

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/7)

○支笏カルデラの比抵抗構造について検討するため、文献レビューを実施した。

【Yamaya et al. (2017) (次頁～P159参照)】

○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺において、MT法による電磁気探査を実施しているYamaya et al. (2017) をレビューした。

- ・Yamaya et al. (2017) によれば、支笏カルデラ直下においては、比抵抗値が $30\ \Omega\text{m}$ 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(P159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(P159参照)は、地殻内へのマグマの移動に伴うものである可能性があるとされている。
- ・また、深部低周波地震は、メルトから脱水された水の移動に伴うものである可能性もあるとされている。
- ・比抵抗構造だけでは、判断できないが、支笏カルデラ直下において5kmから40km以深へ続く低比抵抗領域は、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)を示しており、C2及びC2'はそれぞれこれらの上昇経路、貯留域と解釈されるとされている。

○Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、部分熔融域又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。

【Ichihara et al. (2019) (P161参照)】

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

- ・Ichihara et al. (2019) によれば、支笏カルデラ直下の(P161図中の「C-3」)において、低比抵抗構造が認められるとされている。
- ・本研究においては、Yamaya et al. (2017) と異なるデータセットを使用しており、当該低比抵抗領域が認められたことは、Yamaya et al. (2017) において支笏カルデラ直下に低比抵抗領域が認められたことを支持するとされている。
- ・当該低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) において考察されているように、支笏カルデラ直下のメルト又はマグマ由来の水を表している可能性があるとされている。

○Ichihara et al. (2019) に基づくと、支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」と同様な位置に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。



○文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019) に基づくと、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められるが、メルトかマグマ由来の水か比抵抗構造だけでは判断できないとされていることから、当該領域における比抵抗構造と地震波速度構造とを合わせた検討を実施する(P162～P165参照)。

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(2/7)

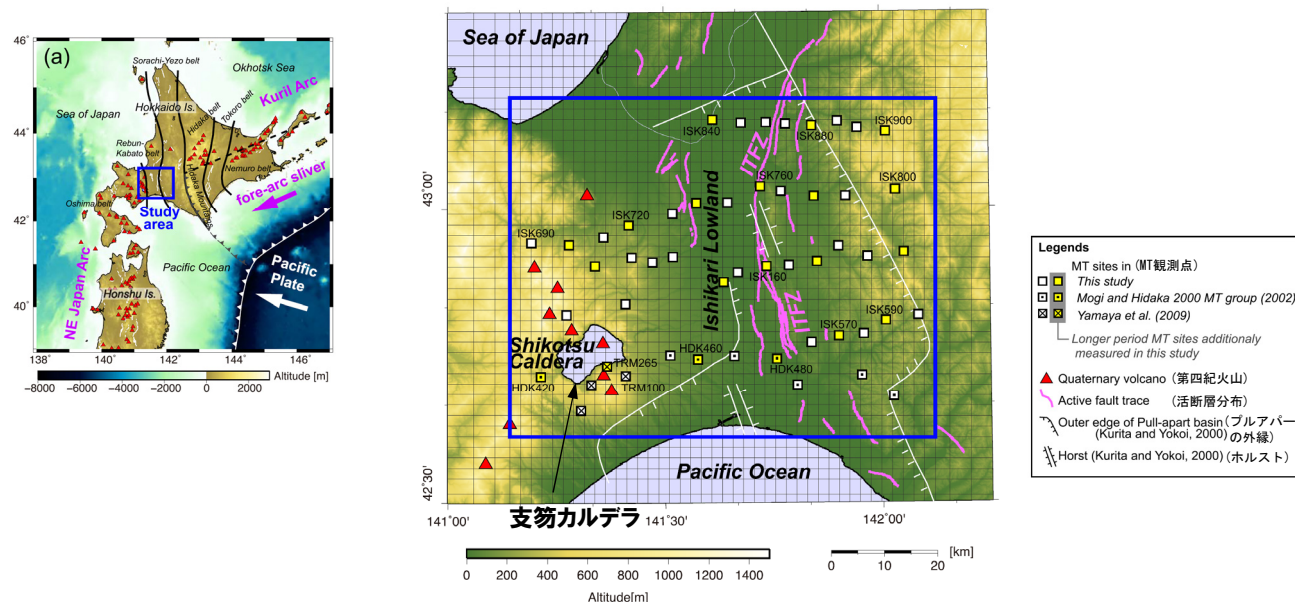
【Yamaya et al. (2017)】

○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺において、MT法による電磁気探査を実施しているYamaya et al. (2017) をレビューした。

- ・Yamaya et al. (2017) によれば、支笏カルデラ直下においては、比抵抗値が $30\ \Omega\text{m}$ 以下及び $10\ \Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗領域が深度5～40km以深に認められるとされている(次頁図中の「C2」及び「C2'」)。
- ・火山地域の深部低周波地震は、マグマの移動に関連している可能性があり、C2が部分熔融域を示していると仮定すると、C2の上端に認められる深部低周波地震(次頁参照)は、地殻内へのマグマの移動に伴うものである可能性があるとされている。
- ・また、深部低周波地震は、メルトから脱水された水の移動に伴うものである可能性もあるとされている。
- ・比抵抗構造だけでは、判断できないが、支笏カルデラ直下において5kmから40km以深へ続く低比抵抗領域は、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)を示しており、C2及びC2'はそれぞれこれらの上昇経路、貯留域と解釈されるとされている。



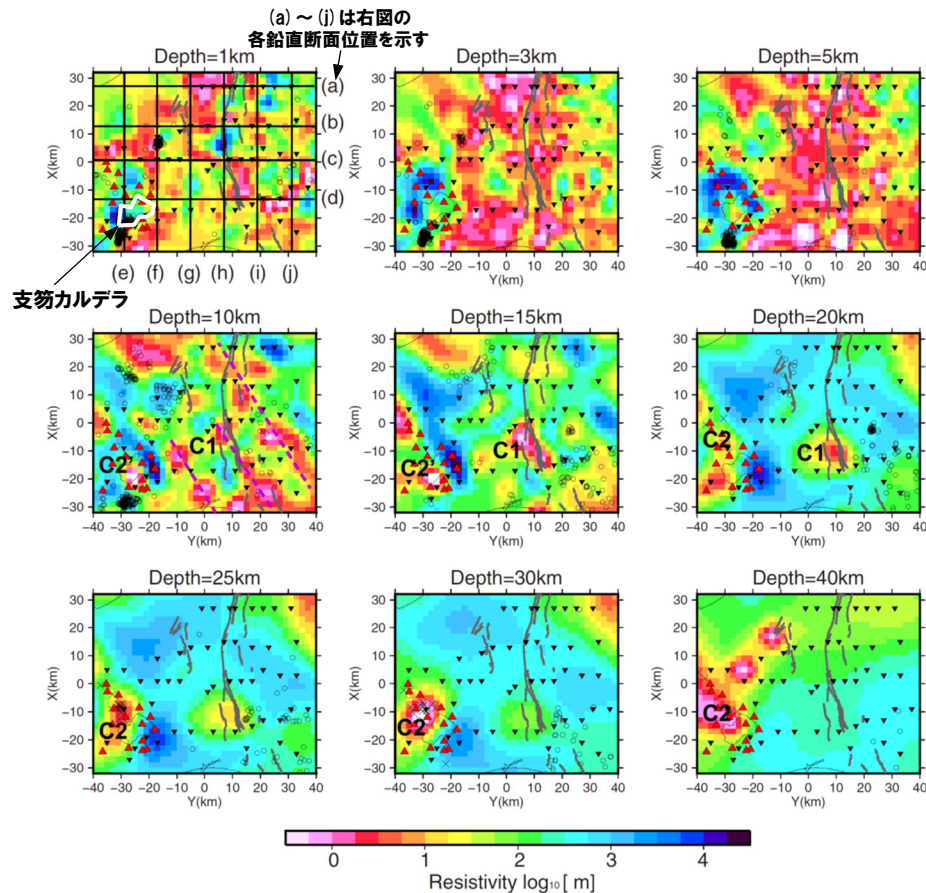
○Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、部分熔融域又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。



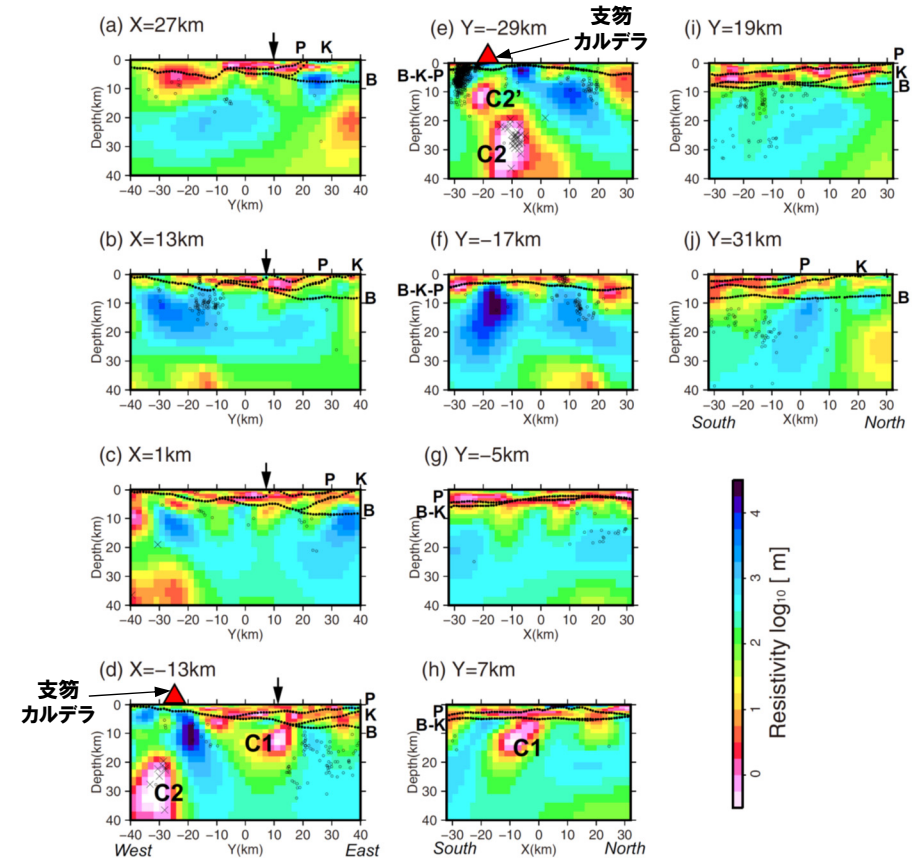
調査地域位置図(左図)及びMT測定地点位置図(右図)(Yamaya et al. (2017) に加筆)

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/7)



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



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

余白

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(4/7)

【Ichihara et al. (2019)】

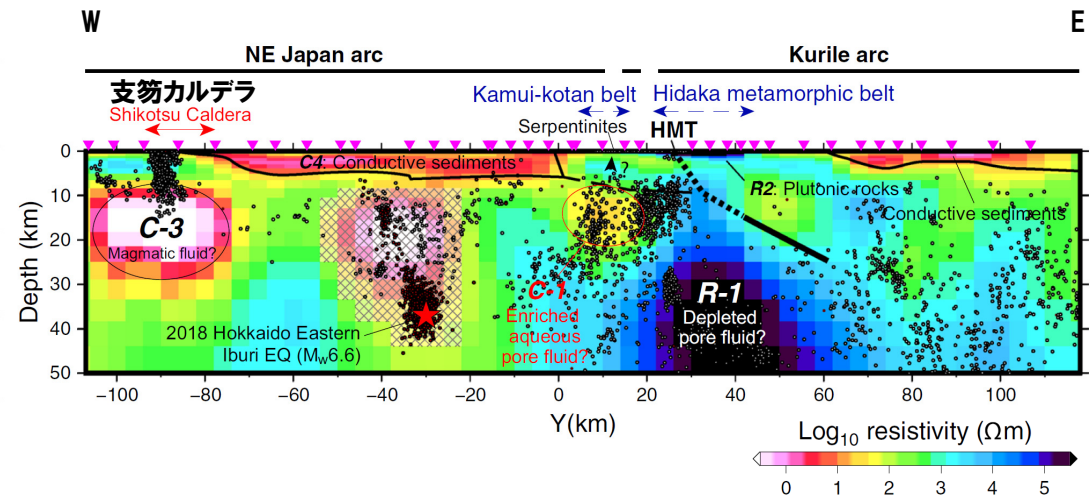
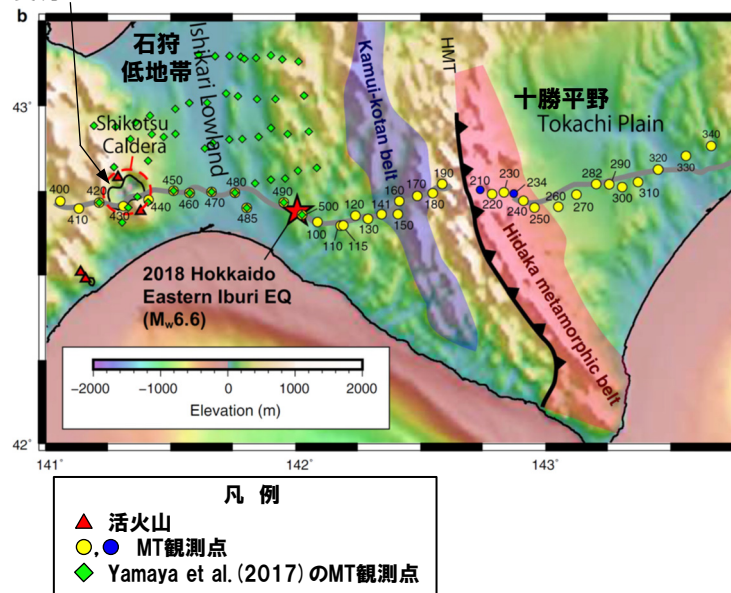
○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺から十勝平野にかけて、MT法による電磁気探査を実施しているIchihara et al. (2019) をレビューした。

- ・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) (P158～P159参照) と異なるデータセットを使用しており、当該低比抵抗領域が認められたことは、Yamaya et al. (2017) において支笏カルデラ直下に低比抵抗領域が認められたことを支持するとされている。
- ・当該低比抵抗領域は、Yamaya et al. (2017) において考察されているように、支笏カルデラ直下のメルト又はマグマ由来の水を表している可能性があると考えられている。



○Ichihara et al. (2019) に基づくと、支笏カルデラ直下には、Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2'」と同様な位置に、メルト又はマグマ由来の水の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。

支笏カルデラ



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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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

- 文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)に基づくと、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められるが、部分熔融域(partial melts)又はマグマ由来の水(aqueous fluids)か比抵抗構造だけでは判断できないとされている。
- このため、当該領域について、当社が作成した地震波速度構造断面※を用いてメルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域が存在するか否かを確認した。

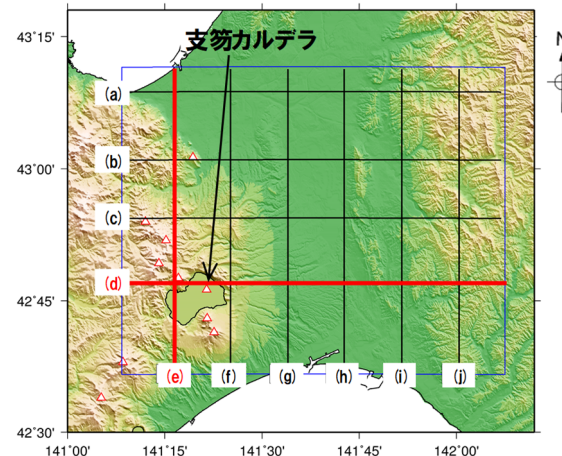
【Yamaya et al. (2017) の(d) 断面及び(e) 断面に対応する地震波速度構造】

- Yamaya et al. (2017) に示される支笏カルデラ直下の低比抵抗領域「C2'」付近における地震波速度構造※(次頁「(e) 断面」)は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、水に富む領域と考えられる。
- なお、当該領域が水に富む領域となる要因としては、北海道南部とマグマ供給システムが同様である東北日本(P130～P135参照)に位置する鳴子カルデラの事例を踏まえると、下部地殻中のメルトが固化し、低周波地震を伴いながら水が浅部へ放出されることにより、水が供給されている可能性が考えられる(P346～P351参照)。

※次頁及びP157に示す当社作成の地震波速度構造断面は、中野ほか編(2013)に示される支笏カルデラの代表点を通るように断面を作成していた。ここでは、改めてYamaya et al. (2017) に示される断面のうち、支笏カルデラ付近で直交する(d) 断面及び(e) 断面に合わせた位置で断面を当社が作成した。



- 支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められるが、地震波速度構造から当該領域は水に富む領域であり、部分熔融域ではないと考えられる。



次頁鉛直断面位置図

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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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

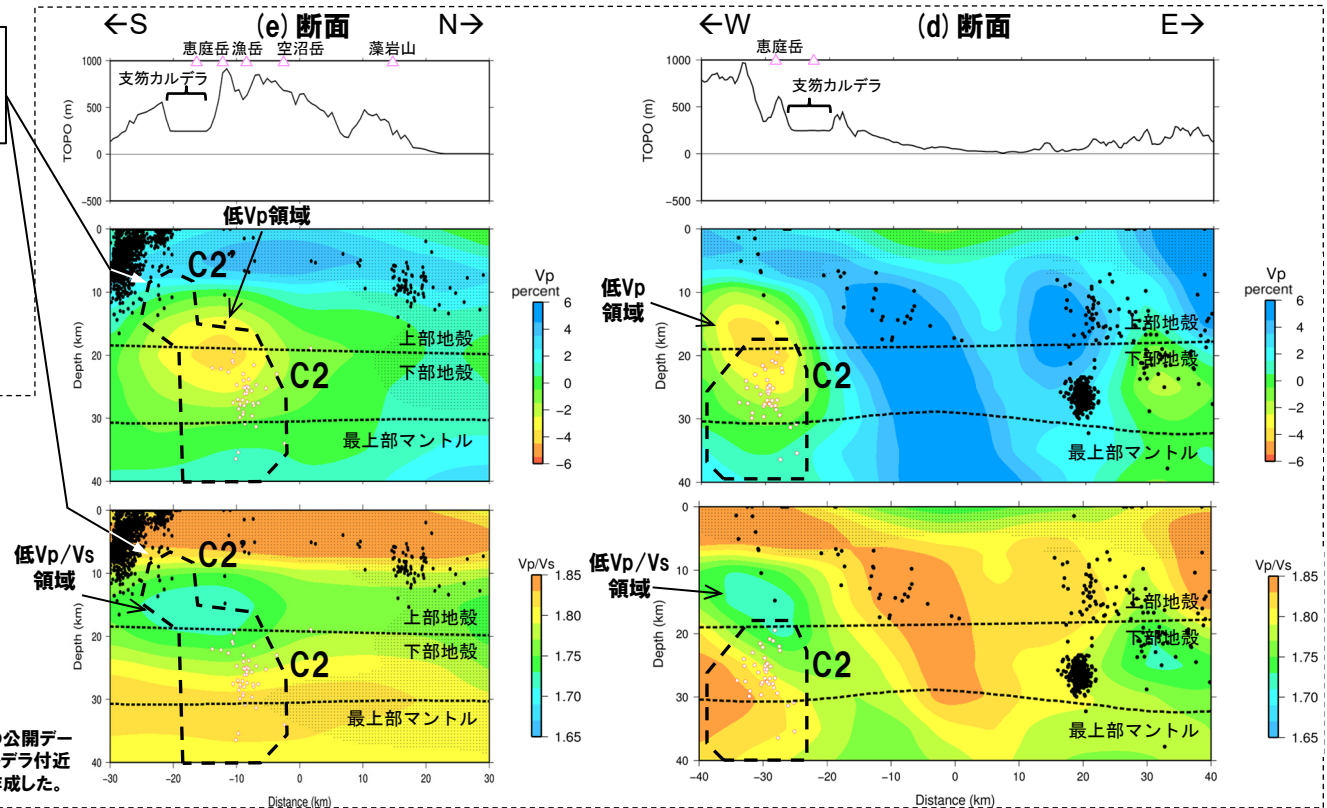
○「C2'」付近における地震波速度構造は、低Vpかつ低Vp/Vs領域であることから、水に富む領域と考えられる。

凡例(地震波速度構造)

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

地震波速度構造(鉛直断面)※

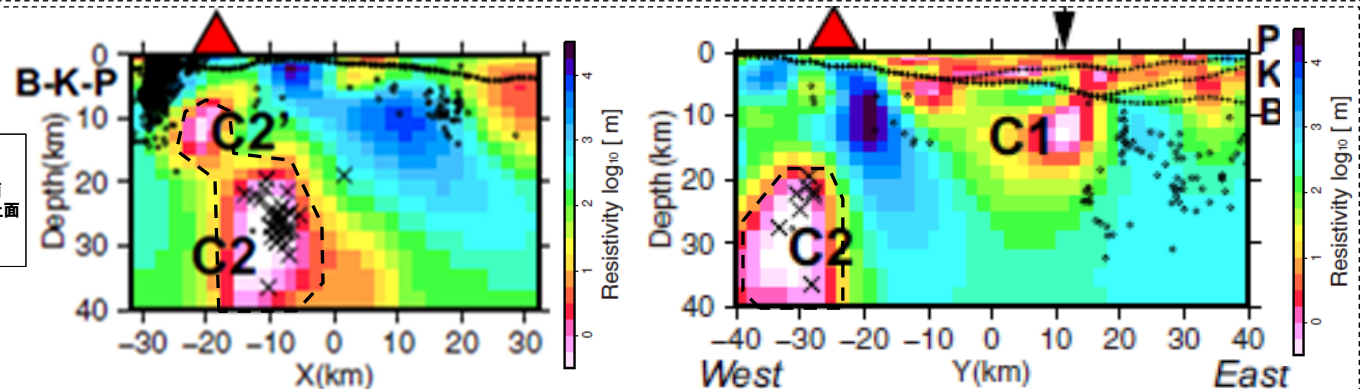
※「日本列島の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」の公開データを用いて、Yamaya et al. (2017)に示される断面のうち、支笏カルデラ付近で直交する(d)断面及び(e)断面に合わせた位置で断面を当社が作成した。



凡例(比抵抗構造)

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

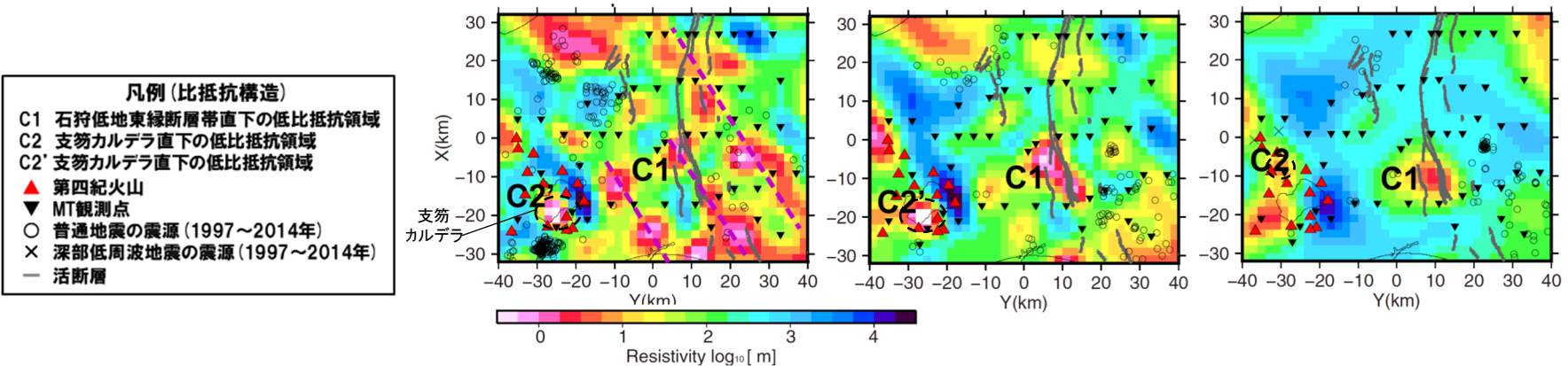
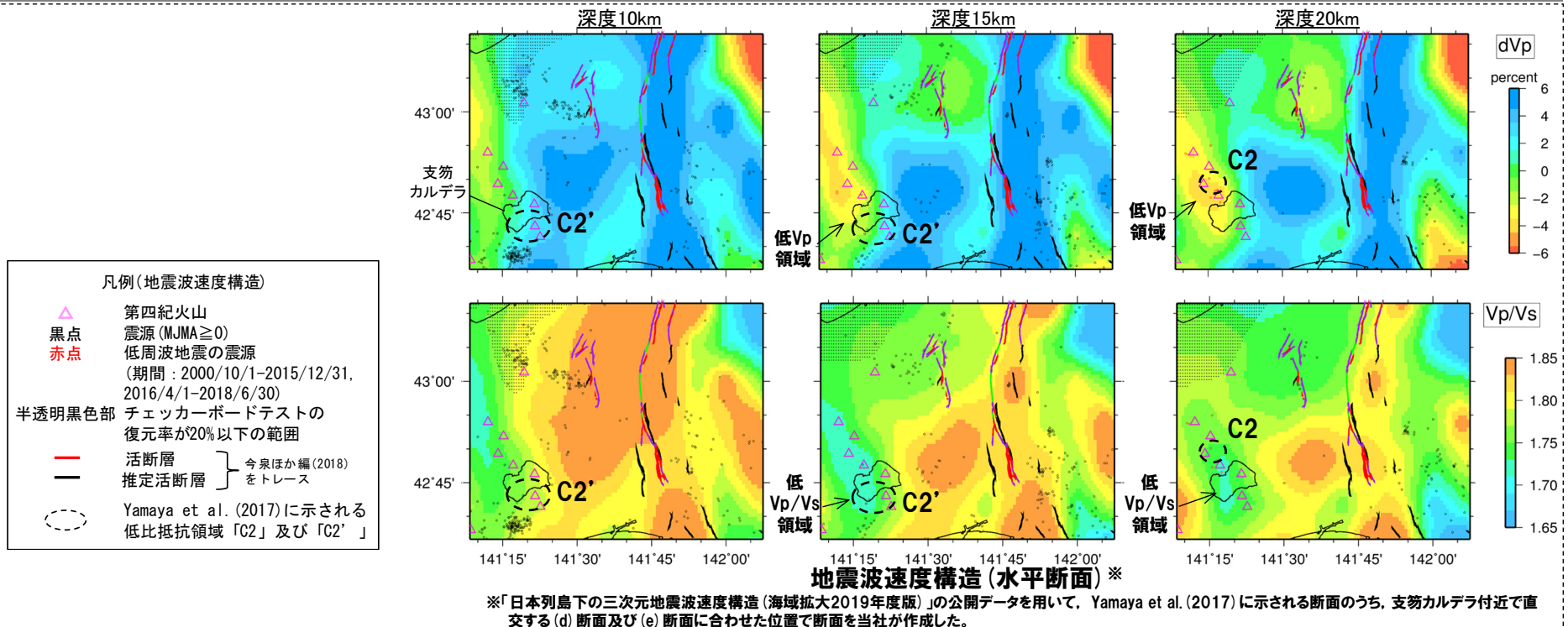
比抵抗構造(鉛直断面) (Yamaya et al. (2017)に加筆)



余白

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

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



2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

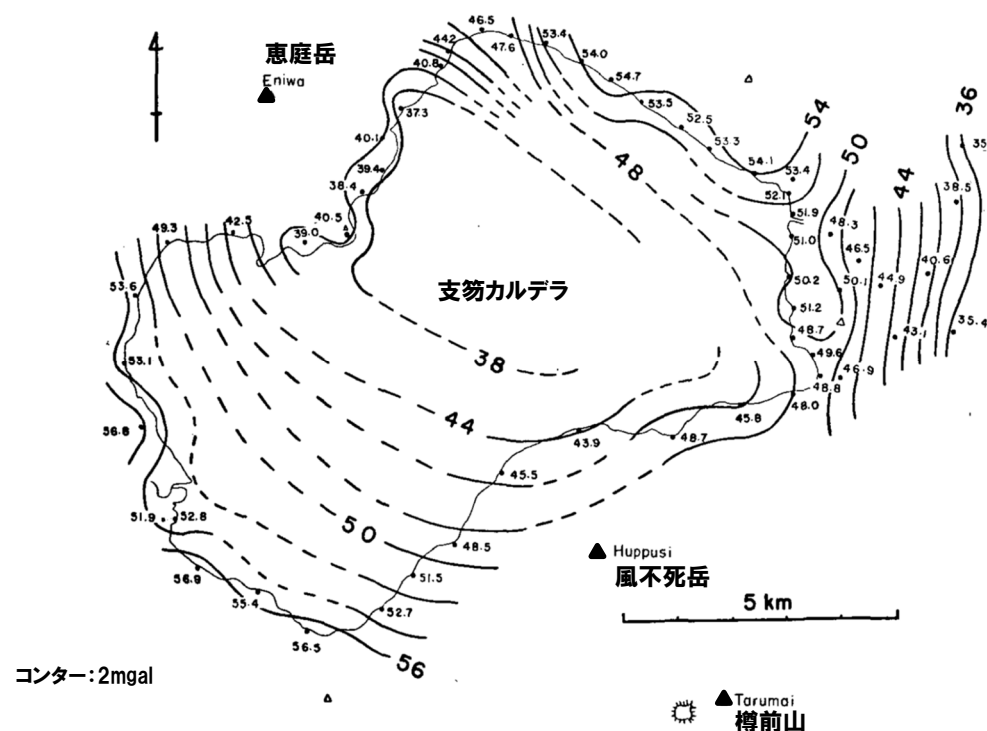
【Yokoyama and Aota (1965)】

○支笏カルデラ周辺において、重力測定を行っているYokoyama and Aota (1965) をレビューした。

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



- 文献 (Yokoyama and Aota, 1965) に基づくと、支笏カルデラにおいては、中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低重力異常が中心部に認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

【地震波速度構造(P154～P155参照)】

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

【比抵抗構造(P157～P161参照)】

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

(地震波速度構造と比抵抗構造との比較(P162～P165参照))

- 支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低比抵抗領域を報告している文献においては、当該領域がメルトかマグマ由来の水か比抵抗構造だけでは判断できないとされていることから、当該領域における地震波速度構造と比抵抗構造とを合わせた検討を実施した。
- 検討の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内には、低比抵抗領域が認められるが、地震波速度構造から当該領域は水に富む領域であり、部分熔融域ではないと考えられる。

【重力異常(前頁参照)】

- 文献(Yokoyama and Aota, 1965)に基づくと、支笏カルデラにおいては、中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低重力異常が中心部に認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



- 地下構造に関する調査の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。

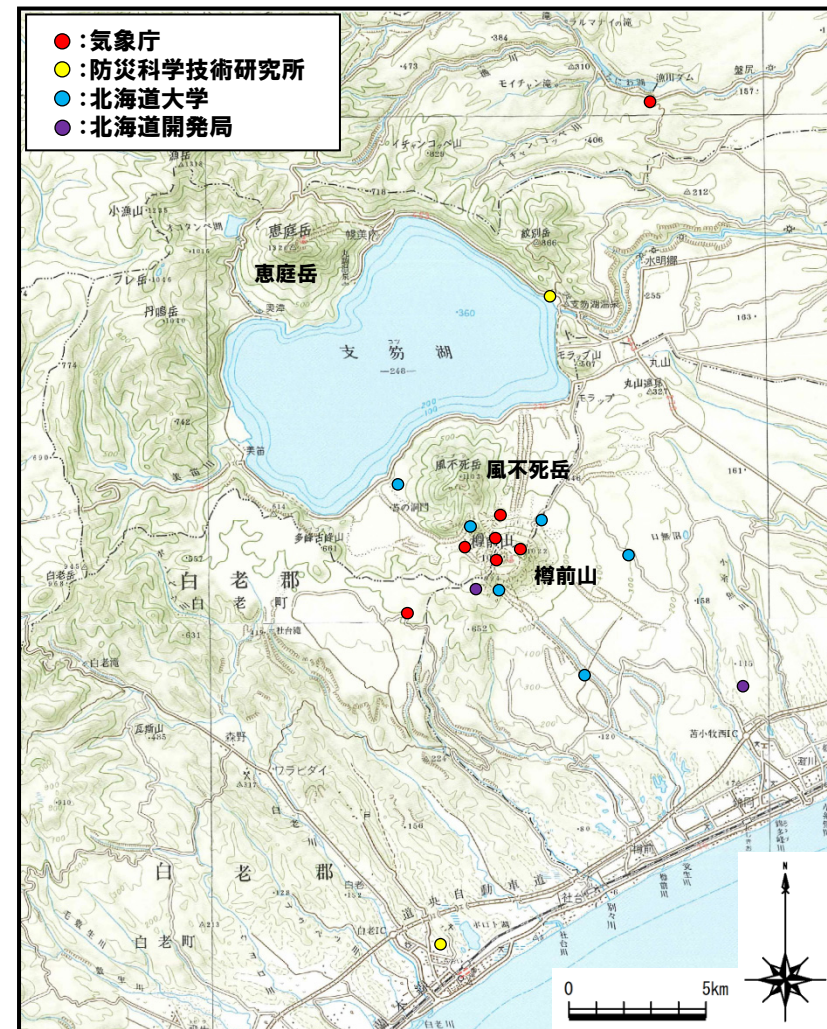
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(1/5)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

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



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

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(2/5)

一部修正(H25/11/13審査会合)

【気象庁編(2013)】

- 支笏カルデラ周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)及び樽前山の火山性地震の震源分布(2002年11月～2012年6月)を下図に示す。
- 支笏カルデラ周辺においては、樽前山及び恵庭岳周辺に震央の分布が認められる。
- 地震活動は、樽前山周辺の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、恵庭岳周辺の深部(深さ20～35km程度)に散発的に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。

・地震活動

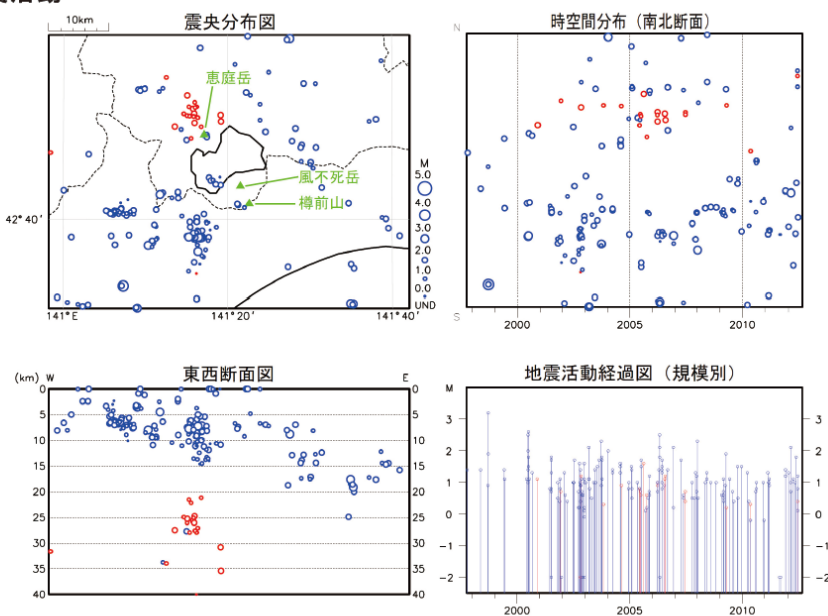


図 12-16 広域地震観測網による浅部の地震活動(青)及び深部低周波地震活動(赤)
(1997年10月～2012年6月30日)

(凡 例)
● : 地震活動
● : 深部低周波地震活動

・火山性地震の震源分布

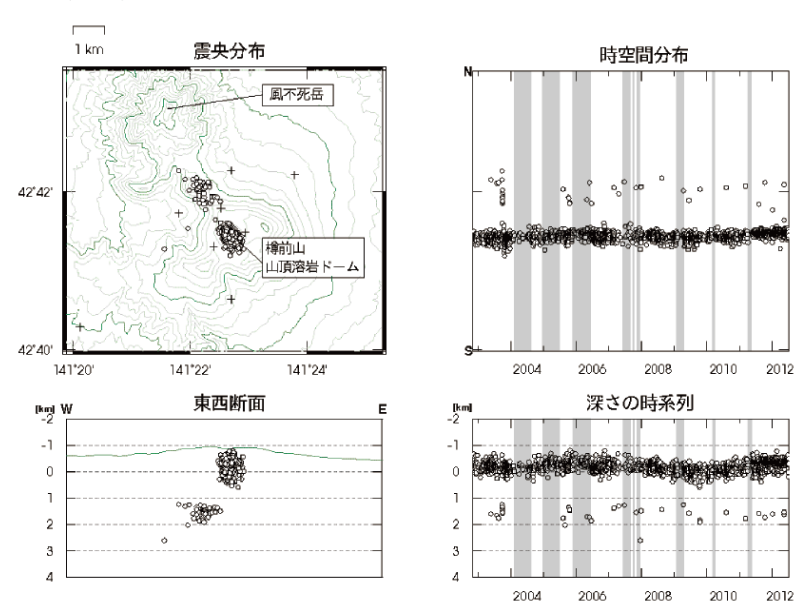


図 12-15 震源分布図(2002年11月～2012年6月30日)
+印は観測点を示す

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

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

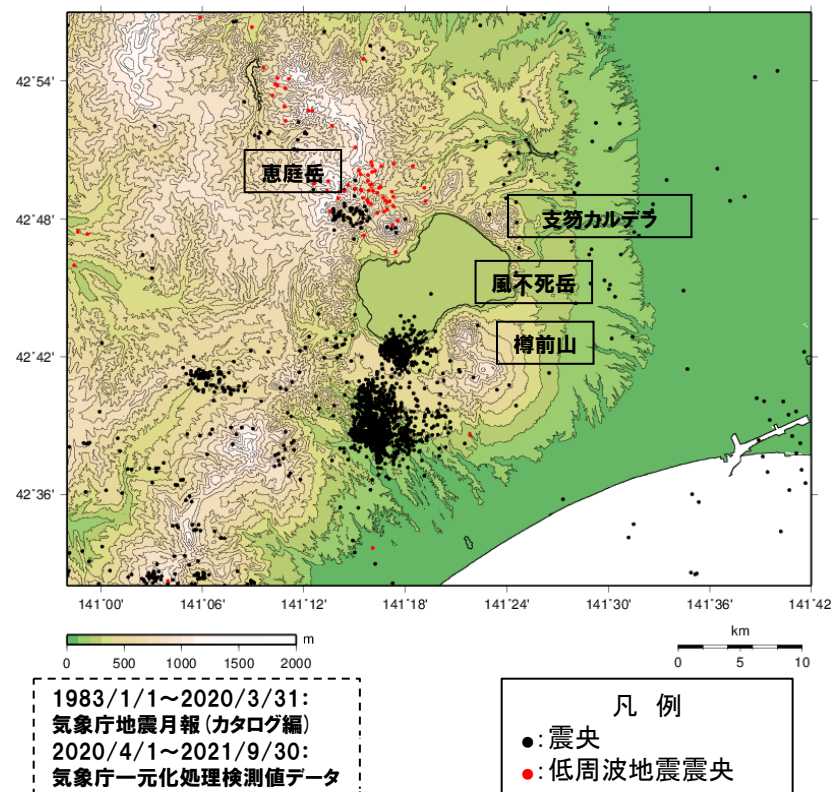
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(3/5)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【気象庁地震月報(カタログ編), 気象庁一元化処理検測値データ等】

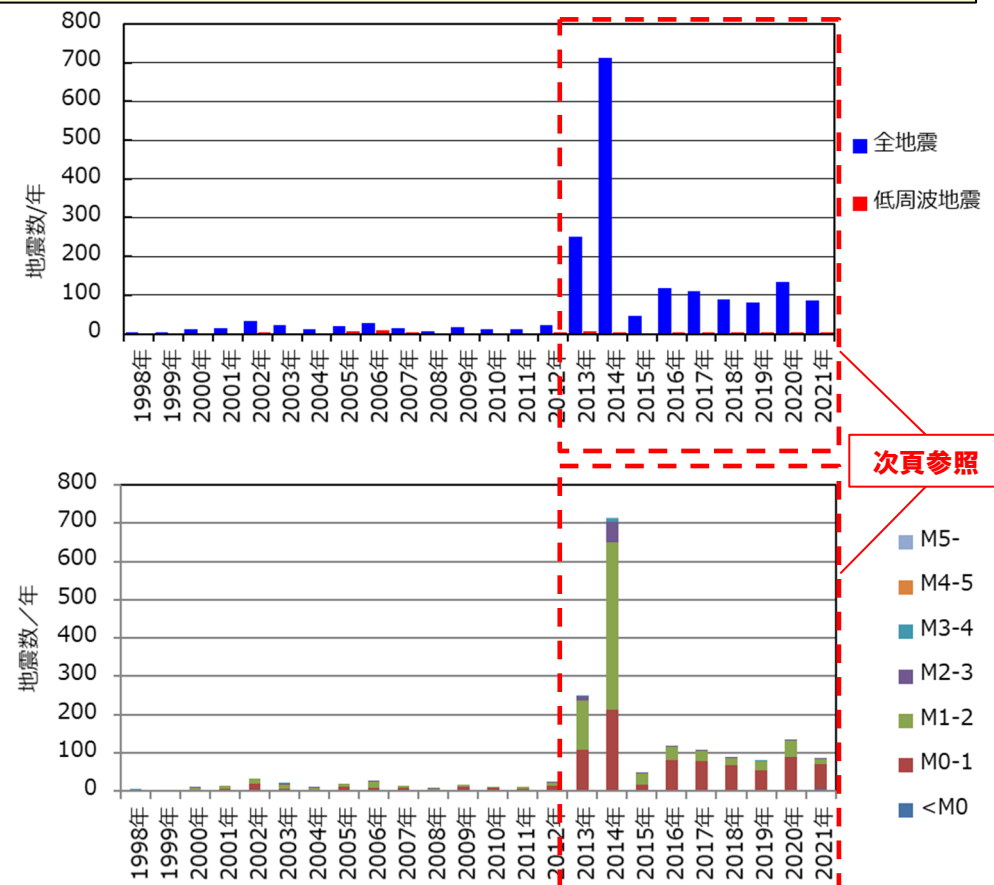
- 過去約40年間(1983年1月～2021年9月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月), 気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)等を使用した。
- 支笏カルデラ周辺においては, カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており, カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は, 樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが, 深部の低周波地震については, 発生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



支笏カルデラ周辺の震央分布図※1

(1983年1月1日～2021年9月30日の記録, 深さ40km以浅)

※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, ※2 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。



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

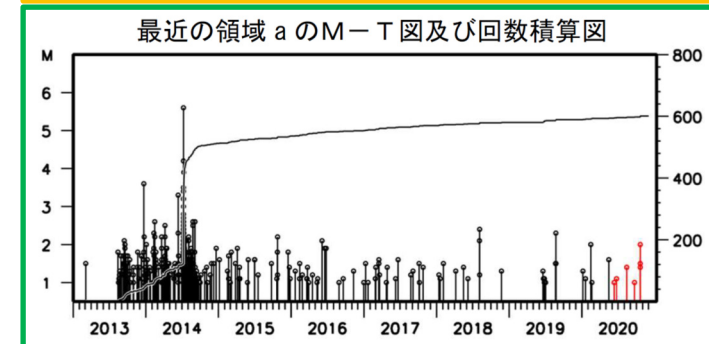
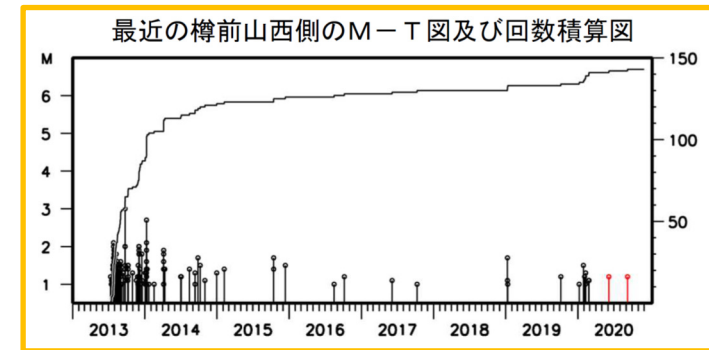
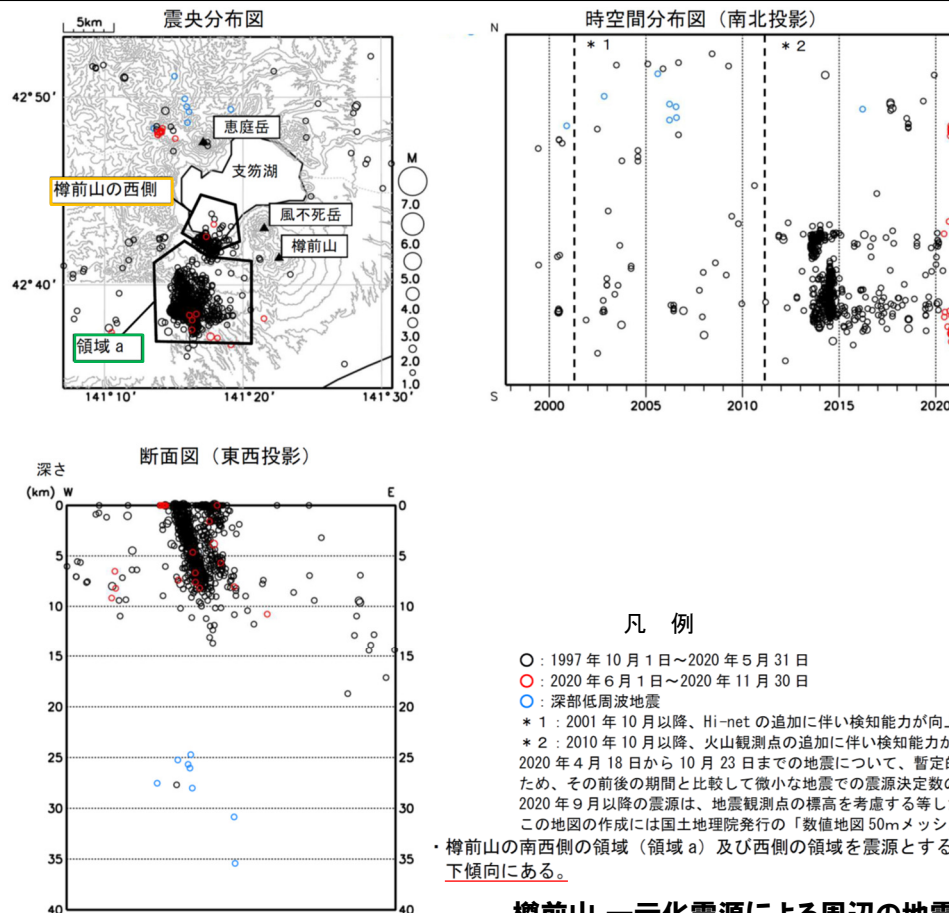
2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/5)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【気象庁(2020)】

- 「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020)では, 樽前山について, 山体, 樽前山南西側の領域(領域a)及び樽前山西側の領域について地震活動が示されている。
- このうち, 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傾向が認められるが, 2014年以降は低下傾向にあるとされている。
- 上記の地震の増加に伴う低周波地震の増加は認められない。



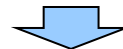
樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月1日～2020年11月30日, $M \geq 1.0$, 深さ40km以浅)(気象庁(2020)に加筆)

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (5/5)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 火山性地震のうち低周波地震については、下鶴ほか編(2008)によれば、マグマや熱水などの流体が関与して発生していると考えられているものが多いとされている。このため、低周波地震がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、支笏カルデラ周辺の低周波地震の時空間分布を確認した。
- ・確認に当たっては、公的機関の観測結果を取りまとめた気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」並びに気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)、気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)等を用いた。
- 確認結果は以下のとおり(下線部は低周波地震に関する事項)。
- (気象庁, 2013)
- ・地震活動は、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。
- (気象庁地震月報(カタログ編)、気象庁一元化処理検測値データ等)
- ・支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に普通地震の震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
 - ・マグニチュード1以上の地震は、樽前山の南西側及び西側において2013年及び2014年に一時的に増加傾向が認められるが、深部の低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

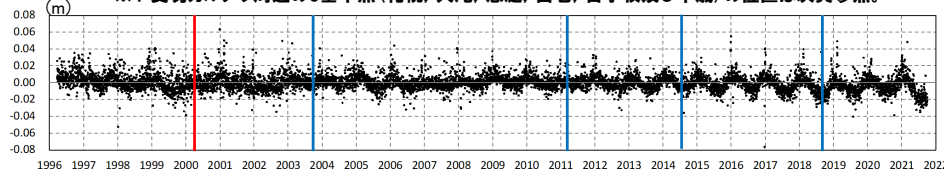
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

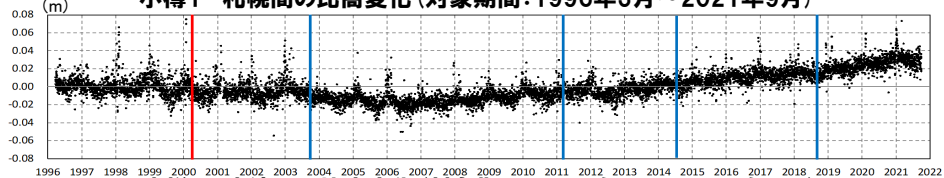
【上下変動】

- 支笏カルデラ付近の6基準点※1(札幌、大滝、恵庭、白老、苫小牧及び千歳)について、各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は、支笏カルデラと同様に東北日本弧延長部に位置し、第四紀火山から離隔があること等を踏まえ、小樽1地点とした。
- 支笏カルデラ付近の上下変動は、大滝地点以外は継続的な隆起又は沈降は認められず、大滝地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P252～P257参照)を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、大滝地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- なお、年間上下変動量のうち、東北地方太平洋沖地震発生前後(下表赤枠部)及び北海道胆振東部地震発生前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を一例として次頁～P177に示す。

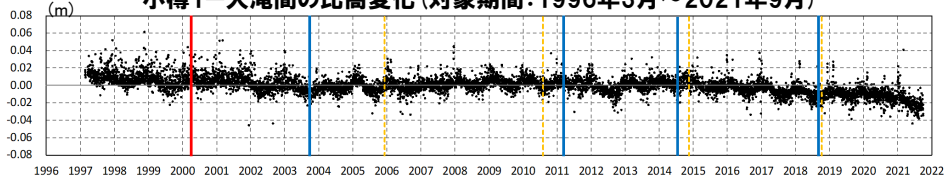
※1 支笏カルデラ周辺の6基準点(札幌、大滝、恵庭、白老、苫小牧及び千歳)の位置は次頁参照。



小樽1-札幌間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



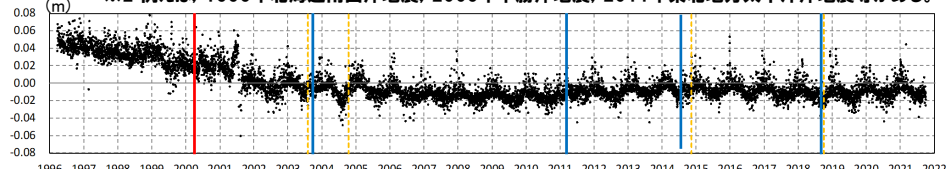
小樽1-恵庭間の比高変化(対象期間:1997年2月～2021年9月)

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
札幌	-0.42	+0.26	-0.51	+2.24	-1.03	+0.69	+0.16	+0.14	-0.43	-1.43	-0.51	+0.92
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38
恵庭	-	-0.00	-0.15	-0.43	+0.10	+0.40	-0.58	+0.31	-0.40	-1.38	+0.18	+0.75
白老	-0.56	-0.55	-1.05	-0.73	-2.06	+1.17	-0.04	-0.26	-0.91	-1.57	-0.49	+0.16
苫小牧	-0.65	-0.19	-0.68	-1.38	-0.72	+0.91	-1.39	-0.07	-0.71	-1.90	-0.00	+0.50
千歳	-	-1.28	+0.92	-0.18	-1.38	-0.19	+1.05	+0.10	-0.57	-1.53	-0.75	+0.64
小樽1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
札幌	+0.55	+0.11	+0.83	-0.68	+0.31	+0.29	+1.44	-0.44	-0.44	+0.02	+0.28	+0.71
大滝	+1.50	+0.29	+0.96	-0.94	+0.62	+1.03	+1.66	-0.29	+0.88	+0.82	+0.82	+1.74
恵庭	+0.33	+0.32	+0.20	-0.45	+0.35	+0.26	+0.65	-0.85	+0.21	+0.44	-0.00	-
白老	+0.24	+0.06	+0.63	+0.44	+0.09	+0.44	+1.49	+0.50	-0.90	+0.61	-0.07	+0.63
苫小牧	+0.21	+0.23	+0.30	-0.01	+0.20	+0.78	+0.54	+0.37	-0.70	-1.08	-0.14	+0.38
千歳	+0.11	+0.51	+0.02	+0.11	-0.18	+0.36	+0.76	-0.72	-0.42	+0.62	+0.36	+1.04

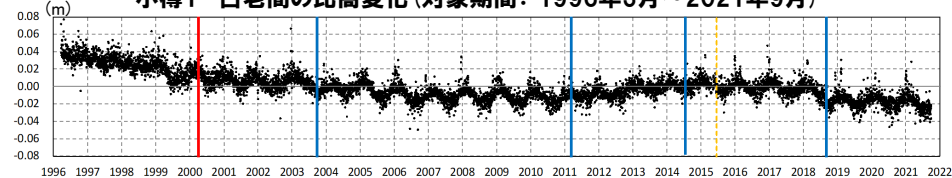
↑ 東北地方太平洋沖地震発生

↑ 北海道胆振東部地震発生

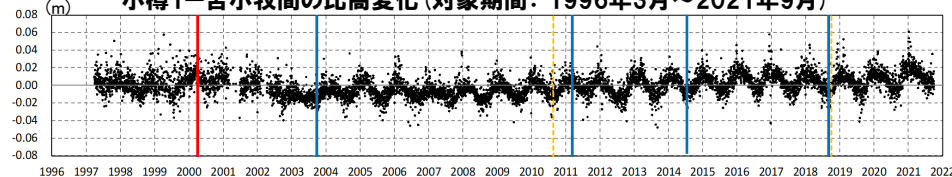
※2 例えば、1993年北海道南西沖地震、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等がある。



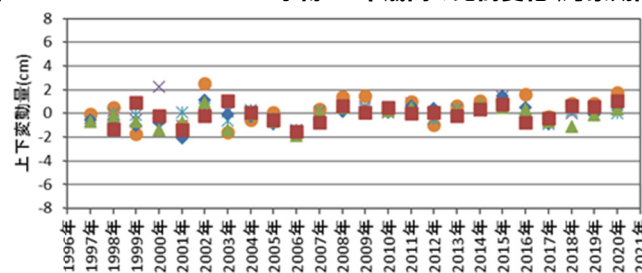
小樽1-白老間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



小樽1-苫小牧間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



小樽1-千歳間の比高変化(対象期間:1997年3月～2021年9月)

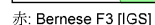


年間上下変動量のグラフ

- × 札幌
- 大滝
- △ 恵庭
- ◇ 白老
- ▽ 苫小牧
- 千歳
- 2000年3月有珠山噴火
- 2003年9月十勝沖地震
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震
- 伐木

一部修正 (R3/10/14審査会合)

- 固定局: 940013



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

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2010年1月~2010年12月)

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

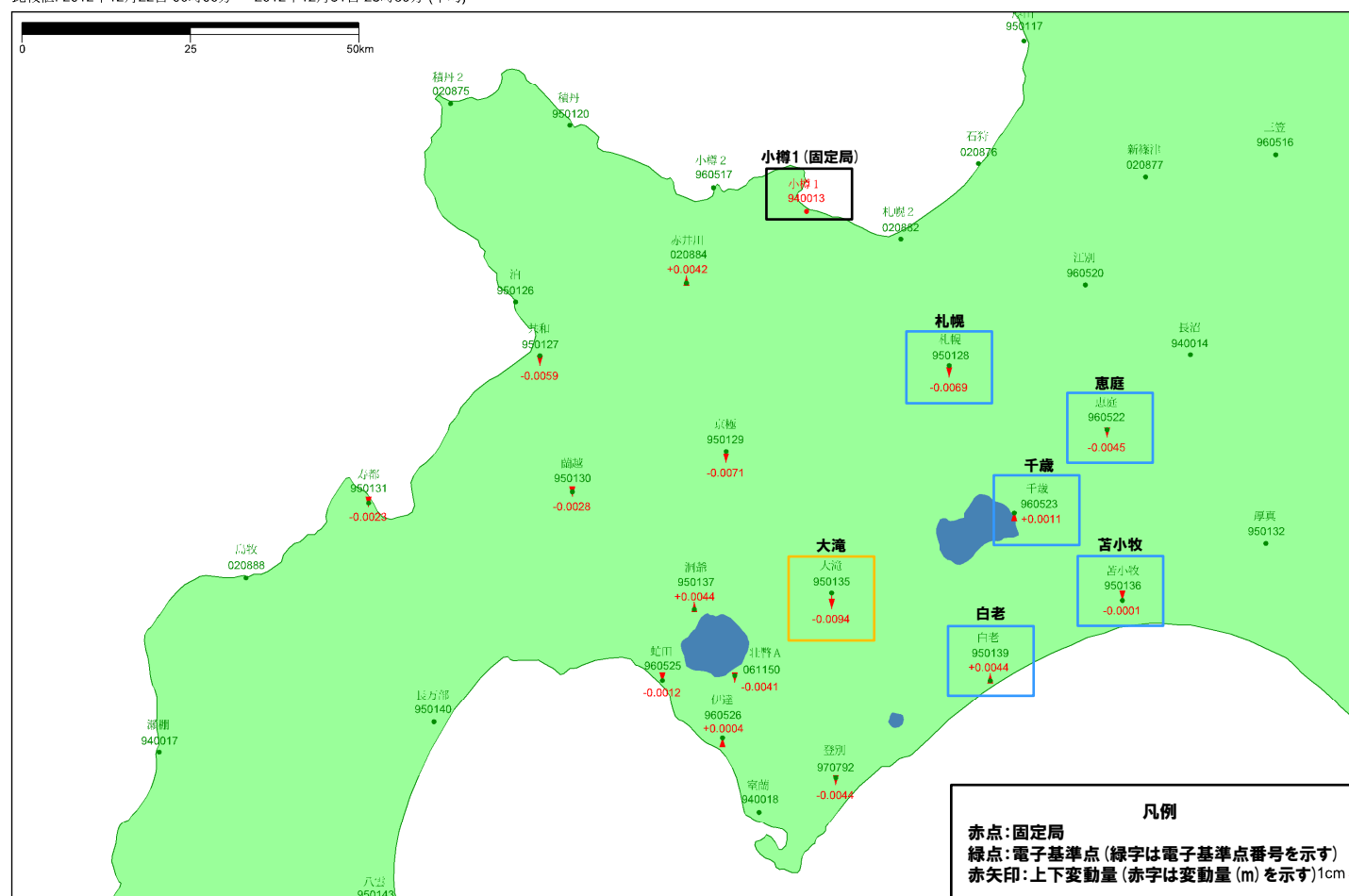
②-6 地球物理学的調査(地殻變動)(3/10)

- 東北地方太平洋沖地震発生後、2012年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
○支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の-9.4mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間:2012年1月~2012年12月)

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/10)

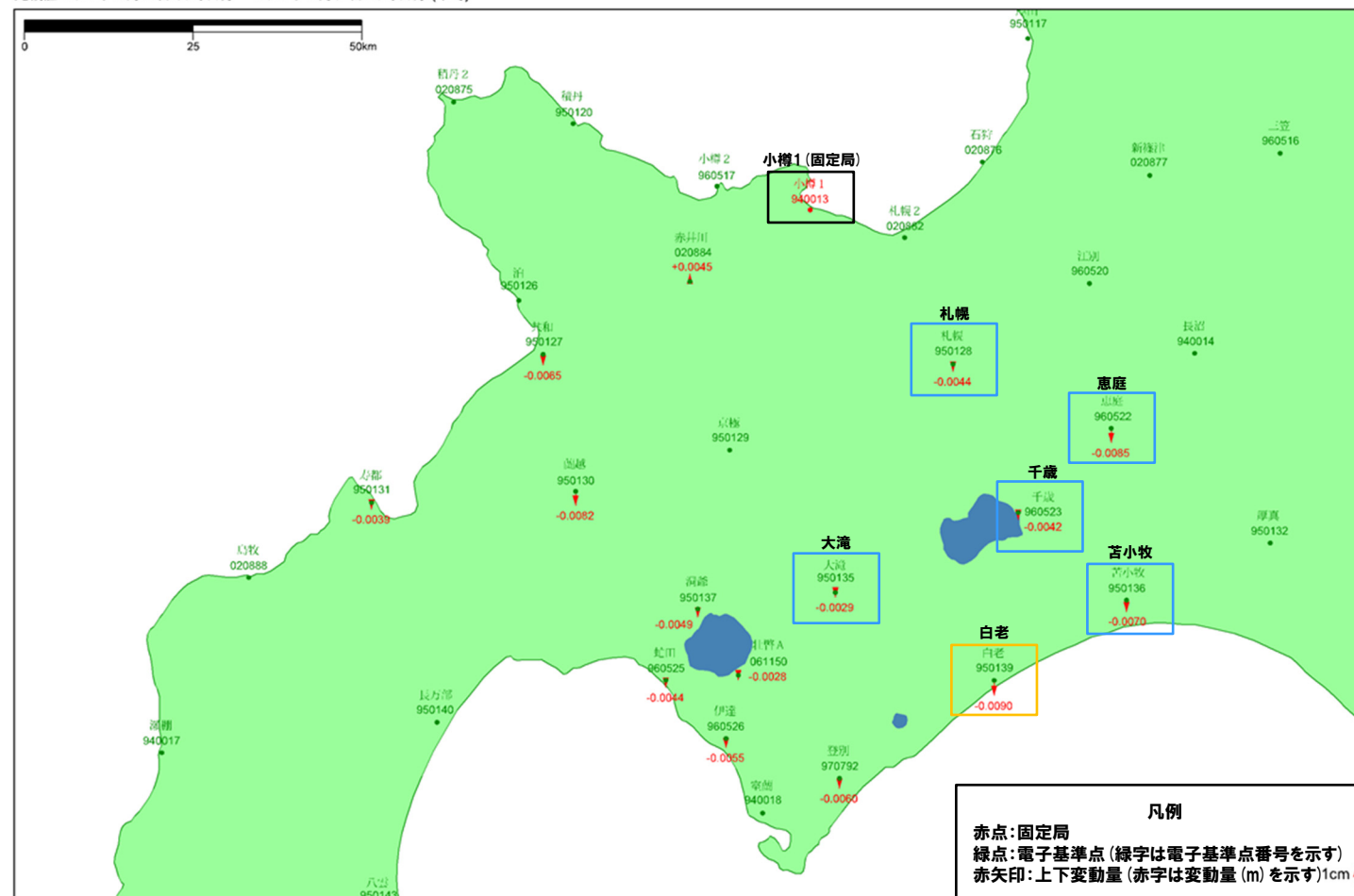
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-白老間の-9.0mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

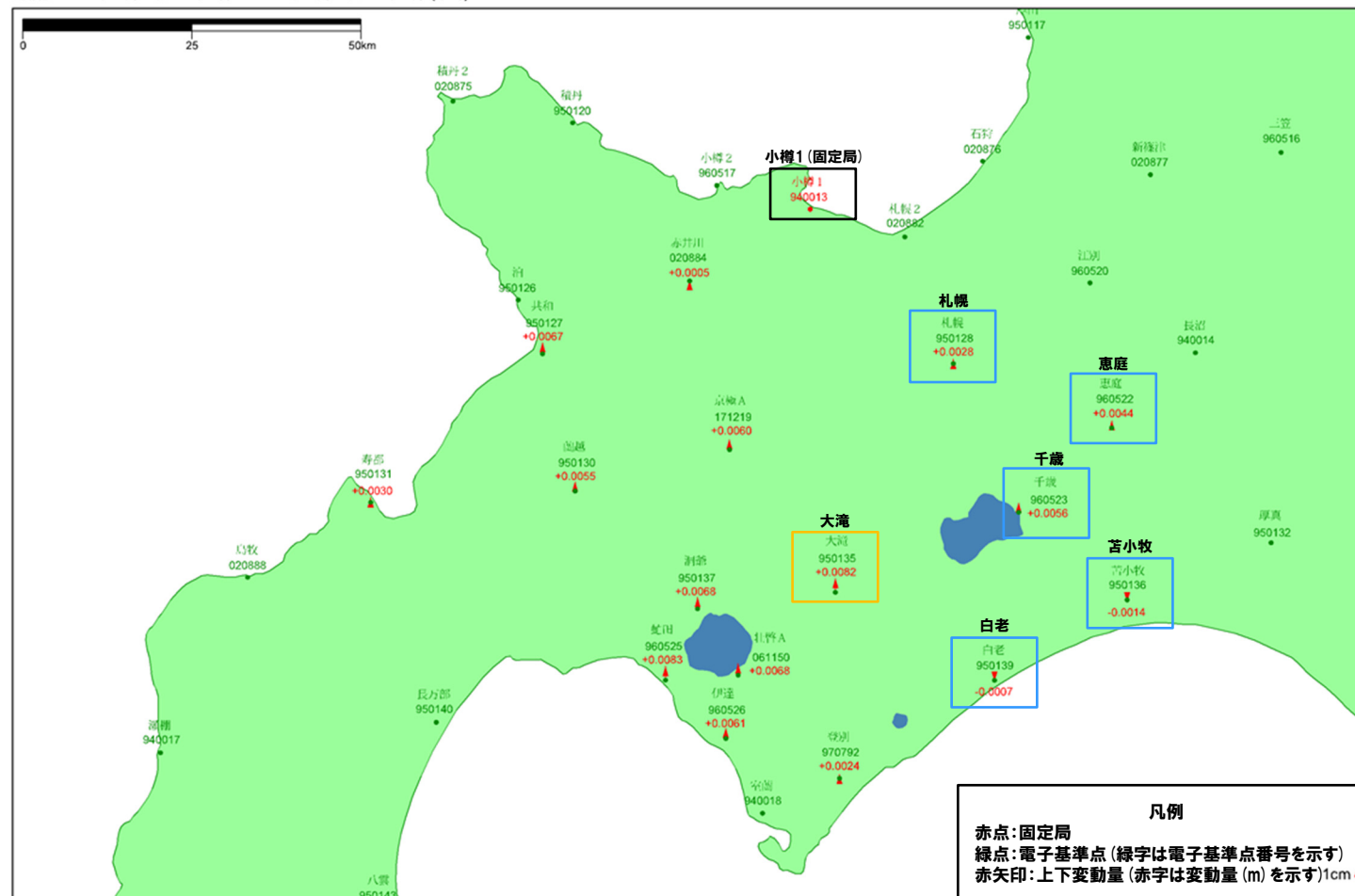
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/10)

- 北海道胆振東部地震発生後、2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 支笏カルデラ付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の+8.2mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

余白

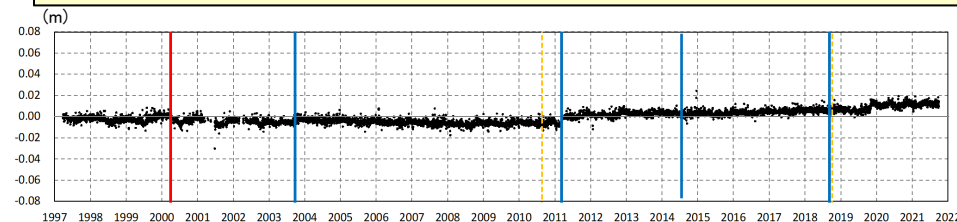
2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

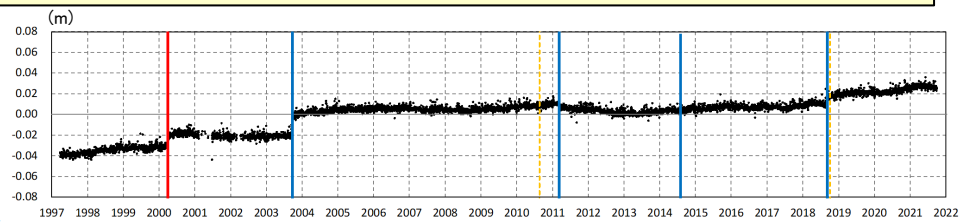
一部修正(R3/10/14審査会合)

【基線長変化】

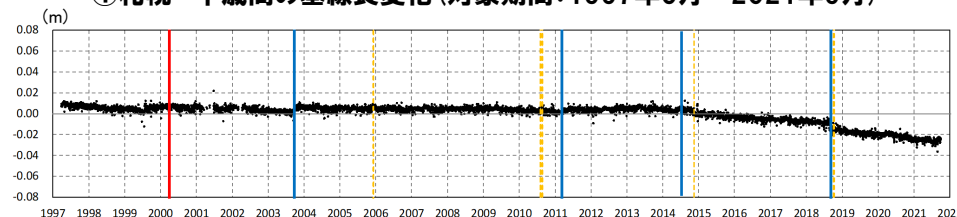
- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)を結んだ5基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



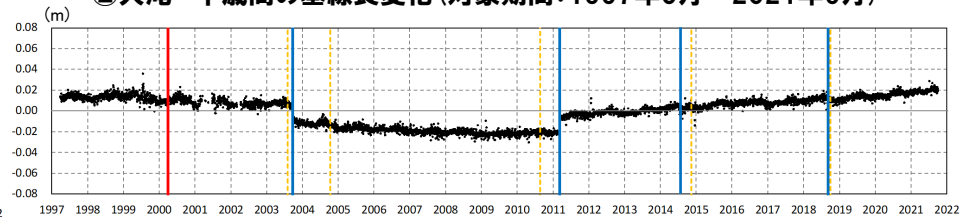
①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



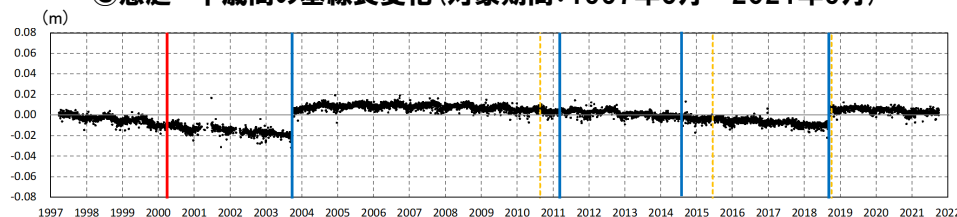
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



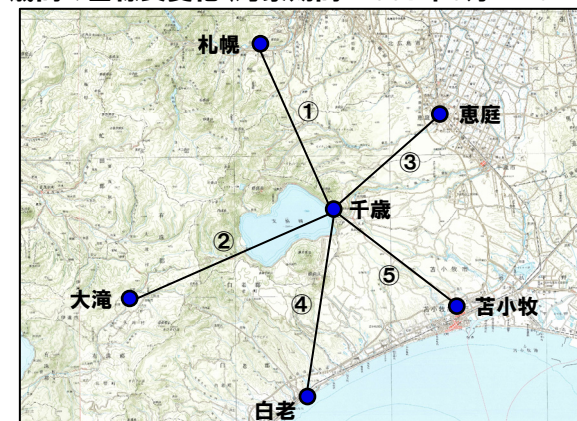
③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



④白老-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



⑤苫小牧-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



支笏カルデラ付近電子基準点位置図

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

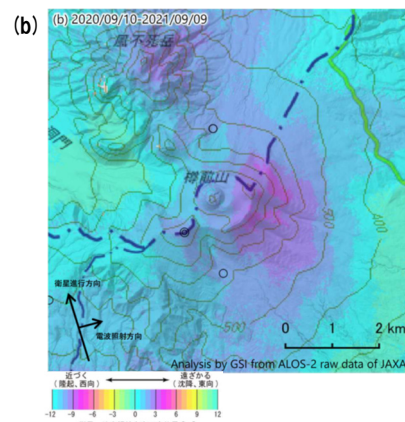
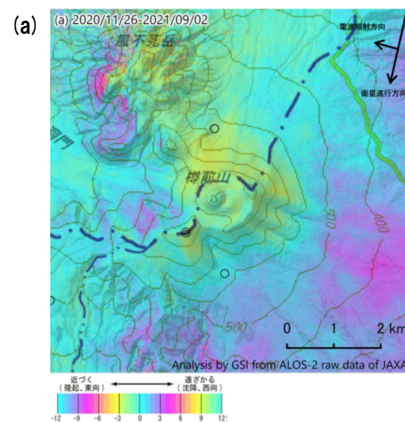
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

【干渉SAR】

第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山, 恵庭岳)(気象庁, 2021)

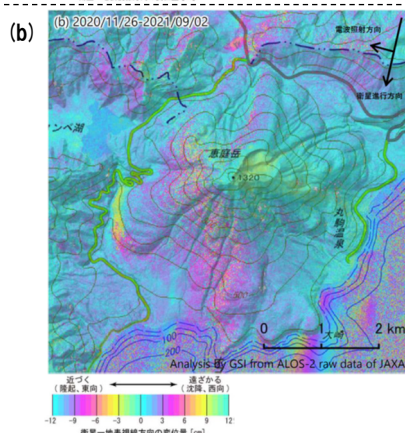
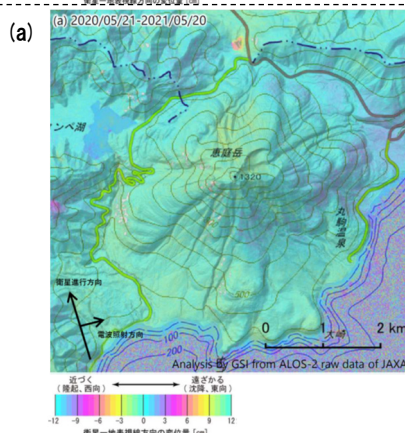
- 樽前山周辺における“2020年11月～2021年9月(左上図a)”及び“2020年9月～2021年9月(右上図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。
- 恵庭岳周辺における“2020年5月～2021年5月(左下図a)”及び“2020年11月～2021年9月(右下図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/11/26 2021/09/02 11:41頃 (280日間)	2020/09/10 2021/09/09 23:26頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	38.9°	37.0°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+97m	-6m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

樽前山周辺における
干渉SAR解析結果(国土地理院
(気象庁(2021)に加筆)



	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/05/21 2021/05/20 23:26頃 (364日間)	2020/11/26 2021/09/02 11:41頃 (280日間)
衛星進行方向	北行	南行
電波照射方向	右(東)	右(西)
観測モード*	U-U	U-U
入射角	36.6°	39.5°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+255m	+97m

* U: 高分解能(3m)モード

恵庭岳周辺における
干渉SAR解析結果(国土地理院
(気象庁(2021)に加筆)

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/10)

【干渉SAR時系列解析】

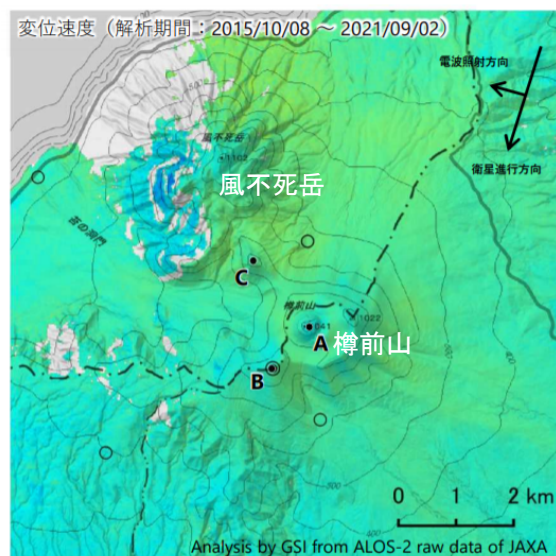
○第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)によると, 樽前山周辺における干渉SAR時系列解析において, 「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

○2014年8月から2021年11月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2022)*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。

※国土地理院(2022)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, 全国を対象とした地表変動の監視を行っている。2022年6月に北海道地域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で先行公開し, 2022年度中に全国の解析結果を公表するとされている。ここで示す干渉SAR時系列解析結果は大規模な地震に伴う地殻・地盤変動及びプレート運動等に伴う広い範囲に生じる地殻変動は除去されている。

ノイズレベルを超える変動は見られません。

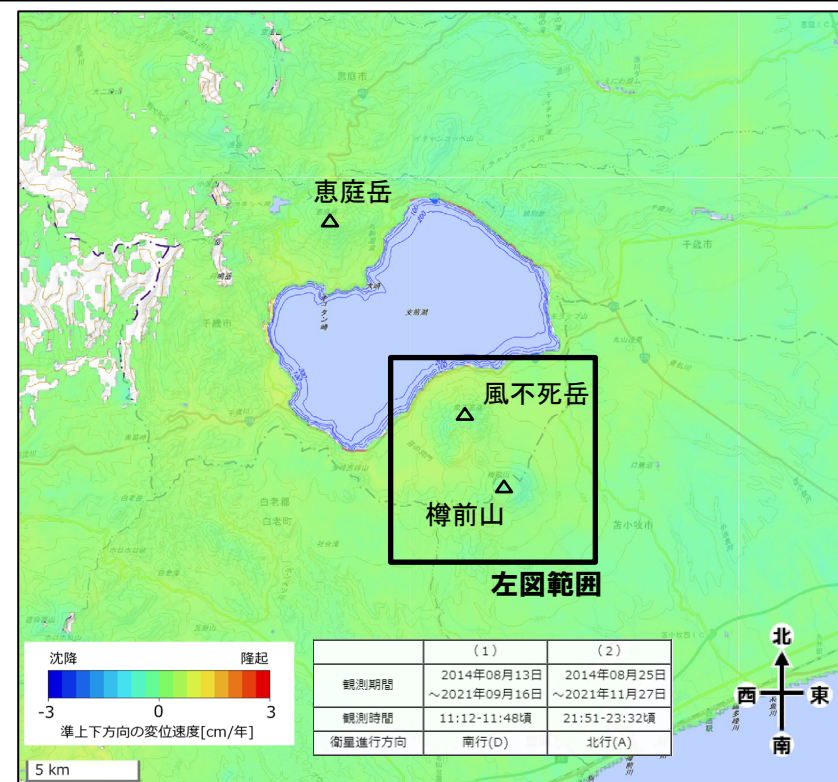
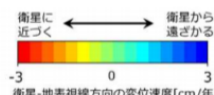


衛星名	ALOS-2
観測期間	2015/10/08 ~ 2021/09/02 (2156日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右(西)
観測モード*	U
入射角	38.9°
偏波	HH
データ数	12
干渉ペア数	14

* U: 高分解能(3m)モード

◎ 国土地理院GNSS観測点

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



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

支笏カルデラ周辺における2014-2021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(2022)に加筆)

○支笏カルデラ周辺においては, 顕著な地殻変動は認められない。

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

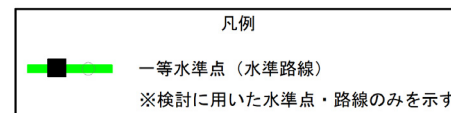
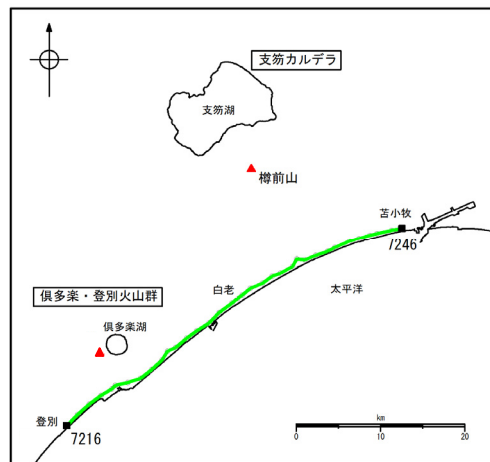
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

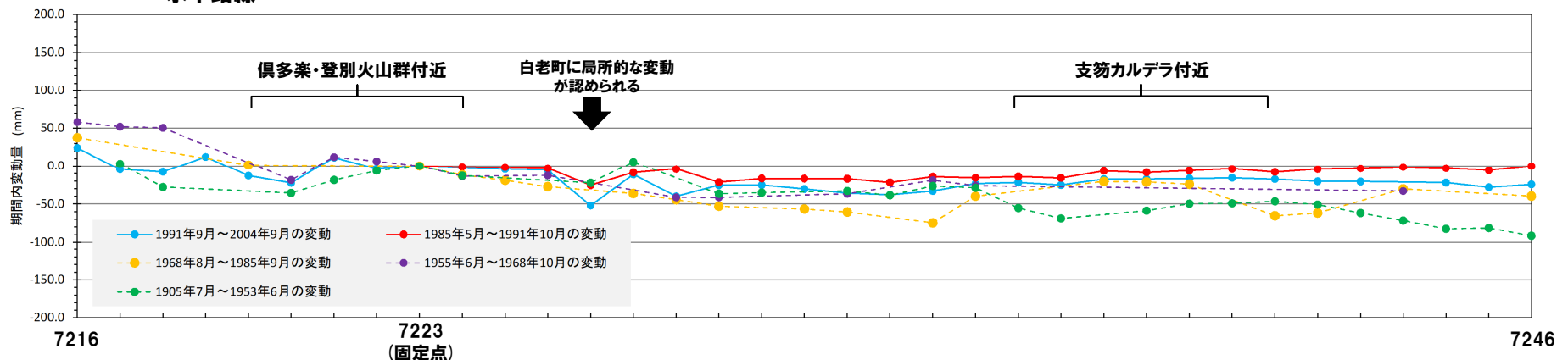
【水準測量】

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した※。
- 当該検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、支笏カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。

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



水準路線



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

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-) (10/10)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

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

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

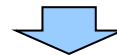
- 支笏カルデラ付近の上下変動は、大滝地点以外は継続的な隆起又は沈降は認められず、大滝地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、大滝地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【地殻変動(干渉SAR)】

- 支笏カルデラ周辺においては、顕著な地殻変動は認められない。

【地殻変動(水準測量)】

- 国土地理院一等水準点検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、支笏カルデラ規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 支笏カルデラ周辺の地殻変動は、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、支笏カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。

余白

2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

○支笏カルデラ直下の上部地殻における巨大噴火※が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動に着目して、地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)から、現在のマグマ溜まりの状況を検討した。

支笏カルデラにおける地球物理学的調査結果

【地下構造(P154～P167参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。 ○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。	○文献(Yamaya et al., 2017; Ichihara et al., 2019)に基づく、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、低比抵抗領域が認められる。	○文献(Yokoyama and Aota, 1965)に基づく、支笏カルデラにおいては、中心部が最も厚い逆円錐型に堆積した密度の低い堆積物によるものと考えられる低重力異常が中心部に認められる。 ○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。	○地下構造に関する調査の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。
地震波速度構造と比抵抗構造との比較			
○支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低比抵抗領域を報告している文献においては、当該領域がメルトかマグマ由来の水か比抵抗構造だけでは判断できないとされていることから、当該領域における地震波速度構造と比抵抗構造とを合わせた検討を実施した。 ○検討の結果、支笏カルデラ直下の上部地殻内には、低比抵抗領域が認められるが、地震波速度構造から当該領域は水に富む領域であり、部分熔融域ではないと考えられる。			
【火山性地震(P168～P172参照)】		【地殻変動(P173～P183参照)】	
○火山性地震のうち、低周波地震活動は、恵庭岳周辺の下部地殻に散発的に認められるが、上部地殻には認められない。		○支笏カルデラ周辺の地殻変動は、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、支笏カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。	



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

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

1. 火山影響評価の概要	P. 17
2. 立地評価	P. 22
2. 1 文献調査	P. 25
2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 35
2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 43
2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 47
2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法	P.133
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P.147
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P.188
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P.229
2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P.271
2. 5 立地評価まとめ	P.339
3. 影響評価	
3. 1 地理的領域内の火山による火山事象の影響	
3. 2 降下火砕物の影響評価	
3. 2. 1 降下火砕物の層厚評価の概要	
3. 2. 2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
3. 2. 3 降下火砕物シミュレーション	
3. 2. 4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
3. 2. 5 降下火砕物の密度・粒径	
3. 3 影響評価まとめ	
4. モニタリング	
4. 1 監視対象火山の抽出	
4. 2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	
参考資料	P.344
参考文献	P.357

・本章の説明内容

【評価結果】倶多楽・登別火山群の巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

2.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山

35火山

○完新世に活動があった火山

7火山

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

○将来の活動可能性が否定できない火山

6火山

ホロホロ・徳舜磐、オロフレ・来馬、尻別岳、
狩場山、勝淵山、横津岳

○将来の活動可能性が十分に小さい火山

22火山

13火山

2.3 運用期間中の火山の活動可能性評価

2.3.1 過去に巨大噴火が発生した火山

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

【過去に巨大噴火が発生した火山】

支笏カルデラ、洞爺カルデラ

【過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない火山】

倶多楽・登別火山群

2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

○活動履歴及び地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)、火山性地震及び地殻変動)により、運用期間中における巨大噴火の可能性を評価する。

2.3.3 巨大噴火の可能性評価 (支笏カルデラ)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価 (倶多楽・登別火山群)

2.3.5 巨大噴火の可能性評価 (洞爺カルデラ)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

13火山(巨大噴火以外)

2.4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価

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

余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

【評価結果】倶多楽・登別火山群の巨大噴火の可能性評価

- 倶多楽・登別火山群起源のKt-7は、確認地点は少ないものの北東方向に60km程度の地点で火砕流堆積物が認められ、約9万年前にKt-7を噴出した噴火は、噴出規模が「VEI7 class」とされていることから、巨大噴火であった可能性が否定できない。
- 活動履歴及び地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)、火山性地震及び地殻変動)の結果から、倶多楽・登別火山群の現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価でき、運用期間中における巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠が得られていないことから、運用期間中における巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価される。

検討項目		検討結果	該当頁
①活動履歴		○倶多楽・登別火山群の巨大噴火であった可能性が否定できない噴火は1回であり、巨大噴火であった可能性が否定できない噴火が発生した先アヨロステージ並びに珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラスステージと、現在の活動期である登別ステージは、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状では先アヨロステージ、アヨロステージ及びクッタラスステージのような状態には至っていないと考えられる。 ○網羅的な文献調査の結果、倶多楽・登別火山群については、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。	次頁～ P193
地球物理学的調査	②地下構造	○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。 【地震波速度構造】 ・地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。 ・倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。 【比抵抗構造】 ・倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。 【重力異常】 ・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。	P194～ P195 P196～ P203 P204～ P208
	③火山性地震	○火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。	P210～ P214
	④地殻変動	○地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。	P215～ P225
		○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。	

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴(1/3)

- 活動履歴から、倶多楽・登別火山群の現在の活動状況について検討を実施した。
- 倶多楽・登別火山群の活動履歴を次頁～P193に示すとおり整理し、その概要を以下に示す。
- なお、活動履歴の整理は、R3.10.14審査会合以降に実施した網羅的な文献調査結果(2.1章参照)も踏まえ実施している。
 - ・倶多楽・登別火山群は、約9万年前に最大規模の噴火であるKt-7を噴出した噴火が発生した後、複数の珔長質マグマの活動(アヨロステージ:Kt-6, Kt-4及びKt-3, クッタラステージ:Kt-2及びKt-1)等が発生し、最後の珔長質火砕噴火(Kt-1)により現在のクッタラカルデラが形成された。
 - ・倶多楽・登別火山群は、クッタラカルデラを形成したKt-1の噴火を最後に、その後4万年間は火山活動度が低下したままであり、現在の噴火活動は、登別ステージである。
 - ・Kt-7は確認地点は少ないものの北東方向に60km程度の地点で火砕流堆積物が認められ、Kt-7を噴出した噴火は、噴出規模が「VEI7 class」とされていることから(P100～P102参照)、巨大噴火であった可能性が否定できない。
 - ・登別ステージ以前においては、Kt-7を除く火砕流を含む火山噴出物については、噴出物ごとの分布境界は明確ではないが、Kt-7を除く火砕流堆積物の分布は山体近傍であることから(P102参照)、巨大噴火に該当しない。
 - ・なお、これらの火砕流のうち、最大の噴出物体積は、Kt-1の7.1km³である(下表参照)。
 - ・登別ステージ以降の、最大規模の降下火砕物を伴う噴火は、約200年前のNb-aを噴出した噴火であり、その噴出物体積は約0.00046km³である。



- 倶多楽・登別火山群の巨大噴火であった可能性が否定できない噴火は1回であり、巨大噴火であった可能性が否定できない噴火が発生した先アヨロステージ並びに巨大噴火に該当する噴火は発生しないものの珔長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージと、現在の活動期である登別ステージは、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状では先アヨロステージ、アヨロステージ及びクッタラステージのような状態には至っていないと考えられる。
- 網羅的な文献調査の結果、倶多楽・登別火山群については、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。

登別ステージ以前の噴出物体積※1

() カッコ内はマグマ体積(DRE)

噴出物名	噴出物体積(km ³)		噴出物名	噴出物体積(km ³)	
		火砕流(km ³)			火砕流(km ³)
Kt-1	25.4(14.4)	7.1(3.4)	Kt-4	18.8(11)	2.1(1)
Kt-3	34.4(20.1)	4.7(2.3)	Kt-6	28.9(16.8)	4.2(2)
Kt-Hy	9.2～10.5 (7～8)	0.8(0.4)※2	Kt-8	≤VEI5 class	≤VEI5 class

※1 噴出物体積は、P193の活動履歴に示すマグマ体積を山元(2014)に基づき、当社が換算した。

※2 Miura et al.(2022)によれば、Kt-Hyの火砕密度流は、サブユニット(Lpdc, Mpdc及びUpdc)に区分できるとされ、マグマ体積については、Updcの0.4km³(DRE)のみ推定されている。

なお、同文献によれば、Lpdc及びMpdcの規模については、分布に不確実性があるため正確に決定できないものの、谷埋め型及び局所的な堆積物であることから、Updcよりも小さくなる可能性があると考えられている。

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

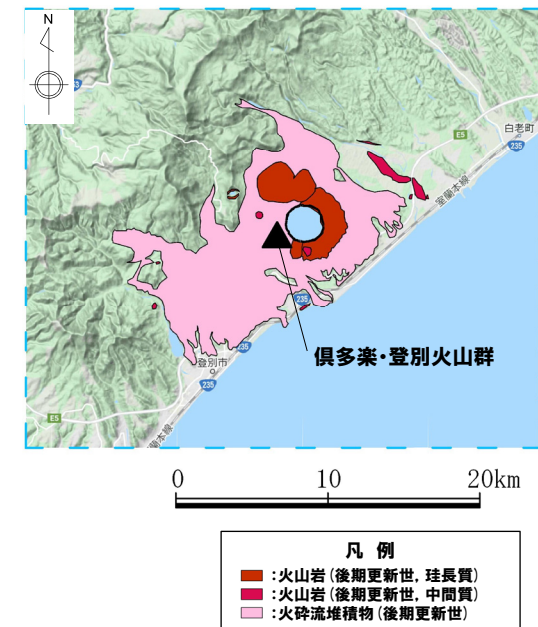
① 活動履歴 (2/3)

倶多楽・登別火山群の概要

火山名※1	C17 倶多楽・登別火山群
敷地からの距離	80.5km
火山の形式※2	成層火山-カルデラ, 溶岩ドーム
活動年代※2	約8万年前以降 カルデラ形成は約4万年前
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)」2022年10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」2022年10月確認。



倶多楽・登別火山群の位置図
(産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2020)より作成)

余白

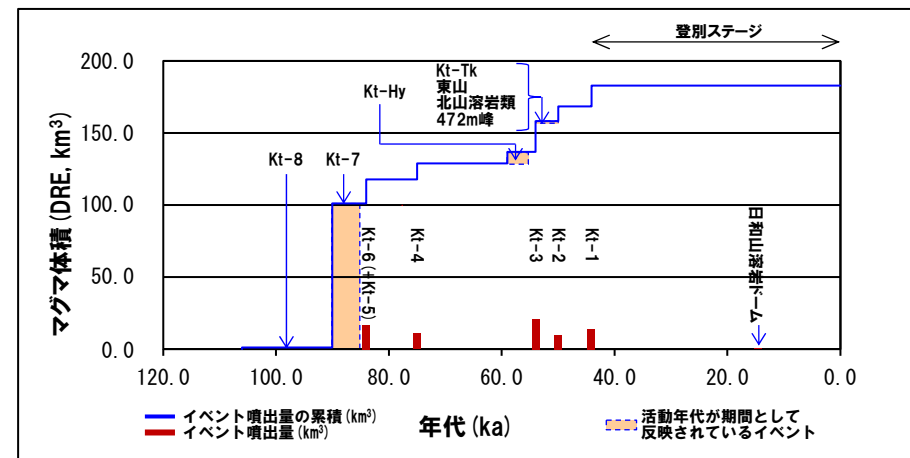
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

① 活動履歴 (3/3)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

倶多楽・登別火山群活動履歴※1

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	(裏地獄) A.D.1800頃 (大湯沼) A.D.1800頃 Nb-a~ ※2 8.5ka-A.D.1663	(水蒸気爆発) (水蒸気爆発) (水蒸気爆発)		
更新世	14.5ka 日和山溶岩ドーム 不明 橘湖アグルチネート	0.04 不明		
クッタラ ステージ	44.1ka Kt-1:pfa,pfl,ps,sfa ca.50ka Kt-2:pfa	14.4 10.2		山縣 (1994)
竹浦ステージ (episode Kt-Tk)	不明 Kt-Tk※3:sfa 不明 東山	0.4※3 0.2		森泉 (1998)
episode Kt-Kt	不明 北山溶岩類 不明 472m峰	0.5 0.2		第四紀火山 カタログ委員 会編 (2000)
ca.54ka	Kt-3:pfa,afa,ps,pfl	20.1		山元 (2014)
アヨロ ステージ	59-55ka Kt-Hy※4: pfa,ps,afa,pfl ca.75ka Kt-4:pfa,ps,pfl ca.84ka Kt-6 (+Kt-5): pfa,ps,pfl	7~8※5 11 Kt-5:不明 Kt-6:16.8	76.5	Amma- Miyasaka et al. (2020)
先アヨロ ステージ	90-85ka Kt-7:pfa,pfl 106-85ka Kt-8:pfl 不明 石山溶岩流 不明 地獄谷火砕丘	[VEI7 class※6] [≤VEI5 class※7] 不明 不明		Miura et al. (2022)



噴出量-年代階段ダイアグラム

- ※1 R3.10.14審査会合資料では、山元 (2014) に基づき作成した活動履歴を示していたが、今回、Amma-Miyasaka et al. (2020) 及びMiura et al. (2022) に基づき見直した。
- ※2 後藤ほか (2013) によれば、12層の水蒸気噴火堆積物の各々の噴火堆積物の体積は10⁵m³オーダー、また、Goto et al. (2015) によれば、Nb-aの噴出物体積は、4.6×10⁵m³とされている。
- ※3 森泉 (1998) によれば、Kt-Tkテフラ群は20層の降下スコリア層からなり、それらの噴出源は成層火山である竹浦火山と推定されている。また、残された地形から推定される竹浦火山の体積は約2.1km³と推定され、Kt-Tkテフラ群 (0.4km³) と成層火山を含めた場合のマグマ体積は2.5km³ (DRE) とされている。
- ※4 Miura et al. (2022) によれば、Kt-Hyは、降下軽石及び火砕密度流のサブユニット (Lpfa, Lpdc, Mpdc及びUpdc) に区分できるとされている。また、Kt-Hyに含まれる火砕密度流を遠方に堆積させるためには、高い位置エネルギーを有する山頂や噴煙柱が必要であると推定し、Kt-Hy噴出時に成層火山が存在していたとされている。一方、森泉 (1998) は、Kt-Tkテフラ群噴出時に成層火山 (竹浦火山) が形成されたと推定しているが、Miura et al. (2022) によれば、Kt-Hy、-Kt、-Tkの各エピソードで認められるスコリア質火山礫の含有量が同程度であることから、Kt-Hy噴出時に成層火山が形成されたと考えるのが妥当であり、成層火山はその後Kt-Tkエピソードまで存続していたとされている。
- ※5 Miura et al. (2022) によれば、成層火山の体積は6.7km³と推定され、表に示すマグマ体積はKt-Hyテフラの噴出物体積と成層火山体積の推定値を足し合わせた値とされている。
- ※6 Amma-Miyasaka et al. (2020) によれば、Kt-7の噴出規模は、概算として「VEI7 class」とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、マグマ体積 (DRE) を100km³として図示している。
- ※7 Miura et al. (2022) によれば、Kt-8の噴出規模は、概算として「≤VEI5 class」とされていることから、噴出量-年代階段ダイアグラムにおいては、マグマ体積 (DRE) を1km³として図示している。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(1/2)

○防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細は Matsubara et al. (2019) に記載)。その公開データを用いて、当社が倶多楽・登別火山群における水平・鉛直断面図を作成した。

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

○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

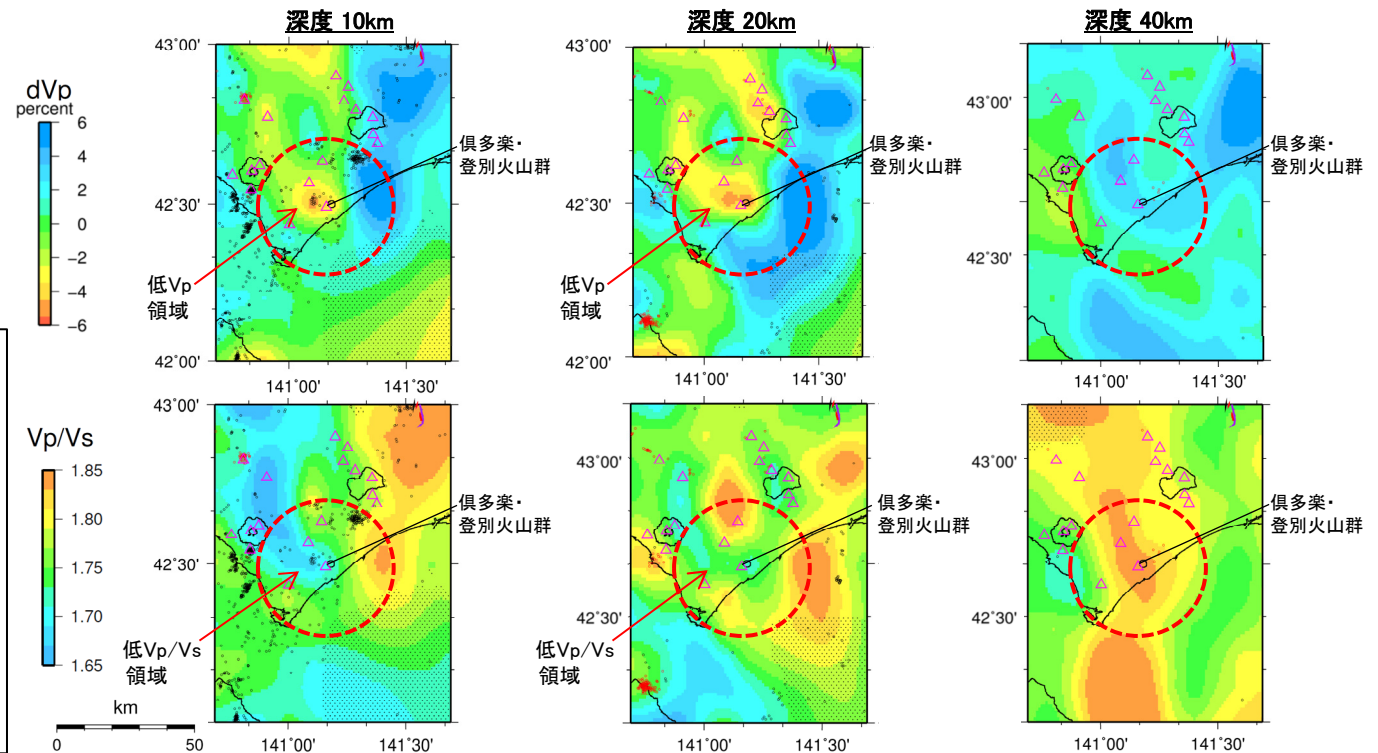
【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P134~P145参照)】

○地震波速度構造については、「メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域が存在するか否か」を確認する。

○地震波速度構造について確認する際は、カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)における低周波地震の分布状況についても考慮する。

凡 例

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



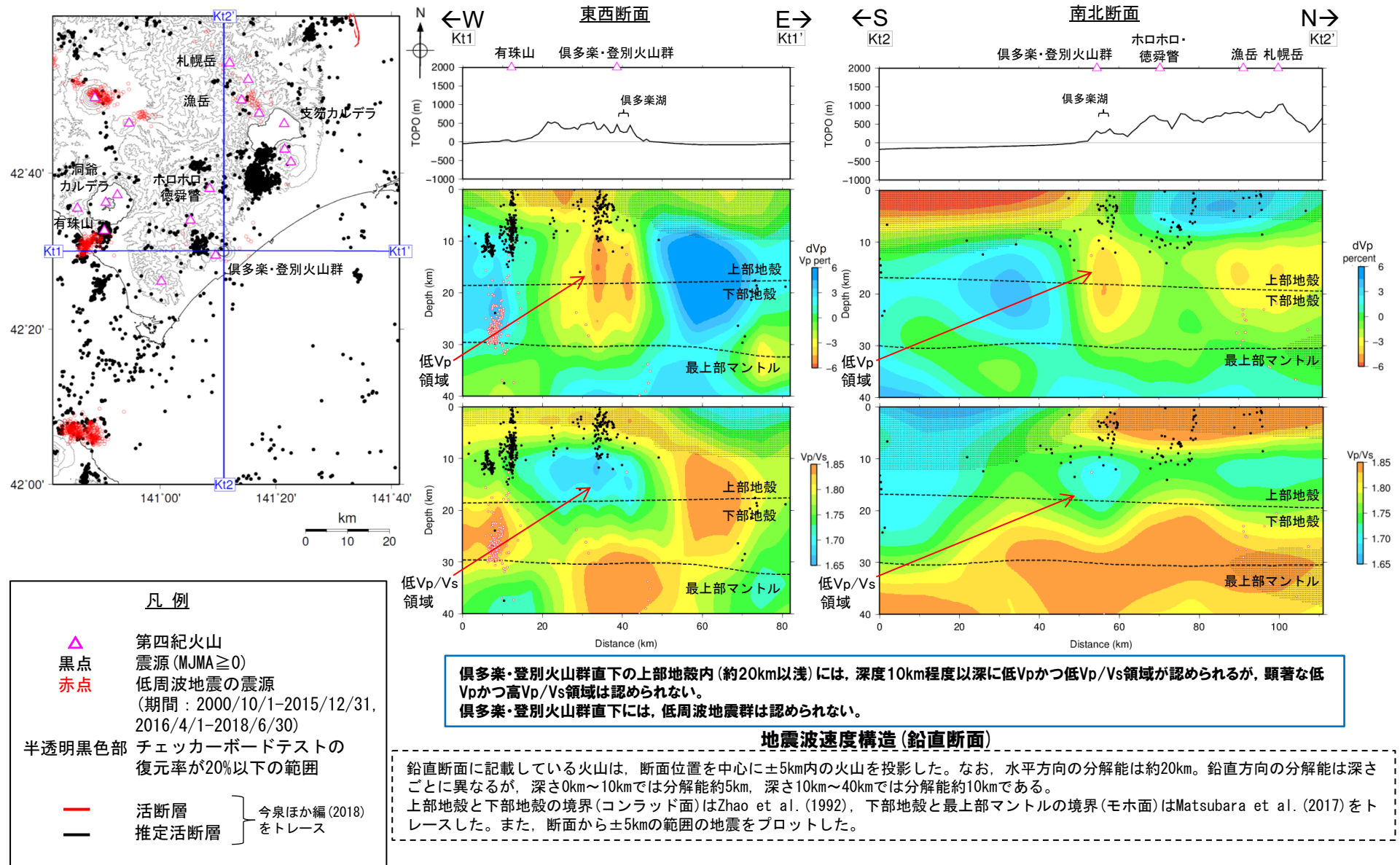
倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

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

地震波速度構造(水平断面)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/2)



2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/6)

○倶多楽・登別火山群の比抵抗構造について検討するため、文献レビューを実施した。

【Goto and Johmori (2015) (P199参照)】

○倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。

- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域 (P193図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域 (P199図Bの「zone D」) 及びクツタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域 (P199図Bの「zone E」) が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クツタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone D」は、地熱域の直下に位置することから、高温流体の湧出によって生じた熱水変質帯であると解釈しているとされている。
- ・「zone E」は、当該領域における掘削データがないため、適切な解釈を行うことはできないが、熱水変質を受けた可能性が考えられるとされている。

○Goto and Johmori (2015) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部には、熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められる。

(次頁へ続く)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(2/6)

(前頁からの続き)

【Hashimoto et al. (2019) (P200～P201参照)】

○倶多楽・登別火山群において、MT法による電磁気探査を実施しているHashimoto et al. (2019) をレビューした。

- ・Hashimoto et al. (2019) によれば、倶多楽湖を横切る東西断面の浅部において、Goto and Johmori (2015) と同様な結果が得られたとされている。
- ・登別温泉直下の深度1km以浅において、低比抵抗領域(1～10 Ω m, P201右図「C1」) が認められる。
- ・既往調査において堆積物中に熱水変質鉱物が多く含まれること及び温泉水中の酸素と水素の同位体比が深部起源を示唆することが報告されていることを踏まえると、低比抵抗領域C1は、深部から上昇する熱水、熱水または火山ガスによる高温並びに熱水変質鉱物による複合作用により低比抵抗を示すと考えられるとされている。
- ・クッタラカルデラの北東部から南側の浅部において、パッチ状の低比抵抗領域(1～10 Ω m, P201右図「C2」及びP193左下図) が認められる。
- ・深部の掘削データはないものの、低比抵抗領域C2が地下水によるものとする、大気由来または倶多楽湖の湖水由来の水はそこまで比抵抗が低いことから、火山性流体が注入されたために低比抵抗を示す水が存在すると考えられるとされている。
- ・倶多楽湖直下の深度4km以浅(P201右図「M」)において、1 Ω mオーダーの比抵抗値を示しマグマ溜まりを示唆するような低比抵抗領域は認められないとされている。
- ・しかし、領域Mの数十 Ω mという比抵抗値を考慮すると、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマ或いは気液が混合した熱水貯留層の存在を否定するものではないとされている。

○Hashimoto et al. (2019) に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。

○なお、倶多楽湖直下に認められる数十 Ω mの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり*の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。

- ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、深度4km程度までの表層付近は信頼度が高くない範囲であり(P203図中①)、当該領域に関する直接的な評価はできないものの、その直下の深度5～20km付近には、水の存在を示唆すると考えられる低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められる。
- ・通常地震が深度10kmから地表付近まで分布していることから(P203図中②)、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

※“magma chamber”と“crystal mush”を合わせた領域、P135参照



○文献(Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

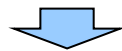
余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

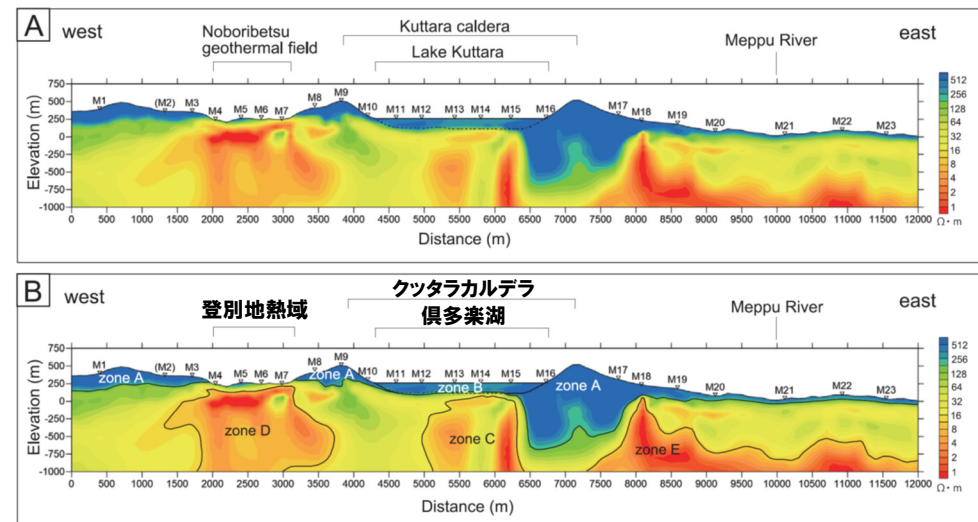
②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

【Goto and Johmori (2015)】

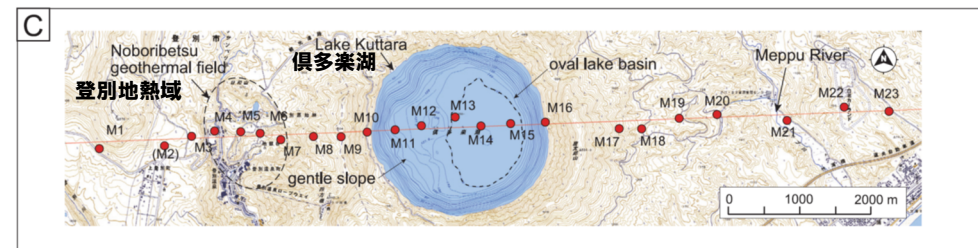
- 倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。
- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone D」)及びクッタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域(右図Bの「zone E」)が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クッタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone D」は、地熱域の直下に位置することから、高温流体の湧出によって生じた熱水変質帯であると解釈しているとされている。
- ・「zone E」は、当該領域における掘削データがないため、適切な解釈を行うことはできないが、熱水変質を受けた可能性が考えられるとされている。



○Goto and Johmori (2015) に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部には、熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められる。



クッタラ火山直下の比抵抗構造 (図A:注釈なし, 図B:注釈あり)
(Goto and Johmori (2015) に加筆)



MT観測点位置図
(Goto and Johmori (2015) に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(4/6)

【Hashimoto et al. (2019)】

- 倶多楽・登別火山群において、MT法による電磁気探査を実施しているHashimoto et al. (2019) をレビューした。
- ・Hashimoto et al. (2019) によれば、倶多楽湖を横切る東西断面の浅部において、Goto and Johmori (2015) と同様な結果が得られたとされている。
- ・登別温泉直下の深度1km以浅において、低比抵抗領域(1~10 Ω m, 次頁右図「C1」) が認められる。
- ・既往調査において堆積物中に熱水変質鉱物が多く含まれること及び温泉水中の酸素と水素の同位体比が深部起源を示唆することが報告されていることを踏まえると、低比抵抗領域C1は、深部から上昇する熱水、熱水または火山ガスによる高温並びに熱水変質鉱物による複合作用により低比抵抗を示すと考えられるとされている。
- ・クッタラカルデラの北東部から南側の浅部において、パッチ状の低比抵抗領域(1~10 Ω m, 次頁右図「C2」及び次頁左下図) が認められる。
- ・深部の掘削データはないものの、低比抵抗領域C2が地下水によるものとする、大気由来または倶多楽湖の湖水由来の水はそこまで比抵抗が低いことから、火山性流体が注入されたために低比抵抗を示す水が存在すると考えられるとされている。
- ・倶多楽湖直下の深度4km以浅(次頁右図「M」) において、1 Ω mオーダーの比抵抗値を示しマグマ溜まりを示唆するような低比抵抗領域は認められないとされている。
- ・しかし、領域Mの数十 Ω mという比抵抗値を考慮すると、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマ或いは気液が混合した熱水貯留層の存在を否定するものではないとされている。

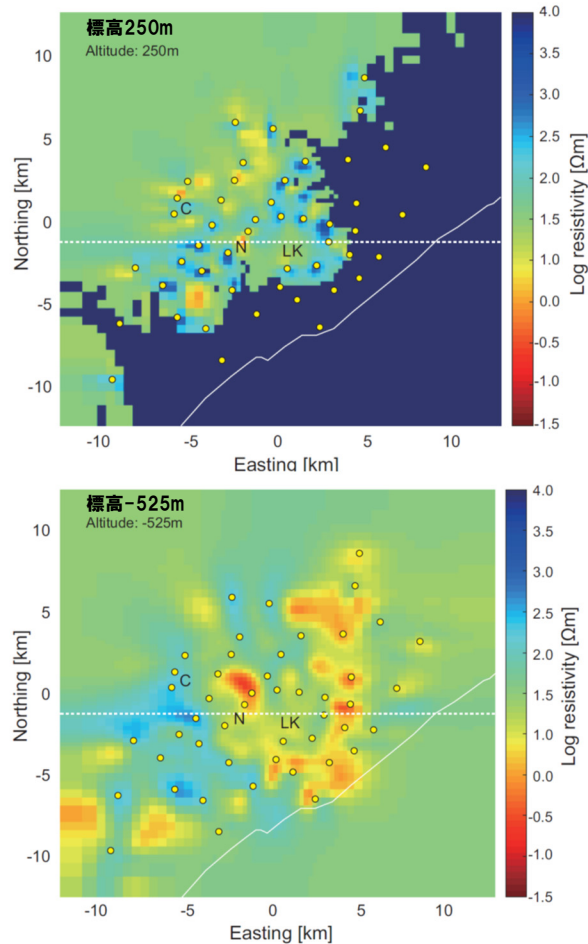


- Hashimoto et al. (2019) に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。
- なお、倶多楽湖直下に認められる数十 Ω mの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり※の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。
- ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、深度4km程度までの表層付近は信頼度が高くない範囲であり(P203図中①)、当該領域に関する直接的な評価はできないものの、その直下の深度5~20km付近には、水の存在を示唆すると考えられる(P136~P139参照) 低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められる。
- ・通常の地震が深度10kmから地表付近まで分布していることから(P203図中②)、この深度では脆性的な破壊が生じていると考えられる。

※“magma chamber”と“crystal mush”を合わせた領域, P135参照

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

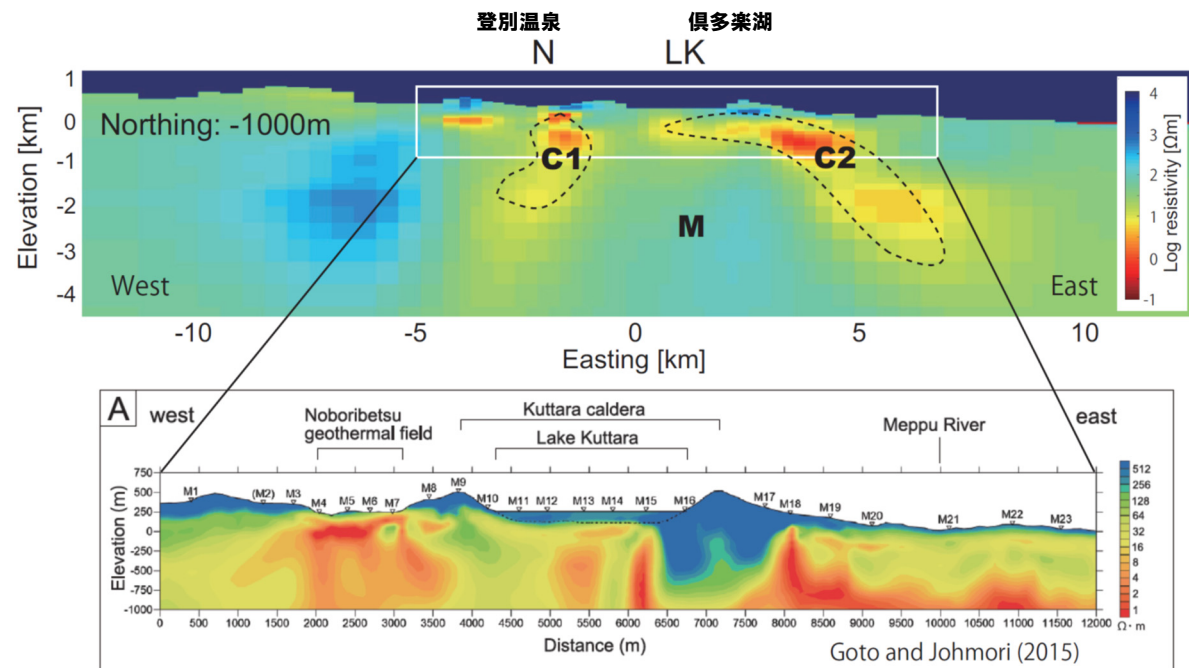
②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (5/6)



LK: 倶多楽湖
N: 登別温泉
C: カルルス温泉

● : MT観測点
白破線: 右図東西断面位置

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

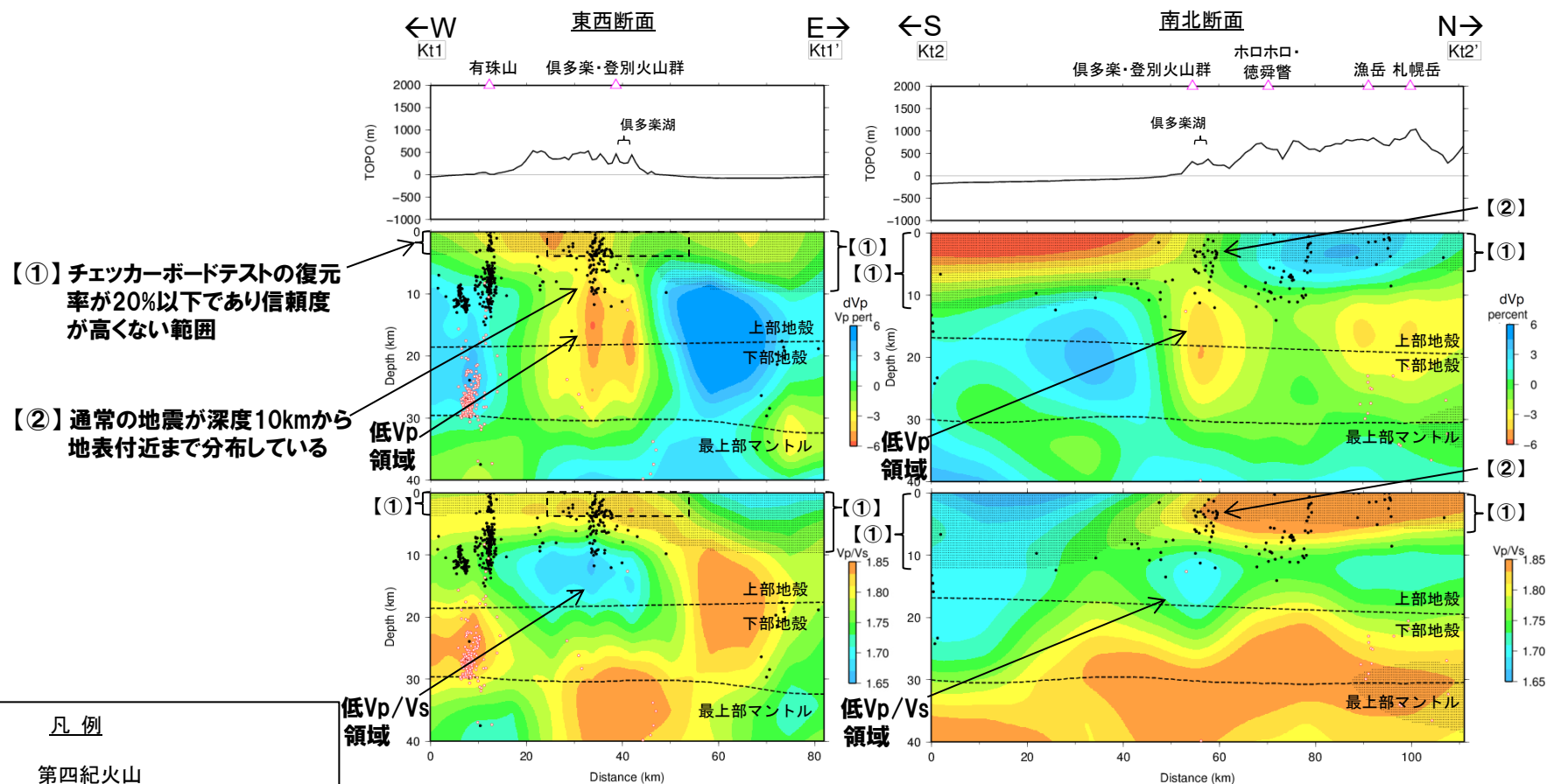


上段: クッタラ火山の比抵抗構造(東西断面, 断面位置は左図参照)
下段: 上段図中の白枠に対応するGoto and Johmori (2015) による比抵抗構造 (P199参照)
(Hashimoto et al. (2019) に加筆)

余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(6/6)



【①】チェッカーボードテストの復元率が20%以下であり信頼度が高くない範囲

【②】通常の地震が深度10kmから地表付近まで分布している

低Vp領域

低Vp領域

低Vp/Vs領域

低Vp/Vs領域

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: 2000/10/1-2015/12/31,
2016/4/1-2018/6/30)

半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲

Hashimoto et al. (2019)に示される比抵抗構造の範囲

倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、深度10km程度以深に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
倶多楽・登別火山群直下には、低周波地震群は認められない。

地震波速度構造(鉛直断面, 断面位置図はP195参照)

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トルの境界(モホ面)はMatsubara et al. (2017)をトレースした。また、断面から ± 5 kmの範囲の地震をプロットした。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)(1/4)

○倶多楽・登別火山群周辺の重力異常について検討するため、文献レビューを実施した。

【森泉(1998)(次頁参照)】

○倶多楽・登別火山群周辺における地形と重力測定の結果から火口位置の推定を行っている森泉(1998)をレビューした。

- ・森泉(1998)によれば、アヨロステージのKt-6, 4, 3テフラの噴火では噴出体積が 10km^3 (D.R.E.)を超えることから、クッタラステージのKt-1と同様にカルデラが形成された可能性があると考えられている。
- ・クッタラカルデラを給源とするKt-1火砕流の分布地域に比べるとアヨロステージの火砕流がクッタラカルデラの東側に偏って分布することから、低重力異常地域はアヨロステージの火口である可能性があると考えられている。

○森泉(1998)に基づく、倶多楽・登別火山群周辺には、アヨロステージ以前の火口位置を示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

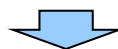
【畠山ほか(2005)(P206~P207参照)】

○地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。

- ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造が確認できるとされている。
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
- ・森泉(1998)は、これらの低重力異常域それぞれが火口であると推定したが、これらの低重力異常域はひとつひとつの火口を示しているのではなく、大きな低重力異常型カルデラを示すものであると想定できるとされている。
- ・環状構造の存在を考えると、現在のクッタラカルデラよりも大きいカルデラが成層火山により埋められ、カルデラ壁と成層火山体との間に低重力異常域が残っていると考えたほうが合理的であるとされている。
- ・クッタラ火山の噴出量は 100km^3 を優に超えたと考えられ、洞爺カルデラ(径 $11\times 12\text{km}$, 噴出量 118km^3)、支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$, 噴出量 120km^3)に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 3km であり、その量を噴出したと考えるのは難しいとされている。
- ・今回発見した環状構造が成層火山の形成以前にできた古いカルデラであると考えれば、噴出量とカルデラのサイズは合理的に説明できるとされている。

○畠山ほか(2005)に基づく、倶多楽・登別火山群周辺においては、現在のクッタラカルデラより大きい低重力異常型カルデラが存在していたことを示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



○文献(森泉, 1998; 畠山ほか, 2005)に基づく、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。

○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)(2/4)

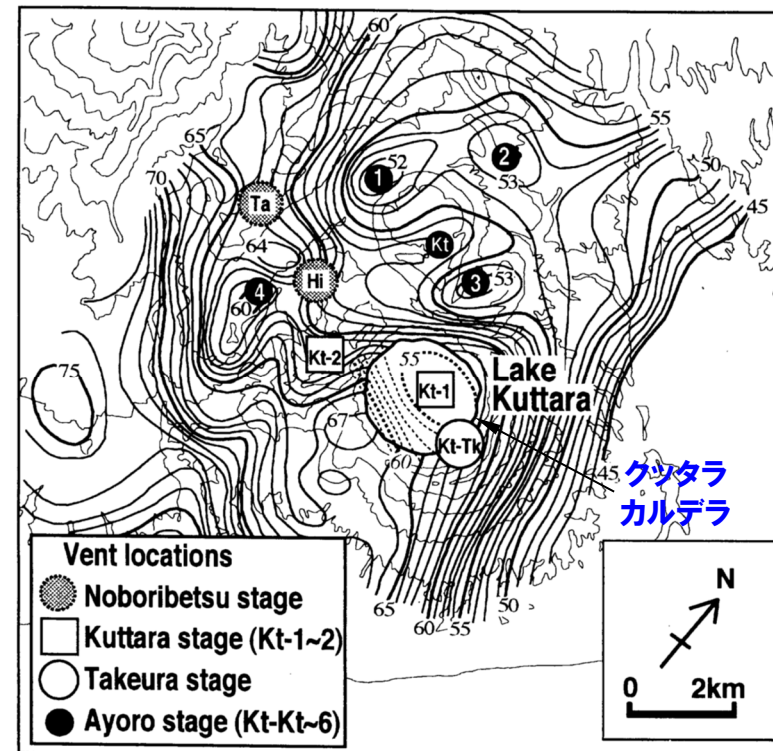
【森泉(1998)】

- 倶多楽・登別火山群周辺における地形と重力測定の結果から火口位置の推定を行っている森泉(1998)をレビューした。
- ・森泉(1998)によれば、アヨロステージ※のKt-6, 4, 3テフラの噴火では噴出体積が10km³ (D.R.E.)を超えることから、クッタラステージ※のKt-1と同様にカルデラが形成された可能性があると考えられている。
- ・クッタラカルデラを給源とするKt-1火砕流の分布地域に比べるとアヨロステージの火砕流がクッタラカルデラの東側に偏って分布することから、下図の1～3の低重力異常地域はアヨロステージの火口である可能性があると考えられている。

※各活動ステージについてはP193参照。



- 森泉(1998)に基づく、倶多楽・登別火山群周辺には、アヨロステージ以前の火口位置を示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



クッタラ火山群周辺の重力異常及び推定火口位置(森泉(1998)に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)(3/4)

【畠山ほか(2005)】

○地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。

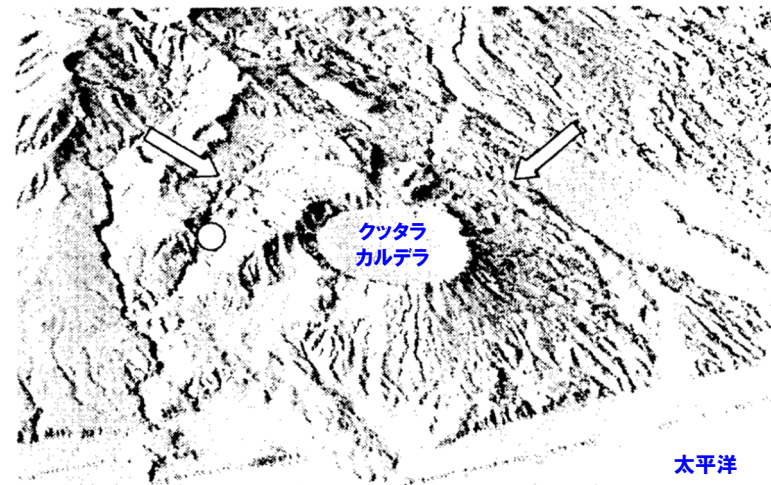
- ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造(下図矢印)が確認できるとされている。
- ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図(次頁参照)では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
- ・森泉(1998)(前頁参照)は、これらの低重力異常域それぞれが火口であると推定したが、これらの低重力異常域はひとつひとつの火口を示しているのではなく、大きな低重力異常型カルデラを示すものであると想定できるとされている。
- ・環状構造の存在を考えると、現在のクッタラカルデラよりも大きいカルデラが成層火山により埋められ、カルデラ壁と成層火山体との間に低重力異常域が残っていると考えたほうが合理的であるとされている。
- ・クッタラ火山の噴出量は 100km^3 を優に超えたと考えられ、洞爺カルデラ(径 $11\times 12\text{km}$, 噴出量 118km^3), 支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$, 噴出量 120km^3)に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 3km であり、その量を噴出したと考えるのは難しいとされている。
- ・今回発見した環状構造が成層火山の形成以前にできた古いカルデラであると考えれば、噴出量とカルデラのサイズは合理的に説明できるとされている。



- 畠山ほか(2005)に基づく、倶多楽・登別火山群周辺においては、現在のクッタラカルデラより大きい低重力異常型カルデラが存在していたことを示唆する可能性も考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。

凡 例

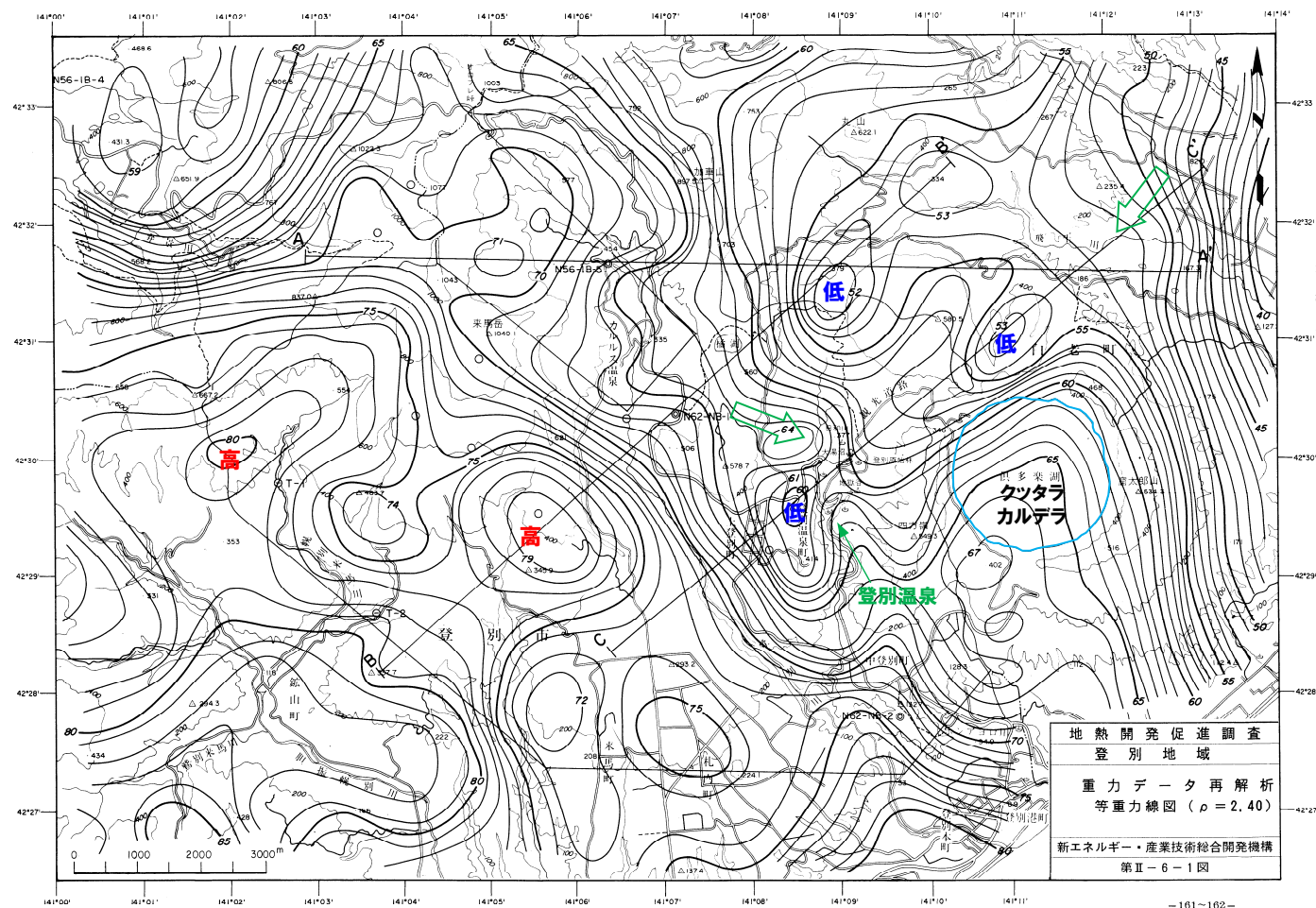
- ⇒ : 成層火山体を取り巻く環状構造
- : 登別温泉



先クッタラカルデラ周辺の3D地図画像(畠山ほか(2005)に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)(4/4)



高・低:新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)における主な高重力域又は主な低重力域を示す

➡:前頁図中で環状構造(矢印)が示される位置付近を示す

倶多楽・登別火山群周辺の等重力線図
(新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)に加筆)

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

【地震波速度構造(P194～P195参照)】

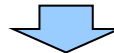
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

【比抵抗構造(P196～P203参照)】

- 文献(Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019)に基づくと、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。

【重力異常(P204～P207参照)】

- 文献(森泉, 1998; 畠山ほか, 2005)に基づくと、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。



- 地下構造に関する調査の結果、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。

余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(1/5)

【気象庁編(2013)】

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



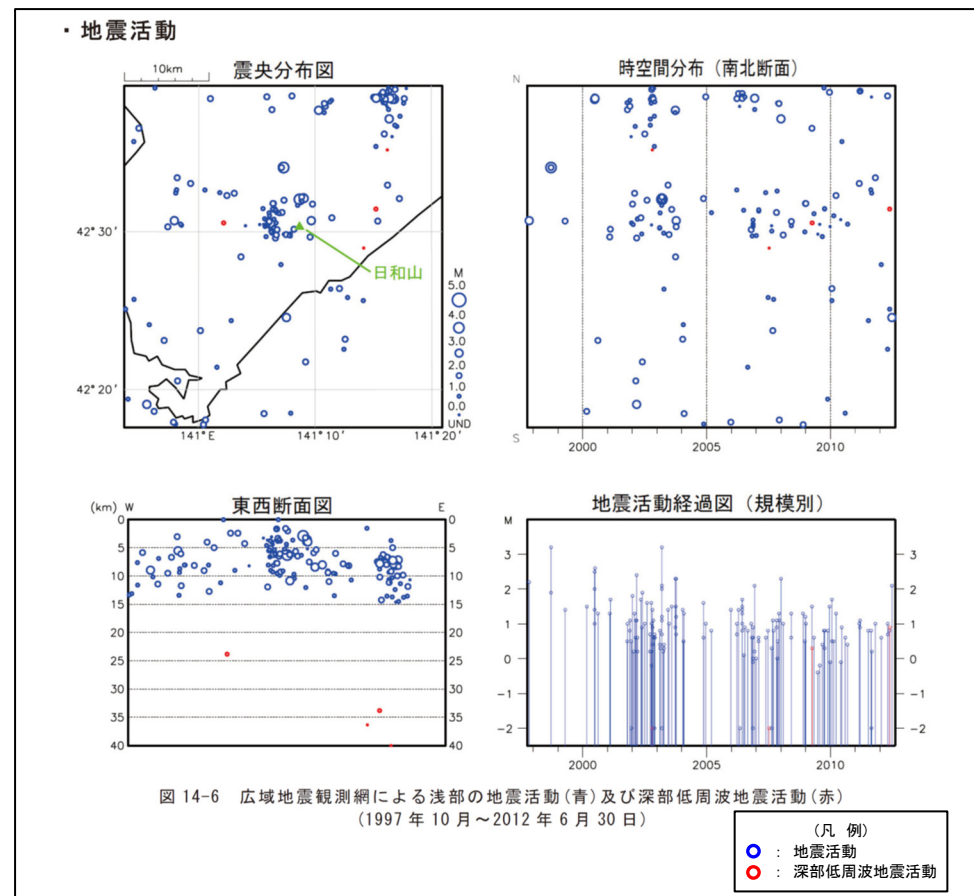
倶多楽・登別火山群周辺の地震計位置図
(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (2/5)

【気象庁編(2013)】

- 倶多楽・登別火山群周辺の地震活動(1997年10月～2012年6月)を下図に示す。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に震央の分布が認められる。
- 地震活動は、日和山の西側の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 低周波地震活動は、ほとんど認められない。



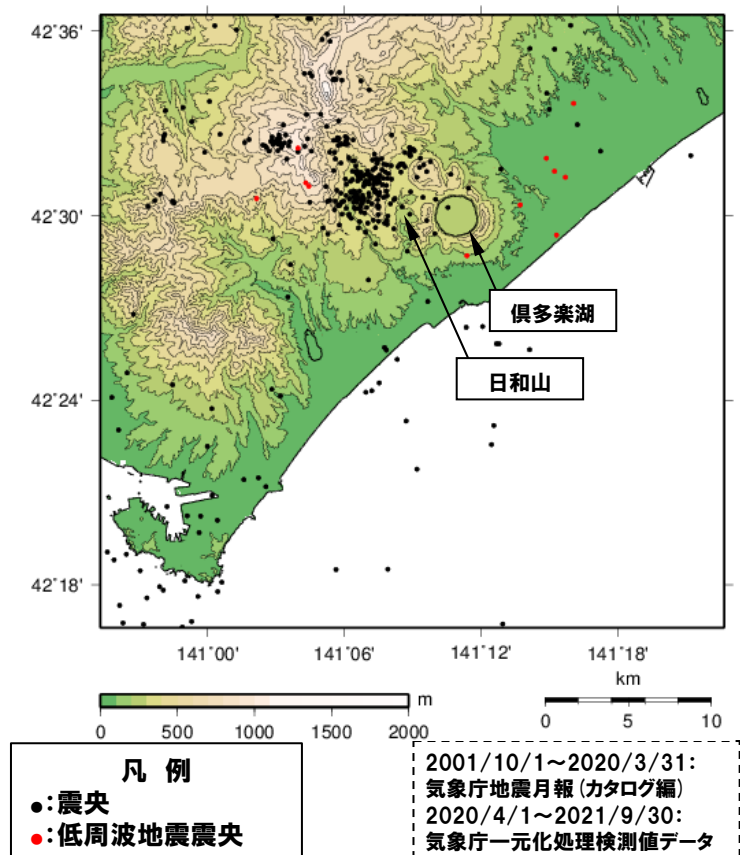
倶多楽・登別火山群周辺の地震活動
(1997年10月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

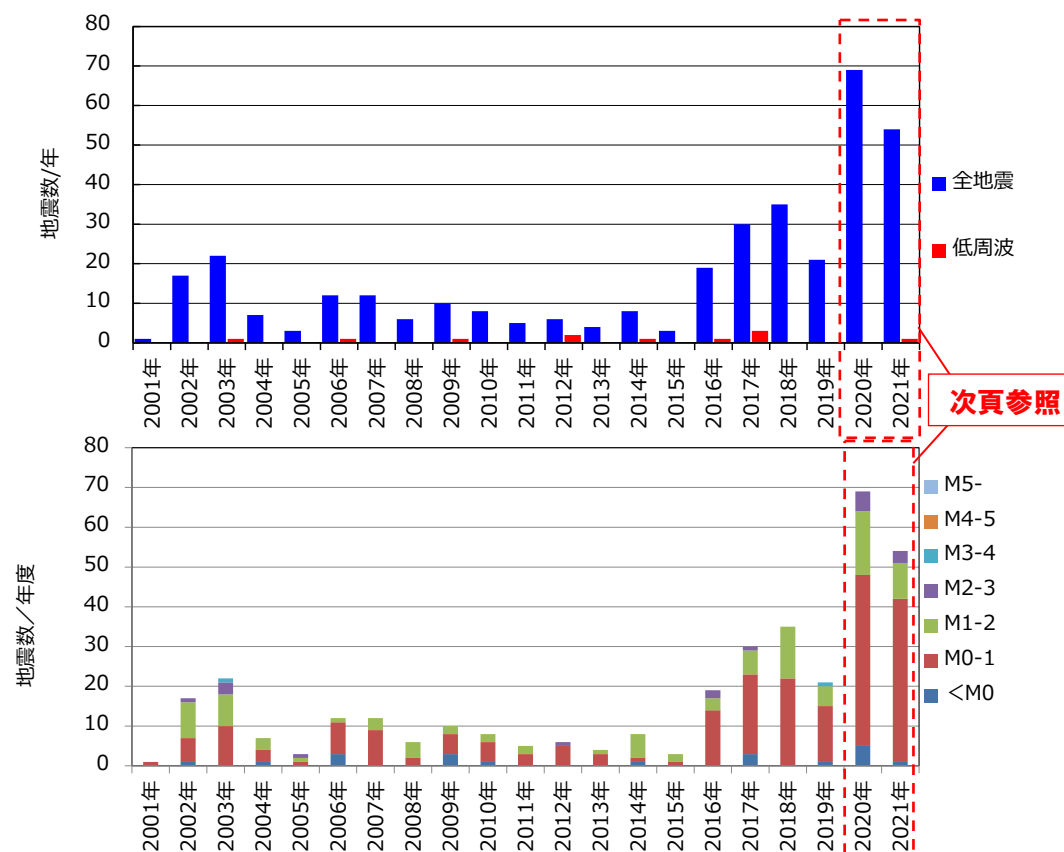
②-5 地球物理学的調査(火山性地震) (3/5)

【気象庁地震月報(カタログ編), 気象庁一元化処理検測値データ等】

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



倶多楽・登別火山群周辺の震央分布図
(2001年10月1日～2021年9月30日の記録(深さ40km以浅))



地震発生回数の年別時間変化(2001年～2021年※, 深さ40km以浅)

※2001年は10月1日～12月31日, 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)(4/5)

【気象庁, 2020; 気象庁HP】

- 「第147回火山噴火予知連絡会資料」(気象庁, 2020) 及び「火山活動解説資料(令和3年年報)」(気象庁HP) では、倶多楽・登別火山群について、地震の発生状況を示している。
- 日和山の西側を震源とする地震活動は、2020年10月10日及び11月17から21日にかけて並びに2021年5月1日に一時的に地震が増加したとされているが、それ以外の期間では火山性地震は少なく、地震活動は低調に経過している。
- 上記の一時的な地震の増加に伴う低周波地震の増加は認められない。

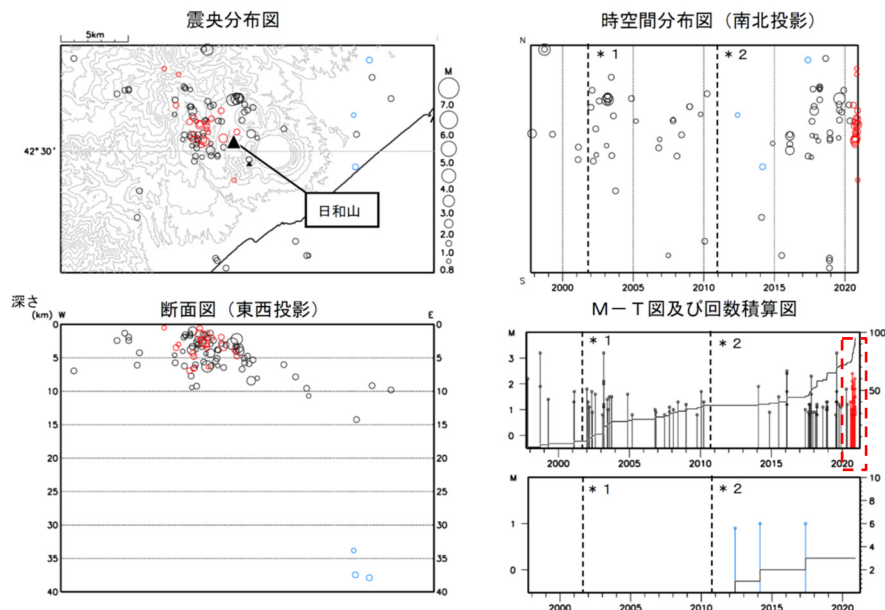


図8 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月1日～2020年11月30日、 $M \geq 0.8$ 、深さ40km以浅)

- : 1997年10月1日～2020年5月31日
 - : 2020年6月1日～2020年11月30日
 - : 深部低周波地震
 - * 1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。
 - * 2: 2010年9月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。
- 2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地震での震源決定数の変化(増減)が見られる。
- 2020年9月以降の震源は、地震観測点の標高を考慮する等した新手法で求められている。
- この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

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

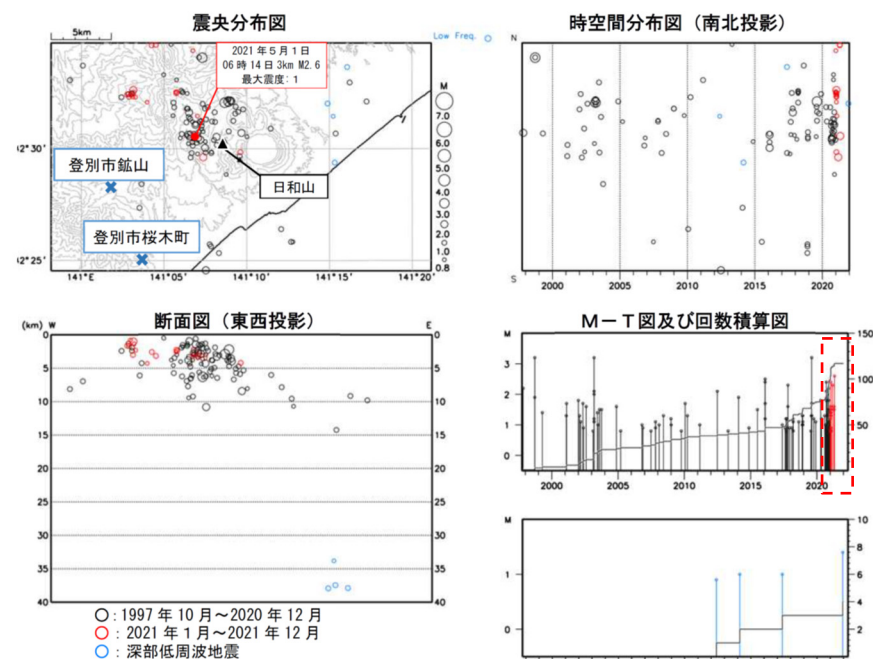


図9 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動
(1997年10月～2021年12月、 $M \geq 0.8$ 、深さ40km以浅)

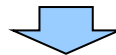
- ・5月1日に日和山の西側で地震が一時的に増加し、そのうち日和山の西約2km、深さ3kmで発生した地震(マグニチュード2.6)により、図中に×で示した登別市鉾山及び登別市桜木町で震度1を観測しました。
- ・6月以降、山体及び周辺で発生する地震は少ない状態で経過しました。

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

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震-まとめ-) (5/5)

- 火山性地震のうち低周波地震については、下鶴ほか編(2008)によれば、マグマや熱水などの流体が関与して発生していると考えられているものが多いとされている。このため、低周波地震がマグマの移動・上昇等の活動を示す場合があると考えられることから、倶多楽・登別火山群周辺の低周波地震の時空間分布を確認した。
 - ・確認に当たっては、公的機関の観測結果を取りまとめた気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」並びに気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10月～2020年3月)、気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)等を用いた。
- 確認結果は以下のとおり(下線部は低周波地震に関する事項)。
 - (気象庁, 2013)
 - ・地震活動は、日和山の西側の浅部に認められ、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
 - ・低周波地震活動は、ほとんど認められない。
 - (気象庁地震月報(カタログ編), 気象庁一元化処理検測値データ等)
 - ・倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に普通地震の震央が集中している。
 - ・マグニチュード0以上の地震は、日和山の西側において2020年及び2021年に一時的に増加傾向が認められるが、低周波地震については、発生数は少なく増加傾向も認められない。



- 倶多楽・登別火山群周辺の火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。

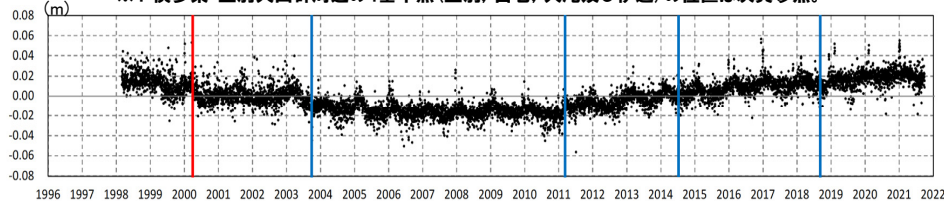
2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/10)

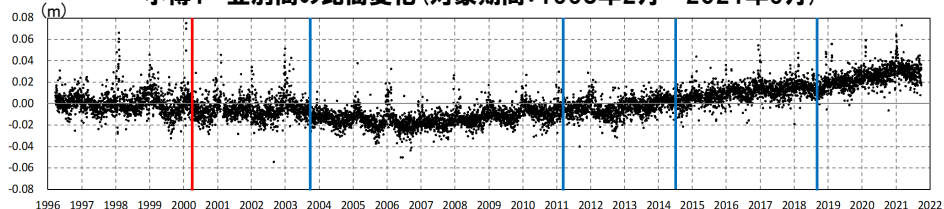
【上下変動】

- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点※1(登別、白老、大滝及び伊達)について、各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は、倶多楽・登別火山群と同様に東北日本弧延長部に位置し、第四紀火山から離隔があること等を踏まえ、小樽1地点とした。
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は、白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず、登別、大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P252～P257参照)を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、登別、大滝及び伊達地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。
- なお、年間上下変動量のうち、東北地方太平洋沖地震発生前後(下表赤枠部)及び北海道胆振東部地震発生前後(下表青枠部)の年間変動ベクトル図(上下)を一例として次頁～P219に示す。

※1 倶多楽・登別火山群周辺の4基準点(登別、白老、大滝及び伊達)の位置は次頁参照。

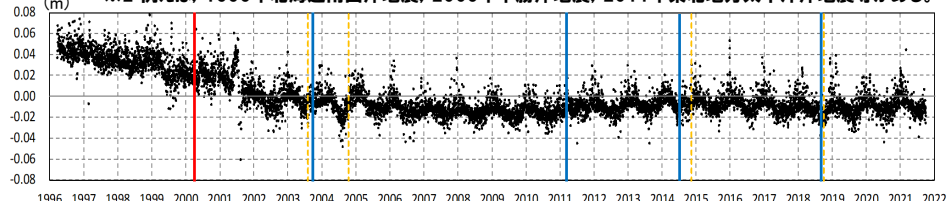


小樽1-登別間の比高変化(対象期間:1998年2月～2021年9月)

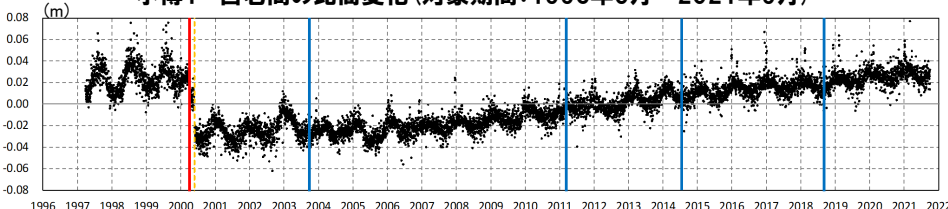


小樽1-大滝間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)

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



小樽1-白老間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



小樽1-伊達間の比高変化(対象期間:1997年3月～2021年9月)

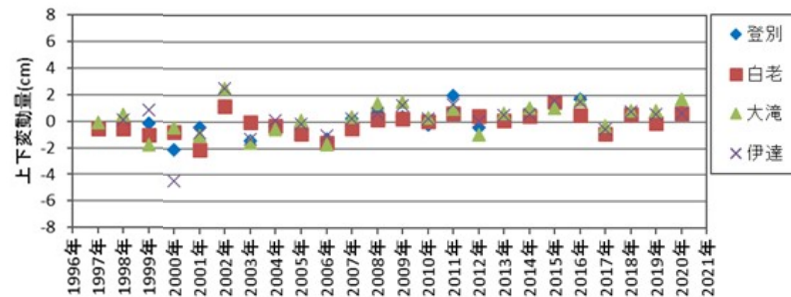
年間上下変動量(cm)

(固定局:小樽1)

	1997年	1998年	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
登別	—	—	-0.15	-2.12	-0.42	+1.16	-1.41	-0.32	-0.28	-1.28	+0.22	+0.71
白老	-0.56	-0.55	-1.05	-0.73	-2.06	+1.17	-0.04	-0.26	-0.91	-1.57	-0.49	+0.16
大滝	-0.08	+0.53	-1.74	-0.40	-1.05	+2.53	-1.56	-0.52	+0.11	-1.67	+0.40	+1.38
伊達	—	+0.15	+0.88	-4.45	-0.86	+2.55	-1.32	+0.11	-0.15	-1.06	+0.24	+0.64
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
登別	+0.36	-0.21	+1.96	-0.44	+0.16	+0.84	+1.39	+1.73	-0.60	+0.44	+0.24	+0.77
白老	+0.24	+0.06	+0.63	+0.44	+0.09	+0.44	+1.49	+0.50	-0.90	+0.61	-0.07	+0.63
大滝	+1.50	+0.29	+0.99	-0.94	+0.62	+1.03	+1.04	+1.66	-0.29	+0.88	+0.82	+1.74
伊達	+1.27	+0.26	+1.30	+0.04	+0.54	+0.57	+1.58	+1.54	-0.55	+0.75	+0.61	+0.63

↑ 東北地方太平洋沖地震発生

↑ 北海道胆振東部地震発生



年間上下変動量のグラフ

- 2000年3月有珠山噴火
- 2003年9月十勝沖地震
- 2011年3月東北地方太平洋沖地震
- 2014年7月胆振地方中東部の地震
- 2018年9月北海道胆振東部地震
- 伐木

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

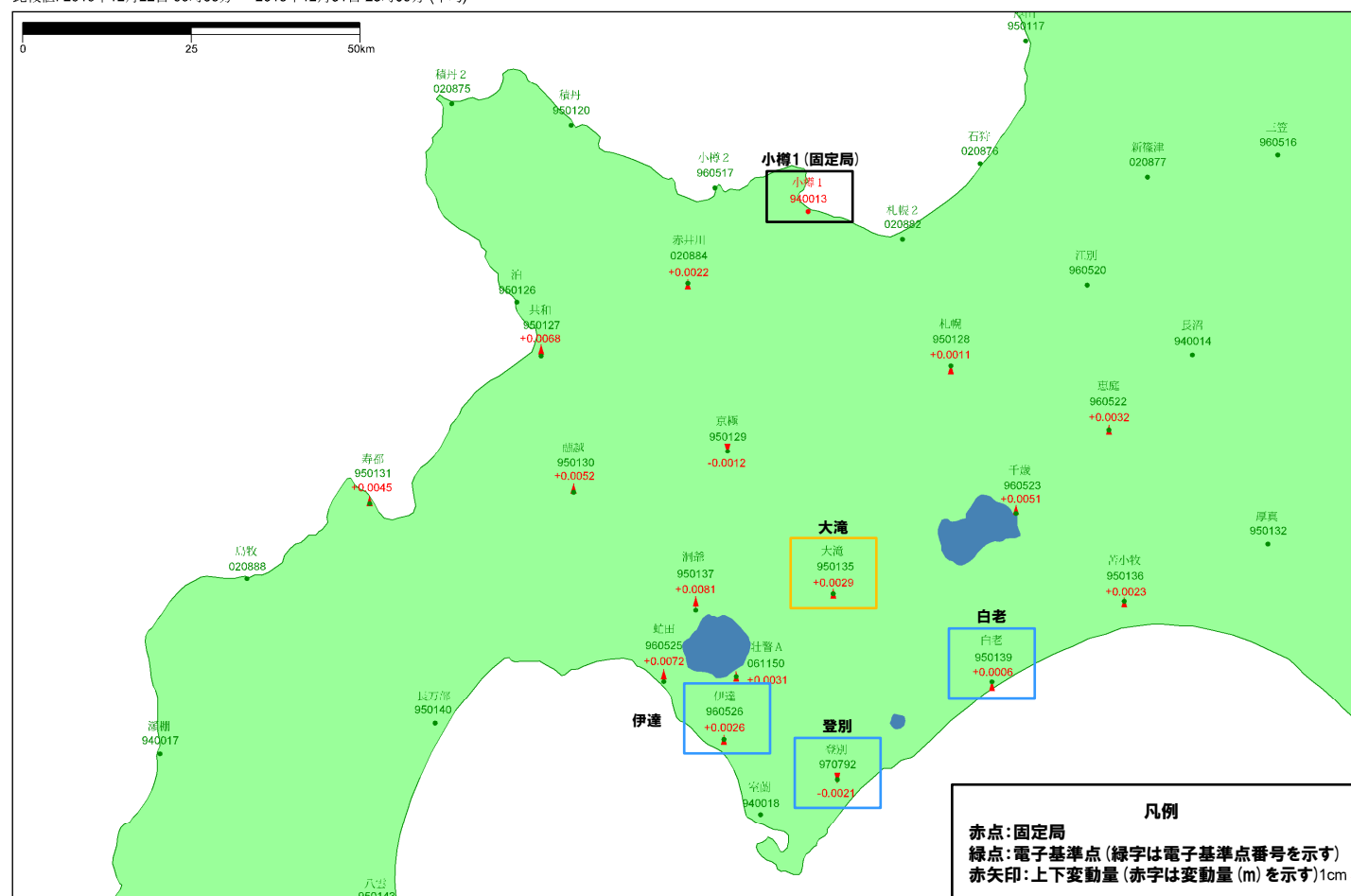
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/10)

- 東北地方太平洋沖地震発生前, 2010年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-大滝間の+2.9mmである。

基準値: 2010年1月1日00時00分～2010年1月10日23時59分(平均)
比較値: 2010年12月22日00時00分～2010年12月31日23時59分(平均)

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

電子基準点の変動ベクトル図(上下)
(対象期間: 2010年1月～2010年12月)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

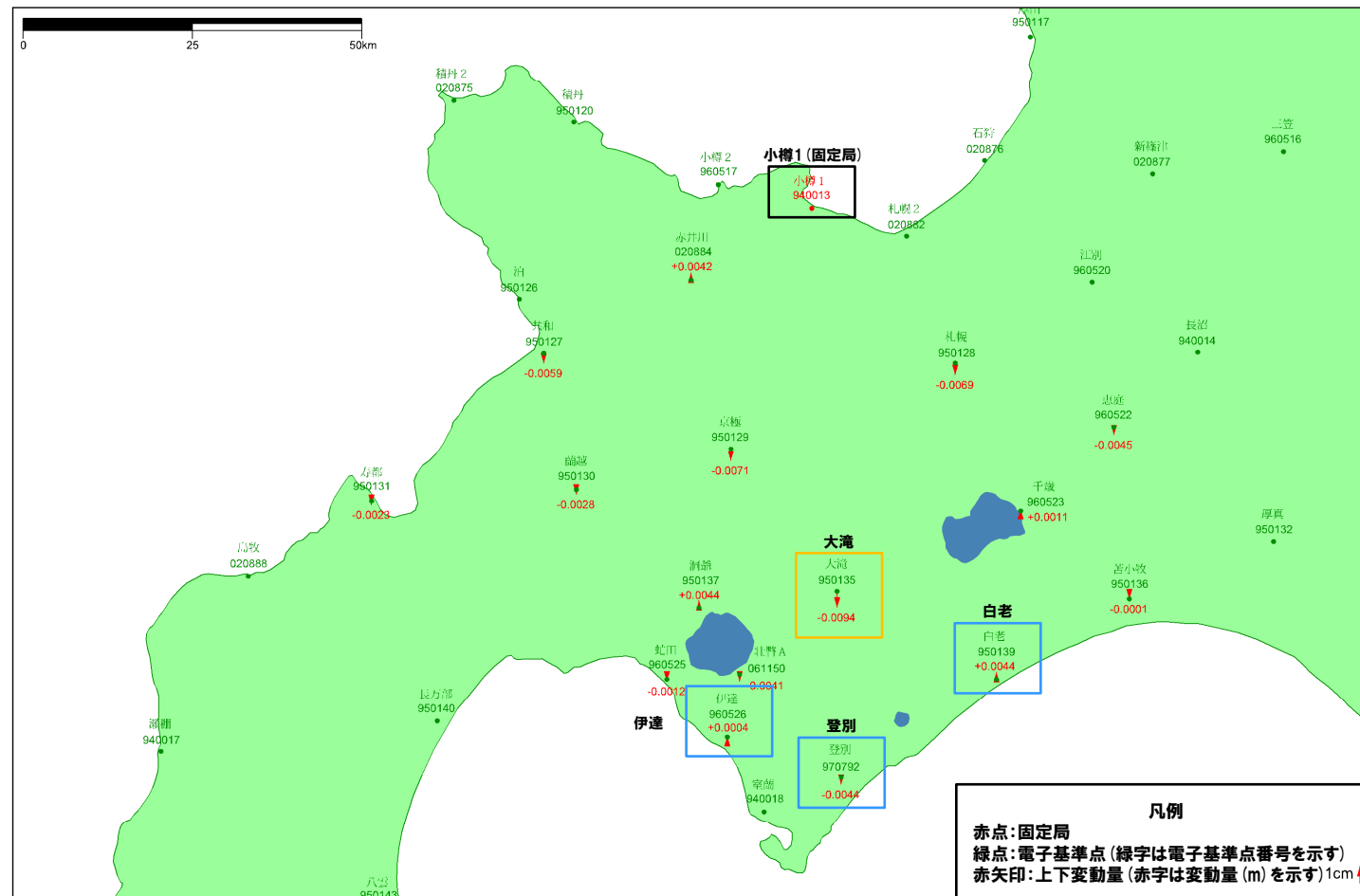
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(3/10)

- 東北地方太平洋沖地震発生後, 2012年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-大滝間の-9.4mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

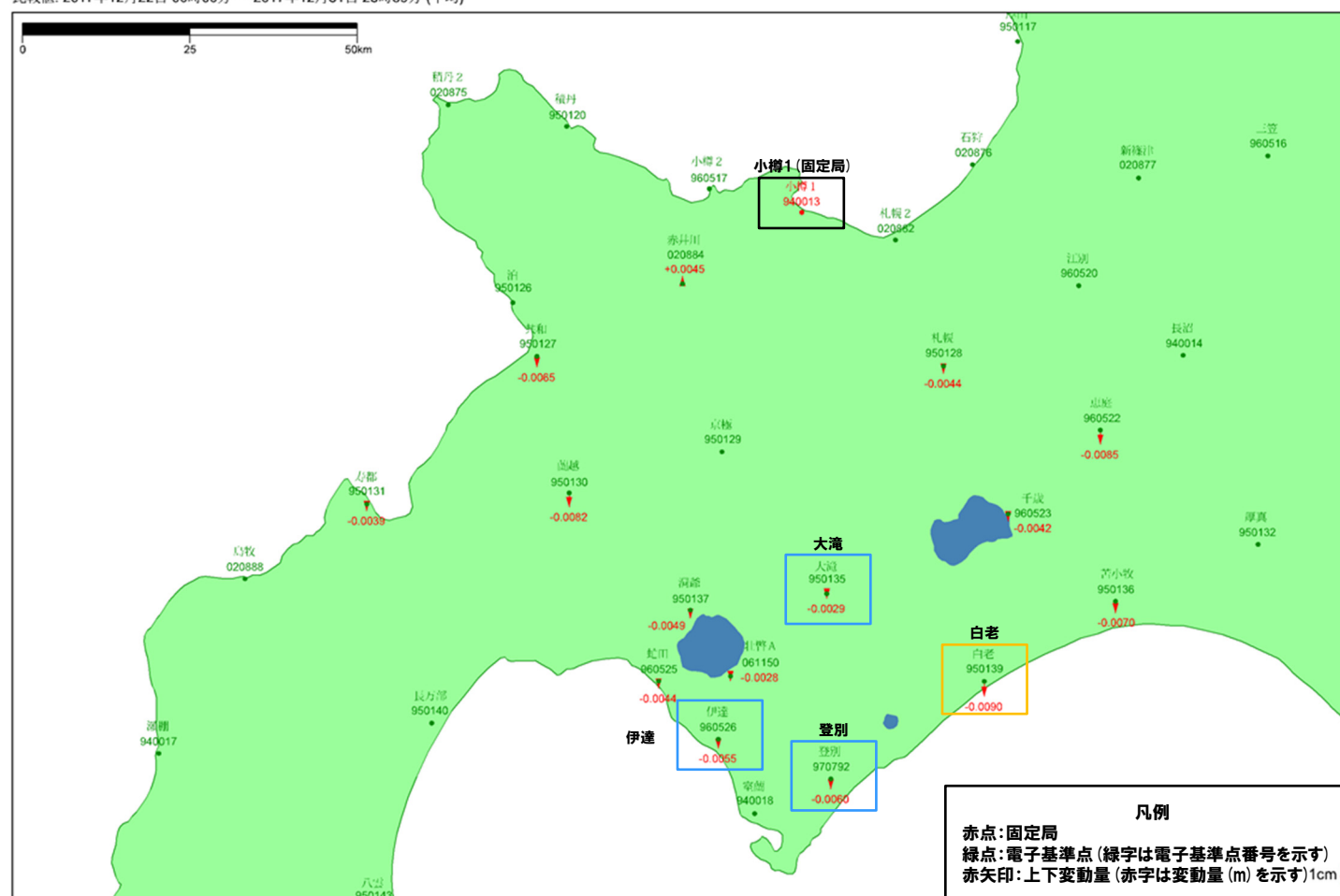
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/10)

- 北海道胆振東部地震発生前, 2017年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は, 小樽1-白老間の-9.0mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

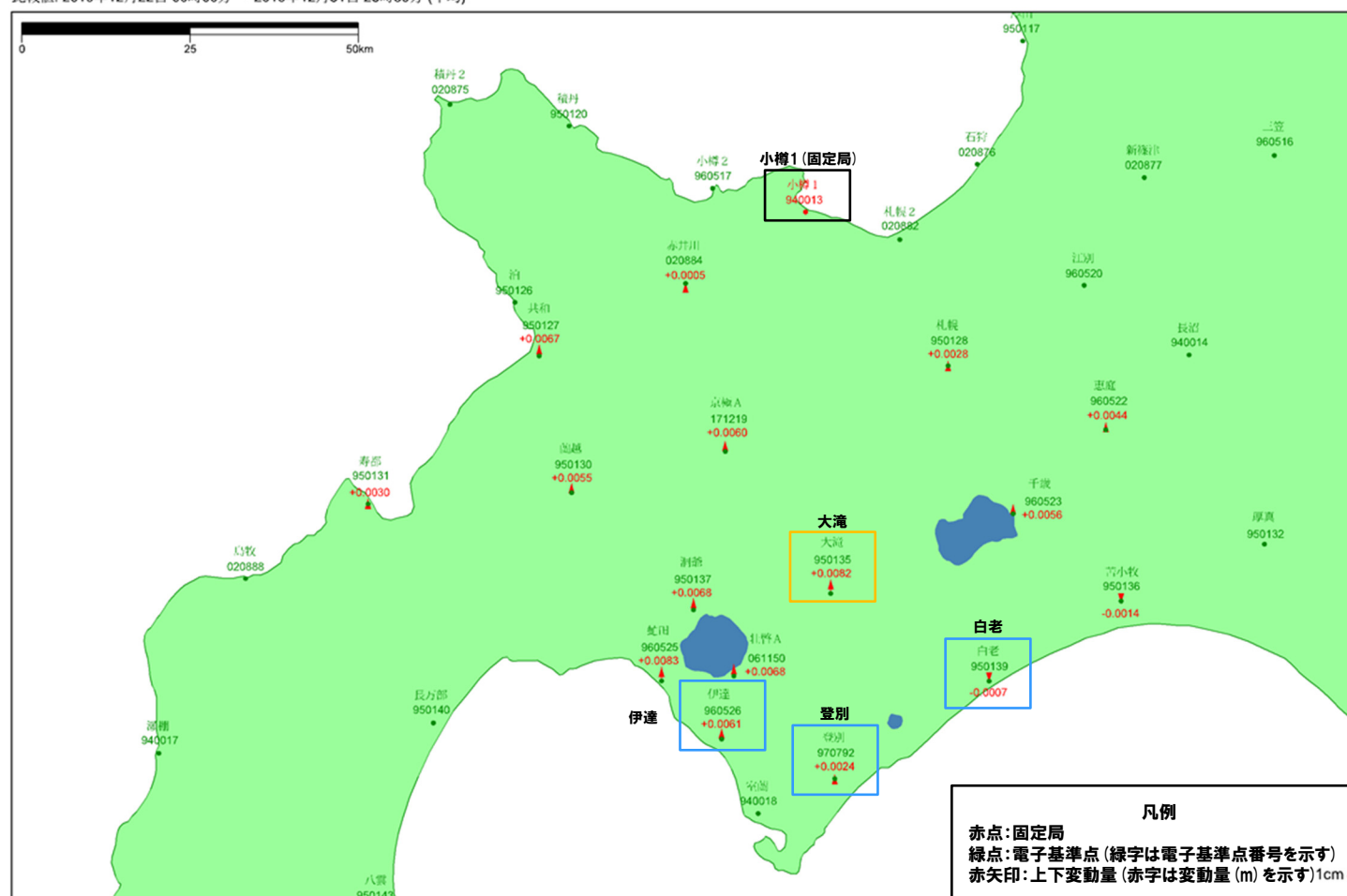
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/10)

- 北海道胆振東部地震発生後、2019年1年間の変動ベクトル図(上下)を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近における当該期間の最大変動量は、小樽1-大滝間の+8.2mmである。

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

ベクトル図(上下)

固定局: 940013



赤: Bernese F3 [IGS]

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

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

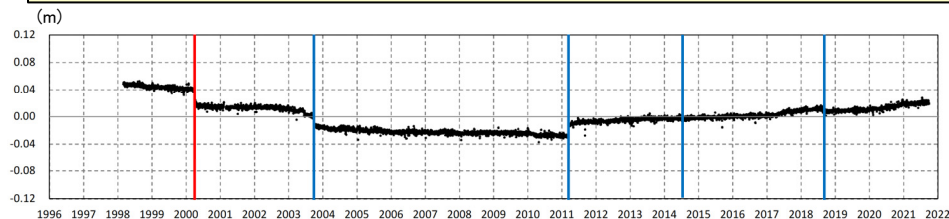
余白

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

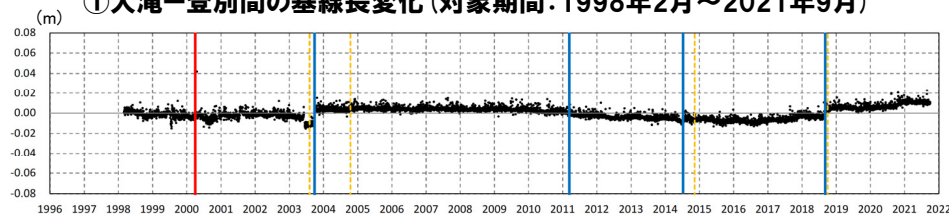
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

【基線長変化】

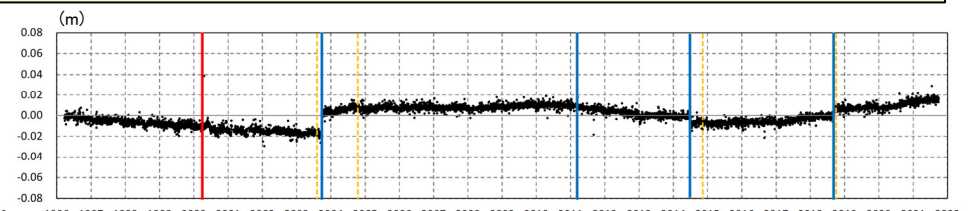
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点(登別, 白老, 大滝, 及び伊達)を結んだ4基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



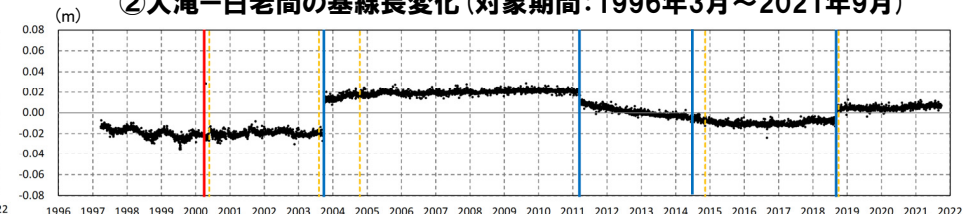
①大滝ー登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月～2021年9月)



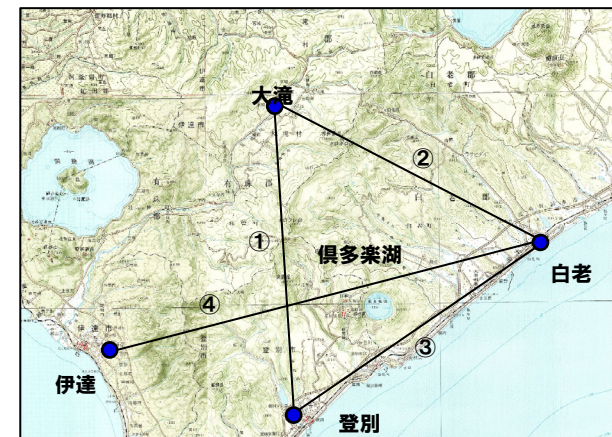
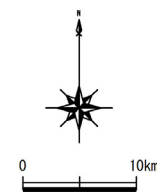
③白老ー登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月～2021年9月)



②大滝ー白老間の基線長変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)



④白老ー伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月～2021年9月)



倶多楽・登別火山群付近電子基準点位置図

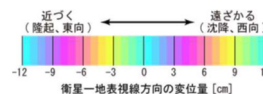
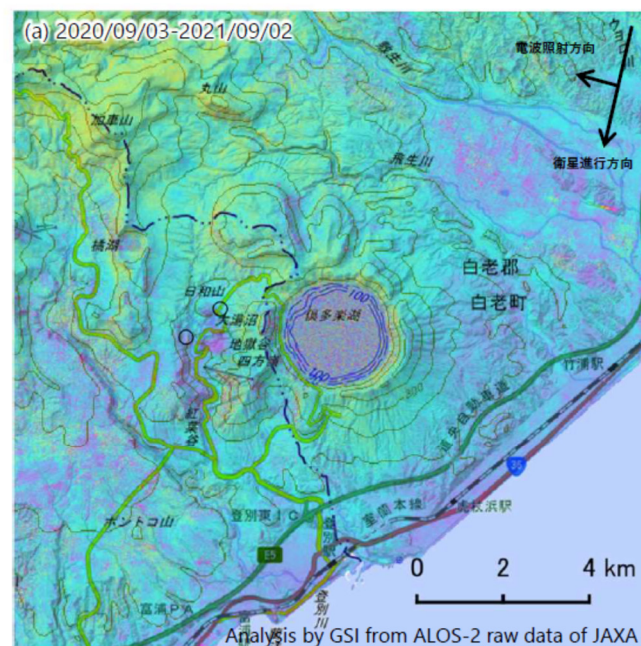
2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

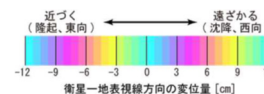
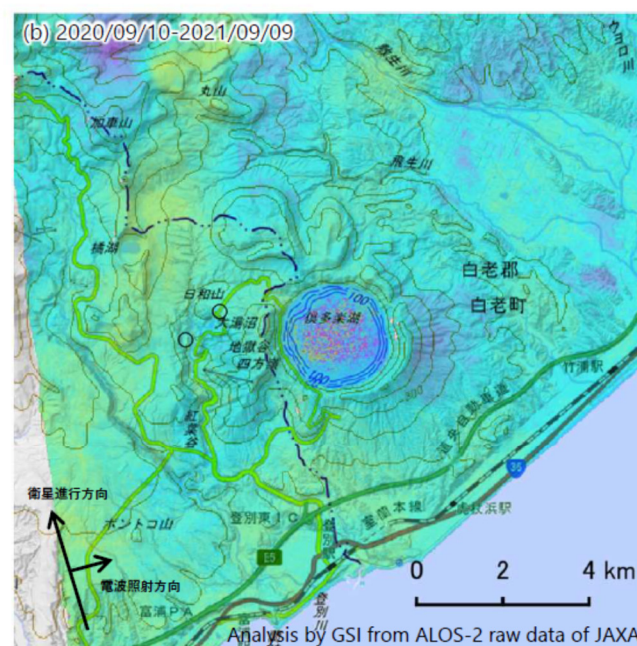
【干渉SAR】

第149回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2021)

○倶多楽・登別火山群周辺における”2020年9月～2021年9月(南行:左図, 北行:右図)”の干渉SAR解析結果について,「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



対象期間: 2020/9/3 - 2021/9/2



対象期間: 2020/9/10 - 2021/9/9

	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2020/09/03 2021/09/02 11:41頃 (364日間)	2020/09/10 2021/09/09 23:26頃 (364日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右(西)	右(東)
観測モード*	U-U	H-H
入射角	39.8°	35.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+112m	-6m

* U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード

倶多楽・登別火山群周辺における干渉SAR解析結果(国土地理院)
(気象庁(2021)に加筆)

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(8/10)

【干渉SAR時系列解析】

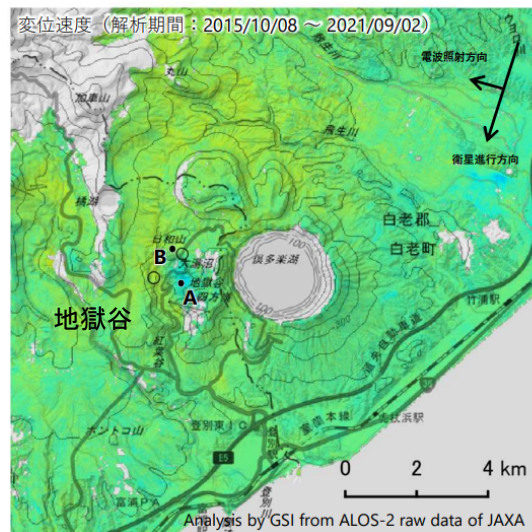
○第149回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2021)によると,「地獄谷の地点A周辺に,衛星から遠ざかる方向の変動が見られる」とされている。

【干渉SAR時系列解析(最新版)】

○2014年8月から2021年11月を対象とした干渉SAR時系列解析(国土地理院, 2022)※によれば, 倶多楽・登別火山群規模の顕著な地殻変動は認められない。

※国土地理院(2022)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, 全国を対象とした地表変動の監視を行っている。2022年6月に北海道地域の干渉SAR時系列解析結果をHP上で先行公開し, 2022年度中に全国の解析結果を公表するとされている。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。

地獄谷の地点A周辺に,衛星から遠ざかる変動が見られます。

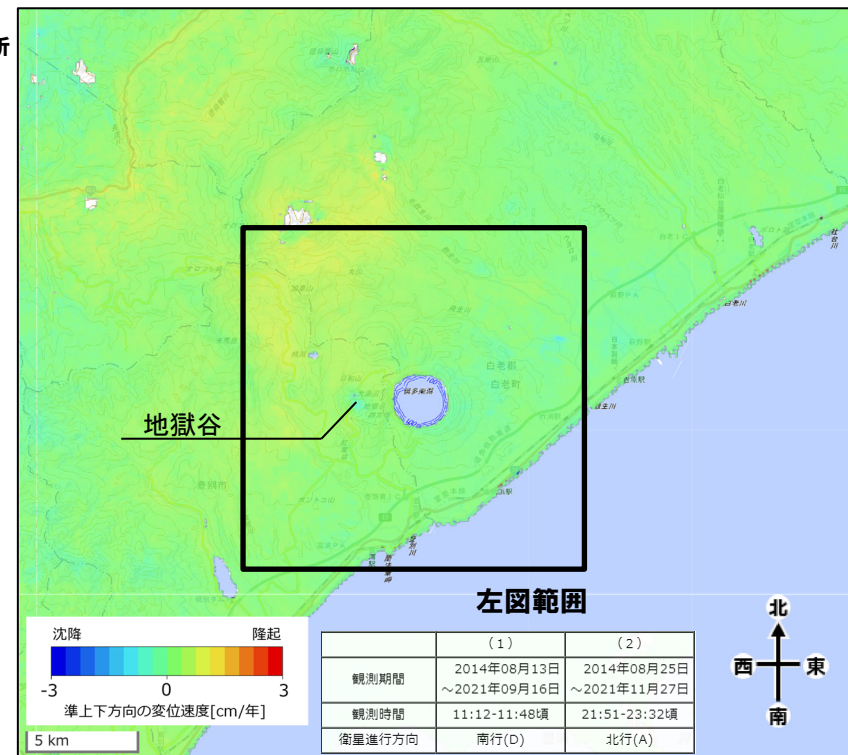
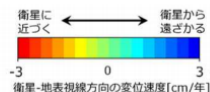


倶多楽・登別火山群周辺の干渉SAR時系列解析結果(衛星方向の変位速度, 南行)
(気象庁(2021)に加筆)

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	39.8°
偏波	HH
データ数	13
干渉ペア数	17

* U: 高分解能(3m)モード

○ 国土地理院以外のGNSS観測点



倶多楽・登別火山群周辺における2014-2021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(2022)に加筆)

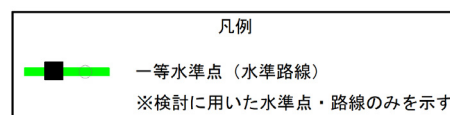
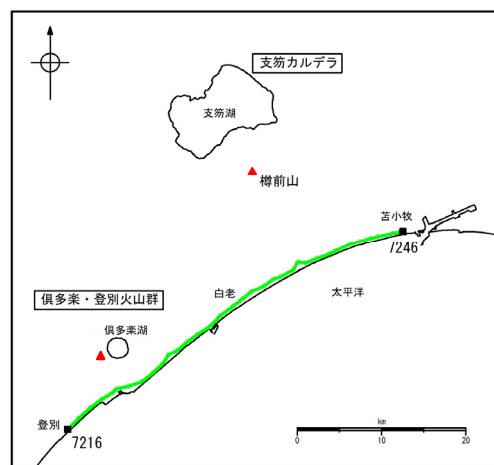
○倶多楽・登別火山群周辺においては, 地獄谷周辺の局所的な沈降傾向が認められるものの, 倶多楽・登別火山群規模の顕著な地殻変動は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

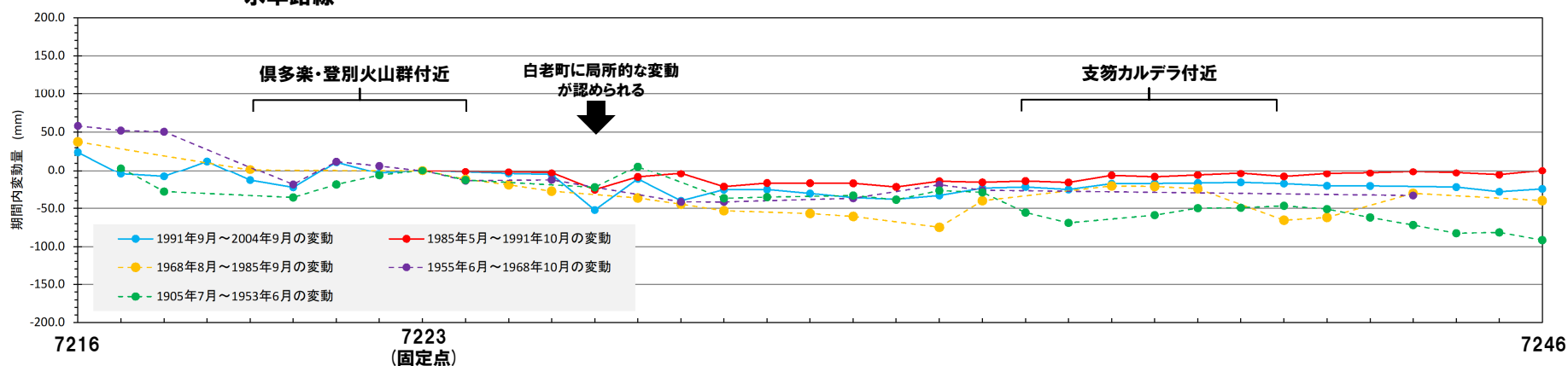
②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/10)

【水準測量】

- 過去約100年間における倶多楽・登別火山群周辺の水準点の上下変動を示す。水準測量のデータは国土地理院一等水準点検測成果集録を使用した。
- 当該検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、倶多楽・登別火山群規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



水準路線



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

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動-まとめ-)(10/10)

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

【地殻変動(上下変動及び基線長変化)】

○倶多楽・登別火山群付近の上下変動は、白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず、登別、大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。

○文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、登別、大滝及び伊達地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。

○倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮は認められない。

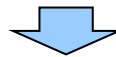
○2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。

【地殻変動(干渉SAR)】

○倶多楽・登別火山群周辺においては、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向が認められるものの、倶多楽・登別火山群規模の顕著な地殻変動は認められない。

【地殻変動(水準測量)】

○国土地理院一等水準点検測成果集録においては、白老町に局所的な変動が認められるものの、倶多楽・登別火山群規模の顕著な隆起又は沈降は認められない。



○倶多楽・登別火山群周辺の地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。

2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻における巨大噴火*が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動に着目して、地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)、火山性地震及び地殻変動)から、現在のマグマ溜まりの状況を検討した。

倶多楽・登別火山群における地球物理学的調査結果

【地下構造(P194～P208参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。 ○倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。	○文献(Goto and Johmori, 2015; Hashimoto et al., 2019)に基づく、倶多楽・登別火山群直下の浅部(4km以浅)には熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が部分的に認められるが、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する低比抵抗領域は認められない。	○文献(森泉, 1998; 畠山ほか, 2005)に基づく、倶多楽・登別火山群においては、過去の火口又はより大きいカルデラの存在を示唆している可能性が考えられる低重力異常域が認められる。 ○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。	○地下構造に関する調査の結果、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。
【火山性地震(P210～P214参照)】		【地殻変動(P215～P225参照)】	
○火山性地震のうち、低周波地震活動は、ほとんど認められない。		○倶多楽・登別火山群周辺の地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向、白老町の局所的な変動及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、倶多楽・登別火山群規模の顕著な変位の累積は認められない。	



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

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

余白

1. 火山影響評価の概要	P. 17
2. 立地評価	P. 22
2. 1 文献調査	P. 25
2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 35
2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 43
2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 47
2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法	P.133
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P.147
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P.187
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P.229
2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P.271
2. 5 立地評価まとめ	P.339
3. 影響評価	
3. 1 地理的領域内の火山による火山事象の影響	
3. 2 降下火砕物の影響評価	
3. 2. 1 降下火砕物の層厚評価の概要	
3. 2. 2 敷地周辺で確認される降下火砕物	
3. 2. 3 降下火砕物シミュレーション	
3. 2. 4 設計に用いる降下火砕物の層厚	
3. 2. 5 降下火砕物の密度・粒径	
3. 3 影響評価まとめ	
4. モニタリング	
4. 1 監視対象火山の抽出	
4. 2 モニタリングの実施方法及び火山の状態に応じた対処方針	
参考資料	P.344
参考文献	P.357

・本章の説明内容

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価

① 活動履歴

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)

②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

②-4 地球物理学的調査(地下構造:まとめ)

②-5 地球物理学的調査(火山性地震)

②-6 地球物理学的調査(地殻変動)

②-7 地球物理学的調査(まとめ)

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○敷地から半径160km以内の範囲にある第四紀火山

35火山

○完新世に活動があった火山

7火山

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

○将来の活動可能性が否定できない火山

6火山

ホロホロ・徳舜磐, 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

22火山

13火山

2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価

2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山

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

【過去に巨大噴火が発生した火山】

支笏カルデラ, 洞爺カルデラ

【過去に巨大噴火が発生した可能性が否定できない火山】 倶多楽・登別火山群

2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法

○活動履歴及び地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)により, 運用期間中における巨大噴火の可能性を評価する。

2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価 (支笏カルデラ)

2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価 (倶多楽・登別火山群)

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価 (洞爺カルデラ)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

13火山(巨大噴火以外)

2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価

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

余白

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

【評価結果】洞爺カルデラの巨大噴火の可能性評価

- 洞爺カルデラにおいて約11万年前にTp(洞爺火山灰(Toya)及び洞爺火砕流)を噴出し、現在の洞爺カルデラを形成した噴火は、火砕流堆積物が広範囲に分布し、噴出物体積が354km³となることから、巨大噴火に該当する。
- 活動履歴及び地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造、比抵抗構造及び重力異常)、火山性地震及び地殻変動)の結果から、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。

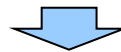
検討項目		検討結果	該当頁
①活動履歴		○洞爺カルデラの巨大噴火は1回であり、巨大噴火が発生したカルデラ形成期と現在の活動期である後カルデラ期は、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる。 ○網羅的な文献調査の結果、洞爺カルデラについては、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。	次頁～ P235
地球物理学的調査	②地下構造	○洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりを示唆する構造は認められない。 【地震波速度構造】 ・地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、メルトの存在を示唆する顕著な低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。 【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。	P236～ P237 P238～ P243 P244
	③火山性地震	○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。	P246～ P250
	④地殻変動	○地殻変動は、有珠山周辺の局所的な沈降傾向及びより広域の北海道南部(東北日本弧延長部)規模の隆起傾向は認められるが、洞爺カルデラ規模の顕著な変位の累積は認められない。	P251～ P267
		○洞爺カルデラ直下の上部地殻内には、現状、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。	

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (1/3)

- 活動履歴から、洞爺カルデラの現在の活動状況について検討を実施した。
- 洞爺カルデラ、洞爺中島及び有珠山の活動履歴を次頁～P235に示すとおり整理し、その概要を以下に示す。
- なお、活動履歴の整理は、R3.10.14審査会合以降に実施した網羅的な文献調査結果(2.1章参照)も踏まえ実施している。
 - ・約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り、最新の活動は2000年の有珠山の噴火である。
 - ・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(P104～P131参照)、巨大噴火に該当する。
 - ・約11万年前にTpを噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、いずれの後カルデラ火山に関しても、火砕流を含む火山噴出物の分布は山体近傍に限定されることから(P305参照)、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
 - ・なお、各後カルデラ火山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。
- また、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デフラより古い火砕流堆積物が数枚カルデラの周りに存在することなどから、この噴火以前にもカルデラ様の低地ないし水域の存在が推定されるとされている。
- 当該カルデラ様の低地ないし水域は、噴火によって形成された可能性が考えられるものの、現況の知見においては、その噴火に伴う噴出物、噴火規模等は不明である。

※マグマ体積を山元(2014)に基づき、当社が噴出物体積へ換算した値。



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

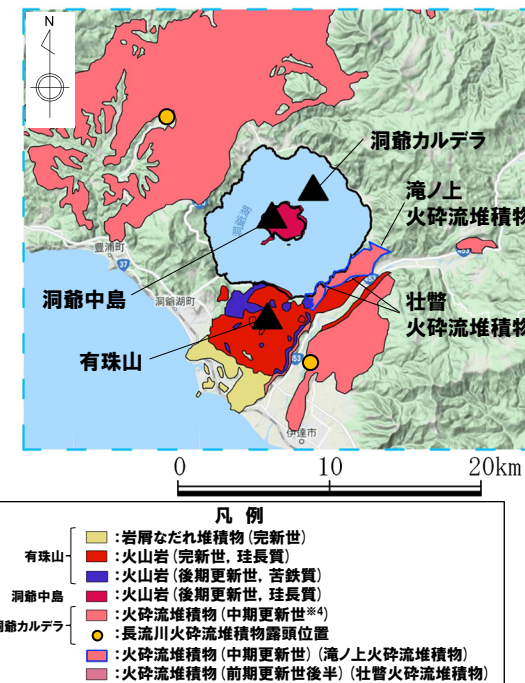
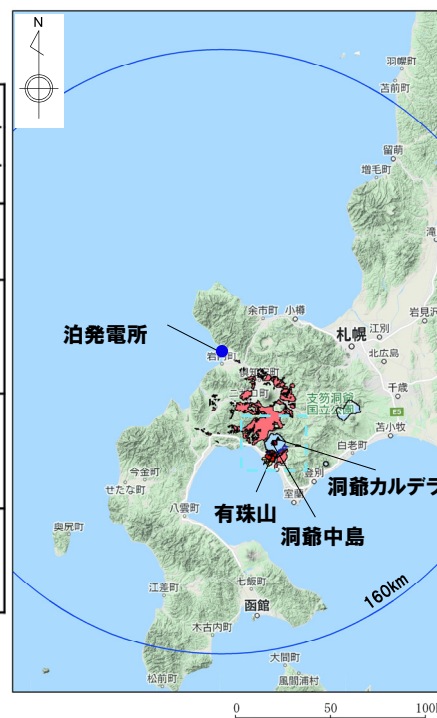
2.3.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (2/3)

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※2	洞爺カルデラ：火砕流台地-カルデラ 洞爺中島：溶岩ドーム 有珠山：成層火山，溶岩ドーム
活動年代	洞爺カルデラ：約11万年前にカルデラ形成※3 洞爺中島：4万-3万年前※2 有珠山：2万ないし1.5万年前に活動開始※2
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)」2022年10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」2022年10月確認。



※4 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、洞爺火砕流堆積物は中期更新世に分類されているが、Amma-Miyasaka et al. (2020)によれば106kaとされている。

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)

※3 西来ほか編(2012)「第四紀火山岩体・噴火岩体データベース」及び産業技術総合研究所「日本の火山(DB)」においては、洞爺カルデラは約14万年前にカルデラ形成とされているが、当該カルデラ形成噴火は、以下に示す理由から、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。

・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8万年前とされており、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。

・しか、鷹澤ほか(2007)においては、洞爺火砕流を下位より、TpfI / II, TpfIII及びTpfIVユニットに区分しているが、これらのユニット間に堆積間隙を示す堆積物の根拠は見出されず、これらのユニットを対象に実施したSAR法による平均Red TL年代は、TpfI / IIで132ka, TpfIII及びTpfIVで113~114kaであり、後者は町田・新井(2003)が地形、テフラ対比から総合的に推定したToyaの年代(110~115ka)と良く一致しているとされている。この年代値の差については、今回の実験では多粒子(40~70粒子)を用いているので、年代の古い石英粒子の混入も否定できないとされている。

・また、Goto et al. (2018) は、洞爺カルデラ形成噴火噴出物を大きく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(腐澤ほか(2007)、Goto et al. (2018) 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、西来ほか編(2012)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。

・また、ユニットによる年代測定値の違いに関しては、実際にユニット毎に噴出年代に違いがあるというよりは、年代測定試料への古い粒子の混入等が原因ではないかと考えられる。

余白

2.3.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

① 活動履歴 (3/3)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

洞爺カルデラ活動履歴※1

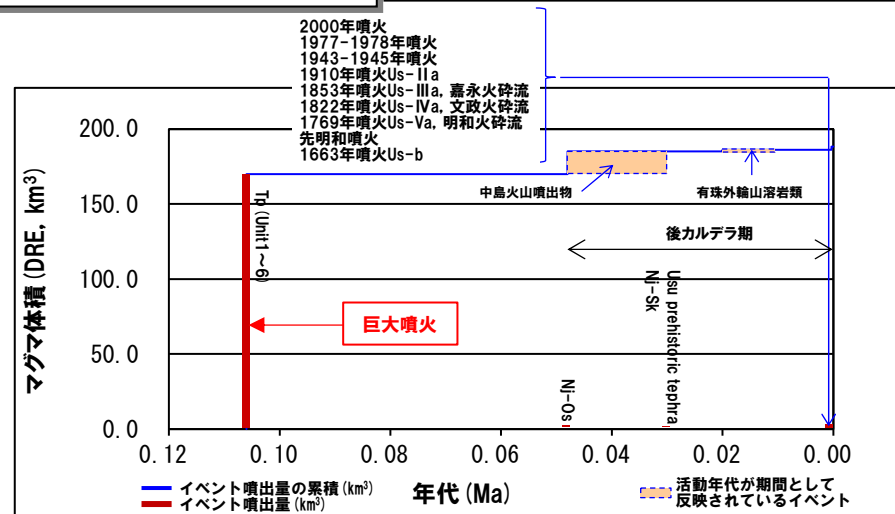
年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀 完新世 更新世				第四紀火山カタログ委員会編 (2000)
106ka ^{※2}	Tp (Unit1~6) :afa,pfl	170	—	Goto et al. (2018)
122.5ka	Osrl:pfa,afa,pfl ^{※3}	不明		Amma-Miyasaka et al. (2020)
				産業技術総合研究所 (2021)

洞爺中島活動履歴※4

年代	噴出物名	マグマ体積 (DRE, km ³)	火山体積 (km ³)	参考文献
第四紀 完新世 更新世				第四紀火山カタログ委員会編 (2000)
ca.30ka	Nj-Sk :pumice-fall deposit	0.01		山元 (2014)
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 ^{※5}	5.0	Miyabuchi et al. (2014)
ca.48ka	Nj-Os :pumice-fall deposit	0.11		産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2022)

有珠山活動履歴

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



噴出量-年代階段ダイアグラム

※1 R3.10.14審査会合資料では、山元 (2014) に基づき作成した活動履歴を示していたが、今回、Goto et al. (2018), Amma-Miyasaka et al. (2020) 及び産業技術総合研究所 (2021) に基づき見直した。

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

また、Marsden et al. (2021) において、(U-Th)/He法を用いた新しい年代測定の結果、洞爺火砕流堆積物下位のKm-2 (尻尾岳起源) の噴出年代を96±5kaとし、洞爺火砕流の噴出年代は96±5kaより新しい可能性があることを示唆するとされているが、Marsden et al. (2021), Amma-Miyasaka et al. (2020) のいずれの年代値を用いても、洞爺カルデラ (後カルデラ火山含む) の評価結果は変わらないため、当該表には、Amma-Miyasaka et al. (2020) の年代値を示すこととした。

※3 Osrl, 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は、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、上長和層が堆積し、その上位に、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とされている。

一方、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。

また、以下の様な知見もある。
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。したがって、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である (後藤ほか, 2021)。

※4 洞爺中島の噴火史については、以下の様な知見もある。
ドーム溶岩試料についてK-ArおよびU-Pb年代測定を実施した結果、中島火山はカルデラ形成噴火直後の0.10Ma頃から0.05Ma頃まで活動しており、中島火山はカルデラ形成噴火直後から、火口位置を変えながら溶岩ドーム形成噴火を繰り返していた (産業技術総合研究所, 2022)。

※5 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中島-東山ドームの14km³ (DRE) とされている。

※6 善光寺岩なだれの年代については、20ka頃 (藤根ほか, 2016)、或いは16ka (Goto et al., 2019) とする文献もあるものの、Nakagawa et al. (2022) によれば、それらの年代は岩屑なだれ堆積物に取り込まれた古い土壌片の年代とされている。

※7 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。

2.3.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(1/2)

一部修正(R3/10/14審査会合)

○防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(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、当社が洞爺カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。

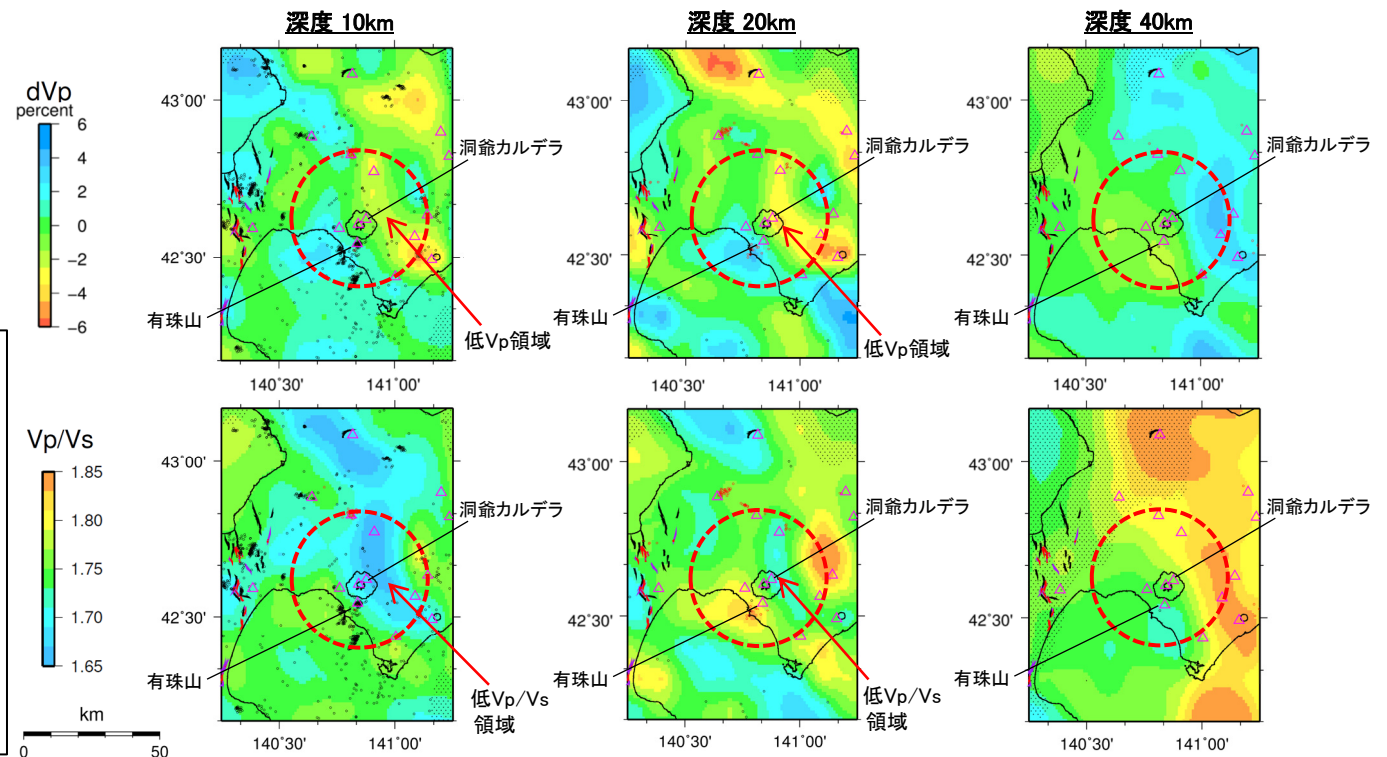
○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

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

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P134~P145参照)】
 ○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 $\geq$ 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)
— 推定活断層 } をトレース
- 洞爺カルデラを中心とした、
半径25kmの範囲



※R3.10.14審査会合資料では、地震の震源について2000年10月1日～2015年12月31日のものを図示していた。一方、防災科学技術研究所「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」は、上記期間に加えて2016年4月1日～2018年6月30日のデータも解析に使用されていることから、震源についても同期間のデータを図示することが適切であり、今回不足期間のデータを追加した。

洞爺カルデラ周辺では、カルデラの北方-東方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

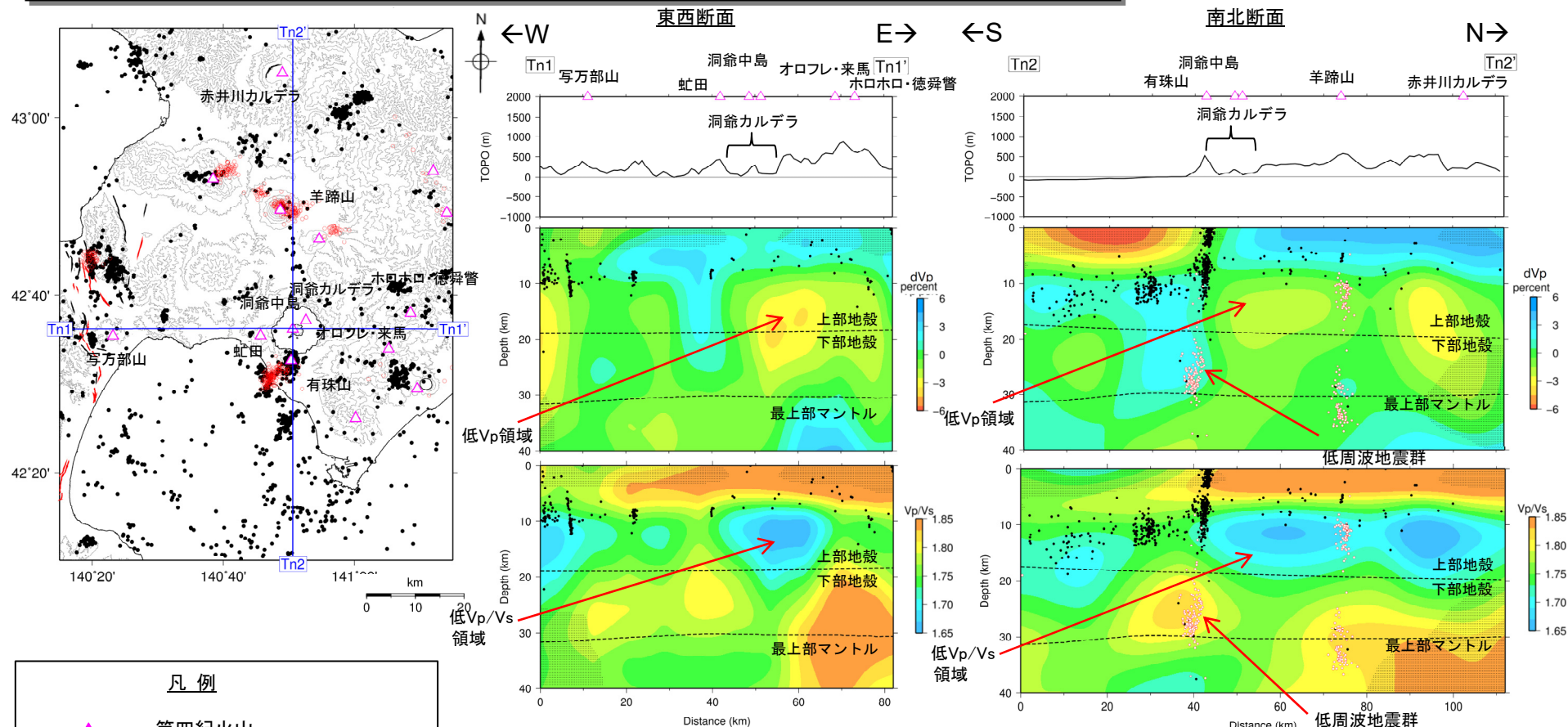
洞爺カルデラ周辺では、カルデラの北方-東方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

地震波速度構造(水平断面)

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造)(2/2)

一部修正(R3/10/14審査会合)



洞爺カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、カルデラの北方～東方の深度10km～20km程度に低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
洞爺カルデラ直下の下部地殻内(約20～30km)には、低周波地震群が認められるが、上部地殻内には認められない。

地震波速度構造(鉛直断面)

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

※R3.10.14審査会合資料では、地震の震源について2000年10月1日～2015年12月31日のものを図示していた。一方、防災科学技術研究所「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」は、上記期間に加えて2016年4月1日～2018年6月30日のデータも解析に使用されていることから、震源についても同期間のデータを図示することが適切であり、今回不足期間のデータを追加した。

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(1/6)

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

【当社電磁気探査(次頁～P241参照)】

- 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(P241参照)。

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

【Goto and Danhara (2018) (P236参照)】

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

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

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

【Matsushima et al. (2001) (P243参照)】

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

- ・Matsushima et al. (2001) によれば、有珠山の地下(標高:約-1km)には、数 Ω m程度の領域が存在するとされている。
- ・当該領域の大部分は、繰り返されるマグマの貫入による熱水変質により生成された粘土鉱物(ス멕タイト)を大量に含む低比抵抗岩であるとされている。
- ・また、3kmを超えるような大きさのマグマ溜まりは存在しないと考えられるものの、小さなものについては検出が困難であるとされている。

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

○有珠山直下の浅部には3kmを超えるような大きさのマグマ溜まりは存在しないと考えられる。



○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。

2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(2/6)

【当社電磁気探査】

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

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

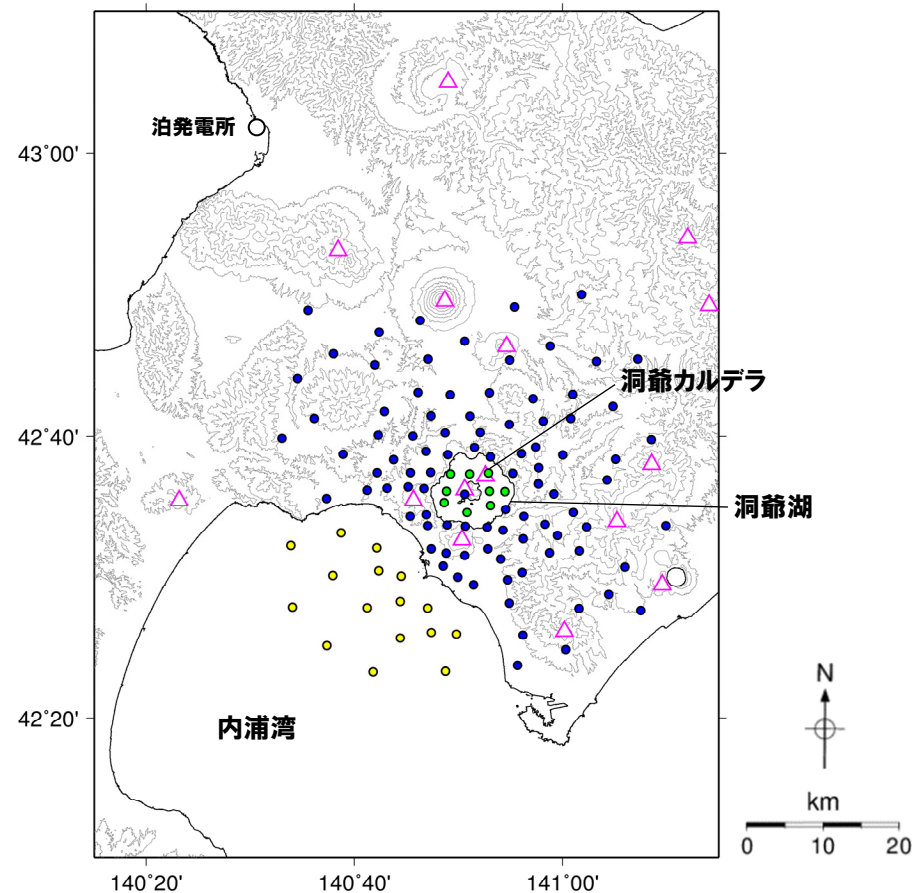
【当社電磁気探査(MT法)の概要】

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

※2 Hata et al. (2016) を参考に設定。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P134～P145)】

- 比抵抗構造については、「間隙水、マグマ及び湿潤状態の粘土鉱物を示唆する低比抵抗領域が存在するか否か」を確認する。



比抵抗構造解析に用いたMT法観測点位置図

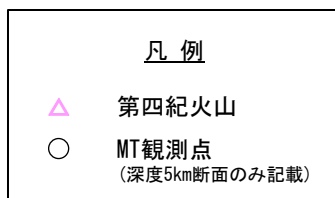
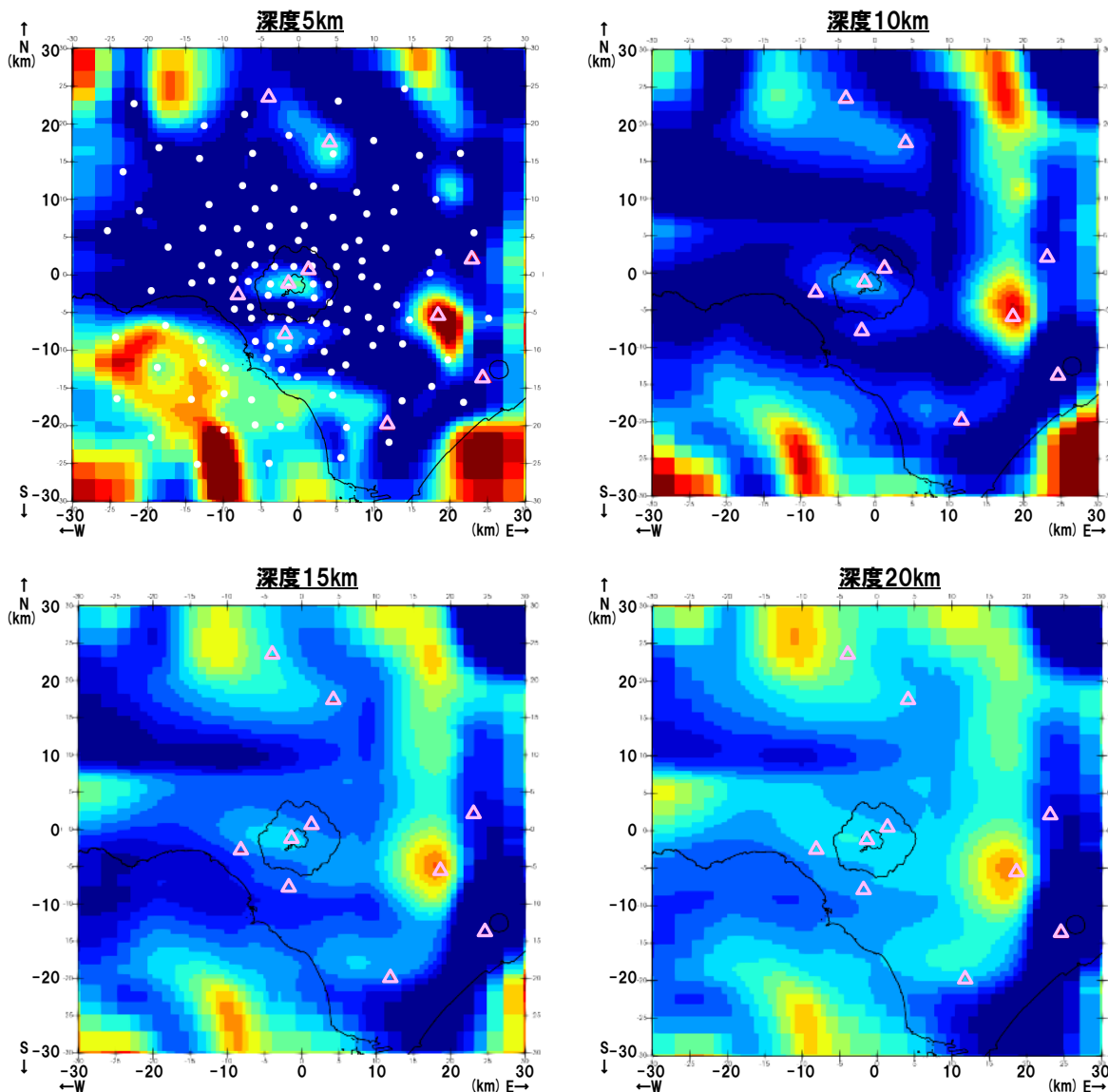
2.3.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

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

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

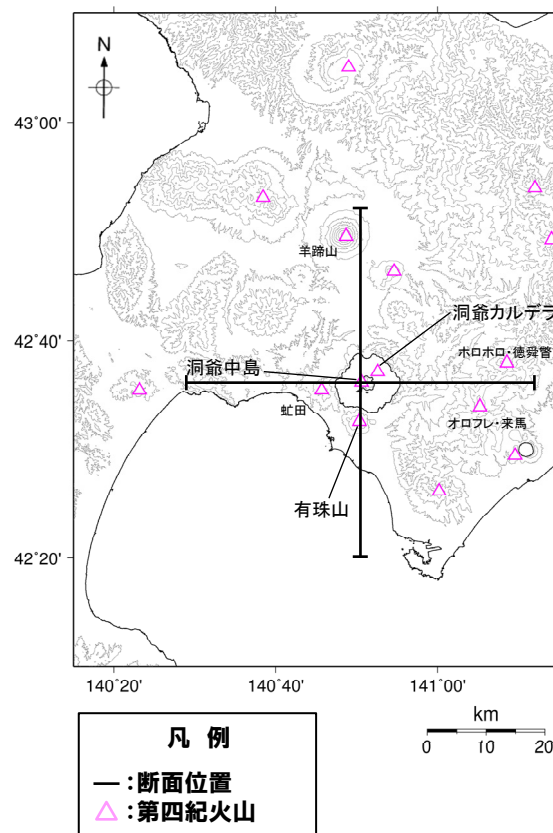
○洞爺中島直下の表層から深度2km程度及び有珠山直下の表層から深度3km程度の範囲には、低比抵抗領域(数 Ω m程度の領域)が認められる(次頁参照)。



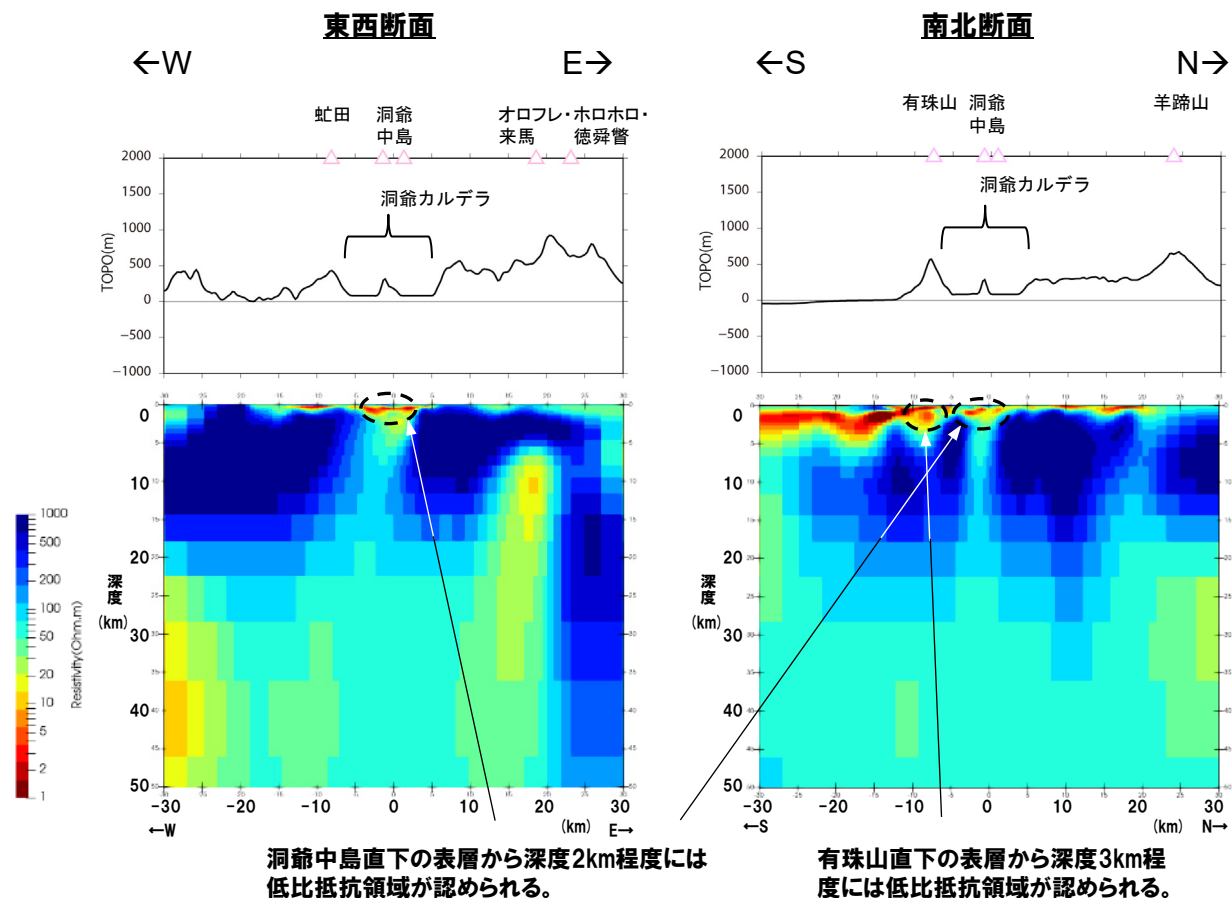
比抵抗構造(水平断面)

2.3.5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (4/6)



比抵抗構造断面位置図



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。

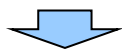
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)

②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造)(5/6)

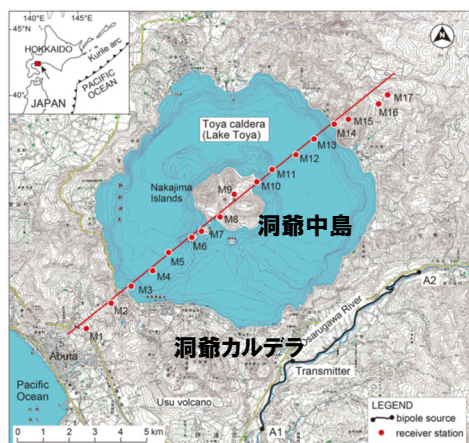
【Goto and Danhara (2018)】

○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。

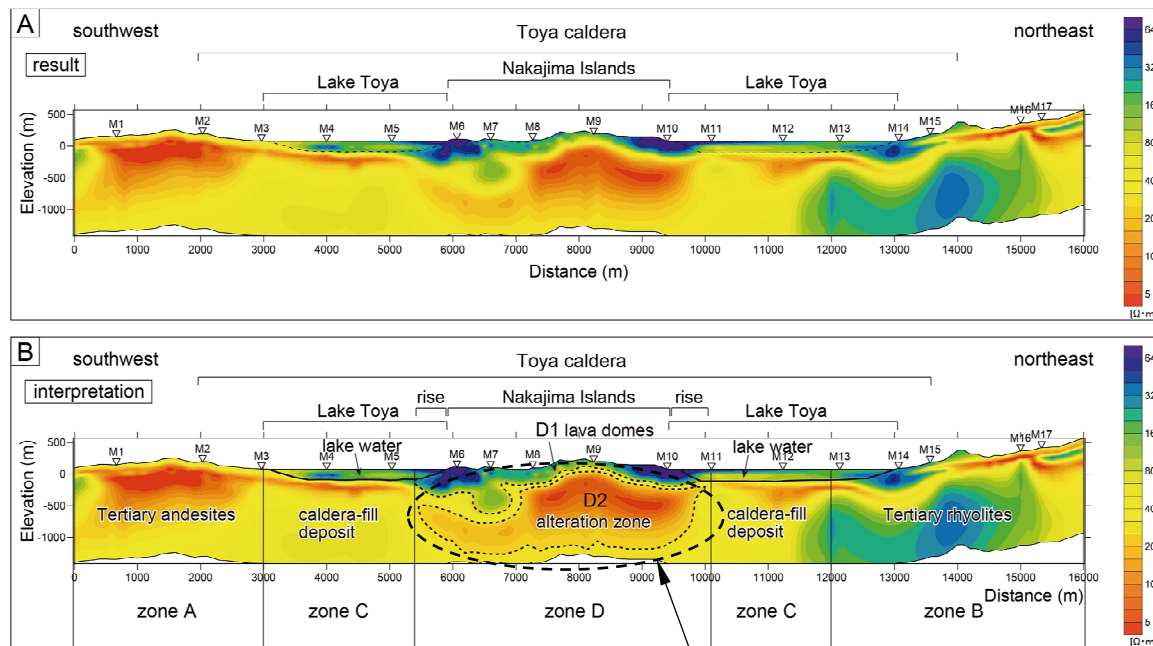
- ・Goto and Danhara (2018) によれば、洞爺中島とその周囲の隆起域の地下には低比抵抗領域(幅4500m, 厚さ1000m, 下図D2)が存在するとされている。
- ・この低比抵抗領域は、熱水鉱物に富む熱水変質帯である可能性があり、また洞爺中島の地表面において温泉等の地熱域を示すものが認められないことから、高温帯である可能性は低いとされている。
- ・この低比抵抗領域は、洞爺中島とその周囲の隆起域の形成時に上昇した地下のマグマにより、カルデラフィル堆積物が加熱されて形成された熱水変質帯と考えられるとされている。



○Goto and Danhara (2018) において洞爺中島直下に表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)