

九州電力株式会社
川内原子力発電所及び玄海原子力発電所
火山モニタリング結果に係る評価について

令和3年10月1日

原子力規制庁

目 次

I. はじめに	1
1. 経緯	1
2. 原子力規制庁の評価方針	1
II. 九州電力の火山活動モニタリングに係る評価結果の概要	2
1. 対象火山	2
2. 評価期間	3
3. 評価方法及び評価結果	3
III. 当該評価結果に対する原子力規制庁の評価	7
1. データ解析結果	7
(1) 阿蘇カルデラの地殻変動及び地震活動について	7
(2) 加久藤・小林カルデラの地殻変動及び地震活動について	11
(3) 始良カルデラの地殻変動及び地震活動について	13
(4) 阿多カルデラの地殻変動及び地震活動について	19
(5) 鬼界の地殻変動及び地震活動について	22
2. 九州電力の評価結果に対する第三者の助言内容	25
3. 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」 に係る監視項目について	27
4. 原子力規制庁の評価	30
文 献	31

I. はじめに

1. 経緯

原子力規制委員会は、令和3年6月16日に九州電力株式会社（以下「九州電力」という。）から、川内原子力発電所及び玄海原子力発電所原子炉施設保安規定に基づき提出された火山活動のモニタリングに係る評価結果として、「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（2020年度報告）」（以下「添付資料」という。）を受理した。

原子力規制庁は、当該評価結果について、九州電力による評価の過程が適切かつ確実になされていること、並びに、監視対象火山の活動状況を把握し、活動状況に変化がないと評価していることを確認した。

2. 原子力規制庁の評価方針

原子力規制庁は、九州電力から受理した火山活動のモニタリングに係る評価結果について、①「当該評価の過程が適切かつ確実になされていることを確認すること」、②「監視対象火山の活動状況を把握し、活動状況の変化の有無を評価していることを確認すること」の2点に主眼を置き、下記の確認事項について、当該評価結果を確認する。また、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」について 報告書（令和2年3月6日 原子炉安全専門審査会 原子炉火山部会）¹（以下「原子炉火山部会報告書」という。）についての対応状況を確認する。

【確認事項1-1】データ解析結果

- ・GNSS連続観測データ及び地震活動に対する評価及び解釈

【確認事項1-2】火山モニタリング評価結果

- ・九州電力の評価結果に対する第三者の助言内容

【確認事項2】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」に対する確認結果

- ・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」についての対応状況

II. 九州電力の火山活動のモニタリングに係る評価結果の概要

九州電力は、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（図1）を対象とし、公的機関（気象庁、国土地理院）が公表している評価結果を収集するとともに、自社で国土地理院のGNSS(Global Navigation Satellite System: 全球測位衛星システム)連続観測データ及び気象庁の一元化震源データを収集・分析している。以下に、九州電力の評価結果の概要を示す。

1. 対象火山

九州電力は、モニタリング対象の火山を、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している（図1）。

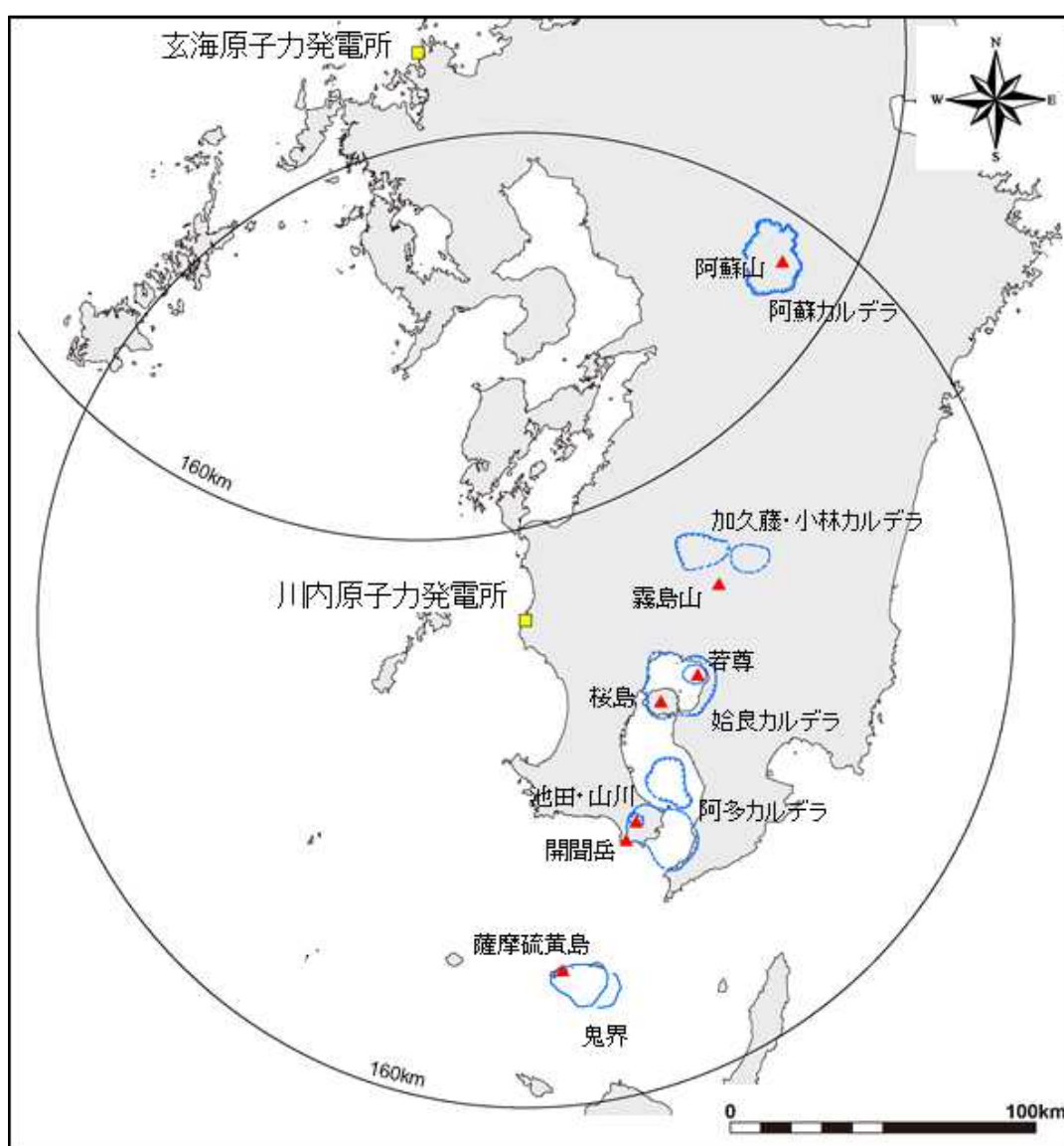


図1 モニタリング対象のカルデラ火山の位置図

2. 評価期間

九州電力は、評価期間を、2020年4月1日から2021年3月31日としている（ただし、データは平成12年（2000年）からの21年間分を表示している）。

3. 評価方法及び評価結果

(1) 評価方法

九州電力は、①公的機関（気象庁、国土地理院）が公表した活火山に関する評価結果を収集するとともに、②国土地理院のGNSS連続観測データ及び気象庁の一元化震源データを収集・分析することで、対象としているカルデラ火山の活動状況の変化について総合評価を実施している。

公的機関の評価では、公的機関から定期的（あるいは臨時で不定期）に発表される資料を収集し、それらにカルデラ火山の活動状況に急激な変化を示すような情報があるかどうかを確認している。一方、九州電力の評価では、カルデラ火山を対象として、カルデラ周辺の広域的な地殻変動（基線長の伸び）と地震活動（発生数や発生場所の変化）に着目し、それらが過去からの長期的な傾向と比較して、大きく変化し、それが継続していないかどうかをGNSS連続観測データ及び気象庁の一元化震源データを収集・分析することにより確認している。図2に九州電力が自ら定めた監視レベルの移行判断基準と監視体制を参考まで示す。

さらに、原子炉火山部会報告書を受けて、九州電力は同報告書に記載の「①主な監視項目」及び「②その他の監視項目」に関するデータ（論文及び公的機関の公表資料等）を確認し、各監視項目に対する九州電力としての評価をとりまとめている（添付資料、P190-195）。

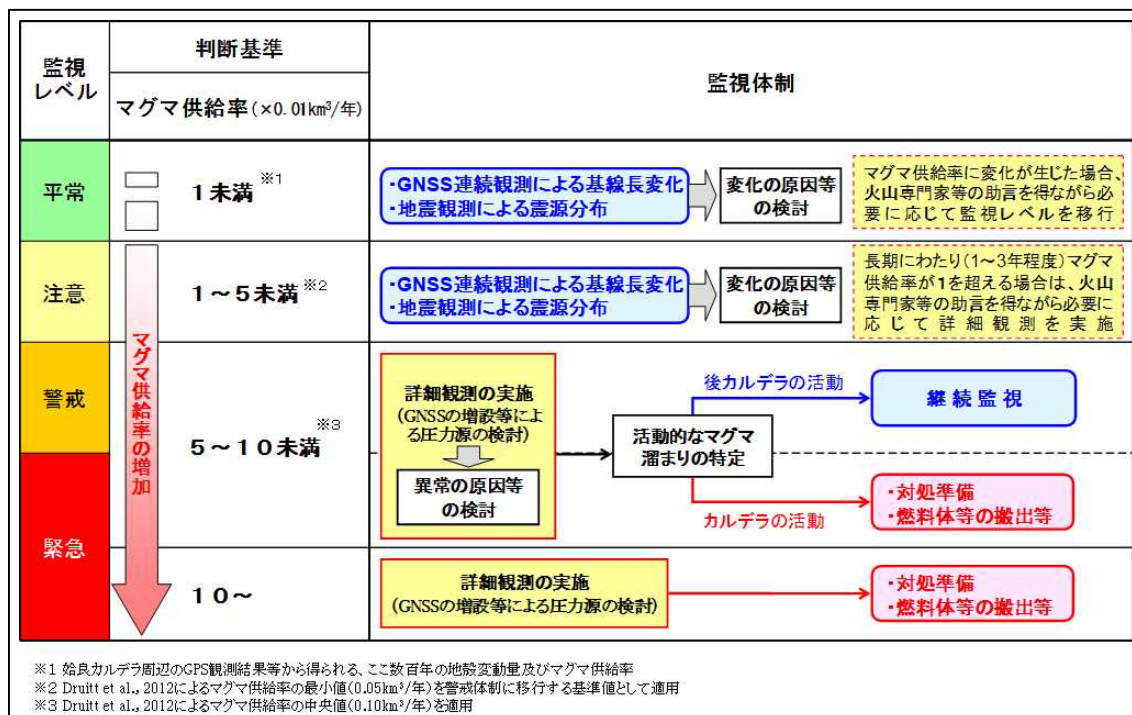


図2 監視レベルの移行判断基準と監視体制

(2) 評価結果

①阿蘇カルデラ

カルデラ内に位置する活火山に関する公的機関の評価	カルデラ火山に関する九州電力の評価	総合評価
<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁噴火警戒レベル 阿蘇山（レベル1） 【気象庁火山噴火予知連絡会資料、 火山活動解説資料3月等】 ・ 阿蘇山では6月下旬以降、噴火は発生していない。 ・ 火山性地震及び孤立型微動は多い状態で、火山ガス放出量はやや少な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は7月頃からわずかな縮みの傾向がみられる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：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。</u> ・ <u>地震活動：過去と比較して有意な変化は認められない。</u>なお、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は減少傾向にある。 ・ 監視レベル：平常 	<p style="text-align: center;"><u>活動状況に 変化なし。</u></p>

②加久藤・小林カルデラ

カルデラ内に位置する活火山に関する公的機関の評価	カルデラ火山に関する九州電力の評価	総合評価
<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁噴火警戒レベル 霧島山【新燃岳】（レベル1） 霧島山【御鉢】（レベル1） 霧島山【えびの高原周辺】（レベル1） 霧島山【大幡池】（レベル1） 【気象庁火山噴火予知連絡会資料、 火山活動解説資料3月等】 ・ 霧島山では噴火は観測されていない。 ・ 火山性地震は、2021年2月以降は少ない状態で経過しており、火山ガス放出量は、2020年4月に増加したが、12月に入り減少している。 ・ 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2020年11月頃から停滞している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：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。</u> ・ <u>地震活動：過去と比較して有意な変化は認められない。</u>なお、小林カルデラの南東側で局所的にやや多くの地震が認められたため、<u>今後の地震活動に留意していく。</u> ・ 監視レベル：平常 	<p style="text-align: center;"><u>活動状況に 変化なし。</u></p>

③始良カルデラ

カルデラ内に位置する活火山に関する公的機関の評価	カルデラ火山に関する九州電力の評価	総合評価
<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁噴火警戒レベル 桜島（レベル3） 【気象庁火山噴火予知連絡会資料，火山活動解説資料3月等】 ・ 桜島の噴火活動は活発な状態となっている。 ・ 桜島の火山性地震の年回数は前年に比べ減少し、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わずかな伸びが2019年9月以降認められている。 ・ 若尊の周辺領域で時々地震が発生した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：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ものの、基線長の変動率に有意な変化は認められない。また、監視体制の移行判断基準を十分下回っている。</u>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。 ・ <u>地震活動：若尊カルデラの南西側で局所的にやや多くの地震が認められ、桜島の南西海域及び桜島南西部の地震は2020年も依然として継続しており、全体として増加傾向にあるため、今後の地震活動に留意していく。</u> ・ 監視レベル：注意 	<p style="text-align: center;"><u>活動状況に 変化なし。</u></p>

④阿多カルデラ

カルデラ内に位置する活火山に関する公的機関の評価	カルデラ火山に関する九州電力の評価	総合評価
<ul style="list-style-type: none"> 【気象庁火山噴火予知連絡会資料等】 ・ 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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：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。</u> ・ <u>地震活動：2017年に生じた地震と同じ北側のカルデラにおいて、2020年2月以降に増加傾向にある。また、開聞岳付近における低周波地震の増加も認められること</u> 	<p style="text-align: center;"><u>活動状況に 変化なし。</u></p>

	<p>から、今後の地震活動に留意していく。</p> <p>・監視レベル：平常</p>	
--	--	--

⑤鬼界

カルデラ内に位置する活火山に関する公的機関の評価	カルデラ火山に関する九州電力の評価	総合評価
<ul style="list-style-type: none"> ・ 気象庁噴火警戒レベル 薩摩硫黄島（レベル2） 【気象庁火山噴火予知連絡会資料、火山活動解説資料3月等】 ・ 硫黄岳で4月29日、10月6日に噴火が発生したが、その後は噴火は発生していない。 ・ 火山性地震の年回数は前年に比べ減少した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：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。</u>なお、2020年7月頃以降、基線②、③において伸びの傾向が認められていたが、2021年1月頃以降は停滞している。 ・ <u>地震活動：過去の地震活動と比較して有意な変化は認められない。</u> ・ 監視レベル：平常 	<p><u>活動状況に変化なし。</u></p>

上記の評価結果から、九州電力は評価期間を通じて、公的機関の評価にカルデラ火山の活動状況に急激な変化を示す情報が見られないこと、既存観測網によるデータ収集・分析した自社評価における地殻変動及び地震活動に、有意な変化が認められないと判断し、対象としている5カルデラ火山について「活動状況に変化はない」と評価している。

また、九州電力は原子炉火山部会報告書に記載の「①主な監視項目」及び「②その他の監視項目」に関するデータ（論文及び公的機関の公表資料等）の更新を行い、昨年度提出された報告では未整理であった全対象カルデラについての噴出場所及び噴出物、噴火様式に関する文献、阿多カルデラについての地下構造に関する文献を追加したうえで、各監視項目に対する九州電力としての評価をとりまとめ、これまでの自社評価に影響する知見は認められなかったと評価している（添付資料、P190-195）。

Ⅲ. 当該評価結果に対する原子力規制庁の評価

原子力規制庁は、データ解析結果及び火山モニタリングの評価結果について、九州電力より聴取し以下の通り確認した。

なお、観測項目については、昨年度の評価である「九州電力株式会社川内原子力発電所及び玄海原子力発電所 火山モニタリング結果に係る評価について（原子力規制庁、令和2年10月20日）²」に記載の内容から変更がないことを確認している。

1. データ解析結果

原子力規制庁は、九州電力のデータ解析結果に関して、GNSS 連続観測データに見られる長期トレンドに着目して、九州電力の解析結果の妥当性を確認した。

(1) 阿蘇カルデラの地殻変動及び地震活動について

- ・九州電力は、GNSS 連続観測による基線長変化等を確認した結果、当該年度の基線長変化は、阿蘇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としている（図3）（添付資料、P10、P25）。また、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、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とともに、位置と規模に有意な変化は認められないとしている（添付資料、P25）。さらに、火山部会の委員からの助言を踏まえて、当該年度より震源分布の推移に関して震源分布の三次元的位置がわかるように東西投影断面に加え、南北投影断面を追加して評価を行っている（添付資料、P23-24）。
- ・九州電力は、地殻変動評価において、基線長変化をマグマ供給によるものとして評価しているが、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、第三者（火山専門家）の助言（2018年度）を踏まえて、中・長期的取組みのひとつとして広域地殻変動量の定量的把握を行っている。具体的には、Kobayashi (2017)³ 及び Nishimura et al. (2018)⁴ を参考とし、GNSS 観測点の定常速度を推定するため、大規模な地震やスロースリップ現象（SSE: Slow Slip Event）が発生していない期間として、2006年～2008年を設定し、Nishimura et al. (2018) の手法に基づき、2000年～2020年の各観測値から広域地殻変動の影響分を除去する試みを行っている。その結果、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を確認し（図4）、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としている（添付資料、P108）。
- ・九州電力は、熊本地震後の地殻変動について、過去1年の地殻変動は、本震前の状態に概ね戻っているものの、地震断層北側の点の変動が小さくなっていることや、地震断層南側の点の変動方向が異なることなどから、本震前と比較して差異が認められるとしている（添付資料、P15-16）。

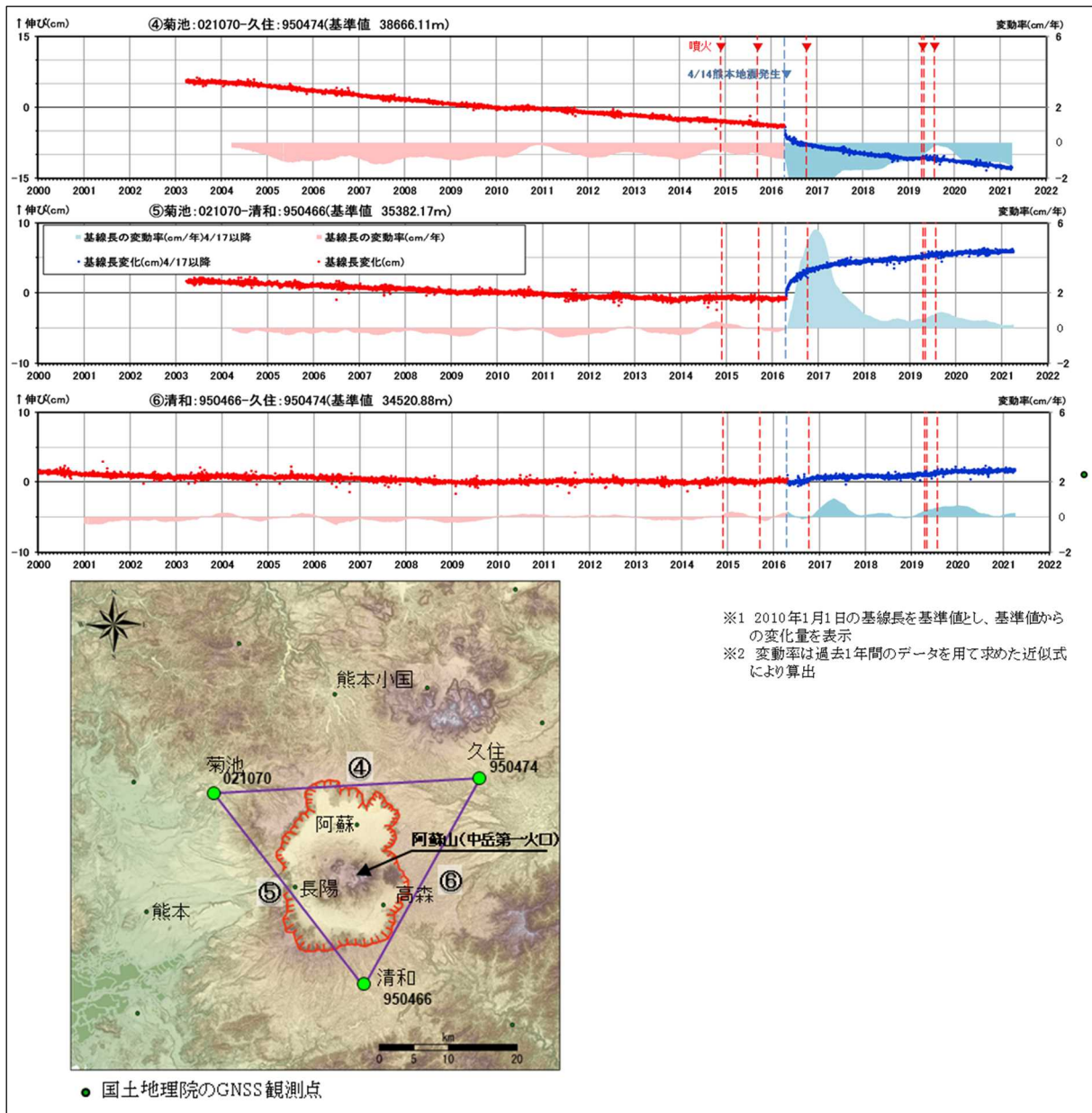


図3 阿蘇カルデラのGNSS連続観測による基線長変化

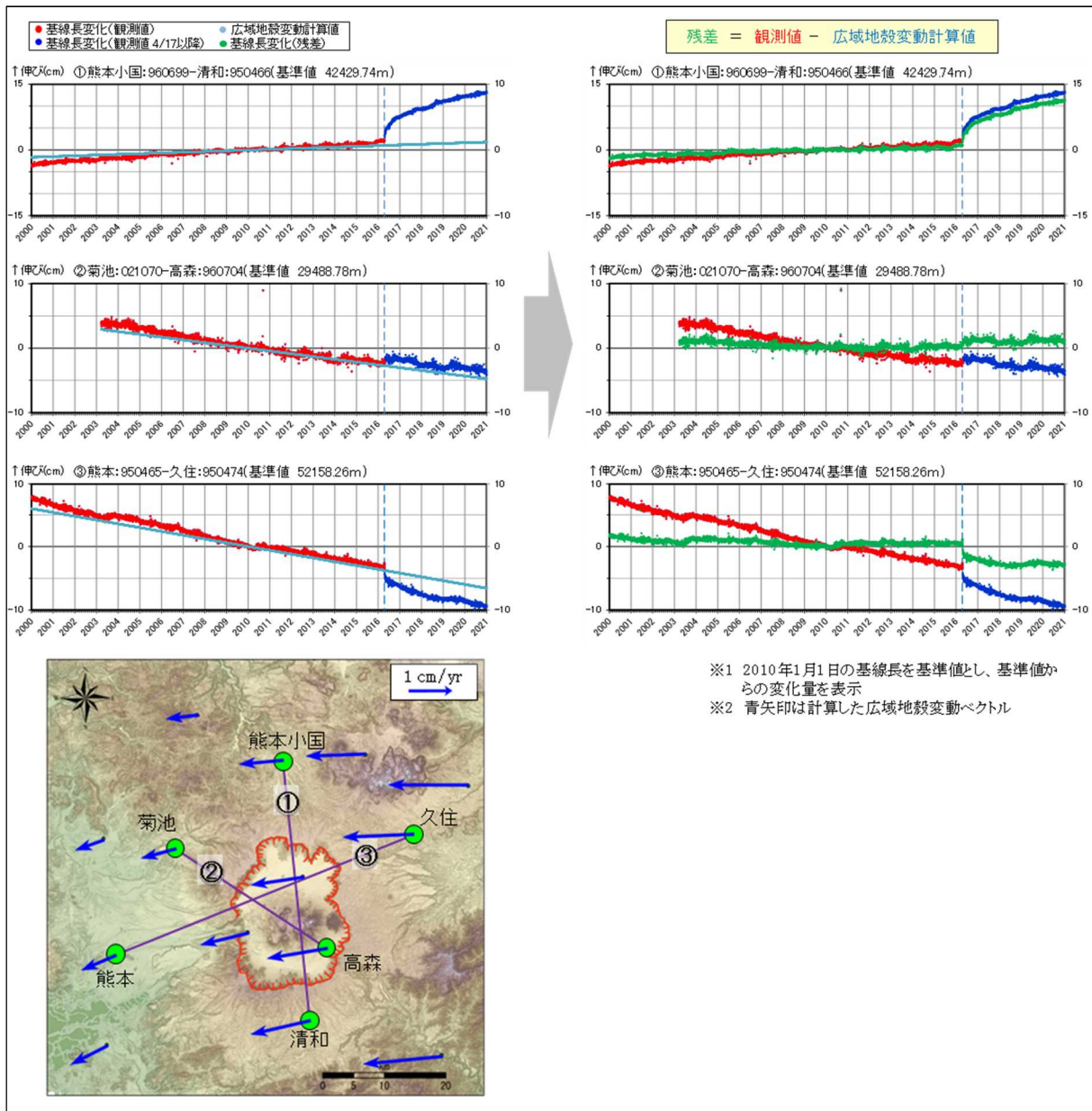
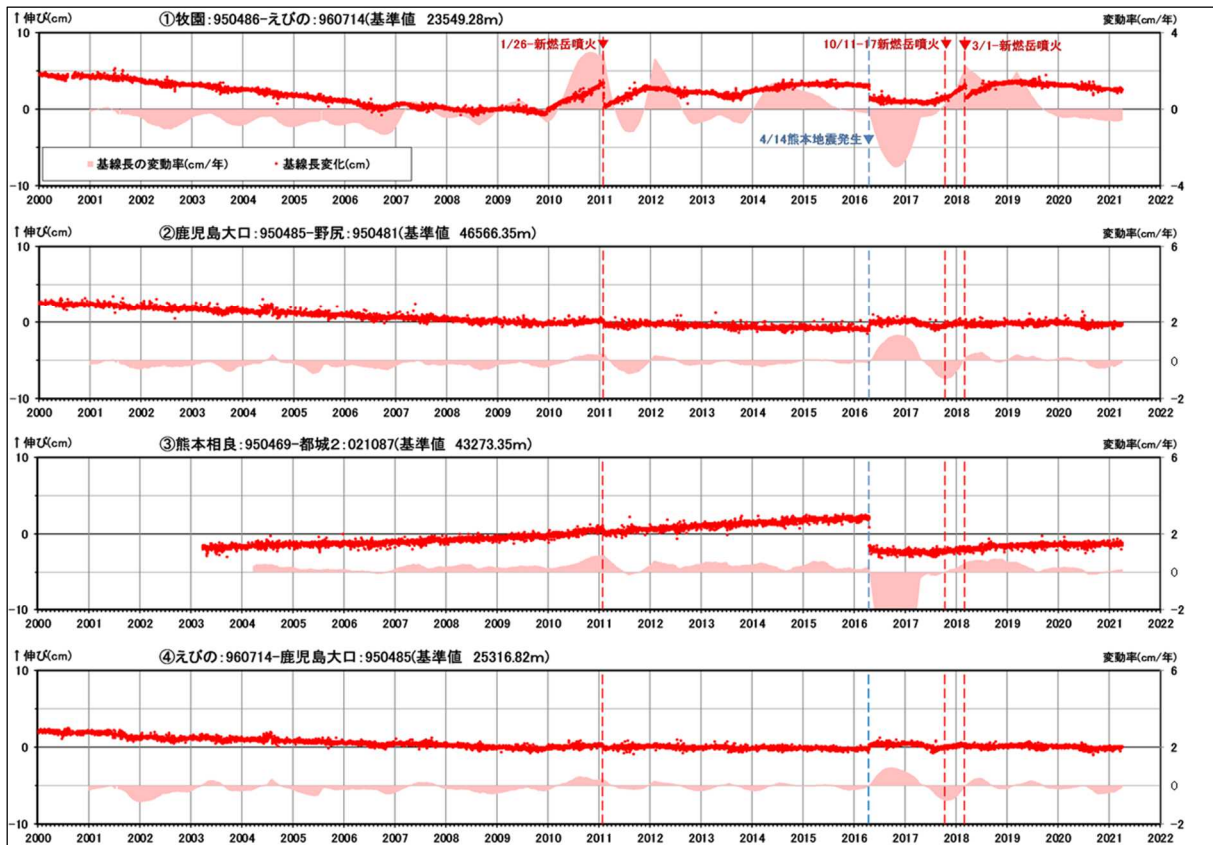


図4 阿蘇カルデラにおける広域地殻変動の除去前(左)と除去後(右)の基線長変化

(2) 加久藤・小林カルデラの地殻変動及び地震活動について

- ・九州電力は、GNSS 連続観測による基線長変化等を確認した結果、当該年度の基線長変化は、加久藤・小林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としている(図5)(添付資料、P29、P43)。また、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、地震活動(発生数、位置、規模等)は、位置と規模に有意な変化は認められないとしているが、小林カルデラの南東側で局所的にやや多くの地震が認められたため(図6)(添付資料、P36-42)、今後の地震活動に留意していくとしている(添付資料、P43)。さらに、火山部会の委員からの助言を踏まえて、当該年度より震源分布の推移に関して震源分布の三次元的位置がわかるように東西投影断面に加え、南北投影断面を追加して評価を行っている(図7)(添付資料、P41-42)。
- ・九州電力は、阿蘇カルデラと同様に、広域地殻変動量の定量的把握について、中・長期的取組みのひとつとして行っており、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を確認し、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、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としている(添付資料、P109)。



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



● 国土地理院のGNSS観測点

図5 加久藤・小林カルデラのGNSS連続観測による基線長変化

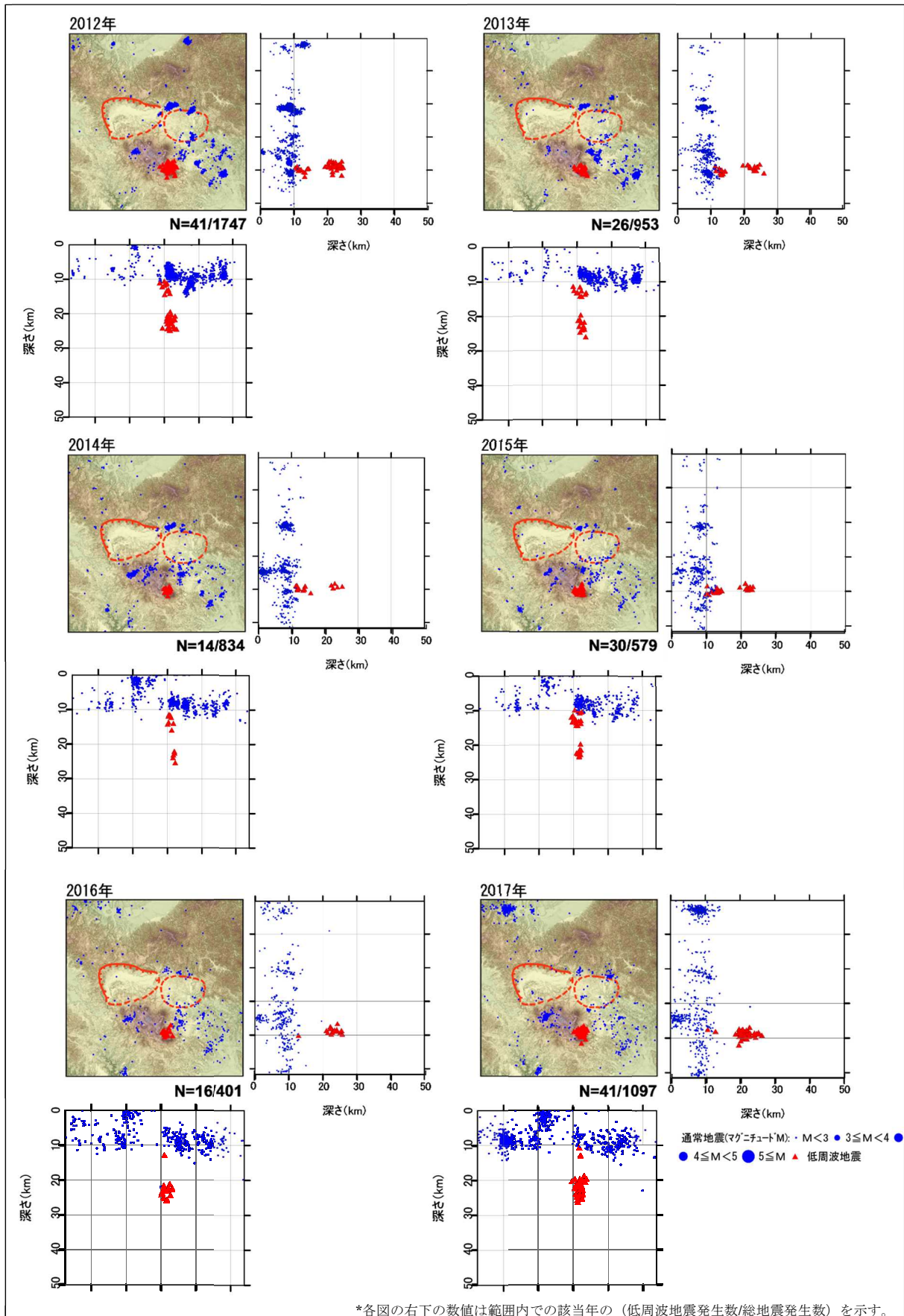


図6 加久藤・小林カルデラにおける地震活動(2012年~2017年)

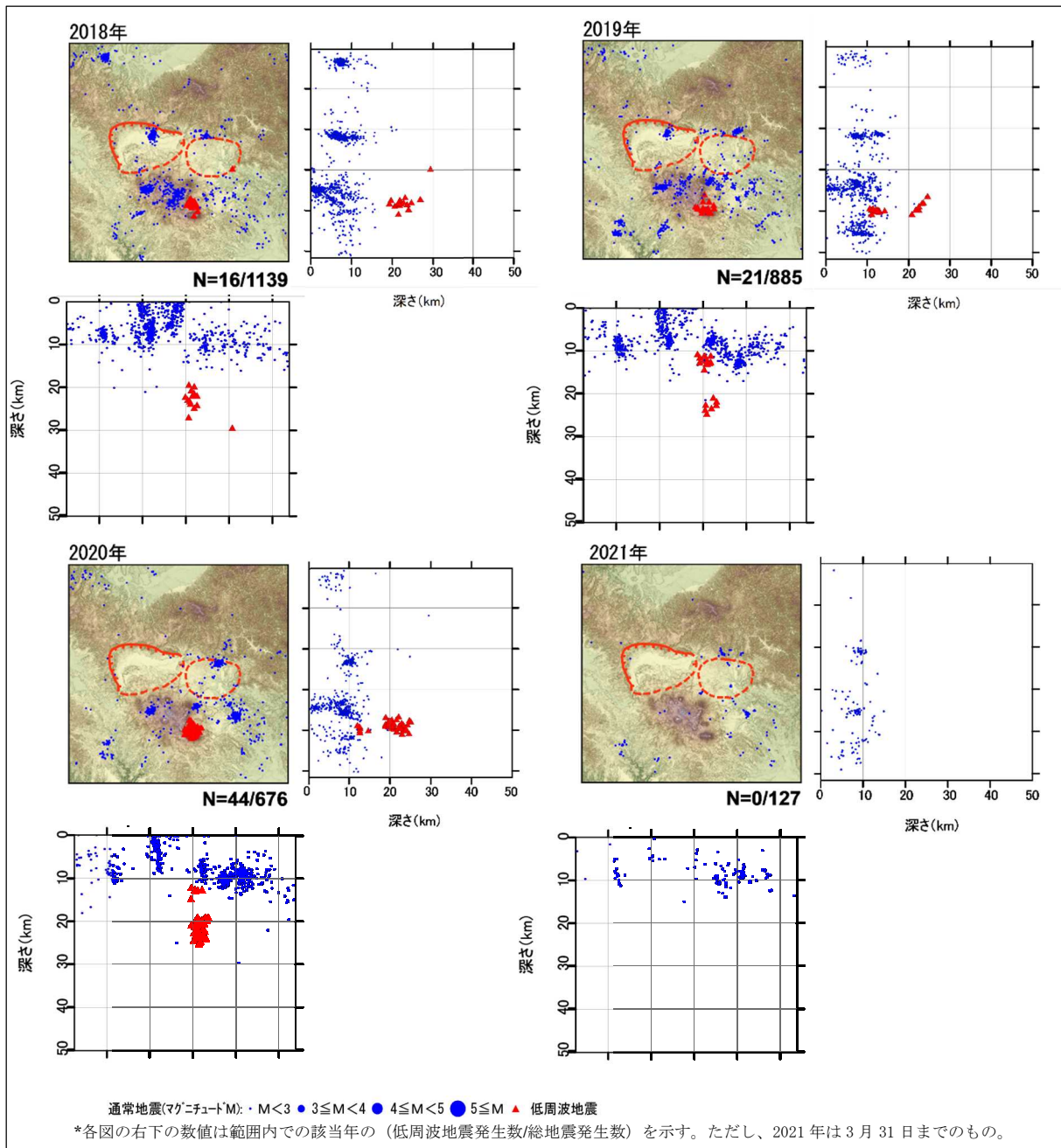
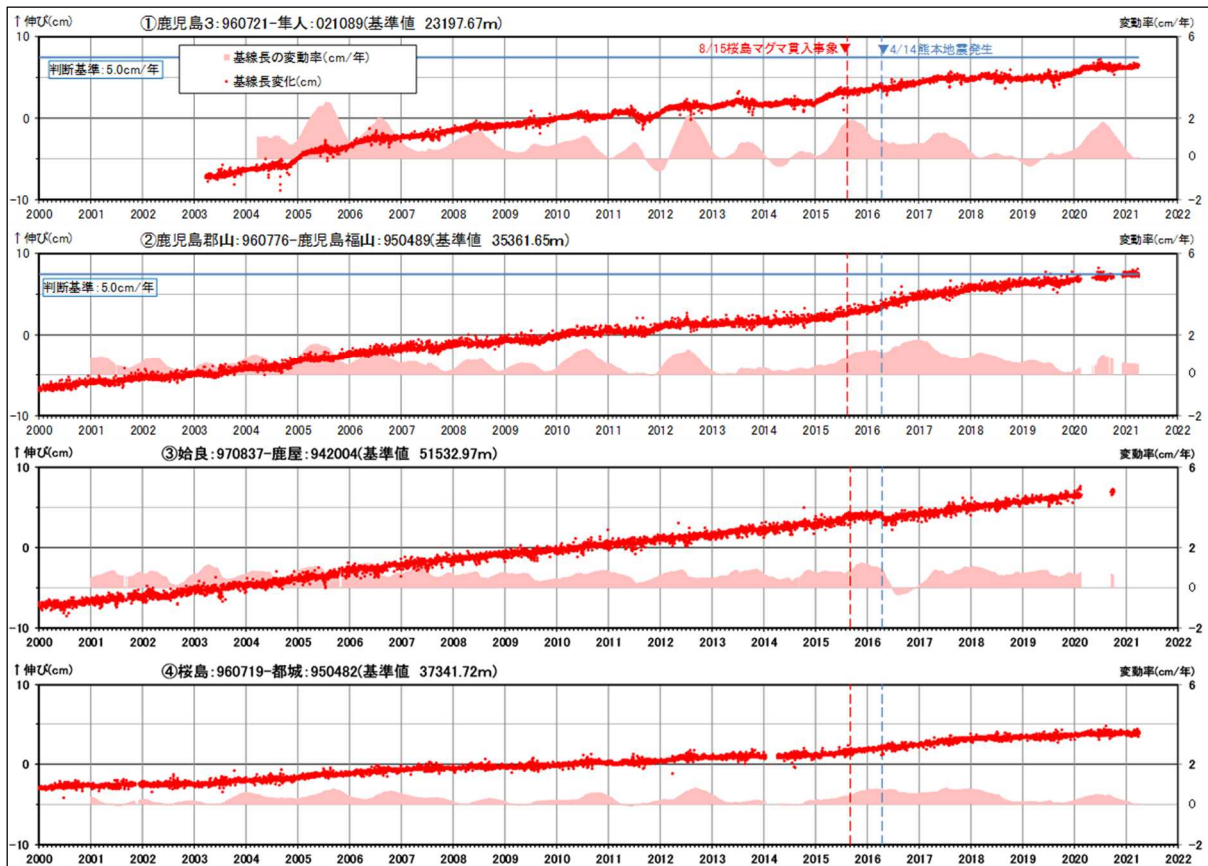


図7 加久藤・小林カルデラにおける地震活動(2018年~2021年)

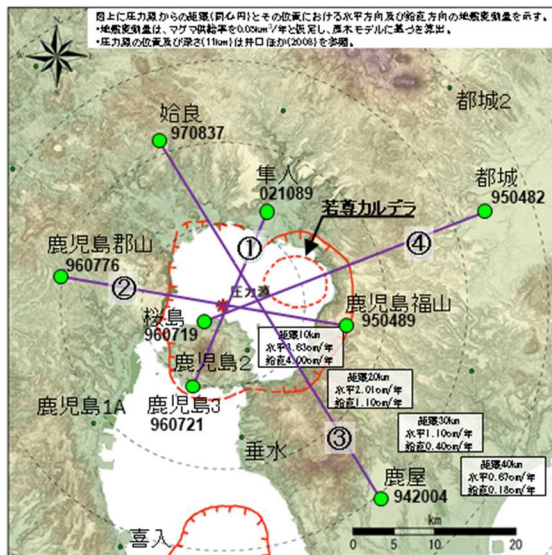
(3) 始良カルデラの地殻変動及び地震活動について

- ・九州電力は、GNSS 連続観測による基線長変化等を確認した結果、当該年度の基線長の変動率には、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(図8)、監視体制の移行判断基準(マグマ供給率 $0.05\text{km}^3/\text{年}$ は、基線長変動率としてほぼ $5\text{cm}/\text{年}$ に相当)を十分下回っているとしている。監視レベルは、過去3年間のマグマ供給率が約 $0.01\text{km}^3/\text{年}$ であることから、「注意」を継続するとしている(添付資料、P46、P63)。
- ・桜島では2020年に入ってから若干の基線長の伸びが戻ってきていることから、今後の変動を注視することとの第三者(火山専門家)の助言(2019年度)を踏まえ、九州電力は桜島の変動を注視しているが、基線長の伸びは2020年4月頃から停滞しているとしている(図9)(添付資料、P49)。
- ・九州電力は、始良カルデラの基線①(鹿児島3-隼人)は、桜島の変動の影響を大きく受けてしまうため、桜島を避けた基線⑭(鹿児島1A-隼人)の変動率を判断指標とした方が良好との第三者(火山専門家)の助言(2017年度)を踏まえて、桜島の変動の影響を見つつ、当該基線の変動も継続的にモニタリングしている(添付資料、P50)。
- ・九州電力は、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、平成26年度より始良カルデラ周辺の水準測量を毎年実施している(添付資料、P133-137)。2020年度報告の水準測量では、始良カルデラ縁及び桜島の測線の変動量は例年と同程度であり、顕著な隆起は無いことを確認したとしている(図10)(添付資料、P134)。また、九州電力は、原子炉火山部会の委員の助言(2019年度)を踏まえ、始良カルデラ周辺の長期的な地殻変動の記録が揃っている京都大学等のデータを含めて測量結果の解釈を行っている。具体的には、Yamamoto et al. (2013)⁵による桜島島内、鹿児島湾西岸及び東岸での水準測量の結果に対して自社の測量結果(2015年~2020年)を追記して示した結果、1990年代以降、地盤が継続して隆起傾向にあることから、桜島の火山活動静穏期が継続するとともに、始良カルデラ地下のマグマ溜まりの増圧による地盤の隆起傾向が継続していることが推定されるとしている(図11)(添付資料、P138)。
- ・九州電力は、阿蘇カルデラと同様に、広域地殻変動量の定量的把握について、中・長期的取組みのひとつとして行っており、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を確認し、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、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としている(添付資料、P110)。
- ・九州電力は、若尊カルデラの南西側で局所的にやや多くの地震が認められ、桜島の南西海域及び桜島南西部の地震については2020年も依然として継続しており、全体として増加傾向にあるため、今後の地震活動に留意していくとしている(図12)(添付資料、P58、P60、P62)。さらに、火山部会の委員からの助言を踏まえて、当該年度より震源分布の推移に関して震源分布の三次元的位置がわかるように東西投影断面

に加え、南北投影断面を追加して評価を行っている（添付資料、P61-62）。



基線①～④の時系列変化



● 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 960776(鹿児島郡山)と970837(始良)は周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪いため、F3解析から頻繁に除外されている

図8 始良カルデラのGNSS連続観測による基線長変化（その1）

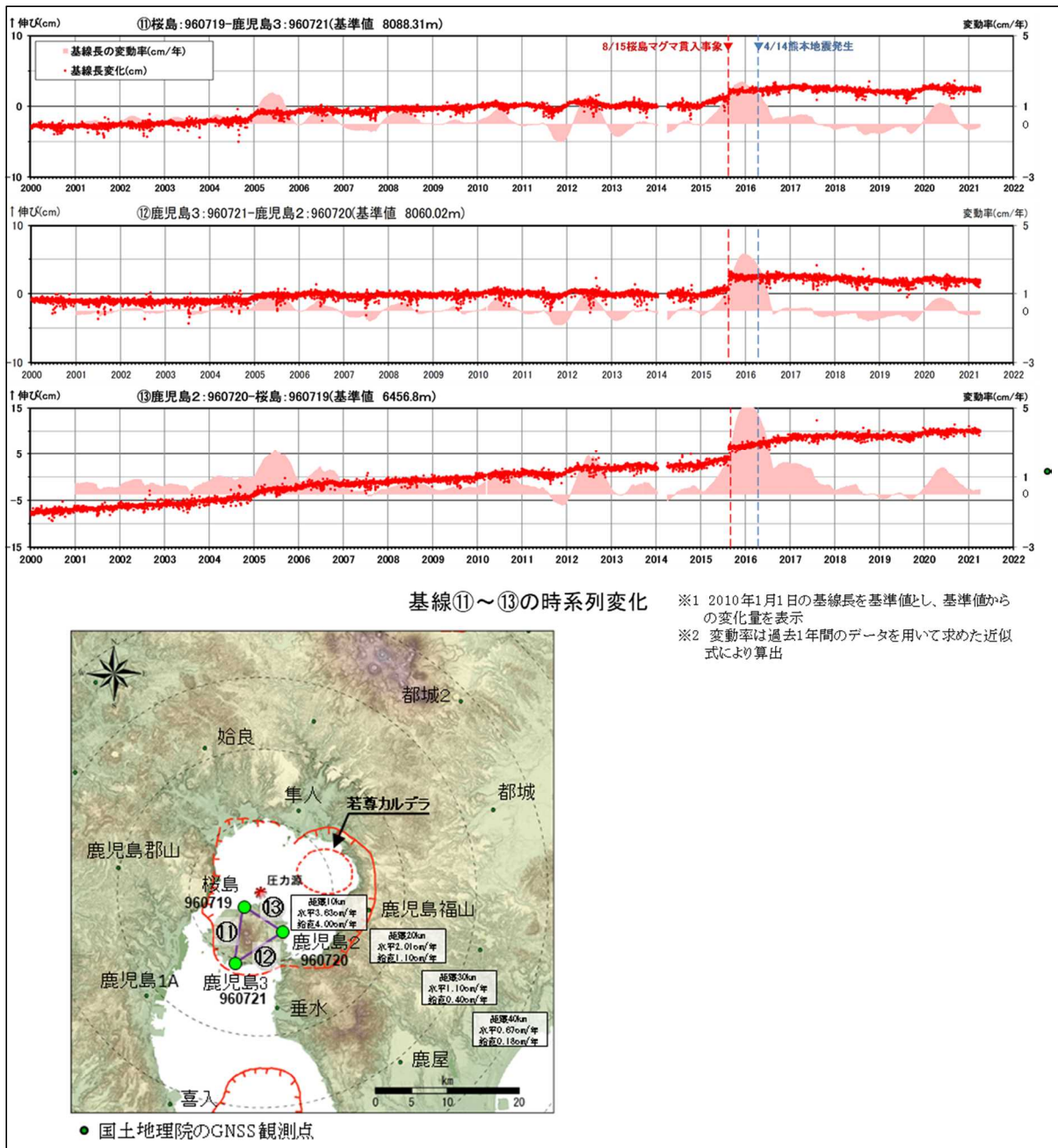


図9 始良カルデラのGNSS連続観測による基線長変化(その2)

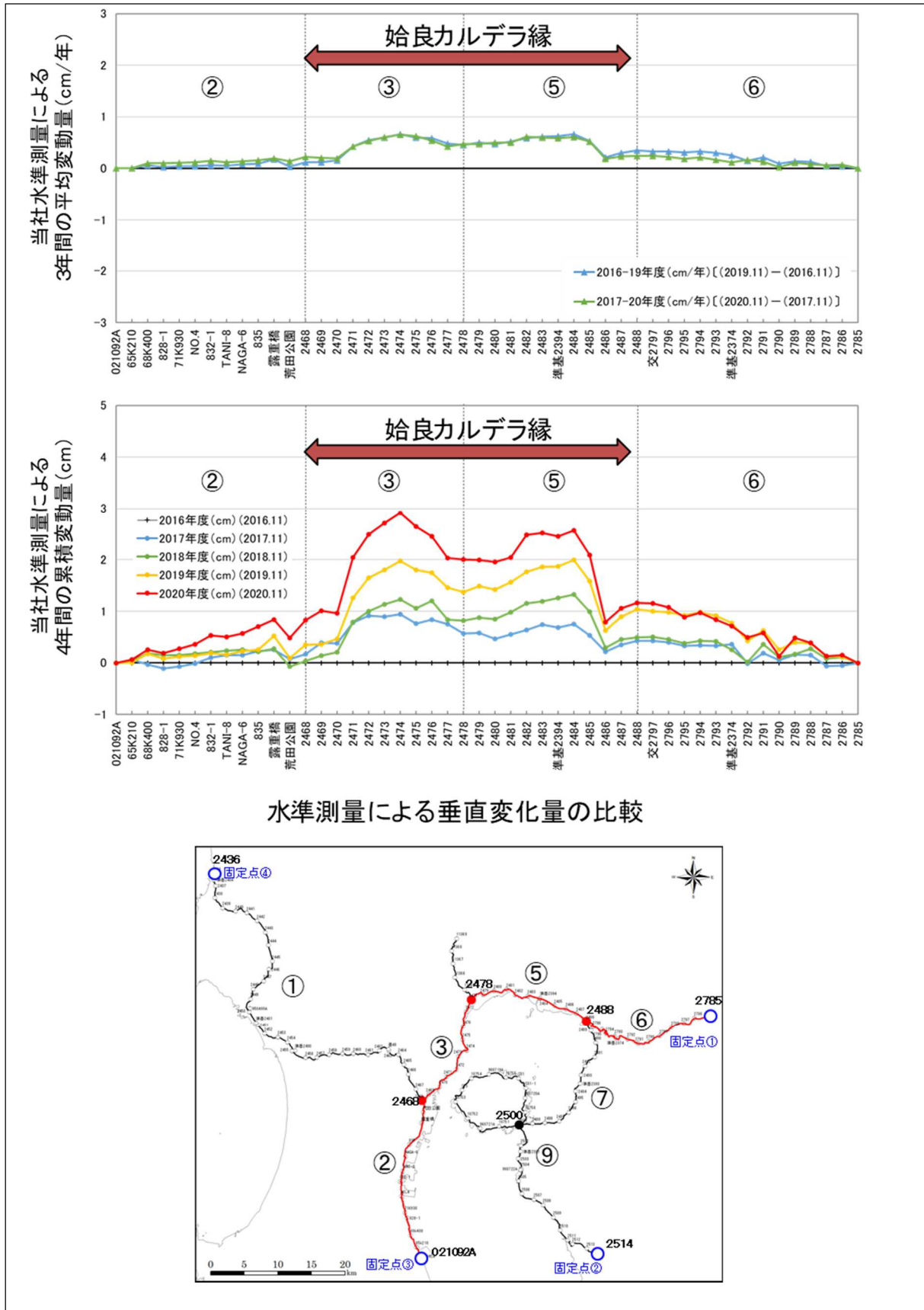


図10 始良カルデラ周辺の水準測量結果（上下変動の推移）

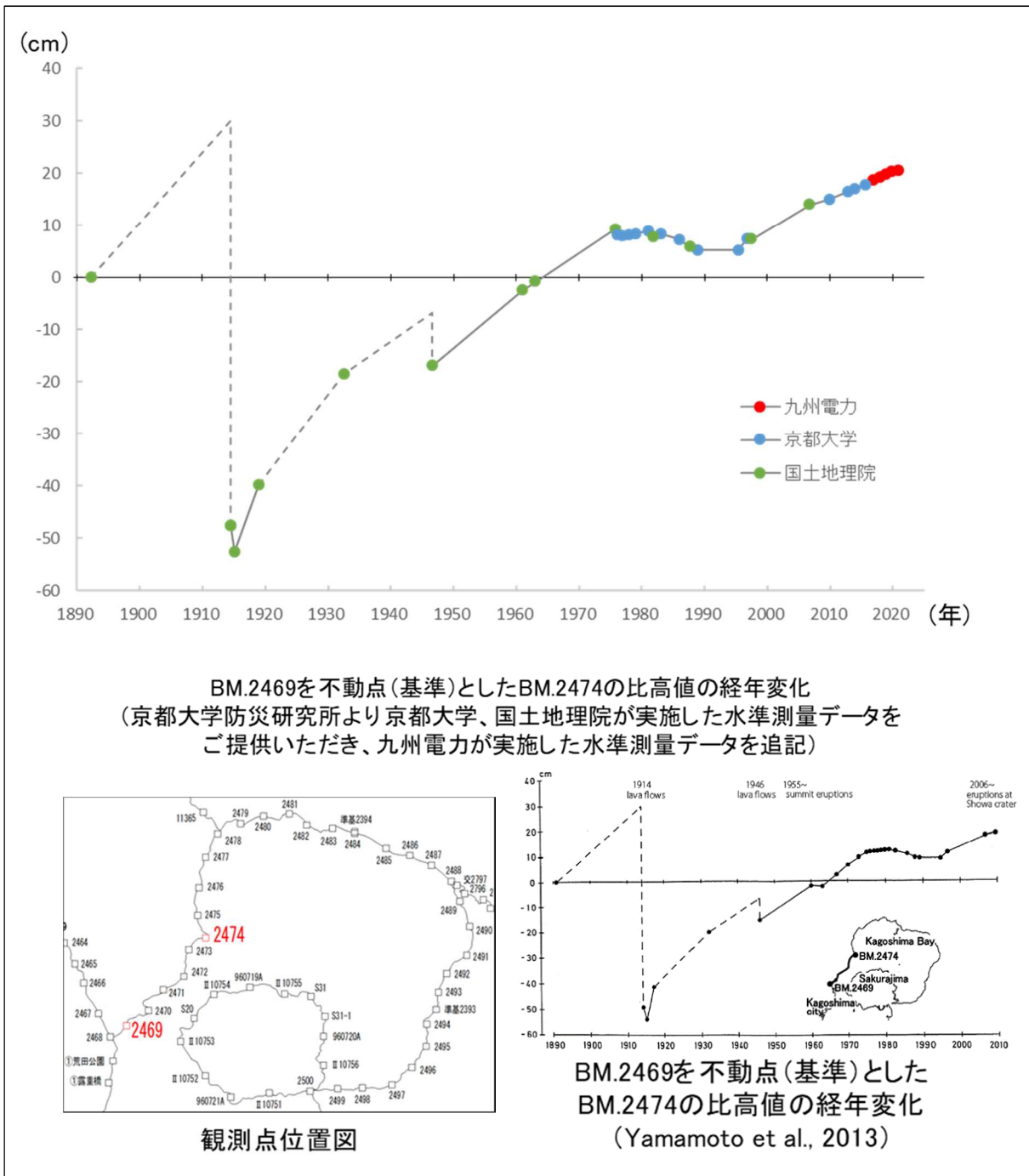


図 1 1 九州電力の測量結果を追記した BM. 2474 の比高値の経年変化

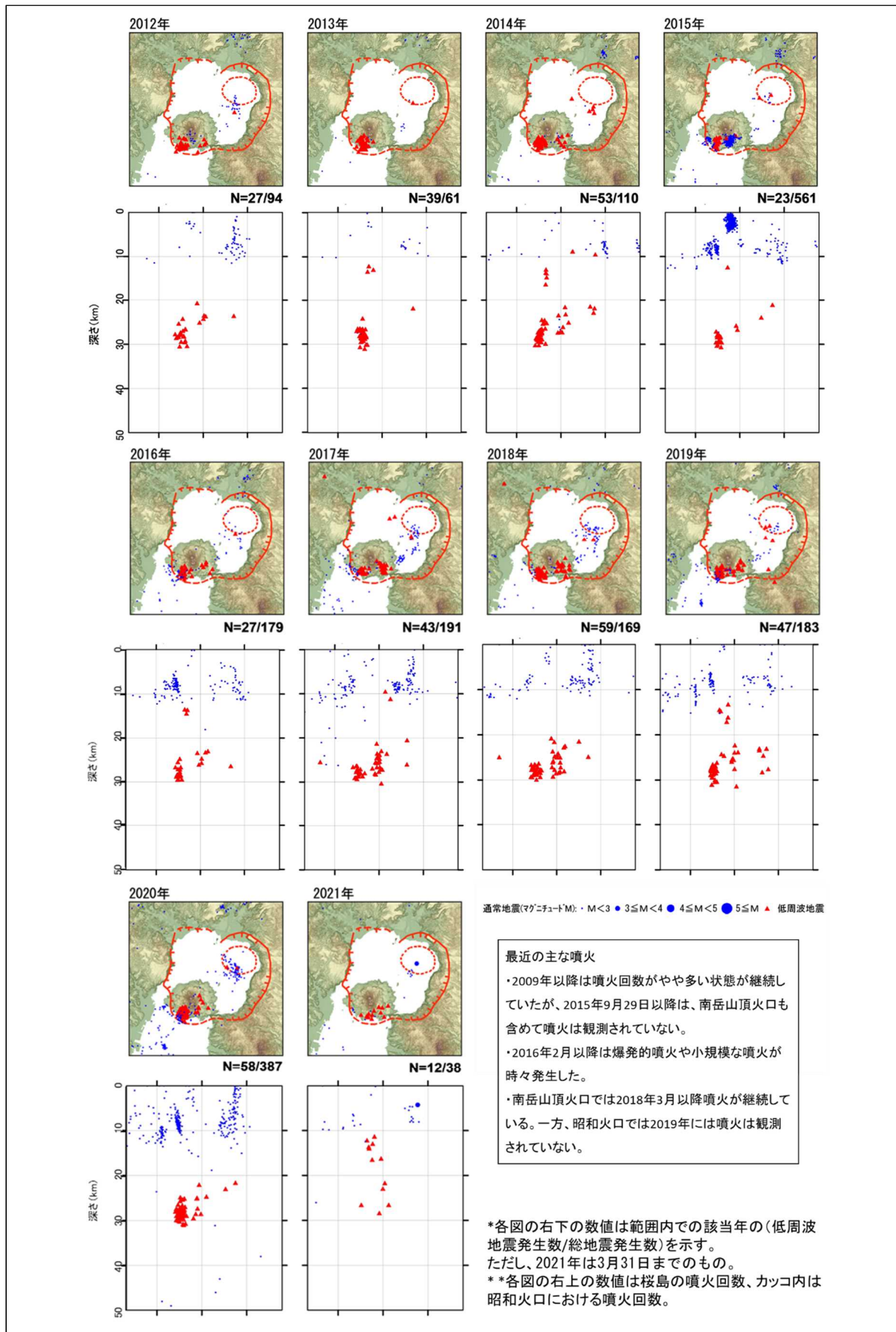


図12 始良カルデラにおける地震活動(東西投影断面)

(4) 阿多カルデラの地殻変動及び地震活動について

- ・九州電力は、GNSS 連続観測による基線変化等を確認した結果、当該年度は、阿多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としている。また、震源分布とマグニチュードの経時変化及び地震発生数の推移等を確認した結果、地震活動（発生数、位置、規模等）は、2017年に生じた地震と同じ北側のカルデラにおいて、2020年2月以降に増加傾向にあること、また、開聞岳付近における低周波地震の増加も認められることから、今後の地震活動に留意していくとしている（図13）（添付資料、P74、P76、P78）。さらに、火山部会の委員からの助言を踏まえて、当該年度より震源分布の推移に関して震源分布の三次元的位置がわかるように東西投影断面に加え、南北投影断面を追加して評価を行っている（添付資料、P77-78）。
- ・九州電力は、阿多カルデラの基線⑥（喜入－佐多）、基線⑧（枕崎－佐多）において2017年頃から伸びが確認されていることから、当該基線を注視するとともにマグマ供給の有無を検討するため、基線⑥、⑧と直交方向の基線を確認してはどうかという第三者（火山専門家）の助言（2019年度）を踏まえて、基線⑨（指宿－枕崎）、基線⑩（佐多－大根占）、基線⑪（鹿屋－指宿）をモニタリング対象に追加し、直交方向の基線に伸びの傾向が見られないことを確認したとしている（図14）（添付資料、P67-68）。
- ・九州電力は、阿蘇カルデラと同様に、広域地殻変動量の定量的把握について、中・長期的取組みのひとつとして行っており、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を確認し、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、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としている（添付資料、P111）。

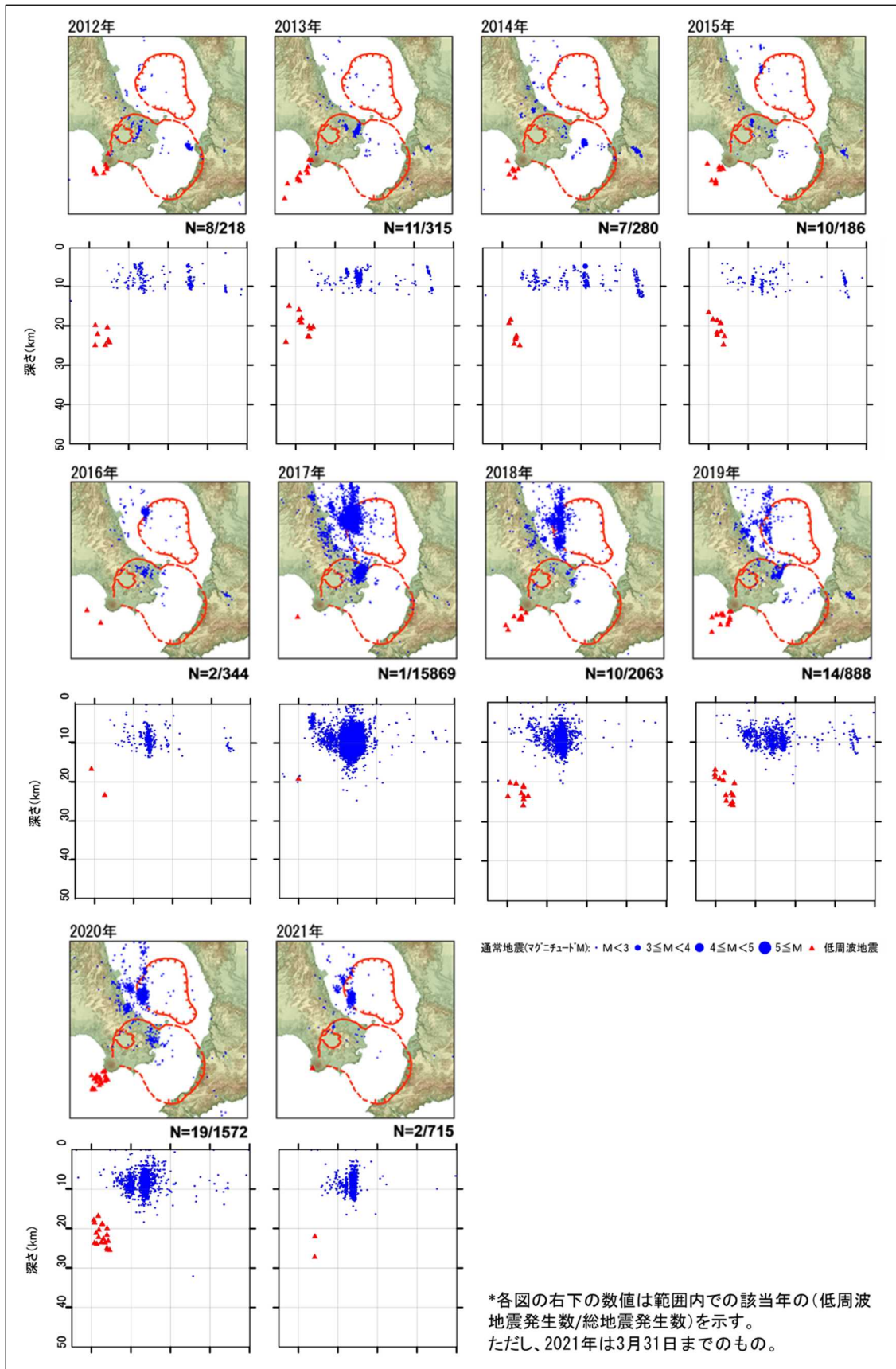


図 13 阿多カルデラにおける地震活動（東西投影断面）

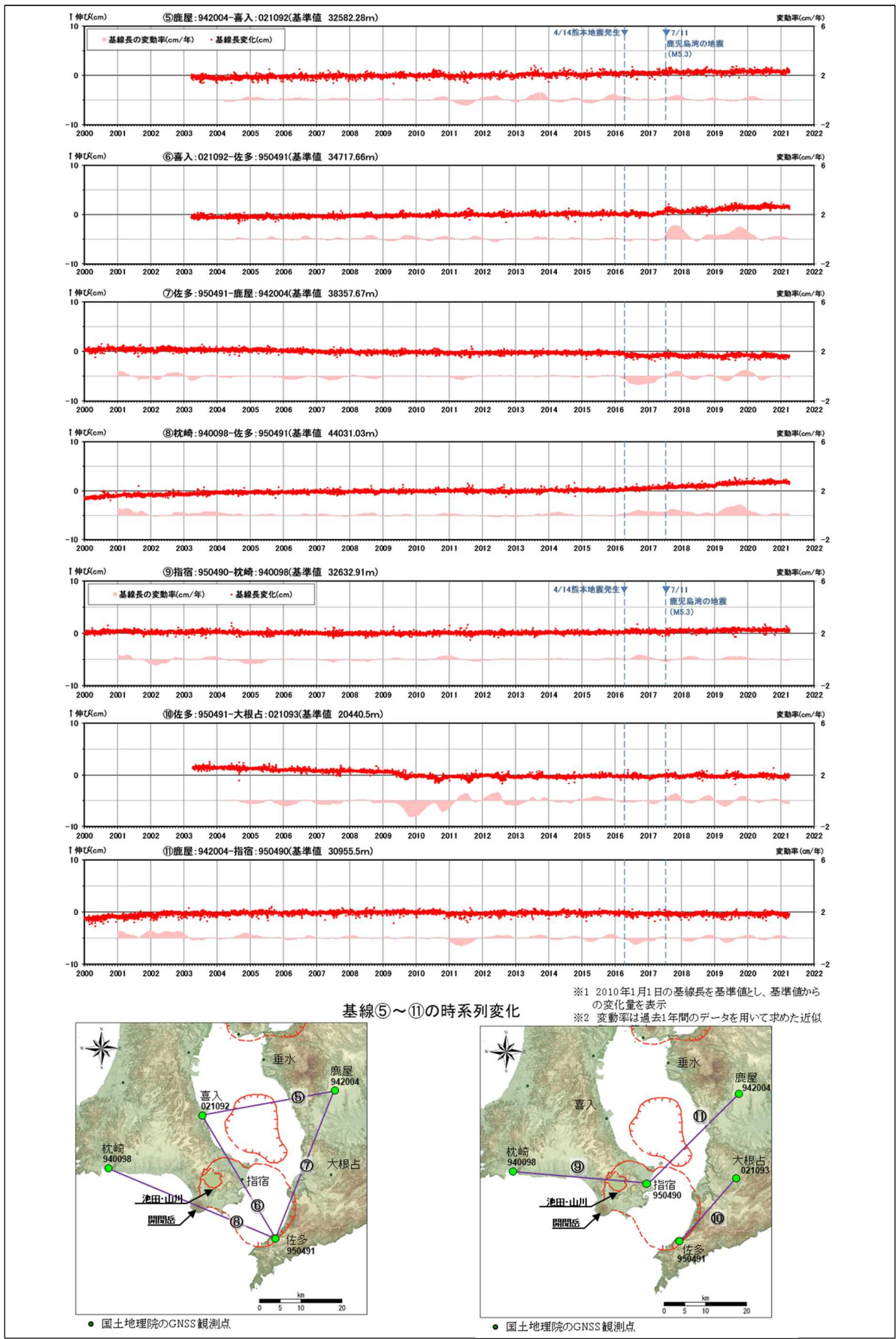


図 1 4 阿多カルデラの GNSS 連続観測による基線長変化

(5) 鬼界の地殻変動及び地震活動について

- ・九州電力は、GNSS 連続観測による基線長変化等を確認した結果、当該年度は、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としている。なお、2020 年 7 月頃以降、基線②（鹿児島三島－上屋久 1）、基線③（鹿児島三島－中種子）において伸びの傾向が認められていたが、2021 年 1 月頃以降は停滞しているとしており、自社が設置している観測点の結果を踏まえ、今後の地殻変動を注視していくとしている（図 15）（添付資料、P82）。また、震源分布とマグニチュードの経時変化及び地震発生数の推移等を確認した結果、地震活動（発生数、位置、規模等）は、位置と規模に有意な変化は認められないとしている（添付資料、P93）。さらに、火山部会の委員からの助言を踏まえて、当該年度より震源分布の推移に関して震源分布の三次元的な位置がわかるように東西投影断面に加え、南北投影断面を追加して評価を行っている（添付資料、P91-92）。
- ・九州電力は、阿蘇カルデラと同様に、広域地殻変動量の定量的把握について、中・長期的取組みのひとつとして行っており、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を確認し、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、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としている（添付資料、P112）。
- ・九州電力は、島嶼地域における基線長変化において、長期的なトレンド（直線的ではない揺らぎ）のようなものが見えており（図 15）、広域的な地殻変動の影響により生じている可能性が示唆され、少なくとも鬼界の火山活動によるものではないと考えられるとしている（添付資料、P82、P185-188）。

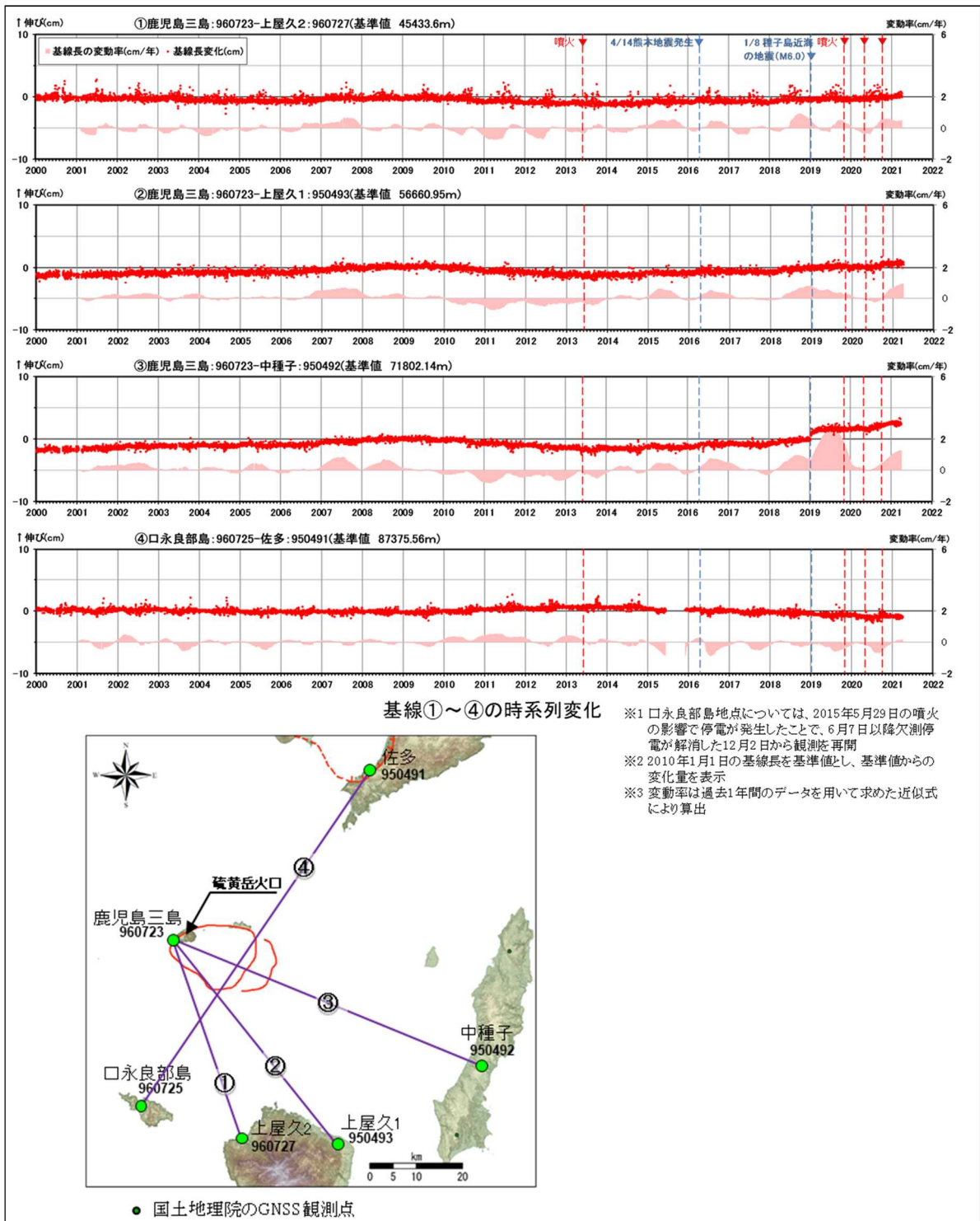


図 1 5 鬼界の GNSS 連続観測による基線長変化

原子力規制庁は、阿蘇カルデラ及び加久藤・小林カルデラの基線長については、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こと、地震活動についても有意な変化はないとしていることを確認した。始良カルデラの基線長の変動率には、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と九州電力が評価していること、地震活動については若尊カルデラの南西側で局所的にやや多くの地震が認められ、桜島南西海域及び桜島南西部において地震が継続しており全体として増加傾向にあることを確認した。阿多カルデラの基線長については、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こと、地震活動については2017年度に生じた地震と同じ北側のカルデラにおいて、2020年2月以降に増加傾向にあること、開聞岳付近に低周波地震の増加も認められることを確認した。鬼界の基線長については、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こと、地震活動についても有意な変化はないとしていることを確認した。

以上のことから、原子力規制庁は、九州電力が監視対象火山としている阿蘇カルデラ、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いずれも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ず活動状況に変化がないと評価していることを確認した。

2. 九州電力の評価結果に対する第三者の助言内容

九州電力の「カルデラ火山モニタリング対応基準」では、原子力土木建築部長は、毎月のモニタリング結果をとりまとめた「火山活動のモニタリング結果（年報）」に対して、1年に1回、第三者（火山専門家等）の助言を得ることと定められている。

九州電力は当該基準に基づき、原子力土木建築部長は、3名の第三者（火山専門家）から「カルデラ火山の活動状況に変化はないという評価で問題ない」とする旨の助言を得ている。なお、その他の助言内容は、以下の通りである。

○地震について

【火山専門家C】

- ・2021年に入り若尊カルデラ下の浅いところでM3クラスの地震が起きているため、今後の地震活動を注視すること。
- ・阿多カルデラにおいて群発地震（2017/7/11以降）が生じているため、今後の地震活動を注視すること。

【火山専門家B】

- ・阿多カルデラにおける群発地震は熱水活動によるものと考えられ、広範囲での基線の伸びが見られないため大量のマグマが溜まっているような状況ではないと考えられるが、今後の地震活動を注視すること。

○地殻変動について

【火山専門家B及びC】

- ・2016年熊本地震前後の水平変動ベクトルを見ると、まだ地震前の状態に戻っていないと考えられるため、地殻変動の評価においては2016年熊本地震の影響に留意すること。

【火山専門家C】

- ・阿多カルデラの基線⑥（喜入-佐多）、基線⑧（枕崎-佐多）において2017年頃から伸びが確認されているため、今後の地殻変動を注視すること。
- ・また、マグマ供給の有無を検討するため、基線⑥、⑧と直交する方向の基線を確認してはどうか。

【火山専門家B】

- ・2020年度後半から鬼界の基線③（鹿児島三島-中種子）が伸びてきているため、今後の地殻変動を注視すること。

○始良カルデラ周辺の水準測量について

【火山専門家C】

- ・固定点①（B.M. 2785）については、過去4年間の累積変動量で見ると、他の固定点と比較して隆起傾向にあるように見えるため、始良カルデラの変動帯内にあると考えている。そのため、改めて固定点の配置を検討してもらいたい。

○九州電力が設置した GNSS 機器による観測結果について

【火山専門家 A 及び C】

- ・鬼界のマグマ供給に対して最も検知能力が高い基線⑥（鹿児島三島-竹島）の伸びや竹島が北へ向かう動きが確認されることから、今後の地殻変動を注視すること（添付資料、P143）。

○鬼界の基線長変化における長期トレンド検討について

【火山専門家 B】

- ・考え方は理解できるが、根拠となるデータがないことから、知見の蓄積を待つしかないと考える。

3. 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」に係る監視項目について

原子炉火山部会報告書を受けて、九州電力は2020年度の火山活動のモニタリング評価結果に『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』という章を設けている（添付資料、P190-195）。

原子力規制庁は、九州電力が「①主な監視項目」及び「②その他の監視項目」に関するデータ（論文及び公的機関の公表資料等）をとりまとめた結果に対して、原子炉火山部会報告書に記載のチェックリストに基づき、別表（表1及び表2）のとおり確認した。

表1 「①主な監視項目」におけるチェックリスト

監視項目	確認事項	原子力規制庁の確認結果
地震活動	<input type="checkbox"/> 既往の構造性地震、火山性地震等の地震発生領域（震源分布）の拡大又は消滅、あるいは、新たな地震発生領域の出現 <input type="checkbox"/> 地震発生数の急激な変化（増加又は減少）	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 既往の地震発生領域の時空間的变化に着目し、震源分布の拡大や消滅、新たな地震発生領域の出現は認められないことを確認した。 ・ 地震発生数の急激な変化は認められないことを確認した。
地殻変動・地盤変動 (GNSS、水準測量、衛星観測、傾斜計・伸縮計)	<input type="checkbox"/> GNSS 連続観測による基線長や上下変動の急激な傾向の変化（増加又は減少）、水準測量による地盤の上下変動の急激な傾向の変化（隆起又は沈降） <input type="checkbox"/> 既往の地殻変動とは異なる場所での地殻変動（GNSS、水準測量、衛星観測）の出現と急速な進展 <input type="checkbox"/> 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ GNSS 連続観測による基線長に、既往の増加（伸長）又は減少（短縮）傾向と比較して、それらに急激な変化が認められないことを確認した。 ・ GNSS 連続観測による上下変動や水準測量、衛星観測に、既往の上下変動の傾向と比較して、それらに急激な変化が生じておらず、これまで変化が見られなかった場所での隆起及び沈降は認められないことを確認した。 ・ 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められないことを確認した。
火山ガス・熱活動 (表面活動)	<input type="checkbox"/> 既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現（新たな火口や火道の形成など） <input type="checkbox"/> 火山ガスの放出量に急激な傾向の変化（増加又は減少）	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 阿蘇、加久藤・小林、始良、阿多、鬼界は、既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現は認められないことを確認した。 ・ 阿蘇、加久藤・小林、始良、鬼界は、火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められないことを確認した。 <p><small>注）阿多カルデラ内の開聞岳、池田・山川では、定常的な火山ガス観測は実施されていない。</small></p>

表2 「②その他の監視項目」におけるチェックリスト

監視項目	確認事項	原子力規制庁の確認結果
噴出場所及び噴出物	<input type="checkbox"/> 既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成 <input type="checkbox"/> マグマ成分の物理的・化学的性質の変化（例えば、玄武岩質ないし安山岩質から流紋岩質への変化等）	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められないことを確認した。 ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められないことを確認した。
噴火様式	<input type="checkbox"/> 噴煙柱高度が数十 km 程度のプリニー式噴火の発生と更なる活動拡大化の傾向	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・噴煙柱高度が数十 km 程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められないことを確認した。
地下構造	<input type="checkbox"/> 地震波速度構造や比抵抗構造により、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域の出現	<p>○該当なし</p> <ul style="list-style-type: none"> ・阿蘇、加久藤・小林、始良、阿多については、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められないことを確認した。 ・鬼界については、状況に応じて情報収集を行い、データ拡充を図ることが望まれる。

4. 原子力規制庁の評価

原子力規制庁は、九州電力から受理した火山活動のモニタリングに係る評価結果について、①当該評価の過程が適切かつ確実になされていること、②監視対象火山の活動状況を把握し、活動状況の変化の有無を評価していることの2点を確認することに主眼を置き、当該評価結果を確認した。

その結果、原子力規制庁は、九州電力の評価結果について、その評価過程が適切かつ確実になされていること、また、監視対象としているカルデラ火山の活動状況に変化がないと評価していることを確認し、これらを妥当と判断した。

さらに、原子力規制庁は、原子炉火山部会報告書に記載のチェックリストに該当する項目はないことを確認した。

本資料は、令和3年10月1日に開催された火山部会第10回会合における部会委員の確認を経て確定版としたものである。

文 献

- 1) 原子炉安全専門審査会 原子炉火山部会 (2020) : 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」について 報告書 (令和2年3月6日) .
- 2) 原子力規制庁 (2020) : 九州電力株式会社川内原子力発電所及び玄海原子力発電所 火山モニタリング結果に係る評価について (令和2年10月20日) .
- 3) Kobayashi, A. (2017) : Objective detection of long-term slow slip events along the Nankai Trough using GNSS data (1996–2016), *Earth Planets Space*, **69**:171. <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0755-7>
- 4) Nishimura, T., Yokota, Y., Tadokoro, K. and Ochi, Y. (2018) : Strain partitioning and interplate coupling along the northern margin of the Philippine Sea plate, estimated from Global Navigation Satellite System and Global Positioning System–Acoustic data, *Geosphere*, **14**, 2, 535 - 55, doi:10.1130/GES01529.1.
- 5) Yamamoto, K., Sonoda, T., Takayama, T., Ichikawa, N., Ohkura, T., Yoshikawa, S., Inoue, H., Matsushima, T., Uchida, K. and Nakamoto, M. (2013) : Vertical ground deformation associated with the volcanic activity of Sakurajima volcano, Japan during 1996 - 2010 as revealed by repeated precise leveling surveys, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **58**, 1, 137–151.