

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

① 巨大噴火の可能性評価方法(1/2)

- 過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラについて、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を行う。
- 評価に当たっては、支笏カルデラの噴火履歴、噴出物体積等を整理し、評価方法について検討する。
- 支笏カルデラ、恵庭岳、風不死岳及び樽前山の噴火履歴、噴出物体積等を次頁に示す。
- 噴火履歴、噴出物体積等については、P15に示すカタログ等に加え、支笏カルデラを含む支笏-洞爺火山地域の噴火履歴をまとめているAmma-Miyasaka et al. (2020) 及び関連する文献を参照した。



- 支笏カルデラにおいて約4万年前にSp-1(支笏第1降下軽石(Spfa-1)及び支笏火砕流(Spfl))を噴出した噴火は、噴出物体積が80km³(火砕流, DRE)及び40~48km³(降下軽石, DRE)とされ、火砕流堆積物が広範囲に分布することから(P36~P37参照)、巨大噴火に該当する。
 - 61kaにSp-4(Ssfa及びSsfl)を噴出した噴火は、噴出規模がVEI6とされているものの、火砕流の規模及び分布が不明である。
 - 約4万年前にSp-1を噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、いずれの噴火も噴出物体積が6.28km³(DRE)以下又は全噴出物を一括した噴出物体積が11.1km³(DRE)以下であることから、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
 - このため、支笏カルデラにおいて巨大噴火に該当する噴火は、約4万年前にSp-1を噴出した噴火のみと解釈し、巨大噴火の可能性評価を実施することとした。
 - この場合、支笏カルデラの巨大噴火は1回であり、巨大噴火の活動間隔、最後の巨大噴火からの経過時間等の活動履歴の観点から巨大噴火の可能性を評価することはできない。
 - したがって、巨大噴火の可能性については、以下の地球物理学的調査の結果から、現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態にあるかどうか及び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が得られるかどうかにより評価する。
- 【地球物理学的調査】
- ・火山性地震(P100~P104参照)
 - ・地殻変動(P105~P115参照)
 - ・地下構造(地震波速度構造(P116~P117参照)、比抵抗構造(P119~P122参照)及び重力異常(P123参照))

支笏カルデラの概要

火山名 ^{*1}	C11 支笏カルデラ(後カルデラ火山含む) C12 恵庭岳 C13 風不死岳 C14 樽前山
敷地からの距離	74.8km (恵庭岳:68.6km, 風不死岳:77.7km, 樽前山:80.2km)
火山の形式 ^{*2}	支笏カルデラ:火砕流台地-カルデラ 恵庭岳:成層火山, 火砕丘, 溶岩ドーム 風不死岳:成層火山, 溶岩ドーム 樽前山:火砕丘, 溶岩ドーム
活動年代 ^{*2}	支笏カルデラ:5-4万年前にカルデラ形成 恵庭岳:約1万5000年前にはある程度 の山体が形成されていた 風不死岳:支笏カルデラ形成後に活動 (4万年前以降)。大部分は恵 庭火山より古い。最新のマグ マ噴火は8500年前, 水蒸気 噴火は4500年前 樽前山:約9000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)」2021年12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」2021年12月確認。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

① 巨大噴火の可能性評価方法(2/2)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

支笏カルデラ活動履歴^{※3}

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km ³)	火山体体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			山元 (2014) 金田ほか (2020) Amma-Miyasaka et al. (2020)
	更新世			
	43.8-41.4ka	Sp-1 (Spfa-1, Spfl) : ps, pfa, pfl 40~48 (降下軽石) 80 (火砕流)		
	ca.55ka	Sp-2 (Spfa-5) : pfa 1.2	-	
	ca.59ka	Sp-3 (Spfa-6) : pfa		
	ca.61ka	Sp-4 (Ssfa, Ssfl) : pfa, afa, sfa, sfl VEI6 ^{※4} smaller than VEI5 class ^{※4}		
	ca.85ka	Sp-5 : pfa, afa		

樽前山活動履歴

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km ³)	火山体体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)
	A.D.1900以後	19世紀以降噴火 (水蒸気爆発)		
	A.D.1909	明治42年新山	0.02	
	A.D.1883	溶岩流	0.00001	
	A.D.1874	1874fl, Ta-1874	0.20	
	A.D.1867	溶岩ドーム	(6.28に包含)	
	A.D.1804-1817	Ta-1804-1817	0.03	
	A.D.1739	Ta-a	1.60	
	A.D.1667	Ta-b	1.10	
	2.0ka	Ta-c3	0.03	
	2.5ka	Ta-c2	1.40	
	2.5ka	Ta-c1	0.14	
	8.950ka	Ta-d	1.40	
	8.95-0.146ka	溶岩ドーム	6.28	

恵庭岳活動履歴

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km ³)	火山体体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)
	0.254-0.505ka	水蒸気爆発 オコタン岩屑流 ポロピナイ岩屑流 オコタンベ湖溶岩 溶岩	11.1	
	2.04ka		5.7	
	9.52ka			
	更新世			
	15.62ka 18.21ka 18.21ka	丸駒温泉溶岩等 En-a 火山体構成溶岩類		

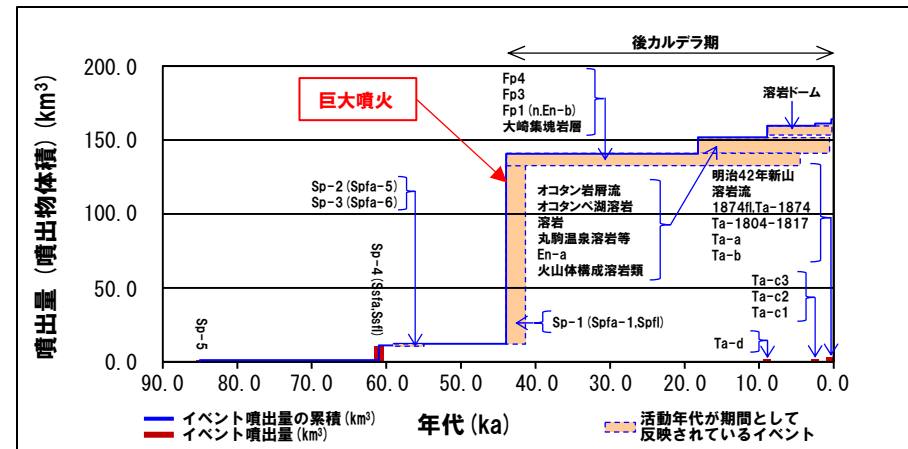
風不死岳活動履歴

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km ³)	火山体体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)
	4.475ka	Fp4		
	8.465ka	Fp3		
	不明	Fp2		
	更新世			
	25.5ka	Fp1 (n, En-b)	8.4	
	不明	第3期溶岩	5.7	
	不明	諸畑の沢溶結凝灰岩		
	不明	第2期溶岩		
	不明	第1期溶岩		
	不明	金次郎沢集塊岩層		
	43.96ka	大崎集塊岩層		

※3 R3.10.14審査会合資料では、山元 (2014) に基づき作成した活動履歴を示していたが、今回、より新しい知見である金田ほか (2020) 及びAmma-Miyasaka et al. (2020) に基づき見直した。

※4 Amma-Miyasaka et al. (2020) によれば、Sp-4及びSp-5の噴出規模は、それぞれ概算として「VEI6」及び「smaller than 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、噴出物体積 (DRE) を以下のとおり図示している。

- ・Sp-4: 10km³
- ・Sp-5: 1km³



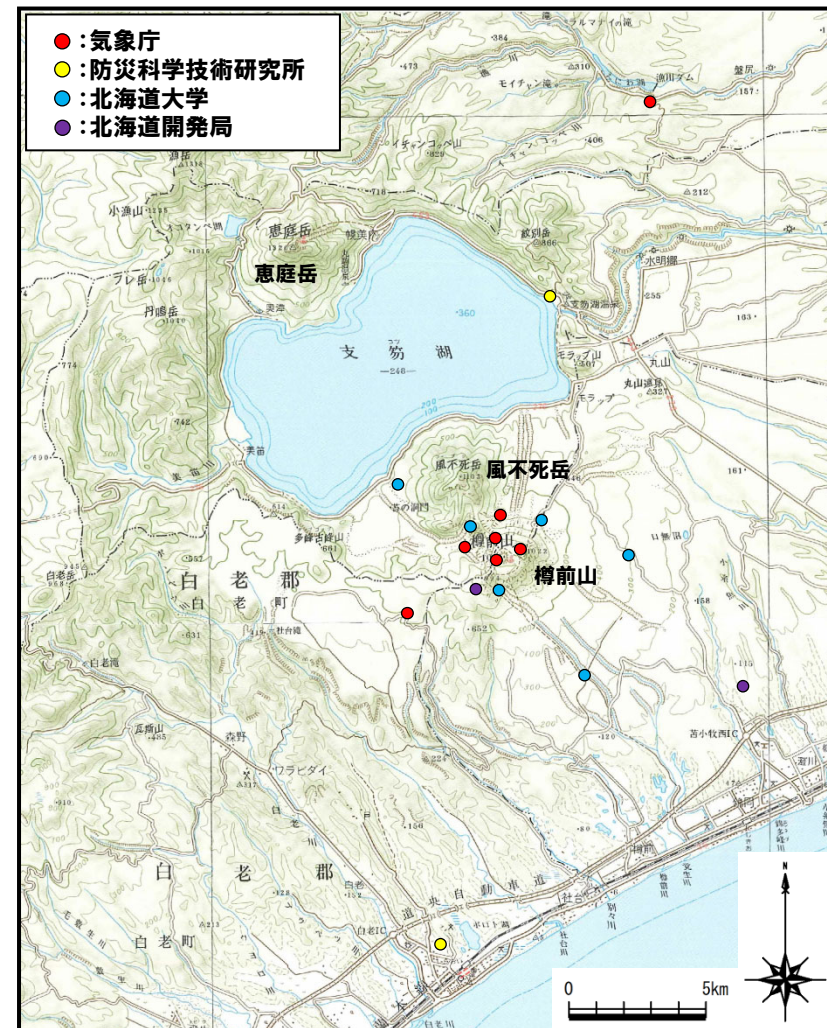
噴出量-年代階段ダイアグラム

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-1 火山性地震(気象庁編, 2013) (1/2)

一部修正(H25/11/13審査会合)

- 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。



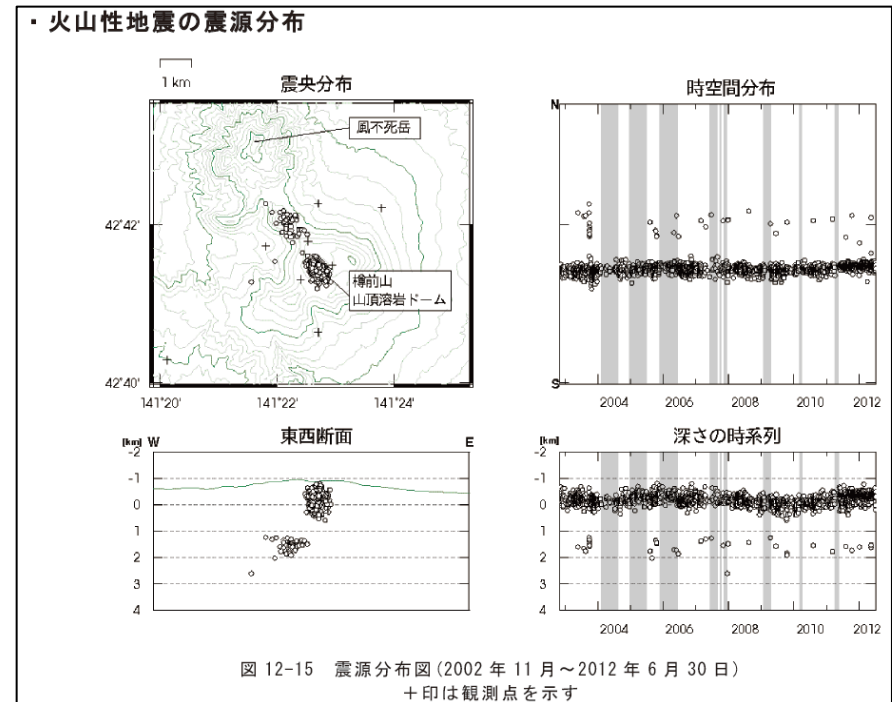
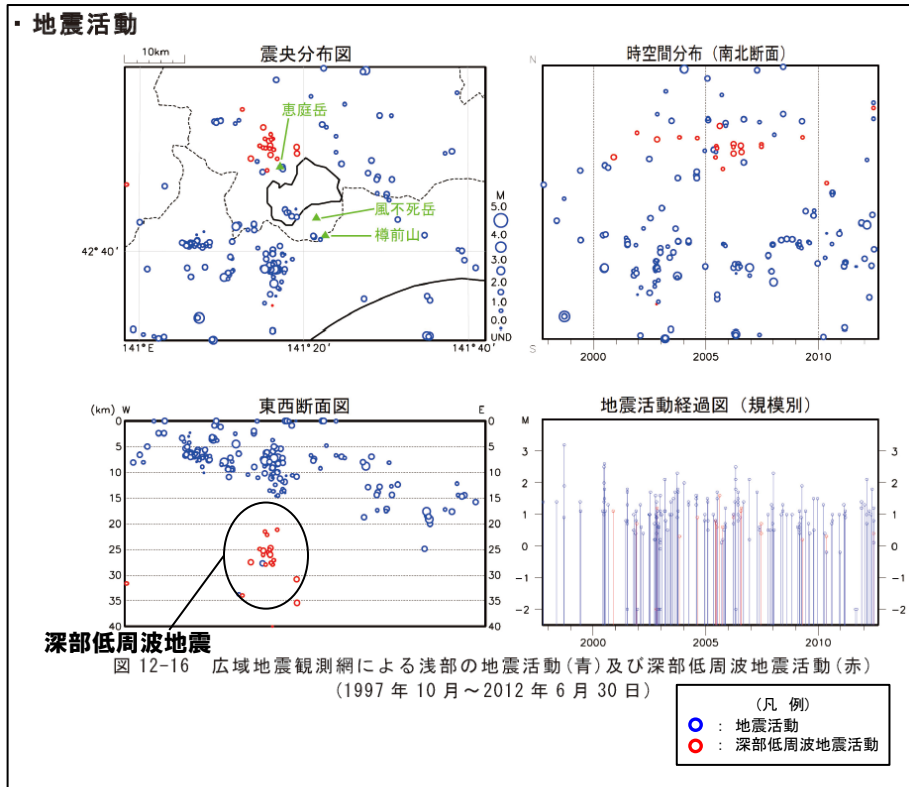
支笏カルデラ周辺の地震計位置図
(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-1 火山性地震(気象庁編, 2013) (2/2)

一部修正 (H25/11/13審査会合)

- 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。
- 浅部の地震活動は、樽前山周辺に認められるが、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 深部低周波地震活動は、恵庭岳周辺に認められるが、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)」)

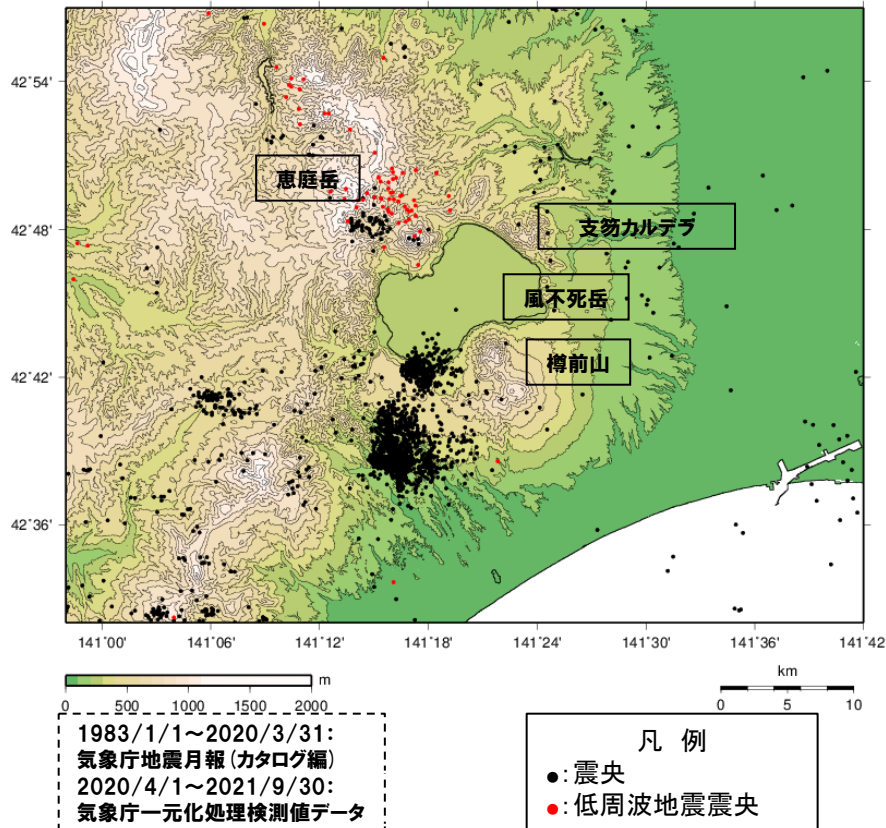
支笏カルデラ周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 火山性地震(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)

一部修正(R3/10/14審査会合)

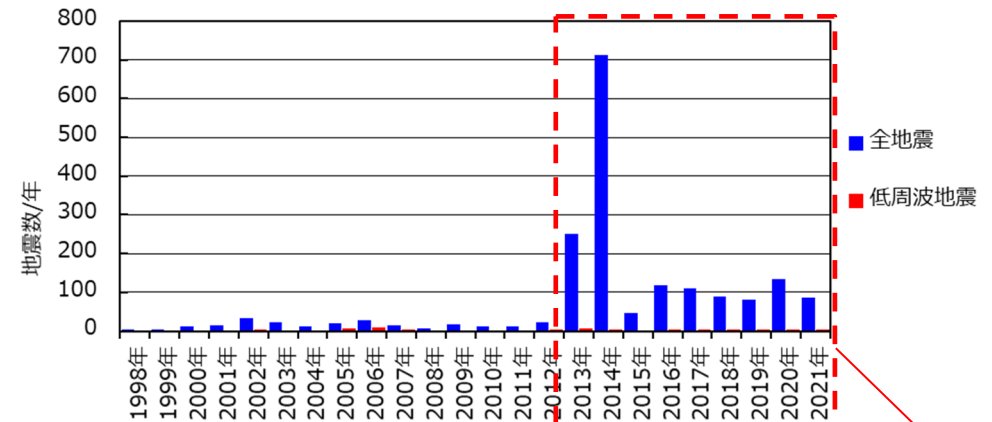
- 過去約40年間(1983年1月～2021年9月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を使用した。
- 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は2013年及び2014年に増加傾向が認められるが、その後減少し、地震活動は低調に経過している(下図及び次頁参照)。
- 低周波地震の発生は少なく、近年発生数が増加しているような傾向は認められない。



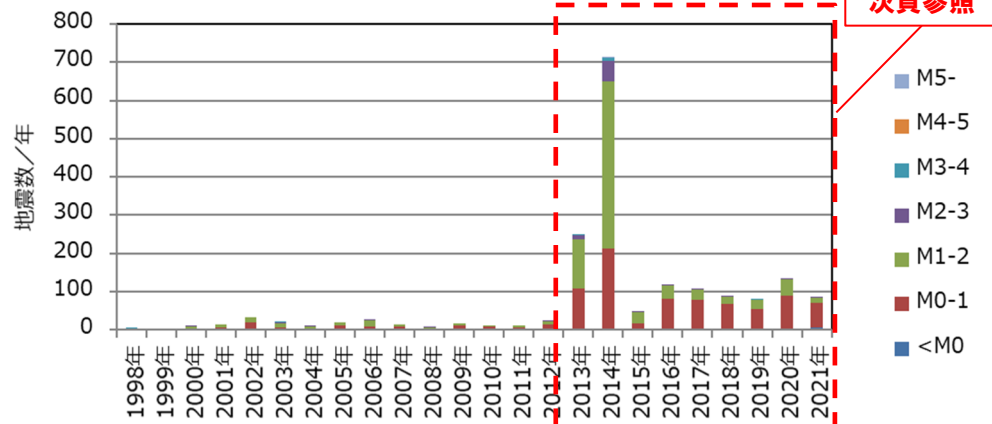
支笏カルデラ周辺の震央分布図※1

(1983年1月1日～2021年9月30日の記録、深さ40km以浅)

※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。



次頁参照



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

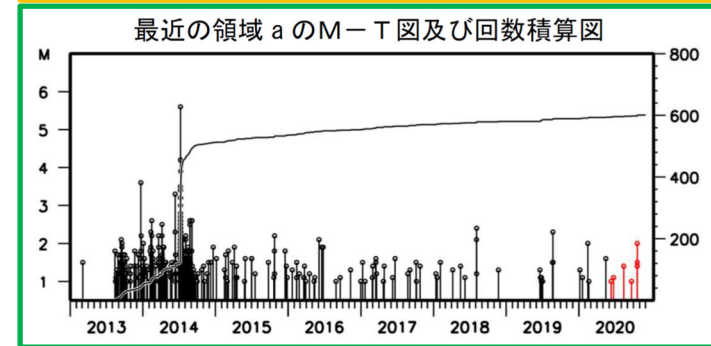
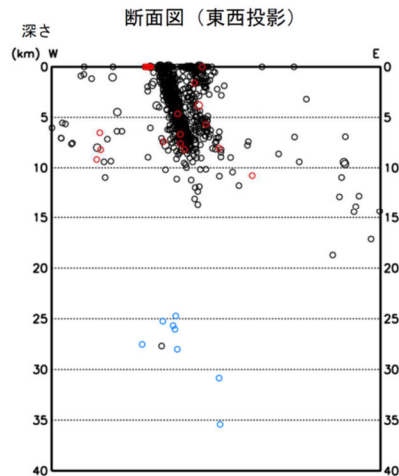
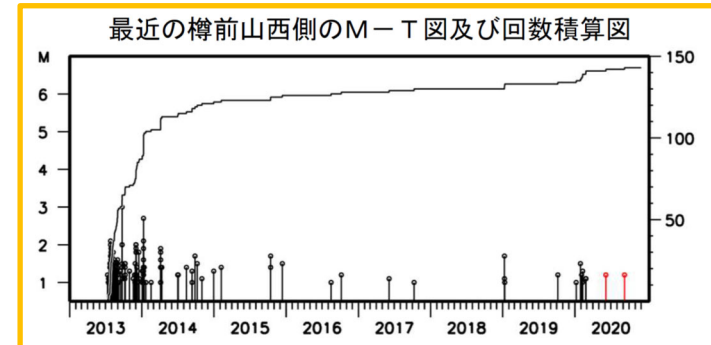
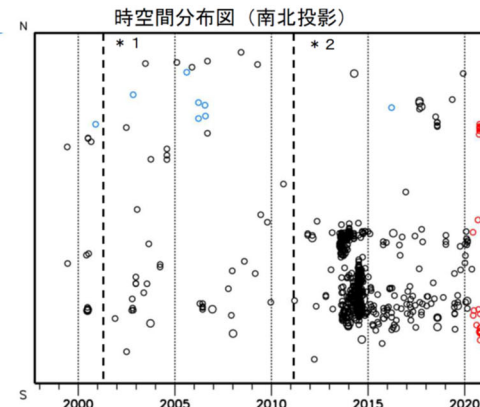
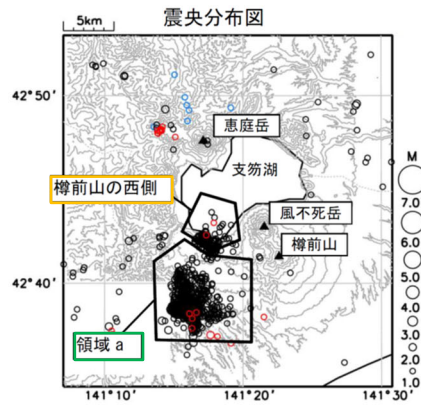
※2 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-3 火山性地震(気象庁, 2020)

再掲(R3/10/14審査会合)

○「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020)では、樽前山について、一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動について示している。
 ○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、2013年及び2014年に増加傾向が認められるが、その後減少し、地震活動は低調に経過している。



凡例

- : 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。

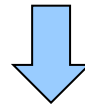
樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (1997年10月1日~2020年11月30日, M \geq 1.0, 深さ40km以浅) (気象庁(2020)に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-4 火山性地震(まとめ)

再掲(R3/10/14審査会合)

- 支笏カルデラ周辺の地震活動について文献調査を行った。
- 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)」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)について検討した。
- 調査・検討の結果は以下のとおり。
 - ・浅部の地震活動及び深部低周波地震活動は、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・支笏カルデラ周辺の地震活動は、カルデラ南方の樽前山周辺に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2013年及び2014年に増加傾向が認められるが、その後減少し、現在、地震活動は低調に経過している。



- 地震活動は、支笏カルデラ域での広域的なものではなく、樽前山及び恵庭岳周辺に認められ、支笏カルデラの現在の活動期が後カルデラ期であることと調和的である。

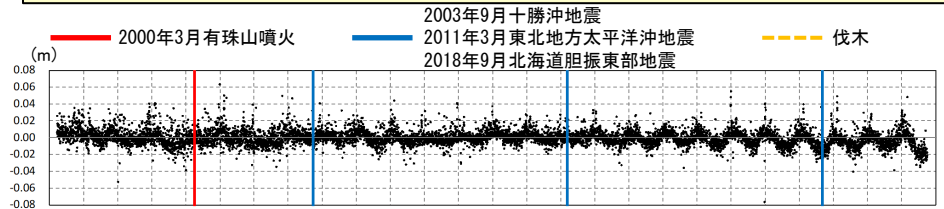
2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-1 地殻変動(上下変動)(1/5)

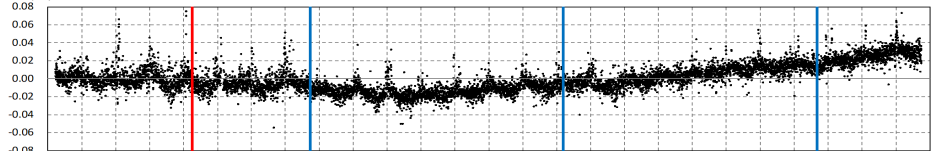
一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 国土地理院の電子基準点データを用いて、支笏カルデラ周辺の地殻変動について解析を行った。
- 支笏カルデラ周辺の6基準点※(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。
- 各基準点とも、年間上下変動量に大きな変動はなく、顕著な隆起や沈降の傾向は認められない。
- 次頁～P109に、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前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を示す。

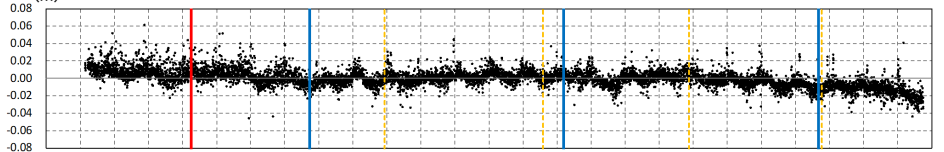
※支笏カルデラ周辺の6基準点(札幌、大滝、恵庭、白老、苫小牧及び千歳)の位置は次頁参照。



小樽1-札幌間の比高変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



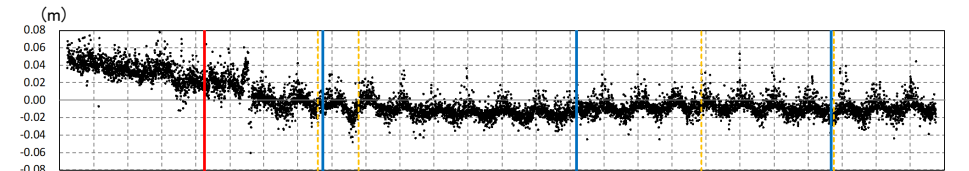
小樽1-恵庭間の比高変化(対象期間:1997年2月~2021年9月)

年間上下変動量 (cm) (固定局:小樽1)

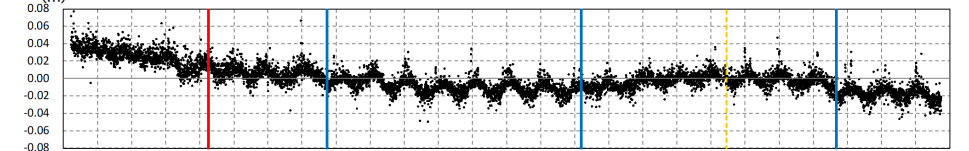
	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
札幌	-0.42	+0.26	-0.51	+2.24	-1.03	+0.69	+0.16	+0.14	-0.43	-1.43	-0.51	+0.92
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38
恵庭	-	-0.00	-0.15	-0.43	+0.10	+0.40	-0.58	+0.31	-0.40	-1.38	+0.18	+0.75
白老	-0.56	-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	-0.69	+0.31	+0.29	+1.44	-0.44	-0.44	+0.02	+0.28	+0.71
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
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	+0.56	+1.04

↑ 東北地方太平洋沖地震発生

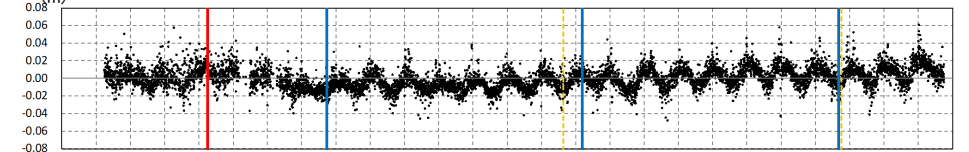
↑ 北海道胆振東部地震発生



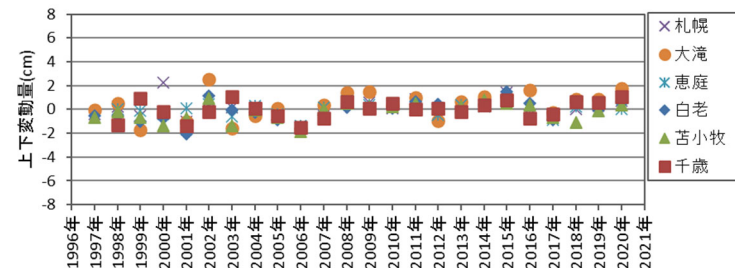
小樽1-白老間の比高変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



小樽1-苫小牧間の比高変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



小樽1-千歳間の比高変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



年間上下変動量のグラフ

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-1 地殻変動(上下変動) (2/5)

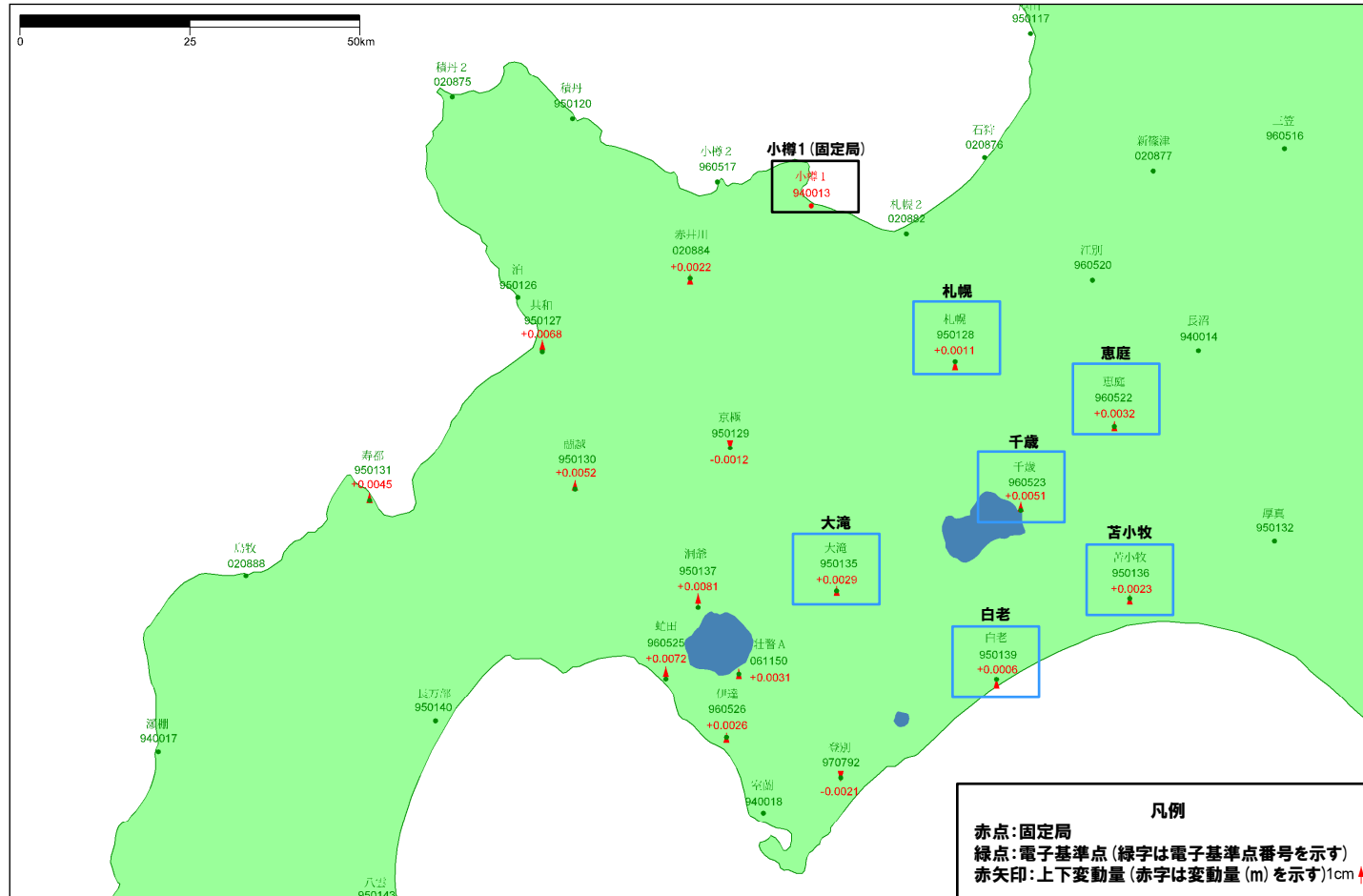
一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生前, 2010年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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: 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)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

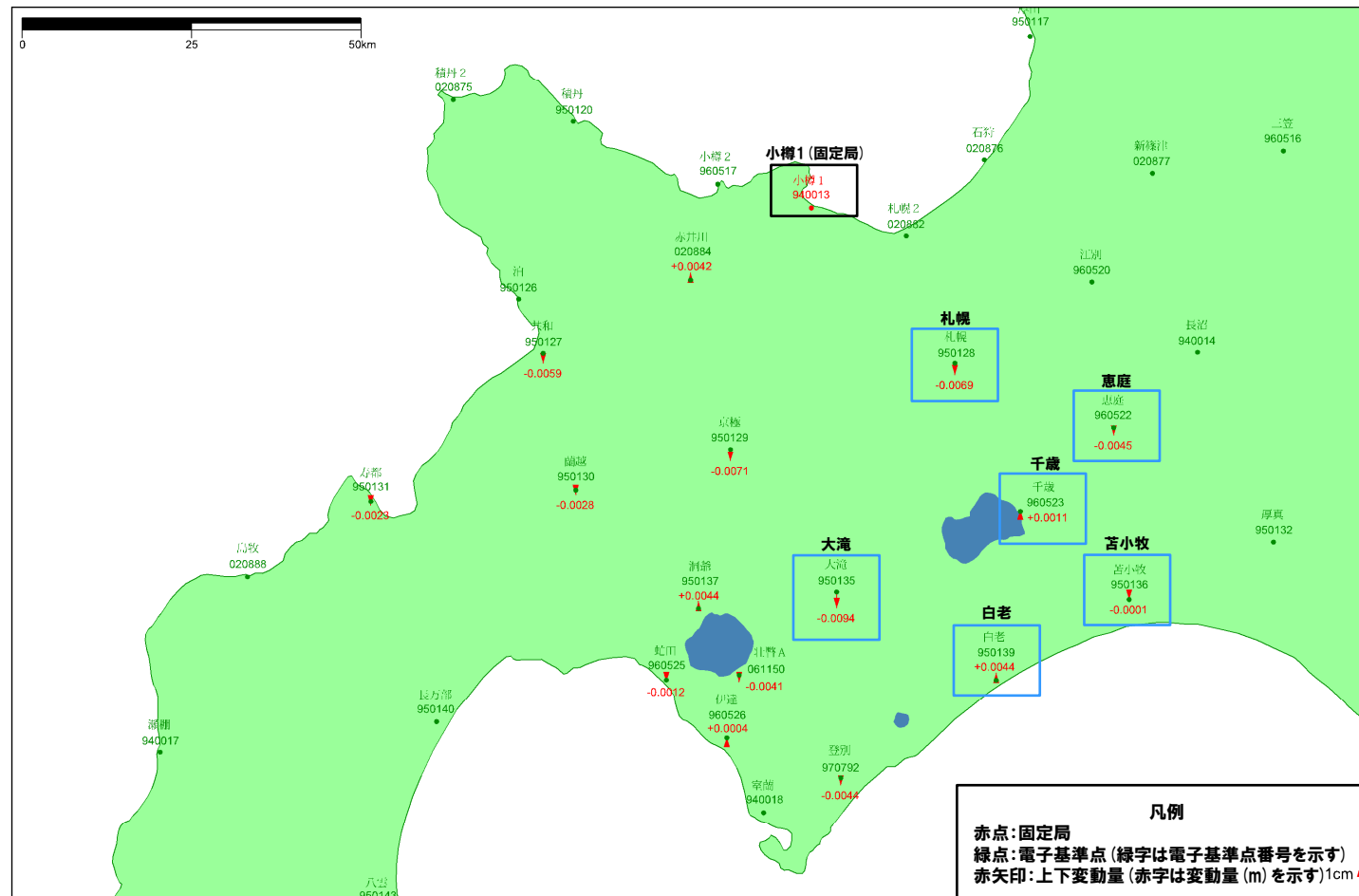
③-1 地殻変動(上下変動) (3/5)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2012年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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業使、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)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-1 地殻変動(上下変動) (4/5)

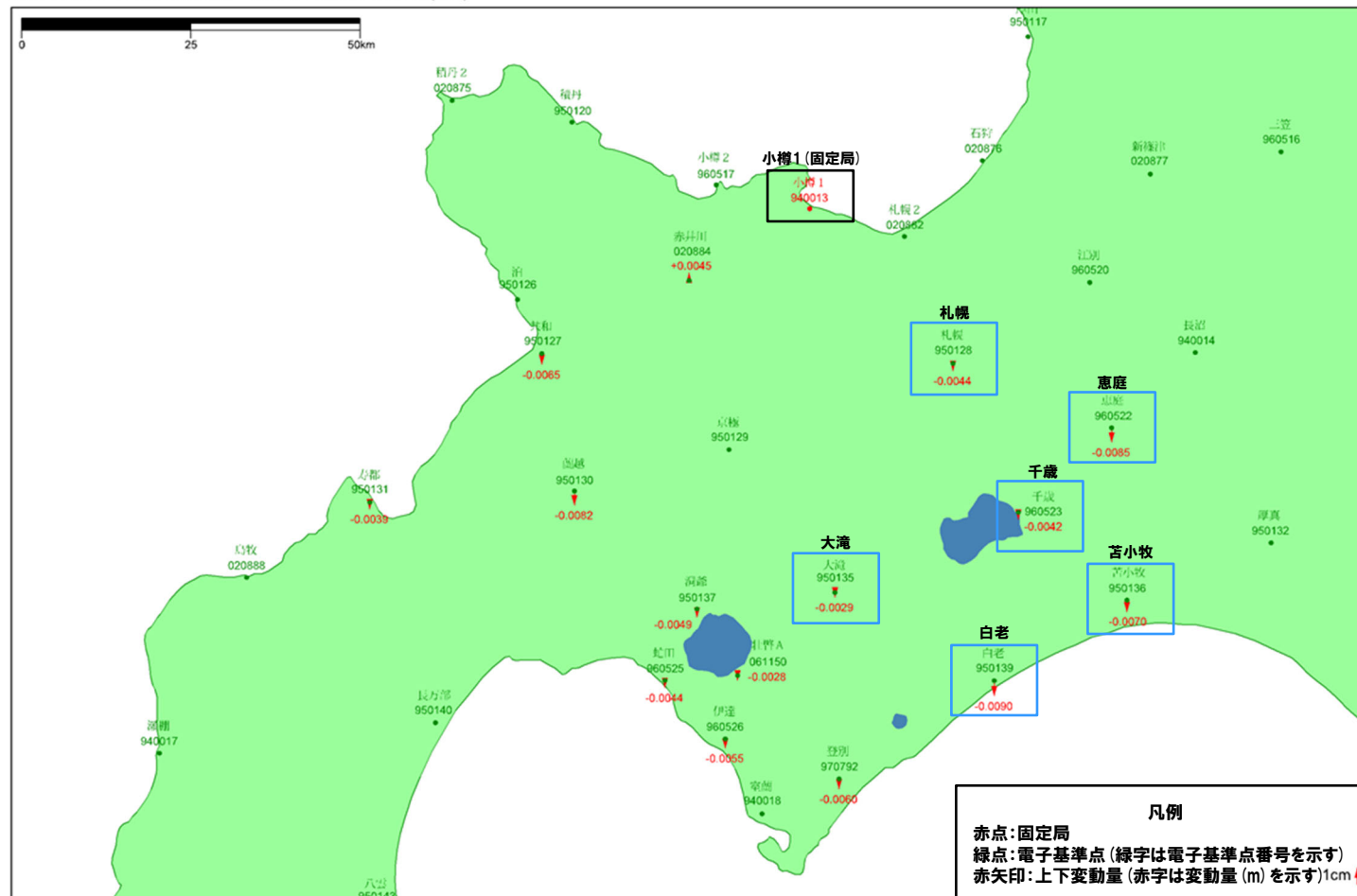
一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2017年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

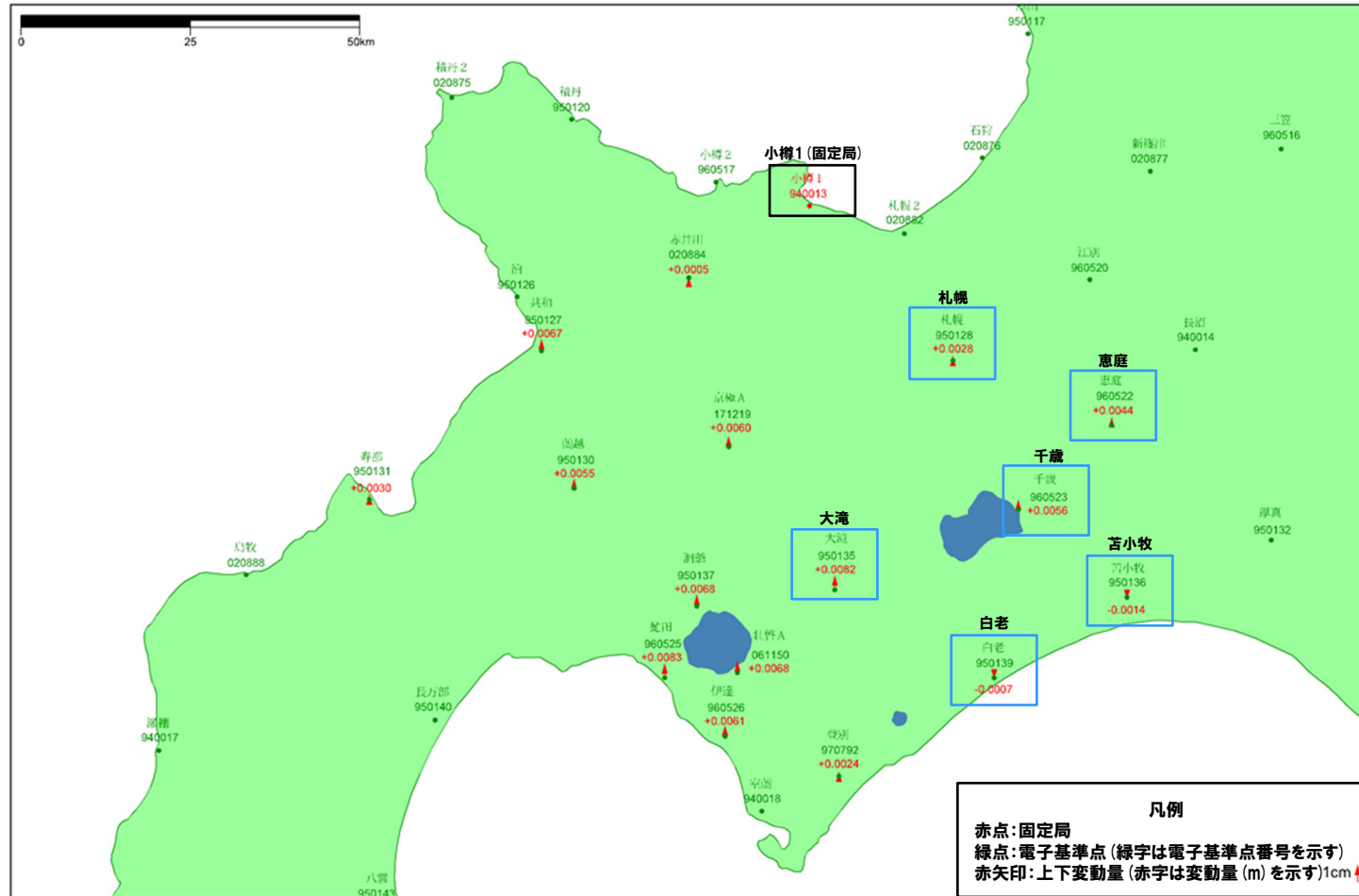
③-1 地殻変動(上下変動) (5/5)

- 東北地方太平洋沖地震発生後、2019年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても、支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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

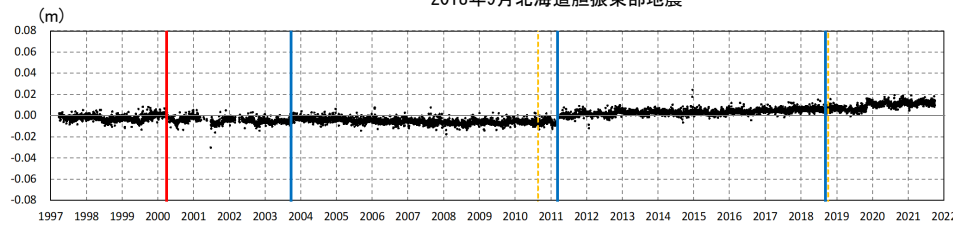
2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-2 地殻変動(基線長変化)

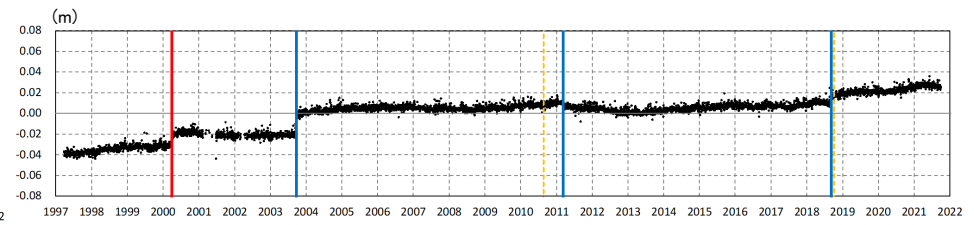
一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 支笏カルデラ周辺の6観測点(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。
- 東北地方太平洋沖地震発生前後等で一部不連続が認められるものの, 対象期間において変化は緩やかであり, 顕著な膨張や収縮は認められない。

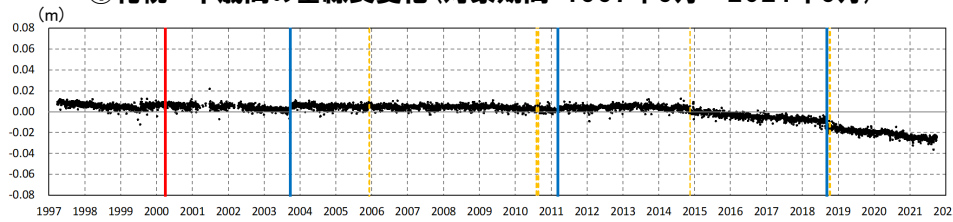
— 2000年3月有珠山噴火
 — 2003年9月十勝沖地震
 - - - 伐木
— 2011年3月東北地方太平洋沖地震
 — 2018年9月北海道胆振東部地震



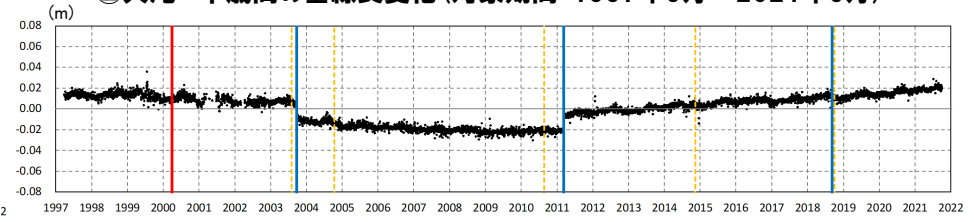
①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



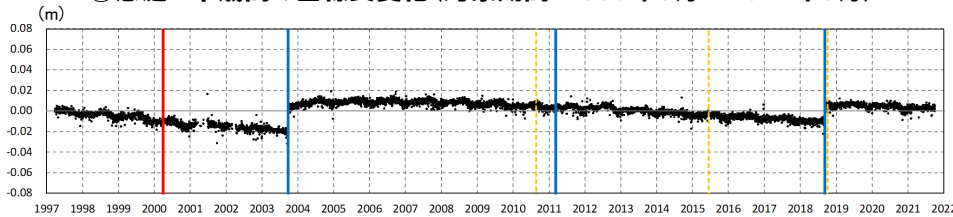
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



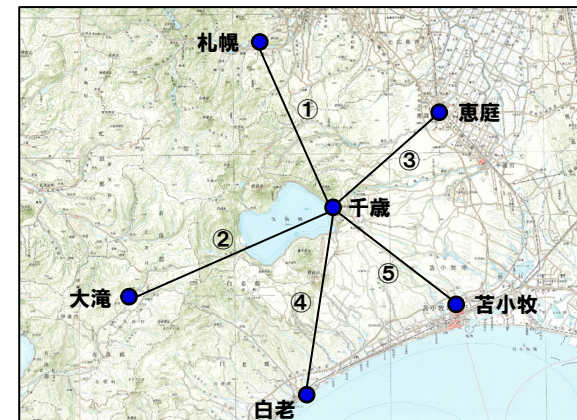
③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



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)



支笏カルデラ周辺観測点位置図

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-3 地殻変動(干渉SAR) (1/2)

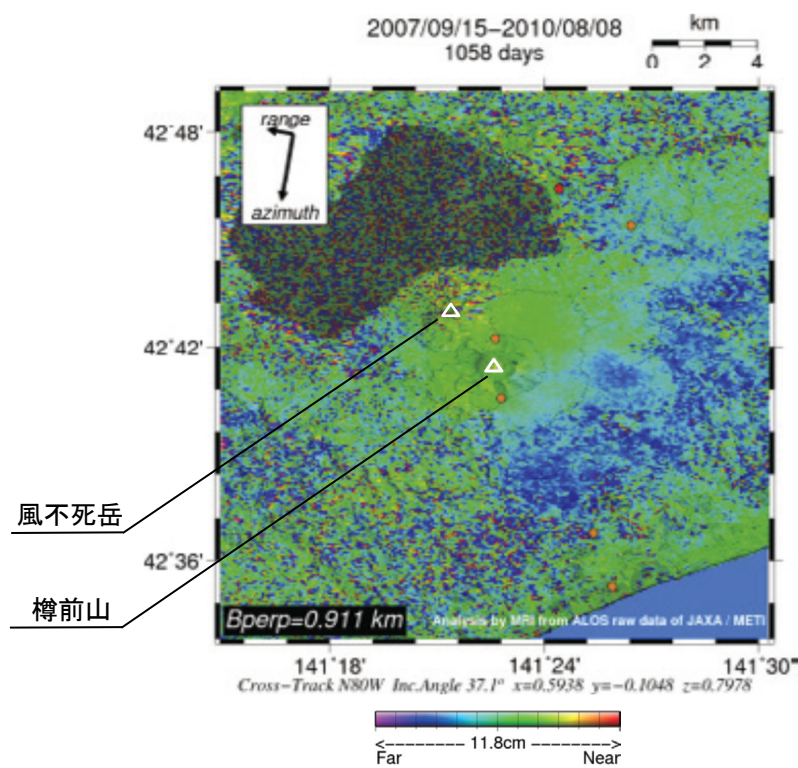
一部修正 (R3/10/14審査会合)

【気象研究所技術報告第69号(安藤, 2013)※】

○支笏カルデラ周辺の(左図)2007年9月から2010年8月及び(右図)2007年8月から2010年4月を対象とした干渉SAR解析結果が示されており,樽前山について,「山頂溶岩ドームにおいて,局所的な衛星に近づく方向の位相差が認められた」とされている。

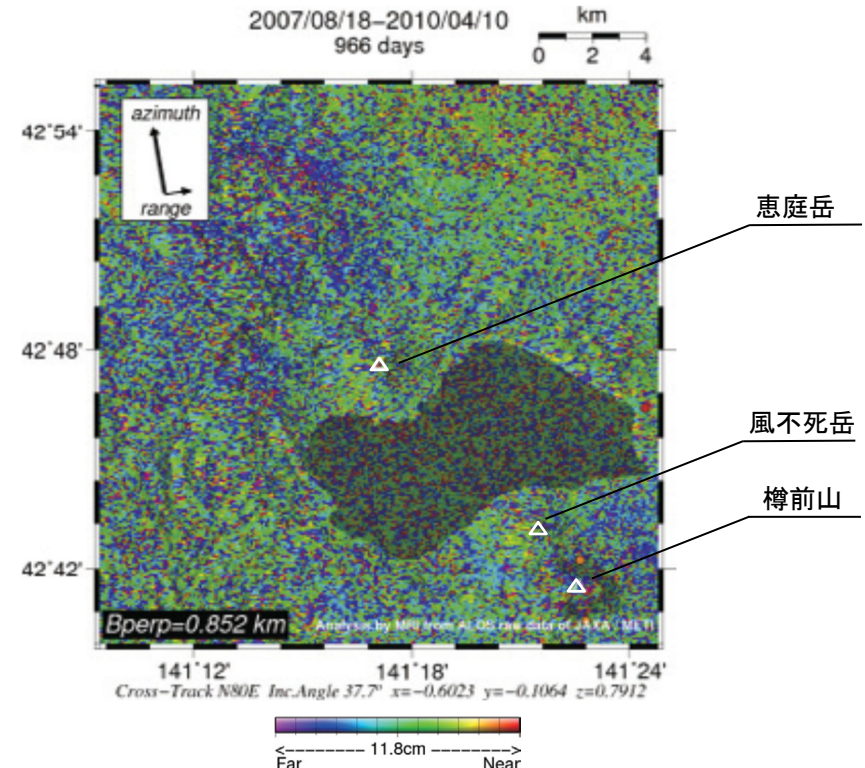
○風不死岳及び恵庭岳については,その特徴についての記載はない。

※安藤(2013)では,国内の活火山周辺における干渉SAR解析結果が示されており,火山活動に伴う位相変化が認められる火山について,その特徴を記載している。



対象期間：2007/9/15 - 2010/8/8

支笏カルデラ周辺における干渉SAR解析結果(安藤(2013)に加筆)



対象期間：2007/8/18 - 2010/4/10

支笏カルデラ周辺における干渉SAR解析結果(安藤(2013)に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-3 地殻変動(干渉SAR) (2/2)

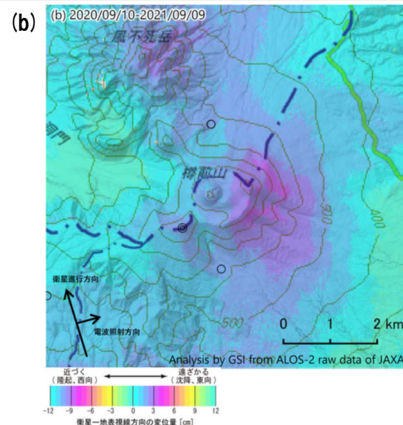
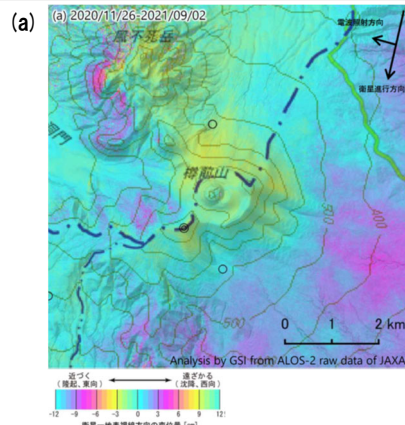
一部修正 (R3/10/14審査会合)

【第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)】

○樽前山周辺の(左上図a) 2020年11月から2021年9月及び(右上図b) 2020年9月から2021年9月における干渉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。

【第149回火山噴火予知連絡会資料(恵庭岳)(気象庁, 2021)】

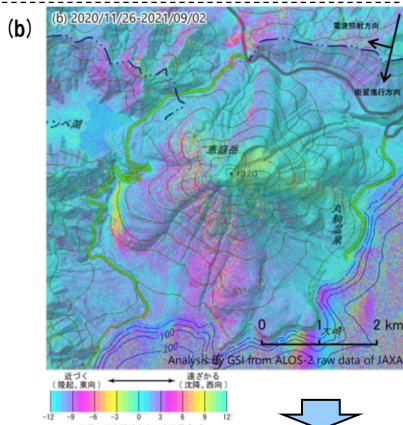
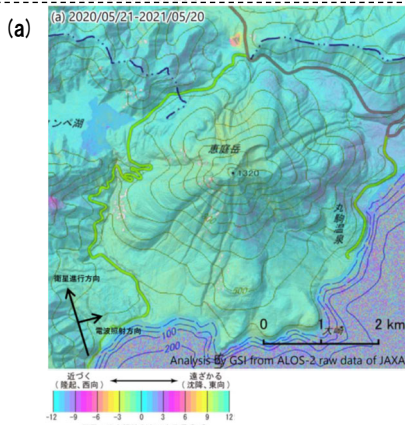
○恵庭岳周辺の(左下図a) 2020年5月から2021年5月及び(右下図b) 2020年11月から2021年9月における干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/11/26 2021/09/02 11:41頃 (280日間)	2020/09/10 2021/09/09 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	+97m	-6m

* 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(2021)に加筆)



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/05/21 2021/05/20 23:26頃 (364日間)	2020/11/26 2021/09/02 11:41頃 (280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*	U-U	U-U
入射角	36.6°	39.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+255m	+97m

* U: 高分解能(3m)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(2021)に加筆)

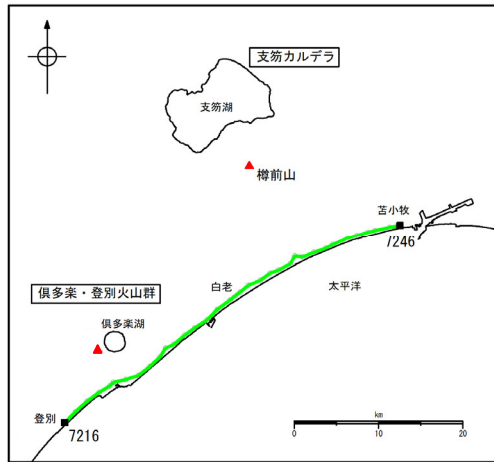
○支笏カルデラ周辺では、樽前山周辺において局所的な地殻変動が認められるものの、支笏カルデラ域での顕著な膨張や収縮は認められない。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-4 地殻変動(水準測量)

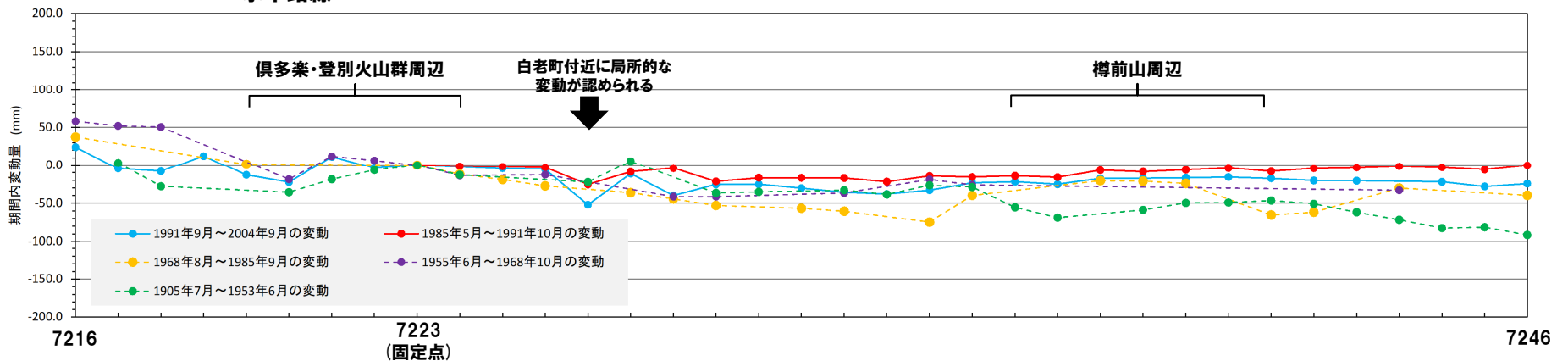
一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺及び倶多楽・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、白老町付近に局所的な変動が認められるものの、支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。



凡例
 一等水準点 (水準路線)
 ※検討に用いた水準点・路線のみを示す

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)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

③-5 地殻変動(まとめ)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

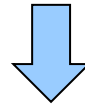
○支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降, 膨張や収縮は認められない。

【地殻変動(干渉SAR)】

○樽前山周辺において局所的な地殻変動が認められるものの, 支笏カルデラ域での顕著な膨張や収縮は認められない。

【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, 白老町付近に局所的な変動が認められるものの, 支笏カルデラ周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。



○地殻変動は, 支笏カルデラ域での広域的なものではなく, 樽前山周辺に限定的であり, 支笏カルデラの現在の活動期が後カルデラ期であることと調和的である。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-1 地下構造(支笏カルデラにおける地震波速度構造)(1/2)

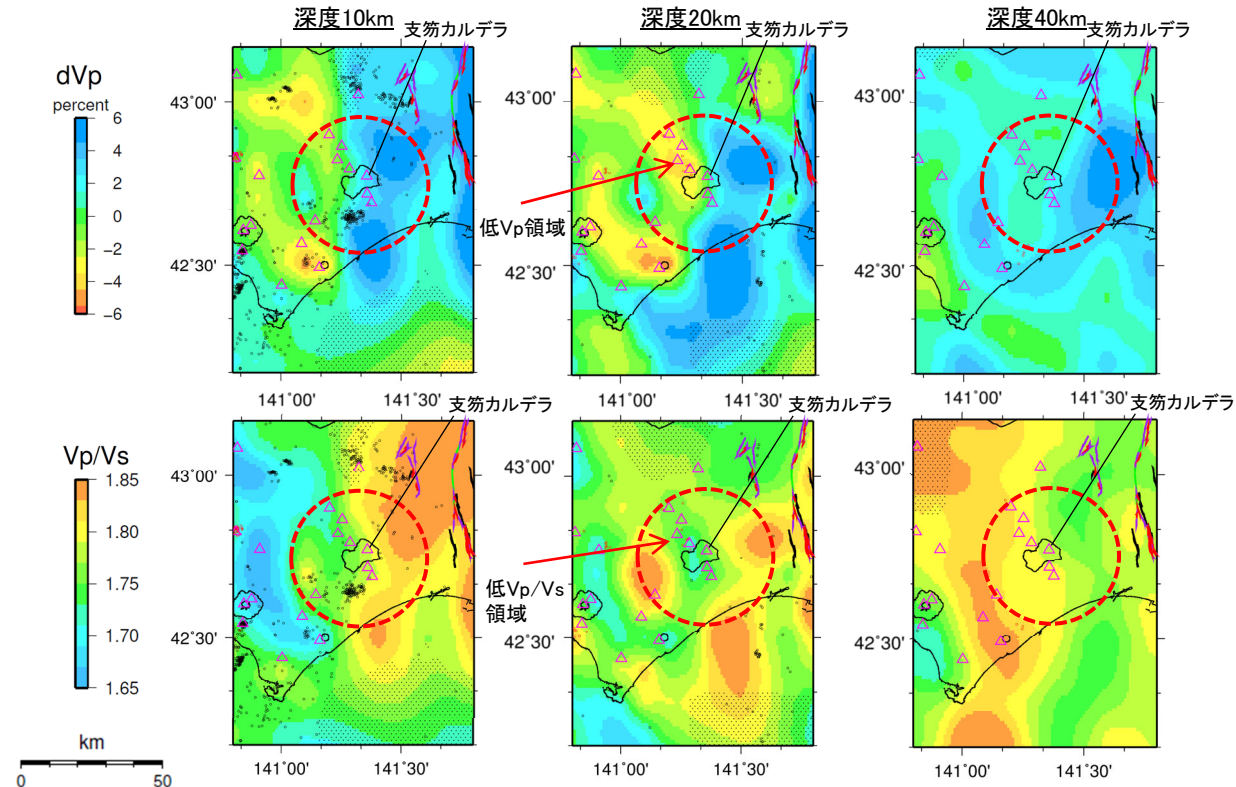
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 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、当社が支笏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、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。
- また、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。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の評価方法(P78~P84参照)】

- 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
 - 黒点 震央(MJMA \geq 0)
 - 赤点 低周波地震の震央(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
 - 支笏カルデラを中心とした、半径25kmの範囲



*R3.10.14審査会合資料では、地震の震央について2000年10月1日~2015年12月31日のものを図示していた。一方、防災科学技術研究所「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」は、上記期間に加えて2016年4月1日~2018年6月30日のデータも解析に使用されていることから、震央についても同期間のデータを図示することが適切であり、今回不足期間のデータを追加した。

支笏カルデラ周辺では、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

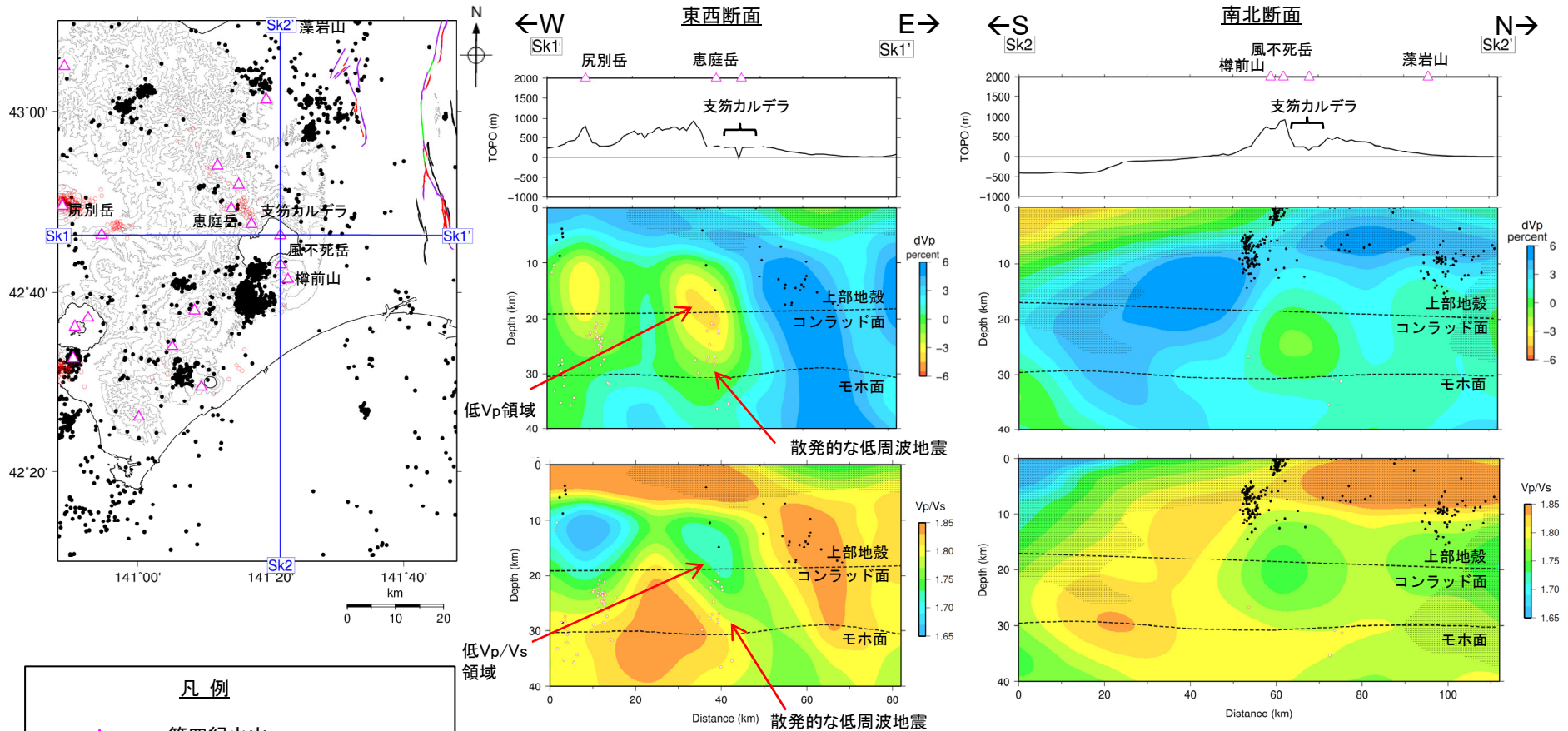
支笏カルデラ周辺では、北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-1 地下構造(支笏カルデラにおける地震波速度構造)(2/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



凡例

- ▲ 第四紀火山
- 震央 (MJMA ≥ 0)
- 低周波地震の震央 (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

支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、カルデラの西方の深度10~20km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。
支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるが、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 ± 5 km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。コンラッド面はZhao et al. (1992)、モホ面はMatsubara et al. (2017)をトレースした。また、断面から ± 5 kmの範囲の地震をプロットした。

※R3.10.14審査会合資料では、地震の震央について2000年10月1日~2015年12月31日のものを図示していた。一方、防災科学技術研究所「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」は、上記期間に加えて2016年4月1日~2018年6月30日のデータも解析に使用されていることから、震央についても同期間のデータを図示することが適切であり、今回不足期間のデータを追加した。

余白

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-2 地下構造(支笏カルデラにおける比抵抗構造)(1/4)

○支笏カルデラ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。

【Yamaya et al. (2017) (次頁～P121参照)】

○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺において、MT法による電磁気探査を実施しているYamaya et al. (2017) をレビューした。

- ・Yamaya et al. (2017) によれば、支笏カルデラ直下においては、比抵抗値が $30\Omega\text{m}$ 以下及び $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が深度5～40km以深に認められるとされている(P121図中の「C2」及び「C2'」)。
- ・火山地域の深部低周波地震は、マグマの移動に関連している可能性があり、C2が部分熔融域を示していると仮定すると、C2の上端に認められる深部低周波地震(P121参照)は、地殻内へのマグマの移動に伴うものである可能性があるとされている。
- ・また、深部低周波地震は、メルトから脱水された水の移動に伴うものである可能性もあるとされている。
- ・比抵抗構造だけでは、判断できないが、支笏カルデラ直下において5kmから40km以深へ続く低比抵抗領域は、メルト又はマグマ由来の水を示しており、C2及びC2' はそれぞれこれらの上昇経路、貯留域と解釈されるとされている。

○支笏カルデラ直下には、メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。

【Ichihara et al. (2019) (P122参照)】

○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺から十勝平野にかけて、MT法による電磁気探査を実施しているIchihara et al. (2019) をレビューした。

- ・Ichihara et al. (2019) によれば、支笏カルデラ直下の(P122図中の「C-3」)において、低比抵抗構造が認められるとされている。
- ・本研究においては、Yamaya et al. (2017) と異なるデータセットを使用しており、当該低比抵抗領域が認められたことは、Yamaya et al. (2017) において支笏カルデラ直下に低比抵抗領域が認められたことを支持するとされている。
- ・当該低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) において考察されているように、支笏カルデラ直下のメルト又はマグマ由来の水を表している可能性があるとされている。

○支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」と同様な位置に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。



○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルト又はマグマ由来の水が深部から供給される領域の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-2 地下構造(支笏カルデラにおける比抵抗構造)(2/4)

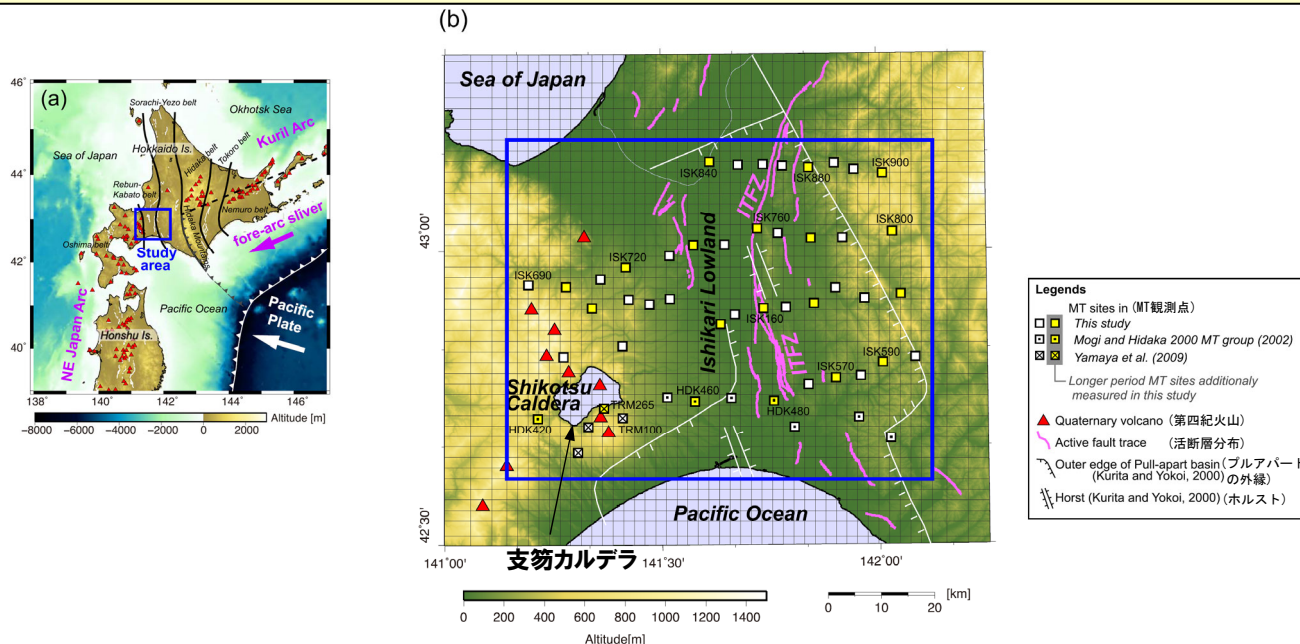
【Yamaya et al. (2017)】

○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺において、MT法による電磁気探査を実施しているYamaya et al. (2017) をレビューした。

- Yamaya et al. (2017) によれば、支笏カルデラ直下においては、比抵抗値が $30\ \Omega\text{m}$ 以下及び $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が深度5~40km以深に認められるとされている(次頁図中の「C2」及び「C2'」)。
- 火山地域の深部低周波地震は、マグマの移動に関連している可能性があり、C2が部分熔融域を示していると仮定すると、C2の上端に認められる深部低周波地震(次頁参照)は、地殻内へのマグマの移動に伴うものである可能性があるとされている。
- また、深部低周波地震は、メルトから脱水された水の移動に伴うものである可能性もあるとされている。
- 比抵抗構造だけでは、判断できないが、支笏カルデラ直下において5kmから40km以深へ続く低比抵抗領域は、メルト又はマグマ由来の水を示しており、C2及びC2'はそれぞれこれらの上昇経路、貯留域と解釈されるとされている。



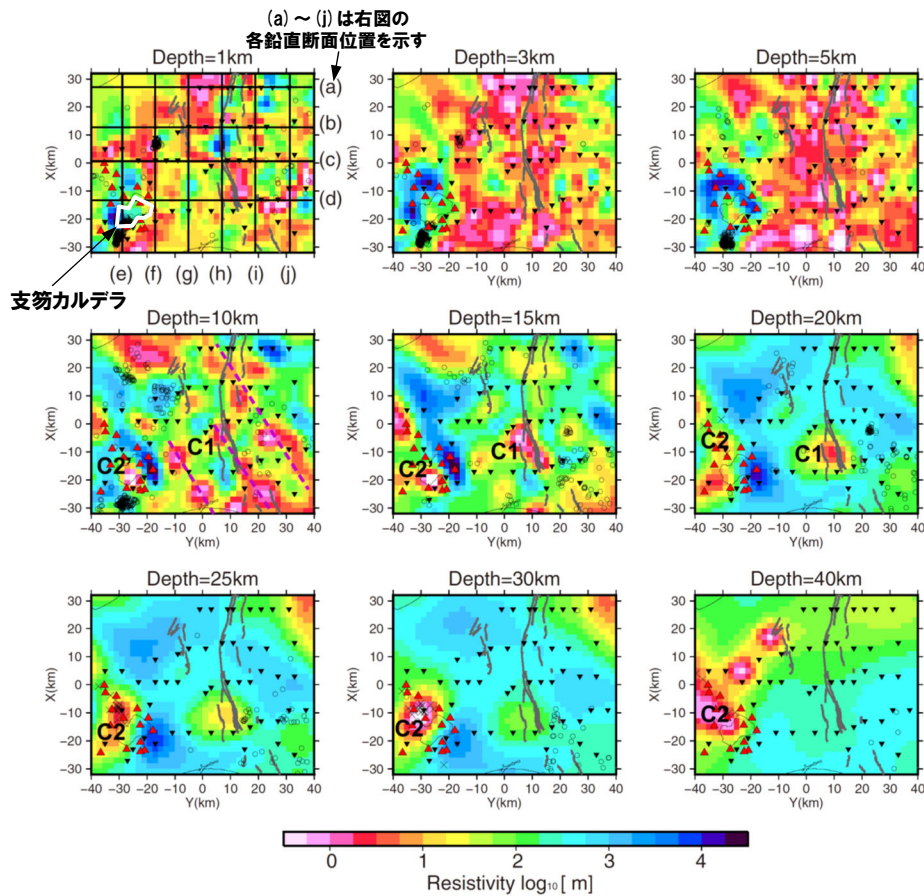
○支笏カルデラ直下には、メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。



調査地域位置図(左図)及びMT測定地点位置図(右図)(Yamaya et al. (2017) に加筆)

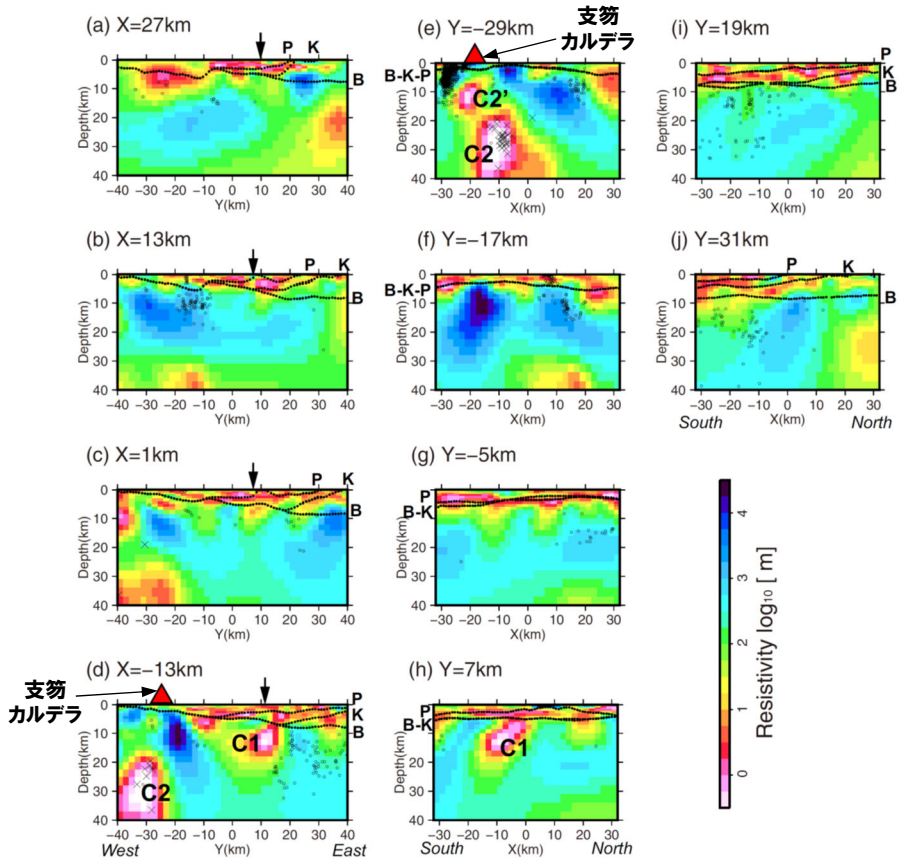
2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-2 地下構造(支笏カルデラにおける比抵抗構造) (3/4)



- 凡例**
- C1 石狩低地東縁断層帯直下の低比抵抗領域
 - C2 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - C2' 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - ▲ 第四紀火山
 - ▼ MT観測点
 - 普通地震の震源(1997~2014年)
 - × 深部低周波地震の震源(1997~2014年)
 - 活断層

石狩低地における比抵抗構造(水平断面) (Yamaya et al. (2017) に加筆)



- 凡例**
- C1 石狩低地東縁断層帯直下の低比抵抗領域
 - C2 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - C2' 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - 普通地震の震源(1997~2014年)
 - × 深部低周波地震の震源(1997~2014年)
 - ▲ 支笏カルデラ
 - P 古第三紀層の上面
 - K 上部白亜紀層の上面
 - B 基底層の上面
 - ↓ 活断層の位置

石狩低地における比抵抗構造(鉛直断面) (Yamaya et al. (2017) に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-2 地下構造(支笏カルデラにおける比抵抗構造)(4/4)

【Ichihara et al. (2019)】

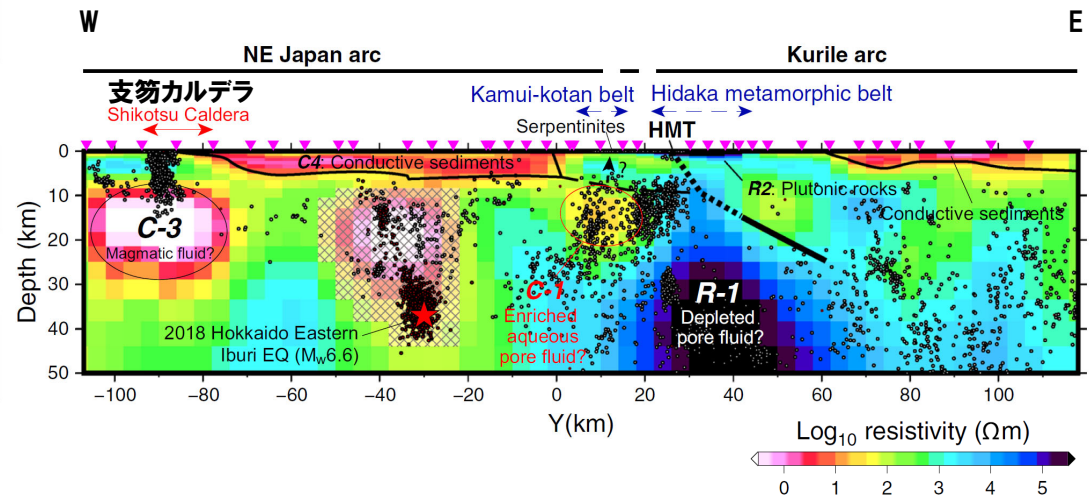
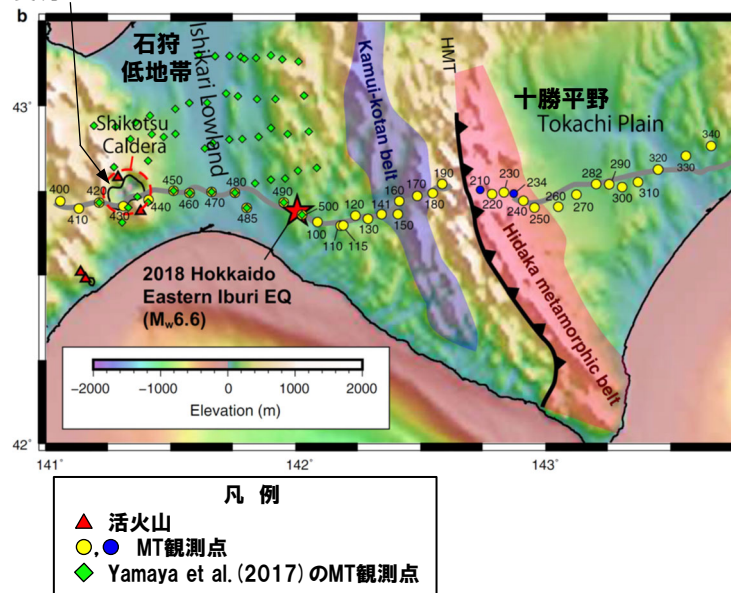
○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺から十勝平野にかけて、MT法による電磁気探査を実施しているIchihara et al. (2019) をレビューした。

- ・Ichihara et al. (2019) によれば、支笏カルデラ直下の(右下図中の「C-3」)において、低比抵抗構造が認められるとされている。
- ・本研究においては、Yamaya et al. (2017) (P120~P121参照) と異なるデータセットを使用しており、当該低比抵抗領域が認められたことは、Yamaya et al. (2017) において支笏カルデラ直下に低比抵抗領域が認められたことを支持するとされている。
- ・当該低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) において考察されているように、支笏カルデラ直下のメルト又はマグマ由来の水を表している可能性があると考えられている。



○支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」と同様な位置に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。

支笏カルデラ



比抵抗構造(鉛直断面) (Ichihara et al. (2019) に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

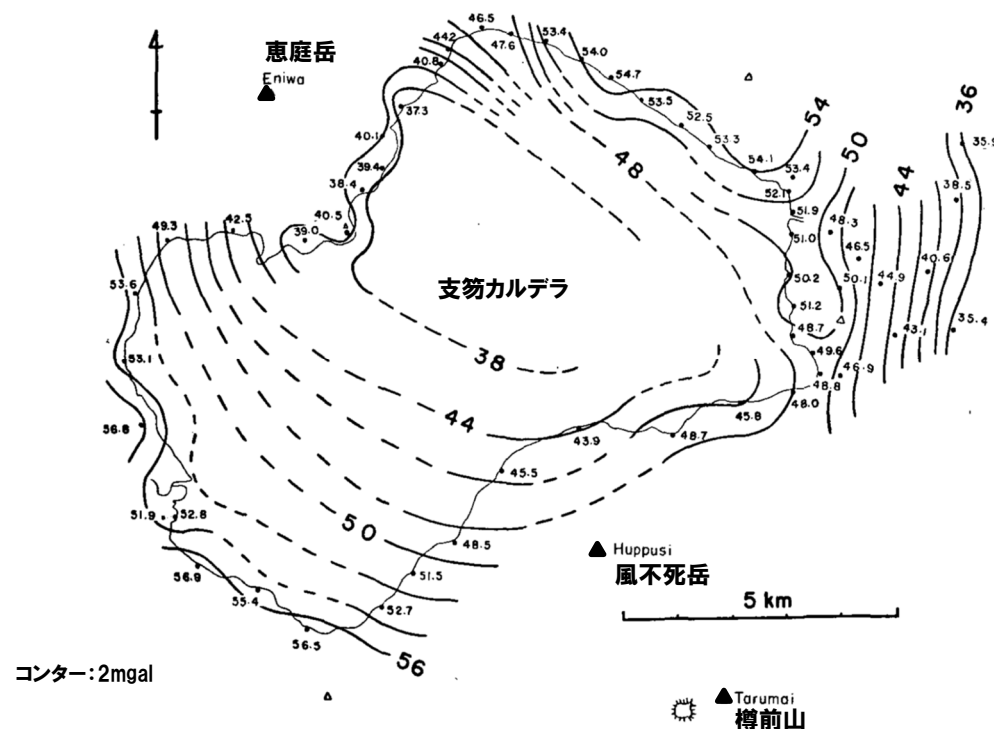
④-3 地下構造(支笏カルデラにおける重力異常)

【Yokoyama and Aota (1965)】

- 支笏カルデラ周辺において、重力測定を行っているYokoyama and Aota (1965) をレビューした。
 - ・Yokoyama and Aota (1965) によれば、重力測定の結果、カルデラ中心部において、低重力異常が認められるとされている。
 - ・重力異常から、最大層厚2km程度の逆円錐状に堆積した密度の低い堆積物が推定されるとされている。



- 支笏カルデラ中心部に低重力異常が認められるが、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。
- 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。



支笏カルデラ周辺における重力異常図
(Yokoyama and Aota (1965) に加筆)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-4 地下構造(支笏カルデラにおける地震波速度構造と比抵抗構造の比較)(1/3)

○支笏カルデラの比抵抗構造に関する文献レビューの結果(P119~P122参照),支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)に低比抵抗領域が認められることから, Yamaya et al. (2017)と同一箇所(下図参照)における地震波速度構造の鉛直断面図を作成し,地震波速度構造と比抵抗構造を比較した。

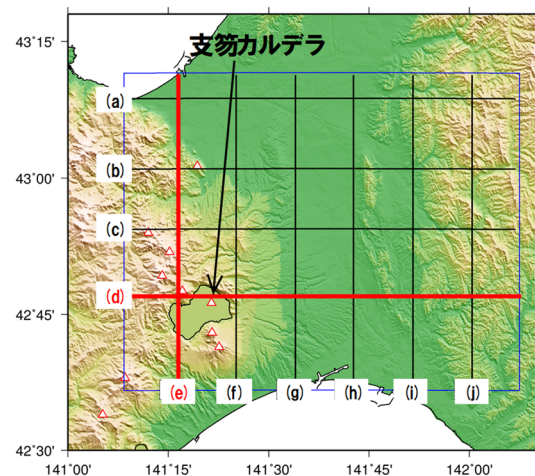
【Yamaya et al. (2017)に示される比抵抗構造】

○Yamaya et al. (2017)において支笏カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)に示される低比抵抗領域「C2'」は,メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇し貯留される領域の存在を示唆する低比抵抗領域と考えられる(P120~P121参照)。

【Yamaya et al. (2017)と同一断面における地震波速度構造】

○「C2'」付近(次頁左図)における地震波速度構造は,低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから,水に富む領域と考えられる。

○また,仮にマグマの存在を考慮したとしても,当該領域は低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから,東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである”crystal mush”(P77参照)に水が供給されている領域と考えられる。



次頁鉛直断面位置図

(Yamaya et al. (2017)に示される断面のうち,支笏カルデラ付近で直交する(d)断面及び(e)断面を掲載)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-4 地下構造(地震波速度構造と比抵抗構造の比較)(2/3)

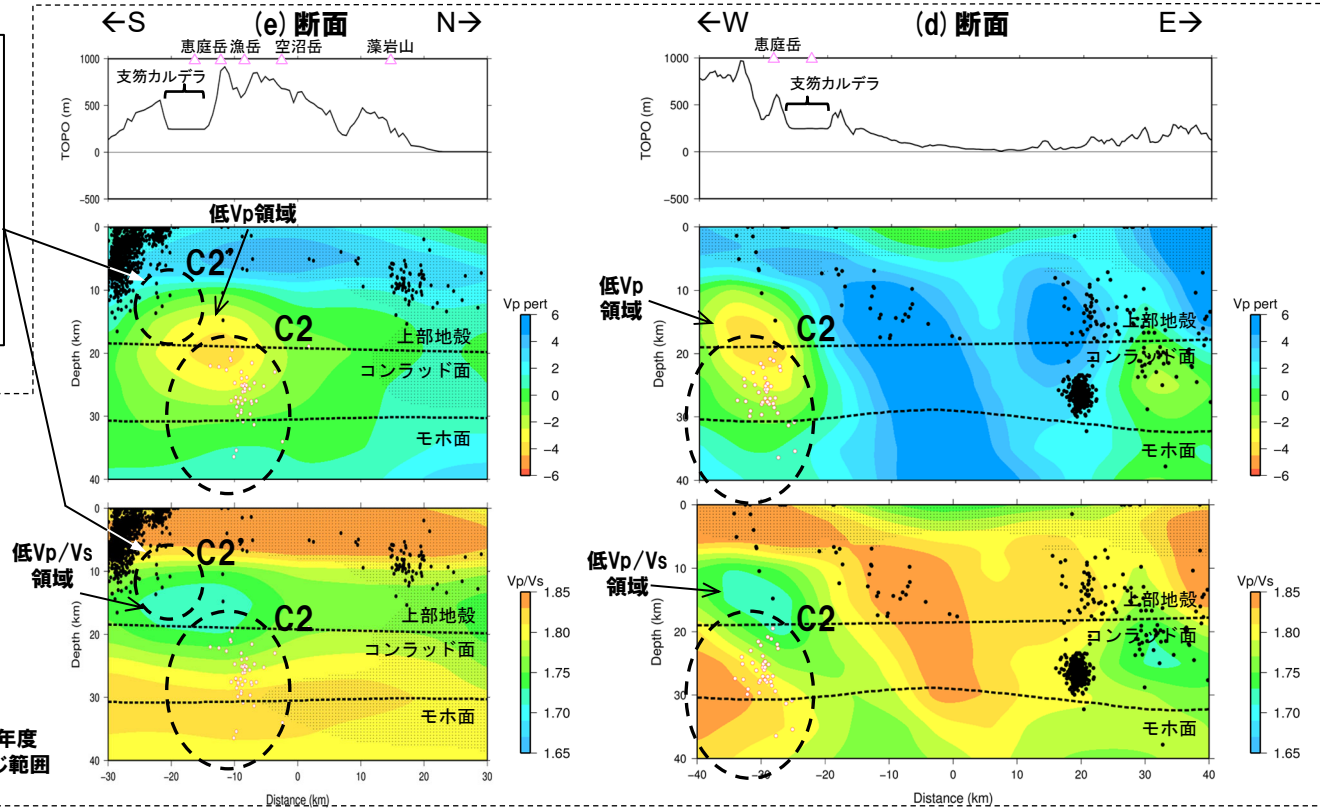
○「C2'」付近における地震波速度構造は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、水に富む領域と考えられる。

○また、仮にマグマの存在を考慮したとしても、当該領域は低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである"crystal mush"(P77参照)に水が供給されている領域と考えられる。

- 凡例(地震波速度構造)
- △ 第四紀火山
 - 震央(MJMA≥0)
 - 赤点 低周波地震の震央(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
 - Yamaya et al. (2017)に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」

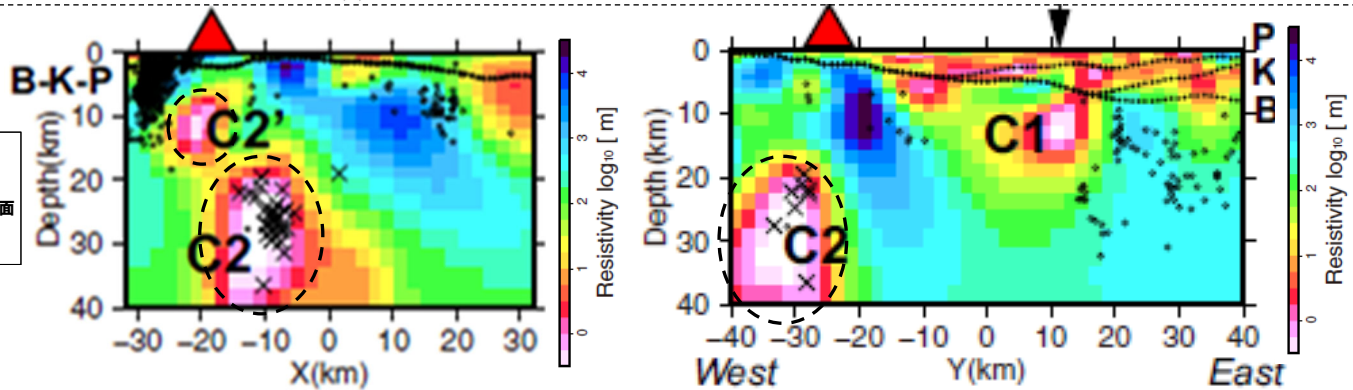
地震波速度構造(鉛直断面)※

※「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」の公開データを用いて、Yamaya et al. (2017)と同じ範囲の鉛直断面を当社が作成した。



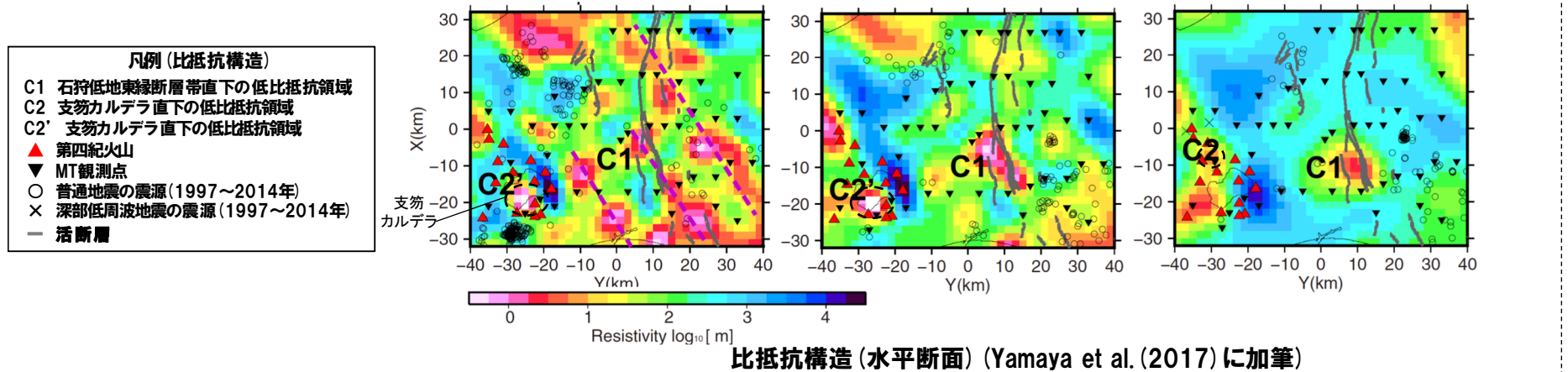
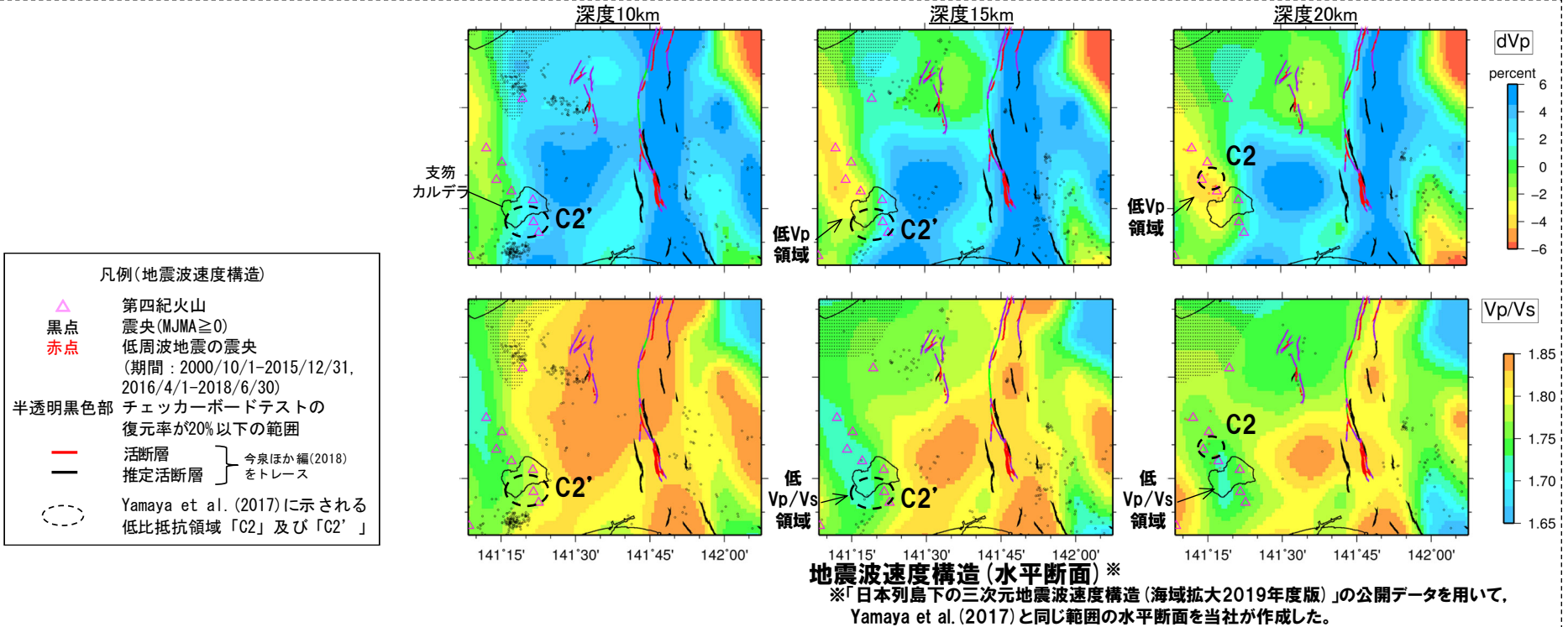
比抵抗構造(鉛直断面) (Yamaya et al. (2017)に加筆)

- 凡例(比抵抗構造)
- C1 石狩低地東縁断層帯直下の低比抵抗領域
 - C2 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - C2' 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域
 - 普通地震の震源(1997~2014年)
 - × 深部低周波地震の震源(1997~2014年)
 - ▲ 支笏カルデラ
 - P 古第三紀層の上面
 - K 上部白亜紀層の上面
 - B 基底層の上面
 - ↓ 活断層の位置



2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-4 地下構造(地震波速度構造と比抵抗構造の比較) (3/3)



2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

④-5 地下構造(まとめ)

【地震波速度構造(P116~P117参照)】

- 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、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。
- また、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。

【比抵抗構造(P119~P122参照)】

- 支笏カルデラ直下には、メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。

【重力異常(P123参照)】

- 支笏カルデラ中心部に低重力異常が認められるが、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。
- 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。

【地震波速度構造と比抵抗構造の比較】

- Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」付近における地震波速度構造は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、水に富む領域と考えられる。
- また、仮にマグマの存在を考慮したとしても、当該領域は低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである“crystal mush”(P77参照)に水が供給されている領域と考えられる。



- 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地下構造は認められない。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

⑤ 評価(支笏カルデラ)(1/2)

- 過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラについて、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を行った。
- 評価に当たっては、支笏カルデラの噴火履歴、噴出物体積等を整理し、評価方法について検討した。
- 噴火履歴、噴出物体積等については、P15に示すカタログ等に加え、支笏カルデラを含む支笏-洞爺火山地域の噴火履歴をまとめているAmma-Miyasaka et al. (2020) 及び関連する文献を参照した。

- 支笏カルデラにおいて約4万年前にSp-1(支笏第1降下軽石(Spfa-1)及び支笏火砕流(Spfl))を噴出した噴火は、噴出物体積が80km³(火砕流, DRE)及び40~48km³(降下軽石, DRE)とされ、火砕流堆積物が広範囲に分布することから(P36~P37参照)、巨大噴火に該当する。
- 61kaにSp-4(Ssfa及びSsfl)を噴出した噴火は、噴出規模がVEI6とされているものの、火砕流の規模及び分布が不明である。
- 約4万年前にSp-1を噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、いずれの噴火も噴出物体積が6.28km³(DRE)以下又は全噴出物を一括した噴出物体積が11.1km³(DRE)以下であることから、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
- このため、支笏カルデラにおいて巨大噴火に該当する噴火は、約4万年前にSp-1を噴出した噴火のみと解釈し、巨大噴火の可能性評価を実施することとした。
- この場合、支笏カルデラの巨大噴火は1回であり、巨大噴火の活動間隔、最後の巨大噴火からの経過時間等の活動履歴の観点から巨大噴火の可能性を評価することはできない。
- したがって、巨大噴火の可能性については、以下の地球物理学的調査の結果から、現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態にあるかどうか及び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が得られるかどうかにより評価した。
【地球物理学的調査】
 - ・火山性地震(P100~P104参照)
 - ・地殻変動(P105~P115参照)
 - ・地下構造(地震波速度構造(P116~P117参照)、比抵抗構造(P119~P122参照)及び重力異常(P123参照))
- 支笏カルデラにおける地球物理学的調査結果を次頁に示す。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

⑤ 評価(支笏カルデラ)(2/2)

支笏カルデラにおける地球物理学的調査結果

【火山性地震(P100~P104参照)】		【地殻変動(P105~P115参照)】		
○地震活動は、支笏カルデラ域での広域的なものではなく、樽前山及び恵庭岳周辺に認められ、支笏カルデラの現在の活動期が後カルデラ期であることと調和的である。		○地殻変動は、支笏カルデラ域での広域的なものではなく、樽前山周辺に限定的であり、支笏カルデラの現在の活動期が後カルデラ期であることと調和的である。		
【地下構造(P116~P127参照)】				
地震波速度構造	比抵抗構造		重力異常	地下構造の評価
防災科学技術研究所HP「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」(P116~P117参照)	Yamaya et al. (2017) (P120~P121参照)	Ichihara et al. (2019) (P122参照)	Yokoyama and Aota (1965) (P123参照)	
○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。 ○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。	○支笏カルデラ直下には、メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。	○支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」と同様な位置に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が存在すると考えられる。	○支笏カルデラ中心部に低重力異常が認められるが、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。 ○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。	○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地下構造は認められない。
(地震波速度構造と比抵抗構造の比較) ○Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」付近における地震波速度構造は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、水に富む領域と考えられる。 ○また、仮にマグマの存在を考慮したとしても、当該領域は低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである”crystal mush”(P77参照)に水が供給されている領域と考えられる。				



○地球物理学的調査の結果から、支笏カルデラの現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価でき、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が得られていないことから、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。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 巨大噴火の可能性評価方法(1/2)

- 過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない倶多楽・登別火山群について、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を行う。
- 評価に当たっては、倶多楽・登別火山群の噴火履歴、噴出物体積等を整理し、評価方法について検討する。
- 倶多楽・登別火山群の噴火履歴、噴出物体積等を次頁に示す。
- 噴火履歴、噴出物体積等については、P15に示すカタログ等に加え、倶多楽・登別火山群を含む支笏-洞爺火山地域の噴火履歴をまとめている Amma-Miyasaka et al. (2020) 及び関連する文献を参照した。
- なお、森泉(1998)においては、倶多楽・登別火山群の活動について以下のとおりとされている。
 - ・クッタラカルデラを形成したKt-1テフラの噴火を最後に、その後約4万年間は火山活動度が低下したままである。
 - ・現在まで引き続くこの期間を登別ステージと呼ぶ。



- 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」とされていることから(P38～P39参照)、巨大噴火であった可能性が否定できない。
- 登別ステージ以前においては、噴出物体積が10km³(DRE)を超える噴火が複数回認められており、20km³(DRE)を超える規模の噴火は、約5万年前にKt-3を噴出した噴火である。
- なお、森泉(1998)によればKt-3の噴出物体積20.1km³(DRE)のうち、火砕流は2.2km³(DRE)とされており、火砕流の占める割合は少なく、分布範囲が山体近傍に限られることから(P39参照)、Kt-3は巨大噴火に該当しない。
- 倶多楽・登別火山群は、Kt-7を噴出した噴火が巨大噴火であった可能性が否定できないが、現在は活動度の低い登別ステージであるため、運用期間中の巨大噴火の可能性は小さいと考えられるものの、洞爺カルデラ及び支笏カルデラと同様に、巨大噴火の可能性については、以下の地球物理学的調査の結果から、現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態にあるかどうか及び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が得られるかどうかにより評価する。

【地球物理学的調査】

- ・火山性地震(P132～P136参照)
- ・地殻変動(P137～P145参照)
- ・地下構造(地震波速度構造(P146～P147参照)、比抵抗構造(P148～P151参照)及び重力異常(P152～P155参照))

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※2	約8万年前以降 カルデラ形成は約4万年前
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)」2021年12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」2021年12月確認。

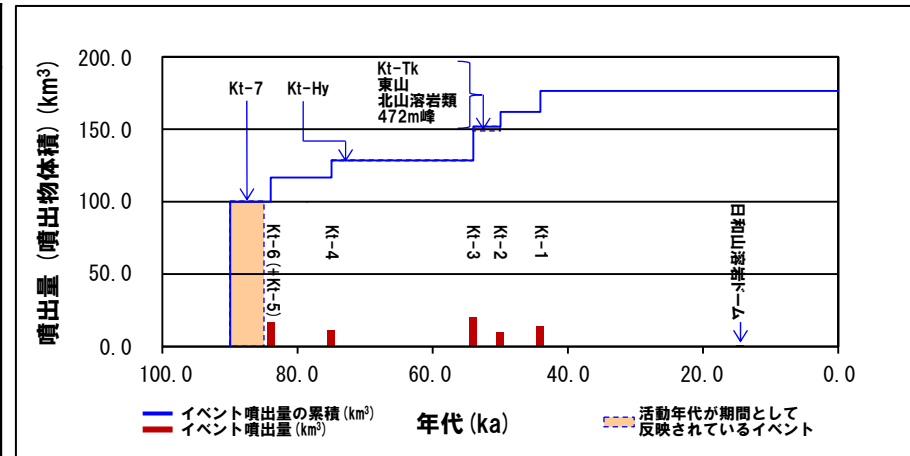
2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 巨大噴火の可能性評価方法(2/2)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

倶多楽・登別火山群活動履歴^{※3}

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km ³)	火山体体積 (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~ ^{※4}	(水蒸気爆発)		
更新世	14.5ka 日和山溶岩ドーム	0.04	76.5	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)
	不明 樺湖アグルチネート	不明		
	44.1ka Kt-1 : pfa,pfl,ps,sfa	14.4		
	ca.50ka Kt-2 : pfa	10.2		
	不明 Kt-Tk : sfa	2.5		
	不明 東山	0.2		
	不明 北山溶岩類	0.5		
	不明 472m峰	0.2		
	ca.54ka Kt-3 ^{※5} : pfa,afa,ps,pfl	20.1		
	不明 Kt-Hy : pfa,ps,afa,pfl	0.6		
第四紀	ca.75ka Kt-4 : pfa,ps,pfl	11		
	ca.84ka Kt-6 (+Kt-5) : pfa,ps,pfl	Kt-5 : 不明 Kt-6 : 16.8		
	90-85ka Kt-7 : pfa,pfl	VEI7 class ^{※6}		
	不明 Kt-8? : pfl	不明		
	不明 石山溶岩流	不明		
	不明 地獄谷火砕丘	不明		



噴出量-年代階段ダイアグラム

※3 R3.10.14審査会合資料では、山元 (2014) に基づき作成した活動履歴を示していたが、今回、より新しい知見であるAmma-Miyasaka et al. (2020) に基づき見直した。
 ※4 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、4.6×10⁵m³とされている。
 ※5 森泉 (1998) によれば、Kt-3に含まれる各ユニットの噴出物体積 (DRE) は以下のとおり。
 ・火砕流: 2.2km³
 ・火砕サージ: 0.05km³
 ・降下軽石: 17.8km³
 ※6 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、噴出物体積 (DRE) を 100km³として図示している。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 火山性地震(気象庁編, 2013) (1/2)

- 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。

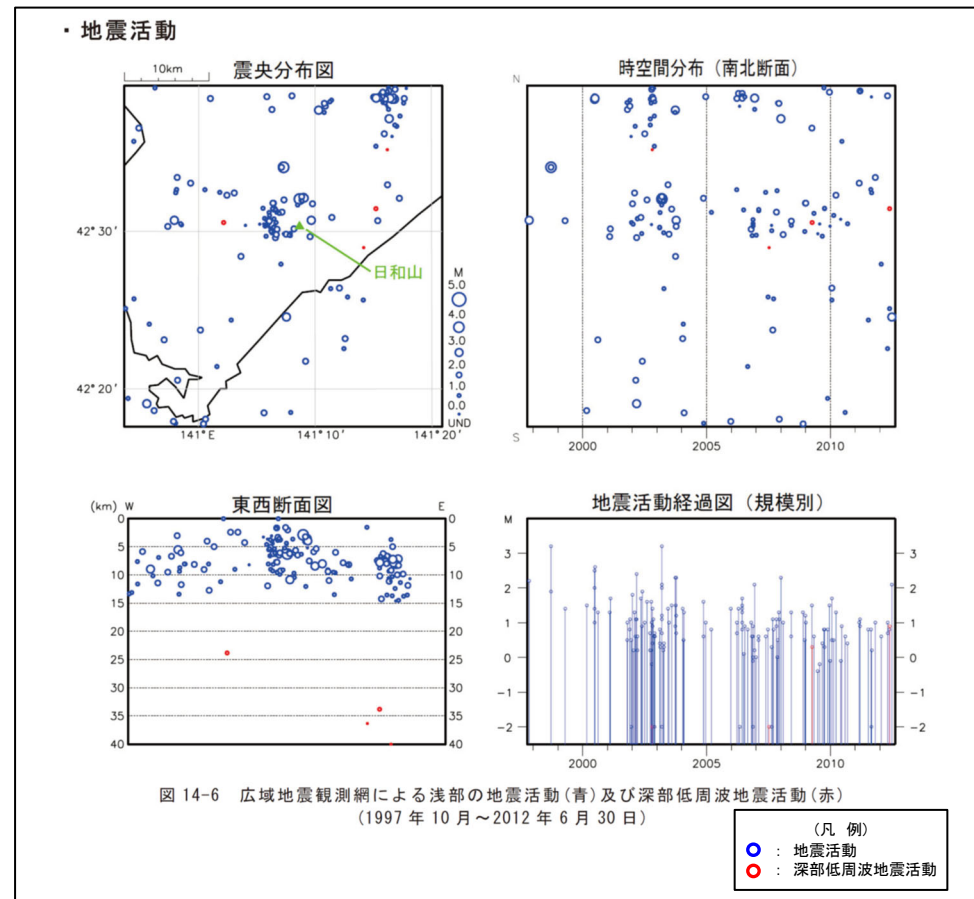


倶多楽・登別火山群周辺の地震計位置図
(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 火山性地震(気象庁編, 2013) (2/2)

- 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。
- 浅部の地震活動は、日和山の西側に認められるが、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 深部低周波地震活動は、ほとんど認められない。

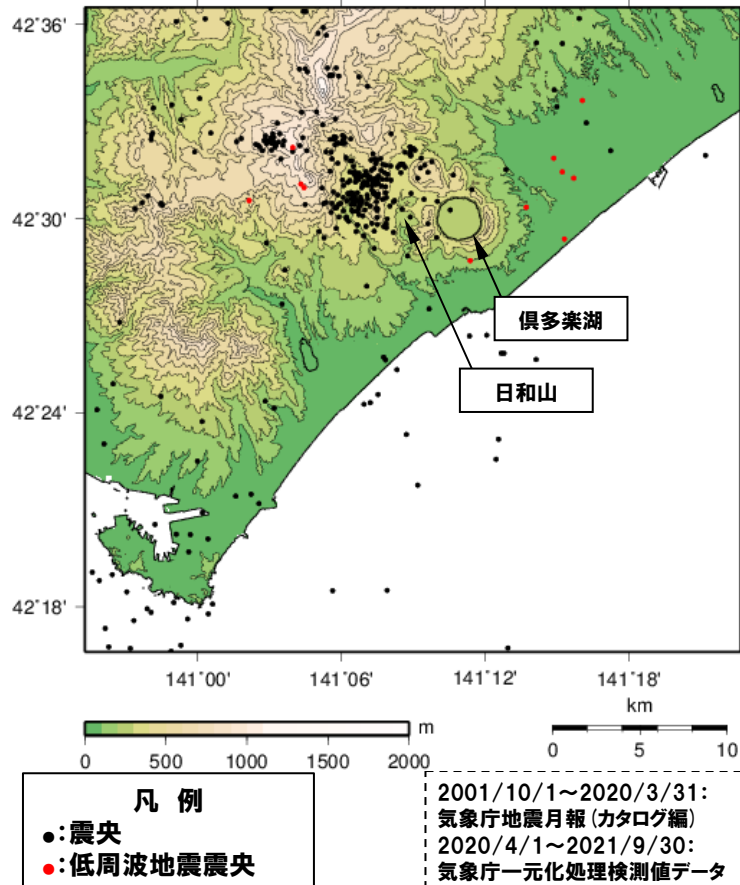


倶多楽・登別火山群周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日、「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

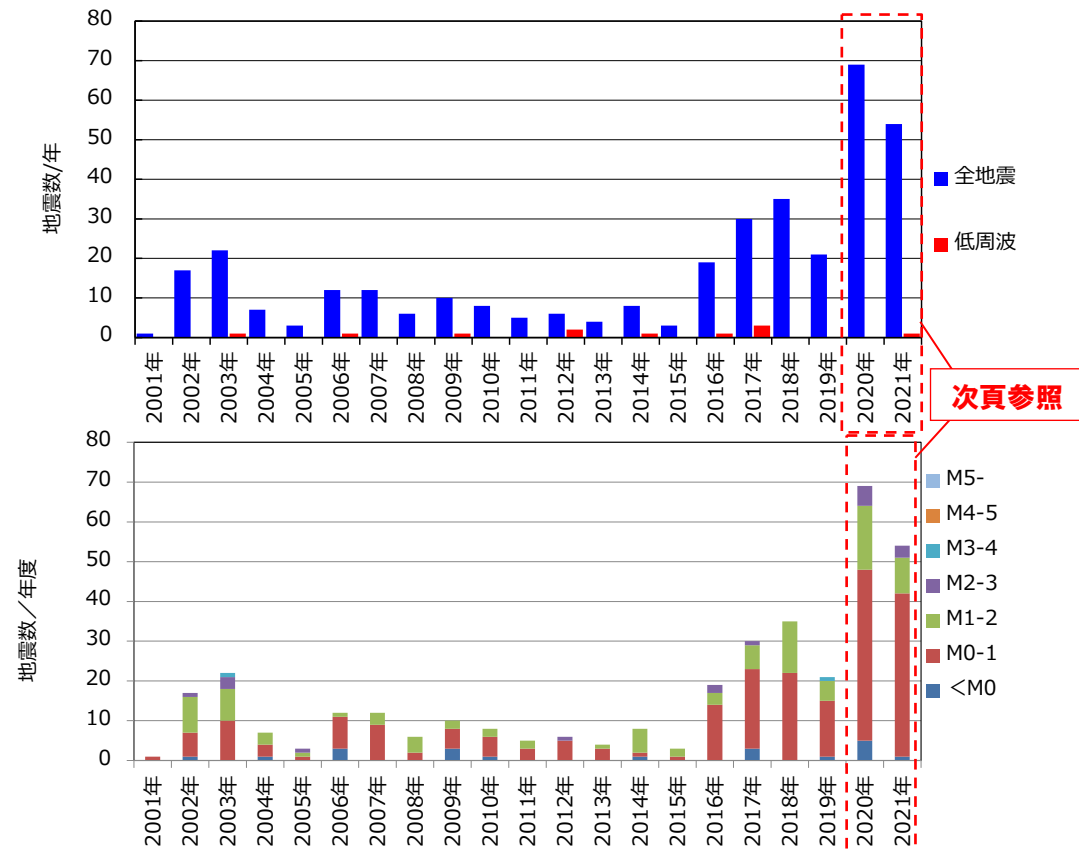
2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 火山性地震(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)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。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に震央が集中している。
- マグニチュード0以上の地震は2020年及び2021年に増加が認められるが、当該年のうち限られた期間に増加したものであり、その他の期間では地震活動は低調に経過している(次頁参照)。
- 低周波地震の発生は少なく、近年発生数が増加しているような傾向は認められない。



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。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 火山性地震(気象庁(2020)及び気象庁(2022))

○「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, 2022)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。

- ・2020年の地震増加について、2020年10月10日及び11月17から21日にかけて一時的に地震が増加しているとされている。
- ・2021年の地震増加について、2021年5月1日に一時的に地震が増加しているとされている。
- ・いずれの年においても、その他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とされている。

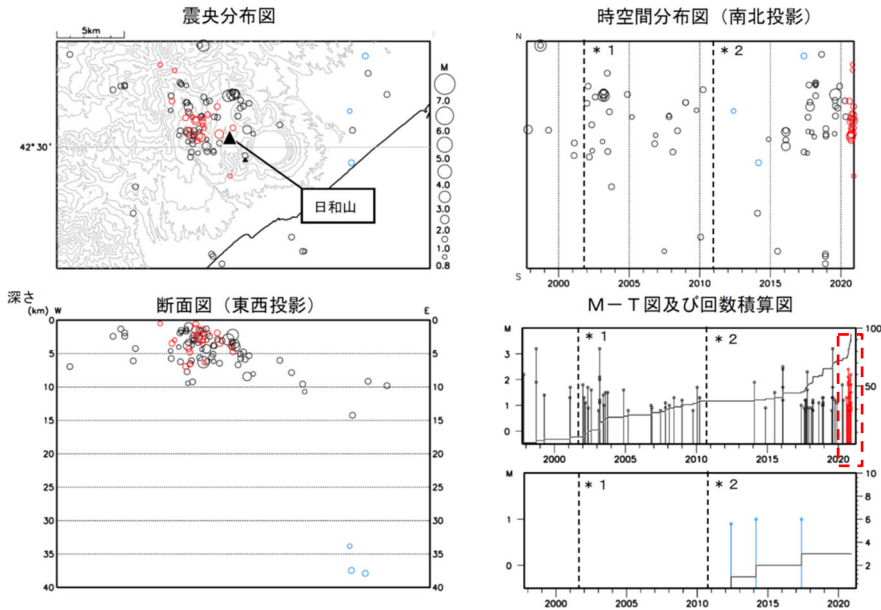


図8 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月1日～2020年11月30日, $M \geq 0.8$ 、深さ40km以浅)
○: 1997年10月1日～2020年5月31日
●: 2020年6月1日～2020年11月30日
○: 深部低周波地震
* 1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
* 2: 2010年9月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)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)

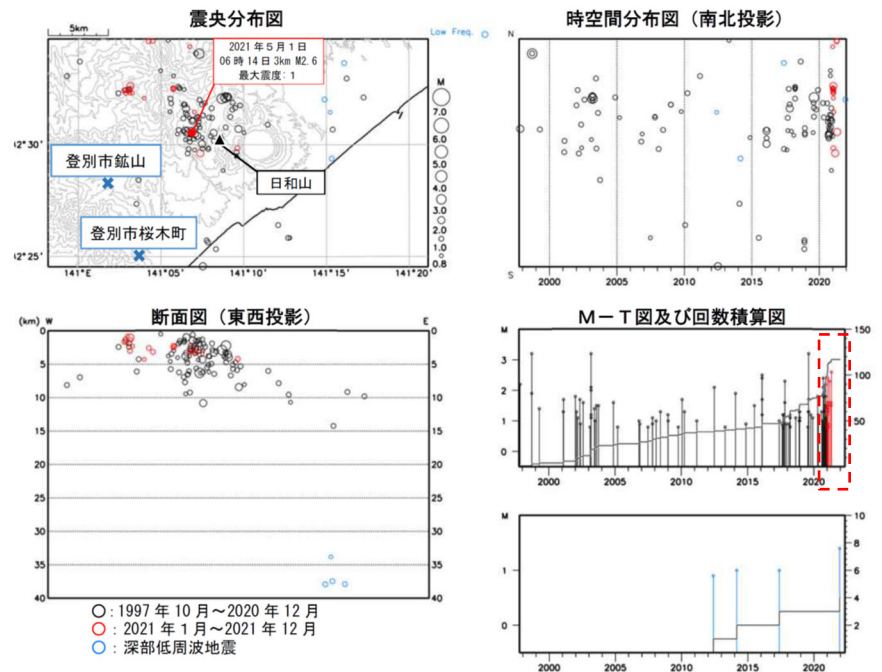


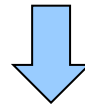
図9 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月～2021年12月, $M \geq 0.8$ 、深さ40km以浅)
○: 1997年10月～2020年12月
●: 2021年1月～2021年12月
○: 深部低周波地震
* 1: 5月1日に日和山の西側で地震が一時的に増加し、そのうち日和山の西約2km、深さ3kmで発生した地震(マグニチュード2.6)により、図中に×で示した登別市鉾山及び登別市桜木町で震度1を観測しました。
* 6月以降、山体及び周辺で発生する地震は少ない状態で経過しました。

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(2022)に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-4 火山性地震(まとめ)

- 倶多楽・登別火山群周辺の地震活動について文献調査を行った。
- 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)」並びに気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10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)について検討した。
- 調査・検討の結果は以下のとおり。
 - ・浅部の地震活動及び深部低周波地震活動は、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・倶多楽・登別火山群周辺の地震活動は、日和山の西側に集中している。
 - ・マグニチュード0以上の地震は2020年及び2021年に増加が認められるが、当該年のうち限られた期間に増加したものであり、その他の期間では地震活動は低調に経過している。

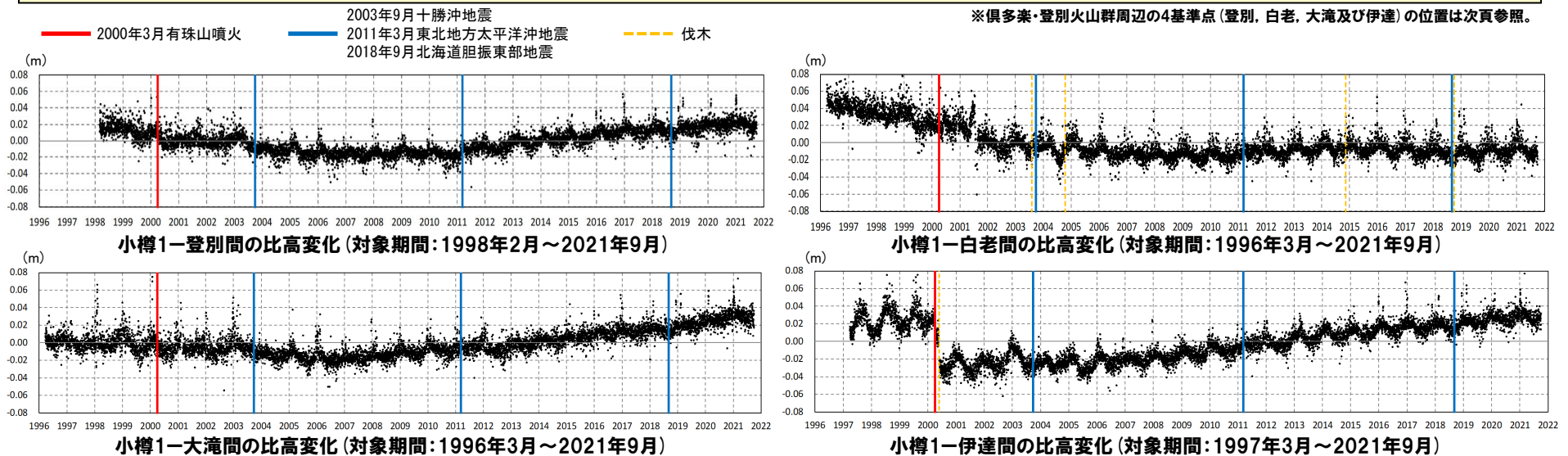


- 地震活動は、日和山の西側に集中しており、その規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められず、概ね低調に経過している。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

③-1 地殻変動(上下変動)(1/5)

- 国土地理院の電子基準点データを用いて、倶多楽・登別火山群周辺の地殻変動について解析を行った。
- 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)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。
- 各基準点とも、年間上下変動量に大きな変動はなく、顕著な隆起や沈降の傾向は認められない。
- 次頁～P141に、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。

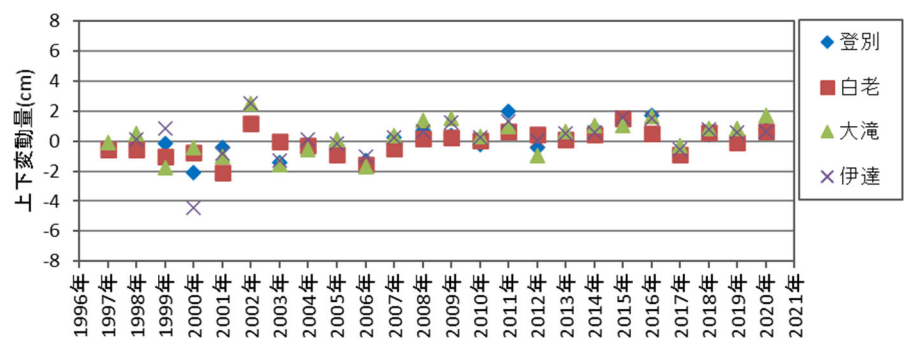


年間上下変動量 (cm) (固定局:小樽1)

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
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

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

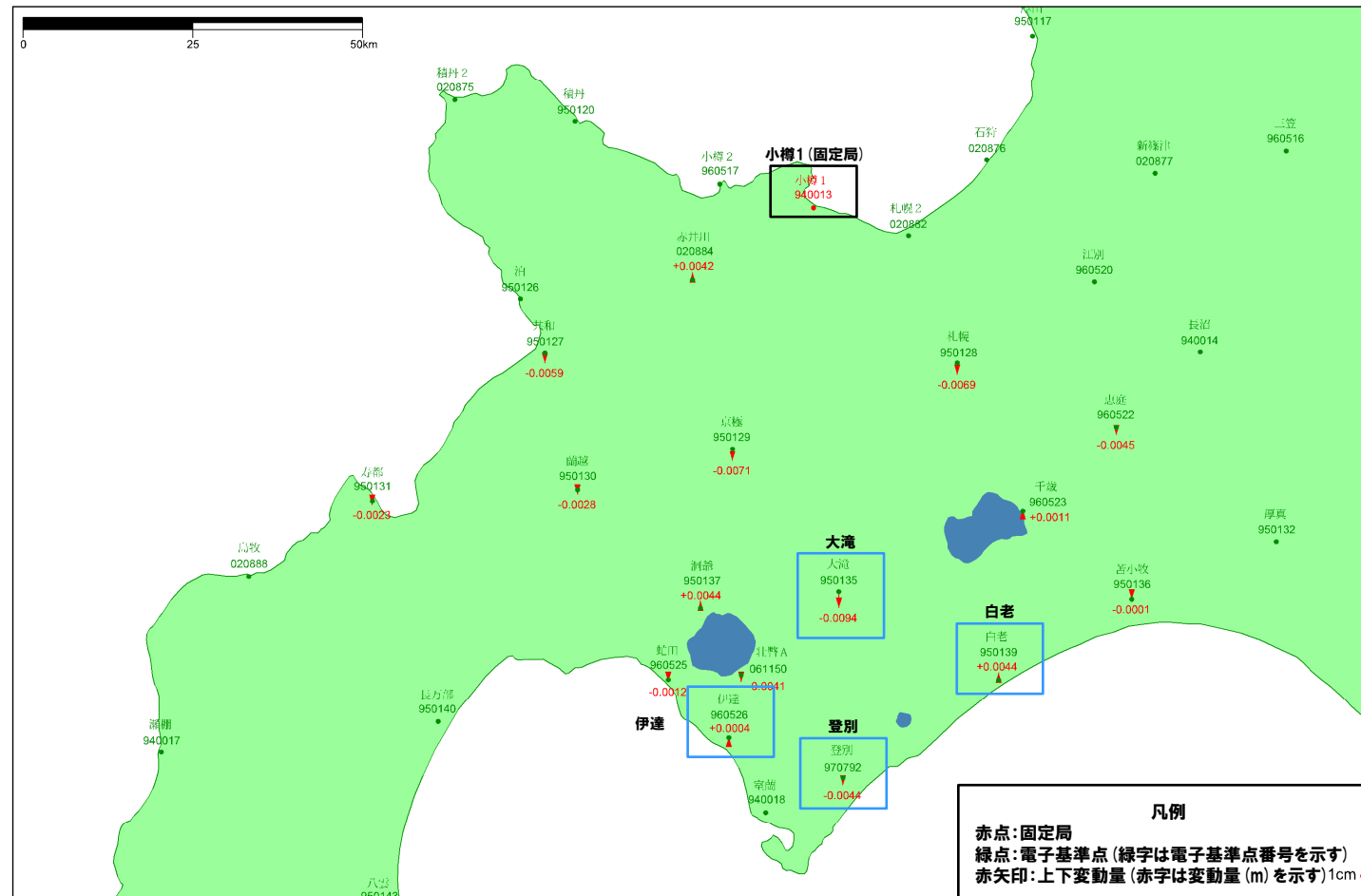
③-1 地殻変動(上下変動)(3/5)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2012年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

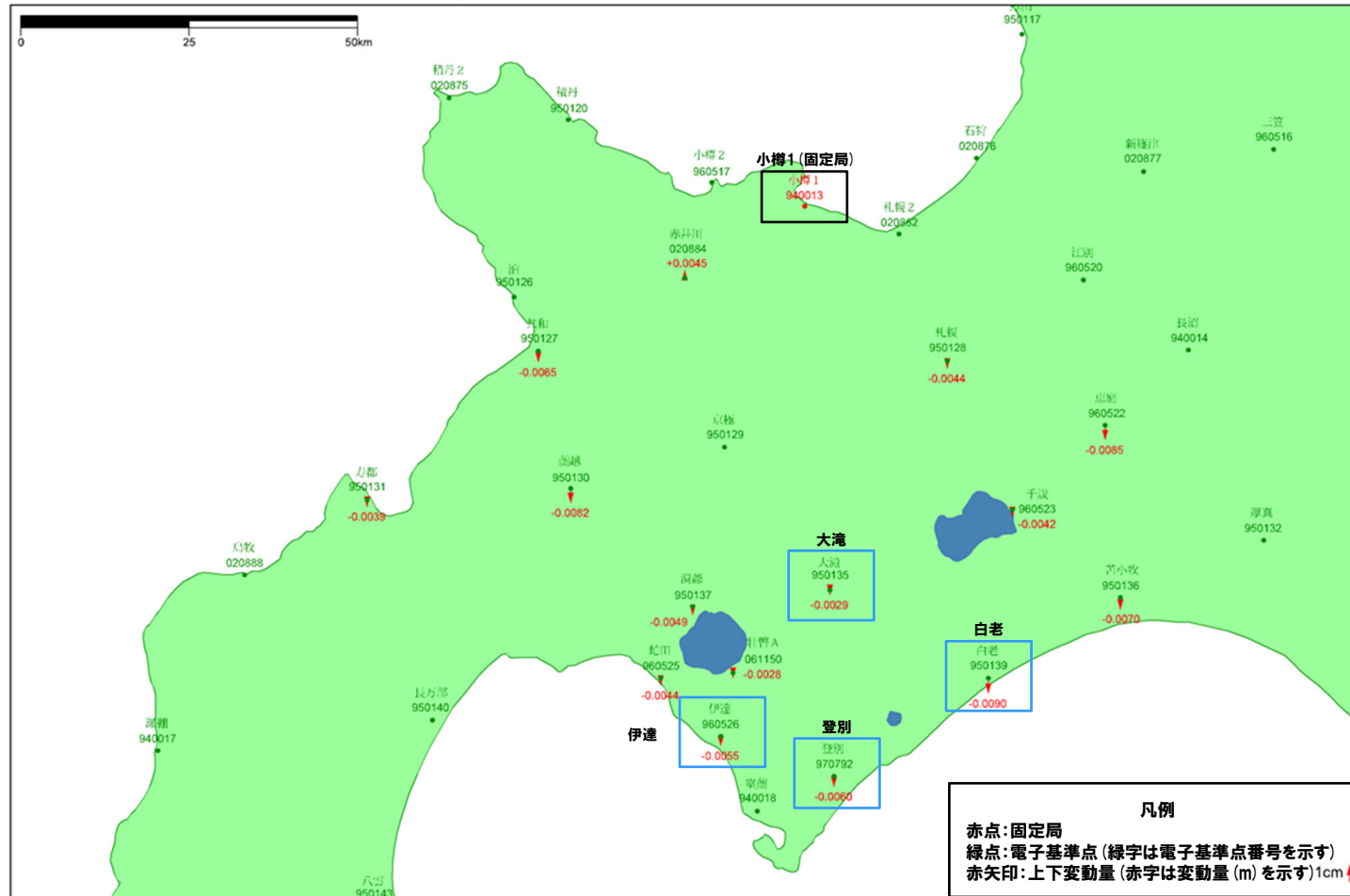
③-1 地殻変動(上下変動)(4/5)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2017年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

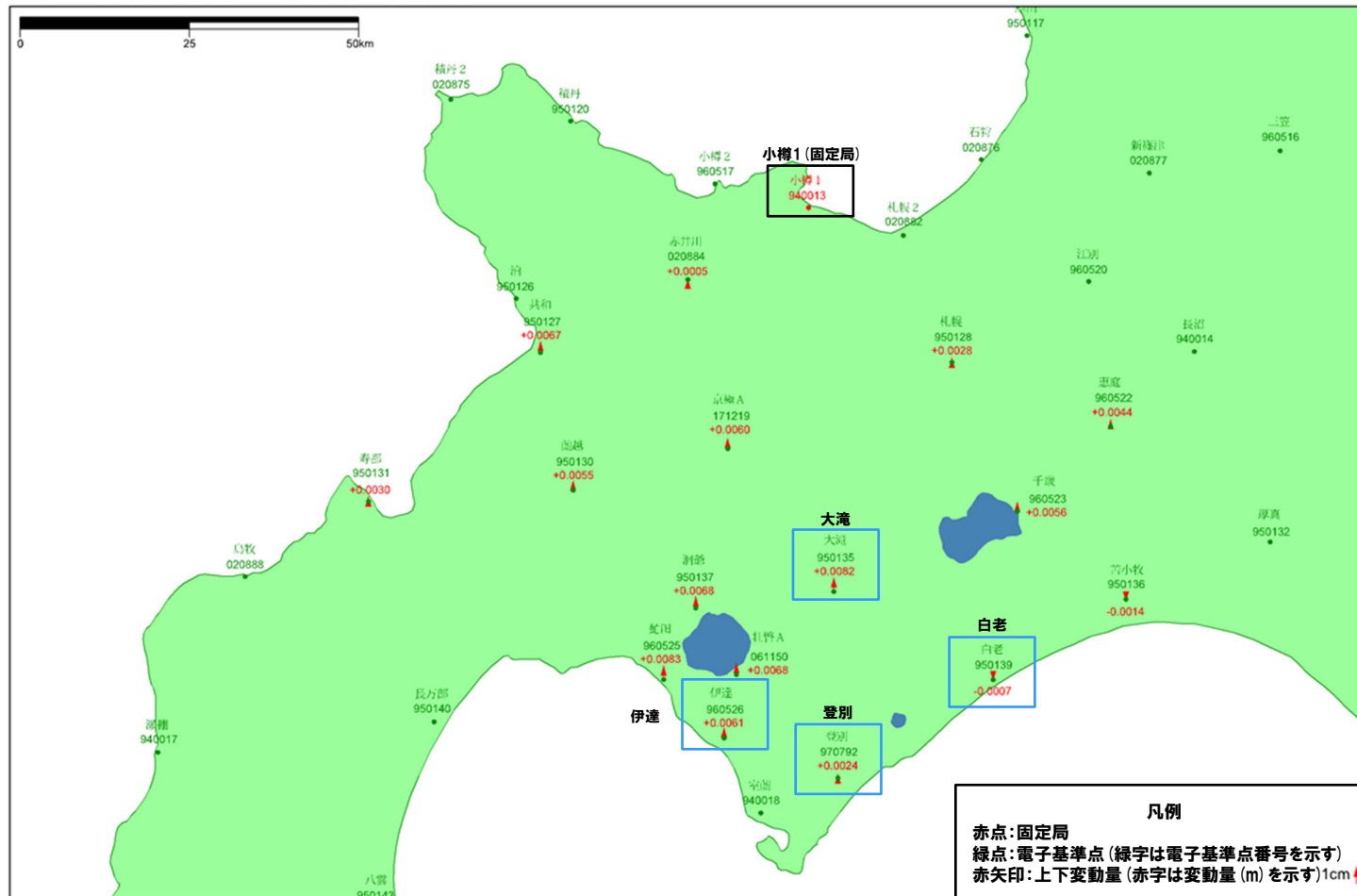
③-1 地殻変動(上下変動)(5/5)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2019年の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 周囲の基準点と比較しても, 倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。

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]

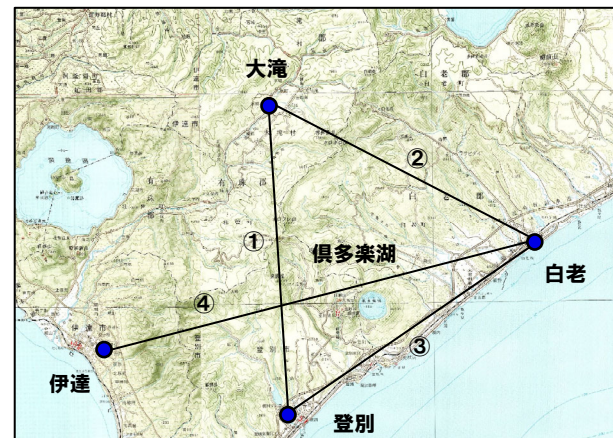
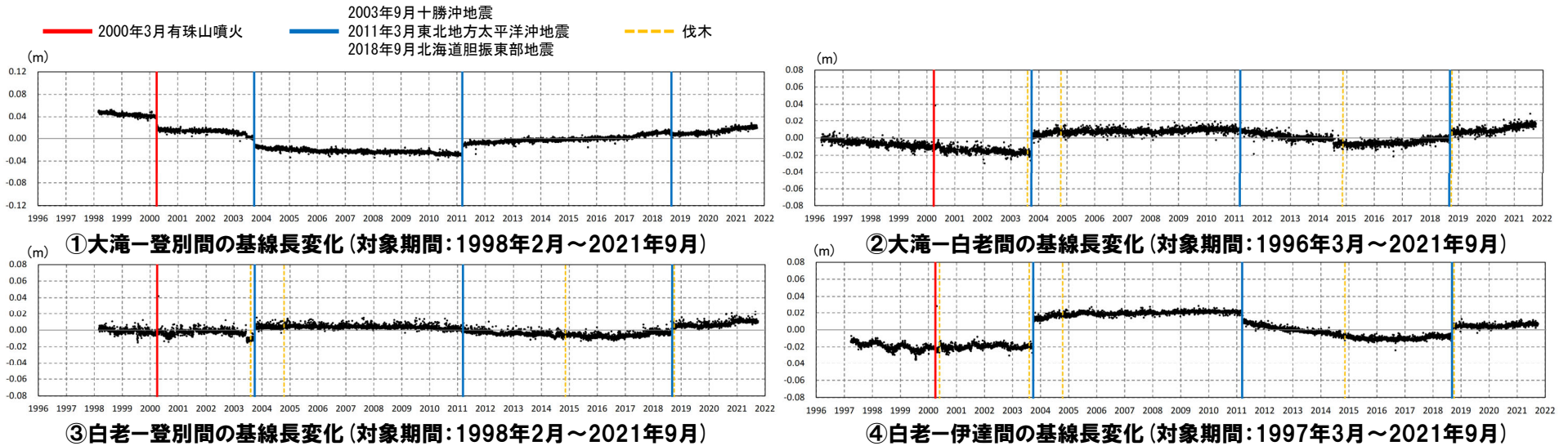
「この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の300万分の1日本とその周辺及び100万分の1日本を使用したものである。(承認番号: 平20業使、第226号)」

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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

③-2 地殻変動(基線長変化)

- 倶多楽・登別火山群周辺の4観測点(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。
- 東北地方太平洋沖地震発生前後等で一部不連続が認められるものの, 対象期間において変化は緩やかであり, 顕著な膨張や収縮は認められない。



倶多楽・登別火山群周辺観測点位置図

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

③-3 地殻変動(干渉SAR)

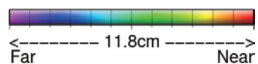
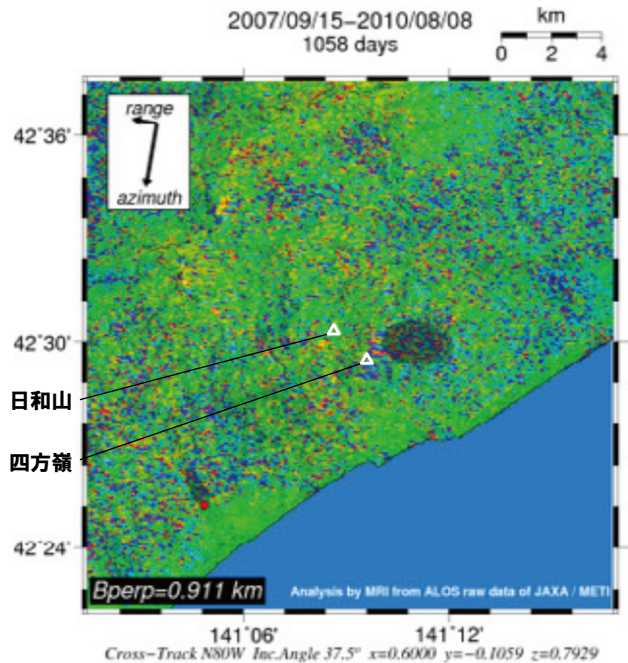
【気象研究所技術報告第69号(安藤, 2013)※】

○倶多楽・登別火山群周辺の2007年9月から2010年8月を対象とした干渉SAR解析結果が示されているものの、その特徴についての記載はない。

【第149回火山噴火予知連絡会資料(気象庁, 2021)】

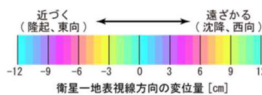
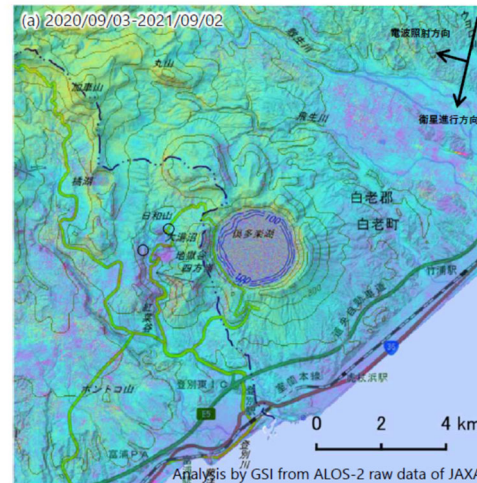
○倶多楽・登別火山群周辺の2020年9月から2021年9月における干渉SAR解析結果(南行き:中央下図, 北行き:右下図)について「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。

※安藤(2013)では、国内の活火山周辺における干渉SAR解析結果が示されており、火山活動に伴う位相変化が認められる火山について、その特徴を記載している。

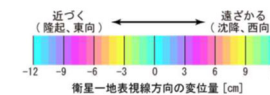
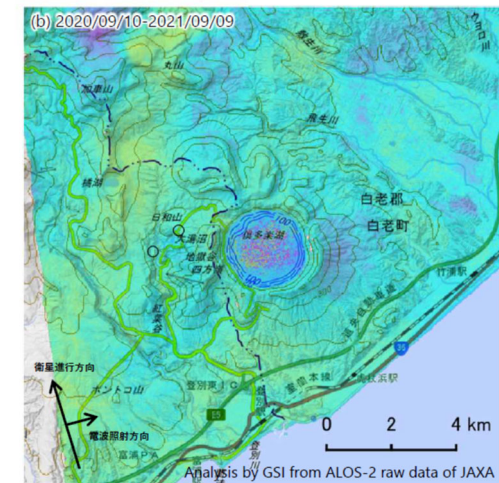


対象期間：2007/9/15 - 2010/8/8

倶多楽・登別火山群周辺における干渉SAR解析結果
(安藤(2013)に加筆)



対象期間：2020/9/3 - 2021/9/2



対象期間：2020/9/10 - 2021/9/9

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(2021)に加筆)

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/09/03 2021/09/02 11:41頃 (364日間)	2020/09/10 2021/09/09 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
垂基基線長	+112m	-6m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

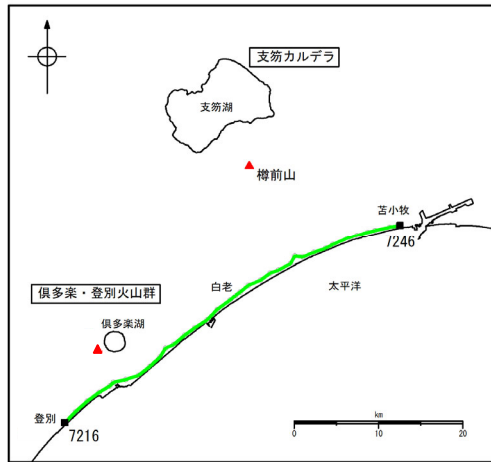


○倶多楽・登別火山群周辺での顕著な膨張や収縮は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

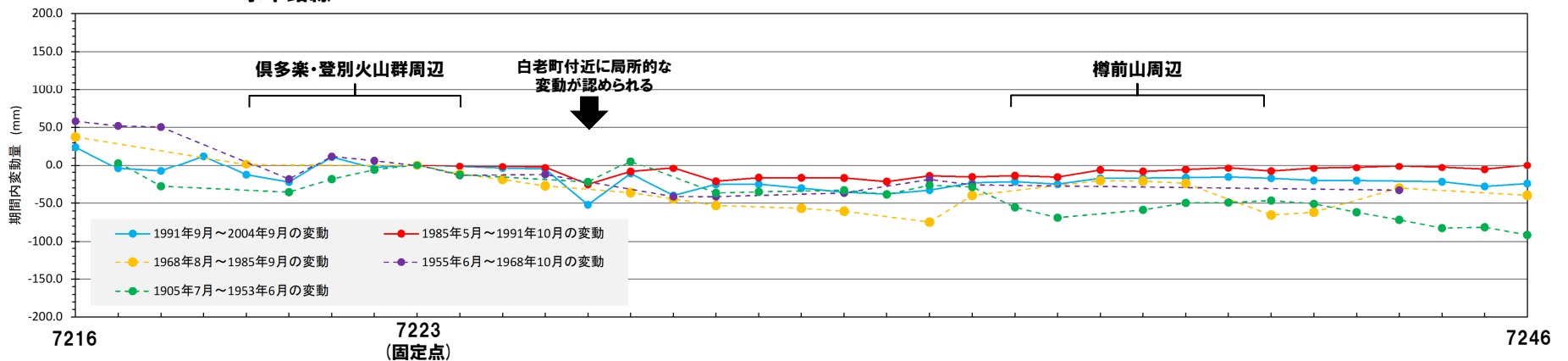
③-4 地殻変動(水準測量)

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺及び倶多楽・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、白老町付近に局所的な変動が認められるものの、倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。



凡例
 一等水準点(水準路線)
 ※検討に用いた水準点・路線のみを示す

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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

③-5 地殻変動(まとめ)

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

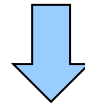
○倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降, 膨張や収縮は認められない。

【地殻変動(干渉SAR)】

○倶多楽・登別火山群周辺での顕著な膨張や収縮は認められない。

【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, 白老町付近にに局所的な変動が認められるものの, 倶多楽・登別火山群周辺での顕著な隆起や沈降は認められない。



○倶多楽・登別火山群周辺に顕著な地殻変動は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-1 地下構造(倶多楽・登別火山群における地震波速度構造)(1/2)

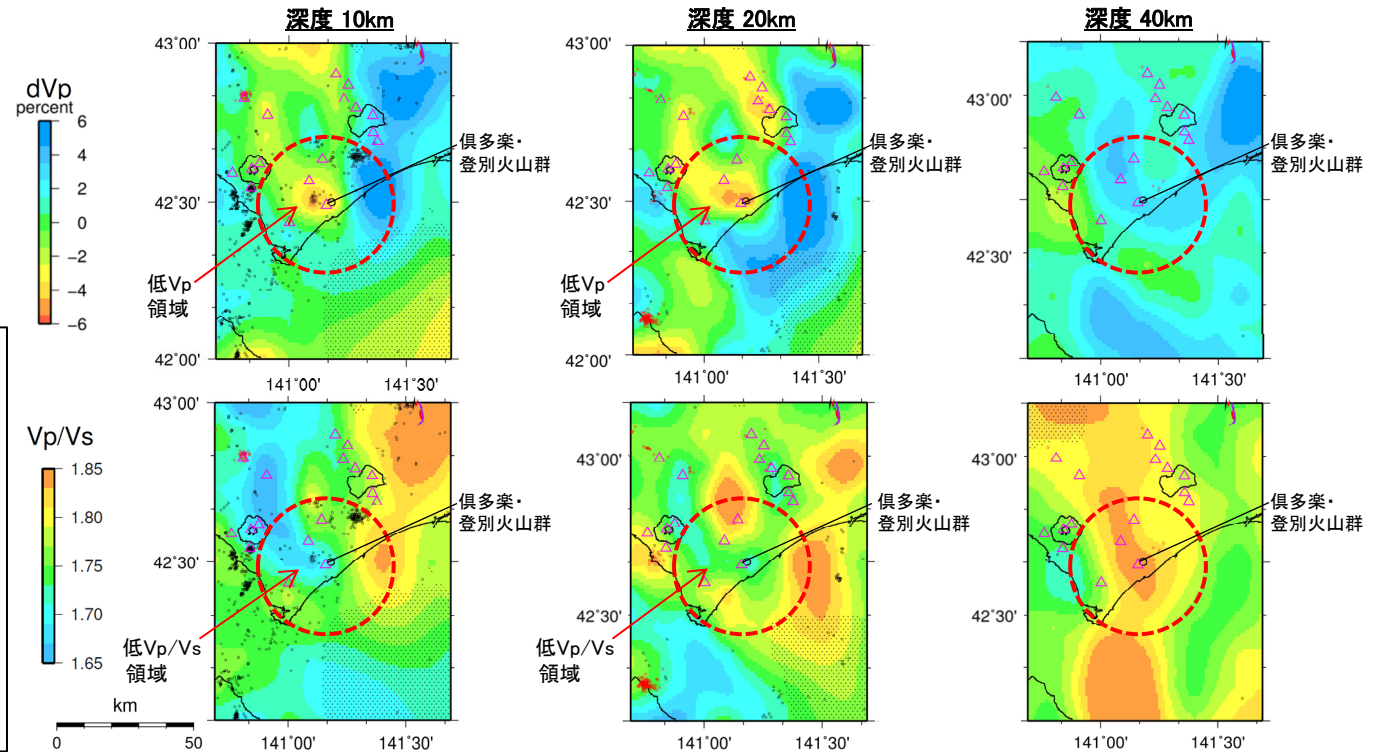
○防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al. (2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が倶多楽・登別火山群における水平・鉛直断面図を作成した。

○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評価方法(P78~P84参照)】
 ○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
 - 震央 (MJMA ≥ 0)
 - 低周波地震の震央 (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



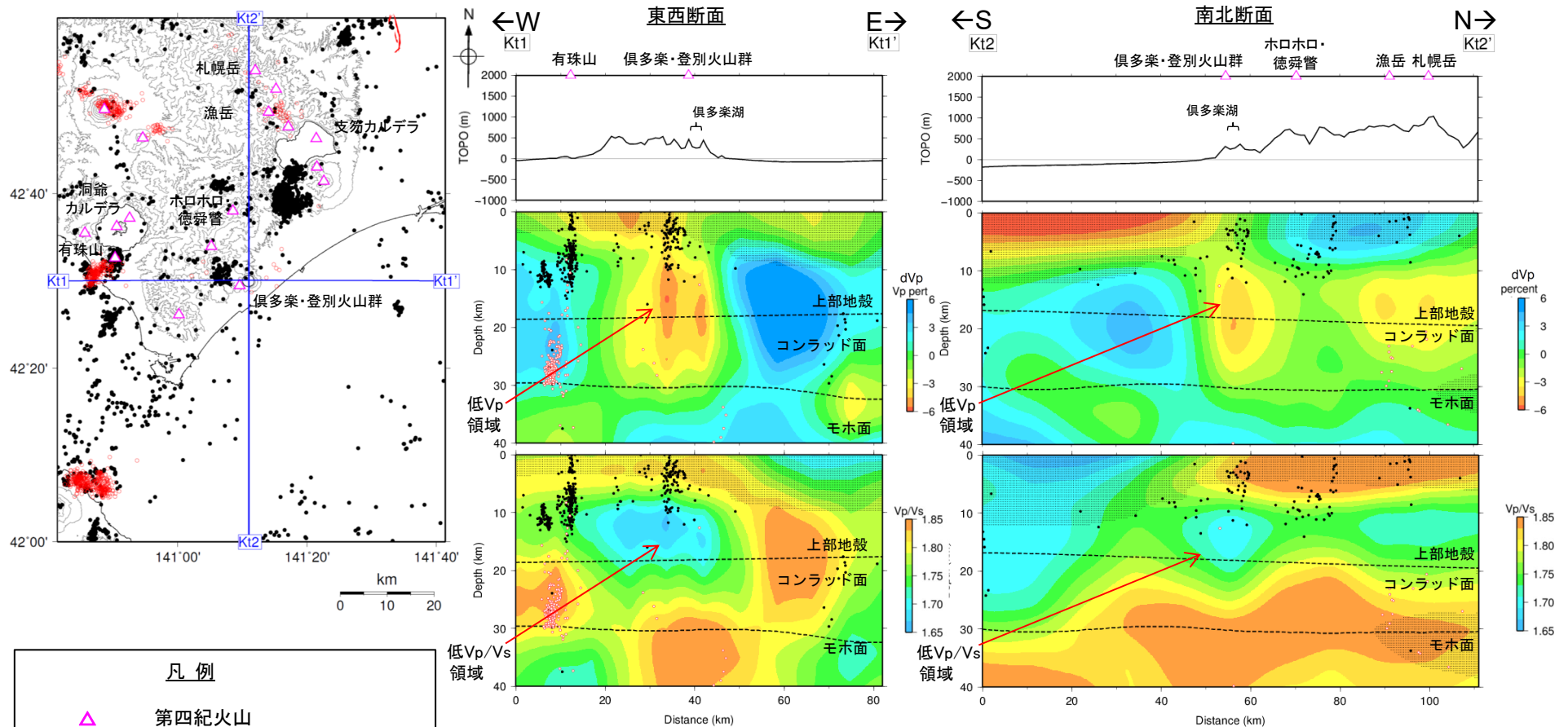
倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-1 地下構造(倶多楽・登別火山群における地震波速度構造) (2/2)



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。
 コンラッド面はZhao et al. (1992)、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。

- 凡例**
- ▲ 第四紀火山
 - 震央 (MJMA ≥ 0)
 - 低周波地震の震央 (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 }

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-2 地下構造(倶多楽・登別火山群における比抵抗構造)(1/4)

○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) (次頁参照)】

○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(次頁図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(次頁図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(次頁図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。

○倶多楽・登別火山群直下の浅部には低比抵抗領域が認められるものの、熱水変質帯であると考えられる。

【Hashimoto et al. (2019) (P150~P151参照)】

○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, P151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, P151右図「C2」及びP151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(P151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。

○登別温泉直下及びクッタラカルデラの北東部から南側の浅部に低比抵抗領域が認められるものの、熱水、高温及び熱水変質帯であるために低比抵抗を示すと考えられる。

○倶多楽湖直下の深度4km以浅の領域について、メルトの存在を否定するものではないとされているが、仮にメルトの存在を考慮したとしても、当該領域はメルト分率が低いとされていることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである“crystal mush”(P77参照)に対応すると考えられる。



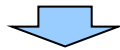
○倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

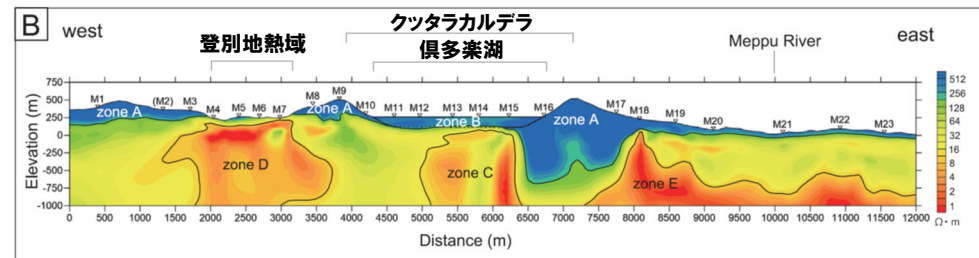
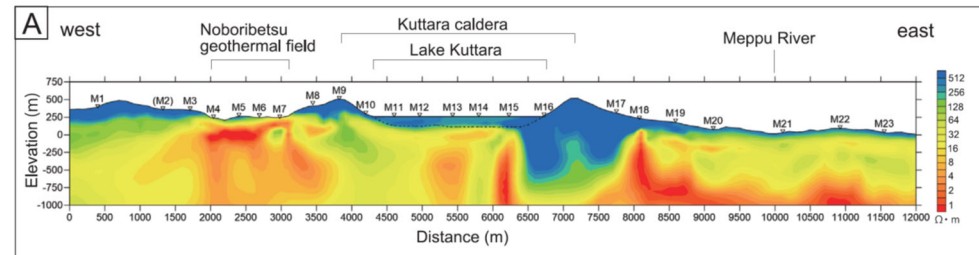
④-2 地下構造(倶多楽・登別火山群における比抵抗構造)(2/4)

【Goto and Johmori (2015)】

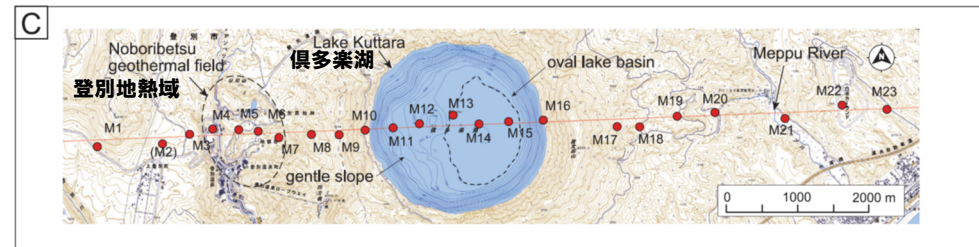
- 倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。
- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone D」)及びクッタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域(右図Bの「zone E」)が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クッタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone 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。



- 倶多楽・登別火山群直下の浅部には低比抵抗領域が認められるものの、熱水変質帯であると考えられる。



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)



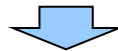
MT観測点位置図
(Goto and Johmori (2015) に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-2 地下構造(倶多楽・登別火山群における比抵抗構造)(3/4)

【Hashimoto et al. (2019)】

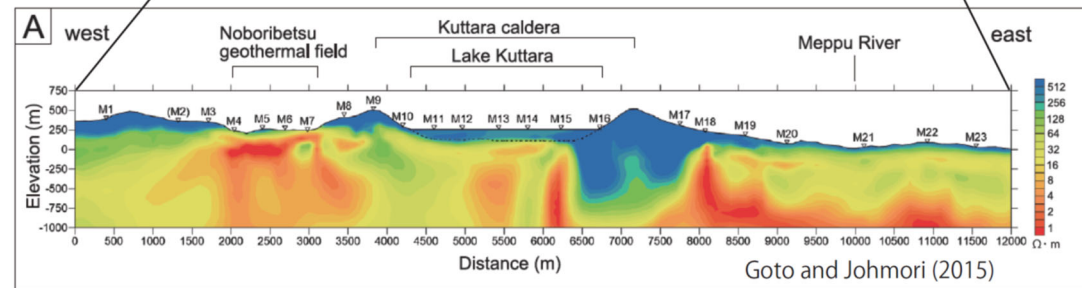
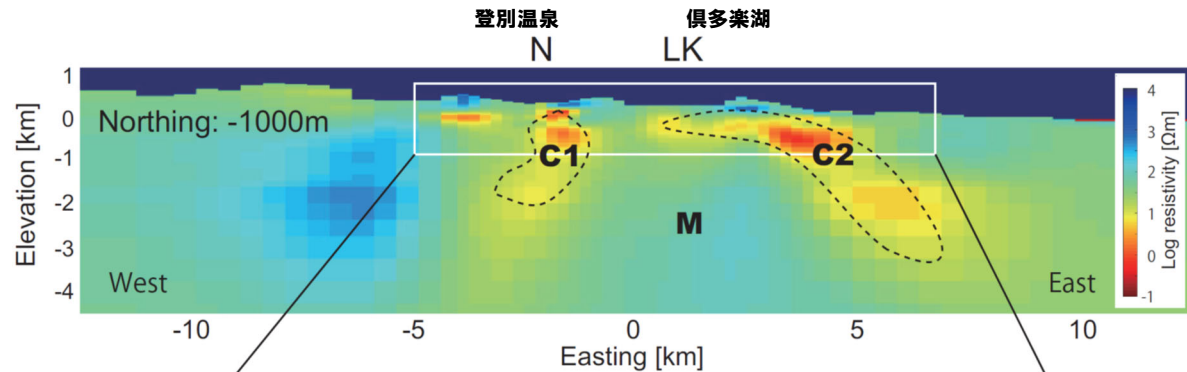
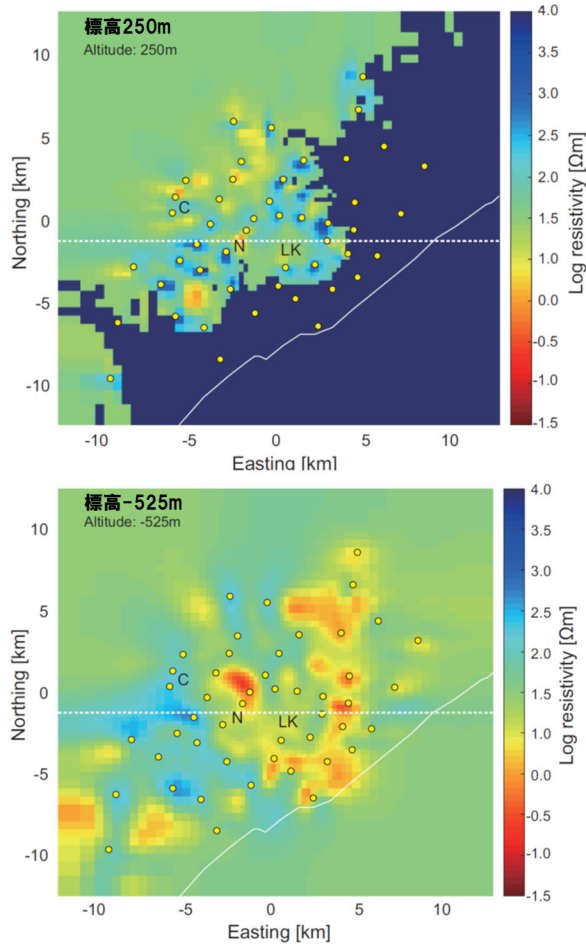
- 倶多楽・登別火山群において、MT法による電磁気探査を実施しているHashimoto et al. (2019) をレビューした。
 - ・Hashimoto et al. (2019) によれば、倶多楽湖を横切る東西断面の浅部において、Goto and Johmori (2015) と同様な結果が得られたとされている。
 - ・登別温泉直下の深度1km以浅において、低比抵抗領域(1~10Ωm, 次頁右図「C1」) が認められる。
 - ・既往調査において堆積物中に熱水変質鉱物が多く含まれること及び温泉水中の酸素と水素の同位体比が深部起源を示唆することが報告されていることを踏まえると、低比抵抗領域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。



- 登別温泉直下及びクッタラカルデラの北東部から南側の浅部に低比抵抗領域が認められるものの、熱水、高温及び熱水変質帯であるために低比抵抗を示すと考えられる。
- 倶多楽湖直下の深度4km以浅の領域について、メルトの存在を否定するものではないとされているが、仮にメルトの存在を考慮したとしても、当該領域はメルト分率が低いとされていることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである”crystal mush”(P77参照) に対応すると考えられる。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-2 地下構造(倶多楽・登別火山群における比抵抗構造)(4/4)



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 (P149参照)
 (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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-3 地下構造(倶多楽・登別火山群における重力異常)(1/4)

○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、クツタラステージの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。
- ・クツ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ツ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してされている。

○倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、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。

○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)(P154~P155参照)】

○地形、重力異常等から現在のクツタラカルデラを取り巻く先クツ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、現在のクツ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。
- ・クツ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、クツタラカルデラは径 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。

○倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、現在のクツ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。

○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。



○倶多楽・登別火山群周辺の低重力異常域は、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が、これらの文献においては、マグマ溜まりに関する考察はされていない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-3 地下構造(倶多楽・登別火山群における重力異常)(2/4)

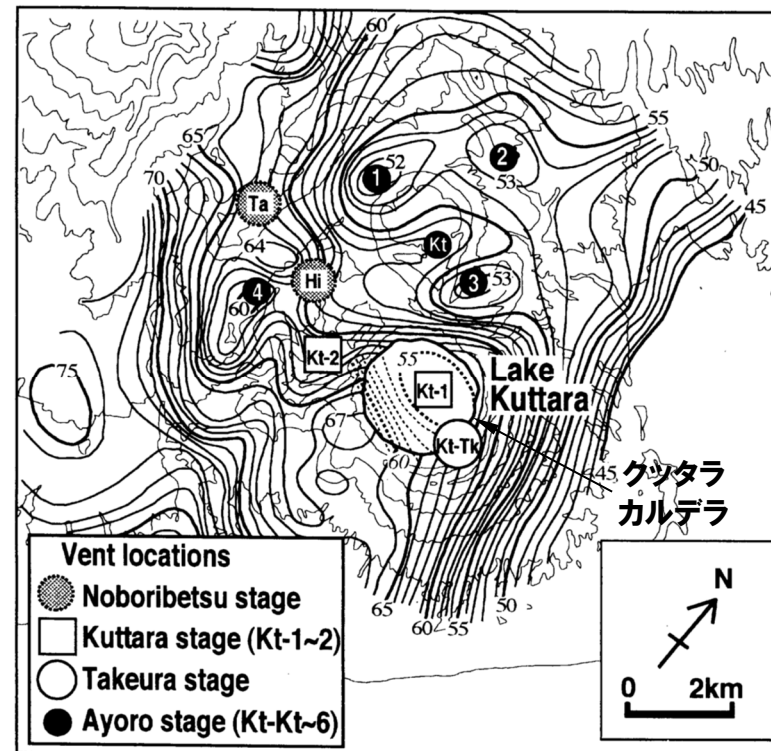
【森泉(1998)】

- 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、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考えられている。

※各活動ステージについてはP131参照。



- 倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、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。
- 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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-3 地下構造(倶多楽・登別火山群における重力異常)(3/4)

【畠山ほか(2005)】

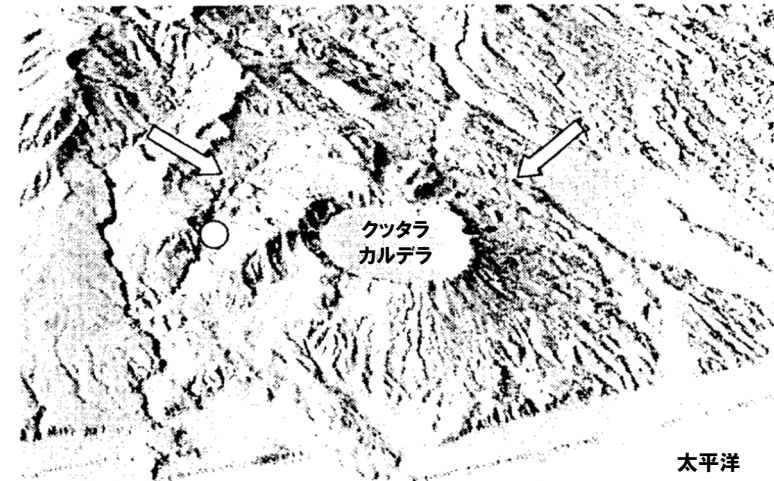
- 地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。
 - ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造(下図矢印)が確認できるとされている。
 - ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図(次頁参照)では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
 - ・森泉(1998)(前頁参照)は、これらの低重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。



- 倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、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。
- 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

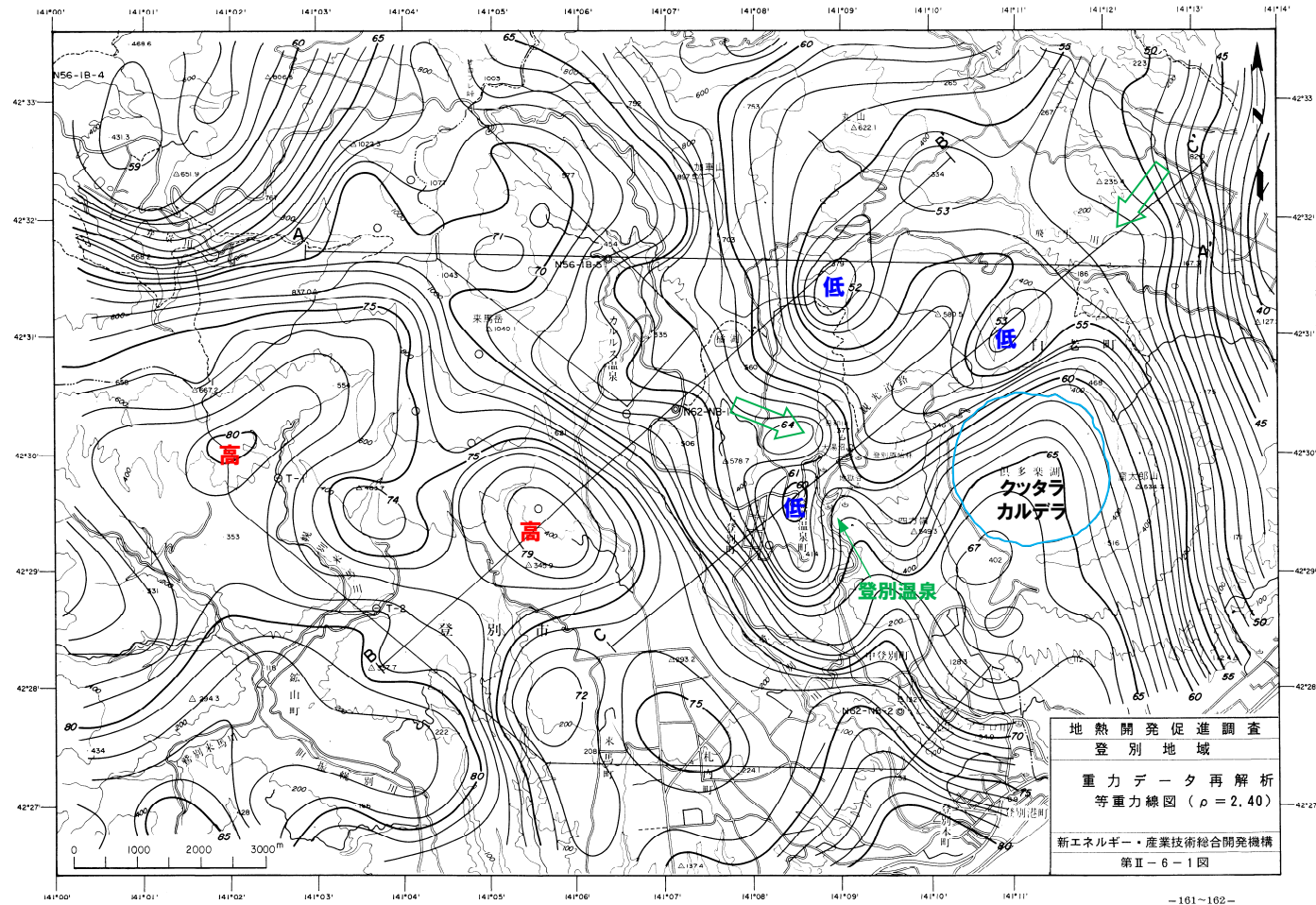
- ⇒ : 成層火山体を取り巻く環状構造
- : 登別温泉



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)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-3 地下構造(倶多楽・登別火山群における重力異常)(4/4)



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)

余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

④-4 地下構造(まとめ)

【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~P151参照)】

- 倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km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(P152~P155参照)】

- 倶多楽・登別火山群周辺の低重力異常域は、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が、これらの文献においては、マグマ溜まりに関する考察はされていない。



- 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地下構造は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

⑤ 評価(倶多楽・登別火山群)(1/2)

- 過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない倶多楽・登別火山群について、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を行った。
- 評価に当たっては、倶多楽・登別火山群の噴火履歴、噴出物体積等を整理し、評価方法について検討した。
- 噴火履歴、噴出物体積等については、P15に示すカタログ等に加え、倶多楽・登別火山群を含む支笏-洞爺火山地域の噴火履歴をまとめているAmma-Miyasaka et al. (2020) 及び関連する文献を参照した。

- 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」とされていることから(P38~P39参照)、巨大噴火であった可能性が否定できない。
- 登別ステージ以前においては、噴出物体積が10km³(DRE)を超える噴火が複数回認められており、20km³(DRE)を超える規模の噴火は、約5万年前にKt-3を噴出した噴火である。
- なお、森泉(1998)によればKt-3の噴出物体積20.1km³(DRE)のうち、火砕流は2.2km³(DRE)とされており、火砕流の占める割合は少なく、分布範囲が山体近傍に限られることから(P39参照)、Kt-3は巨大噴火に該当しない。
- 倶多楽・登別火山群は、Kt-7を噴出した噴火が巨大噴火であった可能性が否定できないが、現在は活動度の低い登別ステージであるため、運用期間中の巨大噴火の可能性は小さいと考えられるものの、洞爺カルデラ及び支笏カルデラと同様に、巨大噴火の可能性については、以下の地球物理学的調査の結果から、現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態にあるかどうか及び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が得られるかどうかにより評価した。
【地球物理学的調査】
 - ・火山性地震(P132~P136参照)
 - ・地殻変動(P137~P145参照)
 - ・地下構造(地震波速度構造(P146~P147参照)、比抵抗構造(P148~P151参照)及び重力異常(P152~P155参照))
- 倶多楽・登別火山群における地球物理学的調査結果を次頁に示す。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

⑤ 評価(倶多楽・登別火山群)(2/2)

倶多楽・登別火山群における地球物理学的調査結果

【火山性地震(P132~P136参照)】		【地殻変動(P137~P145参照)】			
○地震活動は、日和山の西側に集中しており、その規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められず、概ね低調に経過している。		○倶多楽・登別火山群周辺に顕著な地殻変動は認められない。			
【地下構造(P146~P157参照)】					
地震波速度構造	比抵抗構造		重力異常		地下構造の評価
防災科学技術研究所HP「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」(P146~P147参照)	Goto and Johmori (2015) (P149参照)	Hashimoto et al. (2019) (P150~P151参照)	森泉 (1998) (P153参照)	畠山ほか (2005) (P154~P155参照)	
○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。	○倶多楽・登別火山群直下の浅部には低比抵抗領域が認められるものの、熱水変質帯であると考えられる。	○登別温泉直下及びクッタラカルデラの北東部から南側の浅部に低比抵抗領域が認められるものの、熱水、高温及び熱水変質帯であるために低比抵抗を示すと考えられる。 ○倶多楽湖直下の深度4km以浅の領域について、メルトの存在を否定するものではないとされているが、仮にメルトの存在を考慮したとしても、当該領域はメルト分率が低いとされていることから、東宮(2016)に示される結晶量が多くそのままでは噴火できないマグマである”crystal mush”に対応すると考えられる。	○倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、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。 ○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。	○倶多楽・登別火山群周辺に認められる低重力異常域は、現在のクッタラカルデラより大きな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。 ○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。	○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地下構造は認められない。
	○倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km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。		○倶多楽・登別火山群周辺の低重力異常域は、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が、これらの文献においては、マグマ溜まりに関する考察はされていない。		



○地球物理学的調査の結果から、倶多楽・登別火山群の現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価でき、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が得られていないことから、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。