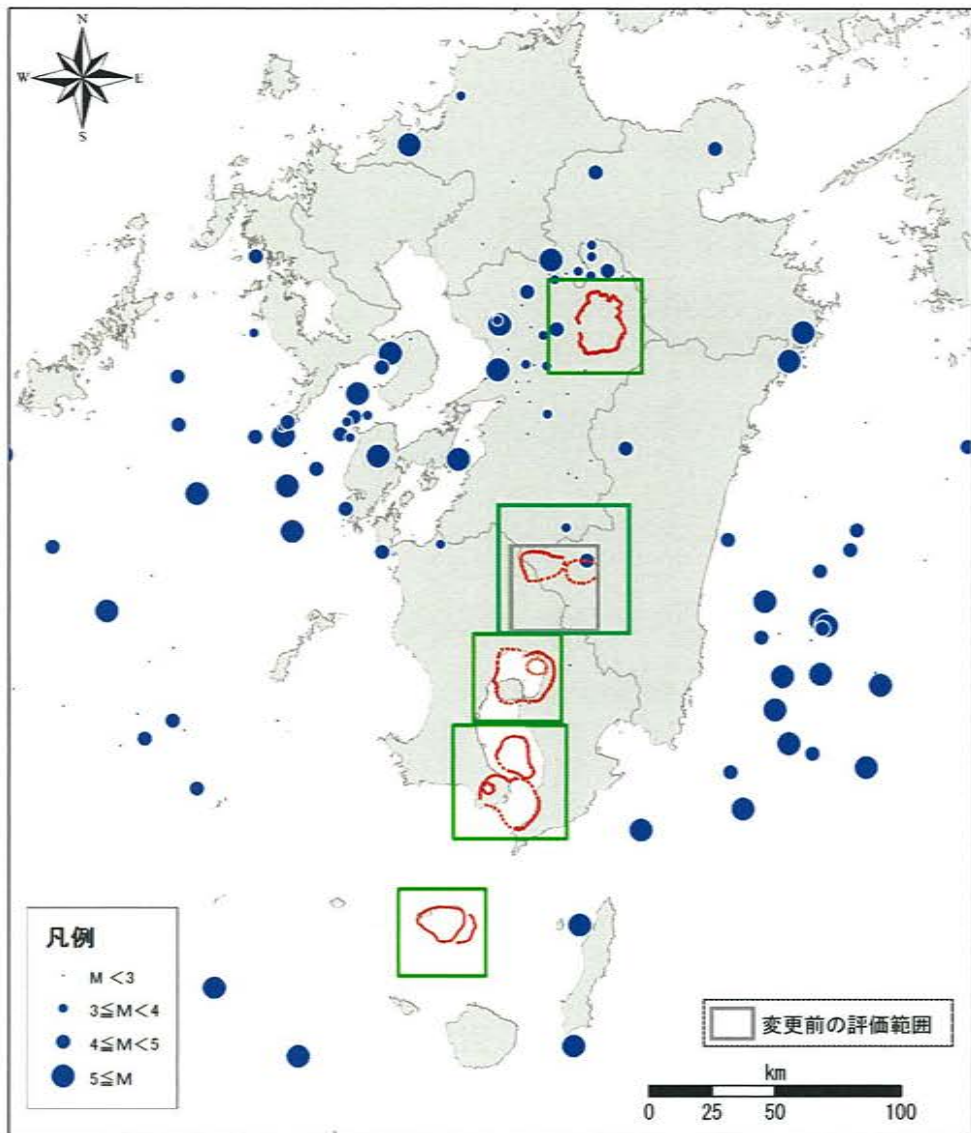
*観測点データは地震本部のデータベース/観測点一覧によるもの

**震源データは、地震月報(カタログ編)と気象庁一元化震源データの深さ50km以浅の九州地方の震源による

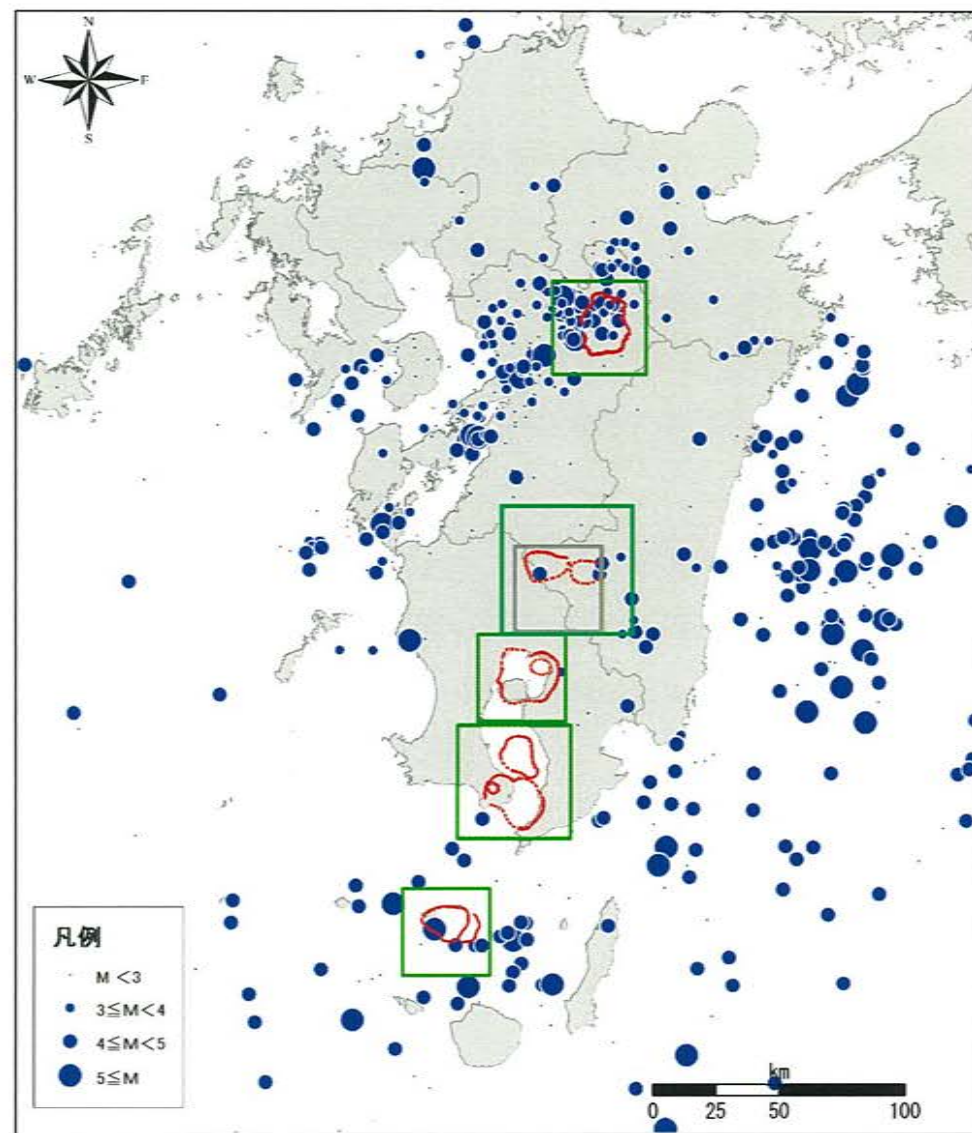
参考2. 地震活動における評価範囲の再検討[九州全域の地震活動]

• 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



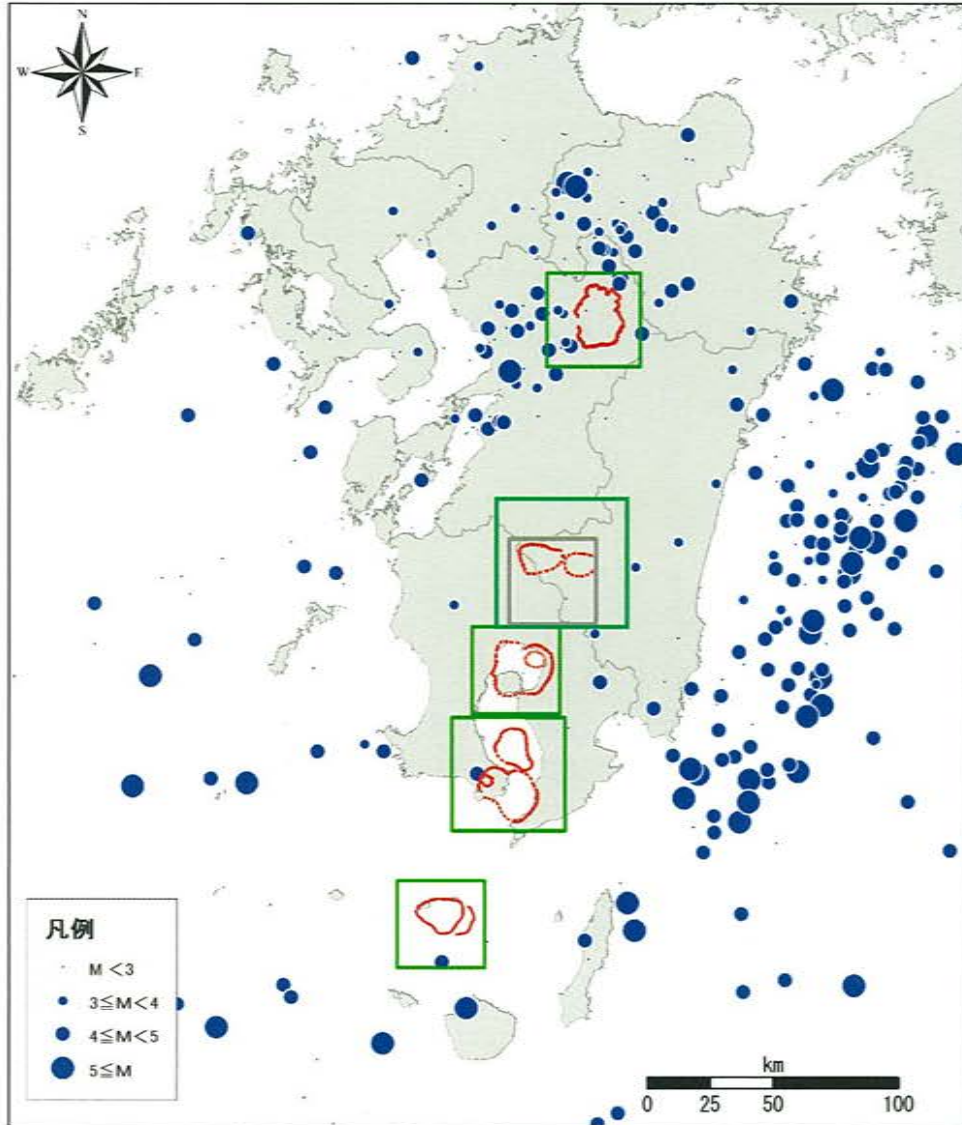
1930年～1939年



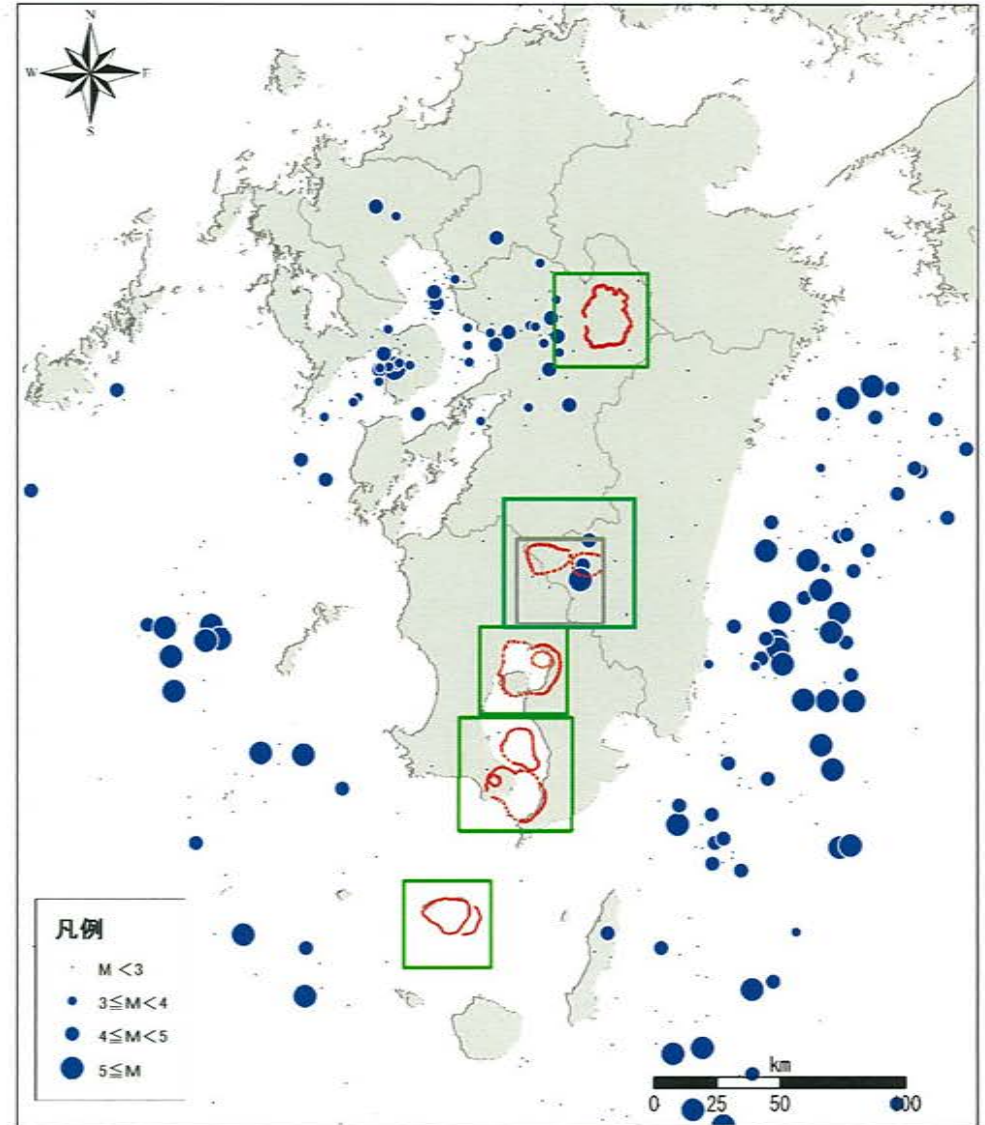
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

参考2. 地震活動における評価範囲の再検討[九州全域の地震活動]

1940年～1949年



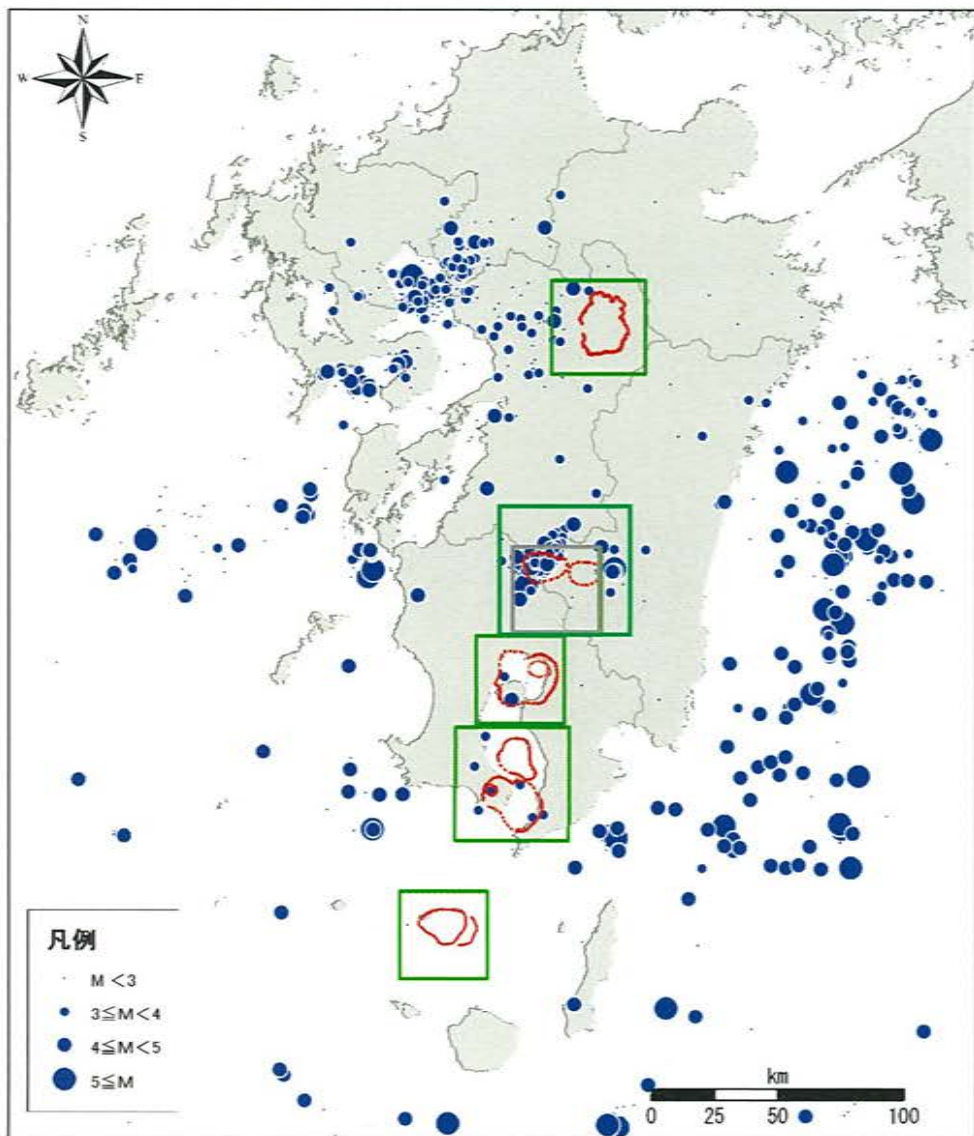
1950年～1959年



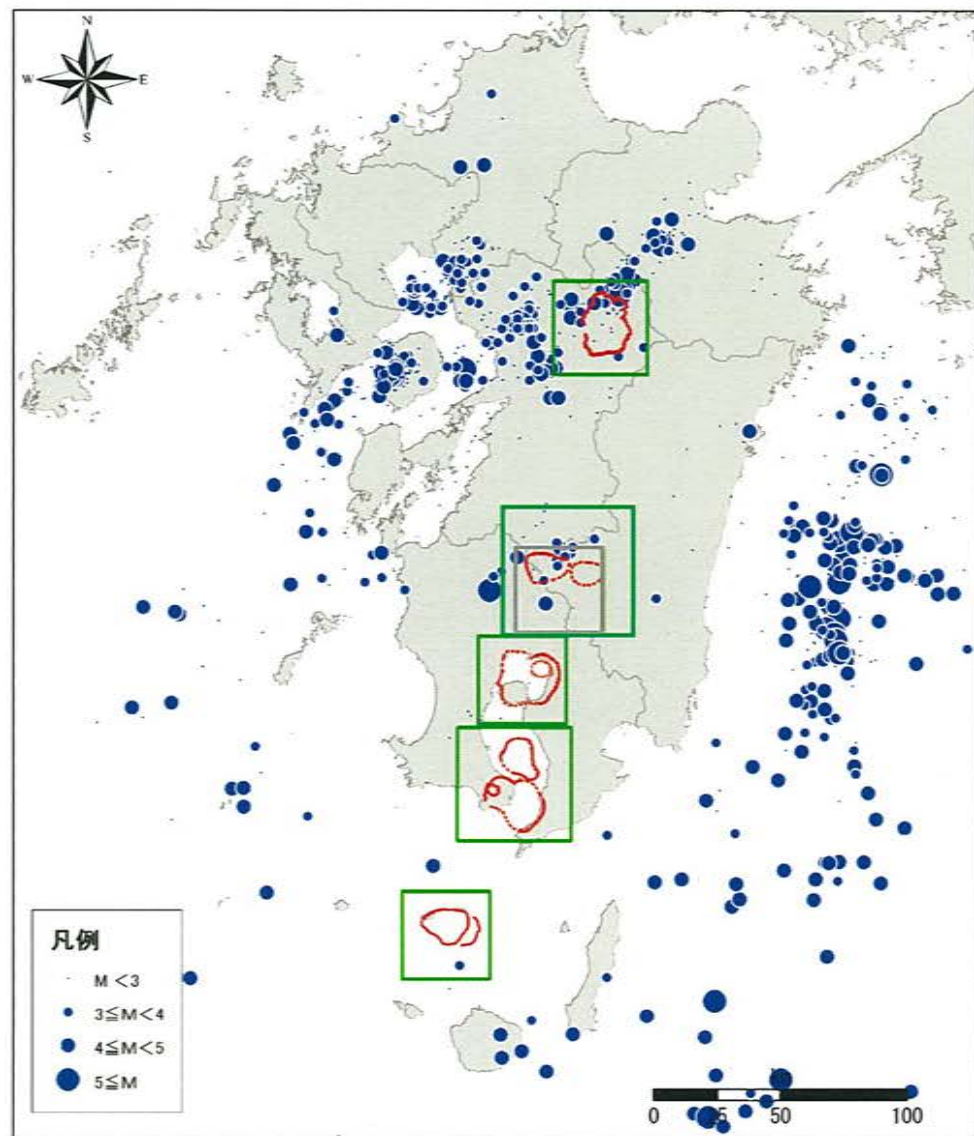
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

参考2. 地震活動における評価範囲の再検討[九州全域の地震活動]

1960年～1969年



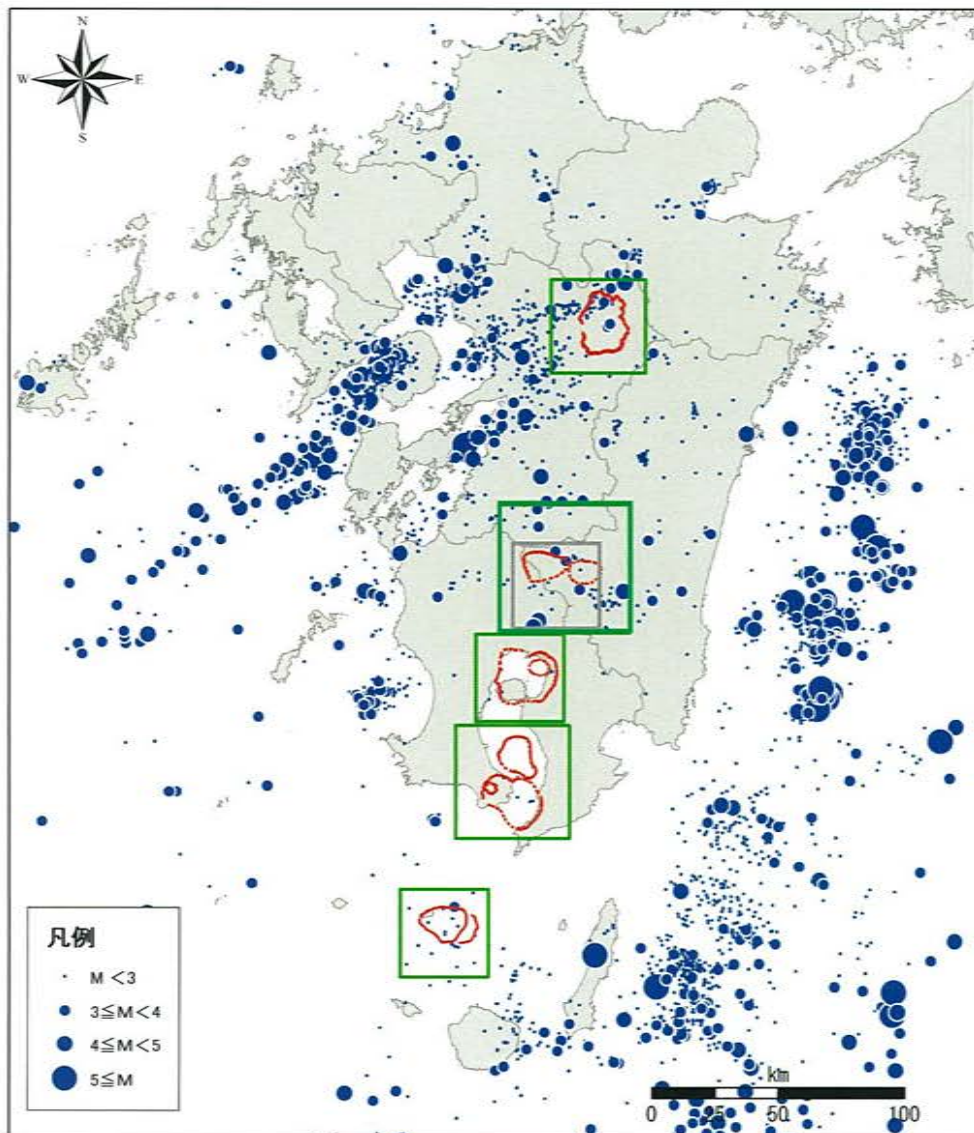
1970年～1979年



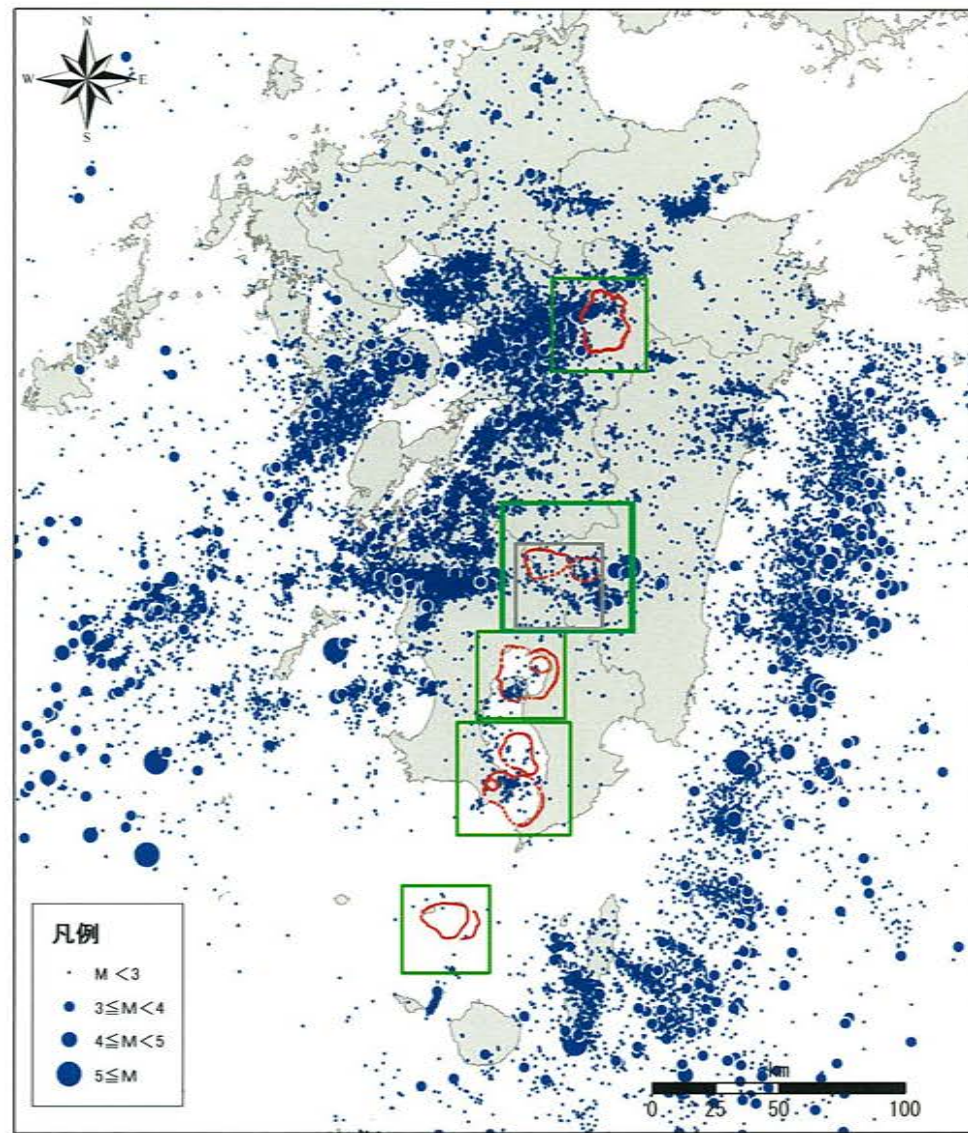
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

参考2. 地震活動における評価範囲の再検討[九州全域の地震活動]

1980年～1989年



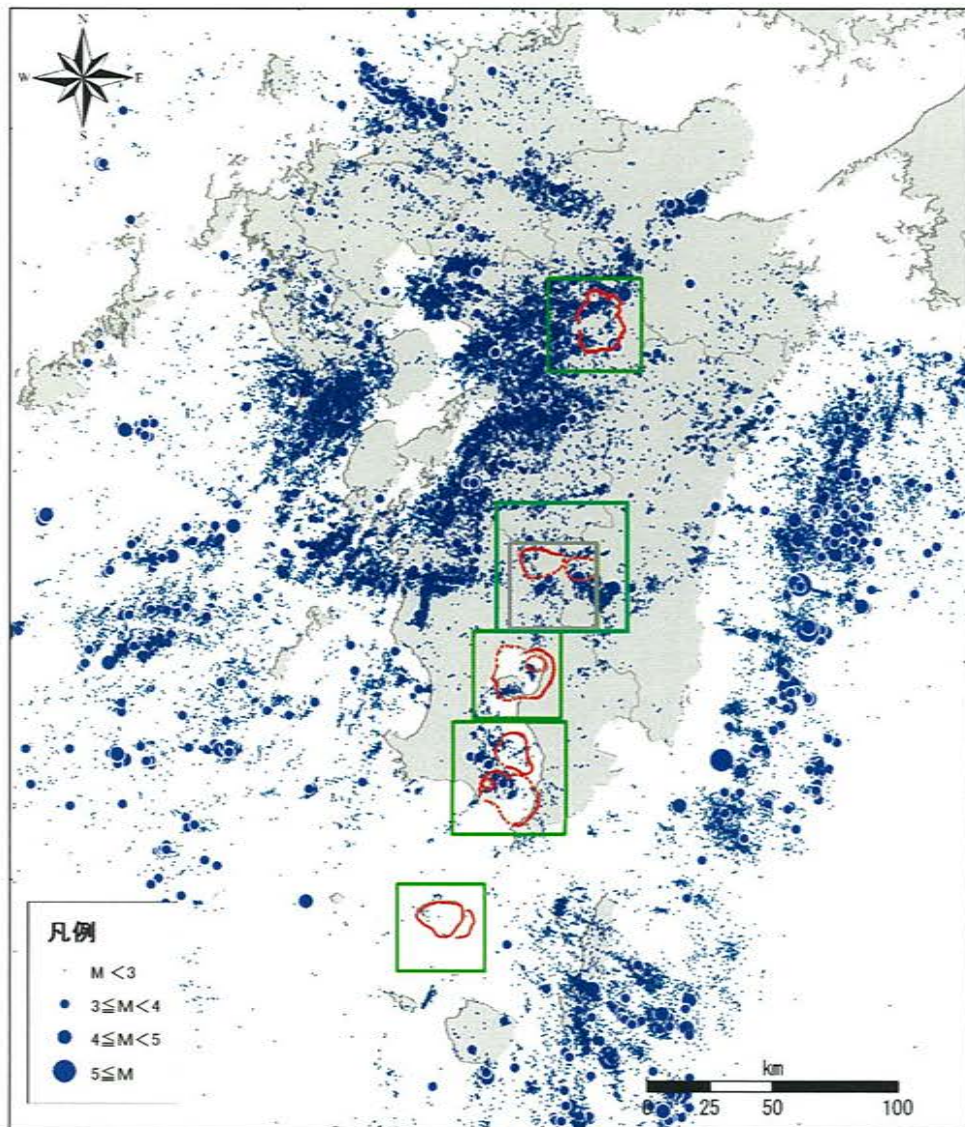
1990年～1999年



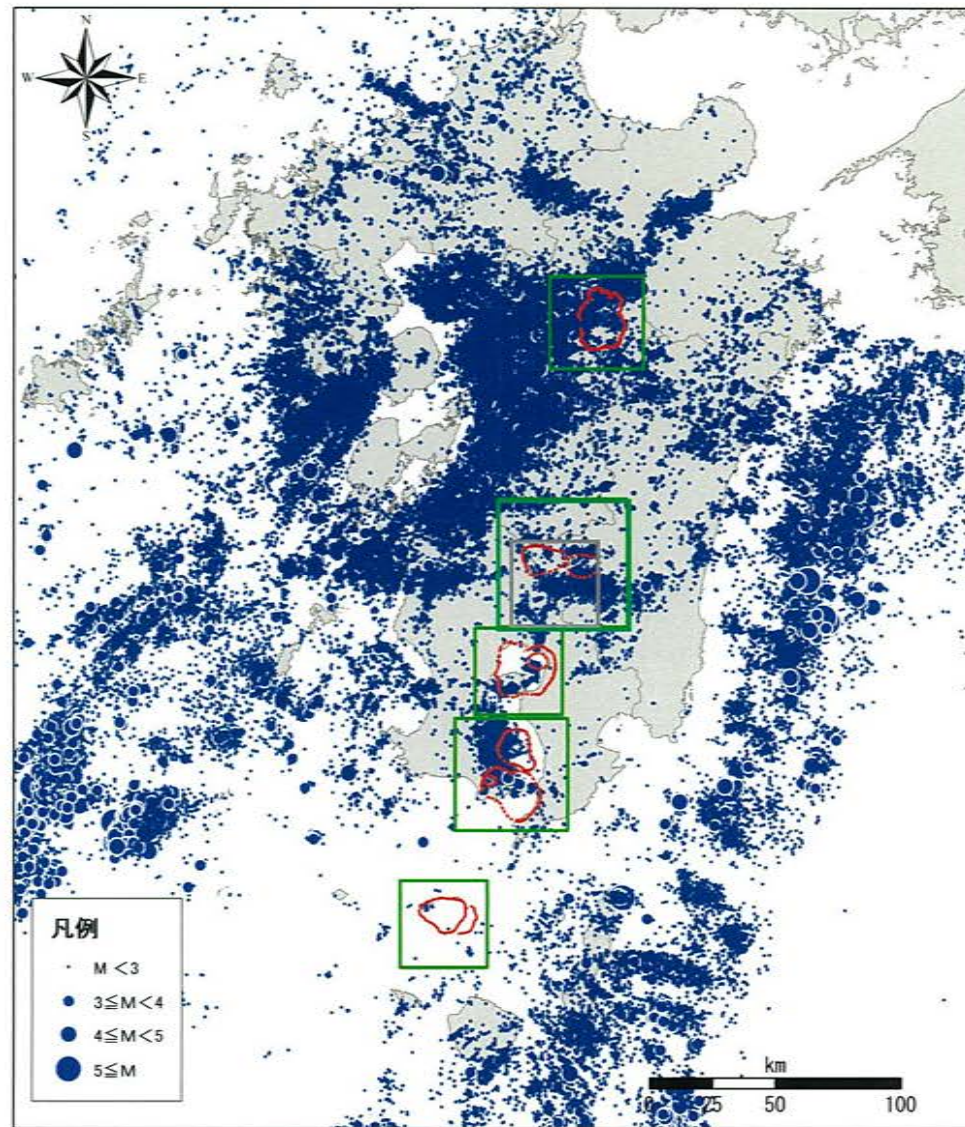
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

参考2. 地震活動における評価範囲の再検討[九州全域の地震活動]

2000年～2009年



2010年～2019年



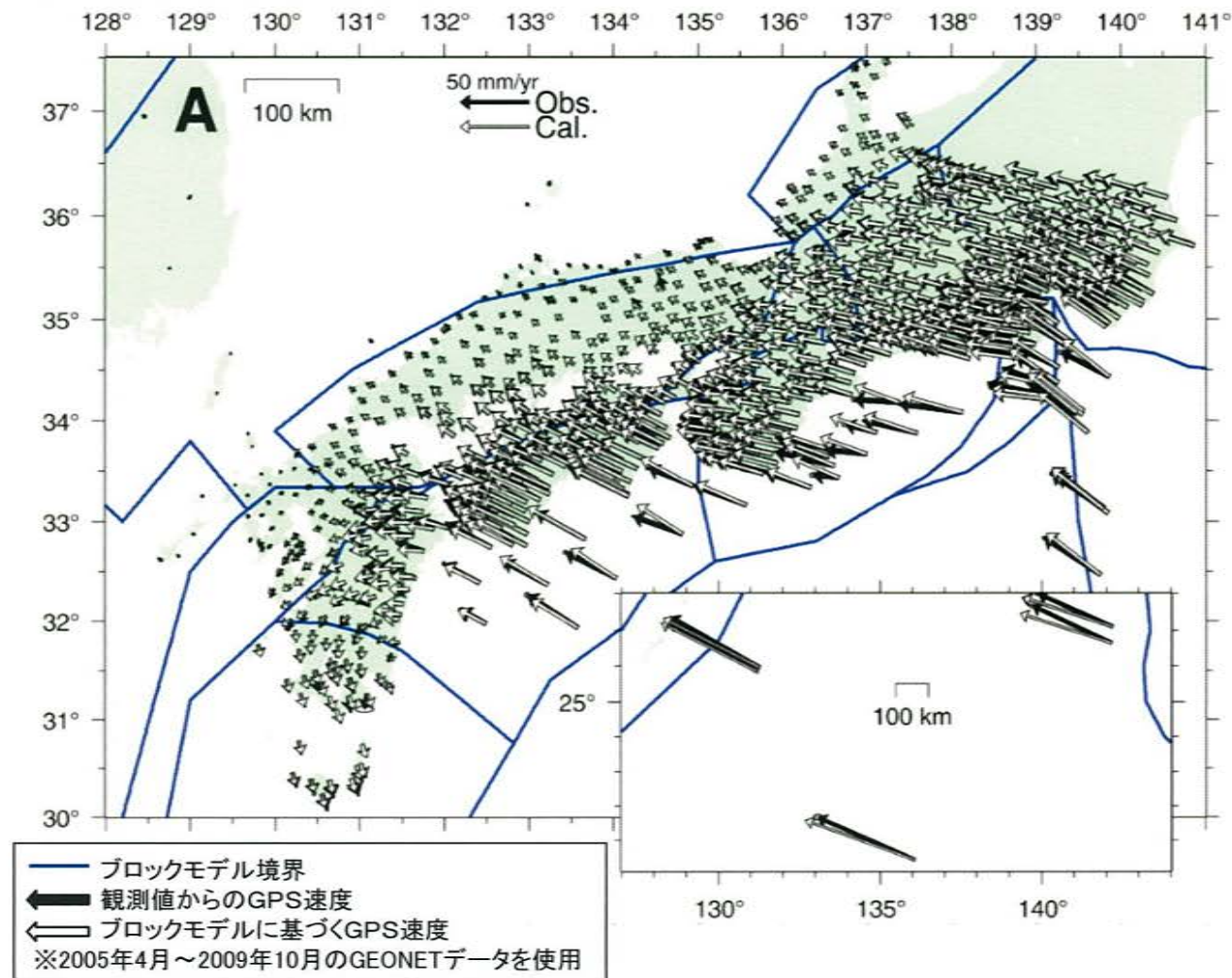
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データおよび一元化处理震源データ(2018年)のうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

(中 ・ 長 期 的 取 組 み)

余 白

1. 広域地殻変動の検討

- 基線長変化には、広域地殻変動も含まれており、マグマ供給量の評価に影響を及ぼす可能性があることから、阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラについて広域地殻変動量を定量的に検討した。
- 阿蘇カルデラ及び加久藤・小林カルデラ周辺の地殻変動は、Nishimura et al.(2018)によると、剛体ブロックが複数あり、変動がそれぞれ異なることが確認されていることから、その変動を多項式近似で仮定して広域地殻変動の検討を行った。



アムールプレートに対するGPS速度 (Nishimura et al. (2018))

1. 広域地殻変動の検討[定常変動期間・検討範囲]

- ・ 検討対象期間はKobayashi et al.(2017)及びNishimura et al.(2018)を参考に、大規模な地震やスロースリップ現象(SSE)が発生していない定常変動期間として、2006年～2008年に設定した。
- ・ 検討範囲は概ね九州全域を対象とし、検討範囲内のGNSS観測点に対し、周囲と比べて変動量や変動方向が異なる観測点等は除外したものを使用した。

[定常変動期間]

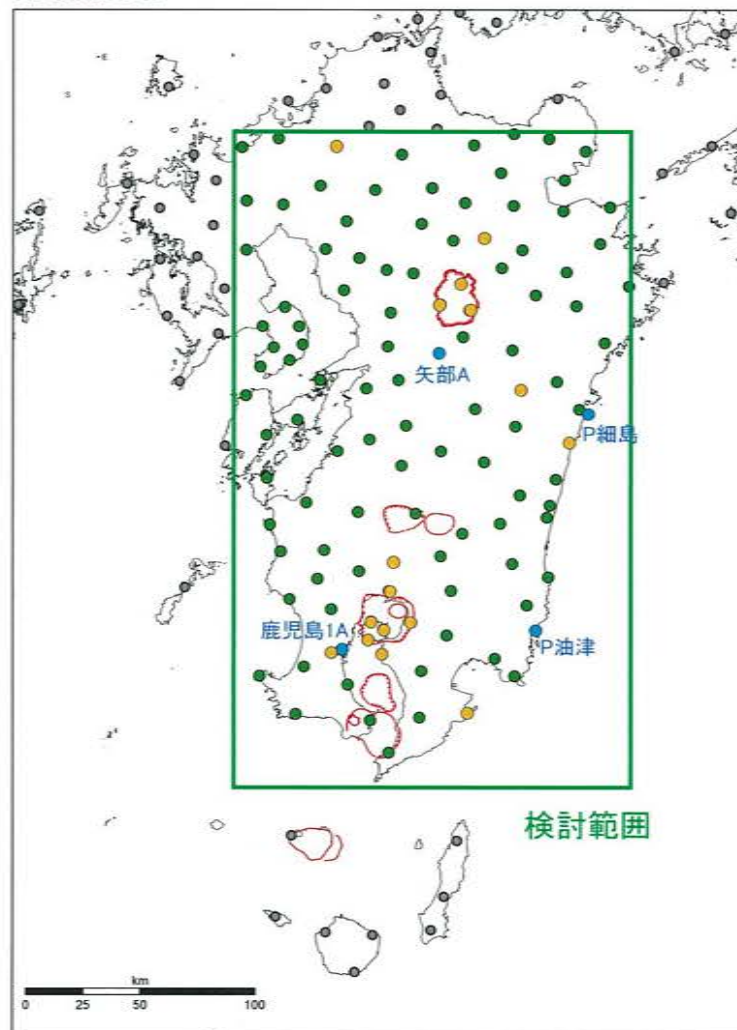
GNSS観測点の定常速度を推定するための各区域における説明
(Kobayashi et al. (2017))

Table 1 Description of blocks (see Fig. 1) for estimating steady-state GNSS station velocities

Block	Area (地域)	Steady period (定常期間)	Unsteady phenomena (非定常現象)
A	Hokkaido	1996-1999, 2001-2002, 2009-2010	01/25/2000 Nemuro-oki M7.0, 09/26/2003 Tokachi-oki M8.0, 11/29/2004 Kushiro-oki M7.1, 12/06/2004 Kushiro-oki M6.9
B	Tohoku N	2001-2002, 2005-2007	12/28/1994 Sanriku hanu-oki M7.5, 05/26/2003 Miyagi-oki M7.1, 09/26/2003 Tokachi-oki M8.0, 06/14/2008 Iwate-Miyagi-naniku M7.2
C	Tohoku S	1996-2004	08/16/2005 Miyagi-oki M7.2, 07/16/2007 Niigata-ken Chuetsu-oki M6.8, 05/08/2008 Ibaraki-oki M7.0
D	Kanto	1996-1999, 2001-2003, 2005-2007, 2010	2000 Izu event, 09/05/2004 off-Kii Pen. M7.4, 10/23/2004 Niigata-ken Chuetsu M6.8, 05/08/2008 Ibaraki-oki M7.0
E	Chubu	1996-1999, 2006-2010	2000-2005 Tokai LSSE, 09/05/2004 off-Kii Pen. M7.4
F	Kinki N	1996-2003, 2006-2008	09/05/2004 off-Kii Pen. M7.4
G	Kii, Shikoku E	1998-2001, 2006-2010	1996-1997 Kii Channel LSSE, 2002-2003 Kii Channel LSSE, 09/05/2004 off-Kii Pen. M7.4
H	Chugoku N	1996-2008	
I	Shikoku W, Kyushu NE (四国西部、九州北東部)	1998-2002, 2006-2008	1996-1997 Bungo Channel LSSE, 2003 Bungo Channel LSSE, 2009-2010 Bungo Channel LSSE, 2005 western part of Shikoku LSSE, 03/20/2005 Fukuoka-oki M7.0
J	Kyushu NW (九州北東部)	1996-2009	
K	Kyushu S (九州南部)	2004-2009, 2012-2015	10/19/1996 Hyuga-nada M6.9, 03/26/1997 Kagoshima-ken Satsuma M6.6
L	Okinawa	1996-2001, 2004-2015	12/18/2001 Taiwan-oki M7.3, 03/26/2002 Ishigaki-oki 7.0
M	Izu-Bonin	1996-2015	

All: 03/11/2011 Tohoku-oki M9.0
LSSE long-term slow slip event

[検討範囲]



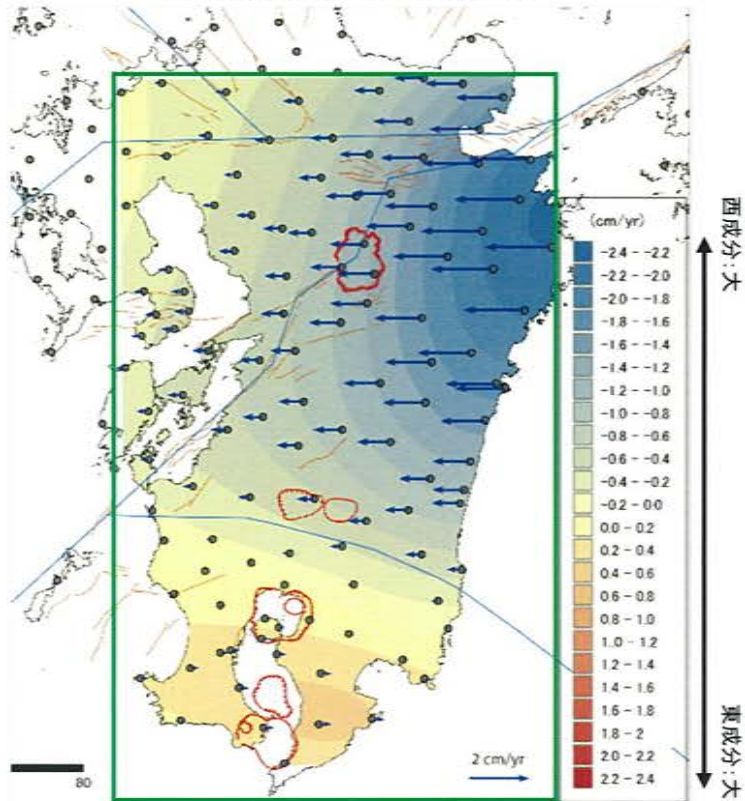
- 検討に用いた観測点
- 周囲の観測点と比べ変動方向や変動量が異なるため除外する観測点
- 定常変動期間以降に運用を開始しているため除外する観測点
- 検討範囲外の観測点

Nishimura et al. (2018) では2005年4月から2009年10月にかけて地震と短期的事象のない安定した期間とし、GNSS観測点の定常変位速度を推定し、ブロックモデルを使用して、西南日本のひずみ分布とプレート間カップリングを議論している。

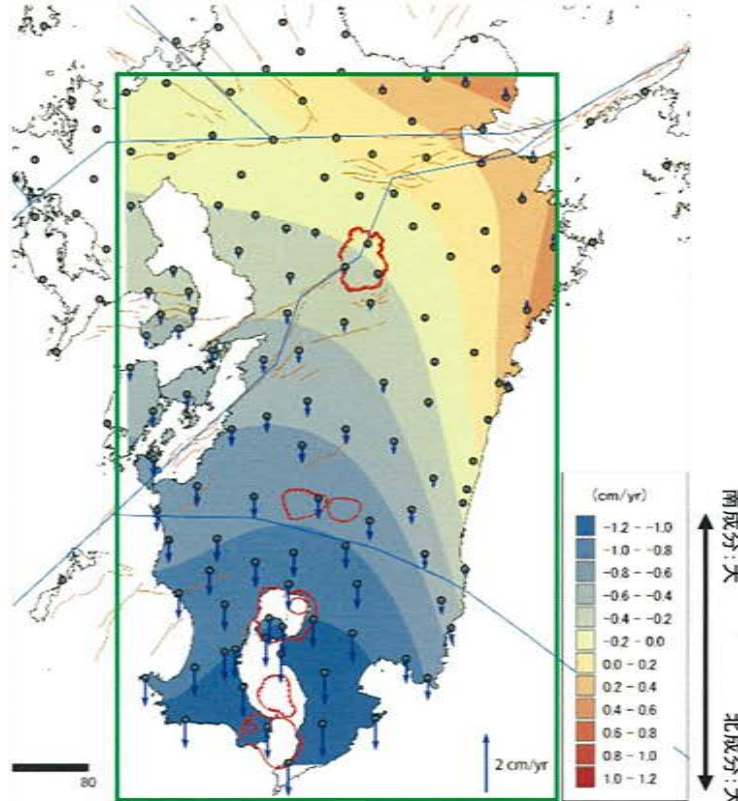
1. 広域地殻変動の検討[多項式の決定]

- 変位速度ベクトルを東西成分と南北成分に分けて、それぞれの二乗平均平方根誤差(RMSE)を求めた。
- 二乗平均平方根誤差(RMSE)が収束する最小の次数を求め、多項式を決定した。

〔東西成分(多項式次数5)〕



〔南北成分(多項式次数4)〕



〔多項式の求め方〕

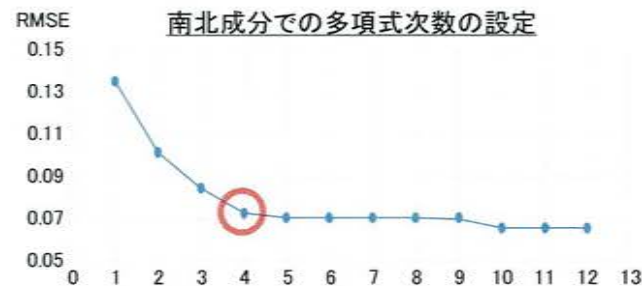
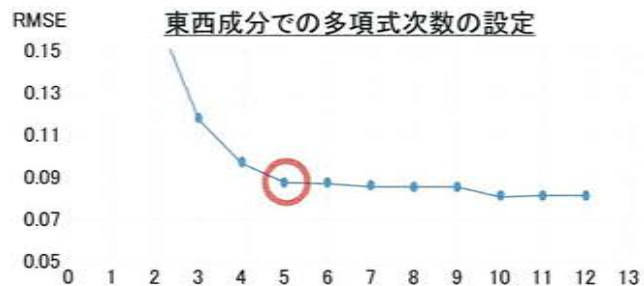
- 長期間又は地球的なトレンドの効果の検証や除去に用いられるトレンド内挿法を参考とした。
- 検討に用いた全てのGNSS観測点の経度(x)と緯度(y)より、二乗平均平方根誤差(RMSE)が小さくなるような係数(c_n)を求める。
- 上記係数より設定した多項式(下式)に、各観測点の経度・緯度を与え、東西方向または南北方向の変動を算出する。

(3次式の例)

変動(東西又は南北) =

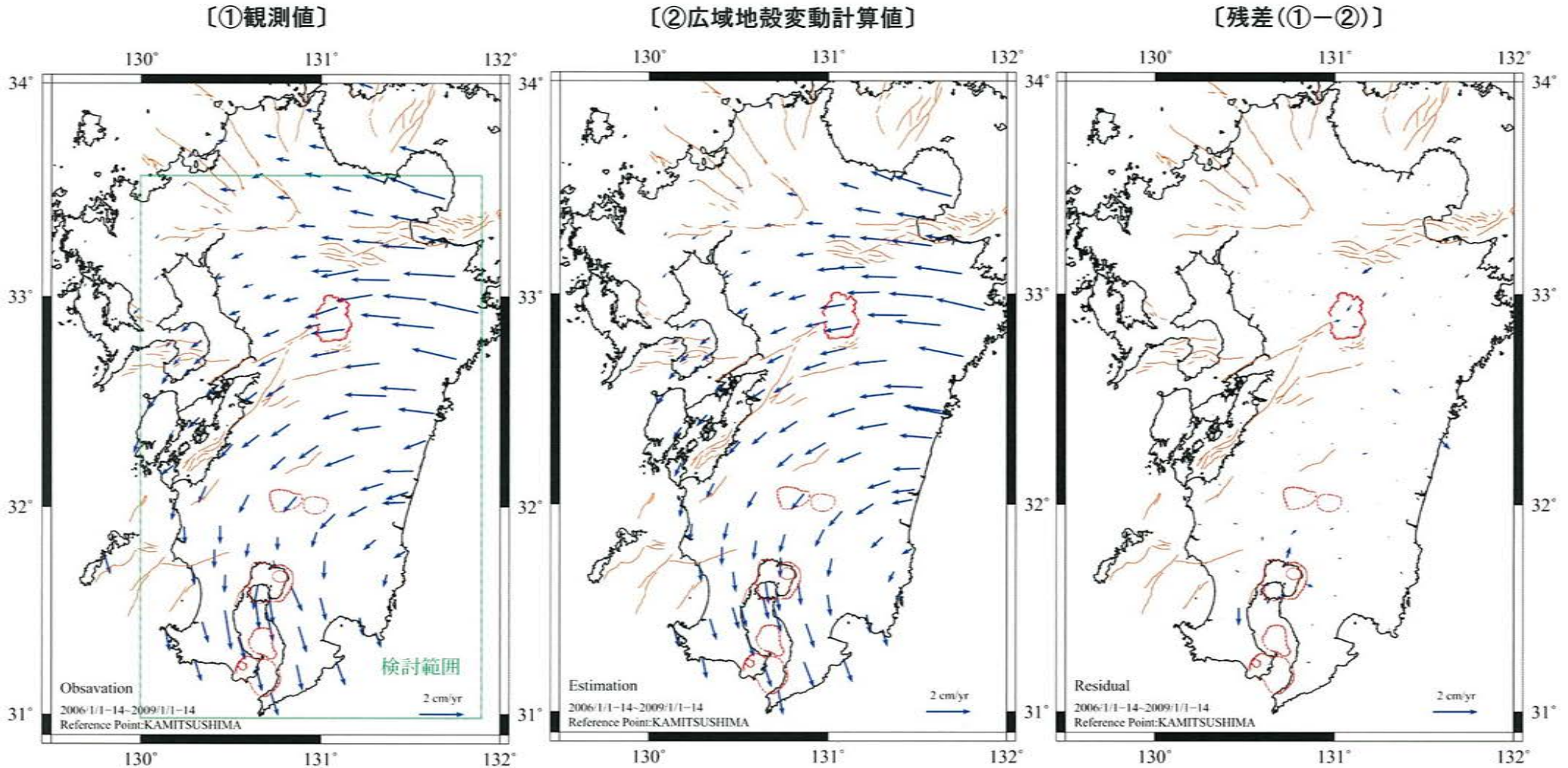
$$c_0 + x \cdot c_1 + y \cdot c_2 + x^2 \cdot c_3 + x \cdot y \cdot c_4 + y^2 \cdot c_5 + x^3 \cdot c_6 + x^2 \cdot y \cdot c_7 + x \cdot y^2 \cdot c_8 + y^3 \cdot c_9$$

— Nishimura et al. (2018)によるブロックモデル境界 — 地震調査研究推進本部による活断層



1. 広域地殻変動の検討[変位速度ベクトル図]

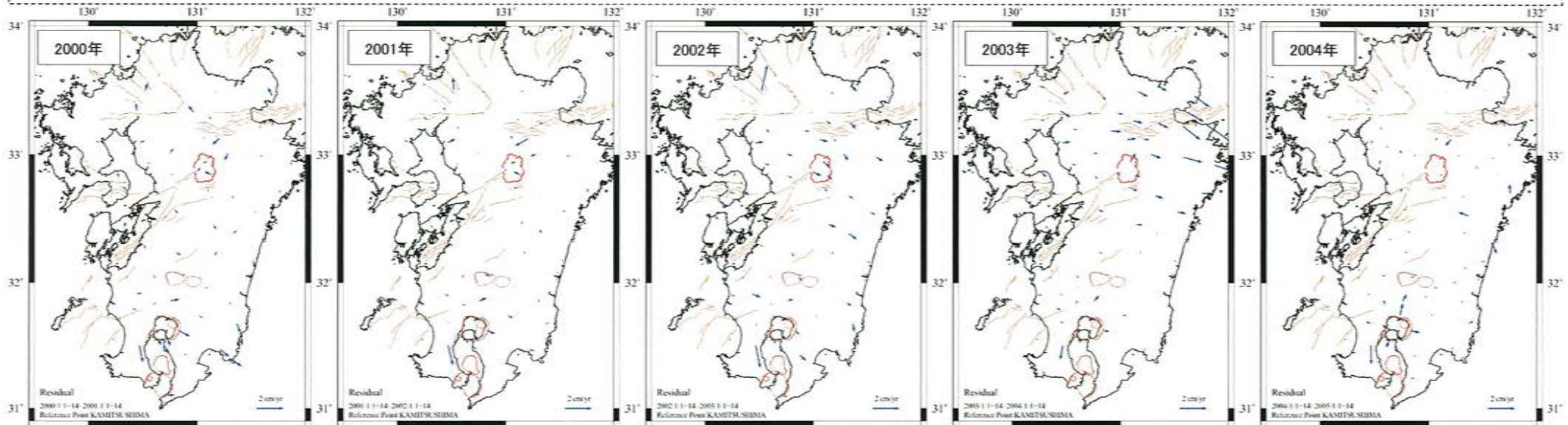
- 定常変位期間での観測値を、推定した広域地殻変動計算値で差し引くことで残差を求めた。
- その結果、ほとんどのGNSS観測点で残差が小さな値となった。



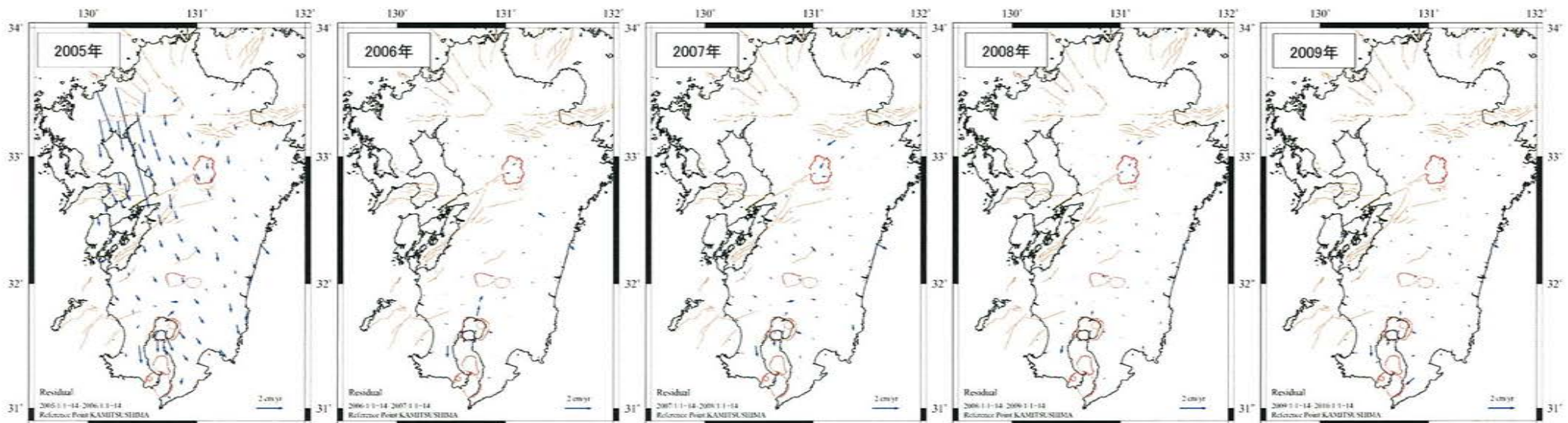
期間:2006年1月1-14日~2009年1月1-14日
固定局:上対馬

1. 広域地殻変動の検討[変位速度ベクトル図(2000年~2009年)]

- 2000年~2009年の観測値を、推定した広域地殻変動計算値で差し引くことで残差を求めた。



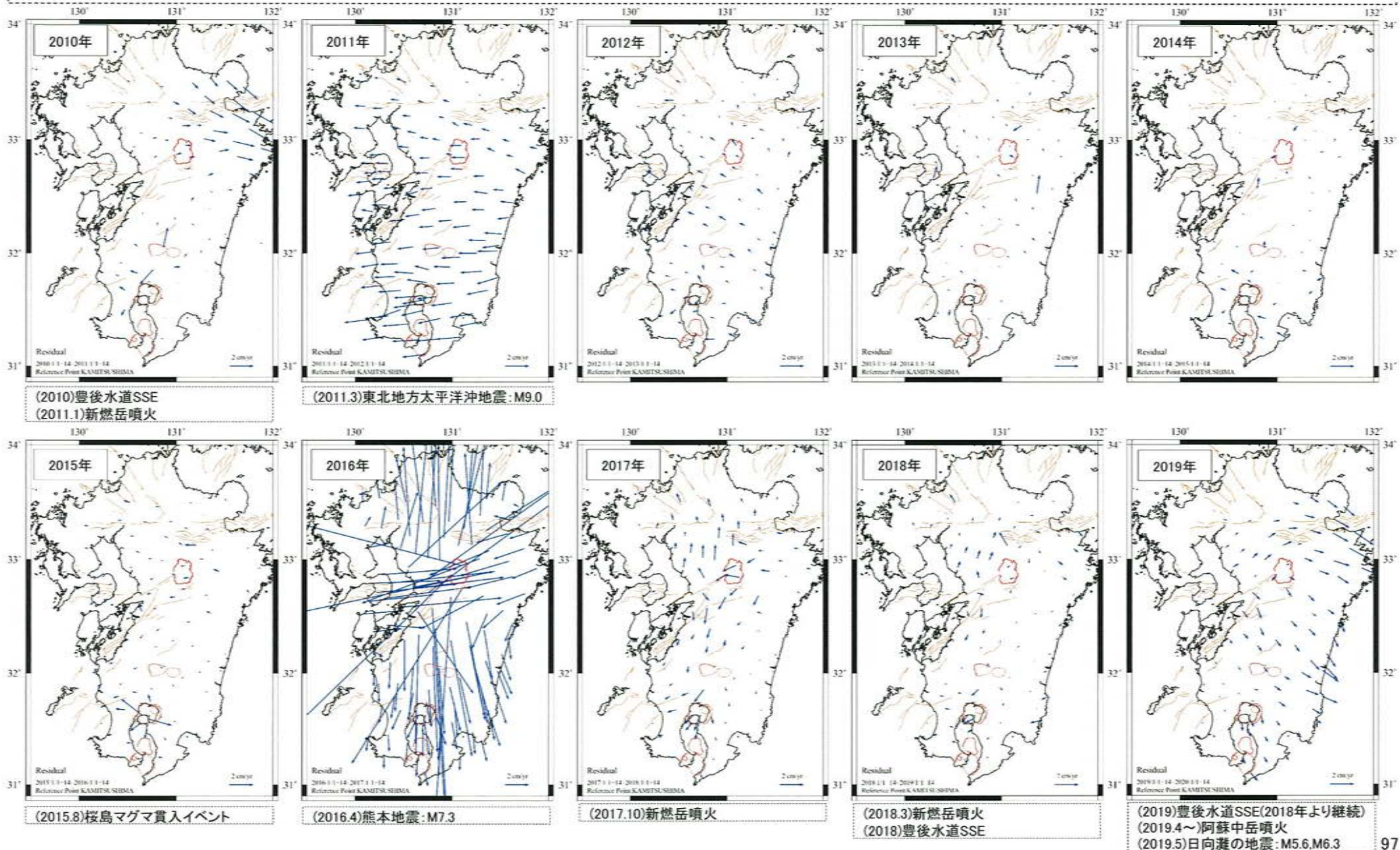
(2003)豊後水道SSE



(2005.3)福岡県西方沖地震:M7.0

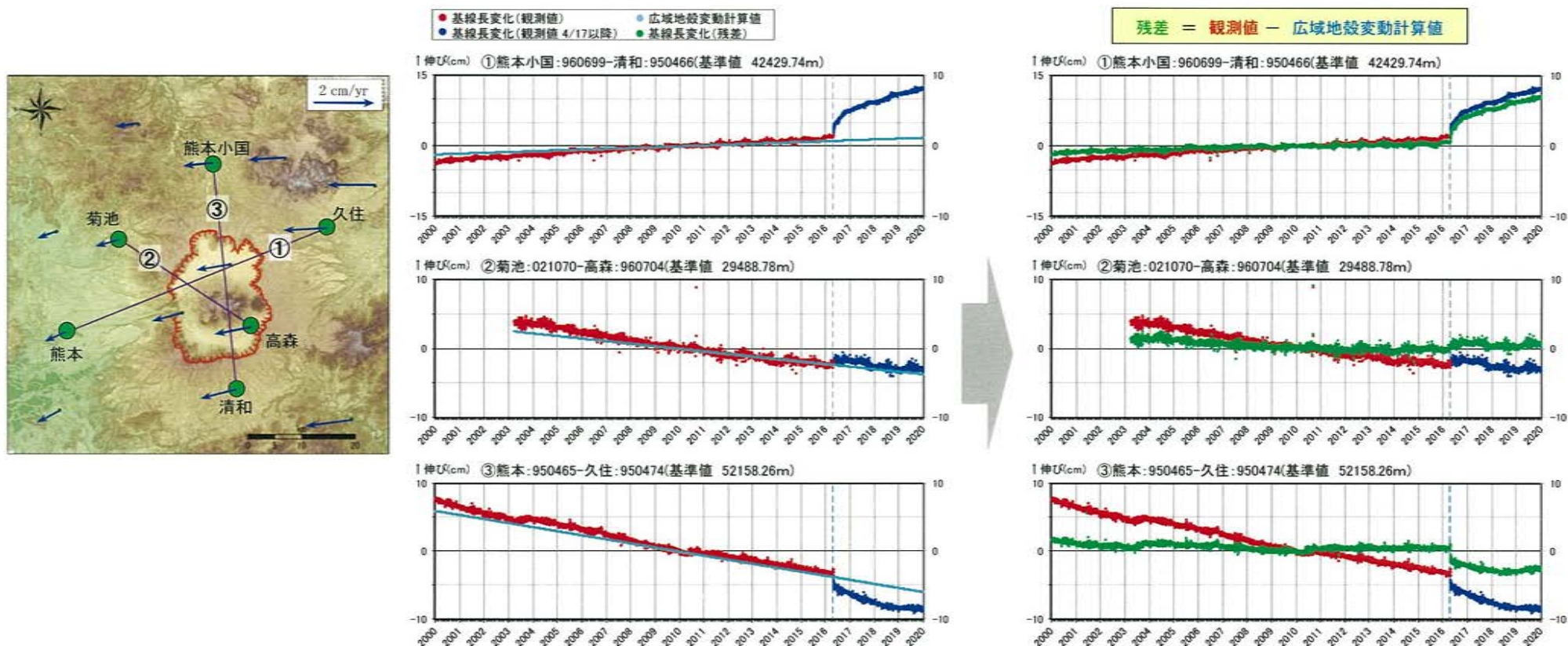
1. 広域地殻変動の検討[変位速度ベクトル図(2010年~2019年)]

・ 2010年~2019年の観測値を、推定した広域地殻変動計算値で差し引くことで残差を求めた。



1. 広域地殻変動の検討[阿蘇カルデラの基線長変化]

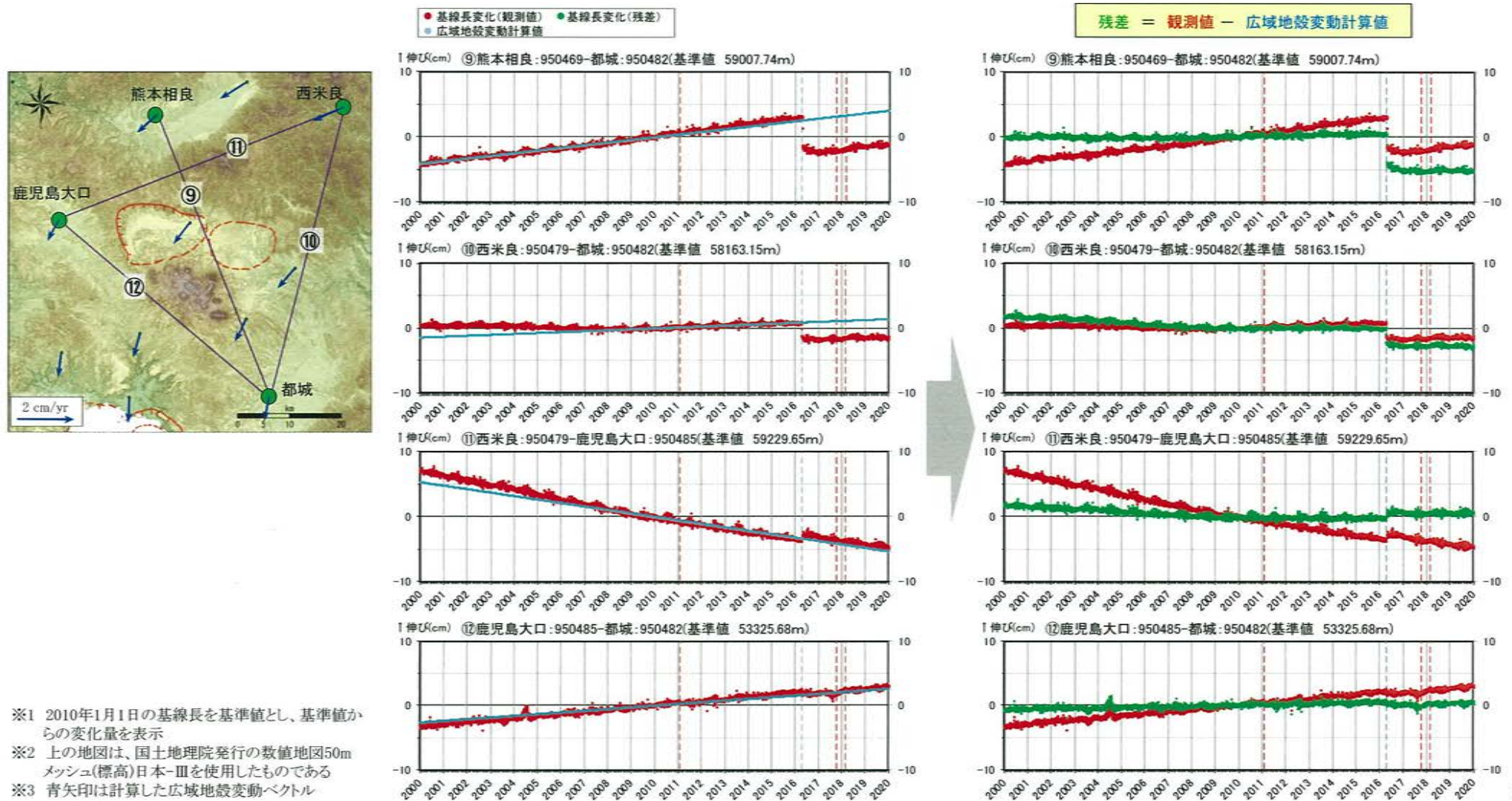
- 阿蘇カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値に比べて変動量が小さくなることが認められた。
- モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。



- ※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 上の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである
- ※3 青矢印は計算した広域地殻変動ベクトル

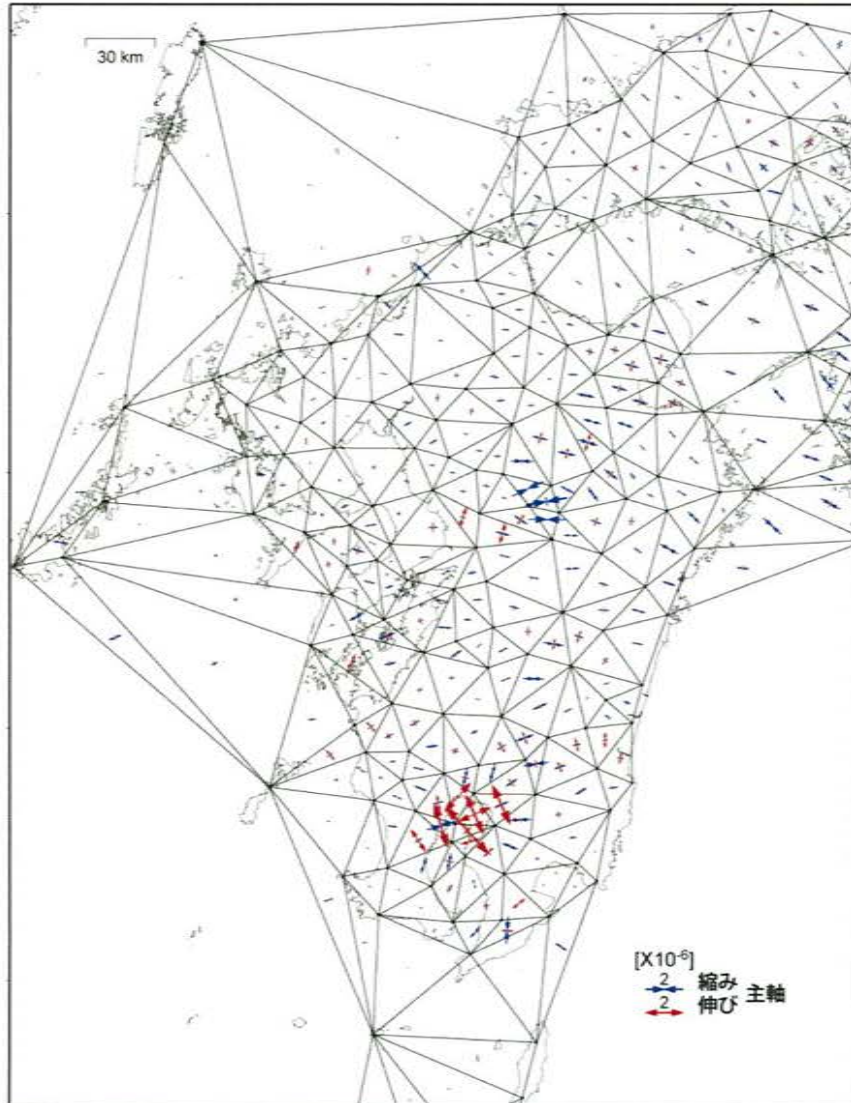
1. 広域地殻変動の検討[加久藤・小林カルデラの基線長変化]

- ・加久藤・小林カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値に比べて変動量が小さくなることが認められた。
- ・モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。

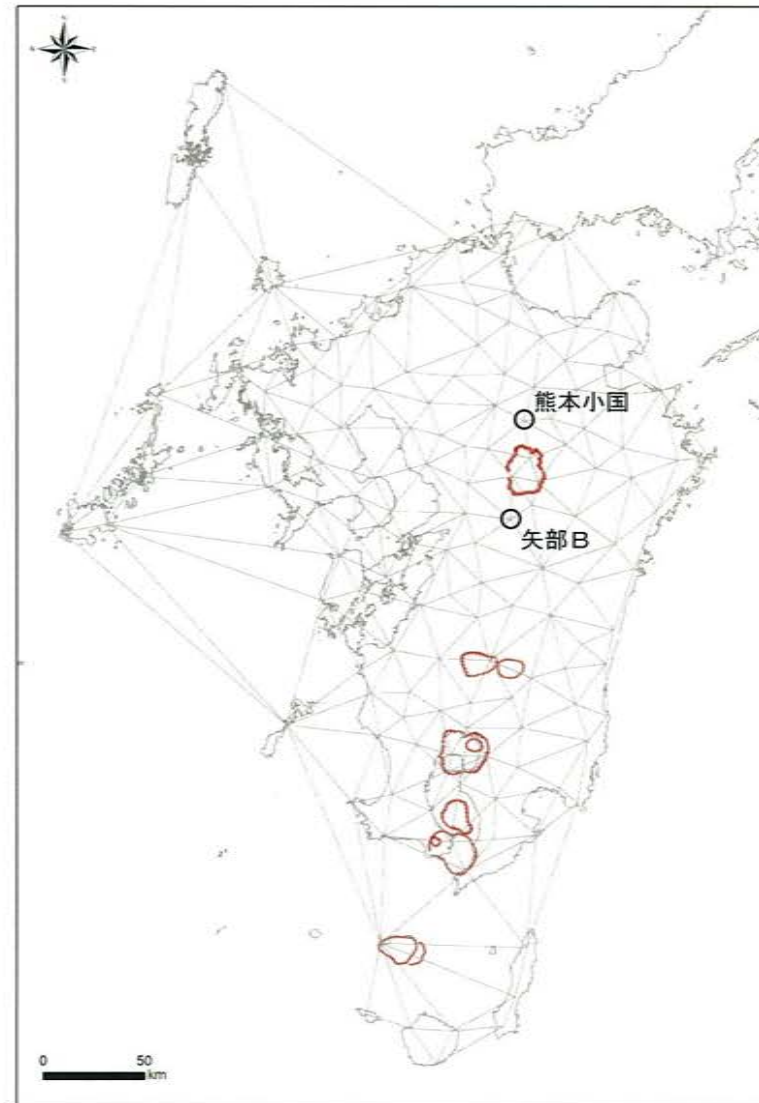


2. カルデラ火山周辺のひずみ場検討 [概要]

- 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、地震調査委員会を基にしたメッシュに、基準点「熊本小国」と「矢部B」を追加したメッシュの切り方に変更した。



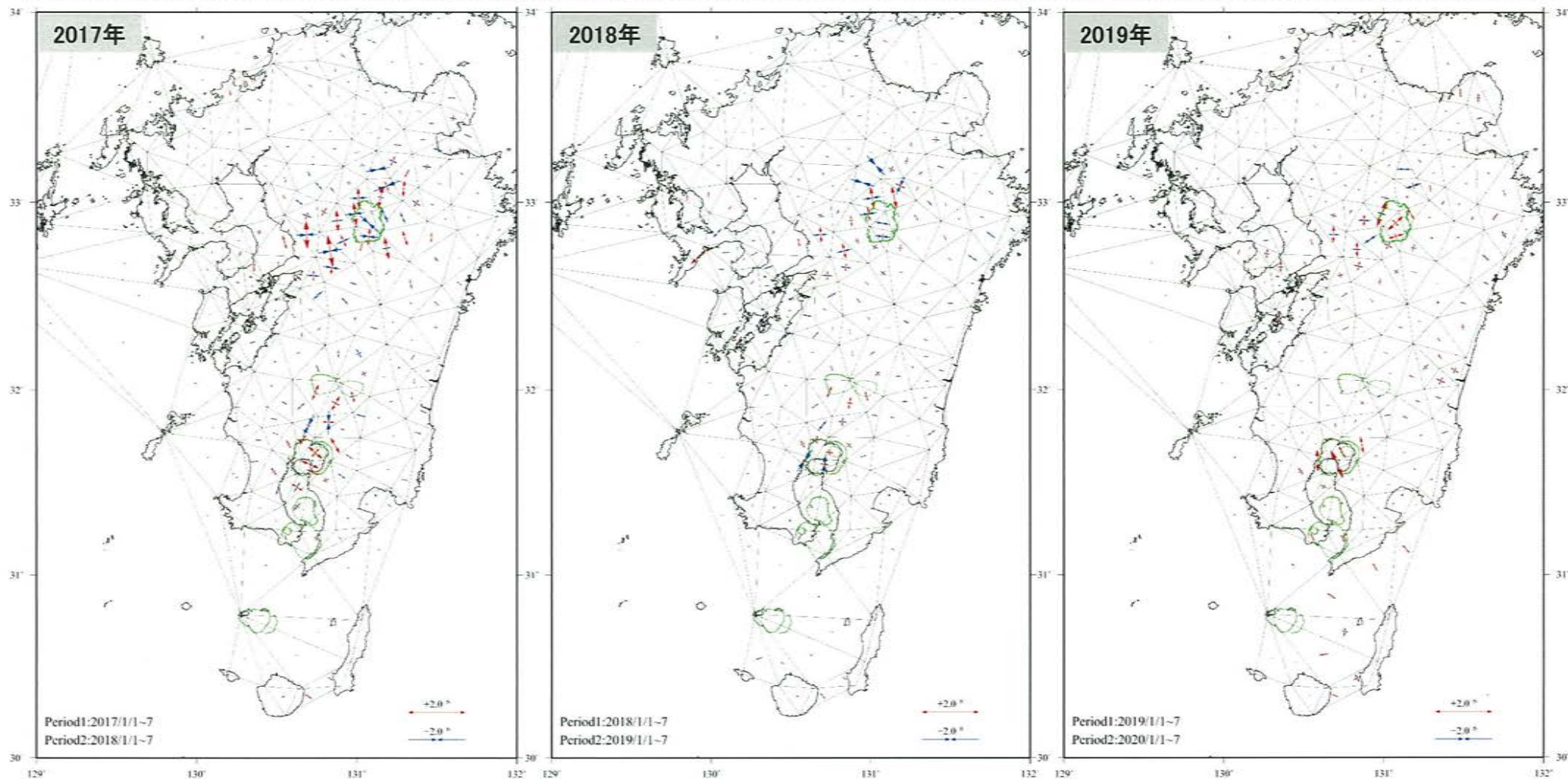
地震調査委員会の解析メッシュ【九州地域の活断層の長期評価(第一版)】



当社の解析メッシュ

2. カルデラ火山周辺のひずみ場検討

- 阿蘇カルデラ周辺では熊本地震の影響、始良カルデラ周辺では火山の影響と考えられる継続的なひずみが認められる。また、鬼界では2019年1月8日の種子島近海の地震(M6.0)の影響と考えられるひずみが認められるが、加久藤・小林カルデラおよび阿多カルデラでは、顕著なひずみは認められない。
- カルデラを含めた九州全域のひずみ場の整理も継続的に行い、引き続きデータを蓄積しながら地殻変動観測に努めていく。



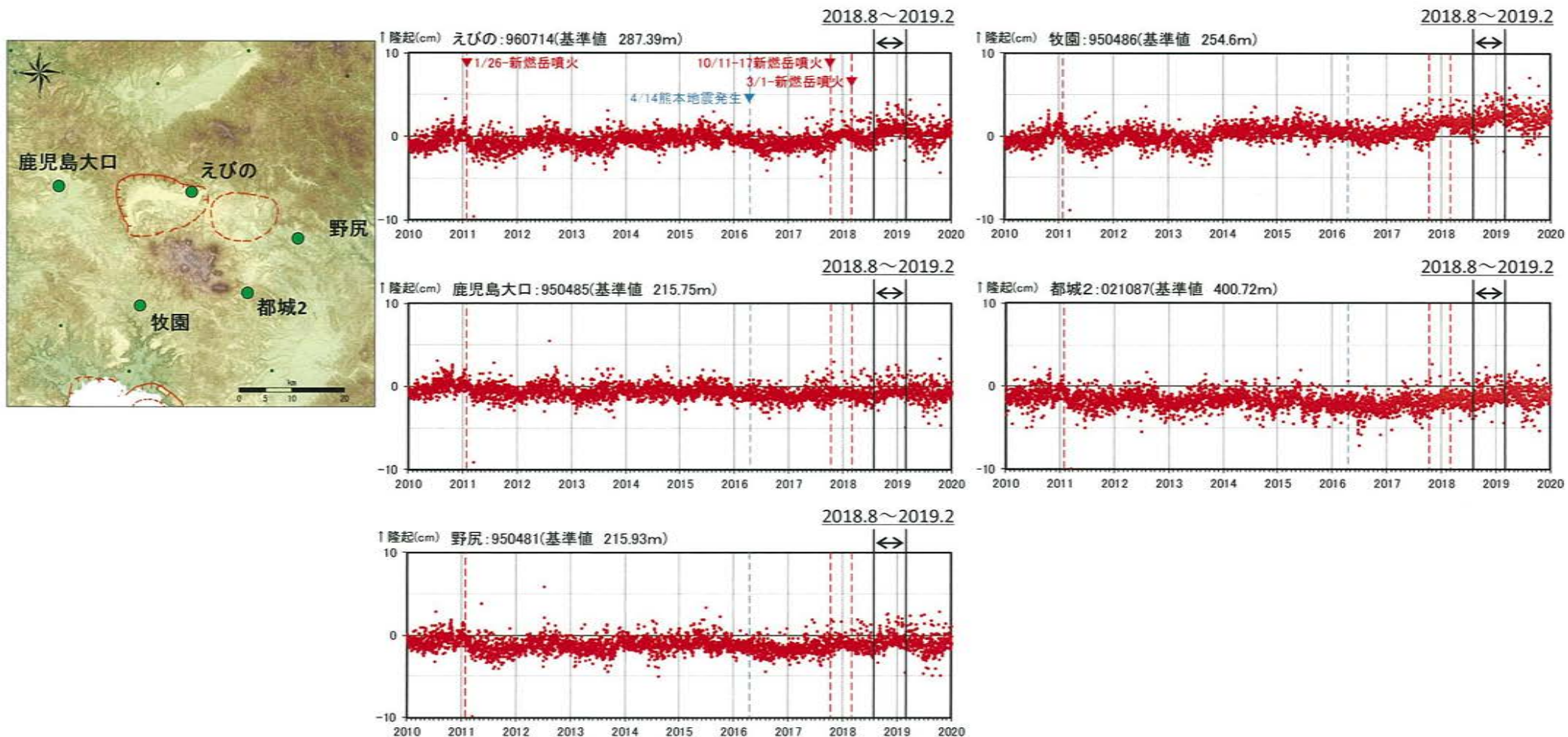
※1 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1~7までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※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2019/12/24~30までのデータで作成(北九州2は2019/12/31~2020/1/8でデータ欠如)

3. 加久藤・小林カルデラ周辺の鉛直変動の検討

- ・加久藤・小林カルデラの地殻変動について、2018年8月頃～2019年2月頃にかけて小規模な隆起が認められたことから、その原因について検討した。

〔加久藤・小林カルデラ近傍のGNSS観測点の鉛直変動〕

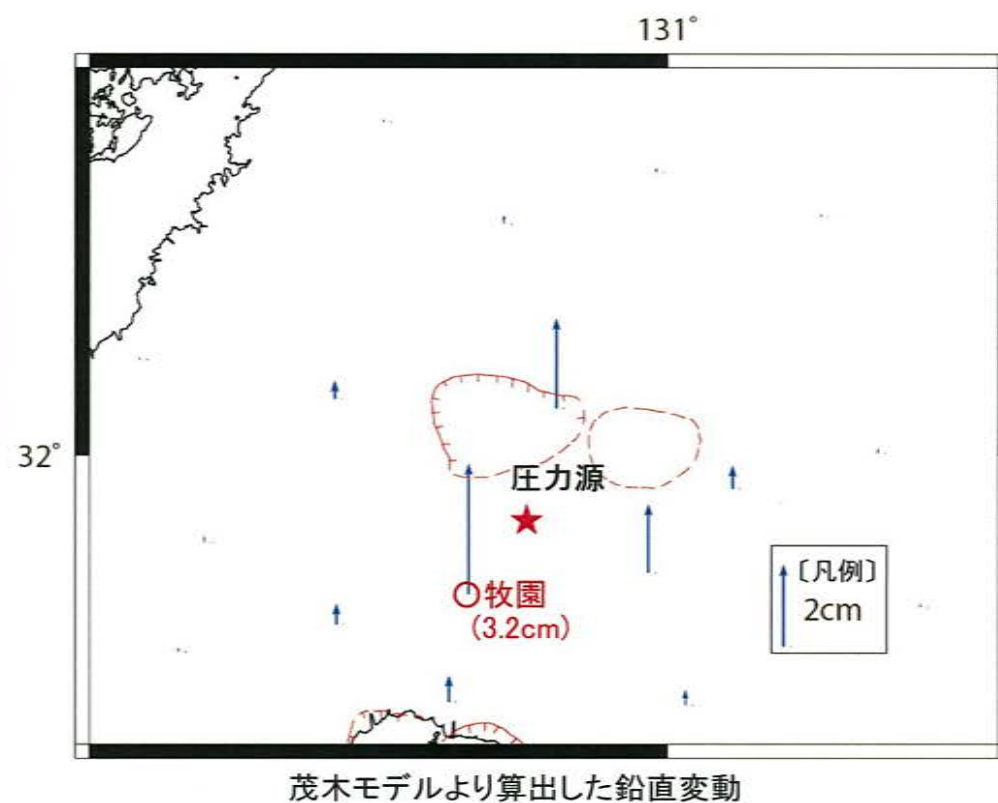
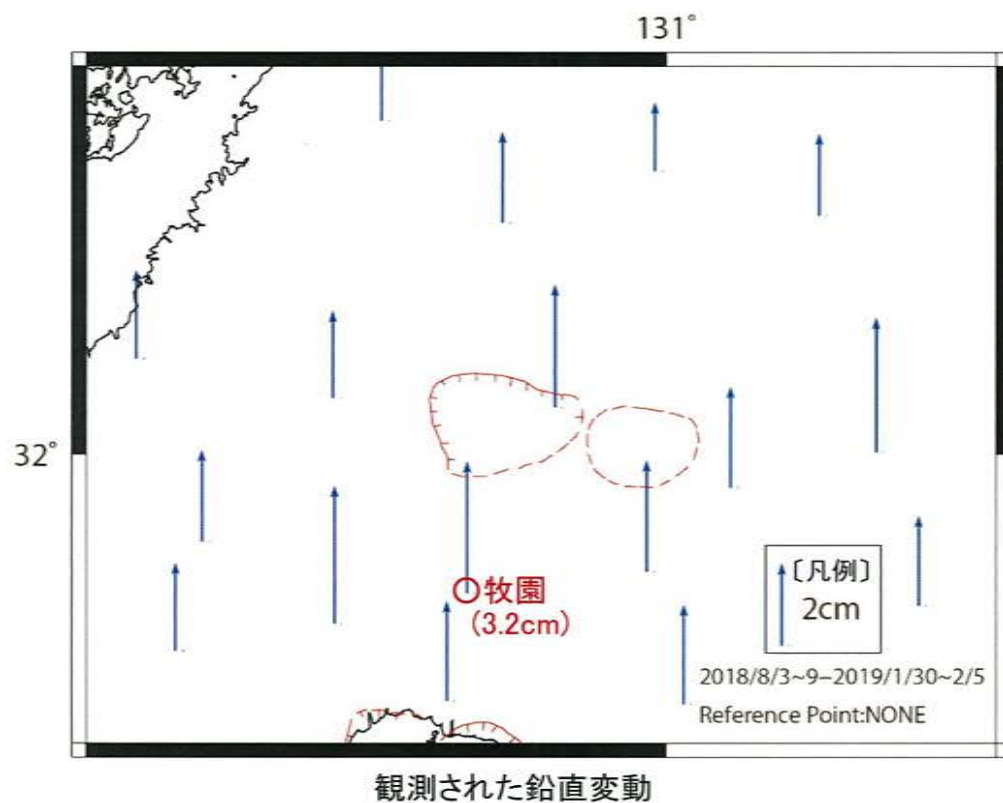


この地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-IIIを使用したものである。

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

3. 加久藤・小林カルデラ周辺の鉛直変動の検討[①活火山による影響]

- 活火山による影響を検討するため、霧島山において圧力源を仮定し(Nakao et al.(2013)の圧力源位置と深度(9.18km)を参考)、茂木モデルを用いて算出した鉛直変動と観測された鉛直変動の比較を行った。
- GNSS観測点「牧園」で観測された鉛直変動を再現するマグマ供給量を、圧力源に与えて鉛直変動を算出した結果、圧力源近傍では観測結果に近い鉛直変動が見られるものの、その周辺の鉛直変動は観測結果と比べて小さいことから、霧島山の影響とは考えにくい。



3. 加久藤・小林カルデラ周辺の鉛直変動の検討[②広範囲の鉛直変動]

- ・加久藤・小林カルデラよりも広範囲での鉛直変動を把握するため、全国のGNSS観測点(代表点)における当該期間の鉛直変動を検討した。その結果、当該期間において全国的に一様に隆起していることが認められた(図2)。
- ・当該期間の1年前後の同期間での鉛直変動を確認したところ、全国的に一様な隆起は認められなかった(図1, 3)。
- ・①活火山による影響及び②広範囲の鉛直変動の検討結果より、鉛直変動は少なくとも加久藤・小林カルデラの影響ではないと考えられる。

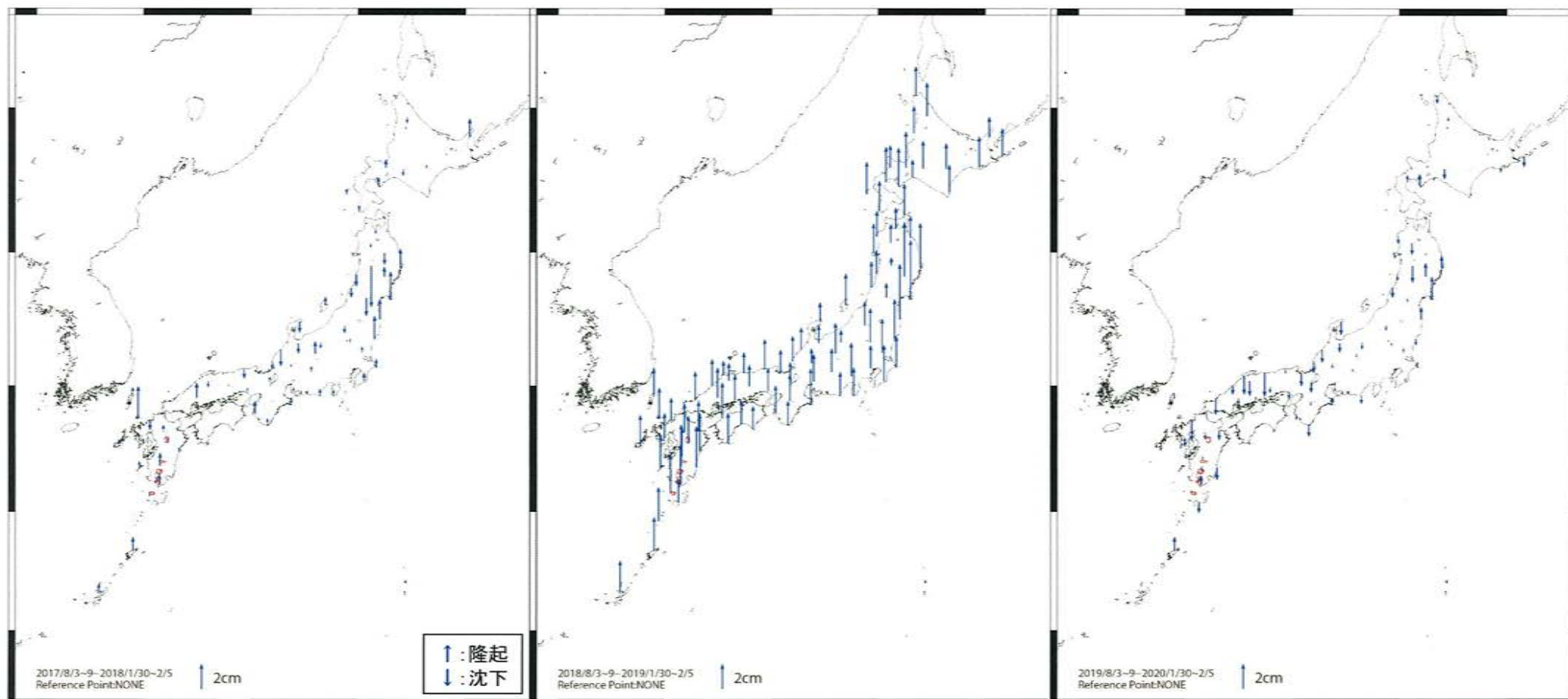


図1 2017年8月～2018年2月の全国の鉛直変動

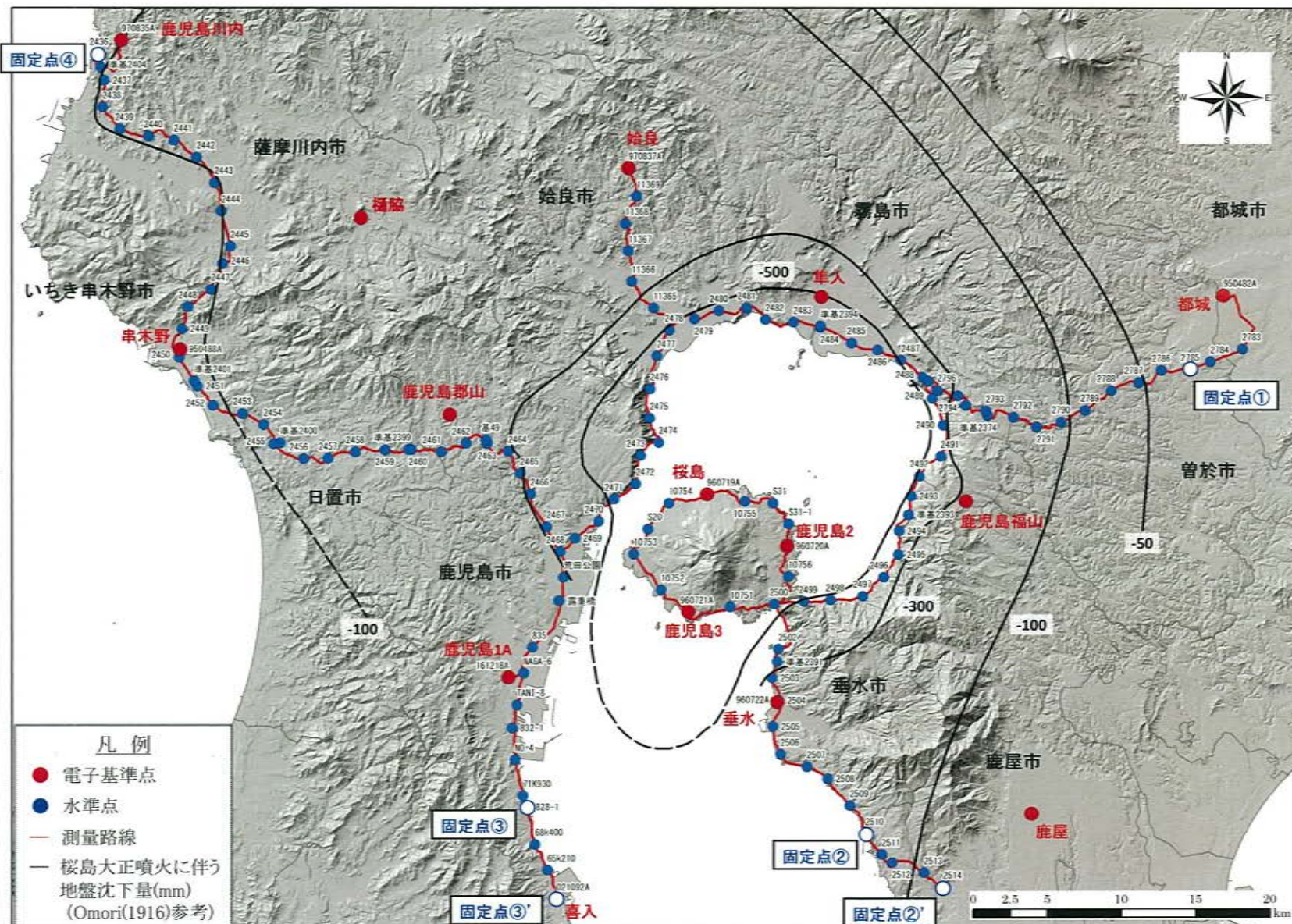
図2 2018年8月～2019年2月の全国の鉛直変動

図3 2019年8月～2020年2月の全国の鉛直変動

余 白

4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果 [概要]

・始良カルデラについて、鉛直方向の地殻変動を面的に精度良く把握することを目的として、2014年度より水準測量を毎年実施している。

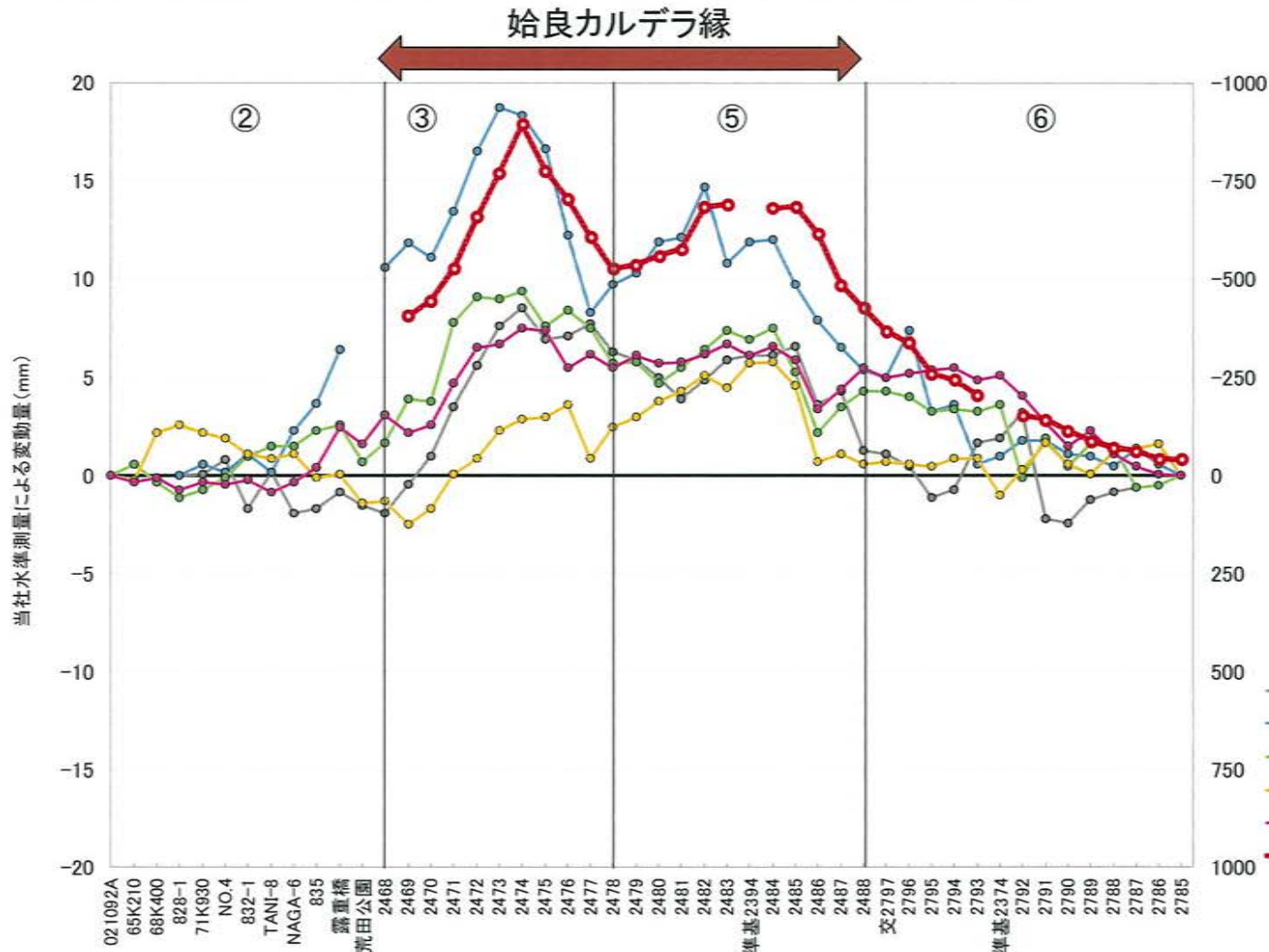


※電子基準点は、国土地理院によるGNSS観測点で、観測路線近傍に設置されている箇所を表示。

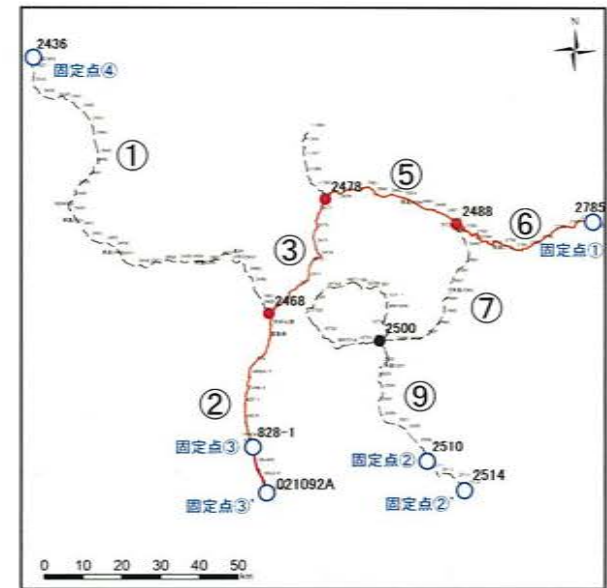
4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

・ 水準測量の結果より、2019年度の始良カルデラ縁の測線の変動量は、2018年度と比較して大きくなっているものの、2017年度の変動量と同程度であり、顕著な隆起は無いことを確認した。

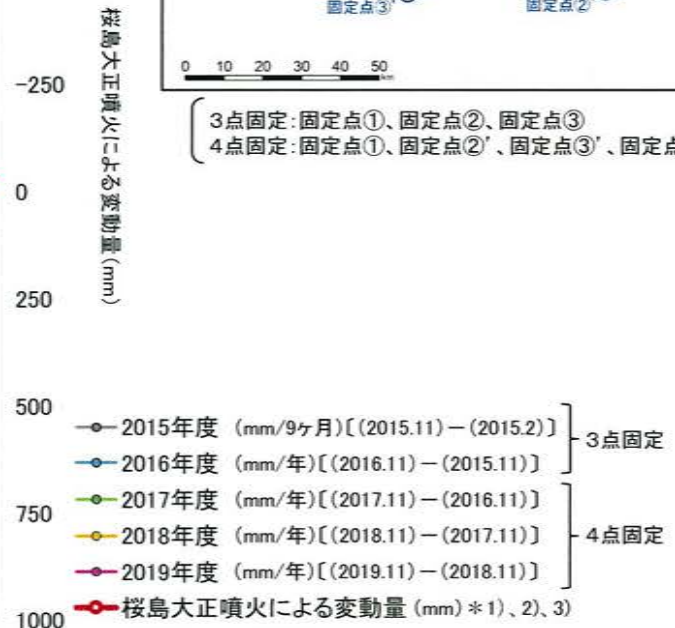
※鉛直変動の傾向を見るため、桜島大正噴火の鉛直変動の軸(反転)と変動量を調整し表示



水準測量による垂直変化量の比較【基線②-③-⑤-⑥】

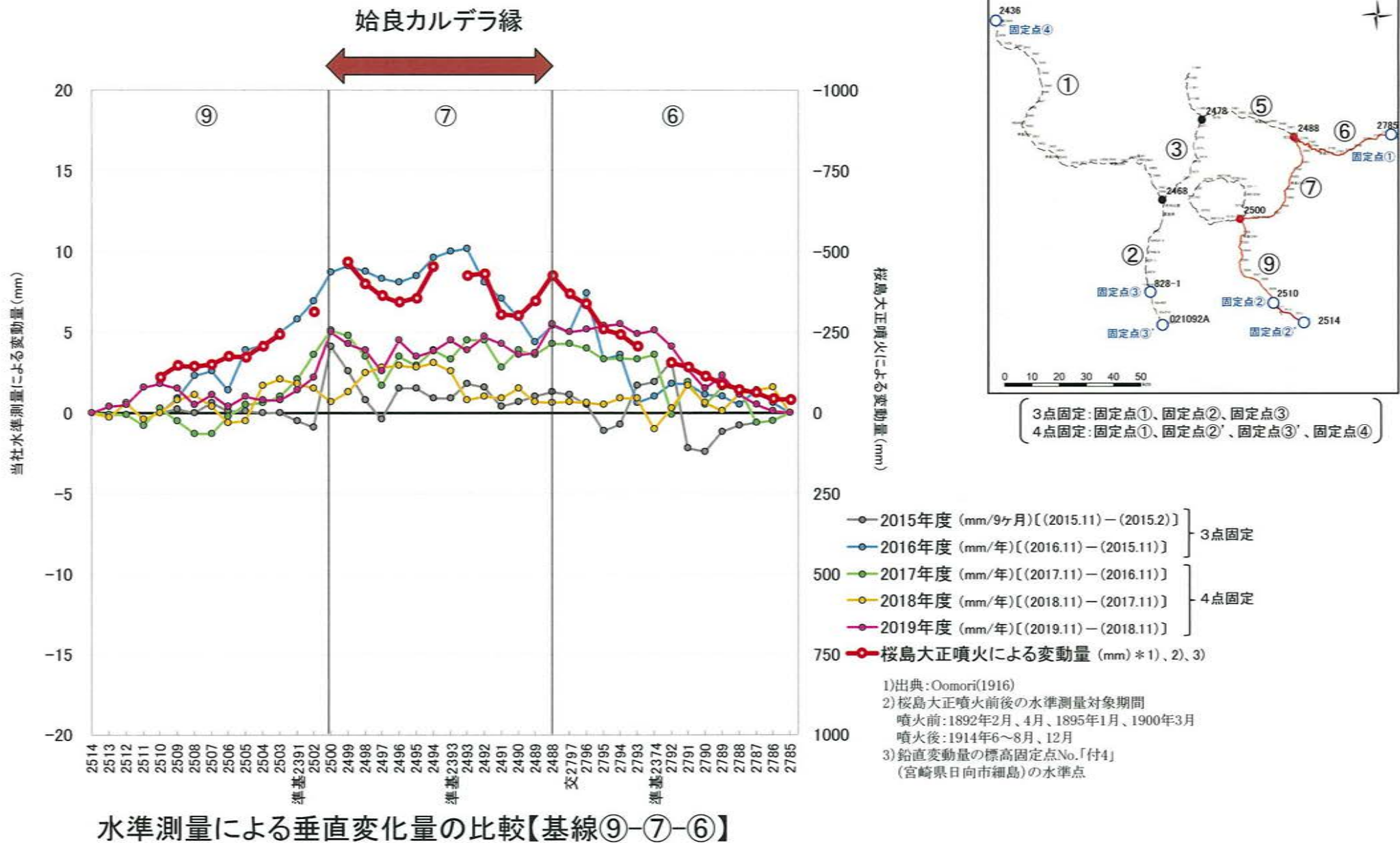


3点固定: 固定点①、固定点②、固定点③
 4点固定: 固定点①、固定点②'、固定点③'、固定点④

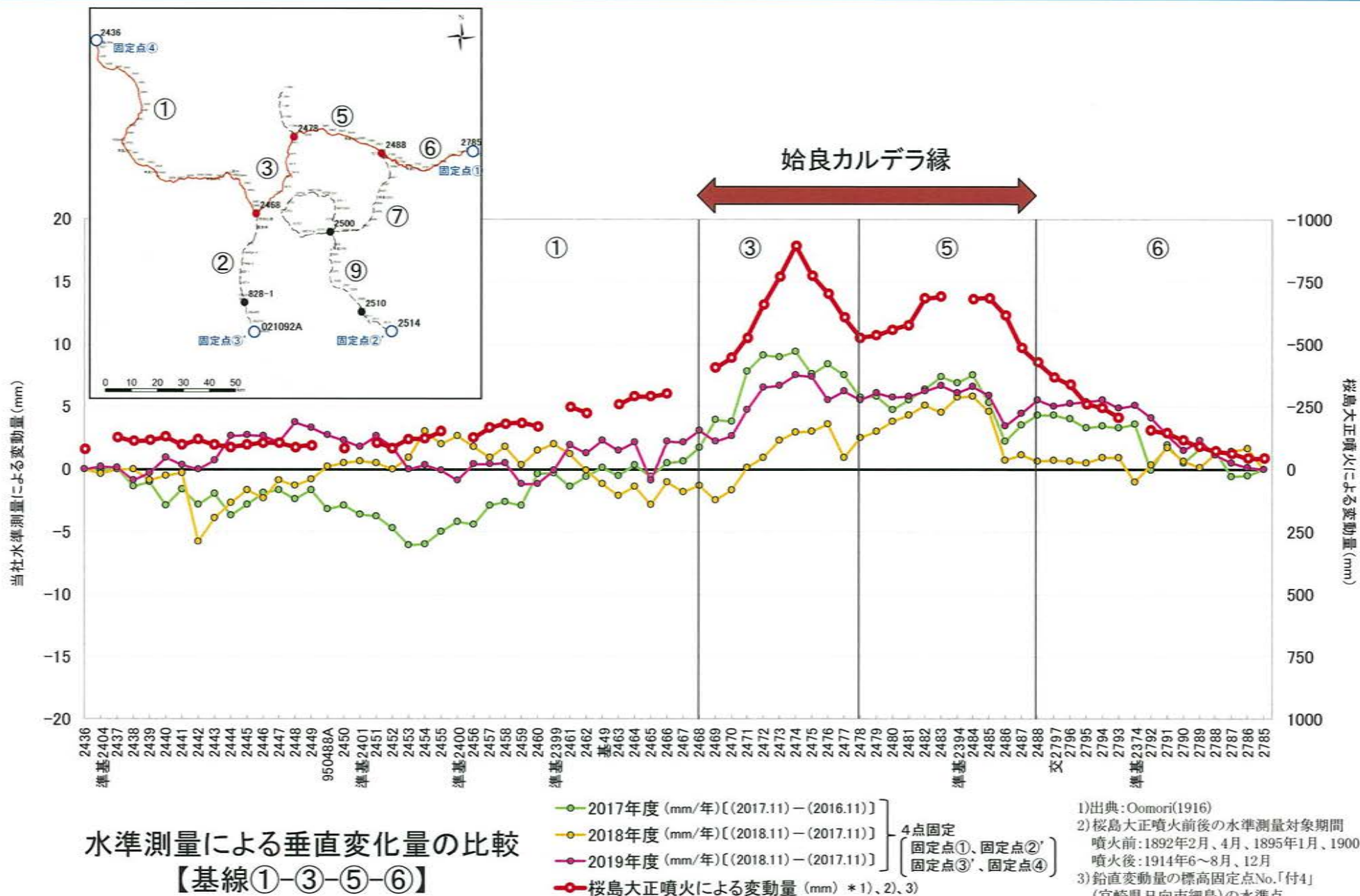


- 1) 出典: Oomori(1916)
- 2) 桜島大正噴火前後の水準測量対象期間
 噴火前: 1892年2月、4月、1895年1月、1900年3月
 噴火後: 1914年6~8月、12月
- 3) 鉛直変動量の標高固定点No.「付4」
 (宮崎県日向市細島)の水準点

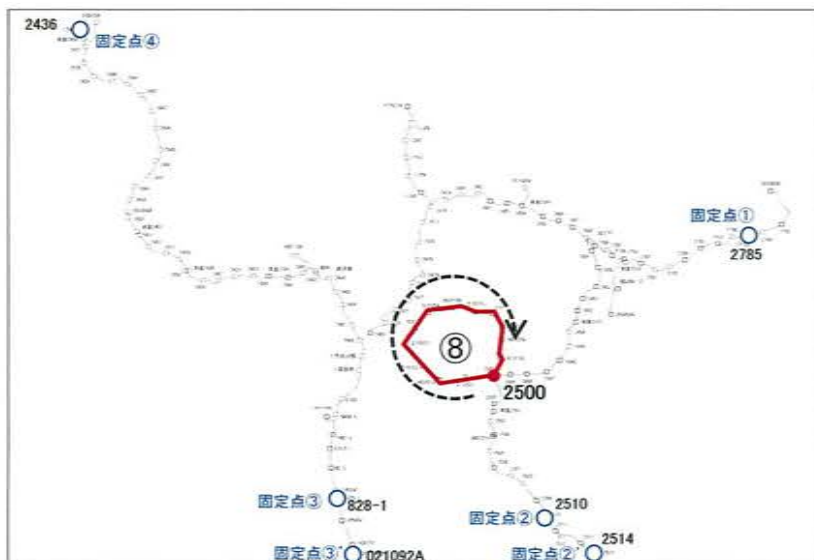
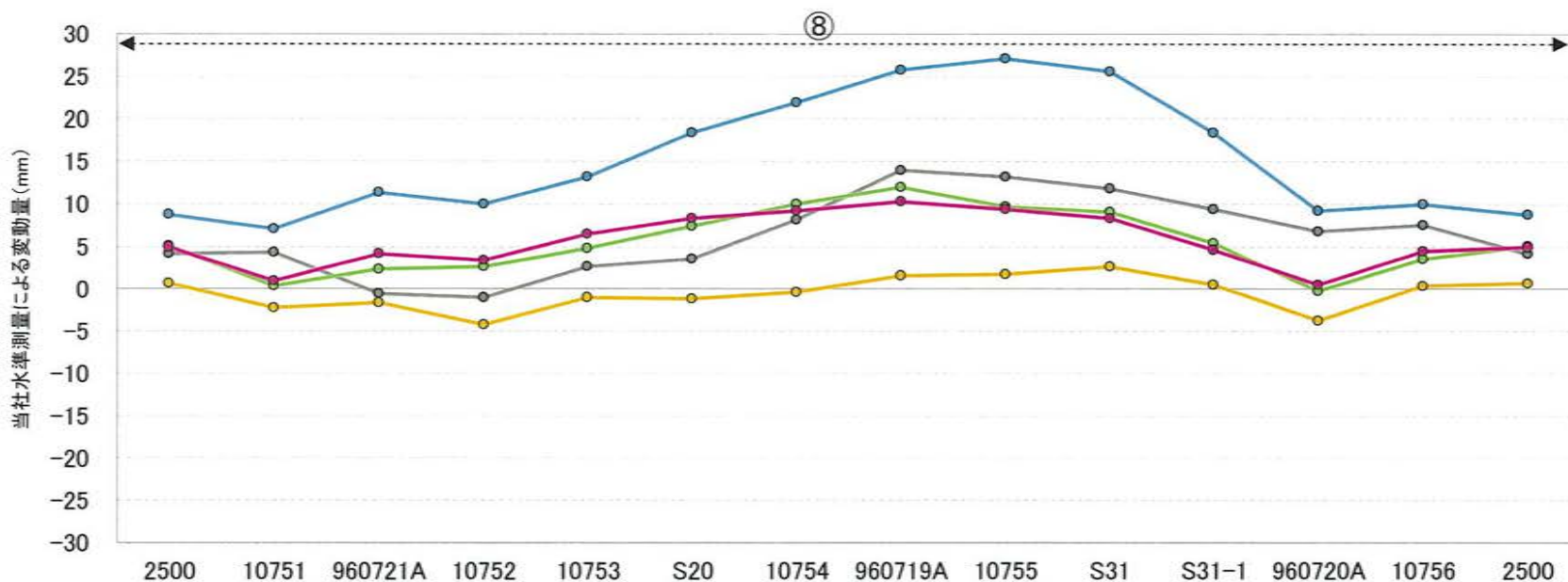
4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果



4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果



4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果[桜島周り]



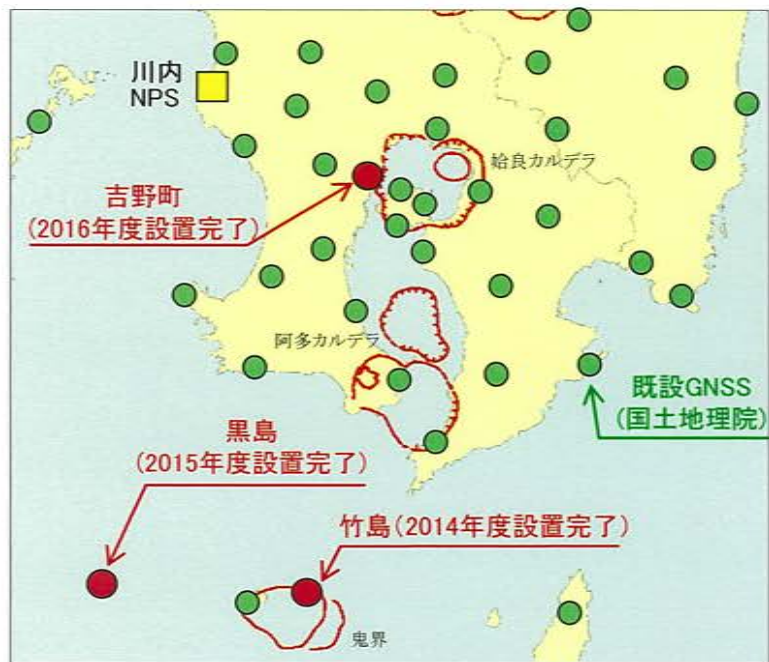
- 2015年度 (mm/9ヶ月)[(2015.11)–(2015.2)]
 - 2016年度 (mm/年)[(2016.11)–(2015.11)]
 - 2017年度 (mm/年)[(2017.11)–(2016.11)]
 - 2018年度 (mm/年)[(2018.11)–(2017.11)]
 - 2019年度 (mm/年)[(2019.11)–(2018.11)]
- } 3点固定
 } 4点固定

3点固定: 固定点①、固定点②、固定点③
 4点固定: 固定点①、固定点②'、固定点③'、固定点④

余 白

5. 当社GNSS機器による観測結果 [設置状況]

観測点の増設により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カルデラ評価を補完している。
※GNSS観測機器の仕様は国土地理院と同様



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

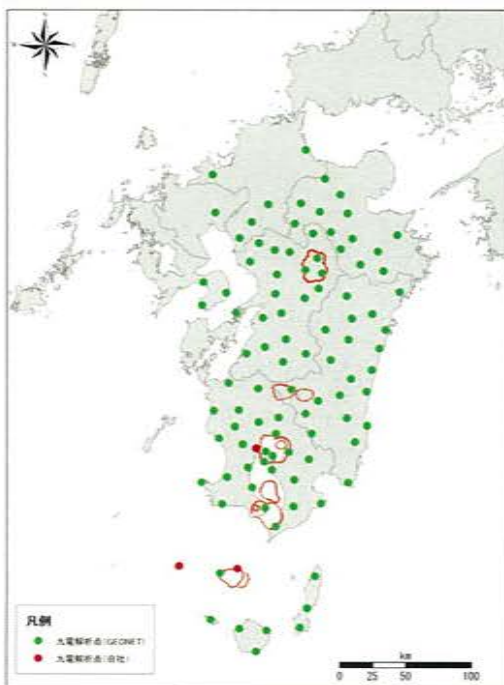
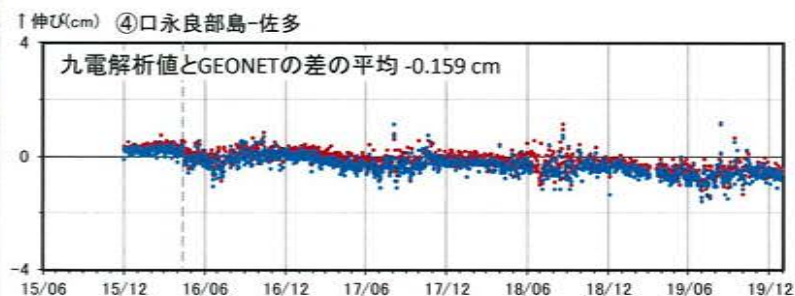
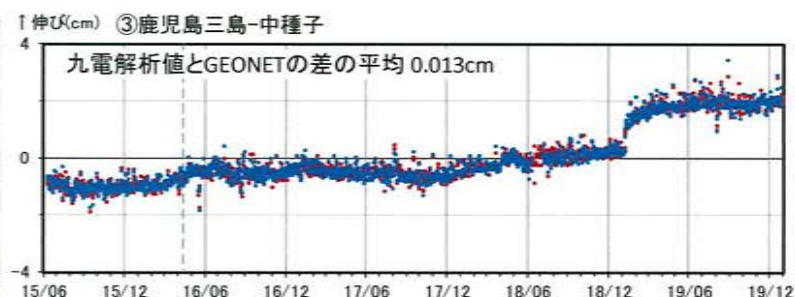
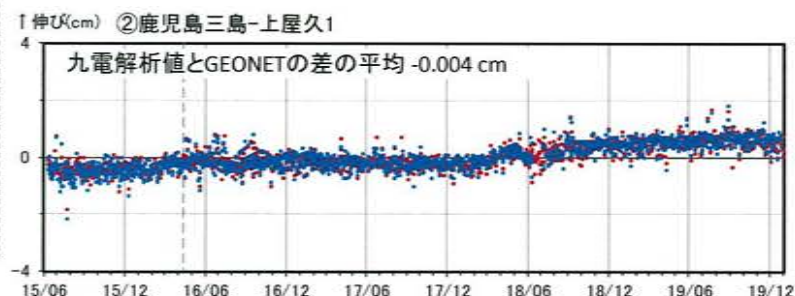
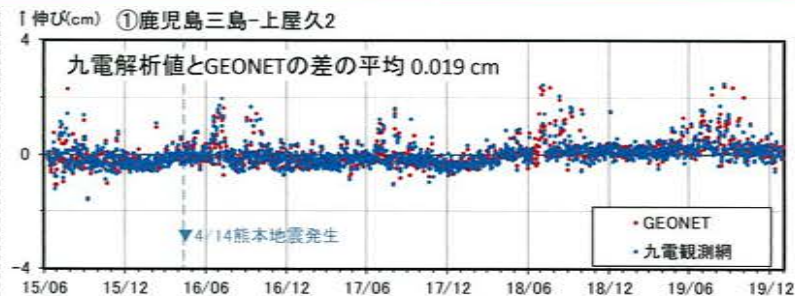


吉野町の機器設置状況

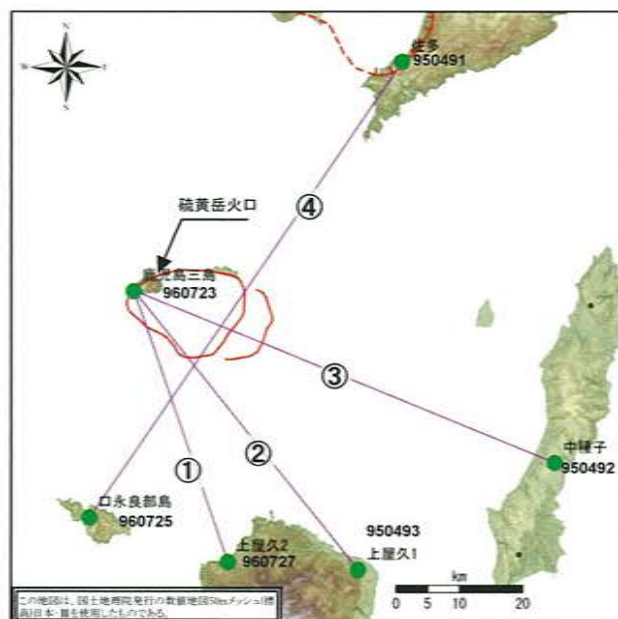
5. 当社GNSS機器による観測結果 [解析処理について]

- 当社観測点(竹島・黒島・吉野町)については、GEONETと同様のGNSS解析ソフトウェア(Bernese[※])を用いた当社独自の解析を実施。
- GEONETと当社解析では、主に解析点数の違い(九電:九州地方約100点, GEONET:全国約1300点)や解析固定点の違い(九電:前原・行橋・上屋久1, GEONET:つくば1)が異なる。
- なお、GEONETデータと当社解析値を比較した場合、双方の解析結果は概ね同等である。

※Bernese: スイスのBern大学の研究者らにより開発されたGNSS解析ソフトウェア。測地学分野の研究者により、よく利用されるソフトウェアのひとつであり、解析の際、電離層、気象要素などの影響を補正し、精密な座標値を決定することが可能。



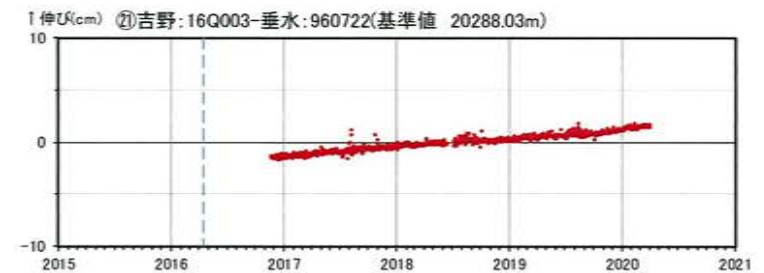
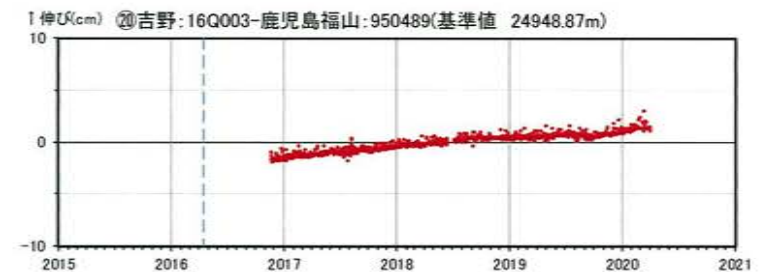
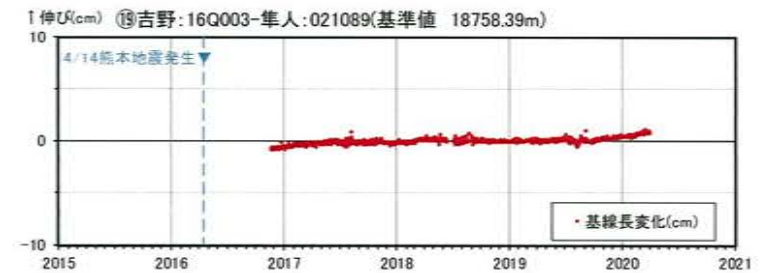
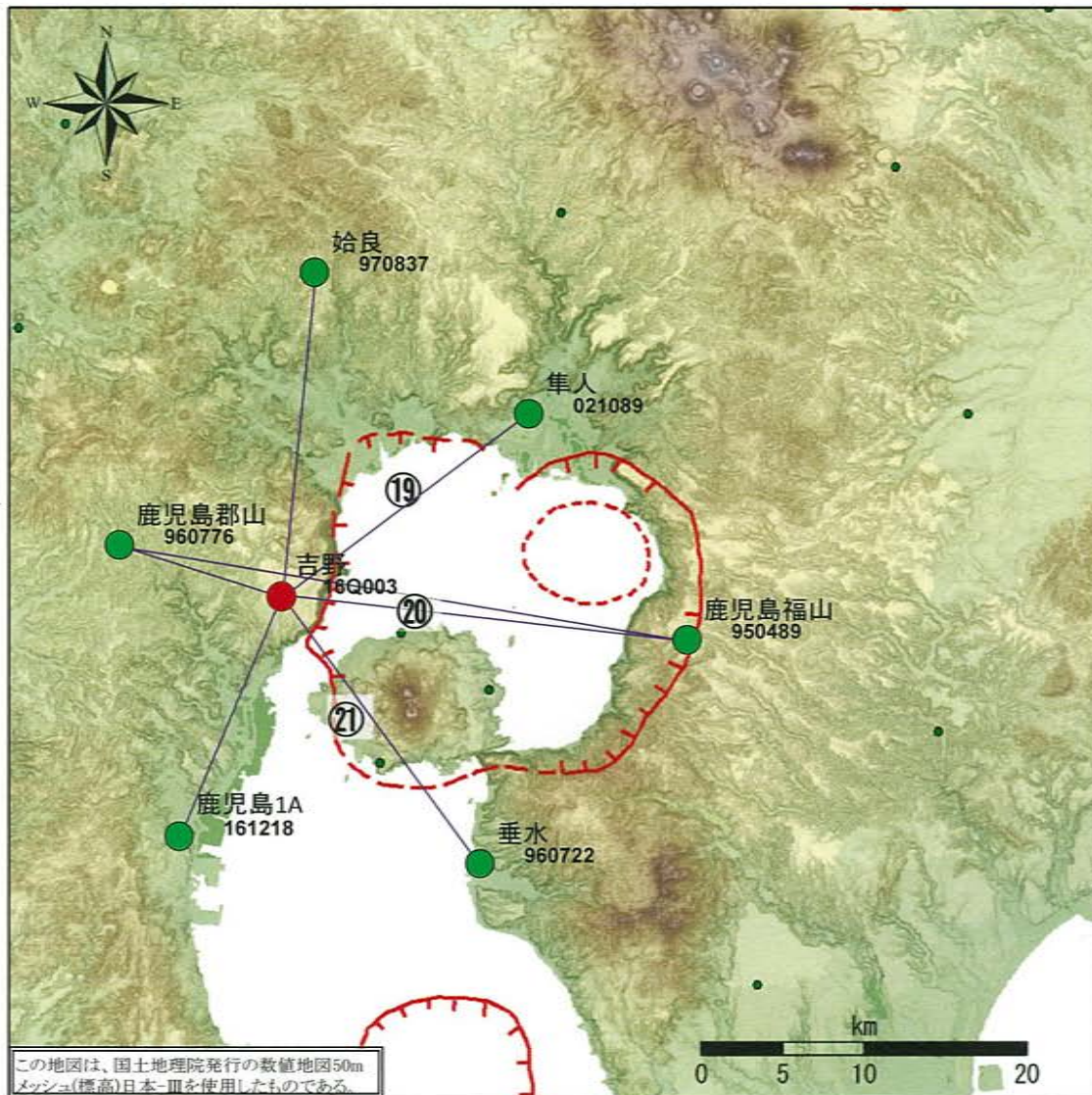
解析に用いる観測点の位置図



①～④基線位置図

鬼界 GNSS連続観測による基線長変化の比較(2015年06月11日～2019年12月31日)

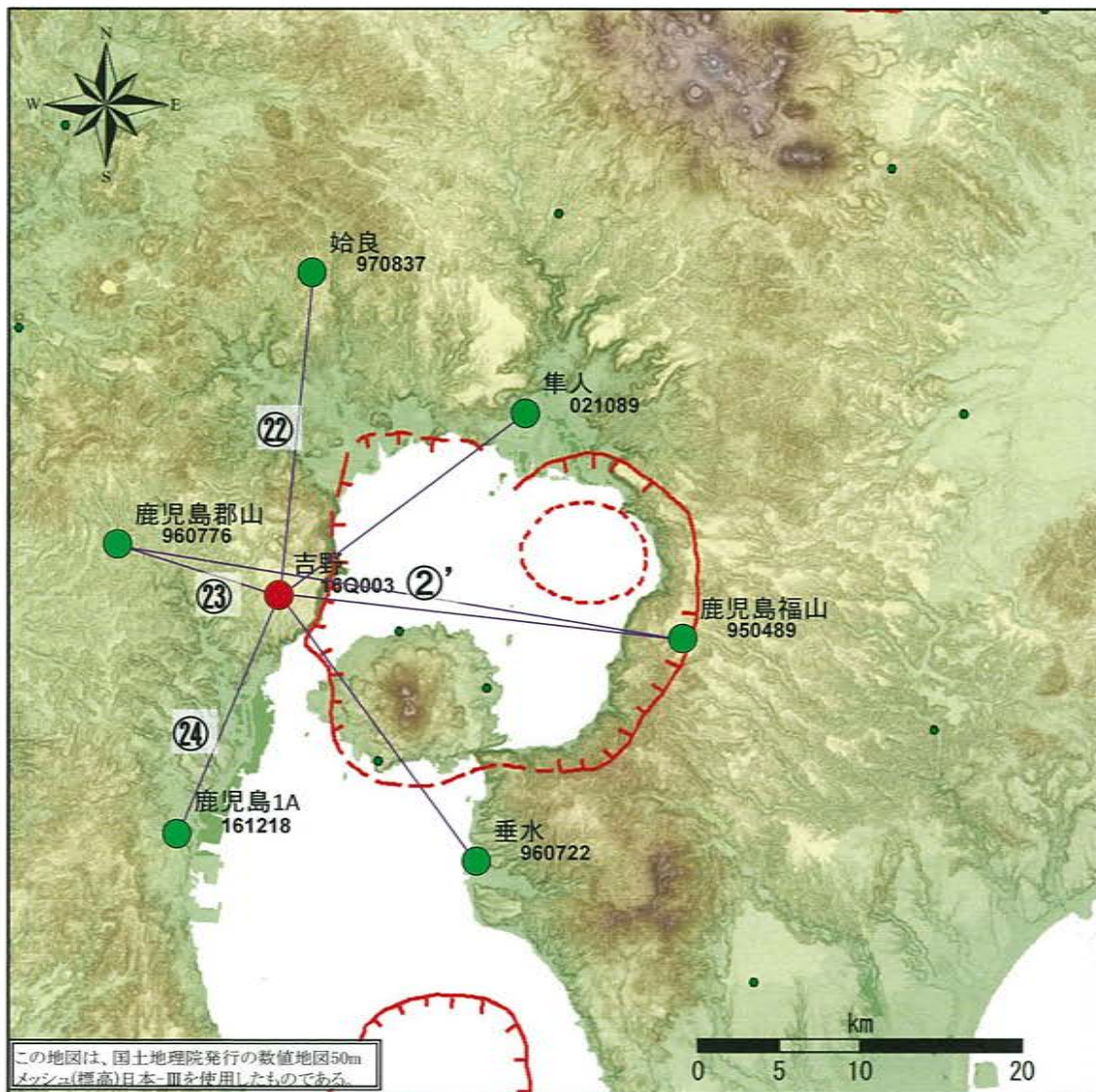
5. 当社GNSS機器による観測結果 [始良カルデラ周辺の基線の追加]



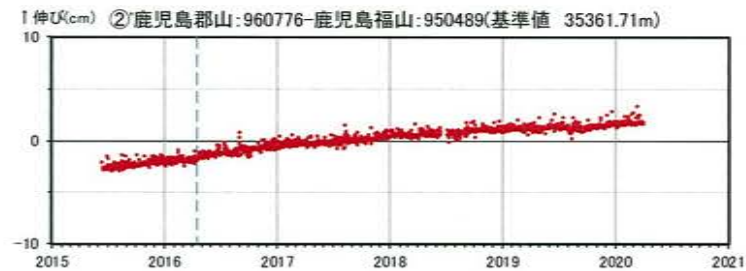
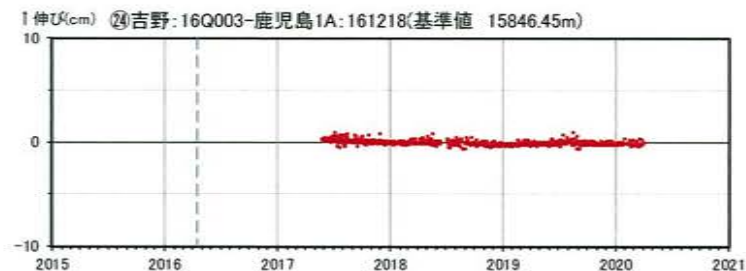
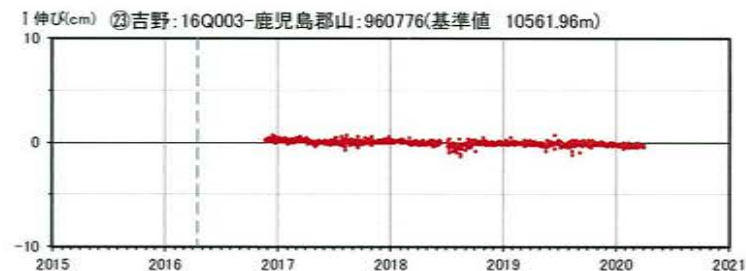
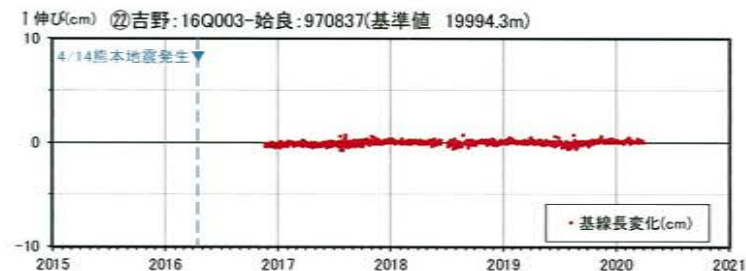
始良 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日~2020年03月31日)

- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日~7月3日までデータが取得できていない。

5. 当社GNSS機器による観測結果 [始良カルデラ周辺の基線の追加]

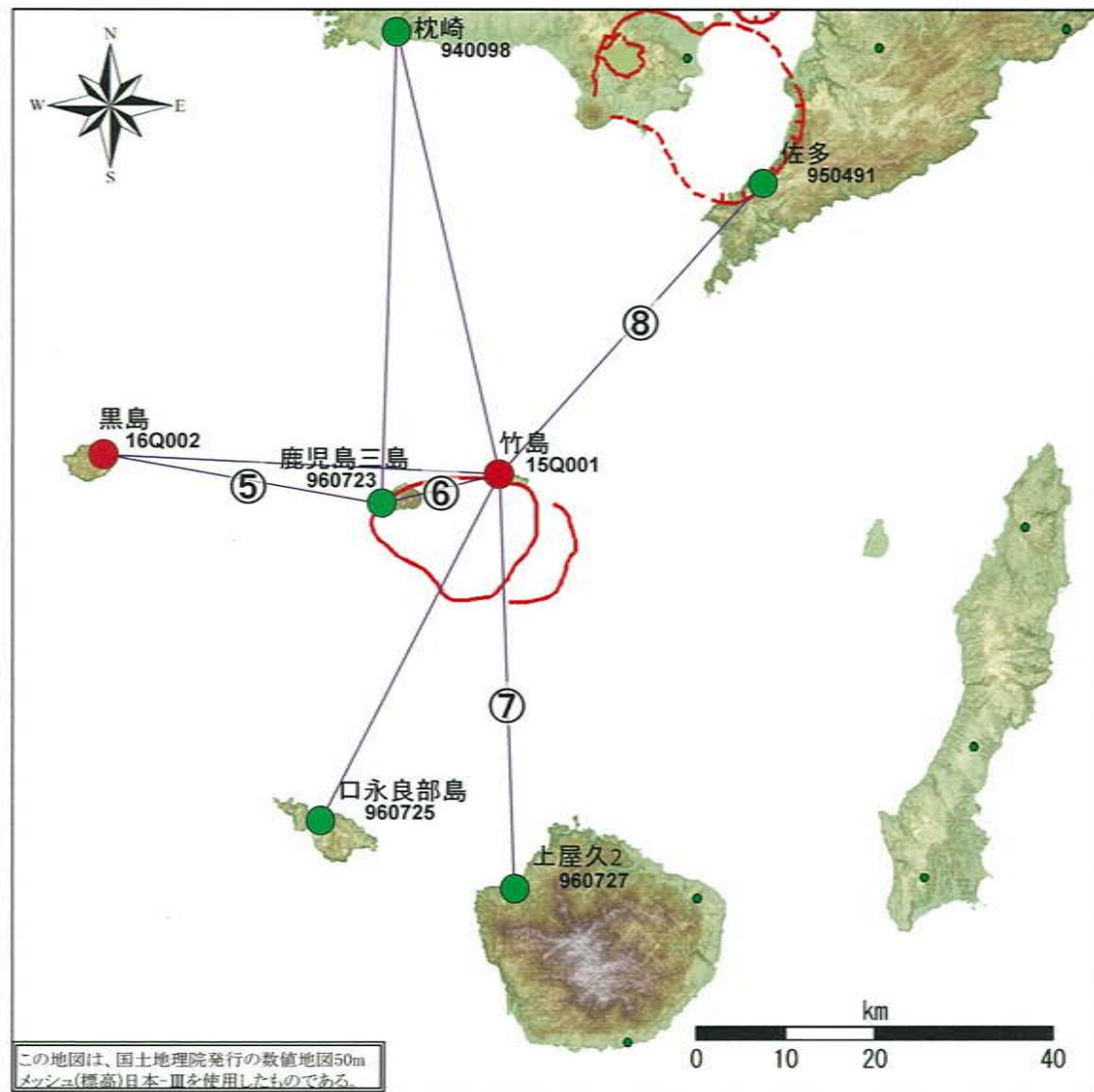


- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。

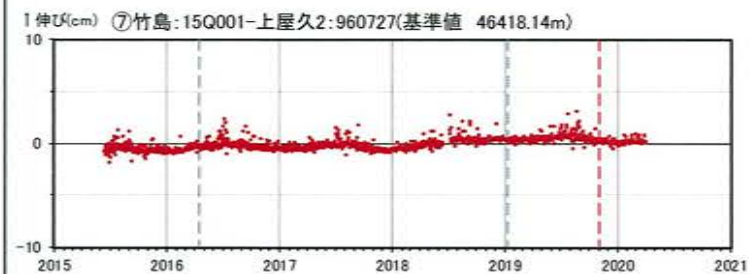
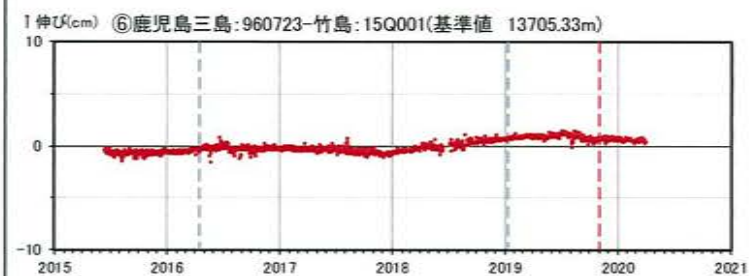
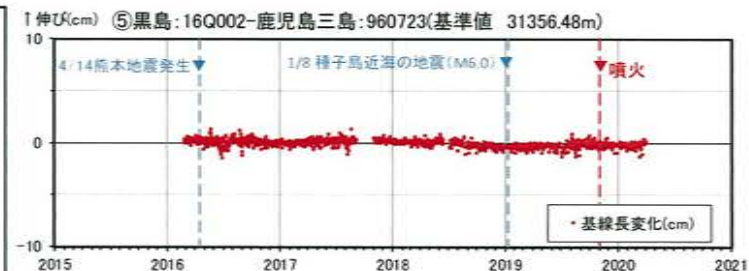


始良 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2020年03月31日)

5. 当社GNSS機器による観測結果 [鬼界周辺の基線]

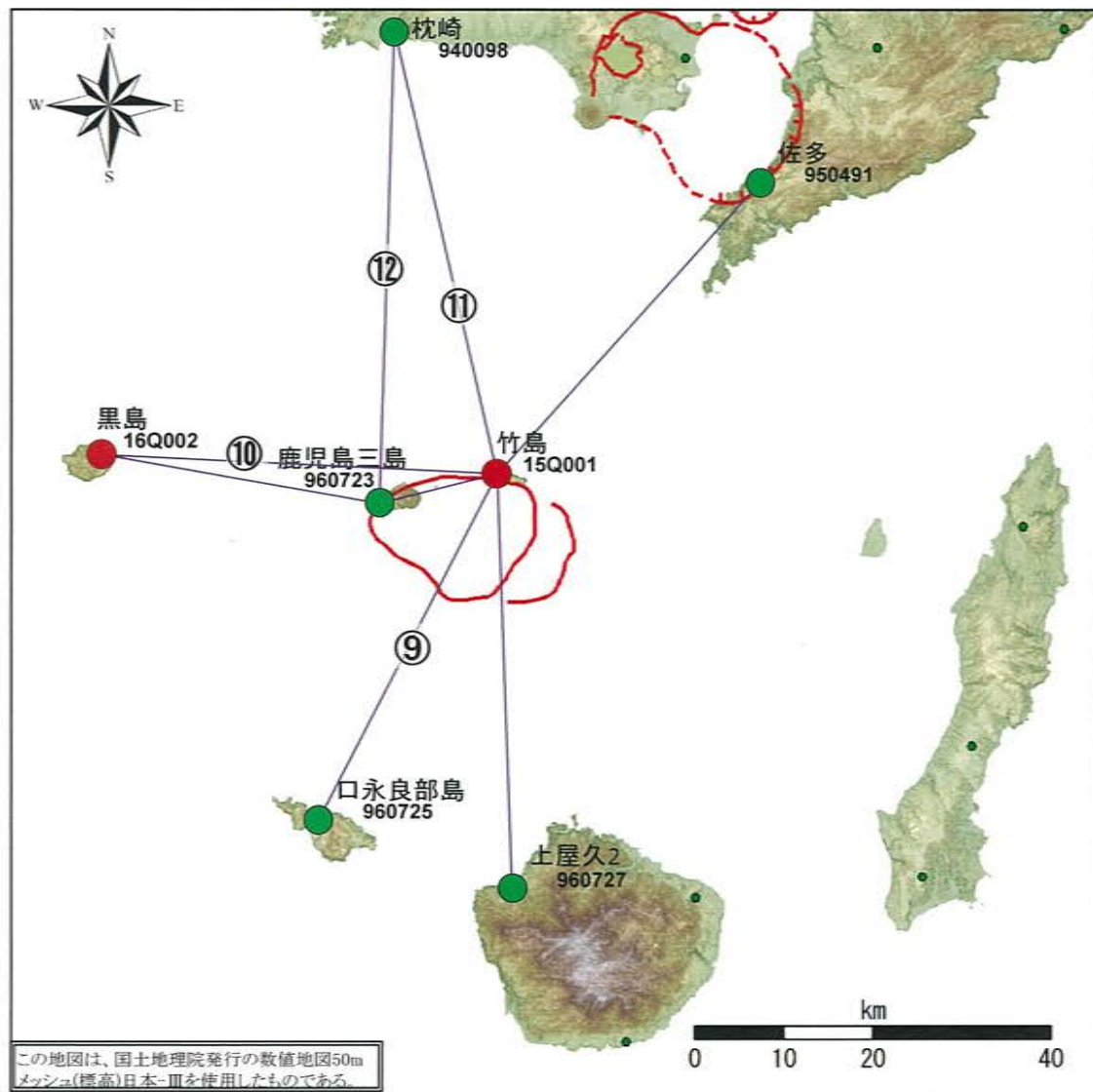


- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 黒島は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない。
- ※4 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。



鬼界 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2020年03月31日)

5. 当社GNSS機器による観測結果 [鬼界周辺の基線]

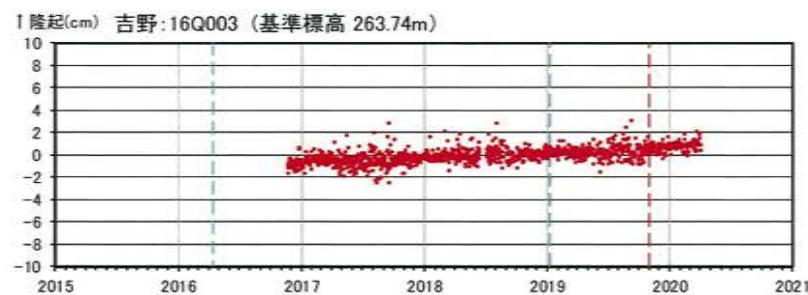
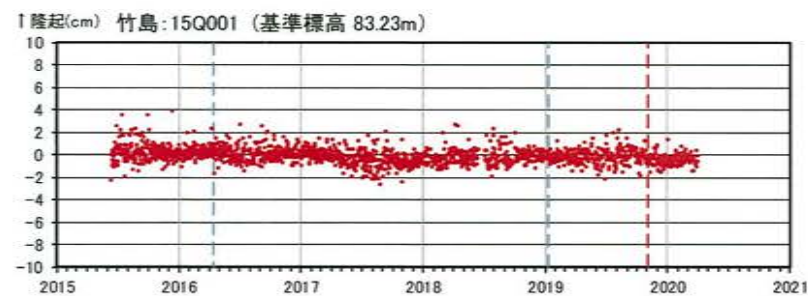
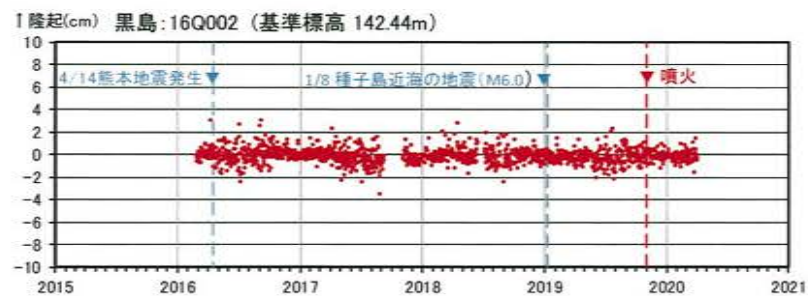


- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 黒島は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない。
- ※4 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。



鬼界 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2020年03月31日)

5. 当社GNSS機器による観測結果 [各観測点の鉛直変動]




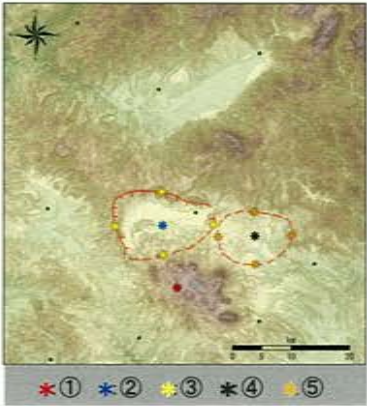

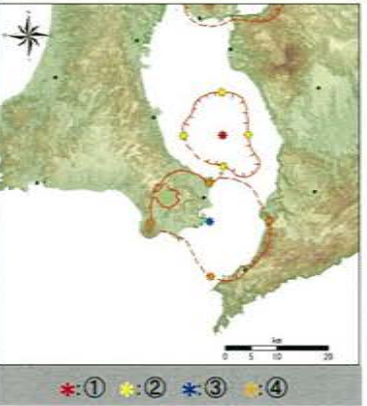
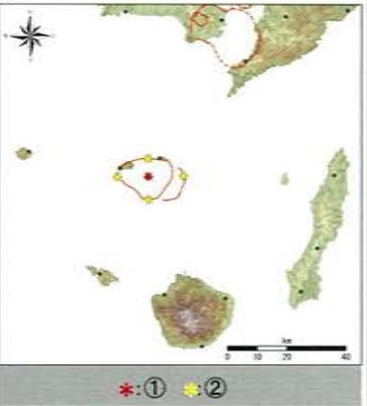
GNSS連続観測による上下動変化(2015年06月11日~2020年03月31日)

- ※1 黒島は2017年9月5日~10月31日期間のデータが取得できていない。
- ※2 平均標高を基準標高とし、基準標高からの変化量を表示

余 白

6. 基線長検知能力の検討

- ・地殻変動評価に用いている基線は、各カルデラで配置や密度が異なることから、各カルデラにおいて圧力源を仮定し、茂木モデルを用いて、マグマ供給率 $0.05\text{km}^3/\text{年}$ の時の基線長変化量を算出し、基線の検知能力の検討を行った。
- ・今年度は、圧力源位置の不確実性を考慮し、昨年度の検討に新たな圧力源位置を加えて検討を行った。

カルデラ	阿蘇	加久藤・小林	始良	阿多	鬼界
圧力源位置	 <p>*① *② *③ *④</p>	 <p>*① *② *③ *④ *⑤</p>	 <p>*① *②</p>	 <p>*① *② *③ *④</p>	 <p>*① *②</p>
	①Sudo & Kong(2001) ②Hata et al.(2018)のマグマ溜まり浅部※ ¹ ③Hata et al.(2018)のマグマ溜まり深部※ ¹ ④カルデラリムの東西南北	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	①井口ほか(2008) ②カルデラリムの東西南北	①北側カルデラの中心 ②北側カルデラリムの東西南北 ③南側カルデラの中心 ④南側カルデラリムの東西南北	①カルデラの中心 ②カルデラリムの東西南北
圧力源深度	$10\text{km}^{\ast 2}$	$10\text{km}^{\ast 2}$	圧力源位置①: $11\text{km}^{\ast 3}$ 圧力源位置②: $10\text{km}^{\ast 2}$	$10\text{km}^{\ast 2}$	$10\text{km}^{\ast 2}$
マグマ供給率	$0.05\text{km}^3/\text{年}^{\ast 4}$				

※¹ Hata et al.(2018)で確認された低比抵抗領域(C1)のマグマ溜まり浅部(深度6~7km)及びマグマ溜まり深部(深度15~17km)の平面分布の中心を圧力源位置と仮定した

※² 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

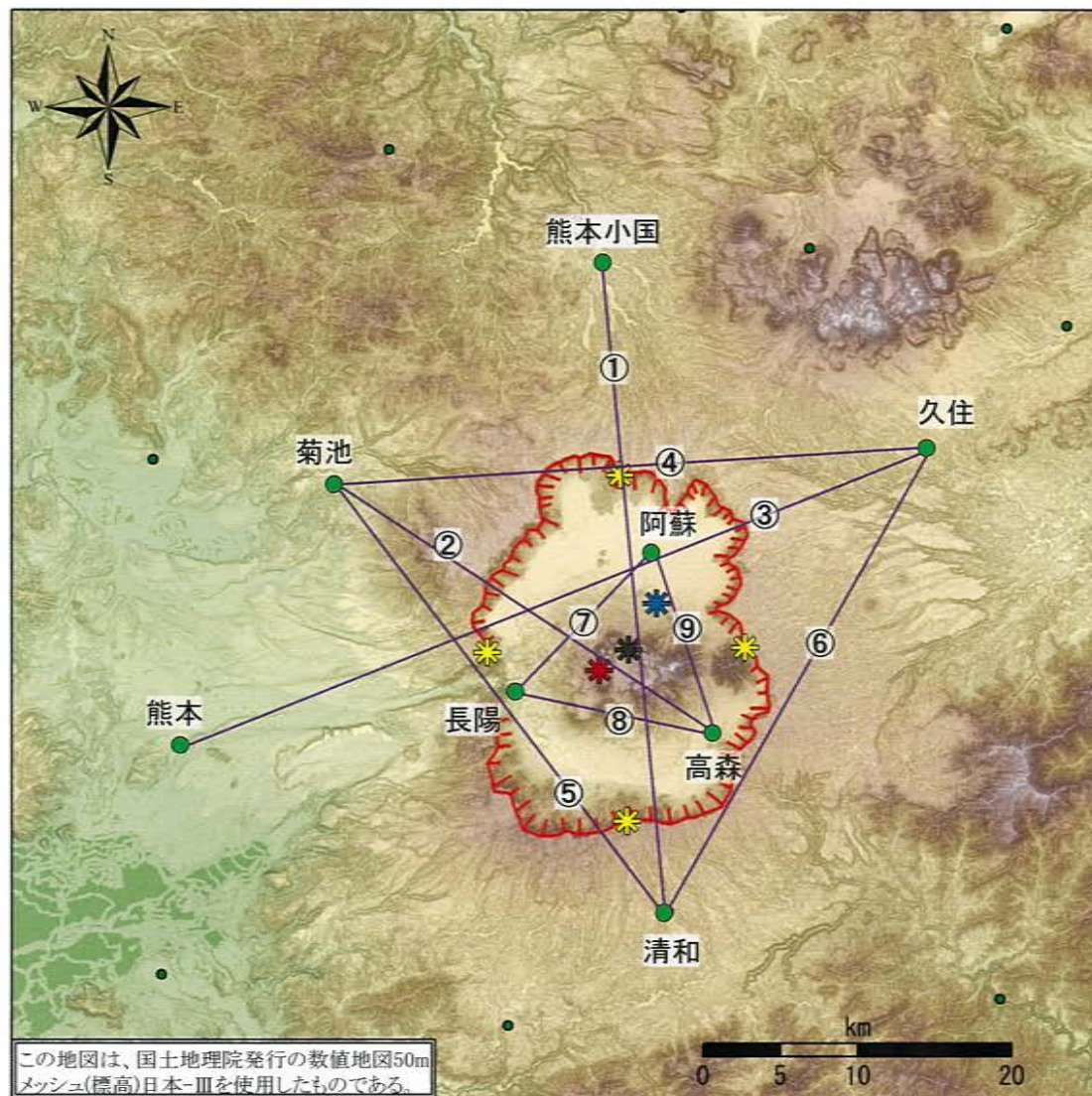
※³ 井口ほか(2008)の圧力源深度

※⁴ Druitt et al.(2012)によるマグマ供給率の最小値

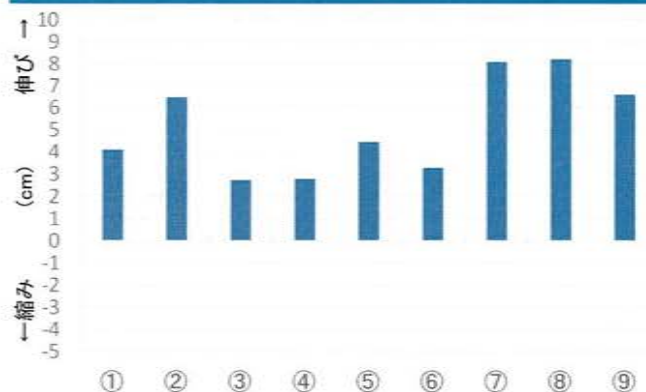
※⁵ 上表の地図は、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)日本-Ⅲを使用したものである

6. 基線長検知能力の検討 [阿蘇カルデラ]

- 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。



6. 基線長検知能力の検討 [阿蘇カルデラ]



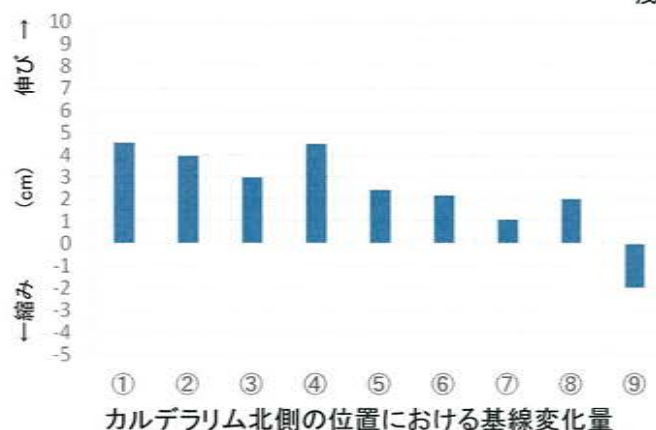
Sudo & Kong(2001)の位置における基線変化量



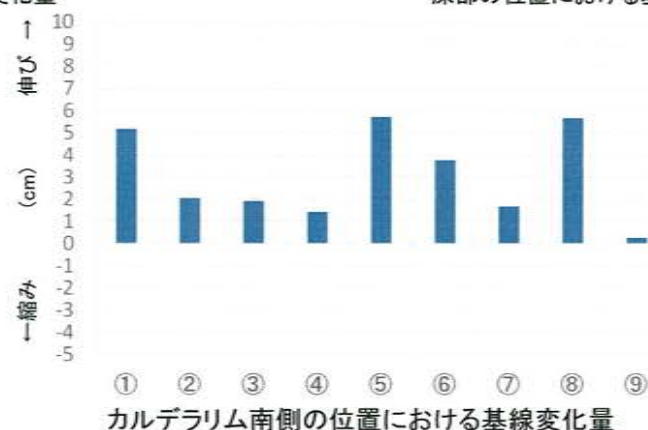
Hata et al.(2018)のマグマ溜まり
浅部の位置における基線変化量



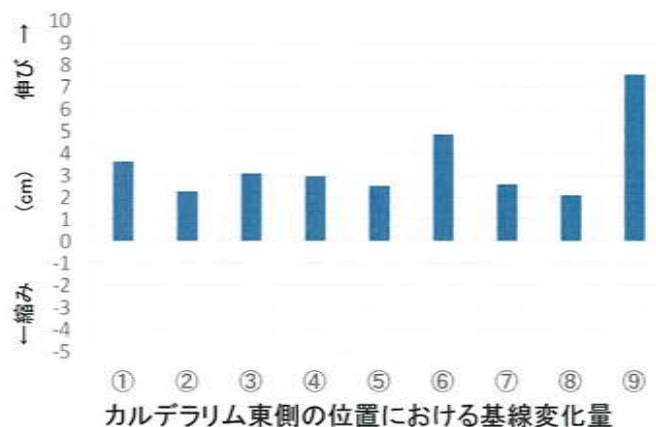
Hata et al.(2018)のマグマ溜まり
深部の位置における基線変化量



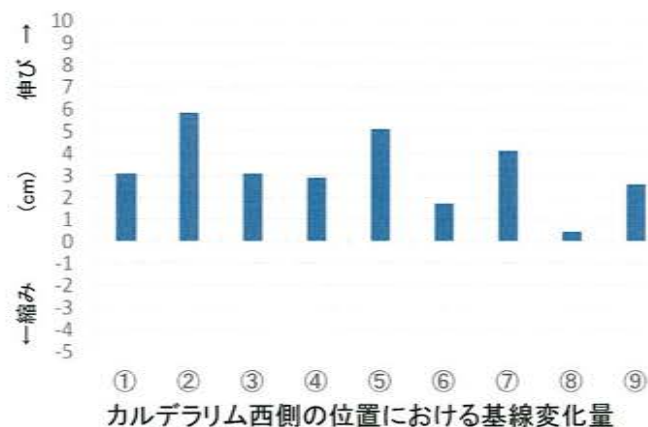
カルデラリム北側の位置における基線変化量



カルデラリム南側の位置における基線変化量



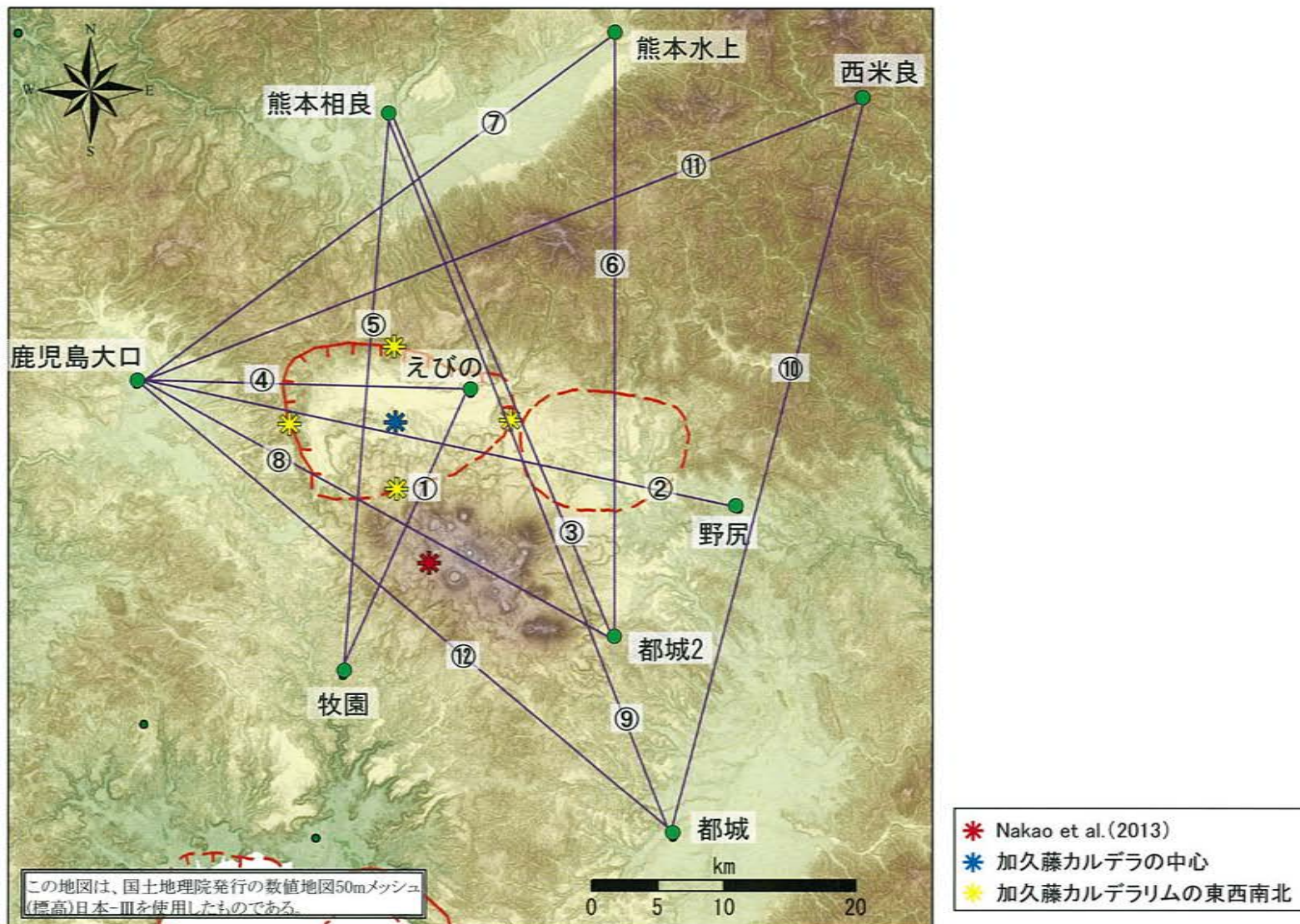
カルデラリム東側の位置における基線変化量



カルデラリム西側の位置における基線変化量

6. 基線長検知能力の検討 [加久藤・小林カルデラ(加久藤カルデラ)]

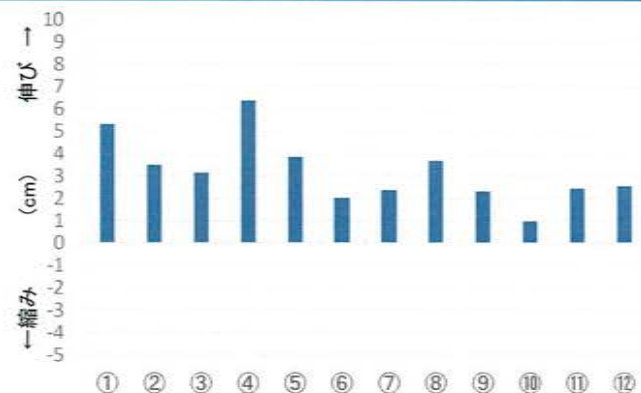
- 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。



6. 基線長検知能力の検討 [加久藤・小林カルデラ(加久藤カルデラ)]



Nakao et al. (2013)の位置における基線変化量



カルデラ中心の位置における基線変化量



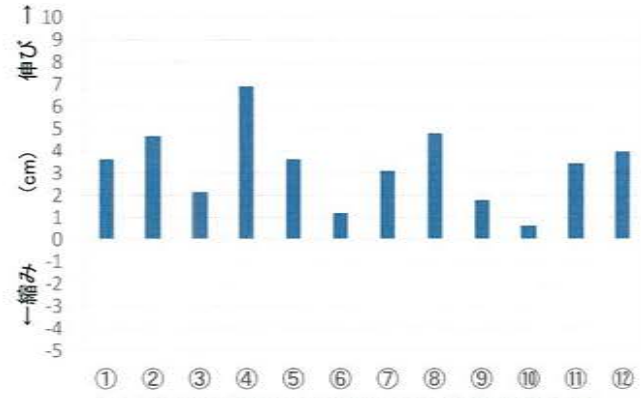
カルデラリム北側の位置における基線変化量



カルデラリム南側の位置における基線変化量

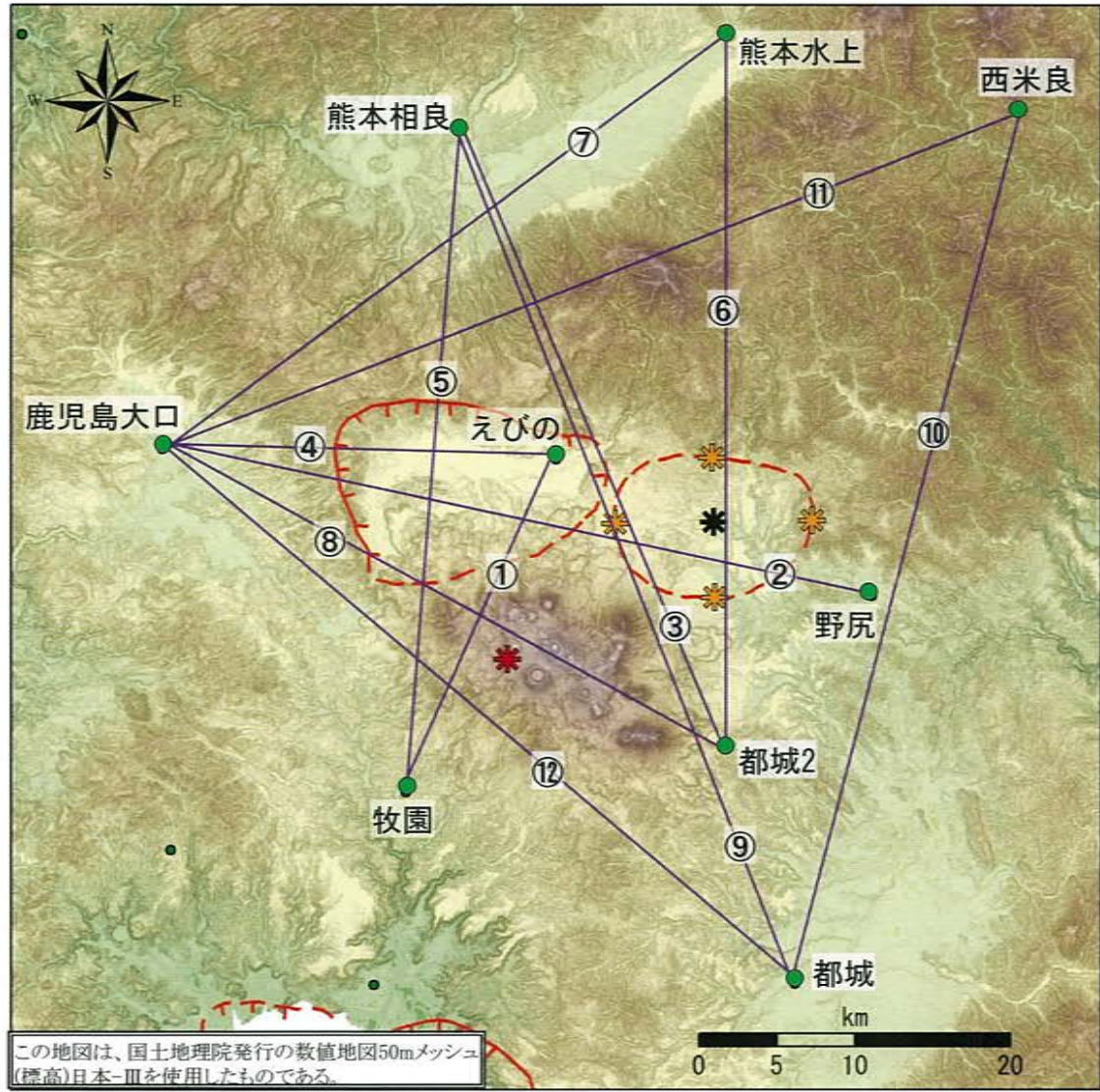


カルデラリム東側の位置における基線変化量



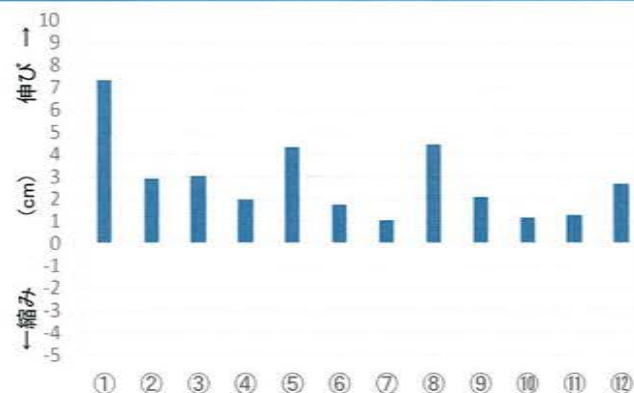
カルデラリム西側の位置における基線変化量

6. 基線長検知能力の検討 [加久藤・小林カルデラ(小林カルデラ)]



- * 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

6. 基線長検知能力の検討 [加久藤・小林カルデラ(小林カルデラ)]



Nakao et al. (2013)の位置における基線変化量



カルデラ中心の位置における基線変化量



カルデラリム北側の位置における基線変化量



カルデラリム南側の位置における基線変化量



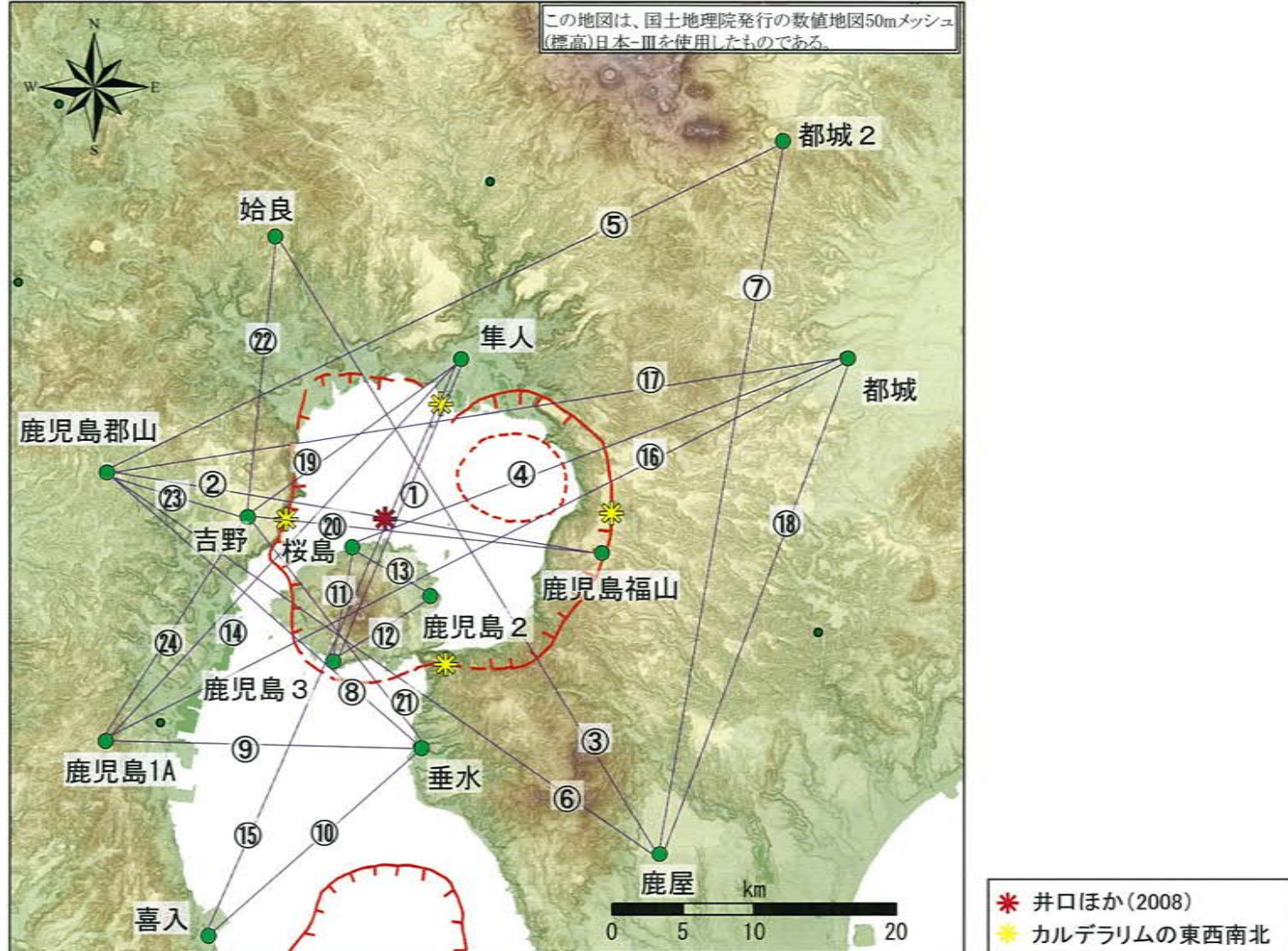
カルデラリム東側の位置における基線変化量



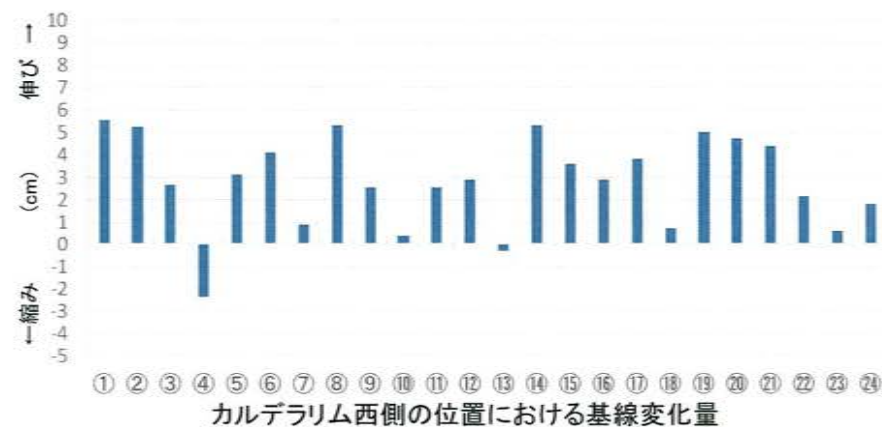
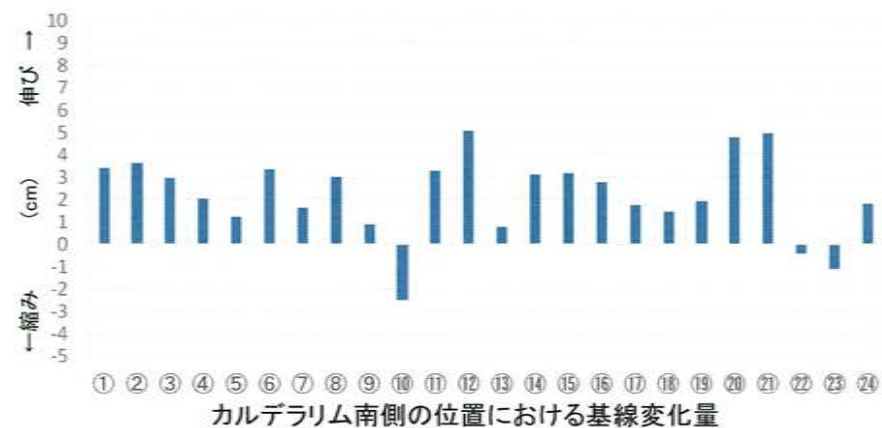
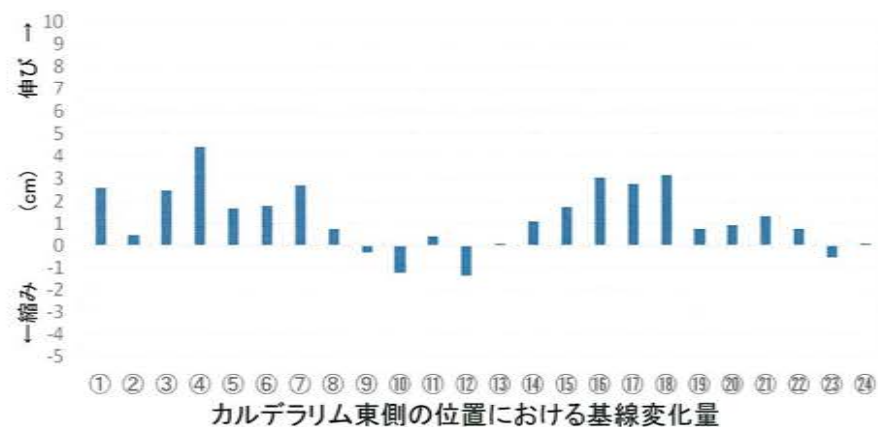
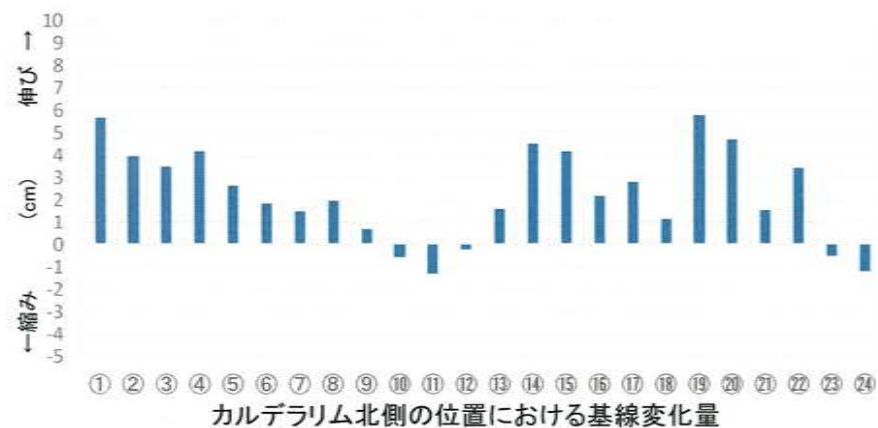
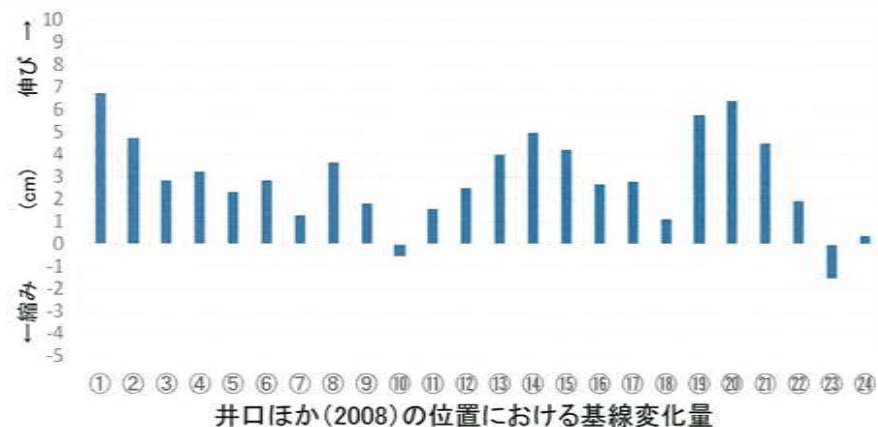
カルデラリム西側の位置における基線変化量

6. 基線長検知能力の検討 [始良カルデラ]

• 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

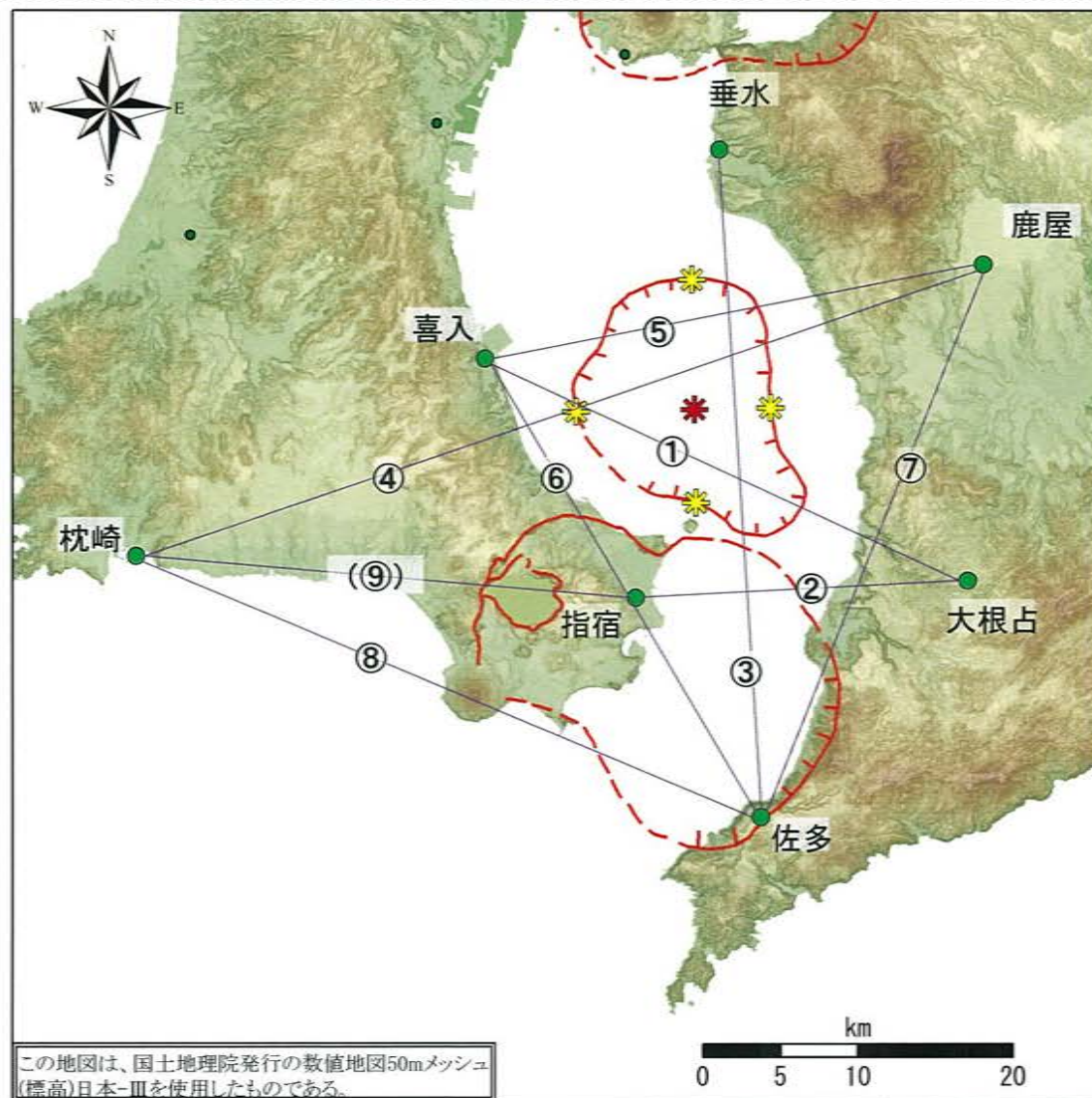


6. 基線長検知能力の検討 [始良カルデラ]

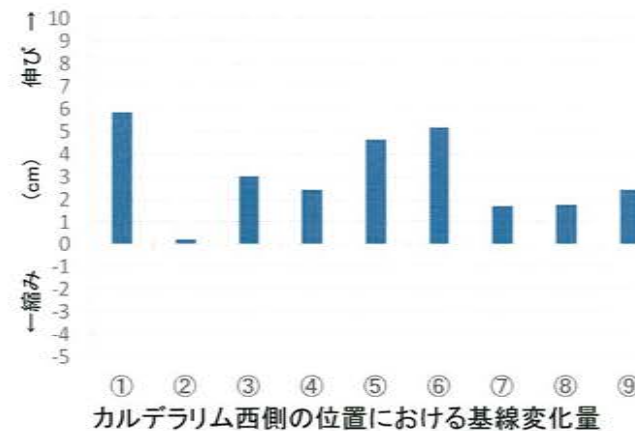
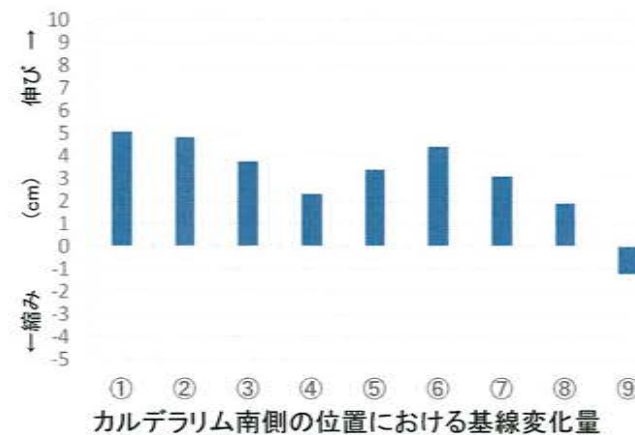
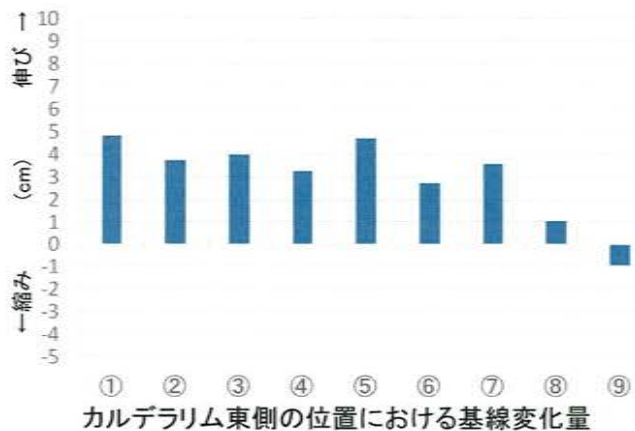
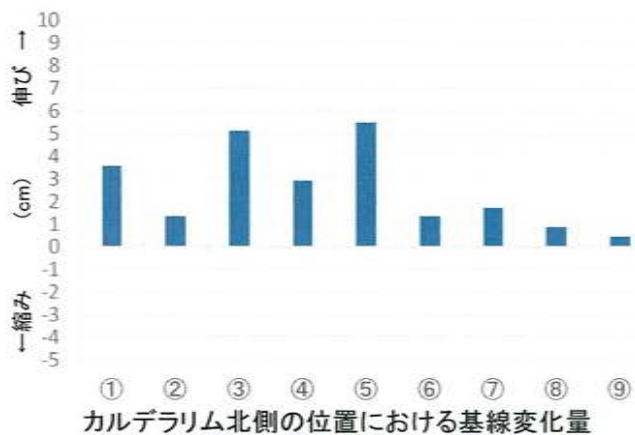
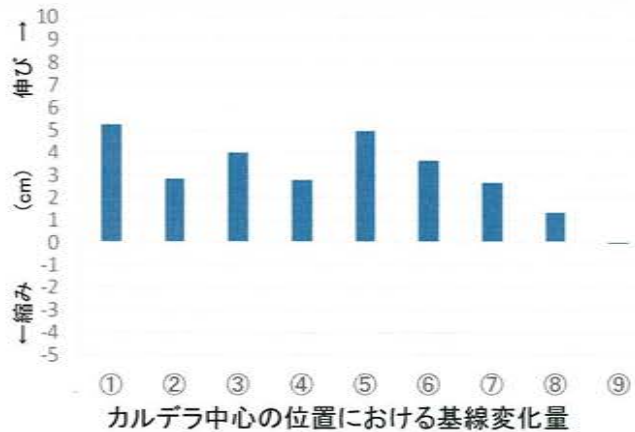


6. 基線長検知能力の検討 [阿多カルデラ(北側カルデラ)]

- 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。
- 複数の基線において、大規模なマグマ供給による変動が確認された場合、補足として基線⑨も用いて圧力源位置を検討する。

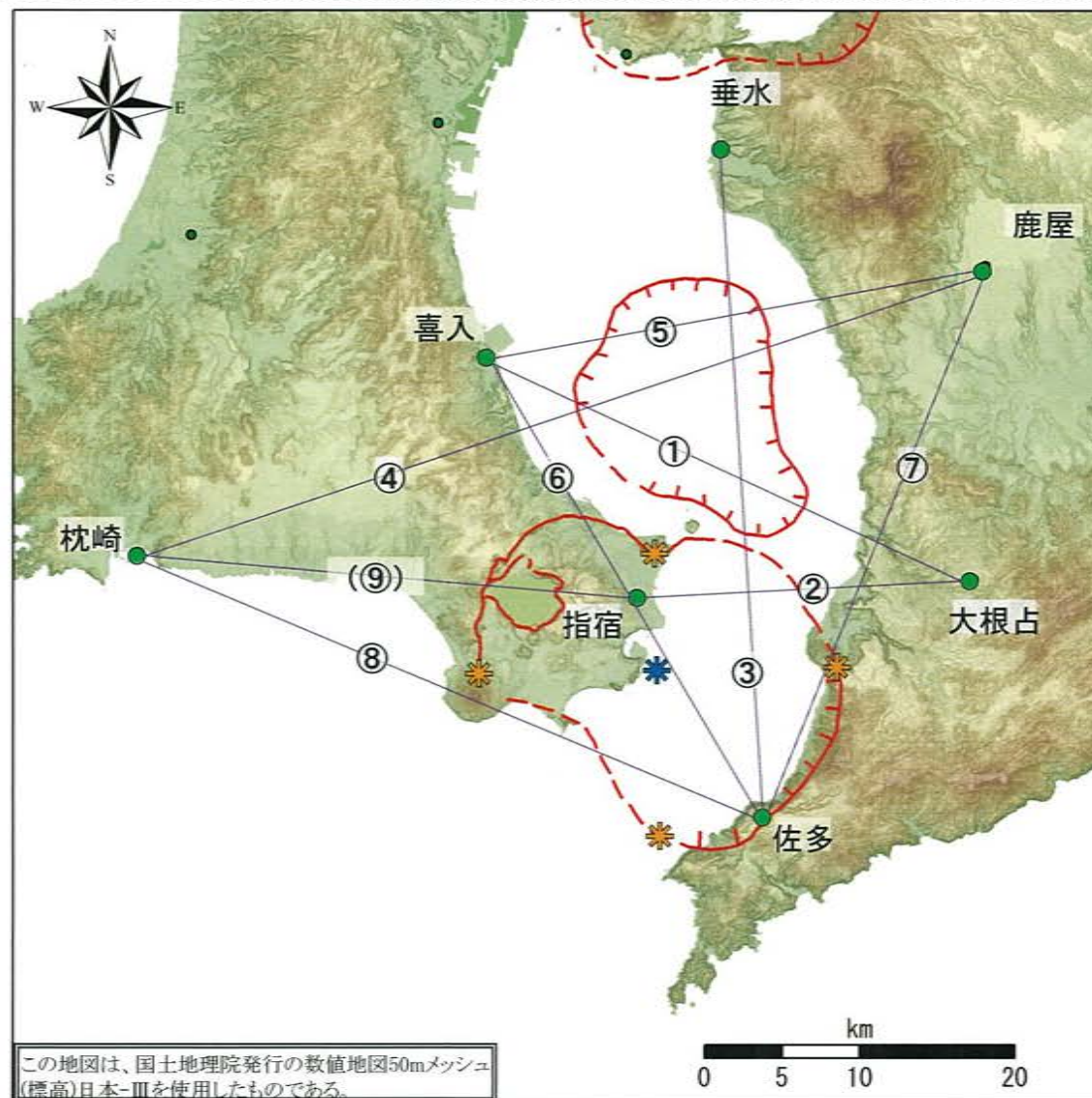


6. 基線長検知能力の検討 [阿多カルデラ(北側カルデラ)]

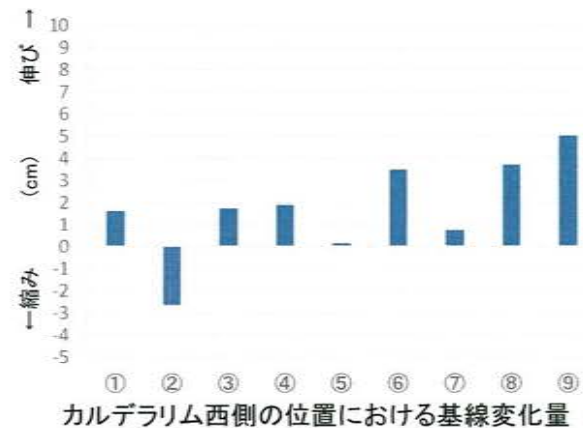
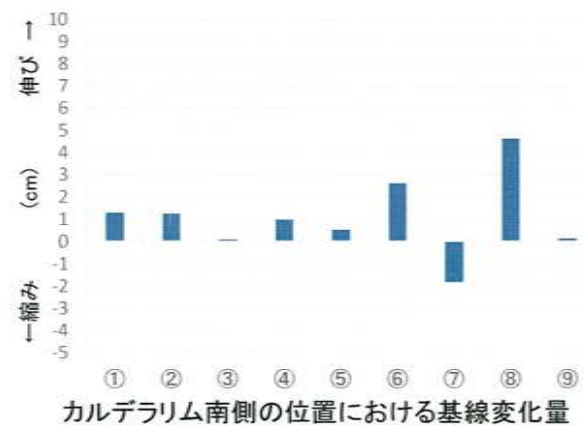
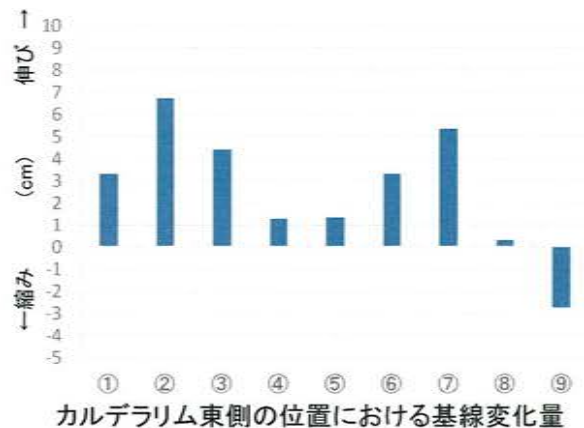
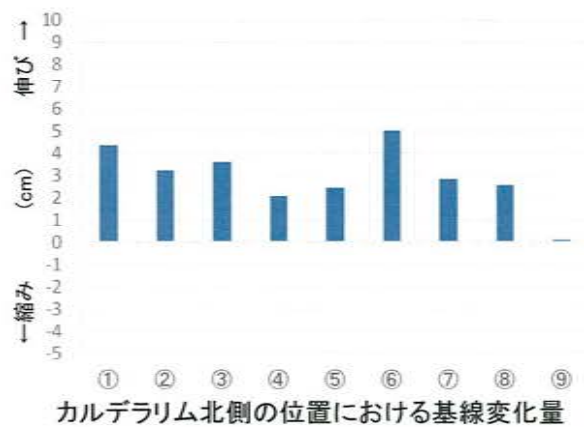
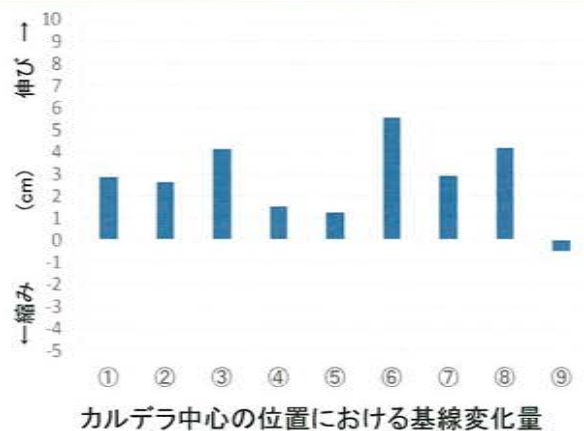


6. 基線長検知能力の検討 [阿多カルデラ(南側カルデラ)]

- 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。
- 複数の基線において、大規模なマグマ供給による変動が確認された場合、補足として基線⑨も用いて圧力源位置を検討する。

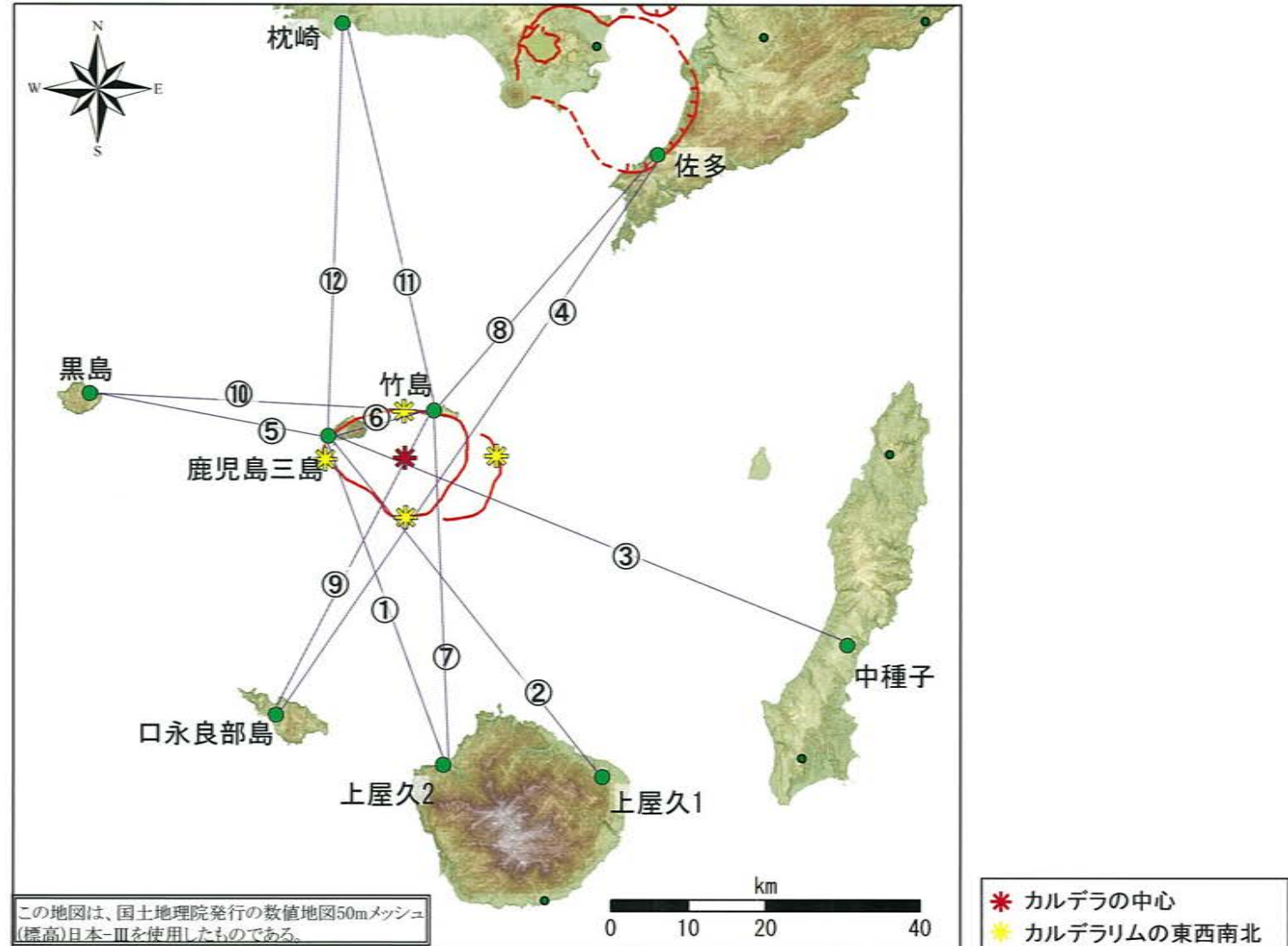


6. 基線長検知能力の検討 [阿多カルデラ(南側カルデラ)]

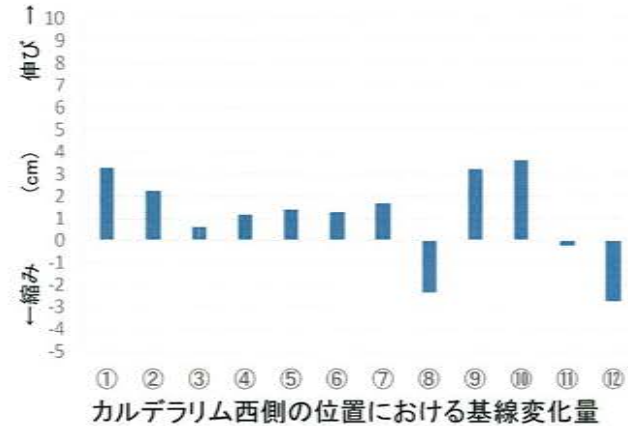
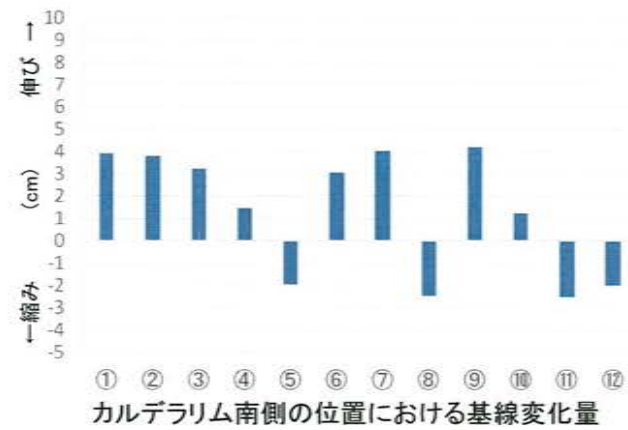
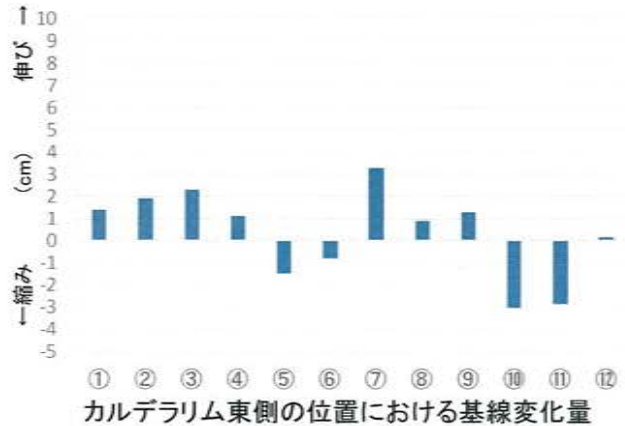
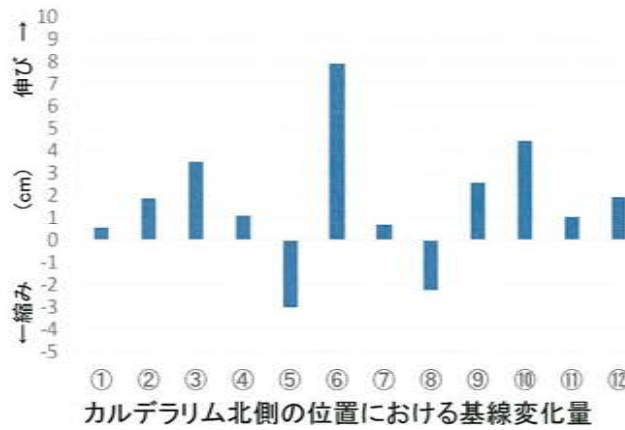
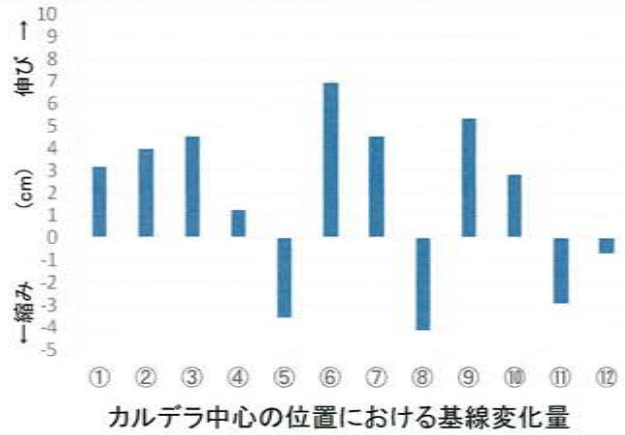


6. 基線長検知能力の検討 [鬼界]

- 0.05km³/年のマグマ供給があった場合、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。



6. 基線長検知能力の検討 [鬼界]



余 白

原子力規制委員会の火山モニタリングにおける
「観測データに有意な変化があったと判断する
目安」を踏まえた整理

余 白

①主な監視項目[地震活動 地殻変動・地盤変動 火山ガス・熱活動]

・各カルデラにおける主な監視項目についてのデータを取り纏めた。

カルデラ	監視項目	データ	参考:公的機関の評価	
阿蘇	地震活動	【本資料P17】	—	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	【本資料P10】	—
		水準測量	—	—
		衛星観測	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月(気象庁,国土地理院) 【本資料P141,P142】	(阿蘇山) ・ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。
		傾斜計 ・伸縮計	火山活動解説資料 2020年2月(気象庁) 【本資料P143】	(阿蘇山) ・傾斜計では、火山活動に伴う特段の変化は認められない。
	火山ガス ・熱活動 (表面活動)	火山活動解説資料 2019年(気象庁) 火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P144】	(阿蘇山) ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、2月以降、概ね多い状態で経過した。3月中旬、4月から5月にかけてと、7月26日の噴火後には一時的に非常に多い状態となった。9月中旬以降は次第に増大し、10月以降からは非常に多い状態で経過した。 ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量はわずかに減少傾向がみられるが、1日あたり1,400~4,900トンと、依然として多い状態で経過している。	
加久藤 ・小林	地震活動	【本資料P31】	—	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	【本資料P26】	—
		水準測量	—	—
		衛星観測	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月 (気象庁・気象研究所) (国土地理院) 【本資料P145-P148】	(新燃岳) ・新燃岳火口内で視線距離短縮の位相変化が認められる。その他の地域ではノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。 ・新燃岳では、火口内で複雑な変動が見られる。
		傾斜計 ・伸縮計	火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P149】	(新燃岳) ・新燃岳近傍の傾斜計では、2018年6月以降、顕著な変化は観測されていない。
	火山ガス ・熱活動 (表面活動)	火山活動解説資料 2019年(気象庁) 火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P150】	(新燃岳) ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、2018年9月以降少ない状態で経過し、1月11日以降は検出限界未満で経過している。 (えびの高原(硫黄山)周辺) ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり10トン未満(前回2018年6月1日、10トン未満)で少ない状態だった。	

①主な監視項目[地震活動 地殻変動・地盤変動 火山ガス・熱活動]

カルデラ	監視項目	データ	参考: 公的機関の評価	
始良	地震活動	【本資料P49】	—	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	【本資料P40】	—
		水準測量	【本資料P107】	—
		衛星観測	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月(気象庁,国土地理院) 【本資料P151,P152】	(桜島) ・ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。
		傾斜計・伸縮計	火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P153】	(桜島) ・桜島島内の傾斜計及び伸縮計では、2019年9月上旬から山体の隆起・膨張が観測されているが、一部の傾斜計及び伸縮計では2020年3月頃から停滞している。また、一部の噴火に伴い、噴火前のわずかな山体の膨張(隆起)及び噴火後のわずかな収縮(沈降)が観測された。
	火山ガス・熱活動(表面活動)	火山活動解説資料 2019年(気象庁) 火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P154】	(桜島) ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり4,000トン以下で推移した。1日あたりの放出量は、前年12月以降6月頃まで減少傾向にありましたが、9月以降は多い状態となりました。 ・火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は1日あたり1,300～3,400トンと多い状態だった。火山ガス(二酸化硫黄)の1日あたりの放出量は、2019年9月以降、多い状態が続いている。	
阿多	地震活動	【本資料P61】	—	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	【本資料P58】	—
		水準測量	—	—
		衛星観測	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月(国土地理院) 【本資料P155】	(池田・山川・開聞岳) ・ノイズレベルを超える変動は見られない。
		傾斜計・伸縮計	—	—
	火山ガス・熱活動(表面活動)	—	—	

①主な監視項目[地震活動 地殻変動・地盤変動 火山ガス・熱活動]

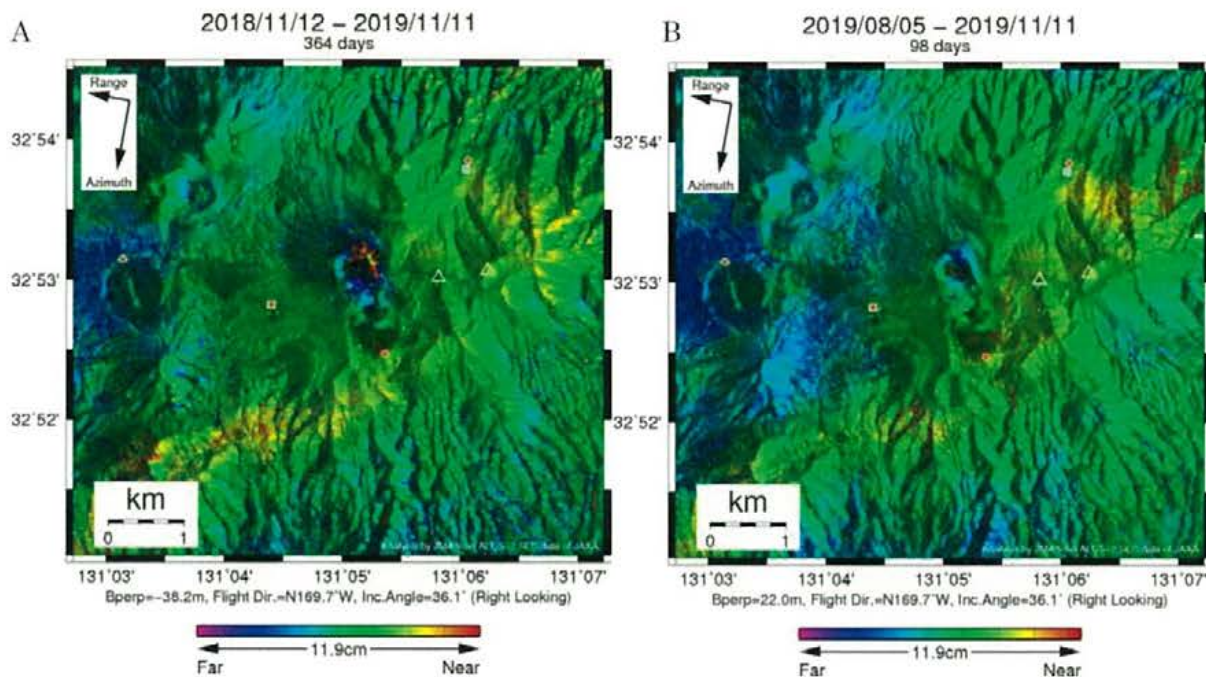
カルデラ	監視項目	データ	参考:公的機関の評価	
鬼界	地震活動	【本資料P73】	—	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	【本資料P70】	—
		水準測量	—	—
		衛星観測	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月(気象庁,国土地理院) 【本資料P156,P157】	(薩摩硫黄島) ・ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。
		傾斜計 ・伸縮計	第145回火山噴火予知連絡会 2019年12月(気象庁) 【本資料P158】	(薩摩硫黄島) ・火山活動に伴う特段の変化は認められなかった。
		火山ガス ・熱活動 (表面活動)	火山活動解説資料 2020年3月(気象庁) 【本資料P159】	(薩摩硫黄島) ・11月6日に実施した現地調査では、火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、1日あたり1,300トンと、やや多い状態だった。

阿蘇カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

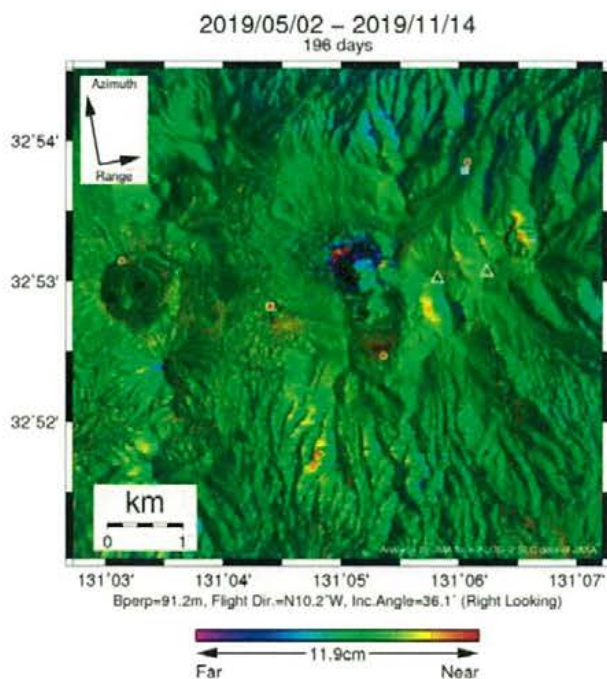
【第145回火山噴火予知連絡会資料（その3）阿蘇山 p25, p26より引用】

表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
23-2950(SM1_U2_7)	南行	右	36.1°	2018.11.12	2019.11.11	第1図-A
				2019.08.05		第1図-B
130-650(SM1_U2_7)	北行	右	36.1°	2019.05.02	2019.11.14	第2図



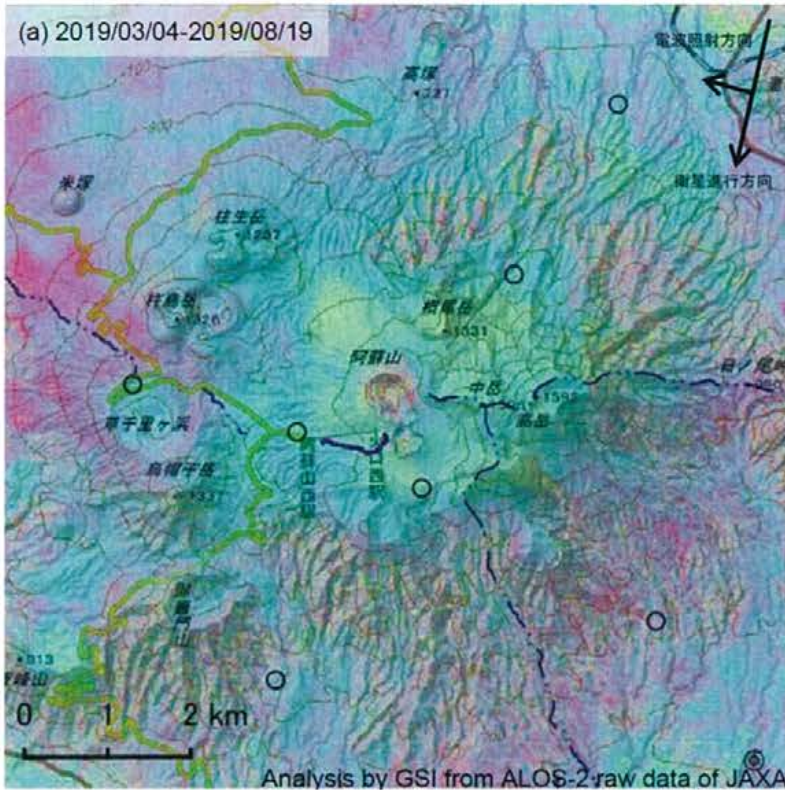
第1図 パス23(SM1_U2_7)の長期ペア、短期ペアによる阿蘇山及び周辺の干渉解析結果
 図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。



第2図 パス130(SM1_U2_7)の短期ペアによる阿蘇山及び周辺の干渉解析結果
 凡例は第1図と同じ。

阿蘇カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その3）阿蘇山 p50より引用】



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/03/04 2019/08/19 12:19 頃 (168 日間)	2017/10/06 2019/09/06 0:12 頃 (700 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	H-H
入射角	35.3°	35.1°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-451 m	-32 m

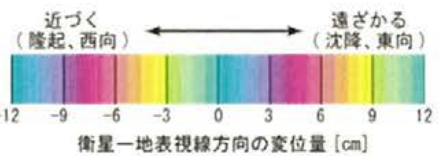
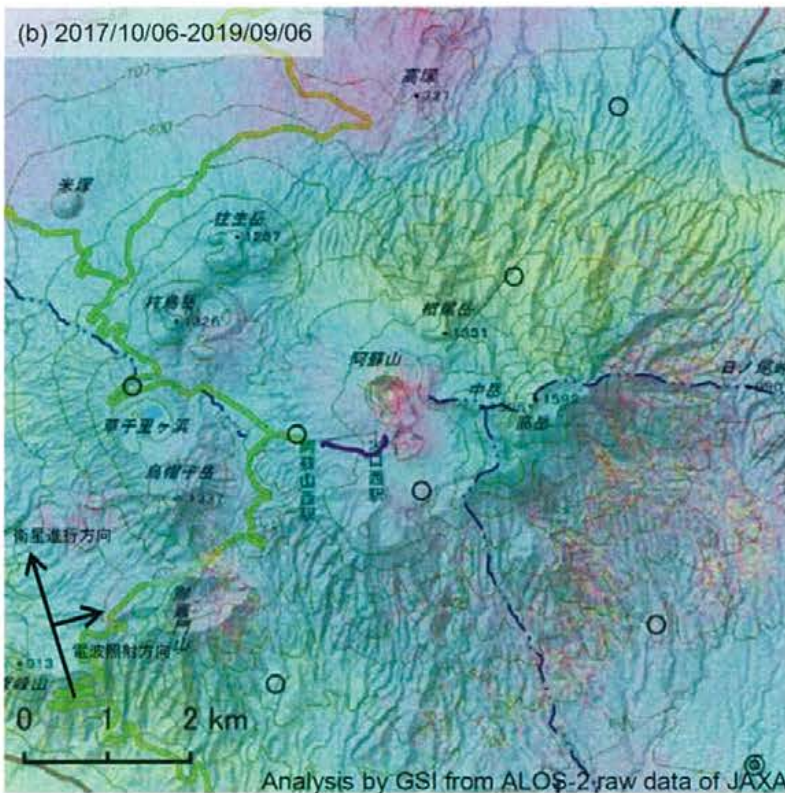
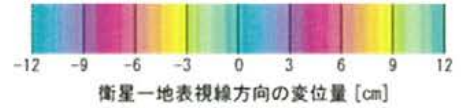
*U: 高分解能(3m)モード

*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)



阿蘇カルデラ ①主な監視項目 [傾斜計]

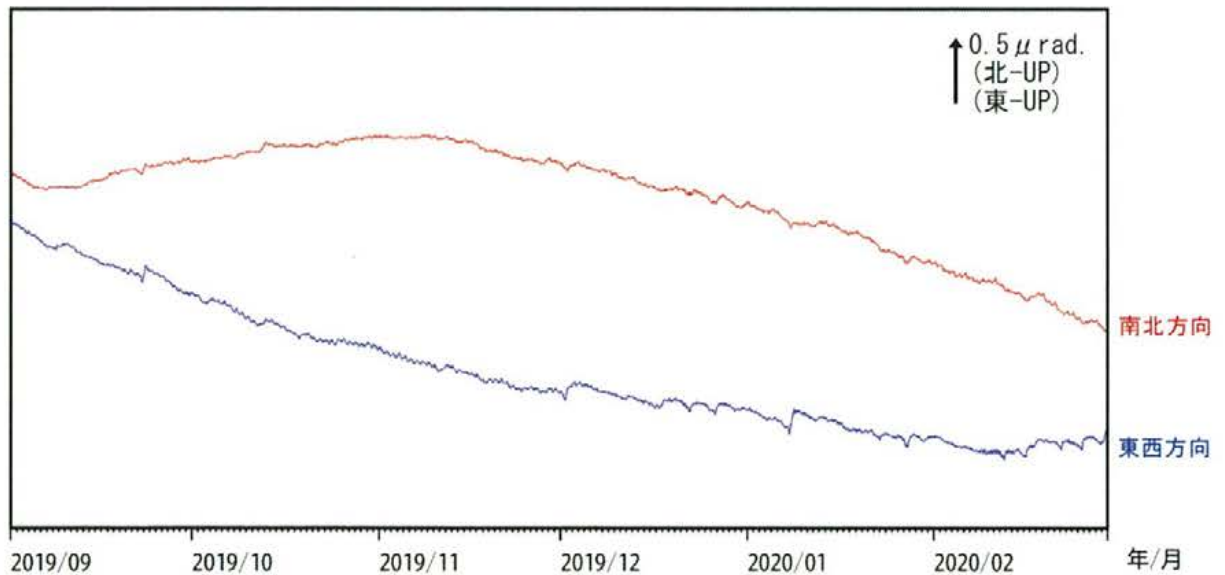
【阿蘇山の火山活動解説資料（2020年2月） p8, p11より引用】



図 阿蘇山 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の期間の観測点位置を示している。
 (京)：京都大学、(防)：防災科学技術研究所、(博)：阿蘇火山博物館、(国)：国土地理院
 図中の灰色の観測点名は、噴火により障害となった観測点を示している。

① 阿蘇山 古坊中観測点の傾斜変動



② 阿蘇乙姫日降水量

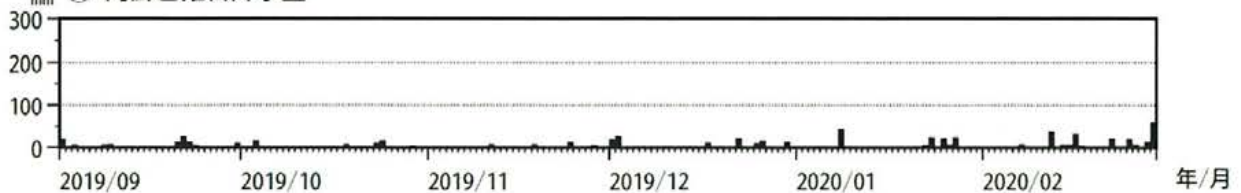


図 阿蘇山 古坊中観測点の傾斜変動及び阿蘇乙姫地域気象観測所の日降水量（2019年9月～2020年2日）

阿蘇カルデラ ①主な監視項目 [火山ガス]

【2019年の阿蘇山の火山活動 p10より引用】

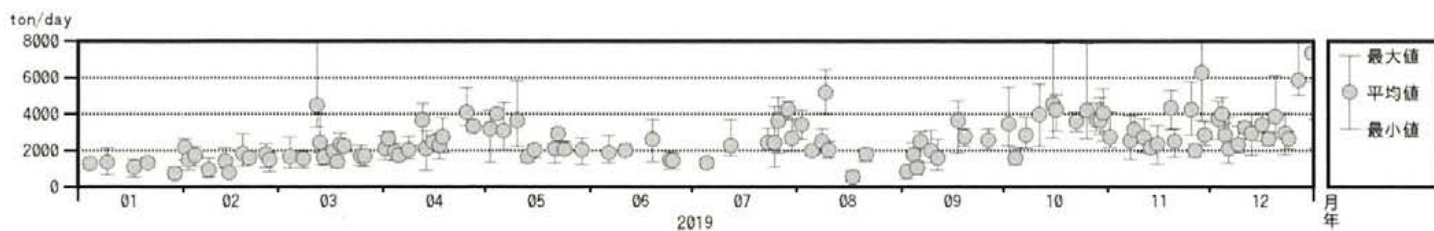


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

【阿蘇山の火山活動解説資料（2020年3月） p5, p6より引用】

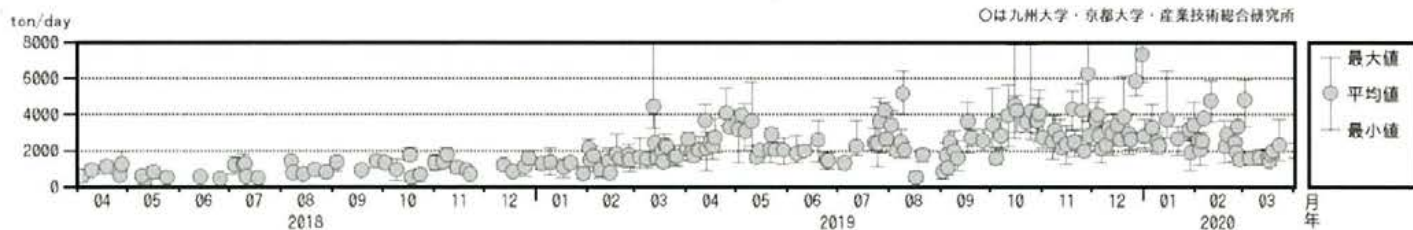
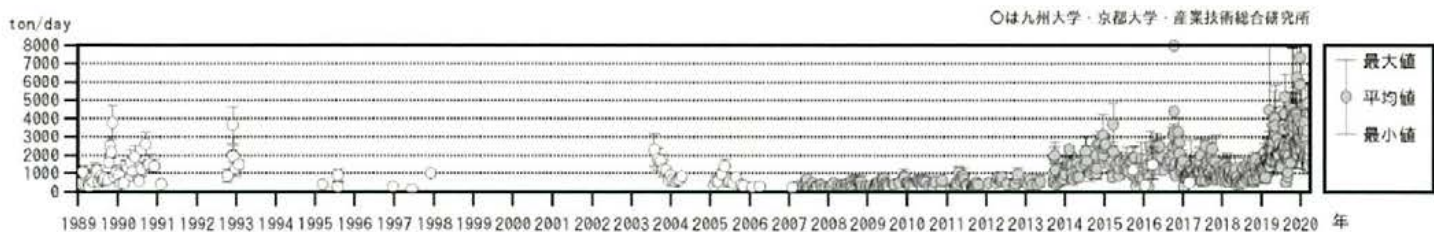


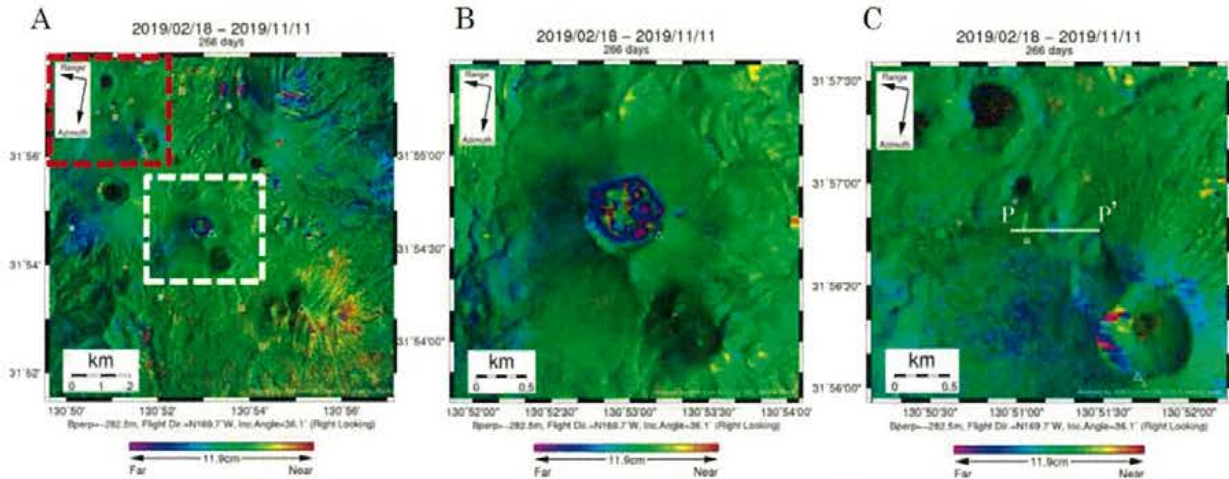
図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

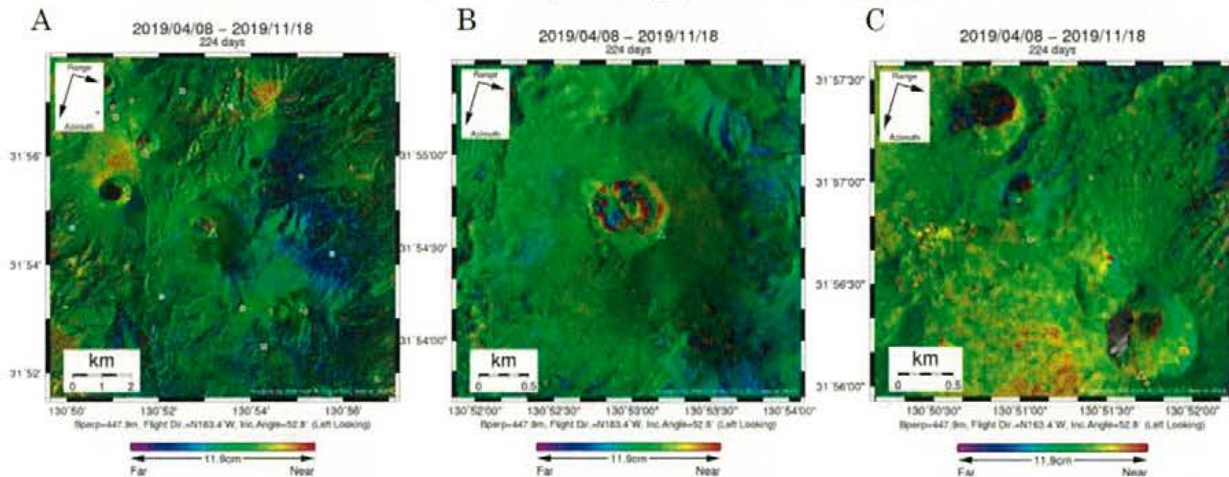
【第145回火山噴火予知連絡会資料（その1）霧島山 p138, p139より引用】

表 干渉解析に使用したデータ

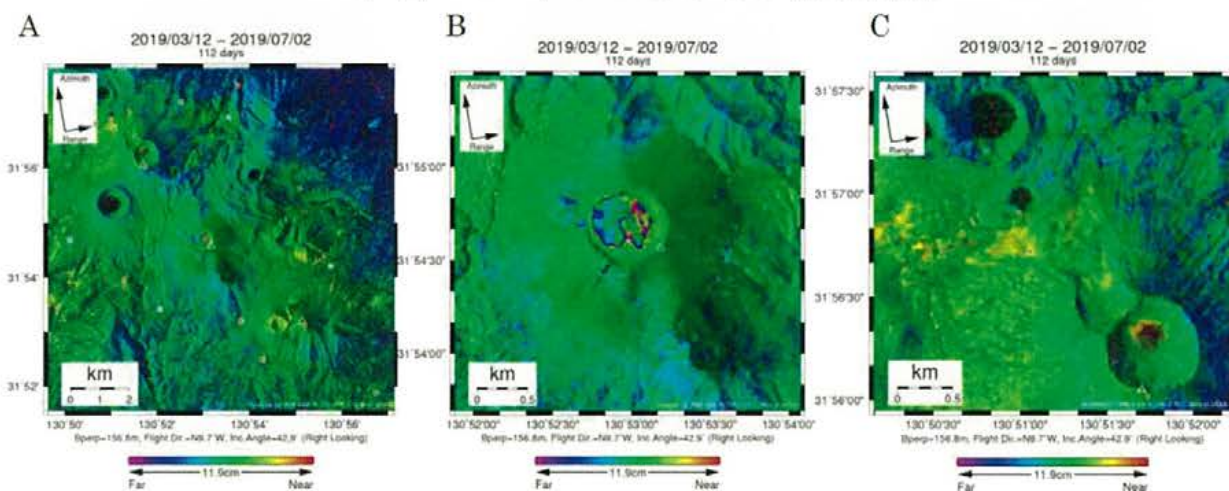
Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
23_2970(SM1_U2_7)	南行	右	36.1°	2019.02.18	2019.11.11	第1図-A, B, C
30_2930(SM1_U3_13)	南行	左	52.8°	2019.04.08	2019.11.18	第2図-A, B, C
131-620(SM1_U2-9)	北行	右	42.9°	2019.03.12	2019.07.02	第3図-A, B, C



第1図 パス23(SM1-U2_7)による干渉解析結果



第2図 パス30(SM1-U3_13)による干渉解析結果



第3図 パス23(SM1-U2_7)による干渉解析結果

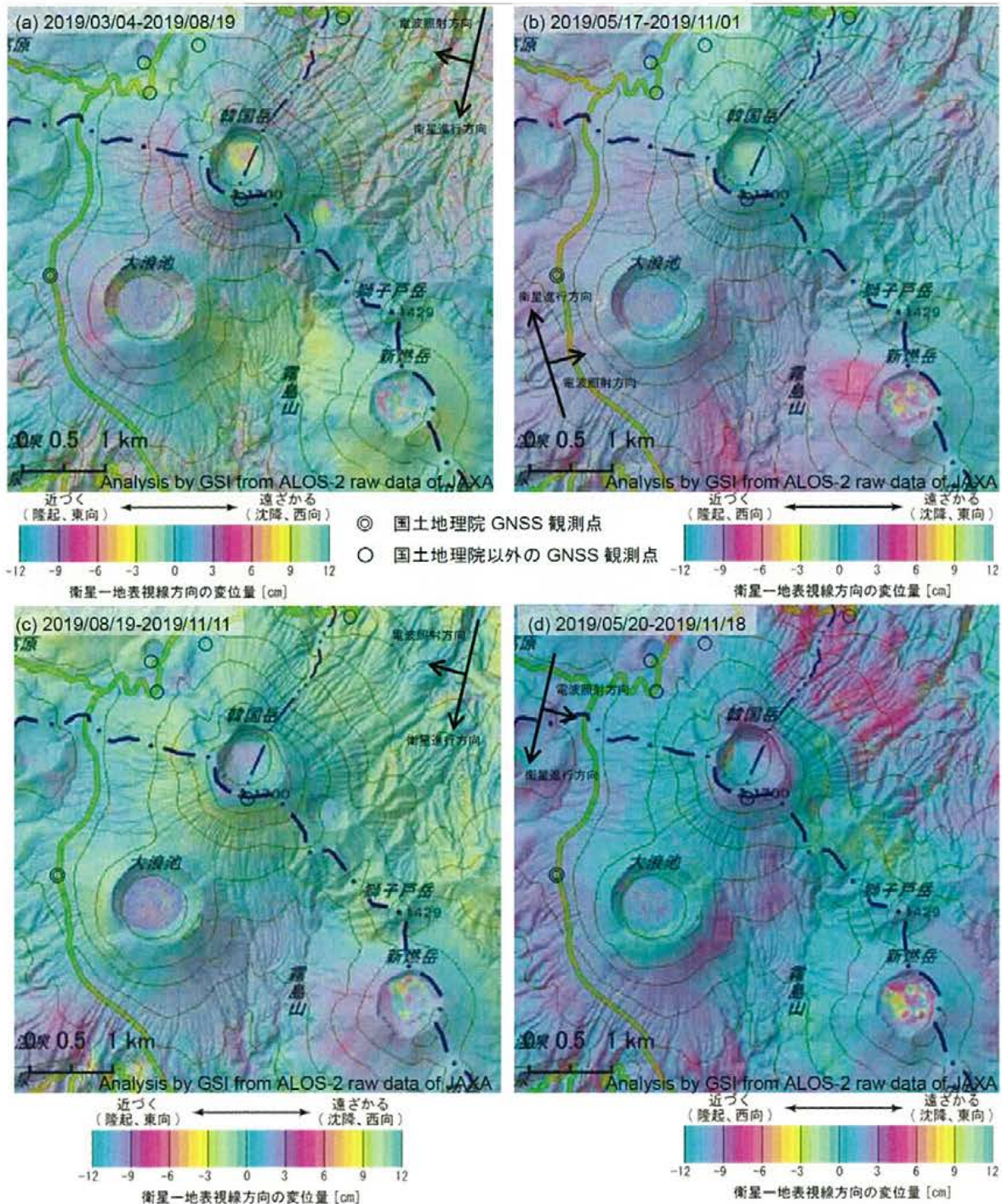
霧島山およびその周辺(A)、新燃岳付近の拡大図(B)、えびの高原（硫黄山）付近の拡大図(C)
 図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。
 Aの白破線は新燃岳付近、赤破線はえびの高原付近の拡大図を示す。

加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その1）霧島山 p182, p185より引用】

	(a)	(b)	(c)	(d)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/03/04 2019/08/19 12:19頃 (168日間)	2019/05/17 2019/11/01 0:12頃 (168日間)	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	北行	南行	南行
電波照射方向	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	35.5°	32.1°	35.5°	52.8°
偏波	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	-451 m	-82 m	-84 m	+262 m

*U: 高分解能(3m)モード



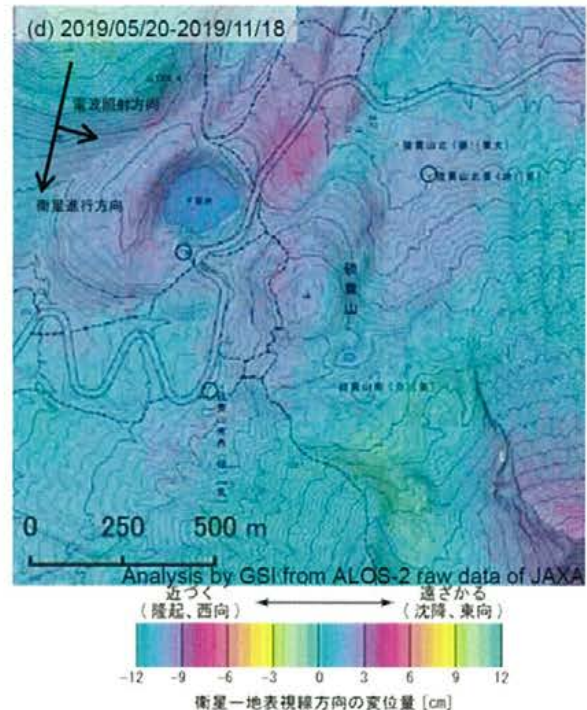
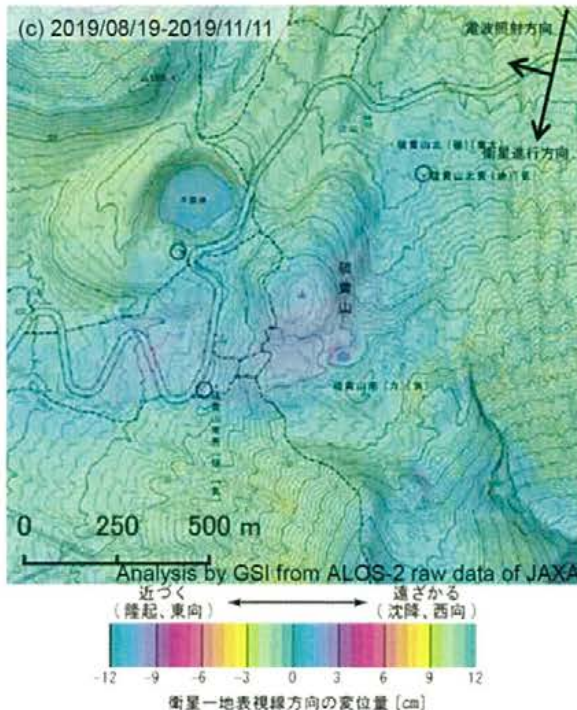
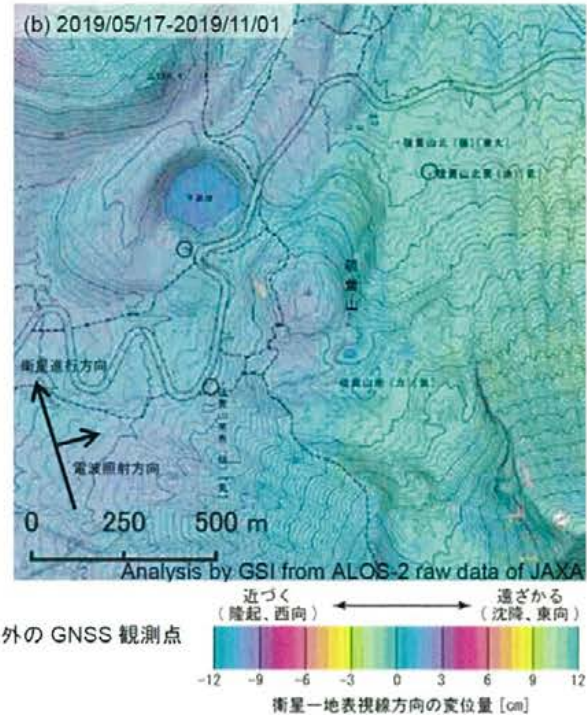
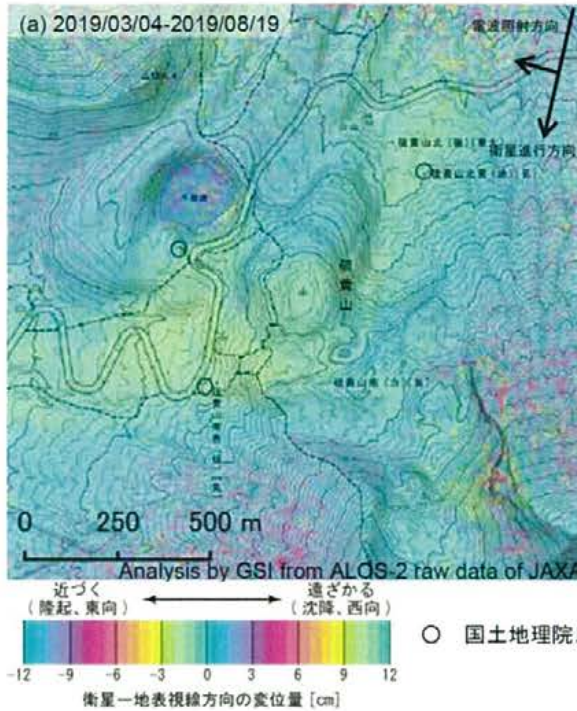
加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その1）霧島山 p183, p185より引用】

	(a)	(b)	(c)	(d)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/03/04 2019/08/19 12:19 頃 (168 日間)	2019/05/17 2019/11/01 0:12 頃 (168 日間)	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	北行	南行	南行
電波照射方向	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	35.5°	32.1°	35.5°	52.8°
偏波	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	-451 m	-82 m	-84 m	+262 m

*U: 高分解能(3m)モード

〔硫黄山の拡大図〕



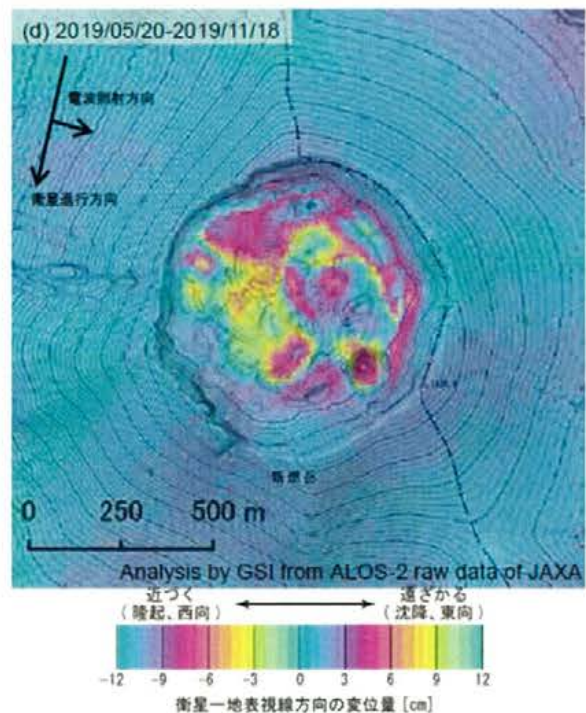
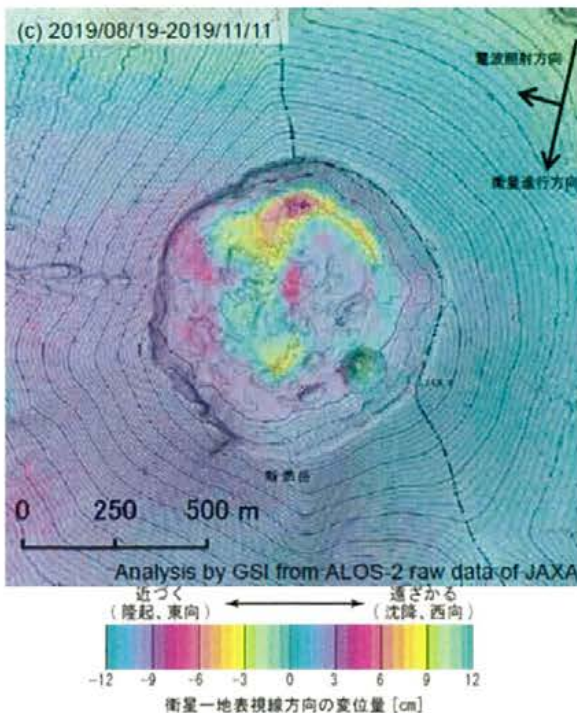
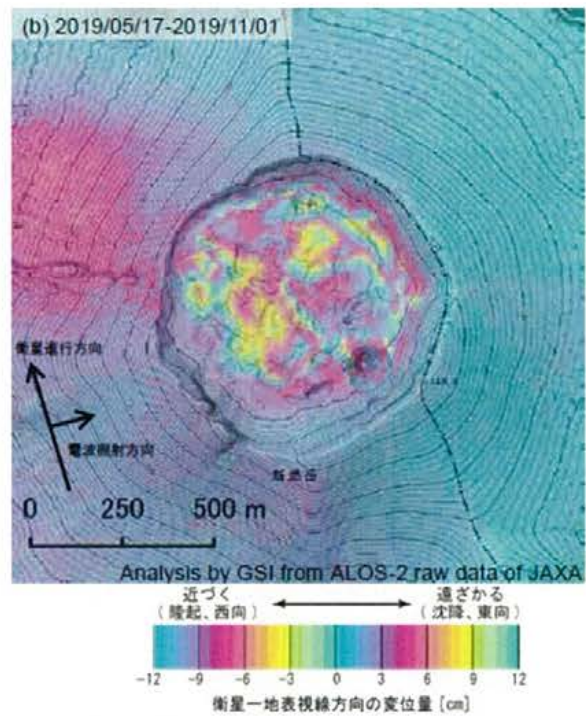
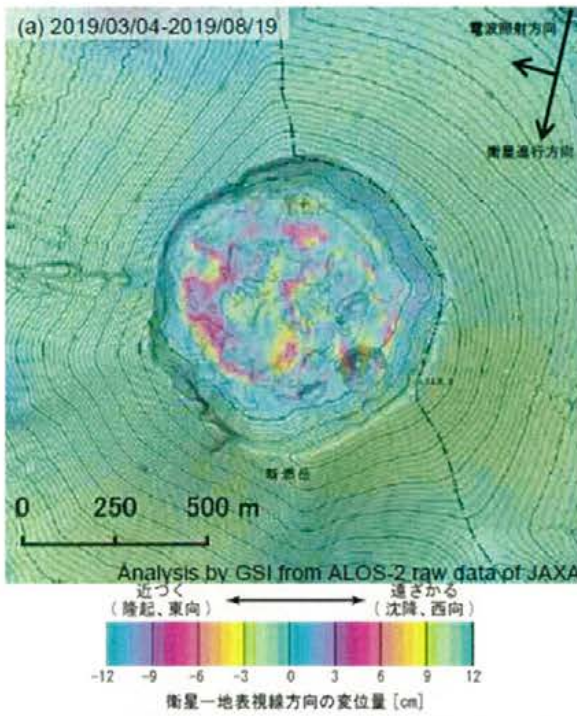
加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その1）霧島山 p184, p185より引用】

	(a)	(b)	(c)	(d)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/03/04 2019/08/19 12:19頃 (168日間)	2019/05/17 2019/11/01 0:12頃 (168日間)	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	北行	南行	南行
電波照射方向	右	右	右	左
観測モード*	U-U	U-U	U-U	U-U
入射角	35.5°	32.1°	35.5°	52.8°
偏波	HH	HH	HH	HH
垂直基線長	-451 m	-82 m	-84 m	+262 m

*U: 高分解能(3m)モード

〔新燃岳の拡大図〕



加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [傾斜計]

【霧島山の火山活動解説資料（2020年3月） p23, p36より引用】

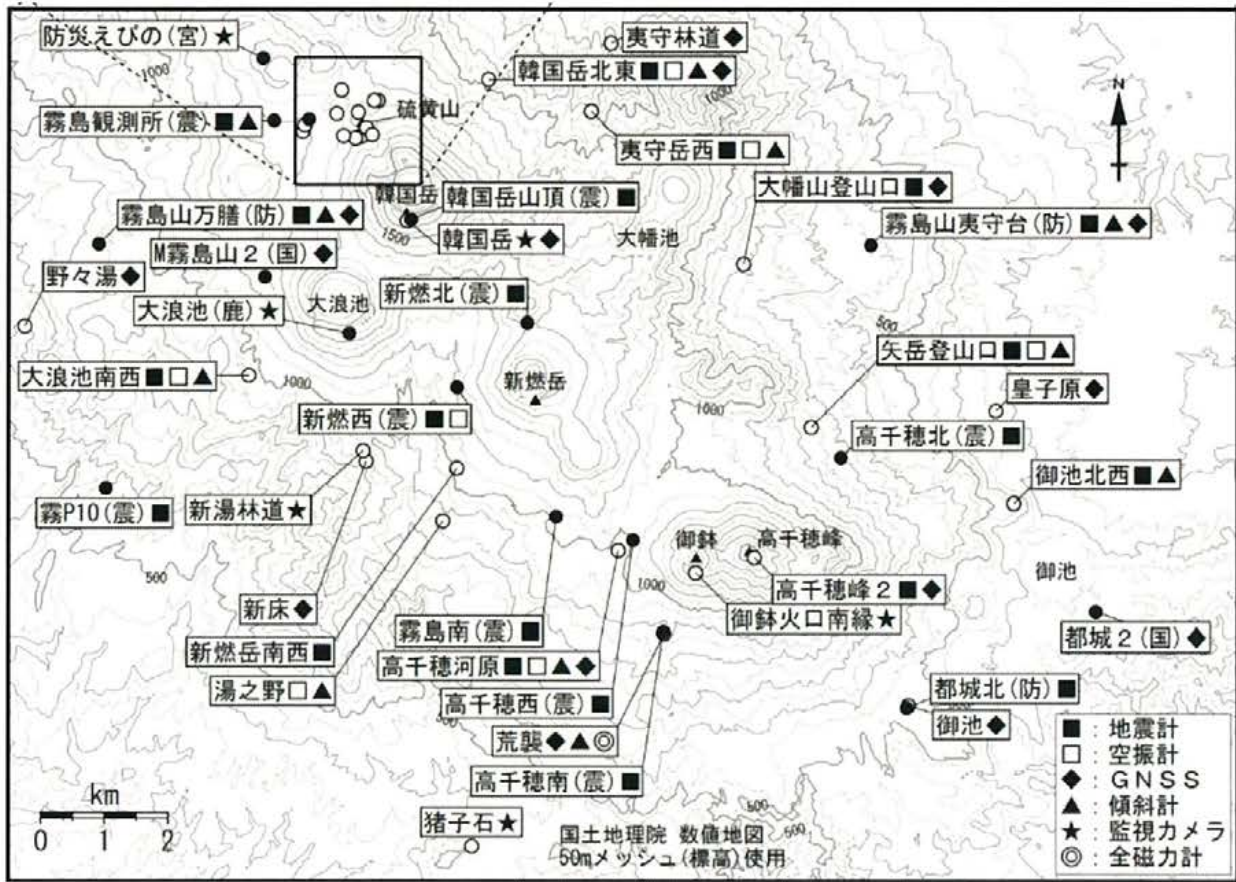


図 霧島山 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の期間の観測点位置を示している。
 (国) : 国土地理院、(防) : 防災科学技術研究所、(震) : 東京大学地震研究所、(宮) : 宮崎県、
 (鹿) : 鹿児島県

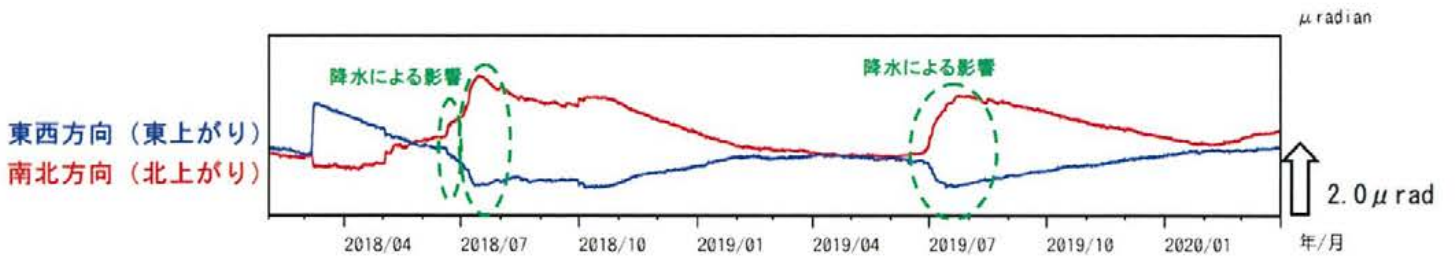


図 高千穂河原傾斜計

加久藤・小林カルデラ ①主な監視項目 [火山ガス]

〔新燃岳〕

【2019年の霧島山の火山活動 新燃岳 p4より引用】

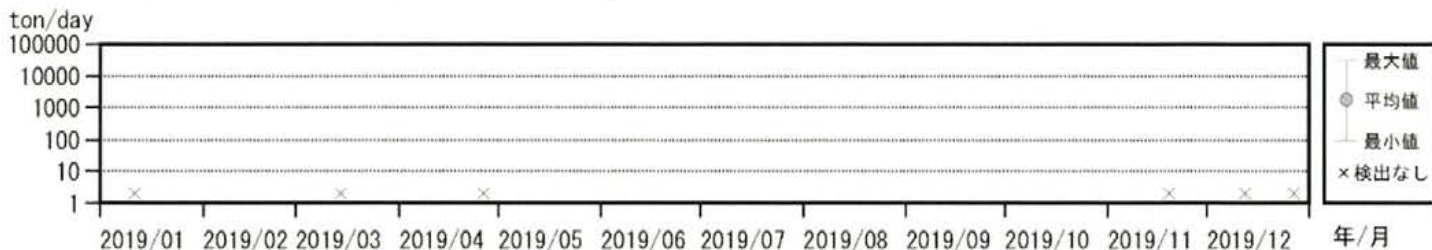


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

【霧島山の火山活動解説資料（2020年3月） p22より引用】

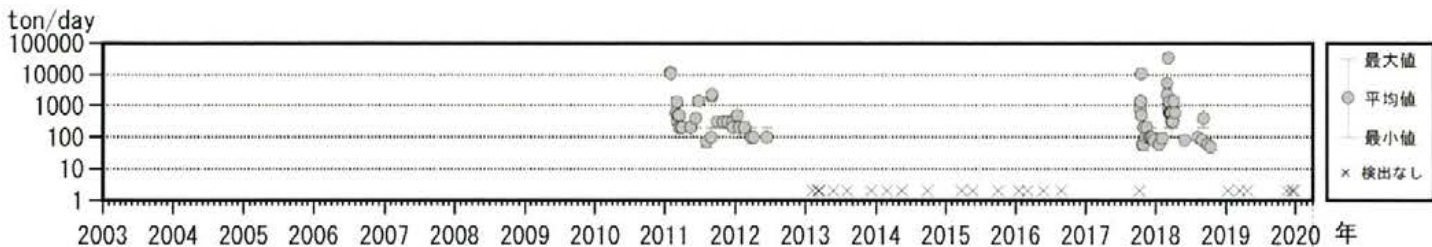


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

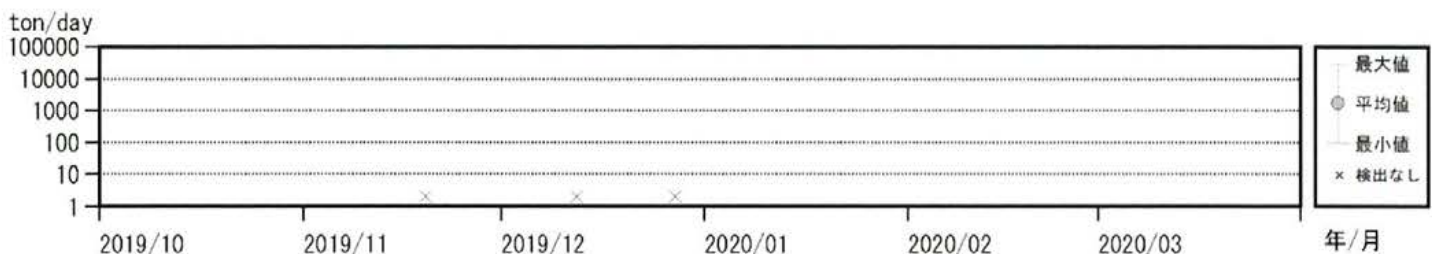


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

〔えびの高原（硫黄山）周辺〕

【霧島山の火山活動解説資料（2020年3月） p9より引用】

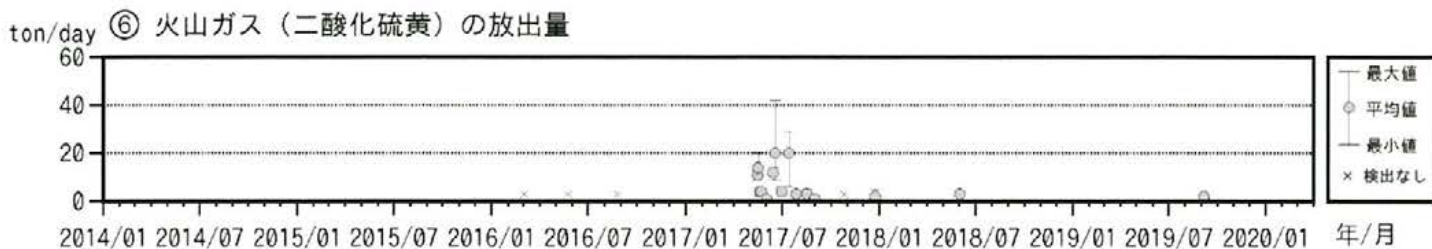


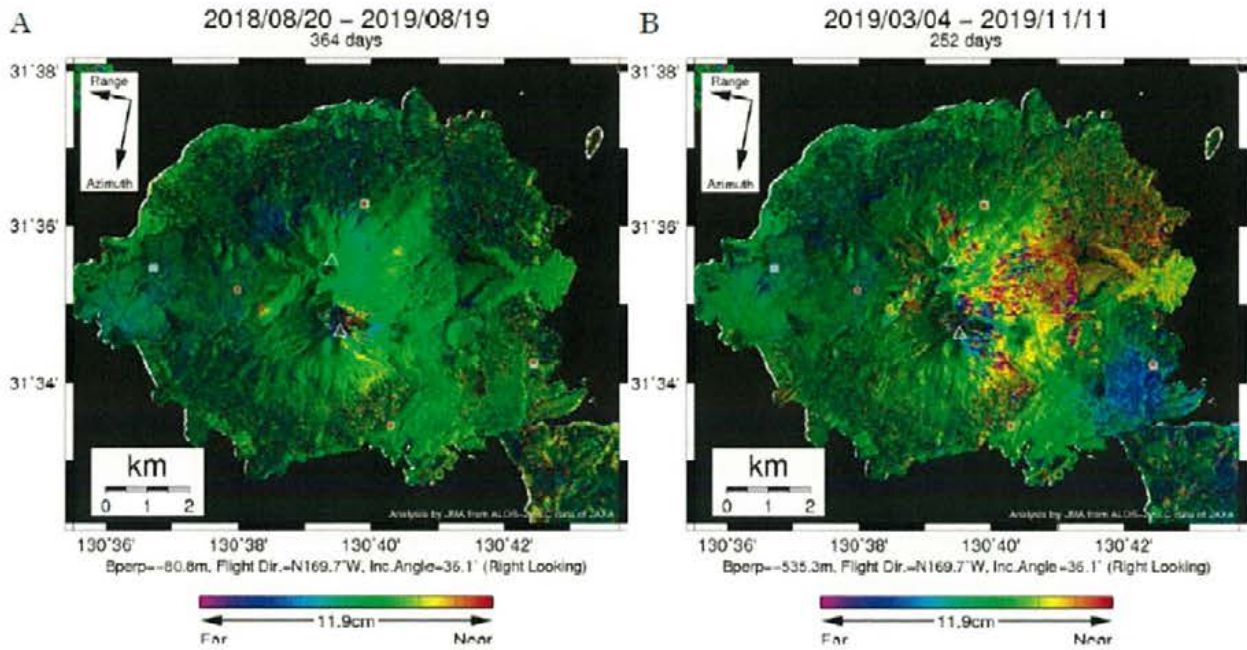
図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

始良カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

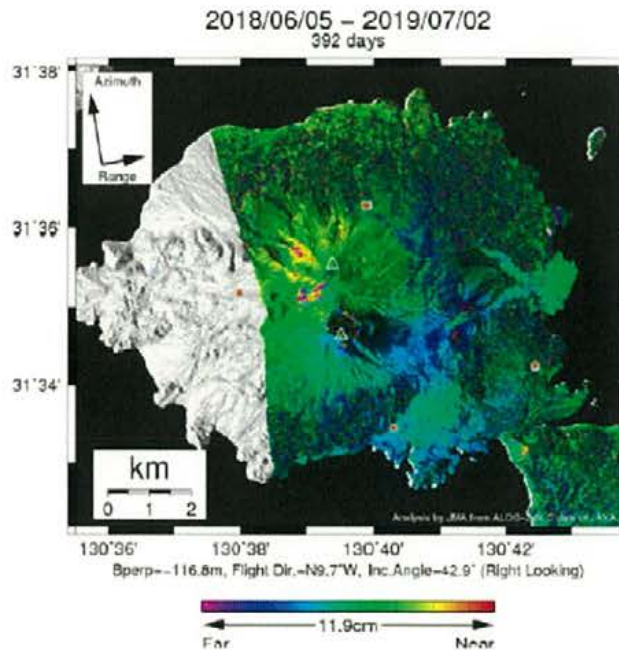
【第145回火山噴火予知連絡会資料（その2）桜島 p31, p32より引用】

表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
23-2980(SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2018.08.20	2019.08.19	第1図-A
				2019.03.04	2019.11.11	第1図-B
131-620(SM1_U2-9)	北行	右	42.9°	2018.06.05	2019.07.02	第2図



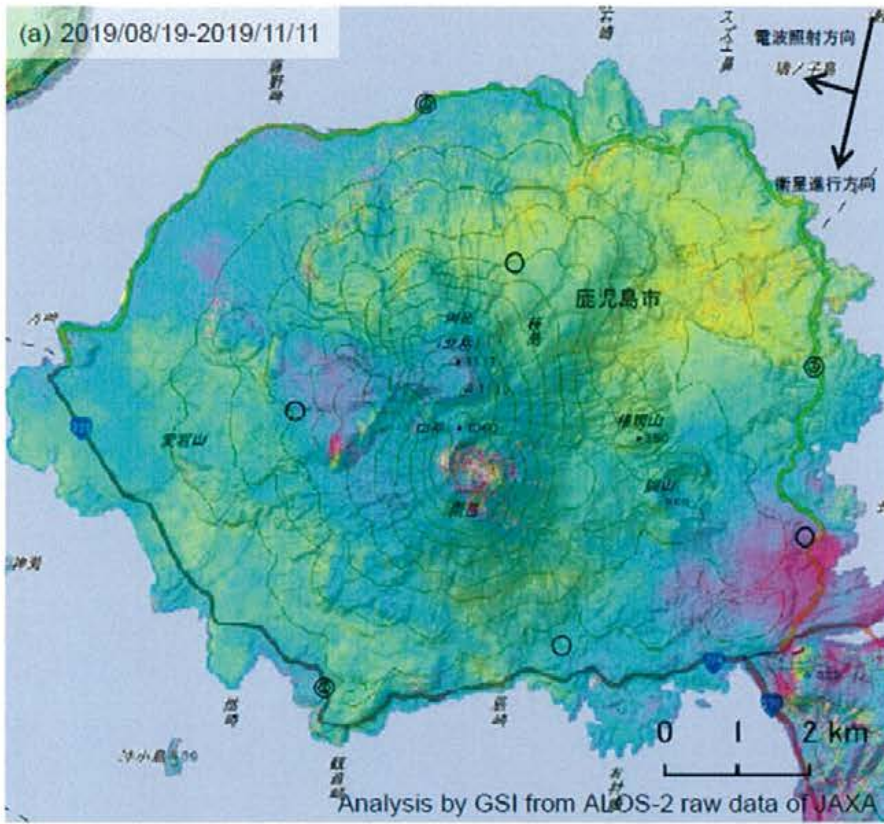
第1図 パス23(SM1-U2_7)による干渉解析結果
図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。



第2図 パス131(SM1_U2_9)による桜島の干渉解析結果
図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。

始良カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

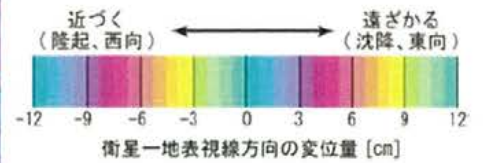
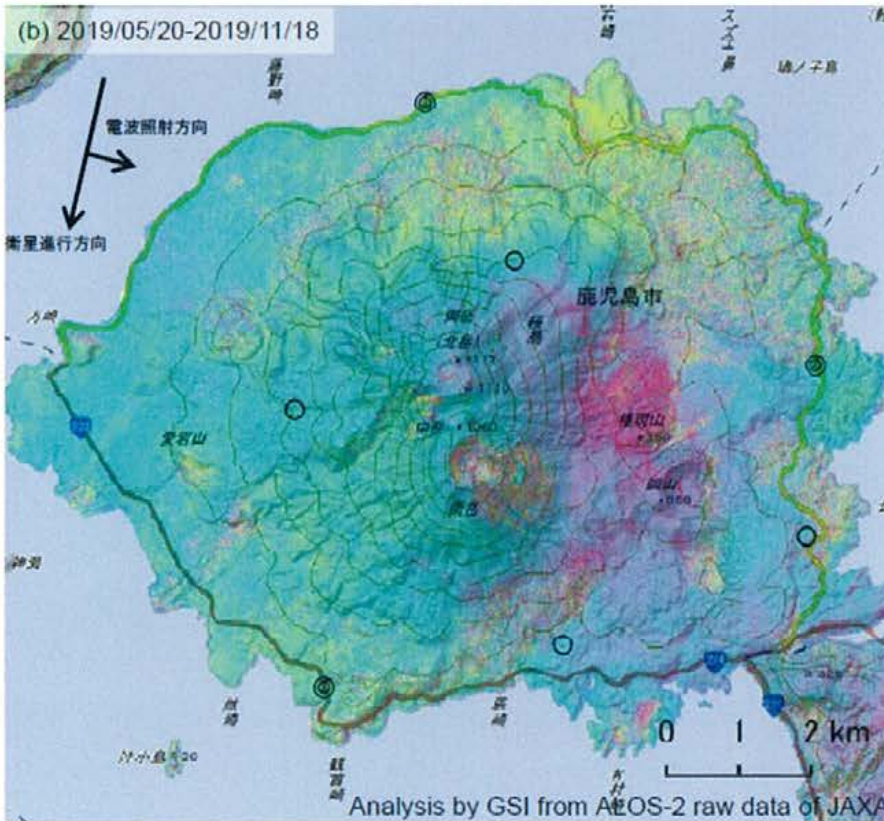
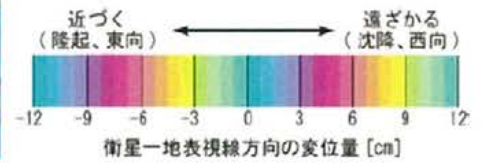
【第145回火山噴火予知連絡会資料（その2）桜島 p51より引用】



	(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
観測モード*	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



始良カルデラ ①主な監視項目 [傾斜計・伸縮計]

【桜島の火山活動解説資料（2020年3月） p9, p15より引用】

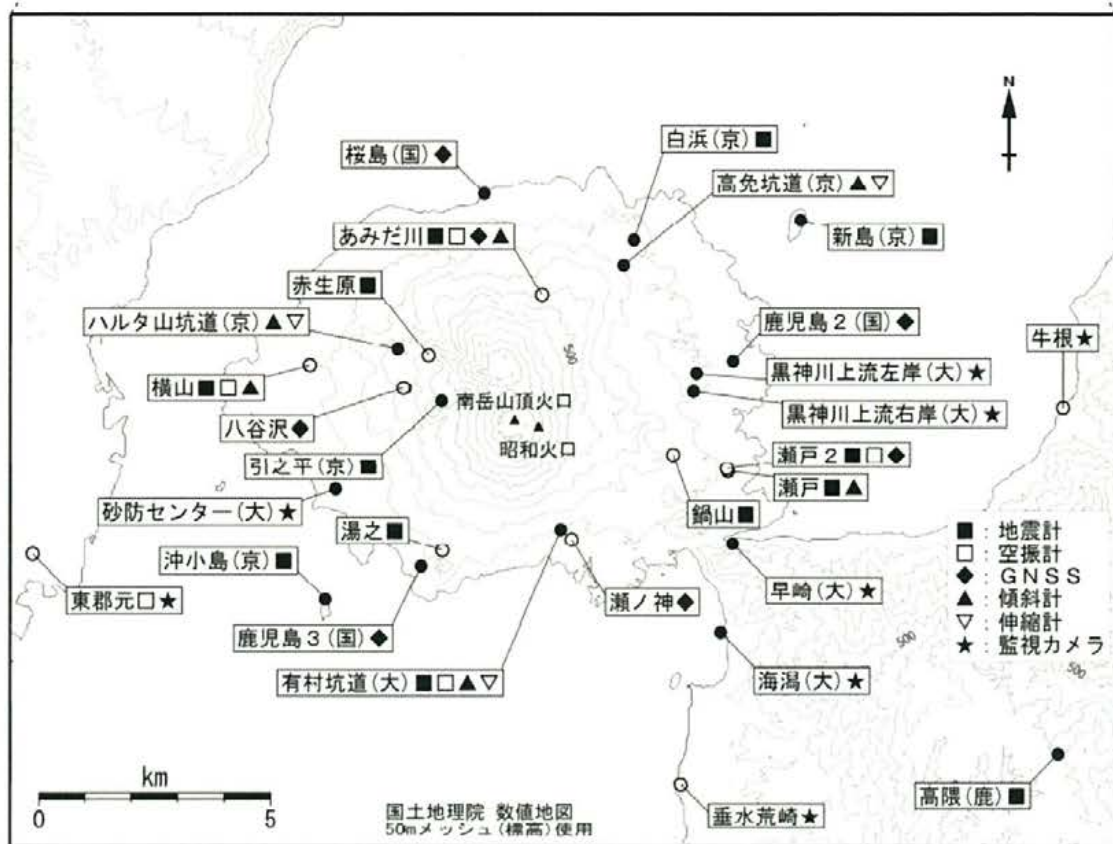


図 桜島 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の期間の観測点位置を示している。
 (国) : 国土地理院、(大) : 大隅河川国道事務所、(京) : 京都大学
 (鹿) : 鹿児島大学、(防) : 防災科学技術研究所

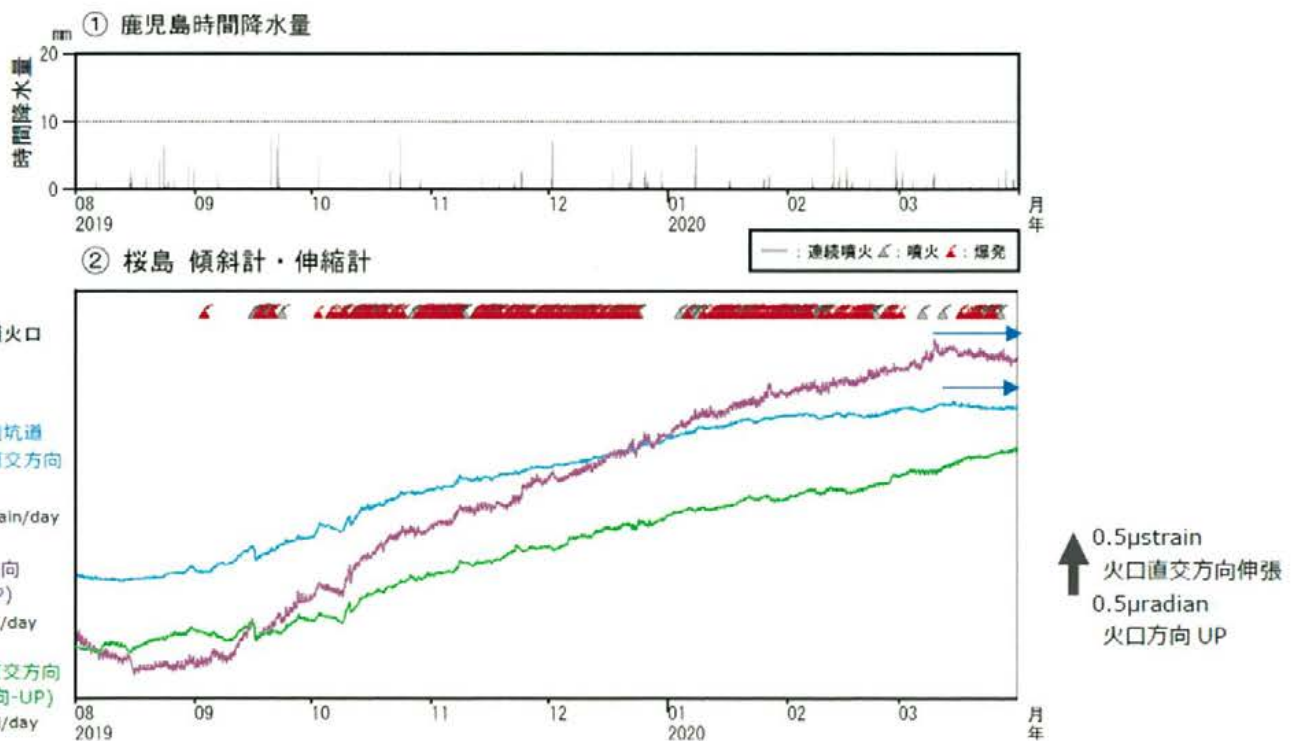


図 桜島 傾斜計及び伸縮計による地殻変動の状況 (2019年8月～2020年3月)

始良カルデラ ①主な監視項目 [火山ガス]

【2019年の桜島の火山活動 p9より引用】

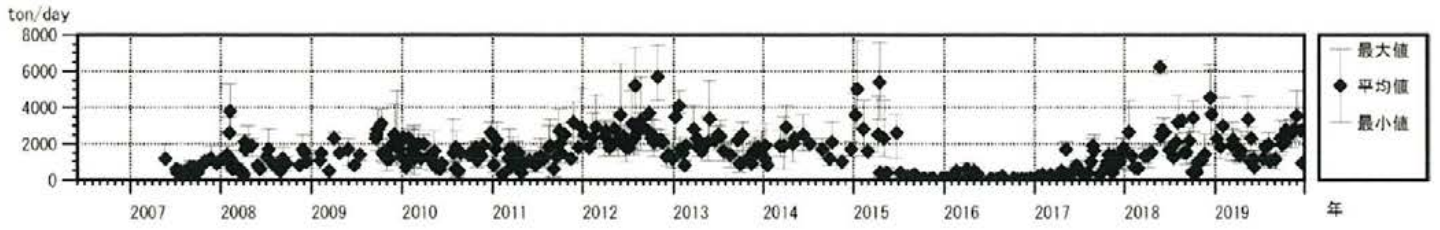


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

【桜島の火山活動解説資料（2020年3月） p8より引用】

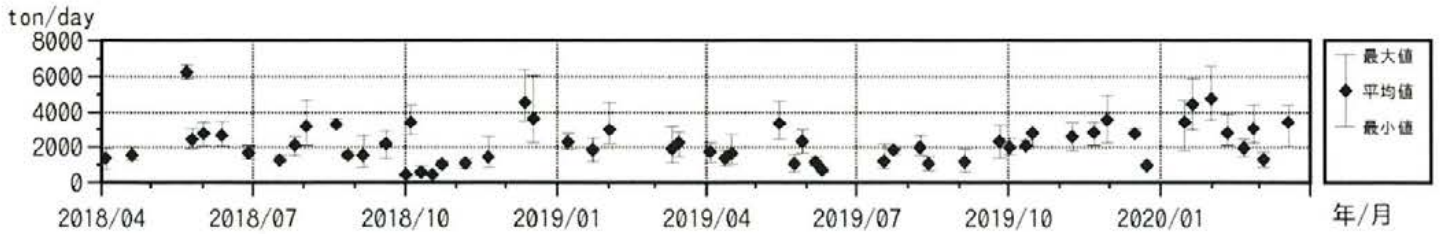
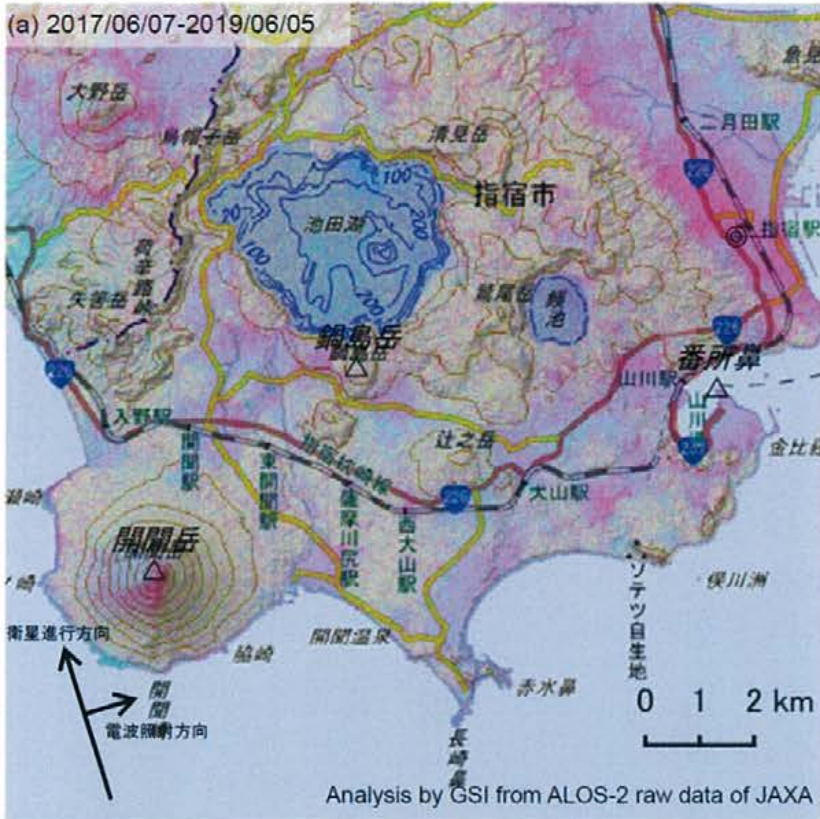


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

阿多カルデラ ①主な監視項目 [衛星観測]

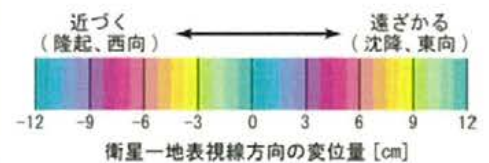
【第145 回火山噴火予知連絡会資料（その7-2）その他の火山（地理院） p57より抜粋】



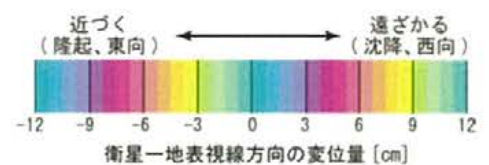
	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2017/06/07 2019/06/05 0:18 頃 (728 日間)	2018/08/20 2019/08/19 12:19 頃 (364 日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右	右
観測モード ^{*1}	U-U	U-U
入射角 ^{*2}	40.1°	36.6°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-3 m	-81 m

^{*1}U: 高分解能(3m)モード

^{*2} 開聞岳における入射角



◎ 国土地理院 GNSS 観測点



鬼界 ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その3）薩摩硫黄島 p66, p67より引用】

表 干渉解析に使用したデータ

Path-Frame	Orbit	Looking	Inc. angle	Earliest Scene	Latest Scene	Figure No.
23-3000(SM1_U2-7)	南行	右	36.1°	2018.08.20	2019.08.19	第1図-A
				2019.12.24	2019.11.11	第1図-B

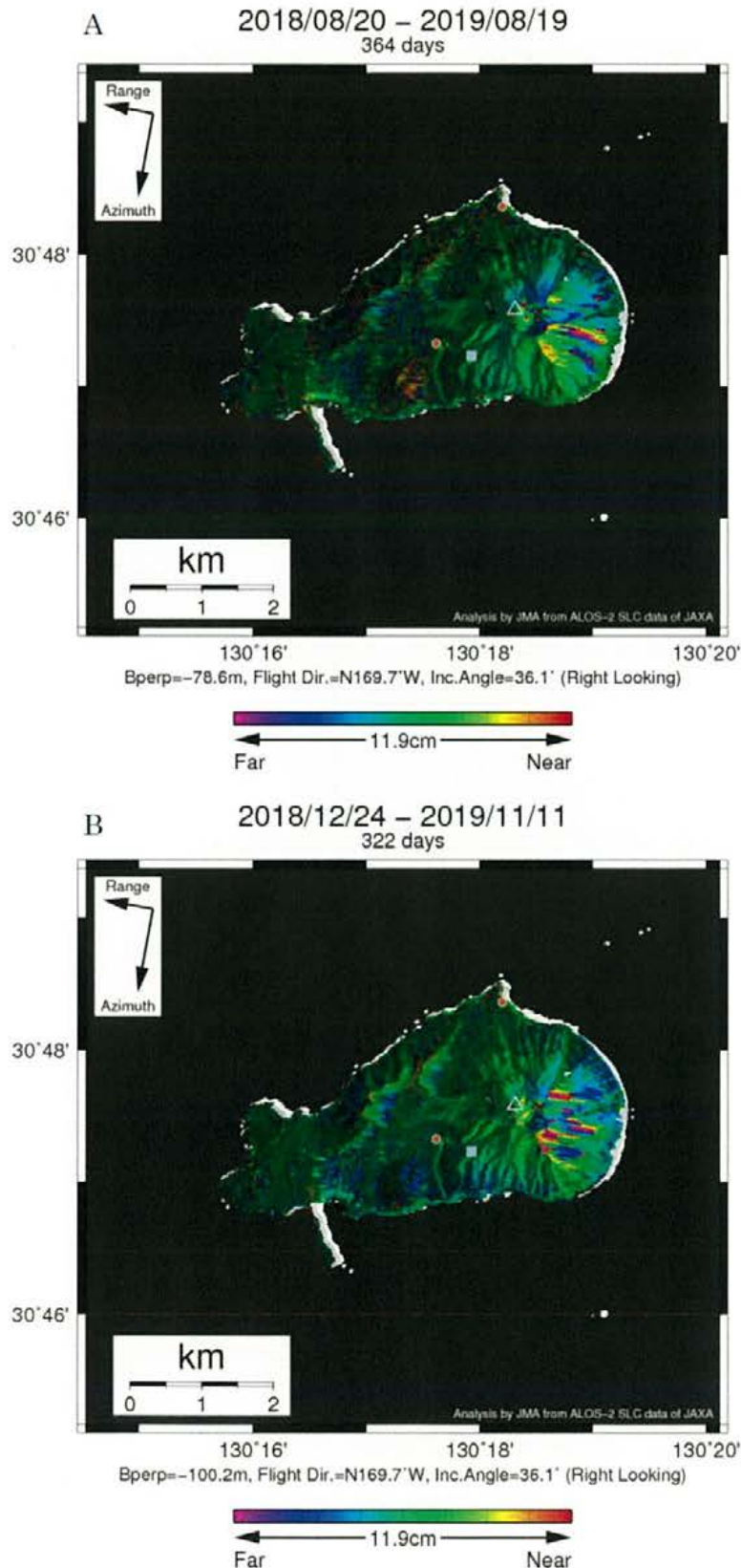
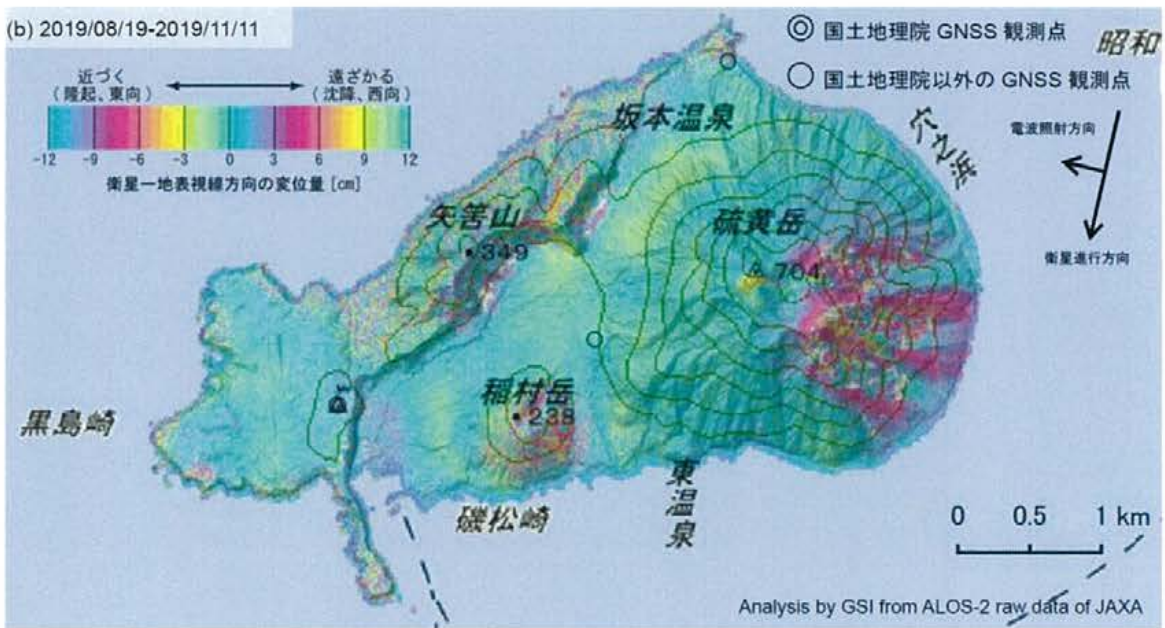
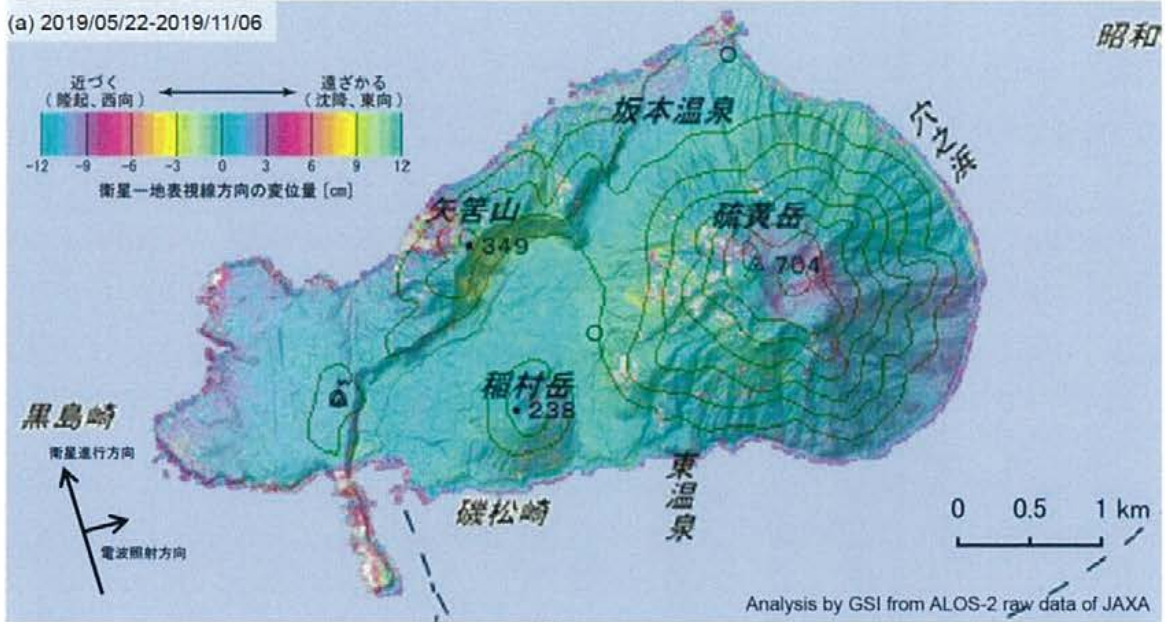


図 パス23(SM1_U2_7)による薩摩硫黄島の干渉解析結果
図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。

鬼界 ①主な監視項目 [衛星観測]

【第145 回火山噴火予知連絡会資料（その3）薩摩硫黄島 p73, p74より引用】



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2019/05/22 2019/11/06 0:18 頃 (168 日間)	2019/08/19 2019/11/11 12:19 頃 (84 日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	U-U
入射角	38.3°	37.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+ 90 m	- 84 m

*U: 高分解能(3m)モード

鬼界 ①主な監視項目 [傾斜計]

【第145回火山噴火予知連絡会資料（その3）薩摩硫黄島 p64, p65より引用】

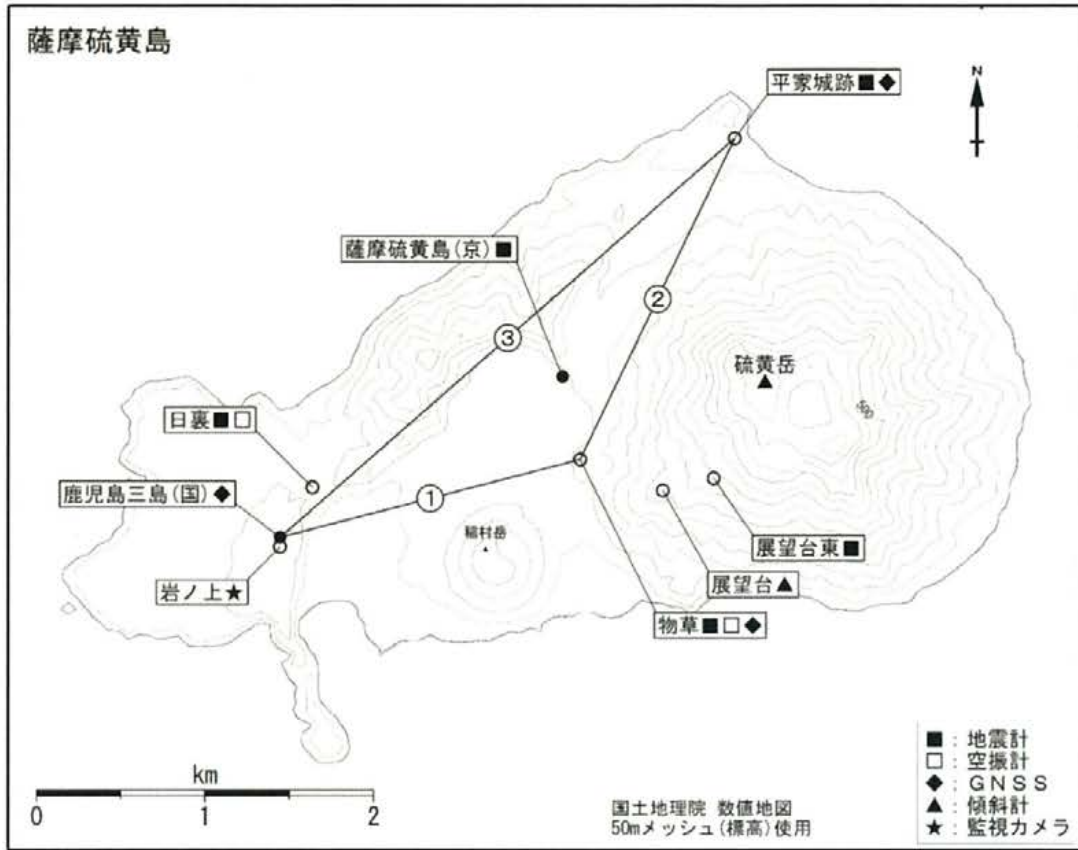
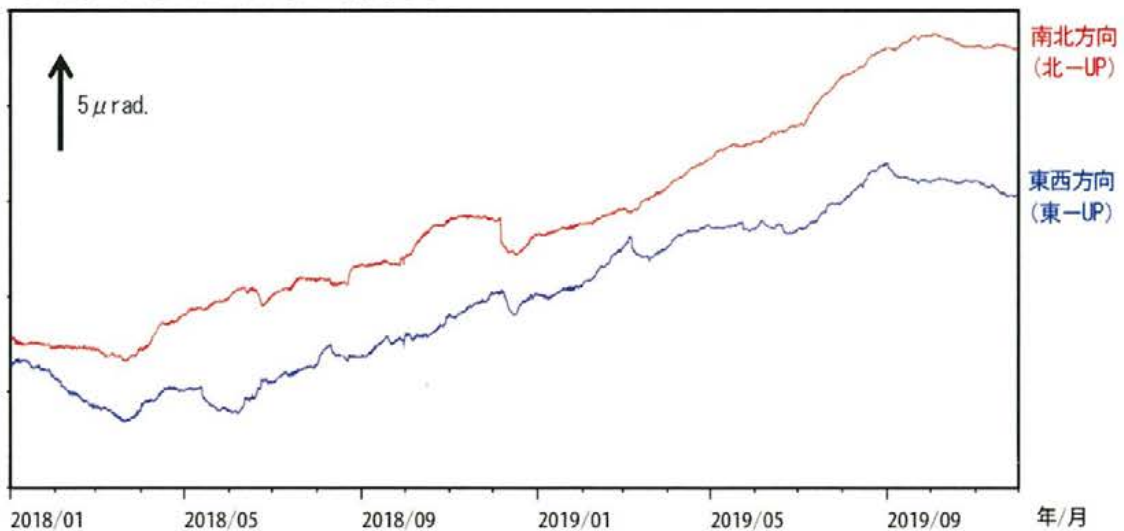


図 薩摩硫黄島 観測点配置図

小さな白丸 (○) は気象庁、小さな黒丸 (●) は気象庁以外の期間の観測点位置を示している。
 (京)：京都大学、(国)：国土地理院

① 薩摩硫黄島 展望台観測点の傾斜変動



② 枕崎日降水量

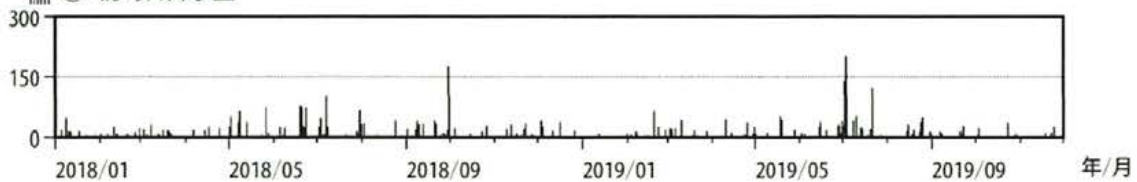


図 薩摩硫黄島 展望台傾斜計の傾斜変動 (2019年6月～2019年11月30日)

鬼界 ①主な監視項目 [火山ガス]

【薩摩硫黄島の火山活動解説資料（2020年3月） p3より引用】

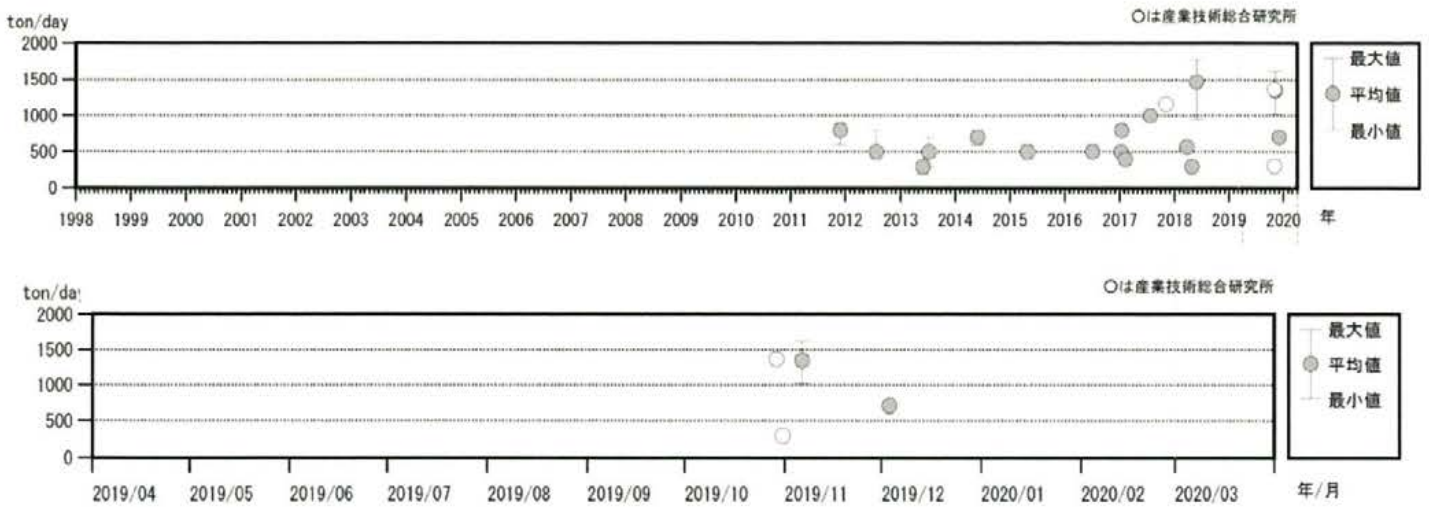


図 火山ガス（二酸化硫黄）の放出量

②その他の監視項目[噴出場所及び噴出物 噴火様式 地下構造]

- ・各カルデラにおけるその他の監視項目についてのデータを取り纏めた。
- ・地下構造の文献収集期間は川内原子力発電所の設置変更許可以降(川内：2014年)から2020年3月31日までを対象とした。
- ・地下構造に関する文献を確認した結果、当社評価に影響する知見は認められなかった。

監視項目	カルデラ	データ		
		構造	出典	
噴出場所及び噴出物	阿蘇 加久藤 ・小林 始良 阿多 鬼界	—		
噴火様式		—		
地下構造	阿蘇	比抵抗	表題	Three - Dimensional Electrical Resistivity Modeling to Elucidate the Crustal Magma Supply System Beneath Aso Caldera, Japan.
			著者	Hata, M., Matsushima, N., Takakura, S., Utsugi, M., Hashimoto, T. and Uyeshima, M. (2018)
			文献	Journal of Geophysical Research- Solid Earth, vol.123, p.6334-6346.
	阿蘇	地震波速度	表題	Low-velocity zones in the crust beneath Aso caldera, Kyushu, Japan, derived from receiver function analyses.
			著者	Abe, Y., Ohkura, T., Shibutani, T., Hirahara, K., Yoshikawa, S. and Inoue, H. (2017)
			文献	Journal of Geophysical Research- Solid Earth, vol.122, p.2013-2033.
	加久藤 ・小林	比抵抗	表題	Three-dimensional resistivity structure and magma plumbing system of the Kirishima Volcanoes as inferred from broadband magnetotelluric data
			著者	Aizawa, K., Koyama, T., Hase, H., Uyeshima, M., Kanda, W., Utsugi, M., Yoshimura, R., Yamaya, Y., Hashimoto, T., Yamazaki, K., Komatsu, S., Watanabe, A., Miyakawa, K. and Ogawa, Y. (2014)
			文献	Journal of Geophysical Research- Solid Earth, vol.119, p.198-215.
	始良	地震波速度	表題	大規模人工地震探査による始良カルデラ及び周辺域の地殻構造の解明(2)予備的成果と2018年観測計画
			著者	宮町,高橋,青山,椎名,高田,一柳,山口,小野,齊藤,伊藤,村井,筒井,井上,竹井,山本,平原,中山,東,大友,日野,阿部,蔵下,岩崎,篠原,山田,中東,渡辺,前田,堀川,奥田,辻,長谷川,片尾,澁谷,三浦,中川,加藤,山下,松島,手操,宮町,A.Triahadini,磯田,清水,小林,早田,仲井,八木原,平野,田中,川崎,佐藤(2018)
			文献	日本火山学会講演予稿集 2018年度秋季大会, p.105.
阿多	地震波速度	表題	火山影響評価に係る科学的知見の整備	
		著者	原子力規制庁(2019)	
		文献	原子力規制庁 安全研究成果報告, RREP-2019-4001	
鬼界	—			

阿蘇カルデラ ②その他の監視項目 [地下構造 比抵抗構造]

【Hata et al.(2018) Figure4より引用】

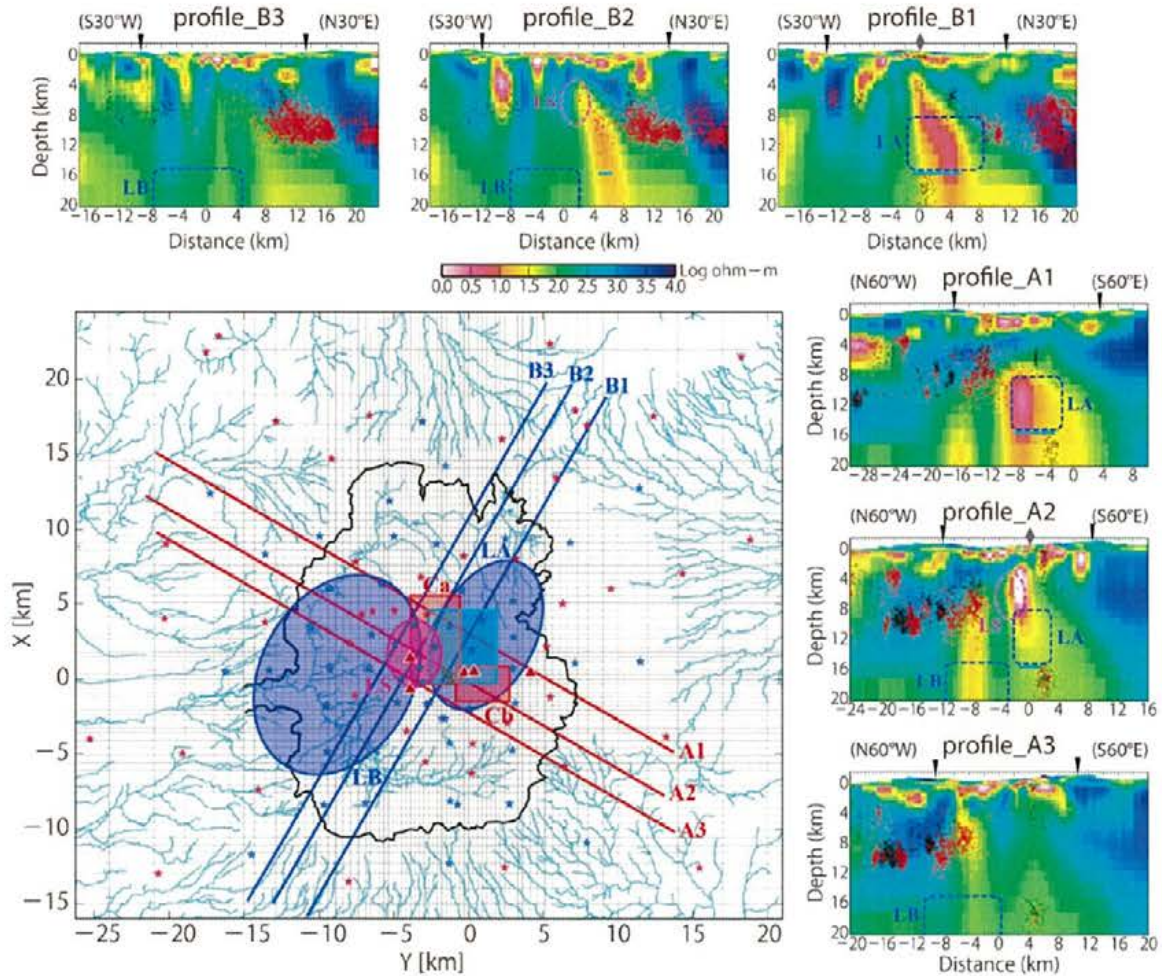


Figure 4. Vertical cross sections through the 3-D electrical resistivity model along six profiles (A1–A3 and B1–B3). The pink and light blue stars, red triangles, gray outline, and black outline in the map indicate the magnetotelluric sites, the five main postcaldera cones, the first crater of Naka-dake, and the rim of Aso caldera, respectively. The light blue lines show the regional river network based on the National Digital Information Data of National Spatial Planning and Regional Policy Bureau. The Japan Meteorological Agency earthquake hypocenters within 2 km of each profile line are indicated on the cross sections, with the black and red dots corresponding to the earthquakes recorded during the January 2003 to December 2013 and January 2014 to December 2016 periods, respectively. A gray diamond and the black triangles represent the locations on the first crater and the caldera rim, respectively, along the profiles. The other symbols in the figure (red and light blue rectangles and pink and blue circles) are the same as in Figure 1.

図4 3次元比抵抗構造モデルの6つの断面線(A1~A3, B1~B3)に沿った鉛直断面図。地図上のピンクと水色の星はMT観測点、赤い三角形はポストカルデラの5つの主要な中央火口丘、灰色の輪郭は中岳第一火口、黒い輪郭は阿蘇カルデラの縁をそれぞれ示す。水色の線は、国土交通省の国土数値情報データに基づく河川網を示す。各断面の2 km以内にある気象庁の地震震源が断面に示され、黒と赤の点はそれぞれ2003年1月~2013年12月と2014年1月~2016年12月の期間に記録された地震に対応する。灰色のひし形と黒い三角形は、各断面線に沿った中岳第一火口とカルデラ縁の位置をそれぞれ表す。図の他の記号(赤と水色の長方形、ピンクと青の円)は、図1と同じである。

【Abe et al.(2017) Figure11より引用】

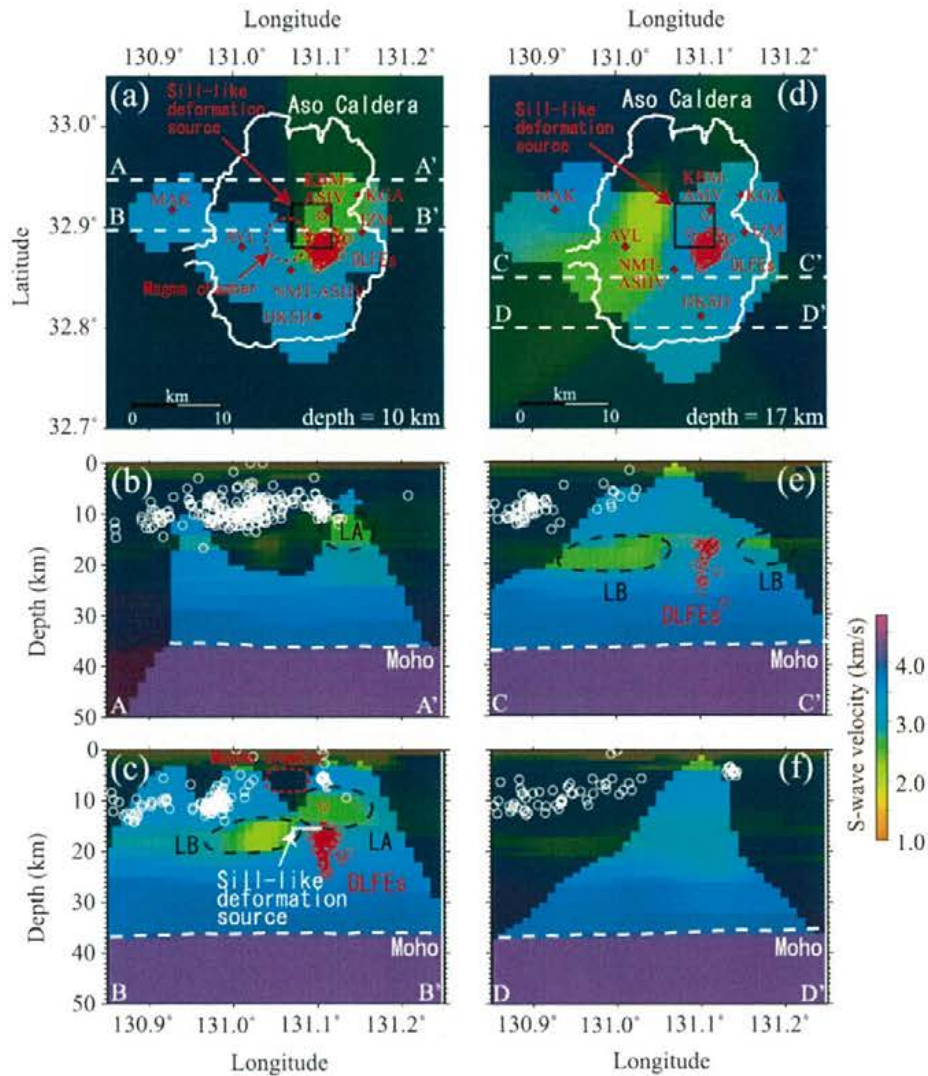


Figure 11. S wave velocity distribution. Area shown by vivid color has weight value of over 0.5 (Figure 12). (a) Horizontal section showing S wave velocity distribution at a depth of 10 km. The solid white line indicates the rim of Aso caldera. The dashed red circle indicates the location of a magma chamber detected by Sudo and Kong [2001]. The black square indicates the location of a sill-like deformation source detected by Geographical Survey Institute [2004]. Red circles indicate hypocenters of DLFEvents occurred between September 1999 and March 2007 detected by JMA. Diamonds indicate station locations. (b) Vertical section showing the S wave velocity distribution beneath dashed white line A-A' in Figure 11a. White circles indicate the hypocenters of high-frequency earthquakes detected by JMA, whose magnitude is over 1.0, origin time is between October 1997 and March 2007, and distance from the section is less than 0.025° of latitude. (c) Vertical section showing the S wave velocity distribution beneath dashed white line B-B' in Figure 11a. Dashed red circle is as in Figure 11a. White circles are as in Figure 11b. White line indicates the location of the sill-like deformation source detected by Geographical Survey Institute [2004]. Red circles indicate hypocenters of DLFEvents occurred between September 1999 and March 2007 detected by JMA with distances from the section of less than 0.025° of latitude. (d) Horizontal section showing the S wave velocity distribution at a depth of 17 km. Solid white line, black square, red circles, and diamonds are as in Figure 11a. (e) Vertical section showing the S wave velocity distribution beneath dashed white line C-C' in Figure 11d. White and red circles are as in Figure 11c. (f) Vertical section showing the S wave velocity distribution beneath dashed white line D-D' in Figure 11d. White circles are as in Figure 11b.

- 図11 S波速度分布。鮮やかな色で示される領域の重み値は0.5を超えている(図12)。
- (a) 深さ10 kmにおけるS波速度分布を示す水平断面。白い実線は阿蘇カルデラの縁を示す。赤い破線の円は、Sudo and Kong (2001)によって検出されたマグマ溜りの場所を示す。黒い四角は、国土地理院(2004)が検出したシル状の変動源の位置を示す。赤い丸は、気象庁が検出した1999年9月から2007年3月の間に発生したDLFEの震源を示す。ひし形は観測点の場所を示す。
 - (b) 図11aの白い破線A-A'下のS波速度分布を示す鉛直断面。白い円は断面からの距離が緯度の0.025°以内で1997年10月から2007年3月のマグニチュードが1.0以上の気象庁が検出した震源を示す。
 - (c) 図11aの白い破線B-B'下のS波速度分布を示す鉛直断面。赤い破線の円と白い円は図11aと同様。国土地理院(2004)が検出したシル状の変動源の位置を示す。赤い丸は、断面からの距離が緯度の0.025°以内の気象庁によって検出された1999年9月から2007年3月の間に発生したDLFEの震源を示す。
 - (d) 深さ17 kmにおけるS波速度分布を示す水平断面。白い実線、黒い四角、赤い丸、ひし形は、図11aと同様。
 - (e) 図11dの白い破線C-C'下のS波速度分布を示す鉛直断面。白と赤の円は図11cと同様。
 - (f) 図11dの白い破線D-D'下のS波速度分布を示す鉛直断面。白い円は図11bと同様。

【Aizawa et al.(2014) Figure11より引用】

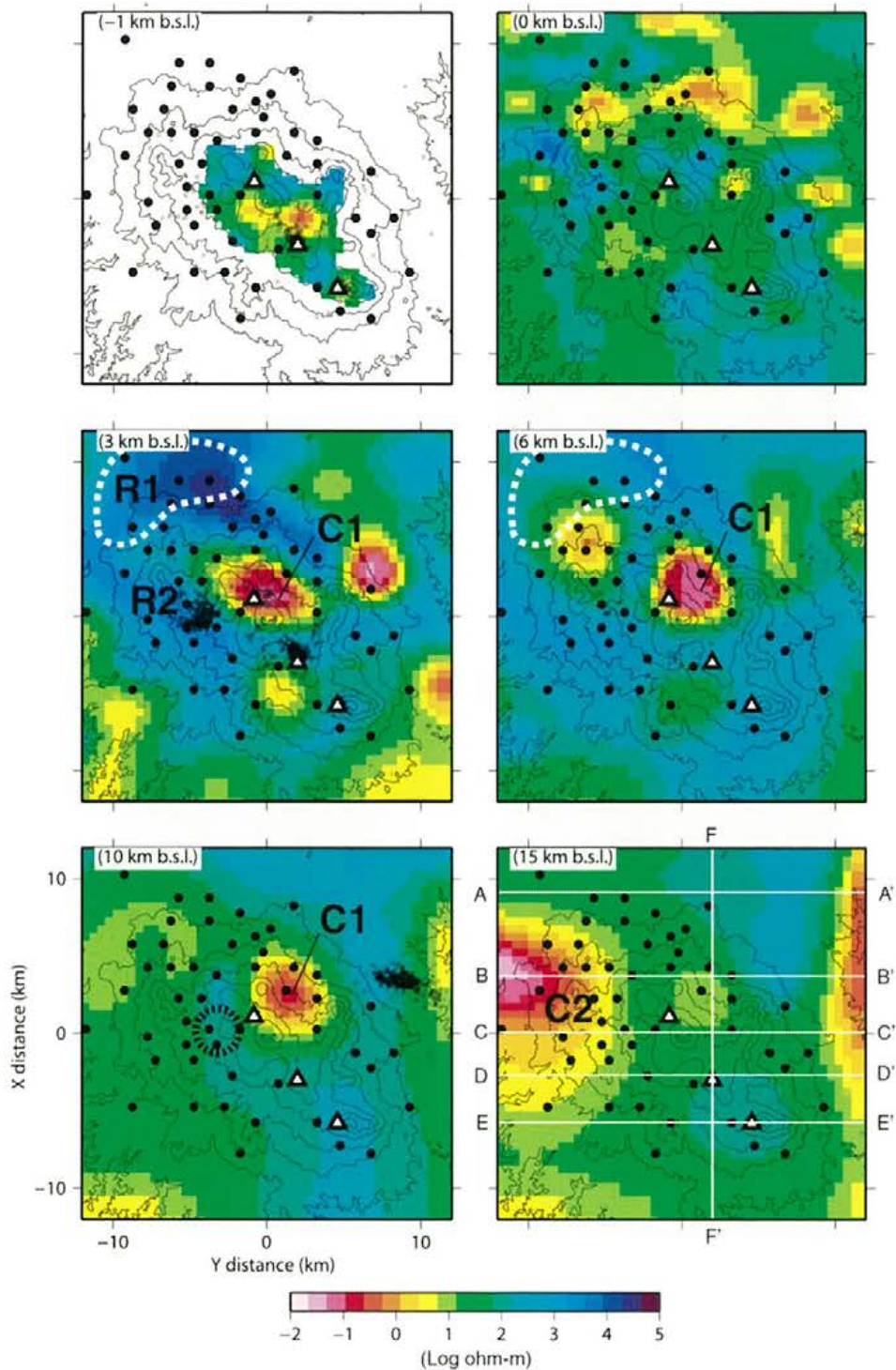


Figure 11. Horizontal slices of the final resistivity structure at various depths. The air above sea level was approximated by $10^8 \Omega\text{m}$ resistivity blocks. The seismicity between March 2008 and June 2012 (J. Oikawa, personal communication, 2013) is shown by small circles. Lines A-A' to F-F' indicate transects along which vertical slices were taken as displayed in Figure 12. C1 and C2 indicate the subvertical conductor and the deep conductor, respectively. R1 and R2 indicate the resistive zone beneath the Kakuto caldera and the resistive zone above the 2011 deformation source, respectively. Other notations are the same as in Figure 5. The region enclosed by the white dashed line shows the hypocentral location of the 1968-1969 Ebino earthquake swarm (Minakami et al., 1969).

図11 さまざまな深さでの比抵抗構造の水平断面。海水準より上の空気は、 $10^8 \Omega\text{m}$ の抵抗率ブロックで概算した。2008年3月から2012年6月までの地震活動 (J. Oikawa, 私信, 2013年) は小さな円で示される。線A-A'からF-F'は、図12に示すように、鉛直断面がとられた横断面を示す。C1とC2は、それぞれ鉛直の伝導域 (低比抵抗域) と深い伝導域を示す。R1とR2は、加久藤カルデラ下の高比抵抗域と2011年変動源上の高比抵抗域をそれぞれ示している。他の表記法は図5と同じ。白い破線で囲まれた領域は、1968~1969年のえびの地震群の震源域 (Minakami et al., 1969) を示している。

【Aizawa et al.(2014) Figure12より引用】

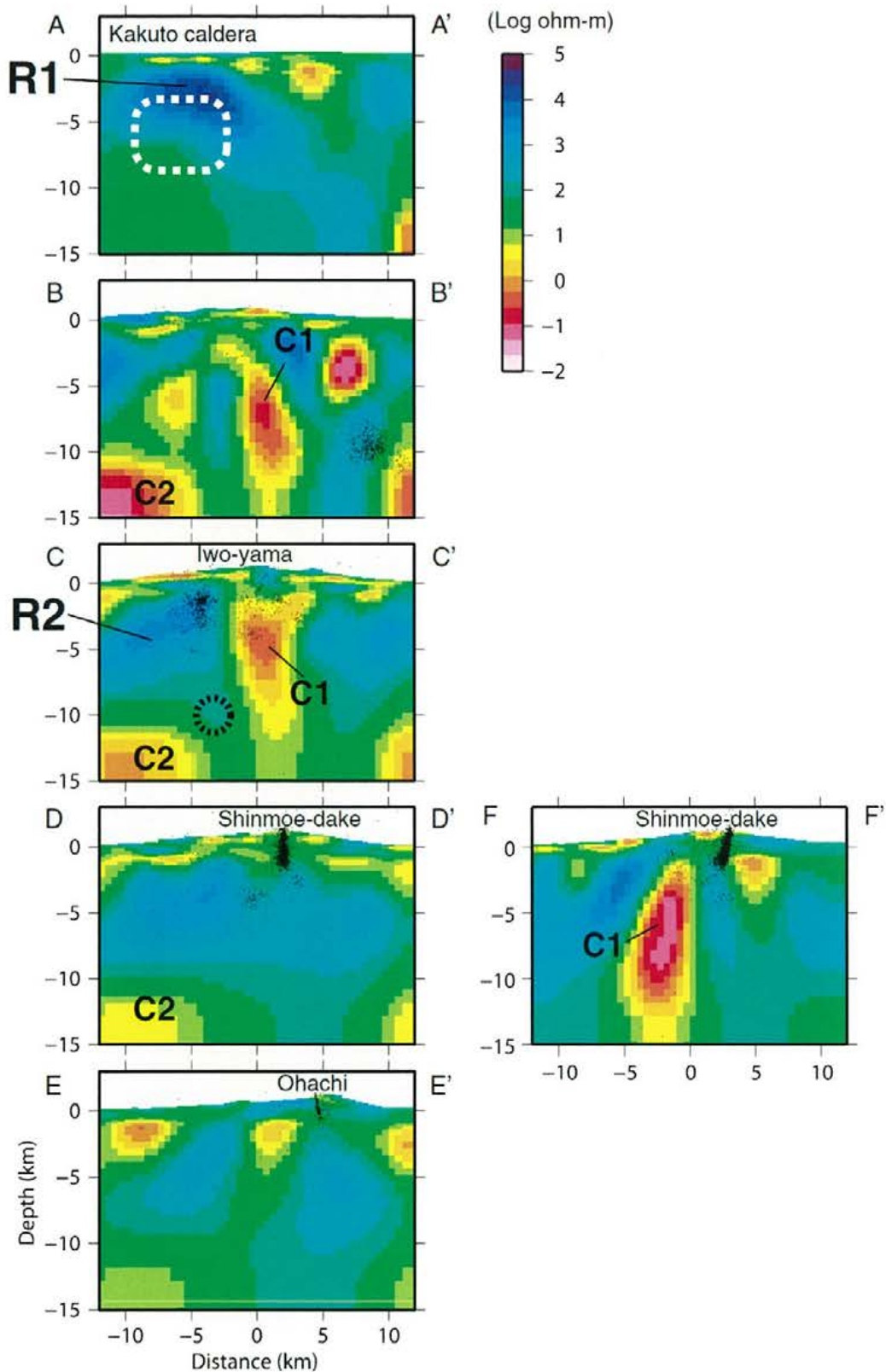


Figure 12. Vertical slices of the final resistivity structure W-E (transects A-A' to E-E' in Figure 11) and N-S (transect F-F' in Figure 11) across the study area. The seismicity between March 2008 and June 2012 (J. Oikawa, personal communication, 2013) is shown as a 2 km wide swath. The white dashed region along A-A' shows the hypocentral location of the 1968-1969 Ebino earthquake swarm (Minakami et al., 1969). The black dashed circle indicates the possible location of the source of deformation (Ueda et al., 2013; Nakao et al., 2013; Kozono et al., 2013).

図12 W-E (図11のA-A'からE-E') およびN-S (図11のF-F') の低比抵抗構造の鉛直断面。2008年3月から2012年6月までの地震活動は、断面の幅2 km以内を示す。A-A'に沿った白い破線の領域は、1968-1969年のえびの大地震の震源域を示す (Minakami et al., 1969)。黒い破線のは、2011年噴火の変動源の考えられる位置を示す (Ueda et al., 2013; Nakao et al., 2013; Kozono et al., 2013)。

【宮町ほか(2018) 図1,2より引用】

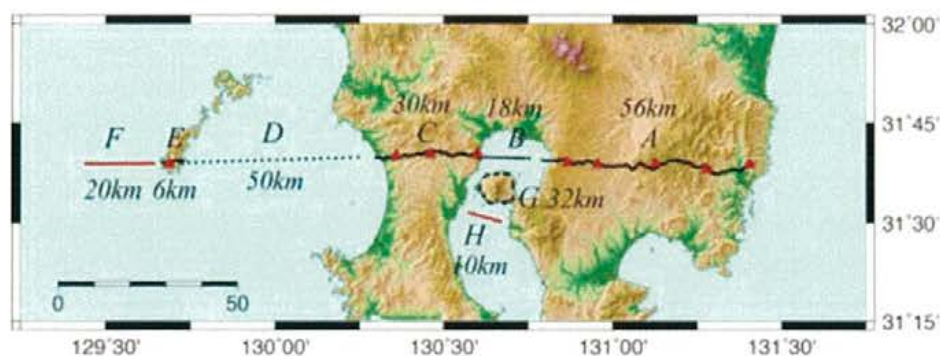


図1. 人工地震探査測線. 黒線が2017年及び2018年の測線, 赤線が2018年に追加する測線を示す. 赤三角は爆薬震源を示す.

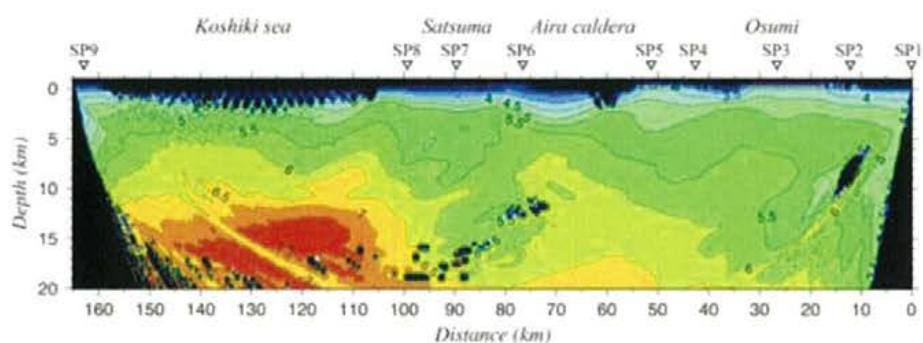
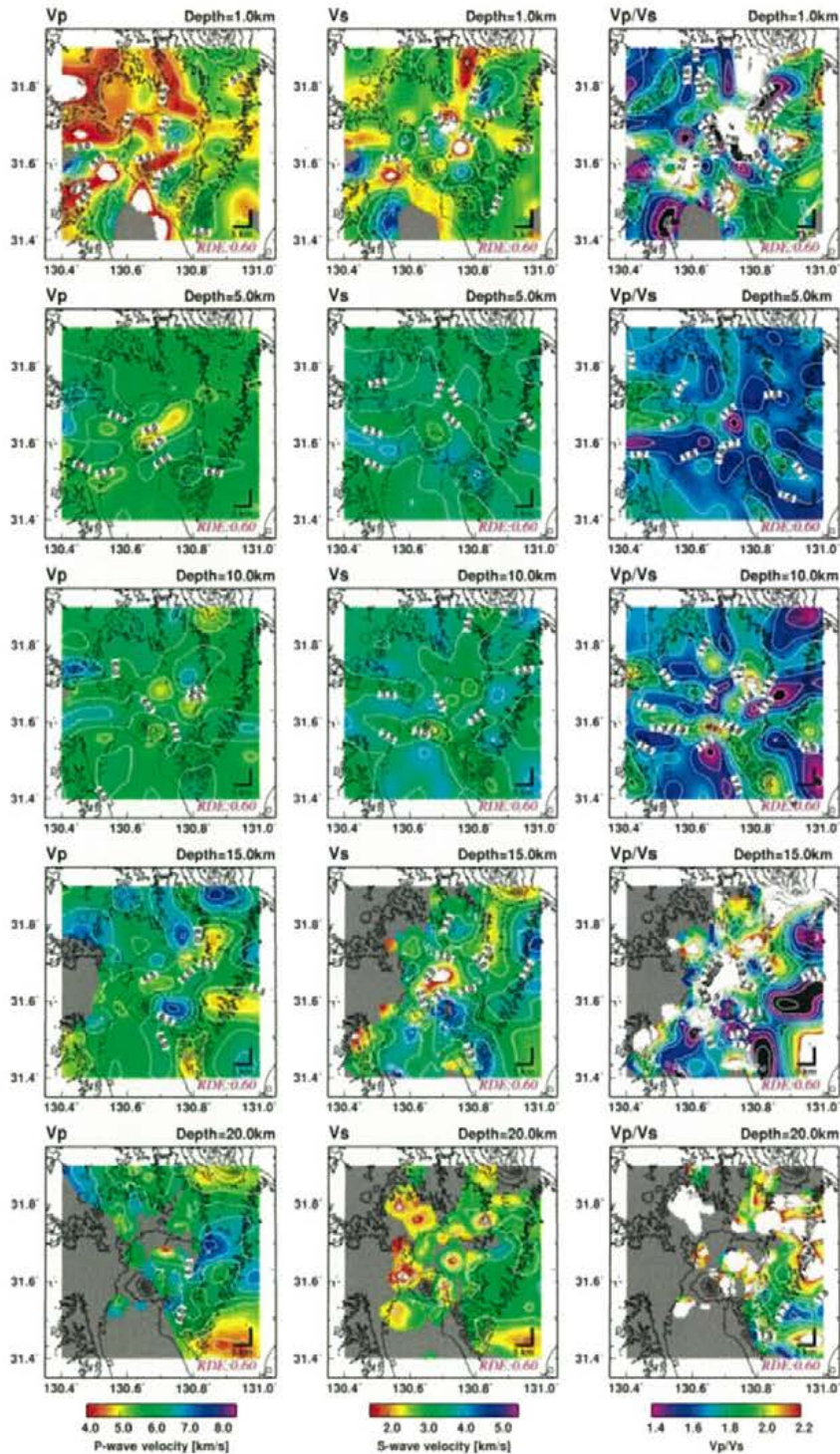


図2. 予備的解析によって得られた暫定二次元P波速度構造.

【原子力規制庁(2019) 図2.3.32より引用】

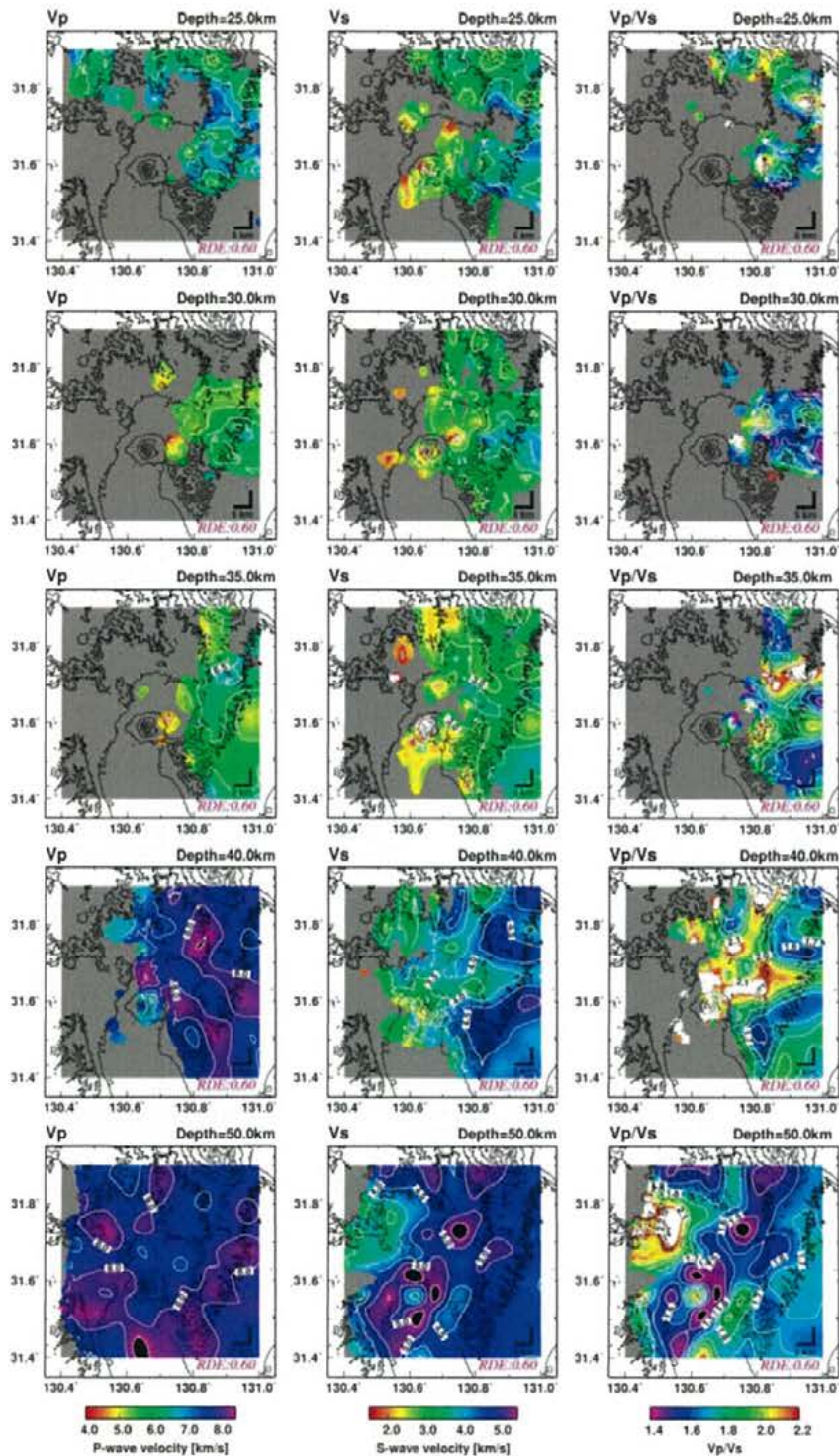


出典) 産業技術総合研究所 (2019) (参 149)

図 2.3.32 深さ 1、5、10、15、20 km における P 波及び S 波の速度分布 (RDE>0.6)

白色と黒色はカラーインデックスを外れる値

【原子力規制庁(2019) 図2.3.33より引用】



出典) 産業技術総合研究所 (2019) (参 149)

図 2.3.33 深さ 25、30、35、40、50 km における P 波及び S 波の速度分布 (RDE>0.6)
 白色と黒色はカラーインデックスを外れる値