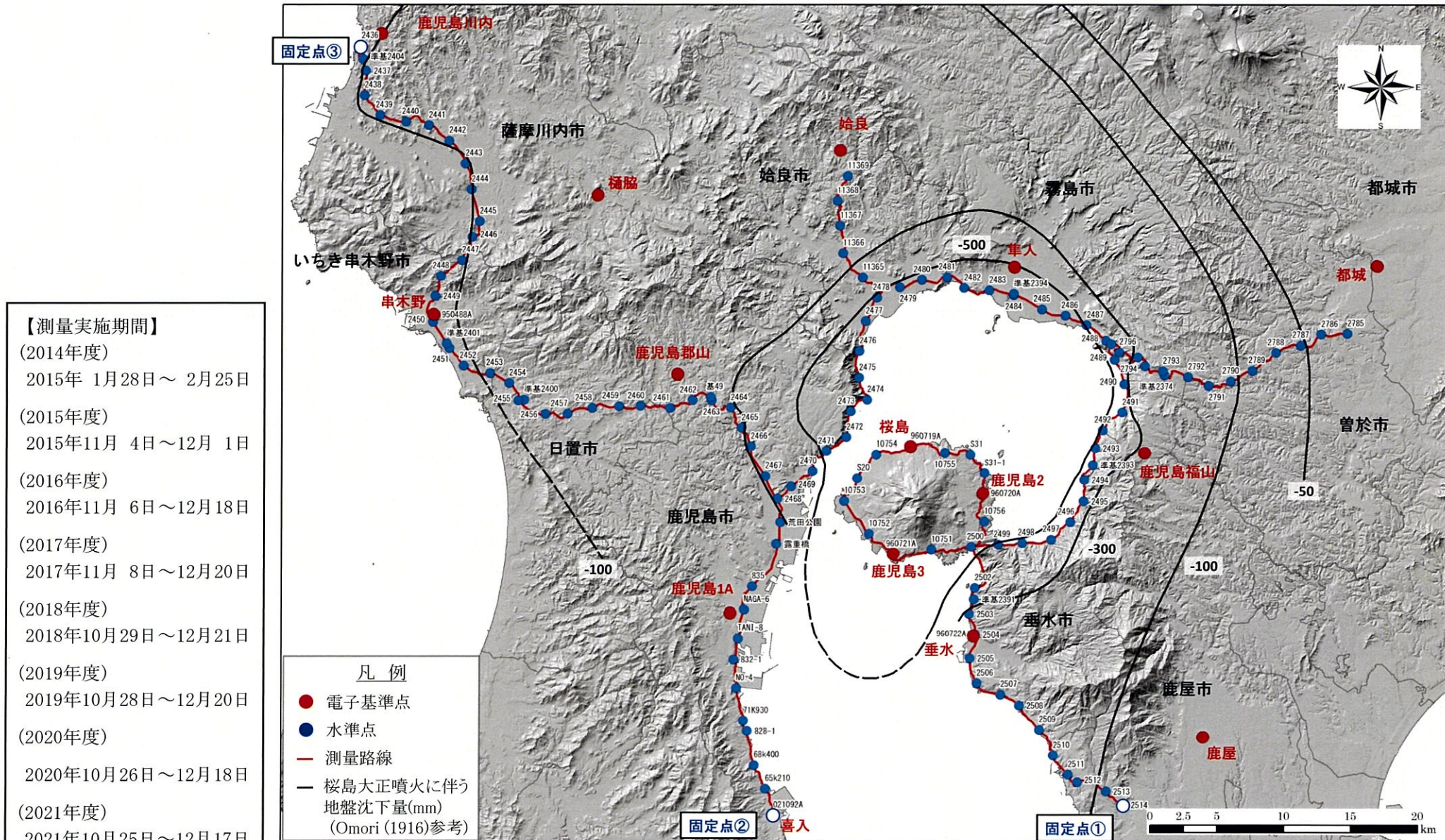


余 白

2. 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。



- 【測量実施期間】**
- (2014年度) 2015年 1月28日～ 2月25日
 - (2015年度) 2015年11月 4日～12月 1日
 - (2016年度) 2016年11月 6日～12月18日
 - (2017年度) 2017年11月 8日～12月20日
 - (2018年度) 2018年10月29日～12月21日
 - (2019年度) 2019年10月28日～12月20日
 - (2020年度) 2020年10月26日～12月18日
 - (2021年度) 2021年10月25日～12月17日

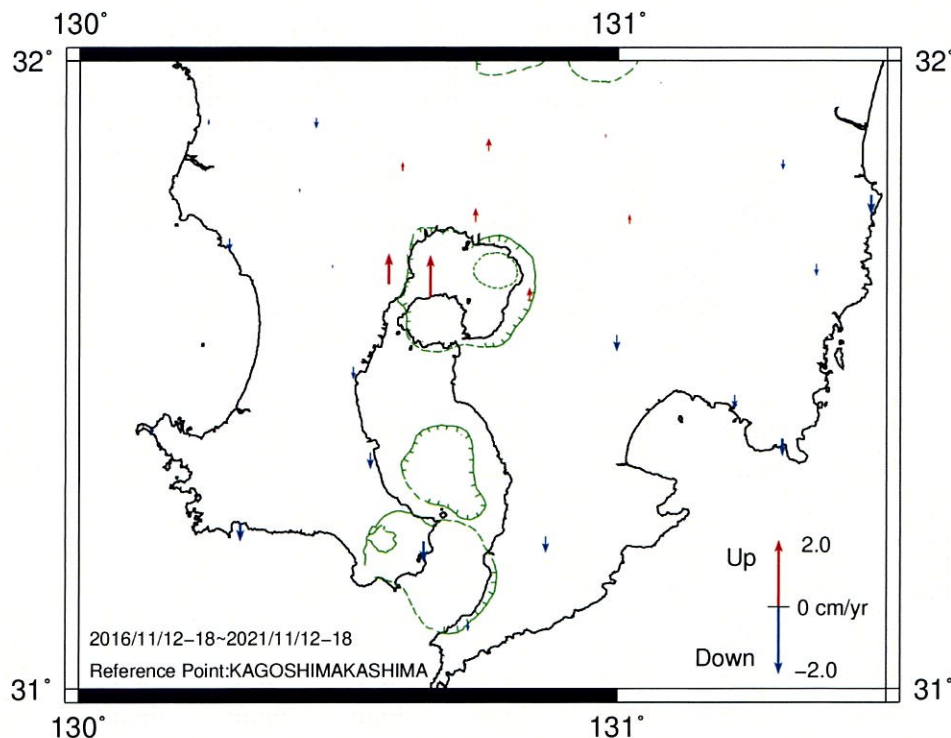
凡例

- 電子基準点
- 水準点
- 測量路線
- - - 桜島大正噴火に伴う地盤沈下量(mm) (Omori (1916)参考)

※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。

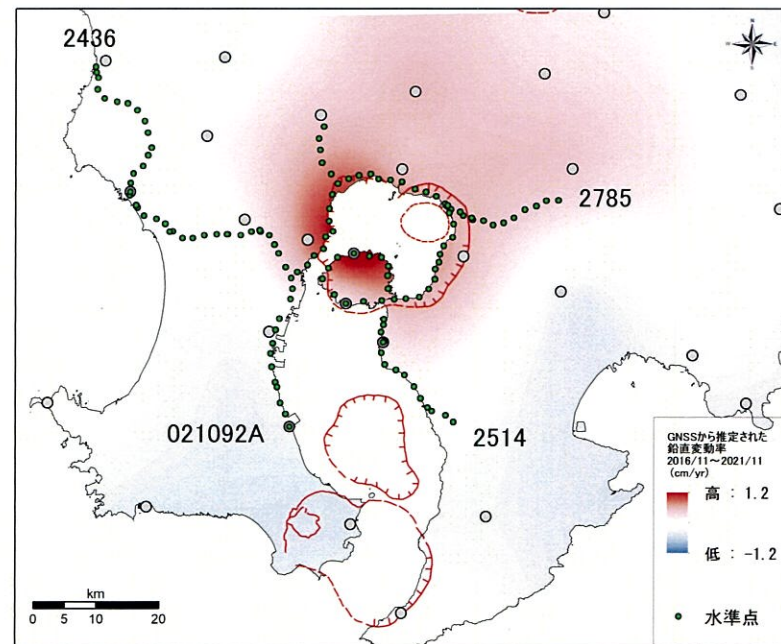
2. 始良カルデラ周辺の水準測量結果[固定点の変更(4点固定→3点固定)]

- ・ 始良カルデラ周辺の鉛直変動について、GNSS観測結果による整理を実施した。
- ・ 2020年度まで固定点としていたBM.2785は、他の3点の固定点よりも隆起傾向にあることから、固定点については、BM.2785を除く、BM.2514、BM.021092A、BM.2436の3点とし、2016年度以降の水準測量結果の再整理を実施した。



GNSS観測点における鉛直方向の平均変動率
(2016年11月-2021年11月)

- ※1 鹿児島鹿島(950487)を固定点とする。
- ※2 変動率が安定していない観測点(鹿屋、内之浦、金峰)と周囲の点と比べて極端に沈降している鹿児島2を除外



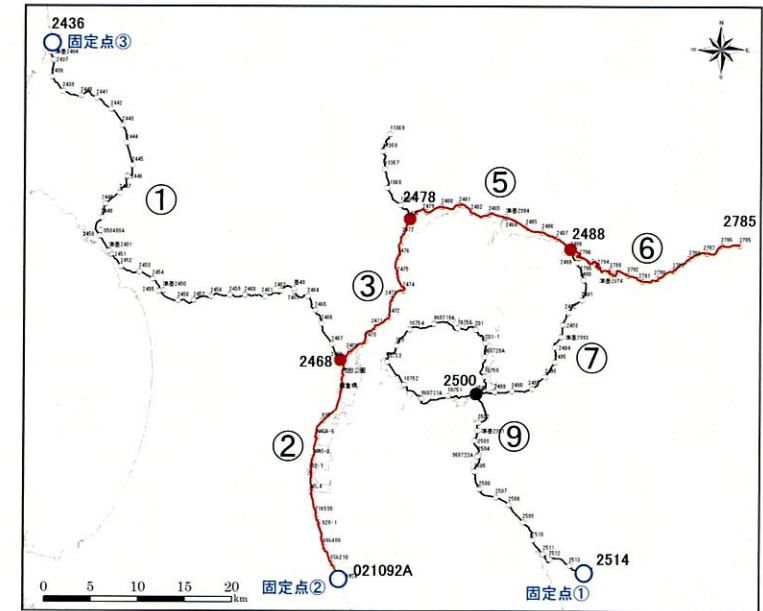
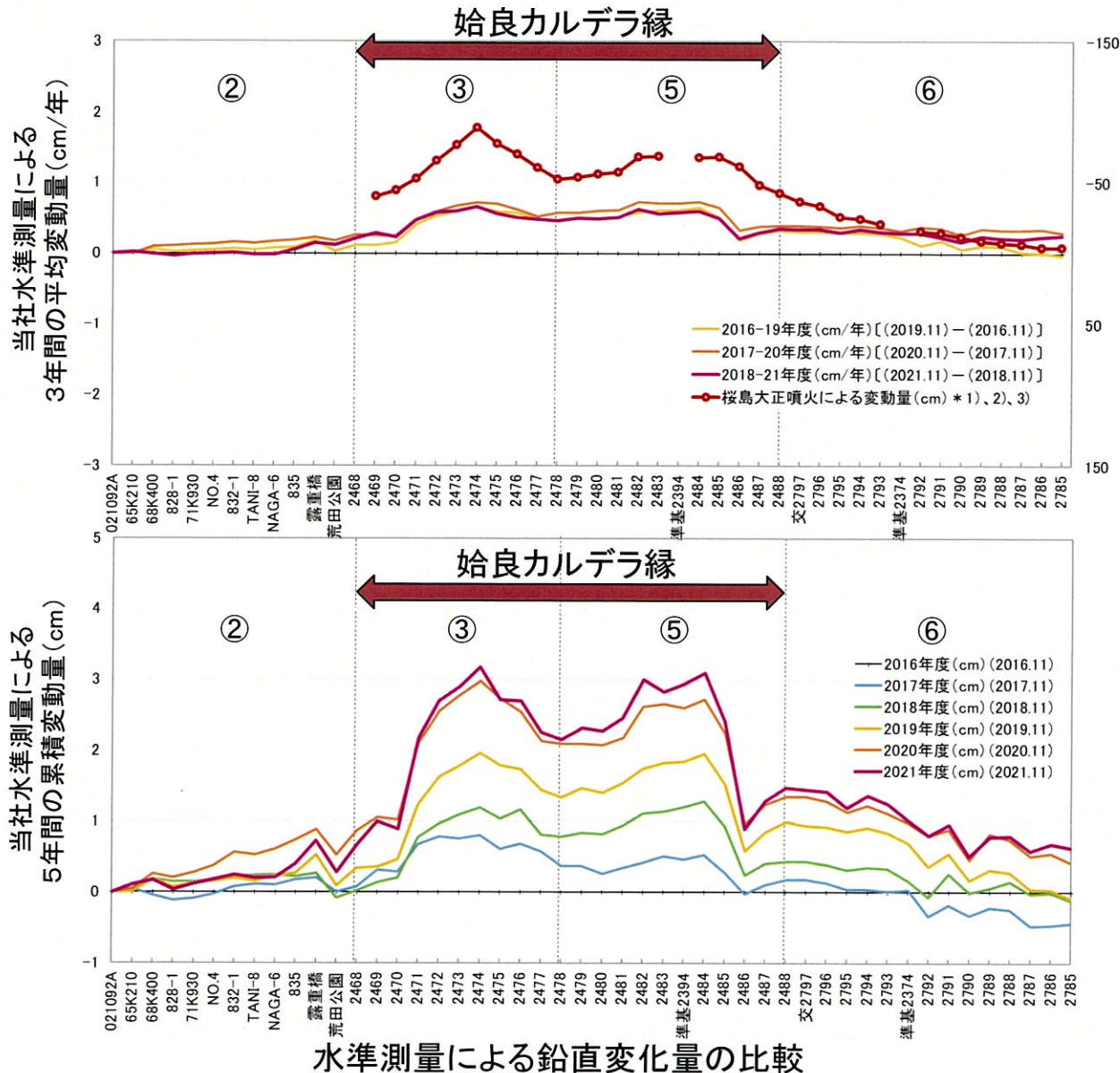
GNSS観測点における鉛直方向の平均変動率
に基づく変動率分布
(2016年11月-2021年11月)

BM.2436を基準とした各点の鉛直方向の平均変動率

- ・ BM.021092A: -0.15 mm/年
- ・ BM.2514: -0.07 mm/年
- ・ BM.2785: $+0.16$ mm/年

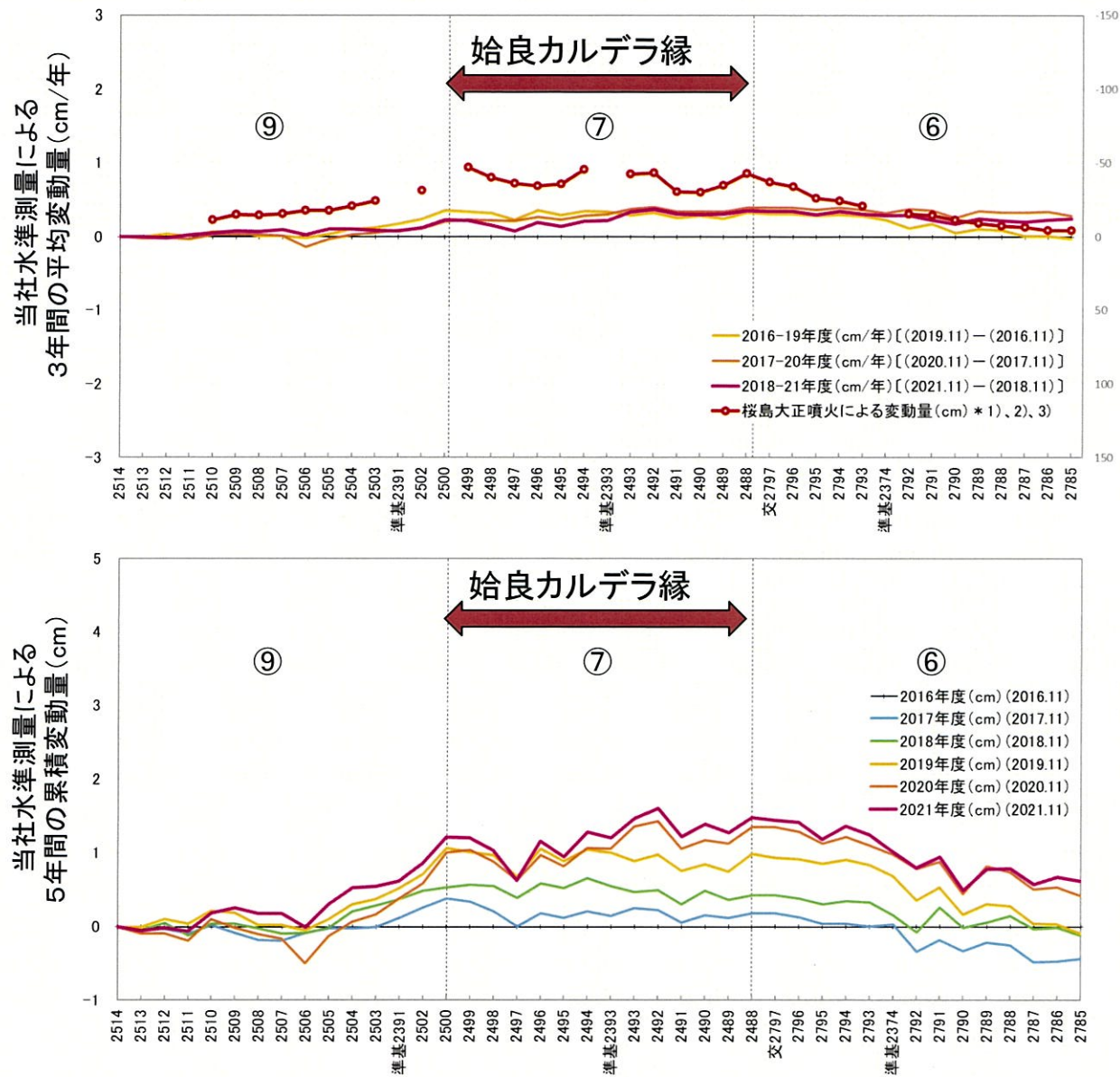
2. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

- 水準測量の結果より、2021年度の始良カルデラ縁の変動量は例年と比較して小さく、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。

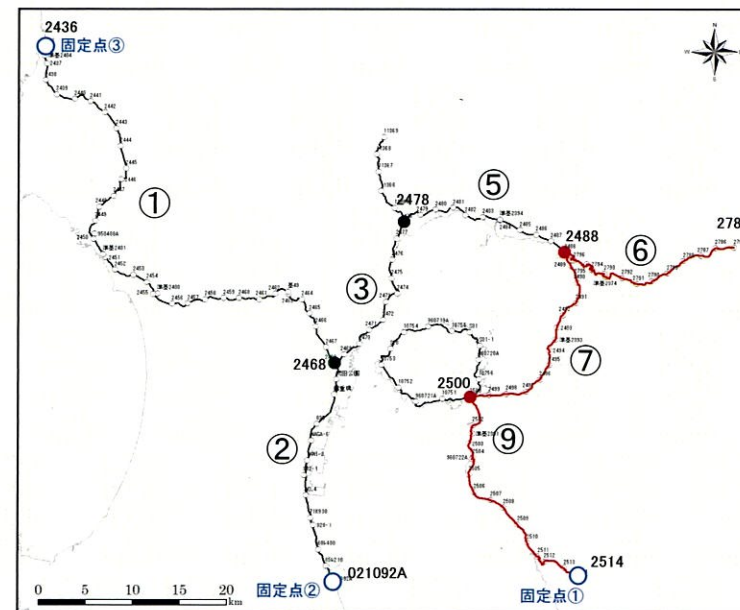


- 1) 出典：Omori (1916)
- 2) 桜島大正噴火前後の水準測量対象期間
 噴火前：1892年2月、4月、1895年1月、1900年3月
 噴火後：1914年6～8月、12月
- 3) 鉛直変動量の標高固定点No. 「付4」（宮崎県日向市細島）の水準点

2. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

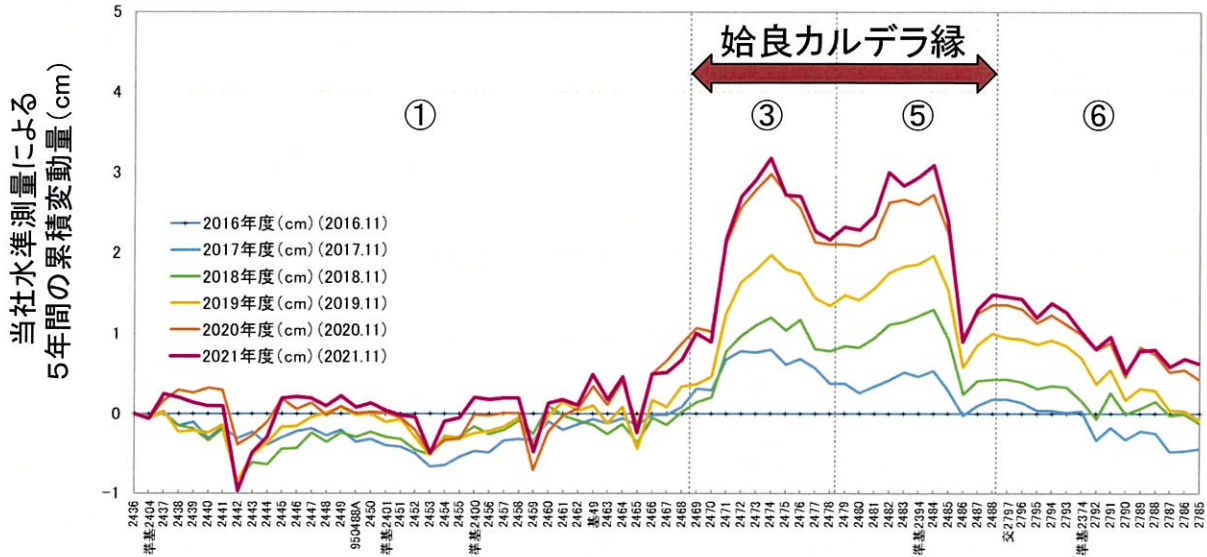
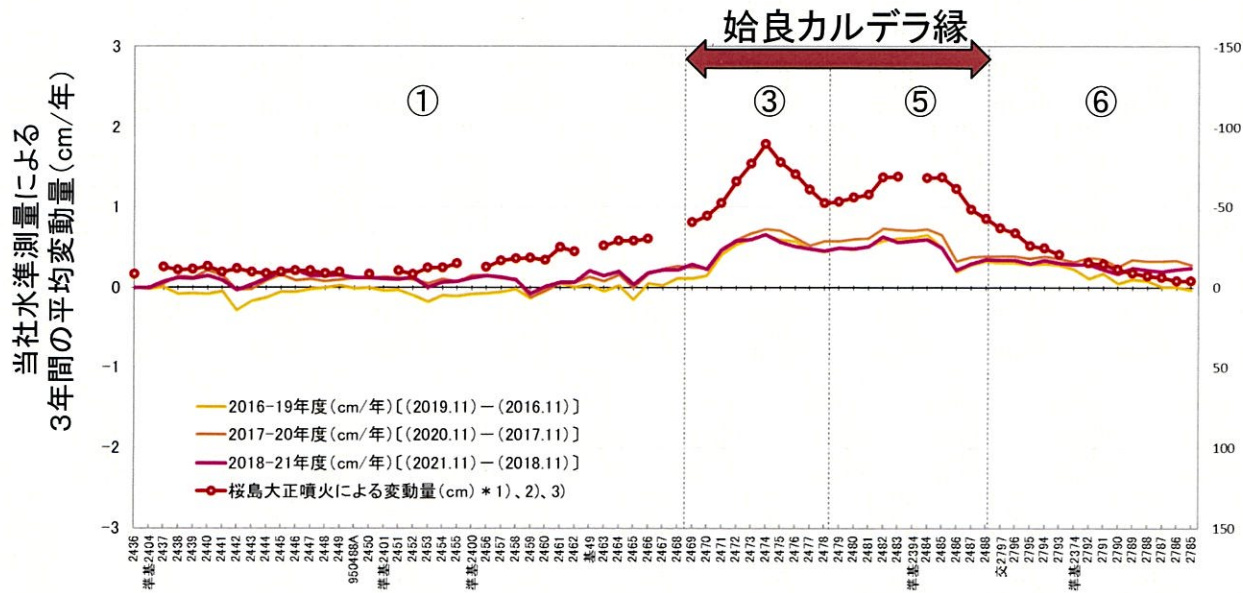


水準測量による鉛直変化量の比較

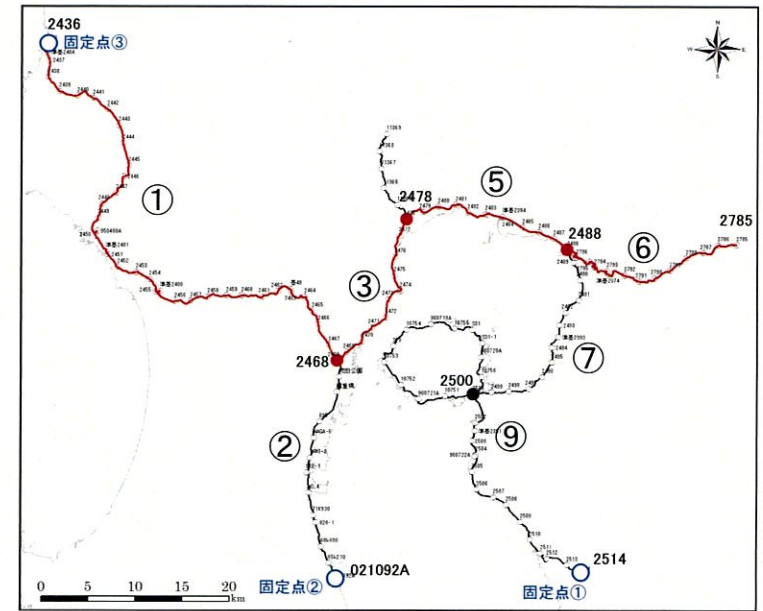


- 1) 出典：Omori(1916)
- 2) 桜島大正噴火前後の水準測量対象期間
噴火前：1892年2月、4月、1895年1月、1900年3月
噴火後：1914年6～8月、12月
- 3) 鉛直変動量の標高固定点No. 「付4」（宮崎県日向市細島）の水準点

2. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

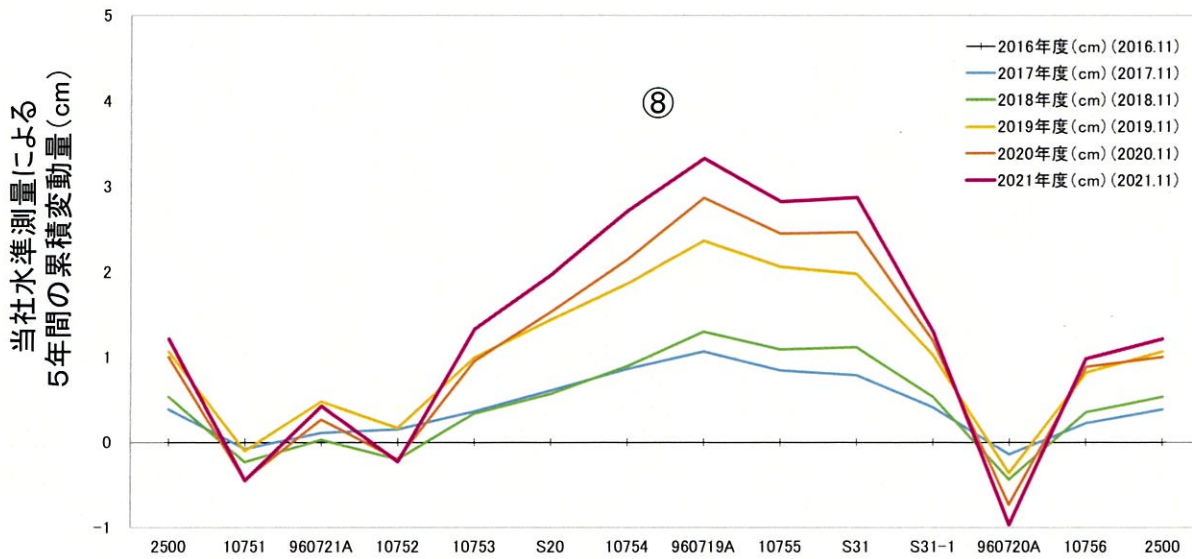
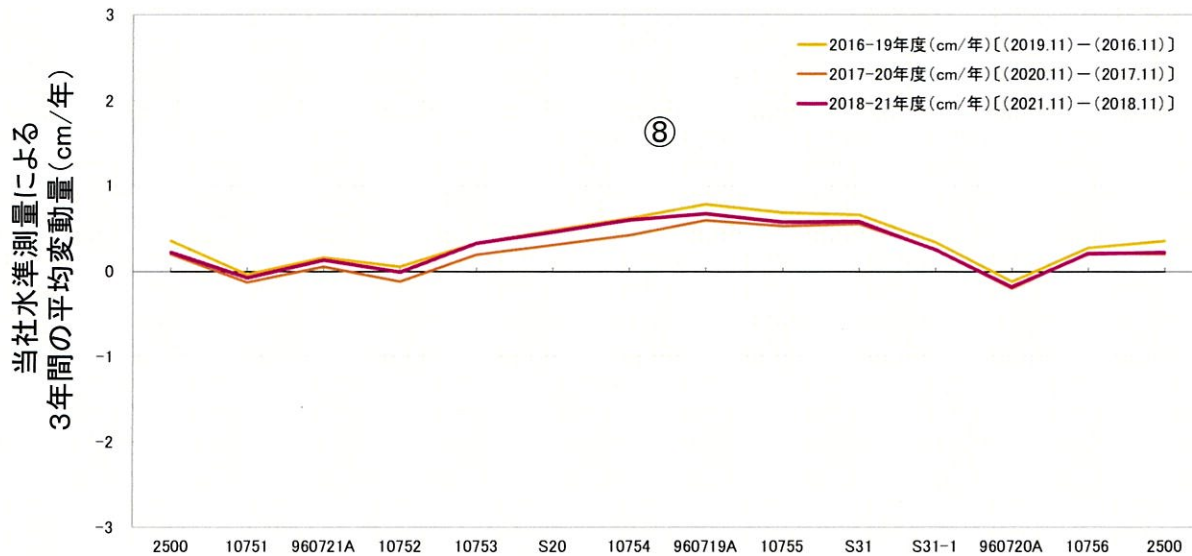


水準測量による鉛直変化量の比較

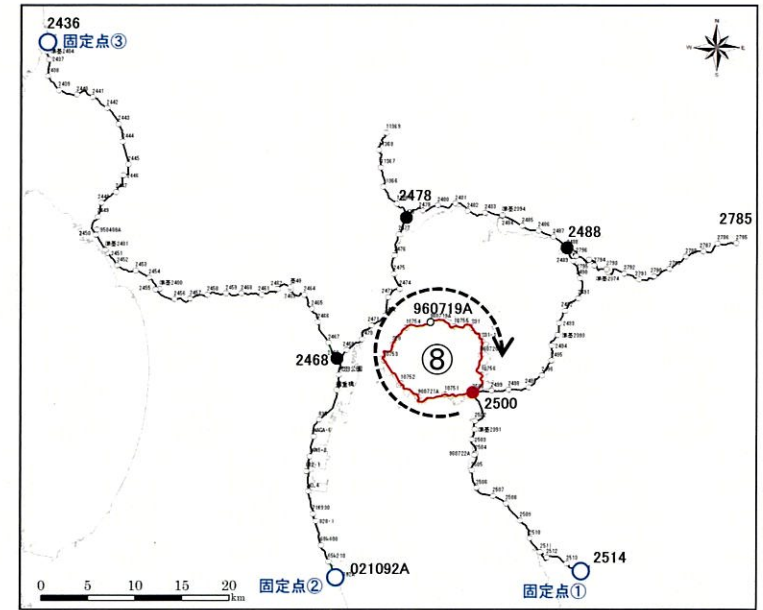


- 1) 出典：Omori(1916)
- 2) 桜島大正噴火前後の水準測量対象期間
噴火前：1892年2月、4月、1895年1月、1900年3月
噴火後：1914年6～8月、12月
- 3) 鉛直変動量の標高固定点No. 「付4」（宮崎県日向市細島）の水準点

2. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

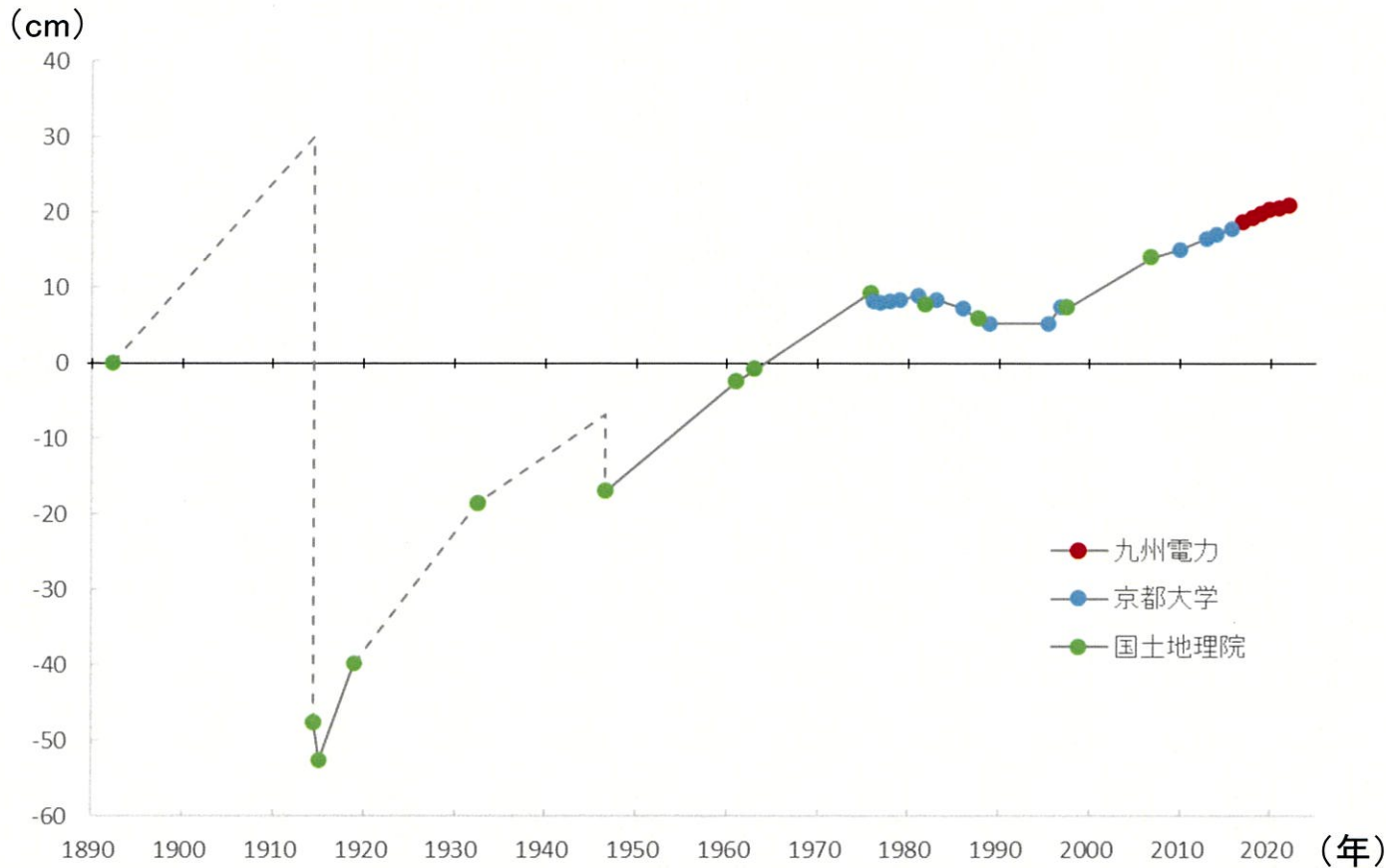


水準測量による鉛直変化量の比較

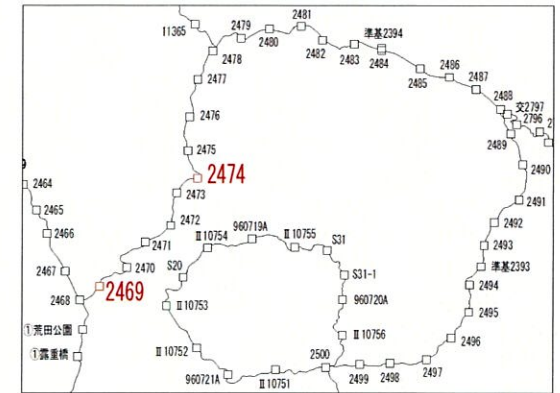


【参考】既往測量結果と桜島火山活動との関係

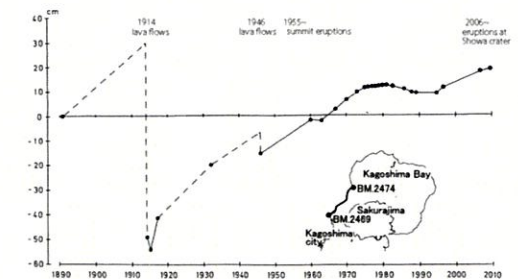
- Yamamoto et al. (2013)は、桜島島内、鹿児島湾西岸及び東岸にて水準測量を実施し、地盤変動の経年変化を調査している。
- その結果、桜島において、1973年～1991年頃の活発な噴火活動期間にマグマの放出に伴うマグマ溜まりの減圧による地盤沈下が、1991年頃以降の火山活動静穏期にマグマ溜まりにマグマが蓄積されたことによる地盤の隆起が認められるとしている。
- 当社による水準測量の成果(2015年～2021年)を追記して示した結果、1990年代以降、地盤が継続して隆起傾向にあることから、桜島の火山活動静穏期が継続するとともに、始良カルデラ地下のマグマ溜まりの増圧による地盤の隆起傾向が継続していると推定される。



BM.2469を不動点(基準)としたBM.2474の比高値の経年変化
(京都大学防災研究所より京都大学、国土地理院が実施した水準測量データをご提供いただき、九州電力が実施した水準測量データを追記)



観測点位置図



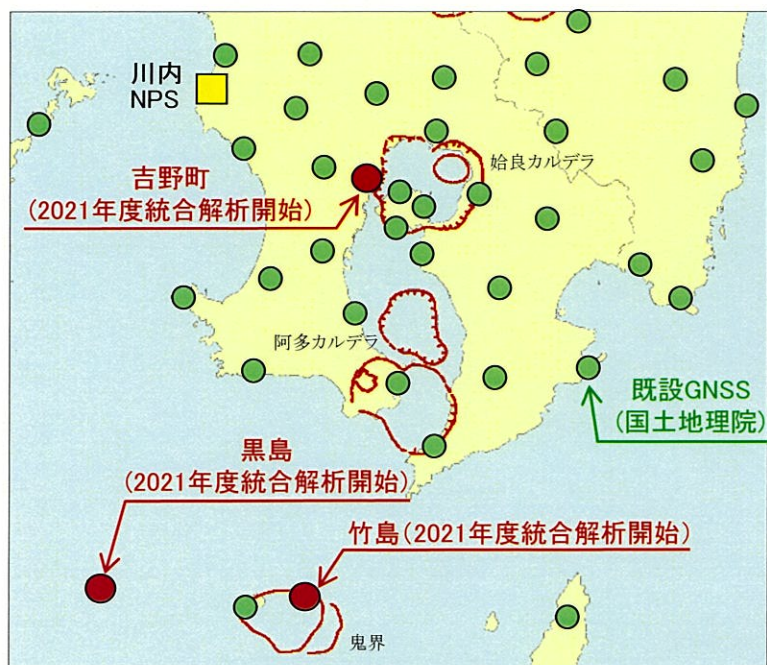
BM.2469を不動点(基準)とした
BM.2474の比高値の経年変化
(Yamamoto et al., 2013)

余 白

3. 当社GNSS機器による観測結果

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

※解析結果は、「3. モニタリング確認結果」に国土地理院GNSS機器による観測結果とともに記載。(P48,49,51,79,80,81,82)



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

余 白

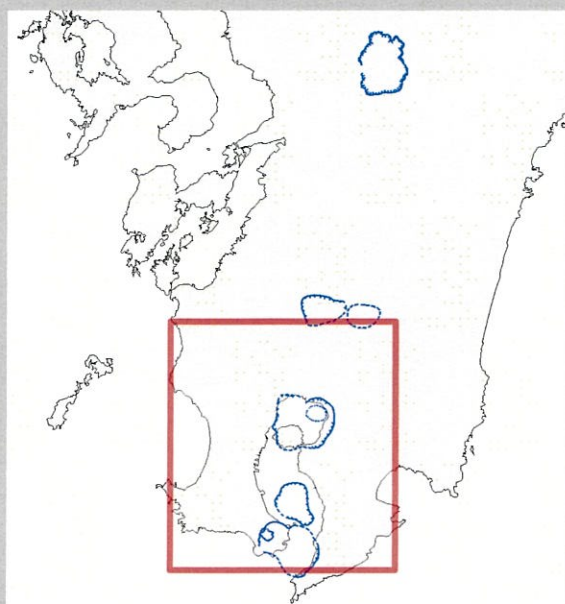
4. 干渉SAR時系列解析[概要]

- 干渉SAR解析による地殻変動観測が可能か検討するため、始良カルデラ周辺を対象に干渉SAR時系列解析(対象期間: 2020.1.5~2020.12.31)を実施した。
- 本検討においては、観測頻度の高いSentinel-1のデータを使用し、SBAS法による解析を実施した。

<解析条件>

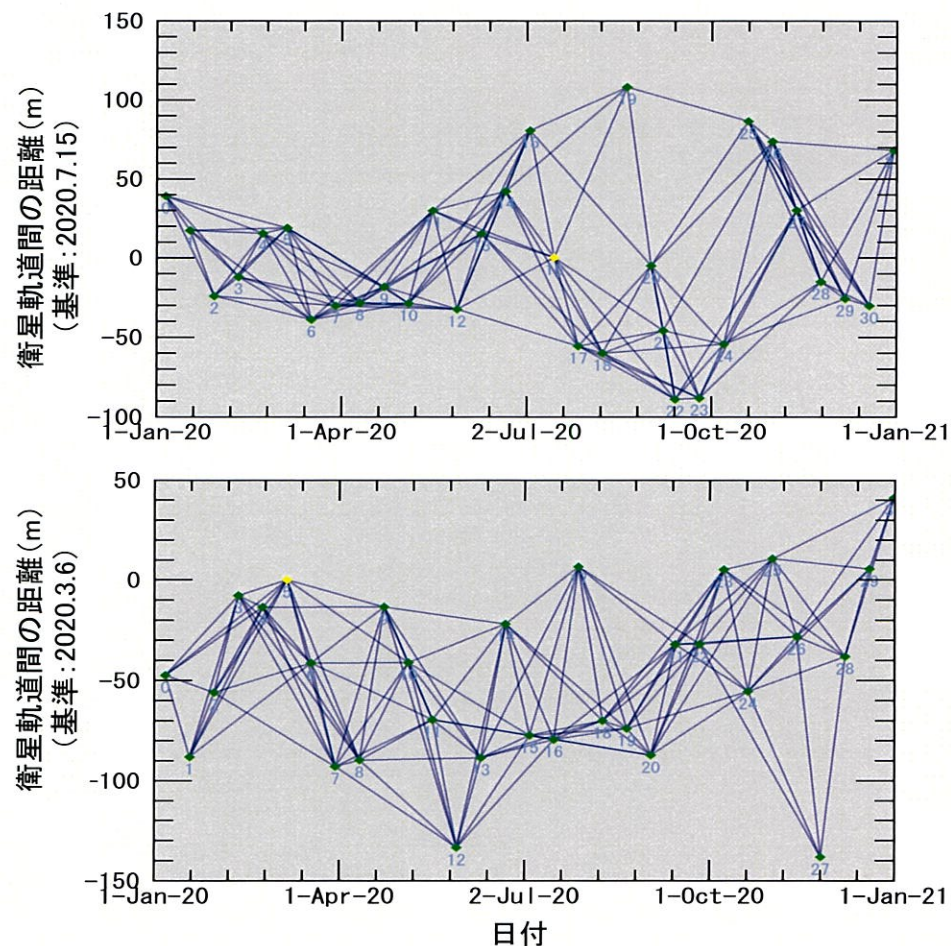
解析手法	SBAS法
対象期間	2020.1.5~2020.12.31
衛星種別	Sentinel-1(Cバンド):ESA
衛星進行方向	上昇軌道、下降軌道
使用シーン数	上昇軌道:32シーン 下降軌道:31シーン

解析対象範囲



北緯31.175~31.991667°
東経130.1375° ~131.1125°

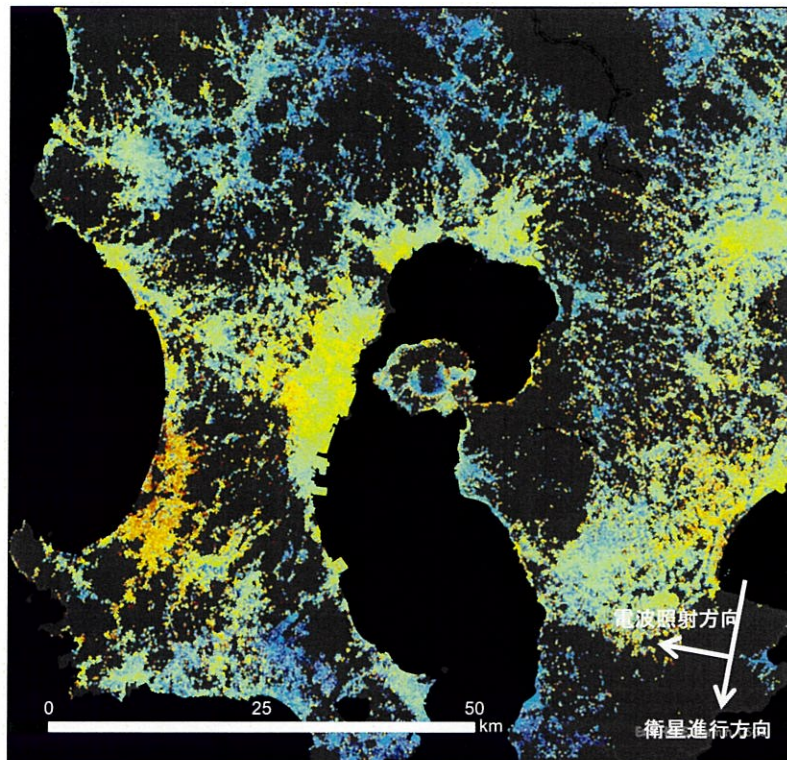
<コネクショングラフ(上:上昇軌道、下:下降軌道)>



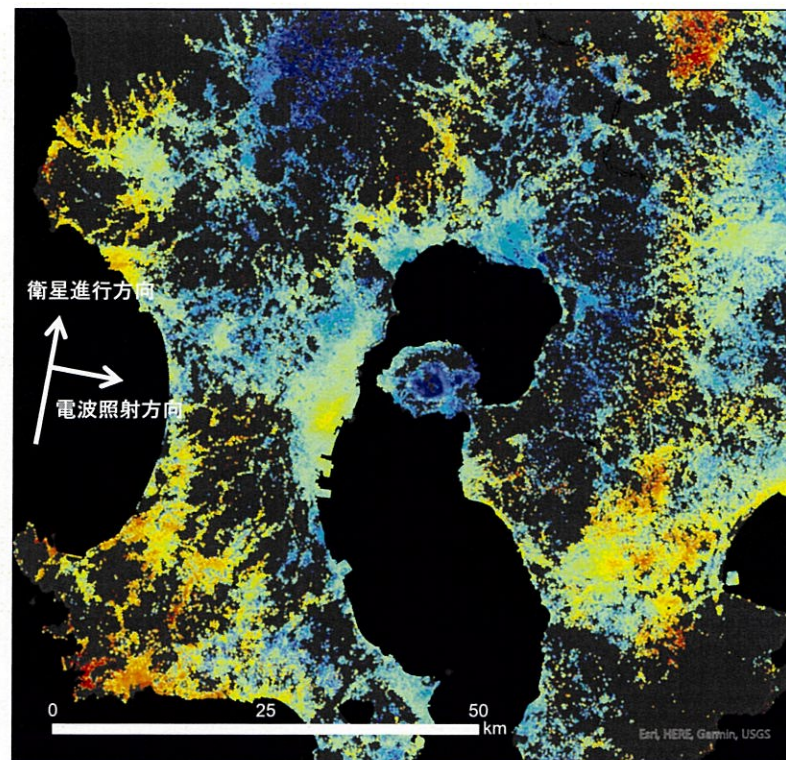
- ※1 グラフ中の黄色の点は基準となる衛星画像、緑の各点はその他の衛星画像の取得日における基準に対する衛星軌道間の距離を示す。
- ※2 青線は干渉ペアを示す。SBAS法による解析においては、衛星軌道間の距離及び観測日の間隔が小さい衛星画像同士を干渉させる。

4. 干渉SAR時系列解析[解析結果(衛星視線方向)]

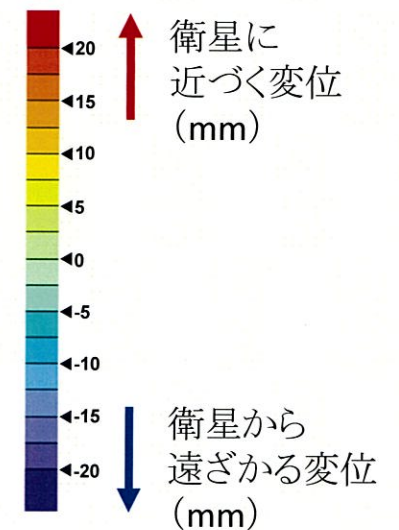
- 解析期間中の下降軌道、上昇軌道それぞれの衛星視線方向の変動について、解析結果を以下に示す。
- 桜島中心部においては、下降軌道、上昇軌道ともに衛星から遠ざかる変位が認められる。



※2020.1.6に対する2020.12.31の累積変位量



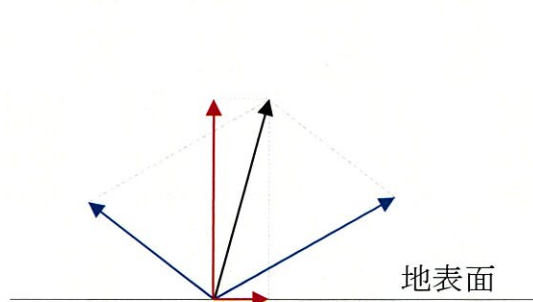
※2020.1.5に対する2020.12.30の累積変位量



干渉SAR時系列解析による2020年の衛星視線方向の変位(左:下降軌道、右:上昇軌道)

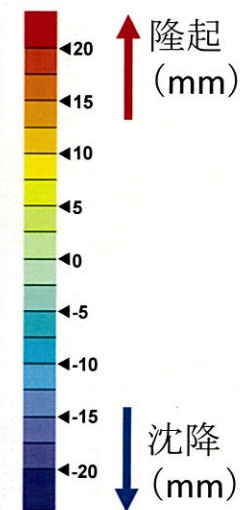
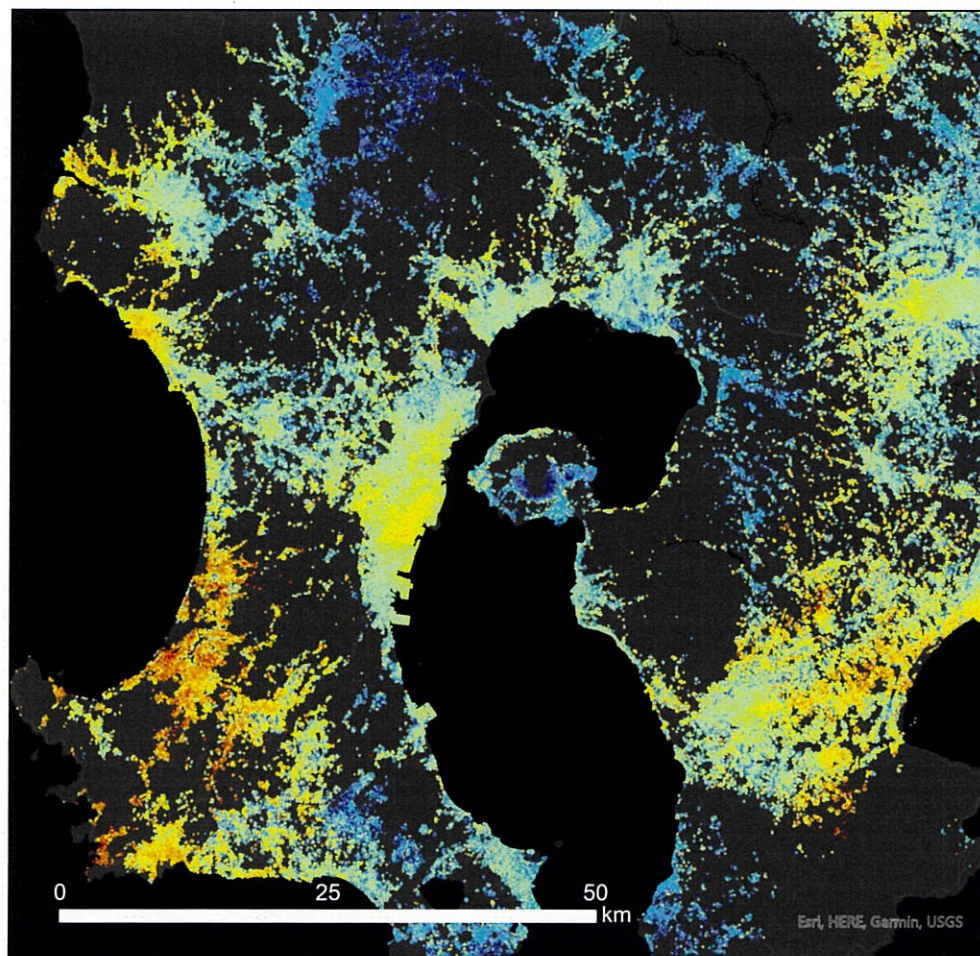
4. 干渉SAR時系列解析[解析結果(2.5次元解析)]

- 干渉SAR解析では、同一の解析期間における異なる視線方向のデータを複数組み合わせることにより、その地点の上下方向、東西方向の変位を分離することが可能である(2.5次元解析)。
- 2.5次元解析の結果、上下方向の変位として、始良カルデラ縁、桜島縁では隆起、桜島中心部では沈降の傾向が認められる。



- : 実際の変位
- : 上下・東西方向の変位
- : 衛星視線方向の変位

2.5次元解析イメージ

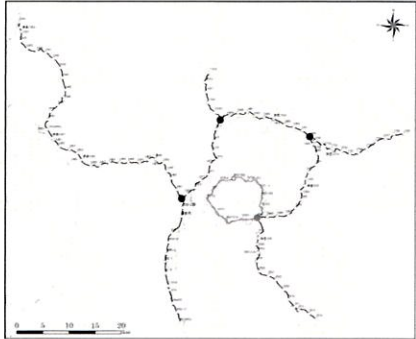
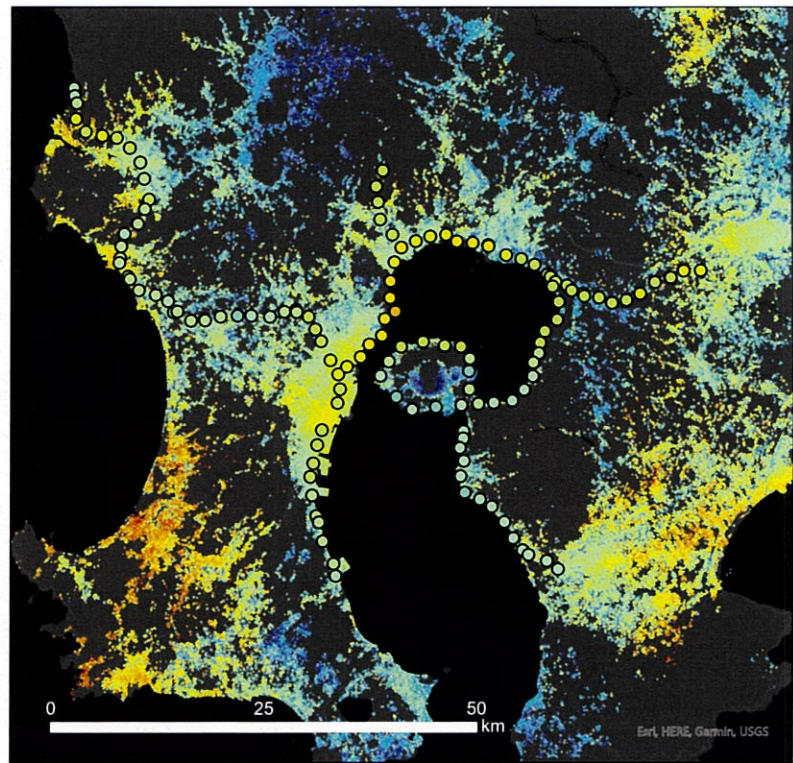
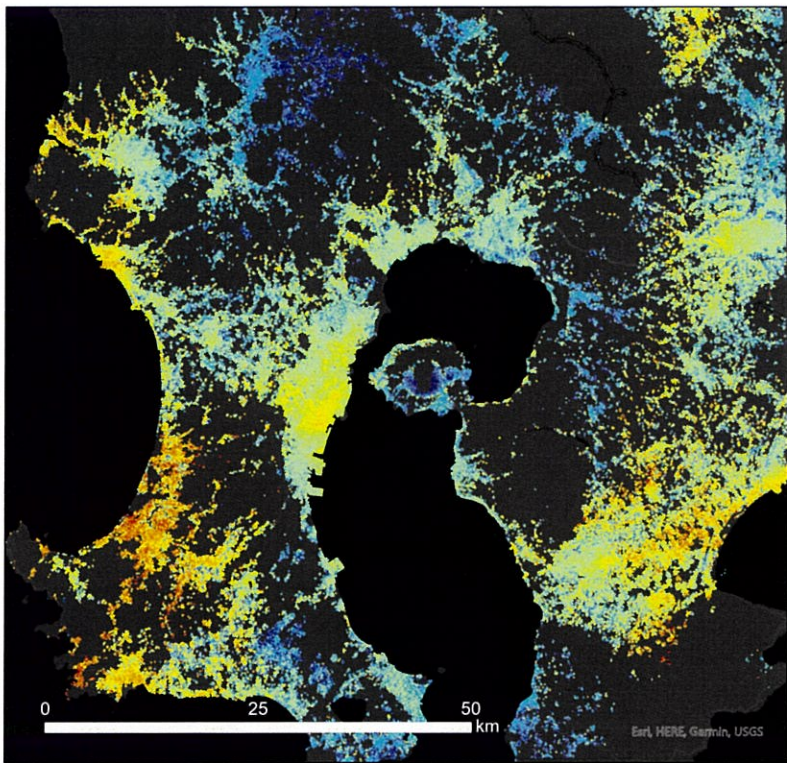


干渉SAR時系列解析による2020年の地殻変動(上下方向)

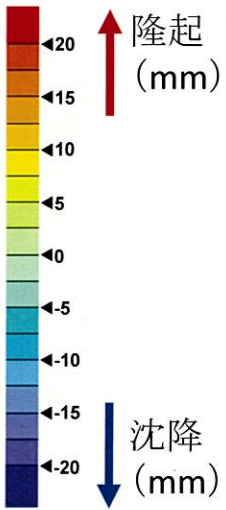
※2020.1.6に対する2020.12.30の累積変位量

4. 干渉SAR時系列解析[水準測量結果との比較]

• 2.5次元解析結果について、水準測量(2019.11-2020.11)から得られた上下方向の地殻変動結果と比較した結果、始良カルデラの周辺においては、北縁側で干渉SAR時系列解析結果が水準測量結果よりも変動が小さいものの、概ね整合的な結果が得られた。



水準測量路線



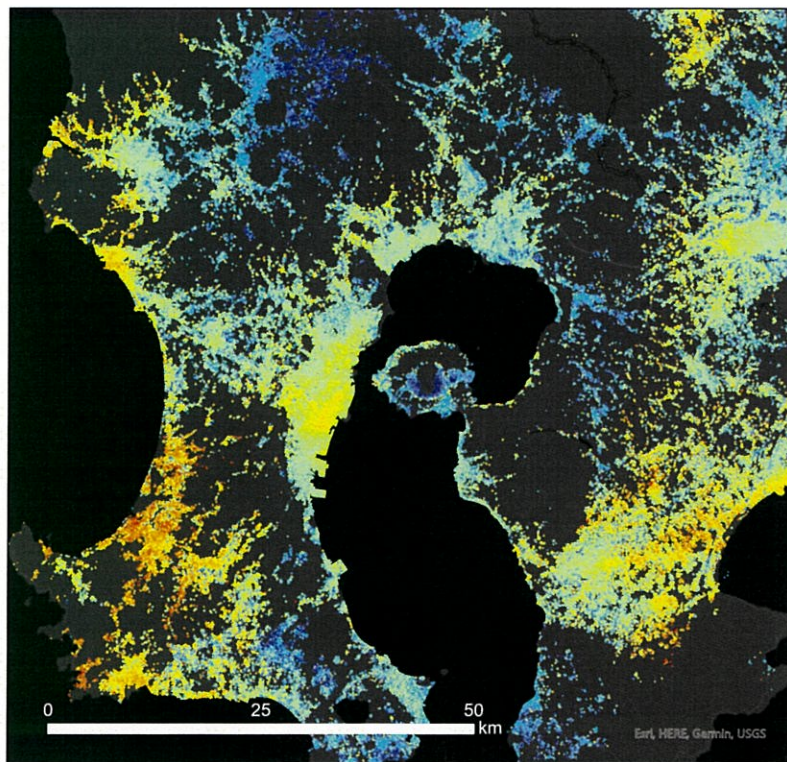
※SARは2020.1.6に対する2020.12.30の累積変位量

○ 水準測量(2019.11-2020.11)から得られた上下方向の累積変位

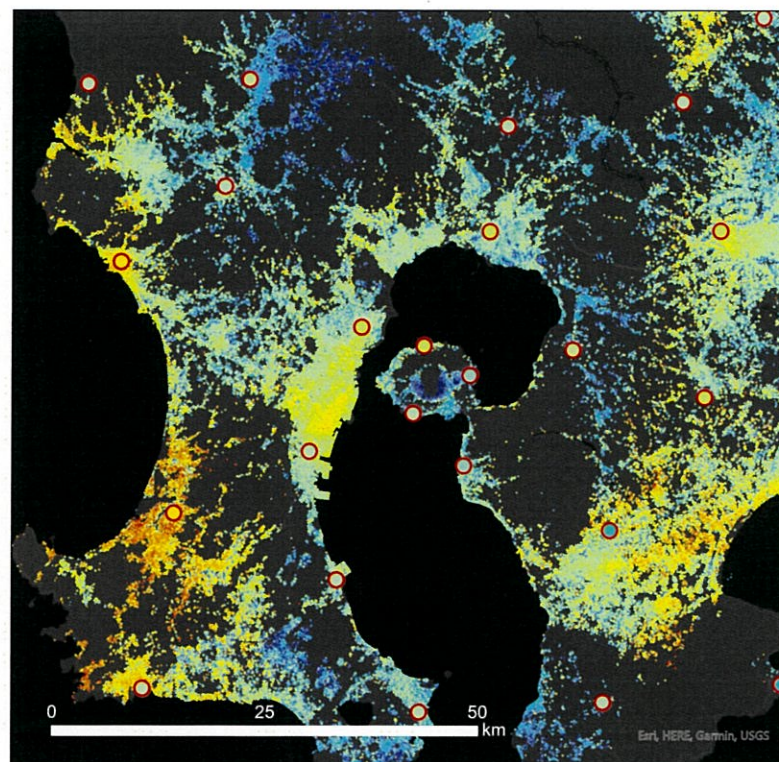
干渉SAR時系列解析と水準測量の比較(左:水準測量結果なし、右:水準測量結果あり)

4. 干渉SAR時系列解析 [GNSS観測結果との比較]

- 2.5次元解析結果について、GNSS観測から得られた上下方向の地殻変動結果(楕円体高)と比較した結果、始良カルデラ周辺のGNSS観測点地点においては、干渉SAR時系列解析結果とGNSS観測結果で概ね整合的な結果が得られた。



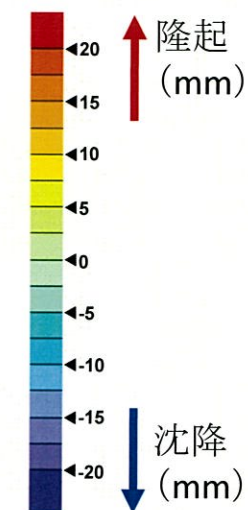
※SARは2020.1.6に対する2020.12.30の累積変位量



○ GNSS観測(2020.1~2020.12)から得られた上下方向の累積変位



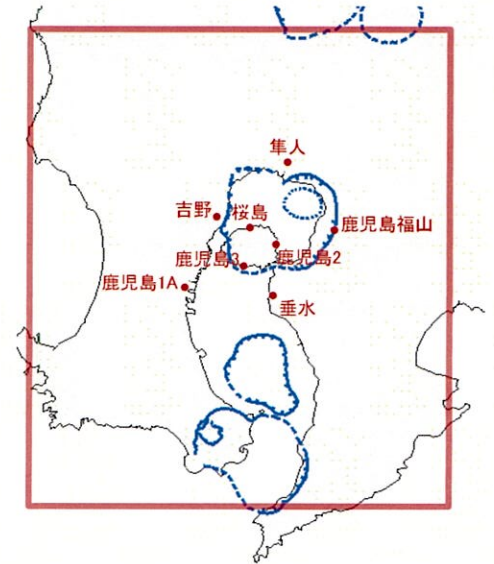
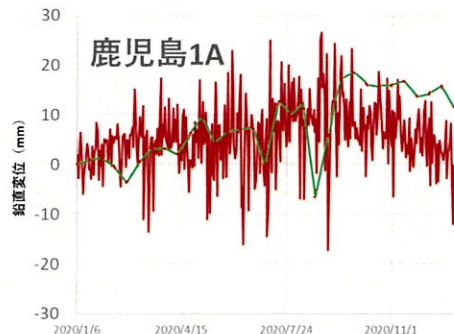
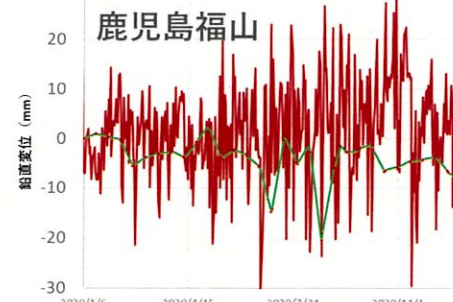
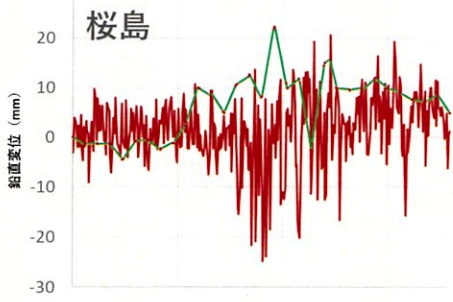
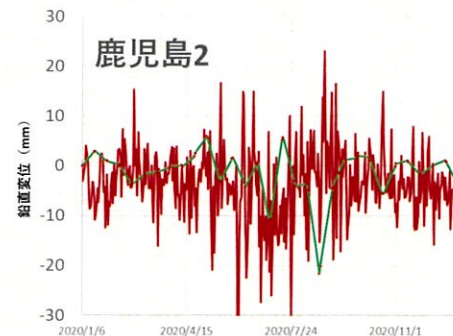
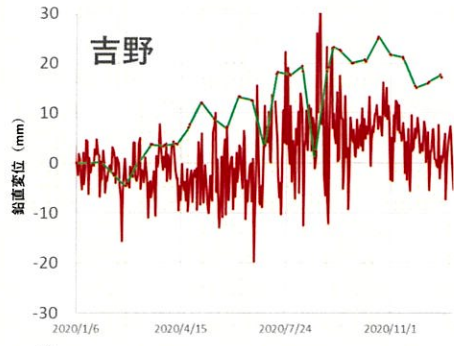
GNSS観測点位置



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

4. 干渉SAR時系列解析[GNSS観測結果との比較]

- 干渉SAR時系列解析の結果をGNSS観測による比高の時系列変化を比較した結果、始良カルデラ周辺の多くの地点では干渉SAR時系列解析の結果は概ねGNSS観測の誤差範囲内に収まるものの、「吉野」では年間を通じて上回る等、差異が見られた。
- 現状では干渉SAR解析による地殻変動観測には精度の面で課題があるため、引き続き高精度な干渉SAR解析手法を検討する。



観測点位置

— 干渉SAR時系列解析
— GNSS観測

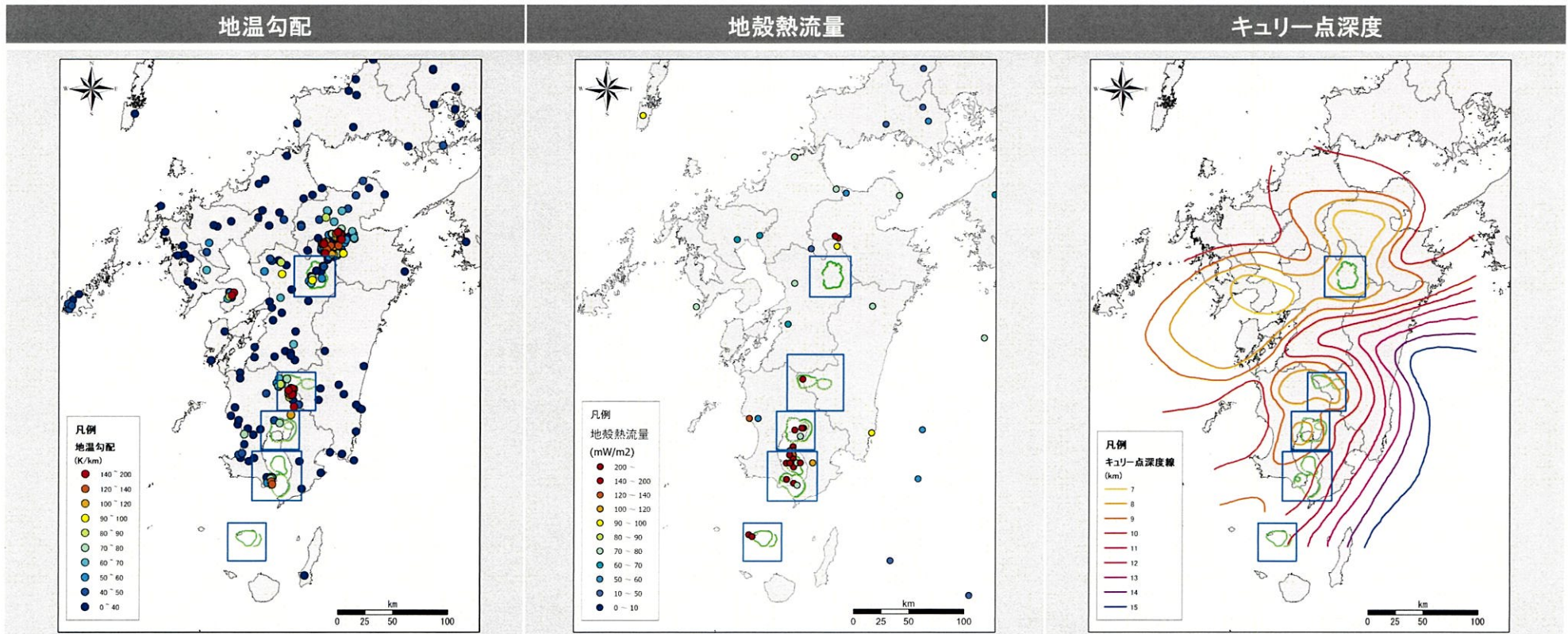
※1 干渉SAR時系列解析、GNSS観測による970835(鹿児島川内)を基準とする比高を算出し、比較を実施した。

※2 960776(鹿児島郡山)は周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪いため、検討から除外した。

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

5. 地下深部の熱活動の観測手法に関する検討[地温勾配・地殻熱流量・キュリー一点深度]

- 各カルデラ周辺における地下深部の熱活動について把握するため、既往知見の整理を行った。
- 地温勾配、地殻熱流量、キュリー一点深度については、九州で継続的な観測は実施されていない。



○産総研(2019)

産総研の地温勾配データベースは、300m以深の1,937地点における各坑井データの坑底温度もしくは最高温度と“地表の基準温度の差(各坑井から最寄りの気象官署における平均気温)”を掘削深度もしくは最高温度を記録した深度で割ることにより、地温勾配値としている。

○産総研(2019)

地殻熱流量の値は、地温勾配とその場の物質の熱伝導率の積として得られる。

地殻熱流量は、地球内部から地表に向かって熱伝導により運ばれる熱のことで、火山や地熱地帯などで顕著に見られる物質の流動に伴って放出される熱量は含まない。

○大久保(1984)

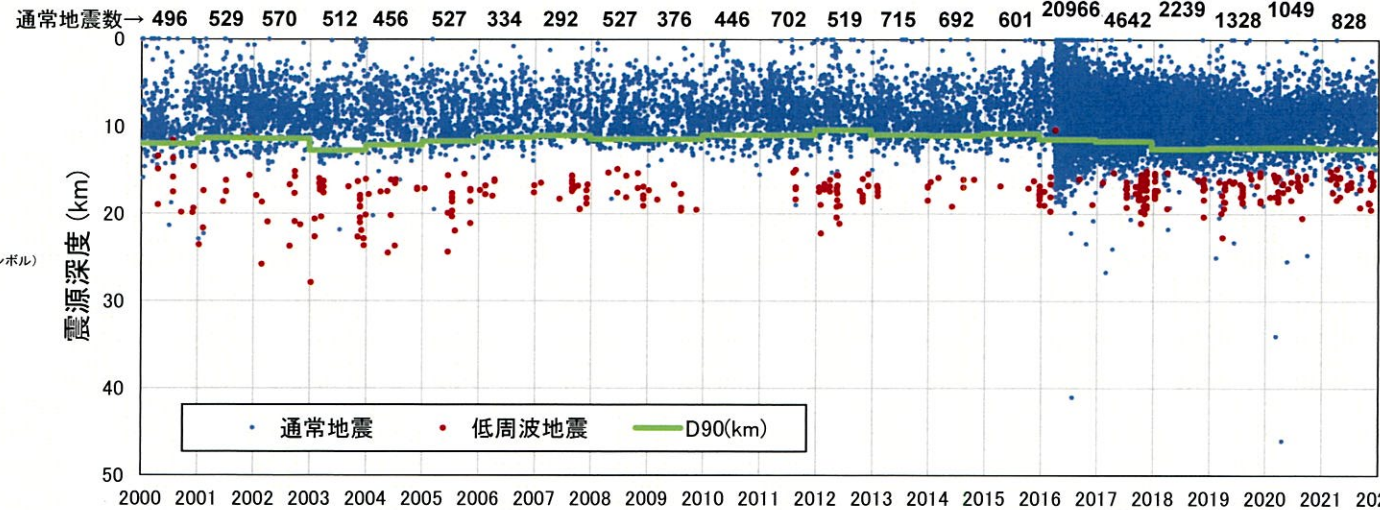
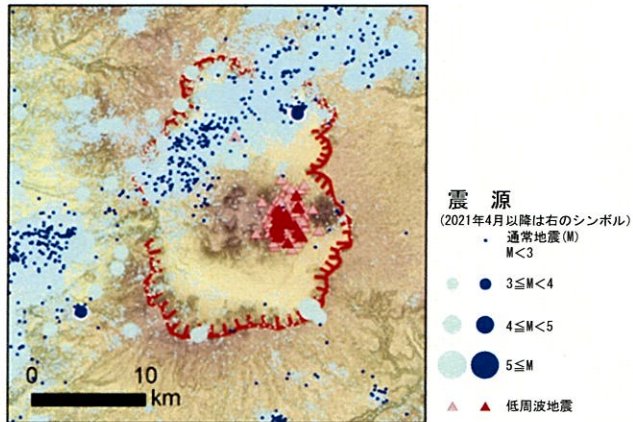
キュリー一点法調査とは、岩石が磁性を失う温度(キュリー一点温度)に達する深度(キュリー一点深度)を通常の中気磁気データから求め、地下の広域的な熱構造を把握するものである。

キュリー一点温度は岩石が含有する最も一般的な強磁性鉱物である磁鉄鉱のキュリー一点温度(約580℃)にほぼ支配されると考えられる。

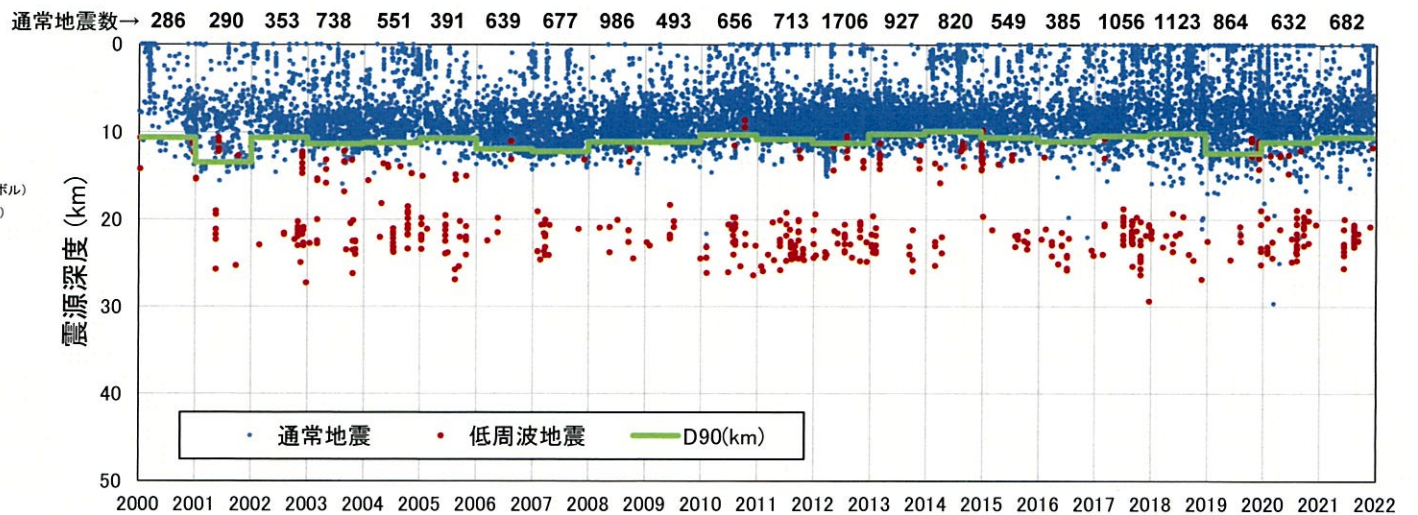
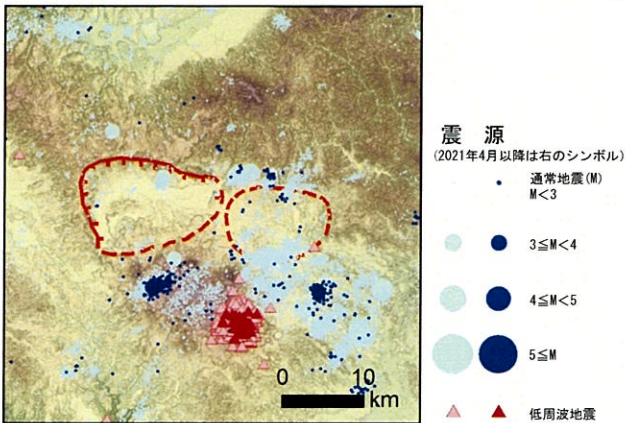
5. 地下深部の熱活動の観測手法に関する検討[D90の時系列変化]

- 間接的に地下の熱的状态が把握可能と考えられるD90の時系列変化を整理した。
- 阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラのD90は概ね10km付近を示している。

阿蘇カルデラの震源分布



加久藤・小林カルデラの震源分布



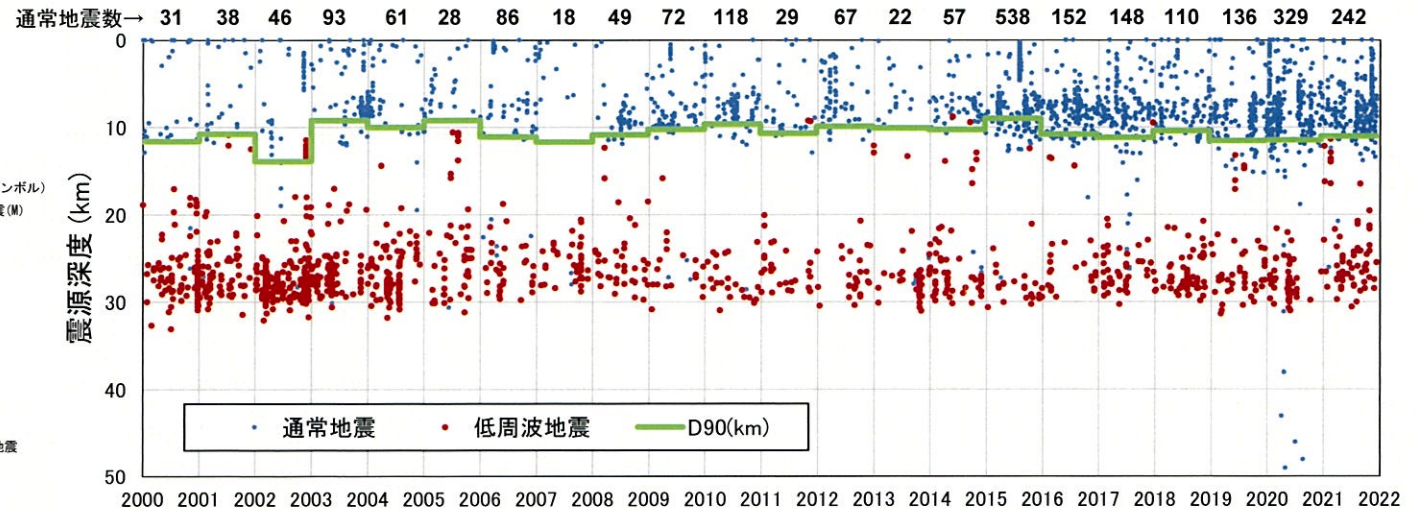
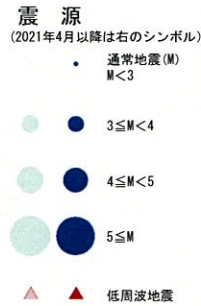
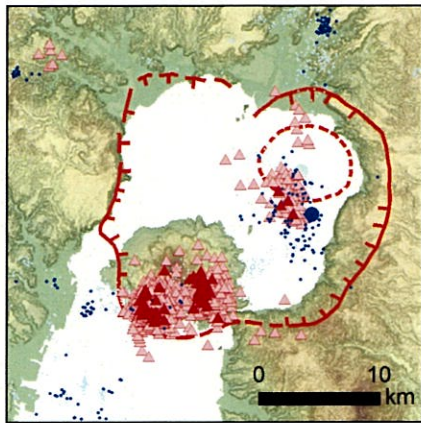
- ※1 震源は左図内のものを使用
- ※2 D90: 地殻内で起こる総地震数の90% (地表から深部に向かう方向における累積地震数) が入る深さ
- ※3 グラフ上の数値はその年に発生した通常地震の数

地震の震源深度とD90の時系列変化(上:阿蘇カルデラ、下:加久藤・小林カルデラ)

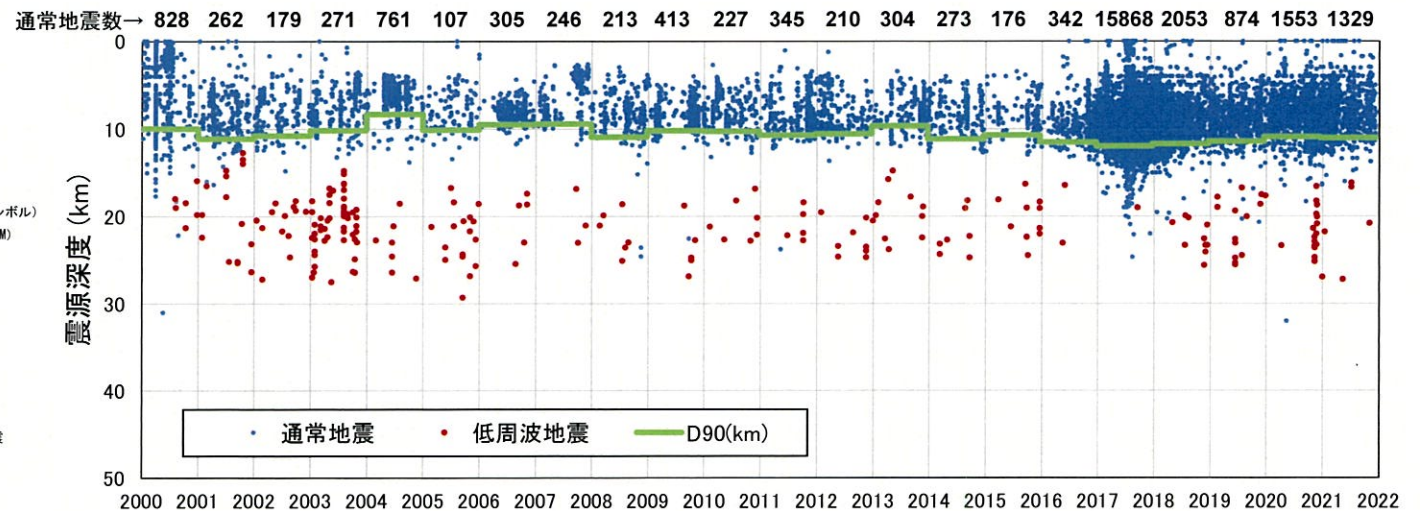
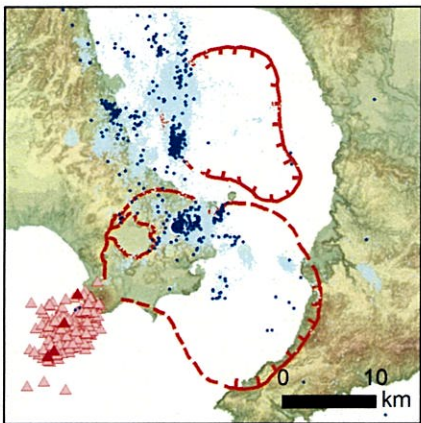
5. 地下深部の熱活動の観測手法に関する検討[D90の時系列変化]

- 始良カルデラ、阿多カルデラのD90は概ね10km付近を示している。

始良カルデラの震源分布



阿多カルデラの震源分布



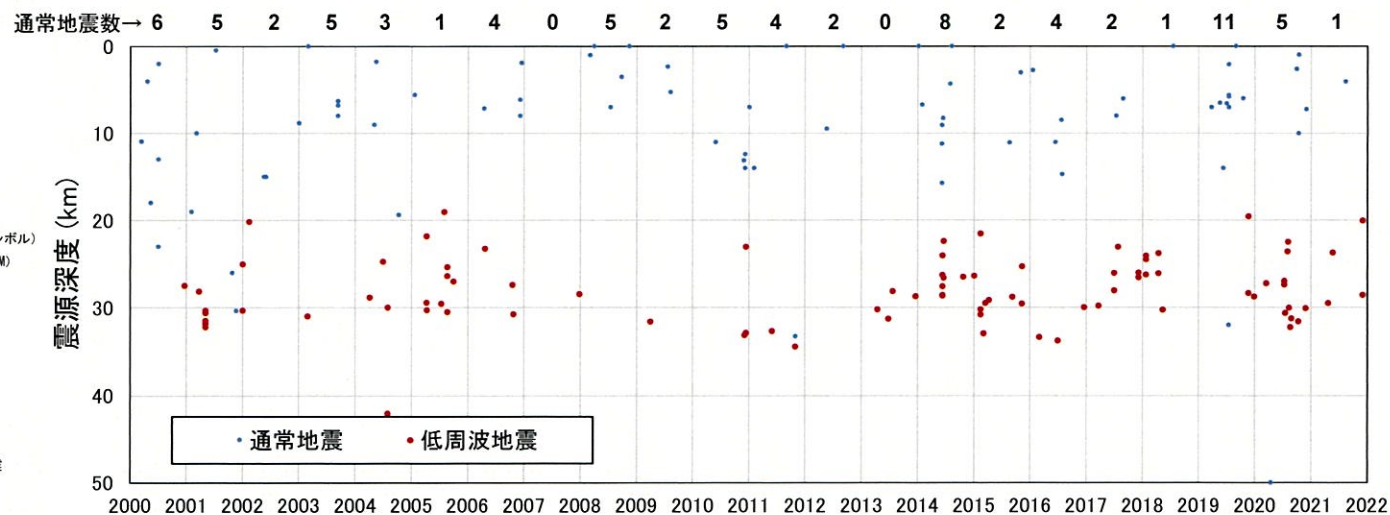
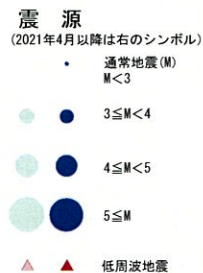
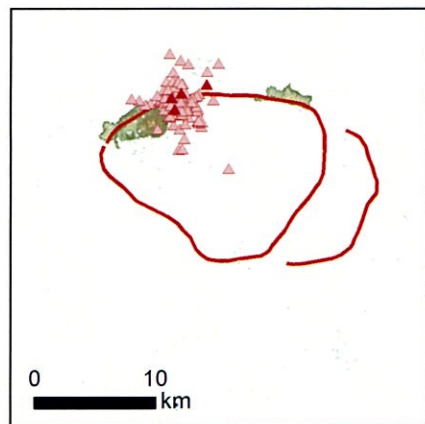
- ※1 震源は左図内のものを使用
- ※2 D90: 地殻内で起こる総地震数の90% (地表から深部に向かう方向における累積地震数) が入る深さ
- ※3 グラフ上の数値はその年に発生した通常地震の数

地震の震源深度とD90の時系列変化(上: 始良カルデラ、下: 阿多カルデラ)

5. 地下深部の熱活動の観測手法に関する検討[D90の時系列変化]

- 鬼界は地震発生数が少ない。

鬼界の震源分布

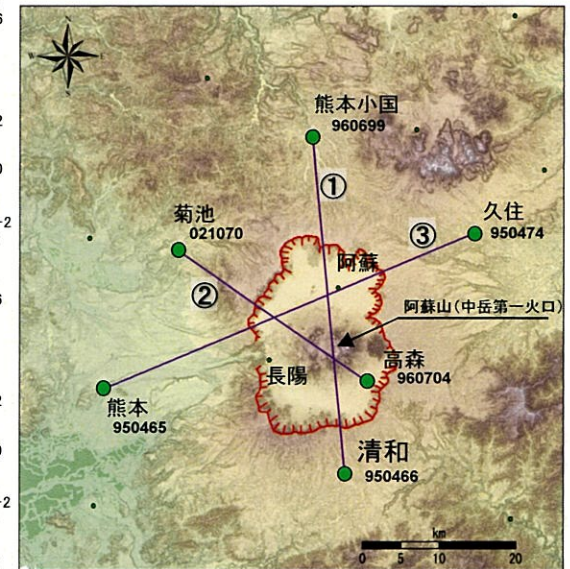
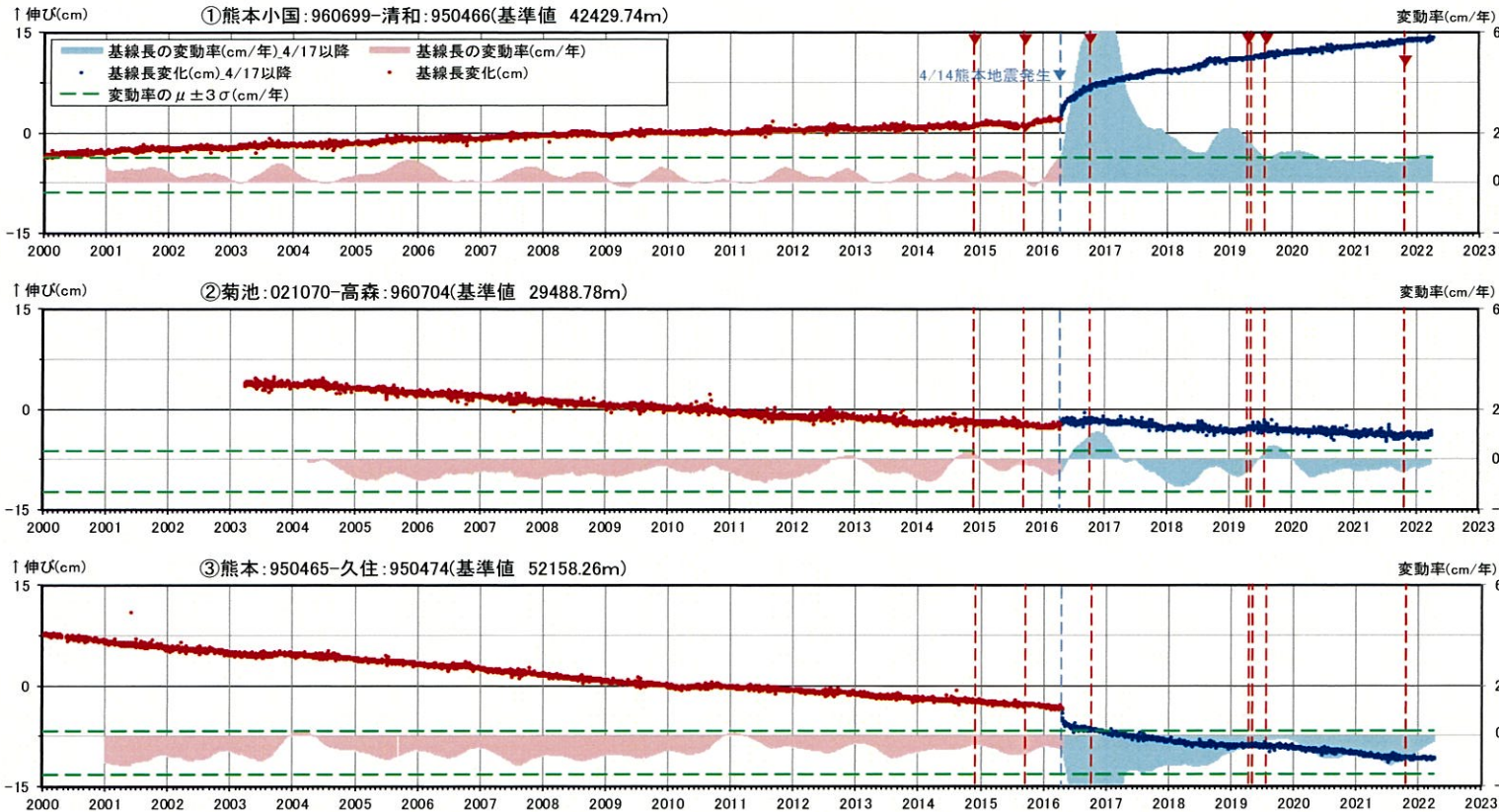


- ※1 震源は左図内のものを使用
- ※2 D90: 地殻内で起こる総地震数の90% (地表から深部に向かう方向における累積地震数) が入る深さ
- ※3 グラフ上の数値はその年に発生した通常地震の数

地震の震源深度とD90の時系列変化(鬼界)

6. 統計的整理に基づく評価 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

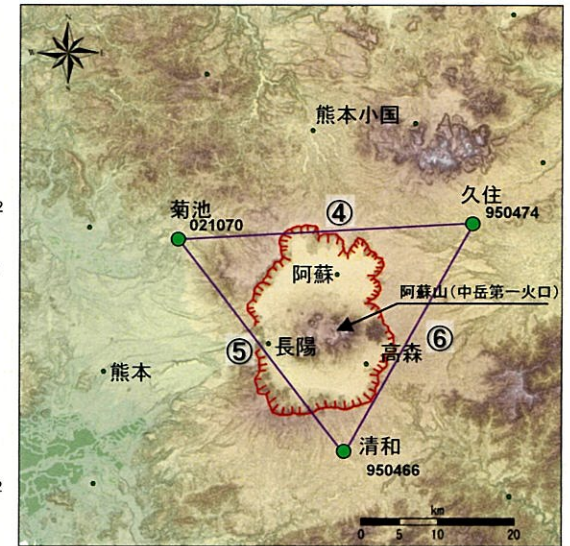
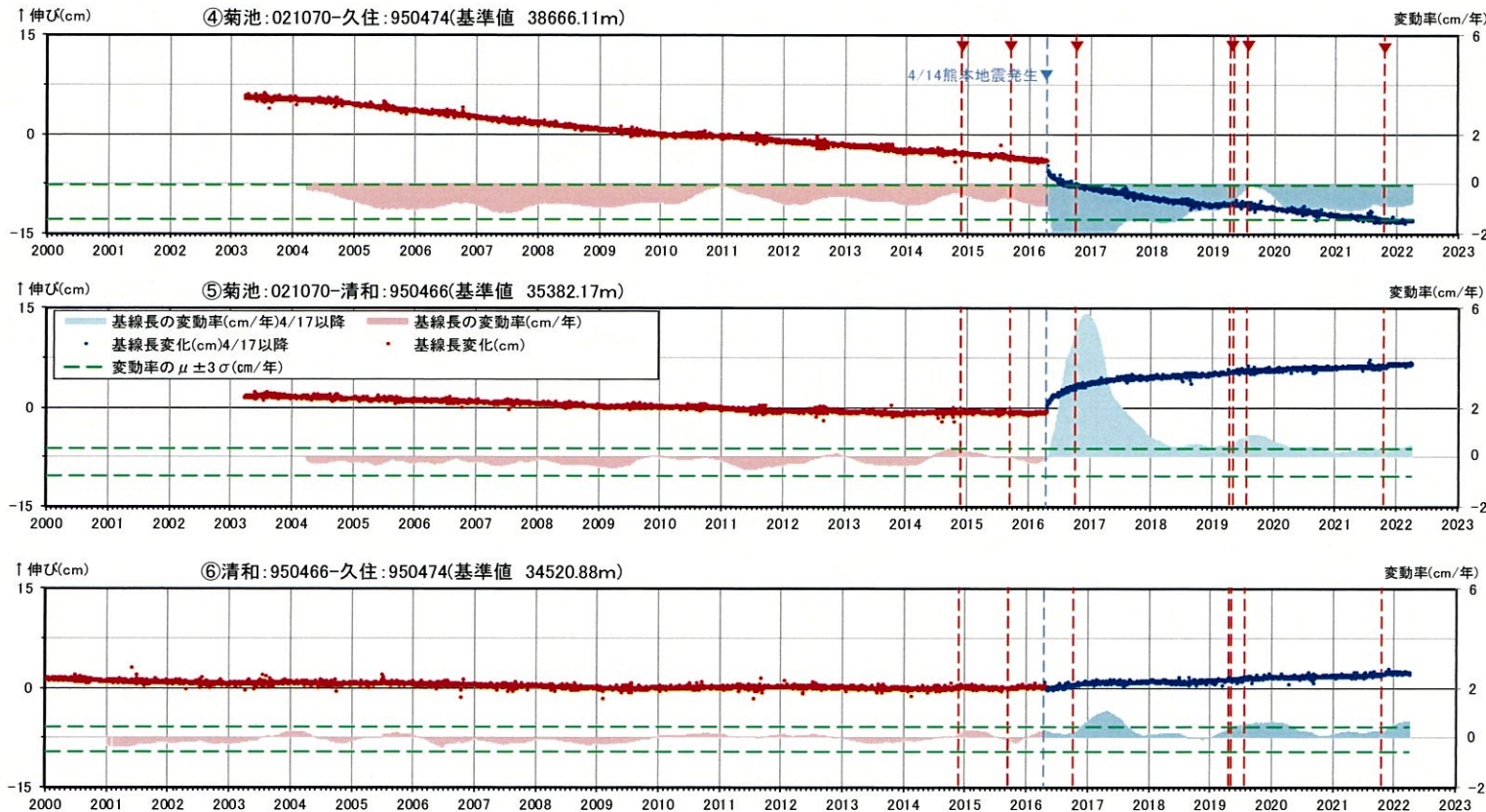
- 基線長変化について、統計学において誤差範囲として用いられる「平均(μ) $\pm 3\sigma$ 」と、2021年度の観測結果との比較を行った。
- 2021年度の阿蘇カルデラの基線①(熊本小国-清和)、⑤(菊池-清和)、⑥(清和-久住)において $+3\sigma$ を超える基線長変動率が見られる原因は、熊本地震の余効変動が残っていることが可能性として考えられる。



- 国土地理院のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は主な噴火

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)

6. 統計的整理に基づく評価 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

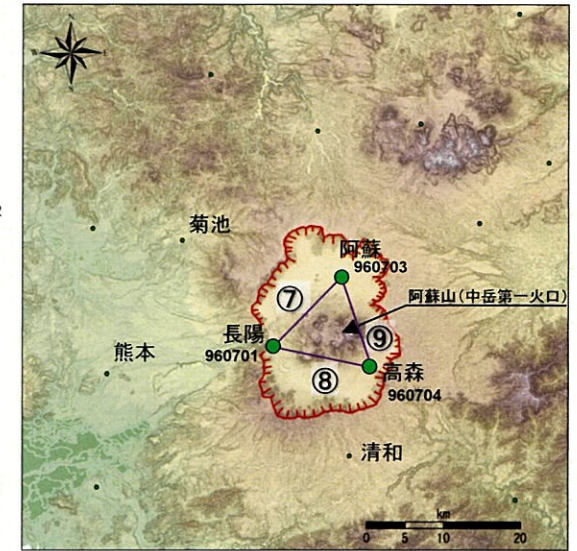
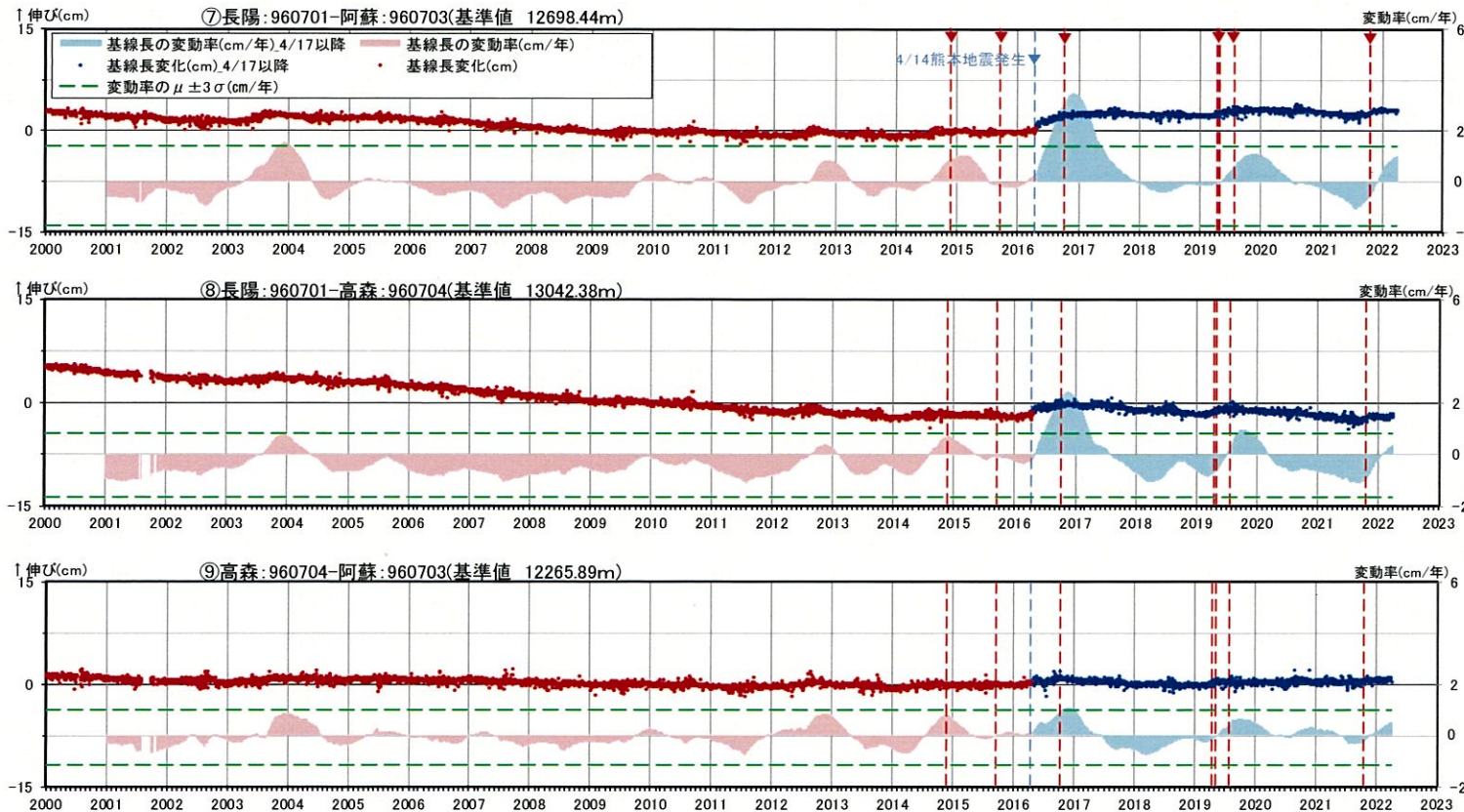


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は主な噴火

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)

6. 統計的整理に基づく評価 阿蘇カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

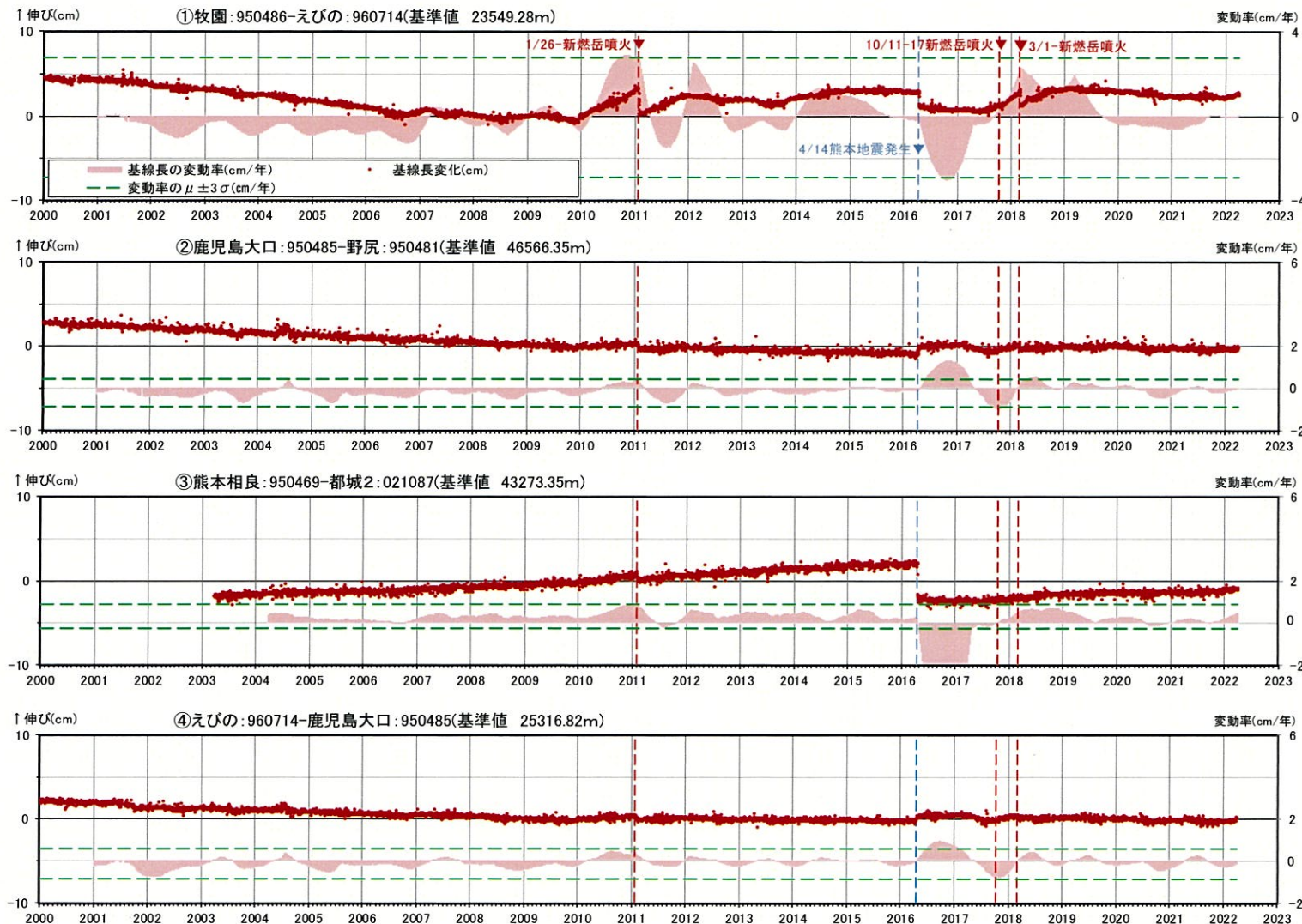


- 国土地理院のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は主な噴火

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)

6. 統計的整理に基づく評価 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

・ 2021年度の加久藤・小林カルデラの基線⑦(熊本水上-鹿児島大口)において -3σ を下回る基線長変動率が見られる原因は、熊本地震の余効変動が残っていることが可能性として考えられる。

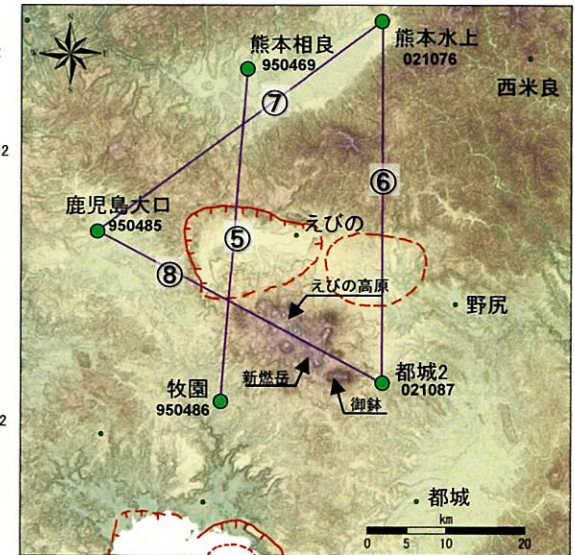
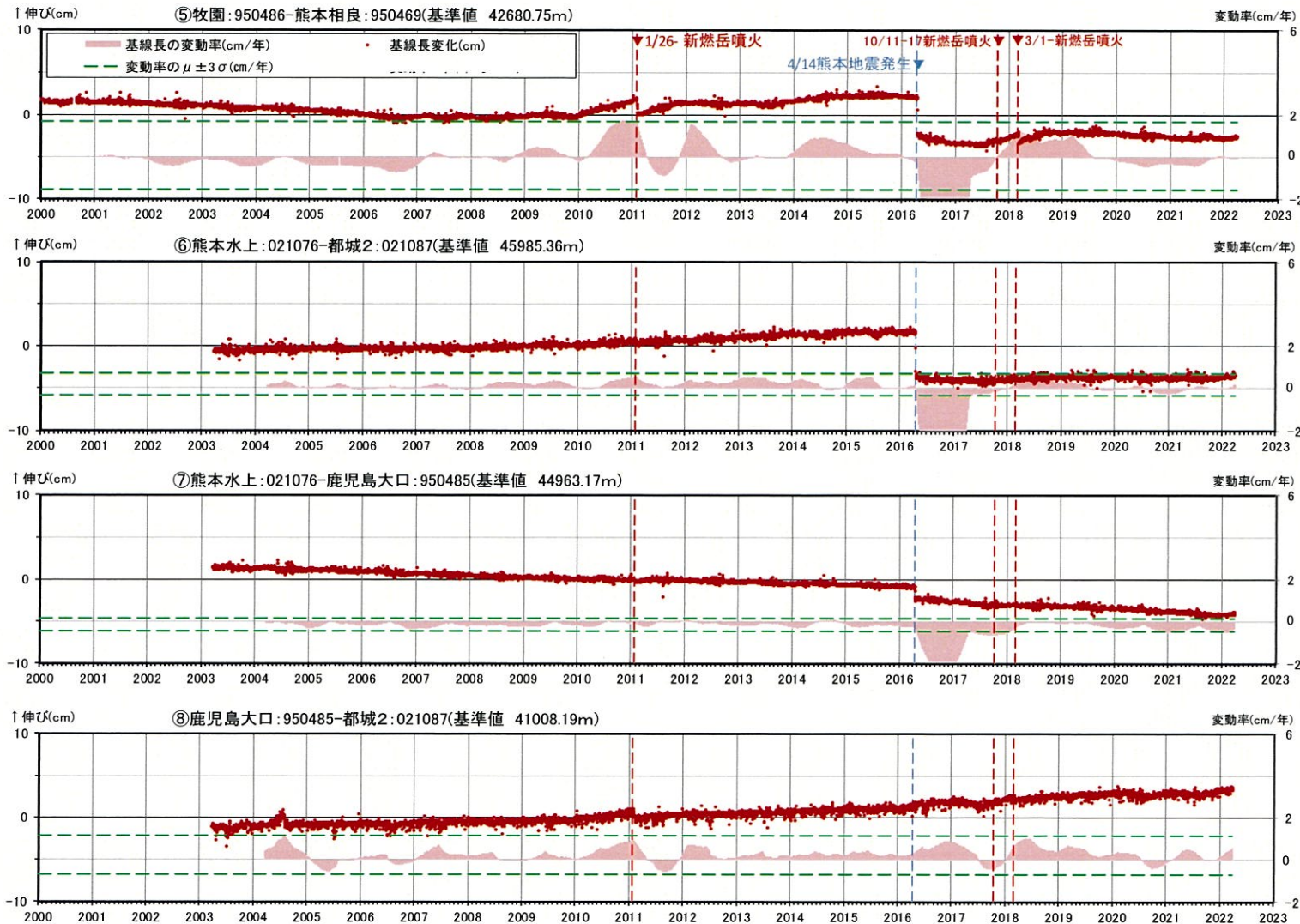


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線①~④の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

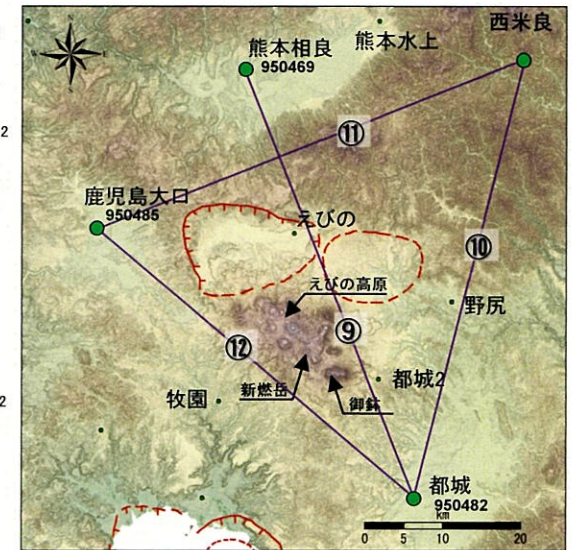
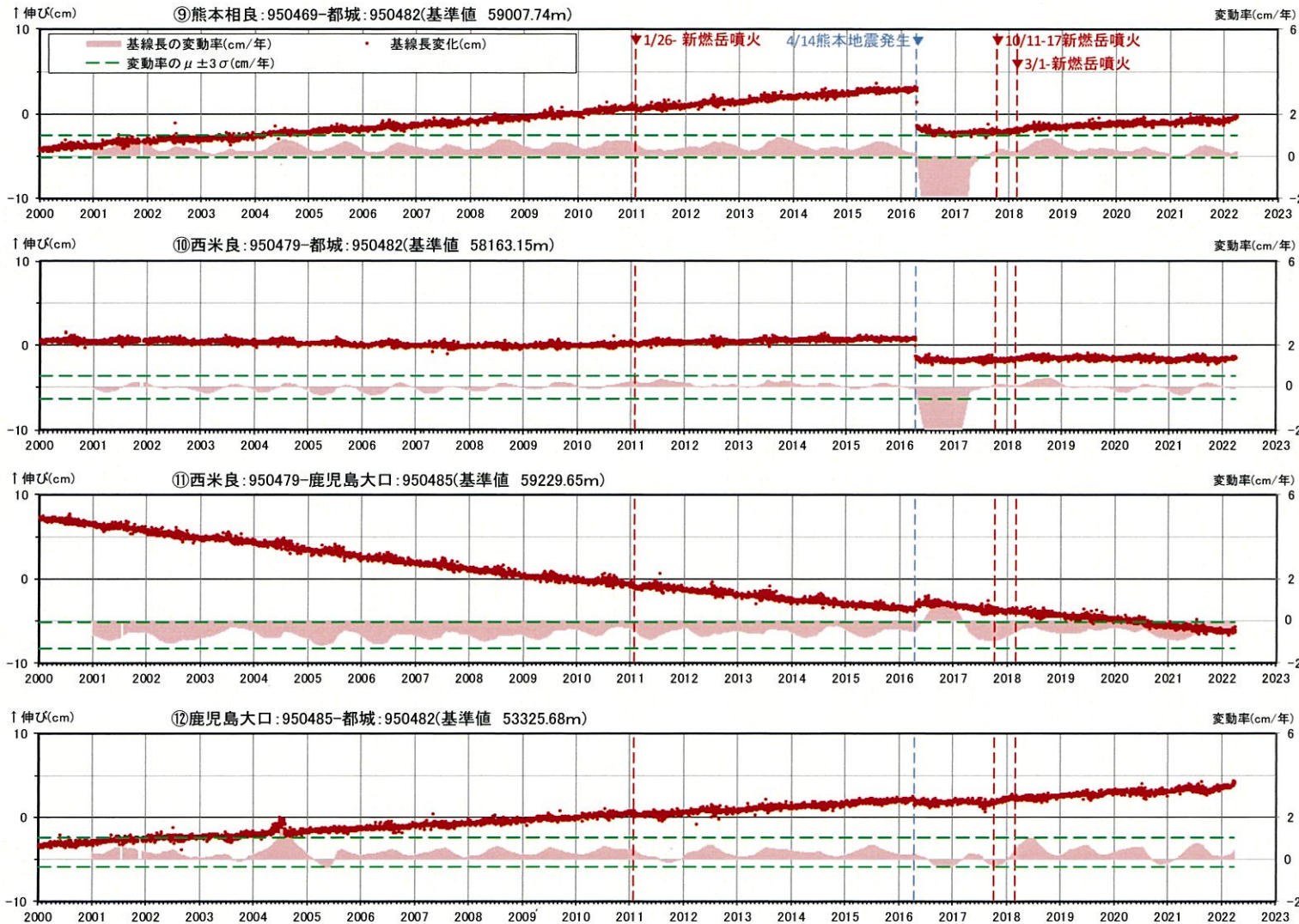


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線⑤~⑧の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 加久藤・小林カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

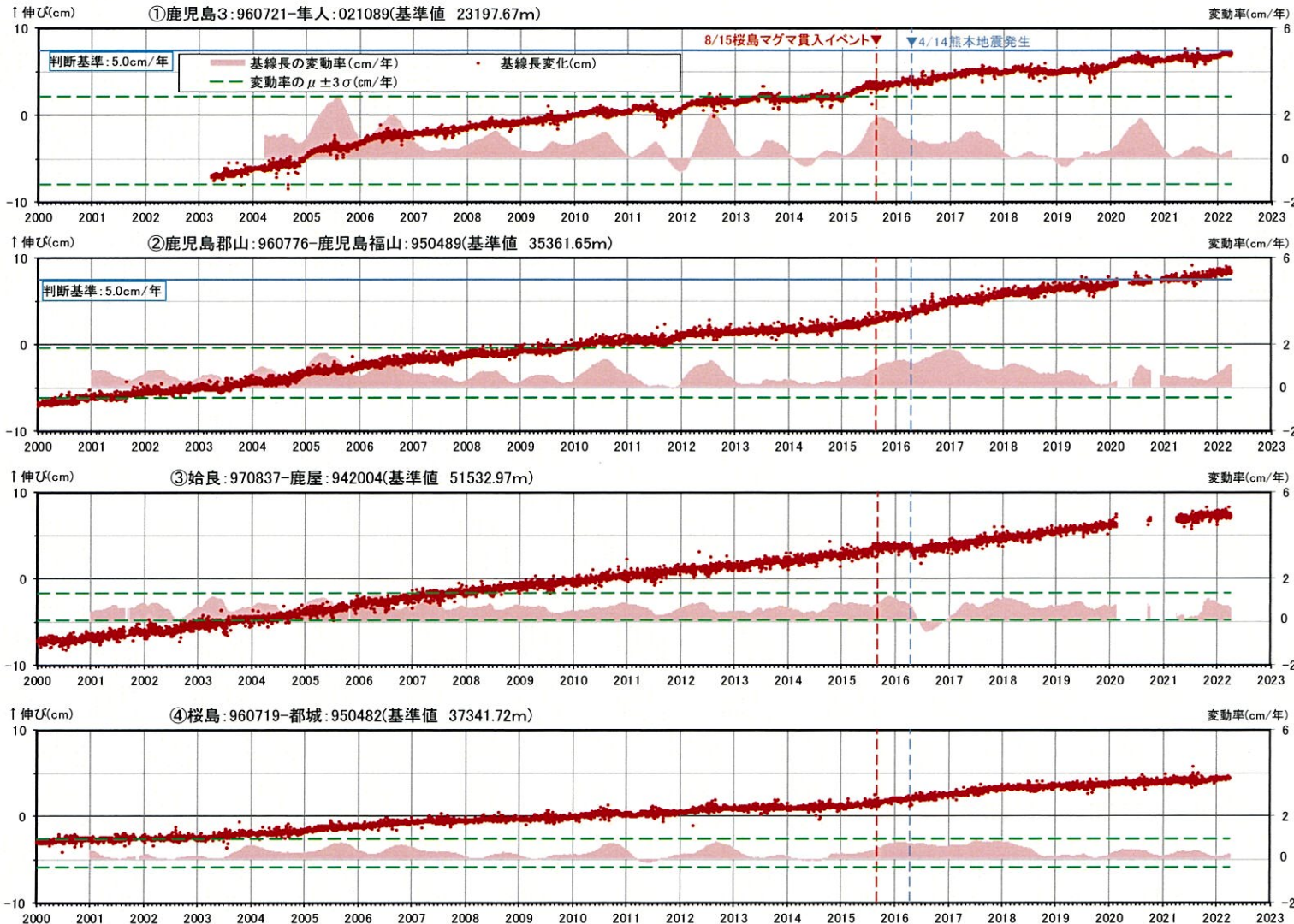


- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線⑨~⑫の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

・ 2021年度の始良カルデラの基線②(吉野-始良) においては基線長変動率が -3σ を下回るものの、観測データが少なく、始良においては周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪い期間もあるため、今後の経過を確認していく。



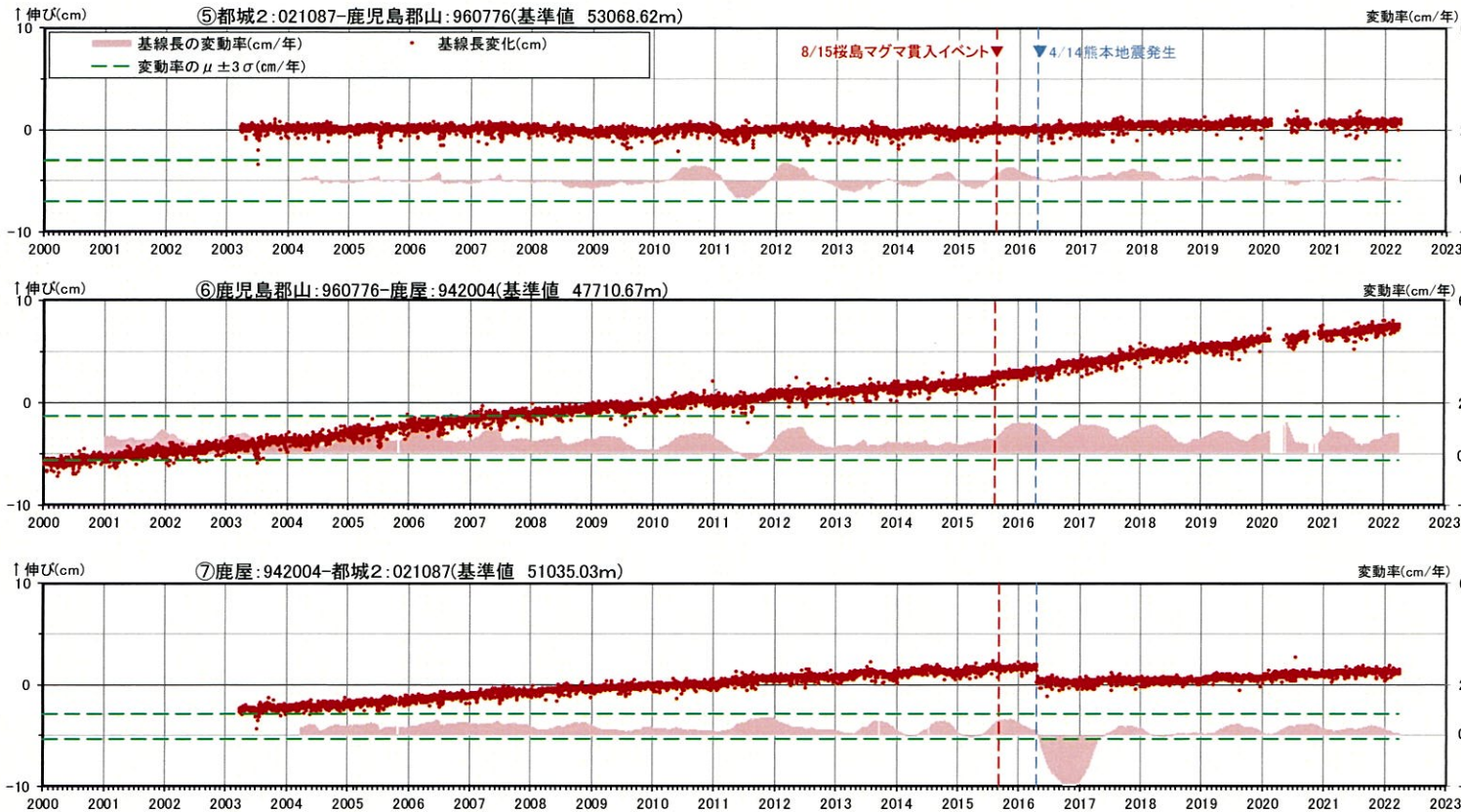
基線①～④の時系列変化



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 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、国土地理院のF5解析から頻繁に除外されている
- ※4 熊本地震の影響が残っていると考えられる始良、都城、隼人を含む基線①、③、④では、熊本地震発生以前(算出開始日～2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※5 基線②では2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



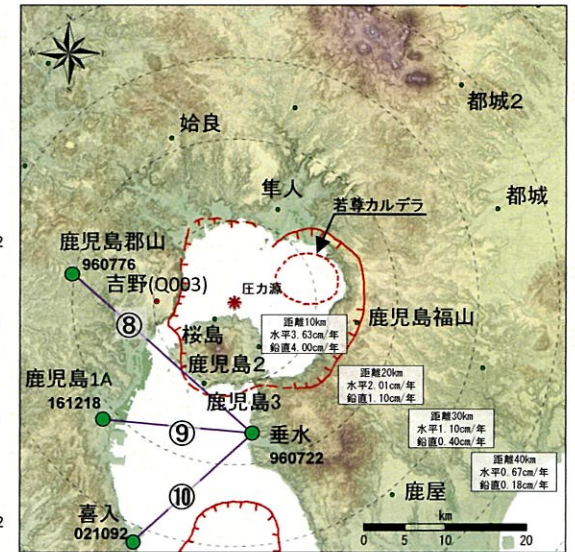
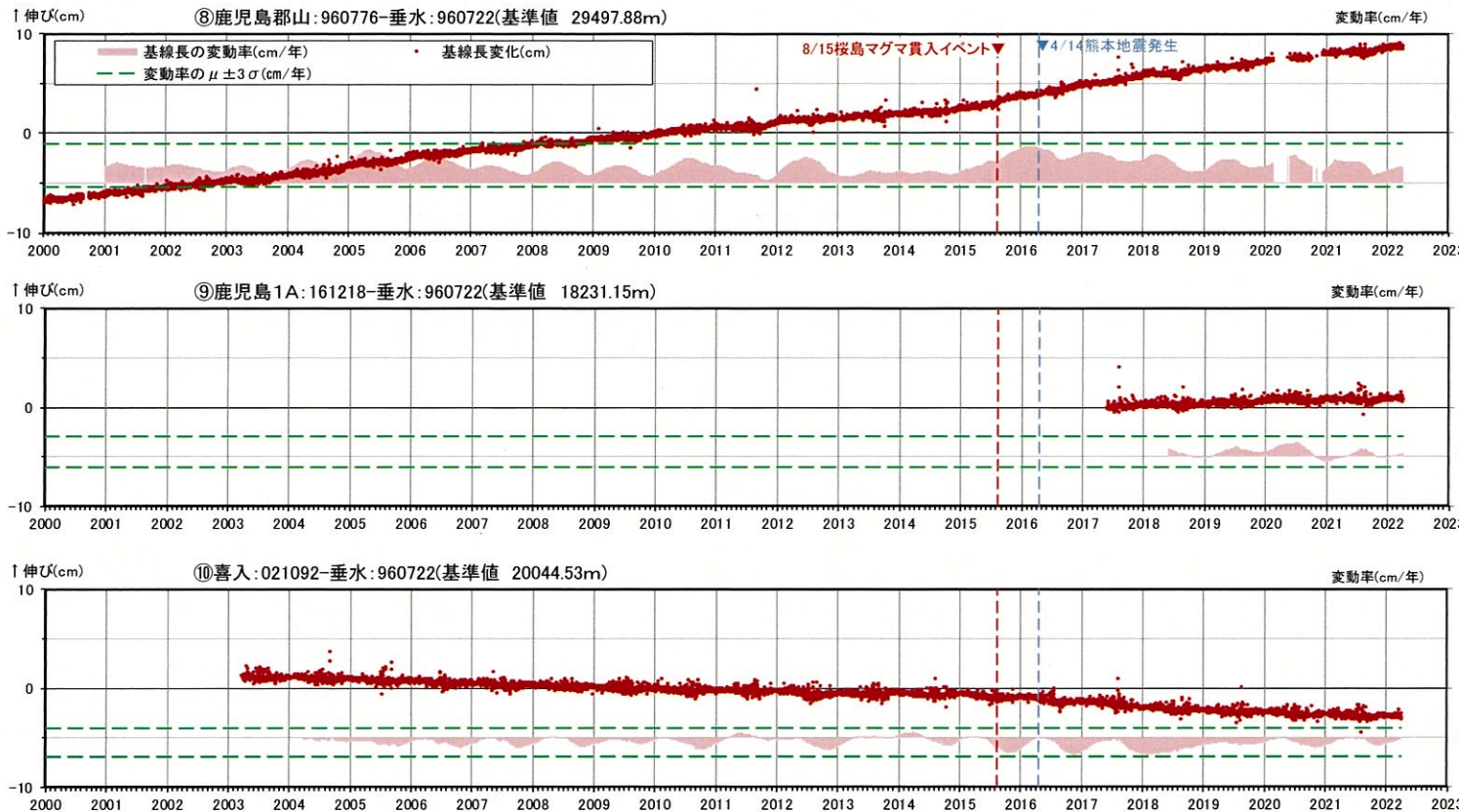
基線⑤～⑦の時系列変化



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 960776(鹿児島郡山)は周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪いため、国土地理院のF5解析から煩雑に除外されている
- ※4 熊本地震の影響が残っていると考えられる都城2を含む基線⑤、⑦では、熊本地震発生以前(算出開始日～2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※5 基線⑥では2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

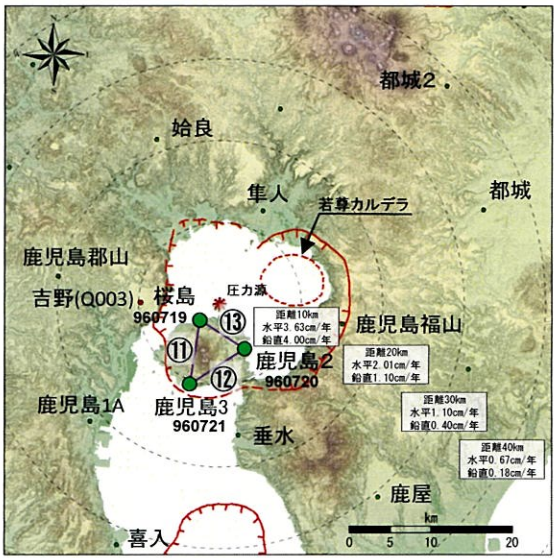
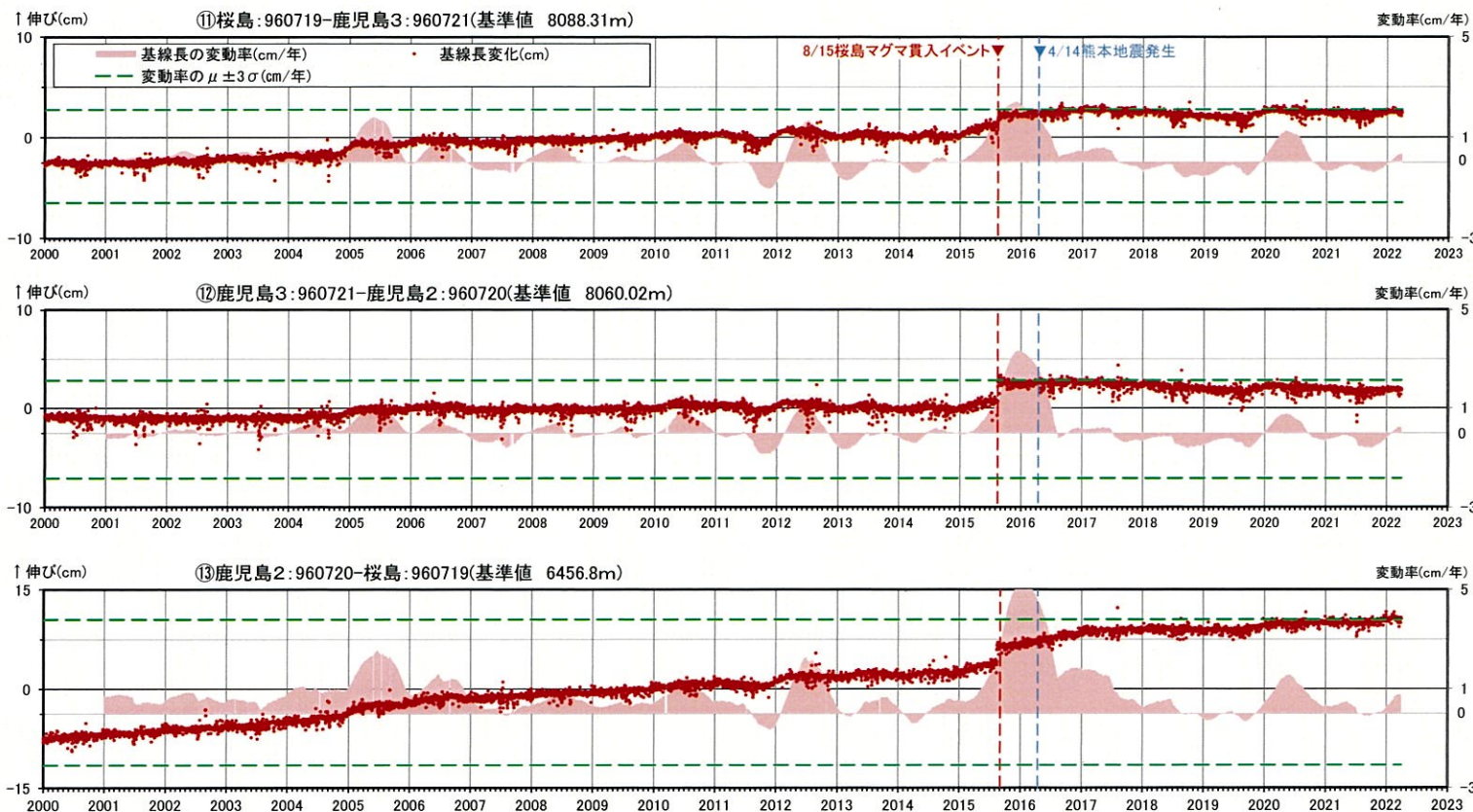


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示。基線⑨は2017年5月24日を基準日としている。
- ※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)は周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪いため、国土地理院のF5解析から頻繁に除外されている
- ※4 基線⑧、⑩では2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※5 基線⑨では観測開始から2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線⑧～⑩の時系列変化

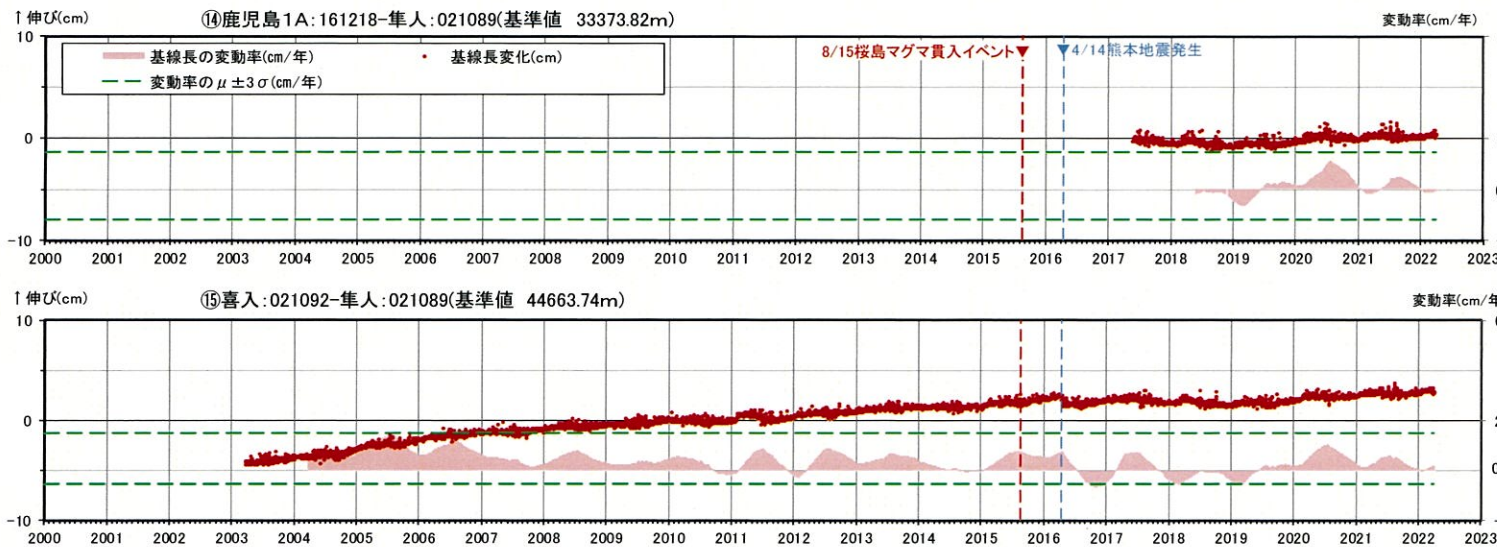
6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



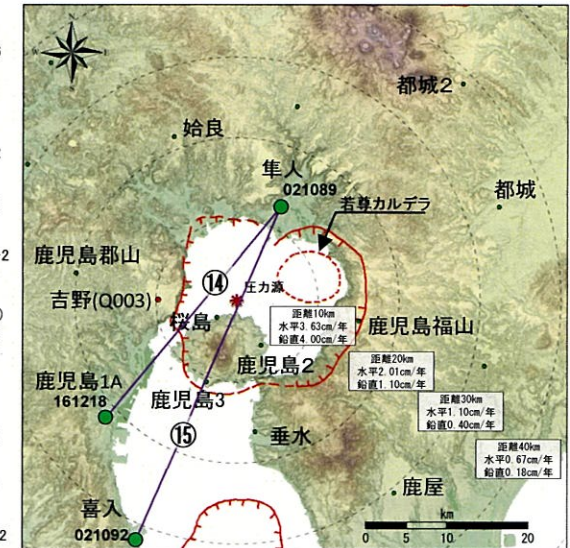
- 国土地理院のGNSS観測点
 - 九州電力のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 基線①、②、③では観測開始から2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線①~③の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



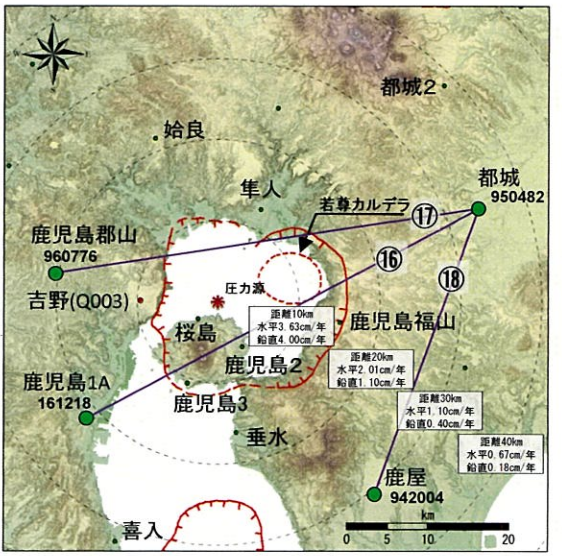
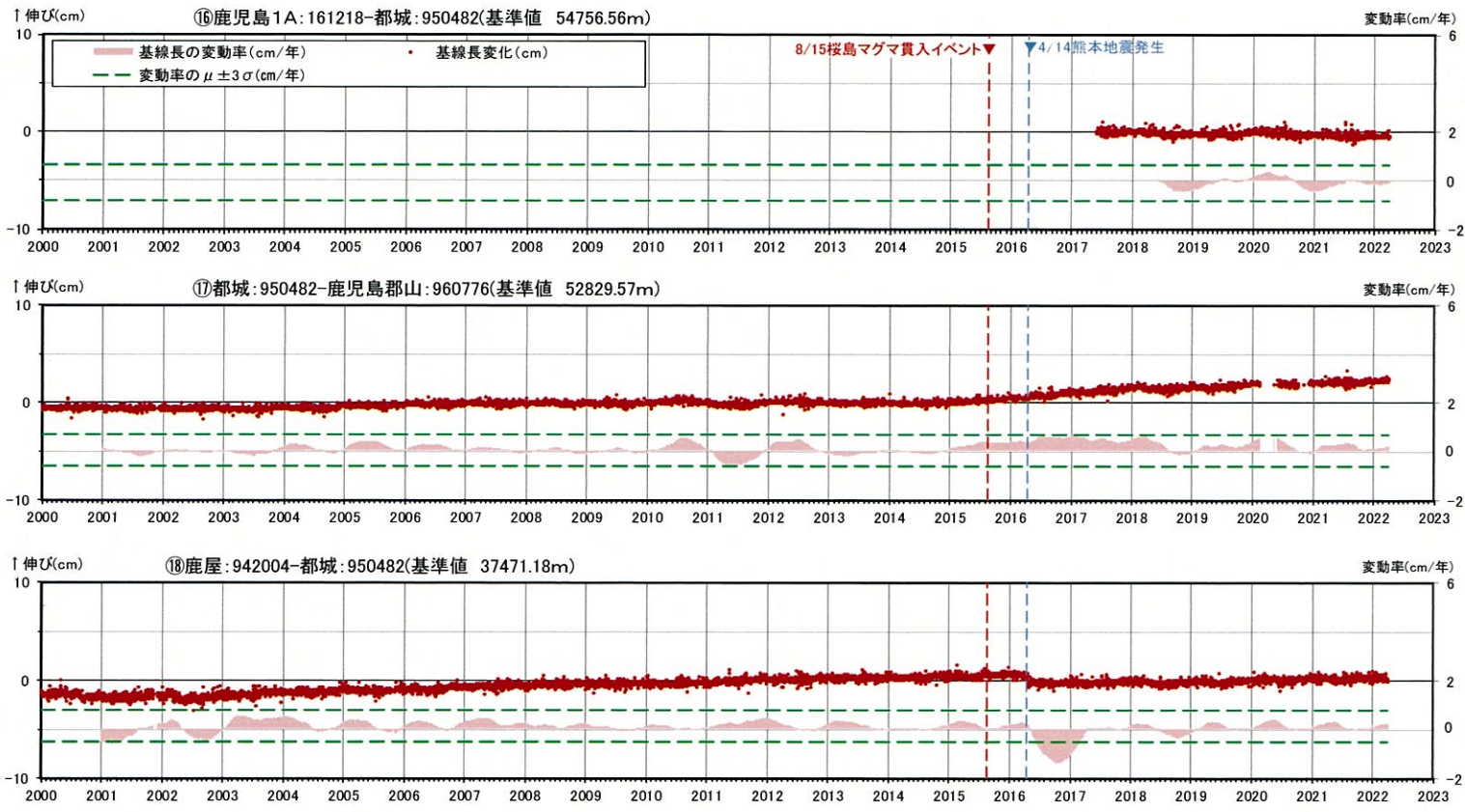
基線⑭～⑮の時系列変化



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示。基線⑭は2017年5月24日を基準日としている。
- ※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 基線⑭では観測開始から2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 熊本地震の影響が残っていると考えられる隼人を含む基線⑮では、熊本地震発生以前(算出開始日～2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

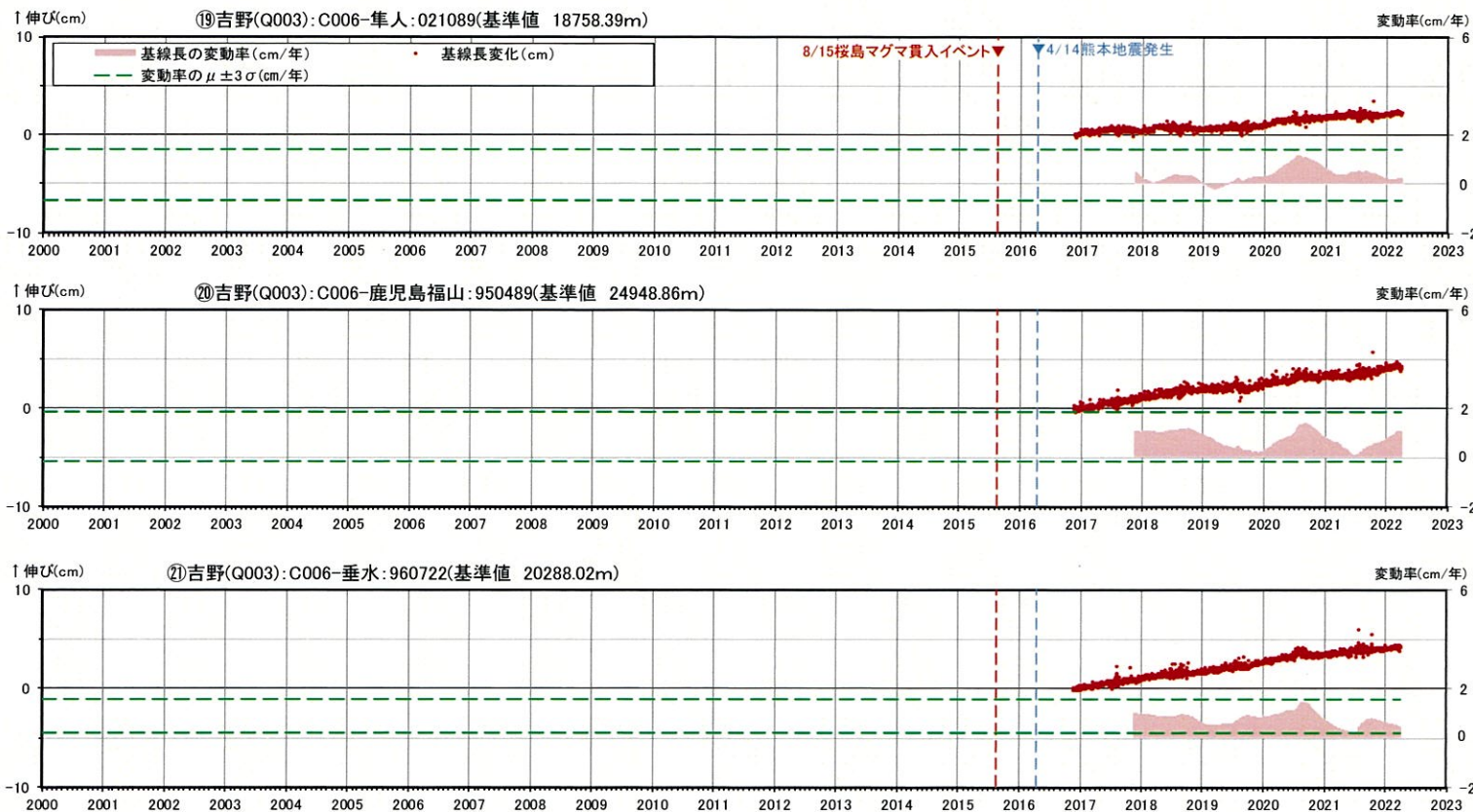
6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



- 国土地理院のGNSS観測点
 - 九州電力のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示。基線⑬は2017年5月24日を基準日としている。
- ※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 基線⑬では観測開始から2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 熊本地震の影響が残っていると考えられる都城を含む基線⑭、⑮では、熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線⑬~⑮の時系列変化

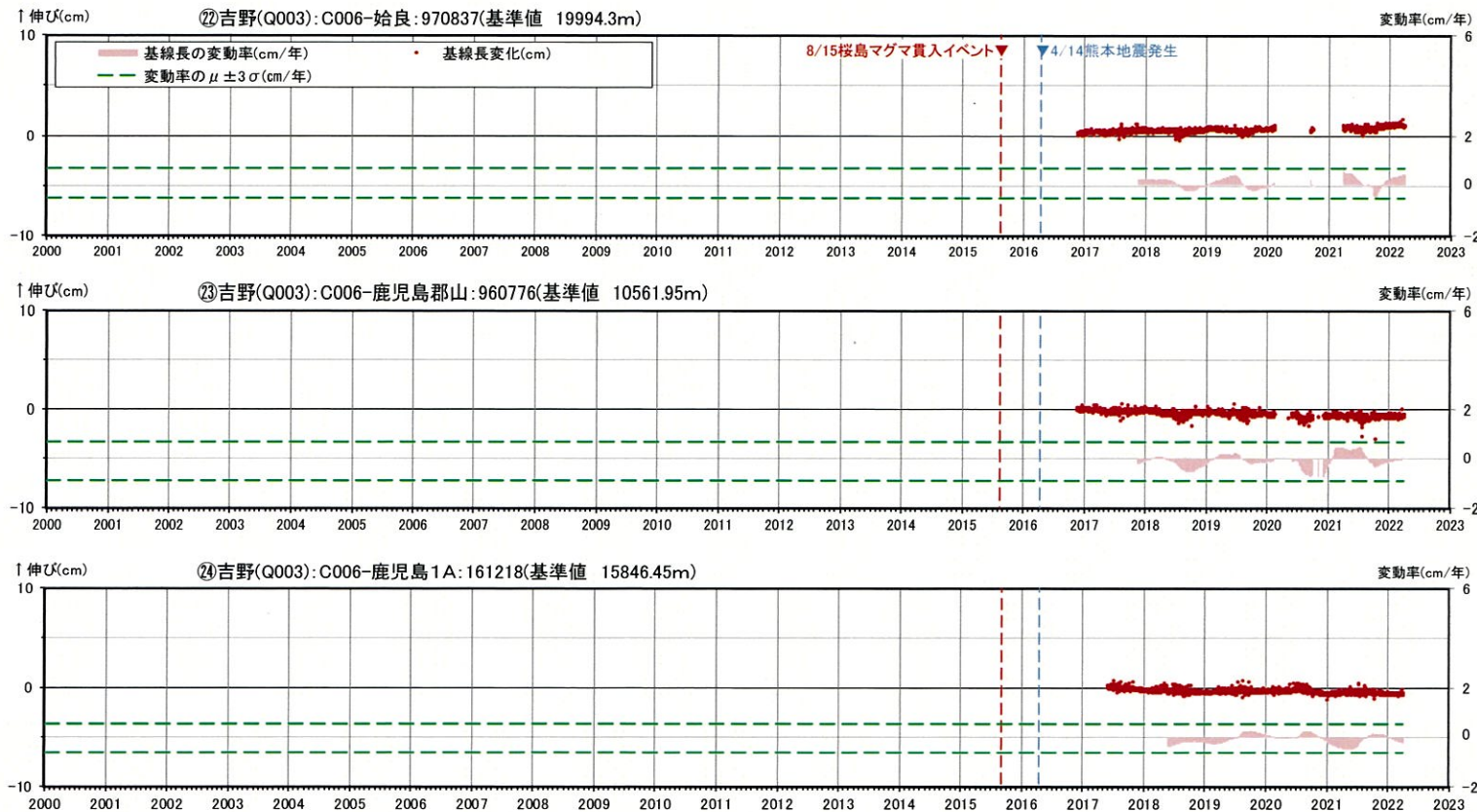
6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



- 国土地理院のGNSS観測点
 - 九州電力のGNSS観測点
- ※1 2016年11月17日を基準値とし、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 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線⑱~㉑の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



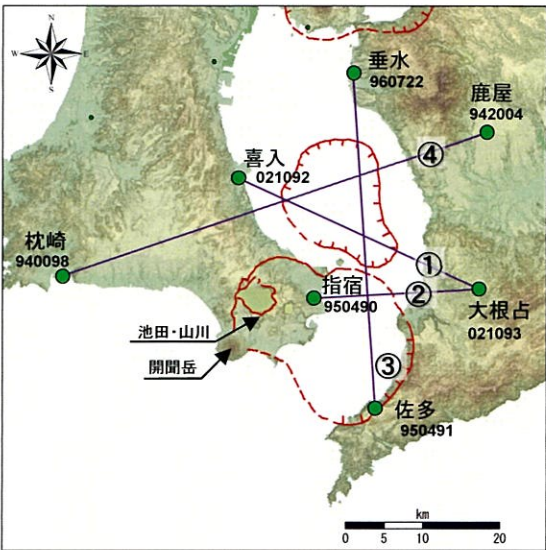
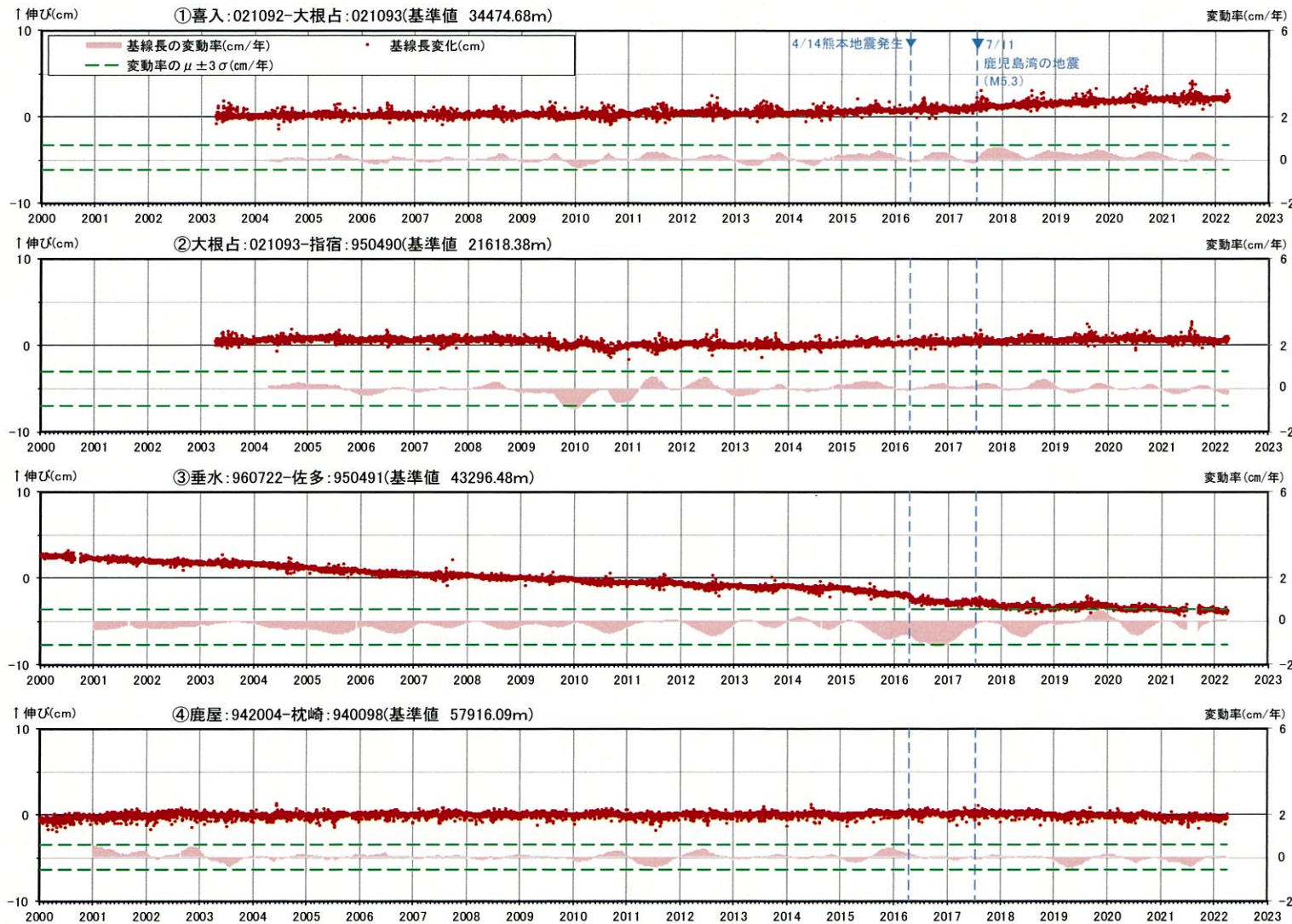
- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 2016年11月17日を基準値とし、基準値からの変化量を表示。基線②は2017年5月24日を基準日としている。
- ※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、国土地理院のF5解析から頻繁に除外されている
- ※4 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした

基線②~④の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

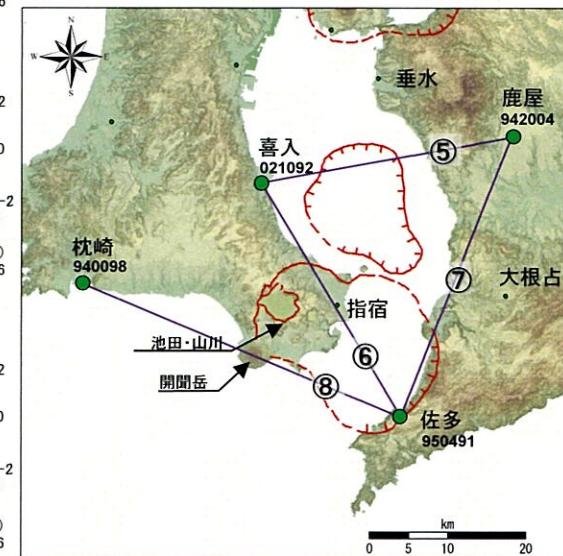
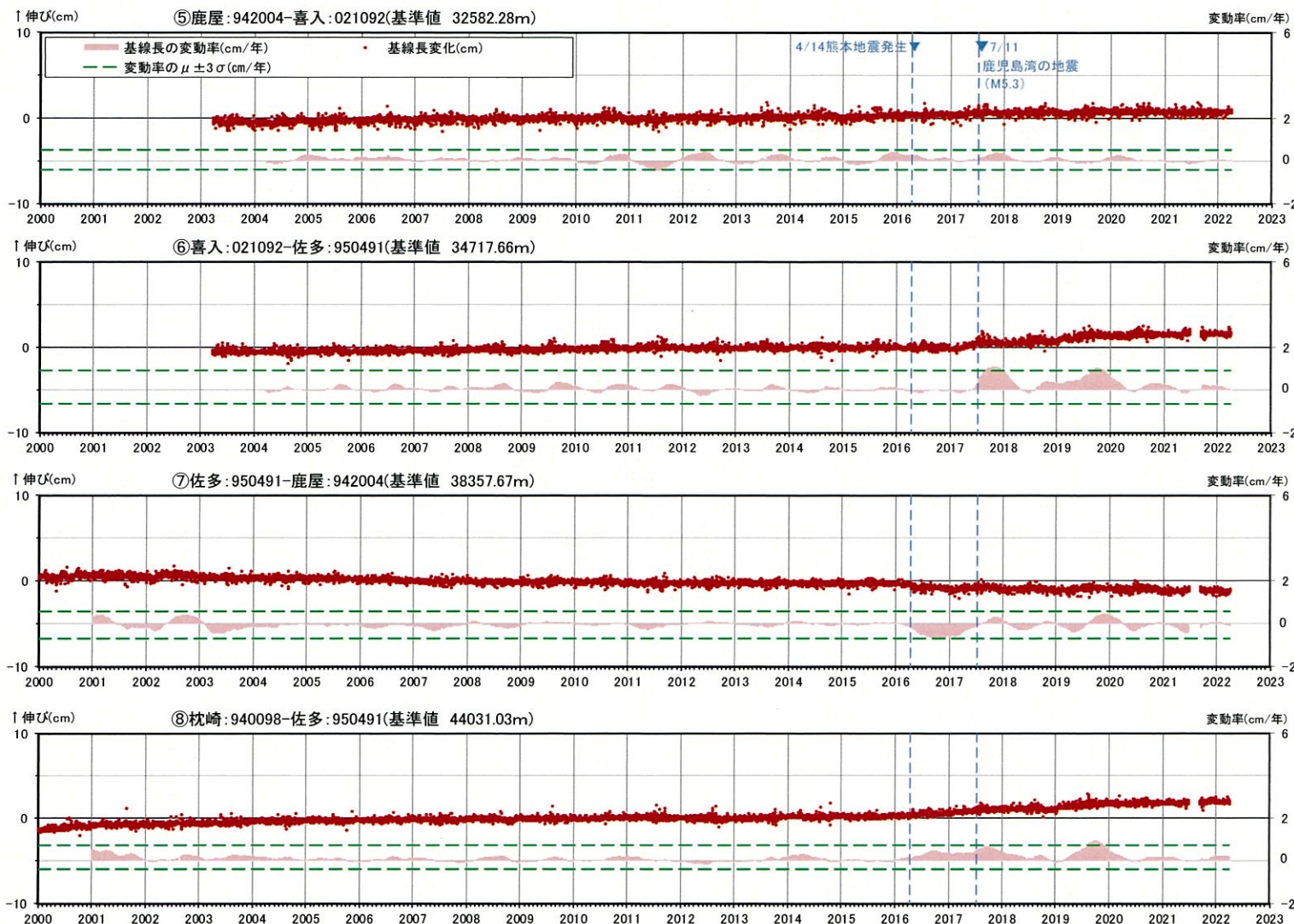
・ 2021年度の阿多カルデラにおいては、基線長変動率が $\pm 3\sigma$ を超える基線は無い。



- 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 2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開

基線①～④の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

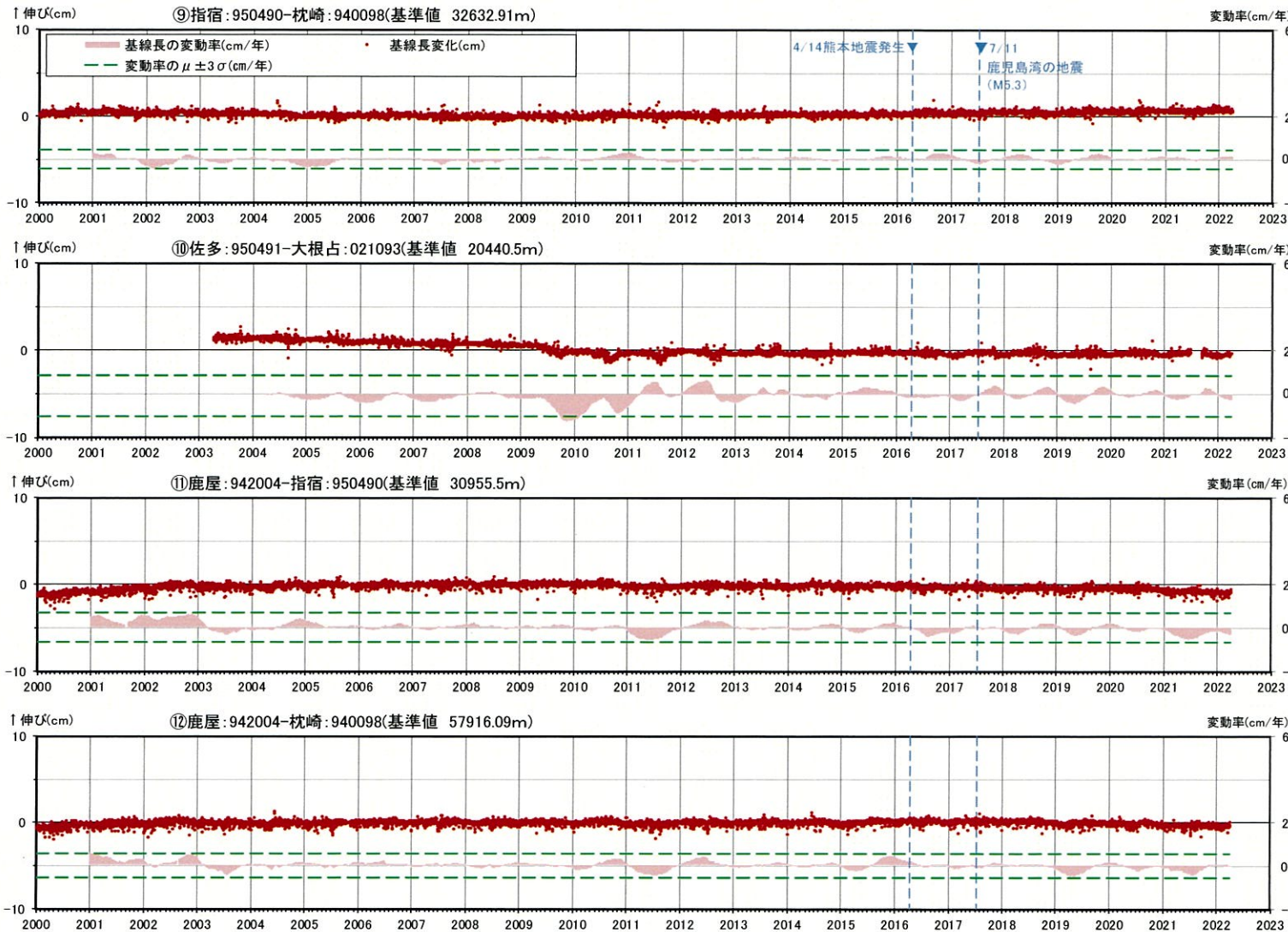


● 国土地理院のGNSS観測点

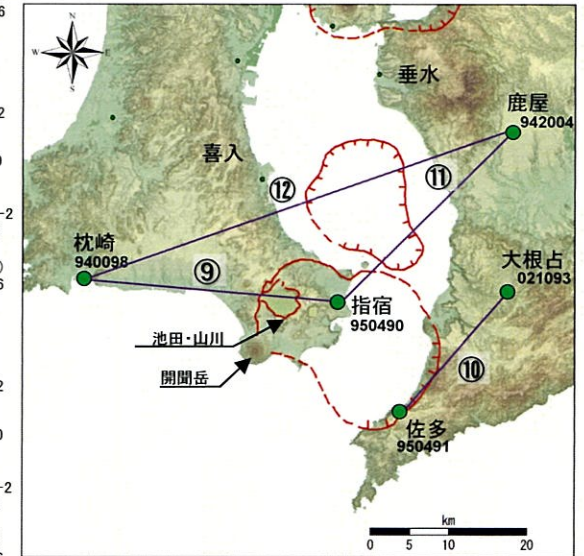
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開

基線⑤~⑧の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



基線⑨～⑫の時系列変化

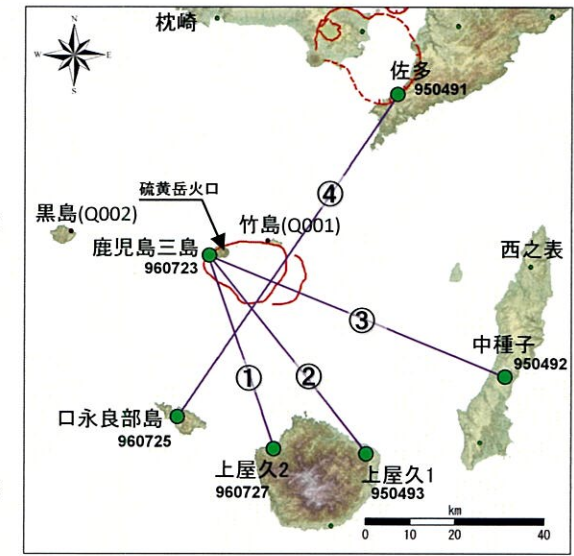
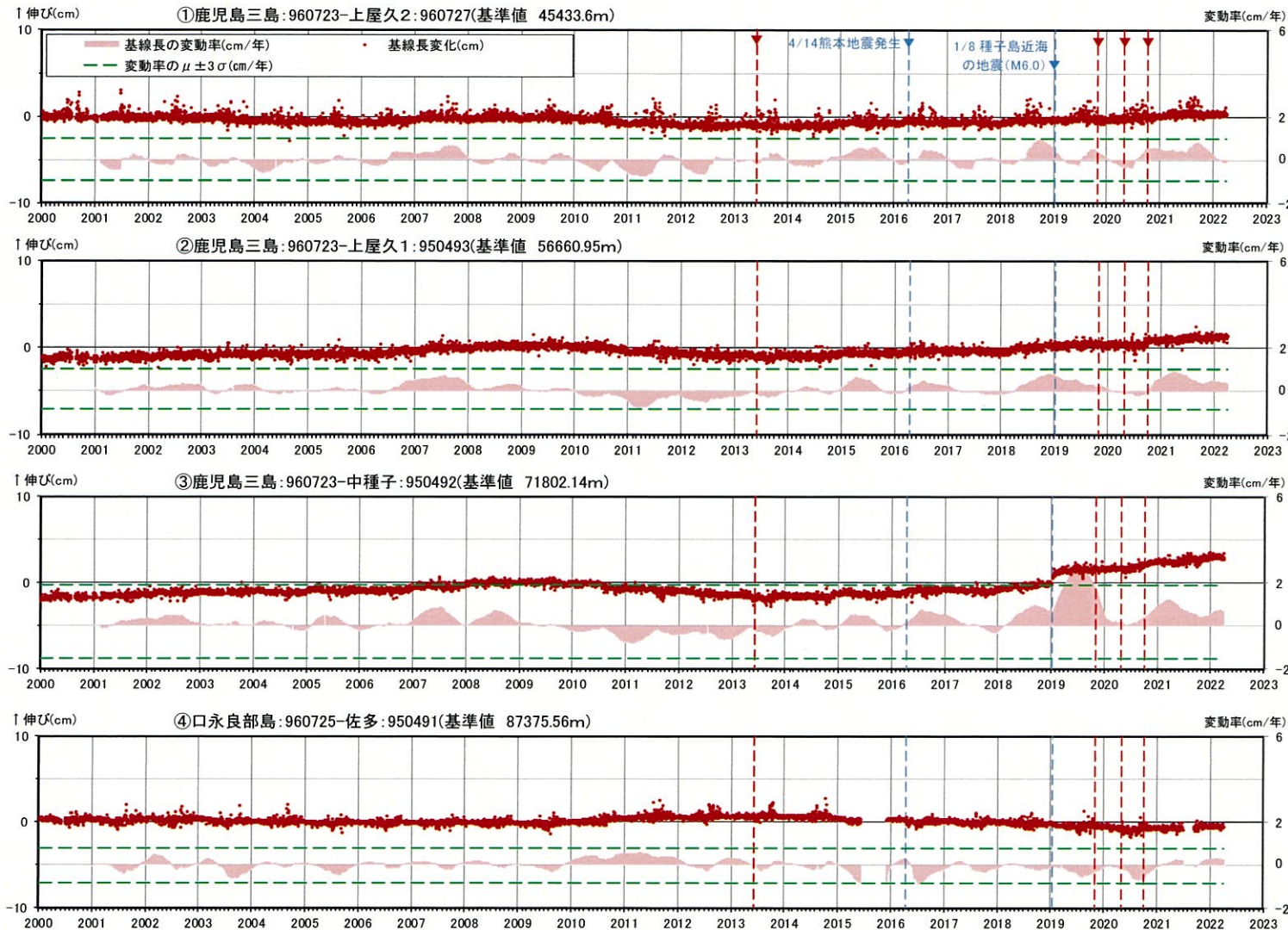


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開

6. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

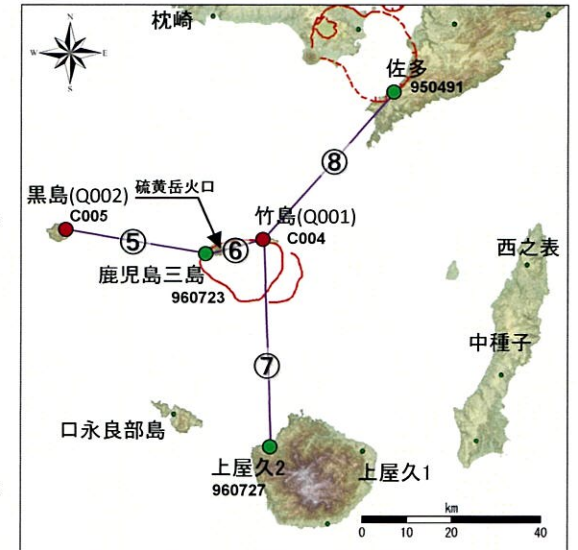
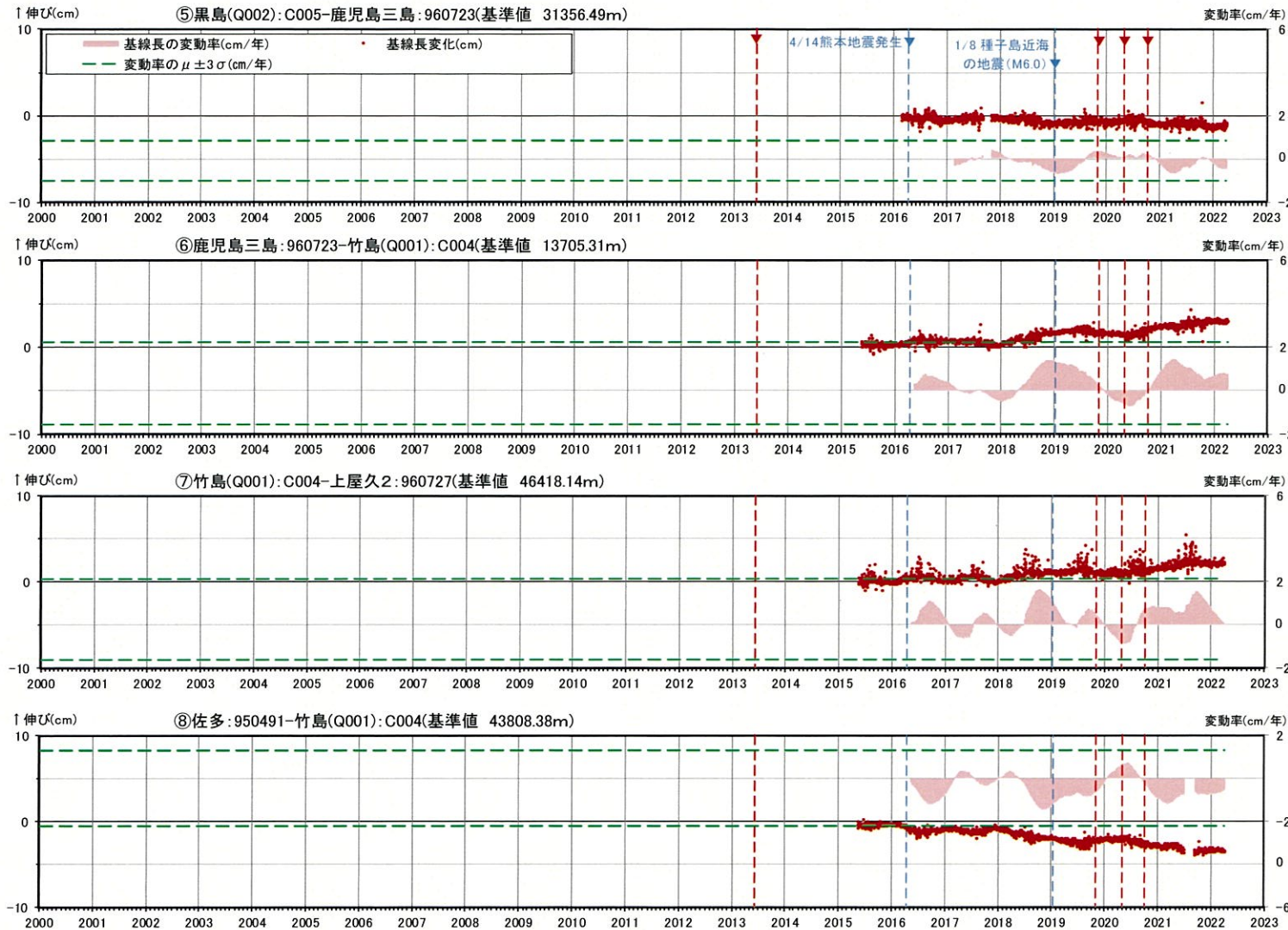
・ 2021年度の鬼界においては、基線長変動率が $\pm 3\sigma$ を超える基線は無い。



- 国土地理院のGNSS観測点
 - 九州電力のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 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
- ※5 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
- ※6 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線①~④の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

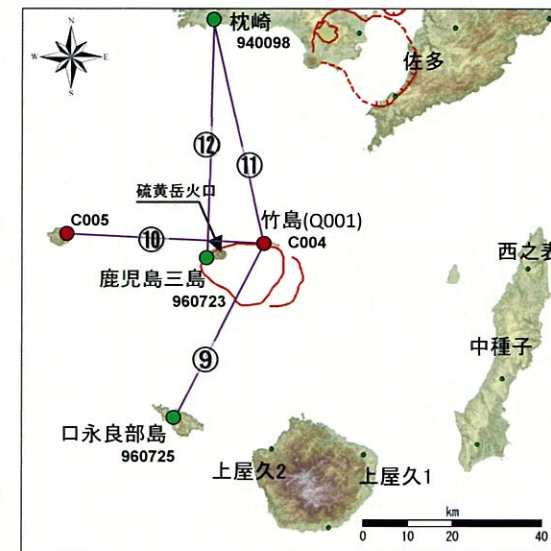
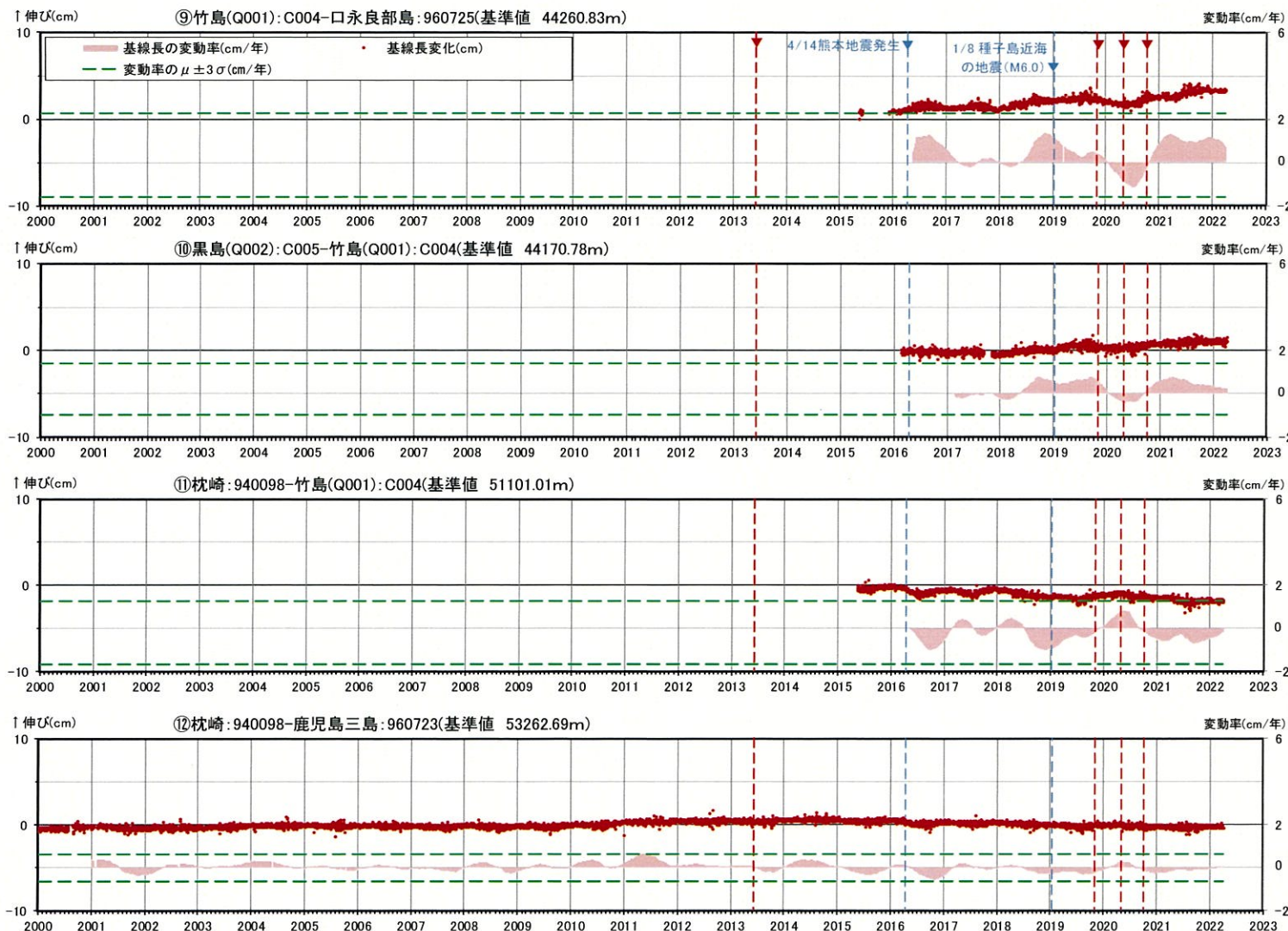


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 基線⑤は 2016年2月22日の基線長を基線⑥~⑧は 2015年5月14日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
- ※5 黒島(Q002)は2017年9月6日~10月31日までデータが取得できていない
- ※6 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑤~⑧の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

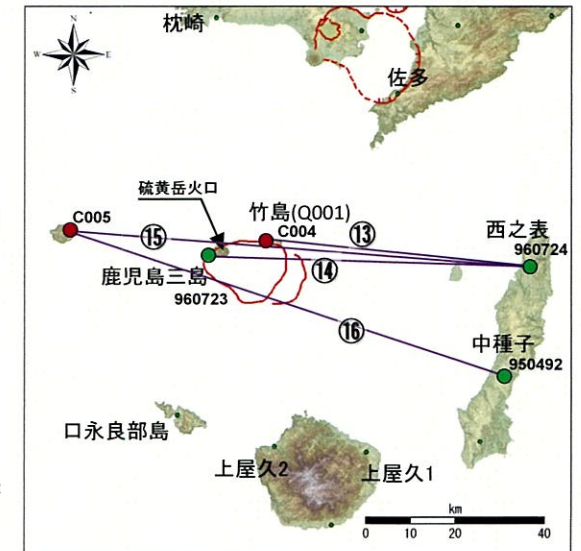
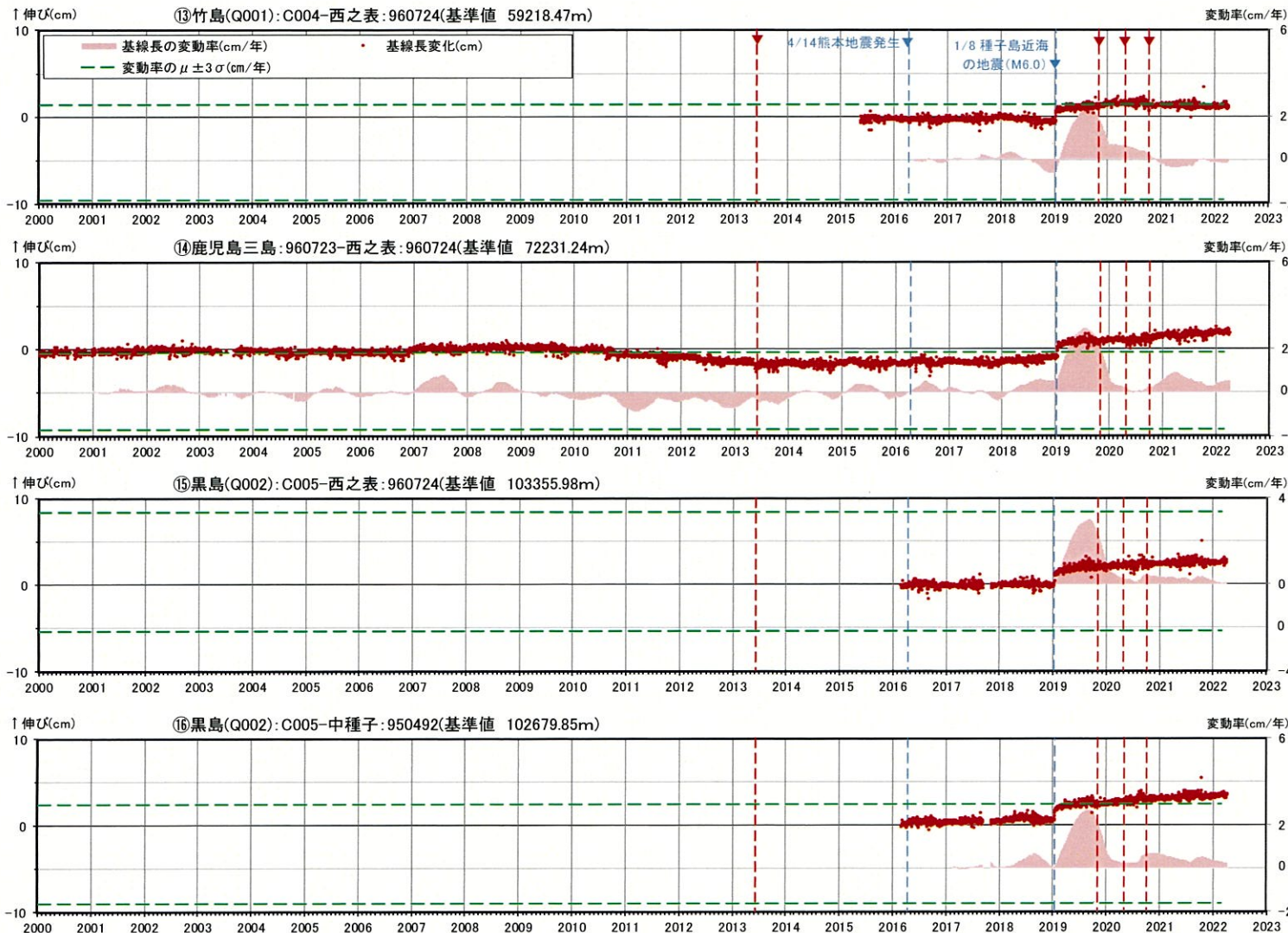


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 基線⑨、⑩は2015年5月14日の基線長を、基線⑪は2016年2月22日の基線長を、基線⑫は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2021年度以前(算出開始日～2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 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
- ※5 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
- ※6 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑨～⑫の時系列変化

6. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

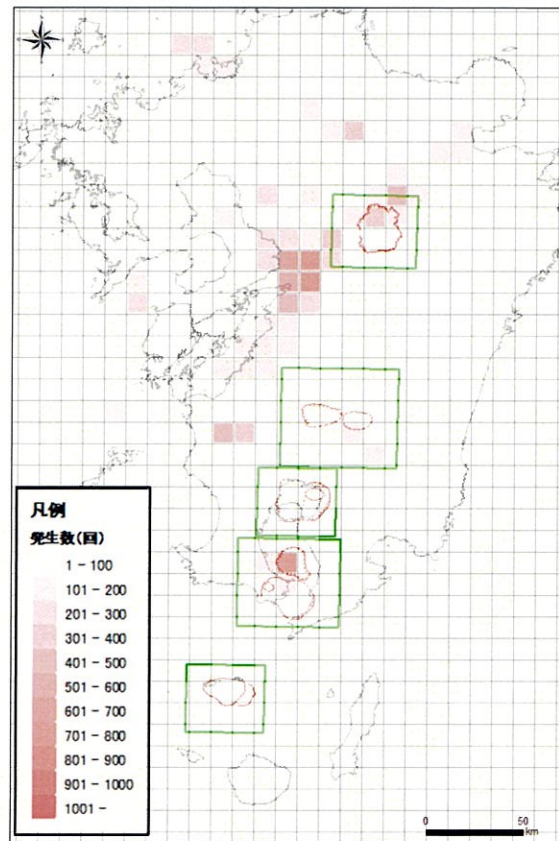
- ※1 基線⑬は2015年5月14日の基線長を、基線⑮は2016年2月22日の基線長を、基線⑯は2016年2月23日の基線長を、基線⑭は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2021年度以前(算出開始日~2021.3.31)、基線⑮、の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 黒島(Q002)は2017年9月6日~10月31日までデータが取得できていない
- ※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑬~⑯の時系列変化

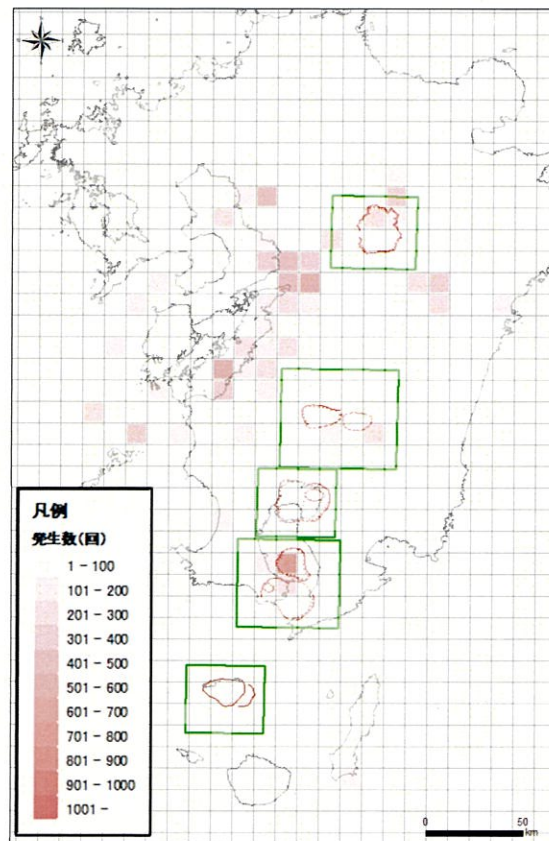
余 白

6. 統計的整理に基づく評価[地震活動:地震発生数]

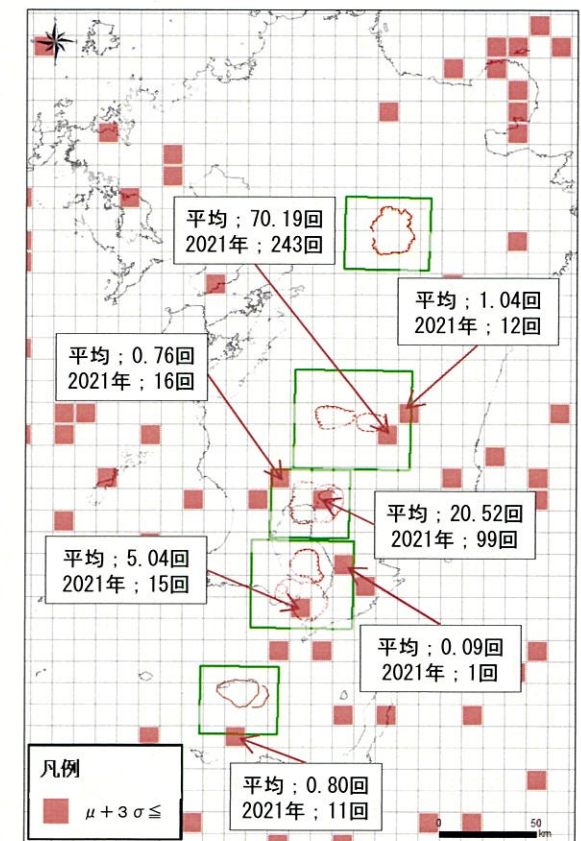
- 地震活動について、グリッド毎の地震発生数とエネルギーの「平均(μ) + 3 σ 」と、2021年の観測結果との比較を行った。
- 2021年の各カルデラの評価範囲において地震発生数が+3 σ を超えるグリッドのうち、小林カルデラ南東(年間243回)及び始良カルデラ(年間99回)については、今後の地震活動に留意していく。
- その他の地震発生数が+3 σ を超えるグリッドについては、平均(μ)の値が小さいことが原因と考えられ、2021年の地震発生数も年間16回以下と少ない。



2000~2020年
平均地震数(通常地震)



2021年
地震数(通常地震)



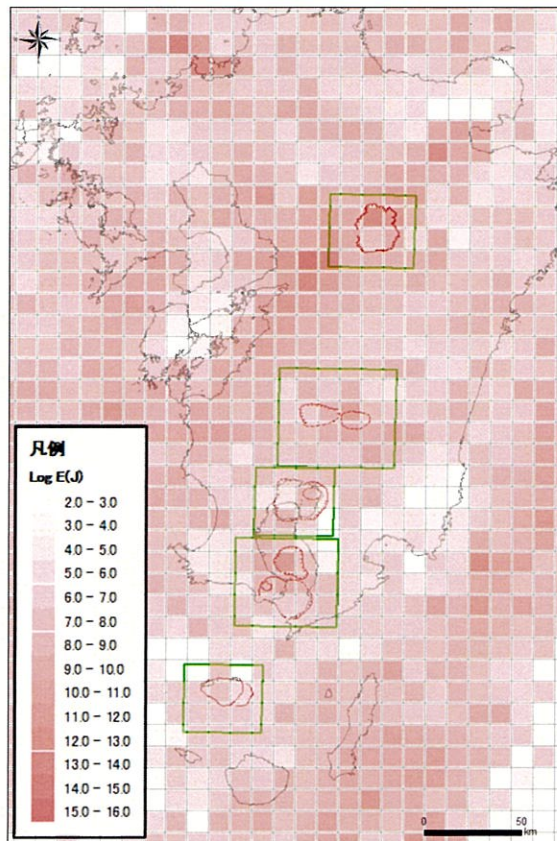
2000~2020年平均地震数(通常地震)と2021年
地震数(通常地震)の比較

※1 グリッド毎に震源データを抽出し、各年のグリッド毎の総地震数を算出。

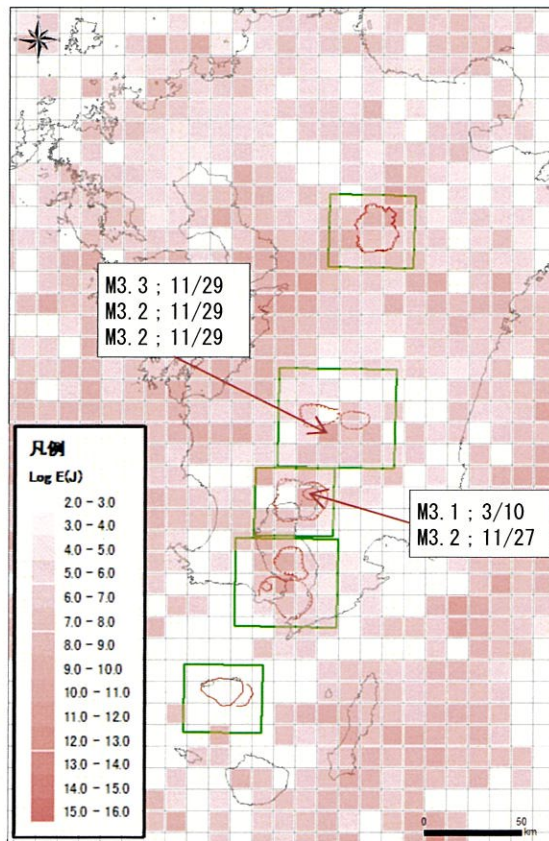
※2 グリッドの大きさは緯度・経度それぞれ0.1度(約9km)とする。

6. 統計的整理に基づく評価[地震活動：地震エネルギー]

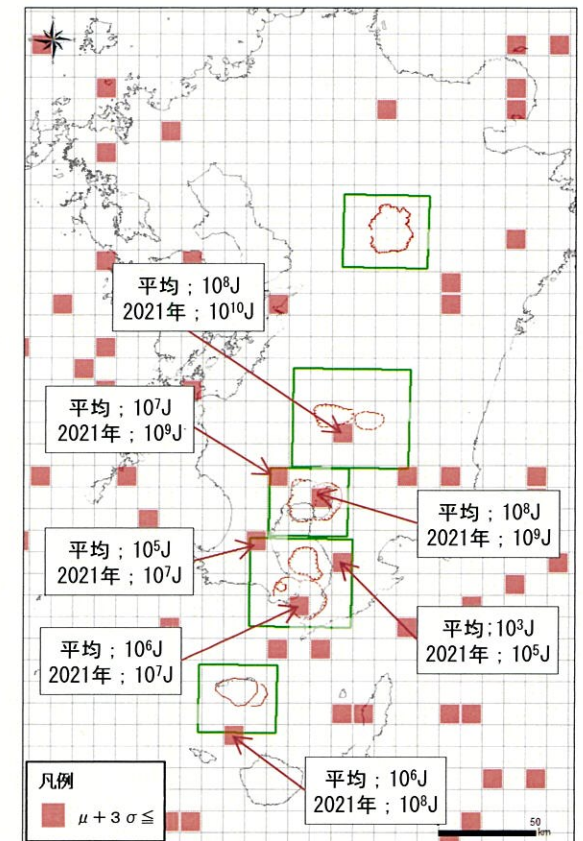
- 地震発生数が $+3\sigma$ を超えるグリッドに加え、加久藤カルデラ(年間 10^{10}J)についてはM3を超える地震が発生したことで地震エネルギーが $+3\sigma$ を超えており、今後の地震活動に留意していく。
- その他の地震エネルギーが $+3\sigma$ を超えるグリッドについては、平均(μ)の値が小さいことが原因と考えられ、2021年の地震エネルギーも年間 10^9J 以下と小さい。



2000～2020年
平均地震エネルギー(通常地震)



2021年
地震エネルギー(通常地震)



2000～2020年平均地震エネルギー(通常地震)
と2021年地震エネルギー(通常地震)の比較

- ※1 グリッド毎に震源データを抽出し、各年のグリッド毎の総エネルギー数を算出。
 ※2 グリッドの大きさは緯度・経度それぞれ0.1度(約9km)とし、地震エネルギーの算出には下記の式を使用。
 $E=10^{(4.8+1.5*M)}$ (E:地震エネルギー(J:ジュール)、M:マグニチュード)

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 阿蘇カルデラ

・カルデラごとに「観測データに有意な変化があったと判断する目安」を踏まえた整理を行い、全ての監視項目において有意な変化がないことを確認した。

監視項目		データ		頁	評価	
① 主な監視項目	地震活動	・本資料		17 - 22	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない 地震発生数の急激な変化は認められない 	
	地殻変動・地盤変 動	GNSS	・本資料		10 - 13	<ul style="list-style-type: none"> 既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない 既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない
		水準測量	—			
		衛星観測	第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・国土地理院(2021a)			
		傾斜計 ・伸縮計	第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・気象庁(2021a)			
火山ガス ・熱活動 (表面活動)	令和3年(2021年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2022a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022b)			<ul style="list-style-type: none"> 火山ガスの放出量は減少傾向であるが、2021年10月の噴火以前よりも多い状態 		
② その他の監視項目	噴出場所 及び 噴出物	令和3年(2021年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2022a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022b)			<ul style="list-style-type: none"> 10月に噴火が発生し、南～南東方向に降灰を観測し、火口北西方向には小規模な火砕流が流下した 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 	
	噴火様式	令和3年(2021年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2022a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022b)			<ul style="list-style-type: none"> 10月に噴煙柱が火口縁上3.5kmに達する噴火が発生した 	
	地下構造	比抵抗	高倉ほか(2000)		<ul style="list-style-type: none"> 地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない 	
			Matsushima et al. (2020)			
			Hata et al. (2018)			
		地震波速度	Aizawa et al. (2021)			
			Sudo and Kong (2001)			
Abe et al. (2017)						
Huang et al. (2018)						
参考	岩石学	三好ほか(2005)		<ul style="list-style-type: none"> カルデラ火山に有意な変化があるとする科学的知見は認められない 		
		三好(2013)				
	地質学	小林(2017)				
		地球化学	森川ほか(2019)			
	安池ほか(2019)					
	Kawaguchi et al. (2021)					
	測地学	大倉(2017)				
Hashimoto (2020)						
Niu and Song (2021)						
地温勾配 地殻熱流量	産総研(2019)	127				
キュリー点深度	大久保(1984)	127				

2 加久藤・小林カルデラ

監視項目		データ		評価	
			頁		
① 主な監視項目	地震活動	・本資料	33 - 38	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない 地震発生数の急激な変化は認められない 	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	・本資料	27 - 31	<ul style="list-style-type: none"> 深い場所でのマグマ蓄積を示す基線のわずかな伸びが認められている 既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない ※ なお、新燃岳ではSAR干渉解析において、火口内の北西側を中心として衛星から遠ざかる変動が見られる
		水準測量	—		
		衛星観測	第149回火山噴火予知連絡会資料(その3の5) ・気象庁・気象研究所(2021a) ・国土地理院(2021b)		
		傾斜計・伸縮計	令和3年(2021年)の霧島山の火山活動(年報) ・気象庁(2022c) 霧島山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022d)		
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和3年(2021年)の霧島山の火山活動(年報) ・気象庁(2022c) 霧島山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022d)		<ul style="list-style-type: none"> 既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない 火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められない 		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	霧島山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022d)		<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 マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない 	
	噴火様式	霧島山の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022d)		<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 	
	地下構造	比抵抗	鍵山ほか(1997)		<ul style="list-style-type: none"> 地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない
			Goto et al.(1997)		
Aizawa et al.(2014)					
地震波速度		長岡ほか(2019)			
		澁谷ほか(2019)			
		Shito et al.(2020)			
Nishida et al.(2020)					
参考	地質学	小林(2017)		<ul style="list-style-type: none"> カルデラ火山に有意な変化があるとする科学的知見は認められない 	
	測地学	大倉(2017)			
	地温勾配 地殻熱流量	産総研(2019)	127		
	キュリー点深度	大久保(1984)	127		

3 始良カルデラ

監視項目		データ		評価	
			頁		
① 主な監視項目	地震活動	・本資料	55 - 60	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない 地震発生数の急激な変化は認められない 	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	・本資料	42 - 51	<ul style="list-style-type: none"> 既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない 既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない
		水準測量	・本資料	111 - 117	
		衛星観測	第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の1) ・気象庁(2021e) ・国土地理院(2021c)		
		傾斜計・伸縮計	令和3年(2021年)の桜島の火山活動(年報) ・気象庁(2022d) 桜島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022e)		
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和3年(2021年)の桜島の火山活動(年報) ・気象庁(2022d) 桜島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022e)		<ul style="list-style-type: none"> 既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない 火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められない 		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	桜島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022e)		<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 マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない 	
	噴火様式	桜島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022e)		<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 	
	地下構造	比抵抗	—		<ul style="list-style-type: none"> 為栗ほか(2022):3次元トモグラフィの検討結果から、深さ12kmを最上部とするS波速度領域が確認され、深さ15km以浅の低速度領域の体積は139~255km³で、その内7%(10~18km³)のメルトを含む
		地震波速度	Alanis et al. (2012)		
			井口(2017)		
			宮町ほか(2018)		
			安池ほか(2019)		
澁谷ほか(2019)					
筒井ほか(2021)					
為栗ほか(2022)					
参考	岩石学	関口ほか(2014)		<ul style="list-style-type: none"> カルデラ火山に有意な変化があるとする科学的知見は認められない 	
	地質学	小林(2017)			
		小林(2019)			
	測地学	井口ほか(2011)			
		山本ほか(2013)			
		Hickey et al. (2016)			
		味喜ほか(2021)			
	地温勾配 地殻熱流量	産総研(2019)	127		
キュリー点 深度	大久保(1984)	127			
重力	山本ほか(2014)				

4 阿多カルデラ

監視項目		データ		評価	
			頁		
① 主な監視項目	地震活動	・本資料	69 - 74	・地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない ・地震発生数の急激な変化は認められない	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	・本資料	64 - 67	・既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない ・既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない
		水準測量	—		
		衛星観測	第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の2) ・国土地理院(2021d)		
		傾斜計・伸縮計	—		
火山ガス・熱活動(表面活動)	第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の1) ・気象庁(2021f) ・気象庁(2021g) 「喜入」地点の二酸化硫黄濃度の変化 ・環境省大気汚染物質広域監視システム		・既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない ・環境基準を超える二酸化硫黄濃度は認められない		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の1) ・気象庁(2021f) ・気象庁(2021g)		・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成は認められない ・マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない	
	噴火様式	第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の1) ・気象庁(2021f) ・気象庁(2021g)		・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火を伴うような噴火は認められない	
	地下構造	比抵抗	—		・地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、新たな低速度及び低比抵抗領域が出現したとする科学的知見は認められない
		地震波速度	西ほか(2001)		
海野ほか(2019)					
参考	地質学	小林(2017)		・カルデラ火山に有意な変化があるとする科学的知見は認められない	
	測地学	大倉(2017)			
	地温勾配 地殻熱流量	産総研(2019)	127		
	キュリー一点深度	大久保(1984)	127		

5 鬼界

監視項目		データ		評価	
			頁		
① 主な監視項目	地震活動	・本資料	87 - 92	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生領域の拡大又は消滅、新たな地震発生領域の出現は認められない 地震発生数の急激な変化は認められない 	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	・本資料	78 - 82	<ul style="list-style-type: none"> 既往の傾向と比較して、急激な変化は認められない 既往の地殻変動と異なる場所での地殻変動の出現は認められない 傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化は認められない
		水準測量	—		
		衛星観測	第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の6) ・気象庁(2021h) ・国土地理院(2021e)		
	傾斜計・伸縮計	第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の6) ・気象庁(2021i)			
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和3年(2021年)の薩摩硫黄島の火山活動(年報) ・気象庁(2022f) 薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022g)		<ul style="list-style-type: none"> 既往の火山ガス放出場所の拡大又は消滅、放出場所の出現は認められない 火山ガスの放出量に急激な傾向の変化は認められない 		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022g)		<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 マグマ成分の物理的・化学的性質に急激な変化があったとする科学的知見は認められない 	
	噴火様式	薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和4年3月) ・気象庁(2022g)		<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 	
	地下構造	比抵抗	—	—	
	地震波速度	—			
参考	岩石学	前野ほか(2002)		<ul style="list-style-type: none"> カルデラ火山に有意な変化があるとする科学的知見は認められない 	
	地質学	小林(2017)			
	地球化学	篠原ほか(2008)			
		斎藤(2017)			
	測地学	井口ほか(2002)			
キュリー一点深度	大久保(1984)	127			

(参 考 文 献)

モニタリング結果と中・長期的取組みの参考文献

- (1) 国土地理院(2021, 2022):国土地理院による火山周辺地域における地殻変動観測の概況,
https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/kazan_index.html.
- (2) 気象庁(2021):第148, 149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>.
- (3) 気象庁(2021, 2022):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.
- (4) 国土地理院(2022):電子基準点データ提供サービス, 更新:2022/3/29,
<https://terras.gsi.go.jp/>.
- (5) 防災科学技術研究所(2022):検測値データダウンロード, 気象庁一元化震源要素, Hi-net高感度地震観測網, 更新:2021/4/5,
<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/JMA/?LANG=ja>.
- (6) 気象庁(2022):地震月報(カタログ編), 更新:2022/3/10,
<https://www.data.jma.go.jp/svd/egev/data/bulletin/index.html>.
- (7) Druitt, T. H., Costa, F., Deloule, E., Dungan, M. and Scaillet, B. (2012): Decadal to monthly timescales of magma transfer and reservoir growth at a caldera volcano, *Nature*, vol.482, pp.77-80.
- (8) 文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学(2019):平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査, 平成28~30年度成果報告書, 509pp.
- (9) Kozono, T., Ueda, H., Ozawa, T., Koyaguchi, T., Fujita, E., Tomiya, A. and Suzuki, J. Y. (2013): Magma discharge variations during the 2011 eruptions of Shinmoe-dake volcano, Japan, revealed by geodetic and satellite observations. *Bull Volcanol*, vol.75, 695, <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0695-4>.
- (10) 江頭庸夫・高山鐵朗・山本圭吾・Muhamad Hendrasto・味喜大介・園田忠臣・松島健・内田和也・八木原寛・王彦賓・木股文昭・宮島力雄・小林和典(1997):始良カルデラの地盤の再隆起—1991年12月~1996年10月—, 京都大学防災研究所年報, 第40号B-1, pp.49-60.
- (11) 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(2008):GPS観測から明らかになった桜島のマグマ活動, 京都大学防災研究所年報, 第51号B, pp.241-246.
- (12) 井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫(2013):桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測—2011年~2012年—,「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究(課題番号1809)」平成24年度分報告書.
- (13) 地震調査委員会(2013):九州地方の活断層の長期評価(第1版), 平成25年2月1日, 地震調査研究推進本部, pp.81.
- (14) Omori, F. (1916):The Sakura-Jima eruption and earthquakes II, *Bulletin of The Imperial Earthquake Investigation Committee*, vol.8, pp.35-179.
- (15) 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*, vol.58, 1, pp.137-151.
- (16) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター(2019):日本列島及びその周辺域の熱データベース, <https://www.gsj.jp/Map/JP/geology.html>.
- (17) 大久保泰邦(1984):全国のキュリー点解析結果. *地質ニュース*, 362号, pp.12-17.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (1) 国土地理院(2021a):阿蘇山のSAR干渉解析結果について(1), (2), SAR干渉時系列解析結果(南行), 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の5)阿蘇山, pp.48-50.
- (2) 気象庁(2021a):阿蘇山, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の5)阿蘇山, pp.3-11.
- (3) 気象庁(2022a):令和3年(2021年)の阿蘇山の火山活動, 火山活動解説資料資料(年報).
- (4) 気象庁(2022b):阿蘇山の火山活動解説資料(令和4年3月), 火山活動解説資料資料.
- (5) 高倉伸一・橋本武志・小池克明・小川康雄(2000):MT法による阿蘇カルデラの比抵抗断面, Conductivity Anomaly 研究会2000年論文集, pp.23-30.
- (6) Matsushima, N., Utsugi, M., Takakura, S., Yamasaki, T., Hata, M., Hashimoto, T. and Uyeshima, M. (2020): Magmatic-hydrothermal system of Aso Volcano, Japan, inferred from electrical resistivity structures, *Earth, Planets and Space*, vol.72, 57. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01180-8>
- (7) Hata, M., Matsushima, N., Takakura, S., Utsugi, M., Hashimoto, T. and Uyeshima, M. (2018): Three-dimensional electrical resistivity modeling to elucidate the crustal magma supply system beneath Aso caldera, Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol.123, 8, pp.6334-6346. <https://doi.org/10.1029/2018JB015951>
- (8) Aizawa, K., Takakura, S., Asaue, H., Koike, K., Yoshimura, R., Yamazaki, K., Komatsu, S., Utsugi, M., Inoue, H., Tsukamoto, K., Uyeshima, M., Koyama, T., Kanda, W., Yoshinaga, T., Matsushima, N., Uchida, K., Tsukashima, Y., Matsushima, T., Ichihara, H., Muramatsu, D., Teguri, Y., Shito, A., Matsumoto, S. and Shimizu, H. (2021): Electrical conductive fluid-rich zones and their influence on the earthquake initiation, growth, and arrest processes: observations from the 2016 Kumamoto earthquake sequence, Kyushu Island, Japan, *Earth, Planets and Space*, vol.73, 12. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01340-w>
- (9) Sudo, Y. and Kong L.S.L. (2001): Three-dimensional seismic velocity structure beneath Aso Volcano, Kyushu, Japan. *Bull. Volcanol*, vol.63, pp.326-344. <https://doi.org/10.1007/s004450100145>
- (10) Abe, Y., Ohkura, T., Shibutani, T., Hirahara, K., Yoshikawa, S. and Inoue, H. (2017): Low-velocity zones in the crust beneath Aso caldera, Kyushu, Japan, derived from receiver function analysis, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol.122, 3, pp.2013-2033. <https://doi.org/10.1002/2016JB013686>
- (11) Huang, Y., Ohkura, T., Kagiya, T., Yoshikawa, S. and Inoue, H. (2018): Shallow volcanic reservoirs and pathways beneath Aso caldera revealed using ambient seismic noise tomography, *Earth, Planets and Space*, vol.70, 169. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0941-2>
- (12) 木村育磨・大倉敬宏・松本聡・志藤あずさ・清水洋(2019):阿蘇火山周辺の3次元地震波速度構造, 日本火山学会講演予稿集, 2019年度秋季大会, p.122.
- (13) Shito, A., Matsumoto, S., Ohkura, T., Shimizu, H., Sakai, S., Iio, Y., Takahashi, H., Yakiwara, H., Watanabe, T., Kosuga, M., Okada, T., Yoshimi, M., and Asano, Y. (2020): 3-D Intrinsic and Scattering Seismic Attenuation Structures Beneath Kyushu, Japan, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol.125, 8, e2019JB018742. <https://doi.org/10.1029/2019JB018742>
- (14) 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司(2005):阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について, *火山*, vol.50, pp.269-283.
- (15) 三好雅也(2013):カルデラ火山地域における大規模噴火再発の可能性評価, 平成24年度放射性廃棄物共通技術調査等事業「放射性廃棄物重要基礎技術研究調査」報告, 第2分冊, 研究報告 6.
- (16) 小林哲夫(2017):カルデラ噴火の前兆現象に関する地質学的研究, 平成29年度原子力規制庁請負調査報告書.
- (17) 森川徳敏・風早康平・佐藤努・高橋浩・戸崎裕貴・高橋正明・稲村明彦(2019):火山地域地下水中の放射性塩素同位体比($^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ 比)によるマグマだまり状態推定の試み:阿蘇カルデラを対象として, 日本火山学会講演予稿集, 2019年度秋季大会, p.209.
- (18) 安池由幸・西来邦章・廣井良美(2019):火山影響評価に係る科学的知見の整備, 安全研究成果報告, RREP-2019-4001, 令和元年5月.
- (19) Kawaguchi, M., Hasenaka, T., Koga, K. T., Rose-Koga, E. F., Yasuda, A., Hokanishi, N., Mori, Y., Shimizu, K. and Ushikubo, T. (2021): Persistent gas emission originating from a deep basaltic magma reservoir of an active volcano: the case of Aso volcano, Japan, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol.176, Article: 6, <https://doi.org/10.1007/s00410-020-01761-6>.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (20) 大倉敬宏(2017):測地学的手法による火山活動の観測について,平成29年度原子力規制庁請負調査報告書.
- (21) Hashimoto, M. (2020): Postseismic deformation following the 2016 Kumamoto earthquake detected by ALOS-2/PALSAR-2, *Earth, Planets and Space*, vol.72, 154. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01285-0>
- (22) Niu, J., Song, T.R.A. (2021): Episodic transport of discrete magma batches beneath Aso volcano, *Nature Communications*, vol.12, pp.1-12.
- (23) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター(2019):日本列島及びその周辺域の熱データベース, <https://www.gsj.jp/Map/JP/geology.html>.
- (24) 大久保泰邦(1984):全国のキュリー点解析結果. *地質ニュース*, 362号, pp.12-17.
- (25) 気象庁・気象研究所(2021a):ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた霧島山におけるSAR 干渉解析結果, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その3の5)九州地方及び南西諸島, pp.36-38.
- (26) 国土地理院(2021b):霧島山のSAR干渉解析結果について, 干渉SAR時系列解析結果(北行・南行), 第149回火山噴火予知連絡会資料(その3の5)九州地方及び西南諸島, pp.72-74.
- (27) 気象庁(2022c):令和3年(2021年)の霧島山の火山活動, 火山活動解説資料資料(年報).
- (28) 気象庁(2022d):霧島山の火山活動解説資料(令和4年3月), 火山活動解説資料資料.
- (29) 鍵山恒臣・歌田久司・三ヶ田均・筒井智樹・増谷文雄(1997):霧島火山群の構造とマグマ供給系, *火山*, vol.42, 特別号, pp.S157-S165.
- (30) Goto, T., Oshiman, N. and Sumitomo, N. (1997): The Resistivity Structure around the Hypocentral Area of the Ebino Earthquake Swarm in Kyushu District, Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, vol.49, pp.1279-1291.
- (31) Aizawa, K., Koyama, T., Hase, H., Uyeshima, M., Kanda, W., Utsugi, M., Yoshimura, R., Yamaya, Y., Hashimoto, T., Yamazaki, KI., Komatsu, S., Watanabe, A., Miyakawa, K. and Ogawa, Y. (2014): Three-dimensional resistivity structure and magma plumbing system of the Kirishima Volcanoes as inferred from broadband magnetotelluric data, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol.119, 1, pp.198-215. <https://doi.org/10.1002/2013JB010682>
- (32) 長岡 優・西田 究・青木陽介・武尾 実・大倉敬宏・吉川 慎(2019):地震波干渉法による霧島山のマグマ供給系の解明, 日本地球惑星科学連合2019年大会, SSS17-P02.
- (33) 澁谷拓郎・寺石眞弘・小松信太郎・山崎健一・山下裕亮・大倉敬宏・吉川 慎・井口正人・為栗 健・園田忠臣(2019):地震学的手法による南九州下のフィリピン海スラブとその周辺域の構造の推定, *京都大学防災研究所年報*, 第62号B, pp279-287.
- (34) Nishida, K., Mizutani, Y., Ichihara, M. and Aoki, Y. (2020): Time-Lapse Monitoring of Seismic Velocity Associated With 2011 Shinmoe-Dake Eruption Using Seismic Interferometry: An Extended Kalman Filter Approach, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol.125, 9, e2020JB020180. <https://doi.org/10.1029/2020JB020180>
- (35) 気象庁(2021e):ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた桜島におけるSAR 干渉解析結果, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の1)桜島, pp.11-12.
- (36) 国土地理院(2021c):桜島のSAR干渉解析結果について, 桜島の干渉SAR時系列解析結果(北行・南行), 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の1)桜島, pp.32-34.
- (37) 気象庁(2022d):令和3年(2021年)の桜島の火山活動, 火山活動解説資料資料(年報).
- (38) 気象庁(2022e):桜島の火山活動解説資料(令和4年3月), 火山活動解説資料資料.
- (39) Alanis, P.K., Miyamachi, H., Yakiwara, H., Goto, K., Kobayashi, R., Tameguri, T. and Iguchi, M. (2012):Seismic Velocity Structure of the Crust Beneath the Aira Caldera in Southern Kyushu by Tomography of Travel Times of Local Earthquake Data, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, vol.57, pp.227-234.
- (40) 井口正人(2017):地震波トモグラフィーによる始良カルデラ周辺の地震波速度構造調査結果及び始良カルデラの状態について,平成29年度原子力規制庁請負調査報告書.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (41) 宮町宏樹・高橋浩晃・青山 裕・椎名高裕・高田真秀・一柳昌義・山口照寛・小野夏生・齊藤一真・伊藤ちひろ・村井芳夫・筒井智樹・井上雄介・竹井瑠一・山本希・平原 聡・中山貴史・東 龍介・大友周平・日野亮・阿部英二・蔵下英司・岩崎貴哉・篠原雅尚・山田知朗・中東和夫・渡辺俊樹・前田裕太・堀川信一郎・奥田隆・辻 修平・長谷川大真・片尾 浩・澁谷拓郎・三浦 勉・中川 潤・加藤慎也・山下裕亮・松島 健・手操佳子・宮町凜太郎・Triahadini, A.・磯田謙心・清水 洋・小林励司・早田正和・仲井一穂・八木原 寛・平野舟一郎・田中康久・川崎慎治・佐藤紀男(2018):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, 日本火山学会講演予稿集, 2018 年度秋季大会, pp.105.
- (42) 筒井智樹・為栗 健・井口正人(2021):人工地震記録による始良カルデラ西部の地殻内S波地震反射面の推定, 火山, vol.2, pp.71-81.
- (43) 為栗 健・八木原寛・筒井智樹・井口正人(2022):高分解能な3次元地震波速度構造解析による始良カルデラ下のイメージング, 火山, vol.67, pp.69-76.
- (44) 関口悠子・長谷中利昭・森 康(2014):始良カルデラ火山に見られる3回のマグマ活動サイクル, 月刊地球, vol.36, 8, 303-309.
- (45) 小林 哲夫(2019):1. 地質学視点でみた桜島火山の大規模噴火, 自然災害科学, vol.38, no.3, pp.280-289.
- (46) 井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鉄朗・市川信夫(2011):桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測(2010年~2011年),「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」(課題番号1809)平成22年度分報告書.
- (47) 山本圭吾・園田忠臣・高山鉄朗・市川信夫・大倉敬宏・横尾亮彦・古川慎・井上寛之・諏訪博之・松島健・藤田詩織・神菌めぐみ(2013):水準測量によって測定された桜島火山周辺域の地盤上下変動-2012年11月および12月測量の結果-, 京都大学防災研究所年報, 56, pp.187-195.
- (48) Hickey, J., Gottsmann, J., Nakamichi, H. and Iguch, M. (2016): Thermomechanical controls on magma supply and volcanic deformation: application to Aira caldera, Japan, Scientific Reports, vol.6, 32691. <http://dx.doi.org/10.1038/srep32691>
- (49) 味喜大介・筒井智樹・井口大輔(2021):GNSS観測による始良カルデラ下へのマグマ供給率の推定, 京都大学防災研究所年報, 第64号B, pp.101-107.
- (50) 山本圭吾・大島弘光・前川徳光・及川純・園田忠臣・大久保修平・田中愛幸・今西祐一・渡邊篤志・坂守・風間卓仁(2014):桜島および鹿児島湾周辺における精密重力測定(2013年10月および11月),「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成25年度分報告書.
- (51) 国土地理院(2021d):池田・山川・開聞岳のSAR干渉解析結果について, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の2)その他の火山(地理院), pp.57.
- (52) 気象庁(2021f):池田・山川, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の1)その他の火山(気象庁), pp.80.
- (53) 気象庁(2021g):開聞岳, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その4の1)その他の火山(気象庁), pp.82.
- (54) 環境省大気汚染物質広域監視システム(そらまめくん;<https://soramame.env.go.jp/>).
- (55) 西潔・山本圭吾・井口正人・石原和弘・古澤保(2001):南九州の3次元地震波速度構造, 月刊地球, vol.23, 8, 573-577.
- (56) 海野直弘・八木原 寛・仲谷幸浩・平野舟一郎(2019):阿多カルデラ周辺の地殻の3次元地震波速度構造, 及び加久藤カルデラ下の速度構造との比較, 日本火山学会講演予稿集, 2019 年度秋季大会, pp.43.
- (57) 気象庁(2021h):ALOS-2/PALSAR-2 データを用いた薩摩硫黄島におけるSAR 干渉解析結果, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の6)薩摩硫黄島, pp.8-9.
- (58) 国土地理院(2021e):薩摩硫黄島のSAR干渉解析結果について, 薩摩硫黄島の干渉SAR時系列解析結果(北行・南行), 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の6)薩摩硫黄島, pp.17-19.
- (59) 気象庁(2021i):薩摩硫黄島, 第149回火山噴火予知連絡会資料(その2の6)薩摩硫黄島, pp.3-6.
- (60) 気象庁(2022f):令和3年(2021年)の薩摩硫黄島の火山活動, 火山活動解説資料資料(年報).
- (61) 気象庁(2022g):薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和4年3月), 火山活動解説資料資料.
- (62) 前野 深・宮本 毅・谷口宏充(2002):鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火以降の火山活動史, 東北アジア研究, vol.6, pp.253-277.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (63) 篠原宏志・斎藤元治・松島喜雄・川辺禎久・風早康平・浦井 稔・西 祐司・斎藤英二・濱崎聡志・東宮昭彦・森川徳敏・駒澤正夫・安原正也・宮城磯治(2008):火山研究解説集:薩摩硫黄島, 産総研地質調査総合センター. https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/satsumaoujima/vr/index.html
- (64) 斎藤元治(2017):火山ガスと噴火メカニズムについて, 平成29年度原子力規制庁請負調査報告書.
- (65) 井口正人・高山哲郎・味喜大介・西 祐司・斎藤英二(2002):鬼界カルデラの地盤変動. 薩摩硫黄島火山・口永良部島火山の集中総合観測, pp.29-32.