

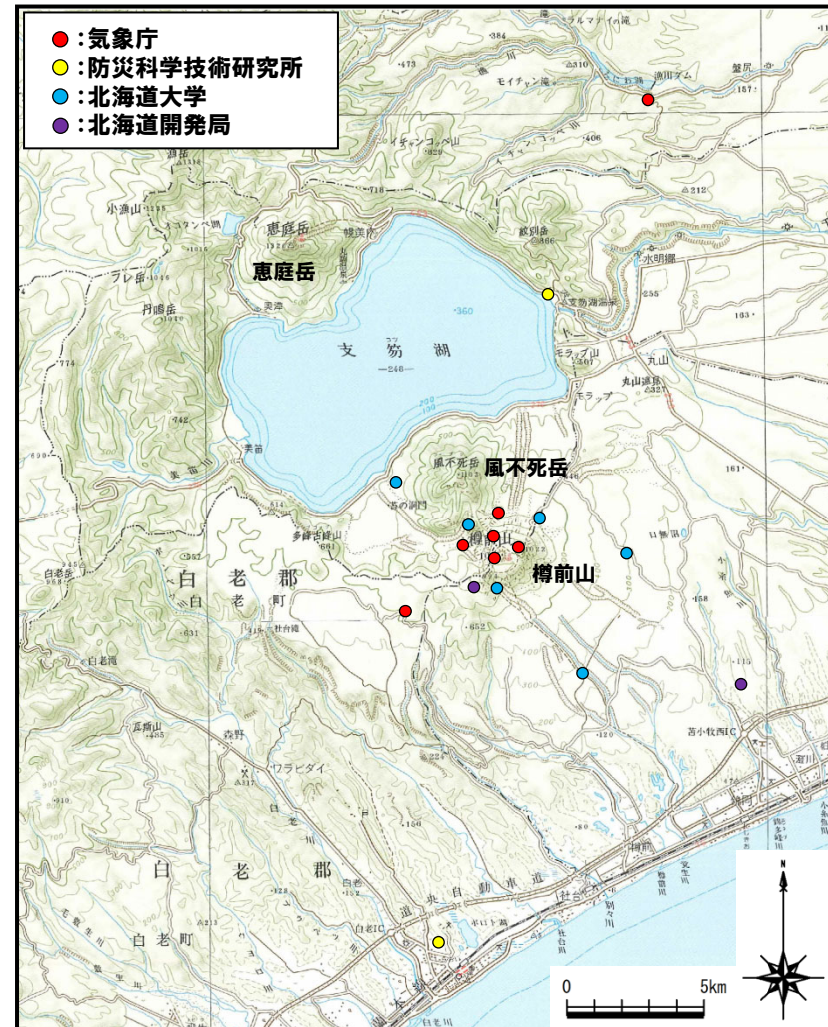
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (1/5)

一部修正 (H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 支笏カルデラ周辺には、公的機関の地震計が設置されている。
- 気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に地震活動及び深部低周波地震活動の時空間分布が取りまとめられている。



支笏カルデラ周辺の地震計位置図

(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

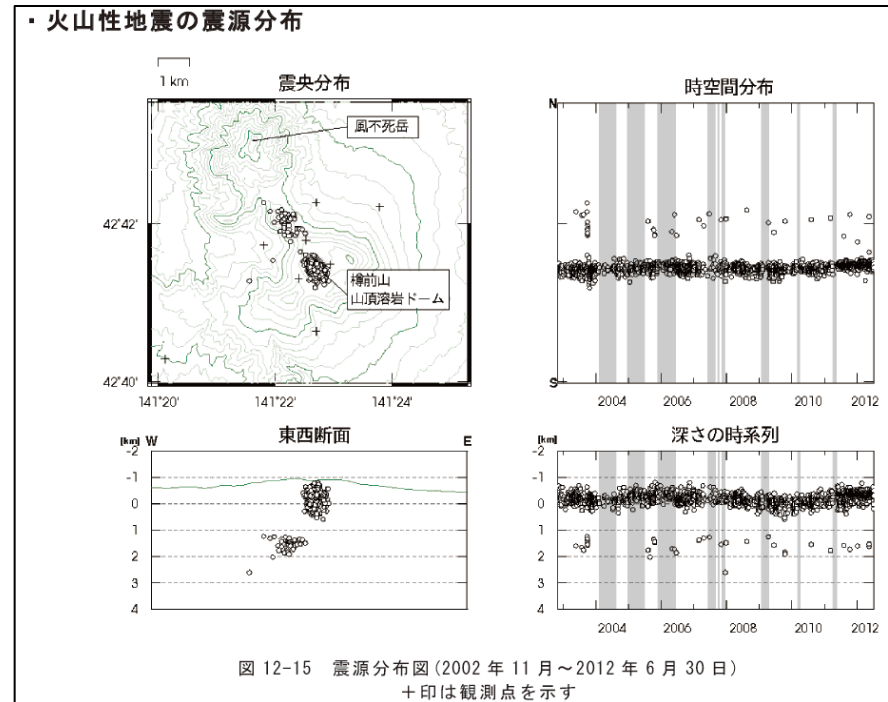
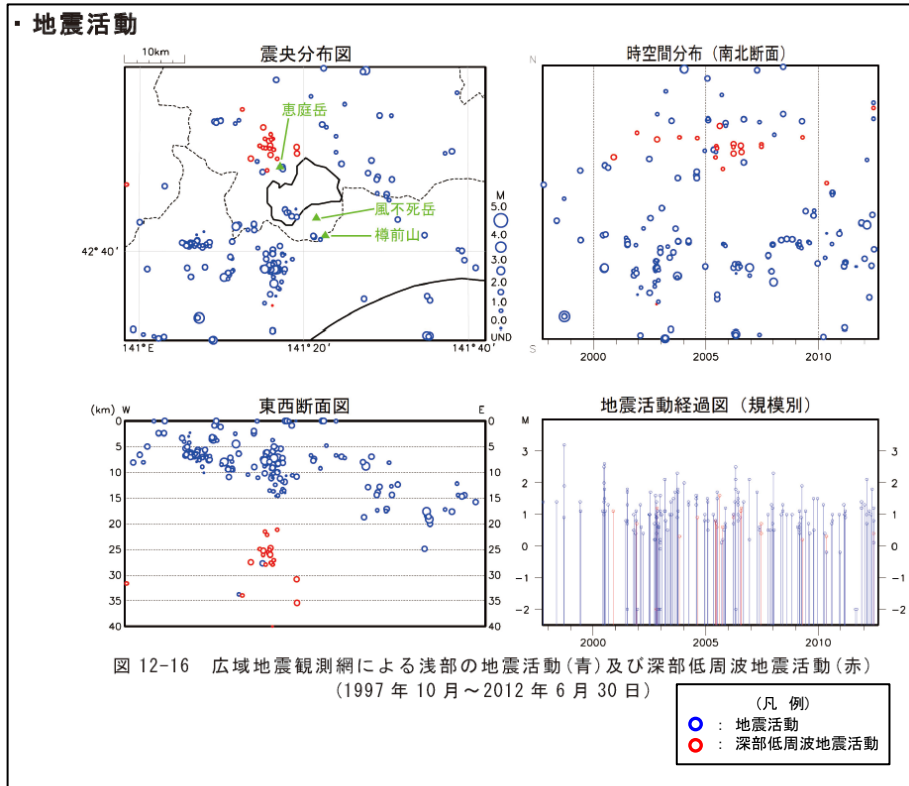
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(2/5)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 支笏カルデラ周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)及び樽前山の火山性地震の震源分布(2002年11月～2012年6月)を下図に示す。
- 支笏カルデラ周辺においては、樽前山及び恵庭岳周辺に震央の分布が認められる。
- 地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ20～35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。



樽前山の火山性地震の震源分布
(2002年11月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」)

支笏カルデラ周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

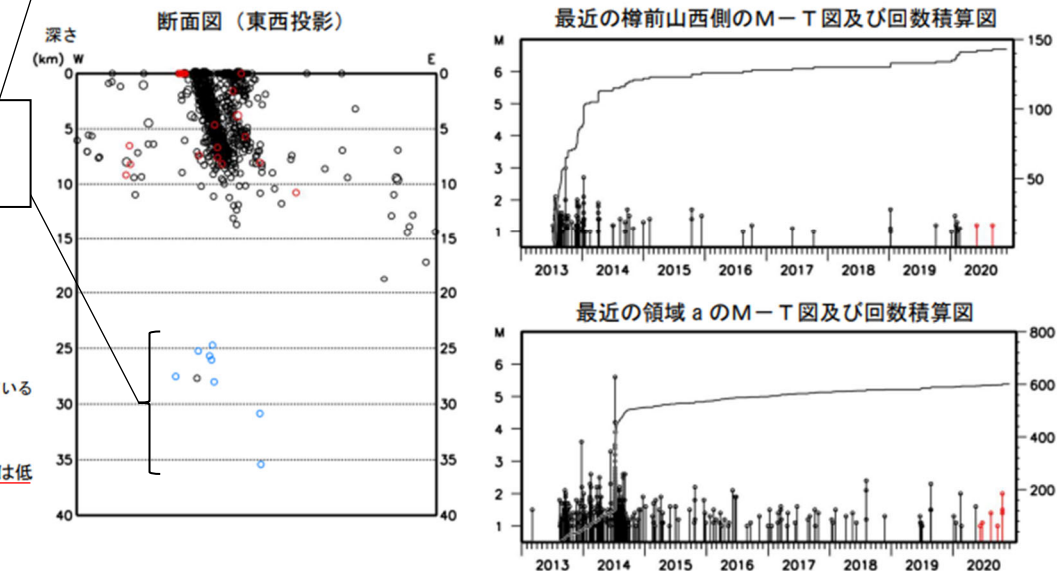
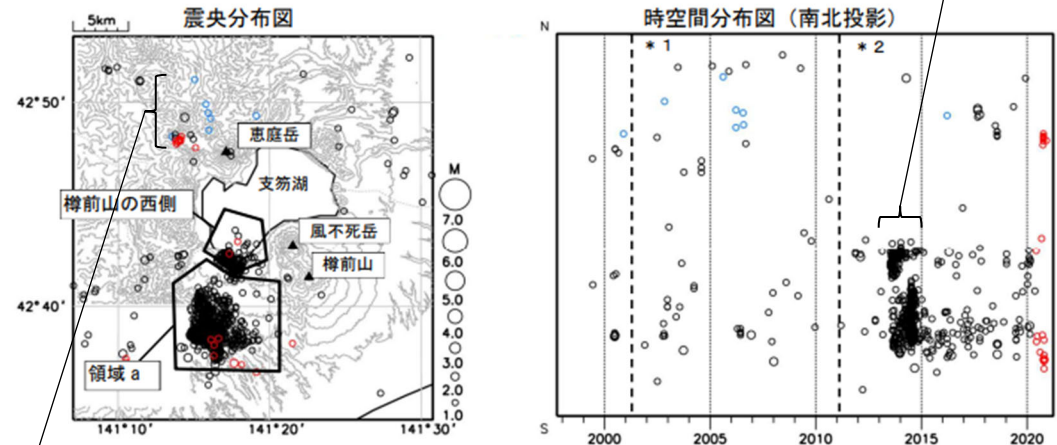
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (3/5)

【気象庁(2020)】

- 「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020)では, 支笏カルデラ周辺の地震活動(1997年10月~2020年11月)について, 右図の通り示されている。
- 支笏カルデラ周辺においては, 樽前山及び恵庭岳周辺に震央の分布が認められる。
- 樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域においては, 2013年及び2014年に地震回数の増加が認められるが, 本文献では2014年以降は低下傾向にあるとされている。
- 低周波地震活動は, 恵庭岳周辺の深部(深さ25~35km程度)に散発的に認められ, 規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- また, 2013年及び2014年の地震の増加に伴う低周波地震の増加は認められない。

樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域については, 2013年及び2014年に地震回数の増加が認められる。



低周波地震活動は, 恵庭岳周辺の深部(深さ25~35km程度)に散発的に認められる。

図8 樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (1997年10月~2020年11月30日, M \geq 1.0、深さ40km以浅)

- : 1997年10月1日~2020年5月31日
- : 2020年6月1日~2020年11月30日
- : 深部低周波地震
- * 1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
- * 2: 2010年10月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。

2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られる。2020年9月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

・樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域を震源とする地震活動は、2014年以降は低下傾向にある。

樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (気象庁(2020)に加筆)

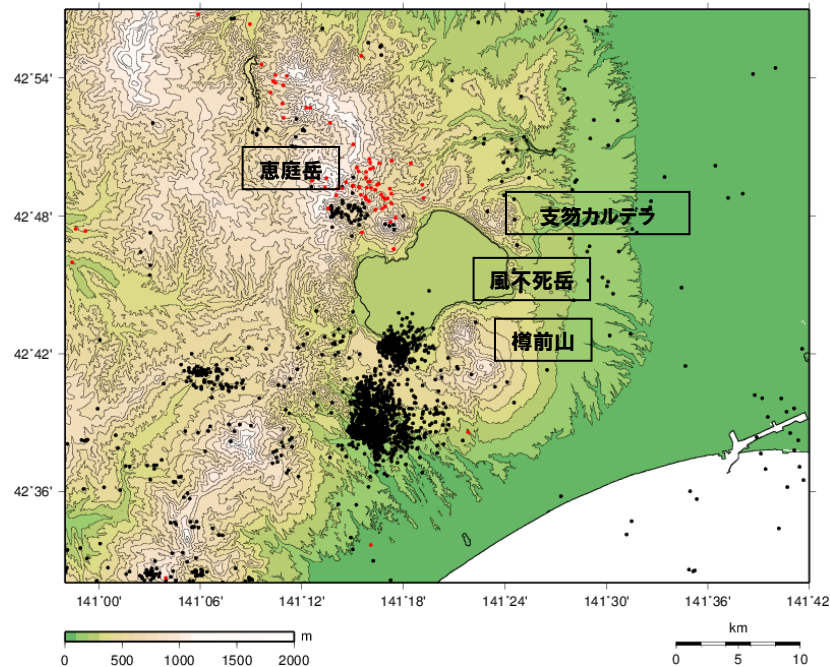
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/5)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

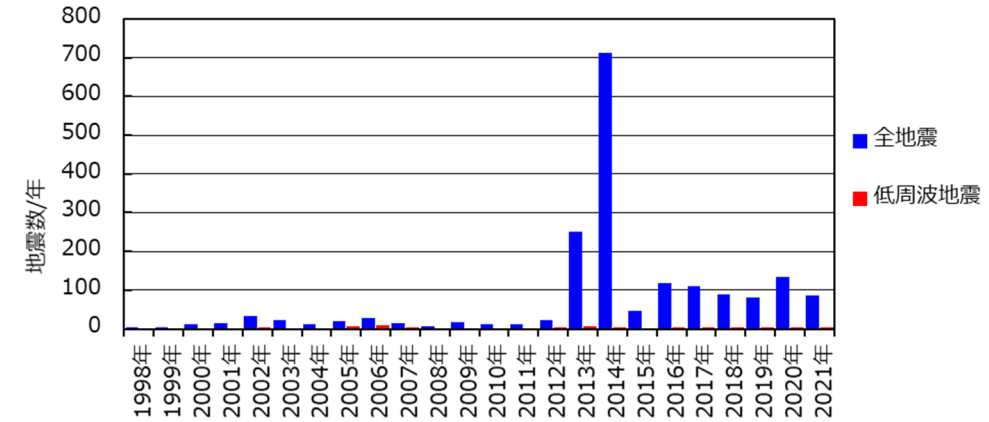
- 過去約40年間(1983年1月～2021年9月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を使用した。
- 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない(下図参照)。



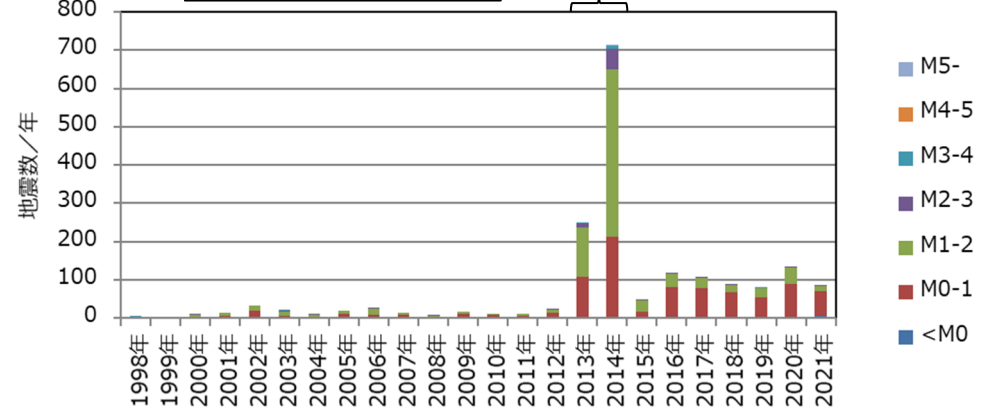
1983/1/1～2020/3/31:
気象庁地震月報(カタログ編)
2020/4/1～2021/9/30:
気象庁一元化処理検測値データ

凡例
●: 震央
●: 低周波地震震央

支笏カルデラ周辺の震央分布図※1
(1983年1月1日～2021年9月30日の記録, 深さ40km以浅)



一時的に増加傾向が認められる。



地震発生数の年別時間変化※1, 2 (1998～2021年, 深さ40km以浅)

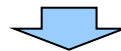
※1 北海道ではHi-netの観測データ使用開始が2001年10月であることから、
2001年10月前後でデータ精度が異なる。
※2 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (5/5)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 火山性地震のうち低周波地震については、下鶴ほか編(2008)によれば、マグマや熱水などの流体が関与して発生していると考えられているものが多いとされている。このため、低周波地震がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、支笏カルデラ周辺の低周波地震の時空間分布を確認した。
 - ・確認に当たっては、公的機関の観測結果を取りまとめた気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」, 「第147回火山噴火予知連絡会資料」気象庁(2020)並びに気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を用いた。
- 確認結果は以下のとおり(下線部は低周波地震に関する事項)。
 - (気象庁, 2013)
 - ・地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ20～35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - (気象庁, 2020)
 - ・地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、樽前山の南西側の領域及び西側の領域については、2013年及び2014年に地震回数の増加が認められるが、本文献では2014年以降は低下傾向にあるとされている。
 - ・低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ25～35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - (気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ)
 - ・支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
 - ・マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



- 支笏カルデラ周辺の火山性地震のうち、低周波地震活動は、恵庭岳周辺の下部地殻(約20km以深)に散発的に認められるが、上部地殻には認められない。

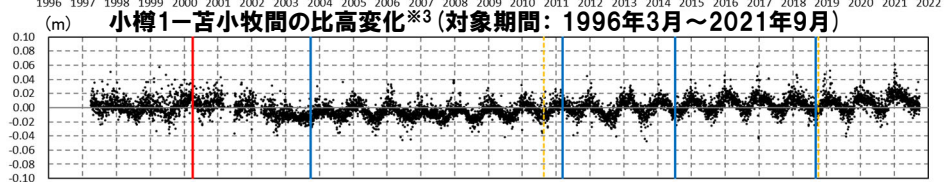
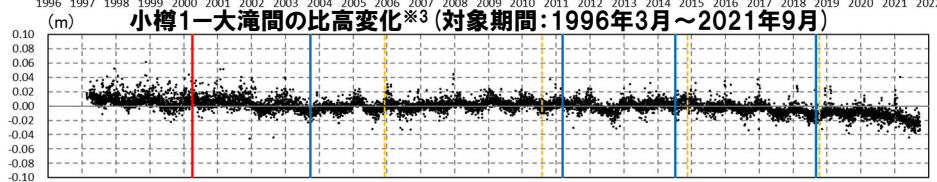
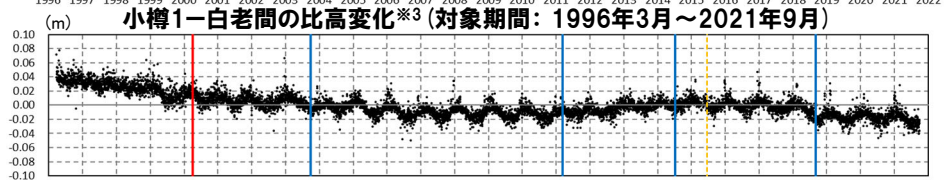
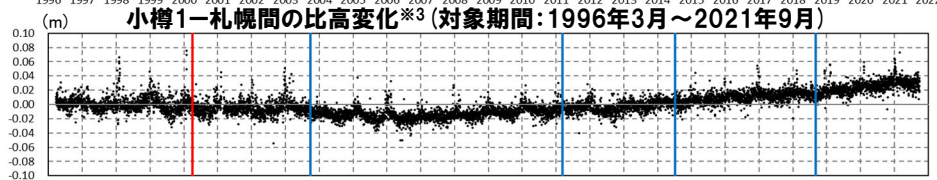
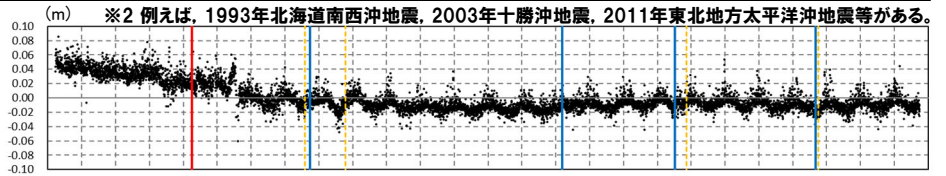
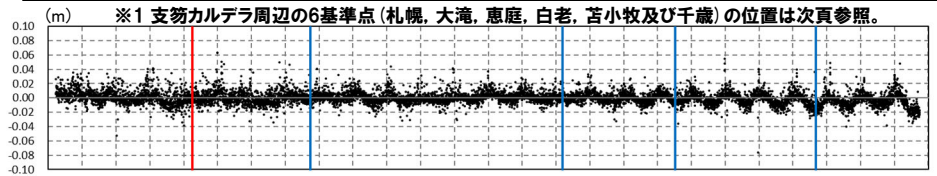
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/10)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

【上下変動】

- 支笏カルデラ付近の6基準点※1(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)について, 各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は, 支笏カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 支笏カルデラ付近の上下変動は, 大滝地点以外は継続的な隆起又は沈降は認められず, 大滝地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P210~P215参照)を踏まえると, 北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果, 周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり, 大滝地点の隆起傾向は, 小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- なお, 年間上下変動量のうち, 東北地方太平洋沖地震発生前後(下表赤枠部)及び北海道胆振東部地震発生前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を一例として次頁~P129に示す。

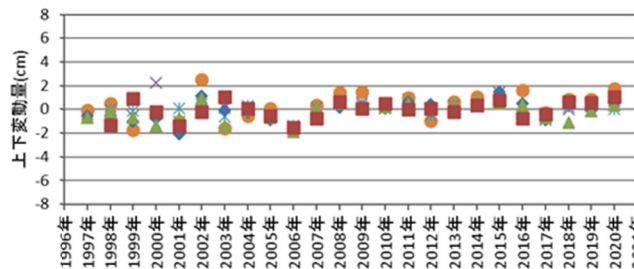


年間上下変動量 (cm) (固定局: 小樽1)

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
札幌	-0.42	+0.26	-0.51	+2.24	-1.03	+0.69	+0.16	+0.14	-0.43	-1.43	-0.51	+0.92
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38
恵庭	-	-0.00	-0.15	-0.43	+0.10	+0.40	-0.58	+0.31	-0.40	-1.38	+0.18	+0.75
白老	-0.56	-0.55	-1.05	-0.73	-2.06	+1.17	-0.04	-0.26	-0.91	-1.57	-0.49	+0.16
苫小牧	-0.65	-0.19	-0.68	-1.38	-0.72	+0.91	-1.39	-0.07	-0.71	-1.90	-0.00	+0.50
千歳	-	-1.28	+0.92	-0.18	-1.38	-0.19	+1.05	+0.10	-0.57	-1.53	-0.75	+0.64
2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	
札幌	+0.55	+0.11	+0.83	-0.68	+0.31	+0.29	+1.44	-0.44	-0.44	+0.02	+0.28	+0.71
大滝	+1.50	+0.29	+0.96	-0.94	+0.62	+1.03	+1.04	+1.66	+0.88	+0.82	+1.74	
恵庭	+0.33	+0.32	+0.20	-0.45	+0.35	+0.26	+0.65	+0.06	-0.85	+0.21	+0.44	-0.00
白老	+0.24	+0.06	+0.63	+0.44	+0.09	+0.44	+1.49	+0.50	-0.90	+0.61	-0.07	+0.63
苫小牧	+0.21	+0.23	+0.50	-0.01	+0.20	+0.78	+0.54	+0.37	-0.70	-1.08	-0.14	+0.38
千歳	+0.11	+0.51	+0.02	+0.11	-0.18	+0.36	+0.76	-0.72	-0.42	+0.62	+0.36	+1.04

↑ 東北地方太平洋沖地震発生

↑ 北海道胆振東部地震発生



年間上下変動量のグラフ

- × 札幌
 - 大滝
 - 恵庭
 - ◆ 白老
 - ▲ 苫小牧
 - 千歳
 - 2000年3月有珠山噴火
 - 2003年9月十勝沖地震
 - 2011年3月東北地方太平洋沖地震
 - 2014年7月胆振地方中東部の地震
 - 2018年9月北海道胆振東部地震
 - - - 伐木
- ※3 R5.1.20審査会合資料においては, 比高変化のグラフについて, 縦軸の範囲を-0.08~0.08mとしていたが, その範囲外にも以下に示すデータが認められ, 表示範囲が適切ではなかったことから, 今回, 縦軸の範囲を-0.10~0.10mに修正した。

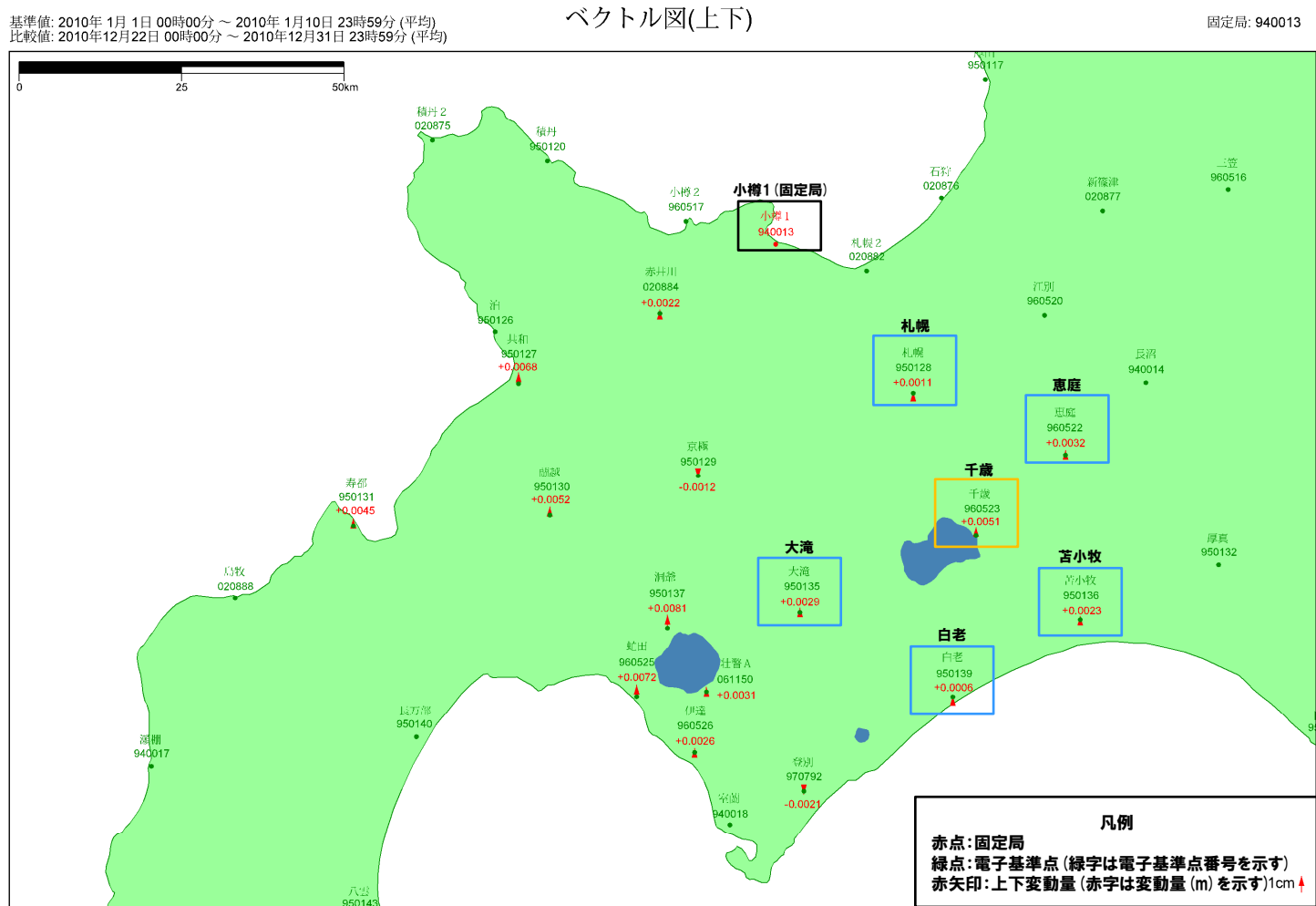
「小樽1-白老間」
+0.0854m (1996年4月20日)

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生前, 2010年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-千歳間の+5.1mmである。



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間: 2010年1月~2010年12月)

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/10)

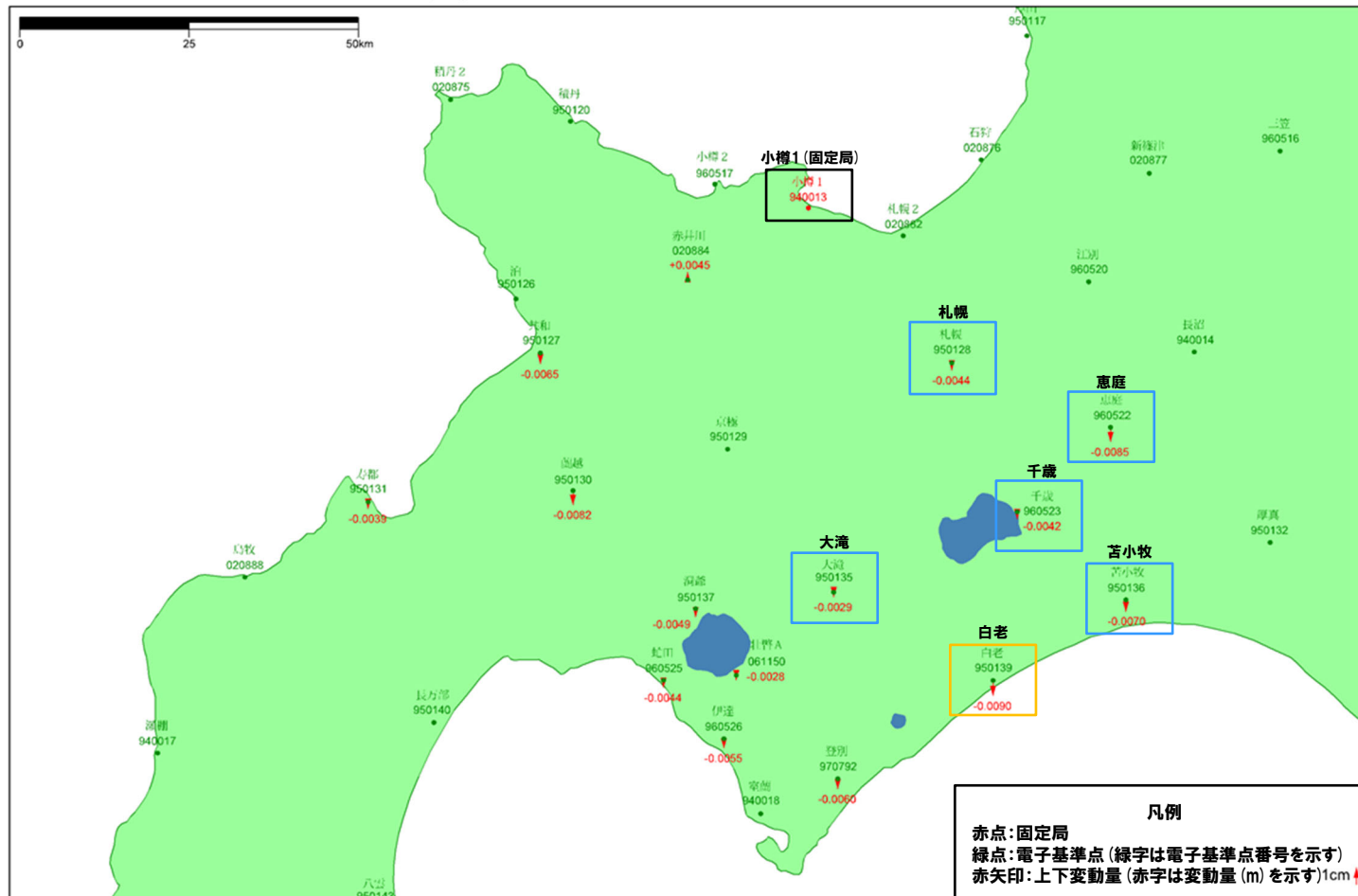
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-白老間の-9.0mmである。

基準値: 2017年1月1日00時00分～2017年1月10日23時59分(平均)
比較値: 2017年12月22日00時00分～2017年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間: 2017年1月～2017年12月)

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/10)

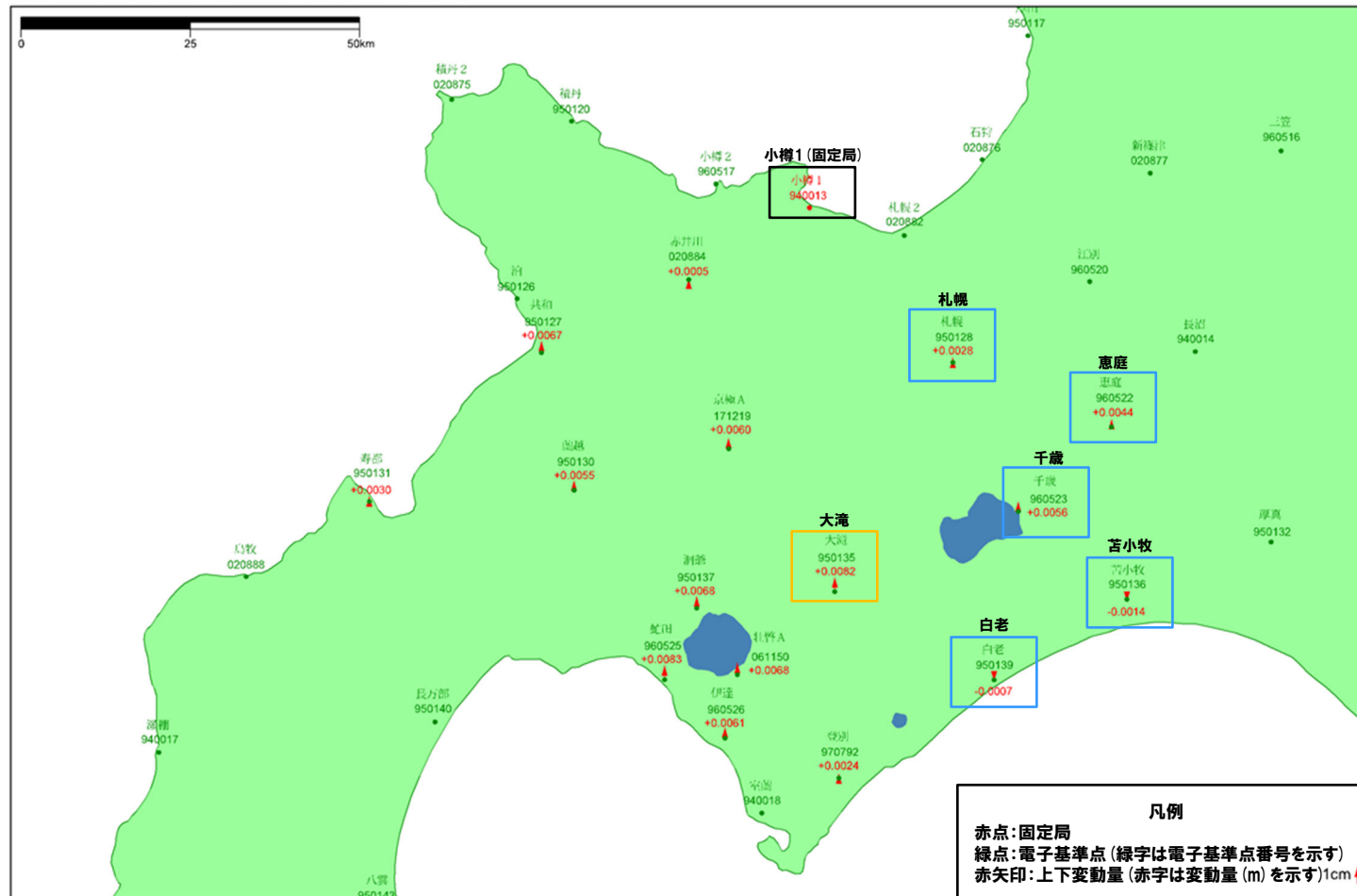
再掲 (R5/1/20審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生後、2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の+8.2mmである。

基準値: 2019年1月1日00時00分 ~ 2019年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2019年12月22日00時00分 ~ 2019年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号) 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2019年1月~2019年12月)

余白

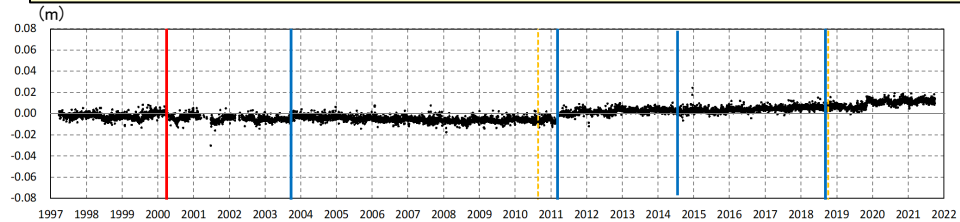
(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

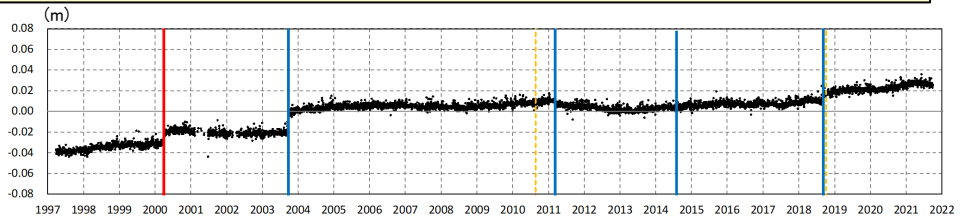
一部修正(R3/10/14審査会合)

【基線長変化】

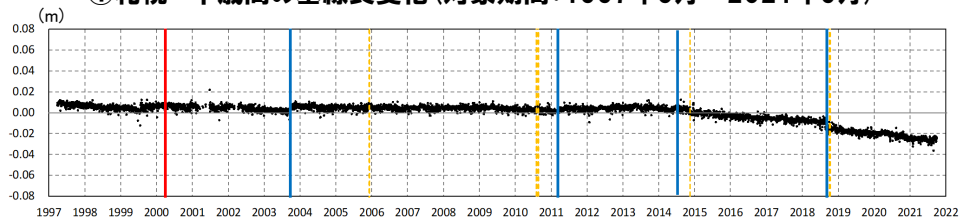
- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)を結んだ5基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



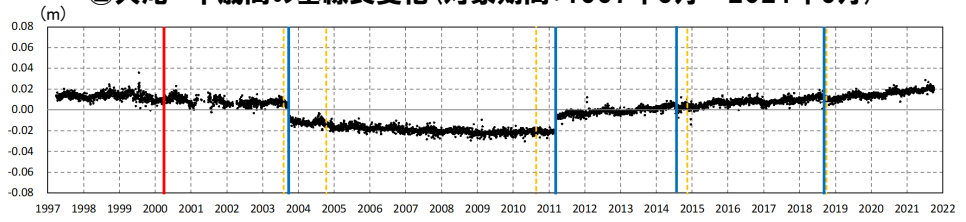
①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



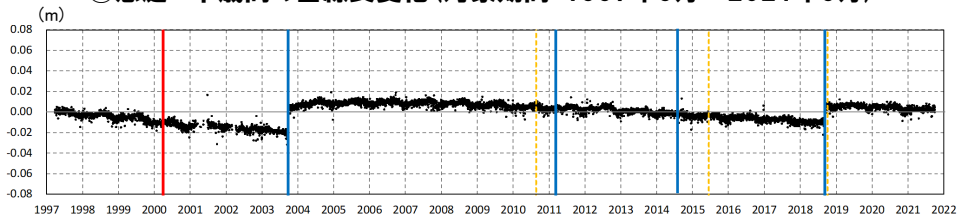
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

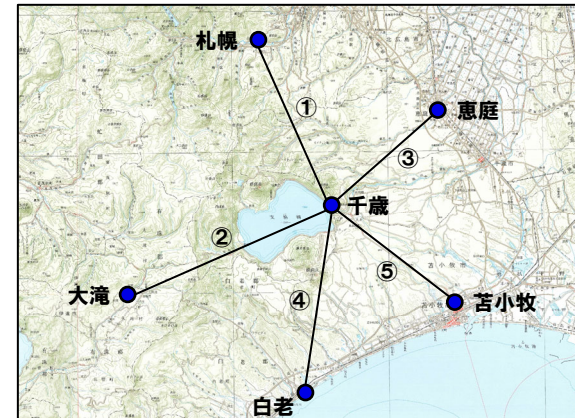


④白老-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



⑤苫小牧-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

- 2000年3月有珠山噴火
- 2003年9月十勝沖地震
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震
- 伐木



支笏カルデラ付近電子基準点位置図

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

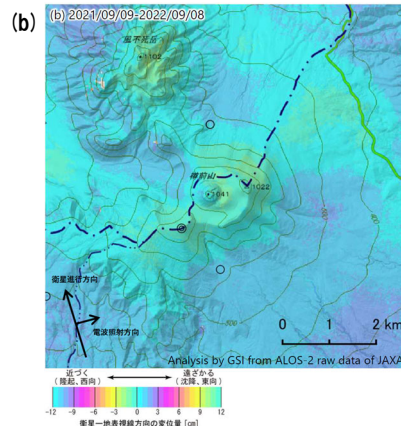
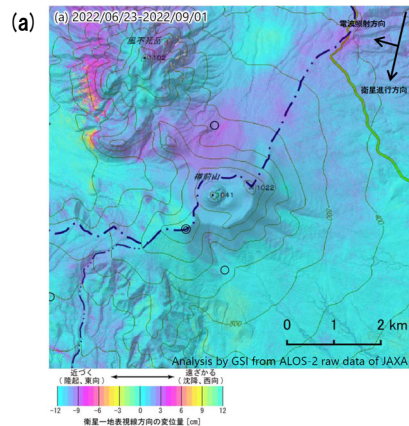
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【干渉SAR】

第151回火山噴火予知連絡会資料(樽前山, 恵庭岳)(気象庁, 2022)

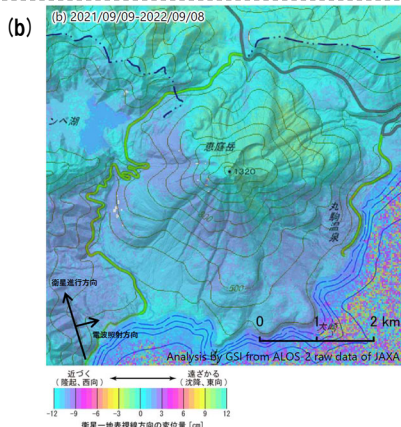
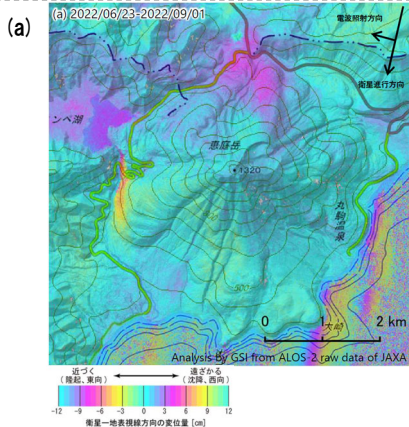
- 樽前山周辺における“2022年6月～2022年9月(左上図a)”及び“2021年9月～2022年9月(右上図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。
- 恵庭岳周辺における“2022年6月～2022年9月(左下図a)”及び“2021年9月～2022年9月(右下図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2022/06/23 2022/09/01 11:41頃 (70日間)	2021/09/09 2022/09/08 23:26頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	38.9°	37.0°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-70m	-131m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

樽前山周辺における
干渉SAR解析結果(国土地理院)
(気象庁(2022)に加筆)



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2022/06/23 2022/09/01 11:41頃 (70日間)	2021/09/09 2022/09/08 23:26頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	39.5°	36.6°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-70m	-131m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

恵庭岳周辺における
干渉SAR解析結果(国土地理院)
(気象庁(2022)に加筆)

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

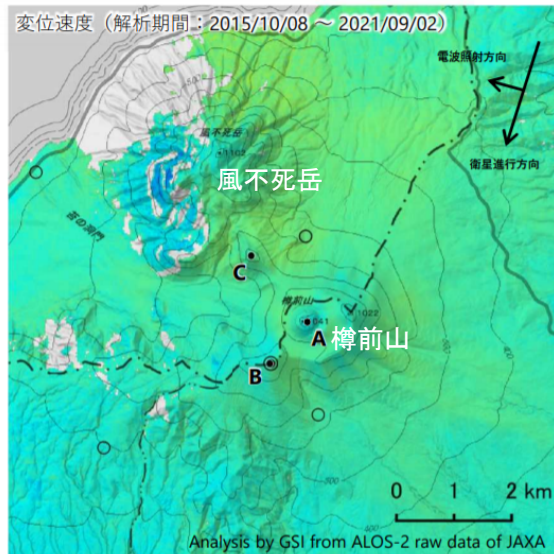
○第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)によると, 樽前山周辺における干渉SAR時系列解析において, 「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている(本頁左図)。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

○2014年8月から2022年12月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2023)*によれば, 支笏カルデラ周辺においては顕著な地殻変動は認められない(本頁右図)。

*国土地理院では, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する衛星「だいち2号(ALOS-2)」のSARデータを使用し, 地表変動の監視を行っている。2023年3月に日本全域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で公表した。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

ノイズレベルを超える変動は見られません。

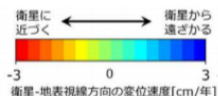


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/10/08 ~ 2021/09/02 (2156日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	38.9°
偏波	HH
データ数	12
干渉ペア数	14

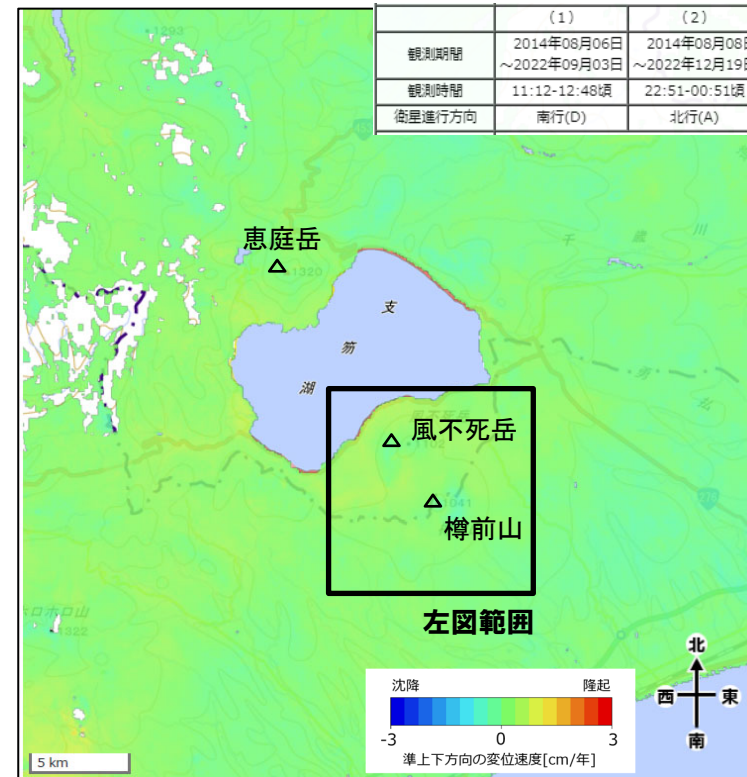
* U: 高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



樽前山の干渉SAR時系列解析結果(衛星方向の変位速度, 南行)
(気象庁(2021)に加筆)



	(1)	(2)
観測期間	2014年08月06日 ~ 2022年09月03日	2014年08月08日 ~ 2022年12月19日
観測時間	11:12-12:48頃	22:51-00:51頃
衛星進行方向	南行(D)	北行(A)

支笏カルデラ周辺における2014-2022年間の干渉SAR時系列解析結果(準上下成分の変位速度)(国土地理院(2023)に加筆)

○支笏カルデラ周辺においては, 顕著な地殻変動は認められない。

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

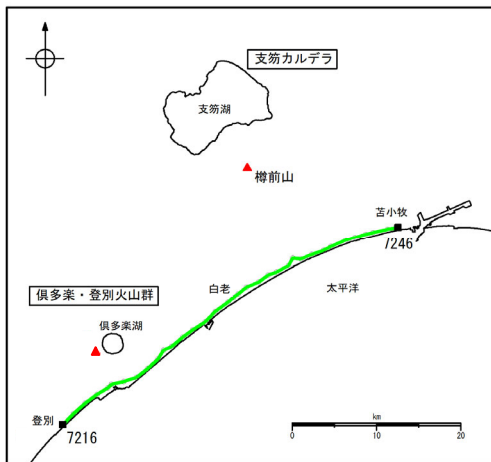
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

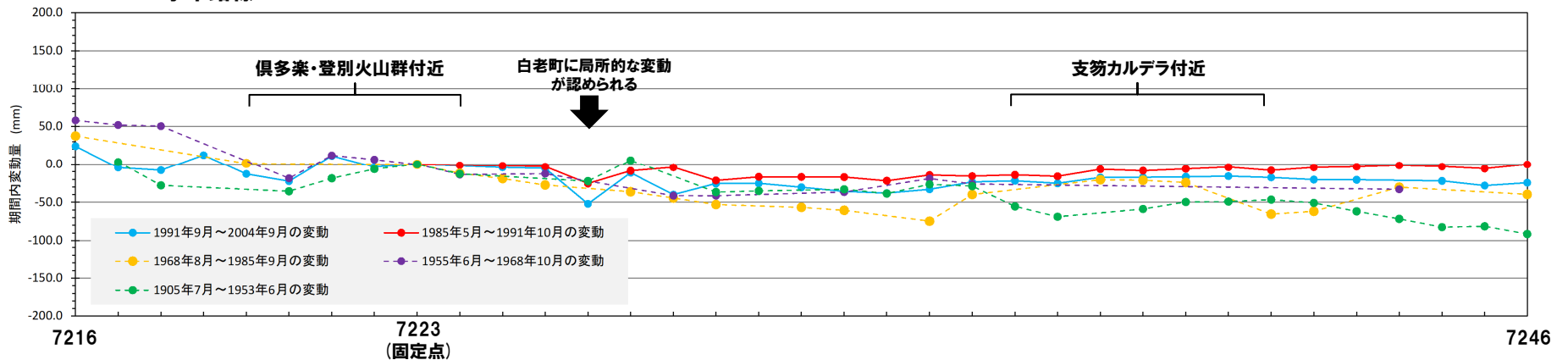
【水準測量】

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した*。
- 当該検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、支笏カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。

*当該検測成果集録においては、支笏カルデラ周辺の水準路線として、左図に示す一等水準点を用いた路線の他に、苫小牧付近から支笏カルデラ付近まで及び苫小牧付近から樽前山付近までの二等水準点を用いた2路線のデータもまとめられている。しかし、支笏カルデラ付近へ向かう路線は2001年及び2018年に、樽前山付近へ向かう路線は2001年及び2007年に測量が実施されており、下図のような変動量はそれぞれ1期間示されているのみである。このため、支笏カルデラ周辺の水準測量の結果として、より長期間のデータがある一等水準点を用いた路線の変動量を示している。



水準路線



水準路線(水準点番号:7216-7246)沿いの期間内変動量(固定点:7223)

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (10/10)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

○地殻変動については、青木(2016)によれば、マグマだまりにマグマが注入されると、マグマだまりが増圧し山体は膨張するとされている。このため、地殻変動がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、支笏カルデラ規模の地殻変動の状況を確認するため、電子基準点等のデータを整理した。

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

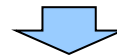
- 支笏カルデラ付近の上下変動は、大滝地点以外は継続的な隆起又は沈降は認められず、大滝地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、大滝地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【地殻変動(干渉SAR)】

- 支笏カルデラ周辺においては、顕著な地殻変動は認められない。

【地殻変動(水準測量)】

- 国土地理院一等水準点検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、支笏カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 支笏カルデラ周辺の地殻変動は、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、支笏カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。

余白

(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○支笏カルデラ直下の上部地殻における巨大噴火*が可能な量のマグマ溜まりの有無及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動の有無に着目して、地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)を実施する。

支笏カルデラにおける地球物理学的調査結果

【地下構造 (P104~P119参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
<p>○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。</p> <p>○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。</p>	<p>○文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)に基づく、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められる。</p>	<p>○文献(Yokoyama and Aota, 1965)に基づく、支笏カルデラにおいては、中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低重力異常が中心部に認められる。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○地下構造に関する調査の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。</p>
地震波速度構造と比抵抗構造との比較			
<p>○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低比抵抗領域を報告している文献においては、当該領域がメルトかマグマ由来の水か比抵抗構造だけでは判断できないとされていることから、当該領域における地震波速度構造と比抵抗構造とを合わせた検討を実施した。</p> <p>○検討の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内には、低比抵抗領域が認められるが、地震波速度構造から当該領域は水に富む領域であり、部分熔融域ではないと考えられる。</p>			
【火山性地震 (P120~P124参照)】		【地殻変動 (P125~P135参照)】	
<p>○火山性地震のうち、低周波地震活動は、恵庭岳周辺の下部地殻に散発的に認められるが、上部地殻には認められない。</p>		<p>○支笏カルデラ周辺の地殻変動は、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、支笏カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。</p>	

○地球物理学的調査の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。

*原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされている。

1. 火山影響評価の概要	P. 10
2. 網羅的な文献調査の概要	P. 42
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 54
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 57
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 61
4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価	P. 68
4.1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価	P. 71
4.1.1 火山活動の可能性評価	P. 71
4.1.2 巨大噴火の可能性評価	P. 79
4.1.2(1) 巨大噴火の可能性評価方法	P. 81
4.1.2(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P. 98
4.1.2(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P. 140
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 186
4.2 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 229
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	
5.1 地理的領域内の火山による火山事象の影響	
5.2 降下火砕物の影響評価	
5.2.1 降下火砕物の影響評価の概要	
5.2.2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
5.2.3 降下火砕物シミュレーション	
5.2.4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
5.2.5 降下火砕物の密度・粒径	
6. 火山活動のモニタリング	
6.1 監視対象火山	
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対応	
7. 火山影響評価のまとめ	P. 296
参考資料	P. 306
参考文献	P. 319

・本章の説明内容

【評価結果】倶多楽・登別火山群の巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

余白

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

【評価結果】倶多楽・登別火山群の巨大噴火の可能性評価(1/2)

一部修正(R5/1/20審査会合)

- 倶多楽・登別火山群起源のKt-7は、確認地点は少ないものの北東方向に60km程度の地点で火砕流堆積物が認められ、約9万年前にKt-7を噴出した噴火は、噴出規模が「VEI7 class^{*}」とされていることから、巨大噴火に該当するものとして扱う。
- 倶多楽・登別火山群の現在の活動状況は、以下の検討結果(詳細は次頁表参照)を総合的に踏まえると、巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価される。
 - ・倶多楽・登別火山群においては、巨大噴火が約9万年前に1回発生しており、その噴出規模が「VEI7 class^{*}」である。
 - ・倶多楽・登別火山群において巨大噴火が発生した先アヨロステージ並びに巨大噴火に該当する噴火は発生しないものの珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージ以降は登別ステージとされており、登別ステージにおいては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも0.04km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。
 - ・地下構造の状況から、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さい。
 - ・火山性地震及び地殻変動の状況からは、倶多楽湖の北西側において、熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される隆起は認められるが、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない。
- また、倶多楽・登別火山群については、網羅的な文献調査の結果、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められないことから、運用期間中における巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠は得られていない。
- これらのことから、倶多楽・登別火山群の運用期間中における巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価される。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

【評価結果】倶多楽・登別火山群の巨大噴火の可能性評価(2/2)

一部修正(R5/1/20審査会合)

検討項目	検討結果	該当頁	
①活動履歴	<ul style="list-style-type: none"> ○倶多楽・登別火山群においては、巨大噴火が約9万年前に1回発生しており、その噴出規模が「VEI7 class※」である。 ○倶多楽・登別火山群において巨大噴火が発生した先アヨロステージ並びに巨大噴火に該当する噴火は発生しないものの珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージ以降は登別ステージとされており、登別ステージにおいては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも0.04km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。 	次頁～ P145	
地球物理学的調査	②地下構造 <ul style="list-style-type: none"> ○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。 【地震波速度構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。 ・倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。 【比抵抗構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。 【重力異常】 <ul style="list-style-type: none"> ・重力異常を踏まえマグマ溜まりに関して考察されている文献は認められない。 	P146～ P147 P148～ P155 P156～ P159	
	③火山性地震	○火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。	P162～ P168
	④地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ○倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)において、2016年以降に確認される隆起及び当該領域を含む基線の伸びは認められるが、熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。 ○この変動以外には、白老町の局所的な変動並びにより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。 	P169～ P182
		○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。	

※Amma-Miyasaka et al. (2020)においては、Kt-7の噴出規模が「VEI7 class」とされており、具体的な噴出物体積は示されていない。なお、噴出物体積については、以下の手法を用いて概算したとされている。

・Kt-7のうち、降下火砕物の体積は、同給源から噴出した同程度の距離にあるKt-1の層厚を踏まえ、Kt-7とKt-1の層厚の比から概算。

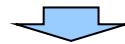
・Kt-7のうち、火砕流堆積物の体積は、同心円状の分布を推定した上で、Kt-7の平均層厚を踏まえて算出し、山体近傍における層厚が明確ではないことを考慮して概算。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴(1/4)

一部修正(R5/1/20審査会合)

- 活動履歴から、倶多楽・登別火山群の現在の活動状況について検討を実施した。
- 倶多楽・登別火山群の活動履歴を次頁～P145に示すとおり整理し、その概要を以下に示す。
- なお、活動履歴の整理は、R3.10.14審査会合以降に実施した網羅的な文献調査結果(2章参照)も踏まえ実施している。
 - ・倶多楽・登別火山群は、約9万年前に最大規模の噴火であるKt-7を噴出した噴火が発生した後、複数の珪長質マグマの活動(アヨロステージ:Kt-6, Kt-4及びKt-3, クッタラステージ:Kt-2及びKt-1)等が発生し、最後の珪長質火砕噴火(Kt-1)により現在のクッタラカルデラが形成された。
 - ・倶多楽・登別火山群は、クッタラカルデラを形成したKt-1の噴火を最後に、その後4万年間は火山活動度が低下したままであり、現在の噴火活動は、登別ステージである。
 - ・Kt-7は確認地点は少ないものの北東方向に60km程度の地点で火砕流堆積物が認められ、Kt-7を噴出した噴火は、噴出規模が「VEI7 class^{※1}」とされていることから(P145参照)、巨大噴火に該当するものとして取り扱う。
 - ・登別ステージ以前においては、Kt-7を除く火砕流を含む火山噴出物については、噴出物ごとの分布境界は明確ではないが、Kt-7を除く火砕流堆積物の分布は山体近傍であることから(補足説明資料1のP36及びP40参照)、巨大噴火に該当しない。
 - ・なお、これらの火砕流のうち、最大の噴出物体積は、Kt-1の7.1km³である(下表参照)。
 - ・登別ステージ以降の最大規模の噴火は日和山溶岩ドーム(噴出物体積:0.04km³)であり、最大規模の降下火砕物を伴う噴火は約200年前のNb-aを噴出した噴火(噴出物体積:約0.00046km³)である。



- 倶多楽・登別火山群においては、巨大噴火が約9万年前に1回発生しており、その噴出規模が「VEI7 class^{※1}」である。
- 倶多楽・登別火山群において巨大噴火が発生した先アヨロステージ並びに巨大噴火に該当する噴火は発生しないものの珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージ以降は登別ステージとされており、登別ステージにおいては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも0.04km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。

登別ステージ以前の噴出物体積^{※2}

() カッコ内はマグマ体積(DRE)

噴出物名	噴出物体積(km ³)		噴出物名	噴出物体積(km ³)	
		火砕流(km ³)			火砕流(km ³)
Kt-1	25.4(14.4)	7.1(3.4)	Kt-4	18.8(11)	2.1(1)
Kt-3	34.4(20.1)	4.7(2.3)	Kt-6	28.9(16.8)	4.2(2)
Kt-Hy	9.2~10.5 (7~8)	0.8(0.4) ^{※3}	Kt-8	≤VEI5 class	≤VEI5 class

※1 Amma-Miyasaka et al. (2020) においては、Kt-7の噴出規模が「VEI7 class」とされており、具体的な噴出物体積は示されていない。なお、噴出物体積については、以下の手法を用いて概算したとされている。

- ・Kt-7のうち、降下火砕物の体積は、同給源から噴出した同程度の距離にあるKt-1の層厚を踏まえ、Kt-7とKt-1の層厚の比から概算。
- ・Kt-7のうち、火砕流堆積物の体積は、同心円状の分布を推定した上で、Kt-7の平均層厚を踏まえて算出し、山体近傍における層厚が明確ではないことを考慮して概算。

※2 噴出物体積は、P145の活動履歴に示すマグマ体積を山元(2014)に基づき、当社が換算した。

※3 Miura et al. (2022) によれば、Kt-Hyの火砕物密度流は、サブユニット(Lpdc, Mpdc及びUpdc)に区分できるとされ、マグマ体積については、Updcの0.4km³(DRE)のみ推定されている。

なお、同文献によれば、Lpdc及びMpdcの規模については、分布に不確実性があるため正確に決定できないものの、谷埋め型及び局所的な堆積物であることから、Updcよりも小さくなる可能性があるとされている。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴 (2/4)

再掲 (R5/1/20審査会合)

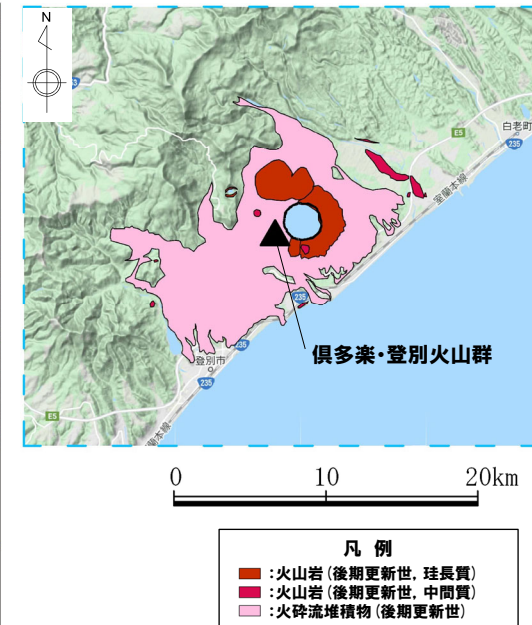
倶多楽・登別火山群の概要

火山名※1	C17 倶多楽・登別火山群
敷地からの距離	80.5km
火山の形式※2	成層火山-カルデラ, 溶岩ドーム
活動年代※3	約11万年前以降
評価	約1万年前以降に活動しており, 完新世に活動した火山として抽出する。

※1 産業技術総合研究所「日本の火山 (DB)」2023年3月確認。

※2 西来ほか編 (2012)「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」2023年3月確認。

※3 次頁~P145に示す倶多楽・登別火山群の活動履歴に基づく。



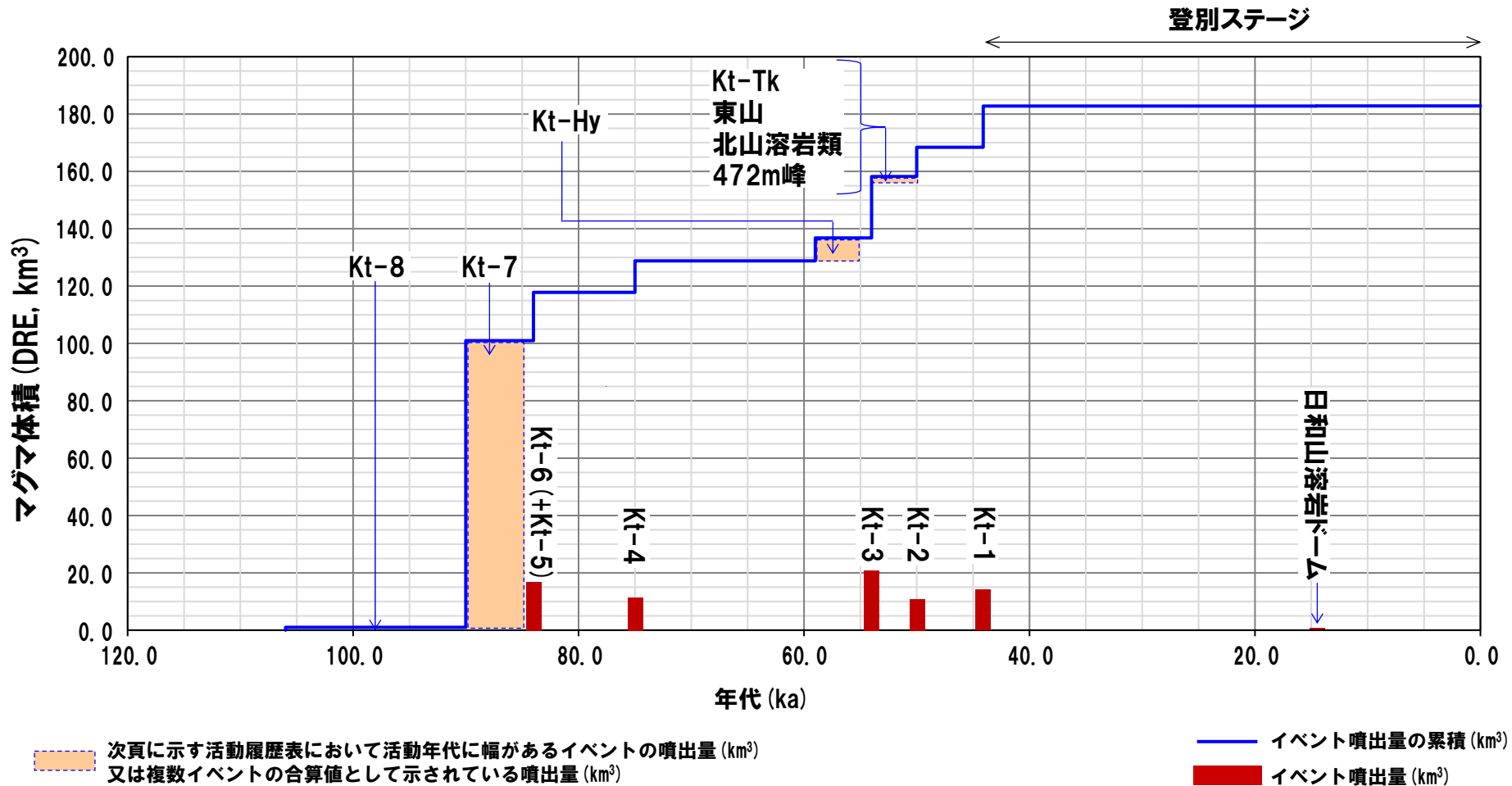
倶多楽・登別火山群の位置図

(産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) より作成)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴 (3/4)

一部修正 (H28/2/5審査会合)



噴出量-年代階段ダイアグラム

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴(4/4)

一部修正(H28/2/5審査会合)

倶多楽・登別火山群活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 DRE (km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
完新世				
A.D.1800頃	(裏地獄)	(水蒸気爆発)		
A.D.1800頃	(大湯沼)	(水蒸気爆発)		
8.5ka-A.D.1663	Nb-a~ *1	(水蒸気爆発)		
更新世				
登別	14.5ka 日和山溶岩ドーム	0.04		
ステージ	不明 橘湖アグルチネート	不明		
クッタラ	44.1ka Kt-1: pfa,pfl,ps,sfa	14.4		山縣(1994) 森泉(1998) 第四紀火山 カタログ委員 会編(2000) 山元(2014) Amma- Miyasaka et al.(2020) Miura et al.(2022)
ステージ	ca.50ka Kt-2: pfa	10.2		
竹浦ステージ (episode Kt-Tk)	不明 Kt-Tk: sfa	0.4		
不明	不明 東山	0.2		
episode Kt-Kt	不明 北山溶岩類	0.5		
不明	不明 472m峰	0.2		
	ca.54ka Kt-3: pfa,afa,ps,pfl	20.1	76.5	
アヨロ	59-55ka Kt-Hy:	7~8*2		
ステージ	pfa,ps,afa,pfl			
	ca.75ka Kt-4: pfa,ps,pfl	11		
	ca.84ka Kt-6 (+Kt-5):	Kt-5: 不明		
	pfa,ps,pfl	Kt-6: 16.8		
	90-85ka Kt-7: pfa,pfl	[VEI7 class*3]		
先アヨロ	106-85ka Kt-8: pfa,afa,pfl	[≤VEI5 class*4]		
ステージ	不明 石山溶岩流	不明		
	不明 地獄谷火砕丘	不明		

*1 後藤ほか(2013)によれば、12層の水蒸気噴火堆積物の各々の噴火堆積物の体積は10⁵m³オーダー、また、Goto et al.(2015)によれば、Nb-aの噴出物体積は、4.6×10⁹m³とされている。

*2 Miura et al.(2022)によれば、成層火山の体積は6.7km³と推定され、表に示すマグマ体積はKt-Hyテフラの噴出物体積と成層火山体積の推定値を足し合わせた値とされている。

*3 Amma-Miyasaka et al.(2020)によれば、Kt-7の噴出規模は、概算として「VEI7 class」とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、マグマ体積(DRE)を100km³として図示している。

*4 Miura et al.(2022)によれば、Kt-8の噴出規模は、概算として「≤VEI5 class」とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、マグマ体積(DRE)を1km³として図示している。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(1/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

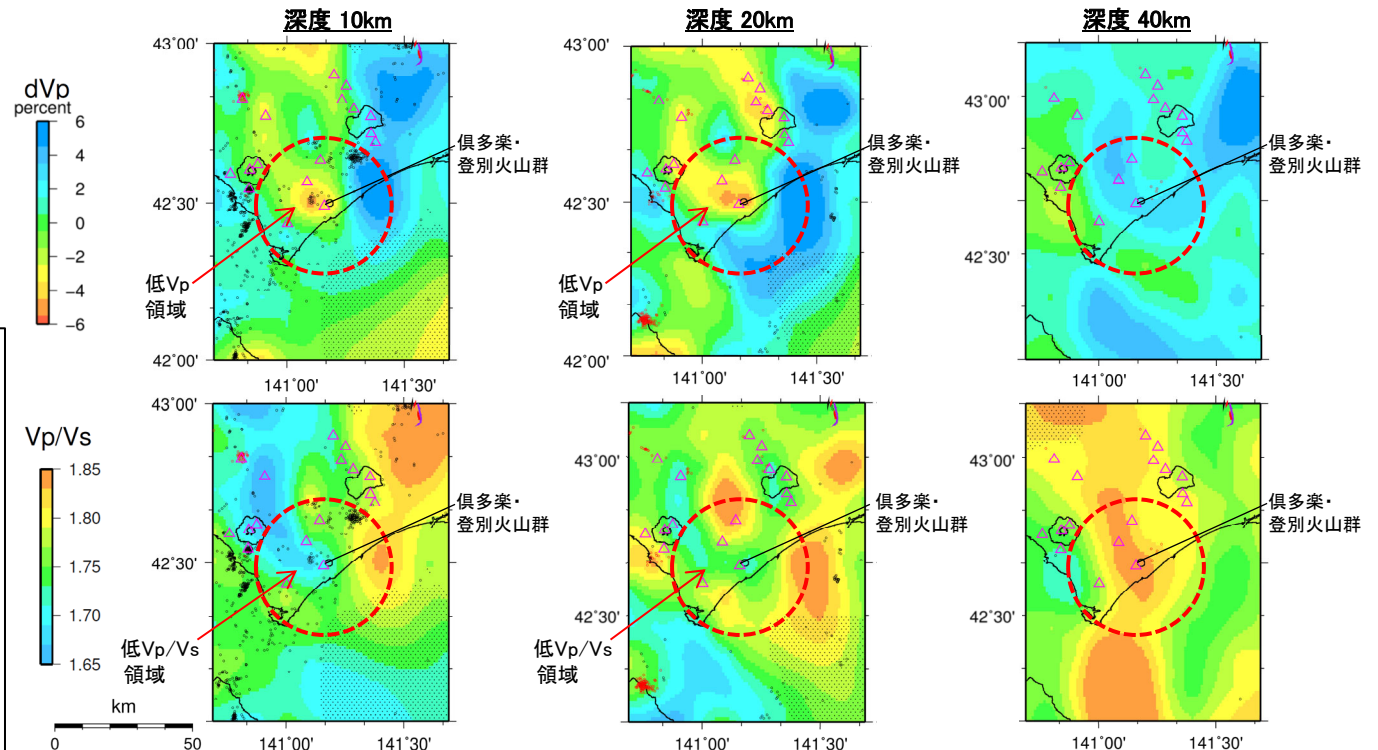
- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が倶多楽・登別火山群における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- 倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P81~P93参照)】

- 地震波速度構造については、「メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域が存在するか否か」を確認する。
- 地震波速度構造について確認する際は、カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低周波地震の分布状況についても考慮する。

凡例

- △ 第四紀火山
- 震源 (MJMA \geq 0)
- 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
- 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
- 活断層 } 今泉ほか編(2018)をトレース
- 推定活断層
- 倶多楽・登別火山群を中心とした、半径25kmの範囲



倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

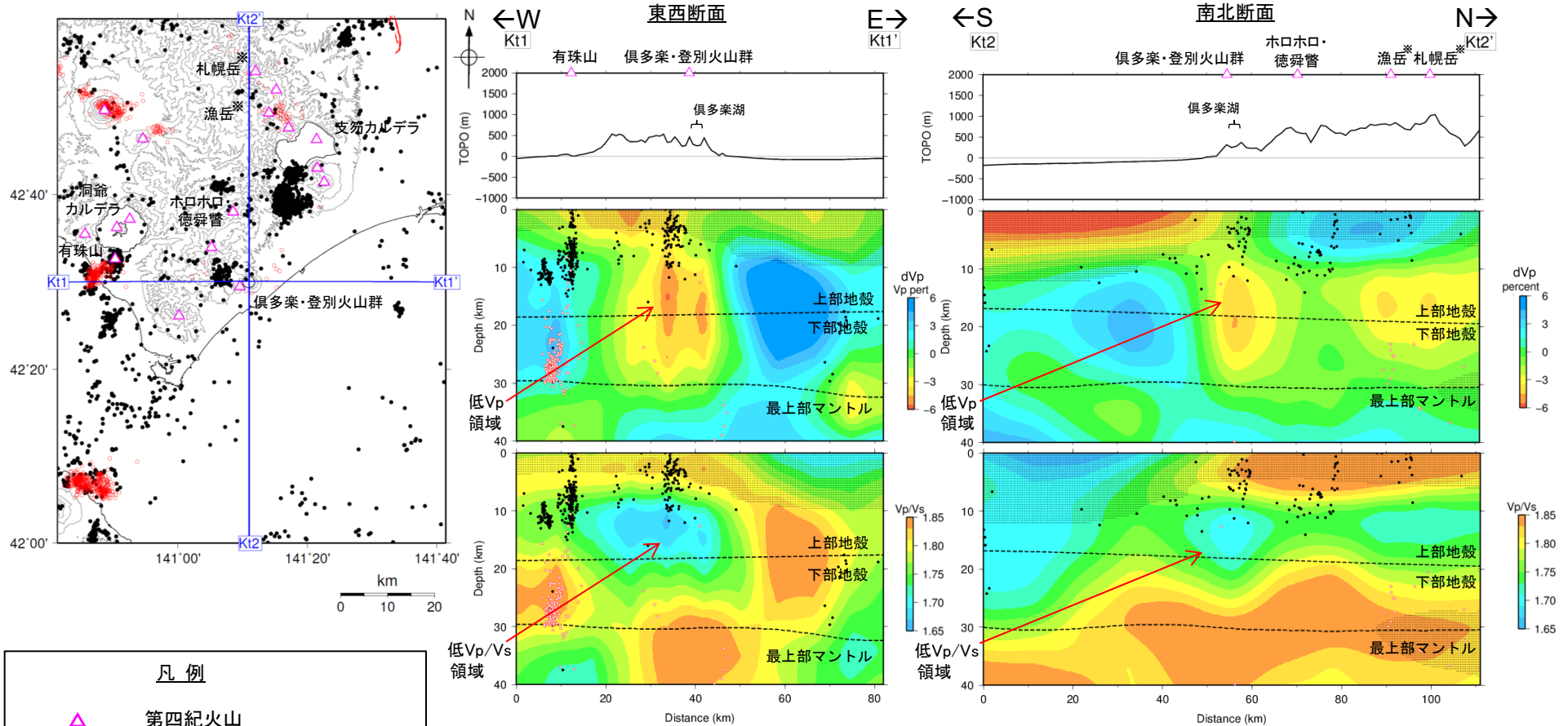
倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/2)

再掲 (R5/1/20審査会合)



倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、深度10km程度以深に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
 倶多楽・登別火山群直下には、低周波地震群は認められない。

地震波速度構造(鉛直断面)

鉛直断面に記載している火山は、断面位置を中心に±5km内の火山を投影した。なお、水平方向の分解能は約20km。鉛直方向の分解能は深さごとに異なるが、深さ0km~10kmでは分解能約5km、深さ10km~40kmでは分解能約10kmである。上部地殻と下部地殻の境界(コンラッド面)はZhao et al. (1992)、下部地殻と最上部マントルの境界(モホ面)はMatsubara et al. (2017)をトレースした。また、断面から±5kmの範囲の地震をプロットした。

※「2013.7 泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請」時点では、地理的領域にある第四紀火山は、札幌岳、空沼岳及び漁岳を含めた34火山としていた。この3火山については、中川ほか(2013)により、いずれもその活動は鮮新世とされたことを踏まえ、「日本の火山(DB)」においても第四紀火山から除外されていることから、当社も第四紀火山の抽出において除外することとした。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/6)

一部修正(R5/1/20審査会合)

○倶多楽・登別火山群の比抵抗構造について検討するため、文献レビューを実施した。

【Goto and Johmori (2015) (P151参照)】

○倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。

- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域 (P151図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域 (P151図Bの「zone D」) 及びクツタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域 (P151図Bの「zone E」) が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クツタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone D」は、地熱域の直下に位置することから、高温流体の湧出によって生じた熱水変質帯であると解釈しているとされている。
- ・「zone E」は、当該領域における掘削データがないため、適切な解釈を行うことはできないが、熱水変質を受けた可能性が考えられるとされている。

○Goto and Johmori (2015) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部には、熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められる。

(次頁へ続く)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(2/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

(前頁からの続き)

【Hashimoto et al. (2019) (P152~P155参照)】

○倶多楽・登別火山群において、MT法による電磁気探査を実施しているHashimoto et al. (2019) をレビューした。

- ・Hashimoto et al. (2019) によれば、倶多楽湖を横切る東西断面の浅部において、Goto and Johmori (2015) と同様な結果が得られたとされている。
- ・登別温泉直下の深度1km以浅において、低比抵抗領域(1~10Ωm, P153右図「C1」) が認められる。
- ・既往調査において堆積物中に熱水変質鉱物が多く含まれること及び温泉水中の酸素と水素の同位体比が深部起源を示唆することが報告されていることを踏まえると、低比抵抗領域C1は、深部から上昇する熱水、熱水または火山ガスによる高温並びに熱水変質鉱物による複合作用により低比抵抗を示すと考えられるとされている。
- ・クッタラカルデラの北東部から南側の浅部において、パッチ状の低比抵抗領域(1~10Ωm, P153右図「C2」及びP153左下図) が認められる。
- ・深部の掘削データはないものの、低比抵抗領域C2が地下水によるものとする、大気由来または倶多楽湖の湖水由来の水はそこまで比抵抗が低いことから、火山性流体が注入されたために低比抵抗を示す水が存在すると考えられるとされている。
- ・倶多楽湖直下の深度4km以浅(P153右図「M」)において、1Ωmオーダーの比抵抗値を示しマグマ溜まりを示唆するような低比抵抗領域は認められないとされている。
- ・しかし、領域Mの数十Ωmという比抵抗値を考慮すると、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマ或いは気液が混合した熱水貯留層の存在を否定するものではないとされている。

○Hashimoto et al. (2019) に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。

○なお、倶多楽湖直下に認められる数十Ωmの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり*の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。

- ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、深度4km程度までの表層付近は信頼度が高くない範囲であり(P155図中①)、当該領域に関する直接的な評価はできないものの、その直下の深度5~20km付近には、水の存在を示唆すると考えられる低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められる。
- ・通常の地震が深度10kmから地表付近まで分布していることから(P155図中②)、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

※東宮(2016)の“magma reservoir”に対応する領域(P82参照)。



○文献(Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019)に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

余白

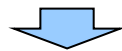
(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

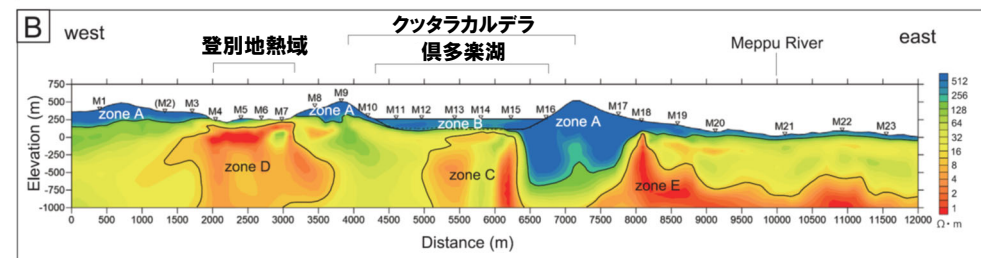
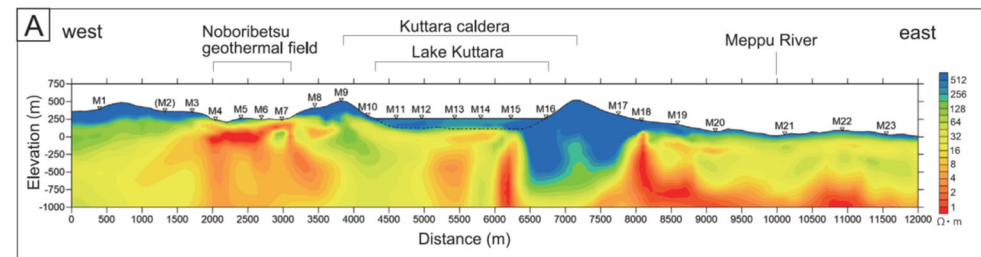
再掲 (R5/1/20審査会合)

【Goto and Johmori (2015)】

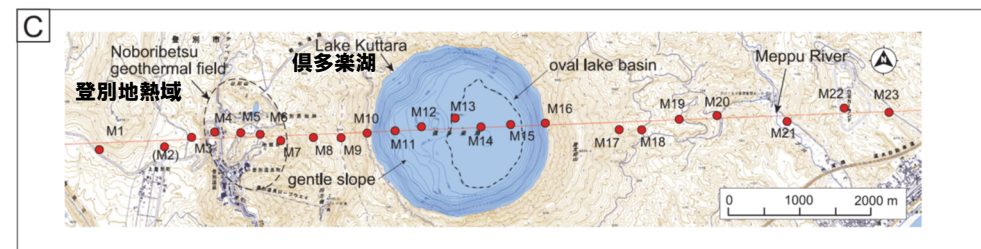
- 倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。
- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone D」)及びクッタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域(右図Bの「zone E」)が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クッタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone D」は、地熱域の直下に位置することから、高温流体の湧出によって生じた熱水変質帯であると解釈しているとされている。
- ・「zone E」は、当該領域における掘削データがないため、適切な解釈を行うことはできないが、熱水変質を受けた可能性が考えられるとされている。



- Goto and Johmori (2015) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部には、熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められる。



クッタラ火山直下の比抵抗構造(図A:注釈なし, 図B:注釈あり)
(Goto and Johmori (2015) に加筆)



MT観測点位置図
(Goto and Johmori (2015) に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(4/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【Hashimoto et al. (2019)】

- 倶多楽・登別火山群において、MT法による電磁気探査を実施しているHashimoto et al. (2019) をレビューした。
 - ・Hashimoto et al. (2019) によれば、倶多楽湖を横切る東西断面の浅部において、Goto and Johmori (2015) と同様な結果が得られたとされている。
 - ・登別温泉直下の深度1km以浅において、低比抵抗領域(1~10Ωm, 次頁右図「C1」) が認められる。
 - ・既往調査において堆積物中に熱水変質鉱物が多く含まれること及び温泉水中の酸素と水素の同位体比が深部起源を示唆することが報告されていることを踏まえると、低比抵抗領域C1は、深部から上昇する熱水、熱水または火山ガスによる高温並びに熱水変質鉱物による複合作用により低比抵抗を示すと考えられるとされている。
 - ・クッタラカルデラの北東部から南側の浅部において、パッチ状の低比抵抗領域(1~10Ωm, 次頁右図「C2」及び次頁左下図) が認められる。
 - ・深部の掘削データはないものの、低比抵抗領域C2が地下水によるものとする、大気由来または倶多楽湖の湖水由来の水はそこまで比抵抗が低くないことから、火山性流体が注入されたために低比抵抗を示す水が存在すると考えられるとされている。
 - ・倶多楽湖直下の深度4km以浅(次頁右図「M」)において、1Ωmオーダーの比抵抗値を示しマグマ溜まりを示唆するような低比抵抗領域は認められないとされている。
 - ・しかし、領域Mの数十Ωmという比抵抗値を考慮すると、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマ或いは気液が混合した熱水貯留層の存在を否定するものではないとされている。



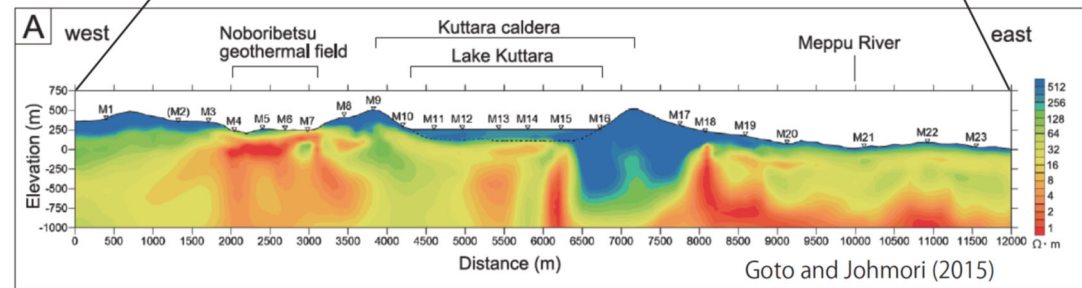
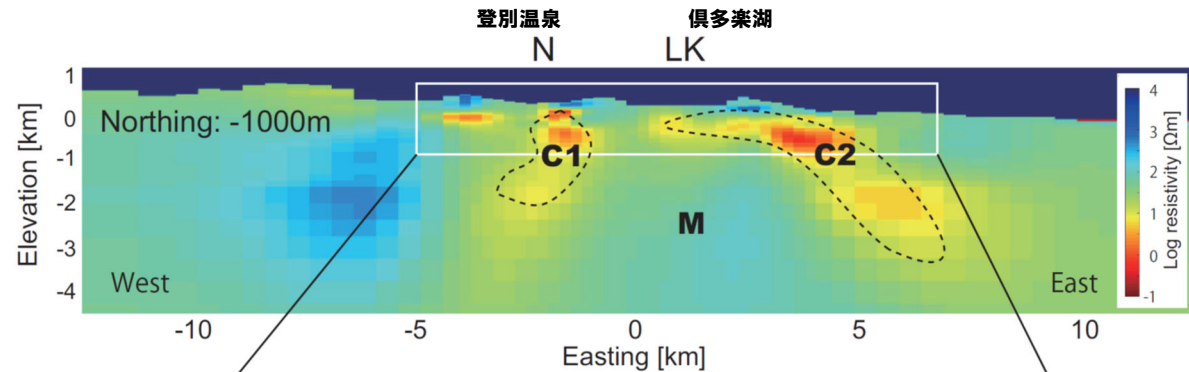
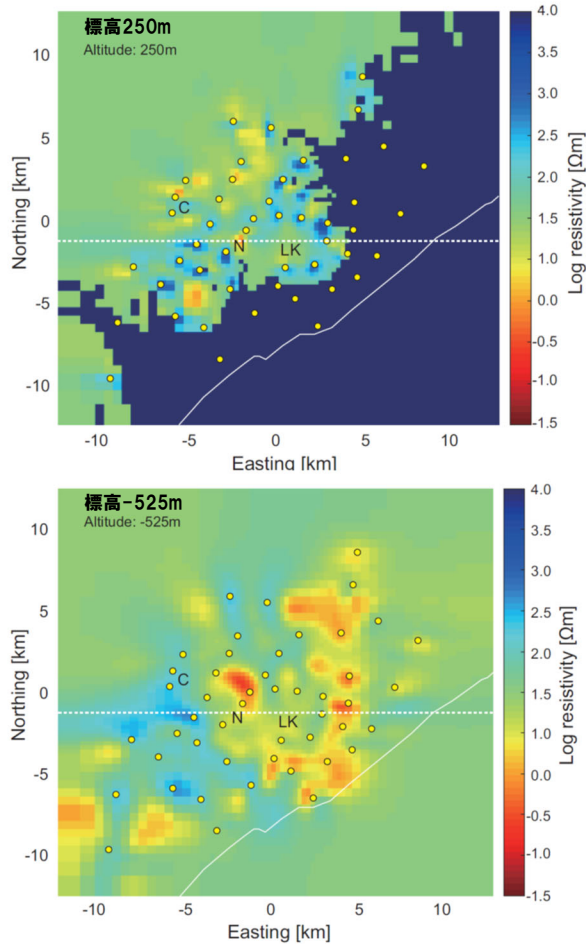
- Hashimoto et al. (2019) に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。
- なお、倶多楽湖直下に認められる数十Ωmの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり*の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。
 - ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、深度4km程度までの表層付近は信頼度が高くない範囲であり(P155図中①)、当該領域に関する直接的な評価はできないものの、その直下の深度5~20km付近には、水の存在を示唆すると考えられる低Vpかつ低Vp/Vs領域(P155参照)が認められる。
 - ・通常の地震が深度10kmから地表付近まで分布していることから(P155図中②)、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

*東宮(2016)の“magma reservoir”に対応する領域(P82参照)。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



上段:クッタラ火山の比抵抗構造(東西断面, 断面位置は左図参照)
 下段:上段図中の白枠に対応するGoto and Johmori (2015) による比抵抗構造 (P151参照)
 (Hashimoto et al. (2019) に加筆)

LK: 倶多楽湖 ● : MT観測点
 N: 登別温泉 白破線: 右図東西断面位置
 C: カルルス温泉

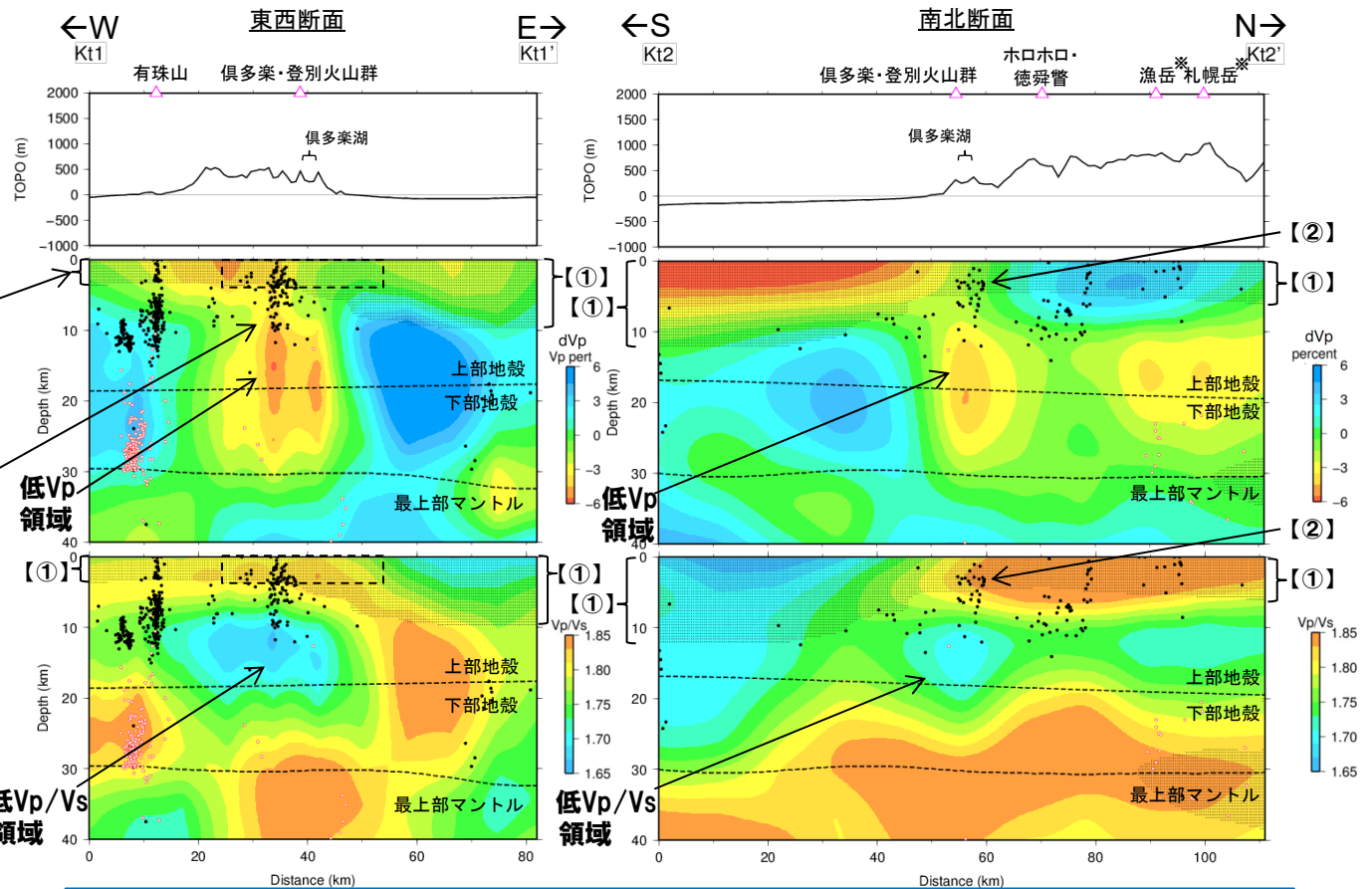
クッタラ火山の比抵抗構造(水平断面)
 (Hashimoto et al. (2019) に加筆)

余白

(3)巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(6/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



【①】チェッカーボードテストの復元率が20%以下であり信頼度が高くない範囲

【②】通常の地震が深度10kmから地表付近まで分布している

低Vp/Vs領域

低Vp/Vs領域

- 凡例
- △ 第四紀火山
 - 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
 - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
 - Hashimoto et al. (2019)に示される比抵抗構造の範囲

倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、深度10km程度以深に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
 倶多楽・登別火山群直下には、低周波地震群は認められない。

地震波速度構造(鉛直断面、断面位置図はP147参照)

鉛直断面に記載している火山は、断面位置を中心に±5km内の火山を投影した。なお、水平方向の分解能は約20km。鉛直方向の分解能は深さごとに異なるが、深さ0km~10kmでは分解能約5km、深さ10km~40kmでは分解能約10kmである。上部地殻と下部地殻の境界(コンラッド面)はZhao et al. (1992)、下部地殻と最上部マンテルの境界(モホ面)はMatsubara et al. (2017)をトレースした。また、断面から±5kmの範囲の地震をプロットした。

※「2013.7泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請」時点では、地理的領域にある第四紀火山は、札幌岳、空沼岳及び漁岳を含めた34火山としていた。この3火山については、中川ほか(2013)により、いずれもその活動は鮮新世とされたことを踏まえ、「日本の火山(DB)」においても第四紀火山から除外されていることから、当社も第四紀火山の抽出において除外することとした。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)(1/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○倶多楽・登別火山群周辺の重力異常について検討するため、文献レビューを実施した。

【森泉(1998)(次頁参照)】

○倶多楽・登別火山群周辺における地形と重力測定の結果から火口位置の推定を行っている森泉(1998)をレビューした。

- ・森泉(1998)によれば、アヨロステージのKt-6, 4, 3テフラの噴火では噴出体積が 10km^3 (D.R.E.)を超えることから、クッタラステージのKt-1と同様にカルデラが形成された可能性があると考えられている。
- ・クッタラカルデラを給源とするKt-1火砕流の分布地域に比べるとアヨロステージの火砕流がクッタラカルデラの東側に偏って分布することから、低重力異常地域はアヨロステージの火口である可能性があると考えられている。

○森泉(1998)に基づくと、倶多楽・登別火山群周辺には、アヨロステージ以前の火口位置を示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

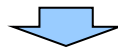
【畠山ほか(2005)(P158~P159参照)】

○地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。

- ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造が確認できるとされている。
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
- ・森泉(1998)は、これらの低重力異常域それぞれが火口であると推定したが、これらの低重力異常域はひとつひとつの火口を示しているのではなく、大きな低重力異常型カルデラを示すものであると想定できるとされている。
- ・環状構造の存在を考えると、現在のクッタラカルデラよりも大きいカルデラが成層火山により埋められ、カルデラ壁と成層火山体との間に低重力異常域が残っていると考えたほうが合理的であるとされている。
- ・クッタラ火山の噴出量は 100km^3 を優に超えたと考えられ、洞爺カルデラ(径 $11\times 12\text{km}$, 噴出量 118km^3)、支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$, 噴出量 120km^3)に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 3km であり、その量を噴出したと考えるのは難しいとされている。
- ・今回発見した環状構造が成層火山の形成以前にできた古いカルデラであると考えれば、噴出量とカルデラのサイズは合理的に説明できるとされている。

○畠山ほか(2005)に基づくと、倶多楽・登別火山群周辺においては、現在のクッタラカルデラより大きい低重力異常型カルデラが存在していたことを示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



○文献(森泉, 1998; 畠山ほか, 2005)に基づくと、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常) (2/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

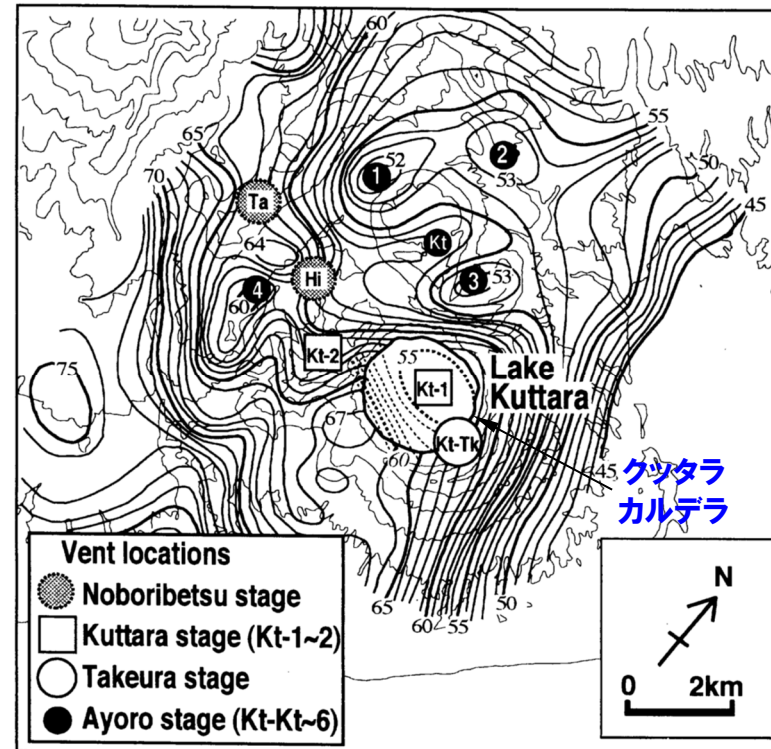
【森泉(1998)】

- 倶多楽・登別火山群周辺における地形と重力測定の結果から火口位置の推定を行っている森泉(1998)をレビューした。
- ・ 森泉(1998)によれば、アヨロステージ※のKt-6, 4, 3テフラの噴火では噴出体積が10km³ (D.R.E.)を超えることから、クッタラステージ※のKt-1と同様にカルデラが形成された可能性があるとしてされている。
- ・ クッタラカルデラを給源とするKt-1火砕流の分布地域に比べるとアヨロステージの火砕流がクッタラカルデラの東側に偏って分布することから、下図の1~3の低重力異常地域はアヨロステージの火口である可能性があるとしてされている。

※各活動ステージについてはP145参照。



- 森泉(1998)に基づくと、倶多楽・登別火山群周辺には、アヨロステージ以前の火口位置を示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



クッタラ火山群周辺の重力異常及び推定火口位置(森泉(1998)に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常) (3/4)

再掲 (R5/1/20審査会合)

【畠山ほか(2005)】

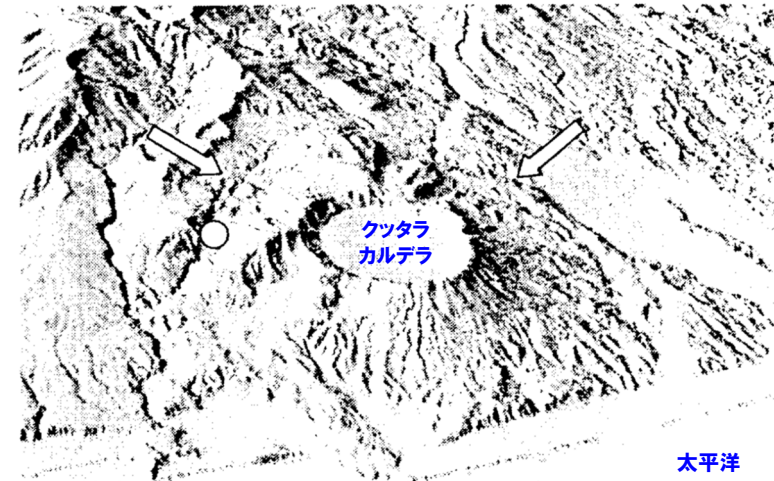
- 地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。
 - ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造(下図矢印)が確認できるとされている。
 - ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図(次頁参照)では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
 - ・森泉(1998)(前頁参照)は、これらの低重力異常域それぞれが火口であると推定したが、これらの低重力異常域はひとつひとつの火口を示しているのではなく、大きな低重力異常型カルデラを示すものであると想定できるとされている。
 - ・環状構造の存在を考えると、現在のクッタラカルデラよりも大きいカルデラが成層火山により埋められ、カルデラ壁と成層火山体との間に低重力異常域が残っていると考えたほうが合理的であるとされている。
 - ・クッタラ火山の噴出量は 100km^3 を優に超えたと考えられ、洞爺カルデラ(径 $11\times 12\text{km}$, 噴出量 118km^3), 支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$, 噴出量 120km^3)に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 3km であり、その量を噴出したと考えるのは難しいとされている。
 - ・今回発見した環状構造が成層火山の形成以前にできた古いカルデラであると考えれば、噴出量とカルデラのサイズは合理的に説明できるとされている。



- 畠山ほか(2005)に基づく、倶多楽・登別火山群周辺においては、現在のクッタラカルデラより大きい低重力異常型カルデラが存在していたことを示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

凡例

- ⇒ : 成層火山体を取り巻く環状構造
- : 登別温泉

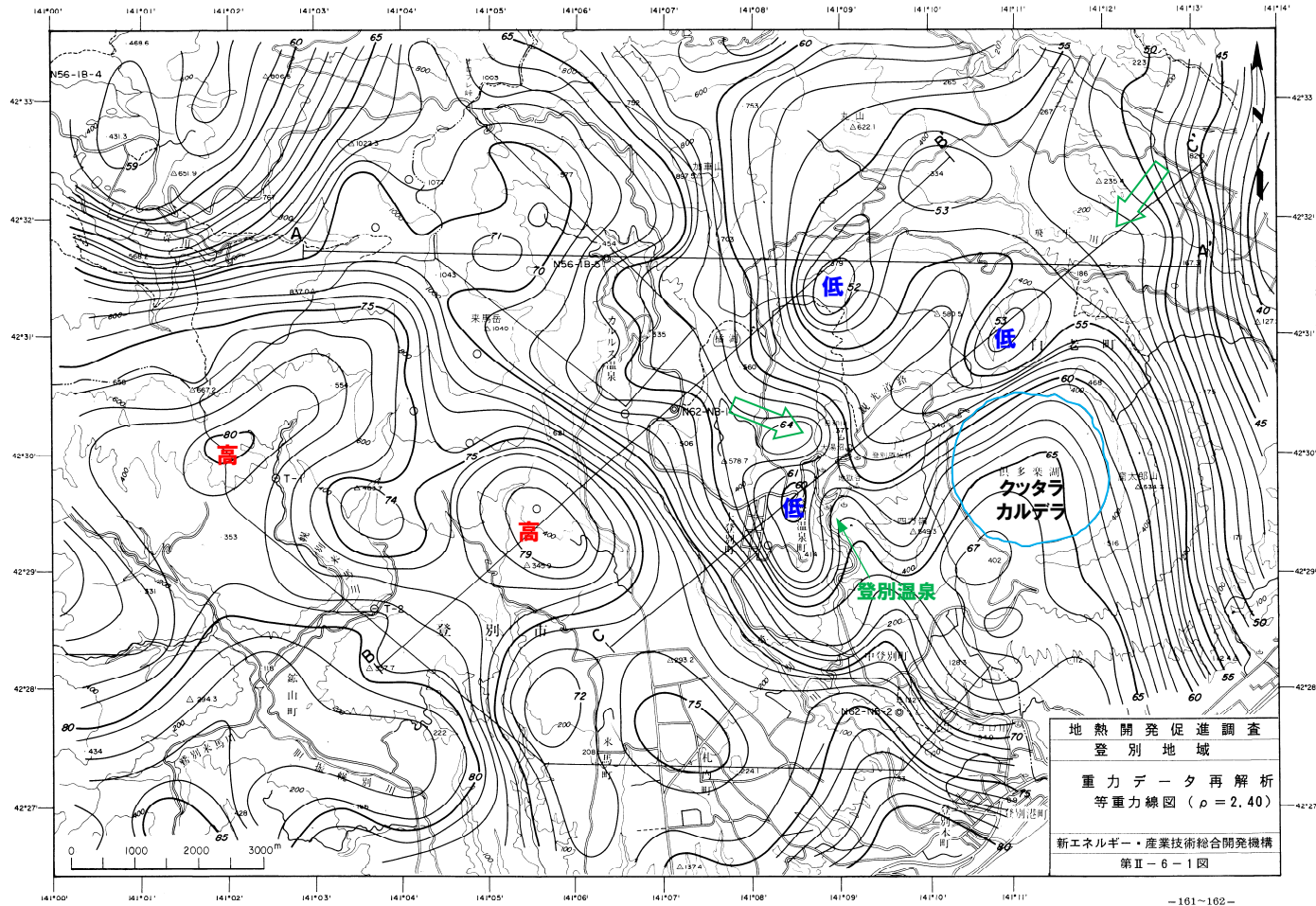


先クッタラカルデラ周辺の3D地図画像(畠山ほか(2005)に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常) (4/4)

再掲 (R5/1/20 審査会合)



高・低: 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1990) における主な高重力域又は主な低重力域を示す

→: 前頁図中で環状構造 (矢印) が示される位置付近を示す

倶多楽・登別火山群周辺の等重力線図
(新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1990) に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

【地震波速度構造 (P146~P147参照)】

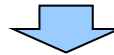
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【比抵抗構造 (P148~P155参照)】

- 文献 (Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

【重力異常 (P156~P159参照)】

- 文献 (森泉, 1998; 畠山ほか, 2005) に基づくと、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



- 地下構造に関する調査の結果、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。

余白

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(1/6)

再掲(R5/1/20審査会合)

【気象庁編(2013)】

○倶多楽・登別火山群周辺には、公的機関の地震計が設置されている。

○気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に地震活動及び深部低周波地震活動の時空間分布が取りまとめられている。



倶多楽・登別火山群周辺の地震計位置図
 (気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

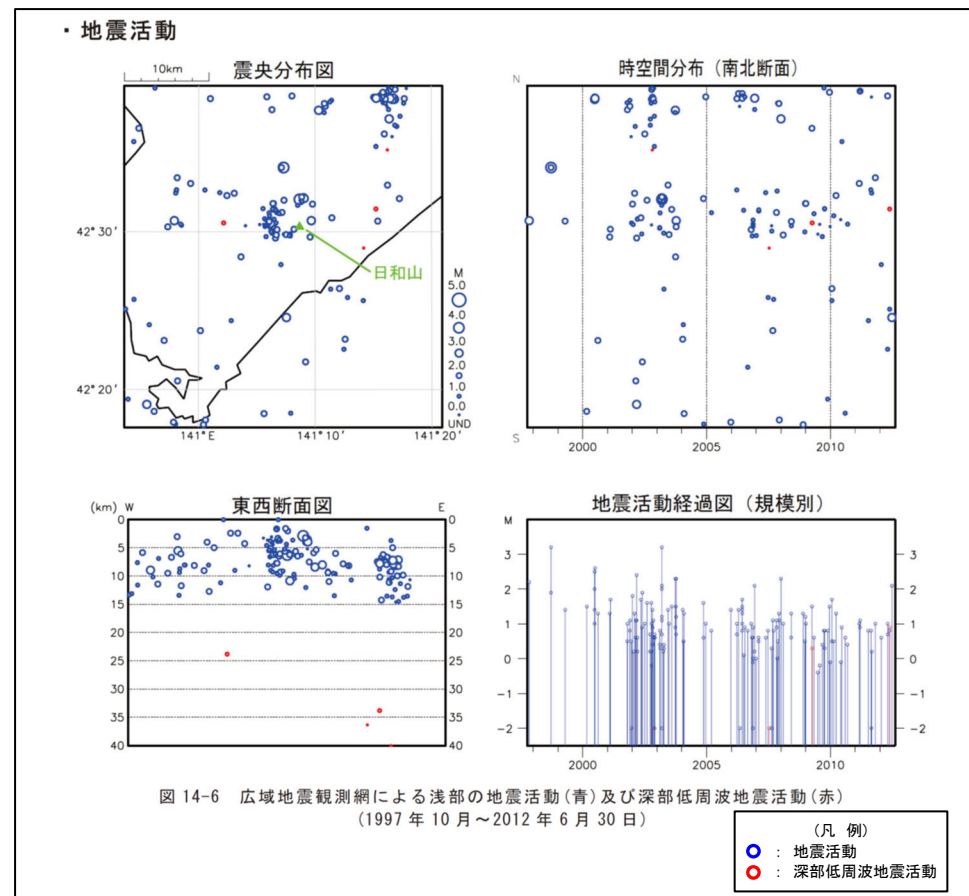
(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(2/6)

再掲(R5/1/20審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 倶多楽・登別火山群周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)を下図に示す。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に震央の分布が認められる。
- 地震活動は、日和山の西側の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、ほとんど認められない。



倶多楽・登別火山群周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

余白

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (3/6)

【気象庁(2022)】

- 「第151回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2022)では, 倶多楽・登別火山群周辺の地震活動(1997年10月~2022年10月)について, 右図の通り示されている。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては, 日和山の西側に震央の分布が認められる。
- 地震活動は, 日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが, それ以外の期間では火山性地震は少なく, 地震活動は低調に経過している。
- 低周波地震活動は, ほとんど認められない。

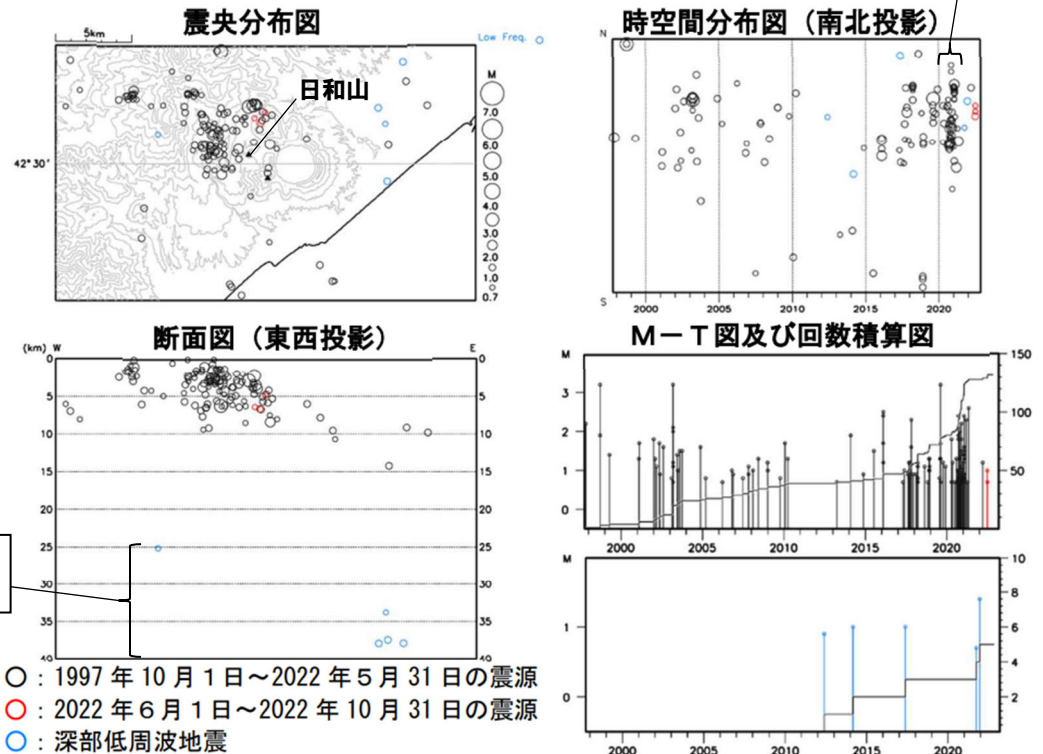


図2 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動(1997年10月~2022年10月, $M \geq 0.7$, 深さ40km以浅)
 ・震源分布に特段の変化は認められなかった。

倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
 (気象庁(2022)に加筆)

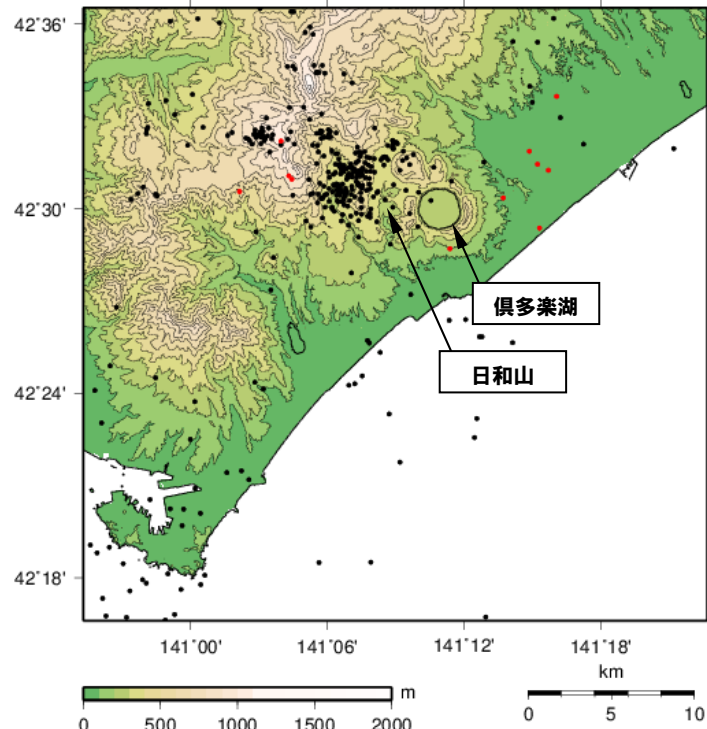
(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/6)

再掲(R5/1/20審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編), 気象庁一元化処理検測値データ等】

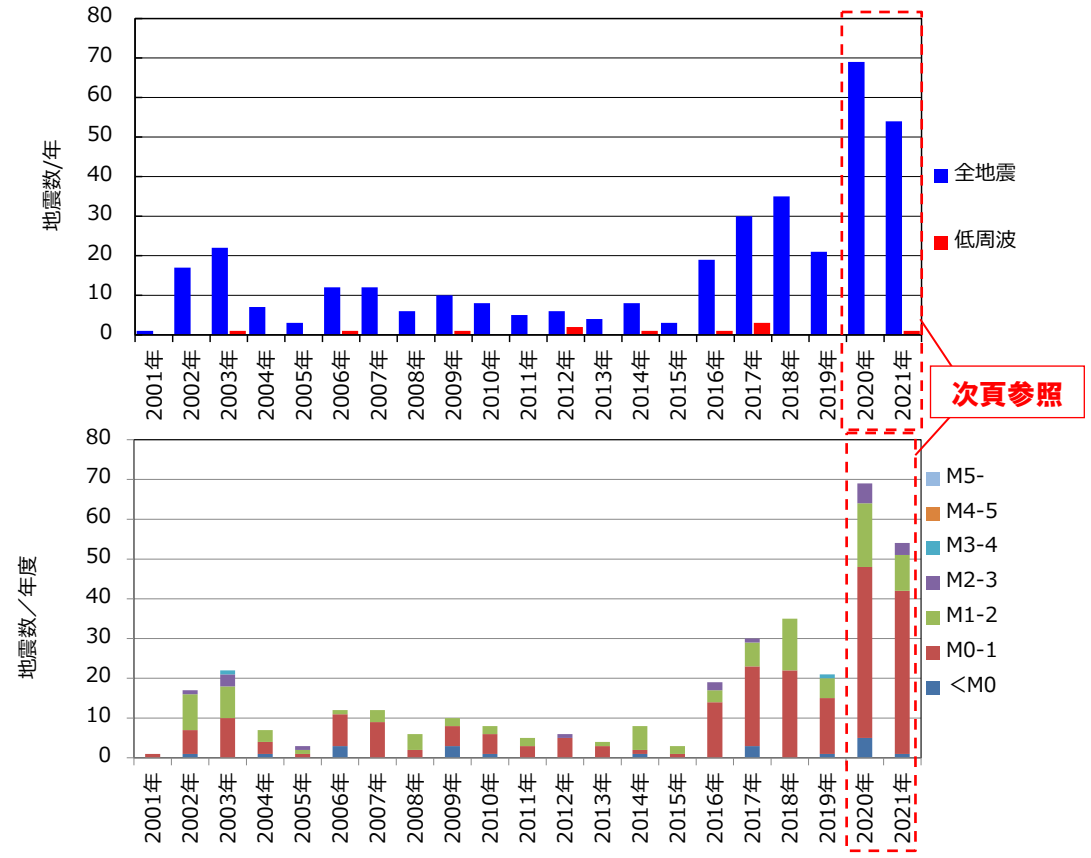
- 過去約20年間における倶多楽・登別火山群周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10月~2020年3月), 気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月~2021年9月)等を使用した。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては, 日和山の西側に普通地震の震央が集中している。
- マグニチュード0以上の地震は, 日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが, 低周波地震については, 発生数は少なく増加傾向も認められない(次頁参照)。



凡例
 ●:震央
 ●:低周波地震震央

2001/10/1~2020/3/31:
 気象庁地震月報(カタログ編)
 2020/4/1~2021/9/30:
 気象庁一元化処理検測値データ

倶多楽・登別火山群周辺の震央分布図
 (2001年10月1日~2021年9月30日の記録(深さ40km以浅))



地震発生回数の年別時間変化(2001年~2021年※, 深さ40km以浅)
 ※2001年は10月1日~12月31日, 2021年は1月1日~9月30日のデータを掲載。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(5/6)

再掲(R5/1/20審査会合)

【気象庁, 2020; 気象庁HP】

- 「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020) 及び「火山活動解説資料(令和3年年報)」(気象庁HP) では、倶多楽・登別火山群について、地震の発生状況を示している。
- 日和山の西側を震源とする地震活動は、2020年10月10日及び11月17から21日にかけて並びに2021年5月1日に一時的に地震が増加したとされているが、それ以外の期間では火山性地震は少なく、地震活動は低調に経過している。
- 上記の一時的な地震の増加に伴う低周波地震の増加は認められない。

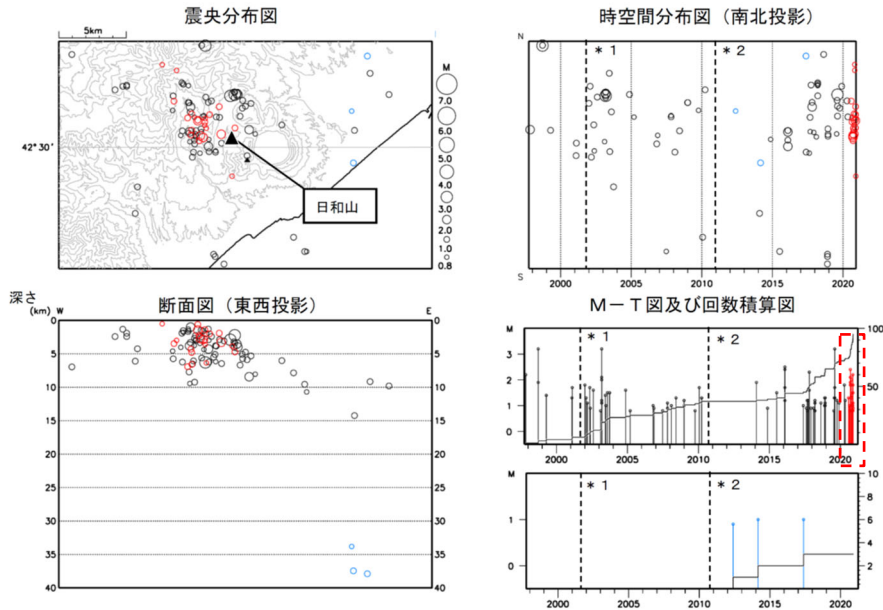


図8 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月1日～2020年11月30日, M \geq 0.8, 深さ40km以浅)
○: 1997年10月1日～2020年5月31日
●: 2020年6月1日～2020年11月30日
○: 深部低周波地震
* 1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
* 2: 2010年9月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られる。
2020年9月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。
この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(気象庁(2020)に加筆)

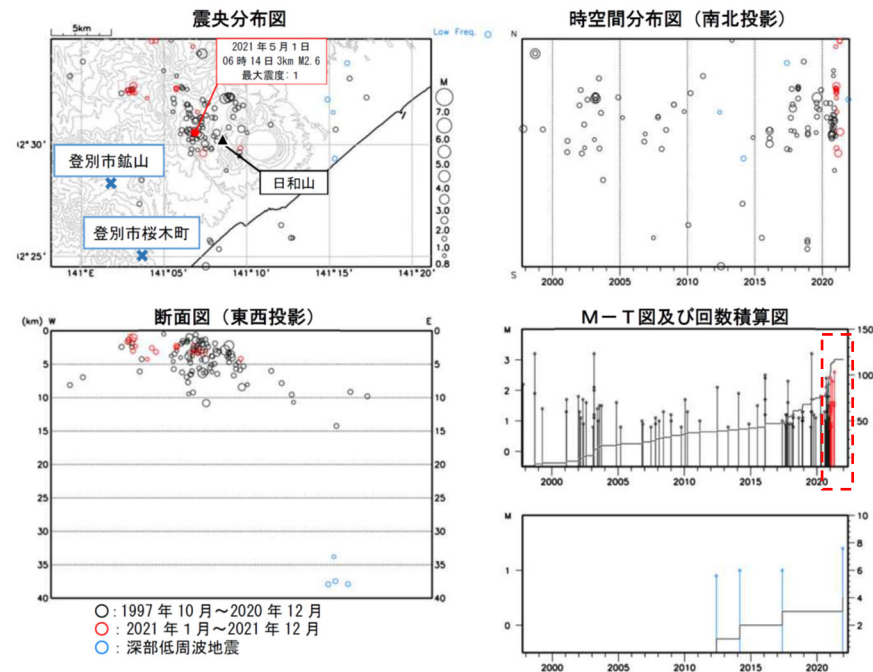


図9 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月～2021年12月, M \geq 0.8, 深さ40km以浅)
○: 1997年10月～2020年12月
●: 2021年1月～2021年12月
○: 深部低周波地震
* 5月1日に日和山の西側で地震が一時的に増加し、そのうち日和山の西約2km、深さ3kmで発生した地震(マグニチュード2.6)により、図中に×で示した登別市鉢山及び登別市桜木町で震度1を観測しました。
* 6月以降、山体及び周辺で発生する地震は少ない状態で経過しました。

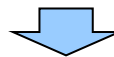
倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(気象庁HPに加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (6/6)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

- 火山性地震のうち低周波地震については、下鶴ほか編(2008)によれば、マグマや熱水などの流体が関与して発生していると考えられているものが多いとされている。このため、低周波地震がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、倶多楽・登別火山群周辺の低周波地震の時空間分布を確認した。
- ・確認に当たっては、公的機関の観測結果を取りまとめた気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」,「第151回火山噴火予知連絡会資料」気象庁(2022)並びに気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10月～2020年3月),気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)等を用いた。
- 確認結果は以下のとおり(下線部は低周波地震に関する事項)。
- (気象庁, 2013)
- ・地震活動は、日和山の西側の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・低周波地震活動は、ほとんど認められない。
- (気象庁, 2022)
- ・地震活動は、日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが、それ以外の期間では火山性地震は少なく、地震活動は低調に経過している。
 - ・低周波地震活動は、ほとんど認められない。
- (気象庁地震月報(カタログ編), 気象庁一元化処理検測値データ等)
- ・倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に普通地震の震央が集中している。
 - ・マグニチュード0以上の地震は、日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが、低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



- 倶多楽・登別火山群周辺の火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/13)

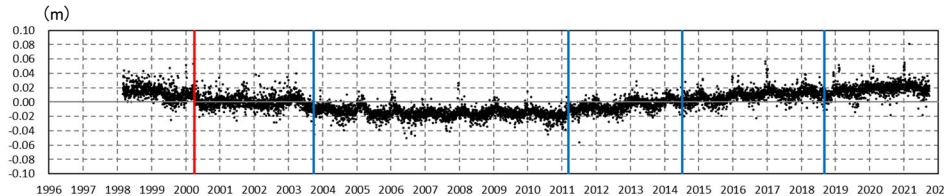
一部修正 (R5/1/20審査会合)

【上下変動】

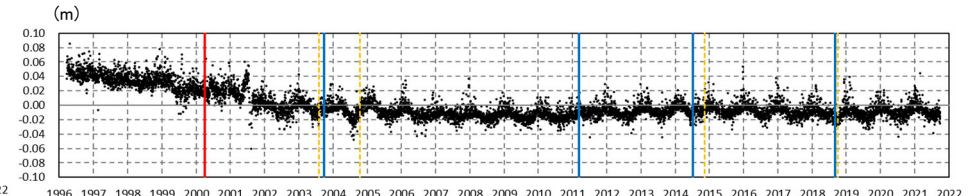
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点※1(登別, 白老, 大滝及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は, 倶多楽・登別火山群と同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は, 白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず, 登別, 大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P210~P215参照)を踏まえると, 北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果, 周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり, 登別, 大滝及び伊達地点の隆起傾向は, 小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。
- なお, 年間上下変動量のうち, 東北地方太平洋沖地震発生前後(下表赤枠部)及び北海道胆振東部地震発生前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を一例として次頁~P173に示す。

※1 倶多楽・登別火山群周辺の4基準点(登別, 白老, 大滝及び伊達)の位置は次頁参照。

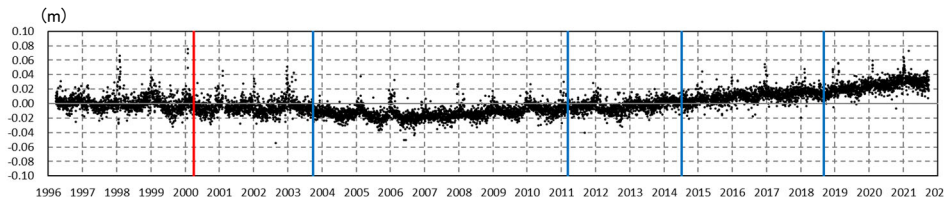
※2 例えば, 1993年北海道南西沖地震, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等がある。



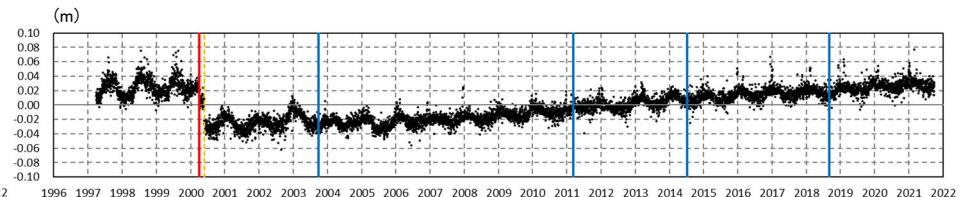
小樽1-登別間の比高変化※3 (対象期間:1998年2月~2021年9月)



小樽1-白老間の比高変化※3 (対象期間:1996年3月~2021年9月)



小樽1-大滝間の比高変化※3 (対象期間:1996年3月~2021年9月)

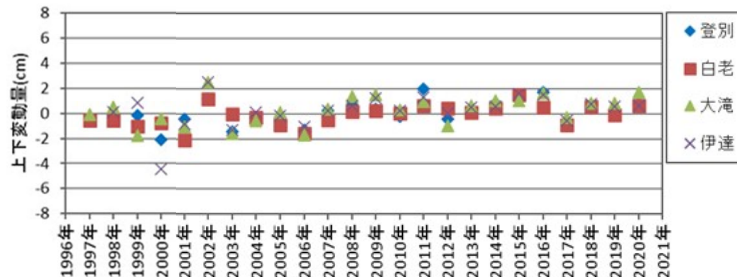


小樽1-伊達間の比高変化※3 (対象期間:1997年3月~2021年9月)

		年間上下変動量 (cm) (固定局:小樽1)											
		1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
登別	-	-	-	-0.15	-2.12	-0.42	+1.16	-1.41	-0.32	-0.28	-1.28	+0.22	+0.71
白老	-0.56	-0.55	-1.05	-0.73	-2.06	+1.17	-0.04	-0.26	-0.91	-1.57	-0.49	+0.16	
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38	
伊達	-	+0.15	+0.88	-4.45	-0.86	+2.55	-1.32	+0.11	-0.15	-1.06	+0.24	+0.64	
		2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
登別	+0.36	-0.21	+1.96	-0.44	+0.16	+0.84	+1.39	+1.73	-0.60	+0.44	+0.24	+0.77	
白老	+0.24	+0.06	+0.63	+0.44	+0.09	+0.44	+1.49	+0.50	-0.90	+0.61	-0.07	+0.63	
大滝	+1.50	+0.29	+0.99	-0.94	+0.62	+1.03	+1.04	+1.66	-0.29	+0.88	+0.82	+1.74	
伊達	+1.27	+0.26	+1.30	+0.04	+0.54	+0.57	+1.58	+1.54	-0.55	+0.75	+0.61	+0.63	

↑ 東北地方太平洋沖地震発生

↑ 北海道胆振東部地震発生



年間上下変動量のグラフ

- 2000年3月有珠山噴火
- 伐木
- 2003年9月十勝沖地震
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震

※3 R5.1.20審査会合資料においては, 比高変化のグラフについて, 縦軸の範囲を-0.08~0.08mとしていたが, その範囲外にも以下に示すデータが認められ, 表示範囲が適切ではなかったことから, 今回, 範囲を-0.10~0.10mに修正した。

- 「小樽1-登別間」
・0.0812m (2021年3月2日)
- 「小樽1-白老間」
・0.0854m (1996年4月20日)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/13)

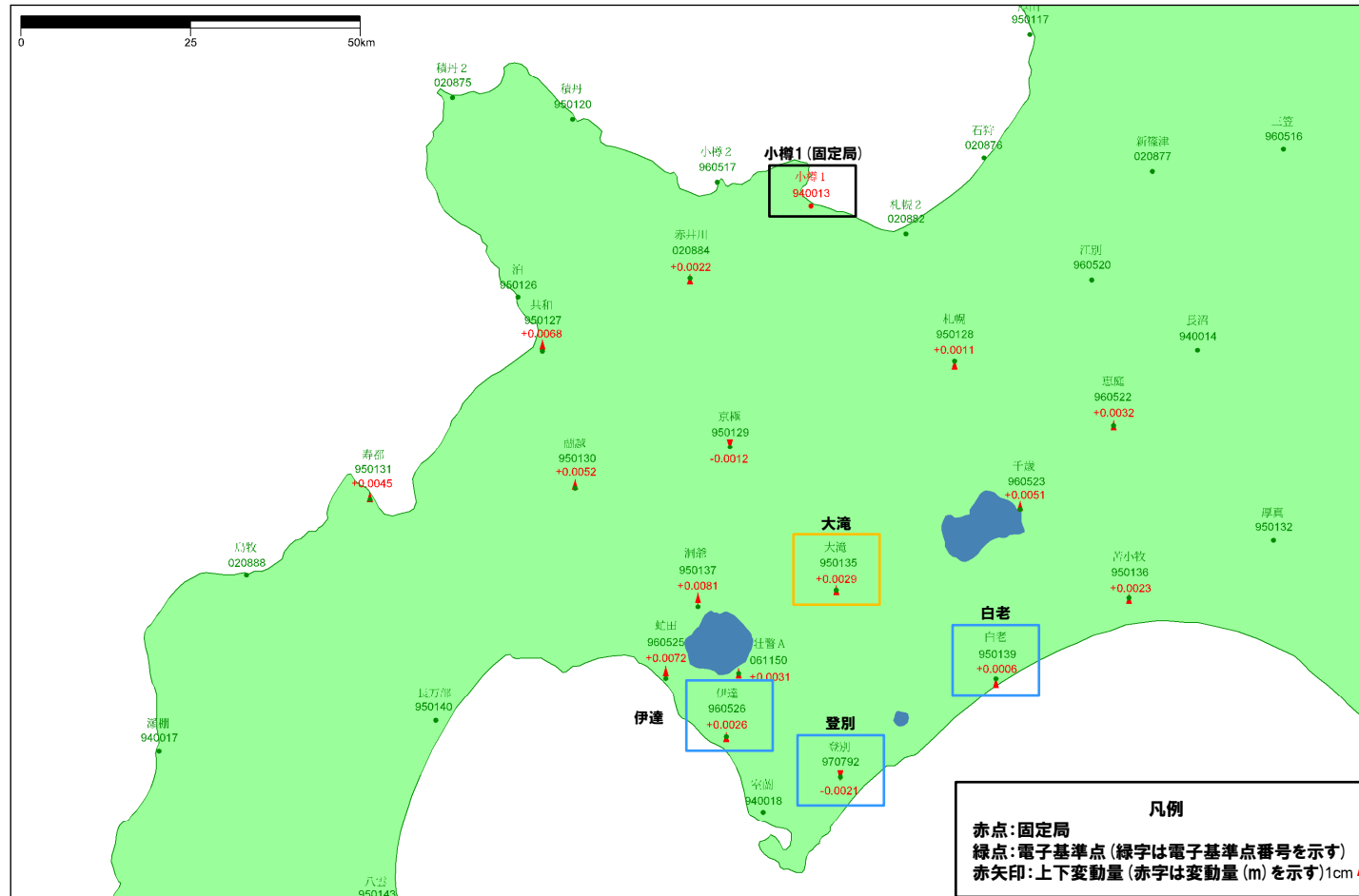
再掲(R5/1/20審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生前, 2010年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-大滝間の+2.9mmである。

基準値: 2010年1月1日00時00分 ~ 2010年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2010年12月22日00時00分 ~ 2010年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bemese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
 (対象期間: 2010年1月~2010年12月)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(3/13)

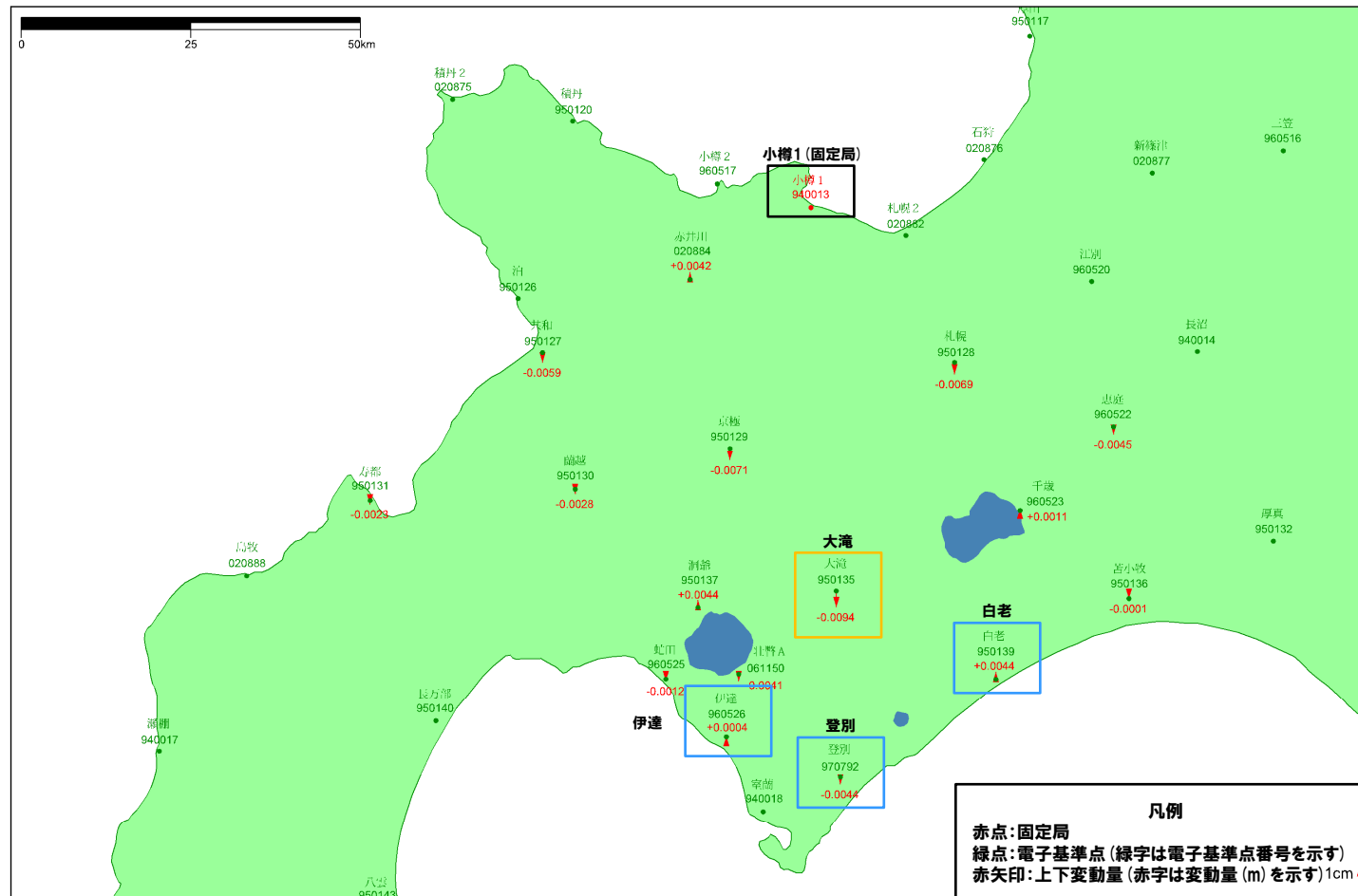
再掲(R5/1/20審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生後、2012年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の-9.4mmである。

基準値: 2012年1月1日00時00分 ~ 2012年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2012年12月22日00時00分 ~ 2012年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号) 平20業便、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2012年1月~2012年12月)

(3)巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/13)

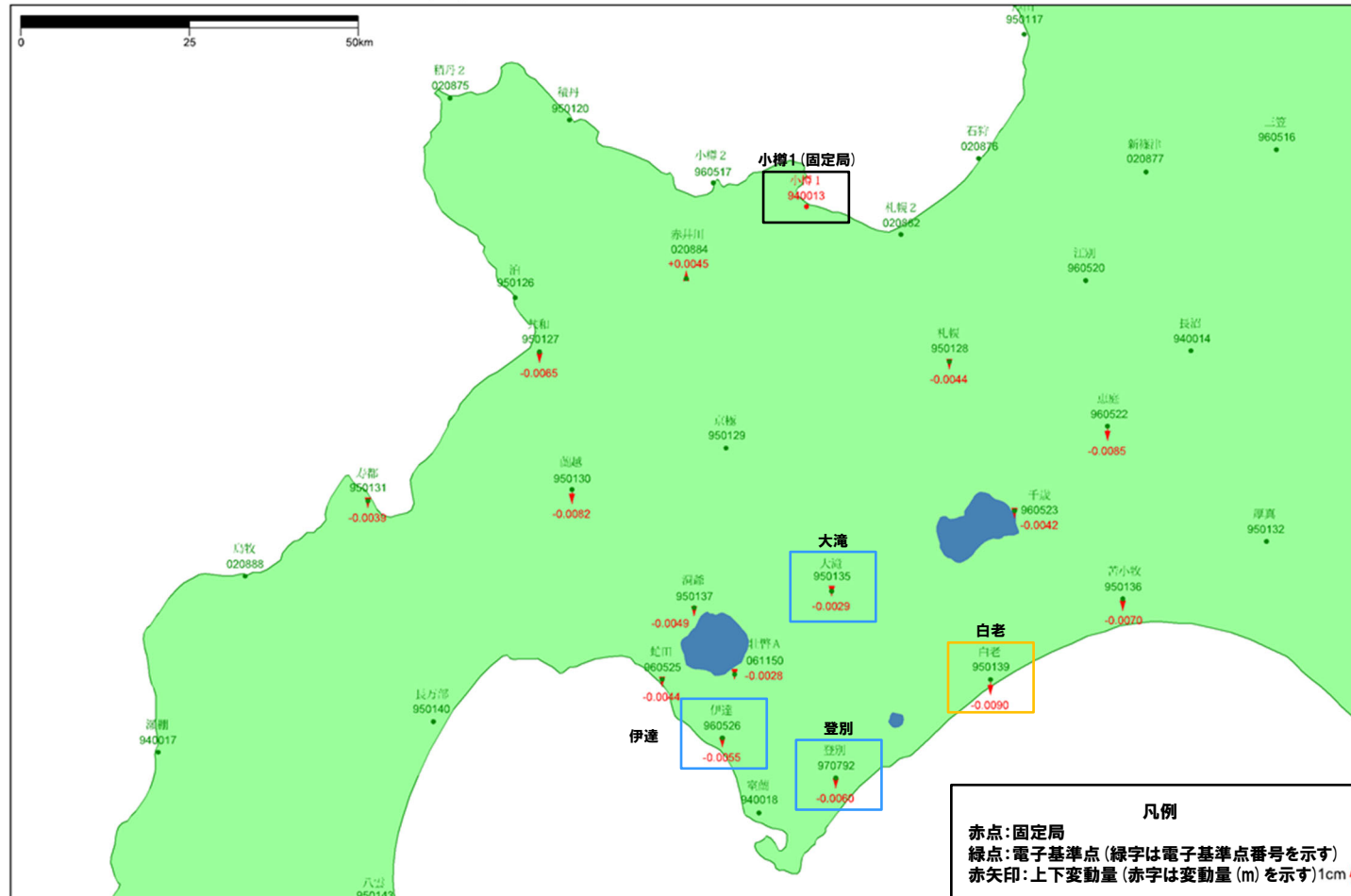
再掲(R5/1/20審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-白老間の-9.0mmである。

基準値: 2017年1月1日 00時00分 ~ 2017年1月10日 23時59分(平均)
 比較値: 2017年12月22日 00時00分 ~ 2017年12月31日 23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号) 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2017年1月~2017年12月)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/13)

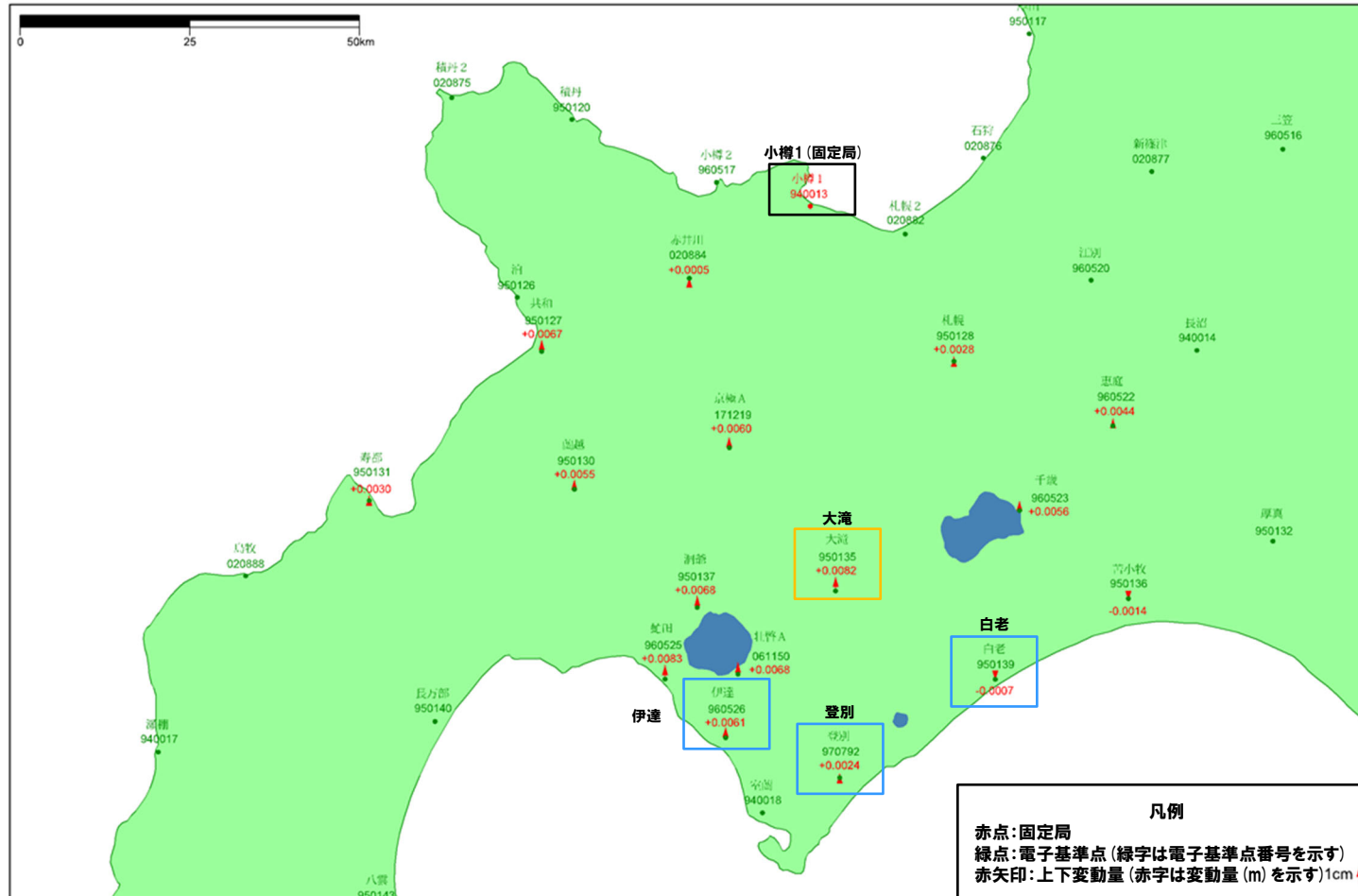
再掲(R5/1/20審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生後、2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の+8.2mmである。

基準値: 2019年1月1日00時00分 ~ 2019年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2019年12月22日00時00分 ~ 2019年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
 (対象期間: 2019年1月~2019年12月)

余白

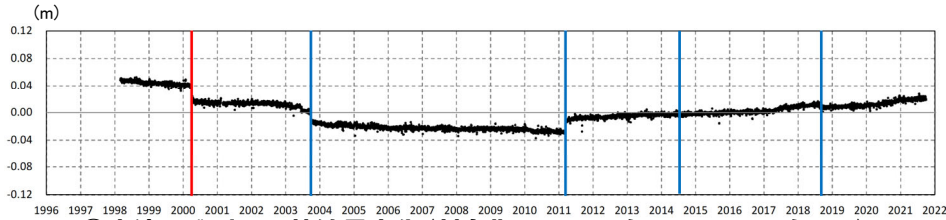
(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/13)

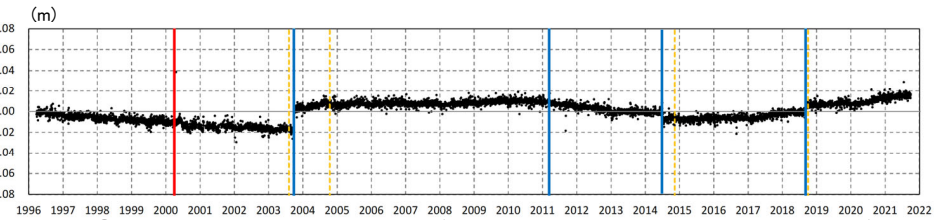
再掲(R5/1/20審査会合)

【基線長変化】

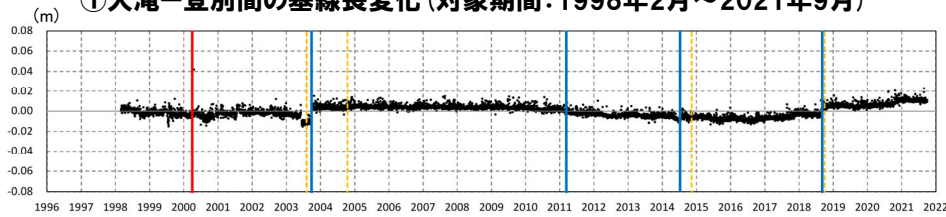
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点(登別, 白老, 大滝, 及び伊達)を結んだ4基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



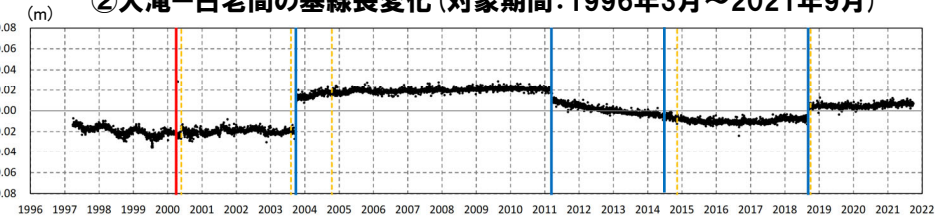
① 大滝-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



② 大滝-白老間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)

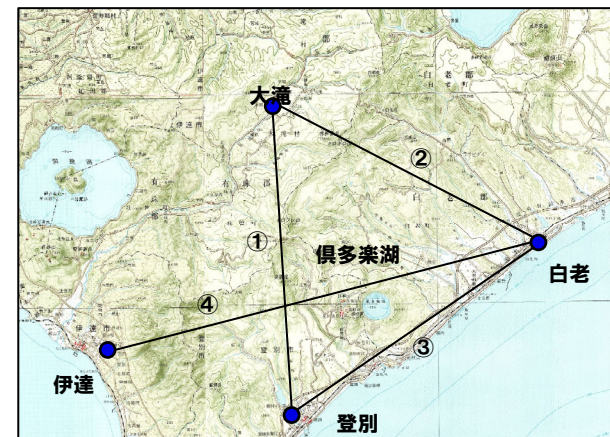
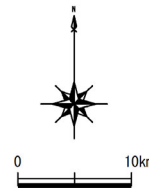


③ 白老-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



④ 白老-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

- 2000年3月有珠山噴火
- 2003年9月十勝沖地震
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震
- 伐木



倶多楽・登別火山群付近電子基準点位置図

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

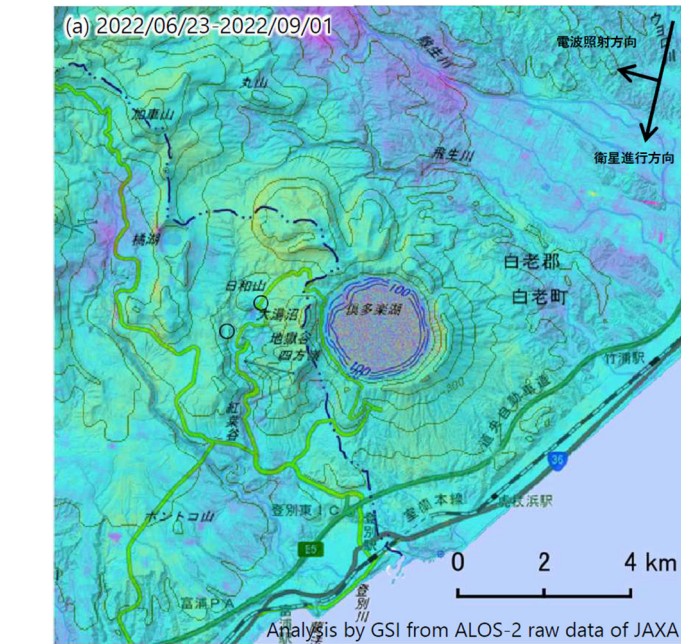
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/13)

再掲(R5/1/20審査会合)

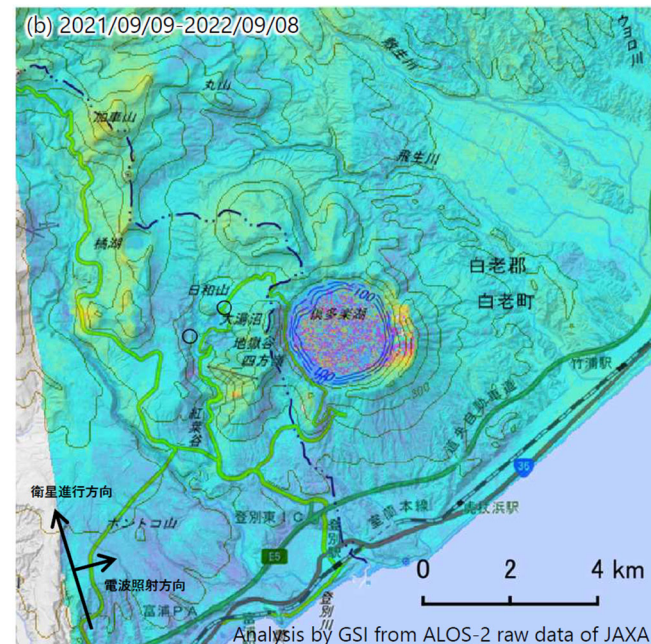
【干渉SAR】

第151回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2022)

○ 倶多楽・登別火山群周辺における”2022年6月～2022年9月(南行:左図)“及び”2021年9月～2022年9月(北行:右図)“の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



対象期間：2022/6/23 - 2022/9/1
衛星-地表視線方向の変位量 [cm]



対象期間：2021/9/9 - 2022/9/8
衛星-地表視線方向の変位量 [cm]

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2022/06/23 2022/09/01 11:41頃 (70日間)	2021/09/09 2022/09/08 23:26頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	39.8°	35.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	-70m	-131m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

倶多楽・登別火山群周辺における干渉SAR解析結果(国土地理院)
(気象庁(2022)に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/13)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

- 第151回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2022)によると, 「2016年から2021年にかけて, 倶多楽湖の北西側で衛星に近づく変動が見られます※1」とされているが, 火山活動との関連について言及はされていない。
- 同文献のGEONET(電子基準点等)連続観測によれば, 上記隆起域を含む「倶多楽を取り囲む基線で2020年頃からわずかな伸びの傾向が見られます」とされている※2。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

- 2014年8月から2022年12月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2023)※3によれば, 倶多楽・登別火山群規模の顕著な地殻変動は認められない。

※1 気象庁(2022)では, 北行軌道では約3cm, 南行軌道からは約4cmの衛星に近づく変化が確認できるが, 電離圏補正を行っていないため, ノイズが重畳している可能性があるとしてされている。

※2 当社作成の電子基準点に基づく基線長変化においては, 継続的な膨張又は収縮は認められないものの, 2020年頃以降, わずかな伸びの傾向が一部の基線で認められる(P175参照)。

※3 国土地理院では, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する衛星「だいち2号(ALOS-2)」のSARデータを使用し, 地殻変動の監視を行っている。2023年3月に日本全域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で公表した。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

2016年から2021年にかけて, 倶多楽湖の北西側で衛星に近づく変動が見られます。

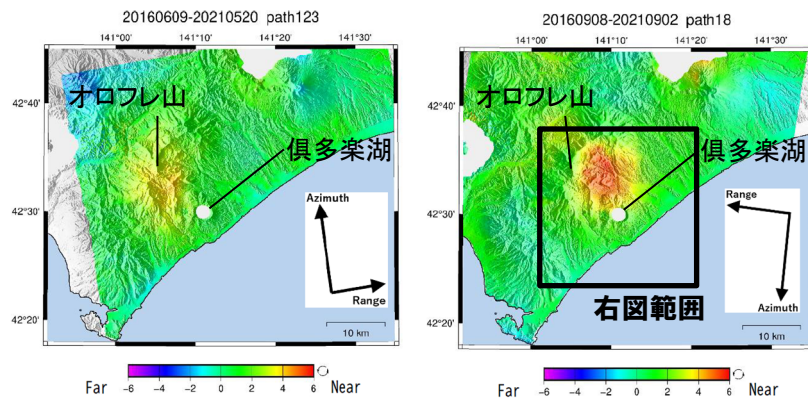
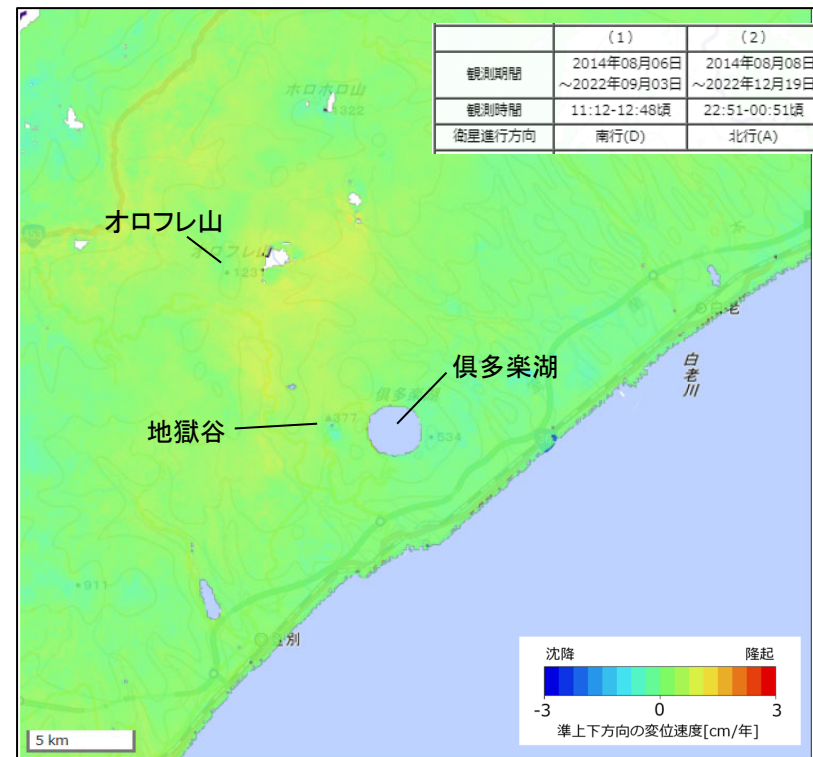


図1 パス 123 (SM1_U2-7)による
長期間の干渉解析結果
(2016/06/09~2021/05/20)

図2 パス 18 (SM1_U2-8)による
長期間の干渉解析結果
(2016/09/08~2021/09/02)

倶多楽・登別火山群周辺の干渉SAR時系列解析結果(気象庁(2022)に加筆)

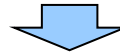


倶多楽・登別火山群周辺における2014-2022年間の
干渉SAR時系列解析結果(準上下成分の変位速度)(国土地理院(2023)に加筆)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/13)

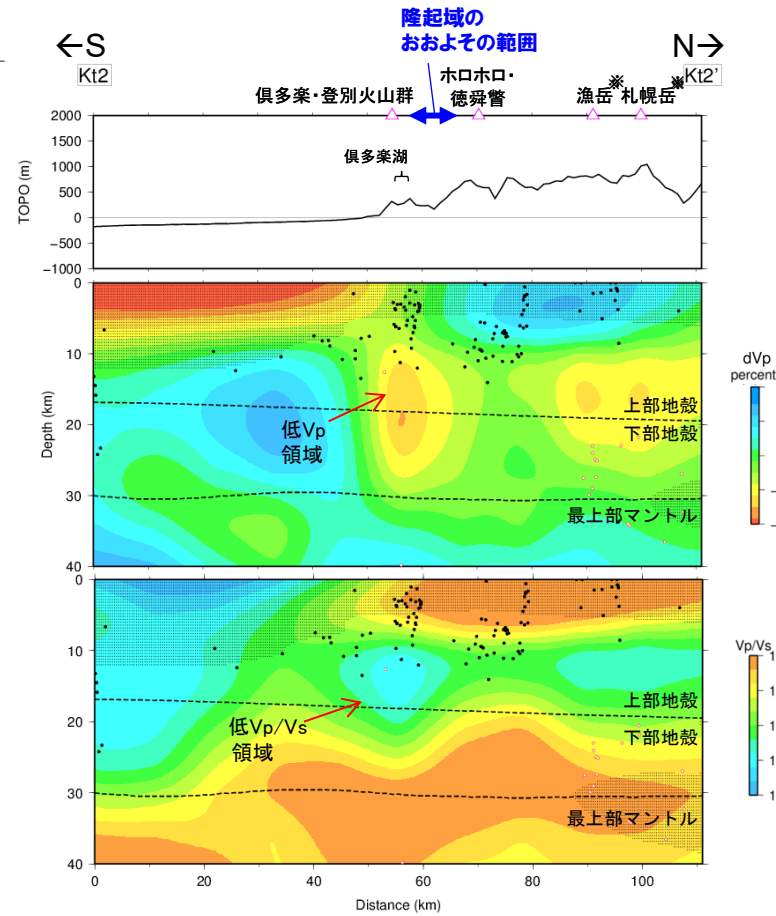
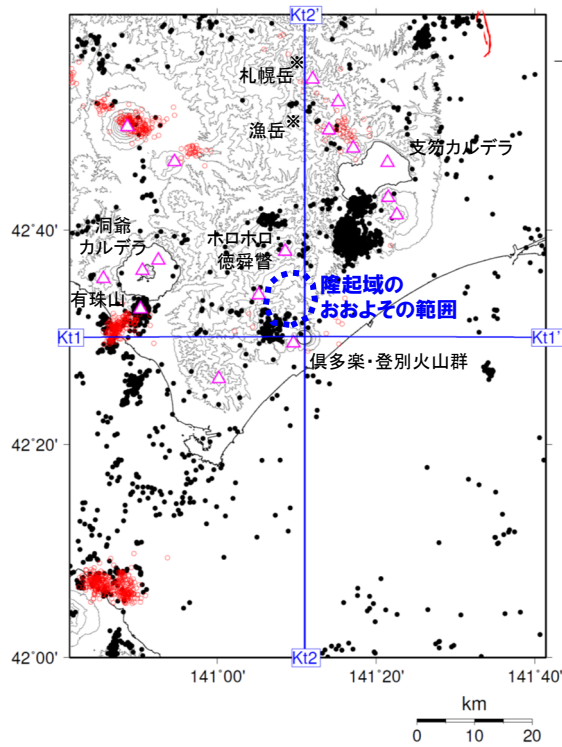
- 第151回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2022)において, 倶多楽湖北西(オロフレ山周辺)の隆起及び当該領域を含む基線の伸びが報告されていることを踏まえると, 当該領域の地下に何らかの膨張源が存在している可能性が考えられる。
- 倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)に認められる隆起及び基線の伸びについて, 地下構造(地震波速度構造及び比抵抗構造)の観点から検討を行った。
- 後述する洞爺カルデラにおける当社電磁気探査結果に基づくと, 当該領域の地下10km程度に低比抵抗領域(10Ωm以下の領域)が認められる(P180参照)。
- 地震波トモグラフィ解析結果からは, 当該領域の地下10~20km付近に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められ, 水の存在が示唆される(次頁参照)。



- 倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)に認められる隆起及び基線の伸びは, 熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(10/13)



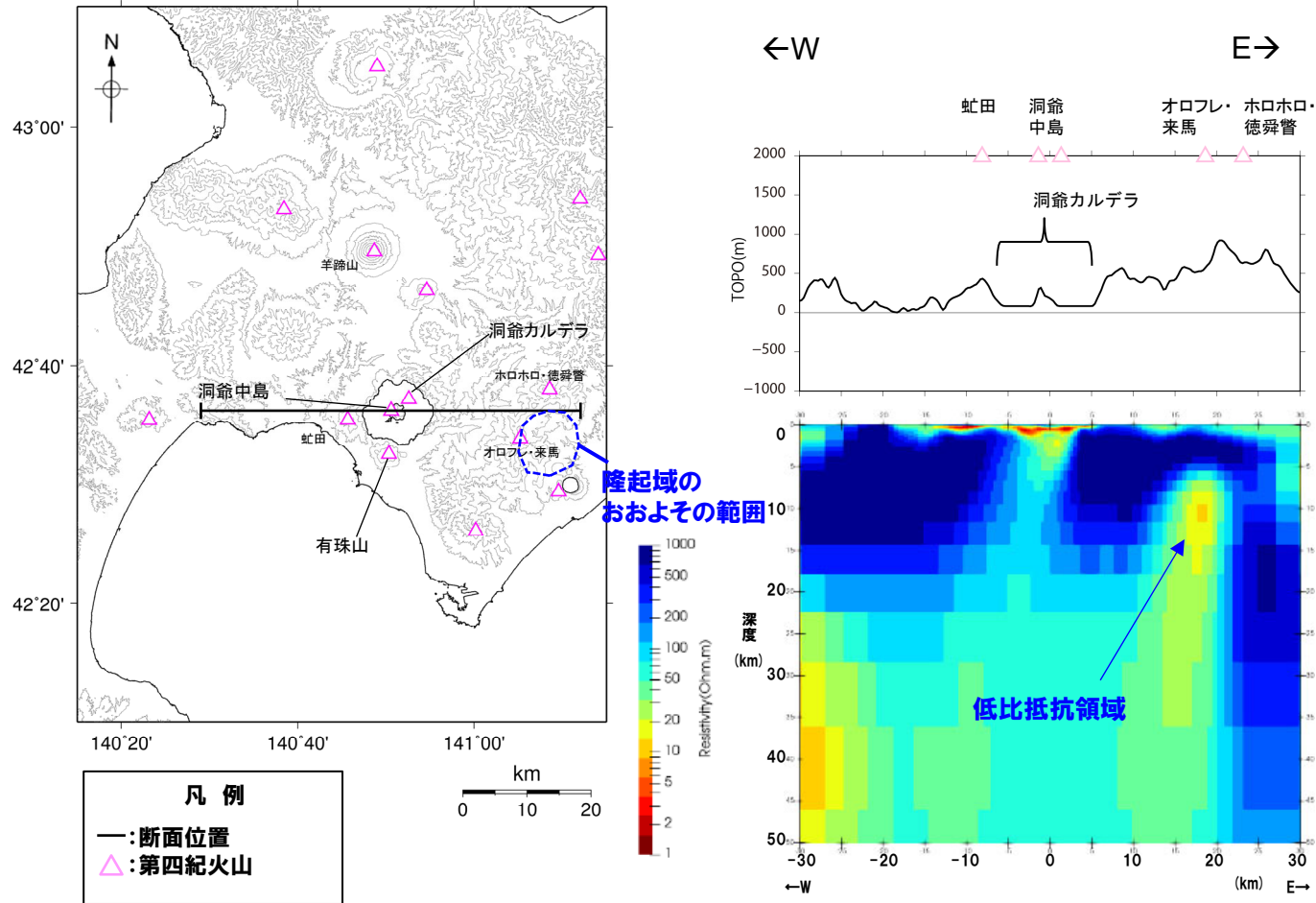
凡例	
△	第四紀火山
黒点	震源 (MJMA ≥ 0)
赤点	低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
半透明黒色部	チェッカーボードテストの 復元率が20%以下の範囲
—	活断層
—	推定活断層
	今泉ほか編(2018) をトレース

地震波速度構造(南北の鉛直断面)
(解析及び地震波速度構造断面の詳細はP146~P147参照)

※「2013.7泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請」時点では、地理的領域にある第四紀火山は、札幌岳、空沼岳及び漁岳を含めた34火山としていた。この3火山については、中川ほか(2013)により、いずれもその活動は鮮新世とされたことを踏まえ、「日本の火山(DB)」においても第四紀火山から除外されていることから、当社も第四紀火山の抽出において除外することとした。

(3)巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(11/13)



比抵抗構造断面位置図

東西比抵抗断面

当社電磁気探査に基づく洞爺湖～倶多楽周辺の比抵抗断面
(当社電磁気探査の詳細は後述するP195～P197参照)

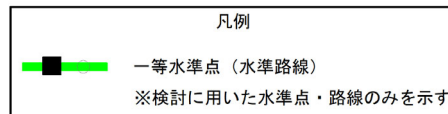
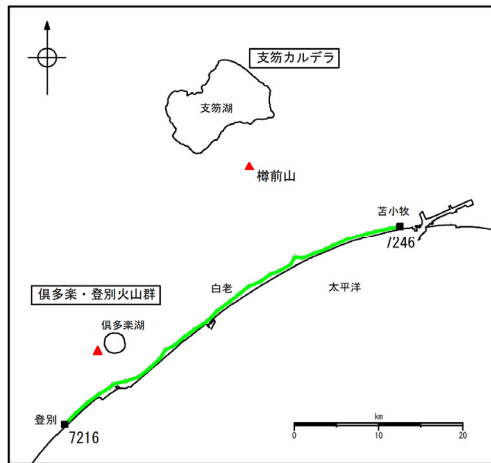
(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(12/13)

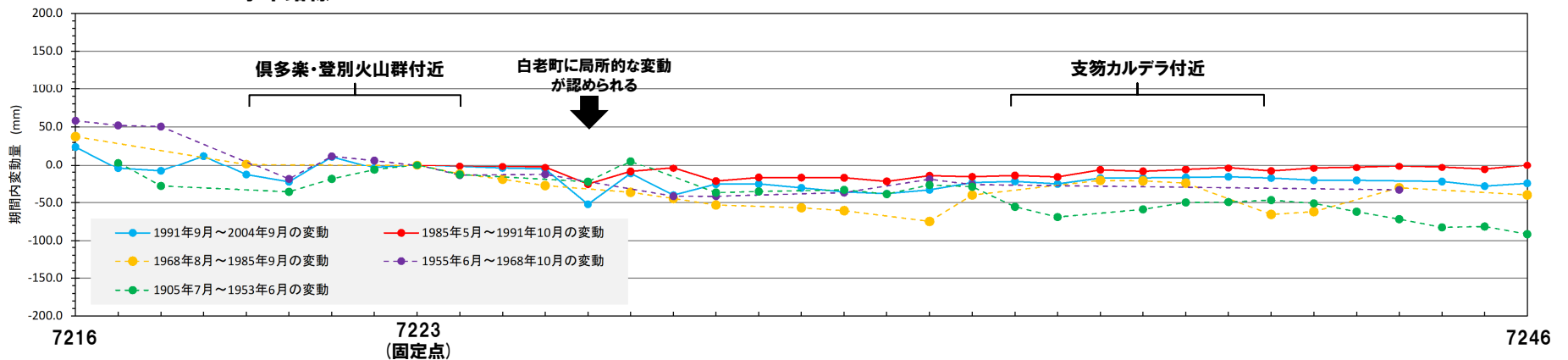
再掲(R5/1/20審査会合)

【水準測量】

- 過去約100年間における倶多楽・登別火山群周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した。
- 当該検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、倶多楽・登別火山群規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



水準路線



水準路線(水準点番号:7216-7246)沿いの期間内変動量(固定点:7223)

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (13/13)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○地殻変動については、青木(2016)によれば、マグマだまりにマグマが注入されると、マグマだまりが増圧し山体は膨張するとされている。このため、地殻変動がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、倶多楽・登別火山群規模の地殻変動の状況を確認するため、電子基準点等のデータを整理した。

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

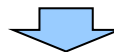
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は、白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず、登別、大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、登別、大滝及び伊達地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【地殻変動(干渉SAR)】

- 倶多楽・登別火山群周辺においては、2016年から2021年にかけて、倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)で衛星に近づく変動(隆起傾向)が認められる。
- 電子基準点に基づく基線長変化においても、倶多楽を取り囲む基線で2020年頃からわずかな伸びの傾向が認められることから、当該領域の地下に何らかの膨張源が存在している可能性が考えられる。
- このため、膨張源の成因について、地下構造(地震波速度構造及び比抵抗構造)の観点から検討を行った。
 - ・洞爺カルデラにおける当社電磁気探査結果に基づく、当該領域の地下10km程度に低比抵抗領域が認められる。
 - ・地震波トモグラフィ解析結果からは、当該領域の地下10~20km付近に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められ、水の存在が示唆される。
- 以上から倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)に認められる隆起及び基線の伸びは、熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。

【地殻変動(水準測量)】

- 国土地理院一等水準点検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、倶多楽・登別火山群規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)において、2016年以降に確認される隆起及び当該領域を含む基線の伸びは認められるが、熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。
- この変動以外には、白老町の局所的な変動並びにより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。

(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻における巨大噴火*が可能な量のマグマ溜まりの有無及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動の有無に着目して、地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)を実施する。

倶多楽・登別火山群における地球物理学的調査結果

【地下構造(P146~P160参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
<p>○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。</p> <p>○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。</p>	<p>○文献(Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019)に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。</p>	<p>○文献(森泉, 1998; 畠山ほか, 2005)に基づくと、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○地下構造に関する調査の結果、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。</p>
【火山性地震(P162~P168参照)】		【地殻変動(P169~P182参照)】	
<p>○火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。</p>		<p>○倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)において、2016年以降に確認される隆起及び当該領域を含む基線の伸びは認められるが、熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。</p> <p>○この変動以外には、白老町の局所的な変動並びにより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。</p>	



○地球物理学的調査の結果、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。

※原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされている。

1. 火山影響評価の概要	P. 10
2. 網羅的な文献調査の概要	P. 42
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 54
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 57
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 61
4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価	P. 68
4.1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価	P. 71
4.1.1 火山活動の可能性評価	P. 71
4.1.2 巨大噴火の可能性評価	P. 79
4.1.2(1) 巨大噴火の可能性評価方法	P. 81
4.1.2(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P. 98
4.1.2(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P. 140
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 186
4.2 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 229
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	
5.1 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	
5.2 降下火砕物の影響評価	
5.2.1 降下火砕物の影響評価の概要	
5.2.2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
5.2.3 降下火砕物シミュレーション	
5.2.4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
5.2.5 降下火砕物の密度・粒径	
6. 火山活動のモニタリング	
6.1 監視対象火山	
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	
7. 火山影響評価のまとめ	P. 296
参考資料	P. 306
参考文献	P. 319

・本章の説明内容

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価(1/2)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

- 洞爺カルデラにおいて約11万年前にTp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出し、現在の洞爺カルデラを形成した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が 354km^3 となることから、巨大噴火に該当する。
- 洞爺カルデラの活動状況は、以下の検討結果(詳細は次頁表参照)を総合的に踏まえると、巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価される。
 - ・洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が 354km^3 である。
 - ・洞爺カルデラにおける巨大噴火以降の活動のうち、洞爺中島の活動から現在までの活動期は後カルデラ期とされており、後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも 14km^3 であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。
 - ・地下構造の状況から、カルデラ直下の上部地殻には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さい。
 - ・火山性地震及び地殻変動の状況からは、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない。
- また、洞爺カルデラについては、網羅的な文献調査の結果、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められないことから、運用期間中における巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠は得られていない。
- これらのことから、洞爺カルデラの運用期間中における巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価される。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価(2/2)

一部修正(R5/1/20審査会合)

検討項目	検討結果	該当頁	
①活動履歴	<ul style="list-style-type: none"> ○洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が354km³である。 ○洞爺カルデラにおける巨大噴火以降の活動のうち、洞爺中島の活動から現在までの活動期は後カルデラ期とされており、後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも14km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。 	次頁～ P191	
地球物理学的調査	②地下構造 <ul style="list-style-type: none"> ○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。 【地震波速度構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、メルトの存在を示唆する顕著な低V_pかつ高V_p/V_s領域は認められない。 ・洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。 【比抵抗構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。 【重力異常】 <ul style="list-style-type: none"> ・重力異常を踏まえマグマ溜まりに関して考察されている文献は認められない。 	P192～ P193 P194～ P199 P200	
	③火山性地震	○火山性地震のうち、低周波地震活動は、有珠山周辺の下部地殻に認められるが、上部地殻にはほとんど認められない。	P202～ P208
	④地殻変動	○地殻変動は、有珠山周辺の局所的な沈降傾向及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、洞爺カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。	P209～ P226
		○洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。	

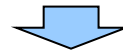
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(1/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 活動履歴から、洞爺カルデラの現在の活動状況について検討を実施した。
- 洞爺カルデラ、洞爺中島及び有珠山の活動履歴を次頁～P191に示すとおり整理し、その概要を以下に示す。
- なお、活動履歴の整理は、R3.10.14審査会合以降に実施した網羅的な文献調査結果(2章参照)も踏まえ実施している。
 - ・約11万年前にTp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出した噴火により、現在の洞爺カルデラが形成され、その後、洞爺中島及び有珠山が形成された。
 - ・約11万年前にTpを噴出した噴火以降の、洞爺中島の活動から現在までの活動期は後カルデラ期であり、最新の活動は2000年の有珠山の噴火である。
 - ・約11万年前にTpを噴出した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が 354km^3 ※(マグマ体積: 170km^3 (DRE))となることから(P191参照)、巨大噴火に該当する。
 - ・約11万年前にTpを噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、いずれの後カルデラ火山に関しても、火砕流を含む火山噴出物の分布は山体近傍に限定されることから(補足説明資料1のP49参照)、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
 - ・なお、各後カルデラ火山における最大の噴出物体積は、洞爺中島が 14km^3 (中島-東山ドーム)、有珠山が 2.5km^3 ※(1663年噴火Us-b, マグマ体積: 1.5km^3 (DRE))である。
- また、町田・新井(2011)によれば、Tp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出した噴火によって現在の姿が形成されたといえるが、この噴火が優れて水蒸気マグマ噴火の性質をもっていること及びこのデフラより古い火砕流堆積物が数枚カルデラの周りに存在することなどから、この噴火以前にもカルデラ様の低地ないし水域の存在が推定されるとされている。
- 当該カルデラ様の低地ないし水域は、噴火によって形成された可能性が考えられるものの、現況の知見においては、その噴火に伴う噴出物、噴火規模等は不明である。

※マグマ体積を山元(2014)に基づき、当社が噴出物体積へ換算した値。



- 洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が 354km^3 である。
- 洞爺カルデラにおける巨大噴火以降の活動のうち、洞爺中島の活動から現在までの活動期は後カルデラ期とされており、後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも 14km^3 であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

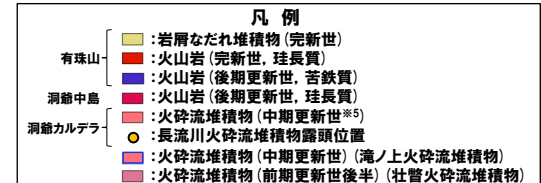
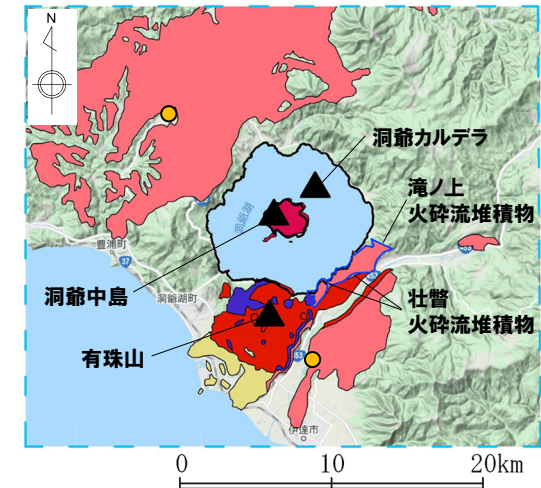
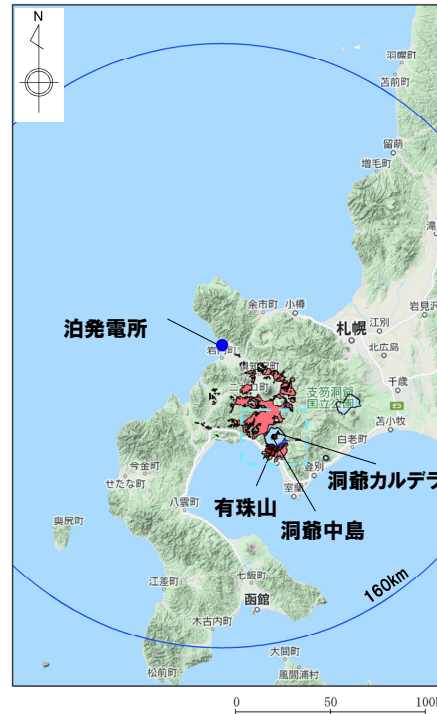
① 活動履歴 (2/4)

再掲 (R5/1/20審査会合)

洞爺カルデラの概要

火山名※1	C20 洞爺カルデラ (後カルデラ火山含む) C21 洞爺中島 C22 有珠山
敷地からの距離	54.8km (洞爺中島:55.1km, 有珠山:60.7km)
火山の形式	洞爺カルデラ:火砕流台地-カルデラ※2 洞爺中島:溶岩ドーム※1, ※2 有珠山:成層火山, 溶岩ドーム※2
活動年代※3	洞爺カルデラ:約11万年前にカルデラ形成※4 洞爺中島:約5-3万年前 有珠山:約3万年前に活動開始
評価	約1万年前以降に活動しており, 完新世に活動した火山として抽出する。

※1 産業技術総合研究所「日本の火山 (DB)」2023年3月確認。
 ※2 西来ほか編 (2012)「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」2023年3月確認。
 ※3 次頁～P191に示す洞爺カルデラ, 洞爺中島及び有珠山の活動履歴に基づく。



※5 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) においては, 洞爺火砕流堆積物の噴出年代は中期更新世に分類されているが, 注釈4に示す理由から, 約11万年前 (後期更新世) と考えられる。

洞爺カルデラ, 洞爺中島及び有珠山の噴出物分布図
 (産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) 及びGoto et al. (2018) より作成)

※4 洞爺カルデラの形成時期について, 産業技術総合研究所「日本の火山 (DB)」及び西来ほか編 (2012)「第四紀火山岩体・噴火岩体データベース」では, 「約14万年前にカルデラ形成」とされている。これは, 以下に示す理由によると考えられる。

- ・李 (1993) においては, 洞爺カルデラ起源の大規模な珪長質マグマによる噴出物は, 火砕流堆積物の間に顕著な風化程度の差が認められることから2回のカルデラ形成期 (Toya-1及びToya-2) があつたと判断されている。
- ・同一著者によるその後の文献であるLee (1996) においては, 従来, 4つの異なるフェーズからなるひと続きの噴火であると考えられていた洞爺カルデラでの大規模火砕流噴火について, 3回の別個の噴火であり, FT法年代測定結果から, その噴火年代は14万年前, 10万年前, そして8万年前とされ, 2回目の噴火が現在見られる洞爺カルデラを作った最も主要な噴火とされている。
- ・一方, 鷹澤ほか (2007) においては, 洞爺火砕流を下位より, TpfI / II, TpfIII及びTpfIVユニットに区分しているが, これらのユニット間に堆積間隙を示す堆積物の根拠は見出されず, これらのユニットを対象に実施したSAR法による平均Red TL年代は, TpfI / IIで132ka, TpfIII及びTpfIVで113-114kaであり, 後者は町田・新井 (2003) が地形, テフラ対比から総合的に推定したToyaの年代 (110~115ka) と良く一致しているとされている。この年代値の差については, 今回の実験では多粒子 (40~70粒子) を用いているので, 年代の古い石英粒子の混入も否定できないとされている。
- ・また, Goto et al. (2018) は, 洞爺カルデラ形成噴火噴出物 (Tp) を大きく6つのユニットに区分しているが, 李 (1993) におけるToya-1及びToya-2は, それぞれGoto et al. (2018) におけるUnit2及びUnit3~Unit6に対比されている。
- ・これらのことから, 洞爺カルデラ形成噴火について, Lee (1996) では3回の別個の噴火とされたが (上記下線箇所), 以降の文献 (鷹澤ほか (2007) 等) では別個の噴火ではなく, 1輪廻の噴火として扱われており, この噴火年代として, 「日本の火山 (DB)」等のデータベースにおいては, Lee (1996) で示された年代値のうち, 最も古い14万年前が採用されたものと考えられる。

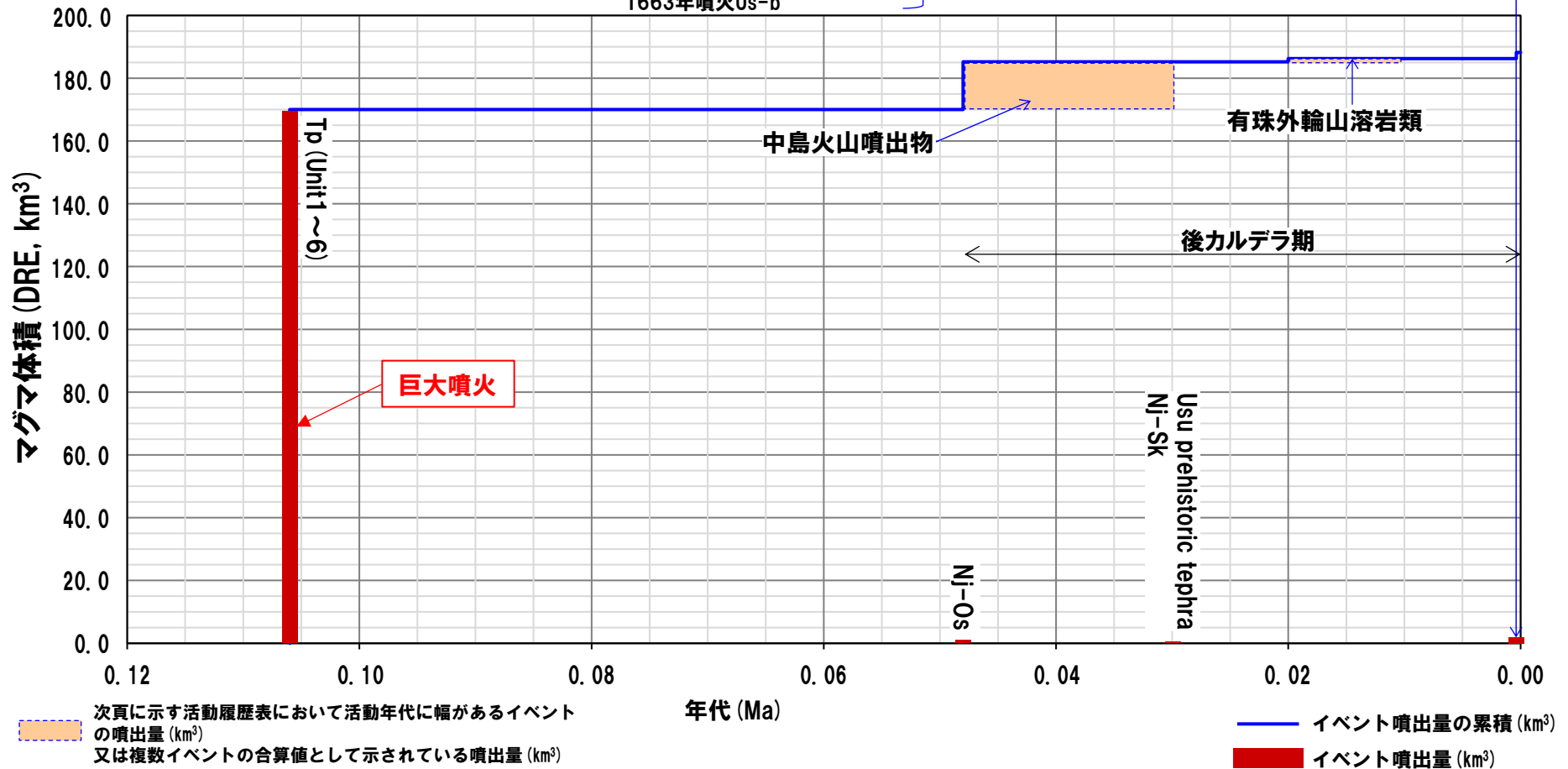
このため, 「約14万年前にカルデラ形成」は, 現行では, 次頁～P191に示す洞爺カルデラの活動履歴のとおり, 約11万年前にTpを噴出し, 現在の洞爺カルデラを形成した噴火に対応するものと考えられる。

(4)巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (3/4)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

- 2000年噴火
- 1977-1978年噴火
- 1943-1945年噴火
- 1910年噴火Us-IIa
- 1853年噴火Us-IIIa, 嘉永火砕流
- 1822年噴火Us-IVa, 文政火砕流
- 1769年噴火Us-Va, 明和火砕流
- 先明和噴火
- 1663年噴火Us-b



噴出量-年代階段ダイアグラム

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(4/4)

一部修正(H28/2/5審査会合)

洞爺カルデラ活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			
	更新世			
	106ka ^{*1}	Tp (Unit1~6) :afa,pfl	170	Goto et al. (2018) Amma-Miyasaka et al. (2020)
	122.5ka	Osr:pfa,afa,pfl ^{*2}	不明	金田ほか(2020)
	0.90±0.15Ma	滝ノ上火砕流堆積物	不明	産業技術総合研究所(2021)
1.59±0.33Ma	壮瞥火砕流堆積物	不明	後藤ほか(2021)	
不明	立香火砕流堆積物	不明		

- ※1 東宮・宮城(2020)においては、洞爺噴火の年代値については、MIS5dのピークより後の約106kaである可能性も含め、109±ca.3kaと考えておくのが妥当であろうとされている。
- ※2 Osrは、金田ほか(2020)における長流川火砕流堆積物に対応する。同文献においては、洞爺カルデラの南縁付近に、いずれも給源不明の壮瞥火砕流堆積物(熱ルミネッセンス年代測定値:1.59±0.33Ma)とそれを覆う滝ノ上火砕流堆積物(熱ルミネッセンス年代測定値:0.90±0.15Ma)が露出しており、これらの上位には、長流川火砕流堆積物が堆積しているとされている。長流川火砕流堆積物は、土壌を挟むものの、洞爺火砕流堆積物の直下に存在し、その年代も、カルデラ形成よりも約1万年前であることから、Tp噴火前の重要な長期的前駆活動とみなすことができるかとされている。しかし、長期的前駆活動については以下の様な知見もあることから、これらの火砕流堆積物(Osr, 滝ノ上火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物及び立香火砕流堆積物)を噴出した噴火のいずれをも、洞爺カルデラの活動履歴に示すこととした。
 ・産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)では、壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物及び長流川火砕流堆積物を噴出した噴火は、いずれもTp噴火の長期的前駆活動とされている。
 ・後藤ほか(2021)では、洞爺カルデラ地域において新たに発見した立香火砕流堆積物は、壮瞥火砕流堆積物の下位に位置することから、洞爺火砕流堆積物の先カルデラ期の火砕堆積物の層序は、下位から立香火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物, 長流川火砕流堆積物とされている。

洞爺中島活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			
	更新世			
	ca.30ka	Nj-Sk ^{*3} :pumice-fall deposit	0.01	第四紀火山カタログ委員会編(2000) 山元(2014)
	48-30ka	中島火山噴出物 (溶岩ドーム群: 中島-東山ドーム等)	15.09 ^{*4}	Miyabuchi et al. (2014) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)
ca.48ka	Nj-Os :pumice-fall deposit	0.11		

- ※3 Miyabuchi et al. (2014)によれば、Nj-Skの上位に、洞爺カルデラ内の水蒸気噴火に由来する火山豆石を含む褐色から灰色の微細な降灰層の互層が認められ、当該堆積物の総体積は0.077km³と推定されている。
- ※4 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)によれば、中島火山噴出物のうちマグマ体積が最大のものは中島-東山ドームの14km³(DRE)とされている。

有珠山活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			
	A.D.2000	有珠:2000年噴火	0.0006	
	A.D.1977-1978	有珠:1977-1978年噴火	0.05	
	A.D.1943-1945	有珠:1943-1945年噴火	0.006	
	A.D.1910	有珠:1910年噴火Us-IIa	0.002	
	A.D.1853	有珠:1853年噴火Us-IIIa, 嘉永火砕流	0.21	第四紀火山カタログ委員会編(2000)
	A.D.1822	有珠:1822年噴火Us-IVa, 文政火砕流	0.17	有珠山: 2.5 (2007)
	A.D.1769	有珠:1769年噴火Us-Va, 明和火砕流	0.07	昭和新聞:0.5
	17世紀末	有珠:先明和噴火	0.0006	未滿
	A.D.1663	有珠:1663年噴火Us-b	1.50	山元(2014)
	ca.8ka	外輪山:善光寺岩屑なだれ	不明	Miyabuchi et al. (2014)
	約1~2万年前	外輪山:ドンコロ山スコリア	不明	Nakagawa et al. (2022)
	ca.30ka	外輪山:有珠外輪山溶岩類	1 ^{*5, *6}	
	Usu prehistoric tephra :ash-fall deposits	0.02		

- ※5 1663年噴火以降の活動によって形成された溶岩ドーム(有珠溶岩ドーム)のマグマ体積も一括計上されている。
- ※6 Miyabuchi et al. (2014)によれば、有珠外輪山溶岩のマグマ体積は、0.5km³(DRE)とされている。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(1/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

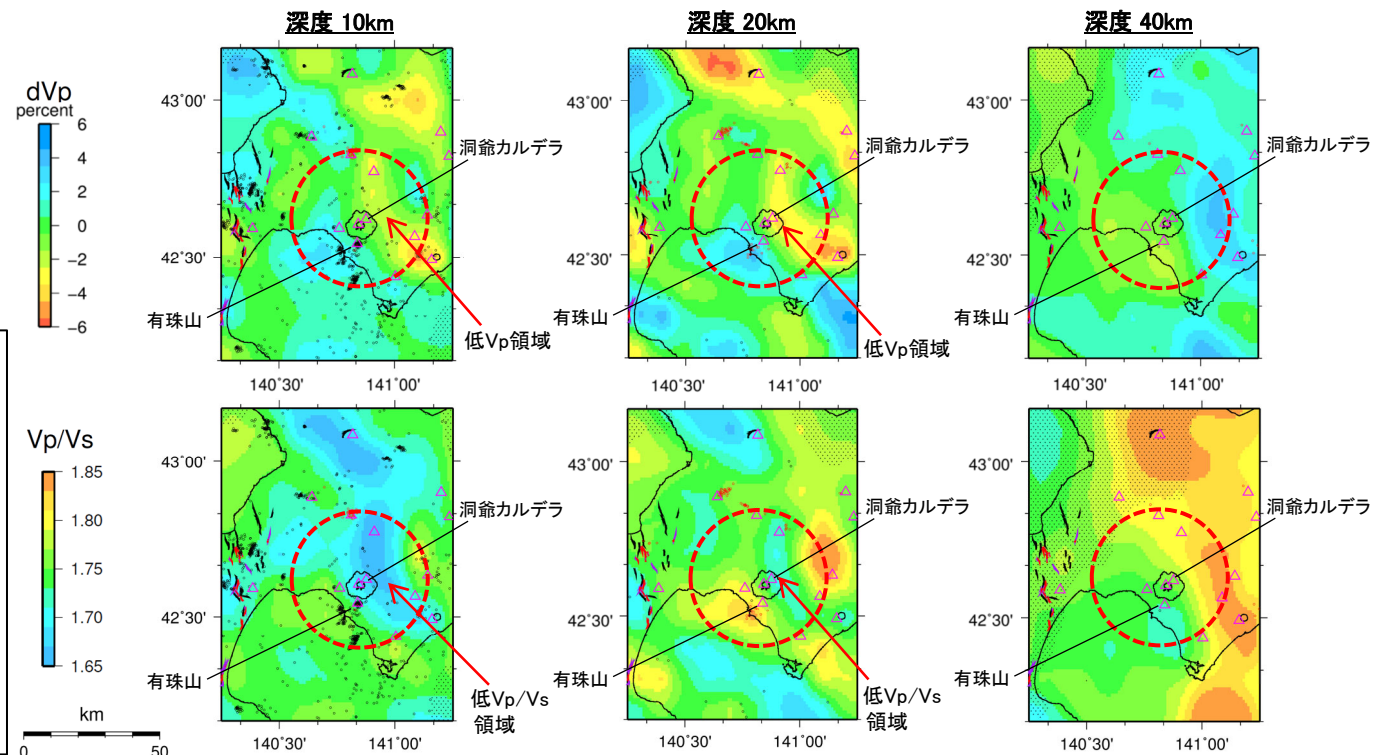
○防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al. (2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が洞爺カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。

○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P81~P93参照)】
 ○地震波速度構造については、「メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域が存在するか否か」を確認する。
 ○地震波速度構造について確認する際は、カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低周波地震の分布状況についても考慮する。

- 凡例
- △ 第四紀火山
 - 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 黒点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
 - 赤点
 - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
 - 活断層 } 今泉ほか編(2018)をトレース
 - 推定活断層
 - 洞爺カルデラを中心とした、半径25kmの範囲



洞爺カルデラ周辺では、カルデラの北方-東方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

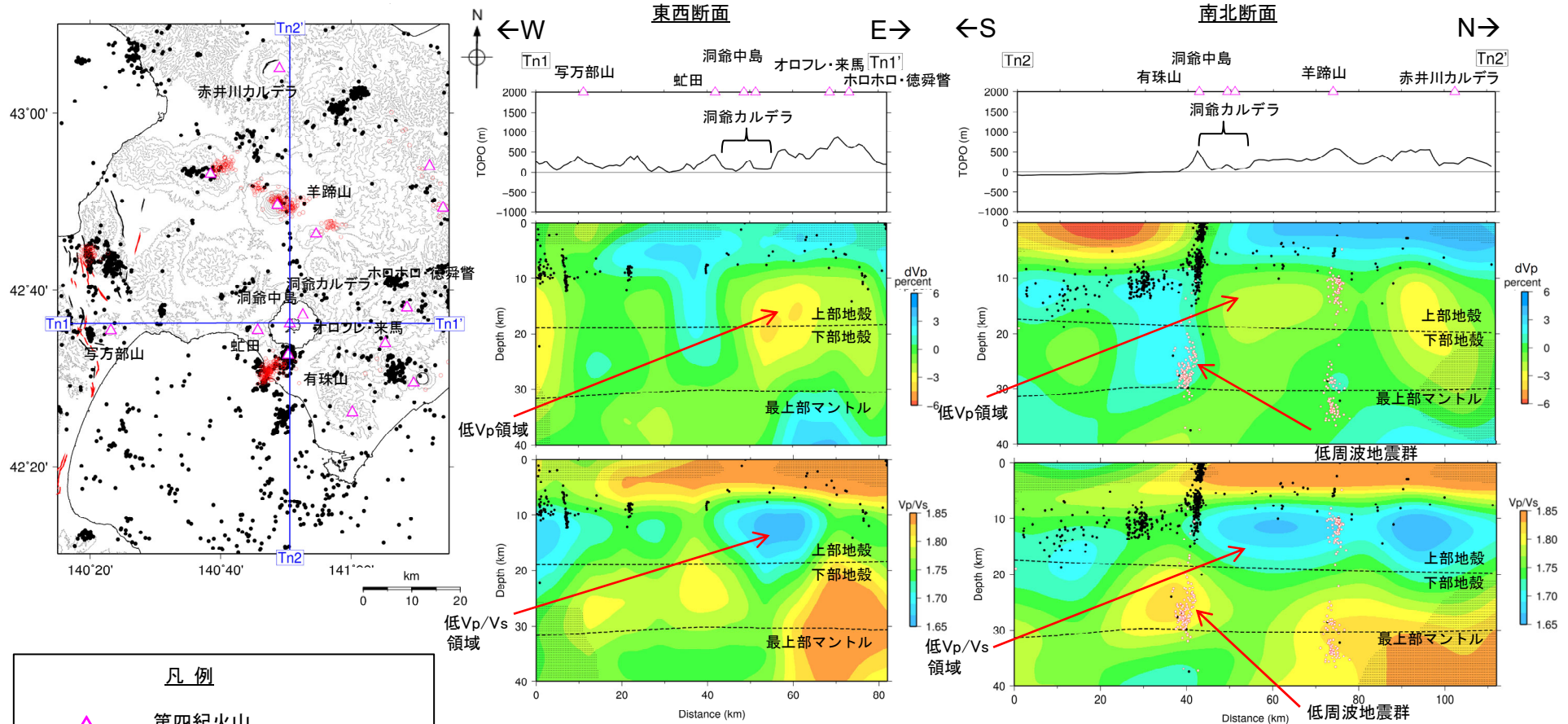
洞爺カルデラ周辺では、カルデラの北方-東方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



- 凡例**
- ▲ 第四紀火山
 - 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
 - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
 - 活断層
 - 推定活断層
- 今泉ほか編(2018)をトレース

洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、カルデラの北方~東方の深度10km~20km程度に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
 洞爺カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、低周波地震群が認められるが、上部地殻内には認められない。

地震波速度構造(鉛直断面)

鉛直断面に記載している火山は、断面位置を中心に±5km内の火山を投影した。なお、水平方向の分解能は約20km。鉛直方向の分解能は深さごとに異なるが、深さ0km~10kmでは分解能約5km、深さ10km~40kmでは分解能約10kmである。
 上部地殻と下部地殻の境界(コンラッド面)はZhao et al. (1992)、下部地殻と最上部マントルの境界(モホ面)はMatsubara et al. (2017)をトレースした。また、断面から±5kmの範囲の地震をプロットした。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○洞爺カルデラの比抵抗構造について検討するため、電磁気探査(MT法)を実施した。

【当社電磁気探査(次頁~P197参照)】

- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)に、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)は認められない。
- 洞爺中島直下の表層から深度2km程度及び有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲には、低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)が認められる(P196~P197参照)。

○当社電磁気探査において洞爺中島及び有珠山直下の浅部に認められる低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)について、文献レビューを実施した。

【Goto and Danhara (2018) (P198参照)】

○洞爺カルデラにおいて、深度1.5km程度までのCSAMT法による電磁気探査を行っているGoto and Danhara (2018)をレビューした。

- ・Goto and Danhara (2018)によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m)が存在するとされている。
- ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている。
- ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下のマグマにより、カルデラフィル堆積物が加熱されて形成された熱水変質帯と考えられるとされている。

○Goto and Danhara (2018)において洞爺中島直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において洞爺中島直下の表層から深度2km程度の範囲に認められる低比抵抗領域に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。

【Matsushima et al. (2001) (P199参照)】

○洞爺カルデラの後カルデラ火山である有珠山において、深度7km程度までのMT法による電磁気探査を行っているMatsushima et al. (2001)をレビューした。

- ・Matsushima et al. (2001)によれば、有珠山の地下(標高:約-1km)には、数 Ω m程度の領域が存在するとされている。
- ・当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入による熱水変質により生成された粘土鉱物(スメクタイト)を大量に含む低比抵抗岩であるとされている。

○Matsushima et al. (2001)において有珠山直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲に認められる低比抵抗領域に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



○当社探査結果及び文献(Goto and Danhara (2018)及びMatsushima et al. (2001))に基づくと、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (2/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【当社電磁気探査】

- 洞爺カルデラの地下構造を把握するため、電磁気探査(MT法)を行い、洞爺カルデラ周辺の比抵抗構造解析を実施した※1。
- 観測点は、洞爺湖、洞爺湖周辺の陸域及び内浦湾に配置した。
- 洞爺カルデラを中心とした東西20km程度及び南北20km程度の範囲に観測点を数多く配置することにより、洞爺カルデラ付近の比抵抗構造の信頼性を高めた。

※1 本電磁気探査の結果については、小森ほか(2022)として、地球惑星科学連合2022年大会で発表されている。

【当社電磁気探査(MT法)の概要】

- ・調査期間:2018年11月~2019年7月
- ・観測点:洞爺湖を中心として陸域92点、湖域9点、海域16点 計117点
- ・測定時間:陸域40時間以上、湖域及び海域60時間以上
- ・解析パラメータ
成分:12成分
周波数:10Hz~0.0003Hz※2

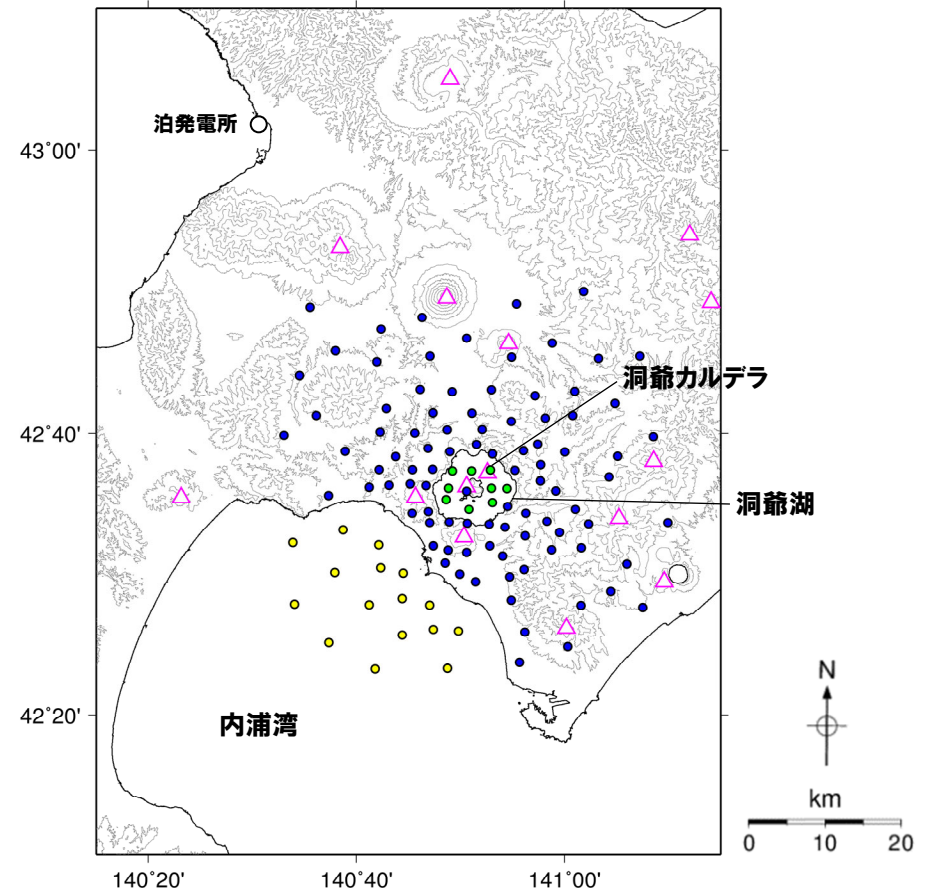
※2 Hata et al. (2016) を参考に設定。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P81~P93参照)】

- 比抵抗構造については、「間隙水、マグマ及び湿潤状態の粘土鉱物を示唆する低比抵抗領域が存在するか否か」を確認する。

凡例

- :陸域観測点
- :湖域観測点
- :海域観測点
- △:第四紀火山

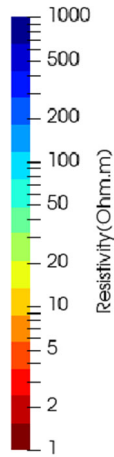
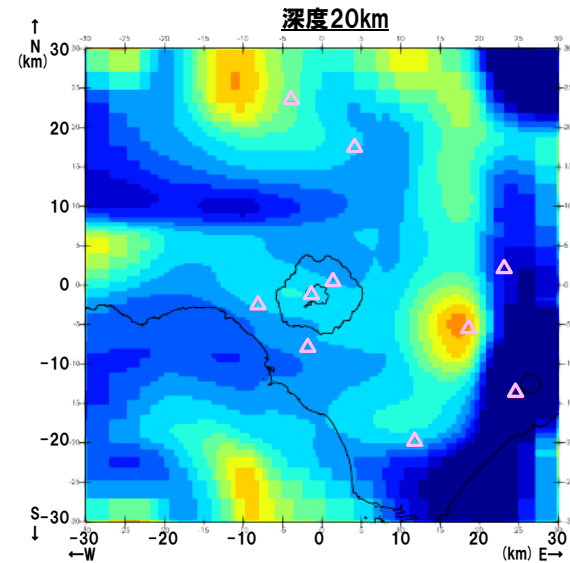
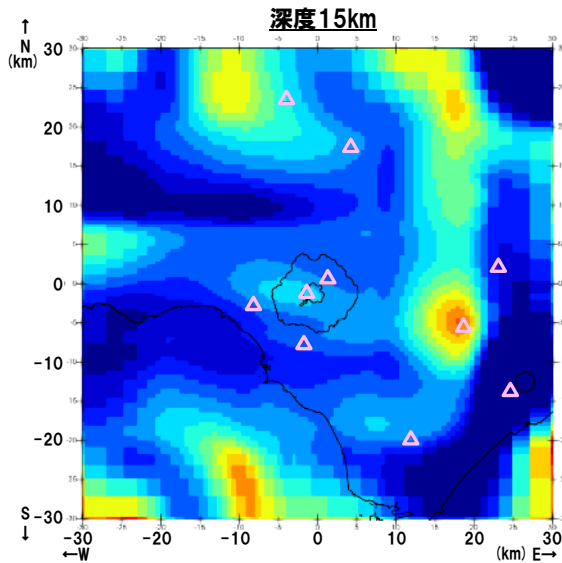
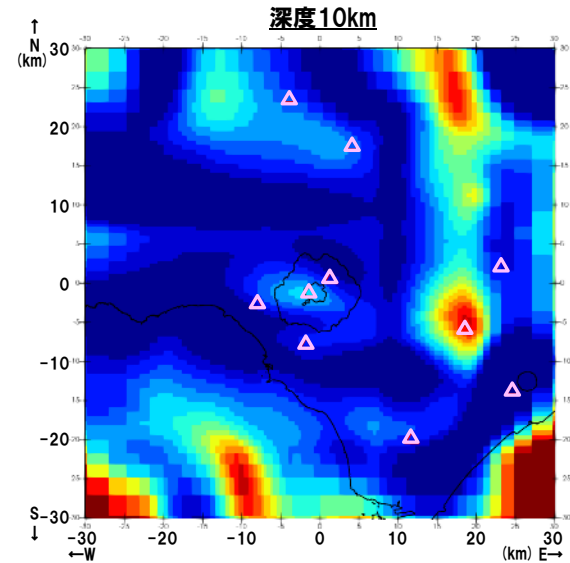
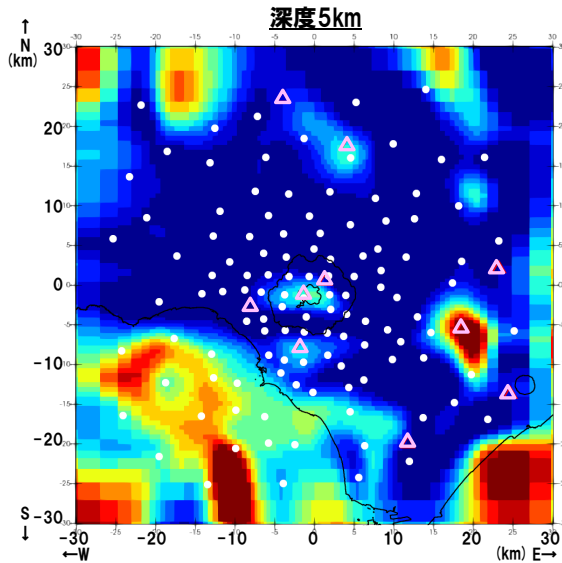


(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

再掲 (R5/1/20審査会合)

- 観測データを用いて比抵抗構造解析を実施し、洞爺カルデラ周辺における比抵抗構造の水平・鉛直断面図を作成した。
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)に、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域(数Ωm程度の領域)は認められない。
- 洞爺中島直下の表層から深度2km程度及び有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲には、低比抵抗領域(数Ωm程度の領域)が認められる(次頁参照)。



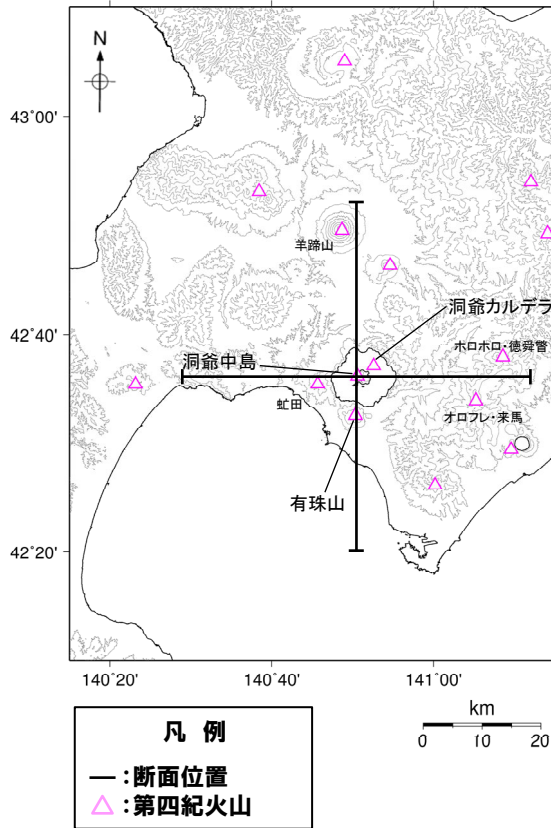
- 凡例
- △ 第四紀火山
 - MT観測点 (深度5km断面のみ記載)

比抵抗構造(水平断面)

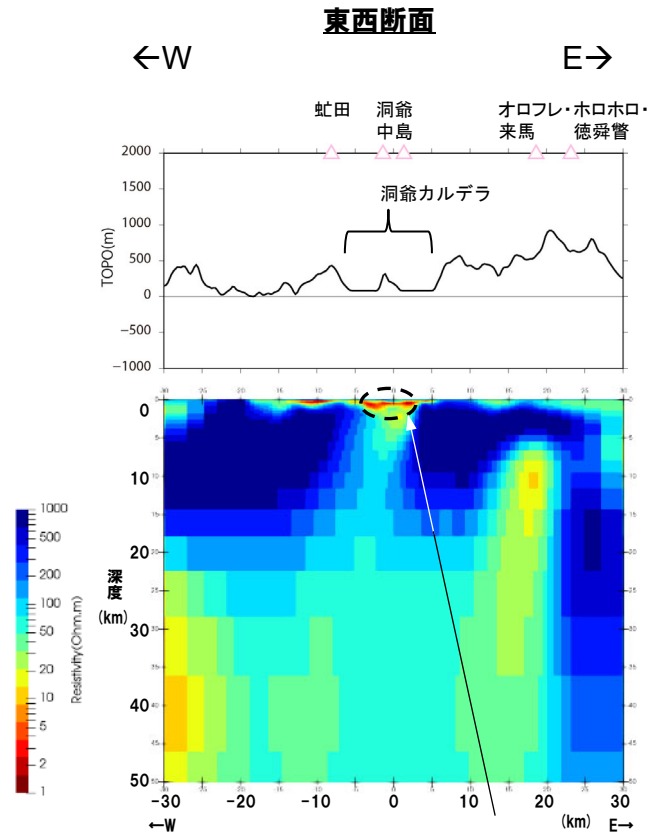
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/6)

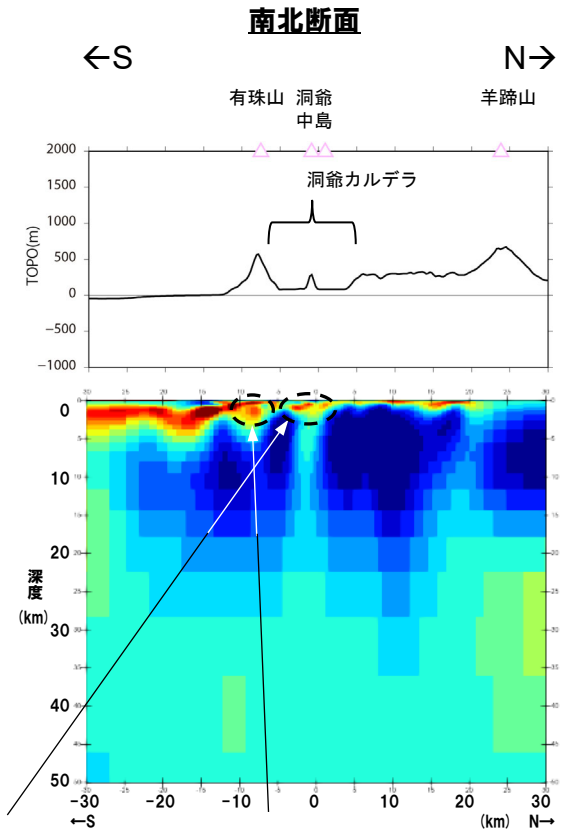
再掲 (R5/1/20審査会合)



比抵抗構造断面位置図



洞爺中島直下の表層から深度2km程度には低比抵抗領域が認められる。



有珠山直下の表層から深度3km程度には低比抵抗領域が認められる。

比抵抗構造(鉛直断面)

鉛直断面に記載している火山は、断面位置を中心に±5km内の火山を投影した。
 なお、感度テストの結果から、洞爺カルデラ直下の深度10~14km程度においては、水平及び鉛直方向に約4.8km程度、また深度18~28km程度においては水平及び鉛直方向に10km程度の空間分解能を持つと考えられる。

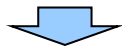
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/6)

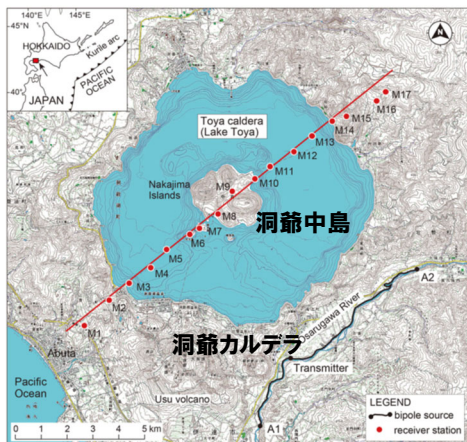
再掲 (R5/1/20審査会合)

【Goto and Danhara (2018)】

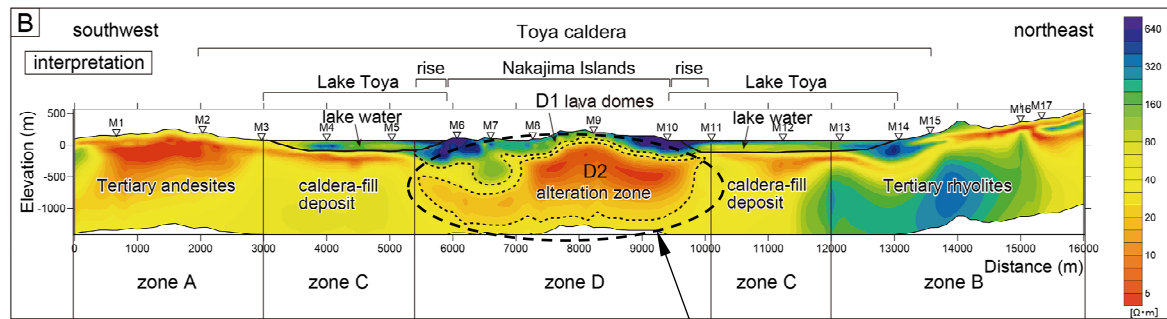
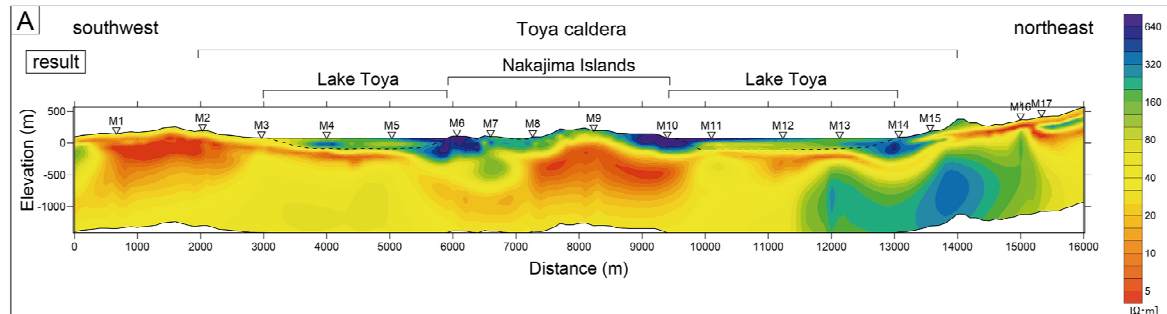
- 洞爺カルデラにおいて、深度1.5km程度までのCSAMT法による電磁気探査を行っているGoto and Danhara (2018)をレビューした。
- ・Goto and Danhara (2018)によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m, 下図D2)が存在するとされている。
- ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている。
- ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下のマグマにより、カルデラフィル堆積物が加熱されて形成された熱水変質帯と考えられるとされている。



○Goto and Danhara (2018)において洞爺中島直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において洞爺中島直下の表層から深度2km程度の範囲に認められる低比抵抗領域(前頁参照)に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



探査測線位置図 (Goto and Danhara (2018) に加筆)



D2: 洞爺中島とその周囲の隆起域の地下の低比抵抗領域

比抵抗構造 (Goto and Danhara (2018) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (6/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

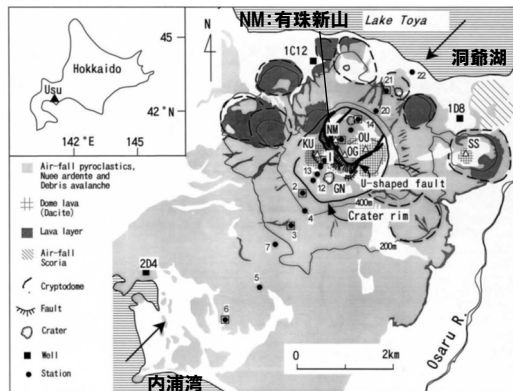
【Matsushima et al. (2001)】

○洞爺カルデラの後カルデラ火山である有珠山において、深度7km程度までのMT法による電磁気探査を行っているMatsushima et al. (2001) をレビューした。

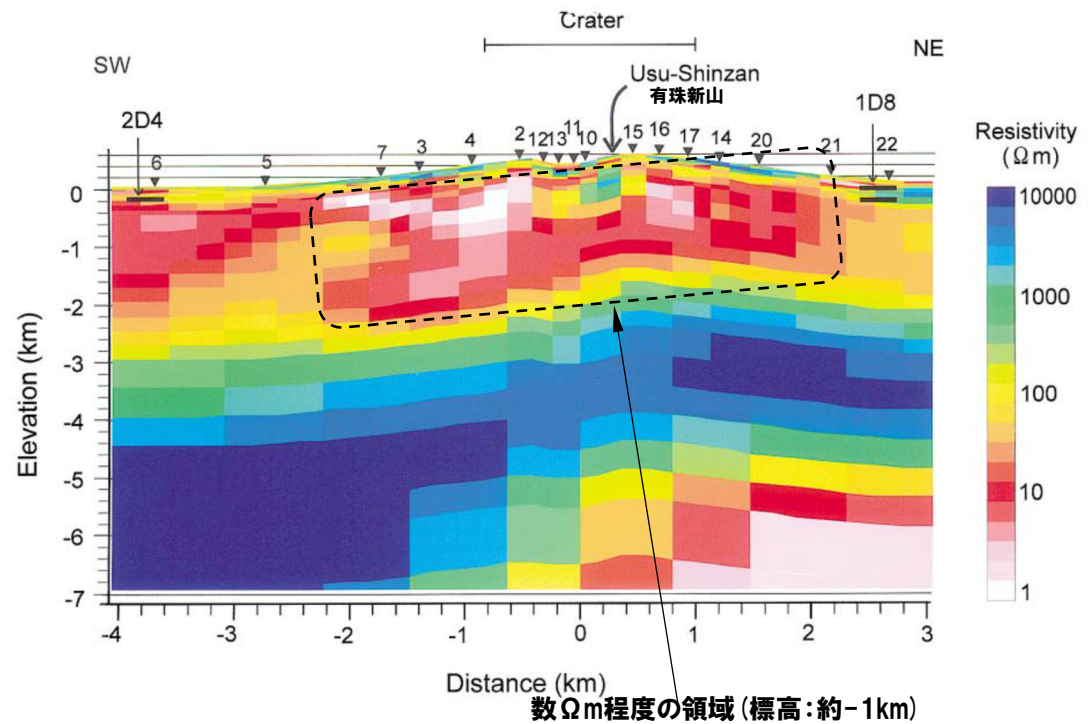
- Matsushima et al. (2001) によれば、有珠山の地下(標高:約-1km)には、数Ωm程度の領域が存在するとされている。
- 当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入の熱水変質により生成された粘土鉱物(スメクタイト)を大量に含む低比抵抗岩であるとされている。



○Matsushima et al. (2001) において有珠山直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲に認められる低比抵抗領域(P197参照)に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



探査測線位置図 (Matsushima et al. (2001) に加筆)



数Ωm程度の領域(標高:約-1km) 比抵抗構造 (Matsushima et al. (2001) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

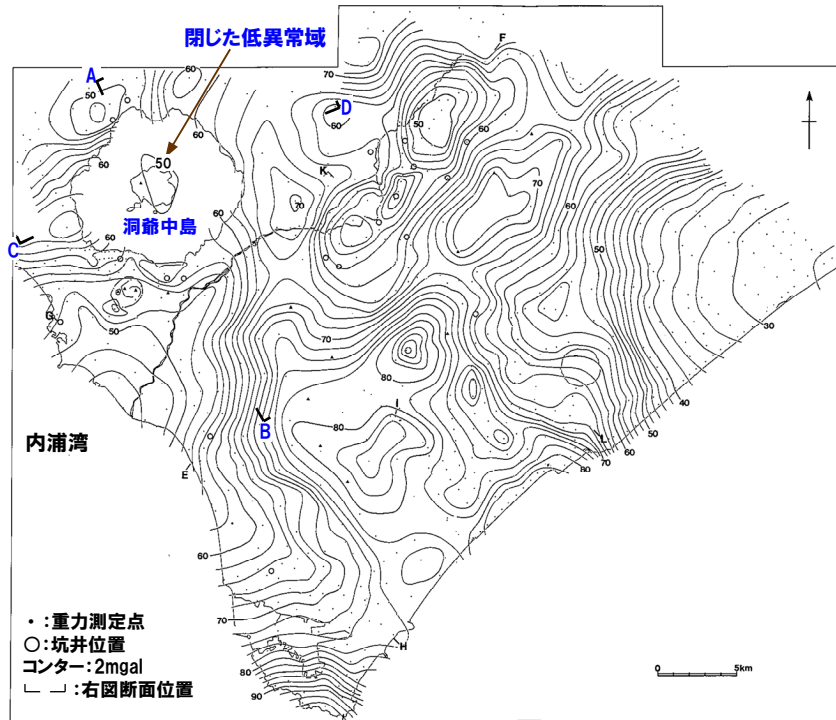
再掲 (R5/1/20 審査会合)

【和田ほか(1988)】

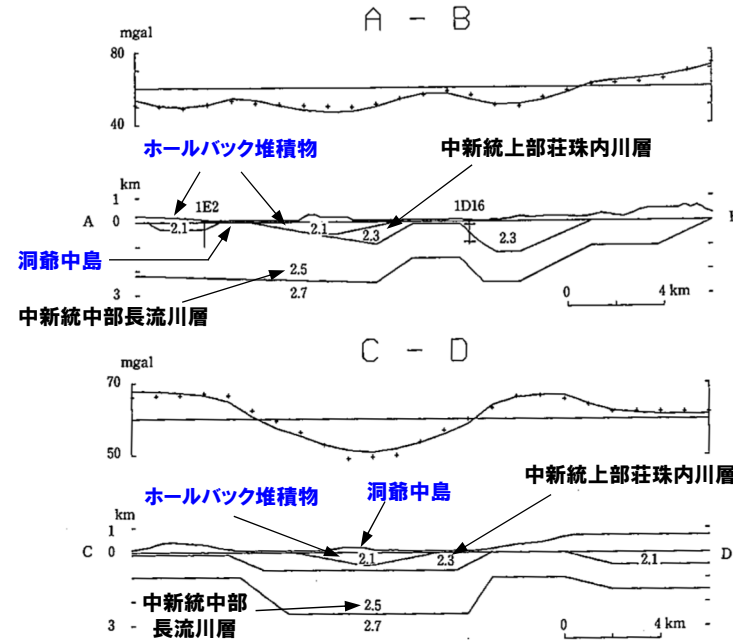
- 洞爺カルデラを含む北海道西胆振地域において、重力測定を行っている和田ほか(1988)をレビューした。
 - ・和田ほか(1988)によれば、低異常型カルデラを特徴づける閉じた低異常域が洞爺カルデラ中央部の中島を中心に分布しているとされている。
 - ・ボーリング調査結果による地質構造の推定に基づくと、上記の低重力異常は、新第三系の地質構造に逆円錐型のホールバック堆積物(最大層厚0.5km)が重畳した構造で説明できるとされている。



- 和田ほか(1988)に基づくと、洞爺カルデラにおいては、カルデラ中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



西胆振地域における重力異常図(和田ほか(1988)に加筆)



重力解析断面図(A-B断面及びC-D断面)
各断面における上図は観測値及び計算値(+印は観測値を、実線は計算値を示す)
下図は地形と構造モデル(記載されている数値は各地層の密度(g/cm³)を示す)
(和田ほか(1988)に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

【地震波速度構造 (P192~P193参照)】

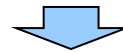
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低 V_p かつ高 V_p/V_s 領域は認められない。
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【比抵抗構造 (P194~P199参照)】

- 当社電磁気探査結果及び文献(Goto and Danhara, 2018; Matsushima et al., 2001)に基づくと、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

【重力異常(前頁参照)】

- 文献(和田ほか, 1988)に基づくと、洞爺カルデラにおいては、カルデラ中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



- 地下構造に関する調査の結果、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。

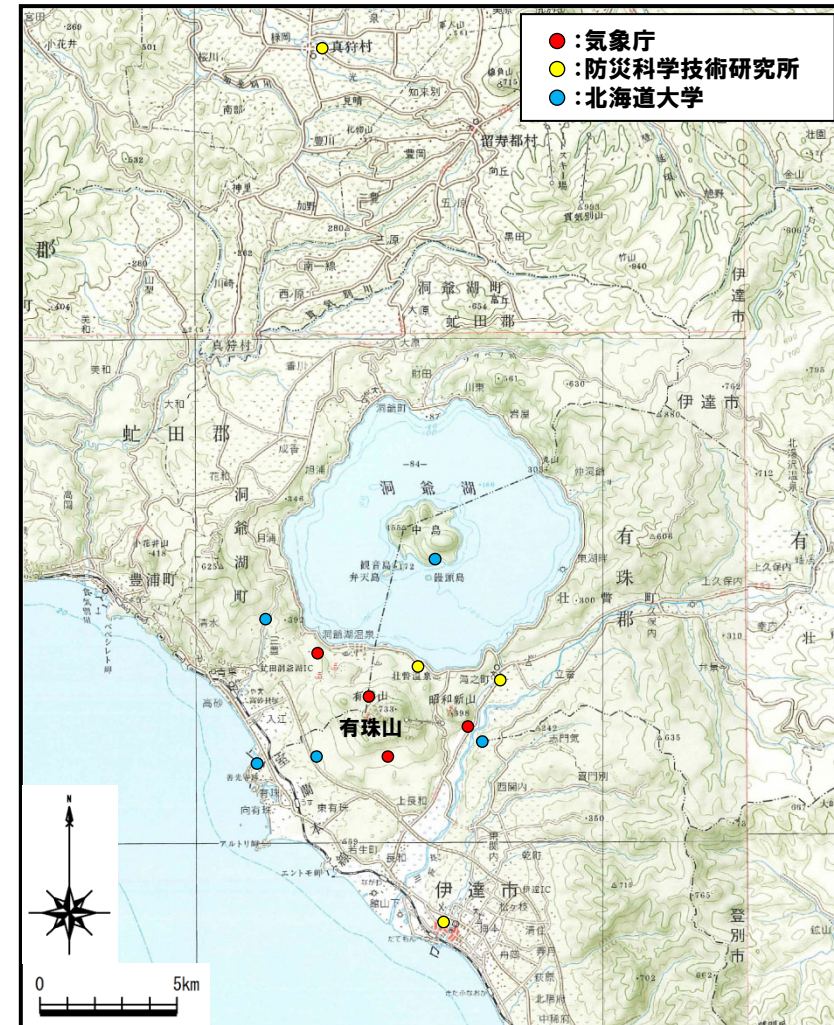
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(1/6)

再掲(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 洞爺カルデラ周辺には、公的機関の地震計が設置されている。
- 気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に地震活動及び深部低周波地震活動の時空間分布が取りまとめられている。



洞爺カルデラ周辺の地震計位置図
(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

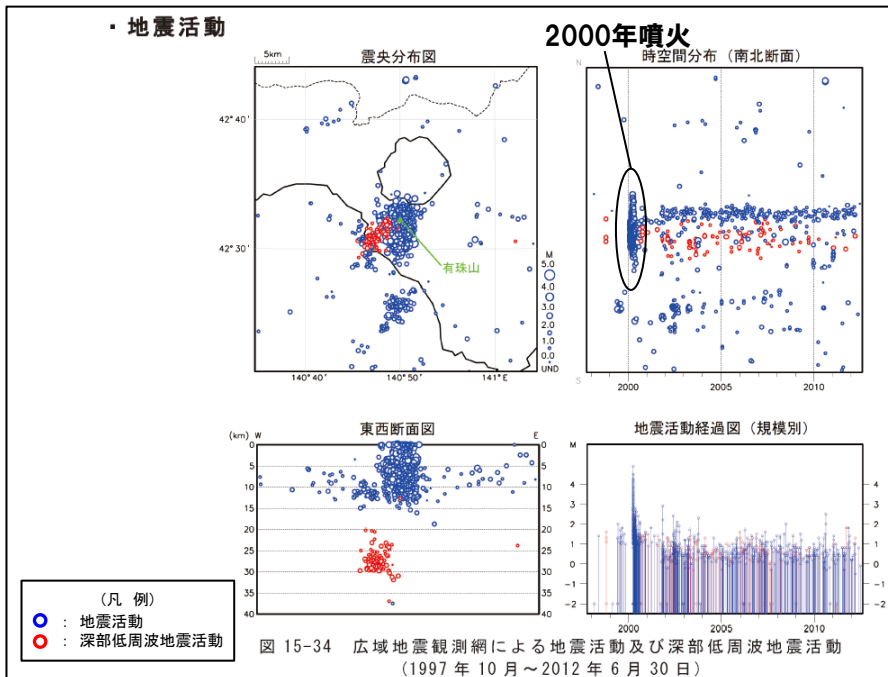
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(2/6)

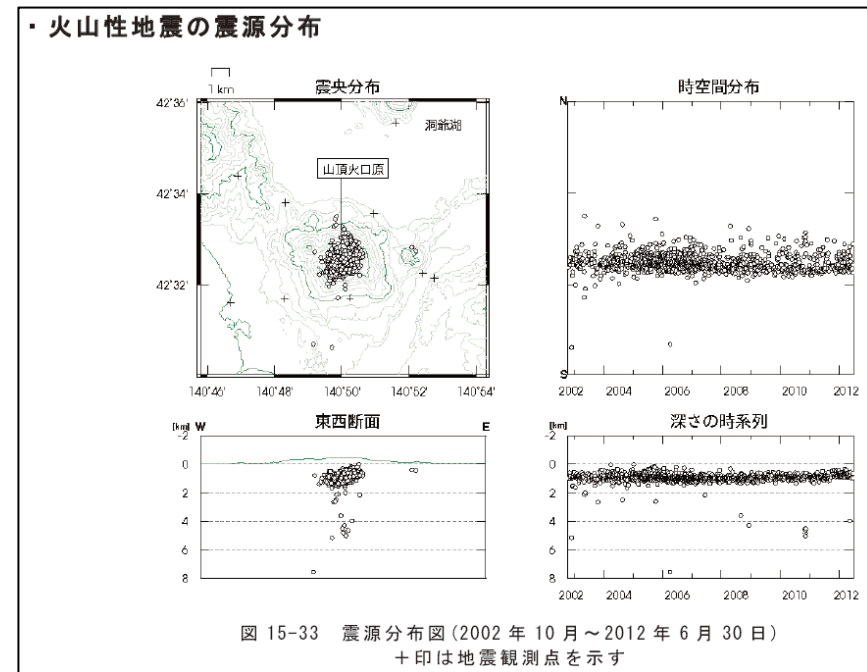
一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 洞爺カルデラ周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)及び有珠山の火山性地震の震源分布(2002年10月～2012年6月)を下図に示す。
- 洞爺カルデラ周辺においては、有珠山周辺に震央が集中している。
- 地震活動は、有珠山周辺の浅部に認められ、2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
- 噴火後の地震活動は、有珠山の山頂火口原(深さ2km以浅)付近に集中しており、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(深さ20～35km)に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。



洞爺カルデラ周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日、「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)



有珠山の火山性地震の震源分布
(2002年10月～2012年6月30日、「日本活火山総覧(第4版)」)

余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (3/6)

【気象庁(2020)】

- 「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020)では、洞爺カルデラ周辺の低周波地震活動(1997年10月～2020年11月)について、右図のとおり示されている*。
- 低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(概ね深さ20～35km)に認められ、深さの時系列分布に変化の兆候は認められない。

※火山噴火予知連絡会資料のうち、有珠山の一元化震源による震央分布図等については、樽前山及び倶多楽とは異なり、低周波地震活動のみが示されている。

低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(概ね深さ20～35km)に認められる。

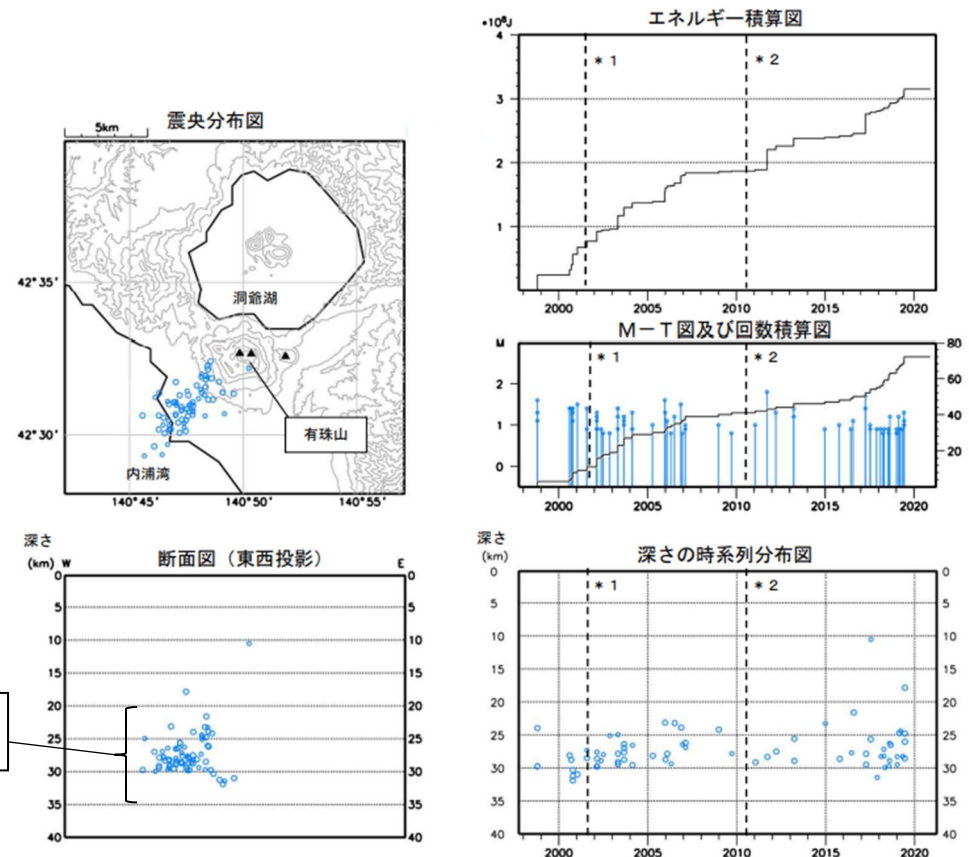


図6 有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動

(1997年10月～2020年11月30日、 $M \geq 0.8$ 、深さ40km以浅)

- * 1 : 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
 - * 2 : 2010年10月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
- 2020年9月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。
2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られる。
この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動
(気象庁(2020)に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

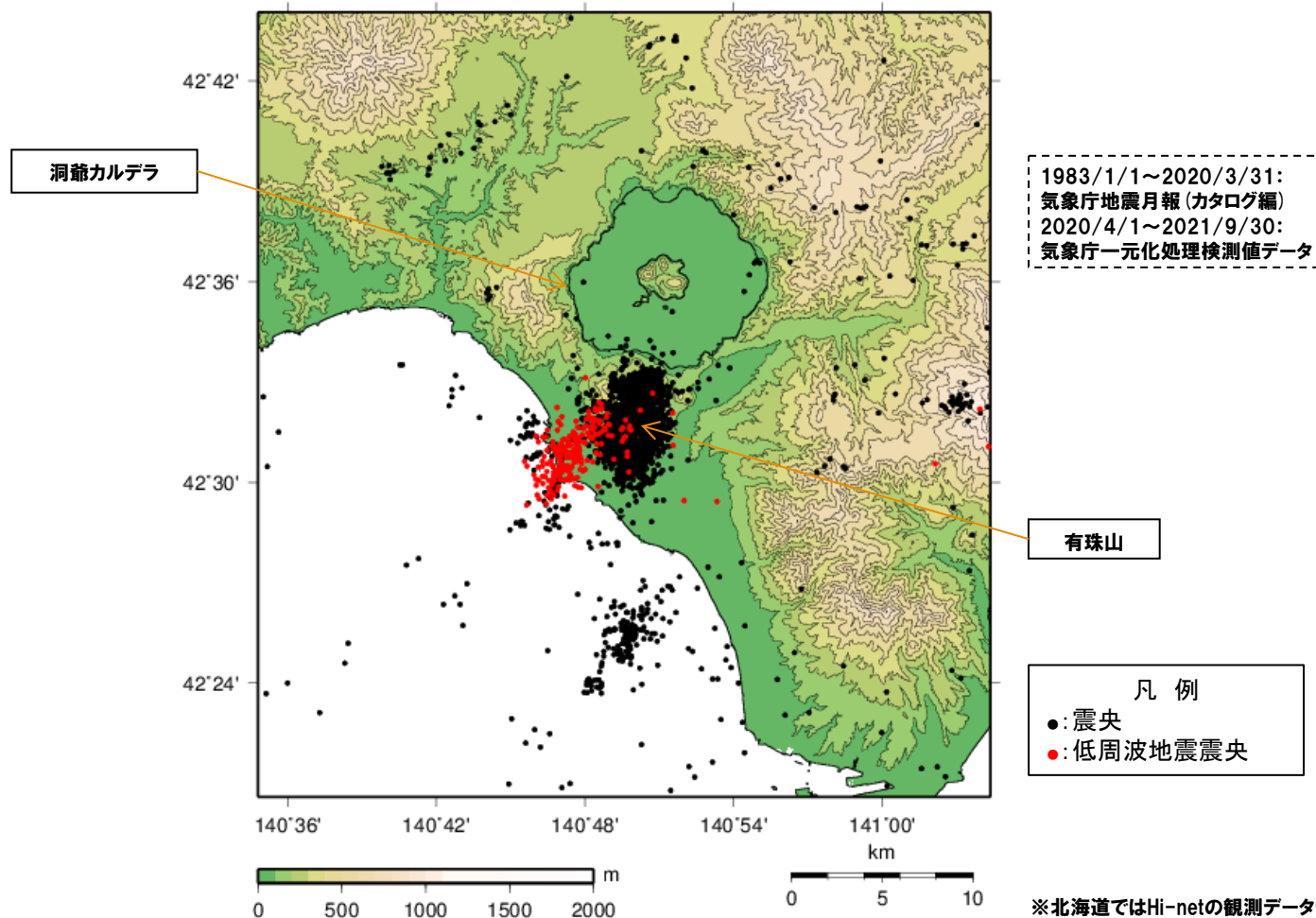
②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○過去約40年間における洞爺カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を使用した。

○洞爺カルデラ周辺においては、有珠山周辺に普通地震及び低周波地震の震央が集中している。



洞爺カルデラ周辺の震央分布図※
(1983年1月1日～2021年9月30日の記録(深さ40km以浅))

※北海道ではHi-netの観測データ使用開始が2001年10月であることから、2001年10月前後でデータ精度が異なる。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

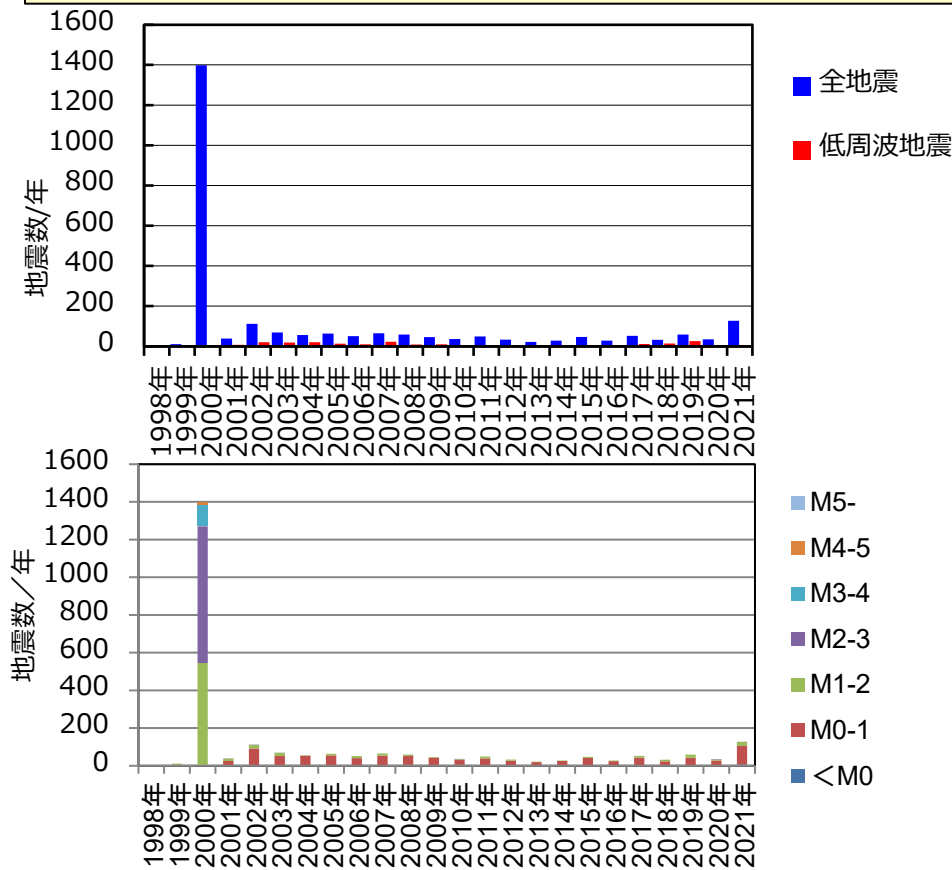
②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(5/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

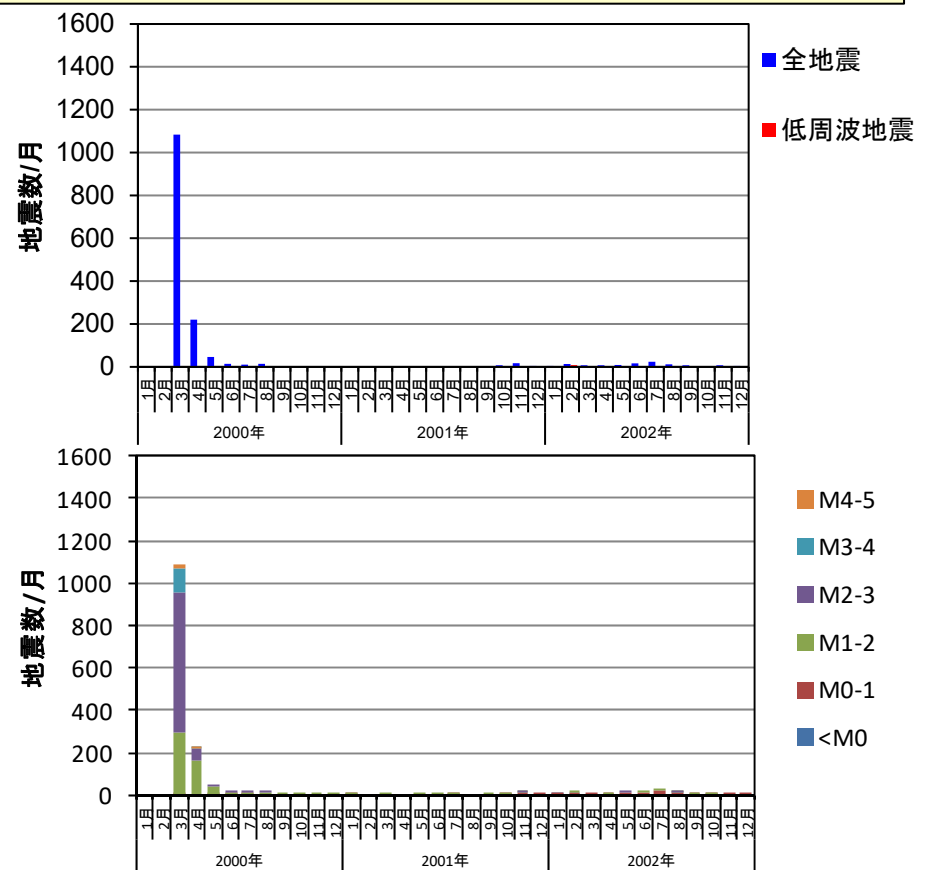
【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○2000年噴火前後の有珠山周辺における年別及び月別の地震発生数を整理した結果、以下の特徴が認められる。

- ・2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
- ・地震発生数は、有珠山噴火時の2000年3月に最も多く、噴火後には発生頻度が低くなっている。
- ・マグニチュード1以上の地震は、噴火後の2001年以降はほとんど認められず、低調に経過しており、低周波地震も低調に経過している。



地震発生数の年別時間変化※1, 2
(1998～2021年 深さ40km以浅)



地震発生数の月別時間変化※1
(2000～2002年 深さ40km以浅)

※1 北海道ではHi-netの観測データ使用開始が2001年10月であることから、2001年10月前後でデータ精度が異なる。

※2 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (6/6)

一部修正 (H25/12/18審査会合)

- 火山性地震のうち低周波地震については、下鶴ほか編(2008)によれば、マグマや熱水などの流体が関与して発生していると考えられているものが多いとされている。このため、低周波地震がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、洞爺カルデラ周辺の低周波地震の時空間分布を確認した。
- ・確認に当たっては、公的機関の観測結果を取りまとめた気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」,「第147回火山噴火予知連絡会資料」気象庁(2020)並びに気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を用いた。
- 確認結果は以下のとおり(下線部は低周波地震に関する事項)。
- (気象庁, 2013)
- ・地震活動は、有珠山周辺の浅部に認められ、2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
 - ・噴火後の地震活動は、有珠山の山頂火口原(深さ2km以浅)付近に集中しており、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(深さ20～35km)に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- (気象庁, 2020)
- ・低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(概ね深さ20～35km)に認められ、深さの時系列分布に変化の兆候は認められない。
- (気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ)
- ・洞爺カルデラ周辺においては、有珠山周辺に普通地震及び低周波地震の震央が集中している。
 - ・2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
 - ・地震発生数は、有珠山噴火時の2000年3月に最も多く、噴火後には発生頻度が低くなっている。
 - ・マグニチュード1以上の地震は、噴火後の2001年以降はほとんど認められず、低調に経過しており、低周波地震も低調に経過している。



- 洞爺カルデラ周辺の火山性地震のうち、低周波地震活動は、有珠山周辺の下部地殻(約20km以深)に認められるが、上部地殻にはほとんど認められない。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/17)

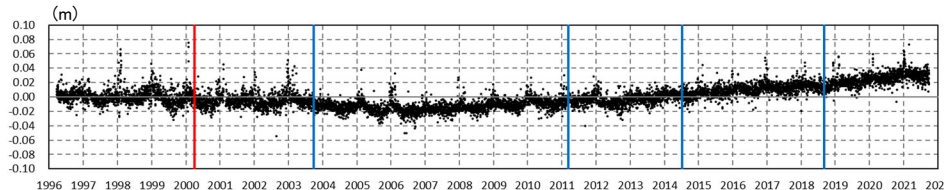
一部修正(H25/11/13審査会合)

【上下変動】

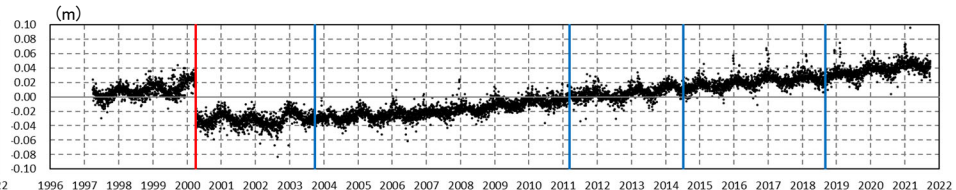
- 洞爺カルデラ付近の4基準点※1(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は, 洞爺カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は, 各電子基準点設置以降, 0~2cm/年程度の隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(次頁~P215参照)を踏まえると, 北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果, 周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり, 洞爺カルデラ周辺の隆起傾向は, 小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。
- なお, 年間上下変動量のうち, 東北地方太平洋沖地震発生前後(下表赤枠部)及び北海道胆振東部地震発生前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を一例としてP216~P219に示す。

※1 洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)の位置はP216参照。

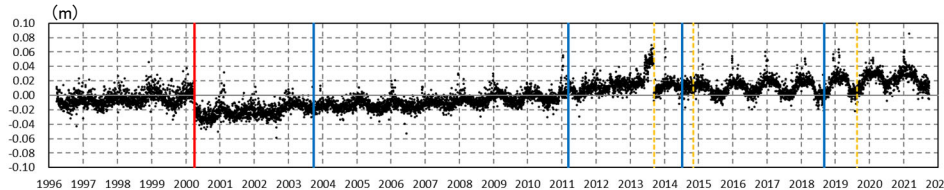
※2 例えば, 1993年北海道南西沖地震, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等がある。



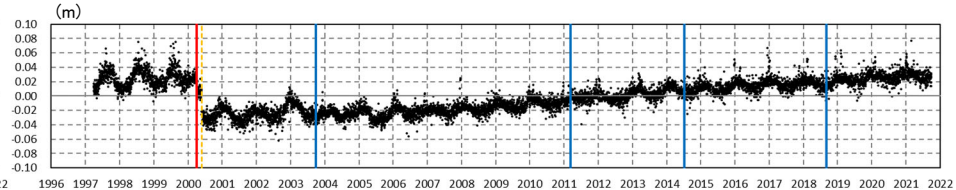
小樽1-大滝間の比高変化※3(対象期間:1996年3月~2021年9月)



小樽1-虻田間の比高変化※3(対象期間:1997年3月~2021年9月)



小樽1-洞爺間の比高変化※3(対象期間:1996年3月~2021年9月)



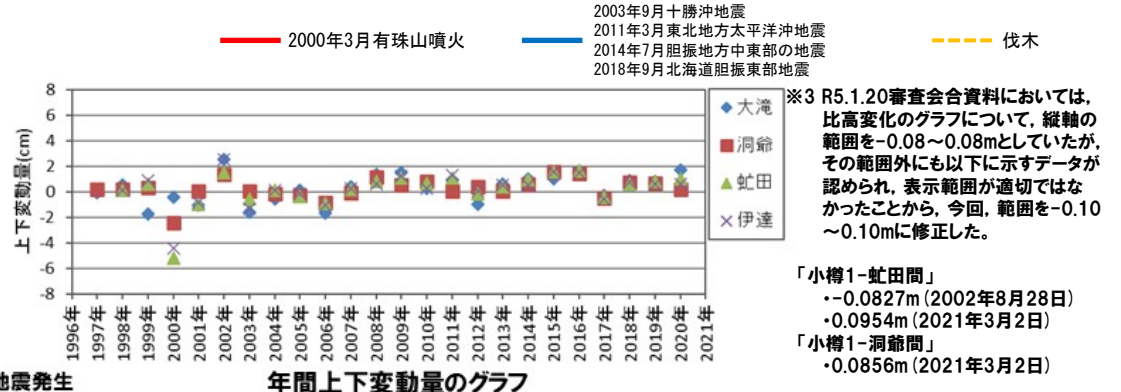
小樽1-伊達間の比高変化※3(対象期間:1997年3月~2021年9月)

年間上下変動量 (cm) (固定局:小樽1)

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38
洞爺	+0.20	+0.23	+0.34	-2.45	+0.04	+1.38	+0.06	-0.13	-0.30	-0.85	-0.08	+1.15
虻田	-	+0.11	+0.62	-5.21	-0.96	+1.53	-0.53	+0.13	-0.35	-0.87	+0.22	+0.81
伊達	-	+0.15	+0.88	-4.45	-0.86	+2.55	-1.32	+0.11	-0.15	-1.06	+0.24	+0.64
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
大滝	+1.50	+0.29	+0.99	-0.94	+0.62	+1.03	+1.04	+1.66	-0.29	+0.88	+0.82	+1.74
洞爺	+0.53	+0.81	+0.04	+0.44	+0.09	+0.60	+1.57	+1.45	-0.49	+0.77	+0.68	+0.20
虻田	+1.08	+0.72	+1.10	-0.12	+0.44	+0.99	+1.56	+1.66	-0.44	+0.65	+0.83	+1.07
伊達	+1.27	+0.26	+1.30	+0.04	+0.54	+0.57	+1.58	+1.54	-0.55	+0.75	+0.61	+0.63

↑東北地方太平洋沖地震発生

↑北海道胆振東部地震発生



年間上下変動量のグラフ

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/17)

一部修正(R5/1/20審査会合)

【Suito(2018)】

- GNSS連続観測システム(GEONET)及び海底地殻変動観測(SGO)を用いて2011年東北地方太平洋沖地震以降の地殻変動について整理されているSuito(2018)をレビューした。
 - ・Suito(2018)によれば、東北地方太平洋沖地震後の6.5年間において、内陸部と日本海沿岸部では10cm程度の累積沈下が、奥羽脊梁部ではかなり大きな沈下が、関東・中部・北海道南部では10cm程度の累積隆起が観測されたとされている(次頁参照)。
 - ・地震後の地殻変動を解釈するには、一般に余効すべり(afterslip)、粘弾性緩和(viscoelastic relaxation, P212参照)、間隙弾性反発(poroelastic rebound)の3つのメカニズムを考慮する必要があるとされている。
 - ・観測された地殻変動には、余効すべり効果やプレート間の固着効果等、様々な効果が含まれているとされている。
 - ・プレート間の固着効果は、東北地方全域で西方への変位、太平洋岸での沈下及び日本海側でのわずかな隆起をもたらすとされている(P213参照)。

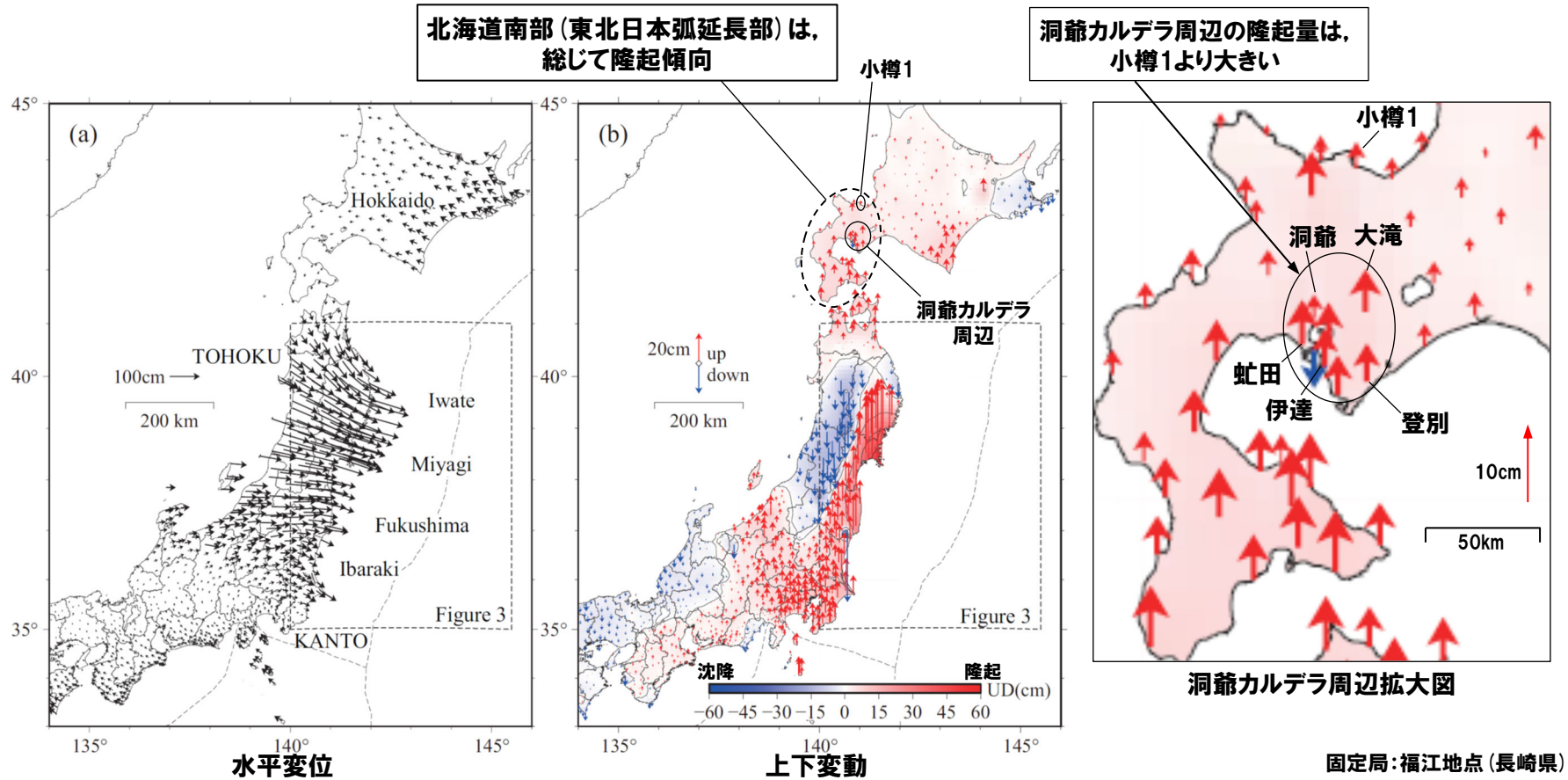


- Suito(2018)に基づくと、北海道南部(東北日本弧延長部)は、プレート間の固着効果、余効変動等様々な効果により総じて隆起傾向である。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(3/17)

再掲(R5/1/20審査会合)

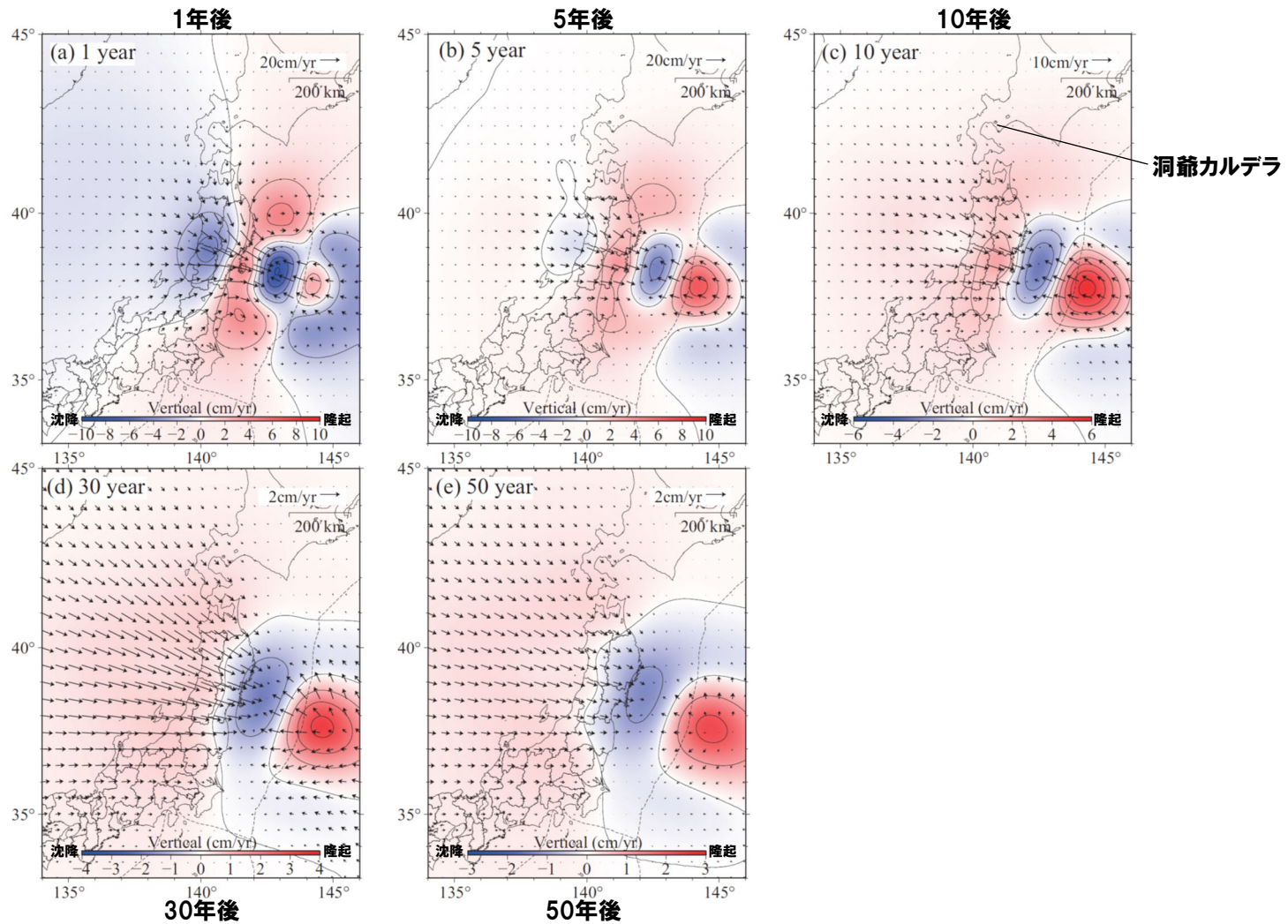


GEONETによる2011年3月東北地方太平洋沖地震以降6.5年間分の地殻変動
(Suito (2018) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/17)

再掲(R5/1/20審査会合)

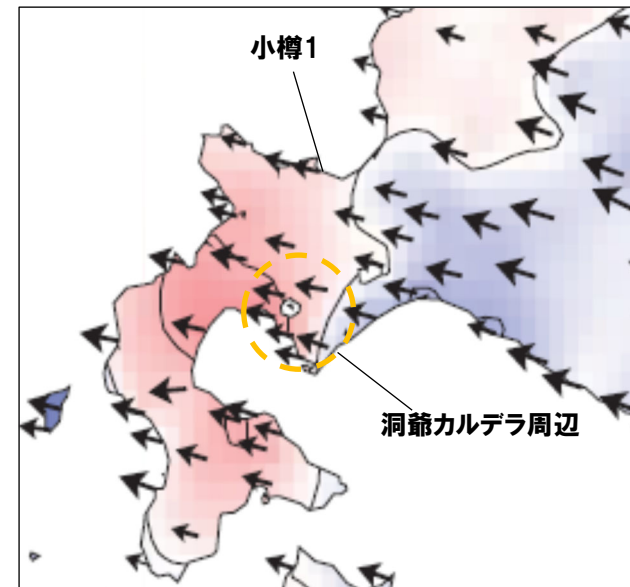
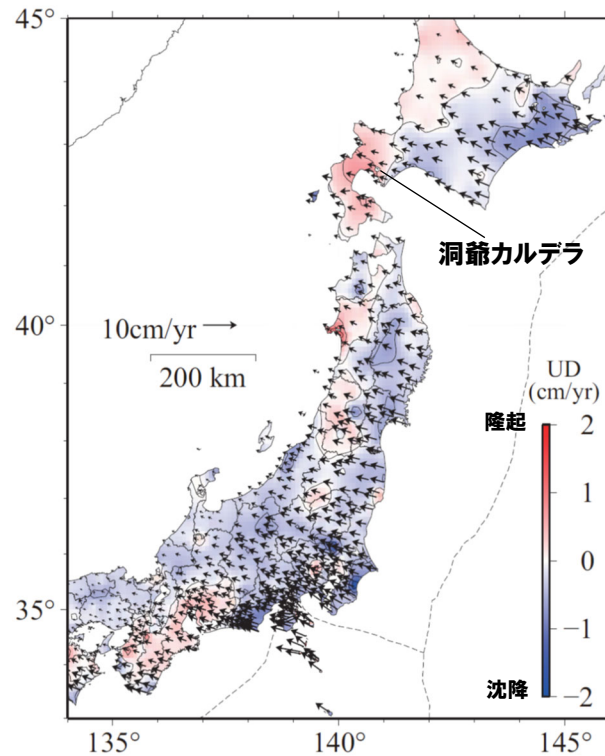


粘弾性緩和による推定変位速度
(Suito (2018) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/17)

再掲(R5/1/20審査会合)



北海道南部拡大図

固定局: 福江地点(長崎県)

Suito (2018) によれば、プレート間の固着効果は、東北地方全域で西方への変位、太平洋岸での沈下及び日本海側でのわずかな隆起をもたらすとされている。

GEONETによる1997年1月から2000年1月までの平均変位速度
(Suito (2018) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/17)

再掲(R5/1/20審査会合)

【Ueda et al. (2003)】

○1993年北海道南西沖地震の余効変動について整理されているUeda et al. (2003) をレビューした。

- Ueda et al. (2003) によれば、1993年北海道南西沖地震後の地殻変動は、北海道南西部の西進、奥尻島の沈下、渡島半島の隆起によって特徴づけられるとされている(鉛直変位については、次頁図中の黒矢印参照)。
- 一般に大地震後の地殻変動は、余効すべり(afterslip)と粘弾性緩和(viscoelastic relaxation)のどちらかが支配的と想定されるとされている。
- 北海道南西沖地震後の地殻変動は、単純な3層構造における地震時応力変化による粘弾性緩和で説明できることがわかったが、余効すべりでは、非現実的な仮定を採用しないと変形を説明することができないとされている。
- この結果は、地震後の変形のメカニズムとして、明らかに粘弾性緩和が支配的であったことを示しているとされている。
- 図中に見られるいくつかの差異(次頁図中の観測値(黒矢印)と計算値(白矢印)との差異)は、粘性の横方向の変化や太平洋プレートの沈み込み等、他の効果に起因している可能性があると考えられている。

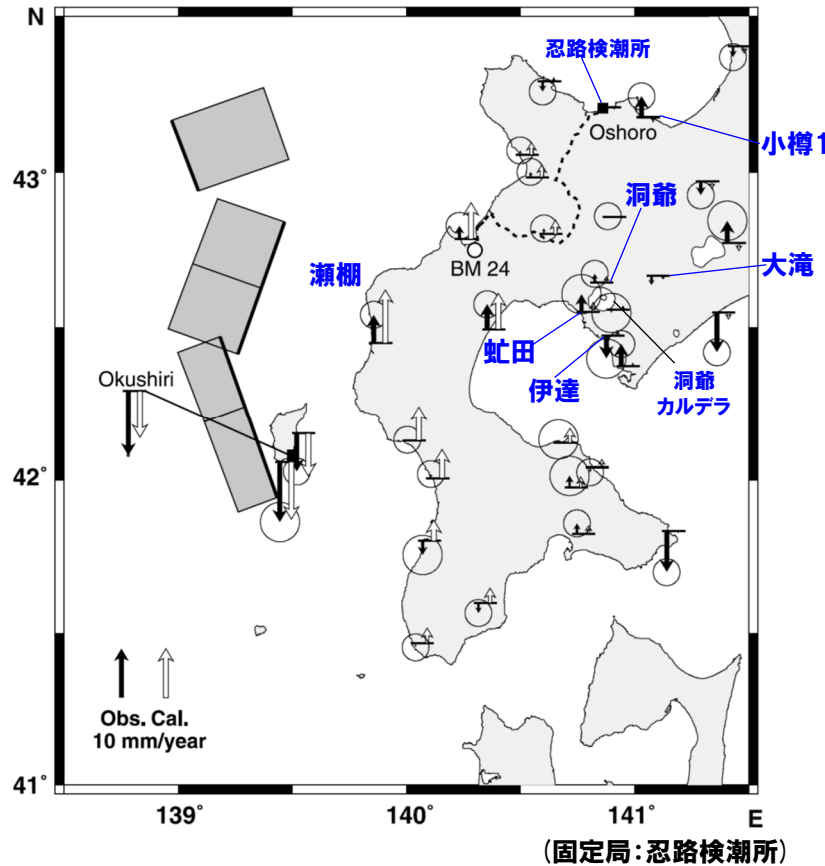


○Ueda et al. (2003) に基づくと、北海道南部(東北日本弧延長部)は、太平洋プレートの沈み込み、余効変動等様々な効果を受けていると考えられる。

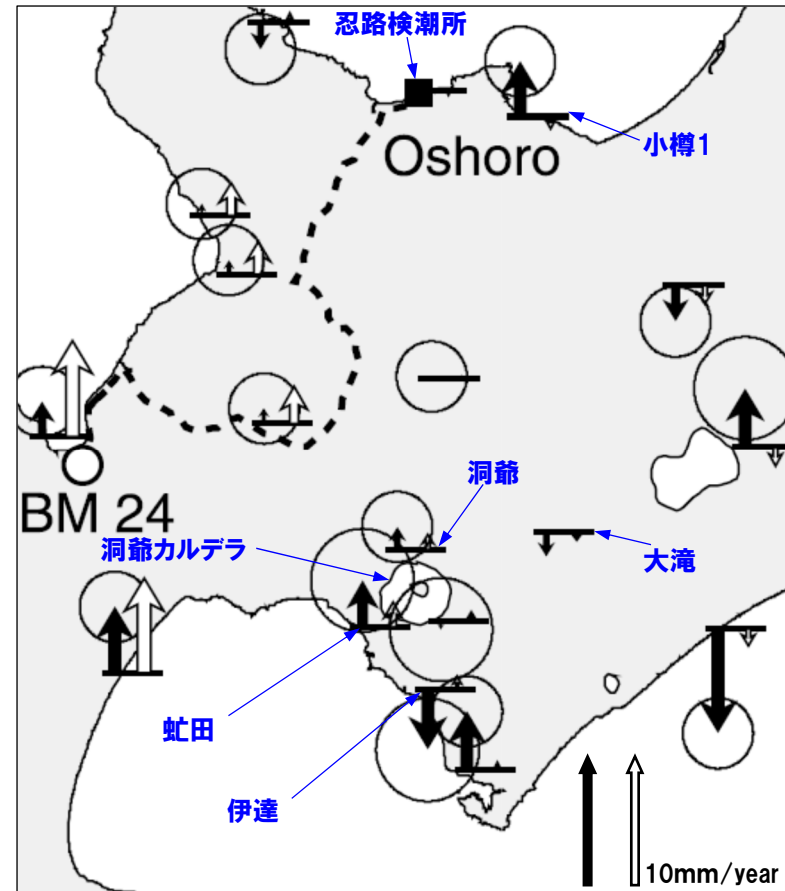
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/17)

再掲(R5/1/20審査会合)



■ : 観測値 (1995年1月から2000年9月)
 □ : 粘弾性緩和モデルによる計算値



洞爺カルデラ周辺拡大図

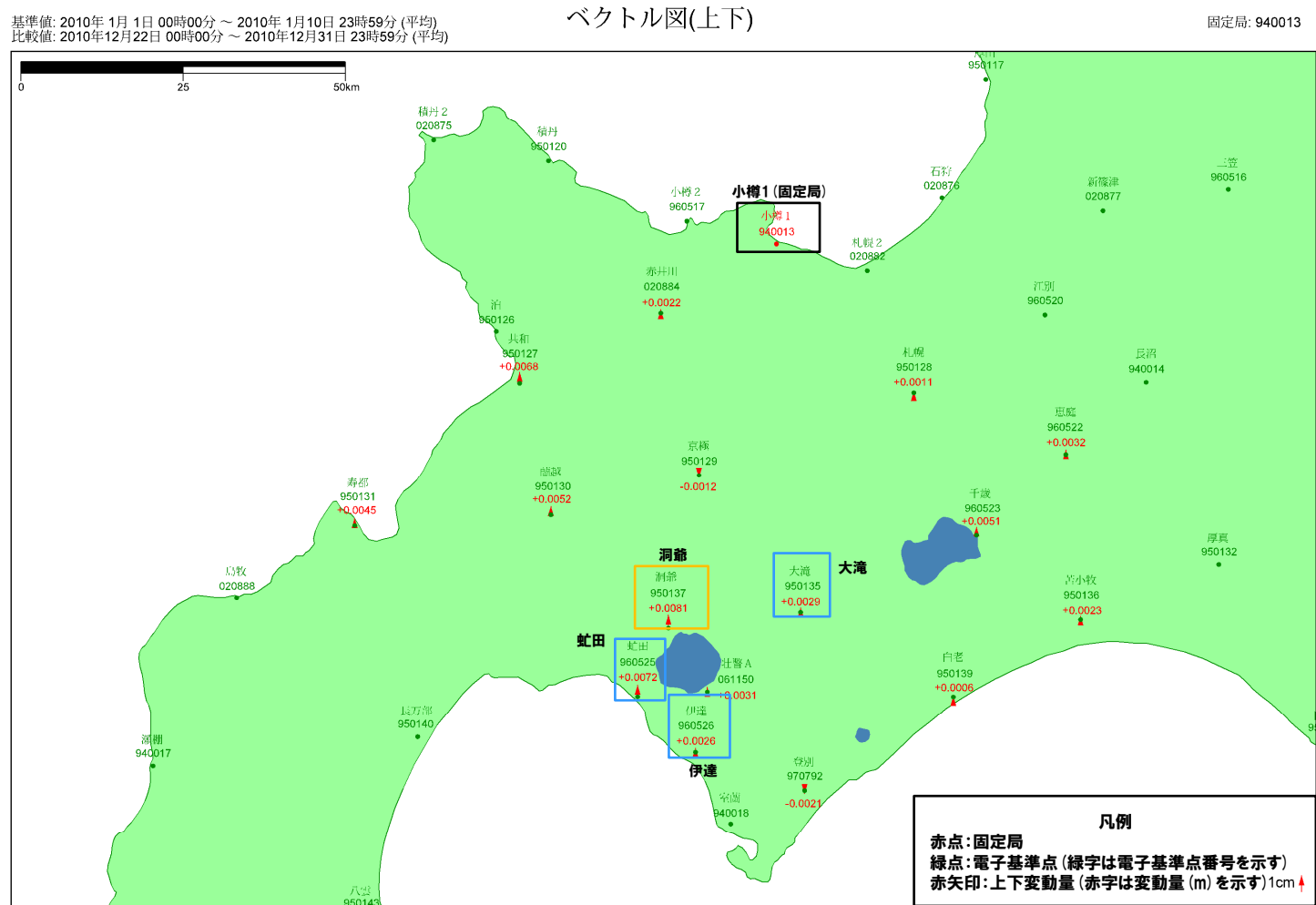
電子基準点及び奥尻検潮所の鉛直変位速度
 (Ueda et al. (2003) に加筆)

(4)巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/17)

一部修正(H25/11/13審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生前, 2010年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-洞爺間の+8.1mmである。



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号)平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2010年1月~2010年12月)

(4)巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(10/17)

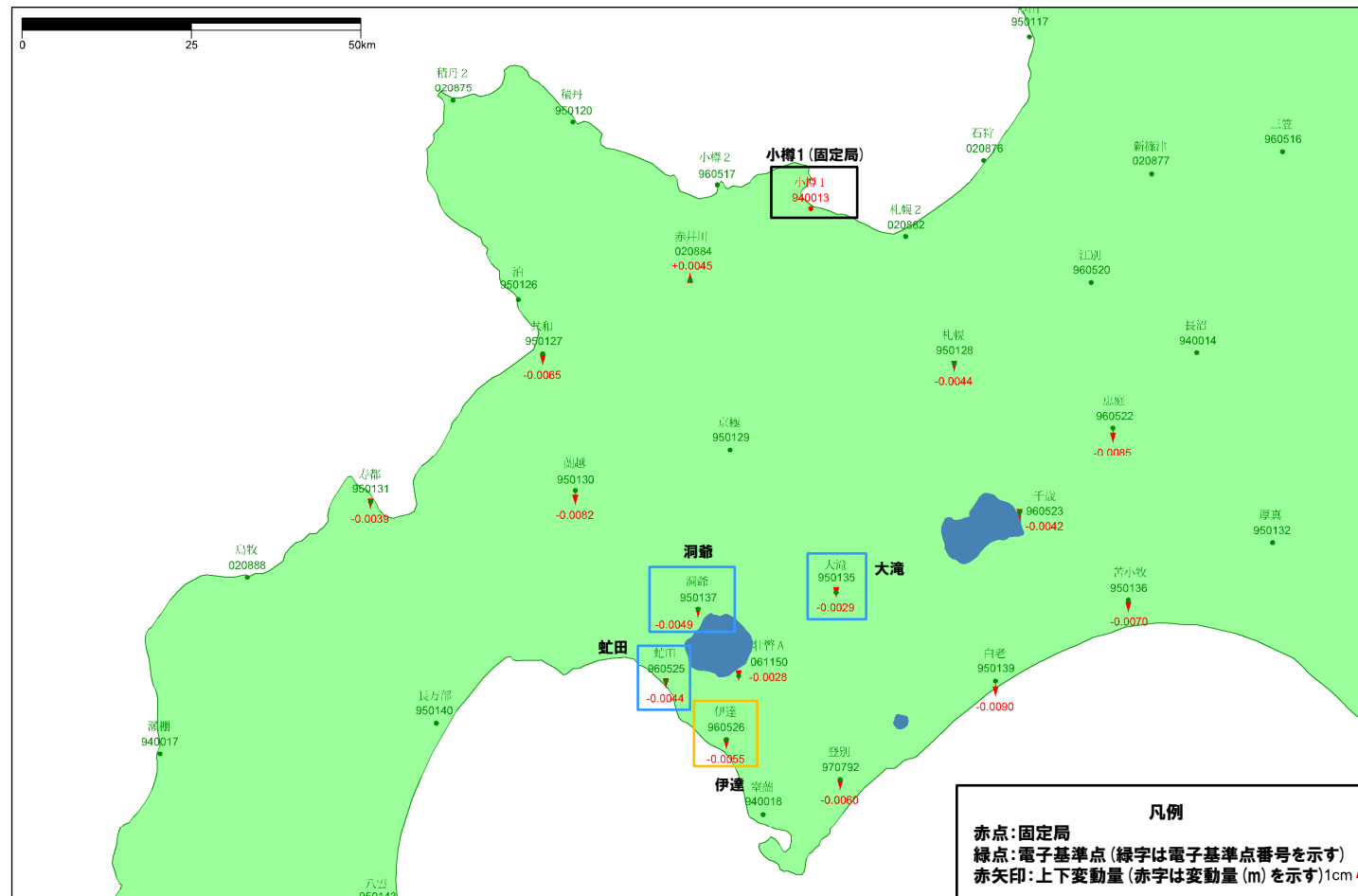
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-伊達間の-5.5mmである。

基準値: 2017年1月1日00時00分～2017年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2017年12月22日00時00分～2017年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
 (対象期間: 2017年1月～2017年12月)

(4)巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(11/17)

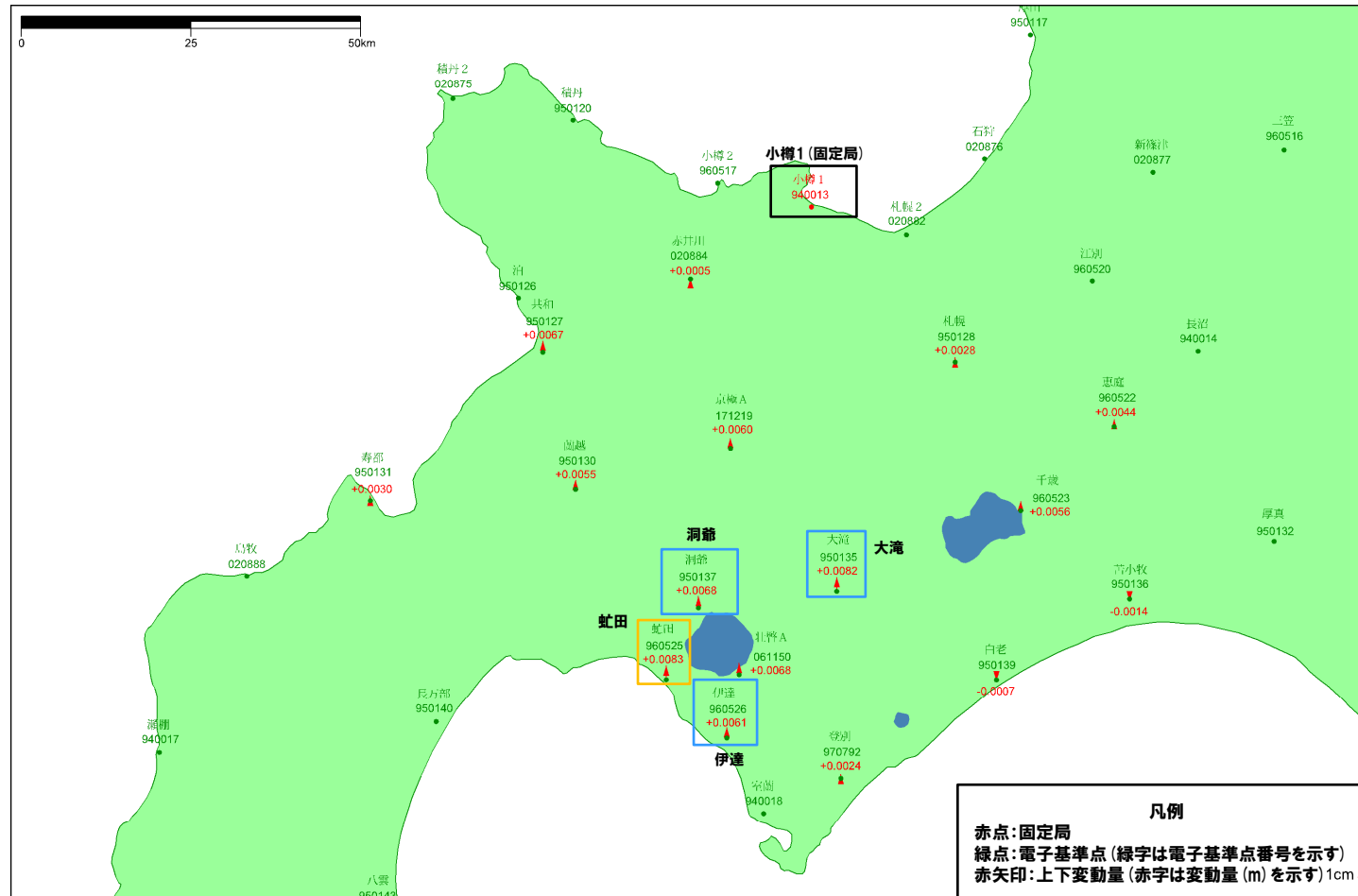
再掲(R5/1/20審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生後、2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-虻田間の+8.3mmである。

基準値: 2019年1月1日00時00分 ~ 2019年1月10日23時59分(平均)
 比較値: 2019年12月22日00時00分 ~ 2019年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
 (対象期間:2019年1月~2019年12月)

余白

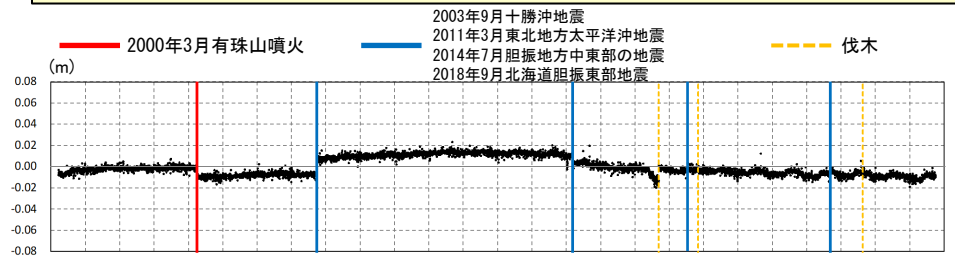
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(12/17)

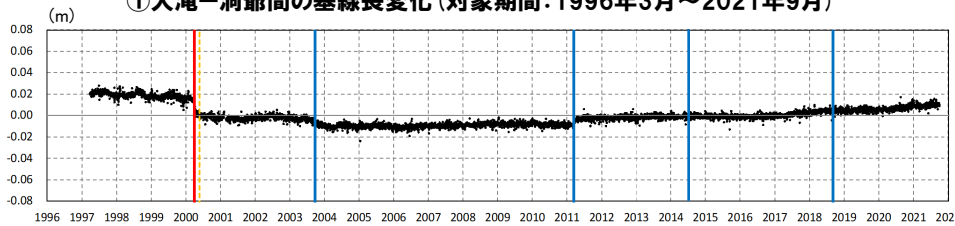
一部修正(H25/11/13審査会合)

【基線長変化】

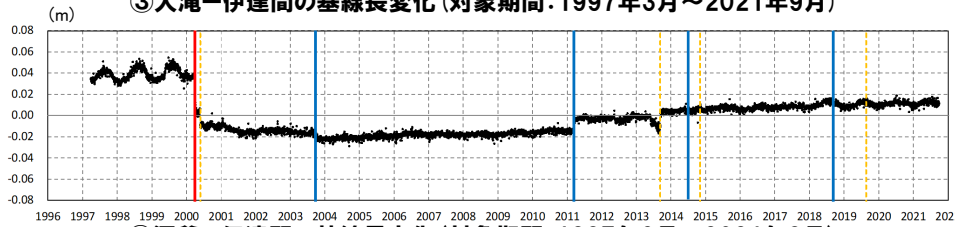
- 洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)を結んだ6基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 洞爺カルデラ付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が認められる。



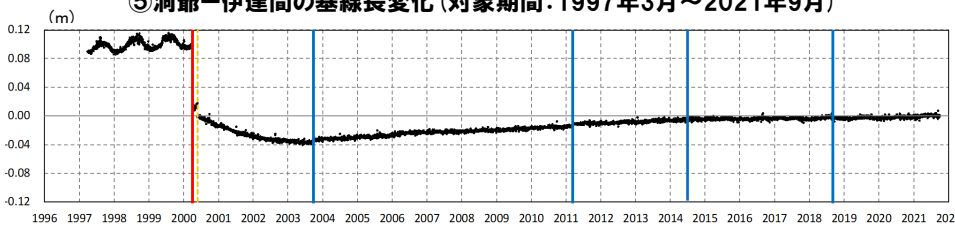
①大滝-洞爺間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



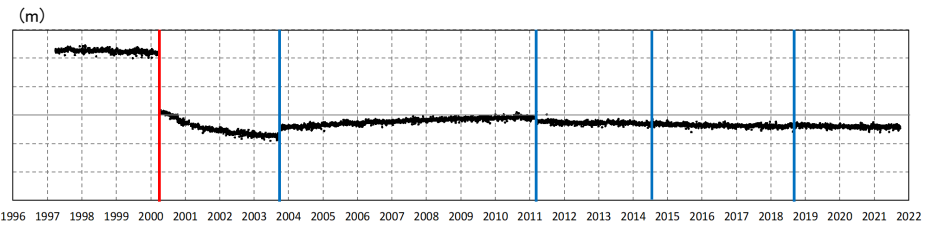
③大滝-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



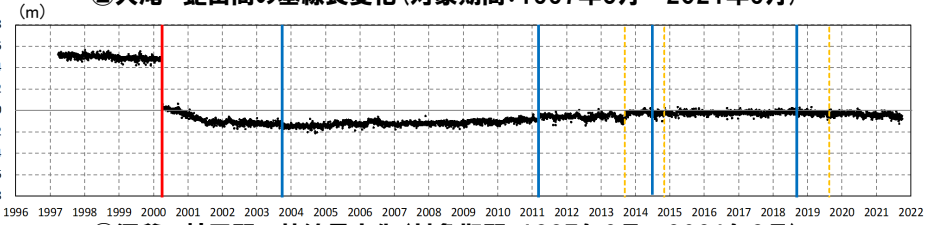
⑤洞爺-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



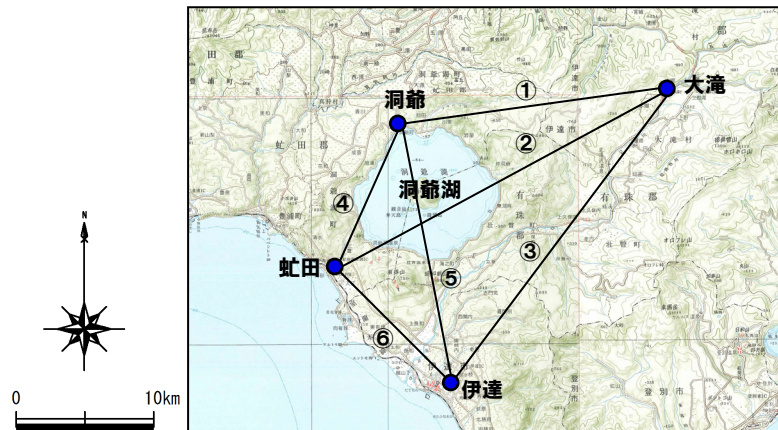
⑥虻田-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



②大滝-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



④洞爺-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



洞爺カルデラ付近電子基準点位置図

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

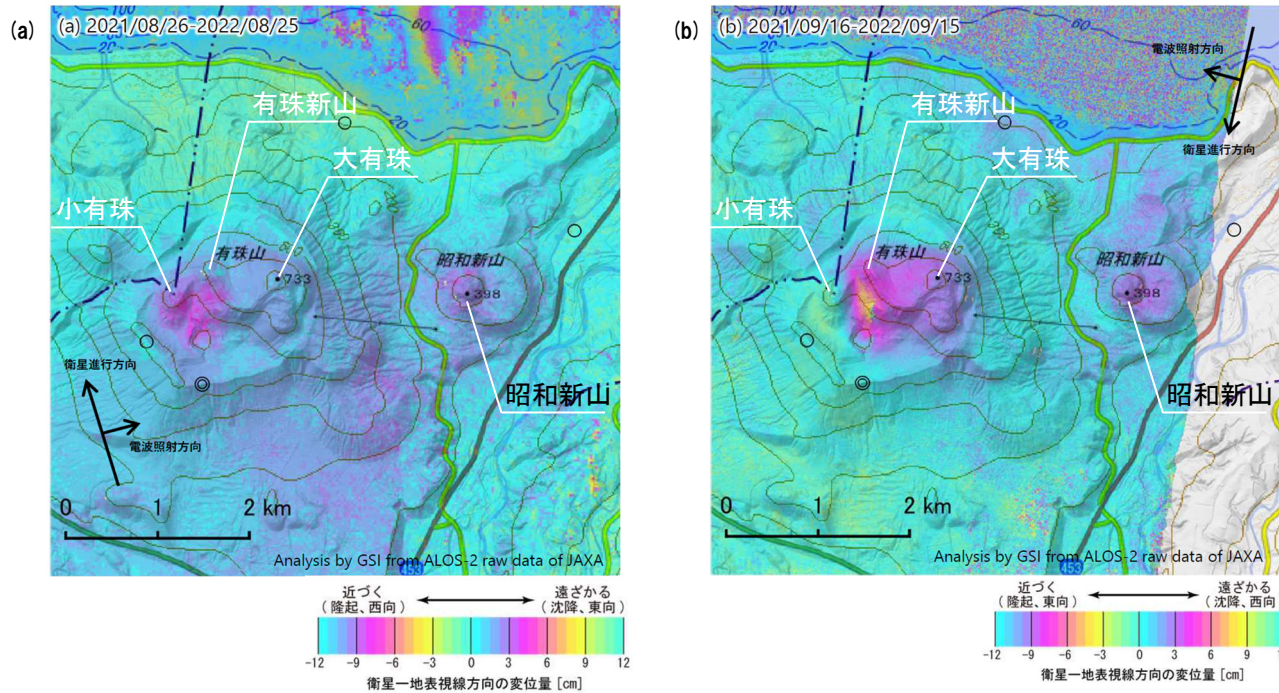
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(13/17)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【干渉SAR】

第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)

○有珠山周辺における“2021年8月～2022年8月(左図)”及び“2021年9月～2022年9月(右図)”の干渉SAR解析結果について、「有珠山の小有珠付近及び昭和新山の山頂付近に収縮とみられる衛星から遠ざかる変動が見られます」とされている。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2021/08/26 2022/08/25 23:26頃 (364日間)	2021/09/16 2022/09/15 11:41頃 (364日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	H-H	U-U
入射角	33.7°	41.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	- 205 m	+ 12m

* U: 高分解能(3m)モード
 H: 高分解能(6m)モード

有珠山周辺における干渉SAR解析結果(国土地理院)
 (気象庁(2022)に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(14/17)

再掲(R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

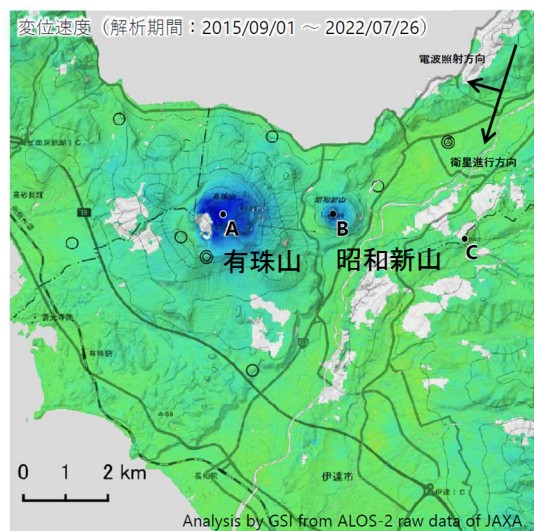
○第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)によると、「有珠山の地点A及び昭和新山の地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます」とされている。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

○2014年8月から2022年12月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2023)^{*}によれば、昭和新山を含む有珠山周辺に顕著な沈降傾向が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な地殻変動は認められない。

^{*} 国土地理院では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する衛星「だいち2号(ALOS-2)」のSARデータを使用し、地表変動の監視を行っている。2023年3月に日本全域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で公表した。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

有珠山の地点A及び昭和新山の地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます。

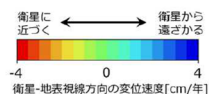


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/09/01 ~ 2022/07/26 (2520日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	31.8°
偏波	HH
データ数	20
干渉ペア数	41

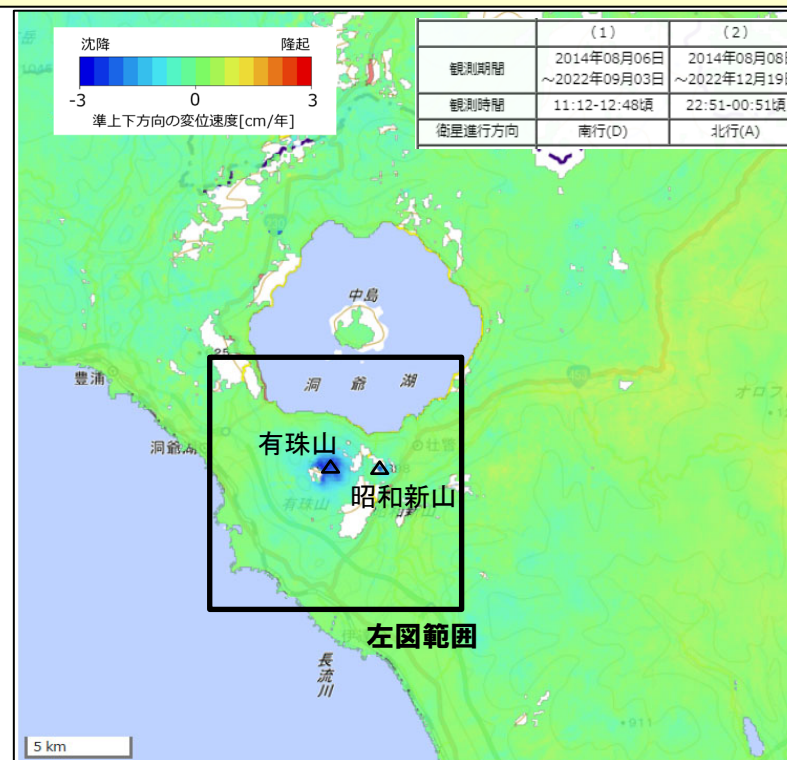
* U: 高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



有珠山周辺の干渉SAR時系列解析結果(衛星方向の変位速度, 南行)
(気象庁(2022)に加筆)



洞爺カルデラ周辺における2014-2022年間の
干渉SAR時系列解析結果(準上下成分の変位速度)(国土地理院(2023)に加筆)

○洞爺カルデラ周辺においては、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な地殻変動は認められない。

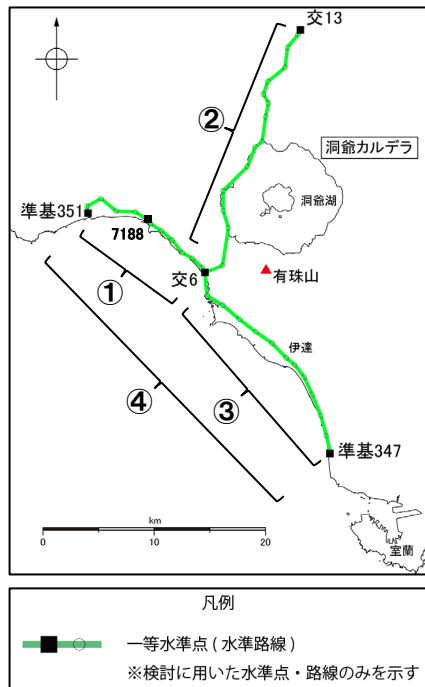
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(15/17)

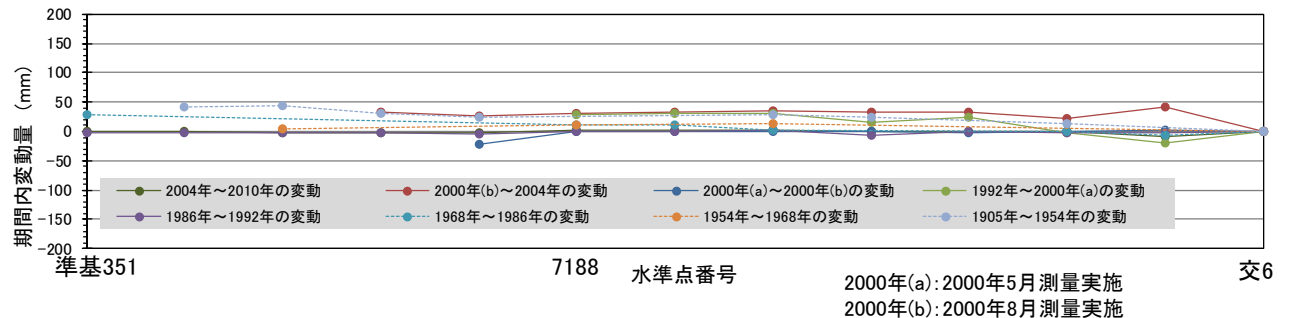
一部修正(R3/10/14審査会合)

【水準測量】

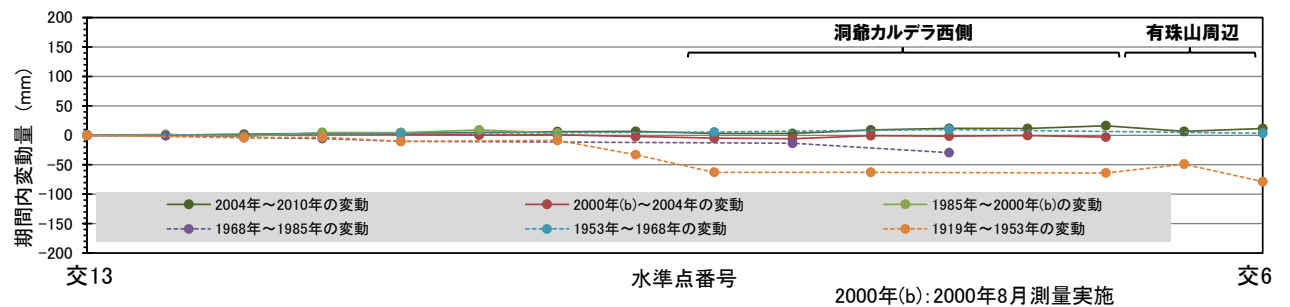
- 過去約100年間における洞爺カルデラ周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した。
- 洞爺カルデラ周辺のデータは「交6」を境に測量実施時期が異なるものが多いことから、左図に示す水準路線①、②及び③に分けて、データ数の多い「交6」又は「交13」を固定点とした変動量を示している。
- また、「交6」は有珠山に比較的近接し、有珠山の活動に伴う地殻変動の影響を受ける可能性があることから、データ数が少なくなるものの「交6」を越えて測量実施時期が同一なデータについて、有珠山から比較的離れた「7188」を固定点とした変動量をあわせて示した(次頁④参照)。
- 当該検測成果集録においては、2000年の有珠山噴火による有珠山周辺の局所的な変動が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



水準路線



① 水準路線(水準点番号:準基351-交6)沿いの期間内変動量(固定点:交6)

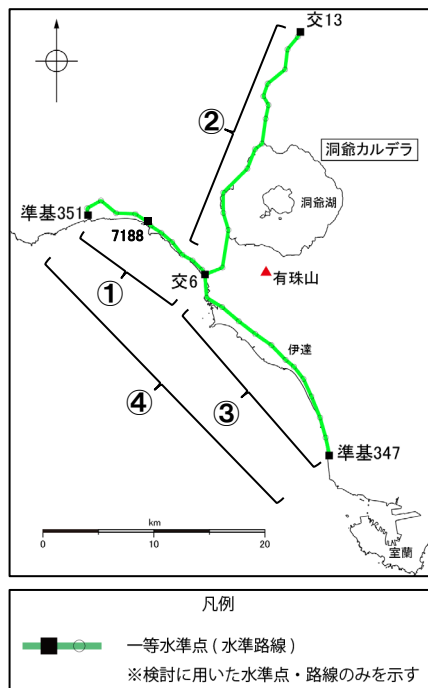


② 水準路線(水準点番号:交13-交6)沿いの期間内変動量(固定点:交13)

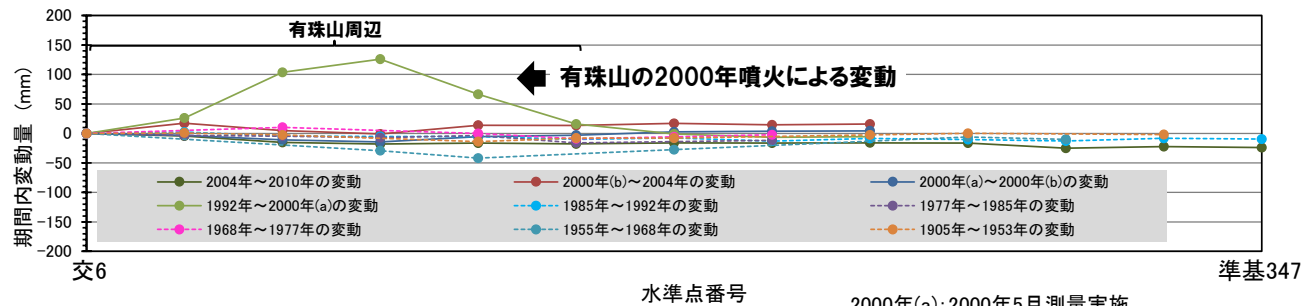
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(16/17)

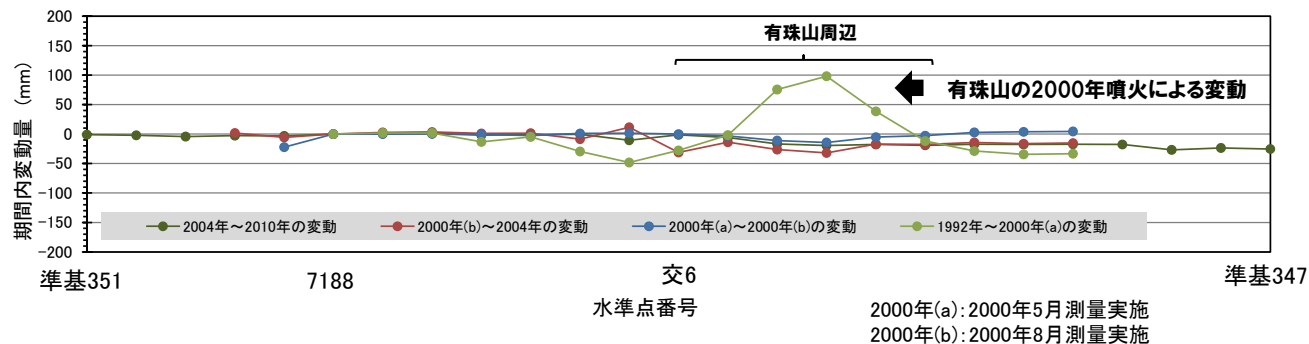
一部修正 (R3/10/14審査会合)



水準路線



③ 水準路線(水準点番号:交6-準基347)沿いの期間内変動量(固定点:交6)



④ 水準路線(水準点番号:準基351-7188-交6-準基347)沿いの期間内変動量(固定点:7188)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (17/17)

一部修正 (H25/12/18審査会合)

○地殻変動については、青木(2016)によれば、マグマだまりにマグマが注入されると、マグマだまりが増圧し山体は膨張するとされている。このため、地殻変動がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、洞爺カルデラ規模の地殻変動の状況を確認するため、電子基準点等のデータを整理した。

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

○洞爺カルデラ付近の上下変動は、各電子基準点設置以降、0~2cm/年程度の隆起傾向が概ね継続している。

○文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、洞爺カルデラ周辺の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。

○洞爺カルデラ付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。

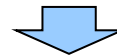
○2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【地殻変動(干渉SAR)】

○洞爺カルデラ周辺においては、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な地殻変動は認められない。

【地殻変動(水準測量)】

○国土地理院一等水準点検測成果集録においては、2000年の有珠山噴火による有珠山周辺の局所的な変動が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



○洞爺カルデラ周辺の地殻変動は、有珠山周辺の局所的な沈降傾向及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、洞爺カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

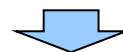
②-7 地球物理学的調査(まとめ)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

○洞爺カルデラ直下の上部地殻における巨大噴火*が可能な量のマグマ溜まりの有無及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動の有無に着目して、地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)を実施する。

洞爺カルデラにおける地球物理学的調査結果

【地下構造 (P192～P201参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
<p>○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。</p> <p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。</p>	<p>○当社電磁気探査結果及び文献(Goto and Danhara, 2018; Matsushima et al., 2001)に基づく、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。</p>	<p>○文献(和田ほか, 1988)に基づく、洞爺カルデラにおいては、カルデラ中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低異常域が認められる。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○地下構造に関する調査の結果、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火*が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。</p>
【火山性地震 (P202～P208参照)】		【地殻変動 (P209～P226参照)】	
<p>○火山性地震のうち、低周波地震活動は、有珠山周辺の下部地殻に認められるが、上部地殻にはほとんど認められない。</p>		<p>○洞爺カルデラ周辺の地殻変動は、有珠山周辺の局所的な沈降傾向及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、洞爺カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。</p>	



○地球物理学的調査の結果、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。

※原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされている。