

1. 指摘事項及び回答概要	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 10
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 34
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 38
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 44
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. 52
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. 56
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 106
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 108
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 116
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 160
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. 198
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 204
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. 212
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 215
5.1.1 敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物	P. 215
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 229
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. 242
残されている審査上の論点に関する審査会合(R4.3.31)以降の指摘事項	P. 248
参考文献	P. 255

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

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・徳舜誓、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)

4.2 巨大噴火の可能性評価

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を踏まえ、念のため、4.4章で地下構造についても検討し、複数の文献から現在の活動中心がイワオヌプリであると考えられることと、矛盾する状況にないかを確認する。

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

○地下構造について検討した結果、複数の文献から現在の活動中心はイワオヌプリであると考えられることと矛盾しない。

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

【評価方法】(1/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 支笏カルデラ及び洞爺カルデラについて、運用期間中における巨大噴火*の可能性が十分小さいことを評価するため、以下を実施する。
 - ・巨大噴火が差し迫った状態ではないことを総合的に評価するための活動履歴及び地球物理学的調査に関する検討
 - ・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を確認するための網羅的な文献調査
- このうち、巨大噴火が差し迫った状態ではないことの評価に用いる活動履歴及び地球物理学的調査については、下記に示す観点から検討を実施する。

【活動履歴】

- 現在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、噴出物の組成等の観点から検討を実施する。

【地球物理学的調査】

- 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。
- 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。

- これらの検討を実施するに当たり、まず、下司(2016)及び東宮(2016)をレビューすることで、以下の通り対象とするマグマ溜まりの規模、深度等を明確にした(P110～P112参照)。
- 巨大噴火を発生させるためには、巨大噴火が可能な量の珪長質なマグマ溜まりが、上部地殻内(約20km以浅)のうち、深度約10km程度以浅に形成されることが必要であり、また、そのマグマ溜まりの周囲には部分熔融域が広がっているものと考えられる。
- さらにマグマ溜まり及びその周囲に分布する部分熔融域は、部分熔融によるメルトの生成、発生したメルトの分離・上昇、集積等といった地殻全体に広がる巨大なマグマシステムを構成する一部であり、巨大なマグマシステムはカルデラを超える範囲に広がっているものと考えられる。
- このため、火山直下の上部地殻内(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、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの有無及び大規模なマグマの移動・上昇、集積等の活動の有無に着目する。

(次頁へ続く)

*原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされており、当社は巨大噴火における噴出物体積を20km³以上としている。

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

【評価方法】(2/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

(前頁からの続き)

- 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)については、下司(2016)及び東宮(2016)のレビュー結果を踏まえ、火山直下の上部地殻内(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、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの有無に着目し、以下を確認する。
 - ・地震波速度構造については、Nakajima et al. (2001) 及び中道(2022)を踏まえると(詳細は補足説明資料6章参照)、活火山直下の上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ことから、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
 - ・比抵抗構造については、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。このため、低比抵抗領域の有無を確認する
 - ・重力異常については、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とから、重力異常を踏まえた地下構造に関して考察している文献について確認する

- 地球物理学的調査のうち、火山性地震(低周波地震)及び地殻変動については、下司(2016)及び東宮(2016)のレビュー結果を踏まえ、火山直下の上部地殻内(約20km以浅)を広く確認した上で、大規模なマグマの移動・上昇、集積等の活動の有無に着目し、以下を確認する。
 - ・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、低周波地震の時空間分布を確認した上で、低周波地震群の有無を確認する
 - ・地殻変動については、青木(2016)によれば、マグマ溜まりにマグマが注入されると、マグマ溜まりが増圧し山体は膨張するとされている。このことから、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

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

文献(巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージ:下司(2016)及び東宮(2016)(1/3))

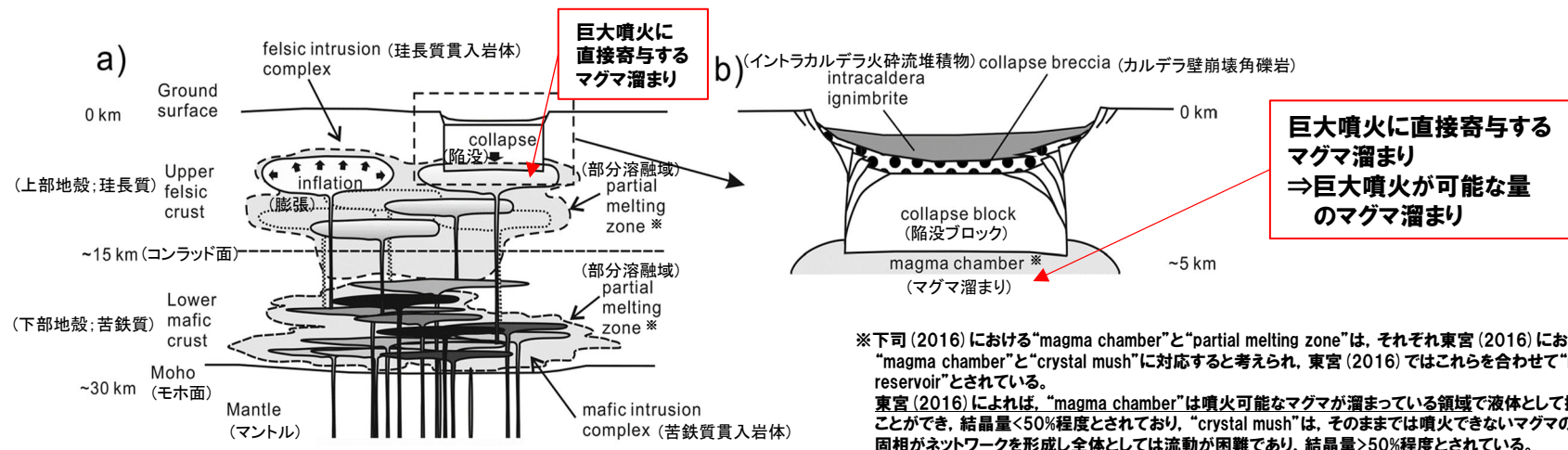
一部修正(R3/10/14審査会合)

【下司(2016)】

○巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージについて整理されている下司(2016)をレビューした。

- ・下司(2016)によれば、大規模噴火を発生させるためには地殻内部に多量のマグマを溶融状態で貯留する、すなわち地殻内部に巨大なマグマ溜まりを形成する必要があるとされている
- ・珧長質マグマの移動・集積に要するタイムスケールを考えると、数10~100km³の珧長質マグマを噴火期間中に生成・集積させながら噴出させることは不可能である。したがって、大規模噴火が発生するためには、その火山のシステムにあらかじめマグマを蓄積させておくことが必要であるとされている
- ・大規模噴火を引き起こすマグマシステムの全体像は、マンツルの部分溶融による苦鉄質マグマの生成、下部地殻に貫入した苦鉄質マグマの結晶分化作用や周辺の下部地殻物質の部分溶融による珧長質メルトの生成、発生したメルトの分離・上昇、上部地殻への集積、あるいは異なる組成のマグマの混合といった現象が起こる、地殻全体に広がる巨大で複雑なシステムであると考えられるとされている
- ・物理探査によってカルデラ火山の地下に検出されつつある低速度領域や低比抵抗領域は、このような部分溶融した貫入岩体の複合体を見ていると考えられるとされている
- ・大規模噴火の多くは流紋岩組成のマグマが噴出していることから、そのマグマ溜まりは深さ数km程度の浅所に貫入しているものと考えられるとされている
- ・陥没カルデラの構造は陥没ブロックがその中に沈降し得る広がりを持つだけの大きさを持つ単一のマグマ溜まりの存在を示唆するとされている

(次頁へ続く)



大規模噴火を引き起こすマグマシステムの全体像 (a) 珧長質マグマ供給系 (b) 陥没カルデラの浅部構造 (下司(2016)に加筆)

4. 2. 1 巨大噴火の可能性評価方法

文献(巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージ: 下司(2016) 及び東宮(2016) (2/3))

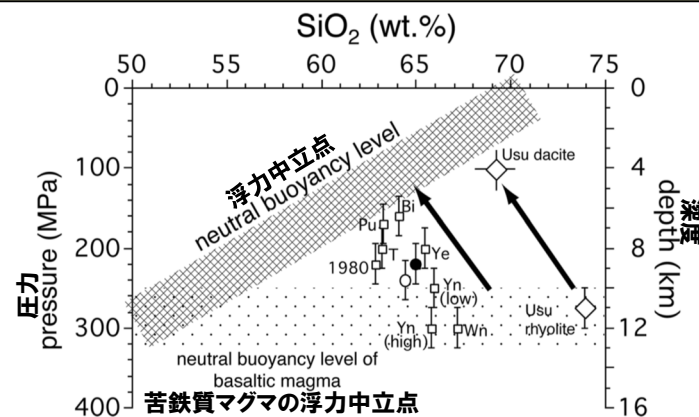
再掲(R5/10/6審査会合)

(前頁からの続き)

【東宮(2016)】

○マグマ溜まりの定置条件について記載された文献を整理している東宮(2016)をレビューした。

- ・マグマ溜まりがどのくらいの温度・圧力(深さ)であるかについては、多くの実験岩石学的研究があるとされている。
- ・また、メルト包有物の揮発性成分濃度と溶解度から飽和圧力を求めて推定した例も多い。鉱物組成の圧力依存性を利用した地質圧力計もあり、角閃石中のAlを使ったものが有名であるとされている。
- ・上記のような岩石学的手法で求まるのは、基本的に噴火直前にマグマが溜まっていた条件(pre-eruptive conditions)であるとされている。
- ・島弧火山の場合、100~300MPa前後、深さにして4~12km程度に求まっていることが多い。ただし、300MPa以上のデータがあまりないのは、300~1,000MPa(中部~下部地殻条件)の実験ができるガス圧装置が少ないことによるバイアスである可能性もあるとされている。
- ・マグマ溜まりがなぜその深さに存在するかについては、浮力中立で説明されることが従来多かった。つまり、マグマの密度と周辺地殻の密度が釣り合うような深さでマグマが定置する、というものである。しかし、実際にはそう単純でないとされている。
- ・たとえば有珠火山の場合、1663年流紋岩の高温高压融解相平衡実験に基づき、主マグマ溜まりの圧力は250MPa、深さにして約10kmと求められた。この深さは、流紋岩マグマの浮力中立点としては深過ぎるもので、むしろ1663年噴火直前に流紋岩マグマ溜まりへと注入した苦鉄質マグマの浮力中立点に相当するものであるとされている。
- ・このことから、深さ10kmは苦鉄質マグマ溜まりの浮力中立点であり、流紋岩マグマはこの場で生成し、ある期間そこに留まっていたのだと考えられたとされている。
- ・一方、有珠火山で1663年より後に噴出したデイサイトマグマの圧力は100MPa、深さにして4-5kmと求まり、浮力中立点として矛盾しない。つまり、密度の小さい珪長質マグマが、深部で生成したあと、(苦鉄質マグマの注入などにより組成をやや苦鉄質に変化させながら)浮力中立となる浅部に移動したことになるかとされている。



揮発性成分濃度から推定した
珪長質マグマ溜まりの深度
(東宮(2016)に追記)

↓ (次頁へ続く)

4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法

文献(巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージ:下司(2016)及び東宮(2016)(3/3))

一部修正(R3/10/14審査会合)

(前頁からの続き)



- 巨大噴火※を発生させるためには、巨大噴火が可能な量の珪長質なマグマ溜まりが、上部地殻内(約20km以浅)のうち、深度約10km程度以浅に形成されることが必要であり、また、そのマグマ溜まりの周囲には部分熔融域が広がっているものと考えられる。
- さらにマグマ溜まり及びその周囲に分布する部分熔融域は、部分熔融によるメルトの生成、発生したメルトの分離・上昇、集積等といった地殻全体に広がる巨大なマグマシステムを構成する一部であり、巨大なマグマシステムはカルデラを超える範囲に広がっているものと考えられる。
- このため、火山直下の上部地殻内(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、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの有無及び大規模なマグマの移動・上昇、集積等の活動の有無に着目する。
- なお、上部地殻と下部地殻の境界面(コンラッド面)の深度は、下司(2016)において、15km以浅として示されているが、Zhao(1992)においては、支笏カルデラ、倶多楽・登別火山群及び洞爺カルデラ周辺におけるコンラッド面は、深度約20kmとして示されていることから、上部地殻を約20km以浅として取り扱う。

※原子力発電所の火山影響評価ガイドにおいては、巨大噴火について、「地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km³程度を超えるようなもの」とされており、当社は巨大噴火における噴出物体積を20km³以上としている。

余白

1. 指摘事項	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 10
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 34
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 38
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 44
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. 52
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. 56
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 106
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 108
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 116
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 160
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. 198
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 204
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. 212
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 215
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. 215
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 229
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P. 242
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P. 248
6. 火山活動のモニタリング	P. 255
7. 火山影響評価のまとめ	
残されている審査上の論点に関する審査会合(第1回)	
参考文献	

・本章の説明内容

【評価結果】支笏カルデラの巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造: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) 樽前山火山防災協議会(2022)

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

4.2.2 支笏カルデラの評価

【評価結果】支笏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)

- 支笏カルデラの現在の活動状況は、以下の検討結果(詳細は下表及び次頁表参照)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、現在の支笏カルデラは、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではなく、地温も低いことを踏まえると、Sp-1を噴出したような噴火を起こす状態ではないと判断される
 - ・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、現状、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、支笏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P157に示す。

活動履歴における検討結果(地球物理学的調査における検討結果は次頁表に示す)

検討項目	検討結果	該当頁
①活動履歴	<p>○支笏カルデラでは、約4万年前に、噴出物体積にして350~390km³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。</p> <p>○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。</p> <p>○巨大噴火以降に活動を開始した後カルデラ火山は、複数回の活動が認められ、噴出物体積の総和は最大でも恵庭岳の15km³程度であり、巨大噴火による噴出物(Sp-1)の噴出物体積に比べ、十分小さいことから、現在の支笏カルデラは、Sp-1噴出時と比較し、静穏な活動下にあるものと推定される。</p> <p>○Sp-1に比べ、後カルデラ火山の噴出物のSiO₂重量比は低く、珪長質ではない。</p> <p>○Sp-1噴出時にマグマが存在していた深度約4~10kmの地温に比べ、現在の支笏カルデラ付近の同深度の地温は低い。</p>	P118 ~ P125
	<p>○現在の支笏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検討を実施した結果、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではなく、地温も低いことを踏まえると、Sp-1を噴出したような噴火を起こす状態ではないと判断される。</p>	

(次頁へ続く)

4.2.2 支笏カルデラの評価

【評価結果】支笏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)

(前頁からの続き)

検討項目		検討結果	該当頁
地球物理学 的調査	②地下 構造	<p>【地震波速度構造】</p> <p>○支笏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、以下の状況が認められる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域が、上部地殻の一部まで広がっているものの、その中心部は下部地殻に位置している。また、当該領域が支笏カルデラ直下の浅所まで連続する状況は認められない ・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 ・支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるものの、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> <p>○文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)を踏まえると、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」及び上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」並びにこれらと同様な位置及び深度に低比抵抗領域「C-3」が認められる。</p> <p>(地震波速度構造と比抵抗構造との比較(P138~P143参照))</p> <p>○比抵抗構造だけでは、これらの領域がメルトを含む部分熔融域かマグマ由来の水に富む領域か判断できないことから、当該領域における比抵抗構造と地震波速度構造とを合わせた検討を実施した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められる。また、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められず、低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲に比べ低いVp/Vsを示す ・低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の下部では、下部地殻に中心部が位置する低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められるものの、上部では、下部に比べ低いVp/Vsを示す <p>○低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。</p> <p>○また、低比抵抗領域「C-3」の下部は、低比抵抗領域「C2」と同様に、メルトを含む部分熔融域であることが示唆されるものの、上部は、低比抵抗領域「C2'」と同様、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。</p> <p>○低比抵抗領域「C2'」については、震源分布及び地温の観点から、以下の状況を確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、通常の地震が認められることから、当該範囲では、脆性的な破壊が生じており、当該範囲が硬質な領域であることを示唆している ・大久保ほか(1998)において、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度は、深度10km深では600~700℃程度であるとされており、現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される深度10kmの地温は約500℃であり、低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲は、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度に達していない <p>○低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲は、震源分布の観点及び地温の観点から、それぞれにおいてメルトの存在を示唆する状況ではない。</p> <p>○このため、支笏カルデラ直下の深度約10km程度以浅には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められないと判断される。</p>	<p>P129~ P131</p> <p>P132~ P143</p>
			<p>○マグマ溜まりの位置、規模等を把握するため、地下構造調査を実施した結果、支笏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	<p>○火山性地震のうち、低周波地震活動は、恵庭岳周辺の下部地殻(約20km以深)において、低周波地震が散発的に認められるが、上部地殻には低周波地震群は認められない。</p>	P146~ P150
	④地殻 変動	<p>○地殻変動は、プレート間固着効果等に伴う定常的な変動、周辺の地震による余効変動、白老町の局所的な変動等が認められるが、これ以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。</p>	P152~ P156
		<p>○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した結果、支笏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、集積等の活動を示す兆候は認められないと判断される。</p>	
総合評価	<p>○活動履歴及び地球物理学的調査に関する検討から、総合的に判断すると、支笏カルデラの現在の活動状況は、巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価される。</p>		

4.2.2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (1/7)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

【目的】

○現在の支笏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、支笏カルデラにおける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、噴出物の組成等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) (P120～P123参照)

- 約4万年前にSp-1を噴出した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が $350\sim 390\text{km}^3$ (火砕流 150km^3 (マグマ体積: 80km^3 (DRE)), 降下軽石 $200\sim 240\text{km}^3$ (マグマ体積: $40\sim 48\text{km}^3$ (DRE)))とされることから (P121～P123参照)、巨大噴火に該当する。
- 約4万年前にSp-1を噴出した噴火による現在の支笏カルデラの形成以降は、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P19参照)、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
- 各後カルデラ火山の噴出物体積は、風不死岳の総和が 10.2km^3 * (マグマ体積: 8.4km^3 (DRE)), 恵庭岳の総和が 14.6km^3 * (マグマ体積: 11.1km^3 (DRE)), 樽前山の最大のもので 6.28km^3 (溶岩ドーム)である。
- なお、約6万年前の噴火により噴出したSp-4 (Ssfa及びSsfl) は、現況の知見において広範囲に分布する状況は認められないことから、巨大噴火に該当しない。

(噴出物の組成) (P124参照)

- 巨大噴火による噴出物 (Sp-1) は珪長質であり、Sp-1に比べ、現在の支笏カルデラを形成した噴火以降に噴出した各後カルデラ火山の噴出物の SiO_2 重量比は低い。

(地温) (P125参照)

- Sp-1噴出時のマグマ供給系のうち、斑晶に乏しい珪長質マグマが存在していたとされる深度約4～10kmの地温に比べ、現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される同深度の地温は低い。

*マグマ体積を山元 (2014) に基づき、当社が噴出物体積へ換算した値。



(次頁へ続く)

4.2.2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (2/7)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

(前頁からの続き)



- 支笏カルデラでは、約4万年前に、噴出物体積にして350～390km³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は、複数回の活動が認められ、噴出物体積の総和は最大でも恵庭岳の15km³程度であり、巨大噴火による噴出物 (Sp-1) の噴出物体積に比べ、十分小さいことから、現在の支笏カルデラは、Sp-1噴出時と比較し、静穏な活動下にあるものと推定される。
- Sp-1に比べ、後カルデラ火山の噴出物のSiO₂重量比は低く、珪長質ではない。
- Sp-1噴出時にマグマが存在していた深度約4～10kmの地温に比べ、現在の支笏カルデラ付近の同深度の地温は低い。

- したがって、現在の支笏カルデラは、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではなく、地温も低いことを踏まえると、Sp-1を噴出したような噴火を起こす状態ではないと判断される。

4.2.2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (3/7)

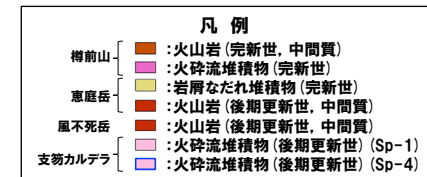
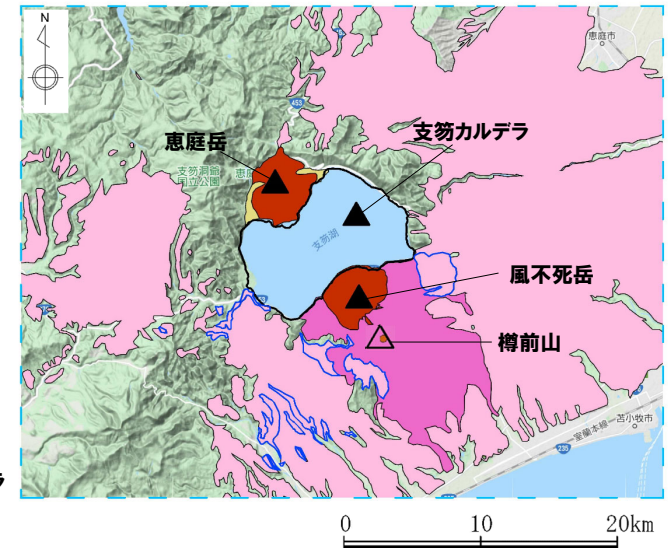
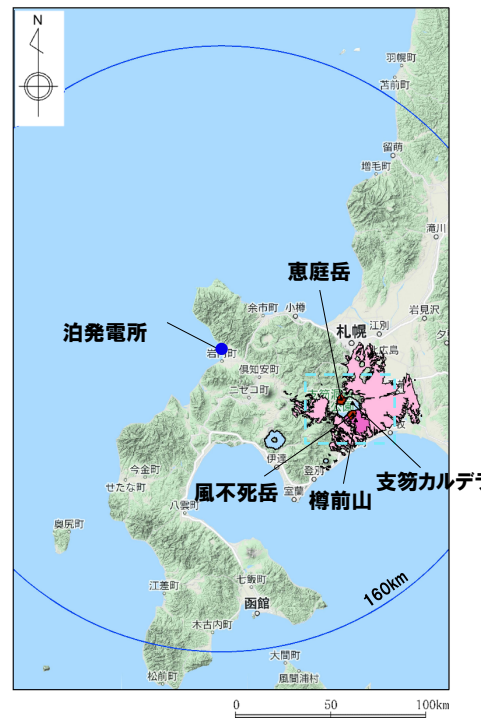
一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 支笏カルデラ並びに後カルデラ火山である恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の活動履歴, 噴出量-年代階段ダイアグラム等を以下からP123に示す。
- 支笏カルデラの活動の概要は以下のとおり。
 - ・長期的前駆活動として, 約9万年前にSp-5を噴出した噴火, 約6万年前にSp-4 (Ssfa及びSsfl) を噴出した噴火等が発生した
 - ・約4万年前にSp-1 (支笏火砕流堆積物 (Spfl) 及び支笏第1降下軽石 (Spfa-1)) を噴出した噴火により, 現在の支笏カルデラが形成され, その後, 後カルデラ火山である風不死岳, 恵庭岳及び樽前山が形成された
 - ・約4万年前にSp-1を噴出した噴火以降から現在までの活動期は後カルデラ期である

支笏カルデラの概要

火山名※1	C11 支笏カルデラ (後カルデラ火山含む) C12 恵庭岳 C13 風不死岳 C14 樽前山
敷地からの距離	74.8km (恵庭岳:68.6km, 風不死岳:77.7km, 樽前山:80.2km)
火山の形式※2	支笏カルデラ: 火砕流台地-カルデラ 恵庭岳: 成層火山, 火砕丘, 溶岩ドーム 風不死岳: 成層火山, 溶岩ドーム 樽前山: 火砕丘, 溶岩ドーム
活動年代※3	支笏カルデラ: 約4万年前にカルデラ形成 恵庭岳: 約1万8000年前以前に活動開始 風不死岳: 約4万年前以降 樽前山: 約9000年前に活動開始
評価	約1万年前以降に活動しており, 完新世に活動した火山として抽出する。

※1 産業技術総合研究所「日本の火山 (DB)」2023年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 P123に示す支笏カルデラ, 恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の活動履歴に基づく。

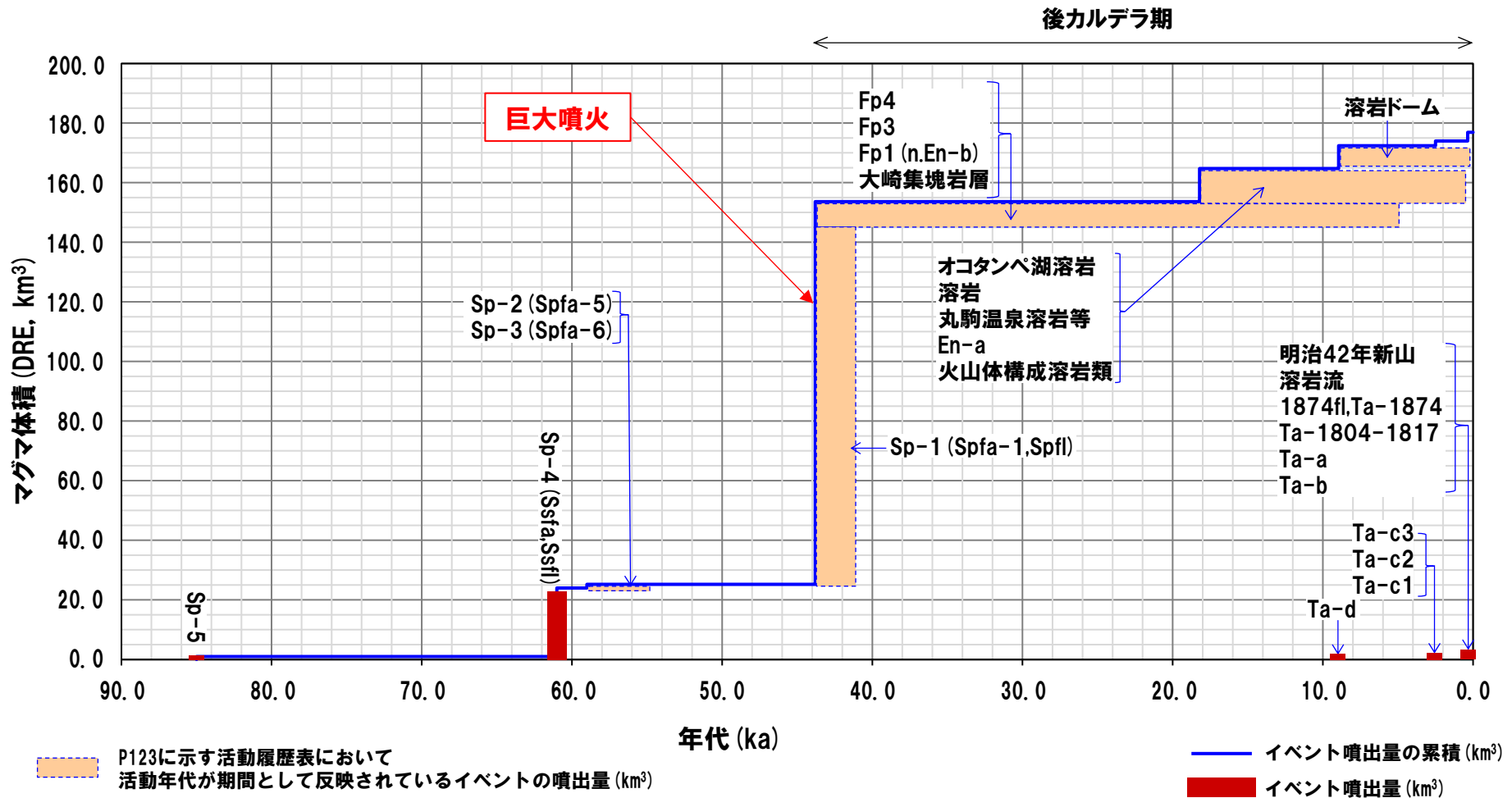


支笏カルデラ, 恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の噴出物分布図
 (産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2020) より作成)

4. 2. 2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (4/7)

一部修正 (H28/2/5審査会合)



噴出量-年代階段ダイアグラム

余白

4.2.2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (5/7)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

支笏カルデラ活動履歴

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

風不死岳活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献			
完新世				第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014) Amma-Miyasaka et al. (2020)			
更新世	4.475ka	Fp4	8.4		5.7		
	8.465ka	Fp3					
	不明	Fp2					
第四紀	25.5ka	Fp1 (n.En-b)					
	不明	第3期溶岩					
	不明	霧畑の沢溶結凝灰岩					
	不明	第2期溶岩					
	不明	第1期溶岩					
	不明	金次郎沢集塊岩層					
	43.8-41.4ka以降	大崎集塊岩層					

※1 宝田ほか (2022) によれば、Sp-4のマグマ体積は、16~23km³ (DRE) とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、23km³として図示している。
 ※2 Amma-Miyasaka et al. (2020) によれば、Sp-5の噴出規模は、概算として「smaller than VEI5 class」とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、マグマ体積 (DRE) を1km³として図示している。

恵庭岳活動履歴

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

樽前山活動履歴

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献		
完新世				第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)		
第四紀	19世紀以降	19世紀以降噴火	4 (火砕丘) 1.8 (火砕流噴出物)			
	A.D.1909	明治42年新山				(水蒸気爆発)
	A.D.1883	溶岩流				0.02
	A.D.1874	1874fl, Ta-1874				0.00001
	A.D.1867	溶岩ドーム				0.20
	A.D.1804-1817	Ta-1804-1817				(6.28に包含)
	A.D.1739	Ta-a				0.03
	A.D.1667	Ta-b				0.03
	2.0ka	Ta-c3				1.60
	2.5ka	Ta-c2				1.10
	2.5ka	Ta-c1				0.03
	8.950ka	Ta-d (d1,d2)				1.40
	8.95-0.146ka	溶岩ドーム				1.40
						6.28

4. 2. 2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (6/7)

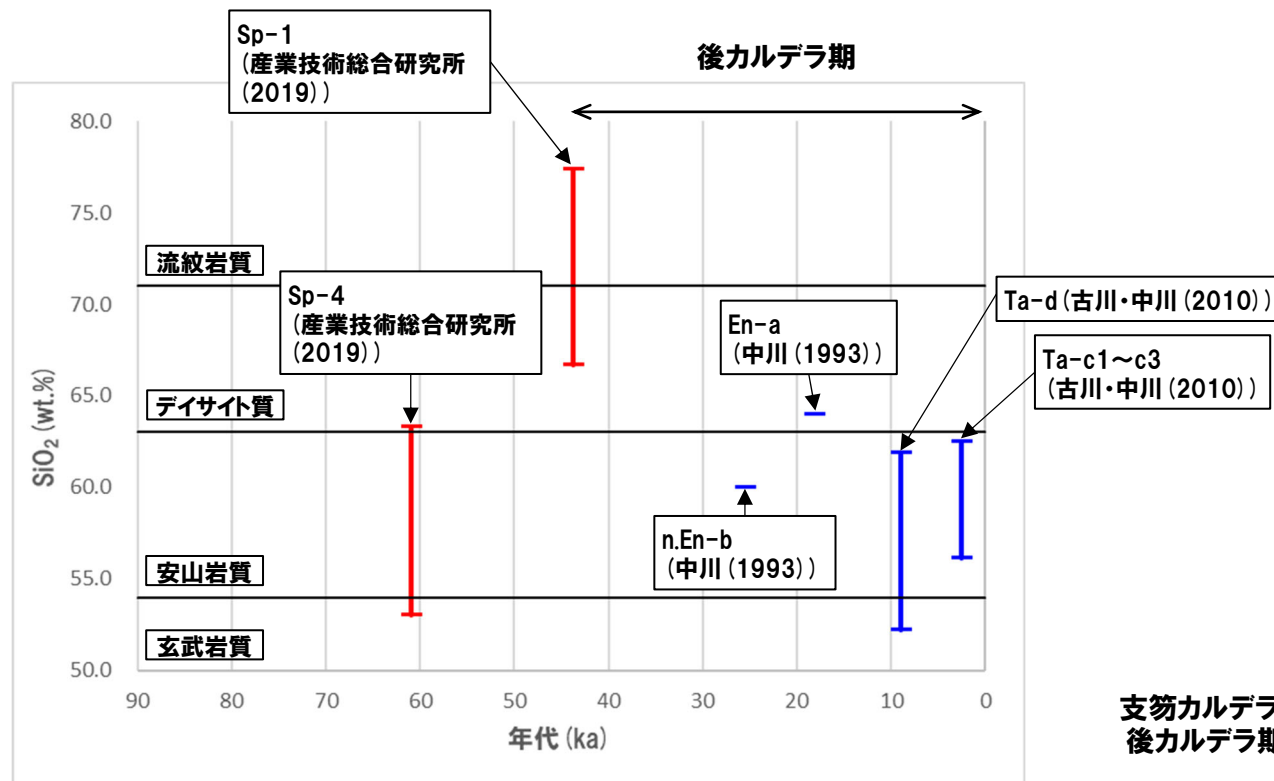
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【噴出物の組成】

- 産業技術総合研究所 (2019) に基づくと, Sp-1の大半を占める斑晶に乏しい (CPタイプ) 軽石のSiO₂の重量比は, 66.7~77.4wt.%であり, デイサイト~流紋岩組成である。
- 中川 (1993) 及び古川・中川 (2010) に基づくと, 恵庭岳, 風不死岳及び樽前山の噴出物におけるSiO₂の重量比は, 50~65wt.%であり, デイサイト~玄武岩組成である。



- 巨大噴火による噴出物 (Sp-1) は珪長質であり, Sp-1に比べ, 現在の支笏カルデラを形成した噴火以降に噴出した各後カルデラ火山の噴出物のSiO₂重量比は低い。



4.2.2 支笏カルデラの評価

① 活動履歴 (7/7)

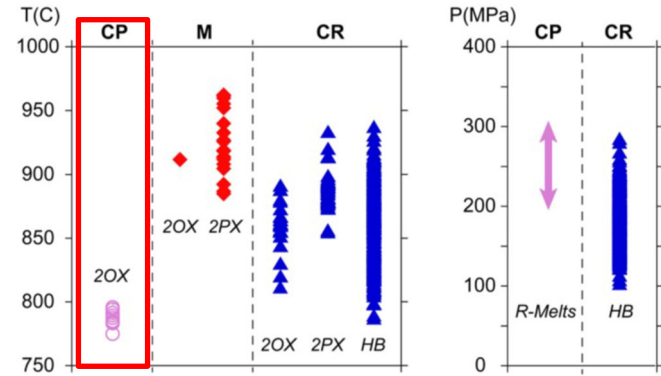
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【地温】

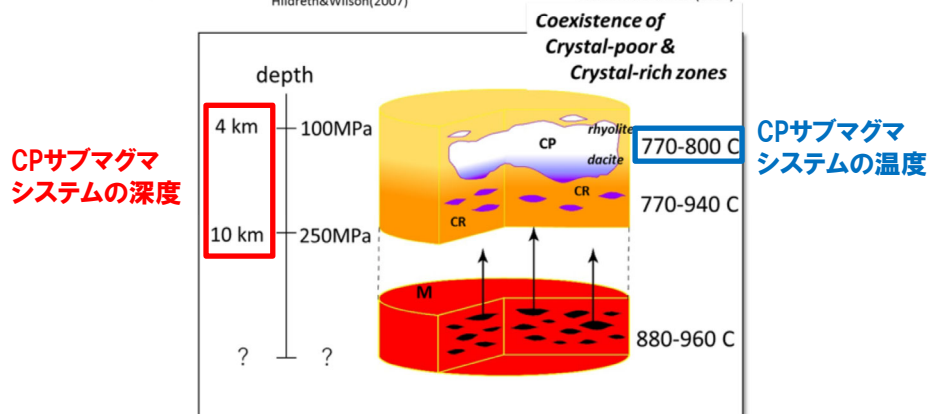
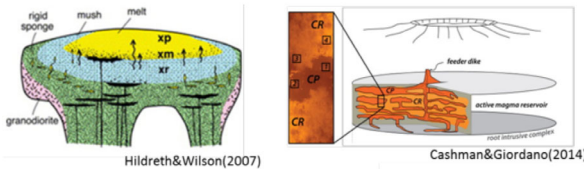
- 産業技術総合研究所 (2019) によれば, Sp-1噴出時のマグマ供給系のうち, 斑晶に乏しい珪長質マグマ (CPサブマグマシステム) は, 深度約4~10km, 温度770~800°Cの環境で存在していたとされている。
- Tanaka et al. (2004) 及び西田・橋本 (2007) に示される現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される深度4~10kmの地温は, 約180~500°Cである。



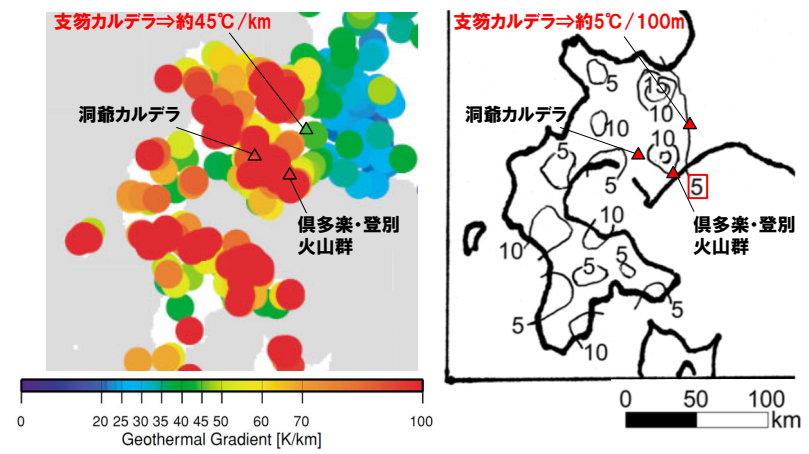
- Sp-1噴出時のマグマ供給系のうち, 斑晶に乏しい珪長質マグマが存在していたとされる深度約4~10kmの地温に比べ, 現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される同深度の地温は低い。



地質温度圧力計および熱力学モデルより推定された各サブマグマシステムの温度圧力条件 (産業技術総合研究所 (2019) に加筆)



従来の研究によるカルデラ形成噴火のマグマ供給系モデル (上) と支笏カルデラ形成期のマグマ供給系モデルの概要 (産業技術総合研究所 (2019) に加筆)



北海道南西部の地温勾配 (右:西田・橋本 (2007) に加筆。単位は°C/100m) (左: Tanaka et al. (2004) に加筆。単位はK/km)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-1 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)(1/2)

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)(P129~P131参照)

- 支笏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、以下の状況が認められる。
 - ・メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域が、上部地殻の一部まで広がっているものの、その中心部は下部地殻に位置している。また、当該領域が支笏カルデラ直下の浅所まで連続する状況は認められない
 - ・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
- 支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるものの、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。

(次頁へ続く)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-1 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)(2/2)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

(前頁からの続き)

(比抵抗構造) (P132~P143参照)

- 比抵抗構造だけでは、これらの領域がメルトを含む部分熔融域かマグマ由来の水に富む領域か判断できないことから、当該領域における比抵抗構造と地震波速度構造とを合わせた検討を実施した。
 - ・下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められる。また、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められず、低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲に比べ低いVp/Vsを示す
 - ・低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の下部では、下部地殻に中心部が位置する低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められるものの、上部では、下部に比べ低いVp/Vsを示す
- 低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
- また、低比抵抗領域「C-3」の下部は、低比抵抗領域「C2」と同様に、メルトを含む部分熔融域であることが示唆されるものの、上部は、低比抵抗領域「C2'」と同様、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
- 低比抵抗領域「C2'」については、震源分布及び地温の観点から、以下の状況を確認した。
 - ・低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、通常の地震が認められることから、当該範囲では、脆性的な破壊が生じており、当該範囲が硬質な領域であることを示唆している
 - ・大久保ほか(1998)において、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度は、深度10km深では600-700℃程度であるとされており、現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される深度10kmの地温は約500℃であり、低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲は、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度に達していない
- 低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲は、震源分布の観点及び地温の観点から、それぞれにおいてメルトの存在を示唆する状況ではない。
- このため、支笏カルデラ直下の深度約10km程度以浅には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められないと判断される。

(重力異常) (P144参照)

- 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。



- 支笏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。

余白

4. 2. 2 支笏カルデラの評価

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取り扱う。
- 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。



- 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。その公開データを用いて、当社が支笏カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。
- 巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する場合、その周囲には部分熔融域が広がっているものと考えられ、これらは、カルデラを越える範囲に広がっている巨大なマグマシステムを構成する一部であることを踏まえると、水平分解能が20km、鉛直分解能が5km~10kmである地震波トモグラフィ解析において、十分に捉えられる規模と考えられる。
- また、仮にこの分解能を下回る規模であったとしても、マグマ溜まり及び部分熔融域が存在する範囲を地震波が通過する場合、不明瞭ながらも速度異常域として捉えられるものと考えられる。

【検討結果(次頁~P131参照)】

- 支笏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、以下の状況が認められる。
 - ・メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域が、上部地殻の一部まで広がっているものの、その中心部は下部地殻に位置している。
 - また、当該領域が支笏カルデラ直下の浅所まで連続する状況は認められない
 - ・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
- 支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるものの、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。

4.2.2 支笏カルデラの評価

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、当社が支笏カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。

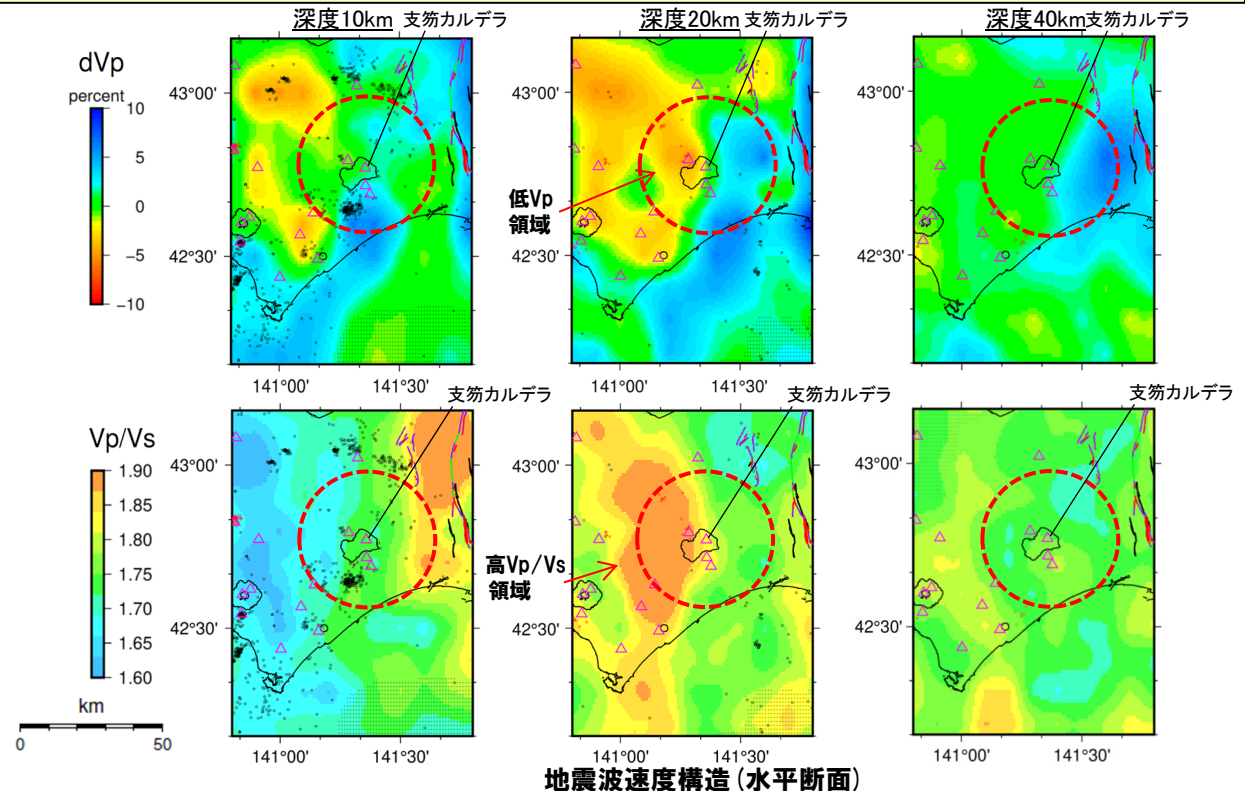


- 支笏カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、以下の状況が認められる。
 - ・メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域が、上部地殻の一部まで広がっているものの、その中心部は下部地殻に位置している。また、当該領域が支笏カルデラ直下の浅所まで連続する状況は認められない
 - ・深度約10km程度以浅には、メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない
- 支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるものの、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 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。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P108~P112参照)】

- 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の地震の分布状況についても考慮する。

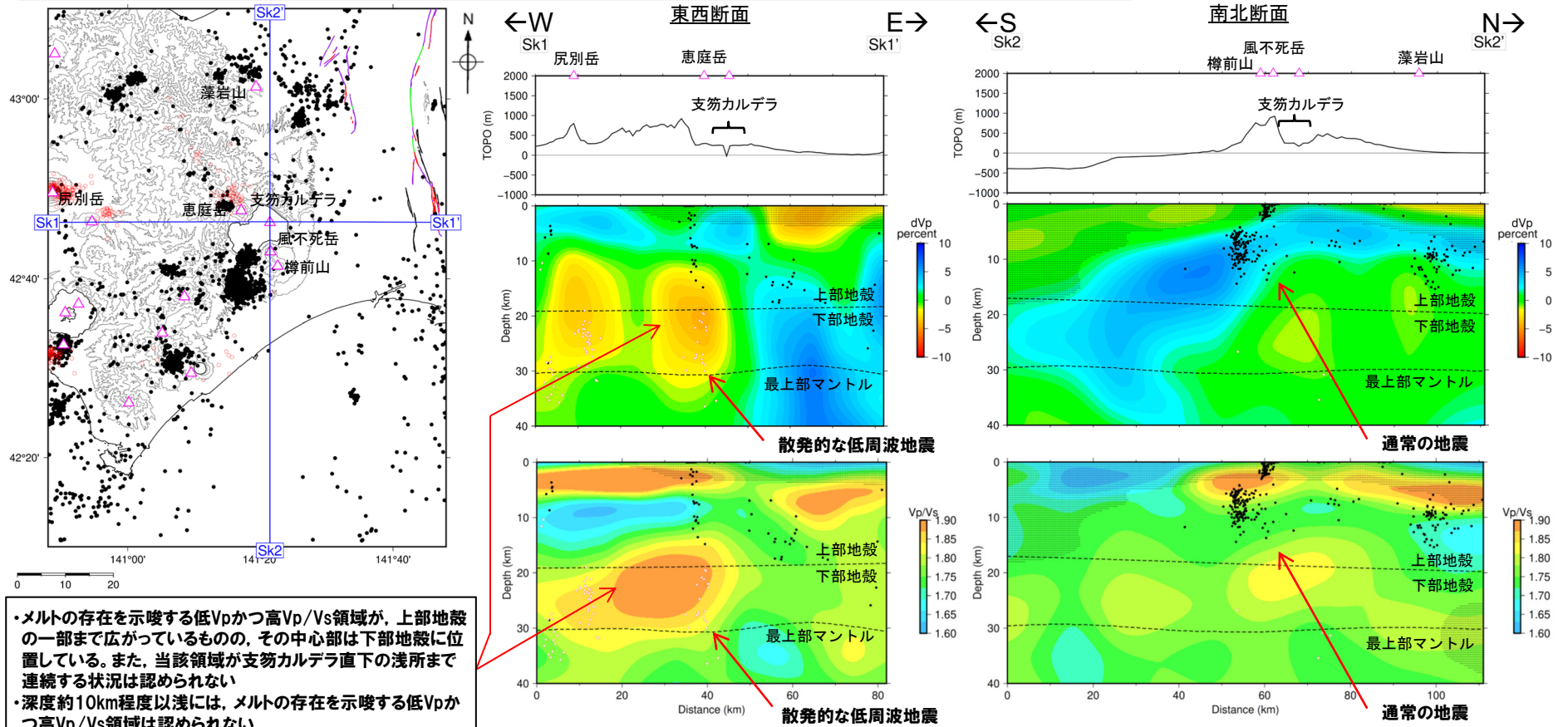
凡例	
△	第四紀火山
黒点	震源(MJMA \geq 0)
赤点	低周波地震の震源 (期間:2000/10/1-2020/12/31)
半透明黒色部	チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
—	活断層
—	推定活断層
	今泉ほか編(2018)をトレース
○	支笏カルデラを中心とした、半径25kmの範囲



4.2.2 支笏カルデラの評価

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)



•メルトの存在を示唆する低Vpかつ高Vp/Vs領域が、上部地殻の一部まで広がっているものの、その中心部は下部地殻に位置している。また、当該領域が支笏カルデラ直下の浅所まで連続する状況は認められない

•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

•支笏カルデラ直下の下部地殻内(約20~30km)には、散発的な低周波地震が認められるものの、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

- 凡例
- △ 第四紀火山
 - 黒点 震源 (M_{JMA} ≥ 0)
 - 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2020/12/31)
 - 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の範囲の震源をプロットした。

地震波速度構造(鉛直断面)

4. 2. 2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【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、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低比抵抗領域の有無を確認する。



【検討結果(P134~P143参照)】

- 文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)を踏まえると、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められるが、メルトを含む部分熔融域かマグマ由来の水に富む領域か比抵抗構造だけでは判断できないことから、当該領域における比抵抗構造と地震波速度構造とを合わせた検討を実施する。

(Yamaya et al. (2017) 及び Ichihara et al. (2019) に認められる比抵抗構造に対応する地震波速度構造 (P138~P143参照))

- Yamaya et al. (2017) に示される (d) 断面及び (e) 断面に合わせて作成した地震波速度構造断面において、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められる。また、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められず、低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲に比べ低いVp/Vsを示す。
- このため、Yamaya et al. (2017) を踏まえると、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
- Ichihara et al. (2019) においては、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と同様な位置及び深度に低比抵抗領域「C-3」が認められる。
- Ichihara et al. (2019) に示される断面に合わせて作成した地震波速度構造断面においては、低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の下部では、下部地殻に中心部が位置する低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められるものの、上部では、下部に比べ低いVp/Vsを示す。
- 低比抵抗領域「C-3」は、以下の状況から、下部はメルトを含む部分熔融域であることが示唆され、上部はマグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
 - ・低比抵抗領域「C-3」は、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と同様な位置及び深度に認められる
 - ・低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される
- また、低比抵抗領域「C2'」については、震源分布及び地温の観点から、以下の状況を確認した。
 - ・低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、通常地震が認められることから、当該範囲では、脆性的な破壊が生じており、当該範囲が硬質な領域であることを示唆している
 - ・大久保ほか(1998)において、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度は、深度10km深では600-700℃程度であるとされており、現在の支笏カルデラ付近の地温勾配から推定される深度10kmの地温は約500℃であり、低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲は、上部地殻物質である花崗岩のソリダス温度に達していない



(次頁へ続く)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(2/10)

一部修正(R5/1/20審査会合)

(前頁からの続き)



- 支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」及び上部地殻内(約20km以浅)に位置する「C2'」並びにこれらと同様な位置及び深度に低比抵抗領域「C-3」が認められる。
- 地震波速度構造と比抵抗構造との比較の結果、低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
- また、低比抵抗領域「C-3」の下部は、低比抵抗領域「C2」と同様に、メルトを含む部分熔融域であることが示唆されるものの、上部は、低比抵抗領域「C2'」と同様、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
- 更に、低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲は、震源分布の観点及び地温の観点から、それぞれにおいてメルトの存在を示唆する状況ではない。
- このため、支笏カルデラ直下の深度約10km程度以浅には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりの存在を示唆する状況は認められないと判断される。

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/10)

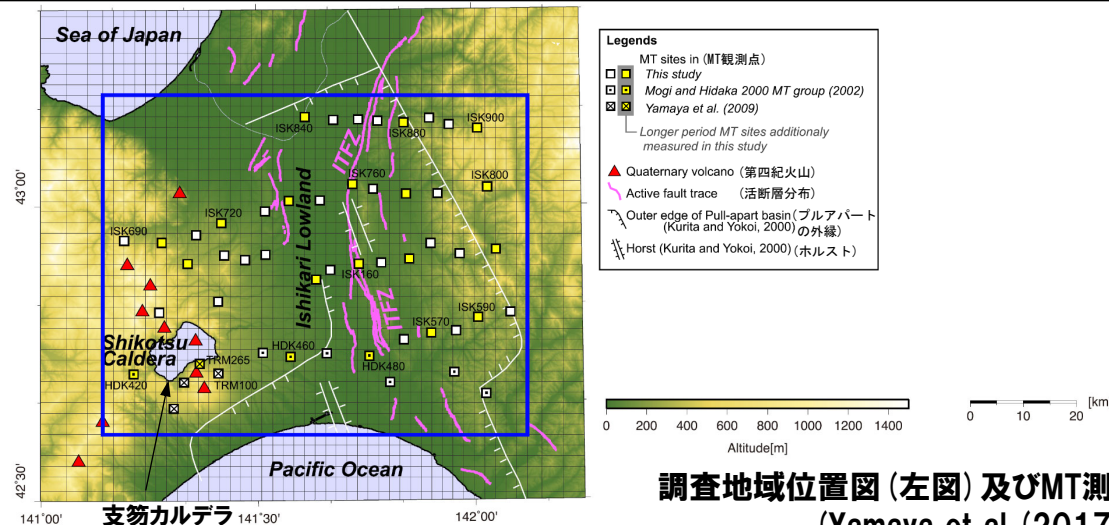
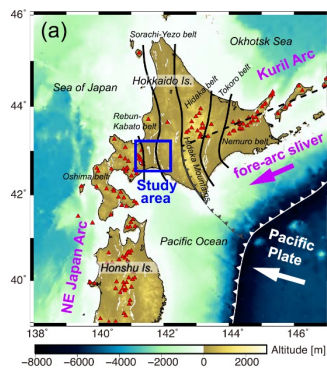
一部修正 (R5/1/20審査会合)

【Yamaya et al. (2017)】

- 支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺において、MT法による電磁気探査を実施しているYamaya et al. (2017) をレビューした。
- ・Yamaya et al. (2017) によれば、支笏カルデラ直下においては、比抵抗値が $30\ \Omega\text{m}$ 以下及び $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が深度5~40km以深に認められるとされている(次頁図中の「C2」及び「C2'」)
- ・火山地域の深部低周波地震は、マグマの移動に関連している可能性があり、C2が部分熔融域を示していると仮定すると、C2の上端に認められる深部低周波地震(次頁参照)は、地殻内へのマグマの移動に伴うものである可能性があるとされている
- ・また、深部低周波地震は、メルトから脱水された水の移動に伴うものである可能性もあるとされている
- ・比抵抗構造だけでは、判断できないが、支笏カルデラ直下において5kmから40km以深へ続く低比抵抗領域は、メルト (partial melts) 又はマグマ由来の水 (aqueous fluids) を示しており、C2及びC2' はそれぞれこれらの上昇経路、貯留域と解釈されるとされている
- ・地表付近に認められる低比抵抗領域は、その底部が上部白亜系の上面に対比されることから、古第三紀より新しい堆積岩であるとされている
- ・白亜系の基盤岩中においても低比抵抗領域「C1」が認められるものの、低い地温勾配を示す非火山地帯における上部から中部地殻に部分熔融域が存在することは考えにくいことから、水に富む領域であるとされている



- Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、メルト又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域「C2」及び「C2'」が認められる。
- 上記に加え、地表付近に認められる低比抵抗領域は、古第三紀より新しい堆積岩であり、白亜系の基盤岩中に認められる比抵抗領域「C1」は、水に富む領域であるとされている。

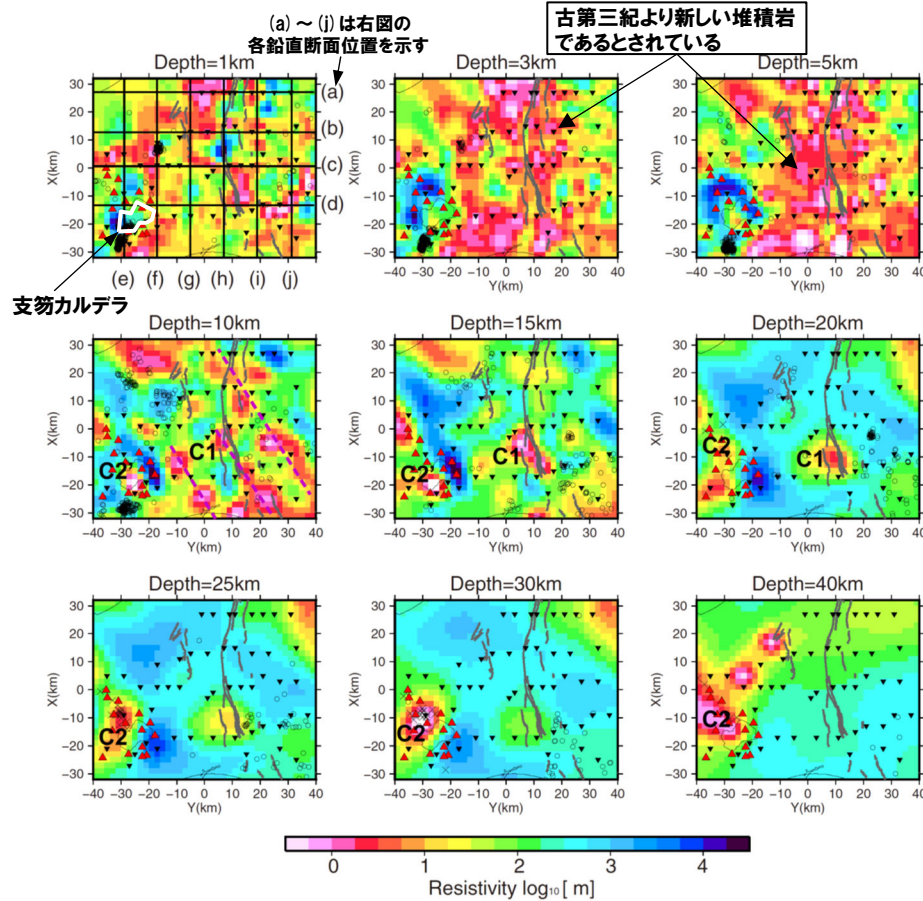


調査地域位置図(左図)及びMT測定地点位置図(右図)
(Yamaya et al. (2017) に加筆)

4.2.2 支笏カルデラの評価

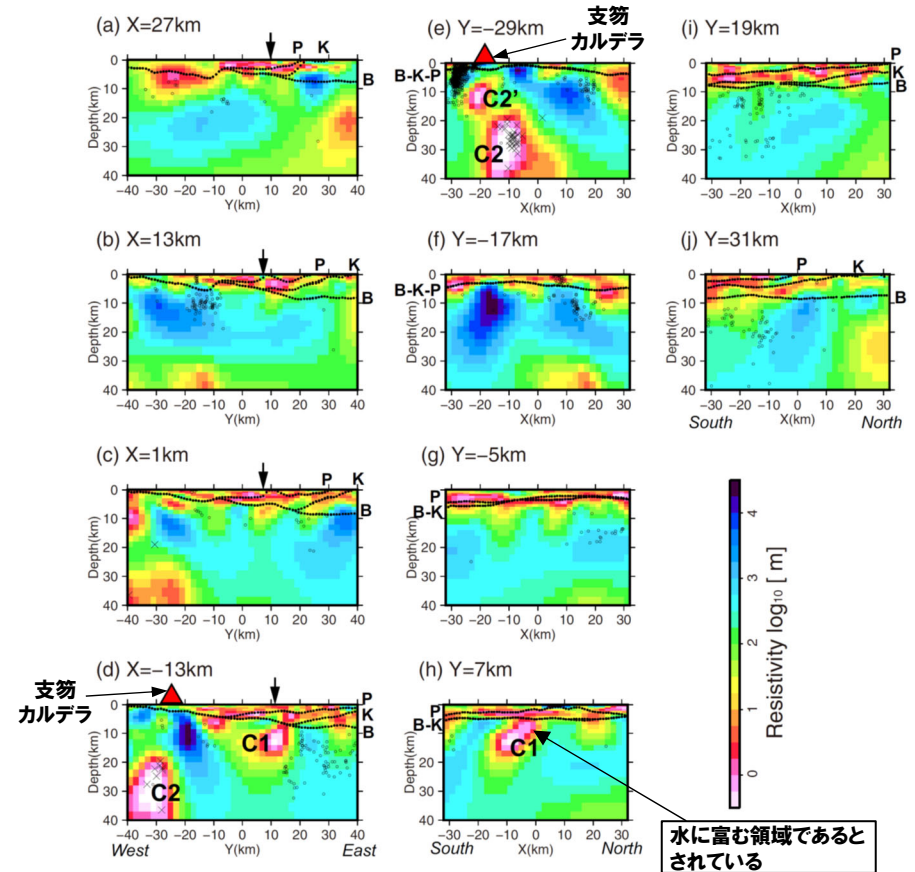
②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



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

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



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

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

余白

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

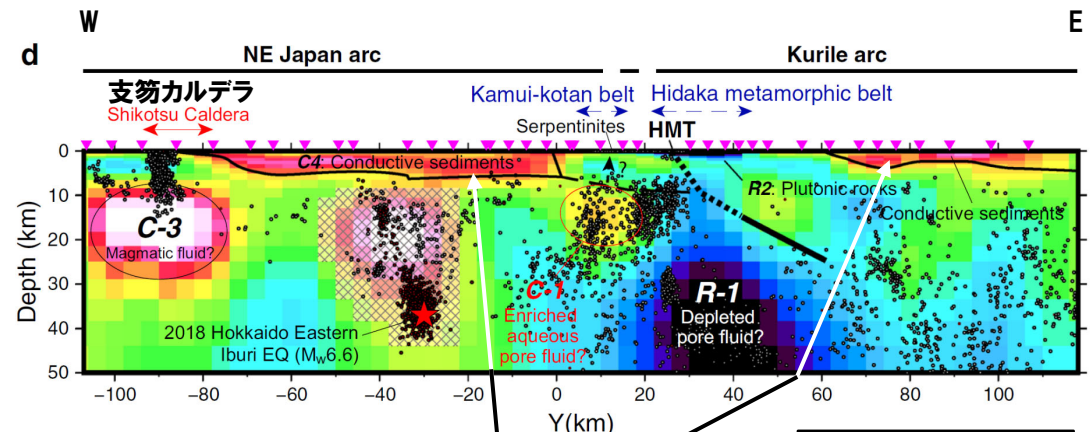
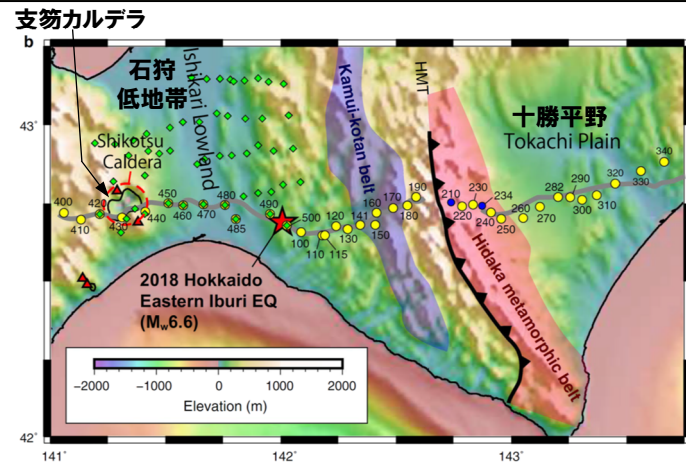
【Ichihara et al. (2019)】

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

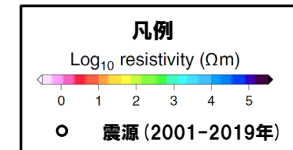
- ・Ichihara et al. (2019) によれば、支笏カルデラ直下の(右下図中の「C-3」)において、低比抵抗構造が認められるとされている
- ・本研究においては、Yamaya et al. (2017) (P134~P135参照) と異なるデータセットを使用しており、当該低比抵抗領域が認められたことは、Yamaya et al. (2017) において支笏カルデラ直下に低比抵抗領域が認められたことを支持するとされている
- ・当該低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) において考察されているように、支笏カルデラ直下のメルト又はマグマ由来の水を表している可能性があるとしてされている
- ・また、深度0-6kmに認められる厚く地表に近い低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) などに認められる堆積岩であるとされている



- Ichihara et al. (2019) に基づくと、支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と同様な位置及び深度に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。
- 上記に加え、深度0-6kmに認められる厚く地表に近い低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) などに認められる堆積岩であるとされている。



堆積岩であるとされている



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

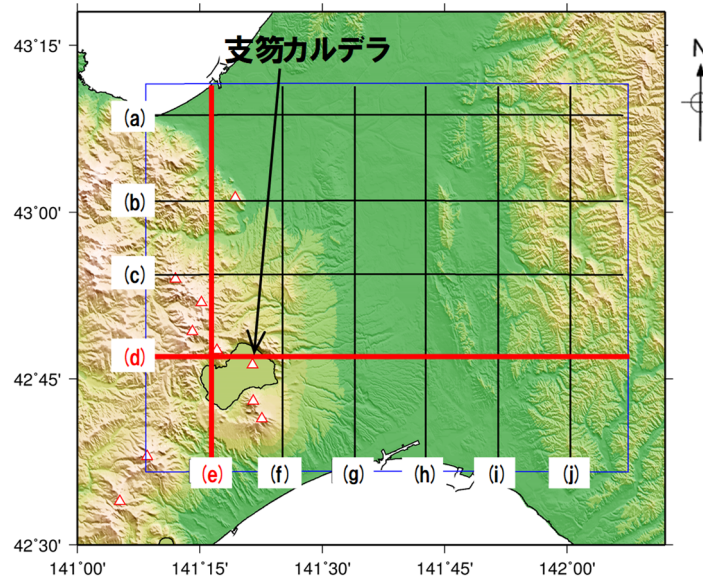
4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (6/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【Yamaya et al. (2017) に認められる比抵抗構造に対応する地震波速度構造】

- Yamaya et al. (2017) に示される (d) 断面及び (e) 断面に合わせて作成した地震波速度構造断面において、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められる。また、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」の推定分布範囲には、低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められず、低比抵抗領域「C2」の推定分布範囲に比べ低いVp/Vsを示す。
- このため、Yamaya et al. (2017) を踏まえると、下部地殻に中心部が位置する低比抵抗領域「C2」は、メルトを含む部分熔融域であることが示唆され、上部地殻内(約20km以浅)に位置する低比抵抗領域「C2'」は、マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。



次頁鉛直断面位置図

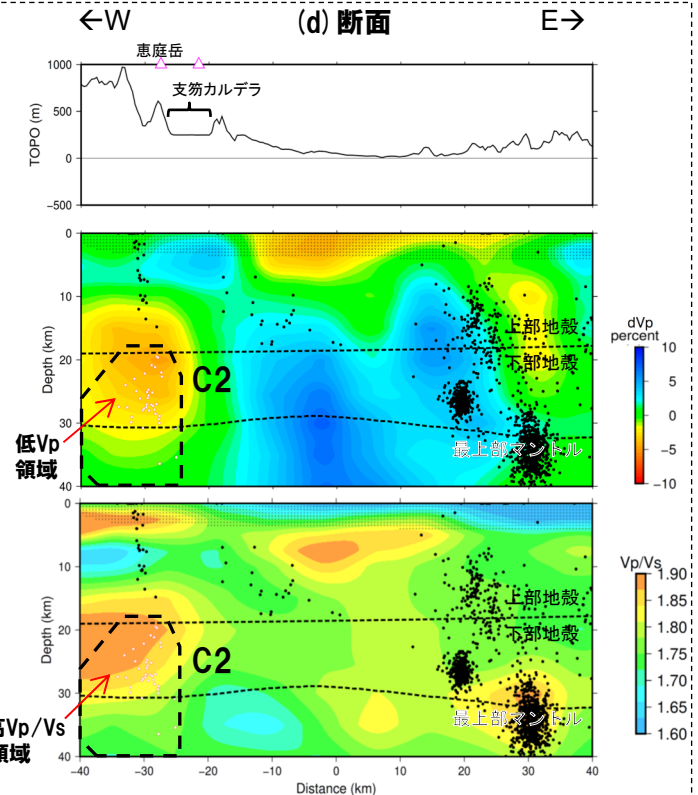
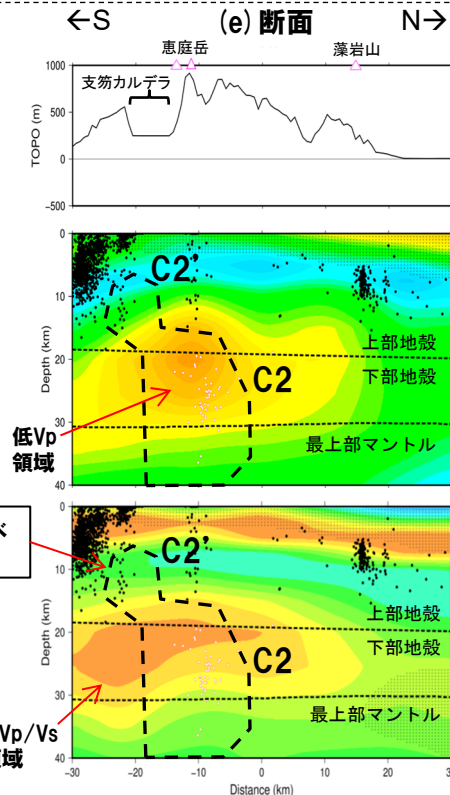
(Yamaya et al. (2017) に示される断面のうち、支笏カルデラ付近で直交する (d) 断面及び (e) 断面を掲載)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査 (地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (7/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

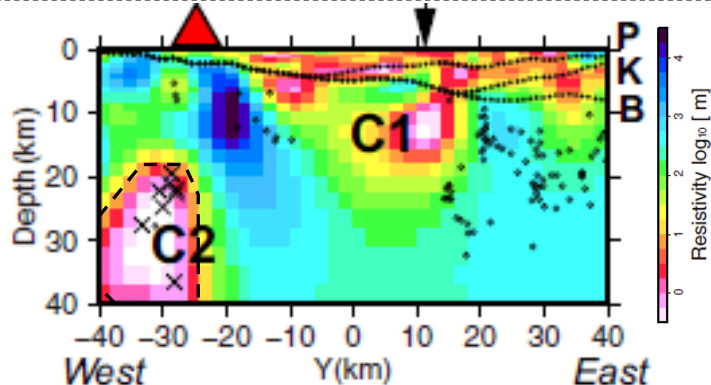
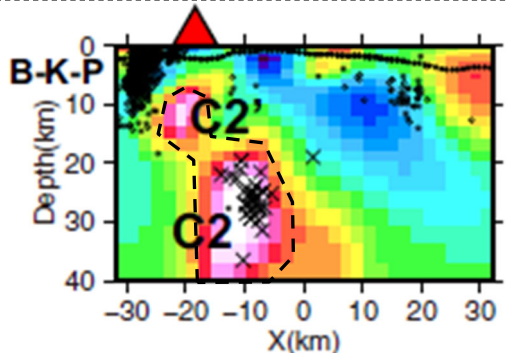
- 凡例 (地震波速度構造)
- ▲ 第四紀火山
 - 震源 (MJMA ≥ 0)
 - 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2020/12/31)
 - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
 - Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」



「C2」の推定分布範囲に比べ低いVp/Vsを示す。

地震波速度構造 (鉛直断面)

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



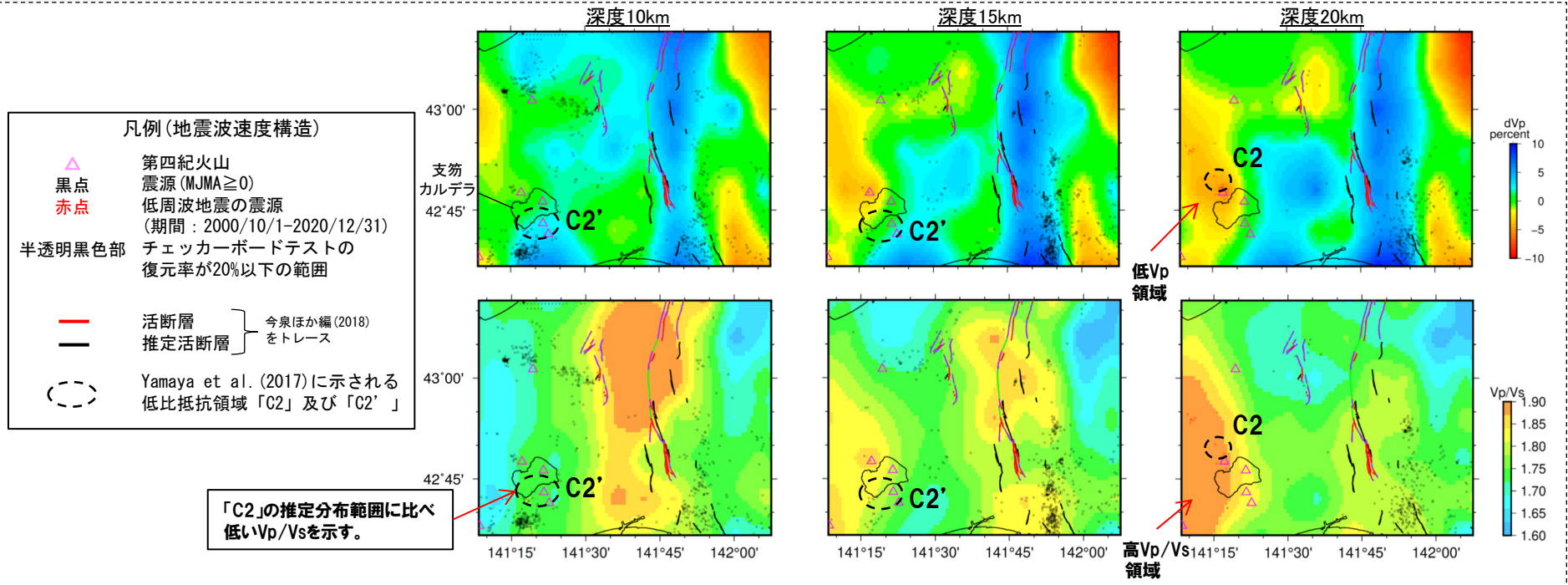
比抵抗構造 (鉛直断面)
(Yamaya et al. (2017) に加筆)

余白

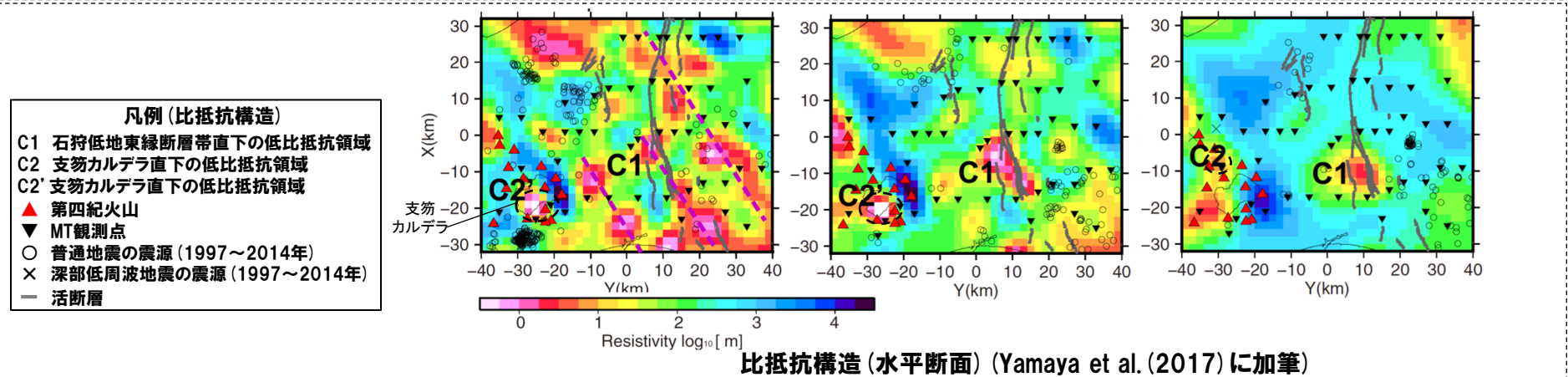
4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査 (地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (8/10)

一部修正 (R5/1/20審査会合)



地震波速度構造 (水平断面)



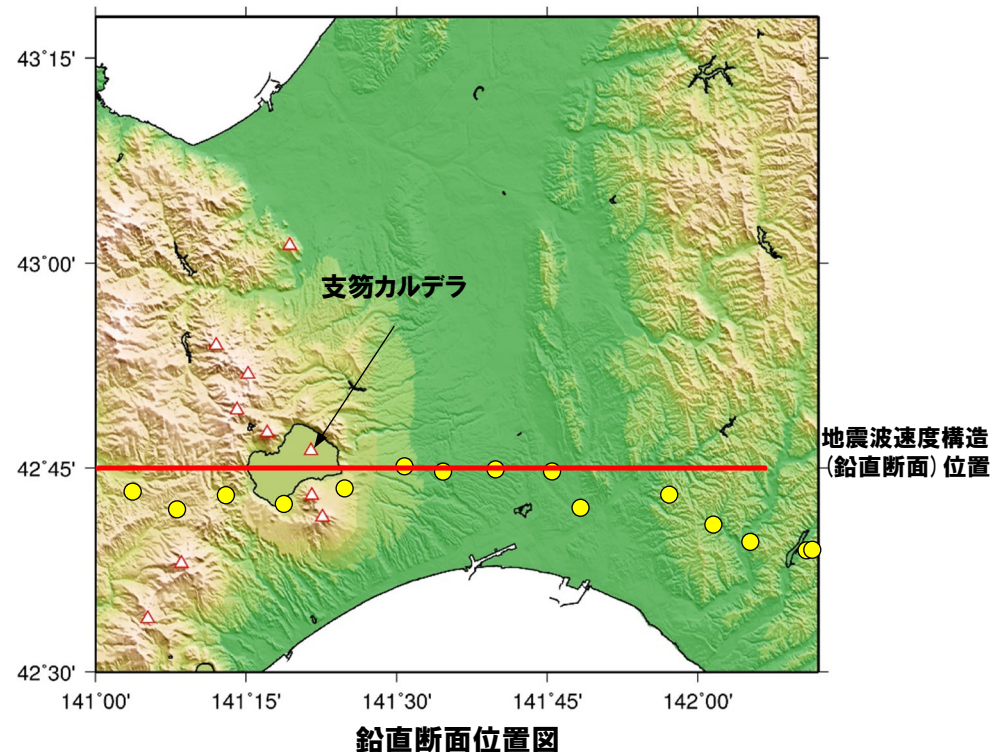
4. 2. 2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (9/10)

再掲 (R5/10/6審査会合)

【Ichihara et al. (2019) の比抵抗構造に対応する地震波速度構造】

- Ichihara et al. (2019) においては, Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と同様な位置及び深度に低比抵抗領域「C-3」が認められる。
- Ichihara et al. (2019) に示される断面に合わせて作成した地震波速度構造断面においては, 低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の下部では, 下部地殻に中心部が位置する低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められるものの, 上部では, 下部に比べ低いVp/Vsを示す。
- 低比抵抗領域「C-3」は, 以下の状況から, 下部はメルトを含む部分熔融域であることが示唆され, 上部はマグマ由来の水に富む領域であることが示唆される。
 - ・低比抵抗領域「C-3」は, Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」と同様な位置及び深度に認められる
 - ・低比抵抗領域「C2」は, メルトを含む部分熔融域であることが示唆され, 低比抵抗領域「C2'」は, マグマ由来の水に富む領域であることが示唆される



- 凡例
- Ichihara et al. (2019) に示される MT観測点位置
 - Ichihara et al. (2019) に示される 比抵抗構造 (鉛直断面) 作成方向

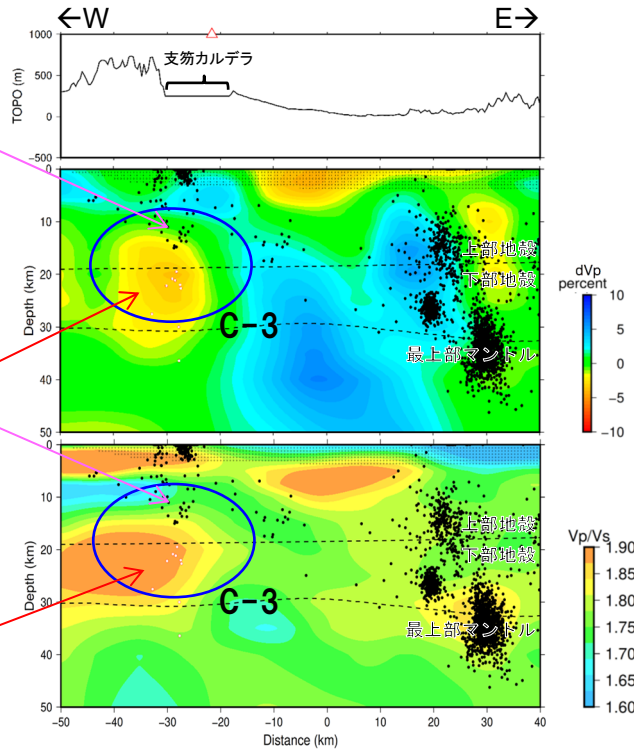
4.2.2 支笏カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査 (地下構造:比抵抗構造-地震波速度構造と比抵抗構造との比較-) (10/10)

再掲 (R5/10/6審査会合)

低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の上部では、下部に比べ低いVp/Vsを示す状況が認められる。

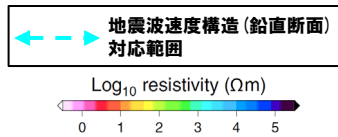
低比抵抗領域「C-3」の推定分布範囲の下部では、下部地殻に中心部が位置する低Vpかつ高Vp/Vs領域が認められる。



凡例 (地震波速度構造)

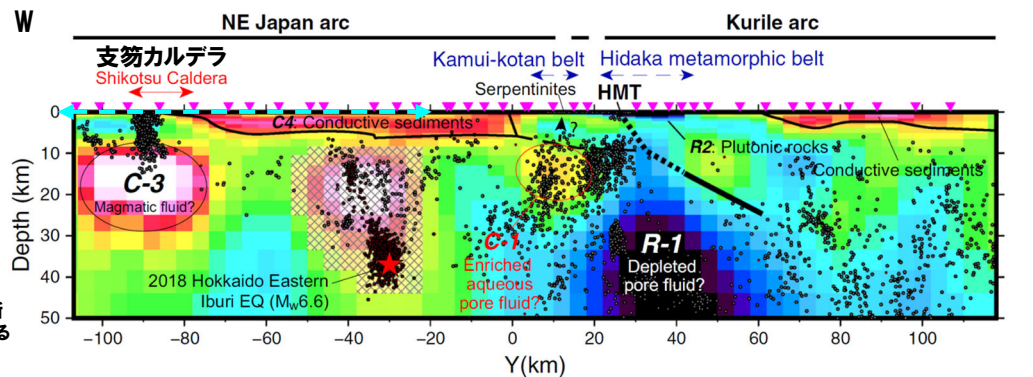
- △ 第四紀火山
- 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
- 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2020/12/31)
- 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
- Ichihara et al. (2019) に示される低比抵抗領域「C-3」

地震波速度構造 (鉛直断面)



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

※当該断面は、各MT観測点の位置付近において、比抵抗構造 (鉛直断面) 作成方向でいくつかの断面を作成した上で、それらの断面を並べることで作成されている。



4. 2. 2 支笏カルデラの評価

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】

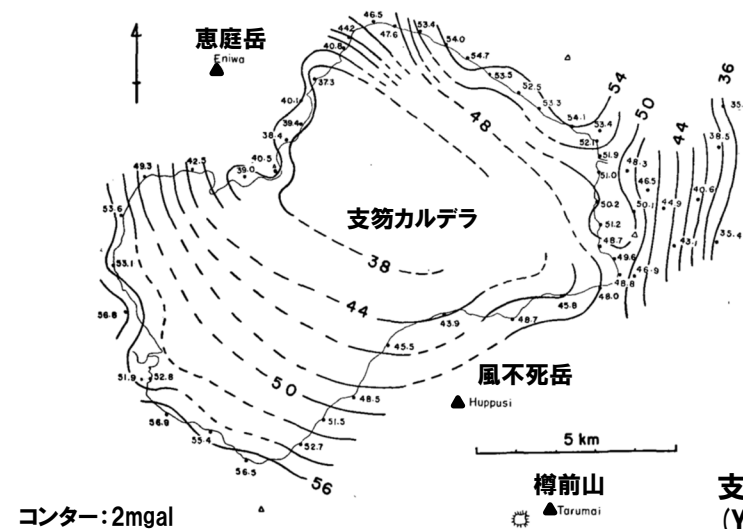
- 下鶴ほか編(2008)によれば、重力異常から地下密度構造を求めることができ、周辺の地殻に比べて火山の下に何らかの質量欠損があるか、過剰があるかは火山の地下構造を論ずるうえで重要であるとされている。
- このことから、重力異常を踏まえた支笏カルデラ周辺の地下構造に関して考察している文献について確認する。

【Yokoyama and Aota (1965)】

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

【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。



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

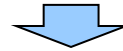
4.2.2 支笏カルデラの評価

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~P150参照)

○恵庭岳周辺の下部地殻(約20km以深)において, 低周波地震が散発的に認められるが, 上部地殻には低周波地震群は認められない。

(地殻変動)(P152~P156参照)

○プレート間固着効果等に伴う定常的な変動, 周辺の地震による余効変動, 白老町の局所的な変動等が認められるが, これ以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。



○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には, 現状, 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。

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (1/5)

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】

- 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~P148参照)
 - 地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - 低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ20~35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- (気象庁, 2020)(P149参照)
 - 地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、樽前山の南西側の領域及び西側の領域については、2013年及び2014年に地震回数の増加が認められるが、本文献では2014年以降は低下傾向にあるとされている。
 - 低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ25~35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- (気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ)(P150参照)
 - 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
 - マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



- 支笏カルデラ周辺の火山性地震のうち、低周波地震活動は、恵庭岳周辺の下部地殻(約20km以深)に散発的に認められるが、上部地殻には認められない。

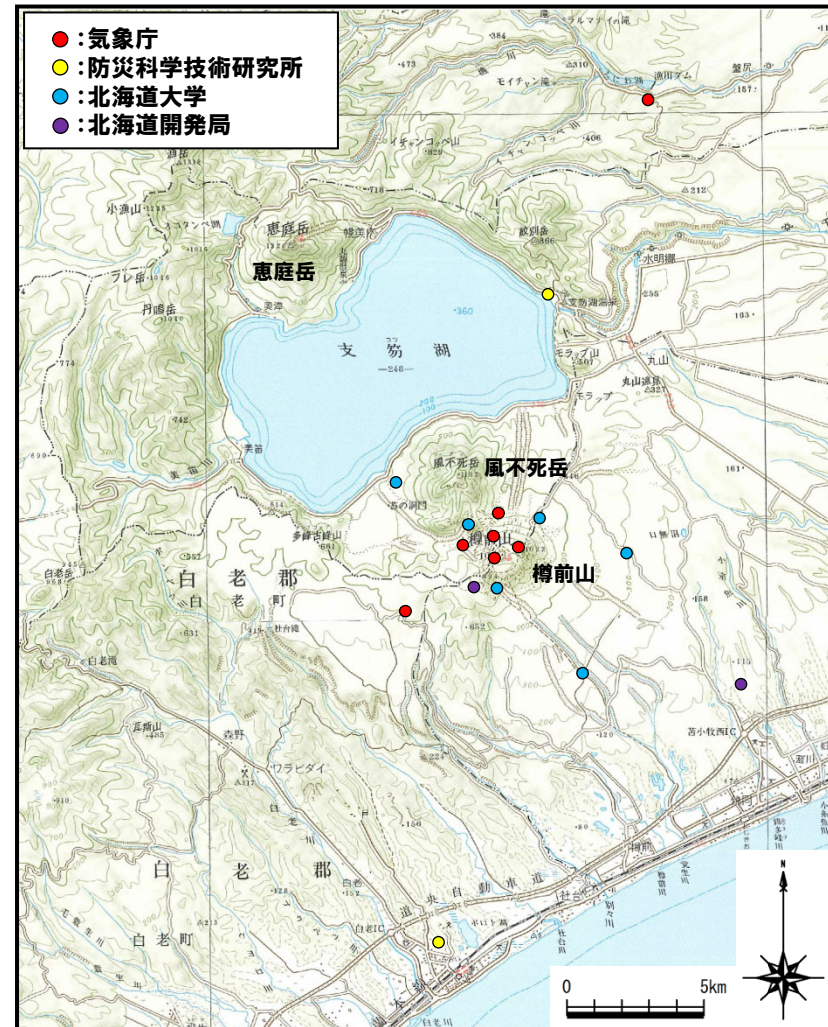
4. 2. 2 支笏カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(2/5)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

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



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

4.2.2 支笏カルデラの評価

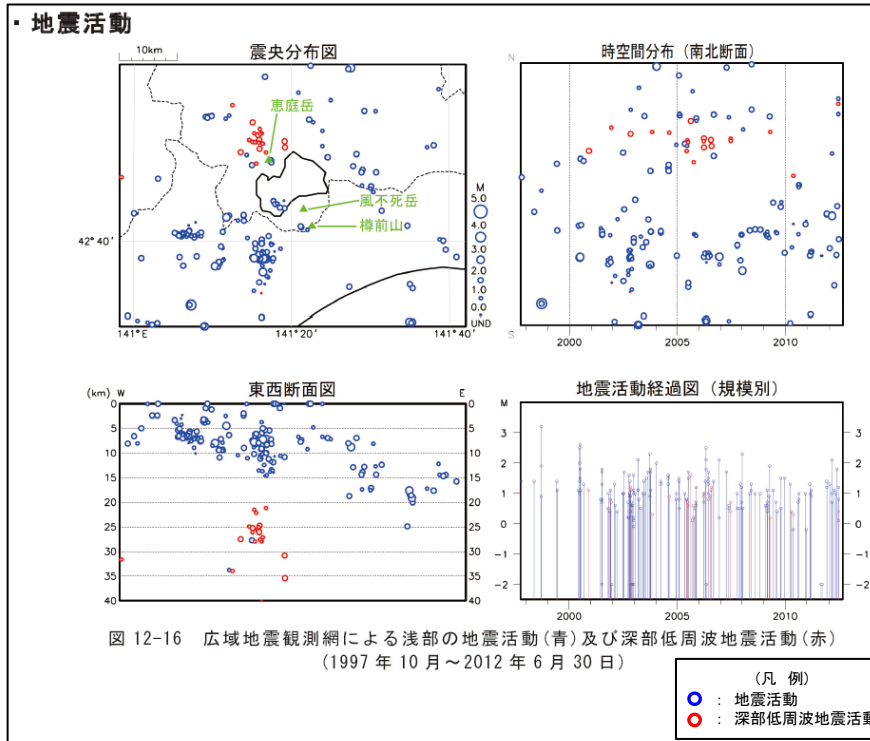
②-6 地球物理学的調査(火山性地震) (3/5)

一部修正 (H25/11/13審査会合)

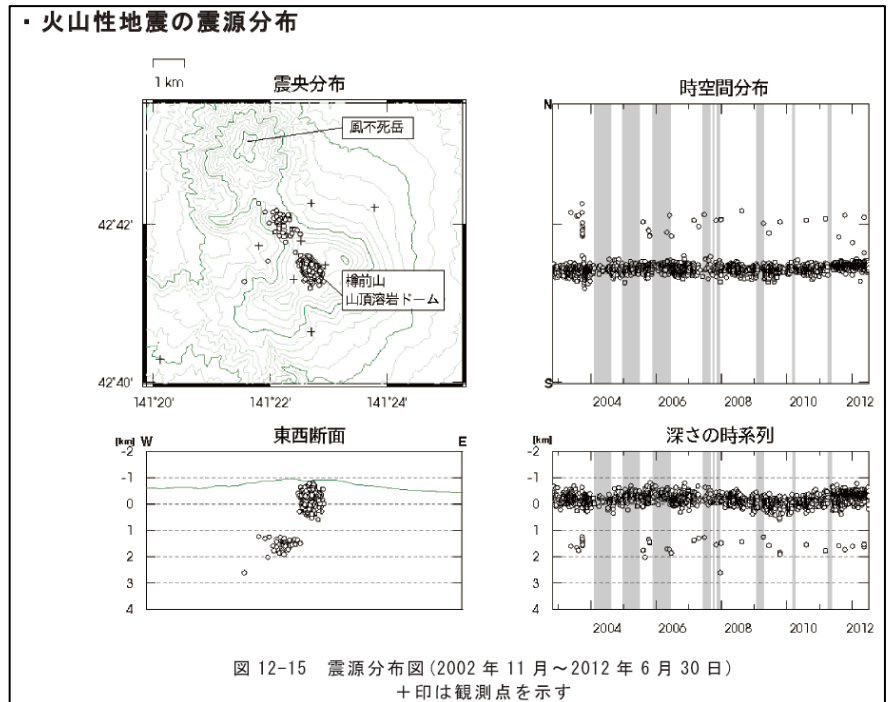
【気象庁編(2013)】

○支笏カルデラ周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)及び樽前山の火山性地震の震源分布(2002年11月～2012年6月)を下図に示す。

- 支笏カルデラ周辺においては、樽前山及び恵庭岳周辺に震央の分布が認められる。
- 地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ20～35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。



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



樽前山の火山性地震の震源分布
(2002年11月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(4/5)

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, 支笏カルデラ周辺の地震活動(1997年10月~2020年11月)について, 右図の通り示されている。



- 支笏カルデラ周辺においては, 樽前山及び恵庭岳周辺に震央の分布が認められる。
- 樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域においては, 2013年及び2014年に地震回数の増加が認められるが, 本文献では2014年以降は低下傾向にあるとされている。
- 低周波地震活動は, 恵庭岳周辺の深部(深さ25~35km程度)に散発的に認められ, 規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- また, 2013年及び2014年の地震の増加に伴う低周波地震の増加は認められない。

低周波地震活動は, 恵庭岳周辺の深部(深さ25~35km程度)に散発的に認められる。

樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域については, 2013年及び2014年に地震回数の増加が認められる。

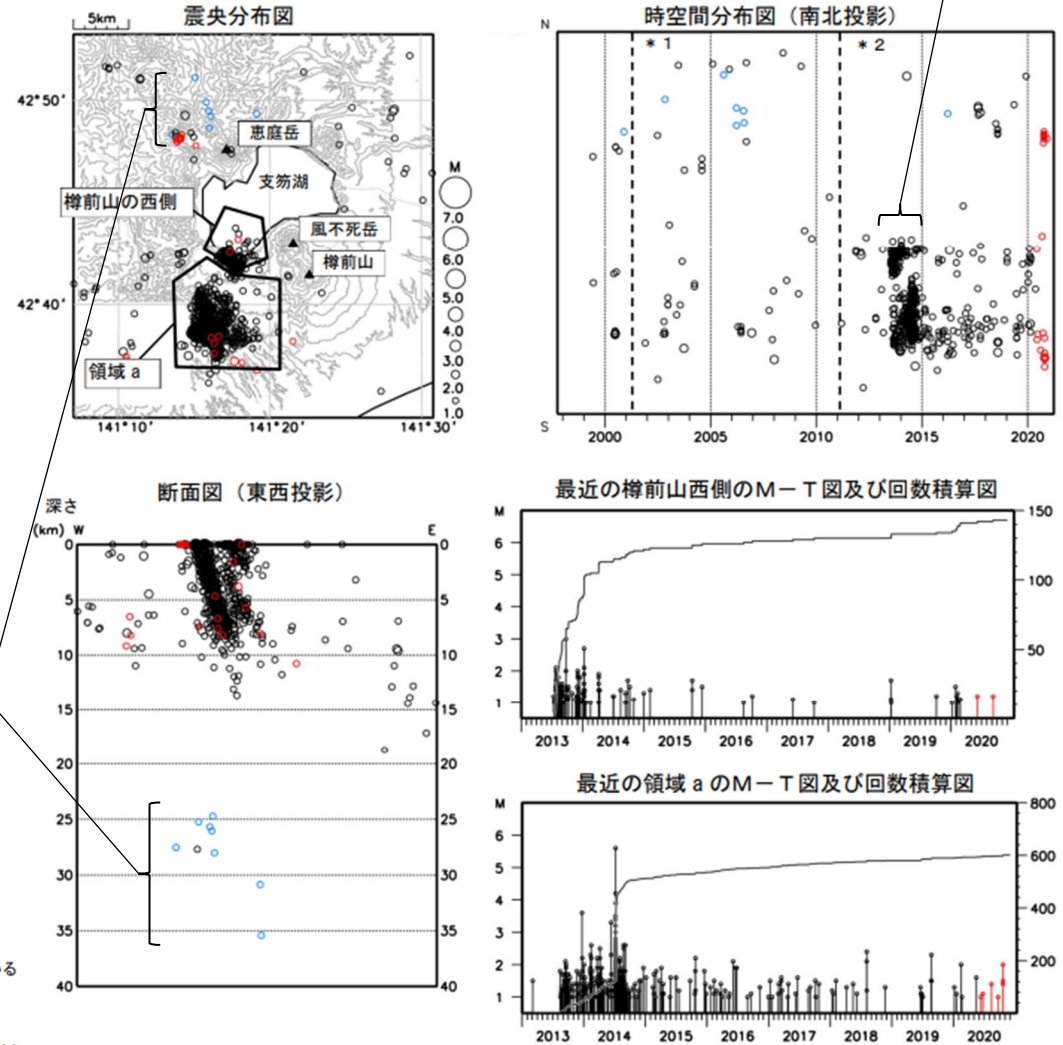


図8 樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (1997年10月~2020年11月30日, M \geq 1.0、深さ40km以浅)

- : 1997年10月1日~2020年5月31日
- : 2020年6月1日~2020年11月30日
- : 深部低周波地震
- *1: 2001年10月以降, Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
- *2: 2010年10月以降, 火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。

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

・樽前山の南西側の領域(領域a)及び西側の領域を震源とする地震活動は, 2014年以降は低下傾向にある。

樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (気象庁(2020)に加筆)

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(5/5)

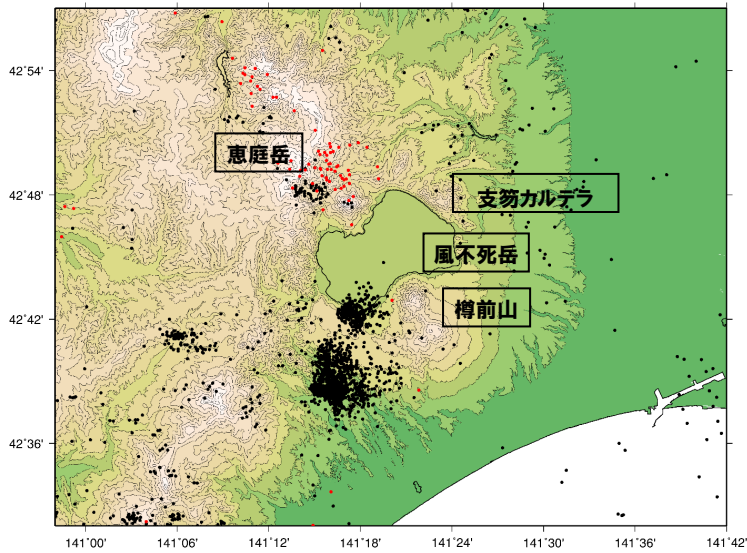
一部修正(R3/10/14審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○過去約40年間(1983年1月～2023年3月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～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。



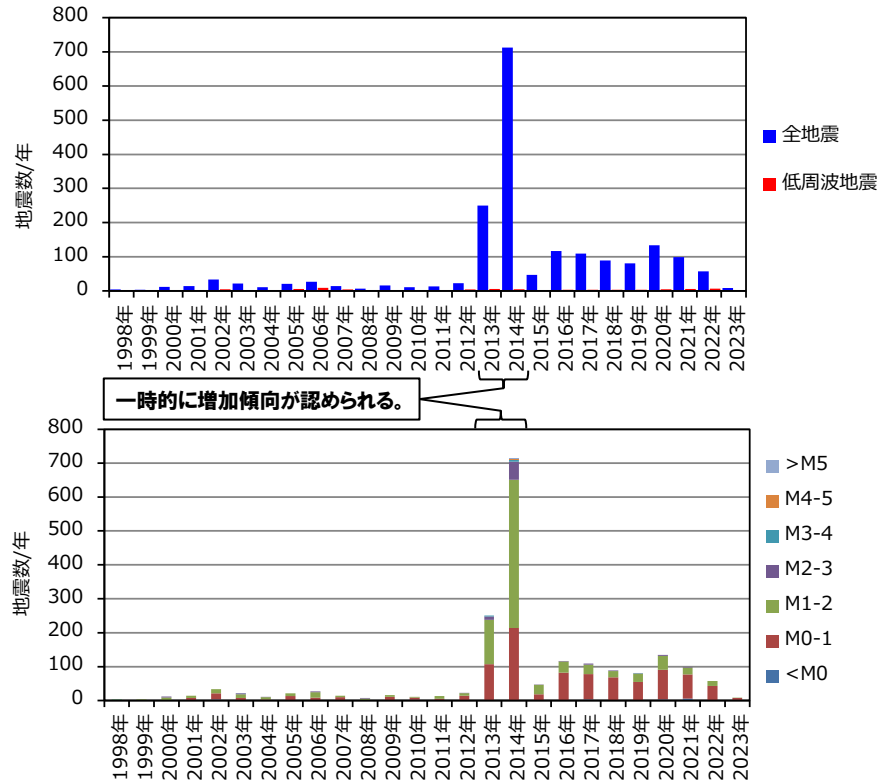
- 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



1983/1/1～2022/3/31:
気象庁地震月報(カタログ編)
2022/4/1～2023/3/31:
気象庁一元化処理検測値データ

凡例
●: 震央
●: 低周波地震震央

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



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

余白

4. 2. 2 支笏カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (1/5)

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~P154参照)

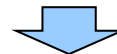
- 支笏カルデラ付近の上下変動は、一部基線において、プレート間固着効果等に伴う定常的な沈降及び2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う隆起に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ、これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は、一部基線において、2003年十勝沖地震及び2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う基線の伸びが認められるが、これ以外に継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。

(地殻変動(干渉SAR時系列解析))(P155参照)

- 支笏カルデラ周辺においては、顕著な地殻変動は認められない。

(地殻変動(水準測量))(P156参照)

- 白老町に局所的な変動が認められるものの、顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 支笏カルデラ周辺の地殻変動は、プレート間固着効果等に伴う定常的な変動、周辺の地震による余効変動、白老町の局所的な変動等が認められるが、これ以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(2/5)

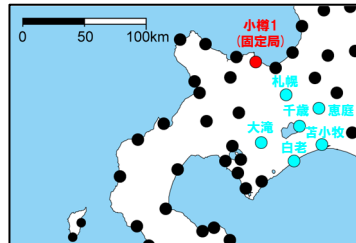
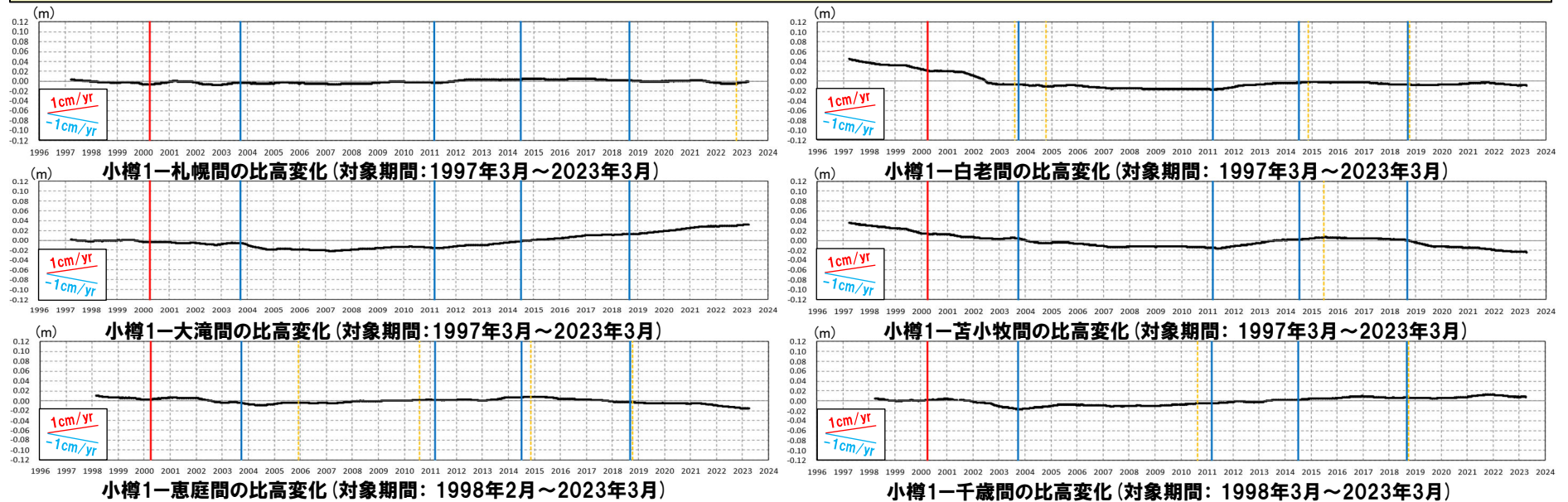
再掲(R5/10/6審査会合)

【上下変動】

- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)について, F5解を使用し, 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, 支笏カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 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, 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。



○支笏カルデラ付近の上下変動は, 一部基線において, プレート間固着効果等に伴う定常的な沈降及び2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う隆起に由来する小樽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。



支笏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

4.2.2 支笏カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動) (3/5)

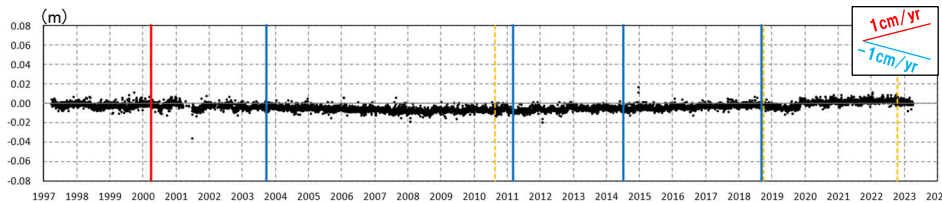
再掲 (R5/10/6審査会合)

【基線長変化】

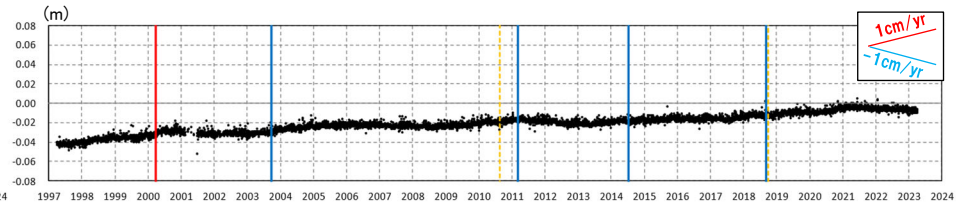
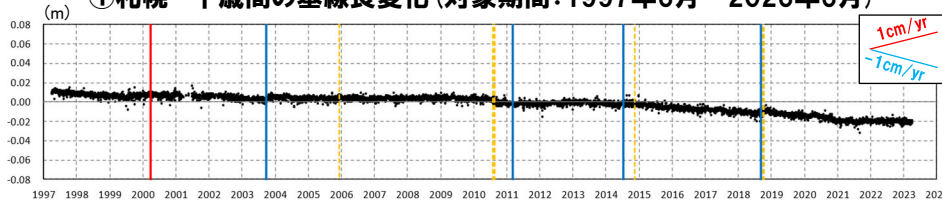
- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)を結んだ5基線について, F5解を使用し, 各電子基準点設置以降から2023年3月までの基線長変化を示す。
- 噴火, 地震, 伐木イベント等による不連続を除去するため, 左下黒枠内に示すイベントについて, イベント前後7日間の平均値を基に不連続を除去する補正を実施した。



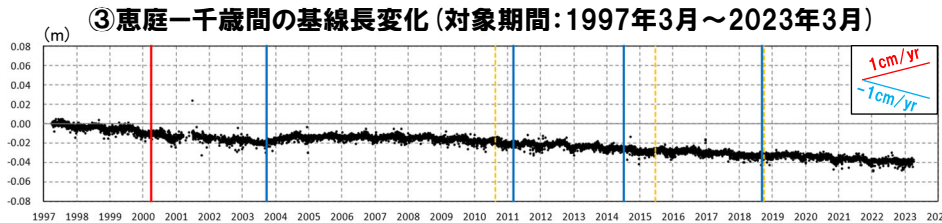
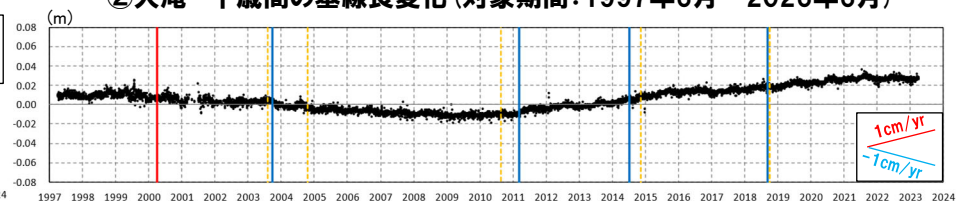
○支笏カルデラ付近の基線長変化は, 一部基線において, 2003年十勝沖地震及び2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う基線の伸びが認められるが, これ以外に継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。



①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



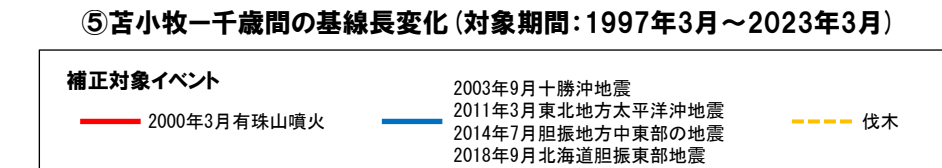
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



④白老-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)

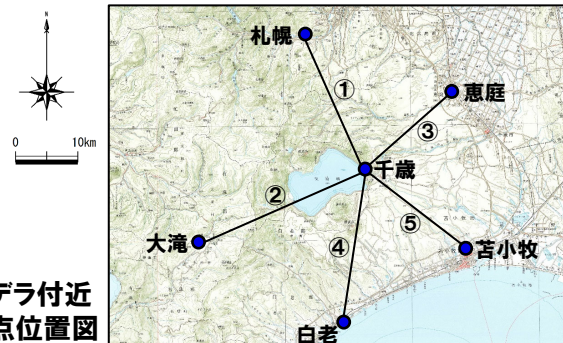


⑤苫小牧-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)

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
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震
- 伐木

支笏カルデラ付近電子基準点位置図



4.2.2 支笏カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(4/5)

一部修正 (R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

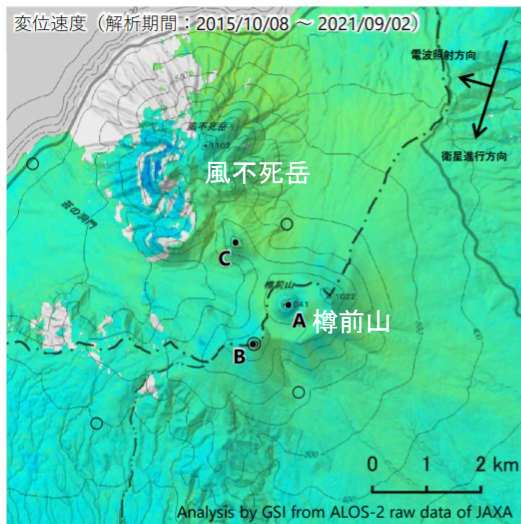
○第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)によると, 樽前山周辺における干渉SAR時系列解析において, 「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている(本頁左図)。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

○2014年8月から2022年12月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2023)*によれば, 支笏カルデラ周辺においては顕著な地殻変動は認められない(本頁右図)。

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

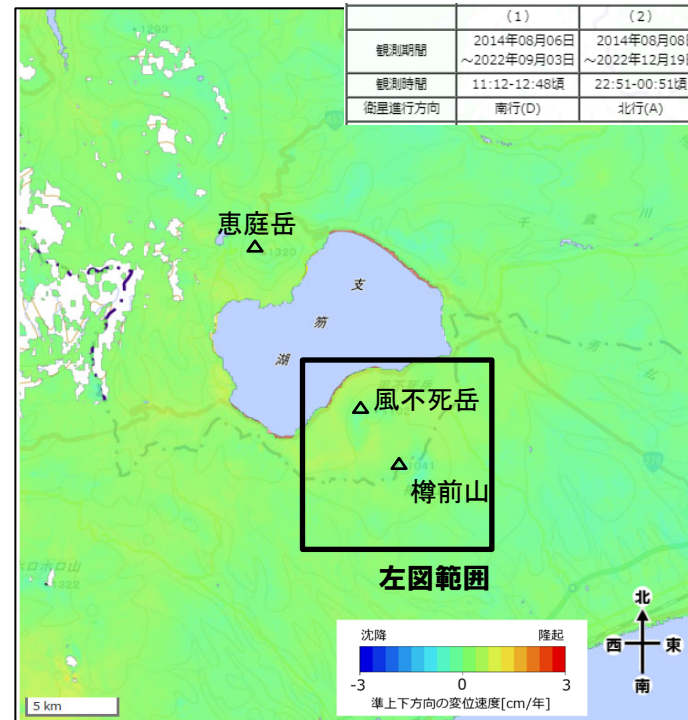
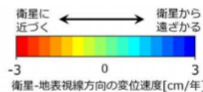
ノイズレベルを超える変動は見られません。



樽前山の干渉SAR時系列解析結果(衛星方向の変位速度, 南行)
(気象庁(2021)に加筆)

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

* U: 高分解能(3m)モード
◎ 国土地理院GNSS観測点
○ 国土地理院以外のGNSS観測点



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

○支笏カルデラ周辺においては, 顕著な地殻変動は認められない。

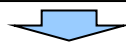
4.2.2 支笏カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(5/5)

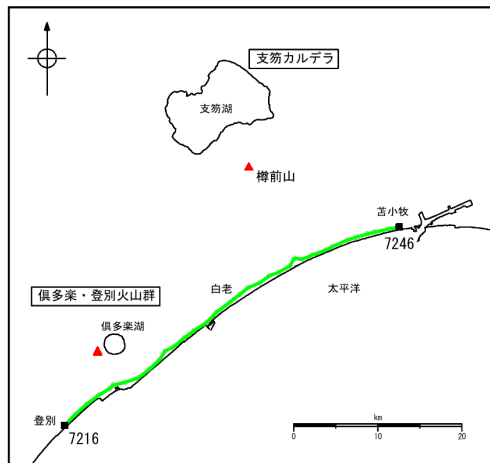
一部修正 (R3/10/14審査会合)

【水準測量】

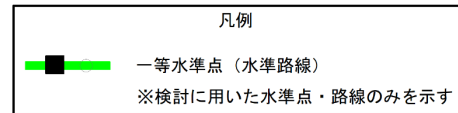
○過去約100年間における支笏カルデラ周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した*。



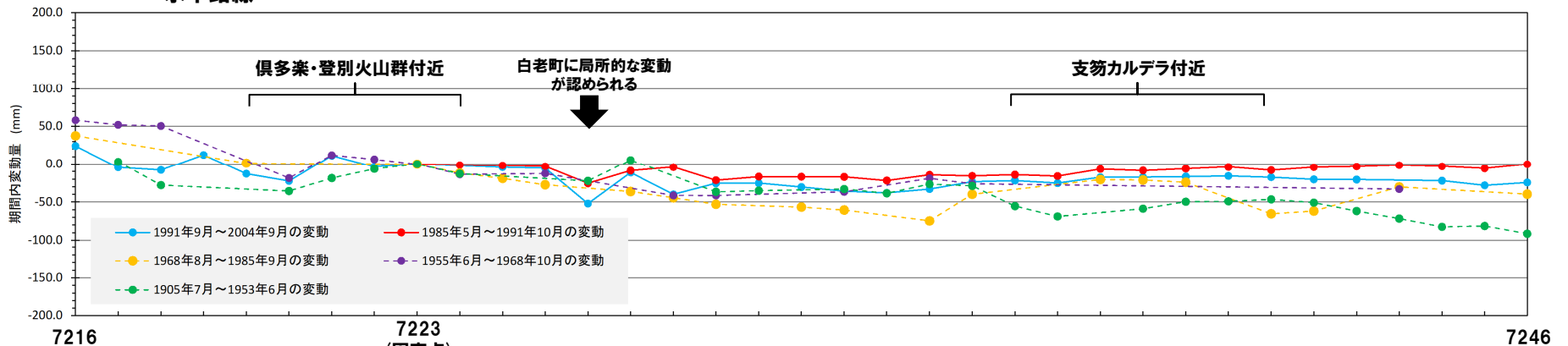
○白老町に局所的な変動が認められるものの、顕著な隆起又は沈降は認められない。



※当該検測成果集録においては、支笏カルデラ周辺の水準路線として、左図に示す一等水準点を用いた路線の他に、吉小牧付近から支笏カルデラ付近まで及び吉小牧付近から樽前山付近までの二等水準点を用いた2路線のデータもまとめられている。しかし、支笏カルデラ付近へ向かう路線は2001年及び2018年に、樽前山付近へ向かう路線は2001年及び2007年に測量が実施されており、下図のような変動量はそれぞれ1期間示されているのみである。このため、支笏カルデラ周辺の水準測量の結果として、より長期間のデータがある一等水準点を用いた路線の変動量を示している。



水準路線



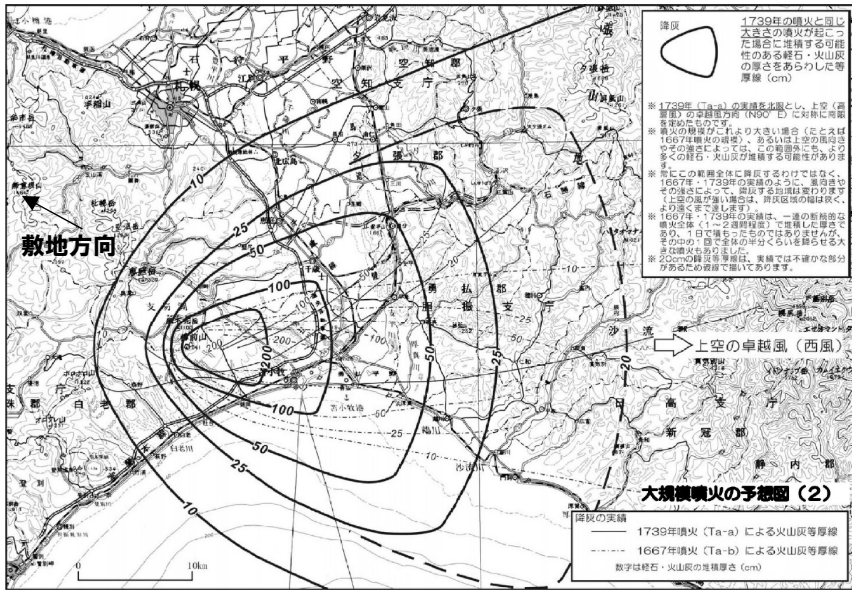
水準路線 (水準点番号:7216-7246) 沿いの期間内変動量 (固定点:7223)

4.2.2 支笏カルデラの評価

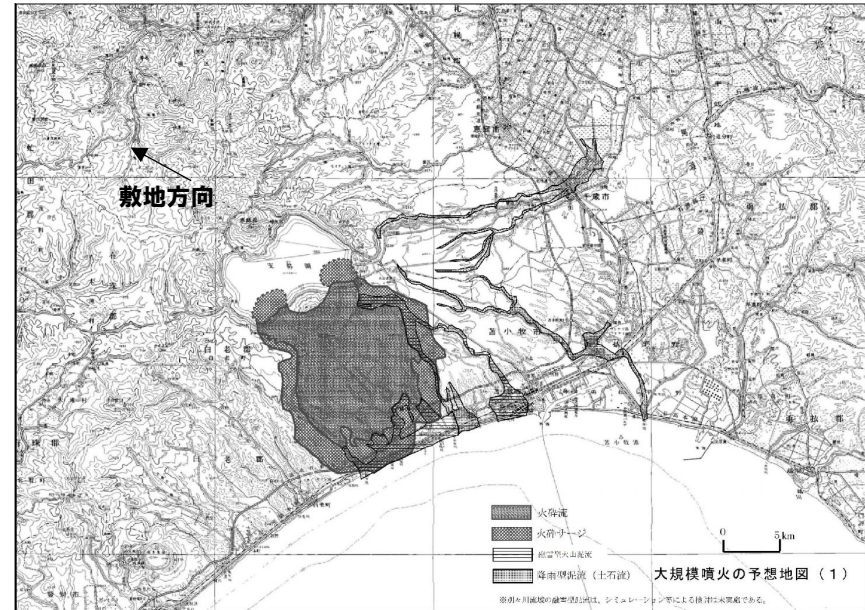
(参考) 樽前山火山防災協議会 (2022)

再掲 (R5/10/6審査会合)

○支笏カルデラの後カルデラ火山のうち樽前山について避難計画を定めた樽前山火山防災協議会 (2022) によれば、最も大きな規模の噴火として、下図の通り、Ta-a及びTa-b相当の降灰及び火砕流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。



Ta-a及びTa-bによる降灰の想定影響範囲



Ta-a及びTa-bによる火砕流、火砕サージ、融雪型火山泥流及び降雨型泥流の想定影響範囲

最も大きな規模の噴火として想定された影響範囲 (樽前山火山防災協議会 (2022) に加筆)

1. 指摘事項	P. 4
2. 火山影響評価の概要	P. 10
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 34
3.1 地理的領域にある第四紀火山	P. 38
3.2 将来の火山活動可能性の評価	P. 44
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. 52
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. 56
4.2 巨大噴火の可能性評価	P. 106
4.2.1 巨大噴火の可能性評価方法	P. 108
4.2.2 支笏カルデラの評価	P. 116
4.2.3 洞爺カルデラの評価	P. 160
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. 198
4.4 ニセコ・雷電火山群の評価	P. 204
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. 212
5.1 降下火砕物の影響評価	P. 215
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. 215
5.1.2 降下火砕物シミュレーション	P. 229
5.1.3 設計に用いる降下火砕物の層厚	P. 242
5.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価	P. 248
6. 火山活動のモニタリング	P. 255
7. 火山影響評価のまとめ	
残されている審査上の論点に関する審査会合（R）	
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、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではあるもののSiO₂重量比が減少傾向であ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P196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、巨大噴火による噴出物(Tp)の噴出物体積に比べ、十分小さいことから、現在の洞爺カルデラは、Tp噴出時と比較し、静穏な活動下にあるものと推定される。 ○有珠山歴史時代の噴出物の組成は、珪長質であるものの、Tpに比べK₂O重量比が低く、SiO₂重量比が減少傾向にある。 	次頁～ P167
		<ul style="list-style-type: none"> ○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検討を実施した結果、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではあるもののSiO₂重量比が減少傾向であることを踏まえ、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。 	
地球物理学的調査	②地下構造	<ul style="list-style-type: none"> 【地震波速度構造】 ・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 【比抵抗構造】 ・洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない 【重力異常】 ・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 	P169～ P171
		<ul style="list-style-type: none"> ○マグマ溜まりの位置、規模等を把握するため、地下構造調査を実施した結果、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。 	P172～ P177 P179
	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。 	P181～ P187
	④地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ○地殻変動は、周辺の地震及び2000年有珠山噴火による余効変動等が認められる。 ○また、昭和新山を含む有珠山周辺の局所的な沈降傾向が認められる。 ○これらの変動以外に継続的かつ顕著な変位の累積は認められない。 	P189～ P195
		<ul style="list-style-type: none"> ○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した結果、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。 	
総合評価		<ul style="list-style-type: none"> ○活動履歴及び地球物理学的調査に関する検討から、総合的に判断すると、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される。 	

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) (P164～P166参照)

- 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 (P166参照)、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) (P167参照)

- 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 重量比が同様なものも認められるが、 K_2O 重量比は低い。
- 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、規則的に 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、巨大噴火による噴出物 (Tp) の噴出物体積に比べ、十分小さいことから、現在の洞爺カルデラは、Tp噴出時と比較し、静穏な活動下にあるものと推定される。
- 有珠山歴史時代の噴出物の組成は、珪長質であるものの、Tpに比べK₂O重量比が低く、SiO₂重量比が減少傾向にある。
- したがって、現在の洞爺カルデラは、噴出物体積から比較的静穏な活動下にあると推定されること、珪長質な組成ではあるもののSiO₂重量比が減少傾向であ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)

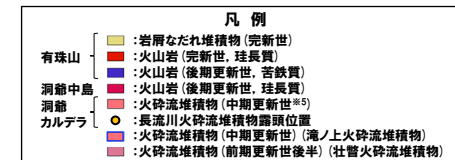
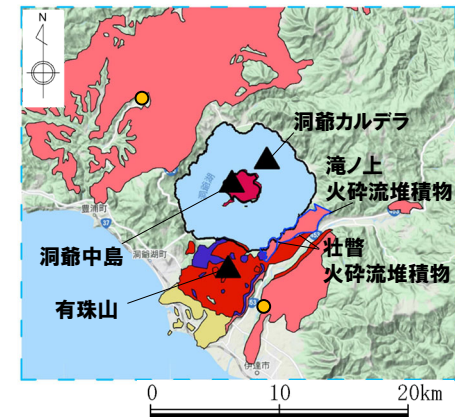
一部修正 (R5/1/20審査会合)

- 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～P166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 P166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)

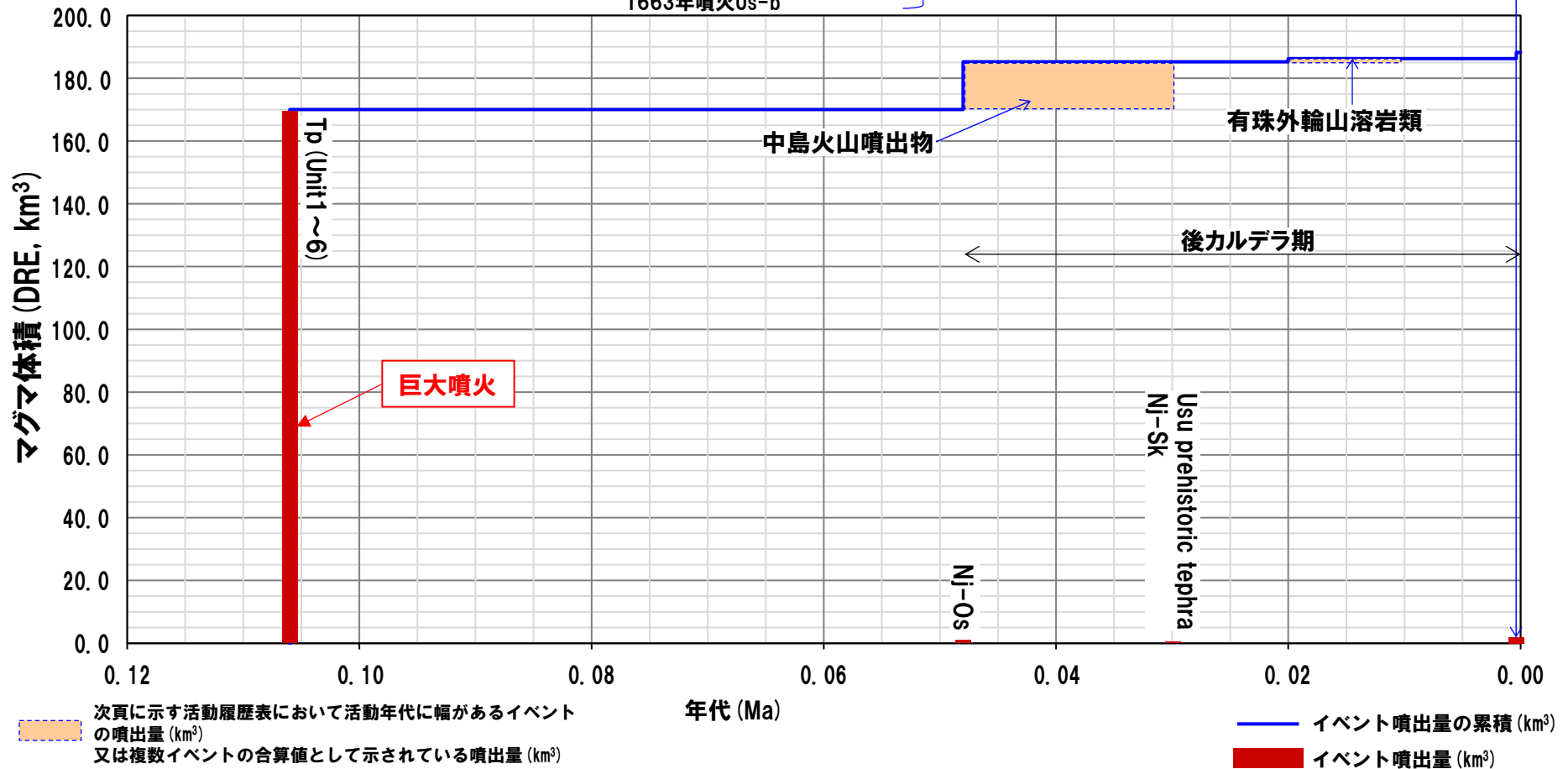
※4 洞爺カルデラの形成時期について、産業技術総合研究所「日本の火山 (DB)」及び西来ほか編 (2012)「第四紀火山岩体・噴火岩体データベース」では、「約14万年前にカルデラ形成」とされている。これは、以下に示す理由によると考えられる。
 ・李 (1993) においては、洞爺カルデラ起源の大規模な珪長質マグマによる噴出物は、火砕流堆積物の間に顕著な風化程度の差が認められることから2回のカルデラ形成期 (Toya-1 及び Toya-2) があったと判断されている。
 ・同一著者によるその後の文献であるLee (1996) においては、従来、4つの異なるフェーズからなるひと続きの噴火であると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Unit2 及び Unit3~Unit6に對比されている。
 ・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、P166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-II a
- 1853年噴火Us-III a, 嘉永火砕流
- 1822年噴火Us-IV a, 文政火砕流
- 1769年噴火Us-V a, 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
完新世				
更新世				
第四紀	106ka ^{*1}	Tp (Unit1~6) :afa,pfl	170	Goto et al. (2018) Amma-Miyasaka et al. (2020) 金田ほか (2020) 産業技術総合研究所 (2021) 後藤ほか (2021)
	122.5ka	Osr:pfa,afa,pfl ^{*2}	不明	
	0.90±0.15Ma	滝ノ上火砕流堆積物	不明	
	1.59±0.33Ma	壮瞥火砕流堆積物	不明	
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壮瞥火砕流堆積物 (熱ルミネッセンス年代測定値: 1.59±0.33Ma) とそれを覆う滝ノ上火砕流堆積物 (熱ルミネッセンス年代測定値: 0.90±0.15Ma) が露出しており、これらの上位には、長流川火砕流堆積物が堆積しているとされている。長流川火砕流堆積物は、土壌を挟むものの、洞爺火砕流堆積物の直下に存在し、その年代も、カルデラ形成よりも約1万年前であることから、Tp噴火前の重要な長期的前駆活動とみなすことができる。しかし、長期的前駆活動については以下の様な知見もあることから、これらの火砕流堆積物 (Osr, 滝ノ上火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物及び立香火砕流堆積物) を噴出した噴火のいずれもを、洞爺カルデラの活動履歴に示すこととした。
 - 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2022) では、壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物及び長流川火砕流堆積物を噴出した噴火は、いずれもTp噴火の長期的前駆活動とされている。
 - 後藤ほか (2021) では、洞爺カルデラ地域において新たに発見した立香火砕流堆積物は、壮瞥火砕流堆積物の下位に位置することから、洞爺火砕流堆積物の先カルデラ期の火砕堆積物の層序は、下位から立香火砕流堆積物, 壮瞥火砕流堆積物, 滝ノ上火砕流堆積物, 長流川火砕流堆積物とされている。

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
完新世				
更新世				
第四紀	ca.30ka	Nj-Sk ^{*3} :pumice-fall deposit	0.01	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)
	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}	
	ca.48ka	Nj-Os :pumice-fall deposit	0.11	

- ※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
完新世				
第四紀	A.D.2000	有珠:2000年噴火	0.0006	第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 曾屋ほか (2007) 山元 (2014) Miyabuchi et al. (2014) Nakagawa et al. (2022)
	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	
	A.D.1769	有珠:1769年噴火Us-Va, 明和火砕流	0.07	
	17世紀末	有珠:先明和噴火	0.0006	
	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)

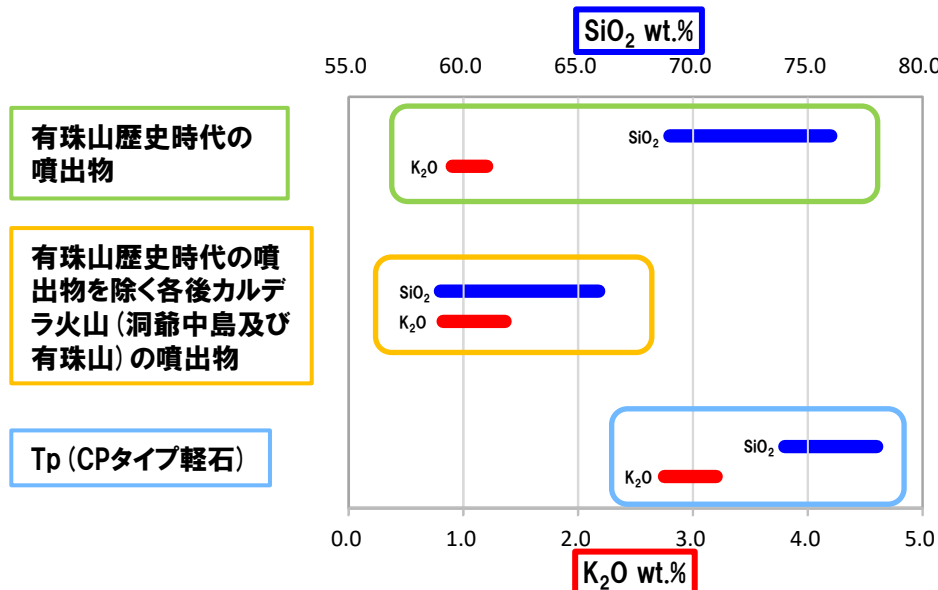
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【噴出物の組成】

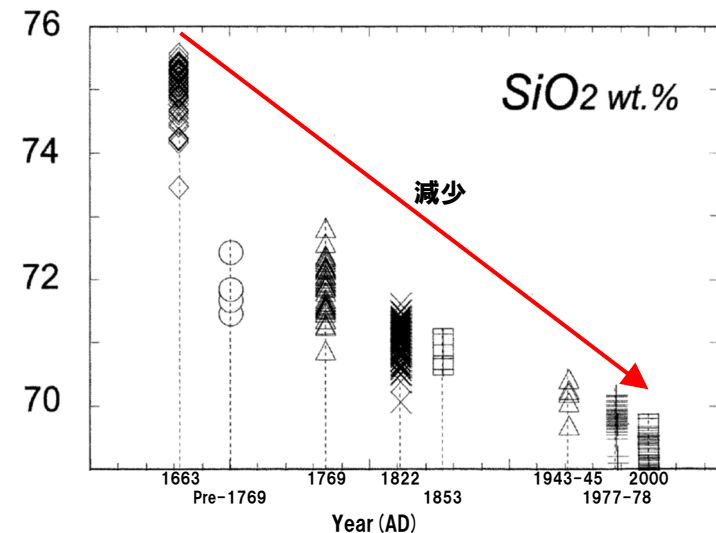
- 産業技術総合研究所 (2022) によれば, Tpは, 全岩化学組成分析の結果, かんらん石斑晶を含む1試料が安山岩である以外は, すべて流紋岩であるとされている。
- 気象庁編 (2013) 及びGoto et al. (2015b) によれば, 各後カルデラ火山 (洞爺中島及び有珠山) の噴出物のうち, 有珠山歴史時代以外の噴出物はデイサイト~安山岩である。
- 有珠山歴史時代の珪長質な噴出物については, 全岩化学組成分析の結果, Tpの大半を占めている斑晶に乏しい (CPタイプ) 軽石と比較して, K_2O 重量比が低い (左下図参照)。
- 中川ほか (2005) によれば, 有珠火山の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 重量比が同様なものも認められるが, K_2O 重量比は低い。
- 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～P171参照)

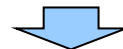
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 通常の地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

(比抵抗構造) (P172～P177参照)

- 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) (P179参照)

- 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。

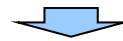
4. 2. 3 洞爺カルデラの評価

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取り扱う。
- 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~P171参照)】

- 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。



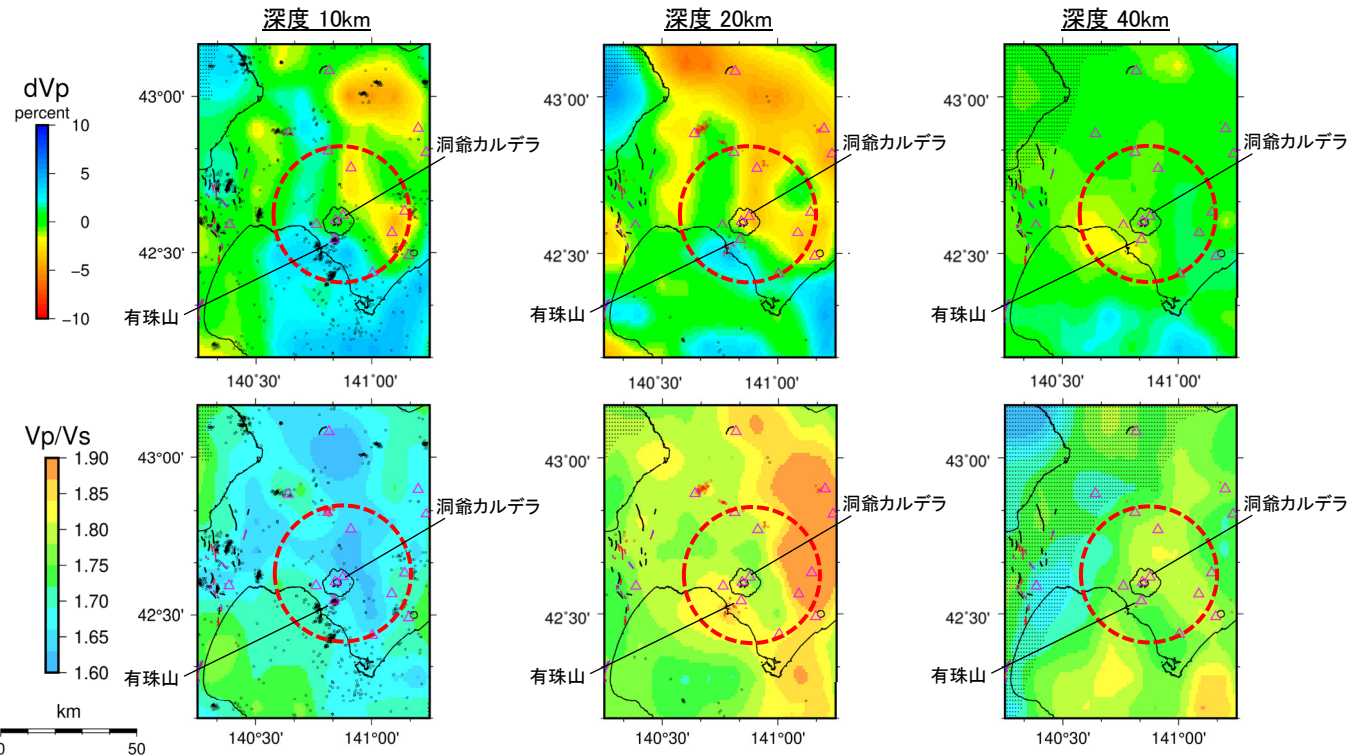
- 洞爺カルデラ直下の上部地殻(約20km以浅)を広く確認の上、さらに火山直下の約10km程度以浅の状況を確認した結果、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。
- 通常地震が深度15km程度から地表付近まで分布していることから、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P108~P112参照)】

- 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

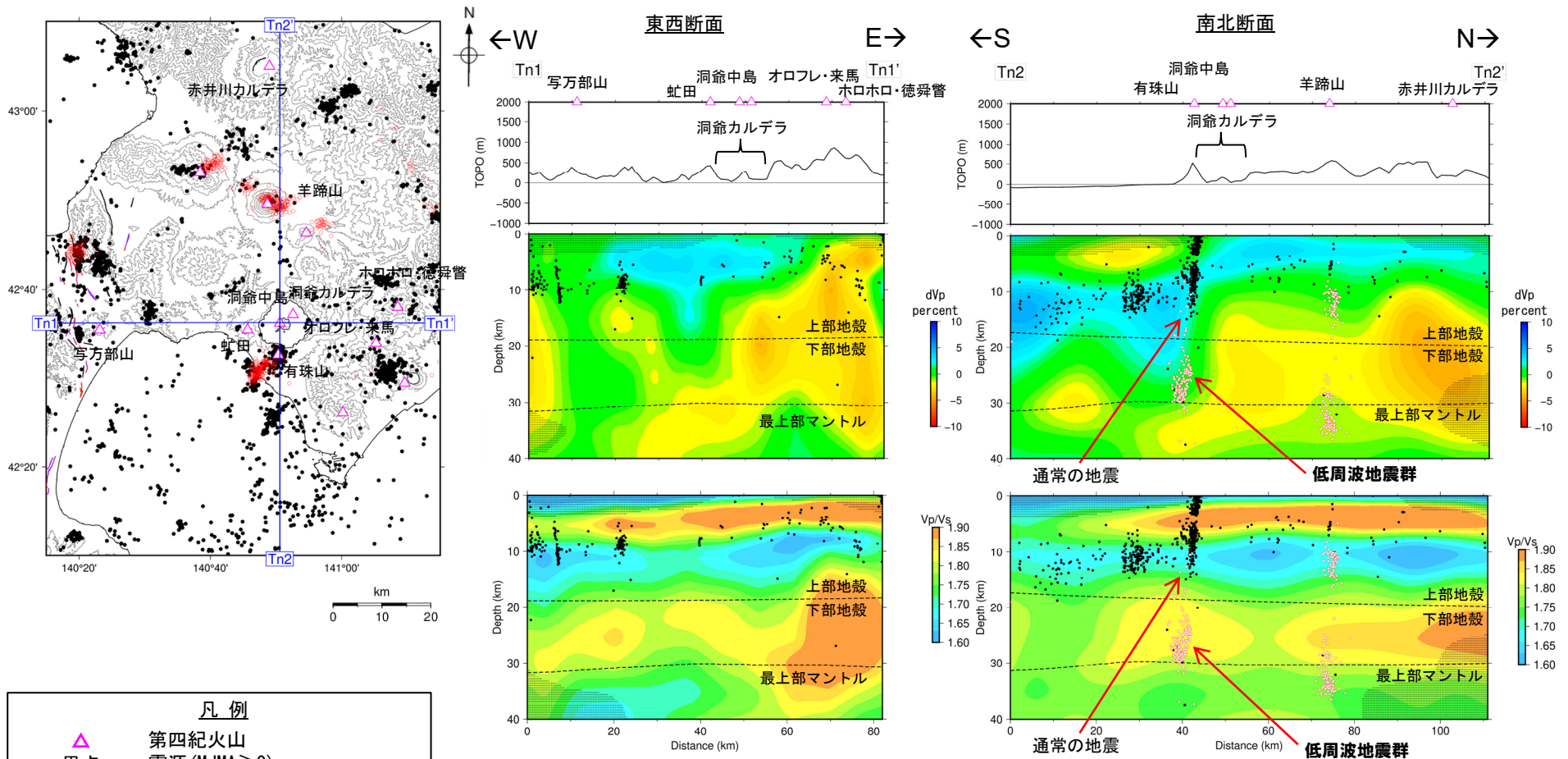


地震波速度構造(水平断面)

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 \geq 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 ± 5 km内の火山を投影した。なお、水平方向の分解能は約20km。鉛直方向の分解能は深さごとに異なるが、深さ0km~10kmでは分解能約5km、深さ10km~40kmでは分解能約10kmである。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 ± 5 km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~P175参照)

- 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))(P176参照)

- 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))(P177参照)

- 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。

【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。

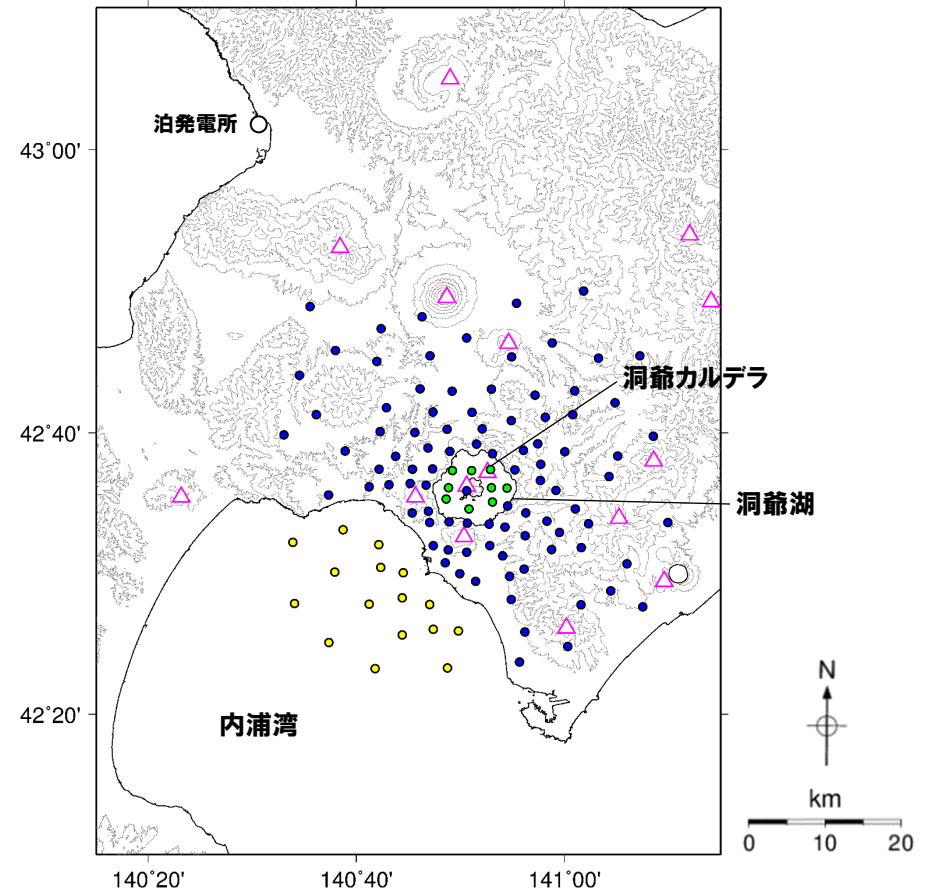
【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(前頁参照)】

- 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

※1 本電磁気探査の結果については、Komori et al. (2024) として、公開されている。



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

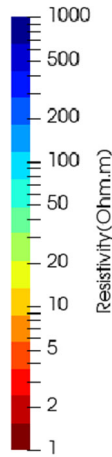
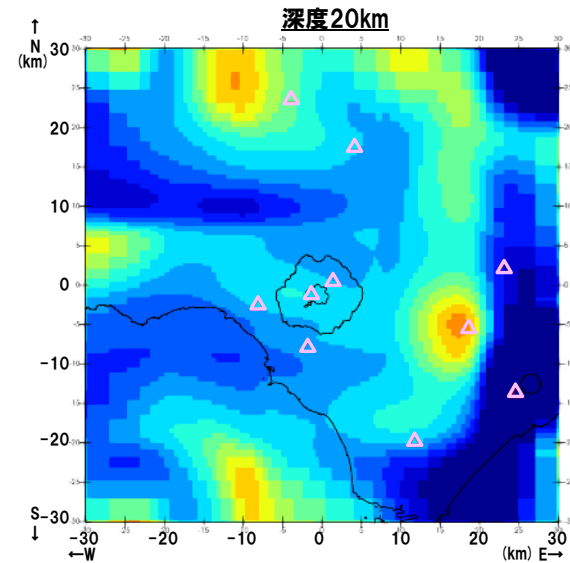
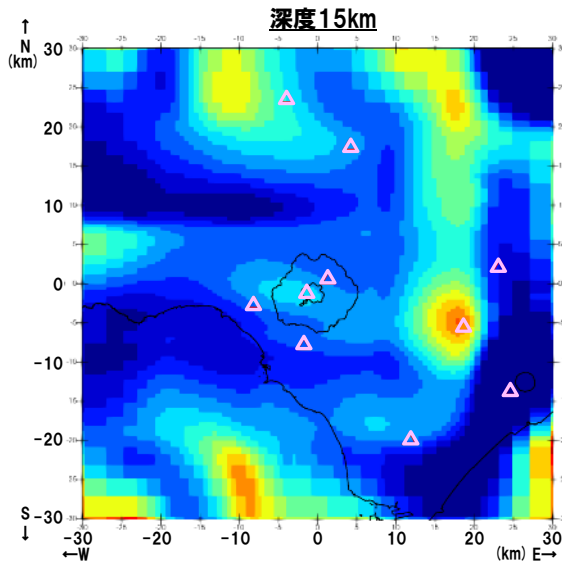
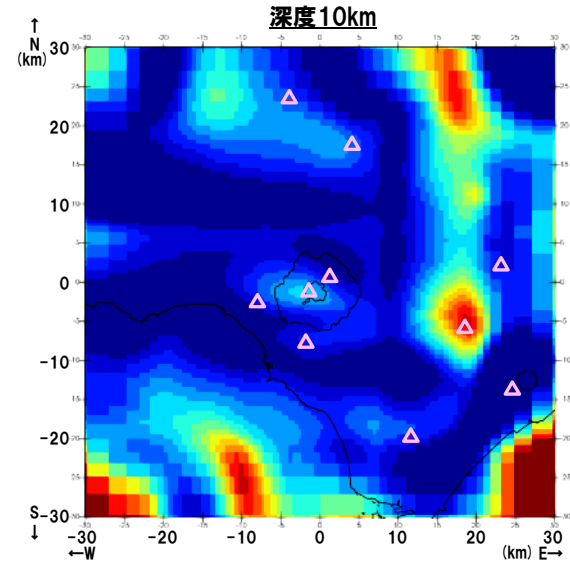
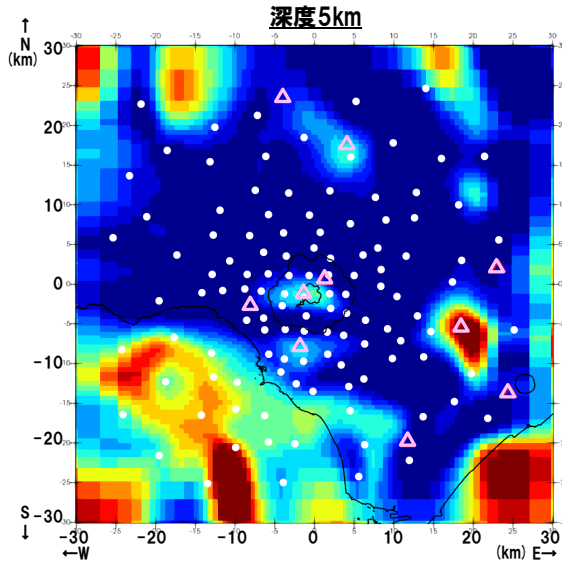
②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

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)。



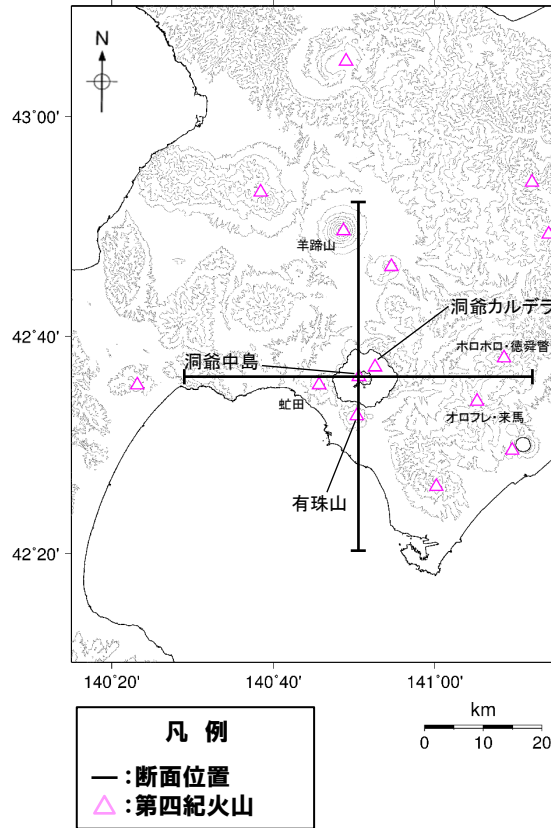
- 凡例
- △ 第四紀火山
 - MT観測点 (深度5km断面のみ記載)

比抵抗構造(水平断面)

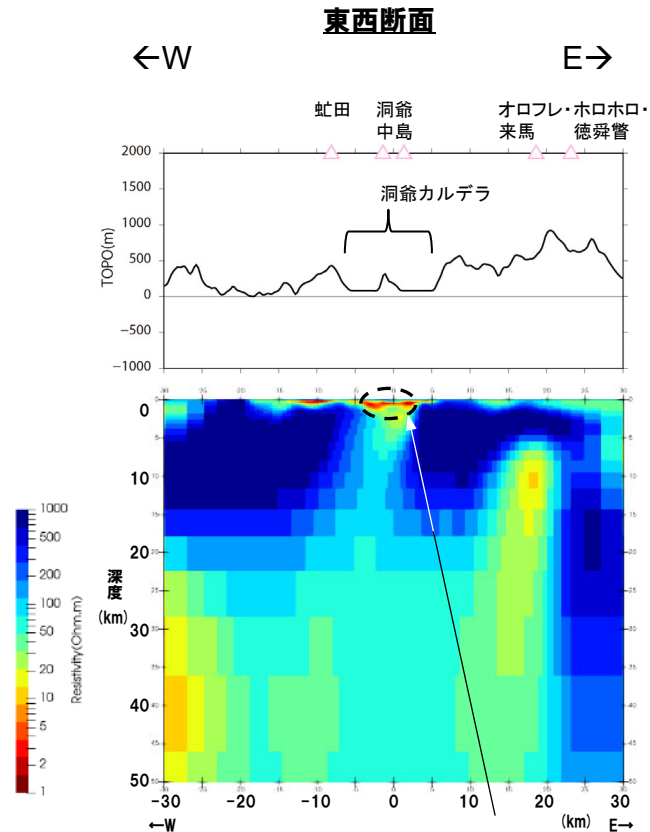
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/6)

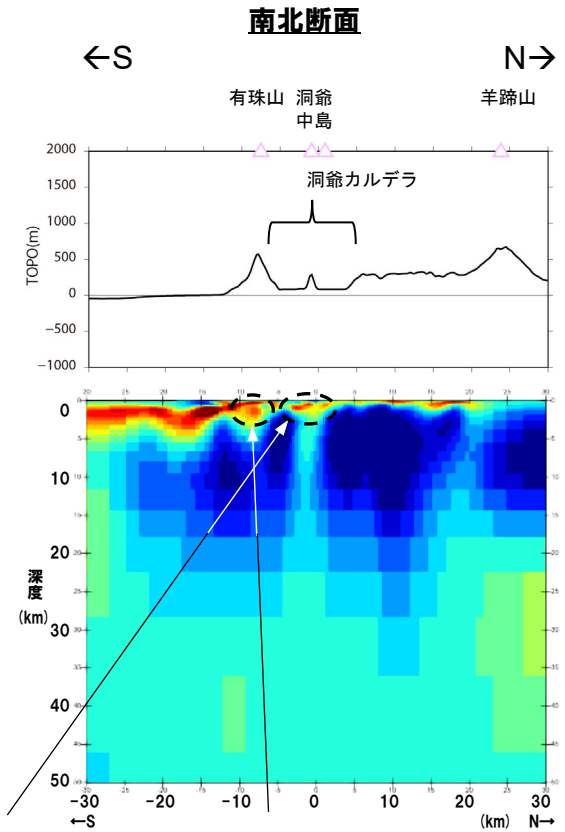
再掲 (R5/1/20審査会合)



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。

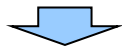
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-3 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/6)

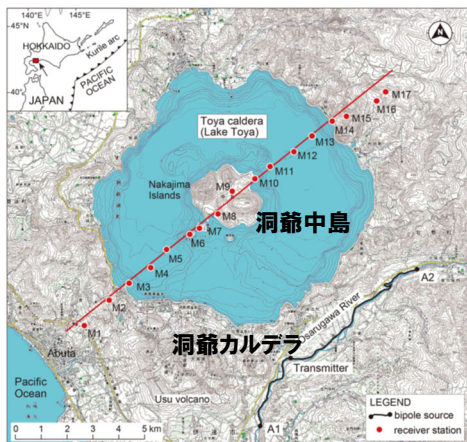
再掲 (R5/1/20審査会合)

【Goto and Danhara (2018)】

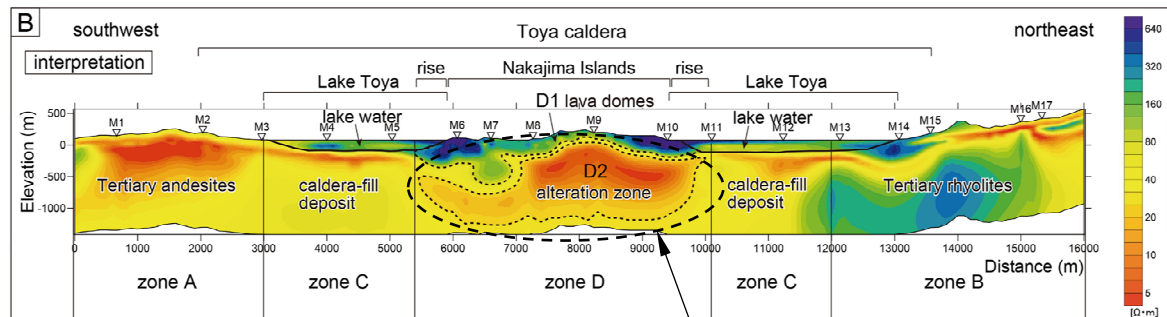
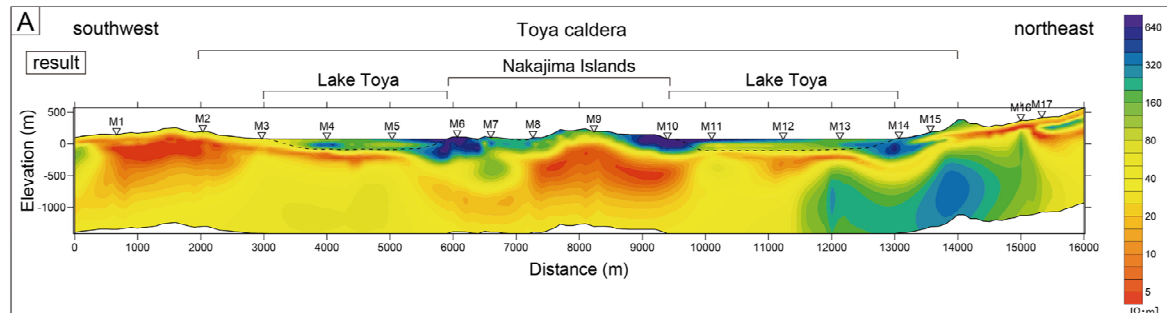
- 洞爺カルデラにおいて、深度1.5km程度までのCSAMT法による電磁気探査を行っているGoto and Danhara (2018)をレビューした。
 - ・Goto and Danhara (2018)によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m, 下図D2)が存在するとされている
 - ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている
 - ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下の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

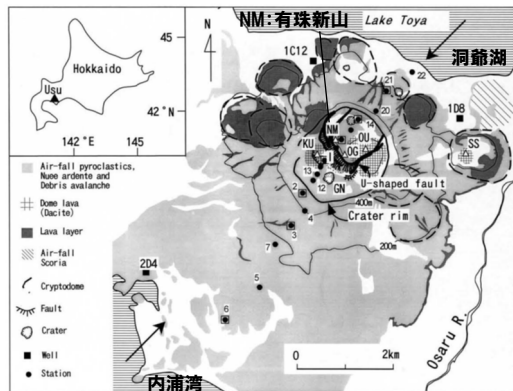
【Matsushima et al. (2001)】

○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。

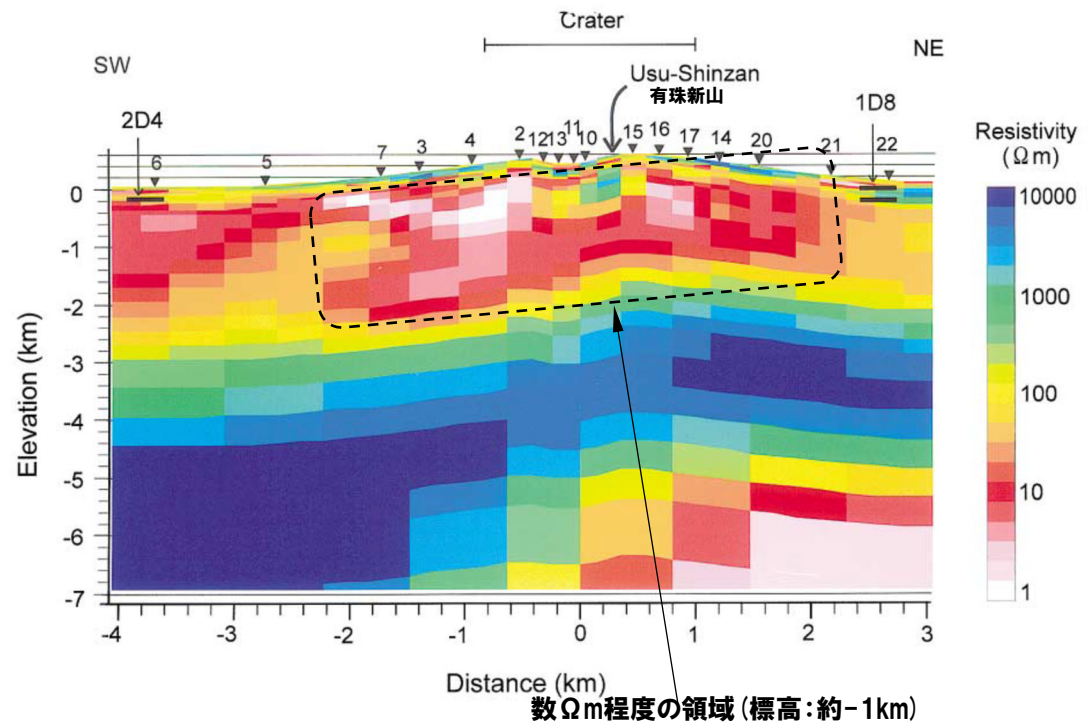
- Matsushima et al. (2001) によれば、有珠山の地下(標高:約-1km)には、数Ωm程度の領域が存在するとされている
- 当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入の熱水変質により生成された粘土鉱物(スメクタイト)を大量に含む低比抵抗岩であるとされている



○Matsushima et al. (2001) において有珠山直下に示される低比抵抗領域は、当社電磁気探査において有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲に認められる低比抵抗領域(P175参照)に相当し、当該低比抵抗領域はマグマではなく、熱水変質帯と考えられる。



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



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

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】

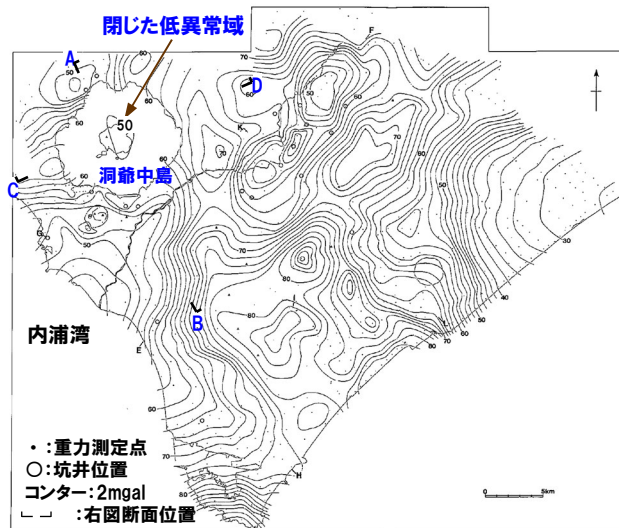
- 下鶴ほか編(2008)によれば、重力異常から地下密度構造を求めることができ、周辺の地殻に比べて火山の下に何らかの質量欠損があるか、過剰があるかは火山の地下構造を論ずるうえで重要であるとされている。
- このことから、重力異常を踏まえた洞爺カルデラ周辺の地下構造に関して考察している文献について確認する。

【和田ほか(1988)】

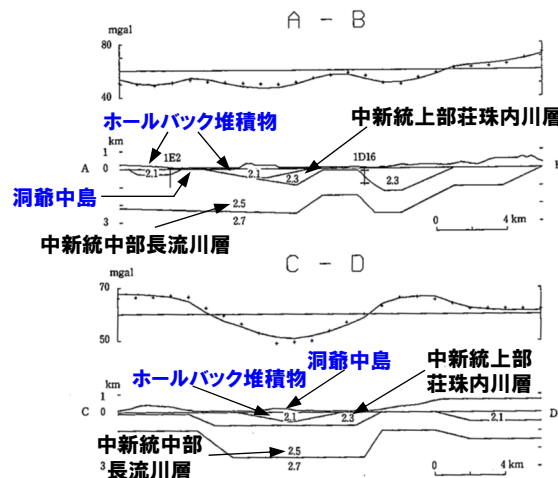
- 洞爺カルデラを含む北海道西胆振地域において、重力測定を行っている和田ほか(1988)をレビューした。
 - ・和田ほか(1988)によれば、低異常型カルデラを特徴づける閉じた低異常域が洞爺カルデラ中央部の中島を中心に分布している
 - ・ボーリング調査結果による地質構造の推定に基づくと、上記の低重力異常は、新第三系の地質構造に逆円錐型のホールバック堆積物(最大層厚0.5km)が重畳した構造で説明できるとされている

【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/cm³)を示す)
 (和田ほか(1988)に加筆)

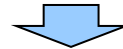
4.2.3 洞爺カルデラの評価

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。



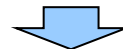
【各項目における検討結果】

(火山性地震(低周波地震))(次頁～P187参照)

○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)(P189～P195参照)

○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。

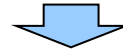
4.2.3 洞爺カルデラの評価

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)

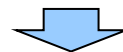
【目的】

- 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～P183参照)
 - 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)(P185参照)
 - 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)(P186～P187参照)
 - 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。

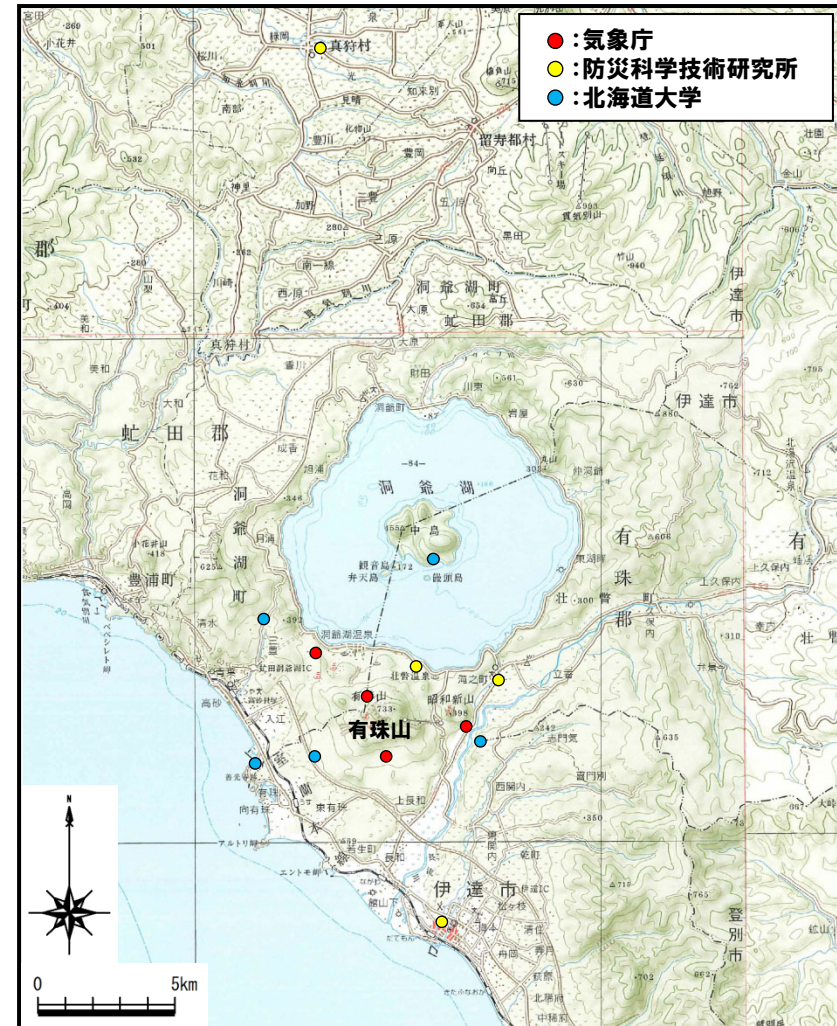
4.2.3 洞爺カルデラの評価

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)

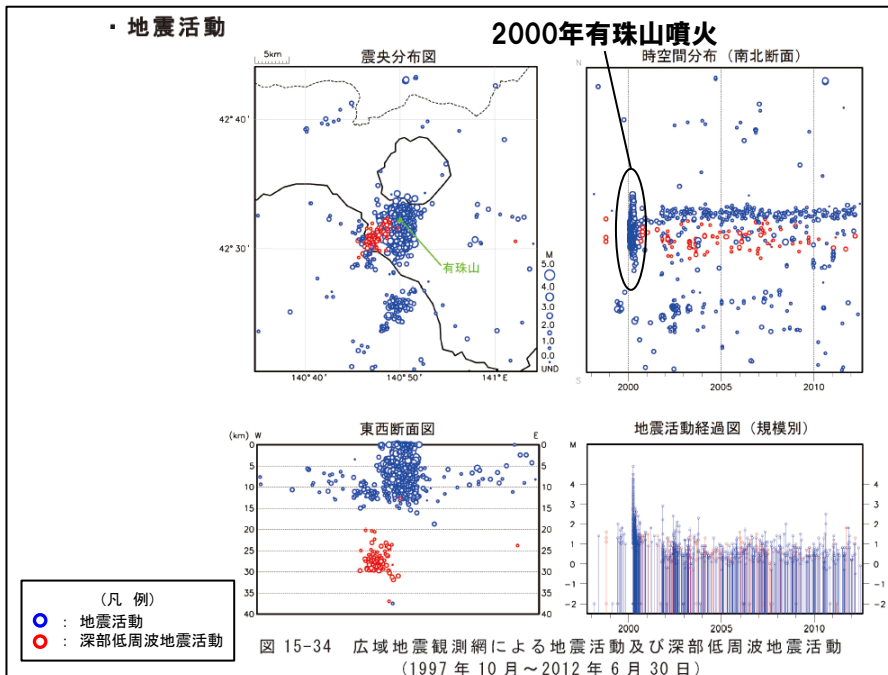
一部修正 (H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

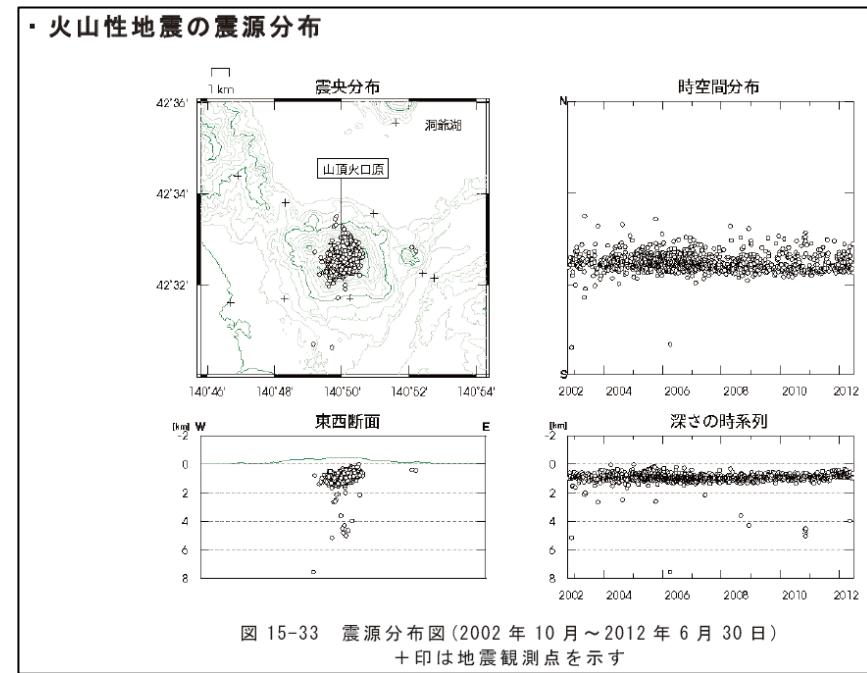
○洞爺カルデラ周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)及び有珠山の火山性地震の震源分布(2002年10月～2012年6月)を下図に示す。



- 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

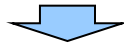
②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(4/6)

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。

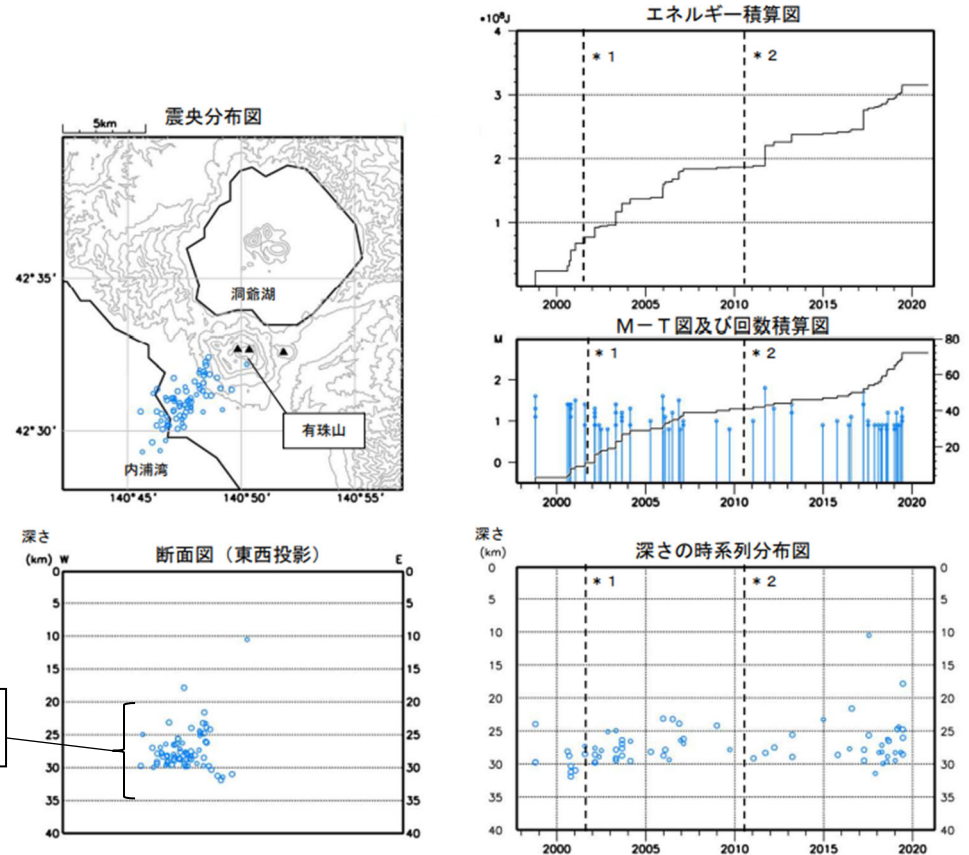


図6 有珠山 一元化震源による深部低周波地震活動

(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)

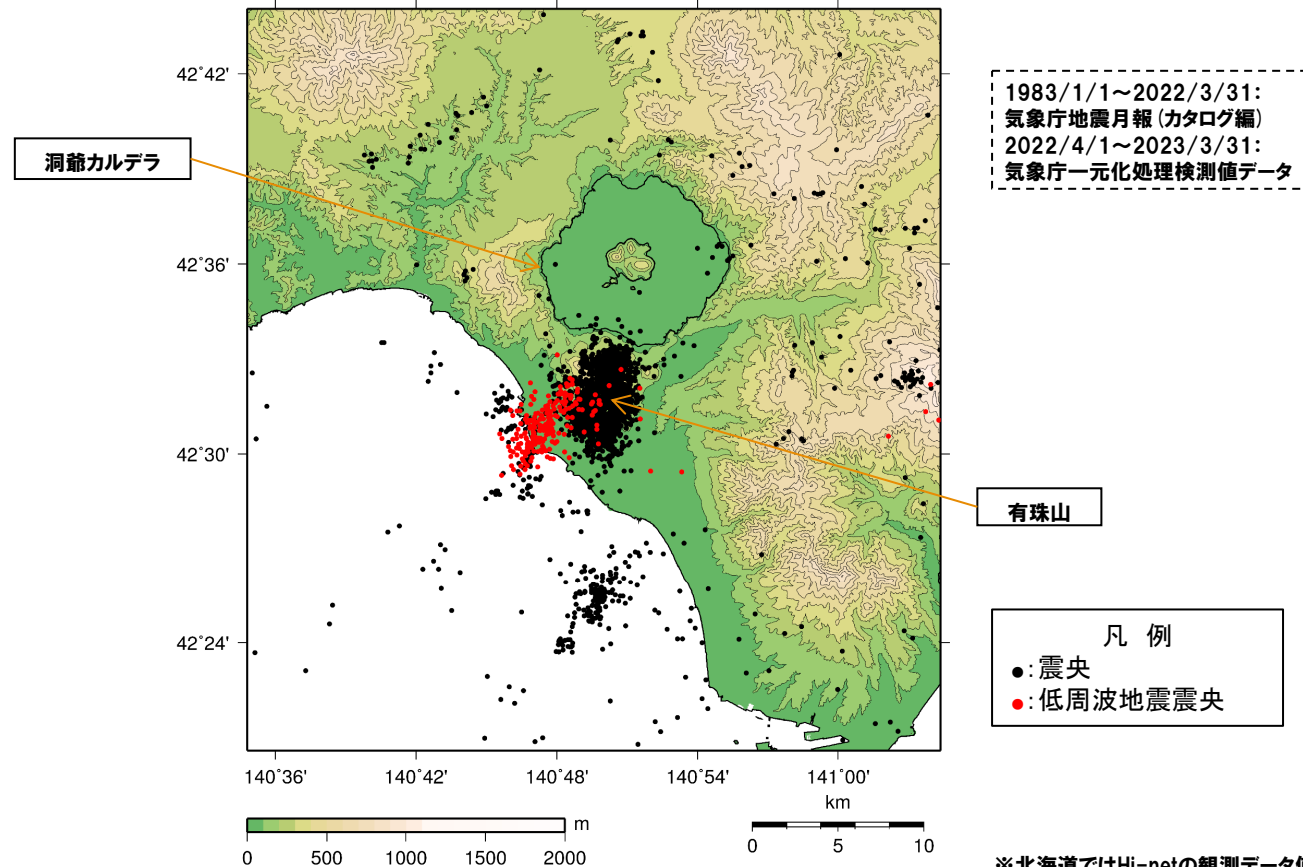
一部修正(H25/11/13審査会合)

【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

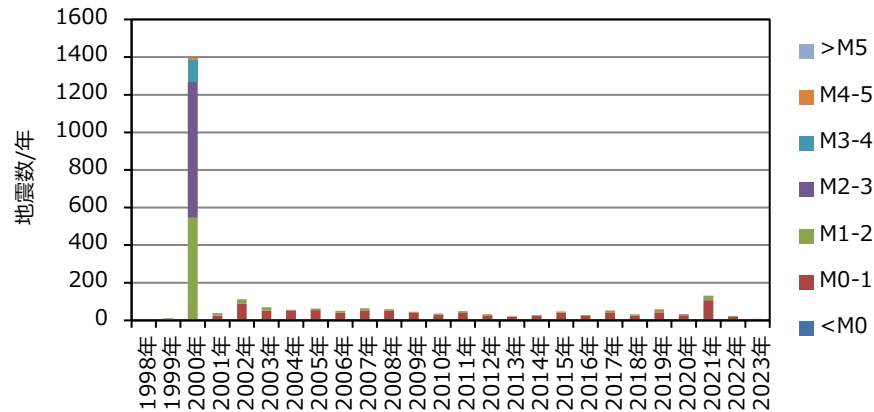
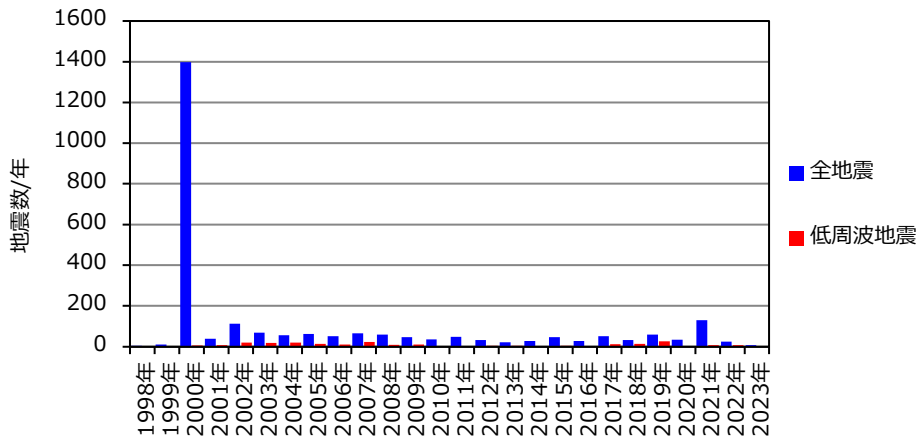
②-6 地球物理学的調査(火山性地震)(6/6)

一部修正(H25/11/13審査会合)

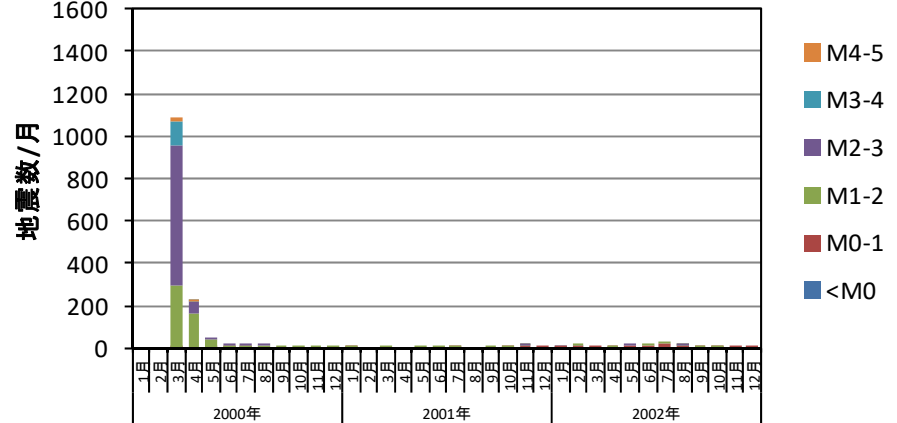
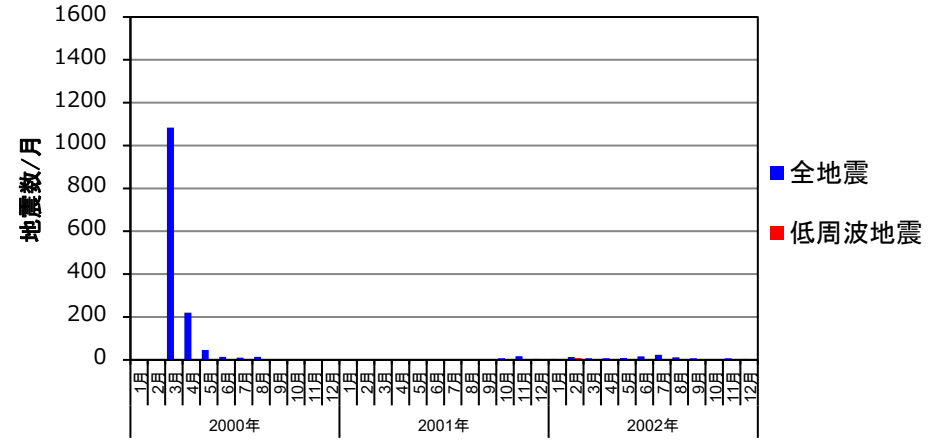
【気象庁地震月報(カタログ編)及び気象庁一元化処理検測値データ】

○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

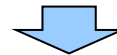
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (1/6)

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~P191参照)

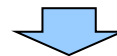
- 全ての基線において、2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う隆起が、一部の基線において、2000年有珠山噴火の余効変動に伴う沈降が認められる。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は、上記の余効変動等に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ、これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。
- 洞爺カルデラ付近の基線長変化は、一部の基線において、2000年有珠山噴火の余効変動に伴う基線の縮みが、一部の基線において2003年十勝沖地震の余効変動に伴う基線の伸びが認められる。
- これらの基線長変化以外に、継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。

(地殻変動(干渉SAR時系列解析))(P192参照)

- 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))(P194~P195参照)

- 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)(2/6)

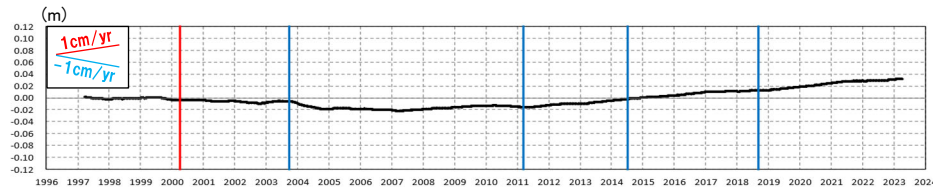
一部修正 (R5/10/6審査会合)

【上下変動】

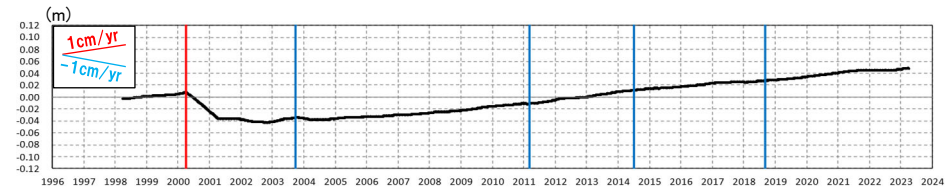
- 洞爺カルデラ付近の4基準点(大滝, 洞爺, 虻田及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2023年3月までの上下変動を示す。
- 固定局は, 洞爺カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 季節変化に伴う影響(気象条件に関するノイズ, 電子基準点周辺の樹木の生長等)を除去するために, 小樽1地点を固定局とした各基準点の上下変動について1年間の移動平均グラフを作成した。



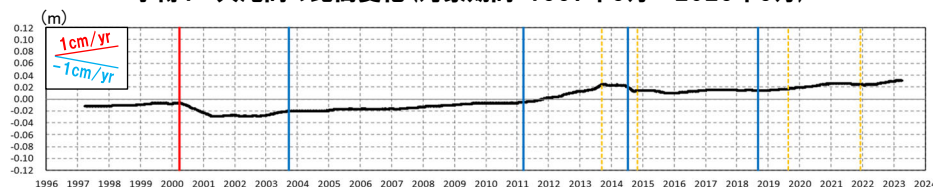
- 全ての基線において, 2011年東北地方太平洋沖地震の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う隆起が認められる。
- また, 一部の基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う沈降が認められる。
- 洞爺カルデラ付近の上下変動は, 上記の余効変動等に由来する小樽1地点との相対的な差異を捉えているものと考えられ, これ以外に継続的かつ顕著な比高変化は認められない。



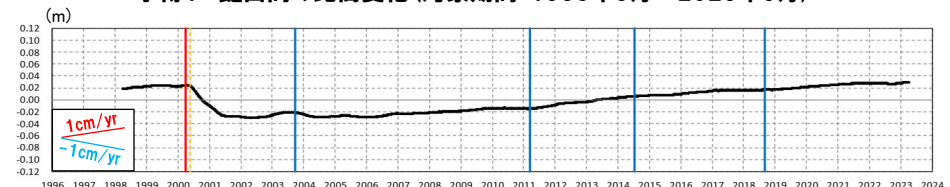
小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



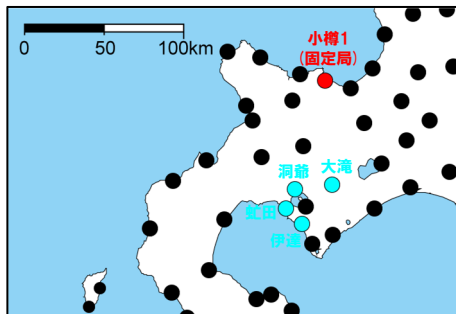
小樽1-虻田間の比高変化(対象期間:1998年3月~2023年3月)



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

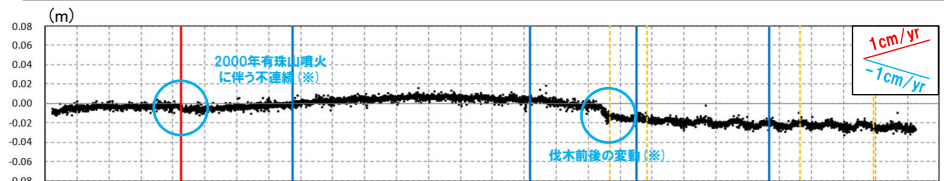
②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(3/6)

一部修正 (R5/10/6審査会合)

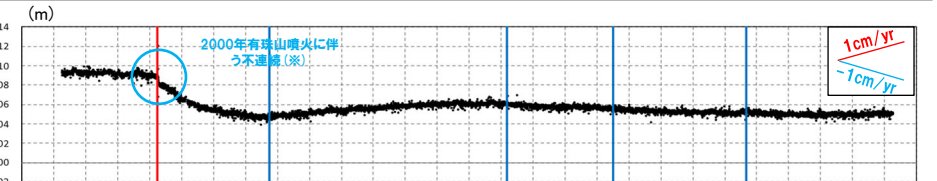
【基線長変化】

- 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。

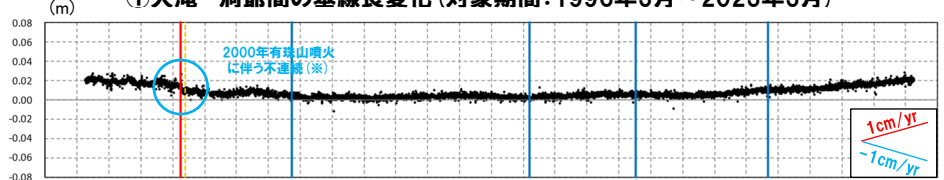
- 洞爺カルデラ付近の基線長変化は, 一部基線において, 2000年有珠山噴火の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う基線の縮みが認められる。
- 同様に, 一部基線において2003年十勝沖地震の余効変動(補足説明資料6章参照)に伴う基線の伸びが認められるが, これ以外に継続的かつ顕著な膨張又は収縮傾向は認められない。



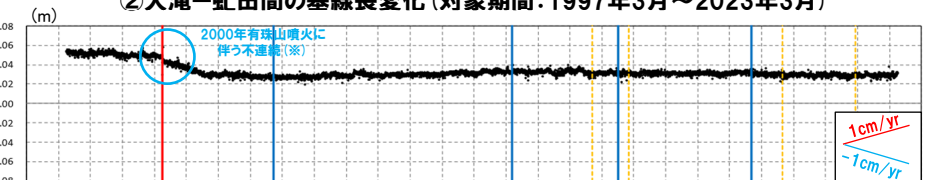
①大滝-洞爺間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2023年3月)



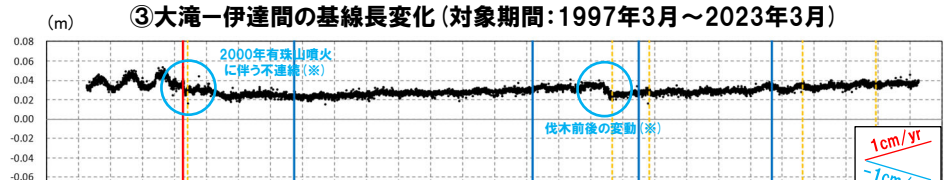
②大滝-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



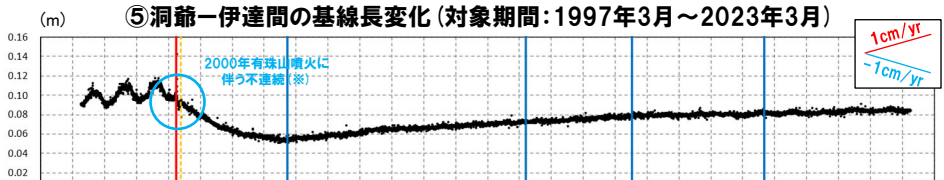
③大滝-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



④洞爺-虻田間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



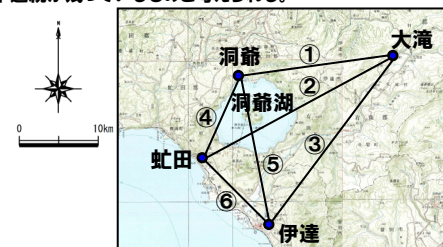
⑤洞爺-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2023年3月)



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		
— (Red line)	2000年3月有珠山噴火	— (Blue line)
— (Blue line)	2003年9月十勝沖地震	— (Yellow dashed line)
— (Blue line)	2011年3月東北地方太平洋沖地震	伐木
— (Blue line)	2014年7月胆振地方中東部の地震	
— (Blue line)	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) (4/6)

再掲 (R5/1/20審査会合)

【干渉SAR時系列解析】

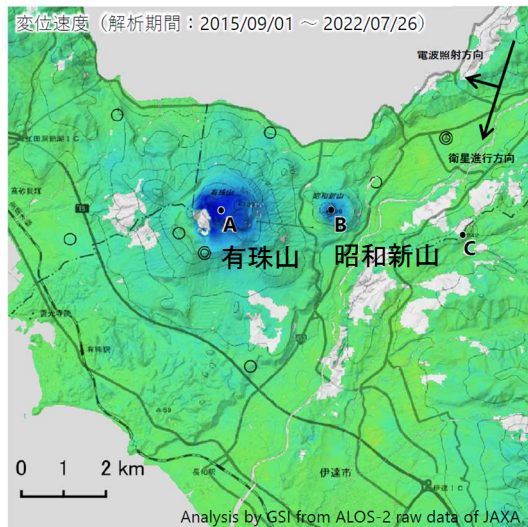
○第151回火山噴火予知連絡会資料(有珠山)(気象庁, 2022)によると、「**大有珠の地点A及び昭和新山の地点B周辺に、衛星から遠ざかる変動が見られます**」とされている。

【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。**

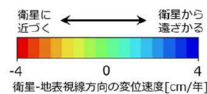
^{*}国土地理院では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する衛星「だいち2号(ALOS-2)」のSARデータを使用し、地表変動の監視を行っている。2023年3月に日本全域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で公表した。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

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。

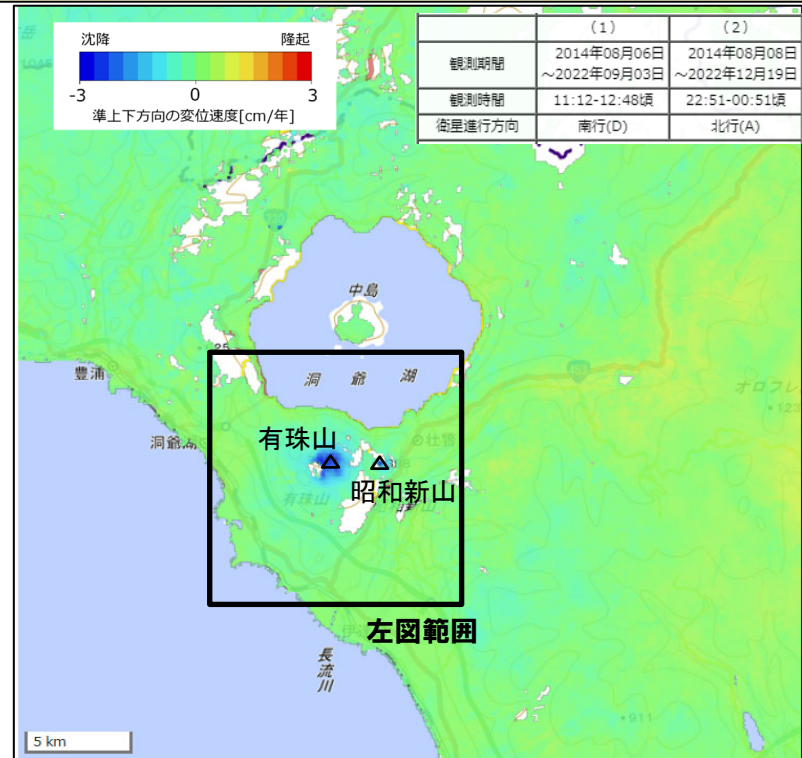


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/09/01 ~ 2022/07/26 (2520日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	31.8°
偏波	HH
データ数	20
干渉ペア数	41

* 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



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



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

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

余白

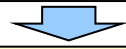
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(5/6)

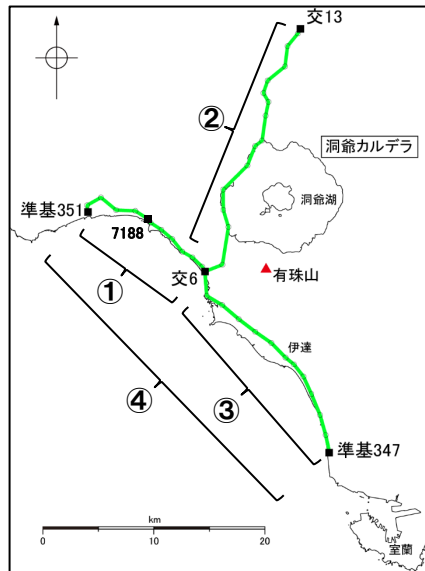
一部修正(R3/10/14審査会合)

【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。

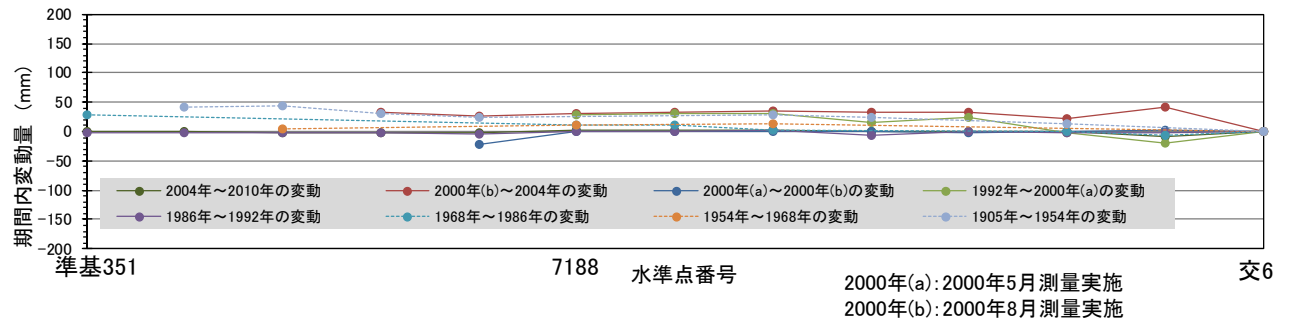


- 洞爺カルデラ周辺のデータは「交6」を境に測量実施時期が異なるものが多いことから、左図に示す水準路線①、②及び③に分けて、データ数の多い「交6」又は「交13」を固定点とした変動量を示している。
- また、「交6」は有珠山に比較的近接し、有珠山の活動に伴う地殻変動の影響を受ける可能性があることから、データ数が少なくなるものの「交6」を越えて測量実施時期が同一なデータについて、有珠山から比較的離れた「7188」を固定点とした変動量をあわせて示した(次頁④参照)。
- 当該検測成果集録においては、2000年噴火による有珠山周辺の局所的な変動が認められるものの、洞爺カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は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

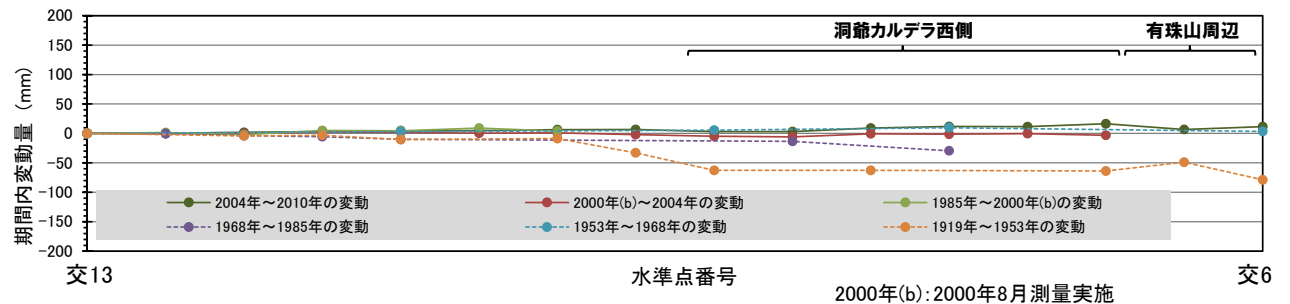


凡例
 ■○ 一等水準点(水準路線)
 ※検討に用いた水準点・路線のみを示す

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)

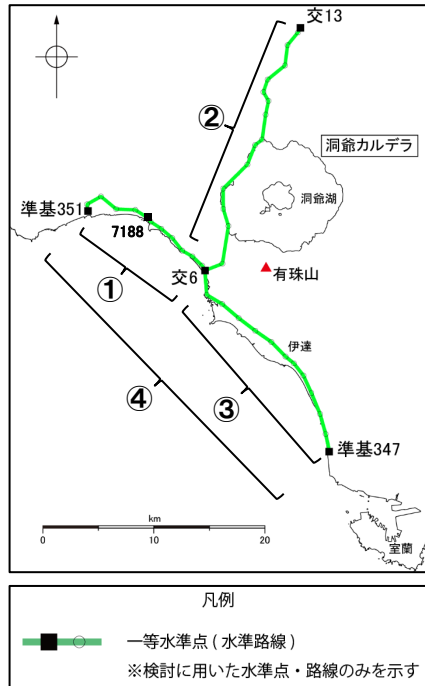


② 水準路線(水準点番号:交13-交6)沿いの期間内変動量(固定点:交13)

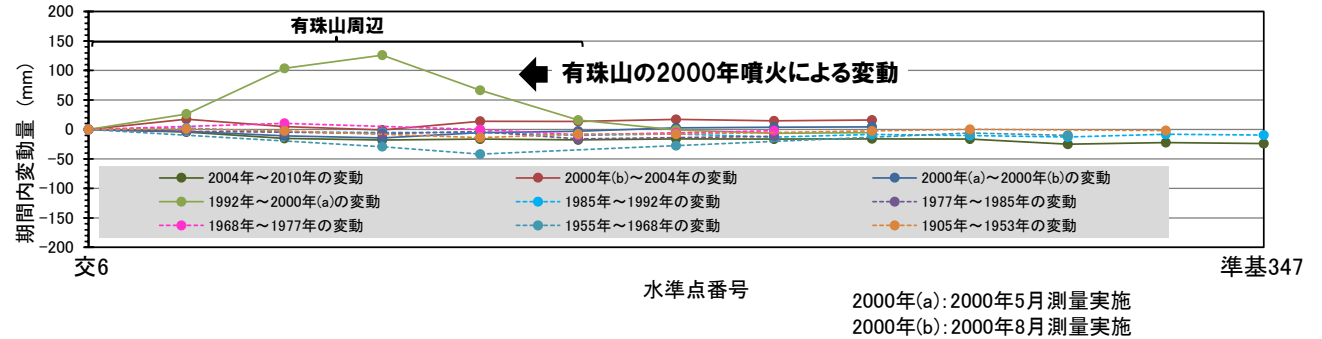
4.2.3 洞爺カルデラの評価

②-7 地球物理学的調査(地殻変動)(6/6)

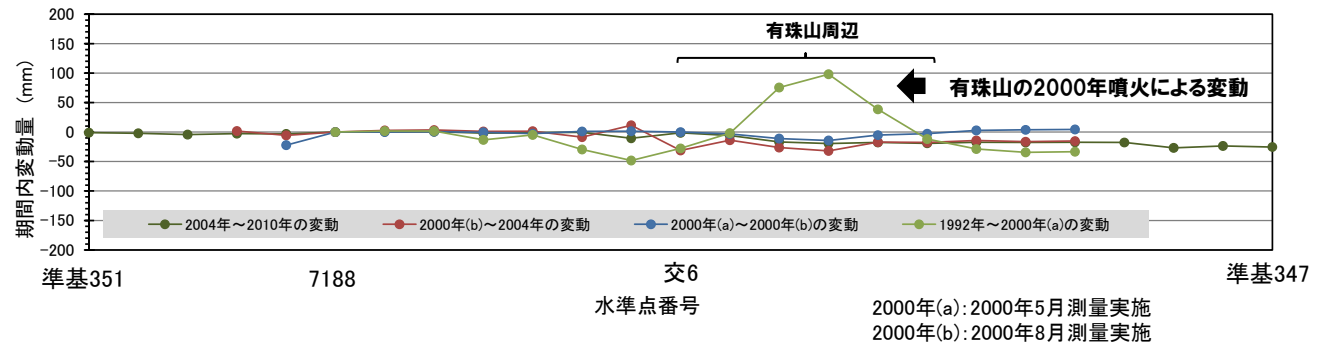
一部修正 (R3/10/14審査会合)



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)



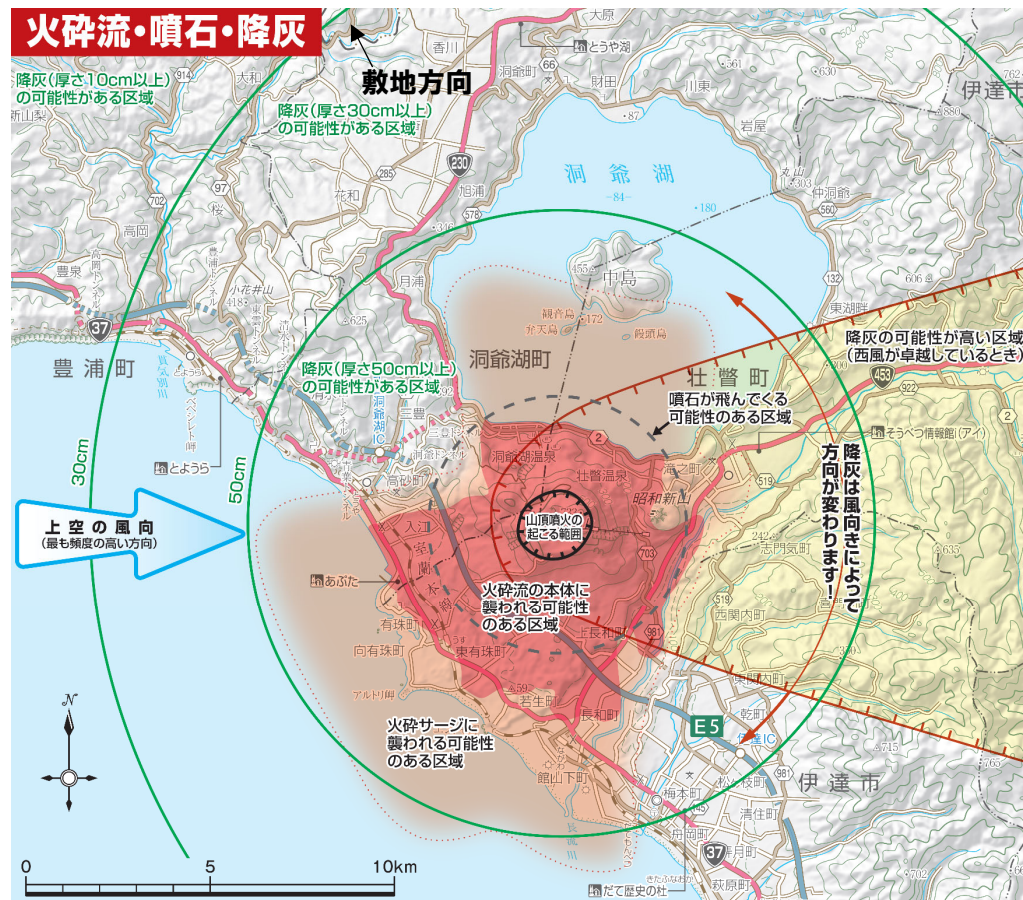
④ 水準路線(水準点番号:準基351-7188-交6-準基347)沿いの期間内変動量(固定点:7188)

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)