

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認された降下火砕物の調査	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P. 266
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P. 271
6. 火山活動のモニタリング	
7. 火山影響評価のまとめ	
参考文献	

•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:まとめ)

②-2 地球物理学的調査 (地下構造:地震波速度構造)

②-3 地球物理学的調査 (地下構造:比抵抗構造)

②-4 地球物理学的調査 (地下構造:重力異常)

②-5 地球物理学的調査 (火山性地震及び地殻変動:まとめ)

②-6 地球物理学的調査 (火山性地震)

②-7 地球物理学的調査 (地殻変動)

(参考) 有珠山火山防災協議会 (2021)

以下項目については、今後説明予定

・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果

・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」

・「5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」

・「6. 火山活動のモニタリング」

余白

4.2.3 洞爺カルデラの評価

【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。
 - ・活動履歴を踏まえると、現在の洞爺カルデラは、噴出物体積及び組成から、比較的静穏な活動下にあるものと推定されることを踏まえると、Tpを噴出したような噴火を起こす状態ではないと推定される。
 - ・地球物理学的調査のうち、地下構造調査(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)を踏まえると、上部地殻内において、現状、深度約10km程度以浅には、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と判断される。
 - ・地球物理学的調査のうち、火山性地震(低周波地震)及び地殻変動を踏まえると、大規模なマグマの移動・上昇、集積等の活動を示す兆候は認められないと判断される。
- また、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。

※現状想定されている噴火規模について、参考としてP220に示す。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

【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"> ○洞爺カルデラでは、約11万年前に、噴出物体積にして354km³の噴出物を噴出した巨大噴火が1回発生しているとされている。 ○このため、巨大噴火の活動間隔及び最後の巨大噴火からの経過時間の観点において、現在の活動状況を判断することは難しい。 ○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、噴出物体積は最大でも14km³であり、Tpの噴出物体積に比べ、十分小さい。 ○巨大噴火による噴出物 (Tp) に比べ、有珠山歴史時代の噴出物を除く各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物は、SiO₂及びK₂O重量比が低く、有珠山歴史時代の噴出物は、K₂O重量比が低い。 ○なお、有珠山歴史時代の噴出物は、SiO₂重量比が減少傾向にある。 ○後カルデラ火山は、噴出物体積が十分小さいこと及び組成がTpと異なることから、現在の洞爺カルデラは、比較的静穏な活動下にあるものと推定される。 	次頁～ P191
		<p>○現在の洞爺カルデラは、噴出物体積及び組成から、比較的静穏な活動下にあるものと推定されることを踏まえ、Tpを噴出したような噴火を起こす状態ではないと推定される。</p>	
地球物理学的調査	②地下構造	<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10km程度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。 ・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。 ・通常の地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。 <p>【比抵抗構造】</p> <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。 <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。 	P193～ P195
		<p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内 (約20km以浅) において、現状、深度約10km程度以浅には、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と判断される。</p>	
	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。 	P205～ P211
	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、昭和火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。 <p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内 (約20km以浅) には、現状、大規模なマグマの移動・上昇、集積等の活動は認められないと判断される。</p>	P213～ P219
		<p>○洞爺カルデラ直下の上部地殻内 (約20km以浅) において、現状、深度約10km程度以浅には、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。</p>	

4.2.3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (1/6)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

【目的】

○現在の洞爺カルデラの活動状況を把握するため、巨大噴火時の状況と現在の状況との差異について、巨大噴火の活動間隔、最後の巨大噴火からの経過時間、噴出物の分布・体積及び噴出物の組成の観点から検討を実施する。



【検討結果】

(巨大噴火の活動間隔、最後の巨大噴火からの経過時間、噴出物の分布・体積) (P188～P190参照)

- 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 (P190参照)、巨大噴火に該当する。
- 約11万年前にTpを噴出した噴火による現在の洞爺カルデラ形成以降は、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) (P191参照)

- 巨大噴火による噴出物 (Tp) に比べ、有珠山歴史時代の噴出物を除く各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物は、 SiO_2 及び K_2O 重量比が低い。
- Tpに比べ、有珠山歴史時代の噴出物は、 SiO_2 重量比は同様であるものの、 K_2O 重量比が低い。
- 有珠山歴史時代の噴出物は、珪長質であるものの、1663年の噴火以降、定期的に SiO_2 重量比が減少している。

(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。



(次頁へ続く)

4.2.3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (2/6)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

(前頁からの続き)



- 洞爺カルデラでは、約11万年前に、噴出物体積にして354km³の噴出物を噴出した巨大噴火が1回発生しているとされている。
- このため、巨大噴火の活動間隔及び最後の巨大噴火からの経過時間の観点において、現在の活動状況を判断することは難しい。
- 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、噴出物体積は最大でも14km³であり、Tpの噴出物体積に比べ、十分小さい。
- 巨大噴火による噴出物 (Tp) に比べ、有珠山歴史時代の噴出物を除く各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物は、SiO₂及びK₂O重量比が低く、有珠山歴史時代の噴出物は、K₂O重量比が低い。
- なお、有珠山歴史時代の噴出物は、SiO₂重量比が減少傾向にある。
- 後カルデラ火山は、噴出物体積が十分小さいこと及び組成がTpと異なることから、現在の洞爺カルデラは、比較的静穏な活動下にあるものと推定される。
- したがって、現在の洞爺カルデラは、噴出物体積及び組成から、比較的静穏な活動下にあるものと推定されることを踏まえると、Tpを噴出したような噴火を起こす状態ではないと推定される。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (3/6)

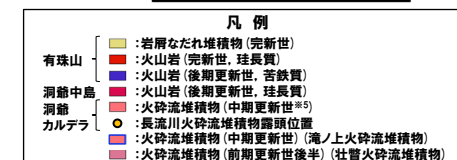
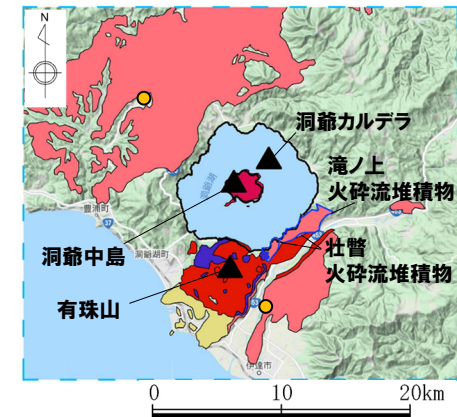
一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 洞爺カルデラ並びに後カルデラ火山である洞爺中島及び有珠山の活動履歴、噴出量-年代階段ダイアグラム等を次頁～P190に示し、洞爺カルデラの活動の概要は以下のとおり。
 - ・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。

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11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11月確認。
 ※3 P190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、Tpfl I / II, Tpfl III 及び Tpfl IV 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、Tpfl I / II で 132ka, Tpfl III 及び Tpfl IV 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 Unit 2 及び Unit 3~Unit 6 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。

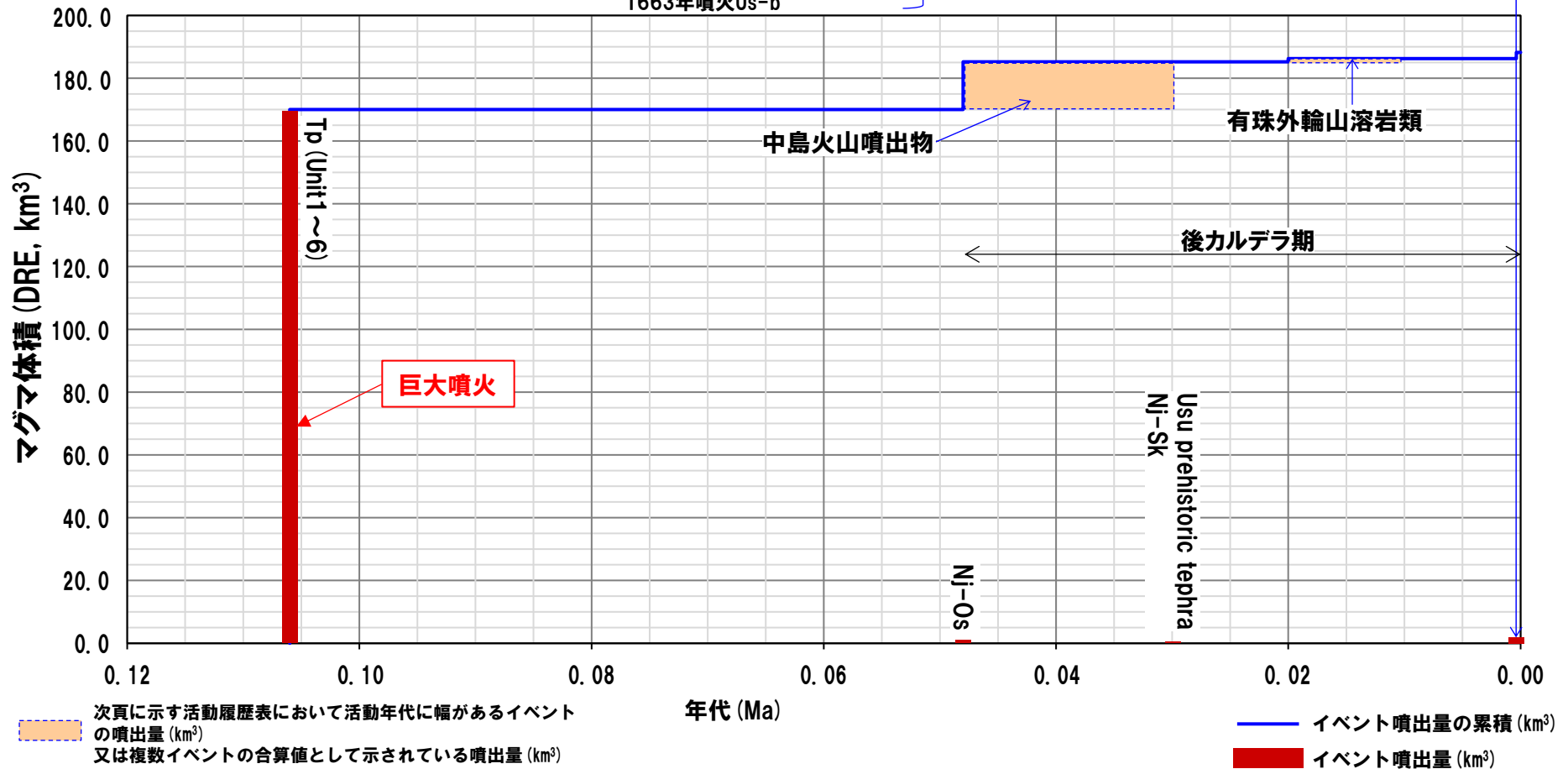
このため、「約14万年前にカルデラ形成」は、現行では、P190に示す洞爺カルデラの活動履歴のとおり、約11万年前にTpを噴出し、現在の洞爺カルデラを形成した噴火に対応するものと考えられる。

4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (4/6)

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

4.2.3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (5/6)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

洞爺カルデラ活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体体積 (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	牡誓火砕流堆積物	不明	後藤ほか (2021)	
不明	立香火砕流堆積物	不明		

- ※1 東宮・宮城 (2020) においては、洞爺噴火の年代値については、MIS5dのピークより後の約106kaである可能性も含め、109±ca.3kaと考える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牡誓火砕流堆積物 (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こととされている。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, 牡誓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、牡誓火砕流堆積物, 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、牡誓火砕流堆積物の下位に位置することから、洞爺火砕流堆積物の先カルデラ期の火砕堆積物の層序は、下位から立香火砕流堆積物, 牡誓火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物, 長流川火砕流堆積物とされている。

洞爺中島活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体体積 (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)

- ※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	未満
	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		

- ※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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

① 活動履歴 (6/6)

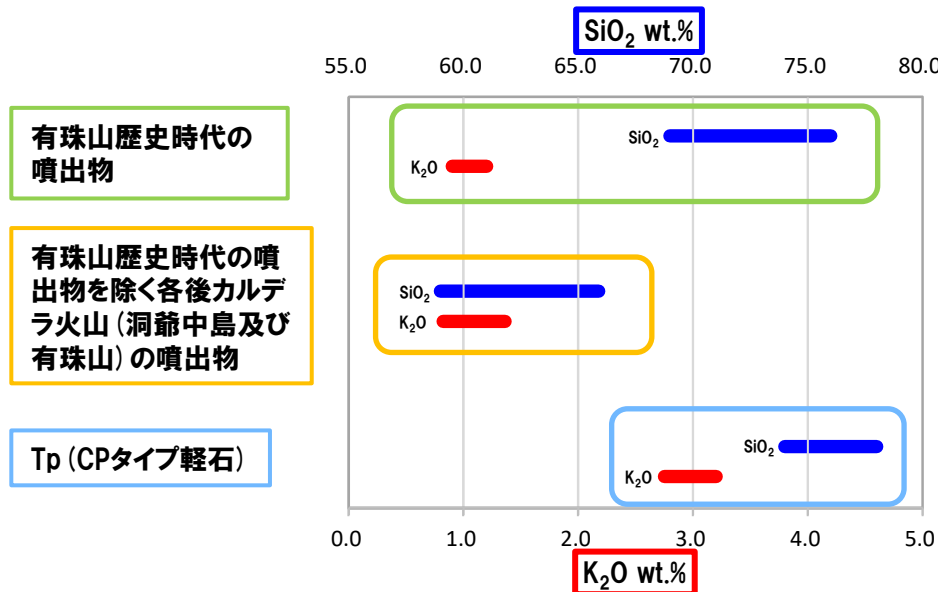
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【噴出物の組成】

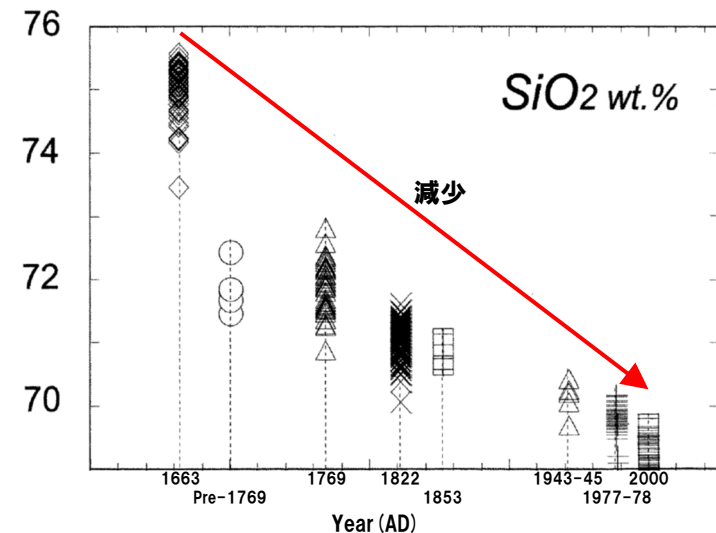
- 産業技術総合研究所 (2022) によれば, Tpは, 全岩化学組成分析の結果, かんらん石斑晶を含む1試料が安山岩である以外は, すべて流紋岩であるとされている。
- 気象庁編 (2013) 及びGoto et al. (2015b) によれば, 各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物のうち, 有珠山歴史時代以外の噴出物はデイサイト~安山岩である。
- 有珠山歴史時代の珪長質な噴出物については, 全岩化学組成分析の結果, Tpの大半を占めている斑晶に乏しい (CPタイプ) 軽石と比較して, K_2O 重量比が低い (左下図参照)。
- 中川ほか (2005) によれば, 有珠火山の1663年噴火からの歴史時代噴火のマグマの特徴として, その全岩化学組成が時間とともに次第に SiO_2 や MgO に乏しくなることが指摘されてきたとされている (右下図参照)。



- 巨大噴火による噴出物 (Tp) に比べ, 有珠山歴史時代の噴出物を除く各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物は, SiO_2 及び K_2O 重量比が低い。
- Tpに比べ, 有珠山歴史時代の噴出物は, SiO_2 重量比は同様であるものの, K_2O 重量比が低い。
- 有珠山歴史時代の噴出物は, 珪長質であるものの, 1663年の噴火以降, 定期的に SiO_2 重量比が減少している。



Tp (CP軽石) 及び各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物における SiO_2 及び K_2O 重量比 (気象庁編 (2013) 及びGoto et al. (2015b), 産業技術総合研究所 (2022) を基に作成)



有珠歴史時代噴火における本質物質の全岩化学組成 SiO_2 量の時間変化 (中川ほか (2005) を基に作成)

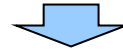
4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-1 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)

【目的】

○マグマ溜まりの位置、規模等を把握するため、地下構造調査(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)を実施する。



【各項目における検討結果】

(地震波速度構造) (次頁～P195参照)

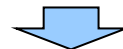
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 通常の地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

(比抵抗構造) (P196～P201参照)

- 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。

(重力異常) (P203参照)

- 重力異常を踏まえた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。



- 洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)において、現状、深度約10km程度以浅には、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と判断される。

4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-2 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造-まとめ-) (1/3)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

【目的】

- Nakajima et al. (2001) 及び中道 (2022) によると、活火山直下の上部地殻で観測される低Vp、低Vsかつ低Vp/Vs領域は水の存在でしか説明できないとされていることから、同領域は水の存在を示唆するものと判断される。
- また、最上部マントルから下部地殻で観測される低Vp、低Vsかつ高Vp/Vs領域は、メルトによるものとする方が適当であるとしてされていることから、本検討(地震波速度構造の観点からの地下構造の確認)においては、同領域はメルトの存在を示唆するものとして扱う。
- このことから、地震波速度構造においては、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)を広く確認した上で、さらに約10km程度以浅において、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域の有無を確認する。
- また、あわせて低周波地震及び通常の地震の分布状況についても考慮する。



【検討結果(次頁~P195参照)】

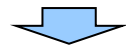
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 通常の地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-2 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/3)

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。



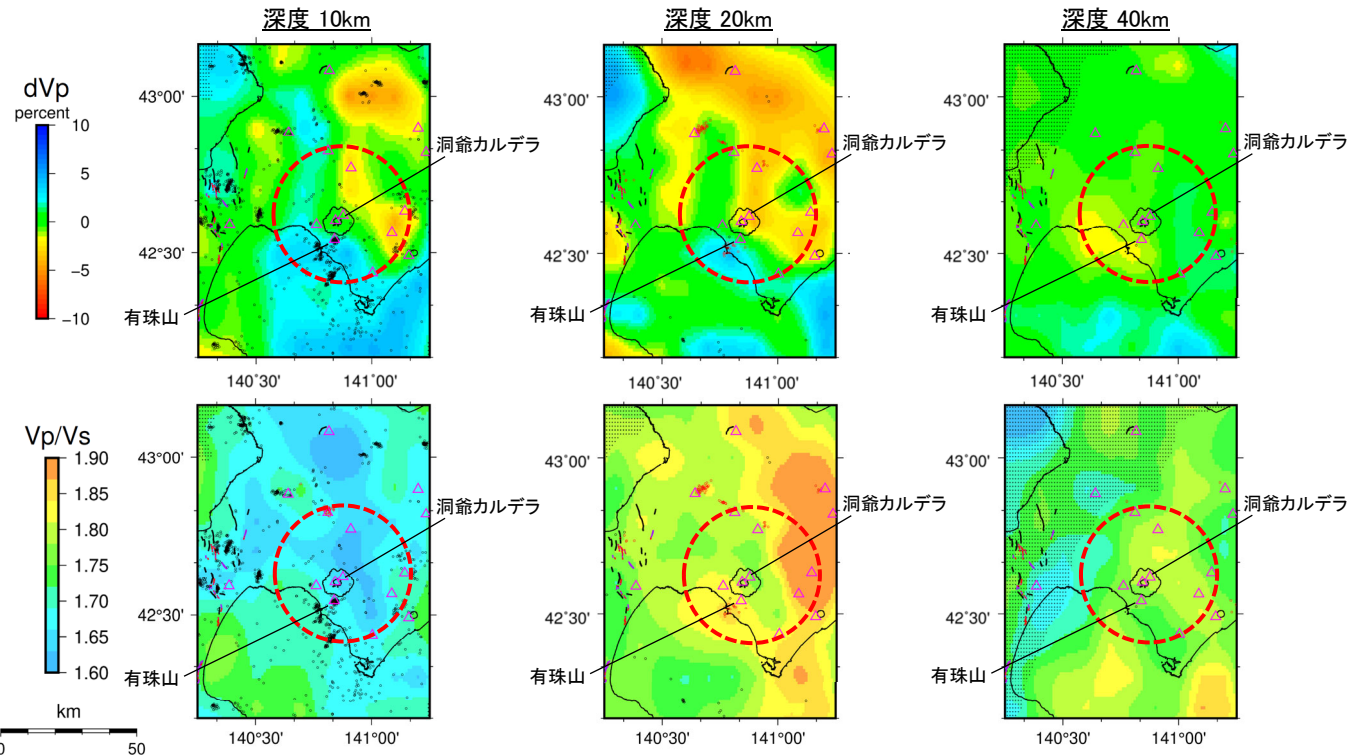
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 通常地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P134~P138参照)】

- 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10km程度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、メルトの存在を示唆する低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、低周波地震及び通常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 } 今泉ほか編(2018)をトレース
- 推定活断層
- 洞爺カルデラを中心とした、半径25kmの範囲

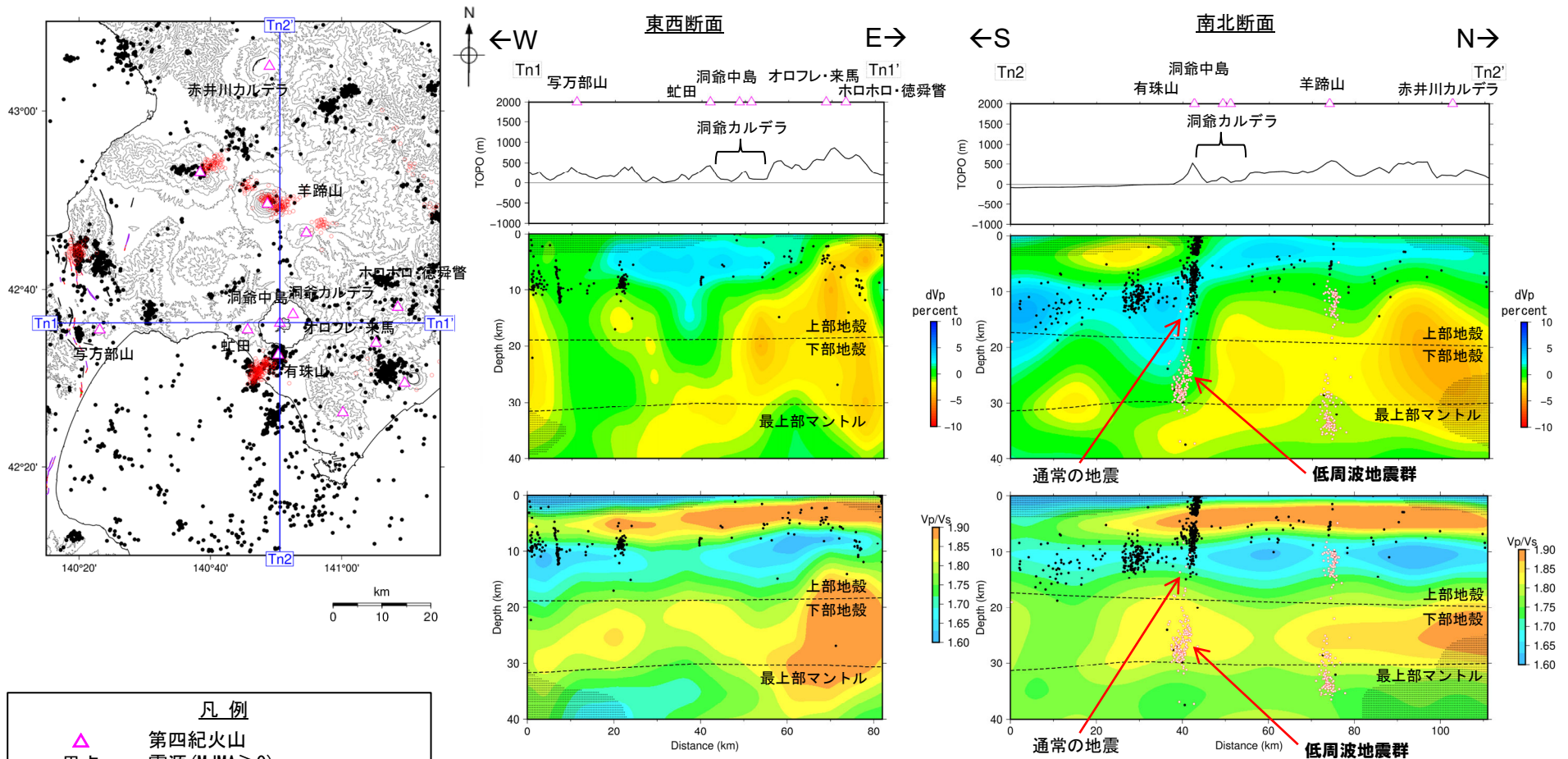


地震波速度構造(水平断面)

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-2 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (3/3)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



地震波速度構造(鉛直断面)

- 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: 2000/10/1-2020/12/31)
 - 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

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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造-まとめ-) (1/6)

【目的】

- 後藤・三ヶ田(2008)によれば、比抵抗は岩石中の伝導性物質の量に依存し、間隙水、マグマ及び湿潤状態の粘土鉱物は高い導電性(低比抵抗)を示すとされている。
- このことから、比抵抗構造においては、洞爺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の有無を確認する。



【検討結果】

(当社電磁気探査)(次頁~P199参照)

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

(Goto and Danhara(2018))(P200参照)

- 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))(P201参照)

- 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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-3 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

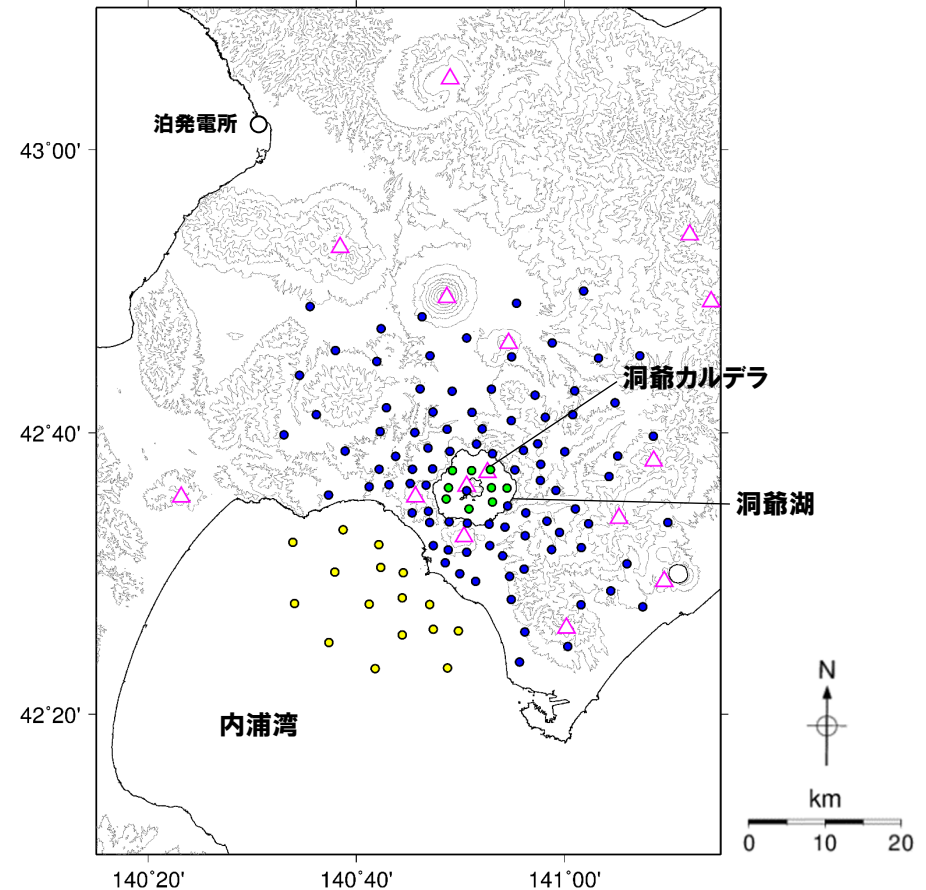
※2 Hata et al. (2016) を参考に設定。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(前頁参照)】

- 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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

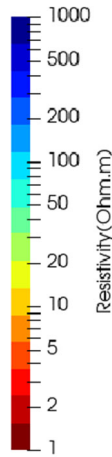
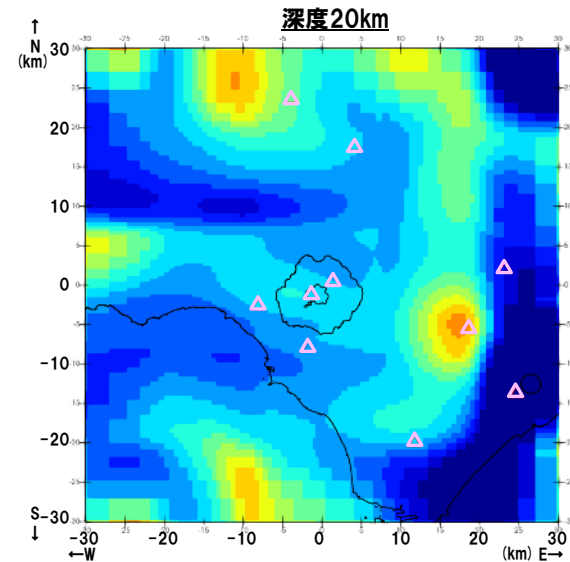
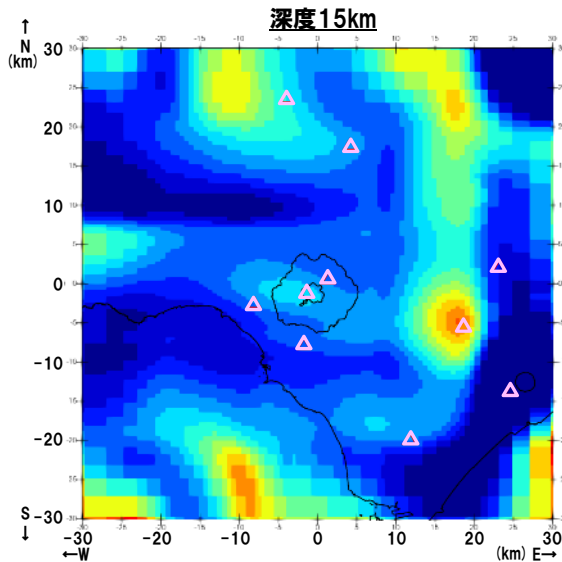
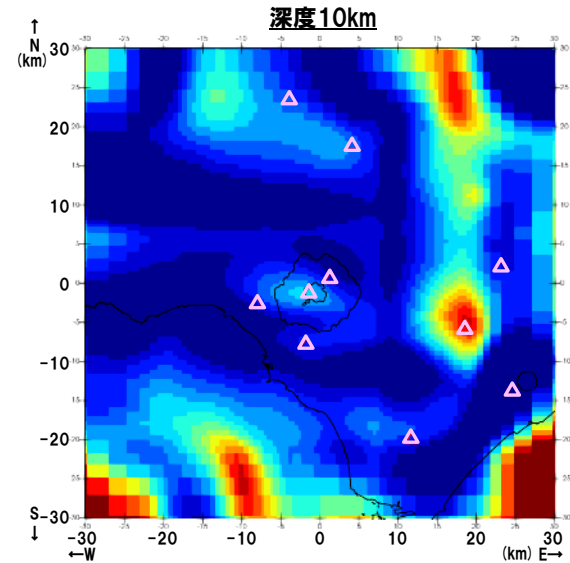
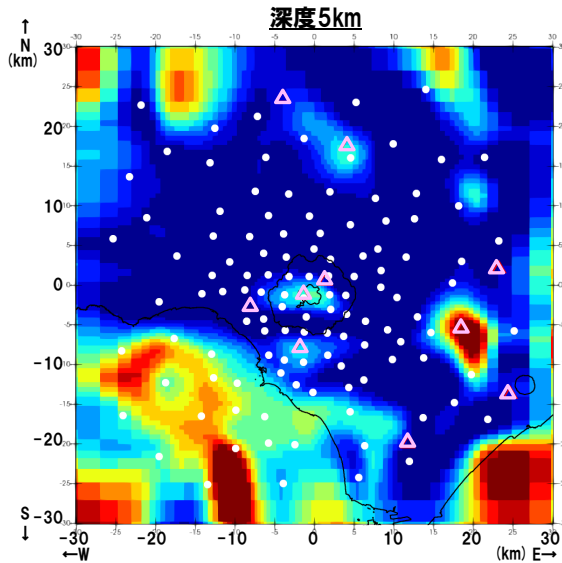
②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

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



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



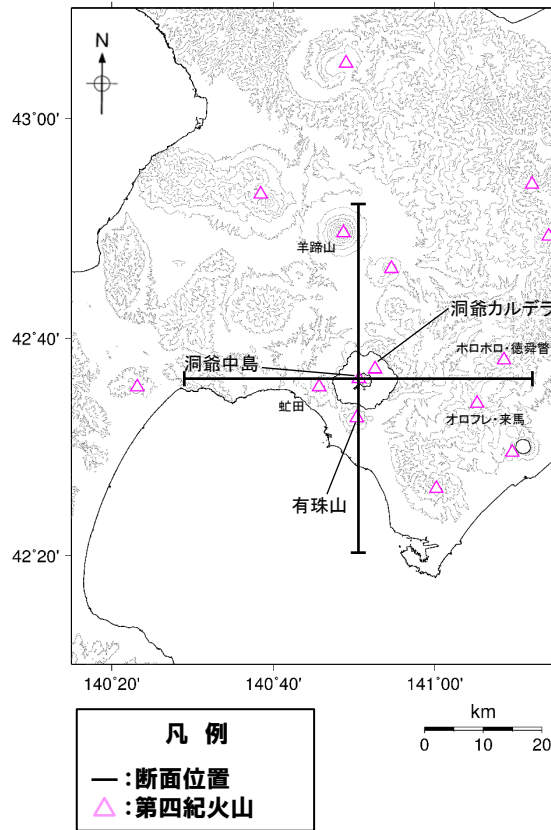
- 凡例
- △ 第四紀火山
 - MT観測点 (深度5km断面のみ記載)

比抵抗構造(水平断面)

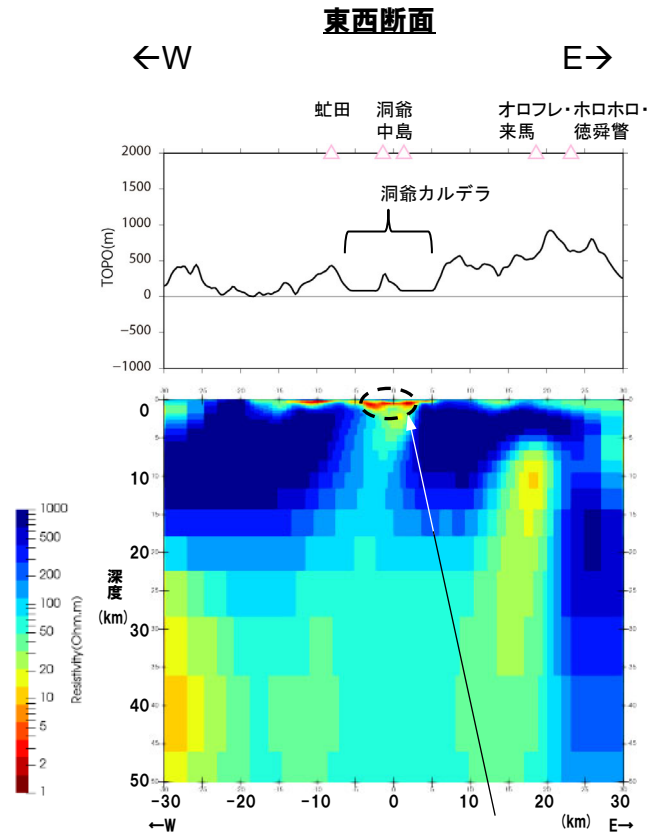
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/6)

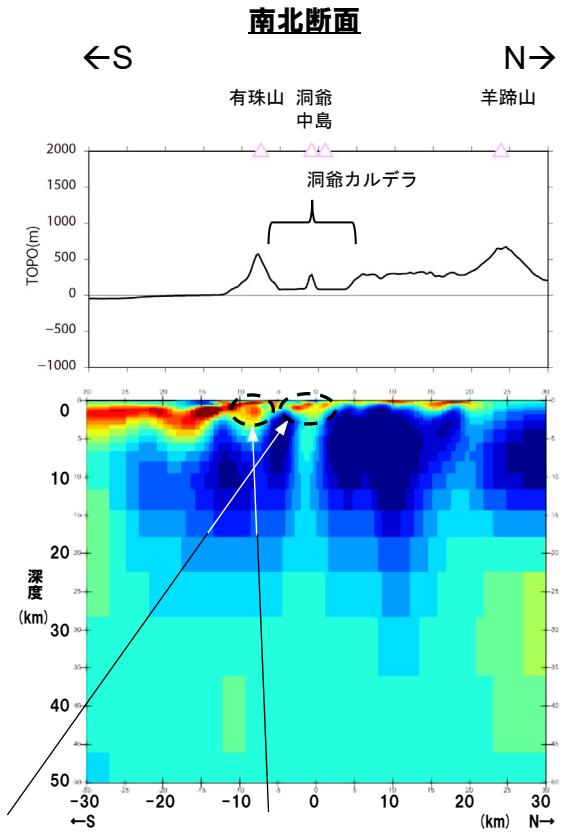
再掲 (R5/1/20審査会合)



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。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

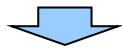
②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(5/6)

再掲(R5/1/20審査会合)

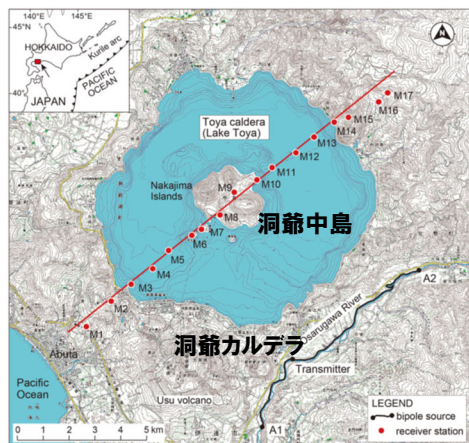
【Goto and Danhara (2018)】

○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。

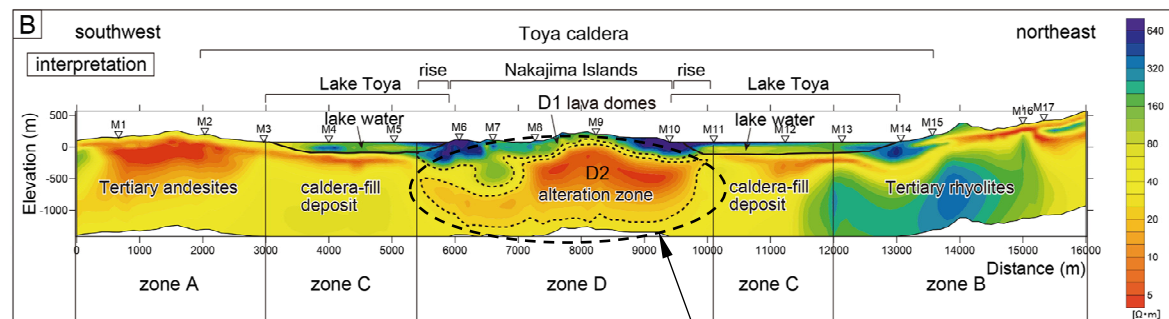
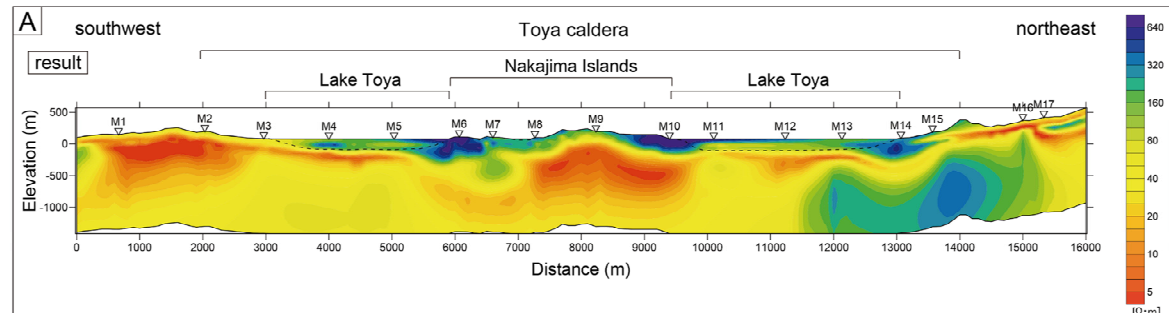
- ・Goto and Danhara (2018)によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m, 下図D2)が存在するとされている。
- ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている。
- ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下のマグマにより、カルデラフィル堆積物が加熱されて形成された熱水変質帯と考えられるとされている。



○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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-3 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)

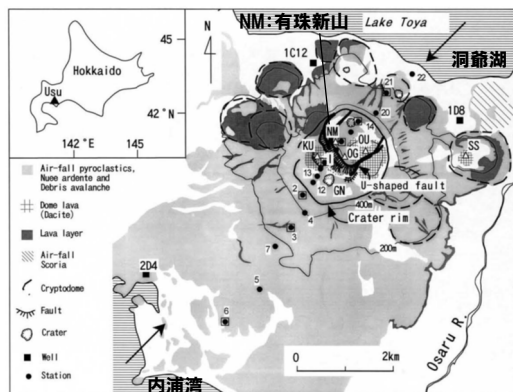
【Matsushima et al. (2001)】

○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 Ω m程度の領域が存在するとされている。
- 当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入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。

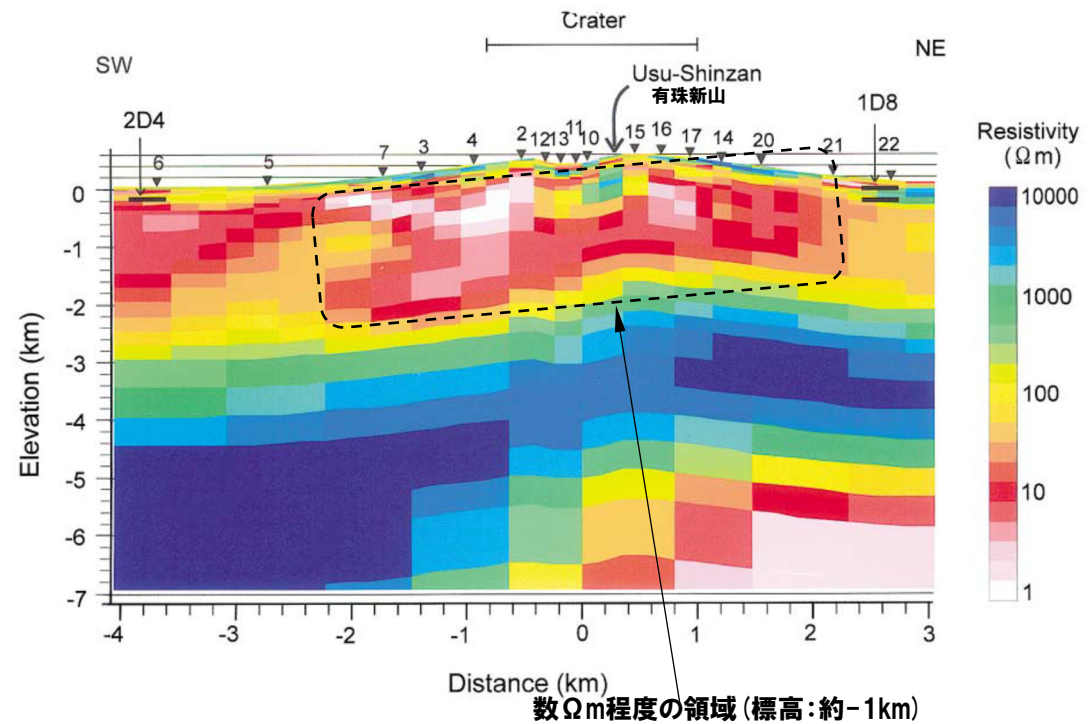


○Matsushima et al. (2001) において有珠山直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲に認められる低比抵抗領域(P199参照)に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



探査測線位置図

(Matsushima et al. (2001) に加筆)

数 Ω m程度の領域(標高:約-1km)

比抵抗構造 (Matsushima et al. (2001) に加筆)

余白

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-4 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【目的】

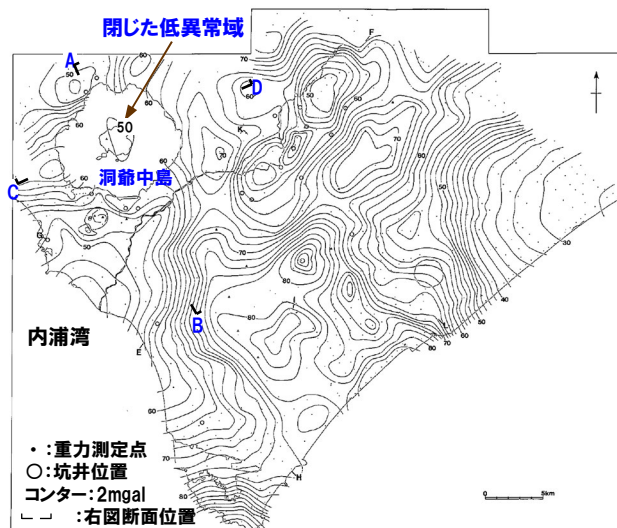
- 下鶴ほか編(2008)によれば、重力異常から地下密度構造を求めることができ、周辺の地殻に比べて火山の下に何らかの質量欠損があるか、過剰があるかは火山の地下構造を論ずるうえで重要であるとされている。
- このことから、重力異常を踏まえた洞爺カルデラ周辺の地下構造に関して考察している文献について確認する。

【和田ほか(1988)】

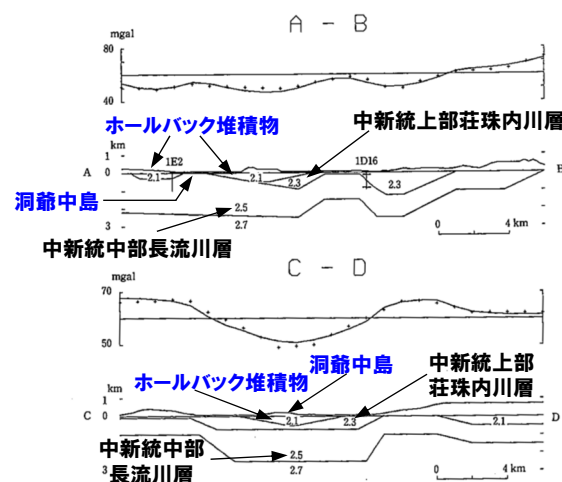
- 洞爺カルデラを含む北海道西胆振地域において、重力測定を行っている和田ほか(1988)をレビューした。
 - ・和田ほか(1988)によれば、低異常型カルデラを特徴づける閉じた低異常域が洞爺カルデラ中央部の中島を中心に分布している。
 - ・ボーリング調査結果による地質構造の推定に基づくと、上記の低重力異常は、新第三系の地質構造に逆円錐型のホールバック堆積物(最大層厚0.5km)が重畳した構造で説明できるとされている。

【検討結果】

- 重力異常を踏まえた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。



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/cm^3)を示す)
(和田ほか(1988)に加筆)

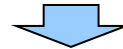
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-5 地球物理学的調査(火山性地震及び地殻変動:まとめ)

一部修正(R5/10/6審査会合)

【目的】

○マグマの移動・上昇, 集積等の活動の有無を把握するため, 火山性地震及び地殻変動の観点から検討を実施する。



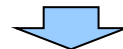
【各項目における検討結果】

(火山性地震(低周波地震))(次頁～P211参照)

○有珠山周辺の下部地殻(約20km以深)において, 低周波地震が認められるが, 上部地殻にはほとんど認められないことから, マグマの移動・上昇等の活動が認められないと判断される。

(地殻変動)(P213～P219参照)

○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, 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が, 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ことから, マグマの移動・上昇, 集積等の活動は認められないと判断される。



○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には, 現状, 大規模なマグマの移動・上昇, 集積等の活動は認められないと判断される。

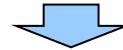
4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (1/6)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

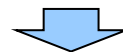
【目的】

- 下鶴ほか編(2008)によれば、火山性地震のうち低周波地震は、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上で、上部地殻における低周波地震群の有無を確認する。



【検討結果】

- 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)(次頁～P207参照)
 - 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)(P209参照)
 - 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)(P210～P211参照)
 - 洞爺カルデラ周辺においては、有珠山周辺に普通地震及び低周波地震の震央が集中している。
 - 2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
 - 地震発生数は、有珠山噴火時の2000年3月に最も多く、噴火後には発生頻度が低くなっている。
 - マグニチュード1以上の地震は、噴火後の2001年以降はほとんど認められず、低調に経過しており、低周波地震も低調に経過している。



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

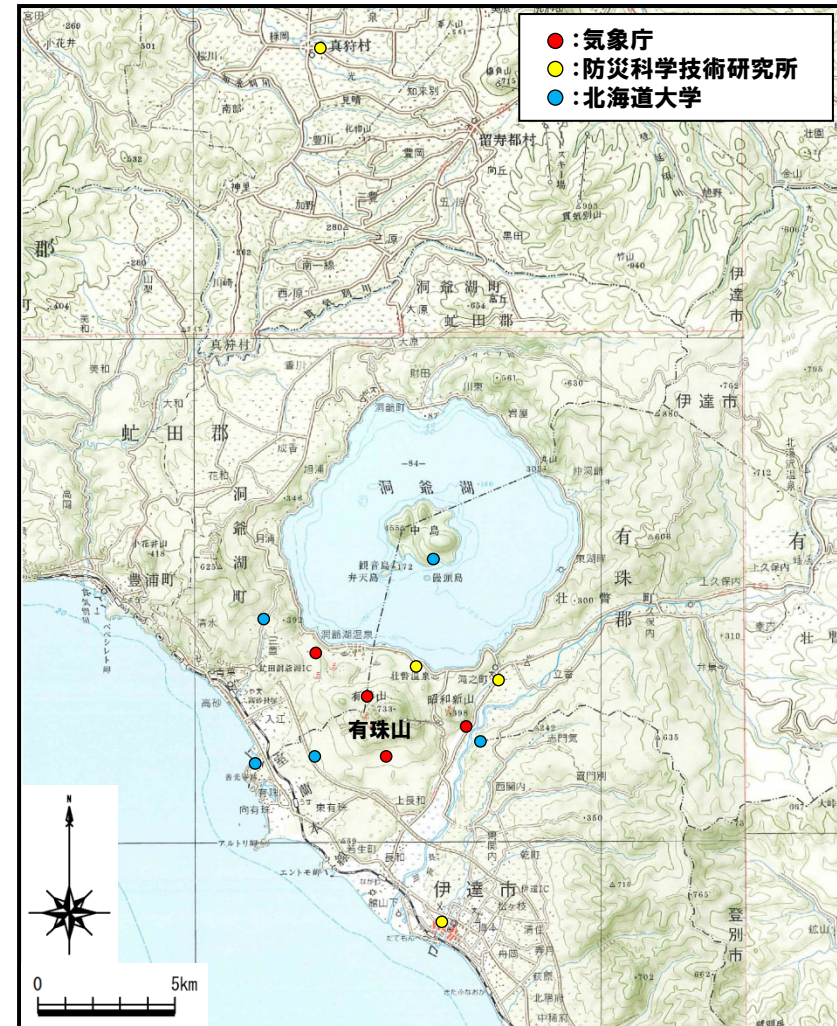
4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(2/6)

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)

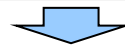
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(3/6)

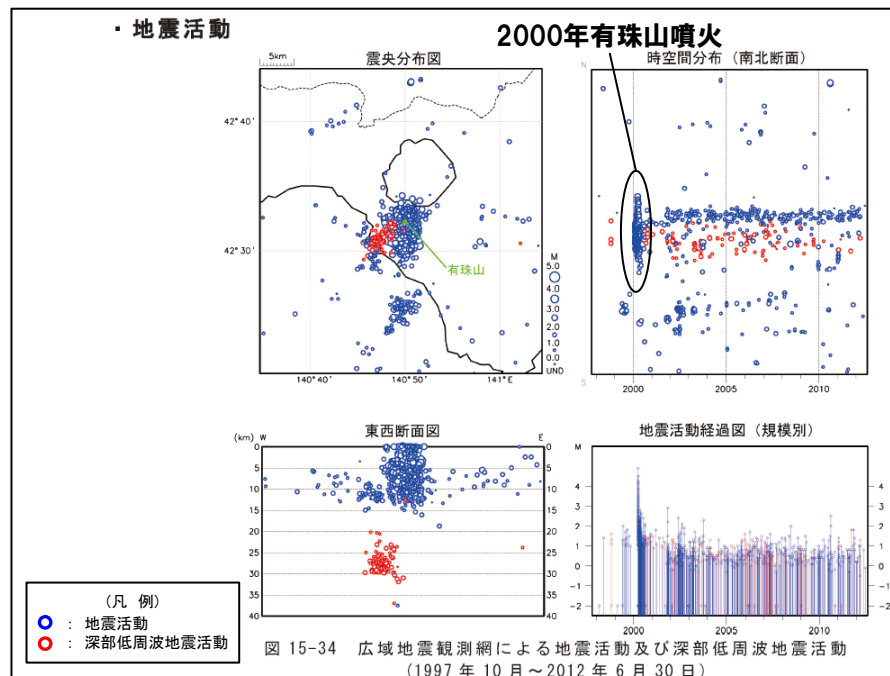
一部修正(H25/11/13審査会合)

【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。

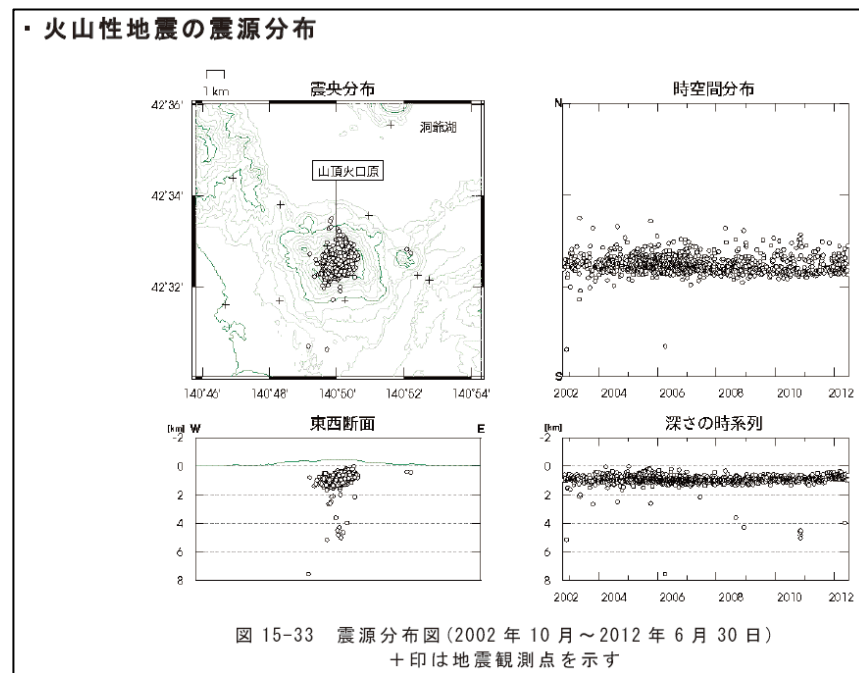


- 洞爺カルデラ周辺においては、有珠山周辺に震央が集中している。
- 地震活動は、有珠山周辺の浅部に認められ、2000年の噴火時に頻度が最大となり、マグニチュード1～4の地震が多く認められる。
- 噴火後の地震活動は、有珠山の山頂火口原(深さ2km以浅)付近に集中しており、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、有珠山の南西付近の深部(深さ20～35km)に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。



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

4.2.3 洞爺カルデラの評価

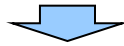
②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(4/6)

一部修正 (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*。

※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、深さの時系列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(概ね深さ20~35km)に認められる。

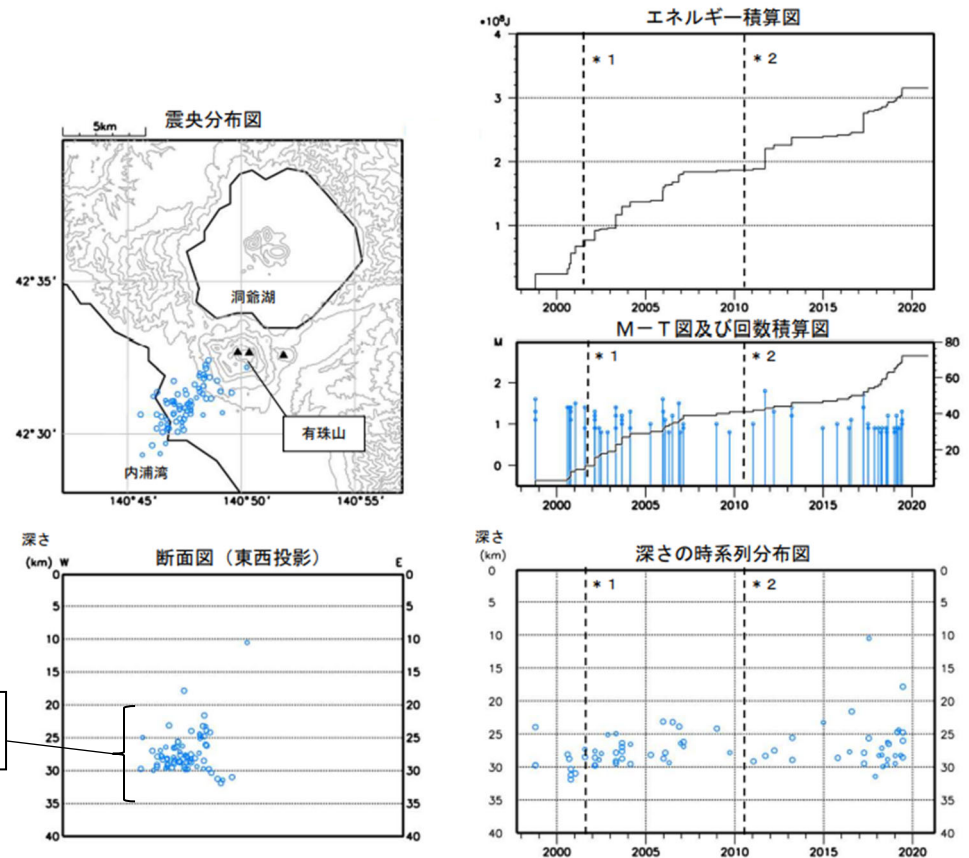


図6 有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動

(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)

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(5/6)

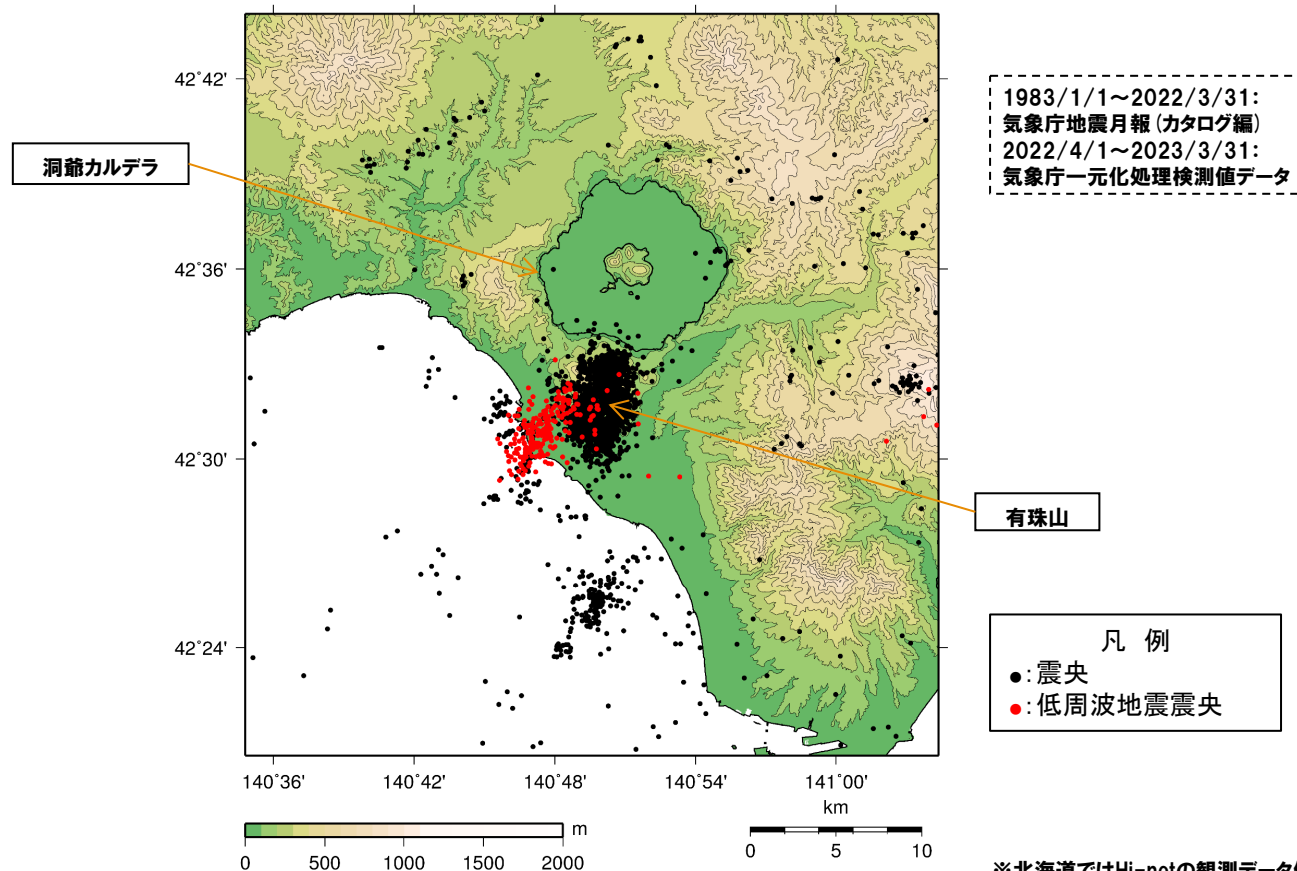
一部修正(H25/11/13審査会合)

【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】

○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. 2. 3 洞爺カルデラの評価

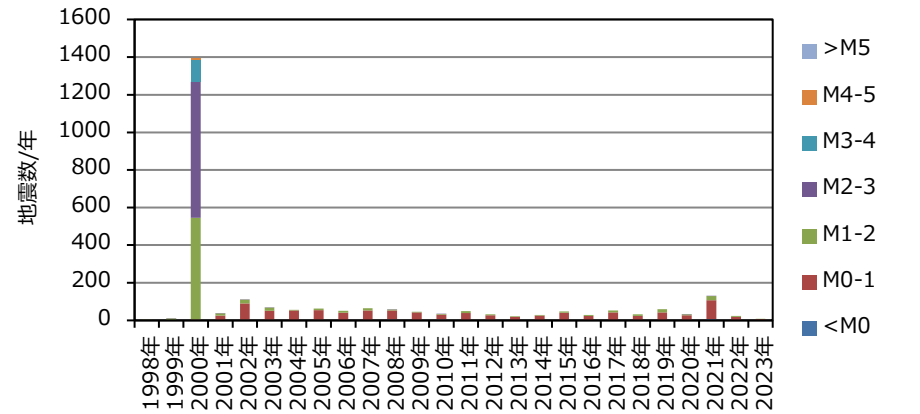
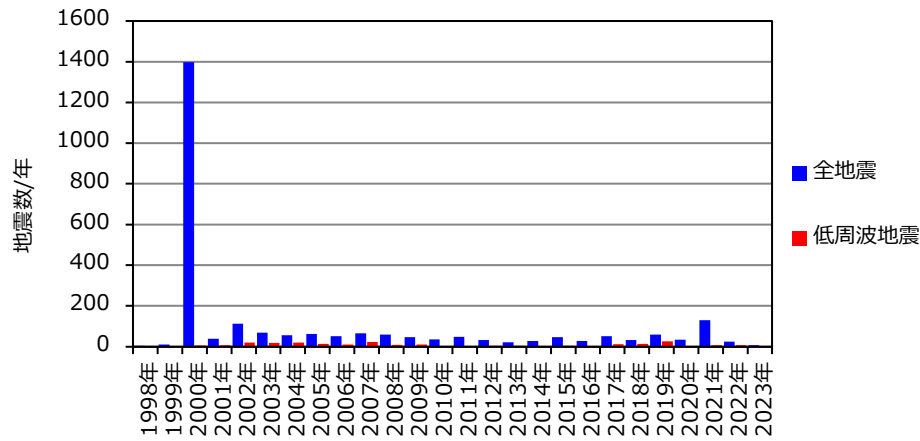
②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(6/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

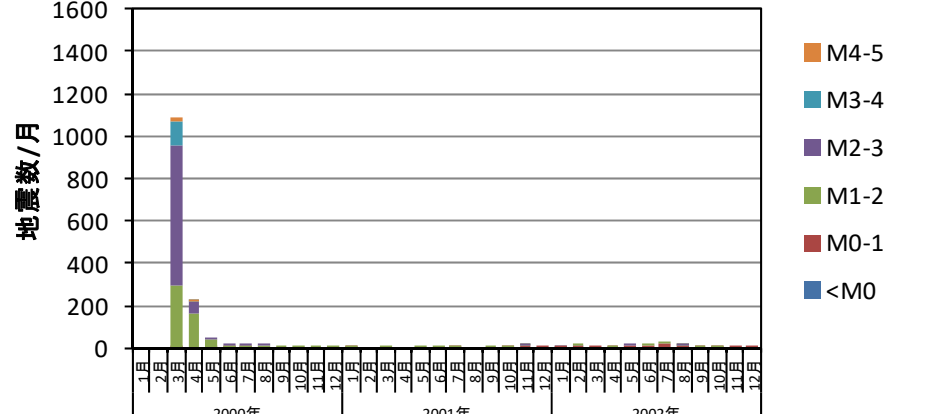
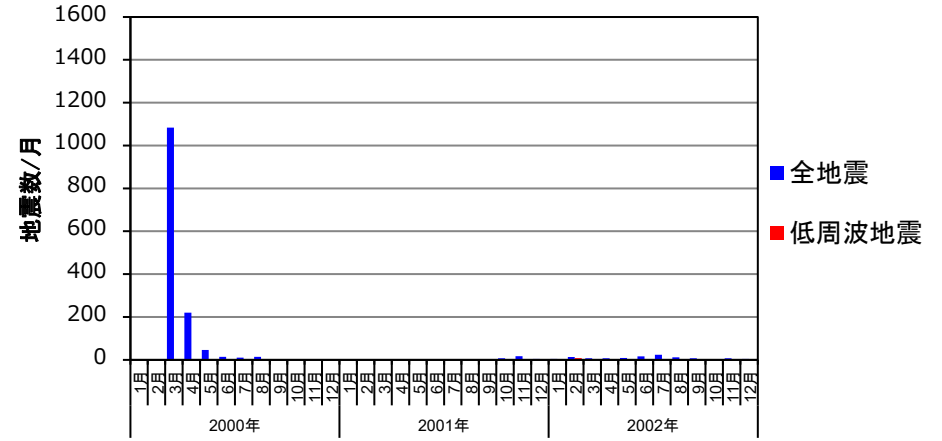
【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○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。

余白

4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (1/7)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

【目的】

- 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。
- このことから、電子基準点等のデータを整理した上で、継続的かつ顕著な変位の累積等の地殻変動の有無を確認する。



【検討結果】

(地殻変動(上下変動及び基線長変化))(次頁～P215参照)

- 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時系列解析))(P216参照)

- 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))(P218～P219参照)

- 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。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(2/7)

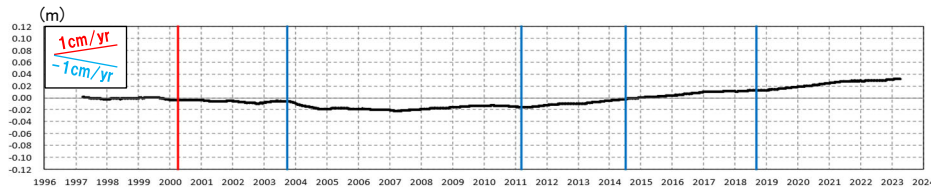
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【上下変動】

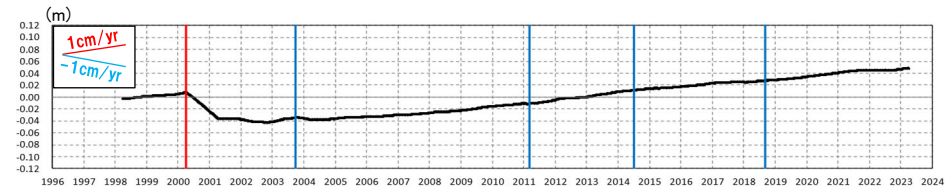
- 洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2023年3月までの上下変動を示す。
- 固定局は, 洞爺カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 季節変化に伴う影響(気象条件に関するノイズ, 電子基準点周辺の樹木の生長等)を除去するために, 小樽1地点を固定局とした各基準点の上下変動について1年間の移動平均グラフを作成した。



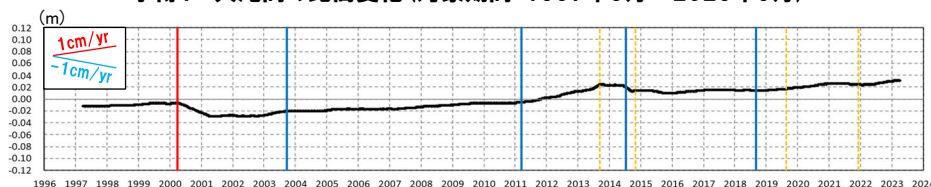
- 全ての基線において, 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う隆起が認められる。
- また, 一部の基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う沈降が認められる。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は, 上記の余効変動等に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ, これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。



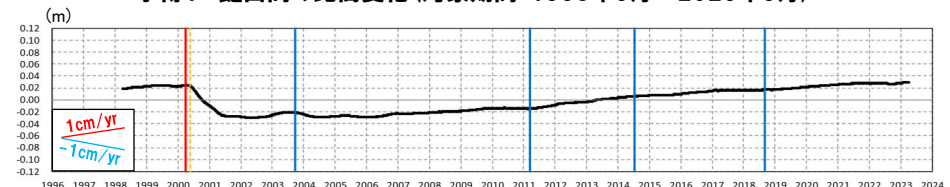
小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



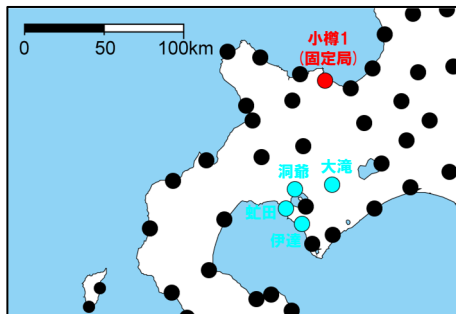
小樽1-虻田間の比高変化(対象期間:1998年3月~2023年3月)



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)



洞爺カルデラ付近
電子基準点位置図

- 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

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(4/7)

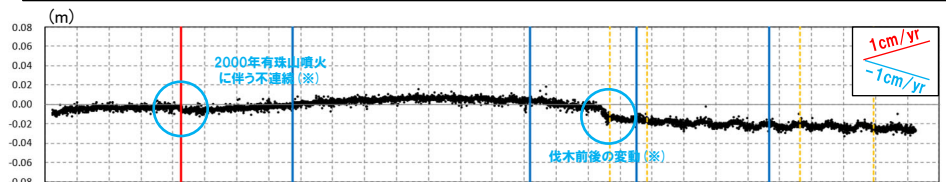
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【基線長変化】

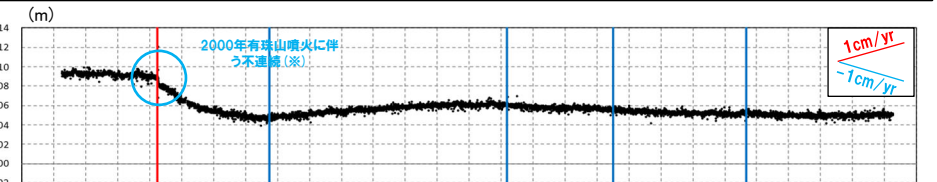
○洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)を結んだ6基線について, 各電子基準点設置以降から2023年3月までの基線長変化を示す。
 ○当該基線長変化図は, 本頁右下に示す噴火, 地震イベント等により, 基線長に複数の不連続が生じ, 中長期的な傾向を掴みづらい状況となっているため, 不連続を除去する補正を行った。



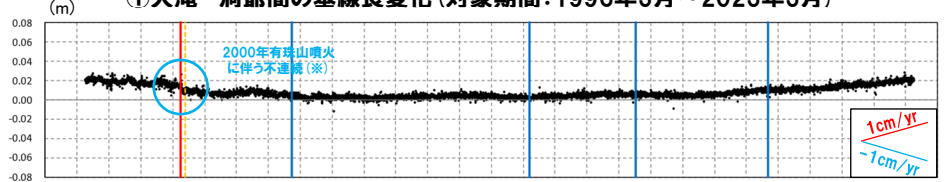
○洞爺カルデラ付近の基線長変化は, 一部基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う基線の縮みが認められる。
 ○同様に, 一部基線において2003年十勝沖地震の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う基線の伸びが認められるが, これ以外に継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。



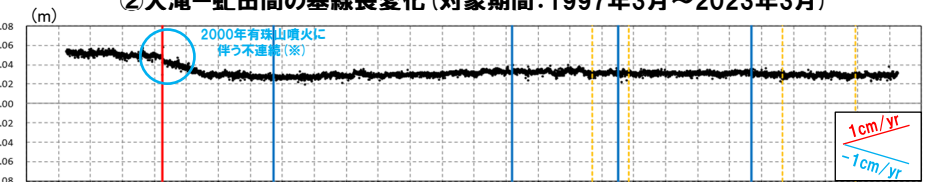
①大滝-洞爺間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2023年3月)



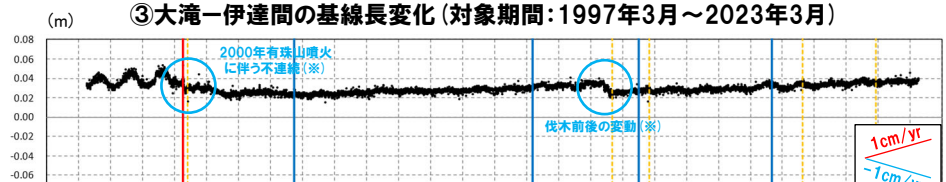
②大滝-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



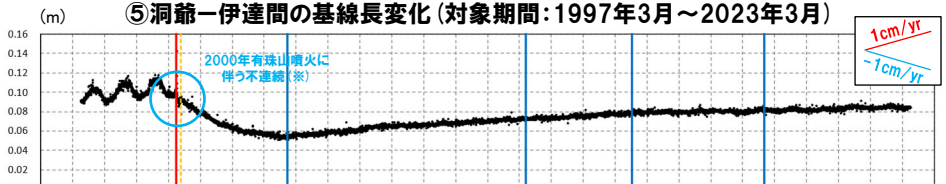
③大滝-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



④洞爺-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



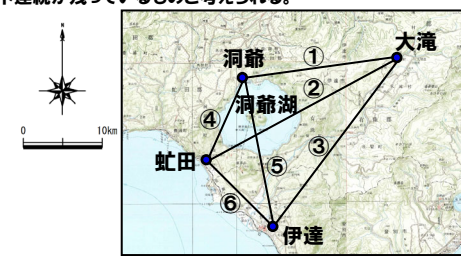
⑤洞爺-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



⑥虻田-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)

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	— 伐木
	— 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	

※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。



洞爺カルデラ付近電子基準点位置図

4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(5/7)

再掲(R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

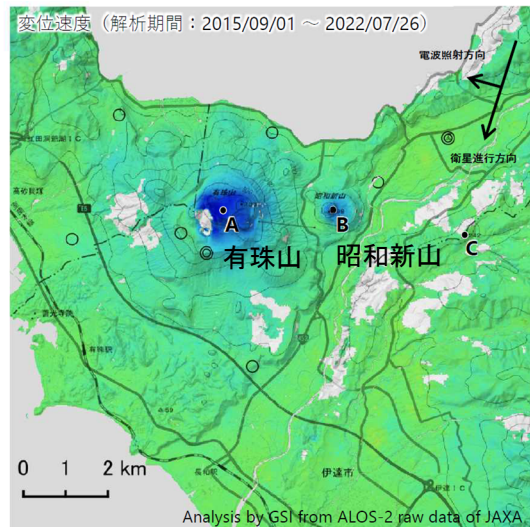
○第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)によると、「大有珠の地点A及び昭和新山の地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます」とされている。

【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。

大有珠の地点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。

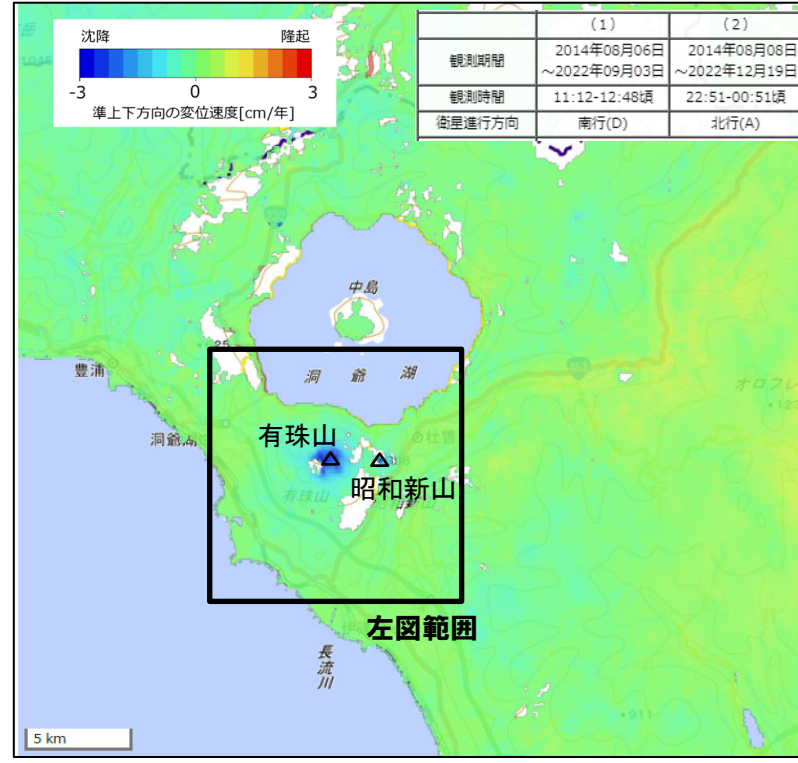


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/09/01 ~ 2022/07/26 (2520日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	31.8°
偏波	HH
データ数	20
干渉ペア数	41

* 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 →
 -4 0 4
 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)



	(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)

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。

余白

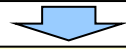
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(6/7)

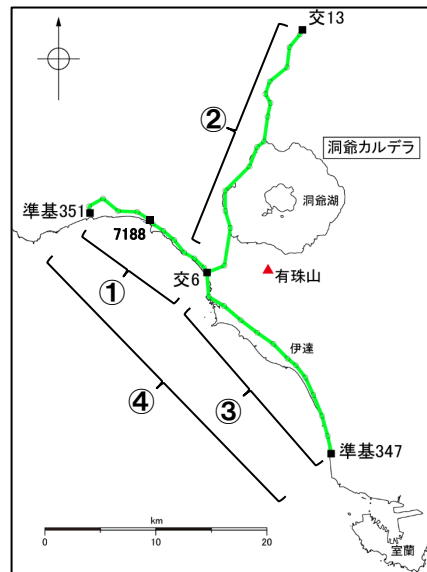
一部修正 (R3/10/14審査会合)

【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。

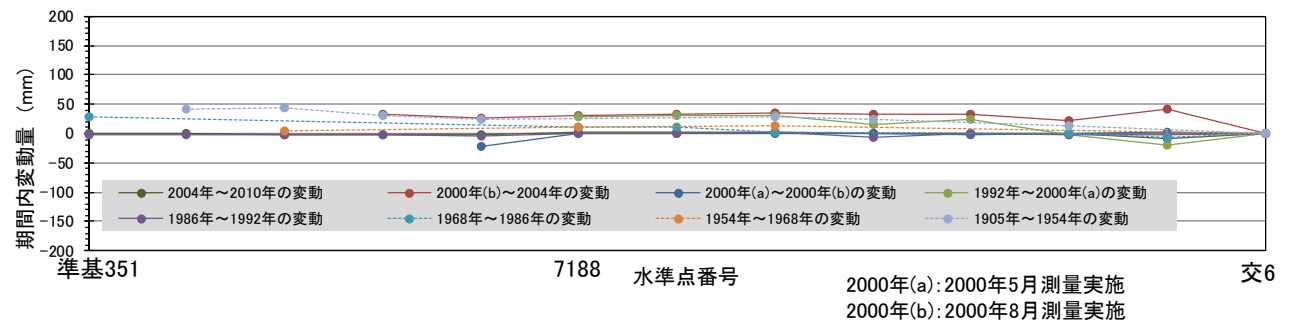


- 洞爺カルデラ周辺のデータは「交6」を境に測量実施時期が異なるものが多いことから、左図に示す水準路線①、②及び③に分けて、データ数の多い「交6」又は「交13」を固定点とした変動量を示している。
- また、「交6」は有珠山に比較的近接し、有珠山の活動に伴う地殻変動の影響を受ける可能性があることから、データ数が少なくなるものの「交6」を越えて測量実施時期が同一なデータについて、有珠山から比較的離れた「7188」を固定点とした変動量をあわせて示した(次頁④参照)。
- 当該検測成果集録においては、2000年噴火による有珠山周辺の局所的な変動が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は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

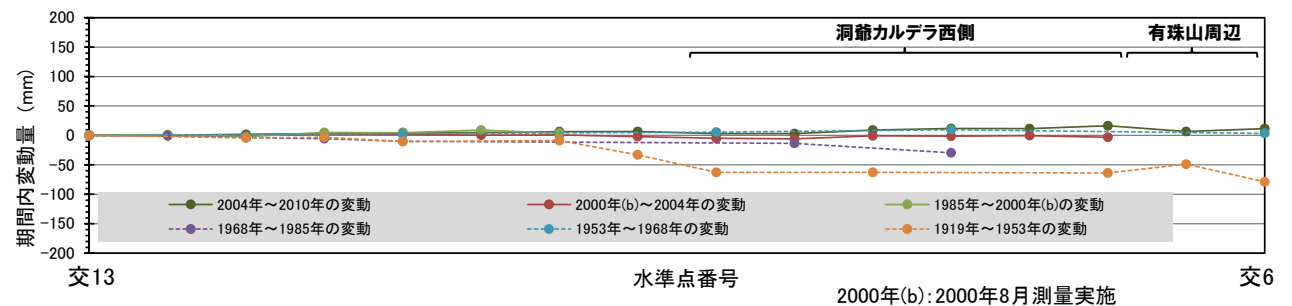


凡例
 ■●○ 一等水準点(水準路線)
 ※検討に用いた水準点・路線のみを示す

水準路線



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

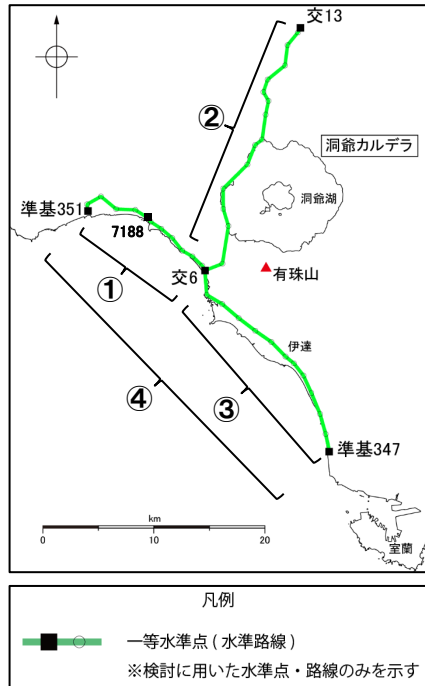


② 水準路線(水準点番号:交13-交6)沿いの期間内変動量(固定点:交13)

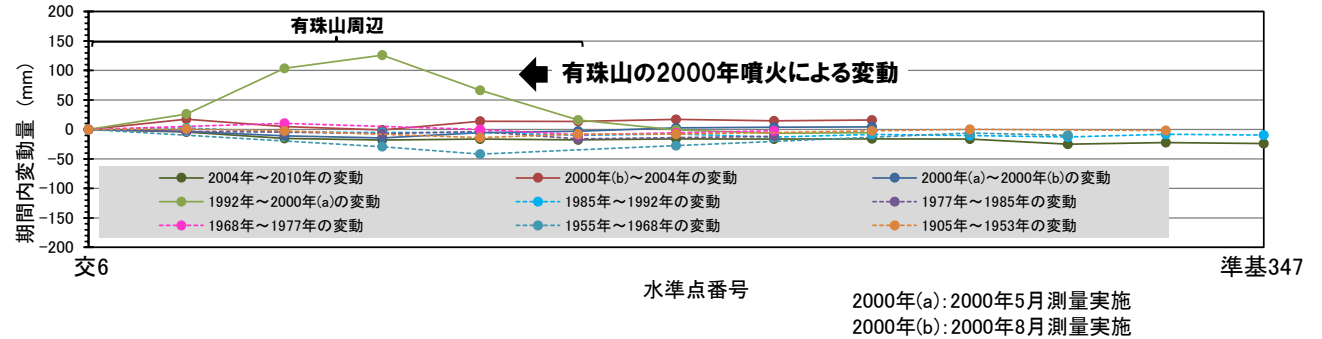
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(7/7)

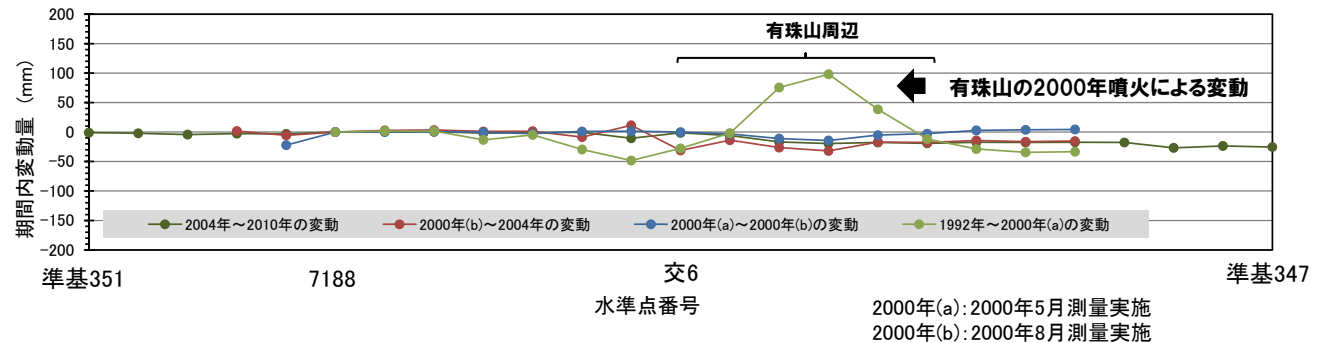
一部修正 (R3/10/14審査会合)



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)



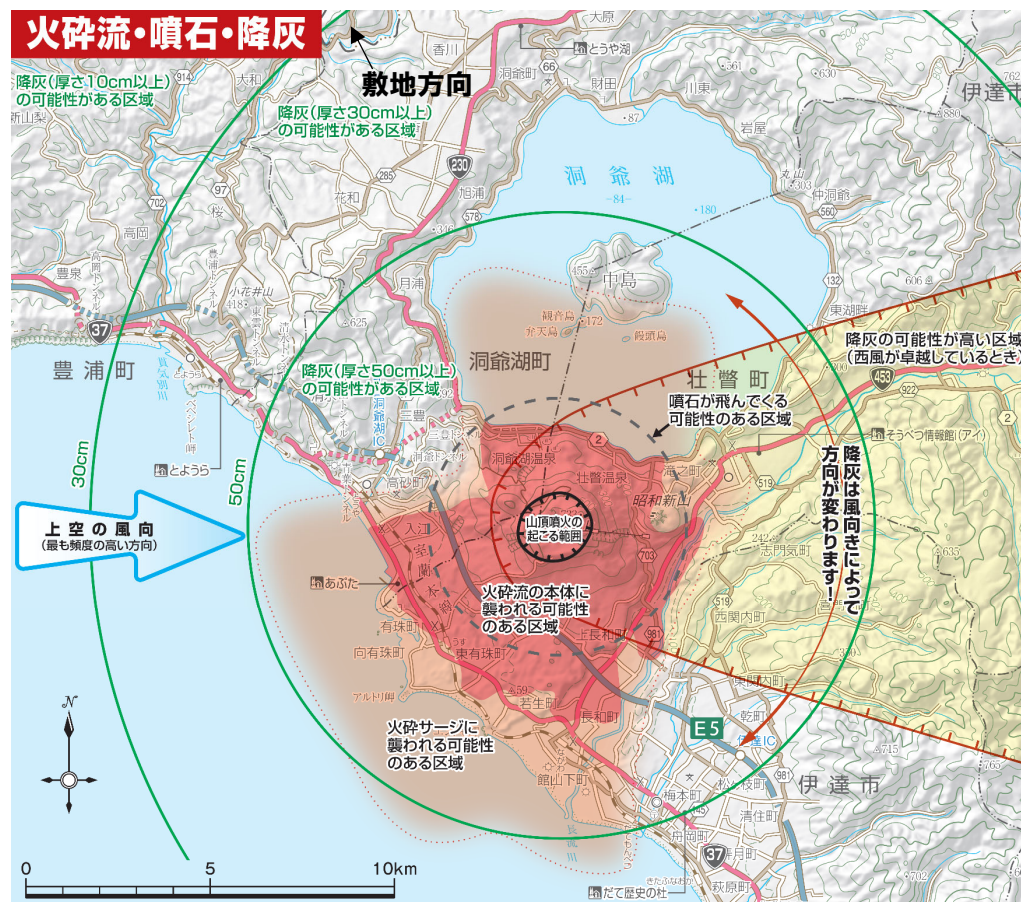
④ 水準路線(水準点番号:準基351-7188-交6-準基347)沿いの期間内変動量(固定点:7188)

4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

(参考) 有珠山火山防災協議会 (2021)

再掲 (R5/10/6審査会合)

○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)

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P.
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

以下項目については、今後説明予定

- ・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果
- ・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」
- ・「5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」
- ・「6. 火山活動のモニタリング」

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ(1/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

3.1 地理的領域にある第四紀火山

○地理的領域にある第四紀火山については、文献調査に基づき32火山を抽出。

活動履歴、噴火規模、火山噴出物の分布等を把握するため、文献調査、地形調査、地質調査及び火山学的調査を実施(補足説明資料1章及び2章参照)。

32火山

3.2 将来の火山活動可能性の評価

○完新世に活動があった火山

7火山

支笏カルデラ(後カルデラ火山含む)、倶多楽・登別火山群、洞爺カルデラ(後カルデラ火山含む)、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・徳舜管、オロフレ・来馬、尻別岳、狩場山、勝潤山、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

(次頁へ続く)

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ(2/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

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

13火山 ←

活動履歴、噴火規模、火山噴出物の分布等を把握するため、文献調査、地形調査、地質調査及び火山学的調査を実施(補足説明資料1章及び2章参照)。

4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価

【溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口及び地殻変動】

○13火山について、各火山事象の影響範囲と敷地から各火山までの距離等について検討した結果、設計対応不可能な火山事象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と評価。

【火砕物密度流】

○洞爺カルデラについては、過去最大規模の噴火(巨大噴火)に伴う洞爺火砕流が敷地に到達した可能性を否定できない。

・詳細な調査・検討として、4.2章で運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、4.3章で、敷地への到達可能性を評価する。

○支笏カルデラについては、過去最大規模の噴火(巨大噴火)に伴う支笏火砕流が敷地には到達していないと判断されることから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

・洞爺カルデラと同様に、火砕流堆積物が広範囲に分布すること等から、詳細な調査・検討として、4.2章で運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、4.3章で当該結果を踏まえた、敷地への到達可能性評価も実施する。

○他の10火山については、火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離、敷地から各火山までの距離について検討した結果、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

○ニセコ・雷電火山群については、ニセコ火山噴出物(火砕流堆積物)が敷地近傍に認められるが、敷地には到達していないと判断されることから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

・火砕流堆積物が敷地近傍に認められることから、念のため、4.4章で地下構造についても確認する。

支笏カルデラ

洞爺カルデラ

ニセコ・雷電火山群

4.2 巨大噴火の可能性評価

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

○過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラ及び洞爺カルデラについては、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。

4.2.2 支笏カルデラの評価

○支笏カルデラについては、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さいと評価。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

○洞爺カルデラについては、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さいと評価。

支笏カルデラ

洞爺カルデラ

4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価

○洞爺カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

○支笏カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、巨大噴火の可能性評価の結果を踏まえても、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

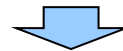
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

○地下構造について確認した結果、複数の文献において現在の活動中心はイフオヌプリであるとされていることと調和的な状況にあると判断。

4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価

①火砕物密度流の到達可能性評価(まとめ)

- 洞爺カルデラについては、4.1章の検討の結果、洞爺火砕流が敷地に到達した可能性を否定できないことから、詳細な調査・検討として、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、改めて、火砕物密度流が敷地に到達する可能性を評価することとした。
- 支笏カルデラについては、4.1章の検討の結果、火砕物密度流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価されるものの洞爺カルデラと同様、巨大噴火に伴う最大規模の火砕流堆積物が広範囲に分布し、給源から敷地方向に数十kmにわたって分布することから、詳細な調査・検討として、運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、当該結果を踏まえた、敷地への到達可能性評価も実施することとした。
- 両火山については、4.2章の検討の結果、運用期間中における巨大噴火の可能性が十分小さいと判断されることから、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕物密度流が運用期間中に敷地に到達する可能性を評価するため、火砕流を含む火山噴出物の分布を確認する。

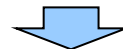


【洞爺カルデラ】

- 洞爺カルデラの最後の巨大噴火であるTpを噴出した噴火以降の活動は、洞爺カルデラの後カルデラ火山(洞爺中島及び有珠山)による活動である。
- これらの火山による火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離は有珠山の約9kmであり、敷地から有珠山までの距離約61kmよりも小さく、敷地まで到達していない。

【支笏カルデラ】

- 支笏カルデラの最後の巨大噴火であるSp-1を噴出した噴火以降の活動は、支笏カルデラの後カルデラ火山(恵庭岳、風不死岳及び樽前山)による活動である。
- これらの火山による火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離は樽前山の約11kmであり、敷地から樽前山までの距離約80kmよりも小さく、敷地まで到達していない。

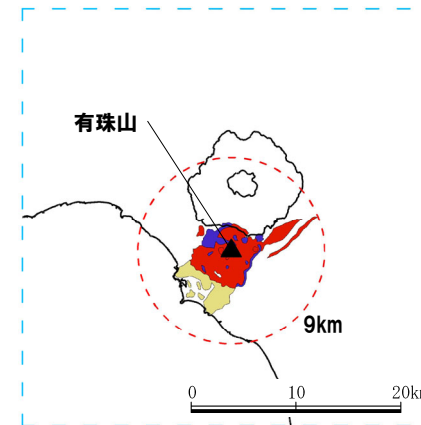
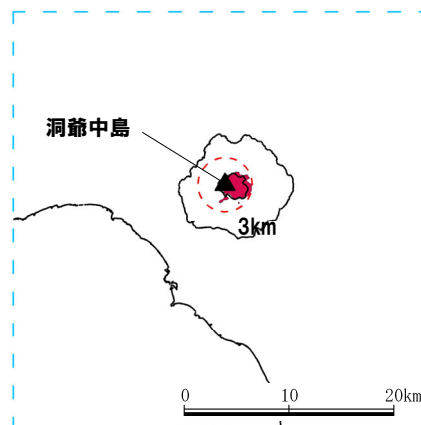


- 洞爺カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価される。
- 支笏カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、巨大噴火の可能性評価の結果を踏まえても、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価される。

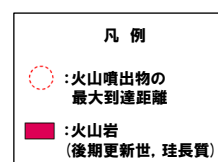
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価

②洞爺カルデラ

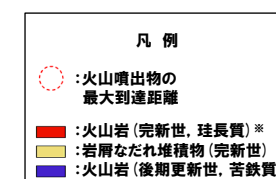
- 洞爺カルデラの最後の巨大噴火であるTpを噴出した噴火以降の活動は、洞爺カルデラの後カルデラ火山（洞爺中島及び有珠山）による活動である。
- これらの火山による火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離は有珠山の約9kmであり、敷地から有珠山までの距離約61kmよりも小さく、敷地まで到達していない（右図参照）。



洞爺中島



有珠山

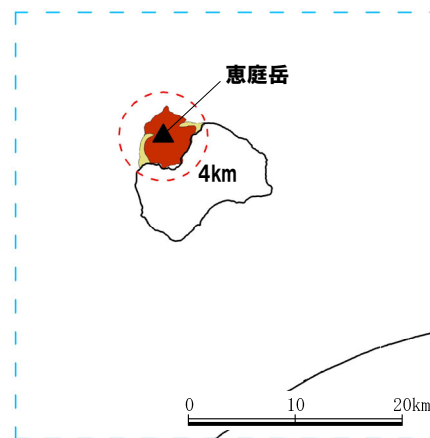
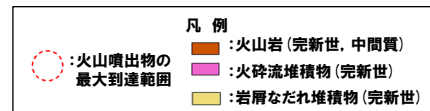


※「1663年-1978年火砕流堆積物及び降下堆積物」を含む

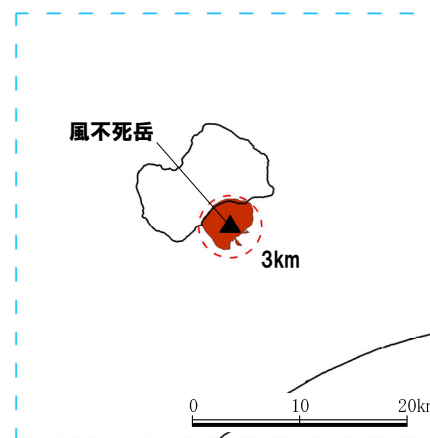
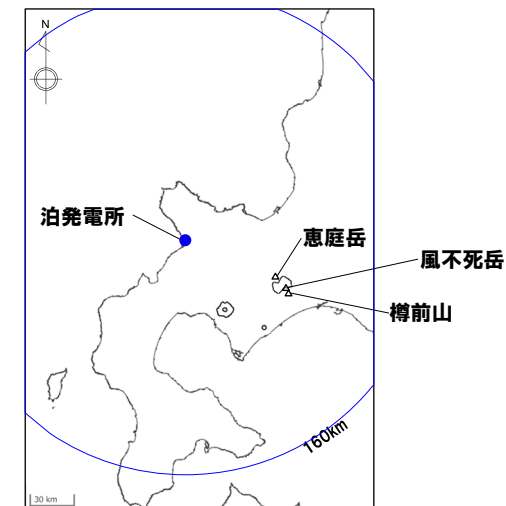
洞爺中島及び有珠山の火山噴出物の分布範囲
(産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)より作成)

③支笏カルデラ

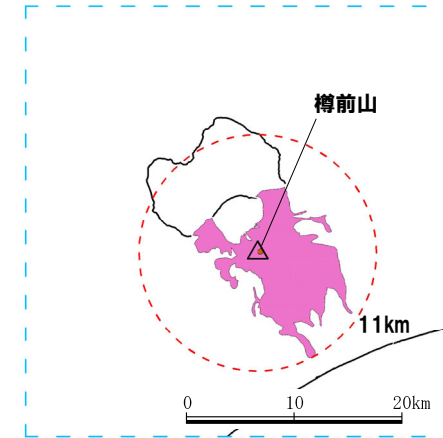
- 支笏カルデラの最後の巨大噴火であるSp-1を噴出した噴火以降の活動は、支笏カルデラの後カルデラ火山(恵庭岳, 風不死岳及び樽前山)による活動である。
- これらの火山による火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離は樽前山の約11kmであり、敷地から樽前山までの距離約80kmよりも小さく、敷地まで到達していない(右図参照)。



恵庭岳



風不死岳



樽前山

恵庭岳, 風不死岳, 樽前山の火山噴出物の分布範囲
(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)

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P.
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

以下項目については、今後説明予定

- ・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果
- ・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」
- ・「6. 火山活動のモニタリング」

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ(1/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

3.1 地理的領域にある第四紀火山

○地理的領域にある第四紀火山については、文献調査に基づき32火山を抽出。

活動履歴、噴火規模、火山噴出物の分布等を把握するため、文献調査、地形調査、地質調査及び火山学的調査を実施(補足説明資料1章及び2章参照)。

32火山

3.2 将来の火山活動可能性の評価

○完新世に活動があった火山
7火山

支笏カルデラ(後カルデラ火山含む)、倶多楽・登別火山群、洞爺カルデラ(後カルデラ火山含む)、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・徳舜管、オロフレ・来馬、尻別岳、狩場山、勝潤山、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

(次頁へ続く)

4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ(2/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

立地評価

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

13火山 ←

活動履歴、噴火規模、火山噴出物の分布等を把握するため、文献調査、地形調査、地質調査及び火山学的調査を実施(補足説明資料1章及び2章参照)。

4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価

【溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口及び地殻変動】

○13火山について、各火山事象の影響範囲と敷地から各火山までの距離等について検討した結果、設計対応不可能な火山事象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と評価。

【火砕物密度流】

○洞爺カルデラについては、過去最大規模の噴火(巨大噴火)に伴う洞爺火砕流が敷地に到達した可能性を否定できない。

・詳細な調査・検討として、4.2章で運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、4.3章で、敷地への到達可能性を評価する。

○支笏カルデラについては、過去最大規模の噴火(巨大噴火)に伴う支笏火砕流が敷地には到達していないと判断されることから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

・洞爺カルデラと同様に、火砕流堆積物が広範囲に分布すること等から、詳細な調査・検討として、4.2章で運用期間中における巨大噴火の可能性評価を実施した上で、4.3章で当該結果を踏まえた、敷地への到達可能性評価も実施する。

○他の10火山については、火砕流を含む火山噴出物の最大到達距離、敷地から各火山までの距離について検討した結果、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

○ニセコ・雷電火山群については、ニセコ火山噴出物(火砕流堆積物)が敷地近傍に認められるが、敷地には到達していないと判断されることから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

・火砕流堆積物が敷地近傍に認められることから、念のため、4.4章で地下構造についても確認する。

支笏カルデラ

洞爺カルデラ

ニセコ・雷電火山群

4.2 巨大噴火の可能性評価

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

○過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラ及び洞爺カルデラについては、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。

4.2.2 支笏カルデラの評価

○支笏カルデラについては、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さいと評価。

4.2.3 洞爺カルデラの評価

○洞爺カルデラについては、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さいと評価。

支笏カルデラ

洞爺カルデラ

4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価

○洞爺カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

○支笏カルデラについては、最後の巨大噴火以降の噴火に伴う火砕流を含む火山噴出物が敷地に到達していないことから、巨大噴火の可能性評価の結果を踏まえても、火砕流が運用期間中に敷地に到達する可能性は十分小さいと評価。

4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

○地下構造について確認した結果、複数の文献において現在の活動中心はイワオヌプリであるとされていることと調和的な状況であると判断。

4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

地下構造 (1/5)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

【目的】

○ニセコ・雷電火山群については、いずれの設計対応不可能な火山事象も、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と評価される(4.1章参照)が、当該火山は、火山噴出物(降下火砕物を除く)が敷地近傍に認められることから、念のため、地下構造(地震波速度構造及び比抵抗構造)についても確認する。



【各項目における検討結果】

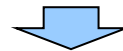
(地震波速度構造) (P232～P233参照)

- ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- ニセコ・雷電火山群のうち、主に現在の活動中心であるイワオヌプリ(P98参照)直下の上部地殻内に、低周波地震群が認められる。

(比抵抗構造) (P234～P235参照)

- Tamura et al. (2022)によれば、ニセコ火山群中央部(チセヌプリ・ニトヌプリ・イワオヌプリ)の地下-2km以深には鉛直方向に延びる低比抵抗領域が認められ、当該領域の深部には、超臨界地熱流体*が存在する可能性があるとしてされている。
- Oka et al. (2023)によれば、イワオヌプリの直下には、深部のマグマ溜まりから離散したマグマが存在し、地熱貯留層を形成している可能性があるとしてされている。

*火山地帯の地下深部(深度約3～5km)にある超臨界状態(温度374℃、圧力22MPa以上)の地熱流体。中道(2022)における「超臨界流体」に対応するものと考えられ、中道(2022)によれば、「超臨界流体」は水または二酸化炭素とされている。



- イワオヌプリの直下に、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る低周波地震群が認められ、深部のマグマ溜まりから離散したマグマが存在する可能性があるとしてされていることは、複数の文献において現在の活動中心はイワオヌプリであるとされていること(P98参照)と調和的な状況にあると判断される。

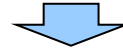
余白

4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

地下構造 (地震波速度構造) (2/5)

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、当社がニセコ・雷電火山群周辺における水平・鉛直断面図を作成した。



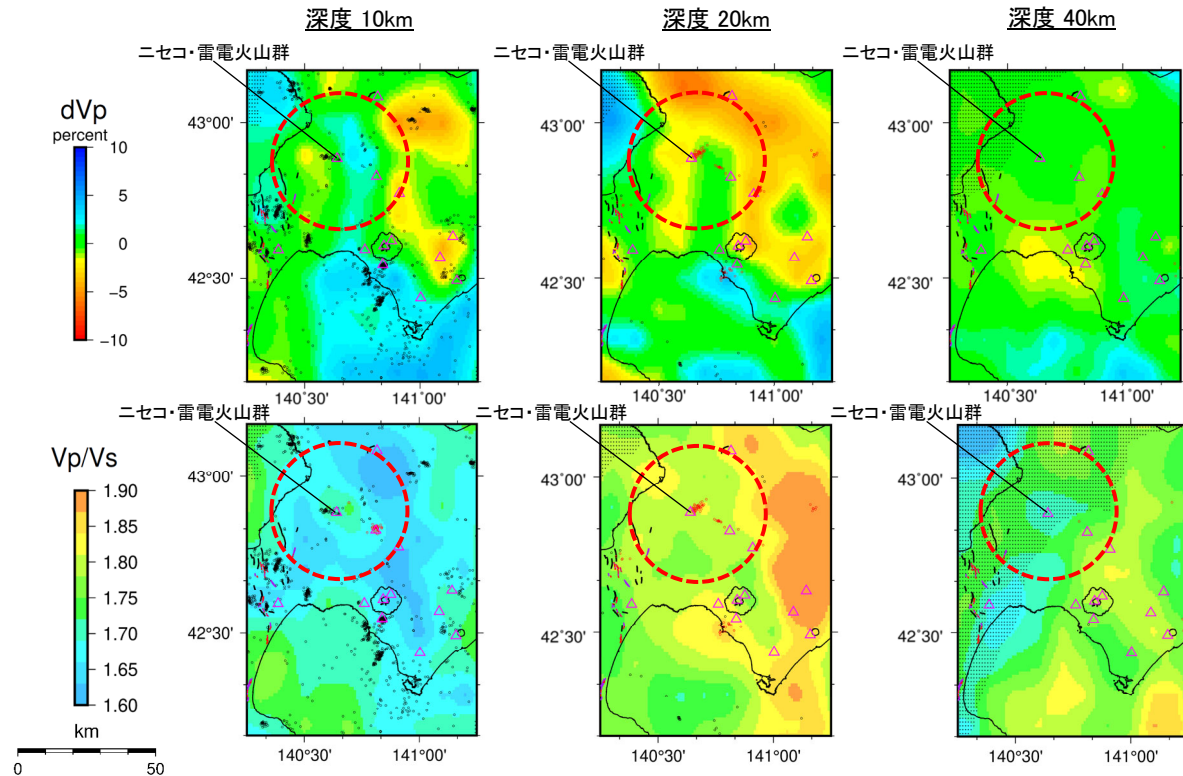
○ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻 (約20km以浅) を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
 ○ニセコ・雷電火山群のうち、主に現在の活動中心であるイワオヌプリ直下の上部地殻内に、低周波地震群が認められる。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法 (P134~P138参照)】

- 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10km程度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、メルトの存在を示唆する低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 ≥ 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 } 今泉ほか編 (2018) をトレース
- 推定活断層
- ニセコ・雷電火山群を中心とした、半径25kmの範囲

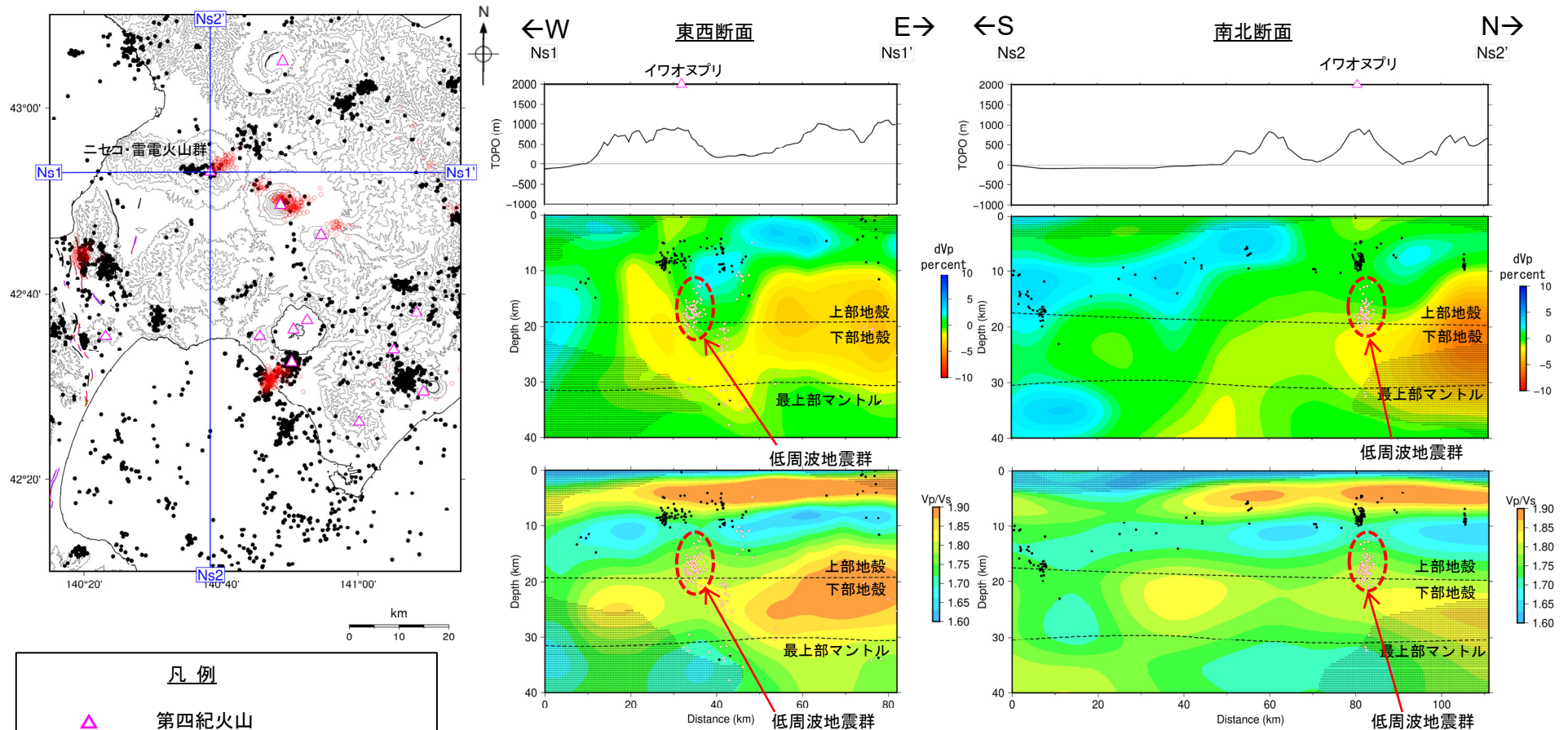


地震波速度構造 (水平断面)

4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

地下構造(地震波速度構造) (3/5)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



地震波速度構造(鉛直断面)

- ・深度約10km程度以浅には、メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない
- ・ニセコ・雷電火山群のうち、主に現在の活動中心であるイワオヌプリ (P98参照) 直下の上部地殻内に、低周波地震群が認められる

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: 2000/10/1-2020/12/31)
- 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

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

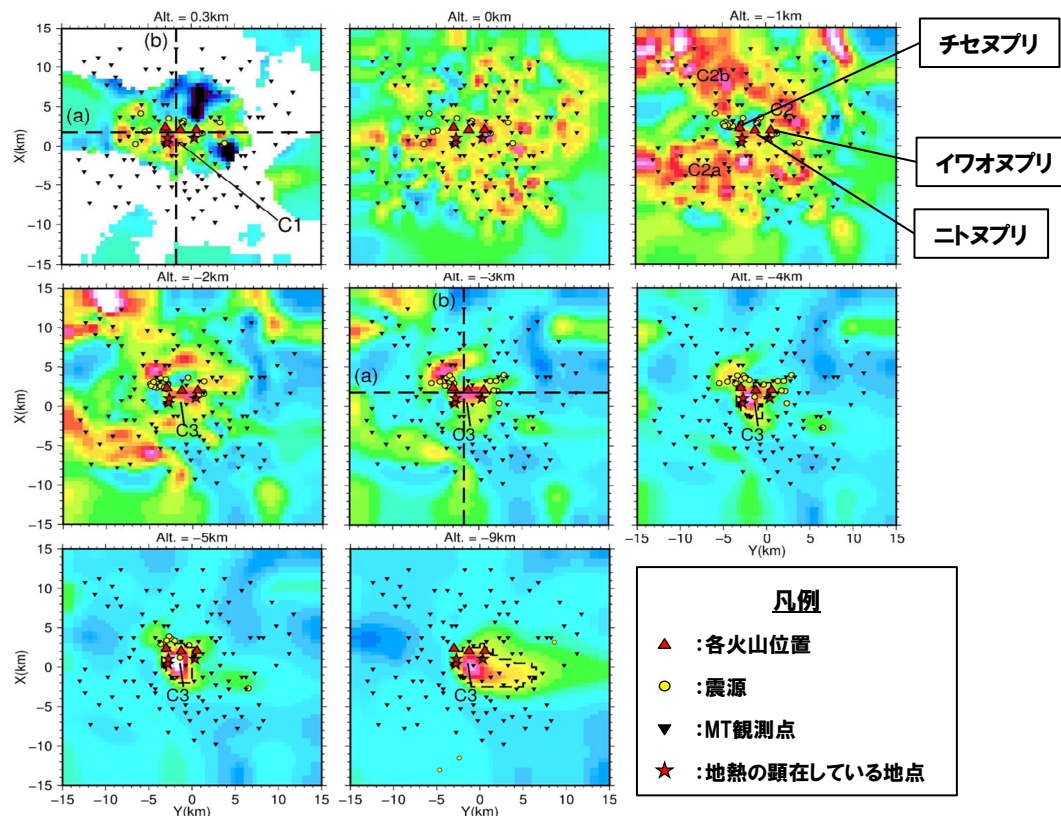
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

地下構造 (比抵抗構造) (4/5)

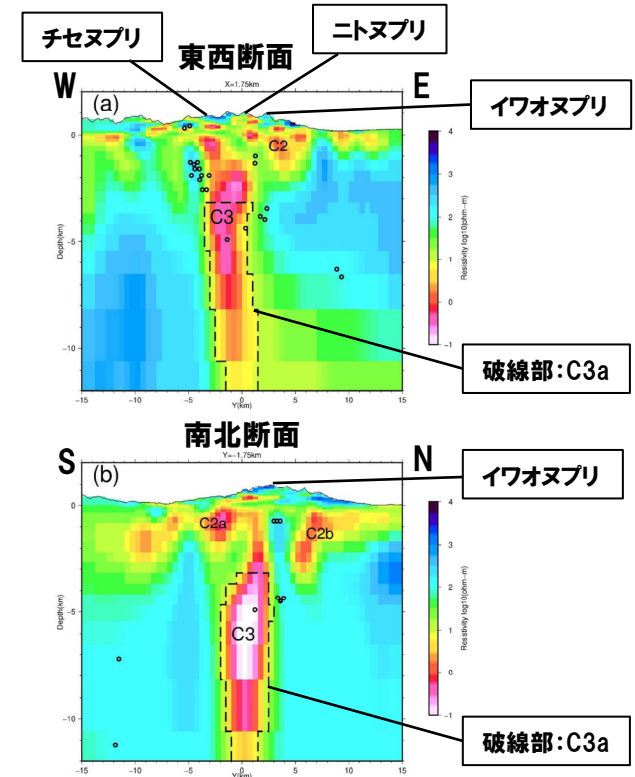
一部修正 (R5/1/20審査会合)

- Tamura et al. (2022) によれば、ニセコ火山群中央部 (チセヌプリ・ニトヌプリ・イワオヌプリ) の周囲においては、比抵抗値が $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が認められ (左図中の「C1」), これは熱水変質した火山砕屑物や地熱水によるものと考えられるとされている。
- ニセコ火山群の地下-1kmに広く認められる低比抵抗領域 (左図及び右図中の「C2」, 「C2a」及び「C2b」) については、当該深度に分布している泥岩、頁岩及び溶結凝灰岩によるものと考えられるとされている。
- また、最も特徴的な低比抵抗領域として、ニセコ火山群中央部 (チセヌプリ・ニトヌプリ・イワオヌプリ) の地下-2km以深に明瞭な鉛直方向に延びる低比抵抗領域が存在するとされており (左図及び右図中の「C3」), この領域のうち比抵抗値が $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域 (C3a) には、超臨界地熱流体*が存在する可能性があると考えられている。

*火山地帯の地下深部 (深度約3~5km) にある超臨界状態 (温度 374°C , 圧力 22MPa 以上) の地熱流体。中道 (2022) における「超臨界流体」に対応するものと考えられ、中道 (2022) によれば、「超臨界流体」は水または二酸化炭素とされている。



ニセコ・雷電火山群の地下比抵抗構造 (水平断面) (Tamura et al. (2022) に加筆)



ニセコ・雷電火山群の地下比抵抗構造 (鉛直断面) (Tamura et al. (2022) に加筆)
黒○は震源を示す。断面位置は左図参照

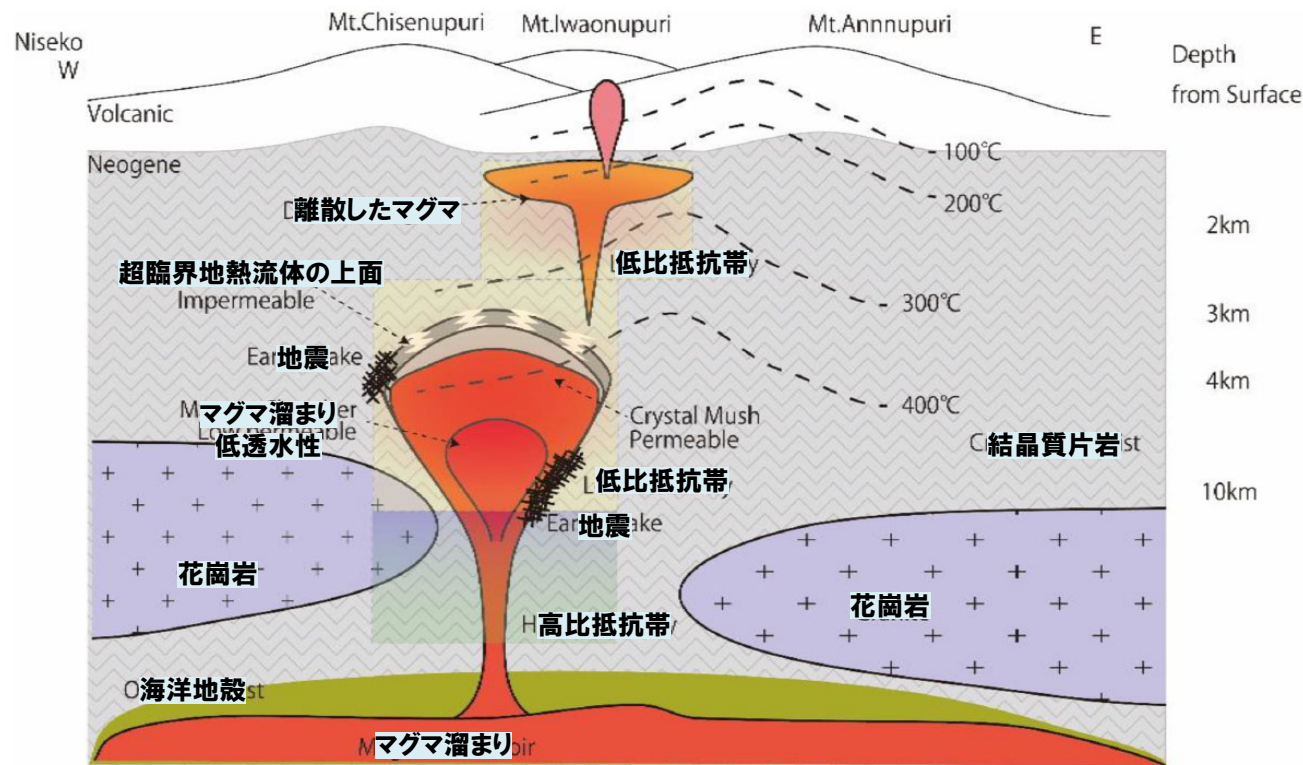
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価

地下構造 (比抵抗構造) (5/5)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- Tamura et al. (2022) を含む複数の文献をもとにニセコ・雷電火山群における地質・熱構造の概念モデルを作成したOka et al. (2023) によれば、イワオヌプリ及びチセヌプリの地下約-3kmに、高温 (380°C以上) かつ低比抵抗 (30 Ωm以下) である領域を検出したとされており、この領域にはマグマ溜まりが存在し、上面は超臨界地熱流体*の上面に相当するとされている。
- イワオヌプリの直下には、深部のマグマ溜まりから離散したマグマが存在し、地熱貯留層を形成している可能性があるとされている。

*火山地帯の地下深部 (深度約3~5km) にある超臨界状態 (温度374°C, 圧力22MPa以上) の地熱流体。中道 (2022) における「超臨界流体」に対応するものと考えられ、中道 (2022) によれば、「超臨界流体」は水または二酸化炭素とされている。



ニセコ・雷電火山群における地質・熱構造の概念モデル
(Oka et al. (2023) に加筆)

5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への 火山事象の影響評価

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P.
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

以下項目については、今後説明予定

- ・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果
- ・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」
- ・「5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」
- ・「6. 火山活動のモニタリング」

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P.
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

・本章の説明内容

- ① 文献に基づく降下火砕物の分布
- ② 地質調査結果
- ③ まとめ

以下項目については、今後説明予定

- ・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果
- ・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」
- ・「5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」
- ・「6. 火山活動のモニタリング」

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

泊発電所における火山影響評価のうち影響評価の流れ

5 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

5. 1 降下火砕物の影響評価

文献調査, 当社地質調査及び降下火砕物シミュレーションを基に, 敷地における影響評価の対象となる降下火砕物を抽出

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

○文献調査並びに敷地及び敷地近傍の地質調査結果を基に, 影響評価の検討対象となる(敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある)降下火砕物を抽出

	降下火砕物名	給源	手法	推定層厚
地理的領域外	白頭山苫小牧(B-Tm)	白頭山	文献調査	5~10cm
			地質調査	—
	始良Tn(AT)	始良カルデラ	文献調査	0~5cm若しくは0~10cm
			地質調査	—
	阿蘇4(Aso-4)	阿蘇カルデラ	文献調査	15cm以上若しくは15~20cm
		地質調査	5cm	
地理的領域内	クツチャロ-羽幌(Kc-Hb)	屈斜路カルデラ	文献調査	0~10cm
			地質調査	—
	支笏第1降下軽石(Spfa-1)	支笏カルデラ	文献調査	2cm以下
			地質調査	—
	クツラ第2火山灰(Kt-2)	倶多楽・登別火山群	文献調査	10cm以下若しくは0~10cm
		地質調査	—	
給源不明	洞爺火山灰(Toya)	洞爺カルデラ	文献調査	30cm以上
			地質調査	70cm以上
	2000年有珠山噴火	有珠山	文献調査	0cm以上
			地質調査	—
	火山灰(黄灰色B)	不明	文献調査	—
		地質調査	約23cm	
	火山灰(黄灰色A)	不明	文献調査	—
		地質調査	約18cm	

Spfa-1及びToyaは, 過去の巨大噴火に伴い噴出したものであり, 運用期間中の巨大噴火の発生可能性は十分小さいと評価される。このため, Spfa-1及びToyaを除き, 最も層厚が大きい火山灰(黄灰色B)(最大層厚約23cm)を, 層厚評価の検討対象とする。

5. 1. 2 降下火砕物シミュレーション

降下火砕物シミュレーションの検討対象候補として以下を抽出(抽出数:37テフラ)

- ・文献及び地質調査の結果から, 敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物(抽出数:10テフラ)
- ・原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分に小さいと判断できない13火山を給源とし, 分布状況が広がりを有する降下火砕物(抽出数:27テフラ)

(プロセス1) 文献調査及び地質調査の結果, ①及び②に該当する降下火砕物以外のものを抽出(抽出数:31テフラ)

- ①文献調査の結果, 分布主軸が概ね敷地の方向を向いており, 文献に示される等層厚線図から敷地における層厚が評価可能な降下火砕物
- ②地質調査の結果, 敷地における層厚評価が可能な降下火砕物

(プロセス2) 現状において同規模の噴火の可能性のある降下火砕物を抽出(抽出数:22テフラ)

(プロセス3) 分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚を比較し, 同一火山を給源とする降下火砕物の中で最も厚いものを抽出(抽出数:10テフラ)

(プロセス4) 敷地との距離が最も近い火山による降下火砕物及び噴出物量が最も大きい降下火砕物を抽出(抽出数:2テフラ)

Kt-1(噴出物量が最大), Yo-1(敷地との距離が最も近い)

Kt-1の降下火砕物シミュレーションは, 現在実施中であることから, シミュレーション結果については今後説明予定

5. 1. 3 設計に用いる降下火砕物の層厚

○文献調査, 地質調査及び降下火砕物シミュレーションの結果を踏まえ適切な層厚を検討する。

5. 2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

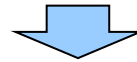
○降下火砕物を除く地理的領域内の13火山による以下の火山事象は, 火口から敷地までの距離, 地形状況等を踏まえ, いずれも敷地への影響はないと評価
土石流・火山泥流及び洪水, 火山ガス, 火山から発生する飛来物, 大気現象, 火山性地震, 熱水系及び地下水の異常

余白

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

①文献に基づく降下火砕物の分布(1/4)

○敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物について文献に基づき整理した(詳細は補足説明資料2.1章のうち、「降下火砕物の分布」参照)。



○敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物及びその給源は以下のとおり。

	降下火砕物名	給源	文献に基づく推定層厚
地理的 領域外	白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)	白頭山	5~10cm※2
	始良Tn火山灰(AT)	始良カルデラ	0~5cm若しくは0~10cm
	阿蘇4火山灰(Aso-4)	阿蘇カルデラ	15cm以上若しくは15~20cm
	クツチャロ羽幌火山灰(Kc-Hb)	屈斜路カルデラ	0~10cm
地理的 領域内	支笏第1降下軽石(Spfa-1)※1	支笏カルデラ	2cm以下
	クツタラ第2火山灰(Kt-2)	倶多楽・登別火山群	10cm以下若しくは0~10cm
	洞爺火山灰(Toya)	洞爺カルデラ	30cm以上
	2000年有珠山噴火に伴い噴出した降下火砕物	有珠山	0cm以上

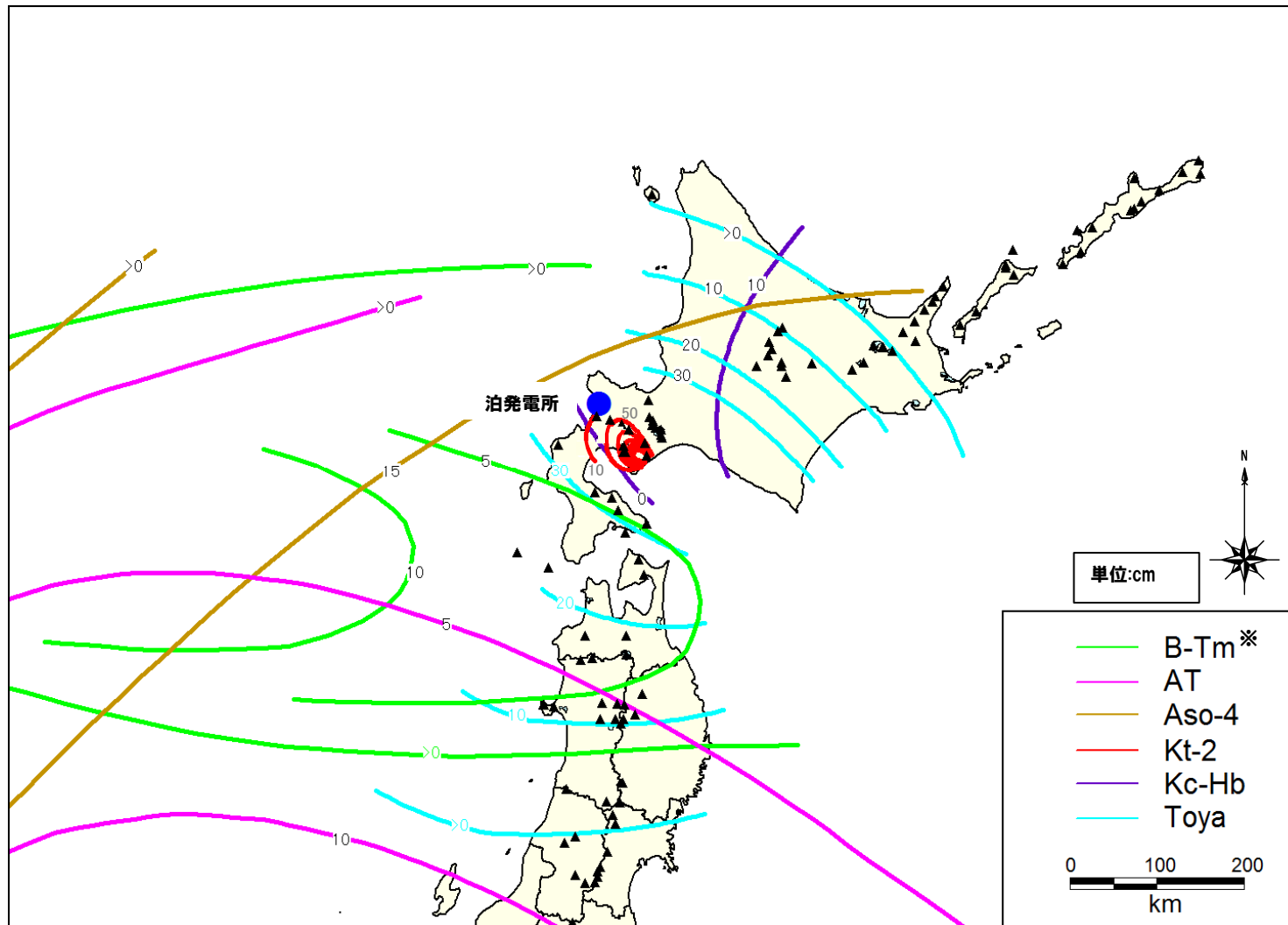
○なお、白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)、クツチャロ羽幌火山灰(Kc-Hb)、クツタラ第2火山灰(Kt-2)及び2000年有珠山噴火については、分布主軸が概ね敷地方向を向いており、文献調査結果から敷地における降下火砕物の層厚評価が可能であると判断される。

※1 支笏第1降下軽石(Spfa-1)については、町田・新井(2011)及びUesawa et al.(2022)に等層厚線図が示されており(補足説明資料1のP29~P30参照)、確認の結果、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物として抽出されない。しかしながら、最新の野外地質調査と既存文献調査に基づき支笏火砕流堆積物及び支笏第1降下軽石(Spfa-1)の分布範囲及び層厚等をまとめた宝田ほか(2022)によれば、敷地及び敷地近傍に到達した(降灰した)可能性が考えられる。宝田ほか(2022)による、支笏第1降下軽石(Spfa-1)の等層厚線図は補足説明資料のP128参照。

※2 白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)については、分布主軸が概ね敷地方向を向いており、敷地周辺は層厚0~5cmの範囲に該当するが、分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当することから、推定層厚は5~10cmと評価する(P244参照)。

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

①文献に基づく降下火砕物の分布 (2/4)

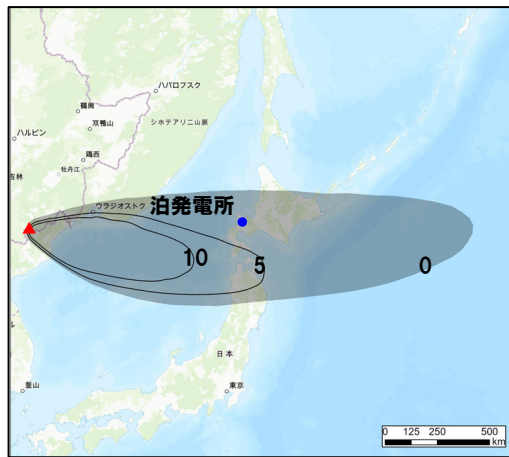


※白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) については、分布主軸が概ね敷地方向を向いており、敷地周辺は層厚0~5cmの範囲に該当するが、分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当することから、推定層厚は5~10cmと評価する (P244参照)。

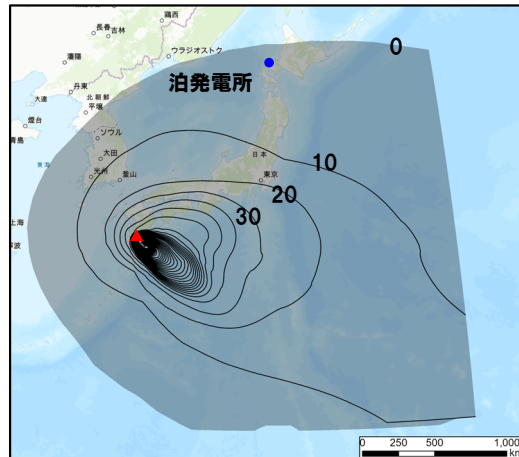
敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物の等層厚線図 (町田・新井 (2011) より当社が作成)

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

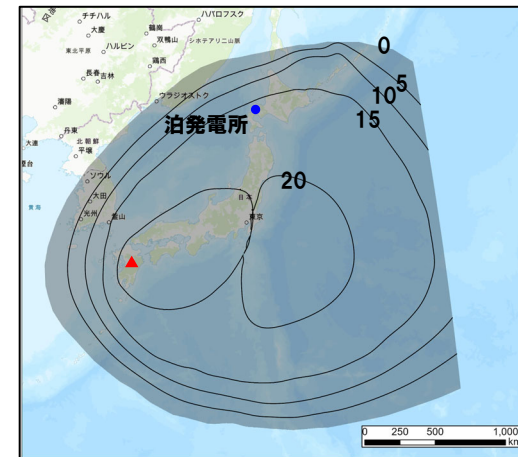
①文献に基づく降下火砕物の分布 (3/4)



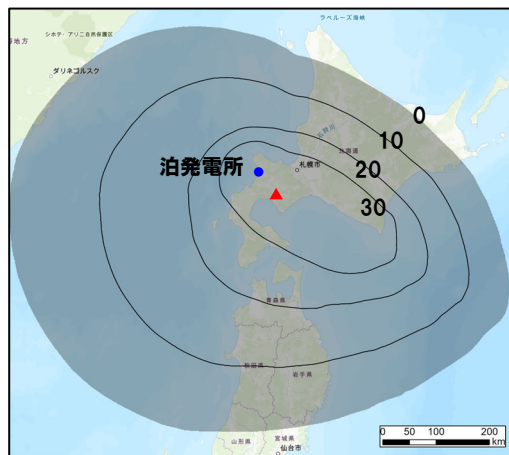
白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) ※1



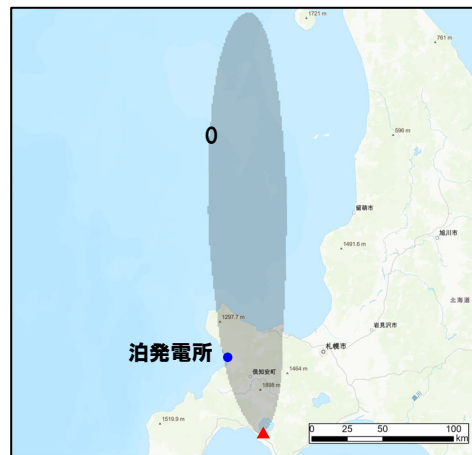
始良Tn火山灰 (AT)



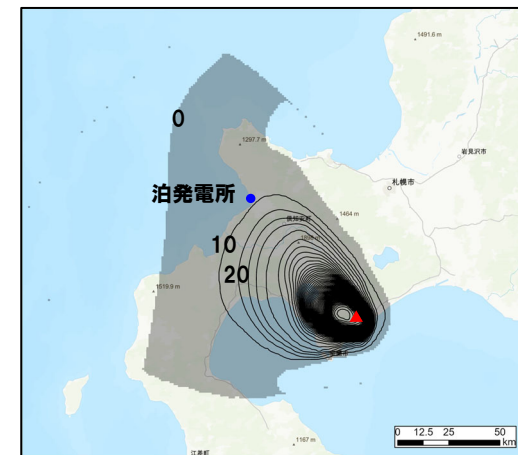
阿蘇4火山灰 (Aso-4) ※2



洞爺火山灰 (Toya)



有珠山2000年噴火 (4月4日) に伴い噴出した降下火砕物※3



クッタラ第2火山灰 (Kt-2)

敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物の層厚分布図※4 (Uesawa (2023) を基に当社が作成, 背景地図はESRI社提供の地形図を使用)

※1 白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) については, 分布主軸が概ね敷地方向を向いており, 敷地周辺は層厚0~5cmの範囲に該当するが, 分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当することから, 推定層厚は5~10cmと評価する (次頁参照)。

※2 等層厚線の中心部が不自然な眼鏡様を呈するのは, ArcGISの内挿補完によって生じた見かけ上のものである。

※3 敷地はごく微量の降灰 (層厚<0.01mm) 範囲に位置する。

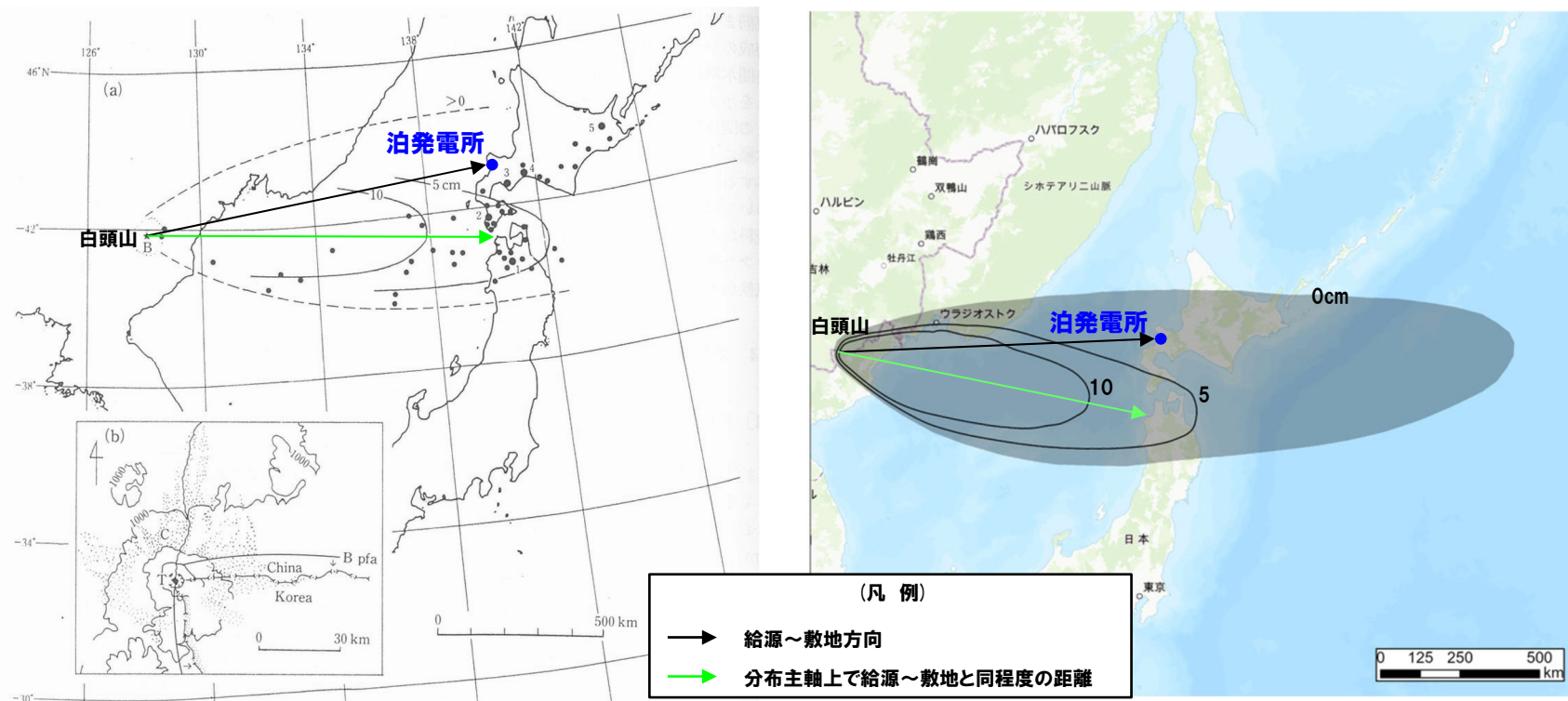
※4 図中の数字の単位はcm。灰色のハッチング部は層厚>0cmの領域を表す。等層厚線の間隔は, B-Tm及びAso-4は5cm間隔, それ以外は10cm間隔で示す。分布範囲外縁部が直線的な箇所は, 解析範囲外であることを示す。

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

①文献に基づく降下火砕物の分布 (4/4)

【白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) の分布状況】

- 町田・新井 (2011) によれば、白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) の分布主軸は概ね敷地方向を向いており、敷地周辺は層厚0~5cmの範囲に該当する。また、分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当する (左下図参照)。
- また、Uesawa et al. (2022) によれば、同様に、敷地周辺は層厚0~5cmの範囲に、分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当する (右下図参照)。



白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) の等層厚線図 (左図: 町田・新井 (2011) に加筆, 右図: Uesawa (2023) を基に当社が作成)

余白

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

② 地質調査結果 (1/4)

- 当社地質調査結果に基づき、敷地及び敷地近傍において確認される降下火砕物を整理した(整理結果の一覧表についてはP248参照)。
- なお、降下火砕物の影響評価の検討対象については、降下火砕物の純層に加え、保守的な考えに基づき、二次堆積物のうち、構成物が主に本質物からなる二次堆積物aも対象とした(降下火砕物の純層、二次堆積物等への細区分の考え方については、補足説明資料のP262～P263参照)。
- また、洞爺火山灰(Toya)の火山ガラスを多く含む堆積物は、本検討において降下火砕物由来として示しているが、火砕サージ由来か降下火砕物由来かを厳密に区分することは難しいと評価している。

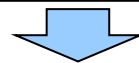
【敷地】

- 至近に実施した敷地内断層の活動性評価に関する地質調査においては、主に火山砕屑物からなる堆積物若しくは軽石又はスコリアを含む堆積物は認められない。
- 一方、1,2号炉調査時のF-1断層開削調査箇所のスケッチに記載されている火山灰(黄灰色A)及び火山灰(黄灰色B)については、以下の堆積物に対比される可能性が考えられるが、噴出年代及び給源が不明な降下火砕物である可能性を否定できないと解釈している。
 - ・洞爺火山灰(Toya)の火山ガラスを多く含む堆積物
 - ・阿蘇4火山灰(Aso-4)の純層又は二次堆積物

【敷地近傍】

(積丹半島西岸)

- 照岸地点で実施したボーリング調査(照岸1-3、照岸1-4及び照岸1-5)において、洞爺火山灰(Toya)の二次堆積物a及び二次堆積物bが認められる。
 - 古宇川左岸地点で実施したボーリング調査(神恵内1-1、神恵内1-2、神恵内1-3及び神恵内1-6)において、洞爺火山灰(Toya)の純層、二次堆積物a及び二次堆積物bが認められる。
 - 古宇川右岸地点で実施したボーリング調査(神恵内M-1、神恵内M-2及び神恵内M-3)において、洞爺火山灰(Toya)の純層、二次堆積物a及び二次堆積物bが認められる。
 - また、古宇川右岸地点で実施した神恵内M-2ボーリングにおいては、阿蘇4火山灰(Aso-4)の純層及び二次堆積物bが認められる。
- (岩内平野)(調査結果の詳細は補足説明資料4章参照)
- 梨野舞納地点で実施した露頭調査において、洞爺火山灰(Toya)の純層及び二次堆積物bが認められる。
 - また、岩内台地で実施したボーリング調査(H29岩内-2、H29岩内-3及びH29岩内-5)において、洞爺火山灰(Toya)の純層及び二次堆積物bが認められる。

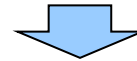


(次頁へ続く)

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

② 地質調査結果 (2/4)

(前頁からの続き)



- 敷地においては、層厚評価の検討対象となる堆積物は以下のとおりである。
 - ・火山灰(黄灰色A) 最大層厚:約18cm (F-1断層開削調査箇所)
 - ・火山灰(黄灰色B) 最大層厚:約23cm (F-1断層開削調査箇所)

- 敷地においては、層厚評価の検討対象となる堆積物は以下のとおりである。
 - ・洞爺火山灰(Toya)の純層 最大層厚:少なくとも70cm以上 (H29岩内-5ボーリング)
 - ・洞爺火山灰(Toya)の二次堆積物a 最大層厚:約40cm (照岸1-5ボーリング)
 - ・阿蘇4火山灰(Aso-4)の純層 最大層厚:約5cm (神恵内M-2ボーリング)

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

② 地質調査結果 (3/4)

敷地及び敷地近傍における地質調査結果

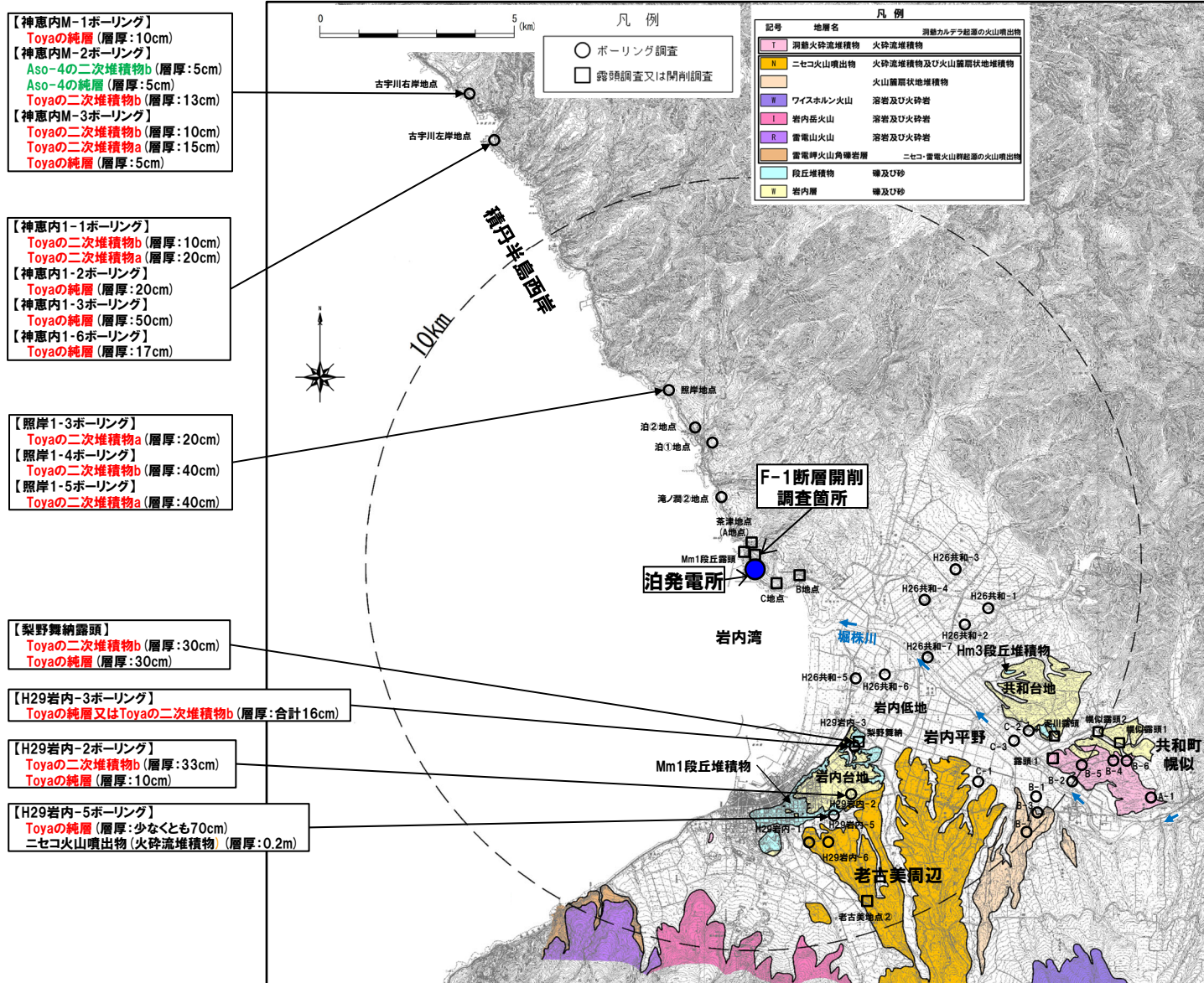
□ : 層厚評価の検討対象

地質調査地点		降下火砕物	噴出源	降下火砕物の層厚			掲載箇所				
				純層	二次堆積物a	二次堆積物b					
敷地	F-1断層開削調査箇所		火山灰(黄灰色B)	洞爺カルデラ or 阿蘇カルデラ or 給源不明	約23cm		補足説明資料の 2.3章				
			火山灰(黄灰色A)		約18cm						
敷地近傍	積丹半島西岸	照岸	照岸1-3ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	-	約20cm	-	R5.7.7審査会合 補足説明資料2 の5章		
			照岸1-4ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	-	-	約40cm		-	
			照岸1-5ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	-	約40cm	-		-	
		古宇川左岸	神恵内1-1ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	-	約20cm	約10cm		-	
			神恵内1-2ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約20cm	-	-		-	
			神恵内1-3ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約50cm	-	-		-	
			神恵内1-6ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約17cm	-	-		-	
			古宇川右岸	神恵内M-1ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約10cm	-		-	-
				神恵内M-2ボーリング	阿蘇4火山灰 (Aso-4)	阿蘇カルデラ	約5cm	-		約5cm	-
	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	-		-	約13cm	-				
	神恵内M-3ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約5cm	約15cm	約10cm	-				
	岩内平野	梨野舞納	露頭	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約30cm	-	約30cm	補足説明資料の 4章		
			H29岩内-2ボーリング	洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	約10cm	-	約33cm			
H29岩内-3ボーリング			洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	(約16cm)*	-	-				
H29岩内-5ボーリング			洞爺火山灰 (Toya)	洞爺カルデラ	少なくとも 70cm以上	-	-				

※H29岩内-3ボーリングに認められる火山灰質シルト層は、近接する梨野舞納地点との層相・層序対比から、洞爺火山灰 (Toya) の純層又は二次堆積物bに区分している(純層と二次堆積物bを合わせた層厚: 16cm)。当該堆積物は、火山灰分析を実施しておらず、純層と二次堆積物bそれぞれの層厚を示すことはできないことから、表中においては純層の欄に16cmと記載している。

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

② 地質調査結果 (4/4)



敷地及び敷地近傍において火山噴出物が認められる地点

5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

③ まとめ

○文献調査及び地質調査において抽出される降下火砕物は以下のとおり。

【文献調査結果】(補足説明資料2.1参照)

○敷地に到達した可能性のある降下火砕物の給源及び推定層厚は、以下のとおり。

・地理的領域外の火山:

- B-Tm (白頭山) (5~10cm*)
- AT (始良カルデラ) (0~5cm若しくは0~10cm)
- Aso-4 (阿蘇カルデラ) (15cm以上若しくは15~20cm)
- Kc-Hb (屈斜路カルデラ) (0~10cm)

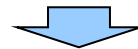
・地理的領域内の火山:

- Toya (洞爺カルデラ) (30cm以上)
- 2000年有珠山噴火 (有珠山) (0cm以上)
- Kt-2 (倶多楽・登別火山群) (10cm以下若しくは0~10cm)
- Spfa-1 (支笏カルデラ) (2cm以下)

【地質調査結果】(補足説明資料2.3章参照)

○当社地質調査により敷地及び敷地近傍において確認した降下火砕物及びその層厚は、以下のとおり。

- Toya (洞爺カルデラ) (少なくとも70cm以上)
- Aso-4 (阿蘇カルデラ) (5cm)
- 火山灰 (黄灰色B) (洞爺カルデラ, 阿蘇カルデラ又は給源不明) (最大層厚約23cm)
- 火山灰 (黄灰色A) (洞爺カルデラ, 阿蘇カルデラ又は給源不明) (最大層厚約18cm)



○Spfa-1及びToyaは、過去の巨大噴火に伴い噴出したものであり、4.2章において運用期間中の巨大噴火の発生可能性は十分小さいと評価される。

○このため、Spfa-1及びToyaを除き、最も層厚が大きい火山灰 (黄灰色B) (最大層厚約23cm) を、層厚評価の検討対象とする。

※文献に示される白頭山苦小牧火山灰 (B-Tm) の等層厚線図を踏まえると、敷地は層厚が0~5cmの範囲に該当するが、当該火山灰の分布主軸は概ね敷地方向を向いており、分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚が5~10cmの範囲に該当することから、層厚を5~10cmと推定している (P244参照)。

余白

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3. 1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3. 2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4. 1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4. 2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4. 2. 1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4. 2. 2 支笏カルデラの評価	P. 140
4. 2. 3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4. 3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4. 4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5. 1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5. 1. 1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5. 1. 2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5. 1. 3 設計に用いる降下火砕物	P.
5. 2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

・本章の説明内容

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出

以下項目については、今後説明予定

・「5. 1. 2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果

・「5. 1. 3 設計に用いる降下火砕物の層厚」

・「5. 2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」

・「6. 火山活動のモニタリング」

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

泊発電所における火山影響評価のうち影響評価の流れ

5 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

5.1 降下火砕物の影響評価

文献調査、当社地質調査及び降下火砕物シミュレーションを基に、敷地における影響評価の対象となる降下火砕物を抽出

5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物

○文献調査並びに敷地及び敷地近傍の地質調査結果を基に、影響評価の検討対象となる(敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある)降下火砕物を抽出

	降下火砕物名	給源	手法	推定層厚
地理的領域外	白頭山吾小牧(B-Tm)	白頭山	文献調査	5~10cm
			地質調査	—
	給良Tn(AT)	給良カルデラ	文献調査	0~5cm若しくは0~10cm
			地質調査	—
	阿蘇4(Aso-4)	阿蘇カルデラ	文献調査	15cm以上若しくは15~20cm
		地質調査	5cm	
地理的領域内	クツチャロ-羽根(Kc-Hb)	屈斜路カルデラ	文献調査	0~10cm
			地質調査	—
	支笏第1降下軽石(Spfa-1)	支笏カルデラ	文献調査	2cm以下
			地質調査	—
	クツラ第2火山灰(Kt-2)	倶多楽・室別火山群	文献調査	10cm以下若しくは0~10cm
		地質調査	—	
給源不明	洞爺火山灰(Toya)	洞爺カルデラ	文献調査	30cm以上
			地質調査	70cm以上
	2000年有珠山噴火	有珠山	文献調査	0cm以上
			地質調査	—
	火山灰(黄灰色B)	不明	文献調査	—
			地質調査	約23cm
	火山灰(黄灰色A)	不明	文献調査	—
			地質調査	約18cm

Spfa-1及びToyaは、過去の巨大噴火に伴い噴出したものであり、運用期間中の巨大噴火の発生可能性は十分小さいと評価される。このため、Spfa-1及びToyaを除き、最も層厚が大きい火山灰(黄灰色B)(最大層厚約23cm)を、層厚評価の検討対象とする。

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

降下火砕物シミュレーションの検討対象候補として以下を抽出(抽出数:37テフラ)

- ・文献及び地質調査の結果から、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物(抽出数:10テフラ)
- ・原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分に小さいと判断できない13火山を給源とし、分布状況が広がり有する降下火砕物(抽出数:27テフラ)

(プロセス1) 文献調査及び地質調査の結果、①及び②に該当する降下火砕物以外のものを抽出(抽出数:31テフラ)

- ①文献調査の結果、分布主軸が概ね敷地の方向を向いており、文献に示される等層厚線図から敷地における層厚が評価可能な降下火砕物
- ②地質調査の結果、敷地における層厚評価が可能な降下火砕物

(プロセス2) 現状において同規模の噴火の可能性のある降下火砕物を抽出(抽出数:22テフラ)

(プロセス3) 分布主軸上で給源~敷地と同程度の距離の地点での層厚を比較し、同一火山を給源とする降下火砕物の中で最も厚いものを抽出(抽出数:10テフラ)

(プロセス4) 敷地との距離が最も近い火山による降下火砕物及び噴出物量が最も大きい降下火砕物を抽出(抽出数:2テフラ)

Kt-1(噴出物量が最大), Yo-1(敷地との距離が最も近い)

Kt-1の降下火砕物シミュレーションは、現在実施中であることから、シミュレーション結果については今後説明予定

5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚

○文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーションの結果を踏まえ適切な層厚を検討する。

5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価

○降下火砕物を除く地理的領域内の13火山による以下の火山事象は、火口から敷地までの距離、地形状況等を踏まえ、いずれも敷地への影響はないと評価
土石流・火山泥流及び洪水、火山ガス、火山から発生する飛来物、大気現象、火山性地震、熱水系及び地下水の異常

5. 1. 2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (1/11)

- 降下火砕物シミュレーションの検討対象候補として、以下のⅠ及びⅡの降下火砕物を抽出した。
 - Ⅰ.文献及び地質調査の結果から、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物 (P241～P250参照)
 - Ⅱ.原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分に小さいと判断できない13火山を給源とし、分布状況が広がりをも有する降下火砕物
- なお、上記Ⅱについては、以下の理由から、須藤ほか(2007)において等層厚線図が示されているものを対象とした。
 - ・同一の手法に基づきながら国内の火山の各降下火砕物の等層厚線図を作成し、火砕流や溶岩等を除いた降下火砕物単独の噴出物体積を統一的に算出している。
- ただし、降下火砕物の体積が0.1km³以下とされているものは、シミュレーションの対象外と判断し、この段階で抽出対象から除外した。
- 上記において抽出した降下火砕物を対象に、「シミュレーション実施必要性の観点」及び「敷地への影響の観点」から、以下のプロセス1～4を実施し、Kt-1(倶多楽・登別火山群)及びYo-1(羊蹄山)を降下火砕物シミュレーションの対象とした。
- プロセス1～プロセス4におけるスクリーニング結果を次頁～P257に示す。

- ・プロセス1 : 文献調査及び地質調査の結果、a及びbに該当する降下火砕物以外のものを抽出
 - a.文献調査の結果、分布主軸が概ね敷地の方向を向いており、文献に示される等層厚線図から敷地における層厚が評価可能な降下火砕物
 - b.地質調査の結果、敷地における層厚評価が可能な降下火砕物
- ・プロセス2 : 現状において同規模の噴火の可能性のある降下火砕物を抽出
- ・プロセス3 : 降下火砕物シミュレーションにおいて、敷地への影響が大きい降下火砕物を対象とするため、分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離の地点での層厚を比較し、同一火山を給源とする降下火砕物の中で最も厚いものを抽出
- ・プロセス4 : より敷地への影響が大きい降下火砕物として、敷地との距離が最も近い火山による降下火砕物及び噴出物量が最も大きい降下火砕物を抽出

シミュレーション実施
必要性の観点

敷地への影響の観点

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (2/11)

I. 文献調査及び地質調査の結果から敷地近傍に到達したとされる降下火砕物

灰色字: 当該プロセスにおいて除外される降下火砕物

地理的領域外

- ・B-Tm (白頭山) ・AT (始良カルデラ)
- ・Aso-4 (阿蘇カルデラ) ・Kc-Hb (屈斜路カルデラ)

給源不明

- ・火山灰 (黄灰色A) ・火山灰 (黄灰色B)

地理的領域内

- ・Toya (洞爺カルデラ)
- ・2000年有珠山噴火 (有珠山)
- ・Kt-2 (倶多楽・登別火山群)
- ・Spfa-1 (支笏カルデラ)

II. 原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分に小さいと判断できない13火山を給源とし、分布状況が広がり有する降下火砕物

- ・Spfa-5, Spfa-6, Spfa-7 (Ssfa), Spfa-10 (Ssfa) (支笏カルデラ)
- ・En-a (恵庭岳) ・n.En-b (風不死岳) ・Ta-a, Ta-b, Ta-c, Ta-d (樽前山)
- ・Kt-1, Kt-3, Kt-Hy, Kt-6, Kt-7^{※1} (倶多楽・登別火山群) ・Nj-Os (洞爺中島)
- ・Us-b (有珠山) ・Yo-1, Yo.Ps-2, Yo-3 (羊蹄山)
- ・1940年噴火, Ko-a, Ko-c2, Ko-d, Ko-f, Ko-g, Ko-h (北海道駒ヶ岳)

※1 Kt-7については、文献において降下火砕物の分布は示されていないが、噴出規模が概算として「VEI7 class」とされていること及び当社で算出した噴出物 (pfa) 体積が10~40km³であることを踏まえ、抽出した。

プロセス1

文献調査及び地質調査の結果、敷地における降下火砕物の層厚評価が可能な降下火砕物以外を抽出

地理的領域外

- ・B-Tm (白頭山) ・AT (始良カルデラ)
- ・Aso-4 (阿蘇カルデラ) ・Kc-Hb (屈斜路カルデラ)

給源不明

- ・火山灰 (黄灰色A) ・火山灰 (黄灰色B)

地理的領域内

- ・Spfa-1, Spfa-5, Spfa-6, Spfa-7 (Ssfa), Spfa-10 (Ssfa) (支笏カルデラ)
- ・En-a (恵庭岳) ・n.En-b (風不死岳) ・Ta-a, Ta-b, Ta-c, Ta-d (樽前山)
- ・Kt-1, Kt-2, Kt-3, Kt-Hy, Kt-6, Kt-7 (倶多楽・登別火山群)
- ・Toya (洞爺カルデラ) ・Nj-Os (洞爺中島) ・Us-b, 2000年有珠山噴火 (有珠山)
- ・Yo-1, Yo.Ps-2, Yo-3 (羊蹄山)
- ・1940年噴火, Ko-a, Ko-c2, Ko-d, Ko-f, Ko-g, Ko-h (北海道駒ヶ岳)

【当プロセスにおいて抽出対象外 (除外) とした降下火砕物とその理由】

- B-Tm, Kc-Hb, 2000年有珠山噴火及びKt-2は、分布主軸が概ね敷地の方向を向いており、文献に示される等層厚線図から敷地における層厚が評価可能であることから、抽出対象外 (P241~P244参照)。
- 火山灰 (黄灰色A) 及び火山灰 (黄灰色B) については、敷地に認められるものであることから、抽出対象外。

(次頁へ続く)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (3/11)

(前頁からの続き)

プロセス2

現状において同規模の噴火の可能性がある降下火砕物を抽出

地理的領域外

- ・AT (始良カルデラ)
- ・Aso-4 (阿蘇カルデラ)

給源不明

地理的領域内

- ・Spfa-1, Spfa-5, Spfa-6, Spfa-7 (Ssfa), Spfa-10 (Ssfa) (支笏カルデラ)
- ・En-a (恵庭岳) ・n.En-b (風不死岳) ・Ta-a, Ta-b, Ta-c, Ta-d (樽前山)
- ・Kt-1^{※2}, Kt-3^{※2}, Kt-Hy^{※2}, Kt-6^{※2}, Kt-7 (倶多楽・登別火山群)
- ・Toya (洞爺カルデラ) ・Nj-Os (洞爺中島) ・Us-b (有珠山)
- ・Yo-1, Yo.Ps-2, Yo-3 (羊蹄山)
- ・1940年噴火, Ko-a, Ko-c2, Ko-d, Ko-f, Ko-g, Ko-h (北海道駒ヶ岳)

【当プロセスにおいて抽出対象外(除外)とした降下火砕物とその理由】

- 支笏カルデラの巨大噴火 (Spfa-1を噴出した噴火) 及び洞爺カルデラの巨大噴火 (Toyaを噴出した噴火) の可能性評価の結果、運用期間中に巨大噴火が発生する可能性は十分に小さいと評価されることから、Spfa-1及びToyaは抽出対象外。
- また、支笏カルデラについては、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さいと評価されることから、設計対応不可能な火山事象の評価と同様、巨大噴火以前に噴出した降下火砕物 (Spfa-5～Spfa-10 (Ssfa)) については抽出対象外。
- AT, Aso-4及びKt-7と同規模の噴火の可能性に関する検討の結果、運用期間中に発生する可能性は十分小さいと考えられることから、抽出対象外 (補足説明資料5章参照)。

※2 R5.10.6審査会合資料においては、現状においてKt-1, Kt-2, Kt-3, Kt-Hy及びKt-6と同規模の珪長質火砕噴火が発生する可能性は小さいと評価していたが、現在の噴火活動である登別ステージの噴出物が珪長質な組成を示していることを踏まえ、今回、これらと同規模の噴火が運用期間中に発生する可能性を考慮した (補足説明資料5.3章参照)。

(次頁へ続く)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (4/11)

↓ (前頁からの続き)

プロセス3

分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離の地点での層厚を比較し、同一火山を給源とする降下火砕物の中で最も厚いものを抽出 (次頁参照)

地理的領域外

給源不明

地理的領域内

- En-a (恵庭岳) •n.En-b (風不死岳) •Ta-a, Ta-b, Ta-c, Ta-d (樽前山)
- Kt-1 (倶多楽・登別火山群)
- Kt-3, Kt-Hy, Kt-6 (有珠山)
- Nj-Os (洞爺中島) •Us-b (有珠山)
- Yo-1, Yo.Ps-2, Yo-3 (羊蹄山)
- 1940年噴火, Ko-a, Ko-c2^{※3}, Ko-d, Ko-f, Ko-g, Ko-h (北海道駒ヶ岳)

【当プロセスにおいて抽出した降下火砕物とその理由】

- 各降下火砕物の分布を体系的に取りまとめている須藤ほか (2007) の等層厚線図に基づき層厚を比較。
- 比較の結果、同一火山を給源とする降下火砕物の中から以下を抽出。
 - Ta-d (樽前山)
 - Kt-1 (倶多楽・登別火山群)
 - Yo-1 (羊蹄山)
 - Ko-d, Ko-f及びKo-h (北海道駒ヶ岳)

※3 須藤ほか (2007) によれば、既存の公表資料中の等層厚線図のうち、線が閉じていないものについては、図学的な処理を施して未完成の各等層厚線を補間し、各降下火砕物の体積を計算したとされている。その結果、体積を計算した降下火砕物のうち、須藤ほか (2007) 時点において既に公表されている文献に示される体積と比較して、求めた体積のほうが小さかったユニットは19%、大きかったユニットは5%であったとされている。Ko-c2については、個別文献による噴出量 (山元ほか (2014) による0.1km³ (DRE)) と比較して極端に値が大きいため、遠方まで等層厚線図が外挿されることで、体積が過大に計算されている可能性があると考え、プロセス3の段階でシミュレーション対象から除外した。

プロセス4

敷地との距離が最も近い火山による降下火砕物及び噴出物量が最も大きい降下火砕物を抽出 (次頁参照)

地理的領域外

給源不明

地理的領域内

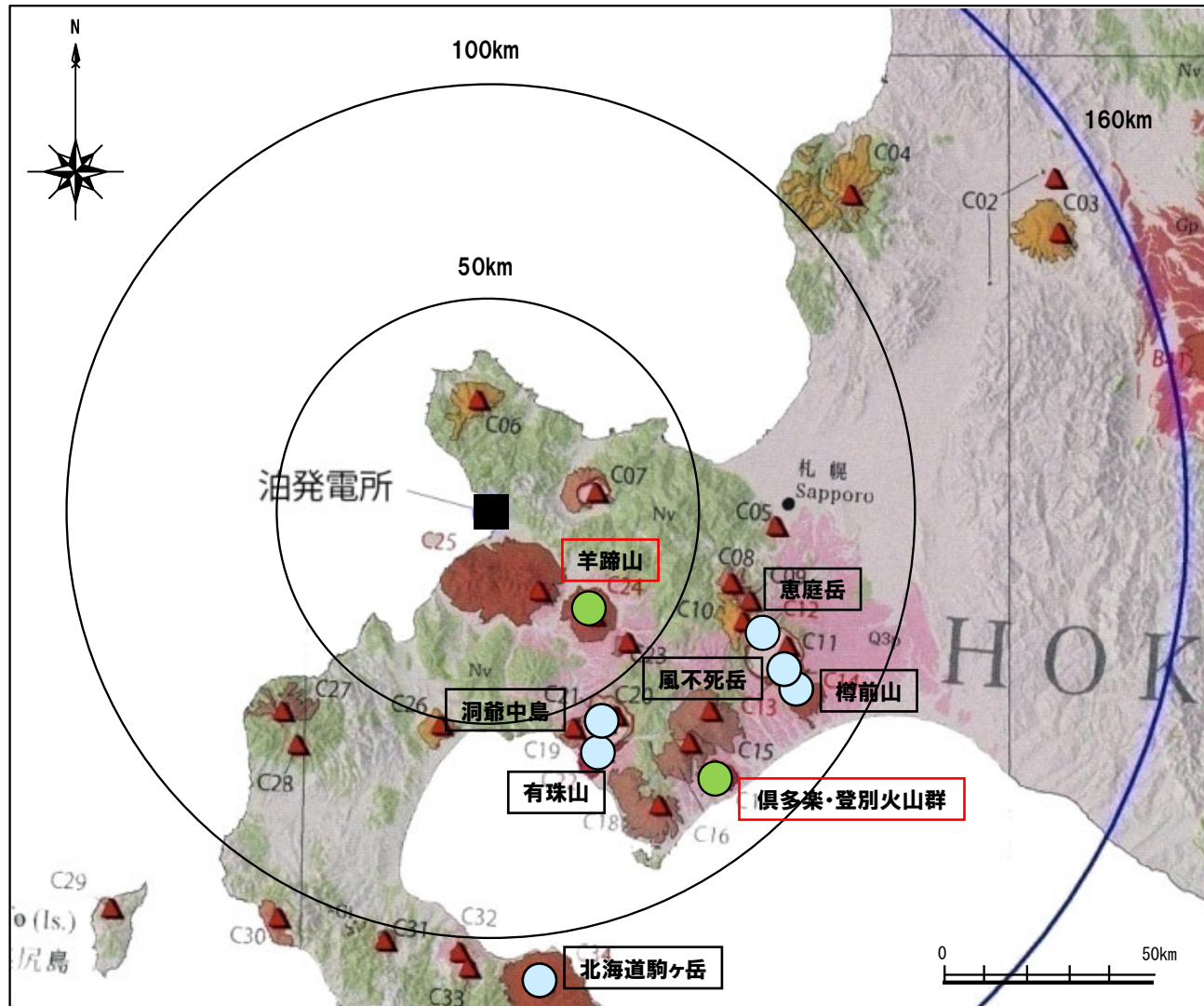
- En-a (恵庭岳) •n.En-b (風不死岳) •Ta-d (樽前山)
- Kt-1 (倶多楽・登別火山群)
- Nj-Os (洞爺中島) •Us-b (有珠山)
- Yo-1 (羊蹄山)
- Ko-d, Ko-f, Ko-h (北海道駒ヶ岳)

【当プロセスにおいて抽出した降下火砕物とその理由】

- 敷地と給源の距離が最も近いYo-1 (羊蹄山) 及び噴出物量が最大であるKt-1 (倶多楽・登別火山群) を抽出。

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (5/11)



火山の位置図

- プロセス3で抽出された火山
- プロセス4で抽出された火山
 - ・敷地との距離が最も近い: 羊蹄山
 - ・噴出物量が最も大きい: 倶多楽・登別火山群

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (6/11)

各種調査の結果から抽出された降下火砕物

火山名	テフラ名	プロセス1	プロセス2	プロセス3	プロセス4		
		文献調査及び地質調査の結果、敷地における降下火砕物の層厚評価が可能な降下火砕物以外を抽出	現状において同規模の噴火の可能性がある降下火砕物を抽出	分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離の地点での層厚を比較し、同一火山を給源とする降下火砕物の中で最も厚いものを抽出	敷地との距離が最も近い火山による降下火砕物及び噴出量が最も大きい降下火砕物を抽出	須藤ほか(2007)による噴出量 (km ³)	敷地との距離 (km)
支笏カルデラ	Spfa-5	○	×				
	Spfa-6	○	×				
	Spfa-7 (Ssfa)	○	×				
	Spfa-10 (Ssfa)	○	×				
恵庭岳	En-a	○	○	50~100cm	5.64	68.6	
	n.En-b	○	○	0cm	0.84	77.7	
樽前山	Ta-a	○	○	10~25cm		80.2	
	Ta-b	○	○	25~50cm			
	Ta-c	○	○	25~50cm			
	Ta-d	○	○	50~100cm	1.87		
倶多楽・登別火山群	Kt-1	○	○	50~100cm	14.73	80.5	
	Kt-2	×					
		(0~10cm)					
	Kt-3	○	○	50~100cm	11.67		
	Kt-Hy	○	○	0cm			
洞爺カルデラ		○	○	50~100cm	3.96		
	洞爺中島	○	○	10~25cm	0.81	55.1	
有珠山	2000年有珠山噴火	×				60.7	
		(0.01mm以下)					
	Us-b	○	○	50~100cm	1.50		
羊蹄山	Yo-1	○	○	50~100cm	0.53	33.8	
	Yo.Ps-2	○	○	10~25cm			
	Yo-3	○	○	25~50cm			
北海道駒ヶ岳	1940年噴火	○	○	0cm		109.0	
	Ko-a	○	○	0cm			
	Ko-c2	○	○	50~100cm*			
	Ko-d	○	○	0~10cm	1.54		
	Ko-f	○	○	0~10cm	0.63		
	Ko-g	○	○	0cm	-		
	Ko-h	○	○	0~10cm	2.49		
白頭山	B-Tm	×					
		(5~10cm)					
屈斜路カルデラ	Kc-Hb	×					
		(0~10cm)					
洞爺カルデラ、阿蘇カルデラ又は給源不明	火山灰(黄灰色A)	×					
		(約18cm)					
洞爺カルデラ、阿蘇カルデラ又は給源不明	火山灰(黄灰色B)	×					
		(約23cm)					

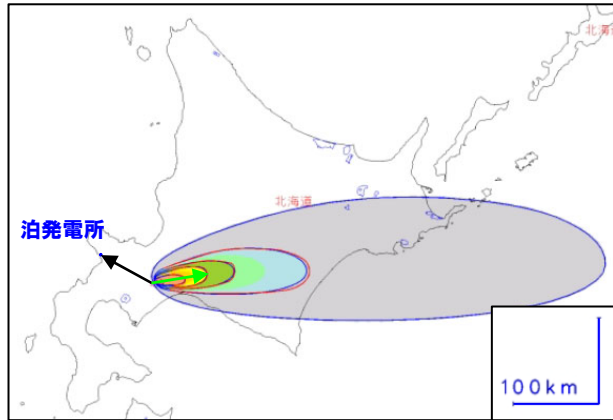
- : プロセス1において抽出対象外とした降下火砕物
- : プロセス2において抽出対象外とした降下火砕物
- : プロセス3において抽出対象外とした降下火砕物
- : プロセス4において抽出対象外とした降下火砕物
- : シミュレーション対象となる降下火砕物

※須藤ほか(2007)によれば、既存の公表資料中の等層厚線図のうち、線が閉じていないものについては、図学的な処理を施して未完成の各等層厚線を補間し、各降下火砕物の体積を計算したとされている。その結果、体積を計算した降下火砕物のうち、須藤ほか(2007)時点において既に公表されている文献に示される体積と比較して、求めた体積のほうが小さかったユニットは19%、大きかったユニットは5%であったとされている。Ko-c2については、個別文献による噴出量(山元ほか(2014)による0.1km³(DRE))と比較して極端に値が大きいため、遠方まで等層厚線図が外挿されることで、体積が過大に計算されている可能性があると考え、プロセス3の段階でシミュレーション対象から除外した。

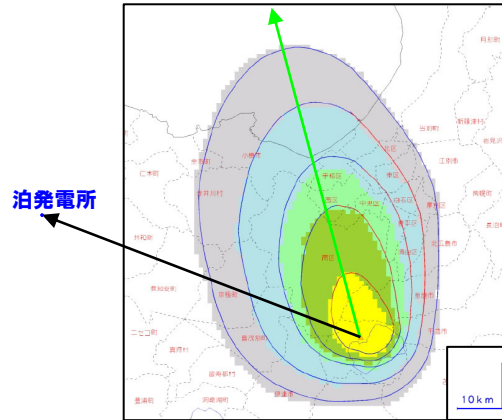
- : 抽出
- × : 抽出対象外

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

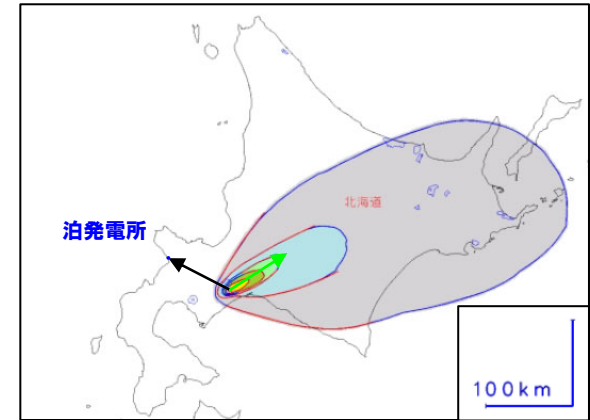
① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (7/11)



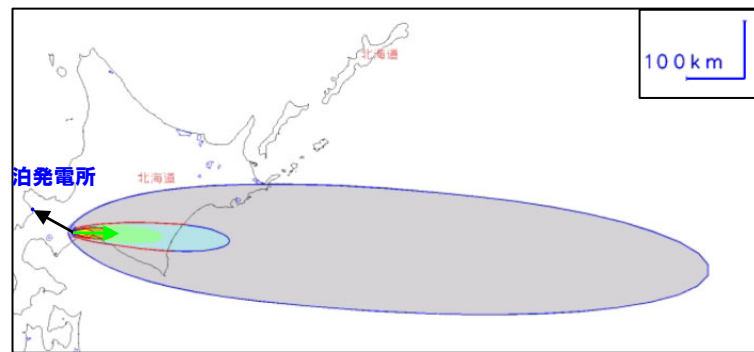
En-a
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における
層厚:50~100cm)



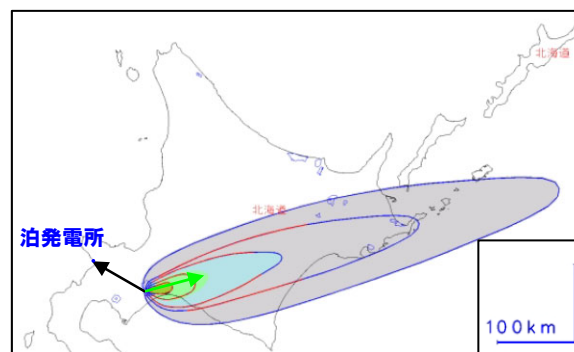
n.En-b
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における
層厚:0cm)



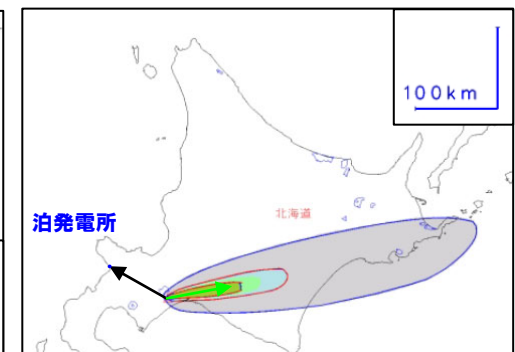
Ta-a
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における
層厚:10~25cm)



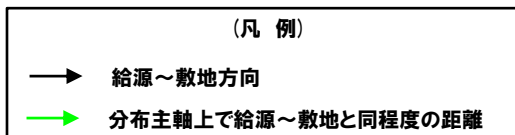
Ta-b (分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:25~50cm)



Ta-c
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における
層厚:25~50cm)



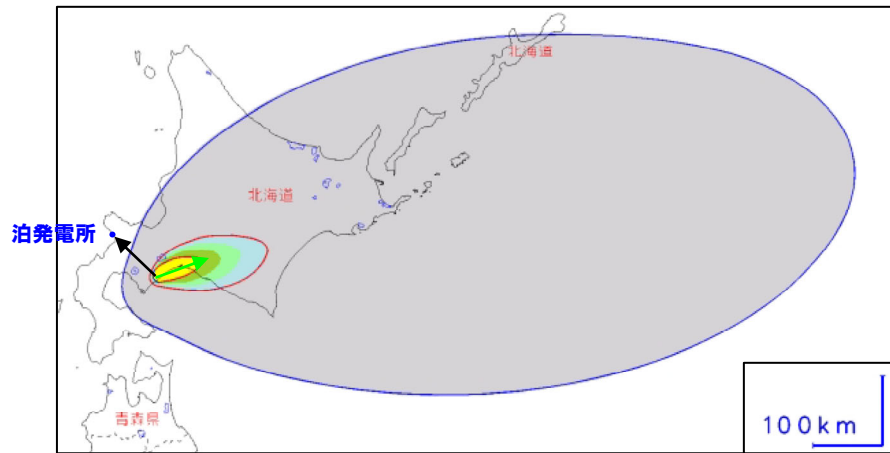
Ta-d
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における
層厚:50~100cm)



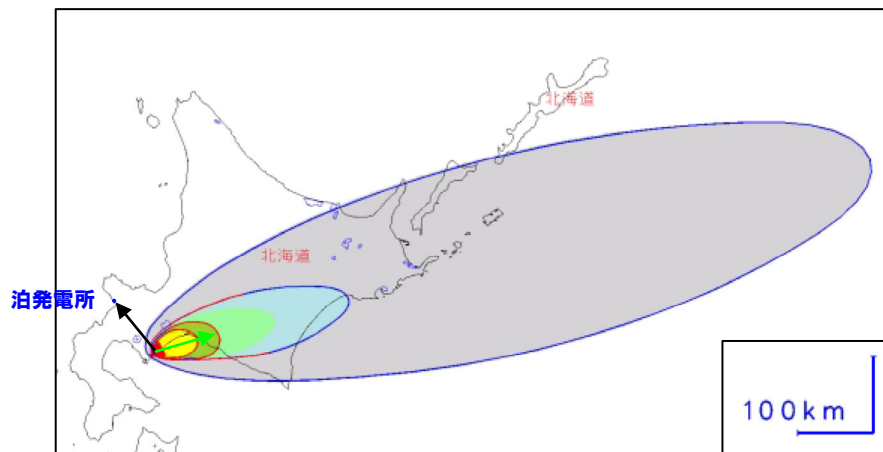
分布状況が広がり有るとされている降下火砕物の等層厚線図 (須藤ほか (2007) に加筆)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (8/11)

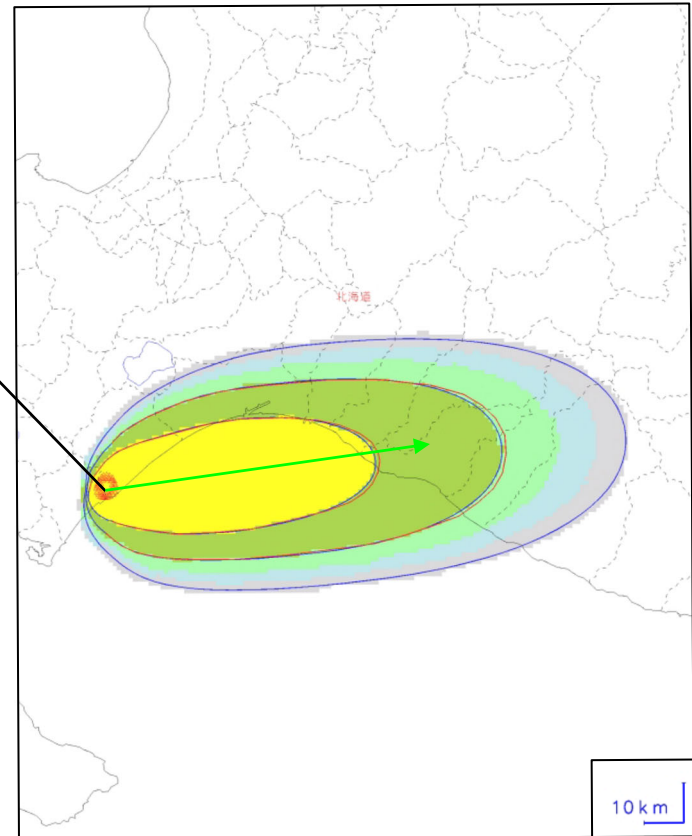


Kt-1 (分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:50~100cm)

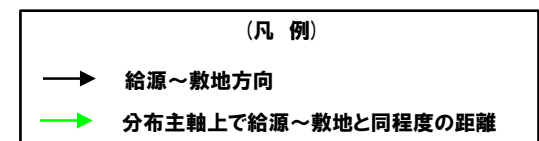


Kt-3 (分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:50~100cm)

泊発電所



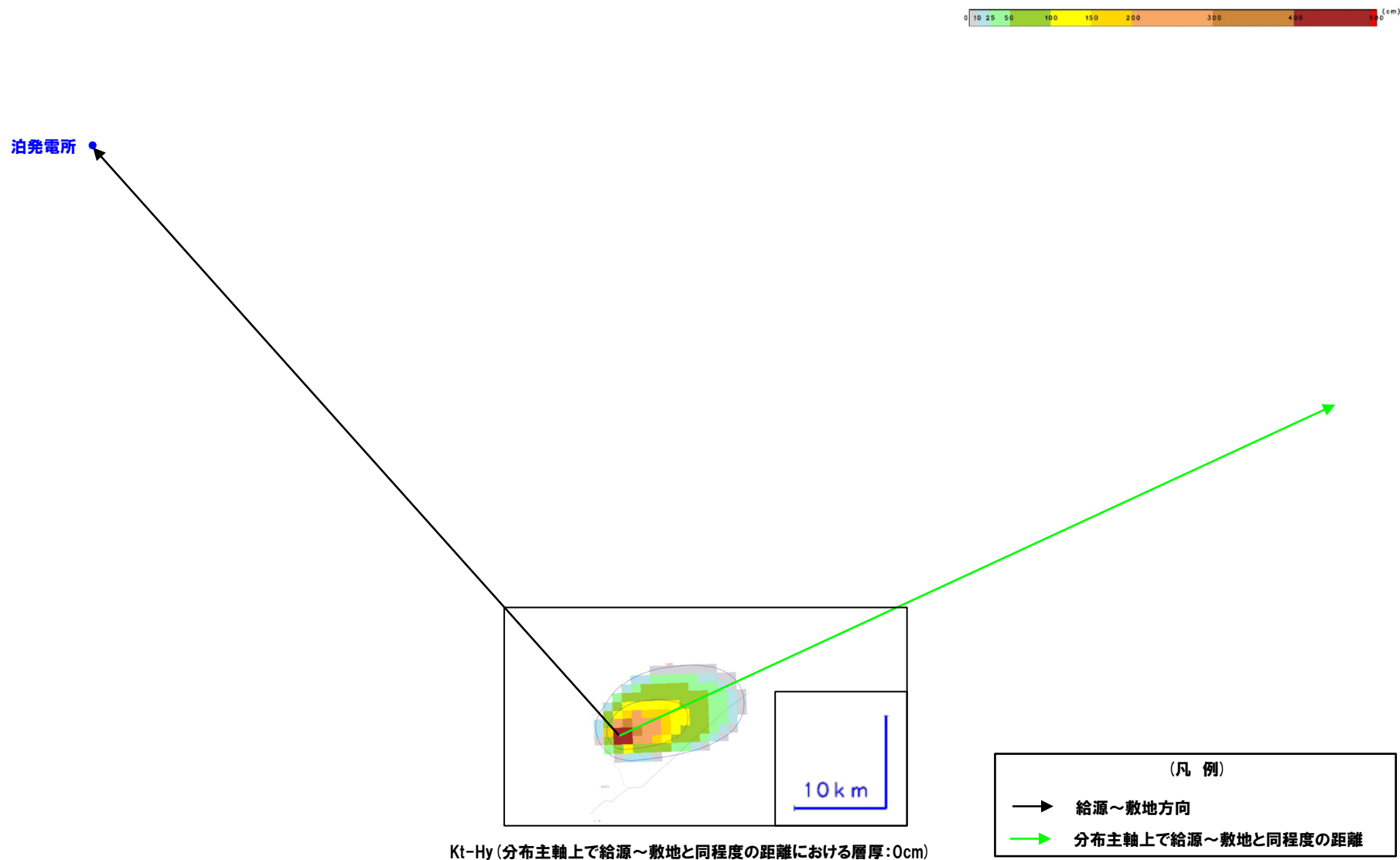
Kt-6 (分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:50~100cm)



分布状況が広がり有るとされている降下火砕物の等層厚線図 (須藤ほか (2007) に加筆)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

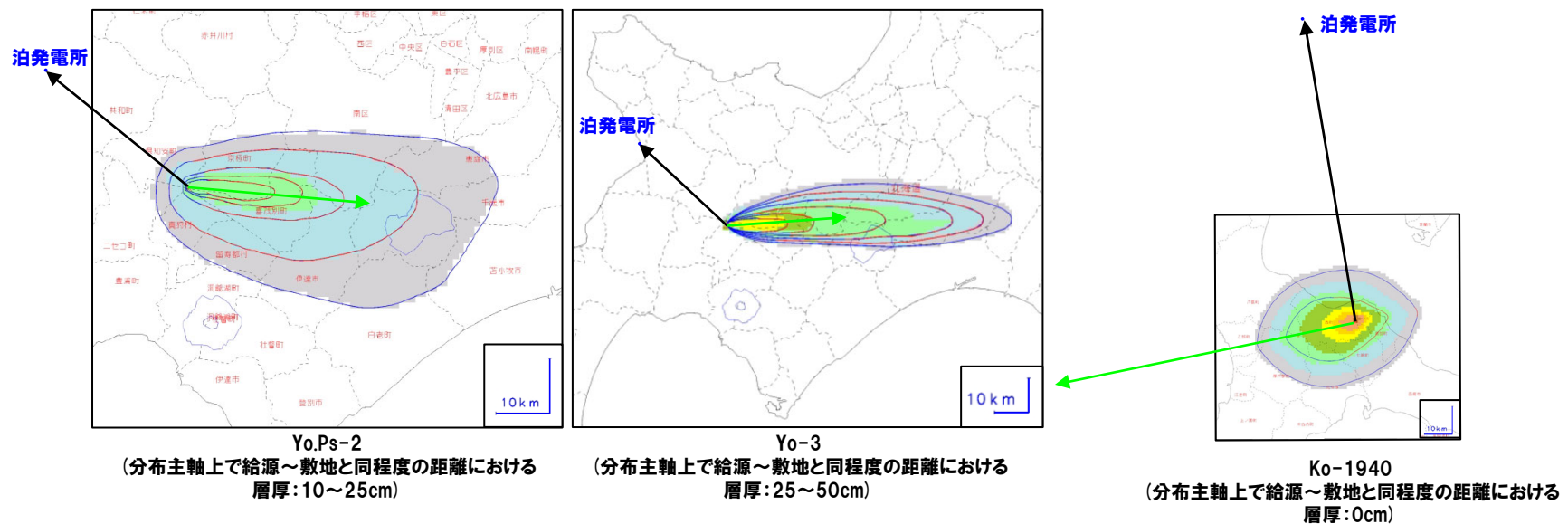
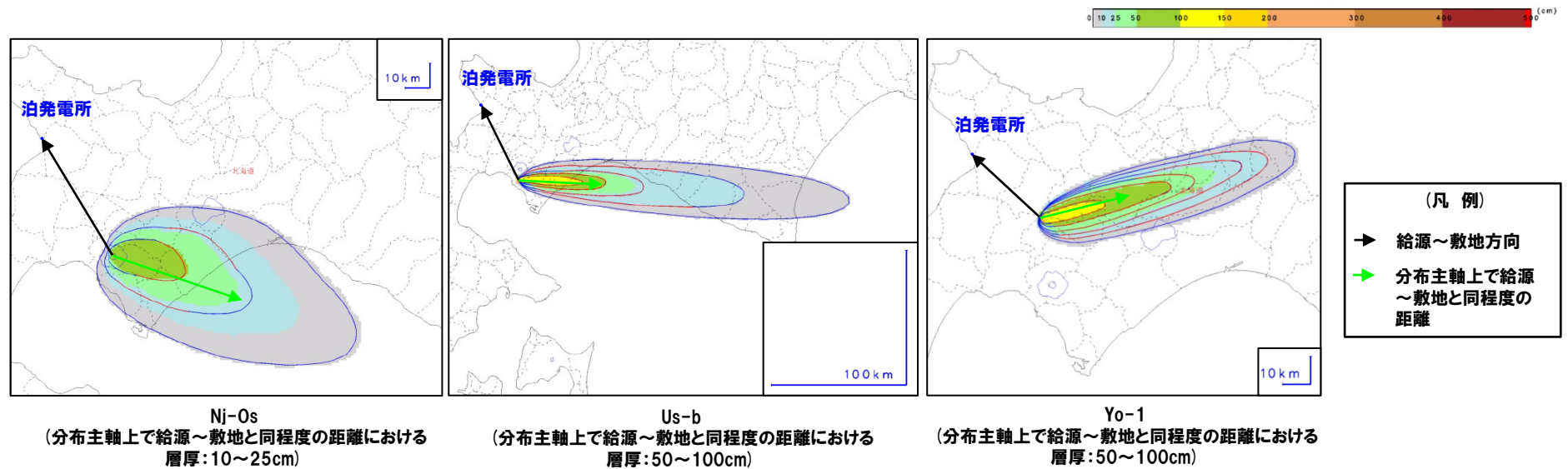
① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (9/11)



分布状況が広がりをもつとされている降下火砕物の等層厚線図 (須藤ほか (2007) に加筆)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

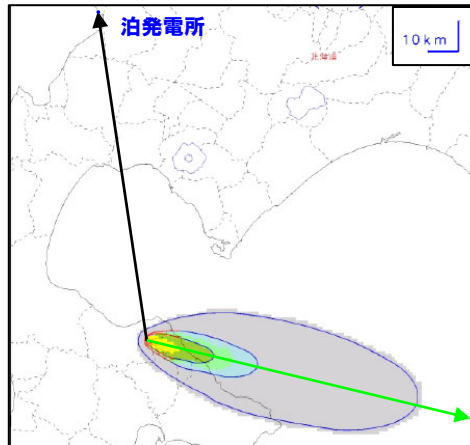
① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (10/11)



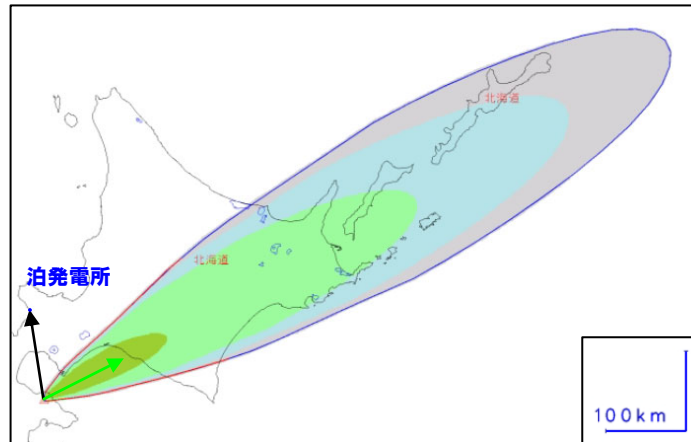
分布状況が広がりをもつとされている降下火砕物の等層厚線図 (須藤ほか (2007) に加筆)

5.1.2 降下火砕物シミュレーション

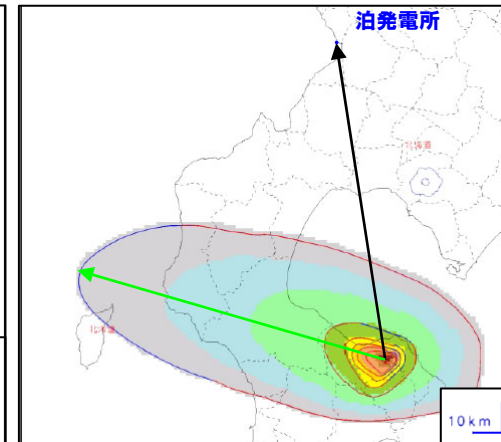
① シミュレーション対象となる降下火砕物の抽出 (11/11)



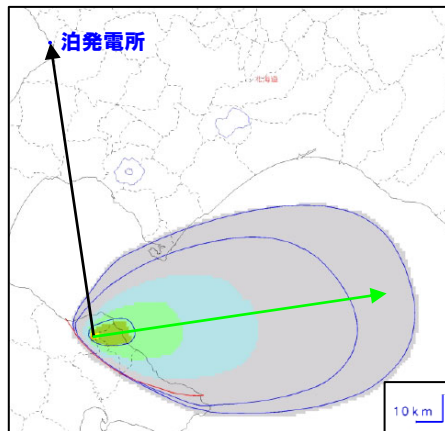
Ko-a
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:0cm)



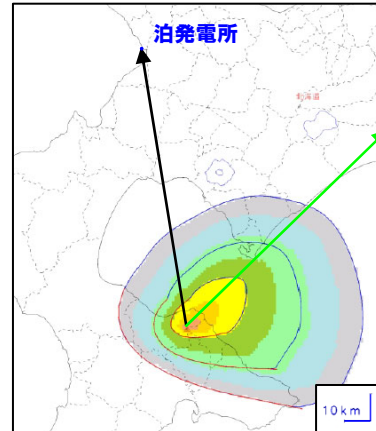
Ko-c2
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:50~100cm)



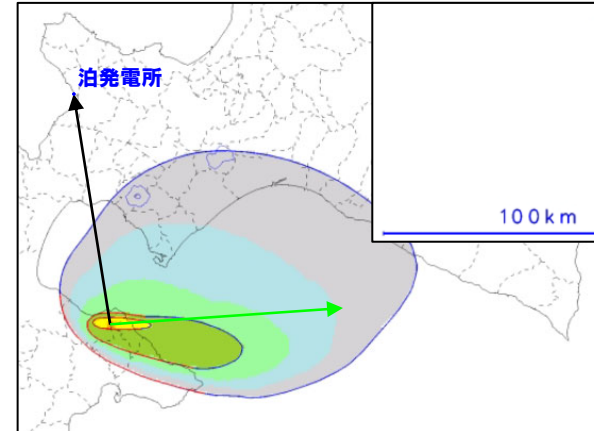
Ko-d
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:0~10cm)



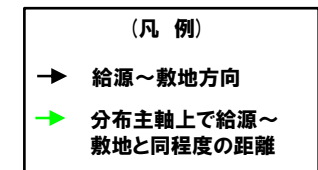
Ko-f
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:0~10cm)



Ko-g
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:0cm)



Ko-h
(分布主軸上で給源～敷地と同程度の距離における層厚:0~10cm)



分布状況が広がり有るとされている降下火砕物の等層厚線図 (須藤ほか (2007) に加筆)

余白

7. 火山影響評価のまとめ

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 44
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 68
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 72
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 78
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. 86
4.1 火山活動の規模と設計対応不可能な火山事象の評価	P. 90
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 132
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 134
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 140
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 182
4.3 最後の巨大噴火以降の噴火に伴う設計対応不可能な火山事象の到達可能性評価	P. 223
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 228
5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価	P. 236
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 239
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 239
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 252
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P.
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P.
6. 火山活動のモニタリング	P.
7. 火山影響評価のまとめ	P. 266
参考文献	P. 271

以下項目については、今後説明予定

- ・「5.1.2 降下火砕物シミュレーション」のうち解析結果
- ・「5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚」
- ・「5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価」
- ・「6. 火山活動のモニタリング」

7. 火山影響評価のまとめ

一部修正 (R5/7/7審査会合)

- 立地評価のまとめを以下に示す。
- また、影響評価及び火山モニタリングについては、今回掲載している内容及び今後説明予定の事項をP270に示す。

【3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出】

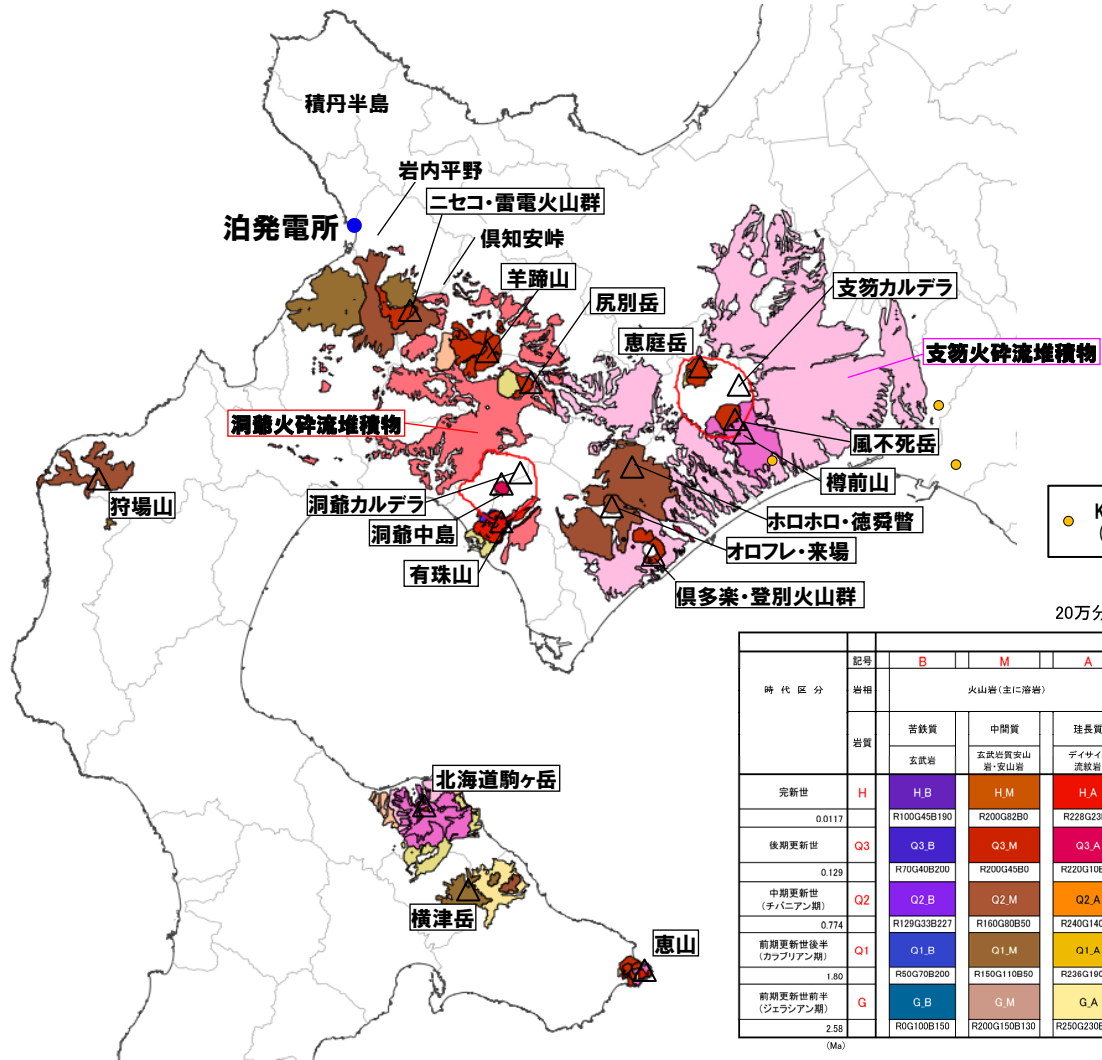
- 地理的領域にある第四紀火山については、中野ほか編(2013)「日本の火山(第3版)」及び産業技術総合研究所「日本の火山(DB)」等から32火山を抽出した。
- 上記32火山のうち、**完新世に活動があった火山(7火山)**及び**完新世に活動を行っていないものの将来の活動可能性が否定できない火山(6火山)**の計13火山を、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した。
 - ・完新世に活動があった火山(7火山):支笏カルデラ(後カルデラ火山含む)、倶多楽・登別火山群、洞爺カルデラ(後カルデラ火山含む)、羊蹄山、ニセコ・雷電火山群、北海道駒ヶ岳、恵山
 - ・将来の活動可能性が否定できない火山(6火山):ホロホロ・徳舜誓、オロフレ・来馬、尻別岳、狩場山、勝淵山、横津岳

【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】

- 原子力発電所の運用期間中における活動可能性が十分小さいと判断できない13火山について、各火山事象の影響範囲と敷地から各火山までの距離等について検討した結果、設計対応不可能な火山事象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と評価される。
- なお、過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラ及び洞爺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。

7. 火山影響評価のまとめ

再掲 (R5/7/7審査会合)



● Kt-7pfl確認地点 (Amma-Miyasaka et al.,2020)

20万分の1日本火山図凡例

時代区分	記号	岩相区分							
		B	M	A	P	I	D	F	s
岩相	火山岩(主に溶岩)	火山岩(主に溶岩)			火山噴出物	貫入岩	岩層なだれ 堆積物*	降下火砕物	山麓扇状地・窪地・ 地すべり・沖積堆積 物など
		苦鉄質 玄武岩	中間質 玄武岩質安山 岩・安山岩	珷長質 デイサイト 流紋岩	岩質は問わない	岩質は問わない	岩質は問わない	岩質は問わない	岩質は問わない
岩質								顕示が不可な 場合に黒色	
完新世	H	H.B	H.M	H.A	H.P		H.D	H.F	s
0.0117	R100G45B190	R200G82B0	R28G23B0	R238G105B202		R230G220B130	R255G225B225		
後期更新世	Q3	Q3.B	Q3.M	Q3.A	Q3.P		Q3.D	Q3.F	
0.129	R70G40B200	R200G45B0	R220G10B80	R255G190B225		R255G190B150	R245G230B225		
中期更新世 (チヌニアン期)	Q2	Q2.B	Q2.M	Q2.A	Q2.P	Q2.I	Q2.D		
0.774	R129G33B227	R160G80B50	R240G140B0	R255G112B123	R160G250B100	R230G210B95			
前期更新世後半 (カフリアン期)	Q1	Q1.B	Q1.M	Q1.A	Q1.P	Q1.I	Q1.D		
1.80	R50G70B200	R150G110B50	R236G190B0	R220G120B150	R160G230B0	R255G200B150			
前期更新世前半 (ジェランアン期)	G	G.B	G.M	G.A	G.P	G.I	G.D		
2.58	R0G100B150	R200G150B130	R250G230B150	R170G100B120	R170G190B50	R255G240B130			
(Ma)								R220G220B220	

*一層土状堆積物を示す



原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した13火山の火山噴出物の分布 (産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)「20万分の1日本火山図」を基に作成)

【5. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価】

- 降下火砕物の影響評価については、5.1.1章に掲載した文献調査、敷地及び敷地近傍の地質調査の結果を踏まえた降下火砕物の層厚に加え、降下火砕物シミュレーションの結果から、最も層厚の大きいものを層厚評価の検討対象とする。
- 降下火砕物シミュレーションは、5.1.2章にシミュレーション対象となる降下火砕物の抽出までを掲載しているが、火砕物シミュレーションについては、現在実施中である。
- このため、降下火砕物シミュレーションの結果及び設計に用いる降下火砕物の層厚等については今後説明予定。
- 地理的領域内の火山による降下火砕物を除く火山事象の影響評価についても、今後説明予定。

【6. 火山活動のモニタリング】

- 立地評価の結果を踏まえたモニタリング監視対象火山の抽出、モニタリング実施方法及び火山の状態に応じた対処方針について、今後説明予定。

- (1) 中野 俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚 治・山元孝広・岸本清行編 (2013) : 日本の火山 (第3版), 200 万の1地質編集図, No.11, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- (2) 西来邦章・伊藤順一・上野龍之編 (2012, 2015) : 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース.
- (3) 中川光弘・後藤芳彦・新井計雄・和田恵治・板谷徹丸 (1993) : 中部北海道, 滝川地域の中新世-鮮新世玄武岩のK-Ar年代と主成分化学組成: 東北日本弧-千島弧, 島弧会合部の玄武岩単成火山群, 岩鉱, 第88巻, 第8号, pp.390-401.
- (4) 新エネルギー総合開発機構 (1987a) : 昭和61年度全国地熱資源総合調査 (第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 地熱調査成果図集.
- (5) 新エネルギー総合開発機構 (1986) : 昭和60年度全国地熱資源総合調査 (第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ① (ニセコ地域) 調査 火山岩分布年代調査報告書 要旨.
- (6) 児玉 浩・宇井忠英・中川光弘 (1998) : ニセコ火山群の火山活動史, 日本岩石鉱物鉱床学会 平成9年度学術講演会予稿集, p.8.
- (7) 勝井義雄・岡田 弘・中川光弘 (2007) : 北海道の活火山, 北海道新聞社.
- (8) 松尾良子・中川光弘 (2017) : 北海道南西部ニセコ火山群, イワオヌプリ火山の形成史と活動年代, 日本地球惑星科学連合2017年大会講演要旨, SVC50-P13.
- (9) 気象庁編 (2013) : 日本活火山総覧 (第4版).
- (10) 小疇 尚・野上道男・小野有五・平川一臣編 (2003) : 日本の地形2 北海道, 東京大学出版会.
- (11) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S., Furukawa, R. (2020) : Stratigraphy and chronology of silicic tephras in the Shikotsu-Toya Volcanic Field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in SW Hokkaido, Quaternary International, 562, pp.58-75.
- (12) 宝田晋治・中川光弘・宮坂瑞穂・山元孝広・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2022) : 支笏カルデラ支笏火砕流堆積物分布図, 大規模火砕流分布図, no. 2, 産総研地質調査総合センター, 34p.
- (13) 産業技術総合研究所 (2021) : 令和2年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究.
- (14) 山元孝広 (2014) : 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図, 地質調査総合センター研究資料集, No.613, 産総研地質調査総合センター.
- (15) Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T., Tomiya, A. (2018) : Stratigraphy and lithofacies of the Toya ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the caldera-forming eruption at Toya caldera, Journal of Geography, 127 (2), 191-227.
- (16) 石田正夫・三村弘二・広島俊男 (1991) : 20万分の1地質図幅「岩内」, 通商産業省工業技術院地質調査所.
- (17) 嵯峨山 積・星野フサ・井島行夫・近藤玲介・関根達夫・小田桐 亮・宮入陽介・横山祐典 (2021) : 古倶知安湖の検証—その2—: 北海道倶知安町の上部更新統真狩別層の14C年代値, 火山灰, 花粉および珪藻の分析, 総合地質, 5-1, pp.71-80.
- (18) 井上 隆・関根達夫・岡村 聡・小田桐 亮・嵯峨山 積 (2022) : 北海道倶知安町高砂の法面に現れた古倶知安湖堆積物, 総合地質, 6-1, pp.47-56.
- (19) 山縣耕太郎 (1994) : 支笏およびクッタラ火山のテフロクロロジー, 地学雑誌, 第103巻, 第3号, pp.268-285.
- (20) 産業技術総合研究所編 (2003) : 20万分の1数値地質図幅集「北海道南部」.

- (21) 三浦大助・古川竜太・荒井健一 (2022) : 恵山火山地質図, 地質調査総合センター.
- (22) 下鶴大輔・荒牧重雄・井田喜明・中田節也編 (2008) : 火山の辞典 (第2版), 朝倉書店.
- (23) 青木陽介 (2016) : 火山における地殻変動研究の最近の発展, 火山, 第61巻, 第2号, pp.311-344.
- (24) 一柳昌義・高橋浩晃・大園真子 (2021) : 臨時観測によるニセコ火山群の地震活動, 北海道大学地球物理学研究報告, 84, pp.21-28.
- (25) 国土地理院 (2023) : 宇宙から国土をくまなくスキャンします! 一だいち2号による全国の変動分布図が完成一, 2023年報道発表資料.
- (26) 下司信夫 (2016) : 大規模火砕噴火と陥没カルデラ: その噴火準備と噴火過程, 火山, 第61巻, 第1号, pp.101-118.
- (27) 東宮明彦 (2016) : マグマ溜まり: 噴火準備過程と噴火開始条件, 火山, 第61巻, 第2号, pp.281-294.
- (28) Nakajima, J., Matsuzawa, T. and Hasegawa, A. (2001) : Three-dimensional structure of Vp, Vs and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, Journal of geophysical research, Vol.106, No.B10, pp.21843-21857.
- (29) 中道治久 (2022) : 火山における3次元地震波速度トモグラフィー実践法, 火山, 第67巻, 第2号, pp.207-220.
- (30) 後藤忠徳・三ヶ田 均 (2008) : 電磁気法探査 (EM 法探査) 技術の現状と展望-地震探査との統合型解析に向けて-, 地学雑誌, 第117巻, 第6号, pp.997-1010.
- (31) Yamaya, Y., Mogi, T., Honda, R., Hase, H., Hashimoto, T. and Uyeshima, M. (2017) : Three-dimensional resistivity structure in Ishikari Lowland, Hokkaido, northeastern Japan-Implications to strain concentration mechanism, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 18 (2), pp.735-754.
- (32) Ichihara, H., Mogi, T., Satoh, H. and Yamaya, Y. (2019) : Electrical resistivity modeling around the Hidaka collision zone, northern Japan: regional structural background of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake (Mw 6.6), Earth, Planets and Space (2019) pp.71-100.
- (33) 大久保泰邦・秋田藤夫・田中明子 (1998) : 地温勾配図作成と地下温度構造を求める試み-北海道の例-, 日本地熱学会誌, 第20巻, 第1号.
- (34) 金田泰明・後藤義瑛・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫 (2020) : 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移, 産総研地質調査総合センター研究資料集, No. 699, 産総研地質調査総合センター, 75p.
- (35) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2022) : 大規模噴火データベース, 産総研地質調査総合センター.
- (36) 第四紀火山カタログ委員会編 (2000) : 日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会.
- (37) 産業技術総合研究所 (2019) : 平成31年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究.
- (38) 中川光弘 (1993) : 後支笏カルデラ火山群の形成史・活動様式およびマグマ系, 計画研究「火山災害の規模と特性」報告書, 文部科学省研究費自然災害特別研究, 27-42.
- (39) 古川竜太・中川光弘 (2010) : 樽前火山地質図, 地質調査総合センター.
- (40) Tanaka, A., Yamano, M., Yano, Y., and Sasada, M. (2004) : Geothermal gradient and heat flow data in and around Japan (I) : Appraisal of heat flow from geothermal gradient data, Earth Planet Sp 56, pp.1191-1194.

- (41) 西田泰典・橋本武志 (2007) :北海道における地殻, 上部マントルの熱的構造:総合報告, 北海道大学地球物理学研究報告, 70, pp.1-12.
- (42) Matsubara, M., Ishiyama, T., No, T., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N. and Kamiya, S (2022) : Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Earth, Planets Space 74, 171 (2022).
- (43) 今泉俊文・宮内崇裕・堤 浩之・中田 高 (2018) :活断層詳細デジタルマップ [新編], 東京大学出版会.
- (44) Zhao, D., Horiuchi, S., Hasegawa, A. (1992) :Seismic velocity structure of the crust beneath the Japan Islands, Tectonophysics, 212, pp.289-301.
- (45) Matsubara M., H. Sato, T. Ishiyama, and Horne, A.V. (2017) :Configuration of the Moho discontinuity beneath the Japanese Islands derived from three-dimensional seismic tomography, Tectonophysics, 710-711, pp.97-107.
- (46) Yokoyama, I. and Aota, M. (1965) :Geophysical Studies on Sikotu Caldera, Hokkaido, Japan, Journal of Faculty of Science, Hokkaido University, Series 7, Geophysics, 2 (2), 103-122.
- (47) 気象庁 (2020) :第147回 火山噴火予知連絡会資料.
- (48) 気象庁 (2021) :第149回 火山噴火予知連絡会資料.
- (49) 樽前山火山防災協議会 (2022) :樽前山火山避難計画.
- (50) 町田 洋・新井房夫 (2011) :新編 火山灰アトラス [日本列島とその周辺], 東京大学出版会.
- (51) 李 仁雨 (1993) :洞爺カルデラ火砕噴火の噴出物:全岩化学組成の特徴,日本火山学会講演予稿集, p.87.
- (52) Lee, I.W. (1996) :Formation of Toya Caldera, Southwest Hokkaido, Japan, 神戸大学博士論文.
- (53) 鷹澤好博・臼井理沙・田中 瞳・東 剛 (2007) :SAR法による洞爺火砕流堆積物の赤色熱ルミネセンス年代測定, 地質学雑誌, 第113, pp.470-478.
- (54) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2021) :1万年噴火イベントデータ集 (ver.2.5), 産総研地質調査総合センター.
- (55) 後藤芳彦・孫入 匠・檀原 徹・東宮昭彦 (2021) :北海道洞爺カルデラ地域における先カルデラ期の火砕流堆積物の発見:立香火砕流堆積物, 日本火山学会講演予稿集, p.49.
- (56) Miyabuchi, Y., Okuno, M., Torii, M., Yoshimoto, M., Kobayashi, T. (2014) :Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya Volcano, Hokkaido, northern Japan, J. Volcanol. Geotherm. Res., 281, 34-52.
- (57) 東宮明彦・宮城磯治 (2020) :洞爺噴火の年代値, 火山, 第65巻, 第1号, pp.13-18.
- (58) 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺 幾久子・東宮昭彦 (2007) :有珠火山地質図 (第2版), 地質調査総合センター.
- (59) Nakagawa, M., Matsumoto, A., Yoshizawa, M. (2022) :Re-investigation of the sector collapse timing of Usu volcano, Japan, inferred from reworked ash deposits caused by debris avalanche, Front. Earth Sci., 10: 967043.
- (60) 産業技術総合研究所 (2022) :令和3年度原子力規制庁委託成果報告書 巨大噴火プロセス等の知見整備に係る研究.
- (61) Goto, Y., Matsuzuka, S., Kameyama, S. and Danhara, T. (2015b) :Geology and Evolution of the Nakajima Islands (Toya Caldera, Hokkaido, Japan) Inferred from Aerial Laser Mapping and Geological Field Surveys. Bull. Volcanol. Soc. Japan, 60, 17-33.

- (62) 中川光弘・松本亜希子・田近淳・廣瀬 亘・大津 直 (2005) :有珠火山の噴火史の再検討:寛文噴火(1663年)と明和噴火(1769年)に挟まれた17世紀末の先明和噴火の発見, 火山, 第50巻, 第2号, p.39-52
- (63) Goto, Y., and Danhara, T. (2018) :Subsurface Structure of Toya Caldera, Hokkaido, Japan, as Inferred from CSAMT Resistivity Survey, Journal of Geography, 127(2), pp.139-156.
- (64) Matsushima, N., Oshima, H., Ogawa, Y., Takakura, S., Satoh, H., Utsugi, M., Nishid, Y. (2001) :Magma prospecting in Usu volcano, Hokkaido, Japan, using magnetotelluric soundings, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 109 (2001), 263-277.
- (65) 小森省吾・高倉伸一・光畑裕司・横田俊之・内田利弘・牧野雅彦・加藤洋介・山本和哉 (2022) :北海道洞爺カルデラ周辺における陸-海-湖域接合の広帯域MT法調査, 日本地球惑星科学連合2022年大会講演要旨, SEM14-08.
- (66) Hata, M, Takakura, S., Matsushima, N., Hashimoto, T., and Utsugi, M. (2016) :Crustal magma pathway beneath Aso caldera inferred from three-dimensional electrical resistivity structure, Geophysical Research Letters.
- (67) 和田信彦・八幡正弘・大島弘光・横山英二・鈴木豊重 (1988) :西胆振地域の地質と地質と地熱資源, 地下資源調査所調査研究報告第19号, 北海道立地下資源調査所.
- (68) 気象庁 (2022) :第151回 火山噴火予知連絡会資料.
- (69) 有珠山火山防災協議会 (2011) :有珠山火山防災マップ.
- (70) Tamura, M., Oka, D., Okazaki, N., Suzuki, K., Hashimoto, T., Mogi, T. (2022) : Magnetotelluric survey and three-dimensional resistivity structure in and around the Niseko area, southwestern Hokkaido, Geothermics, 105, 102496.
- (71) Oka, D., Tamura, M., Mogi, T., Nakagawa, M., Takahashi, H., Ohzono, M., and Ichiyangi, M. (2023) :Conceptual model of supercritical geothermal system in Shiribeshi Region, Hokkaido, Japan, Geothermics, 108, 102617.
- (72) Uesawa, S., Toshida, K., Takeuchi, S., and Miura, D. (2022) :Creating a digital database of tephra fallout distribution and frequency in Japan, Journal of Applied Volcanology, 11, 14. (TephraDB_Prototype_ver1.2)
- (73) 須藤 茂・猪俣隆行・佐々木 寿・向山 栄 (2007) :我が国の降下火山灰データベース作成, 地質調査研究報告, 第58 巻, 第9/10号, p. 261-321.

(WEB)

- (74) 産業技術総合研究所 日本の火山データベース:<https://gbank.gsj.jp/volcano/>
- (75) 気象庁 火山活動解説資料:https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_vact_doc/monthly_vact.php
- (76) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) 20万分の1日本火山図 (ver. 1.0d), 産総研地質調査総合センター:
<https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/>
- (77) 気象庁地震月報 (カタログ編):<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/index.html>
- (78) 防災科学技術研究所:https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/
- (79) 気象庁一元化処理検測値データ:<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/>
- (80) Uesawa, S. (2023) :TephraDB_Prototype_ver1.3 (1.3) [Data set] . Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7857457>