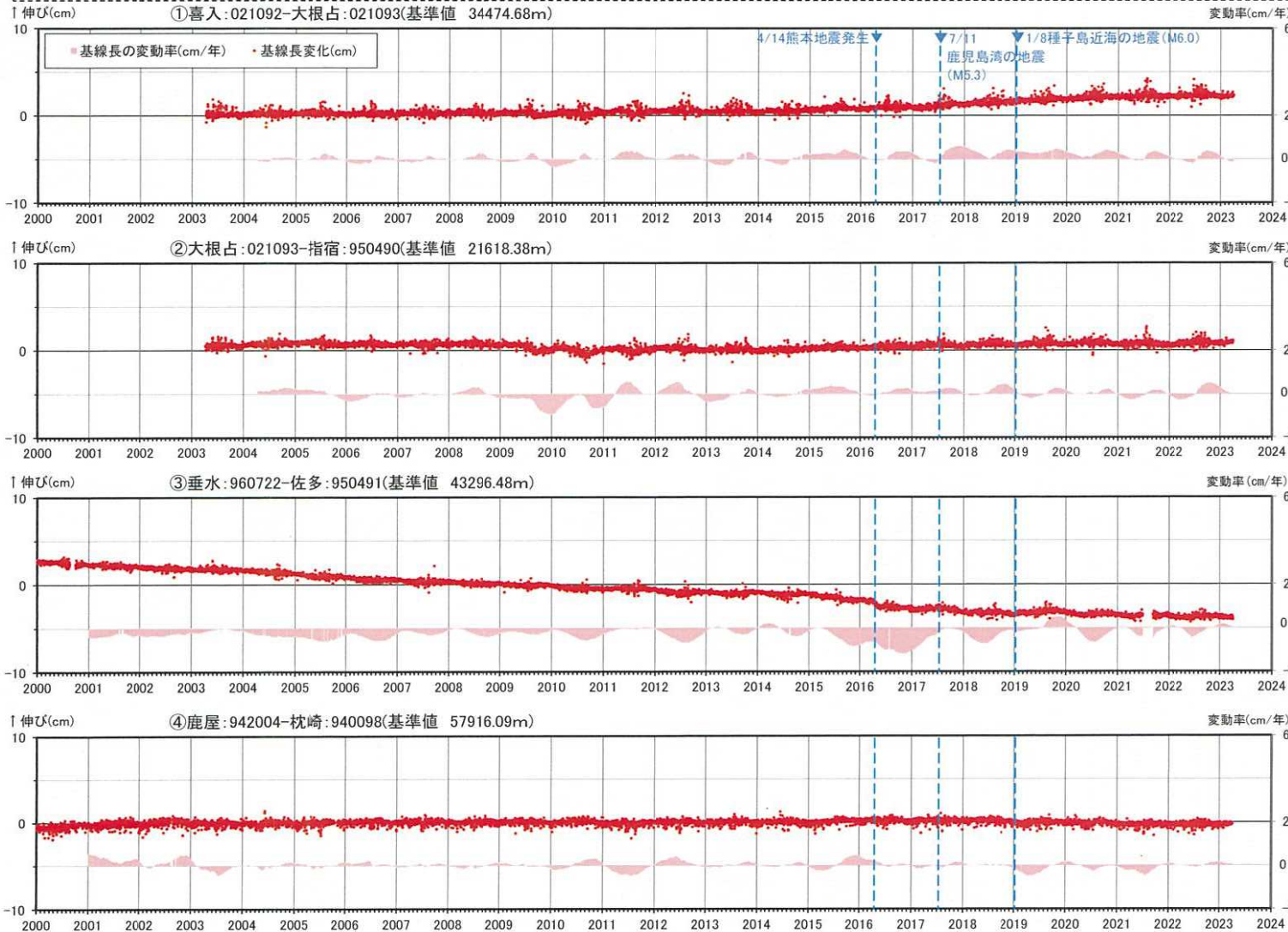
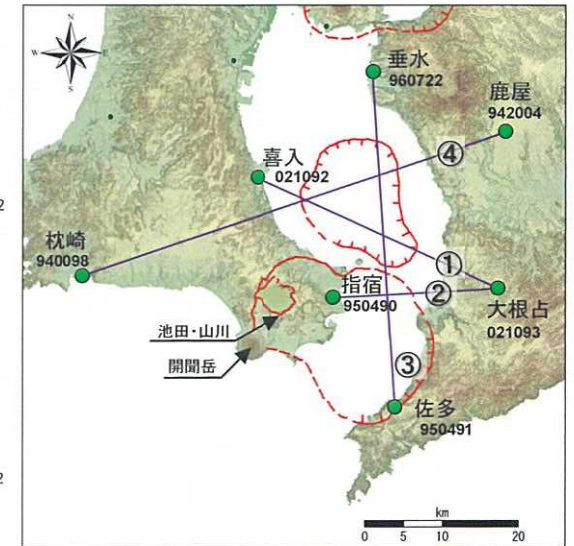


④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

- ・ 2022年度の基線長変化は、阿多カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向が認められないことから、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化はないと判断している。
- ・ なお、熊本地震(前震:2016年4月14日M6.5、本震:2016年4月16日M7.3)または鹿児島湾の地震(2017年7月11日M5.3)を境に傾向が変化している基線(基線⑥、⑦、⑧)が見られるため、今後の地殻変動に留意していく。



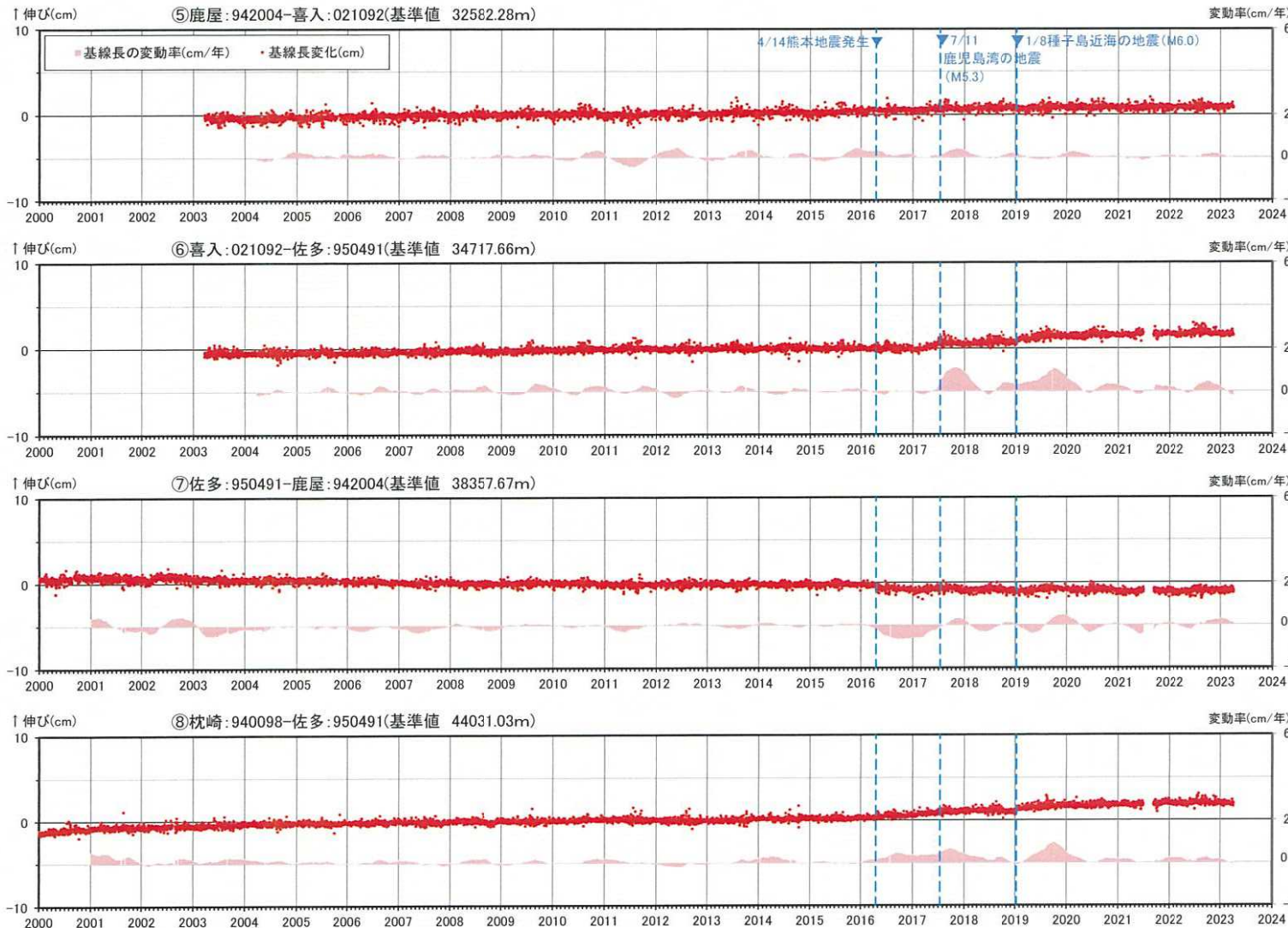
基線①～④の時系列変化



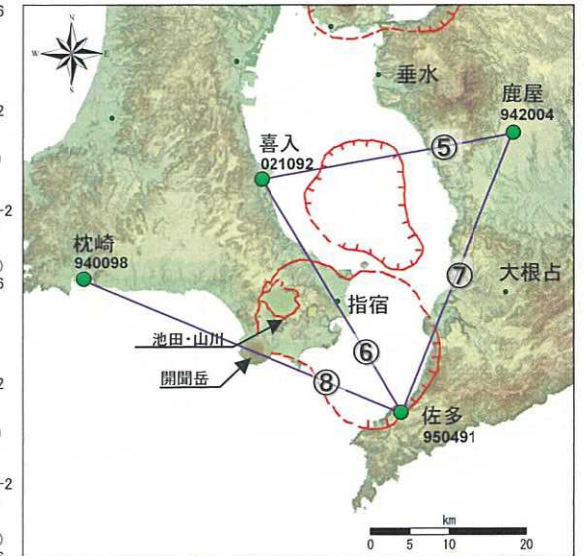
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 950491(佐多)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

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



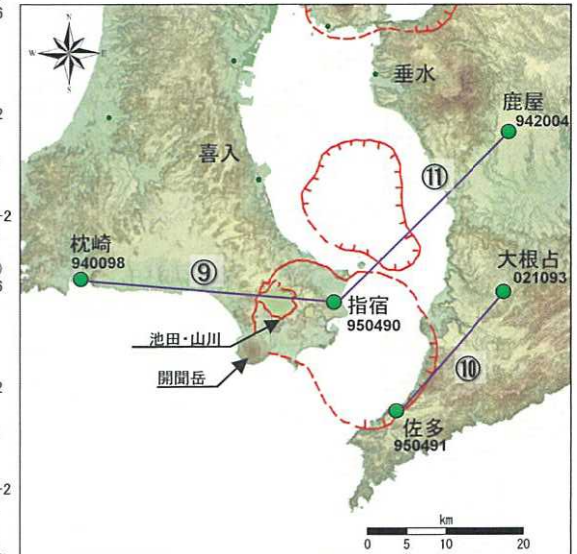
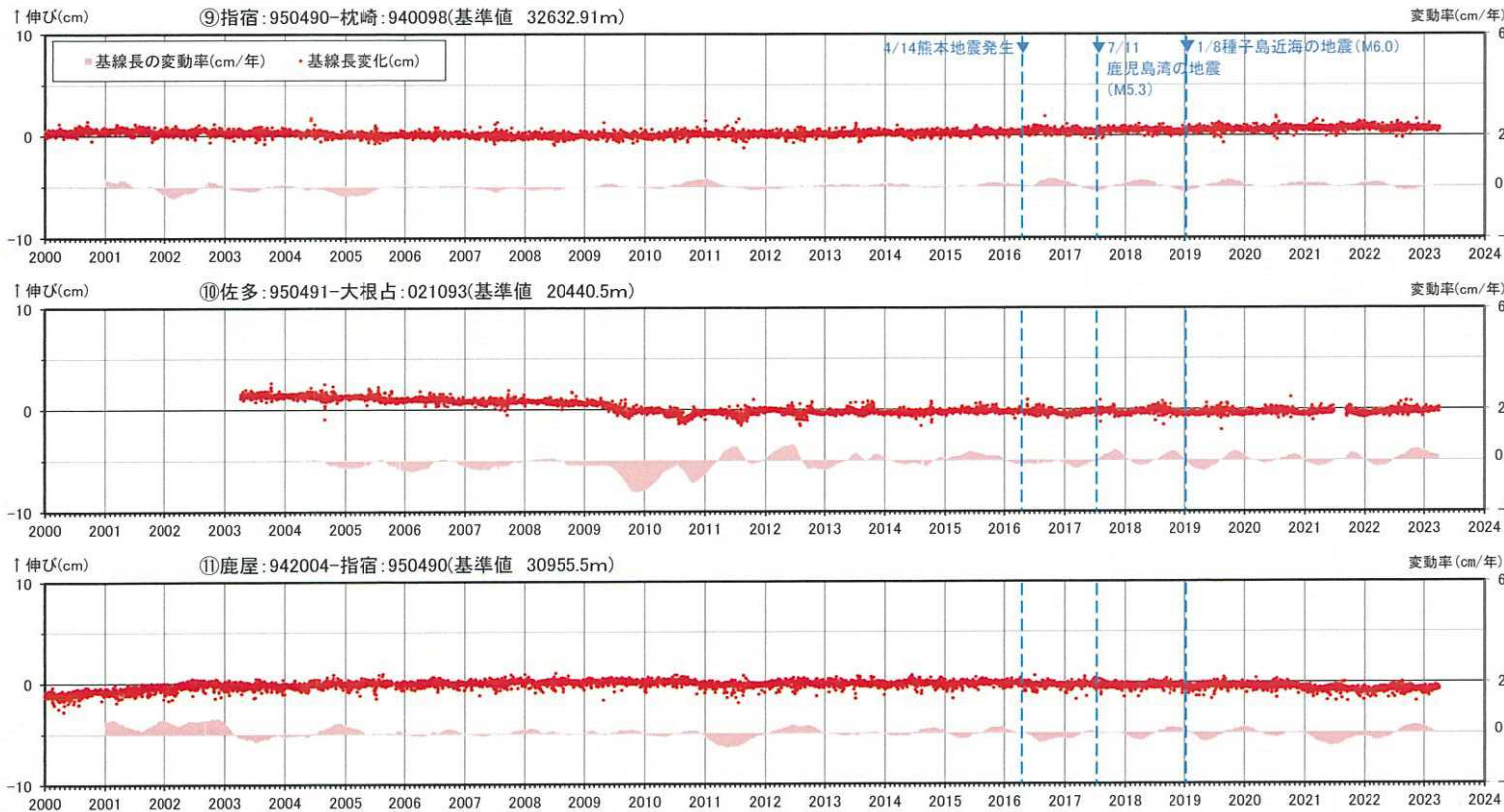
基線⑤～⑧の時系列変化



● 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 950491(佐多)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

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]



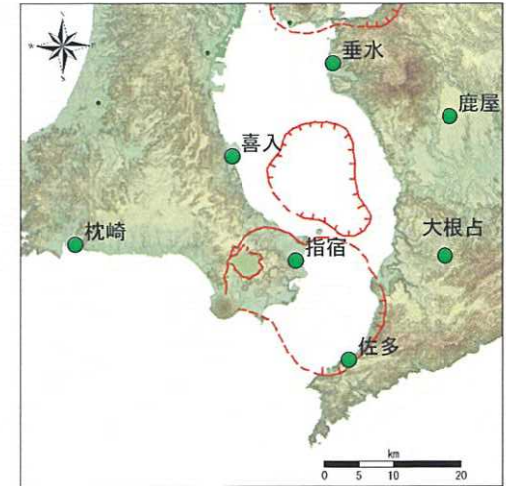
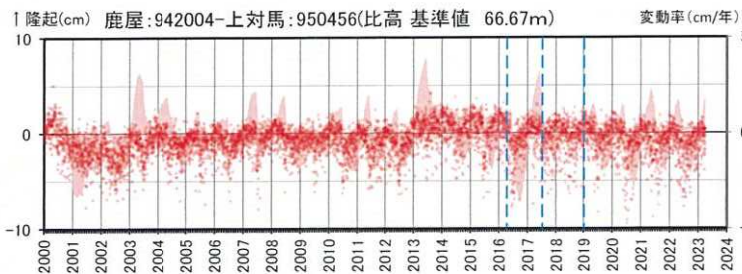
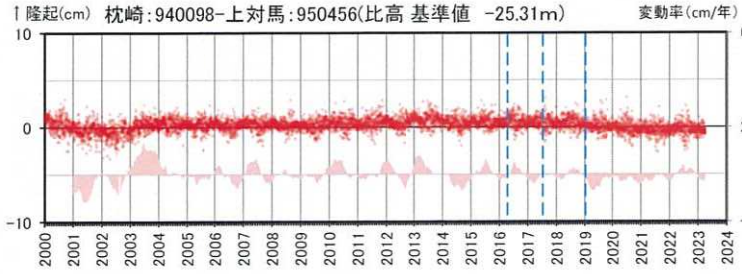
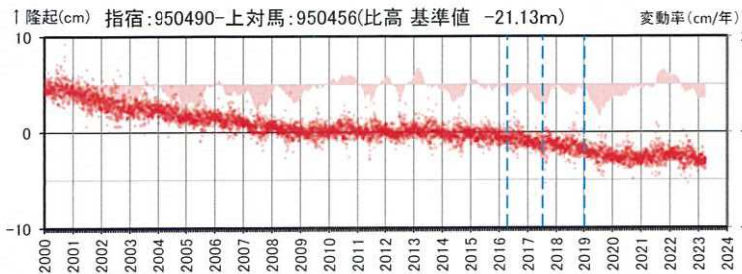
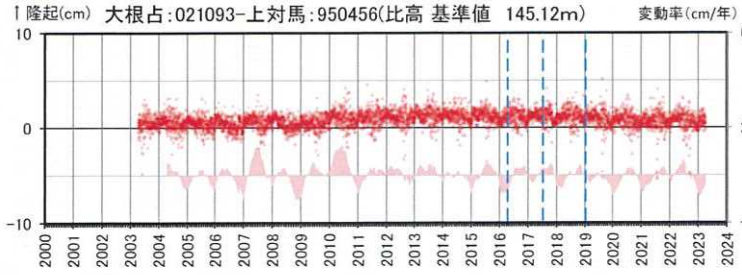
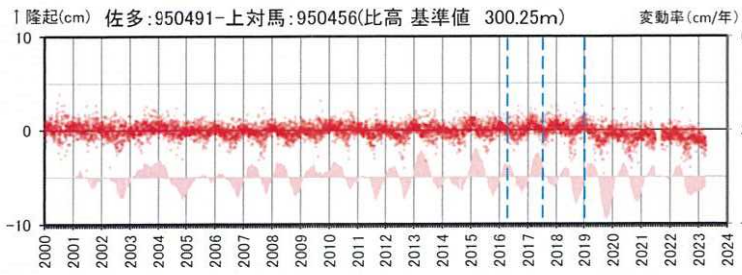
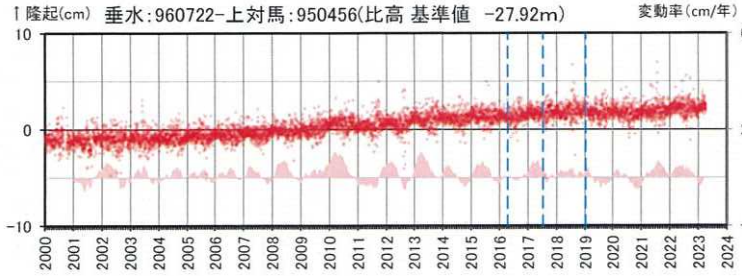
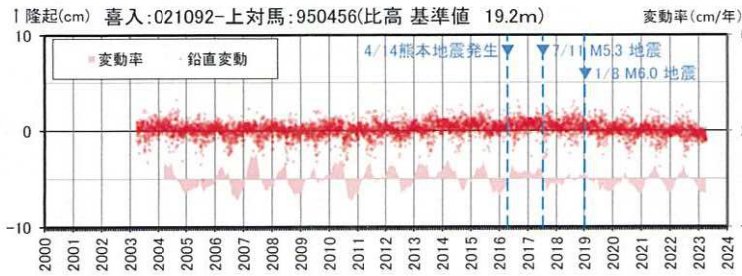
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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 950491 (佐多)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

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

・ 2022年度の鉛直変動は、阿多カルデラへのマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向は認められない。



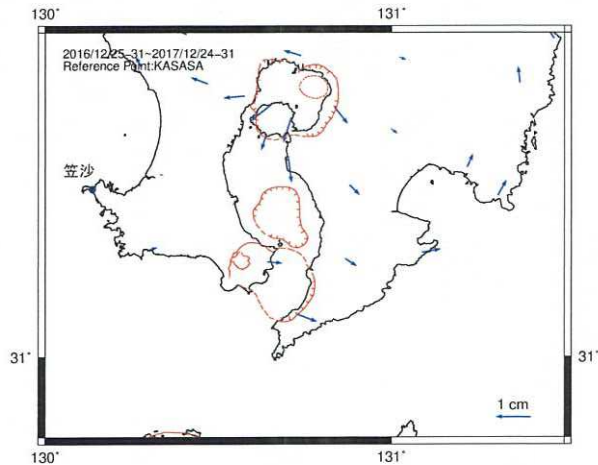
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※1 2010年1月1日での950456(上対馬)との比高を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 950491(佐多)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

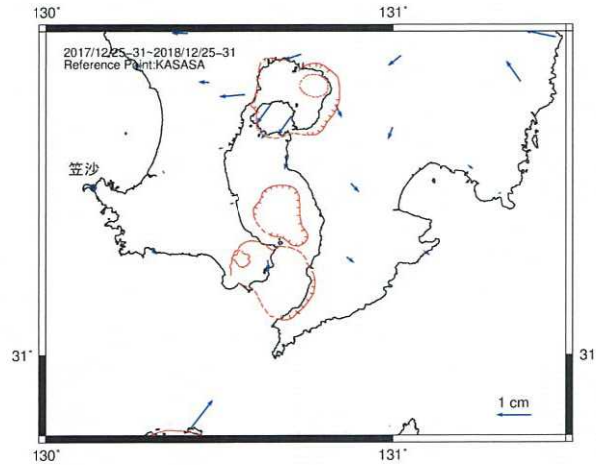
950456(上対馬)を固定点とした比高の時系列変化

④ 阿多カルデラ [地殻変動: 笠沙を固定点とした水平変動ベクトル]

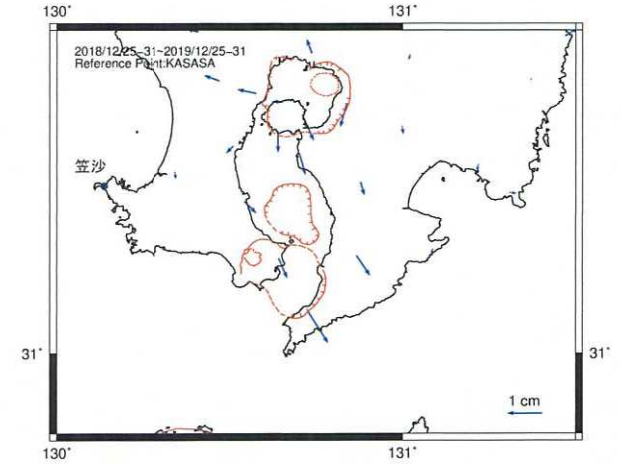
- ・阿多カルデラ周辺の地殻変動の向きを把握するため、笠沙を固定点とした2017年以降の水平変動ベクトルを整理した。南東側の点は種子島近海の地震の影響を大きく受けることが分かる。
- ・2022年度は阿多カルデラを中心とした外向きの地殻変動は見られず、マグマ供給を示唆する広範囲での膨張傾向は認められない。



2017年12月の地殻変動

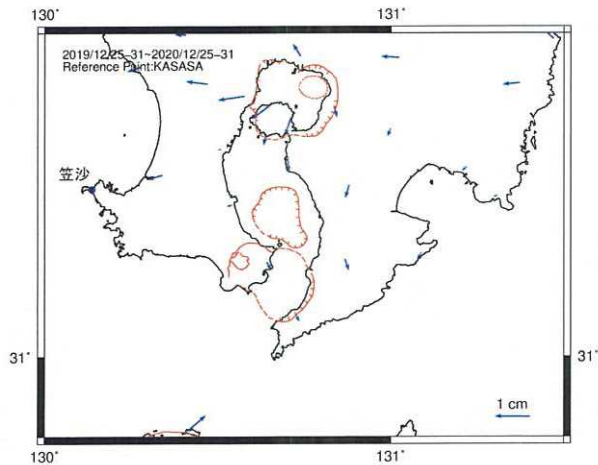


2018年12月の地殻変動

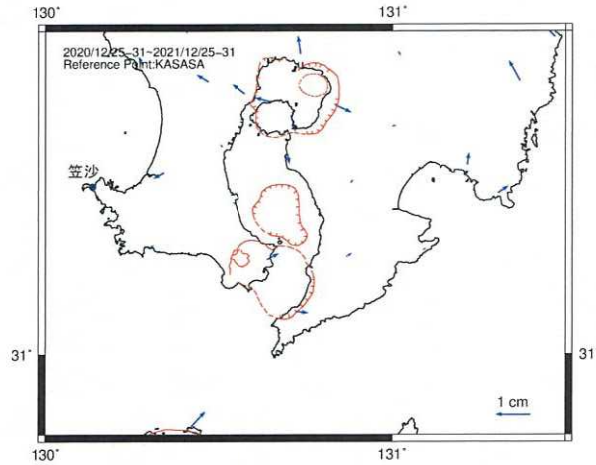


2019年12月の地殻変動

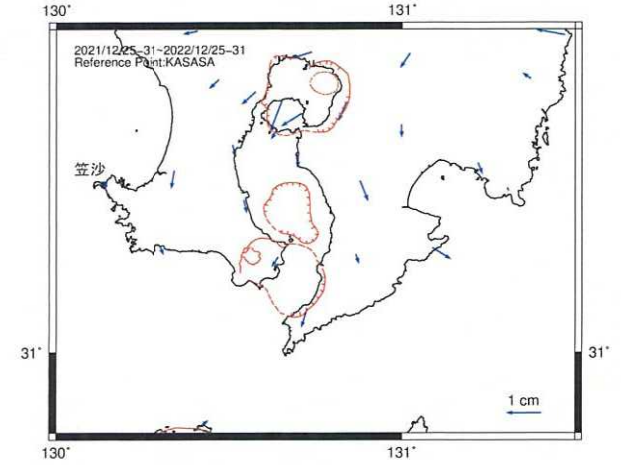
(2019.1)種子島近海の地震: M6.0



2020年12月の地殻変動



2021年12月の地殻変動

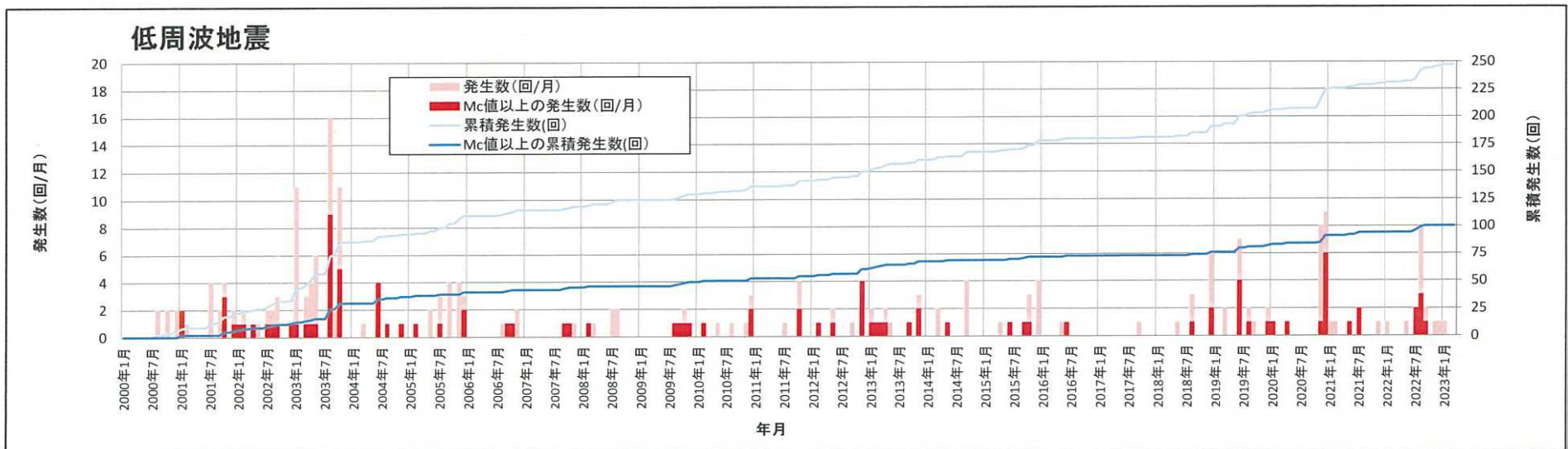
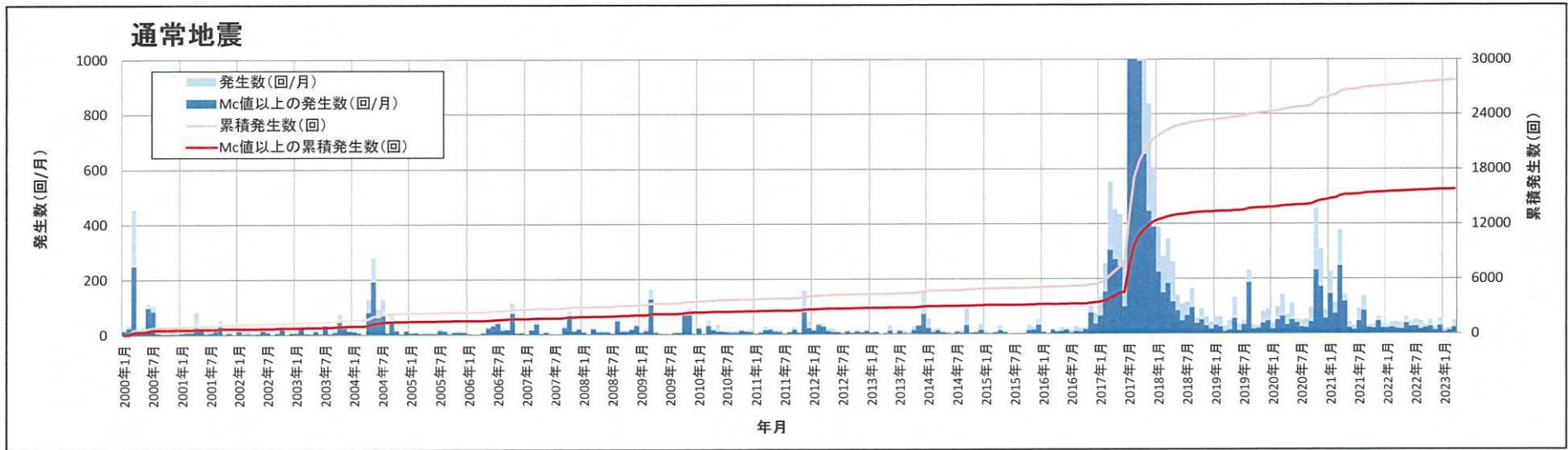


2022年12月の地殻変動

※ 当年12/25~31の平均水平変位と前年12/25~31の平均水平変位の差を1年間の変位として求めた。

④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

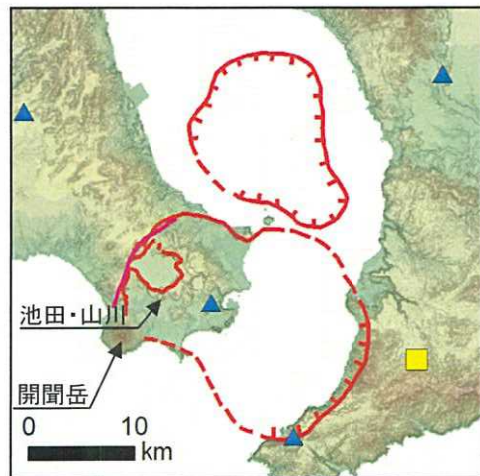
- ・ 2022年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、開聞岳付近における低周波地震はやや増加し2020年度と同程度であるが、更なる南西側では通常地震がやや増加している。また、これまで地震があまり発生していなかった北側のカルデラ内南部において、12月8日にM4.1の地震が発生したため、今後の地震活動に留意していく。



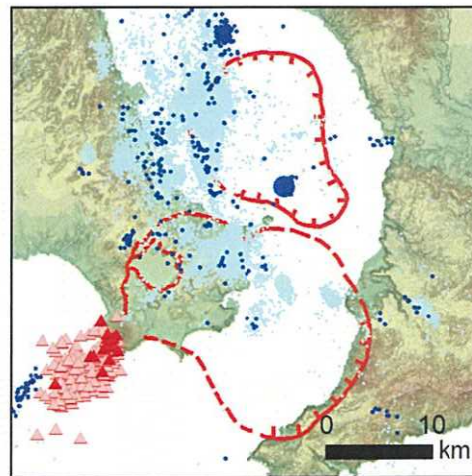
[Mc値(2000~2022年データ使用)] 通常地震: 0.6 低周波地震: 0.9

④ 阿多カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

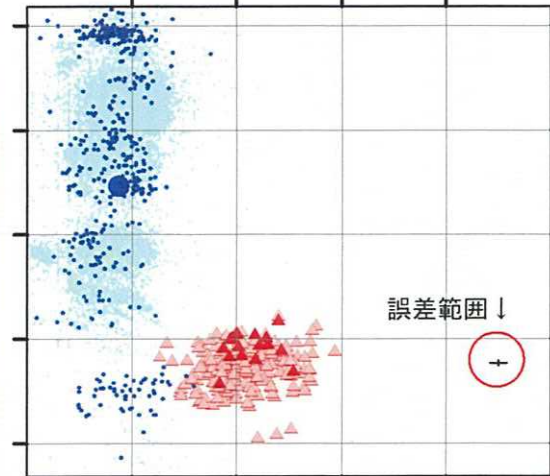
地震観測点



震源分布 (深さ50km以浅)

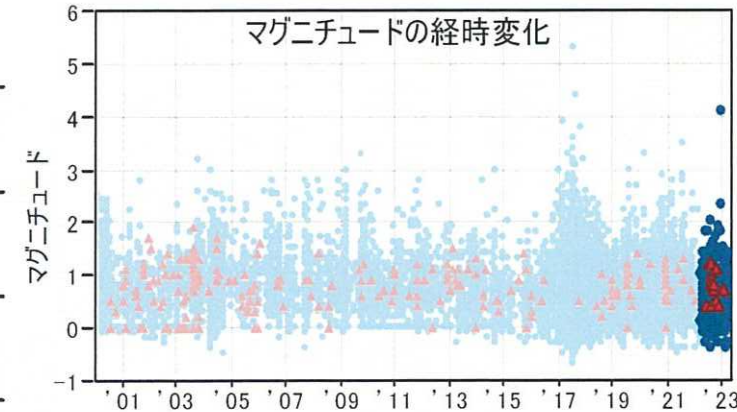
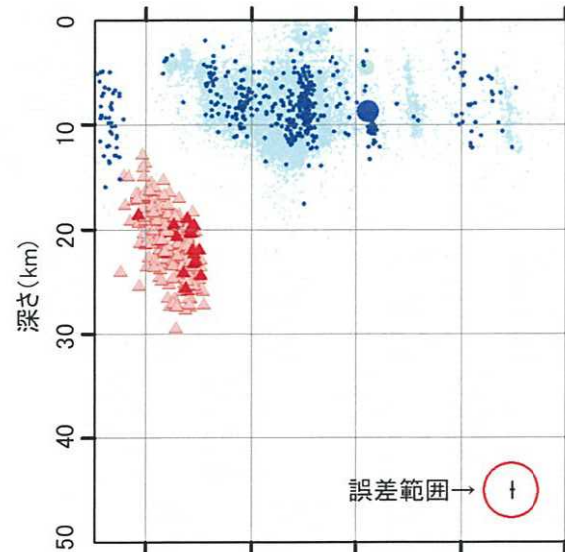


0 10 20 30 40 50 深さ (km)



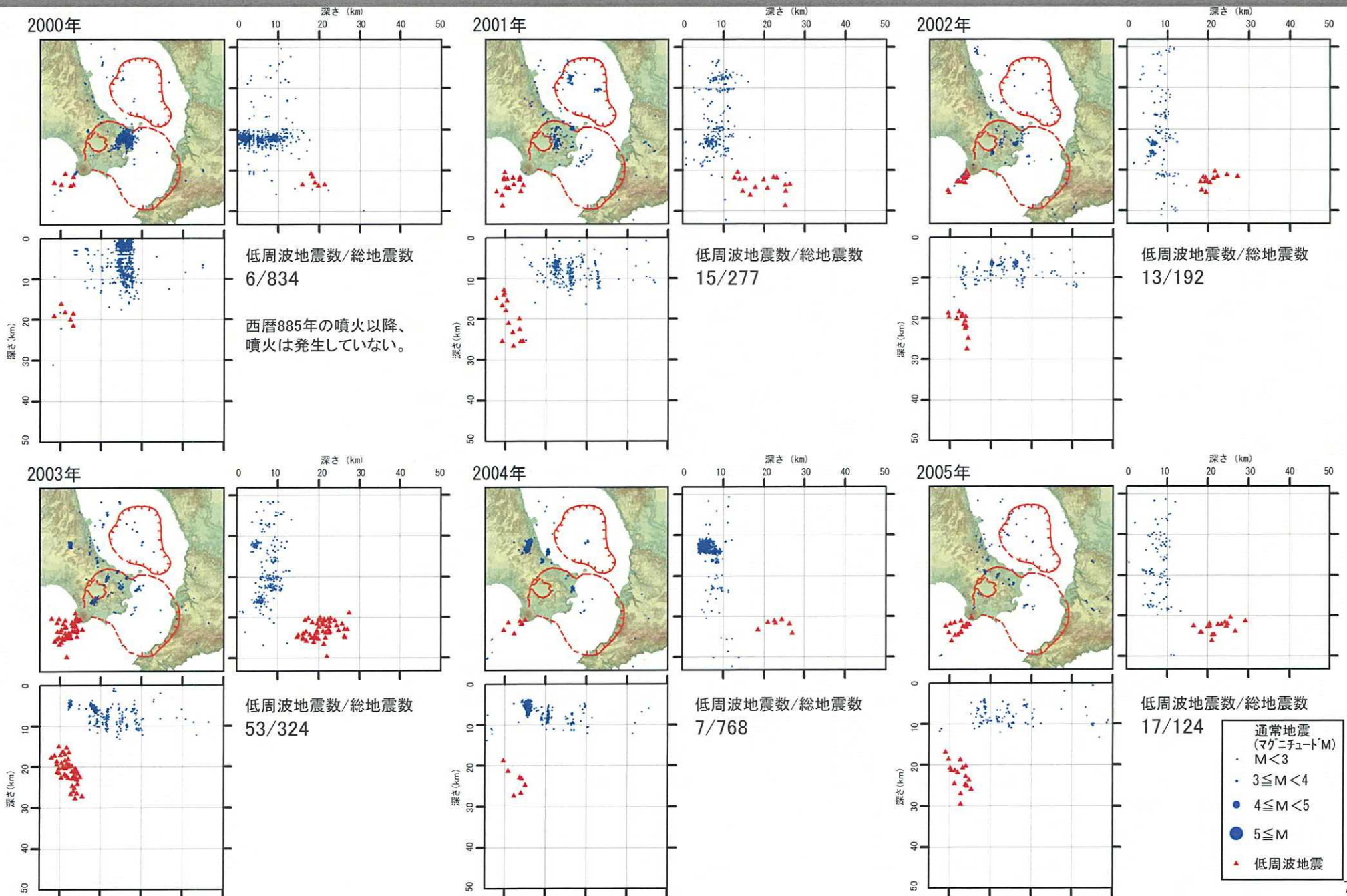
凡 例

- 地震観測点
- 大学
 - 気象庁
 - ▲ 防災科学技術研究所
- 震 源
(2022年4月以降は右のシンボル)
- 通常地震(マグニチュードM)
 - M<3
 - 3 ≤ M < 4
 - 4 ≤ M < 5
 - 5 ≤ M
 - ▲ 低周波地震
- 活断層
- 地震調査研究推進本部による

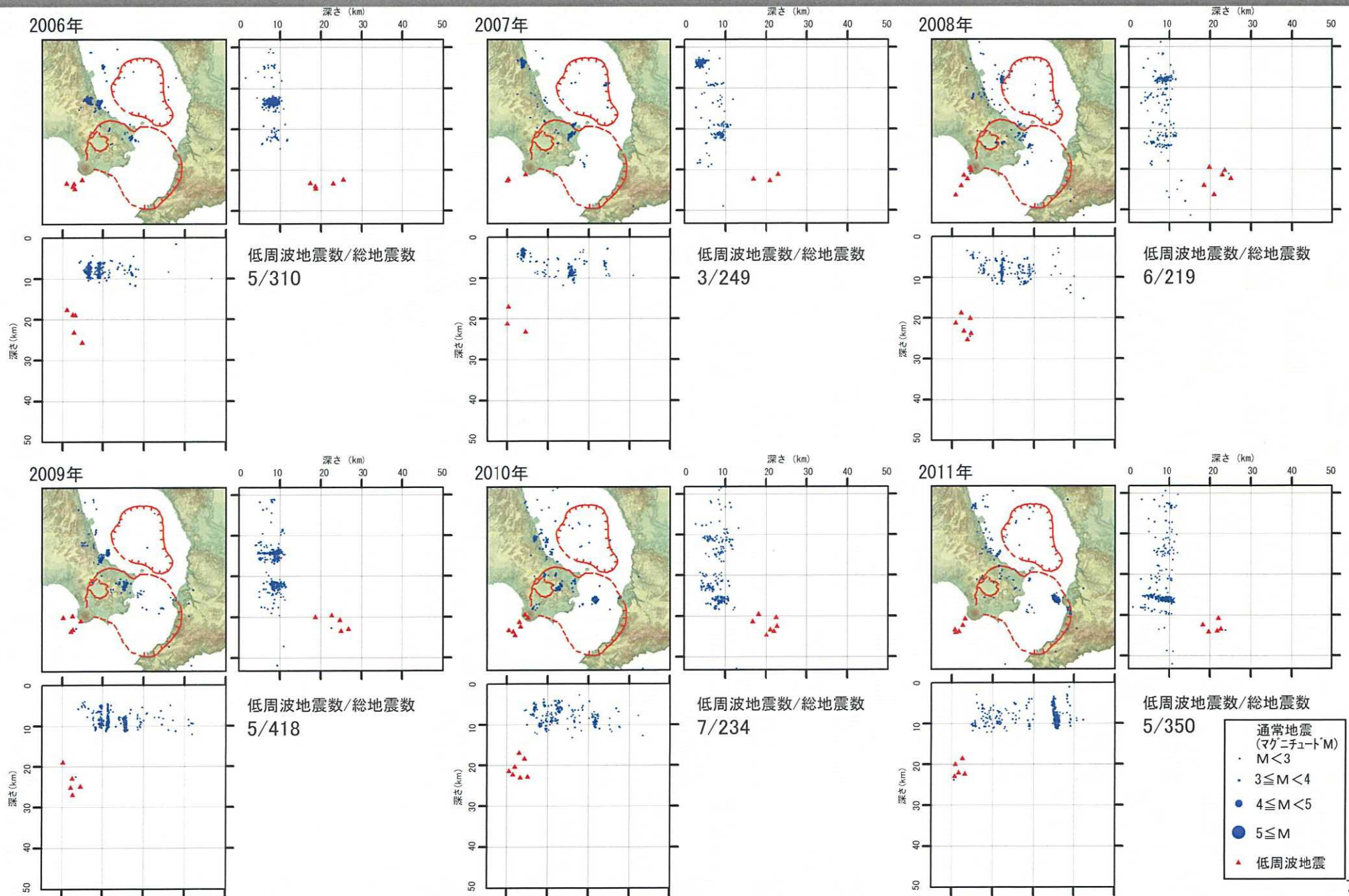


*震源は2000年以降をプロット。2022年4月1日以降を濃色表示
 **地震観測点は地震調査研究推進本部のデータベースによる高感度地震計 (2022年4月1日現在)

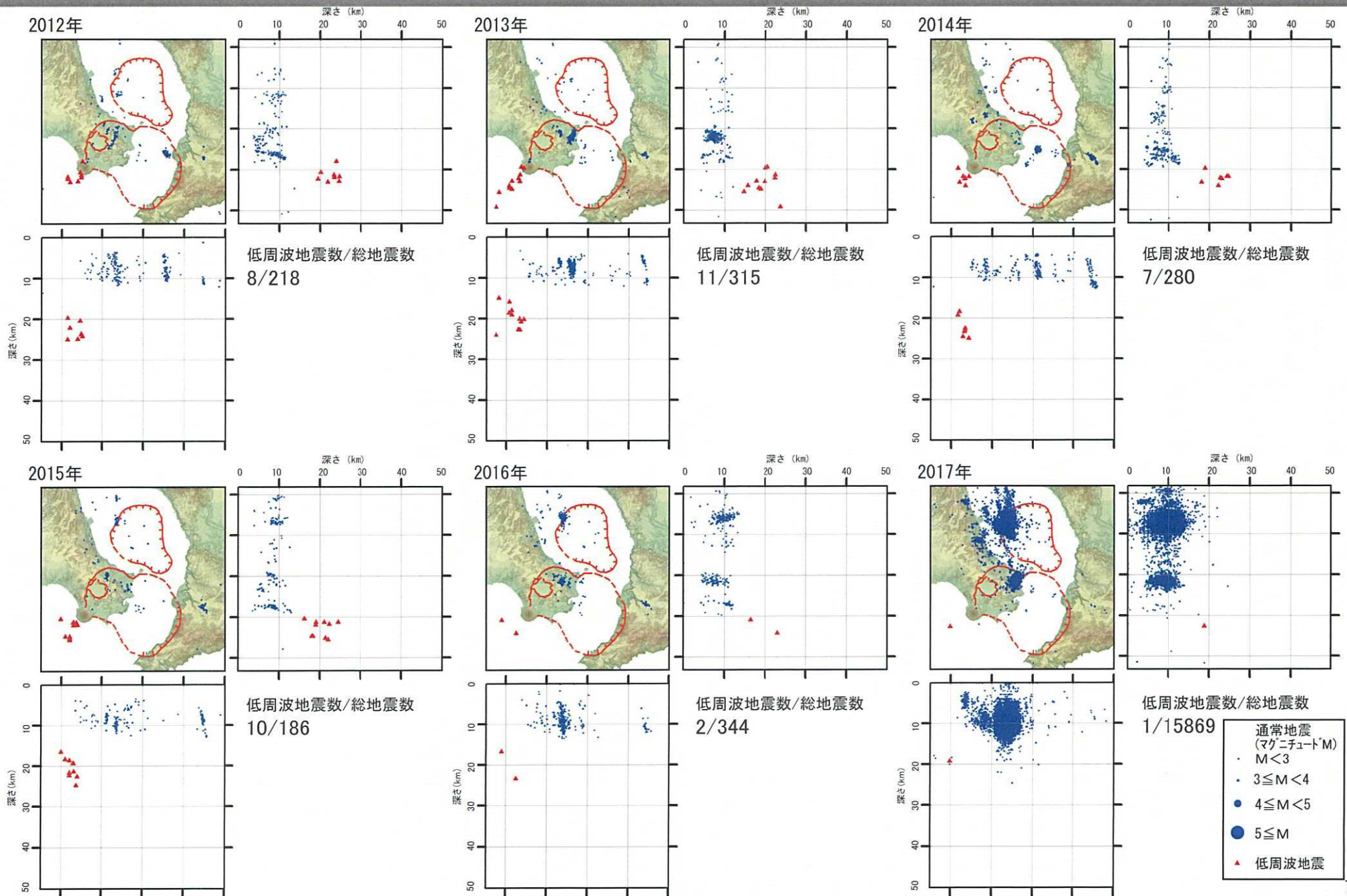
④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



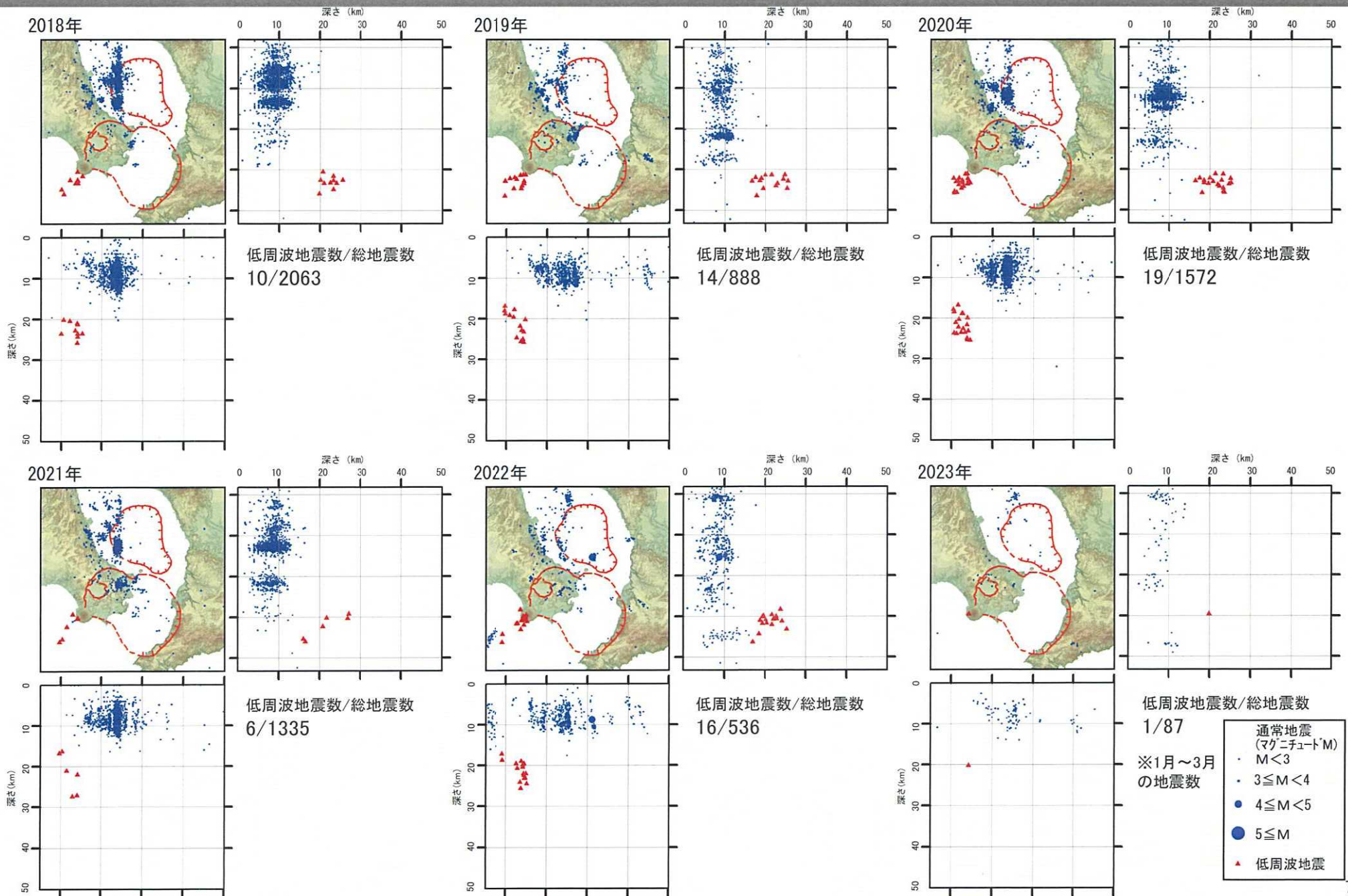
④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



④ 阿多カルデラ [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

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

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2022年度の基線長変化に、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2022年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、開聞岳付近における低周波地震はやや増加し2020年度と同程度であるが、更にその南西側では通常地震がやや増加している。また、これまで地震があまり発生していなかった北側のカルデラ内南部において、12月8日にM4.1の地震が発生したため、今後の地震活動に留意していく。

阿多カルデラについては、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2022年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

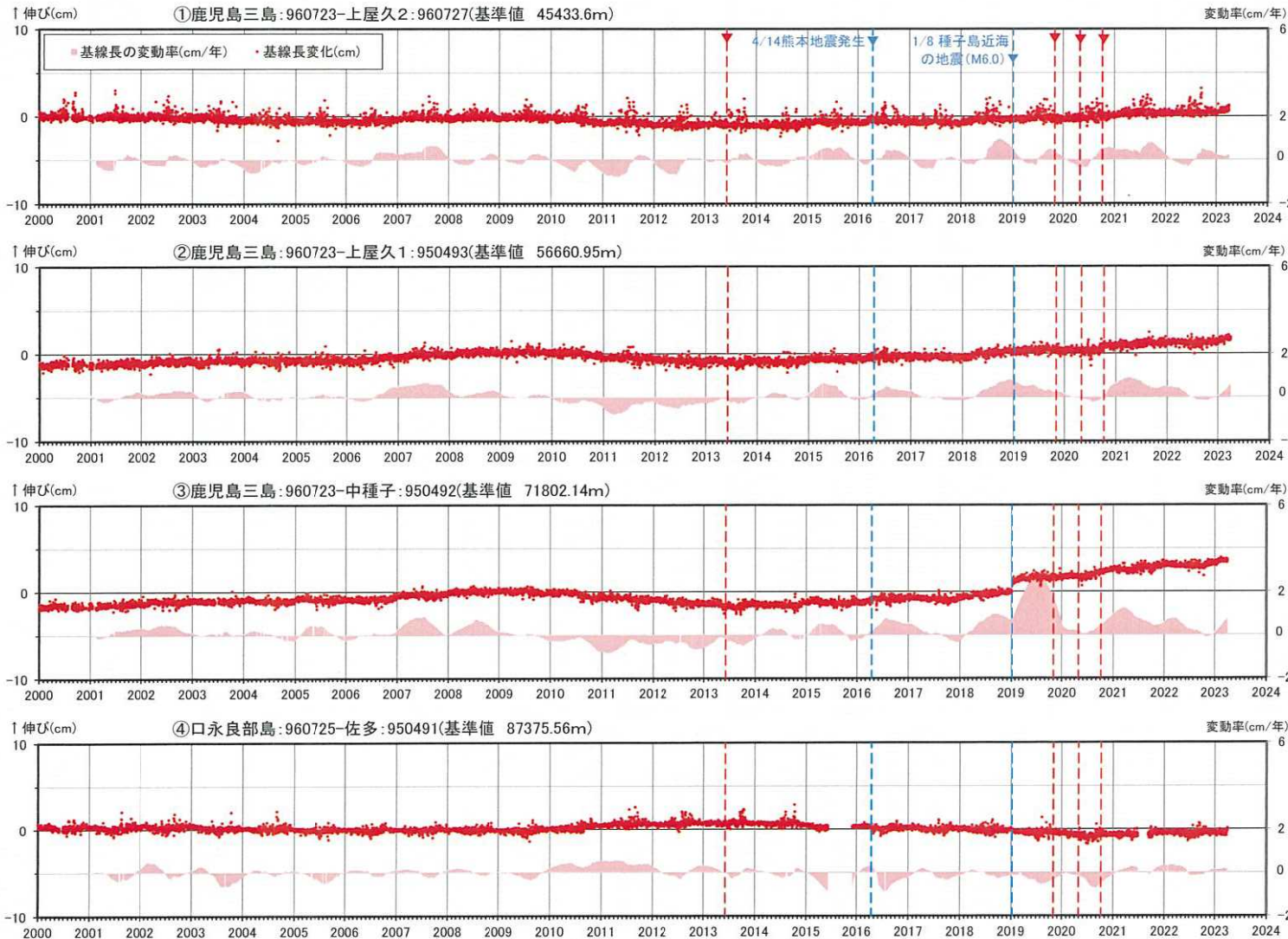
余 白

⑤ 鬼界 [活火山に関する公的機関の評価概要]

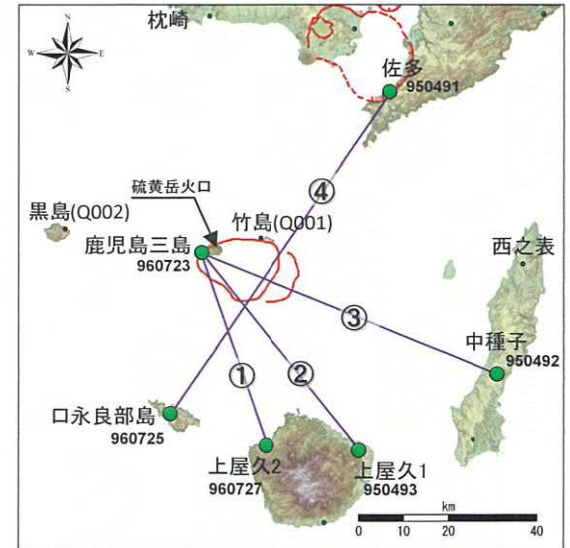
- 薩摩硫黄島（出典：火山活動解説資料2022年 年報、火山活動解説資料2023年1月・3月、第150・151回火山噴火予知連絡会資料、火山周辺地域における地殻変動観測の概況（2023年3月））
- 硫黄岳火口では、噴火は観測されていない。
 - 硫黄岳火口では、噴煙が時々高く上がり、概ね年間を通して夜間に高感度の監視カメラで火映を観測するなど、長期的には熱活動が高まった状態で推移した。
 - 火山性地震は少ない状態で経過し、火山性微動は1回観測された。
 - 2023年1月11日には硫黄岳周辺の海岸から東側に、火山活動に伴うと考えられる海水の変色を引き続き確認した。また、2023年3月8日に実施した上空からの観測では、硫黄岳及びその周辺で噴気を観測したが、火口内及び山腹の状況に特段の変化は認められなかった。
 - 火山ガス(二酸化硫黄)放出量は1日あたり1,000トン前後の状態経過し、2023年3月では1日あたり500～600トンとやや少ない状態となった。
 - GNSS 連続観測では、2015年頃から一部の基線で長期的な縮みの傾向がみられ、薩摩硫黄島と竹島間の基線で2021年5月頃から見られていた伸びの傾向は、2022年頃から停滞していたが、2022年8月頃からわずかな伸びが見られる。また、「鹿児島三島」で2023年1月頃から西向きわずかな変動が見られた。

⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

・2022年度の基線長変化について、鹿児島三島及び竹島を起点とする基線に、2022年8月頃から鬼界へのマグマ供給を示唆する伸びと縮みの傾向が認められるため、今後の地殻変動に留意していく。



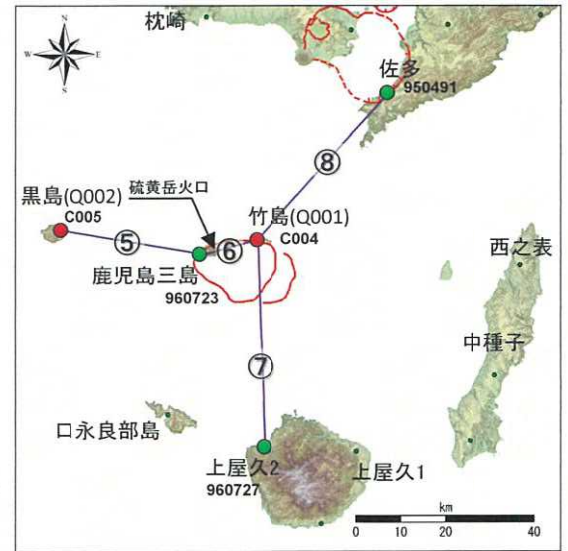
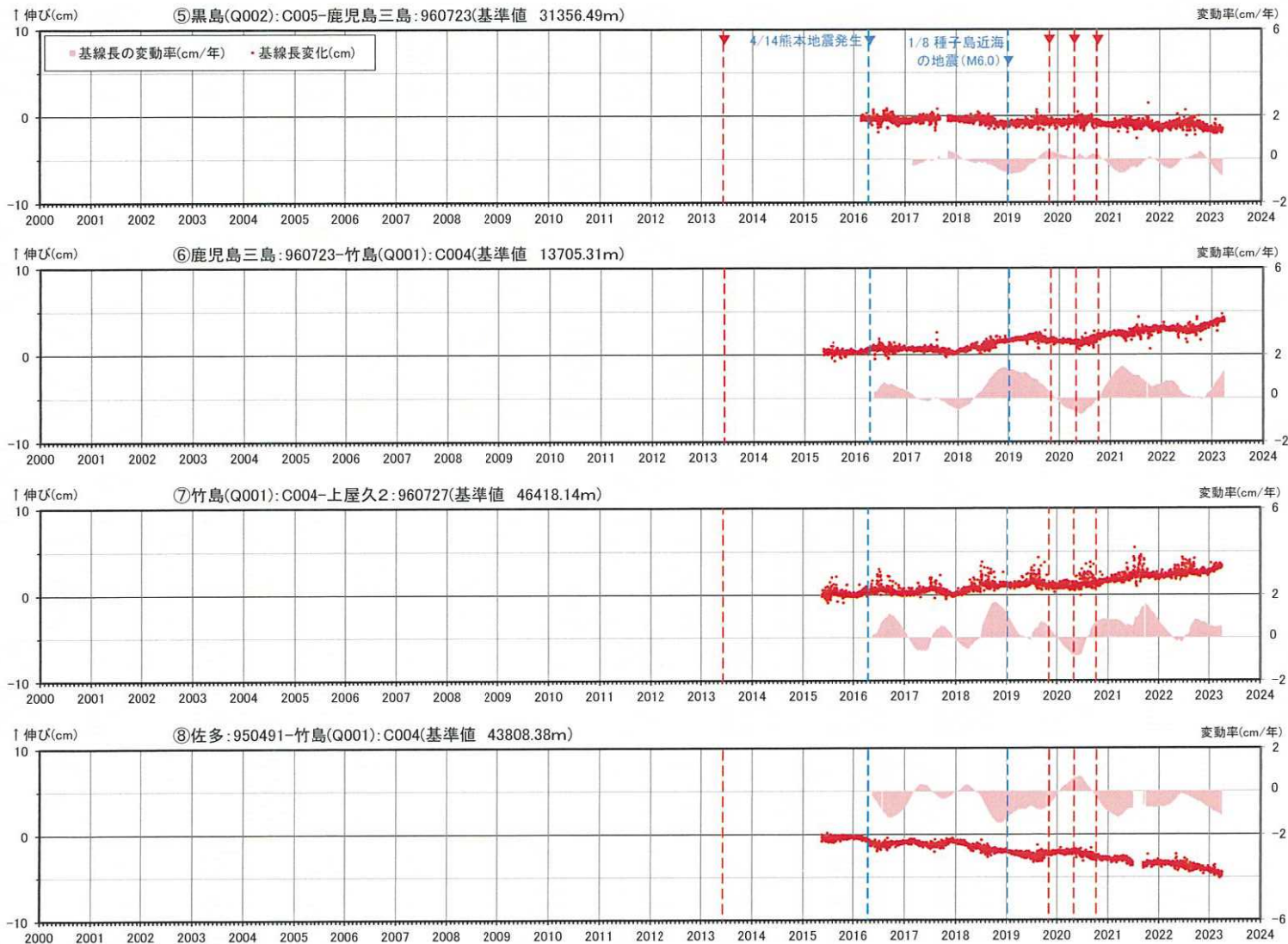
基線①～④の時系列変化



- 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 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
- ※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 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

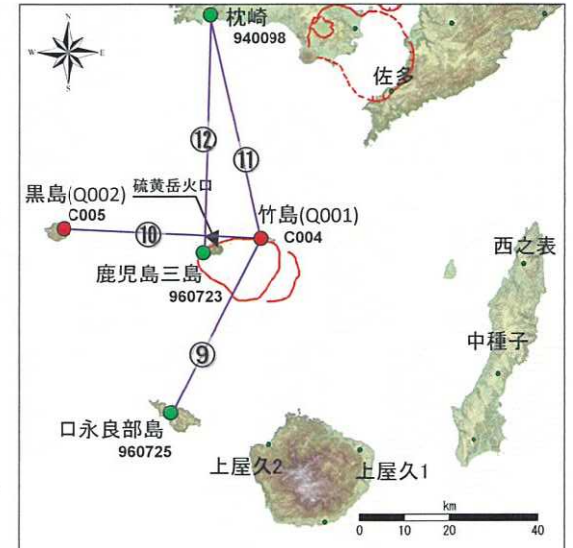
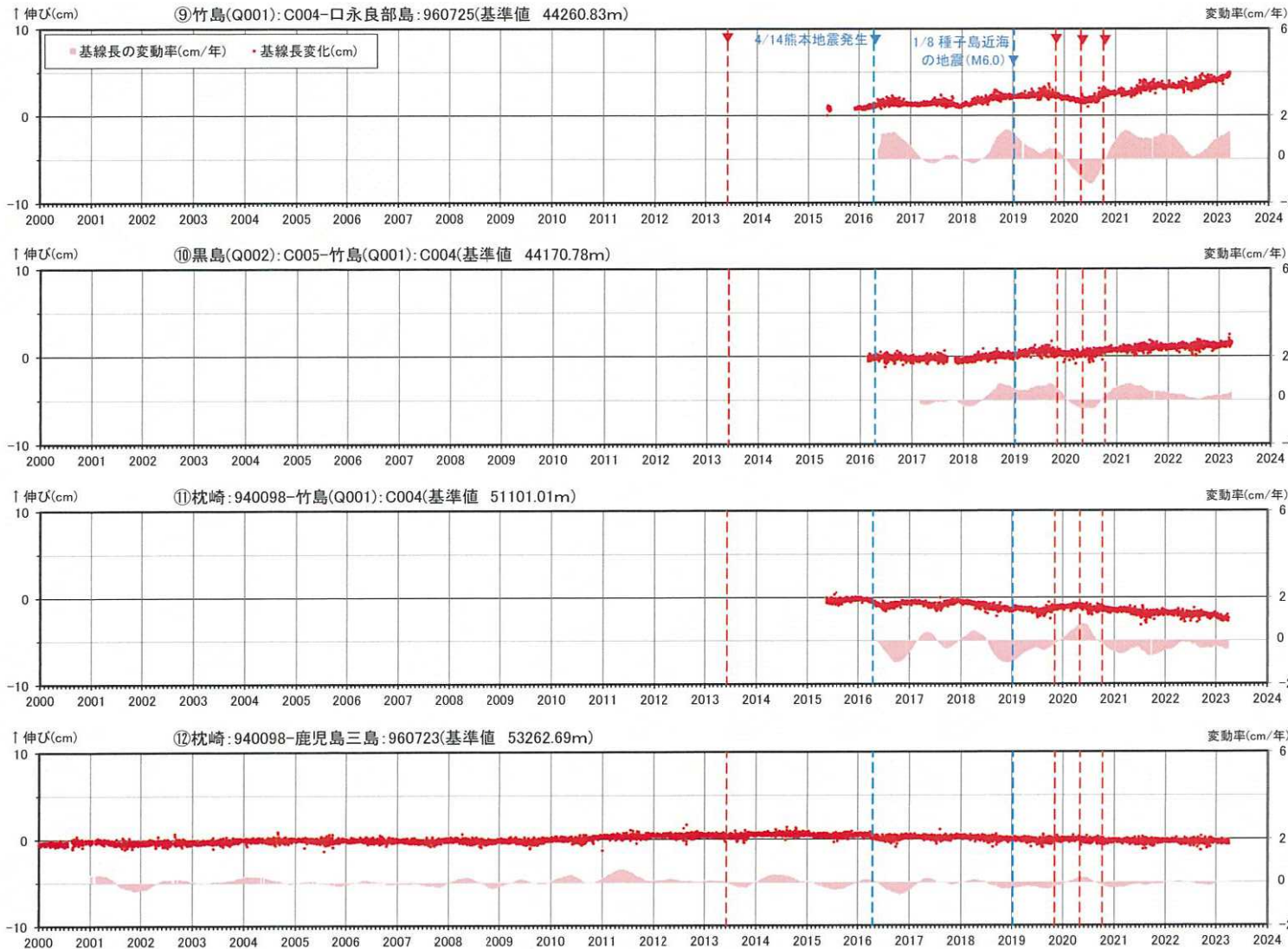


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

- ※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 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
- ※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⑤～⑧の時系列変化

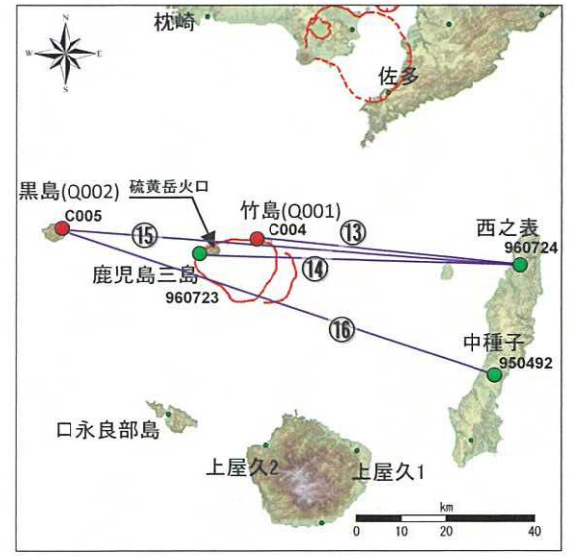
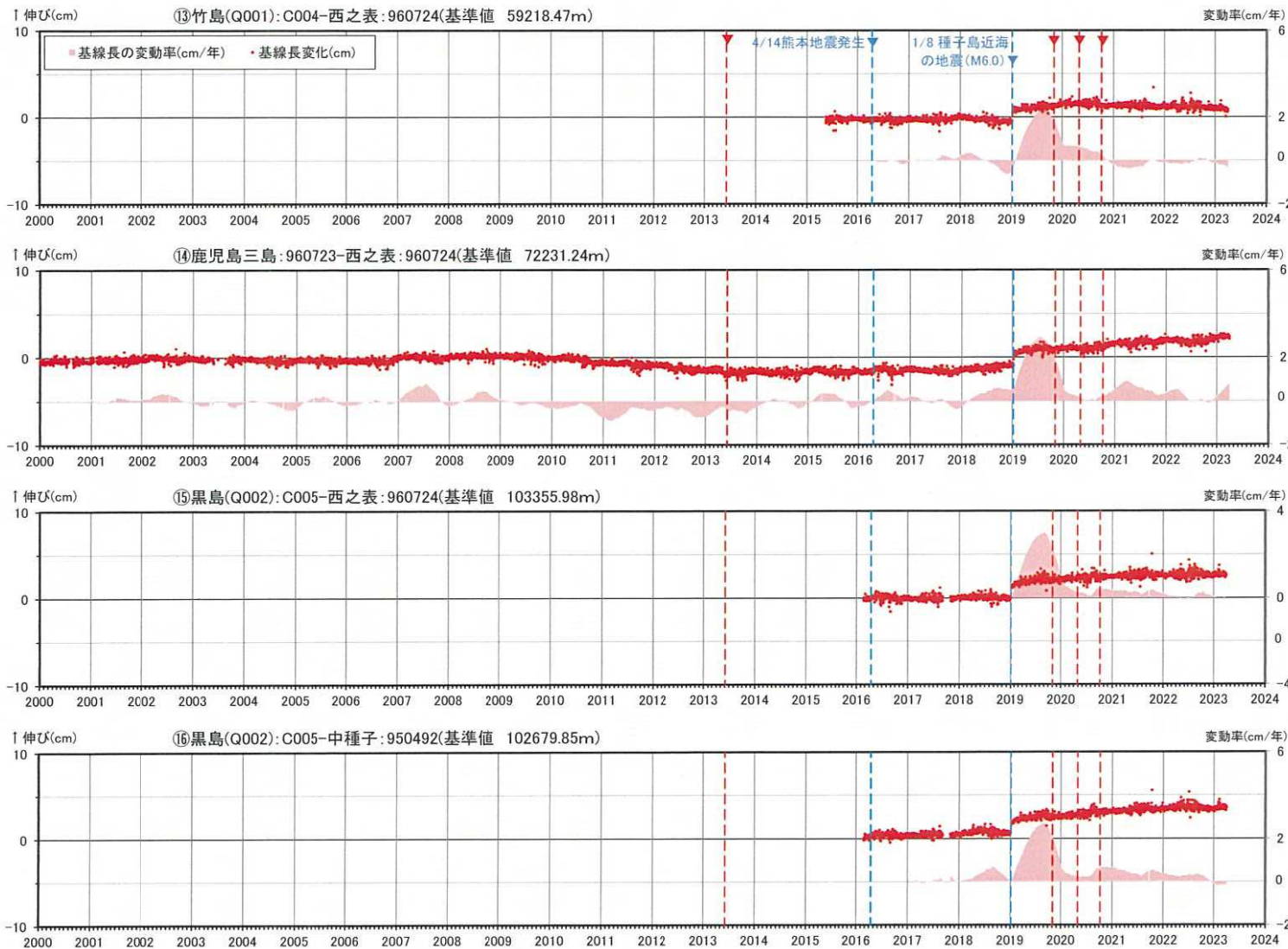
⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]



- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点
- ※1 基線⑨、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 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
- ※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⑨～⑫の時系列変化

⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

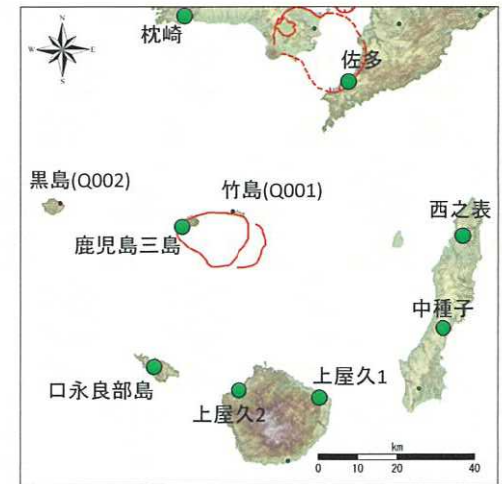
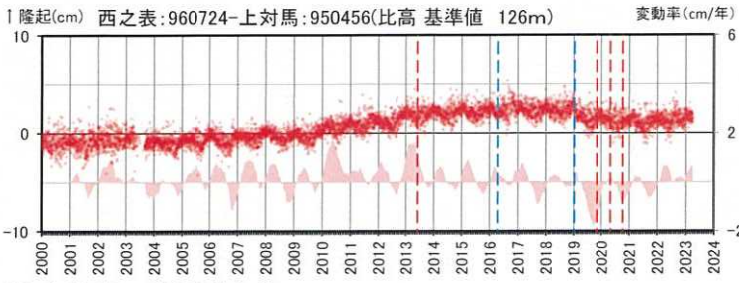
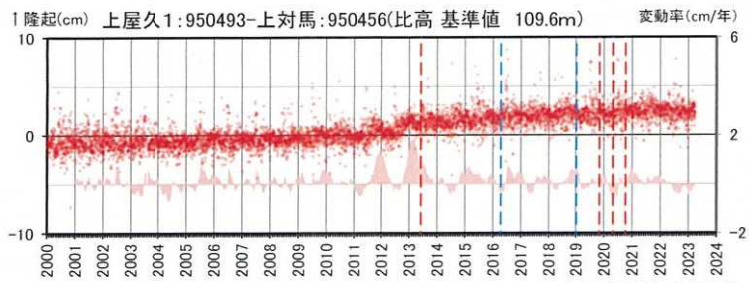
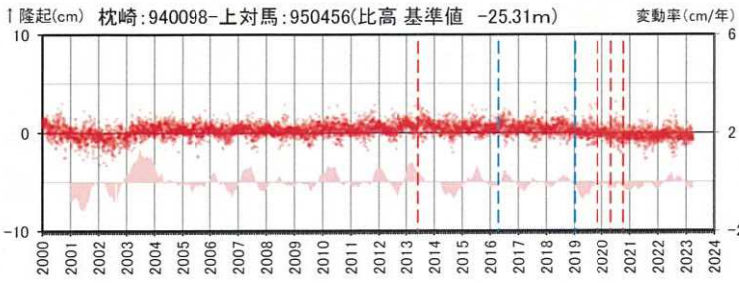
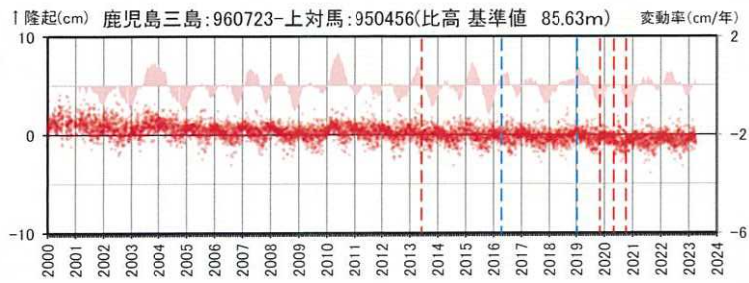
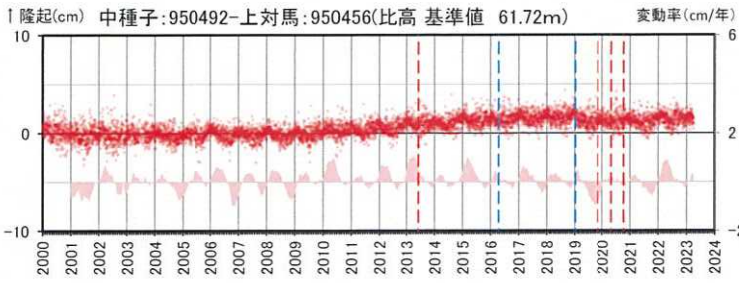
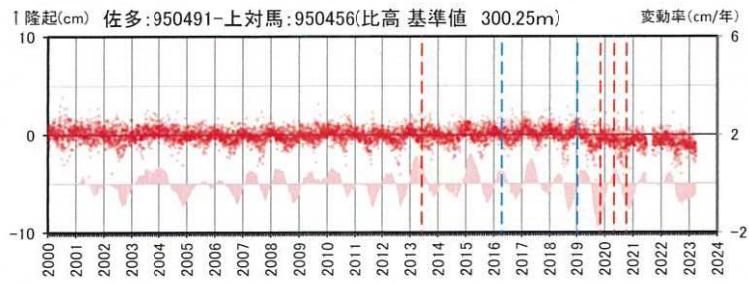
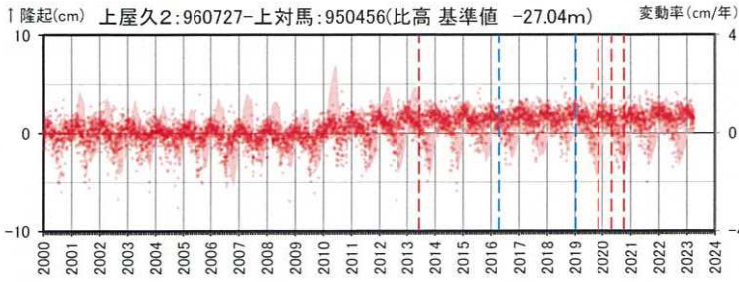
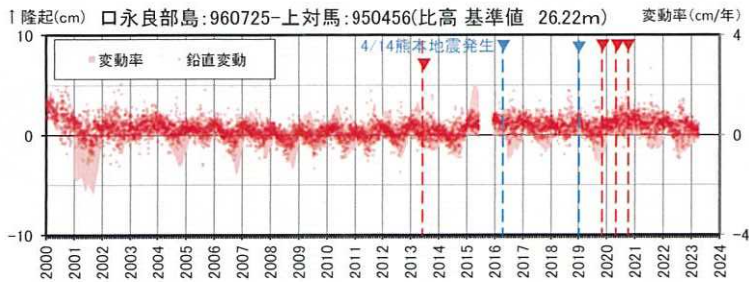


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点
- ※1 基線⑬は2015年5月14日の基線長を、基線⑮は2016年2月22日の基線長を、基線⑯は2016年2月23日の基線長を、基線⑭は2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 黒島(Q002)は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない
- ※4 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

基線⑬～⑯の時系列変化

⑤ 鬼界 [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

・2022年度の鉛直変動は、鬼界へのマグマ供給を示唆する広範囲での隆起傾向は認められない。

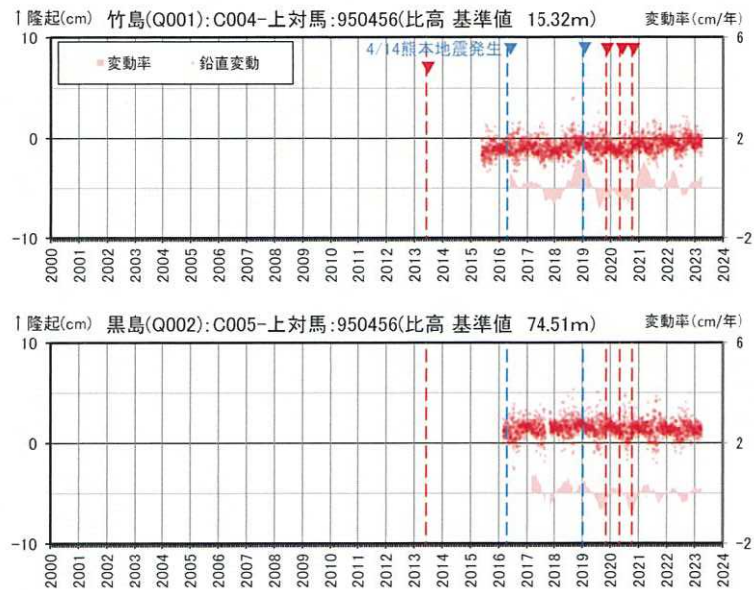


● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

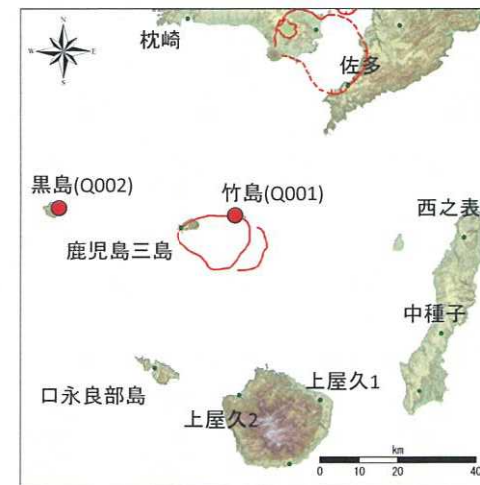
- ※1 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※2 口永良部島地点については、2015年5月29日の噴火の影響で停電が発生したことで、6月7日以降欠測、停電が解消した12月2日から観測を再開
- ※3 佐多地点については、2021年6月27日以降データの公開が停止したが、9月8日からデータの公開を再開
- ※4 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

950456(上対馬)を固定点とした比高の時系列変化

⑤ 鬼界 [地殻変動:各観測点の鉛直変動]



950456(上対馬)を固定点とした比高の時系列変化

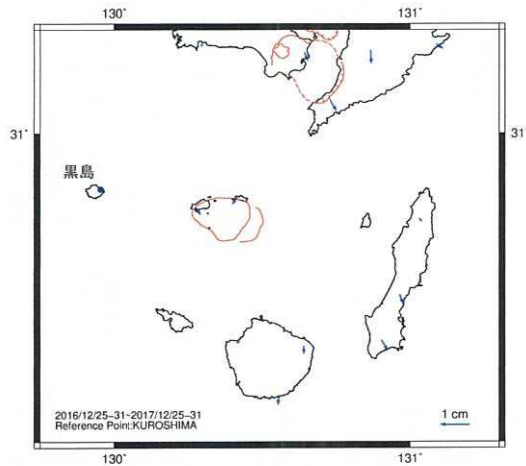


- 国土地理院のGNSS観測点
- 九州電力のGNSS観測点

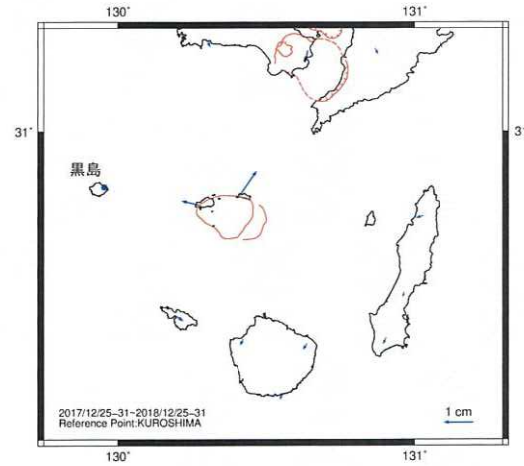
- ※1 竹島(Q001)は2015年5月14日、黒島(Q002)は2016年2月22日での上対馬(950456)との比高を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出
- ※3 2020年度以前(算出開始日~2021.3.31)の変動率の平均を μ 、標準偏差を σ とした
- ※4 黒島(Q002)は2017年9月6日~10月31日までデータが取得できていない
- ※5 赤色の▼は薩摩硫黄島の主な噴火

⑤ 鬼界 [地殻変動: 黒島を固定点とした水平変動ベクトル]

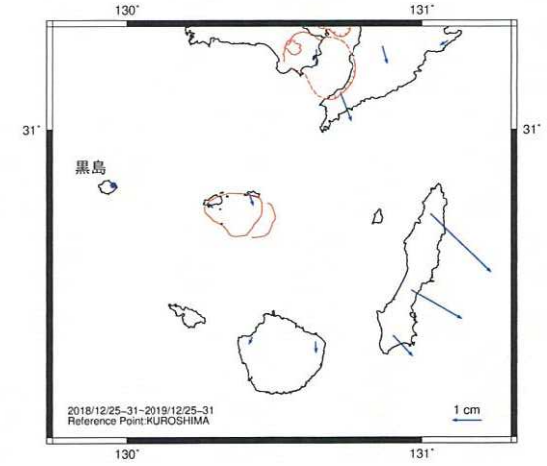
- ・ 鬼界周辺の地殻変動の向きを把握するため、黒島を固定点とした2017年以降の水平変動ベクトルを整理した。
- ・ 鹿児島三島及び竹島において、2018年、2020年、2021年及び2022年には、カルデラ領域内から外向きの地殻変動が認められる。



2017年12月の地殻変動

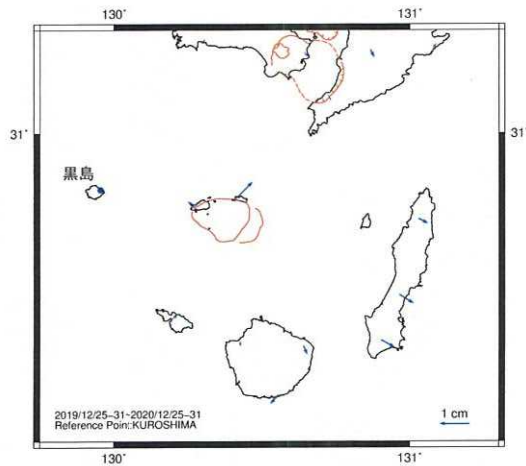


2018年12月の地殻変動

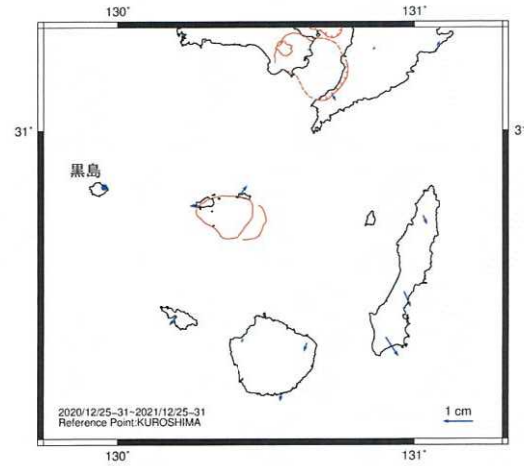


2019年12月の地殻変動

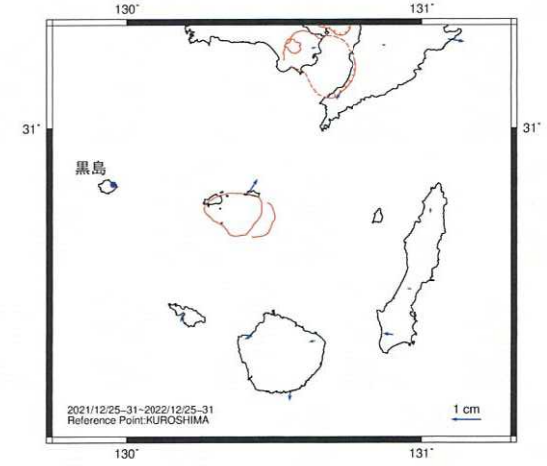
(2019.1)種子島近海の地震: M6.0



2020年12月の地殻変動



2021年12月の地殻変動

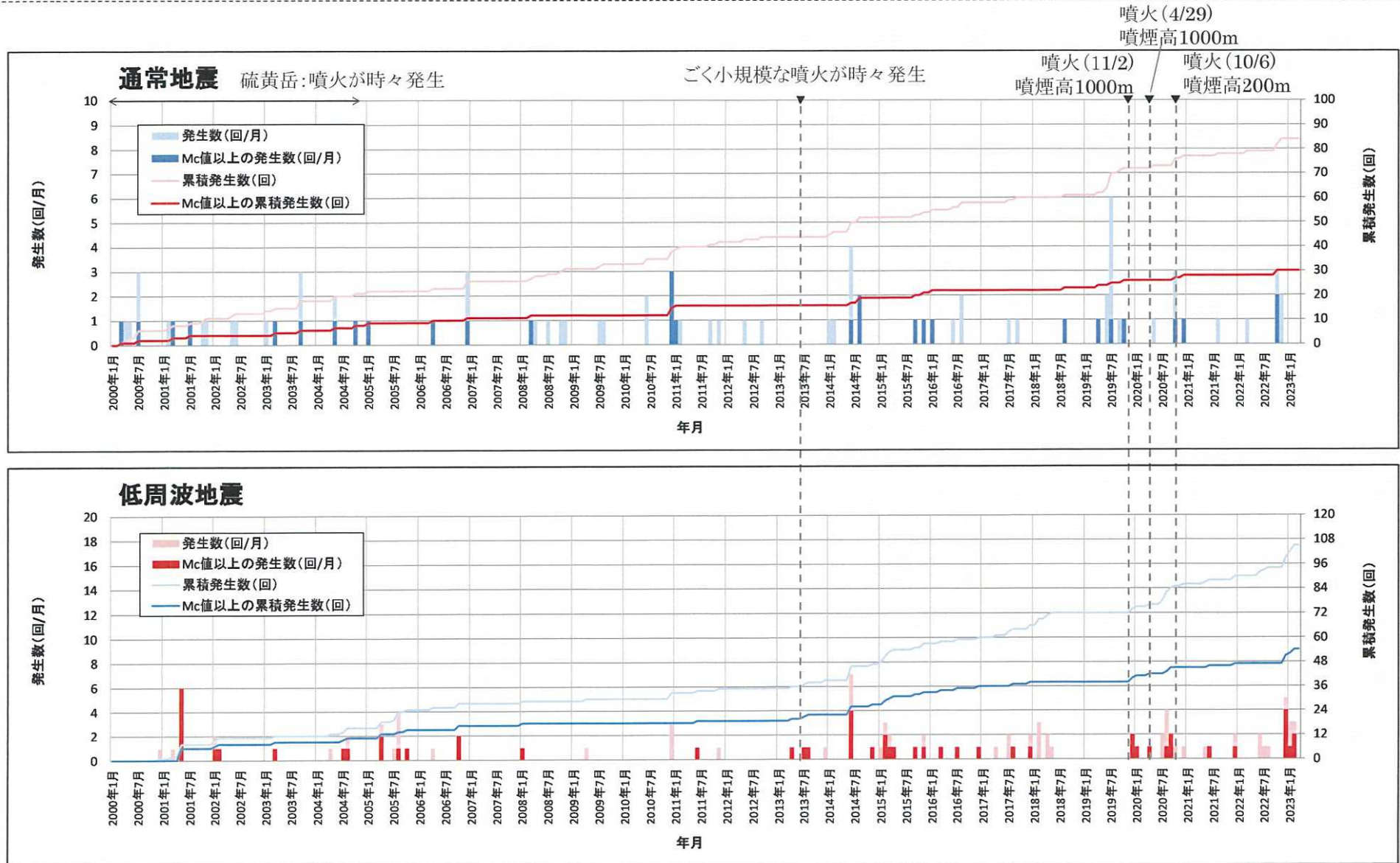


2022年12月の地殻変動

※ 当年12/25~31の平均水平変位と前年12/25~31の平均水平変位の差を1年間の変位として求めた。

⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

・ 2022年度の地震の発生数、位置は、過去と比較して有意な変化は認められないが、2000年以降最大規模となるM2.6の低周波地震が発生しているため、今後注視する。



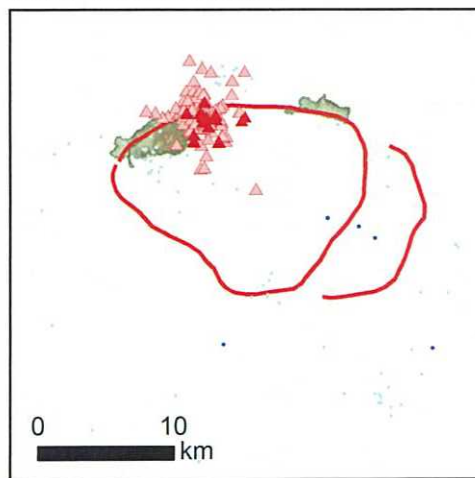
[Mc値(2000~2022年データ使用)] 通常地震: 1.5 低周波地震: 1.0

⑤ 鬼界 [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

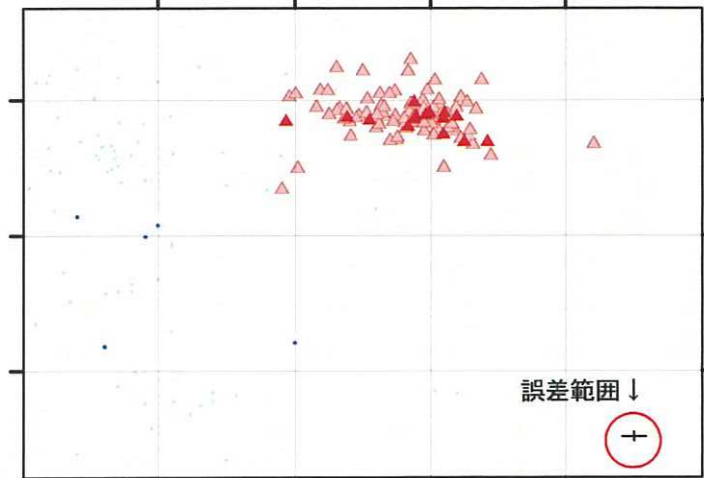
地震観測点



震源分布 (深さ50km以浅)

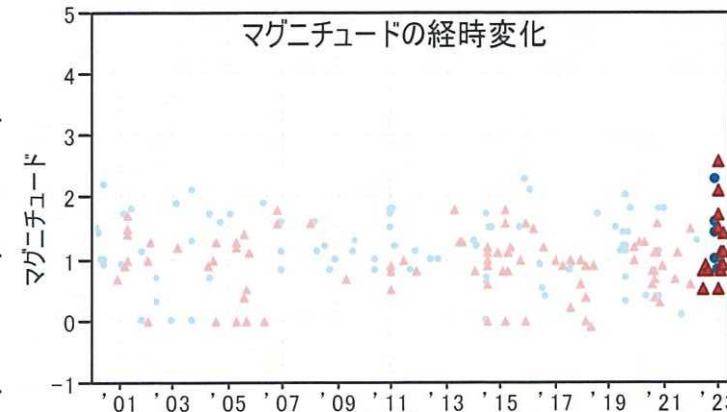
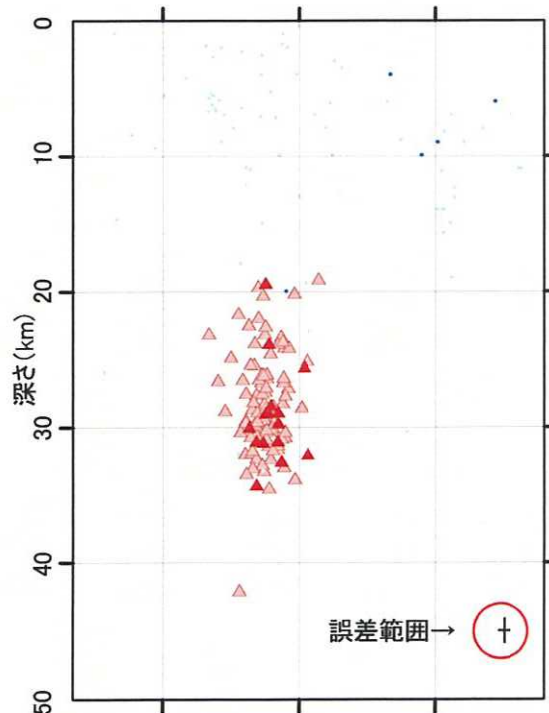


0 10 20 30 40 50 深さ (km)



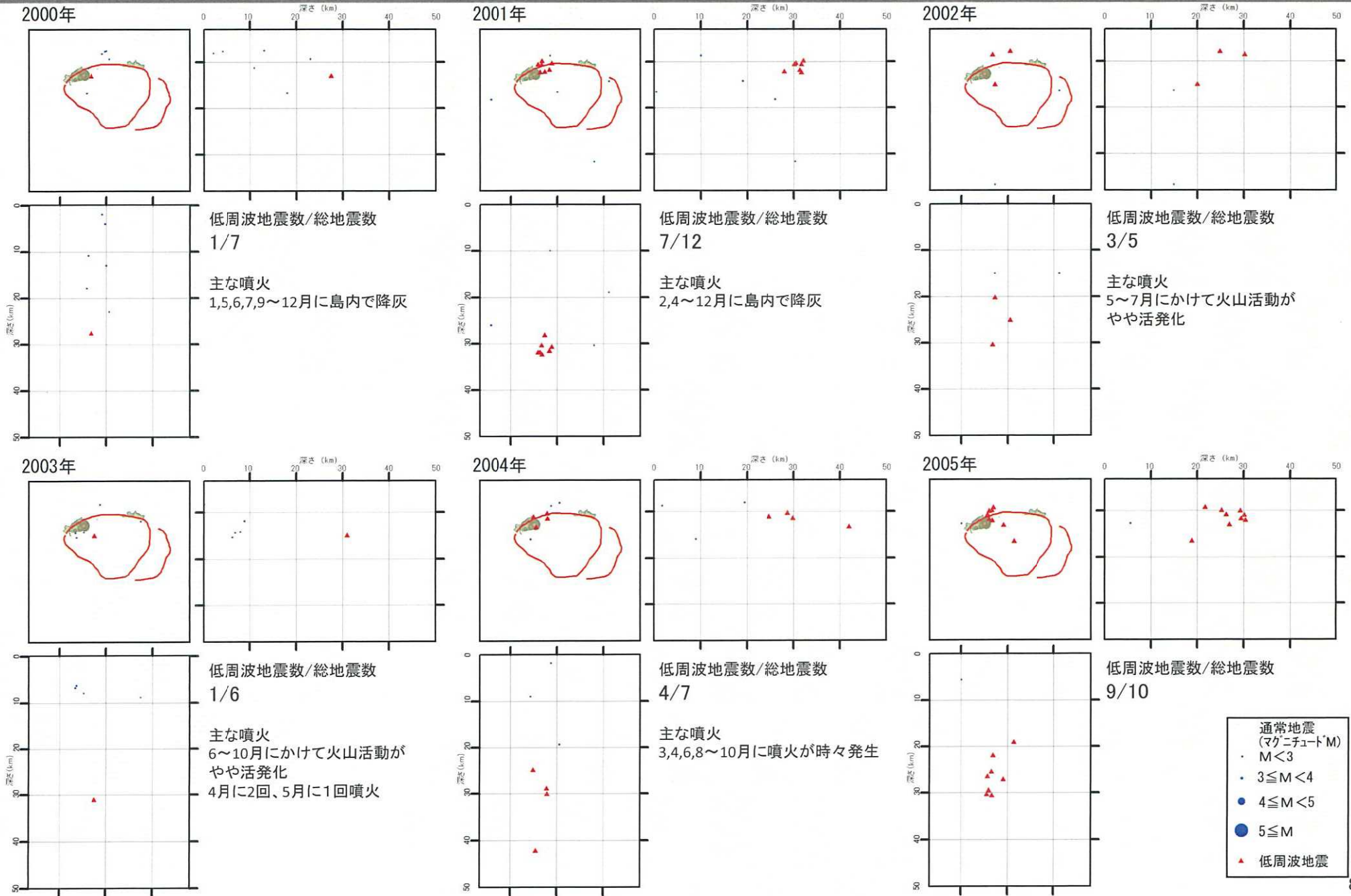
凡 例

- 地震観測点
- 大学
 - 気象庁
 - ▲ 防災科学技術研究所
- 震 源
(2022年4月以降は右のシンボル)
- 通常地震(マグニチュードM)
 - $M < 3$
 - $3 \leq M < 4$
 - $4 \leq M < 5$
 - $5 \leq M$
 - ▲ 低周波地震
- 活断層
- 地震調査研究推進本部による

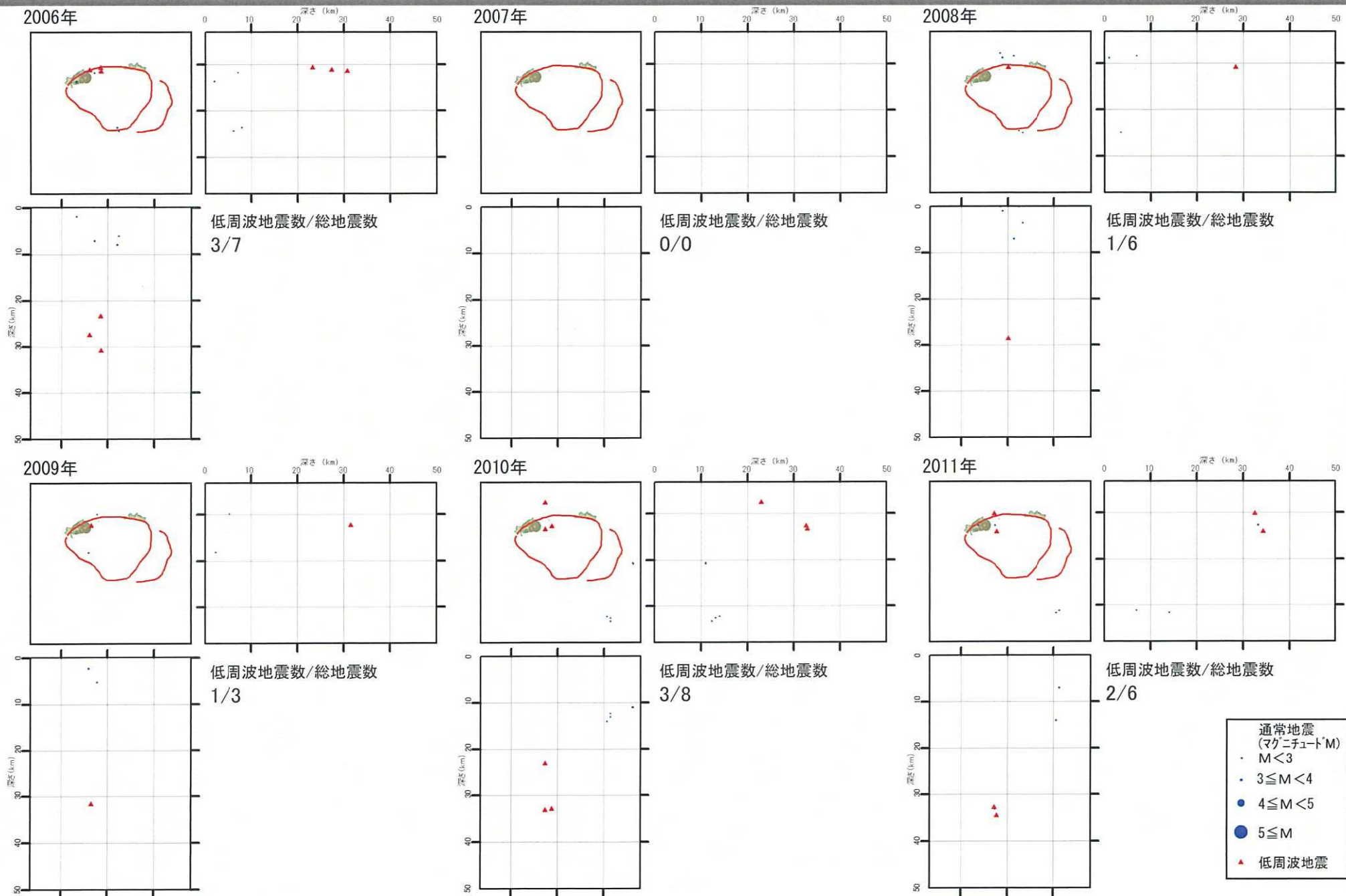


*震源は2000年以降をプロット。2022年4月1日以降を濃色表示
 **地震観測点は地震調査研究推進本部のデータベースによる高感度地震計 (2022年4月1日現在)

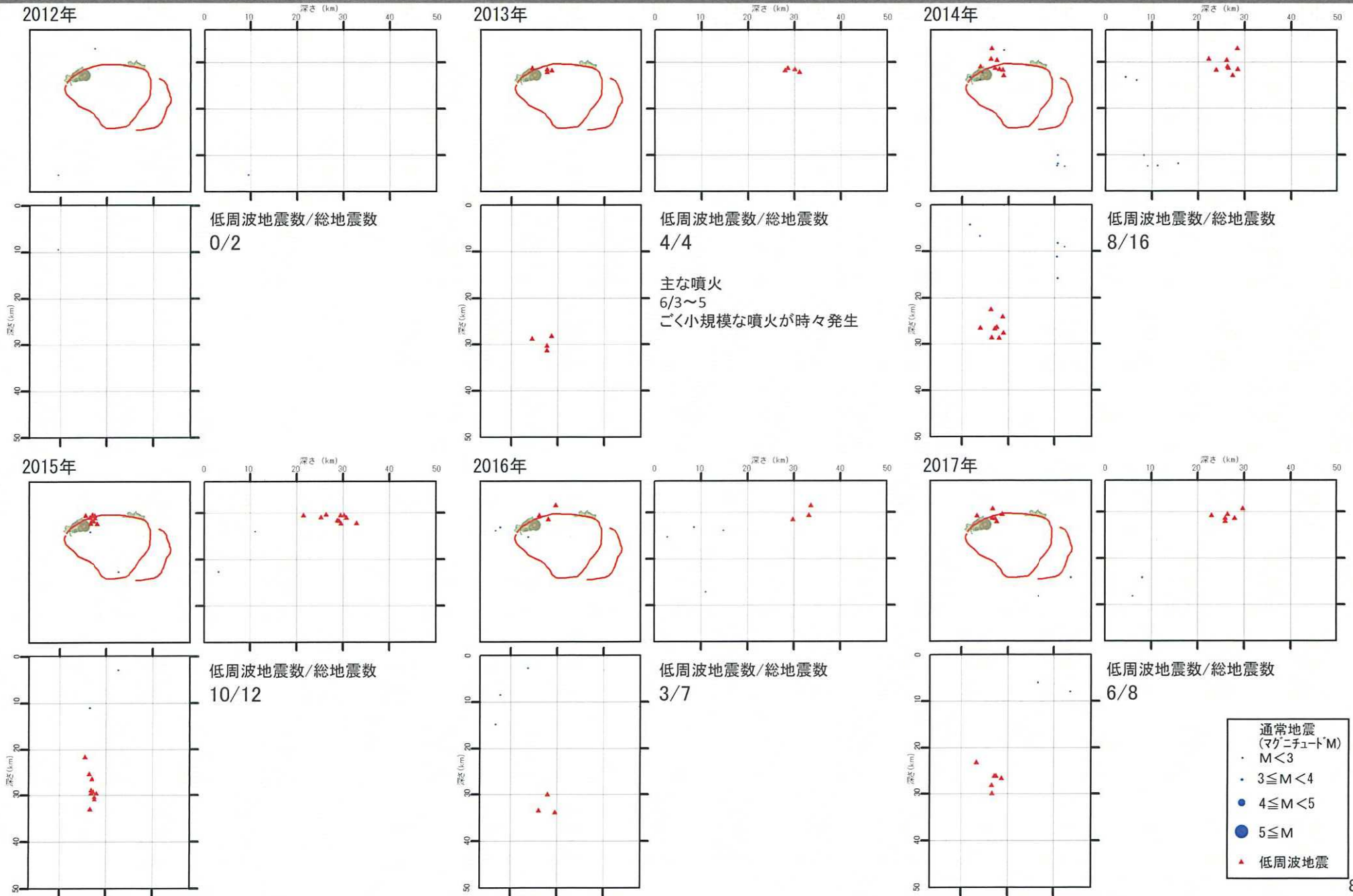
⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



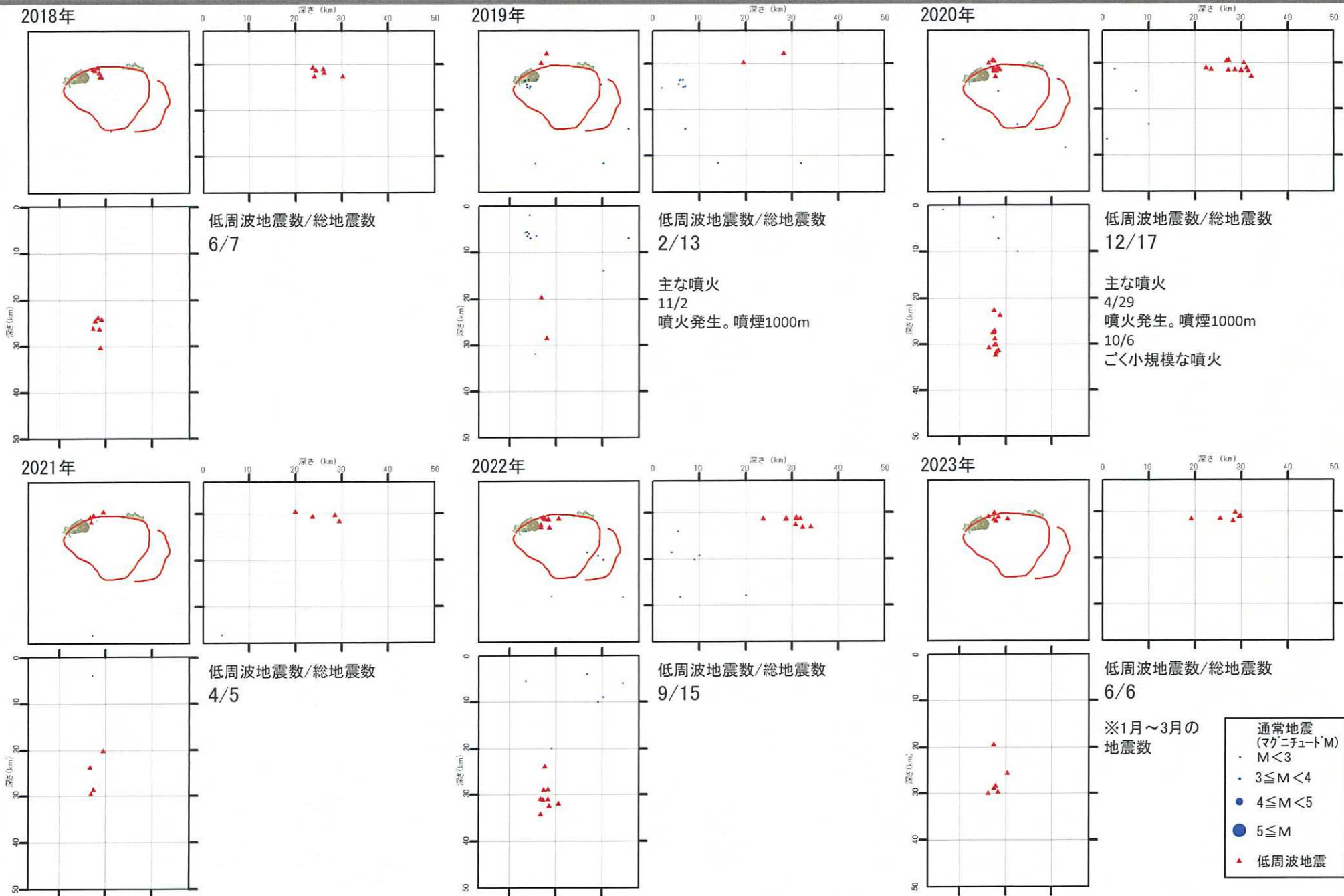
⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



⑤ 鬼界 [まとめ]

【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 硫黄岳では噴火は観測されなかった。
- ・ 火山性地震は少ない状態で経過している。
- ・ 火山ガスは、2023年3月ではやや少ない状態となった。
- ・ GNSS連続観測では、2022年8月頃から薩摩硫黄島と竹島間の基線でわずかな伸びが見られる。

【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2022年度の基線長変化について、鹿児島三島及び竹島を起点とする基線に、鬼界へのマグマ供給を示唆する伸びと縮みの傾向が認められるため、今後の地殻変動に留意していく。
- ・ 地震発生数の推移及び震源分布とマグニチュードの経時変化等を確認した結果、2022年度の地震活動(発生数、位置、規模等)に、過去と比較して有意な変化は認められない。

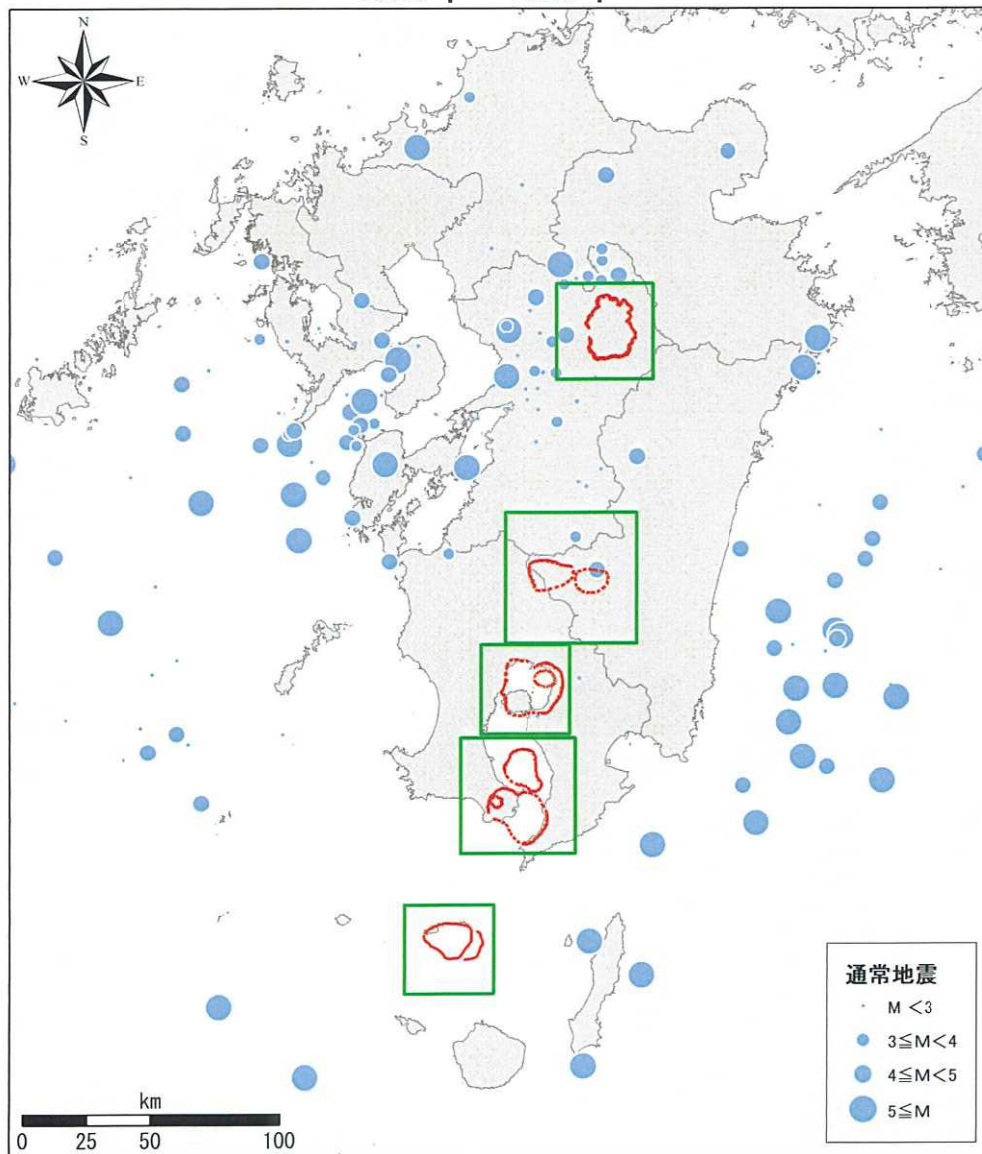
鬼界については、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2022年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

余 白

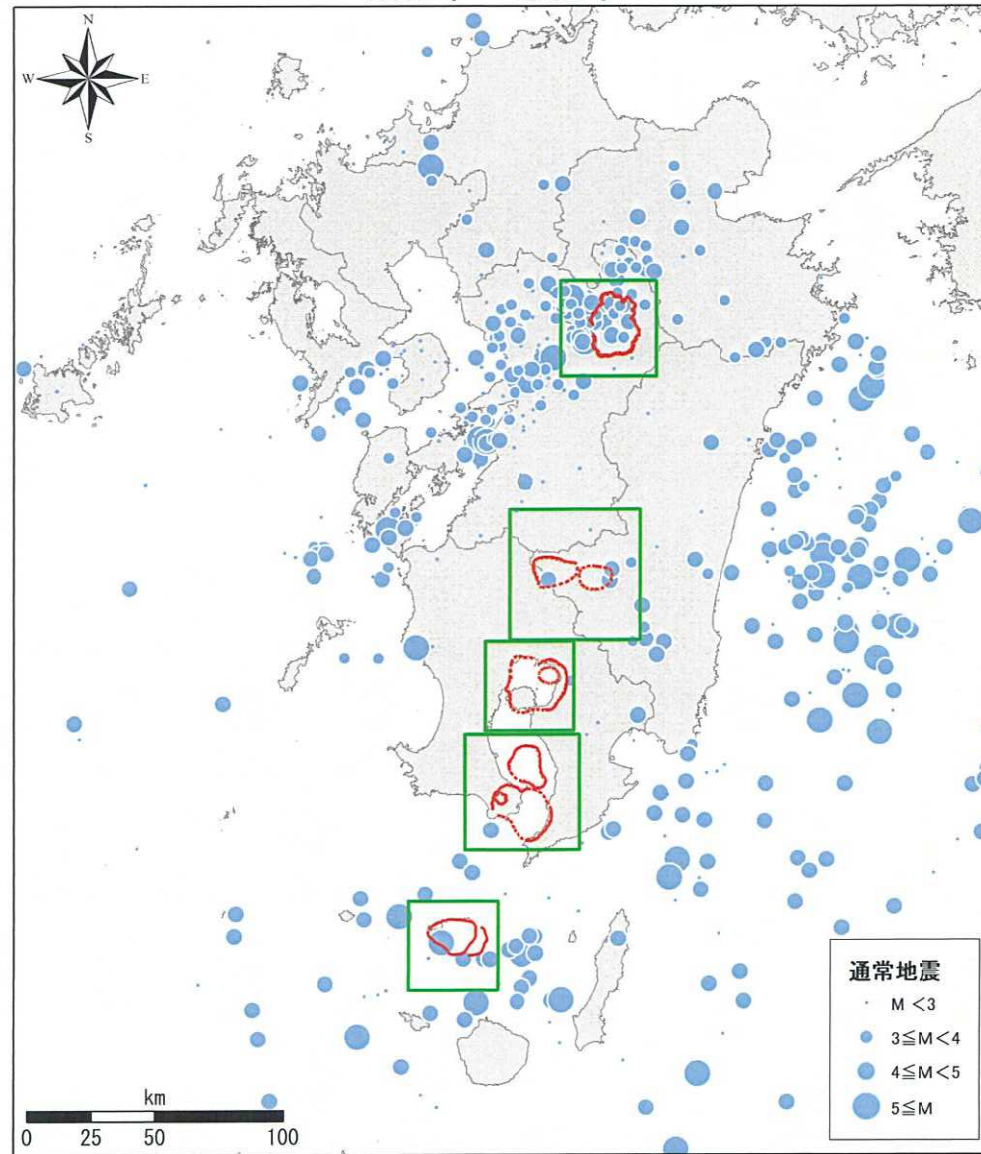
【参考1】九州全域の地震活動

・九州全域での地震活動を把握するために、過去の地震活動を整理した。

1923年～1929年



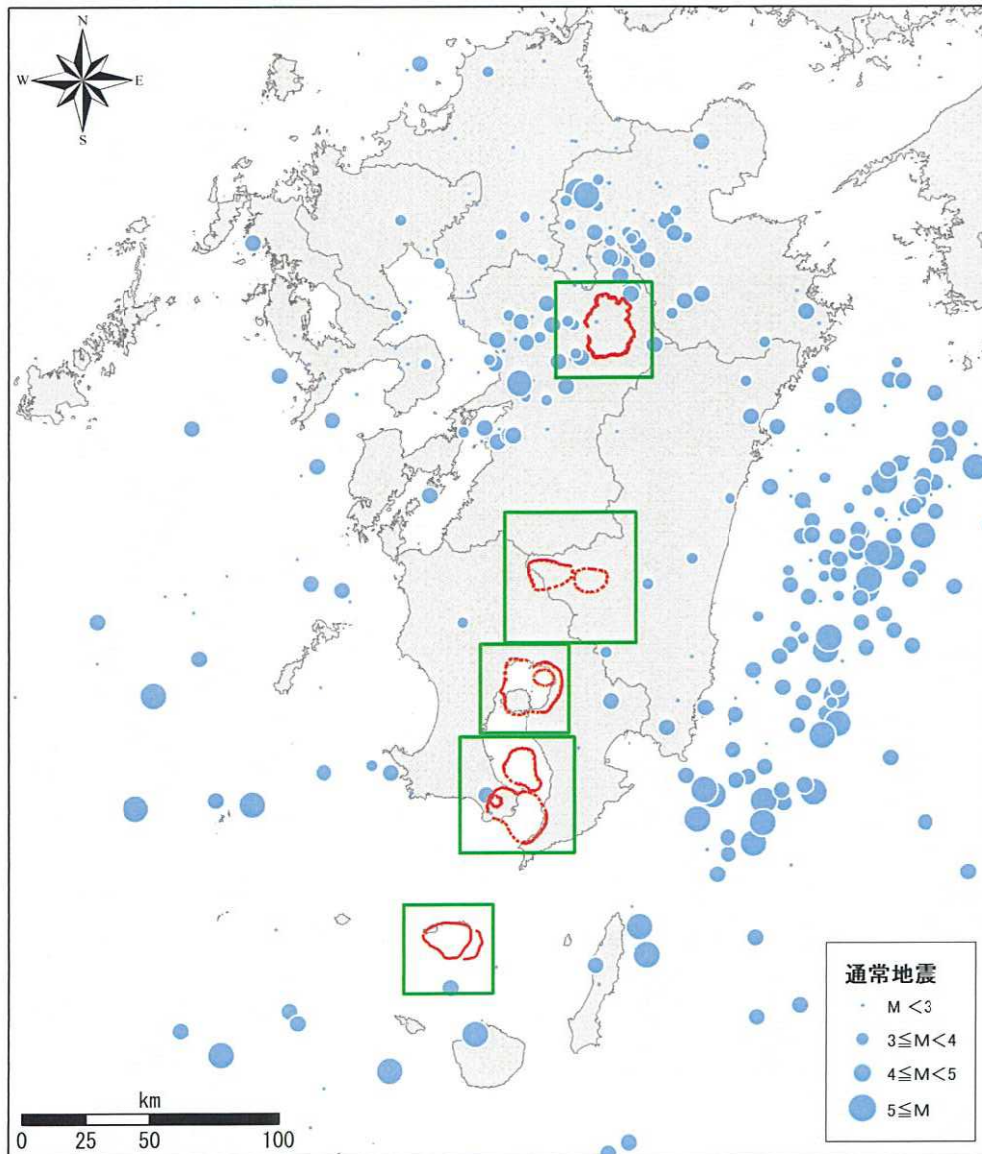
1930年～1939年



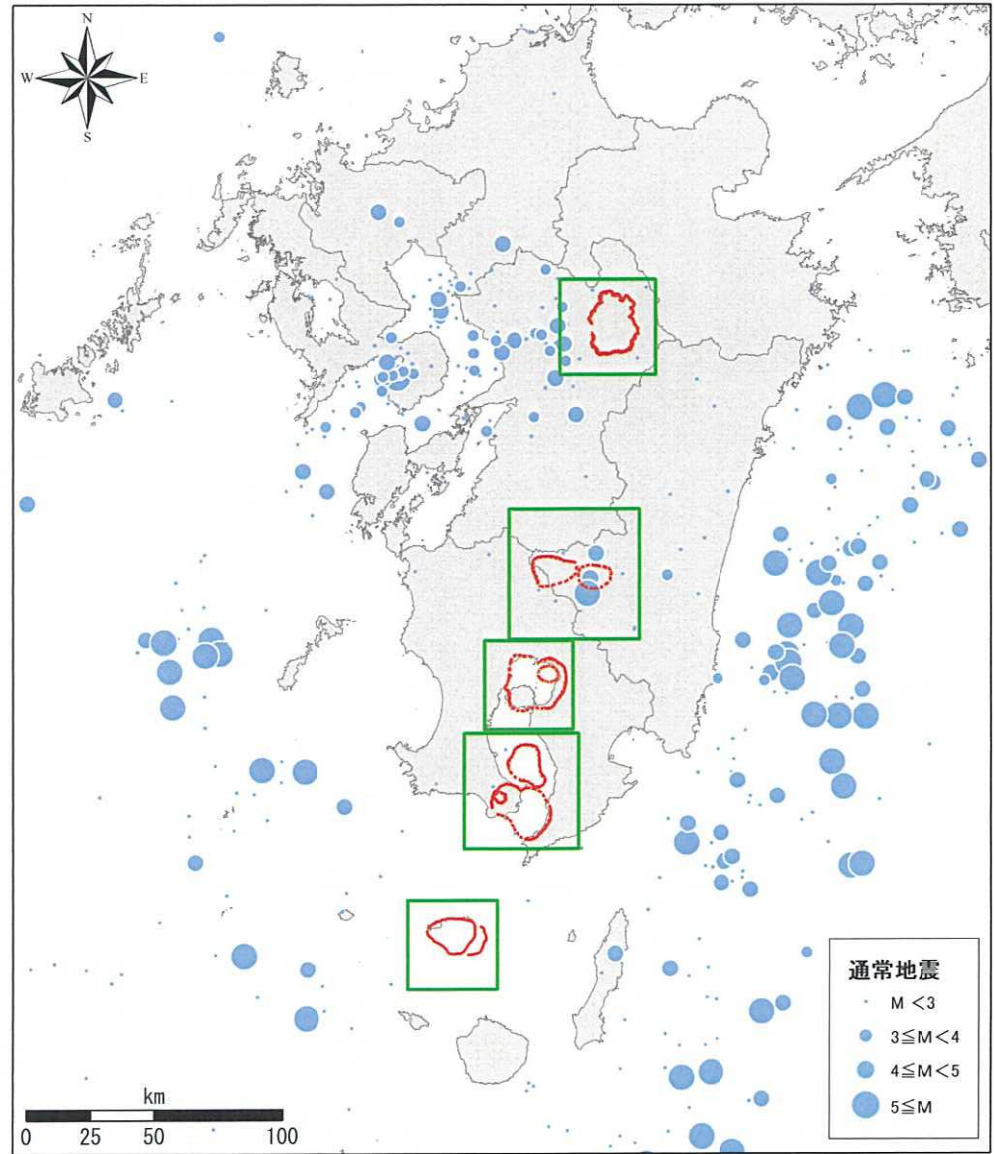
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1940年～1949年



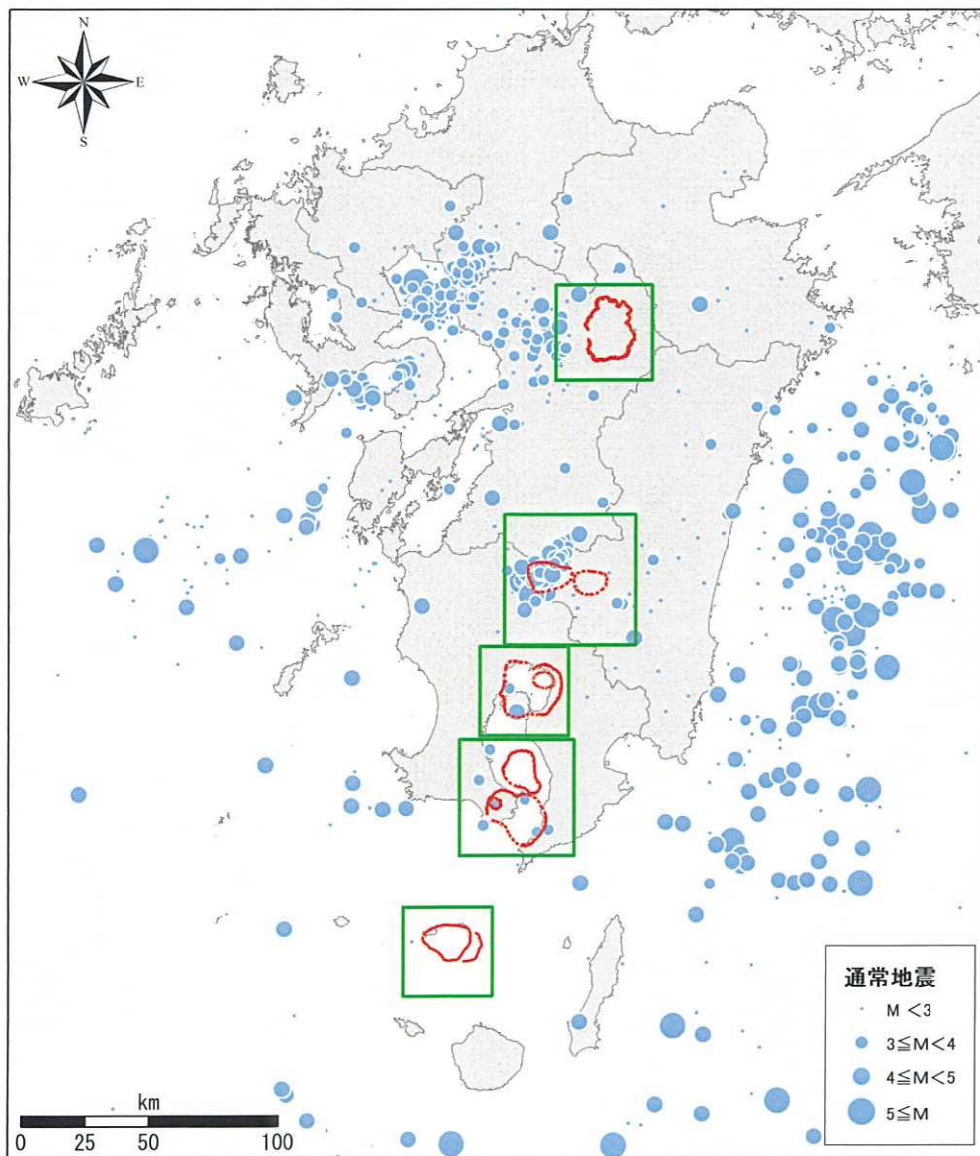
1950年～1959年



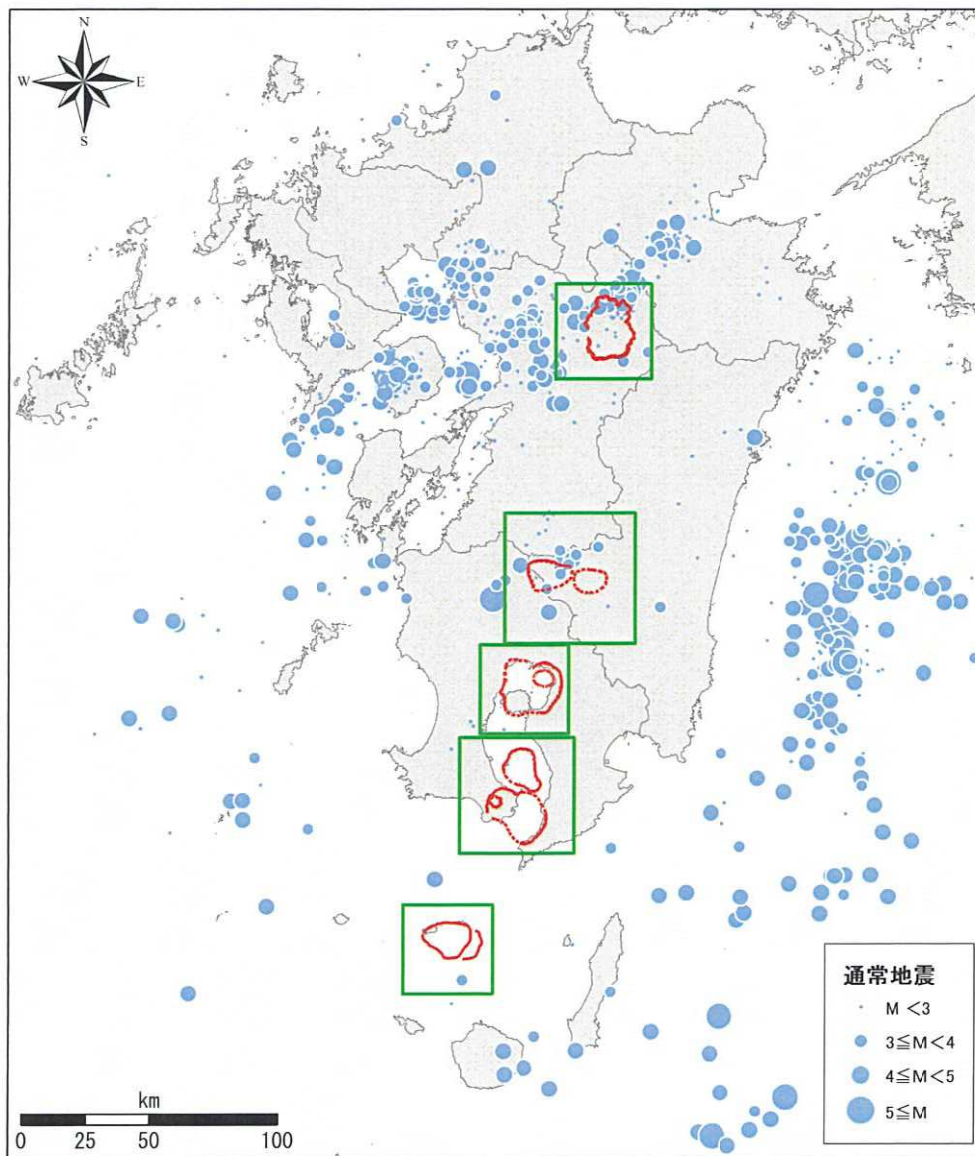
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1960年～1969年



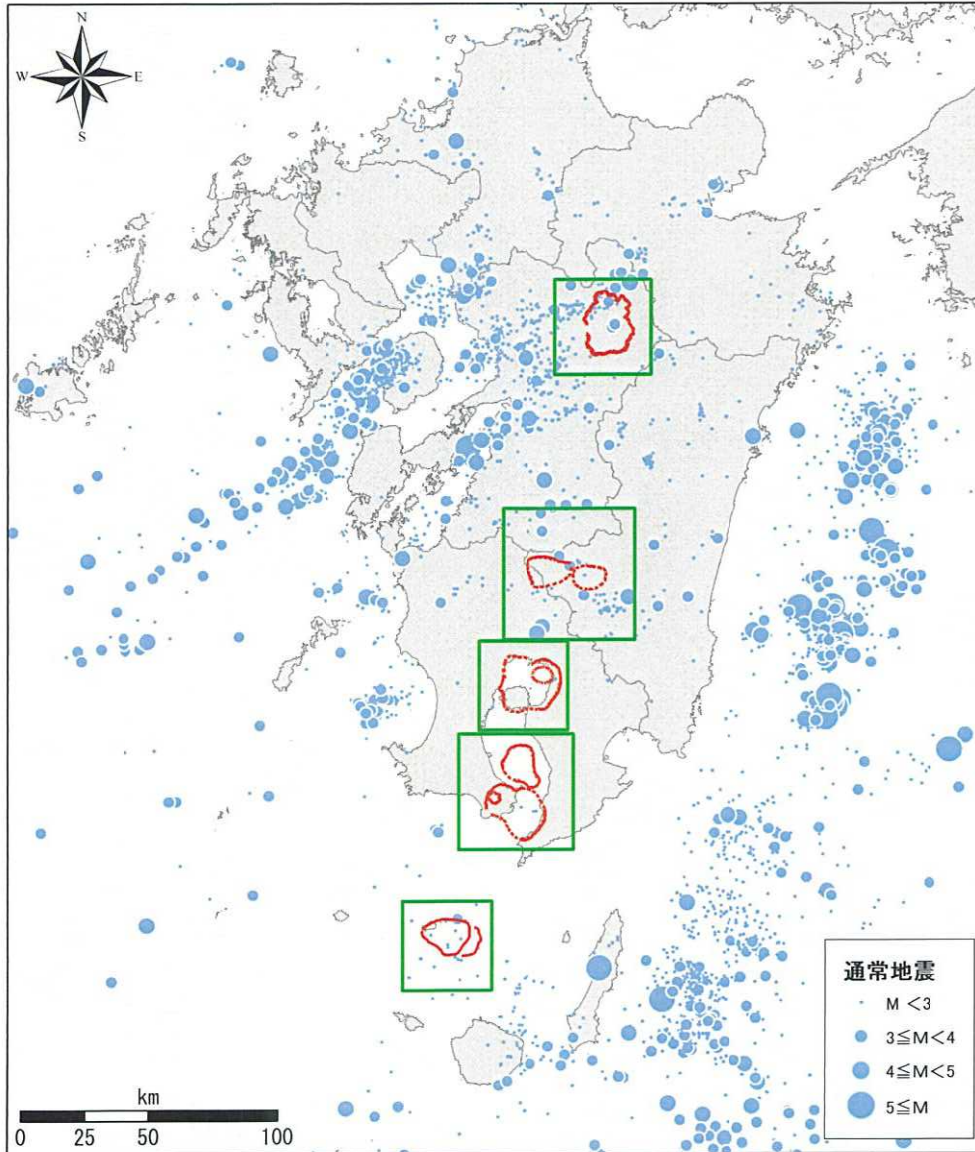
1970年～1979年



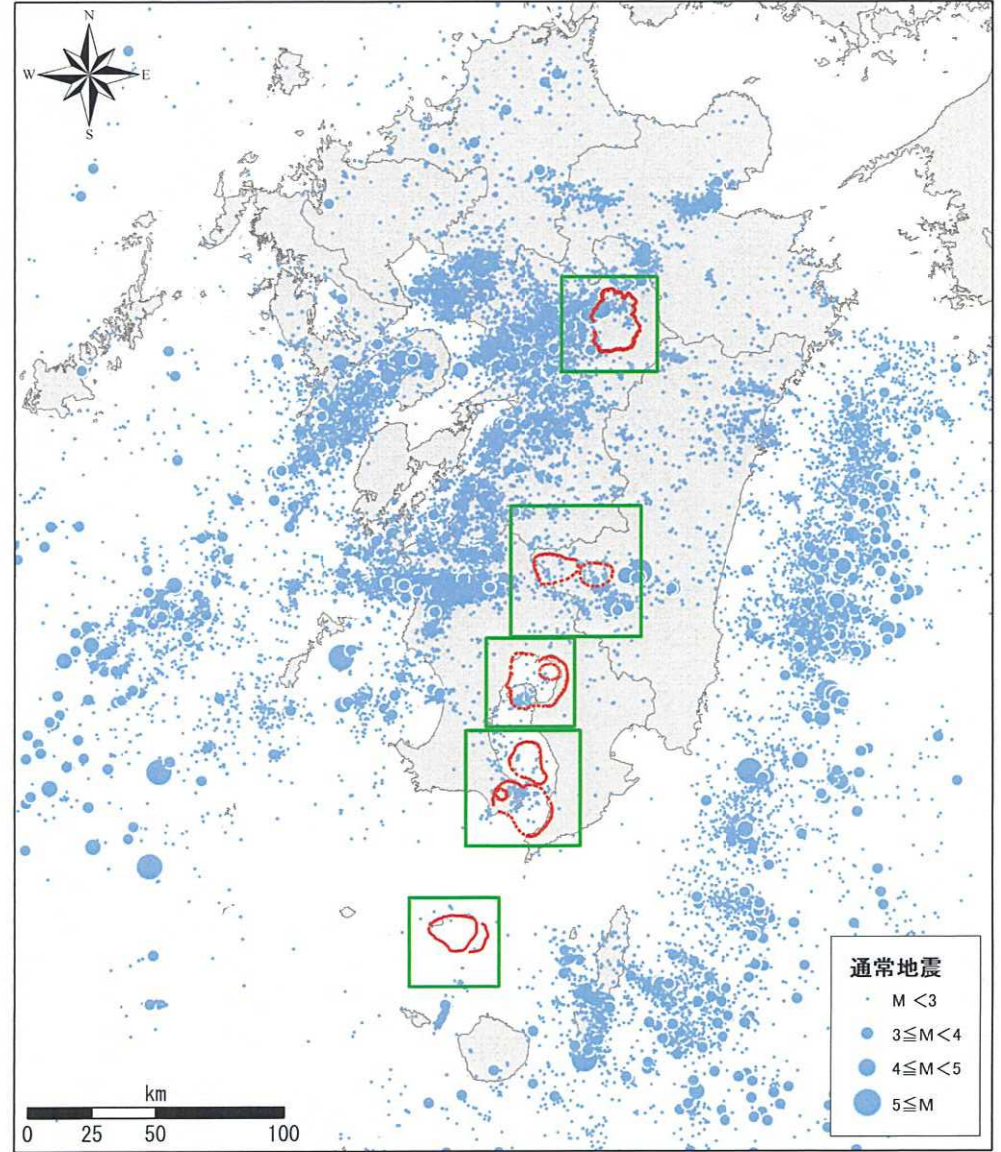
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

1980年～1989年



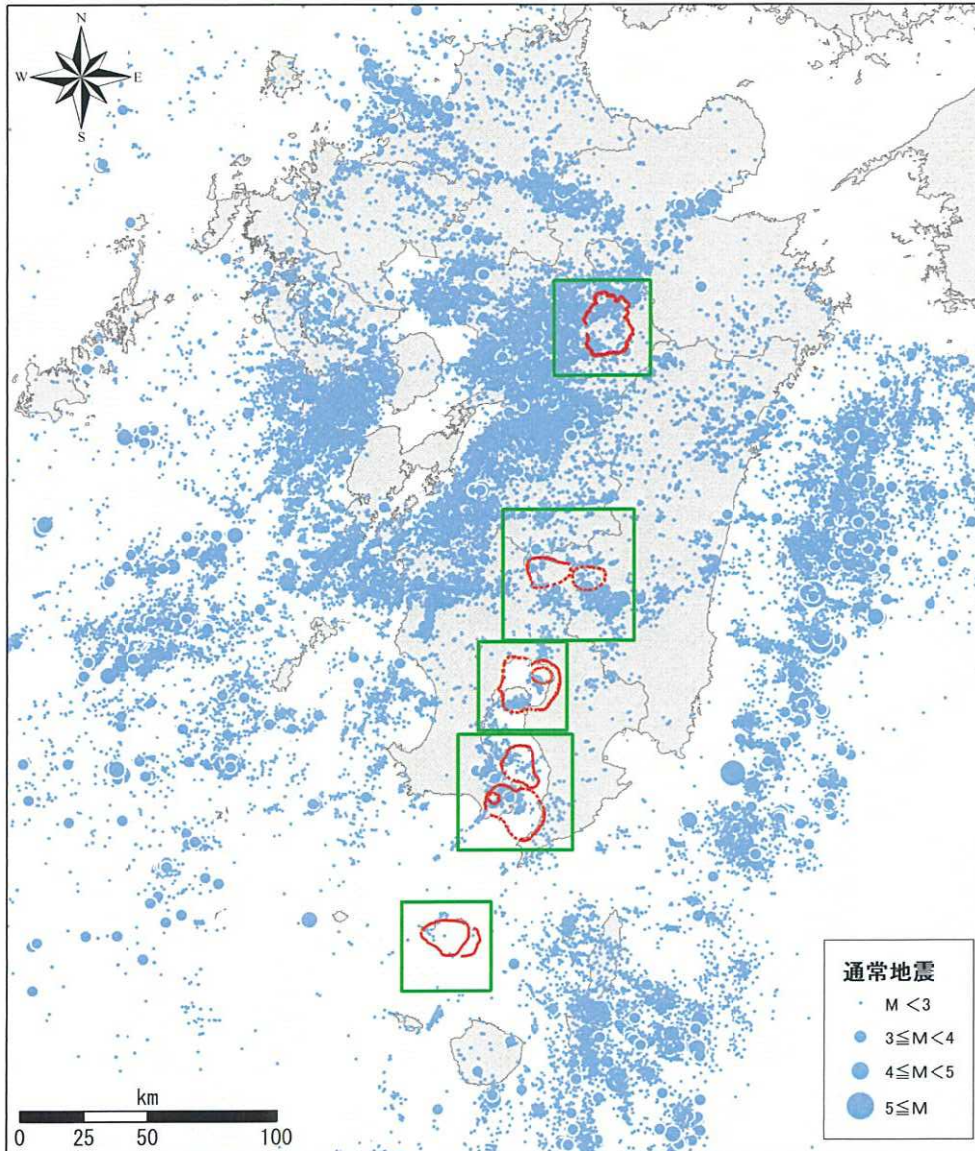
1990年～1999年



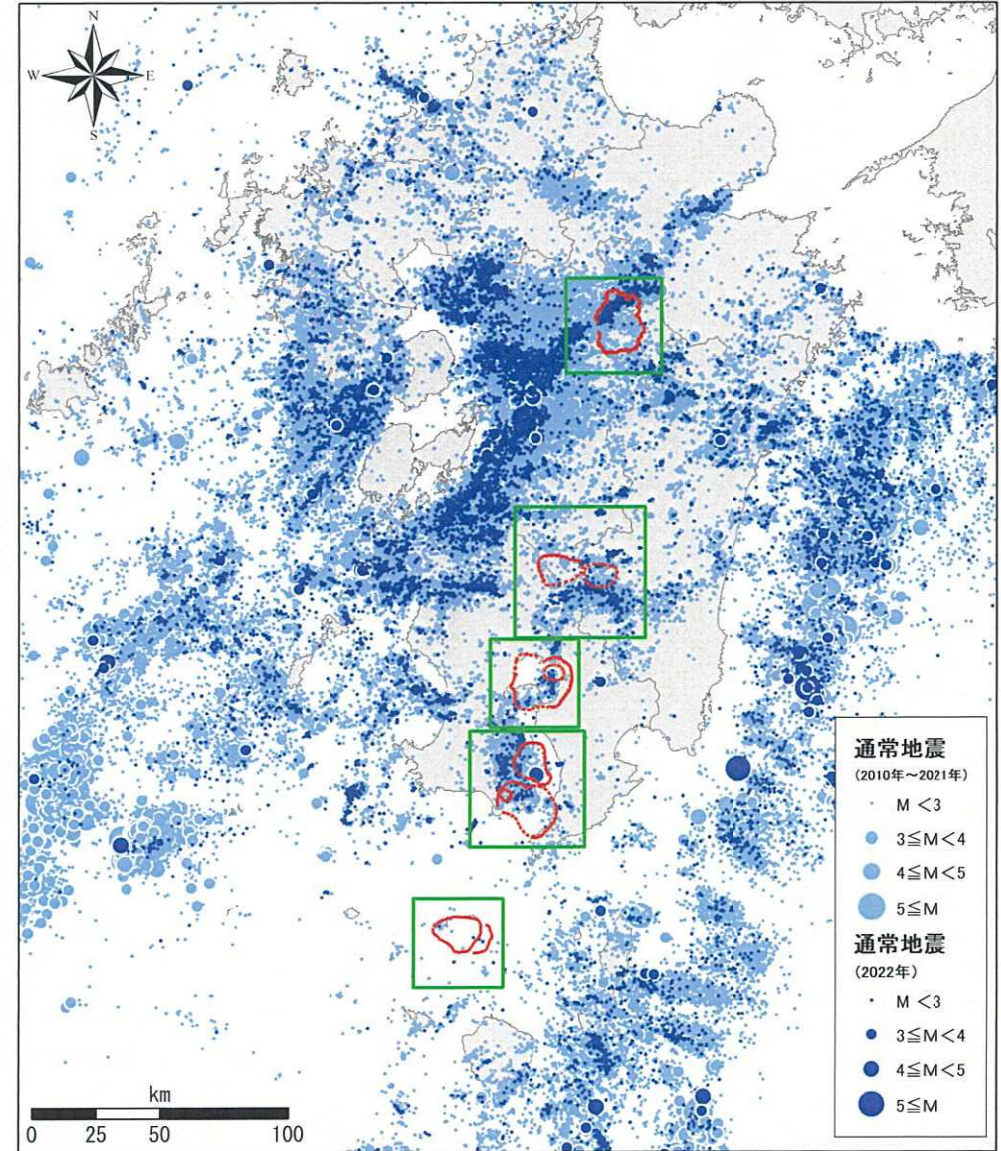
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考1】九州全域の地震活動

2000年～2009年



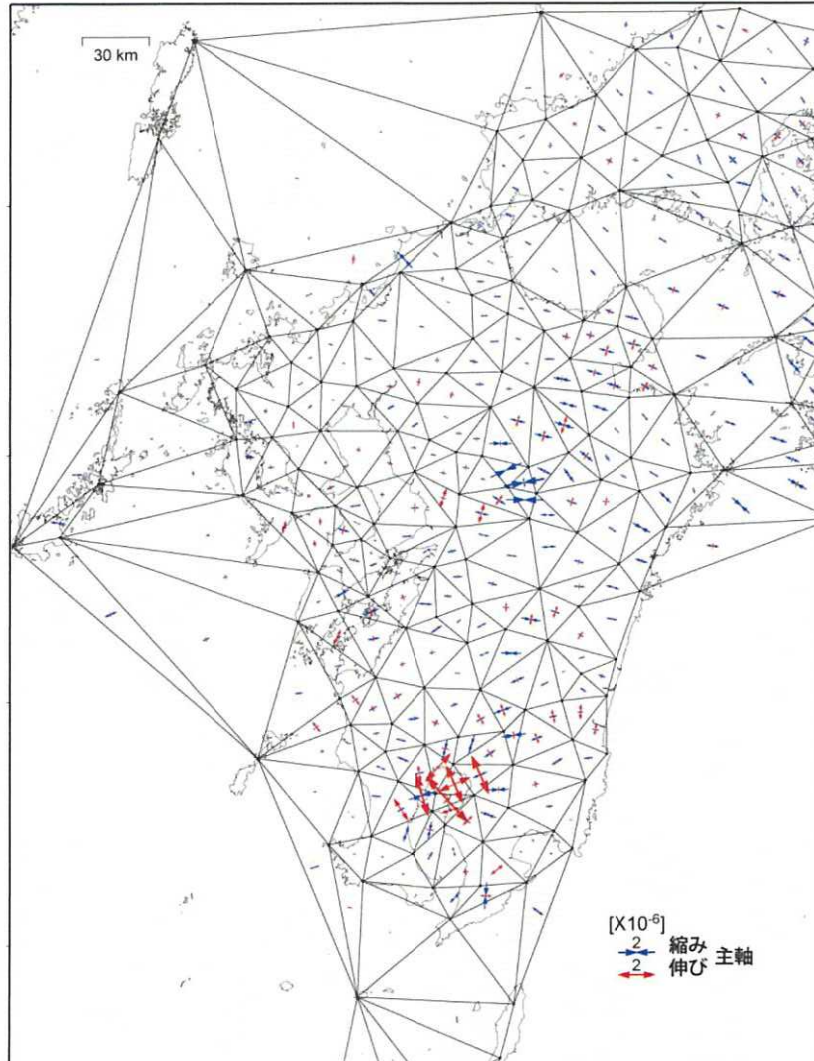
2010年～2022年



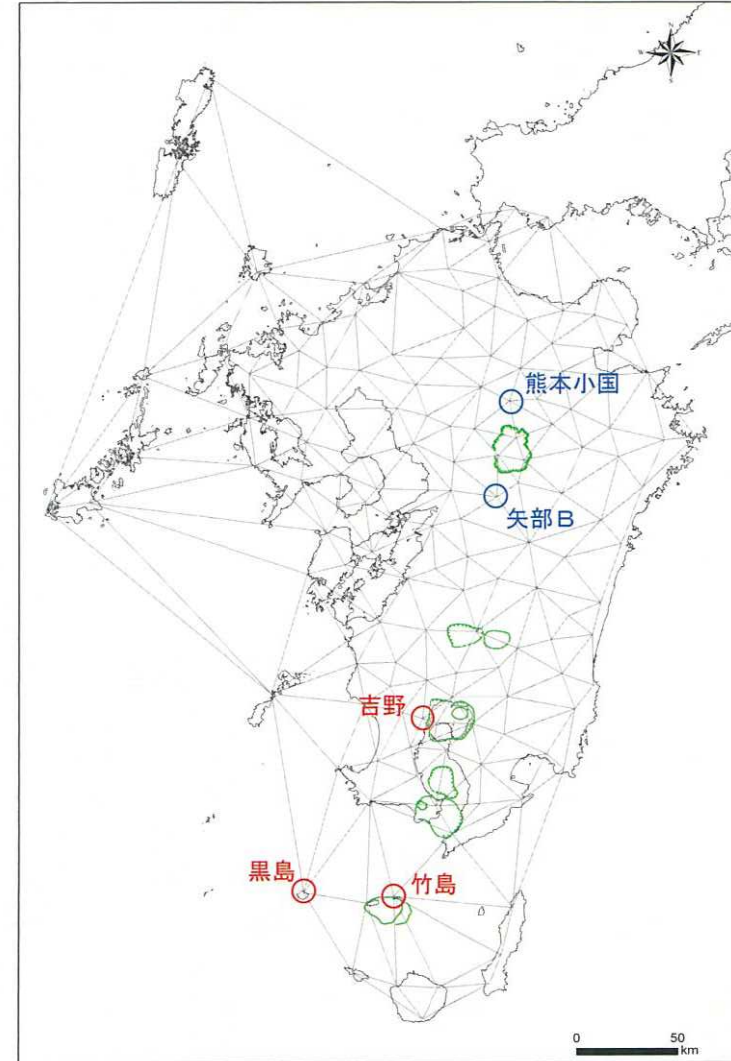
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データ及び一元化处理震源データ(2021年～2022年)のうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[概要]

- 地殻変動評価において、基線長変化によるカルデラ火山周辺の局所的な変動だけでなく、九州全体の大局的な変動についても確認していくことが重要であることから、九州のひずみ分布を確認した。
- 解析メッシュについては、地震調査委員会(2013)を基に、GNSS局「熊本小国」「矢部B」や当社GNSS局「竹島」、「黒島」、「吉野」を追加する等、修正したメッシュの切り方に変更した。



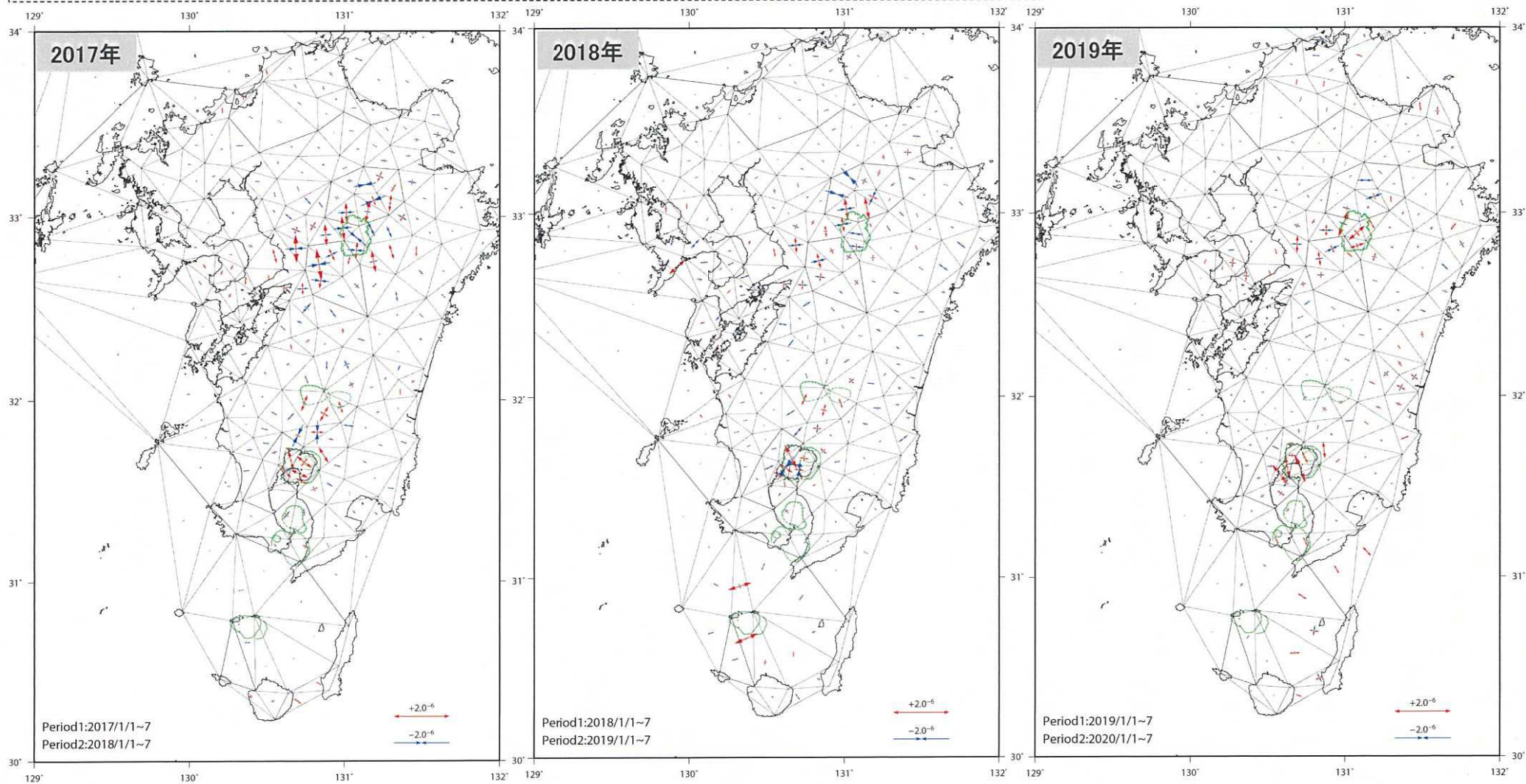
地震調査委員会(2013)の解析メッシュ【九州地域の活断層の長期評価(第一版)】



当社の解析メッシュ

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[水平ひずみ速度分布]

- ・ 2022年度において、阿蘇カルデラ周辺では水平ひずみが小さくなっており、概ね熊本地震前の状態に戻っている。また、カルデラ内の水平ひずみは今年の膨張から転じて収縮の傾向が認められる。加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ及び鬼界周辺では、火山の影響と考えられる膨張傾向が認められ、阿多カルデラでは顕著な水平ひずみは認められない。

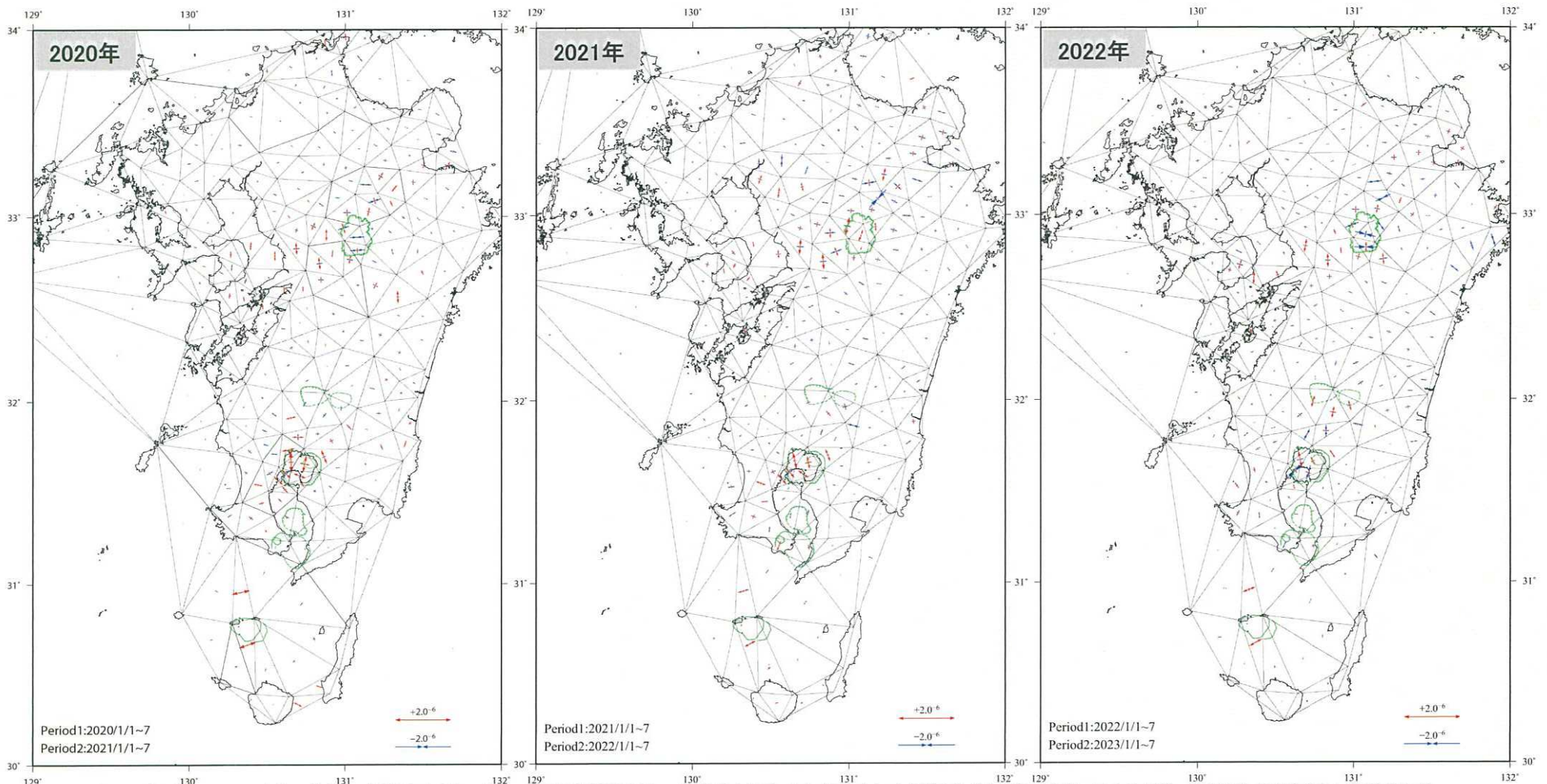


※1 2017年のひずみ場において、吉野(2016/11/17運用開始)と鹿児島1A(2017/5/23運用開始)を用いて三角形を作成、鹿児島1Aを含む三角形のひずみは2017/5/23~29からのデータで作成

※2 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1~7までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※3 2019年のひずみ場において、矢部Aの代わりに新設された矢部B(2019/3/7運用開始)を用いて三角形を作成、多久を含む三角形のひずみは2019/12/1~7までのデータで作成(多久は2019/12/9運用停止)、北九州2を含む三角形のひずみは2019/12/24~30までのデータで作成(北九州2は2019/12/31~2020/1/7でデータ欠如)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[水平ひずみ速度分布]

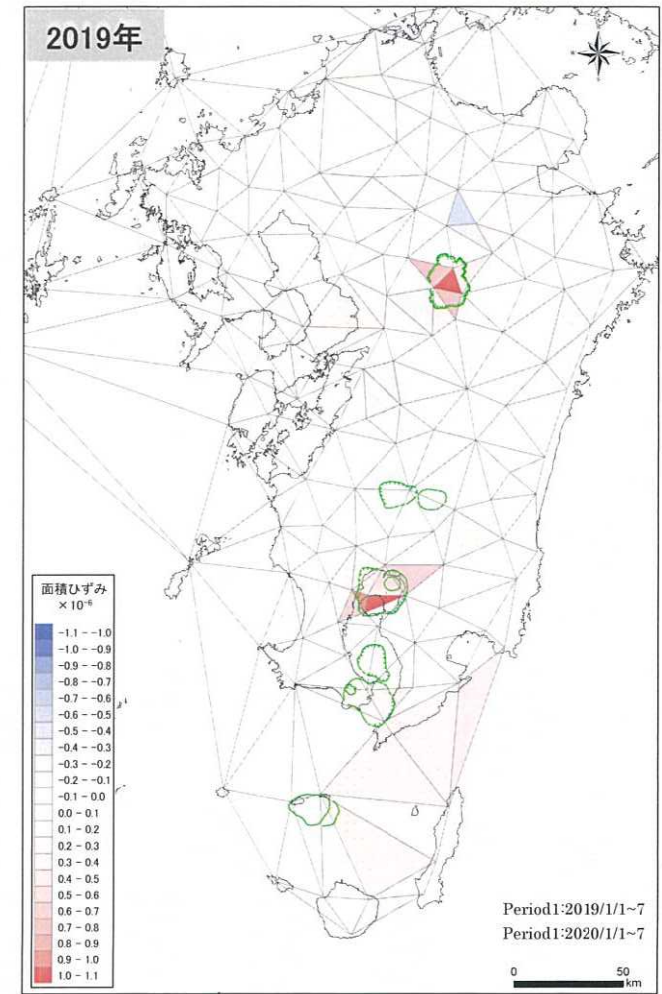
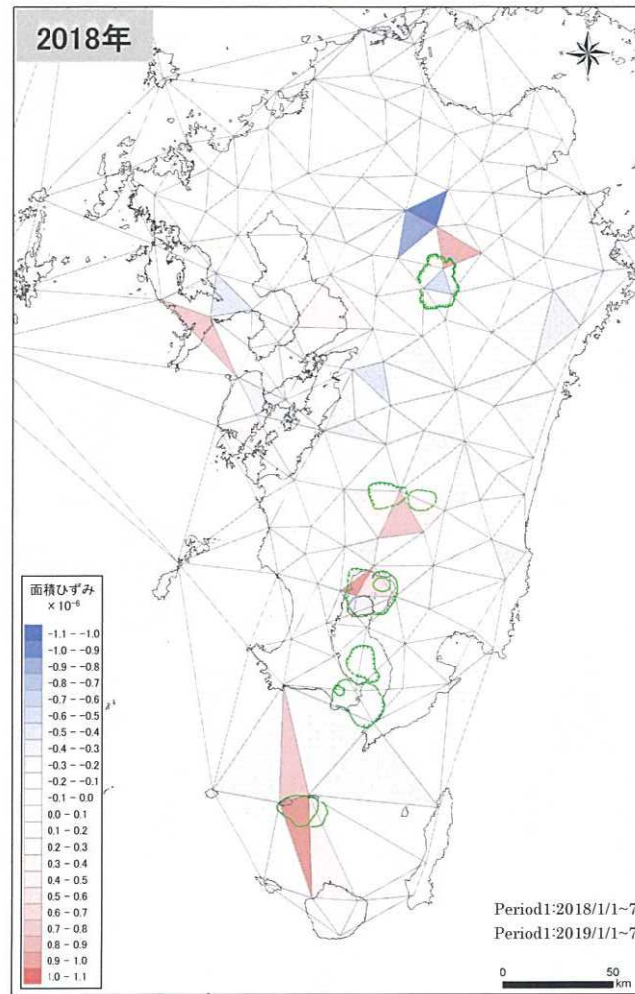
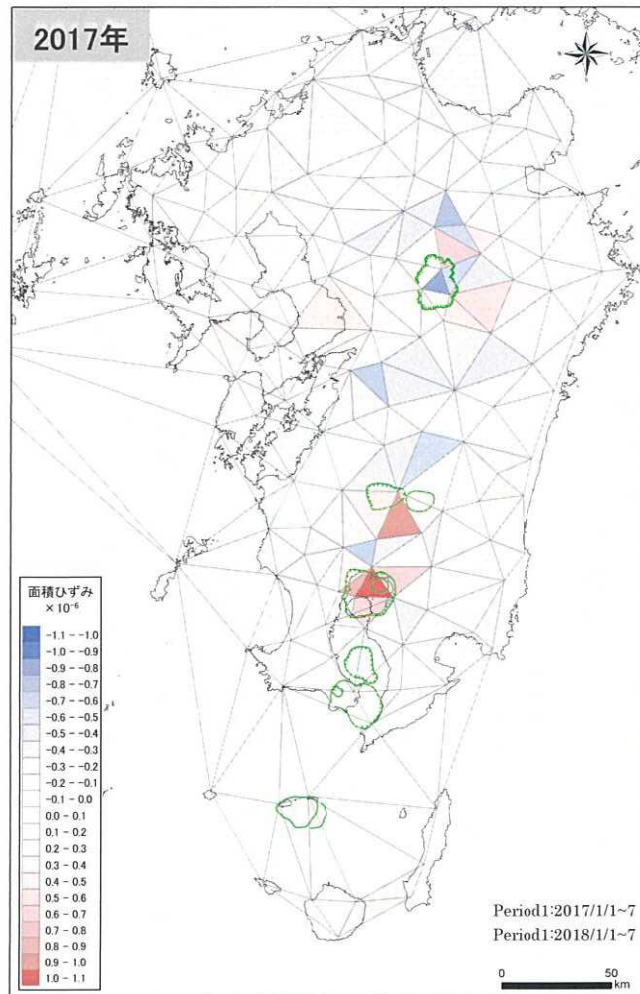


※1 2020年のひずみ場において、多久の代わりに新設された多久A(2020/9/3運用開始)を用いて三角形を作成、北九州2を含む三角形のひずみは2020/1/8~14からのデータで作成、始良を含む三角形のひずみは2020/9/24~30までのデータで作成(始良は2020/2/14~9/12, 2020/10/1~2021/3/24でデータ欠如)

※2 2021年のひずみ場において、北九州2を含む三角形のひずみは2021/4/18~24からのデータで作成(2021/1/3~2021/4/17で断続的にデータが欠如)、始良を含む三角形のひずみは2021/3/25~31からのデータで作成(2020/10/1~2021/3/24でデータ欠如)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[面積ひずみ分布]

- 2022年度において、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ、鬼界では膨張する面積ひずみが認められる。阿蘇カルデラでは今年の膨張から転じて収縮の傾向が認められ、始良カルデラは膨張のひずみ量は減少傾向、鬼界では昨年と比較すると同程度である。阿多カルデラでは顕著な面積ひずみは認められない。

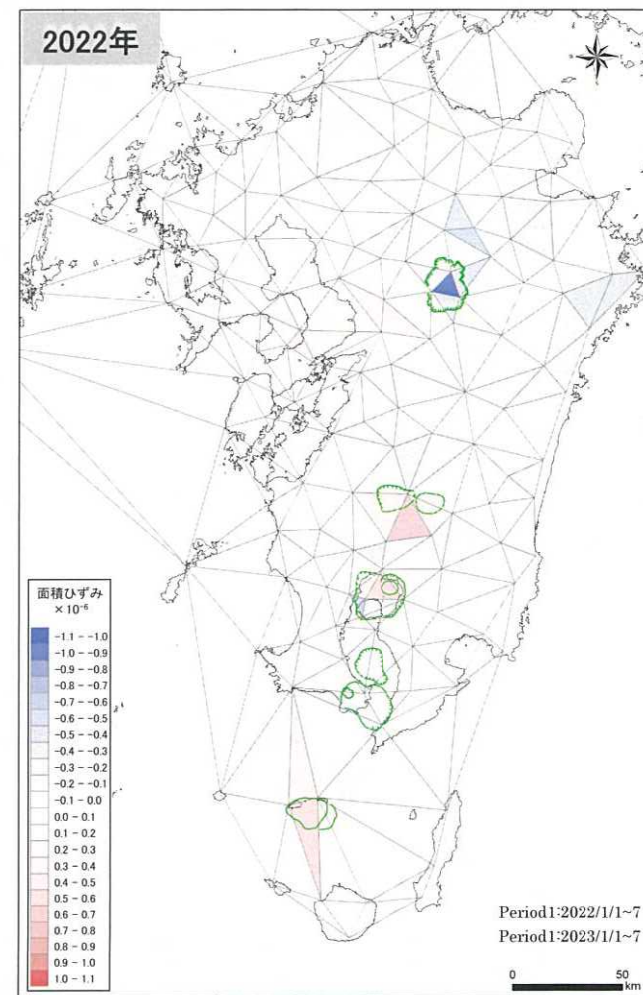
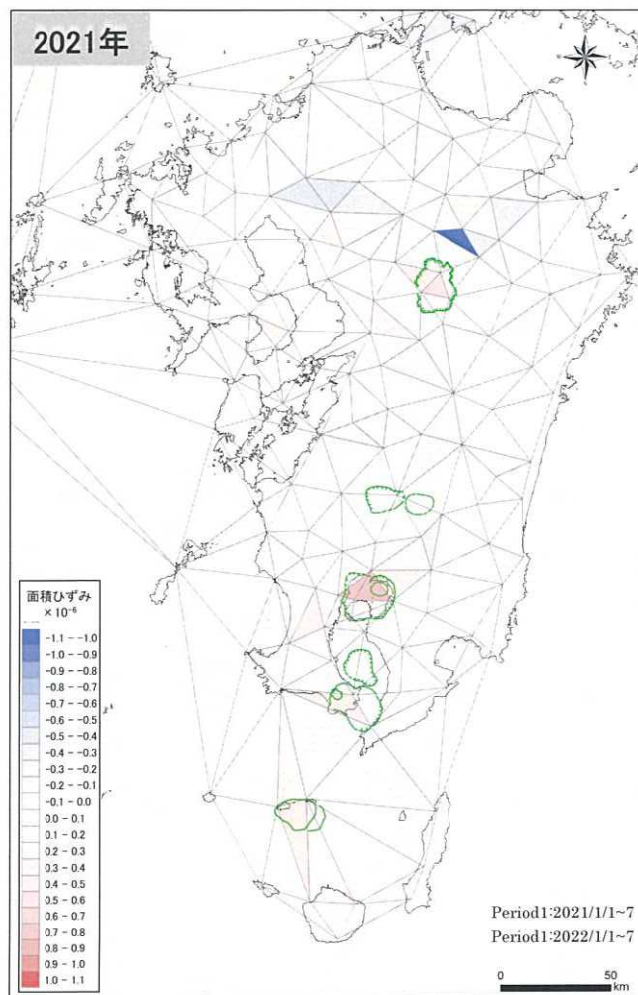
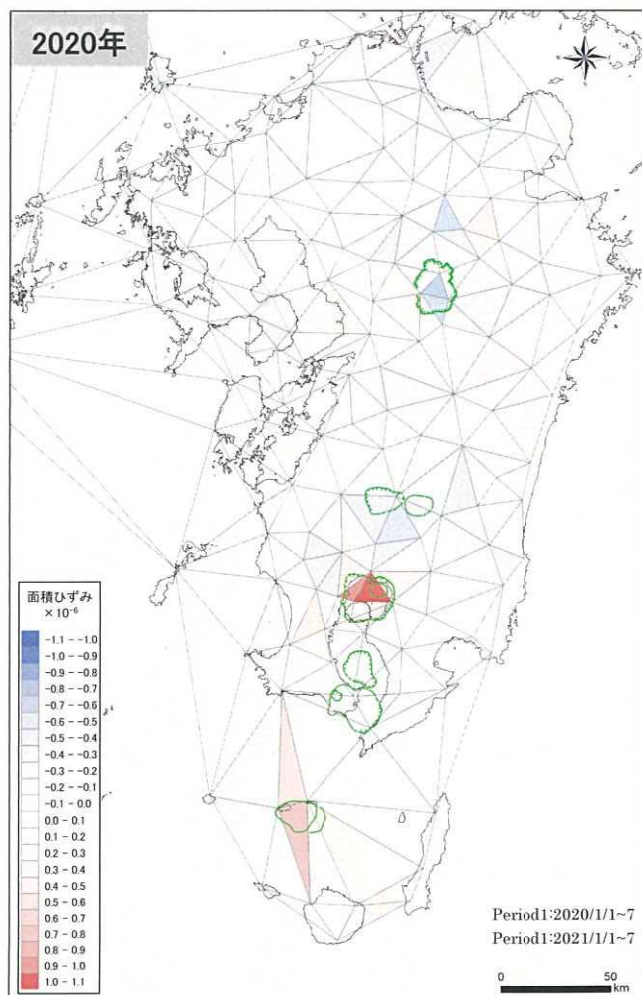


※1 2017年のひずみ場において、吉野(2016/11/17運用開始)と鹿児島1A(2017/5/23運用開始)を用いて三角形を作成、鹿児島1Aを含む三角形のひずみは2017/5/23~29からのデータで作成

※2 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1~7までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※3 2019年のひずみ場において、矢部Aの代わりに新設された矢部B(2019/3/7運用開始)を用いて三角形を作成、多久を含む三角形のひずみは2019/12/1~7までのデータで作成(多久は2019/12/9運用停止)、北九州2を含む三角形のひずみは2019/12/24~30までのデータで作成(北九州2は2019/12/31~2020/1/7でデータ欠如)

【参考2】カルデラ火山周辺のひずみ場[面積ひずみ分布]

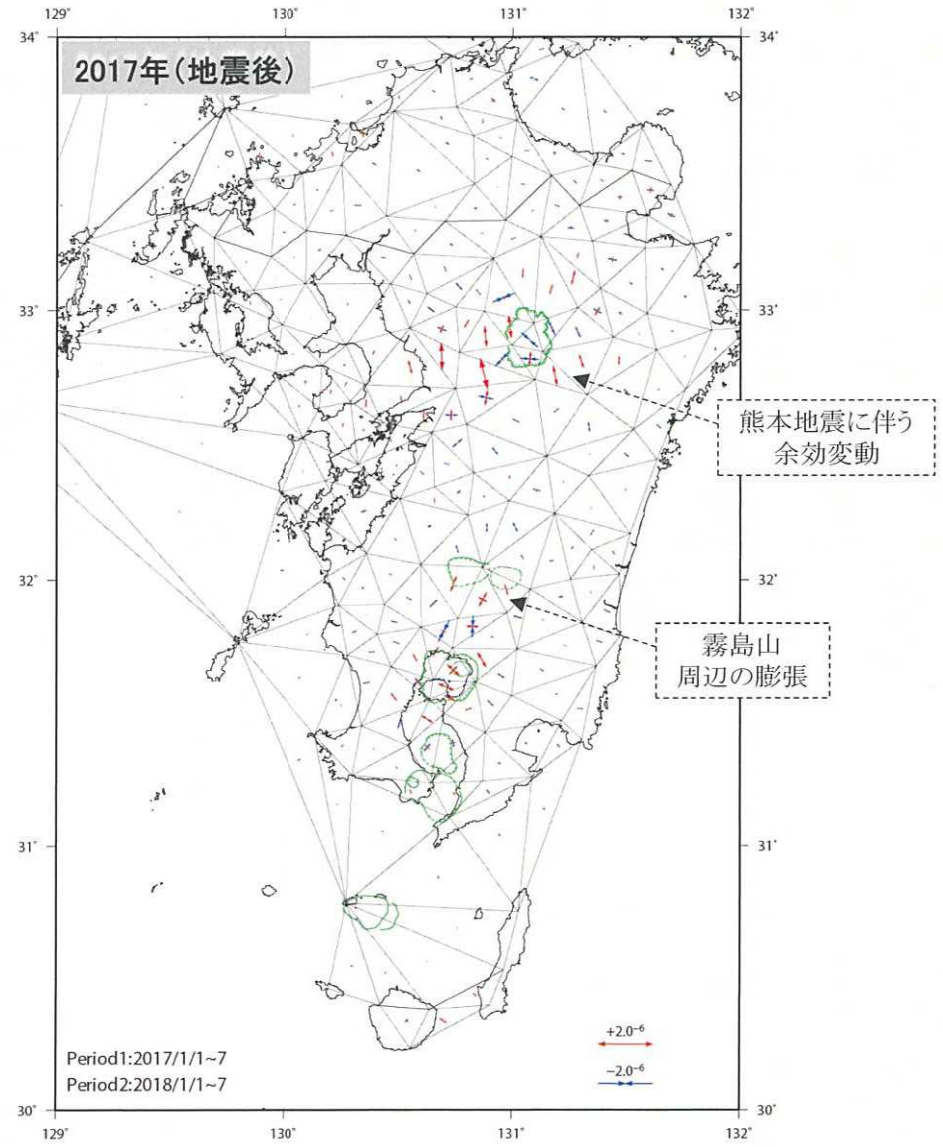
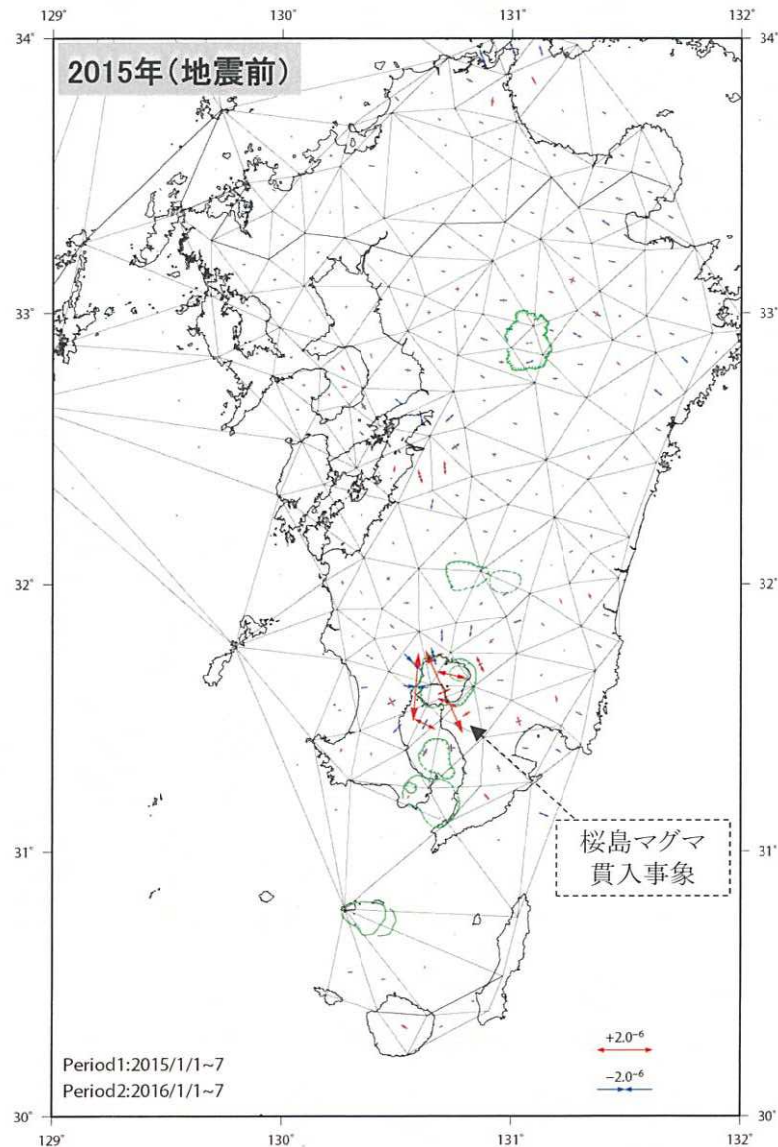


※1 2020年のひずみ場において、多久の代わりに新設された多久A(2020/9/3運用開始)を用いて三角形を作成、北九州2を含む三角形のひずみは2020/1/8~14からのデータで作成、始良を含む三角形のひずみは2020/9/24~30までのデータで作成(始良は2020/2/14~9/12、2020/10/1~2021/3/24でデータ欠如)

※2 2021年のひずみ場において、北九州2を含む三角形のひずみは2021/4/18~24からのデータで作成(2021/1/3~2021/4/17で断続的にデータが欠如)、始良を含む三角形のひずみは2021/3/25~31からのデータで作成(2020/10/1~2021/3/24でデータ欠如)

【参考2】熊本地震前後のひずみ場[水平ひずみ速度分布]

- 阿蘇カルデラ周辺では、熊本地震に伴う余効変動に限られた範囲で認められるものの、九州全域のひずみ分布については、熊本地震前後で大きな違いは認められない。

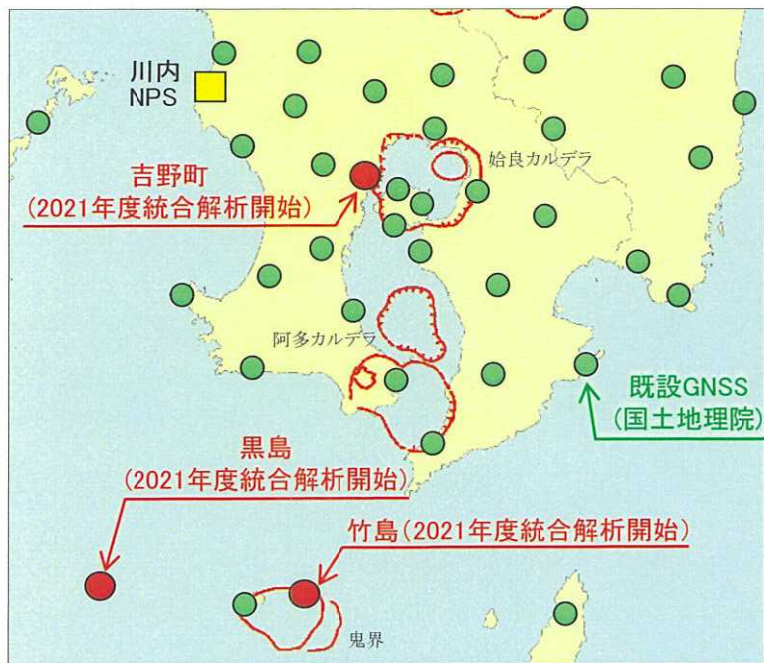


※ 地震調査委員会(2013)と同様の解析メッシュにて熊本地震前後のひずみ場の比較を実施

【参考3】当社GNSS機器による観測

- 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. モニタリング評価結果」に国土地理院GNSS機器による観測結果とともに記載。(P.48,49,51,79,80,81,83)



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



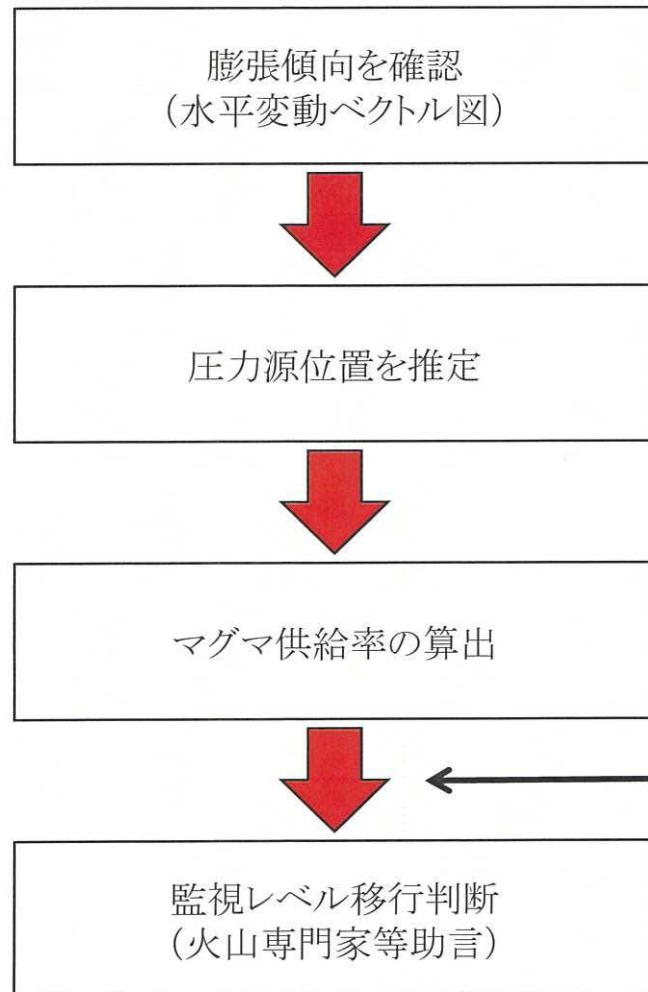
吉野町の機器設置状況

余 白

(中 ・ 長 期 的 取 組 み)

1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)

- ・平常から注意の監視レベル移行判断フローについて検討を行う。
- ・水平変動ベクトル図において、カルデラ周辺の膨張傾向が認められる場合、圧力源位置の推定、マグマ供給率の算出及び監視レベル移行判断を実施する。



* 考え方

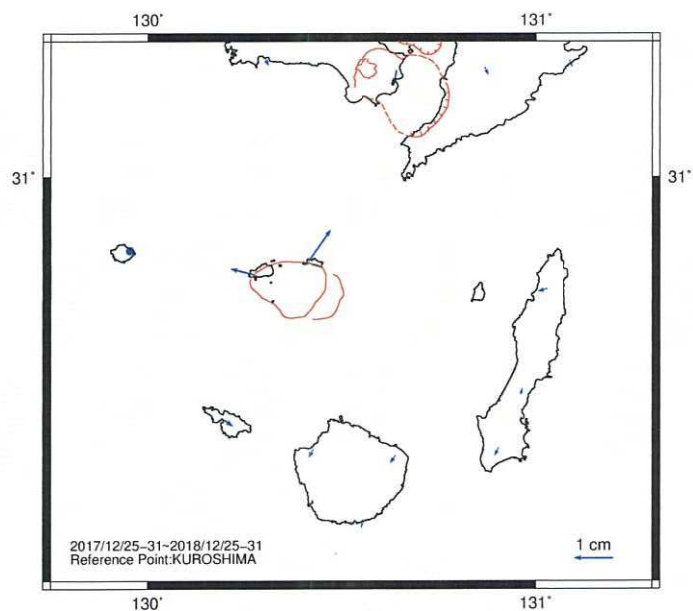
- ・水平変動ベクトル図を用いて、年に一回、対象カルデラ火山周辺における地殻変動の傾向を確認する。
- ・膨張傾向が認められた際には、茂木モデル等を仮定し、圧力源位置を推定する。位置はグリッドサーチ等の手法を用いて推定するほか、既存文献や過去の当社評価において推定された位置を参照して決定する。
- ・茂木モデル等を用いて、マグマ供給率を算出する。
- ・マグマ供給率が $0.01\text{km}^3/\text{年}$ 以上と推定された場合、火山専門家等の助言を得ながら必要に応じて監視レベルを移行。なお、活火山の活動による変動もあるため、公的機関の評価や、基線長、地震活動等の変化も判断の参考とする。

(参考) 公的機関の評価
基線長や地震活動等の変化

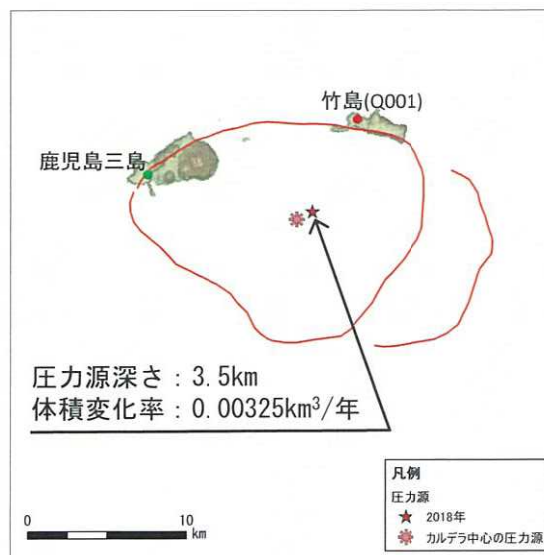
余 白

1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)[鬼界(2018年)]

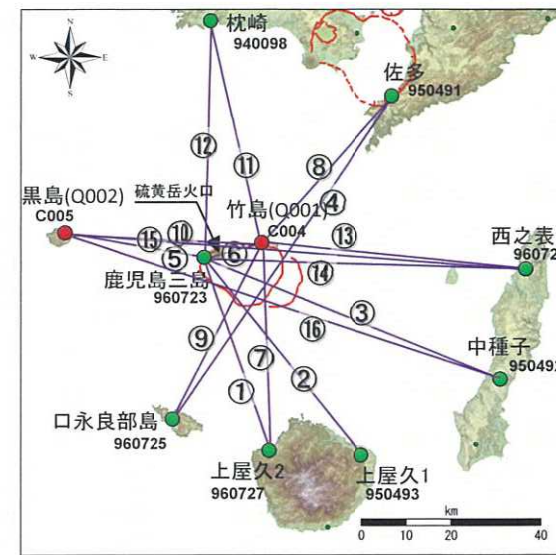
- ・膨張傾向の見られた対象カルデラ火山に対し、圧力源位置の推定及び茂木モデルを仮定したマグマ供給率算出を行った。
- ・2018年の鬼界の変動に対して、茂木モデルを仮定し、基線長と鉛直変位のそれぞれのRMSE(観測値と計算値の間の二乗平均平方根誤差)を指標として圧力源位置を推定し、体積変化率(=マグマ供給率)を求めた。
- ・圧力源位置は、2021年度報告において仮定したものと概ね同じ水平位置、深さ3.5kmに求められ、各基線の基線長変化及び「鹿児島三島」と「竹島」の鉛直変位は計算結果と整合的である。また、マグマ供給率は約0.003km³/年であり、0.01km³/年よりも小さいため、監視レベルは「平常」を継続する。



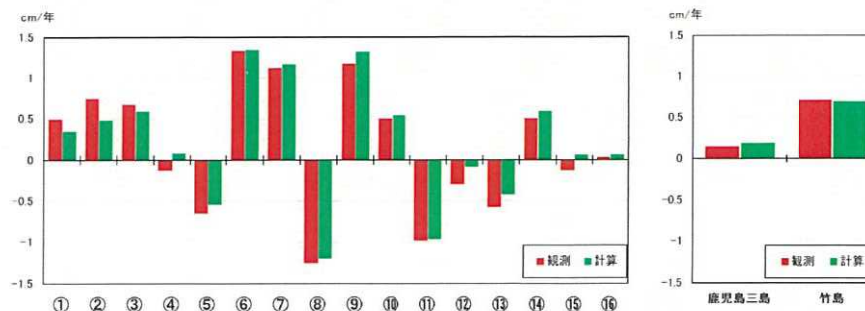
2018年12月の地殻変動



圧力源位置推定結果



● 国土地理院のGNSS観測点
● 九州電力のGNSS観測点

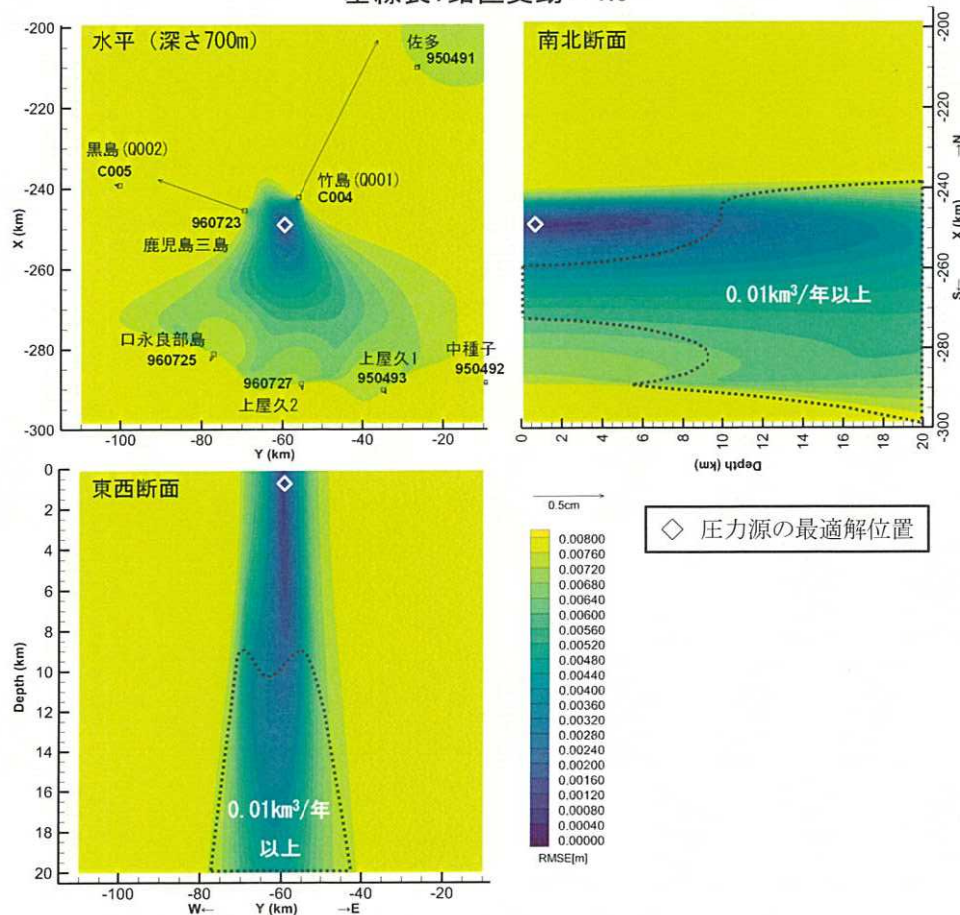


観測値と計算結果の比較(左:基線長変化、右:鉛直変位) 109

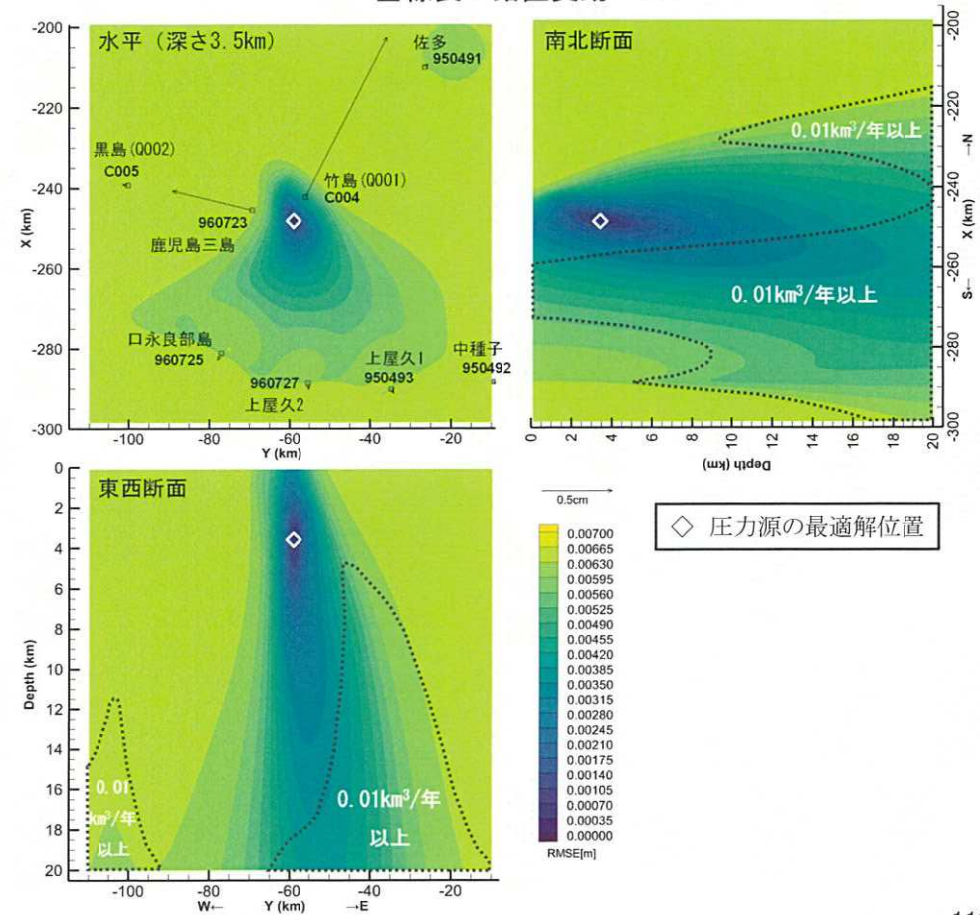
1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)[鬼界(2018年)]

- マグマ供給率は圧力源の深さにより大きく変わるため、RMSEの水平分布及び鉛直分布を確認する。その際、鉛直変動は水平変動に比べ、精度が劣ることを踏まえ、計算に鉛直変動を全く考慮しないケース①と鉛直変動をそのまま考慮するケース②(P.109に対応)を実施する。
- 圧力源深さはケース①で700m、ケース②で3.5kmが最適解として求められた。最適解位置の南北、東西断面に、圧力源位置と体積変化率の関係から求めたマグマ供給率 $0.01\text{km}^3/\text{年}$ 以上となる領域(点線内)を示す。
- 両ケースともに、圧力源の最適解はマグマ供給率 $0.01\text{km}^3/\text{年}$ 未満の範囲に位置し、RMSEが小さい範囲も概ね深さ10km未満の範囲にはおさまることから、圧力源深さの不確かさを考慮したとしても、マグマ供給率は $0.01\text{km}^3/\text{年}$ を超過しないことを確認した。

ケース①
基線長: 鉛直変動=1:0

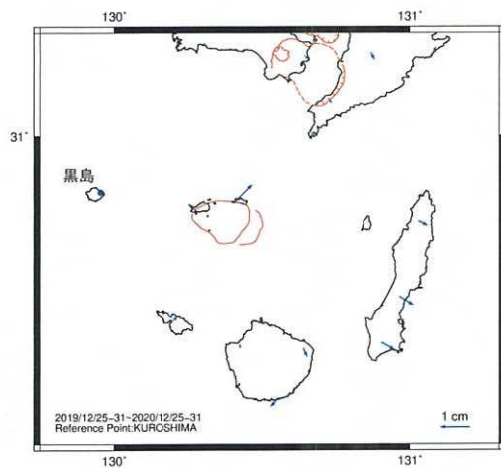


ケース②
基線長: 鉛直変動=1:1

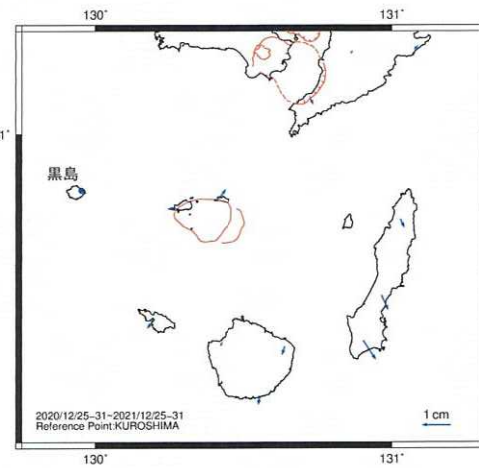


1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)[鬼界(2020~2022年)]

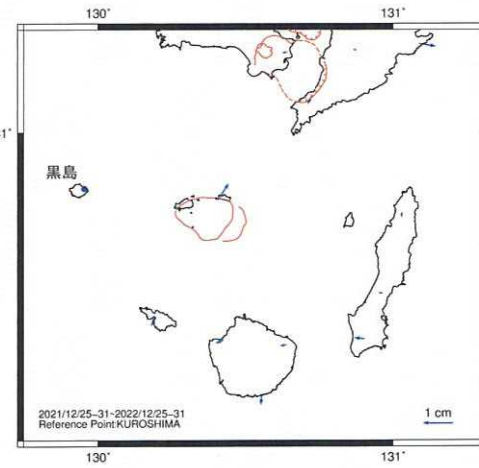
- 2020年、2021年、2022年の変動においても、2018年と同様にRMSEを指標として圧力源位置と体積変化率 $\text{km}^3/\text{年}$ を推定した。
- なお、各年のGNSSデータの鉛直成分が精度を大きく超えるほどの変動が観測されず、鉛直変動を計算に含めて深さを推定することが難しいことから、圧力源深さは2018年に推定された3.5kmで固定し、水平位置についてグリッドサーチを行った。
- 圧力源位置は、2018年の結果と同様に概ねカルデラ中心かその周辺に推定された。マグマ供給率は2020年が約 $0.004\text{km}^3/\text{年}$ 、2021年が約 $0.003\text{ km}^3/\text{年}$ 、2022年が約 $0.001\text{ km}^3/\text{年}$ であり、 $0.01\text{km}^3/\text{年}$ より小さいため、監視レベルは「平常」を継続する。



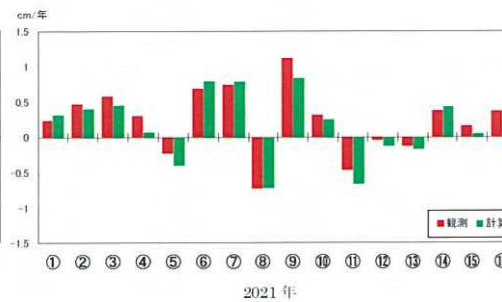
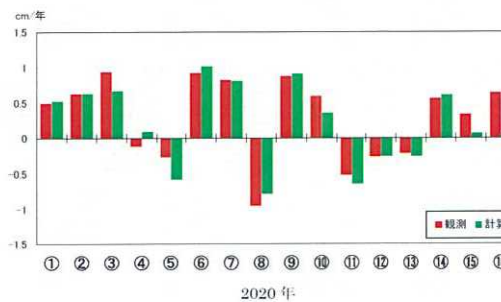
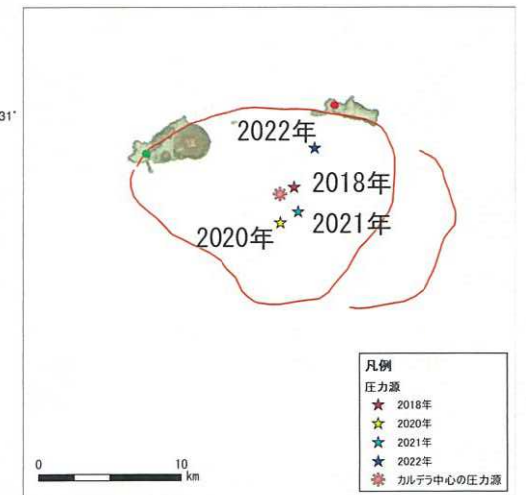
2020年12月の地殻変動



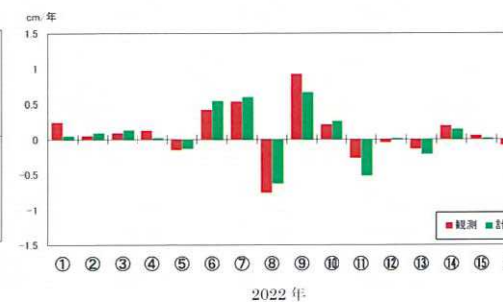
2021年12月の地殻変動



2022年12月の地殻変動



観測値と計算結果の比較 (基線長変化量)

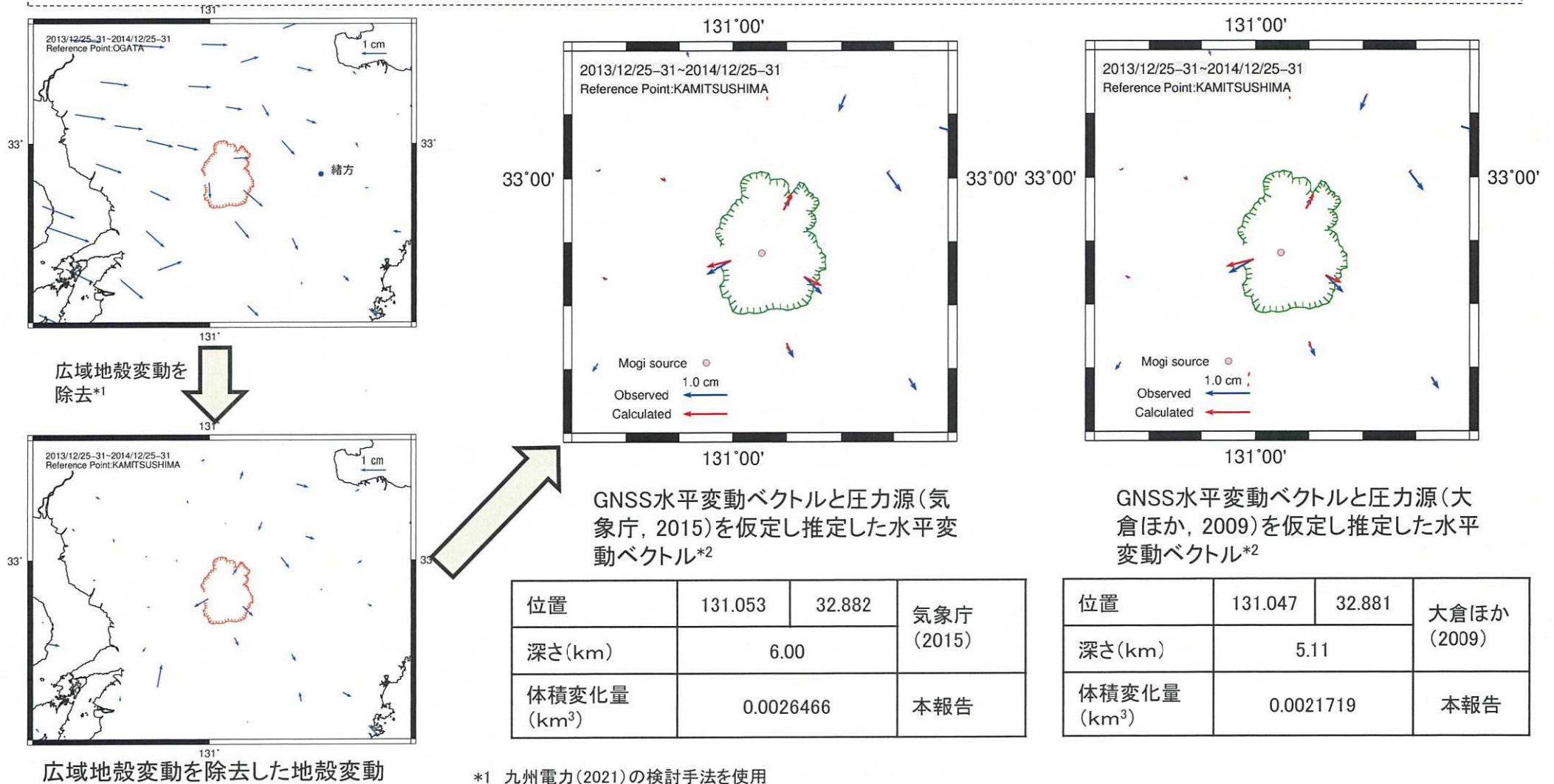


年	圧力源深さ (km)	体積変化率 ($\text{km}^3/\text{年}$)
2020	3.5 (2018年の結果を使用)	0.00361
2021		0.00276
2022		0.00093

各年における圧力源位置推定結果

1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意) [阿蘇カルデラ(2014-2015年中岳噴火)]

- 阿蘇カルデラにおいて、2014-2015年中岳噴火に対応する地殻変動が観測された2014年12月のデータに対しマグマ供給率を推定した結果、約 $0.002\sim 0.003\text{km}^3/\text{年}$ となり、監視レベルは「平常」を継続する。

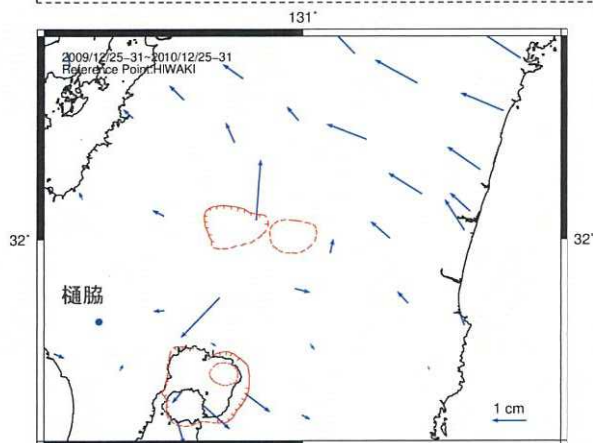


*1 九州電力(2021)の検討手法を使用

*2 GNSS変位の水平成分について、茂木モデルを仮定してGNSS水平変動(阿蘇、長陽、高森)との残差平方和が最小になるような体積変化量を推定。位置・深さは気象庁(2015)、大倉ほか(2009)より。

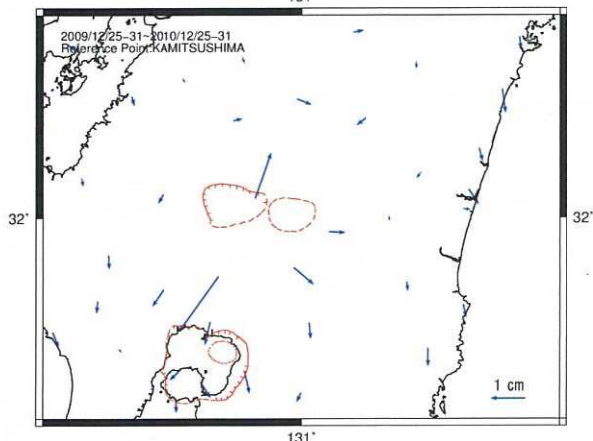
1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意) [加久藤・小林カルデラ (2011/1/26新燃岳準プリニー式噴火前)]

- 加久藤・小林カルデラにおいて、2011/1/26新燃岳準プリニー式噴火に対応する地殻変動が観測された2010年12月のデータに対し、マグマ供給率を推定した結果、約0.019km³/年となった。
- マグマ供給率は0.01km³/年を超えたが、基線長は噴火後に膨張開始時点と同レベルまで収縮し、継続的な地殻変動は認められないことから、当該マグマ供給は新燃岳による短期的な火山活動を反映したものと判断し、監視レベルは「平常」を継続する。

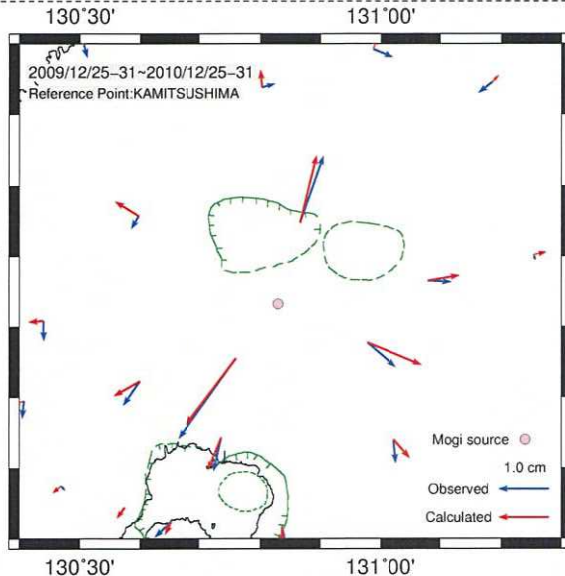


広域地殻変動を除去*1

↓ 始良カルデラの影響を除去*2



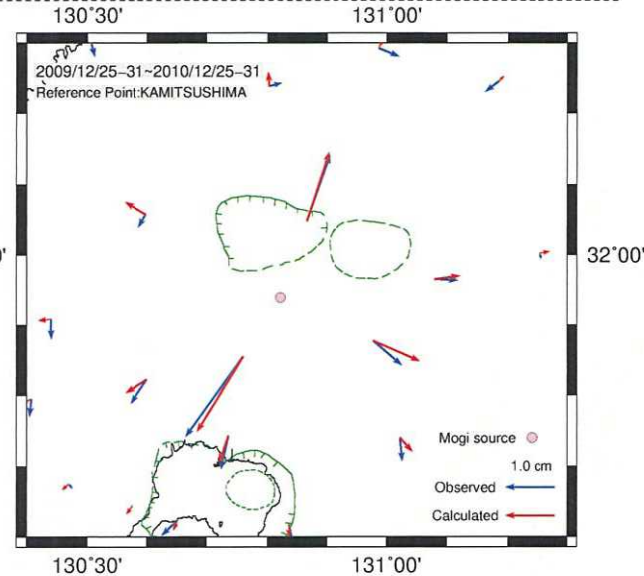
広域地殻変動と始良カルデラの影響を除去した地殻変動



GNSS水平変動ベクトルと圧力源(Nakao et al., 2013)を仮定し推定した水平変動ベクトル*3

位置	130.830	31.932	Nakao et al. (2013)
深さ(km)	9.18		
体積変化量(km ³)	0.0187383		本報告

Nakao et al. (2013)で求められた体積変化量は、2009/12/25~2011/1/25(396日)で0.0206 (km³)となり、 $0.0206 \times 365/396=0.018987374$ (km³)と推定した供給量とほぼ同量となる



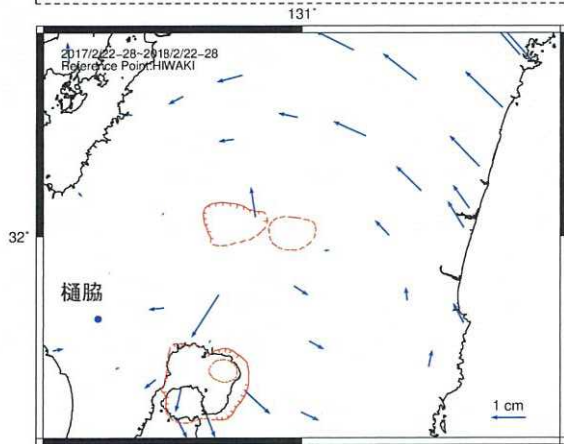
GNSS水平変動ベクトルと圧力源(Ueda et al., 2013)を仮定し推定した水平変動ベクトル*3

位置	130.822	31.939	Ueda et al. (2013)
深さ(km)	6.50		
体積変化量(km ³)	0.0142563		本報告

- *1 九州電力(2021)の検討手法を使用
- *2 本報告53ページより始良カルデラ基線②の2010/12/31の変動率から計算
- *3 GNSS変位の水平成分について、茂木モデルを仮定してGNSS水平変動(牧園、えびの、都城2)との残差平方和が最小になるような体積変化量を推定。位置・深さはNakao et al. (2013)、Ueda et al. (2013)より。

1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)[加久藤・小林カルデラ(2018)]

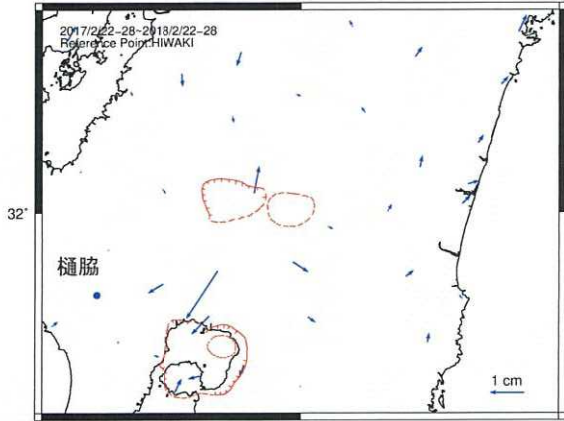
- 2018/3/1～新燃岳噴火に対応する地殻変動が観測された2018年2月のデータに対しマグマ供給率を推定した結果、約0.011～0.013km³/年となった
- マグマ供給率は0.01 km³/年を超えたが、基線長は噴火後にある程度収縮し、継続的な地殻変動は認められないことから、当該マグマ供給は新燃岳による短期的な火山活動を反映したものと判断し、監視レベルは「平常」を継続する。



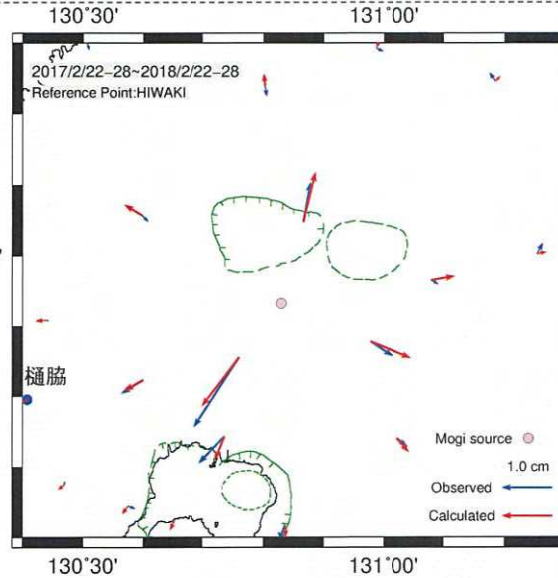
広域地殻変動を除去*1

樋脇を固定点とし熊本地震の影響を除去*3

始良カルデラの影響を除去*2

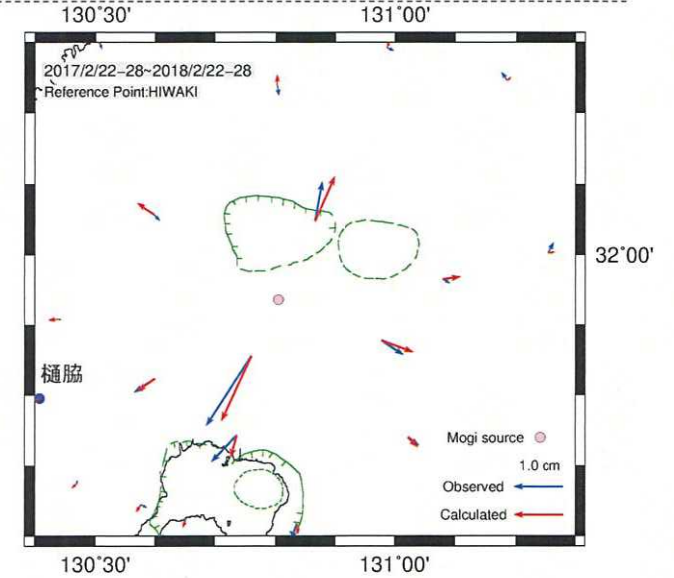


広域地殻変動、始良カルデラの影響と熊本地震の影響を除去した地殻変動



GNSS水平変動ベクトルと圧力源(Nakao et al., 2013)を仮定し推定した水平変動ベクトル*4

位置	130.830	31.932	Nakao et al. (2013)
深さ(km)	9.18		
体積変化量(km ³)	0.0133138		本報告



GNSS水平変動ベクトルと圧力源(気象庁, 2018)を仮定し推定した水平変動ベクトル*4

位置	130.8051	31.9358	気象庁(2018)
深さ(km)	7.10		
体積変化量(km ³)	0.0111994		本報告

*1 九州電力(2021)の検討手法を使用

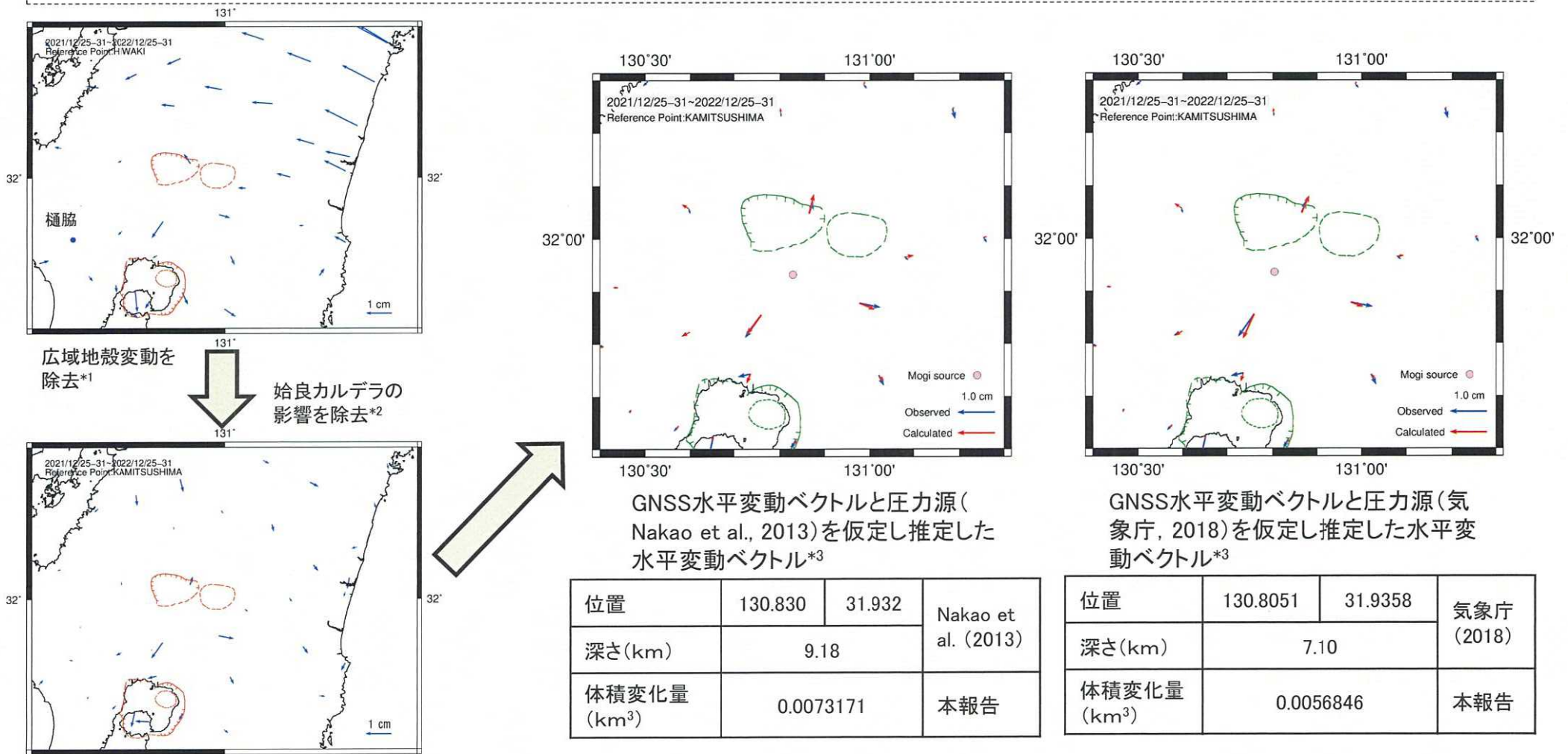
*2 本報告53ページより始良カルデラ基線②の2018/2/28の変動率から計算

*3 樋脇を固定点とし、ある程度の熊本地震の余効変動を除去

*4 GNSS変位の水平成分について、茂木モデルを仮定してGNSS水平変動(牧園、えびの、都城2)との残差平方和が最小になるような体積変化量を推定。位置・深さはNakao et al. (2013)、気象庁(2018)より。

1. 監視レベル移行判断フローの検討(平常→注意)[加久藤・小林カルデラ(2022年)]

- 膨張傾向が見られる2022年12月の地殻変動に対しマグマ供給率を推定した結果、約0.006~0.007km³/年となった。
- マグマ供給率が0.01km³/年よりも小さいこと及び新燃岳の影響による変動と考えられるため、監視レベルは「平常」を継続する。



広域地殻変動と始良カルデラの影響を除去した地殻変動

*1 九州電力(2021)の検討手法を使用

*2 本報告53ページより始良カルデラ基線②の2022/12/31の変動率から計算

*3 GNSS変位の水平成分について、茂木モデルを仮定してGNSS水平変動(牧園、えびの、都城2)との残差平方和が最小になるような体積変化量を推定。位置・深さはNakao et al. (2013)、気象庁(2018)より。

余 白

2. 熊本地震による余効変動の除去[概要]

- 阿蘇カルデラにおける基線長変化について、2016年に発生した熊本地震の余効変動を除去する検討を行った。
- 余効変動モデルにはTobita (2016)の式を使用し、パラメータの一部はTakagi et al. (2019)の値を引用し、残りのパラメータは非線形回帰分析から決定した。基準点は上対馬を採用し、フィッティング期間は2年(2016/4/17を1日目と数える)とした。
- 余効変動モデルやパラメータの適用性については、火山の変動による影響を除くため、カルデラを跨がない基線(熊本-清和)で検討し、地震前の変動を再現できていることを確認した。

<Tobita (2016)の式>

$$D(t) = a \ln(1 + t/b) + c - d \exp(-t/e) + Vt$$

変位 余効すべり 粘弾性緩和 定常変動

$D(t)$: 変位成分 (東西、南北、鉛直)

t : 本震発生からの経過時間 (日)

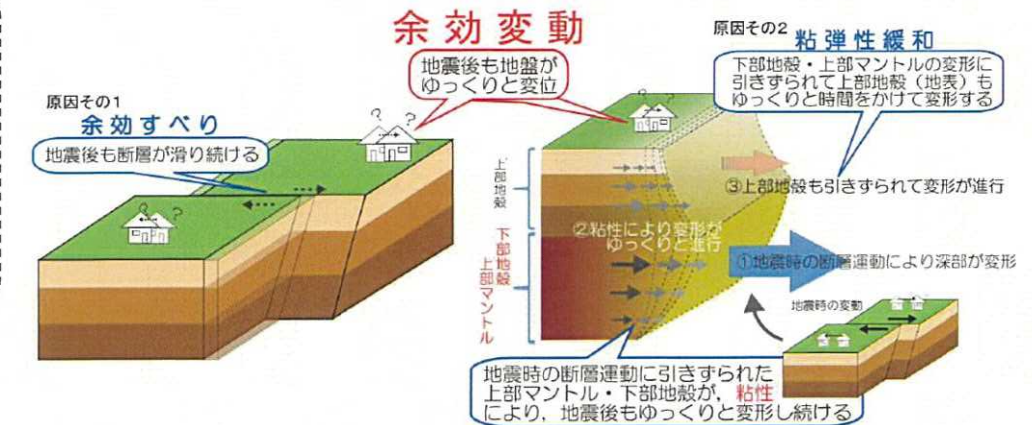
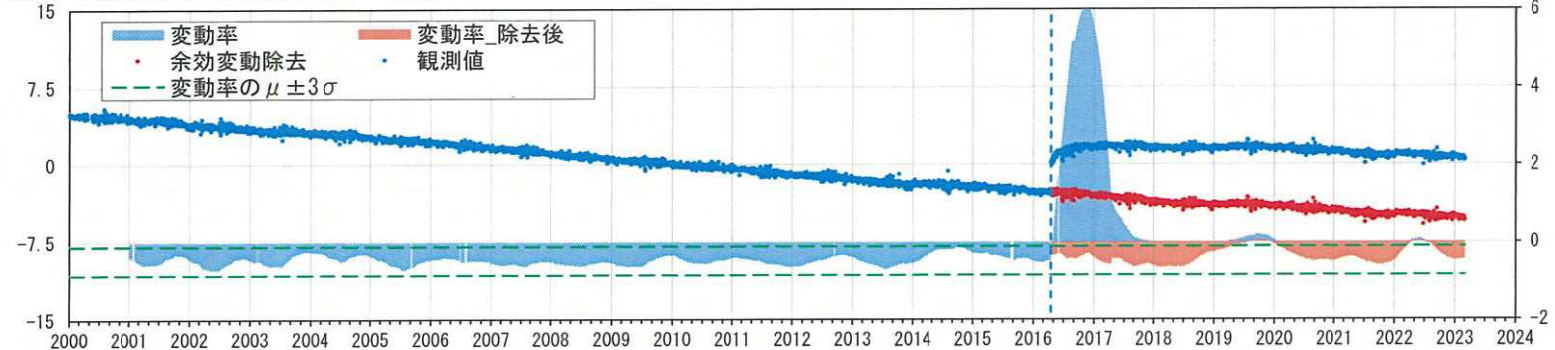
b, e : 対数または指数の減衰 (緩和時間) に関するパラメータ (時定数)

V : 定常速度

※ 2006/1/1~2009/1/1のデータに対し、線形近似し傾き V (定常速度)を算出

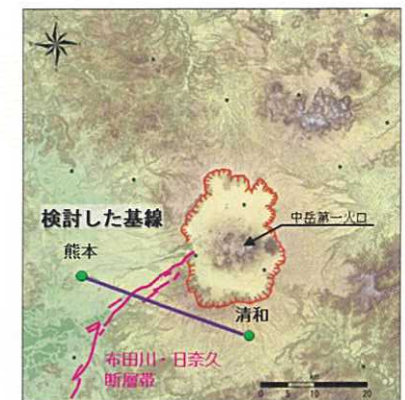
パラメータ	値	引用文献
a		※非線形回帰分析で決定
b	0.48	Takagi et al. (2019)
c		※非線形回帰分析で決定
d		※非線形回帰分析で決定
e	303.6	Takagi et al. (2019)

阿蘇カルデラ_基線: 熊本-清和



第3図 余効変動の発生機構に関する概念図。熊本地震では、粘弾性緩和と余効滑りを原因とする変動が進行したと考えられる。

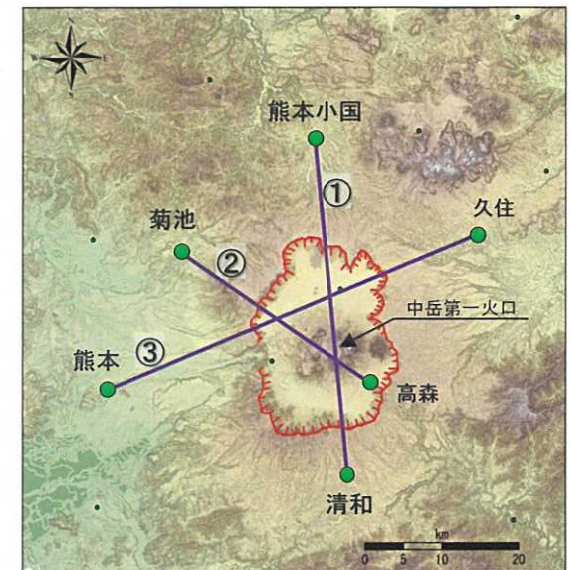
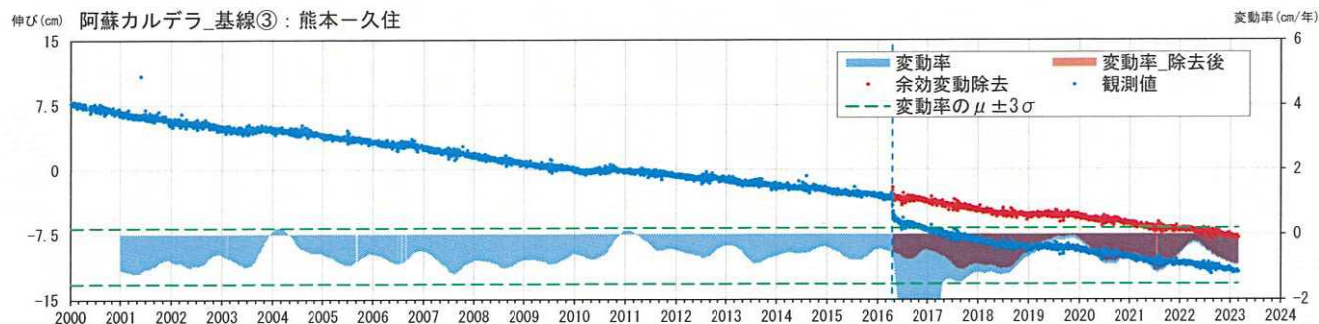
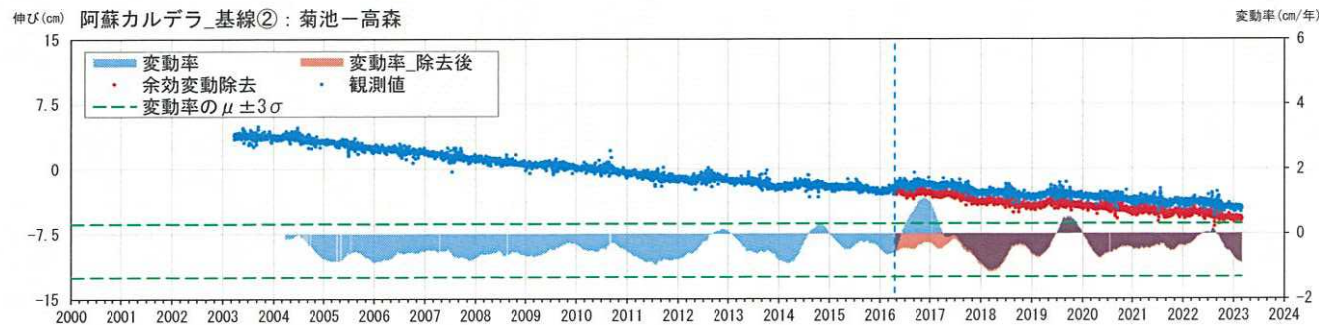
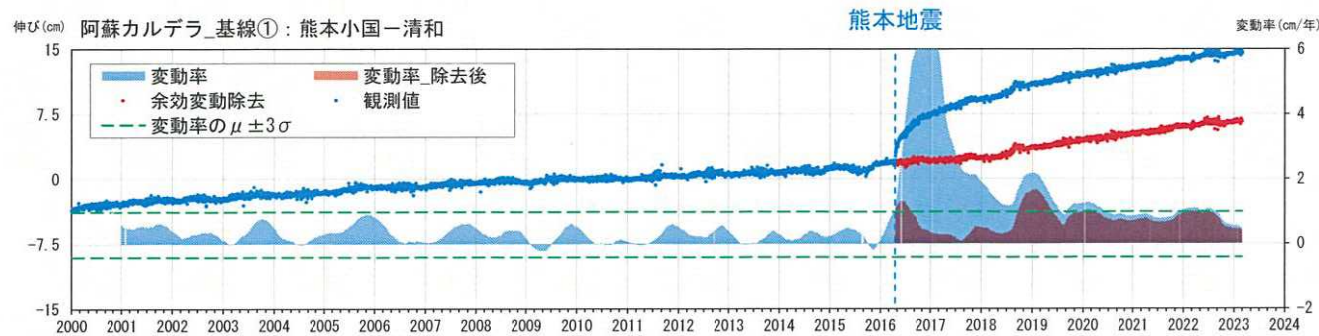
熊本地震の余効変動(国土地理院(2018);地震予知連絡会会報第100巻)



● 国土地理院のGNSS観測点

2. 熊本地震による余効変動の除去[除去後の基線長変化]

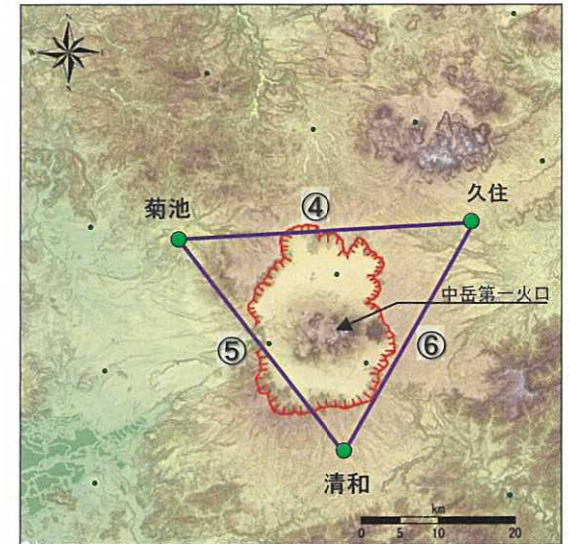
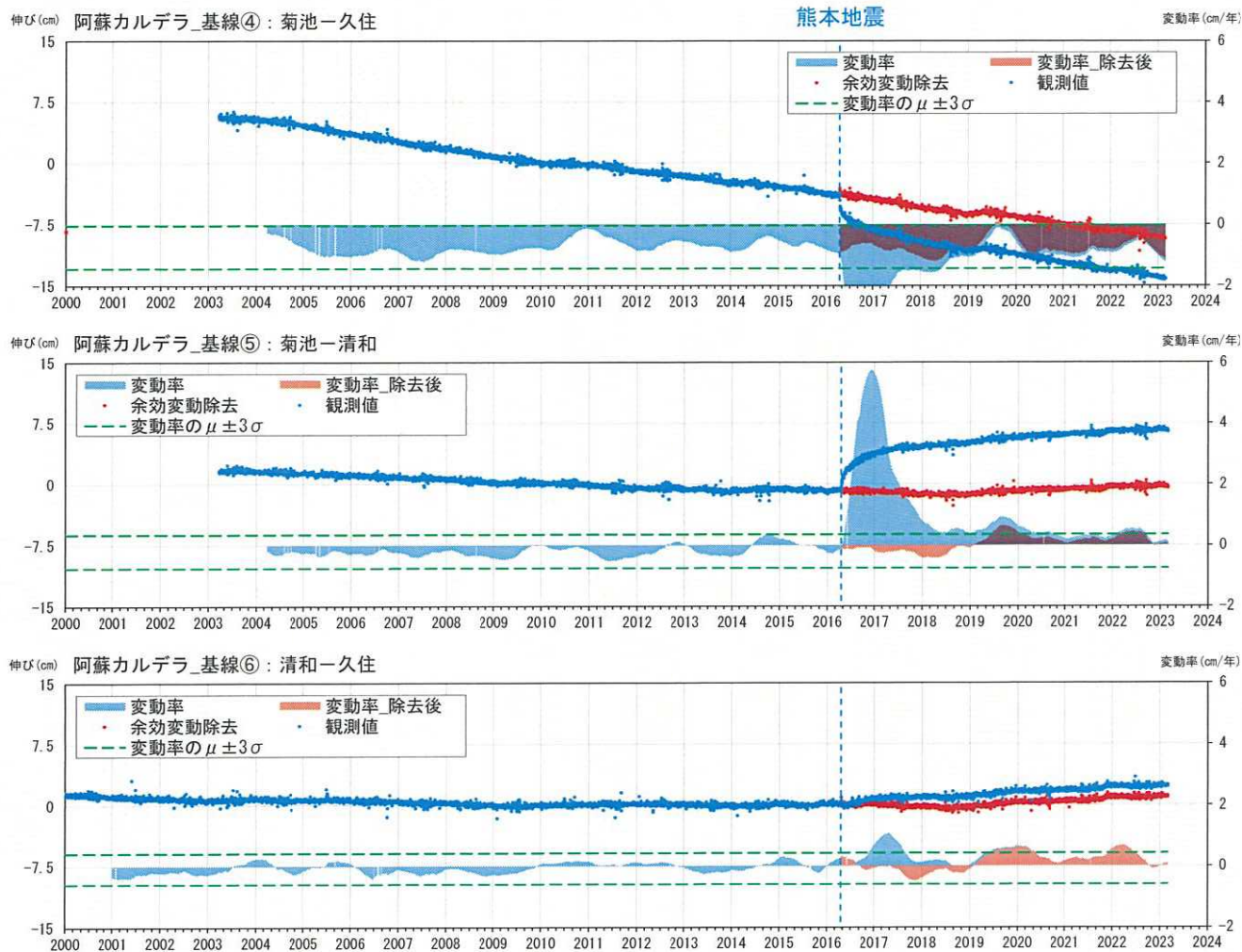
- ・阿蘇カルデラの基線①～③について余効変動除去を行った結果を示す。
- ・余効変動除去前の変動率と除去後の変動率を比較すると、余効変動の強い影響は概ね地震後2～3年程度と考えられる。
- ・余効変動の影響が弱まっている2019年頃から、清和を起点とする概ね南北方向の基線①、⑤、⑥は、定常変動の傾向が変化している。
- ・熊本地震の余効変動は現在では概ね収束しているが、傾向の変化があった基線もあるため、カルデラ火山評価の際には留意する。



● 国土地理院のGNSS観測点

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

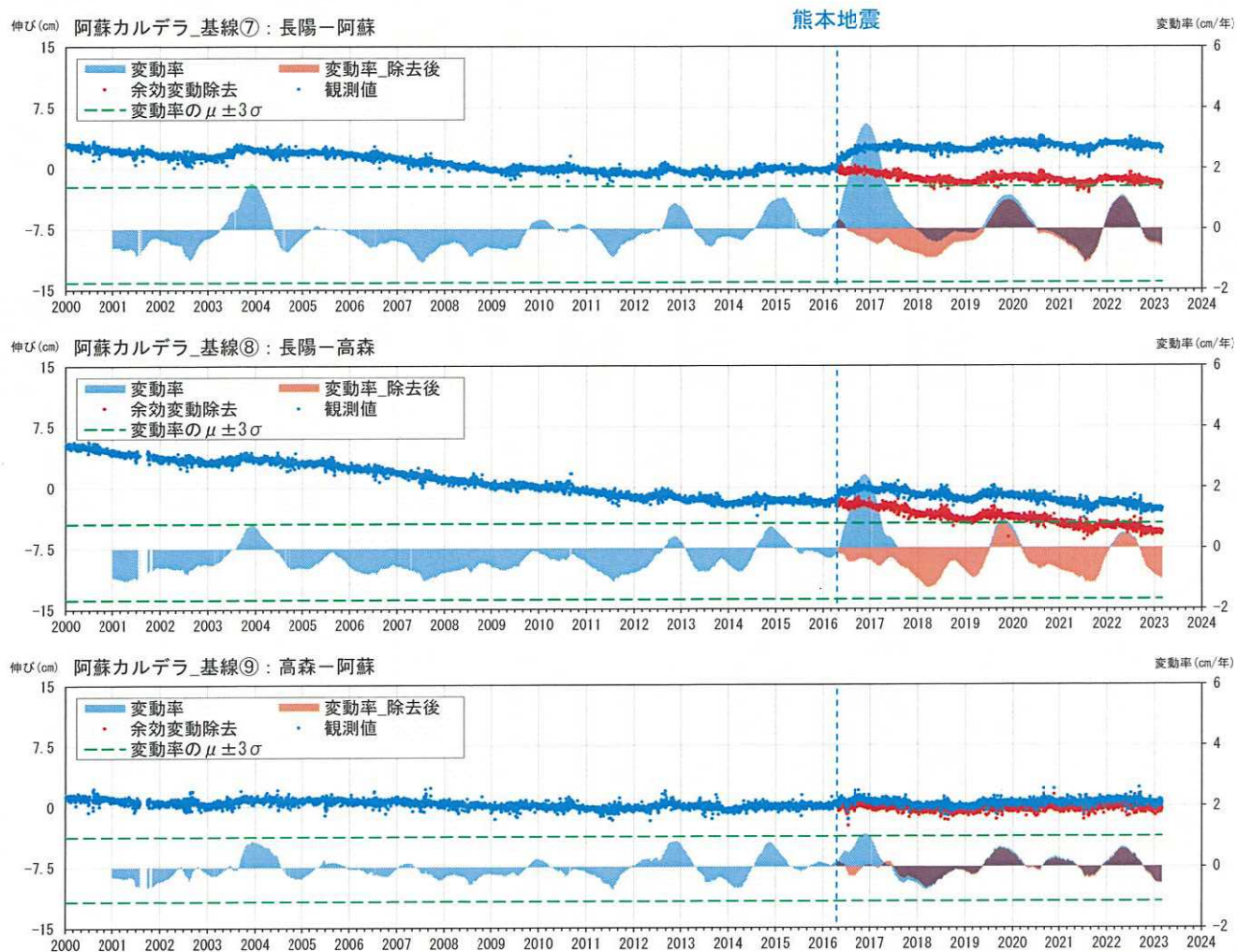
2. 熊本地震による余効変動の除去[除去後の基線長変化]



● 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

2. 熊本地震による余効変動の除去[除去後の基線長変化]



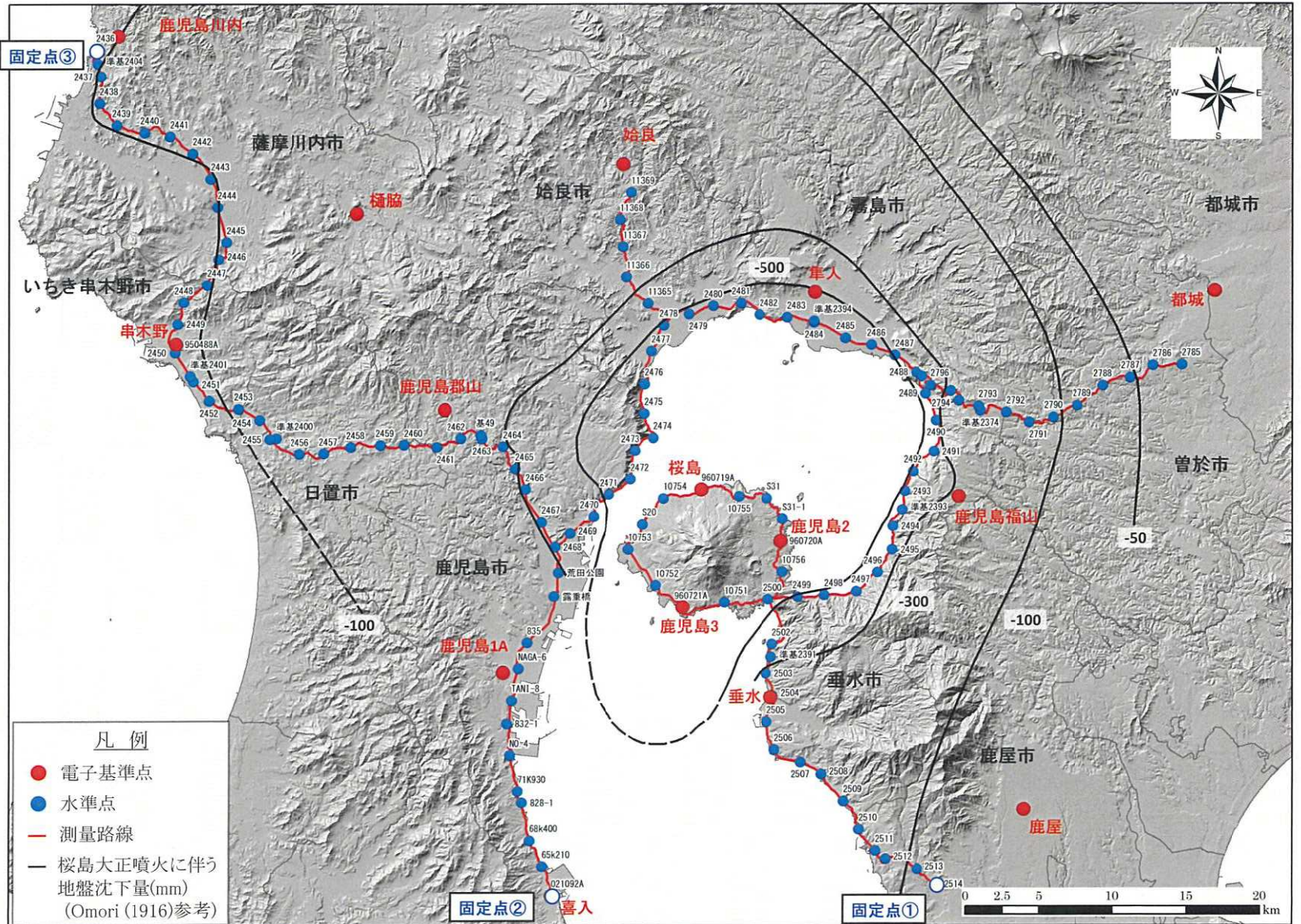
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[概要]

・始良カルデラについて、鉛直方向の地殻変動を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。

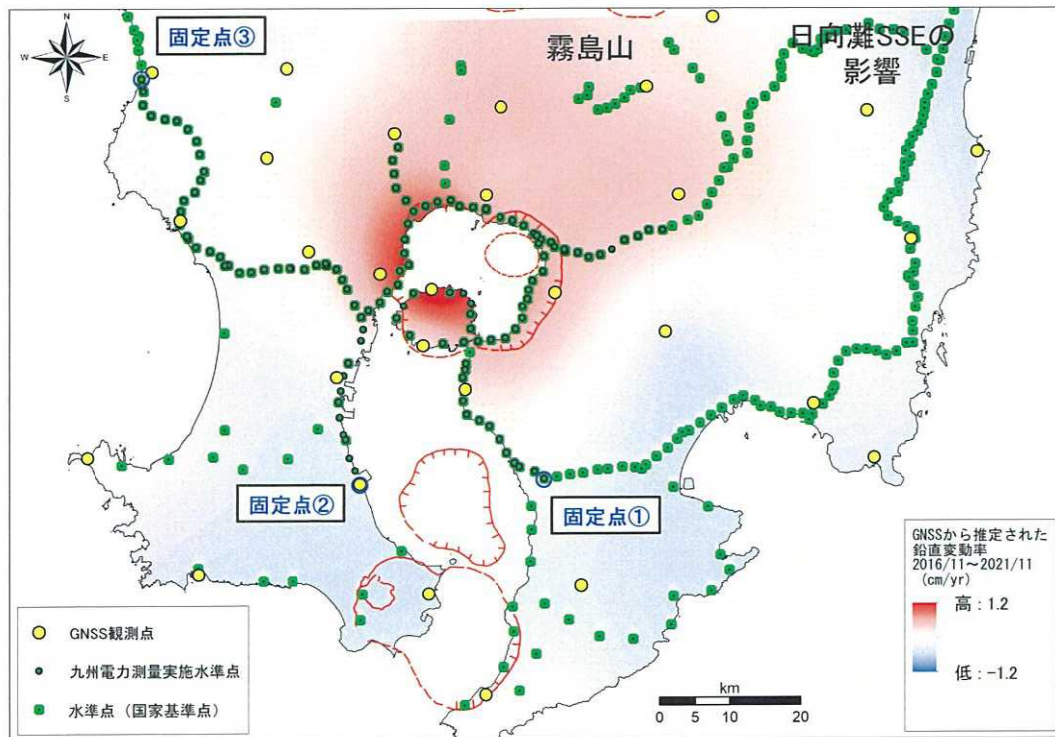
【測量実施期間】	
(2014年度)	2015年 1月28日～ 2月25日
(2015年度)	2015年11月 4日～12月 1日
(2016年度)	2016年11月 6日～12月18日
(2017年度)	2017年11月 8日～12月20日
(2018年度)	2018年10月29日～12月21日
(2019年度)	2019年10月28日～12月20日
(2020年度)	2020年10月26日～12月18日
(2021年度)	2021年10月25日～12月17日
(2022年度)	2022年10月31日～12月23日



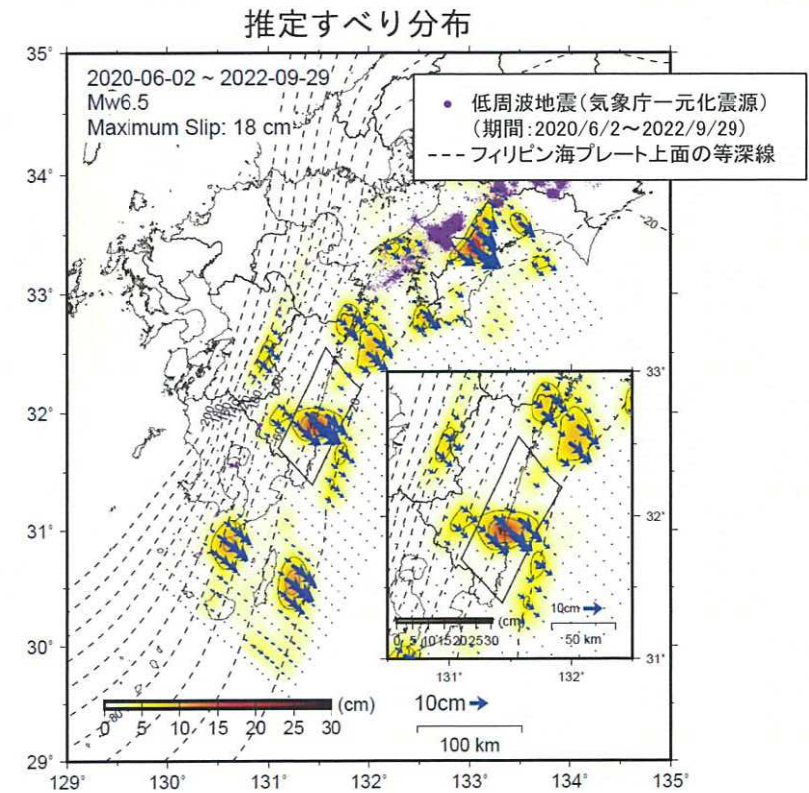
※電子基準点は、国土地理院によるGNSS観測点で、観測路線近傍に設置されている箇所を表示。

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[固定点の考え方]

- 固定点は、大正噴火後の地殻変動範囲を参考に、火山活動の影響が小さい地点を採用している。
- また、現在固定点を設定していない始良カルデラの北部～東部域において、北部は霧島山による隆起の影響、東部は日向灘の地震や長期的ゆっくりすべり(SSE)による変動の影響を受ける領域であるため、これらを除く3点を固定点とする。



GNSSデータから推定した2016年11月～2021年11月の鉛直変動率
(2021年度報告の図に加筆)

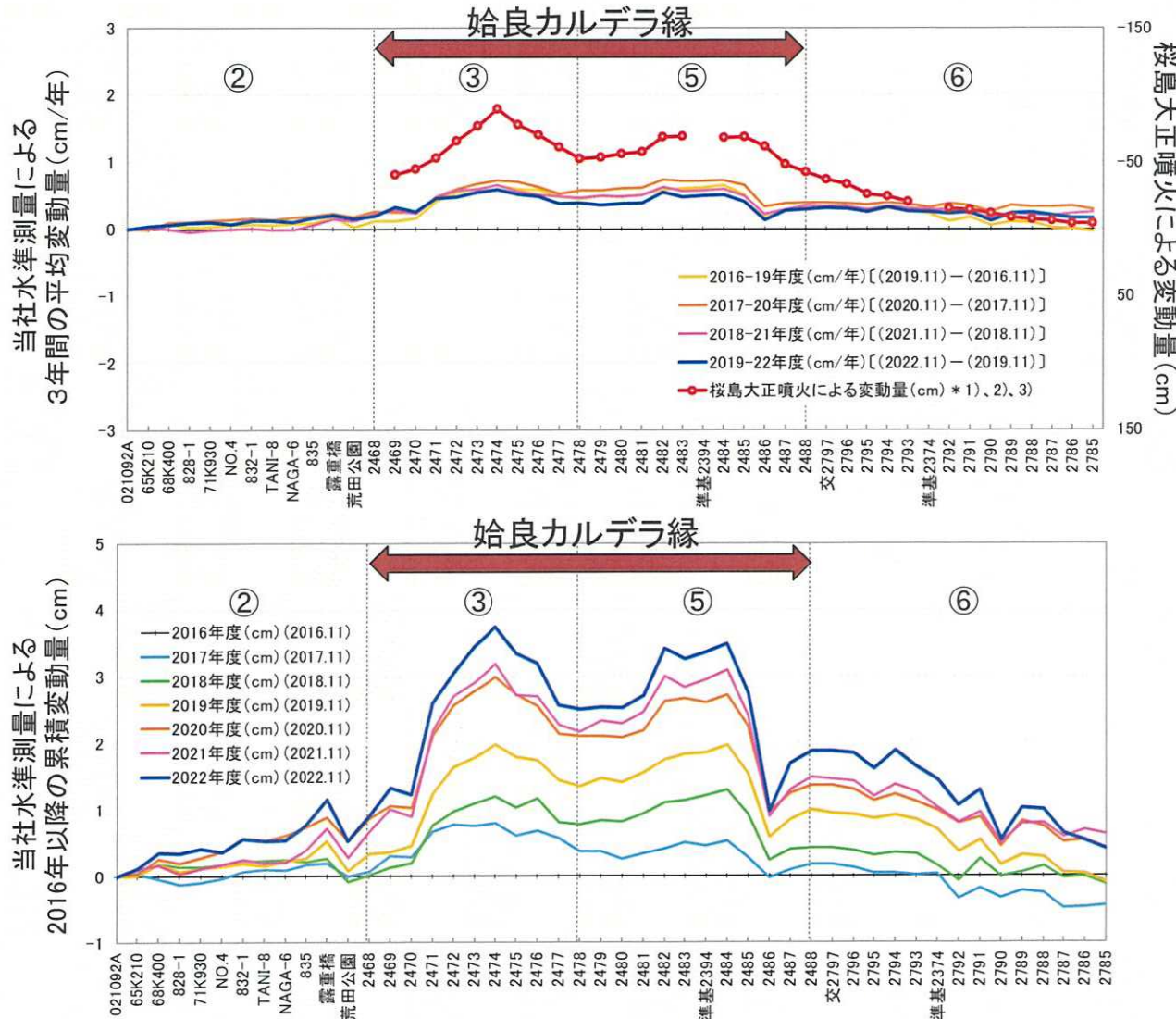


日向灘SSEの変動域
(2022年10月の地震活動(地震本部)に加筆)

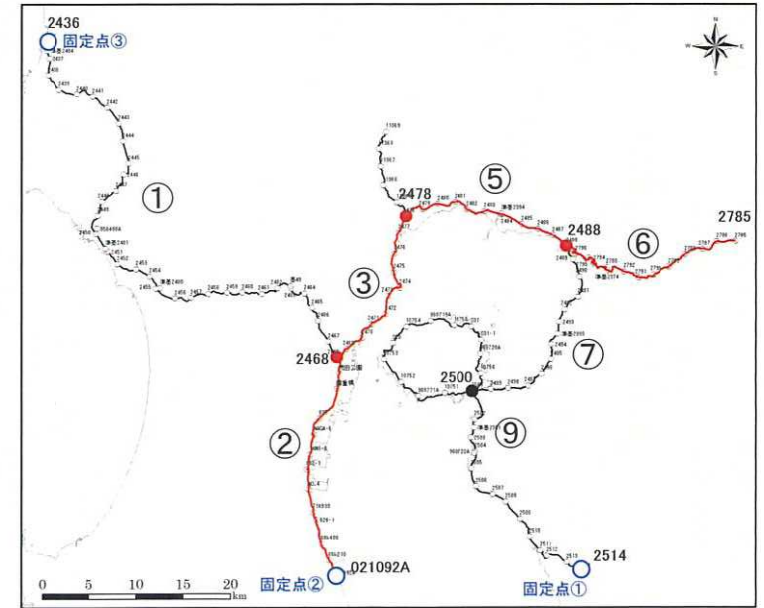
- 「2022年10月の地震活動」(地震本部)によると、日向灘南部のフィリピン海プレートと陸のプレートの境界深部における長期的ゆっくりすべり(SSE)に起因すると考えられる地殻変動が、2020年夏頃から観測されており、2021年夏頃から停滞し始め、その後収束したとされる。
- 2022年以前にも、Yarai and Ozawa (2013)、Takagi et al. (2019)等で日向灘南部におけるSSEが報告されている。また、Takagi et al. (2019)では四国西部～日向灘南部における長期的SSEの再来間隔が推定されており、日向灘南部においては特に短く3年前後である。

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[結果]

・水準測量の結果より、2022年度の始良カルデラ縁の変動量は、2021年度には鈍化していたが、例年レベルの隆起量に戻ったことが分かる。また、桜島の測線の変動量も例年と同程度であることから、始良カルデラ縁、桜島の測線ともに顕著な隆起は無いことを確認した。

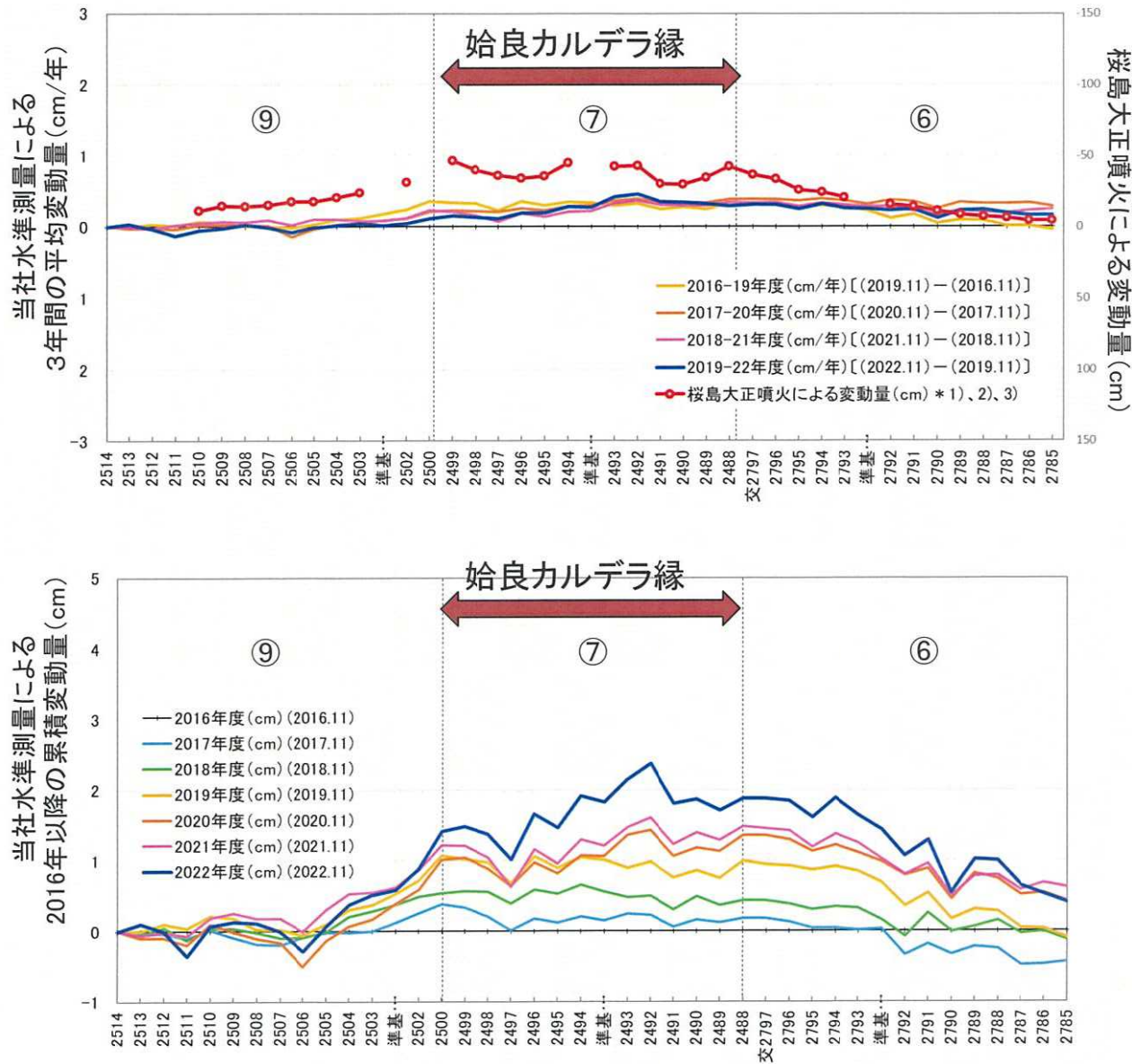


水準測量による鉛直変動量の比較

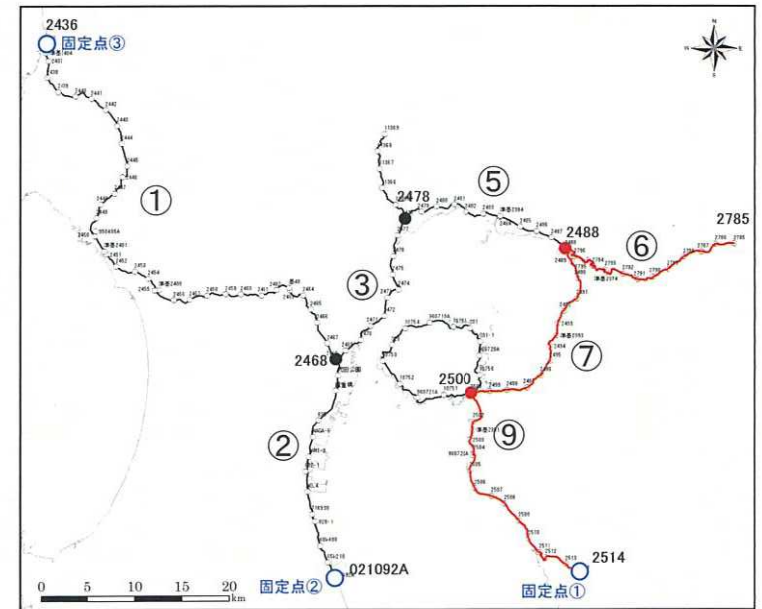


- 1) 出典：Omori (1916)
- 2) 桜島大正噴火前後の水準測量対象期間
噴火前：1892年2月、4月、1895年1月、1900年3月
噴火後：1914年6～8月、12月
- 3) 鉛直変動量の標高固定点No.「付4」（宮崎県日向市細島）の水準点

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[結果]

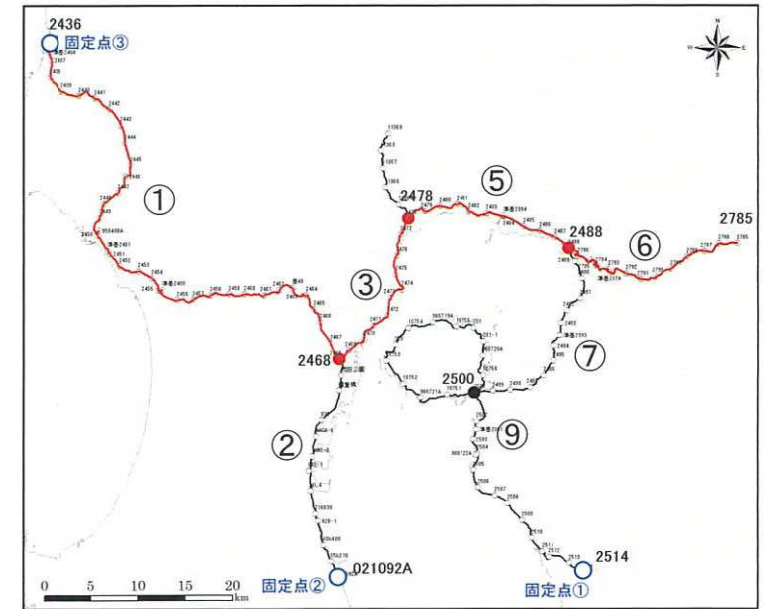
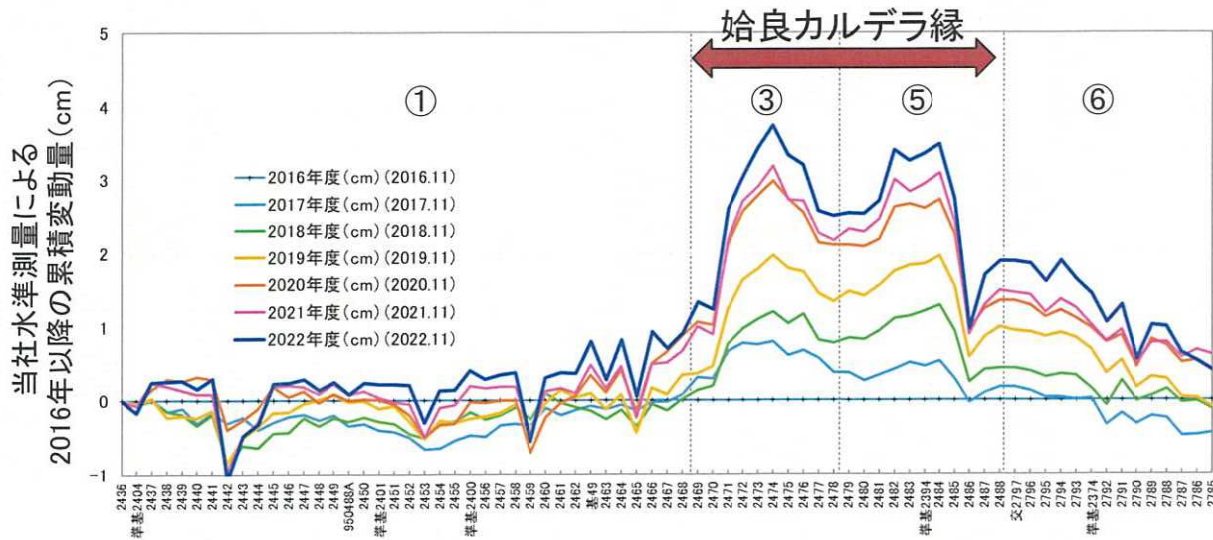
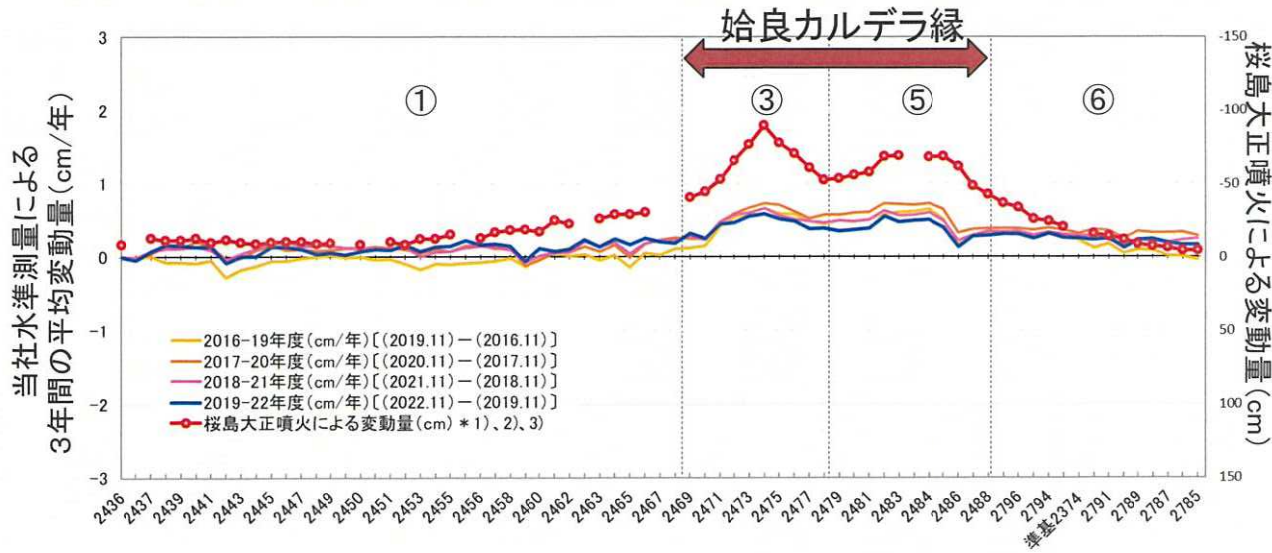


水準測量による鉛直変動量の比較



- 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

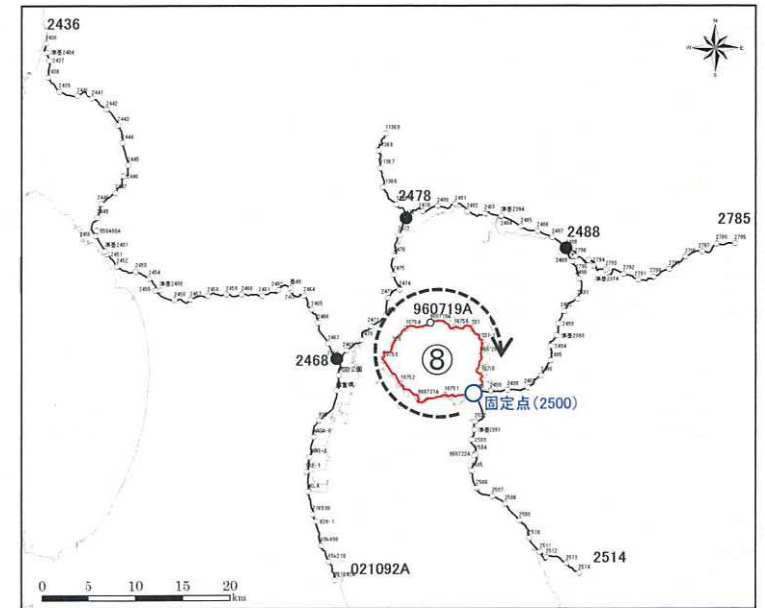
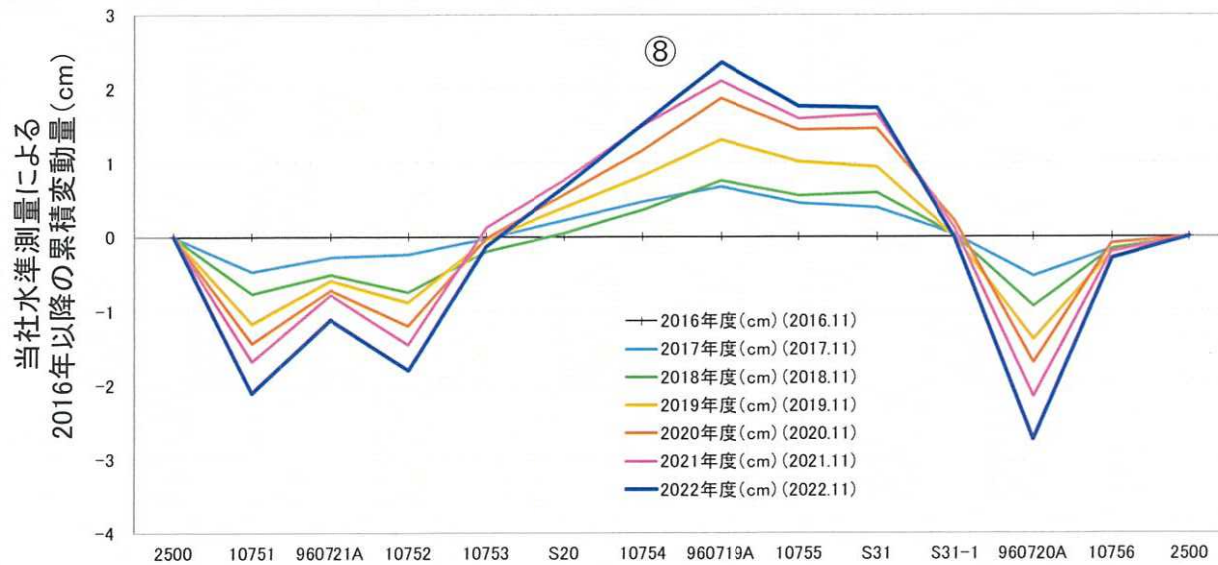
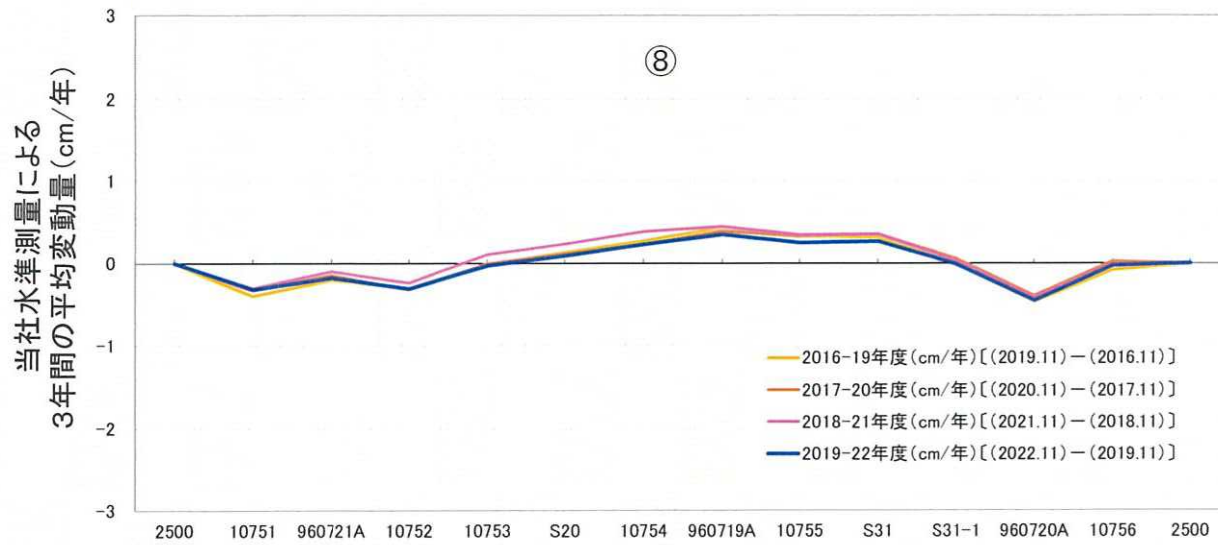
3. 始良カルデラ周辺の水準測量[結果]



水準測量による鉛直変動量の比較

- 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

3. 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動量の比較

3. 始良カルデラ周辺の水準測量[2021年度水準測量結果の考察]

- 2021年度の水準測量結果(2020年11月～2021年11月)については、他年度と比較して変動量が小さい。
- 桜島の2018年から2023年3月までの月別噴火回数及び降灰量から桜島の火山活動を確認すると、2020年の夏頃から噴火活動は低調となり、その傾向は2022年夏頃まで継続するが、再び噴火活動が活発化していることが分かる。
- 水準測量結果と比較すると、隆起が鈍化した2021年はその前後期間において桜島の活動が低下していたことから、地下深部からのマグマ供給が減少しており、その傾向が隆起量に反映された可能性が考えられる。

桜島の月別噴火回数

桜島の火山活動が低調な期間
 ↔ 2021年度水準測量結果として差分をとる期間

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
2023	14 (0)	30 (4)	30 (8)										74 (12)
2022	7 (0)	2 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (0)	3 (0)	37 (0)	71 (0)	36 (0)	39 (0)	17 (0)	20 (0)	235 (0)
2021	21 (0)	22 (0)	31 (0)	42 (0)	11 (0)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	4 (0)	1 (0)	4 (0)	7 (0)	145 (0)
2020	104 (0)	129 (0)	26 (0)	51 (0)	51 (0)	28 (0)	0 (0)	1 (0)	7 (0)	2 (0)	8 (0)	25 (0)	432 (0)
2019	8 (0)	15 (0)	29 (0)	10 (0)	15 (0)	5 (0)	9 (0)	0 (0)	32 (0)	62 (0)	137 (0)	71 (0)	393 (0)
2018	13 (1)	7 (0)	44 (0)	69 (3)	96 (0)	35 (0)	29 (0)	64 (0)	44 (0)	8 (0)	14 (0)	56 (0)	479 (4)

※桜島では噴火活動が活発なため、噴火のうち、爆発もしくは一定規模以上の噴火の回数を計数しています。
 ※括弧内の数字は、このうちの昭和火口からの噴火回数を表しています。

桜島の月別降灰量(g/m²)

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)を一部抜粋して加筆

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年合計
2023	2,890	2,202	2,575										7,667
2022	965	490	144	157	217	136	4,330	5,491	3,434	3,296	833	1,740	21,233
2021	4,211	1,770	6,224	5,151	1,929	169	269	171	358	209	223	487	21,171
2020	9,913	17,405	8,567	10,787	7,442	7,018	156	2,465	510	628	733	4,123	69,747
2019	1,292	3,076	6,657	3,151	3,993	1,951	1,323	584	5,022	11,807	20,255	14,855	73,966
2018	13,439	1,193	8,671	15,014	27,611	22,447	10,285	9,219	5,417	1,712	4,181	9,380	128,569

鹿児島県による「桜島降灰量観測結果」(2023年4月14日現在)を一部抜粋して加筆