

目次

1. 火山影響評価の概要	P. 10
2. 立地評価	P. 34
2.1 文献調査	P. 37
2.2 敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山	P. 47
2.2.1 第四紀火山の抽出及び火山噴出物の分布	P. 49
2.2.2 敷地及び敷地近傍における火山噴出物の分布	P. 57
2.3 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 77
2.4 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 85
2.4.1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 89
2.4.2 巨大噴火の可能性評価方法	P. 95
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P. 109
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P. 149
2.4.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 195
2.5 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P. 239
3. 影響評価	
3.1 地理的領域内の火山による火山事象の影響	
3.2 降下火砕物の影響評価	
3.2.1 降下火砕物の層厚評価の概要	
3.2.2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
3.2.3 降下火砕物シミュレーション	
3.2.4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
3.2.5 降下火砕物の密度・粒径	
4. モニタリング	
4.1 監視対象火山の抽出	
4.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態	
参考資料	P. 306
参考文献	P. 319

・本章の説明内容

【評価結果】支笏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)

「3. 影響評価」及び「4. モニタリング」については今後説明予定

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

2.2 敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山

2.2.1 第四紀火山の抽出及び火山噴出物の分布

2.2.2 敷地及び敷地近傍における火山噴出物の分布

2.3 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

32火山

○完新世に活動があった火山

7火山

支笏カルデラ, 倶多楽・登別火山群, 洞爺カルデラ, 羊蹄山, ニセコ・雷電火山群, 北海道駒ヶ岳, 恵山

○将来の活動可能性が否定できない火山

6火山

ホロホロ・徳舜誓, オロフレ・来馬, 尻別岳, 狩場山, 勝洞山, 横津岳

○将来の活動可能性が十分に小さい火山

19火山

13火山

2.4 運用期間中の火山の活動可能性評価

活動履歴から、運用期間中における火山の活動の可能性が十分小さいと判断できない。

2.4.1 過去に巨大噴火が発生した火山

○「火砕流を含む火山噴出物の分布が広範囲」であり、「噴出物体積が20km³以上」である噴火が発生した火山を過去に巨大噴火が発生した火山として抽出。

【過去に巨大噴火が発生した火山】

支笏カルデラ, 洞爺カルデラ

【過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない火山】

倶多楽・登別火山群

2.4.2 巨大噴火の可能性評価方法

○活動履歴及び地球物理学的調査(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)により、運用期間中における巨大噴火の可能性を評価する。

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

2.4.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

支笏カルデラ, 倶多楽・登別火山群及び洞爺カルデラ以外の10火山

3火山(巨大噴火以外)

2.5 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価

○設計対応不可能な火山事象(溶岩流, 岩屑なだれ等, 火砕物密度流, 新しい火口の開口及び地殻変動)が運用期間中に敷地に到達する可能性又は敷地に影響を与える可能性は十分小さい。

余白

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

【評価結果】支笏カルデラの巨大噴火の可能性評価

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 支笏カルデラにおいて約4万年前にSp-1 (支笏火砕流 (Spfl) 及び支笏第1降下軽石 (Spfa-1)) 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150km³ (火砕流) 及び200~240km³ (降下軽石) とされることから、巨大噴火に該当する。
- 活動履歴及び地球物理学的調査(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)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。

検討項目		検討結果	該当頁
	①活動履歴	<ul style="list-style-type: none"> ○支笏カルデラの巨大噴火は1回であり、巨大噴火が発生したカルデラ形成期と現在の活動期である後カルデラ期は、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる。 ○網羅的な文献調査の結果、支笏カルデラについては、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。 	次頁～ P115
地球物理学的調査	②地下構造	<ul style="list-style-type: none"> ○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】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。 ・支笏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。 <p>【比抵抗構造】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・文献に基づくと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。 <p>(地震波速度構造と比抵抗構造との比較)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・支笏カルデラ直下の上部地殻内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、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結果、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>【重力異常】</p> <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。 	P116～ P117
		P119～ P127	
		P128	
	③火山性地震	<ul style="list-style-type: none"> ○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。 	P130～ P134
	④地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ○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。 	P135～ P145
	<ul style="list-style-type: none"> ○支笏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。 		

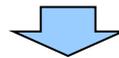
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

① 活動履歴(1/4)

一部修正(R5/1/20審査会合)

- 活動履歴から、支笏カルデラの現在の活動状況について検討を実施した。
- 支笏カルデラ、恵庭岳、風不死岳及び樽前山の活動履歴を次頁～P115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(2.1章参照)も踏まえ実施している。
 - ・約4万年前にSp-1(支笏火砕流(Spfl)及び支笏第1降下軽石(Spfa-1))を噴出した噴火により、現在の支笏カルデラが形成され、その後、後カルデラ火山である風不死岳、恵庭岳及び樽前山が形成された。
 - ・約4万年前にSp-1を噴出した噴火以降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1981年の樽前山の噴火である。
 - ・約4万年前にSp-1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350～390km³(火砕流150km³(マグマ体積:80km³(DRE)), 降下軽石200～240km³(マグマ体積:40～48km³(DRE)))とされることから(P114参照)、巨大噴火に該当する。
 - ・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P19参照)、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
 - ・なお、各後カルデラ火山の噴出物体積は、風不死岳の総和が10.2km³(マグマ体積:8.4km³※(DRE)), 恵庭岳の総和が14.6km³※(マグマ体積:11.1km³(DRE)), 樽前山の最大のが6.28km³(溶岩ドーム)である。
 - ・約6万年前の噴火により噴出されたSp-4(Ssfa及びSsfl)は、現況の知見において広範囲に分布する状況は認められないことから、巨大噴火に該当しない。

※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。



- 支笏カルデラの巨大噴火は1回であり、巨大噴火が発生したカルデラ形成期と現在の活動期である後カルデラ期は、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる。
- 網羅的な文献調査の結果、支笏カルデラについては、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。

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

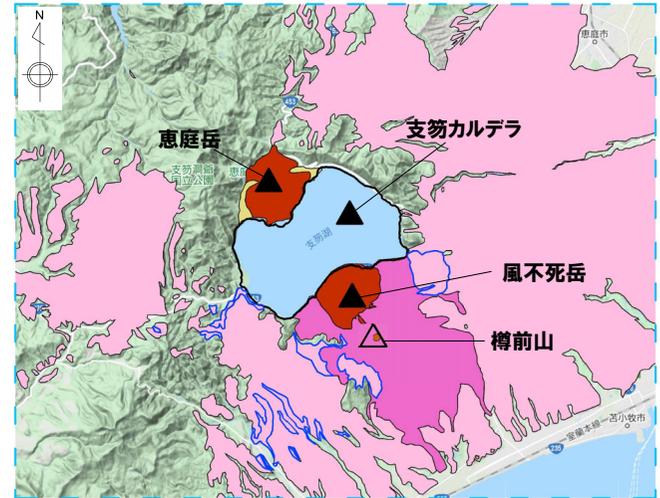
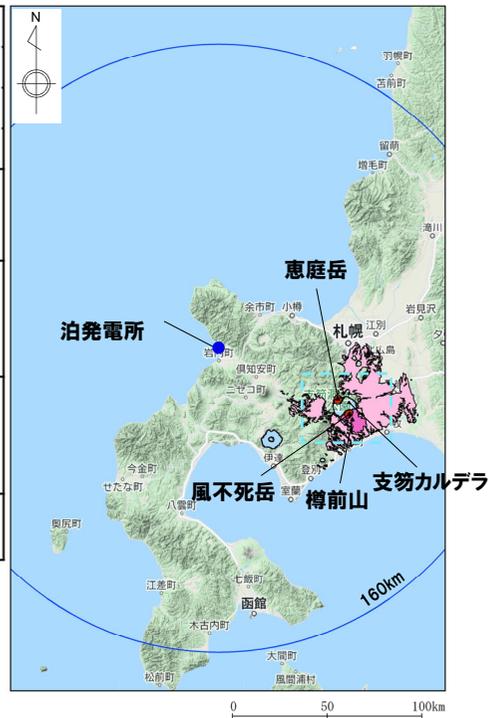
① 活動履歴 (2/4)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

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※3	支笏カルデラ:約4万年前にカルデラ形成 恵庭岳:約1万8000年前以前に活動開始 風不死岳:約4万年前以降 樽前山:約9000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～P115に示す支笏カルデラ, 恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の活動履歴に基づく。



支笏カルデラ, 恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の噴出物分布図
 (産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) より作成)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

① 活動履歴 (3/4)

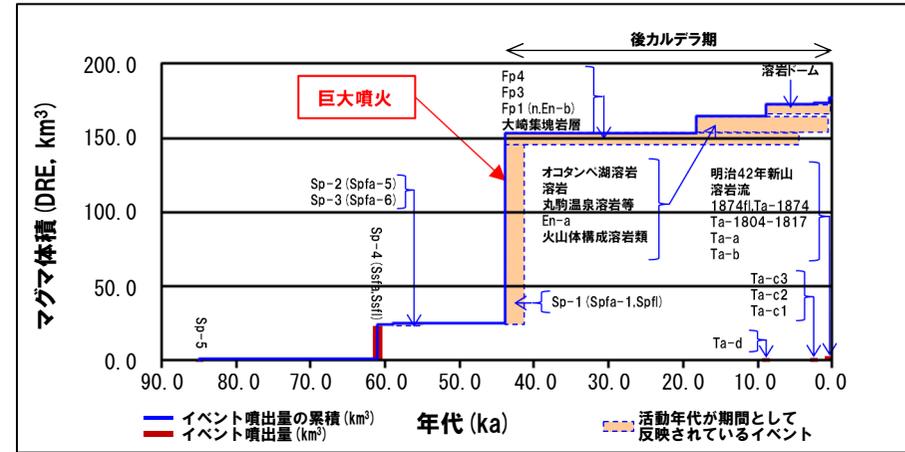
一部修正 (H28/2/5審査会合)

支笏カルデラ活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体体積 (km ³)	参考文献
完新世				山元 (2014)
更新世		40~48 (降下軽石) 80 (火砕流)		金田ほか (2020) Amma-Miyasaka et al. (2020)
第四紀 長期的 前駆活動	43.8-41.4ka	Sp-1 (Spfa-1, Spfl) : ps, pfa, pfl		
	ca.55ka	Sp-2 (Spfa-5) : pfa	1.2	産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2022)
	ca.59ka	Sp-3 (Spfa-6) : pfa		
	ca.61ka	Sp-4 (Ssfa, Ssfl) : pfa, afa, sfa, sfl	16~23*1	
	ca.85ka	Sp-5 : pfa, afa	[smaller than VEI5 class**2]	宝田ほか (2022)

※1 宝田ほか (2022) によれば、Sp-4のマグマ体積は、16~23km³ (DRE) 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、23km³として図示している。

※2 Amma-Miyasaka et al. (2020) によれば、Sp-5の噴出規模は、概算として「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、マグマ体積 (DRE) を1km³として図示している。



噴出量-年代階段ダイアグラム

恵庭岳活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (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	11.1		5.7
	2.04ka	オコタンへ湖溶岩			
9.52ka	溶岩				
更新世	15.62ka	丸駒温泉溶岩等			
	18.21ka	En-a			
	18.21ka以前	火山体構成溶岩類			

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

① 活動履歴(4/4)

一部修正(H28/2/5審査会合)

風不死岳活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (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) Amma- Miyasaka et al.(2020)	
	4.475ka	Fp4	8.4		5.7
	8.465ka	Fp3			
	不明	Fp2			
	更新世				
	25.5ka	Fp1 (n.En-b)			
	不明	第3期溶岩			
	不明	踏畑の沢溶結凝灰岩			
	不明	第2期溶岩			
	不明	第1期溶岩			
不明	金次郎沢集塊岩層				
43.8-41.4ka以降	大崎集塊岩層				

樽前山活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (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)	
	19世紀以降	19世紀以降噴火	(水蒸気爆発)		4 (火砕丘) 1.8 (火砕流噴出物)
	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 (d1,d2)	1.40		
	8.95-0.146ka	溶岩ドーム	6.28		

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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)

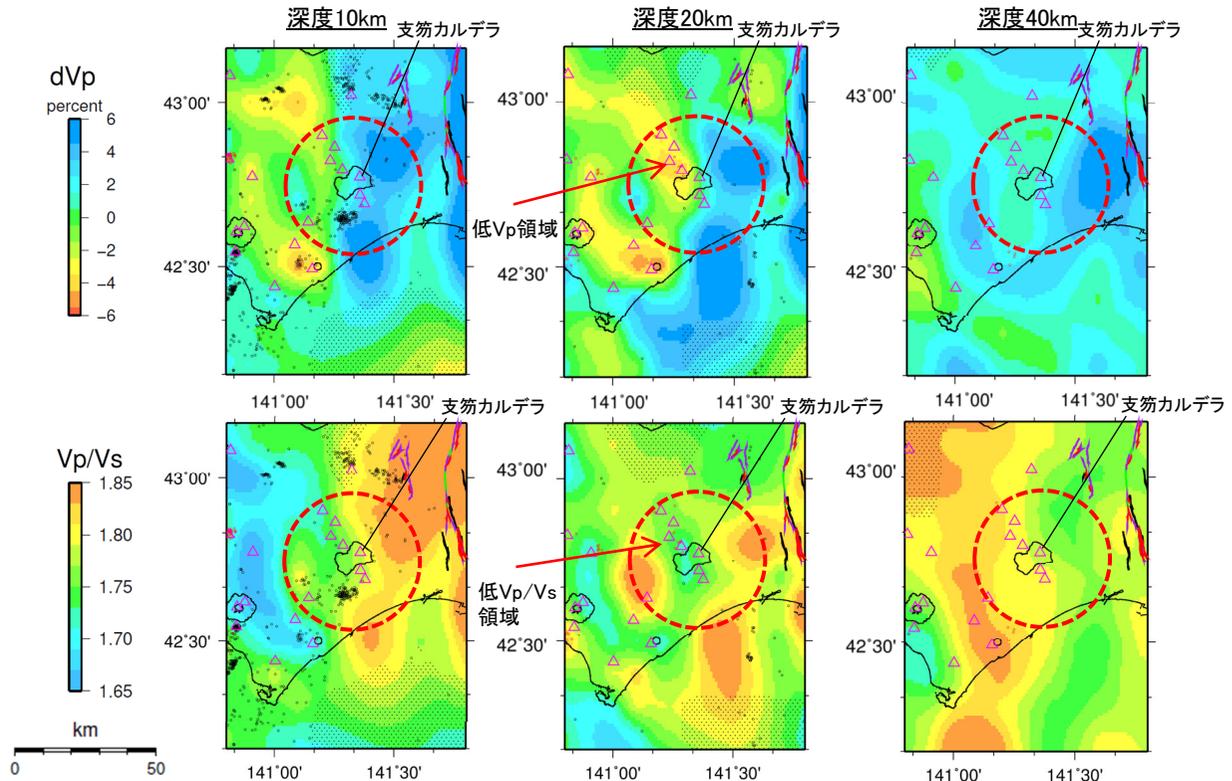
- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が支笏カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- 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検討方法(P96~P105参照)】

- 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
- 支笏カルデラを中心とした、半径25kmの範囲



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。

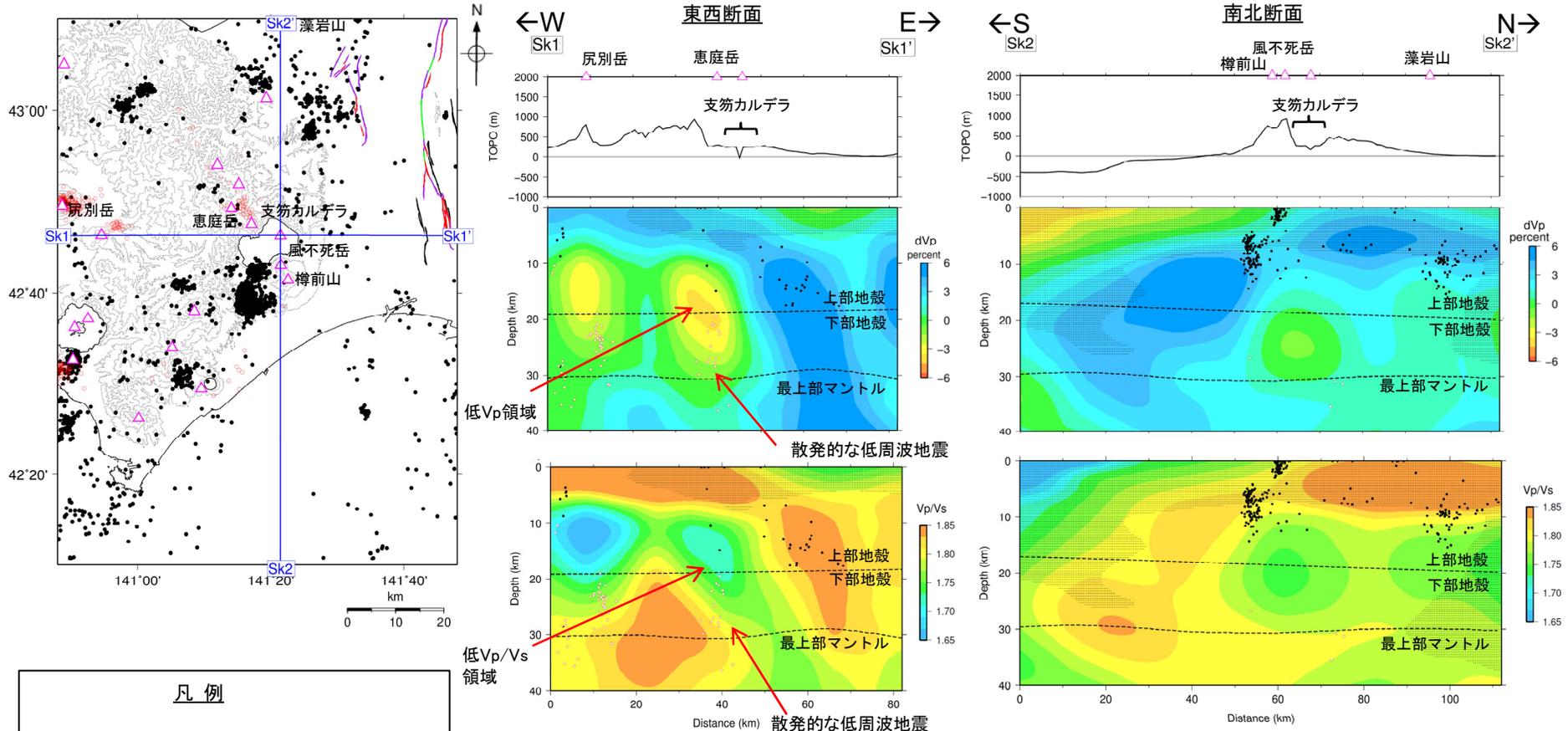
支笏カルデラ周辺では、北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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)



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±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ツルの境界(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。

凡例

- △ 第四紀火山
 - 黒点 震源 (M_{JMA} ≥ 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

余白

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/7)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

○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 Ωm以下及び10 Ωm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、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)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。

○Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、部分熔融域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認められる。

【Ichihara et al. (2019) (P123参照)】

○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(P123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。

○Ichihara et al. (2019) に基づくと、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認められる。



○文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019) に基づくと、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、当該領域における比抵抗構造と地震波速度構造とを合わせた検討を実施する(P124～P127参照)。

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (2/7)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

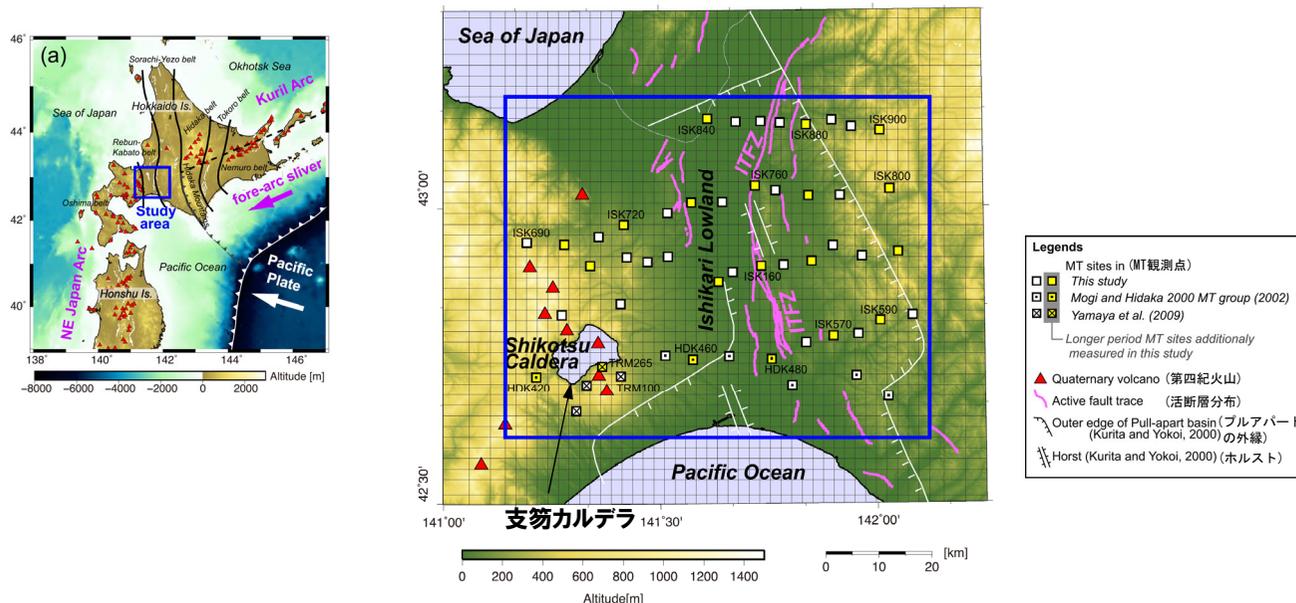
【Yamaya et al. (2017)】

○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、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)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。



○Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、部分熔融域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認められる。

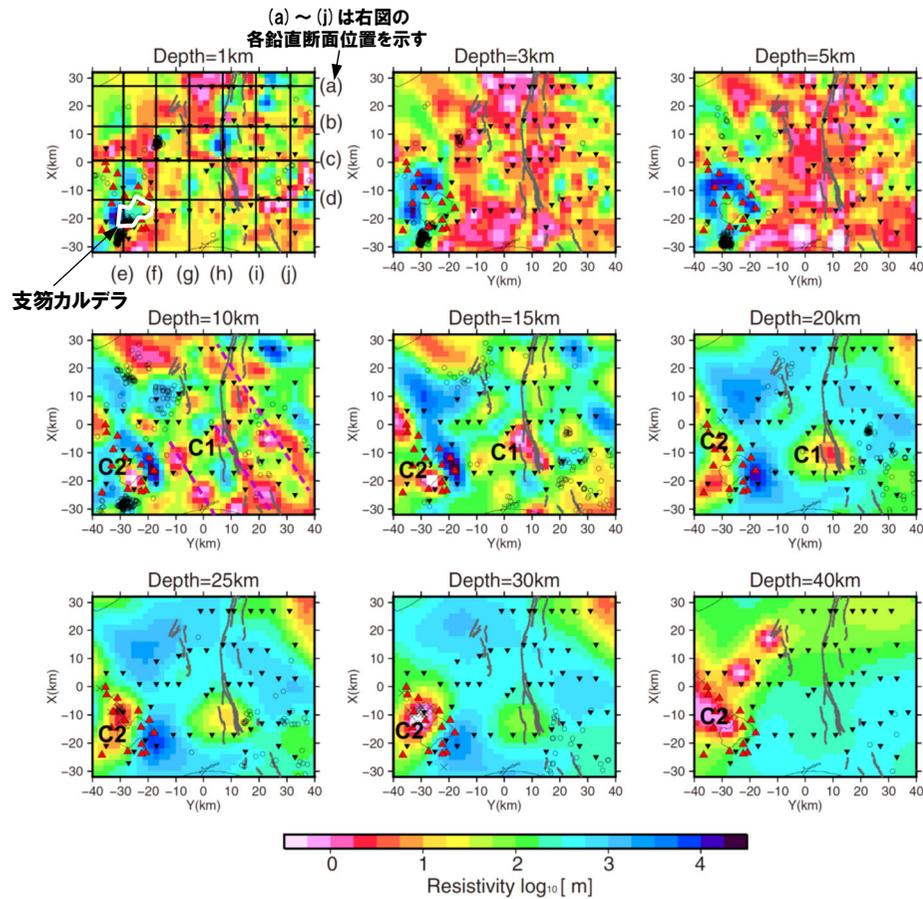


調査地域位置図(左図)及びMT測定地点位置図(右図)(Yamaya et al. (2017) に加筆)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

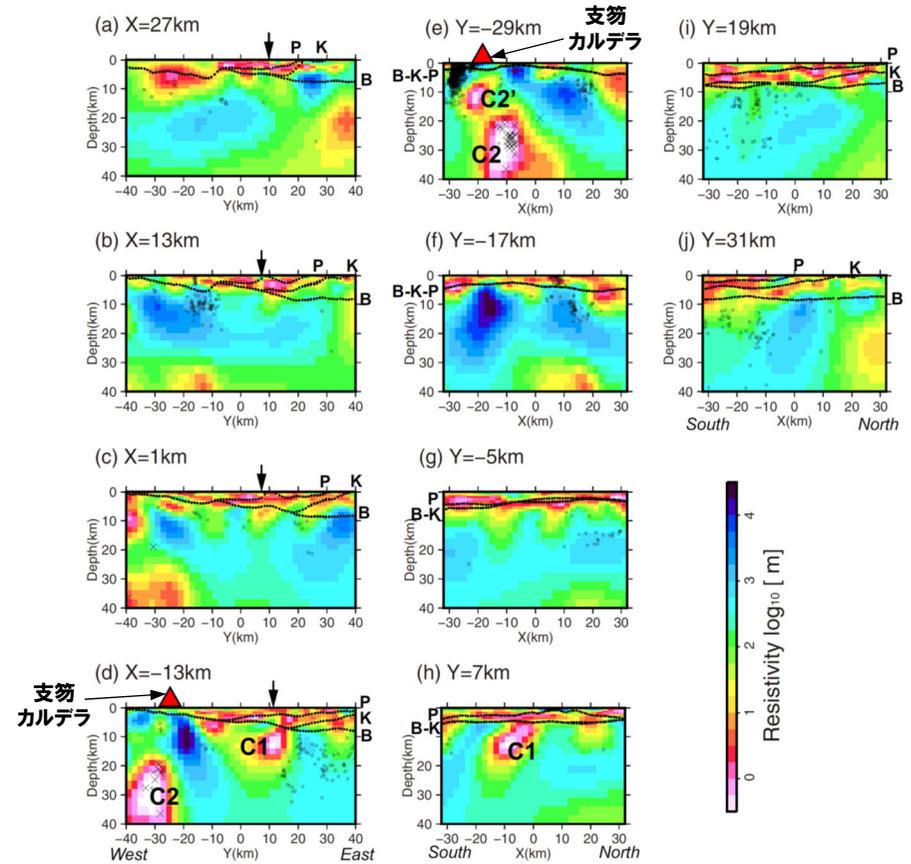
②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/7)

再掲 (R5/1/20審査会合)



- 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
 - ▲ 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
 - × 深部低周波地震の震源 (1997~2014年)
 - ↓ 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)

余白

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/7)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

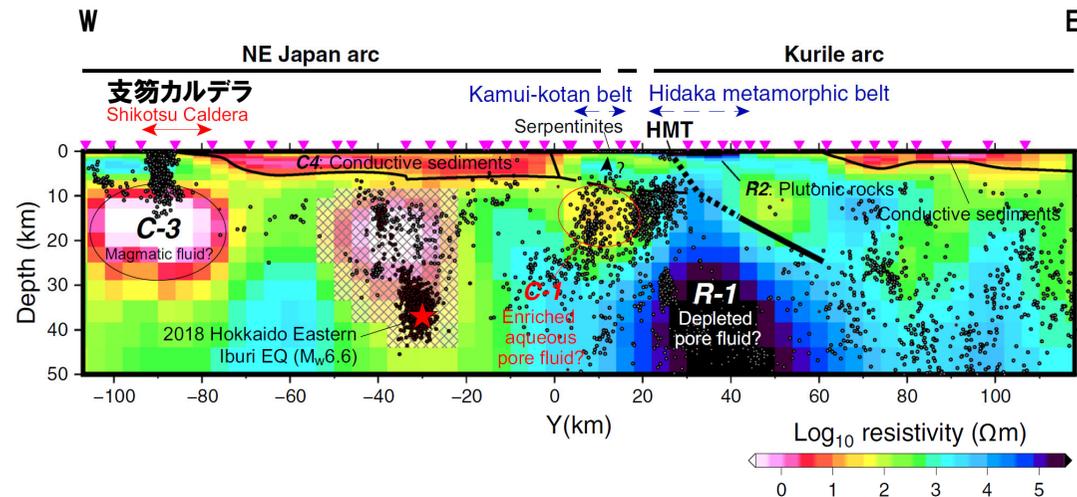
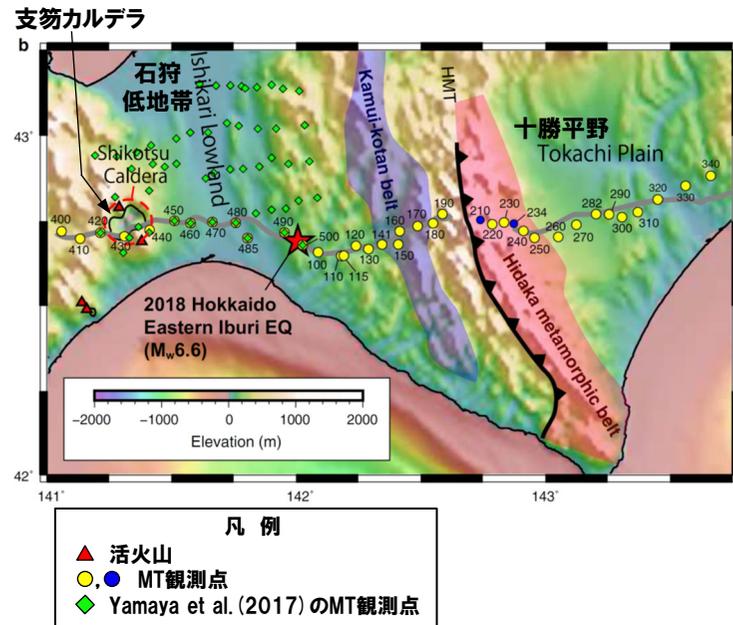
【Ichihara et al. (2019)】

○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。



○Ichihara et al. (2019) に基づくと、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認められる。



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

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (5/7)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)に基づくと、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が、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)が比抵抗構造だけでは判断できないとされている。
- このため、当該領域について、当社が作成した地震波速度構造断面*を用いて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した。

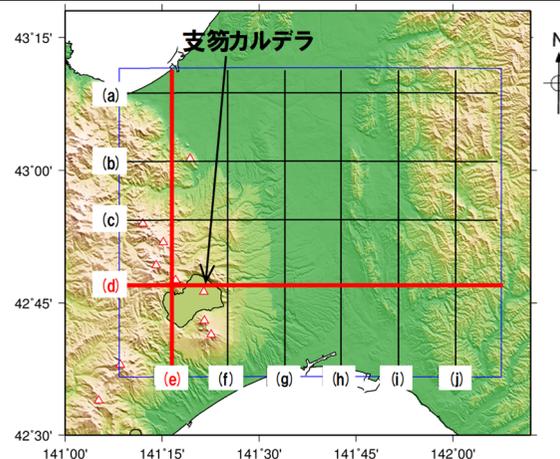
【Yamaya et al. (2017) の(d) 断面及び(e) 断面に対応する地震波速度構造】

- Yamaya et al. (2017) に示される支笏カルデラ直下の低比抵抗領域「C2'」付近における地震波速度構造* (次頁「(e) 断面」) 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。
- なお、当該領域が水に富む領域となる要因としては、北海道南部とマグマ供給システムが同様である東北日本(P98~P103参照)に位置する鳴子カルデラの事例を踏まえると、下部地殻中のメルトが固化し、低周波地震を伴いながら水が浅部へ放出されることにより、水が供給されている可能性が考えられる(P308~P313参照)。

※P117に示す当社作成の地震波速度構造断面は、中野ほか編(2013)に示される支笏カルデラの代表点を通るように断面を作成していた。ここでは、改めて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) 断面に合わせた位置で断面を当社が作成した。



- 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。



次頁鉛直断面位置図

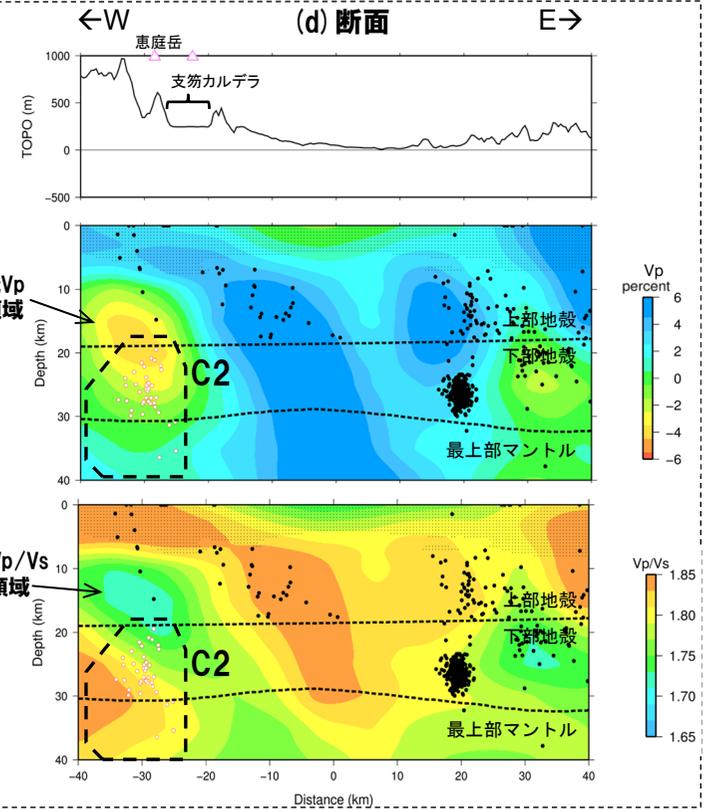
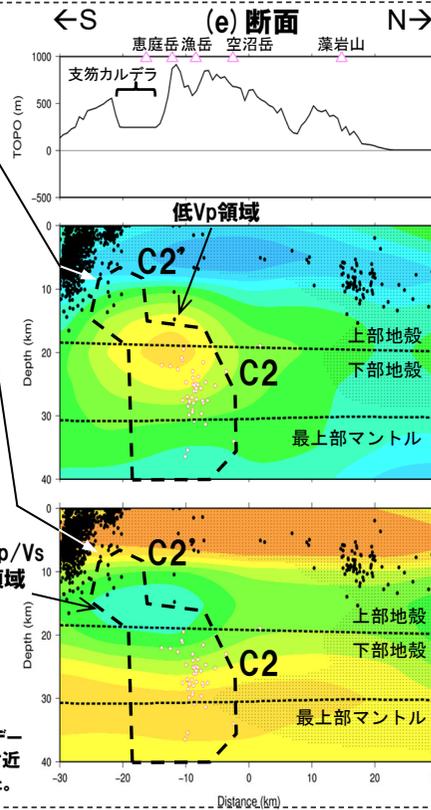
(Yamaya et al. (2017) に示される断面のうち、支笏カルデラ付近で直交する(d) 断面及び(e) 断面を掲載)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査 (地下構造: 比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (6/7)

再掲 (R5/1/20審査会合)

○「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。



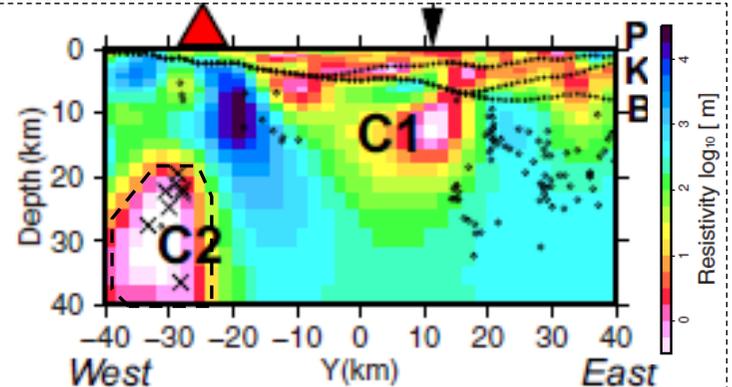
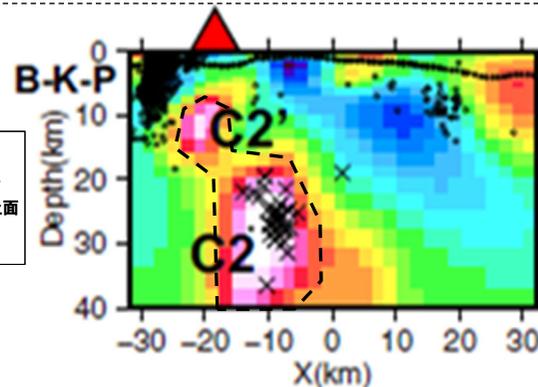
- 凡例(地震波速度構造)
- △ 第四紀火山
 - 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
 - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
 - Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」

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) 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)断面に合わせた位置で断面を当社が作成した。

- 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

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

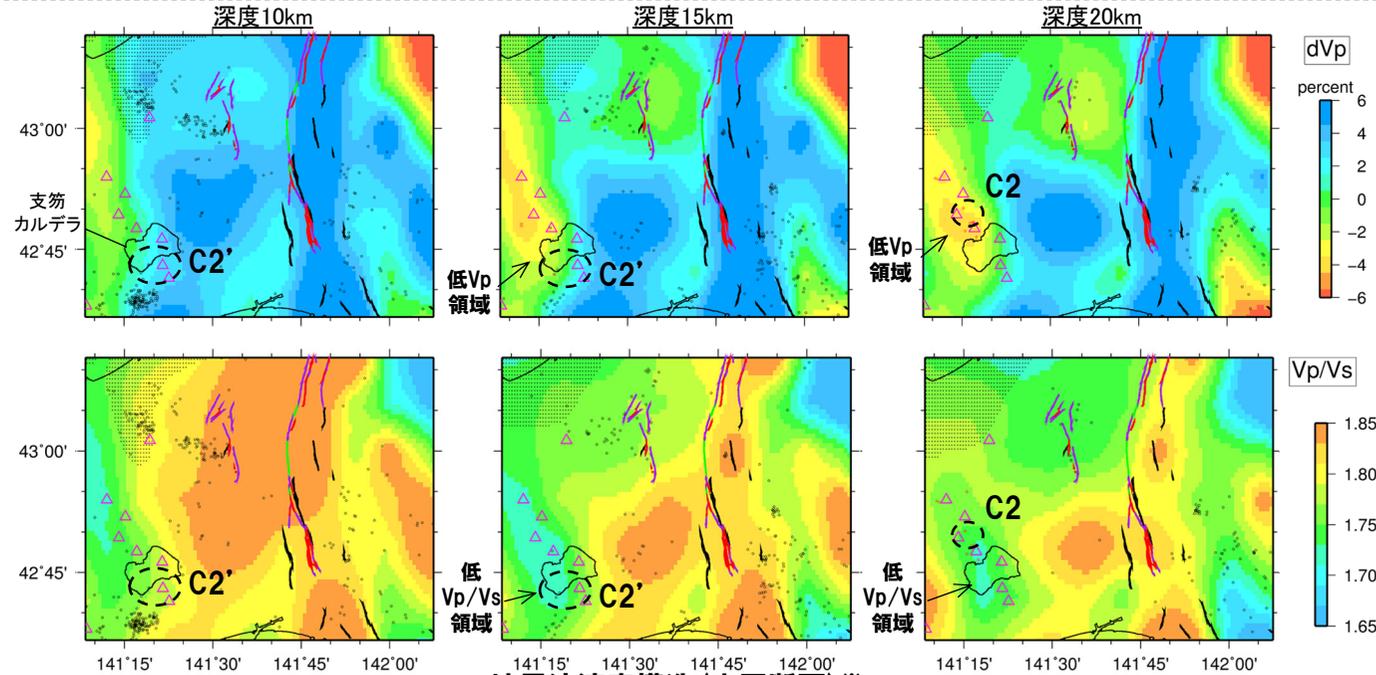


余白

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

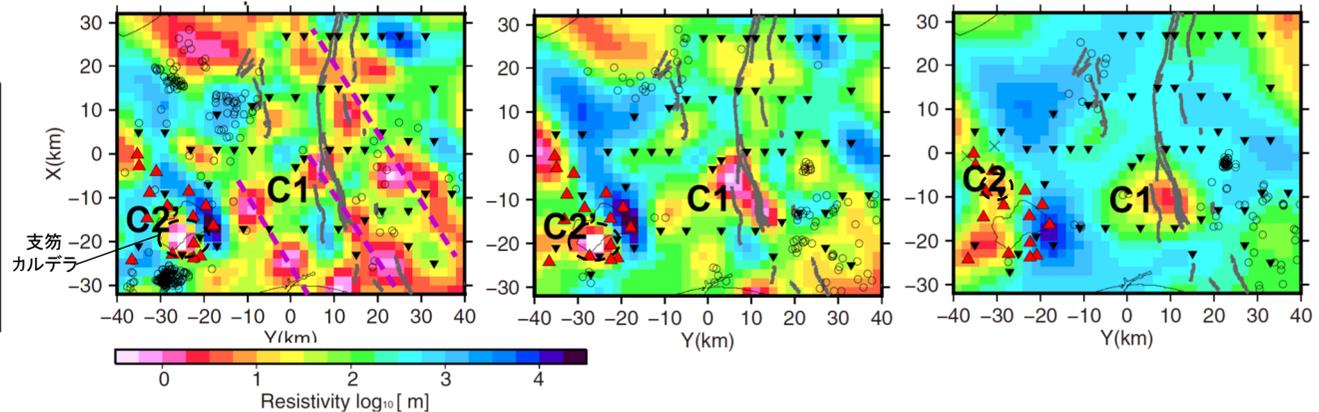
②-2 地球物理学的調査 (地下構造: 比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (7/7)

再掲 (R5/1/20審査会合)



地震波速度構造 (水平断面) ※

※「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) 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)断面に合わせた位置で断面を当社が作成した。



比抵抗構造 (水平断面) (Yamaya et al. (2017) に加筆)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

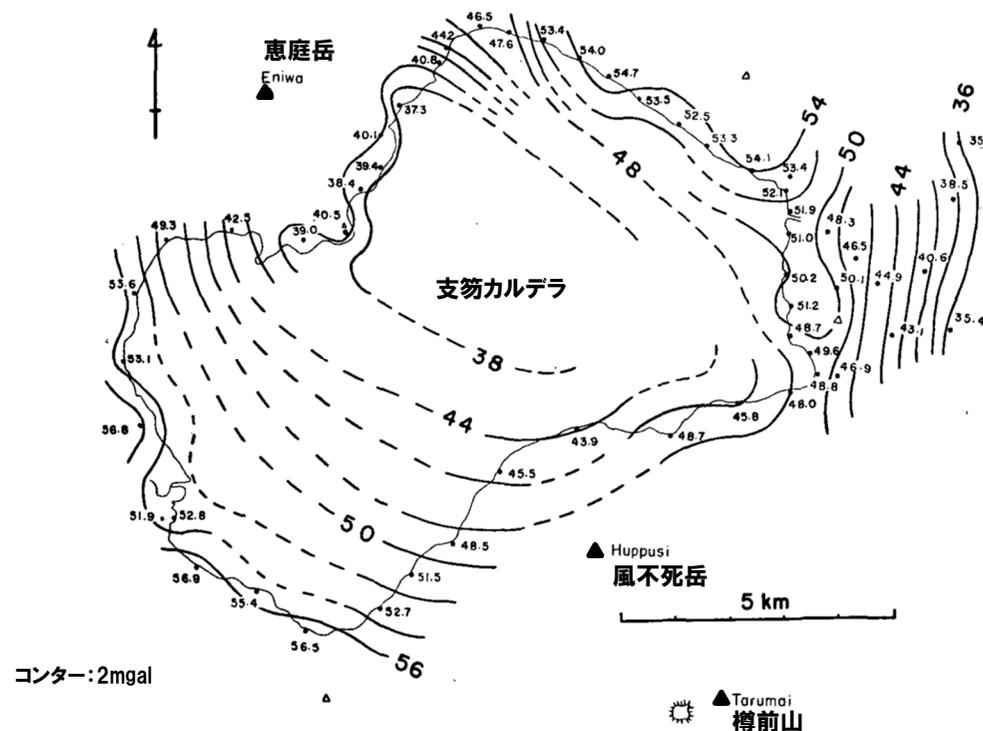
再掲 (R5/1/20審査会合)

【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。



- 文献 (Yokoyama and Aota, 1965) に基づくと、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。
- 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)

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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 (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~P127参照)】

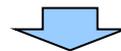
- 文献 (Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019) に基づくと、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められる。

(地震波速度構造と比抵抗構造との比較 (P124~P127参照))

- 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。
- 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。

【重力異常 (前頁参照)】

- 文献 (Yokoyama and Aota, 1965) に基づくと、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。
- 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、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。

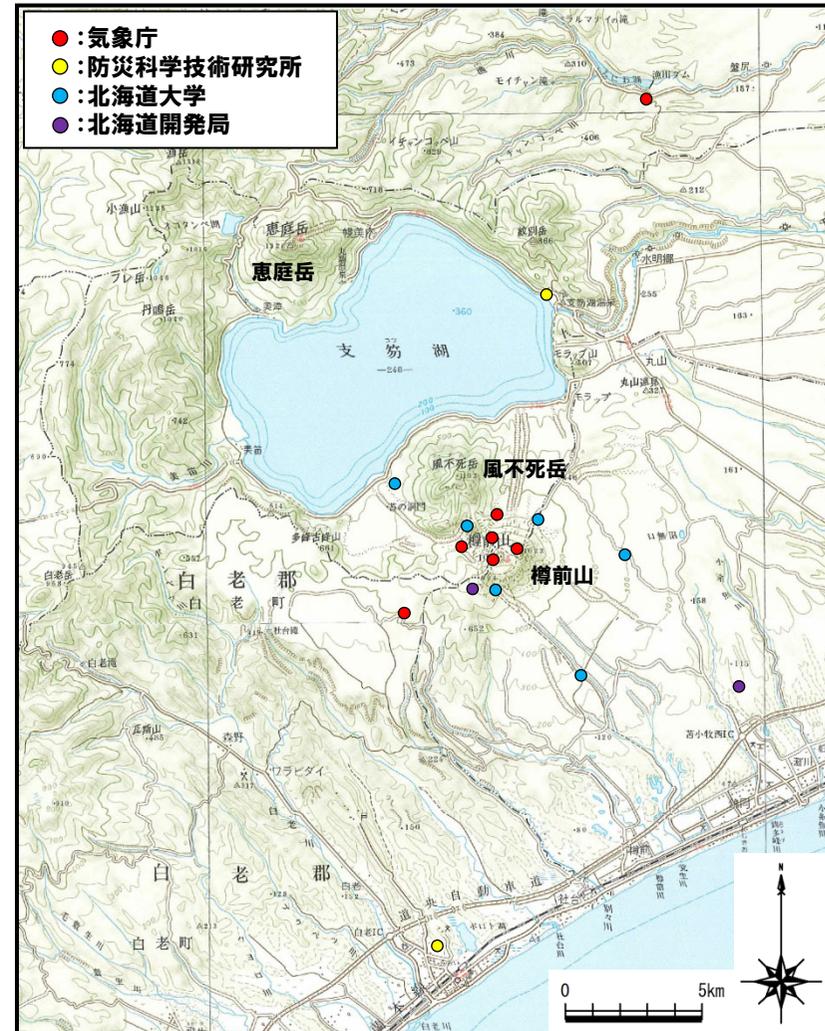
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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)

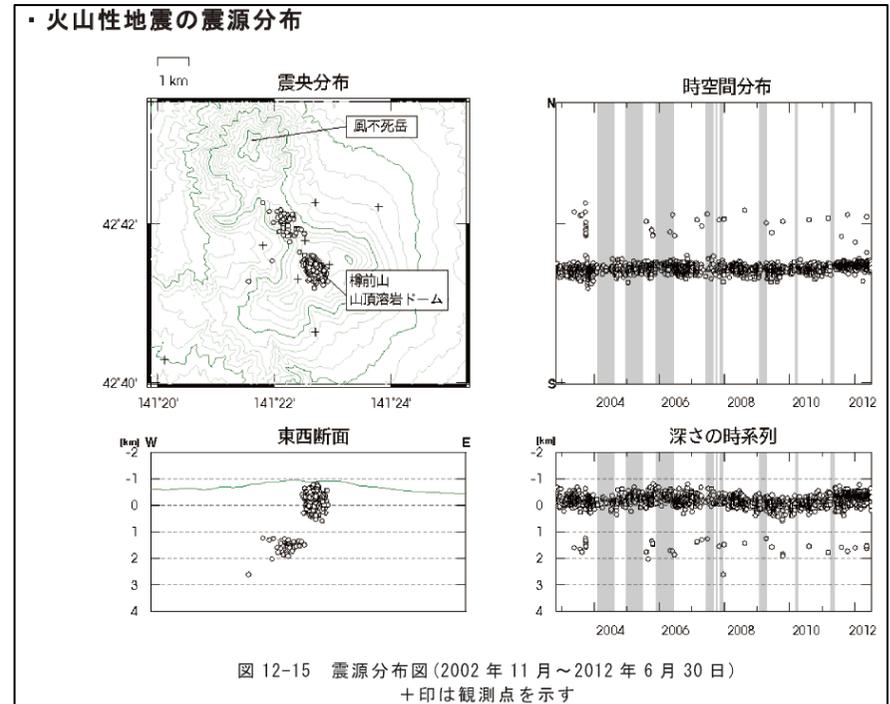
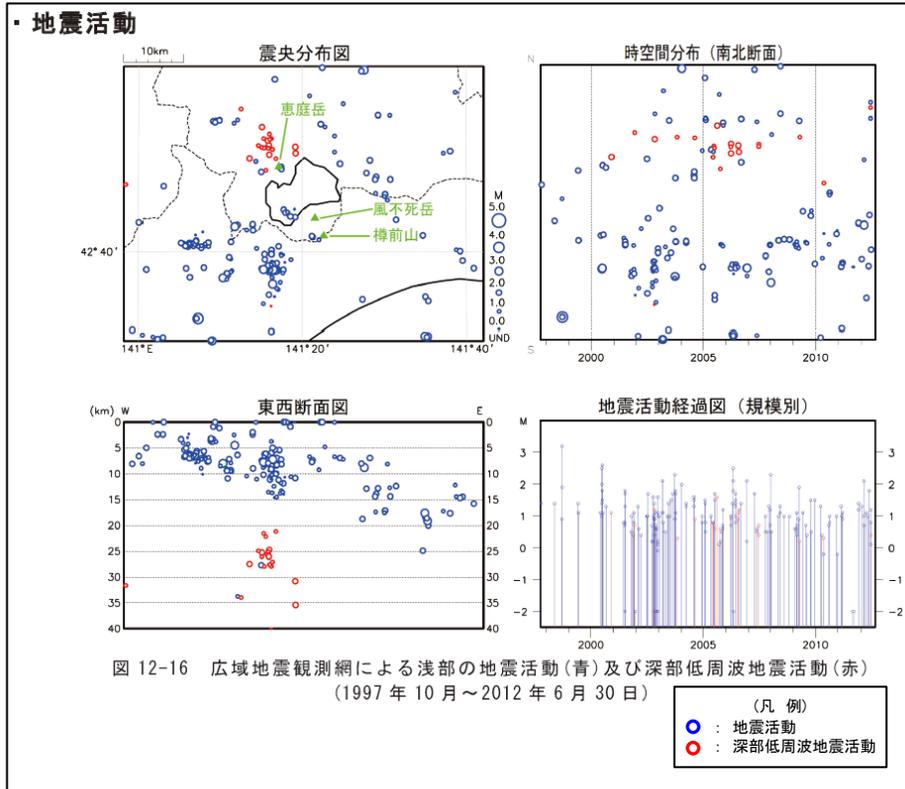
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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)

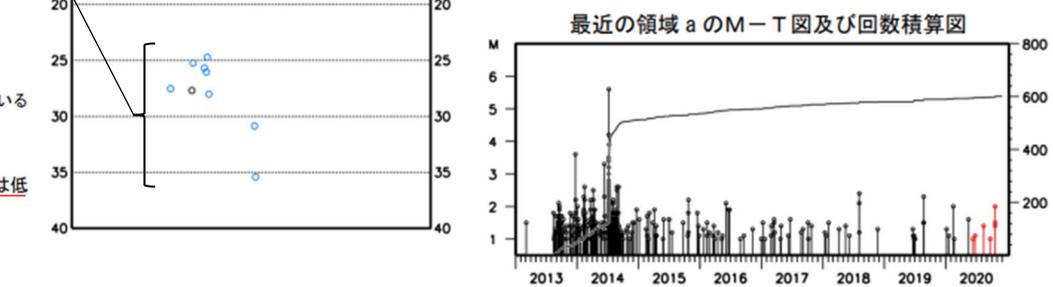
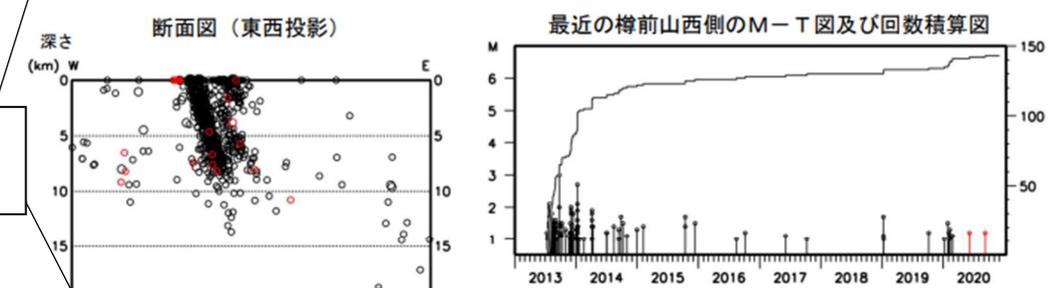
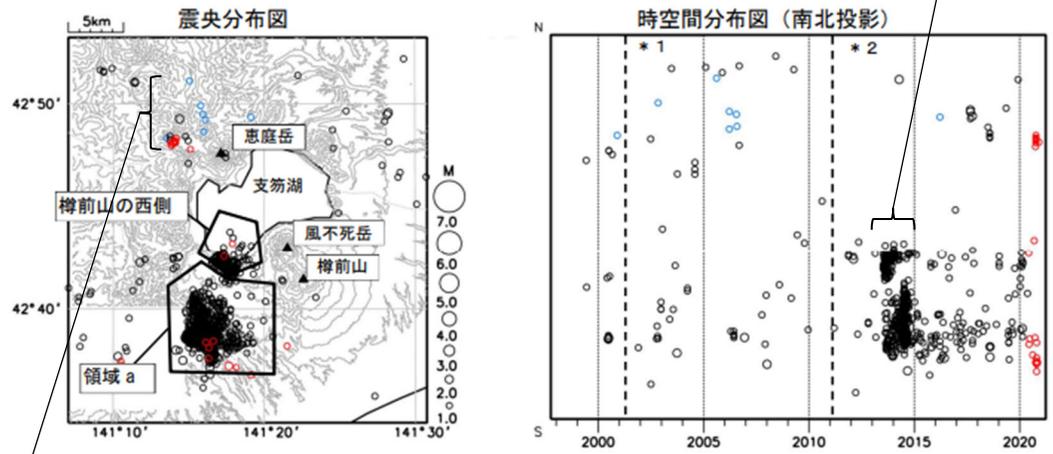
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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)

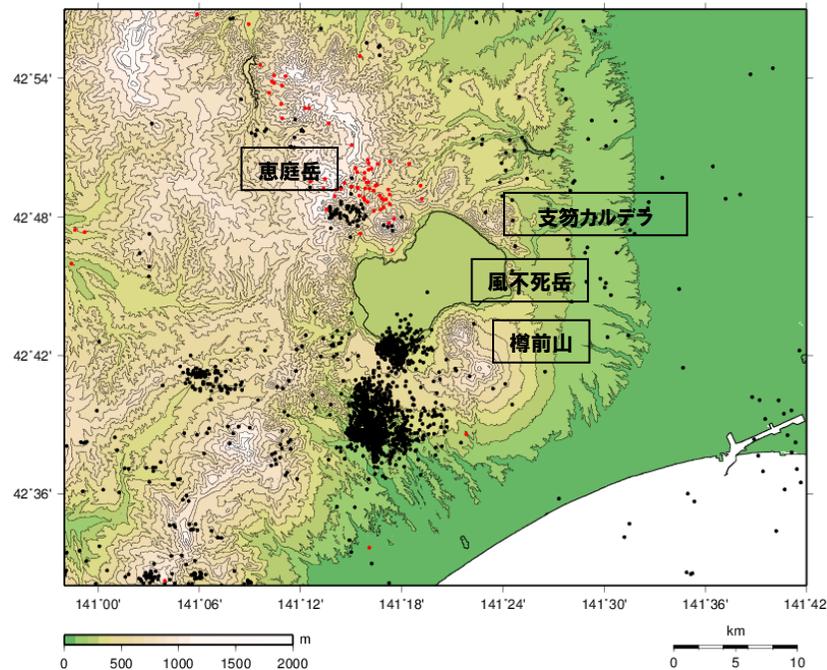
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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】

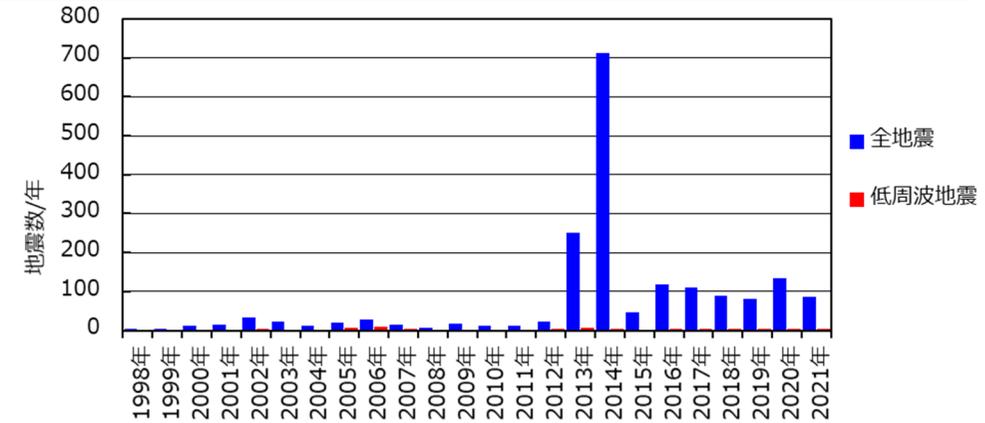
- 過去約40年間(1983年1月～2021年9月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を使用した。
- 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増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



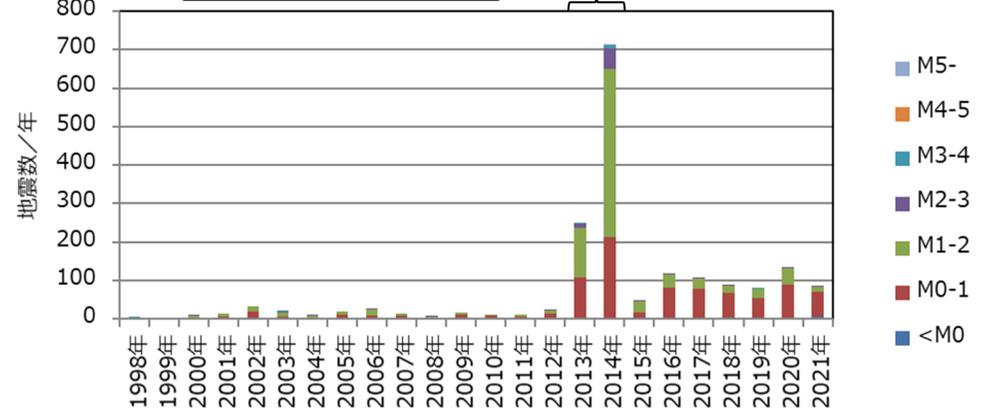
1983/1/1～2020/3/31:
気象庁地震月報(カタログ編)
2020/4/1～2021/9/30:
気象庁一元化処理検測値データ

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。



※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。

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

2.4.3 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。

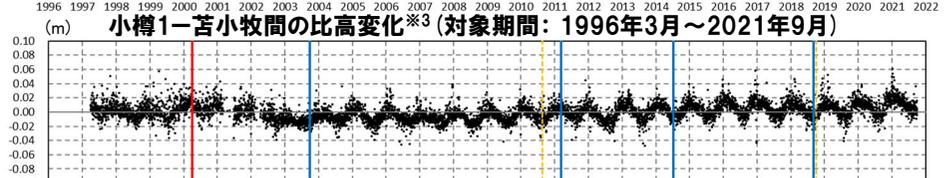
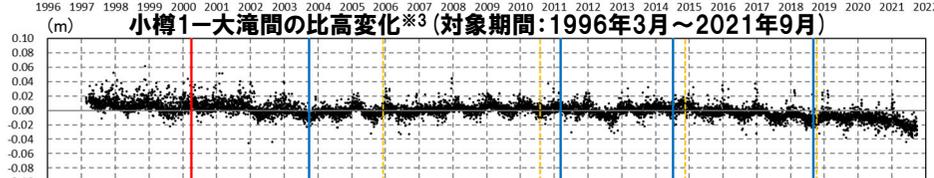
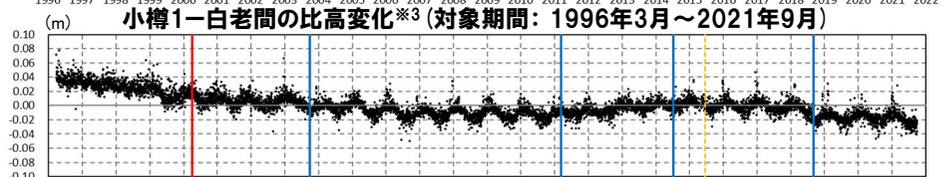
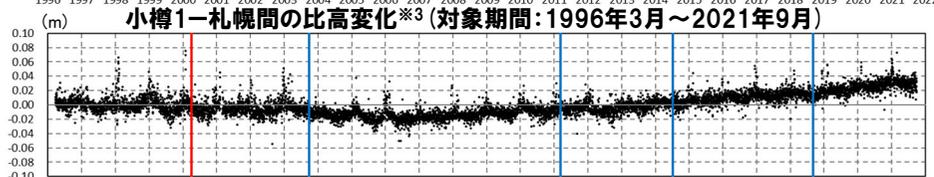
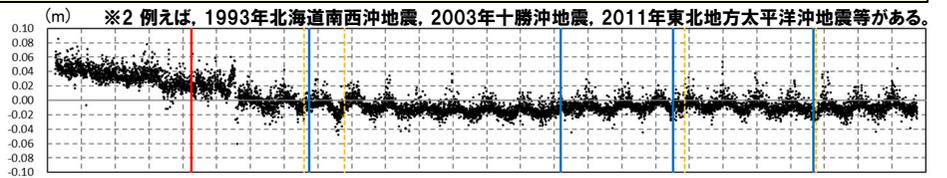
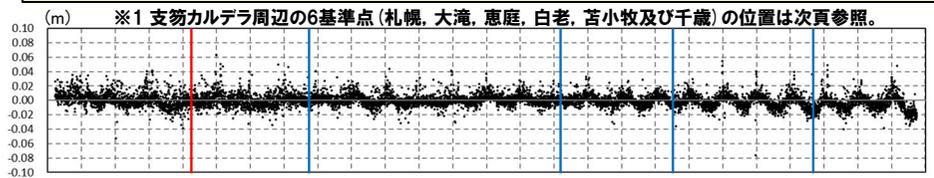
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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(P220~P225参照)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~P139に示す。



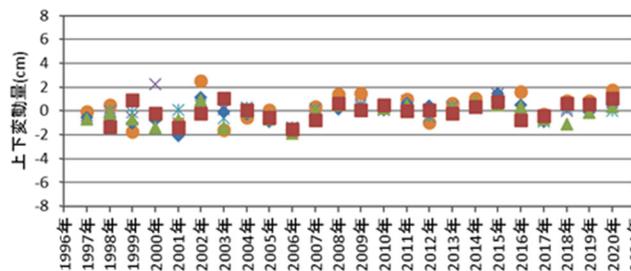
小樽1-恵庭間の比高変化※3(対象期間: 1997年2月~2021年9月)

年	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

年	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	+1.66	+0.88	+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	+0.38	+0.76	-0.72	-0.42	+0.62	+0.38	+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。

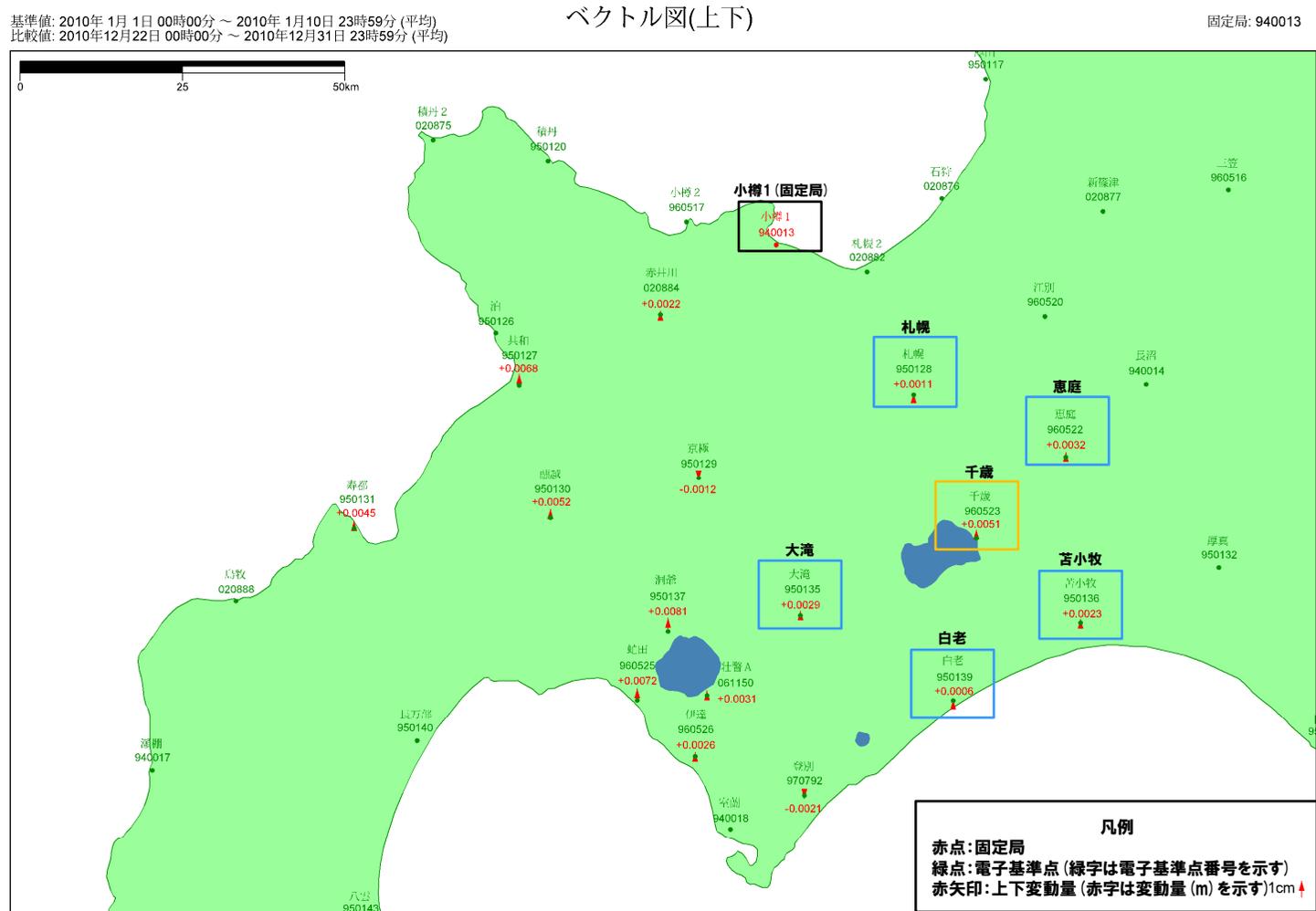
「小樽1-白老間」
 ・0.0854m(1996年4月20日)

2.4.3 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)

2.4.3 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)(3/10)

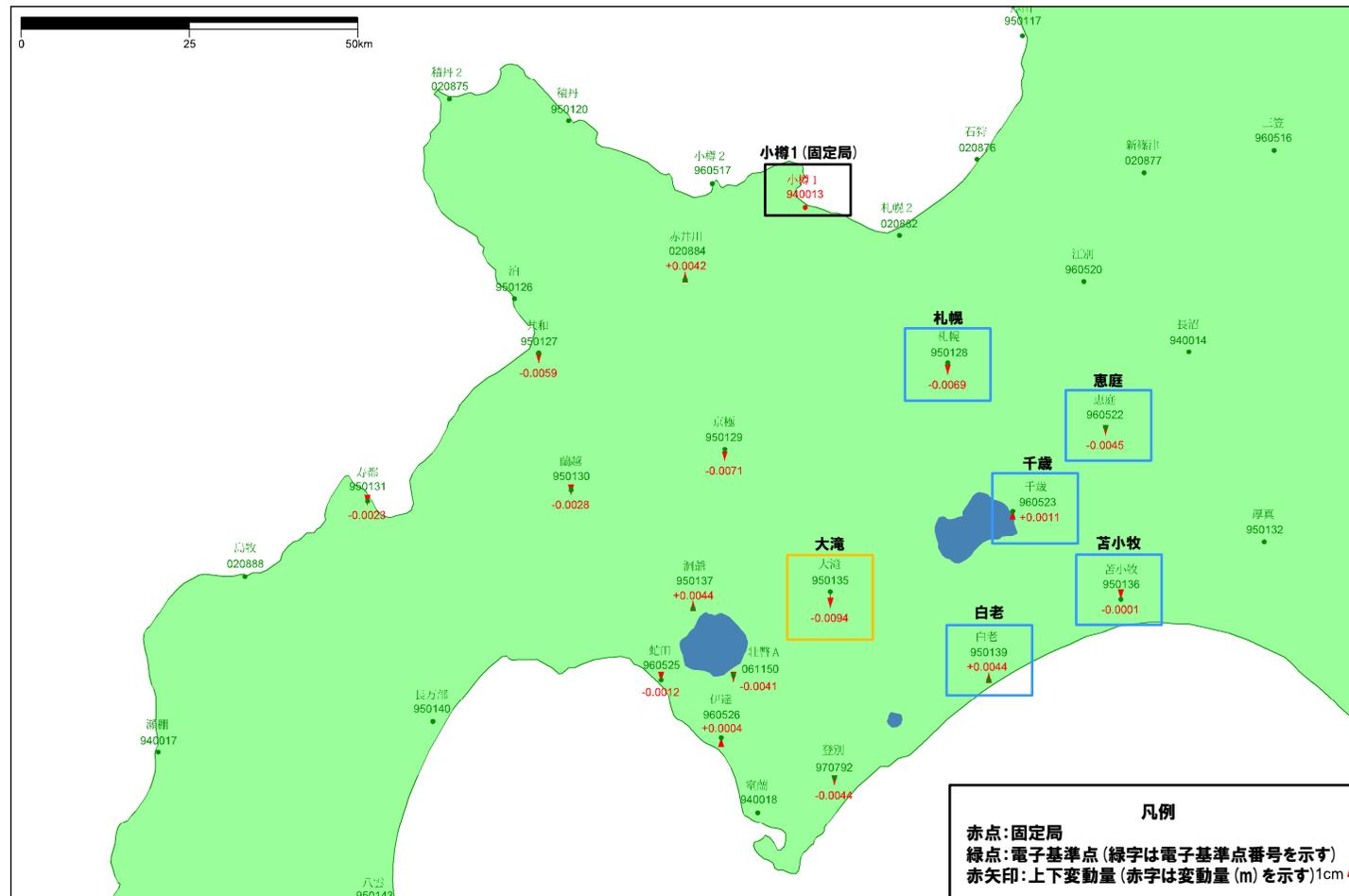
再掲(R5/1/20審査会合)

- 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。
- 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-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



2.4.3 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)

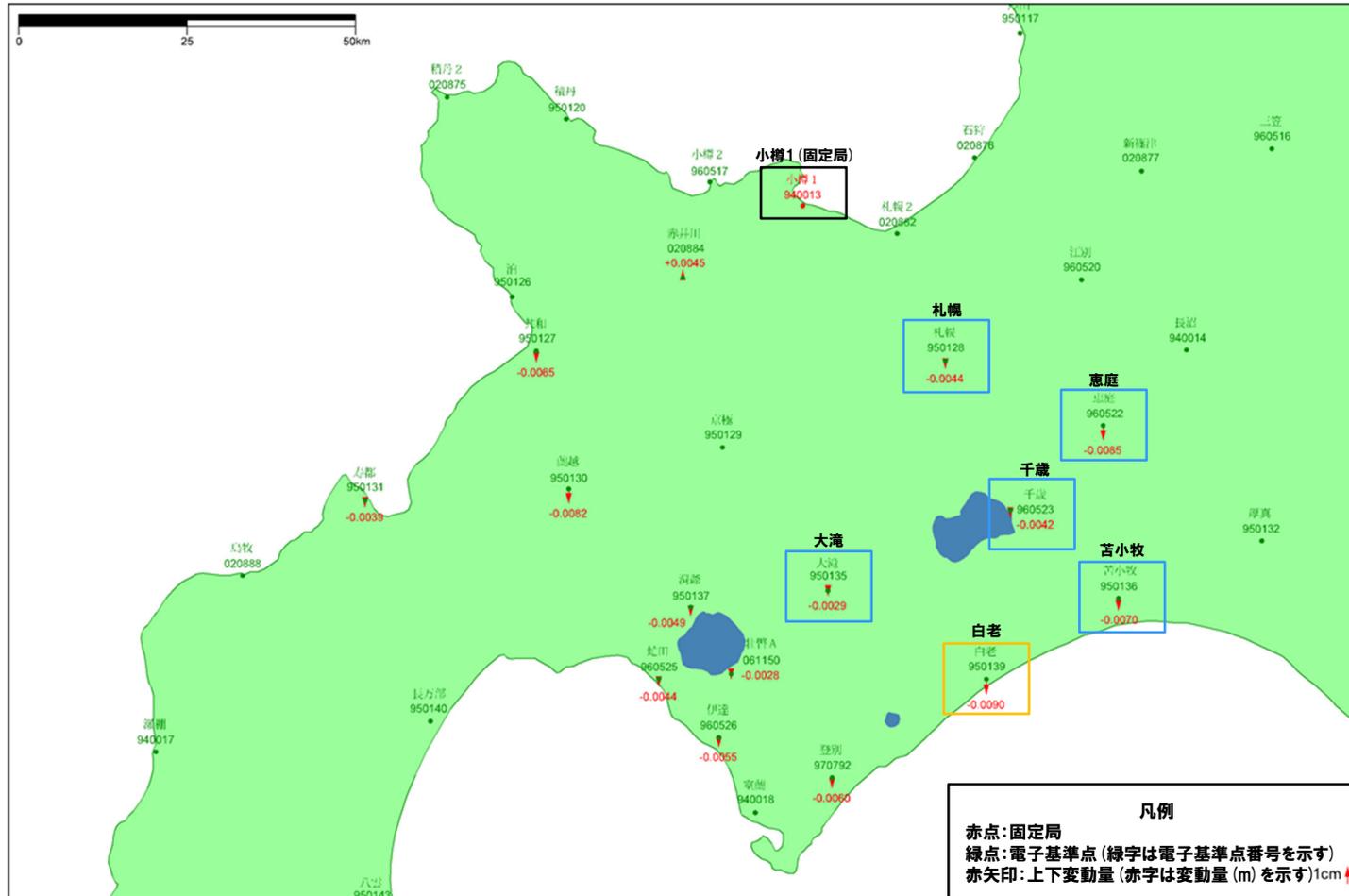
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 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)

2.4.3 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)

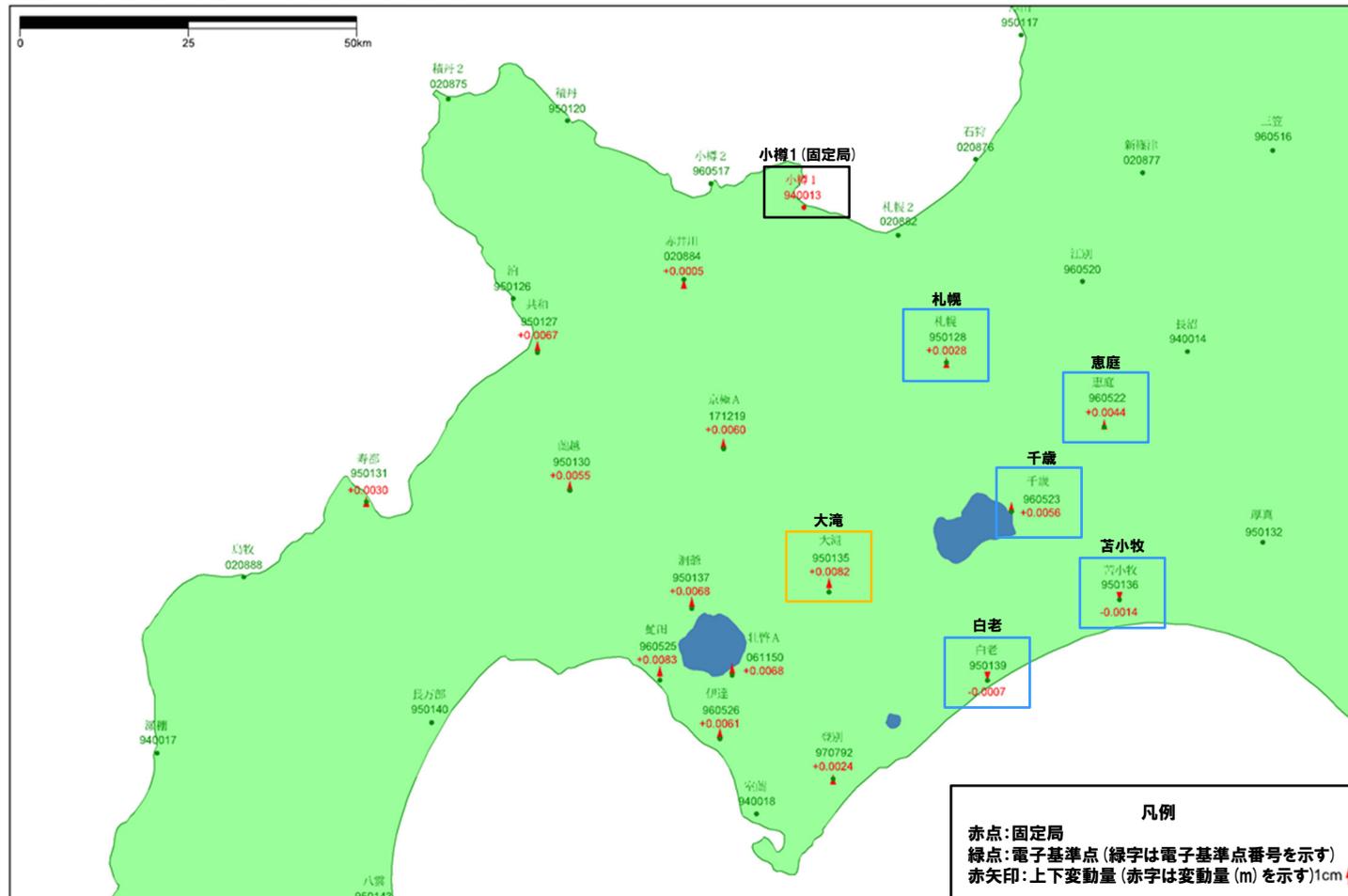
再掲(R5/1/20審査会合)

- 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

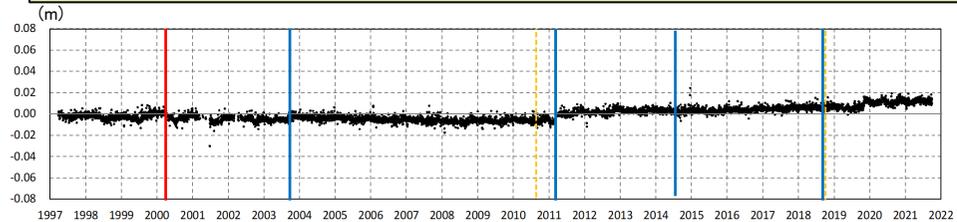
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

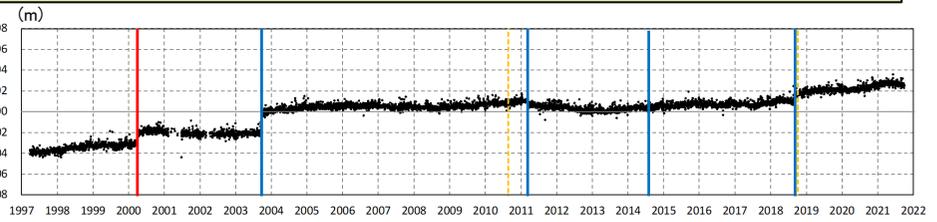
一部修正(R3/10/14審査会合)

【基線長変化】

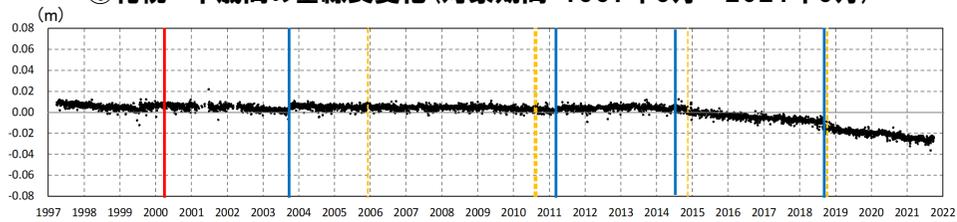
- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)を結んだ5基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



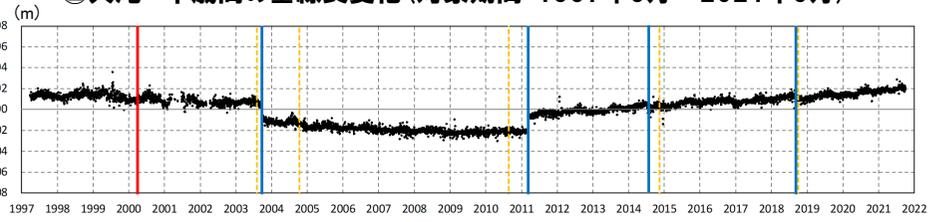
①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



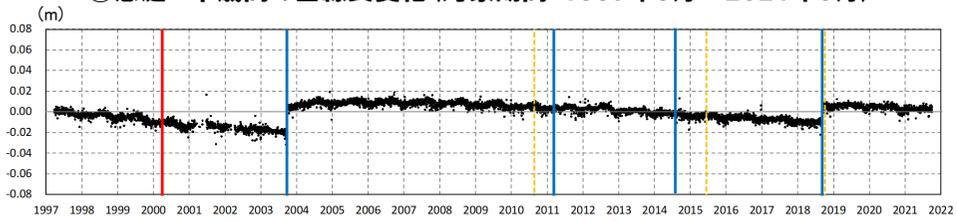
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

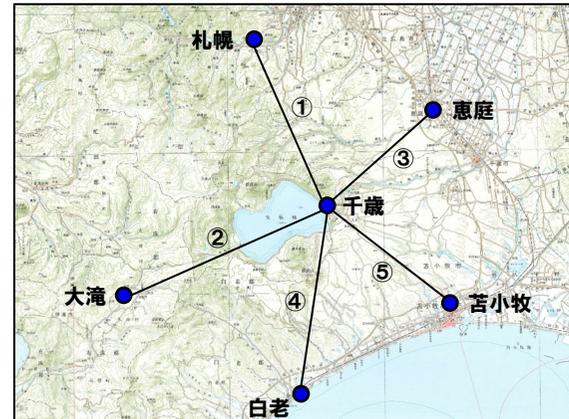


④白老-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



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

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

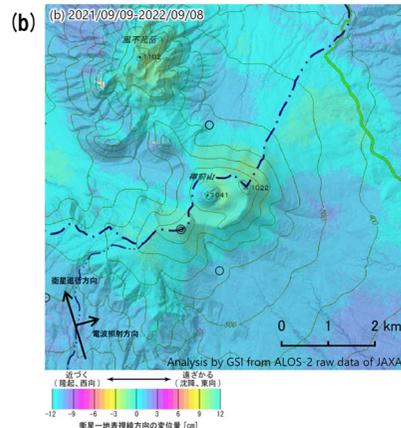
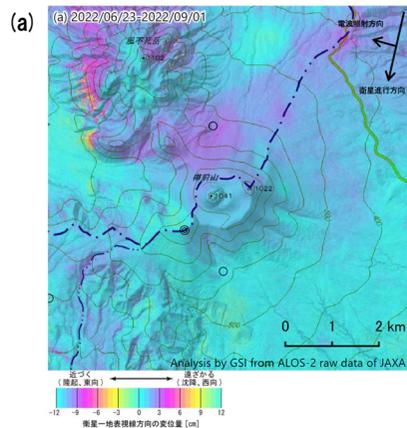
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

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)

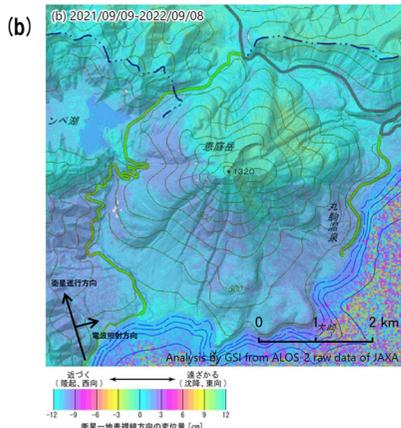
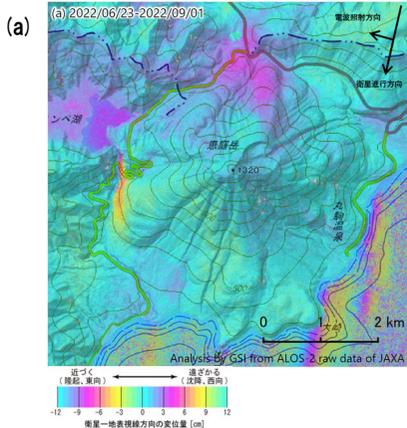
- 樽前山周辺における“2022年6月～2022年9月(左上図a)”及び“2021年9月～2022年9月(右上図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。
- 恵庭岳周辺における“2022年6月～2022年9月(左下図a)”及び“2021年9月～2022年9月(右下図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



	(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)

2.4.3 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】

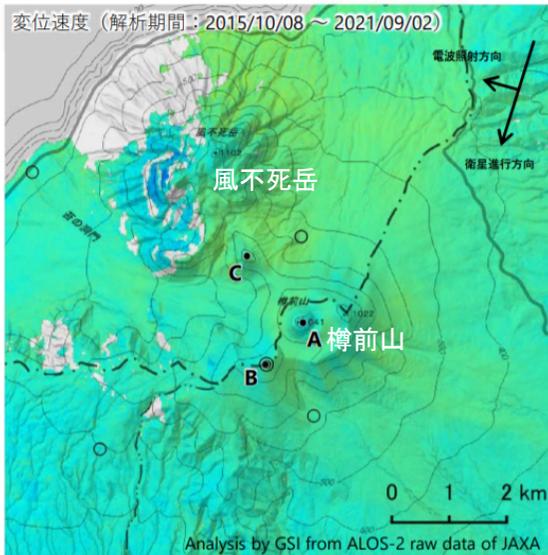
○第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)によると, 樽前山周辺における干渉SAR時系列解析において, 「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている(本頁左図)。

【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)。

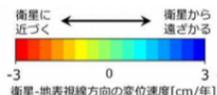
※国土地理院では, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する衛星「だいち2号(ALOS-2)」のSARデータを使用し, 地表変動の監視を行っている。2023年3月に日本全域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で公表した。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

ノイズレベルを超える変動は見られません。

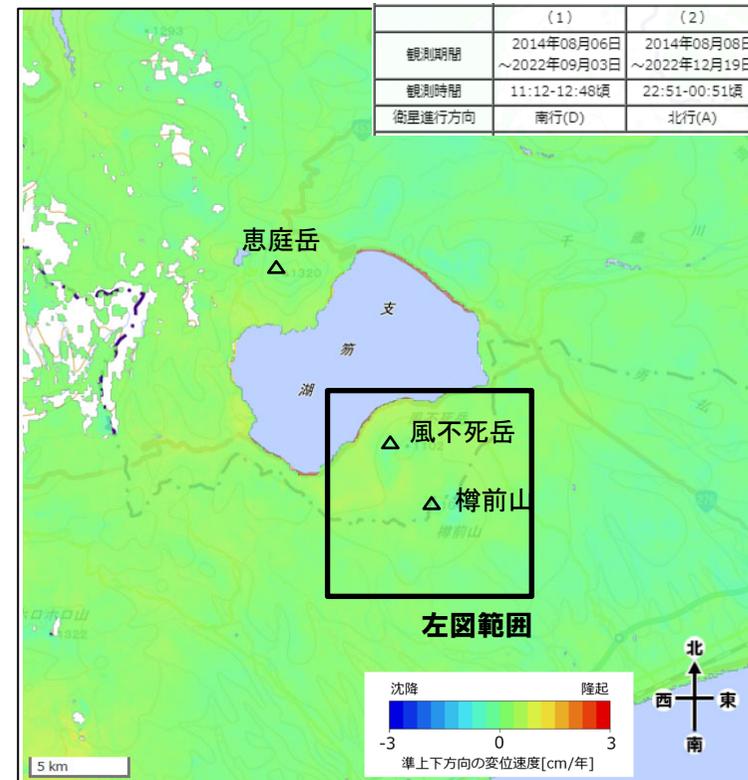


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/10/08 ~ 2021/09/02 (2156日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	38.9°
偏波	HH
データ数	12
干渉ペア数	14

* 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。

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

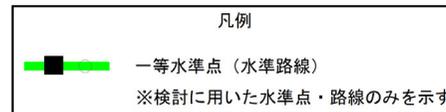
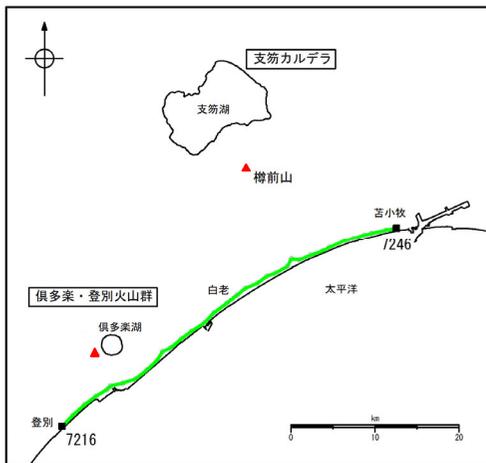
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

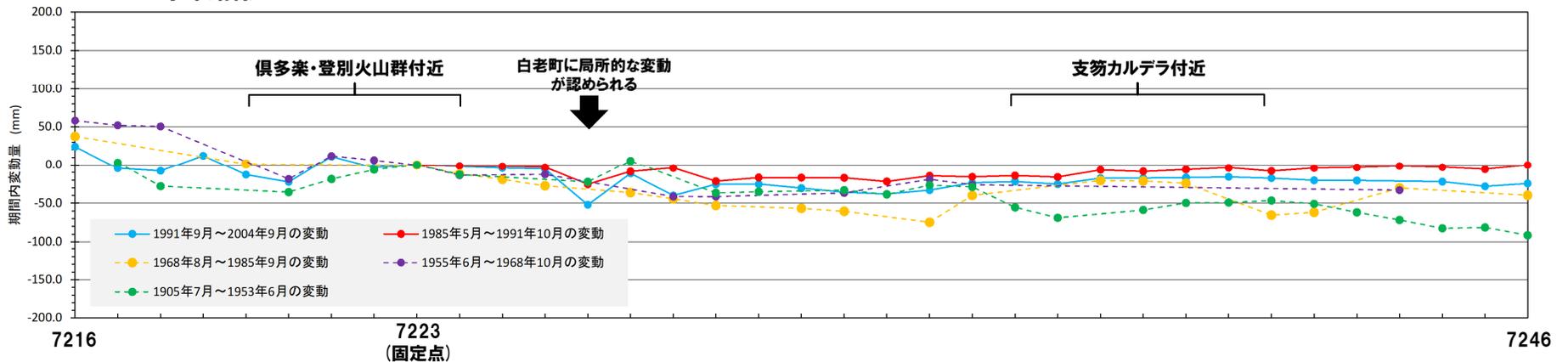
【水準測量】

- 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)

2.4.3 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)】

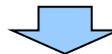
- 支笏カルデラ付近の上下変動は、大滝地点以外は継続的な隆起又は沈降は認められず、大滝地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、大滝地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【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

2.4.3 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が存在する可能性及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動に着目して、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)から、現在のマグマ溜まりの状況を検討した。

支笏カルデラにおける地球物理学的調査結果

【地下構造 (P116~P129参照)】			
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 (P130~P134参照)】		【地殻変動 (P135~P145参照)】	
<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. 立地評価	P. 34
2.1 文献調査	P. 37
2.2 敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山	P. 47
2.2.1 第四紀火山の抽出及び火山噴出物の分布	P. 49
2.2.2 敷地及び敷地近傍における火山噴出物の分布	P. 57
2.3 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 77
2.4 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 85
2.4.1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 89
2.4.2 巨大噴火の可能性評価方法	P. 95
2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P. 109
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P. 149
2.4.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 195
2.5 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P. 239
3. 影響評価	
3.1 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	
3.2 降下火砕物の影響評価	
3.2.1 降下火砕物の層厚評価の概要	
3.2.2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
3.2.3 降下火砕物シミュレーション	
3.2.4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
3.2.5 降下火砕物の密度・粒径	
4. モニタリング	
4.1 監視対象火山の抽出	
4.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対応	
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)

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

2.2 敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山

2.2.1 第四紀火山の抽出及び火山噴出物の分布

2.2.2 敷地及び敷地近傍における火山噴出物の分布

2.3 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

32火山

○完新世に活動があった火山

7火山

支笏カルデラ, 倶多楽・登別火山群, 洞爺カルデラ, 羊蹄山, ニセコ・雷電火山群, 北海道駒ヶ岳, 恵山

○将来の活動可能性が否定できない火山

6火山

ホロホロ・徳舜誓, オロフレ・来馬, 尻別岳, 狩場山, 勝洞山, 横津岳

○将来の活動可能性が十分に小さい火山

19火山

13火山

2.4 運用期間中の火山の活動可能性評価

活動履歴から、運用期間中における火山の活動の可能性が十分小さいと判断できない。

2.4.1 過去に巨大噴火が発生した火山

○「火砕流を含む火山噴出物の分布が広範囲」であり、「噴出物体積が20km³以上」である噴火が発生した火山を過去に巨大噴火が発生した火山として抽出。

【過去に巨大噴火が発生した火山】

支笏カルデラ, 洞爺カルデラ

【過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない火山】

倶多楽・登別火山群

13火山

2.4.2 巨大噴火の可能性評価方法

○活動履歴及び地球物理学的調査(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)により、運用期間中における巨大噴火の可能性を評価する。

2.4.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

2.4.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

支笏カルデラ, 倶多楽・登別火山群及び洞爺カルデラ以外の10火山

3火山

3火山(巨大噴火以外)

2.5 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価

○設計対応不可能な火山事象(溶岩流, 岩屑なだれ等, 火砕物密度流, 新しい火口の開口及び地殻変動)が運用期間中に敷地に到達する可能性又は敷地に影響を与える可能性は十分小さい。

余白

2.4.4 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

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、巨大噴火であった可能性が否定できない。
- 活動履歴及び地球物理学的調査(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)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。

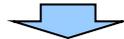
検討項目	検討結果	該当頁	
①活動履歴	<p>○倶多楽・登別火山群の巨大噴火であった可能性が否定できない噴火は1回であり、巨大噴火であった可能性が否定できない噴火が発生した先アヨロステージ並びに珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージと、現在の活動期である登別ステージは、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状では先アヨロステージ、アヨロステージ及びクッタラステージのような状態には至っていないと考えられる。</p> <p>○網羅的な文献調査の結果、倶多楽・登別火山群については、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。</p>	次頁～ P155	
地球物理学的調査	<p>○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。</p> <p>【地震波速度構造】</p> <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。 <p>【比抵抗構造】</p> <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。 <p>【重力異常】</p> <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。 	P156～ P157	
	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。	P158～ P165
	④地殻変動	<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>	P166～ P169
		○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。	P172～P178
		P179～ P192	

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴 (1/3)

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～P155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(2.1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」とされていることから(P155参照)、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、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P38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を噴出した噴火であり、その噴出物体積は約0.00046km³である。



- 倶多楽・登別火山群の巨大噴火であった可能性が否定できない噴火は1回であり、巨大噴火であった可能性が否定できない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と、現在の活動期である登別ステージは、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状では先アヨロステージ、アヨロステージ及びクッタラステージのような状態には至っていないと考えられる。
- 網羅的な文献調査の結果、倶多楽・登別火山群については、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。

登別ステージ以前の噴出物体積※1

() 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) ※2	Kt-8	≤VEI5 class	≤VEI5 class

※1 噴出物体積は、P155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。

※2 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してされている。

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

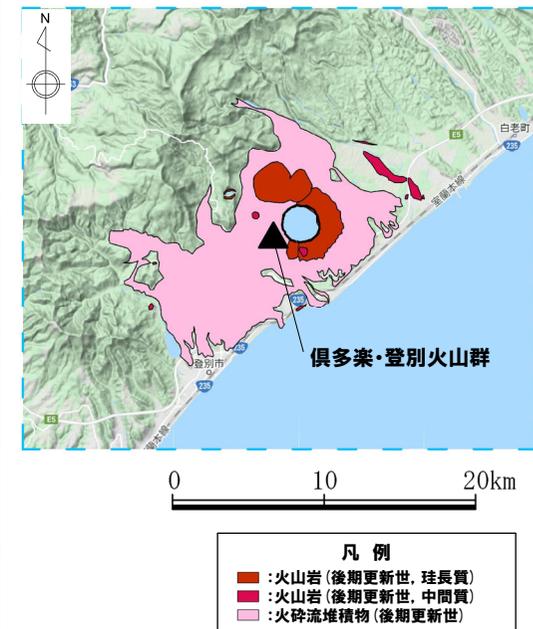
① 活動履歴 (2/3)

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 P155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)

余白

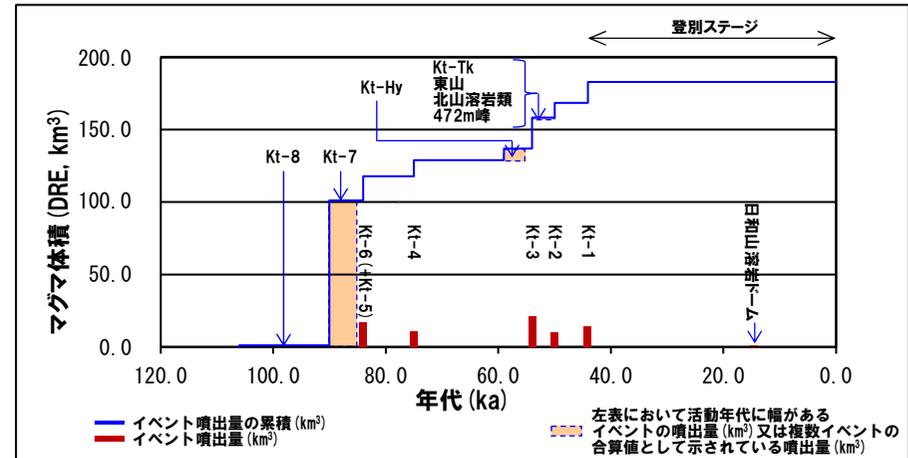
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴 (3/3)

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



噴出量-年代階段ダイアグラム

- ※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、4.6×10⁵m³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デ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。

2.4.4 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)

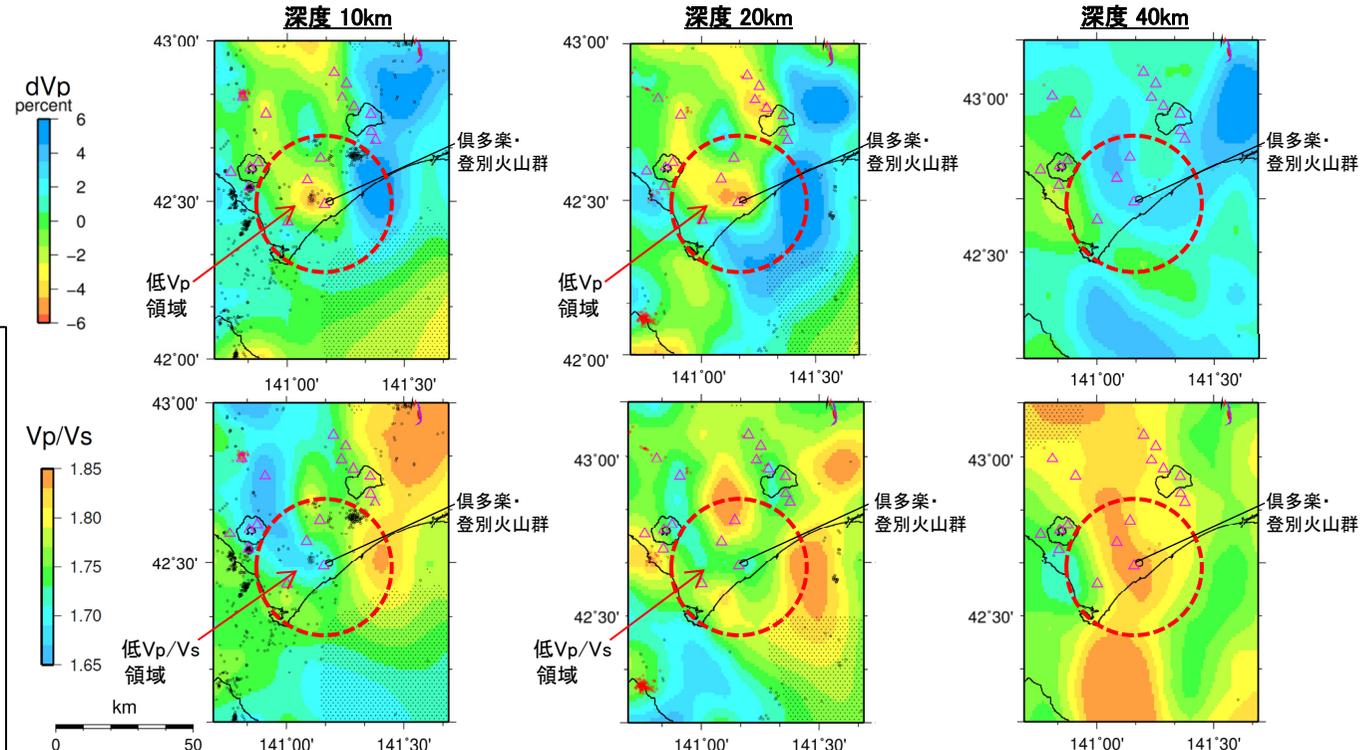
- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が倶多楽・登別火山群における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs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(P96~P105参照)】

- 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)
- 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 } 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。

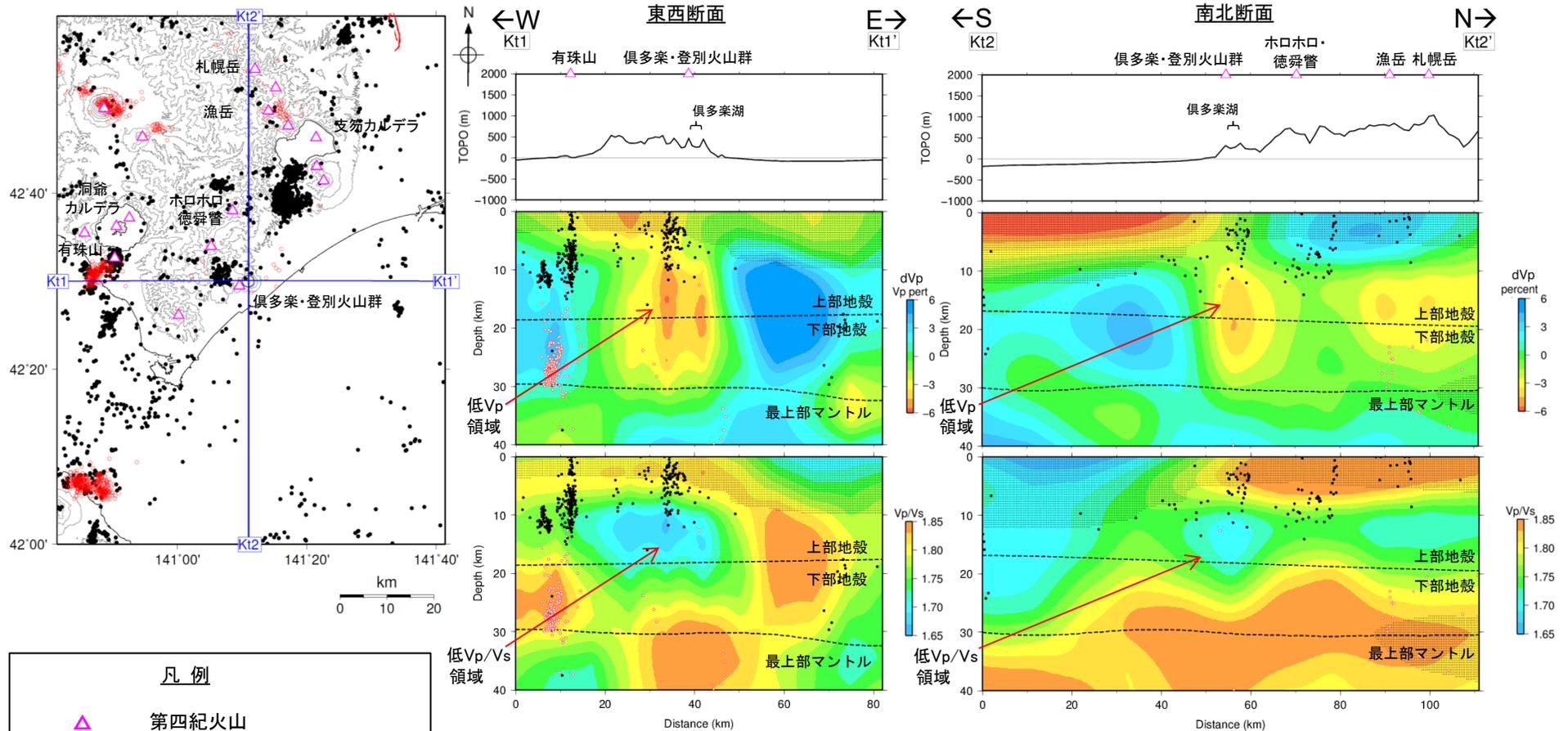
倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

2.4.4 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)



- 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 } 今泉ほか編(2018)をトレース
 - 推定活断層

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。

2.4.4 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) (P161参照)】

○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 (P161図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域 (P161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 (P161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。

(次頁へ続く)

2.4.4 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) (P162~P163参照)】

○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, P163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, P163右図「C2」及びP163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(P163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(P165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(P165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。

※“magma chamber”と“crystal mush”を合わせた領域, P97参照



○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

2.4.4 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)

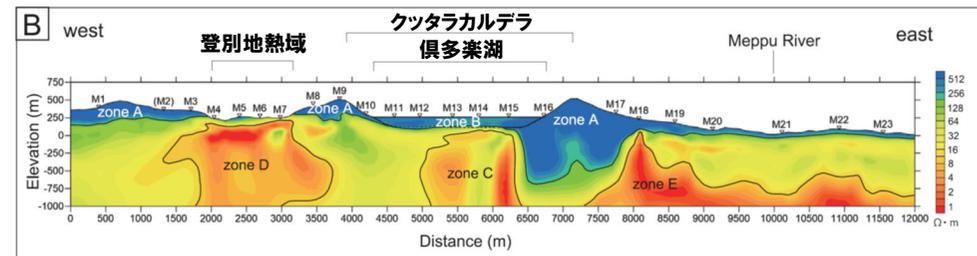
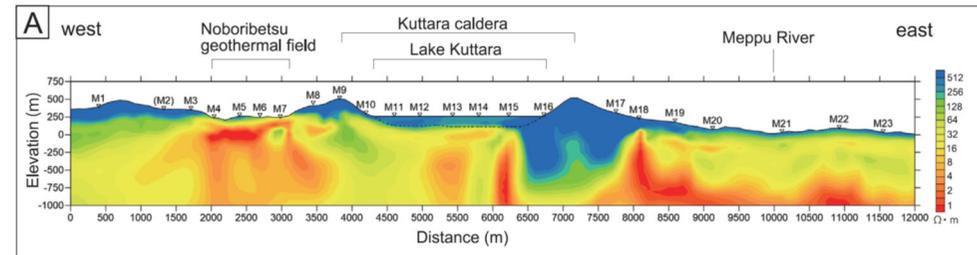
再掲(R5/1/20審査会合)

【Goto and Johmori (2015)】

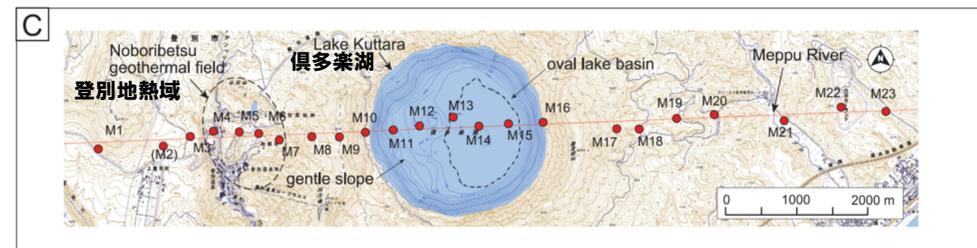
- 倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。
- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone D」)及びクッタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域(右図Bの「zone E」)が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クッタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone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

2.4.4 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。



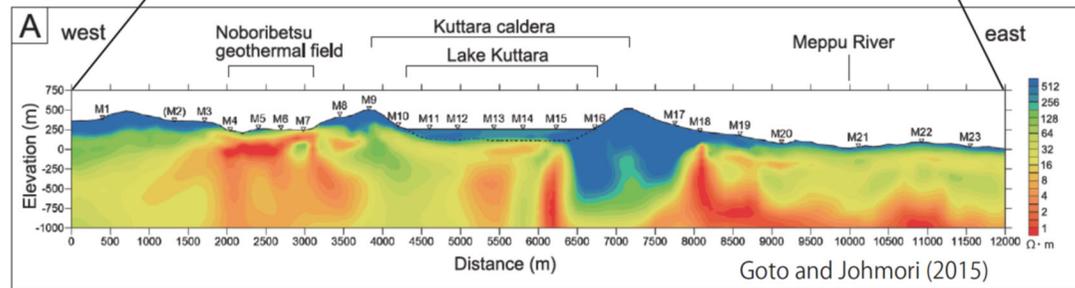
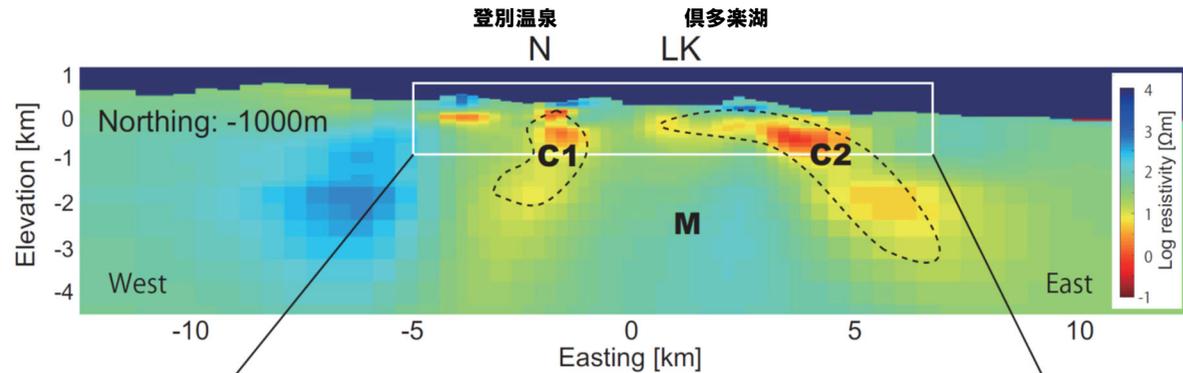
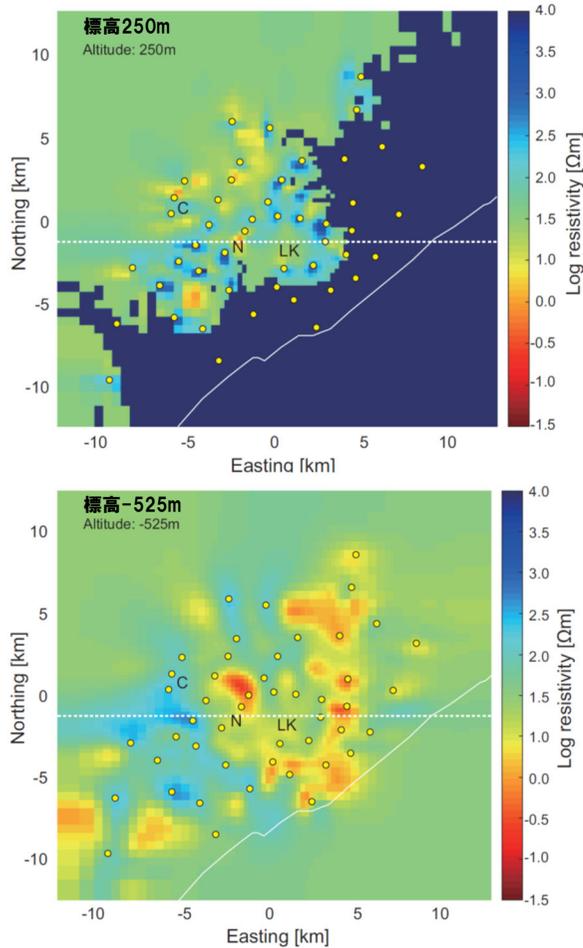
- Hashimoto et al.(2019)に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。
- なお、倶多楽湖直下に認められる数十Ωmの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり*の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。
 - ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、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(P165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(P98~P101参照)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(P165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。

*"magma chamber"と"crystal mush"を合わせた領域, P97参照

2.4.4 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 (P161参照)
 (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

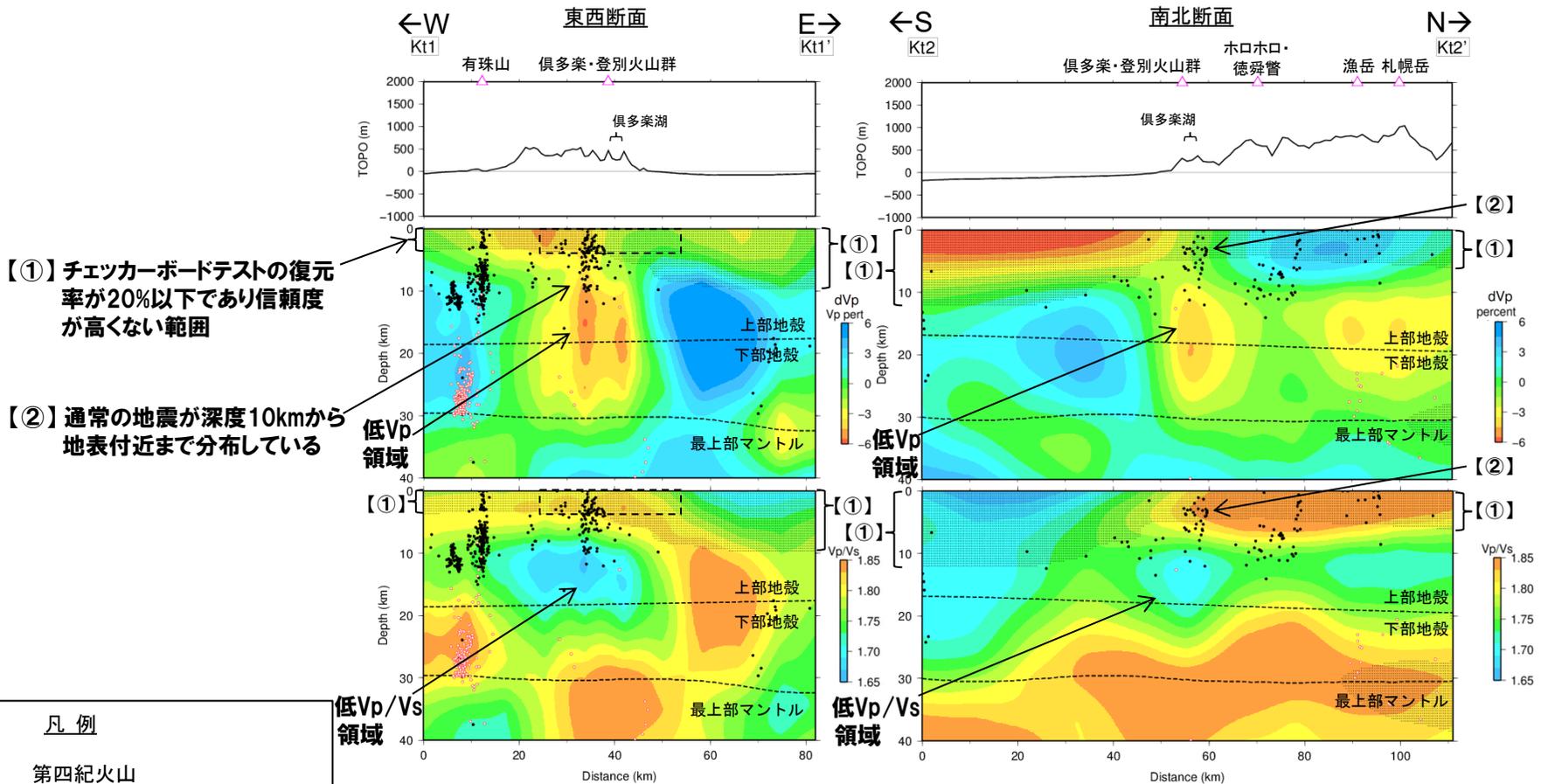
クッタラ火山の比抵抗構造(水平断面)
 (Hashimoto et al. (2019) に加筆)

余白

2.4.4 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

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P157参照)

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。

2.4.4 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)(P168~P169参照)】

○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。

2.4.4 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)

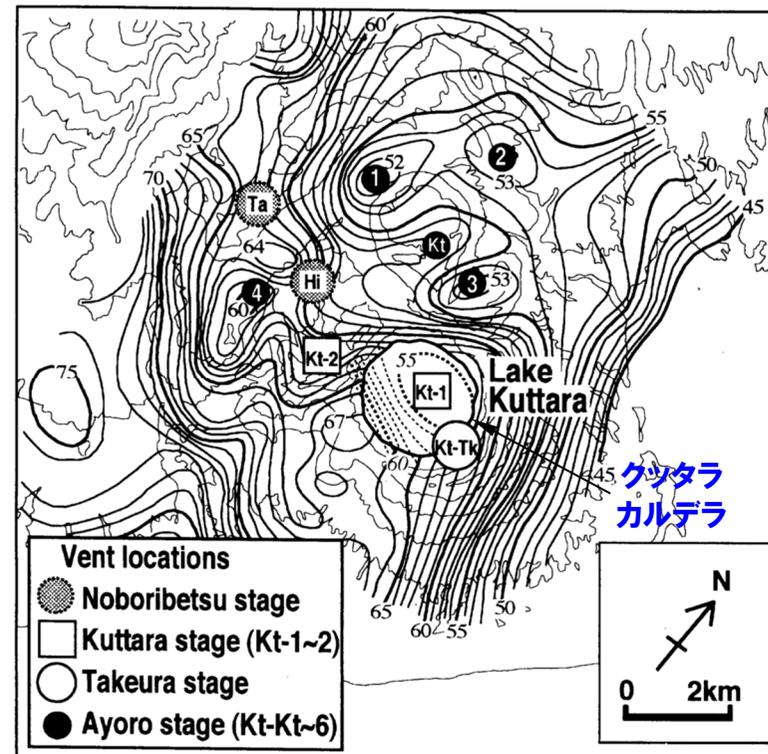
【森泉(1998)】

- 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P155参照。



- 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)

2.4.4 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)】

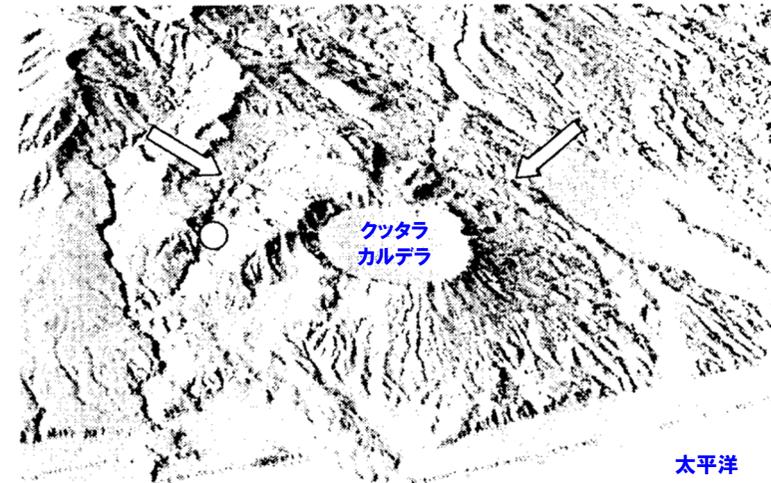
- 地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。
 - ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造(下図矢印)が確認できるとされている。
 - ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図(次頁参照)では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
 - ・森泉(1998)(前頁参照)は、これらの低重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

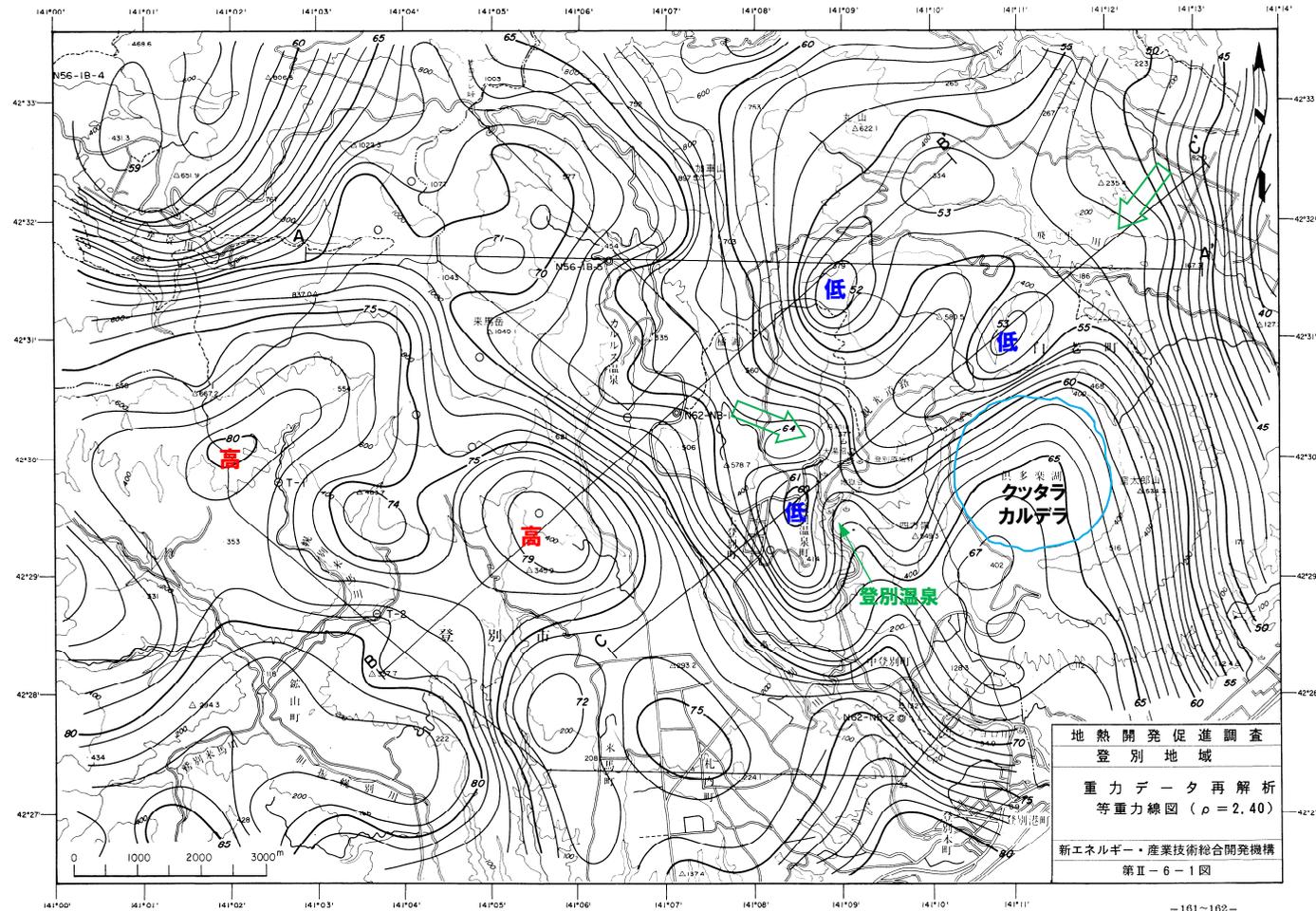


先クッタラカルデラ周辺の3D地図画像(畠山ほか(2005)に加筆)

2.4.4 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)

2.4.4 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 (P156～P157参照)】

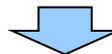
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【比抵抗構造 (P158～P165参照)】

- 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 (P166～P169参照)】

- 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

2.4.4 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)

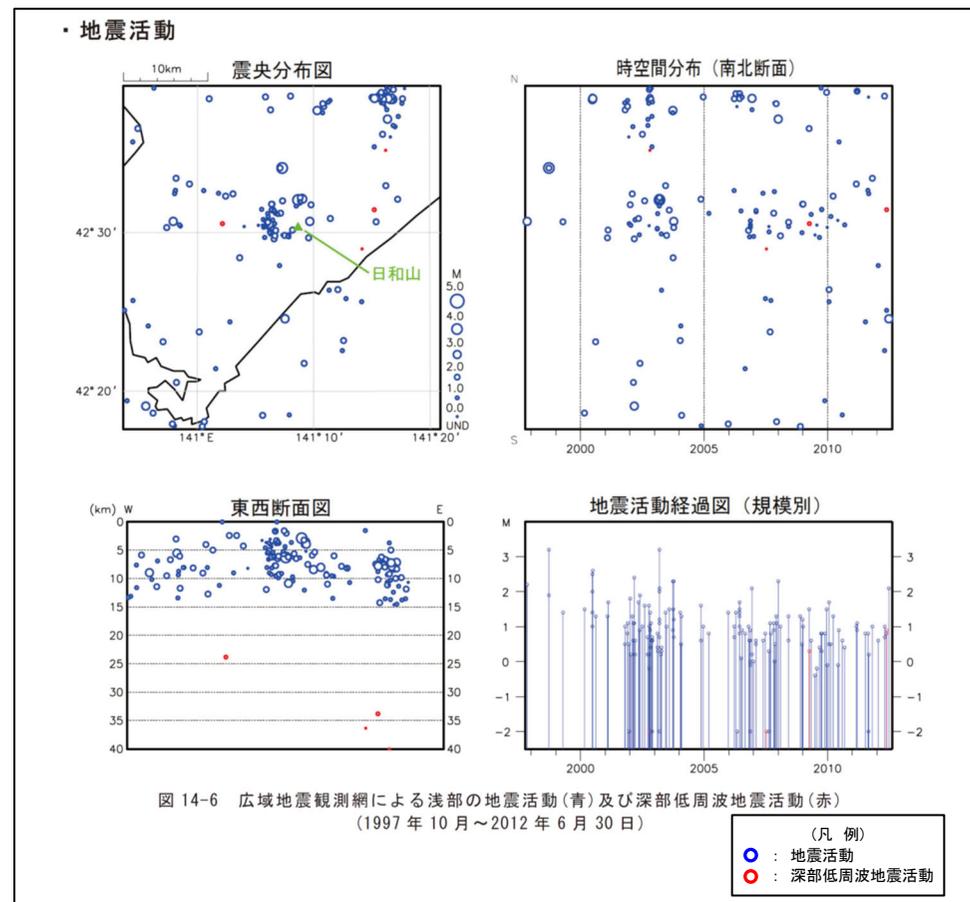
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

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

2.4.4 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。

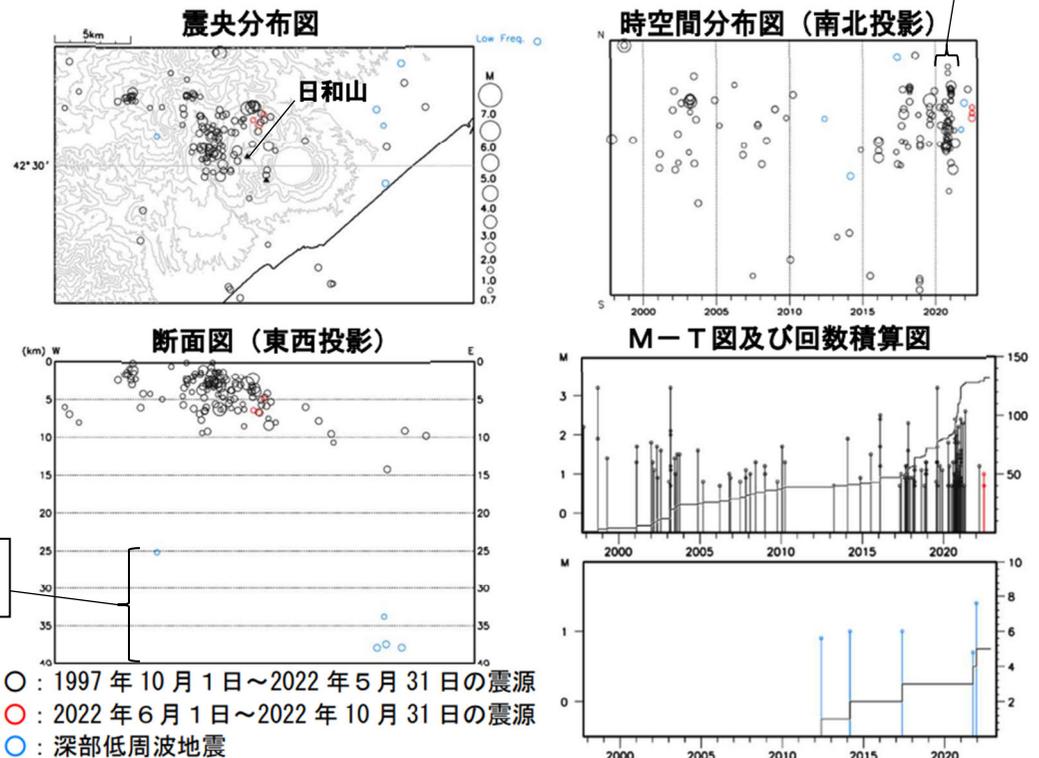


図2 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動(1997年10月~2022年10月、 $M \geq 0.7$ 、深さ40km以浅)
 ・震源分布に特段の変化は認められなかった。

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)

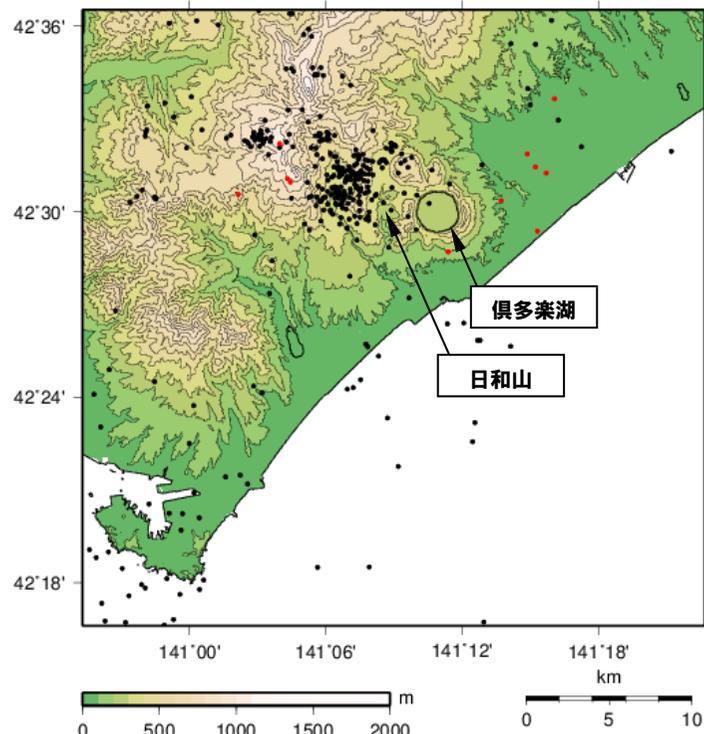
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

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】

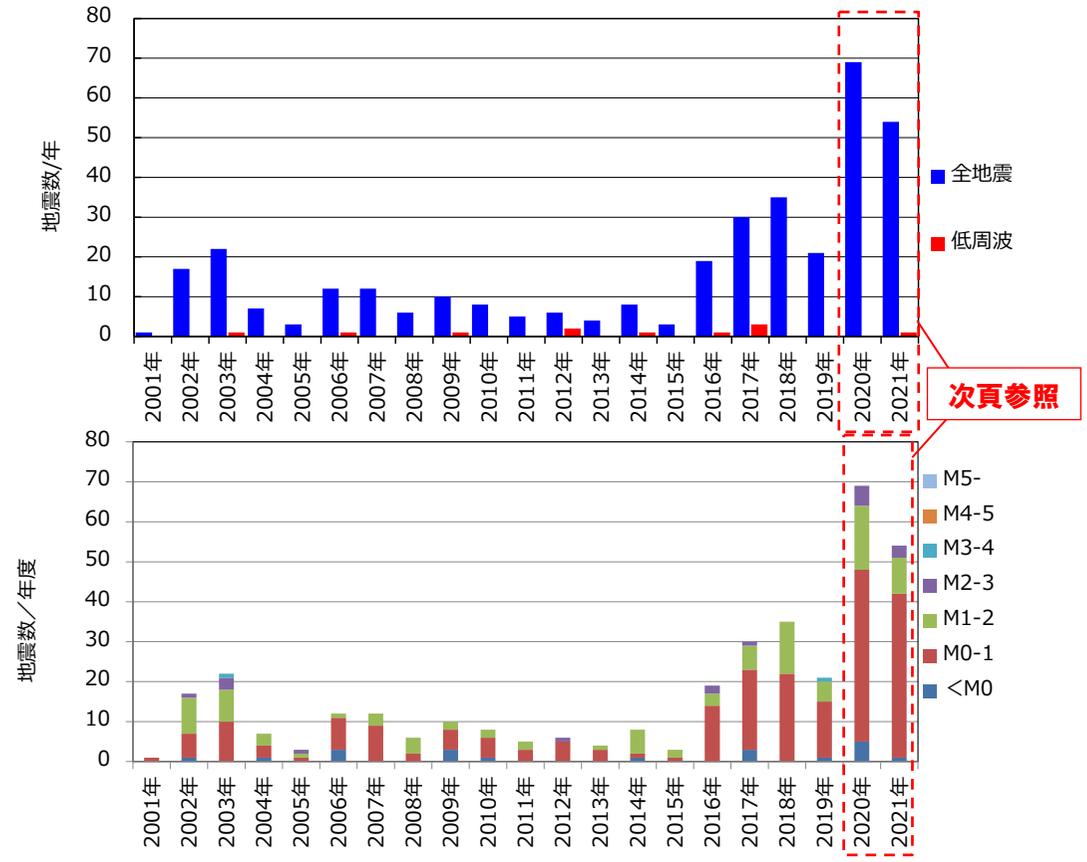
- 過去約20年間における倶多楽・登別火山群周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10月~2020年3月), 気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月~2021年9月)等を使用した。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては, 日和山の西側に普通地震の震央が集中している。
- マグニチュード0以上の地震は, 日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが, 低周波地震については, 発生数は少なく増加傾向も認められない(次頁参照)。



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。

2.4.4 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。

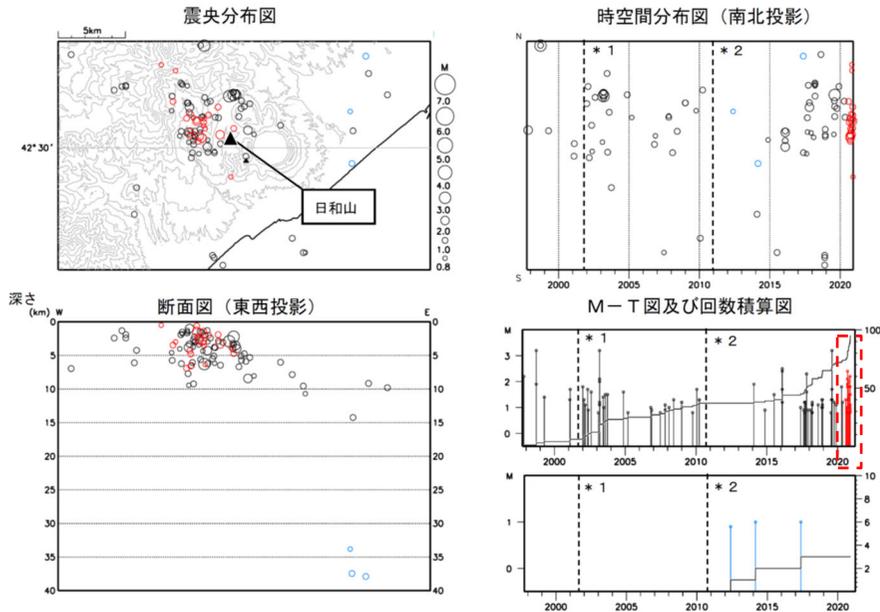


図8 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月1日~2020年11月30日, M \geq 0.8, 深さ40km以浅)
○: 1997年10月1日~2020年5月31日
●: 2020年6月1日~2020年11月30日
○: 深部低周波地震
* 1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
* 2: 2010年9月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)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

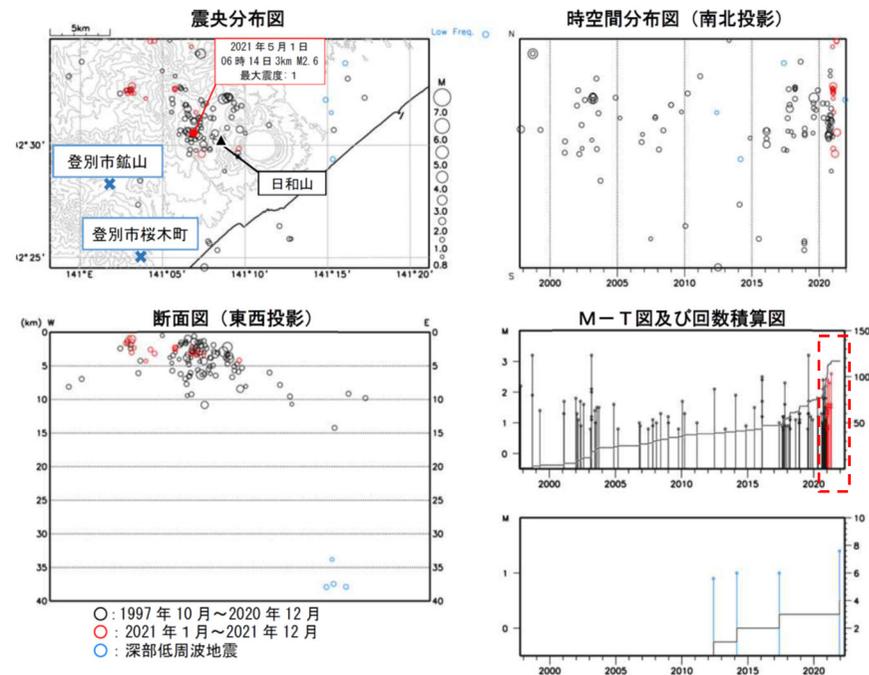


図9 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月~2021年12月, M \geq 0.8, 深さ40km以浅)
○: 1997年10月~2020年12月
●: 2021年1月~2021年12月
○: 深部低周波地震
* 5月1日に日和山の西側で地震が一時的に増加し、そのうち日和山の西約2km、深さ3kmで発生した地震(マグニチュード2.6)により、図中に×で示した登別市鉢山及び登別市桜木町で震度1を観測しました。
* 6月以降、山体及び周辺で発生する地震は少ない状態で経過しました。

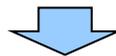
倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(気象庁HPに加筆)

2.4.4 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。

2.4.4 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)

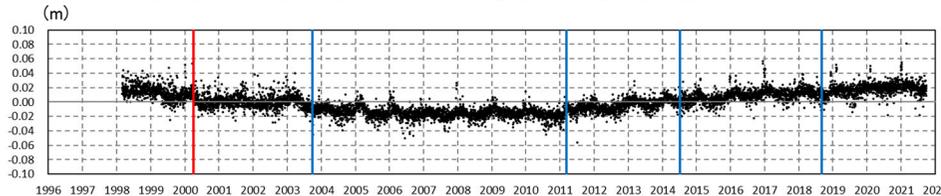
一部修正(R5/1/20審査会合)

【上下変動】

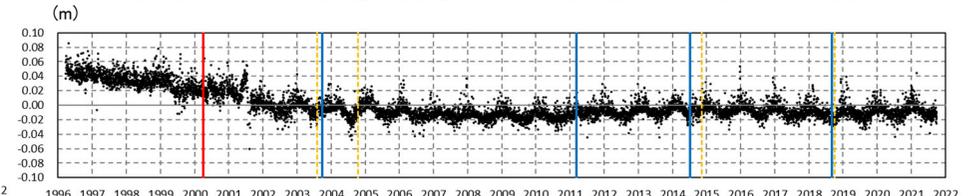
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点※1(登別, 白老, 大滝及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は, 倶多楽・登別火山群と同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は, 白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず, 登別, 大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P220~P225参照)を踏まえると, 北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果, 周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり, 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~P183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。

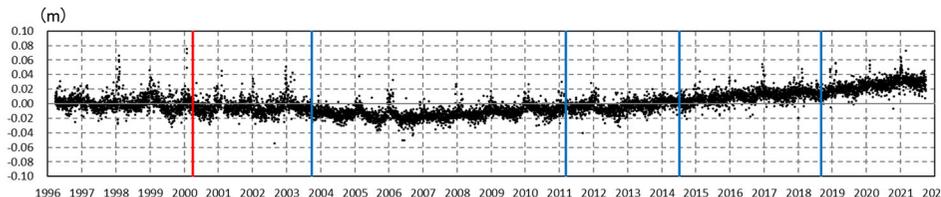
※2 例えば, 1993年北海道南西沖地震, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等がある。



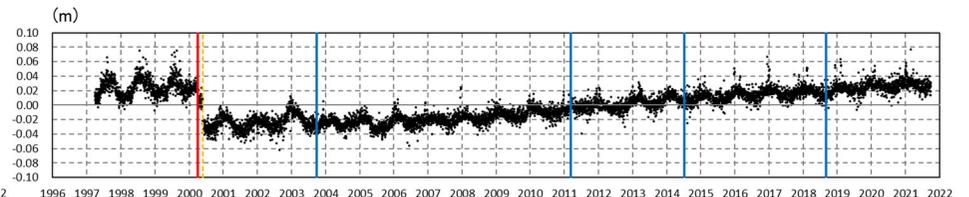
小樽1-登別間の比高変化※3(対象期間:1998年2月~2021年9月)



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)



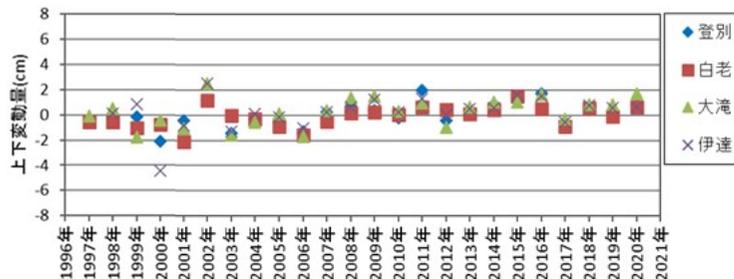
小樽1-伊達間の比高変化※3(対象期間:1997年3月~2021年9月)

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
- 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, 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)

2.4.4 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)

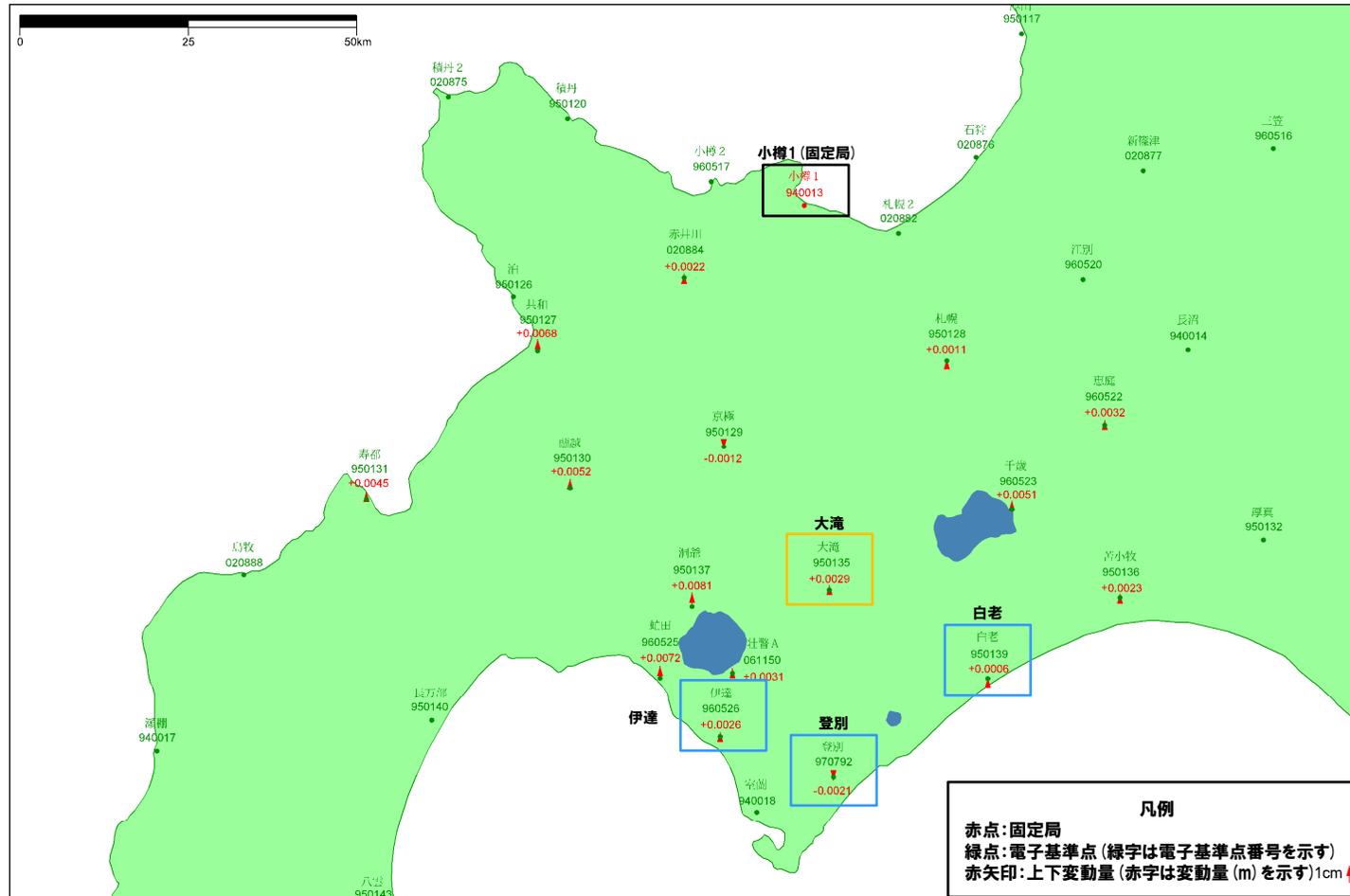
再掲(R5/1/20審査会合)

- 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)

2.4.4 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)

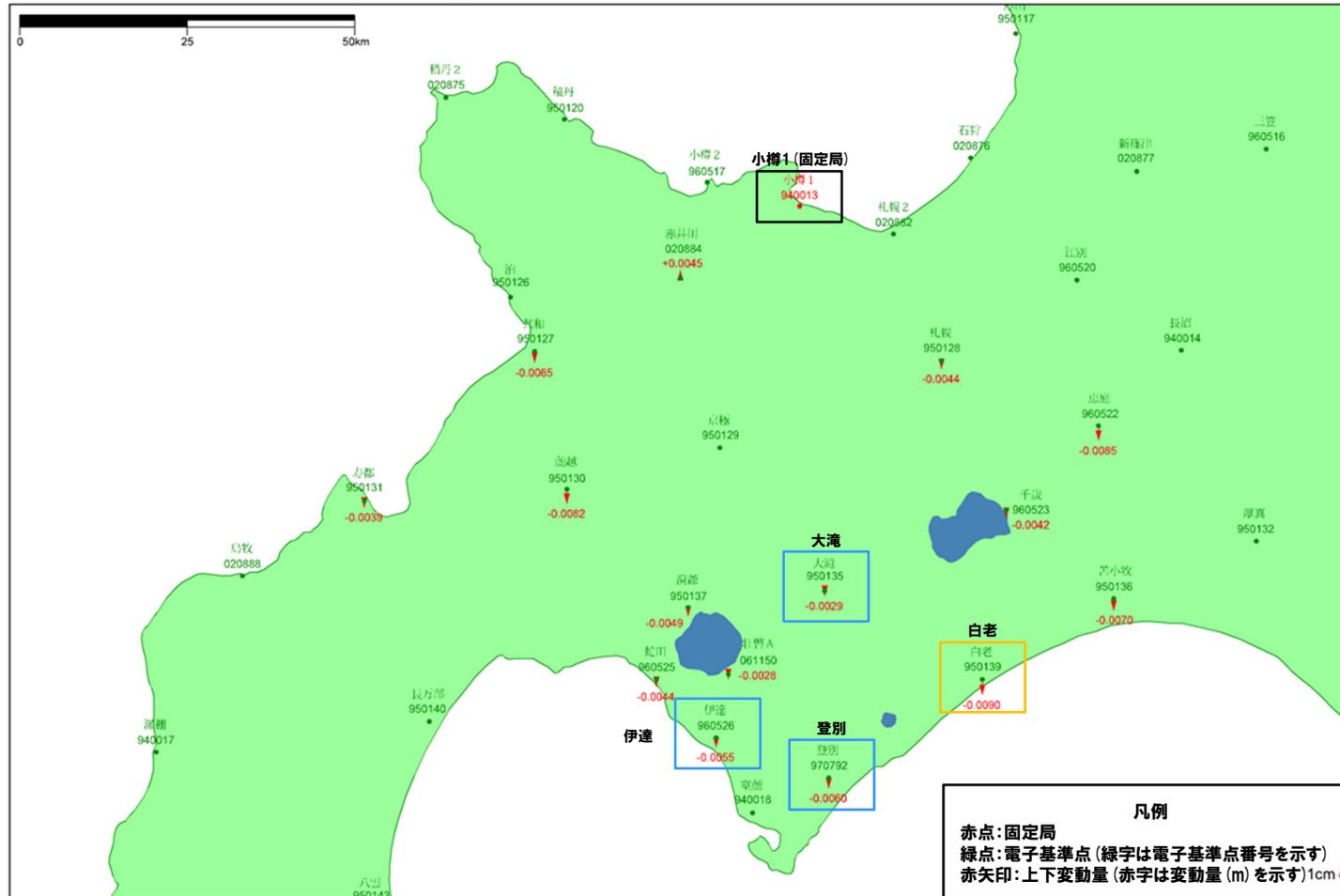
再掲(R5/1/20審査会合)

- 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)

2.4.4 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)

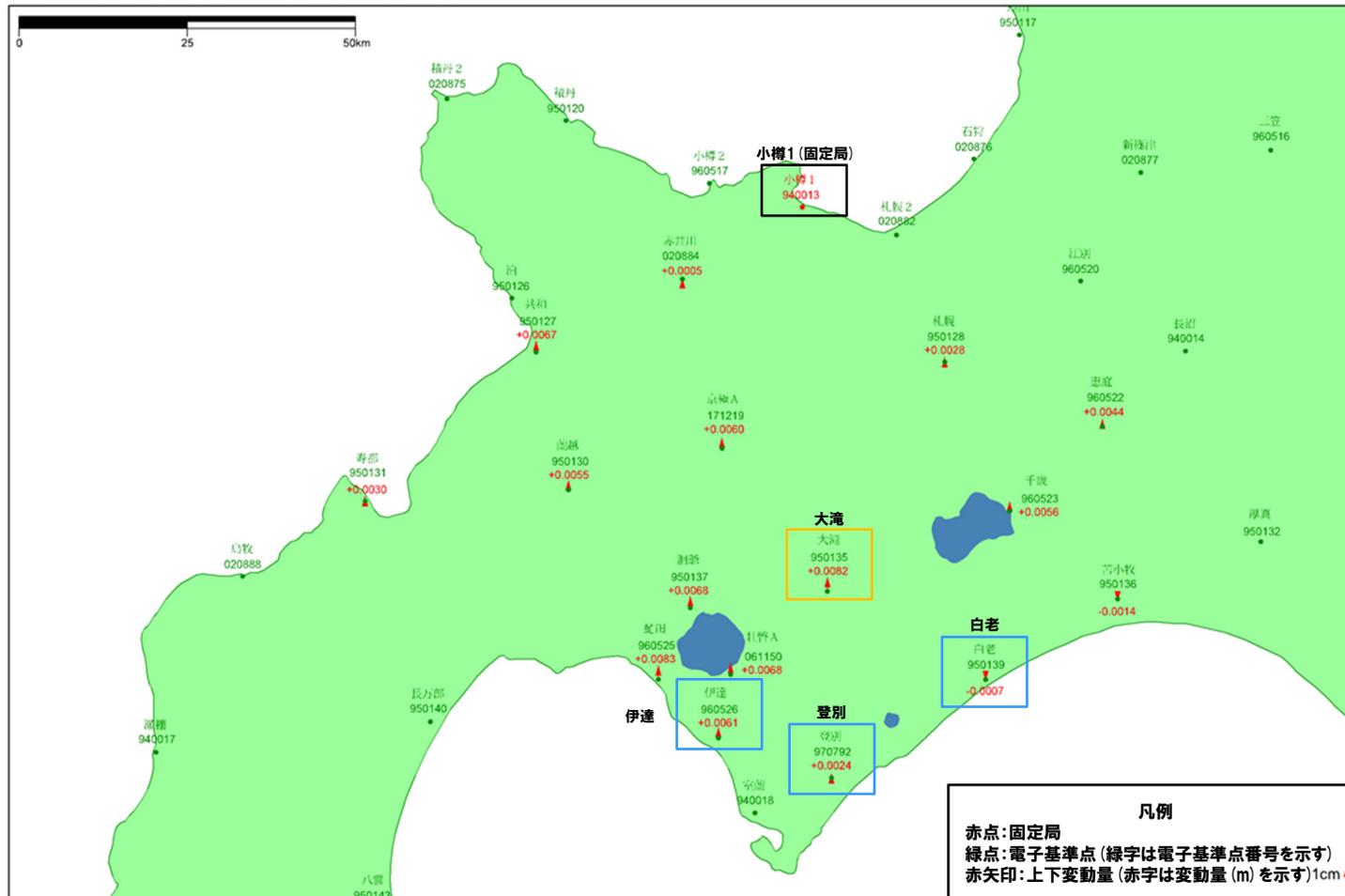
再掲(R5/1/20審査会合)

- 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

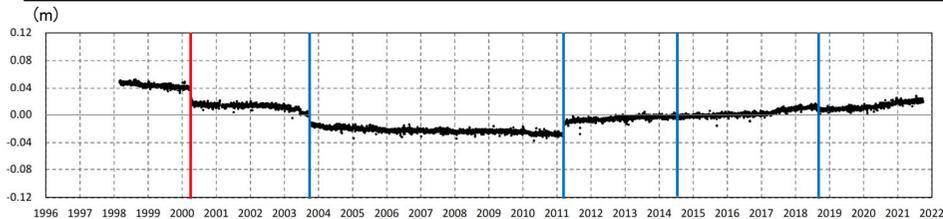
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/13)

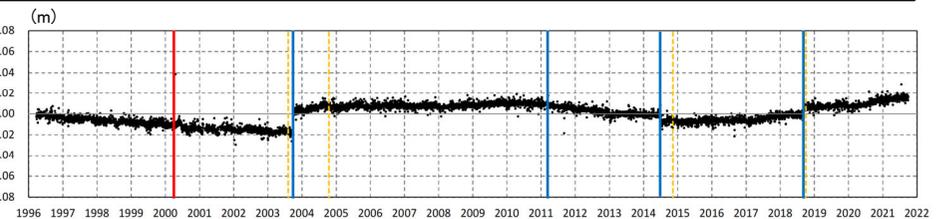
再掲(R5/1/20審査会合)

【基線長変化】

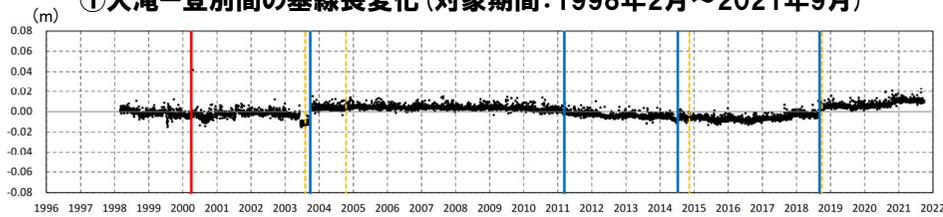
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点(登別, 白老, 大滝, 及び伊達)を結んだ4基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



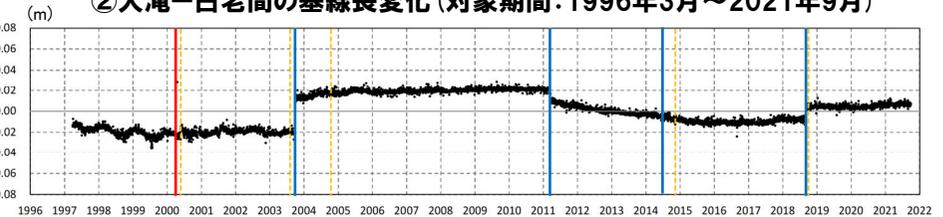
①大滝-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



②大滝-白老間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)

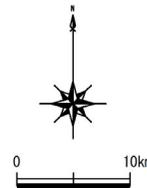


③白老-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



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

2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

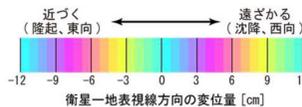
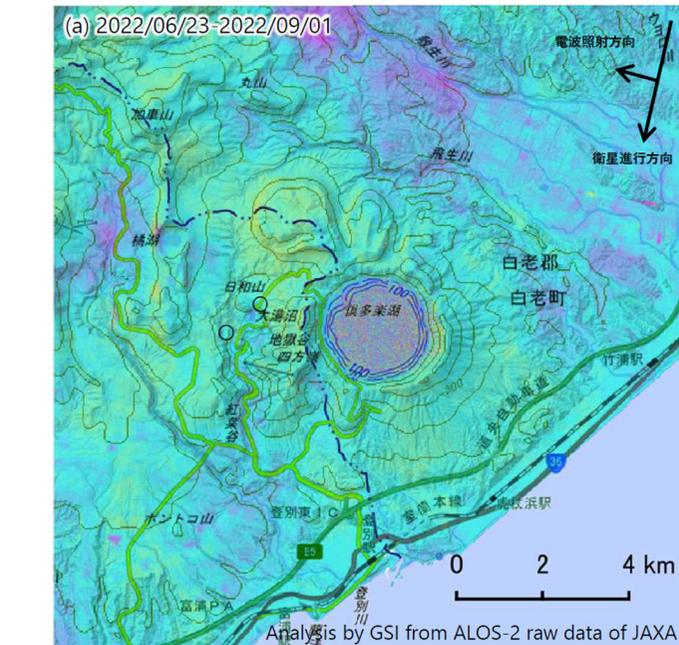
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/13)

再掲(R5/1/20審査会合)

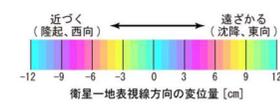
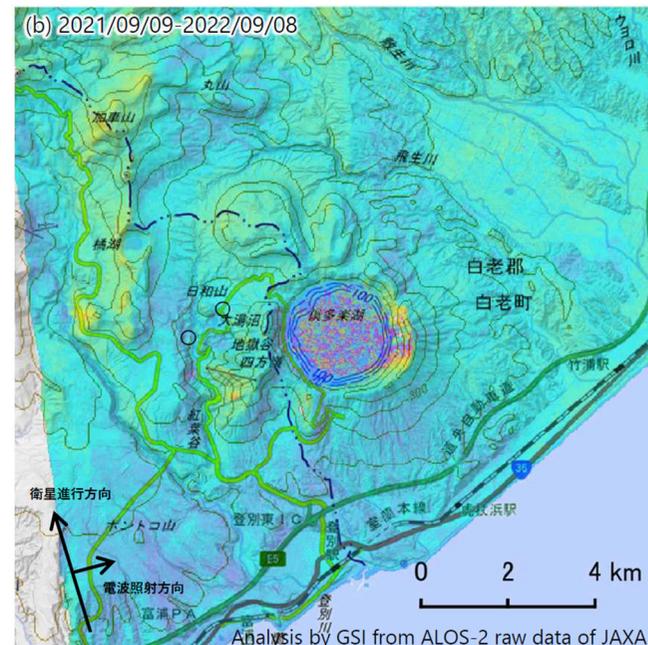
【干渉SAR】

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



対象期間：2021/9/9 - 2022/9/8

	(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)

2.4.4 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(P185参照)。

※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。

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。

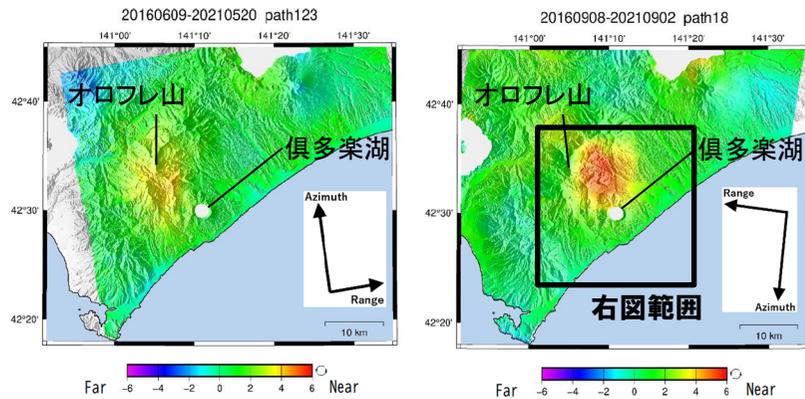
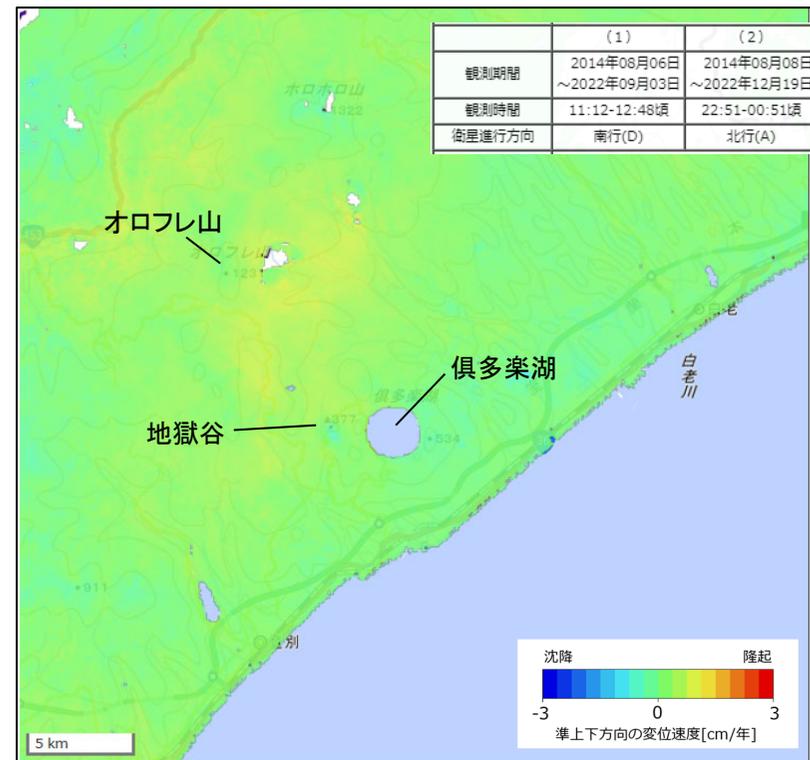


図1 パス 123(SM1_U2-7)による
長期間の干渉解析結果
(2016/06/09~2021/05/20)

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)

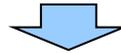


倶多楽・登別火山群周辺における2014-2022年間の
干渉SAR時系列解析結果(準上下成分の変位速度)(国土地理院(2023)に加筆)

2.4.4 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)

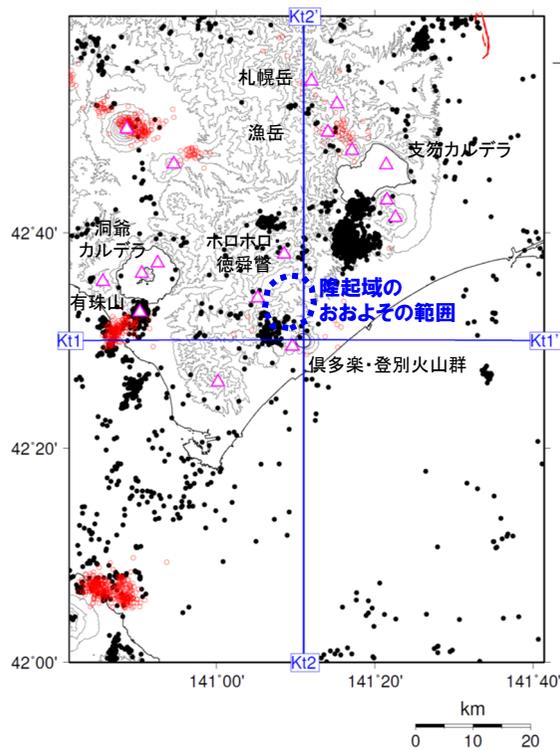
- 第151回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2022)において, 倶多楽湖北西(オロフレ山周辺)の隆起及び当該領域を含む基線の伸びが報告されていることを踏まえると, 当該領域の地下に何らかの膨張源が存在している可能性が考えられる。
- 倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)に認められる隆起及び基線の伸びについて, 地下構造(地震波速度構造及び比抵抗構造)の観点から検討を行った。
- 後述する洞爺カルデラにおける当社電磁気探査結果(P205~P207)に基づくと, 当該領域の地下3~14km付近に低比抵抗領域($10\Omega\text{m}$ 以下の領域)が認められる(P207左図参照)。
- 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 V_p かつ低 V_p/V_s 領域が認められ, 水の存在が示唆される(P156~P157及び次頁参照)。



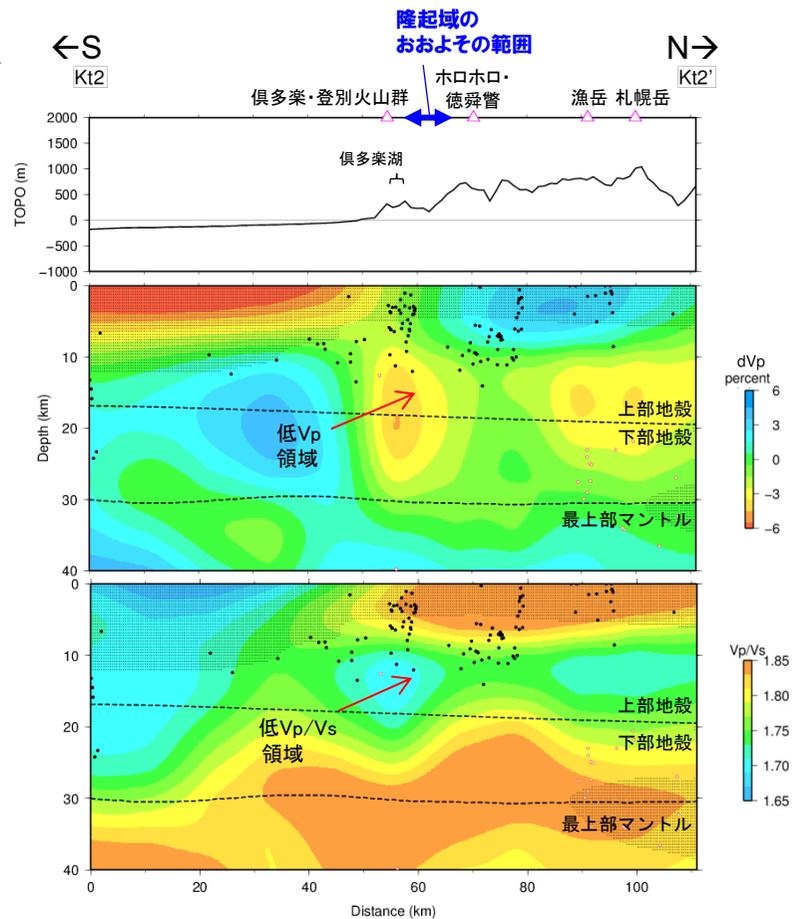
- 倶多楽湖の北西側(オロフレ山周辺)に認められる隆起及び基線の伸びは, 熱水の上昇・貯留に伴うものと推定される。

2.4.4 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)



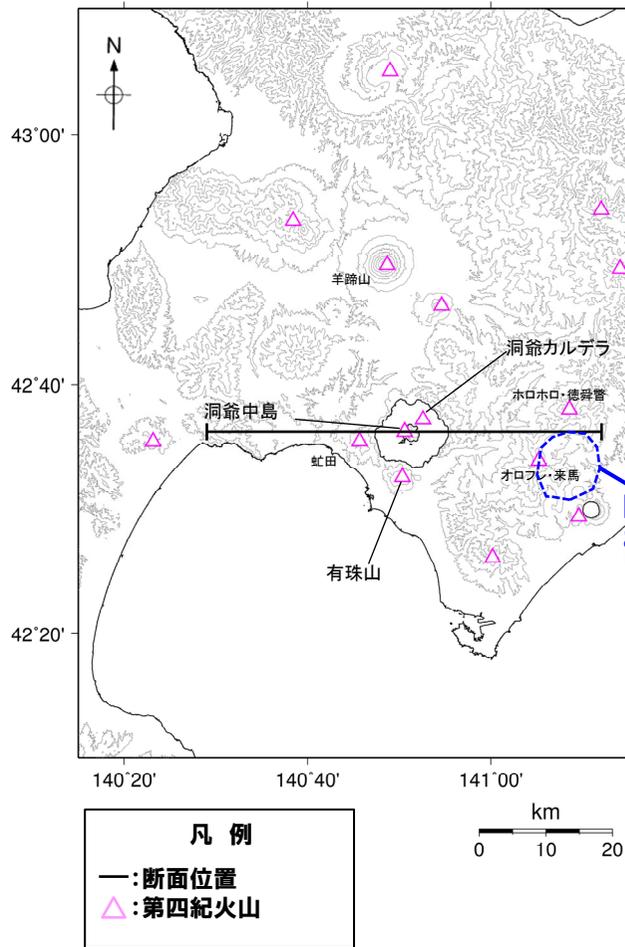
凡例	
△	第四紀火山
黒点	震源 (MJMA ≥ 0)
赤点	低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
半透明黒色部	チェッカーボードテストの 復元率が20%以下の範囲
—	活断層
—	推定活断層
} 今泉ほか編(2018)をトレース	



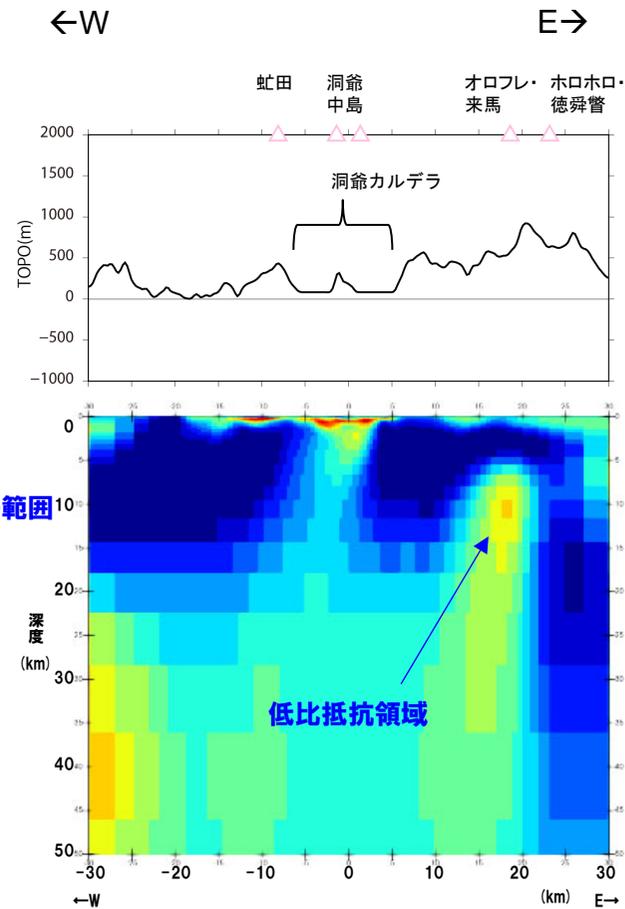
地震波速度構造(南北の鉛直断面)
(解析及び地震波速度構造断面の詳細はP156~P157参照)

2.4.4 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P205～P207参照)

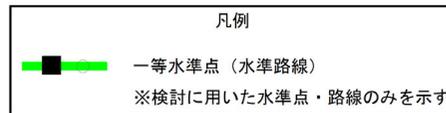
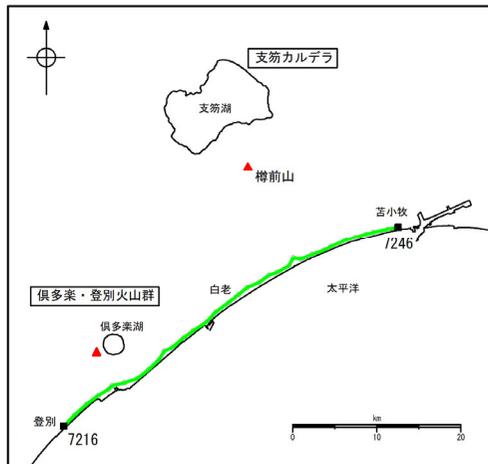
2.4.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(12/13)

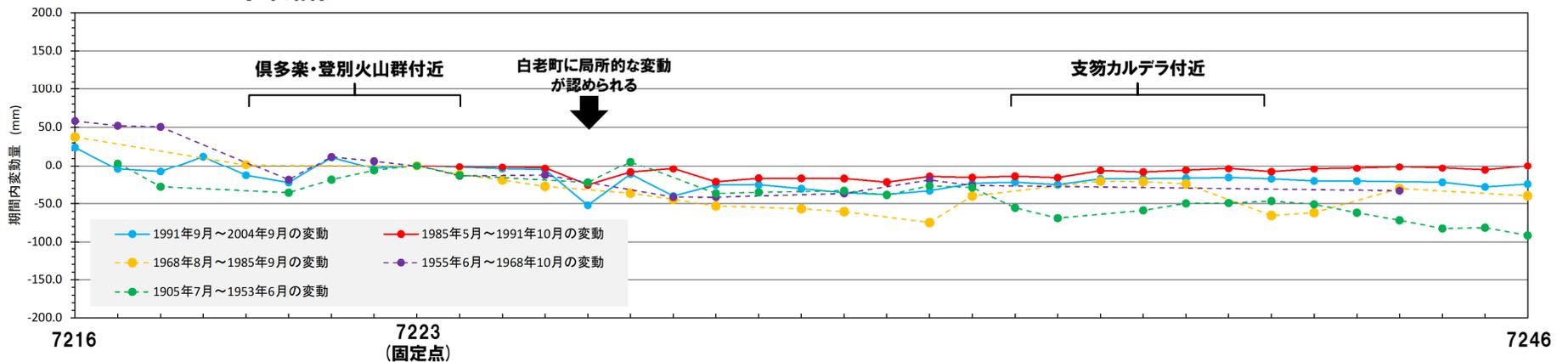
再掲(R5/1/20審査会合)

【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)

2.4.4 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)】

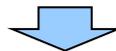
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は、白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず、登別、大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、登別、大滝及び伊達地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不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3~14km付近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。

2.4.4 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が存在する可能性及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動に着目して、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)から、現在のマグマ溜まりの状況を検討した。

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 (P156~P170参照)】			
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、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、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 (P172~P178参照)】		【地殻変動 (P179~P192参照)】	
<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。