

1. 火山影響評価の概要	P. 10
2. 網羅的な文献調査の概要	P. 42
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 54
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 57
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 61
4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価	P. 68
4.1 設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価	P. 71
4.1.1 火山活動の可能性評価	P. 71
4.1.2 巨大噴火の可能性評価	P. 81
4.1.2(1) 巨大噴火の可能性評価方法	P. 83
4.1.2(2) 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P. 112
4.1.2(3) 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P. 162
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 216
4.2 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 259
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象	P. 326
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 328
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物の影響評価	P. 328
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 337
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P. 338
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P. 340
6. 火山活動のモニタリング	P. 342
6.1 監視対象火山	P. 342
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じたモニタリング	P. 344
7. 火山影響評価のまとめ	P. 348
参考資料	P. 348
参考文献	P. 355

・本章の説明内容

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

(参考) 有珠山火山防災協議会(2021)

余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価(1/2)

一部修正(R5/1/20審査会合)

- 洞爺カルデラにおいて約11万年前にTp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出し、現在の洞爺カルデラを形成した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が354km³となることから、巨大噴火に該当する。
- 洞爺カルデラの活動状況は、以下の検討結果(詳細は次頁表参照)を総合的に踏まえると、巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価される。
 - ・洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が354km³である。
 - ・巨大噴火以降に活動を開始した後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも14km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。
 - ・巨大噴火による噴出物と後カルデラ火山による噴出物の組成が異なることから、巨大噴火時のマグマ供給系と現在のマグマ供給系は異なっているものと判断される。
 - ・地下構造の状況から、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い。
 - ・火山性地震及び地殻変動の状況からは、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない。
- また、洞爺カルデラについては、網羅的な文献調査の結果、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない*ことから、運用期間中における巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠は得られていない。
- これらのことから、洞爺カルデラの運用期間中における巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価される。

*網羅的な文献調査の結果については、「2.網羅的な文献調査の概要」に示す。また、現状想定されている噴火規模について、参考としてP257に示す。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価(2/2)

一部修正(R5/1/20審査会合)

検討項目	検討結果	該当頁	
①活動履歴	<ul style="list-style-type: none"> ○洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が354km³である。 ○巨大噴火以降に活動を開始した後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも14km³であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。 ○巨大噴火による噴出物と後カルデラ火山による噴出物の組成が異なることから、巨大噴火時のマグマ供給系と現在のマグマ供給系は異なっているものと判断される。 	次頁～ P223	
地球物理学的調査	②地下構造 <ul style="list-style-type: none"> ○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)及び巨大噴火が可能な量の珪長質なマグマ溜まりが形成される深度である約12km以浅には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められない。 【地震波速度構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・地震波トモグラフィ解析結果では、洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約12km以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低V_pかつ高V_p/V_s領域は認められない。 ・洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。 【比抵抗構造】 <ul style="list-style-type: none"> ・洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。 【重力異常】 <ul style="list-style-type: none"> ・重力異常を踏まえマグマ溜まりに関して考察されている文献は認められない。 	P224～ P225 P226～ P231 P232	
	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、有珠山周辺の下部地殻に認められるが、上部地殻にはほとんど認められない。 	P234～ P240
	④地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ○地殻変動は、周辺の地震及び2000年有珠山噴火による余効変動等が認められる。 ○また、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められる。 ○これらの変動以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。 	P242～ P254
		<ul style="list-style-type: none"> ○洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。 	

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(1/6)

一部修正(R5/1/20審査会合)

- 活動履歴から、洞爺カルデラの現在の活動状況について検討を実施した。
- 洞爺カルデラ、洞爺中島及び有珠山の活動履歴、噴出量-年代階段ダイヤグラム等を次頁～P223に示す。

【活動の概要】

- ・約11万年前にTp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出した噴火により、現在の洞爺カルデラが形成され、その後、洞爺中島及び有珠山が形成された。
- ・約11万年前にTpを噴出した噴火以降の、洞爺中島の活動から現在までの活動期は後カルデラ期である。

【噴出物の分布・体積】

- ・約11万年前にTpを噴出した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が 354km^3 * (マグマ体積: 170km^3 (DRE))となることから(P221参照)、巨大噴火に該当する。
- ・約11万年前にTpを噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、いずれの後カルデラ火山に関しても、火砕流を含む火山噴出物の分布は山体近傍に限定されることから(補足説明資料1のP49参照)、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
- ・各後カルデラ火山における最大の噴出物体積は、洞爺中島が 14km^3 (中島-東山ドーム)、有珠山が 2.5km^3 * (1663年噴火 Us-b, マグマ体積: 1.5km^3 (DRE))である。

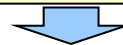
【噴出物の組成】

- ・産業技術総合研究所(2022)によれば、Tpは、全岩化学組成分析の結果、かんらん石斑晶を含む1試料が安山岩である以外は、すべて流紋岩であるとされている。
- ・気象庁編(2013)及びGoto et al.(2015b)によれば、後カルデラ火山(洞爺中島及び有珠山)の噴出物のうち、有珠山歴史時代以外の噴出物はデイサイト～安山岩である(P222参照)。
- ・有珠山歴史時代の珪長質な噴出物については、全岩化学組成分析の結果、Tpの噴出物の大半を占めている斑晶に乏しい(CPタイプ)軽石と比較して、 K_2O が低い(P223参照)。
- ・このため、巨大噴火による噴出物と後カルデラ火山による噴出物の組成が異なることから、巨大噴火時のマグマ供給系と現在のマグマ供給系は異なっているものと判断される。

【その他】

- ・町田・新井(2011)によれば、Tp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出した噴火によって現在の姿が形成されたといえるが、この噴火が優れて水蒸気マグマ噴火の性質をもっていること及びこのテフラより古い火砕流堆積物が数枚カルデラの周りに存在することなどから、この噴火以前にもカルデラ様の低地ないし水域の存在が推定されるとされている。
- ・当該カルデラ様の低地ないし水域は、噴火によって形成された可能性が考えられるものの、現況の知見においては、その噴火に伴う噴出物、噴火規模等は不明である。

*マグマ体積を山元(2014)に基づき、当社が噴出物体積へ換算した値。



- 洞爺カルデラにおいては、巨大噴火が約11万年前に1回発生しており、その噴出物体積が 354km^3 である。
- 巨大噴火以降に活動を開始した後カルデラ火山においては複数回の活動が認められるが、噴出物体積は最大でも 14km^3 であり、巨大噴火の噴出物体積と異なっている。
- 巨大噴火による噴出物と後カルデラ火山による噴出物の組成が異なることから、巨大噴火時のマグマ供給系と現在のマグマ供給系は異なっているものと判断される。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(2/6)

一部修正(R5/1/20審査会合)

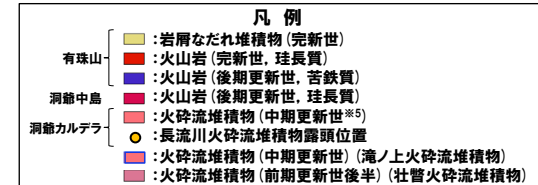
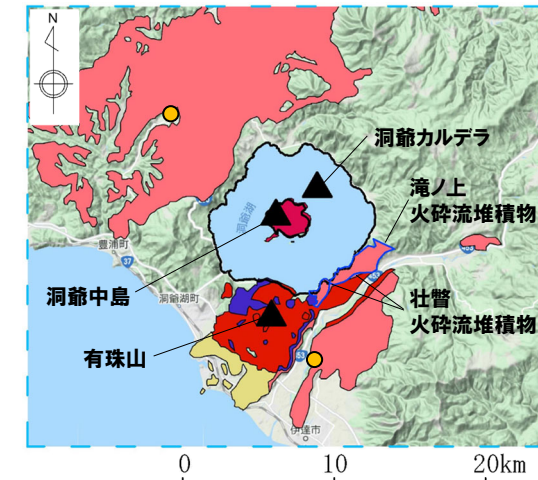
洞爺カルデラの概要

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

※1 産業技術総合研究所「日本の火山(DB)」2023年8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8月確認。

※3 次頁～P221に示す洞爺カルデラ, 洞爺中島及び有珠山の活動履歴に基づく。



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

洞爺カルデラ, 洞爺中島及び有珠山の噴出物分布図

(産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)及びGoto et al.(2018)より作成)

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

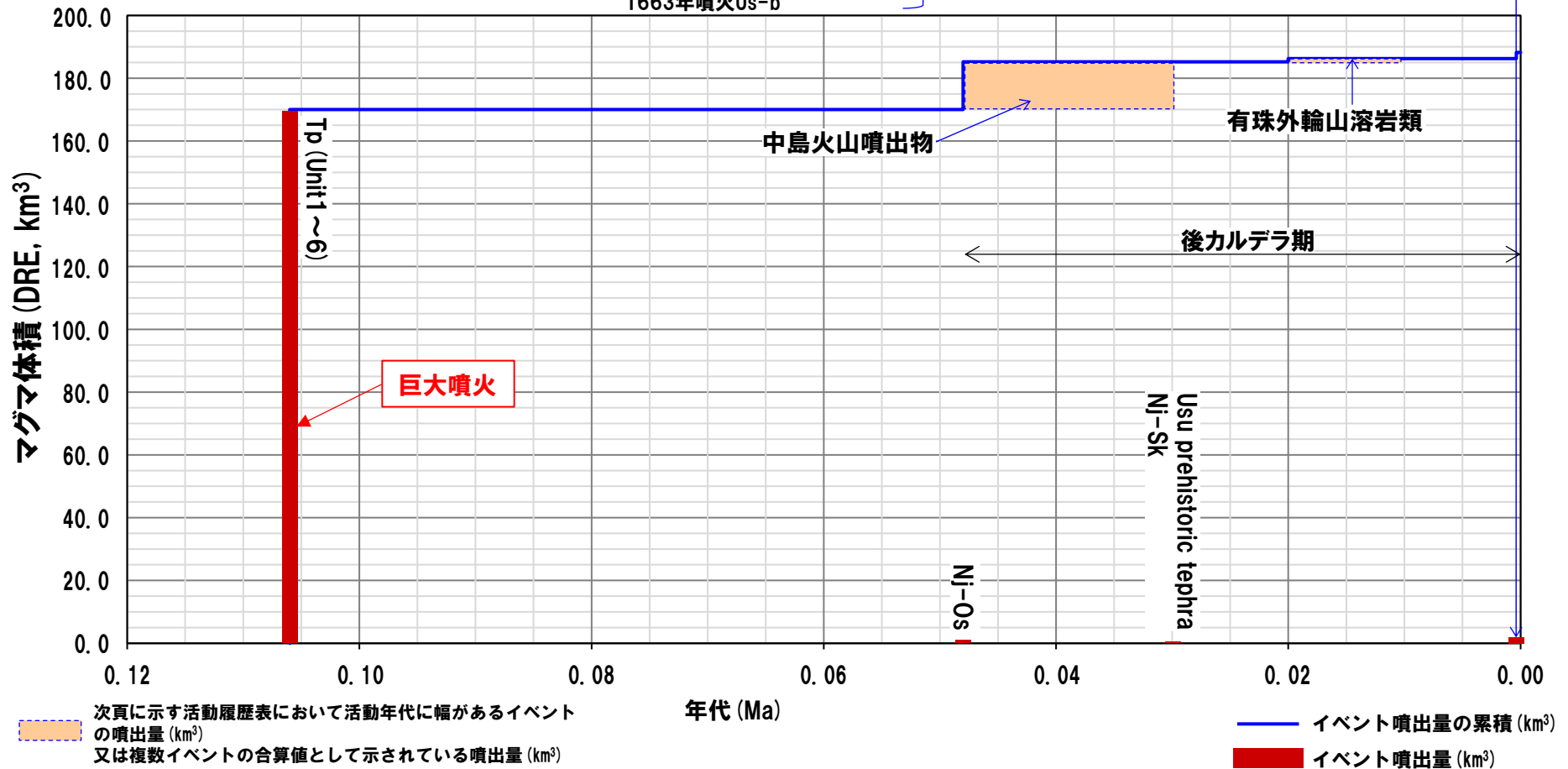
- ・李(1993)においては, 洞爺カルデラ起源の大規模な珪長質マグマによる噴出物は, 火砕流堆積物の間に顕著な風化程度の差が認められることから2回のカルデラ形成期(Toya-1及びToya-2)があったと判断されている。
 - ・同一著者によるその後の文献であるLee(1996)においては, 従来, 4つの異なるフェーズからなるひと続きの噴火であると考えられていた洞爺カルデラでの大規模火砕流噴火について, 3回の別個の噴火であり, FT法年代測定結果から, その噴火年代は14万年前, 10万年前, そして8万年前とされ, 2回目の噴火が現在見られる洞爺カルデラを作った最も主要な噴火とされている。
 - ・一方, 鷹澤ほか(2007)においては, 洞爺火砕流を下位より, TpfI / II, TpfIII及びTpfIVユニットに区分しているが, これらのユニット間に堆積間隙を示す堆積物の根拠は見出されず, これらのユニットを対象に実施したSAR法による平均Red TL年代は, TpfI / IIで132ka, TpfIII及びTpfIVで113-114kaであり, 後者は町田・新井(2003)が地形, テフラ対比から総合的に推定したToyaの年代(110~115ka)と良く一致しているとされている。この年代値の差については, 今回の実験では多粒子(40~70粒子)を用いているので, 年代の古い石英粒子の混入も否定できないとされている。
 - ・また, Goto et al.(2018)は, 洞爺カルデラ形成噴火噴出物(Tp)を大きく6つのユニットに区分しているが, 李(1993)におけるToya-1及びToya-2は, それぞれGoto et al.(2018)におけるUnit2及びUnit3~Unit6に対比されている。
 - ・これらのことから, 洞爺カルデラ形成噴火について, Lee(1996)では3回の別個の噴火とされたが(上記下線箇所), 以降の文献(鷹澤ほか(2007)等)では別個の噴火ではなく, 1輪廻の噴火として扱われており, この噴火年代として, 「日本の火山(DB)」等のデータベースにおいては, Lee(1996)で示された年代値のうち, 最も古い14万年前が採用されたものと考えられる。
- このため, 「約14万年前にカルデラ形成」は, 現行では, 次頁～P221に示す洞爺カルデラの活動履歴のとおり, 約11万年前にTpを噴出し, 現在の洞爺カルデラを形成した噴火に対応するものと考えられる。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (3/6)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

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



噴出量-年代階段ダイアグラム

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(4/6)

一部修正(H28/2/5審査会合)

洞爺カルデラ活動履歴

洞爺中島活動履歴

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

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀	完新世			
	更新世			
	ca.30ka	Nj-Sk ^{*3} :pumice-fall deposit	0.01	
	48-30ka	中島火山噴出物 (溶岩ドーム群: 中島-東山ドーム等)	15.09 ^{*4}	5.0
ca.48ka	Nj-Os :pumice-fall deposit	0.11		第四紀火山カタログ委員会編(2000) 山元(2014) Miyabuchi et al. (2014) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)

※1 東宮・宮城(2020)においては、洞爺噴火の年代値については、MIS5dのピークより後の約106kaである可能性も含め、109±ca.3kaと考えておくのが妥当であろうとされている。

※2 Osrは、金田ほか(2020)における長流川火砕流堆積物に対応する。同文献においては、洞爺カルデラの南縁付近に、いずれも給源不明の壮瞥火砕流堆積物(熱ルミネッセンス年代測定値:1.59±0.33Ma)とそれを覆う滝ノ上火砕流堆積物(熱ルミネッセンス年代測定値:0.90±0.15Ma)が露出しており、これらの上位には、長流川火砕流堆積物が堆積しているとされている。

長流川火砕流堆積物は、土壌を挟むものの、洞爺火砕流堆積物の直下に存在し、その年代も、カルデラ形成よりも約1万年前であることから、Tp噴火前の重要な長期的前駆活動とみなすことができるかとされている。

しかし、長期的前駆活動については以下の様な知見もあることから、これらの火砕流堆積物(Osr, 滝ノ上火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物及び立香火砕流堆積物)を噴出した噴火のいずれをも、洞爺カルデラの活動履歴に示すこととした。

・産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)では、壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物及び長流川火砕流堆積物を噴出した噴火は、いずれもTp噴火の長期的前駆活動とされている。

・後藤ほか(2021)では、洞爺カルデラ地域において新たに発見した立香火砕流堆積物は、壮瞥火砕流堆積物の下位に位置することから、洞爺火砕流堆積物の先カルデラ期の火砕流堆積物の層序は、下位から立香火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物, 長流川火砕流堆積物とされている。

※3 Miyabuchi et al. (2014)によれば、Nj-Skの上位に、洞爺カルデラ内の水蒸気噴火に由来する火山豆石を含む褐色から灰色の微細な降灰層の互層が認められ、当該堆積物の総体積は0.077km³と推定されている。

※4 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2022)によれば、中島火山噴出物のうちマグマ体積が最大のものは中島-東山ドームの14km³(DRE)とされている。

有珠山活動履歴

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

※5 1663年噴火以降の活動によって形成された溶岩ドーム(有珠溶岩ドーム)のマグマ体積も一括計上されている。

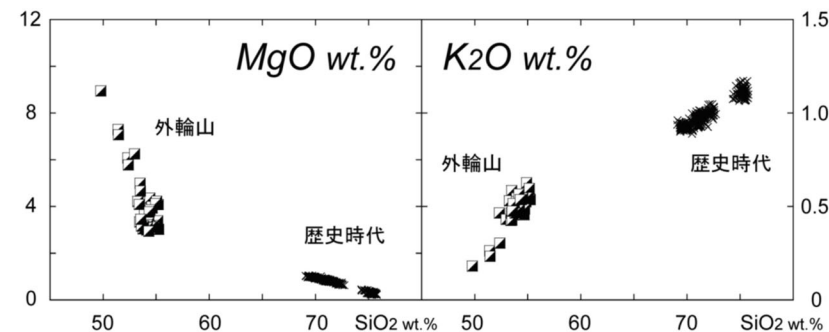
※6 Miyabuchi et al. (2014)によれば、有珠外輪山溶岩のマグマ体積は、0.5km³(DRE)とされている。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴(5/6)

【噴出物の組成】

- 産業技術総合研究所(2022)によれば, Tpは, 全岩化学組成分析の結果, かんらん石斑晶を含む1試料が安山岩である以外は, すべて流紋岩であるとされている。
- 気象庁編(2013)及びGoto et al.(2015b)によれば, 各後カルデラ火山(洞爺中島及び有珠山)の噴出物のうち, 有珠山歴史時代以外の噴出物はデイサイト~安山岩である(右上図及び右下表参照)。
- 有珠山歴史時代の珪長質な噴出物については, 全岩化学組成分析の結果, Tpの噴出物の大半を占めている斑晶に乏しい(CPタイプ)軽石と比較して, K_2O が低い(次頁図参照)。
- このため, 巨大噴火による噴出物と後カルデラ火山による噴出物の組成が異なることから, 巨大噴火時のマグマ供給系と現在のマグマ供給系は異なっているものと判断される。



有珠火山先史時代噴出物(外輪山)及び歴史時代噴出物の全岩化学組成ハーカー図(気象庁編(2013)に加筆)

洞爺中島 全岩主要元素化学組成
(Goto et al.(2015b)に加筆)

Table 3. Whole-rock major-element chemical compositions of volcanic rocks from the Nakajima Islands.

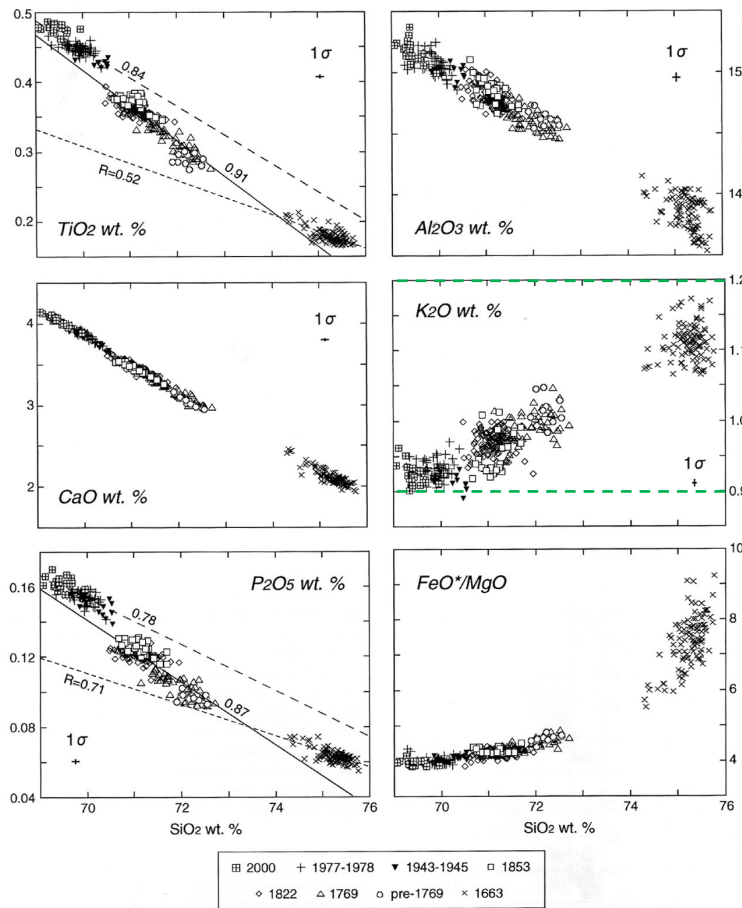
Name	Higashiyama pyroclastic cone	Higashiyama pyroclastic cone	Higashiyama dome	Higashiyama dome	Nishiyama dome	Hokusei dome
Sample No.	NJ-03-L2A	NJ-03-L2B	NJ-01	NJ-02	NJ-34	NJ-32
SiO ₂ (wt. %)	65.80	64.61	63.65	63.09	64.06	62.81
TiO ₂	0.52	0.55	0.64	0.64	0.61	0.67
Al ₂ O ₃	15.96	16.02	16.09	16.36	16.13	16.87
Fe ₂ O ₃ *	5.44	5.83	6.60	6.66	6.67	6.91
MnO	0.14	0.15	0.18	0.19	0.17	0.17
MgO	1.86	2.00	2.05	2.04	1.96	2.17
CaO	4.99	5.09	5.53	5.56	5.63	5.93
Na ₂ O	3.63	3.64	3.66	3.57	3.38	3.37
K ₂ O	1.34	1.36	1.00	0.99	0.92	0.84
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.14	0.14	0.14	0.15
Total	99.80	99.38	99.54	99.24	99.37	99.89
L.O.I.	1.14	1.25	-0.04	0.07	-0.06	0.15

Name	Kitayama dome	Hokutou-misaki dome	Nansei dome	Kannon-jima dome	Benten-jima dome	Manju-jima dome
Sample No.	NJ-31	NJ-80	NJ-37	KJ-03	BJ-02	MJ-03
SiO ₂ (wt. %)	64.61	64.44	65.90	60.23	64.00	59.01
TiO ₂	0.62	0.59	0.51	0.69	0.55	0.68
Al ₂ O ₃	16.25	16.06	16.12	16.66	16.12	17.32
Fe ₂ O ₃ *	6.56	6.36	5.56	8.34	6.22	7.34
MnO	0.15	0.15	0.13	0.18	0.15	0.16
MgO	2.07	1.98	1.92	2.78	2.24	4.13
CaO	5.53	5.46	5.09	6.45	5.55	7.23
Na ₂ O	3.28	3.26	3.32	3.23	3.36	3.01
K ₂ O	1.05	1.07	1.24	0.82	1.10	1.00
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.08	0.11	0.10	0.15
Total	100.24	99.48	99.87	99.49	99.39	100.04
L.O.I.	0.00	-0.04	0.63	0.04	0.14	1.22

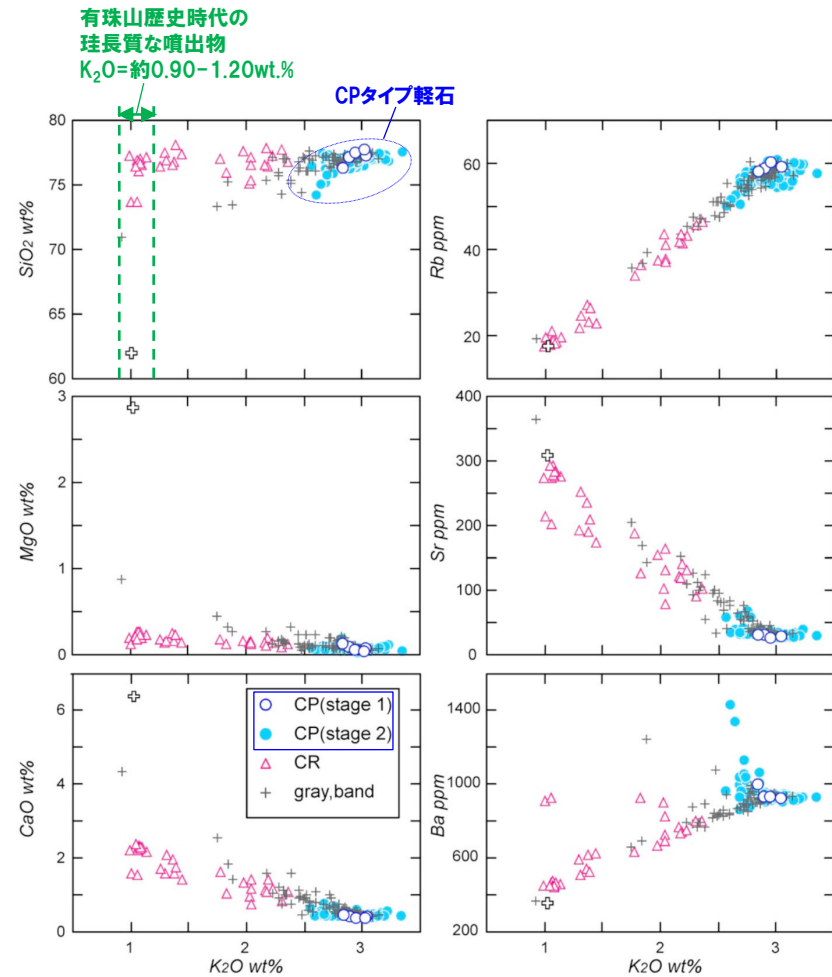
Compositions were determined by X-ray fluorescence (Rigaku RIX-2000) at Shimane University, Japan, following Kimura and Yamada (1996). Fe₂O₃*=total iron as Fe₂O₃. L. O. I.=loss on ignition.

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (6/6)



歴史時代噴出物の全岩化学組成ハーカー図
(気象庁編(2013)に加筆)



Tp噴出物の全岩組成分析 K2O主要・微量元素組成図
(産業技術総合研究所(2022)に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(1/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

○防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022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.(2022)に記載)。その公開データを用いて、当社が洞爺カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。

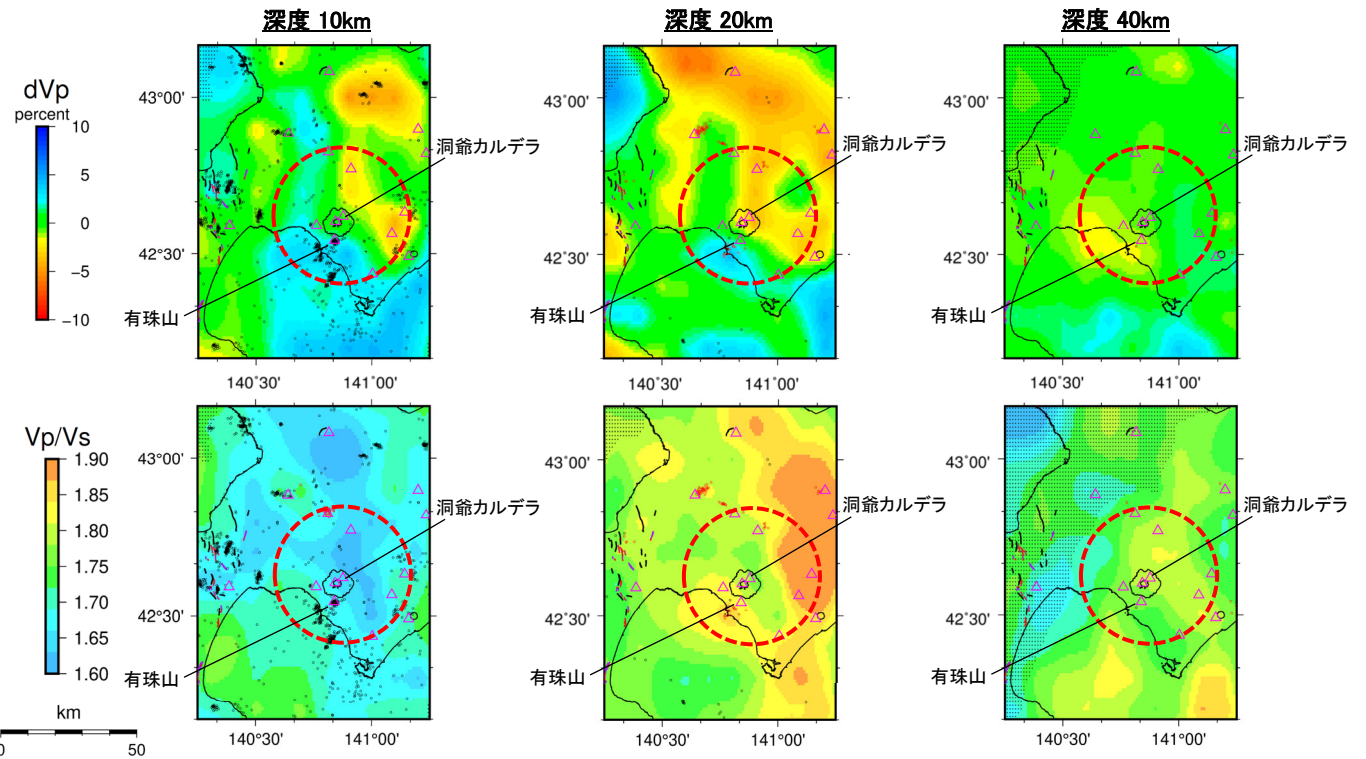
○洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約12km以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

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

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P83~P96参照)】

- 地球物理学的調査のうち、地下構造については、上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約12km以浅の状況を確認することとする。
- 地震波速度構造については、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、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:2000/10/1-2020/12/31)
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
○	洞爺カルデラを中心とした、半径25kmの範囲

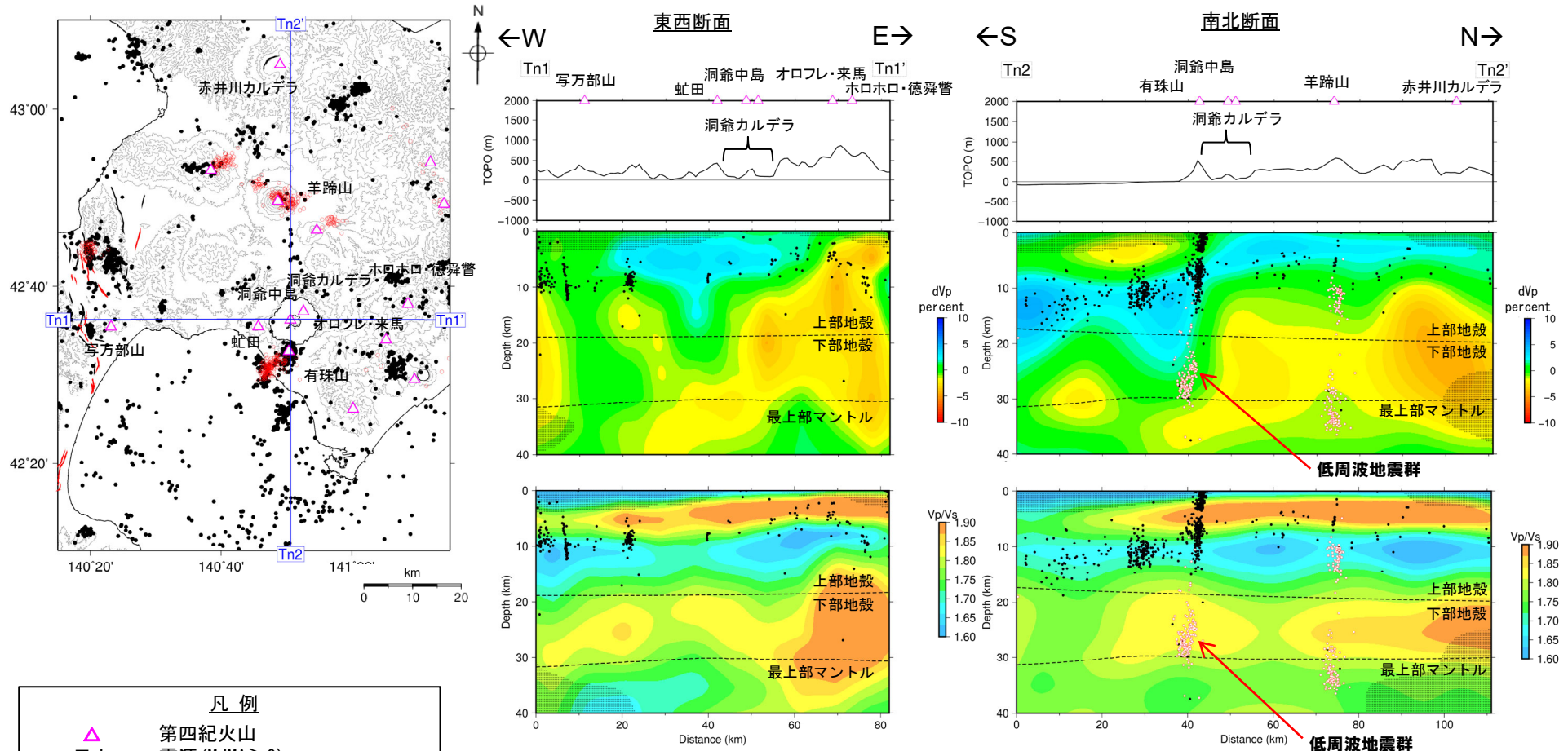


地震波速度構造(水平断面)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



- 凡例**
- ▲ 第四紀火山
 - 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2020/12/31)
 - 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(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の範囲の震源をプロットした。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

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

【当社電磁気探査(次頁~P229参照)】

- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)に、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域(数Ωm程度の領域)は認められない。
- 洞爺中島直下の表層から深度2km程度及び有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲には、低比抵抗領域(数Ωm程度の領域)が認められる(P228~P229参照)。

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

【Goto and Danhara (2018) (P230参照)】

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

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

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

【Matsushima et al. (2001) (P231参照)】

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

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

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



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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (2/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【当社電磁気探査】

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

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

【当社電磁気探査(MT法)の概要】

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

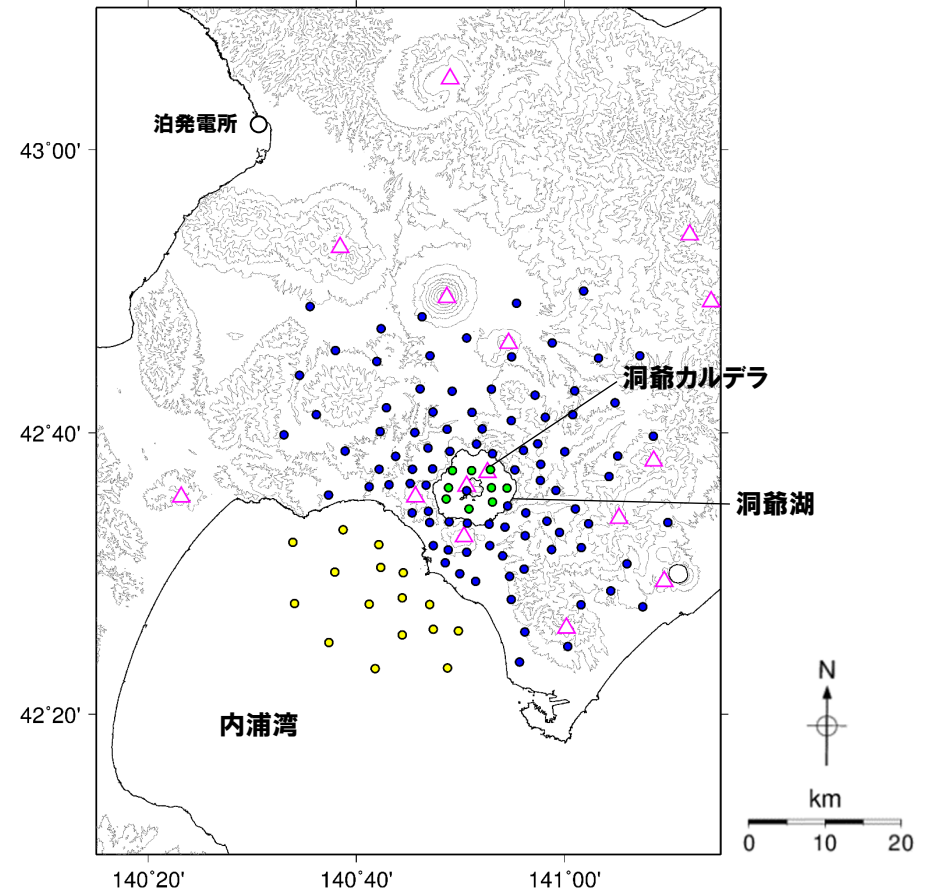
※2 Hata et al. (2016) を参考に設定。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P83~P96参照)】

- 比抵抗構造については、マグマが存在する可能性が考えられる低比抵抗領域が存在するか否かを確認する。

凡例

- :陸域観測点
- :湖域観測点
- :海域観測点
- △:第四紀火山



比抵抗構造解析に用いたMT法観測点位置図

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

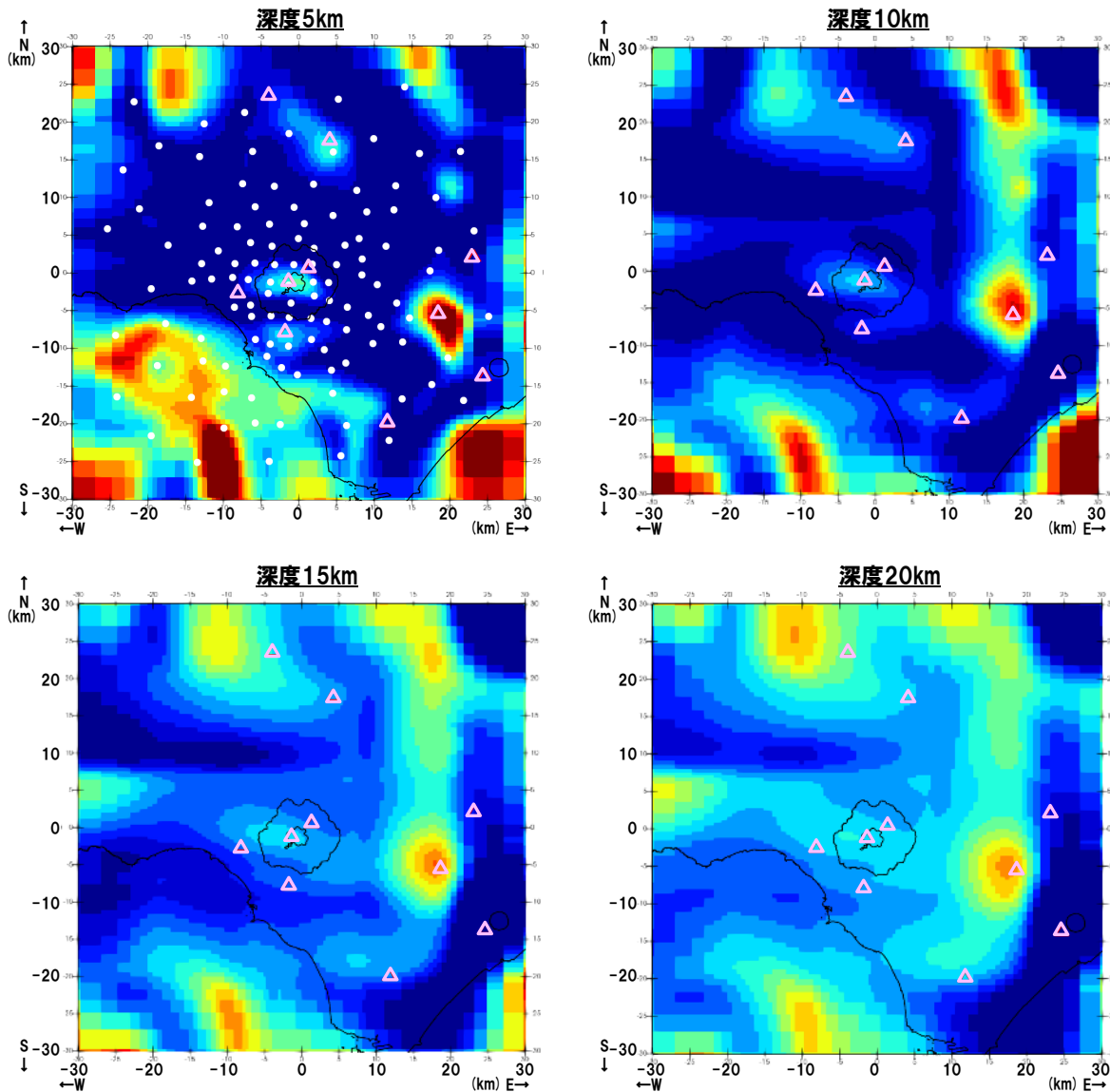
②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

再掲 (R5/1/20審査会合)

○観測データを用いて比抵抗構造解析を実施し、洞爺カルデラ周辺における比抵抗構造の水平・鉛直断面図を作成した。

○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)に、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)は認められない。

○洞爺中島直下の表層から深度2km程度及び有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲には、低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)が認められる(次頁参照)。



凡例

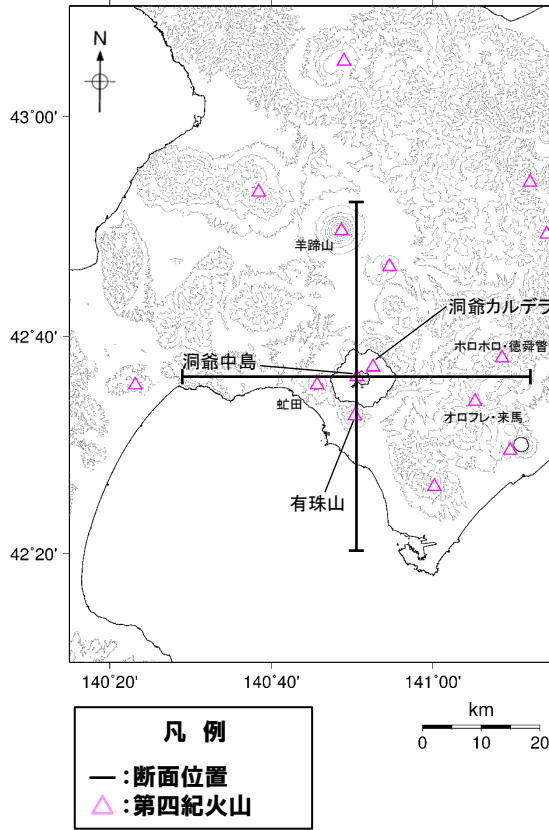
- △ 第四紀火山
- MT観測点 (深度5km断面のみ記載)

比抵抗構造(水平断面)

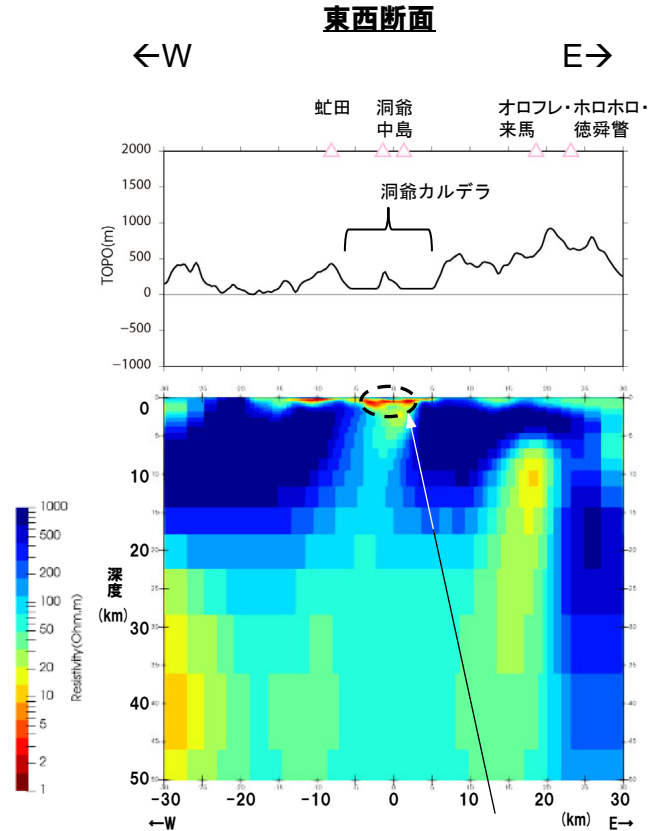
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/6)

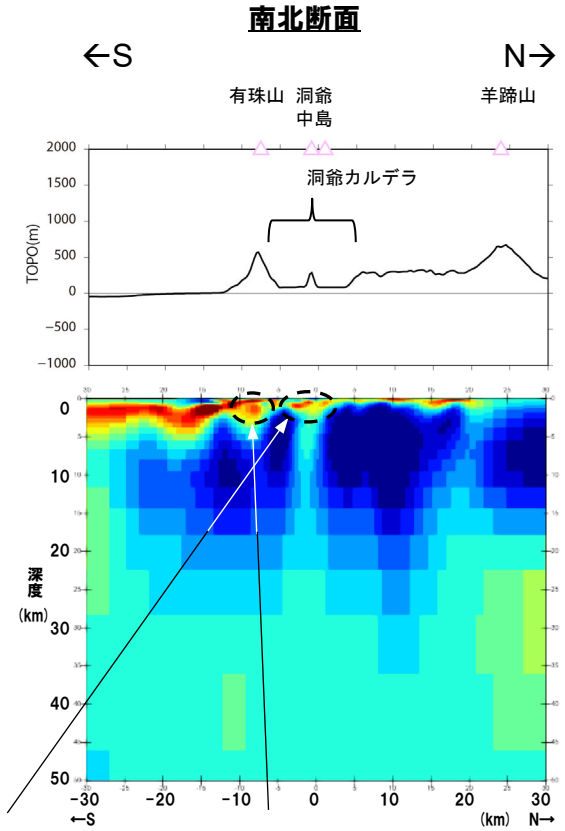
再掲 (R5/1/20審査会合)



比抵抗構造断面位置図



洞爺中島直下の表層から深度2km程度には低比抵抗領域が認められる。



有珠山直下の表層から深度3km程度には低比抵抗領域が認められる。

比抵抗構造(鉛直断面)

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

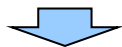
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/6)

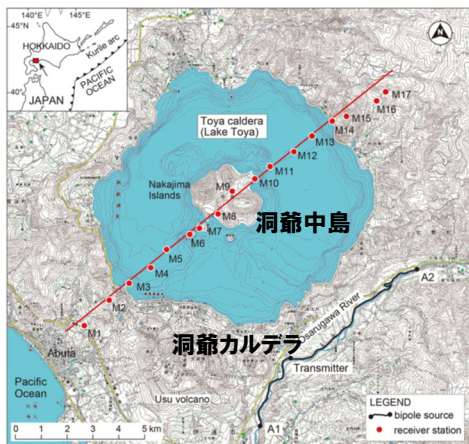
再掲 (R5/1/20審査会合)

【Goto and Danhara (2018)】

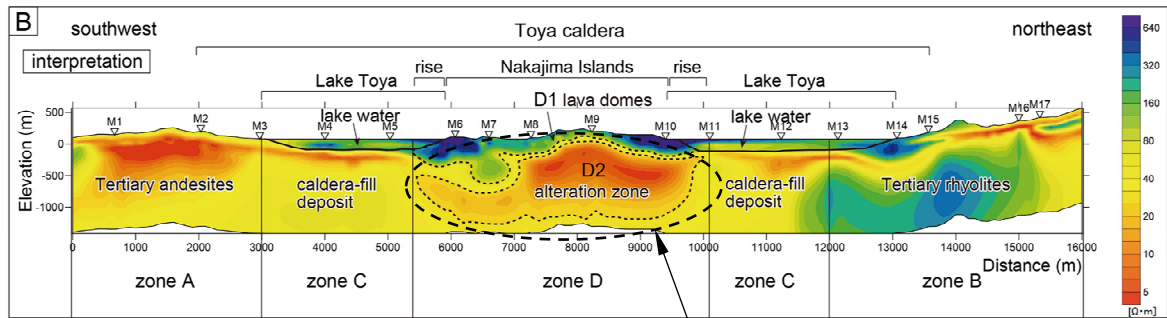
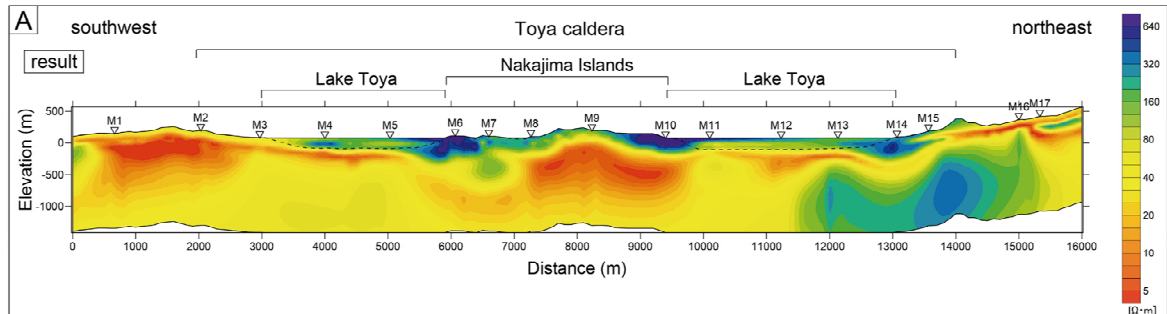
- 洞爺カルデラにおいて、深度1.5km程度までのCSAMT法による電磁気探査を行っているGoto and Danhara (2018) をレビューした。
- ・Goto and Danhara (2018) によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m, 下図D2)が存在するとされている。
- ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている。
- ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下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



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



探査測線位置図 (Goto and Danhara (2018) に加筆)



D2: 洞爺中島とその周囲の隆起域の地下の低比抵抗領域

比抵抗構造 (Goto and Danhara (2018) に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (6/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

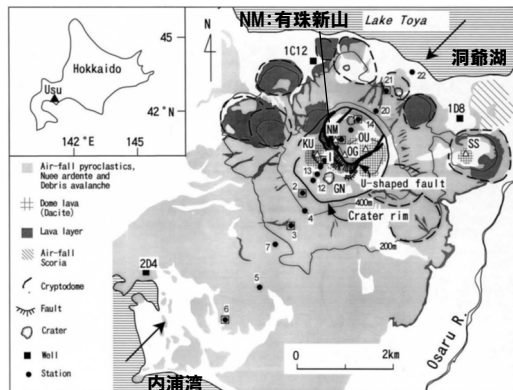
【Matsushima et al. (2001)】

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

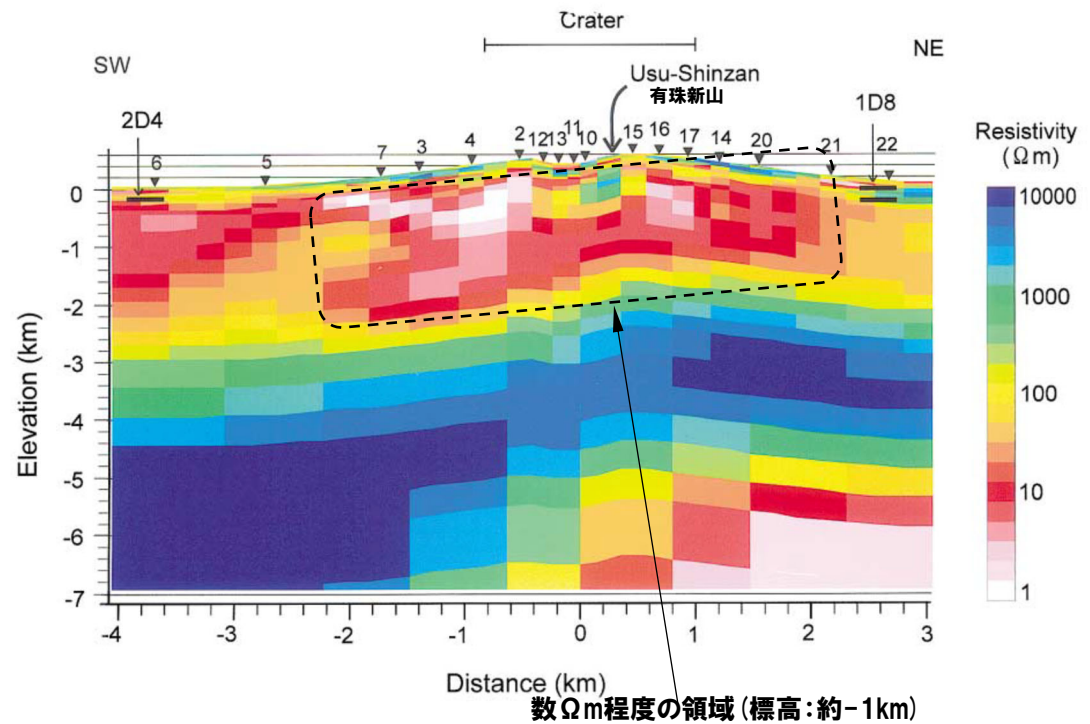
- Matsushima et al. (2001) によれば、有珠山の地下(標高:約-1km)には、数Ωm程度の領域が存在するとされている。
- 当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入の熱水変質により生成された粘土鉱物(スメクタイト)を大量に含む低比抵抗岩であるとされている。



○Matsushima et al. (2001) において有珠山直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲に認められる低比抵抗領域(P229参照)に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



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



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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

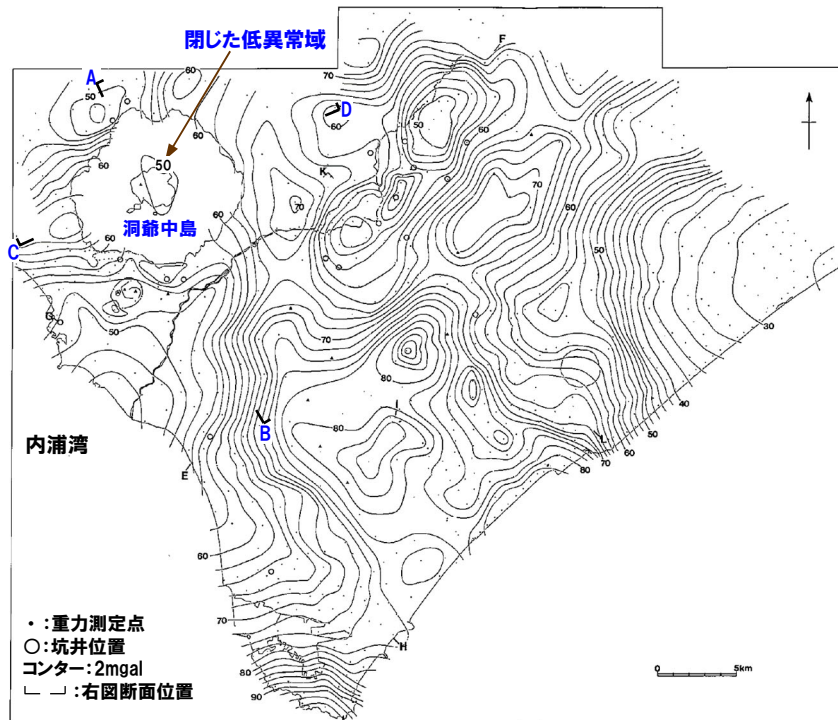
再掲 (R5/1/20審査会合)

【和田ほか(1988)】

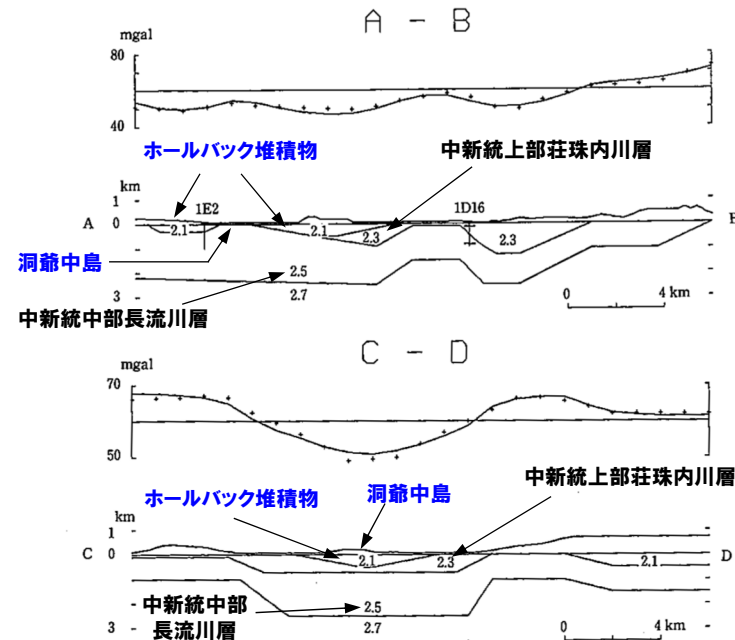
- 洞爺カルデラを含む北海道西胆振地域において、重力測定を行っている和田ほか(1988)をレビューした。
 - ・和田ほか(1988)によれば、低異常型カルデラを特徴づける閉じた低異常域が洞爺カルデラ中央部の中島を中心に分布しているとされている。
 - ・ボーリング調査結果による地質構造の推定に基づくと、上記の低重力異常は、新第三系の地質構造に逆円錐型のホールバック堆積物(最大層厚0.5km)が重畳した構造で説明することができるとされている。



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



西胆振地域における重力異常図(和田ほか(1988)に加筆)



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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【地震波速度構造 (P224~P225参照)】

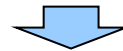
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果では、洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約12km以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【比抵抗構造 (P226~P231参照)】

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

【重力異常(前頁参照)】

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



- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)及び巨大噴火が可能な量の珪長質なマグマ溜まりが形成される深度である約12km以浅には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められない。

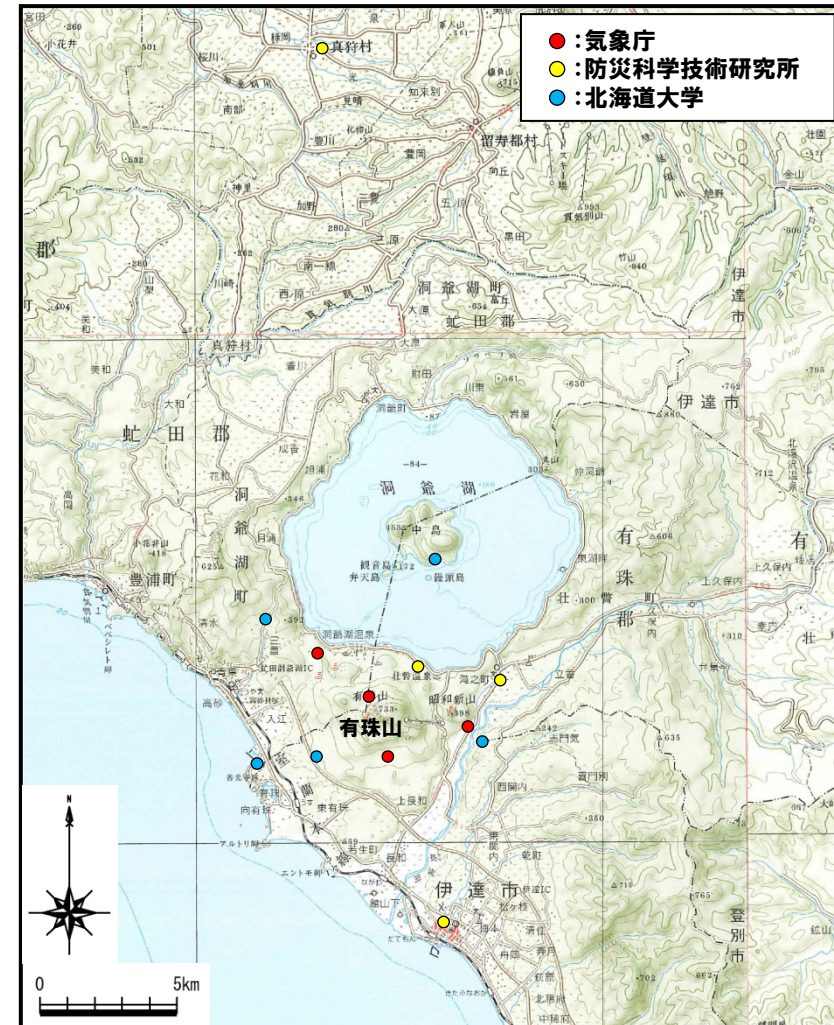
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(1/6)

再掲(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

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



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

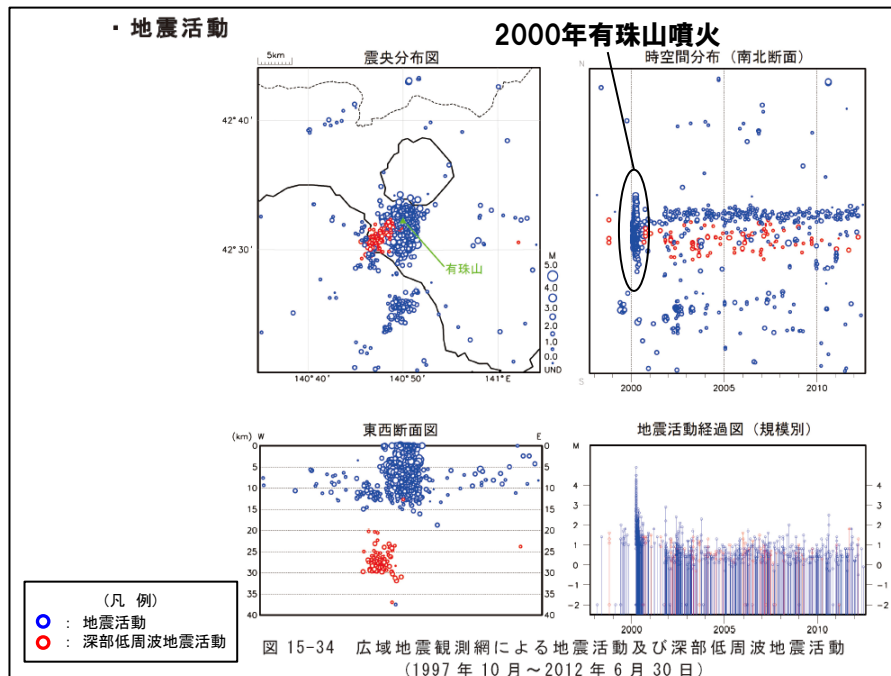
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(2/6)

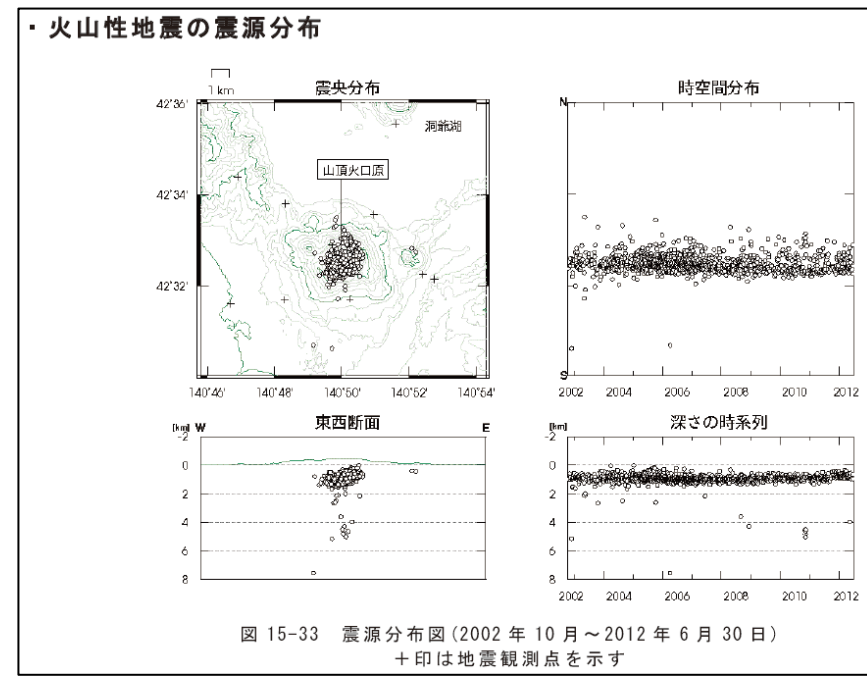
一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

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



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



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

余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(3/6)

再掲(R5/7/7審査会合)

【気象庁(2020)】

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

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

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

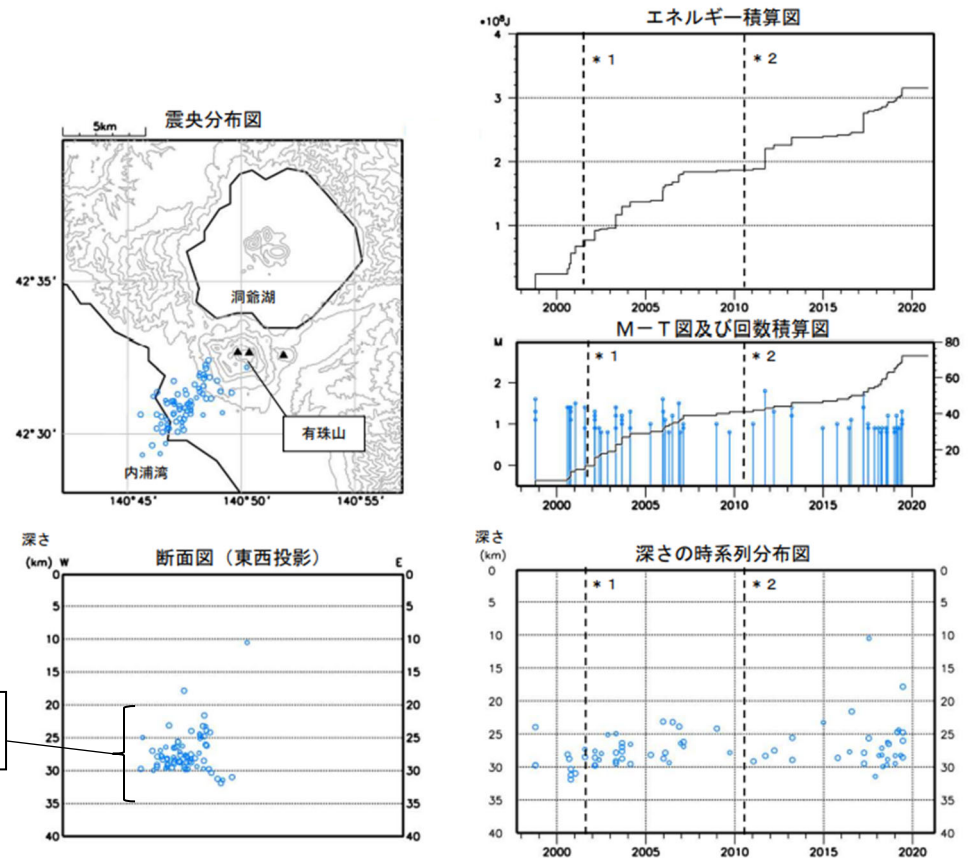


図6 有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動

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

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

有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動
(気象庁(2020)に加筆)

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

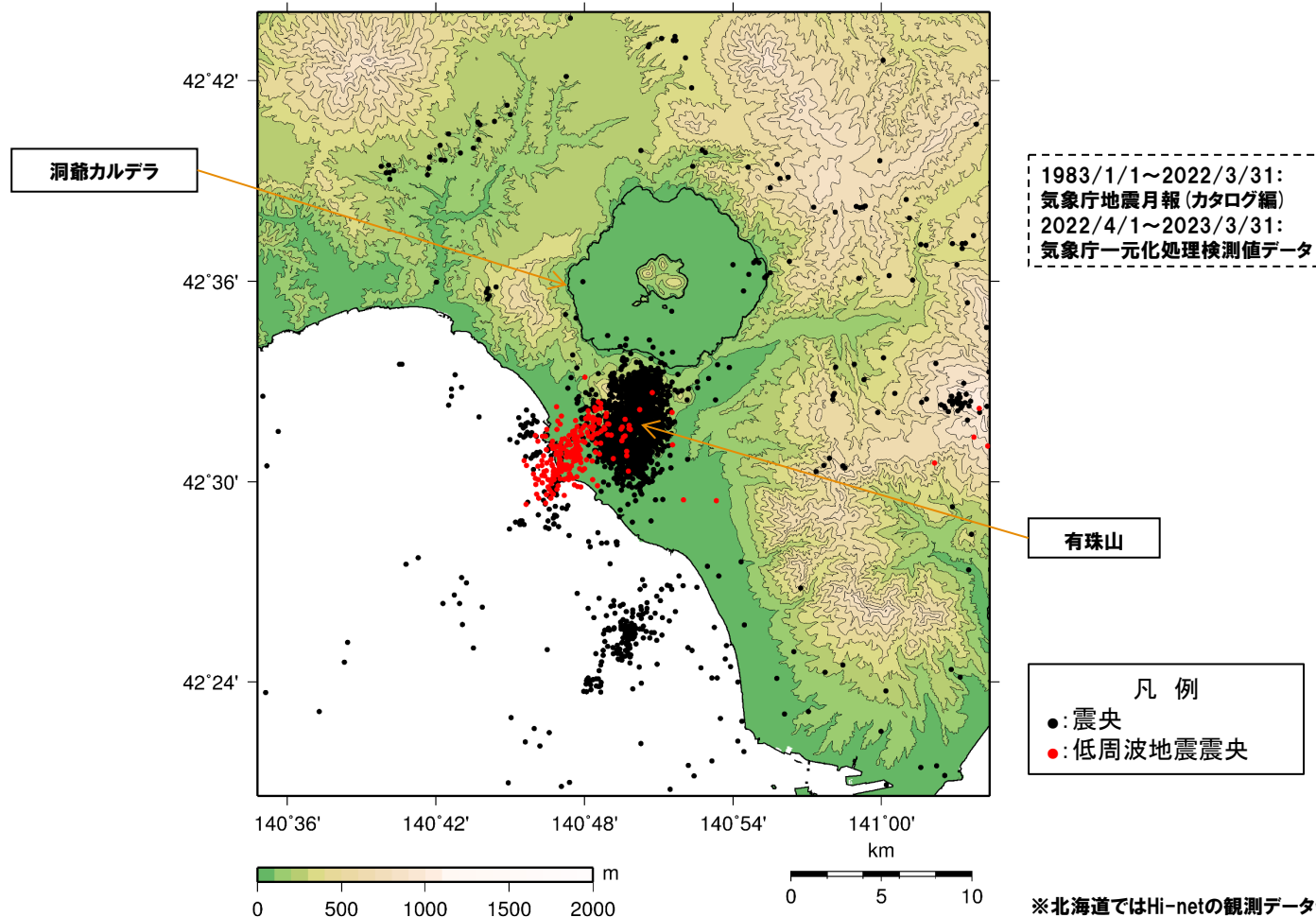
②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○過去約40年間における洞爺カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2022年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2022年4月～2023年3月)を使用した。

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



洞爺カルデラ周辺の震央分布図※
(1983年1月1日～2023年3月31日の記録(深さ40km以浅))

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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

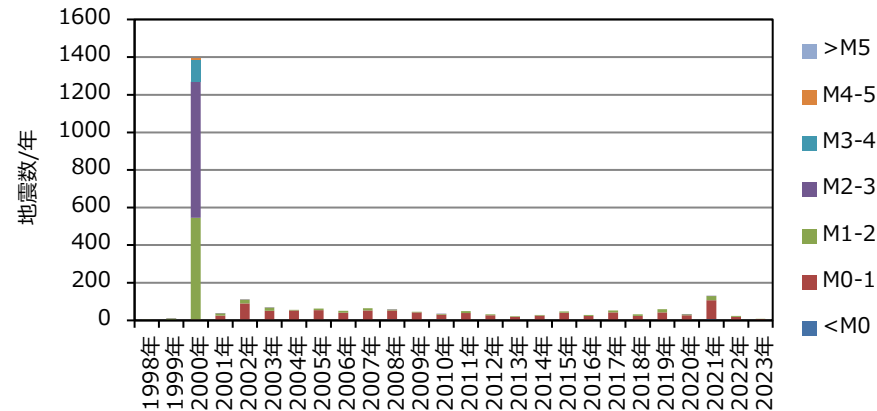
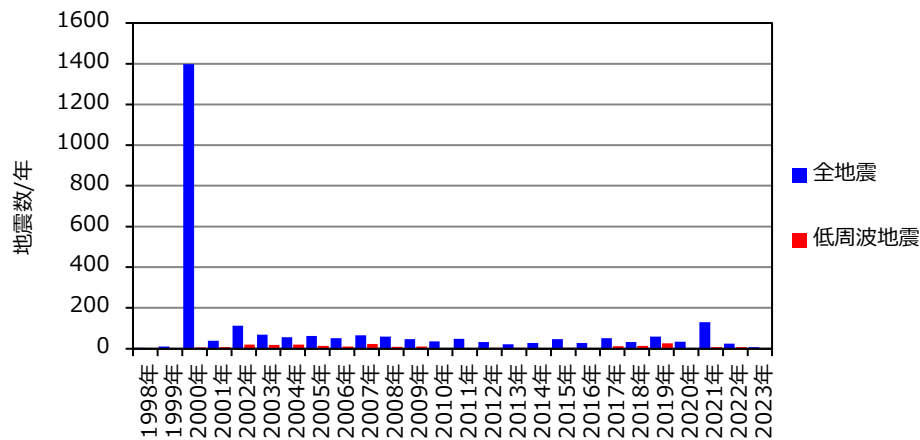
②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(5/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

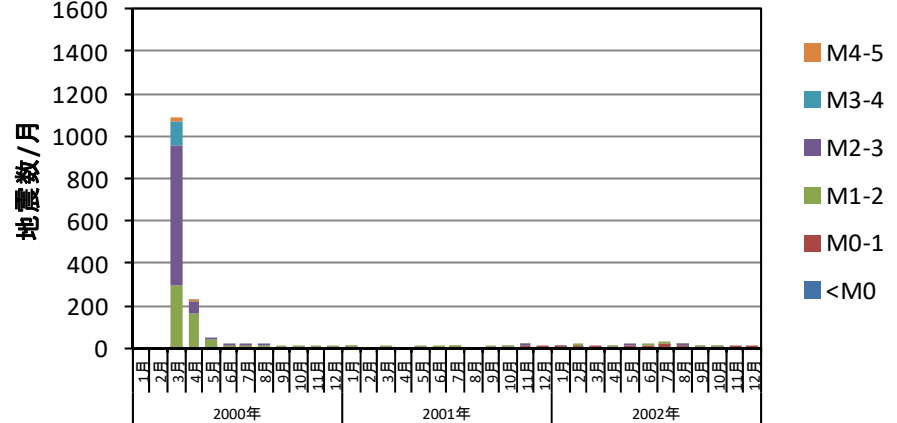
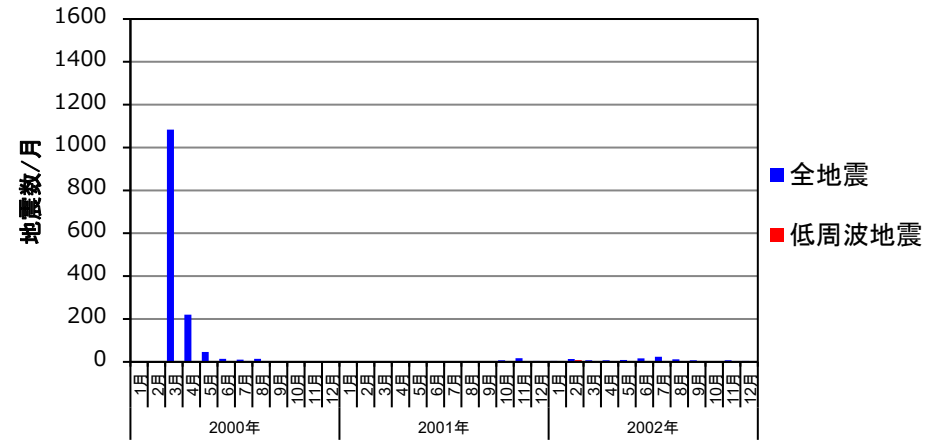
【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

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

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



地震発生数の年別時間変化※1, 2
(1998年～2023年 深さ40km以浅)



地震発生数の月別時間変化※1
(2000年～2002年 深さ40km以浅)

※1 北海道ではHi-netの観測データ使用開始が2001年10月であることから、2001年10月前後でデータ精度が異なる。
 ※2 2023年は1月1日～3月31日のデータを掲載。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (6/6)

一部修正 (H25/12/18審査会合)

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



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

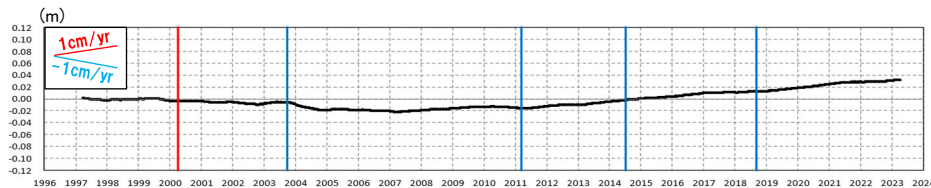
余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

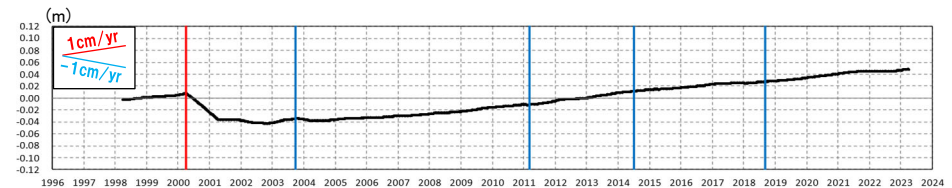
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/13)

【上下変動(移動平均)】

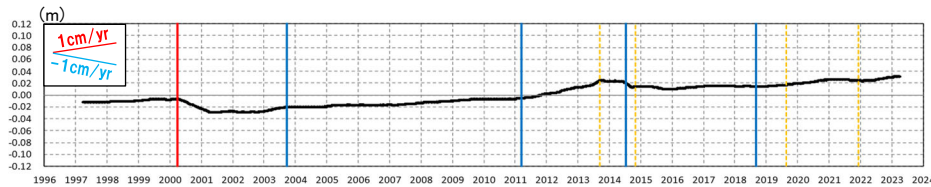
- 季節変化に伴う影響(気象条件に関するノイズ, 電子基準点周辺の樹木の生長等)を除去するために, 小樽1地点を固定局とした各基準点の上下変動について1年間の移動平均グラフを作成した。また, グラフの作成に当たっては, 使用するデータをF3解からF5解へ更新するとともに, 表示期間も2023年3月までとした。
- 全ての基線において, 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動(P104~P107参照)に伴う隆起が認められる。
- また, 一部の基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(P100~P101参照)に伴う沈降が認められる。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は, 上記の余効変動等に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ, これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。



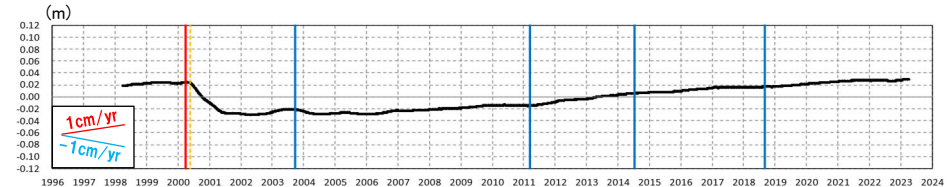
小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



小樽1-虻田間の比高変化(対象期間:1998年3月~2023年3月)



小樽1-洞爺間の比高変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



小樽1-伊達間の比高変化(対象期間:1998年3月~2023年3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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/13)

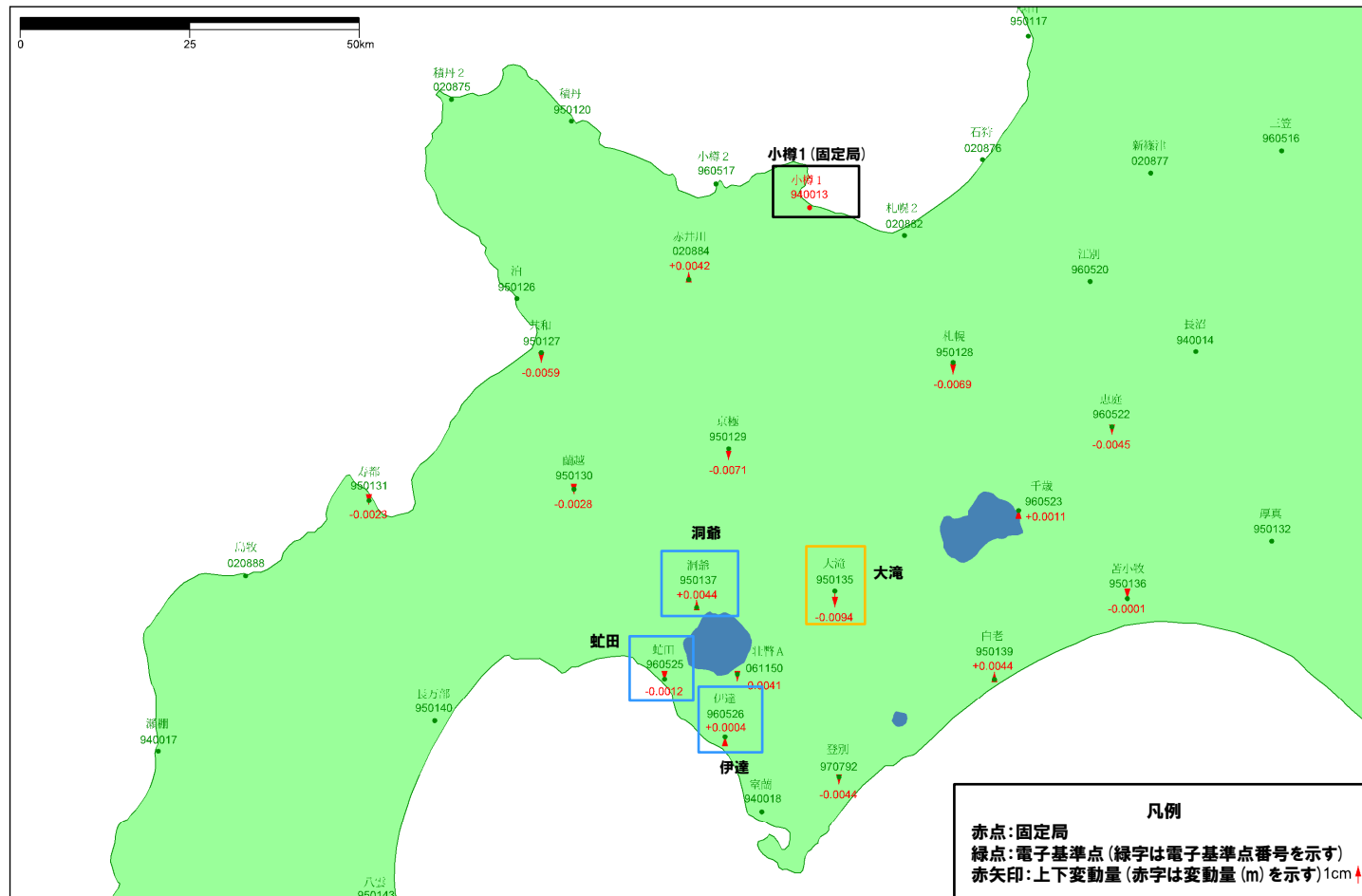
一部修正(H25/11/13審査会合)

- 2011年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。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-大滝間の-9.4mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/13)

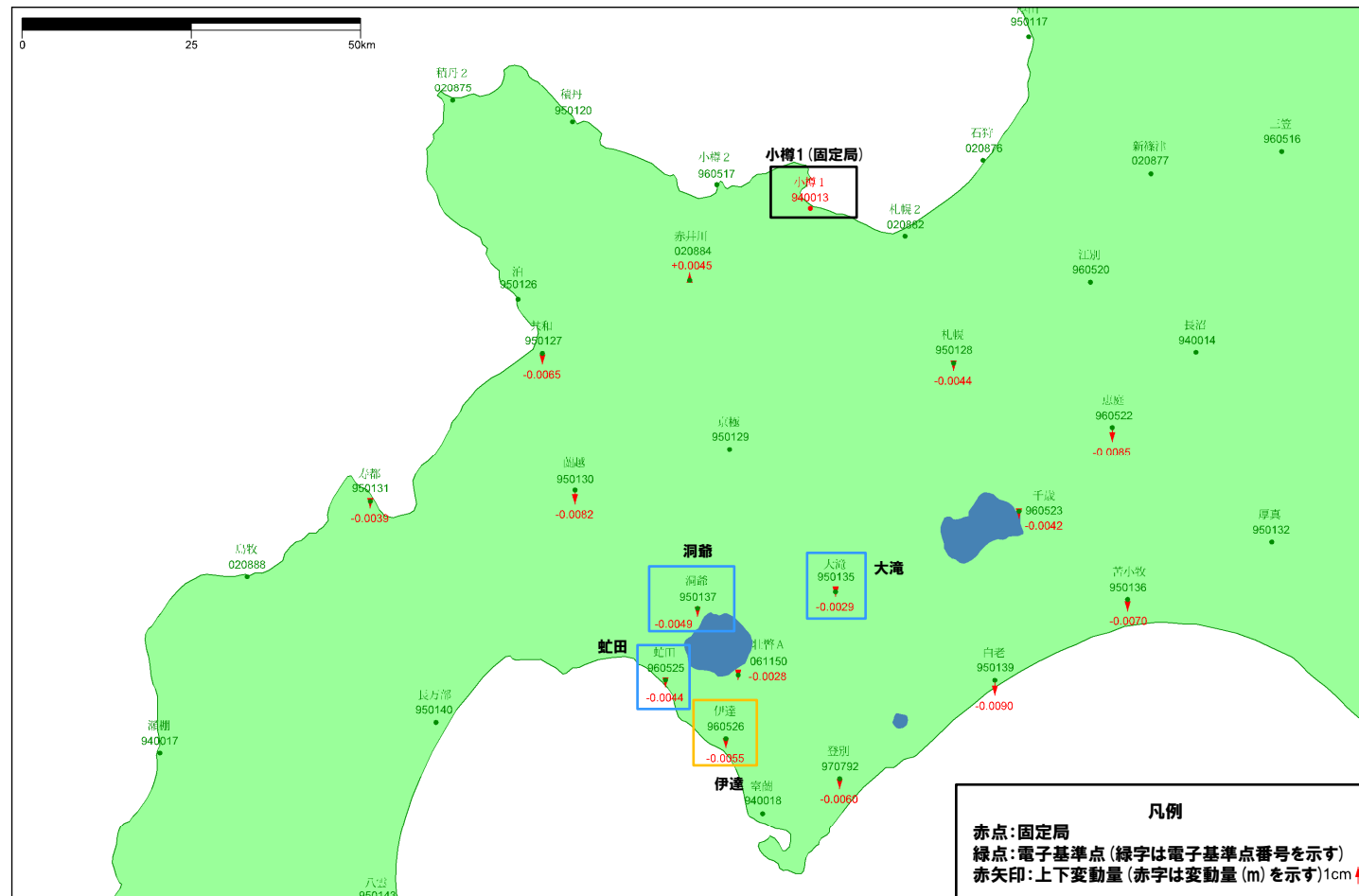
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 2018年北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-伊達間の-5.5mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

(4)巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/13)

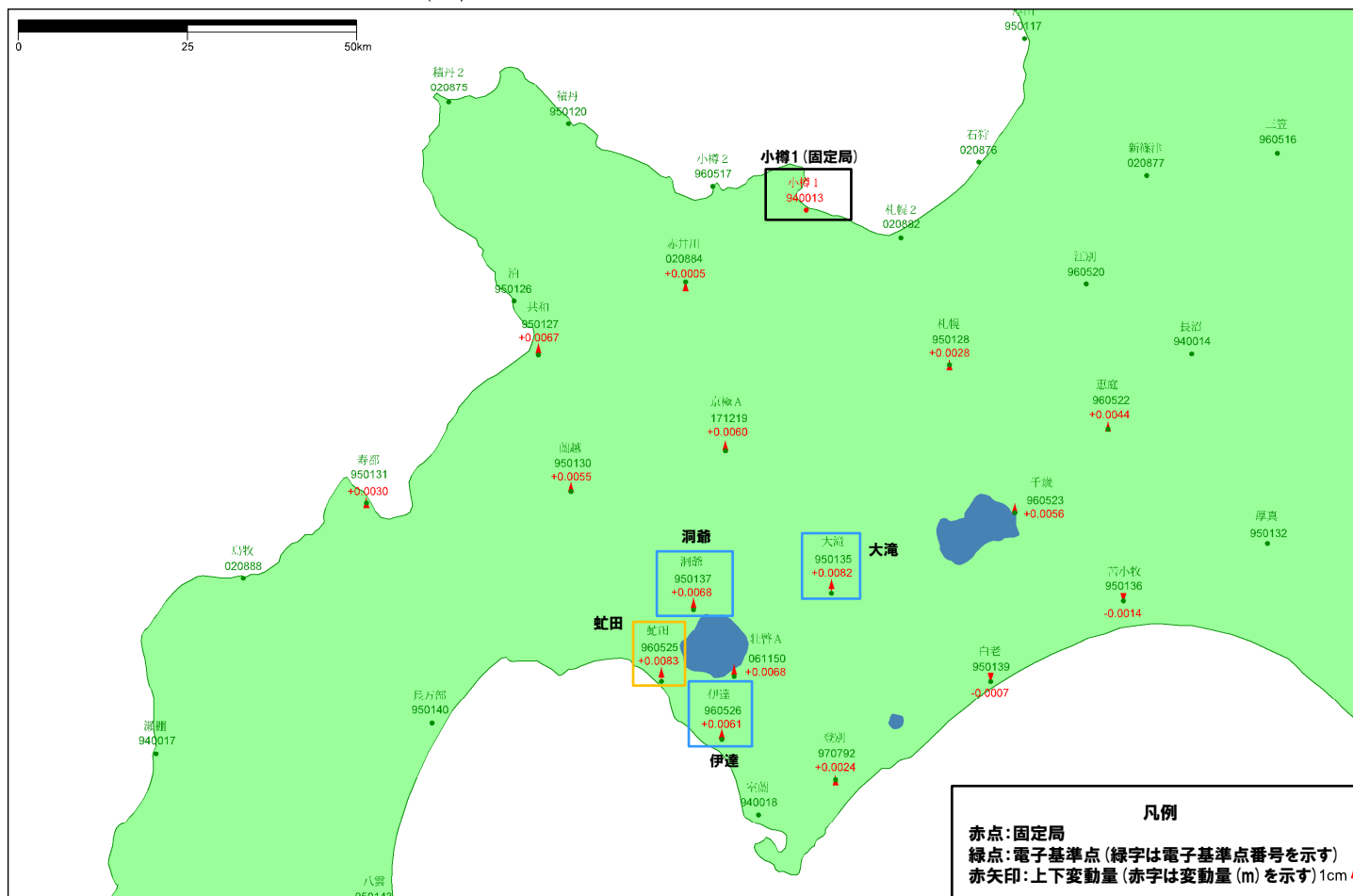
再掲(R5/1/20審査会合)

- 2018年北海道胆振東部地震発生後, 2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 洞爺カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-虻田間の+8.3mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

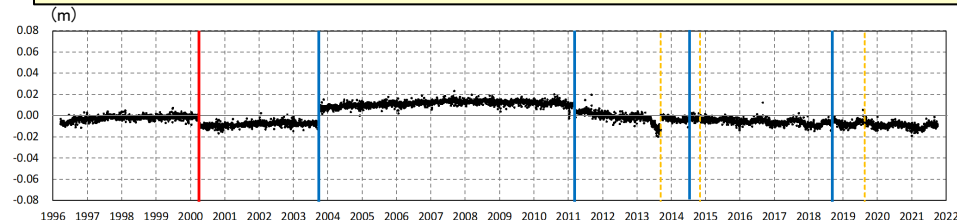
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/13)

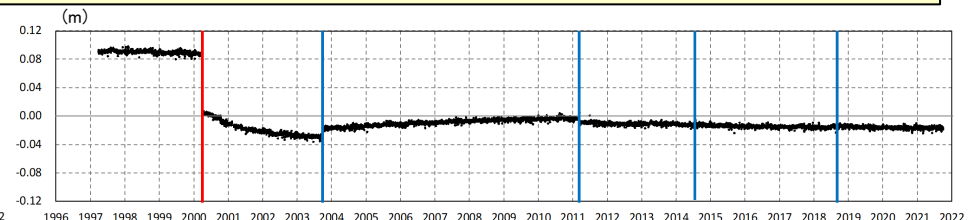
一部修正(H25/11/13審査会合)

【基線長変化】

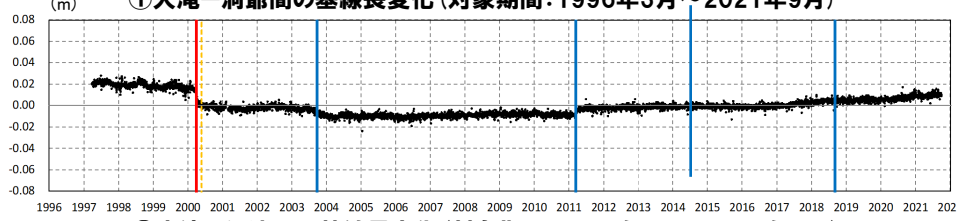
- 洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)を結んだ6基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す(本頁下図)。
- 当該基線長変化図は, 本頁左下に示す噴火, 地震イベント等により, 基線長に複数の不連続が生じ, 中長期的な傾向を掴みづらい状況となっているため, 不連続を除去する補正を行った(次頁参照)。



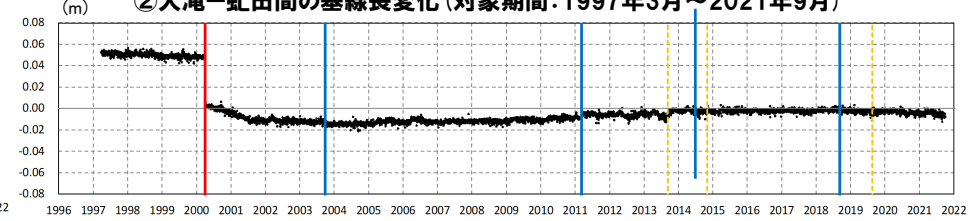
①大滝-洞爺間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



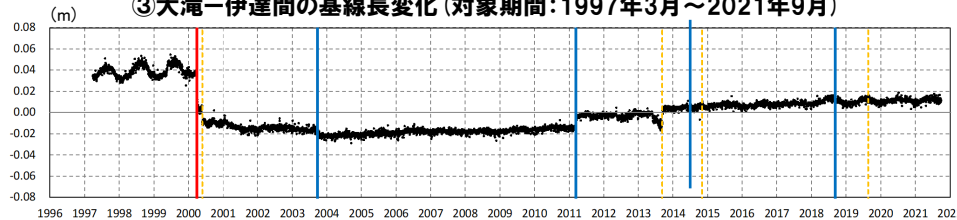
②大滝-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



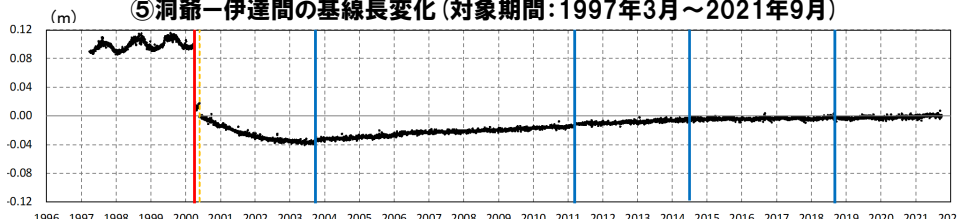
③大滝-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



④洞爺-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

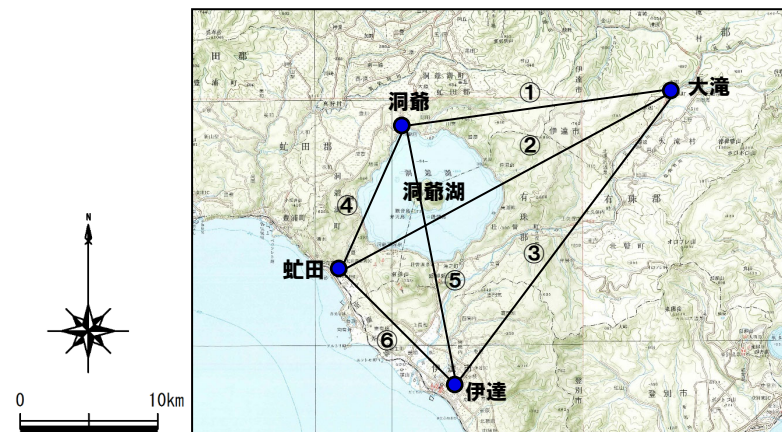


⑤洞爺-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



⑥虻田-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

- 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



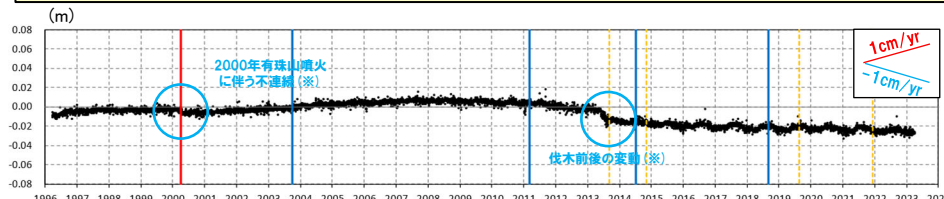
洞爺カルデラ付近電子基準点位置図

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

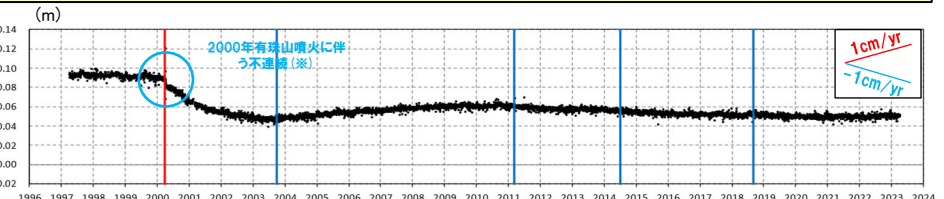
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/13)

【基線長変化(補正版)】

- 噴火, 地震, 伐木イベント等による不連続を除去するため, 右下黒枠内に示す噴火・地震イベント及び国土地理院から公表されている伐木について, イベント前後7日間の平均値を基に不連続を除去する補正を実施した。また, 補正の実施に当たっては, 使用するデータをF3解からF5解へ更新するとともに, 表示期間も2023年3月までとした。
- 洞爺カルデラ付近の基線長変化は, 一部基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(P100~P101参照)に伴う基線の縮みが認められる。
- 同様に, 一部基線において2003年十勝沖地震の余効変動(P102~P103参照)に伴う基線の伸びが認められるが, これ以外に継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。



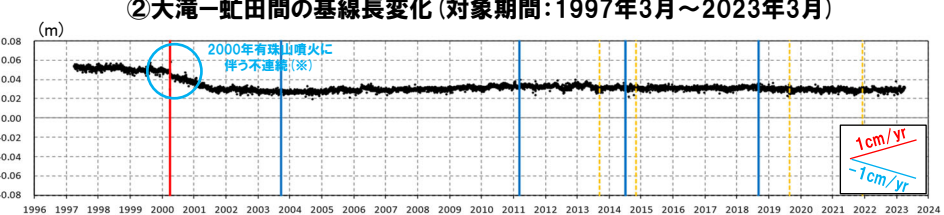
①大滝-洞爺間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2023年3月)



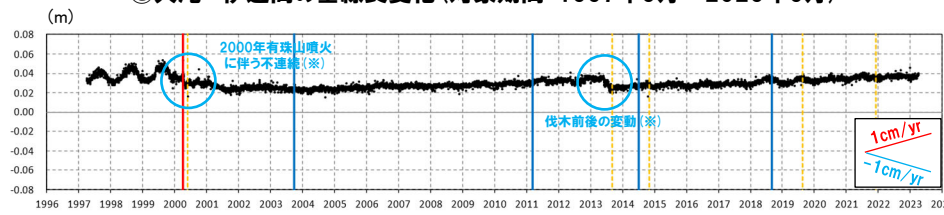
②大滝-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



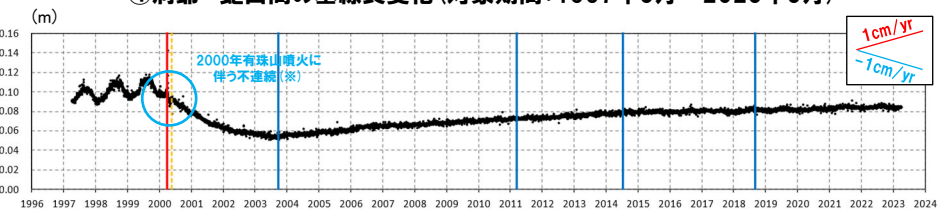
③大滝-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



④洞爺-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



⑤洞爺-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



⑥虻田-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)

※ 各イベントに対して, 一律前後7日間の移動平均値を基に補正を行う当社手法では, 一部地域において1週間以上余効変動が続いた2000年有珠山噴火に伴う不連続が残っているものと考えられる。同様の理由で2013年の伐木前後の不連続が残っているものと考えられる。

補正対象イベント

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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

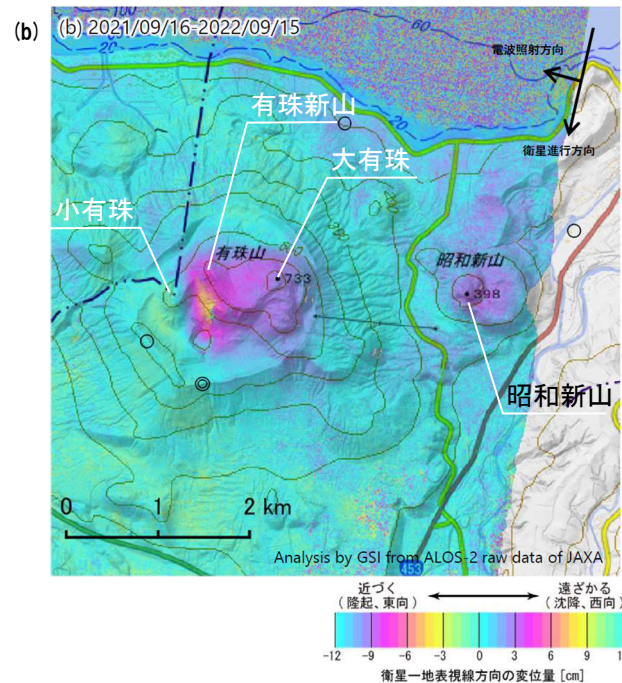
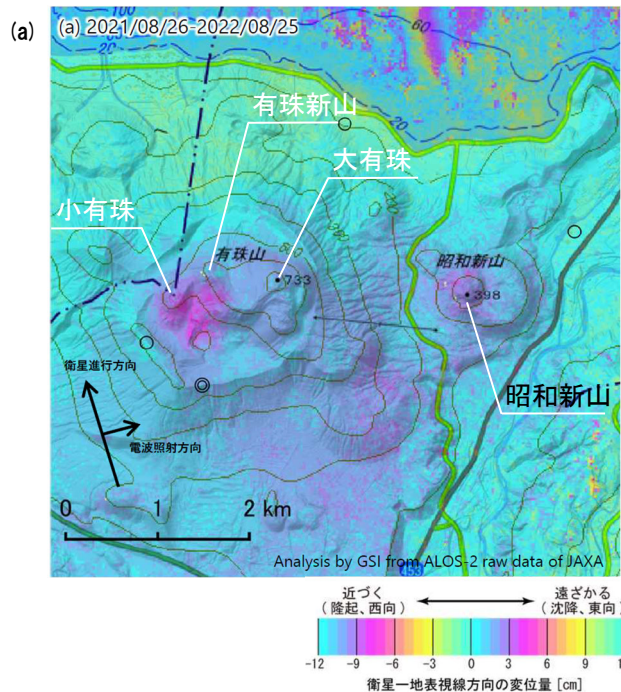
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/13)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【干渉SAR】

第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)

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



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

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(10/13)

再掲(R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

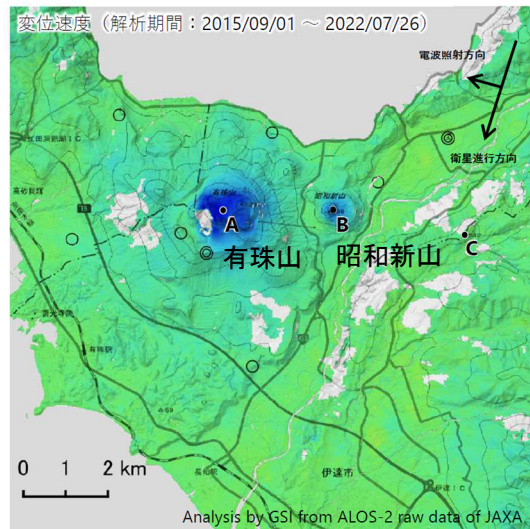
○第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)によると、「有珠山の地点A及び昭和新山の地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます」とされている。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

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

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

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



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

* U: 高分解能(3m)モード

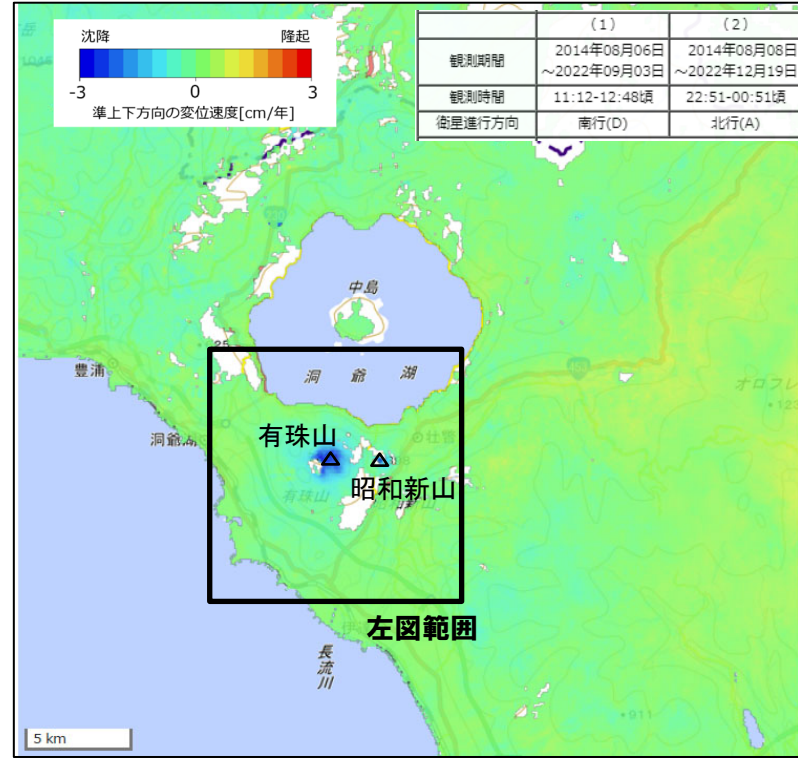
◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点

衛星に近づく ← 衛星から遠ざかる →

衛星-地表視線方向の変位速度[cm/年]

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



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

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

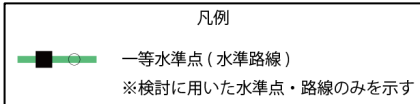
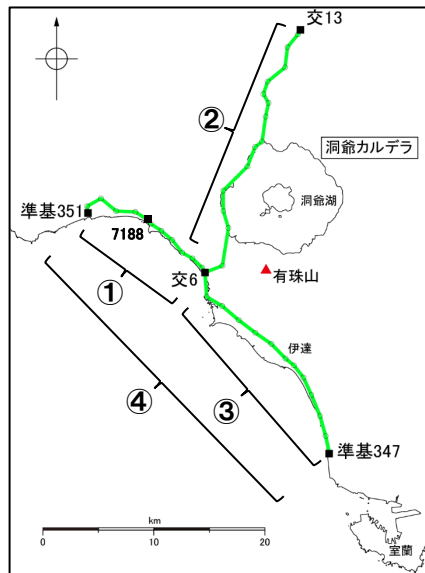
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(11/13)

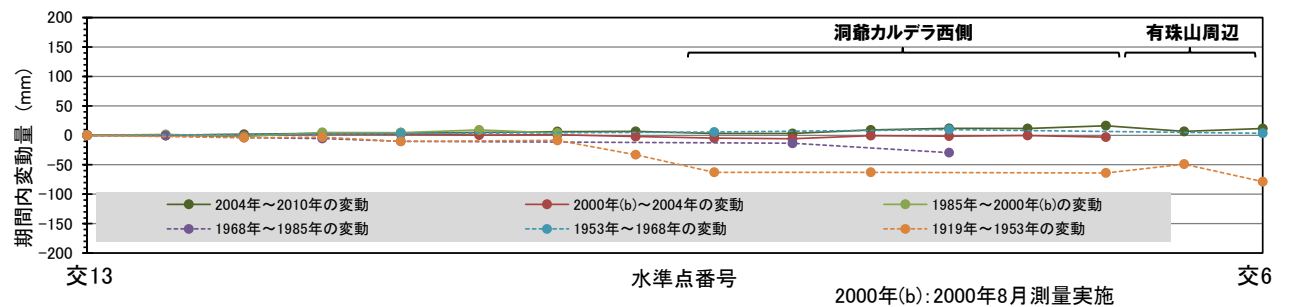
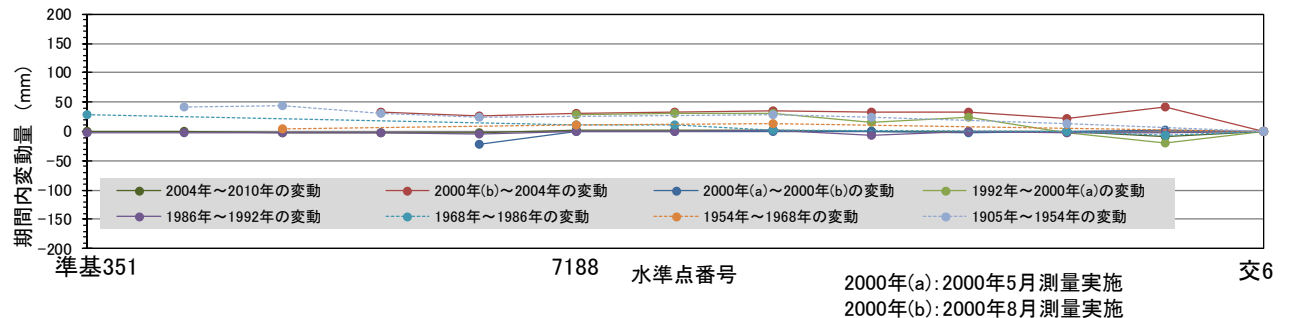
一部修正(R3/10/14審査会合)

【水準測量】

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



水準路線

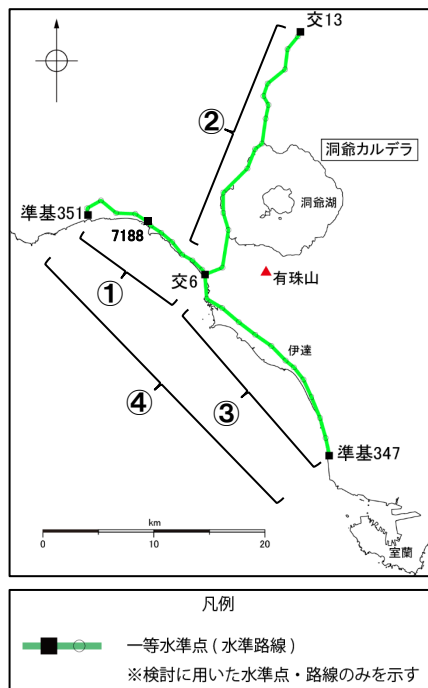


② 水準路線(水準点番号: 交13-交6)沿いの期間内変動量(固定点: 交13)

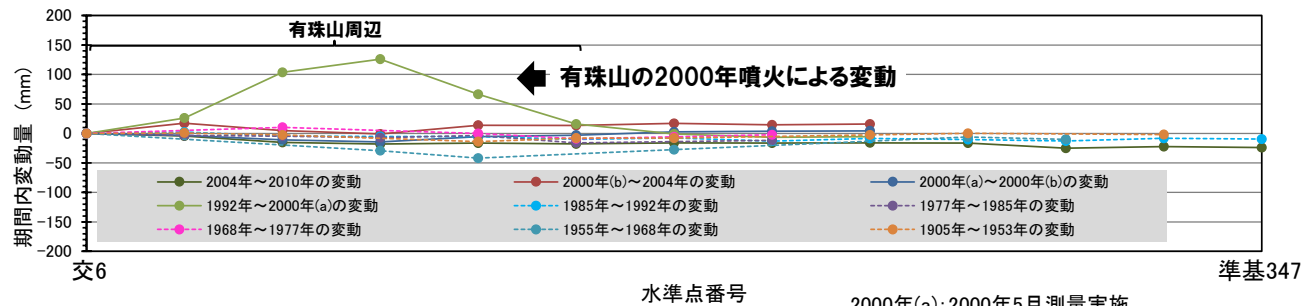
(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(12/13)

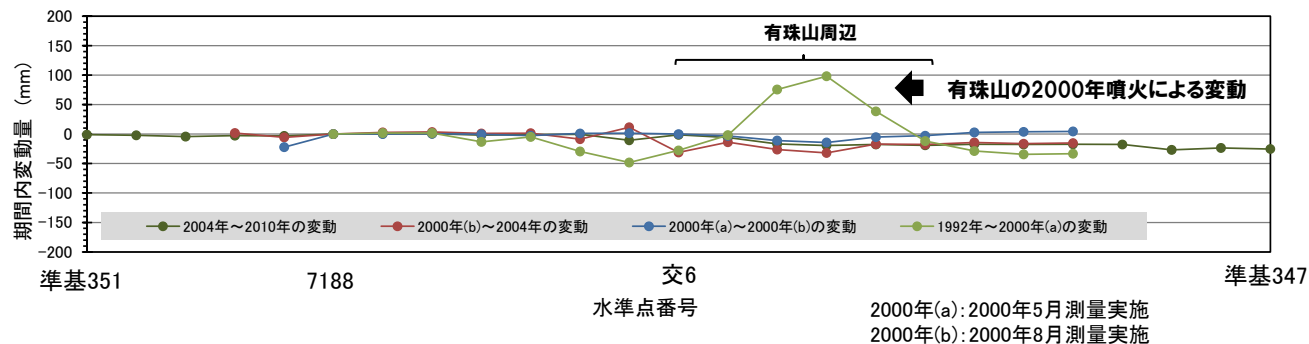
一部修正(R3/10/14審査会合)



水準路線



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



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

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (13/13)

一部修正 (H25/12/18審査会合)

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

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

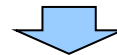
- 全ての基線において、2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う隆起が、一部の基線において、2000年有珠山噴火の余効変動に伴う沈降が認められる。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は、上記の余効変動等に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ、これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。
- 洞爺カルデラ付近の基線長変化は、一部基線において、2000年有珠山噴火の余効変動に伴う基線の縮みが、一部基線において2003年十勝沖地震の余効変動に伴う基線の伸びが認められる。
- これらの基線長変化以外に、継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。

【地殻変動(干渉SAR)】

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

【地殻変動(水準測量)】

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



- 洞爺カルデラ周辺の地殻変動は、周辺の地震及び2000年有珠山噴火による余効変動等が認められる。
- また、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められる。
- これらの変動以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

一部修正 (R5/1/20 審査会合)

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

洞爺カルデラにおける地球物理学的調査結果

【地下構造 (P224~P233参照)】			
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では、洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約12km以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。</p> <p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。</p>	<p>○当社電磁気探査結果及び文献(Goto and Danhara, 2018; Matsushima et al., 2001)に基づく、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。</p>	<p>○文献(和田ほか, 1988)に基づく、洞爺カルデラにおいては、カルデラ中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低異常域が認められる。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)及び巨大噴火が可能な量の珪長質なマグマ溜まりが形成される深度である約12km以浅には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められない。</p>
【火山性地震 (P234~P240参照)】		【地殻変動 (P242~P254参照)】	
<p>○火山性地震のうち、低周波地震活動は、有珠山周辺の下部地殻に認められるが、上部地殻にはほとんど認められない。</p>		<p>○洞爺カルデラ周辺の地殻変動は、周辺の地震及び2000年有珠山噴火による余効変動等が認められる。</p> <p>○また、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められる。</p> <p>○これらの変動以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。</p>	



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

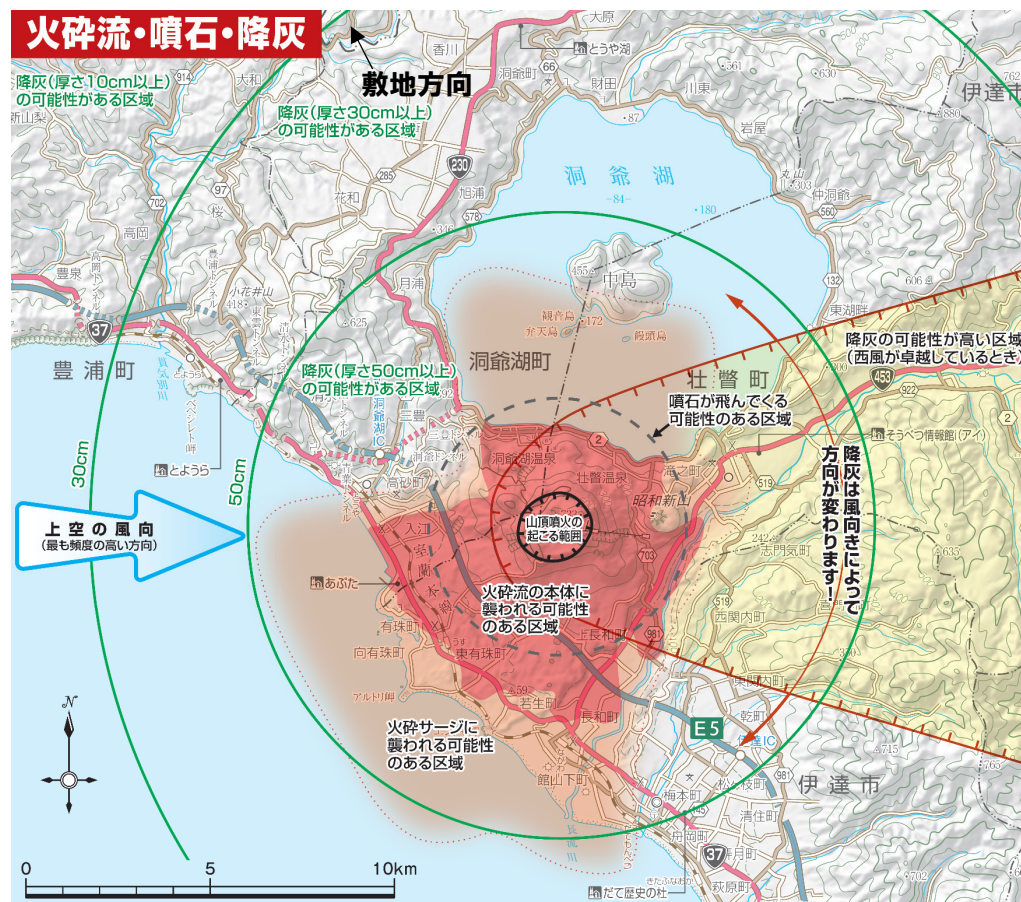
*原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされている。

余白

(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

(参考) 有珠山火山防災協議会(2021)

○洞爺カルデラの後カルデラ火山のうち有珠山に関して避難計画を定めた有珠山火山防災協議会(2021)によれば、最も大きな規模の噴火として、下図の通り、1822年噴火Us-IVaの降灰、噴石、火砕流及び火砕サージによる影響範囲が想定されており、巨大噴火規模の影響は想定されていない。



1822年噴火Us-IVaによる降灰、噴石、火砕流及び火砕サージの想定影響範囲

最も大きな規模の噴火として想定された影響範囲(有珠山火山防災協議会(2021)に加筆)