

余 白

## ④ 阿多カルデラ [活火山に関する公的機関の評価概要]

### ○開聞岳（出典：第147回 火山噴火予知連絡会資料）

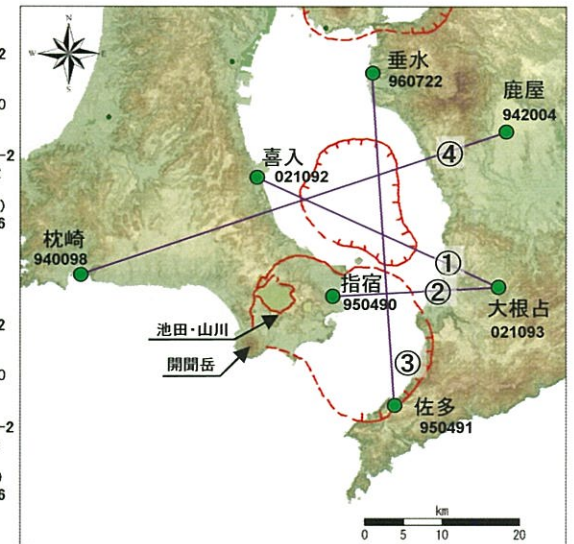
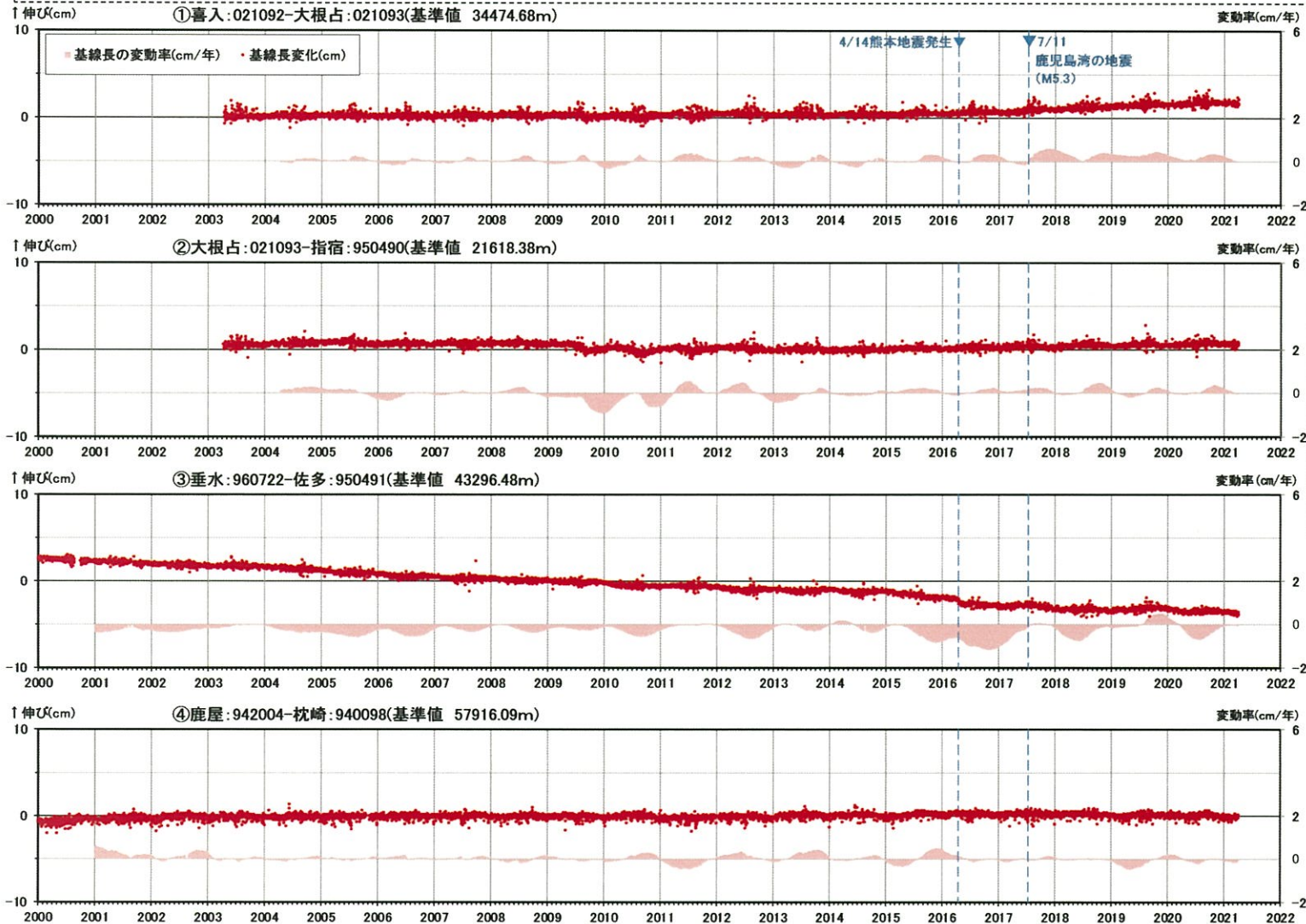
- ・火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候はみられない。

### ○池田・山川（出典：第147回 火山噴火予知連絡会資料）

- ・火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候はみられない。

## ④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

- ・ 2020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、熊本地震の本震(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が見られるため、今後の地殻変動に留意していく。

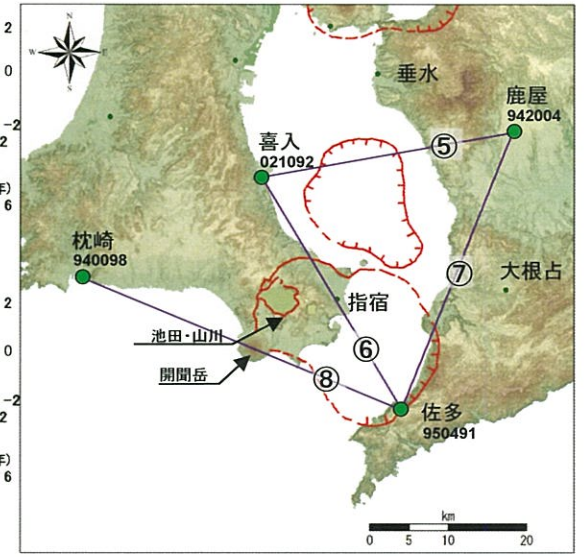
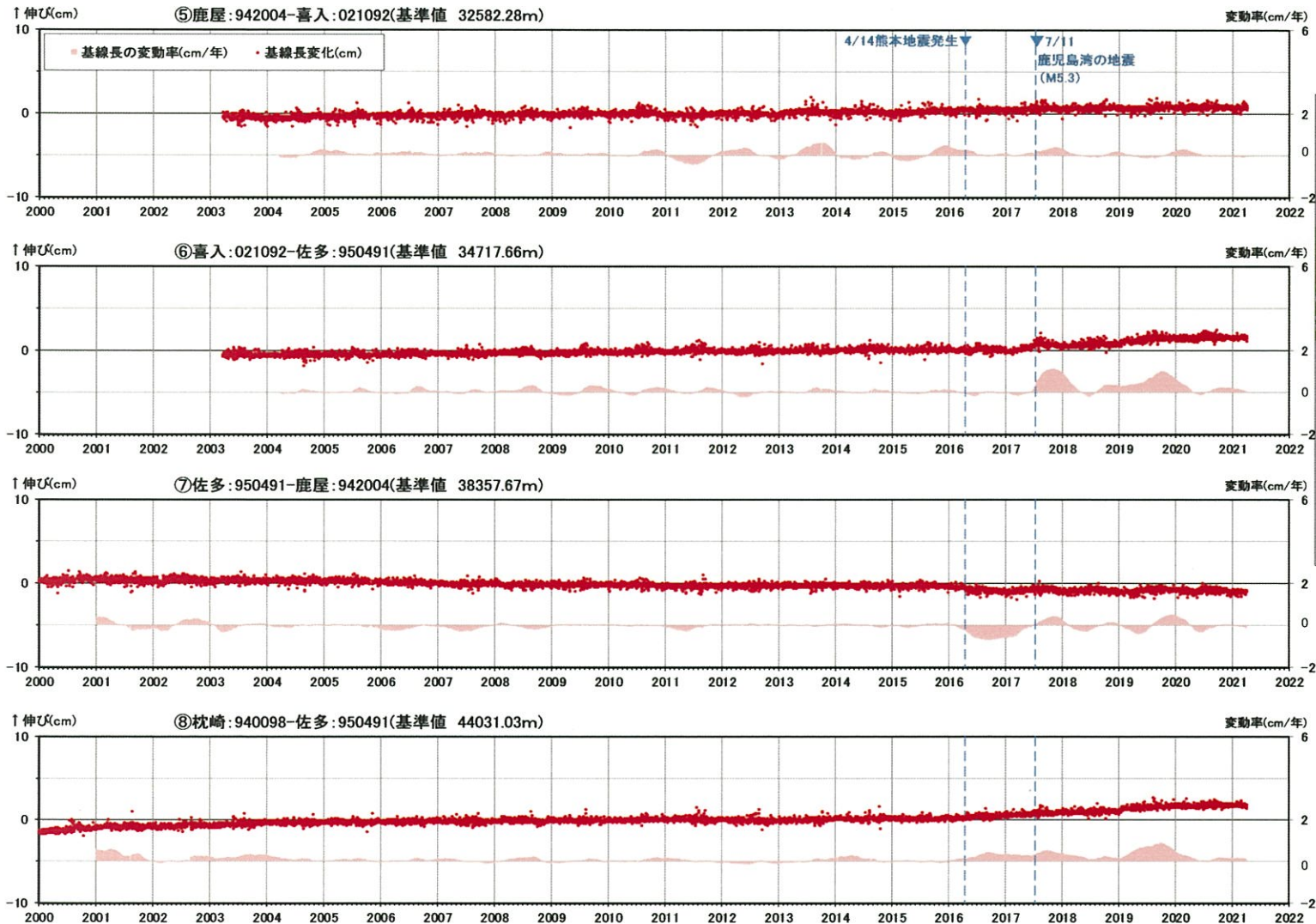


● 国土地理院のGNSS観測点

- ※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

基線①～④の時系列変化

# ④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

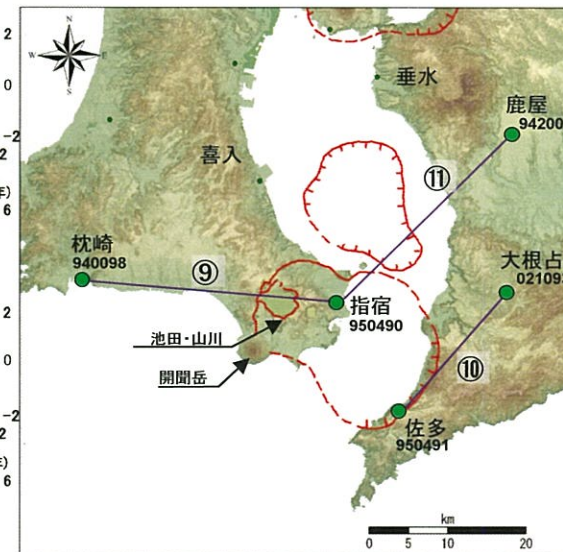
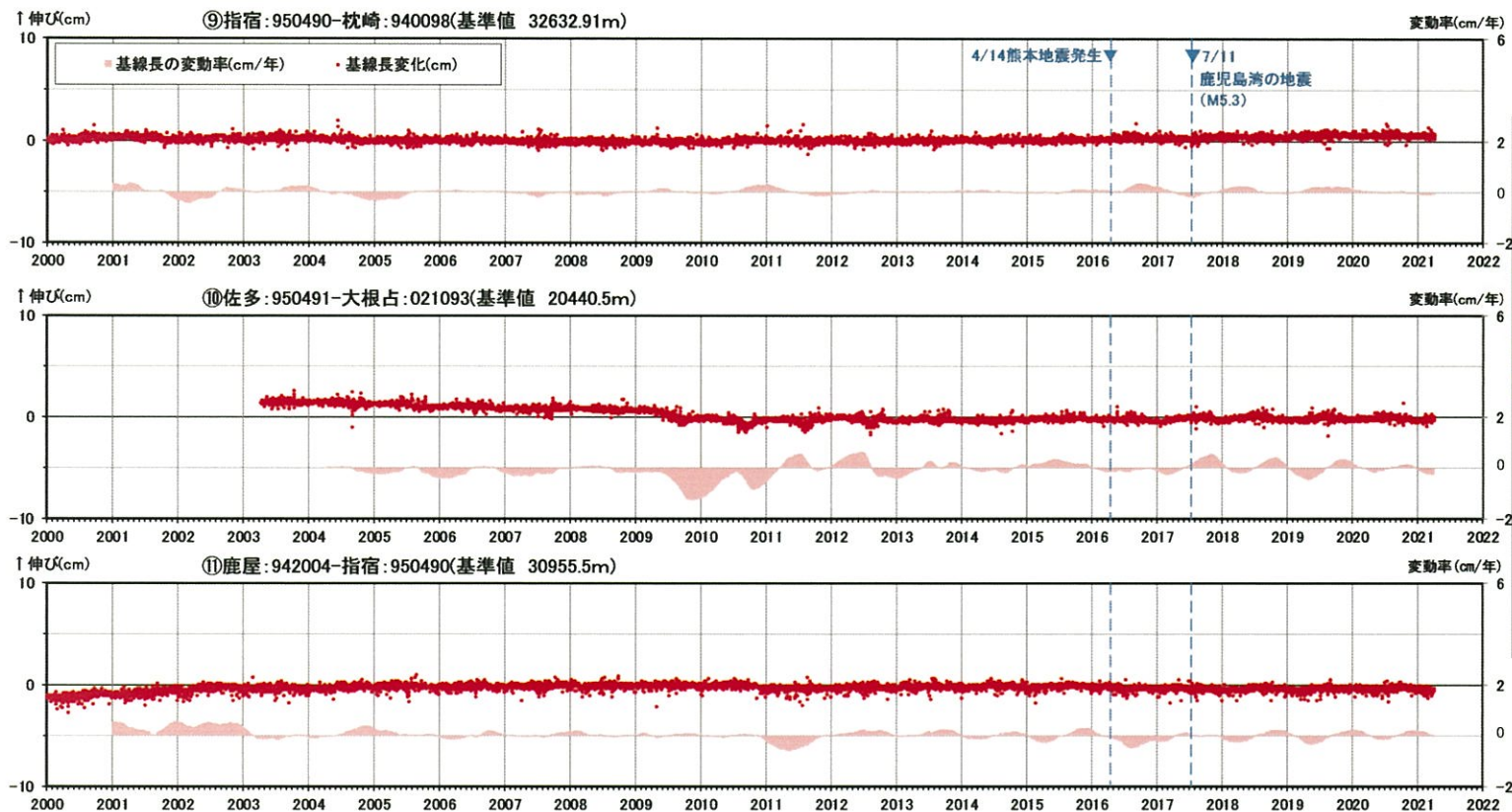


● 国土地理院のGNSS観測点

※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

基線⑤～⑧の時系列変化

# ④ 阿多カルデラ [地殻変動: 基線長変化]

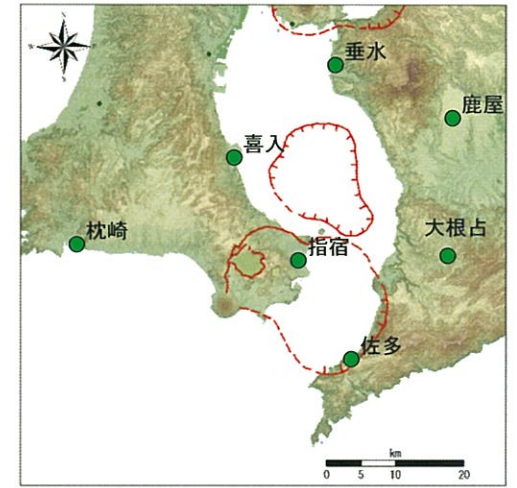
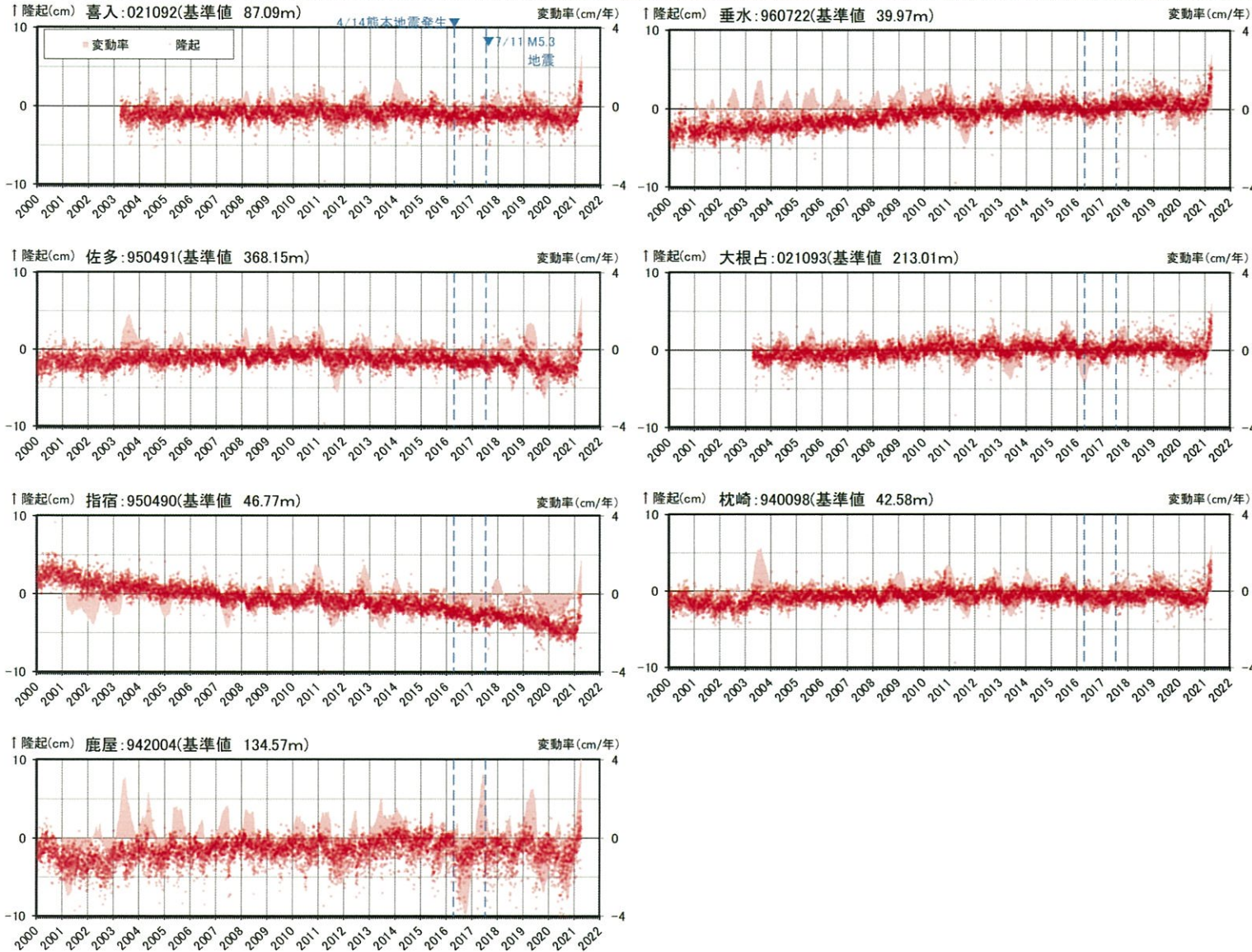


基線⑨～⑪の時系列変化

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

# ④ 阿多カルデラ [地殻変動:各観測点の鉛直変動]

・2020年度の鉛直変動は、2021年2月頃以降隆起傾向が認められるものの、この隆起傾向は日本全域で見られるものであり、阿多カルデラへのマグマ供給を示唆するものではないと判断している。



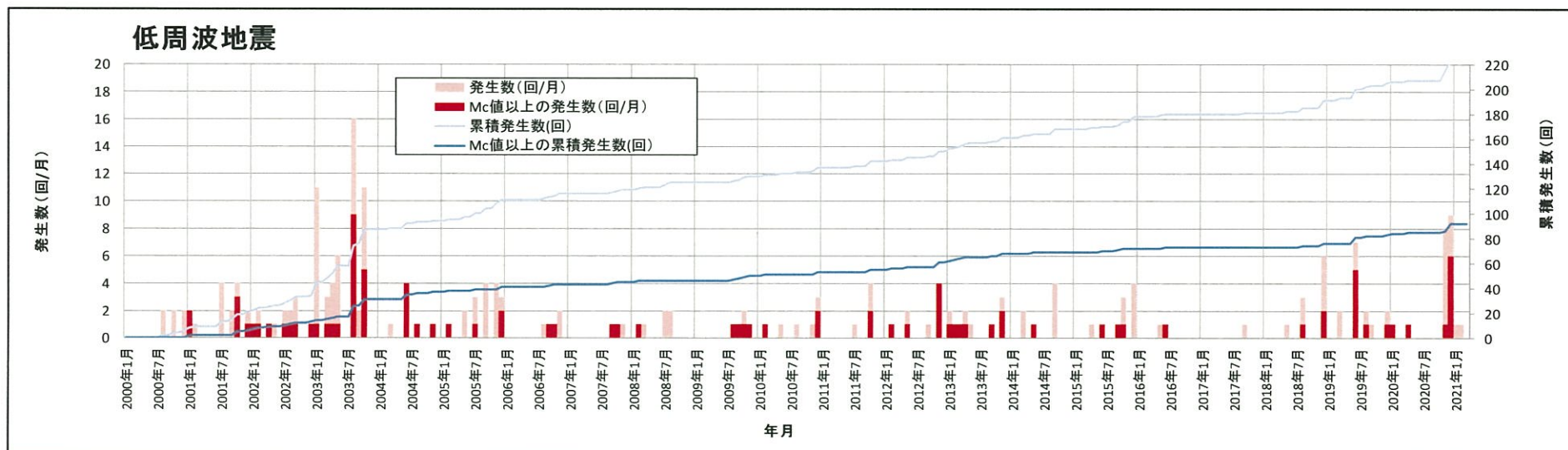
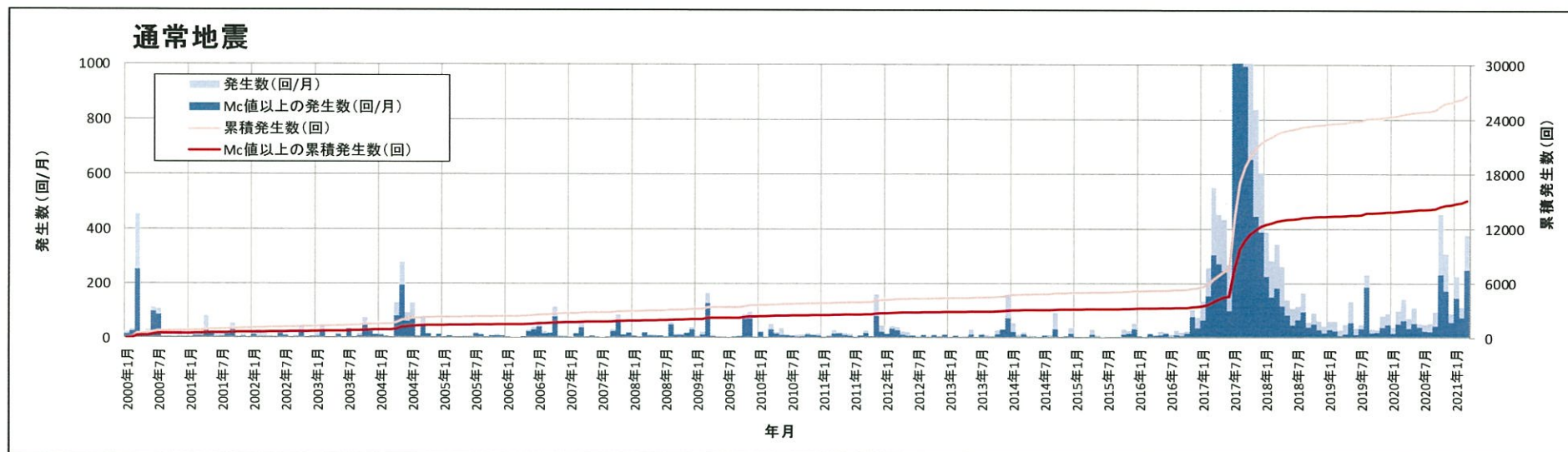
※1 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

余 白

## ④ 阿多カルデラ [地震活動：2000年以降の地震発生数の推移]

- ・2020年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2017年に生じた地震と同じ北側のカルデラにおいて、2020年2月以降に増加傾向にある。また、開聞岳付近における低周波地震の増加も認められることから、今後の地震活動に留意していく。

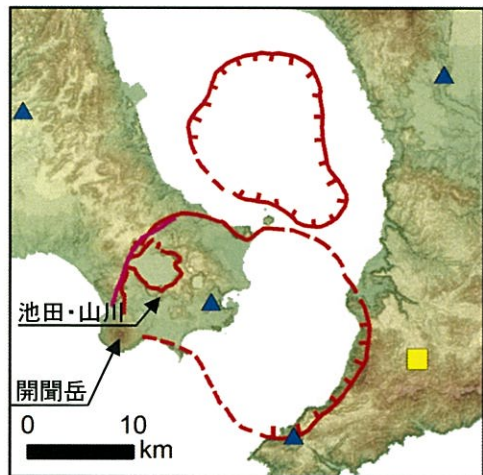


[ Mc値(2000~2020年データ使用) ] 通常地震：0.6 低周波地震：0.9

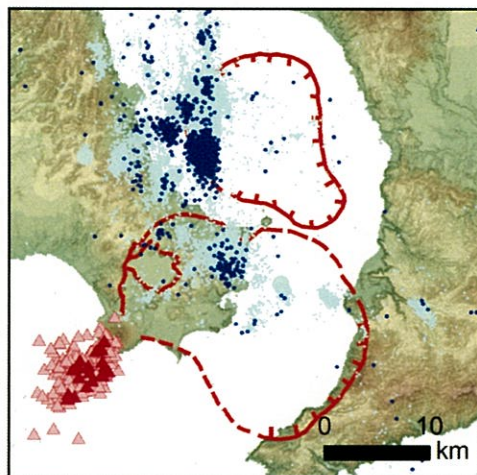


# ④ 阿多カルデラ [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

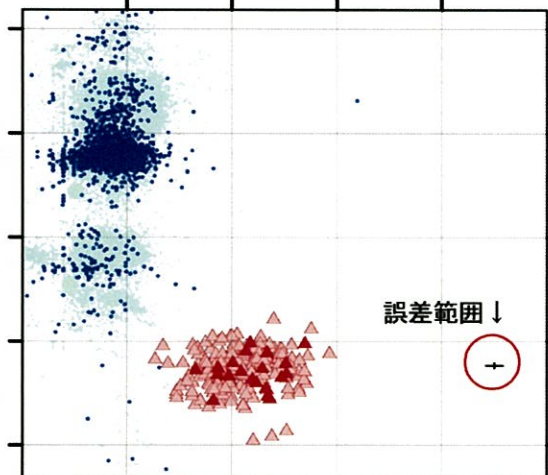
地震観測点



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

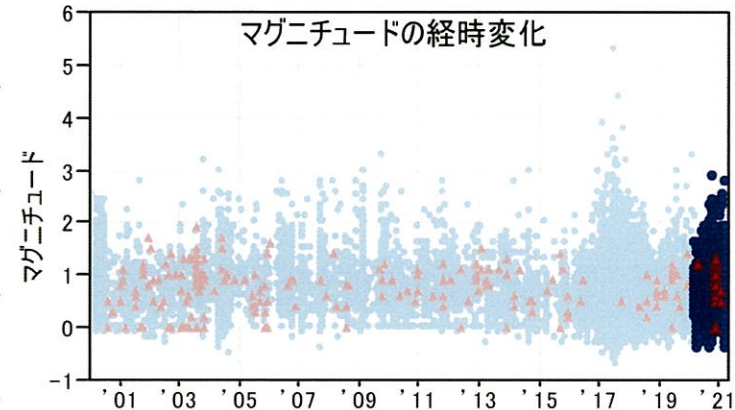
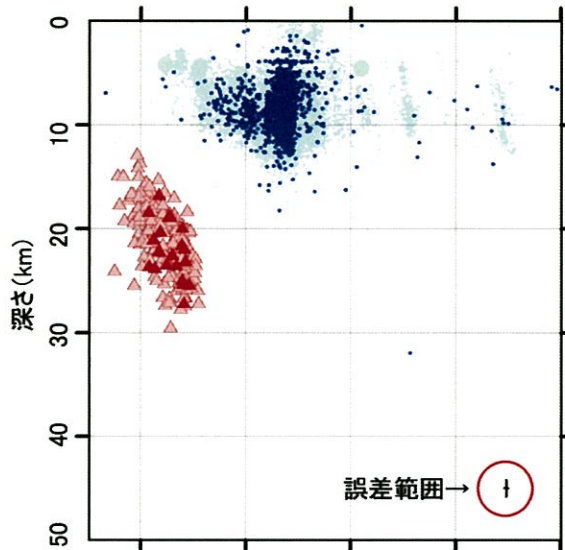
### 震 源

(2020年4月以降は右のシンボル)

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

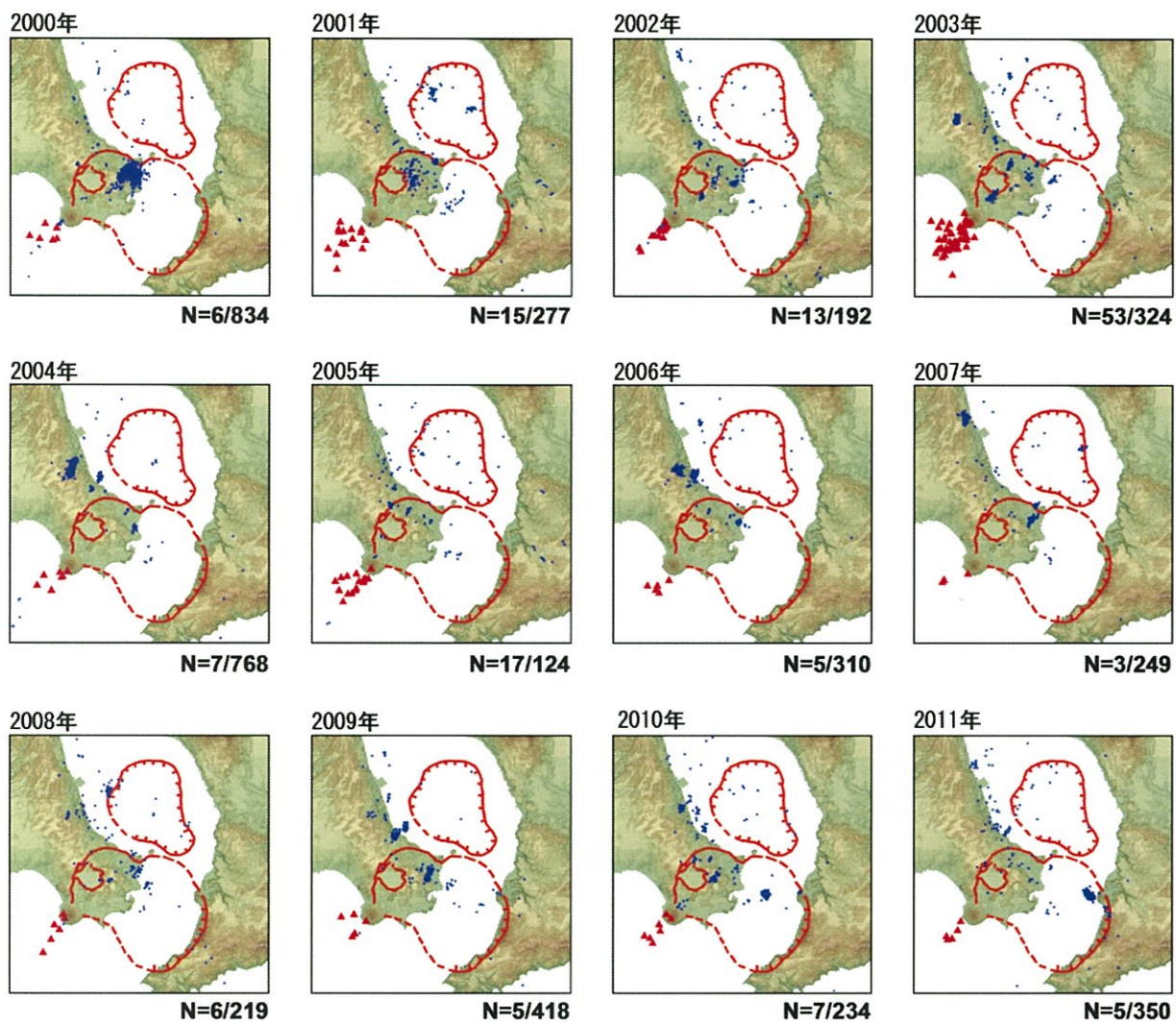
### 低周波地震

- 低周波地震
- 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。2020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 (2020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]



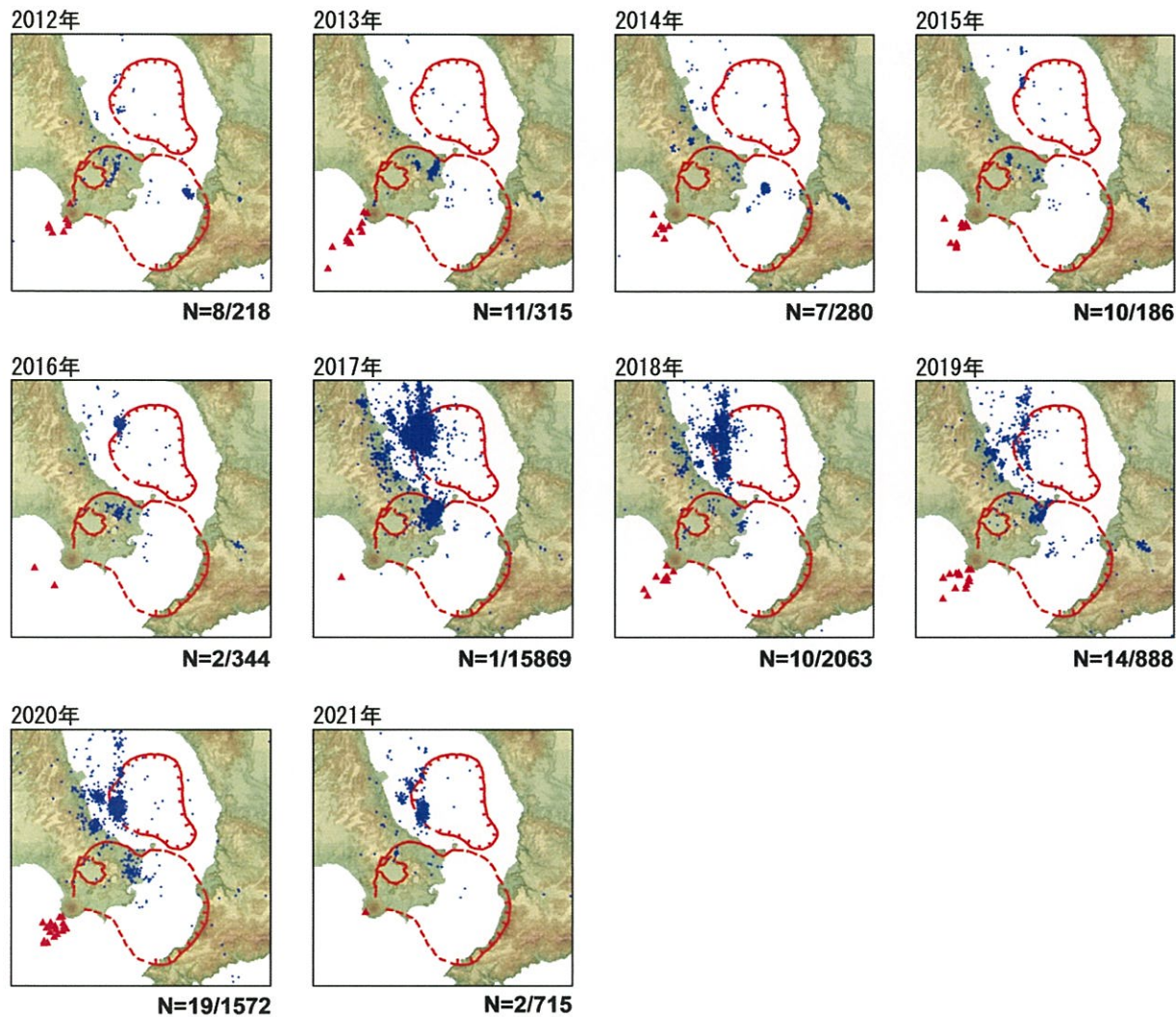
### 最近の主な噴火

西暦885年の噴火以降、顕著な火山活動は発生していない。

● 5 ≤ M < 6 (低周波地震) ● 4 ≤ M < 5 ● 3 ≤ M < 4 ● M < 3 (通常の地震) ▲ 火山地震

\*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。

## ④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]

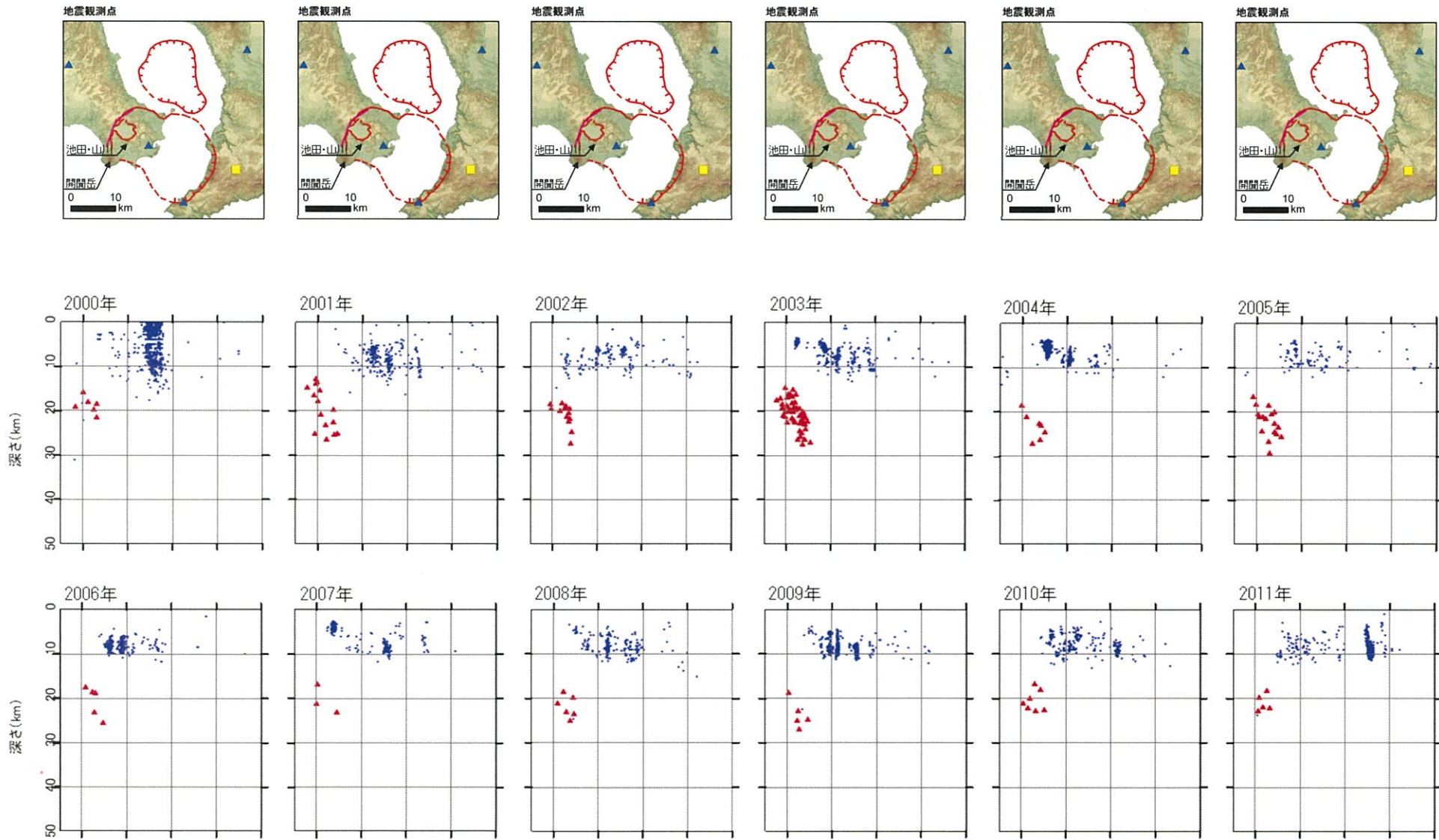


最近の主な噴火  
西暦885年の噴火以降、顕著な火山活動は発生していない。

● 5 ≤ M < 6 (低周波地震) ● 4 ≤ M < 5 ● 3 ≤ M < 4 ● M < 3 (通常の地震) ▲ 低周波地震

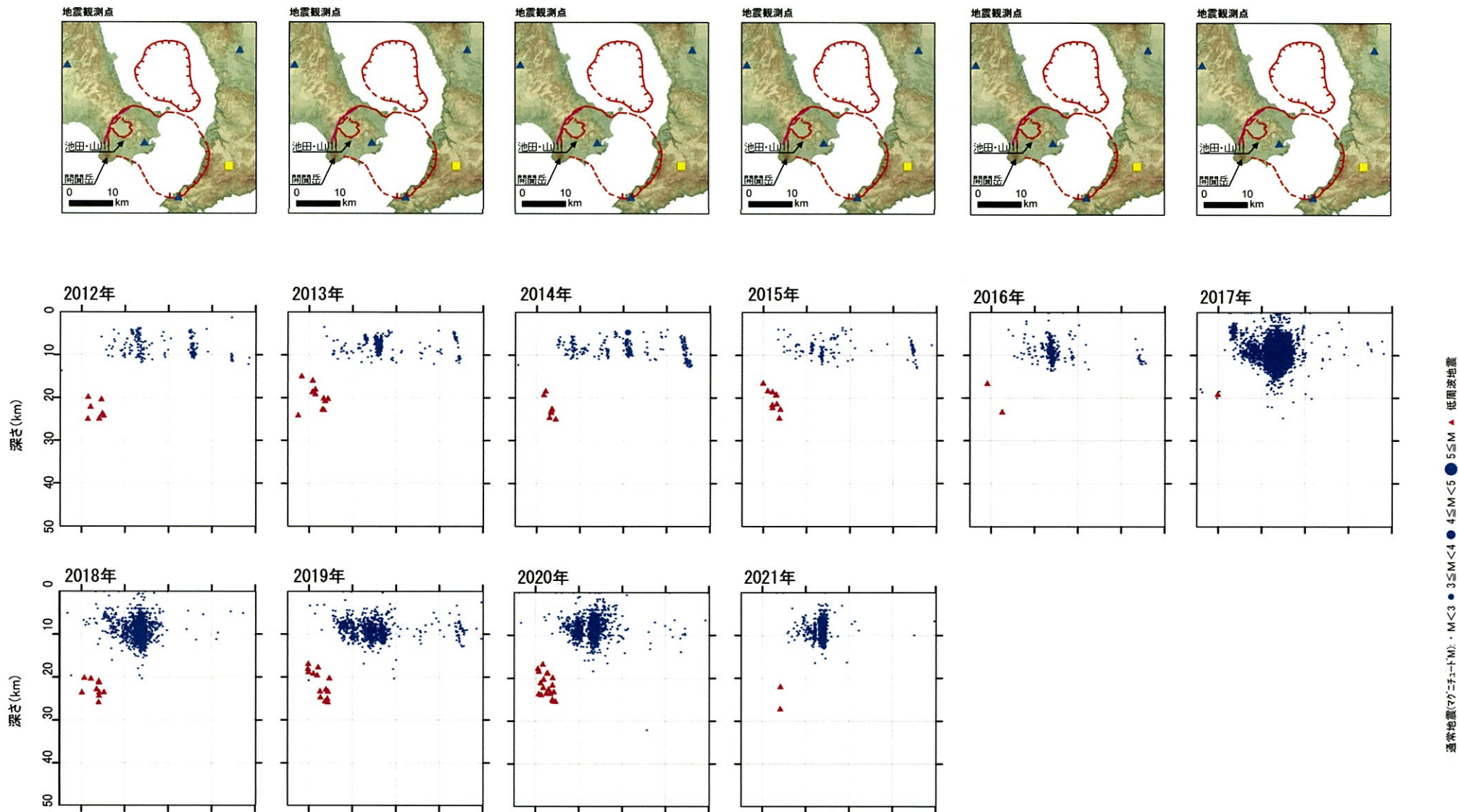
\*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。ただし、2021年は3月31日までのもの。

# ④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]

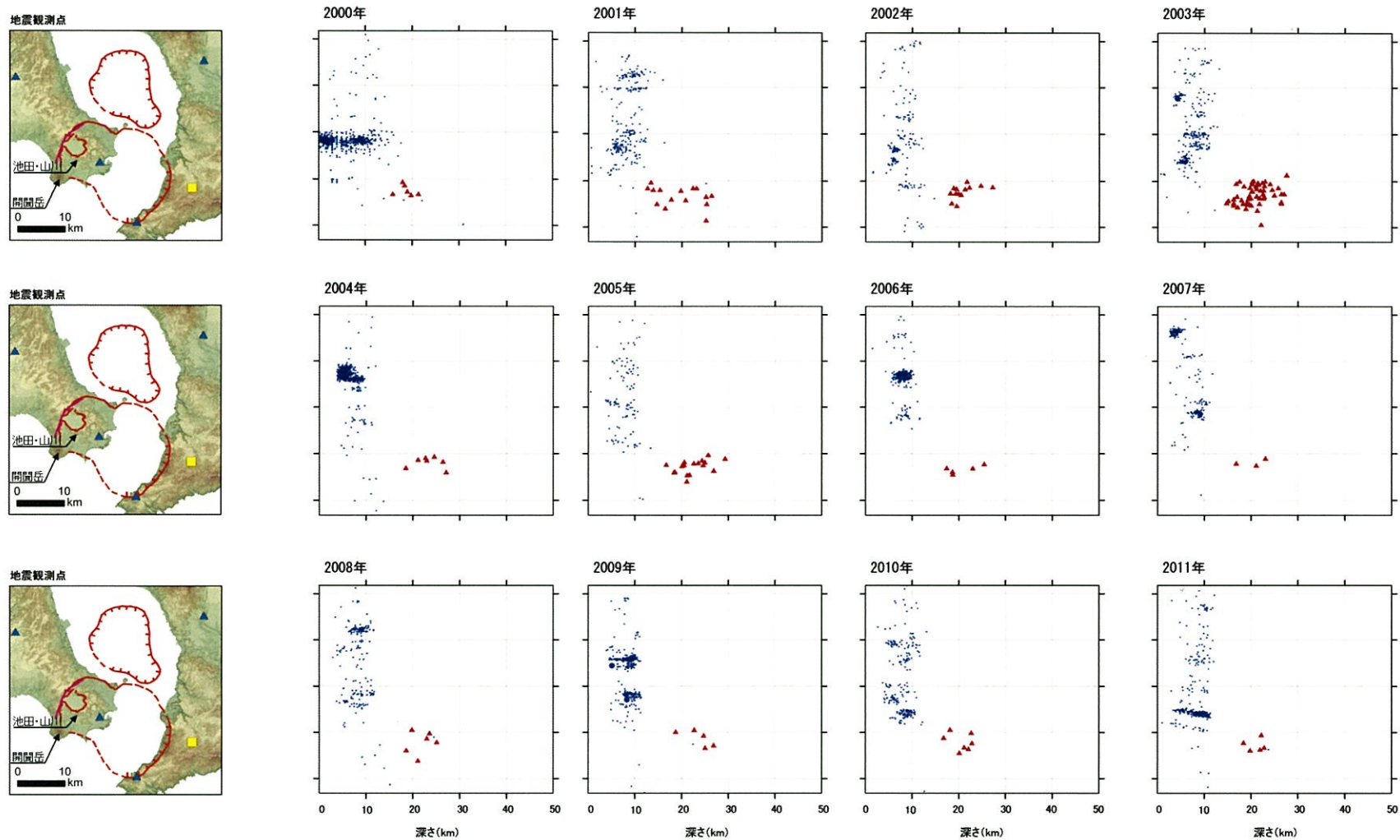


震源深度(マグニチュード):  $M < 3$  ●  $3 \leq M < 4$  ●  $4 \leq M < 5$  ●  $5 \leq M$  ▲ 低周波地震

# ④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]

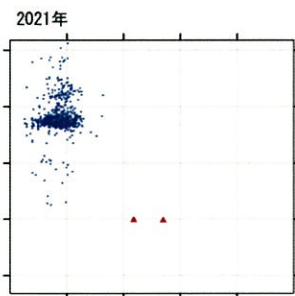
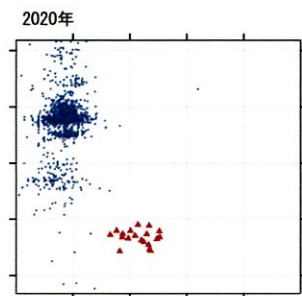
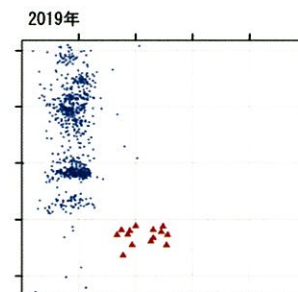
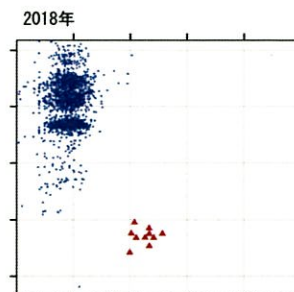
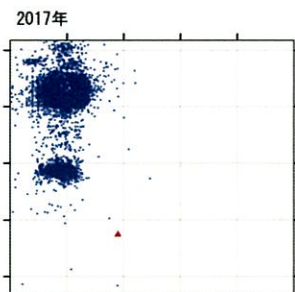
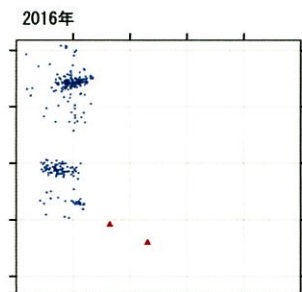
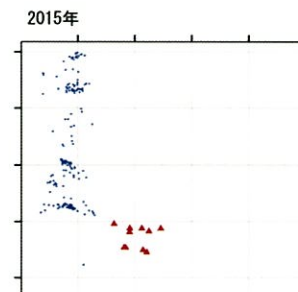
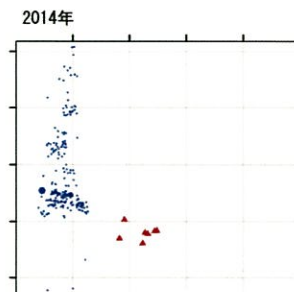
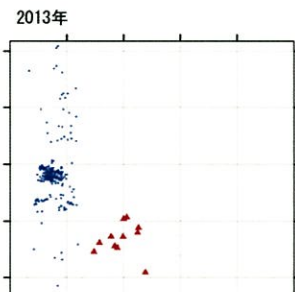
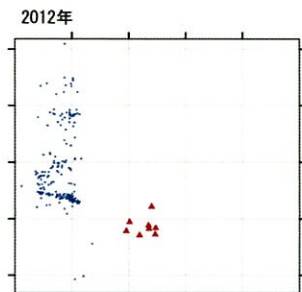


# ④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



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

# ④ 阿多カルデラ [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



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

## 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、火山活動の特段の変化はなく、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、2020年度は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。
- ・ 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、2020年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、2017年に生じた地震と同じ北側のカルデラにおいて、2020年2月以降に増加傾向にある。また、開聞岳付近における低周波地震の増加も認められることから、今後の地震活動に留意していく。

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、2020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

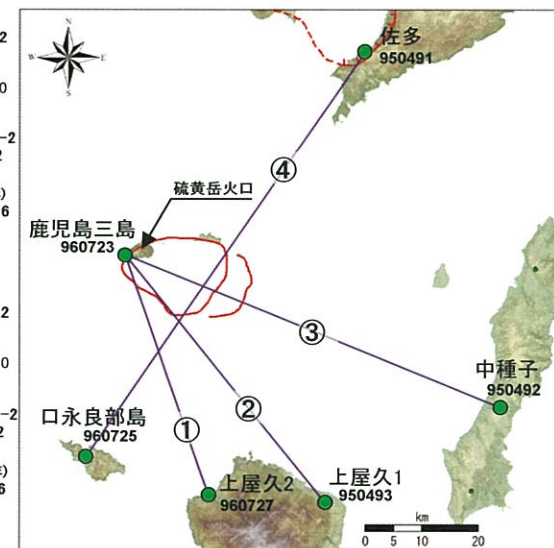
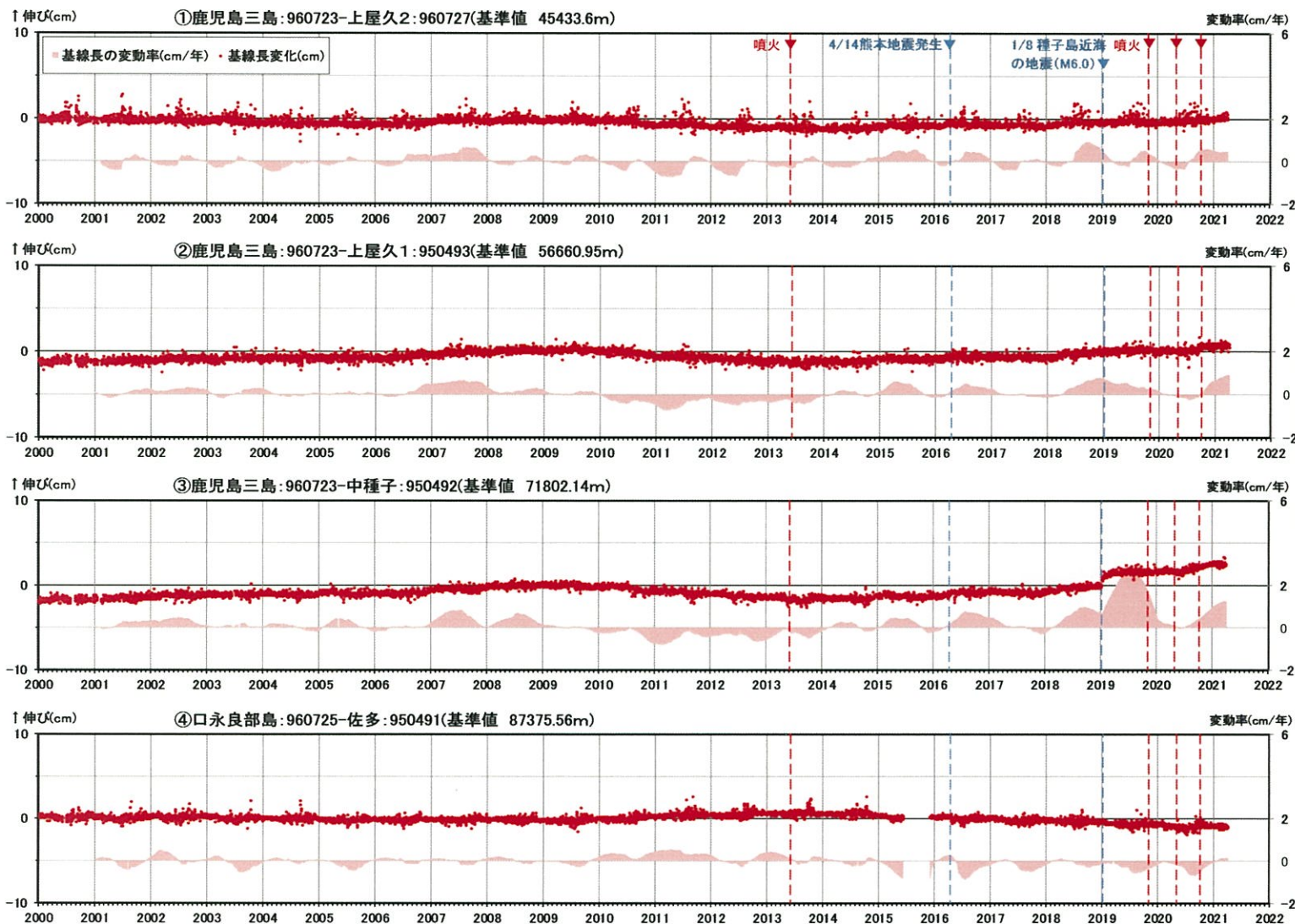
## ⑤ 鬼界 [活火山に関する公的機関の評価概要]

### ○薩摩硫黄島（出典：火山活動解説資料2020年 年報、火山活動解説資料2021年3月）

- ・ 薩摩硫黄島では、硫黄岳火口で、4月29日及び10月6日に噴火が発生した。これらの噴火に伴う火砕流や大きな噴石、空振は観測されなかった。
- ・ 1月21日に実施した上空からの観測では、硫黄岳火口から白色の噴煙が上がっているのを確認したが、火口内の状況は噴煙により確認できなかった。火口縁周辺や山腹からは噴気が上がっているのを確認した。また10月28日から11月1日に実施した現地調査では、硫黄岳の北側から西側の山腹で引き続き噴気と地熱域を観測した。いずれの観測においてもこれまでと比較して、噴煙の状況や地熱域の分布などに特段の変化は認められなかった。
- ・ 火山性地震は少ない状態で経過し、年回数は1,521回で、前年(2019年:2,341回)に比べ減少した。
- ・ GNSS連続観測では、島内の一部の基線で、2019年後半からのわずかな伸びが7月頃からわずかな縮みに転じたが、その変化は鈍化傾向となっている。
- ・ 火山ガス(二酸化硫黄)の放出量は、概ねやや多い状態で経過した。
- ・ 10月7日以降、噴火は発生していないが、夜間に火映が観測され、時折噴煙が高くなるなど、長期的には熱活動が高まった状態が続いている。

## ⑤ 鬼界 [地殻変動: 基線長変化]

- 2020年度の基線長変化は、鬼界へのマグマ供給を示唆する広範囲な伸びの傾向は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、2020年7月頃以降、基線②、③において伸びの傾向が認められていたが、2021年1月頃以降は停滞している。



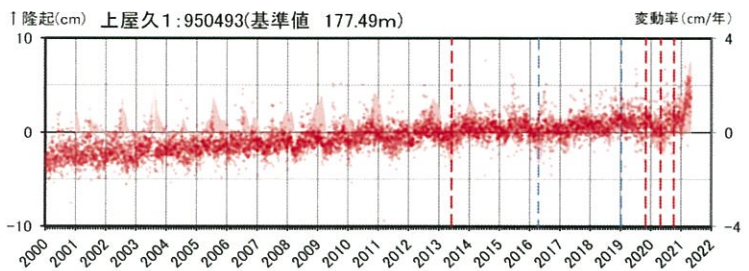
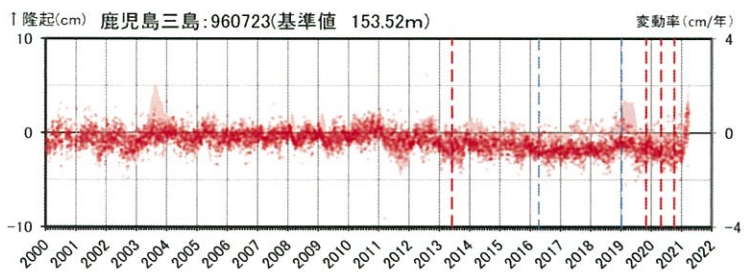
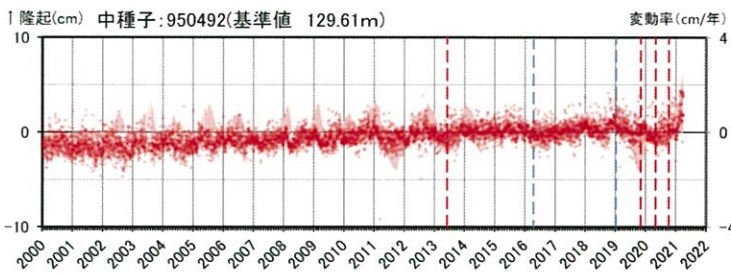
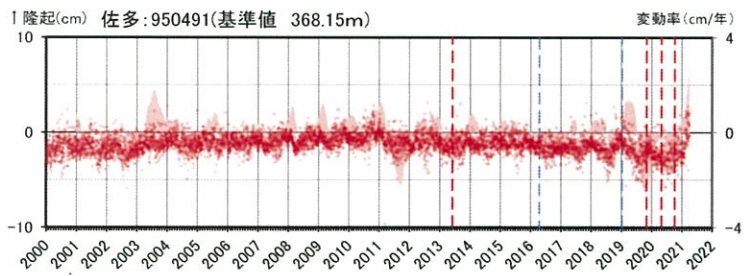
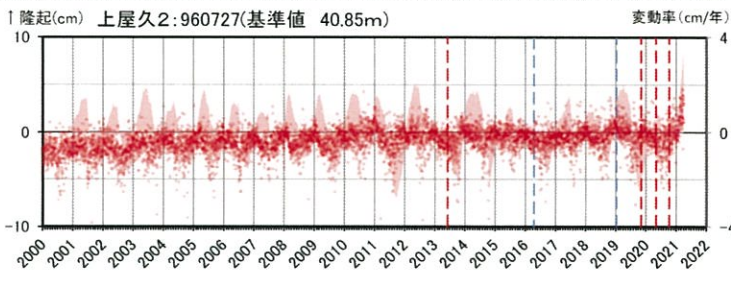
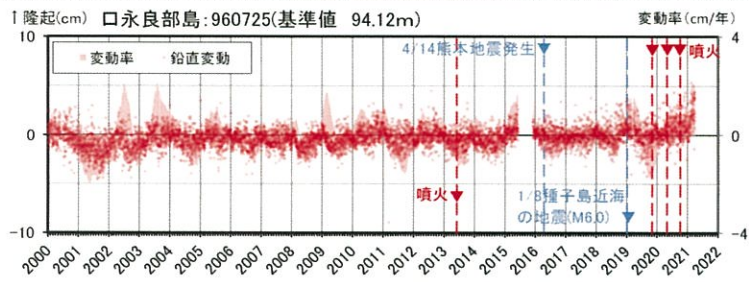
● 国土地理院のGNSS観測点

- ※1 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
- ※2 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
- ※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

基線①～④の時系列変化

## ⑤ 鬼界 [地殻変動: 各観測点の鉛直変動]

・ 2020年度の鉛直変動は、2021年2月頃以降隆起傾向が認められるものの、この隆起傾向は日本全域で見られるものであり、鬼界へのマグマ供給を示唆するものではないと判断している。



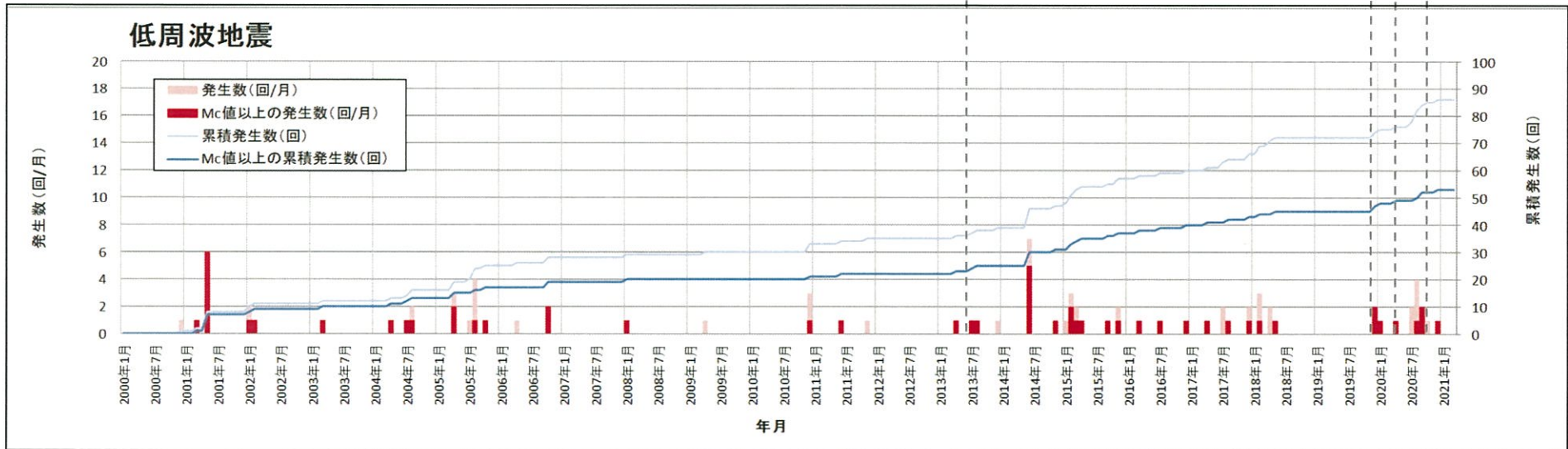
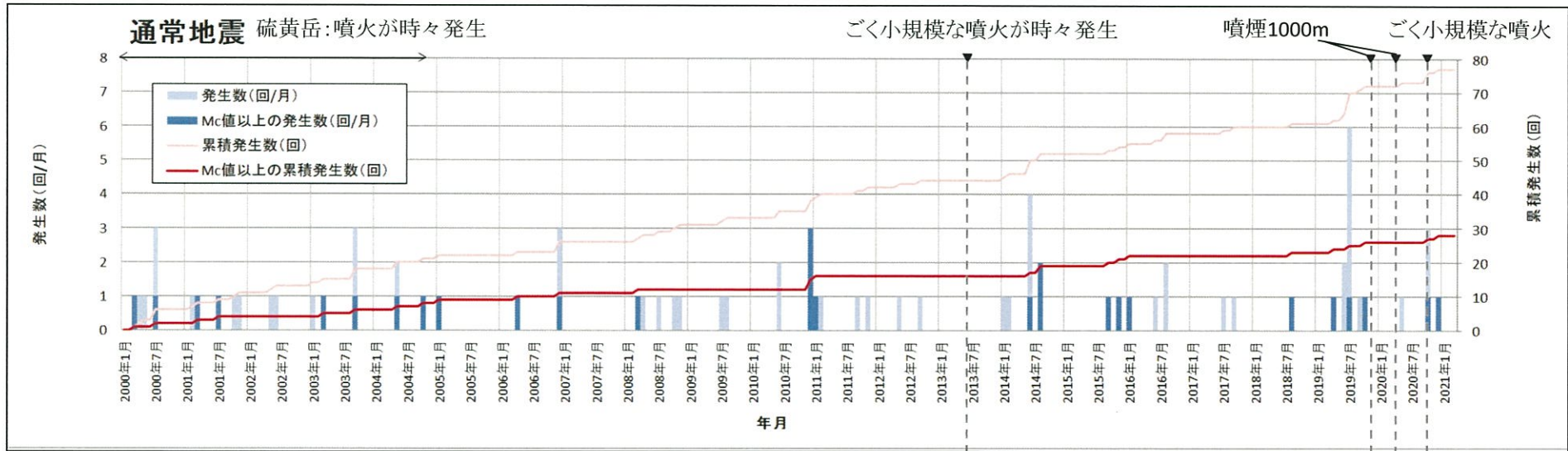
- ※1 口永良部島地点については、2015年5月29日の噴火の影響で停電が発生したことで、6月7日以降欠測停電が解消した12月2日から観測を再開
- ※2 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出

2010年1月1日の楕円体高を基準値とした鉛直変動量

余 白

# ⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の地震発生数の推移]

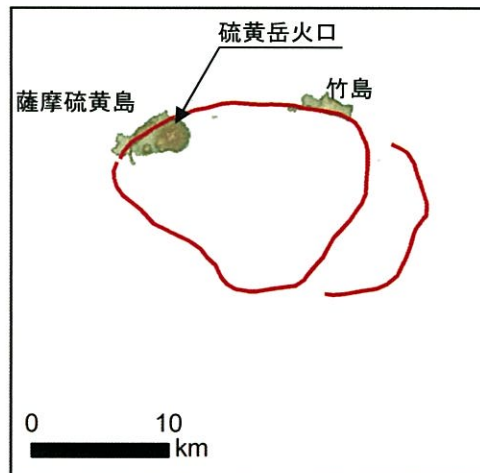
・ 2020年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、過去と比較して有意な変化は認められない。



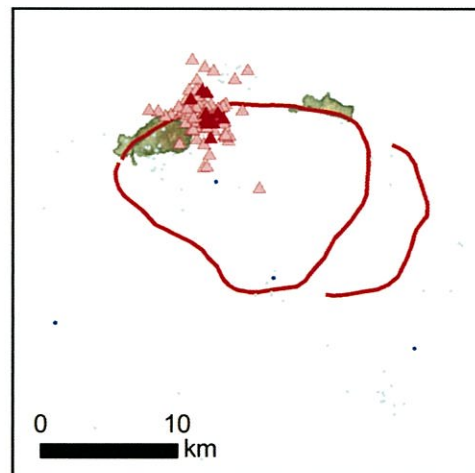
[ Mc値(2000~2020年データ使用) ] 通常地震 : 1.5 低周波地震 : 0.9

# ⑤ 鬼界 [地震活動: 震源分布とマグニチュードの経時変化]

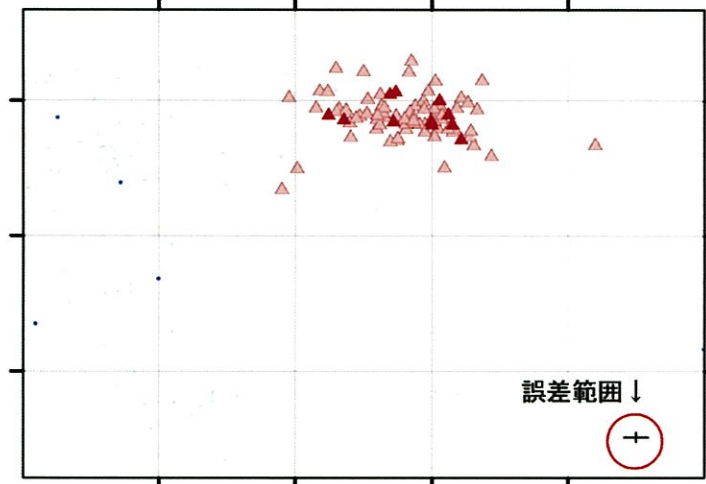
地震観測点



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

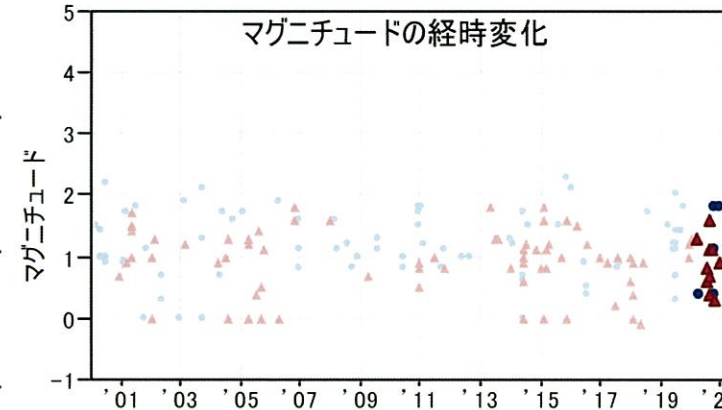
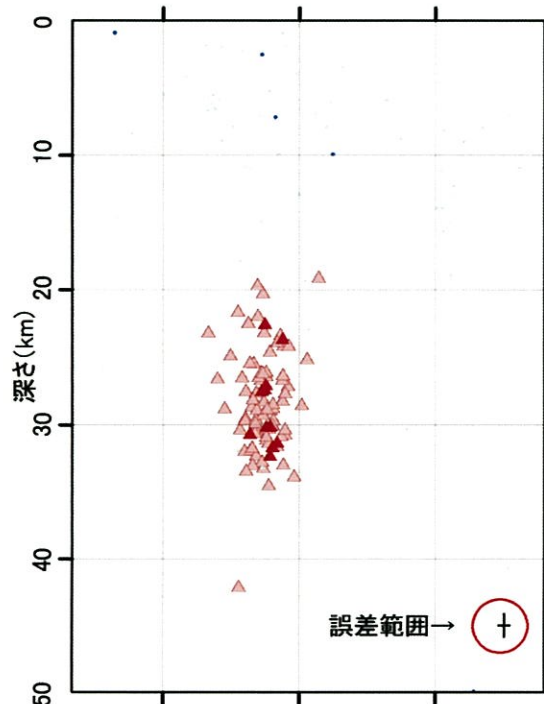
### 震 源

(2020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

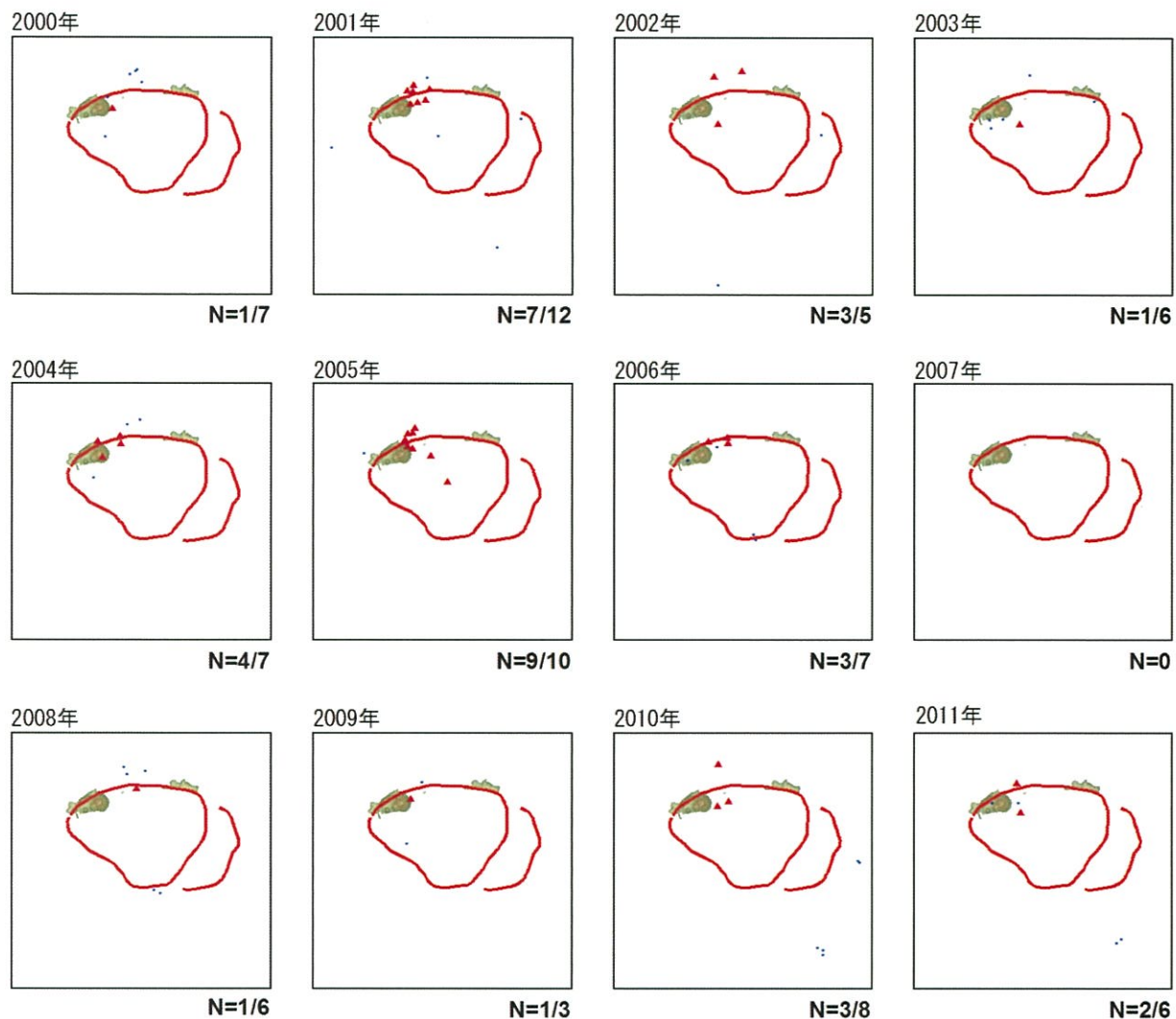
### 活断層

— 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。2020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 (2020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]



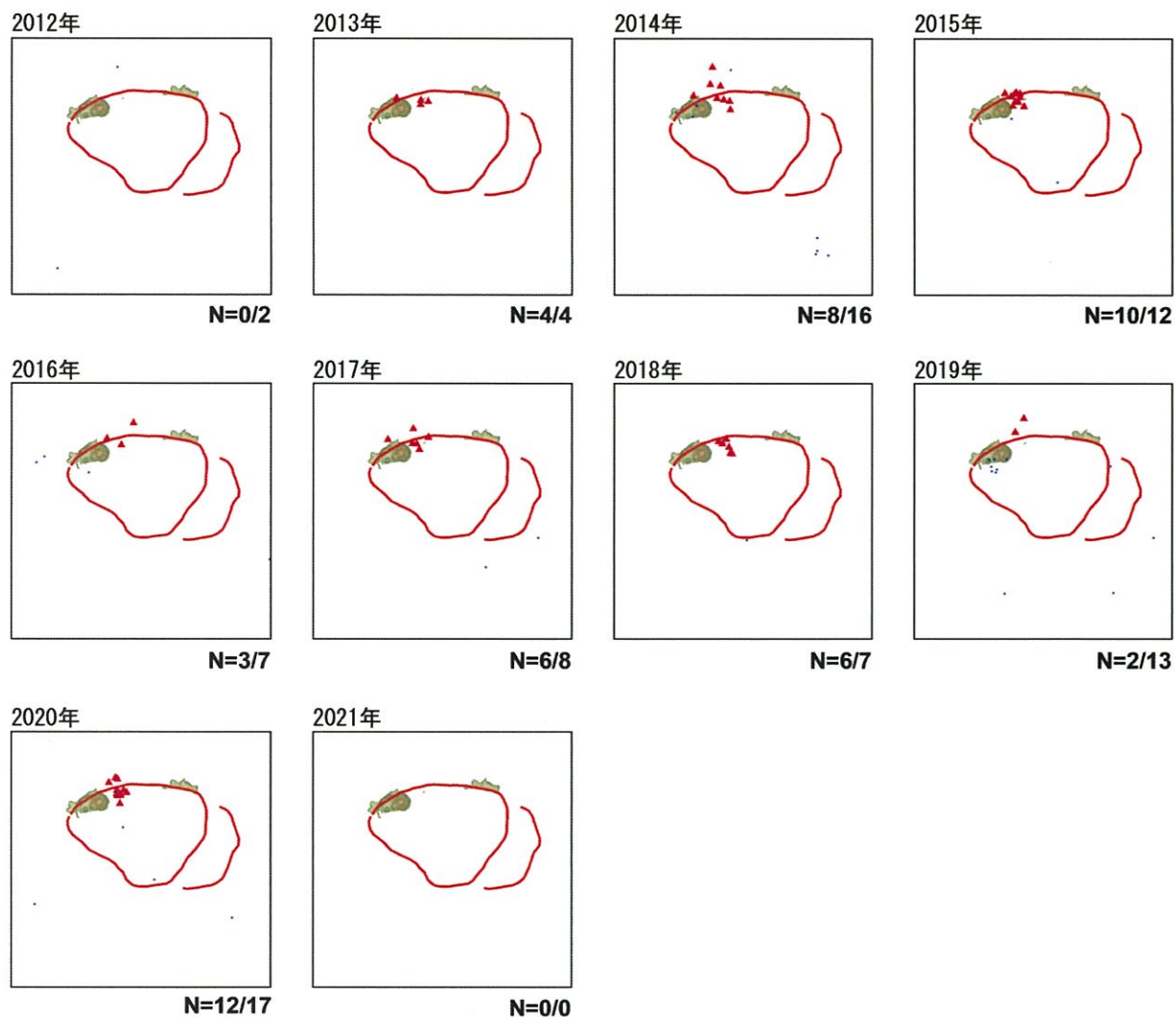
### 最近の主な噴火

- 2000年 1,5,6,7,9~12月に島内で降灰
- 2001年 2,4~12月に島内で降灰
- 2002年 5~7月にかけて火山活動がやや活発化
- 2003年 6~10月にかけて火山活動がやや活発化  
4月に2回、5月に1回噴火
- 2004年 3,4,6,8~10月に噴火が時々発生

\*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。



## ⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



通常地震 (M<3) : M<3 ● 3<M<4 ● 4<M<5 ● 5<M ▲ 低周波地震

### 最近の主な噴火

2013年 6月3日から5日にかけてごく小規模な噴火が時々発生

2019年11月2日 噴火発生。噴煙1000m

2020年4月29日 噴火発生。噴煙1000m

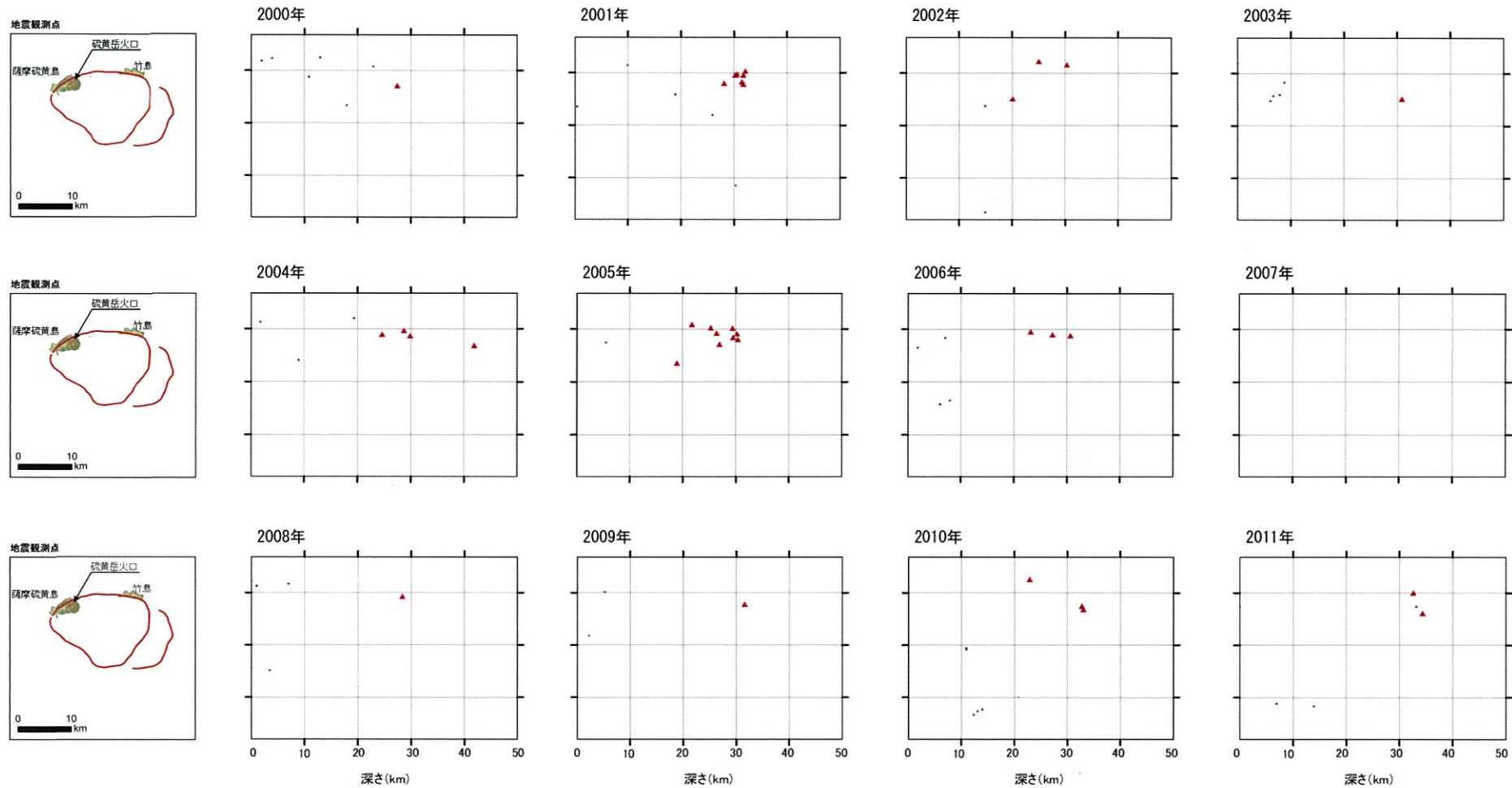
2020年10月6日 ごく小規模な噴火

\*各図の右下の数値は範囲内での該当年の(低周波地震発生数/総地震発生数)を示す。  
ただし、2021年は3月31日までのもの。



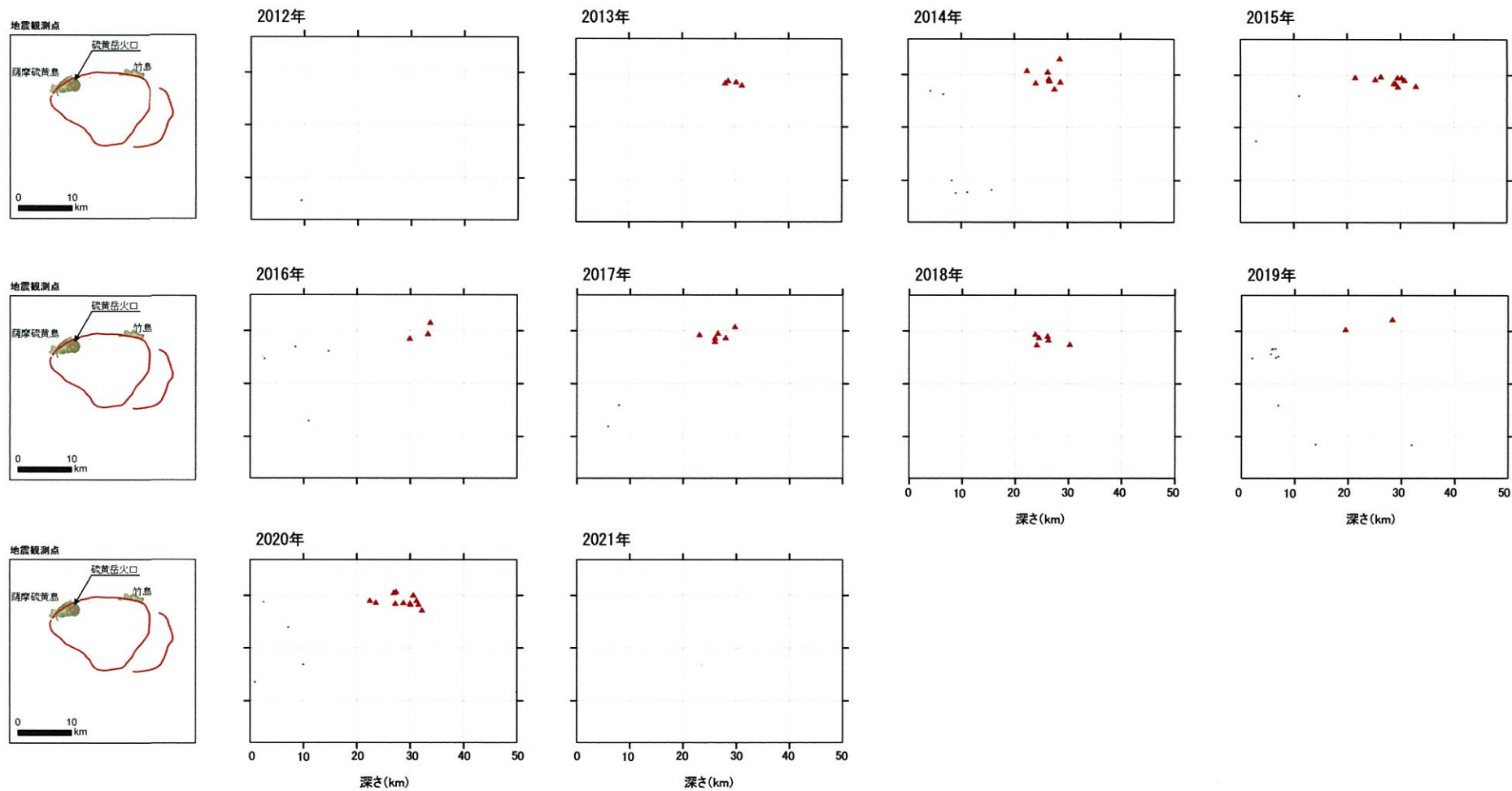


# ⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



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

# ⑤ 鬼界 [地震活動: 2000年以降の震源分布の推移]



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

## ⑤ 鬼界 [まとめ]

### 【活火山に関する公的機関の評価】

- ・ 硫黄岳で4月29日、10月6日に噴火が発生したが、その後は噴火は発生していない。
- ・ 火山性地震の年回数は前年に比べ減少した。

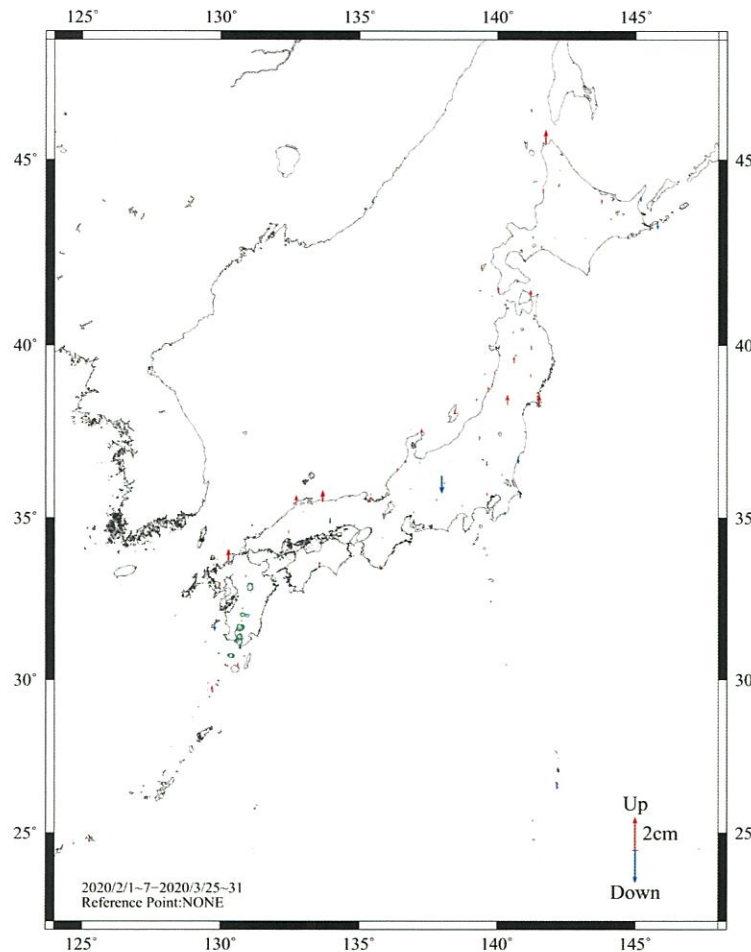
### 【当社の評価】

- ・ GNSS連続観測による基線長変化等を確認した結果、2020年度の基線長変化は、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められない。なお、2020年7月頃以降、基線②、③において伸びの傾向が認められていたが、2021年1月頃以降は停滞している。
- ・ 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、2020年度の地震活動(発生数、位置、規模等)は、過去と比較して有意な変化は認められない。

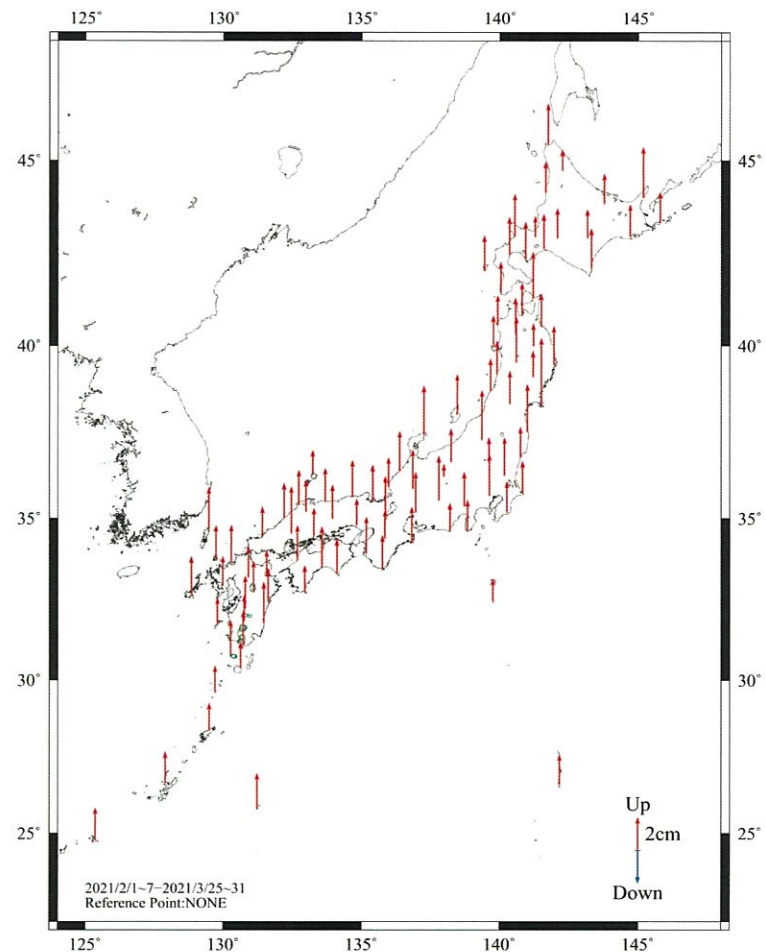
鬼界については、公的機関による発表情報、既存観測網によるデータ等を収集・分析した結果、2020年度は、顕著なマグマ供給率の増加を示唆する地殻変動及び地震活動の有意な変化が認められないことから、活動状況に変化はないと評価した。

## 【参考1】日本全域の鉛直変動(楕円体高)

- 2021年2月頃以降、全てのカルデラのGNSS観測において顕著な地盤の隆起傾向が確認されていることから、日本全域の地殻変動について確認を行った。
- その結果、2021年2月～3月の地盤の鉛直変動は、2020年2月～3月の地盤の鉛直変動と比較して、全体が隆起傾向にあることが確認されたことから、少なくともカルデラ火山の影響ではないと考えられる。



2020年2月～3月の鉛直変動(楕円体高)

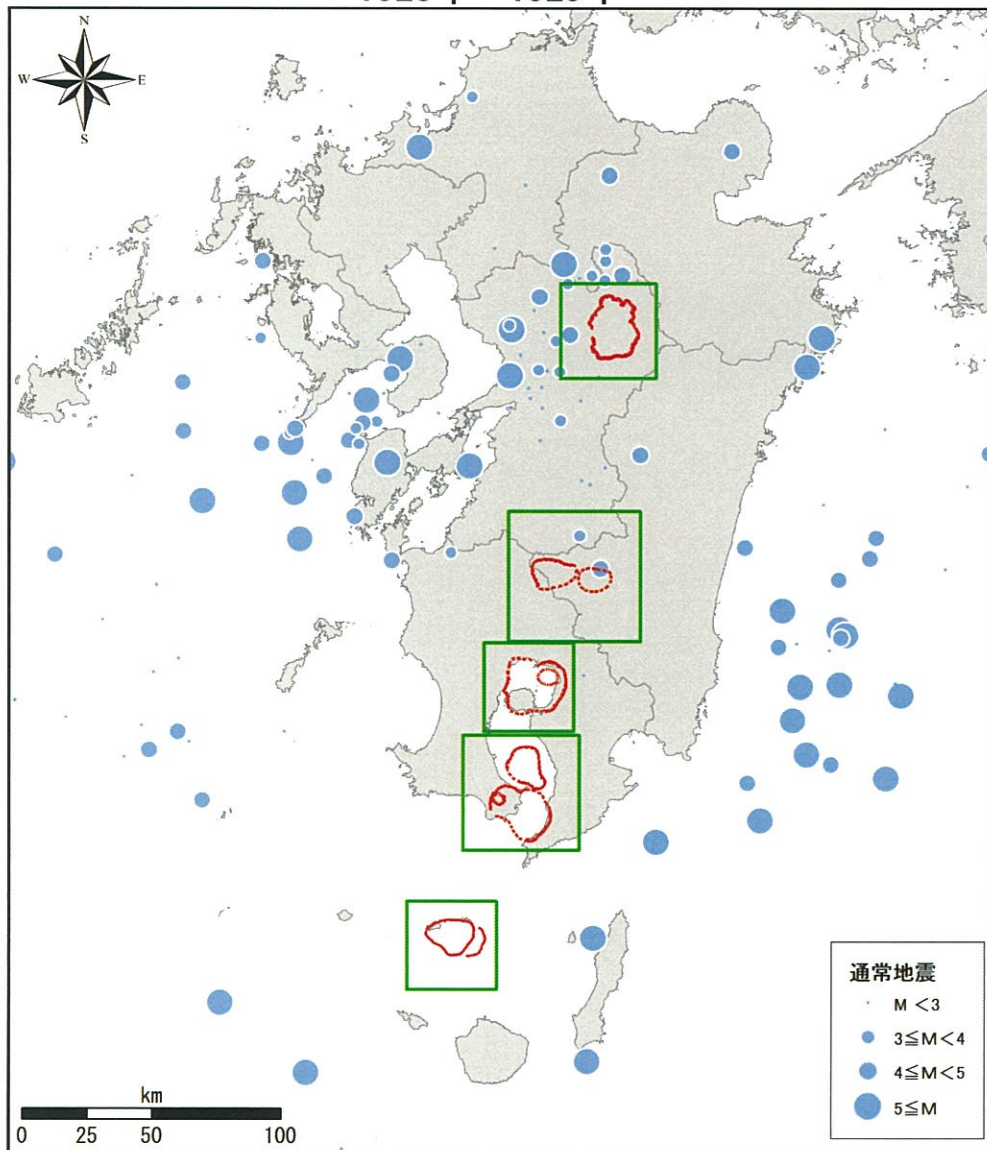


2021年2月～3月の鉛直変動(楕円体高)

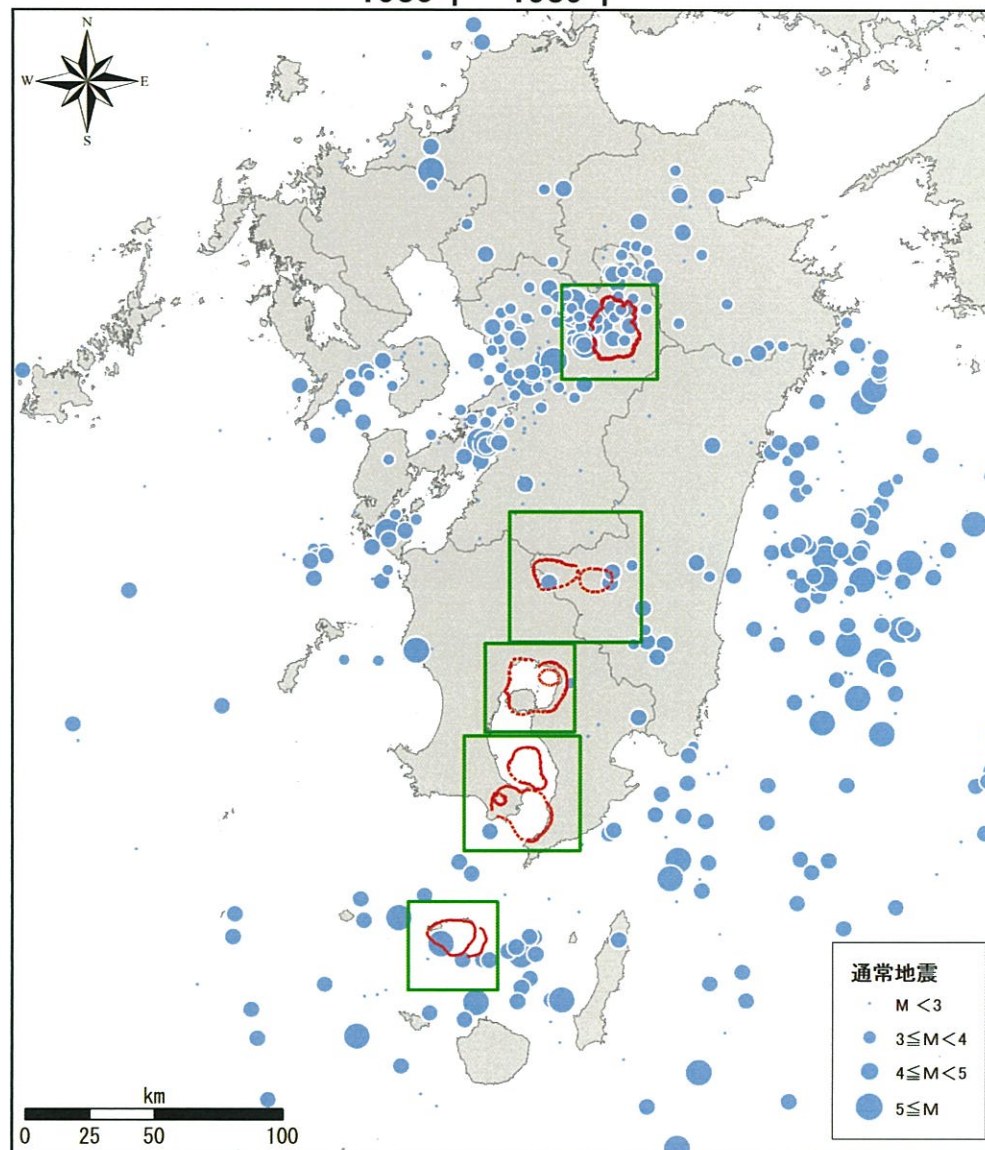
## 【参考2】九州全域の地震活動

- 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

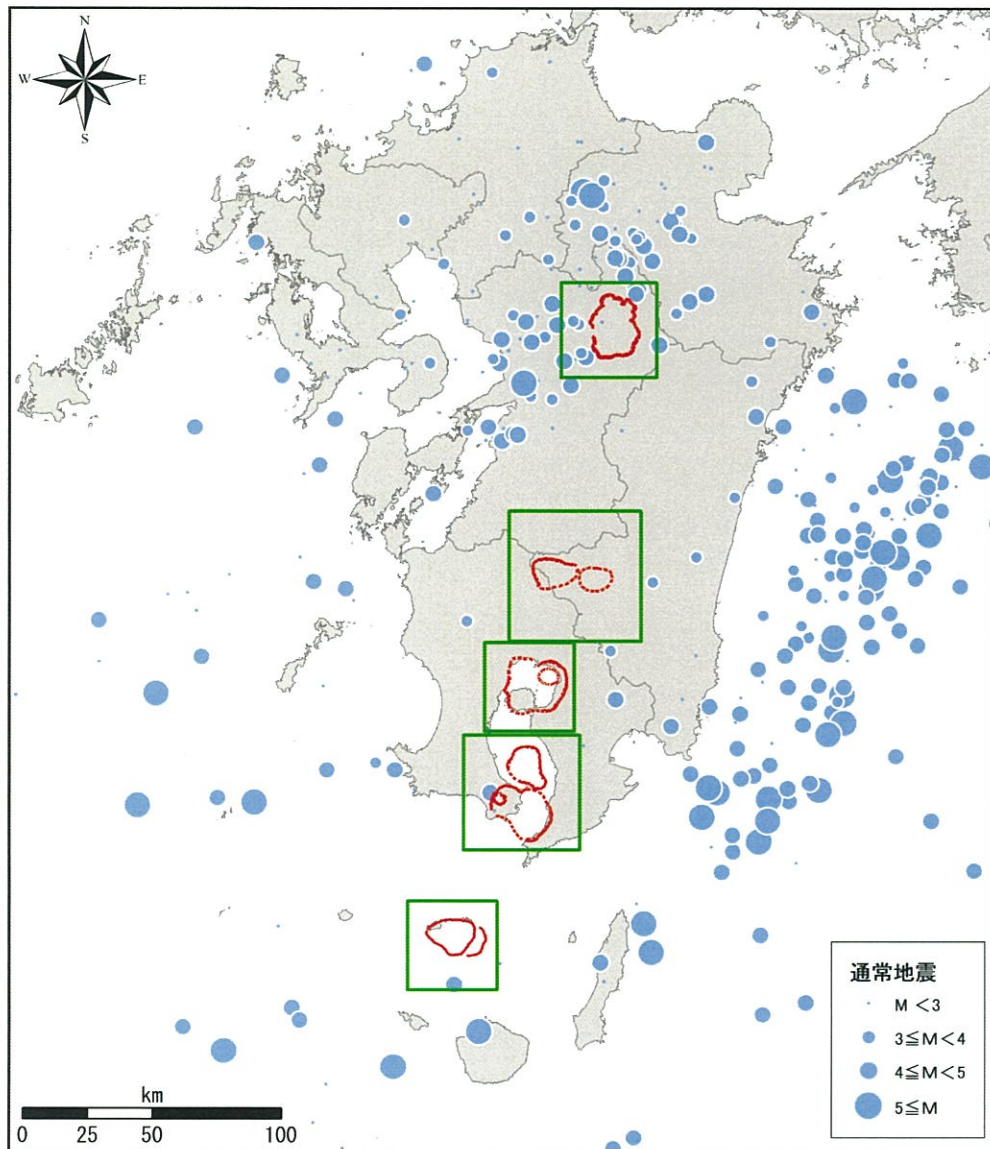


※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

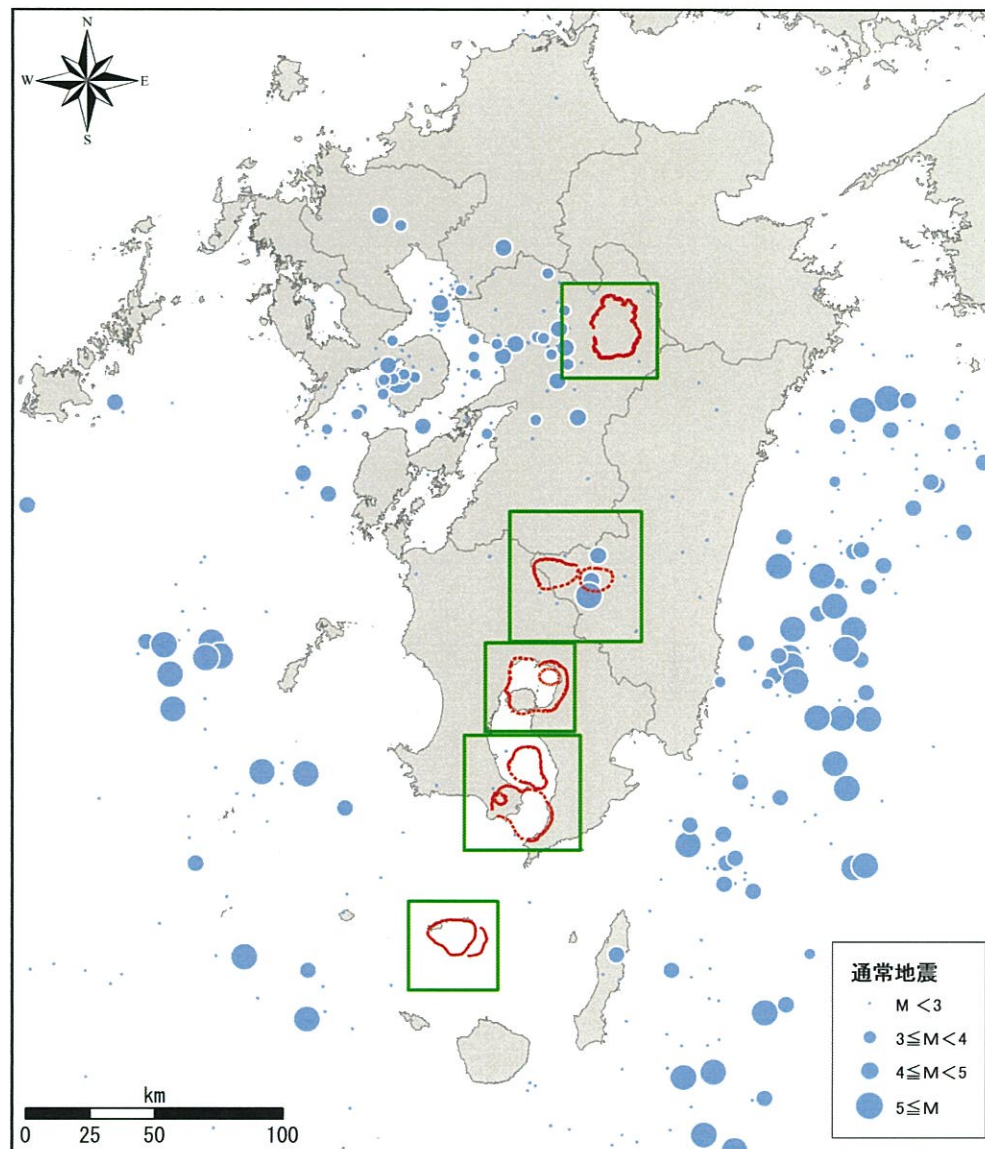


# 【参考2】九州全域の地震活動

1940年～1949年



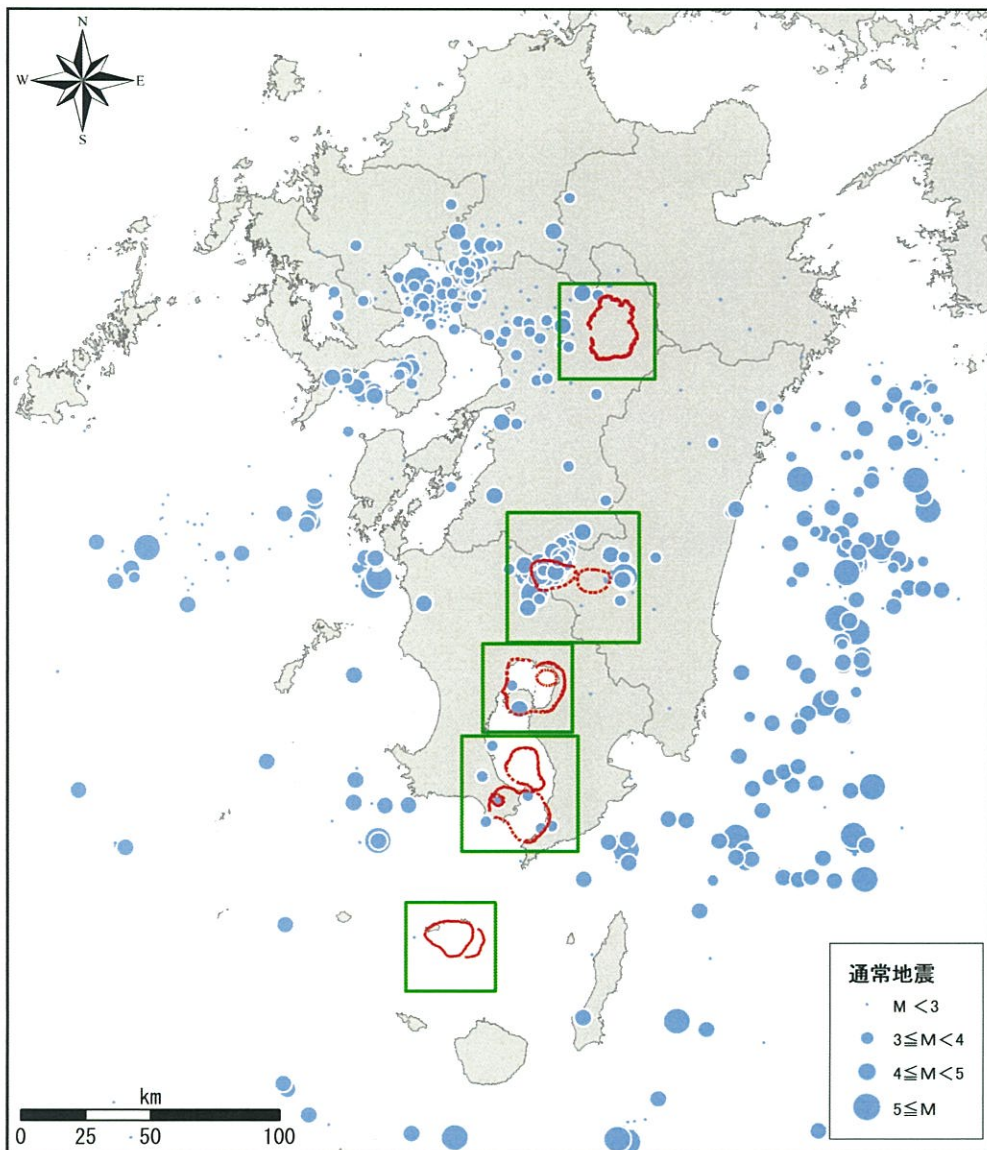
1950年～1959年



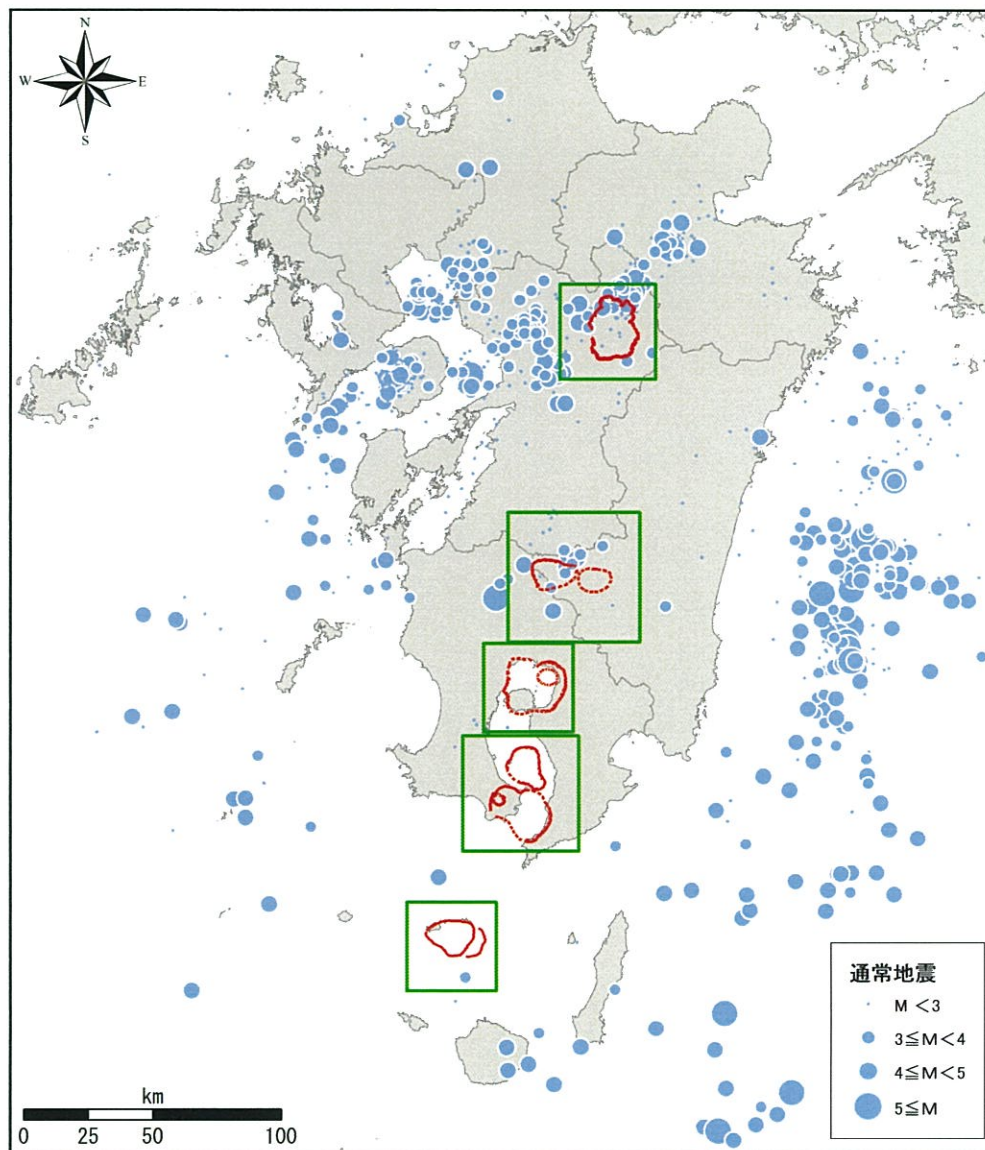
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

# 【参考2】九州全域の地震活動

1960年～1969年



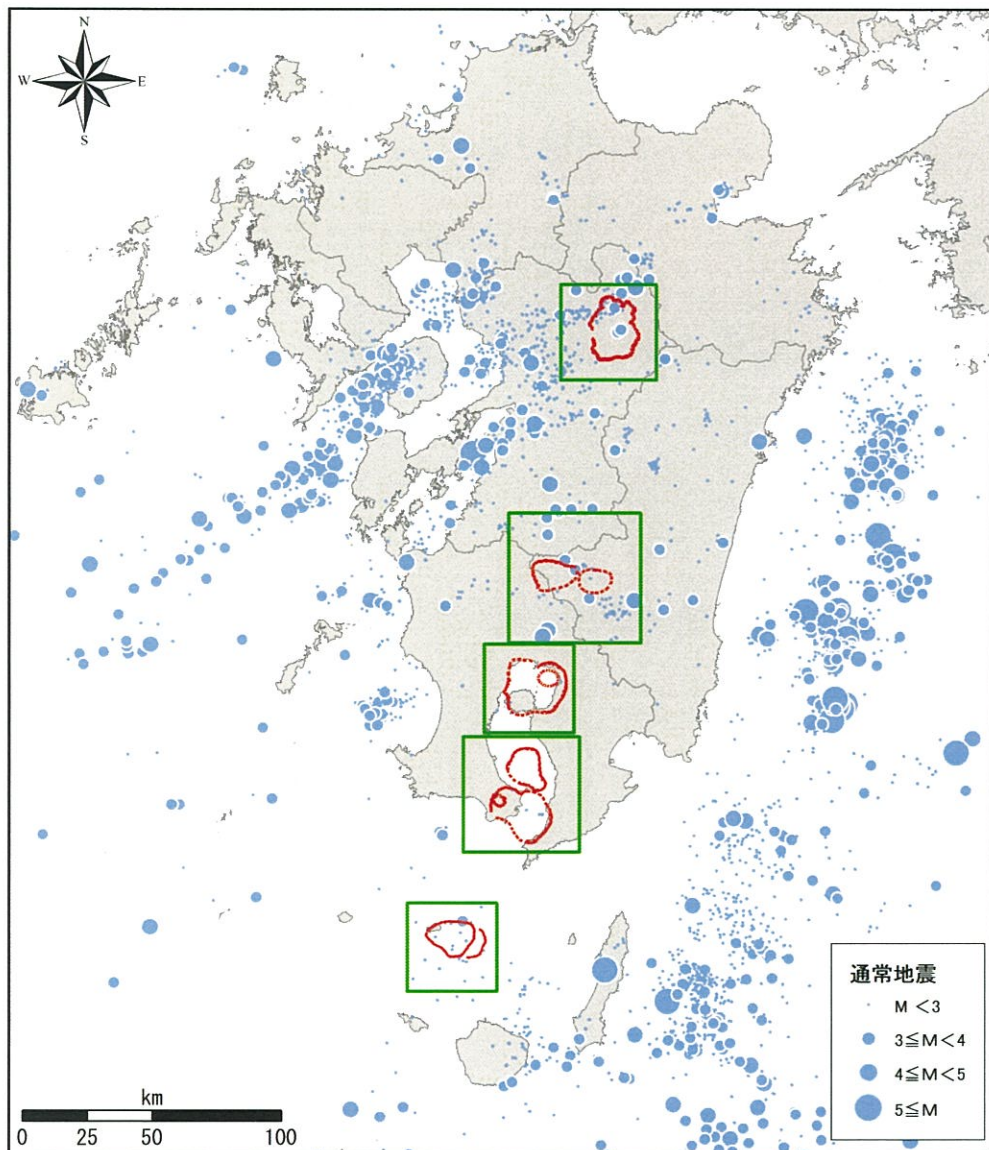
1970年～1979年



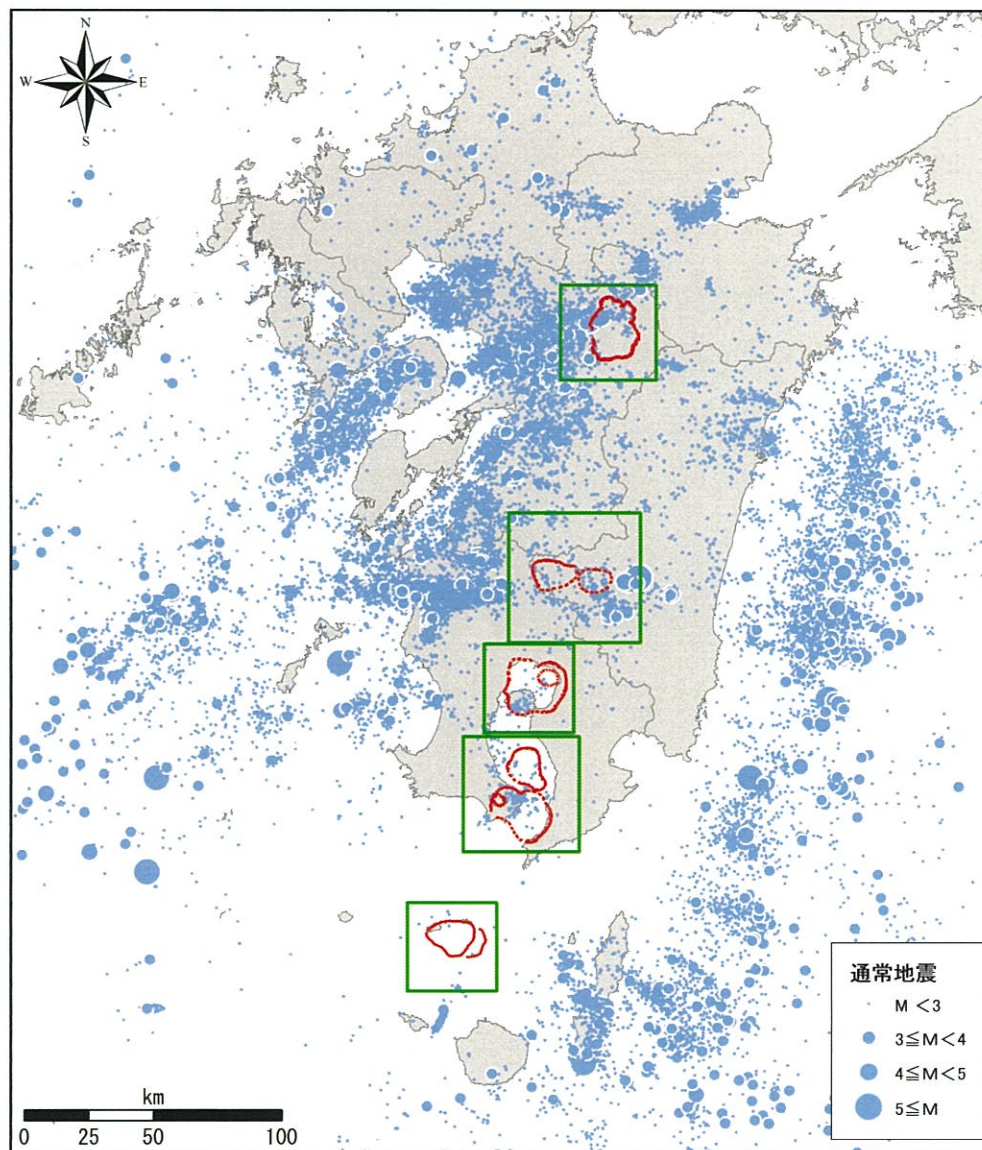
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

# 【参考2】九州全域の地震活動

1980年～1989年



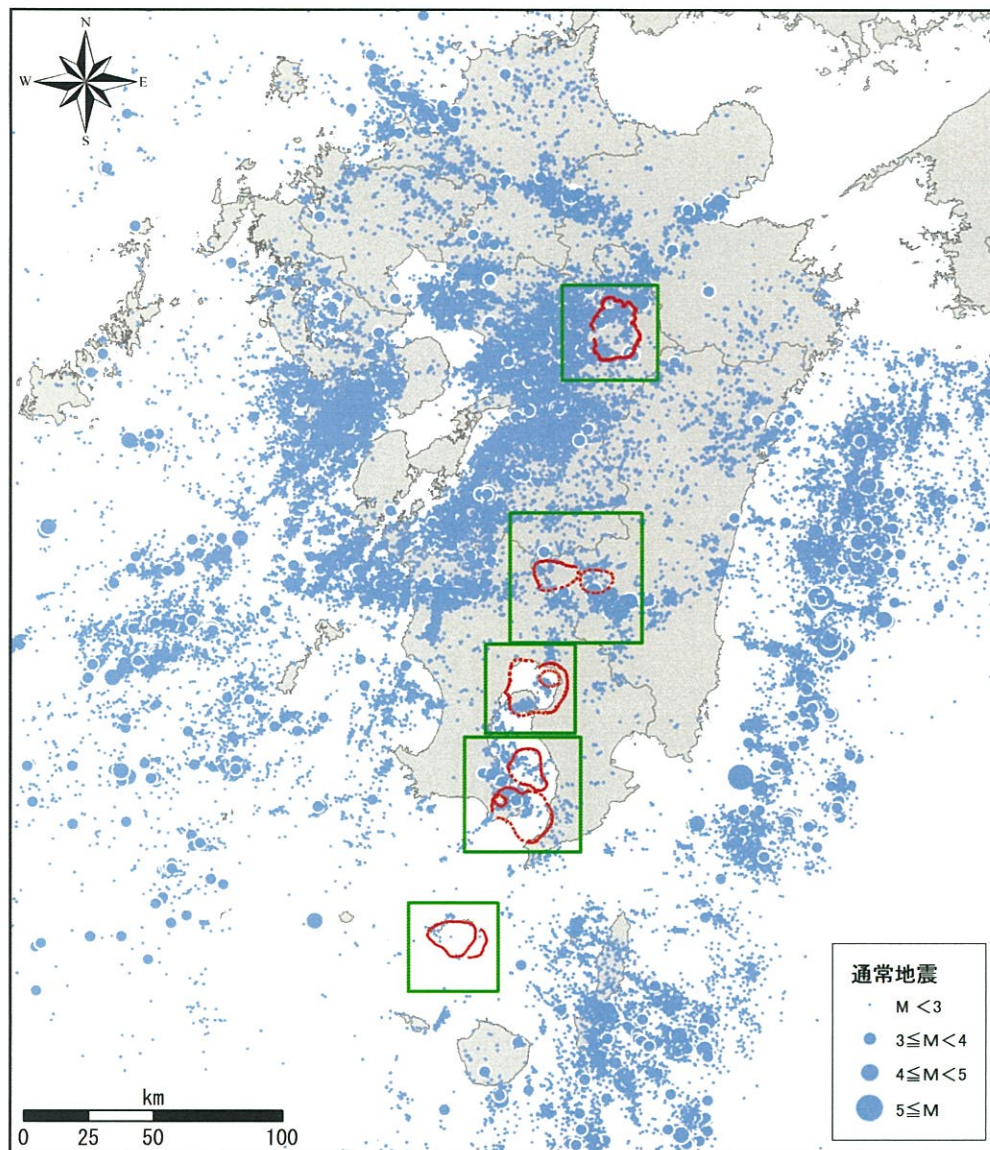
1990年～1999年



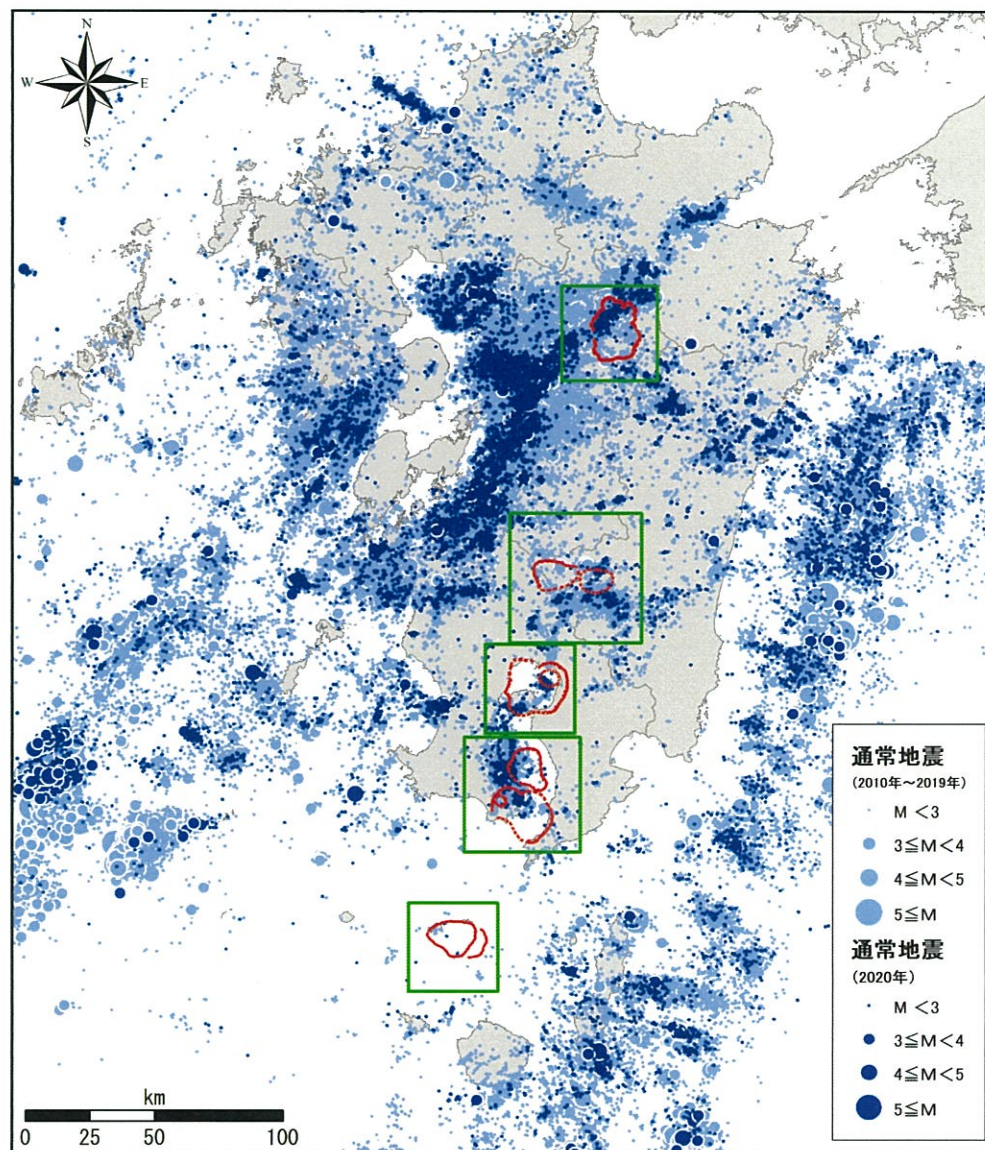
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データのうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

# 【参考2】九州全域の地震活動

2000年～2009年



2010年～2020年



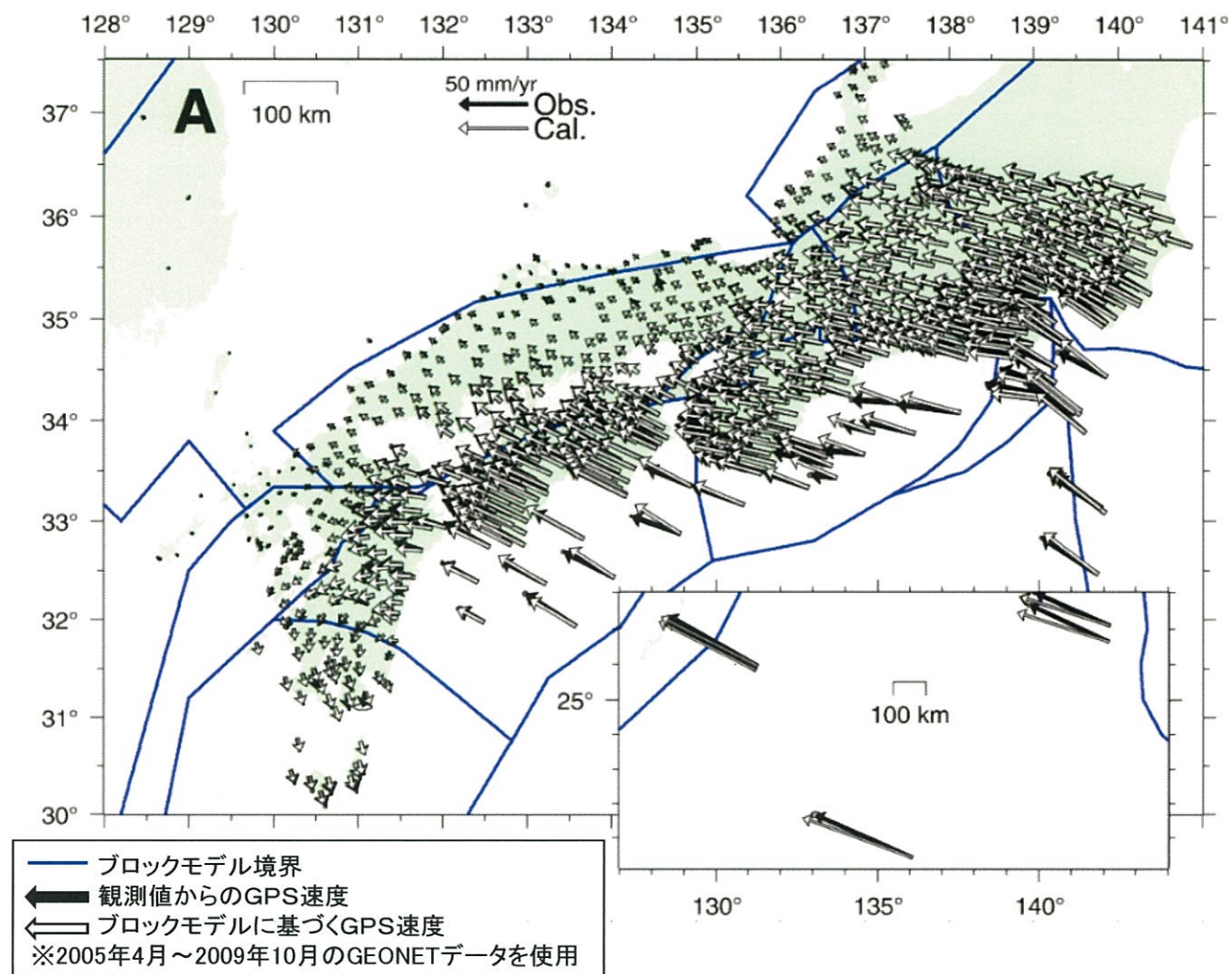
※震源は、気象庁、地震月報(カタログ編)の震源データおよび一元化処理震源データ(2020年)のうち、九州地方の深さ30km以浅のもの

余 白

( 中 ・ 長 期 的 取 組 み )

# 1. 広域地殻変動の影響検討

- 基線長変化には、広域地殻変動も含まれており、マグマ供給量の評価に影響を及ぼす可能性があることから、阿蘇カルデラ、加久藤・小林カルデラ、始良カルデラ、阿多カルデラ及び鬼界について広域地殻変動量を定量的に検討した。
- 阿蘇カルデラ及び加久藤・小林カルデラ周辺の地殻変動は、Nishimura et al.(2018)によると、剛体ブロックが複数あり、変動がそれぞれ異なることが確認されていることから、その変動を多項式近似で仮定して広域地殻変動の影響検討を行った。



アムールプレートに対するGPS速度 (Nishimura et al., 2018)

# 1. 広域地殻変動の影響検討[定常変動期間・検討範囲]

- ・ 検討対象期間はKobayashi (2017)及びNishimura et al.(2018)を参考に、大規模な地震やスロースリップ現象(SSE)が発生していない定常変動期間として、2006年～2008年に設定した。
- ・ 検討範囲は概ね九州全域を対象とし、検討範囲内のGNSS観測点に対し、周囲と比べて変動量や変動方向が異なる観測点等は除外したものを使用した。

## 〔定常変動期間〕

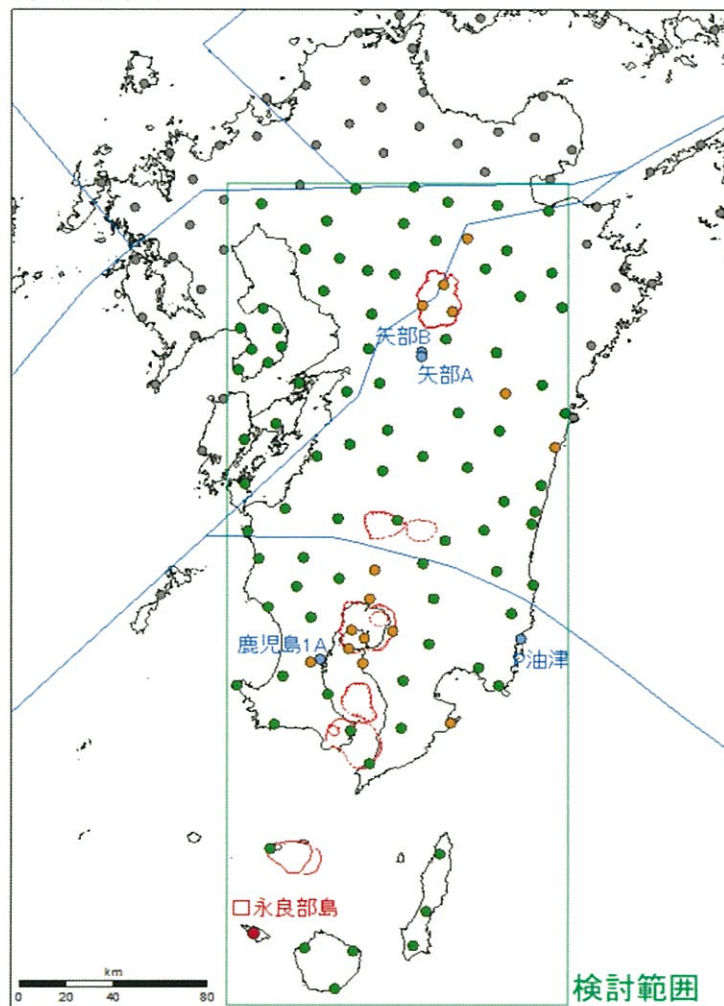
GNSS観測点の定常速度を推定するための各区域における説明  
(Kobayashi, 2017)

Table 1 Description of blocks (see Fig. 1) for estimating steady-state GNSS station velocities

Block	Area (地域)	Steady period (定常期間)	Unsteady phenomena (非定常現象)
A	Hokkaido	1996-1999, 2001-2002, 2009-2010	01/28/2000 Nemuro-oki M7.0, 09/26/2003 Tokachi-oki M8.0, 11/29/2004 Kushiro-oki M7.1, 12/06/2004 Kushiro-oki M6.9
B	Tohoku-N	2001-2002, 2005-2007	12/28/1994 Sanriku-haruka-oki M7.5, 05/26/2003 Miyagi-oki M7.1, 09/26/2003 Tokachi-oki M8.0, 06/14/2008 Iwate-Miyagi-nairiku M7.2
C	Tohoku-S	1996-2004	08/16/2005 Miyagi-oki M7.2, 07/16/2007 Niigata-ken Chuetsu-oki M6.8, 05/08/2008 Ibaraki-oki M7.0
D	Kanto	1996-1999, 2001-2003, 2005-2007, 2010	2000 Izu-event, 09/05/2004 off Ki-Pen. M7.4, 10/23/2004 Niigata-ken Chuetsu M6.8, 05/08/2008 Ibaraki-oki M7.0
E	Chubu	1996-1999, 2006-2010	2000-2005 Tokai LSSE, 09/05/2004 off Ki-Pen. M7.4
F	Kinki-N	1996-2003, 2006-2008	09/05/2004 off Ki-Pen. M7.4
G	Kii, Shikoku-E	1998-2001, 2006-2010	1996-1997 Kii Channel LSSE, 2002-2003 Kii Channel LSSE, 09/05/2004 off Ki-Pen. M7.4
H	Chugoku-N	1996-2008	
I	Shikoku-W, Kyushu-NE (四国西部、九州北東部)	1998-2002, 2006-2008	1996-1997 Bungo Channel LSSE, 2003 Bungo Channel LSSE, 2009-2010 Bungo Channel LSSE, 2005 western part of Shikoku LSSE, 03/20/2005 Fukuoka-oki M7.0
J	Kyushu-NW (九州北西部)	1996-2009	
K	Kyushu-S (九州南部)	2004-2009, 2012-2015	10/19/1996 Hyuga-nada M6.9, 03/26/1997 Kagoshima-ken Satsuma M6.6
L	Okinawa	1996-2001, 2004-2015	12/18/2001 Taiwan-oki M7.3, 03/26/2002 Ishigaki-oki 7.0
M	Izu-Bonin	1996-2015	

All: 03/11/2011 Tohoku-oki M9.0  
LSSE: long-term slow slip event

## 〔検討範囲〕



- 検討に用いた観測点
- 定常変動期間を限定して検討に用いた観測点\*
- 周囲の観測点と比べ変動方向や変動量が異なるため除外する観測点
- 定常変動期間以降に運用を開始しているため除外する観測点
- 検討範囲外の観測点

(\*: 口永良部島では2008年9月頃から、新岳火口付近の膨張を示す変化が認められることから(気象庁, 2009)、観測点「口永良部島」の定常変動期間を2006年～2007年の2年間とした。

Nishimura et al. (2018)では2005年4月から2009年10月にかけて地震と短期的事象のない安定した期間とし、GNSS観測点の定常変位速度を推定し、ブロックモデルを使用して、西南日本のひずみ分布とプレート間カップリングを議論している。

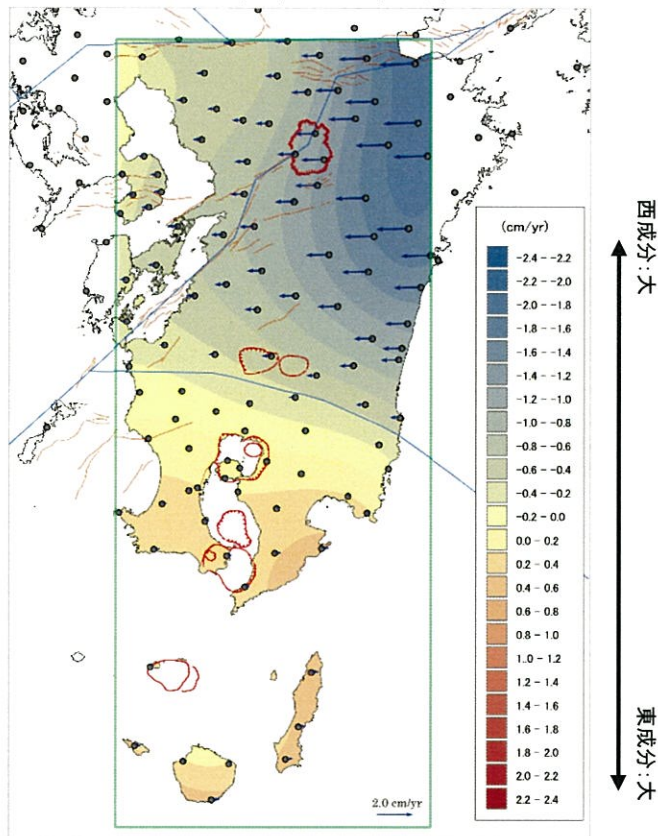
— Nishimura et al. (2018)によるブロックモデル境界



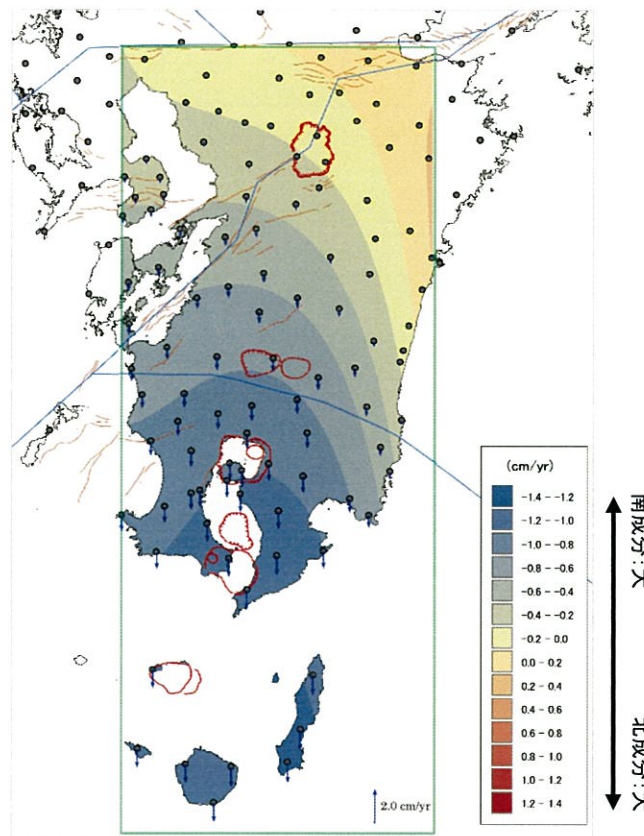
# 1. 広域地殻変動の影響検討[多項式の決定]

- 変位速度ベクトルを東西成分と南北成分に分けて、それぞれの二乗平均平方根誤差(RMSE)を求めた。
- 二乗平均平方根誤差(RMSE)が収束する最小の次数を求め、多項式を決定した。

〔東西成分(多項式次数5)〕



〔南北成分(多項式次数4)〕



## 〔多項式の求め方〕

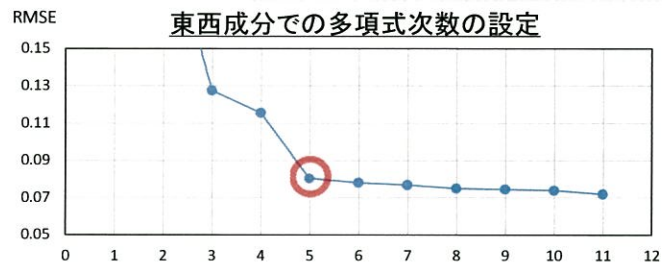
- 長期間又は地球的なトレンドの効果の検証や除去に用いられるトレンド内挿法を参考とした。
- 検討に用いた全てのGNSS観測点の経度(x)と緯度(y)より、二乗平均平方根誤差(RMSE)が小さくなるような係数( $c_n$ )を求める。
- 上記係数より設定した多項式(下式)に、各観測点の経度・緯度を与え、東西方向または南北方向の変動を算出する。

### (3次式の例)

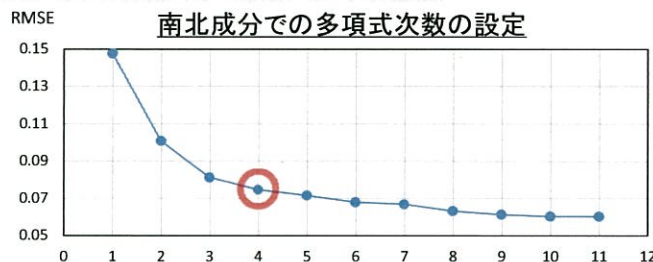
変動(東西又は南北) =

$$c_0 + x \cdot c_1 + y \cdot c_2 + x^2 \cdot c_3 + x \cdot y \cdot c_4 + y^2 \cdot c_5 + x^3 \cdot c_6 + x^2 \cdot y \cdot c_7 + x \cdot y^2 \cdot c_8 + y^3 \cdot c_9$$

— Nishimura et al. (2018)によるブロックモデル境界 — 地震調査研究推進本部による活断層



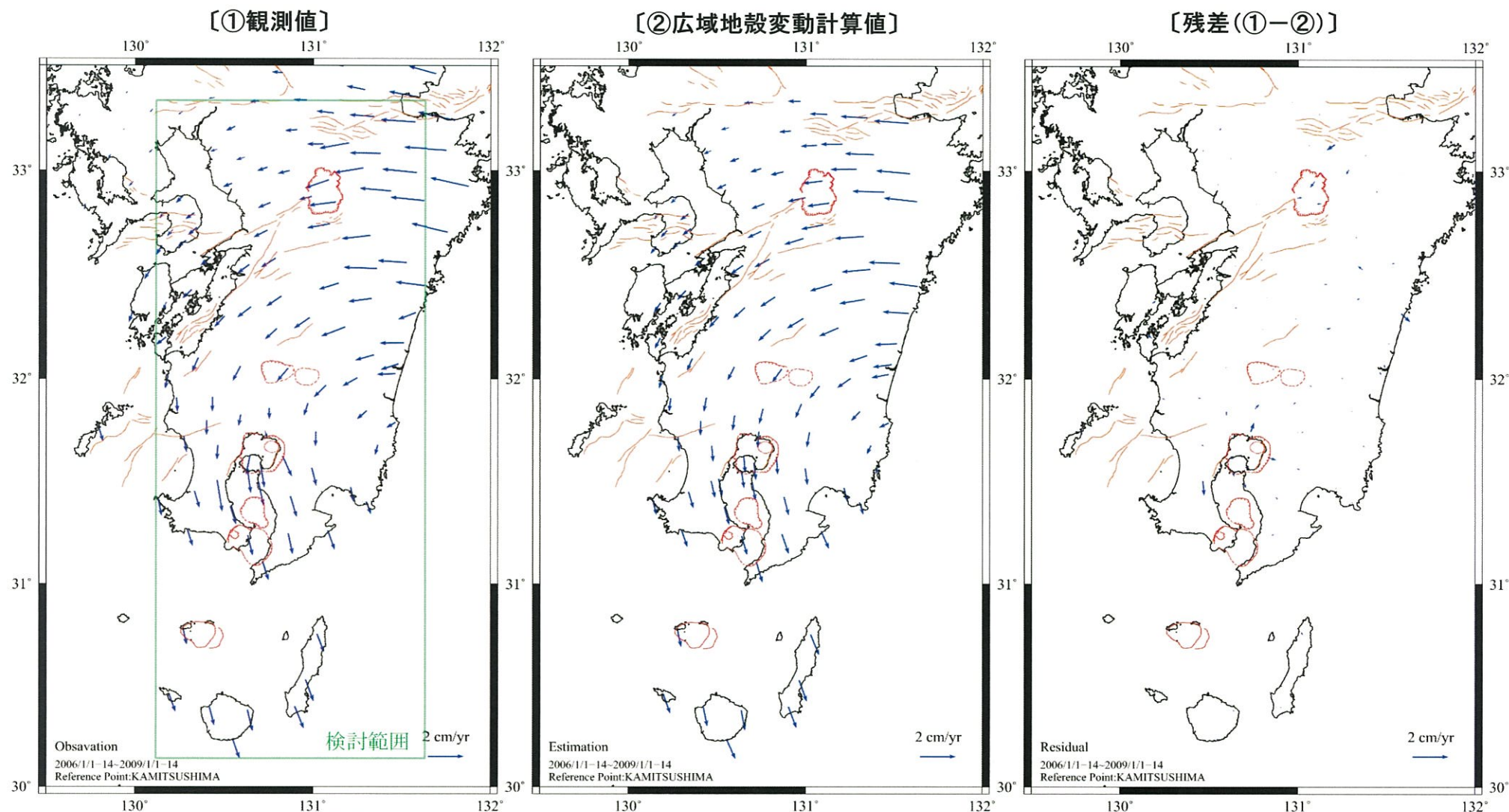
東西成分での多項式次数の設定



南北成分での多項式次数の設定

# 1. 広域地殻変動の影響検討[変位速度ベクトル図]

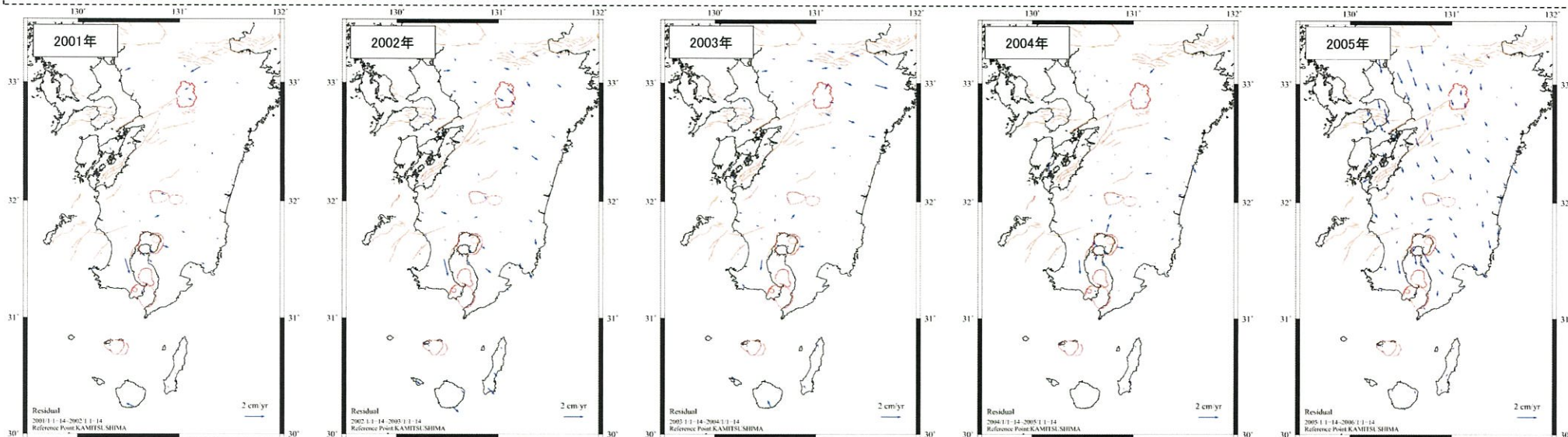
- 定常変動期間での観測値を、推定した広域地殻変動計算値で差し引くことで残差を求めた。
- その結果、ほとんどのGNSS観測点で残差が小さな値となったことから、広域地殻変動を概ね再現できていることを確認した。



期間:2006年1月1-14日~2009年1月1-14日(観測点「口永良部島」は2006年1月1-14日~2008年1月1-14日を使用)  
固定局:上対馬

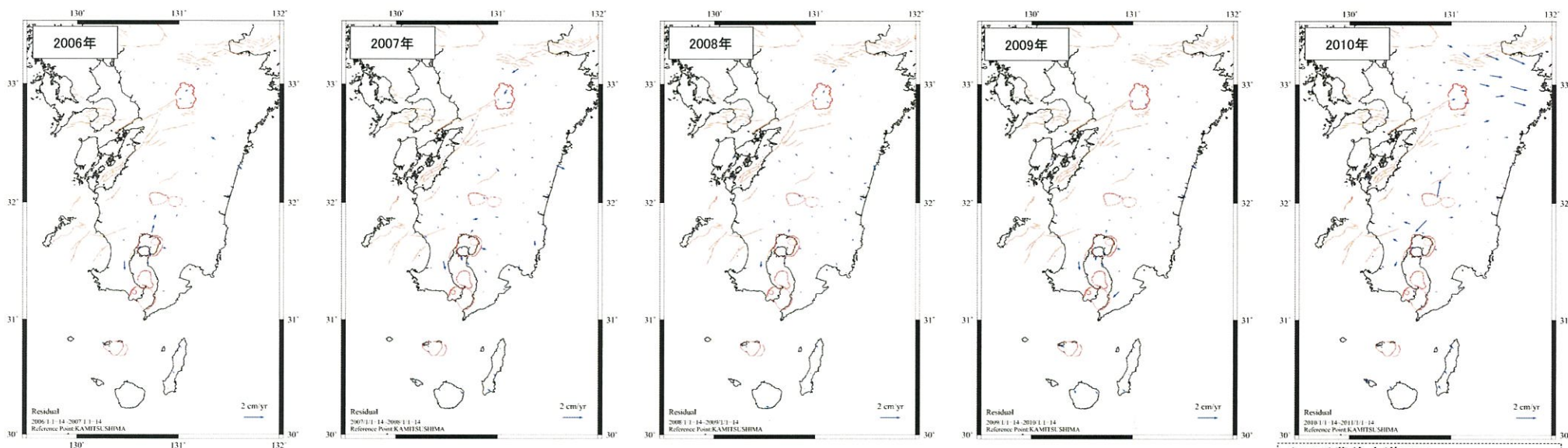
# 1. 広域地殻変動の影響検討[変位速度ベクトル図(2001年~2010年)]

• 2001年~2020年の観測値を、推定した広域地殻変動計算値で差し引くことで残差を求めた。



(2003)豊後水道SSE

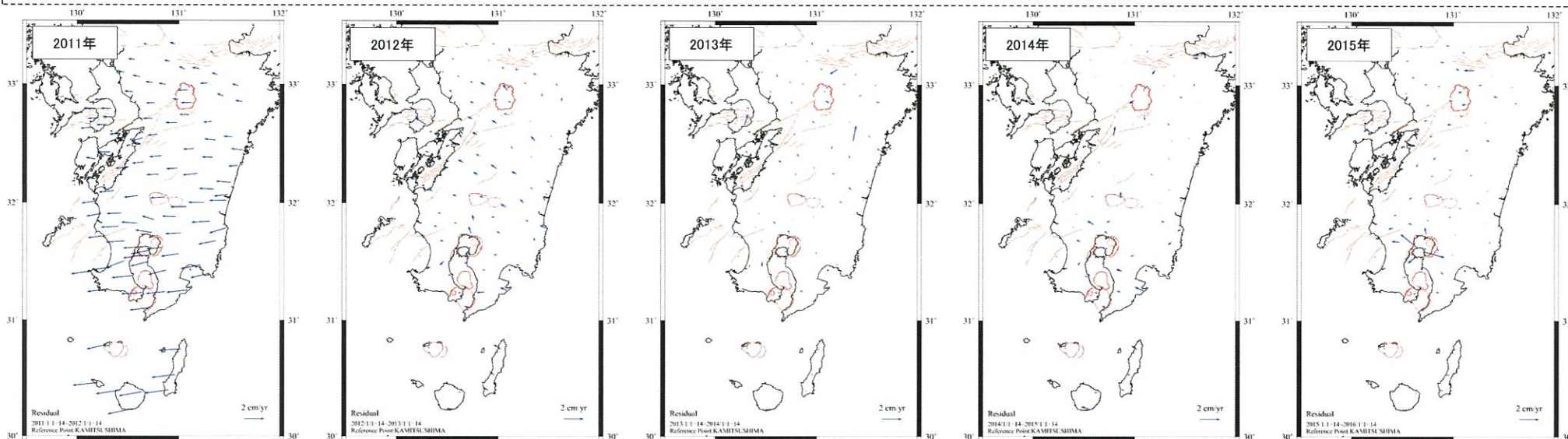
(2005.3)福岡県西方沖地震: M7.0



(2010)豊後水道SSE  
(2011.1)新燃岳噴火

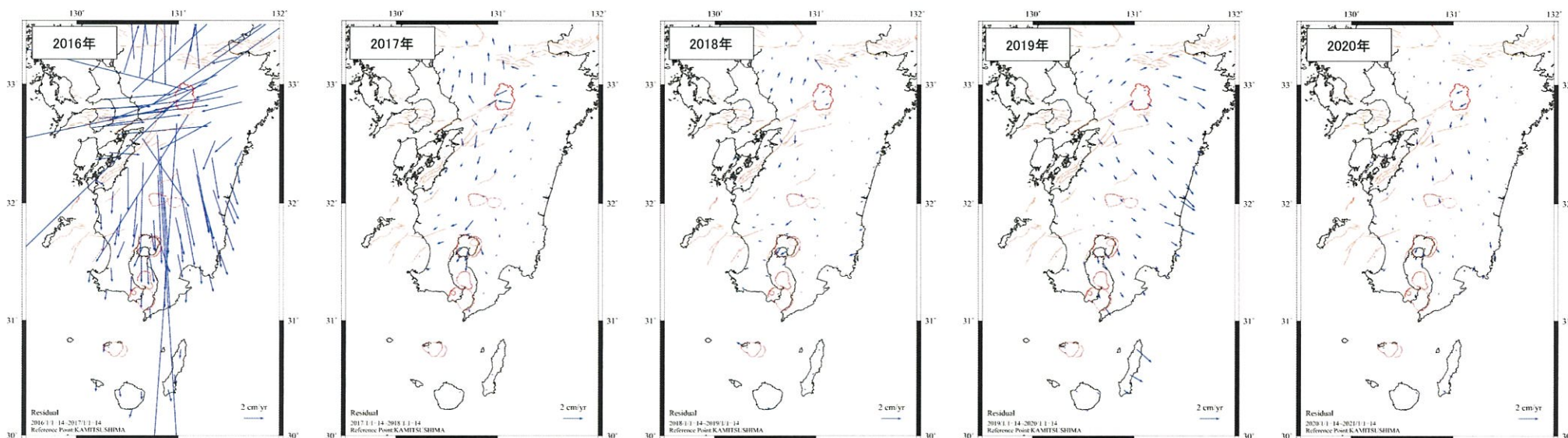
# 1. 広域地殻変動の影響検討[変位速度ベクトル図(2011年~2020年)]

・ 2020年は、始良カルデラにおいて、マグマの蓄積を示唆する放射状の伸びが確認された。



(2011.3)東北地方太平洋沖地震:M9.0

(2015.8)桜島マグマ貫入イベント



(2016.4)熊本地震:M7.3

(2017.10)新燃岳噴火

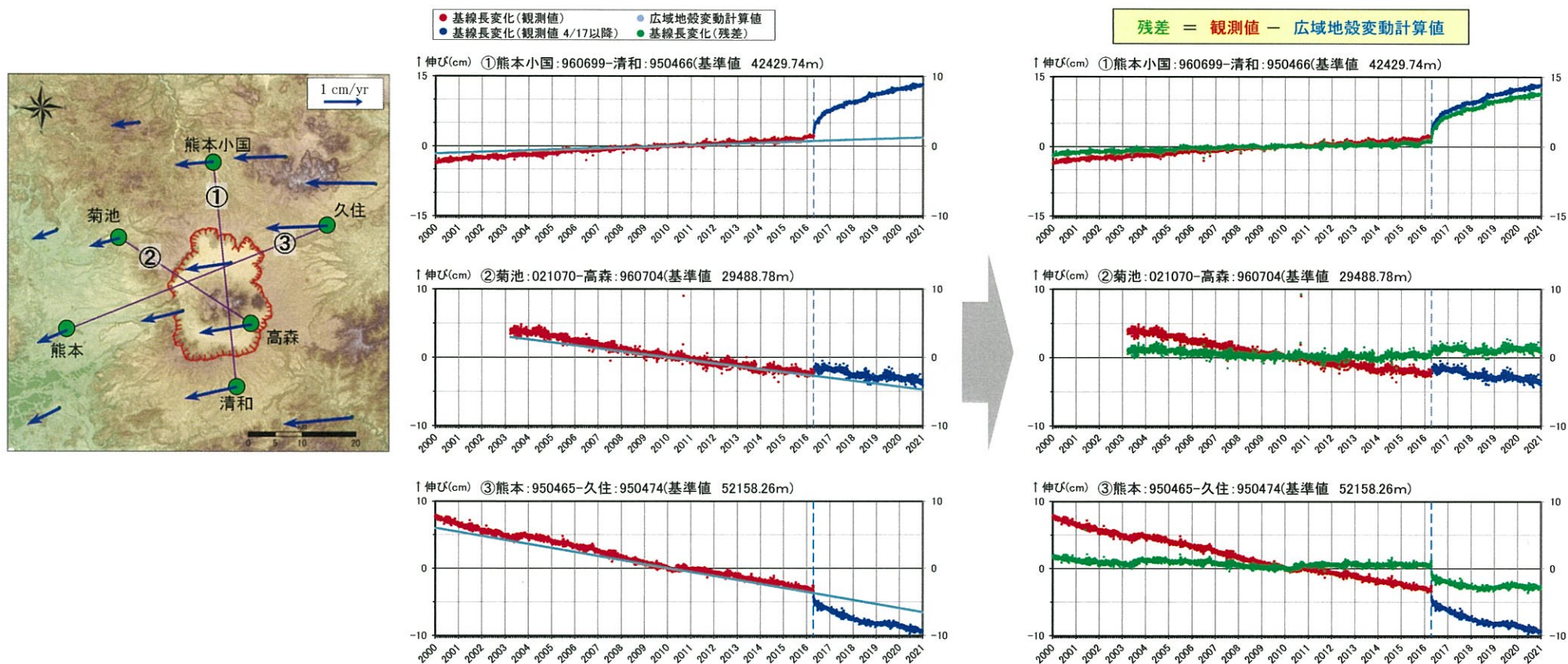
(2018.3)新燃岳噴火  
(2018)豊後水道SSE(2019.6まで継続)

(2019.1)種子島近海の地震:M6.0  
(2019.4~2020.6)阿蘇中岳噴火  
(2019.5)日向灘の地震:M5.6,M6.3

(2019.4~2020.6)阿蘇中岳噴火  
(2020.1-2、4-5、8)口永良部島噴火  
(2020.8~9)種子島周辺SSE

# 1. 広域地殻変動の影響検討[阿蘇カルデラの基線長変化]

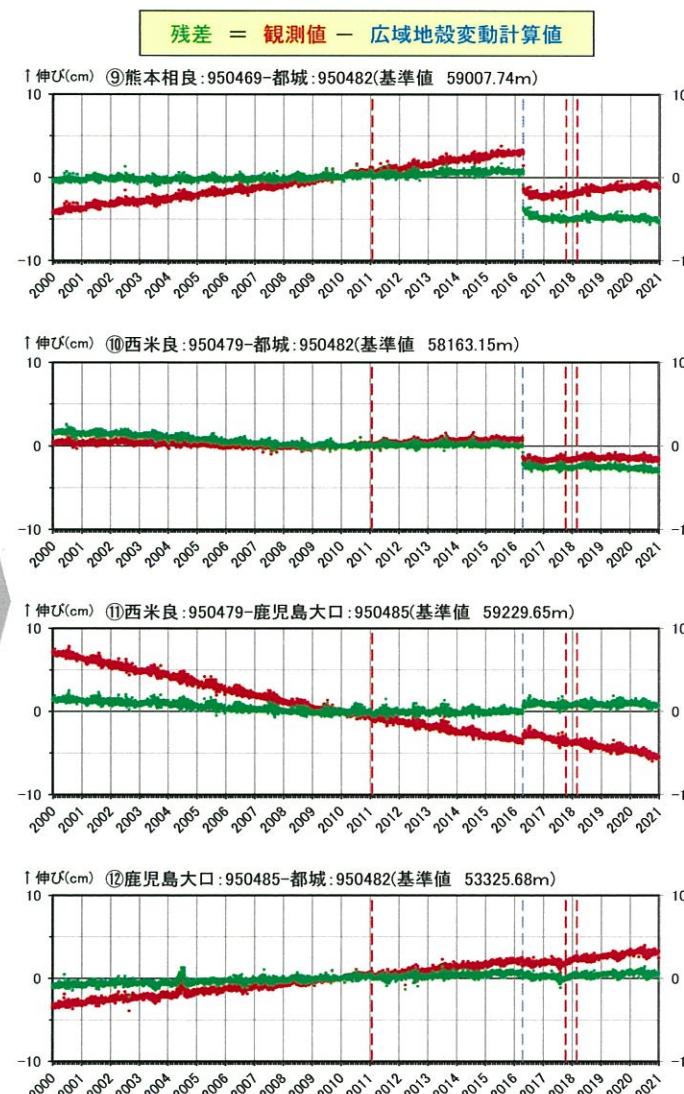
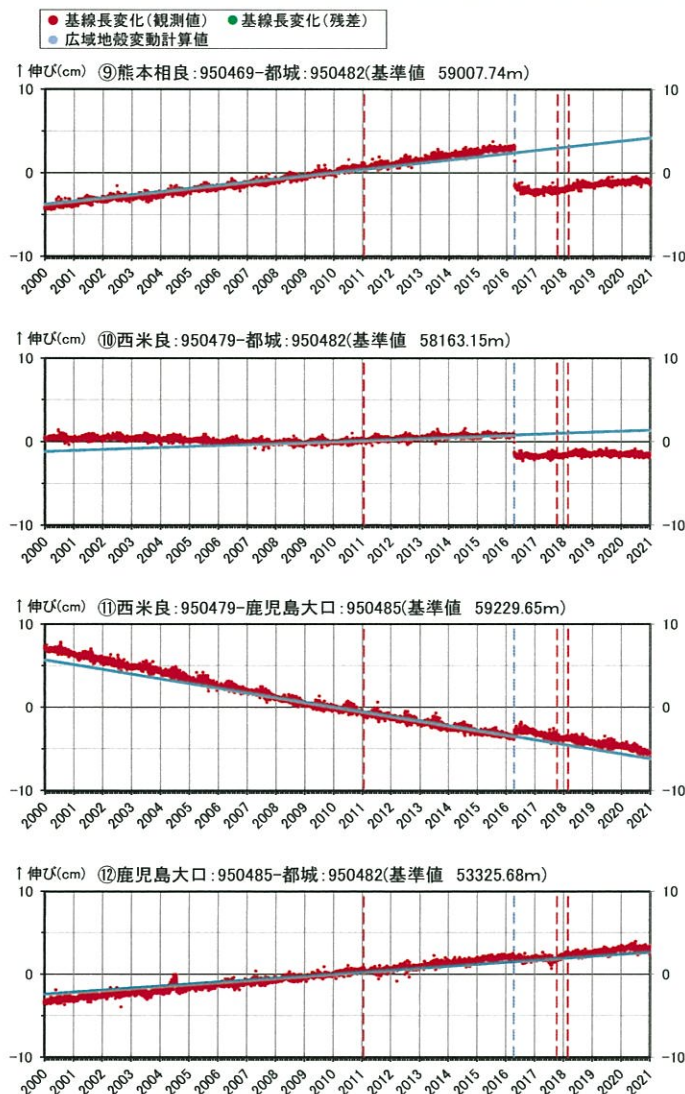
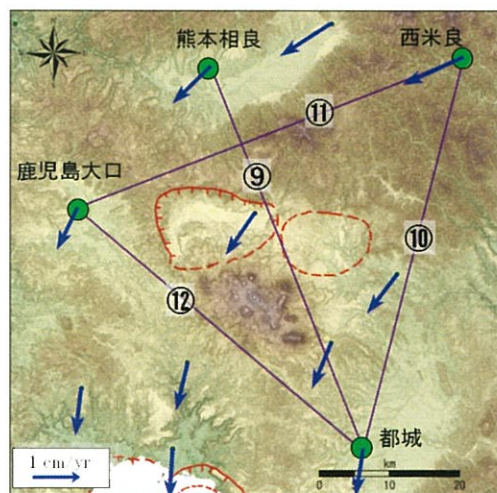
- 阿蘇カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値に比べて変動量が小さくなることが認められた。
- モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。



※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 青矢印は計算した広域地殻変動ベクトル

# 1. 広域地殻変動の影響検討[加久藤・小林カルデラの基線長変化]

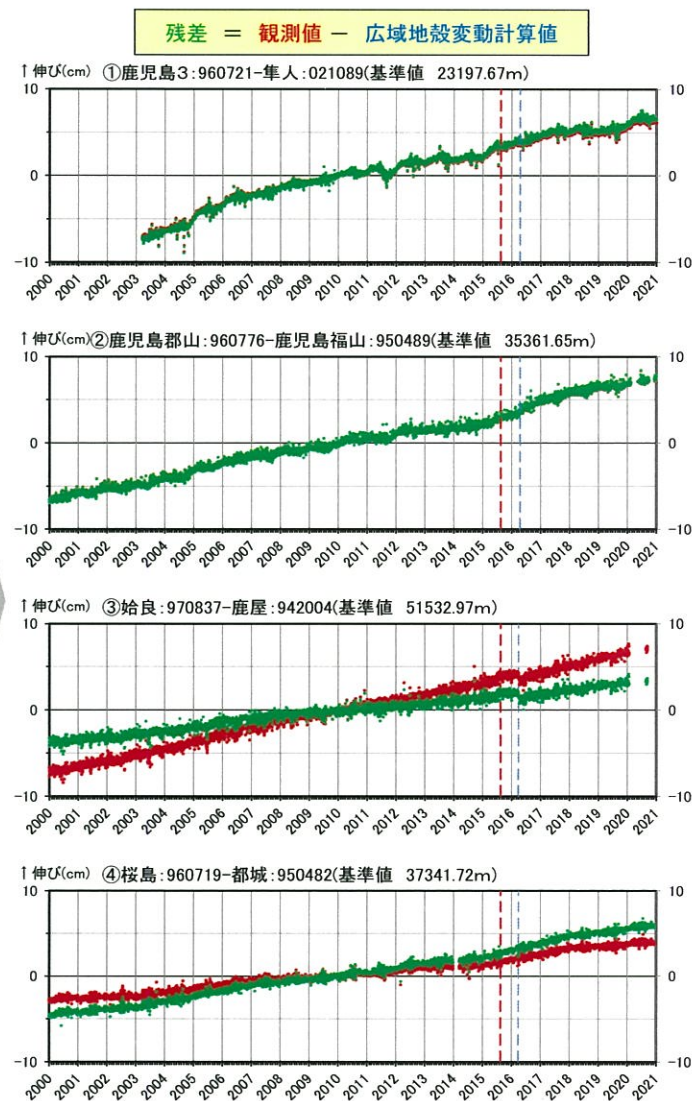
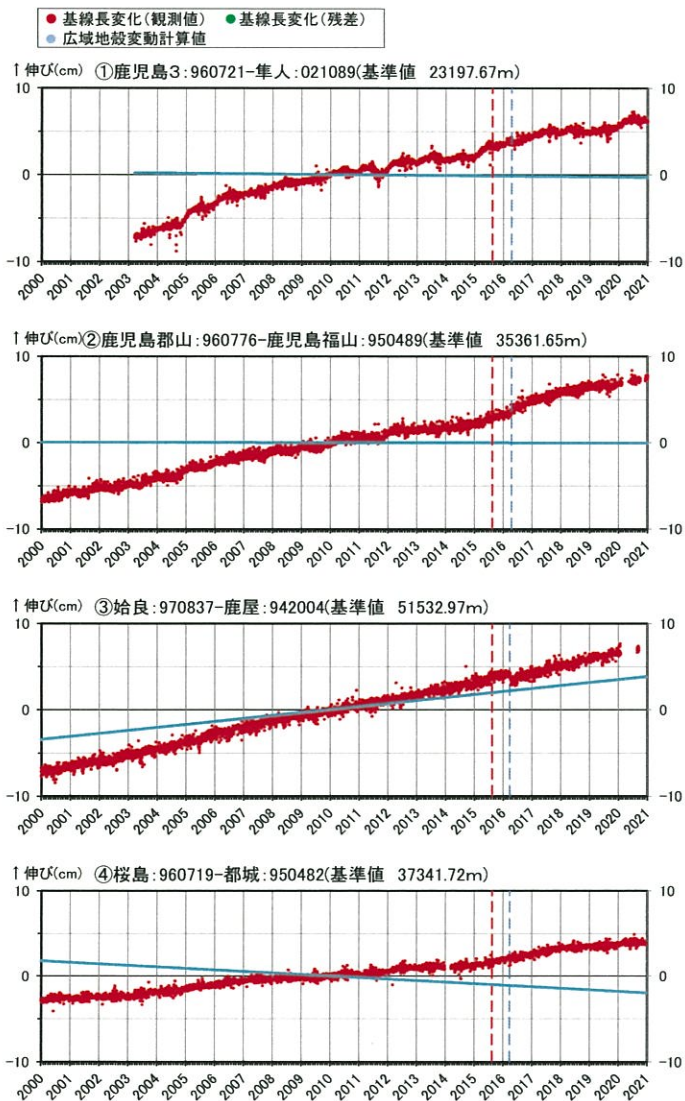
- ・加久藤・小林カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値に比べて変動量が小さくなる、又は概ね同等であることが認められた。
- ・モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。



※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 青矢印は計算した広域地殻変動ベクトル

# 1. 広域地殻変動の影響検討[始良カルデラの基線長変化]

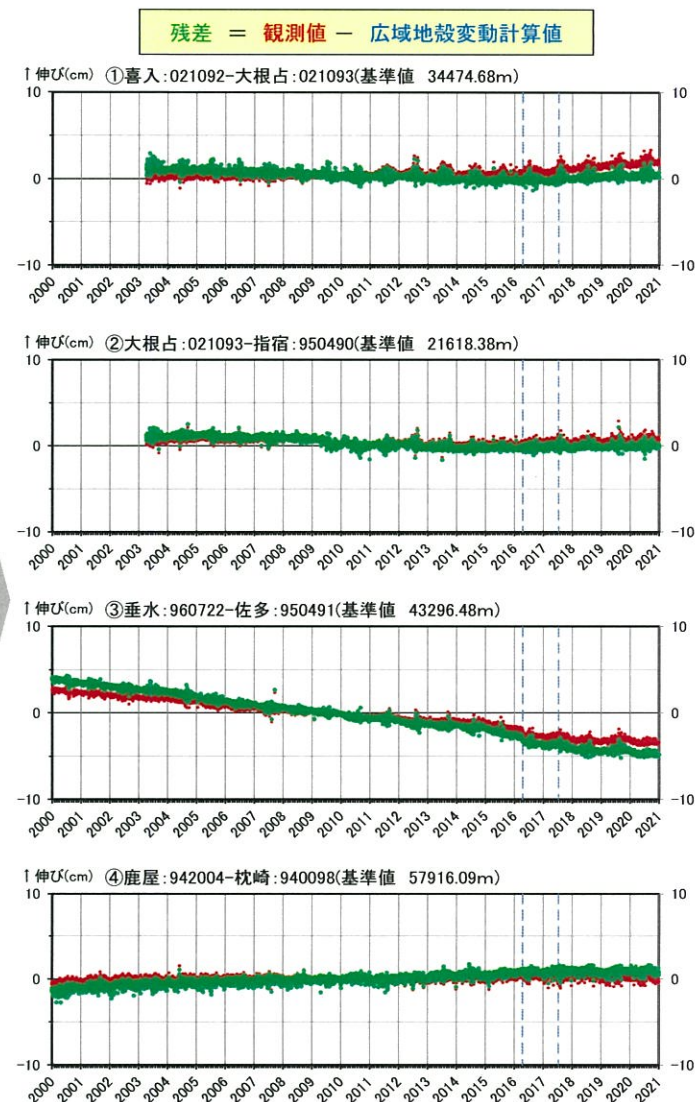
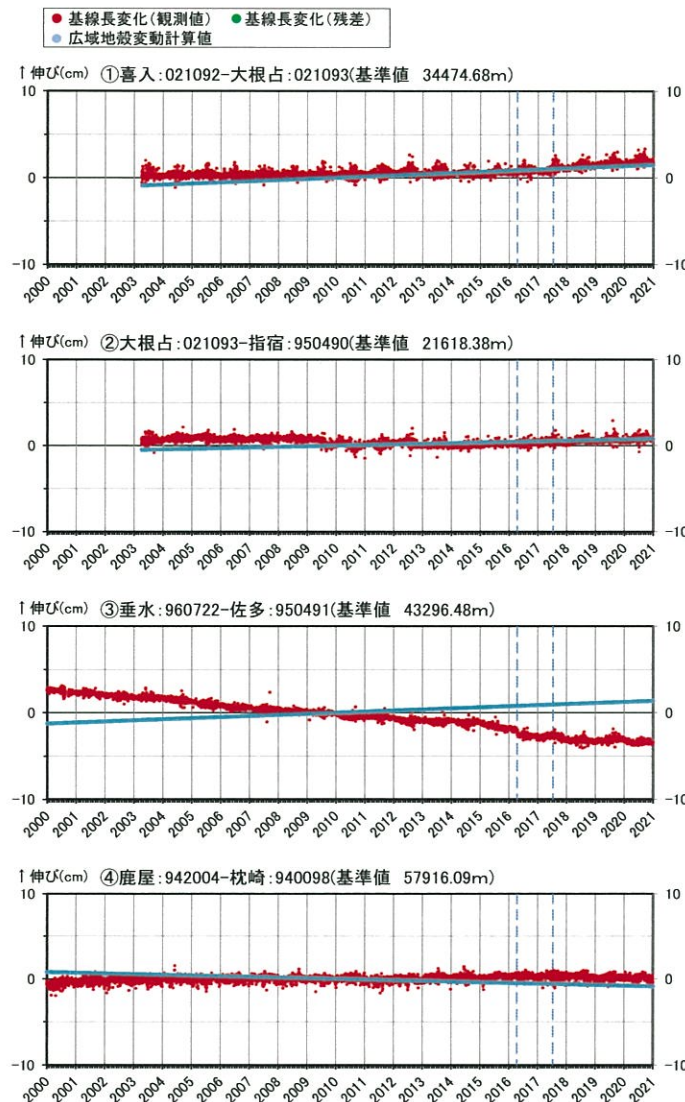
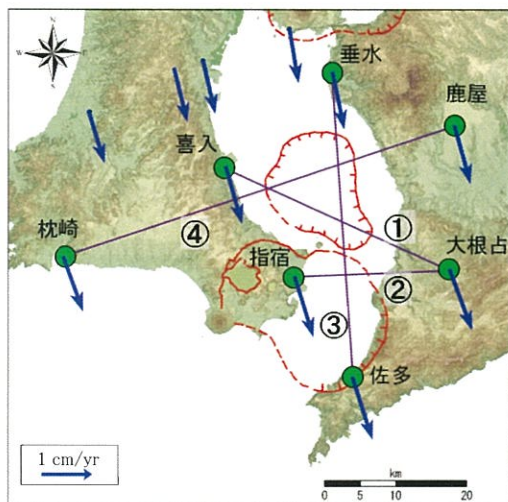
- ・ 始良カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値と概ね同等であることを確認した。
- ・ モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。



※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 青矢印は計算した広域地殻変動ベクトル

# 1. 広域地殻変動の影響検討[阿多カルデラの基線長変化]

- ・阿多カルデラの基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値と概ね同等であることを確認した。
- ・モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。

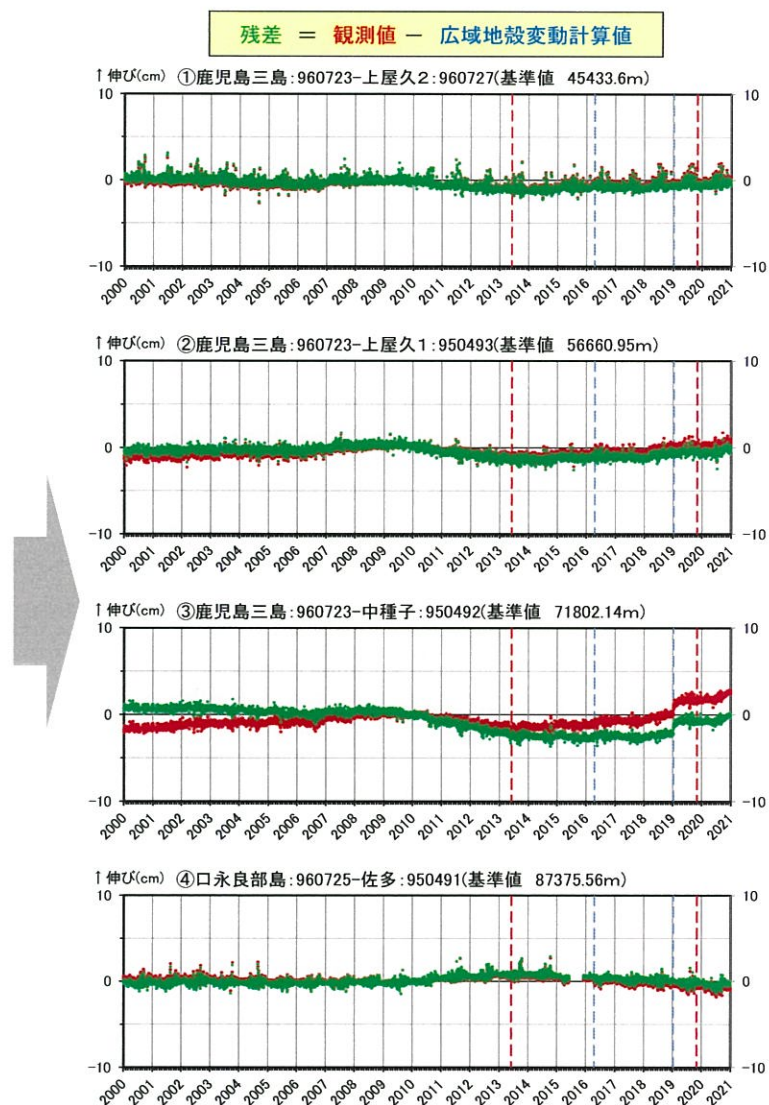
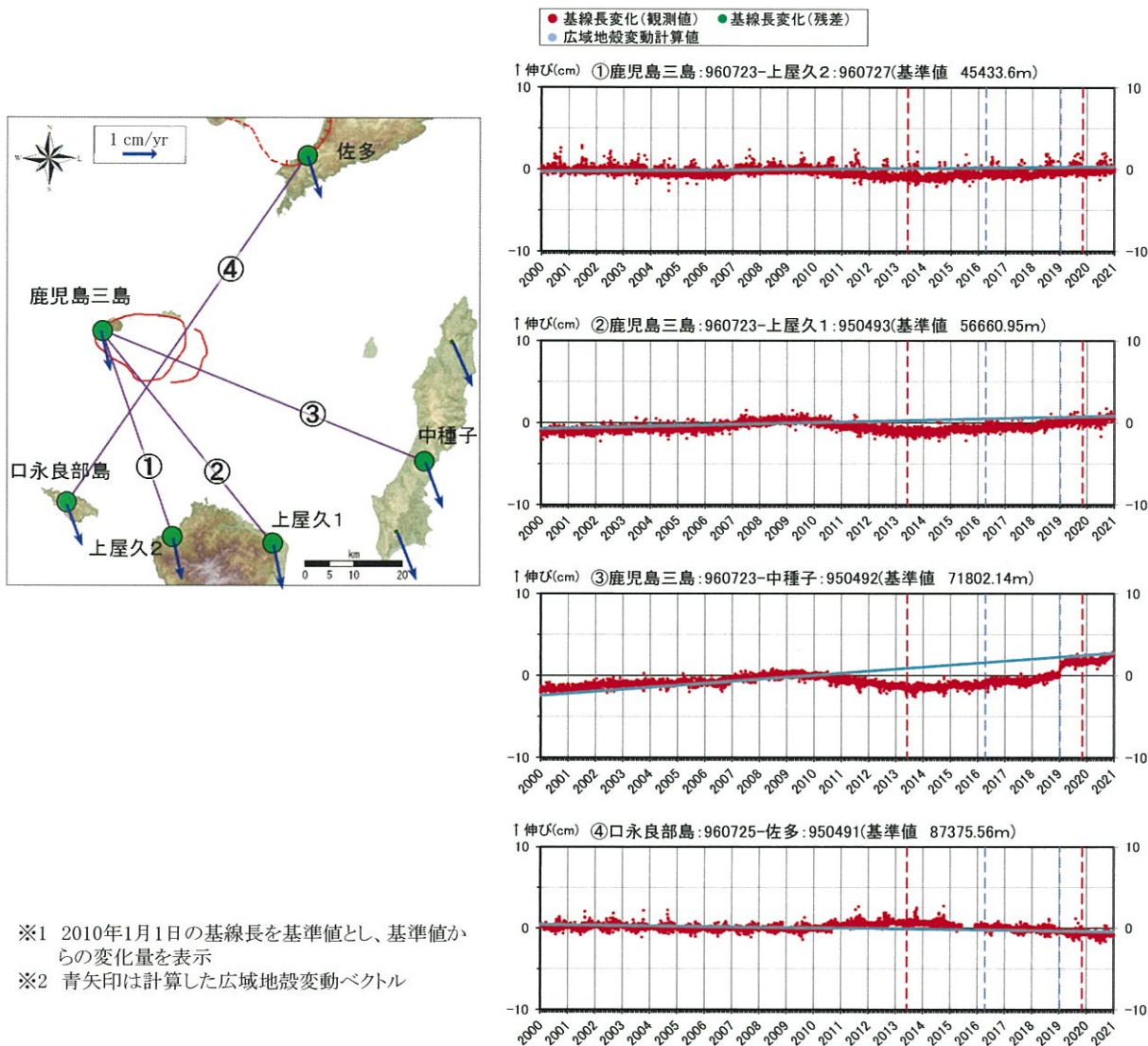


※1 2010年1月1日の基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示  
 ※2 青矢印は計算した広域地殻変動ベクトル



# 1. 広域地殻変動の影響検討[鬼界の基線長変化]


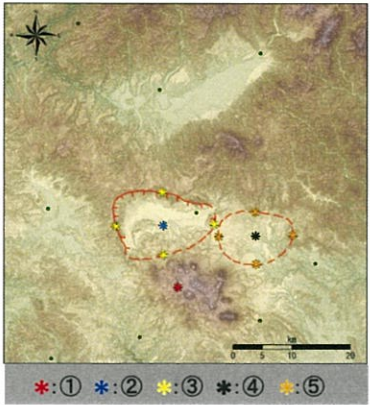
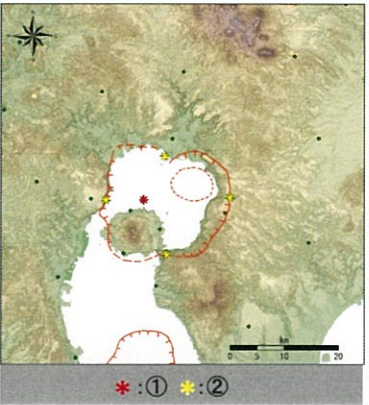
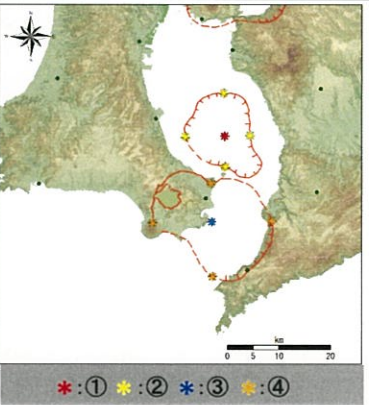
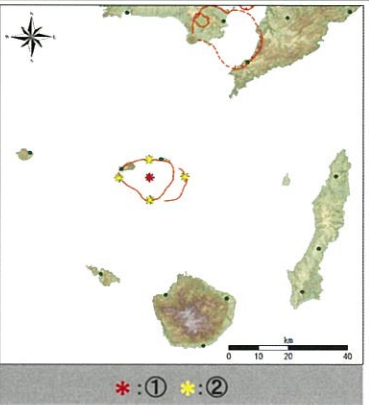
- ・ 鬼界の基線長変化について、観測値から広域地殻変動を除去した残差は、観測値と概ね同等であることを確認した。
- ・ モニタリングにおいて、基線長変化(観測値)に顕著な伸びの傾向が認められた場合、今回の検討で推定した広域地殻変動を除去した残差でも確認していく。



余 白

## 2. 基線長検知能力の検討

- 地殻変動評価に用いている基線は、各カルデラで配置や密度が異なることから、各カルデラにおいて圧力源を仮定し、茂木モデルを用いて、マグマ供給率 $0.05\text{km}^3/\text{年}$ の時の基線長変化量を算出し、基線の検知能力の検討を行った。
- 今年度は、算出した広域地殻変動を考慮した基線の検知能力の検討を行った。

カルデラ	阿蘇	加久藤・小林	始良	阿多	鬼界
圧力源位置	 <p>*:① *:② *:③ *:④</p>	 <p>*:① *:② *:③ *:④ *:⑤</p>	 <p>*:① *:②</p>	 <p>*:① *:② *:③ *:④</p>	 <p>*:① *:②</p>
	①Sudo & Kong(2001) ②Hata et al.(2018) のマグマ溜まり浅部※ <sup>1</sup> ③Hata et al.(2018) のマグマ溜まり深部※ <sup>1</sup> ④カルデラリムの東西南北	①Nakao et al.(2013) ②加久藤カルデラの中心 ③加久藤カルデラリムの東西南北 ④小林カルデラの中心 ⑤小林カルデラリムの東西南北	①井口ほか(2008) ②カルデラリムの東西南北	①北側カルデラの中心 ②北側カルデラリムの東西南北 ③南側カルデラの中心 ④南側カルデラリムの東西南北	①カルデラの中心 ②カルデラリムの東西南北
圧力源深度	10km※ <sup>2</sup>	10km※ <sup>2</sup>	圧力源位置①: 11km※ <sup>3</sup> 圧力源位置②: 10km※ <sup>2</sup>	10km※ <sup>2</sup>	10km※ <sup>2</sup>
マグマ供給率	$0.05\text{km}^3/\text{年}$ ※ <sup>4</sup>				

※<sup>1</sup> Hata et al.(2018)で確認された低抵抗領域(C1)のマグマ溜まり浅部(深度6~7km)及びマグマ溜まり深部(深度15~17km)の平面分布の中心を圧力源位置と仮定した

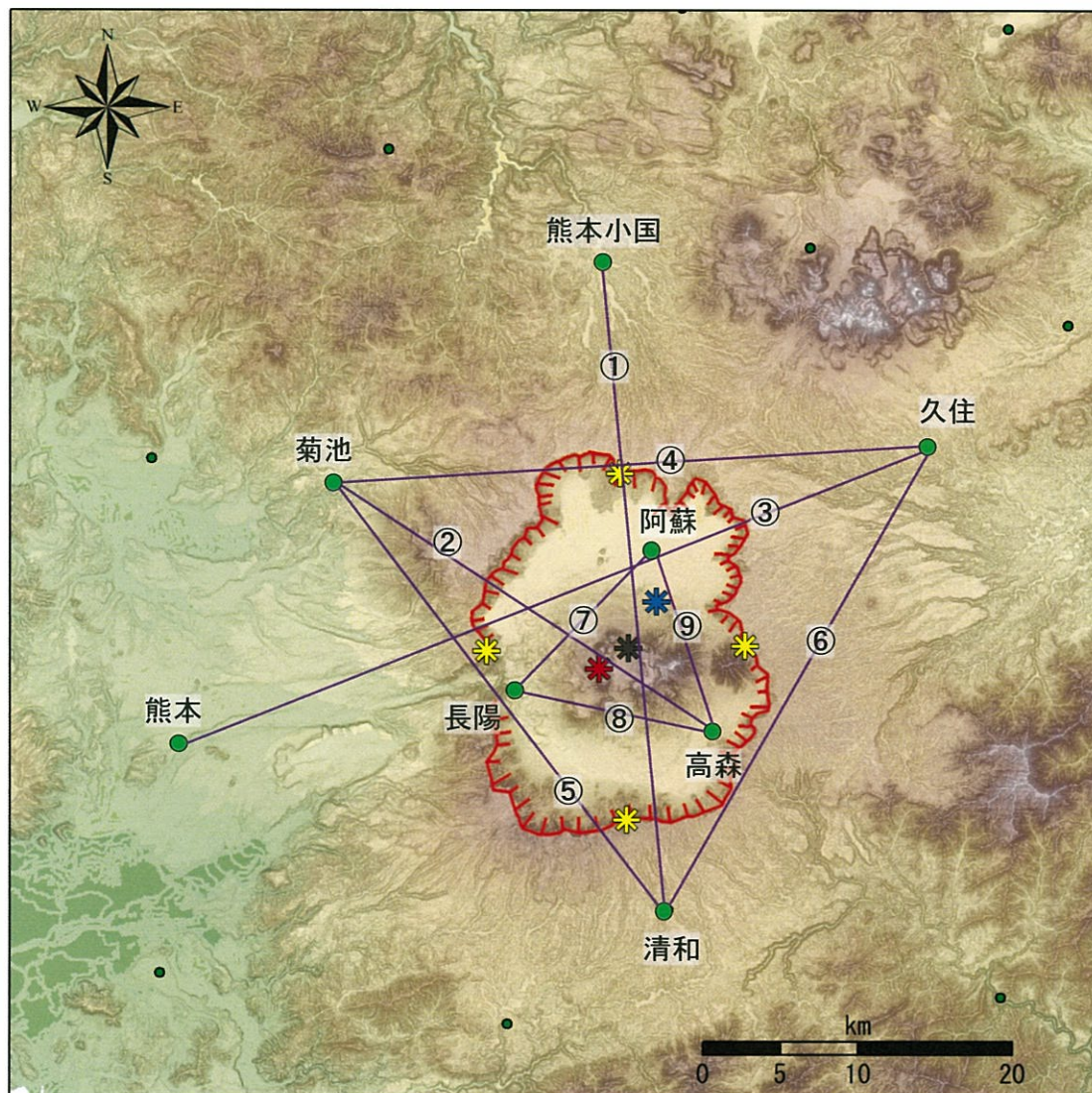
※<sup>2</sup> 破局的噴火を発生させる珪長質マグマ溜まりは深度10km以浅にあると考えられるため、10kmに設定した

※<sup>3</sup> 井口ほか(2008)の圧力源深度

※<sup>4</sup> Druitt et al.(2012)によるマグマ供給率の最小値

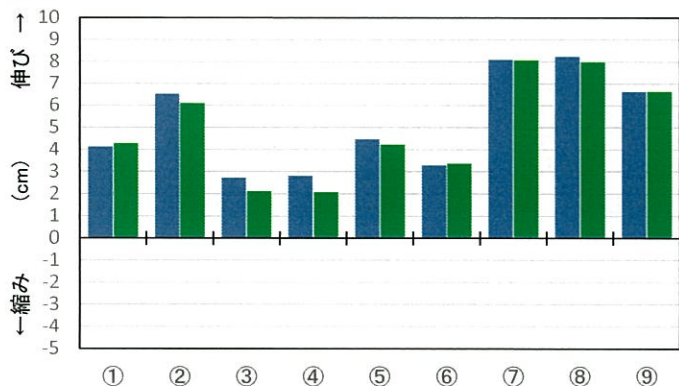
## 2. 基線長検知能力の検討[阿蘇カルデラ]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

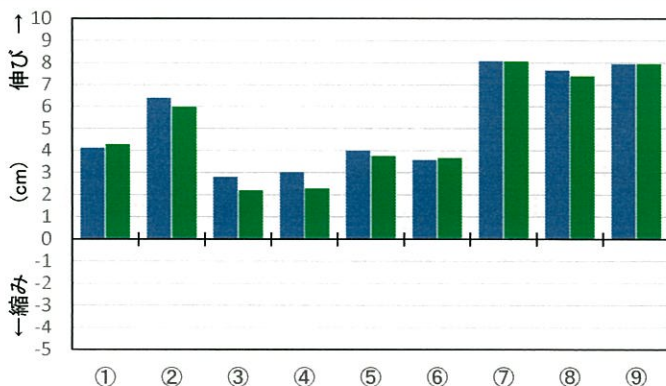


- \* Sudo & Kong(2001)
- \* Hata et al.(2018) のマグマ溜まり浅部
- \* Hata et al.(2018) のマグマ溜まり深部
- \* カルデラリムの東西南北

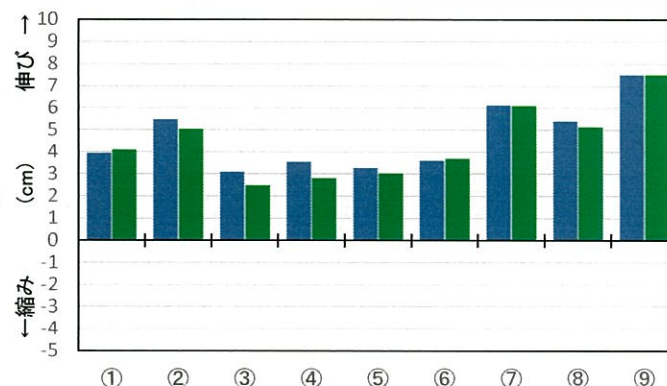
## 2. 基線長検知能力の検討[阿蘇カルデラ]



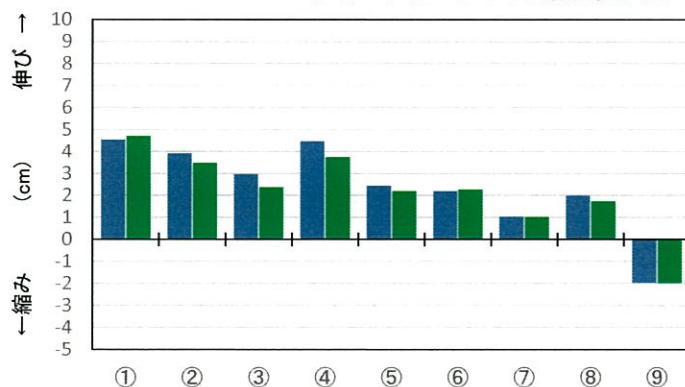
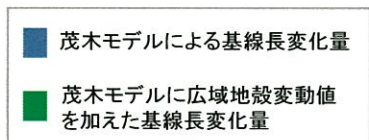
Sudo & Kong (2001) の位置における基線長変化量



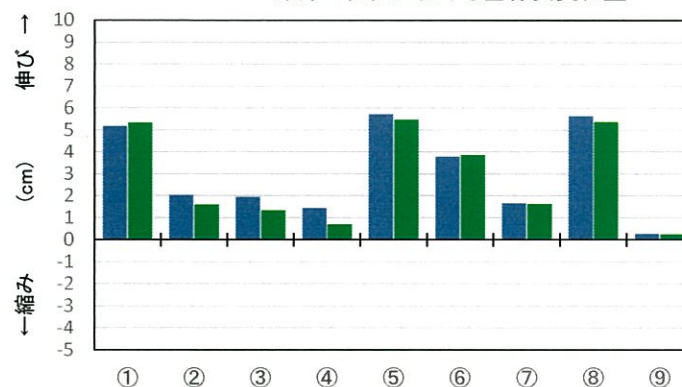
Hata et al. (2018) のマグマ溜まり浅部の位置における基線長変化量



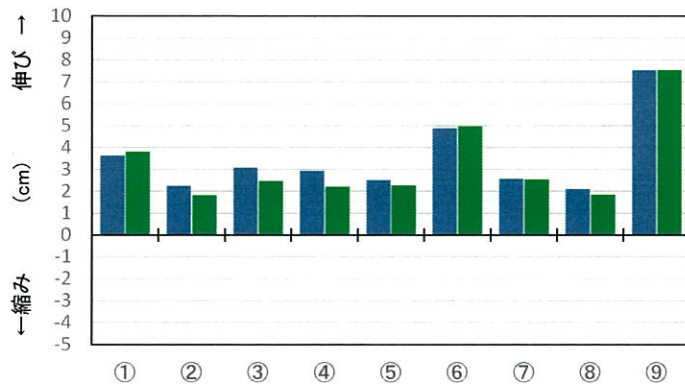
Hata et al. (2018) のマグマ溜まり深部の位置における基線長変化量



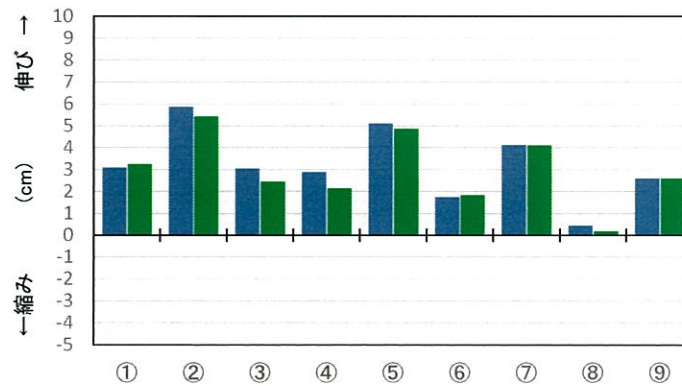
カルデラリム北側の位置における基線長変化量



カルデラリム南側の位置における基線長変化量



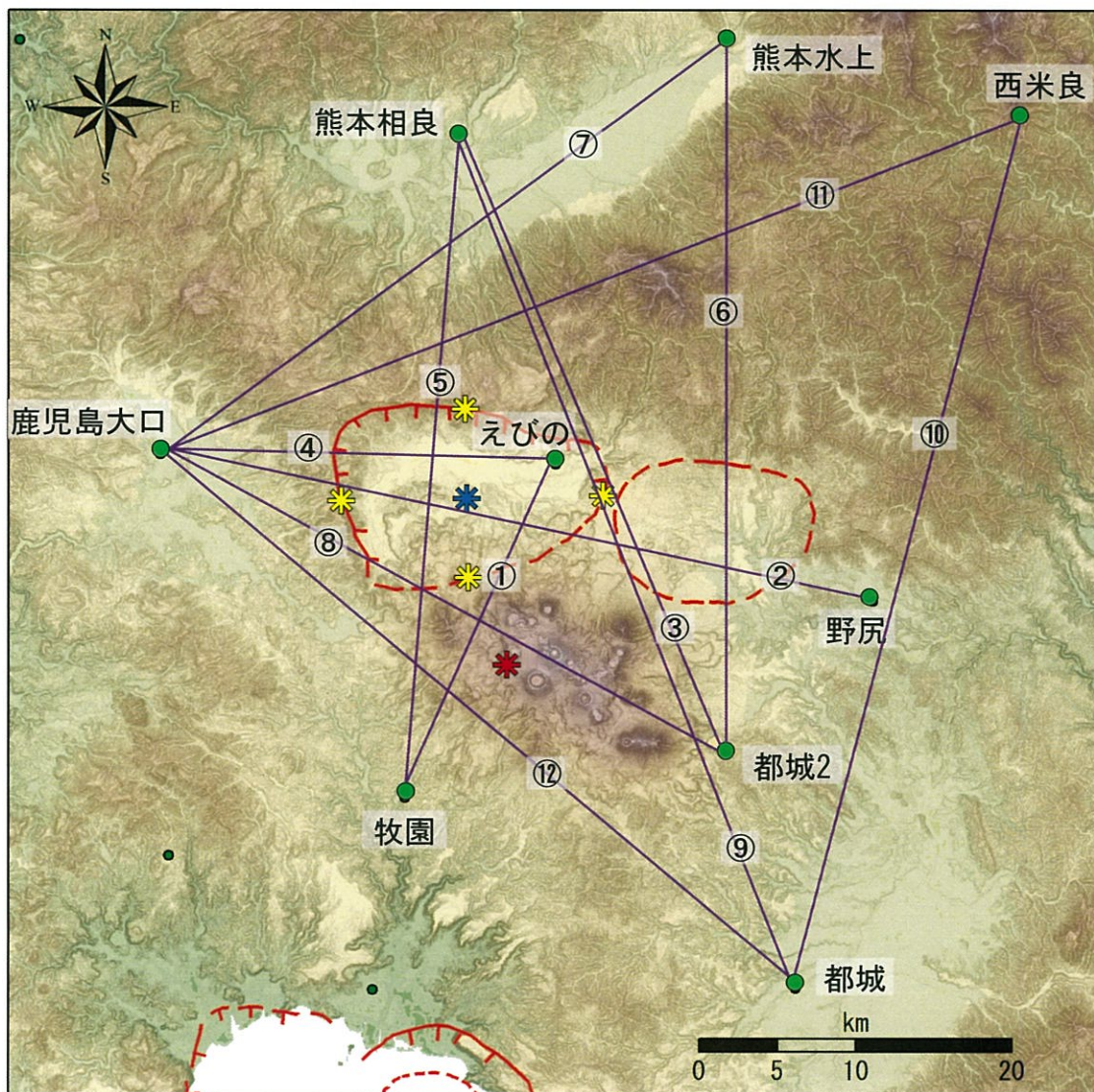
カルデラリム東側の位置における基線長変化量



カルデラリム西側の位置における基線長変化量

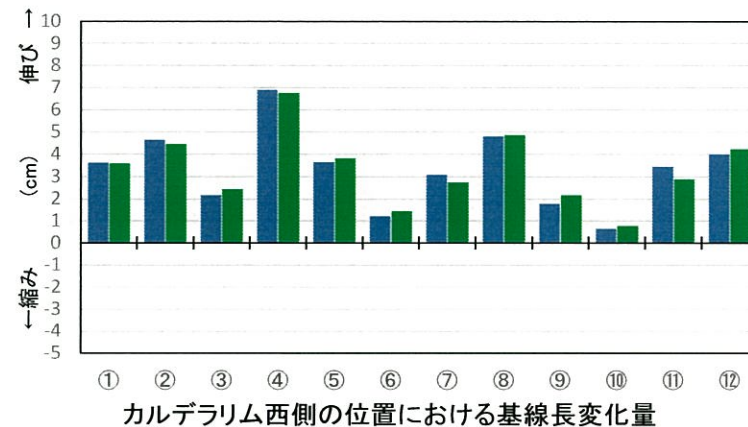
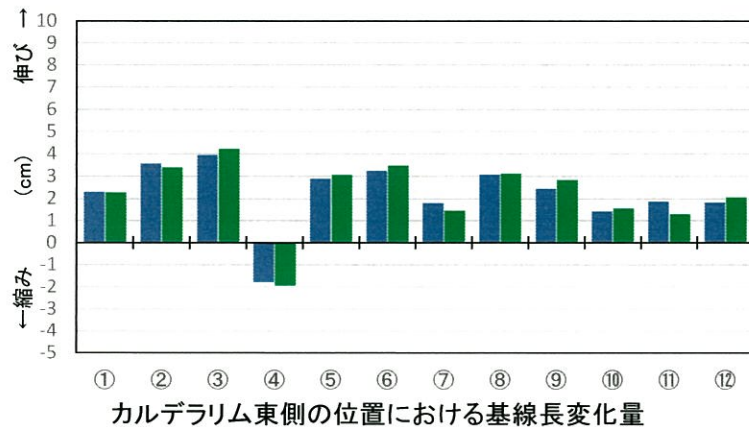
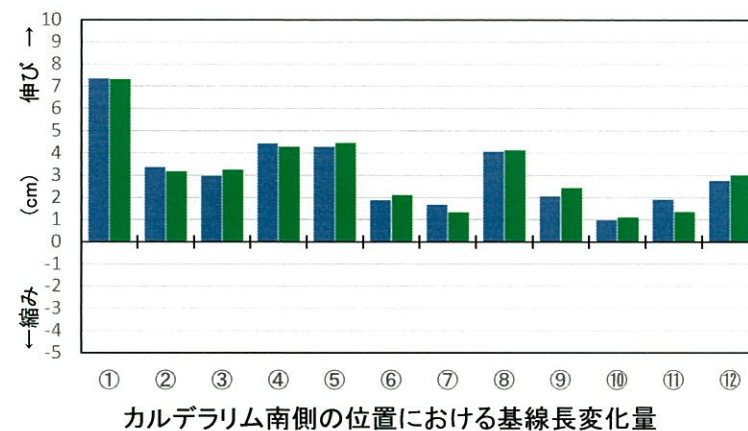
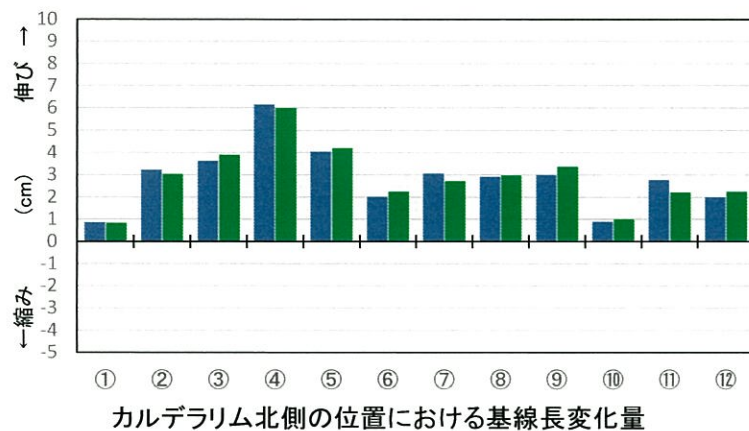
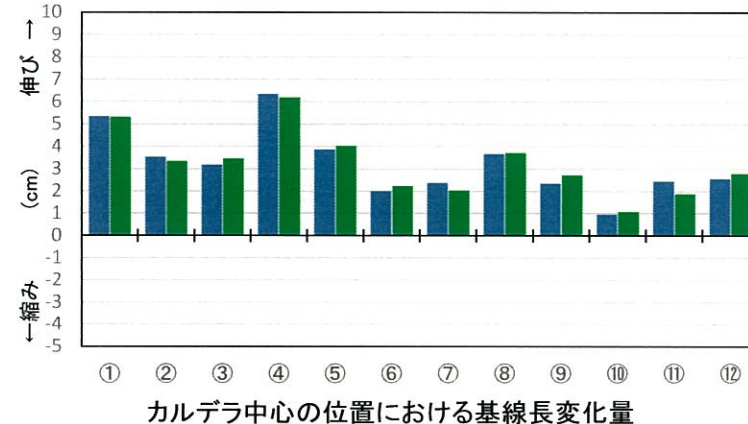
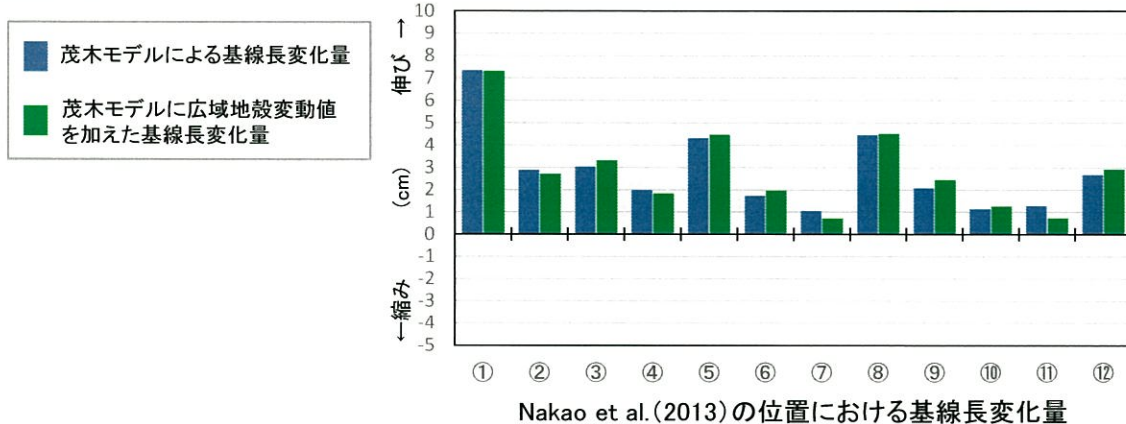
## 2. 基線長検知能力の検討[加久藤・小林カルデラ(加久藤カルデラ)]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。



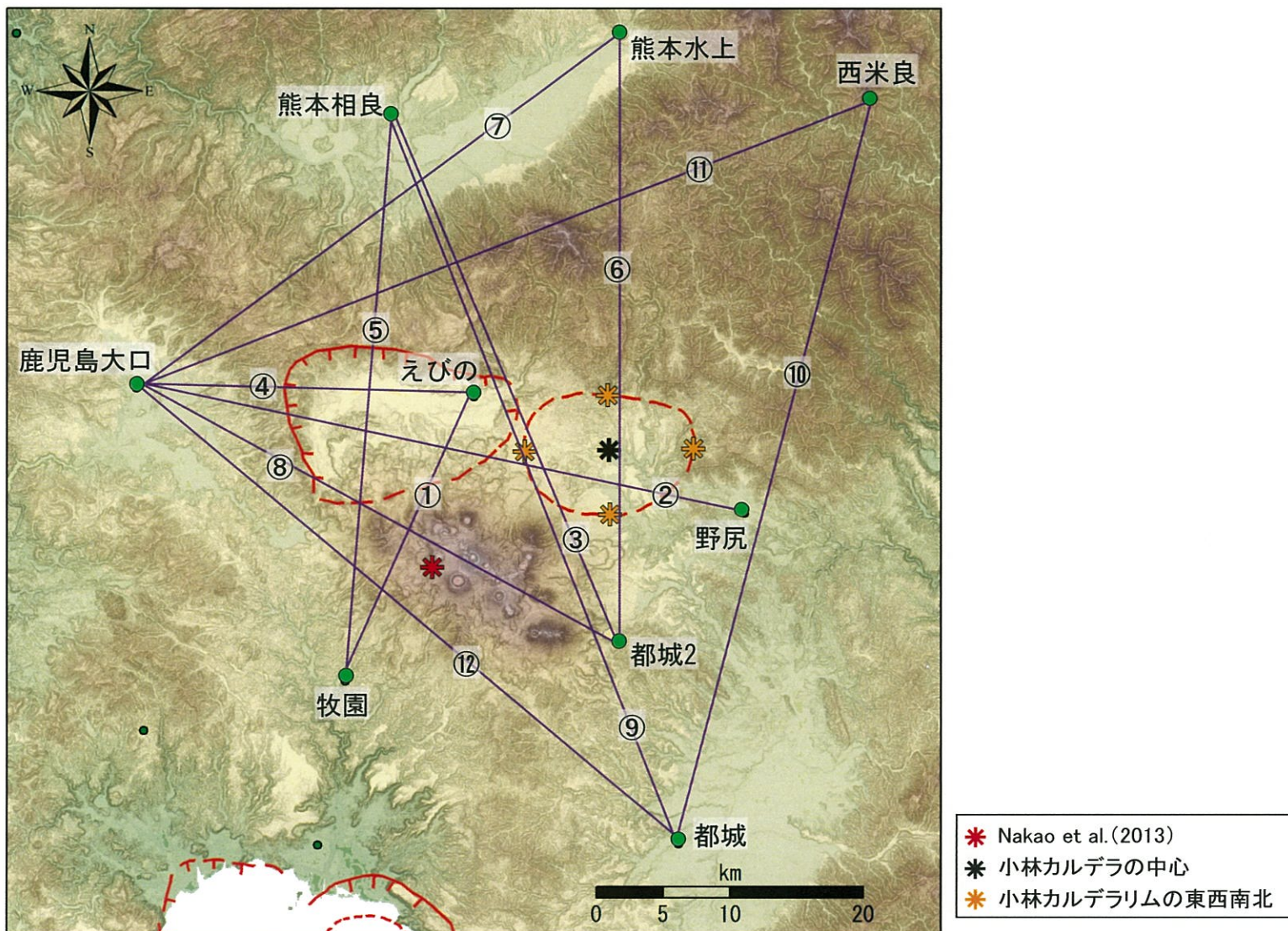
- \* Nakao et al. (2013)
- \* 加久藤カルデラの中心
- \* 加久藤カルデラリムの東西南北

## 2. 基線長検知能力の検討[加久藤・小林カルデラ(加久藤カルデラ)]



## 2. 基線長検知能力の検討[加久藤・小林カルデラ(小林カルデラ)]

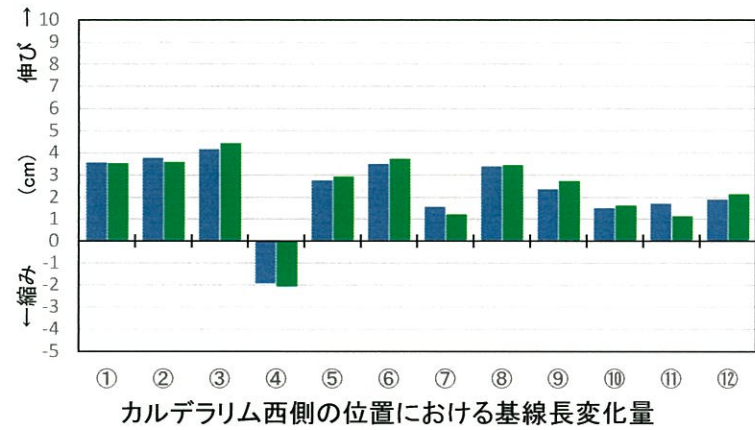
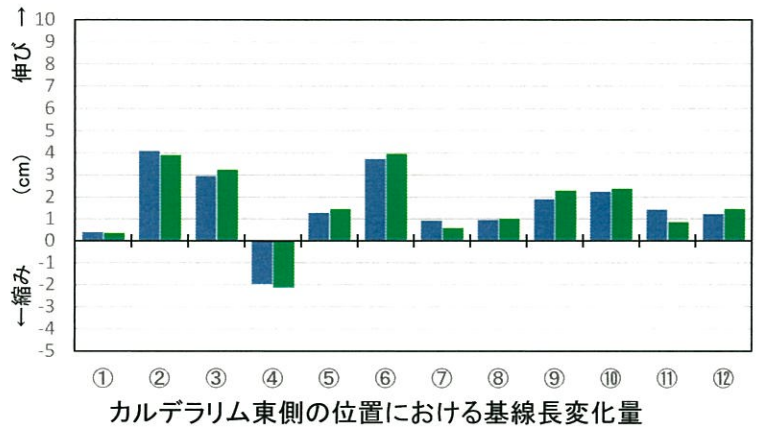
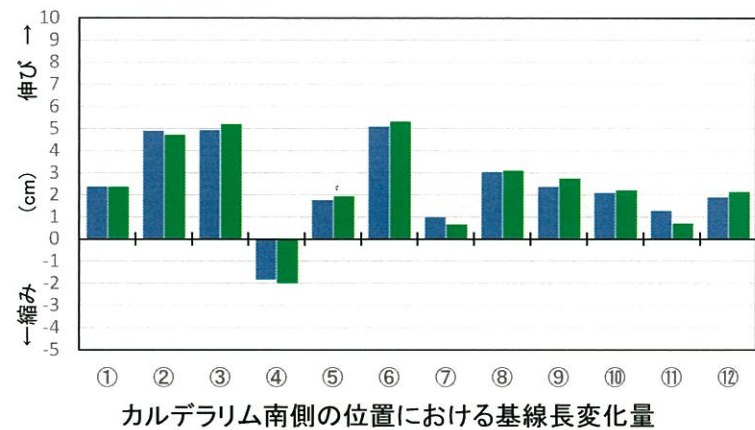
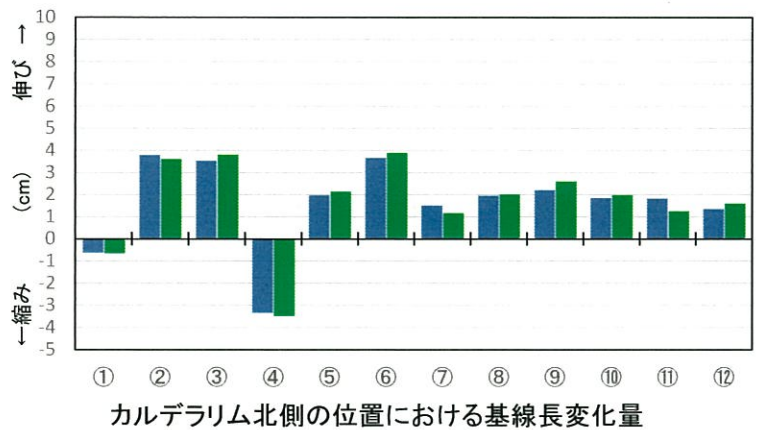
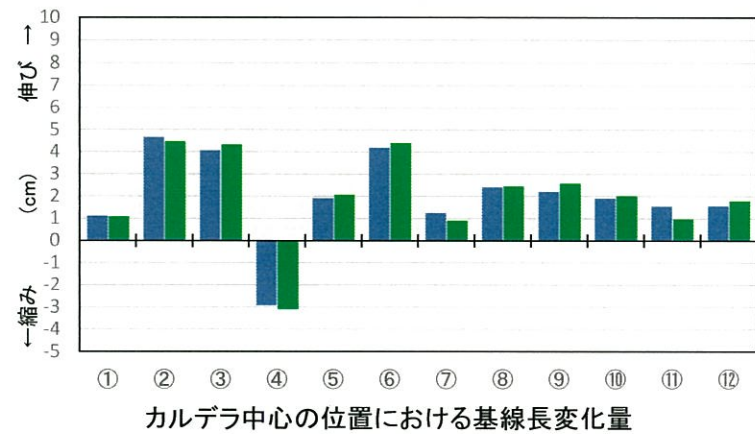
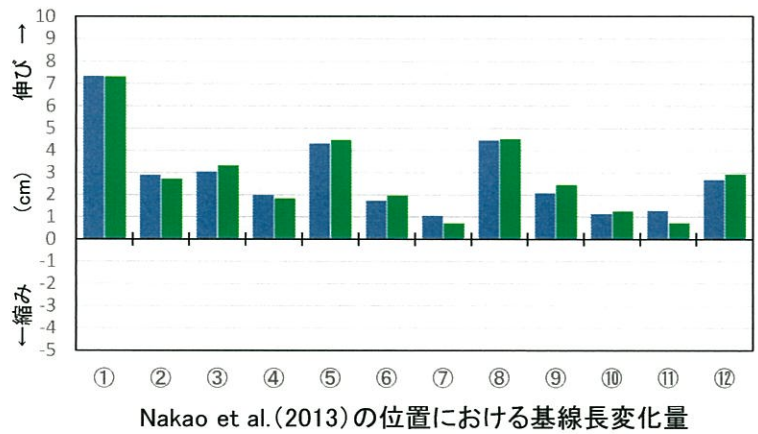
- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。





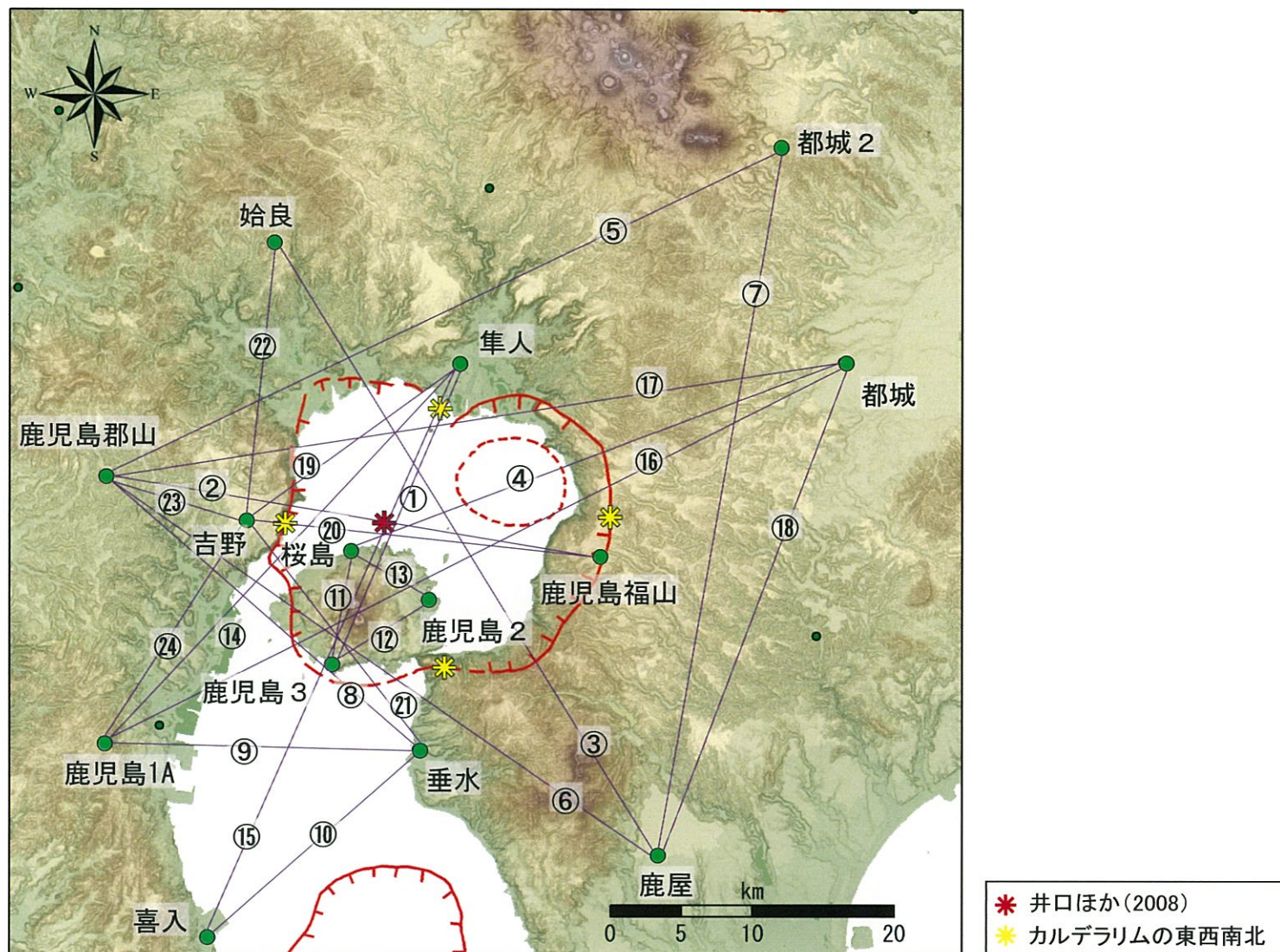
## 2. 基線長検知能力の検討[加久藤・小林カルデラ(小林カルデラ)]

■ 茂木モデルによる基線長変化量  
■ 茂木モデルに広域地殻変動値を加えた基線長変化量

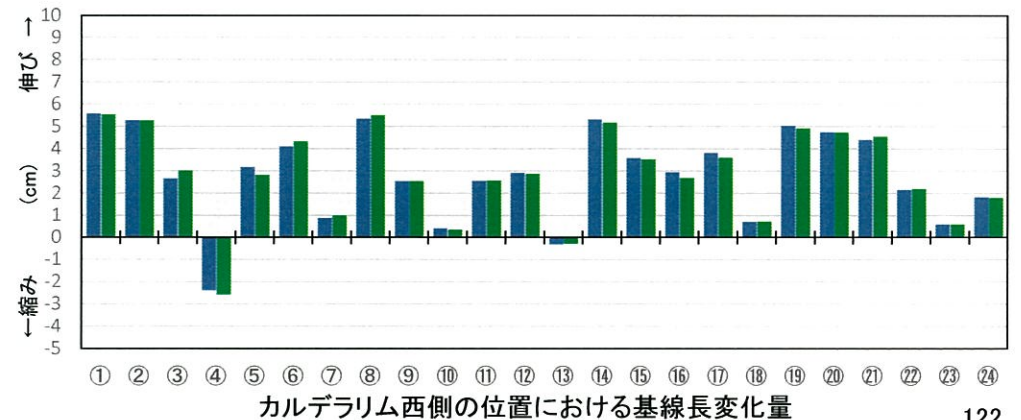
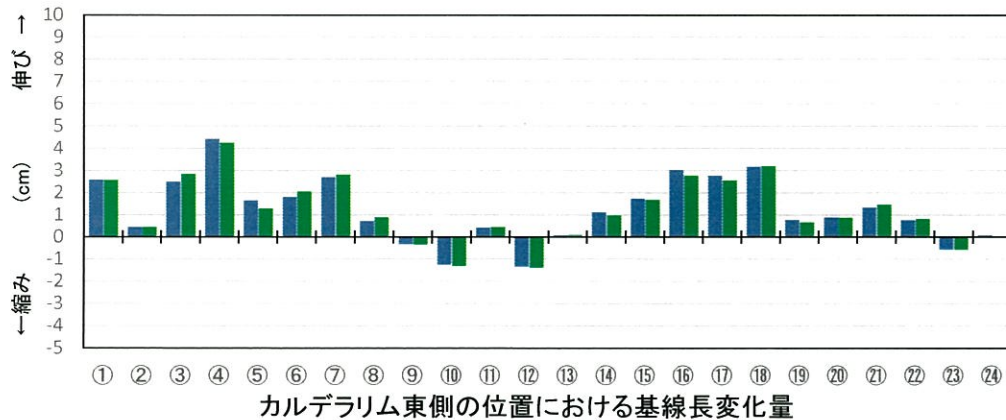
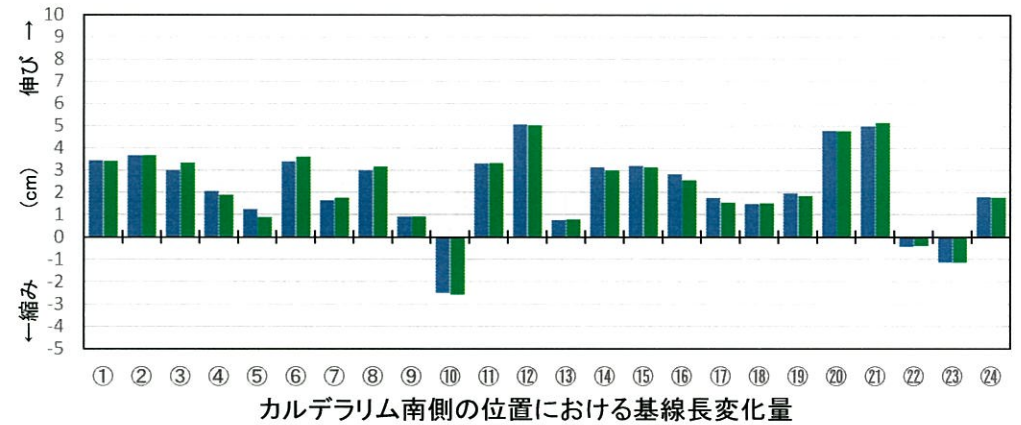
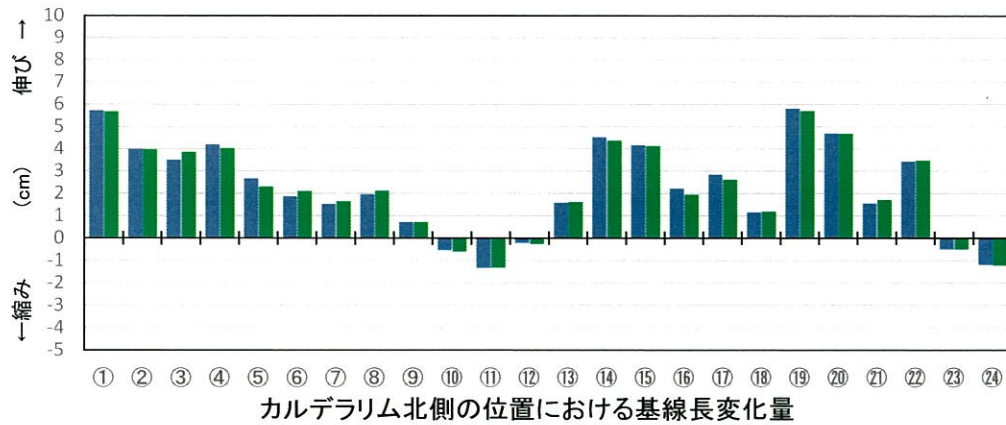
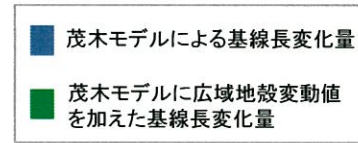
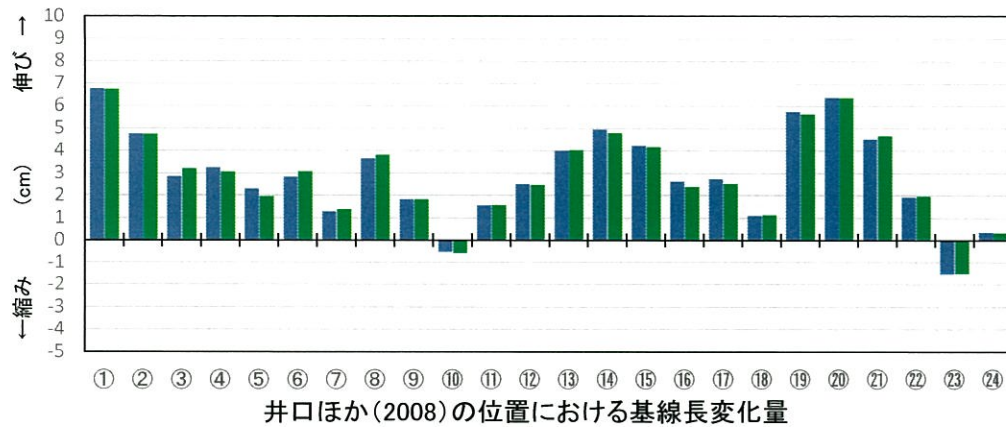


## 2. 基線長検知能力の検討[始良カルデラ]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

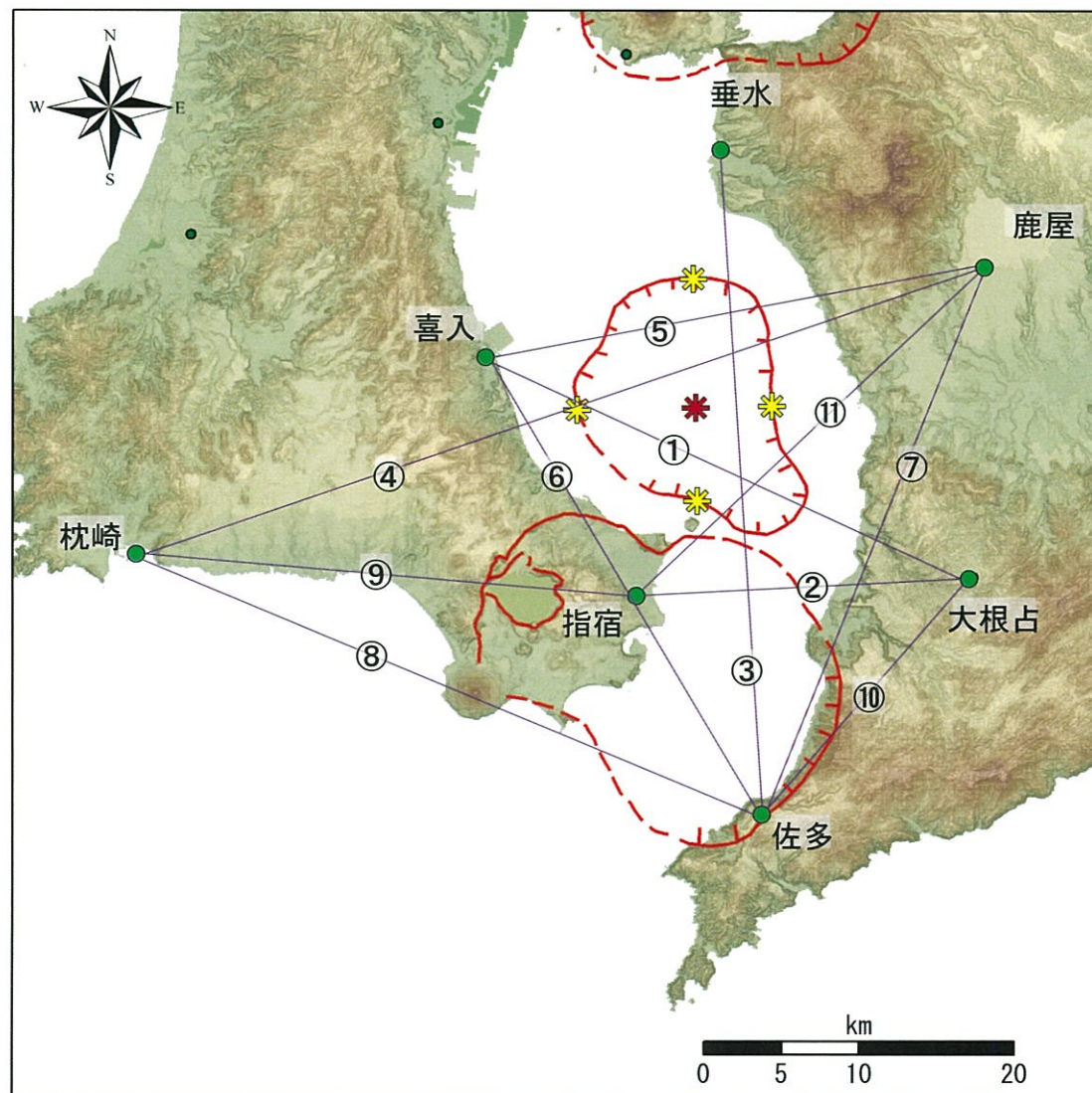


## 2. 基線長検知能力の検討[始良カルデラ]

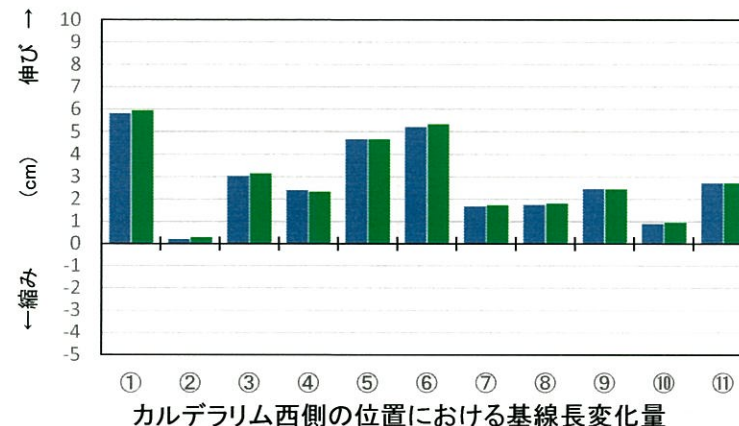
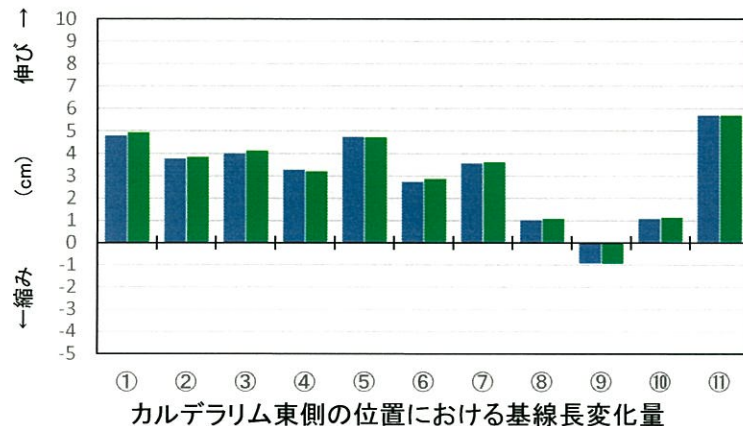
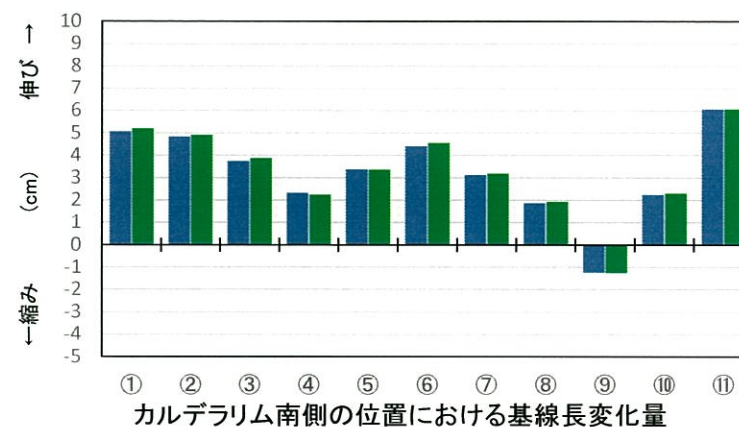
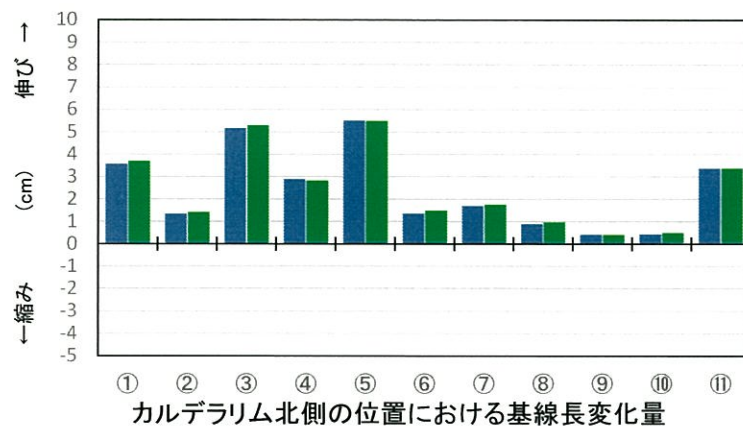
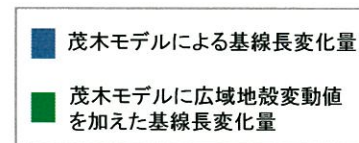
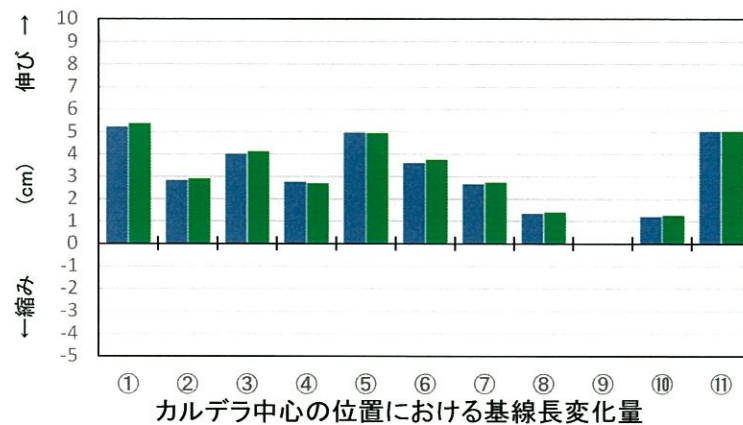


## 2. 基線長検知能力の検討[阿多カルデラ(北側カルデラ)]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

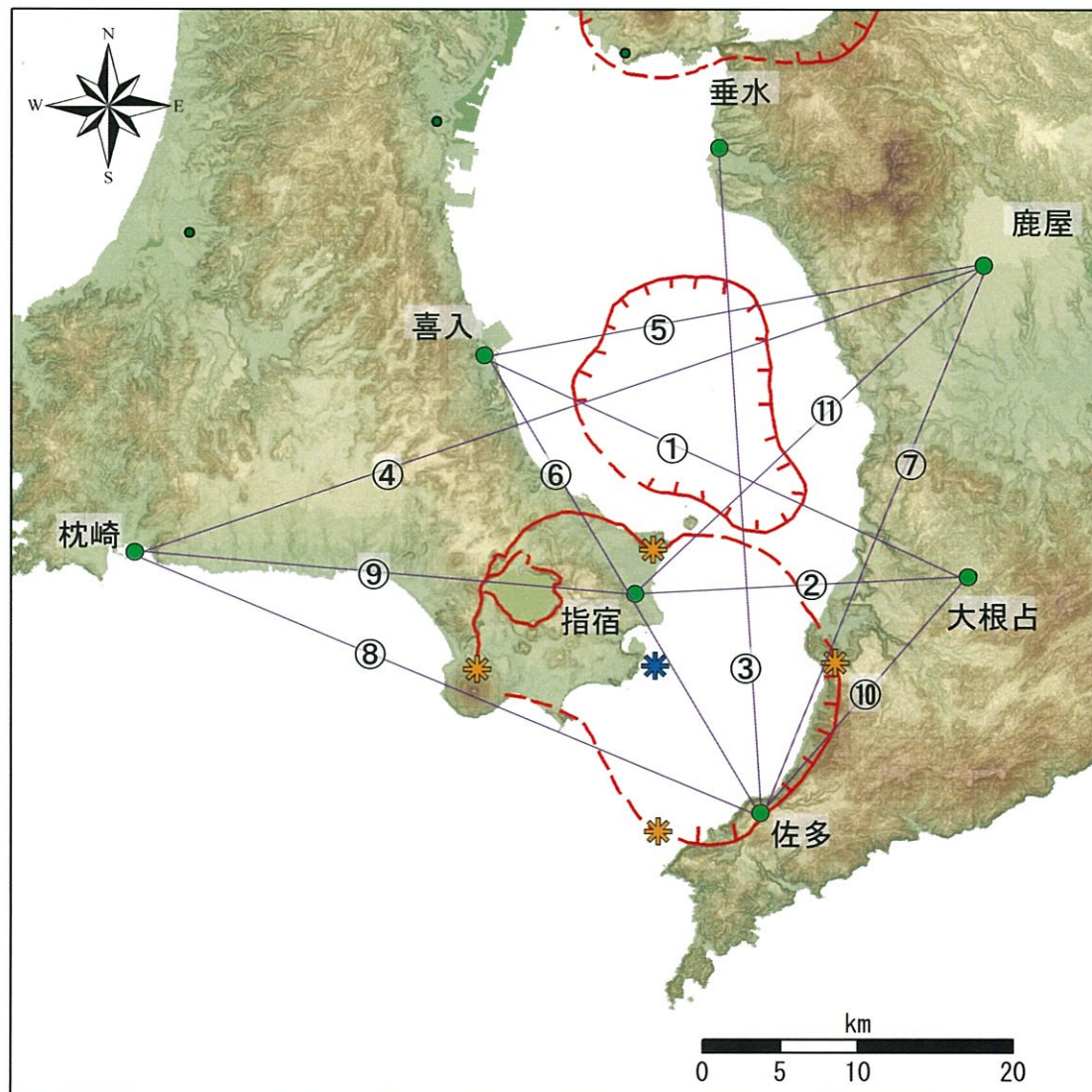


## 2. 基線長検知能力の検討[阿多カルデラ(北側カルデラ)]

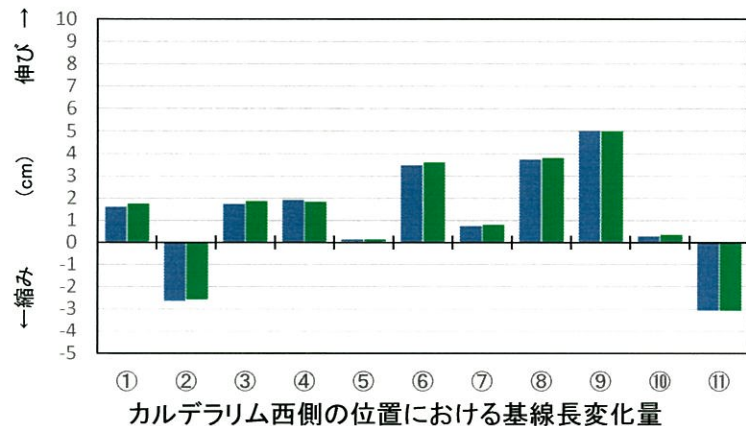
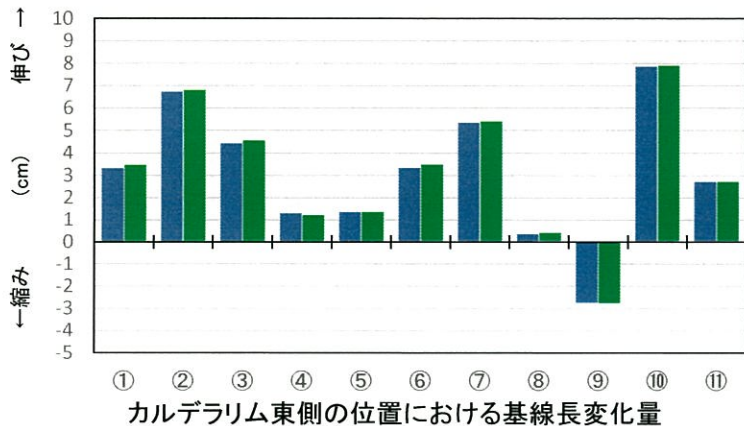
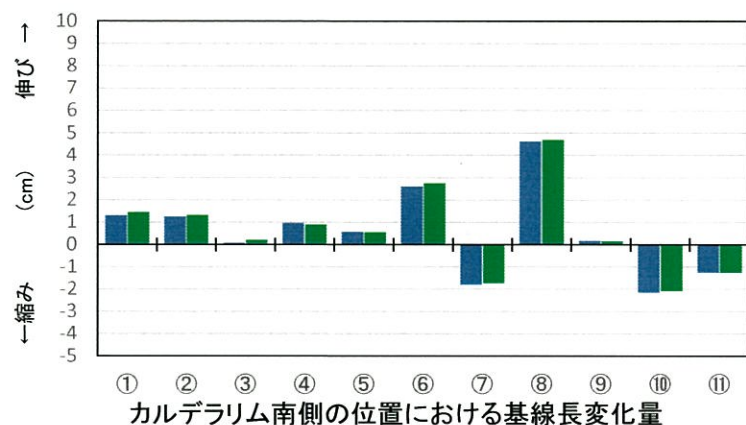
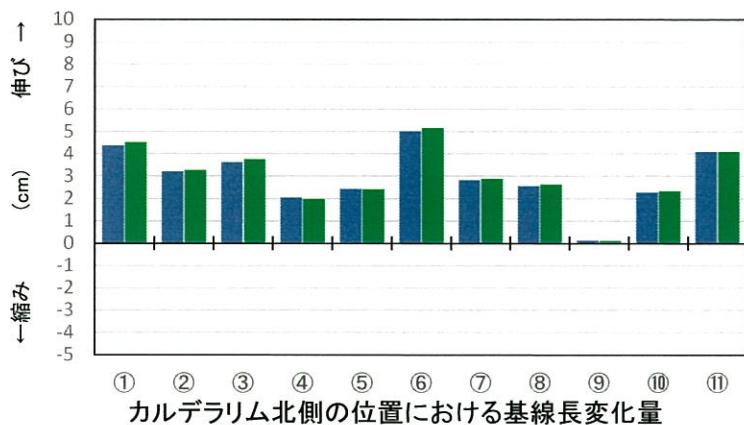
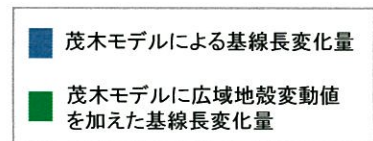
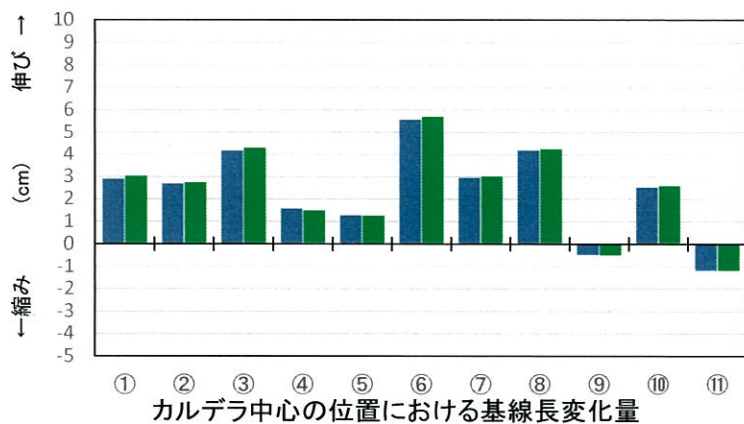


## 2. 基線長検知能力の検討[阿多カルデラ(南側カルデラ)]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

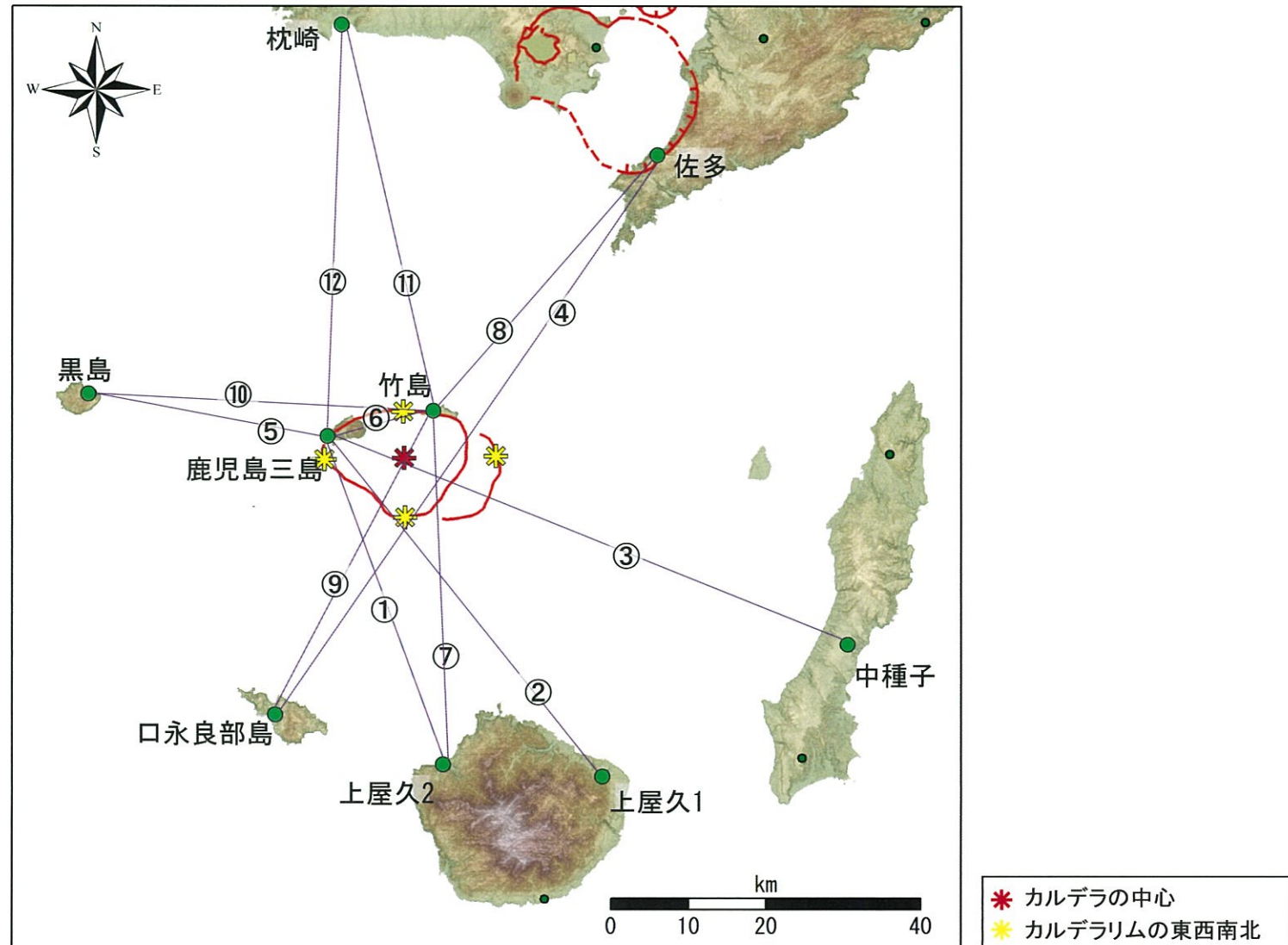


## 2. 基線長検知能力の検討[阿多カルデラ(南側カルデラ)]



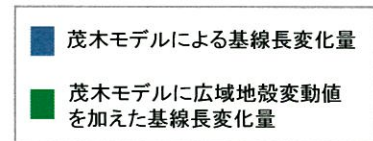
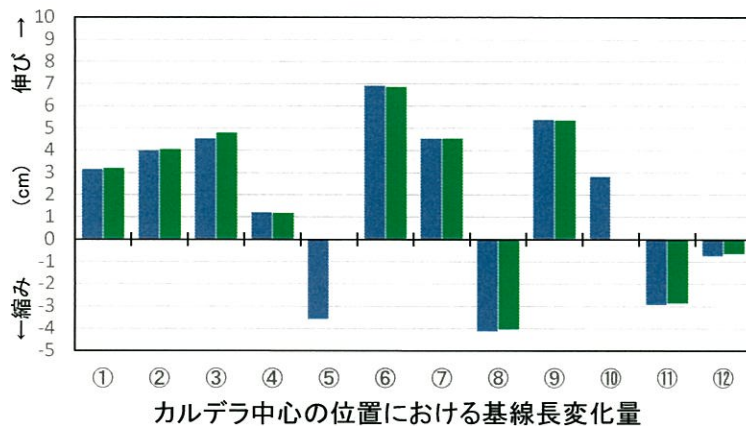
## 2. 基線長検知能力の検討[鬼界]

- 0.05km<sup>3</sup>/年のマグマ供給があった場合、広域地殻変動値を加えても、いずれの圧力源においても数cmの変化量を示す基線が複数確認されたことから、大規模なマグマ供給があった場合は、現在の基線で検知できると考えられる。

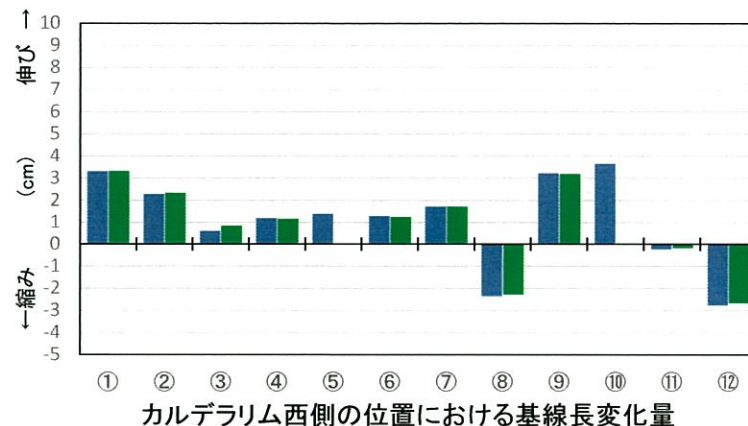
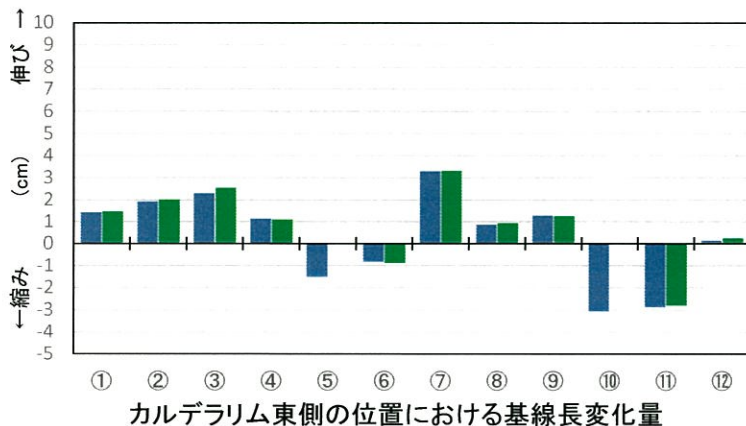
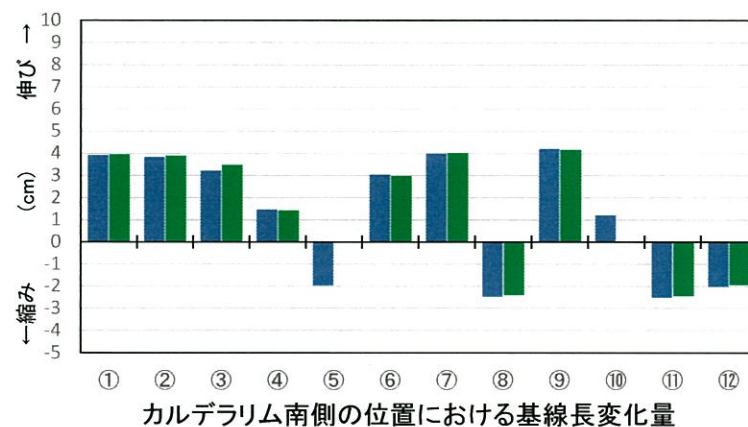
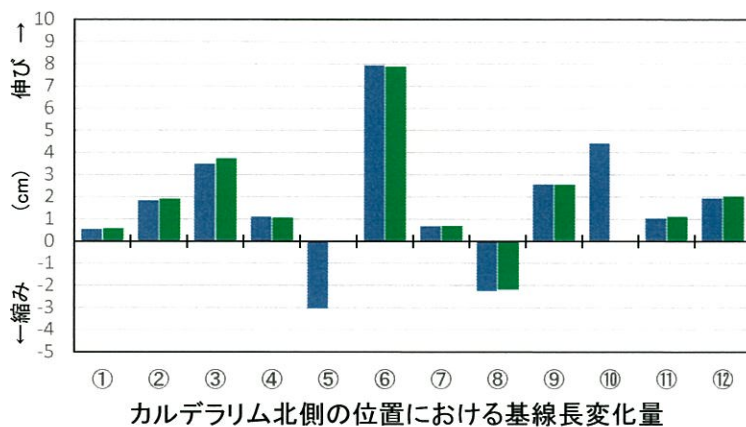




## 2. 基線長検知能力の検討[鬼界]



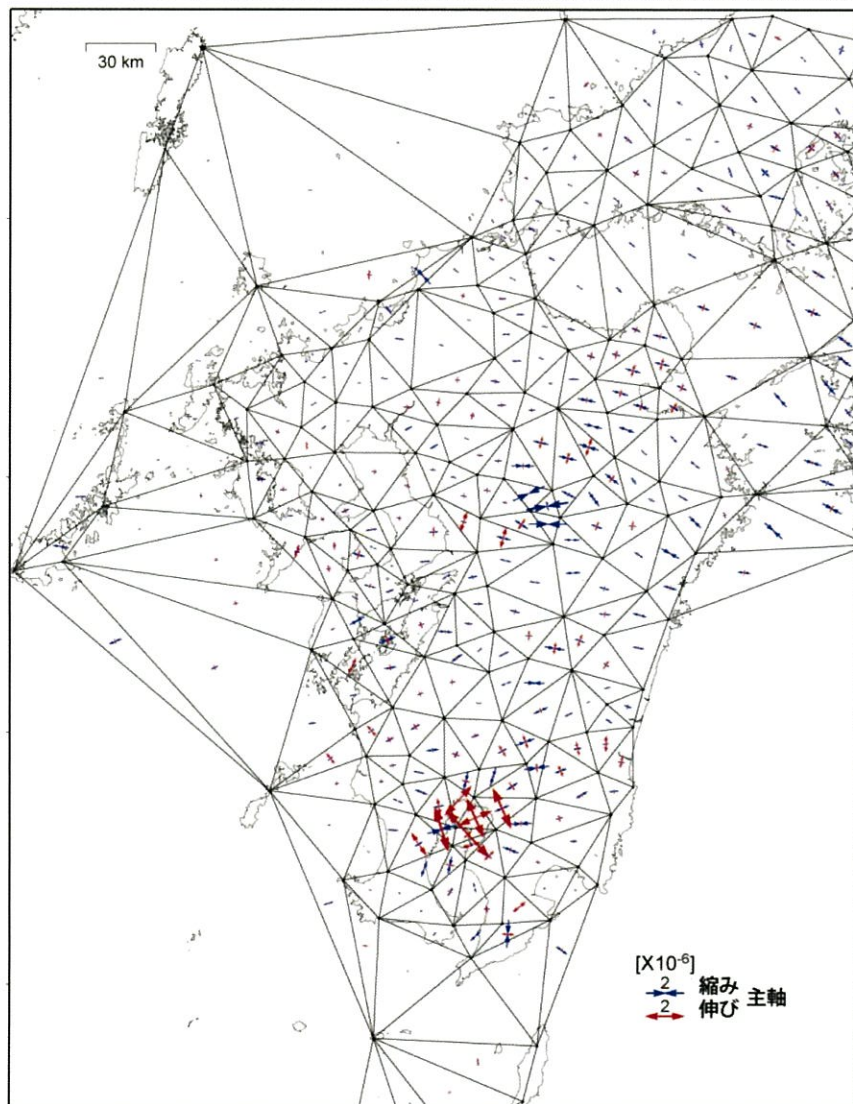
※ ⑤、⑩基線については、周囲の観測点が少ない黒島を  
広域地殻変動の影響検討範囲から除外しているため、  
茂木モデルに広域地殻変動量を加えた基線長検知能力  
の検討は実施していない



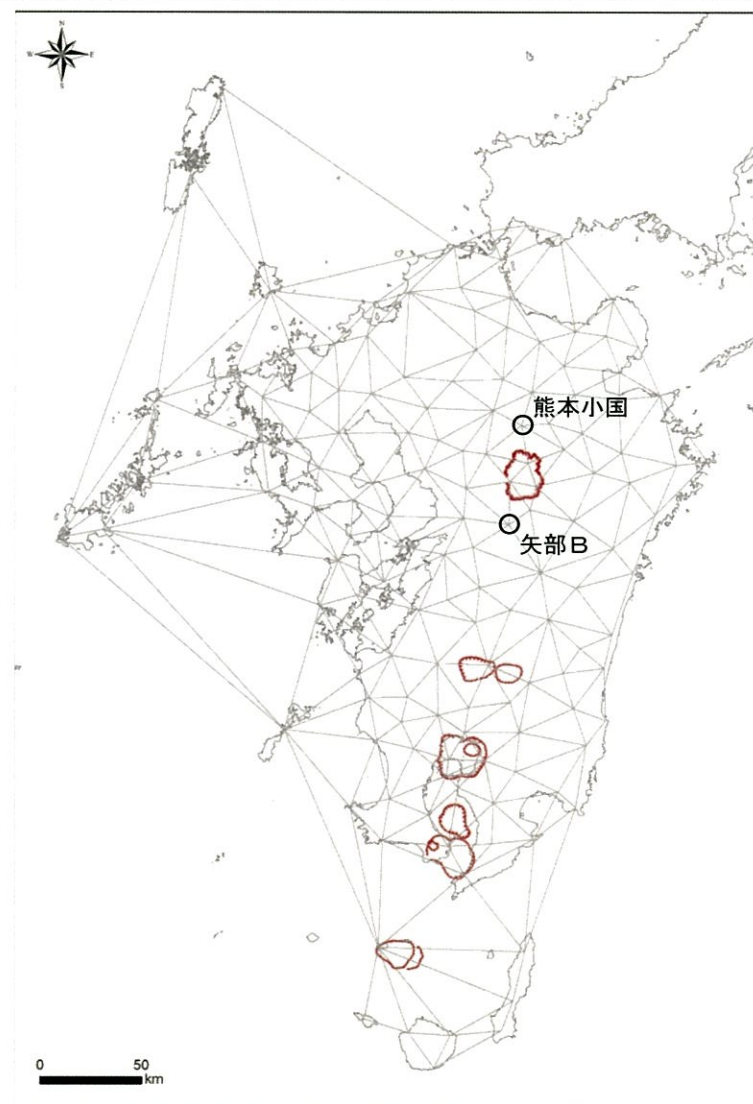
余 白

### 3. カルデラ火山周辺のひずみ場検討[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」と「矢部B」を追加したメッシュの切り方に変更した。



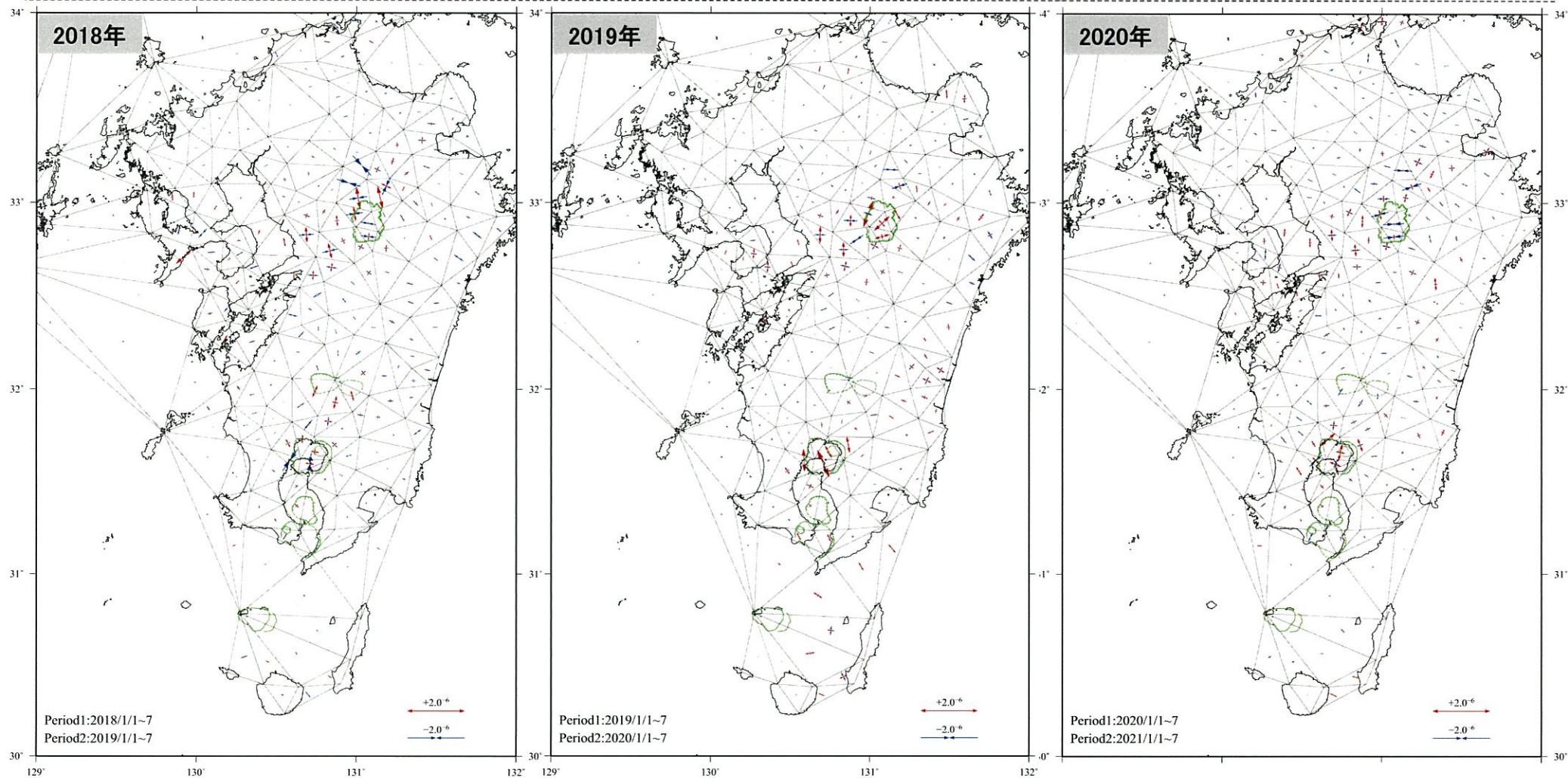
地震調査委員会(2013)の解析メッシュ【九州地域の活断層の長期評価(第一版)】



当社の解析メッシュ

### 3. カルデラ火山周辺のひずみ場検討[水平ひずみ速度分布]

- ・阿蘇カルデラ周辺では熊本地震の影響、始良カルデラ周辺では火山の影響と考えられる継続的な水平ひずみが認められる。阿蘇カルデラ周辺の水平ひずみでは昨年は伸びがみられたが、今年は収縮に転じた。
- ・加久藤・小林カルデラ、阿多カルデラおよび鬼界では、顕著な水平ひずみは認められない。



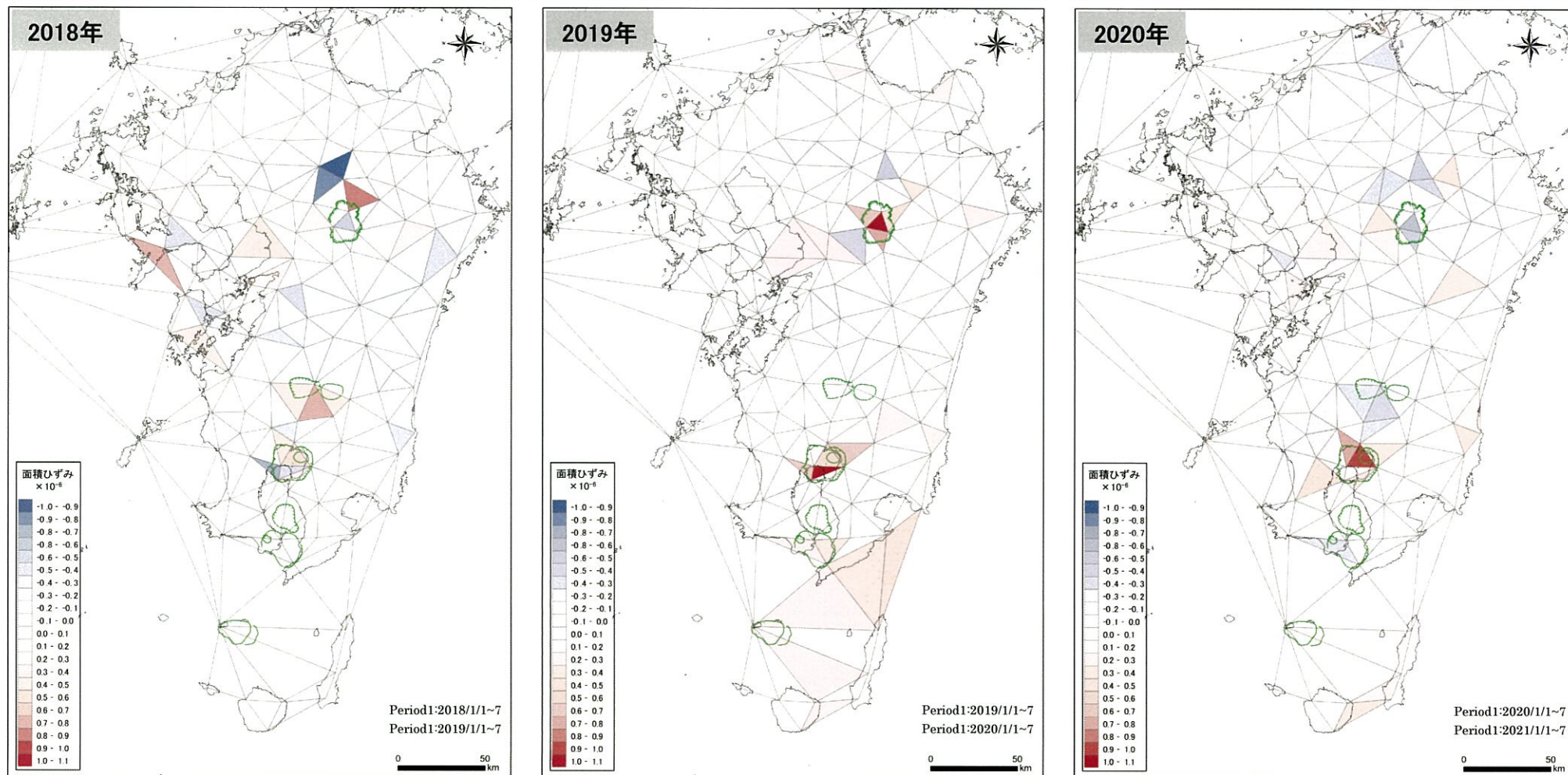
※1 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1~7までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※2 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)

※3 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~現在(2021/3/31)でデータ欠如)

### 3. カルデラ火山周辺のひずみ場検討[面積ひずみ分布]

- 阿蘇カルデラ周辺では熊本地震の影響、始良カルデラ周辺では火山の影響と考えられる継続的な面積ひずみが認められる。阿蘇カルデラ周辺の面積ひずみでは昨年は膨張がみられたが、今年は収縮に転じた。
- 加久藤・小林カルデラ、阿多カルデラおよび鬼界では、顕著な面積ひずみは認められない。



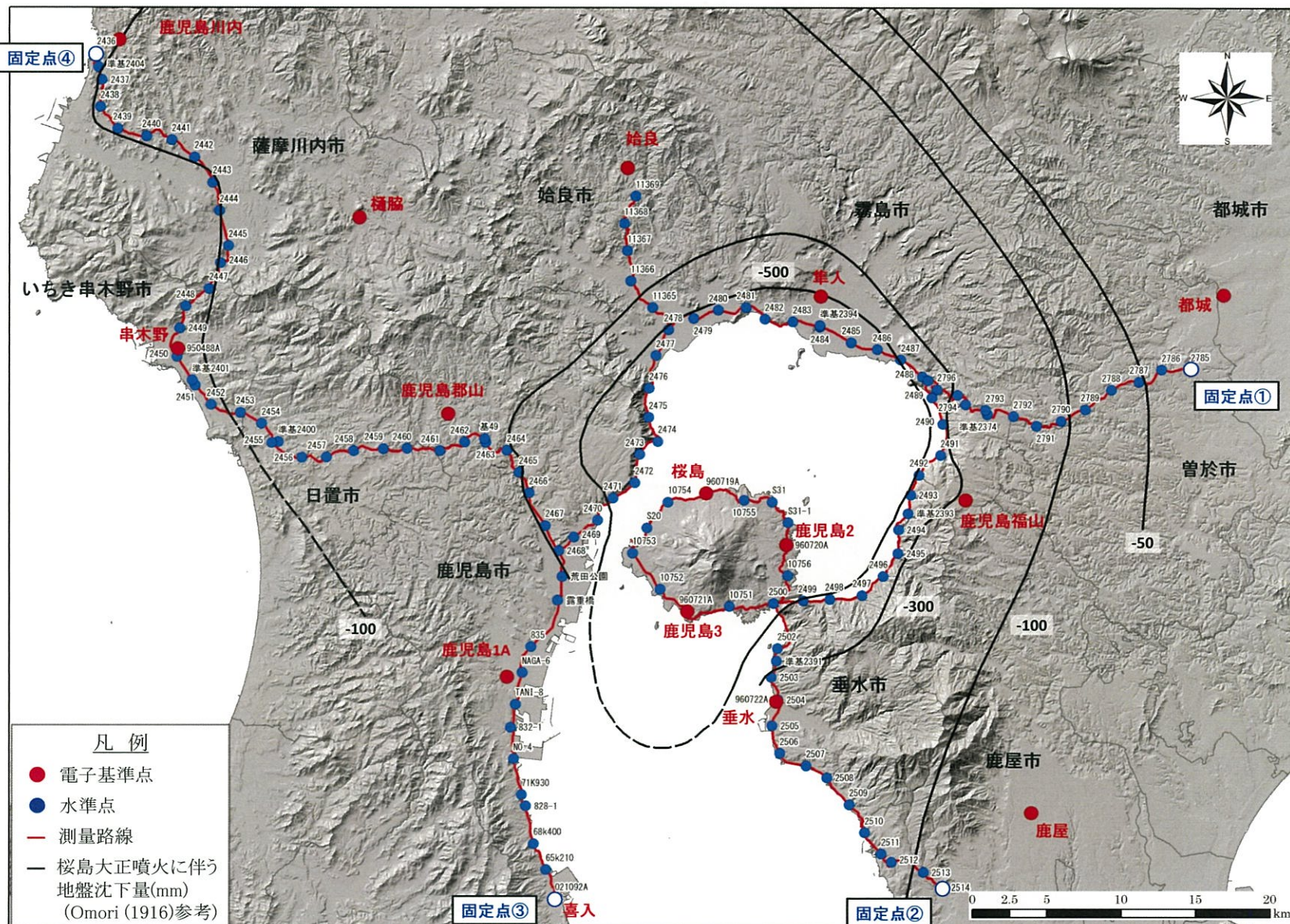
※1 2018年のひずみ場において、矢部Aを含む三角形のひずみは2018/11/1~7 までのデータで作成(矢部Aは2018/11/10運用停止)

※2 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)

※3 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~現在(2021/3/31)でデータ欠如)

# 4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果[概要]

・始良カルデラについて、鉛直方向の地殻変動を面的に精度良く把握することを目的として、2014年度より水準測量を毎年実施している。



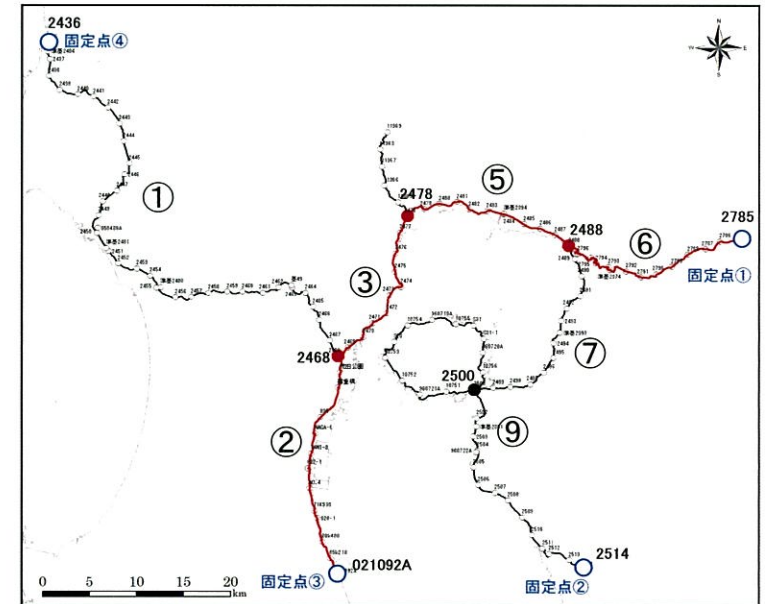
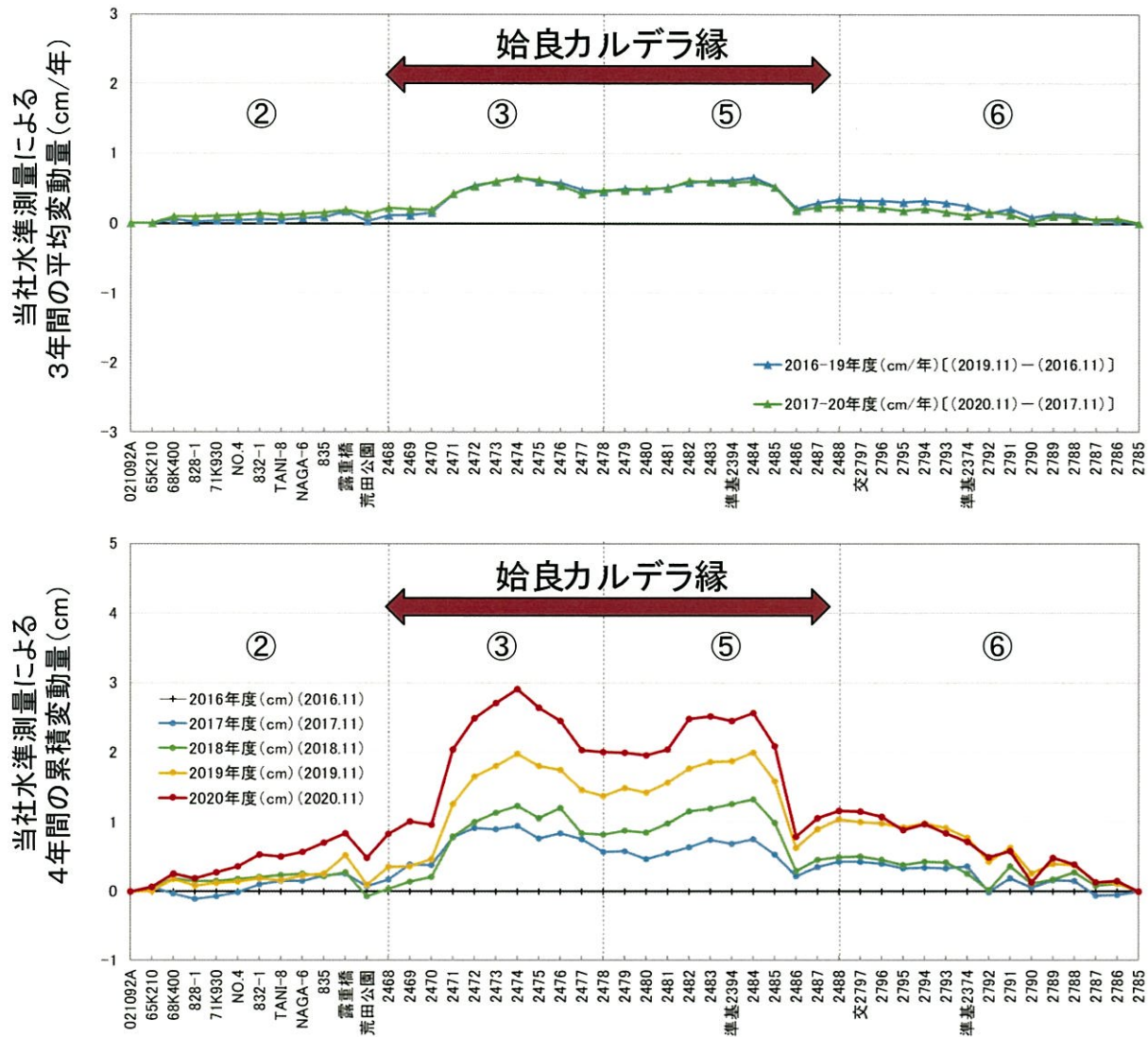
### 【測量実施期間】

- (2014年度)  
2015年 1月28日～ 2月25日
- (2015年度)  
2015年11月 4日～12月 1日
- (2016年度)  
2016年11月 6日～12月18日
- (2017年度)  
2017年11月 8日～12月20日
- (2018年度)  
2018年10月29日～12月21日
- (2019年度)  
2019年10月28日～12月20日
- (2020年度)  
2020年10月26日～12月18日

※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。

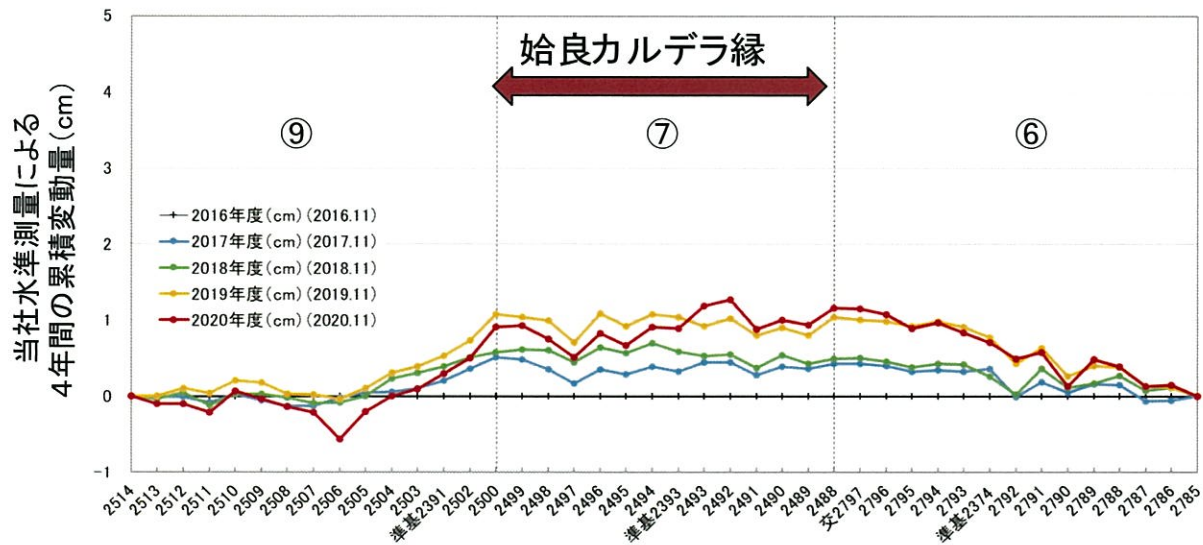
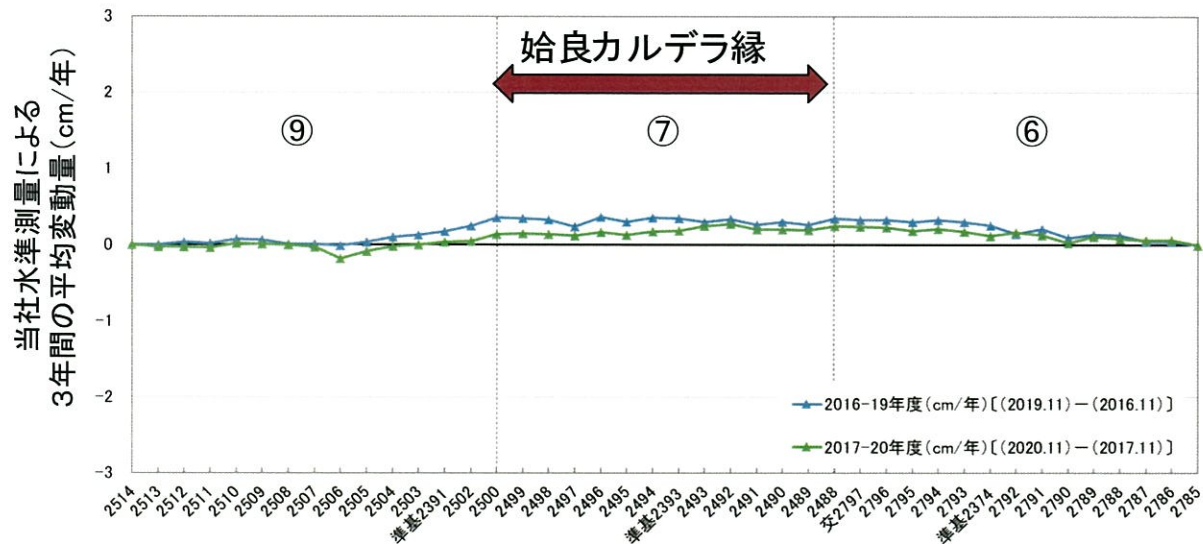
# 4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

・ 水準測量の結果より、2020年度の始良カルデラ縁及び桜島の測線の変動量は例年と同程度であり、顕著な隆起は無いことを確認した。

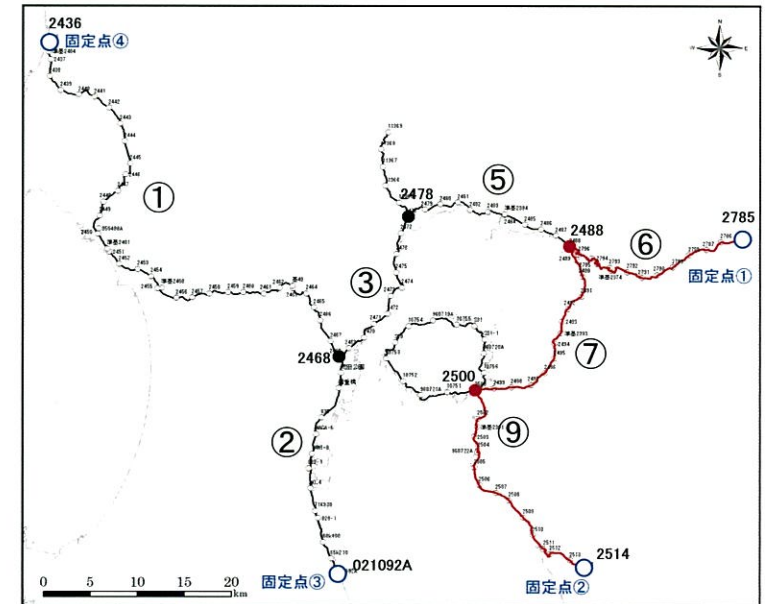


水準測量による垂直変化量の比較

# 4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

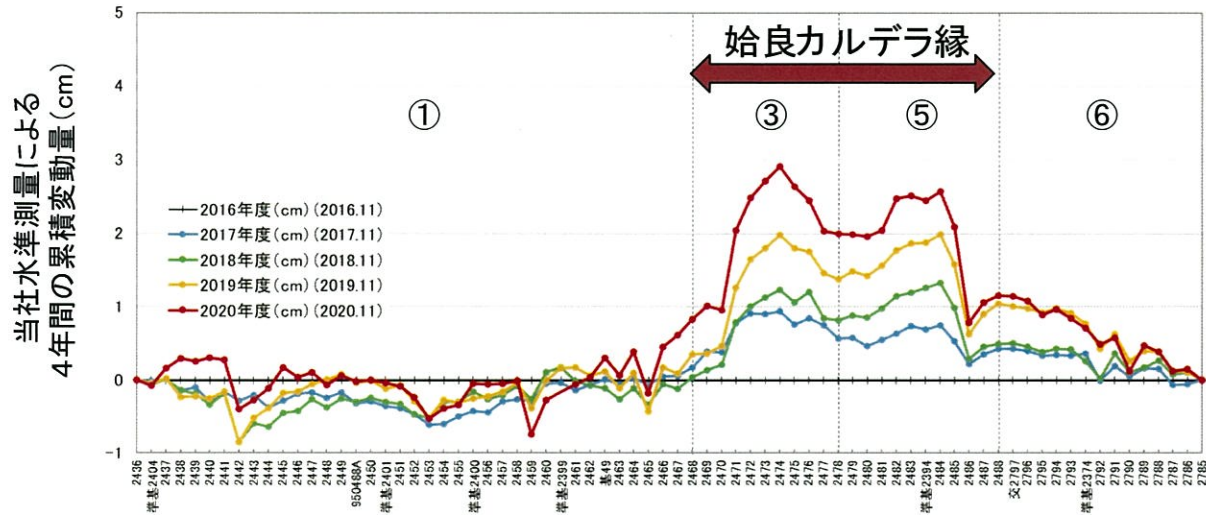
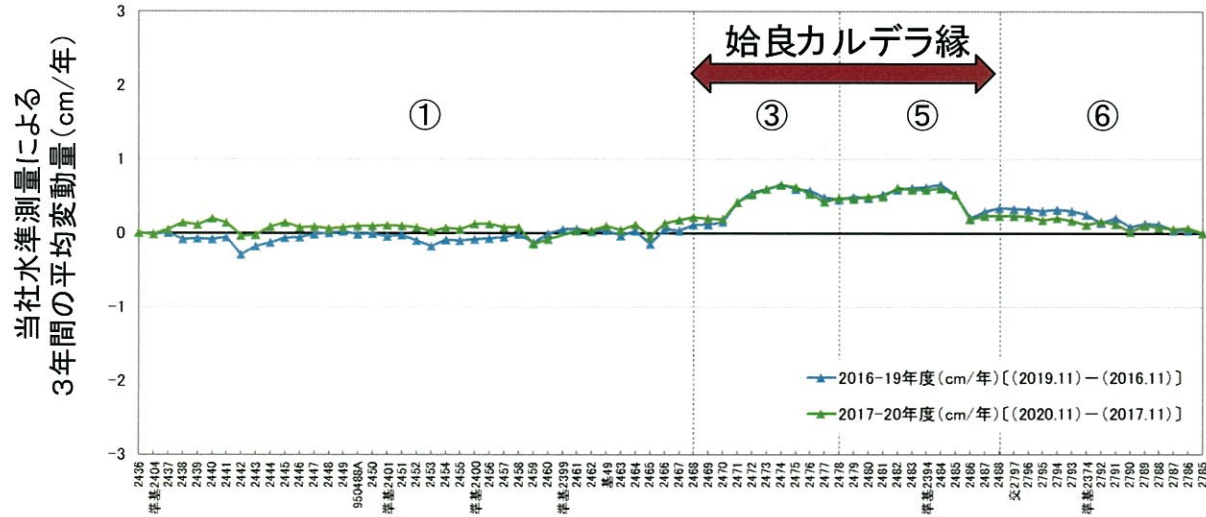


水準測量による垂直変化量の比較

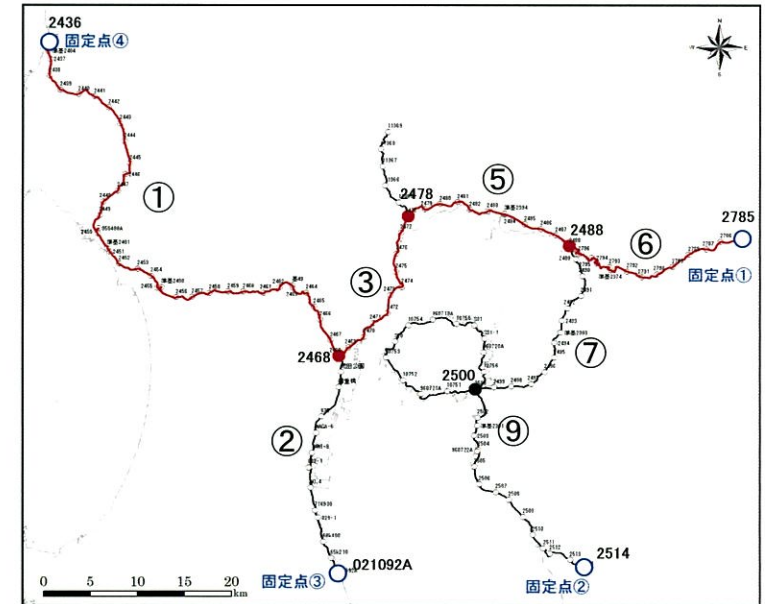




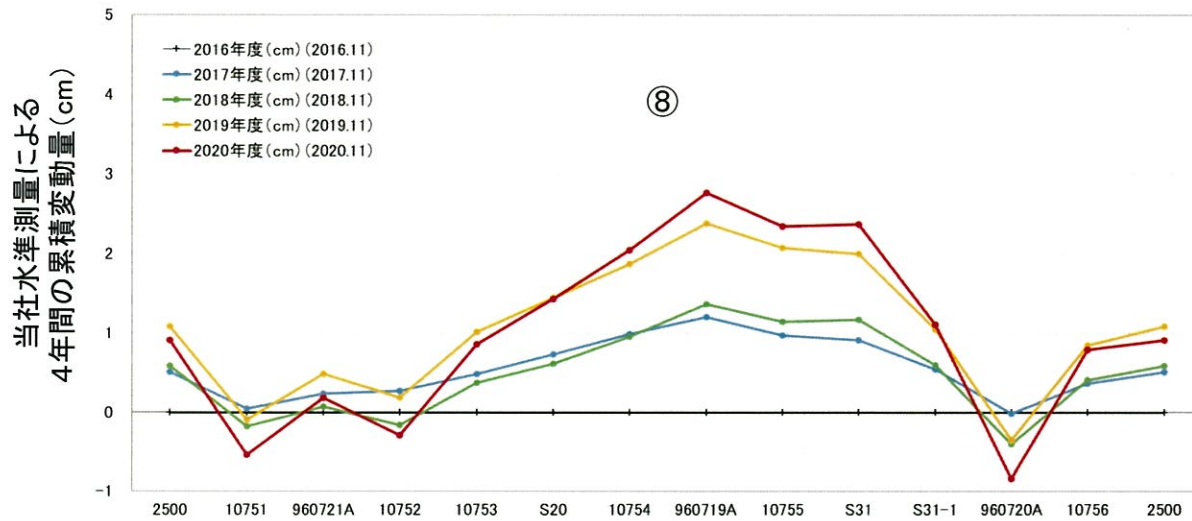
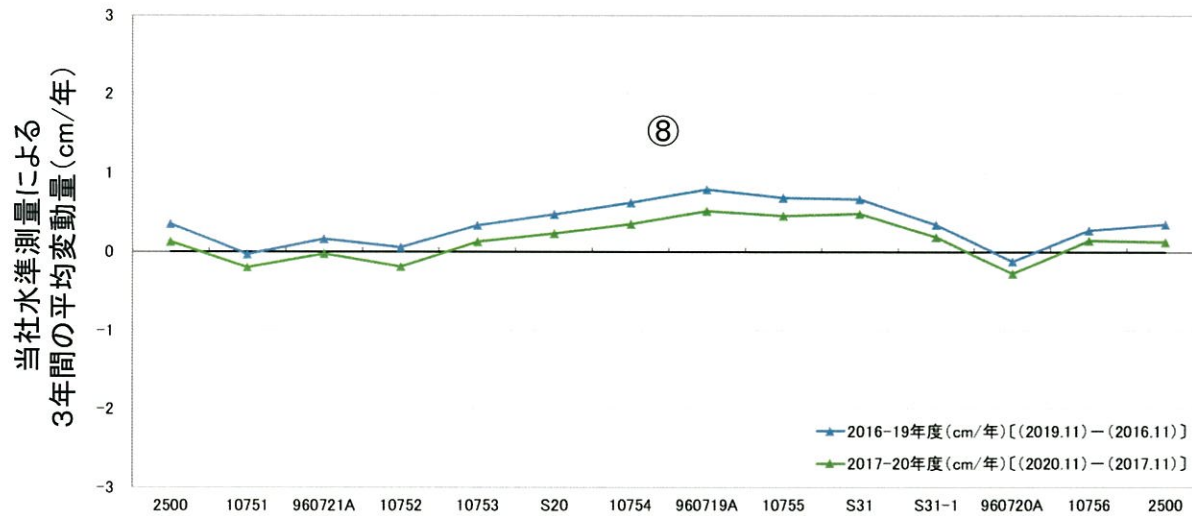
# 4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果



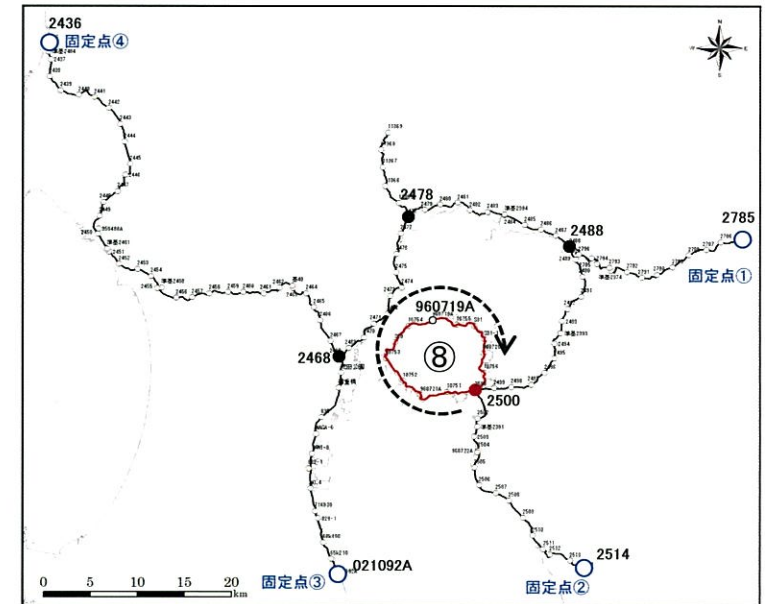
水準測量による垂直変化量の比較



# 4. 始良カルデラ周辺の水準測量結果

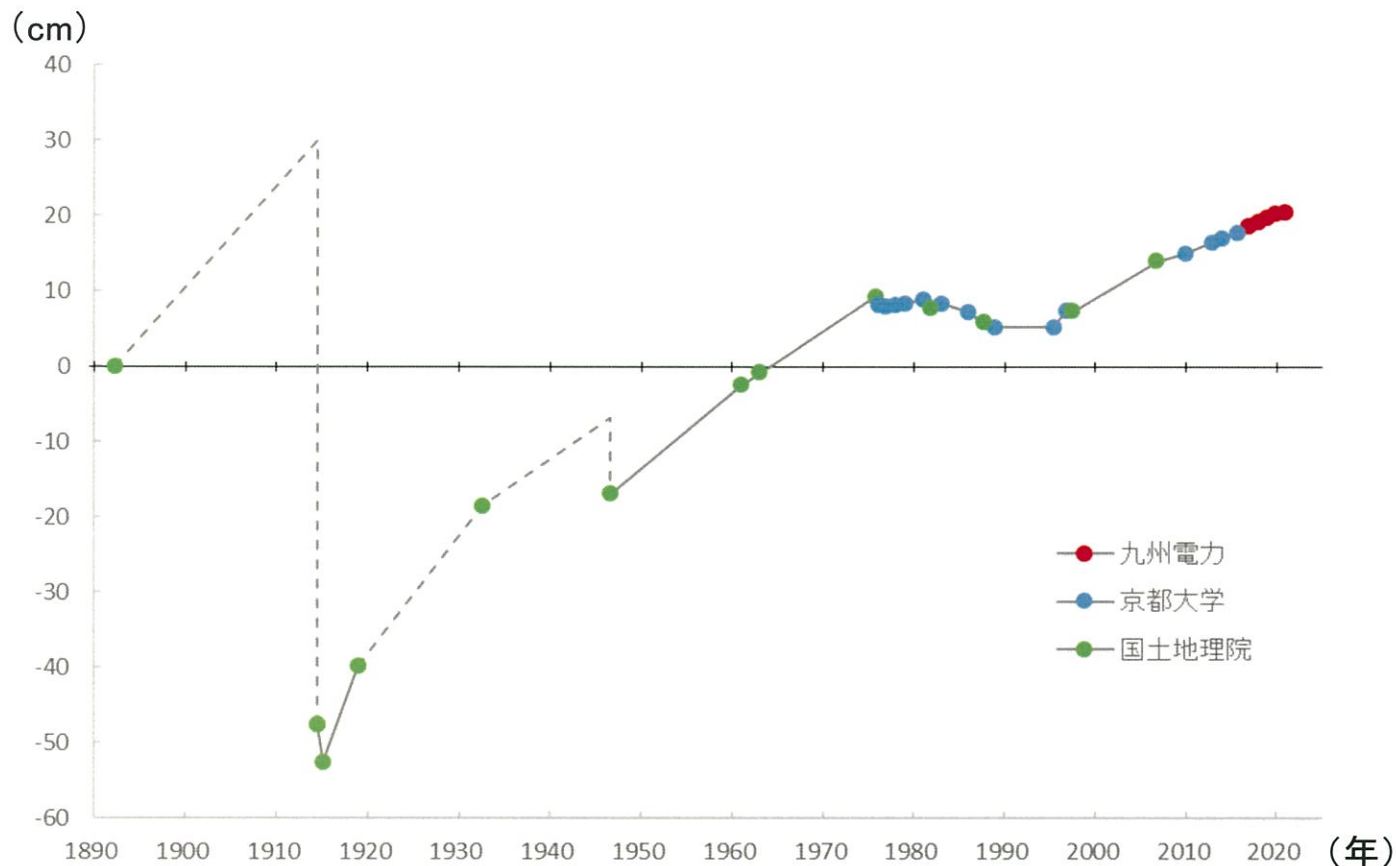


水準測量による垂直変化量の比較

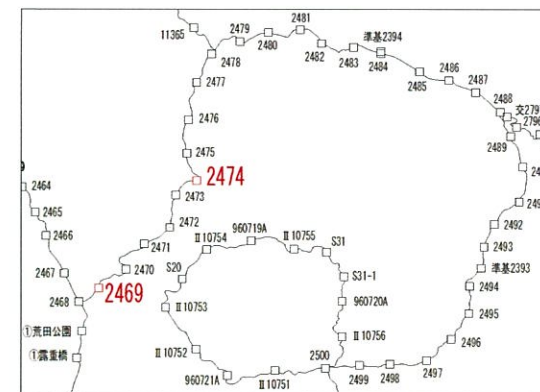


# 【参考】既往測量結果と桜島火山活動との関係

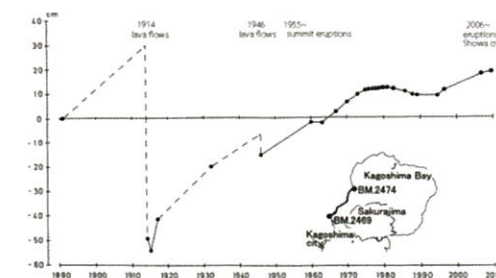
- Yamamoto et al. (2013)は、桜島島内、鹿児島湾西岸および東岸にて水準測量を実施し、地盤変動の経年変化を調査している。
- その結果、桜島において、1973年～1991年頃の活発な噴火活動期間にマグマの放出に伴うマグマ溜まりの減圧による地盤沈下が、1991年頃以降の火山活動静穏期にマグマ溜まりにマグマが蓄積されたことによる地盤の隆起が認められるとしている。
- 当社による水準測量の成果(2015年～2020年)を追記して示した結果、1990年代以降、地盤が継続して隆起傾向にあることから、桜島の火山活動静穏期が継続するとともに、始良カルデラ地下のマグマ溜まりの増圧による地盤の隆起傾向が継続していると推定される。



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

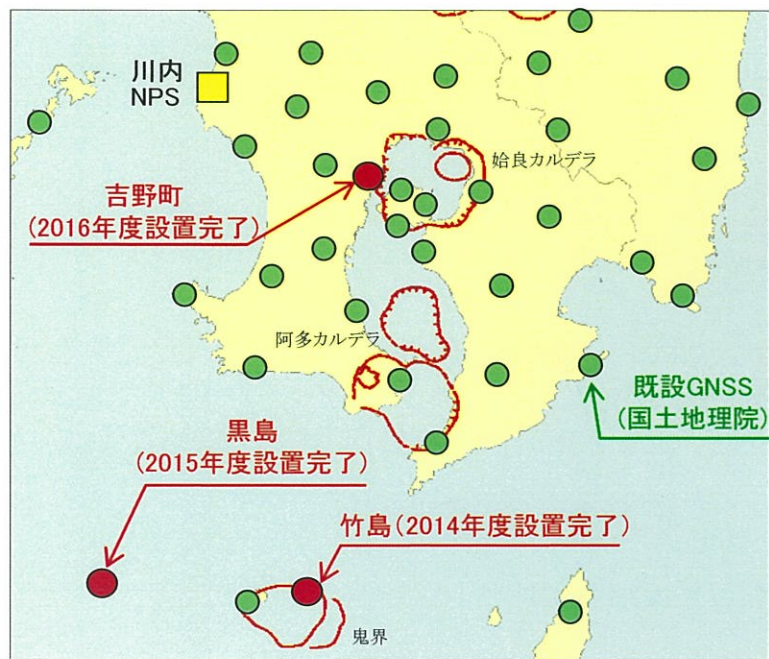


BM.2469を不動点(基準)とした  
 BM.2474の比高値の経年変化  
 (Yamamoto et al., 2013)

## 5. 当社GNSS機器による観測結果[設置状況]

- 観測点の増設により地殻変動データに係る精度の向上を図ることを目的に、鹿児島県内3箇所(2014年度:竹島、2015年度:黒島、2016年度:吉野町)にGNSS機器を設置し、観測データを蓄積してモニタリング評価の補完を行っている。

※GNSS観測機器の仕様は国土地理院と同様



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

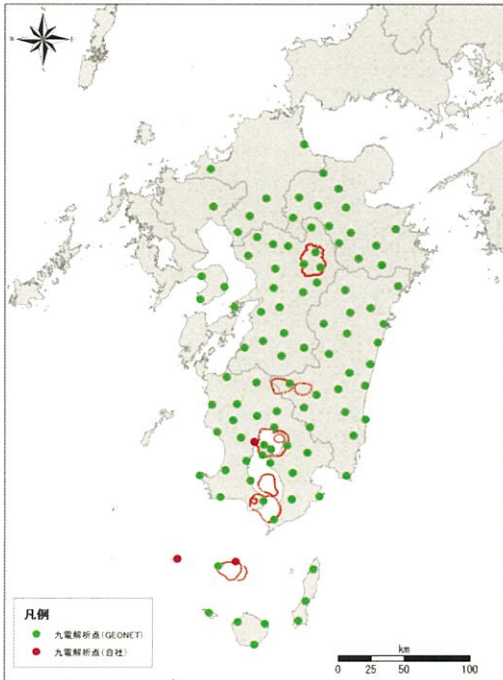
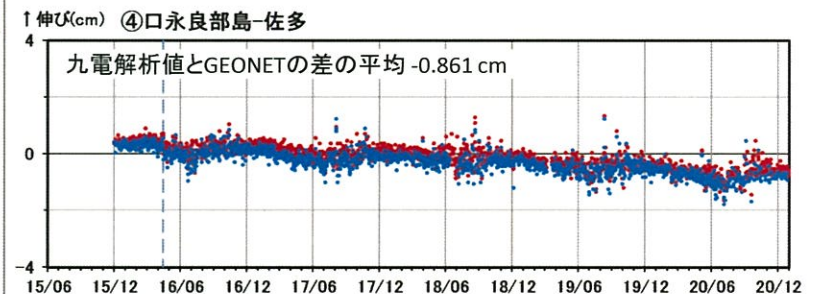
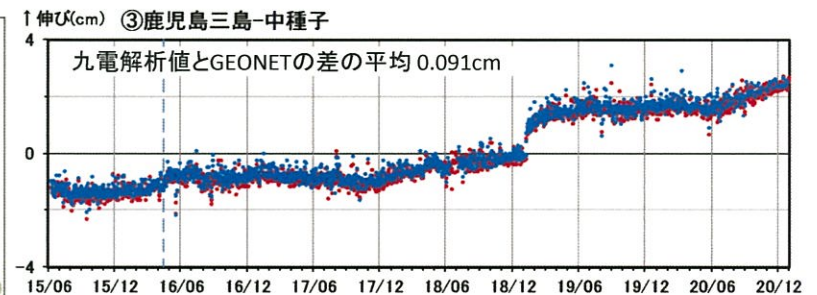
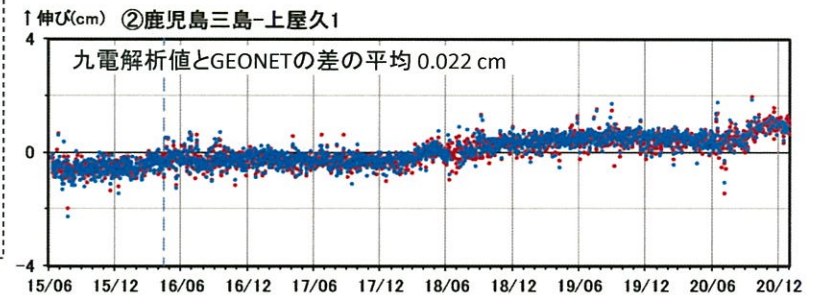
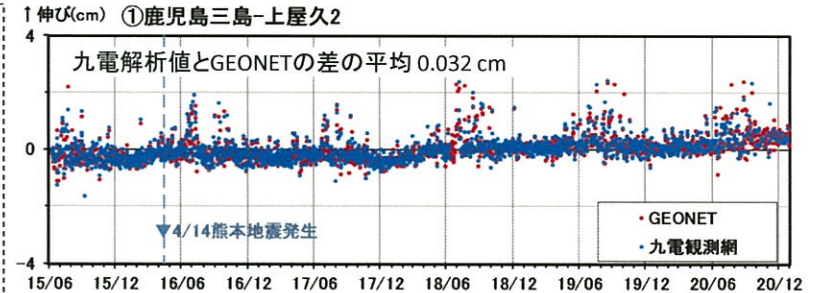


吉野町の機器設置状況

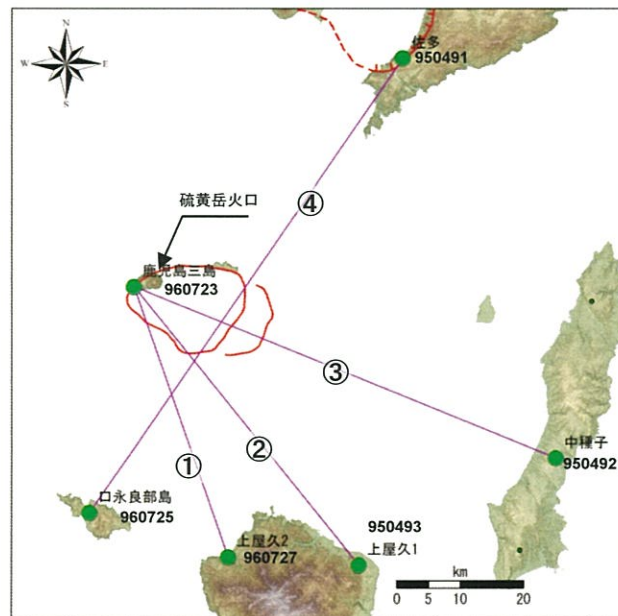
# 5. 当社GNSS機器による観測結果[解析処理について]

- 当社観測点(竹島・黒島・吉野町)については、GEONETと同様のGNSS解析ソフトウェア(Bernese※)を用いた当社独自の解析を実施。
- GEONETと当社解析では、主に解析点数の違い(九電:九州地方約100点, GEONET:全国約1300点)や解析固定点の違い(九電:前原・行橋・上屋久1, GEONET:つくば1)が異なる。
- なお、GEONETデータと当社解析値を比較した場合、双方の解析結果は概ね同等である。

※Bernese: スイスのBern大学の研究者らにより開発されたGNSS解析ソフトウェア。測地学分野の研究者により、よく利用されるソフトウェアのひとつであり、解析の際、電離層、気象要素などの影響を補正し、精密な座標値を決定することが可能。



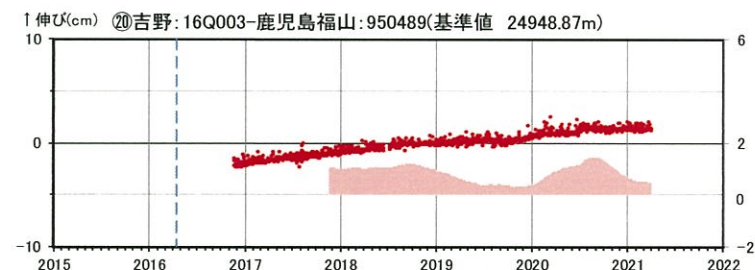
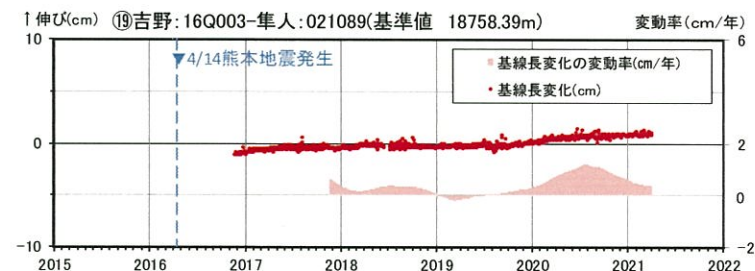
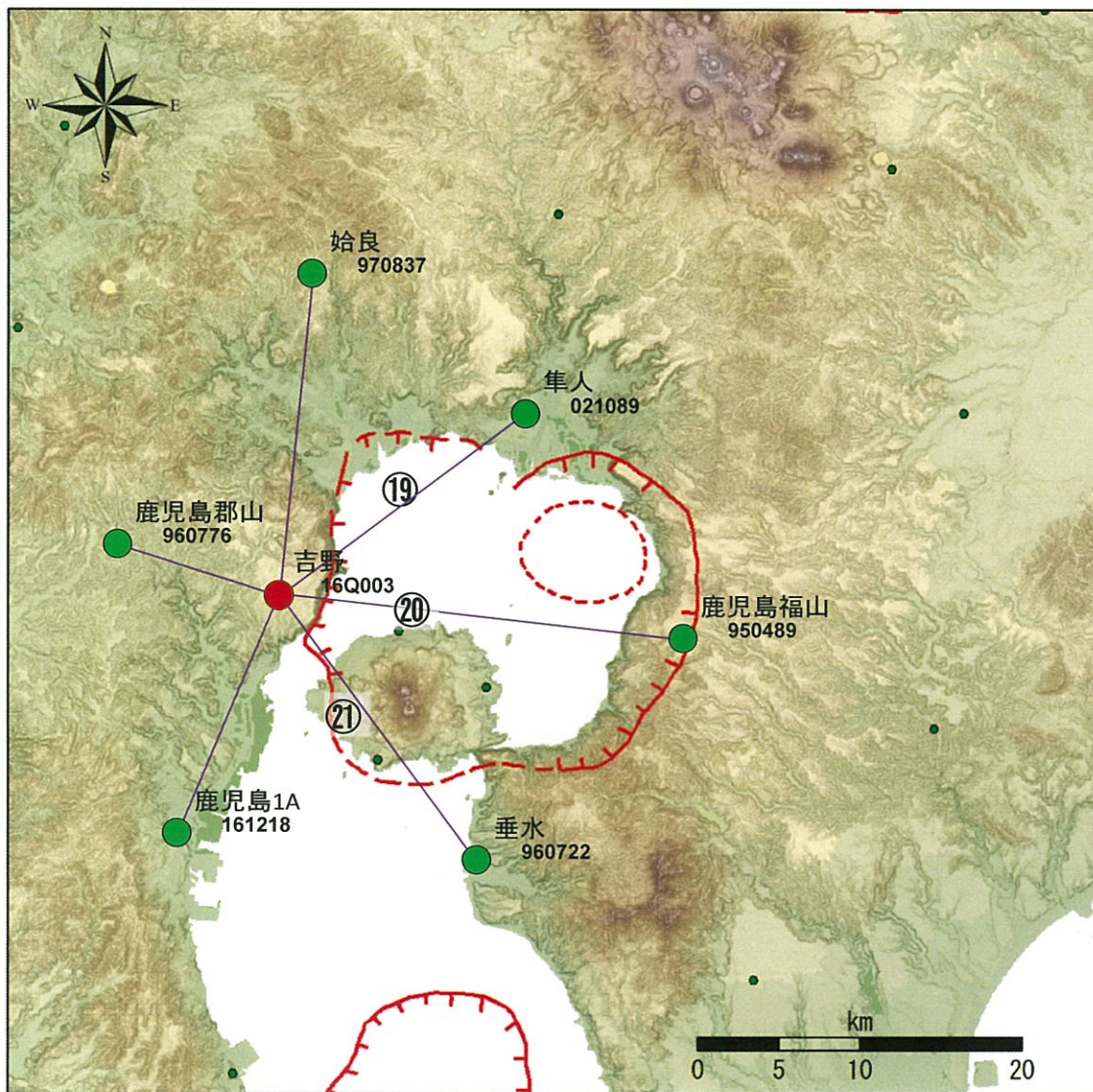
解析に用いる観測点の位置図



①~④基線位置図

鬼界 GNSS連続観測による基線長変化の比較(2015年06月11日~2020年12月31日)

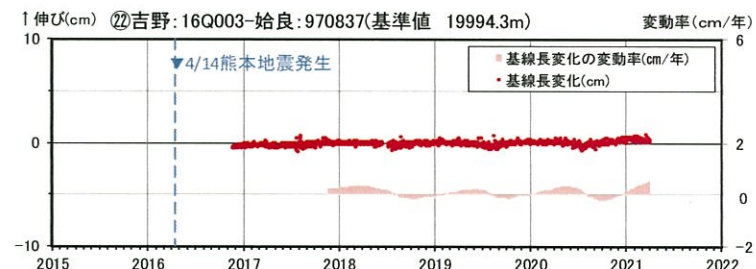
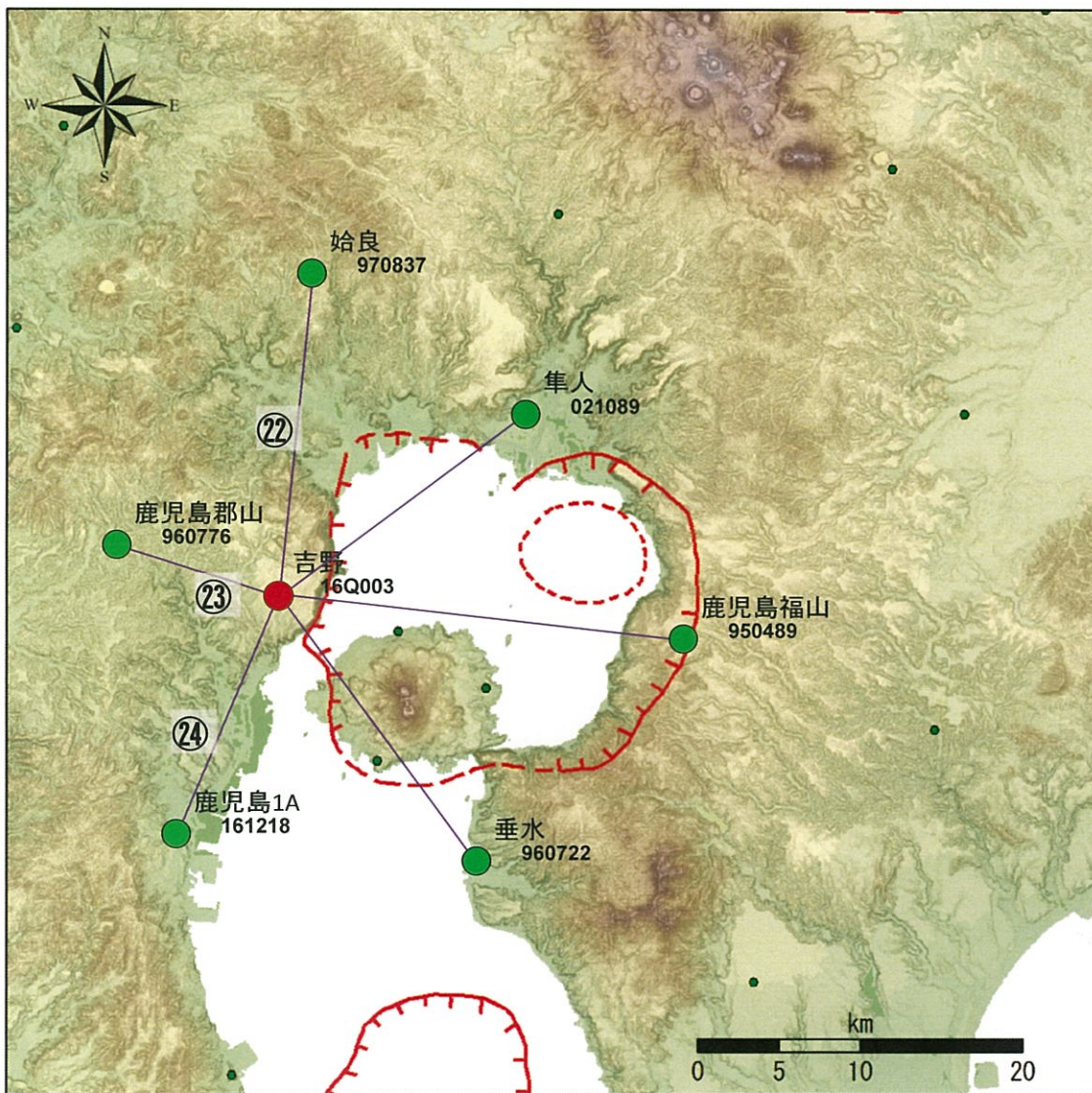
# 5. 当社GNSS機器による観測結果[始良カルデラ周辺の基線]



始良 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2021年03月31日)

- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。
- ※4 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

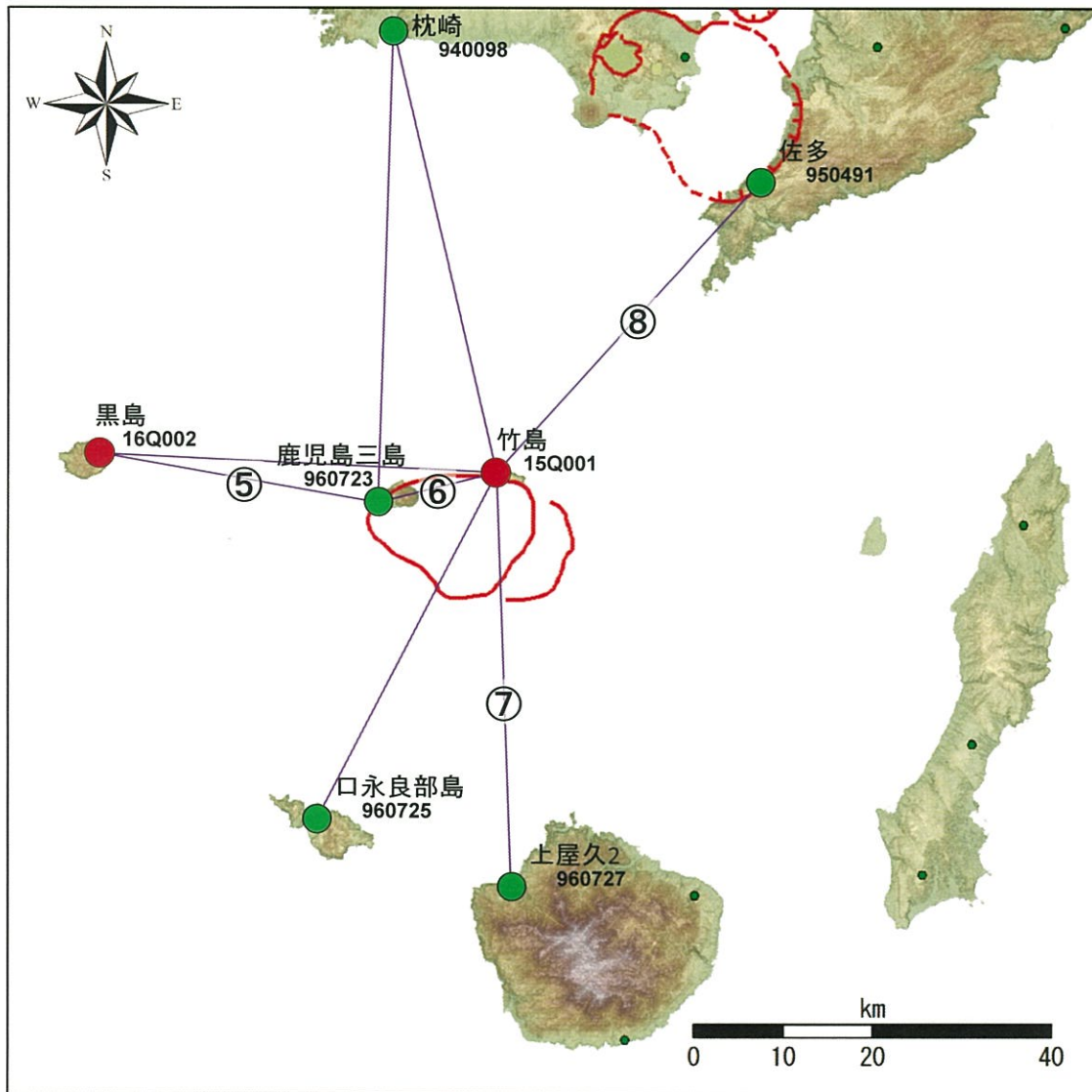
## 5. 当社GNSS機器による観測結果[始良カルデラ周辺の基線]



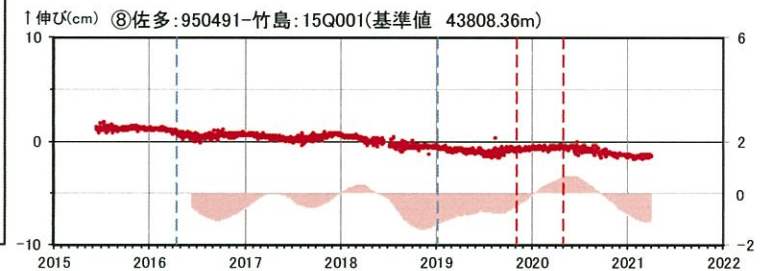
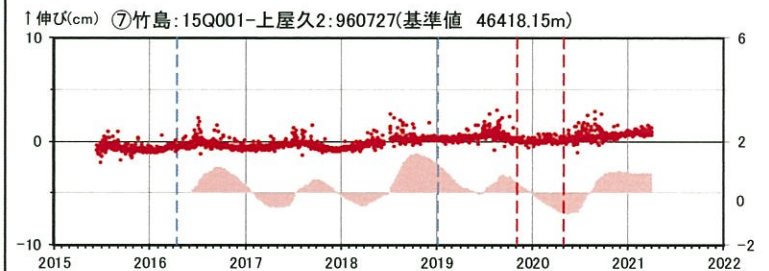
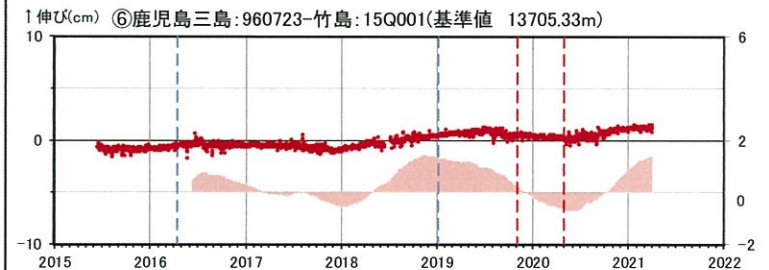
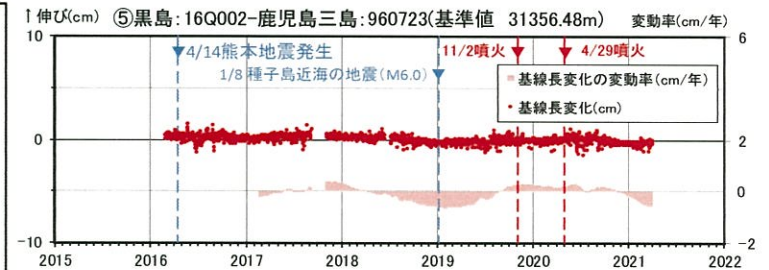
始良 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2021年03月31日)

- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。
- ※4 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

# 5. 当社GNSS機器による観測結果[鬼界周辺の基線]



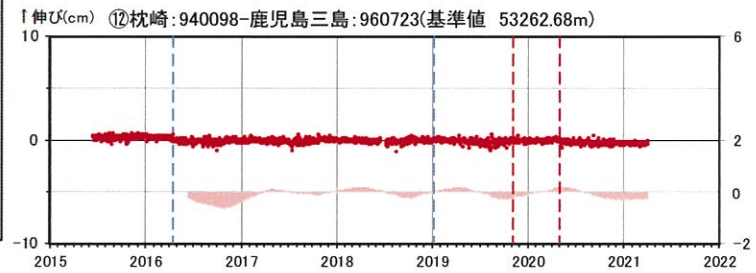
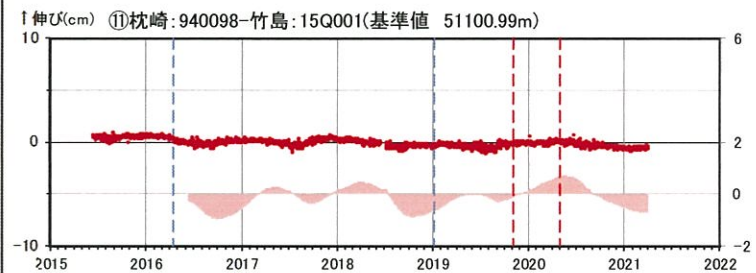
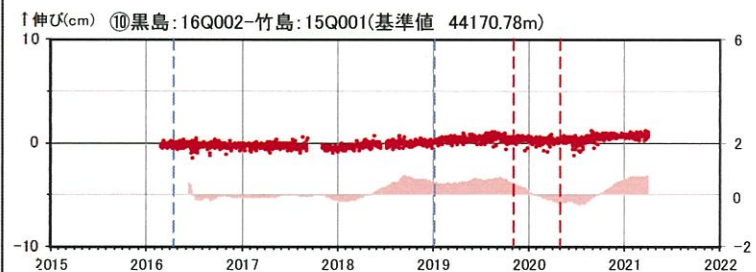
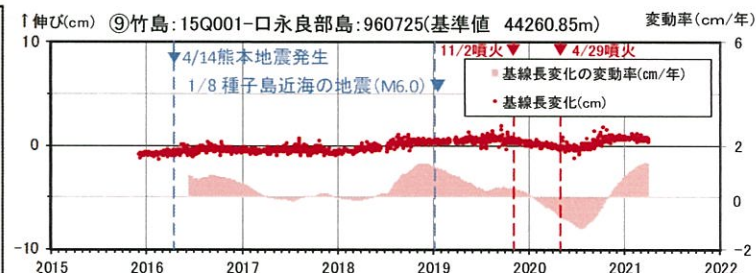
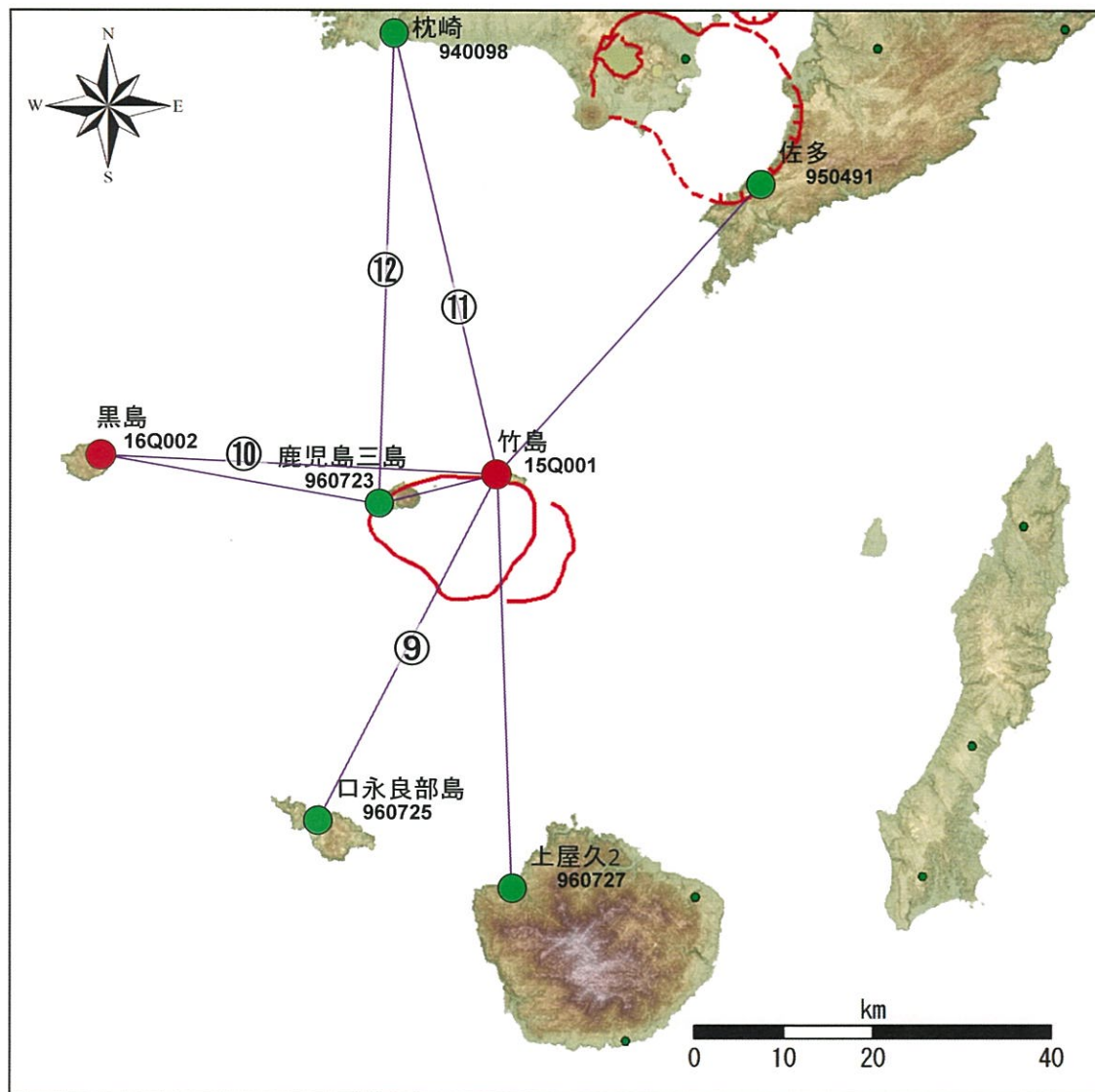
- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 黒島は2017年9月6日～10月31日までデータが取得できていない。
- ※4 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日～7月3日までデータが取得できていない。
- ※5 変動率は過去1年間のデータを用いて求めた近似式により算出



鬼界 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日～2021年03月31日)



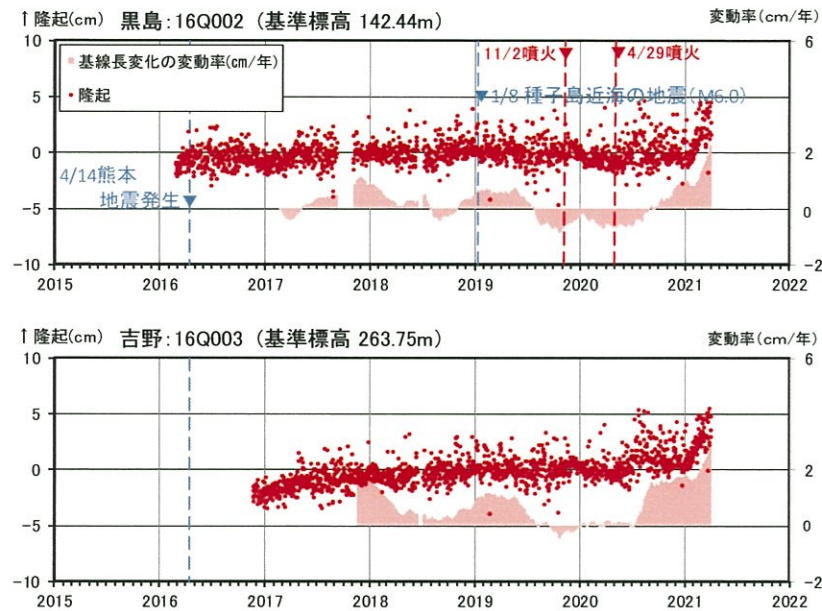
# 5. 当社GNSS機器による観測結果[鬼界周辺の基線]



鬼界 GNSS連続観測による基線長変化(2015年06月11日~2021年03月31日)

- ※1 ● 国土地理院のGNSS観測点
- ※2 平均基線長を基準値とし、基準値からの変化量を表示
- ※3 黒島は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 サーバー電源停止の影響で2018年6月13日~7月3日までデータが取得できていない。
- ※5 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

## 5. 当社GNSS機器による観測結果[各観測点の鉛直変動]



始良・鬼界 GNSS連続観測による上下動変化(2015年06月11日～2021年03月31日)

- ※1 黒島は2017年9月5日～10月31日期間のデータが取得できていない
- ※2 平均標高を基準標高とし、基準標高からの変化量を表示
- ※3 2021年2月以降の隆起傾向は日本全域で見られるものであり、始良カルデラ、鬼界へのマグマ供給を示唆するものではないと判断している