

## **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. 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. 160
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 214
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. 257
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. 324
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 326
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P.
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P.
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. 335
6. 火山活動のモニタリング	P. 336
6.1 監視対象火山	P. 338
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	P. 339
7. 火山影響評価のまとめ	P. 340
参考資料	P. 348
参考文献	P. 359

「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」及び「6. 火山活動のモニタリング」の詳細については今後説明予定

# 5.1 降下火砕物の影響評価(概要版)

## 降下火砕物の層厚評価の概要

### 【敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物】

- 立地評価における各種調査の結果から、検討対象となる降下火砕物を抽出した。
  - その結果、地理的領域外に給源を持つ白頭山苦小牧火山灰(B-Tm)、始良Tn火山灰(AT)、阿蘇4火山灰(Aso-4)及びクツチャロ羽幌(Kc-Hb)、地理的領域内に給源を持つ支笏第1降下軽石(Spfa-1)、クツタラ第2火山灰(Kt-2)、洞爺火山灰(Toya)及び2000年有珠山噴火を抽出した。
  - また、敷地のF-1断層開削調査箇所においては、火山灰(黄灰色B)及び火山灰(黄灰色A)<sup>※1</sup>を抽出した。
- ↓
- これらの降下火砕物のうち、給源が特定できかつ運用期間中における同規模の噴火の可能性が十分小さいと評価できるもの以外で、最大の層厚を示すものは給源不明の火山灰(黄灰色B)であり、層厚は最大で約23cmである。

	降下火砕物名	給源	同規模の噴火の可能性	手法	最大層厚
地理的領域外	白頭山苦小牧(B-Tm)	白頭山	あり	文献調査	5~10cm
				地質調査	—
	始良Tn(AT)	始良カルデラ	なし	文献調査	0~5cm
				地質調査	—
地理的領域内	阿蘇4(Aso-4)	阿蘇カルデラ	なし	文献調査	15~20cm
				地質調査	5cm
	クツチャロ-羽幌(Kc-Hb)	屈斜路カルデラ	なし	文献調査	0~10cm
				地質調査	—
地理的領域内	支笏第1降下軽石(Spfa-1)	支笏カルデラ	なし	文献調査	<2cm
				地質調査	— <sup>※2</sup>
	クツタラ第2火山灰(Kt-2)	倶多楽・登別火山群	なし	文献調査	0~10cm
				地質調査	—
給源不明 <sup>※1</sup>	洞爺火山灰(Toya)	洞爺カルデラ	なし	文献調査	30cm以上
				地質調査	70cm以上
	2000年有珠山噴火	有珠山	あり	文献調査	<0.01mm
				地質調査	—
給源不明 <sup>※1</sup>	火山灰(黄灰色B) <sup>※1</sup>	不明	不明	文献調査	—
				地質調査	約23cm
給源不明 <sup>※1</sup>	火山灰(黄灰色A) <sup>※1</sup>	不明	不明	文献調査	—
				地質調査	約18cm

### 【降下火砕物シミュレーション】

- 各種調査の結果から、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物を抽出した。
  - これに加えて、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火山を給源とする降下火砕物のうち、分布状況が広がりをもつものを抽出した。
  - そのうち、現状において同規模の噴火の可能性のある降下火砕物から、等層厚線、噴出規模及び敷地までの距離を比較することで、En-a(恵庭岳)及びYo-1(羊蹄山)を抽出し、降下火砕物シミュレーション対象とした。
- ↓
- 降下火砕物シミュレーションを実施した結果、En-a(恵庭岳)及びYo-1(羊蹄山)の層厚は、以下のとおり。  
 ・En-a(恵庭岳):16cm  
 ・Yo-1(羊蹄山):4.1cm

### 【設計に用いる降下火砕物の層厚】

- 最も層厚の大きい降下火砕物は給源不明の火山灰(黄灰色B)の約23cmであることを踏まえ、設計に用いる降下火砕物の層厚は30cmとする。

※1 敷地のF-1断層開削調査箇所のスケッチに火山灰等と記載されている複数の堆積物のうち、「火山灰(黄灰色)(上位)」及び「火山灰(黄灰色)(下位)」(以降、火山灰(黄灰色)のうち、下位のものを「火山灰(黄灰色A)」、上位のものを「火山灰(黄灰色B)」と呼称)については、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ことから、層厚評価の検討対象として取り扱う。一方、同開削調査箇所において火山灰等と記載されている複数の堆積物のうち、表土直下に分布する「火山灰(灰白色)」及び「火山灰質シルト」は、スケッチに示されるとおり、旧地表面に沿って堆積しており、比較的新しい堆積物であると考えられることを踏まえると、敷地に認められる支笏第1降下軽石(Spfa-1)、洞爺火山灰(Toya)及び対象火山灰に対比される火山ガラスが混在する堆積物と同様、同火山ガラスが混在する堆積物であると推定されることから、降下火砕物の層厚評価の検討対象としては扱わない(詳細は補足説明資料2の1.5章参照)。

※2 支笏第1降下軽石(Spfa-1)は、宝田ほか(2022)を踏まえると、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ものの、地質調査においては認められない。一方で、支笏カルデラから敷地を越えて約50km離れた敷地前面海域において当該火山ガラスを多く含む堆積物(層厚2cm)が確認されている(補足説明資料1のP140~143参照)。

## 5.1 降下火砕物の影響評価（概要版）

### 降下火砕物シミュレーション（結果概要）

- 敷地における降下火砕物の層厚を評価するため、Tephra2<sup>※</sup>を使用し、降下火砕物シミュレーションを実施した。
- シミュレーションの対象となる降下火砕物として、次頁～P329に示すフローに従い、En-a（恵庭岳）及びYo-1（羊蹄山）を抽出した。
- Tephra2によるシミュレーションのフローを以下に示す。

※Tephra2：南フロリダ大学で開発された粒子で構成された噴煙柱を設定し、重力による落下と風の影響を考慮する移流拡散モデル

#### 【対象となる降下火砕物の抽出】（次頁～P330に掲載）

現状における同規模の噴火の可能性評価、等層厚線、噴出規模及び敷地までの距離を比較し、シミュレーションの対象となる降下火砕物を抽出した。



#### 【降下火砕物シミュレーションに使用した風向・風速データ】

#### 【再現解析】（En-aを例にした概要版をP332に掲載）

文献の等層厚線を再現できるパラメータをパラメータスタディにより検討し、以降の影響解析に用いるパラメータを決定した。



#### 【影響解析】（En-aを例にした概要版をP333に掲載）

（影響解析に用いる仮想風の検討）  
敷地方向への仮想風を作成するため、月別の風を用いた解析を実施し、最も敷地に影響のある月を選定した。

（敷地方向への仮想風を用いた検討）  
上記で選定した月の風を用いて敷地方向への仮想風を作成し、解析を実施した。

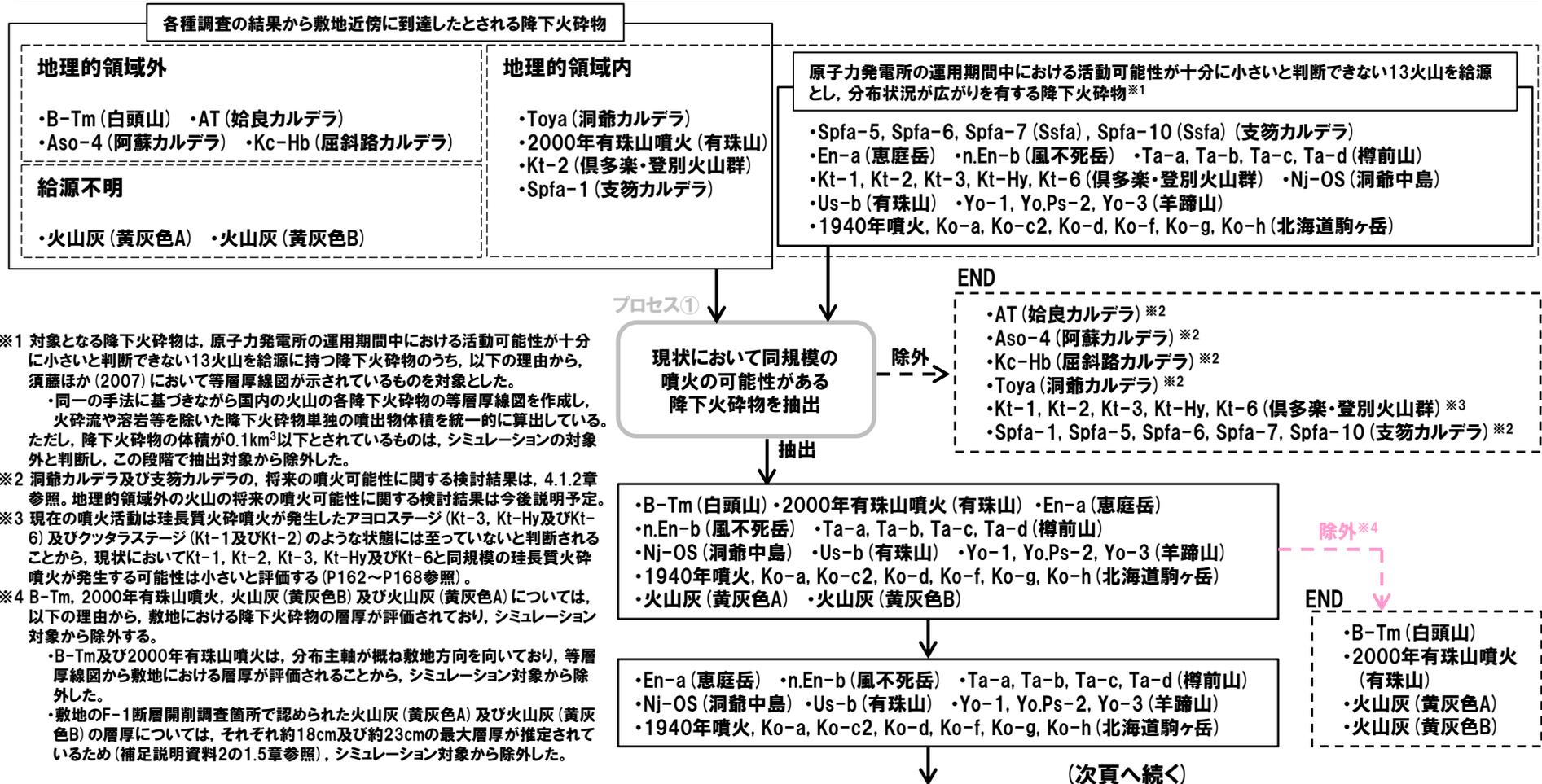


- シミュレーションによる敷地における降下火砕物の層厚は、以下の通りである。
  - ・En-a（恵庭岳）：16cm
  - ・Yo-1（羊蹄山）：4.1cm

# 5.1 降下火砕物の影響評価(概要版)

## 降下火砕物シミュレーション-対象となる降下火砕物の抽出(1/3)-

- 各種調査の結果から、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある降下火砕物を抽出した。
- これに加えて、「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」を給源とする降下火砕物のうち、分布状況が広がりをもつものを抽出した。
- そのうち、現状において同規模の噴火の可能性がある降下火砕物から、等層厚線、噴出規模及び敷地までの距離を比較することで、En-a(恵庭岳)及びYo-1(羊蹄山)を抽出し、降下火砕物シミュレーション対象とした。



※1 対象となる降下火砕物は、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火山を給源に持つ降下火砕物のうち、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0.1km<sup>3</sup>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。

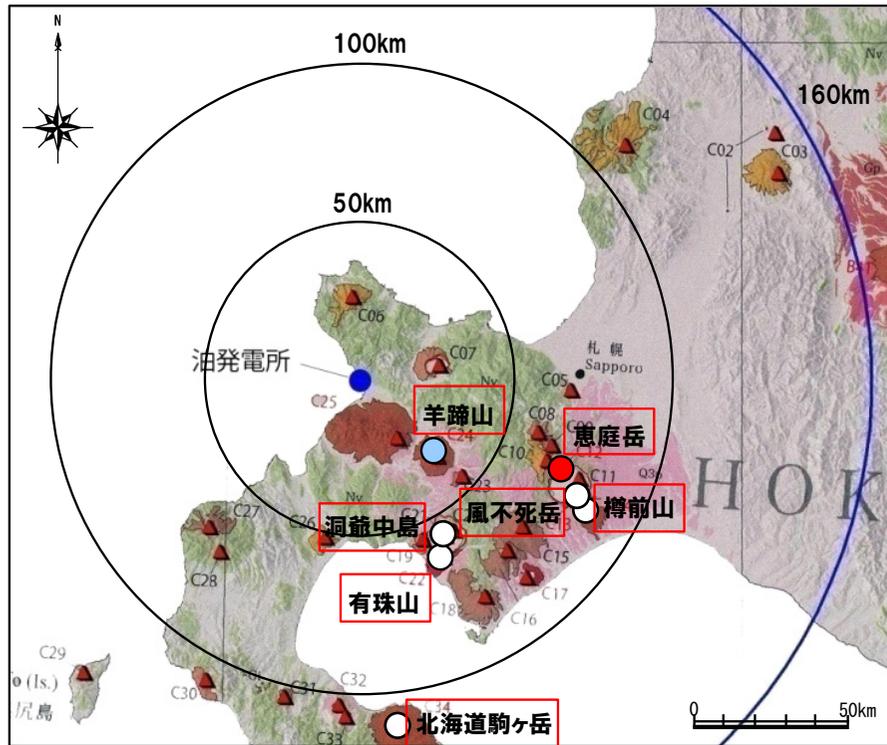
※2 洞爺カルデラ及び支笏カルデラの、将来の噴火可能性に関する検討結果は、4.1.2章参照。地理的領域外の火山の将来の噴火可能性に関する検討結果は今後説明予定。

※3 現在の噴火活動は珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ(Kt-3, Kt-Hy及びKt-6)及びクッタラステージ(Kt-1及びKt-2)のような状態には至っていないと判断されることから、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する(P162~P168参照)。

※4 B-Tm, 2000年有珠山噴火, 火山灰(黄灰色B)及び火山灰(黄灰色A)については、以下の理由から、敷地における降下火砕物の層厚が評価されており、シミュレーション対象から除外する。  
 ・B-Tm及び2000年有珠山噴火は、分布主軸が概ね敷地方向を向いており、等層厚線図から敷地における層厚が評価されることから、シミュレーション対象から除外した。  
 ・敷地のF-1断層開削調査箇所でも認められた火山灰(黄灰色A)及び火山灰(黄灰色B)の層厚については、それぞれ約18cm及び約23cmの最大層厚が推定されているため(補足説明資料2の1.5章参照)、シミュレーション対象から除外した。

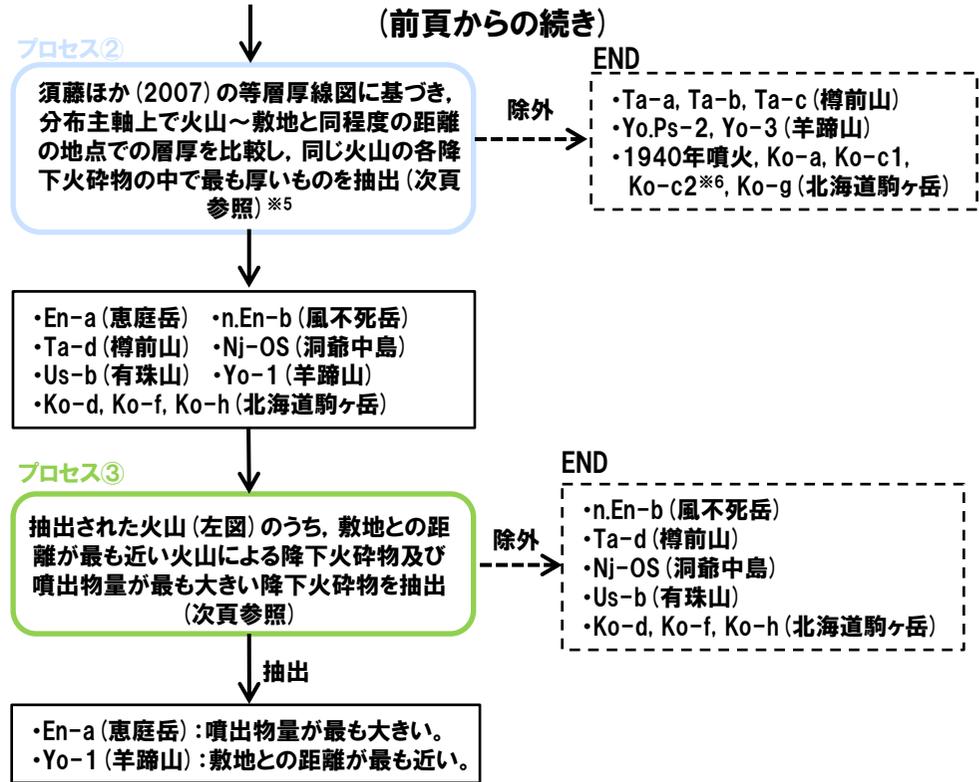
# 5.1 降下火砕物の影響評価 (概要版)

## 降下火砕物シミュレーション-対象となる降下火砕物の抽出 (2/3) -



プロセス②で抽出された火山の位置図

- 敷地との距離が最も近い
- 噴出物量が最も大きい



※5 再現解析における再現性の確認項目の1つとして、給源から敷地までの距離前後において、解析結果の等層厚線と文献の等層厚線が調和的であるかどうかに着目している。同じ火山の降下火砕物で当該距離付近の層厚が相対的に薄いものについては、影響解析における敷地の層厚についても相対的に薄くなると考えられることから、当該プロセスを実施している。

※6 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0.1km<sup>3</sup> (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②の段階でシミュレーション対象から除外した。

## 5.1 降下火砕物の影響評価(概要版)

## 降下火砕物シミュレーション-対象となる降下火砕物の抽出(3/3) -

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	現状において同規模の噴火の可能性	分布主軸上で火山～敷地と同程度の距離の地点での層厚	須藤ほか(2007)による噴出量(km <sup>3</sup> )	敷地との距離(km)
C11 支笏カルデラ	Spfa-1	なし	—	32.49	74.8
	Spfa-5	なし	—	0.3	
	Spfa-6	なし	—	4.77	
	Spfa-7 (Ssfa)	なし	—	8.85	
	Spfa-10 (Ssfa)	なし	—	1.41	
C12 恵庭岳	En-a	あり	50~100cm	5.64	68.6
C13 風不死岳	n.En-b	あり	0cm	0.84	77.7
C14 樽前山	Ta-a	あり	10~25cm	3.57	80.2
	Ta-b	あり	25~50cm	7.92	
	Ta-c	あり	25~50cm	3.10	
	Ta-d	あり	50~100cm	1.87	
C17 倶多楽・登別火山群	Kt-1	なし	—	14.73	80.5
	Kt-2	なし	—	4.87	
	Kt-3	なし	—	11.67	
	Kt-Hy	なし	—	0.12	
	Kt-6	なし	—	3.96	
C20 洞爺カルデラ	Toya	なし	—	67.23	54.8
C21 洞爺中島	Nj-Os	あり	10~25cm	0.81	55.1
C22 有珠山	Us-b	あり	50~100cm	1.50	60.7
C24 羊蹄山	Yo-1	あり	50~100cm	0.53	33.8
	Yo.Ps-2	あり	10~25cm	0.17	
	Yo-3	あり	25~50cm	0.33	
C34 北海道駒ヶ岳	Ko-1940	あり	0cm	0.68	109.0
	Ko-a	あり	0cm	0.24	
	Ko-c2	あり	50~100cm*	25.74	
	Ko-d	あり	0~10cm	1.54	
	Ko-f	あり	0~10cm	0.63	
	Ko-g	あり	0cm	1.98	
	Ko-h	あり	0~10cm	2.49	

■ :プロセス①においてシミュレーション対象から除外した降下火砕物 ■ :プロセス③においてシミュレーション対象から除外した降下火砕物

■ :プロセス②においてシミュレーション対象から除外した降下火砕物 ■ :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0.1km<sup>3</sup>(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②の段階でシミュレーション対象から除外した。

余白

# 5.1 降下火砕物の影響評価（概要版）

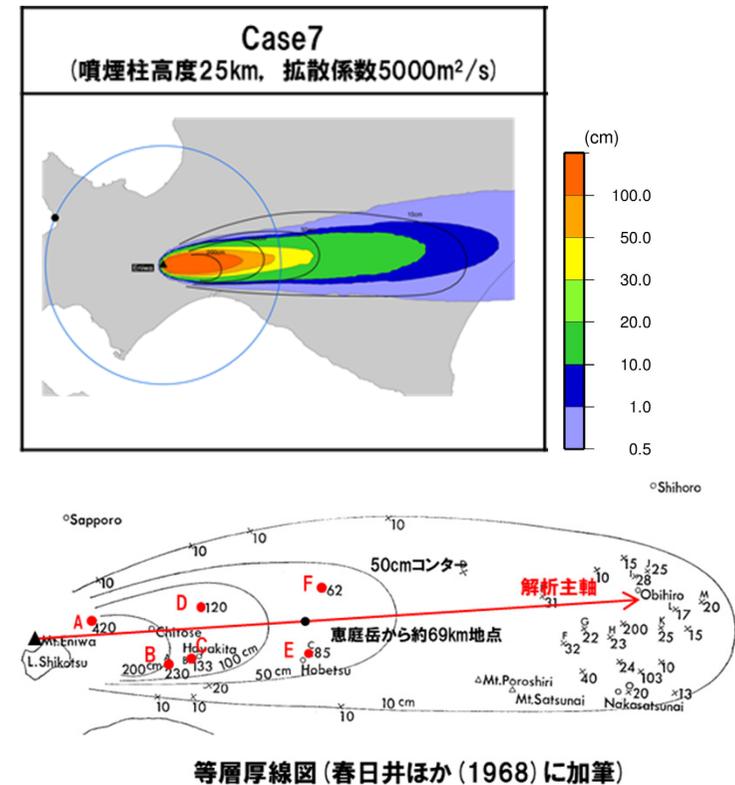
## 降下火砕物シミュレーション-En-a（恵庭岳の再現解析）-

- 影響解析に用いるパラメータを決定するため、再現解析を実施した。
- 再現解析においては、文献に示されるEn-a（恵庭岳）の等層厚線を再現できるパラメータを検討した。
- パラメータは主に文献を基に設定し、噴煙柱高度及び拡散係数については、文献の記載に幅があるため、これらについてはパラメータスタディを実施し、春日井ほか（1968）の等層厚線を再現できるパラメータ（下表）を検討した※1。
- 噴煙柱高度及び拡散係数について計12ケースのパラメータスタディを実施し、文献の等層厚線を再現できる最適ケースを選定した。
- 解析層厚が文献層厚により近い地点が最も多く、分布形状も概ね整合しているCase7を最適ケースとして選定した。

入力パラメーター一覧及び設定根拠

パラメータ		単位	値	設定根拠	
パラメータスタディ	噴煙柱高度	km	20, <b>25</b> , 30	町田・新井（2011）によるVEI5の噴煙柱高度（25km〜）を参考に設定	
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500, 1000, <b>5000</b> , 10000	萬年（2013）を参考に設定	
その他パラメータ	噴出物量	kg	5.64E+12	須藤ほか（2007）より設定	
	粒径	最大粒径	φ	-7	春日井ほか（1974）より設定※1
		最小粒径	φ	10	Tephra2に関する文献※2より設定
		中央粒径	φ	-0.5	春日井ほか（1974）より設定※1
		標準偏差	φ	3	Tephra2に関する文献※2より設定
	密度	岩片密度	kg/m <sup>3</sup>	2600	Tephra2に関する文献※2より設定
		軽石密度	kg/m <sup>3</sup>	1000	Tephra2に関する文献※2より設定
	みかけ渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	萬年（2013）より設定	
	落下時間閾値	s	3600	萬年（2013）より設定	
	計算分割高	m	約100	萬年（2013）より設定	

赤枠は、最適ケースのパラメータを示す。



等層厚線図（春日井ほか（1968）に加筆）

※1 粒径のうち、最大粒径及び中央粒径については、春日井ほか（1974）に基づき設定した。春日井ほか（1974）においては、複数地点の試料に対して粒度分析を実施しており、最大粒径及び中央粒径についてTephra2に関する文献※2に基づく値を用いるよりも再現性が向上することを確認している。

※2 Forecasting Tephra Dispersion Using TEPHRA2, Michigan Technological University

# 5.1 降下火砕物の影響評価 (概要版)

## 降下火砕物シミュレーション-En-a (恵庭岳の影響解析) -

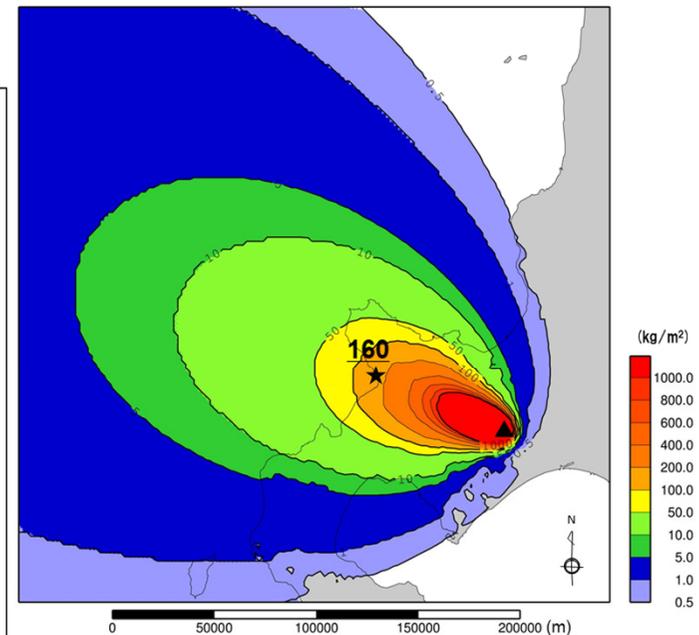
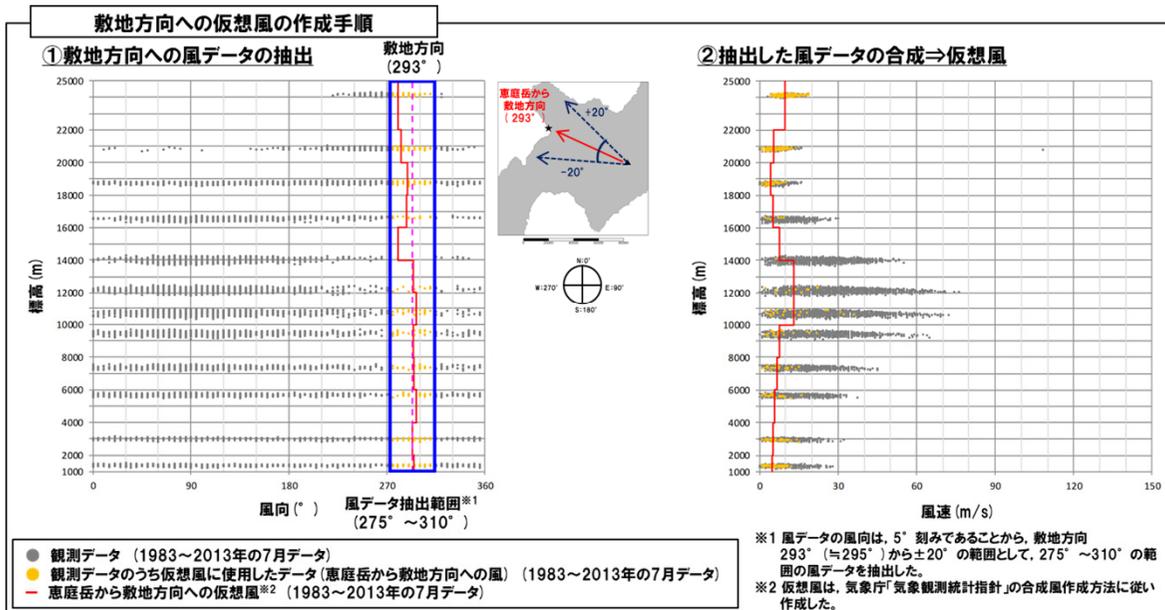
### 【影響解析に用いる仮想風の検討】

- シミュレーションに用いている風データ※は、いずれの月においても北東方向に吹く風が支配的であることから、敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施することとした。
- 敷地方向の仮想風を作成するにあたり、最も敷地に影響のある月を選定するため、月別の風を用いた解析を実施した。
- その結果7月の風が最も敷地への影響が大きかったことから、7月の風データのうち恵庭岳から敷地方向±20°の風を抽出し仮想風を作成した。

### 【敷地方向への仮想風を用いた検討】

- 再現解析の最適ケースのパラメータ(噴煙柱高度25km, 拡散係数5000m<sup>3</sup>/s)を採用し、敷地方向への仮想風を用いた解析を実施した結果、敷地における降下火砕物の層厚は16cmとなった。

※泊発電所に最も近い札幌管区気象台の過去30年間(1983~2013年)の風向・風速データを使用した。



★図内の数値は敷地における層厚 (mm) (ρ=1000kg/m<sup>3</sup>)

余白

## 5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価（概要版）

### 火山事象の影響評価（まとめ）

一部修正（H28/2/5審査会合）

- 立地評価において、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した13火山（巨大噴火以外）について、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の影響評価を実施した※1。
- 各火山事象の検討対象範囲は、原子力発電所の火山影響評価ガイドに従い設定した。



- 降下火砕物を除く地理的領域内の火山による火山事象は、敷地への影響はないと評価される。

### 各火山事象の影響評価結果

火山	敷地からの距離 (km)	降下火砕物	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（噴石）	大気現象	火山性地震	熱水系及び地下水の異常	設計対応不可能な火山事象
		全ての火山	0～120km	0～160km	0～10km				
C11 支笏カルデラ	74.8	敷地における降下火砕物の層厚は30cmと評価（5.1章参照）	以下のことから、敷地への影響はないと評価される。 ・降下火砕物を除く火山噴出物の分布は山体近傍に限定され、敷地に到達していない ・敷地との間に地形的障害物が存在する	敷地から十分な距離があり、高濃度火山ガスが敷地に到達することは考え難いこと及び敷地が海に面して開放された土地に立地し、火山ガスが滞留するような地形ではないことから、火山ガスによる敷地への影響はないと評価される。	(対象外)※2	敷地から十分な距離があることから、大気現象による敷地への影響はないと評価される。	敷地から十分な距離があることから、火山性地震による敷地への影響はないと評価される。	敷地から十分な距離があり、敷地において第四系への熱水による影響等は認められないことから、熱水系及び地下水の異常による敷地への影響はないと評価される。	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（4.2章参照）
C12 恵庭岳	68.6								
C13 風不死岳	77.7								
C14 樽前山	80.2								
C15 ホロホロ・徳舜誓	68.0								
C16 オロフレ・来馬	70.2								
C17 倶多楽・登別火山群	80.5								
C20 洞爺カルデラ	54.8								
C21 洞爺中島	55.1								
C22 有珠山	60.7								
C23 尻別岳	43.6								
C24 羊蹄山	33.8								
C25 ニセコ・雷電火山群	19.7								
C27 狩場山	66.1								
C29 勝淵山	126.4								
C34 北海道駒ヶ岳	109.0								
C35 横津岳	123.7								
C38 恵山	146.9								

□ : 評価済み

※1 「津波及び静振」については、津波の影響評価において評価する。

※2 原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいて、噴出中心と原子力発電所との距離が火山影響評価ガイド（表1）に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとされていることから、敷地からの距離が火山影響評価ガイドに記載の距離より大きい場合は評価の対象外とした。

## 6. 火山活動のモニタリング

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. 160
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 214
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. 257
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. 324
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 326
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P.
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P.
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. 335
6. 火山活動のモニタリング	P. 336
6.1 監視対象火山	P. 338
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	P. 339
7. 火山影響評価のまとめ	P. 340
参考資料	P. 348
参考文献	P. 359

「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」及び「6. 火山活動のモニタリング」の詳細については今後説明予定

## 6.1 監視対象火山(概要版)

### 監視対象火山の抽出結果

○過去に巨大噴火が発生した火山として抽出した洞爺カルデラ、支笏カルデラ及び倶多楽・登別火山群について、設計対応不可能な火山事象である火砕流が敷地に到達した可能性を、以下のとおり評価した(詳細は補足説明資料1の「設計対応不可能な火山事象が敷地に到達した可能性評価」参照)。

#### 【洞爺カルデラの最大規模の噴出物(Tp)のうち、洞爺火砕流堆積物】

○洞爺火砕流堆積物は、敷地方向に向かって堀株川沿いを流下し敷地のうちMm1段丘より低標高側に洞爺火砕流本体が、Mm1段丘より高標高側については火砕サージが到達した可能性を否定できないものと評価した。

#### 【支笏カルデラの最大規模の噴出物(Sp-1)のうち、支笏火砕流堆積物(Spfl)】

- 支笏火砕流堆積物(Spfl)は、給源から敷地方向に層厚を減しながら尻別川沿いを流下したものと考えられ、羊蹄山北側地点(給源から約48km、敷地からの距離約28km)においては、古倶知安湖に直接又は間接的に流入した支笏火砕流が湖底に厚く堆積した再堆積層が認められる。
- 羊蹄山北側地点を含む倶知安盆地については、検討の結果、盆地全体が支笏火砕流堆積物に覆われた可能性は否定できず、敷地に最も近い当該盆地北西端地点まで火砕流が到達したと仮定した場合、支笏火砕流の最大到達距離は約54km(敷地からの距離約22km)となる。
- この仮定に基づく距離は、支笏火砕流堆積物の最大到達距離である約52km(伊達市館山町)と同等の距離であるが、当該盆地北西端地点よりもさらに敷地方向に位置する倶知安峠を越えてから、敷地までの間には支笏火砕流堆積物又はその二次堆積物の分布を示した文献等も認められないことから、敷地には到達していないと評価した。

#### 【倶多楽・登別火山群の最大規模の噴出物(Kt-7)のうち、Kt-7(pfl)】

○Kt-7(pfl)は、給源と敷地の間にはオロフレ山-ホロホロ山が認められ、敷地までの間にはKt-7(pfl)の分布を示した文献等も認められないことから、敷地には到達していないと評価した。



- 洞爺カルデラについては、第四紀に設計対応不可能な火山事象が敷地に到達した可能性を否定できないことから、原子力発電所の火山影響評価ガイドに基づく監視対象火山として抽出し、モニタリングを実施する。
- 支笏カルデラについては、第四紀に設計対応不可能な火山事象が敷地には到達していないと評価しているが、洞爺カルデラと同様、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を踏まえ、自主的に監視対象火山として抽出し、モニタリングを実施する。
- 倶多楽・登別火山群については、第四紀に設計対応不可能な火山事象が敷地には到達していないと評価しており、給源から敷地方向には火砕流堆積物が認められないため、原子力発電所の火山影響評価ガイドに基づく監視対象火山として抽出しない。

モニタリングの概要

一部修正 (H28/2/5審査会合)

○原子力発電所の火山影響評価ガイドに基づく支笏カルデラ及び洞爺カルデラのモニタリングにおいては、原子炉安全専門審査会原子炉火山部会報告書「火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」について」等を踏まえ、下表に示す監視項目により、活動状況の変化を総合的に評価する。

支笏カルデラ及び洞爺カルデラにおける火山活動のモニタリング項目

モニタリング項目		確認事項	主に用いるデータ名	データの更新頻度	備考	
主な監視項目	地震活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常地震、火山性地震等の地震発生領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな地震発生領域の出現</li> <li>・地震発生数の急激な変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「一元化処理震源データ」</li> <li>・気象庁「地震月報（カタログ編）」</li> </ul>	随時	公的機関の公開データを用いた当社検討	
	地殻変動・地盤変動	GNSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GNSS連続観測による基線長や上下変動の急激な傾向の変化、水準測量による地盤の上下変動の急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土地理院「電子基準点データ提供サービス」</li> </ul>	1回/週程度	公的機関の公開データを用いた当社検討
		水準測量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既往の地殻変動とは異なる場所での地殻変動（GNSS、水準測量、衛星観測）の出現と急速な進展</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水準測量（当社調査）</li> </ul>	検討中	当社測量成果を用いた当社検討
		衛星観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> <li>・国土地理院「地理院地図（時系列SAR）」</li> </ul>	2回/年程度 随時	公的機関の評価
		傾斜計・伸縮計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> </ul>	2回/年程度	公的機関の評価	
火山ガス・熱活動（表面活動）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面熱活動地点の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現</li> <li>・火山ガスの放出量に急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> </ul>	2回/年程度 1回/月	公的機関の評価		
その他の監視項目	噴出場所及び噴出物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成</li> <li>・マグマ成分の物理的・化学的性質の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	1回/月 不定期	公的機関の評価等	
	噴火様式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴煙柱高度が数十km程度のプリニー式噴火の発生と更なる活動拡大化の傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	1回/月 不定期	公的機関の評価等	
	地下構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震波速度構造や比抵抗構造により、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域の出現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防災科研「日本列島下の三次元地震波速度構造」</li> </ul>	随時 不定期	公的機関の評価	
	その他	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	随時	公的機関の評価等	

## 7. 火山影響評価のまとめ

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. 160
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 214
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. 257
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. 324
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 326
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P.
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P.
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. 335
6. 火山活動のモニタリング	P. 336
6.1 監視対象火山	P. 338
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	P. 339
7. 火山影響評価のまとめ	P. 340
参考資料	P. 348
参考文献	P. 359

「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」及び「6. 火山活動のモニタリング」の詳細については今後説明予定

## 7. 火山影響評価のまとめ

### ① 立地評価のまとめ (1/2)

一部修正 (R5/7/7審査会合)

#### 【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, 倶多楽・登別火山群, 洞爺カルデラ, 羊蹄山, ニセコ・雷電火山群, 北海道駒ヶ岳, 恵山
  - ・将来の活動可能性が否定できない火山(6火山):ホロホロ・徳舜誓, オロフレ・来馬, 尻別岳, 狩場山, 勝瀨山, 横津岳

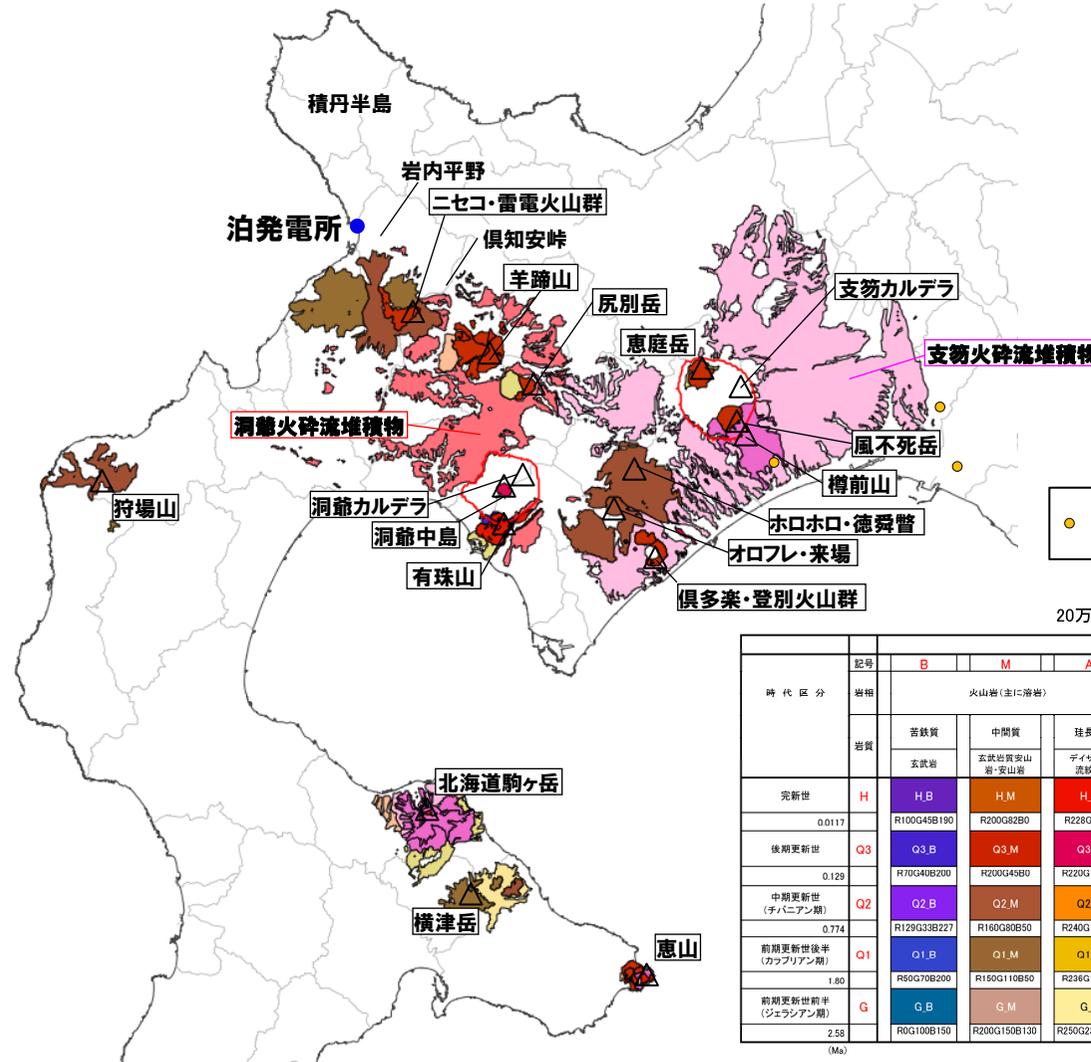
#### 【4. 原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した13火山は、各火山の活動履歴を踏まえると、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)であることから、原子力発電所の運用期間中における活動の可能性が十分小さいと判断できない。
- なお、過去に巨大噴火が発生した支笏カルデラ、倶多楽・登別火山群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。
- 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(巨大噴火以外)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。

# 7. 火山影響評価のまとめ

## ① 立地評価のまとめ (2/2)

再掲 (R5/7/7審査会合)



20万分の1日本火山図凡例

時代区分	記号	岩 相 区 分										
		火山岩(主に溶岩)			火砕流堆積物		貫入岩		岩屑なだれ堆積物*		降下火砕物	山麓扇状地・窪地・地すべり・沖積堆積物など
		玄武岩	中間質	珪長質 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
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	R245G220B225			
中期更新世 (テニアン期)	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 (カプリアン期)	Q1	Q1.B	Q1.M	Q1.A	Q1.P	Q1.I		Q1.D				
1.80	R50G70B200	R150G110B50	R236G190B0	R220G120B150	R160G250B0			R255G220B150				
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		

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)

## ②影響評価及びモニタリングのまとめ(1/2)

## 【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おける層厚については、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、最も層厚の大きい降下火砕物は給源不明の火山灰(黄灰色B)の約23cmであることを踏まえ、設計に用いる降下火砕物の層厚は30cmとする。
- また、立地評価において、設計対応不可能な火山事象が原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した13火山(巨大噴火以外)について、降下火砕物を除く火山事象は、敷地への影響はないと評価される。

## 【6. 火山活動のモニタリング】

- 洞爺カルデラについては、第四紀に設計対応不可能な火山事象が敷地に到達した可能性を否定できないことから、原子力発電所の火山影響評価ガイドに基づく監視対象火山として抽出し、モニタリングを実施する。
- 支笏カルデラについては、第四紀に設計対応不可能な火山事象が敷地には到達していないと評価しているが、洞爺カルデラと同様、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を踏まえ、自主的に監視対象火山として抽出し、モニタリングを実施する。
- 原子力発電所の火山影響評価ガイドに基づく支笏カルデラ及び洞爺カルデラのモニタリングにおいては、原子炉安全専門審査会原子炉火山部会報告書「火山モニタリングにおける「観測データに有意な変化があったと判断する目安」について」等を踏まえ、次頁に示す監視項目により、活動状況の変化を総合的に評価する。

## ②影響評価及びモニタリングのまとめ(2/2)

## 支笏カルデラ及び洞爺カルデラにおける火山活動のモニタリング項目

モニタリング項目		確認事項	主に用いるデータ名	データの更新頻度	備考	
主な 監視 項目	地震活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>・通常地震、火山性地震等の地震発生領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな地震発生領域の出現</li> <li>・地震発生数の急激な変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「一元化処理震源データ」</li> <li>・気象庁「地震月報(カタログ編)」</li> </ul>	随時	公的機関の公開データを用いた当社検討	
	地殻変動・ 地盤変動	GNSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GNSS連続観測による基線長や上下変動の急激な傾向の変化、水準測量による地盤の上下変動の急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国土地理院「電子基準点データ提供サービス」</li> </ul>	1回/週程度	公的機関の公開データを用いた当社検討
		水準測量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既往の地殻変動とは異なる場所での地殻変動(GNSS、水準測量、衛星観測)の出現と急速な進展</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水準測量(当社調査)</li> </ul>	検討中	当社測量成果を用いた当社検討
		衛星観測	<ul style="list-style-type: none"> <li>・傾斜計・伸縮計による地盤変動の急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> <li>・国土地理院「地理院地図(時系列SAR)」</li> </ul>	2回/年程度 随時	公的機関の評価
		傾斜計・伸縮計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> </ul>	2回/年程度	公的機関の評価	
火山ガス・ 熱活動(表面活動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面熱活動地点の拡大又は消滅、あるいは、放出場所の出現</li> <li>・火山ガスの放出量に急激な傾向の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山噴火予知連資料」</li> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> </ul>	2回/年程度 1回/月	公的機関の評価		
その他の 監視 項目	噴出場所及び噴出物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既往の火口の拡大や消長、新たな火口や火道の形成</li> <li>・マグマ成分の物理的・化学的性質の変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	1回/月 不定期	公的機関の評価等	
	噴火様式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴煙柱高度が数十km程度のプリニ式噴火の発生と更なる活動拡大化の傾向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁「火山活動解説資料」</li> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	1回/月 不定期	公的機関の評価等	
	地下構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地震波速度構造や比抵抗構造により、地殻内に推定される低速度及び低比抵抗領域の拡大又は消滅、あるいは、新たな低速度及び低比抵抗領域の出現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・防災科研「日本列島下の三次元地震波速度構造」</li> </ul>	随時 不定期	公的機関の評価	
	その他	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・文献、学会発表、報道発表等</li> </ul>	随時	公的機関の評価等	

## 參考資料

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. 160
4.1.2(4) 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P. 214
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. 257
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. 324
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 326
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P.
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P.
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. 335
6. 火山活動のモニタリング	P. 336
6.1 監視対象火山	P. 338
6.2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	P. 339
7. 火山影響評価のまとめ	P. 340
参考資料	P. 348
参考文献	P. 359

「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」及び「6. 火山活動のモニタリング」の詳細については今後説明予定

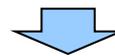
## 【鳴子カルデラ及び支笏カルデラの地下構造】(1/5)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 文献 (Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019) に基づくと、支笏カルデラ直下の上部地殻内 (約20km以浅) には、低比抵抗領域が認められる。
- 当社が作成した地震波速度構造断面 (P120~P121参照) によれば、当該低比抵抗領域付近における地震波速度構造は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であり、水に富む領域と考えられることから、当該領域が水に富む要因を検討した。
- 検討においては、北海道南部とマグマ供給システムが同様である東北日本 (P86~P93参照) に位置する鳴子カルデラを参考とした。

## 【中島 (2017)】

- 鳴子カルデラの地下構造について整理している中島 (2017) をレビューした。
  - ・中島 (2017) によれば、鳴子火山直下には最上部マントルから上部地殻の深さ5km程度まで連続的に分布する地震波低速度域が確認できるとされている (次頁①)。
  - ・この地域では詳細な比抵抗構造も推定されており (Asamori et al., 2010)、鳴子火山の西側には、深さ30kmから5km程度まで連続的に分布する筒状の低比抵抗域が存在する (次頁②)。この低比抵抗域は地震波低速度域と空間的によく対応するとされている (次頁③)。
  - ・この低速度域は最上部マントルと下部地殻ではVp/Vsが大きい (>1.80) (次頁④) が、上部地殻では小さい (<1.70) (次頁⑤) とされている。
  - ・鳴子火山下の中部~下部地殻 (深さ15km以深) では、地殻物質が~1vol%部分融解しており、上部地殻にはその部分融解域から放出された水が1-5vol%分布していると考えられているとされている。
  - ・下部地殻の低周波地震は部分融解域である低速度・高減衰域の端で発生しているという特徴があり (次頁⑥)、そこではメルトの固化によって水が浅部に放出されると考えられている (次頁⑦) とされている。

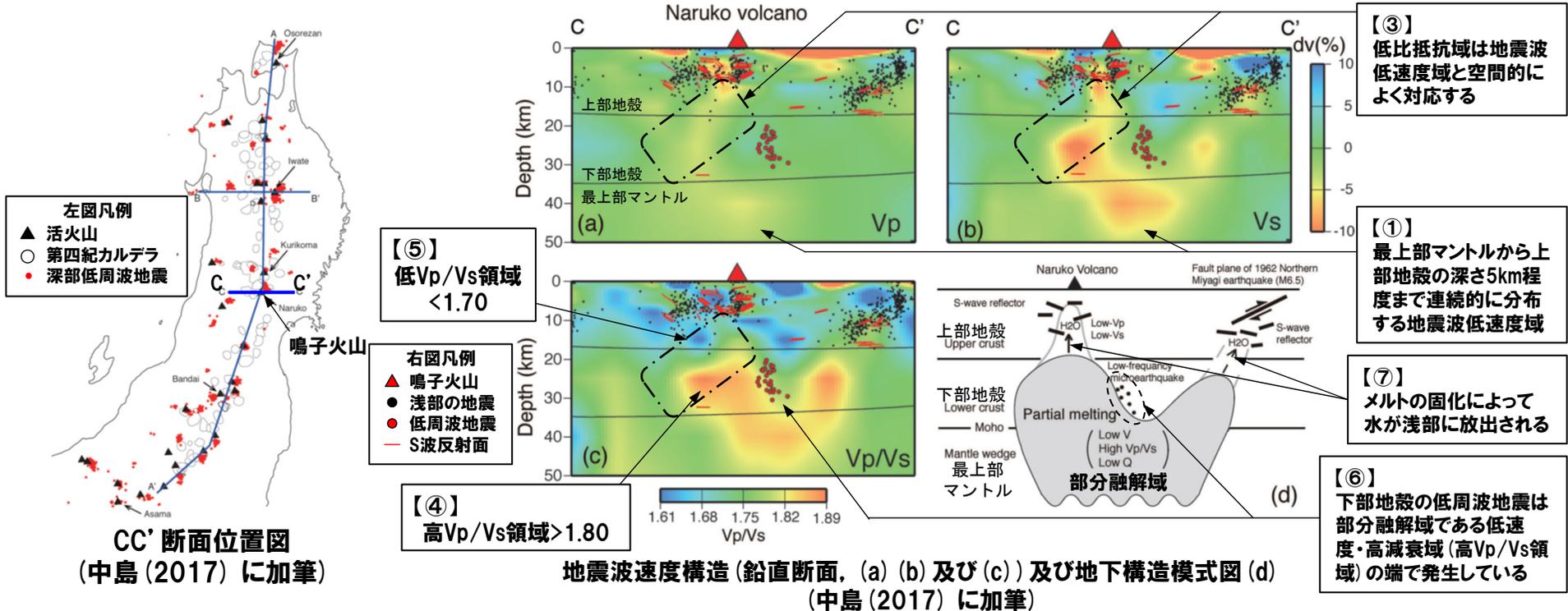


- 中島 (2017) に基づくと、鳴子カルデラ直下の地下構造は以下の状況が認められる。
  - ・地震波速度構造では、最上部マントルから上部地殻まで低Vp、低Vs領域が連続的に分布する。
  - ・比抵抗構造では、下部地殻から上部地殻まで低比抵抗領域が連続的に分布し、当該地震波低速度領域と空間的に対応している。
  - ・当該地震波低速度領域におけるVp/Vsは、最上部マントル及び下部地殻では高Vp/Vsであるのに対し、上部地殻では低Vp/Vsである。
  - ・下部地殻の高Vp/Vs領域の端で低周波地震が発生している。
- このため、上部地殻に分布する低Vp、低Vs、低Vp/Vs領域かつ低比抵抗領域は、下部地殻中のメルトが固化し、低周波地震を伴いながら水が浅部へ放出されることにより、水が供給されている領域と推定されている。

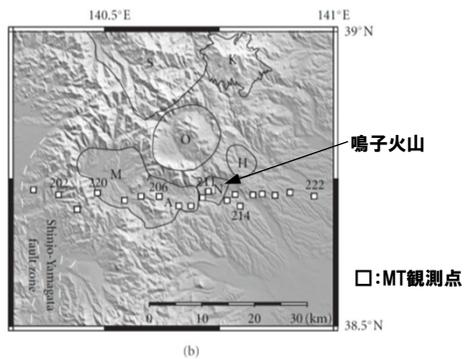
# (参考)支笏カルデラの地下構造に関する検討

## 【鳴子カルデラ及び支笏カルデラの地下構造】(2/5)

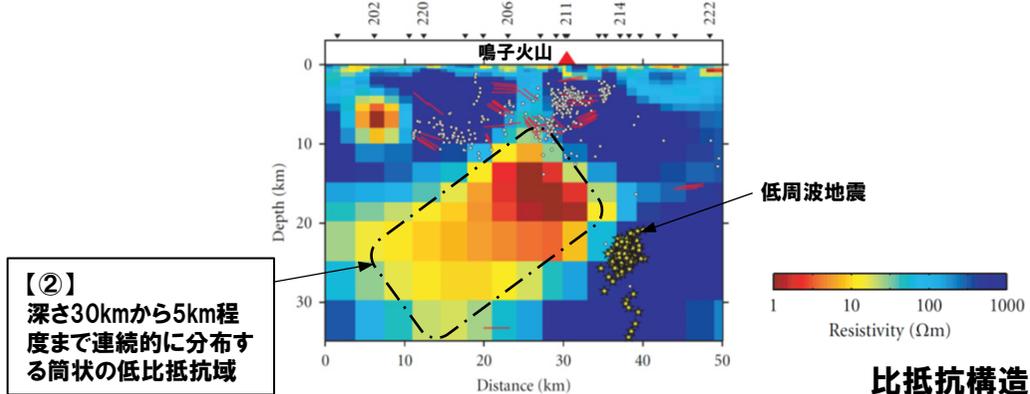
再掲 (R5/1/20審査会合)



CC' 断面位置図 (中島 (2017) に加筆)



MT観測点位置図 (Asamori et al. (2010) に加筆)



比抵抗構造 (Asamori et al. (2010) に加筆)

# (参考)支笏カルデラの地下構造に関する検討

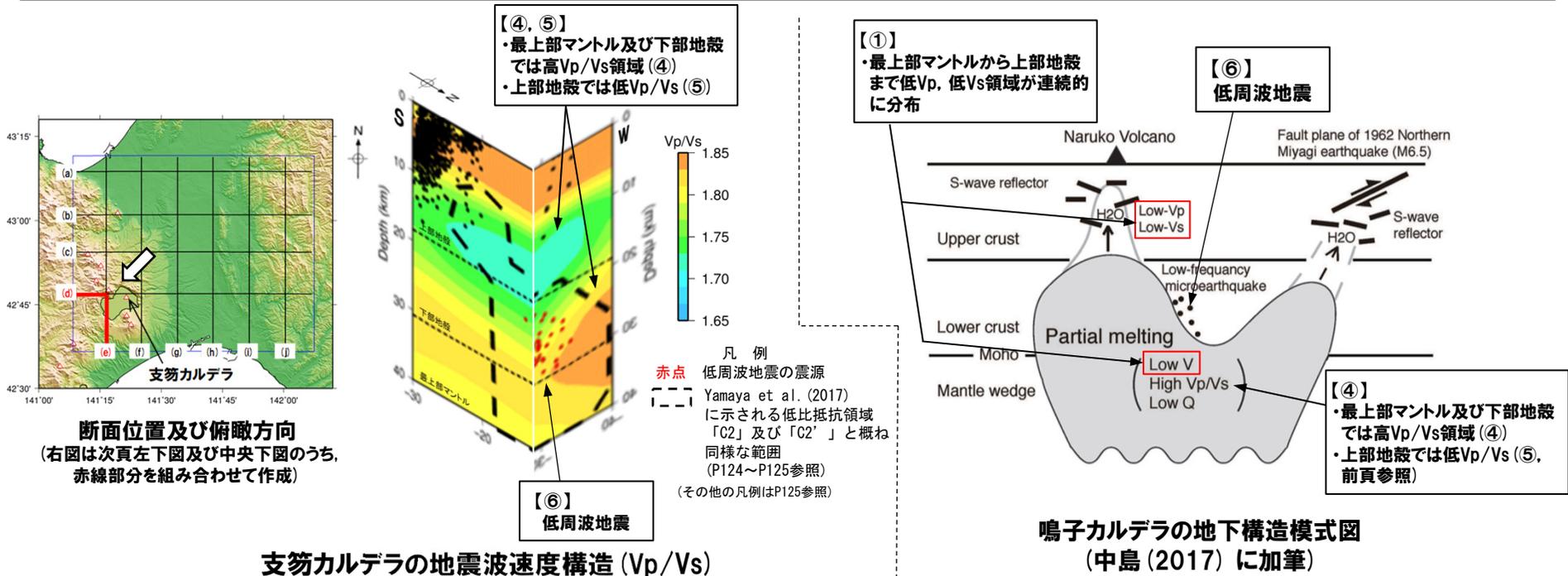
## 【鳴子カルデラ及び支笏カルデラの地下構造】(3/5)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 支笏カルデラ及び鳴子カルデラの地下構造について比較した。
- 支笏カルデラ直下の地震波速度構造及び比抵抗構造(下図及び次頁~P353参照)は、鳴子カルデラと概ね同様な状況となっている。
  - ・地震波速度構造では、最上部マントルから上部地殻まで低Vp, 低Vs領域が連続的に分布する(下図①及び次頁①)。
  - ・比抵抗構造では、下部地殻から上部地殻まで低比抵抗領域が連続的に分布し(下図破線囲み, 次頁破線及び一点鎖線囲み並びにP353参照), 当該地震波低速度領域と空間的に対応している(次頁③)。
  - ・当該地震波低速度領域におけるVp/Vsは、最上部マントル及び下部地殻では高Vp/Vsである(下図④及び次頁④)のに対し、上部地殻では低Vp/Vsである(下図⑤及び次頁⑤)。
  - ・下部地殻の高Vp/Vs領域の端で低周波地震が発生している(下図⑥及び次頁⑥)。



- 支笏カルデラ直下の低比抵抗領域付近が水に富む領域となる要因としては、支笏カルデラ直下の地下構造が鳴子カルデラと概ね同様な状況となっていることから、支笏カルデラにおいても、下部地殻中のメルトが固化し、低周波地震を伴いながら水が浅部へ放出されることにより、水が供給されている可能性が考えられる。



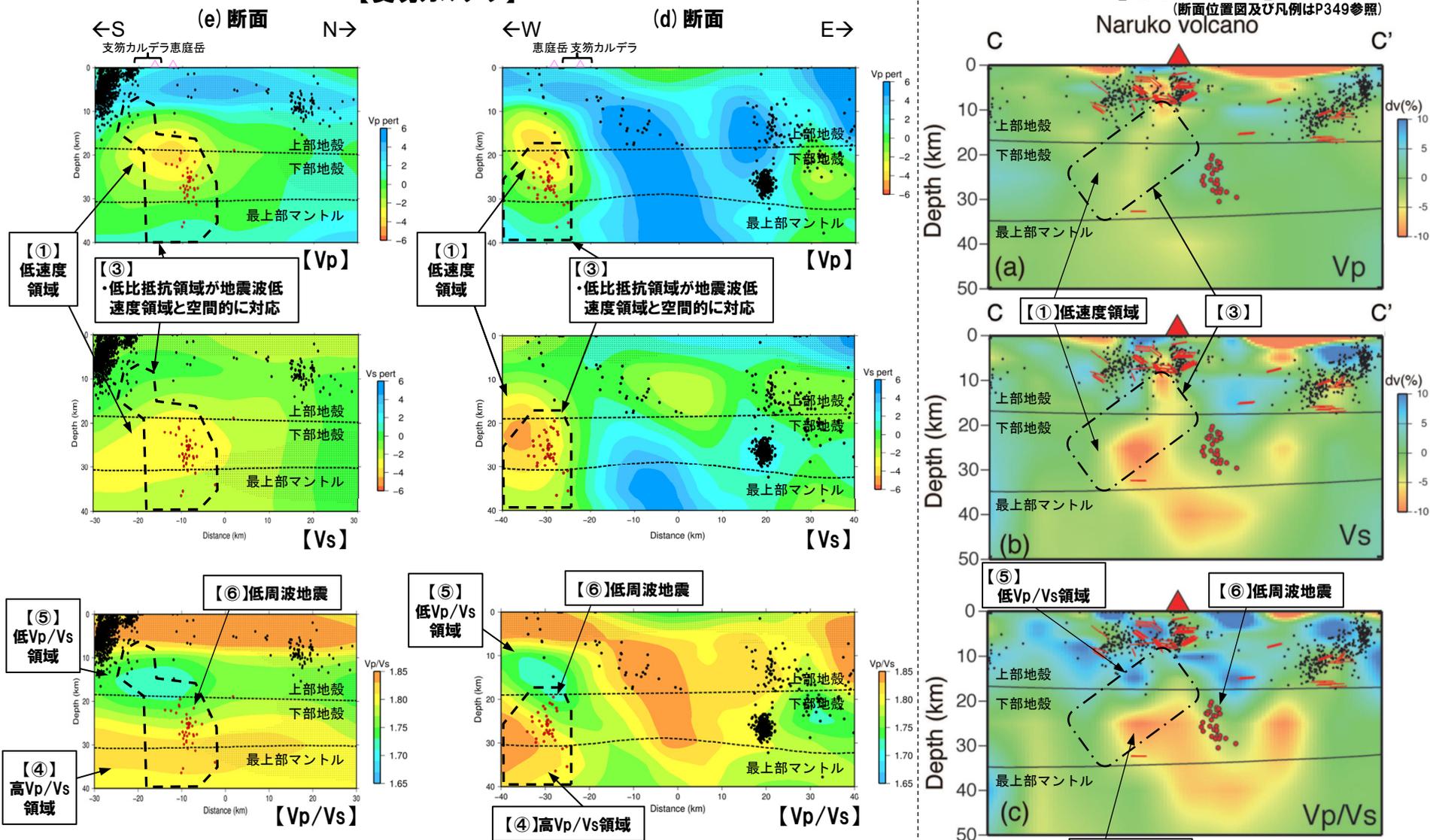
# (参考)支笏カルデラの地下構造に関する検討

## 【鳴子カルデラ及び支笏カルデラの地下構造】(4/5)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

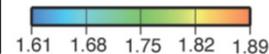
【支笏カルデラ】(断面位置図はP128, 凡例はP129参照)

【鳴子カルデラ】(断面位置図及び凡例はP349参照)



--- Yamaya et al. (2017) (P124~P125参照) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と概ね同様な範囲

--- Asamori et al. (2010) (P349参照) に示される主要な低比抵抗領域と概ね同様な範囲

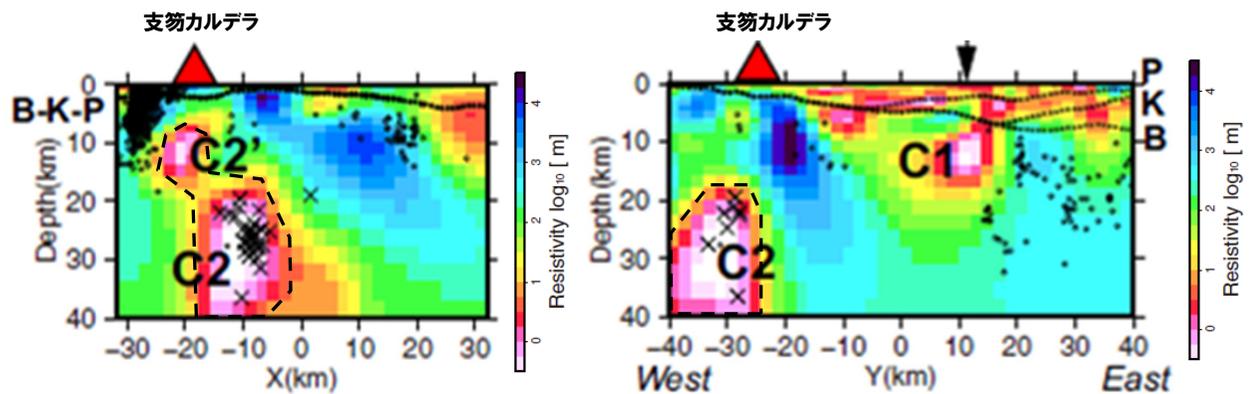


余白

【鳴子カルデラ及び支笏カルデラの地下構造】(5/5)

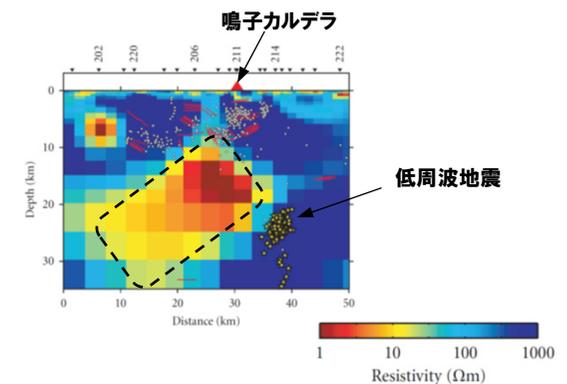
一部修正 (R5/1/20審査会合)

【支笏カルデラ】



支笏カルデラの比抵抗構造(鉛直断面) (Yamaya et al. (2017) に加筆, 凡例及び断面位置はP125参照)

【鳴子カルデラ】

鳴子カルデラの比抵抗構造  
(Asamori et al. (2010) に加筆)

余白

## ① 検討目的及び方法

一部修正 (R3/10/14審査会合)

- ニセコ・雷電火山群については、敷地近く(半径10kmの範囲)に設計対応不可能な火山事象が到達していることから(P296参照)、参考として、過去の最大規模以上の噴火が運用期間中に発生する可能性について、地震波速度構造による検討を実施することとした。
- 検討は、「4.1.2 巨大噴火の可能性評価方法」において整理した考え方(P83~P95参照)を踏襲し、ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内に、「メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域が存在するか否か」を以って行う。

## ② 検討結果 (1/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al. (2019)に記載)。その公開データを用いて、当社がニセコ・雷電火山群周辺における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内に認められる低周波地震群は、やや低Vpかつ低Vp/Vs領域の縁辺部に認められるため、水の移動に関連する可能性があると考えられる※1。

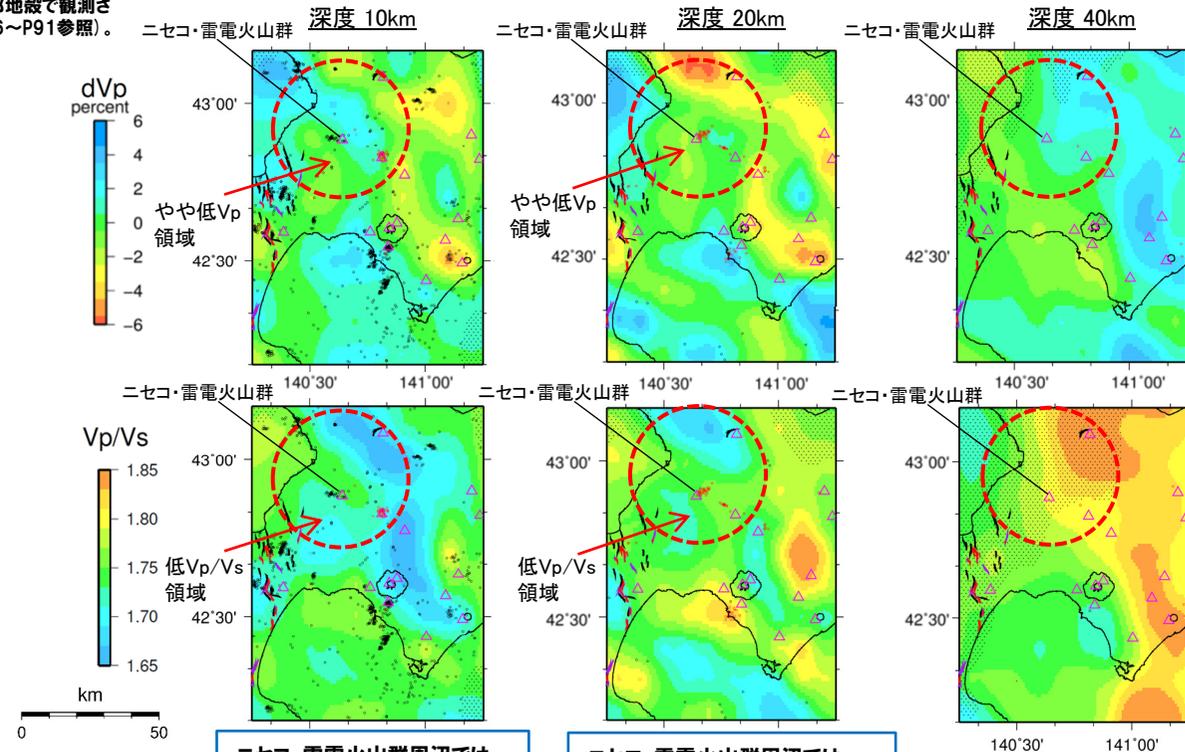
※1 Nakajima et al. (2001) 及び中道 (2022) に基づくと、活火山直下の上部地殻で観測される低Vp、低Vs、低Vp/Vsは、水の存在を示唆していると考えられる(P86~P91参照)。

**【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法 (P83~P95参照)】**

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

### 凡例

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



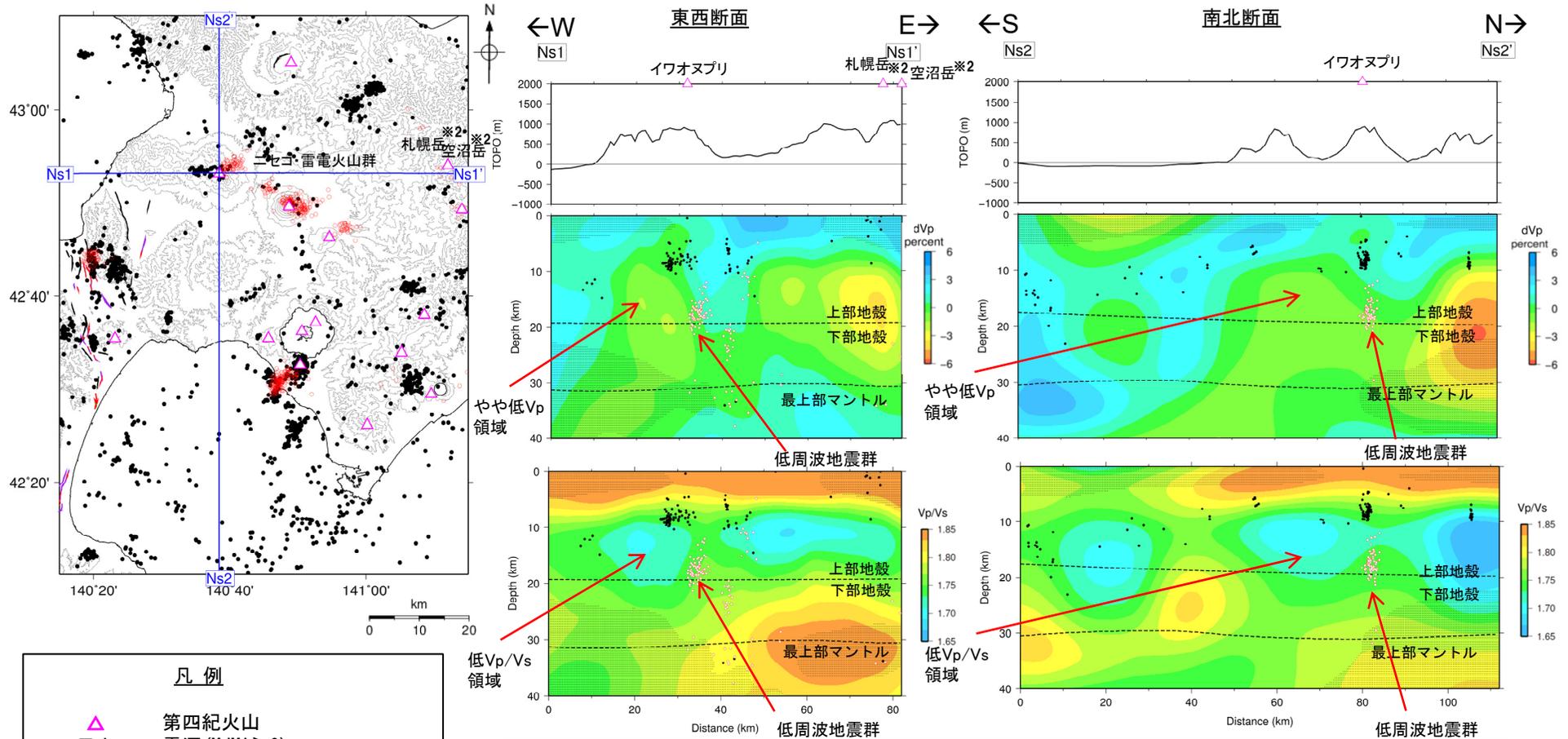
ニセコ・雷電火山群周辺では、南方～西方に、やや低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

ニセコ・雷電火山群周辺では、南方～西方に、やや低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

② 検討結果 (2/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



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

ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内 (約20km以浅) には、イワオヌプリの南方~西方の深度10km~20km程度にやや低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められ、その北東縁付近に低周波地震群が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造 (鉛直断面)

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

※2「2013.7泊発電所発電用原子炉設置変更許可申請」時点では、地理的領域にある第四紀火山は、札幌岳、空沼岳及び漁岳を含めた34火山としていた。この3火山については、中川ほか(2013)により、いずれもその活動は鮮新世とされたことを踏まえ、「日本の火山(DB)」においても第四紀火山から除外されていることから、当社も第四紀火山の抽出において除外することとした。

## 【まとめ】

一部修正 (R3/10/14審査会合)

## 【ニセコ・雷電火山群における地震波速度構造 (P355~P357参照)】

- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低 $V_p$ かつ高 $V_p/V_s$ 領域は認められない。
- ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内に認められる低周波地震群は、低 $V_p$ かつ低 $V_p/V_s$ 領域の縁辺部に認められるため、水の移動に関連する可能性があると考えられる。



- ニセコ・雷電火山群直下の上部地殻内には、現状、過去の最大規模以上の噴火に関わるようなマグマ溜まりを示唆する地震波速度構造及び低周波地震群は認められない。

- (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・松本亜希子・島谷太郎・小杉安由美(2013):東北日本弧北端の第四紀火山活動の時空変遷:活動年代の再検討とマグマ組成, 日本地質学会第120年学術大会講演要旨, R3-0-3, p.44.
- (4) 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.
- (5) Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S., Furukawa, R. (2020): Stratigraphy and chronology of silicic tephra in the Shikotsu-Toya Volcanic Field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in SW Hokkaido, Quaternary International, 562, pp.58-75.
- (6) 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?
- (7) 第四紀火山カタログ委員会編(1999):日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会.
- (8) 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.
- (9) 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.
- (10) 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.
- (11) 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.
- (12) 気象庁編(2013):日本活火山総覧(第4版).
- (13) Hayakawa(1985):Pyroclastic Geology of Towada Volcano, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 60, pp.507-592.
- (14) Legros(2000):Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach, J. Volcanol. Geotherm. Res. 96, 25-32.
- (15) 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」.
- (16) 胆振団体研究会(1990):クツラ火山の火砕堆積物-支笏火山のテフラの層序の検討とテフロクロロジー-, 地球科学, 44巻3号.
- (17) 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.
- (18) 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.
- (19) 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.
- (20) 中道 治久: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.

- (21) Kita, S., Nakajima, J., Hasegawa, A., Okada, T., Katsumata, K., Asano, Y. and Kimura, T. (2014) :Detailed seismic attenuation structure beneath Hokkaido, northeastern Japan: Arc-arc collision process, arc magmatism, and seismotectonics, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, pp.6486-6511.
- (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) 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.
- (24) 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.
- (25) 中島淳一 (2017) :東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造:地殻構造と低周波地震・S波反射面との関係, *地震研究所彙報*, Vol.92, pp.49-62.
- (26) Hata, M., Matsushima, N., Takakura, S., Utsugi, M., Hashimoto, T., & Uyeshima, M. (2018) :Three-dimensional electrical resistivity modeling to elucidate the crustal magma supply system beneath Aso caldera, Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*.
- (27) Ueda, H., Ohtake, M., and Sato, H. (2003) :Postseismic crustal deformation following the 1993 Hokkaido Nanseioki earthquake, northern Japan: Evidence for a low-viscosity zone in the uppermost mantle, *Journal of geophysical research*, Vol.108, No.B3, 2151.
- (28) 村上亮・小沢慎三朗・西村卓也・多田堯 (2001) :2000年有珠山噴火にともなうマグマモデルGPS連続観測を主とする地殻変動データによる推定, *国土地理院時報*, 2001 No.95, 99-105.
- (29) Itoh, Y., Nishimura, T., Ariyoshi, K., & Matsumoto, H. (2019). Interplate slip following the 2003 Tokachi-oki earthquake from ocean bottom pressure gauge and land GNSS data, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 4205-4230.
- (30) Suito, H. (2018) :Current Status of Postseismic Deformation Following the 2011 Tohoku-Oki Earthquake, *Journal of Disaster Research* Vol.13 No.3, 2018, pp.503-510.
- (31) Kobayashi, T., Hayashi, K. & Yarai, H. (2019) :Geodetically estimated location and geometry of the fault plane involved in the 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake. *Earth Planets Space* 71, 62 .
- (32) 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.
- (33) 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.
- (34) 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.
- (35) 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.
- (36) 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.

- (37) Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K. and Kamiya, S. (2019) : Seismic Velocity Structure in and around the Japanese Island Arc Derived from Seismic Tomography Including NIED MOWLAS Hi net and S net Data, *Seismic Waves Probing Earth System*, IntechOpen, pp.1–19.
- (38) 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.
- (39) Zhao, D., Horiuchi, S., Hasegawa, A. (1992) : Seismic velocity structure of the crust beneath the Japan Islands, *Tectonophysics*, 212, pp.289–301.
- (40) 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.
- (41) 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.
- (42) 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.
- (43) 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.
- (44) 気象庁 (2020) : 第147回 火山噴火予知連絡会資料.
- (45) 気象庁 (2022) : 第151回 火山噴火予知連絡会資料.
- (46) 気象庁 (2021) : 第149回 火山噴火予知連絡会資料.
- (47) 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—, 2023年報道発表資料.
- (48) 樽前山火山防災協議会 (2022) : 樽前山火山避難計画
- (49) Miura, D., Yoshinaka, K., Takeuchi, S., Uesawa, S. (2022) : Proximal deposits of the Kuttara–Hayakita tephra at Kuttara caldera volcano, northern Japan: A record of precursor volcanism, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 67 (3), 273–294.
- (50) 森泉美穂子 (1998) : クッタラ火山群の火山発達史, *火山*, 第43巻, 第3号, pp.95–111.
- (51) 勝井ほか (1988) : 倶多楽 (日和山) – 火山地質・活動史・活動の現況および防災対策, 北海道における火山に関する研究報告書 第12編, 北海道防災会議.
- (52) 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.
- (53) 後藤芳彦・佐々木央岳・鳥口能誠・畠山 信 (2013) : 北海道クッタラ (登別) 火山の噴火史, *日本火山学会講演予稿集*, p.129.
- (54) Goto, Y., Toriguchi, Y., Sasaki, H. and Hatakeyama, A. (2015a) : Multiple Vent-forming Phreatic Eruptions after AD 1663 in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, Vol. 60, No. 2, pp. 241–249.

- (55) Goto, Y. and Johmori, A. (2015) : Internal Structure of Kuttara Caldera, Hokkaido, Japan, Bull. Volcanol. Soc. Japan, Vol.60, No.1, pp.35-46.
- (56) Hashimoto, T., Kanda, W., Morita, Y., Hayakawa, M., Tanaka, R., Aoyama, H. and Uyeshima, M. (2019) : Significance of Electromagnetic Surveys at Active Volcanoes : Toward Evaluating the Imminence of Wet Eruptions, Journal of Disaster Research Vol.14 No.4, 2019, pp.580-591.
- (57) 畠山信・佐々木央岳・鳥口能誠・後藤芳彦 (2005) : 北海道南西部クッタラカルデラの周囲を取り巻く環状構造: 先クッタラカルデラ?, 日本火山学会講演予稿集, p.108.
- (58) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (1990) : 地熱開発促進調査報告書 No.22, 登別地域.
- (59) 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.
- (60) 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.
- (61) 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.
- (62) 倶多楽火山防災協議会 (2022) : 倶多楽火山避難計画
- (63) 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.
- (64) Lee, I.W. (1996) : Formation of Toya Caldera, Southwest Hokkaido, Japan, 神戸大学博士論文.
- (65) 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.
- (66) 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.
- (67) 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.
- (68) 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.
- (69) 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.
- (70) 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.
- (71) 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.
- (72) 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.

- (73) 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.
- (74) 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.
- (75) 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.
- (76) 有珠山火山防災協議会 (2021) : 有珠山火山防災マップ
- (77) 大場与志男 (1960) : ニセコ火山群の岩石について, 地質学雑誌, 第66巻, 第783号, pp.788-799.
- (78) 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.
- (79) 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.
- (80) 日本地質学会編 (2010) : 日本地方地質誌1 北海道地方, 朝倉書店.
- (81) 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.
- (82) 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.
- (83) 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.
- (84) 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.
- (85) 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.
- (86) 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.
- (87) 大原正則・宮本邦明・桑野修司・矢澤昭夫・山下伸太郎 (1990) : 桜島の溶岩流, 平成2年度砂防学会研究発表会概要集, pp.296-299.
- (88) 家田泰弘・大坪隆三・山下伸太郎・安養寺信夫・酒井敦章 (2009) : 桜島における昭和噴火時の溶岩流の数値シミュレーションによる再現, 平成21年度砂防学会研究発表会概要集, p.240.
- (89) 内閣府 (防災担当)・消防庁・国土交通省水管理・国土保全局砂防部・気象庁 (2013) : 火山防災マップ作成指針, pp.59-62.
- (90) 上澤真平・中川光弘・江草匡倫 (2011) : 南西北海道, 羊蹄火山の完新世噴火史の再検討, 火山, 第56巻, 第2・3合併号, pp.51-63.
- (91) 江草匡倫・中川光弘・藤田豪平 (2003) : 西南北海道, 羊蹄火山の活動史: 埋積された古羊蹄火山の発見と噴出率の時間変化, 日本火山学会講演予稿集, p.57.
- (92) 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.
- (93) 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.

- (94) 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.
- (95) 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.
- (96) 春日井昭・木村方一・小坂利幸・松沢逸巳・野川潔 (1968) :十勝平野に分布するいわゆる”帯広火山砂”について, 地球科学, 22巻3号.
- (97) 春日井昭・石橋教子・大貫康行・柏原信・鈴木久恵・田中秀樹・松田紘一 (1974) :恵庭火山の降下軽石層-分布と層準についての検討-, 地球科学, 28巻4号.
- (98) 萬年一剛 (2013) :降下火山灰シミュレーションコードTephra2の理論と現状-第四紀学での利用を視野に, 第四紀研究 (The Quaternary Research) 52 (4) p.173-187.
- (99) Asamori, K., K. Umeda, Y. Ogawa, T. Oikawa (2010) :Electrical resistivity structure and helium isotopes around Naruko volcano, northeastern Japan and its implication for the distribution of crustal magma, International Journal of Geophysics, Volume 2010, 738139.

(Web)

- (100) 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/>
- (101) 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/>
- (102) 防災科学技術研究所:[https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo\\_kozo/](https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/)
- (103) 気象庁地震月報 (カタログ編) :<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/index.html>
- (104) 気象庁一元化処理検測値データ:<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/>
- (105) 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](https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_vact_doc/monthly_vact.php)