

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
(案)

令和元年 1 1 月 2 7 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	7
(3) 始良カルデラの地殻変動及び地震活動について	9
(4) 阿多カルデラ付近における地殻変動及び地震活動について	13
(5) 鬼界の基線長変化に見られる長期トレンドについて	13
2. 九州電力の評価結果に対する第三者の助言内容	15
3. 原子力規制庁の評価	17
文 献	18

I. はじめに

1. 経緯

原子力規制委員会は、令和元年6月14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（以下「保安規定」という。）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（2018年度報告）」（以下「火山活動のモニタリングに係る評価結果」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。

【確認事項1】データ解析結果

- ・GNSS連続観測データに見られる年周期及び長期トレンドに対する評価及び解釈

【確認事項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

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）。

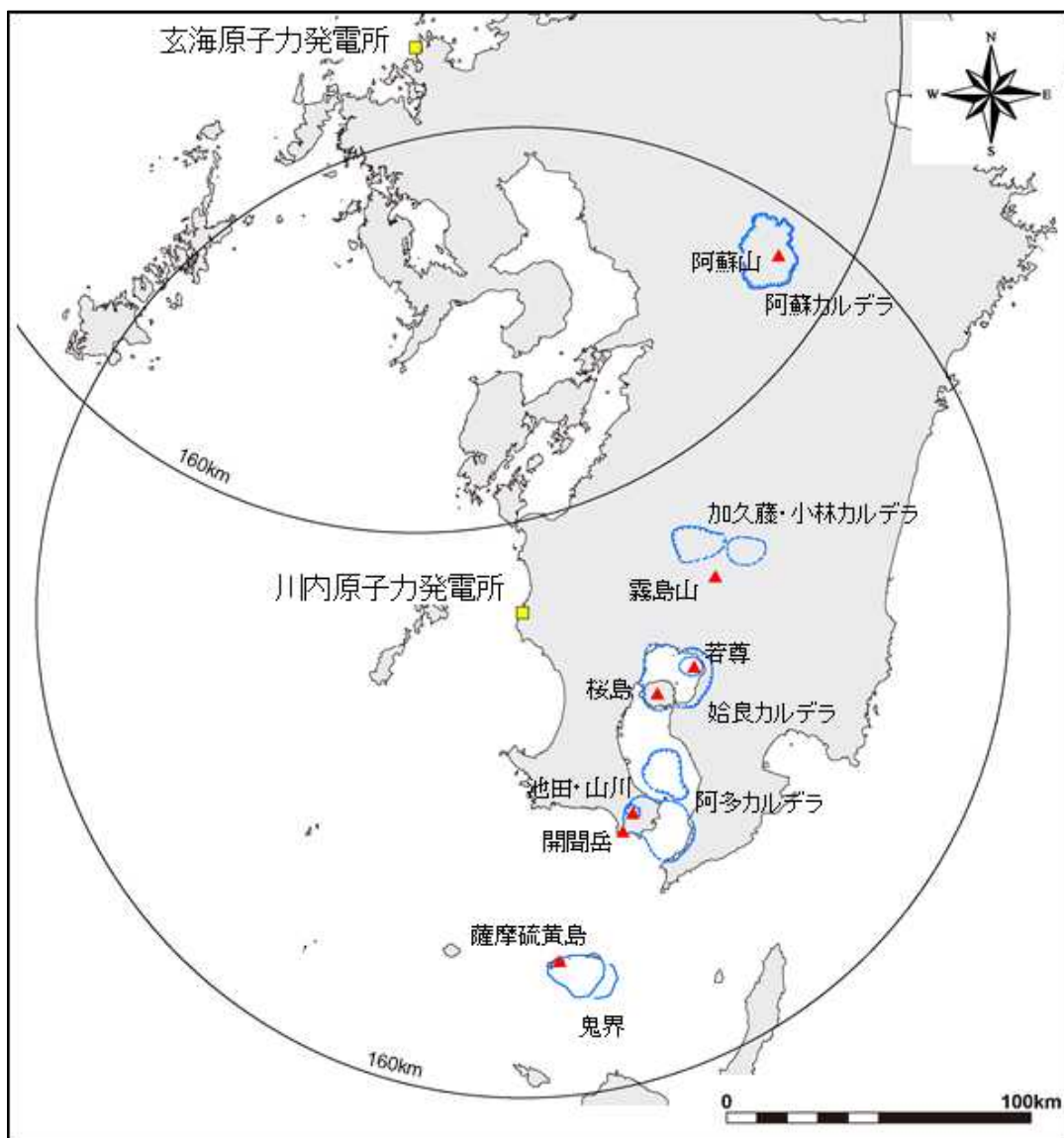


図1 モニタリング対象のカルデラ火山の位置図

2. 評価期間

九州電力は、評価期間は、2018年4月1日から2019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19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。

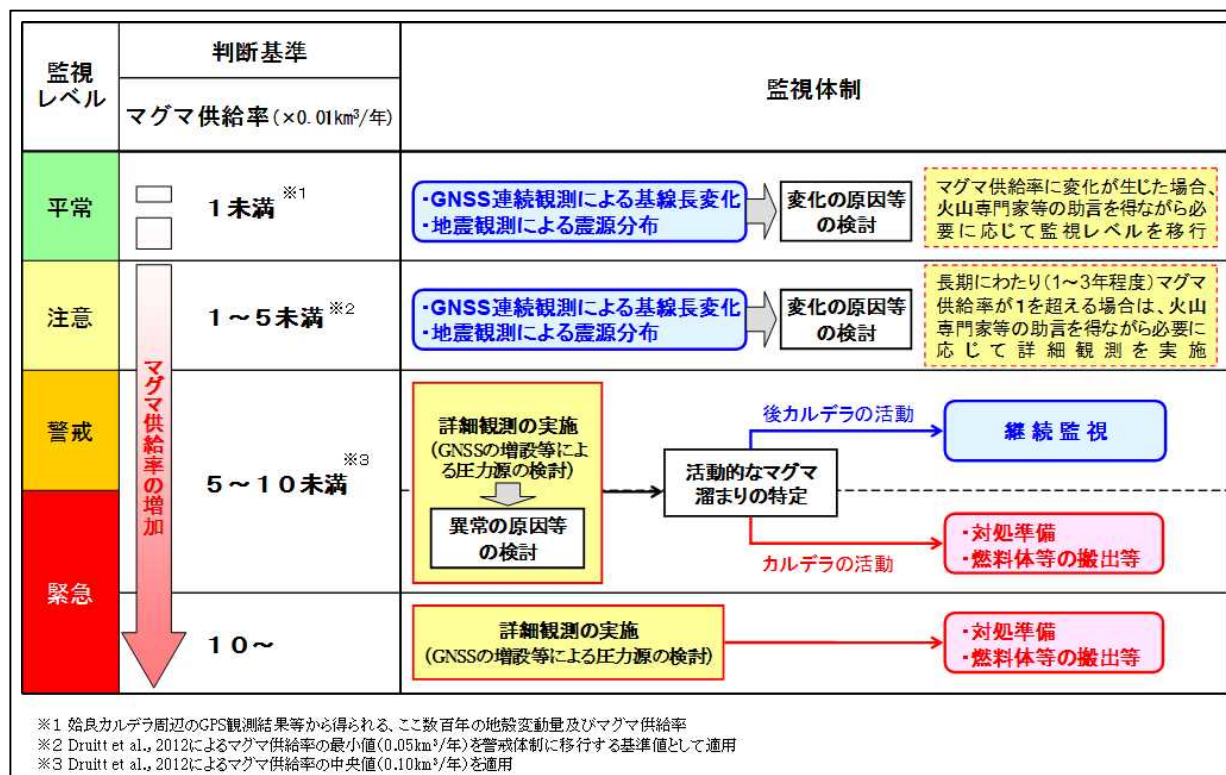


図2 監視レベルの移行判断基準と監視体制

(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、マグマだまりを 挟む基線に特段の変化は認められな い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：熊本地震に伴う余効変 動が認められるものの、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：熊本地震の余震が認め られるものの、過去1年の地震活 動と比較して減少傾向にある。</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>

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2） 霧島山【御鉢】（レベル1） 霧島山【えびの高原周辺】（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】 ・ 霧島山を挟む基線での伸びは鈍化し ているものの継続している。 ・ 広範囲の地震活動の活発化と基線の 伸びは、霧島山深部のマグマだまり の蓄積が推定されることから、火山 活動の推移を継続して慎重に監視す ることが必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地殻変動：霧島火山に関連した変 動が認められるものの、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：2018年12月に最大 M3.4の地震が発生したものの、 現在は地震前の状態に戻ってい る。しかしながら、この地震は加 久藤カルデラ内で発生しているこ とから、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】 ・ 桜島の南岳山頂火口では活発な噴火活動が継続していたが、1月中旬頃から噴火活動がやや低下している。しかし、火山ガスの放出量は概ね多い状態が続いていることなどから、今後も南岳山頂火口を中心に、噴火活動が継続すると考えられる。 ・ 広域のGNSS連続観測でみられている始良カルデラの地下深部の膨張を示す基線の伸びは、わずかながら継続している。 	<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るが、2018年度の基線長の変動率に有意な変化は認められない。</u>警戒監視の移行判断基準（$0.05\text{km}^3/\text{年} \approx 5\text{cm}/\text{年}$）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$0.01\text{km}^3/\text{年}$であることから、注意を継続する。 ・ <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：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，火山活動解説資料3月等】 ・ 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7月の鹿児島湾の地震（M5.3）の余震が認められるものの、過去1年の地震活動と比較して減少傾向にある。</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>

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】 ・ 火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。 ・ 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：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 style="text-align: center;"><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。

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、観測項目及びデータ品質については、「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、平成30年9月3日）」¹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、熊本地震に伴う余効変動が認められるものの、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。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1年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。

(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、霧島火山の活動に関連した変動が認められるものの、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3）（添付資料、P26、P37）。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、2018年12月に最大M3.4の地震が発生したものの、現在は地震前の状態に戻っているが、この地震は加久藤カルデラ内で発生したことから（図4）、今後の地震活動に留意していくとしている（添付資料、P35-37）。

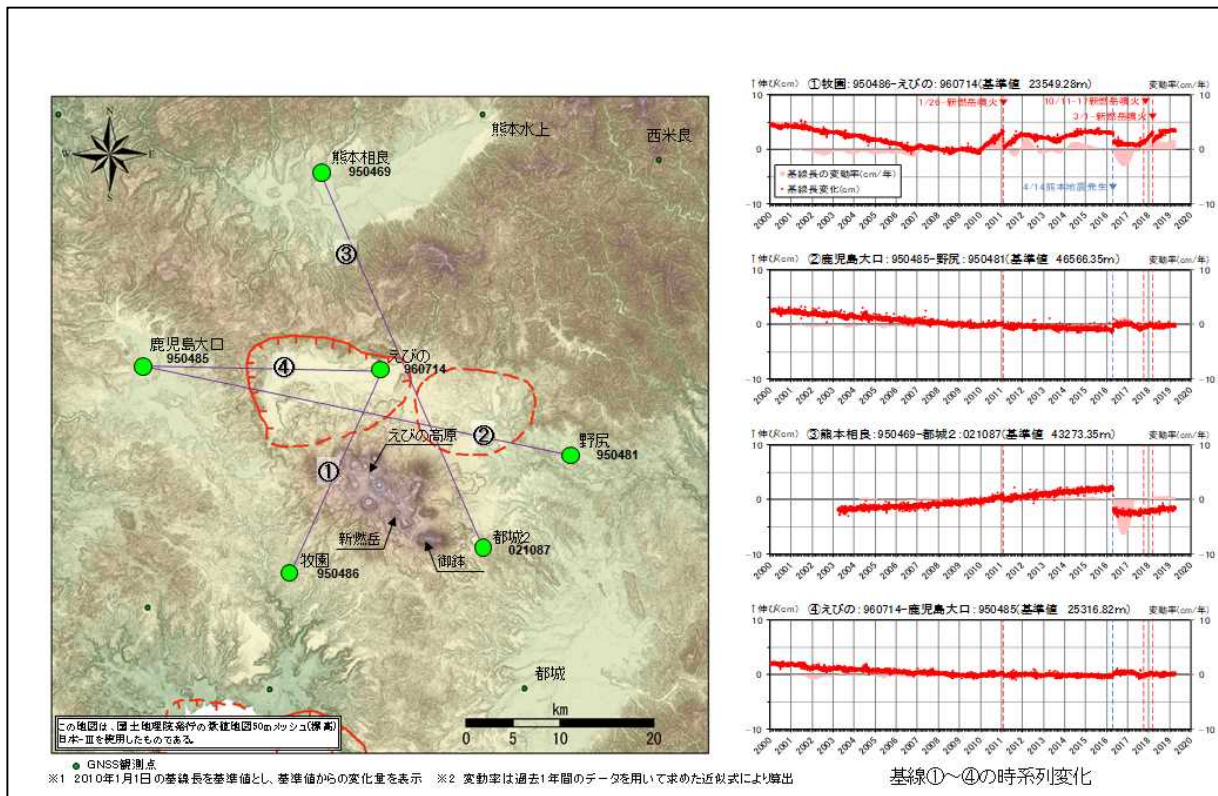


図3 加久藤・小林カルデラのGNSS連続観測による基線長変化

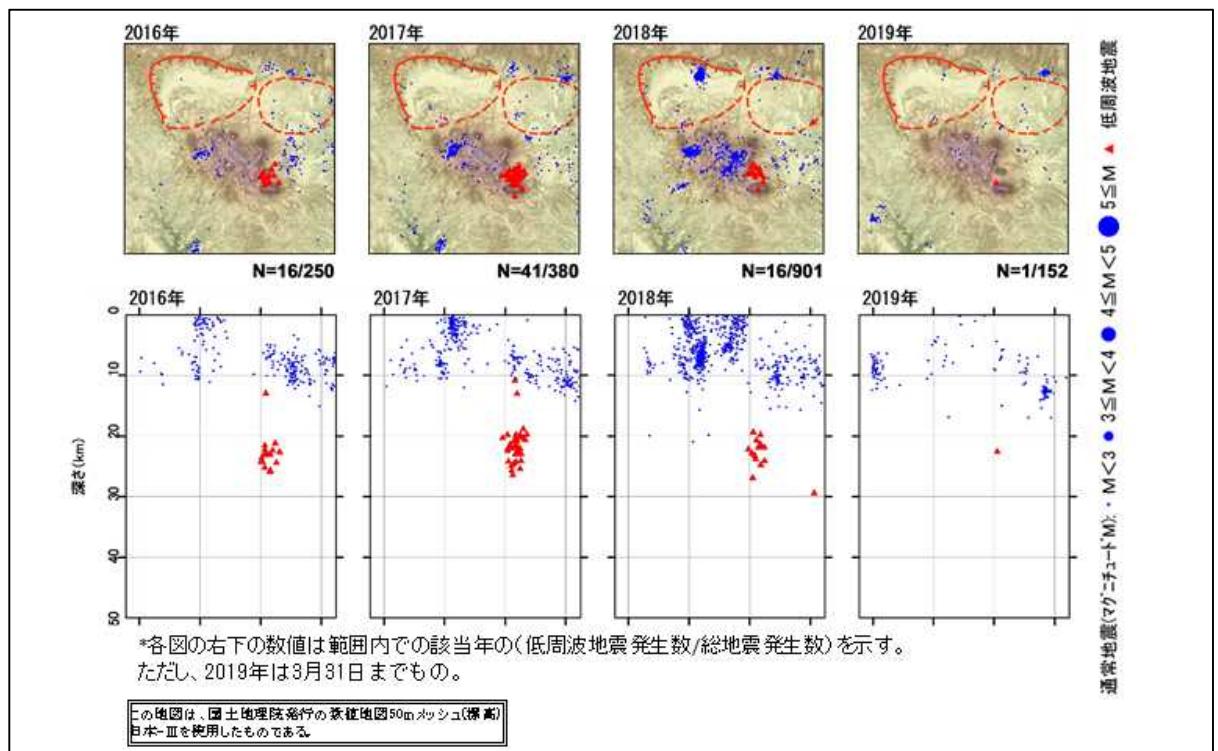


図4 加久藤・小林カルデラにおける地震活動

(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、前年度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5）、監視体制の移行判断基準（ $0.05\text{km}^3/\text{年} \div 5\text{cm}/\text{年}$ ）を十分下回っているとしている。監視レベルについては、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、「注意」を継続するとしている（添付資料、P40、P55）。
- ・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）の助言を踏まえて、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いる。九州電力は、検討手法として、(1) Takayama and Yoshida (2007)² 及び (2) 堀田ほか (2013)³ 及び国土地理院のホームページ⁴ を参考とし、始良カルデラ周辺の広域地殻変動量を算出し、2000年～2010年の各観測値から、この2つの手法で求めた広域地殻変動の影響分を除去する試みを行っている（添付資料、P95-97）。その結果、図6 基線①（鹿児島3-隼人）、基線②（鹿児島郡山-鹿児島福山）、基線③（始良-鹿屋）及び基線④（桜島-都城）のうち、基線③への影響が最も大きいこと、また、広域地殻変動を除去した残差は、茂木モデルによる膨張率 $0.005\text{ km}^3/\text{年}$ （井口ほか、2008）⁵ を想定した変動と概ね一致していることを確認している。なお、マグマ供給率の算定においては、基線③による評価は安全側になっていることから、これらを踏まえた上で既存の基線を用いたモニタリングを引き続き実施していくとしている（添付資料、P97）。
- ・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）の変動率を判断の指標にした方が良いとの第三者（火山専門家）のコメントを踏まえて、桜島の変動の影響も見つつ、当該基線も平成29年度より新たにモニタリング対象基線としている（図7及び図8）（添付資料、P43-44）。
- ・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、P105-113）。2018年度報告の水準測量では、電子基準点を用いて固定水準点の広域地殻変動を補正するため、測量路線近傍の電子基準点まで測量路線を延長している。また、水準測量による変動量と桜島大正噴火（1914年）による変動量の比較を行い、桜島大正噴火による沈下と現在の隆起に同様の傾向が見られたとしている（図9及び図10）。
- ・九州電力は、始良カルデラ北縁はもう少し北になる可能性があること、これまで無かった鹿児島市内の地震が発生していることから（添付資料、P50、P53-54）、地震活動の評価は地形的カルデラ内だけでなく周囲も評価する必要があると思われるとの第三者（火山専門家）のコメントを踏まえて、過去の地震分布等を参考に、評価範囲を再検討するとしている。

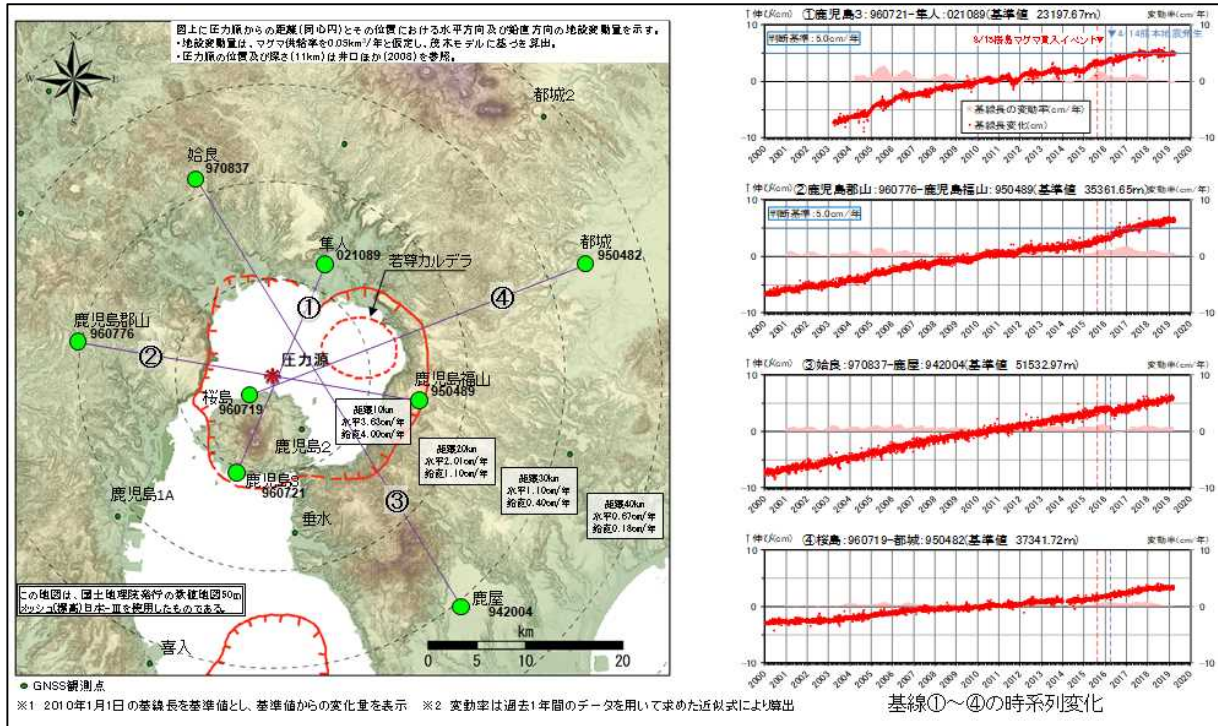


図5 始良カルデラのGNSS連続観測による基線長変化

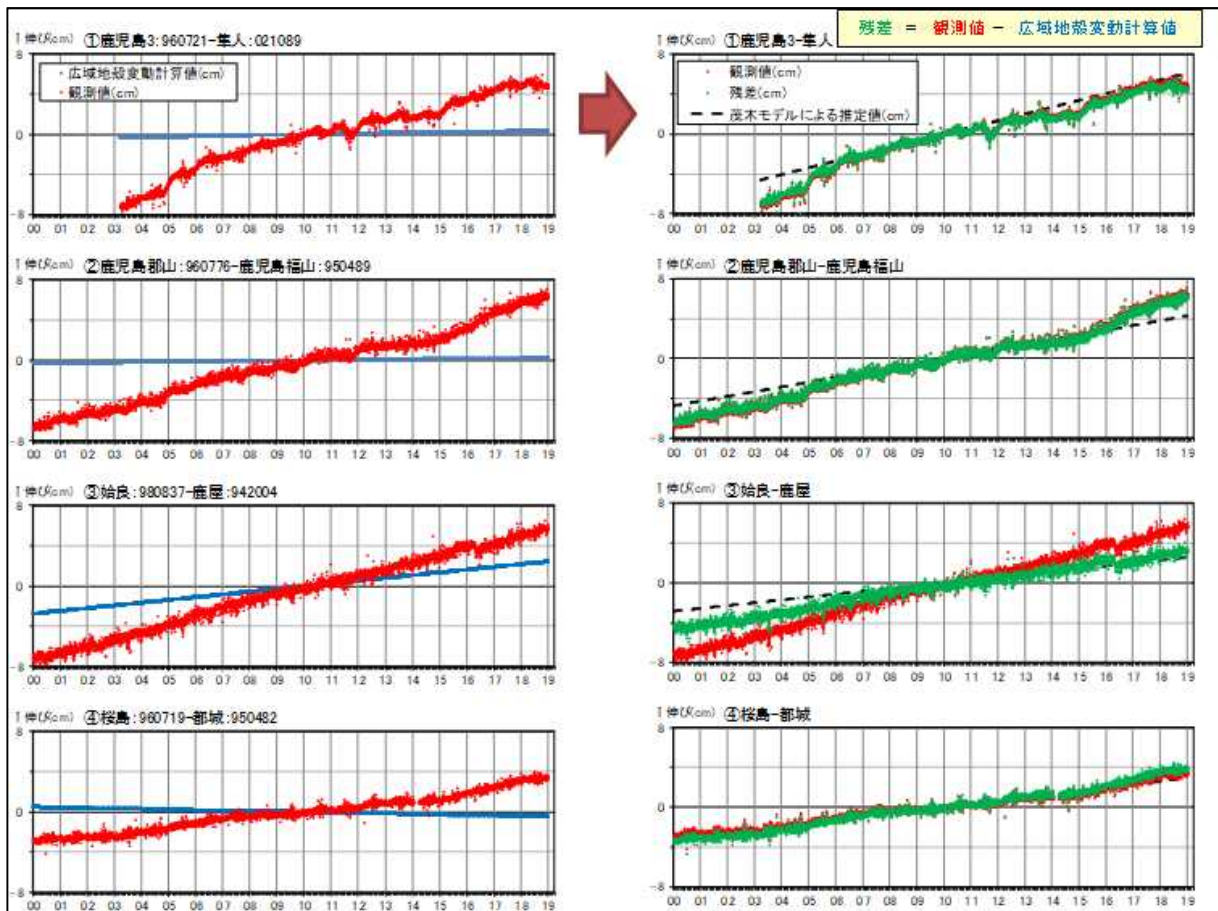


図6 広域地殻変動の除去前(左)と除去後(右)の基線長変化

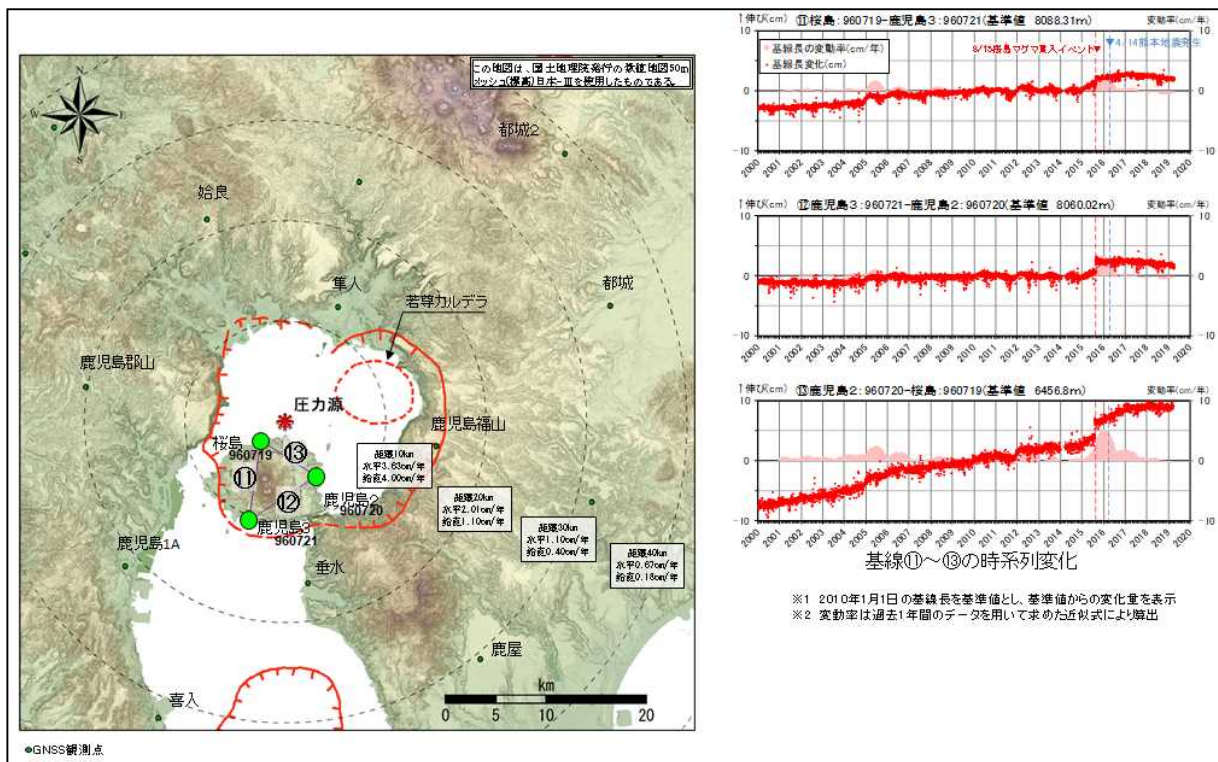


図7 始良カルデラのGNSS連続観測による基線長変化(平成29年度より追加(その1))

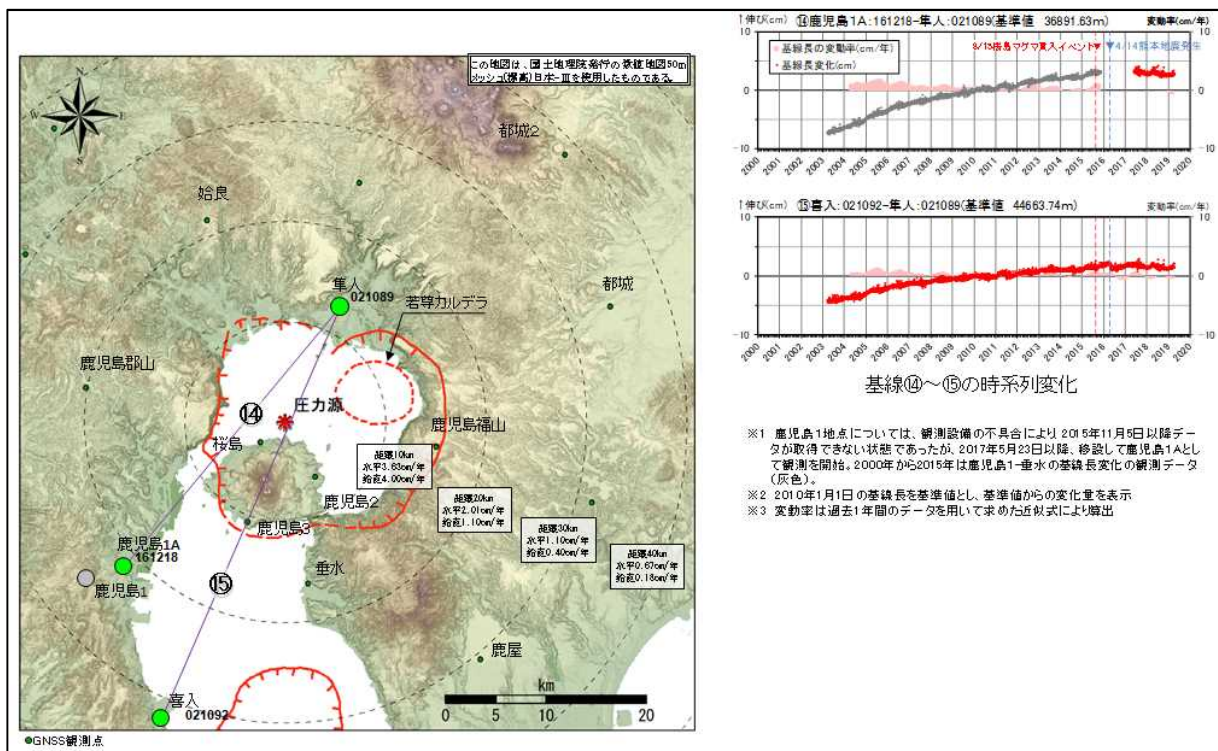


図8 始良カルデラのGNSS連続観測による基線長変化(平成29年度より追加(その2))



図9 始良カルデラ周辺の水準路線図

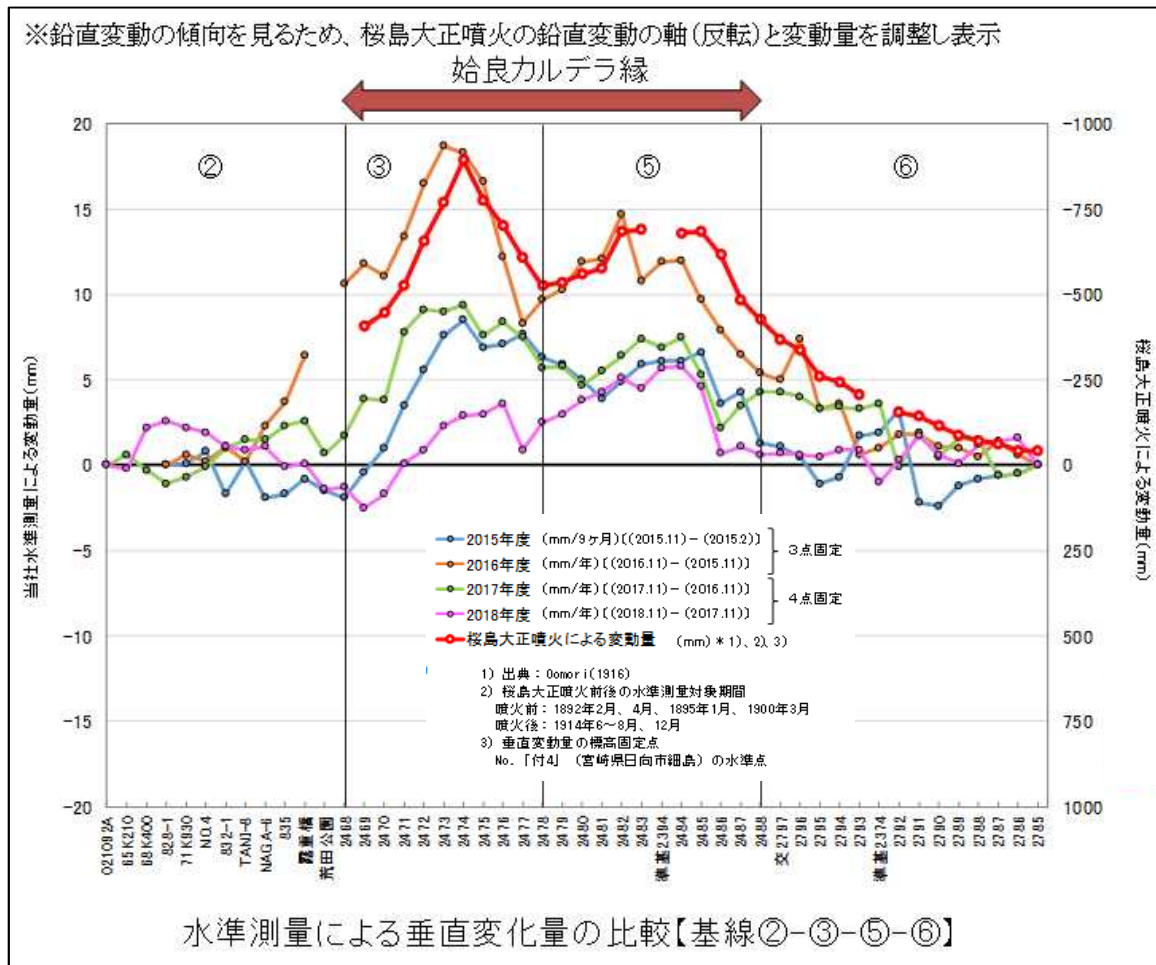


図10 始良カルデラ周辺の水準測量結果(上下変動の推移)

(4) 阿多カルデラ付近における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7月11日に鹿児島湾で発生した地震(M5.3)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、P62、P65-67）。

(5) 鬼界の基線長変化に見られる長期トレンドについて

- ・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。
- ・九州電力は、第三者（火山専門家）の助言を踏まえて、鬼界の各基線に見られる長期トレンド（図11）（添付資料、P70）について、黒潮及び火山活動の観点からそれぞれ検討を行っている。黒潮の位置が変化する周期は、基線長変化の周期と比較して、短い周期であり、両者間で明瞭な関係は認められないとしている。また、薩摩硫黄島、口永良部島ともに、火山の噴火と基線長変化に明瞭な関係は認められないものの、関連性は否定できないとしている（添付資料、P103）。

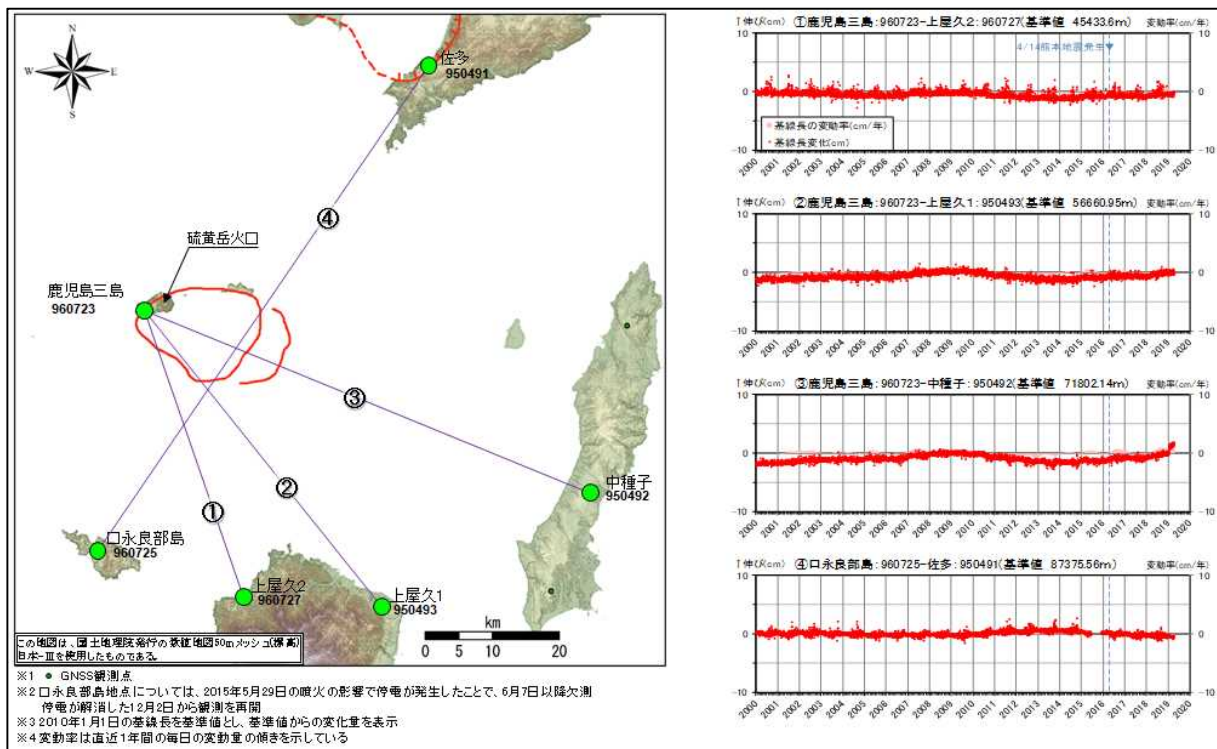


図 1 1 鬼界の GNSS 連続観測による基線長変化

原子力規制庁は、阿蘇カルデラでは、熊本地震に伴う余効変動が認められるものの、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こと、加久藤・小林カルデラの基線長変化については、霧島火山の活動に関連した変動が認められるものの、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こと、2018年12月に最大M3.4の地震が発生したものの、現在は地震前の状態に戻っているが、加久藤カルデラ内で発生したことから、今後の地震活動に留意していくとしていることを確認した。また、始良カルデラの基線長の変動率には、前年度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を確認した。阿多カルデラの基線長については、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。鬼界では、基線長変化が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規準」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。

九州電力は当該規準に基づき、原子力土木建築部長は、3名の第三者（火山専門家等）から「カルデラの活動状況に変化がないとする九州電力の評価で問題ない」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A及びB】

- ・12月の加久藤・小林カルデラ内の群発地震について、加久藤カルデラ内の大きな地震として、1968年えびの地震（M6.1）があるので、2000年以前の地震についても情報収集としてはどうか。
- ・加久藤・小林的地震活動評価について、霧島山を中心にしているが、カルデラを評価するのであれば、情報収集結果も踏まえ、カルデラを中心にもう少し広範囲の評価をしてはどうか。

【火山専門家B及びC】

- ・始良についても、カルデラ北縁はもう少し北になる可能性があること、これまでは無かった鹿児島市内の地震が発生していることから、地震活動の評価は地形的カルデラ内だけでなく周囲も評価する必要があると思われる。

○地殻変動について

【火山専門家B】

- ・加久藤・小林周辺の電子基準点の隆起については、活火山の影響と考えられるため、新燃岳に圧力源を想定した場合の隆起量との対比を行ってはどうか。

○マグマ供給率の考え方について

【火山専門家B】

- ・火山灰放出量の密度換算について、マグマの含水量を考慮に入れて計算を行ってはどうか。

【火山専門家A及びB】

- ・マグマ供給率の算定については、モデルに依存することから、茂木モデル（弾性）以外のモデル、例えば粘弾性モデルでの検討等も将来的には行ってはどうか。

○広域地殻変動について

【火山専門家B】

- ・広域地殻変動の影響については、始良だけでなく、阿蘇、加久藤・小林など他のカルデラにおいても検討してはどうか。阿蘇の収縮傾向は広域地殻変動の影響を受けて

いるかもしれない。

○基線長検知能力の検討について

【火山専門家B及びC】

- ・圧力源の位置について、阿蘇は最新の研究（MT 探査）で中岳より北側に圧力源が想定されており、最新の研究を踏まえた圧力源も検討してはどうか。また、加久藤・小林はカルデラ内の圧力源の検討も必要ではないか。

3. 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。

文 献

- 1) 原子力規制庁(2018) : 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 (平成 30 年 9 月 3 日) .
- 2) Takayama, H., and A. Yoshida (2007) : Crustal deformation in Kyushu derived from GEONET data, *J. Geophys. Res.*, **112**, B06413, doi:10.1029/2006JB004690.
- 3) 堀田耕平、大倉敬宏、井口正人(2013): 1999 年南岳山頂噴火活動および 2006 年昭和火山噴火活動再開に先行する桜島火山の地盤変動源について、京都大学防災研究所年報、第 56 号 B、pp.197-206.
- 4) 国土地理院(2017) : http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/kazan_monthly/2017-11.html (平成 29 年 12 月閲覧).
- 5) 井口正人、高山鐵朗、山崎友也、多田光宏、鈴木敦生、植木貞人、太田雄策、中尾茂、前野直、長尾潤、馬場幸二、大重吉輝、放生会正美 (2008) : 桜島および始良カルデラ周辺における GPS 観測, 第 10 回桜島火山の集中総合観測, 53-61.