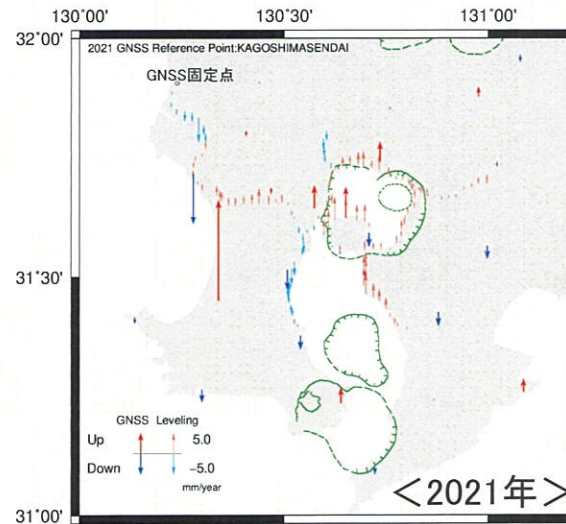
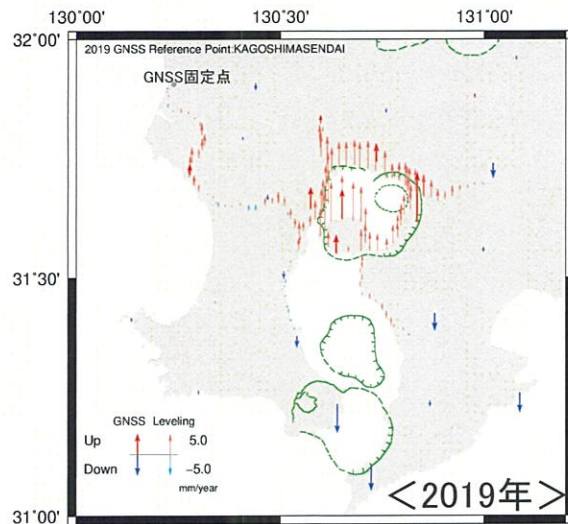


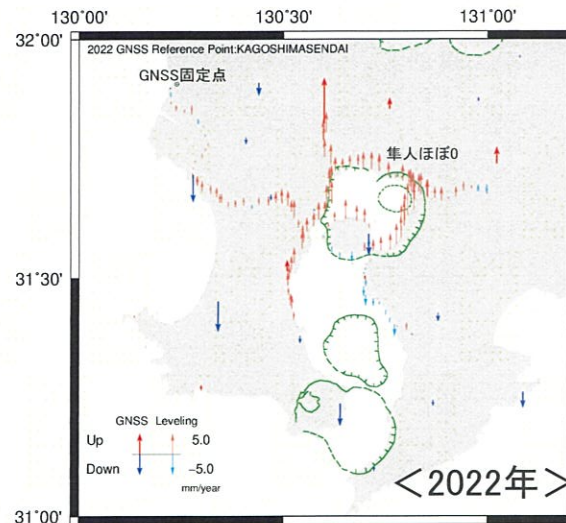
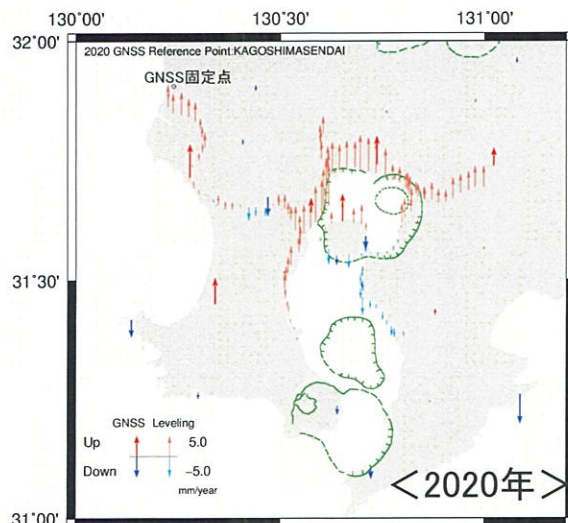
余 白

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[GNSS観測結果(単年)との比較]

- 水準測量結果とGNSSの変位速度との比較を示す。GNSSの変位速度は、12月の平均変位とその1年前の12月の平均変位との差から算出。
- 2019年及び2020年の結果のように、水準測量において顕著な隆起が認められる測線に近いGNSS観測点は概ね整合的であるが、2021年や2022年の結果はあまり整合的ではない。これらの結果から、1年の短期間では鉛直成分の誤差を十分に超えるような顕著な変動でなければ、GNSSでわずかな変動を検出することは難しいと考えられる。



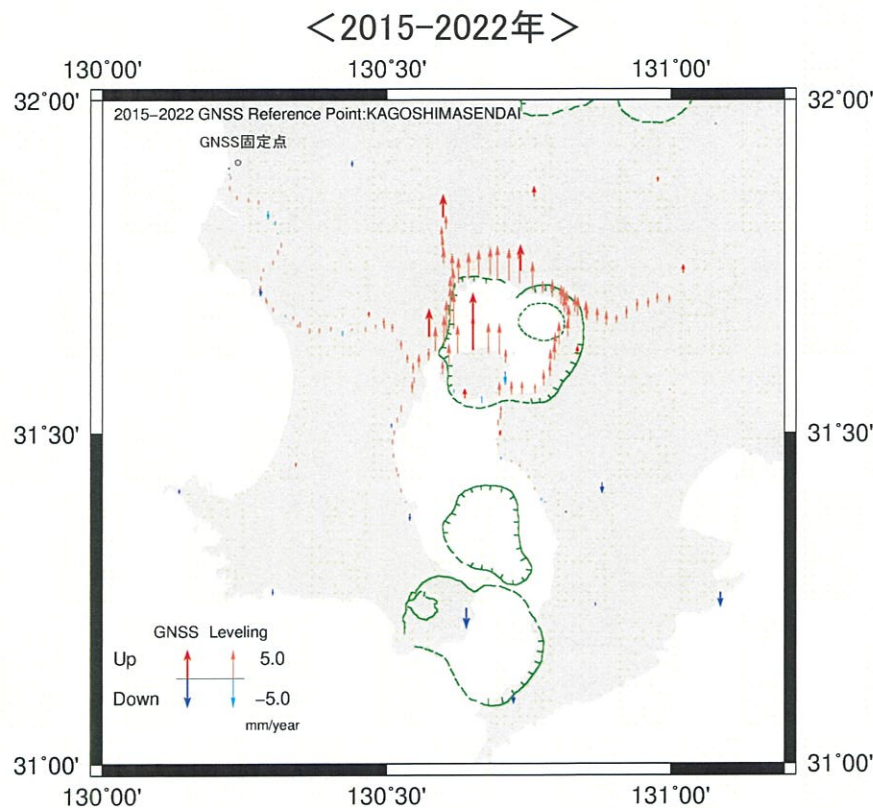
GNSS観測点位置



- ※1 2019年のGNSSの変位速度は鹿兒島川内を固定点とし、2019/12/1～31の平均鉛直変位と2018/12/1～31の平均鉛直変位の差を変位速度として求めた。
- ※2 2020年のGNSSの変位速度は鹿兒島川内を固定点とし、2020/12/1～31の平均鉛直変位と2019/12/1～31の平均鉛直変位の差を変位速度として求めた。
- ※3 2021年のGNSSの変位速度は鹿兒島川内を固定点とし、2021/12/1～31の平均鉛直変位と2020/12/1～31の平均鉛直変位の差を変位速度として求めた。
- ※4 2022年のGNSSの変位速度は鹿兒島川内を固定点とし、2022/12/1～31の平均鉛直変位と2021/12/1～31の平均鉛直変位の差を変位速度として求めた。

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[GNSS観測結果(長期)との比較]

- 水準測量結果とGNSSの変位速度との長期的な比較を示す。GNSSの変位速度は、2022年12月の平均変位と2014年12月の平均変位との差から算出。
- 始良カルデラ縁や桜島縁などの顕著な隆起域のみでなく変動の大きくない地域においても概ね水準測量結果とGNSS変位速度は整合的である。長期間のデータであればGNSSの鉛直変位も安定して求めることができていると考えられる。

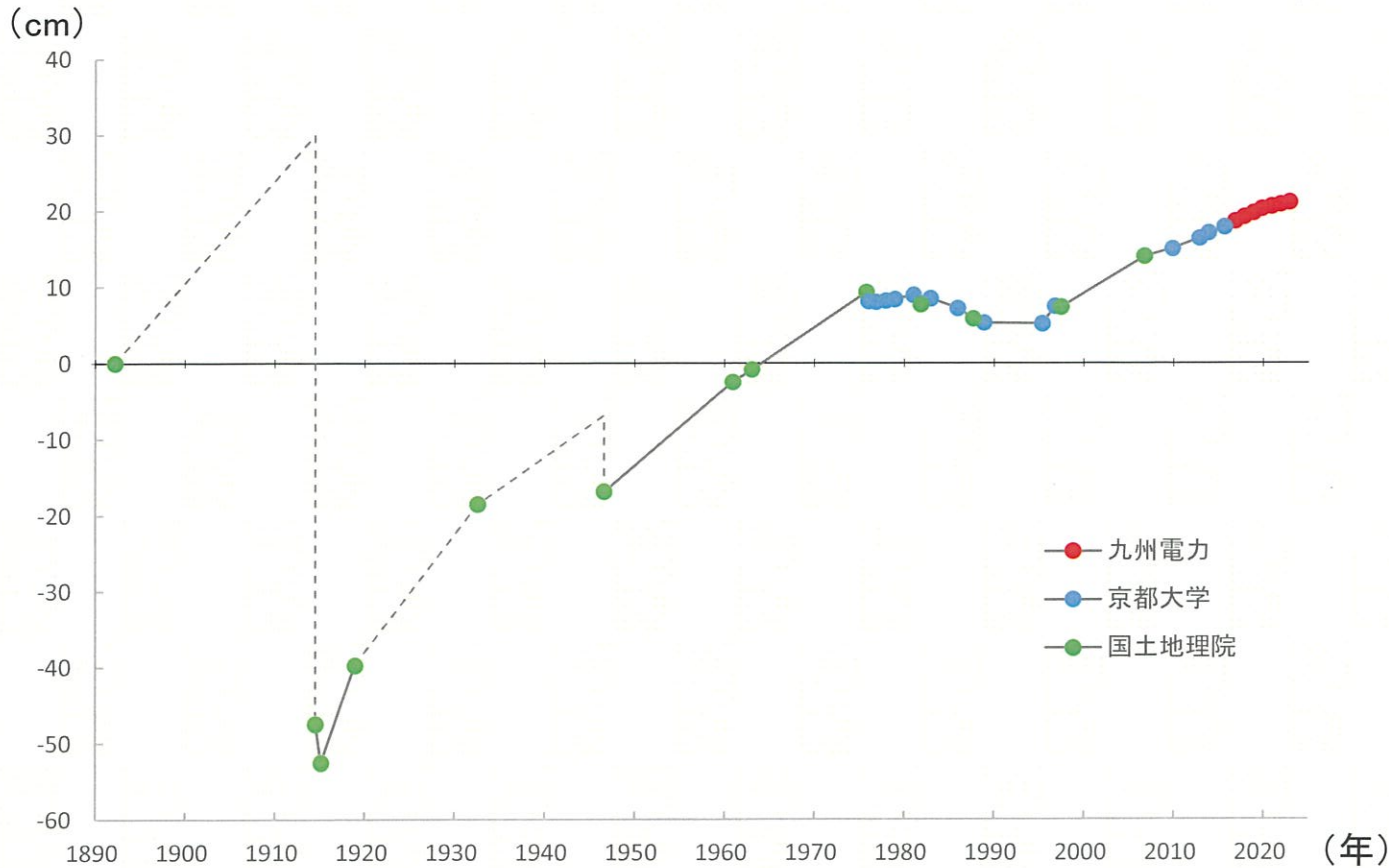


※1 2015-2022年のGNSSの変位速度は鹿兒島川内を固定点とし、2022/12/1~31の平均鉛直変位と2014/12/1~31の平均鉛直変位の差を変位速度として求めた。ただし、吉野(Q003)は2016/12/1~31の鹿兒島1Aは2017/12/1~31の平均鉛直変位を使用。

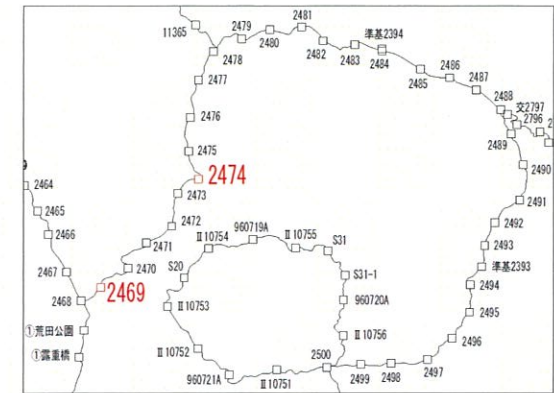
※2 水準測量の変位速度は2016/11を基準として2022/11までの変位から求めた。

【参考】既往測量結果と桜島火山活動との関係

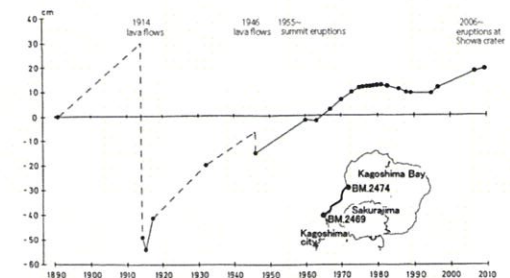
- Yamamoto et al.(2013)は、桜島島内、鹿児島湾西岸及び東岸にて水準測量を実施し、地殻変動の経年変化を調査している。
- その結果、桜島において、1973年～1991年頃の活発な噴火活動期間にマグマの放出に伴うマグマ溜まりの減圧による地盤沈下が、1991年頃以降の火山活動静穏期にマグマ溜まりにマグマが蓄積されたことによる地盤の隆起が認められるとしている。
- 当社による水準測量の成果(2015年～2022年)を追記して示した結果、1990年代以降、地盤が継続して隆起傾向にあることから、桜島の火山活動静穏期が継続するとともに、始良カルデラ地下のマグマ溜まりの増圧による地盤の隆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



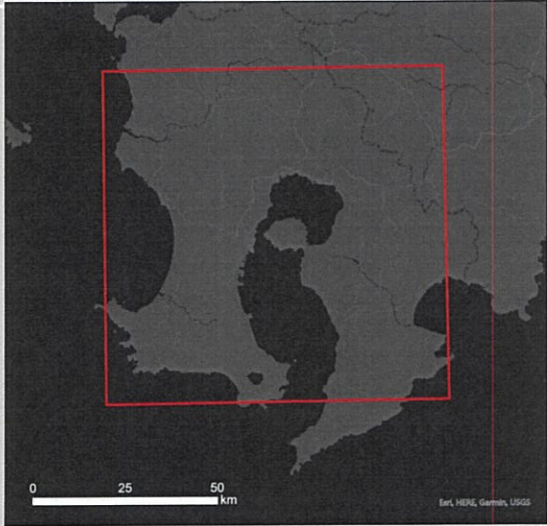
BM.2469を不動点(基準)とした
 BM.2474の比高値の経年変化
 (Yamamoto et al., 2013)

余 白

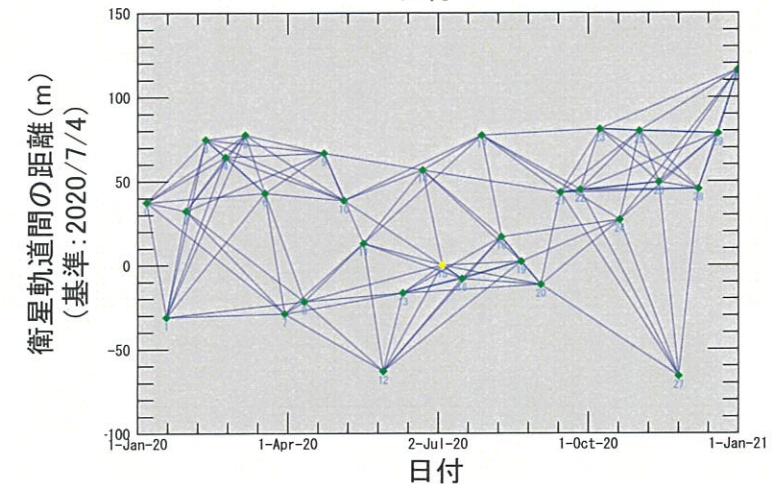
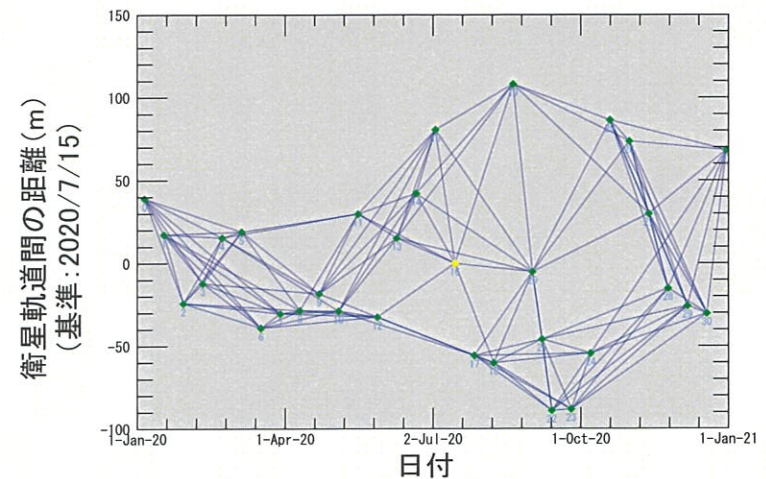
4. 干渉SAR時系列解析[大気ノイズ補正の適用]

干渉SAR解析において解析精度の向上を目的に、昨年度の始良カルデラ周辺を対象にした干渉SAR時系列解析(対象期間: 2020.1.5~2020.12.31)について、GACOS (Generic Atmospheric Correction Online Service for InSAR)を利用した大気ノイズ補正を適用して再度SBAS法による解析を実施した。

<解析条件>

解析手法	SBAS法
大気ノイズ補正	GACOS (Yu et al., 2017) のデータを利用
対象期間	上昇軌道: 2020.1.5~2020.12.30 下降軌道: 2020.1.6~2020.12.31
衛星種別	Sentinel-1 (Cバンド) : ESA
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	 <p>北緯31.175~31.991667° 東経130.1375° ~131.1125°</p>

<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。

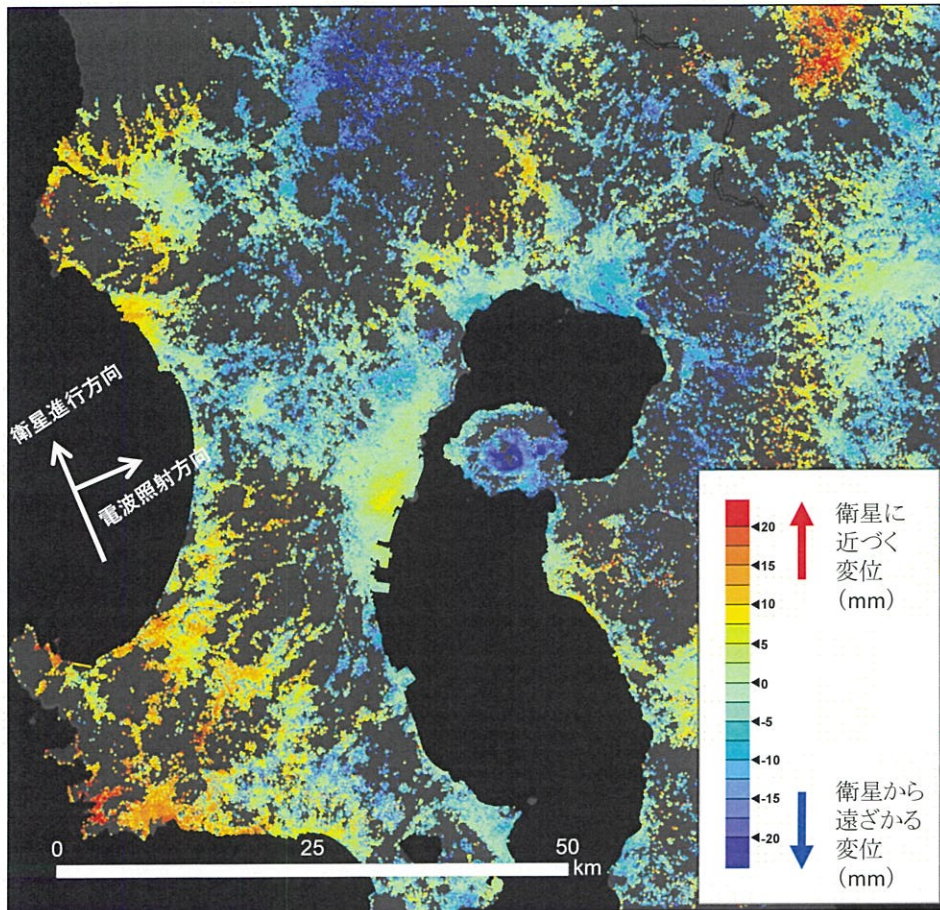
※2 青線は干渉ペアを示す。SBAS法による解析においては、衛星軌道間の距離及び観測日の間隔が小さい衛星画像同士を干渉させる。

余 白

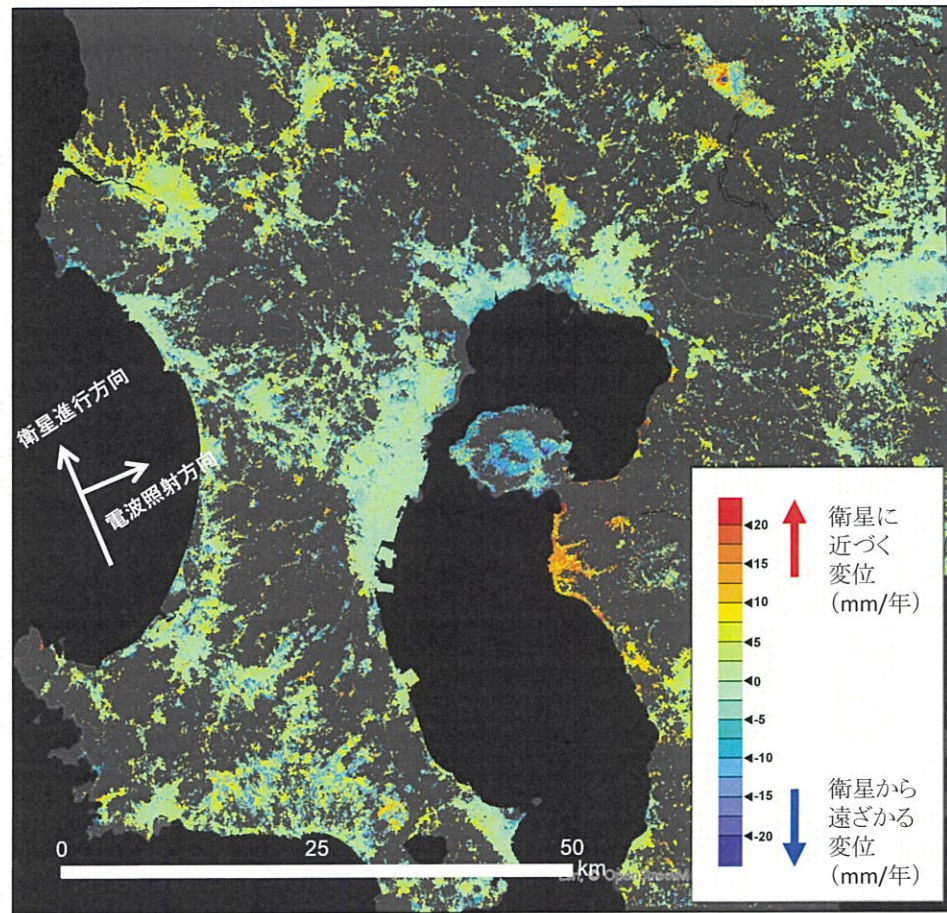
4. 干渉SAR時系列解析[大気ノイズ補正の適用(衛星視線方向)]

- 上昇軌道の衛星視線方向の変動について、大気ノイズ補正を適用しない場合と適用した場合の解析結果を以下に示す。
- 大気ノイズ補正を適用することによって、適用しない場合に見られていた縞状の変位は解消された。ただし、桜島の南方で衛星に近づく変位が計算された。

【大気ノイズ補正なし】



【大気ノイズ補正あり】



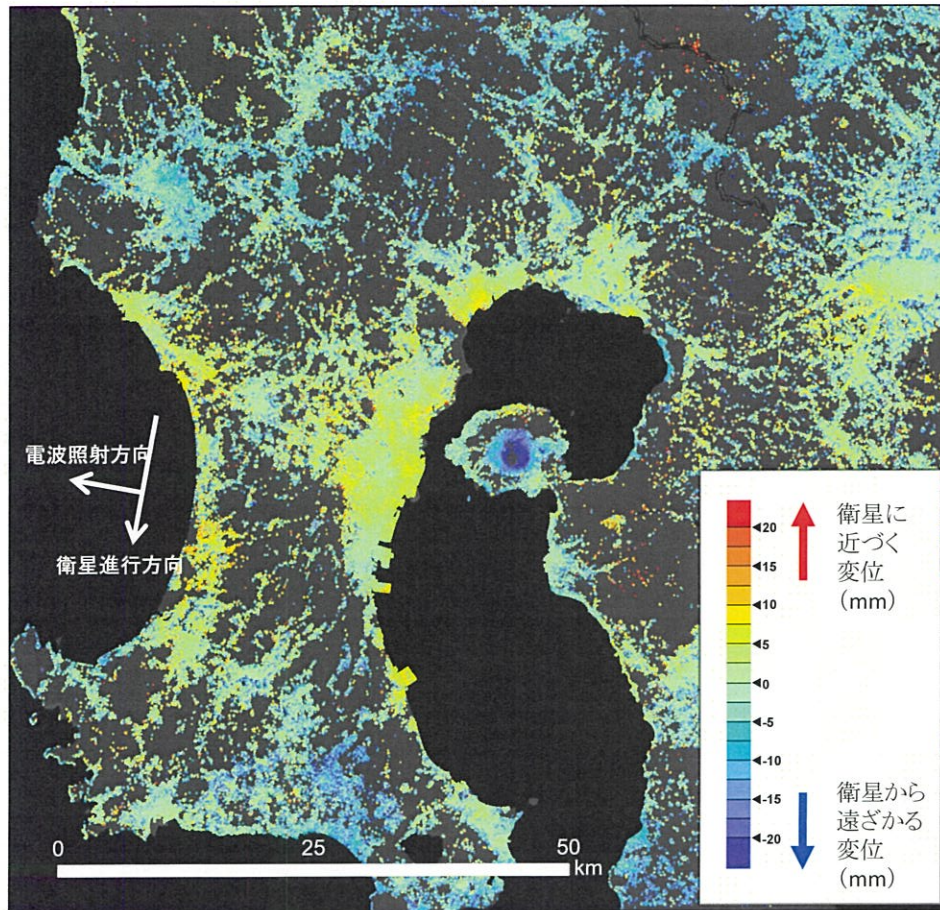
※2020.1.5に対する2020.12.30の累積変位量

干渉SAR時系列解析による2020年の衛星視線方向の変位(上昇軌道)(左:昨年度解析、右:今年度再解析)

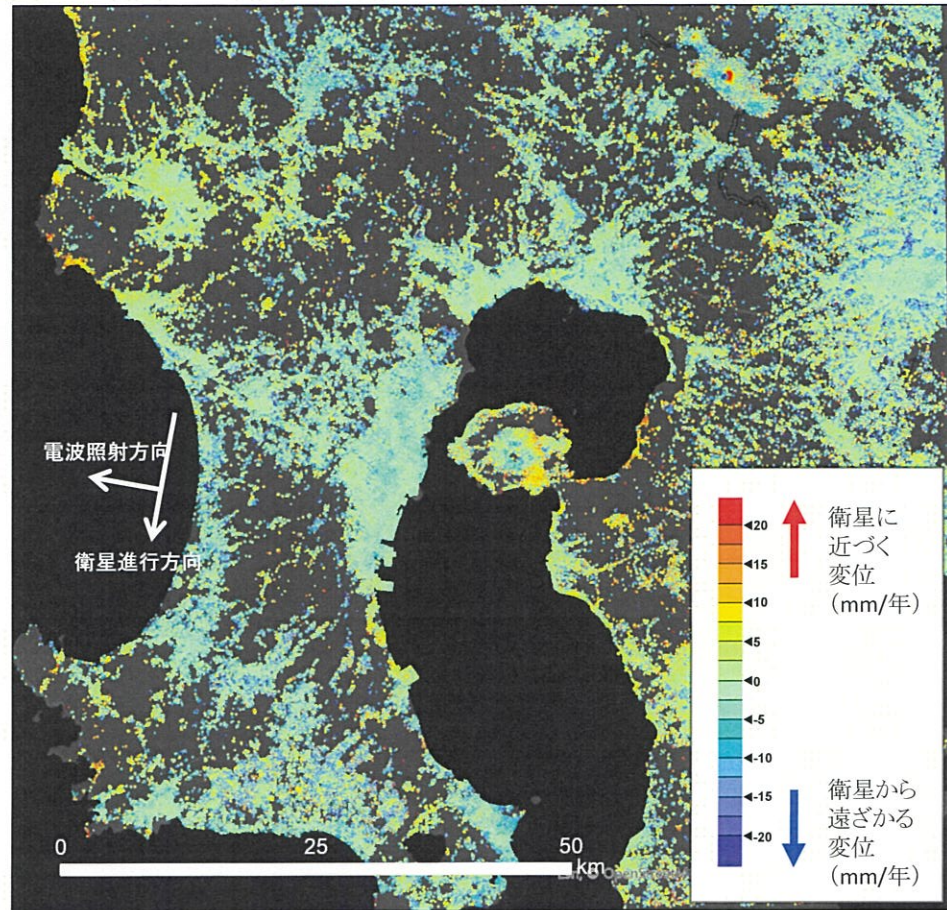
4. 干渉SAR時系列解析[大気ノイズ補正の適用(衛星視線方向)]

- 下降軌道の衛星視線方向の変動について、大気ノイズ補正を適用しない場合と適用した場合の解析結果を以下に示す。
- 大気ノイズ補正を適用することによって、適用しない場合に見られていた解析領域の南側と北側の衛星から遠ざかる変位は解消された。

【大気ノイズ補正なし】



【大気ノイズ補正あり】



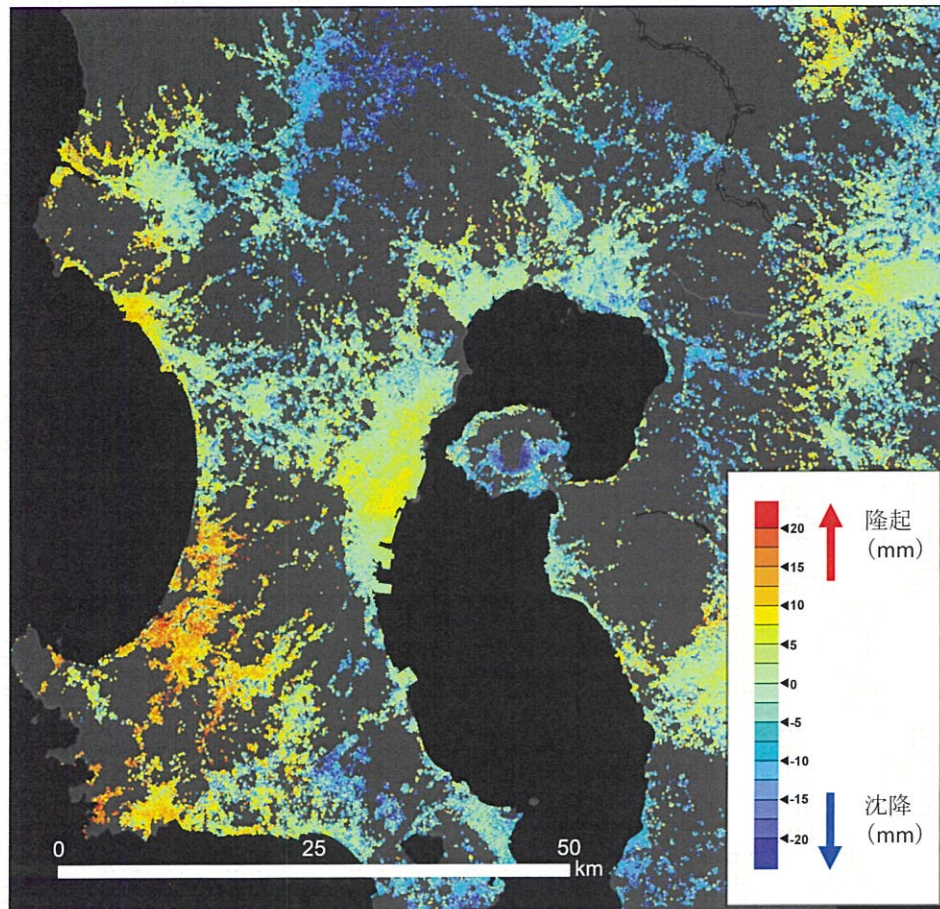
※2020.1.6に対する2020.12.31の累積変位量

干渉SAR時系列解析による2020年の衛星視線方向の変位(下降軌道)(左:昨年度解析、右:今年度再解析)

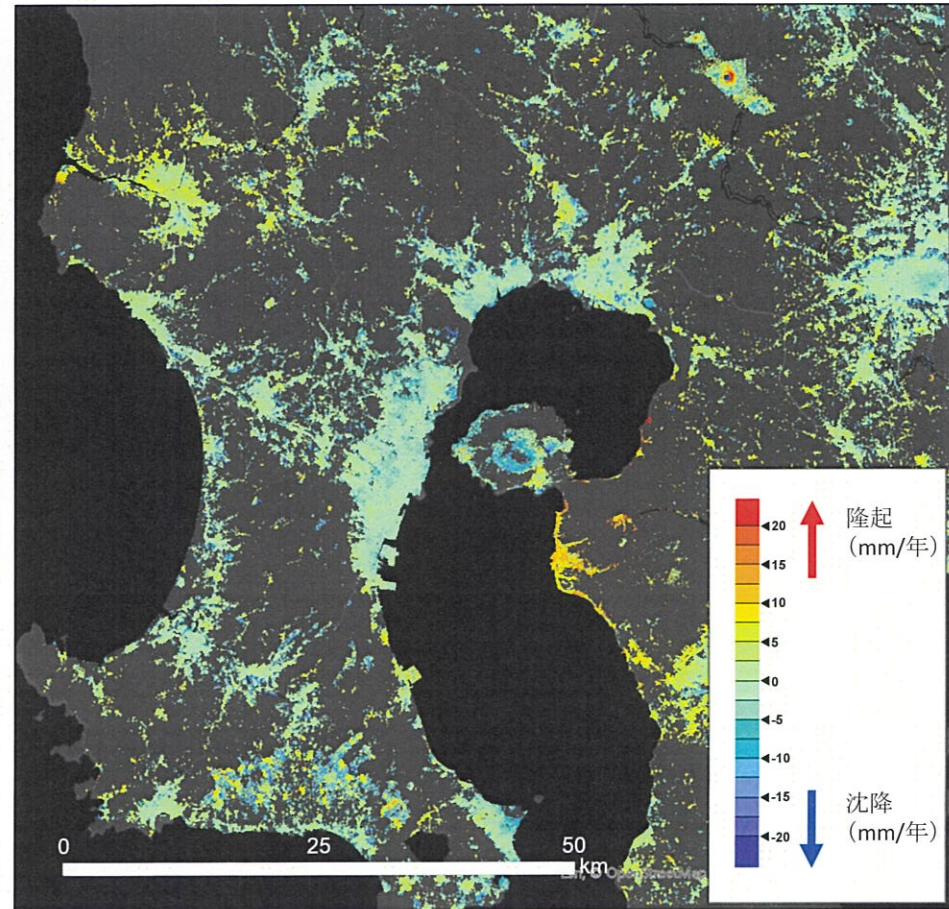
4. 干渉SAR時系列解析[大気ノイズ補正の適用(2.5次元解析)]

- 干渉SAR解析では、同一の解析期間における異なる視線方向のデータを複数組み合わせることにより、その地点の準上下、準東西方向の変位を分離することが可能である(2.5次元解析)。大気ノイズ補正を適用しない場合と適用した場合の解析結果を以下に示す。
- 2.5次元解析の結果、大気ノイズ補正なしでは検出できていなかった新燃岳火口の変動が認められ、大気ノイズ補正の適用によって解析精度は向上したと考えられる。
- 準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。

【大気ノイズ補正なし】



【大気ノイズ補正あり】

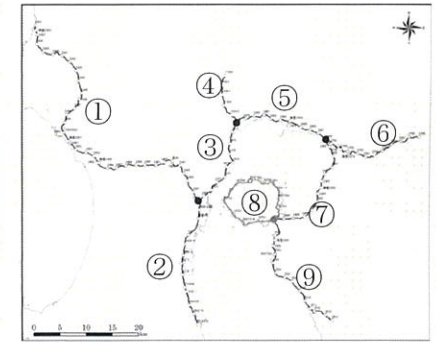
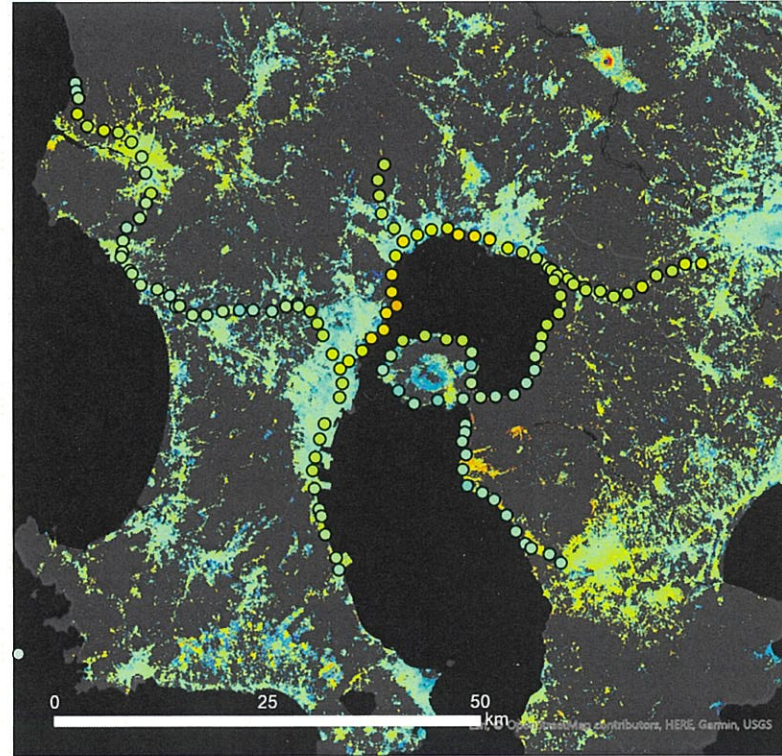
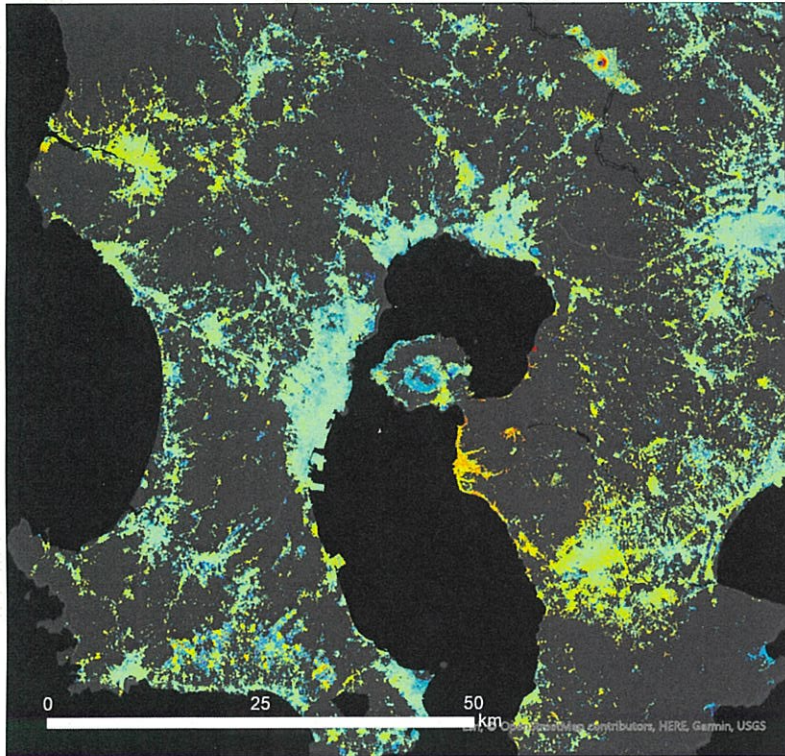


※2020.1.6に対する2020.12.30の累積変位量

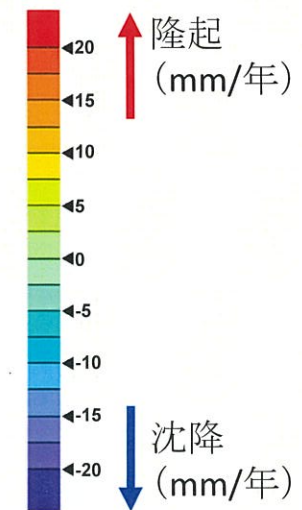
干渉SAR時系列解析による2020年の地殻変動(準上下方向)(左:昨年度解析、右:今年度再解析)

4. 干渉SAR時系列解析[水準測量結果との比較]

- 2.5次元解析結果による鉛直変位速度は、水準測量(2019.11-2020.11)による鉛直変位速度と比較して、測線①は概ね整合的であるが、始良カルデラの南西側(測線②)と北側(測線⑤)で小さく、東側(測線⑦、⑨)は大きく外れている。その他の測線については、SARの結果が求まらない領域が多いため、直接的には比較を行うことができない。



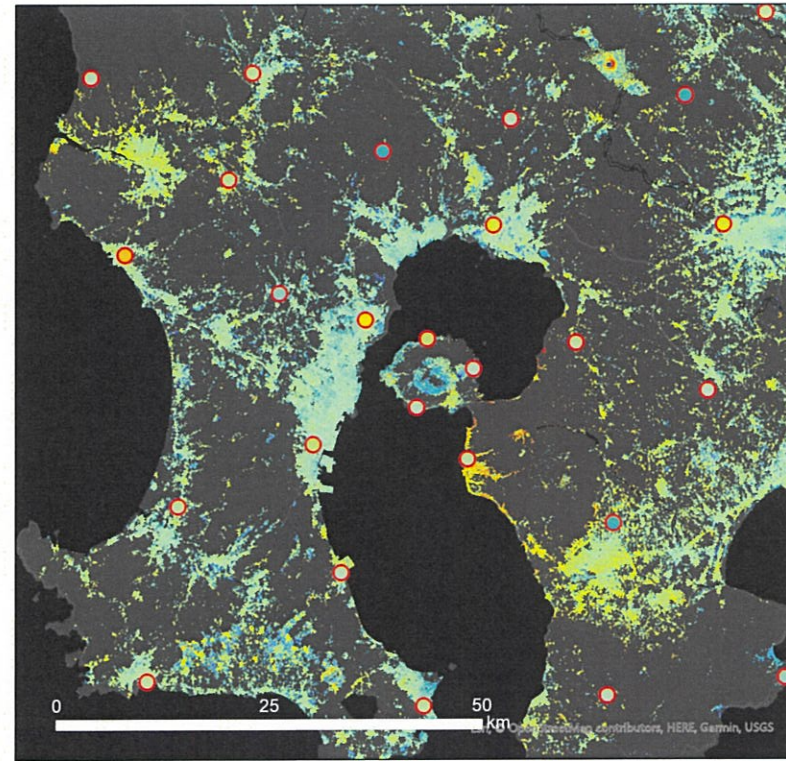
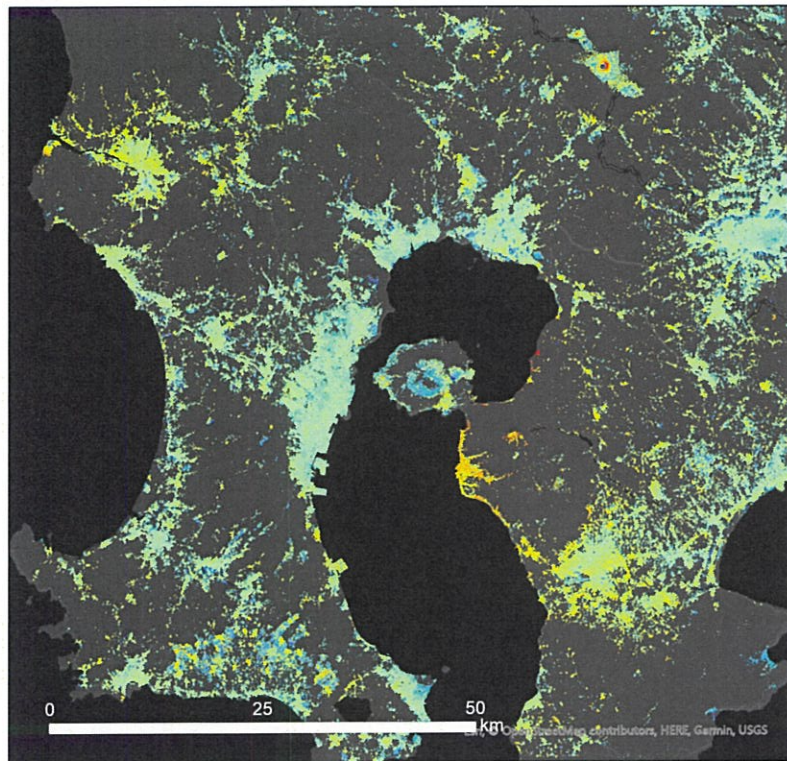
水準測量路線



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]

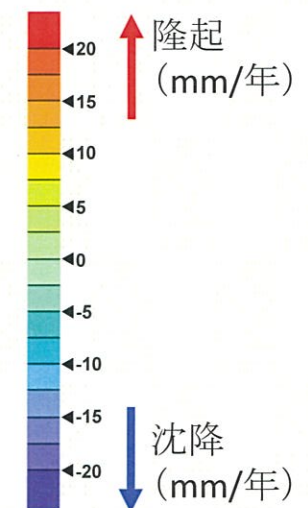
- 2.5次元解析結果について、GNSS観測から得られた上下方向の地殻変動結果(固定点:鹿児島川内)と比較した結果、始良カルデラ周辺のGNSS観測点地点においては、吉野、鹿児島3、鹿児島1A、鹿児島福山は概ね同様の変動傾向になっているが、その他の点では変動傾向があまり一致しない。
- 垂水では、水準測量の基線⑨と同様に干渉SAR時系列解析結果がGNSSの結果よりも変動が大きく、沈降傾向とは整合しない。
- なお、GNSSの串木野の変動については季節変動等を反映し、大きく乖離していると考えられる。



○ GNSS観測(2020.1~2020.12)から得られた上下方向の変位速度。鹿児島川内を固定点とする。



GNSS観測点位置



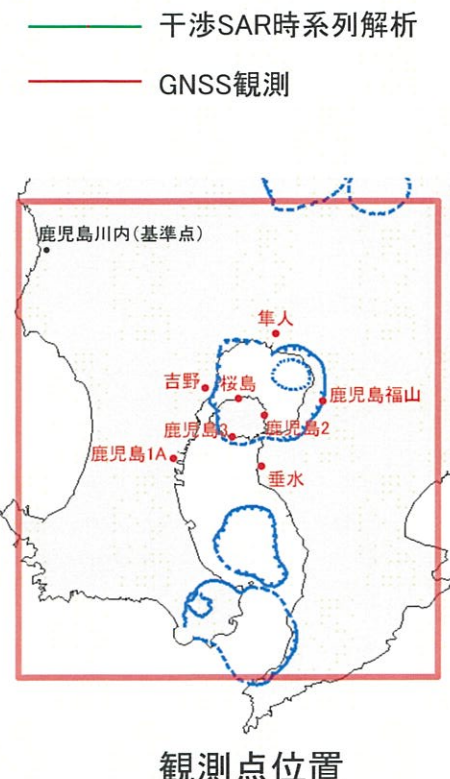
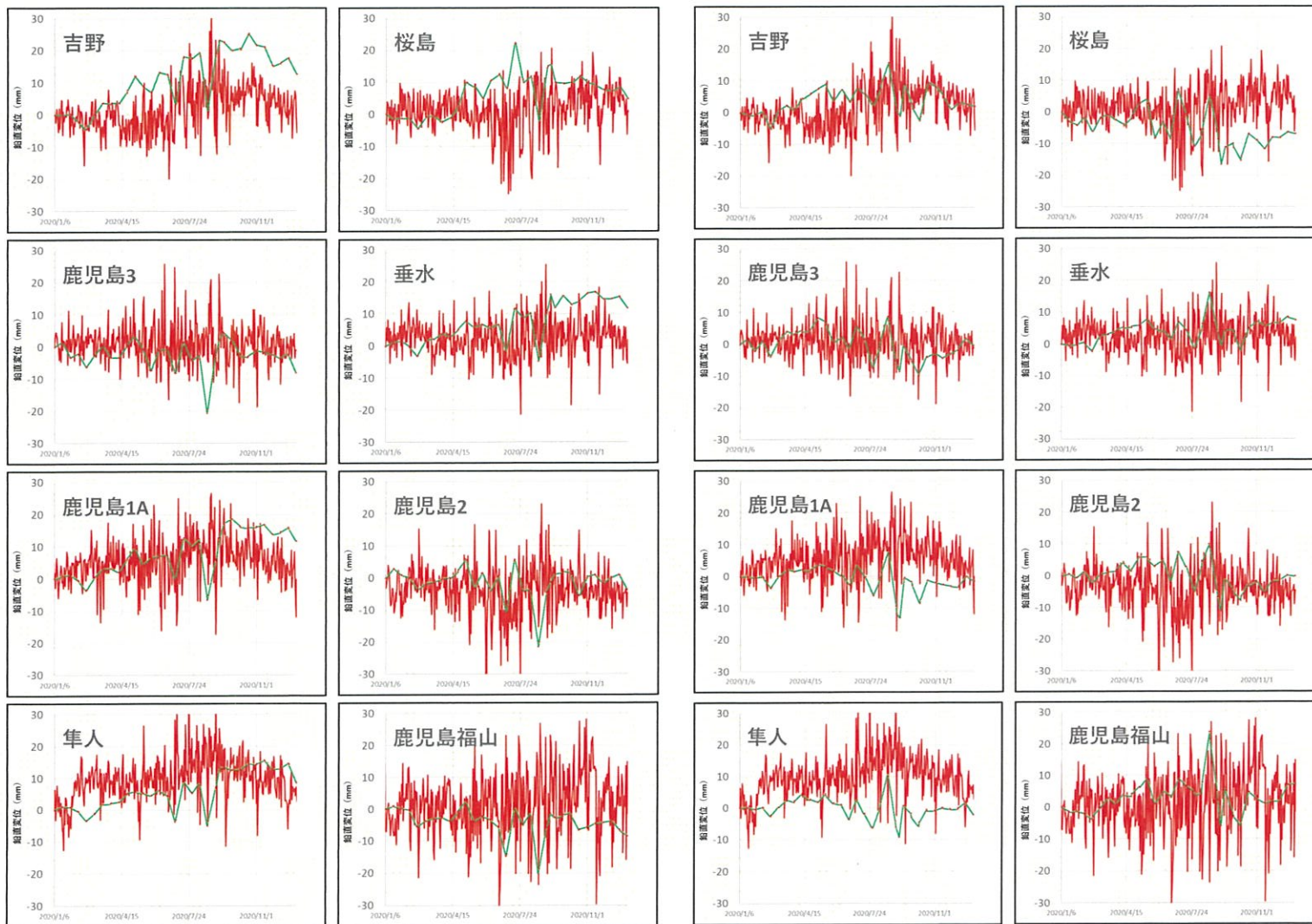
干渉SAR時系列解析とGNSS観測の比較(左:GNSS観測結果なし、右:GNSS観測結果あり)

4. 干渉SAR時系列解析[GNSS観測結果との比較]

• 大気ノイズ補正適用による干渉SAR時系列解析の結果をGNSS観測による比高の時系列変化を比較した結果、GNSS観測結果により整合する結果となった。ただし、「隼人」と「桜島」では適用前より乖離する結果となった。

【大気ノイズ補正なし】

【大気ノイズ補正あり】



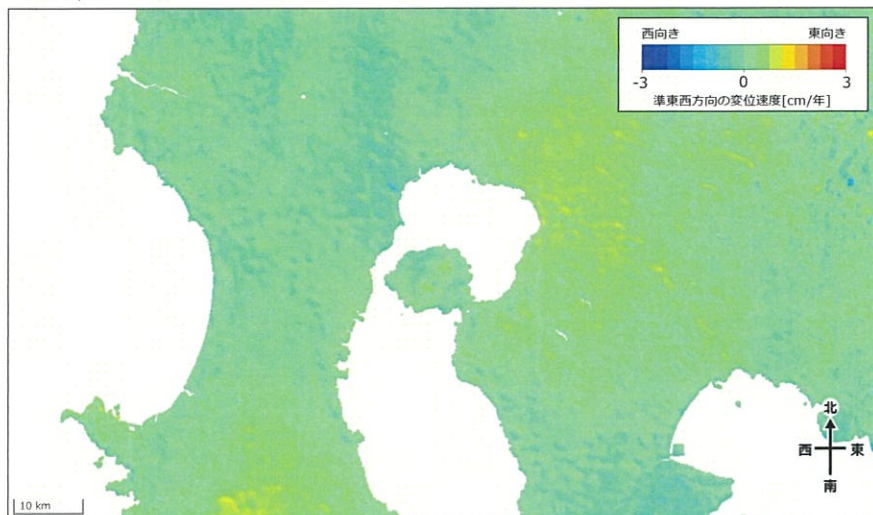
※1 干渉SAR時系列解析、GNSS観測による970835(鹿児島川内)を基準とする比高を算出し、比較を実施した。
 ※2 960776(鹿児島郡山)は周辺樹木等の影響によりデータ品質が悪いため、検討から除外した。

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(左:昨年度解析、右:今年度再解析)

【参考】国土地理院による干渉SAR全国時系列解析結果

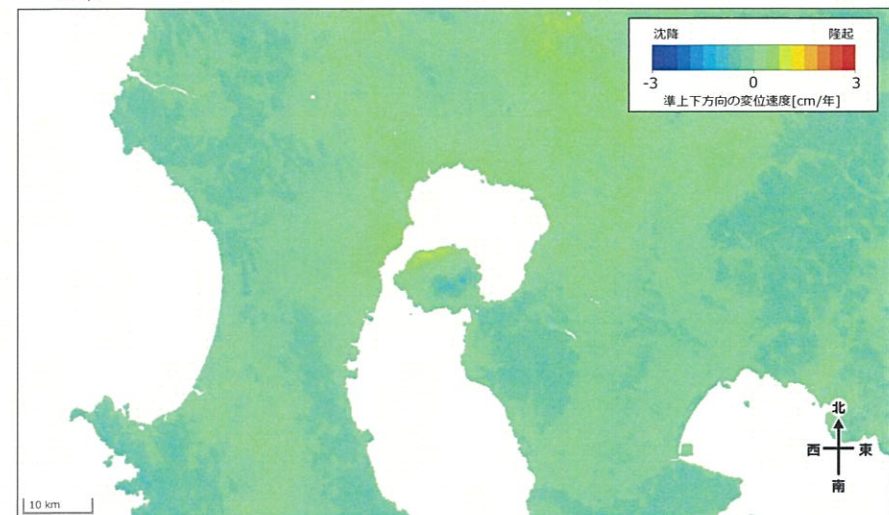
- 国土地理院が実施した、ALOS-2データ(2014年～2022年)を用いた干渉SAR全国時系列解析における、始良カルデラ周辺の準東西方向及び準上下方向の平均的な変位速度(cm/年)を示す。
- 解析においては、大規模な地震に伴う地殻・地盤変動や広域地殻変動は推定し除去しているため、火山活動等の局所的な変動(概ね数百m～数十kmの空間的な広がりをもつ変動)の把握に適している。
- 準上下方向の結果から、桜島においては南東部に沈降、北西部に隆起の傾向が見られる。また、始良カルデラ縁やその周辺においては、全体として隆起する傾向が認められる。

地理院地図
GSI Maps



変位速度(cm/年) (準東西方向)

地理院地図
GSI Maps



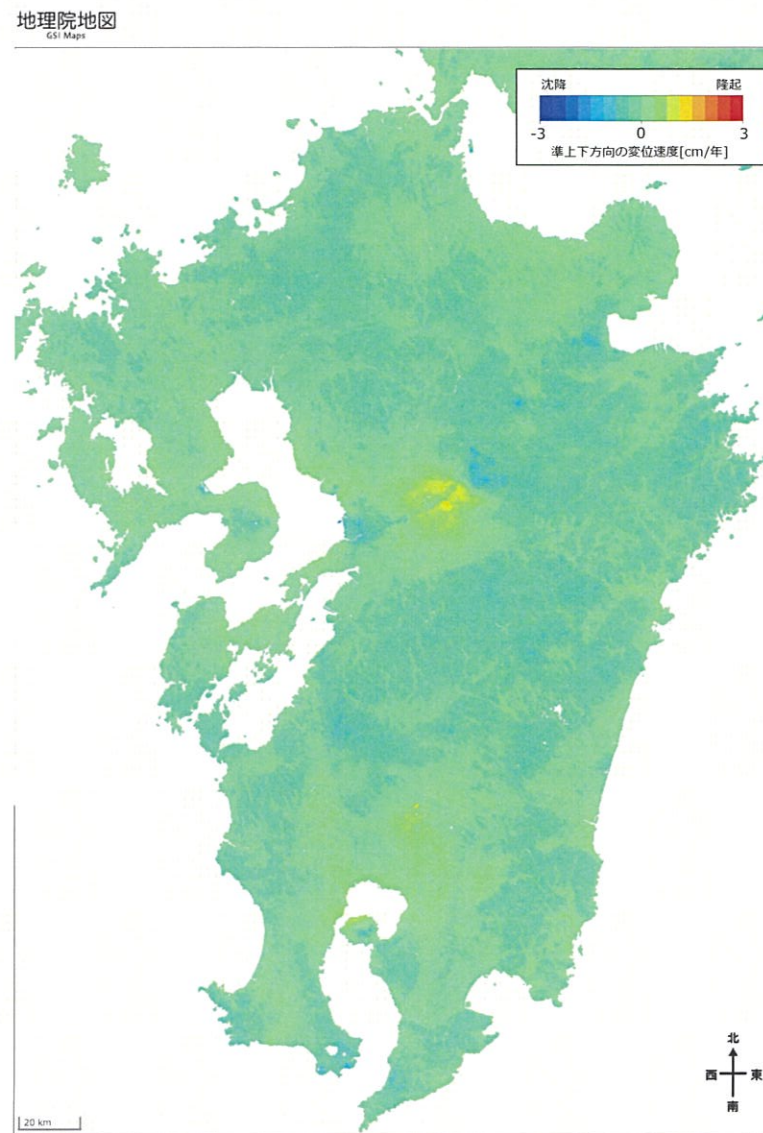
変位速度(cm/年) (準上下方向)

出典: 国土地理院 地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) (解析: 国土地理院 原初データ所有: JAXA)

【参考】国土地理院による干渉SAR全国時系列解析結果



変位速度(cm/年) (準東西方向)



変位速度(cm/年) (準上下方向)

出典: 国土地理院 地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/>) (解析: 国土地理院 原初データ所有: JAXA)

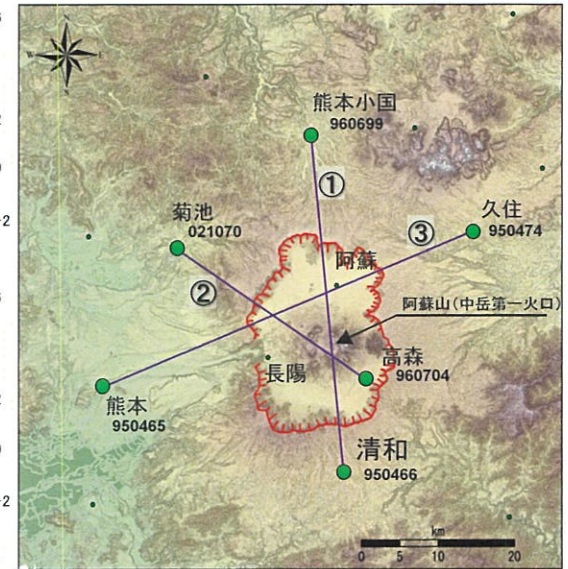
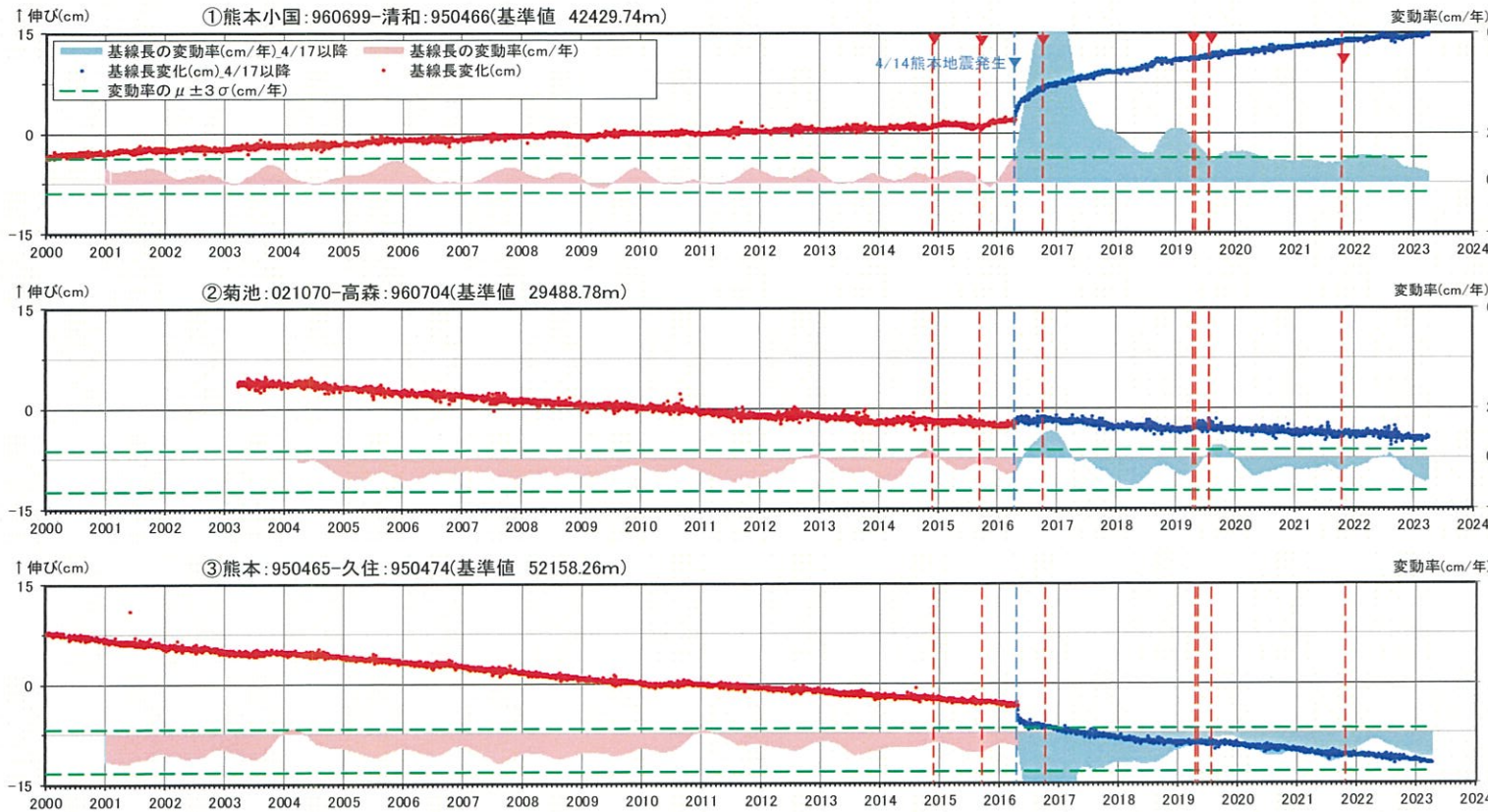
4. 干渉SAR時系列解析[まとめ]

- 今年度の干渉SAR時系列解析の検討においては、2020年のSentinel-1データを用いた再解析を行った。
- GACOSを利用した大気ノイズ補正を適用したことにより、縞状の変位の除去や新燃岳火口の変動の検出ができ、解析範囲全体の精度は向上させることができた。
- 一方、干渉SAR時系列解析による変動は、水準測量やGNSSによる結果と整合している部分もあれば整合していない部分もある。現状では、始良カルデラ縁の継続的な隆起を捉える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。

余 白

5. 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]

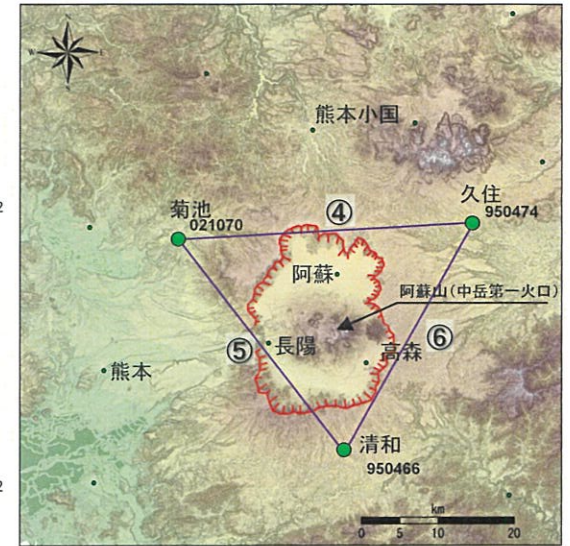
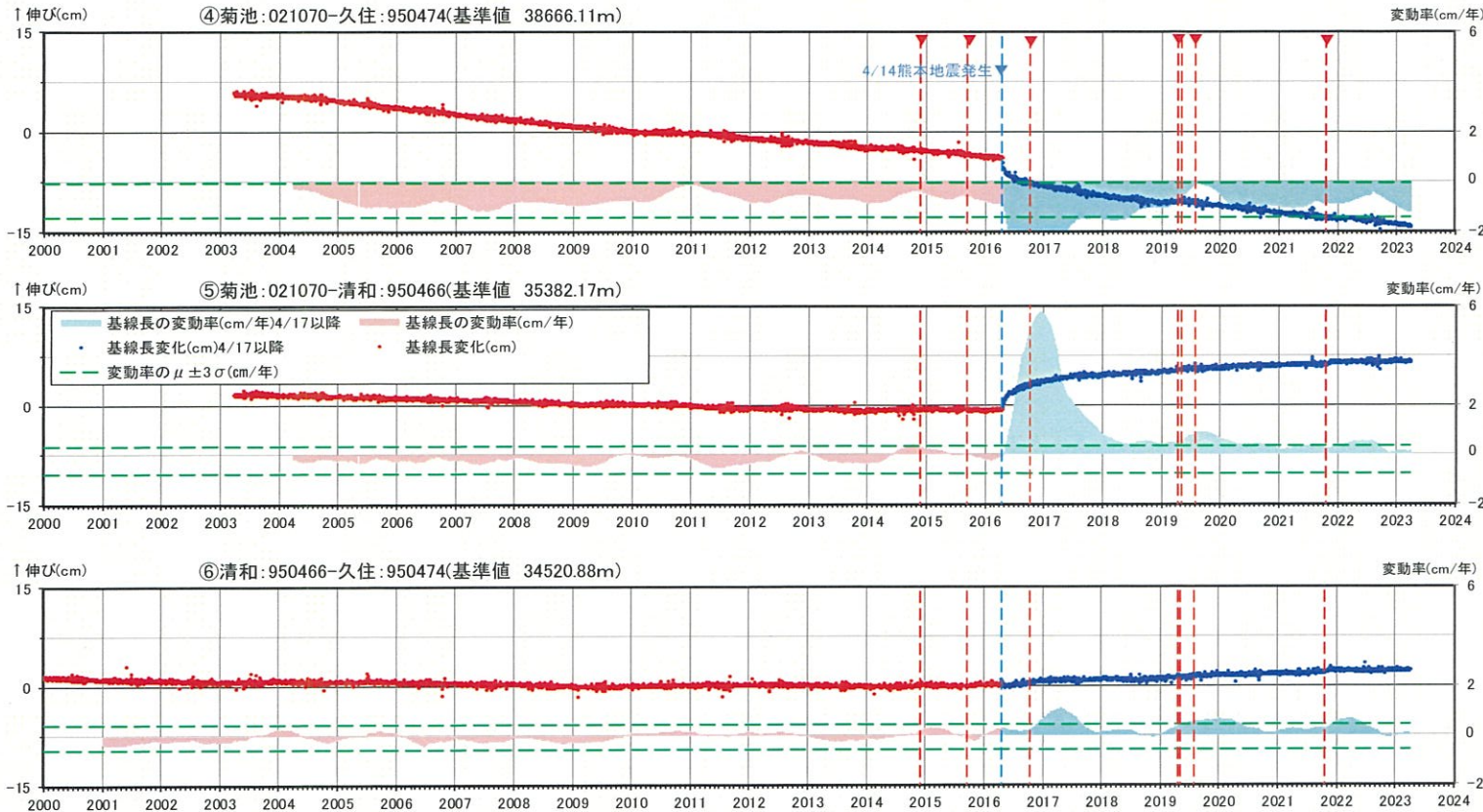
- ・ 基線長変化について、統計学において誤差範囲として用いられる「平均(μ) \pm 3 σ 」と、2022年度の観測結果との比較を行った。
- ・ 2021年度に引き続き、2022年度の阿蘇カルデラの基線①(熊本小国-清和)、⑤(菊池-清和)、⑥(清和-久住)において+3 σ を超える基線長変動率が見られる原因は、余効変動除去した結果、定常変動の傾向が変化したこと(P.118,119,120)が原因と考えられる。



- 国土地理院のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 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)

5. 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]

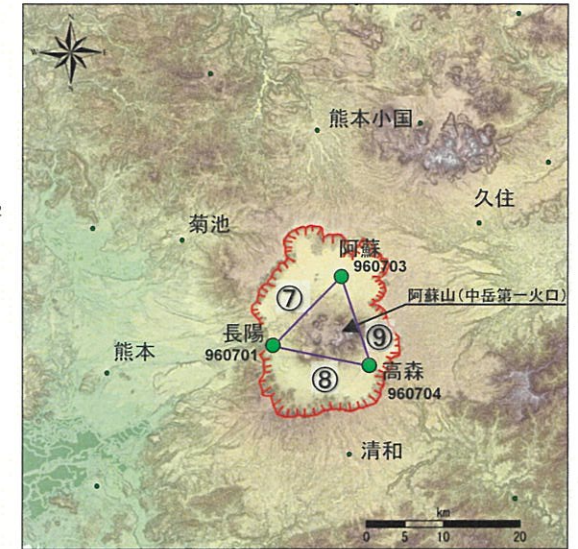
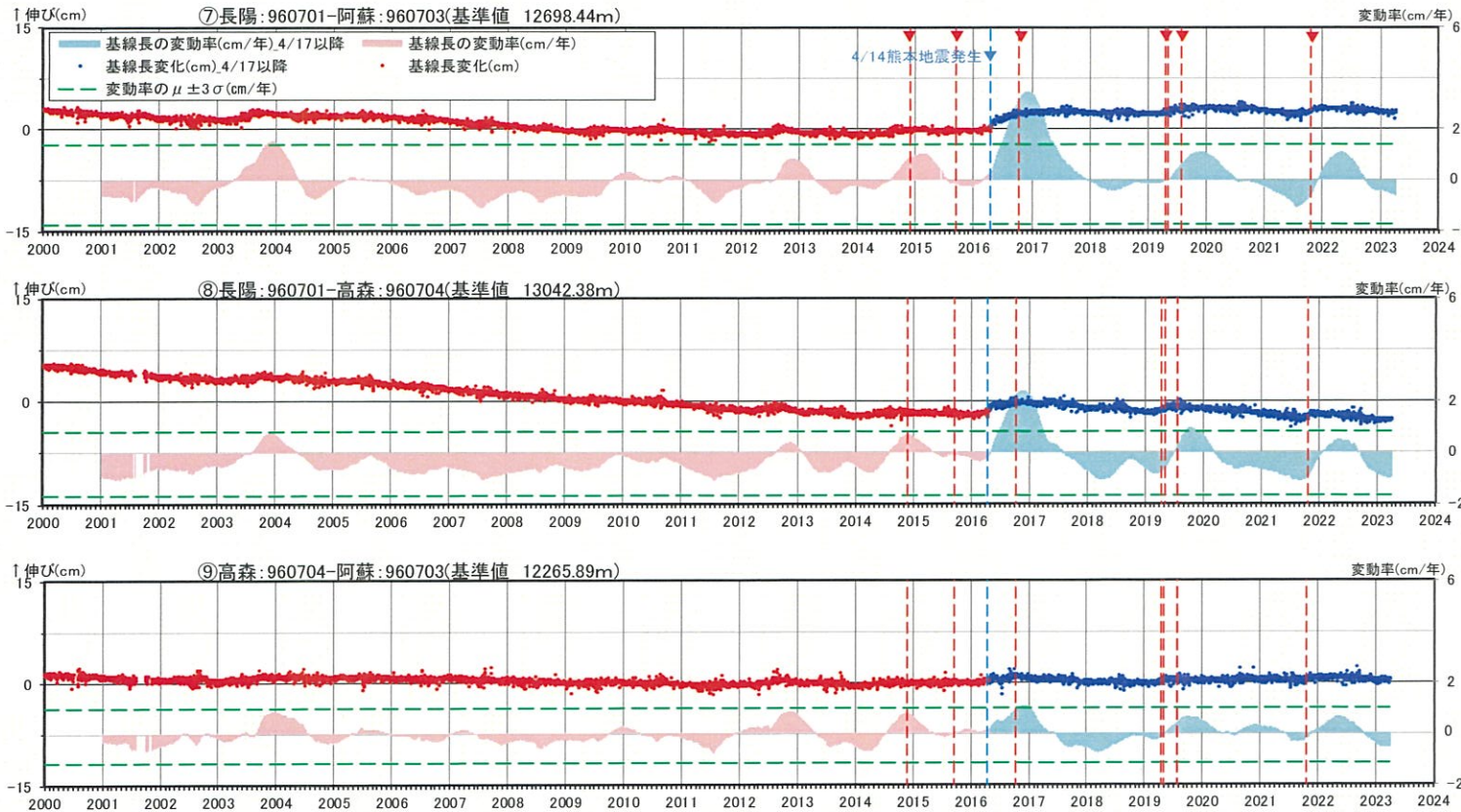


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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)

5. 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]



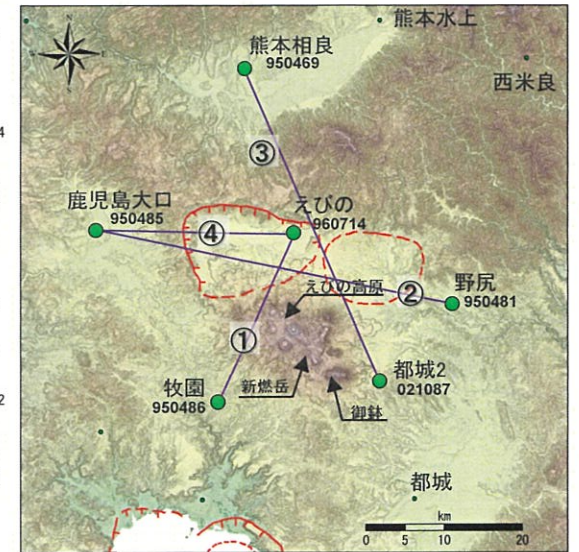
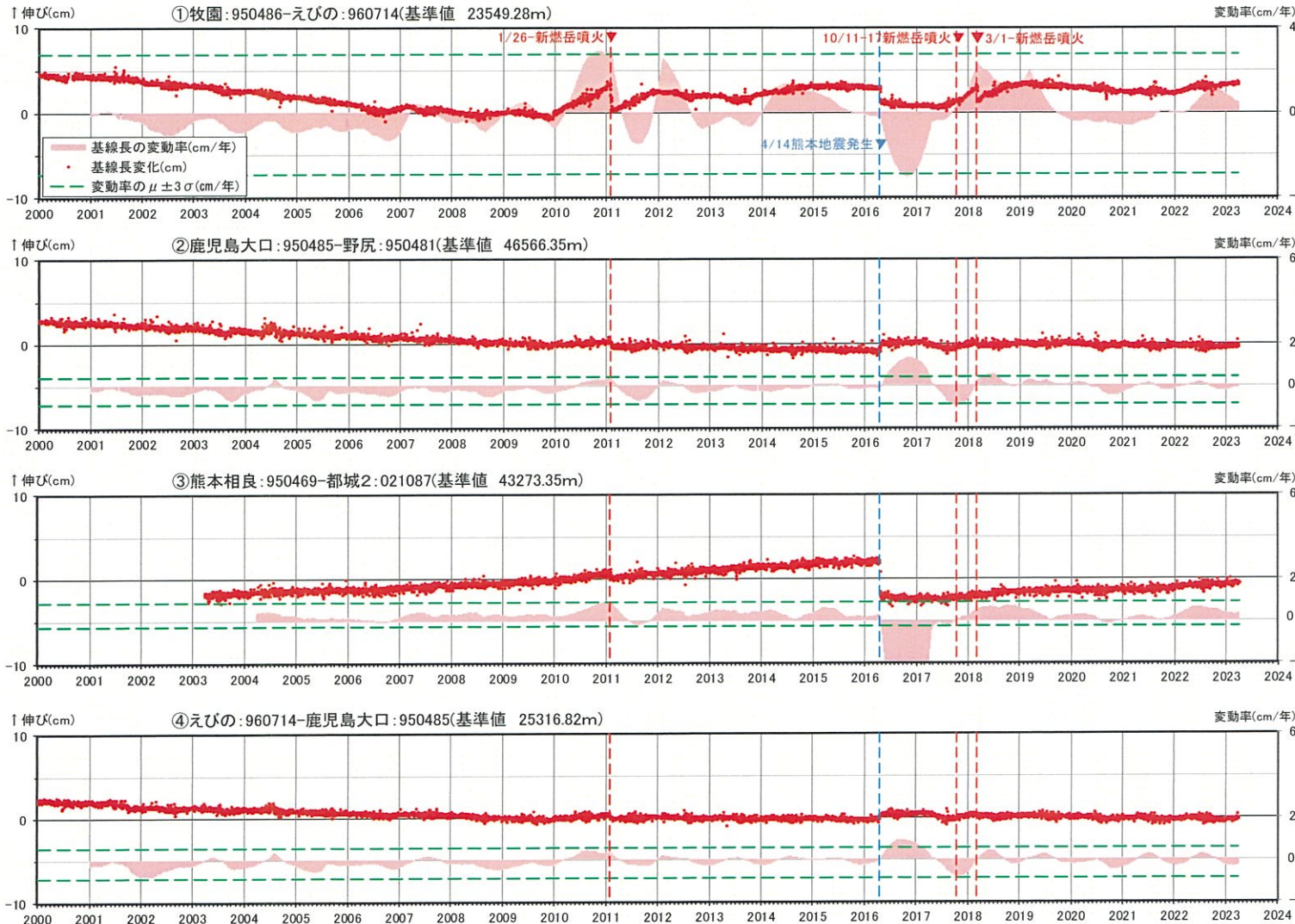
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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)

5. 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]

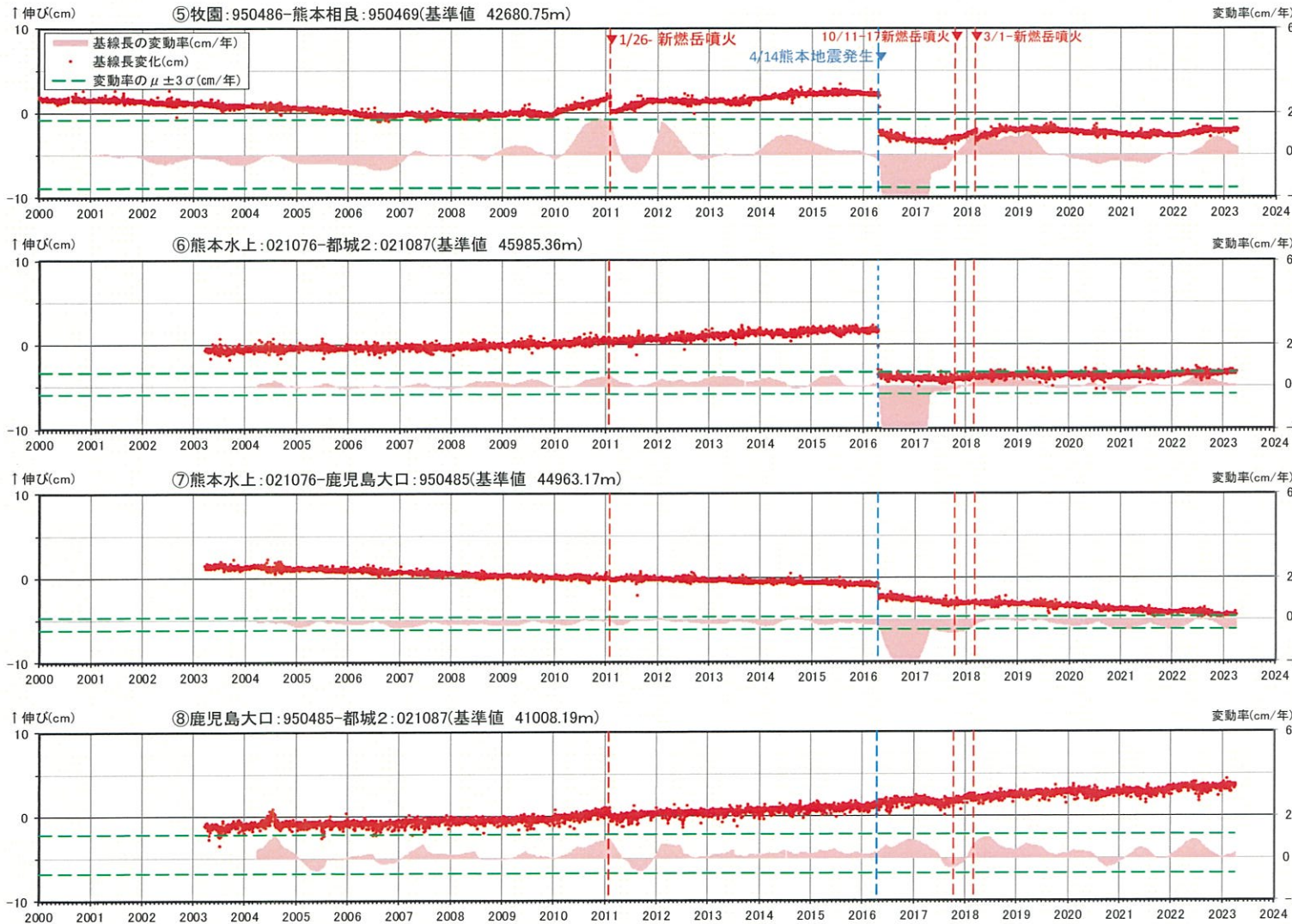
・2022年度の加久藤・小林カルデラの基線⑨(熊本相良-都城)、⑩(西米良-都城)及び⑫(鹿児島大口-都城)において $+3\sigma$ を上回る基線長変動率が見られるが、霧島山(新燃岳)の活動による影響や、「都城」の季節的な変動が大きかったために超えていると考えられる。また、基線⑦は -3σ を超過したが、これも季節変動の影響を受けたためと考えられる。



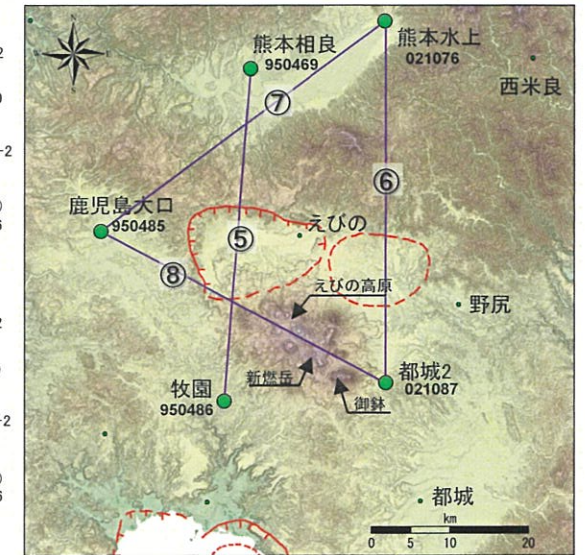
- 国土地理院のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 熊本地震発生以前(算出開始日~2015.12.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は主な噴火

基線①~④の時系列変化

5. 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]



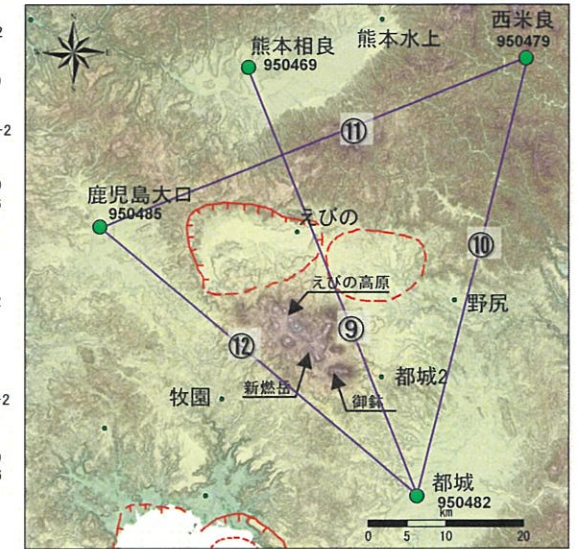
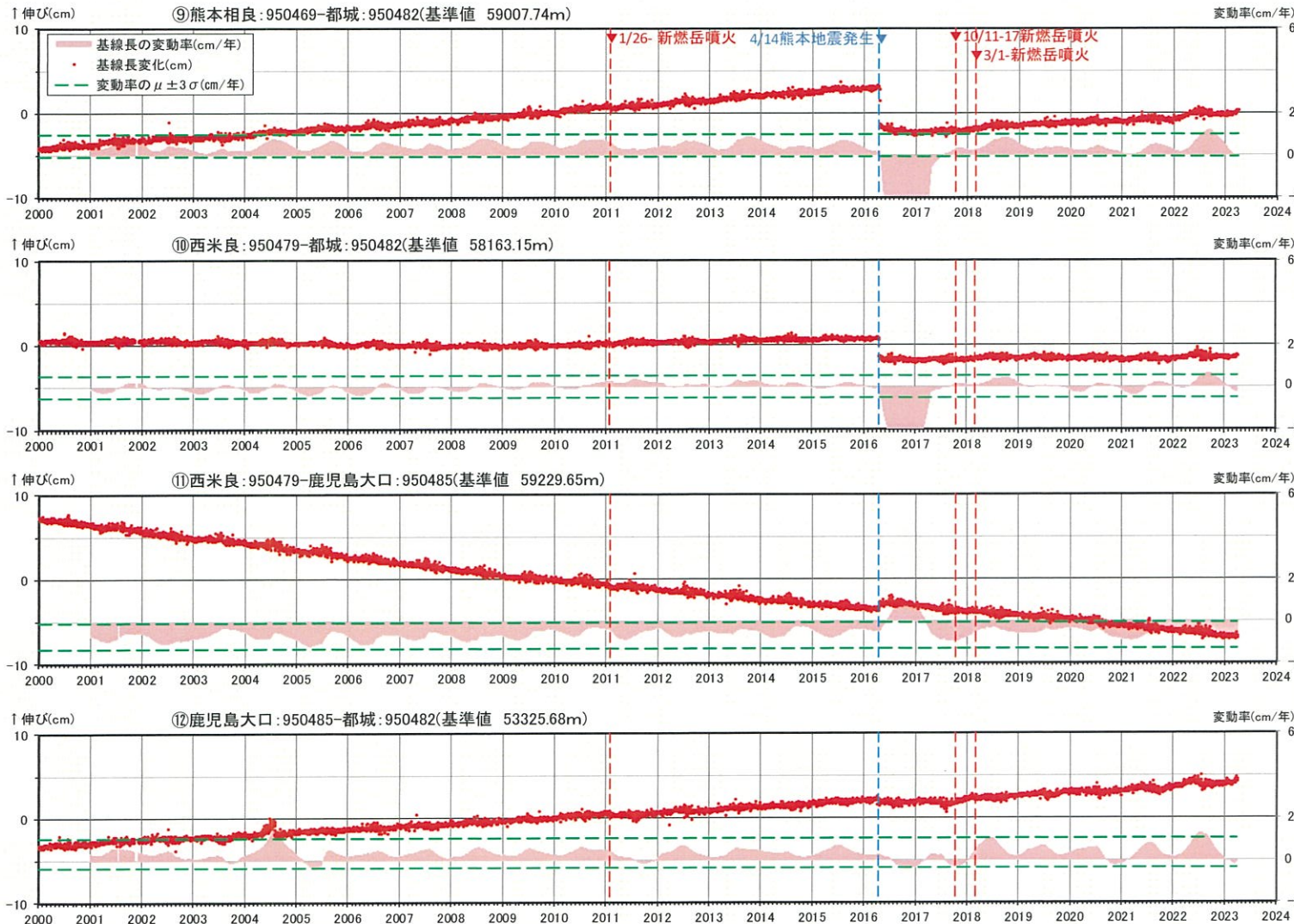
基線⑤～⑧の時系列変化



● 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 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

5. 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]



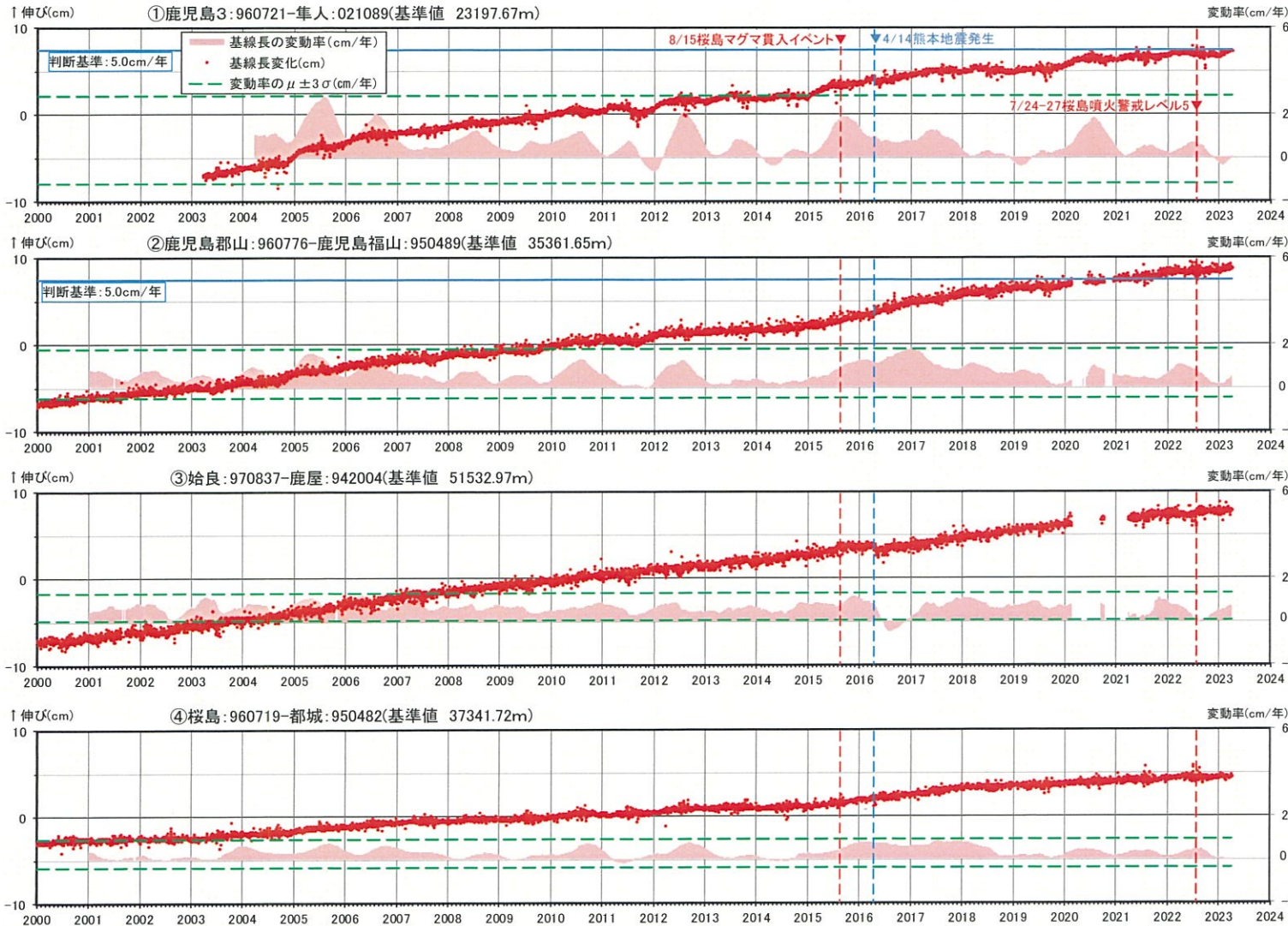
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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
- ※4 赤色の▼は主な噴火

基線⑨～⑫の時系列変化

5. 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]

・2022年度の始良カルデラの基線③(始良-鹿屋)においては基線長変動率が -3σ を下回るものの、鹿屋において夏期のデータノイズの影響が大きいと考えられるため、今後の経過を確認していく。



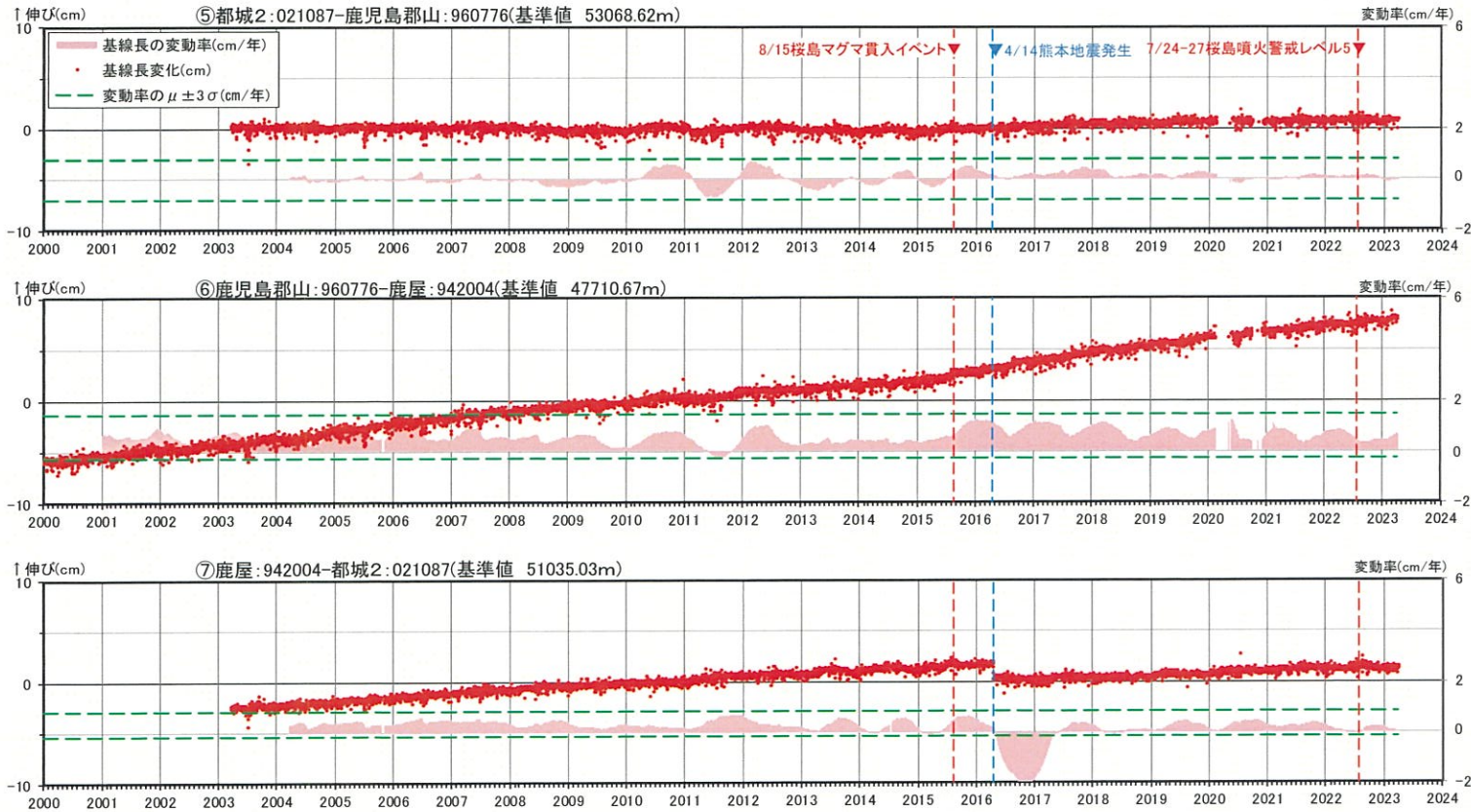
基線①～④の時系列変化



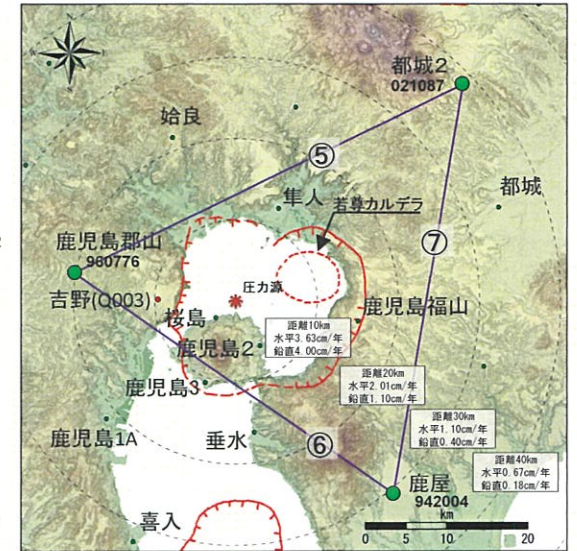
- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※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2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※6 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

5. 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]



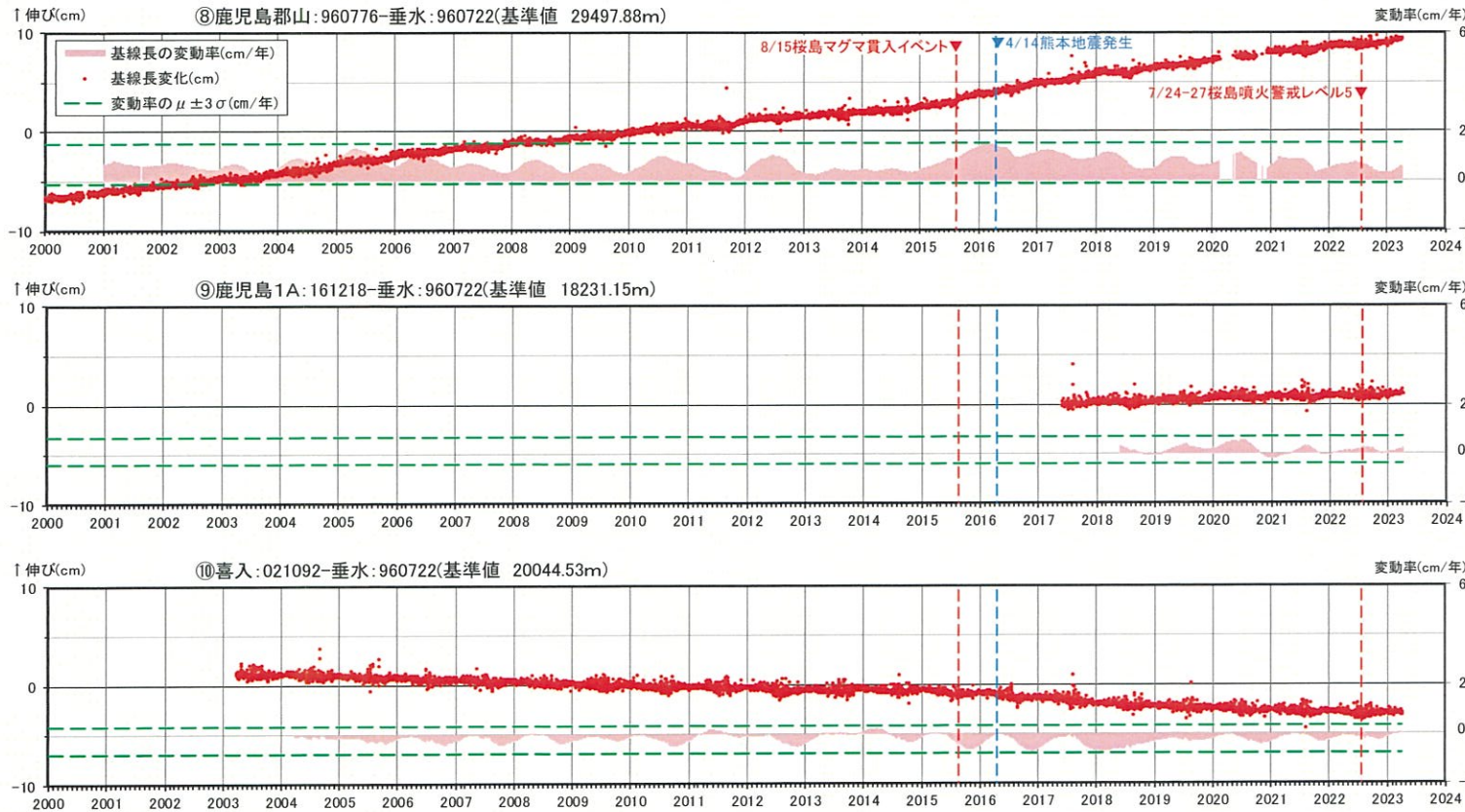
基線⑤～⑦の時系列変化



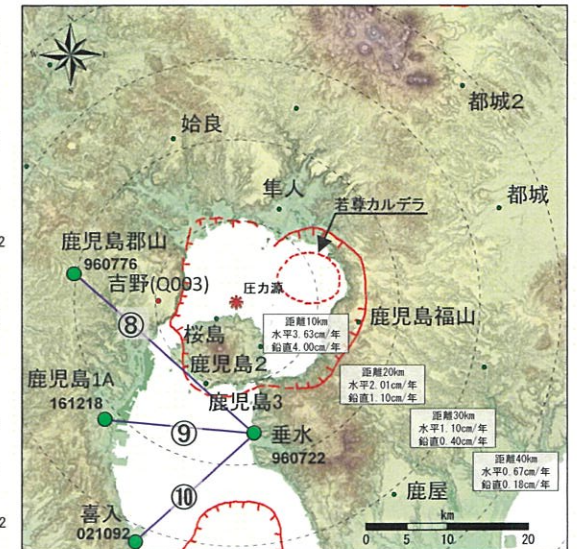
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

- ※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2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※6 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

5. 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]



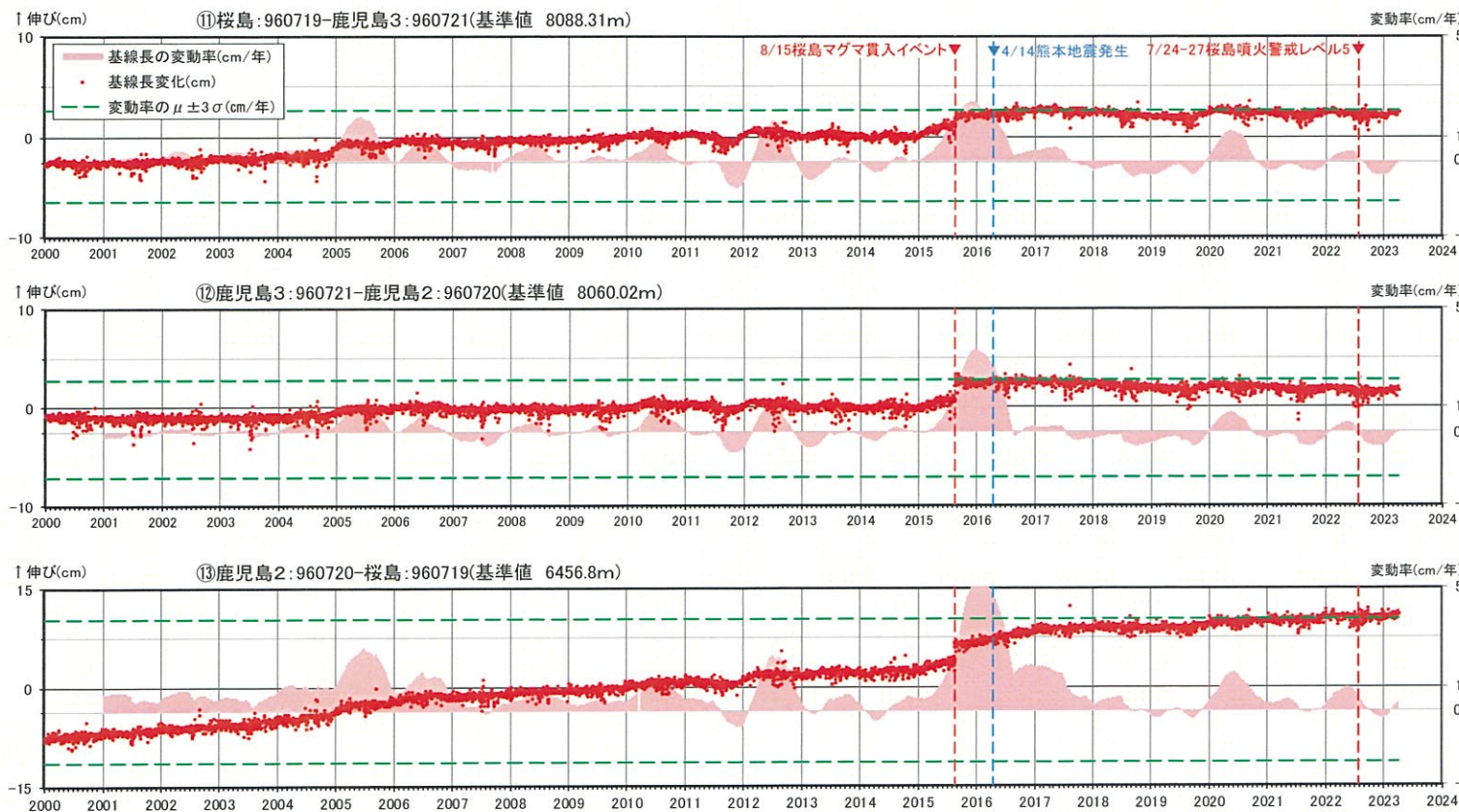
基線⑧～⑩の時系列変化



- 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 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※5 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

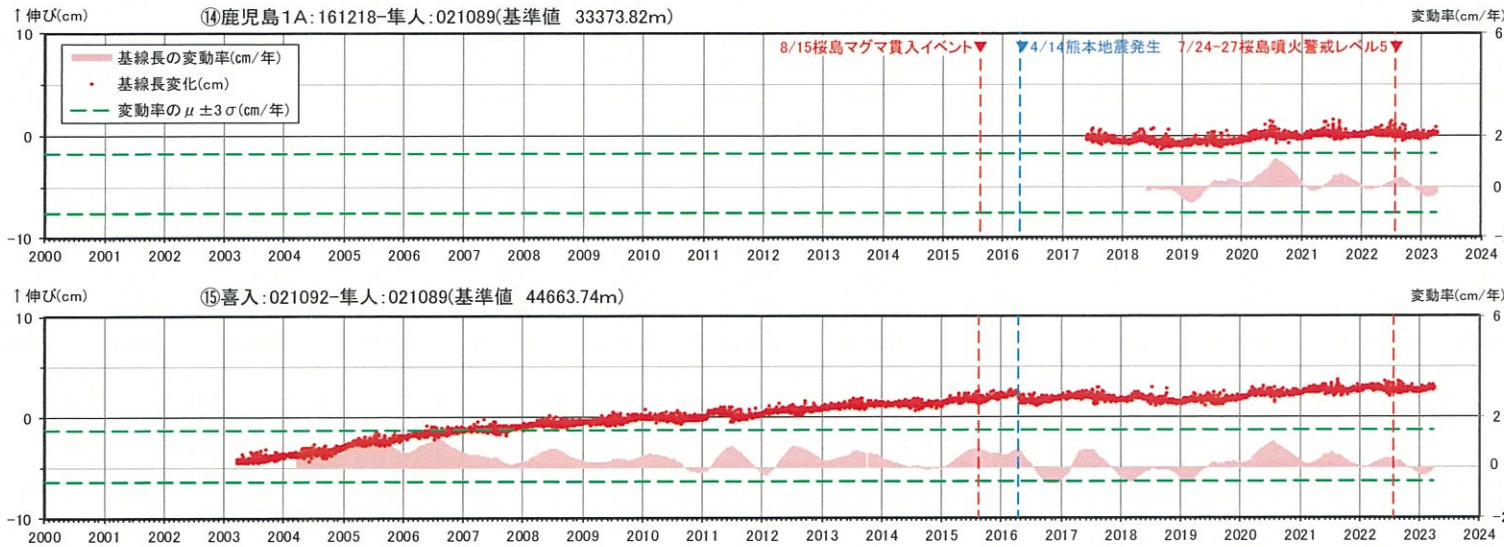
5. 統計的整理に基づく評価 始良カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



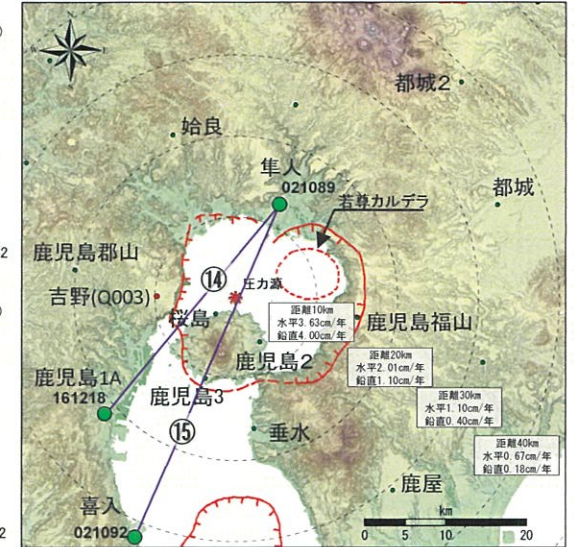
- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点
- ※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2022年度以前(算出開始日~2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

基線⑪~⑬の時系列変化

5. 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]



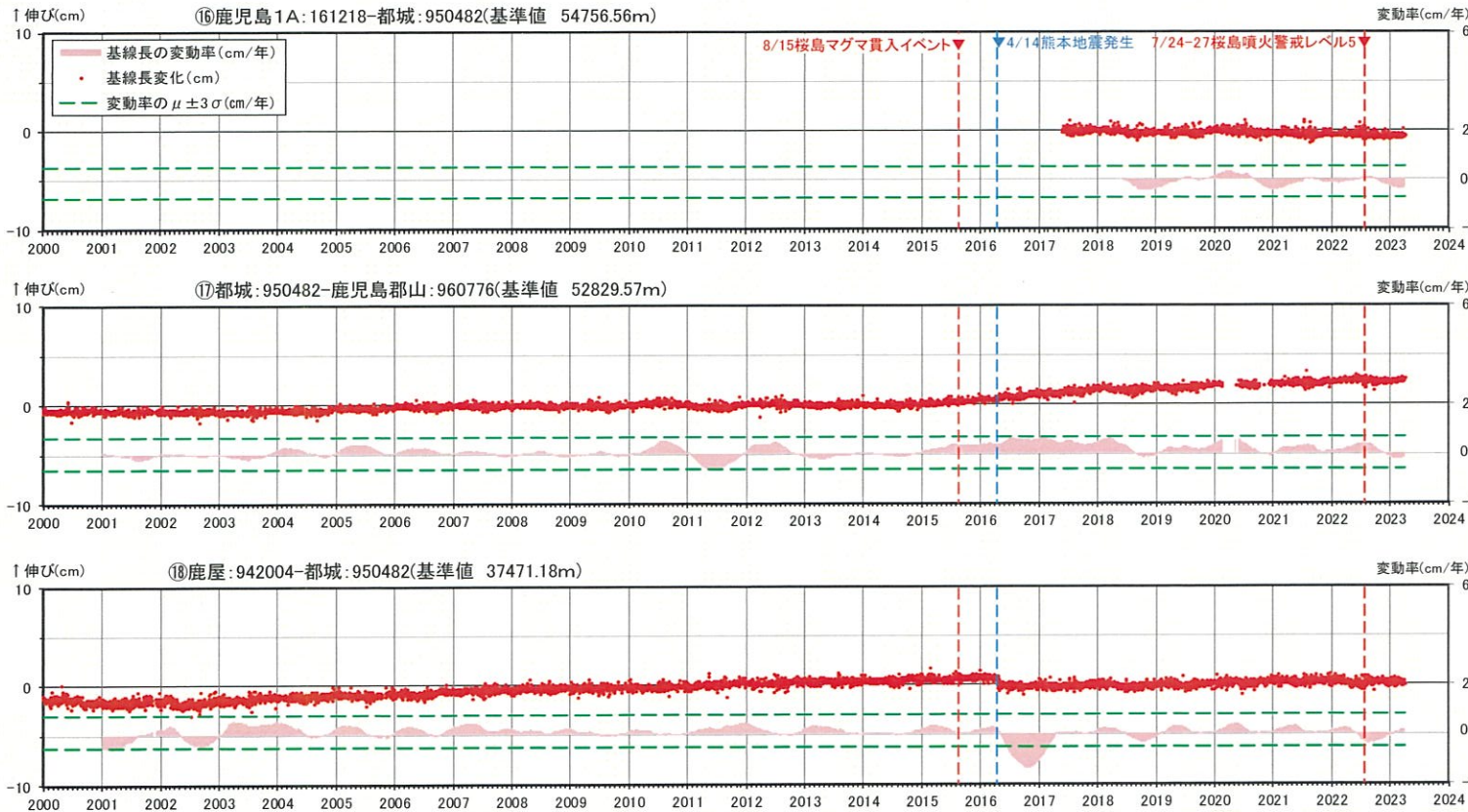
基線⑭～⑮の時系列変化



- 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2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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
- ※5 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

5. 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]



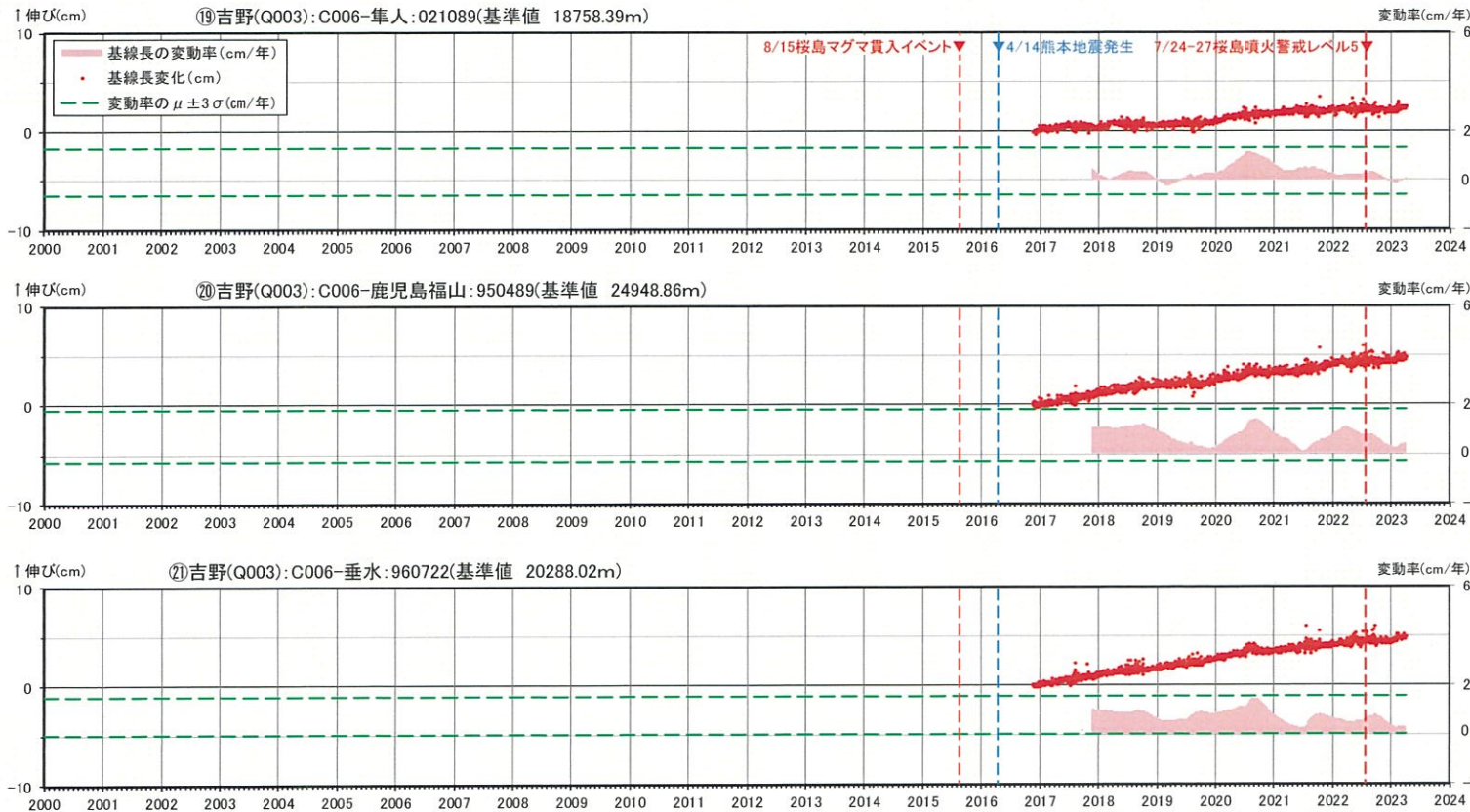
基線⑬～⑮の時系列変化



● 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2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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
- ※5 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

5. 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]



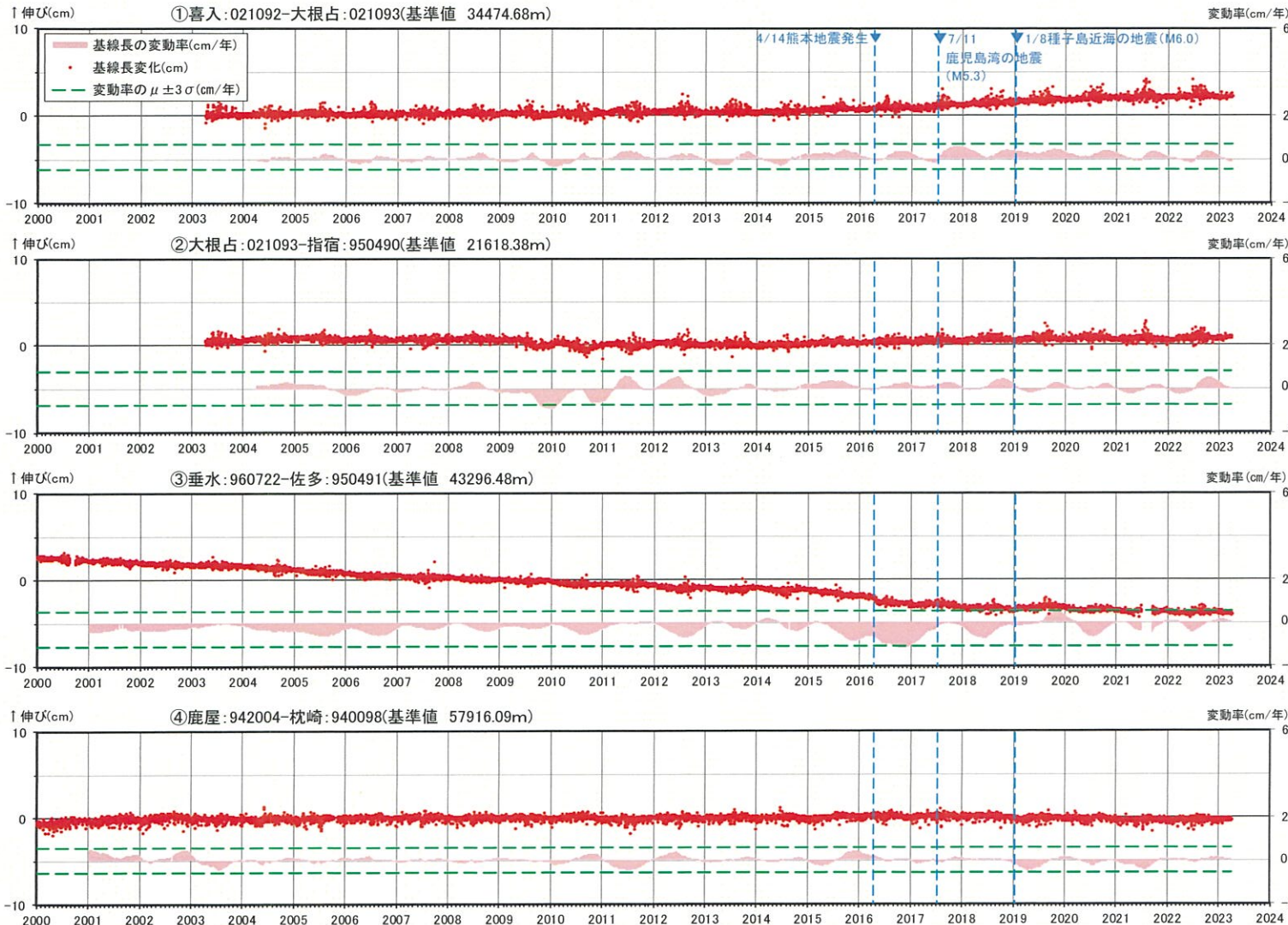
● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

- ※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 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 赤色の▼は桜島の活動に関する公表された主なイベント

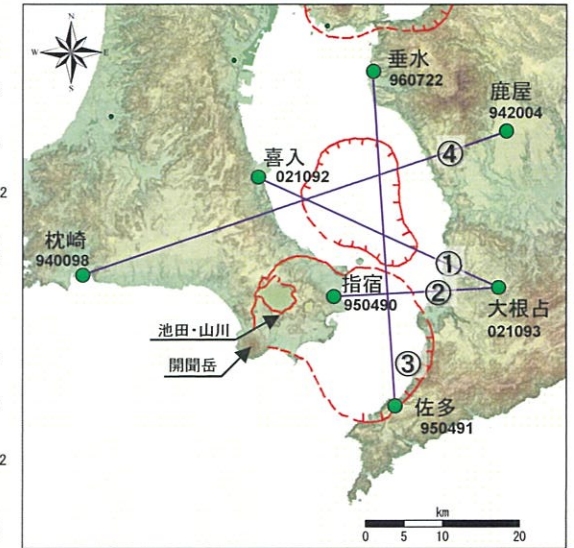
基線⑱～㉑の時系列変化

5. 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]

・ 2022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。



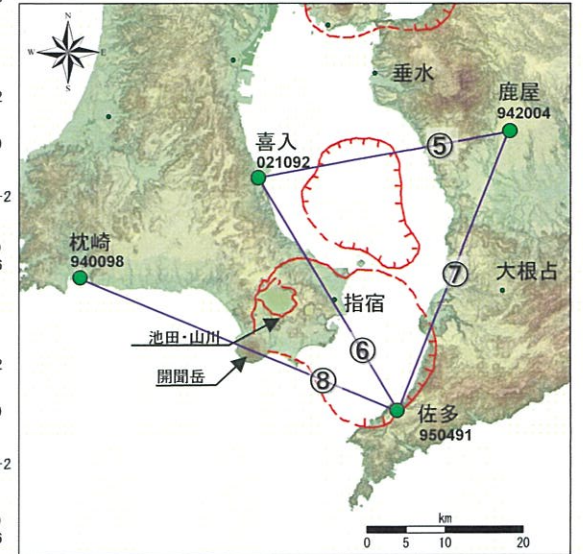
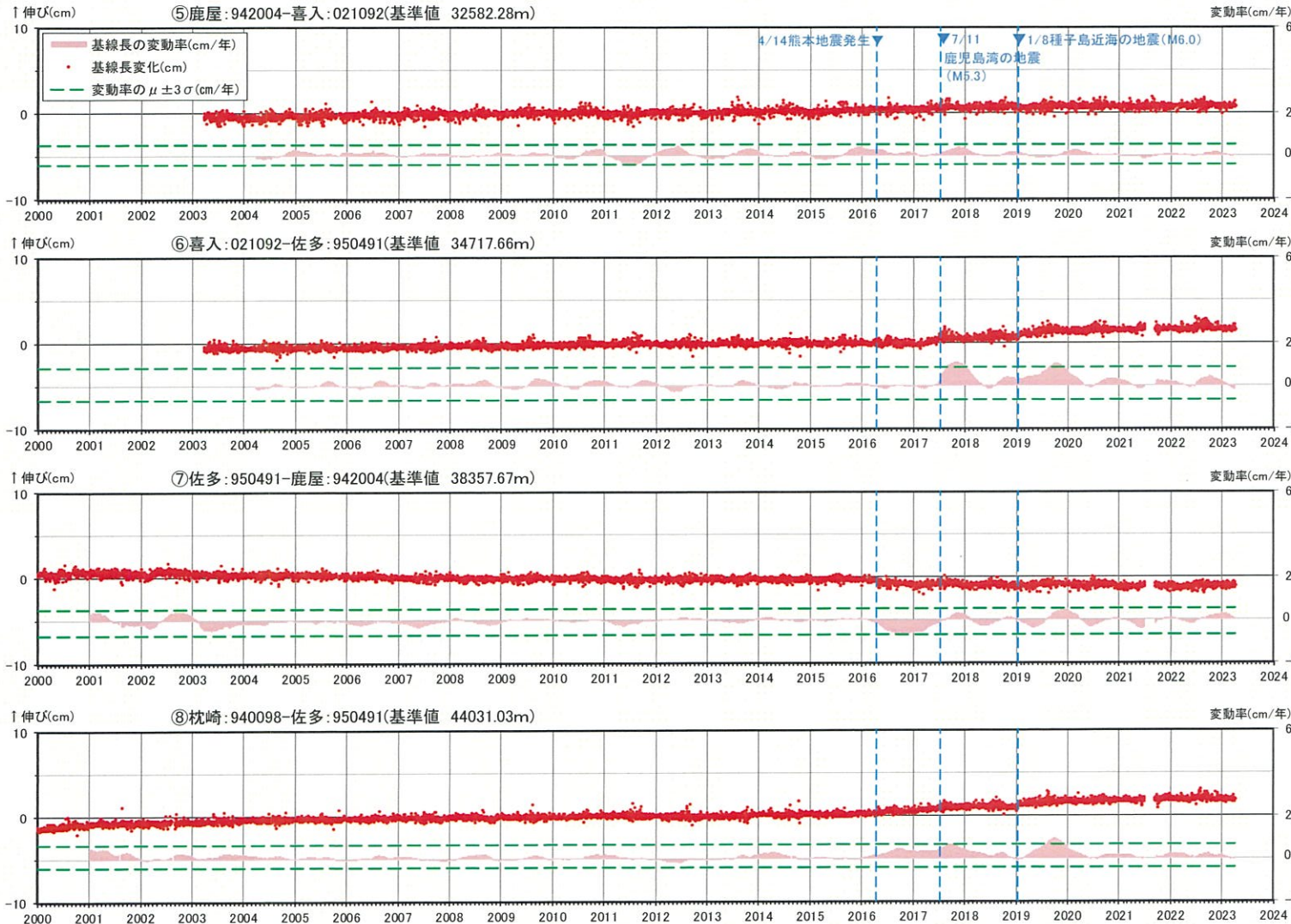
基線①～④の時系列変化



● 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 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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. 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]

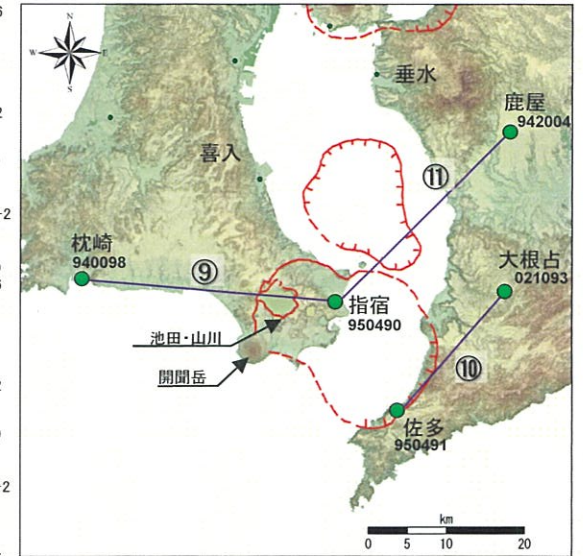
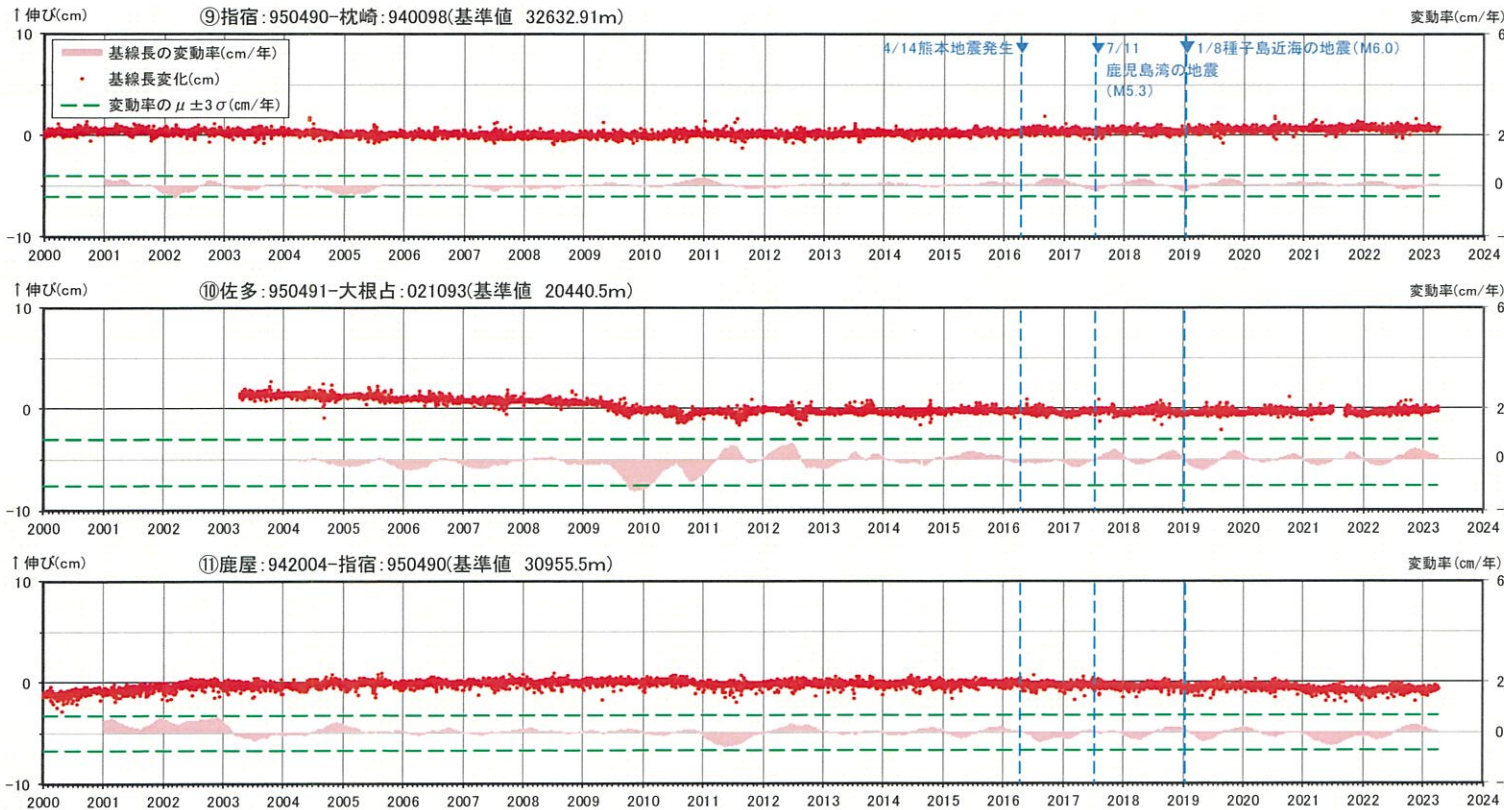


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 2022年度以前(算出開始日~2022.3.31)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

5. 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]



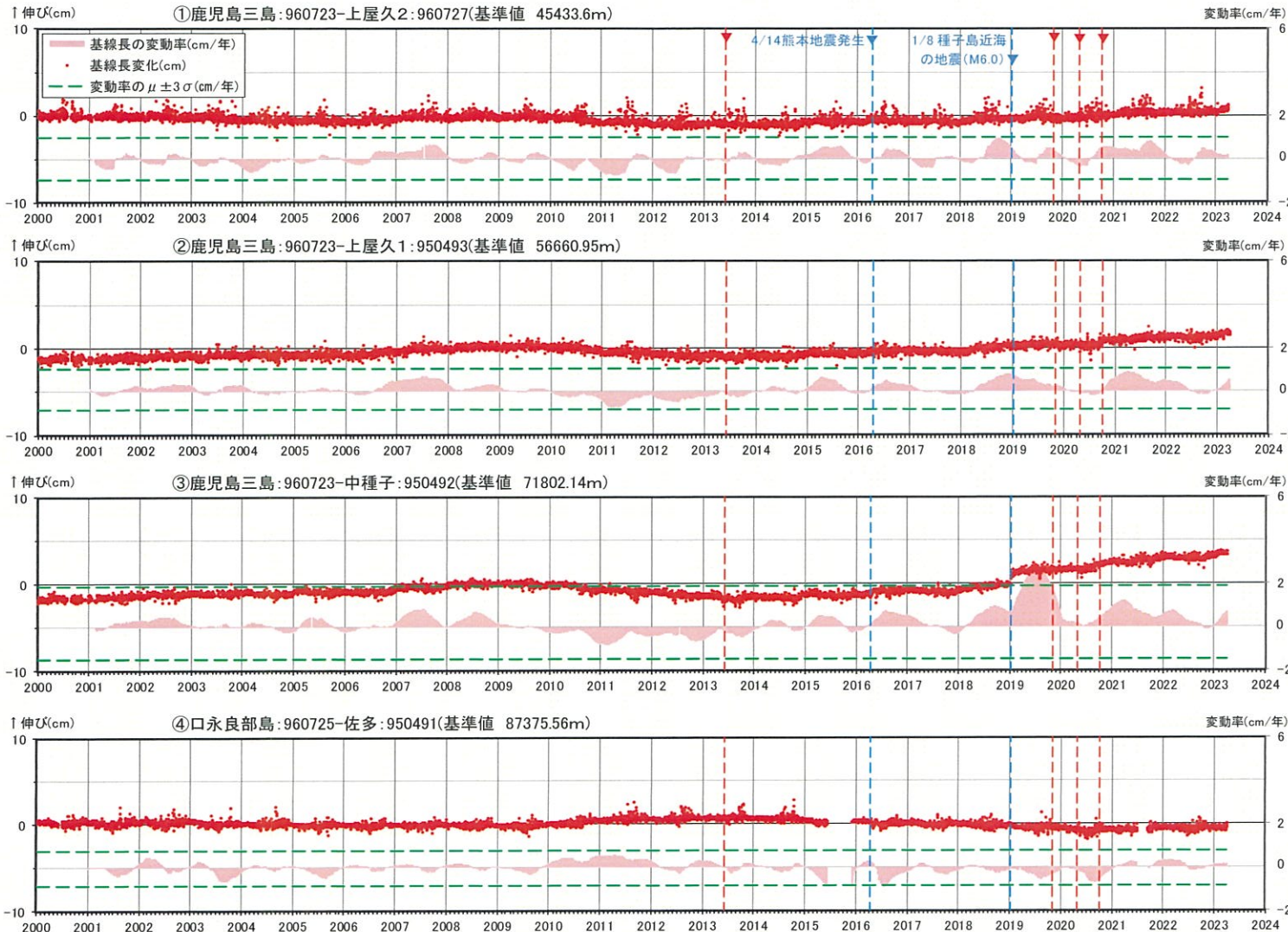
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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

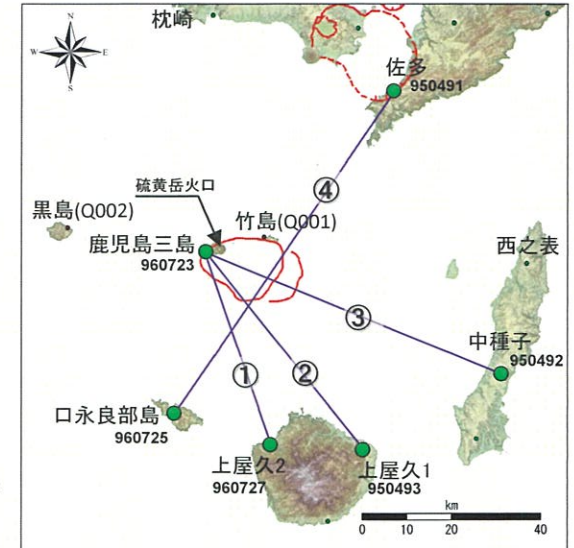
基線⑨～⑪の時系列変化

5. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

・ 2022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。



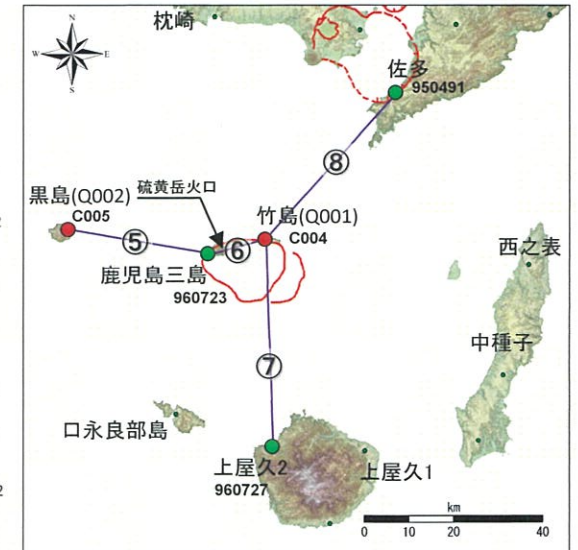
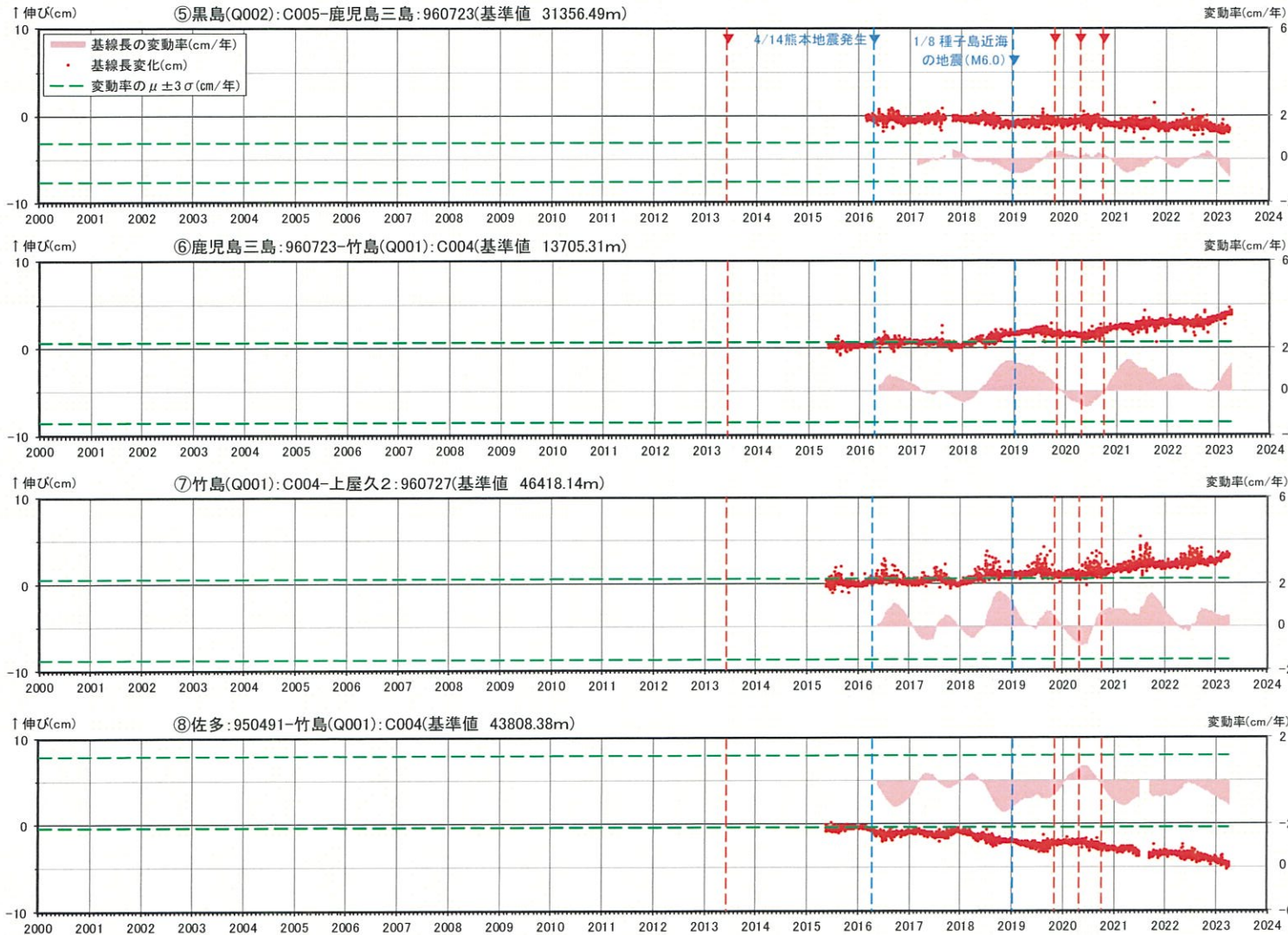
基線①～④の時系列変化



- 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 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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

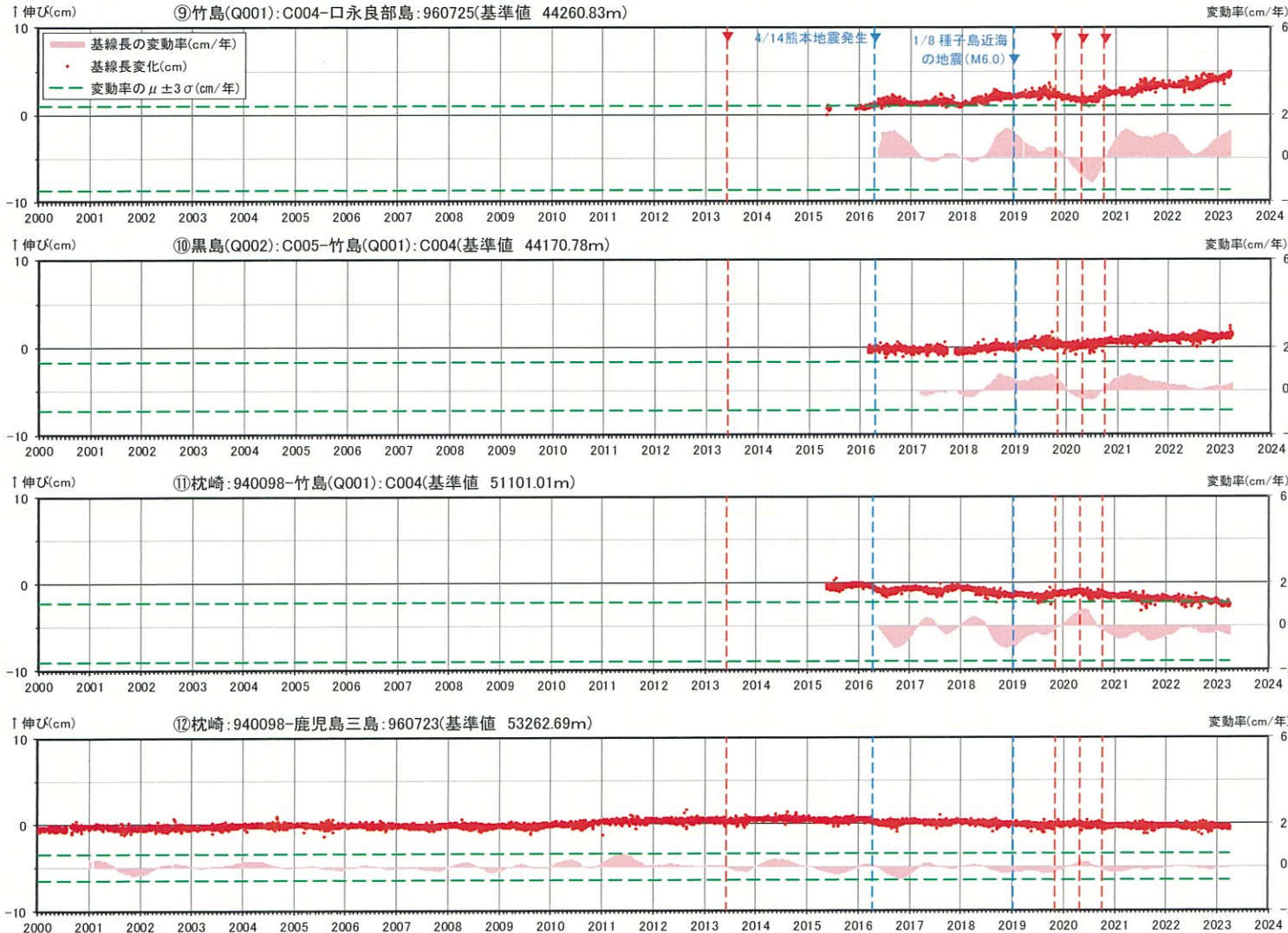
5. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]



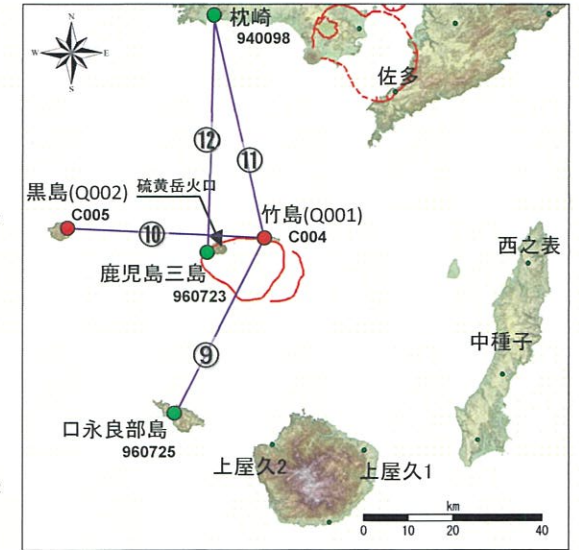
- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点
- ※1 基線⑤は 2016年2月22日の基線長を基線⑥～⑧は 2015年5月14日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
- ※5 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
- ※6 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑤～⑧の時系列変化

5. 統計的整理に基づく評価 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]



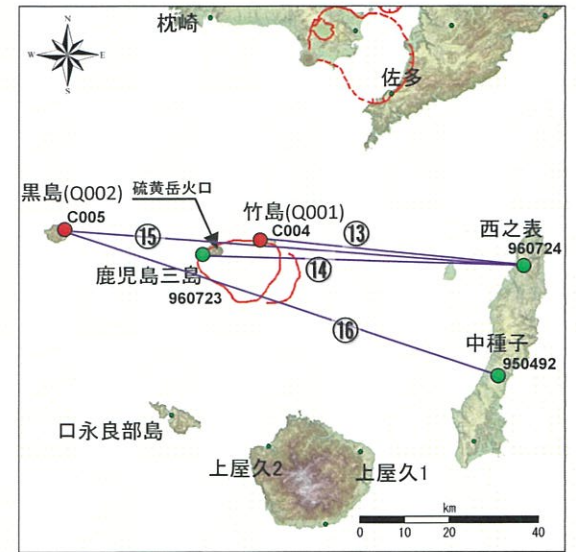
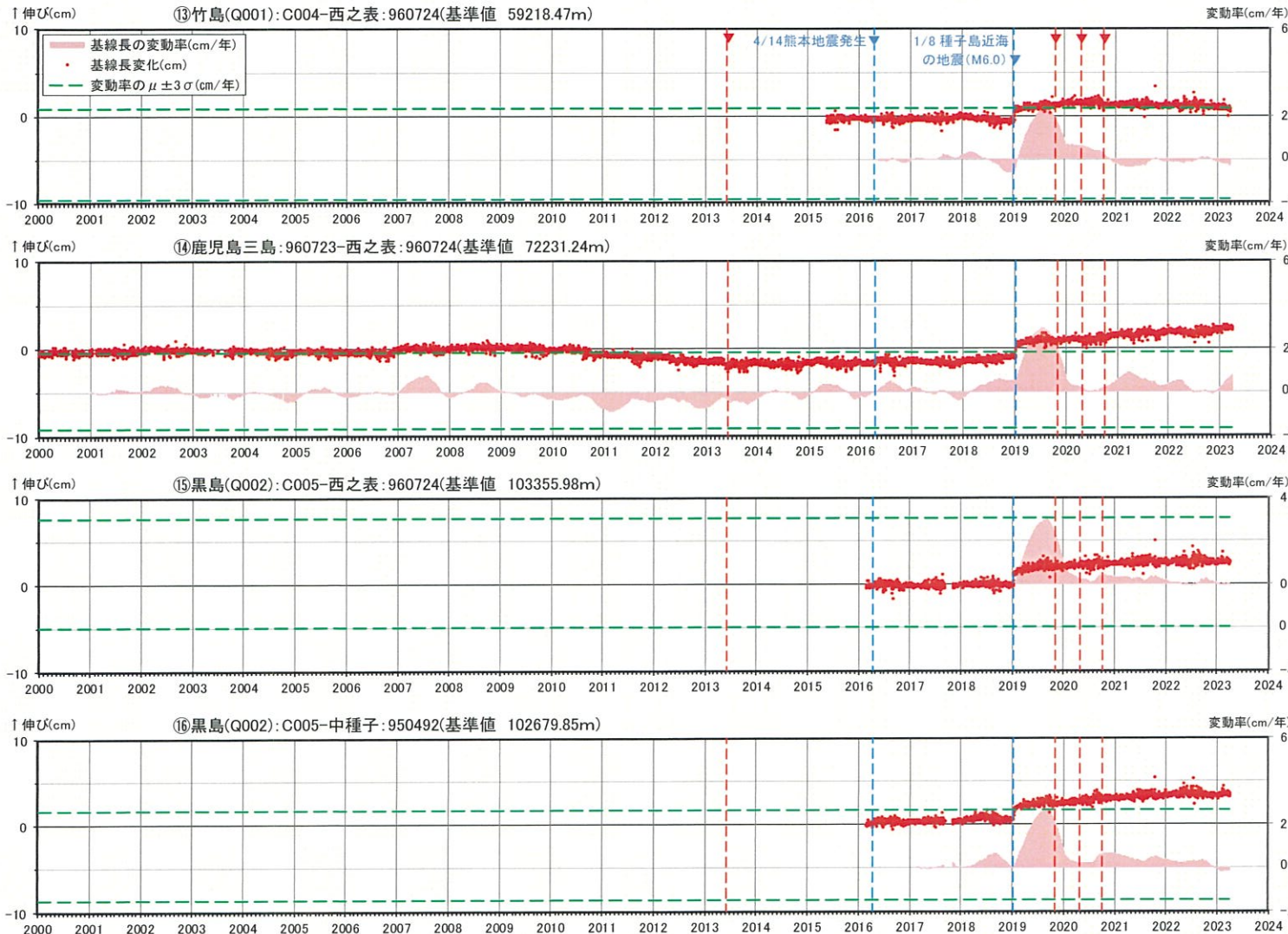
基線⑨～⑫の時系列変化



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※1 基線⑨、⑪は2015年5月14日の基線長を、基線⑩は2016年2月22日の基線長を、基線⑫は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)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

5. 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

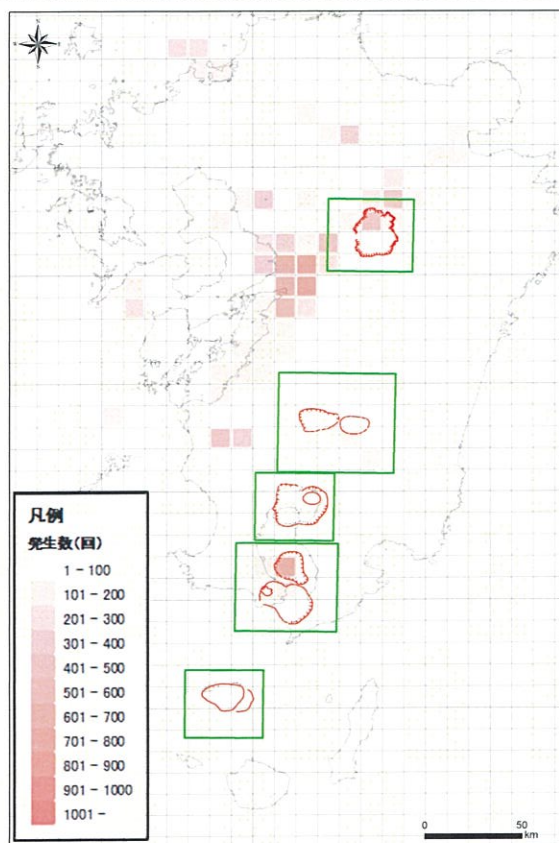
- ※1 基線⑬は2015年5月14日の基線長を、基線⑮は2016年2月22日の基線長を、基線⑯は2016年2月23日の基線長を、基線⑭は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2022年度以前(算出開始日～2022.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
- ※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑬～⑯の時系列変化

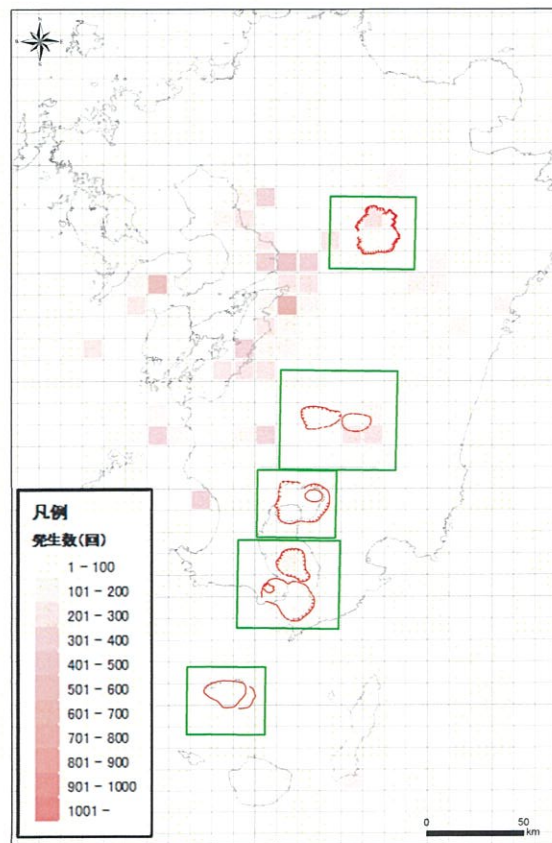
余 白

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:地震発生数]

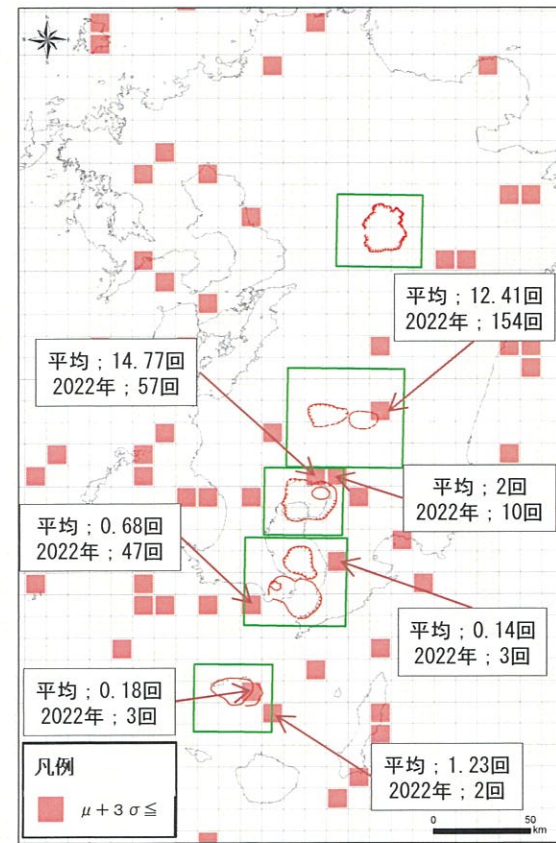
- 地震活動について、グリッド毎の地震発生数とエネルギーの「平均(μ) + 3 σ 」と、2022年の観測結果との比較を行った。
- 2022年の各カルデラの評価範囲において地震発生数が+3 σ を超えるグリッドのうち、小林カルデラ外北東部(年間154回)、始良カルデラ外北部(年間57回)及び阿多カルデラ外南西部(年間47回)については、今後の地震活動に留意していく。
- その他の地震発生数が+3 σ を超えるグリッドについては、平均(μ)の値が小さいことが原因と考えられ、2022年の地震発生数も年間10回以下と少ない。



2000～2021年
平均地震数(通常地震)



2022年
地震数(通常地震)



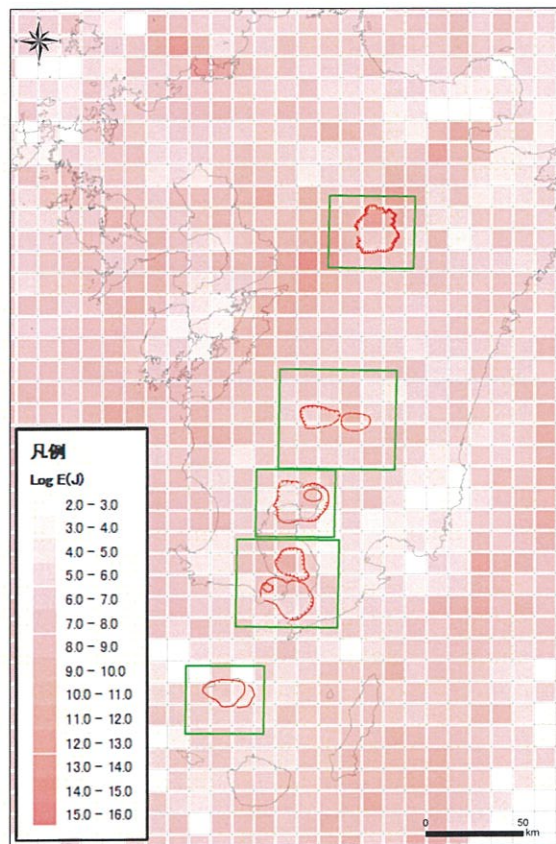
2000～2021年平均地震数(通常地震)と2022年
地震数(通常地震)の比較

※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。

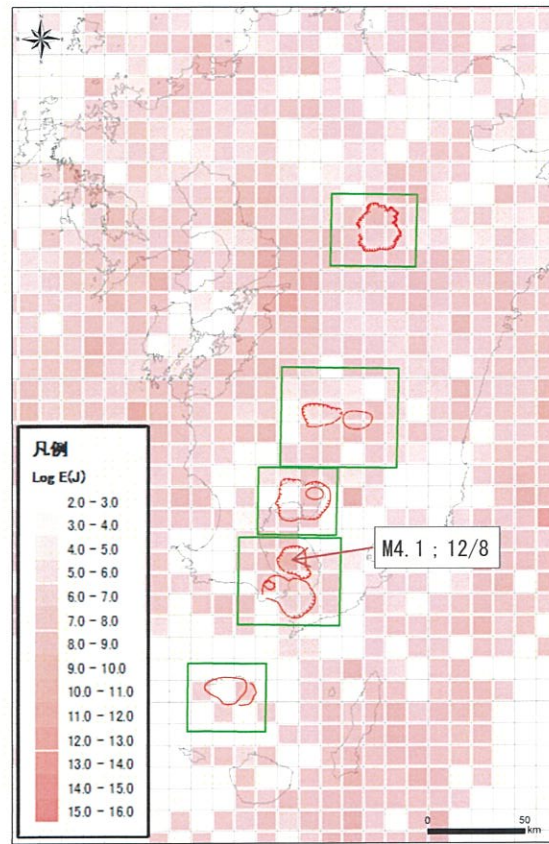
※2 グリッドの大きさは緯度・経度それぞれ0.1度(約9km)とする。

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:地震エネルギー]

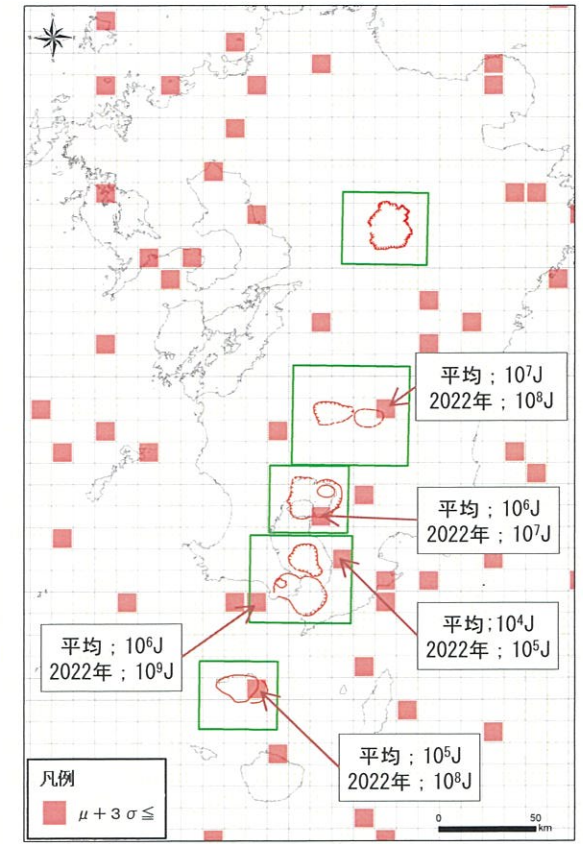
- 地震エネルギーが $+3\sigma$ を超えるグリッドについては、平均(μ)の値が小さいことが原因と考えられ、2022年の地震エネルギーも年間 10^9 J以下と小さい。



2000~2021年
平均地震エネルギー(通常地震)



2022年
地震エネルギー(通常地震)



2000~2021年平均地震エネルギー(通常地震)
と2022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)

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデルの概要]

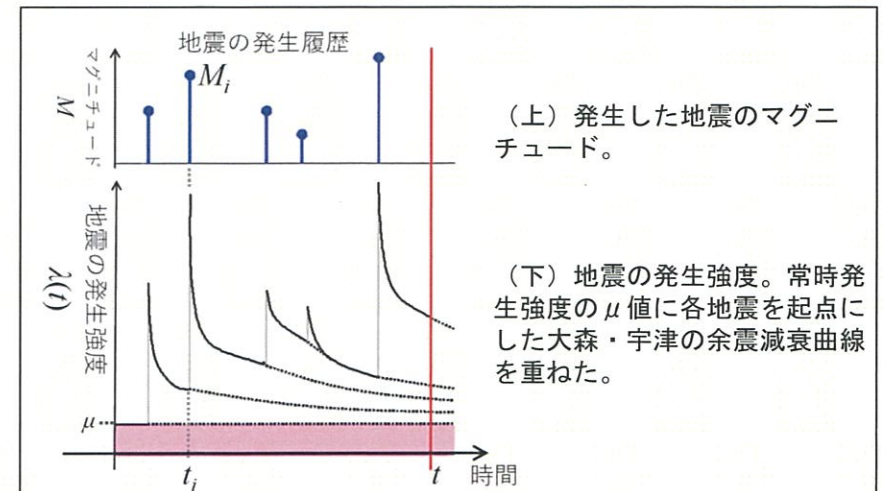
- 先行地震による地震発生可能性の高まりの想定に有効な手法として、ETAS (Epidemic-type Aftershock sequence) モデル(Ogata, 1988)が提案されている。
- ETASモデルでは、いかなる地震も多かれ少なかれ付随する余震活動を持つという考えに基づき、時刻 t 以前に発生した全ての先行地震を考慮し、それらに付随する余震の発生率を算出するとともに、そのような余震の重ね合わせでは説明できない背景的な地震活動の発生率 μ を加え、時刻 t における地震発生率 $\lambda_{\theta}(t)$ を表現することができる。
- 地震活動の変化が、 μ 、 K 、 c 、 α 、 p の各パラメータの値の変化に反映されるものと考え、ETASモデルを用いて過去のパラメータと2022年のパラメータを比較することで、地震活動状況の変化の有無を確認した。

$$\lambda_{\theta}(t) = \underbrace{\mu}_{\text{背景的な地震活動の発生率}} + \sum_{t_i < t} \underbrace{K e^{\alpha(M_i - M_{th})}}_{\text{先行地震の規模による影響の大きさ}} / \underbrace{(t - t_i + c)^p}_{\text{時間経過による影響の減衰}}$$

時刻 t 以前に発生した全ての先行地震に付随する余震活動の発生率

$$\theta = (\mu, K, c, \alpha, p)$$

ETASモデルの模式図
(日本地震学会広報誌「なみふる」第117号)



M_{th} は対象とする地震の M の閾値、 t_i と M_i はそれぞれ、解析起点の時刻から t までの期間に発生した M_{th} 以上の地震の発生時刻と M を表す。式の右辺第2項での和は、 t より前に発生した地震による影響を全て足しあわせることを意味している。

推定すべきパラメータ(θ)

μ : 背景的な地震活動の発生率

K : 余震の生産効率

c : 余震の時間的減衰の時間軸の調整

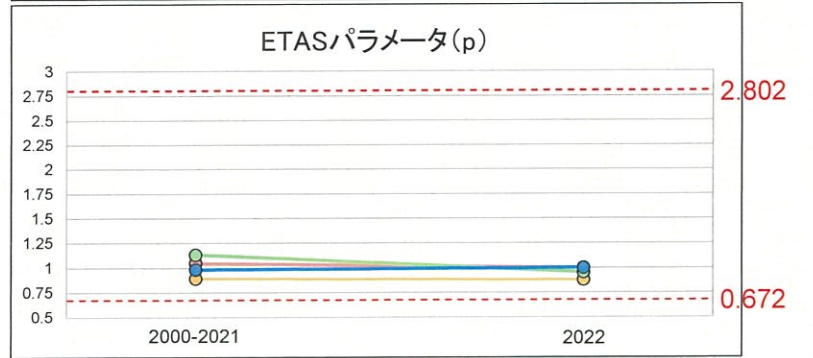
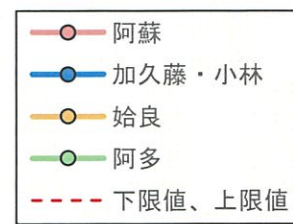
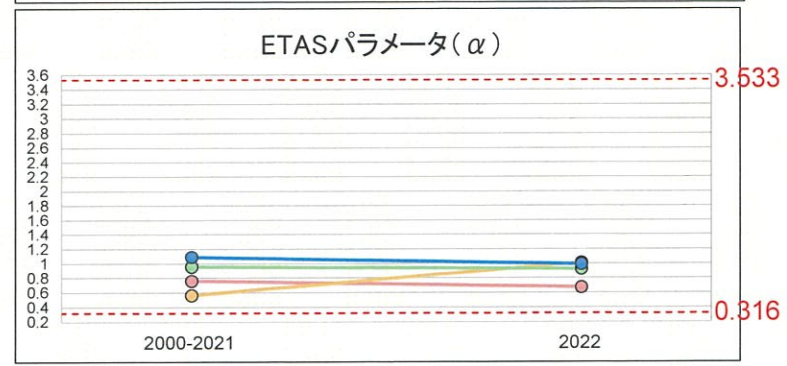
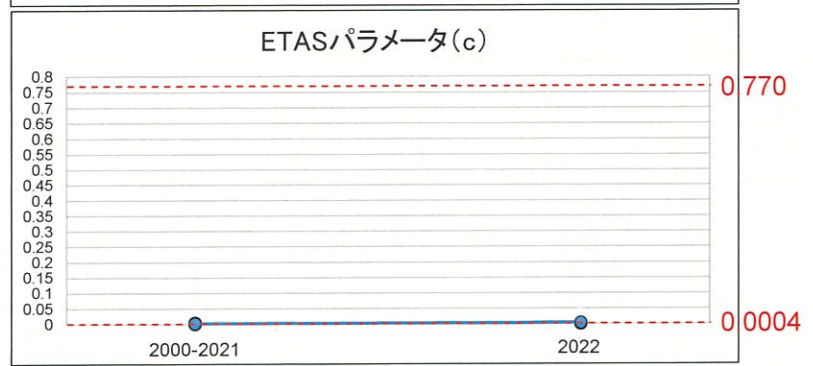
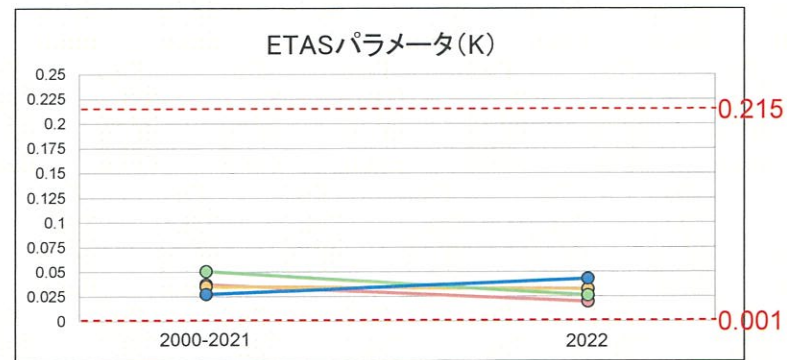
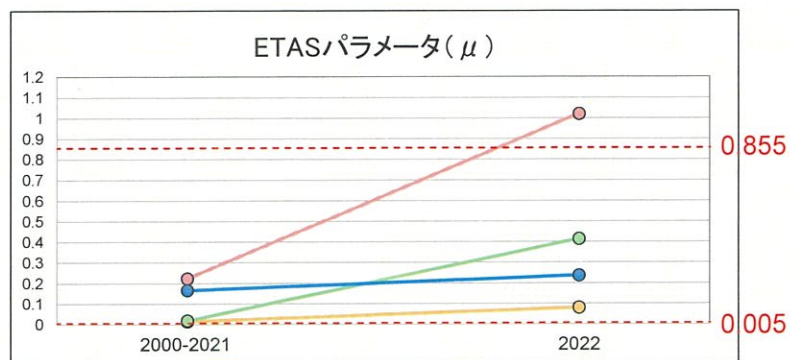
α : 発生した地震の M の効率

p : 余震の時間的減衰の程度

M_{th} : 各カルデラの下限マグニチュード(M_c 値を使用)

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(2022年度)]

- 2000-2021年のデータから求めたパラメータの値は、カルデラ周辺の長期的な地震活動を推定できると考え、2022年の地震活動に変化が見られるか比較を行った。なお、鬼界は地震活動が低調であるため対象外とする。
- 阿蘇カルデラにおける2022年の μ 値以外は文献によるパラメータ範囲に収まっており妥当な値であると考えられる。また、長期と単年のパラメータは近い値を示しており、2022年の地震活動の状況に変化は見られない。



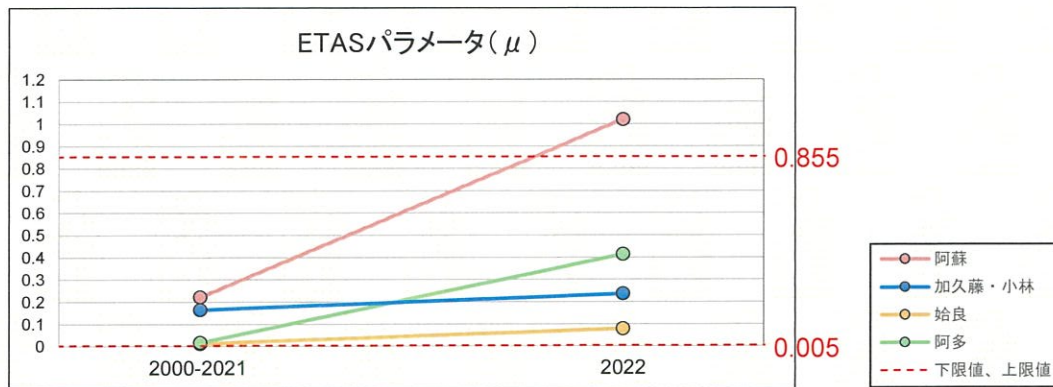
文献(宇津, 1999; 石垣, 2009)で求められているETASモデルのパラメータ範囲

文献範囲	μ	K	c^*	α	p
最大	0.855	0.215	0.770	3.533	2.802
最小	0.005	0.001	0.0004	0.316	0.672

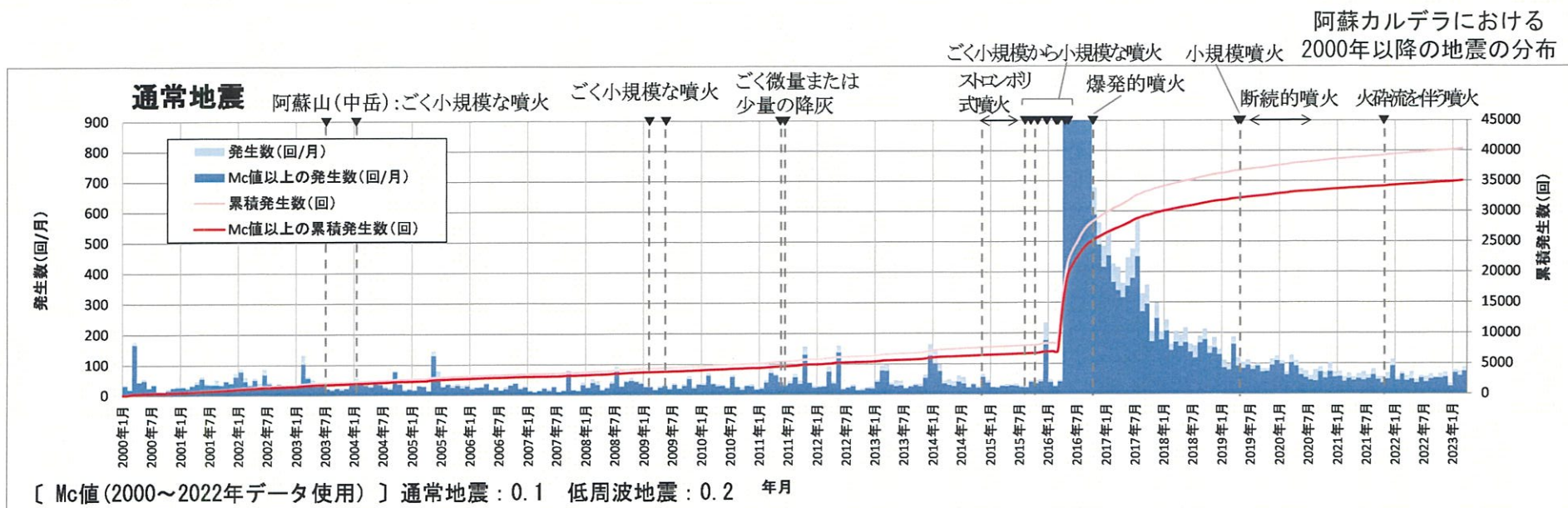
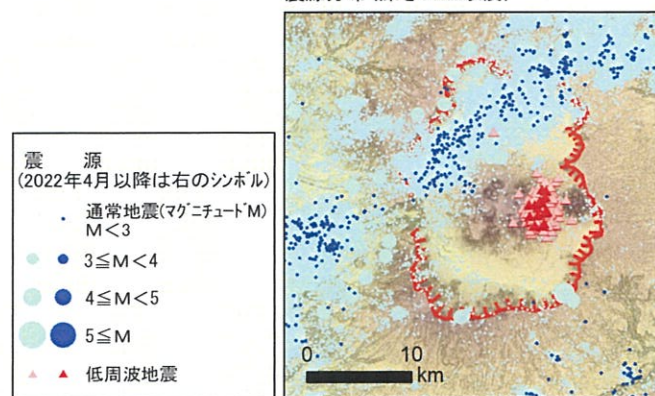
* 宇津(1999)ではc値は0と0.05の間にあるものとしている。

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(パラメータ考察)]

- 阿蘇カルデラにおいて2022年度の μ 値は、文献による値の範囲(0.005~0.855)から逸脱して大きい。
- 石垣(2006)は、パラメータ μ は定常の地震発生強度を表すが、大地震発生後の短期間における推定値は過大な値を取ることがあり、阿蘇カルデラにおいても、依然として継続している熊本地震の余震が定常の地震発生強度として μ 値に大きく反映されたものであり、地震活動の異常ではないと考えられる。



震源分布(深さ50km以浅)



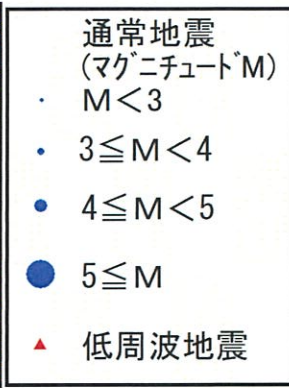
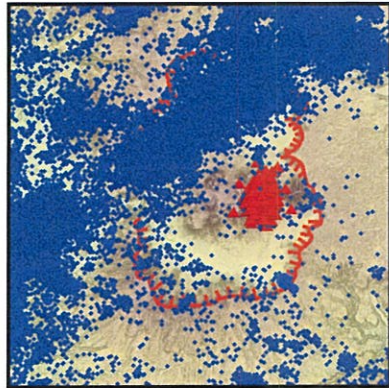
阿蘇カルデラにおける2000年以降の地震発生数の推移

5. 統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(まとめ)]

- 過去(2000~2021年)と2022年のETASモデルのパラメータを比較した結果、阿蘇カルデラでは2016年熊本地震に伴う余震によって μ 値が文献の範囲を超えるものの、その他のパラメータに大きな変化はなく、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ及び阿多カルデラでは全てのパラメータにおいて大きな変化がないことを確認した。
- 以上のことから、2022年の地震活動については、過去と比較して活動状況に大きな変化はないと考えられる。
- 今後も引き続き地震活動の統計的評価手法に関する知見収集やデータの蓄積に努めていく。

【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(阿蘇カルデラ)]

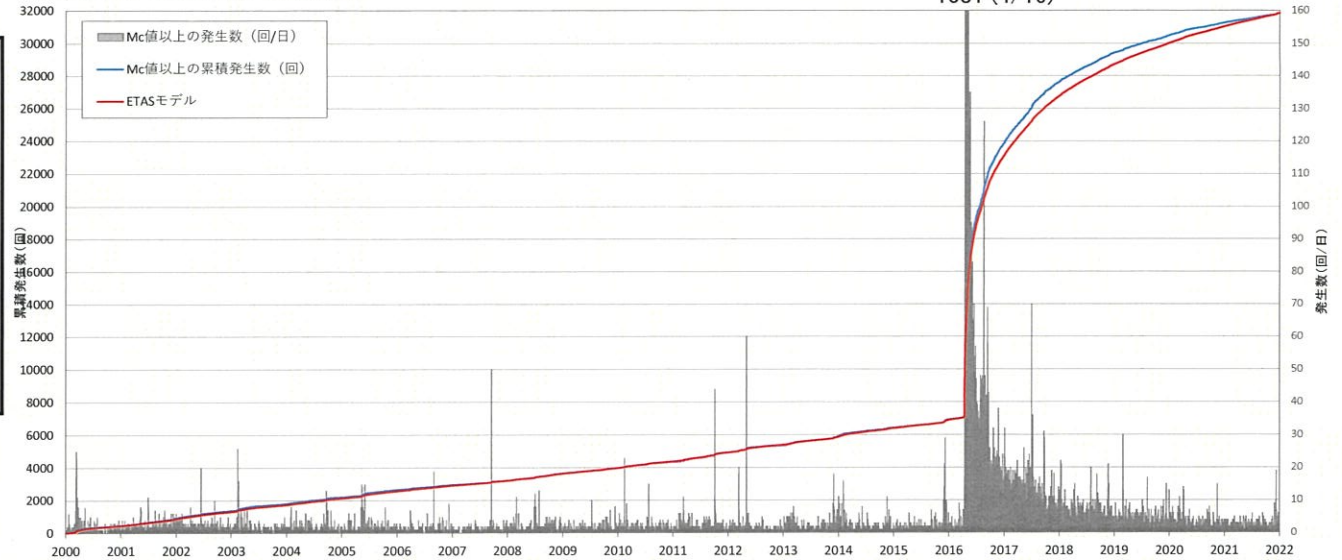
- 阿蘇カルデラにおける2000~2021年の計算結果を示す。



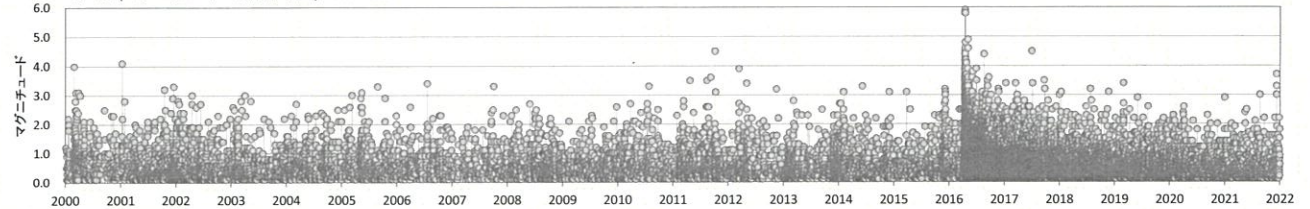
低周波地震数/総地震数
348/39697

ETASモデルのパラメーター	
μ	0.223296
K	0.03716
c	0.004396
α	0.76086
p	1.046599
AIC	-139602

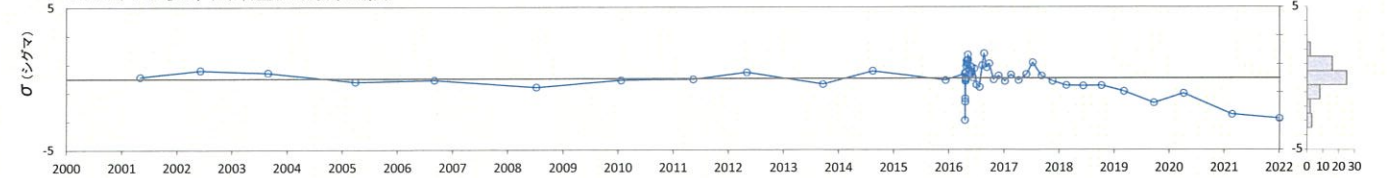
阿蘇カルデラ ETASモデル 回数積算図



M-T図(マグニチュード・時間分布図) Mc=0.1



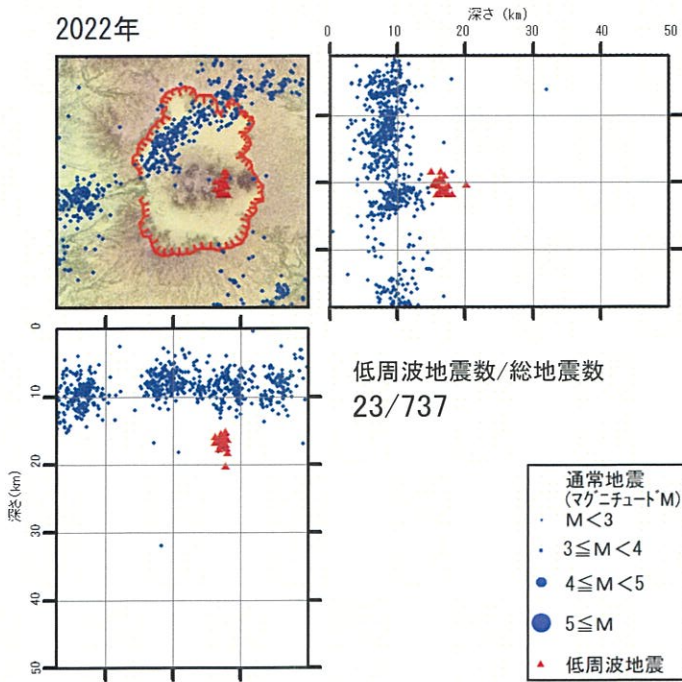
ETASモデルからのずれ(1目盛り1σ)分割50期間



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 Mc値=マグニチュード0.1以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

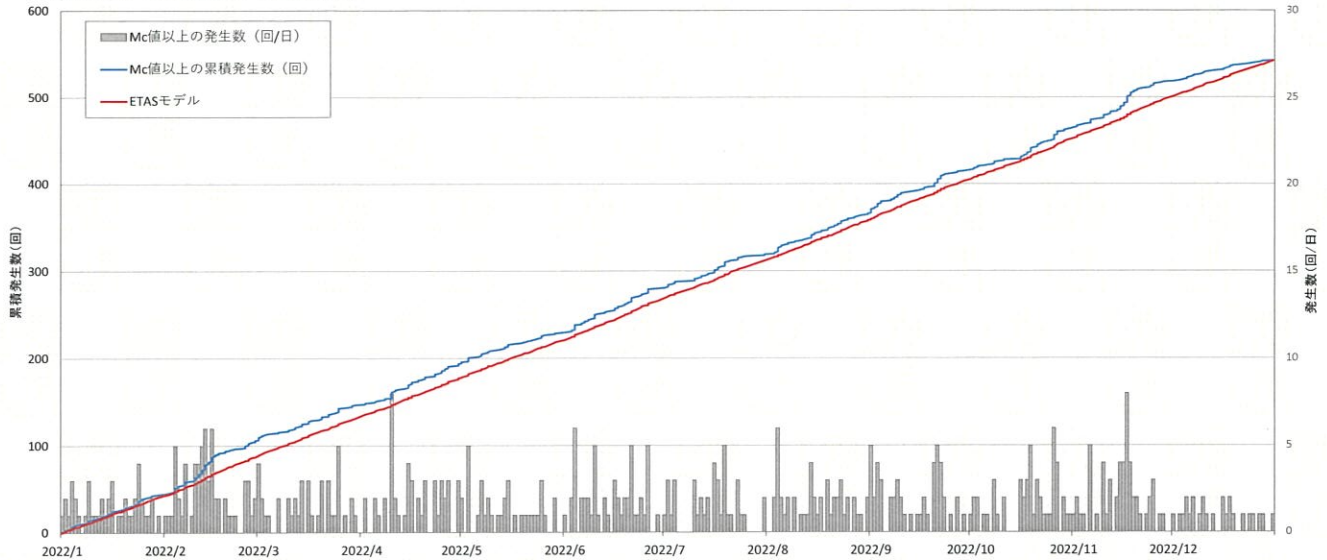
【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(阿蘇カルデラ)]

- 阿蘇カルデラにおける2022年の計算結果を示す。

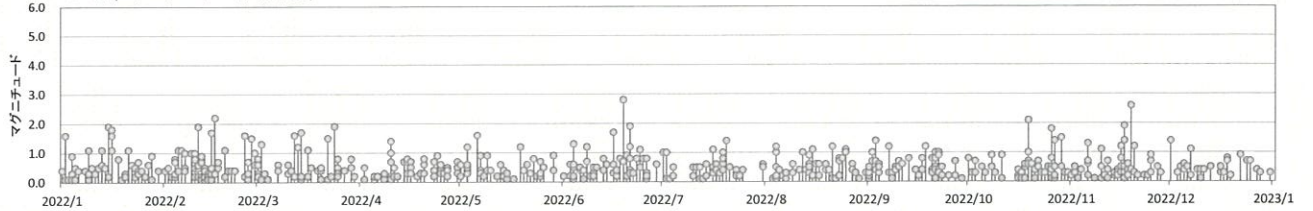


ETASモデルのパラメーター	
μ	1.019472
K	0.019708
c	0.001571
α	0.671992
p	0.999022
AIC	564.8736

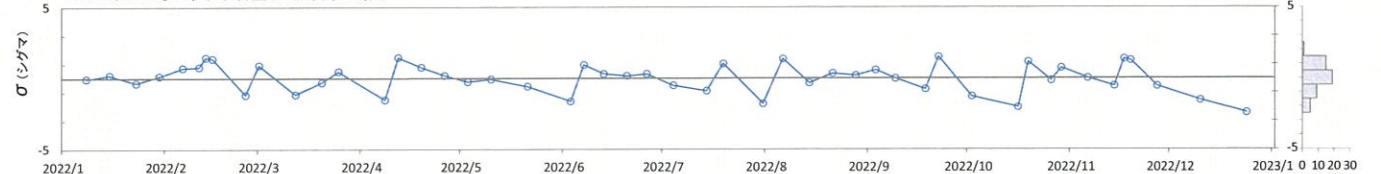
阿蘇カルデラ ETASモデル 回数積算図



M-T図 (マグニチュード・時間分布図) $M_c=0.1$



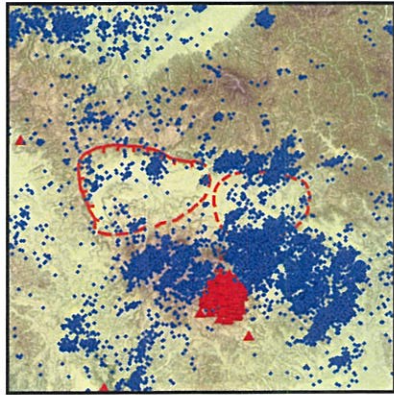
ETASモデルからのずれ(1目盛り1 σ)分割50期間



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 M_c 値=マグニチュード0.1以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(加久藤・小林カルデラ)]

- 加久藤・小林カルデラにおける2000～2021年の計算結果を示す。

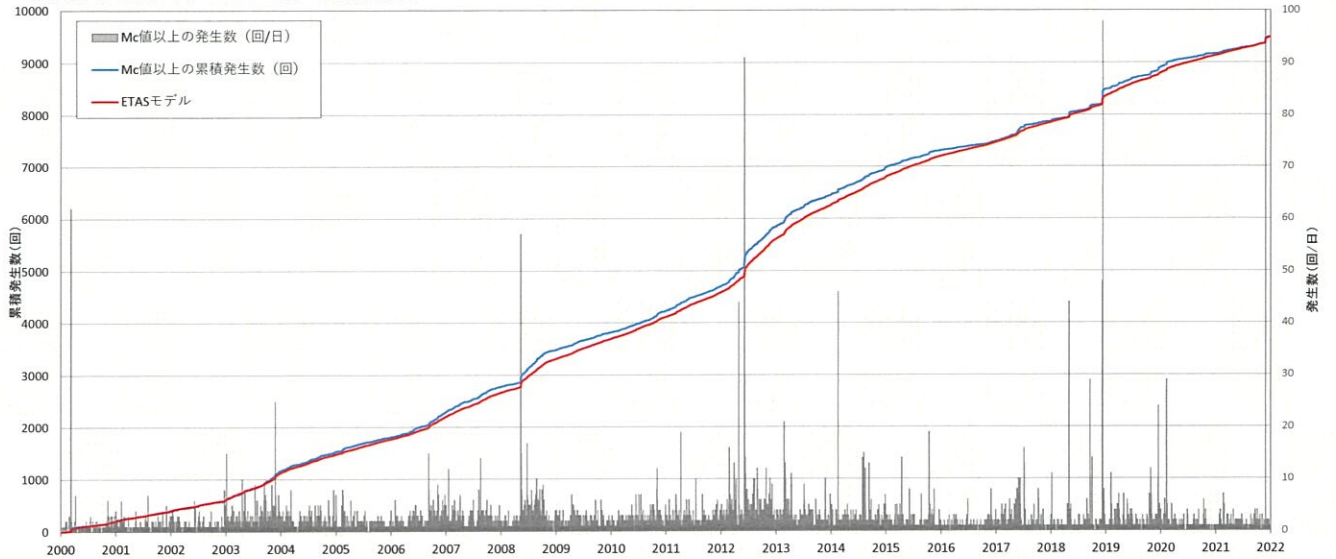


- 通常地震
(マグニチュードM)
- ・ $M < 3$
 - ・ $3 \leq M < 4$
 - ・ $4 \leq M < 5$
 - ・ $5 \leq M$
- ▲ 低周波地震

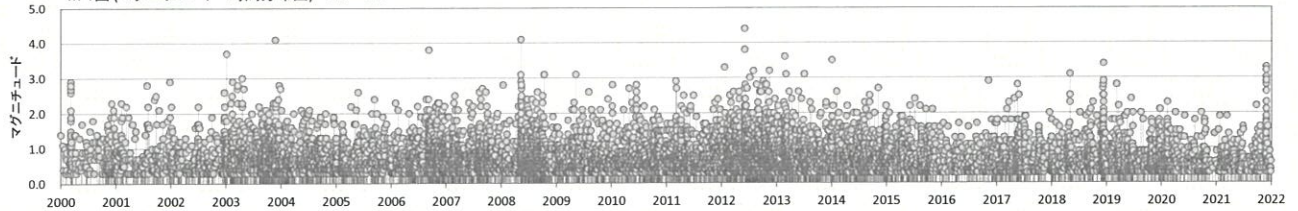
低周波地震数/総地震数
512/16051

ETASモデルのパラメーター	
μ	0.16545
K	0.027251
c	0.001065
α	1.090582
p	0.982156
AIC	3027

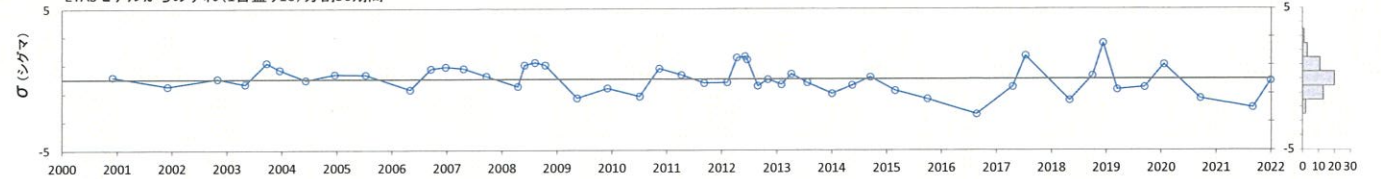
加久藤・小林カルデラ ETASモデル 回数積算図



M-T図 (マグニチュード・時間分布図) $M_c=0.3$



ETASモデルからのずれ(1目盛り1 σ)分割50期間



※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。

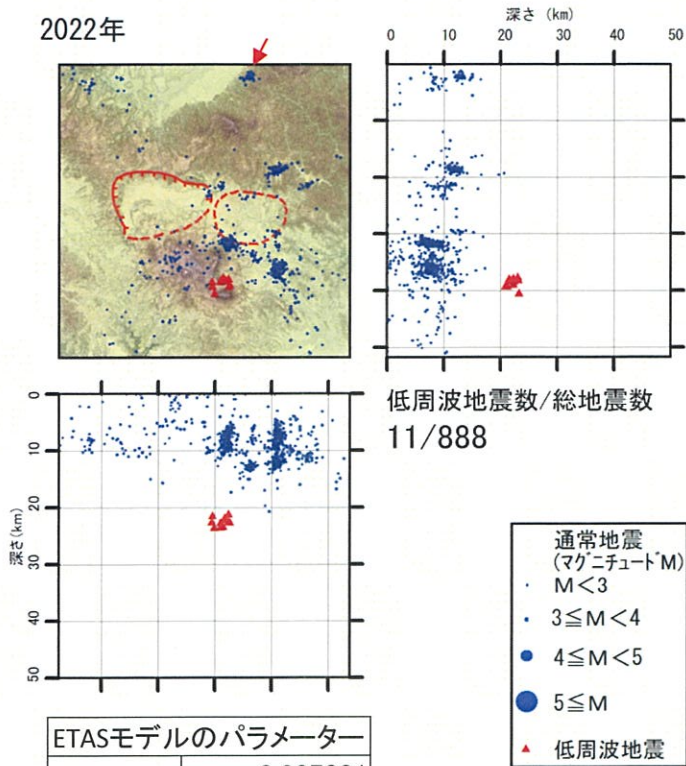
※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。

※3 M_c 値=マグニチュード0.3以上の通常地震を使用した。

※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

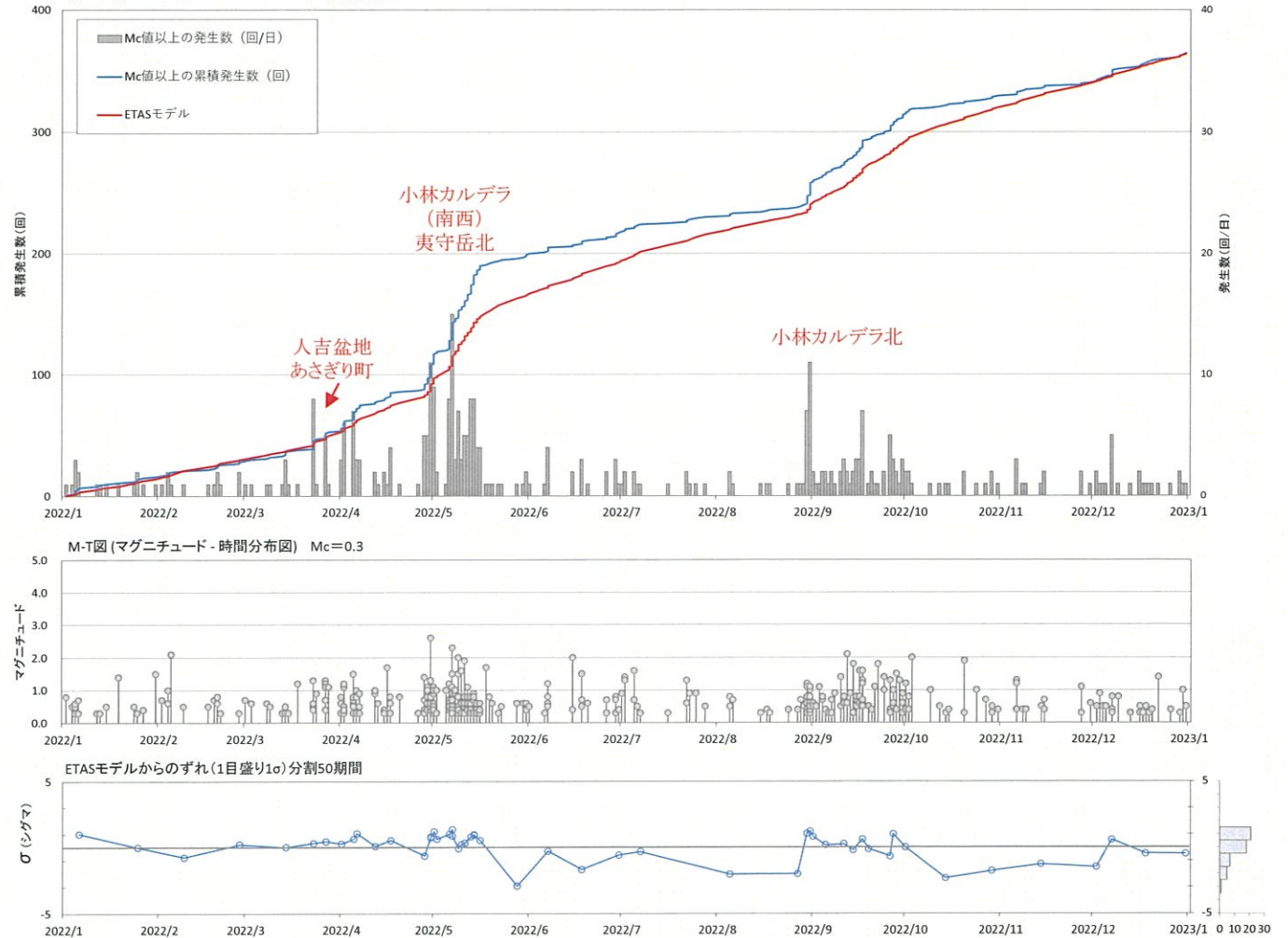
【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(加久藤・小林カルデラ)]

- 加久藤・小林カルデラにおける2022年の計算結果を示す



ETASモデルのパラメーター	
μ	0.237001
K	0.042995
c	0.003282
α	0.989397
p	0.998185
AIC	358.891

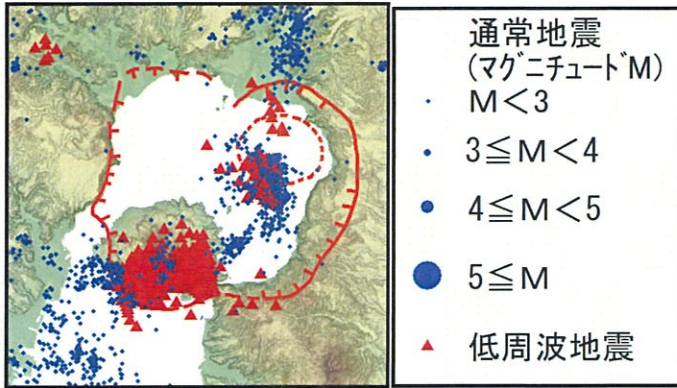
加久藤・小林カルデラ ETASモデル 回数積算図



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 M_c 値=マグニチュード0.3以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量基準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(始良カルデラ)]

- 始良カルデラにおける2000～2021年の計算結果を示す。



通常地震
(マグニチュードM)

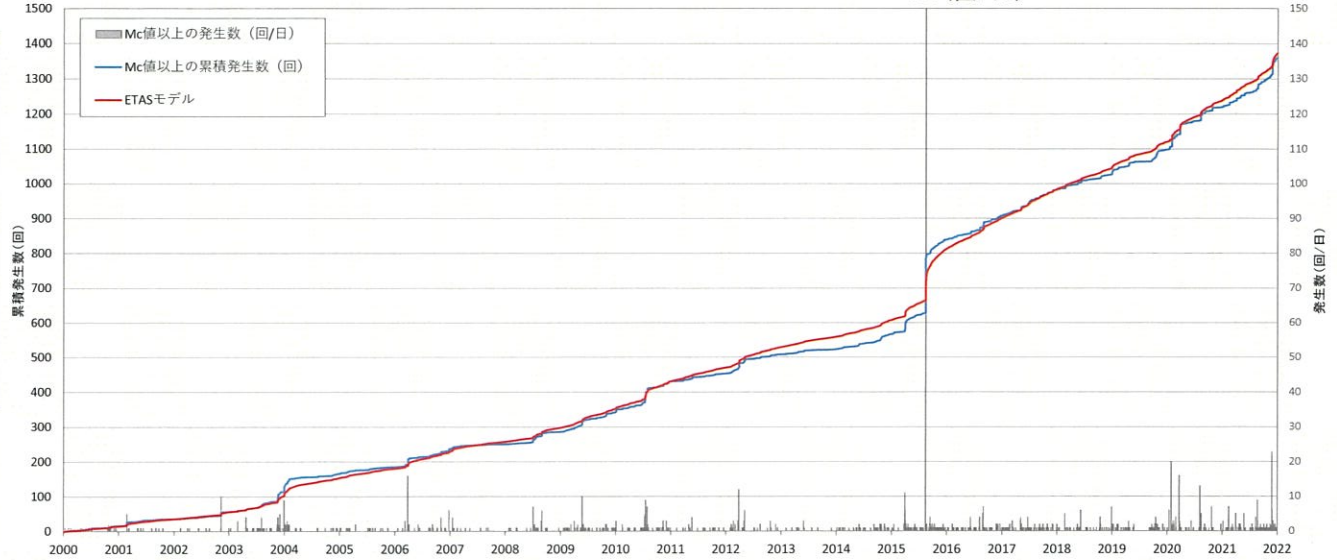
- M < 3
- 3 ≤ M < 4
- 4 ≤ M < 5
- 5 ≤ M

▲ 低周波地震

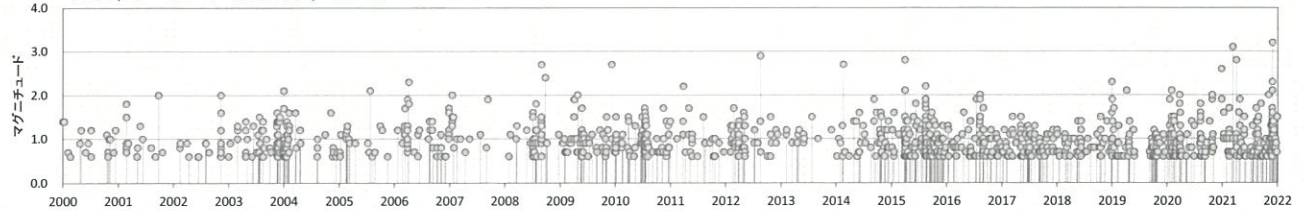
低周波地震数/総地震数
1190/3689

ETASモデルのパラメーター	
μ	0.013446
K	0.034993
c	5.7E-20
α	0.563398
p	0.892736
AIC	-1100.61

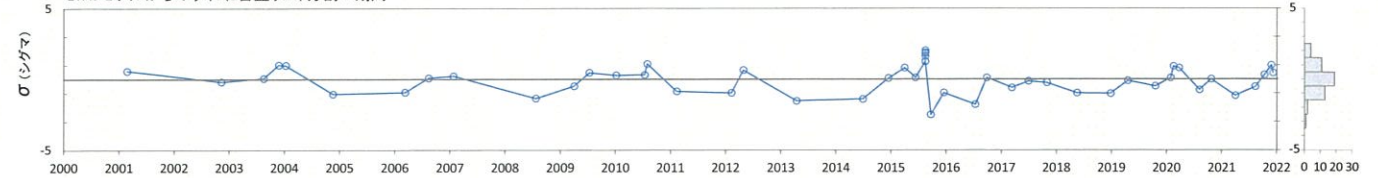
始良カルデラ ETASモデル 回数積算図



M-T図(マグニチュード-時間分布図) Mc=0.6



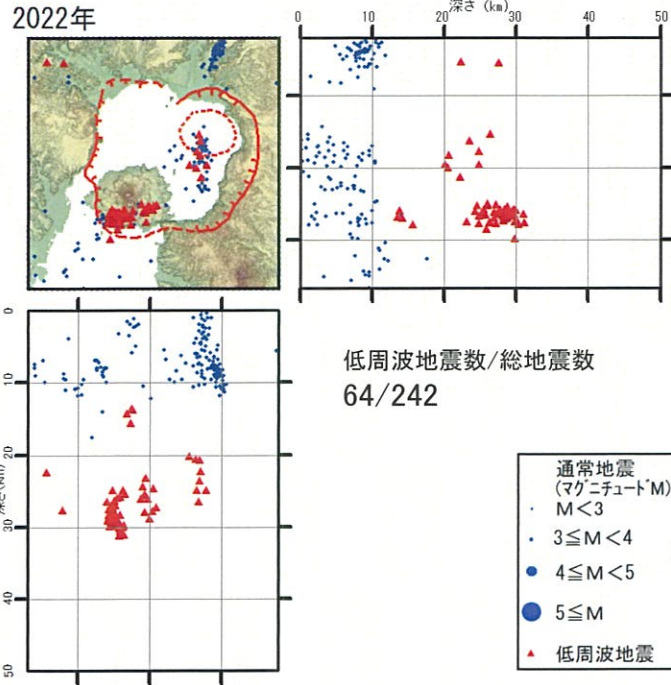
ETASモデルからのずれ(1日盛り1σ)分割50期間



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata(2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 Mc値=マグニチュード0.6以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

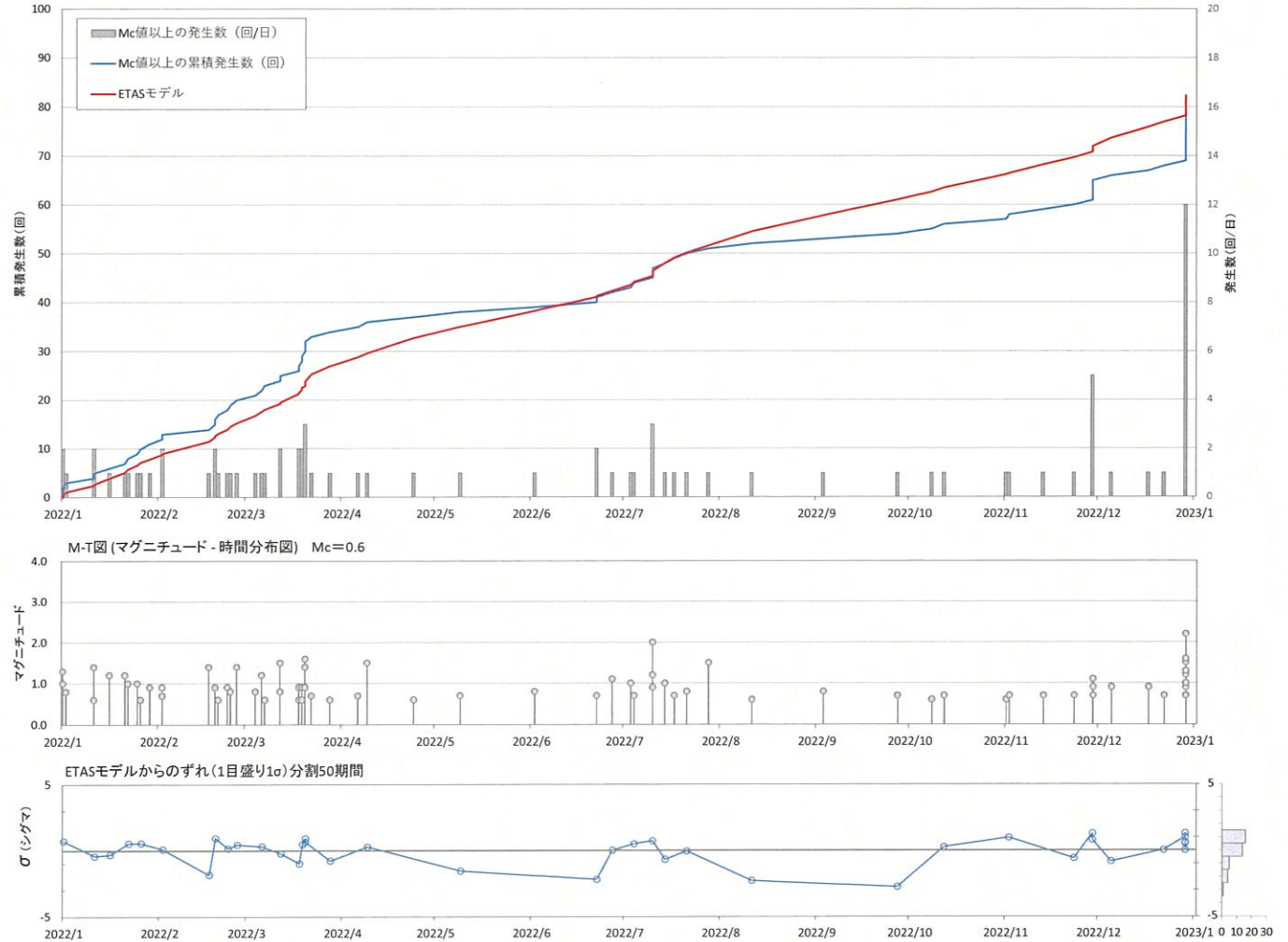
【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(始良カルデラ)]

- 始良カルデラにおける2022年の計算結果を示す。



ETASモデルのパラメーター	
μ	0.080151
K	0.032377
c	1.86E-23
α	1.012032
p	0.876477
AIC	-22.1763

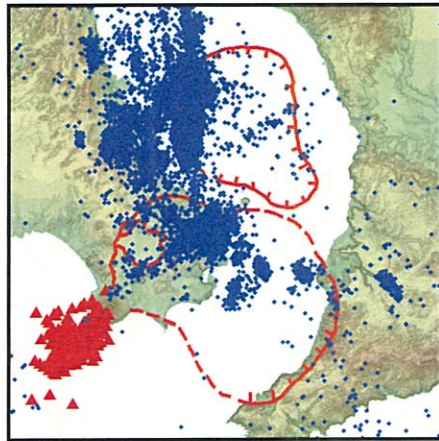
始良カルデラ ETASモデル 回数積算図



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 Mc 値=マグニチュード0.6以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(阿多カルデラ)]

- 阿多カルデラにおける2000～2021年の計算結果を示す。



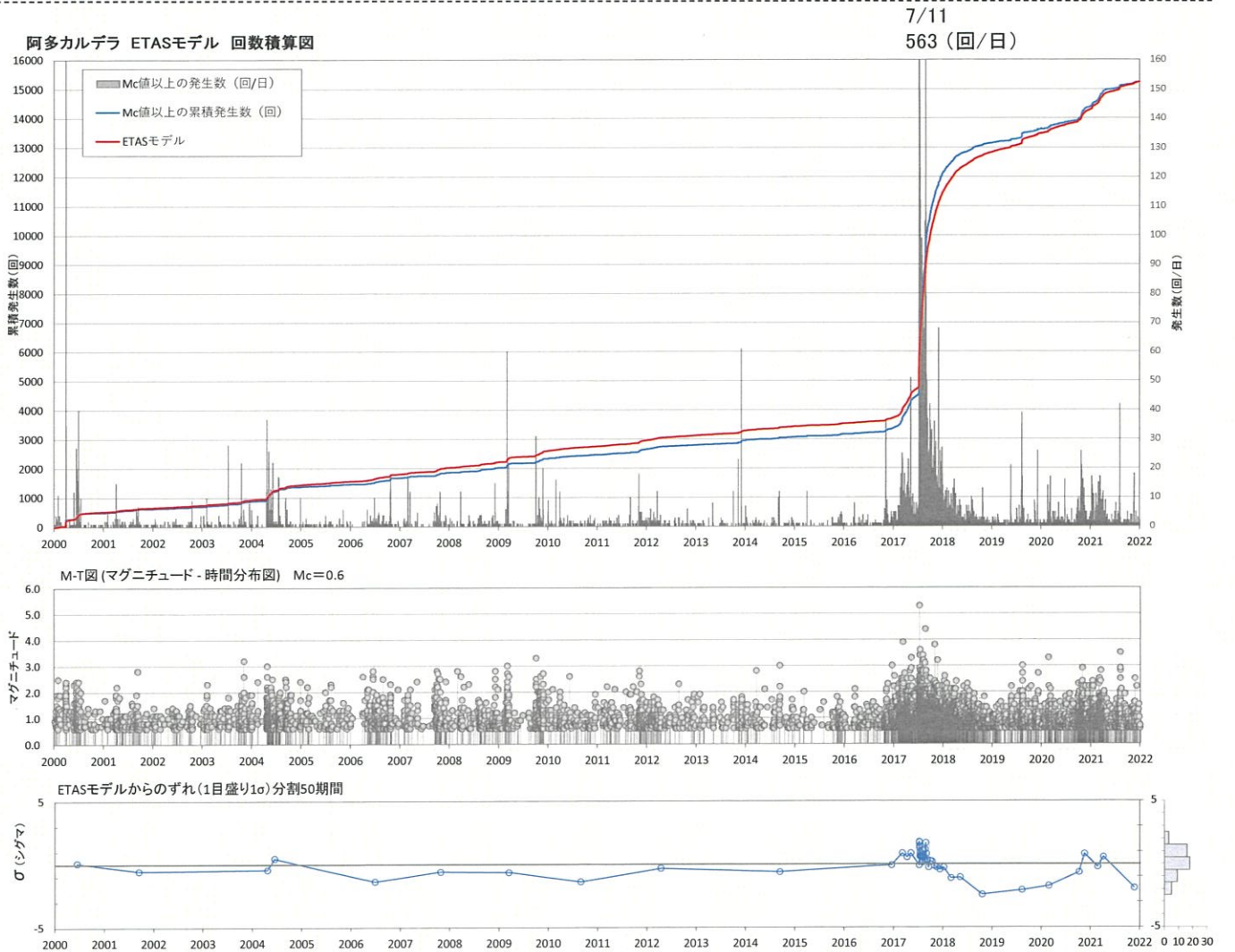
通常地震
(マグニチュードM)

- ・ $M < 3$
- ・ $3 \leq M < 4$
- ・ $4 \leq M < 5$
- ・ $5 \leq M$

▲ 低周波地震

低周波地震数/総地震数
230/27370

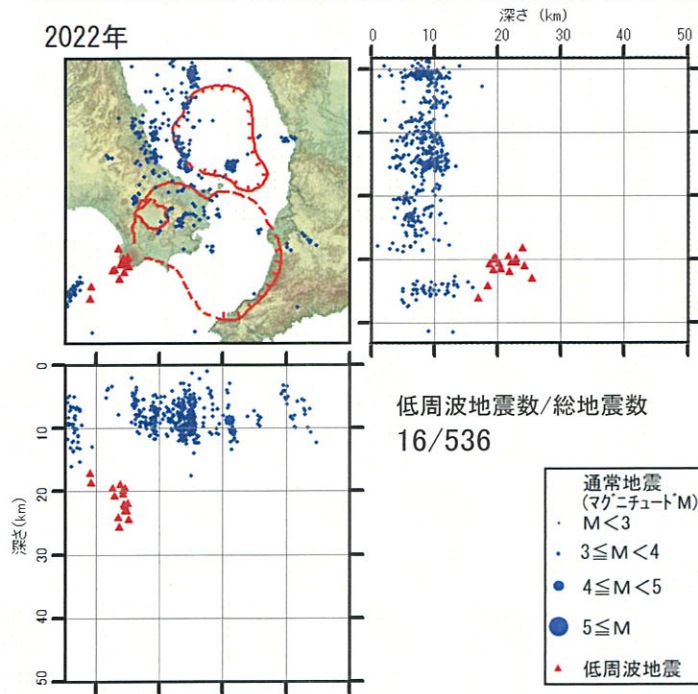
ETASモデルのパラメーター	
μ	0.018166
K	0.050695
c	0.004461
α	0.956518
p	1.132502
AIC	-57476.1



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 M_c 値=マグニチュード0.6以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

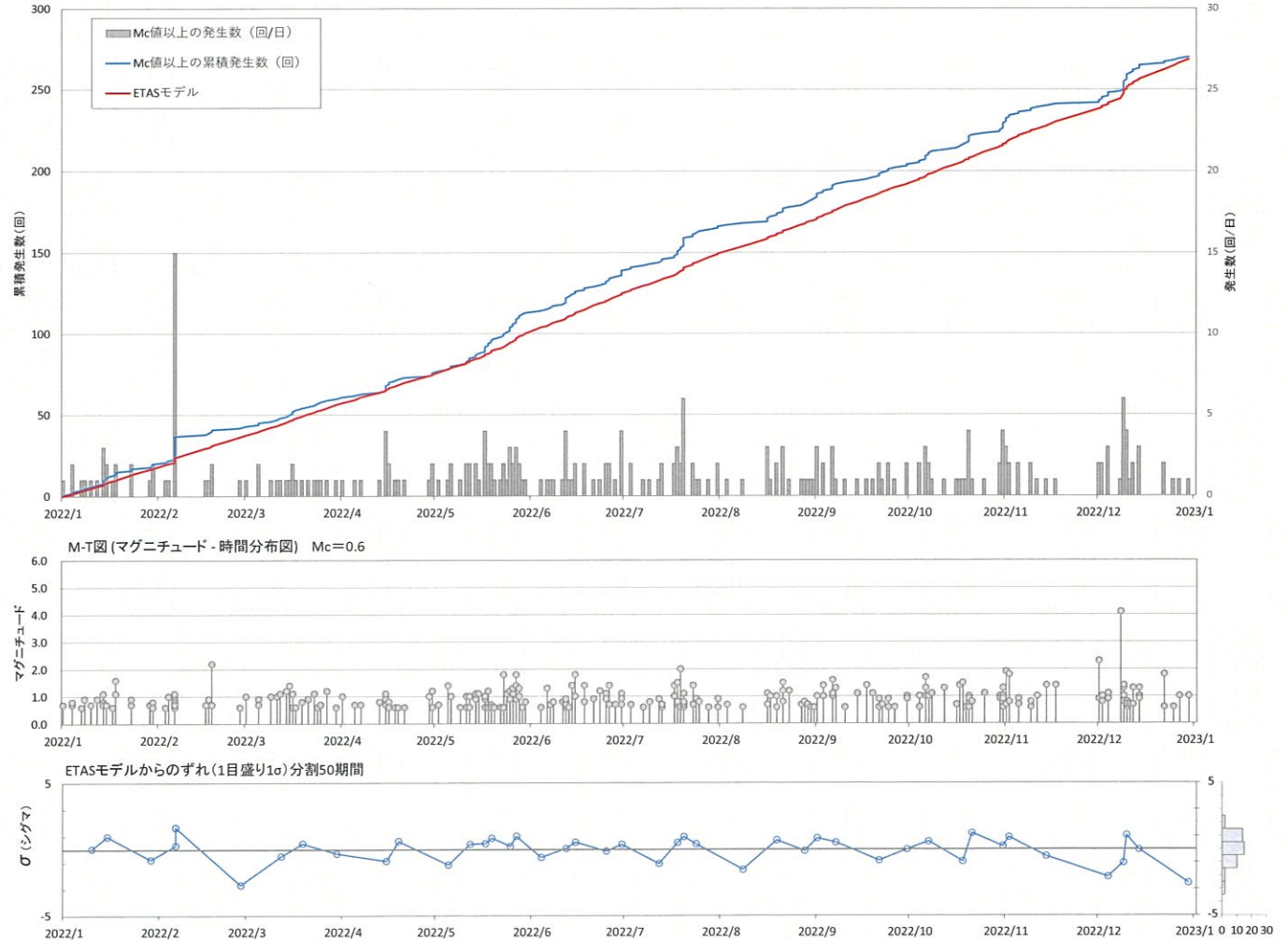
【参考】統計的整理に基づく評価[地震活動:ETASモデル(阿多カルデラ)]

- 阿多カルデラにおける2022年の計算結果を示す。



ETASモデルのパラメーター	
μ	0.414179
K	0.02602
c	0.001233
α	0.925877
p	0.954363
AIC	406.7536

阿多カルデラ ETASモデル 回数積算図



- ※1 ETASモデルの計算にはOgata (2006)の地震活動解析のプログラム(SASeis2006)を使用した。
- ※2 ETASモデルからのずれ右端のヒストグラムが概ね正規分布に近い形になっていればモデルが適切であると考えられる(石垣ほか, 2010)。
- ※3 M_c 値=マグニチュード0.6以上の通常地震を使用した。
- ※4 AICは赤池情報量規準で統計的モデルの良さを評価する指標(値が小さいほど当てはまりが良い)。

〔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	・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 - 14	・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151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・国土地理院(2022a)			
		傾斜計・伸縮計	第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・防災科学技術研究所(2022a)			
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和4年(2022年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2023a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023b)			・火山ガスの放出量は、5月頃のやや少ない状態から、12月には増加しやや多い状態となったが、2023年1月中旬以降は少ない状態となった。		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	令和4年(2022年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2023a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023b)			・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	令和4年(2022年)の阿蘇山の火山活動(年報) ・気象庁(2023a) 阿蘇山の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023b)			・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	高倉ほか(2000)		・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)			
			木村ほか(2019)			
Shito et al. (2020)						
参考	岩石学	三好ほか(2005)		・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)				
		Miyagi et al. (2023)				
	地質学	小林(2017)				
	地球化学	森川ほか(2019)				
		安池ほか(2019)				
		Kawaguchi et al. (2021)				
	測地学	大倉(2017)				
		Hashimoto (2020)				
		Niu and Song (2021)				
地温勾配 地殻熱流量	産総研(2019)					
キュリー点深度	大久保(1984)					

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 - 32	<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
		水準測量	—		
		衛星観測	第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の9) ・気象庁・気象研究所(2022a) ・防災科学技術研究所(2022b) ・国土地理院(2022b)		
		傾斜計・伸縮計	令和4年(2022年)の霧島山の火山活動(年報) ・気象庁(2023c) 霧島山の火山活動解説資料(令和5年2月) ・気象庁(2023d)		
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和4年(2022年)の霧島山の火山活動(年報) ・気象庁(2023c) 霧島山の火山活動解説資料(令和5年2月) ・気象庁(2023d)		<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5年3月) ・気象庁(2023e)		<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5年3月) ・気象庁(2023e)		<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)			
	キュリー点深度	大久保(1984)			

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 - 52	<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	121 - 131	
		衛星観測	第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の1) ・気象庁(2022b) ・国土地理院(2022c)		
		傾斜計・伸縮計	令和4年(2022年)の桜島の火山活動(年報) ・気象庁(2023f) 桜島の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023g)		
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和4年(2022年)の桜島の火山活動(年報) ・気象庁(2023f) 桜島の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023g)		<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5年3月) ・気象庁(2023g)		<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5年3月) ・気象庁(2023g)		<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"> 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	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)			
キュリー点 深度	大久保(1984)				
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	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生領域の拡大又は消滅は認められないが、新たな地震発生領域の出現は認められる 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 - 68	<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
		水準測量	—		
		衛星観測	第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の2) ・ 国土地理院(2022d)		
		傾斜計・伸縮計	—		
火山ガス・熱活動(表面活動)	第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・ 気象庁(2022c) 第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の1) ・ 気象庁(2022d) 「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		<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 2023/2/26(13時、16~17時)、3/5(15時)、3/28(14時)に環境基準を超える二酸化硫黄濃度が認められた 		
② その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・ 気象庁(2022c) 第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の1) ・ 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	第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5) ・ 気象庁(2022c) 第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の1) ・ 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	—		<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
		地震波速度	西ほか(2001)		
海野ほか(2019)					
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)			
	キュリー点深度	大久保(1984)			

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	85 - 90	<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 - 84	<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151回火山噴火予知連絡会資料(その1の6) ・国土地理院(2022e)		
		傾斜計・伸縮計	第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の6) ・気象庁(2022e)		
火山ガス・熱活動(表面活動)	令和4年(2022年)の薩摩硫黄島の火山活動(年報) ・気象庁(2023h) 薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和5年3月) ・気象庁(2023i)		<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	令和4年(2022年)の薩摩硫黄島の火山活動(年報) ・気象庁(2023h)		<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5年3月) ・気象庁(2023i)		<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"> 長屋ほか(2023): 屈折法地震探査により、カルデラ直下に、その近傍よりも平均P波速度が最大約14%遅い領域の存在が明らかになり、その広がりは水平方向に約25km、鉛直方向に約8km(深さ3~11km)である
		地震波速度	長屋ほか(2023)		
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 	
		Hamada et al. (2023)			
	地質学	小林(2017)			
	地球化学	篠原ほか(2008)			
		斎藤(2017)			
	測地学	井口ほか(2002)			
キュリー点深度	大久保(1984)				

(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(2022, 2023):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(2022):第150, 151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(2022, 2023):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(2023):電子基準点データ提供サービス, 更新:2023/4/26,
<https://terras.gsi.go.jp/>.
- (5) 防災科学技術研究所(2023):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:2023/4/5,
<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/JMA/?LANG=ja>.
- (6) 気象庁(2023):地震月報(カタログ編), 更新:2023/4/10,
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/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, 81 pp.
- (14) 九州電力株式会社(2021):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), 202pp. 2021年6月16日.
- (15) 気象庁(2015):阿蘇山の火山活動—2014年10月~2015年2月—, 火山噴火予知連絡会会報 第120号, pp.166-186.
- (16) 大倉敬宏・吉川慎・井上寛之・宇津木充・鍵山恒臣・寺田暁彦・加納将行・由井智志・山本圭吾・高山鐵朗・山崎友也・多田光宏・立尾有騎・松島健・内田和也・中元真美・山下裕亮・平岡喜文・三森庸里江・根本盛行(2009):阿蘇カルデラにおける水準測量(2008年9月-10月), 第4回阿蘇火山の集中総合観測報告書, pp.8-15.
- (17) Nakao, S., Morita, Y., Yakiwara, H., Oikawa, J., Ueda, H., Takahashi, H., Ohta, Y., Matsushima, T. and Iguchi, M. (2013): Volume change of the magma reservoir relating to the 2011 Kirishima Shinmoe-dake eruption—Charging, discharging and recharging process inferred from GPS measurements. *Earth Planets Space*, vol.65, 505-515. <https://doi.org/10.5047/eps.2013.05.017>.
- (18) Ueda, H., Kozono, T., Fujita, E., Kohno, Y., Nagai, M., Miyagi, Y. and Tanada, T. (2013): Crustal deformation associated with the 2011 Shinmoe-dake eruption as observed by tiltmeters and GPS, *Earth Planets Space*, vol.65, 517-525. <https://doi.org/10.5047/eps.2013.03.001>.

モニタリング結果と中・長期的取組みの参考文献

- (19) 気象庁(2018):霧島山の火山活動ー2018年2月~2018年5月31日ー, 火山噴火予知連絡会会報 第130号, pp.213-284.
- (20) Tobita, M. (2016): Combined logarithmic and exponential function model for fitting postseismic GNSS time series after 2011 Tohoku-Oki earthquake, Earth Planets Space, vol.68, Article number: 41. <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0422-4>.
- (21) Takagi, R., Uchida, N. and Obara, K. (2019): Along-strike variation and migration of long-term slow slip events in the western Nankai subduction zone, Japan, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol.124, 4, pp.3853-3880. <https://doi.org/10.1029/2018JB016738>.
- (22) 国土地理院(2018):熊本地震の余効変動, 地震予知連絡会会報, 100(12-7), pp.405-408.
- (23) Omori, F. (1916):The Sakura-Jima eruption and earthquakes II, Bulletin of The Imperial Earthquake Investigation Committee, vol.8, pp.35-179.
- (24) 地震調査委員会(2022):2022年10月の地震活動の評価, 毎月の地震活動.
- (25) Yurai, H. and Ozawa, S. (2013): Quasi-periodic slow slip events in the afterslip area of the 1996 Hyuga-nada earthquakes, Japan, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol.118, 2512-2527. <https://doi.org/10.1002/jgrb.50161>.
- (26) 鹿児島地方気象台(2023):鹿児島地方気象台による「桜島の月別の噴火回数」(2023年4月10日現在), https://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/data/skr_erp_num.html.
- (27) 鹿児島県(2023):桜島降灰量観測結果(H20~), 更新:2023/4/14, <http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/sonae/sakurajima/sakurajimakouhairyou2.html>.
- (28) 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.
- (29) Yu, C., Penna, N. T. and Li, Z. (2017): Generation of real-time mode high-resolution water vapor fields from GPS observations, J. Geophys. Res. Atmospheres, 122, 2008-2025. <https://doi.org/10.1002/2016JD025753>.
- (30) 国土地理院(2023):地理院地図, 更新:2023/3/20, <https://maps.gsi.go.jp/>.
- (31) Ogata, Y. (1988): Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes, Journal of the American Statistical Association, vol.83, pp.9-27.
- (32) 尾形良彦(2019):ETASモデルー地震の発生強度(起こりやすさ)の評価ー, 日本地震学会広報紙「なみふる」, no.117, pp.1-3.
- (33) 宇津徳治(1999):「地震活動総説」. 東京大学出版会, 876pp, 東京.
- (34) 石垣祐三(2009):全国を対象とした地震活動監視のための解析手法について新しいーM7.0における余震活動予測を通してー, 験震時報, vol.72, pp.1-25.
- (35) 石垣祐三(2006):ETASモデルを用いた地震活動の短期確率評価, 験震時報, vol.69, pp.135-154.
- (36) 石垣祐三・原田昌武・本多 亮・行竹洋平・伊東 博・明田川 保(2010):箱根浅発地震活動のETAS モデル解析と火山活動度との関連の検討, 神奈川県温泉地学研究所報告, vol.42, pp.19-31.
- (37) Wessel, P. and Smith W.H.F. (1998): New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., vol.79, pp.579. <https://doi.org/10.1029/98EO00426>.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (1) 国土地理院(2022a):阿蘇山のSAR干渉解析結果について, 第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5)九州地方及び南西諸島, pp.23.
- (2) 防災科学技術研究所(2022a):阿蘇山の火山活動について, 第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5)九州地方及び南西諸島, pp.13-18.
- (3) 気象庁(2023a):令和4年(2022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(2023b):阿蘇山の火山活動解説資料(令和5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) Miyagi, I., Hoshizumi, H., Suda, T., Saito, G., Miyabuchi, Y. and Geshi, N. (2023): Importance of Long-Term Shallow Degassing of Basaltic Magma on the Genesis of Massive Felsic Magma Reservoirs: a Case Study of Aso Caldera, Kyushu, Japan, *Journal of Petrology*, Vo.64, March 2023, egad009. <https://doi.org/10.1093/petrology/egad009>.
- (17) 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.
- (18) 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.
- (19) 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.

目安を踏まえた整理の参考文献

- (20) 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>.
- (21) 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.
- (22) 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>
- (23) Niu, J. and Song, T.R.A. (2021): Episodic transport of discrete magma batches beneath Aso volcano, *Nature Communications*, vol.12, pp.1-12.
- (24) 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>.
- (25) 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.
- (26) 気象庁・気象研究所(2022a):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151回火山噴火予知連絡会資料(その1の9)霧島山, pp.23-24.
- (27) 防災科学技術研究所(2022b):SAR 干渉解析による新燃岳火口内の変形,第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の9)霧島山, pp.47.
- (28) 国土地理院(2022b):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),第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の9)霧島山, pp.61-62.
- (29) 気象庁(2023c):令和4年(2022年)の霧島山の火山活動,火山活動解説資料資料(年報).
- (30) 気象庁(2023d):霧島山の火山活動解説資料(令和5年2月),火山活動解説資料資料.
- (31) 気象庁(2023e):霧島山の火山活動解説資料(令和5年3月),火山活動解説資料資料.
- (32) 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.
- (33) 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.
- (34) 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): 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>
- (35) 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.
- (36) 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, pp.279-287.
- (37) 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>
- (38) 気象庁(2022b):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151回火山噴火予知連絡会資料(その1の1)桜島, pp.10-11.
- (39) 国土地理院(2022c):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),第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の1)桜島, pp.36-37.
- (40) 気象庁(2023f):令和4年(2022年)の桜島の火山活動,火山活動解説資料資料(年報).

目安を踏まえた整理の参考文献

- (41) 気象庁(2023g):桜島の火山活動解説資料(令和5年3月),火山活動解説資料資料.
- (42) 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.
- (43) 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.
- (44) 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・日野亮太・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・宮町凛太郎・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.
- (45) 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.
- (46) 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.
- (47) 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.
- (48) 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.
- (49) 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.
- (50) 山本圭吾・園田忠臣・高山鉄朗・市川信夫・大倉敬宏・横尾亮彦・吉川慎・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.
- (51) Hickey, J., Gottsmann, J., Nakamichi, H. and Iguchi, 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>
- (52) 味喜大介・筒井智樹・井口正人(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.
- (53) 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.
- (54) 国土地理院(2022d):池田・山川・開聞岳のSAR干渉解析結果について,第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の2)その他の火山(地理院),pp.56.
- (55) 気象庁(2022c):開聞岳,第151回火山噴火予知連絡会資料(その2の5)九州地方及び南西諸島,pp.34-35.
- (56) 気象庁(2022d):池田・山川,第151回火山噴火予知連絡会資料(その3の1)その他の火山(気象庁),pp.76-77.
- (57) 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/>). 更新:2023/4/7.
- (58) 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.
- (59) 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.
- (60) 国土地理院(2022e):薩摩硫黄島のSAR干渉解析結果について,第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の6)薩摩硫黄島,pp.14-18.
- (61) 気象庁(2022e):薩摩硫黄島,第151回火山噴火予知連絡会資料(その1の6)薩摩硫黄島,pp.3-5.
- (62) 気象庁(2023h):令和4年(2022年)の薩摩硫黄島の火山活動,火山活動解説資料資料(年報).

目安を踏まえた整理の参考文献

- (63) 気象庁(2023i):薩摩硫黄島の火山活動解説資料(令和5年3月),火山活動解説資料資料.
- (64) 長屋暁大・藤江剛・小平秀一・田中聡・山本揚二郎・杉岡裕子・宮町宏樹・松野哲男・大塚宏徳・鈴木啓太・島伸和(2023):屈折法地震波構造探査によって明らかになった鬼界カルデラ火山直下の低速度領域,海と地球のシンポジウム2022,6-2.
- (65) 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.
- (66) Hamada, M., Hanyu, T., McIntosh, I.M., Tejada, M.L.G., Chang, Q., Kaneko, K., Kimura, J., Kiyosugi, K., Miyazaki, T., Nakaoka, N., Nishimura, K., Sato, T., Seama, N., Suzuki-Kamata, K., Tanaka, S., Tatsumi, Y., Ueki, K., Vaglarov, B.S. and Yoshida, K. (2023): Evolution of magma supply system beneath a submarine lava dome after the 7.3-ka caldera-forming Kikai-Akahoya eruption, Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol.434, 107738. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107738>
- (67) 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
- (68) 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.
- (69) 井口正人・高山鐵郎・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.