

1. 火山影響評価の概要 .....	P. 9
<b>2. 立地評価 .....</b>	<b>P. 14</b>
2. 1 文献調査 .....	P. 17
2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 .....	P. 27
2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価 .....	P. 35
2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山 .....	P. 39
<b>2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法 .....</b>	<b>P. 89</b>
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ) .....	P.103
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群) .....	P.143
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ) .....	P.185
2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価 .....	P.227
2. 5 立地評価まとめ .....	P.291
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評価 .....	
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.296
参考文献 .....	P.309

# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## 泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

立地評価

### 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  
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

○「噴出物体積が20km<sup>3</sup>以上」であり、「火砕流堆積物が広範囲に分布」す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

※洞爺火砕流に関する検討  
(詳細は補足説明資料)

補足4章 積丹半島西岸における洞爺火砕流堆積物の有無に関する検討

○積丹半島西岸においては、洞爺火砕流堆積物は認められない。

補足7章 洞爺火砕流が敷地に到達した可能性に関する検討

○洞爺火砕流が、敷地のうち、Mm1段丘より低標高部である海側に到達した可能性を否定できない\*。

#### 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)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

#### 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)

13火山(巨大噴火以外)

※本検討結果を踏まえたモニタリング対象火山の抽出については、「4. モニタリング」で今後説明予定。

### 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。

## 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

### ① 評価方法

○運用期間中における巨大噴火の可能性を評価するに当たり、評価方法について整理した。

#### 【活動履歴】

○網羅的な文献調査を踏まえた活動履歴から、現在の活動状況を検討する。

#### 【地球物理学的調査】

- 下司(2016)によれば、巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりは、カルデラを超える範囲で部分熔融域が広がっているものと考えられる(次頁参照)。
- このため、火山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する。
- このうち、地下構造については、下表に示す文献を踏まえ、以下を確認する。
- ・地震波速度構造: メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域の存否  
あわせて火山直下の上部地殻内(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
  - ・比抵抗構造: 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の存否
  - ・重力異常: 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
- 地下構造に関する文献
- | 検討項目    | 文献                     | 掲載頁     | 検討項目  | 文献           | 掲載頁 |
|---------|------------------------|---------|-------|--------------|-----|
| 地震波速度構造 | Nakajima et al. (2001) | P92~P95 | 比抵抗構造 | 後藤・三ヶ田(2008) | P99 |
|         | Kita et al. (2014)     | P96~P97 | 重力異常  | 下鶴ほか編(2008)  | P98 |
|         | 下鶴ほか編(2008)            | P98     |       |              |     |
- なお、火山直下においてマグマ供給システムとされている低比抵抗領域が、地震波低速度領域の分布と調和的とされている事例も報告されている(P101参照)。
- 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おり、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、低周波地震の時空間分布を確認する。
- 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おり、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、地殻変動の状況を確認する。

※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10km<sup>3</sup>程度を超えるようなもの」とされている。



- 支笏カルデラ、倶多楽・登別火山群及び洞爺カルデラについて、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。

## 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

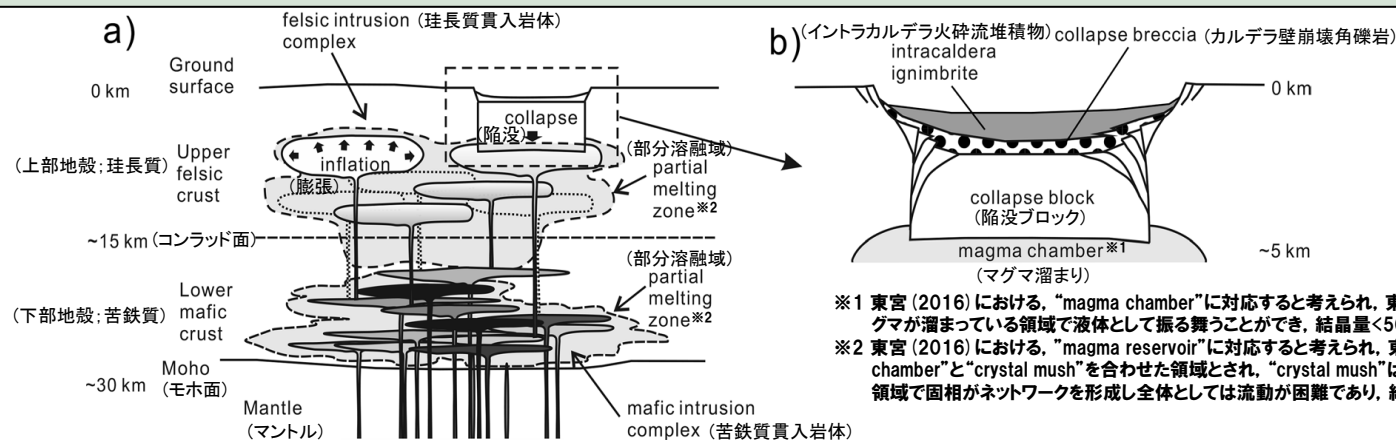
### ②-1 文献 (巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージ)

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。
- ・珪長質マグマの移動・集積に要するタイムスケールを考えると、数 $10\sim 100\text{km}^3$ の珪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作用や周辺の下部地殻物質の部分溶融による珪長質メルトの生成、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 $\text{km}$ 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。



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

○巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりは、カルデラを超える範囲で部分溶融域が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する。



## 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

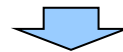
### ②-2 文献(地下構造) (1/8)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

【Nakajima et al. (2001)】

○地震波速度構造から東北日本におけるメルトの存在を推定している。Nakajima et al. (2001) をレビューした。

- ・Nakajima et al. (2001) によれば、東北日本では低速度帯が沈み込む太平洋スラブの下降方向とほぼ平行に分布し、背弧側のマンテルウェッジの深部から活火山直下の地殻まで連続的に広がっているとされている(次頁左図)。
- ・この活火山直下の低速度領域において、 $V_p/V_s$ 比は上部地殻では低く(平均1.66)、下部地殻(同1.79)と最上部マントル(同1.85)では高くなっており、特に最上部マントルでは、火山フロントに沿って高 $V_p/V_s$ 領域が連続的に分布しているとされている(次頁右図)。
- ・活火山直下の速度異常の原因について考察するため、岩石中の亀裂に存在する水又はメルトの割合に応じて、上部地殻、下部地殻、最上部マントル各層の地震波速度がどのように変化するかを計算したとされている(P95参照)。
- ・その結果、上部地殻で観測された速度異常(低 $V$ かつ低 $V_p/V_s$ 領域)は数%の水の存在でしか説明できないため、上部地殻内には少なくともトモグラフィの空間分解能を超える規模の部分熔融域は存在しないと推定されている。
- ・一方、下部地殻及び最上部マントルで観測された速度異常(低 $V$ かつ高 $V_p/V_s$ )は、数%のメルトの存在で説明でき、速度異常の分布の特徴から、最上部マントルでは火山フロントに沿って連続的に部分熔融域に拡がっており、下部地殻では活火山直下に部分熔融域が点在すると推定されている。



○Nakajima et al. (2001) に基づくと、活火山直下において、低速度領域が背弧下のマンテルウェッジ内の広範囲に分布している。

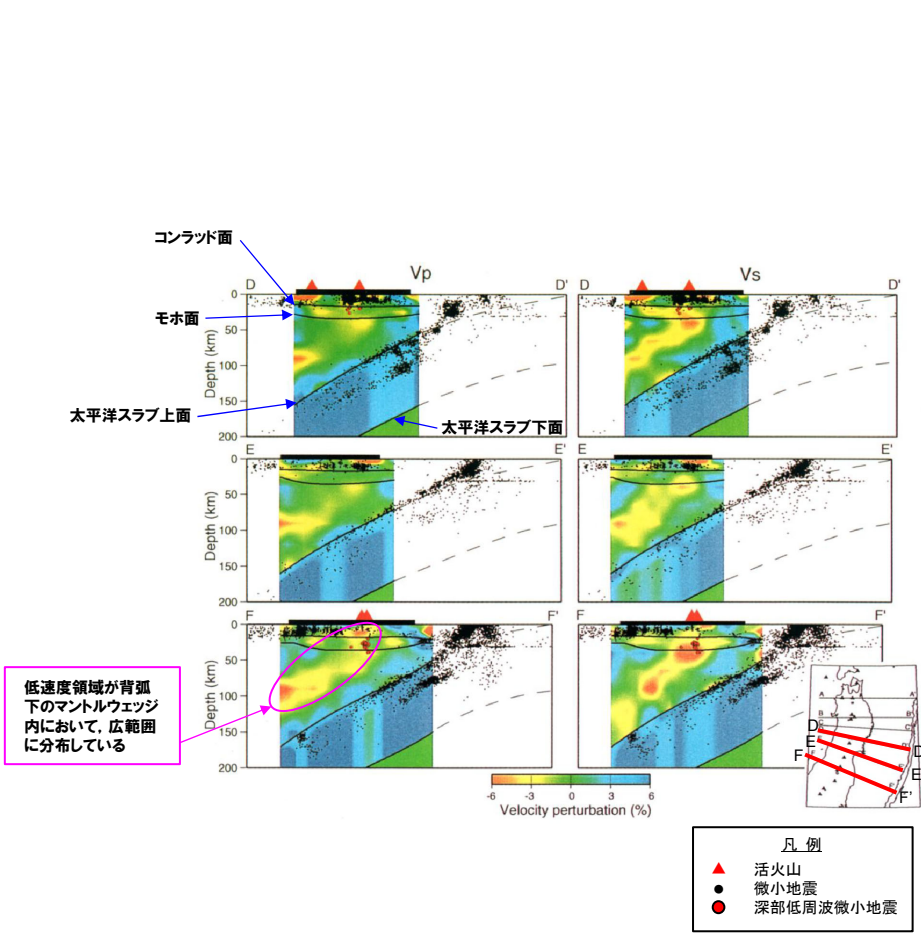
○活火山直下の最上部マントルから下部地殻で観測される低 $V_p$ 、低 $V_s$ 、高 $V_p/V_s$ はメルトの存在を示唆し、上部地殻で観測される低 $V_p$ 、低 $V_s$ 、低 $V_p/V_s$ は、水の存在を示唆すると考えられる。

○このため、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 $V_p$ かつ高 $V_p/V_s$ 領域が存在するか否かを確認する。

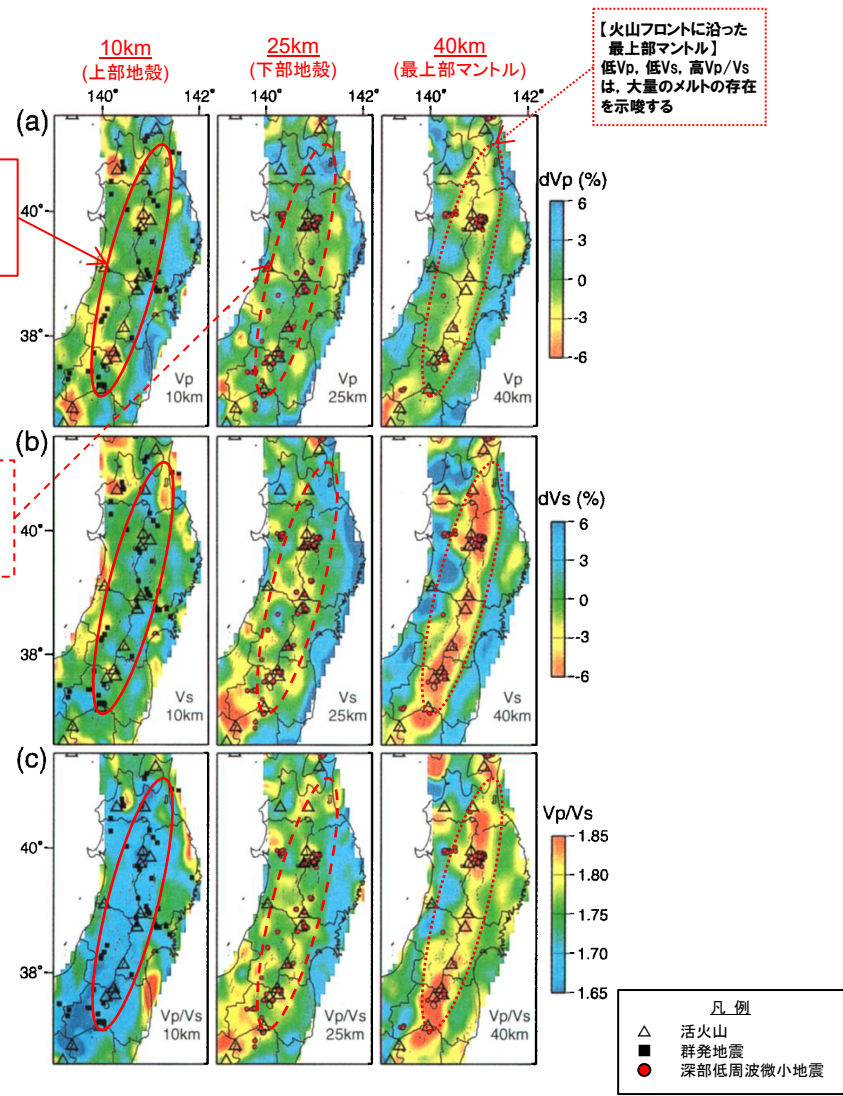
# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## ②-2 文献(地下構造) (2/8)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



東北日本における地震波速度構造(鉛直断面)  
(Nakajima et al. (2001) に加筆)

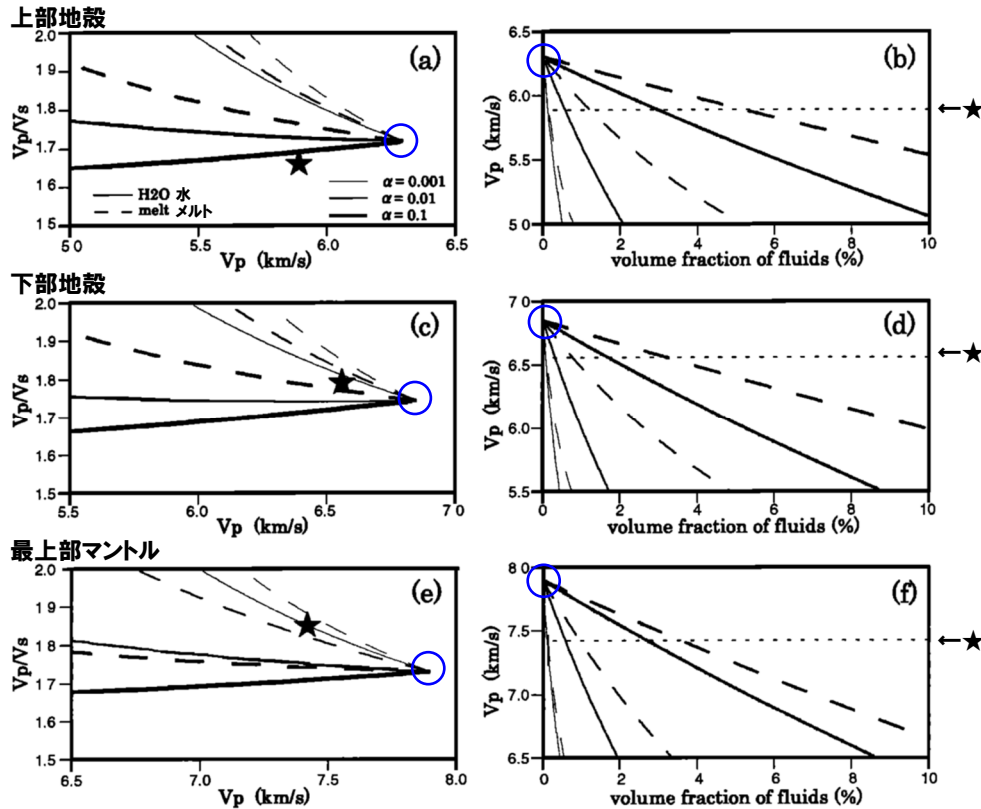


東北日本における地震波速度構造(水平断面) (Nakajima et al. (2001) に加筆)

余白

# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## ②-2 文献(地下構造) (3/8)



α: 岩石中の亀裂のアスペクト比  
 ○: 各層の上限地震波速度  
 ★: 活火山直下の低速度領域における平均地震波速度

岩石中の流体で満たされた亀裂による地震波速度の変化

- (a), (c), (e):  $V_p/V_s$  と  $V_p$  の関係
  - (b), (d), (f):  $V_p$  と流体の体積分率の関係
- (Nakajima et al. (2001) に加筆)

【Nakajima et al. (2001) における活火山直下の速度異常の原因についての考察手順※】

- ① 上限地震波速度の設定  
 東北地方における地震波トモグラフィ解析結果に基づき、上部地殻、下部地殻及び最上部マントルの速度分布を求め、各層の上限地震波速度(岩石中に亀裂を含まない場合の速度、左図青○)を設定する。
- ② 水又はメルトの存在による速度変化の計算  
 岩石中の亀裂に水又はメルトが存在することによる上記①上限地震波速度からの速度変化 ( $V_p$  及び  $V_p/V_s$ ) を亀裂のアスペクト比  $\alpha$  ごとに計算する。  
 (左図中の実線は水、破線はメルトが存在した場合の速度変化を示す)  
 ・水又はメルトの体積分率に応じて  $V_p$  が低下する(左図 (b), (d), (f))。  
 ・ $V_p$  の低下に応じて  $V_p/V_s$  が変化する(左図 (a), (c), (e))。
- ③ 活火山直下の平均地震波速度との比較  
 ・上部地殻では低  $V_p$  かつ低  $V_p/V_s$  (左図 (a) の★) であり、水の存在でしか説明できない(メルトであれば高  $V_p/V_s$  となる)。  
 ・下部地殻、最上部マントルでは、低  $V_p$  かつ高  $V_p/V_s$  (左図 (c) 及び (e) の★) であり、メルトの存在で説明できる。

※Nakajima et al. (2001) の記載を踏まえ当社で整理したもの。



# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## ②-2 文献(地下構造) (4/8)

一部修正 (R3/10/14審査会合)

【Kita et al. (2014)】

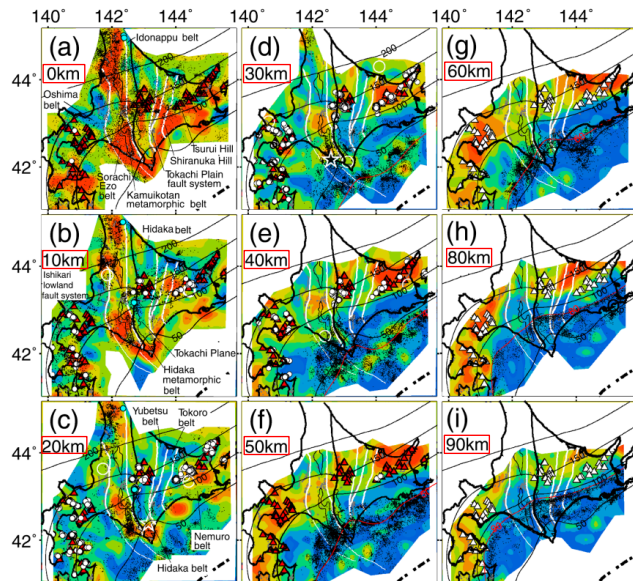
○Nakajima et al. (2001) は、東北日本における地下構造の特徴を示していることから、北海道における地下構造(地震波減衰構造)を示しているKita et al. (2014) をレビューした。

- ・Kita et al. (2014) によれば、高減衰域が北海道東部および南部の背弧下のマントルウェッジ内に明瞭に示されるとされている。
- ・マントルウェッジ内における高減衰域は、Zhao et al. (2012) で示された低速度領域と一致するとされている。
- ・マントルウェッジ内は、低速度領域かつ高減衰域であるとされている。

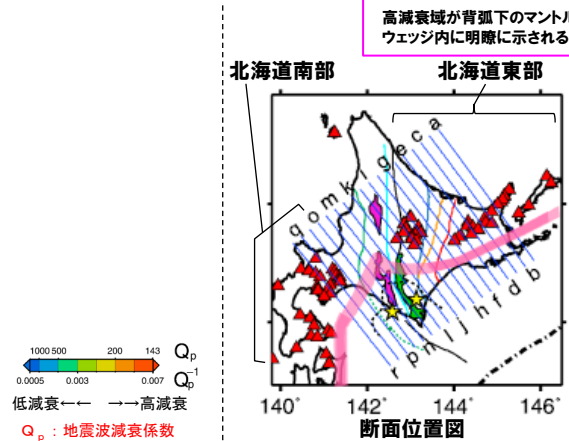
○Kita et al. (2014) においては、北海道の背弧側に低速度かつ高減衰域を示すマントルウェッジが存在するとされ、東北日本弧の延長部である北海道南部(本頁右図q, r断面付近)及び千島弧に属する北海道東部(本頁右図d断面付近及び次頁左図)においては、何れも同様の傾向が認められる。

○これは中島(2017)に示される東北日本の流体移動経路の模式図(次頁右図)とも同様であることから、北海道南部及び東部は東北日本と共通したマグマ供給システムを有すると判断される。

○このため、Nakajima et al. (2001) が、東北日本において水又はメルトの存在を示唆するとしている地震波速度構造(P92~P95参照)の特徴が北海道南部及び東部においても同様であると判断される。



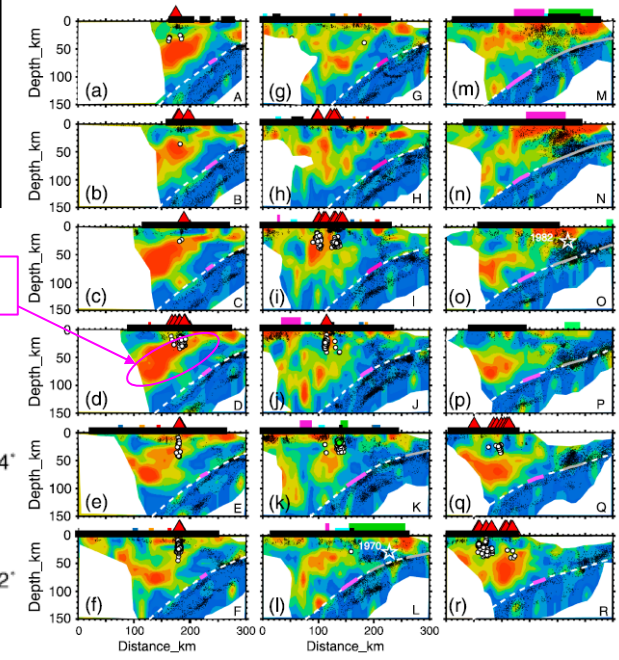
北海道における地震波減衰構造(水平断面) (Kita et al. (2014) に加筆)



凡例

- △ ▲ 活火山、第四紀火山
- 震源\*
- 深部低周波地震震源\*
- - 太平洋プレート表面の等深線

※各深度断面から深度方向±5kmの範囲の地震をプロット



凡例

- ▲ 活火山、第四紀火山
- 震源\*
- 深部低周波地震震源\*

※各深度断面から深度方向±5kmの範囲の地震をプロット

北海道における地震波減衰構造(鉛直断面) (Kita et al. (2014) に加筆)

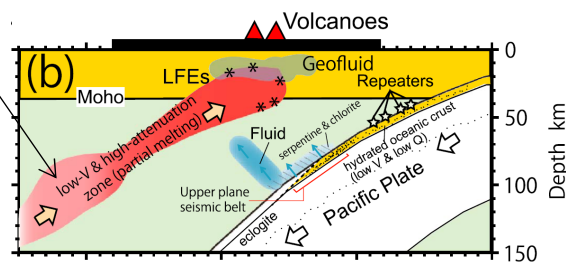


# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## ②-2 文献(地下構造) (5/8)

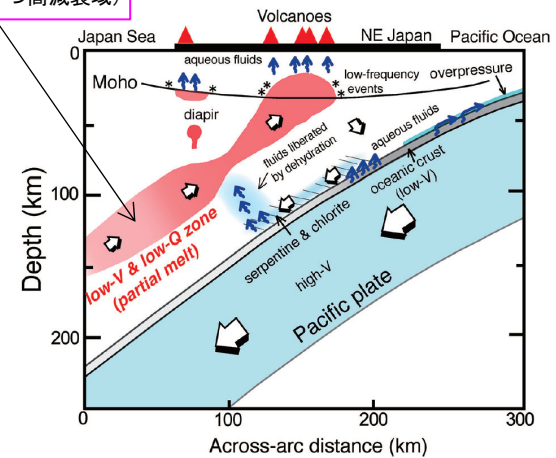
再掲 (R3/10/14審査会合)

マントルウェッジ  
(低速度領域かつ高減衰域)



北海道における流体移動経路の鉛直断面模式図 (Kita et al. (2014) に加筆)

マントルウェッジ  
(低速度領域かつ高減衰域)



東北日本における流体移動経路の鉛直断面模式図 (中島 (2017) に加筆)

## 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

### ②-2 文献(地下構造) (6/8)

#### 【下鶴ほか編(2008)】

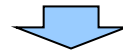
○火山性地震のうち低周波が卓越する地震(低周波地震)及び火山における重力異常について整理されている下鶴ほか編(2008)をレビューした。

#### (低周波地震)

- ・下鶴ほか編(2008)によれば、表面現象を伴わないで発生する地震を、卓越する地震波の周期(周波数)によって、低周波、長周期、超長周期地震と呼び分けるとされている。
- ・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。

#### (重力異常)

- ・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るとされている。
- ・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。



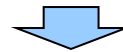
- 下鶴ほか編(2008)を踏まえ、地震波速度構造の確認においては、火山直下の上部地殻内(約20km以浅)における低周波地震の分布状況についても考慮する。
- 重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関して考察されている文献について確認する。

## 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

### ②-3 文献(地下構造) (7/8)

#### 【後藤・三ヶ田(2008)】

- 電磁気探査の概要について整理されている, 後藤・三ヶ田(2008)をレビューした。
  - ・後藤・三ヶ田(2008)によれば, 地震波トモグラフィーでは流体により数%変化する地震波速度を議論するのに対し, 比抵抗では数倍以上の変化でとらえることが可能な場合があるとされている。
  - ・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。



- 後藤・三ヶ田(2008)を踏まえ, 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。

余白

# 2.3.2 巨大噴火の可能性評価方法

## ②-3 文献(地下構造) (8/8)

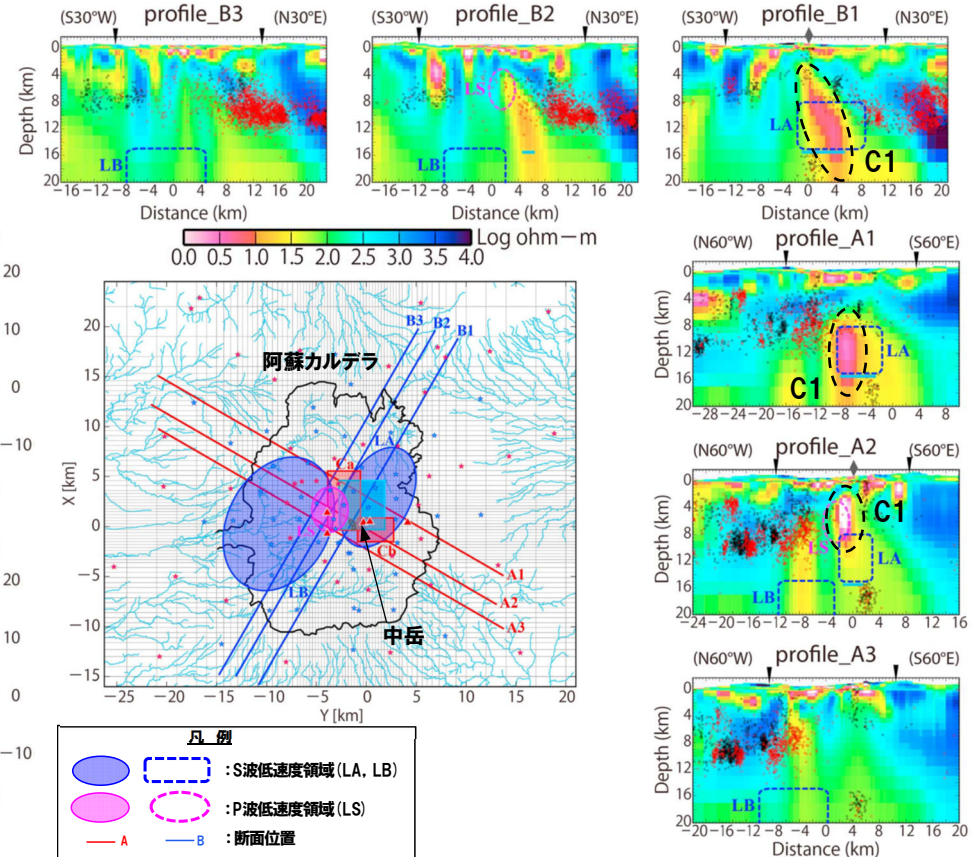
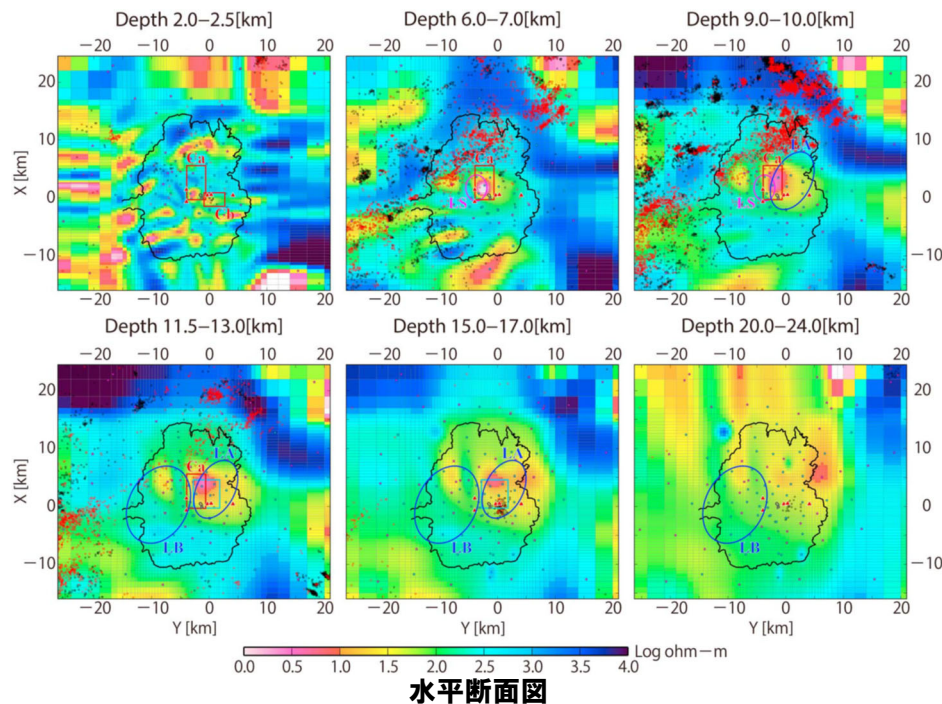
【Hata et al. (2018)】

○阿蘇カルデラにおいて、MT法による電磁気探査を行っているHata et al. (2018) をレビューした。

- Hata et al. (2018) によれば、電磁気解析によって得られる比抵抗構造では、母岩に含まれる数%の流体(水またはメルト等)にも敏感で、特に相互につながった流体の場合には、マグマ溜まりを明確に検出するのに最適な方法であるとされている。
- 阿蘇カルデラ直下に認められる低比抵抗領域は、S波低速度領域(下図LA及びLB)及びP波低速度領域(下図LS)と調和的であるとされている。
- 最も比抵抗の低い(0.3~40 Ωm)領域が中岳第一火口直下の深度2~20kmに広がっている(下図C1)とされ、深部から深度6km程度のマグマ溜まりへマグマを供給する一連のマグマ供給システムであるとされている。



○Hata et al. (2018) に基づくと、阿蘇カルデラ直下においては、マグマ供給システムとされている低比抵抗領域は、地震波低速度領域の分布と調和的とされている。



阿蘇カルデラにおける比抵抗構造 (Hata et al. (2018) に加筆)



1. 火山影響評価の概要	P. 9
2. 立地評価	P. 14
2. 1 文献調査	P. 17
2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 27
2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 35
2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 39
2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法	P. 89
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P.103
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P.143
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P.185
2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P.227
2. 5 立地評価まとめ	P.291
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.296
参考文献	P.309

・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: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)

# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 泊発電所における火山影響評価のうち立地評価の流れ

立地評価

### 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  
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

○「噴出物体積が20km<sup>3</sup>以上」であり、「火砕流堆積物が広範囲に分布」す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

※洞爺火砕流に関する検討  
(詳細は補足説明資料)

補足4章 積丹半島西岸における洞爺火砕流堆積物の有無に関する検討

○積丹半島西岸においては、洞爺火砕流堆積物は認められない。

補足7章 洞爺火砕流が敷地に到達した可能性に関する検討

○洞爺火砕流が、敷地のうち、Mm1段丘より低標高部である海側に到達した可能性を否定できない\*。

#### 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)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

#### 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)

13火山(巨大噴火以外)

※本検討結果を踏まえたモニタリング対象火山の抽出については、「4. モニタリング」で今後説明予定。

### 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

## 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

### 【評価結果】支笏カルデラの巨大噴火の可能性評価

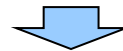
- 支笏カルデラにおいて約4万年前にSp-1(支笏第1降下軽石(Spfa-1)及び支笏火砕流(Spfl))を噴出した噴火は、噴出物体積が80km<sup>3</sup>(火砕流, DRE)及び40~48km<sup>3</sup>(降下軽石, DRE)とされ、火砕流堆積物が広範囲に分布することから、巨大噴火に該当する。
- 活動履歴及び地球物理学的調査(地下構造(地震波速度構造, 比抵抗構造及び重力異常), 火山性地震及び地殻変動)の結果から、支笏カルデラの現在の活動状況は巨大噴火が差し迫った状態ではないと評価でき、運用期間中における巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠が得ら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	<ul style="list-style-type: none"> <li>○支笏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。</li> <li>○網羅的な文献調査の結果、支笏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。</li> </ul>	次頁～ P109	
地球物理学的調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> <li>【②-1 地震波速度構造】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・支笏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。</li> </ul> </li> <li>【②-2 比抵抗構造】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul> </li> <li>【②-3 重力異常】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul> </li> </ul>	P110～ P111	
	③火山性地震	○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。	P124～ P128
	④地殻変動	○地殻変動は、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。	P129～ P139
		○支笏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。	

## 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

### ① 活動履歴 (1/3)

- 活動履歴から、支笏カルデラの現在の活動状況について検討を実施した。
- 支笏カルデラ、恵庭岳、風不死岳及び樽前山の活動履歴を次頁～P109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4万年前にSp-1(支笏第1降下軽石(Spfa-1)及び支笏火砕流(Spfl))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り、最新の活動は1981年の樽前山の噴火である。
  - ・約4万年前にSp-1を噴出した噴火は、噴出物体積が80km<sup>3</sup>(火砕流, DRE)及び40～48km<sup>3</sup>(降下軽石, DRE)とされ、火砕流堆積物が広範囲に分布することから(P51～P57参照)、巨大噴火に該当する。
  - ・約4万年前にSp-1を噴出した噴火以降の後カルデラ期においては、風不死岳の噴出物体積の総和が8.4km<sup>3</sup>(DRE)、恵庭岳の噴出物体積の総和が11.1km<sup>3</sup>(DRE)、樽前山の噴出物体積のうち最大のものが6.28km<sup>3</sup>(DRE)であることから、いずれの噴火も巨大噴火に該当しない。
  - ・約6万年前にSp-4(Ssfa及びSsfl)を噴出した噴火は、噴出規模がVEI6とされているものの、火砕流の規模及び分布が不明である。



- 支笏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、支笏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。

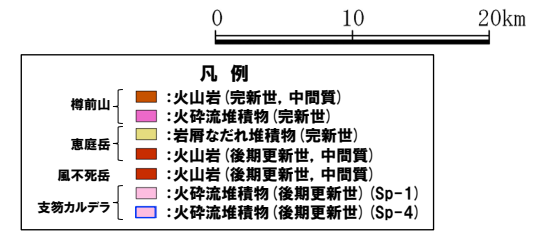
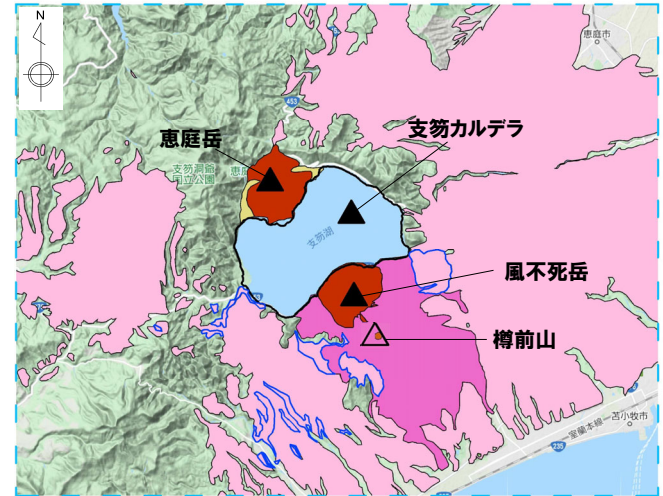
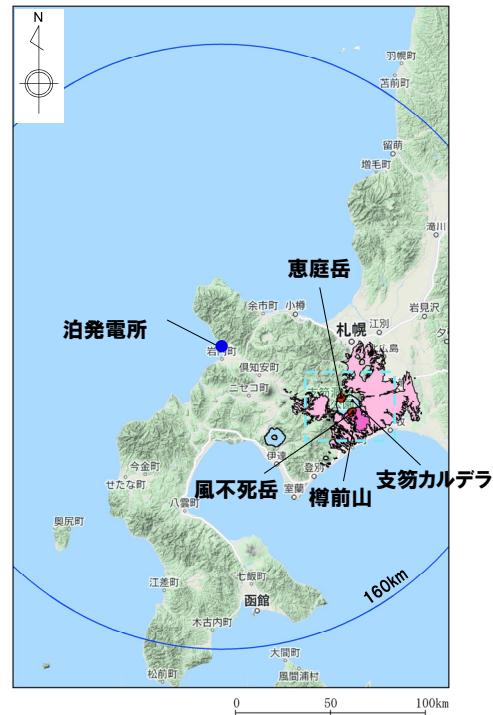


## 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

### ① 活動履歴 (2/3)

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※2	支笏カルデラ:5-4万年前にカルデラ形成 恵庭岳:約1万5000年前にはある程度の山体が形成されていた 風不死岳:支笏カルデラ形成後に活動(4万年前以降)。大部分は恵庭火山より古い。最新のマグマ噴火は8500年前, 水蒸気噴火は4500年前 樽前山:約9000年前以降
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7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7月確認。

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)

余白

# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## ① 活動履歴 (3/3)

一部修正 (H28/2/5審査会合)

支笏カルデラ活動履歴※1

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km <sup>3</sup> )	火山体体積 (km <sup>3</sup> )	参考文献
第四紀	更新世 カルデラ形成噴火 43.8-41.4ka 長期的前駆活動 ca.55ka ca.59ka ca.61ka ca.85ka	Sp-1 (Spfa-1, Spfl) : ps, pfa, pfl 40~48 (降下軽石) 80 (火砕流) 1.2 VEI6※2 smaller than VEI5 class※2	-	山元 (2014) 金田ほか (2020) Amma-Miyasaka et al. (2020) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2022)

樽前山活動履歴

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km <sup>3</sup> )	火山体体積 (km <sup>3</sup> )	参考文献
第四紀	完新世 19世紀以降 A.D.1909 明治42年新山 A.D.1883 溶岩流 A.D.1874 1874fl, Ta-1874 A.D.1867 溶岩ドーム A.D.1804-1817 Ta-1804-1817 A.D.1739 Ta-a A.D.1667 Ta-b 2.0ka Ta-c3 2.5ka Ta-c2 2.5ka Ta-c1 8.950ka Ta-d (d1,d2) 8.95-0.146ka 溶岩ドーム	(水蒸気爆発) 0.02 0.00001 0.20 0.03 1.60 1.10 0.03 1.40 0.14 1.40 6.28	4 (火砕丘) 1.8 (火砕流噴出物)	第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)

恵庭岳活動履歴

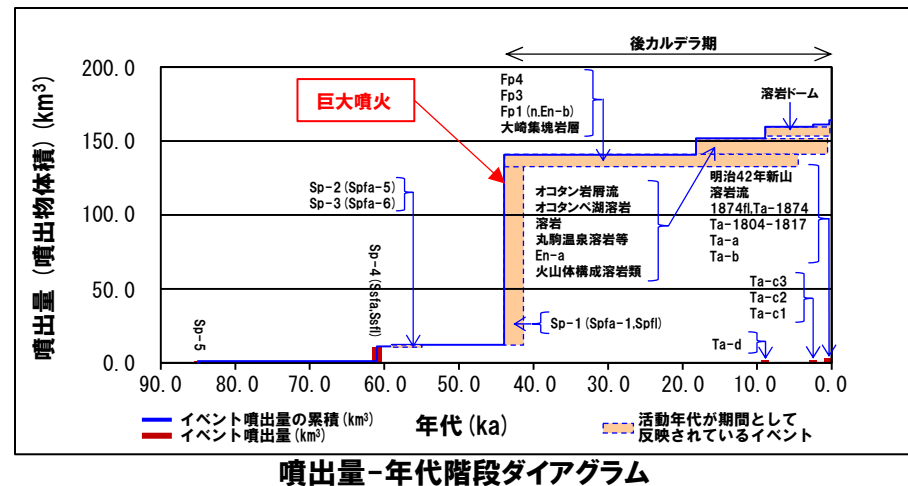
年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km <sup>3</sup> )	火山体体積 (km <sup>3</sup> )	参考文献
第四紀	完新世 - 水蒸気爆発 0.254-0.505ka オコタン岩屑流 - ポロピナイ岩屑流 2.04ka オコタンベ湖溶岩 9.52ka 溶岩	11.1	5.7	第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)
更新世	15.62ka 丸駒温泉溶岩等 18.21ka En-a 18.21ka以前 火山体構成溶岩類			

風不死岳活動履歴

年代	噴出物名	噴出物体積 DRE (km <sup>3</sup> )	火山体体積 (km <sup>3</sup> )	参考文献
第四紀	完新世 4.475ka Fp4 8.465ka Fp3 不明 Fp2	8.4	5.7	第四紀火山カタログ委員会編 (2000) 山元 (2014)
更新世	25.5ka Fp1 (n,En-b) 不明 第3期溶岩 不明 諸畑の沢溶結凝灰岩 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 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、より新しい知見である金田ほか (2020) 及びAmma-Miyasaka et al. (2020) に基づき見直した。

※2 Amma-Miyasaka et al. (2020) によれば、Sp-4及びSp-5の噴出規模は、それぞれ概算として「VEI6」及び「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、噴出物体積 (DRE) を以下のとおり図示している。  
 ・Sp-4: 10km<sup>3</sup>  
 ・Sp-5: 1km<sup>3</sup>



# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 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)

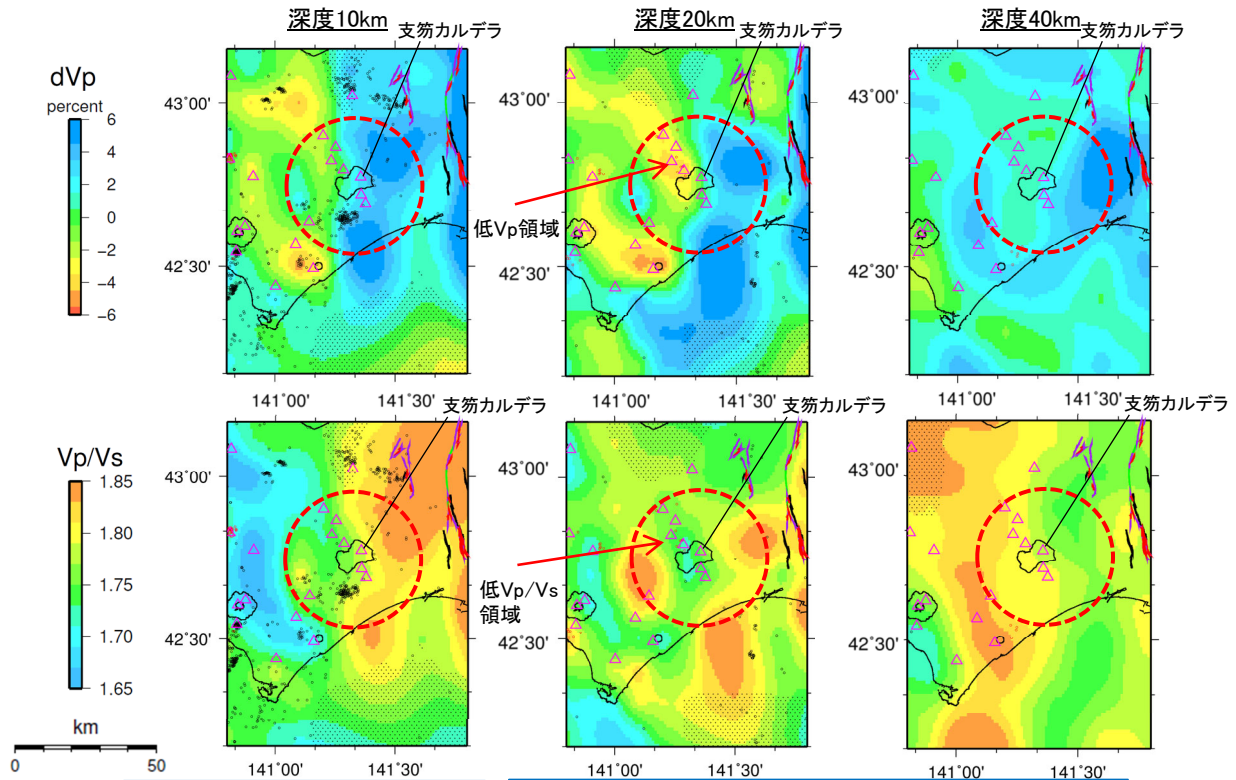
- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細は Matsubara et al. (2019) に記載)。その公開データを用いて、当社が支笏カルデラ周辺における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- 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。

【当社におけるマグマ溜まりの状況の検討方法(P90~P101参照)】

- 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)をトレース
- 推定活断層 }
- 支笏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。

支笏カルデラ周辺では、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

支笏カルデラ周辺では、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。

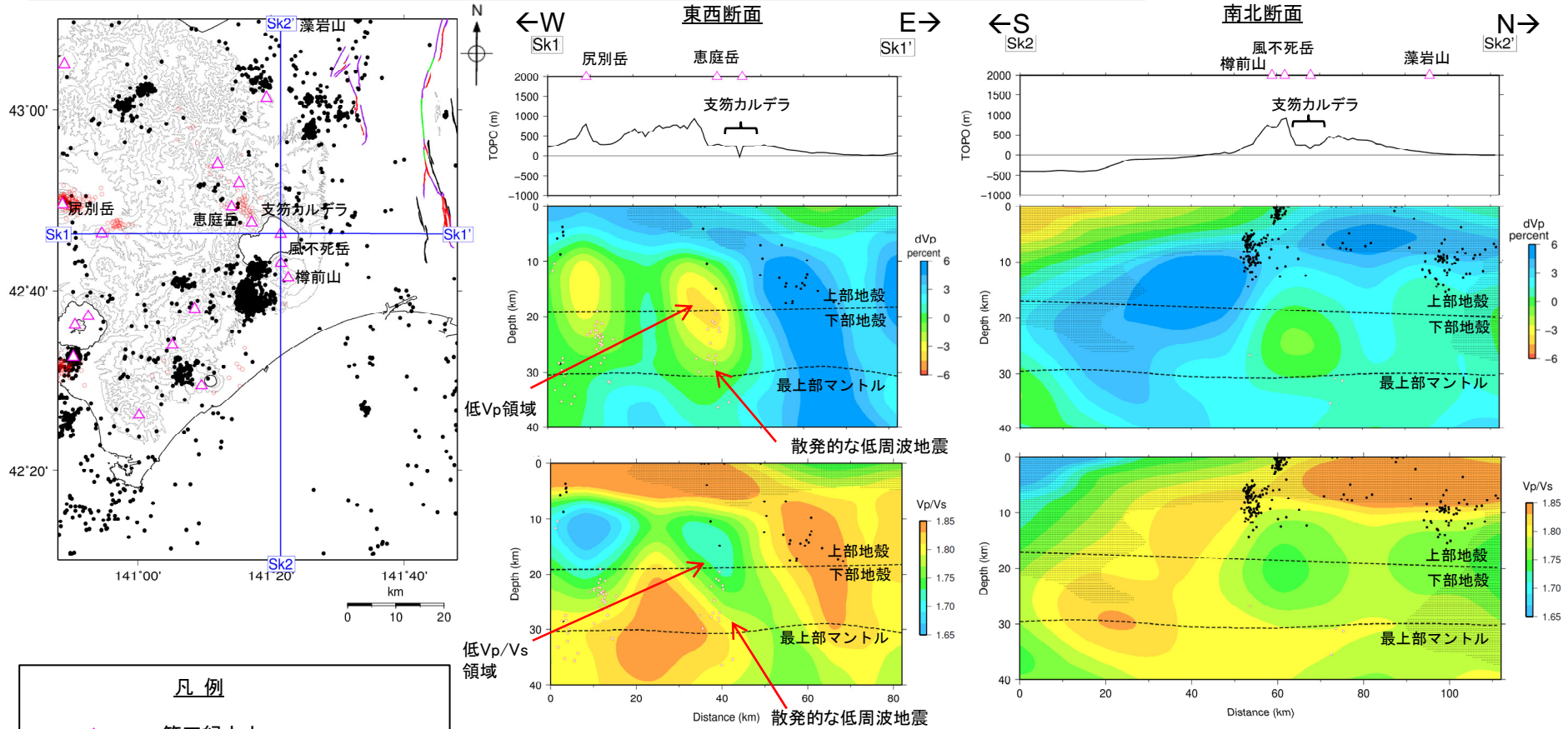
地震波速度構造(水平断面)



# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## ②-1 地球物理学的調査(地下構造:地震波速度構造) (2/2)

一部修正 (R3/10/14審査会合)



**凡例**

- △ 第四紀火山
- 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
- 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)※
- 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
- 活断層
- 推定活断層

今泉ほか編(2018)をトレース

支笏カルデラ直下の上部地殻内(約20km以浅)には、カルデラの西方の深度10~20km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。  
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。



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)(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～P115参照)】

○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(P115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(P115参照)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) (P117参照)】

○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(P117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(P118～P121参照)。

## 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)

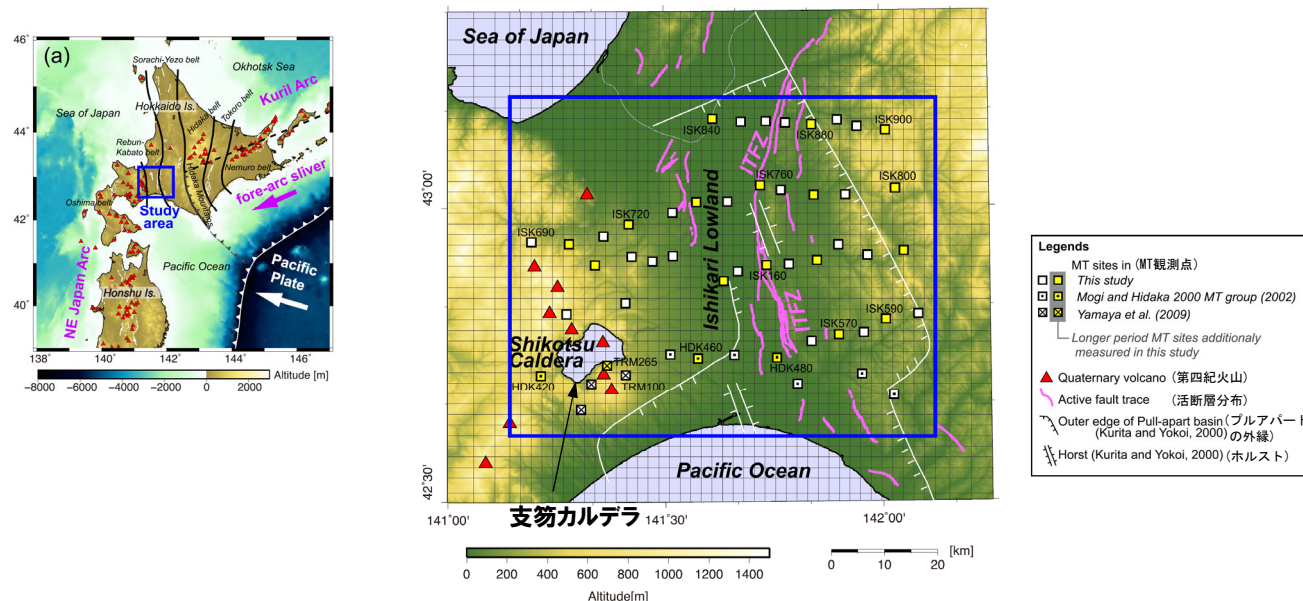
【Yamaya et al. (2017)】

○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。



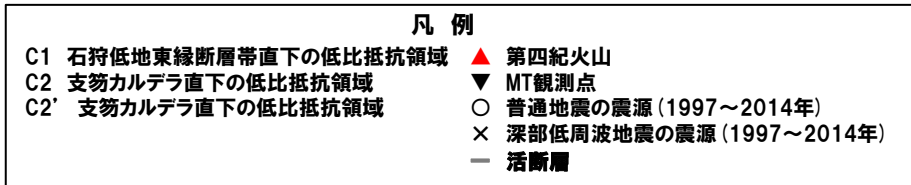
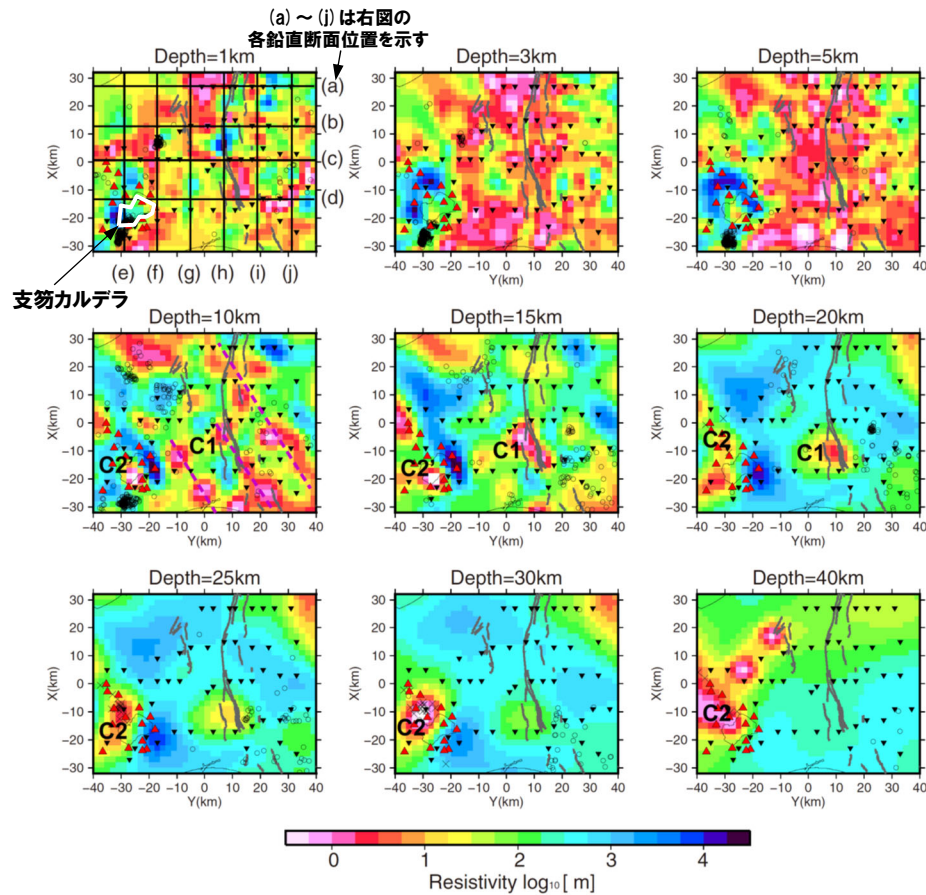
○Yamaya et al. (2017) に基づくと、支笏カルデラ直下には、部分熔融域又はマグマ由来の水が深部から上部地殻(約20km以浅)へ上昇する経路及び貯留域の存在を示唆する低比抵抗領域が認められる。



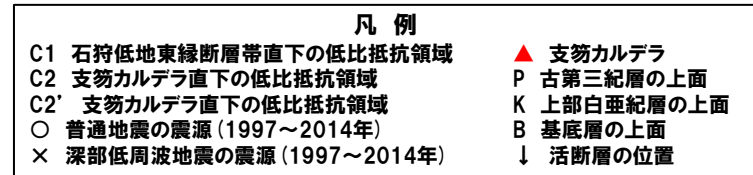
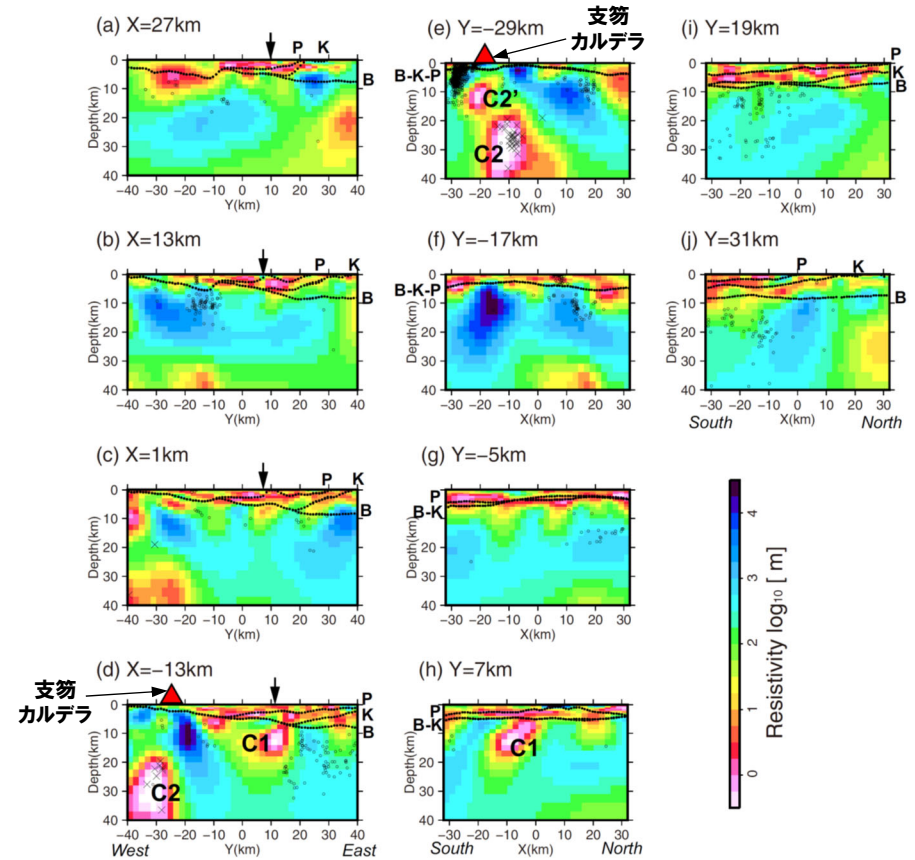
調査地域位置図(左図)及びMT測定地点位置図(右図)(Yamaya et al. (2017) に加筆)

# 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)】

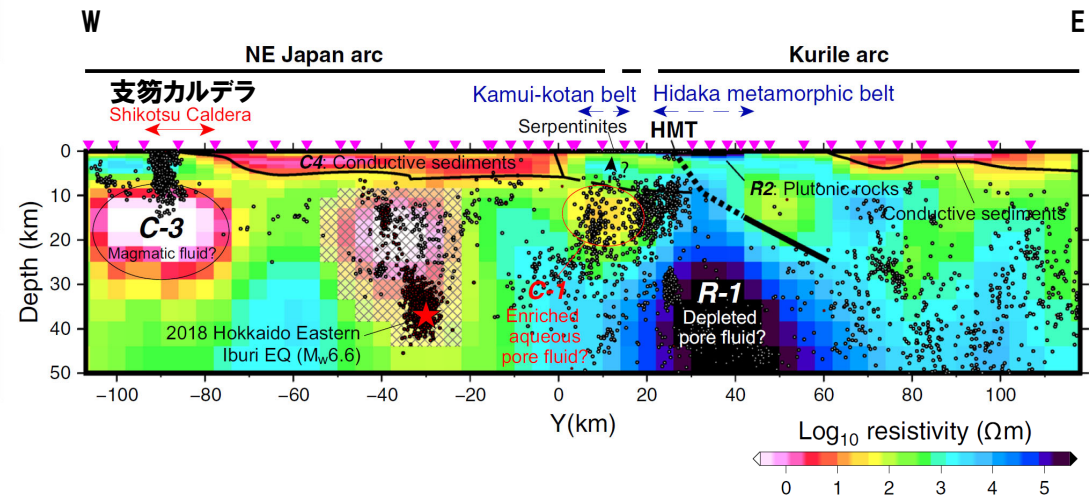
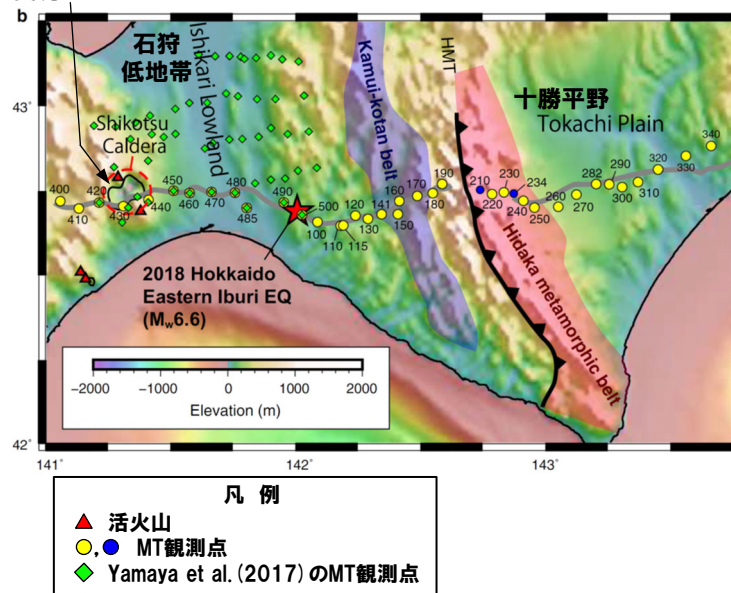
○支笏カルデラを含む石狩低地帯周辺から十勝平野にかけて、MT法による電磁気探査を実施しているIchihara et al. (2019) をレビューした。

- ・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) (P114~P115参照) 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)が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。

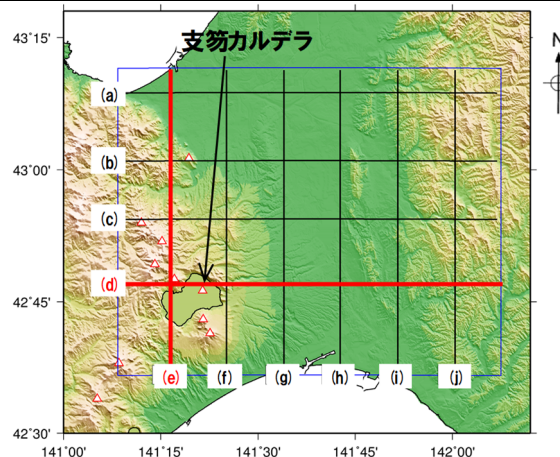
#### 【Yamaya et al. (2017) の(d) 断面及び(e) 断面に対応する地震波速度構造】

- 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(P92~P97参照)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(P298~P303参照)。

※次頁及びP121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。



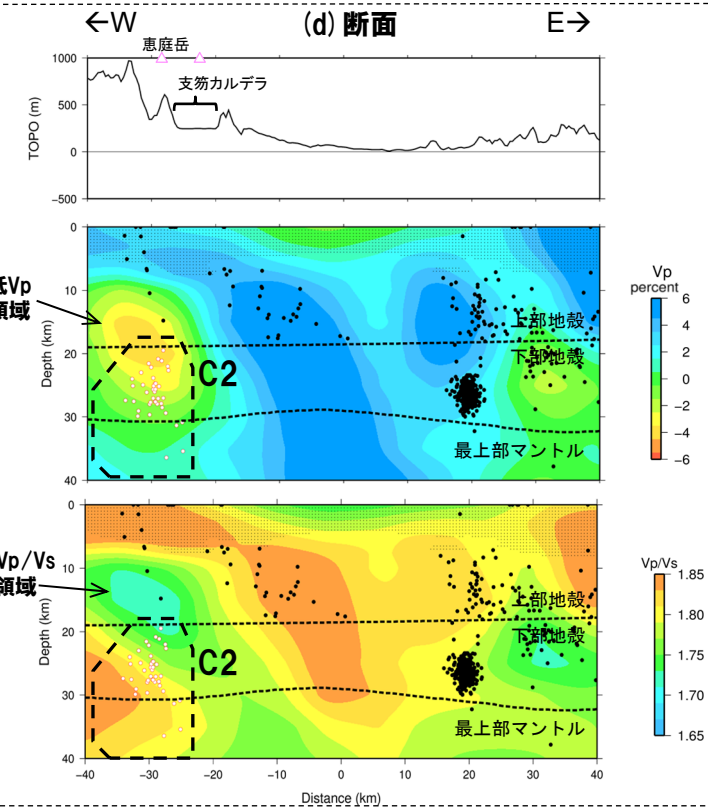
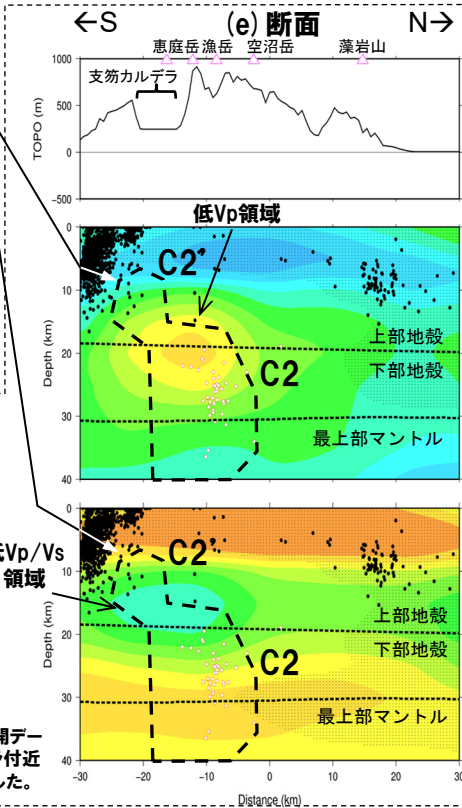
次頁鉛直断面位置図

(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。



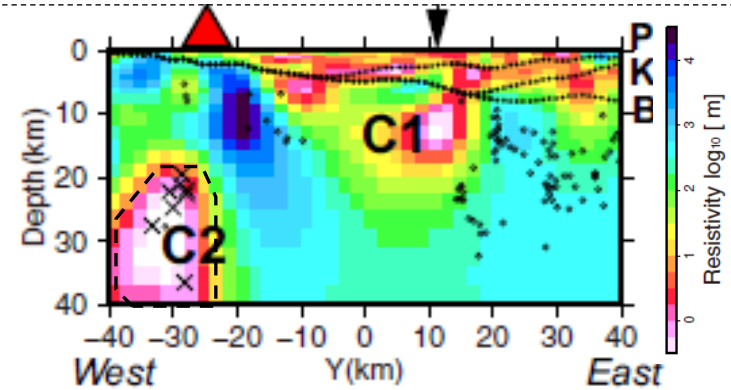
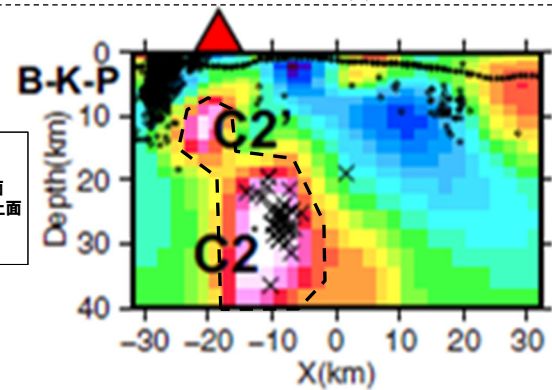
- 凡例(地震波速度構造)
- △ 第四紀火山
  - 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
  - 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
  - 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
  - Yamaya et al. (2017) に示される低比抵抗領域「C2」及び「C2'」

### 地震波速度構造(鉛直断面)※

※「日本列島下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 上部白亜紀層の上面
  - 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)

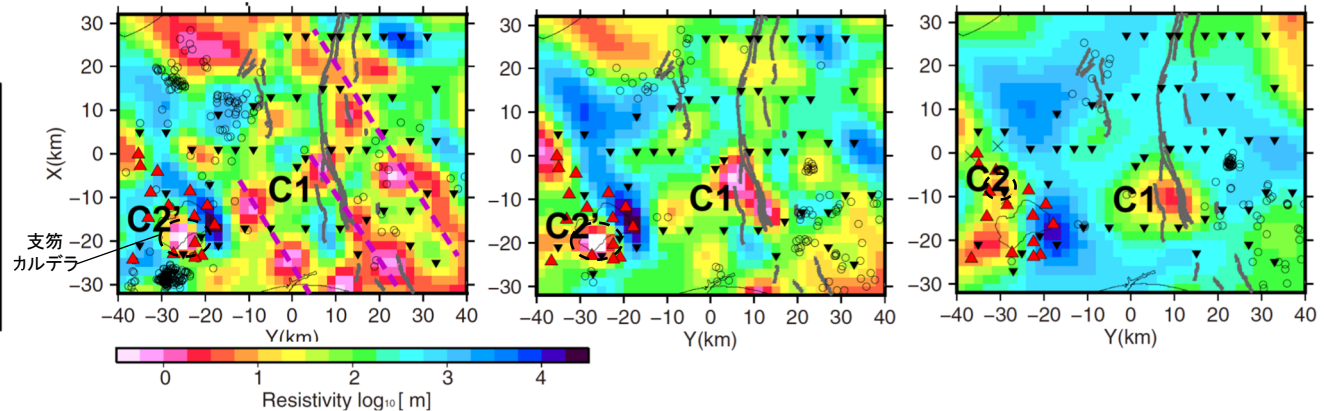
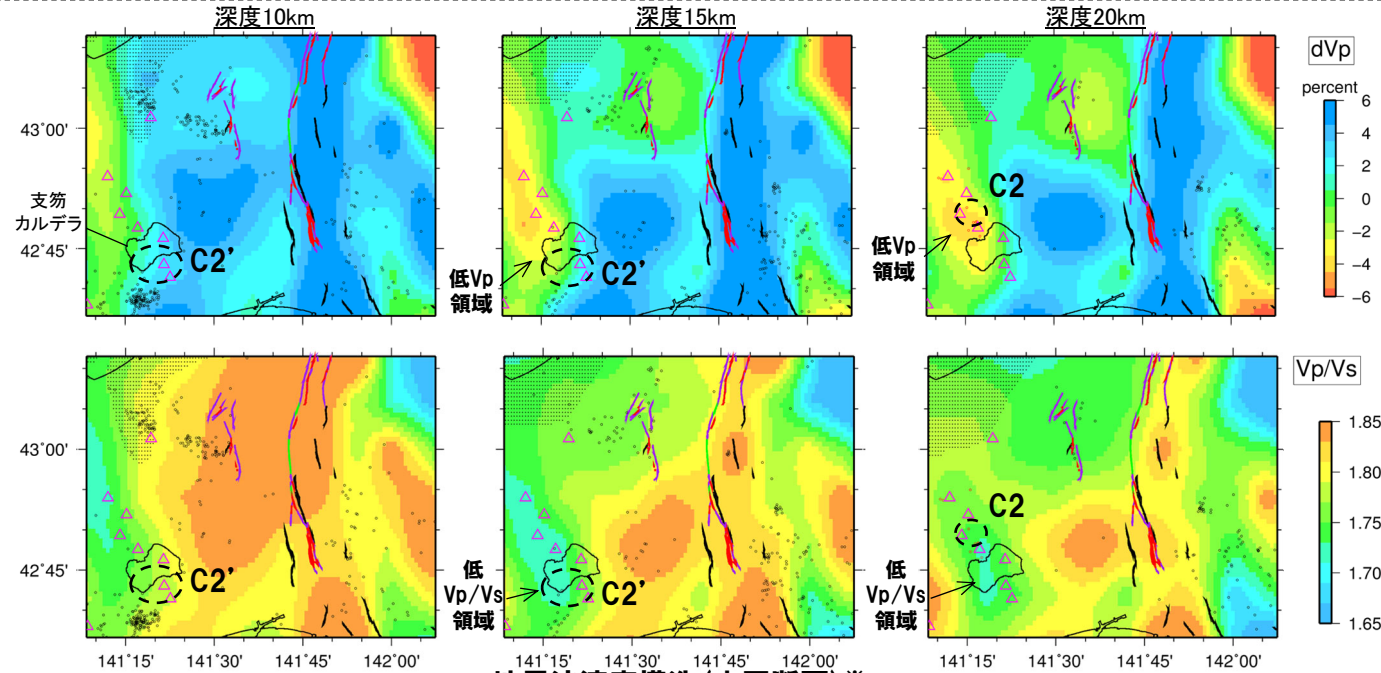


余白



# 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)

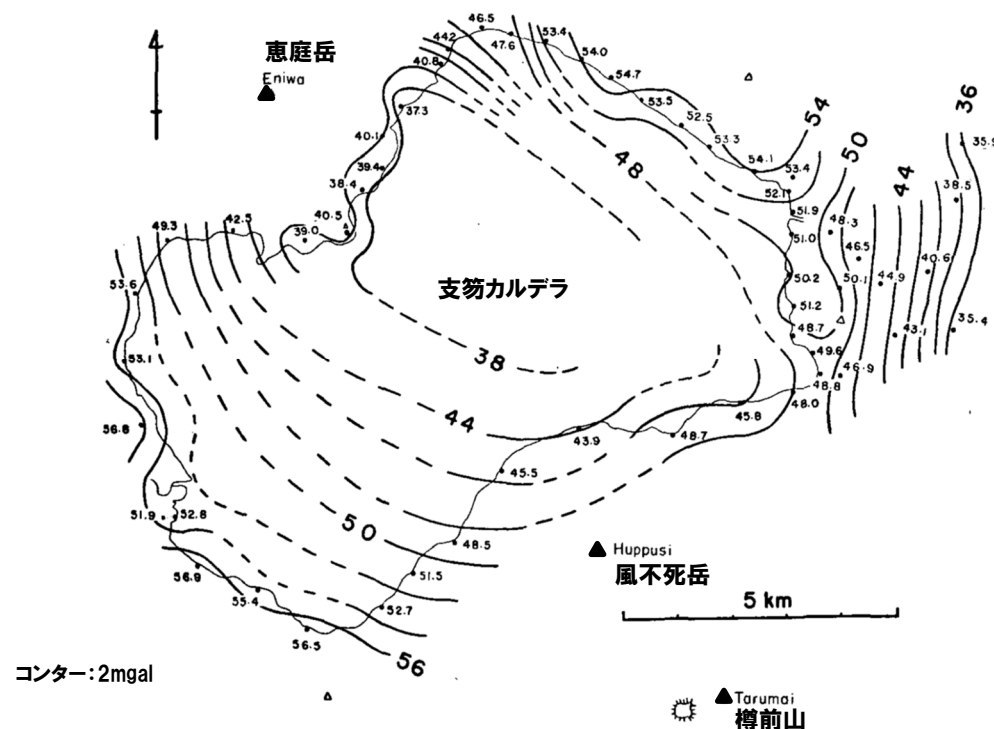
### ②-3 地球物理学的調査(地下構造:重力異常)

【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(P110~P111参照)】

- 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 $V_p$ かつ高 $V_p/V_s$ 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(P113~P121参照)】

- 文献(Yamaya et al.(2017)及び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、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。

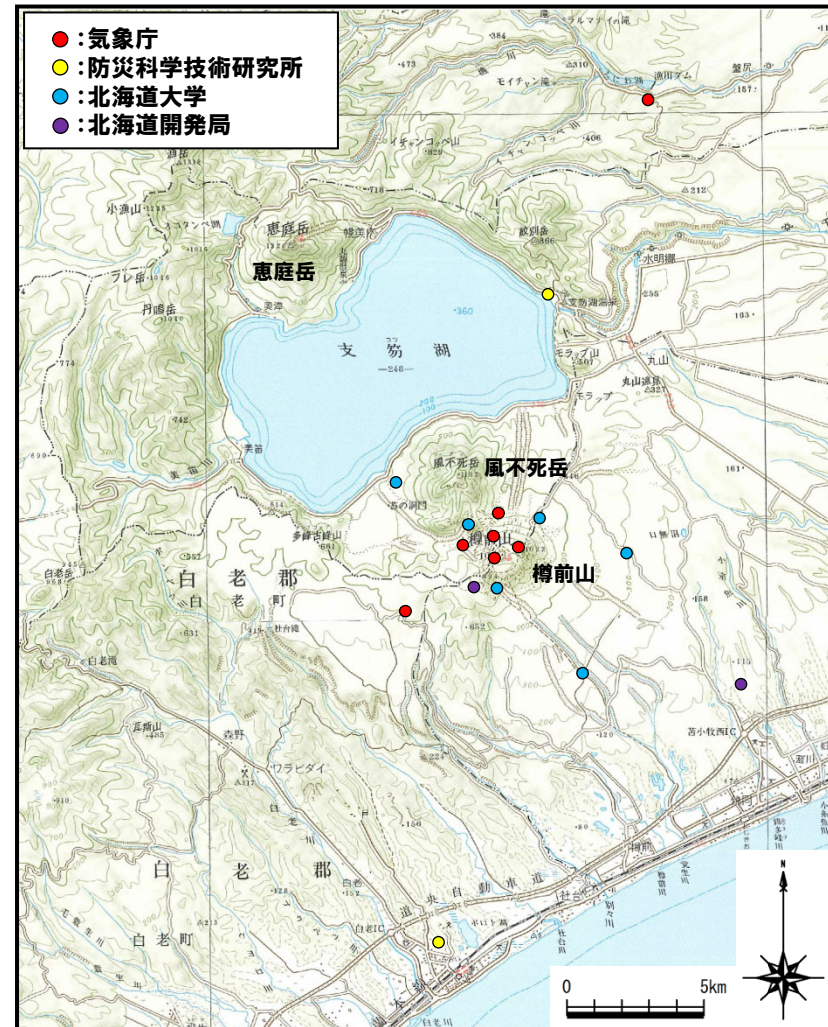
## 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

### 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)

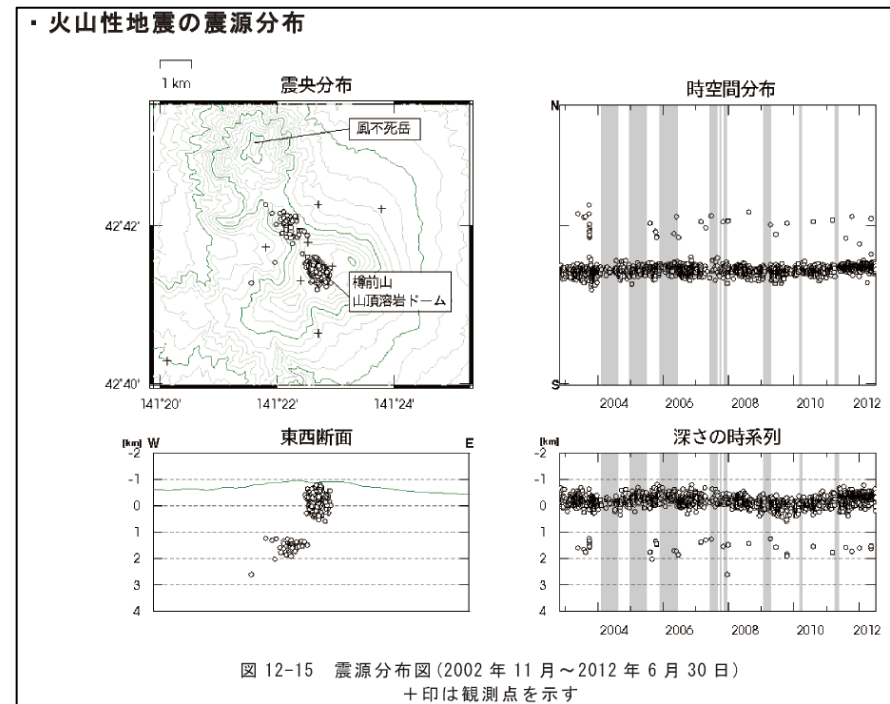
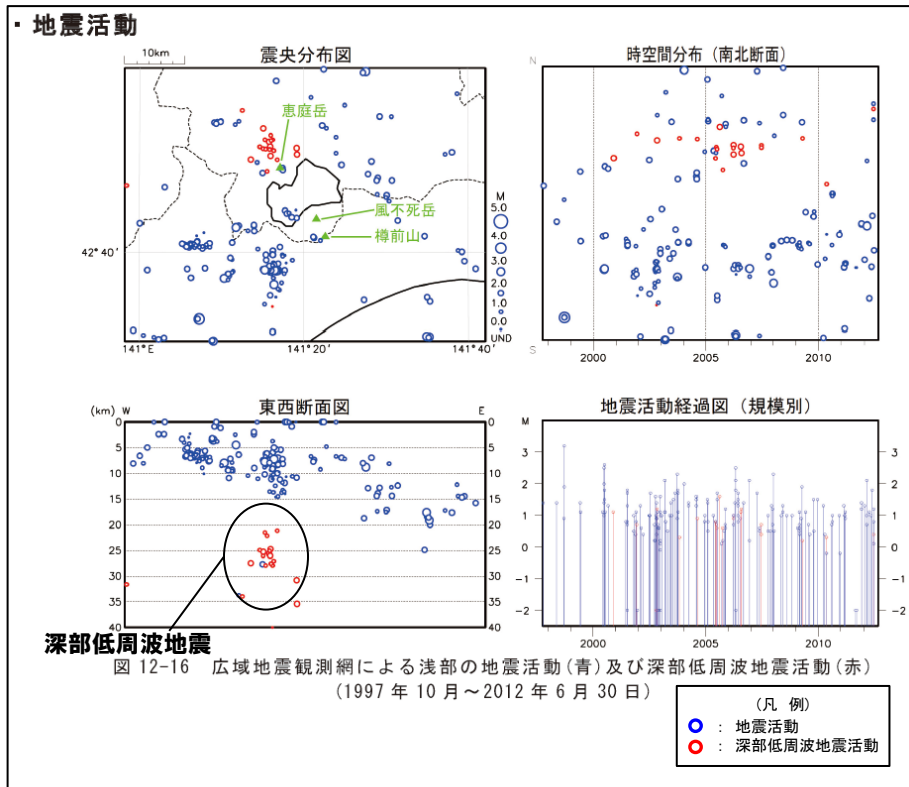
# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 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。
- 浅部の地震活動は、樽前山周辺に認められるが、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 深部低周波地震活動は、恵庭岳周辺(深さ20～35km程度)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。



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)



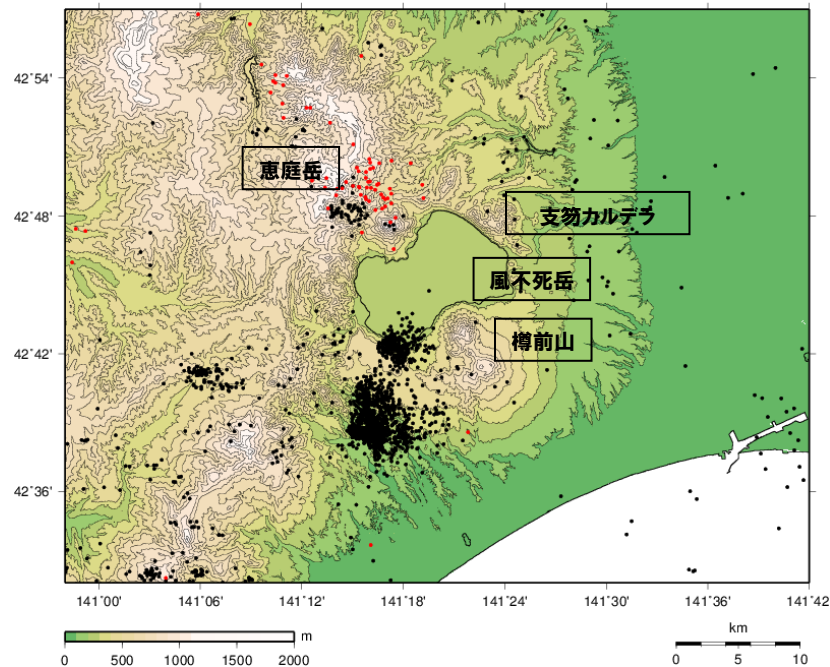
# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 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)及び気象庁一元化処理検測値データ】

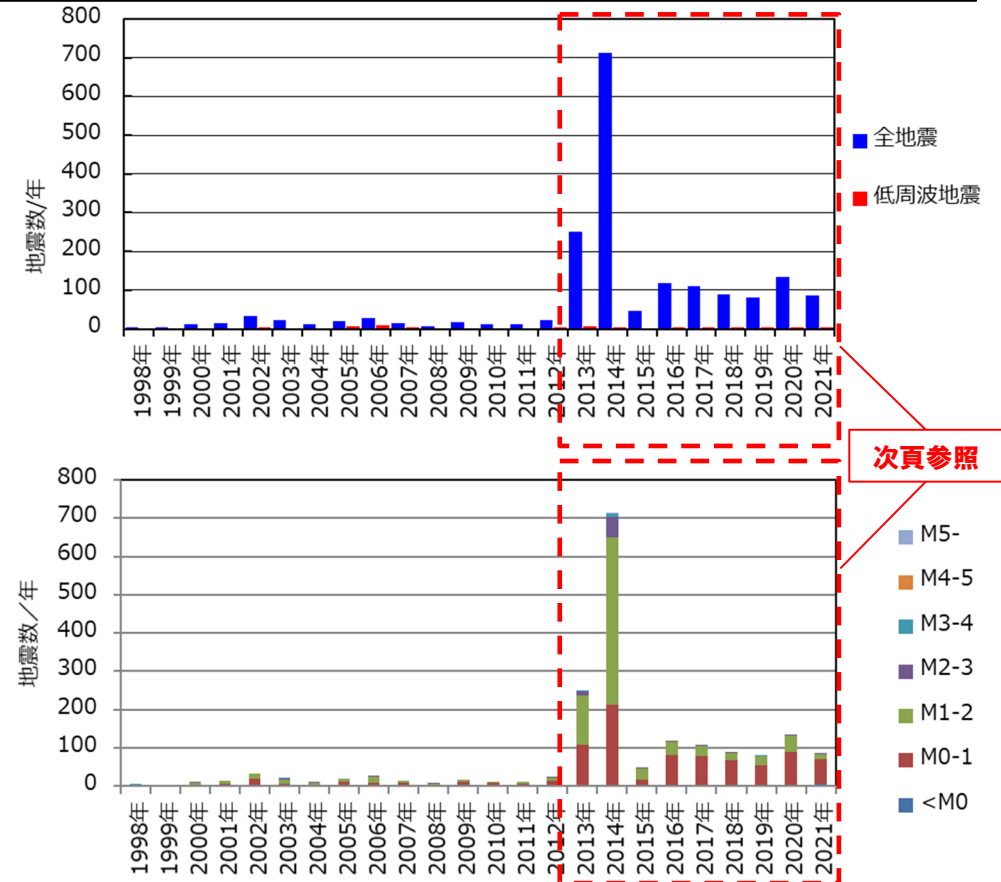
- 過去約40年間(1983年1月～2021年9月)における支笏カルデラ周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(1983年1月～2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)を使用した。
- 支笏カルデラ周辺においては、カルデラ南方の樽前山周辺に震央が集中しており、カルデラ北西方の恵庭岳周辺で散発的に低周波地震の分布が認められる。
- マグニチュード1以上の地震は2013年及び2014年に増加傾向が認められるが、その後減少し、地震活動は低調に経過している(下図及び次頁参照)。
- 低周波地震の発生は少なく、近年発生数が増加しているような傾向は認められない。



1983/1/1～2020/3/31:  
気象庁地震月報(カタログ編)  
2020/4/1～2021/9/30:  
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～2021年9月30日の記録, 深さ40km以浅)



地震発生数の年別時間変化※1, 2 (1998～2021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 2021年は1月1日～9月30日のデータを掲載。



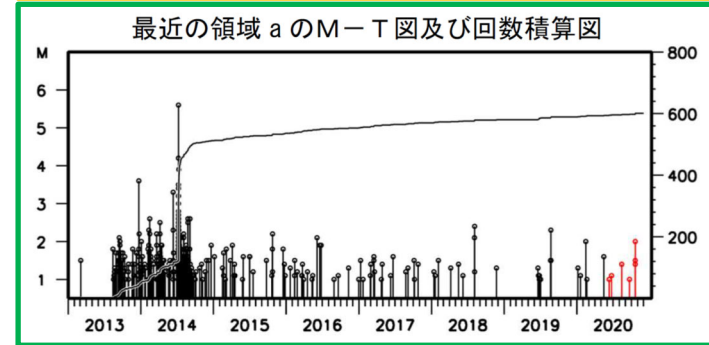
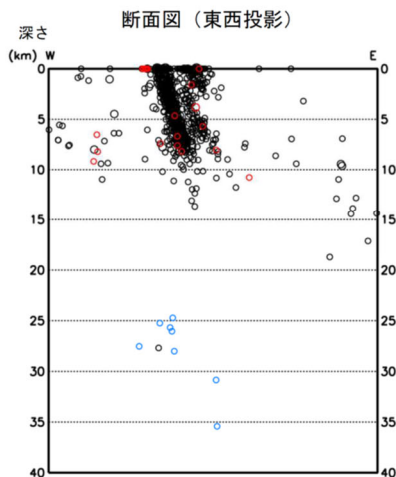
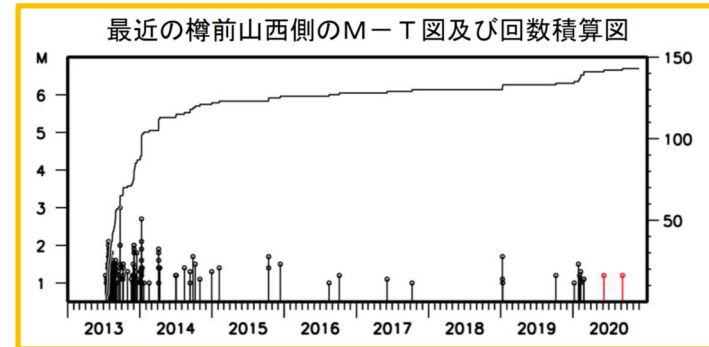
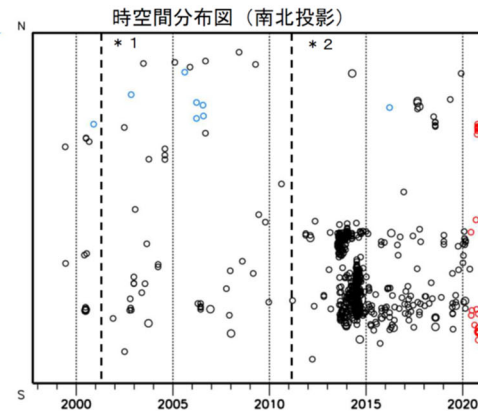
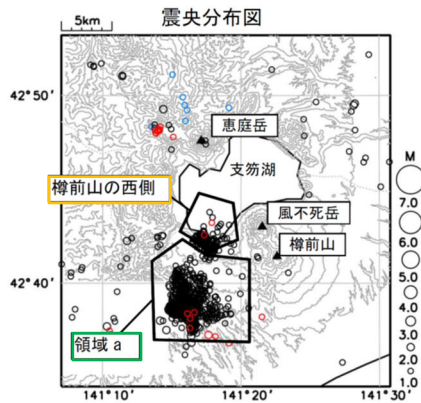
# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 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, 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動が示されてい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。



凡例

- : 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。

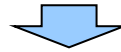
樽前山 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動 (1997年10月1日~2020年11月30日, M $\geq$ 1.0, 深さ40km以浅) (気象庁(2020)に加筆)

## 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)

- 支笏カルデラ周辺の地震活動について文献調査を行った。
- 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)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)について検討した。
- 調査・検討の結果は以下のとおり。
  - ・浅部の地震活動は、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
  - ・深部低周波地震活動は、恵庭岳周辺(深さ20～35km程度)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は、カルデラ南方の樽前山周辺に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2013年及び2014年に増加傾向が認められるが、その後減少し、現在、地震活動は低調に経過している。



- 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。

# 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)

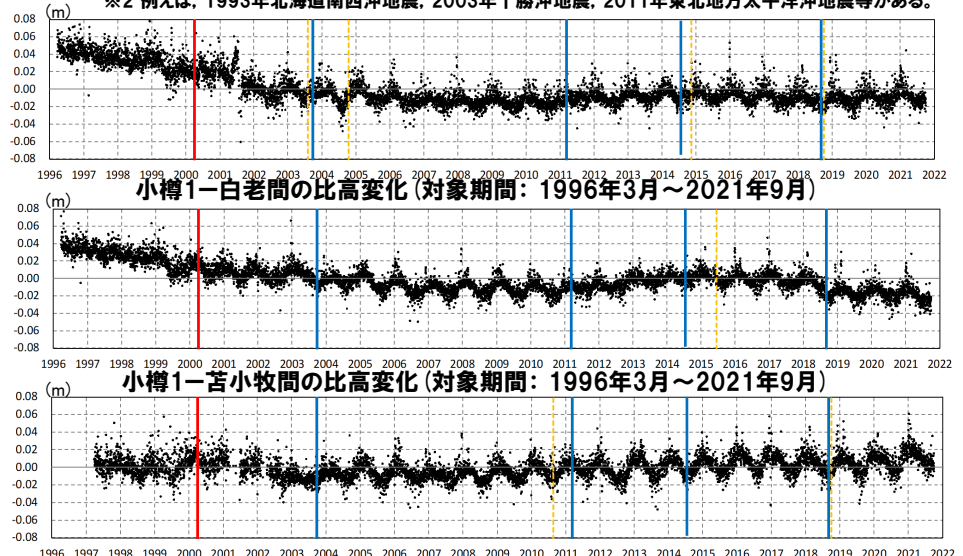
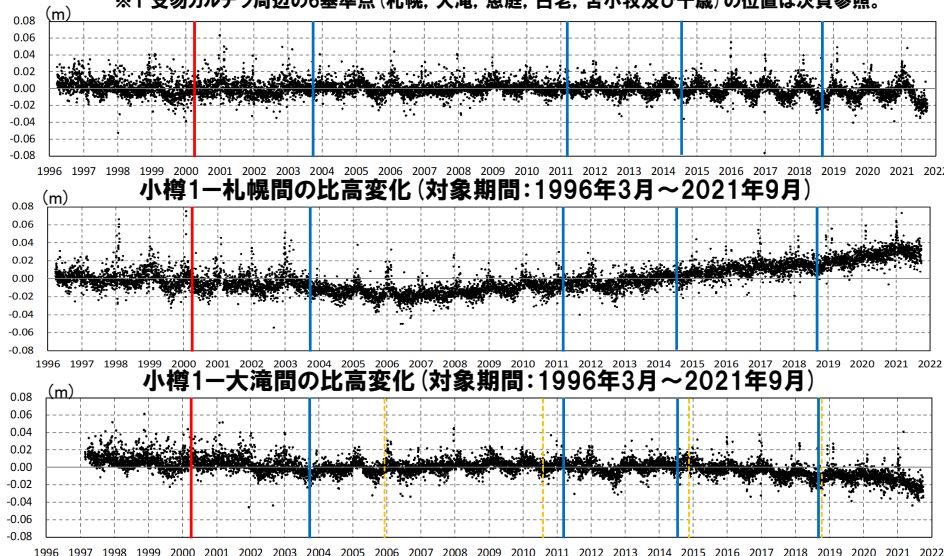
一部修正(R3/10/14審査会合)

### 【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(P208～P213参照)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～P133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。

※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-札幌間の比高変化(対象期間:1996年3月～2021年9月)

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-大滝間の比高変化(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)

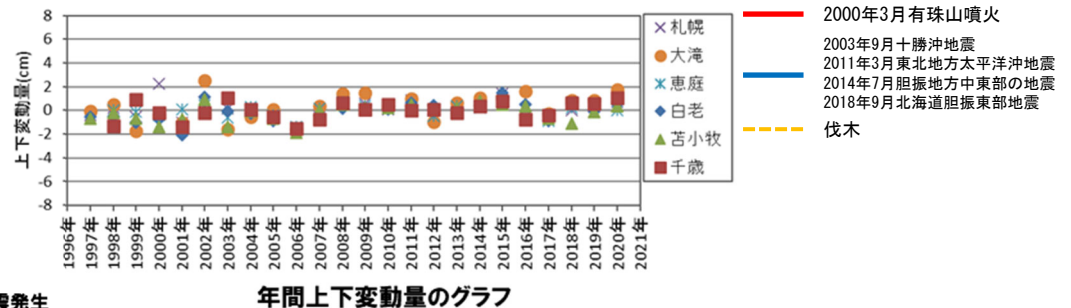
小樽1-恵庭間の比高変化(対象期間:1997年2月～2021年9月)

小樽1-千歳間の比高変化(対象期間:1997年3月～2021年9月)

	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
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
札幌	+0.55	+0.11	+0.83	-0.69	+0.31	+0.29	+1.44	-0.44	-0.44	+0.02	+0.28	+0.71
大滝	+1.50	+0.29	+0.99	-0.94	+0.62	+1.03	+1.66	-0.29	+0.88	+0.82	+1.74	
恵庭	+0.33	+0.32	+0.20	-0.45	+0.35	+0.26	+0.65	+0.06	-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	+0.50	-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	+0.58	+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



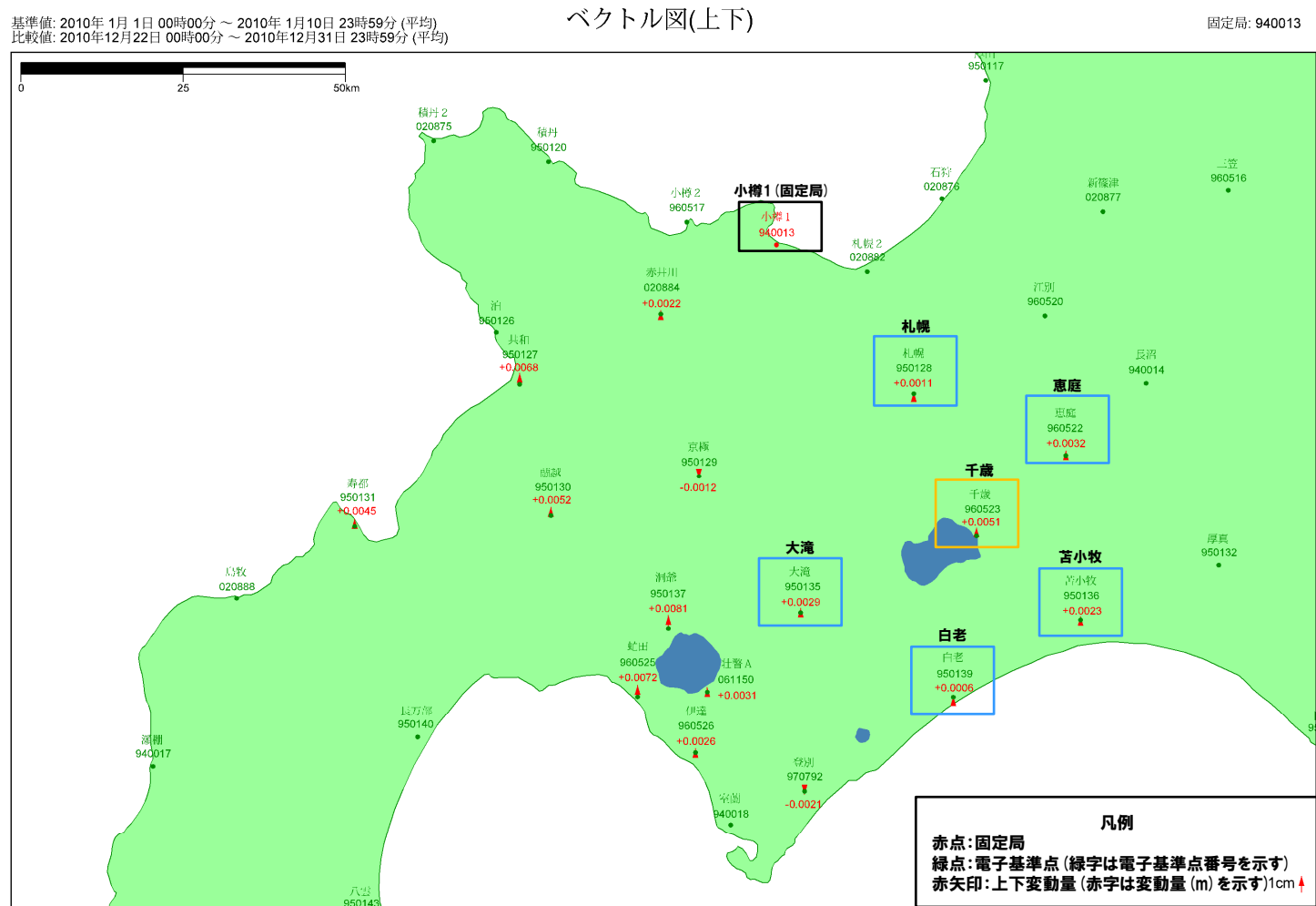
年間上下変動量のグラフ

# 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)(2/10)

一部修正(R3/10/14審査会合)

- 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。
- 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1-千歳間の+5.1mmである。



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)





# 2.3.3 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)

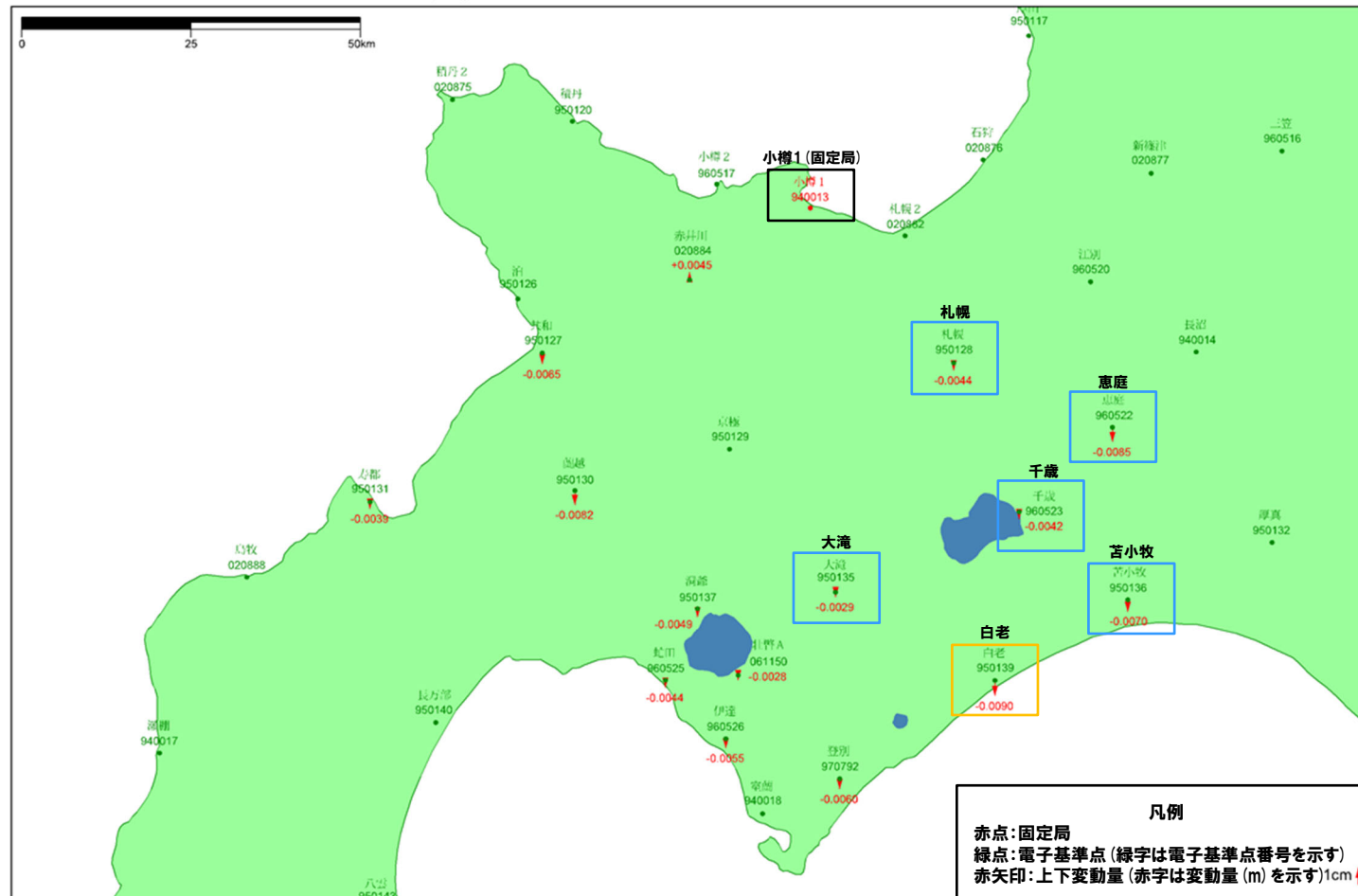
一部修正(R3/10/14審査会合)

- 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)

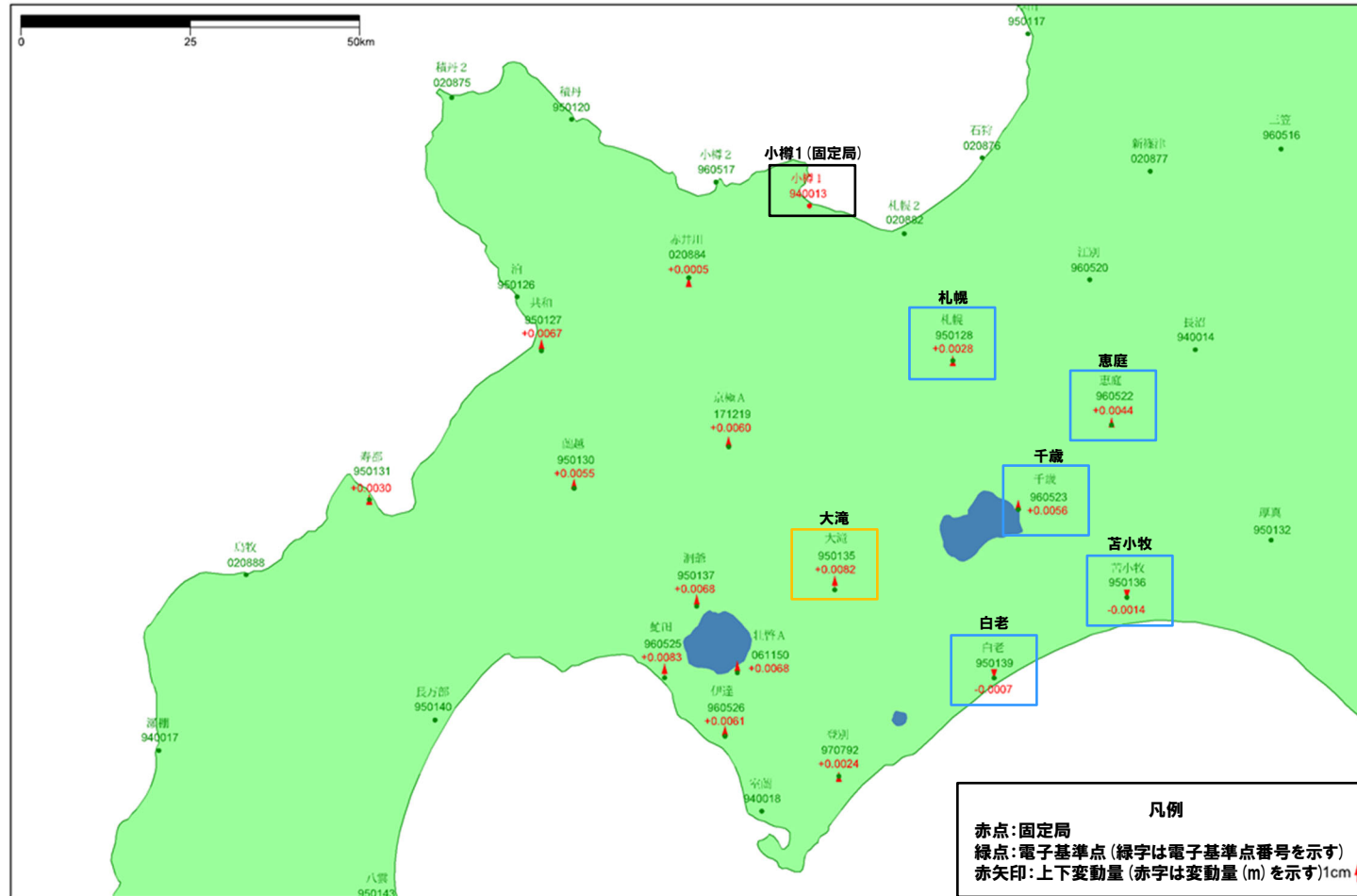
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/10)

- 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: Bemese 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

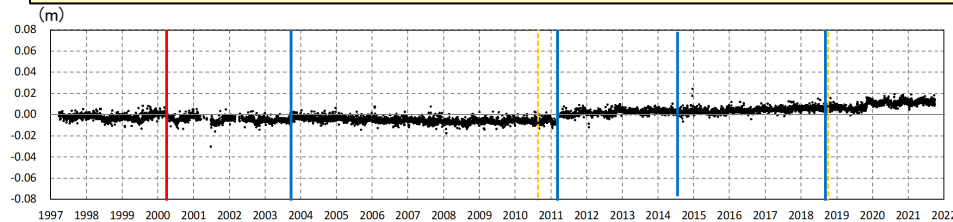
# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

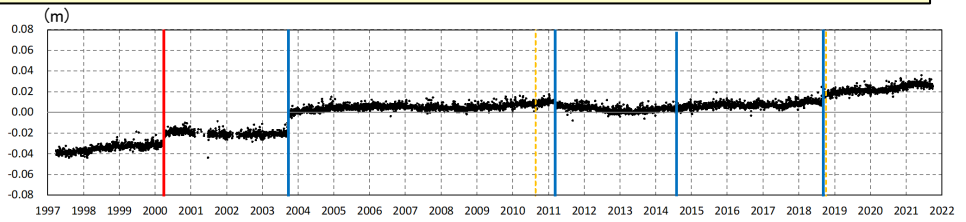
一部修正(R3/10/14審査会合)

### 【基線長変化】

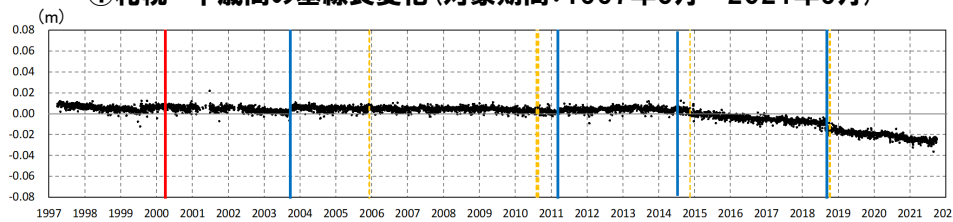
- 支笏カルデラ付近の6基準点(札幌, 大滝, 恵庭, 白老, 苫小牧及び千歳)を結んだ5基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 支笏カルデラ付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮傾向は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



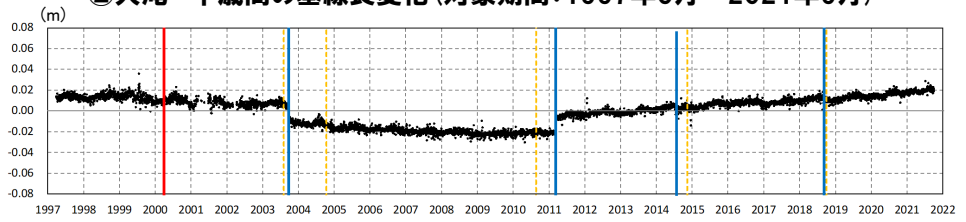
①札幌-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



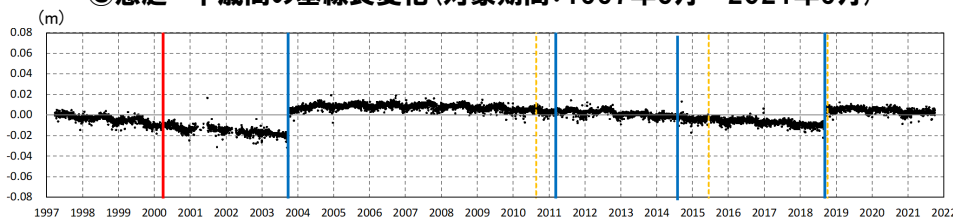
②大滝-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



③恵庭-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

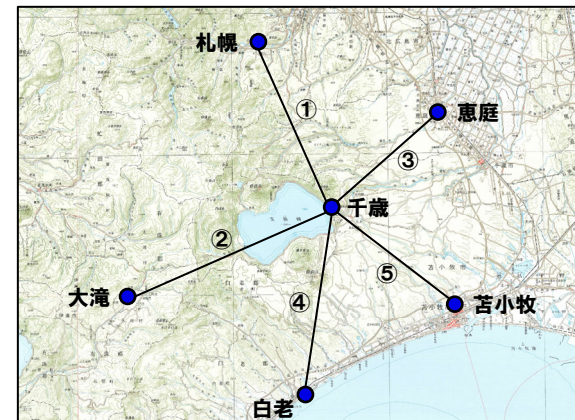


④白老-千歳間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)



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)

- 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



# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

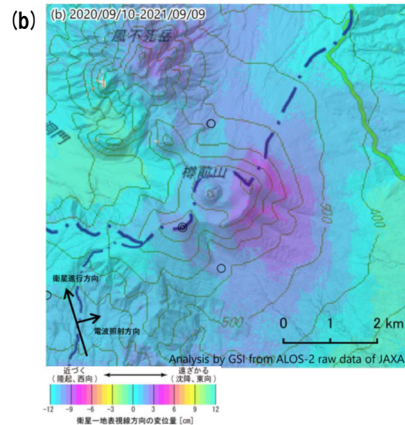
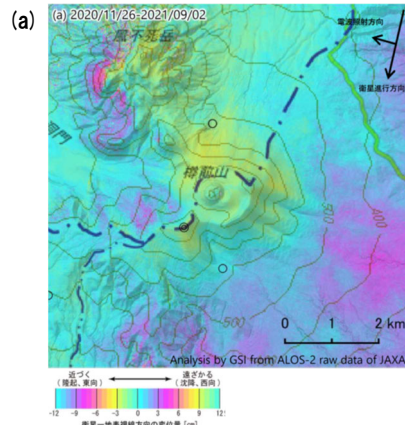
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

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)

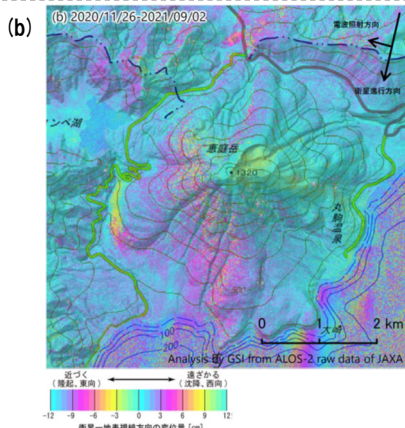
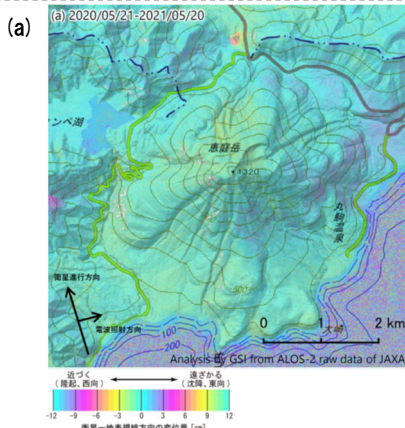
- 樽前山周辺における“2020年11月～2021年9月(左上図a)”及び“2020年9月～2021年9月(右上図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。
- 恵庭山周辺における“2020年5月～2021年5月(左下図a)”及び“2020年11月～2021年9月(右下図b)”の干渉SAR解析結果について、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



	(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】

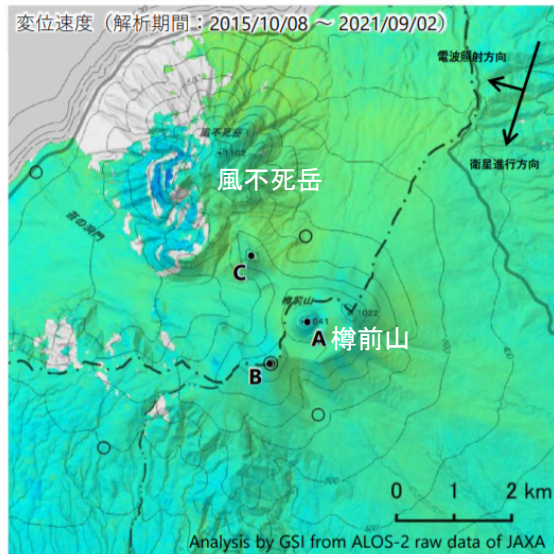
○第149回火山噴火予知連絡会資料(樽前山)(気象庁, 2021)によると, 樽前山周辺における干渉SAR時系列解析において, 「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。

#### 【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。



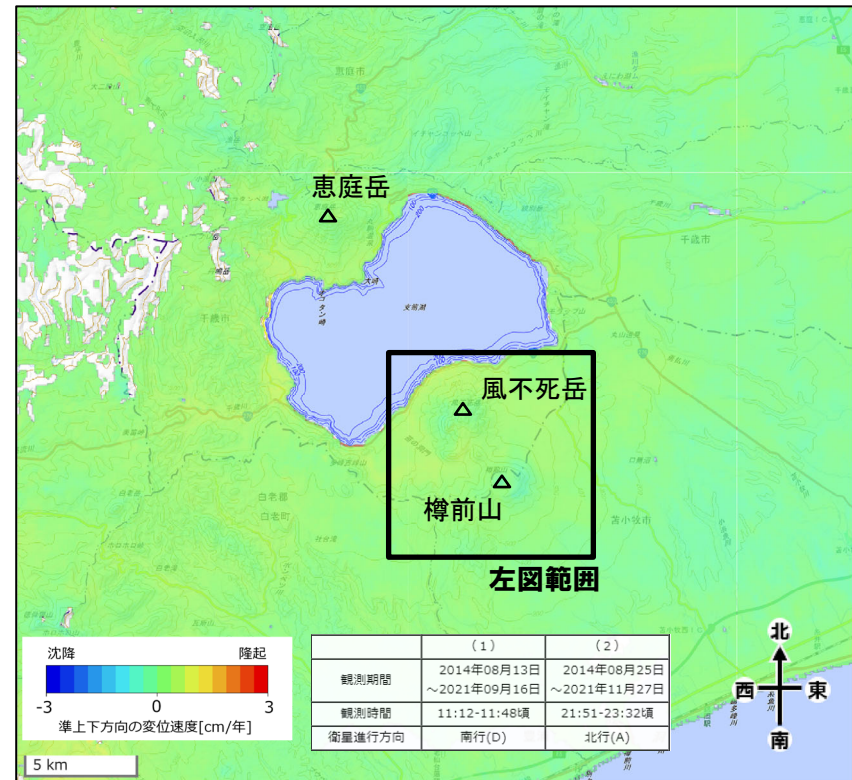
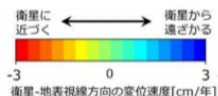
樽前山の干渉SAR時系列解析結果(衛星方向の変位速度, 南行)  
(気象庁(2021)に加筆)

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2014-2021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。

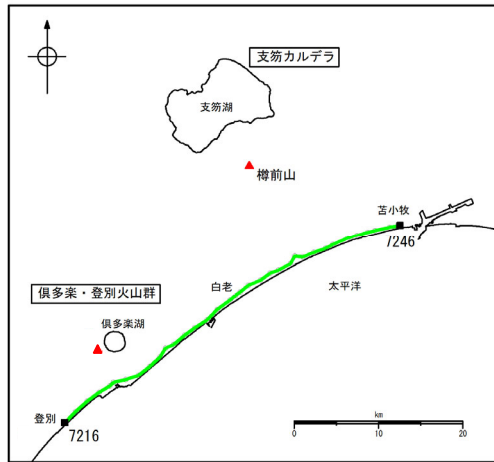
# 2.3.3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)

## 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)

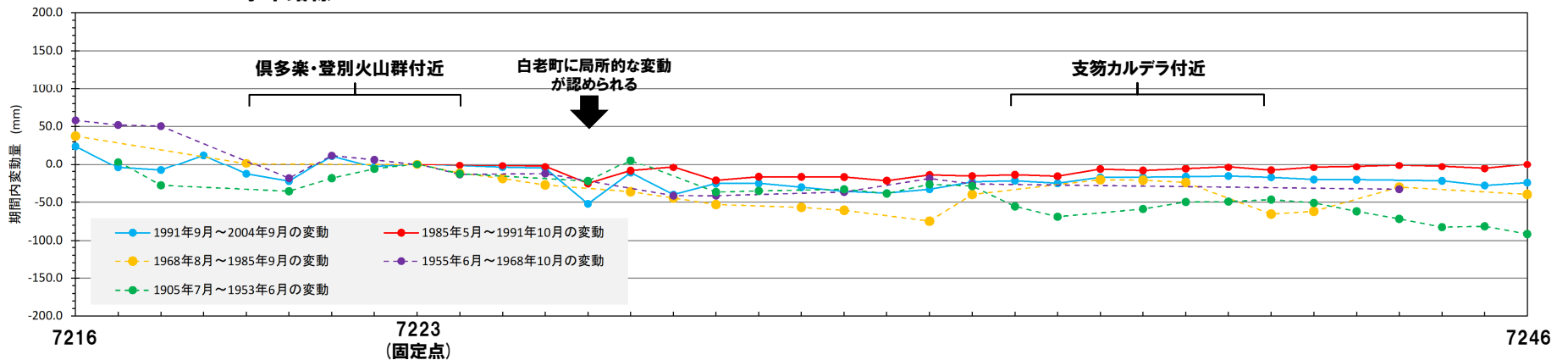
### 【水準測量】

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺及び倶多楽・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、支笏カルデラ付近で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



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(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、支笏カルデラ付近での顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 地殻変動は、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(P110~P123参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
<p>○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、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。</p> <p>○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。</p>	<p>○文献(Yamaya et al. (2017) 及び 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。</p> <p>○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。</p>	<p>○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。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○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。</p>
【火山性地震(P124~P128参照)】		【地殻変動(P129~P139参照)】	
<p>○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。</p>		<p>○地殻変動は、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。</p>	



○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10km<sup>3</sup>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. 9
2. 立地評価	P. 14
2. 1 文献調査	P. 17
2. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P. 27
2. 3 運用期間中の火山の活動可能性評価	P. 35
2. 3. 1 過去に巨大噴火が発生した火山	P. 39
2. 3. 2 巨大噴火の可能性評価方法	P. 89
2. 3. 3 巨大噴火の可能性評価(支笏カルデラ)	P.103
2. 3. 4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)	P.143
2. 3. 5 巨大噴火の可能性評価(洞爺カルデラ)	P.185
2. 4 設計対応不可能な火山事象に関する個別評価	P.227
2. 5 立地評価まとめ	P.291
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.296
参考文献	P.309

・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

立地評価

### 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  
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

○「噴出物体積が20km<sup>3</sup>以上」であり、「火砕流堆積物が広範囲に分布」す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

※洞爺火砕流に関する検討  
(詳細は補足説明資料)

補足4章 積丹半島西岸における洞爺火砕流堆積物の有無に関する検討

○積丹半島西岸においては、洞爺火砕流堆積物は認められない。

補足7章 洞爺火砕流が敷地に到達した可能性に関する検討

○洞爺火砕流が、敷地のうち、Mm1段丘より低標高部である海側に到達した可能性を否定できない\*。

#### 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)

○運用期間中における巨大噴火の可能性は十分小さい。

#### 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)

13火山(巨大噴火以外)

※本検討結果を踏まえたモニタリング対象火山の抽出については、「4. モニタリング」で今後説明予定。

### 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。

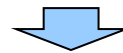
検討項目		検討結果	該当頁
	①活動履歴	<ul style="list-style-type: none"> <li>○倶多楽・登別火山群の巨大噴火であった可能性が否定できない噴火は1回であり、巨大噴火であった可能性が否定できない噴火が発生した先アヨロステージ並びに珪長質火砕噴火が発生したアヨロステージ及びクッタラステージと、現在の活動期である登別ステージは、噴火の頻度及び噴出物体積が異なることから、現状では先アヨロステージ、アヨロステージ及びクッタラステージのような状態には至っていないと考えられる。</li> <li>○網羅的な文献調査の結果、倶多楽・登別火山群については、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。</li> </ul>	次頁～ P149
地球物理学的調査	②地下構造	<ul style="list-style-type: none"> <li>○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。</li> <li>【②-1 地震波速度構造】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> </ul> </li> <li>【②-2 比抵抗構造】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul> </li> <li>【②-3 重力異常】 <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> </ul> </li> </ul>	P150～ P151
	③火山性地震	○低周波地震活動は、ほとんど認められない。	P166～ P170
	④地殻変動	○地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向又は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。	P171～ P181
		○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～P149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、3回の珪長質マグマの活動(アヨロステージ:Kt-6, Kt-4及びKt-3)の後、苦鉄質マグマ(竹浦ステージ)が活動し、再び2回の珪長質火砕噴火(クッタラステージ:Kt-2及びKt-1)が発生し、最後の珪長質火砕噴火(Kt-1)により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(P58～P60参照)、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、噴出物体積が $10\text{km}^3$ (DRE)を超える噴火が複数回認められており、 $20\text{km}^3$ (DRE)を超える規模の噴火は、約5万年前にKt-3を噴出した噴火である。
  - ・なお、森泉(1998)によればKt-3の噴出物体積 $20.1\text{km}^3$ (DRE)のうち、火砕流は $2.2\text{km}^3$ (DRE)とされており、火砕流の占める割合は少なく、分布範囲が山体近傍に限られることから(P59参照)、Kt-3は巨大噴火に該当しない。
  - ・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 $0.00046\text{km}^3$ 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。



余白

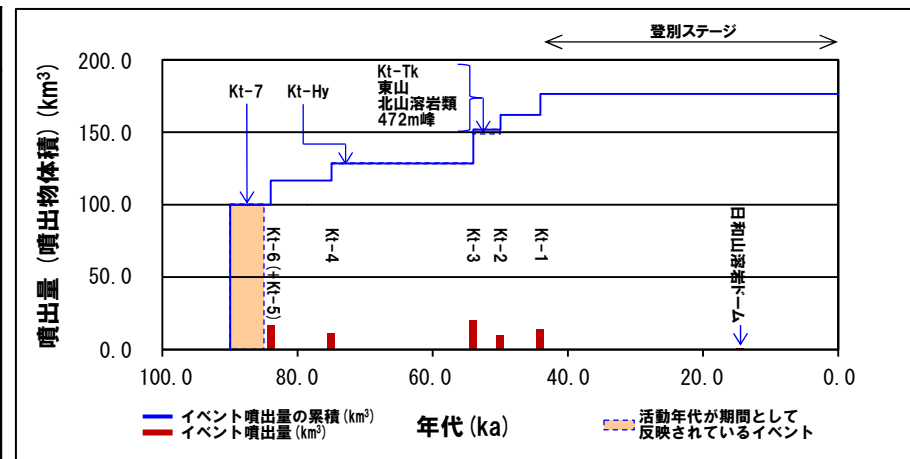
# 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

## 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	噴出物体積 DRE (km <sup>3</sup> )	火山体体積 (km <sup>3</sup> )	参考文献
完新世	A.D.1800頃 (裏地獄)	(水蒸気爆発)		
	A.D.1800頃 (大湯沼)	(水蒸気爆発)		
	8.5ka-A.D.1663 Nb-a~ ※2	(水蒸気爆発)		
更新世	14.5ka 日和山溶岩ドーム	0.04	76.5	山縣 (1994) 森泉 (1998) 第四紀火山 カタログ委員 会編 (2000) 山元 (2014) Amma- Miyasaka et al. (2020)
	不明 樺湖アグルチネート	不明		
	44.1ka Kt-1 : pfa,pfl,ps,sfa	14.4		
	ca.50ka Kt-2 : pfa	10.2		
	不明 Kt-Tk : sfa	2.5		
	不明 東山	0.2		
	不明 北山溶岩類	0.5		
	不明 472m峰	0.2		
	ca.54ka Kt-3※3 : pfa,afa,ps,pfl	20.1		
	不明 Kt-Hy : pfa,ps,afa,pfl	0.6		
第四紀	ca.75ka Kt-4 : pfa,ps,pfl	11		
	ca.84ka Kt-6 (+Kt-5) : pfa,ps,pfl	Kt-5 : 不明 Kt-6 : 16.8		
	90-85ka Kt-7 : pfa,pfl	VEI7 class※4		
	不明 Kt-8? : pfl	不明		
	不明 石山溶岩流	不明		
先アヨロ	不明 地獄谷火砕丘	不明		



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、より新しい知見であるAmma-Miyasaka et al. (2020) 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 10<sup>5</sup>m<sup>3</sup>オーダー、また、Goto et al. (2015) によれば、Nb-aの噴出物体積は、4.6×10<sup>5</sup>m<sup>3</sup>とされている。  
 ※3 森泉 (1998) によれば、Kt-3に含まれる各ユニットの噴出物体積 (DRE) は以下のとおり。  
 ・火砕流: 2.2km<sup>3</sup>  
 ・火砕サージ: 0.05km<sup>3</sup>  
 ・降下軽石: 17.8km<sup>3</sup>  
 ※4 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、噴出物体積 (DRE) を 100km<sup>3</sup>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)

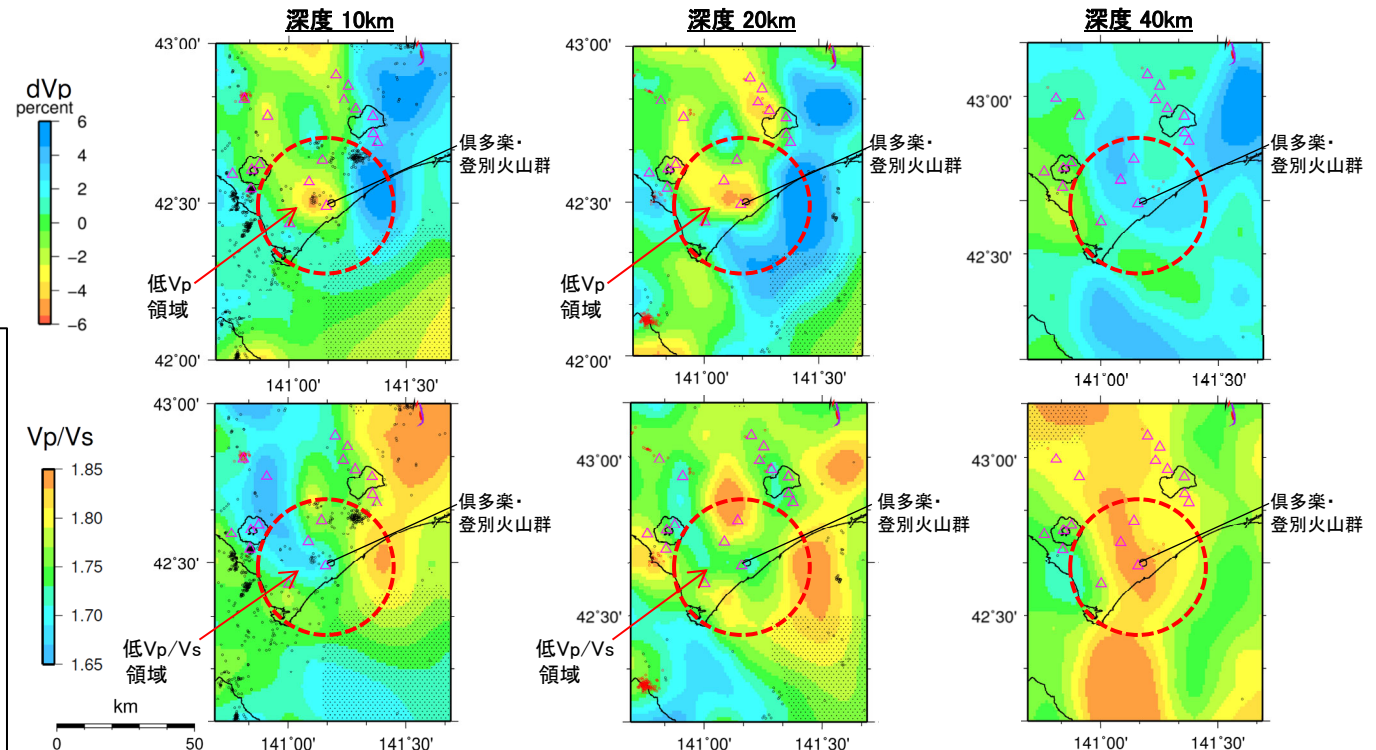
- 防災科学技術研究所HP上では、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」として、Hi-net、F-net及びS-netの観測網による地震記録を用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)。その公開データを用いて、当社が倶多楽・登別火山群における水平・鉛直断面図を作成した。
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs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(P90~P101参照)】

- 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 } 今泉ほか編(2018)をトレース
- 推定活断層
- 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。

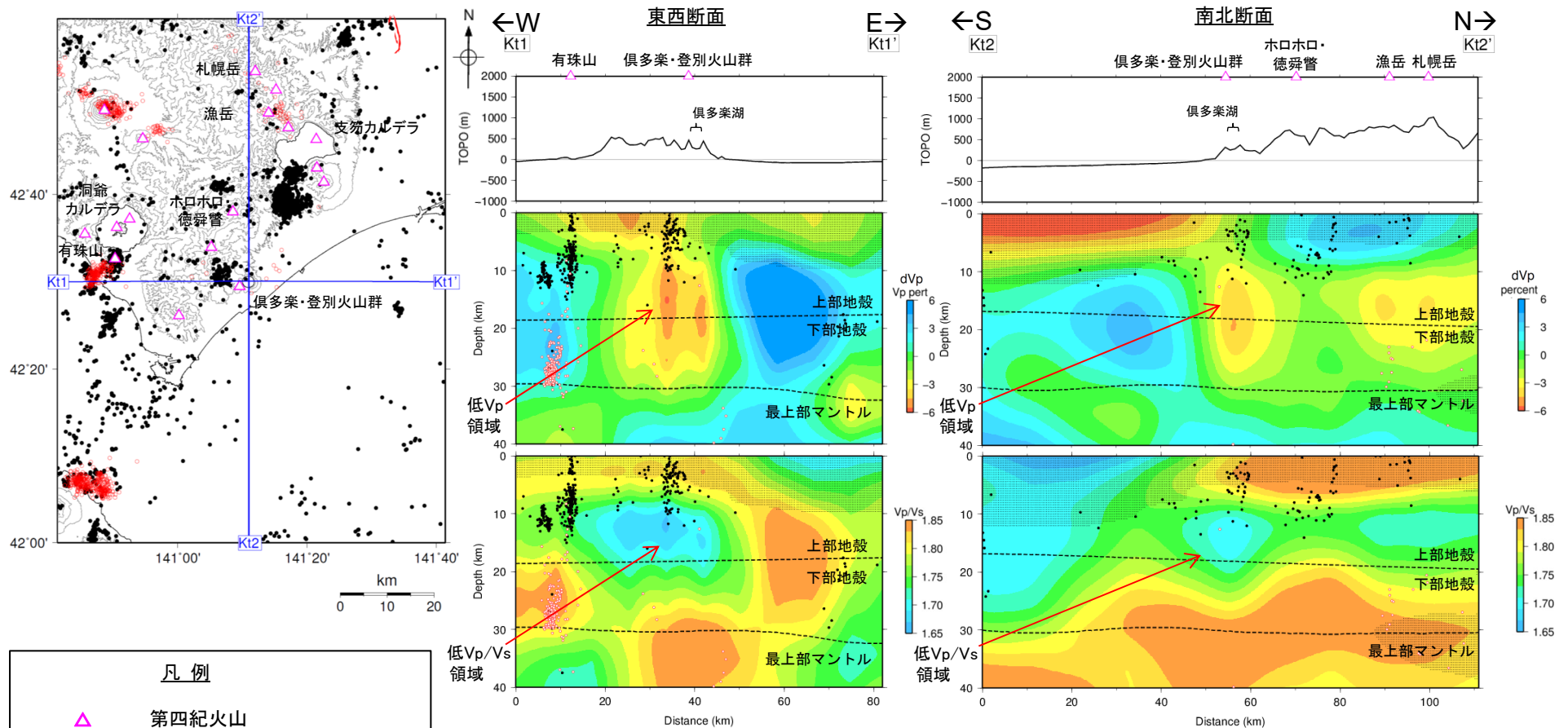
倶多楽・登別火山群周辺から北西方に、低Vpかつ低Vp/Vs領域が認められるが、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。

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)



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

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)

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。

## 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) (P155参照)】

○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 (P155図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域 (P209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 (P155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。

(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) (P156~P159参照)】

○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(1~10Ωm, P157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(1~10Ωm, P157右図「C2」及びP157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(P157右図「M」)において、1Ωm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Ωm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Ωm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(P159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(P159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、P91参照



○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。

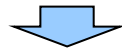
余白

## 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

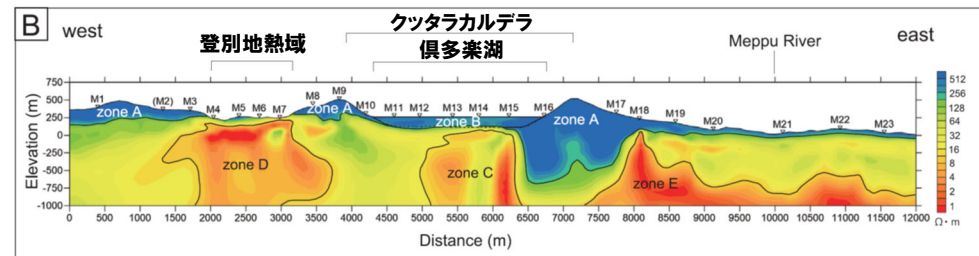
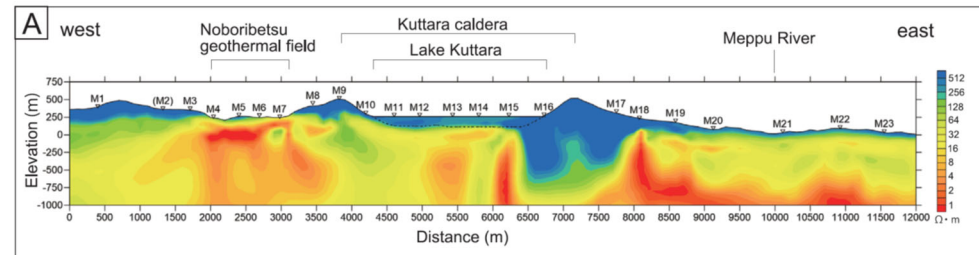
### ②-2 地球物理学的調査(地下構造:比抵抗構造) (3/6)

【Goto and Johmori (2015)】

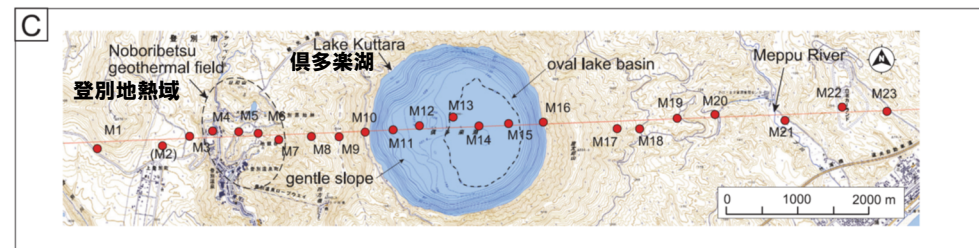
- 倶多楽・登別火山群において、CSAMT法による電磁気探査を実施しているGoto and Johmori (2015) をレビューした。
- ・Goto and Johmori (2015) によれば、倶多楽湖直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone C」)、登別地熱域直下の柱状の低比抵抗領域(右図Bの「zone D」)及びクッタラ火山東部の地下に広がる低比抵抗領域(右図Bの「zone E」)が認められるとされている。
- ・「zone C」は、クッタラカルデラ直下に位置していることから、カルデラ崩壊時に沈降した溶岩塊や火砕物が熱水変質を受けた領域と解釈しているとされている。
- ・「zone 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(1~10Ωm, 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(1~10Ωm, 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、1Ωm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Ωm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。

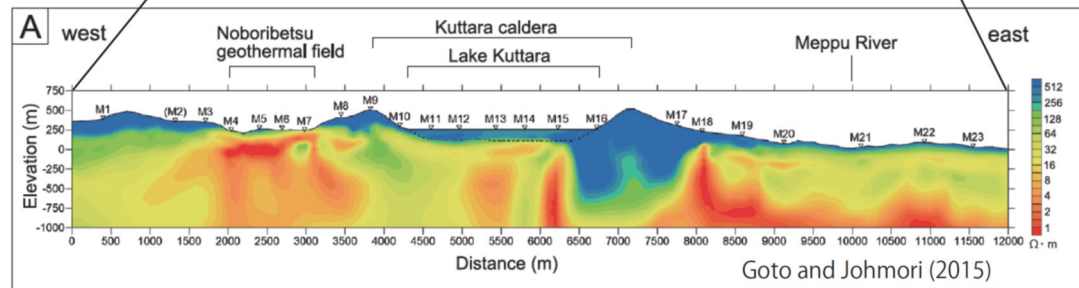
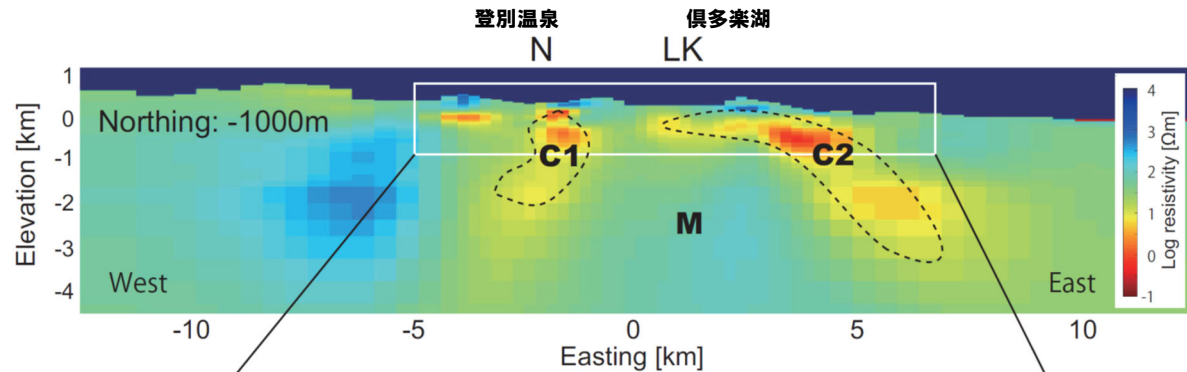
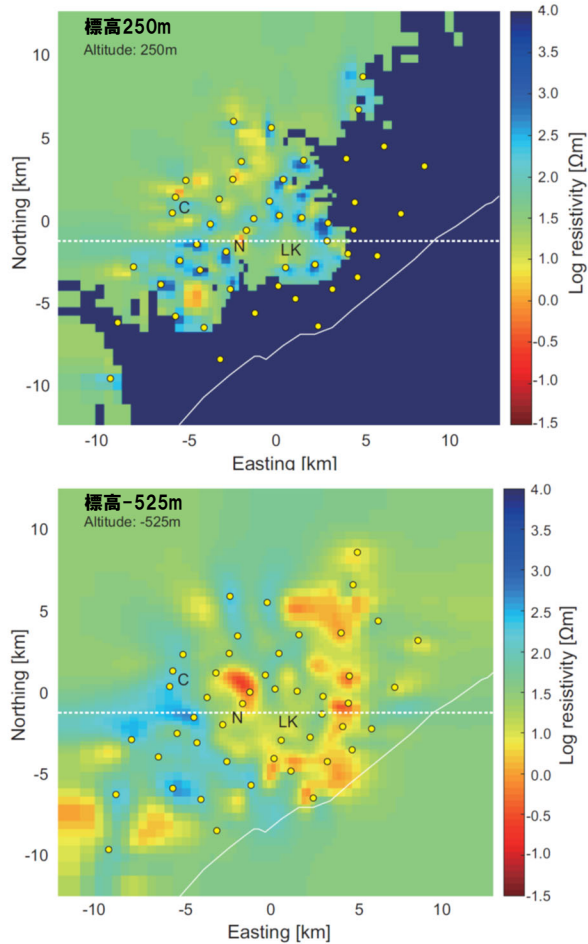


- Hashimoto et al. (2019) に基づくと、登別温泉及び倶多楽湖(クッタラカルデラ)の北東部から南側の浅部には、熱水、高温及び熱水変質帯によると考えられる低比抵抗領域が認められ、倶多楽湖直下には低比抵抗領域は認められない。
- なお、倶多楽湖直下に認められる数十Ωmの領域については、メルト分率が低く冷えたマッシュ状マグマの存在を否定するものではないとされており、このことは、深度4km以深に広がるマグマ溜まり※の縁辺部を捉えている可能性を示唆していると考えられるが、以下のことからマッシュ状マグマである可能性は小さいものと判断される。
  - ・当社が作成した地震波速度構造断面においては、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(P159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(P92~P95参照)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(P159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、P91参照

# 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)



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 (P155参照)  
 (Hashimoto et al. (2019) に加筆)

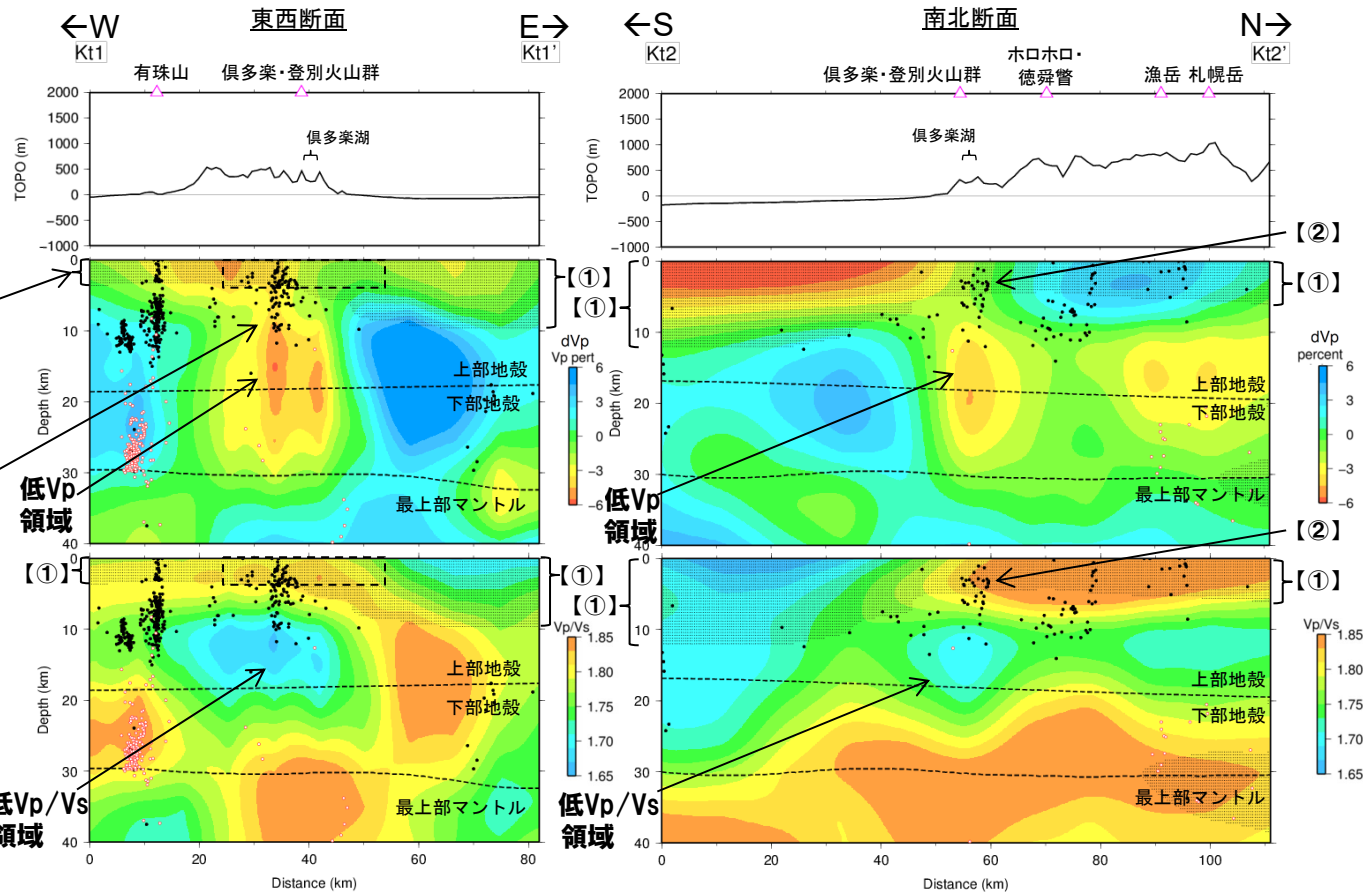
LK: 倶多楽湖  
 N: 登別温泉  
 C: カルルス温泉  
 ● : MT観測点  
 白破線: 右図東西断面位置

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

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

**凡例**

- △ 第四紀火山
- 黒点 震源 (MJMA ≥ 0)
- 赤点 低周波地震の震源 (期間: 2000/10/1-2015/12/31, 2016/4/1-2018/6/30)
- 半透明黒色部 チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲
- 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P151参照)**

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

## 2.3.4 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 $10\text{km}^3$ (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)に基づくと、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。

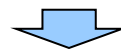
## 【畠山ほか(2005)(P162~P163参照)】

○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 $100\text{km}^3$ 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 $118\text{km}^3$ )、支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$ , 噴出量 $120\text{km}^3$ )に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 $3\text{km}$ 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)に基づくと、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。



## 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)

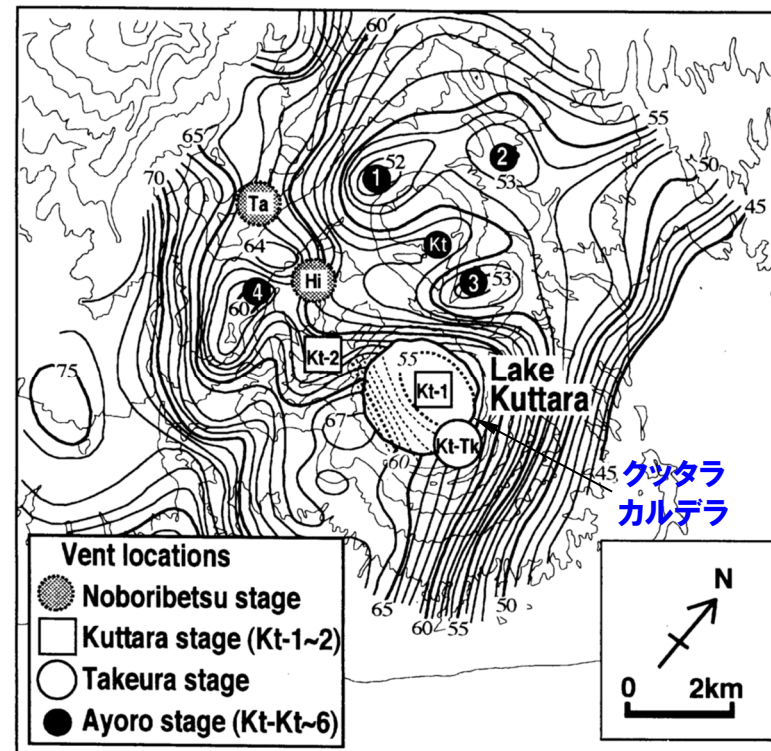
## 【森泉(1998)】

- 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10km<sup>3</sup>(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してされている。
- ・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されている。

※各活動ステージについてはP149参照。



- 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。



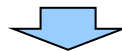
クッタラ火山群周辺の重力異常及び推定火口位置(森泉(1998)に加筆)

## 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)】

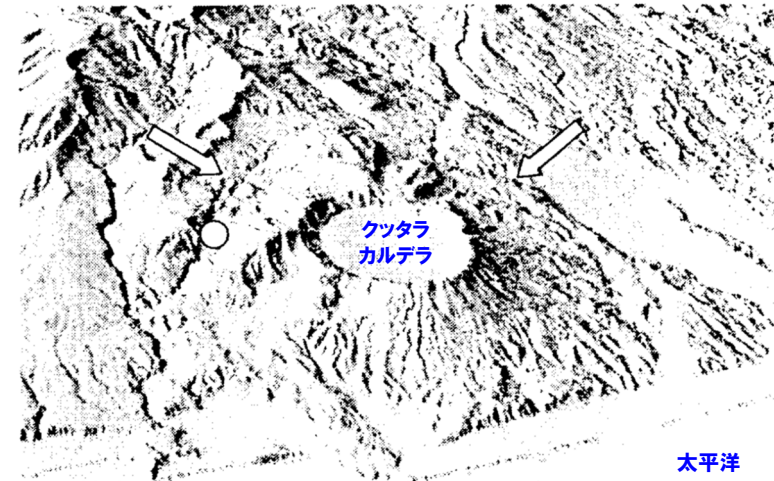
- 地形、重力異常等から現在のクッタラカルデラを取り巻く先クッタラカルデラを提唱している畠山ほか(2005)をレビューした。
  - ・畠山ほか(2005)によれば、衛星画像でこの地域を見てみると、倶多楽カルデラの北方から西方にかけて環状構造(下図矢印)が確認できるとされている。
  - ・新エネルギー・産業技術総合開発機構(1990)による等重力線図(次頁参照)では、環状構造の内側(成層火山により埋積されていない部分)に複数の低重力異常域が見られ、これらの低重力異常域の存在から、この環状構造はカルデラに伴うものであると考えられるとされている。
  - ・森泉(1998)(前頁参照)は、これら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 $100\text{km}^3$ 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 $118\text{km}^3$ ), 支笏カルデラ(径 $14\times 18\text{km}$ , 噴出量 $120\text{km}^3$ )に匹敵する噴出量であるが、クッタラカルデラは径 $3\text{km}$ 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

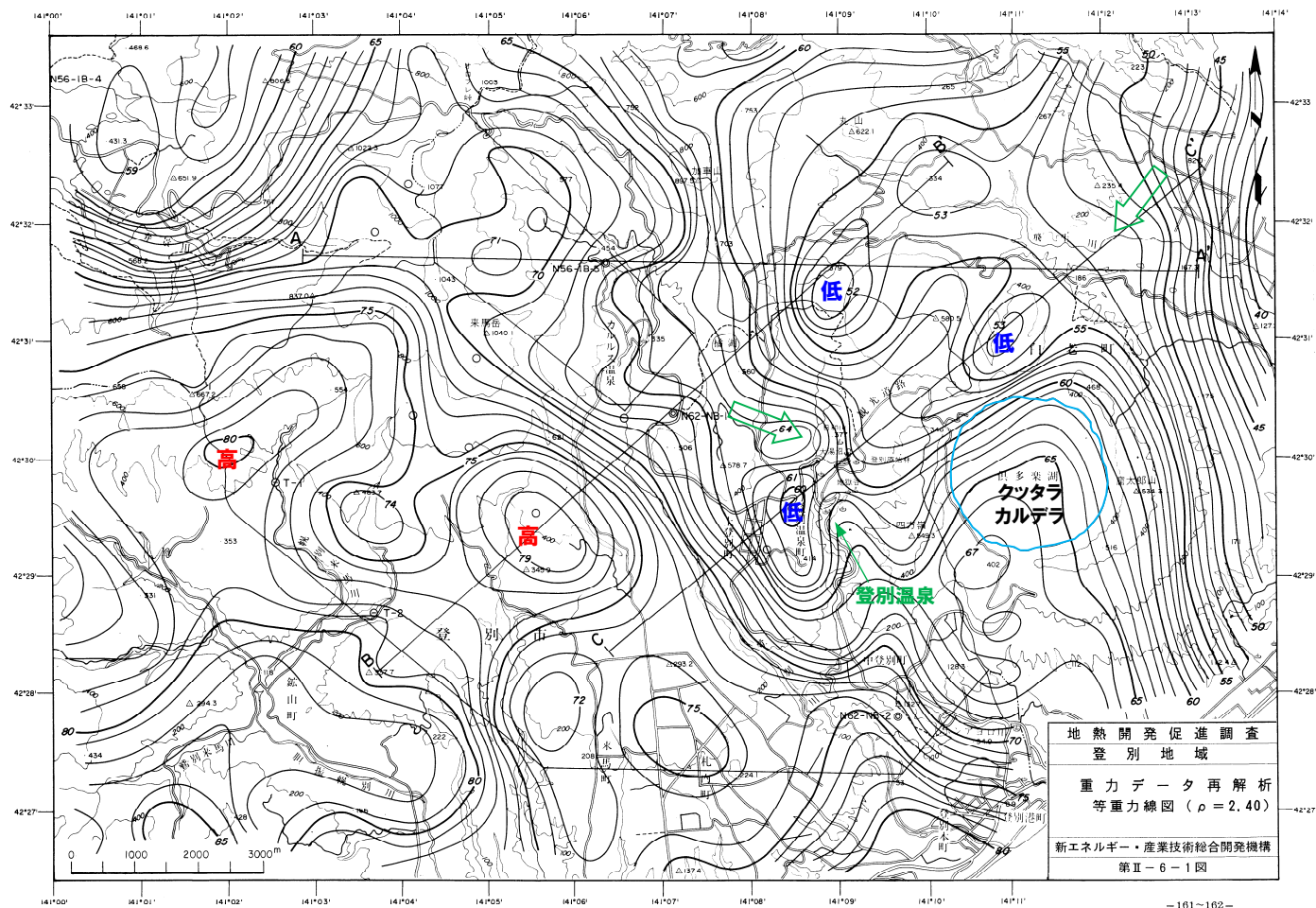
- ⇒ : 成層火山体を取り巻く環状構造
- : 登別温泉



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(P150~P151参照)】

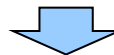
- 防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。
- また、倶多楽・登別火山群直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマや熱水等の流体の移動を示唆する低周波地震群は認められない。

#### 【比抵抗構造(P152~P159参照)】

- 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(P160~P163参照)】

- 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。



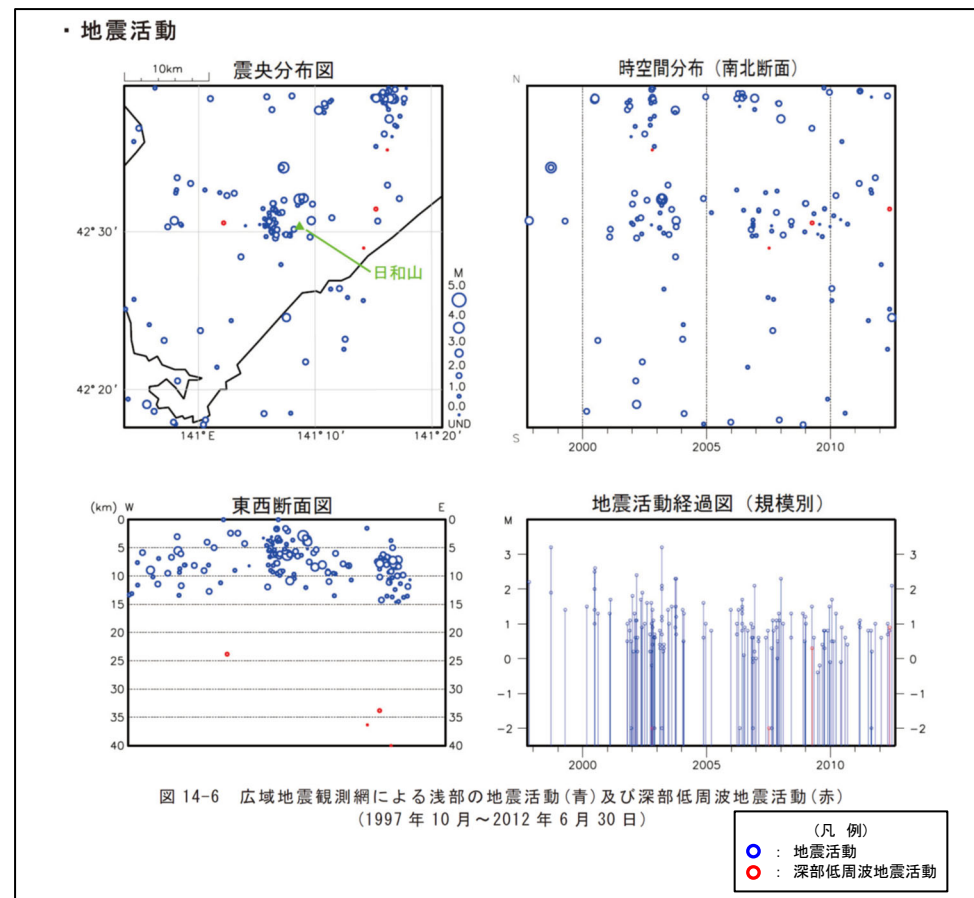
倶多楽・登別火山群周辺の地震計位置図  
(気象庁編(2013)「日本活火山総覧(第4版)」に基づき作成)

## 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。
- 浅部の地震活動は、日和山の西側に認められるが、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
- 深部低周波地震活動は、ほとんど認められない。



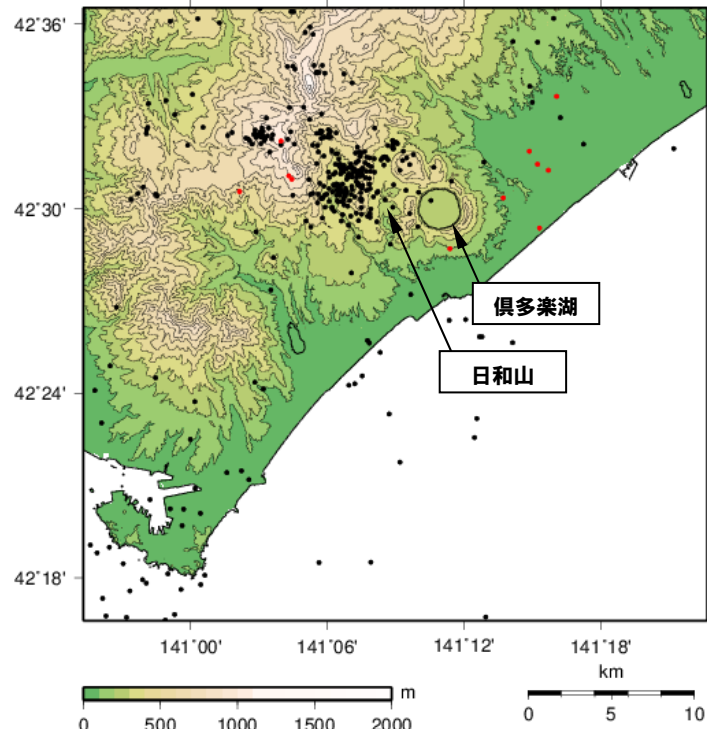
倶多楽・登別火山群周辺の地震活動  
(1997年10月～2012年6月30日, 「日本活火山総覧(第4版)」に加筆)

## 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)及び気象庁一元化処理検測値データ】**

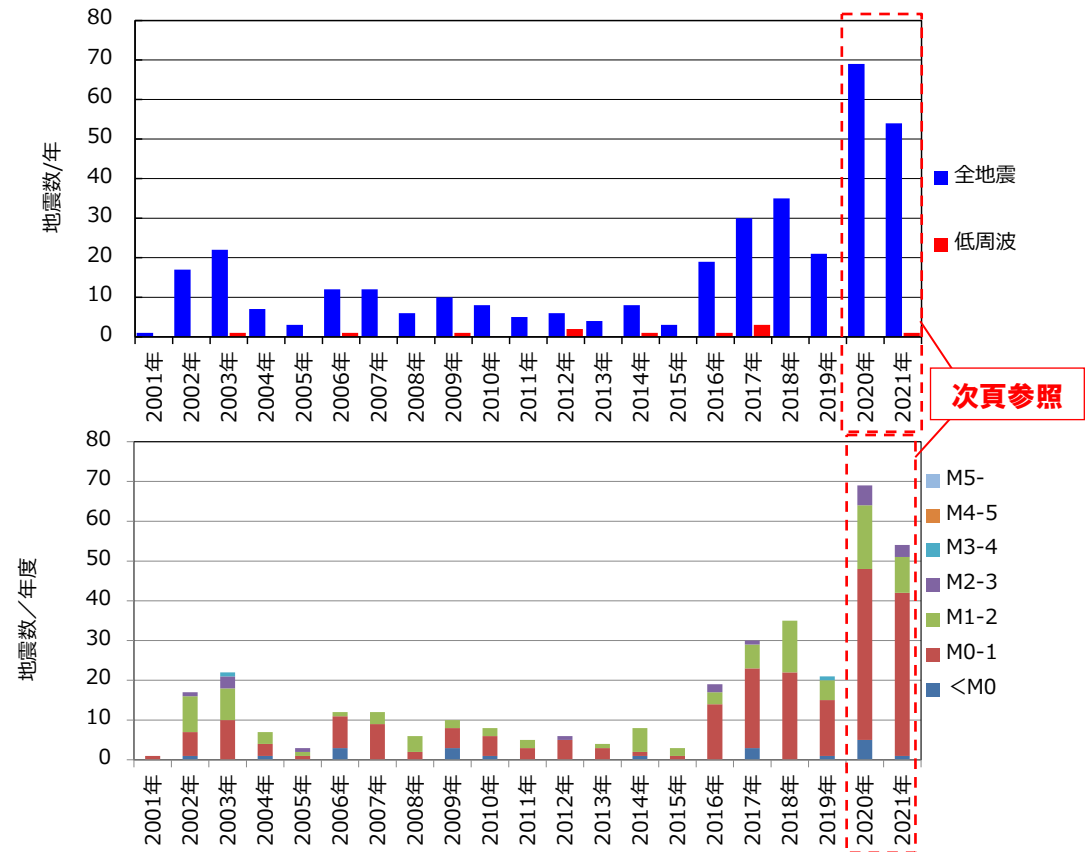
- 過去約20年間における倶多楽・登別火山群周辺の深さ40km以浅の地震活動の震央分布を示す。震央のデータは気象庁地震月報(カタログ編)(2001年10月~2020年3月)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月~2021年9月)を使用した。
- 倶多楽・登別火山群周辺においては、日和山の西側に震央が集中している。
- マグニチュード0以上の地震は2020年及び2021年に増加が認められるが、当該年のうち限られた期間に増加したものであり、その他の期間では地震活動は低調に経過している(次頁参照)。
- 低周波地震の発生は少なく、近年発生数が増加しているような傾向は認められない。



**凡例**  
 ●:震央  
 ●:低周波地震震央

2001/10/1~2020/3/31:  
 気象庁地震月報(カタログ編)  
 2020/4/1~2021/9/30:  
 気象庁一元化処理検測値データ

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)及び気象庁(2022)】

- 「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, 2022)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、いずれの年においても、その他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。

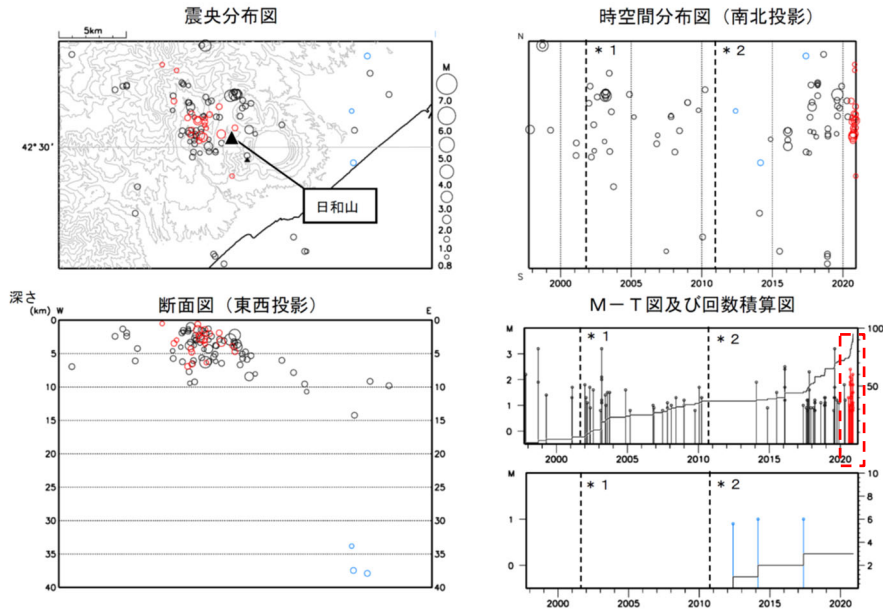


図8 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動  
(1997年10月1日～2020年11月30日, M $\geq$ 0.8、深さ40km以浅)  
○: 1997年10月1日～2020年5月31日  
●: 2020年6月1日～2020年11月30日  
○: 深部低周波地震  
\*1: 2001年10月以降、Hi-netの追加に伴い検知能力が向上している。  
\*2: 2010年9月以降、火山観測点の追加に伴い検知能力が向上している。  
2020年4月18日から10月23日までの地震について、暫定的に震源精査の基準を変更しているため、その前後の期間と比較して微小な地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)

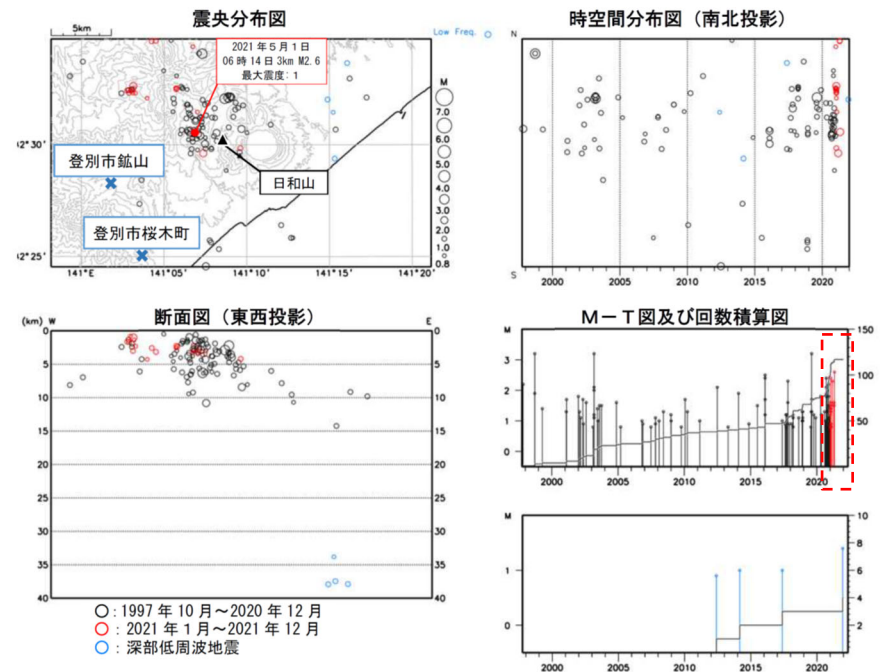


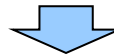
図9 倶多楽 一元化震源による周辺の地震及び深部低周波地震活動  
(1997年10月～2021年12月, M $\geq$ 0.8、深さ40km以浅)  
○: 1997年10月～2020年12月  
●: 2021年1月～2021年12月  
○: 深部低周波地震  
\* 5月1日に日和山の西側で地震が一時的に増加し、そのうち日和山の西約2km、深さ3kmで発生した地震(マグニチュード2.6)により、図中に×で示した登別市鉢山及び登別市桜木町で震度1を観測しました。  
\* 6月以降、山体及び周辺で発生する地震は少ない状態で経過しました。

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(2022)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)

- 倶多楽・登別火山群周辺の地震活動について文献調査を行った。
- 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)及び気象庁一元化処理検測値データ(2020年4月～2021年9月)について検討した。
- 調査・検討の結果は以下のとおり。
  - ・浅部の地震活動及び深部低周波地震活動は、規模・位置の時空間分布に変化の兆候は認められない。
  - ・倶多楽・登別火山群周辺の地震活動は、日和山の西側に集中している。
  - ・深部低周波地震活動は、ほとんど認められない。
  - ・マグニチュード0以上の地震は2020年及び2021年に増加が認められるが、当該年のうち限られた期間に増加したものであり、その他の期間では地震活動は低調に経過している。



- 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)

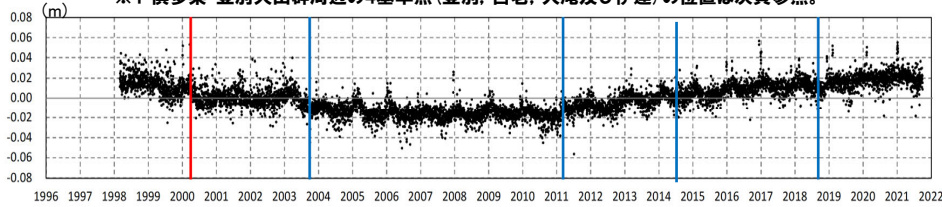
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(1/10)

### 【上下変動】

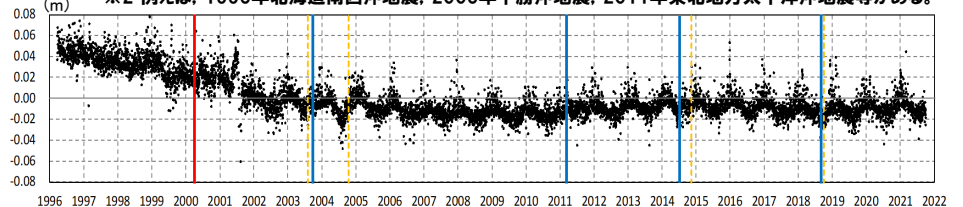
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点※1(登別, 白老, 大滝及び伊達)について, 各電子基準点設置以降から2020年までの年間上下変動量を示す。
- 固定局は, 倶多楽・登別火山群と同様に東北日本弧延長部に位置し, 第四紀火山から離隔があること等を踏まえ, 小樽1地点とした。
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は, 白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず, 登別, 大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献(P208~P213参照)を踏まえると, 北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果, 周辺で発生した地震※2の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり, 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P172~P175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。

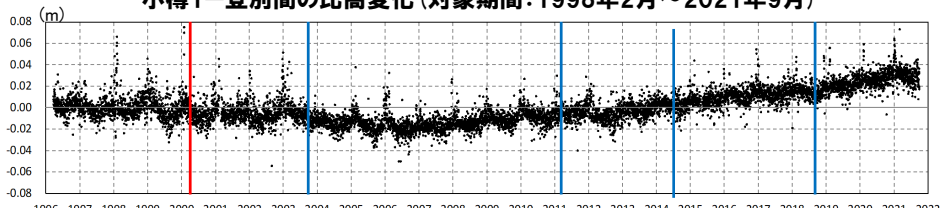
※2 例えば, 1993年北海道南西沖地震, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等がある。



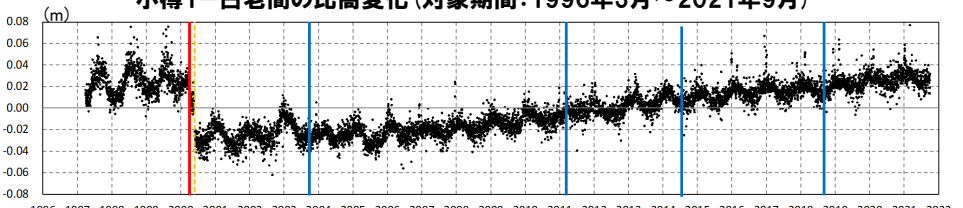
小樽1-登別間の比高変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



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-大滝間の比高変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)



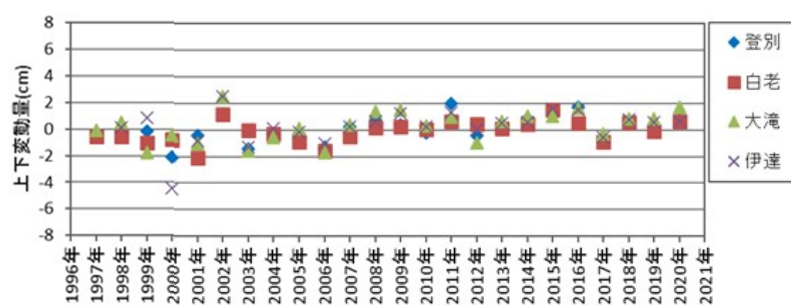
小樽1-伊達間の比高変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

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)

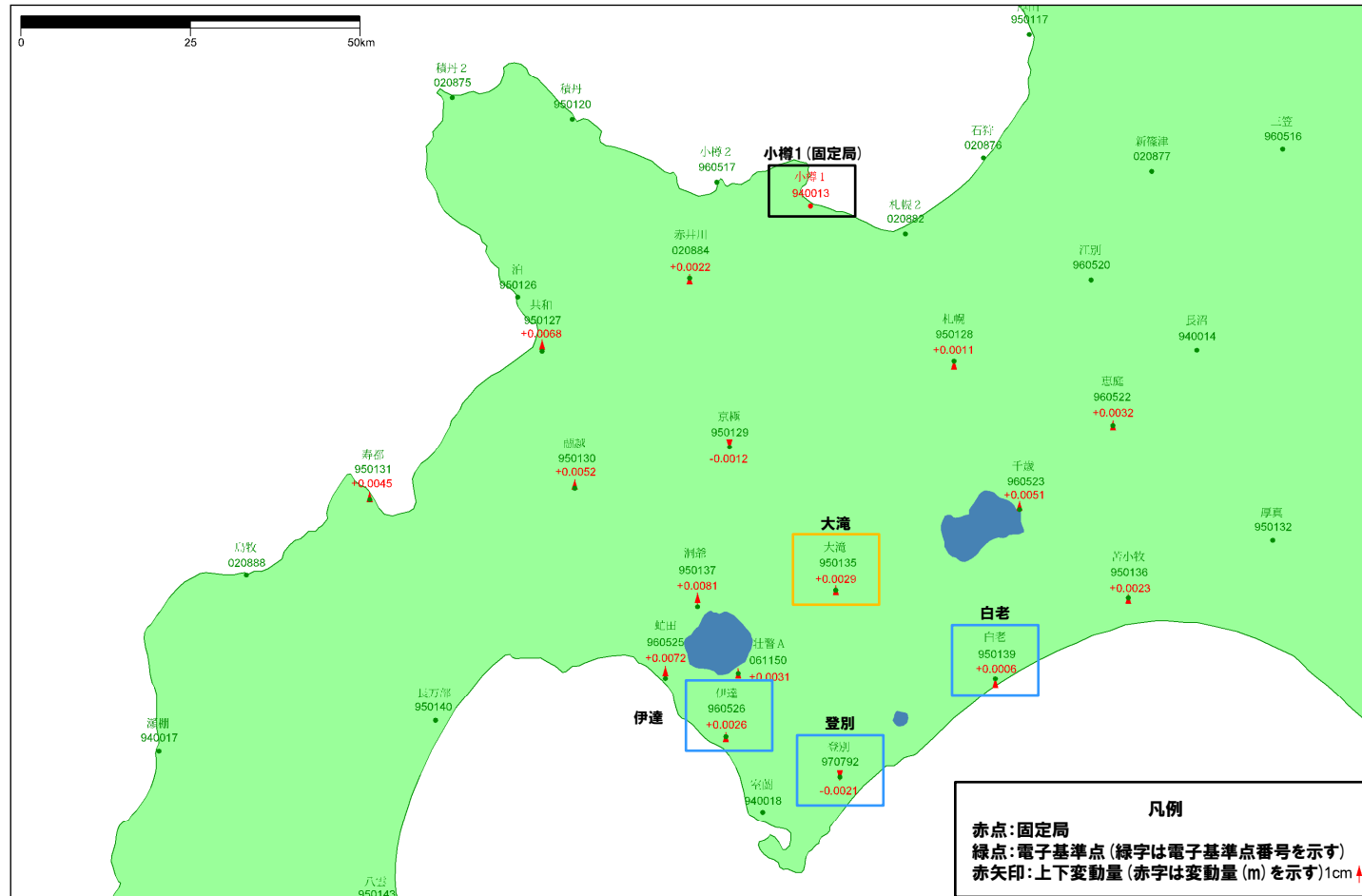
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(2/10)

- 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)

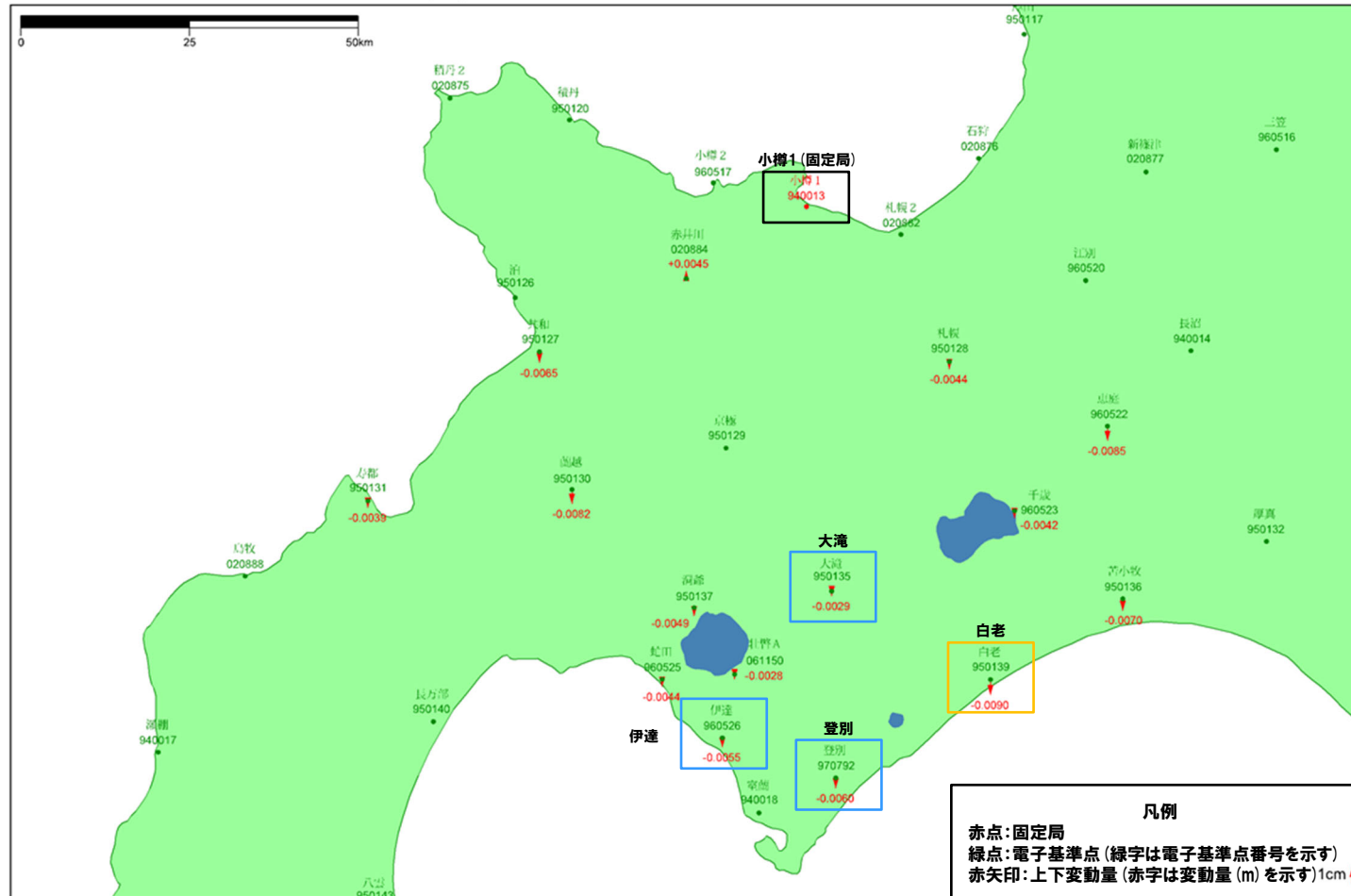
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(4/10)

- 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)

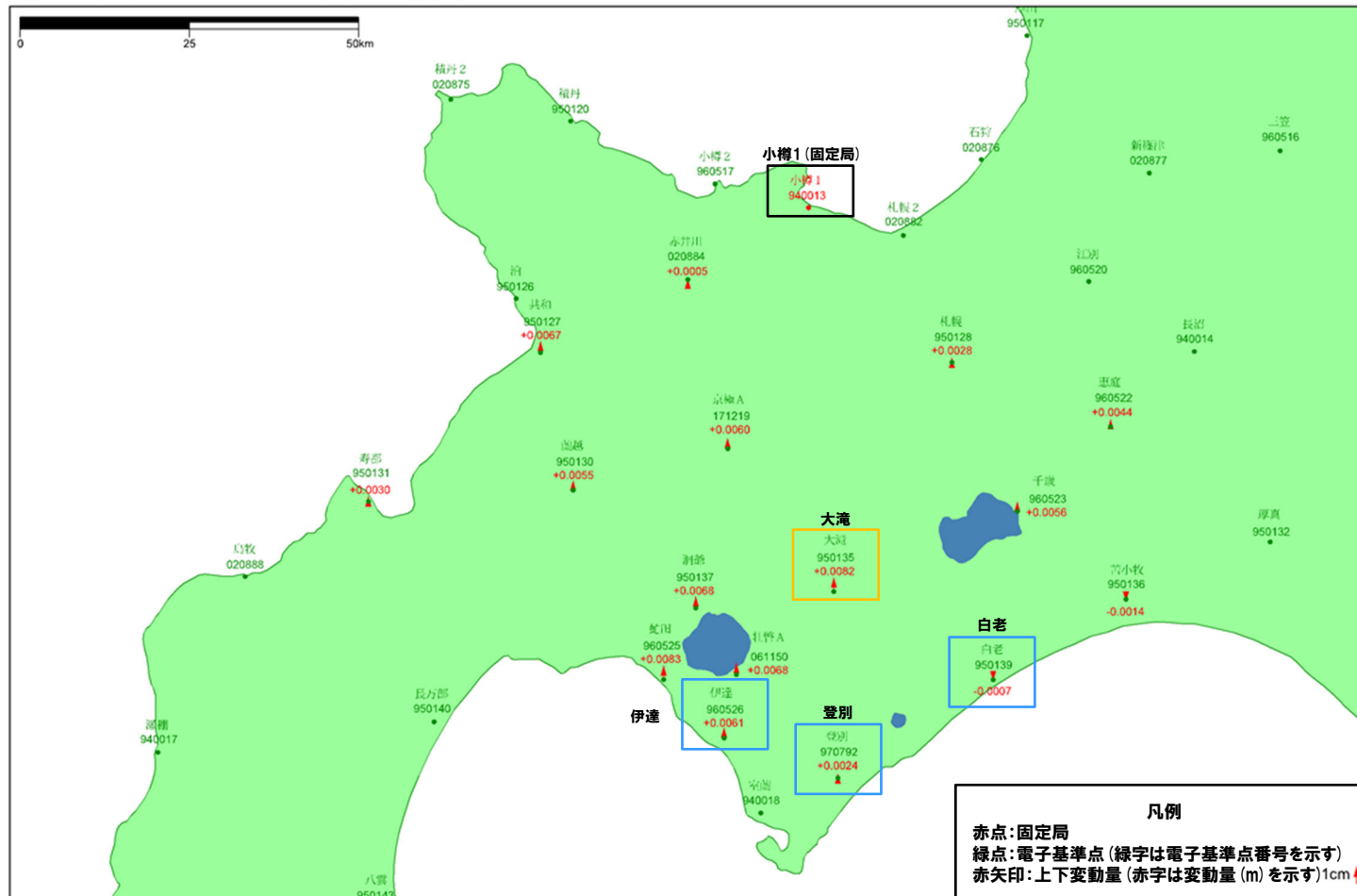
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(5/10)

- 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)



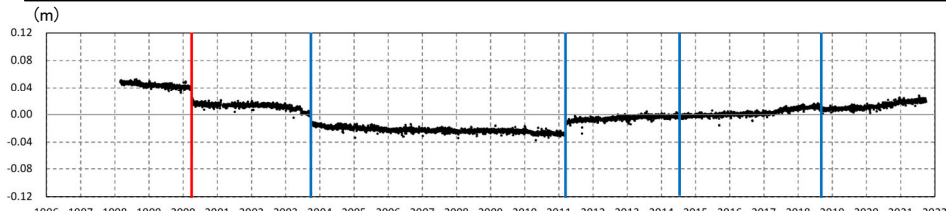
余白

# 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

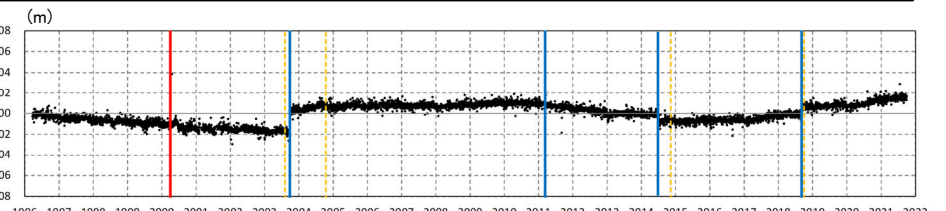
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(6/10)

### 【基線長変化】

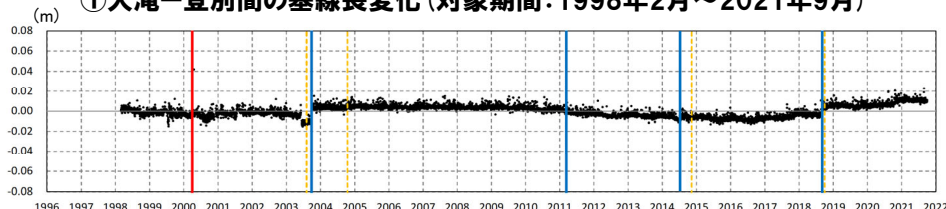
- 倶多楽・登別火山群付近の4基準点(登別, 白老, 大滝, 及び伊達)を結んだ4基線について, 各電子基準点設置以降から2021年9月までの基線長変化を示す。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は, 2003年十勝沖地震, 2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが, 継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不連続が一部の基線で認められる。



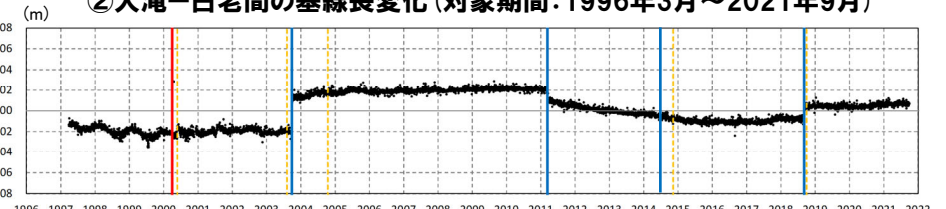
①大滝-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



②大滝-白老間の基線長変化(対象期間:1996年3月~2021年9月)

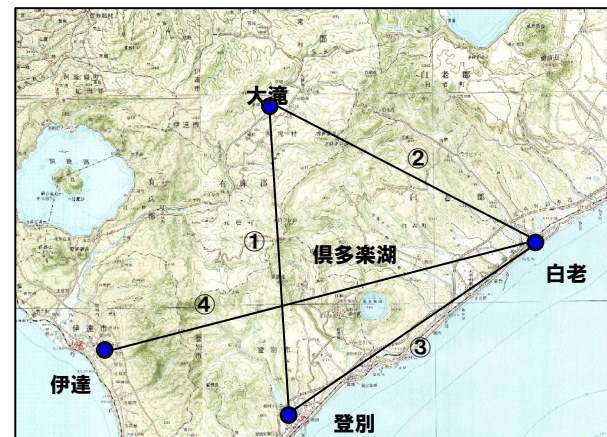
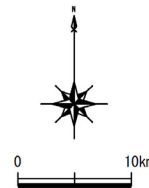


③白老-登別間の基線長変化(対象期間:1998年2月~2021年9月)



④白老-伊達間の基線長変化(対象期間:1997年3月~2021年9月)

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



倶多楽・登別火山群付近電子基準点位置図

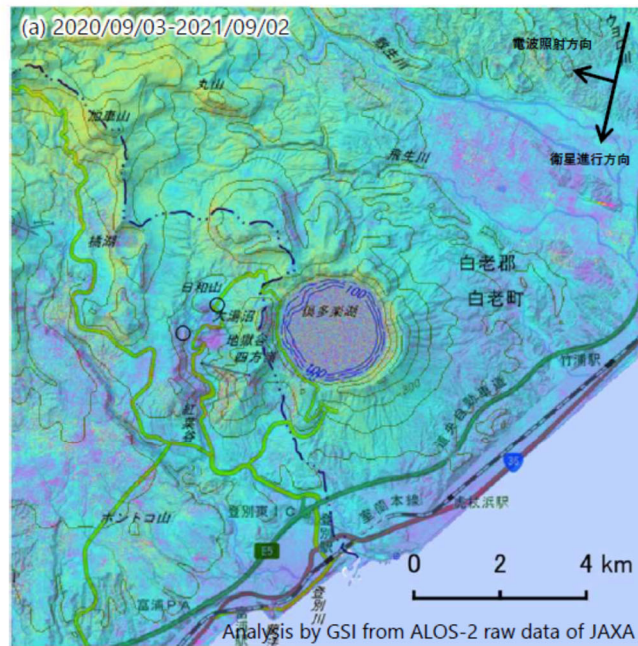
# 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(7/10)

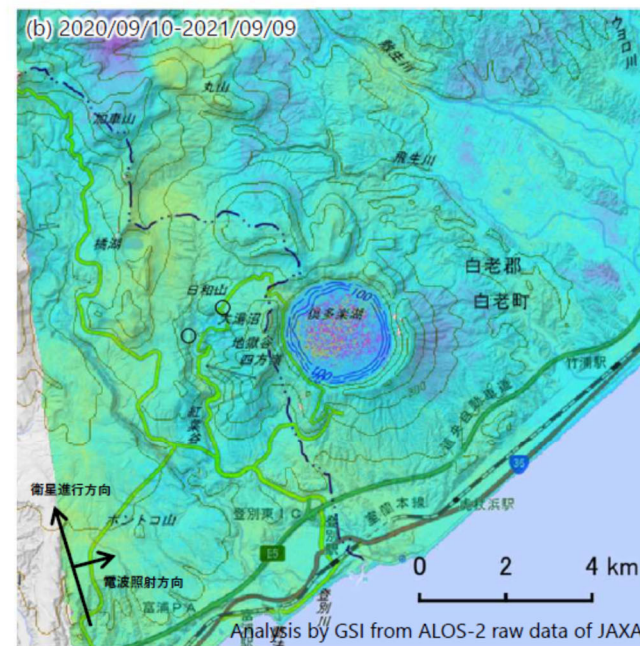
**【干渉SAR】**

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】

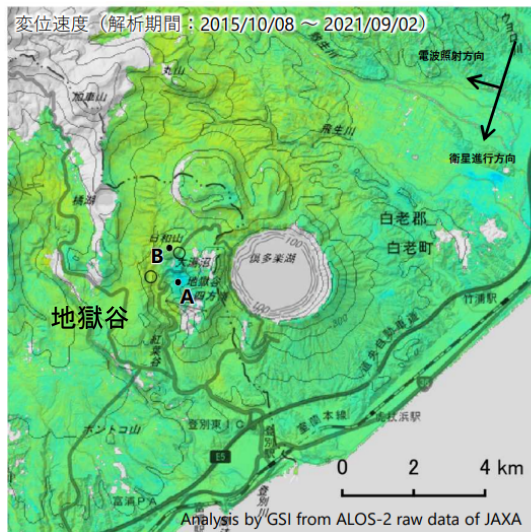
○第149回火山噴火予知連絡会資料(倶多楽)(気象庁, 2021)によると,「地獄谷の地点A周辺に,衛星から遠ざかる方向の変動が見られる」とされている。

#### 【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。

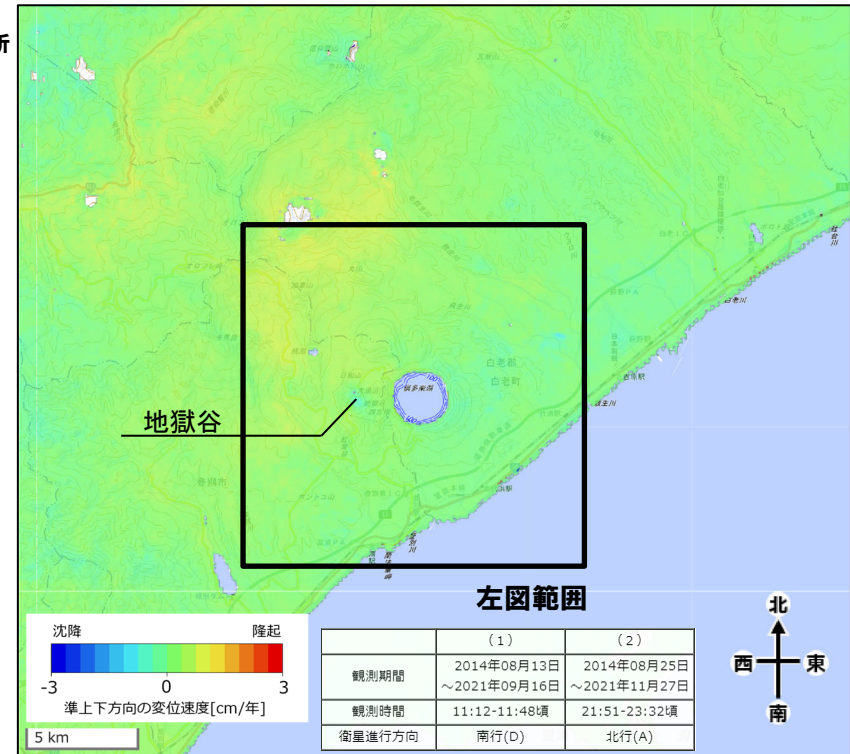
地獄谷の地点A周辺に,衛星から遠ざかる変動が見られます。



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)



	(1)	(2)
観測期間	2014年08月13日 ~ 2021年09月16日	2014年08月25日 ~ 2021年11月27日
観測時間	11:12-11:48頃	21:51-23:32頃
衛星進行方向	南行(D)	北行(A)

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)

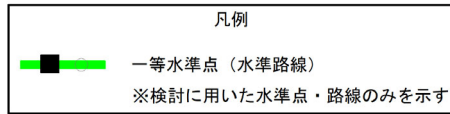
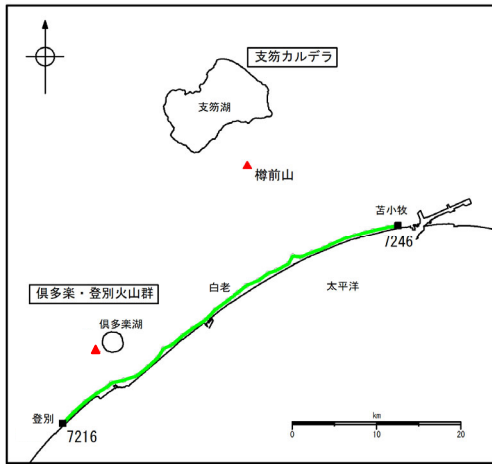
○倶多楽・登別火山群周辺においては,地獄谷周辺の局所的な沈降傾向が認められるものの,倶多楽・登別火山群規模の顕著な地殻変動は認められない。

# 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

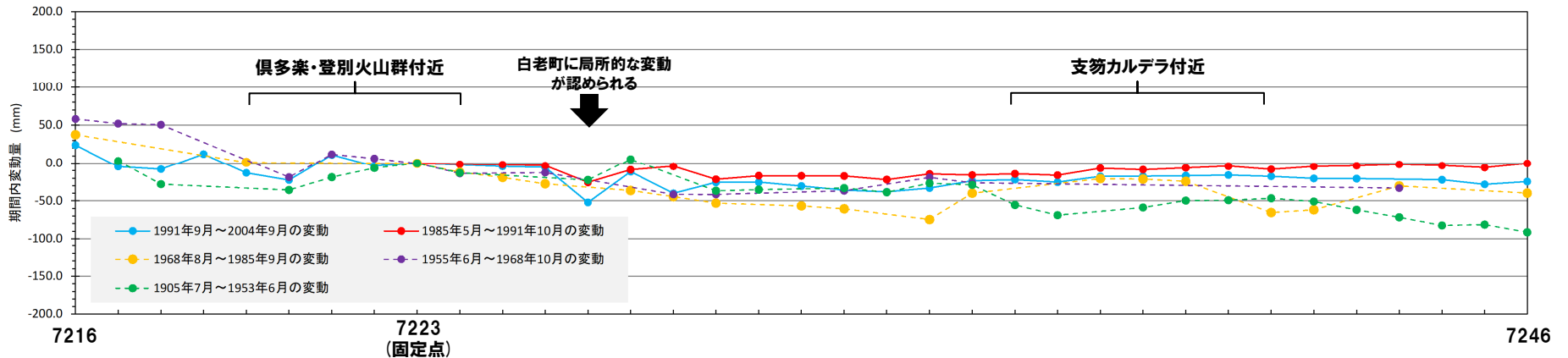
## ②-6 地球物理学的調査(地殻変動)(9/10)

### 【水準測量】

- 過去約100年間における支笏カルデラ周辺及び倶多楽・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・登別火山群付近で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(上下変動及び基線長変化)】

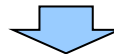
- 倶多楽・登別火山群付近の上下変動は、白老地点においては継続的な隆起又は沈降が認められず、登別、大滝及び伊達地点は隆起傾向が概ね継続している。
- 文献を踏まえると、北海道南部(東北日本弧延長部)はプレート間の固着効果、周辺で発生した地震の余効変動等の様々な効果により総じて隆起傾向であり、登別、大滝及び伊達地点の隆起傾向は、小樽1地点との上下変動量の相対的な差異を捉えているものと考えられる。
- 倶多楽・登別火山群付近の基線長変化は、2003年十勝沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震等の前後に不連続が認められるが、継続的な膨張又は収縮は認められない。
- 2000年有珠山噴火の影響による不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・登別火山群付近での顕著な隆起又は沈降は認められない。



- 地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向又は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。

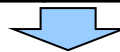
## 2.3.4 巨大噴火の可能性評価(倶多楽・登別火山群)

### 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(P150~P164参照)】			
地震波速度構造	比抵抗構造	重力異常	地下構造の解釈
<p>○防災科学技術研究所HP上の公開データを基に作図した地震波トモグラフィ解析結果からは、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。</p> <p>○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。</p>	<p>○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。</p>	<p>○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。</p> <p>○重力異常を踏まえたマグマ溜まりに関する考察はされていない。</p>	<p>○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。</p>
【火山性地震(P166~P170参照)】		【地殻変動(P171~P181参照)】	
<p>○低周波地震活動は、ほとんど認められない。</p>		<p>○地殻変動は、地獄谷周辺の局所的な沈降傾向又は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。</p>	



○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10km<sup>3</sup>程度を超えるようなもの」とされている。

余白