

# 再処理施設, 廃棄物管理施設, MOX燃料加工施設 火山の影響評価について

令和元年10月25日



日本原燃株式会社

# コメント内容等



No.	コメント時期	指摘事項	頁
1	第290回審査会合 (2019.7.12)	敷地内のボーリングで確認した甲地軽石の層厚に関する記載を充実すること。	P163~190, 304~329
2	第290回審査会合 (2019.7.12)	降下火砕物の密度1.3g/cm <sup>3</sup> の設定根拠について、客観的なデータを加えるなどし、説明性を向上させること。	P216
3	第290回審査会合 (2019.7.12)	甲地軽石の降下火砕物シュミレーションについて、十和田と異なるプロセスで行っている理由と共にパラメータスタディを実施した結果に関する記載を充実すること。	P200~209
4	第290回審査会合 (2019.7.12)	火山モニタリングにかかる資料について、新しいデータも取り込んで更新すること。	P135~148
5	第2回現地調査 (2019.10.4)	甲地軽石を確認したボーリングについて、各柱状図の標高を合わせて並べた資料を作成すること。	P189, 190
6	第2回現地調査 (2019.10.4)	甲地軽石に関連するボーリングコアについて、帯磁率を計って資料に記載すること。	P327~330
7	第2回現地調査 (2019.10.4)	甲地軽石の見た目が場所によって違うため、堆積環境等の観点から、その理由を説明すること。	P189, 190

<b>新たな知見</b> ・ <b>データ更新</b>	十和田湖地域の地質(5万分の1地質図幅)(工藤ほか,2019)の発刊	P7, 17, 22, 23, 29, 158, 249
	中野ほか編『日本の火山(第3版)』のWEB版更新に伴う地理的領域内の第四紀火山の追加	資料全般
	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」の更新	P57, 58, 61, 79, 80, 99, 100, 108, 119, 120
	十和田, 八甲田山の地球物理学的調査(地震及び地殻変動)のデータ更新	P57~80, 99~120

# 火山の影響評価結果〔概要〕

## 【原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出の概要】

- 申請時(H26.1.7)の評価
  - ・火山の活動年代が、一覧で整理されている文献を主に整理した結果、地理的領域内の第四紀火山「43火山」 → 原子力施設に影響を及ぼし得る火山「18火山」



- 申請以降実施した検討
  - ・地理的領域内の第四紀火山「48火山」を対象に、個別文献調査を行い、各火山の詳細な活動履歴を把握することを目的に、階段ダイアグラムを作成。



- 最終評価
  - ・地理的領域内の第四紀火山「48火山」 → 原子力施設に影響を及ぼし得る火山「21火山」(横津岳・先十和田・網張火山群を追加)

## 【原子力施設に影響を及ぼし得る火山事象の概要】

- 申請時(H26.1.7)の評価
  - ・降下火砕物について、文献調査の結果、洞爺火山灰が最大(20~30cm)で、敷地における降下火砕物の層厚を30cmとした。



- 申請以降実施した検討
  - ・現状において、洞爺火山灰を発生させた噴火と同規模の噴火が洞爺カルデラで発生する可能性は十分小さいことから、洞爺火山灰は評価対象外とした。
  - ・敷地内で確認できる実績層厚の最大は、甲地軽石の43cm(再堆積を含む)。
  - ・敷地に最も影響を与える甲地軽石を対象に降下火砕物シミュレーションを実施。最大層厚は53cm。



- 最終評価
  - ・設計に用いる降下火砕物の層厚は、層厚が最大となる甲地軽石の降下火砕物シミュレーション結果から55cmとした。

## 【抽出された火山の個別評価の概要】

### 火砕流

- 申請時(H26.1.7)の評価
  - ・文献調査により過去最大規模の噴火による火山噴出物の敷地への到達可能性を検討した結果抽出される、十和田及び八甲田山の火砕流について、地質調査(火砕流の追跡)・文献調査に基づく活動可能性検討・地震及び地殻変動に基づく現在の活動状況の検討を行い、火砕流が、施設運用期間中に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。



- 申請以降実施した検討
  - ・十和田及び八甲田山の現在のマグマ溜まりの状況を把握することを目的に、文献調査に基づく、火山周辺の干渉SAR及び水準測量記録の整理、地震波トモグラフィの実施等を行った。



- 最終評価
  - ・申請時の各種調査結果に加え、地下構造等の知見の拡充により、十和田及び八甲田山において、巨大噴火が差し迫った状態ではなく、巨大噴火の可能性は十分小さいと評価。

### 火山モニタリング

- 申請時(H26.1.7)の評価
  - ・十和田及び八甲田山を対象に、火山モニタリングを実施。
  - ・監視項目:地震,地殻変動(公的機関)
  - ・カルデラを形成するような大規模噴火の兆候を把握した場合の対処方針を例示。



- 申請以降実施した検討
  - ・地震及び地殻変動データ等に基づくモニタリングの判断基準とフロー(案)を策定。



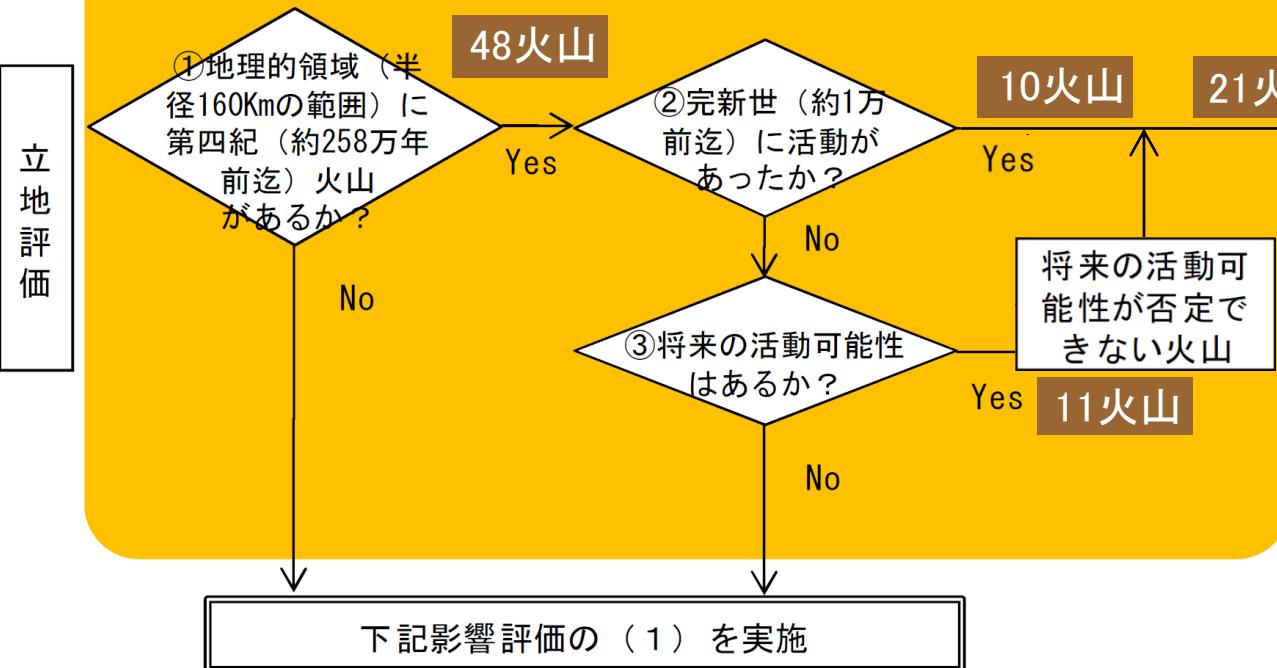
- 最終評価
  - ・モニタリングの判断基準は随時更新し、長期的な地殻変動の傾向も評価する。(干渉SARや水準測量も実施し、モニタリング精度の向上に努める。)
  - ・火山モニタリング結果を踏まえた対処方針を例示。

# 火山影響評価ガイドによる評価〔評価概要〕

## 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出

調査方法

- ・文献調査、地形、地質調査、火山学的調査



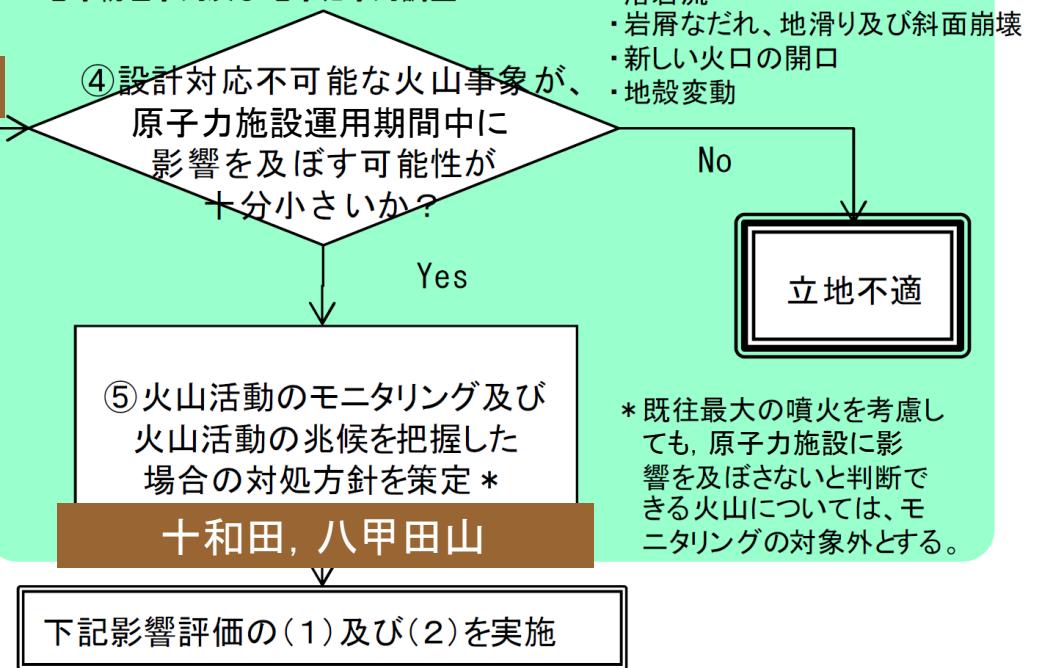
## 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

調査方法

- 文献調査、地形、地質調査、火山学的調査
- 地球物理学的及び地球化学的調査

設計対応が不可能な火山事象

- ・火砕物密度流
- ・溶岩流
- ・岩層なだれ、地滑り及び斜面崩壊
- ・新しい火口の開口
- ・地殻変動



(1) 地理的領域外の火山による  
降下火砕物の影響評価

調査方法

- ・文献調査
- ・地形、地質調査
- ・火山学的調査

火山事象

- ・降下火砕物

(2) 地理的領域内の火山による  
火山事象の影響評価

調査方法

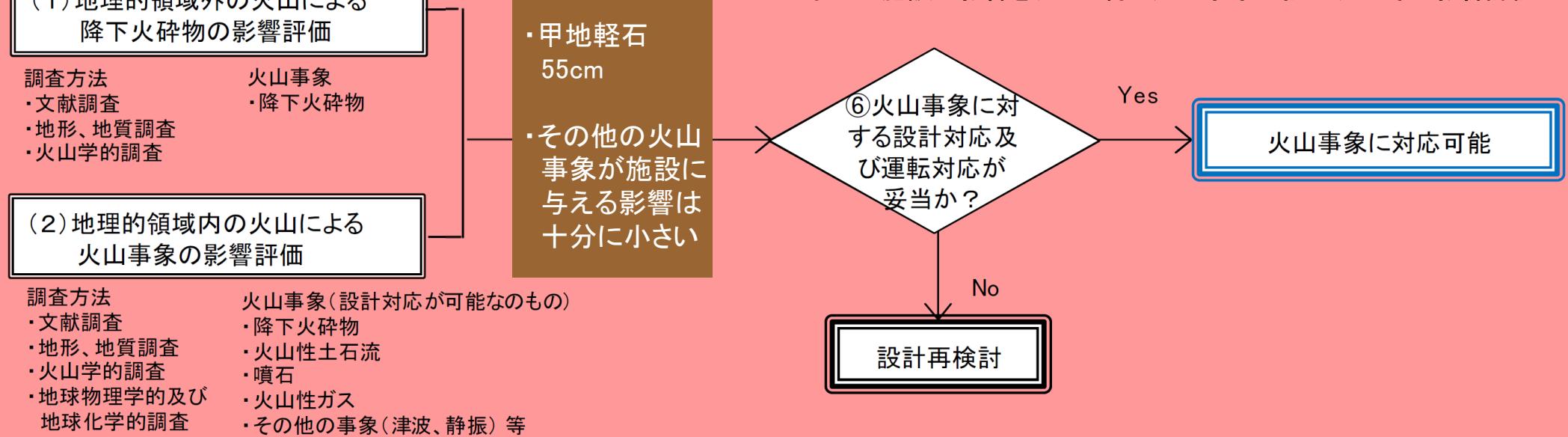
- ・文献調査
- ・地形、地質調査
- ・火山学的調査
- ・地球物理学的及び地球化学的調査

火山事象（設計対応が可能なもの）

- ・降下火砕物
- ・火山性土石流
- ・噴石
- ・火山性ガス
- ・その他の事象（津波、静振）等

## 原子力施設に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価

影響評価



# 目次

1. 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出	P 5
1.1 文献調査	P 6
1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果	P 11
2. 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価	P 15
2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価	P 16
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性	P 16
2.1.2 まとめ	P 27
2.2 十和田の評価	P 28
2.2.1 巨大噴火の可能性評価	P 29
①活動履歴	
②地質調査及び火山学的調査	
③地球物理学的調査(地下構造)	
④地球物理学的調査(地震及び地殻変動)	
⑤まとめ	
2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価	P 82
①活動履歴	
②まとめ	
2.3 八甲田山の評価	P 86
2.3.1 巨大噴火の可能性評価	P 87
①活動履歴	
②地質調査及び火山学的調査	
③地球物理学的調査(地下構造)	
④地球物理学的調査(地震及び地殻変動)	
⑤まとめ	
2.3.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価	P123
①活動履歴	
②まとめ	
2.4 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価のまとめ	P127
3. 火山モニタリング及び対処方針	P129
4. 設計対応が可能な火山事象	P155
参考	P218

## 1. 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出

### 1.1 文献調査

### 1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果

2. 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価

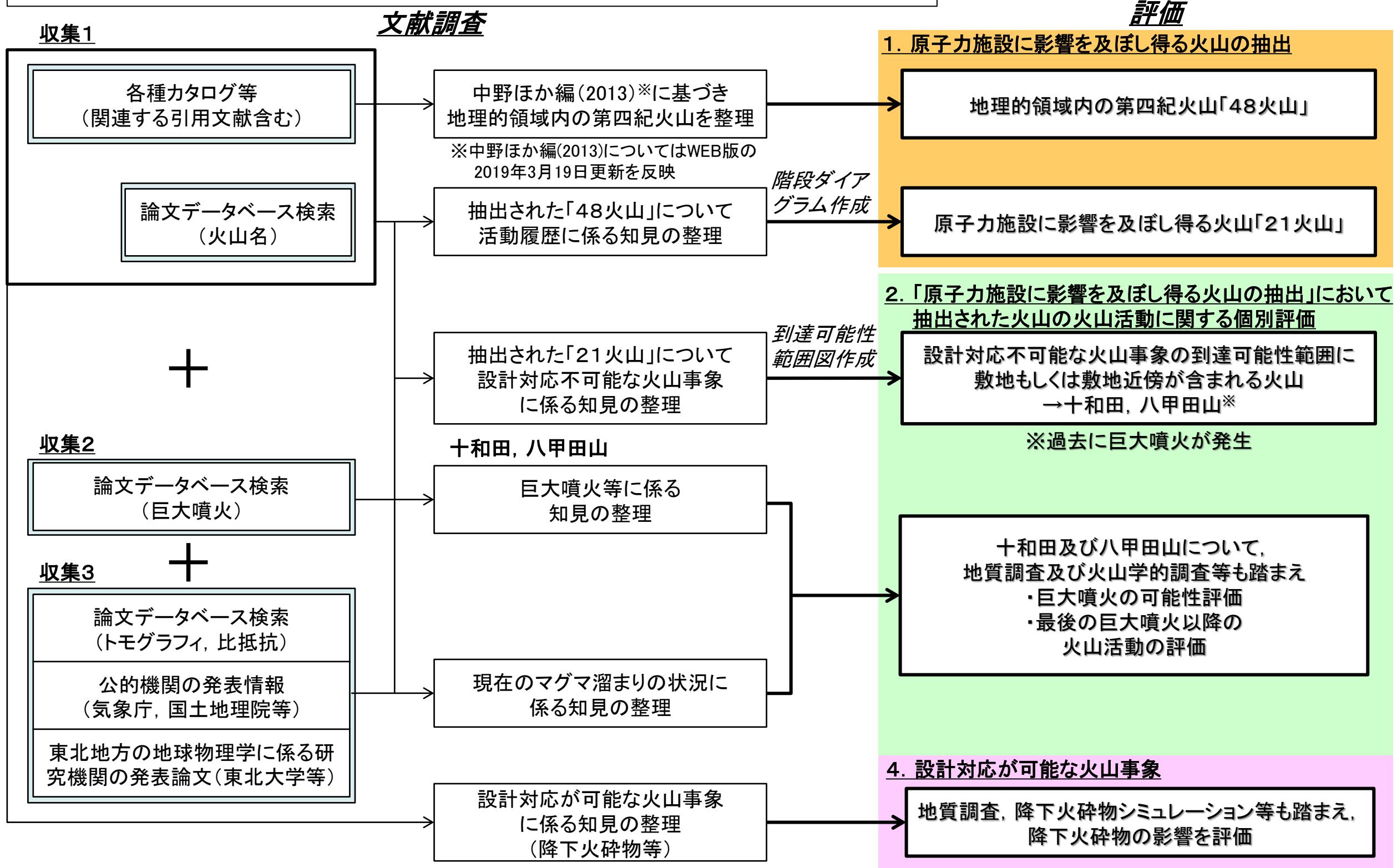
3. 火山モニタリング及び対処方針

4. 設計対応が可能な火山事象

参考

# 1.1 文献調査〔文献調査と評価との関係〕

火山の影響評価における文献調査のフロー図を以下に示す。



## 1.1 文献調査〔収集1：各種カタログ等〕

- ・ 地理的領域内の第四紀火山について、網羅的に年代・活動様式等が整理されている以下のカタログを用いた。
- ・ なお、更なる網羅性向上の観点から、下記カタログの引用文献等についても収集して内容を確認した。

カタログ	タイトル	発行	内容	引用文献が示されているか	評価に用いた文献
中野ほか編(2013)	日本の火山(第3版)	産業技術総合研究所	約260万年前から現在まで(第四紀)に噴火・形成した火山に関する情報(WEB版における2019年3月19日の更新を反映)	なし	188 (カタログ: 37※ <sup>1</sup> カタログの 引用文献: 108 その他※ <sup>2</sup> 43)
西来ほか編(2012)	第四紀火山岩体・貫入岩体データベース	産業技術総合研究所	第四紀に活動した火山岩体及び第四紀に貫入・固結し、その後の隆起・侵食作用によって地表に露出した貫入岩体を採録	あり	
西来ほか編(2014)	第四紀噴火・貫入活動データベース	産業技術総合研究所	「第四紀」に活動した火山及び「第四紀」に貫入・固結し現在は地表に露出する貫入岩体の活動期間を主に整理	なし	
地質図幅	5万分の1地質図幅 20万分の1地質図幅 など	産業技術総合研究所	当該地域の地質情報を網羅し、地質図幅と説明書として、日本各地で整備	あり	
産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)	1万年噴火イベントデータ集	産業技術総合研究所	日本全国の活火山における過去1万年間の噴火履歴及び個別の噴火イベントに関する情報をデータベース化	あり	
気象庁編(2013)	活火山総覧	気象庁	全ての活火山の概要、噴火活動史、有史時代の火山活動等を整理	あり	
第四紀火山カタログ委員会編(1999)	日本の第四紀火山カタログ	第四紀火山カタログ委員会	第四紀(旧定義、約2.0Maまで)の火山に関する年代・体積などの基礎データを整理	あり	

※1 以下の文献も含む

- ・山元(2015):日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図
- ・町田・新井(2011):新編火山灰アトラス
- ・海上保安庁海洋情報部:海域火山データベース

※2 カタログ等の引用文献以外に、火山専門家の助言も踏まえ収集した火山学に係る関連資料(参考書籍、報告書等)も含む

## 1.1 文献調査〔収集1：論文データベース検索〕

- ・文献収集の更なる網羅性向上のため、補足的に国内外の主な科学技術系論文データベースを用いて、地理的領域内の第四紀火山に関する論文等を検索。
- ・検索の結果、評価に直接関連する66文献(64文献は、カタログの引用文献と重複)が抽出され、うち2文献が新たな知見として反映が必要となった。

データベース名	運営主体	データベース概要	検索キーワード※2	ヒット件数※3	ヒット件数の内、評価に直接関連するもの※4	新たな知見として反映が必要となった文献
J-DREAMⅢ※1	株式会社 ジー・サーチ	国内外の論文等を対象とした日本最大級の科学技術文献情報データベース	日本語検索： (火山名 and 火山) or (火山名 and カルデラ)  英語検索： “火山名 volcano” or “火山名 caldera”	1686	63	2
ScienceDirect	Elsevier	世界最大のフルテキストデータベース。Elsevierが発行する2,500誌以上の科学・技術等の電子ジャーナル等を収録		248	0	
SpringerLink	Springer Science + Business Media	Springerが発行する科学技術系出版物を収録		174	3	
AGU Publications	John Wiley & Sons, Inc.	Journal of Geophysical Research等、AGU(アメリカ地球物理学連合)の出版物を収録		44	0	

※1: 2013年4月に(独)科学技術振興機構より継承

※2: 中野ほか編(2013)の火山名に従う。一部、情報が得られなかった火山については読み方・「山・岳」の有無などを考慮。

J-DREAMⅢでは日本語及び英語キーワードで実施し、他3サイトでは英語キーワードで検索。

※3: 重複を含む。(新規追加となった5火山以外は2018年6月2日時点の検索結果。新規追加の5火山については2019年6月20日時点の検索結果)

※4: 文献のタイトルや要旨に基づき記載内容を詳細に確認する文献を選択し判断。

## 1.1 文献調査〔収集2：データベース検索（巨大噴火）〕

- ・個別評価対象火山となる十和田・八甲田山については、過去に巨大噴火が発生している。
- ・十和田及び八甲田山の近い将来における巨大噴火の発生可能性について言及している論文等を、収集1から抽出。更に学術論文以外の雑誌・書籍について、国立国会図書館オンラインを用いて追加で検索を実施。

データベース名	運営主体	データベース概要	検索キーワード	ヒット件数 (文献数) (2018年7月19日 時点)	ヒット件数(文献数)のうち、十和田もしくは八甲田の巨大噴火の発生可能性に直接言及したもの※
国立国会図書館 オンライン	国立国会図書館	国会図書館に所蔵される資料の検索エンジン	<ul style="list-style-type: none"> <li>・(カルデラor噴火or破局噴火or噴火予知) and(十和田or八甲田)</li> <li>・カルデラ噴火</li> <li>・破局噴火</li> <li>・巨大噴火</li> </ul>	290	1

※: 文献のタイトルに基づき記載内容を詳細に確認する文献を選択し判断。

## 1.1 文献調査〔収集3：地球物理学的調査〕

- ・公的機関の発表情報，東北地方の地球物理学に係る研究機関の発表論文を専門家の助言も踏まえ，個別に文献を収集した。
- ・また，文献収集の更なる網羅性向上のため，補足的に国内外の主な科学技術系論文データベース等を対象に，十和田及び八甲田山の地球物理学的調査に関する論文等の検索を行った。
- ・その結果，十和田及び八甲田山の地球物理学的調査に関する43文献が抽出された。

文献調査 / データベース名等	運営主体	データベース概要	検索キーワード※2	ヒット件数※3 (2018年6月8日 時点)	ヒット件数のうち，評価 に関連するもの※4
J-DREAMⅢ※1	株式会社 ジー・サーチ	国内外の論文等を対象とした日本最大級の科学技術文献情報データベース	日本語検索： ((Vp and Vs) or 電磁) and マグマ and (東北日本 or 東北地方)  英語検索： ((Vp and Vs) or electromagnetic) and magma and ("NE Japan" or "northeast Japan" or "northeastern Japan")	41	4
ScienceDirect	Elsevier	世界最大のフルテキストデータベース。Elsevierが発行する2,500誌以上の科学・技術等の電子ジャーナル等を収録		181	1 ※J-DREAMⅢの 検索結果と重複
SpringerLink	Springer Science+Busi ness Media	Springerが発行する科学技術系出版物を収録		97	1 ※J-DREAMⅢの 検索結果と重複
AGU Publications	John Wiley & Sons, Inc.	Journal of Geophysical Research等，AGU(アメリカ地球物理学連合)の出版物を収録		94	1 ※J-DREAMⅢの 検索結果と重複
個別に収集した文献		<ul style="list-style-type: none"> <li>・公的機関の発表情報(気象庁，国土地理院 等)</li> <li>・東北地方の地球物理学に係る研究機関の発表論文</li> </ul>		39	

※1:2013年4月に(独)科学技術振興機構より継承

※2:J-DREAMⅢでは日本語及び英語キーワードで実施し，他3サイトでは英語キーワードで検索。

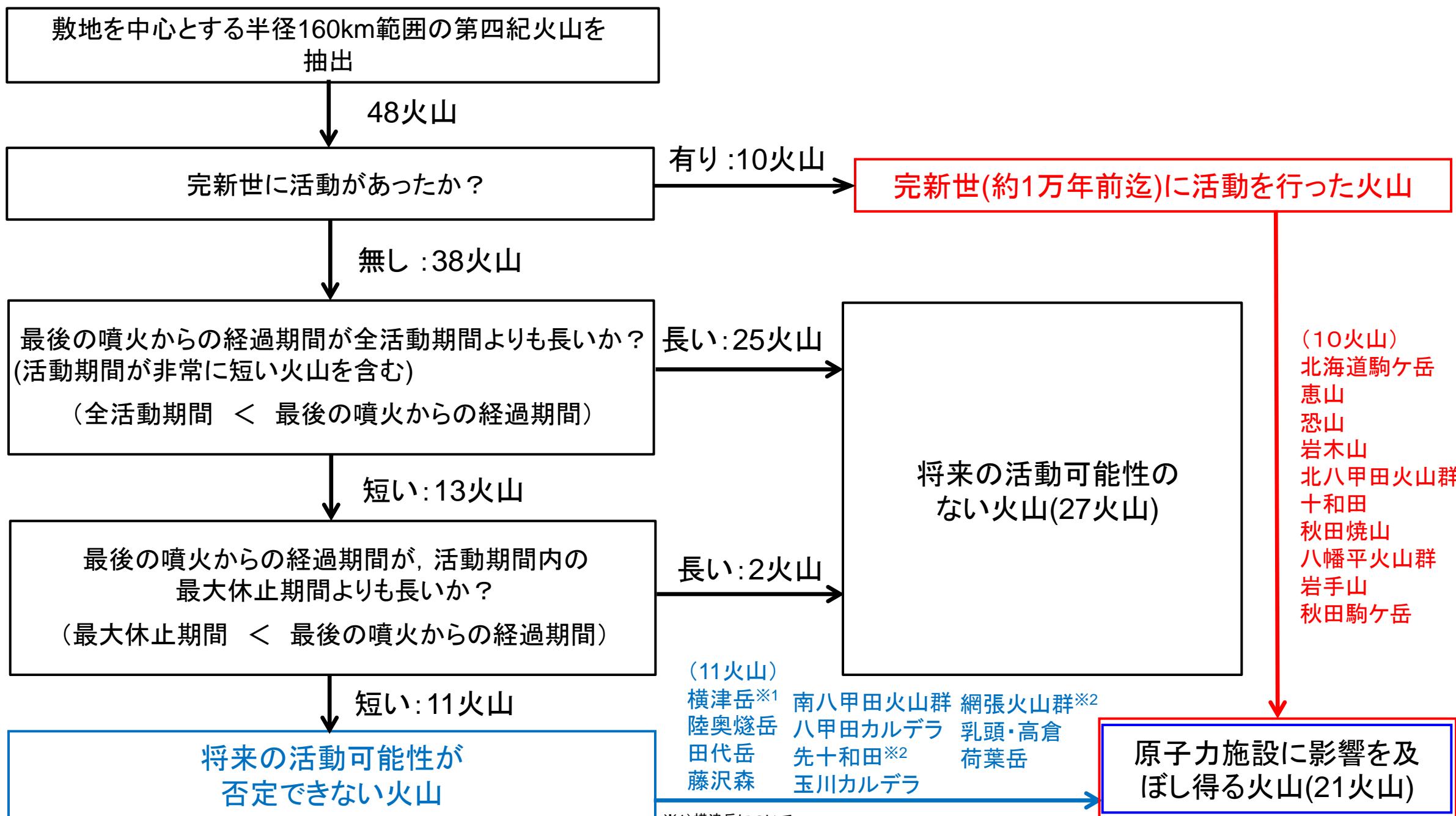
※3:重複を含む。

※4:文献のタイトルや要旨に基づき記載内容を詳細に確認する文献を選択し判断。

評価に関連すると判断したMatsubara and Obara(2011)については，最新知見であるMatsubara et al.(2017)及びMatsubara et al.(2019)を引用した。 10

## 1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果〔評価概要〕

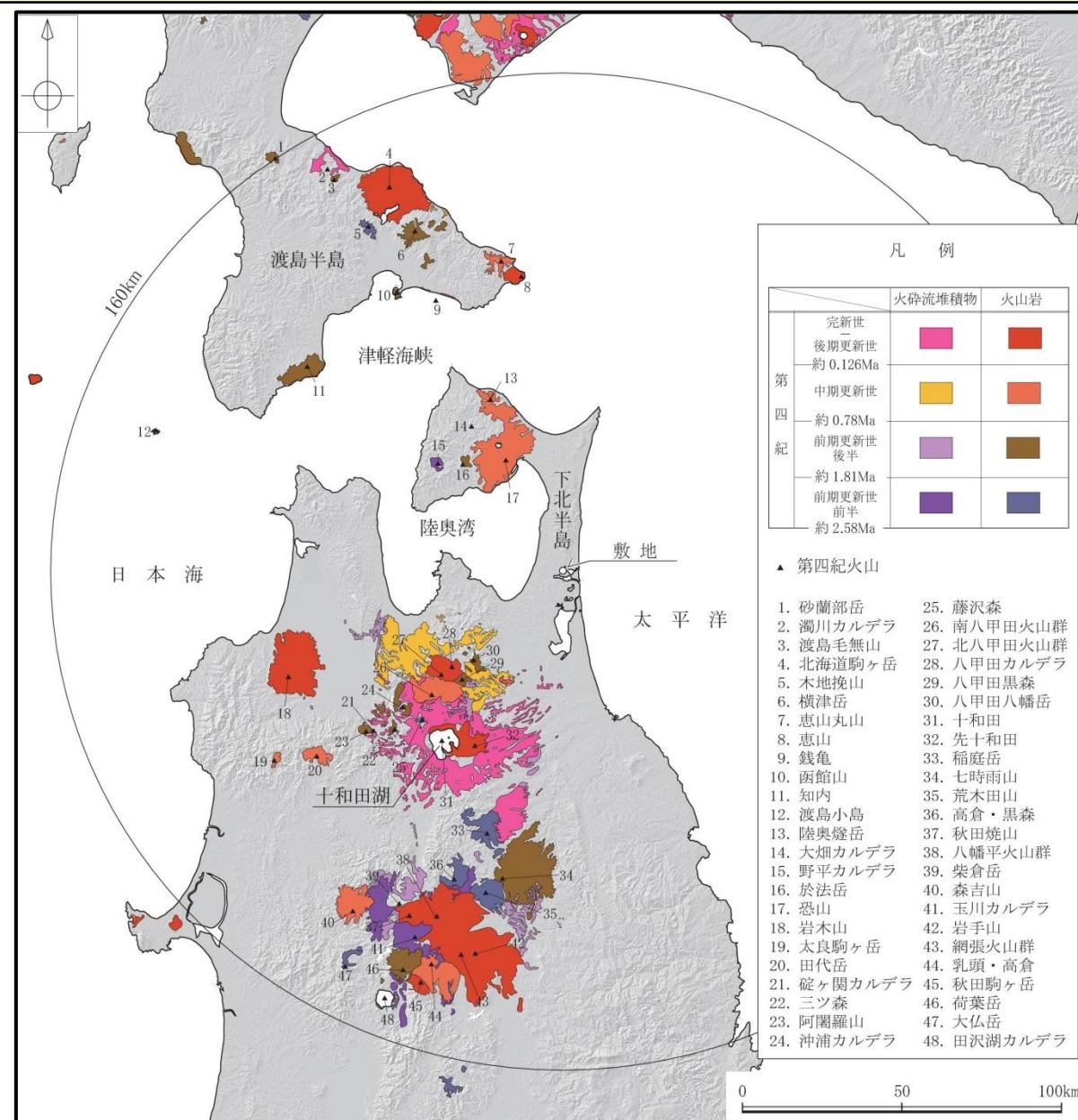
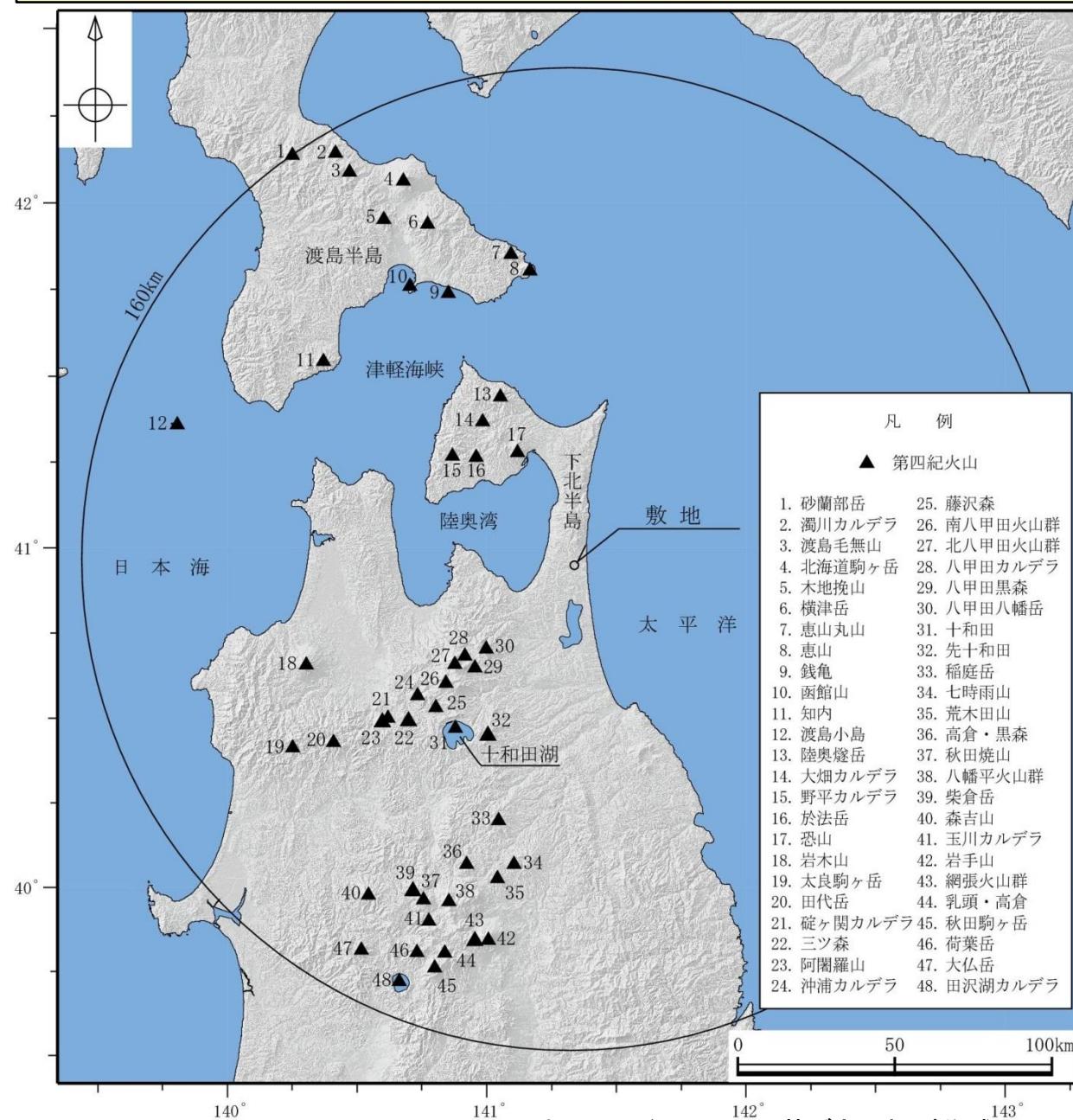
➤ 敷地を中心とする半径160km範囲の第四紀火山について、以下のフローに従い、完新世の活動の有無、将来の活動可能性を検討し、原子力施設に影響を及ぼし得る火山を抽出した。



※1)横津岳について  
申請時は、中野ほか編(2013)に基づく活動年代から最後の噴火からの経過期間が全活動期間よりも長いとし、将来の活動可能性のない火山としていたが、申請後の知見(高田・中川, 2016)を踏まえ、横津岳を原子力施設に影響を及ぼし得る火山とした。  
※2)中野ほか編(2013)のWEB版2019年3月19日の更新に伴い、原子力施設に影響を及ぼし得る火山として新規追加となった火山。なお、先十和田については、工藤(2018)の知見を踏まえて評価した。

## 1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果①

- 文献調査及び地形・地質調査により、敷地を中心とする半径160km範囲において、第四紀火山の噴出物の分布等を把握し、敷地を中心とする半径160km範囲の第四紀火山を抽出した。
- 敷地を中心とする半径160km範囲には48の第四紀火山が分布する。
- なお、申請時点では中野ほか編(2013)に基づき43の第四紀火山を抽出していたが、中野ほか編(2013)のWEB版において2019年3月19日の更新で三ツ森(碓ヶ関カルデラから分離)、阿闍羅山(碓ヶ関カルデラから分離)、先十和田(十和田から分離)、柴倉岳(新規)、網張火山群(岩手山から分離)の計5火山が新たに追加された。



# 1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果②

火山名※	形式※	活動年代※ (千年前)		最後の活動 からの 経過期間 (千年間)	原子力施設に影響を及ぼし 得る火山(21火山)	
		完新世に 活動を行 った火山 (10火山)	将来の活動可 能性が否定でき ない火山 (11火山)*2			
1 砂蘭部岳 (さらんべだけ)	複成火山	1,800		1,800		
2 濁川カルデラ (にごりかわ)	カルデラー火砕流	15		15		
3 渡島毛無山 (おしまけなしやま)	溶岩流	前期更新世 前半	or 前期更新世	前期更新世 後半以降		
4 北海道駒ヶ岳 (ほっかいどうこまがたけ)	複成火山	30以前 110*3	~ AD2000	—	○	
5 木地挽山 (きじびきやま)	複成火山	1,900	or 1,900以降	約1900		
6 横津岳 (よこつだけ)	複成火山	1,100 1,710*4	or 1,100以降 140*5	140		○
7 恵山丸山 (えさんまるやま)	複成火山	200		200		
8 恵山 (えさん)	複成火山 溶岩ドーム	50	~ AD1874	—	○	
9 銭亀 (ぜにかめ)	カルデラー火砕流	45		45		
10 函館山 (はこだてやま)	複成火山	1,200	~ 900	900		
11 知内 (しりうち)	複成火山 溶岩ドーム	2,500	~ 1,400	1,400		
12 渡島小島 (おしまこじま)	複成火山	160	~ 110	110		
13 陸奥燧岳 (むつひうちだけ)	複成火山	1,200	~ 500	500		○
14 大畑カルデラ (おおはた)	カルデラ	3,000	~ 1,800	1,800		
15 野平カルデラ (のだい)	カルデラ	1,900		1,900		
16 於法岳 (おほうだけ)	複成火山	1,600	~ 1,300	1,300		
17 恐山 (おそれざん)	火砕丘-カルデラ 溶岩ドーム	1,300	~ 20	20	○*1	
18 岩木山 (いわきざん)	複成火山 溶岩ドーム	650	~ AD1863	—	○	
19 太良駒ヶ岳 (たいらこまがたけ)	複成火山	200		200		
20 田代岳 (たしろだけ)	複成火山 溶岩ドーム	600	~ 600以降 35~15.5*6	35~15.5*6		○
21 碓ヶ関カルデラ (いかりがせき)	カルデラー火砕流	2,600	~ 2,300	2,300		
22 三ツ森 (みつもり)	複成火山	1,900	~ 1,300	1,300		
23 阿闍羅山 (あじやらやま)	複成(複合)火山	1,000		1,000		
24 沖浦カルデラ (おきうら)	カルデラー火砕流 溶岩ドーム	1,700*7 900*7	~ 1,100*7 ~ 700*7	700*7		
25 藤沢森 (ふじさわもり)	溶岩流	3,500	~ 1,700	1,700		○
26 南八甲田火山群 (みなみはっこうだ)	複成火山	1,100	~ 300	300		○
27 北八甲田火山群 (きたはっこうだ)	複成火山 溶岩ドーム	400	~ 0.6~0.4	0.6~0.4	○	
28 八甲田カルデラ (はっこうだ)	カルデラー火砕流	900	~ 400	400		○*8

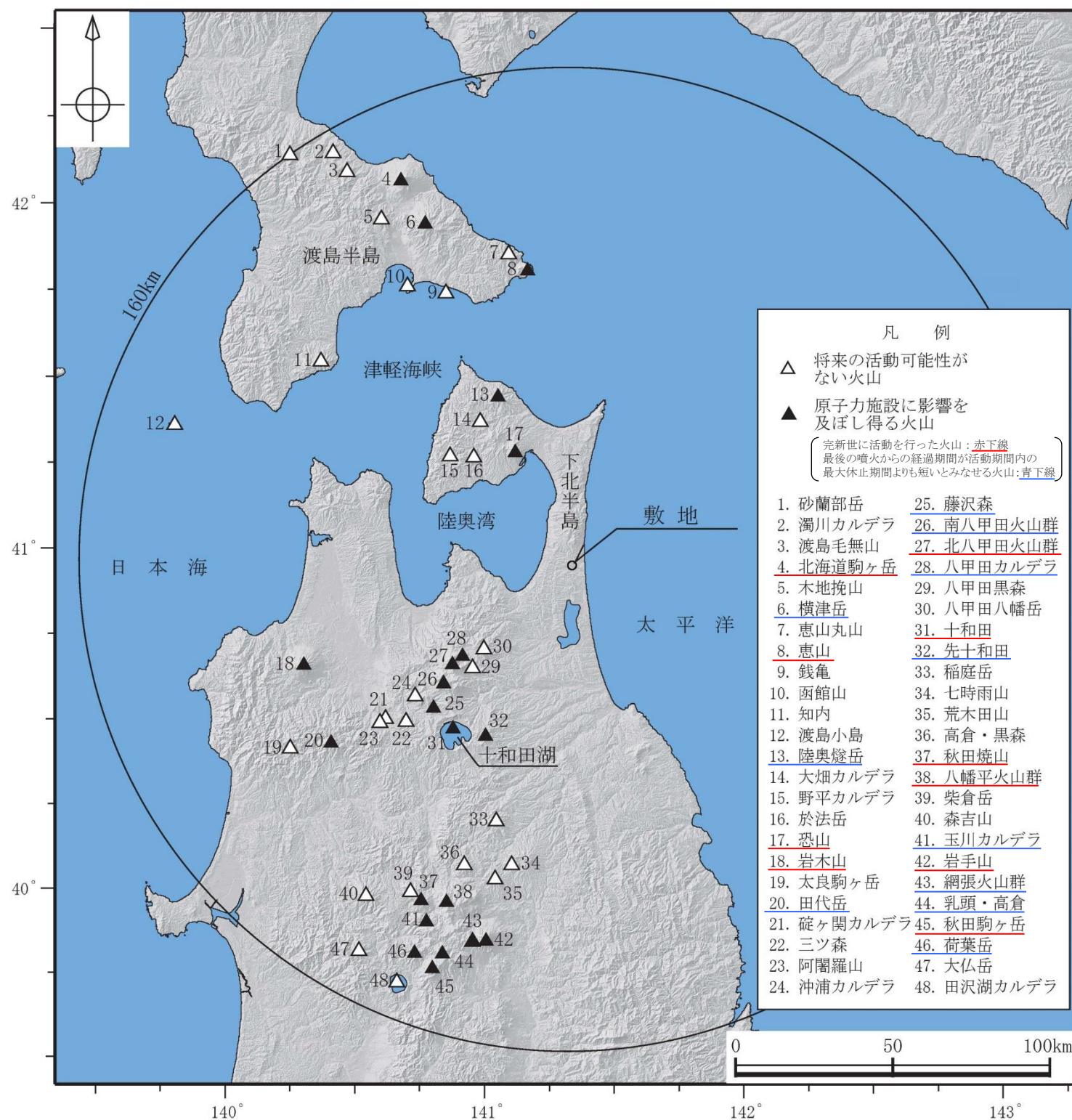
火山名※	形式※	活動年代※ (千年前)		最後の活動 からの 経過期間 (千年間)	原子力施設に影響を及ぼし 得る火山(21火山)	
		完新世に 活動を行 った火山 (10火山)	将来の活動可 能性が否定でき ない火山 (11火山)*2			
29 八甲田黒森 (はっこうだくろもり)	複成火山	1,750	~ 1,600	1,600		
30 八甲田八幡岳 (はっこうだはちまんだけ)	複成火山	1,800	~ 1,600	1,600		
31 十和田 (とわだ)	カルデラー火砕流 溶岩ドーム	200	~ AD915	1	○	
32 先十和田 (せんとうわだ)	複成(複合)火山	620 2530*9	~ 450	450		○
33 稲庭岳 (いなにわだけ)	複成火山	3,000	~ 2,600	2,600		
34 七時雨山 (ななしぐれやま)	複成火山, 溶岩ドーム カルデラー火砕流	1,100	~ 900	900		
35 荒木田山 (あらかたやま)	複成火山	2,100	~ 1,900	1,900		
36 高倉・黒森 (たかくら・くろもり)	複成火山	3,200	~ 2,500	2,500		
37 秋田燧山 (あきたやけやま)	複成火山 溶岩ドーム	500	~ AD1997	—	○	
38 八幡平火山群 (はちまんたい)	複成火山	1,200	~ 7	7	○	
39 柴倉岳 (しばくらだけ)	複成(複合)火山	2,600 1,200	~ 2000*10	1,200		
40 森吉山 (もりよしざん)	複成火山 溶岩ドーム	1,100	~ 700	700		
41 玉川カルデラ (たまがわ)	カルデラー火砕流	2,000	and 1,000	1,000		○
42 岩手山 (いわてざん)	複成火山	700	~ AD1919	—	○	
43 網張火山群 (あみはり)	複成(複合)火山	1,620	~ 300	300		○
44 乳頭・高倉 (にゅうとう・たかくら)	複成火山 溶岩ドーム	600	~ 100	100		○
45 秋田駒ヶ岳 (あきたこまがたけ)	複成火山, 溶岩流 小型楯状火山	100	~ AD1971	—	○	
46 荷葉岳 (かようだけ)	複成火山, 溶岩流, 小型 楯状火山, 溶岩ドーム	2,200	~ 900	900		○
47 大仏岳 (だいぶつだけ)	複成火山	3,000	~ 2,100	2,100		
48 田沢湖カルデラ (たざわこ)	カルデラ 複成火山, 溶岩ドーム	1,800	~ 1,400	1,400		

※中野ほか編(2013; 2019年3月の更新を反映)、西来ほか編(2012)及び西来ほか編(2014)に基づき作成  
 \*1: 気象庁編(2013)による活火山に該当するため抽出  
 \*2: 最後の活動からの経過期間が活動期間内の最大休止期間よりも短いとみなせる火山  
 \*3: 雁澤ほか(2005)によれば、北海道駒ヶ岳起源の降下火砕物(E-x)が洞爺火山灰の下位に認められ、その年代を110kaと推定している  
 \*4: 高田・中川(2016)によれば、横津岳のグループ1の活動は1.71Maから開始したとされる  
 \*5: 新エネルギー総合開発機構(1988)によれば、横津岳に含まれる熊泊山火山噴出物の年代として0.14±0.04Ma(フィッシュ・トラック年代)が得られている  
 \*6: 宝田(1991)によれば、層序的に十和田大不動火砕流(約3.5万年前)と十和田八戸火砕流(約1.55万年前)の噴出時期の間にあるとされる  
 \*7: 宝田・村岡(2004)による  
 \*8: 中野ほか編(2013)によれば、カルデラ形成時期は0.90Ma、0.76Ma及び0.40Maの各年代値が記載されているが、その活動時期を0.90Ma~0.40Maと保守的に評価した  
 \*9: 工藤(2018)によれば、十和田湖周辺の高山溶岩・火山砕屑岩で、2.53±0.07Ma(K-Ar年代)が得られている  
 \*10: 須藤(1992)によれば、柴倉岳火山噴出物と燧山火山噴出物は識別されており、前者で2.6±0.5Maと2.0±0.2Ma、後者で1.2±0.1Ma(K-Ar年代)が得られている。

○ 中野ほか編(2013)のWEB版の更新により追加となった第四紀火山

- 敷地を中心とする半径160km範囲に分布する48火山のうち、完新世に活動を行った火山は10火山である。
- また、完新世に活動していないものの、最後の噴火から現在までの経過期間の方が、全活動期間あるいは活動期間内の最大休止期間よりも短いために、将来の活動可能性が否定できない火山は11火山である。(中野ほか編(2013)のWEB版の更新により先十和田および網張火山群の2火山追加)
- 将来の活動可能性のない火山は27火山である。

## 1.2 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出結果〔まとめ〕



➤ 敷地を中心とする半径160km範囲に分布する48の第四紀火山について、完新世の活動の有無、及び活動休止期間と最後の噴火からの経過期間から将来の活動可能性を検討し、原子力施設に影響を及ぼし得る火山を抽出した。

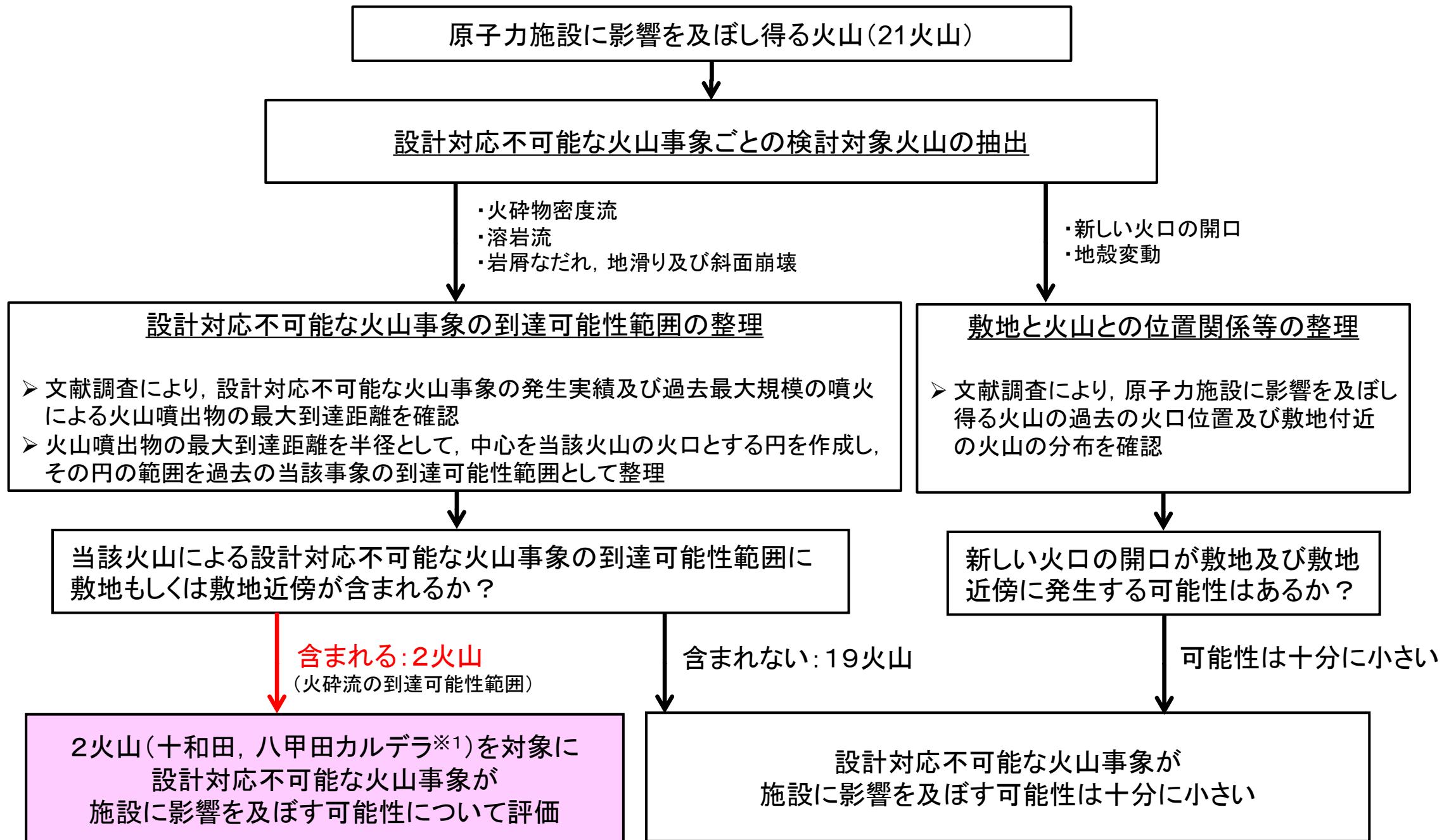
➤ その結果、原子力施設に影響を及ぼし得る火山として、21火山を抽出した(左図黒三角の火山)。

1. 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出
2. 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価
2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性
2.1.2 まとめ
2.2 十和田の評価
2.2.1 巨大噴火の可能性評価
2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
2.3 八甲田山の評価
2.3.1 巨大噴火の可能性評価
2.3.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
2.4 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価のまとめ
3. 火山モニタリング及び対処方針
4. 設計対応が可能な火山事象
参考

## 2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

### 2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性①〔評価概要〕

➤ 原子力施設に影響を及ぼし得る火山について、以下のフローに従い、設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性について検討した。



※1: 南八甲田火山群及び北八甲田火山群も合わせて評価を実施。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性②

火山名	敷地からの離隔 (km)	設計対応不可能な火山事象				
		火砕物密度流	溶岩流	岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	新しい火口の開口	地殻変動
		検討対象となる火山の敷地からの離隔				
		160km以内	50km以内	50km以内	—	—
4 北海道駒ヶ岳 (ほっかいどうこまがたけ)	134	○ (7km)	検討不要		○*1	○*1
6 横津岳 (よこつだけ)	118	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
8 恵山 (えさん)	95	○ (4km)	検討不要		○*1	○*1
13 陸奥燧岳 (むつひうちだけ)	58	○ (8km)	検討不要		○*1	○*1
17 恐山 (おそれざん)	39	○ (15km)	○ (9km)	○ (15km)	○*1	○*1
18 岩木山 (いわきさん)	93	○ (6km)	検討不要		○*1	○*1
20 田代岳 (たしろだけ)	98	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
25 藤沢森 (ふじさわもり)	65	◎	検討不要		○*1	○*1
26 南八甲田火山群 (みなみはっこうだ)	57	○ (13km)	検討不要		○*1	○*1
27 北八甲田火山群 (きたはっこうだ)	51	○ (10km)	検討不要		○*1	○*1
28 八甲田カルデラ (はっこうだ)	46	× (42km)	◎	◎	○*1	○*1
31 十和田 (とわだ)	66	× (100km)	検討不要		○*1	○*1
32 先十和田 (せんとうわだ)	63	○ (24km)	検討不要		○*1	○*1
37 秋田焼山 (あきたやけやま)	121	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
38 八幡平火山群 (はちまんたい)	118	◎	検討不要		○*1	○*1
41 玉川カルデラ (たまがわ)	127	○ (41km)	検討不要		○*1	○*1
42 岩手山 (いわてさん)	126	○ (20km)	検討不要		○*1	○*1
43 網張火山群 (あみはり)	127	○ (8km)	検討不要		○*1	○*1
44 乳頭・高倉 (にゅうとう・たかくら)	135	◎	検討不要		○*1	○*1
45 秋田駒ヶ岳 (あきたこまがたけ)	141	○ (13km)	検討不要		○*1	○*1
46 荷葉岳 (かようだけ)	138	◎	検討不要		○*1	○*1

◎：当該火山の活動履歴上、発生実績が認められない火山事象  
 ○：当該火山の活動履歴上、発生実績は認められるが、敷地近傍への到達可能性が十分に小さい火山事象  
 ×：過去の最大規模の噴火による火山噴出物が、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある火山事象  
 ( )内の距離：過去の最大規模の噴火による火山噴出物の到達距離  
 検討不要：敷地からの離隔による判断  
 \*1：敷地は過去の火口及びその近傍に位置しないことによる

【火砕物密度流】

＜対象となる火山：敷地から半径160km以内の21火山＞

➤ 文献調査では敷地近傍では火砕流堆積物の分布は認められないものの、十和田及び八甲田カルデラの過去最大規模の噴火における火砕流の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれる。一方、十和田及び八甲田カルデラ以外の原子力施設に影響を及ぼし得る火山については、発生実績や敷地からの離隔等より、火砕物密度流が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

【溶岩流／岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊】

＜対象となる火山：敷地から半径50km以内の恐山及び八甲田カルデラ＞

➤ 恐山については、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊に伴う堆積物は敷地周辺には分布しない。八甲田カルデラについては、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の発生実績が認められない。その他の19火山については、敷地から半径50km以内に分布しないことから、評価対象外である。したがって、これらの火山事象が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

【新しい火口の開口及び地殻変動】

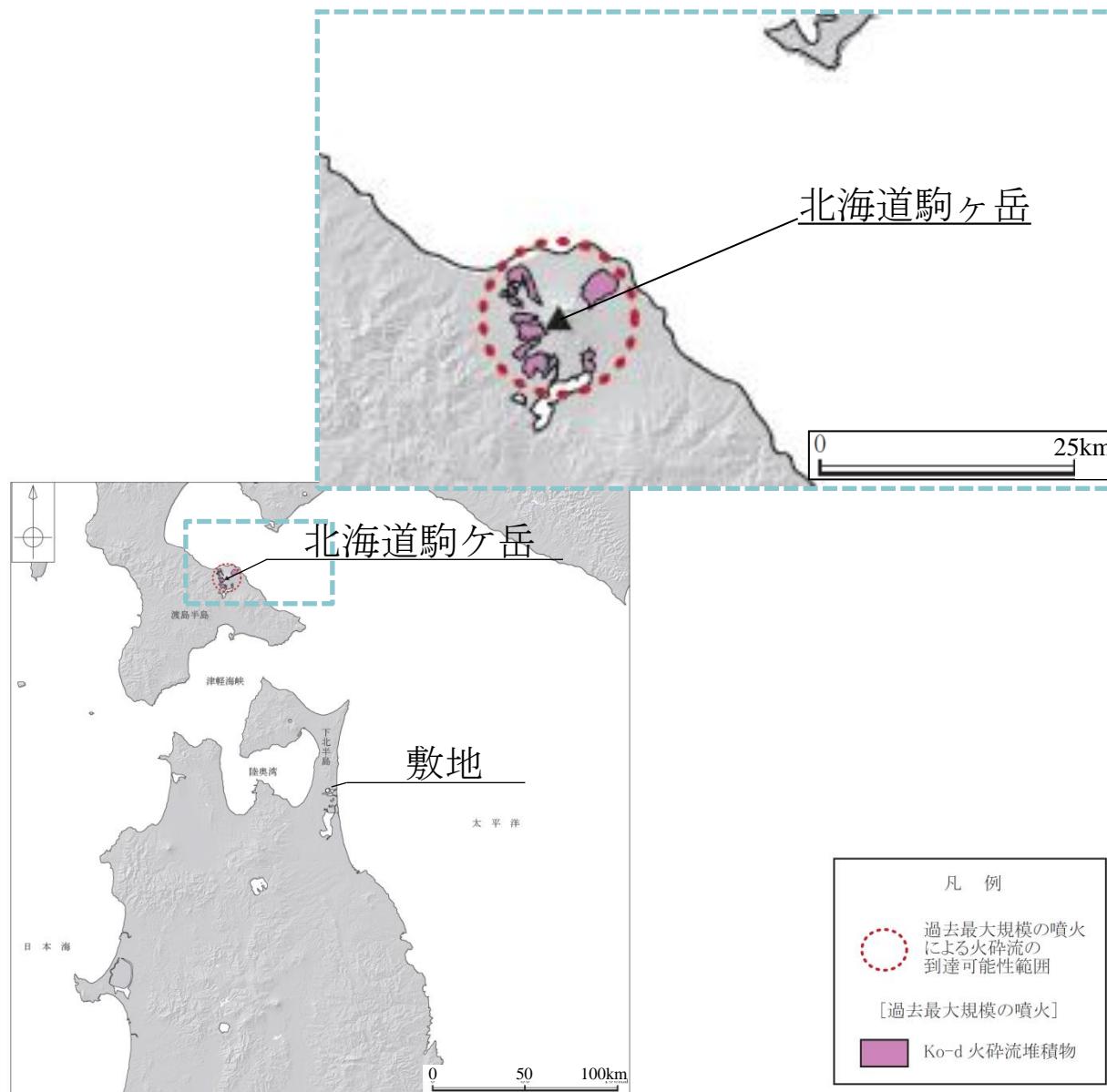
➤ 新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地が、原子力施設に影響を及ぼし得る火山の過去の火口及びその近傍に位置しないこと、並びに火山フロントより前弧側(東方)に位置することから、これらの火山事象が敷地において発生する可能性は十分に小さいと評価した。

次頁以降に、対象となる火山のうち、設計対応不可能な火山事象の発生実績が認められる17火山について評価対象の火山事象の分布を示す。(藤沢森、八幡平火山群、乳頭・高倉及び荷葉岳は評価対象の火山事象である火砕物密度流の発生実績が認められない。)

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

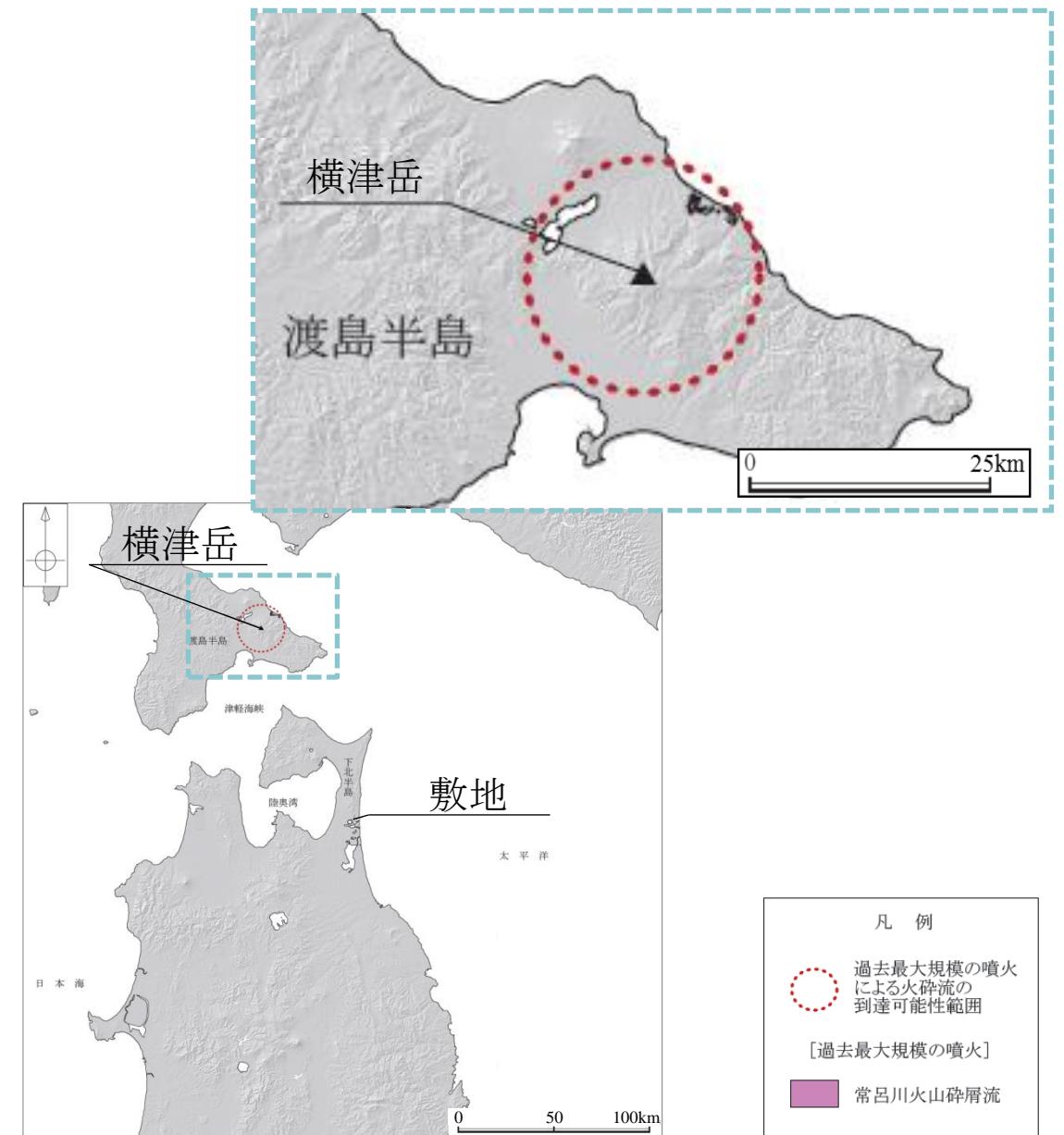
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性③

4. 北海道駒ヶ岳



火砕流堆積物の分布は、吉本ほか(2007)に基づき当社が作成

6. 横津岳



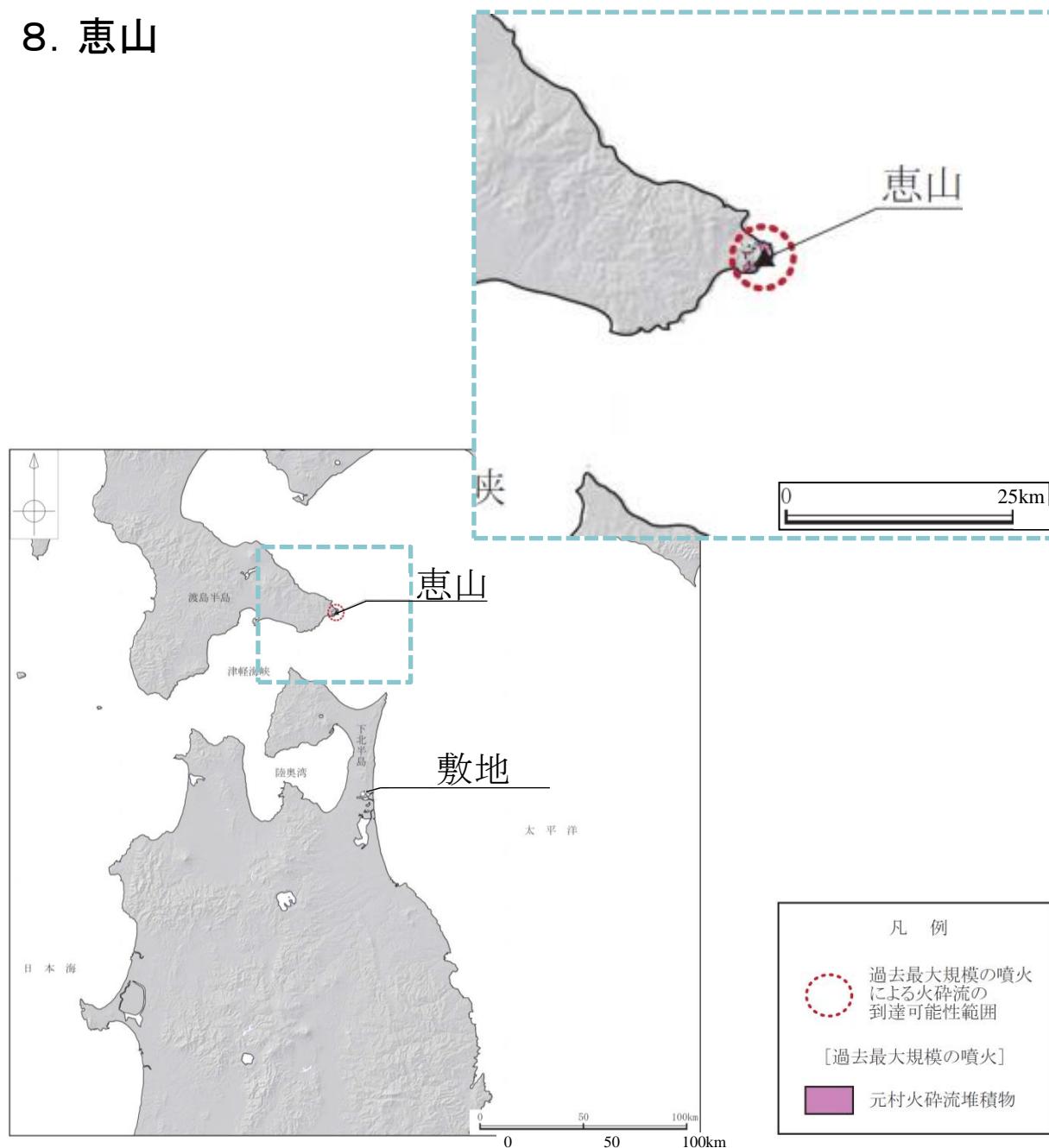
火砕流堆積物の分布は、鈴木ほか(1969), 国府谷ほか(1967)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である北海道駒ヶ岳と横津岳について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

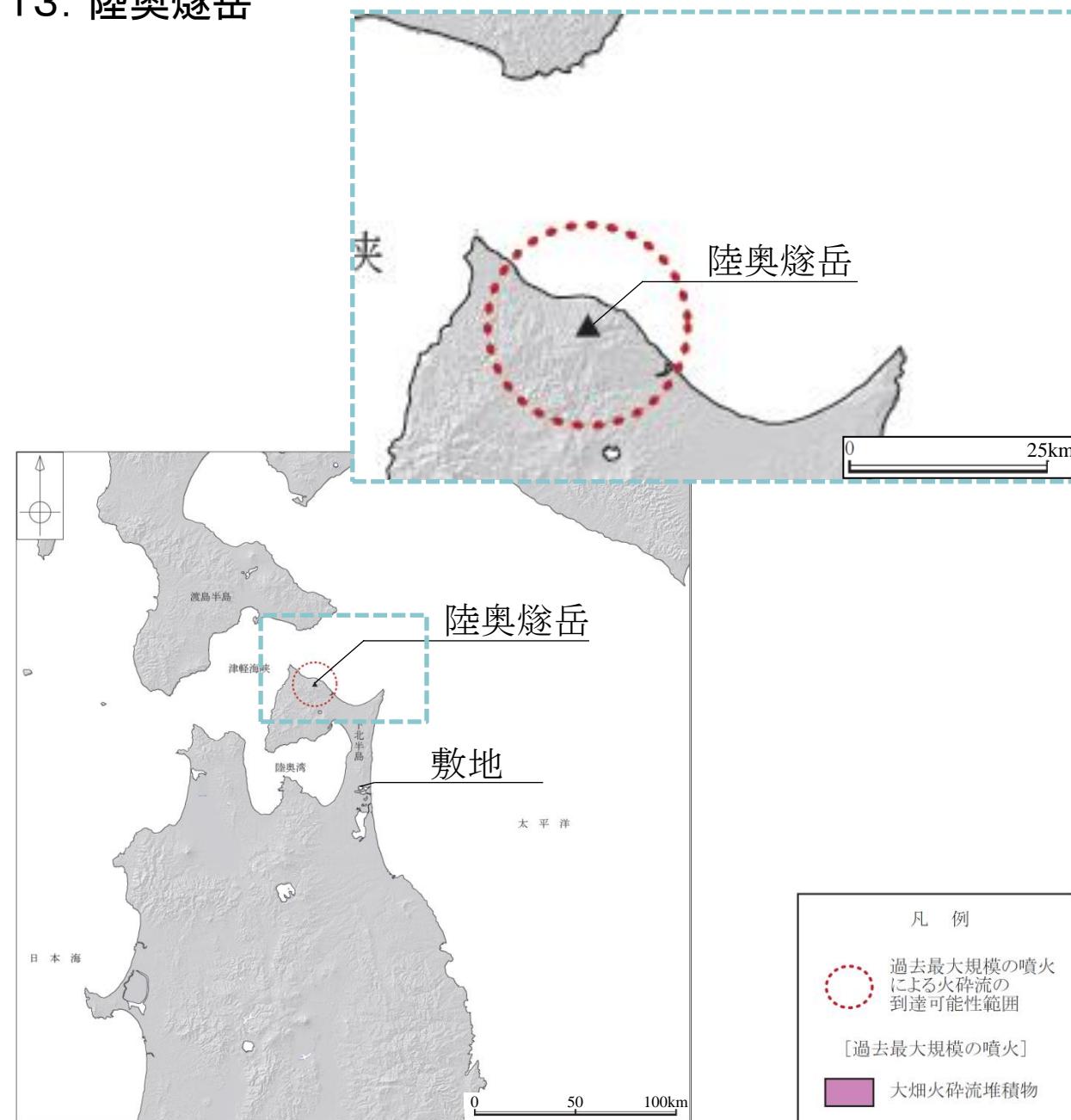
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性④

8. 恵山



火砕流堆積物の分布は、Miura et al.(2013)に基づき当社が作成

13. 陸奥燧岳



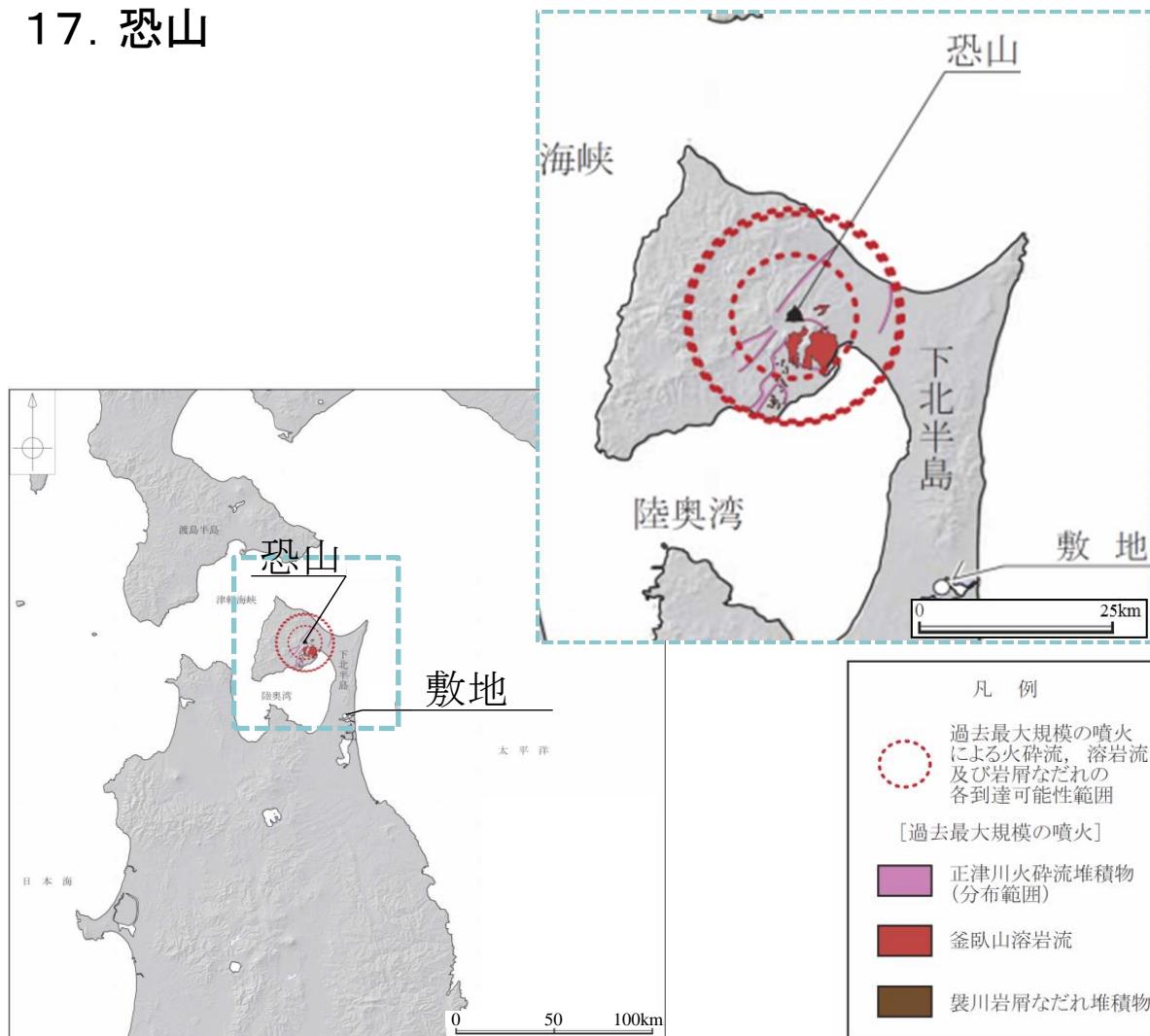
火砕流堆積物の分布は、梅田(1992)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である恵山と陸奥燧岳について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑤

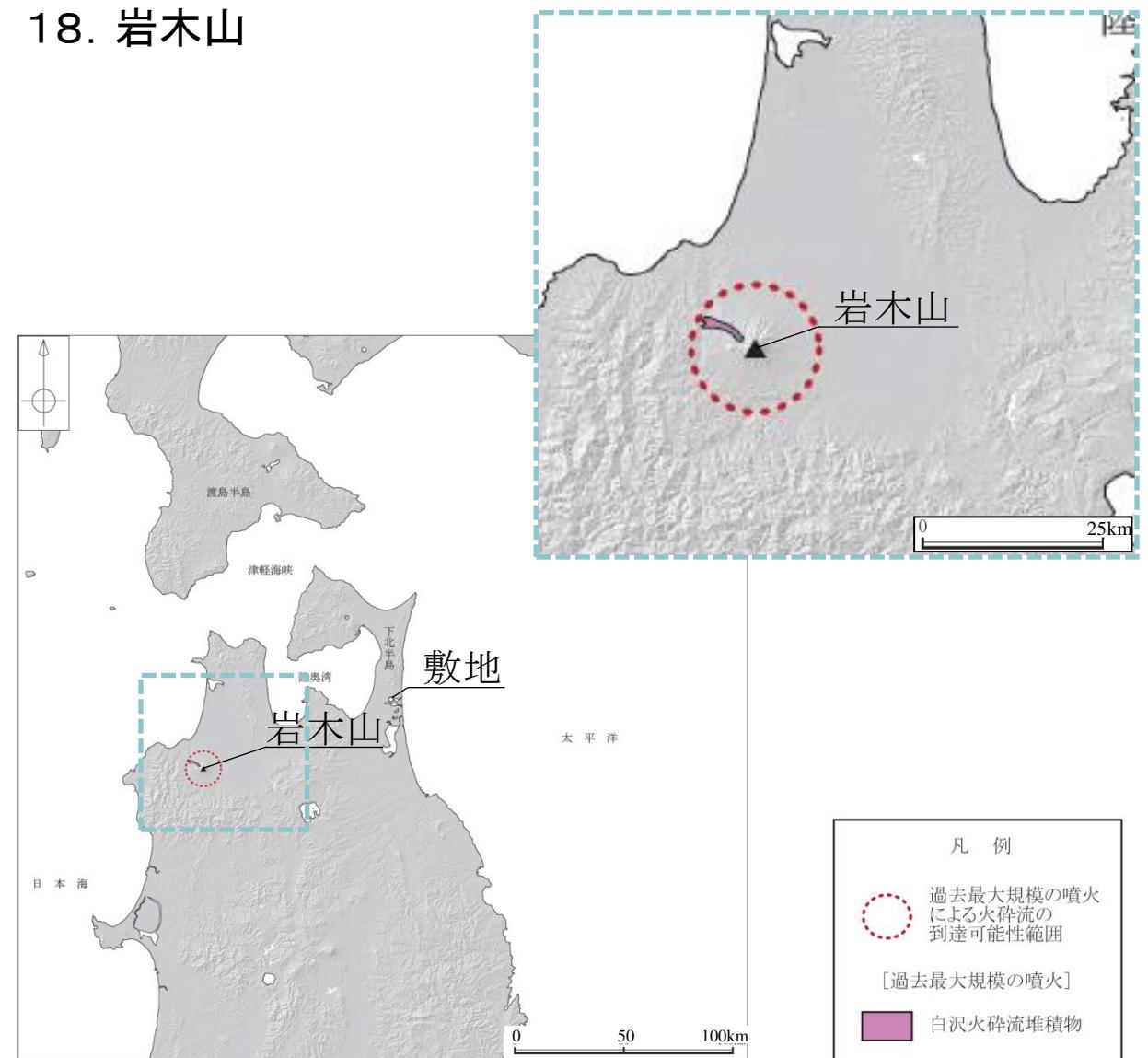
17. 恐山



溶岩流の分布は富樫(1977), 火砕流堆積物の分布はリサイクル燃料貯蔵株式会社(2007)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊の評価対象火山である恐山について, これらの火山事象の分布と発生実績を確認した。
- 火砕流, 溶岩流, 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊に伴う堆積物は敷地周辺には分布しない。
- 以上のことから, これらの火山事象が, 施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

18. 岩木山



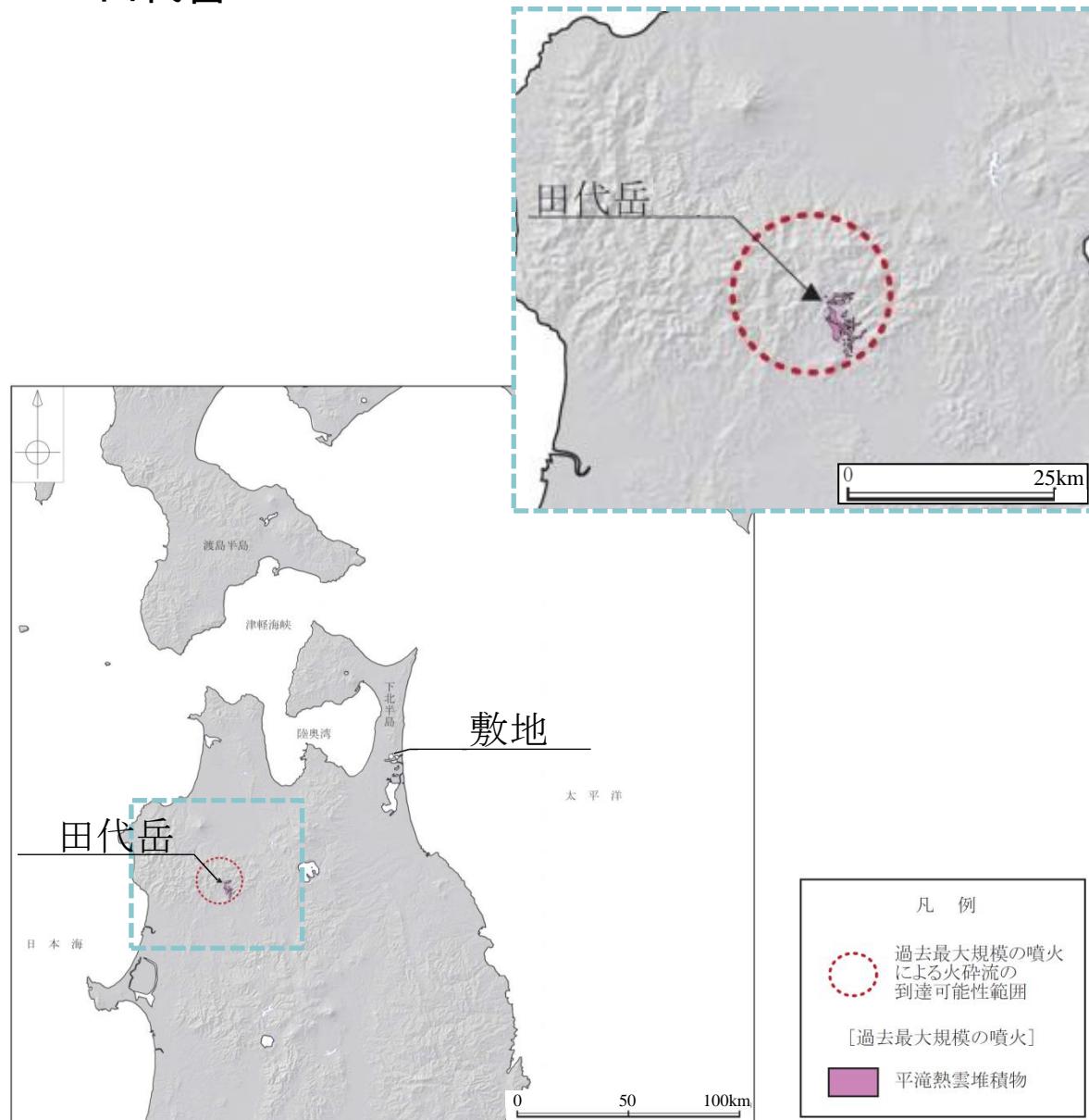
火砕流堆積物の分布は, 佐々木ほか(1996)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である岩木山について, 火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が, 当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから, 火砕物密度流が, 施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

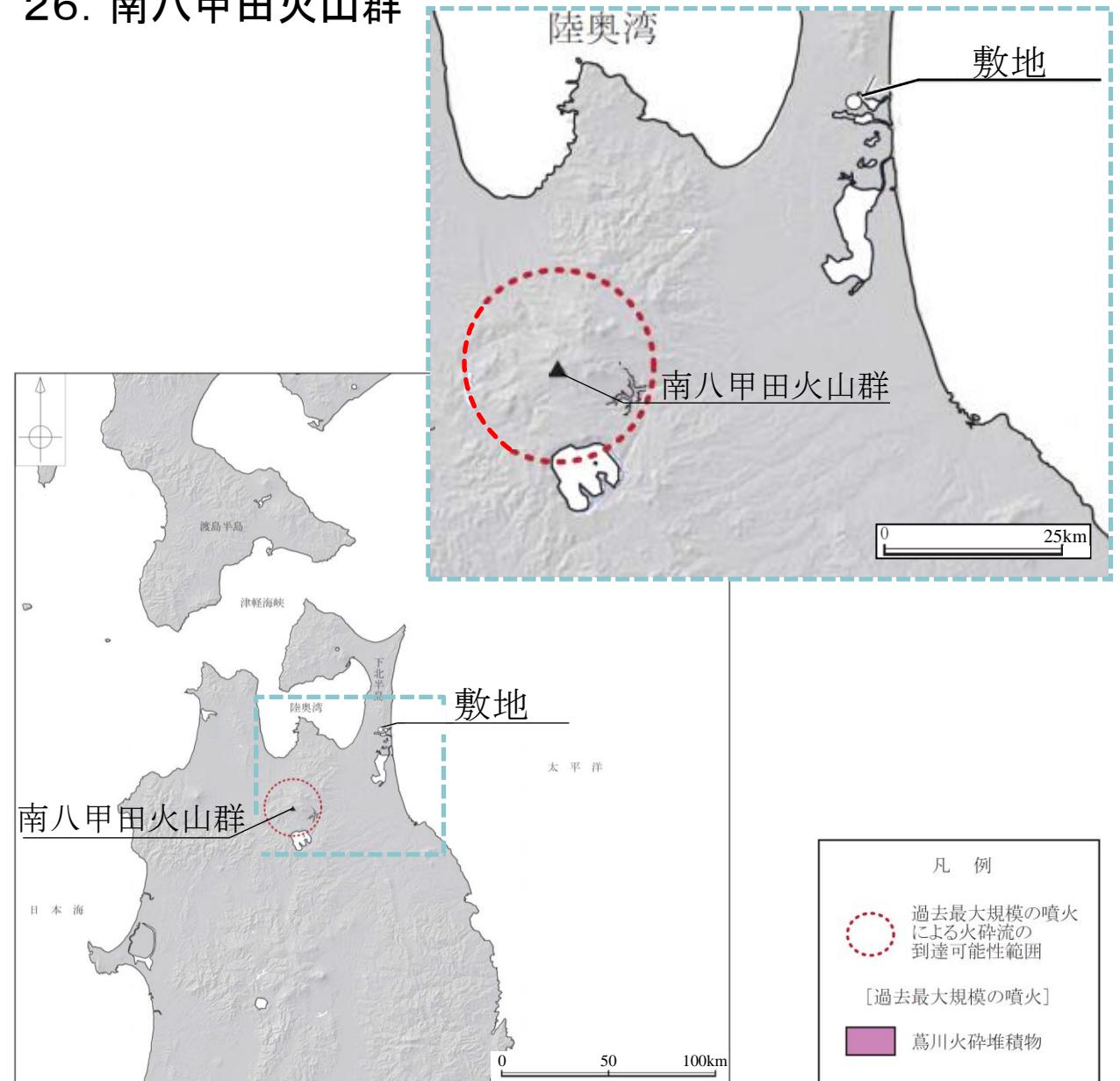
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑥

20. 田代岳



火砕流堆積物の分布は、宝田(1991)に基づき当社が作成

26. 南八甲田火山群



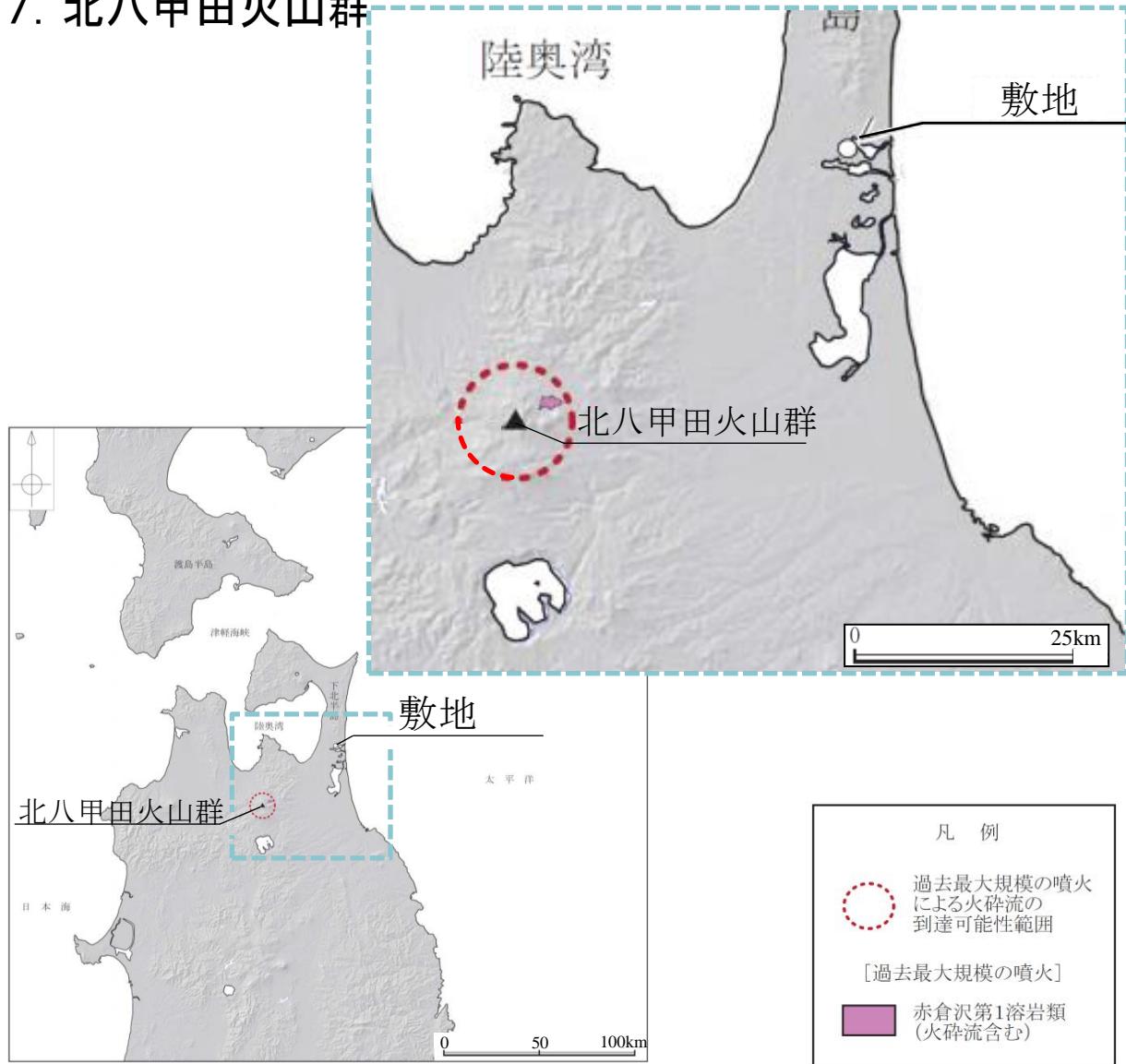
火砕流堆積物の分布は、宝田・村岡(2004)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である田代岳と南八甲田火山群について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

## 2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

### 2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑦

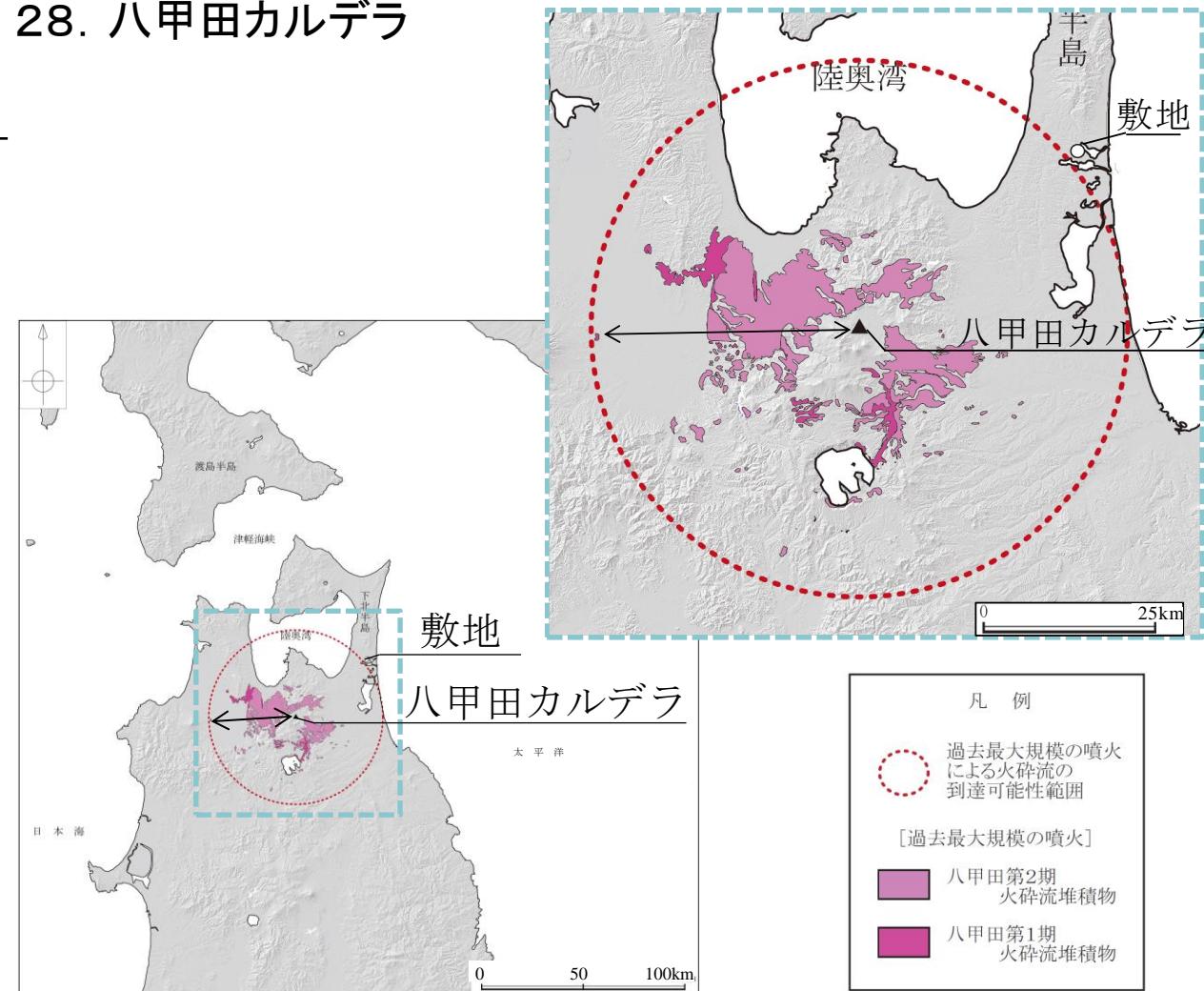
#### 27. 北八甲田火山群



火砕流堆積物の分布は、工藤ほか(2004)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である北八甲田火山群について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

#### 28. 八甲田カルデラ



火砕流堆積物の分布は、村岡・高倉(1988), 村岡ほか(1991), 大沢ほか(1993), 青森県史編さん自然部会(2001), 長森ほか(2013), 工藤ほか(2019)に基づき当社が作成

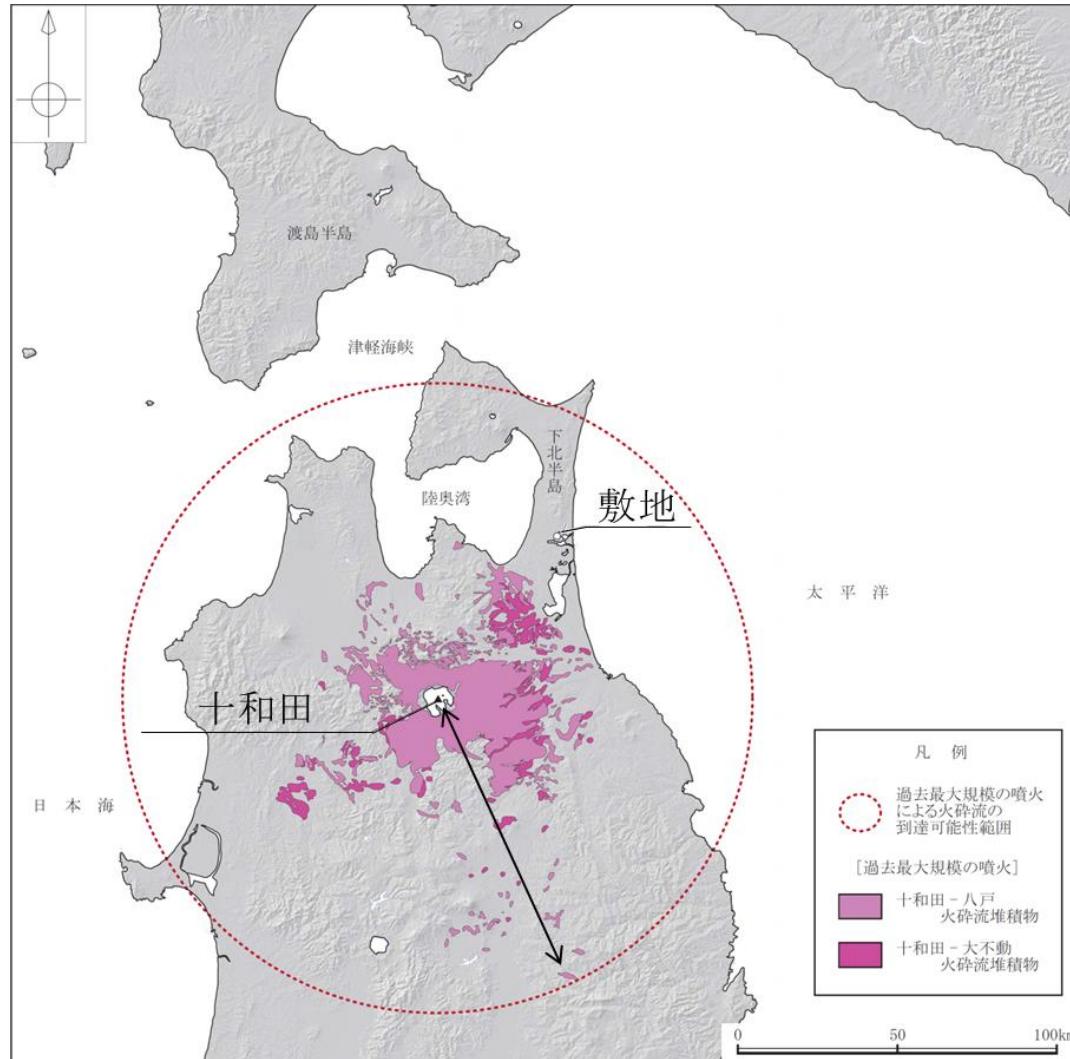
- 火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊の評価対象火山である八甲田カルデラについて、これらの火山事象の分布と発生実績を確認した。
  - 八甲田カルデラの過去最大規模の噴火における火砕流が、敷地近傍を到達可能性範囲に含む。
  - なお、溶岩流, 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊の発生実績は認められない。
- ⇒八甲田カルデラを対象に詳細な調査・検討を実施。

\* 南八甲田火山群及び北八甲田火山群も合わせて評価を実施。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑧

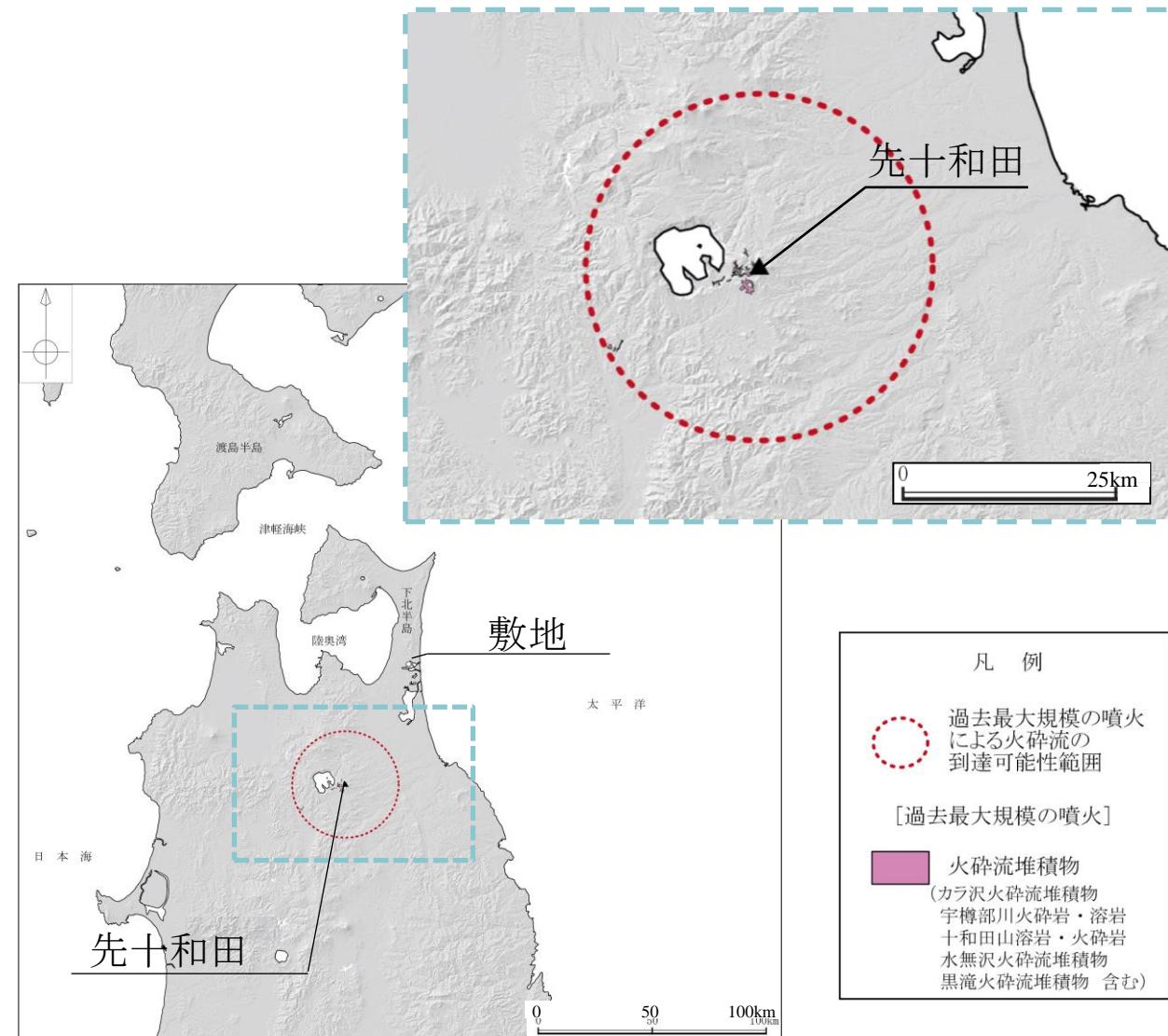
31. 十和田



火砕流堆積物の分布は、中川ほか(1972), 土井(1993), 村岡ほか(1991), 大沢ほか(1993), 大沢・須田(1978), 町田・新井(2011), 長森ほか(2013)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である十和田について、火砕流の分布を確認した。
- 十和田の過去最大規模の噴火における火砕流が、敷地を到達可能性範囲に含む。  
⇒十和田を対象に詳細な調査・検討を実施。

32. 先十和田



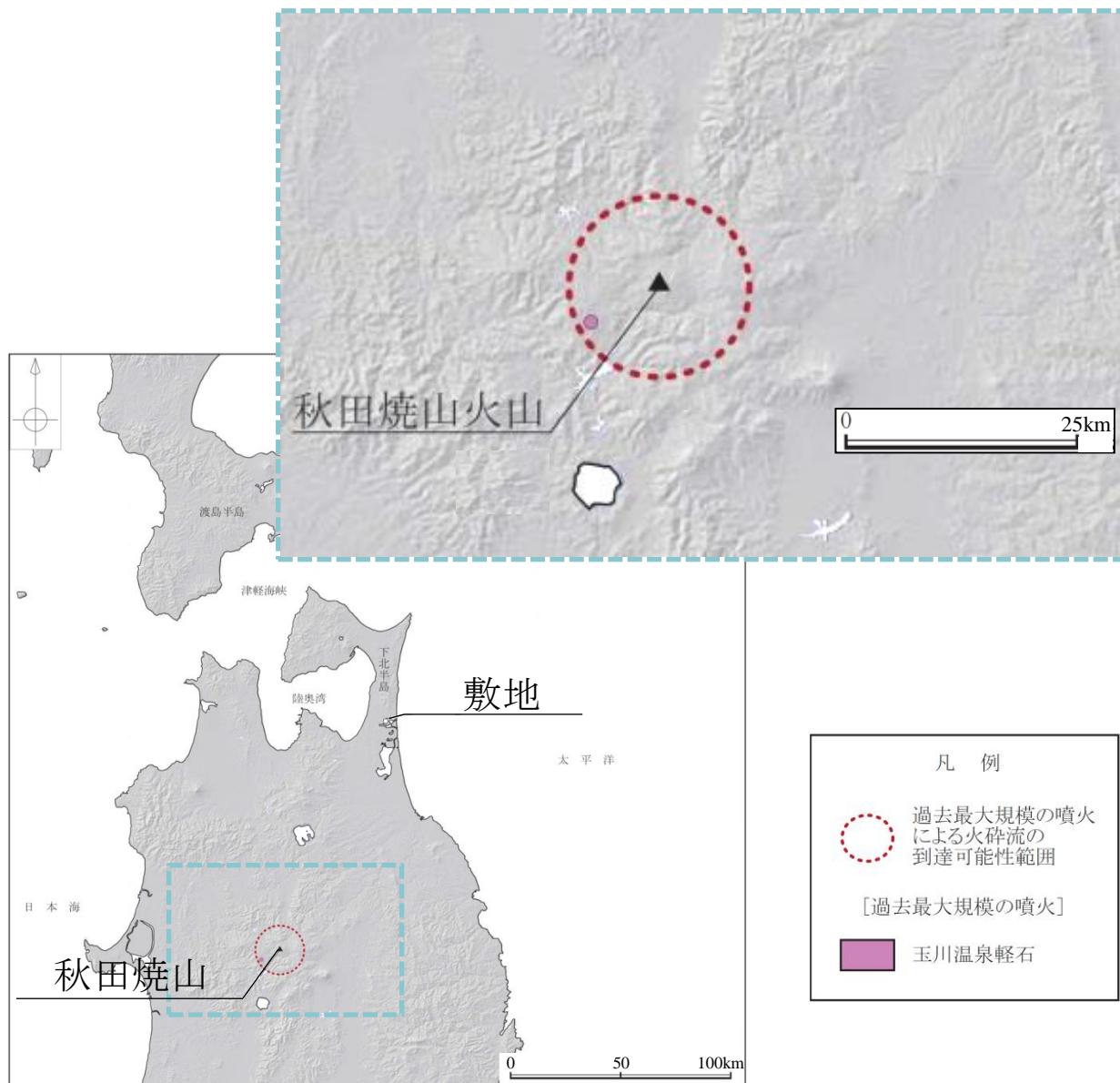
火砕流堆積物の分布は、工藤(2018), 工藤ほか(2019)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である先十和田について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

## 2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

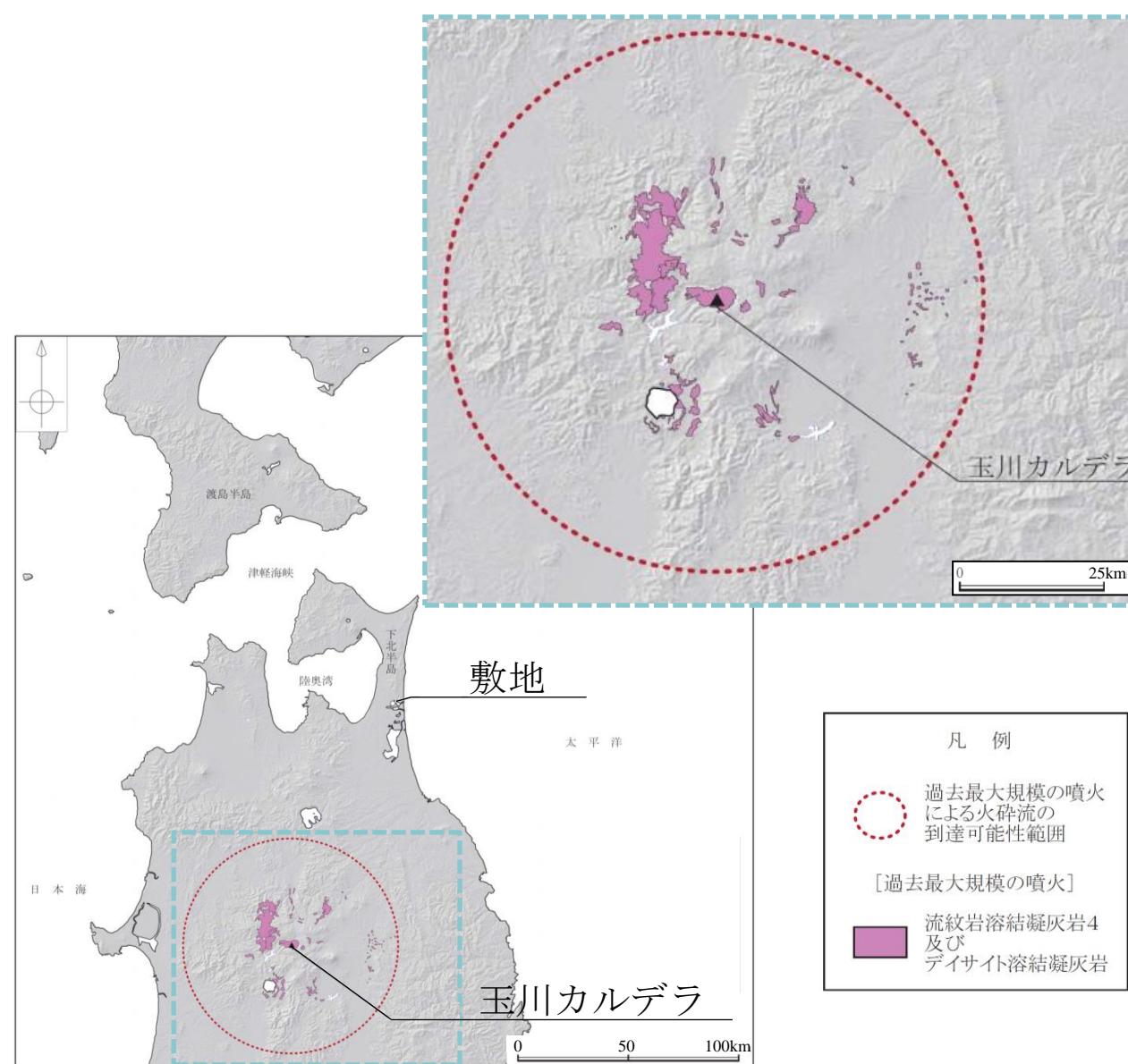
### 2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑨

#### 37. 秋田焼山



火砕流堆積物の分布は、大場(1991)及び筒井・伊藤(2002)に基づき当社が作成

#### 41. 玉川カルデラ



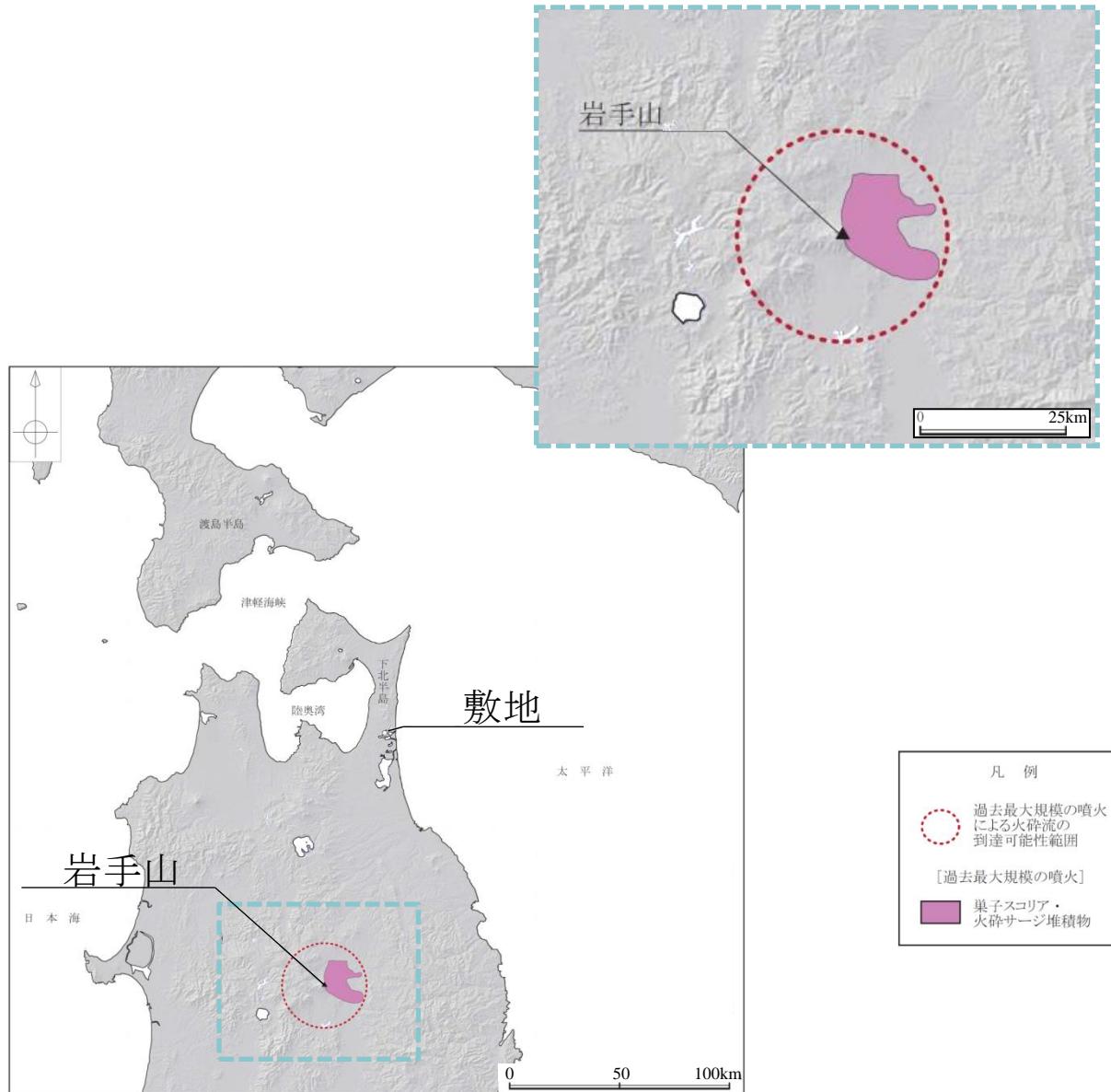
火砕流堆積物の分布は、須藤(1987)及び仙岩地熱地域地質編集グループ(1985)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である秋田焼山と玉川カルデラについて、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

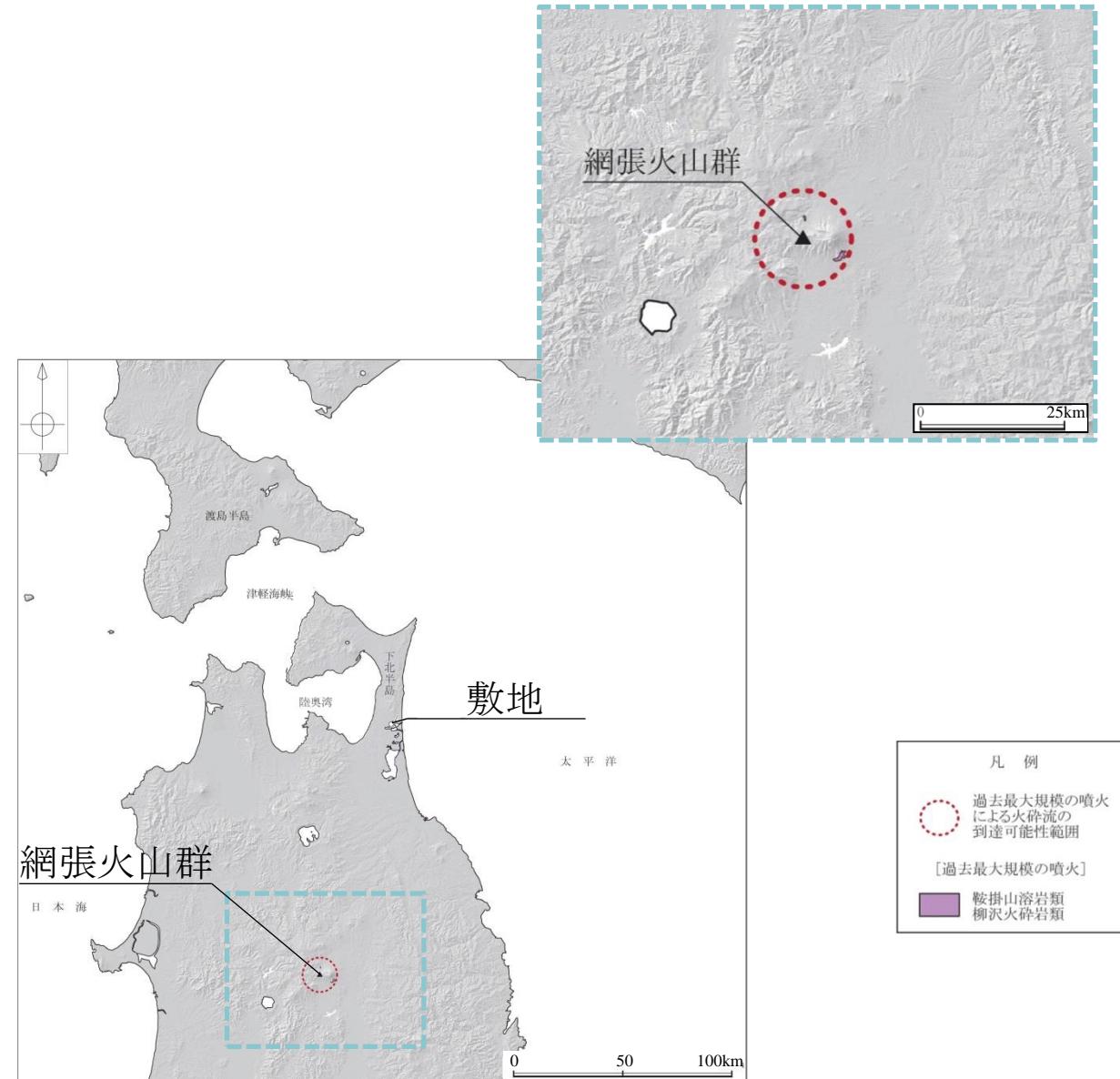
2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑩

42. 岩手山



火砕流堆積物の分布は、伊藤・土井(2005)に基づき当社が作成

43. 網張火山群



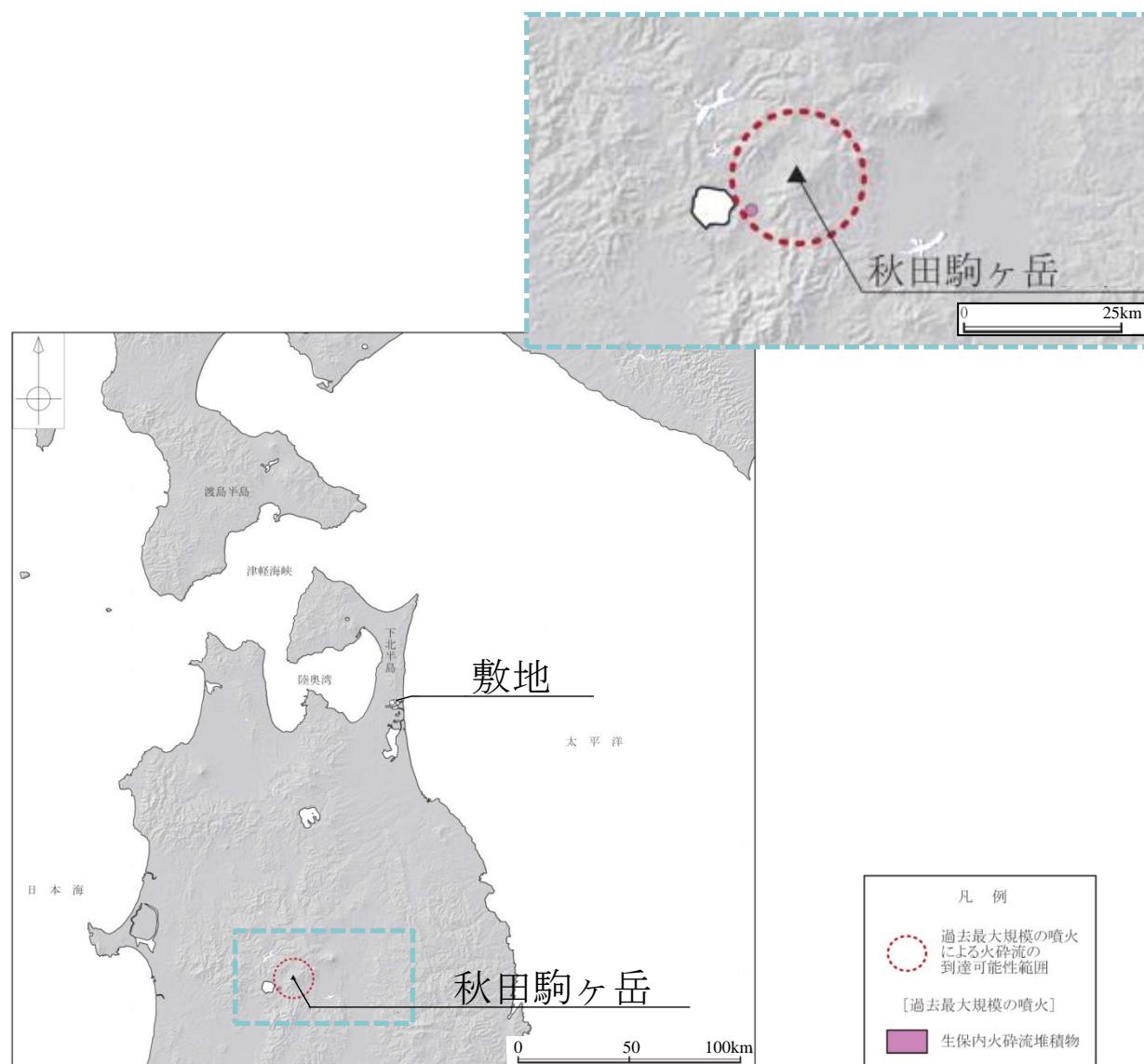
火砕流堆積物の分布は、中川(1987)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である岩手山と網張火山群について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

## 2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

### 2.1.1 設計対応不可能な火山事象の到達可能性⑪

#### 45. 秋田駒ヶ岳



火砕流堆積物の分布は、須藤・石井(1987)に基づき当社が作成

- 火砕物密度流の評価対象火山である秋田駒ヶ岳について、火砕流の分布を確認した。
- 過去最大規模の噴火による火砕流の到達距離が、当該火山と敷地との離隔に対して十分に小さい。
- 以上のことから、火砕物密度流が、施設に影響を与える可能性は十分に小さいと評価。

## 2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価

### 2.1.2 まとめ

原子力施設に影響を及ぼし得る火山を対象に、設計対応不可能な火山事象について、発生実績及び過去最大規模の噴火に基づき敷地への到達可能性について検討した。

- 火砕物密度流は、評価対象となる21火山のうち、十和田及び八甲田カルデラで生じた過去最大規模の噴火において、火砕流の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれる。  
十和田及び八甲田カルデラ以外の原子力施設に影響を及ぼし得る火山については、発生実績や敷地からの離隔等より、火砕物密度流が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価。
- 溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、恐山及び八甲田カルデラが評価対象火山となる。  
恐山については、これらの堆積物は敷地周辺には分布しない。八甲田カルデラについては、これらの発生実績が認められない。その他の19火山については、敷地から半径50km以内に分布しないことから、評価対象外である。  
したがって、これらの火山事象が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価。
- 新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地が、原子力施設に影響を及ぼし得る火山の過去の火口及びその近傍に位置しないこと、並びに火山フロントより前弧側(東方)に位置することから、これらの火山事象が敷地において発生する可能性は十分に小さいと評価。



- 原子力施設に影響を及ぼし得る火山(21火山)の火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象については、発生実績や敷地からの離隔等から、過去最大規模の噴火を想定しても、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さい。
- 火砕物密度流については、敷地及び敷地近傍が十和田及び八甲田カルデラの火砕流の到達可能性範囲に含まれることから、十和田及び八甲田山※を対象に詳細な調査・検討を実施し、「2.2 十和田の評価」「2.3 八甲田山の評価」にその評価を示す。

※以降、八甲田カルデラに南八甲田火山群・北八甲田火山群を合わせて「八甲田山」とする。

1. 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出
2. 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価
2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価
2.2 十和田の評価
2.2.1 巨大噴火の可能性評価
活動履歴
地質調査及び火山学的調査
地球物理学的調査(地下構造)
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)
まとめ
2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
活動履歴
まとめ
2.3 八甲田山の評価
2.3.1 巨大噴火の可能性評価
2.3.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
2.4 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価のまとめ
3. 火山モニタリング及び対処方針
4. 設計対応が可能な火山事象
参考

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

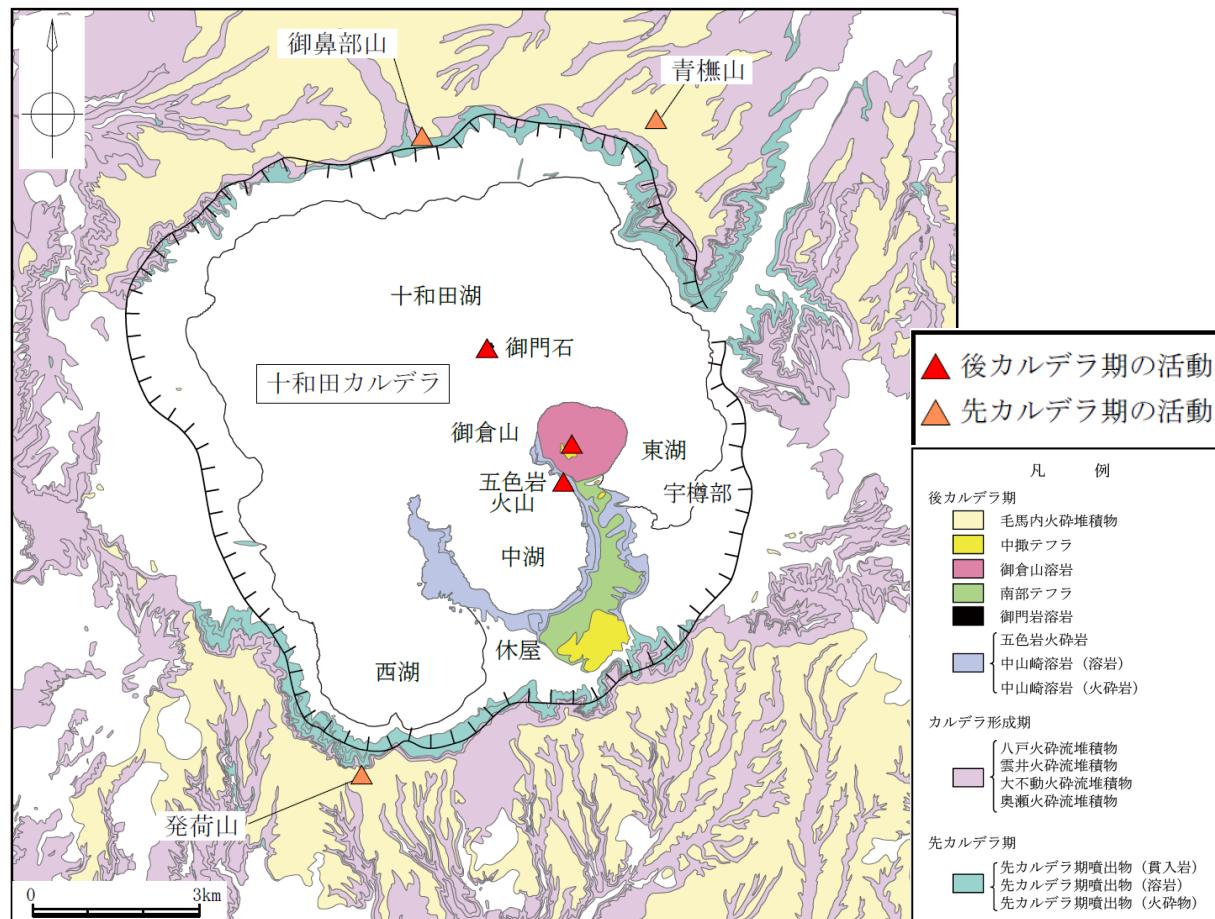
活動履歴①〔十和田の活動期と巨大噴火に該当する噴火〕

- 気象庁編(2013)によると、十和田は先カルデラ成層火山群、十和田カルデラ、後カルデラ成層火山・溶岩ドームからなるとしている。
- Hayakawa(1985)によると、十和田の活動は、先カルデラ期、カルデラ形成期、後カルデラ期に区分されるとしている。
- Hayakawa(1985)及び工藤ほか(2011)によると、カルデラ形成期に火砕流を伴う規模の大きな噴火を3回(奥瀬火砕流、大不動火砕流、八戸火砕流)起こしている。一方、Yamamoto et al.(2018)は、地球化学的特徴からエピソードQ(奥瀬火砕流を噴出した噴火)を先カルデラ期とみなすとしており、知見が分かれている。
- Hayakawa(1985)によると、後カルデラ期に毛馬内火砕流を噴出したとしている。

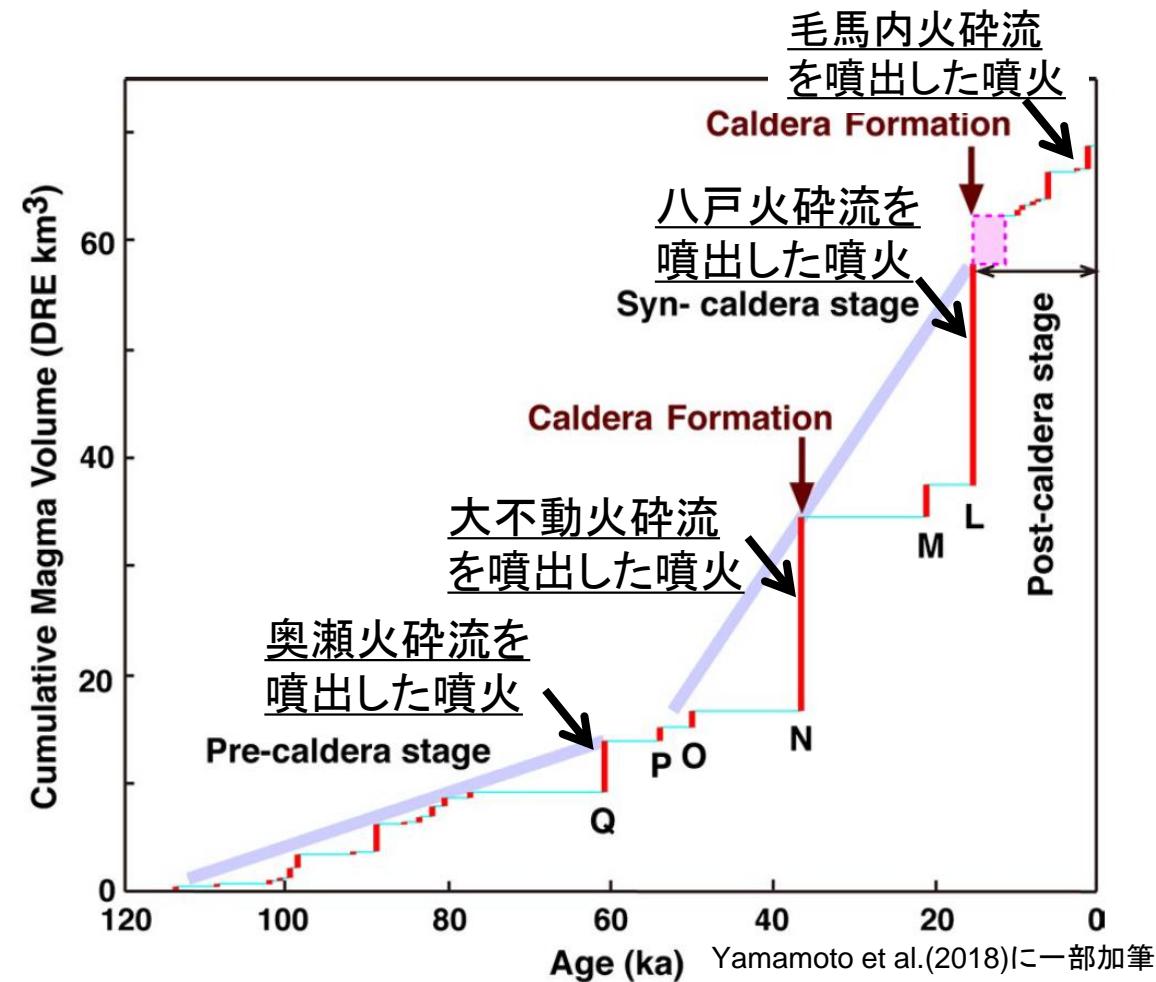
- 上記の噴火のうち、巨大噴火※1に該当する噴火は、大不動火砕流(見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)※2及び八戸火砕流(見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)※2を噴出した噴火である。したがって、この2回の巨大噴火と最後の巨大噴火以降の噴火を対象に評価を実施した。
- なお、奥瀬火砕流(見かけの噴出量:約10km<sup>3</sup>)※2は巨大噴火に該当しないことから、先カルデラ期とカルデラ形成期のどちらに区分しても評価には影響しない。(エピソードQ(奥瀬火砕流を噴出した噴火)を噴火の様式と規模に基づきカルデラ形成期として整理する。)

※1:「巨大噴火」は、2018年3月7日原子力規制委員会資料「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について」の定義に従う

※2: Hayakawa(1985)に基づく



工藤ほか(2019), 宝田・村岡(2004)より当社が作成



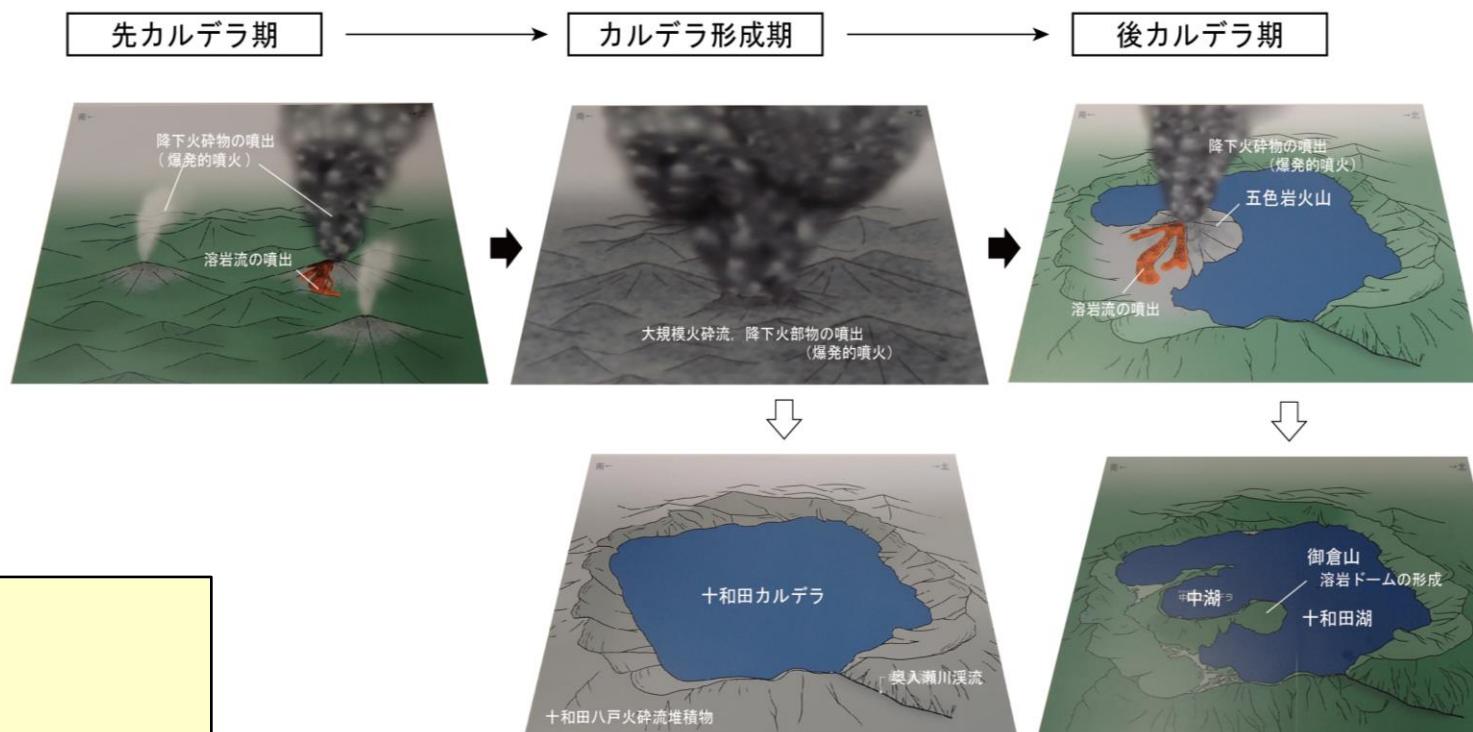
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴②〔各活動期の特徴〕

【活動期区分】

工藤ほか (2011)	気象庁編 (2013) を参照
先カルデラ期	先カルデラ成層火山群の形成 溶岩の流出と爆発的噴火
カルデラ形成期	十和田カルデラの形成 大規模火砕流 (奥瀬・大不動・八戸) の発生 プリニー式噴火, マグマ水蒸気噴火の繰り返し発生
後カルデラ期	五色岩火山の形成 爆発的噴火によって中湖火口の形成 御門石溶岩ドーム, 御倉山溶岩ドームの形成 西暦 915 年噴火で, 降下火砕物, 火砕サージ, 火砕流 (毛馬内火砕流) の噴出

【活動期の特徴】

	先カルデラ期	カルデラ形成期	後カルデラ期
特徴	・先カルデラ成層火山群の形成	・十和田カルデラの形成	・五色岩火山の形成 ・中湖の形成 ・カルデラ内の溶岩ドーム群の形成
噴火位置	・十和田カルデラを含む周辺域	・十和田カルデラ内	・十和田カルデラ内南部
噴火様式	・溶岩の噴出 ・降下火砕物の噴出 (爆発的噴火)	・大規模火砕流 (奥瀬・大不動・八戸) の噴出 ・降下火砕物の噴出 (爆発的噴火)	・降下火砕物の噴出 (爆発的噴火) ※十和田 a は火砕流を伴う。 ・溶岩ドームの形成



※環境省十和田ビジターセンター展示パネルより作成

十和田の活動期は、  
噴火様式・位置等をもとに区分され、  
現在の活動が後カルデラ期の活動に属する。

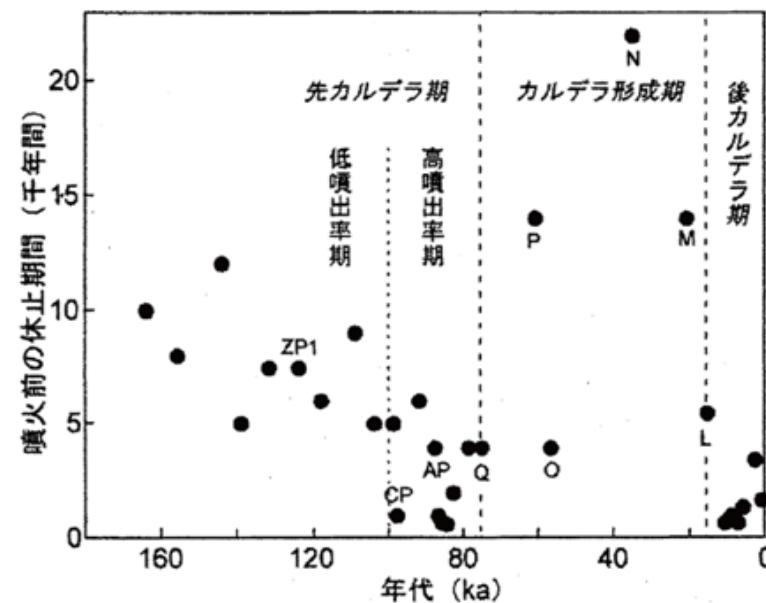
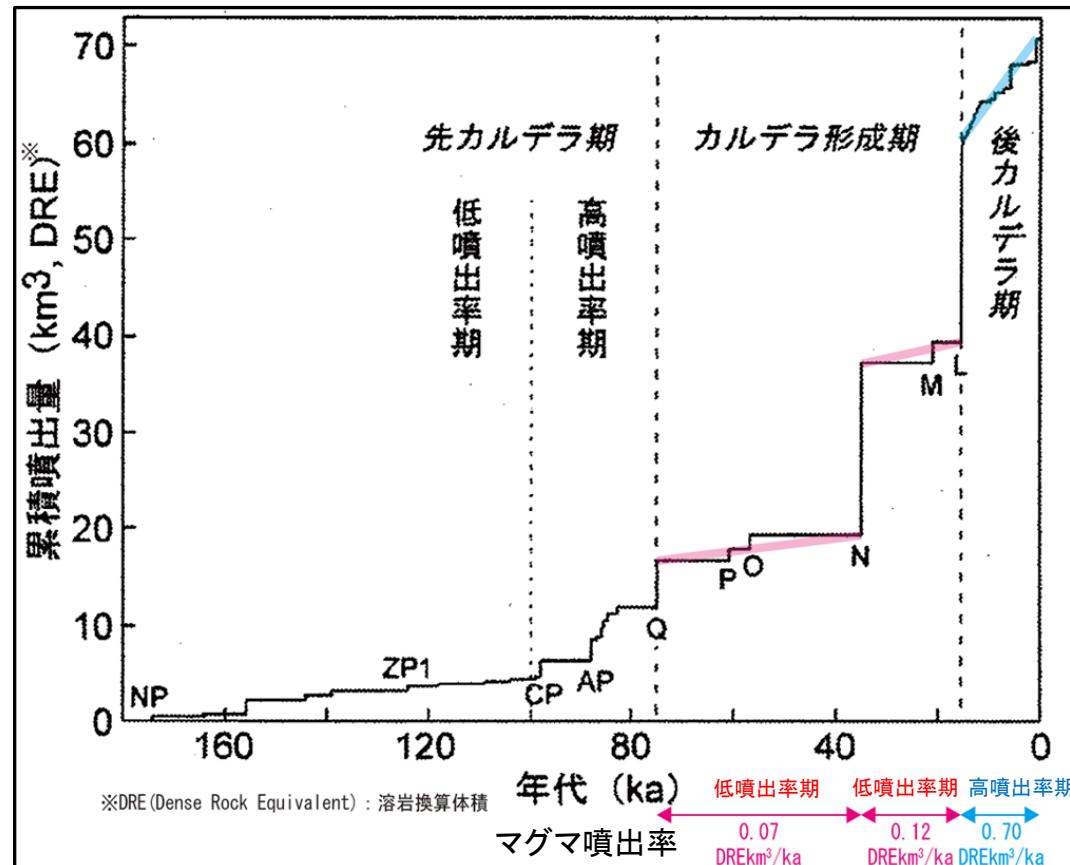
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

活動履歴③〔工藤ほか(2011)における十和田の活動に関する考え方〕

工藤ほか(2011)を要約

- 現在の活動期である後カルデラ期は、高頻度(噴火間隔3,400年以下)かつ一回の噴出量が $2.5\text{km}^3$ 以下であり、カルデラ形成期の低頻度(噴火間隔22,000年~4,000年)かつ一回の噴出量 $1.2\text{km}^3 \sim 20.3\text{km}^3$ とは異なる。
- 十和田の10万年前以降のマグマ供給率はほぼ一定であることから、今後マグマ供給率が減少しなければ、長期的(数万年スケール)には再びカルデラ形成期へと移行する可能性が指摘される。
- 過去の活動履歴からは、カルデラ形成期では噴出量 $1\text{km}^3$ 以下の噴火は認められず、大規模噴火※前には数万年間の低噴出率期(噴火エピソードNの前は $0.07\text{km}^3/\text{千年}$ 、噴火エピソードLの前は $0.12\text{km}^3/\text{千年}$ )が先行する傾向が見られる。現在の十和田は、過去15,000年間にわたって高噴出率期( $0.70\text{km}^3/\text{千年}$ )にあり、噴出量 $1\text{km}^3$ 以下の小規模噴火も数多く発生していることから、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。
- したがって、今後も短期的(数百年~数千年スケール)には、過去15,000年間と同様な活動が継続すると推定され、仮に、今後カルデラ形成を伴う大規模噴火※が発生するとしても、それは数万年先になると予想される。

※ 工藤ほか(2011)の「カルデラ形成を伴う大規模噴火」は、本資料の「巨大噴火」に相当する。



[カルデラ形成期] [先カルデラ期]  
 L: 十和田八戸火砕流及び八戸テフラ AP: 十和田アオスジテフラ  
 M: 十和田ビスケット2テフラ CP: 十和田カステラテフラ  
 N: 十和田大不動火砕流及び切田テフラ ZP1: 十和田ザラメ1テフラ  
 O: 十和田合同テフラ NP: 十和田ヌカミソテフラ  
 P: 十和田キビダンゴテフラ  
 Q: 十和田奥瀬火砕流及びレッドテフラ

注) 八甲田白ベタテフラの年代を190kaとした場合における各噴出物の年代

工藤ほか(2011)に加筆

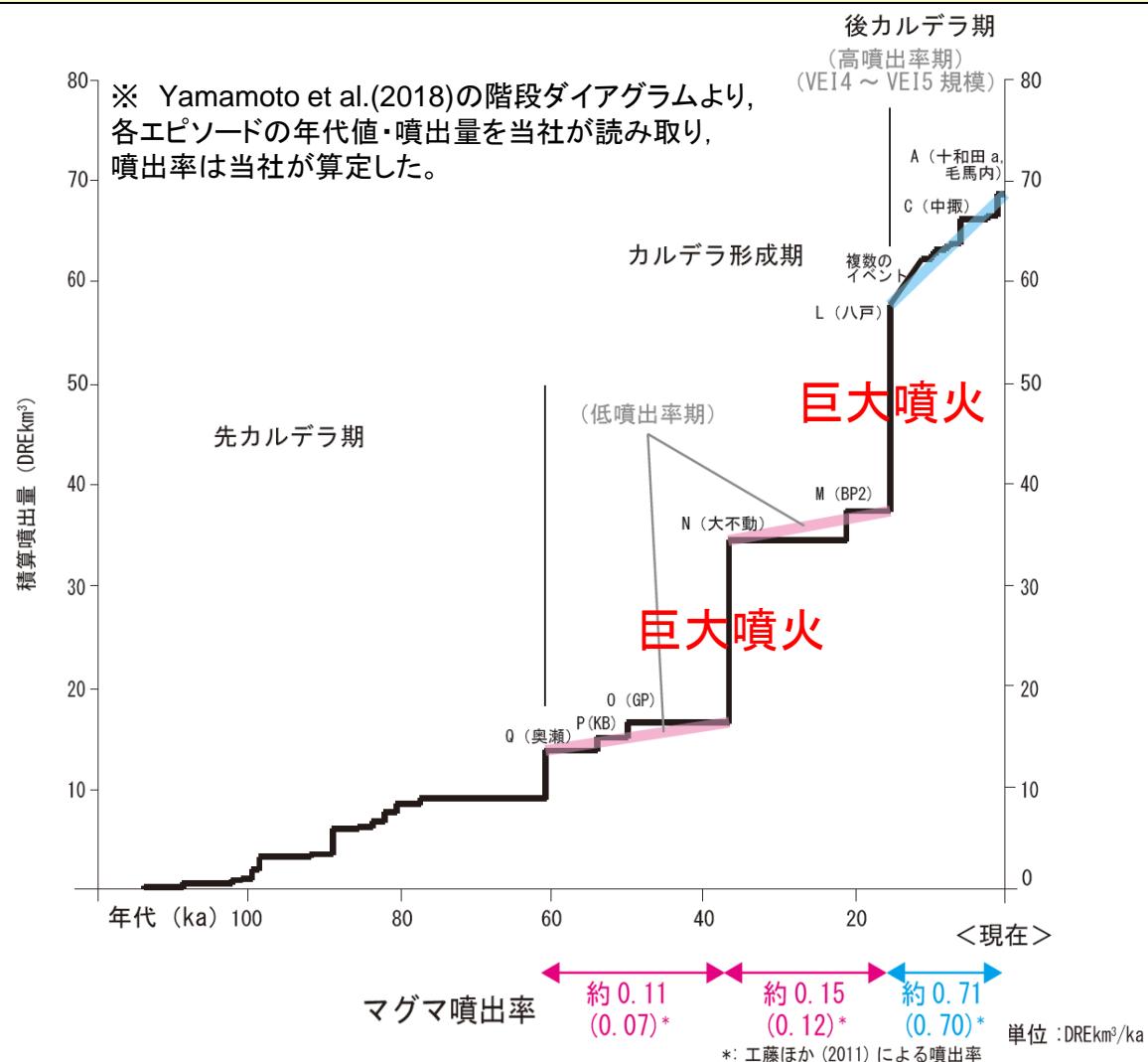
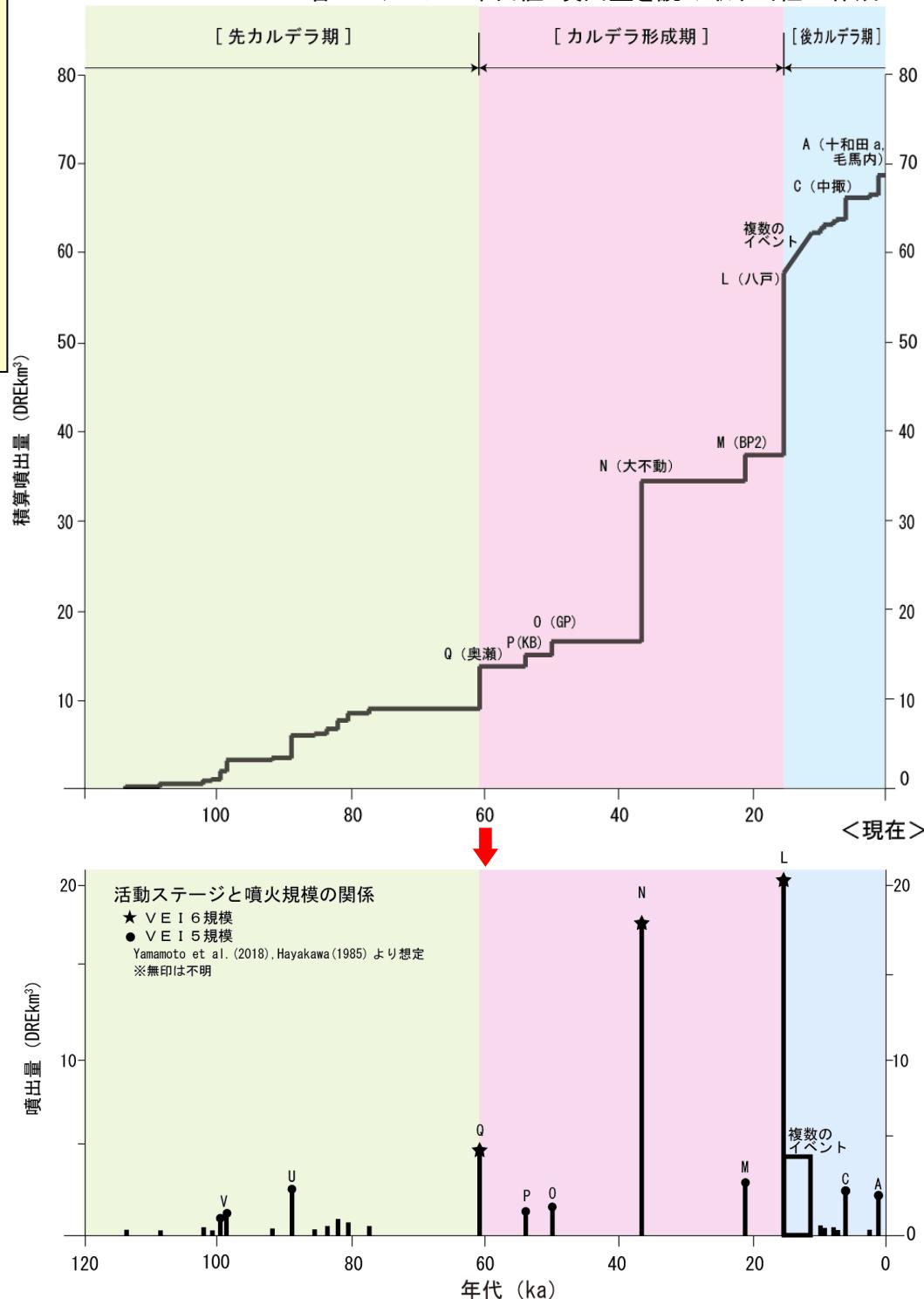
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

活動履歴④〔巨大噴火前の低噴出率期に関する検討〕

- Yamamoto et al.(2018)において、新たな階段ダイアグラムが示されているが、巨大噴火の可能性についての言及はない。これについて、Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムに基づき噴出率の傾向を確認した結果、巨大噴火前の低噴出率期(噴火エピソードNの前は約0.11km<sup>3</sup>/千年、噴火エピソードLの前は約0.15km<sup>3</sup>/千年)が先行し、後カルデラ期は高噴出率期(約0.71km<sup>3</sup>/千年)である。
- 工藤ほか(2011)によると、巨大噴火前には数万年間の低噴出率期 (N(大不動)の前は0.07km<sup>3</sup>/千年、L(八戸)の前は0.12km<sup>3</sup>/千年)が見られるとし、一方、後カルデラ期は高噴出率(約0.70km<sup>3</sup>/千年)であること等から、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ており、Yamamoto et al.(2018)の知見を踏まえても、大きく変更されることはないことを確認した。
- なお、当社の地質調査及び文献調査により、巨大噴火(噴火エピソードL(八戸)及びN(大不動))の前の低噴出率期に、Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムに示されていない顕著な噴火エピソード(低噴出率の傾向と相違する噴火エピソード)がないことを確認した。(詳細は次頁以降に示す)

十和田の階段ダイアグラム

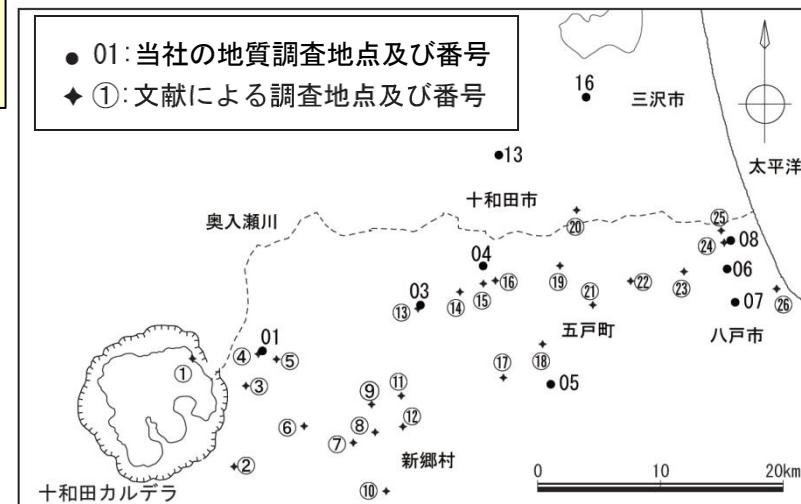
Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムより、各エピソードの年代値・噴出量を読み取り当社が作成



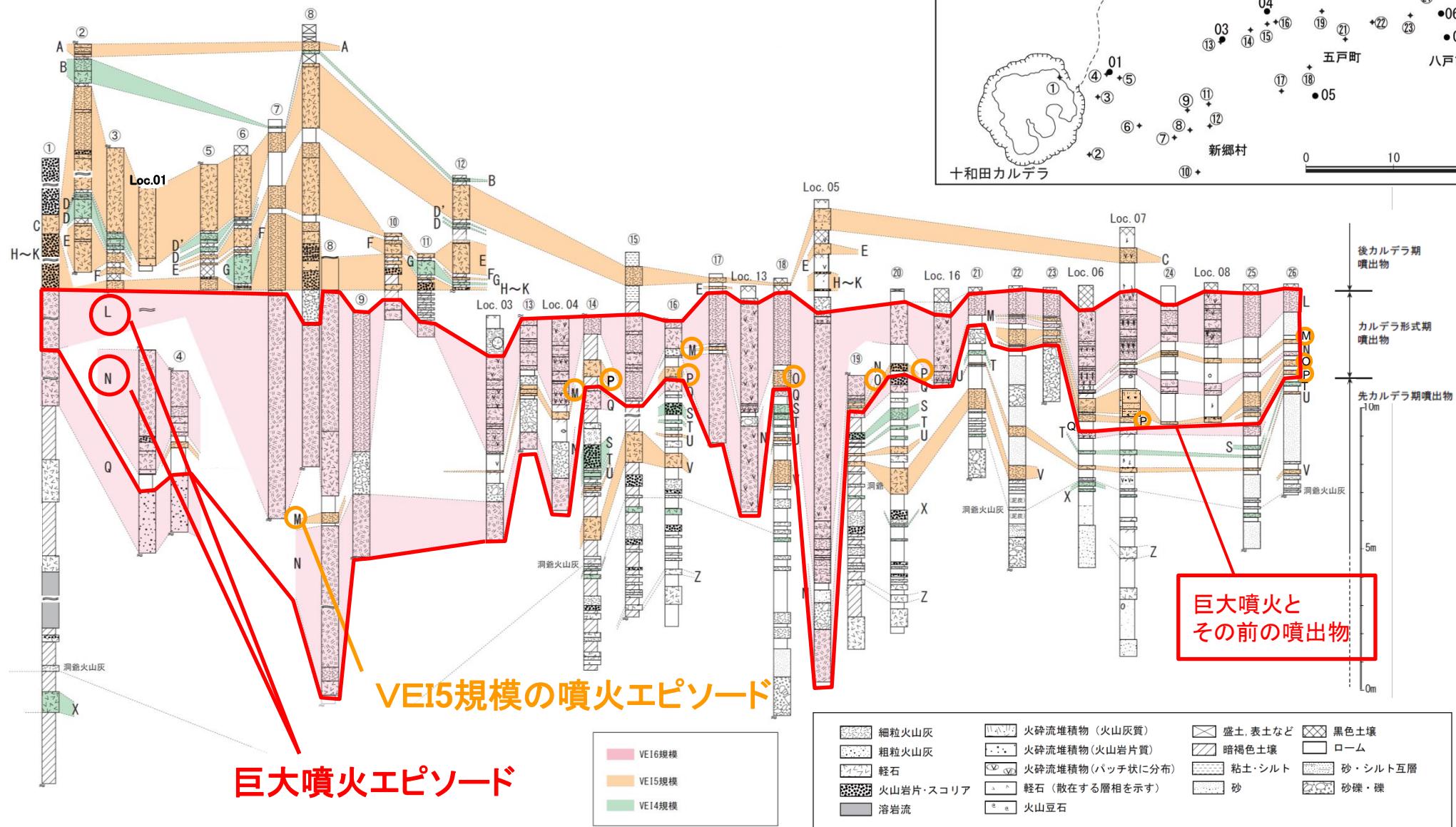
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

活動履歴⑤〔巨大噴火前の低噴出率期に関する検討(露頭情報)〕

- Hayakawa(1985)に示されるカルデラ形成期以降の全ての噴火エピソードで、降下火砕物の発生が確認されている。
- 当社の地質調査及び文献調査の結果、巨大噴火(噴火エピソードL(八戸)、噴火エピソードN(大不動))の前には、Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムに示されている噴火エピソード〔M(ビスケット2)、O(合同)、P(キビダンゴ)〕以外に、顕著な噴火エピソード(低噴出率の傾向と相違する噴火エピソード)は確認されない。



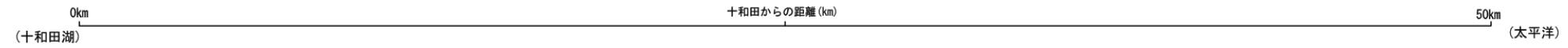
- 噴火エピソード (Hayakawa, 1985) と噴出物の対応
- [後カルデラ期]
- A : 十和田 aテフラ, 毛馬内火砕流
  - B : 惣辺テフラ, 迷ヶ岱テフラ
  - C : 中搬テフラ
  - D' : 戸来テフラ (工藤, 2010)
  - D : 中ノ沢テフラ, 小国テフラ
  - E : 貝守テフラ, 南部テフラ
  - F : 椀山テフラ, 夏坂テフラ
  - G : 新郷テフラ
  - H, I, J, K : 二の倉テフラ, 五色岩溶岩流
- [カルデラ形成期]
- L : 十和田八戸火砕流, 十和田八戸テフラ
  - M : 十和田ビスケット2テフラ
  - N : 十和田大不動火砕流, 十和田切田テフラ
  - O : 十和田合同テフラ
  - P : 十和田キビダンゴテフラ
  - Q : 十和田奥瀬火砕流, 十和田レッドテフラ
- [先カルデラ期]
- S : 十和田 SP テフラ
  - T : 十和田オコシ2テフラ
  - U : 十和田アオシテフラ
  - V : 十和田カステラテフラ
  - X : 十和田ザラメ2テフラ
  - Z : 十和田ヌカミソテフラ
- 文献による調査地点番号
- Hayakawa (1985) : ①, ⑩, ⑪
  - 工藤 (2010) : ②, ③, ⑤, ⑥, ⑫
  - 工藤・小林 (2013) : ④, ⑬, ⑮, ⑲
  - 大池・中川 (1979) : ⑧
  - 大和 (1989) : ⑦, ⑨, ⑭, ⑱, ⑳, ㉓, ㉔, ㉕
  - 工藤 (2005) : ⑬, ⑮, ⑲
  - 近藤ほか (2012) : ㉑
  - 大和 (1988) : ㉖



巨大噴火とその前の噴出物

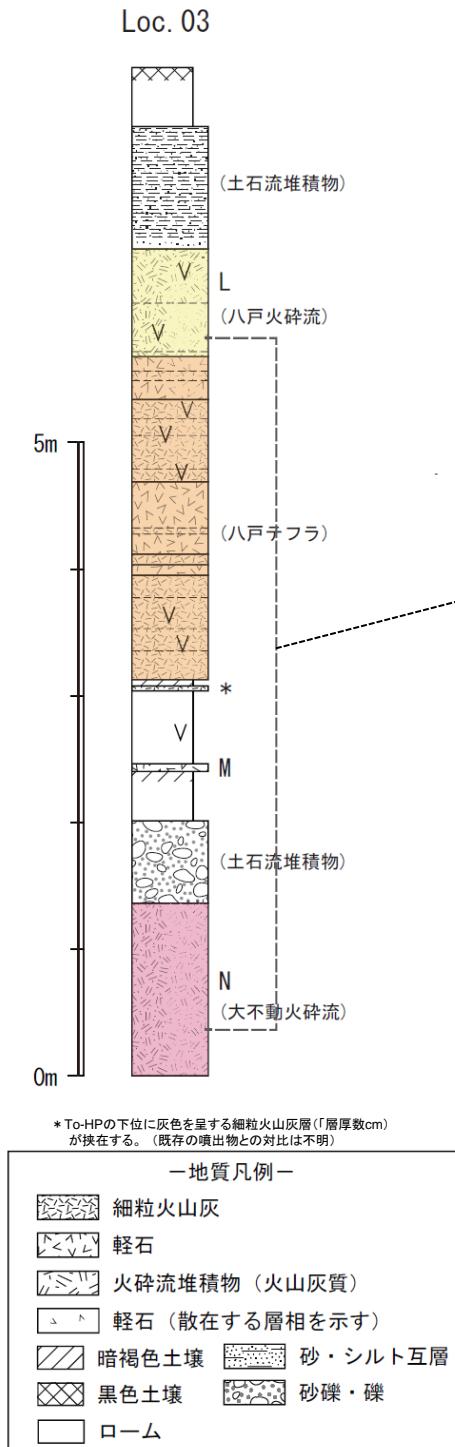
巨大噴火エピソード

VEI5規模の噴火エピソード

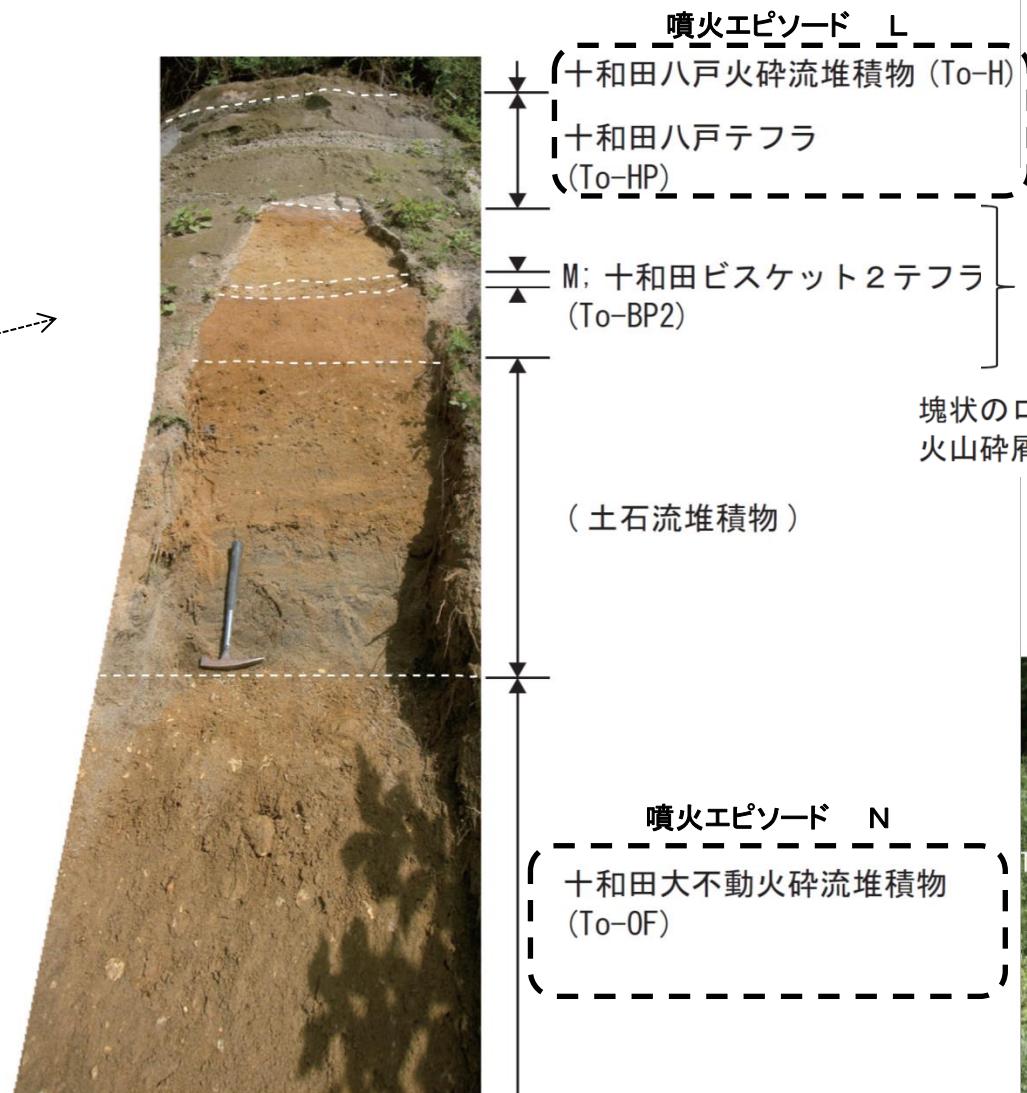


2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴⑥〔巨大噴火前の低噴出率期に関する検討(露頭情報 Loc.03)〕

➤ 十和田近傍に位置する本露頭(Loc.03)においても、噴火エピソードL(八戸)とN(大不動)間の地層には、既知の噴火エピソードM(ビスケット2)の他に、顕著な噴火エピソードは確認されない。



噴火エピソードLとN間の産状



塊状のローム層からなり、  
火山碎屑物からなる明瞭な地層は認められない。

調査地点位置図



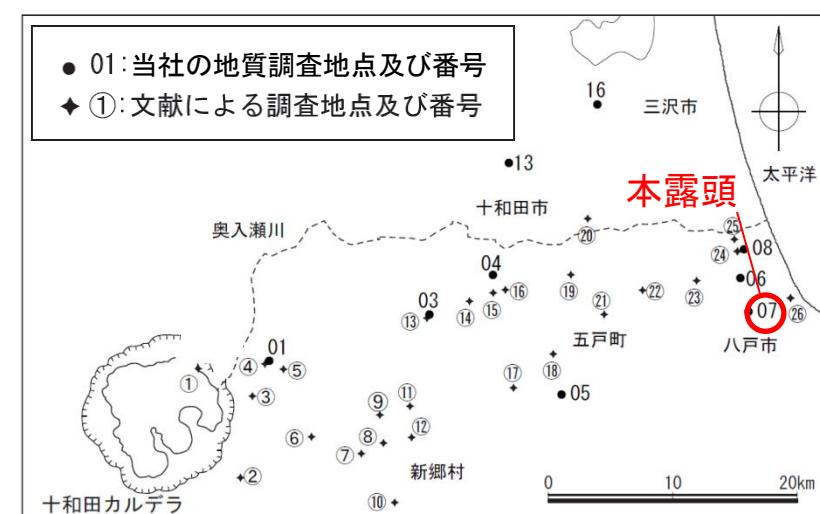
露頭全景



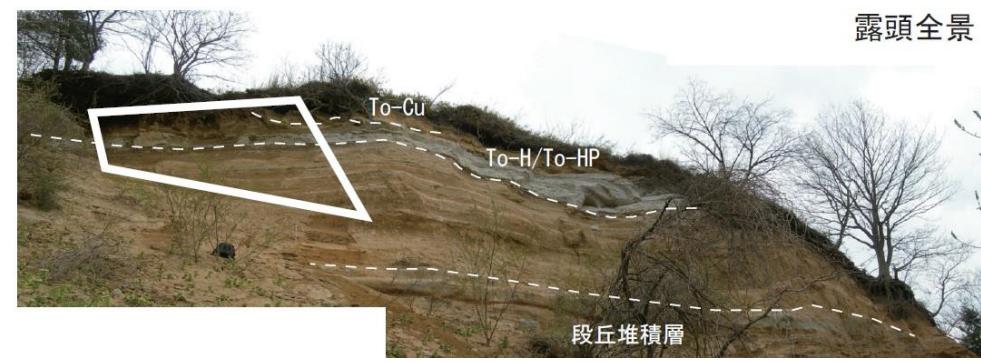
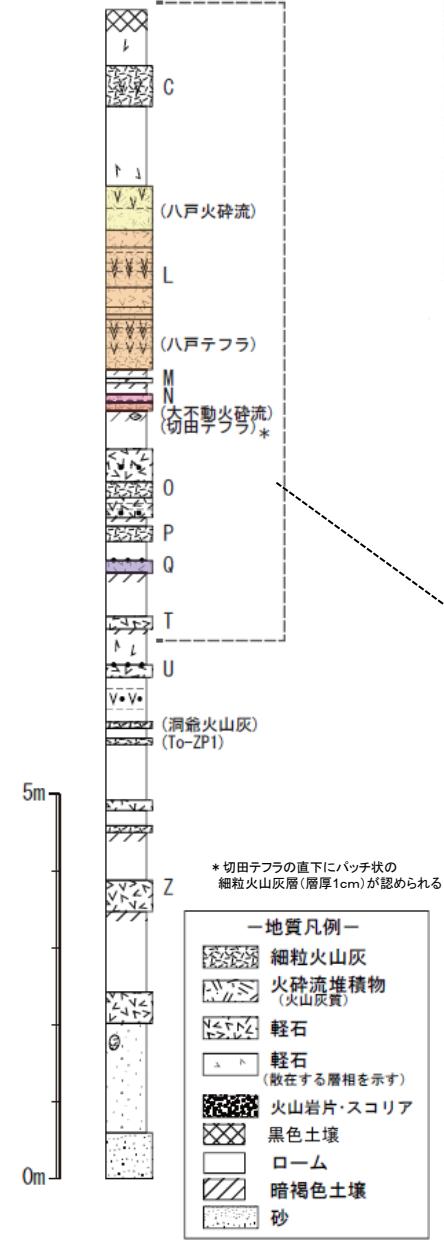
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴⑦〔巨大噴火前の低噴出率期に関する検討(露頭情報 Loc.07)〕

▶ 太平洋沿岸に位置する本露頭(Loc.07)においても、噴火エピソードL(八戸)と噴火エピソードQ(奥瀬)間の地層には、既知の噴火エピソード〔M(ビスケット2), O(合同), P(キビダンゴ)〕の他に、顕著な噴火エピソードは確認されない。

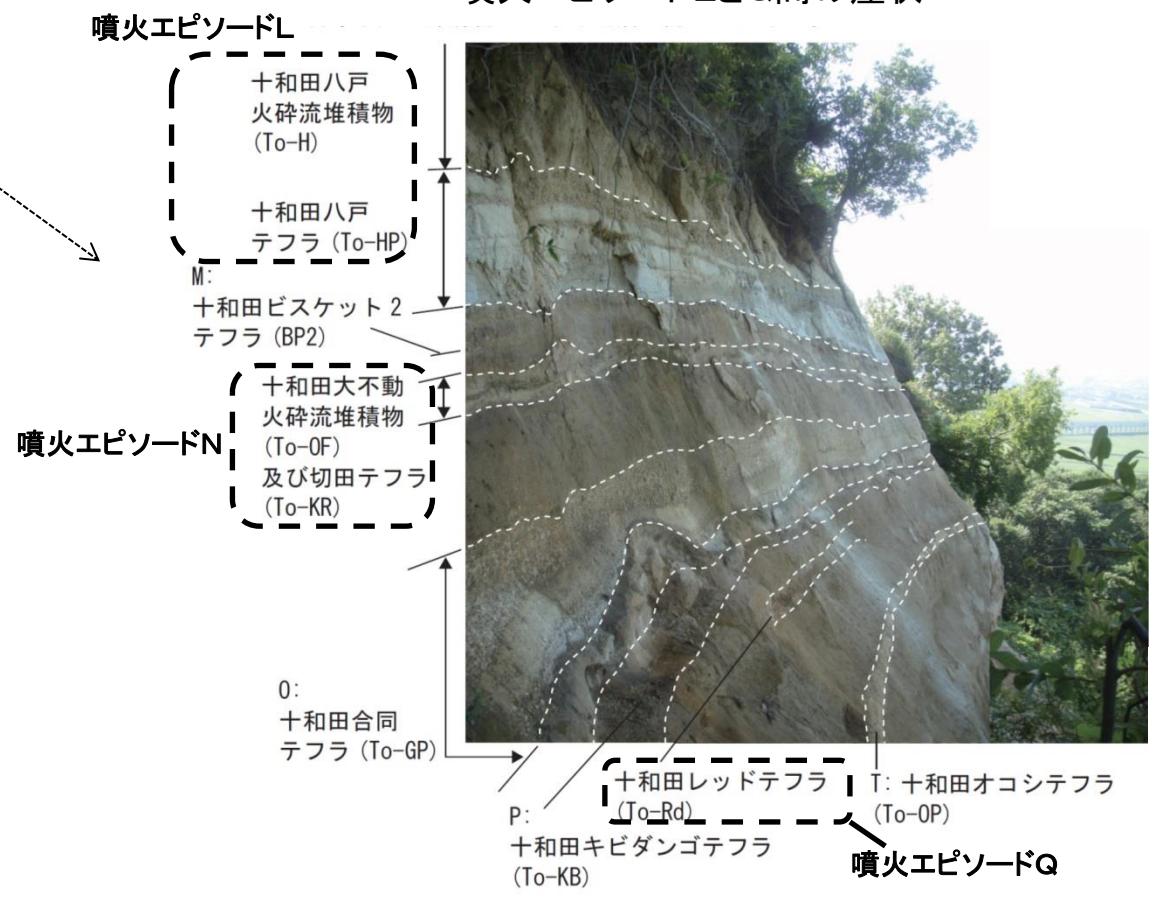
調査地点位置図



Loc. 07



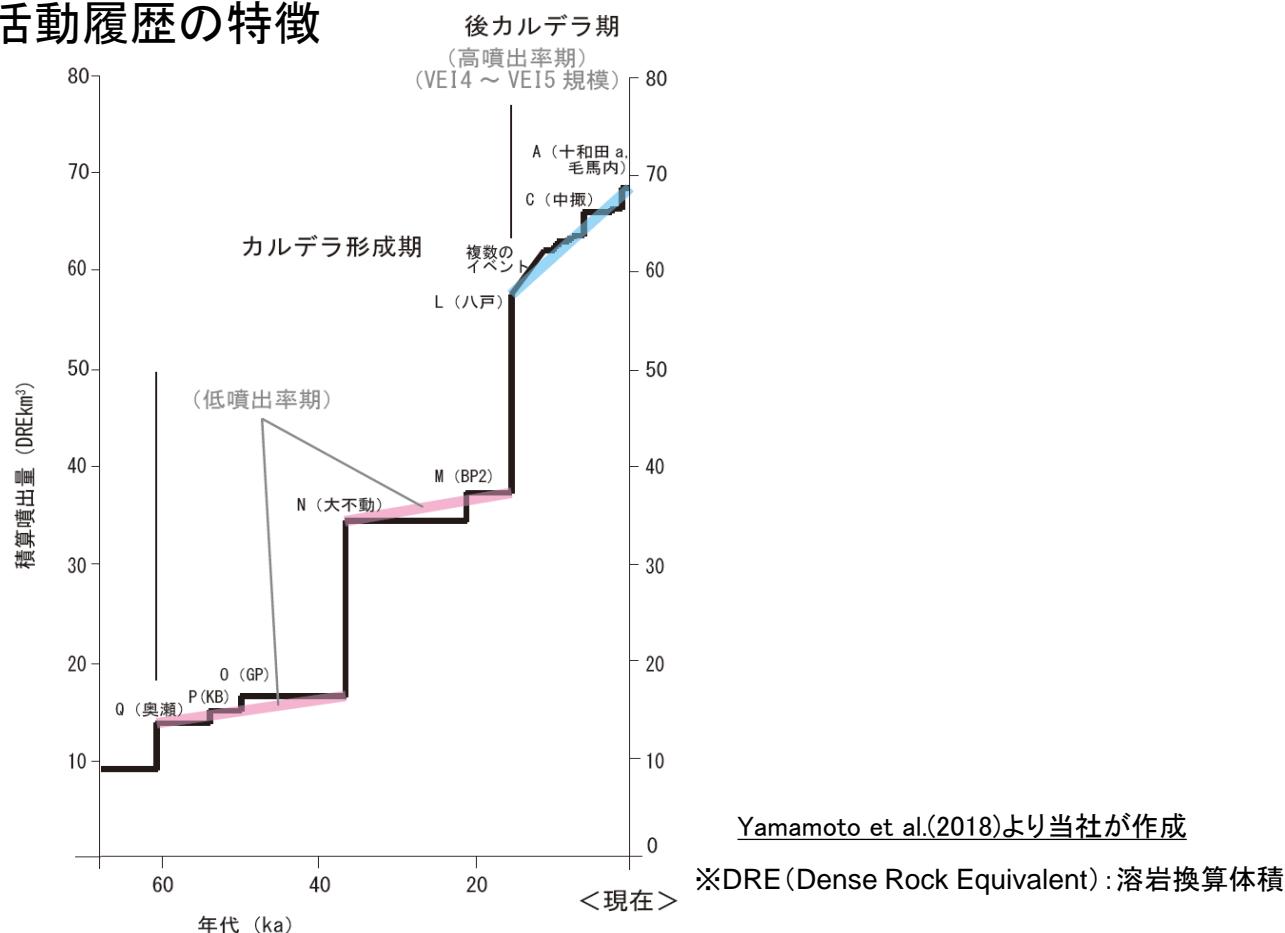
噴火エピソードLとQ間の産状



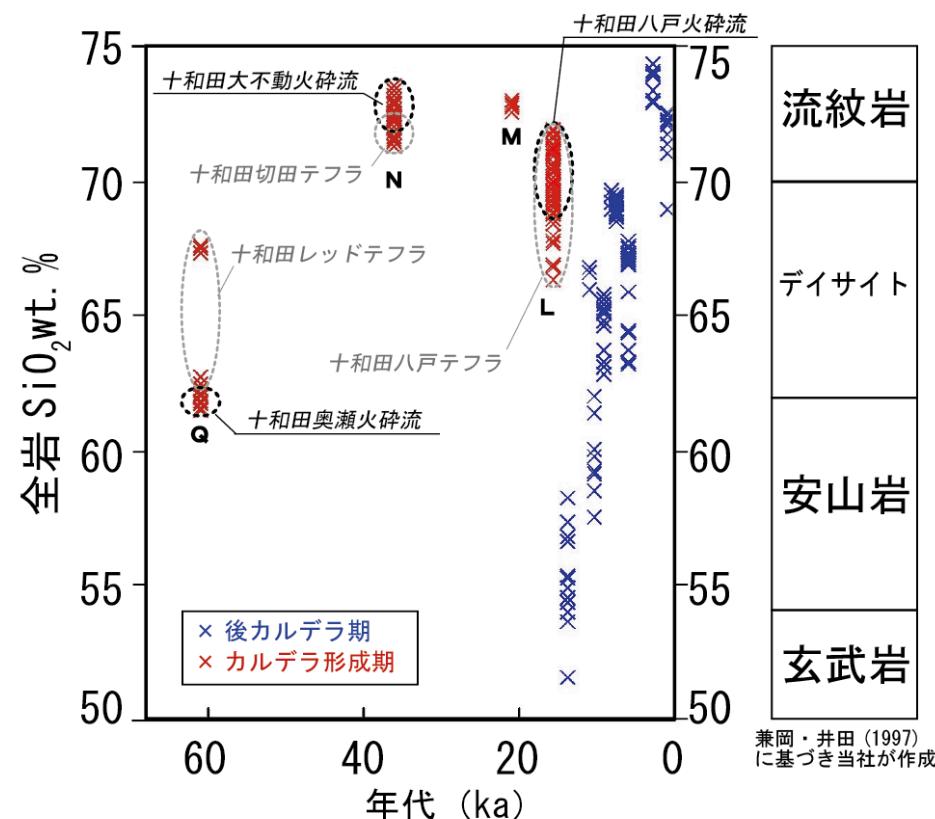
塊状のローム層からなり、既知の火山碎屑物以外に明瞭な火山碎屑物からなる地層は認められない。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴⑧〔活動履歴とマグマ組成の関係〕

○活動履歴の特徴



○マグマ組成の特徴



全岩 $SiO_2$ 含有率の時間変化  
後カルデラ期のデータは、工藤(2010)、Chiba(1966)、谷口(1972)及びHunter and Blake(1995)による。  
カルデラ形成期のデータは、工藤ほか(2006)、Yamamoto et a. (2018)及び工藤氏の未公表データによる。

	カルデラ形成期		後カルデラ期
	奥瀬火砕流(Q)	十和田大不動火砕流～十和田八戸火砕流(N～L)	
マグマ組成	安山岩 ・ デイサイト	デイサイト ～ 流紋岩	玄武岩～安山岩マグマが噴出の後、徐々に $SiO_2$ 量が増加し、最新の活動ではデイサイト～流紋岩マグマが噴出

- Hayakawa(1985)によると、カルデラはカルデラ形成期の3回の大規模な火砕流が発生した噴火を含む、いくつかの噴火エピソードで形成されたとしている。
- 工藤ほか(2011)によると、過去の活動履歴からは、カルデラ形成期では噴出量 $1km^3$ 以下の噴火は認められず、大規模噴火※前には数万年間の低噴出率期が先行する傾向が見られるとし、現在の十和田は、過去15,000年間にわたって高噴出率期にあり、噴出量 $1km^3$ 以下の小規模噴火も数多く発生しているとしている。

- 工藤ほか(2011)によると、カルデラ形成期から後カルデラ期への変化の要因は、カルデラ形成期最後の噴火エピソードLによってマグマ溜まりが崩壊し、マグマ供給系が一新されたためと推定されるとしている。

調和的

- 文献調査結果等による全岩 $SiO_2$ 含有率の時間変化の当社整理によると、最後の巨大噴火である十和田八戸火砕流を噴出した噴火エピソード(L)とその直後の噴火エピソードで、マグマ組成が流紋岩質から玄武岩質へと極端に変化している。

※ 工藤ほか(2011)の「大規模噴火」は、本資料の「巨大噴火」に相当する。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

活動履歴⑨〔巨大噴火に言及した文献の調査〕

文献調査により、近い将来十和田が巨大噴火を起こすことについて言及した文献がないか調査した結果は以下のとおり。

- ・ 十和田について、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。
- ・ 十和田について、現状、巨大噴火が起こる可能性が低いとする知見は以下のとおり。

- ・ 工藤ほか(2011):別頁で詳述。
- ・ 高橋(2008):十和田カルデラは、1.5万年前に破局噴火を起こした後、8600年前、6000年前、1100年前に巨大噴火を繰り返している。これら後カルデラ期の珪長質マグマの総噴出物量は約20km<sup>3</sup>近くある。一方、約1.7万年の噴火間隔で起こる破局噴火の噴出物量は約50km<sup>3</sup>である。したがって、この間の巨大噴火の繰り返しで、破局噴火に必要なマグマ量のかなりの部分をすでに噴出してしまっていることになる。そこで、次の噴火は破局噴火というより巨大噴火である可能性が強いと思われるが、巨大噴火の噴火の間隔が2500年ぐらいであることを考慮すると、前回の巨大噴火から1100年ほどしか経過していないので、巨大噴火に近々襲われる可能性もかなり低いと推定できる。(注:高橋(2008)の“破局噴火”は本資料の“巨大噴火”の噴火規模に相当し、高橋(2008)の“巨大噴火”は本資料の“巨大噴火”より小さい。)

- (参考1)日本列島全体での後期更新世以降の巨大噴火(十和田含む)の発生回数から将来の発生確率を算出した知見は多数あり(例えば、最近の報告ではTatsumi and Suzuki-Kamata(2014):噴火マグニチュード7以上の巨大カルデラ噴火が今後100年間で起こる確率は約1%) (注: Tatsumi and Suzuki-Kamata(2014)の“巨大カルデラ噴火”の噴火規模は、本資料の“巨大噴火”と異なる。)
- (参考2)高橋(2008)の先行研究である高橋(1995)によれば、鮮新世から第四紀前期の東北日本各地で、大規模な珪長質火山活動がみられたが、第四紀後期になると、大規模珪長質火山活動は地殻歪速度の小さな十和田火山以北に限られるようになるとされる。(抜粋) また、十和田について、高橋(1995)によれば、カルデラ形成期では、大量の珪長質マグマを噴出した大規模な火砕流噴出の前には、1万年以上の静穏な時期が続くのに対して、後カルデラ期にあたる最近1万年間は、1000年単位で頻繁に噴火を続けており、1回の噴火の噴出量も小さく、大量の珪長質マグマを噴出するためには、長い活動休止期間が必要であることを示している、とされる。(抜粋)
- (参考3)青森県等が策定した十和田火山災害想定影響範囲図(十和田火山防災協議会, 2018)においては、十和田における過去11,000年間の噴火を元に大・中・小規模の噴火を想定しており、巨大噴火は想定していない。

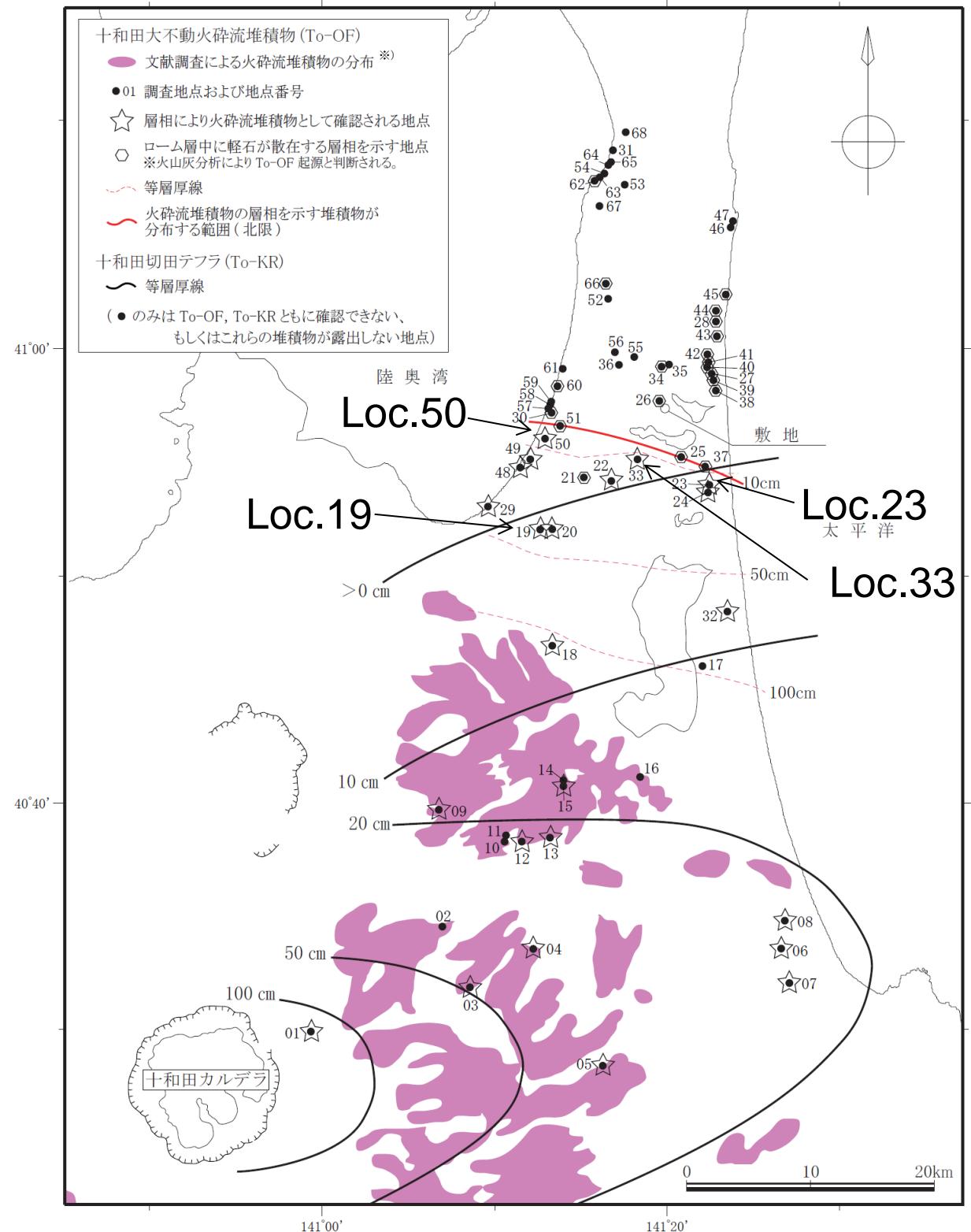
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴⑩〔まとめ〕

- 十和田の活動期は、噴火様式や噴火位置等の特徴から、先カルデラ期・カルデラ形成期・後カルデラ期に区分され、現在は後カルデラ期に属する。
- 巨大噴火に該当する噴火は、カルデラ形成期の大不動火砕流（見かけの噴出量：約40km<sup>3</sup>）及び八戸火砕流（見かけの噴出量：約40km<sup>3</sup>）を噴出した噴火である。
- 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・噴出量・噴出率が異なる（巨大噴火前には数万年間の低噴出率期が先行する傾向が見られるが、後カルデラ期は高噴出率期である）こと等から、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（工藤ほか、2011）。
- カルデラ形成期最後の巨大噴火によってマグマ溜まりが崩壊したという知見（工藤ほか、2011）と、最後の巨大噴火とその直後の噴火のマグマ組成の極端な変化（当社整理）は、調和的である。
- 十和田について、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。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査①〔巨大噴火に伴う十和田大不動火砕流の分布〕

- 巨大噴火に伴う2回の大規模火砕流(十和田大不動火砕流及び十和田八戸火砕流)を対象に地質調査及び火山学的調査を行い,その分布を確認した。
- 巨大噴火に伴う十和田大不動火砕流の分布及び火砕流の噴出に先立つ爆発的噴火に伴う降下火砕物(十和田切田テフラ)の等層厚線図を示す。
- 十和田大不動火砕流 (見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)\*  
十和田大不動火砕流堆積物は,六ヶ所鷹架西(Loc.33)及び野辺地目ノ越1(Loc.50)において,ローム層中に層厚約16cm及び約3cmのパッチ状として認められる。  
敷地を含むさらに北方の地域では,層相から火砕流堆積物と判断できないが,ローム層中に十和田大不動火砕流起源に対比される軽石が認められ,敷地内(Loc.26)においては,最大平均粒径約4mmの軽石が認められる。  
したがって,十和田大不動火砕流は,敷地に到達した可能性が高いと考えられる。ただし,敷地はその到達末端に位置すると判断される。
- 十和田切田テフラ  
東北淋代2(Loc.19),六ヶ所平沼1(Loc.23)等において層厚約3cm~7cmで確認される。

\* Hayakawa(1985)に基づく



※) 土井(1993), 町田・新井(2011)に基づき当社が作成

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査②〔巨大噴火に伴う十和田八戸火砕流の分布〕

➤ 巨大噴火に伴う十和田八戸火砕流の分布及び火砕流の噴出に先立つ爆発的噴火に伴う降下火砕物(十和田八戸テフラ)の等層厚線図を示す。

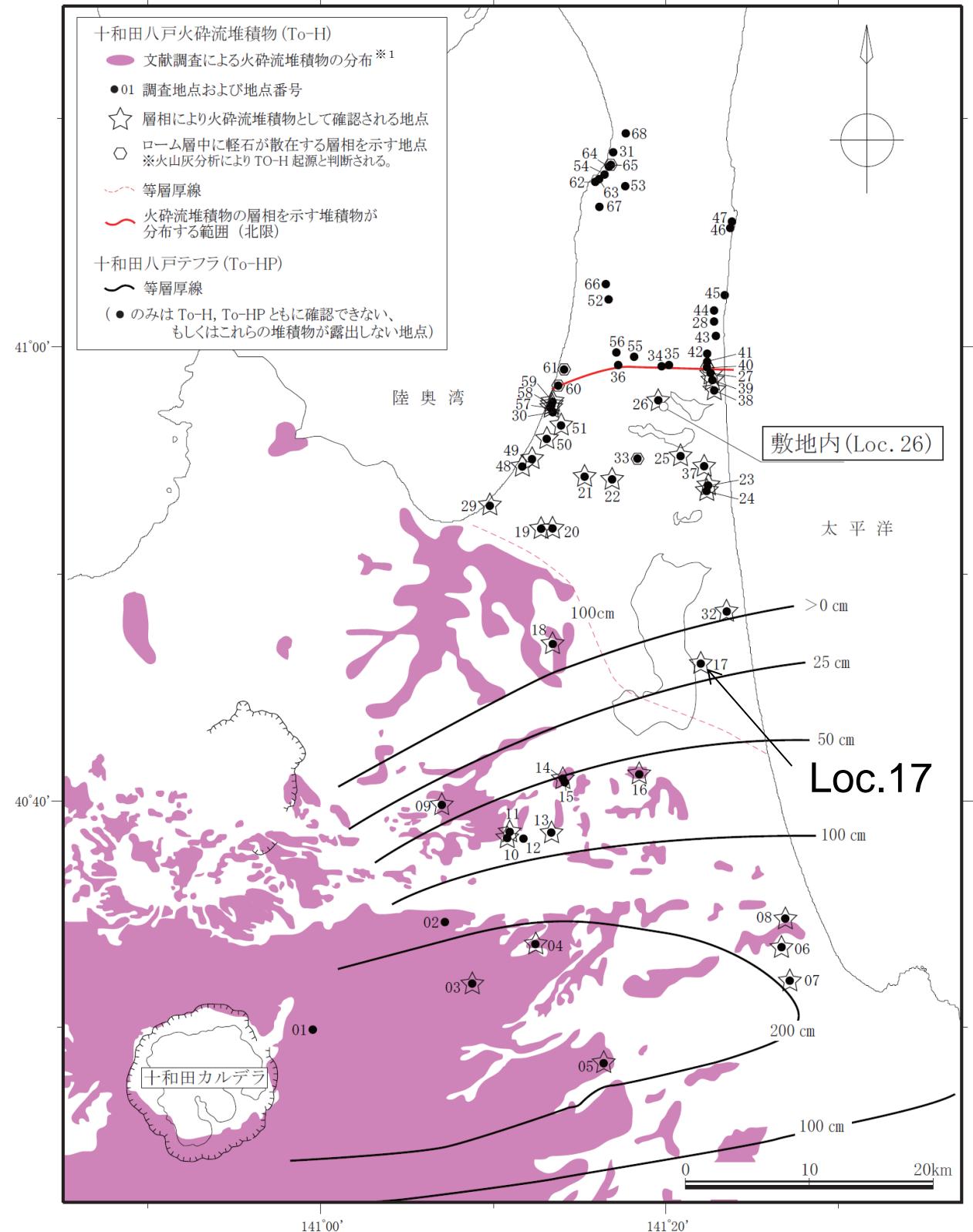
➤ 十和田八戸火砕流 (見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)\*  
十和田八戸火砕流堆積物は、敷地近傍では、ローム層中に軽石混じり火山灰層(火砕流堆積物)が層厚約5cm～約20cmのパッチ状として認められる。

敷地内(Loc.26)においても、層厚約20cmのパッチ状を呈する火砕流堆積物として確認される。

したがって、十和田八戸火砕流は敷地に到達したと考えられる。ただし、敷地はその到達末端に位置すると判断される。

➤ 十和田八戸テフラ  
十和田八戸テフラは、北方に向かい急激に層厚を減じ、三沢市野口(Loc.17)より北方では確認できない。

\* Hayakawa(1985)に基づく

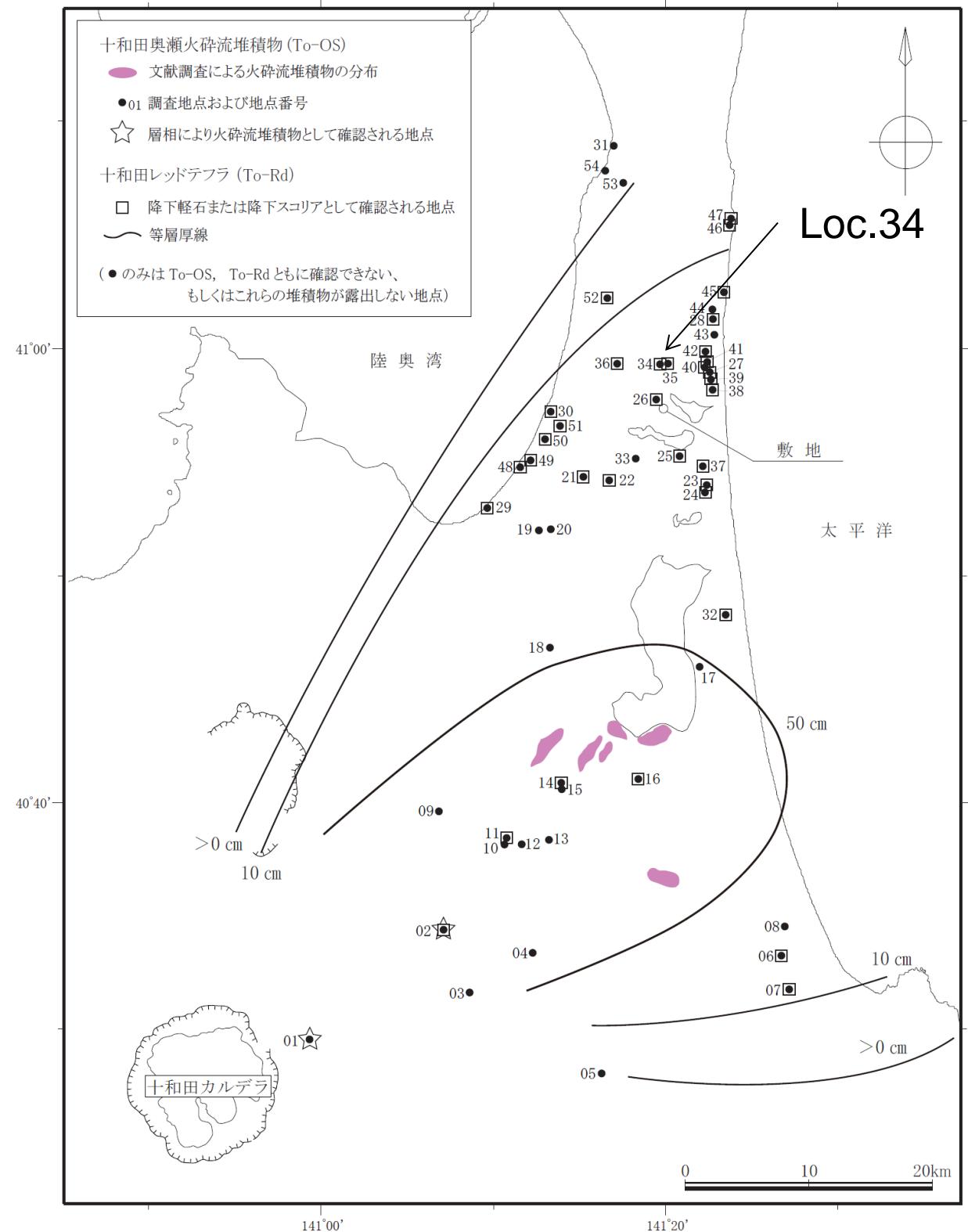


※1: 右図の火砕流堆積物の分布は、村岡ほか(1991), 大沢ほか(1993), 大沢・須田(1978), 土井(1993), 町田・新井(2011)に基づき当社が作成

(参考) 十和田奥瀬火砕流の分布

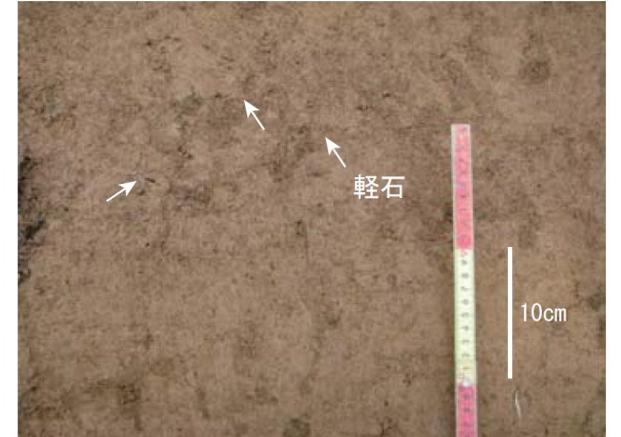
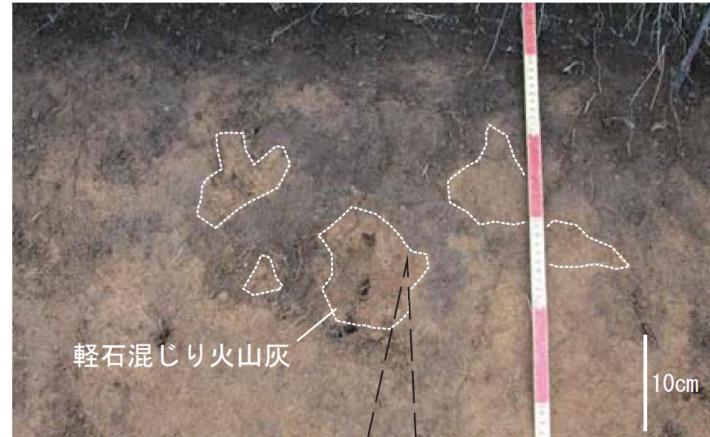
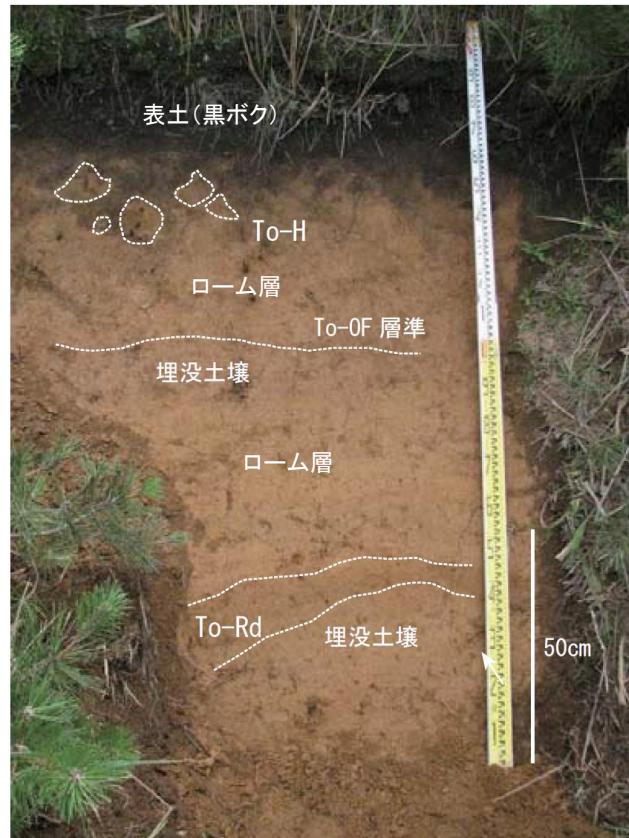
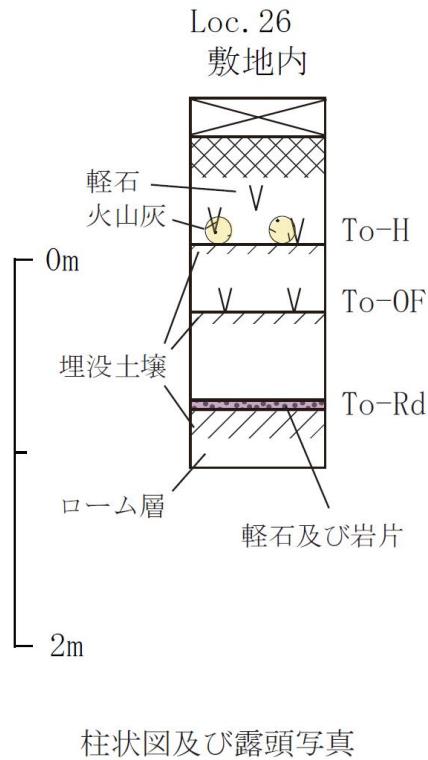
- 巨大噴火には該当しないものの、参考として十和田奥瀬火砕流の分布及び火砕流の噴出に先立つ爆発的噴火に伴う降下火砕物(十和田レッドテフラ)の等層厚線図を示す。
- 十和田奥瀬火砕流 (見かけの噴出量:約10km<sup>3</sup>)\*  
十和田奥瀬火砕流堆積物は、十和田火山斜面～山麓の狭い範囲のみで確認され、敷地に到達していない。
- 十和田レッドテフラ  
敷地近傍において、層厚最大約20cm (Loc.34)で軽石及びスコリアがローム層中に密集した層相を示す。

\* Hayakawa(1985)に基づく



※) 中川ほか(1972), 工藤(2005)に基づき当社が作成

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査③〔敷地内で確認される巨大噴火に伴う火砕流堆積物〕



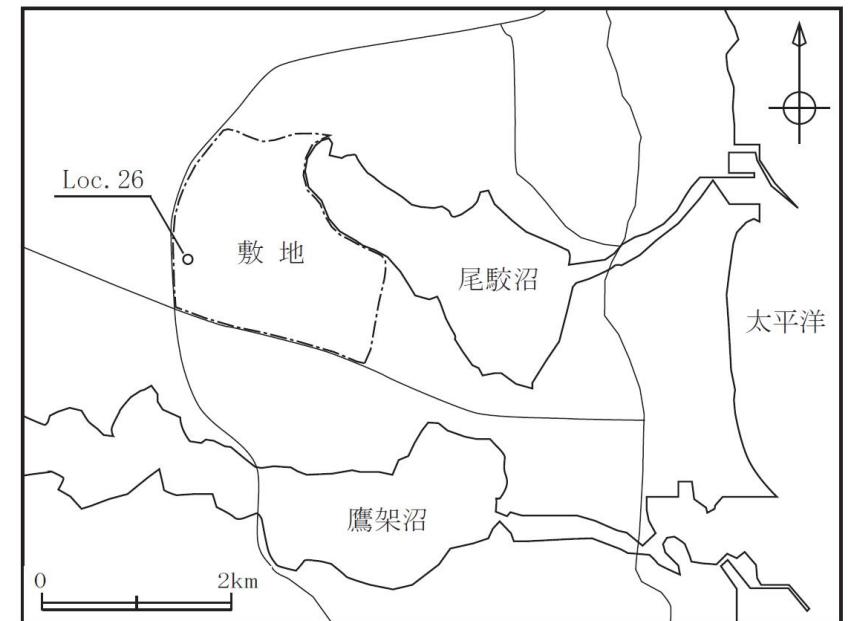
十和田大不動火砕流堆積物起源の軽石層相から火砕流堆積物と判断できないが、ローム層中に、僅かに軽石が点在する。最大平均粒径は約4mmである。



十和田八戸火砕流堆積物  
軽石混じり火山灰がパッチ状に認められる。層厚は約20cm、最大平均粒径は約2mmである。土壌化や植生による擾乱が著しい。

上位より、十和田八戸火砕流堆積物 (To-H)、十和田大不動火砕流堆積物 (To-OF) 起源の軽石が散在する層準、並びに軽石及び岩片が密集する十和田レッドテフラ (To-Rd) が確認される。

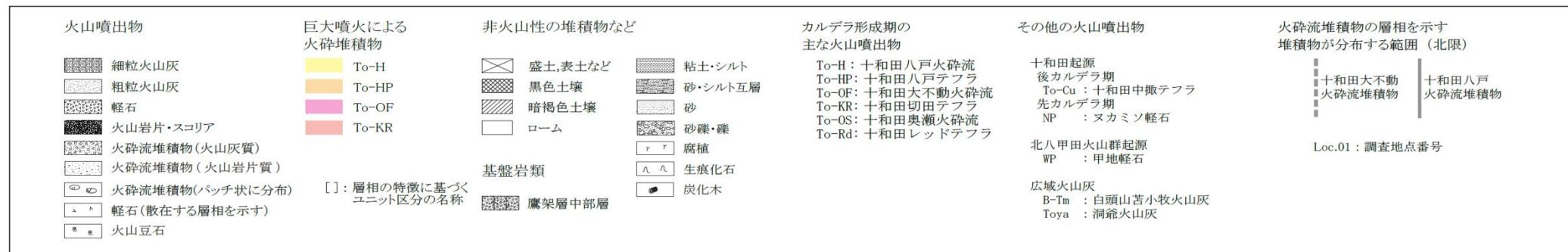
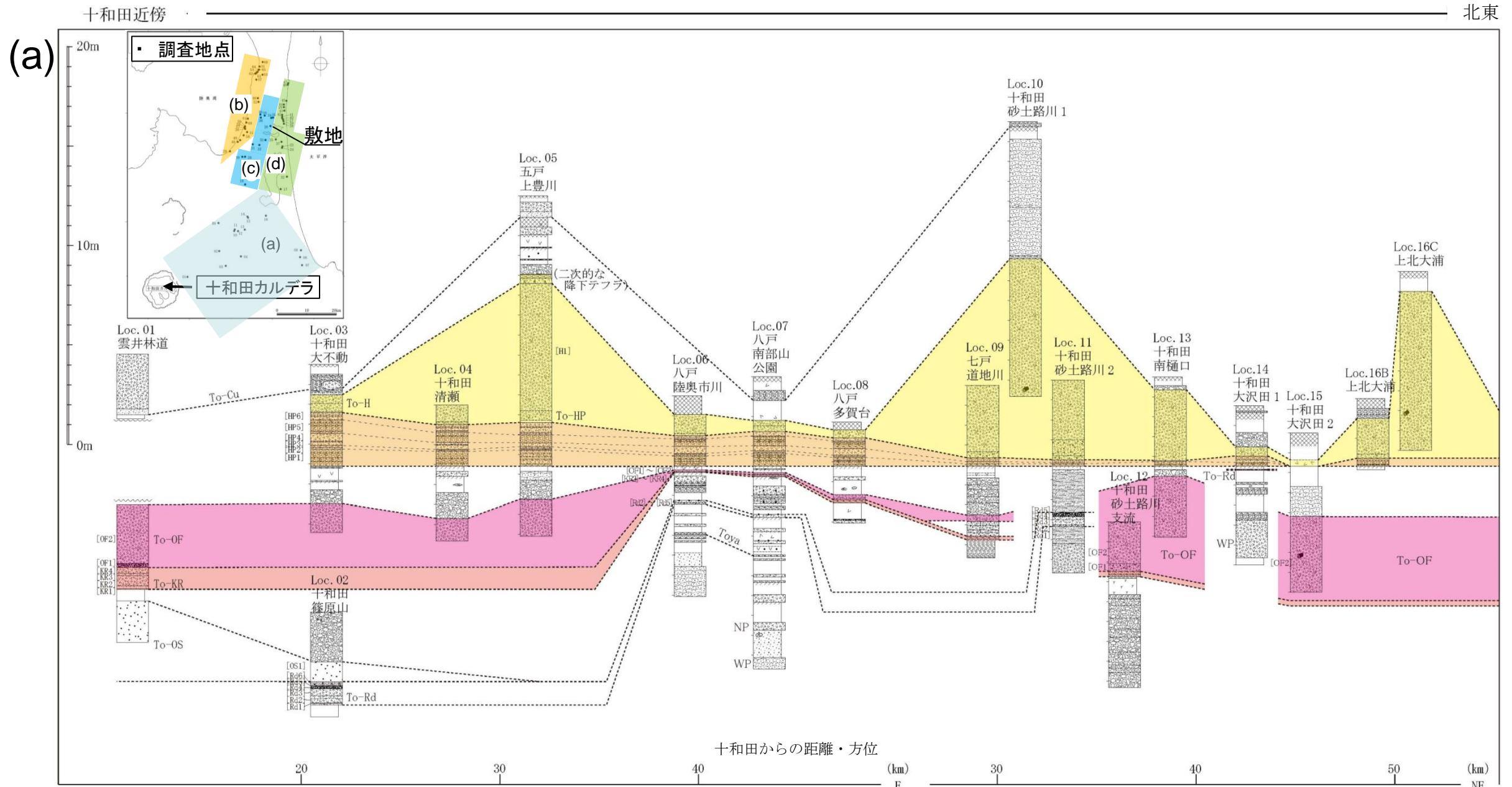
敷地内 (Loc.26) において、巨大噴火に伴う十和田大不動火砕流の軽石 (最大平均粒径 約4mm) がローム層中に僅かに点在している。また、巨大噴火に伴う十和田八戸火砕流の軽石混じり火山灰がパッチ状 (層厚 約20cm) に認められる。



露頭位置図

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

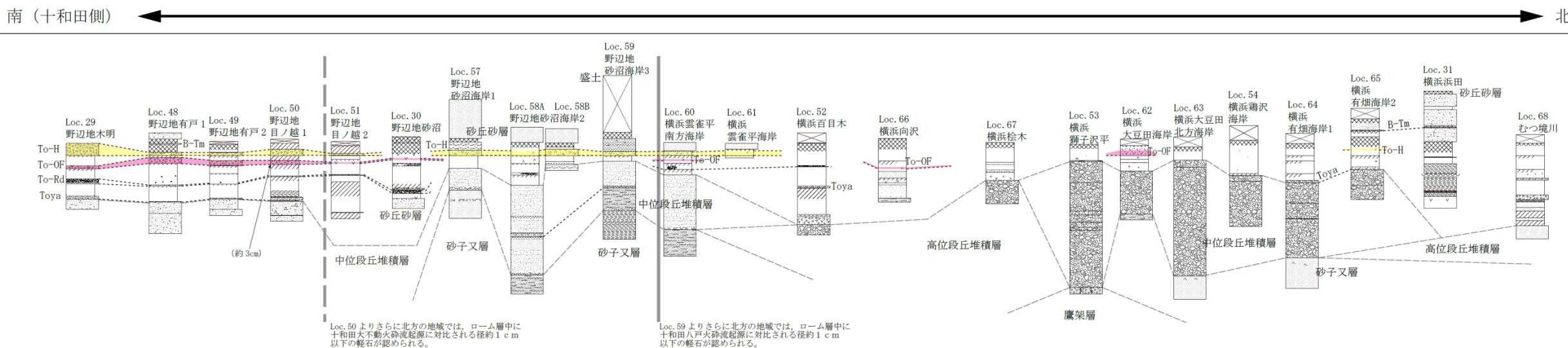
地質調査及び火山学的調査④〔巨大噴火に伴う火砕流堆積物に着目した地質柱状図(その1)〕



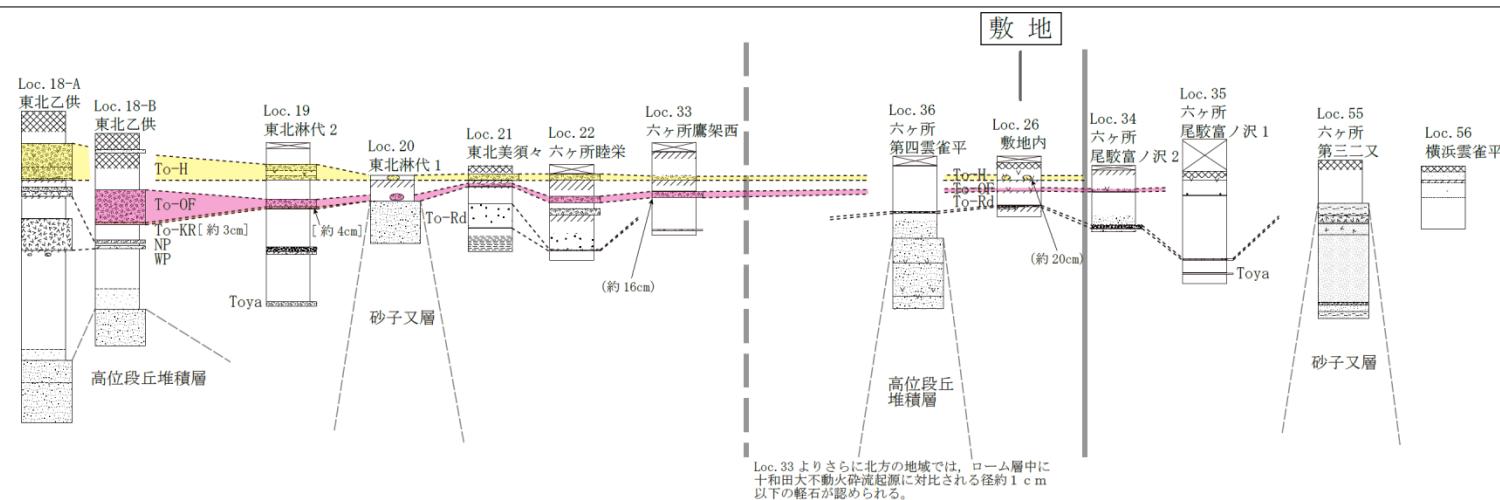
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地質調査及び火山学的調査⑤〔巨大噴火に伴う火砕流堆積物に着目した地質柱状図(その2)〕

(b) 陸奥湾側

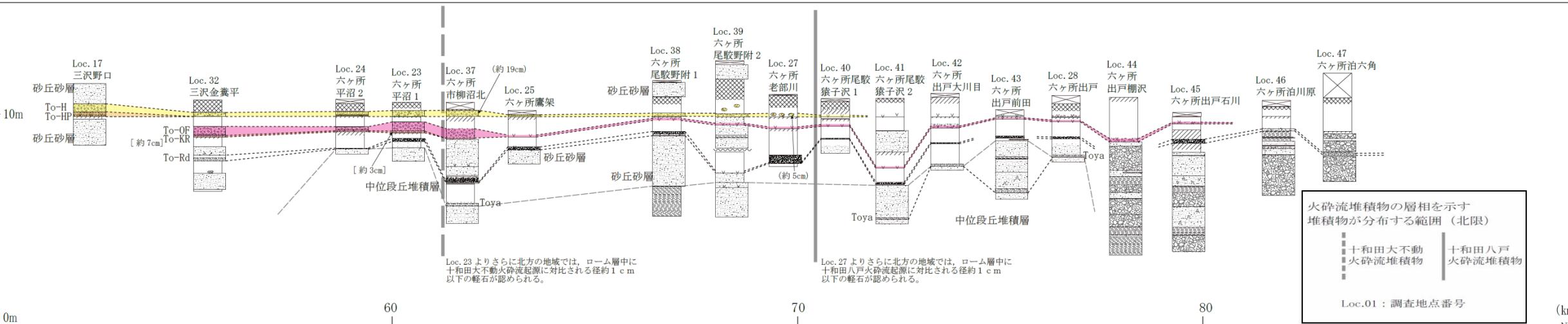


(c) 敷地



十和田から敷地周辺にかけての火砕流堆積物及び降下火砕物の分布より、敷地は、巨大噴火に伴う十和田八戸火砕流及び十和田大不動火砕流の到達末端に位置すると判断される。

(d) 太平洋側



注) 柱状図で括弧内に示す数値 : cm は、( ) 内は火砕流堆積物の層厚、[ ] 内は降下火砕物の層厚を示す。

十和田からの距離・方位

(km)  
NE

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査⑥〔敷地内で確認される巨大噴火に伴う火砕流堆積物の判断方法〕

**①空間的な層序関係の追跡**

- ・A: 給源から敷地にかけての追跡方法
  - ・火砕流堆積物と降下火砕物のそれぞれの特徴と層序関係について着目して、給源から敷地に向かい追跡。
- ・B: 火砕流到達末端付近の追跡方法
  - ・敷地付近の露頭等においては、上位から、表土(黒ボク) — 十和田八戸火砕流(To-H) — ローム — 十和田大不動火砕流(To-OF) — ロームの層序関係に着目して追跡。

**②火山灰分析**

- ・層序関係等から想定した火砕流堆積物を火山灰分析により確認。

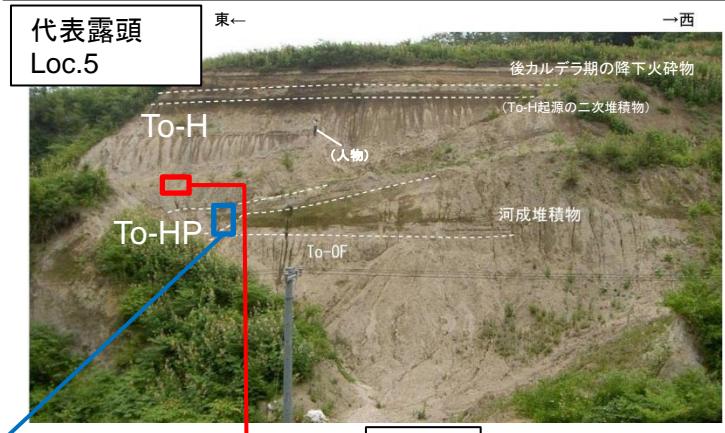
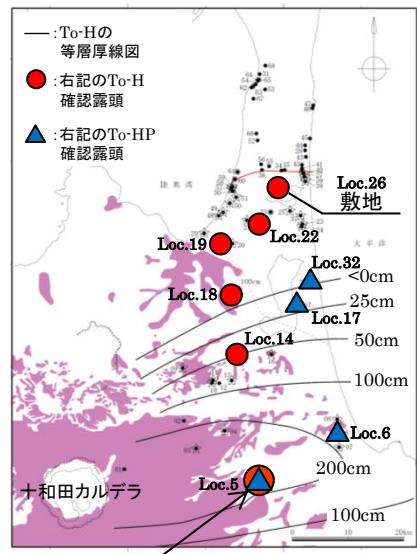


火砕流堆積物は敷地まで連続的に確認できる。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地質調査及び火山学的調査⑦〔敷地内で確認される巨大噴火に伴う火砕流堆積物の判断方法〕

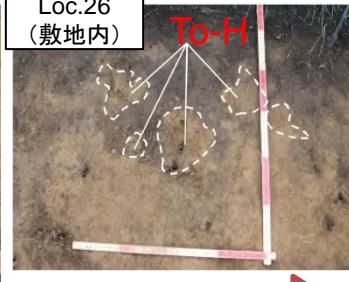
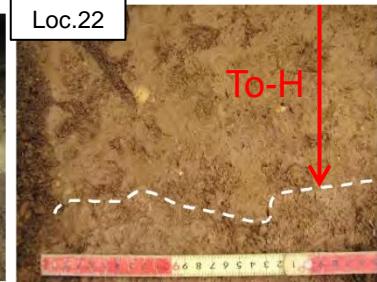
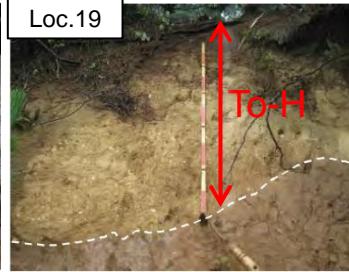
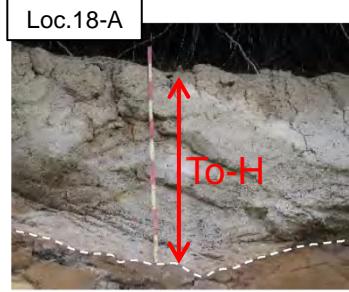
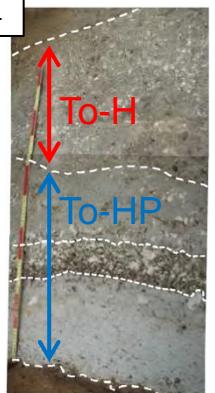
■①-A: 空間的な層序関係の追跡【給源から敷地にかけての追跡方法】  
・火砕流堆積物と降下火砕物のそれぞれの特徴と層序関係について着目して、給源から敷地に向かい追跡。



代表露頭(Loc.5)

**八戸火砕流 (To-H)**

- To-Hの特徴:
- ・塊状無層理
  - ・淘汰不良
  - ・テフラの直上

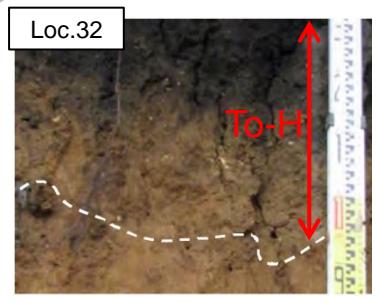
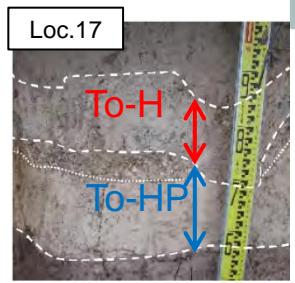
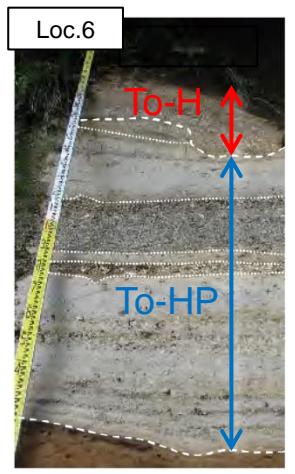
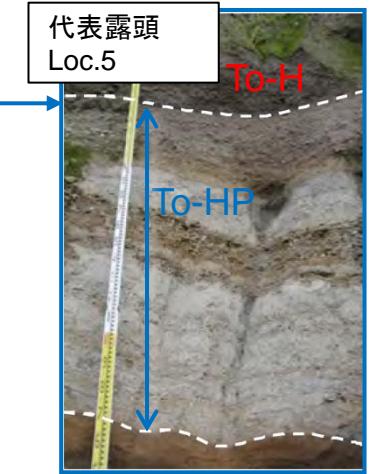


層厚	1000cm以上	約46cm	約120cm	約80cm	約20cm	約20cm(パッチ状)
敷地からの距離	火山近傍	31km	21km	14km	8km	0km 敷地
		53km	45km	21km	18km	

**八戸テフラ (To-HP)**

- To-HPの特徴:
- ・淘汰良好
  - ・火山灰と軽石の互層
  - ・火砕流の直下

層厚 約237cm 約153cm 約21cm 無し



火砕流堆積物と降下火砕物のそれぞれの特徴と層序関係により、給源から敷地に向かいそれらの連続性・層厚変化を追跡できることを確認した。

※塊状無層理で軽石を散在する。

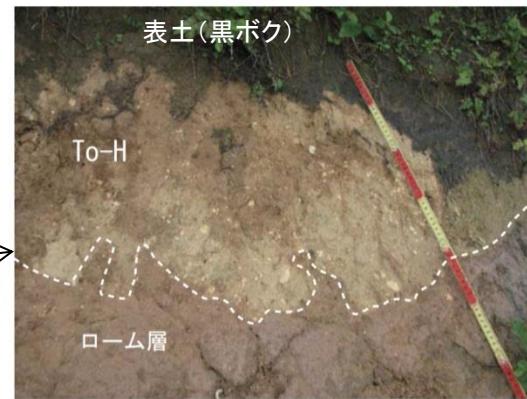
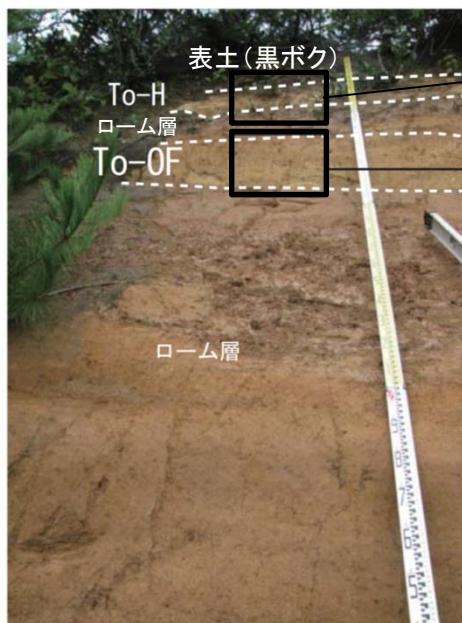
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査⑧〔敷地内で確認される巨大噴火に伴う火砕流堆積物の判断方法〕

■①-B:空間的な層序関係の追跡 【火砕流到達末端付近の追跡方法】

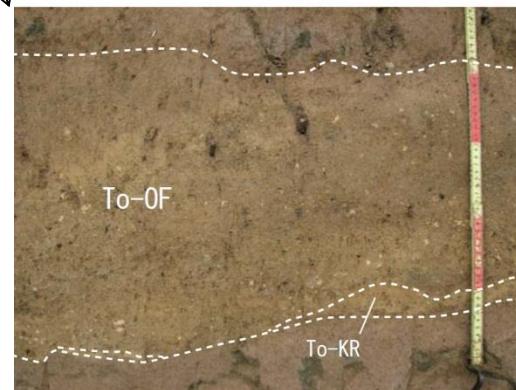
- ・敷地付近の露頭等においては、上位から、表土(黒ボク) — 十和田八戸火砕流(To-H) — ローム — 十和田大不動火砕流(To-OF) — ロームの層序関係に着目して追跡。

敷地周辺  
Loc.19

敷地内  
Loc.26



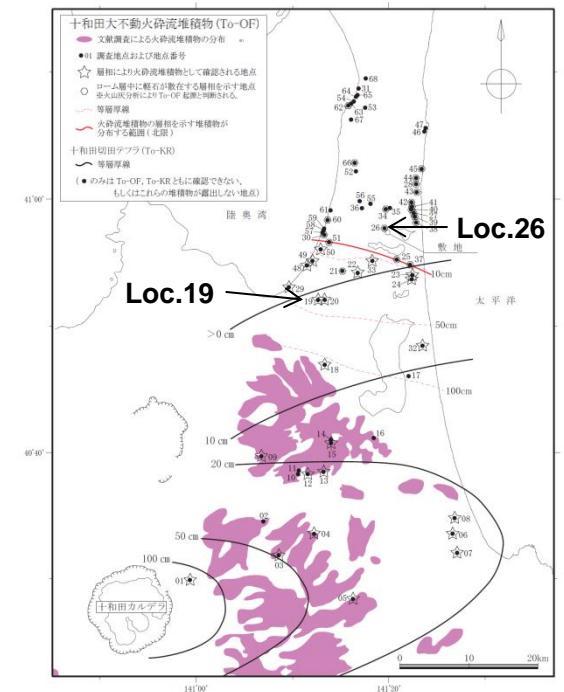
軽石混じり細粒火山灰 (To-H) からなる。全体に塊状無層理で淘汰不良である。層厚約 80cm である。



軽石混じり火山灰 (To-OF) からなる。全体に塊状無層理で淘汰不良である。層厚約 29cm である。層厚約 4 cm の細粒火山灰 (To-KR) を伴う。



上位より、十和田八戸火砕流堆積物 (To-H)、十和田大不動火砕流堆積物 (To-OF) 起源の軽石が散在する層準、並びに軽石及び岩片が密集する十和田レッドテフラ (To-Rd) が確認される。



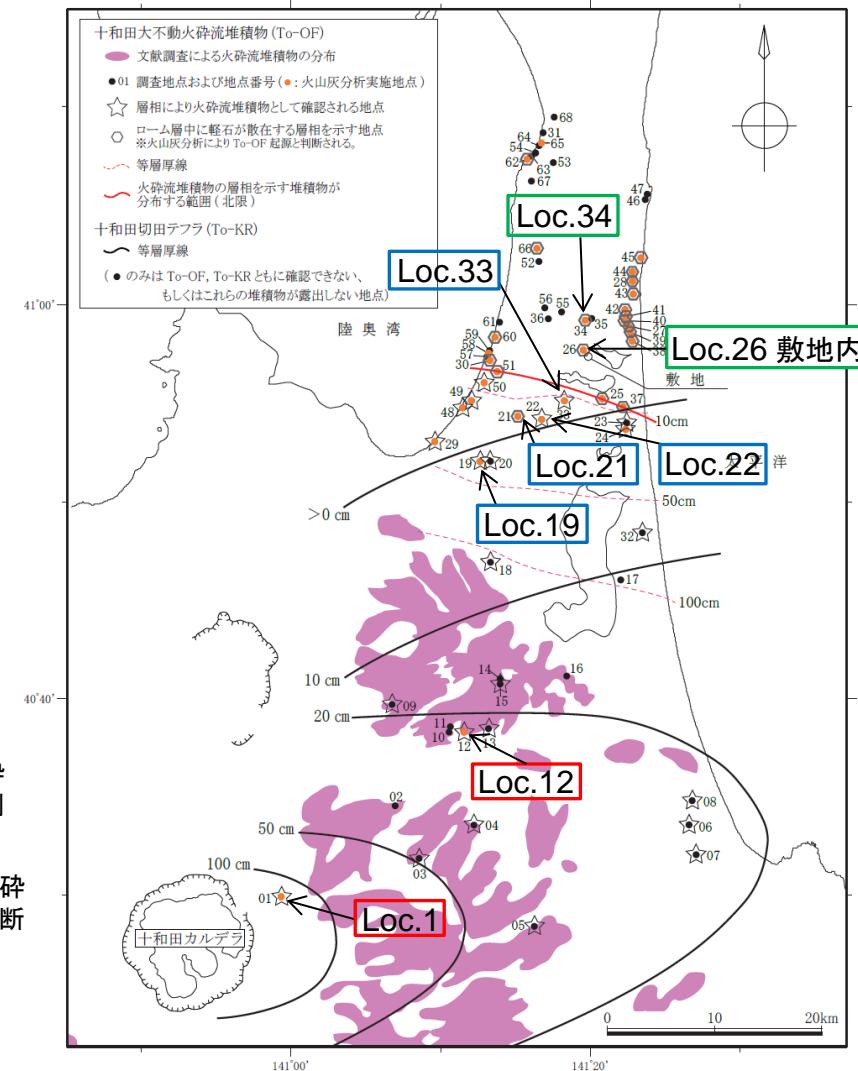
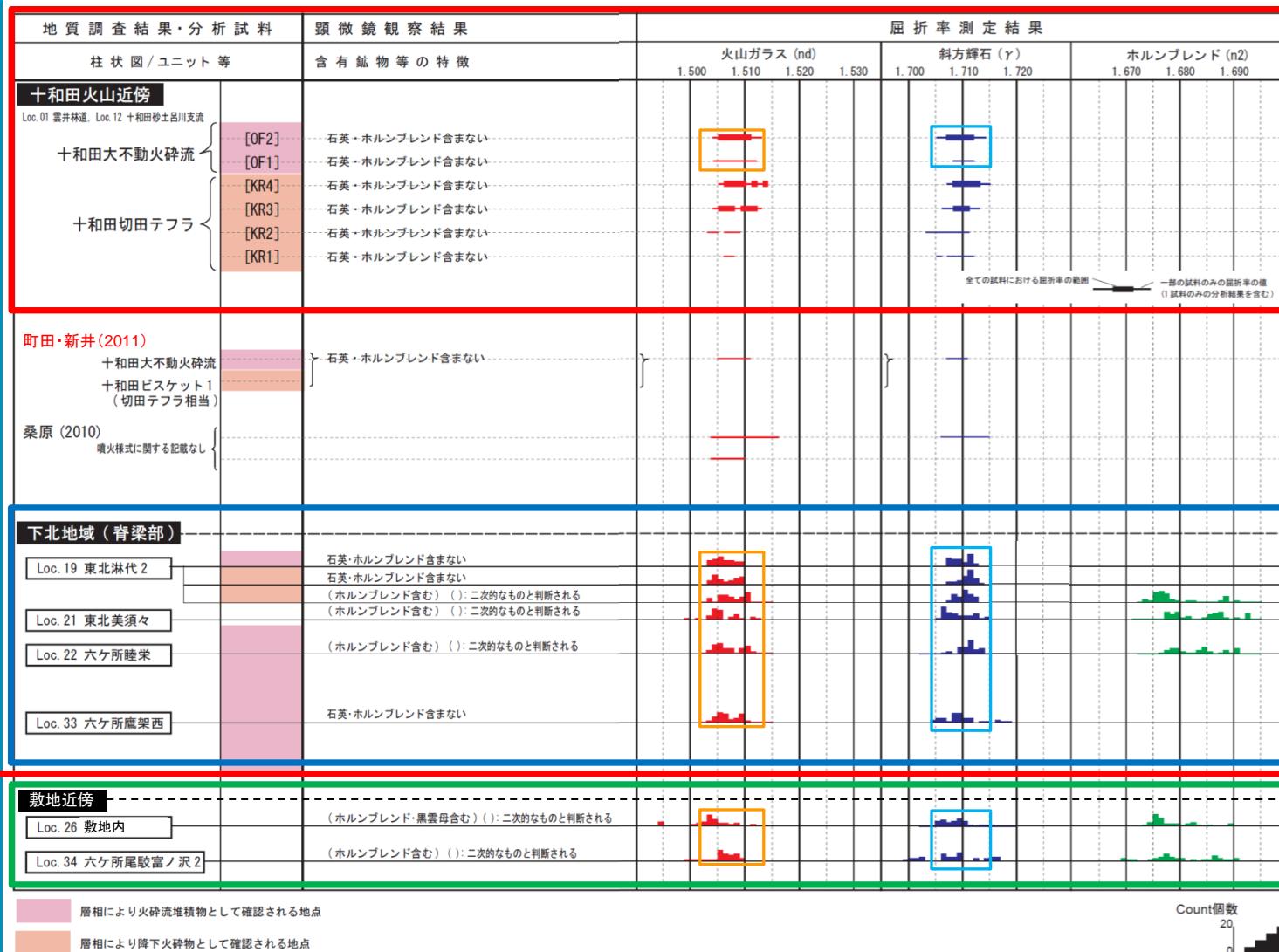
敷地内露頭において、敷地周辺露頭と同様の層序関係を追跡できることを確認した。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査⑨〔敷地内で確認される巨大噴火に伴う火砕流堆積物の判断方法〕

■②火山灰分析

・層序関係等から想定した火砕流堆積物を火山灰分析により確認。

【十和田大不動火砕流及び切田テフラの火山灰分析結果】



層相から火砕流堆積物と判断できる範囲  
層相からは火砕流堆積物と判断できない範囲

層相からは火砕流堆積物と判断できないが、層序関係等から想定される敷地近傍の十和田大不動火砕流(To-OF)層準の軽石を火山灰分析した結果、十和田近傍と火山ガラス及び斜方輝石の屈折率にほとんど差異はないことから、十和田大不動火砕流堆積物と判断した。なお、火山灰分析の結果認められたホルンブレンドは、層相から火砕流堆積物と判断できる下北地域(脊梁部)にも認められるが、給源付近では認められないことから、二次的な混入と考えられる。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査⑩〔まとめ〕

巨大噴火に伴う2回の大規模火砕流(十和田大不動火砕流及び十和田八戸火砕流)を対象に地質調査及び火山学的調査を行い、その分布を確認した。

➤ 十和田大不動火砕流 (見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)\*

層相からは火砕流堆積物と判断できないが、層序関係等から想定される敷地内(Loc.26)の十和田大不動火砕流(To-OF)層準の軽石を火山灰分析した結果、十和田大不動火砕流起源に対比されると判断した。

したがって、十和田大不動火砕流は、敷地に到達した可能性が高いと考えられる。ただし、敷地はその到達末端に位置すると判断される。

➤ 十和田八戸火砕流 (見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)\*

火砕流堆積物と降下火砕物のそれぞれの特徴と層序関係から、敷地内(Loc.26)において確認された層厚約 20cm のパッチ状を呈する火砕流堆積物を、十和田八戸火砕流堆積物であると判断した。

したがって、十和田八戸火砕流は敷地に到達したと考えられる。ただし、敷地はその到達末端に位置すると判断される。

\* Hayakawa(1985)に基づく

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

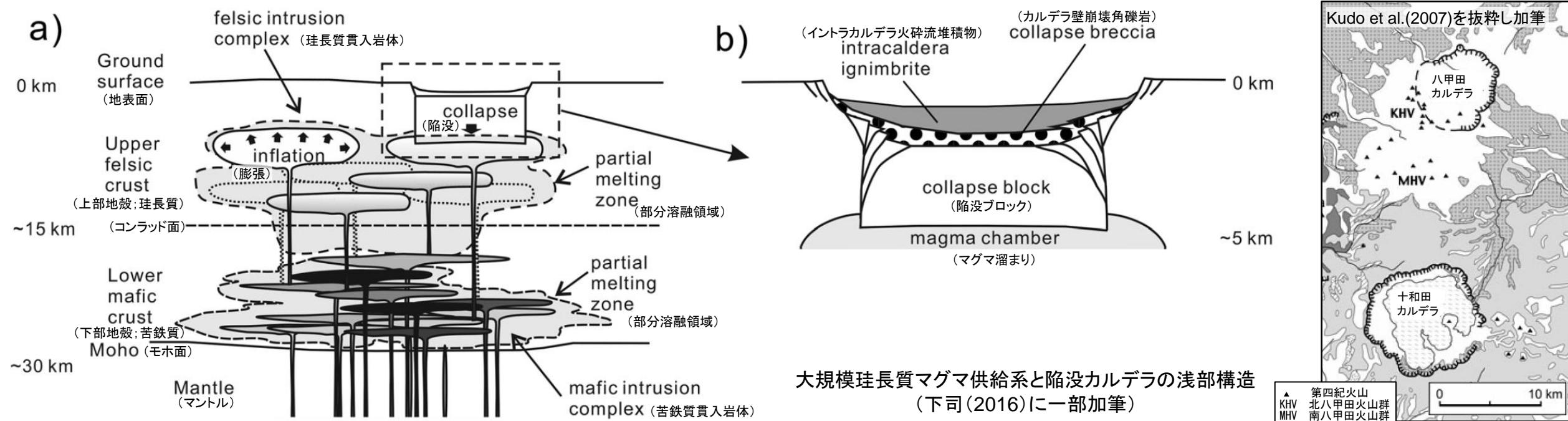
地球物理学的調査(巨大噴火に直接寄与するマグマ溜まりのイメージ)

下司(2016)により, 大規模噴火※<sup>1</sup>のマグマ溜まりに関する知見が以下の通り整理されている。

- 大規模噴火※<sup>1</sup>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。珧長質マグマの移動・集積に要するタイムスケールを考えると, 数10~100 km<sup>3</sup>の珧長質マグマを噴火期間中に生成・集積させながら噴出させることは不可能である。したがって, 大規模噴火※<sup>1</sup>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。
- 大規模噴火※<sup>1</sup>を引き起こすマグマシステムの全体像は, マントルの部分溶融による苦鉄質マグマの生成, 下部地殻に貫入した苦鉄質マグマの結晶分化作用や周辺の下部地殻物質の部分溶融による珧長質メルトの生成, 発生したメルトの分離・上昇, 上部地殻への集積, あるいは異なる組成のマグマの混合といった現象が起こる, 地殻全体に広がる巨大で複雑なシステムであると考えられる。物理探査(地球物理学的調査)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。
- カルデラの陥没量とカルデラ形成噴火※<sup>2</sup>の噴出量がほぼ一致することは, マグマ溜まりからマグマが噴出して生じた空間に陥没ブロックが沈降したことを示唆する。

※<sup>1</sup> 下司(2016)の「大規模噴火」の噴火規模は, 本資料の「巨大噴火」の定義にある噴火規模を包含する。

※<sup>2</sup> 下司(2016)の「カルデラ形成噴火」は, 本資料の「巨大噴火」の定義と異なり, 噴火規模の大小に関係なく, カルデラを形成した噴火を指す。



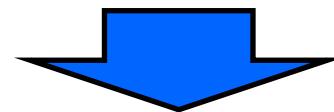
大規模珧長質マグマ供給系と陥没カルデラの浅部構造 (下司(2016)に一部加筆)

- 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と考えられる。
- 十和田及び八甲田山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を実施し, 現在のマグマ溜まりの状況について評価する。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(現在のマグマ溜まりの状況把握を目的とした手法の特徴)

- 地震波速度構造では、活火山直下の低 $V_p$ 、低 $V_s$ 、高 $V_p/V_s$ はメルトを含む領域を示唆するとしている。一方で、低 $V_p$ 、低 $V_s$ 及び低 $V_p/V_s$ は、水の存在を示唆する。(Nakajima et al., 2001b)
- 比抵抗構造では、低比抵抗はマグマ溜り、火山性流体上昇ルートのほか、浅部熱水系、熱水変質した粘土層を含む領域を示唆する。(相澤, 2016, 2017)
- 流体の存在や変化により敏感に反応するのは電磁気学的現象としている。(後藤・三ヶ田, 2008)
- 一般に、 $100^{\circ}\text{C}$ の高温異常に対する速度低下率は約1%、比抵抗の低下率は約30%であるが、メルトが数%存在する場合、速度は数~10数%も低下し、比抵抗では桁で小さくなるとしている。(中島, 2016)



- 地震波速度構造では、活火山直下にメルトが存在しているか水が存在しているかの推定ができる。
- 一方、比抵抗構造は、メルトか、水などの流体なのかを区別することは難しいが、地震波速度構造よりも流体の存在に敏感である。
- ⇒ したがって、低比抵抗かつ低速度・高 $V_p/V_s$ の領域はメルトの存在を示唆する可能性が大きいと考えられる。
- また、火山周辺の地震・地殻変動は、マグマの移動・上昇等の活動を示す場合がある。
- ⇒ 以上から、相補的な関係である地震波速度構造及び比抵抗構造、並びに地震・地殻変動に基づき現在のマグマ溜まりの状況を評価する。

# 参考 現在のマグマ溜まりの状況把握を目的とした地球物理学的調査の各手法の特徴整理表

手法	概要・原理	特性	マグマとの関係		長所	短所
地震波トモグラフィ (地震波速度構造)	【浅森・梅田(2005)】 ・人工地震や自然地震の発生に伴って震源から地表の観測点に伝播する地震波の観測データを多量に用い、多数の3次元ブロックまたは格子点によって表現された解析対象領域内の3次元の地下構造をインバージョンによって推定する手法。多くの場合、実体波の走時データを用いて地球内部の3次元地震波速度分布(構造)を推定する。	【浅森・梅田(2005)】 ・地震波速度は岩石の種類、流体の飽和度、温度、圧力などによって変化するため、流体や高温異常の空間分布を把握するための重要な手掛かりの1つ。火山地域における詳細な3次元地下構造の推定にも適用。	【Nakajima et al.(2001)】 ・活火山直下の低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、 <u>メルトの存在を示唆し、低Vp, 低Vs及び低Vp/Vsは、水の存在を示唆する。</u>  【中島(2016)】 ・100°Cの高温異常に対する速度低下率は約1%。 ・メルトが数% 存在する場合、速度は数~10 数%も低下。	【後藤・三ヶ田(2008)】 ・貯留層などの変化を地震探査の手法により解明する努力が継続されているが、 <u>実は流体の存在や変化により敏感に反応するのは電磁気学的現象なのである。</u> ・対象物と観測点の距離に依存するが、地震波トモグラフィでは流体により数% 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捉えることが可能な場合がある。  【相澤(2017)】 ・比抵抗構造推定の問題としては、異方性や極端な構造の検出が苦手。マグマ溜りの形状がシルカそれ以外かの判別が難しい。こうした問題を解決するためには地震学的な情報とジョイントする必要がある。	・活火山直下に、メルトが存在しているか水が存在しているかの推定ができる。	・自然地震を用いた地震波トモグラフィは、極浅所では精度が低下する。
電磁法探査 (比抵抗構造)	【浅森・梅田(2005)】 ・地球は導体であるため、外部起源の自然電磁場変動に対応した電流が地下に誘導される。MT法では、電磁場の観測を行い、磁場変動に対する電場変動の比(インピーダンス)を測定することによって地下の比抵抗分布を推定する。	【浅森・梅田(2005)】 ・岩石の状態を反映してオーダーで変化する物性値であり、空隙率が高く、比抵抗の低い流体を含む岩石は低比抵抗を示す。  【後藤・三ヶ田(2008)】 ・間隙水・マグマ・湿潤状態の粘土鉱物は高い導電性(低比抵抗)を示す。	【中島(2016)】 ・低比抵抗(高電気伝導度) ・100°Cの高温異常に対する比抵抗の低下率は約30%。 ・メルトが数% 存在する場合、 <u>比抵抗は桁で小さくなる。</u>  【相澤(2016), 相澤(2017)】 ・マグマ溜り、火山性流体上昇ルートが低比抵抗としてイメージされる。	・地震波低速度領域と低比抵抗領域さらには低周波地震の分布と整合的な結果が得られることがあり、部分熔融域が分布することが示唆されている。	・地震波トモグラフィよりもメルトや水の存在に敏感に反応する。  ・メルトが数% 存在する場合、比抵抗は桁で小さくなる。  ・観測点網の外側の比抵抗分布も(精度は低下するが)得られる。	・比抵抗値からメルトか、水などの流体なのかを区別することは困難である。

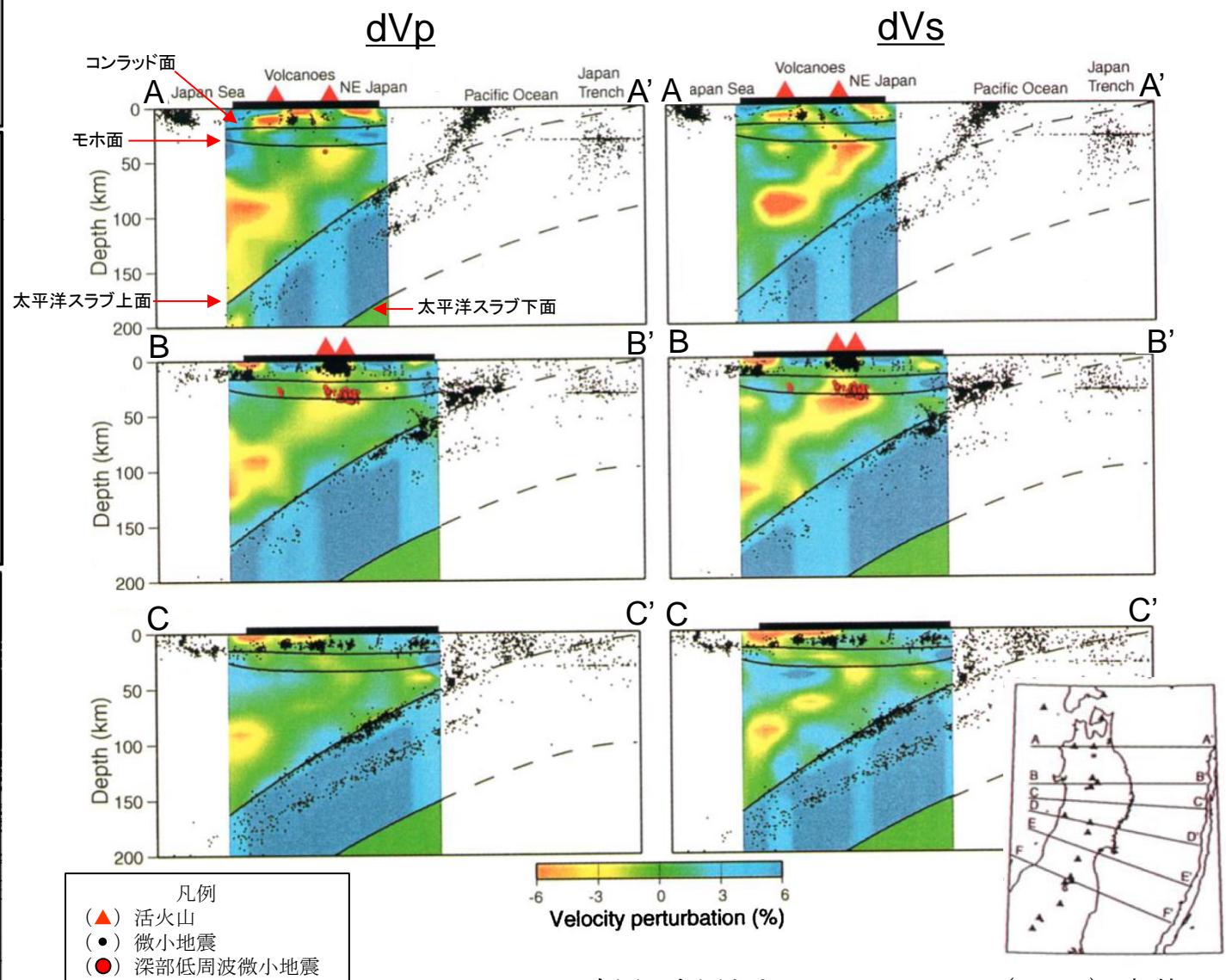
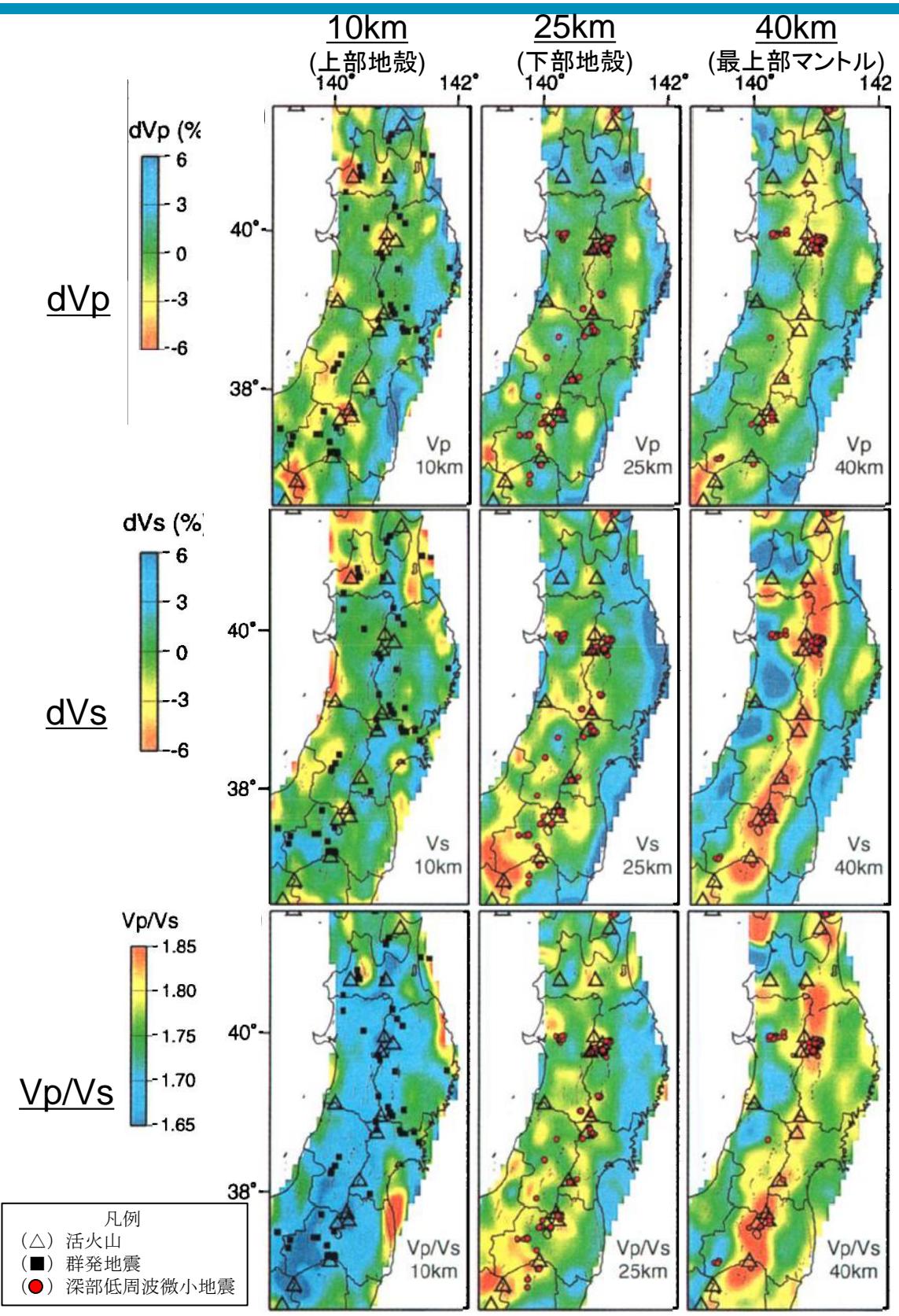
対象現象	発生要因	マグマとの関係
地震	【西村・井口(2006)】 「火山性地震」とは、火山活動に関して火山付近で発生する地震である。 この火山性地震は、火山活動、つまり、マグマ等の火山性流体の活動が、直接的あるいは間接的に、地殻に作用した結果生じ、「断層運動」により生じる普通の地震には見られない震動特性を示すこともある。	<p>■通常の地震</p> <p>【西村・井口(2006)】 ・岩石の破壊運動によって発生する。10Hz以上の高周波(短周期)を含む。 ・地殻変動源の体積増加量の時間変化との相関も認められる場合がある(岩手山の例)。 ・マグマの移動に伴って震源分布が移動する事例がある。</p> <p>【青木(2016)】 ・浅部へのマグマ貫入にともない、火山構造成地震の発生や、火山性ガスの放出量やその成分の変化が見られることもある。</p> <p>■低周波地震</p> <p>【西村・井口(2006)】 ・流体(液体のマグマ、火山ガスあるいはその混合体、地下水、熱水など)の位置を示唆している。数Hzの波が卓越。</p> <p>【中島(2017)】 ・火山地域のモホ面近傍の低周波地震の発生にはメルトまたはメルトの固化により生じた流体の移動が深く関係していると考えられている。</p>
地殻変動	【青木(2016)】 ・活火山で観測される地殻変動は、多くの場合マグマの輸送など火山内部の圧力変化に起因するものである。 ・静穏期には地殻変動が観測されることはない。マグマ蓄積期には、マグマだまりへのマグマの注入にともなう山体膨張や、浅部へのマグマ貫入にともなう地殻変動が観測される。	<p>【下鶴ほか(2008)】 ・マグマ移動などに伴う地下の圧力分布変化によって岩盤が弾性的に変形し、火山周囲の広い領域に上下変動や水平変動が出現することも知られている。 ・火山性地殻変動については、数学的な理論に基づくモデルによって、その分布形状や大きさが数値的に見事に説明され、地下の力源の振る舞いに関する貴重な情報をもたらしている。 ・これまで知られている火山性地殻変動の多くが、比較的単純な形状である球状圧力源の膨張収縮や板状圧力源の様な開口や閉口として、十分満足できる程度に説明されている。</p> <p>【青木(2016)】 ・マグマ溜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。</p>

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)①〔文献調査:地震波速度構造〕

➤ Nakajima et al.(2001b)によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低Vp, 低Vs 及び高Vp/Vsは、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び低Vp/Vsは、水の存在を示唆するとしている。

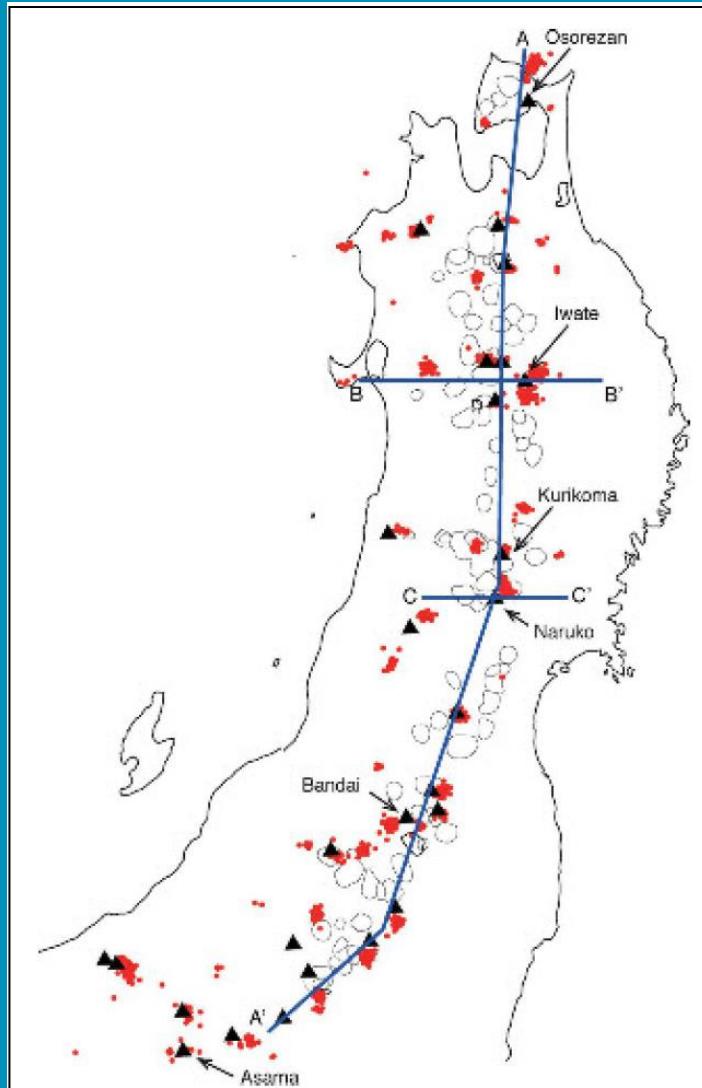
➤ また、Nakajima et al.(2001b)によると、活火山を通る測線であるAA'断面及びBB'断面は、P波、S波ともに沈み込む太平洋スラブとほぼ平行に低速度域が背弧側の深い領域から地殻まで連続的に分布していることが確認できるとし、活火山を通らない測線であるCC'断面も同様に低速度領域が確認できるが、それは、AA'及びBB'の低速領域に比べて振幅は小さいとしている。



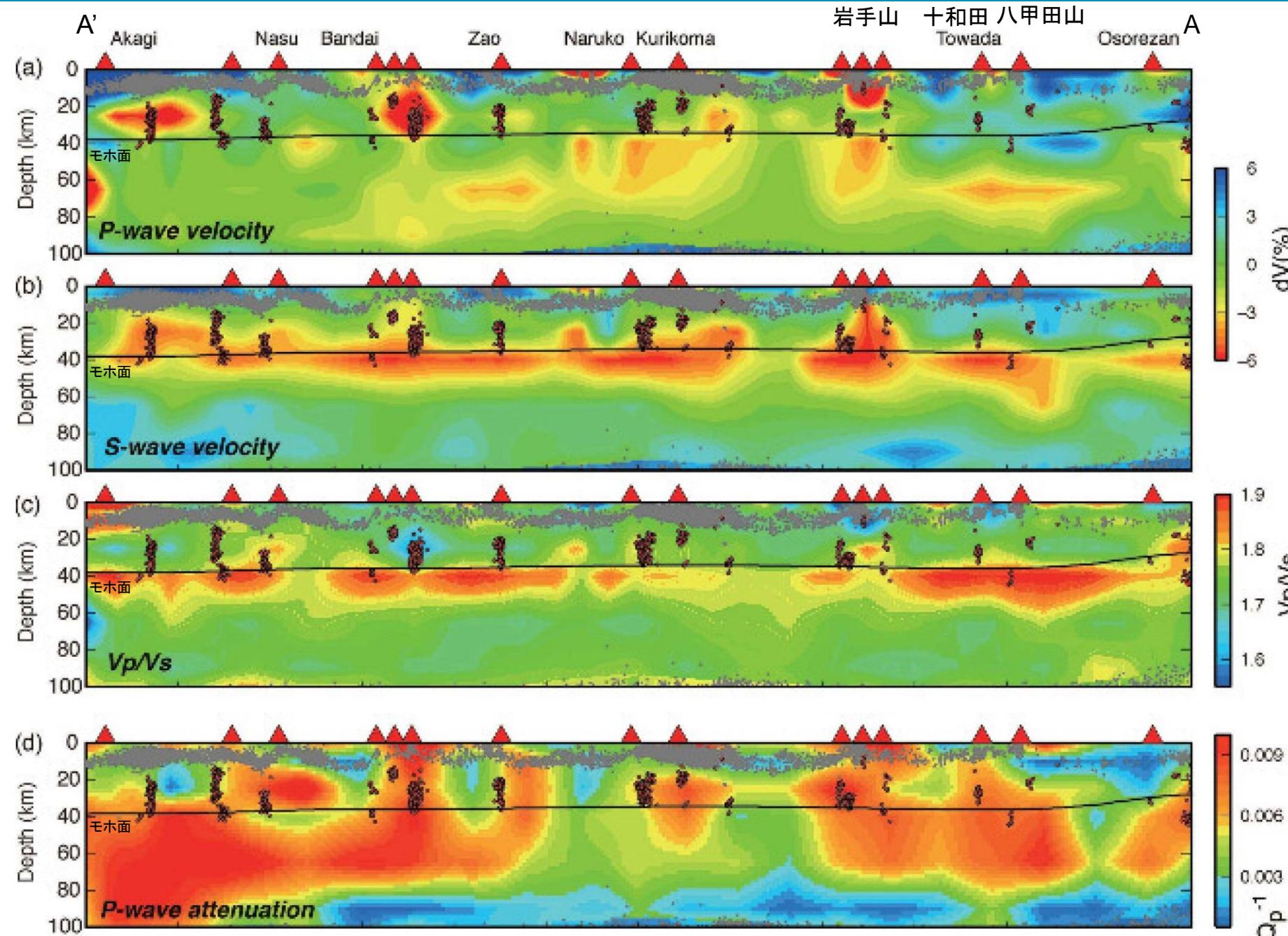
右図・左図ともにNakajima et al.(2001b)に加筆

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)②〔文献調査:地震波速度構造〕



- 凡例
- (▲) 活火山
  - (○) 第四紀カルデラ
  - (●) 深部低周波微小地震



※(a)~(c)の解析結果はNakajima et al.(2001b)と同じ

中島(2017)に加筆

- 中島(2017)によると、岩手山直下の中部～下部地殻では低速度かつ高Vp/Vsであり、メルトを含む部分熔融域であるとしている。
- また、中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。

# 参考 Nakajima et al.(2001b)のVp/Vsとマグマの解釈の関係

Nakajima et al.(2001b)によると、様々なアスペクト比や体積率をもつ割れ目にメルトや水が入った場合のVp, Vs及びVp/Vsの関係を、Yamamoto et al.(1981)の手法を用いて計算し、以下の順の整理により、図7から、現在の活火山直下(上部地殻)の低Vp及び低Vp/Vsは高いアスペクト比(~0.1)の数%の水と、下部地殻の低Vp及び高Vp/Vsは、アスペクト比0.01 ~ 0.1の数%のメルトと、それぞれ解釈できるとしている。

- ① 表3の岩石や水のVp及びVsと弾性定数を用いて計算し、図7のグラフを作成。
- ② 表2より、東北地方の活火山直下(のトモグラフィ解析結果)の各層のVp及びVp/Vsの平均値を図中に星印でプロット。
- ③ 星印の位置が、上部地殻はアスペクト比0.1の水(太い実線)と近接し、下部地殻はアスペクト比0.01~0.1のメルト及びアスペクト比0.001の水と近接し、最上部マントルはアスペクト比0.001~0.01のメルト及びアスペクト比0.001の水と近接する。(しかし、下部地殻及び最上部マントルの水は非常にアスペクト比が小さい)

表3 計算に用いた岩石や水のVp, Vs及び弾性定数

	Material	Vp, km/s	Vs, km/s	K, GPa	G, GPa	ρ, g/cm <sup>3</sup>
Upper crust (10 km depth)	granite	6.31	3.67	57.6	35.7	2.65
	melt	2.71	0	15.3	0	2.08
	H <sub>2</sub> O	1.38	0	1.61	0	0.85
Lower crust (25 km depth)	amphibolite	6.85	3.93	78.7	46.2	2.99
	melt	2.78	0	20.4	0	2.64
	H <sub>2</sub> O	1.67	0	2.28	0	0.81
Uppermost mantle (40 km depth)	peridotite	7.90	4.57	113.4	68.5	3.28
	melt	2.44	0	16.9	0	2.85
	H <sub>2</sub> O	2.10	0	4.18	0	0.95

表3を入力条件として、Yamamoto et al.(1981)の手法を用いて計算

上部地殻

下部地殻

最上部マントル

表2 東北地方の活火山直下のトモグラフィ解析結果より導いたVp, Vs及びVp/Vsの平均値

	P Wave Velocity, km/s	S Wave Velocity, km/s	Vp/Vs ratio
Upper crust	5.89	3.54	1.66
Lower crust	6.56	3.66	1.79
Uppermost mantle	7.42	4.02	1.85

表2の東北地方の活火山直下のトモグラフィ解析結果より導いた各層のVp及びVp/Vsの平均値を「★」でプロット

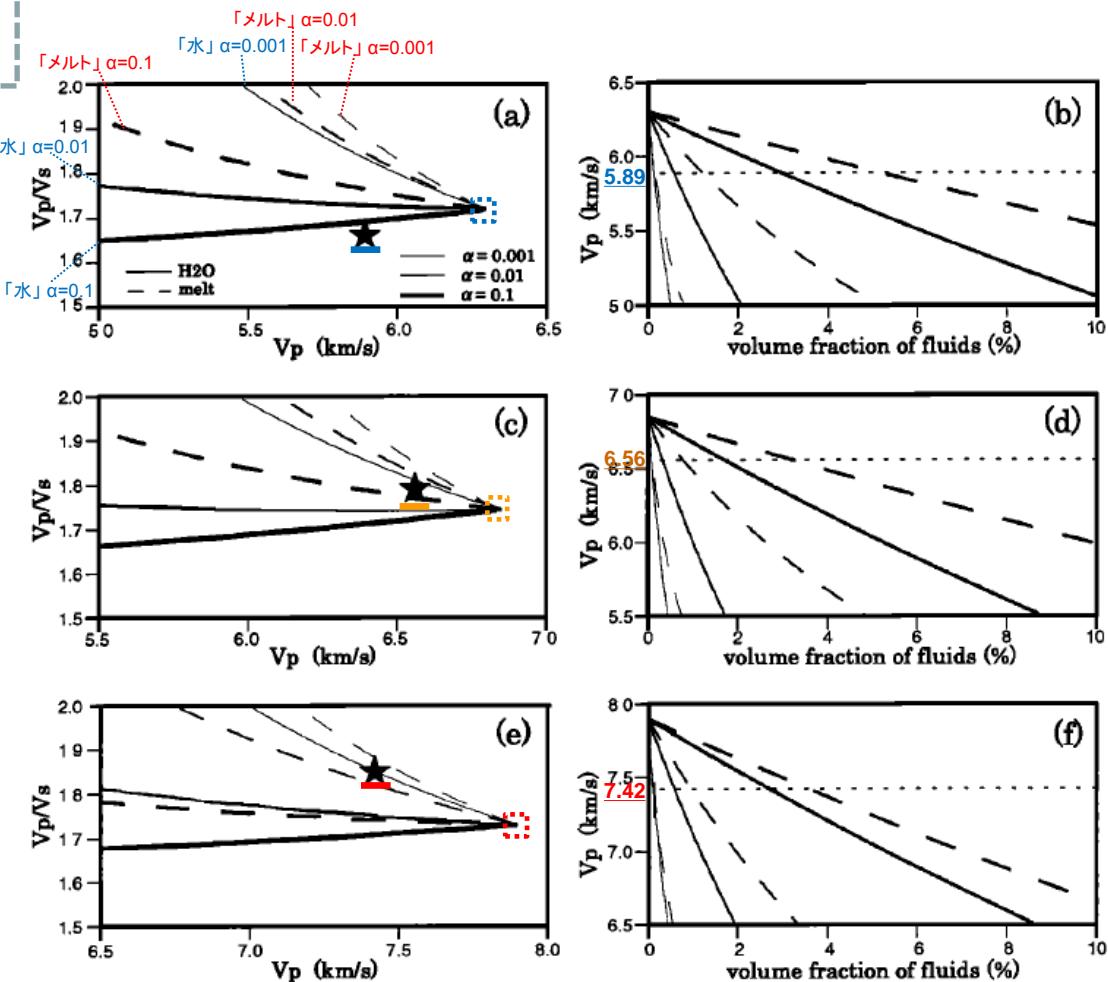
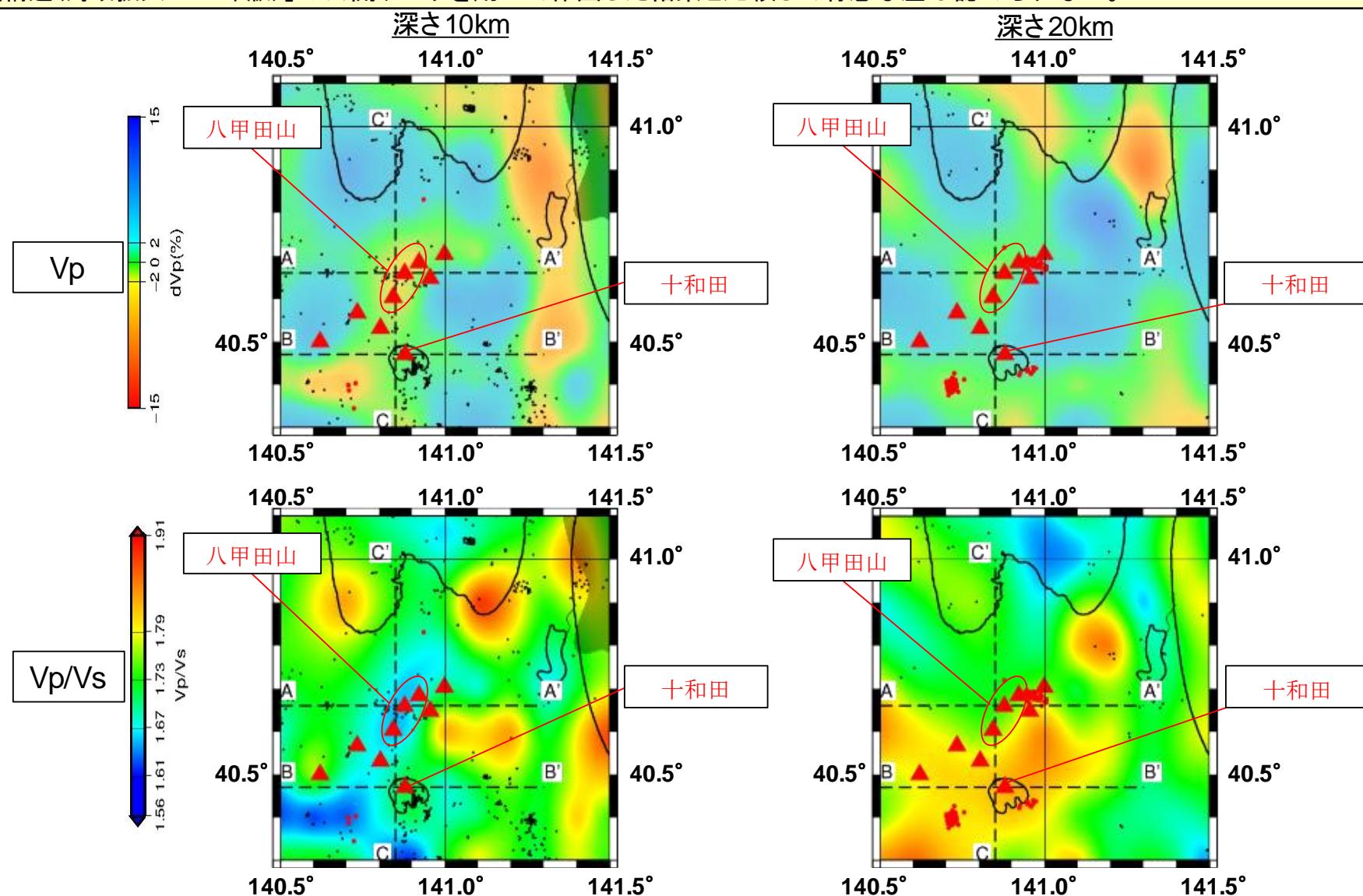


図7 (図中a,c,eの)VpとVp/Vsの関係と(図中b,d,fの) Yamamoto et al.(1981)手法を用いて計算される液体の体積比率とVpの関係を示したもの。実線と破線は、それぞれ水とメルトの含有を示し、細・中・太線は、それぞれ、0.001、0.01及び0.1のアスペクト比を示す。図中7a,7c及び7eの星印と図中7b,7d及び7fの水平破線は、Table2の活火山直下で観測されたVp及びVp/Vs値を示す。図7a及び7bは上部地殻、図7c及び7dは下部地殻、図7e及び7fは最上部マントルを示す。

余白

## 2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価 地球物理学的調査(地下構造)③〔文献調査:地震波速度構造(水平断面)〕

- 浅森・梅田(2005)によると、低速度領域には流体や高温異常の存在を示唆しているとされている。また、Nakajima et al.(2001b)によると、活火山直下の低Vp、低Vs及び高Vp/Vs領域には、メルトの存在を示唆し、低Vp、低Vs及び低Vp/Vs領域には、水の存在を示唆するとしている。
- 防災科学技術研究所HP上において、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」として、陸地のHi-net、海底のS-net及びDONET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、当社が十和田・八甲田山地域における水平・鉛直断面図を作図した。
- 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、十和田直下の上部地殻内(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。
- 深さ10km~15km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性があるとして解釈できる。
- なお、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2017年版)」の公開データを用いて作図した結果と比較して有意な差は認められない。

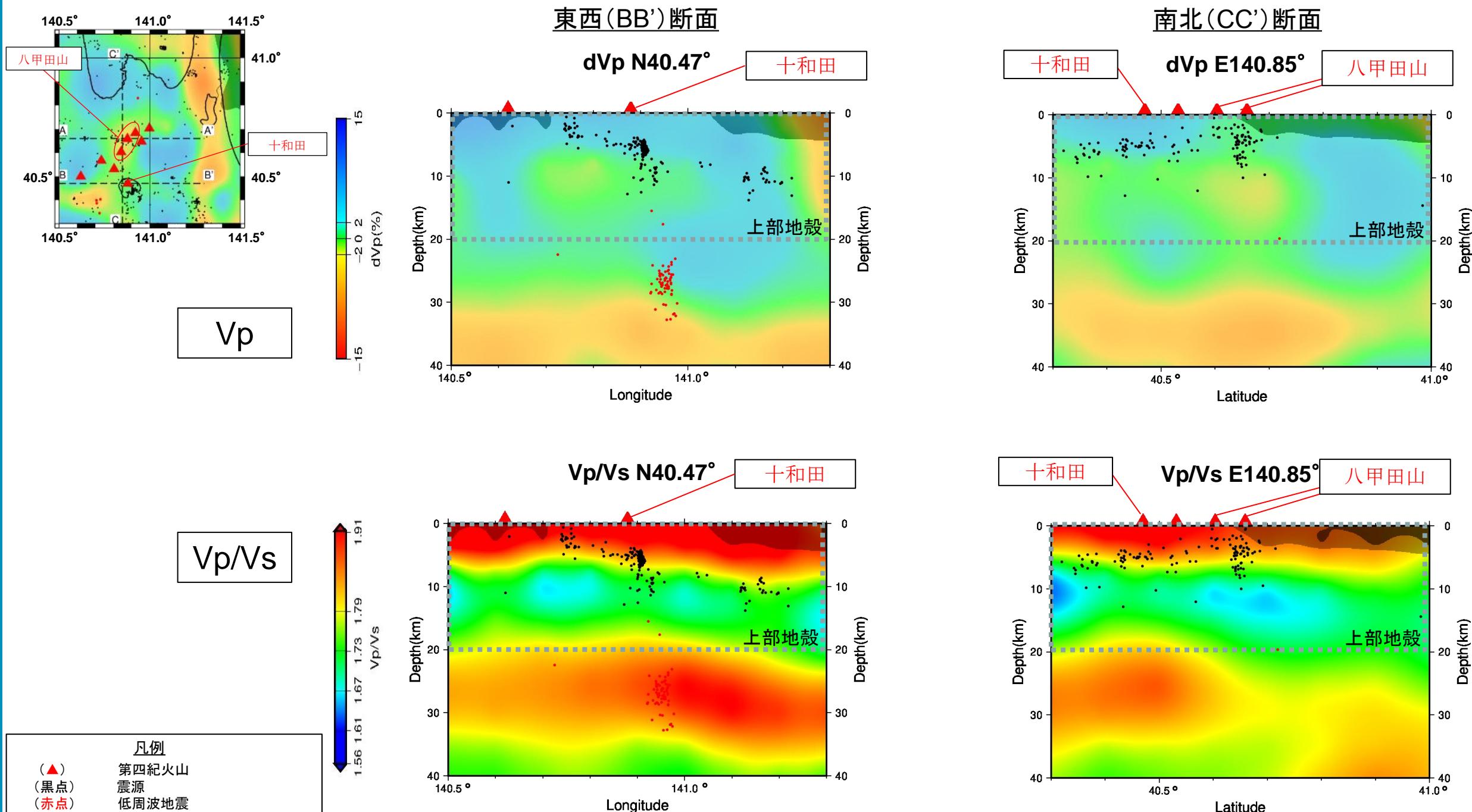


**凡例**

- (▲) 第四紀火山
- (黒点) 震源
- (赤点) 低周波地震  
(気象庁一元化震源カタログ  
期間:1997年10月~2018年12月)
- (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  
(チェッカーボードサイズ  
水平: 約20km×約20km  
(緯度 0.2° × 経度 0.2°)  
鉛直: 5km (深さ 0~10km)  
:10km (深さ 10km~40km)

防災科学技術研究所HP ([http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo\\_kozo/](http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/)) 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)④〔文献調査:地震波速度構造(鉛直断面)〕



**凡例**

- (▲) 第四紀火山
- (黒点) 震源
- (赤点) 低周波地震  
(気象庁一元化震源カタログ  
期間:1997年10月~2018年12月)
- (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  
(チェッカーボードサイズ  
水平: 約20km × 約20km  
(緯度 0.2° × 経度 0.2°)  
鉛直: 5km (深さ 0~10km)  
:10km (深さ 10km~40km)

防災科学技術研究所HP ([http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo\\_kozou/](http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozou/)) 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2019)に記載)

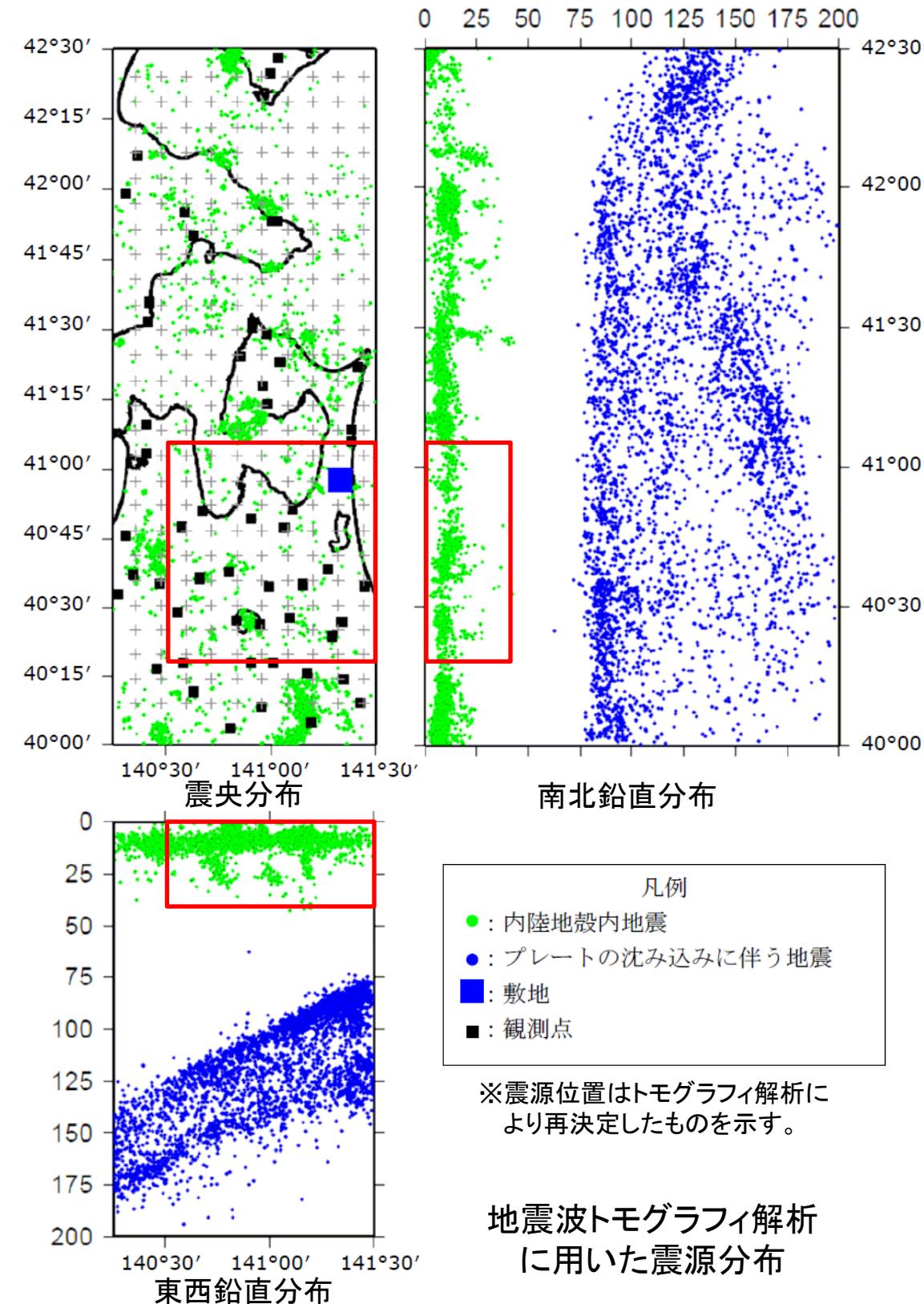
防災科学技術研究所HP上において、「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」として、同(海域拡大2017年版)の地震記録に加え、陸地のHi-net、海底のS-net及びDONETの観測網による2016年4月~2018年6月の地震記録から読み取られた到着時間データを用いた、海域を含む日本全国を対象とした地震波トモグラフィ解析結果を公開している。その地震波トモグラフィ解析結果を用いて、水平方向及び鉛直方向の断面を図化した。鉛直断面に記載している火山は、断面位置を中心に約10km内の火山を投影。なお、水平方向の分解能は約20km。鉛直方向の分解能は深さごとに異なるが、深さ0km~10kmでは分解能約5km、深さ10km~40kmでは分解能約10kmである。なお、Matsubara et al.(2019)によると、深さ0km~5kmの解像度はまだ良くないとしている。

余白

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑤〔当社解析結果:地震波速度構造(解析に用いたデータ)〕

【地震波トモグラフィ解析に用いたデータ】

- Hi-netに加えて, 東北大学等の独自の観測点を用いて, 十和田及び八甲田山付近も含む地震波トモグラフィ解析を実施した。
- 解析に用いた地震の諸元は以下のとおりである。
  - ・地震観測期間: 1997年10月～2007年3月
  - ・地震数 : 9,085地震
  - ・観測範囲 : 右図の通り
  - ・解析結果の表示範囲  
右図の赤枠の範囲
  - ・解析結果の表示範囲の解析グリッド間隔  
水平方向: 10km  
鉛直方向: 10km
  - ・解析結果の表示範囲の分解能  
水平方向: 20km  
鉛直方向: 20km

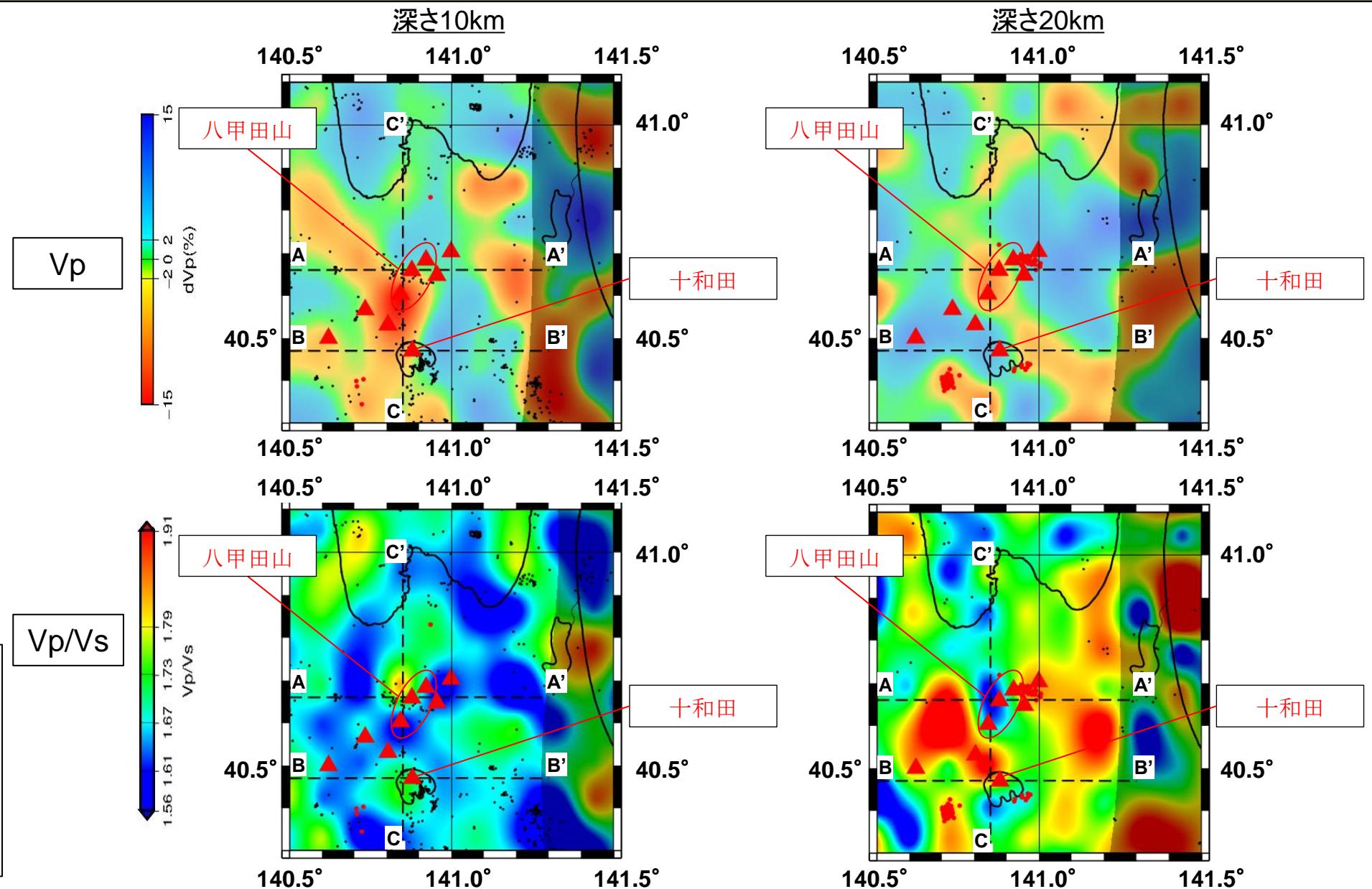


2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)⑥〔当社解析結果:地震波速度構造(水平断面)〕

➤ 地震波トモグラフィ解析結果に基づくと、上部地殻内(約20km以浅)には、顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は確認出来ない(次頁図中の①)。また、十和田と八甲田山の間の深さ5km~20km付近に低Vpかつ低Vp/Vsの領域(次頁図中の②)が確認される。加えて、十和田の深さ30km付近~40kmにかけて、低Vpかつ高Vp/Vsの領域(次頁図中の③及び④)が確認される。以上から、十和田直下については次のように解釈できる。

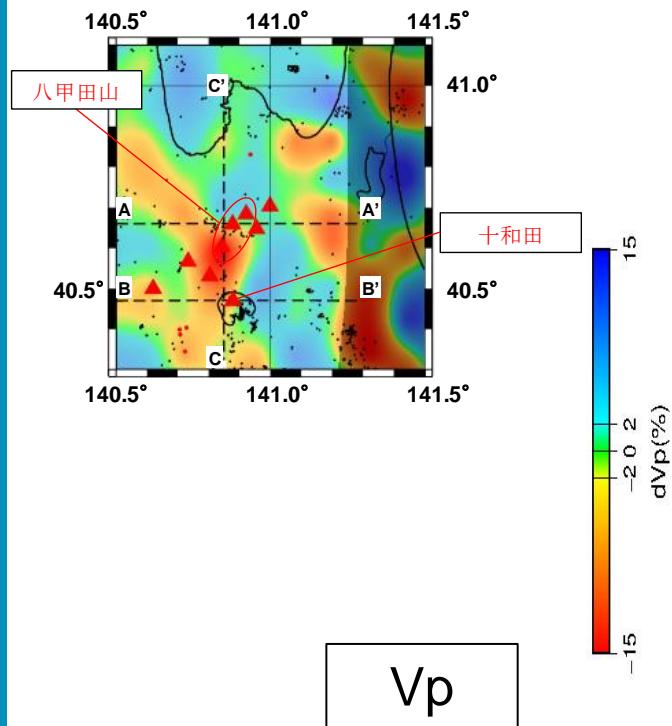
- ・上部地殻内(約20km以浅)には、メルトの存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められない。これは、防災科学技術研究所HP上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- ・十和田と八甲田山の間の深さ5km~20km付近で見られる低Vp領域は、低Vp/Vsであることから水が存在する可能性がある。これは、防災科学技術研究所HP上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」の地震波トモグラフィ解析結果と整合的である。
- ・最上部マントルにあたりと考えられる深さ30km付近~40kmは、低Vpかつ高Vp/Vsの領域であることからマグマ等の流体が存在する可能性がある。これは、Nakajima et al.(2001b)の結果と整合的である。



**凡例**

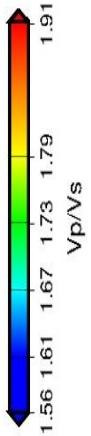
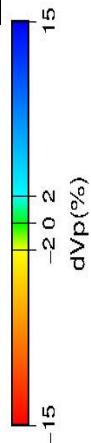
(▲) 第四紀火山  
 (●) 震源  
 (●) 低周波地震  
 (半透明黒色部) チェッカーボードテストの復元率が30%以下の範囲  
 (チェッカーボードサイズ 水平: 20km × 20km, 鉛直: 20km)

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑦〔当社解析結果:地震波速度構造(鉛直断面)〕



Vp

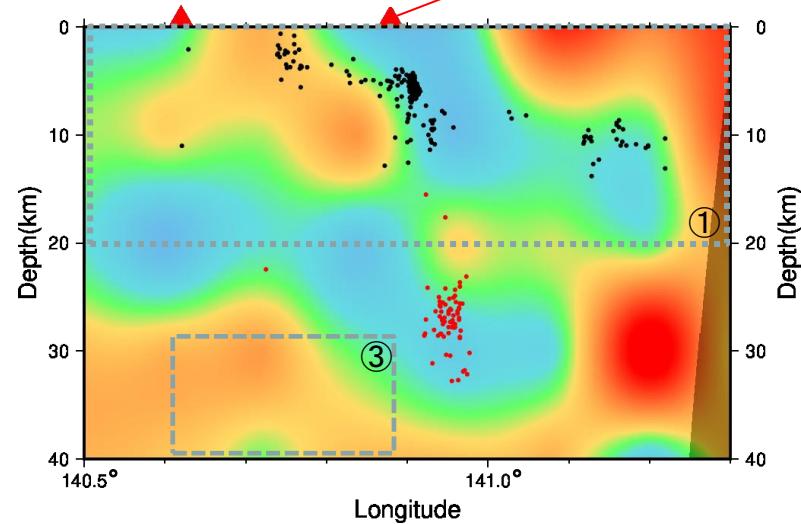
Vp/Vs



東西(BB')断面

dVp N40.47°

十和田

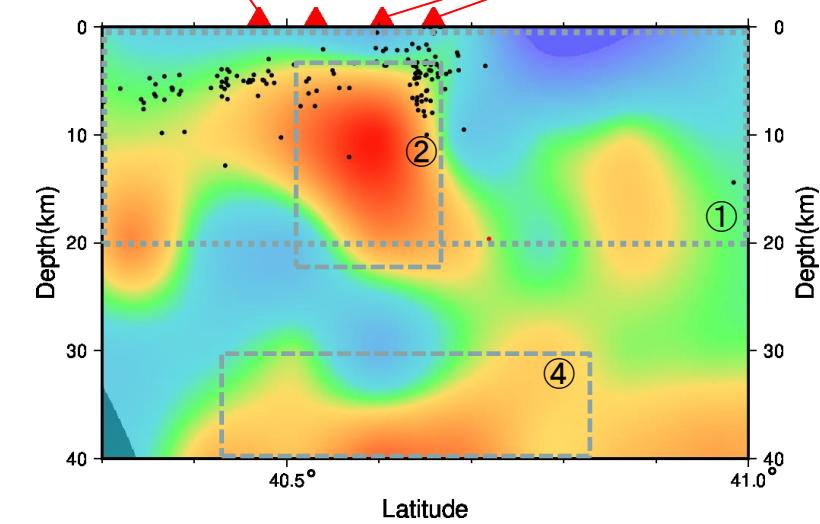


南北(CC')断面

dVp E140.85°

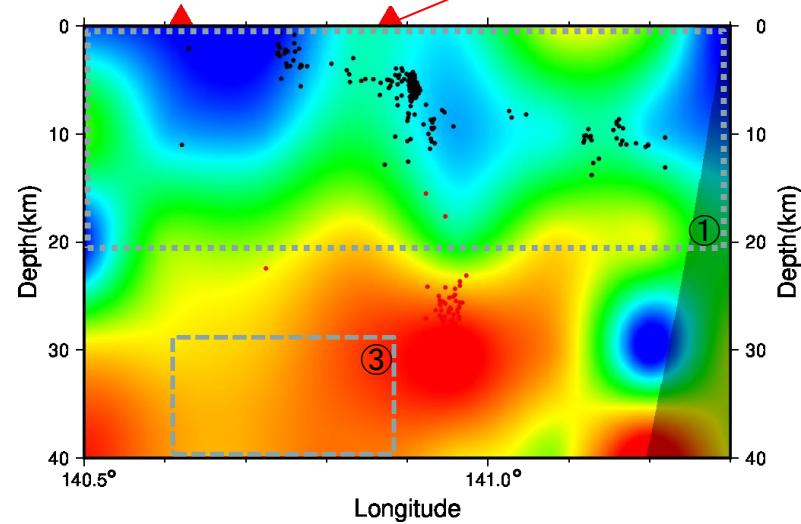
八甲田山

十和田



Vp/Vs N40.47°

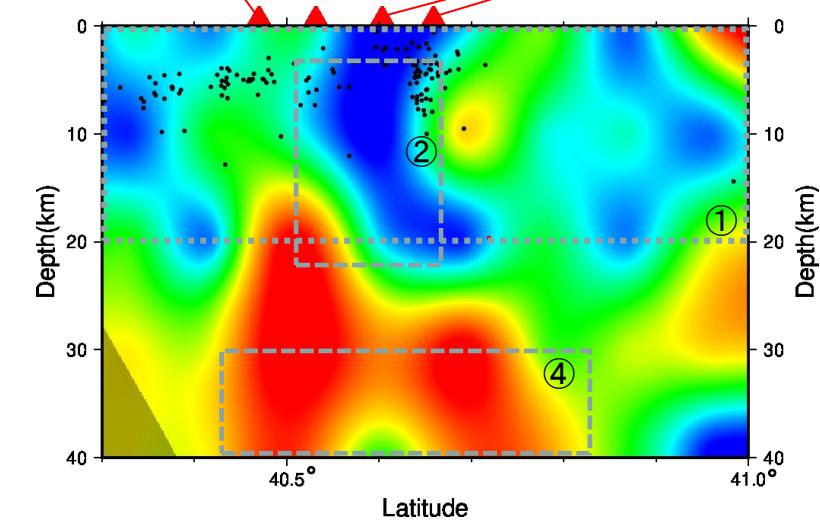
十和田



Vp/Vs E140.85°

八甲田山

十和田



- 凡例
- (▲) 第四紀火山
  - (黒点) 震源
  - (赤点) 低周波地震
  - (気象庁一元化震源カタログ 期間: 1997年10月~2018年12月)
  - (半透明黒色部) チェッカーボードテストの復元率が30%以下の範囲 (チェッカーボードサイズ 水平: 20km × 20km, 鉛直: 20km)

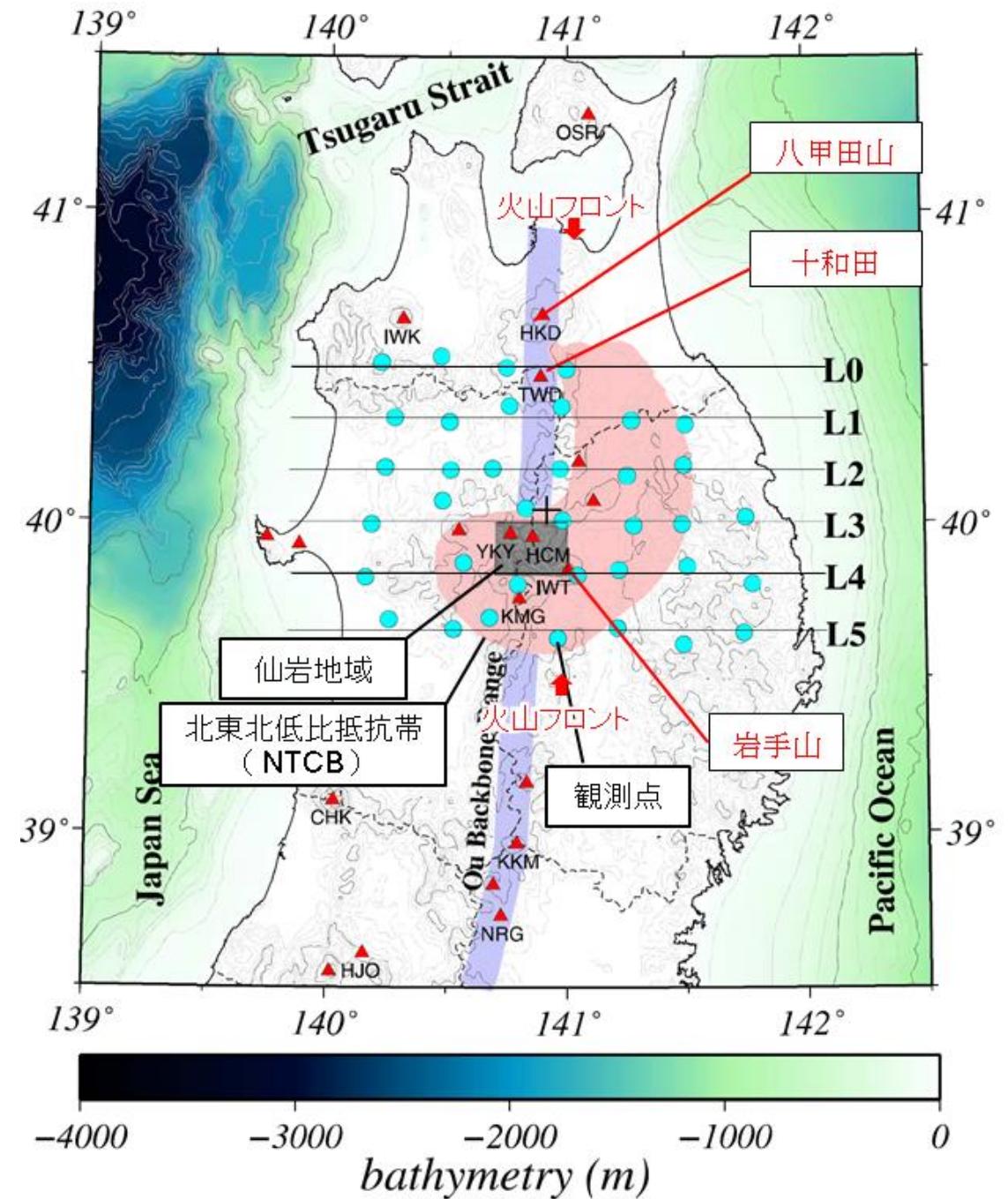
※鉛直断面に記載している第四紀火山及び震源は、断面位置を中心に10km内のものを投影。

余白

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑧〔文献調査:比抵抗構造(解析条件)〕

- Ogawa(1987)では、インダクションベクトルのマッピングから、低比抵抗異常の分布について定性的な三次元解釈を試みている。
- Kanda and Ogawa(2014)においては、Ogawa(1987)によって測定されたデータの内、磁場3成分を用いたインバージョン解析により、Ogawa(1987)のインダクションベクトルを再現できる、東北日本弧直下の流体及びメルトの3次元分布が示されている。

観測点:約20km間隔,全37地点  
 周期:16~256秒  
 解析グリッド:水平方向  
     仙岩地熱地域を中心としたコア領域で4 km  
     (60×60グリッド)  
 鉛直方向 最上層10mで深度とともに増加  
 参考:断面図のグリッド読み取りによると深度20kmで  
     約3~5km



Kanda and Ogawa(2014)に加筆

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑨〔文献調査:比抵抗構造〕

- 電磁法探査から得られる比抵抗構造は、岩石の空隙率の差異や流体の有無等の地下での岩石の状態を反映し、低比抵抗領域には、空隙率が高く、比抵抗の低い流体を含む岩石が存在するとしている(浅森・梅田, 2005)。
- 後藤・三ヶ田(2008)によると、流体の存在や変化により敏感に反応するのは電磁気学的現象としている。
- インダクションベクトルは、磁場の鉛直成分と水平成分の関係から算出される情報であり、比抵抗構造が水平方向に変化する場所において、低比抵抗がどちらの方向にあるかを示す指標として使われるとし、水平方向の比抵抗変化が急激であるほど大きい値になるとされている。また、高周波数のインダクションベクトルはskin depthに応じた浅部及び測点近傍の比抵抗構造を反映し、低周波数のものは深部及び遠方の比抵抗構造も反映するとしている。(内田ほか, 2008)
- インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向がある。(Kanda and Ogawa, 2014)

■ Kanda and Ogawa(2014)においては、Ogawa(1987)によって測定されたデータの内、磁場3成分を用いたインバージョン解析により、Ogawa(1987)のインダクションベクトルを再現できる、東北日本弧直下の流体及びメルトの3次元分布が示されている。

➤ インダクションベクトル(次頁の左図)

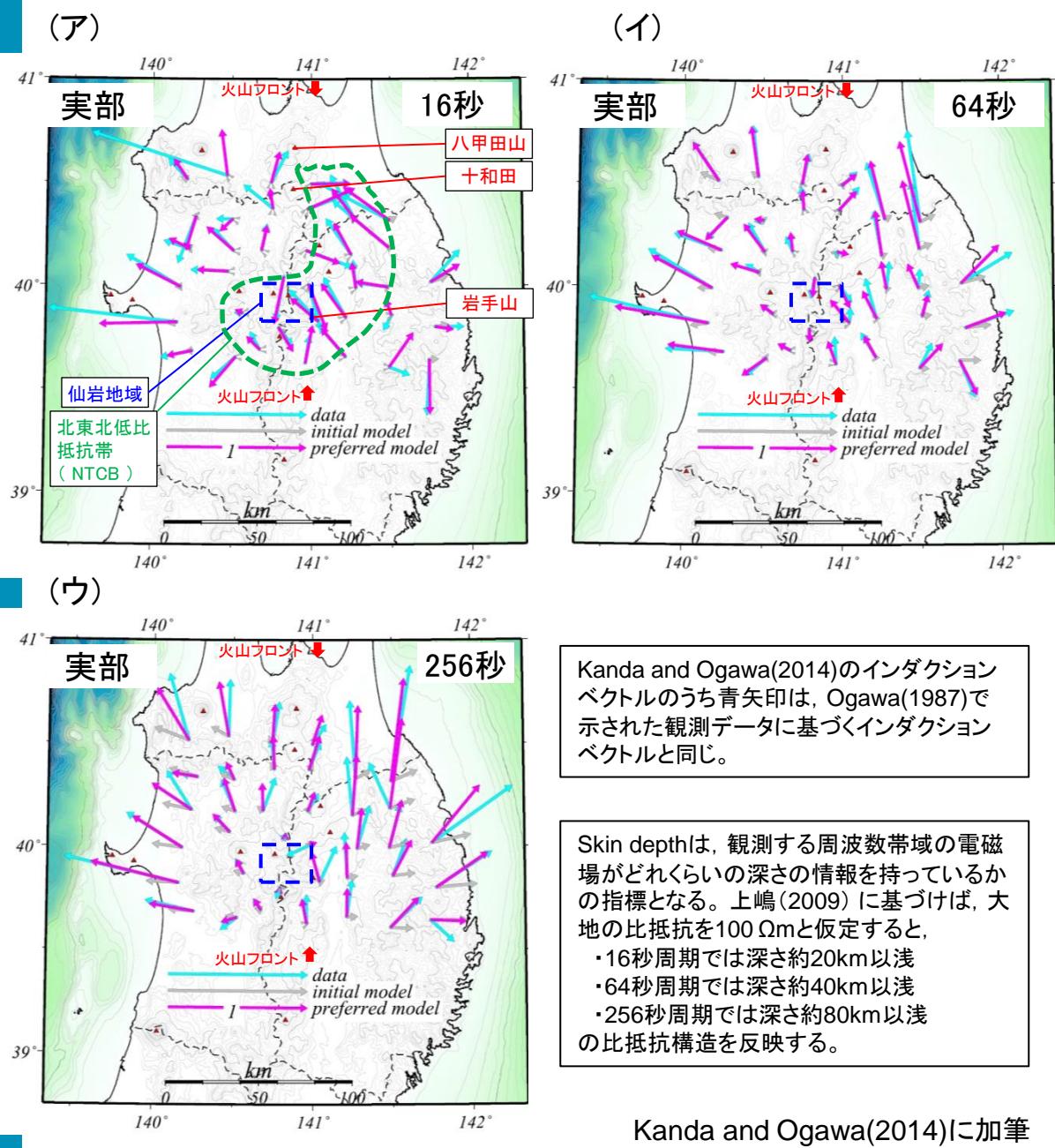
- Kanda and Ogawa(2014)によると、16秒周期では、低比抵抗である海洋効果は特に小さく、火山フロント東側の互いに向き合うインダクションベクトルの対は、仙岩地熱地域を含む北東北低比抵抗帯(NTCB;Ogawa, 1987)の存在を示唆するが、古生代の堆積物であるとしている。(次頁の左図(ア))
- Ogawa(1987)によると、64秒と256秒の周期では、インダクションベクトルは海洋を向いている(太平洋側は東方、日本海側は西方、津軽海峡側は北方)が、火山フロント付近ではベクトルが小さい特徴がある。さらに、仙岩地熱地域の北側観測点のベクトルは南方を向くことから、低比抵抗異常の存在を推定できるとしている。(次頁の左図(イ)(ウ))

➤ 三次元比抵抗構造(次頁の右の水平断面・次々頁の鉛直断面)

- Kanda and Ogawa(2014)によると、Ogawa(1987)のインダクションベクトルから推定された仙岩地域付近の低比抵抗異常について、三次元比抵抗モデルにおいても低比抵抗領域C6が仙岩地域付近のL2~L5断面で顕著に見られるとし、C6は、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆するとしている。

- 次頁左図(ア)に示すインダクションベクトルの16秒周期では、十和田に向くベクトルは認められず、顕著な低比抵抗異常は推定できない。
- 次頁右図(b)に示す10km~12km(上部地殻内)の水平断面では、高比抵抗領域が広く分布しており、顕著な低比抵抗領域は認められない。
- また、次頁及び次々頁に示す、三次元比抵抗構造の水平・鉛直断面図より仙岩地域付近の下部地殻及び最上部マントルには、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆する顕著な低比抵抗領域が認められるが、十和田直下には顕著な低比抵抗領域は認められない。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑩〔文献調査:比抵抗構造(水平断面)〕



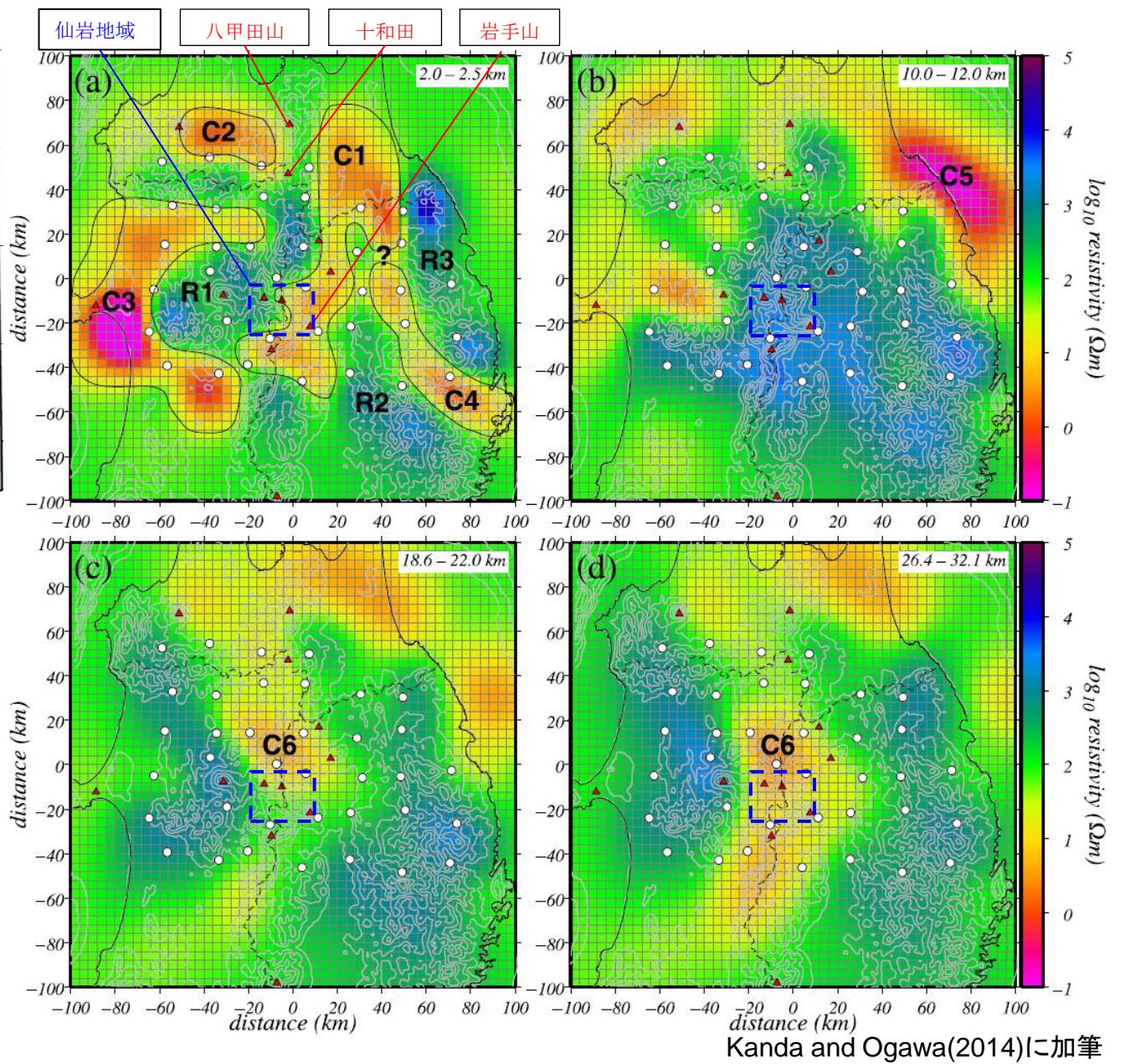
Kanda and Ogawa(2014)のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

Skin depthは、観測する周波数帯域の電磁場がどれくらいの深さの情報を持っているかの指標となる。上嶋(2009)に基づけば、大地の比抵抗を100Ωmと仮定すると、

- ・16秒周期では深さ約20km以浅
- ・64秒周期では深さ約40km以浅
- ・256秒周期では深さ約80km以浅

の比抵抗構造を反映する。

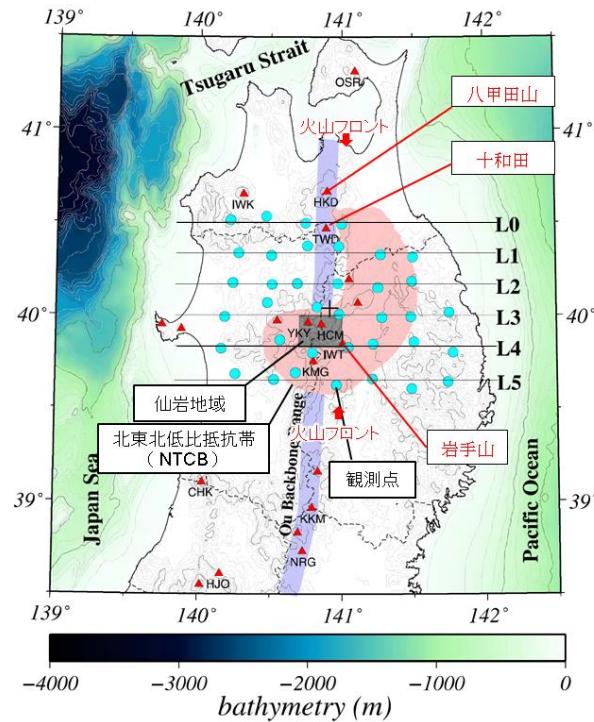
観測及びモデル化したインダクションベクトル



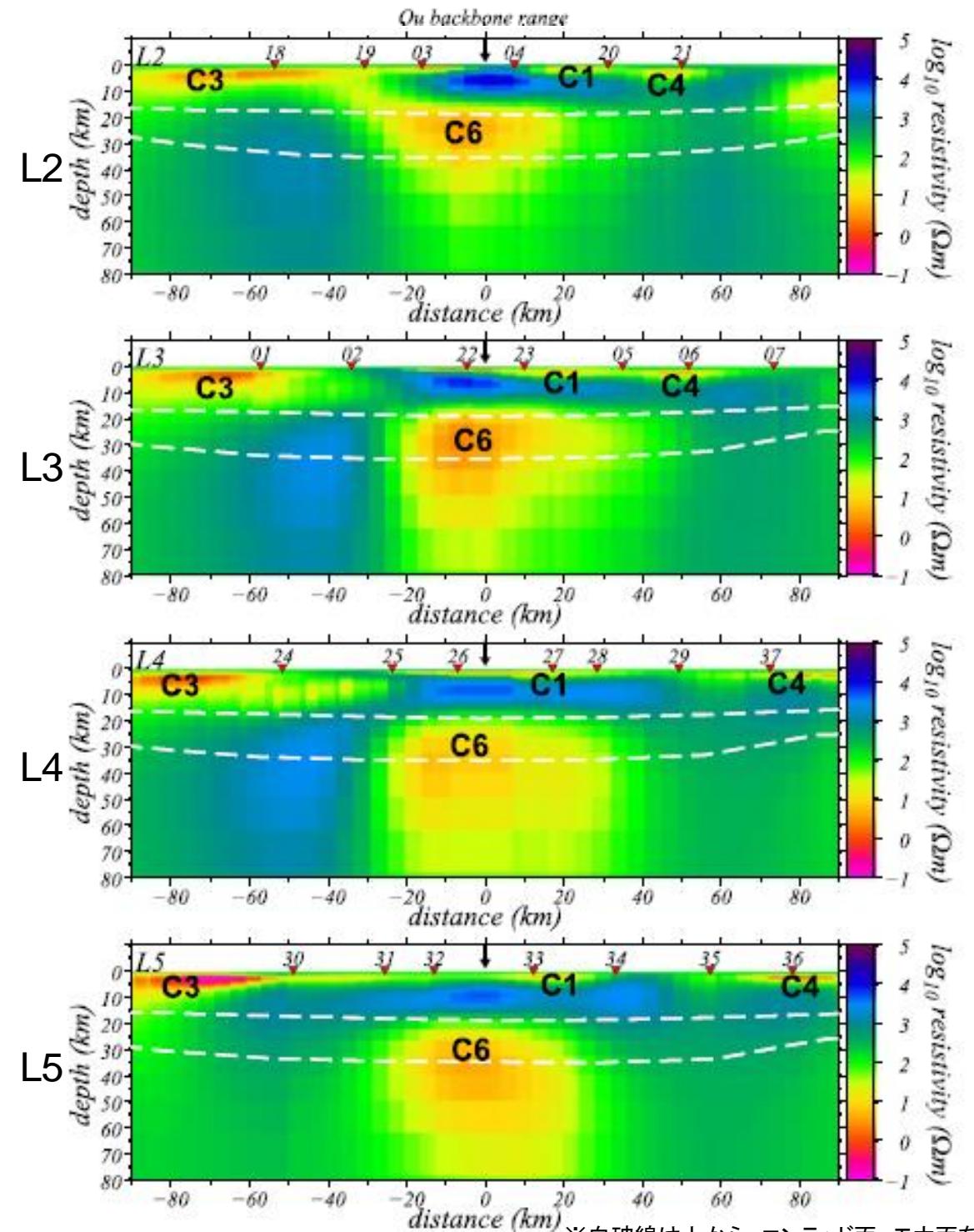
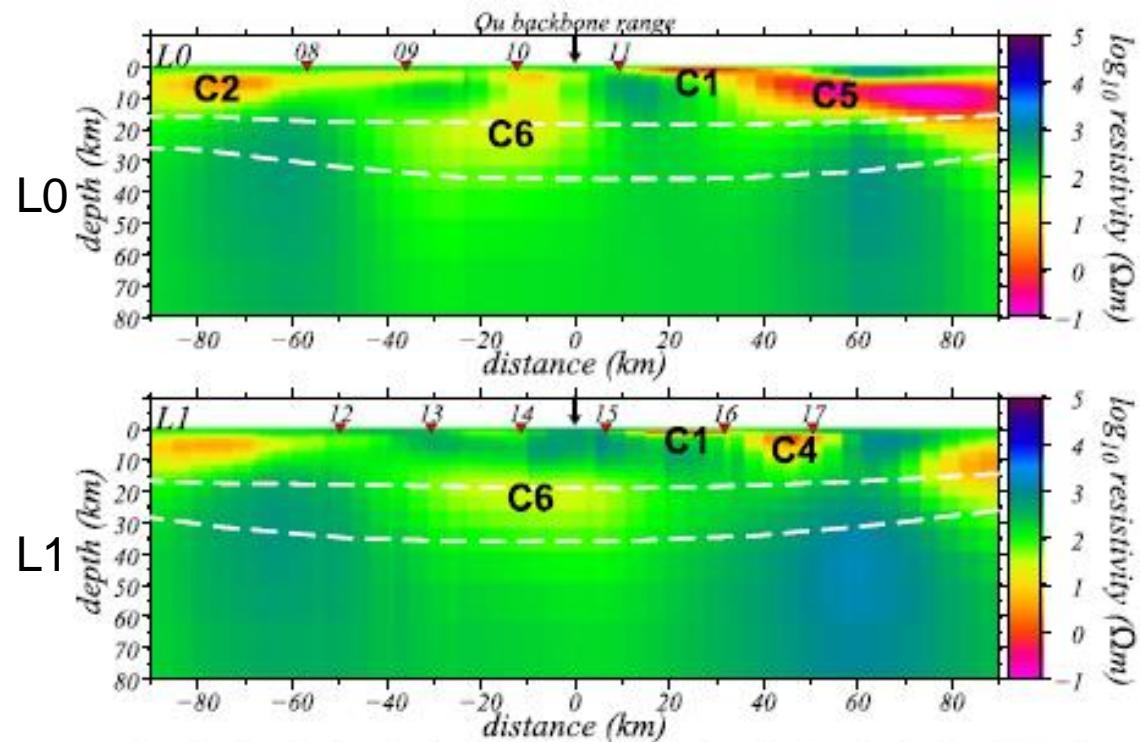
北東北の三次元比抵抗構造(水平断面)

Kanda and Ogawa(2014)によると  
C1~C6,R2,R3は以下を示している。  
C1,C4:北上山地の古生代の堆積物  
C2,C3:中新世の海成堆積層  
C5:本研究の対象外の範囲のため不明  
C6:マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆する  
R2,R3:白亜紀花崗岩

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地下構造)⑪〔文献調査:比抵抗構造(鉛直断面)〕



Kanda and Ogawa(2014)によると  
C1~C6,R2,R3は以下を示している。  
C1,C4:北上山地の古生代の堆積物  
C2,C3:中新世の海成堆積層  
C5:本研究の対象外の範囲のため不明  
C6:マグマ若しくは高塩濃度流体または  
その両方を示唆する  
R2,R3:白亜紀花崗岩



北東北の三次元比抵抗構造(鉛直断面)

※白破線は上から、コンラッド面、モホ面を示す。  
Kanda and Ogawa(2014)に加筆

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)⑫〔地震波速度構造と比抵抗構造の統合的な解釈(鉛直断面)〕

文献中の地震波速度構造と比抵抗構造の断面位置がほぼ一致する岩手山を含む仙岩地域付近の断面を用いて統合的に解釈し、それを十和田に展開した。

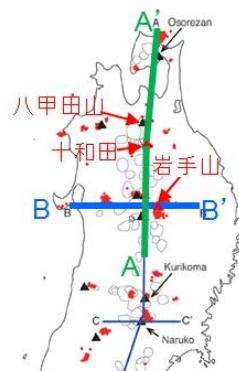
■岩手山を含む仙岩地域

- Kanda and Ogawa(2014)によると、岩手山直下の低比抵抗領域C6の分布(下部地殻以深)は、Nakajima et al.(2001a)の地震波トモグラフィ結果(低Vp,低Vs及び高Vp/Vs領域)と一致するとし、マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方を示唆としている。
- 中島(2017)及びNakajima et al.(2001a)によると、岩手山の直下にはモホ面下から深さ10km程度まで連続的につながる地震波低速度が存在し、この低速度異常域ではVp/Vsが、中部～下部地殻では1.8を超える値を示すが、深さ15km以浅では1.65-1.70程度となり、この深さ変化から、中部～下部地殻はメルトを数%含む部分融解域、深さ15km以浅は水に富む領域であると解釈している。
- 中島(2017)によると、岩手山下の深さ15km以浅には、少なくとも10kmを超えるような大規模なマグマ溜まりは存在しないと考えられているとしている。
- なお、中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴があり、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。

■十和田

- Kanda and Ogawa(2014)及び中島(2017)に示される解析結果に基づくと、十和田直下の下部地殻に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められず、上部地殻内にも認められない。  
→十和田直下の上部地殻内には、岩手山下の深さ15km以浅と同様に大規模なマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さいと考えられる。

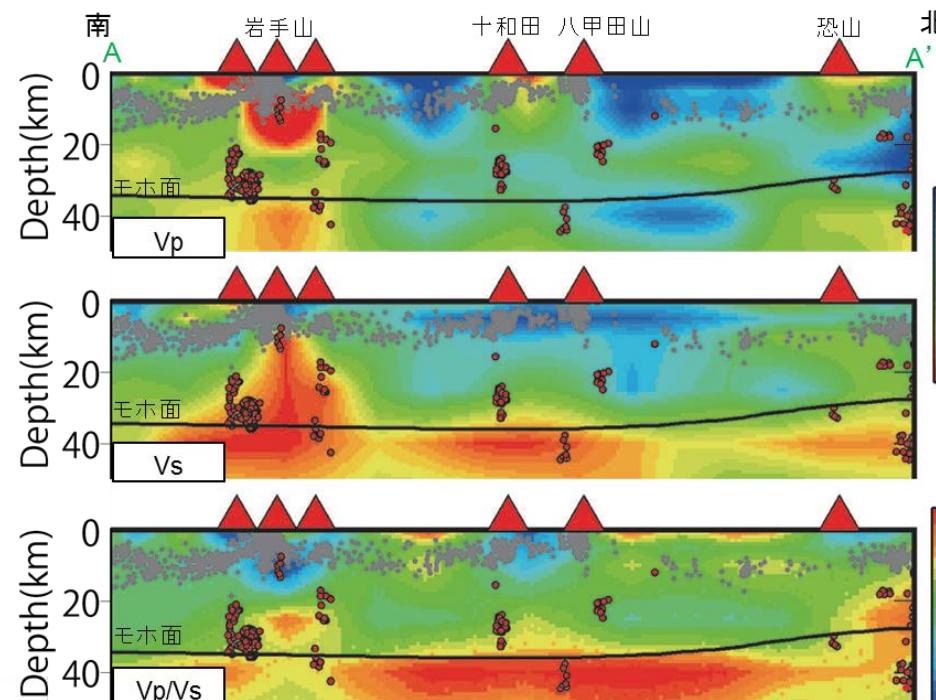
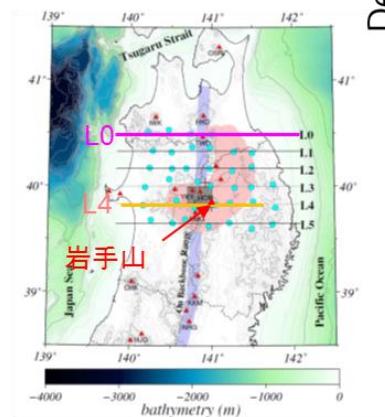
地震波  
トモグラフィ



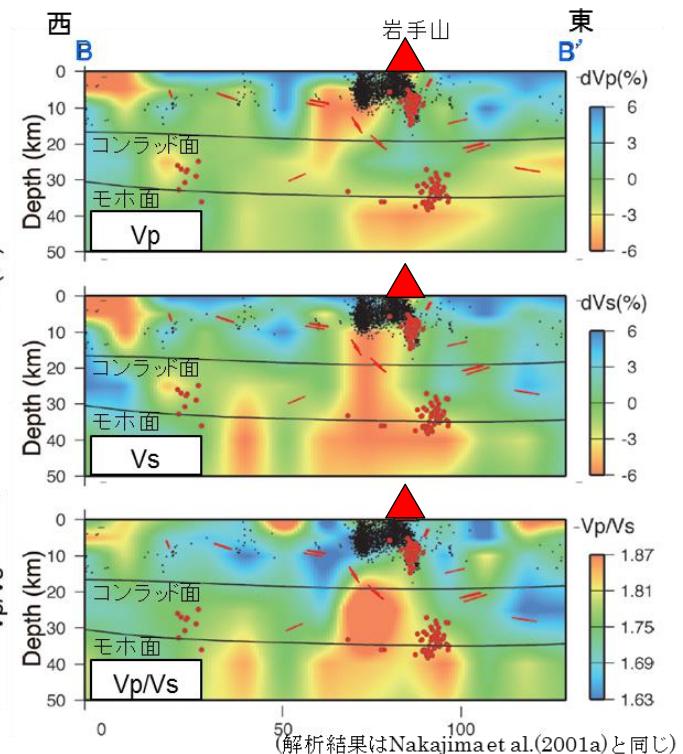
日本の大学グループの共同地震観測プロジェクトの観測網による1997年10月～1999年7月の地震記録を用いた。解析グリッドを以下に示す。

- Nakajima et al.(2001b)  
水平方向 0.25° (約20km)  
鉛直方向 10km～30km
- Nakajima et al.(2001a)の岩手山周辺  
水平方向 0.125° (約10km)  
鉛直方向 5km～15km

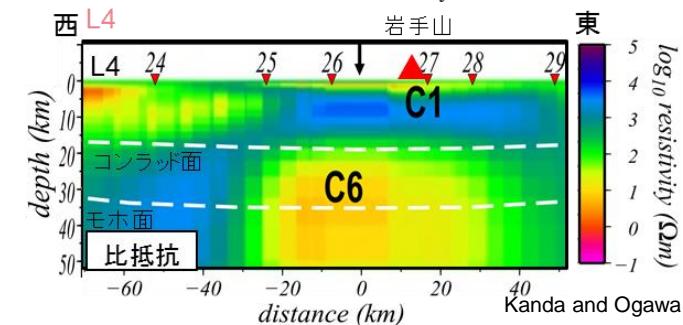
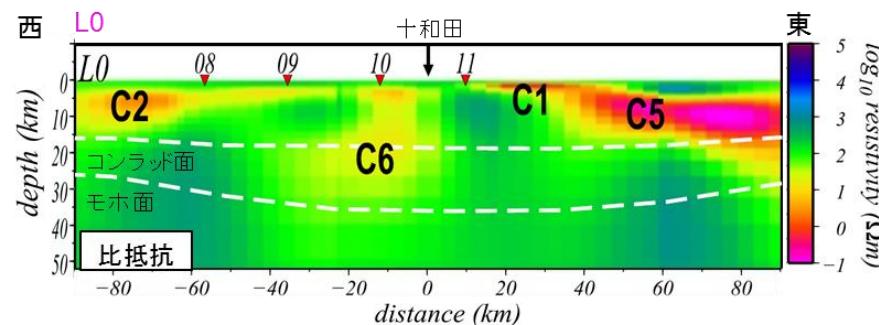
電磁法  
探査



中島(2017)を一部抜粋し加筆 (解析結果はNakajima et al.(2001b)と同じ)



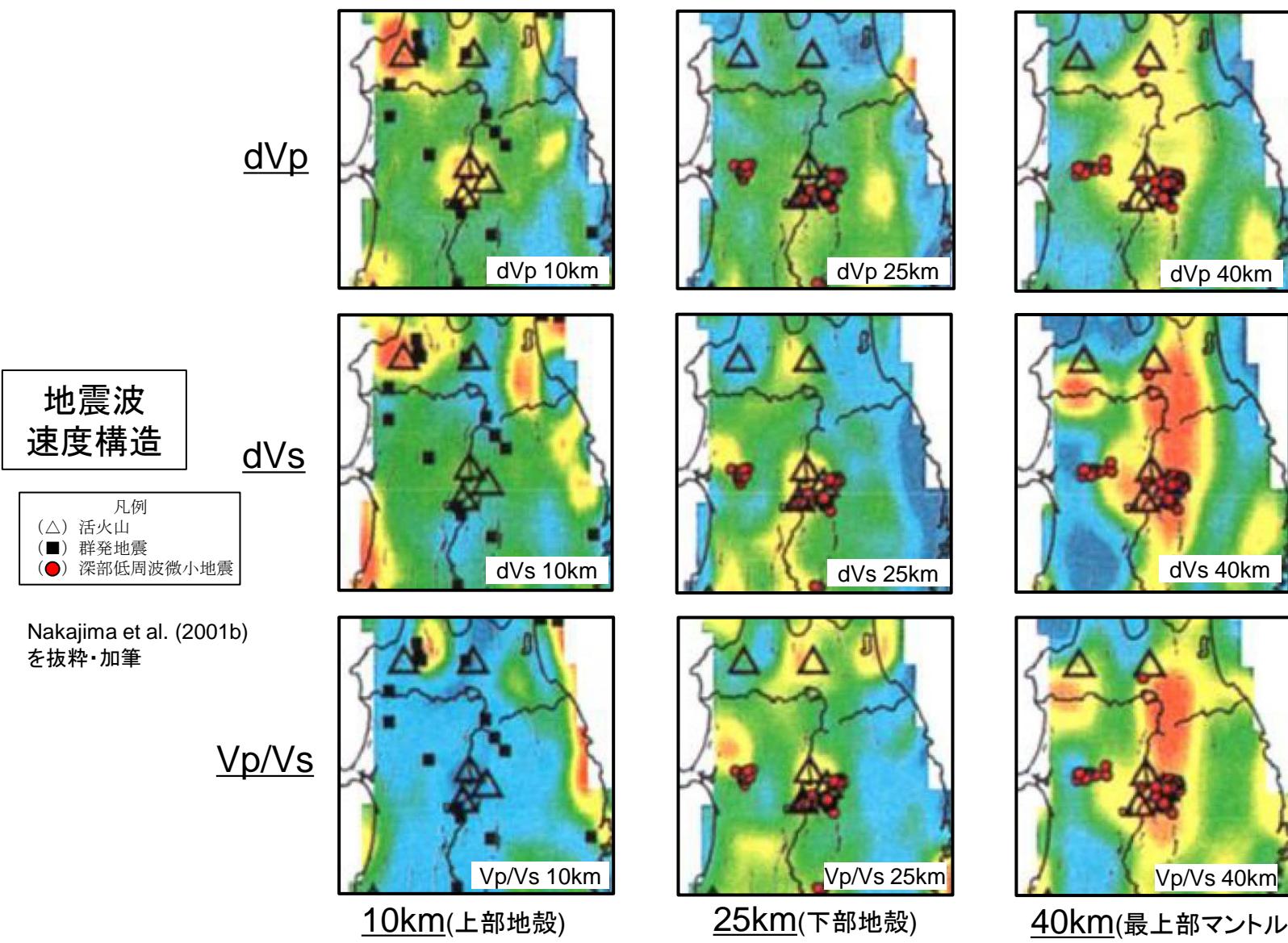
(解析結果はNakajima et al.(2001a)と同じ)



Kanda and Ogawa(2014)を一部抜粋し加筆

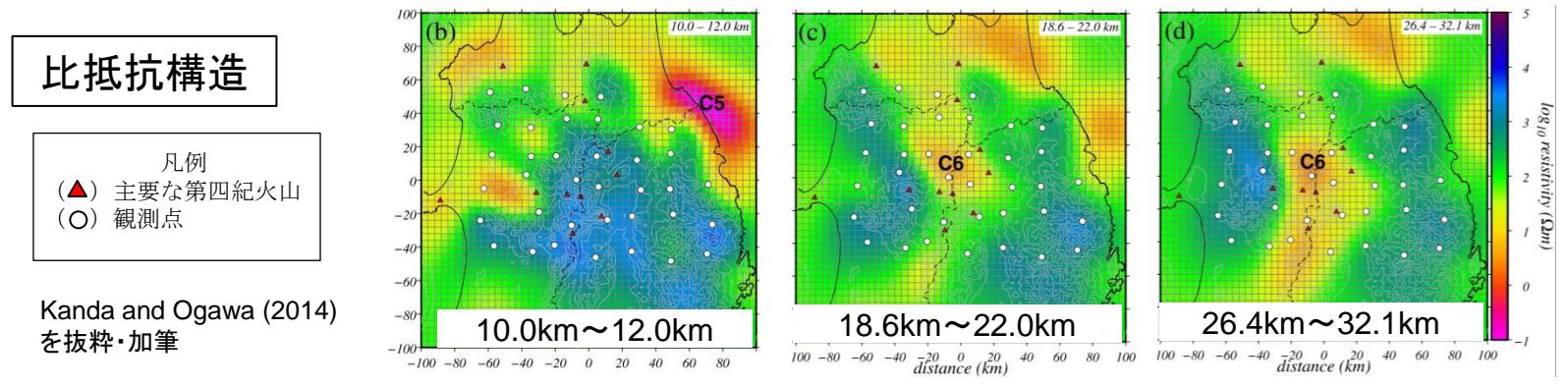
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)⑬〔地震波速度構造と比抵抗構造の統合的な解釈(水平断面)〕



大規模なマグマ溜まりが存在する可能性 (岩手山)

		上部地殻	下部地殻	備考
地震波速度構造	速度	10km以深 低速度		中島(2017)及びNakajima et al.(2001a)の記述に基づく
	Vp/Vs	15km以浅 1.65~1.70	1.8を超える	
比抵抗構造		記述無し	深さ20kmに導体が存在	Kanda and Ogawa (2014)の記述に基づく
大規模なマグマ溜まりが存在する可能性		15km以浅に大規模なマグマ溜まりはない	マグマ若しくは高塩濃度流体またはその両方	中島(2017)またはKanda and Ogawa (2014)の記述に基づく



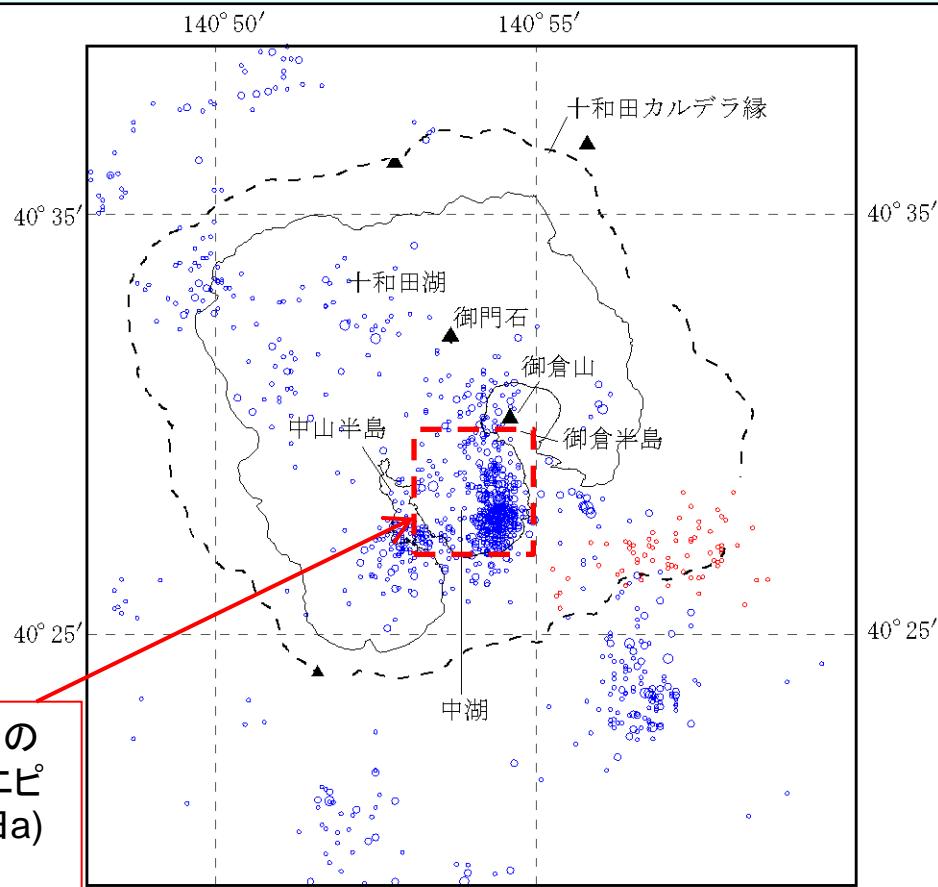
(十和田)

		上部地殻	下部地殻
地震波速度構造	速度	低	中~高
	Vp/Vs	低	高
比抵抗構造		顕著な低比抵抗なし	顕著な低比抵抗なし
大規模なマグマ溜まりが存在する可能性		小さい	—

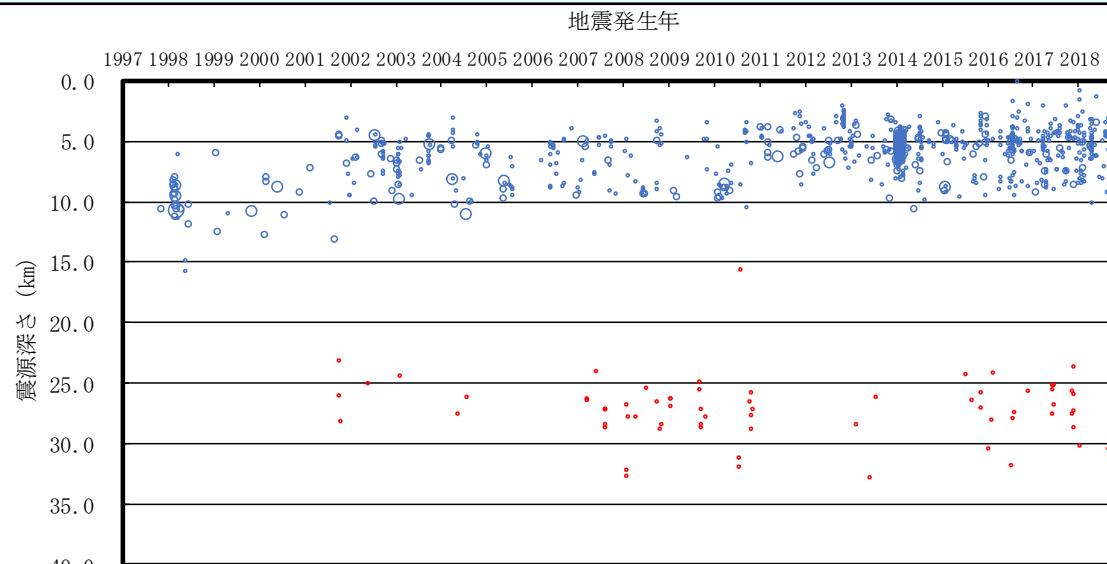
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地震及び地殻変動)①〔地震活動〕

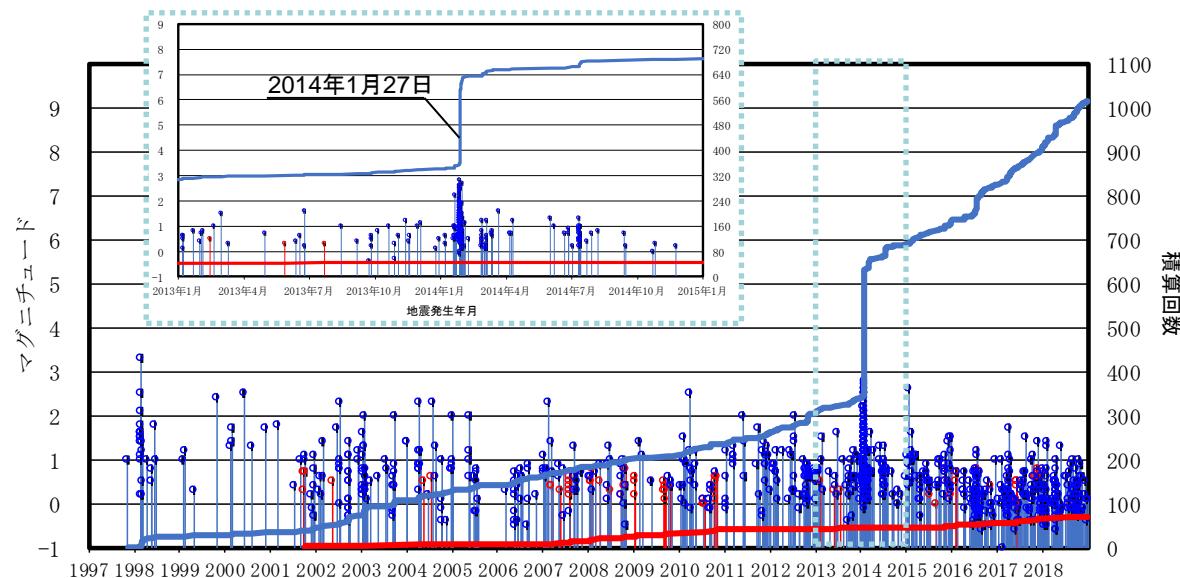
- 気象庁一元化震源カタログから作成した下図より、地震は、十和田の後カルデラ期の最新の噴火エピソード(十和田a)の火口である十和田湖中湖付近及びその周辺の震源深さ5km~10km付近に集中する一方で、低周波地震はそれらよりやや深い25km~35km付近で発生している。
- 「十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)」(気象庁, 2014)によると、2014年1月27日昼前から夜にかけて地震活動が活発な状況になったが、27日の夜から地震回数は減少し、2月に入ってから概ね静穏な状況であり、低周波地震、火山性微動は観測されていないとしている。また、火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められず、2007年12月1日の噴火予報(平常)の発表以降、予報警報事項に変更はないとしている。



後カルデラ期の最新の噴火エピソード(十和田a)の火口



震源深さの時間変化図



地震活動経過図及び回数積算曲線

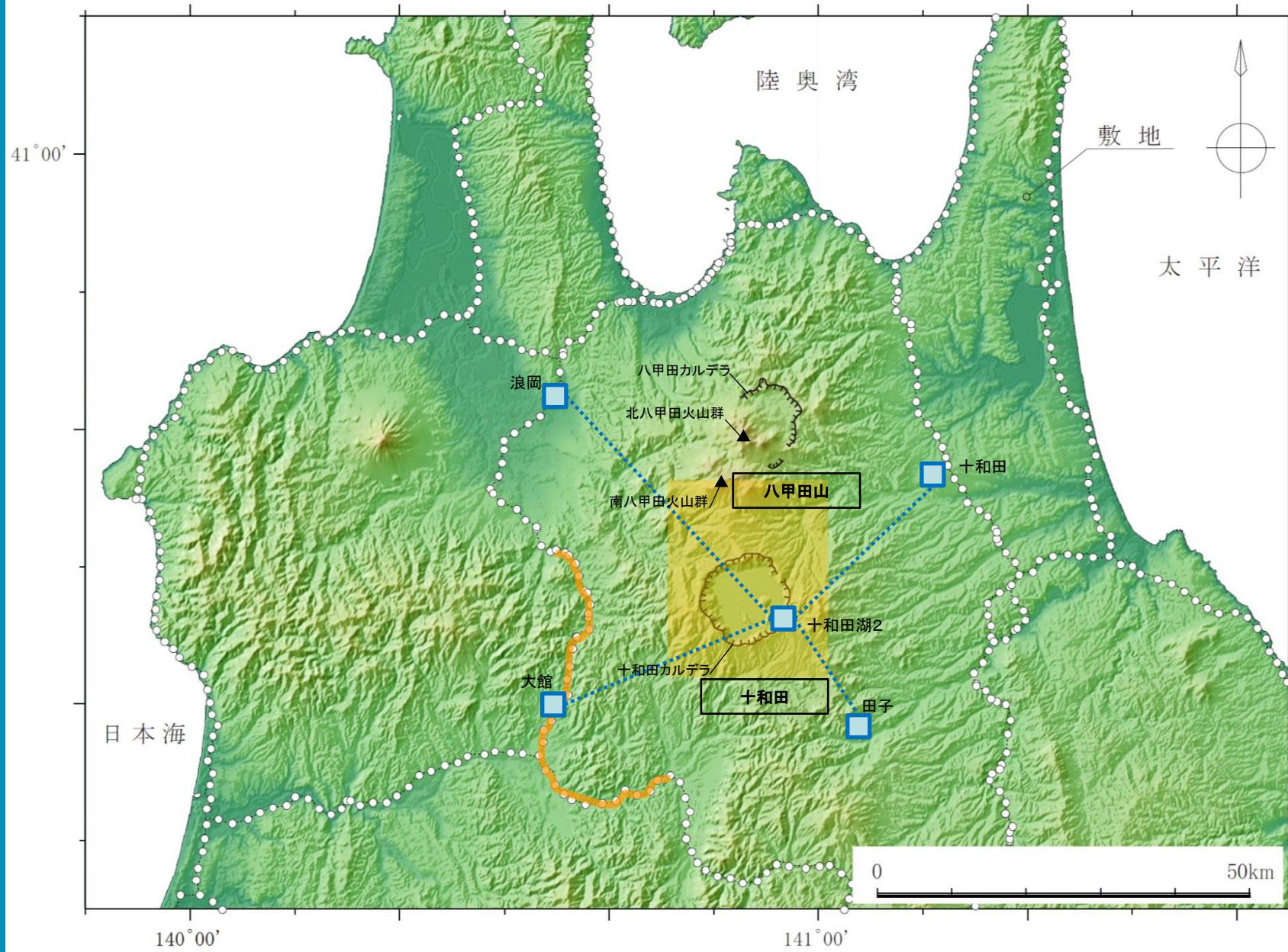
赤：低周波地震

※当社が整理した気象庁一元化震源の震源記録は、「K: 気象庁震源(精度良く震源決定されたとする地震)」と「S: 参考震源(精度は良くないが参考として登録する地震)」の双方の地震を合わせて、表示している。なお、マグニチュードが不定のものは除く。

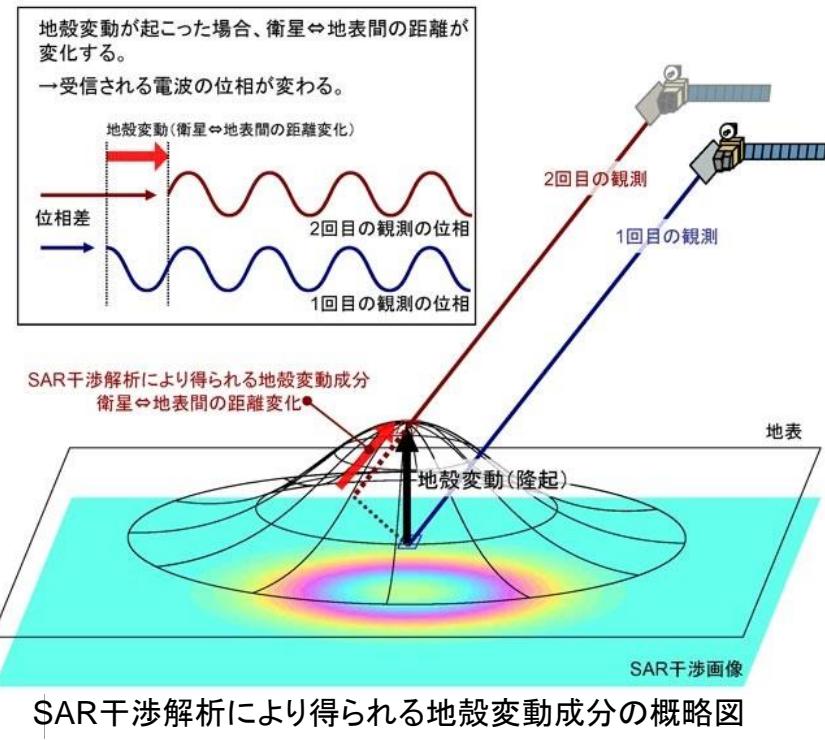
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地震及び地殻変動)②〔地殻変動〕

➤ 地球物理学的調査のうち地殻変動について、電子基準点データ、干渉SARデータ、及び水準測量の記録を確認した。



国土地理院「基盤地図情報」及び「一等水準点検測成果収録」をもとに当社が作成



国土地理院HPより抜粋  
(<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2007-0720b-0720b-2.html>)

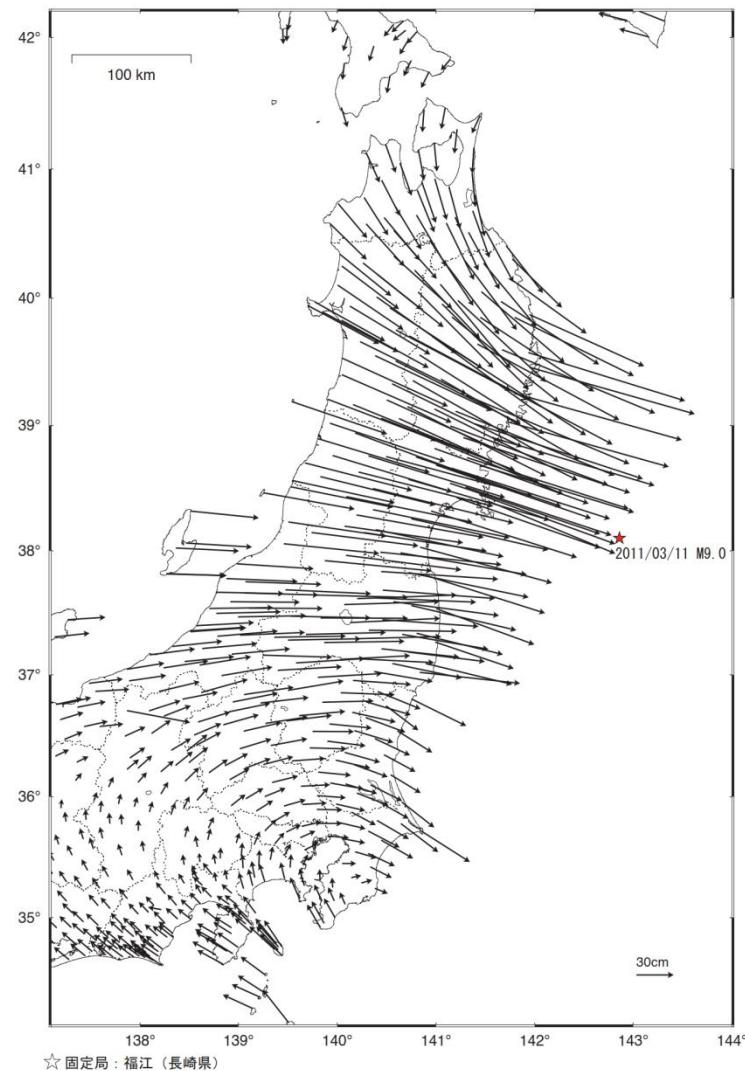
**凡例**

- 電子基準点 (評価に用いた点)
- 基線
- 干渉SARの範囲
- 1等水準点(水準路線)
- 評価に用いた1等水準路線

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)③ [地殻変動:東北地方の余効変動]

- 国土地理院(2018a)によると,平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の余効変動が,東日本の広い範囲で見られるとしている。
- 余効変動の影響がほとんど無い長崎県「福江」を基準とした場合,東北地方北部では北→南方向,南部では西北西→東南東方向の変位が見られ,漸移的に変化しており,最近1年間もその傾向が継続している。
- 十和田付近では北西→南東方向の変位がみられ,その方向は周辺と調和的であり,余効変動が継続している。

東北地方太平洋沖地震(M9.0)後の地殻変動(水平)―本震翌日から7年間の累積―  
基準期間:2011/03/12―2011/03/12 [F3:最終解]  
比較期間:2018/02/01―2018/02/10 [F3:最終解]



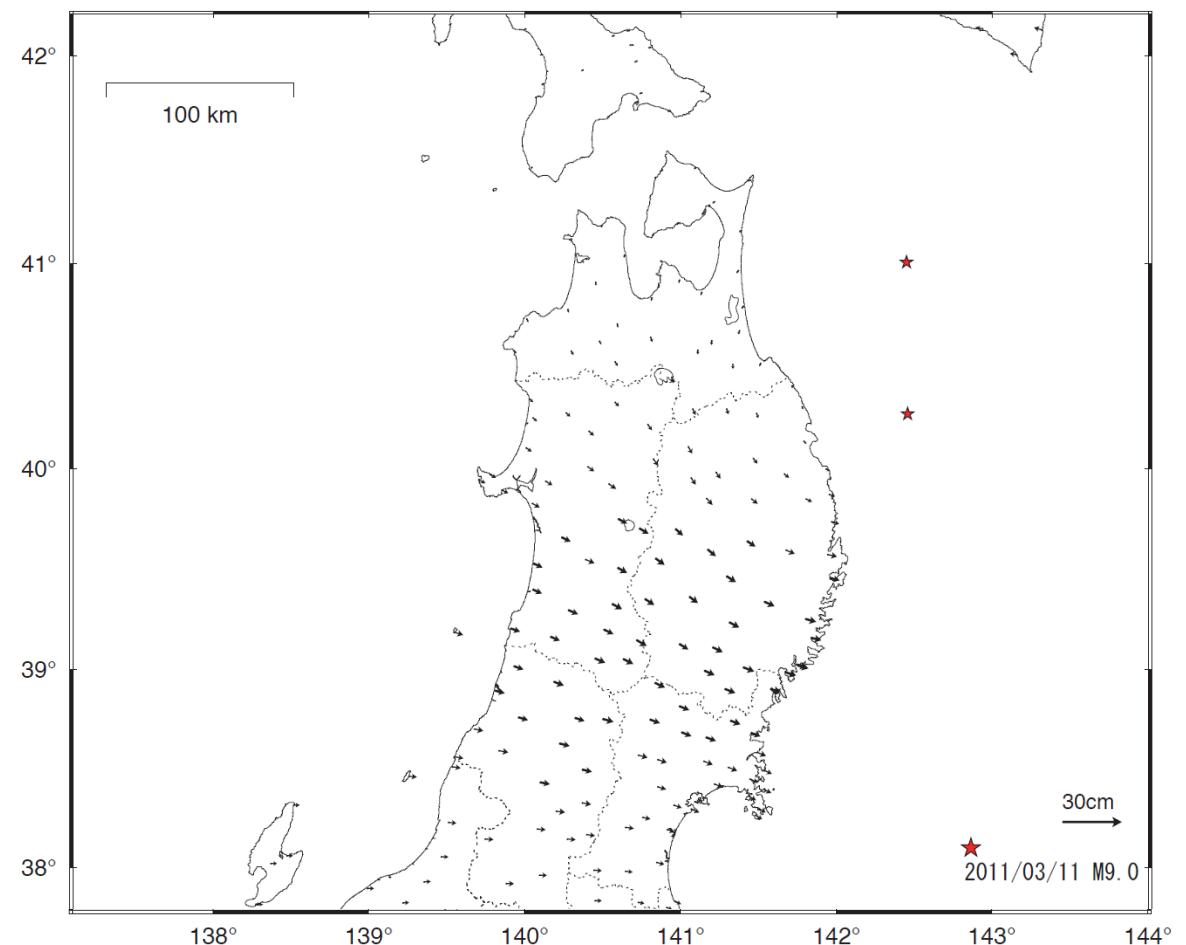
☆ 固定局:福江(長崎県)

国土地理院

国土地理院(2018b)

本震翌日から7年間の累積変位

基準期間:2017/02/01―2017/02/15 [F3:最終解]  
比較期間:2018/02/01―2018/02/10 [F3:最終解]



☆ 固定局:福江(長崎県)

★:本震6年後から7年後までの期間に発生したM6.0以上の地震

国土地理院

国土地理院(2018b)より抜粋

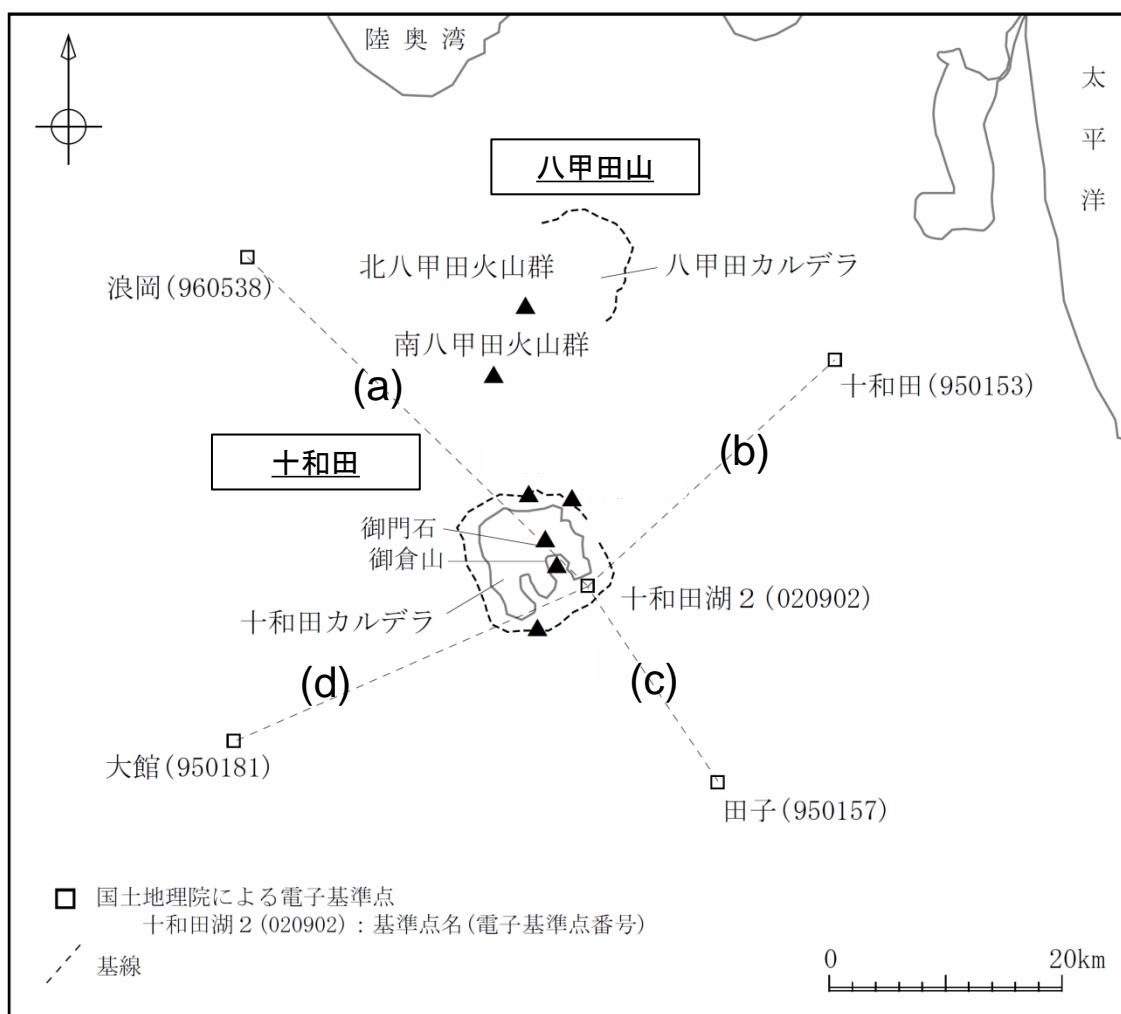
平成29年2月～平成30年2月の1年間における地殻変動

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

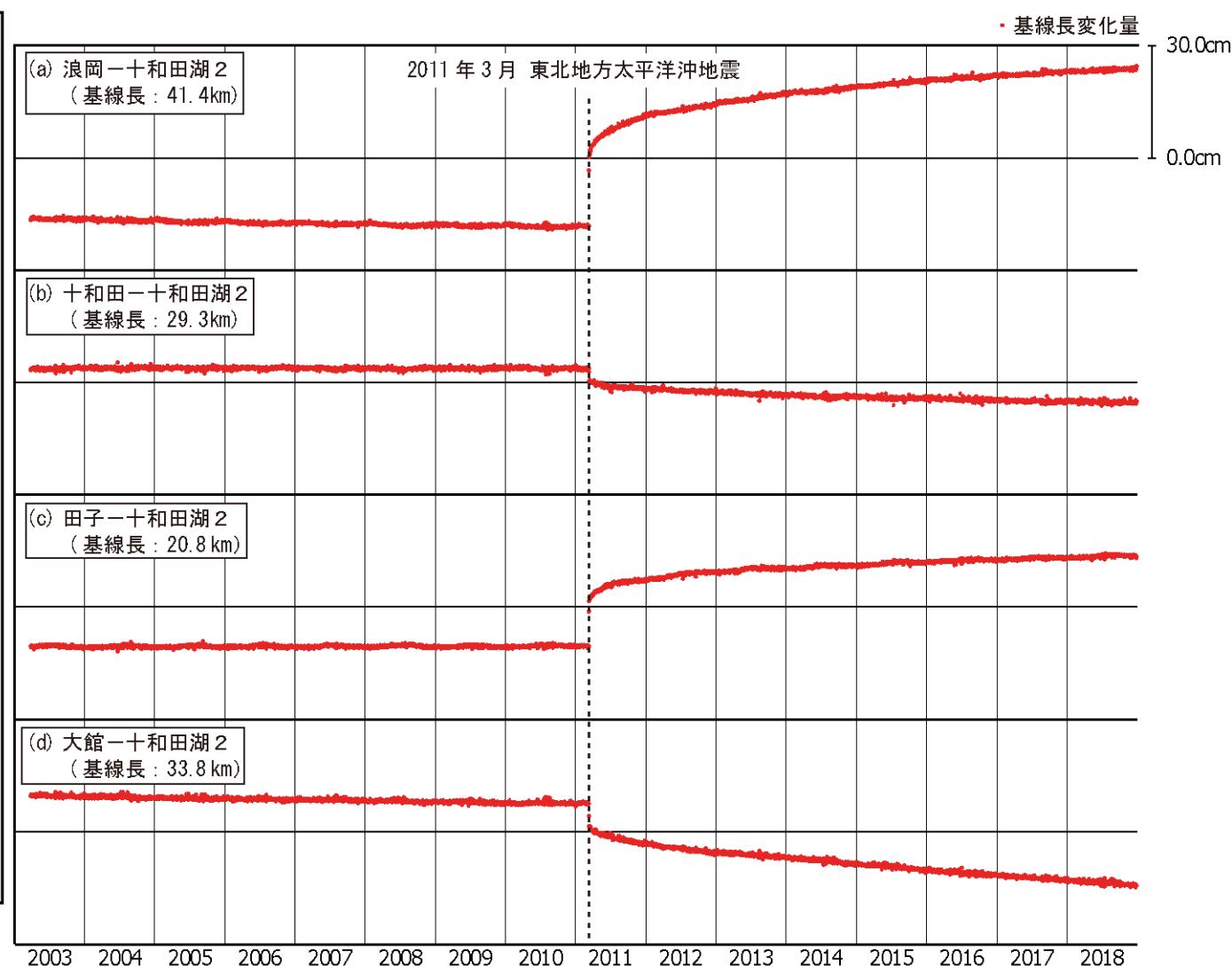
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)④〔地殻変動:電子基準点データ(基線長の時間変化)〕

➤ 国土地理院の電子基準点データから作成した, 2003年1月~2018年12月までの十和田付近の地殻変動観測結果 (基線長の時間変化)によると, 東北地方太平洋沖地震以降の余効変動が継続しているが, 地震発生前を含め, 十和田を中心とした地域では, この余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

➤ 「十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)」(気象庁, 2014)において, 2014年1月に地震活動の活発化した際の, 地殻変動観測結果によると, 地震増加時及びその前後で十和田付近の地殻変動に変化は認められないとしている。



電子基準点及び基線位置図



※各観測点の保守(アンテナ交換等)によって生じたオフセットは補正済  
国土地理院の電子基準点データから当社が作成

※余効変動

大きな地震の後に, 長期間にわたってゆっくりと進行する地殻の変動。  
地震で生じた断層の周囲で広範囲にわたってプレートがゆっくりと滑り続けることなどによって発生する。

基線長の時間変化

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地震及び地殻変動)⑤[地殻変動:電子基準点データ(余効変動の影響-1)]

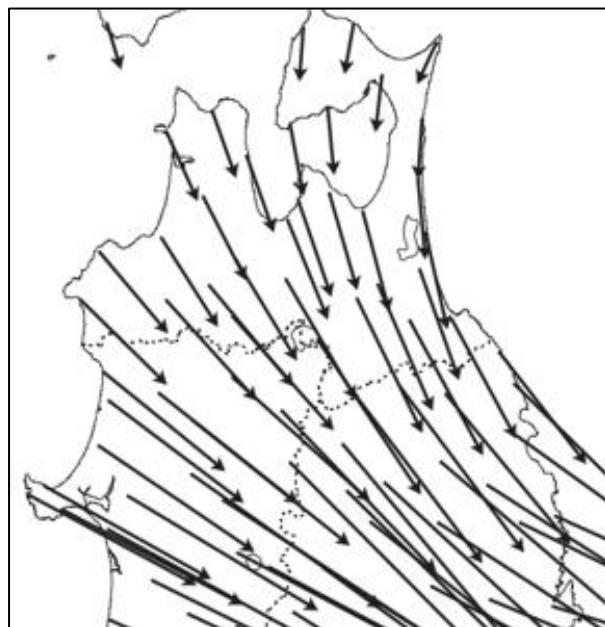
- 十和田の最新火口の直近の電子基準点である十和田湖2と周辺の電子基準点を結ぶ基線の変化率は東北地方太平洋沖地震からの時間経過とともに小さくなっており、一般的な余効変動の傾向と一致する。
- また、火山性の地殻変動が生じた際にも影響を受けない2つの電子基準点間の変位を内挿した結果、十和田湖2の電子基準点の変位の実測値と内挿値は概ね一致した傾向を示す。
- したがって、十和田は周辺と同様の傾向の余効変動が継続していると考えられる。

【内挿による基線長変化量の算出方法】

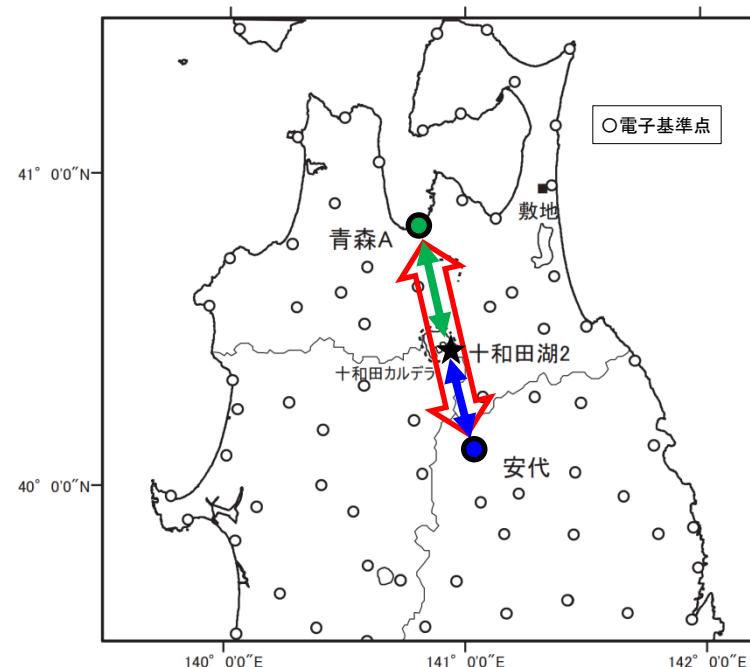
- 十和田湖2を通り余効変動の方向と概ね平行な基線を設定する。:青森A-安代
- 青森A-安代の基線長変化量に、青森A-十和田湖2と青森A-安代の基線の長さの比を乗じることにより、内挿値を算出し、青森A-十和田湖2の基線長変化量と比較する。

$$\left[ \text{「青森A-十和田湖2の変化量」(内挿値:緑)} = \text{「青森A-安代の変化量」(赤)} \times \frac{\text{「青森-十和田湖2の距離」(緑)}}{\text{「青森-安代の距離」(赤)}} \right]$$

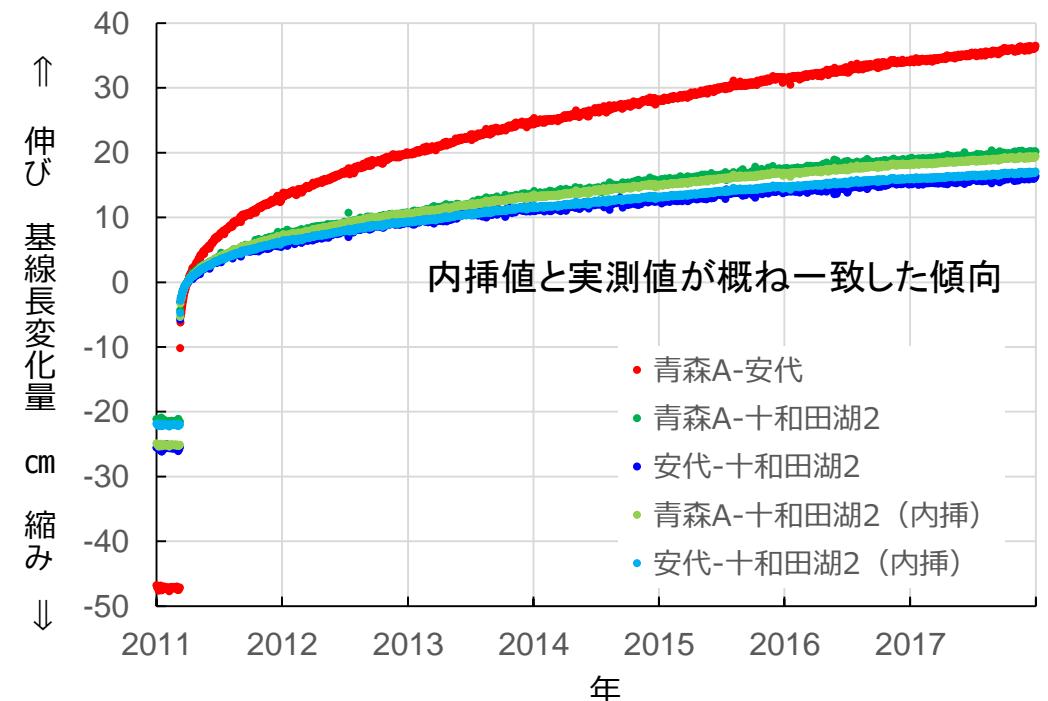
- 安代-十和田湖2についても同様に基線長変化量の内挿値を算出し、実測値と比較する。



十和田周辺の地震後7年間の累積変位  
(国土地理院, 2018 より抜粋)



基線長変化量の内挿を検討した電子基準点の位置図



2011年4月1日の変化量を基準とした基線長変化量

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

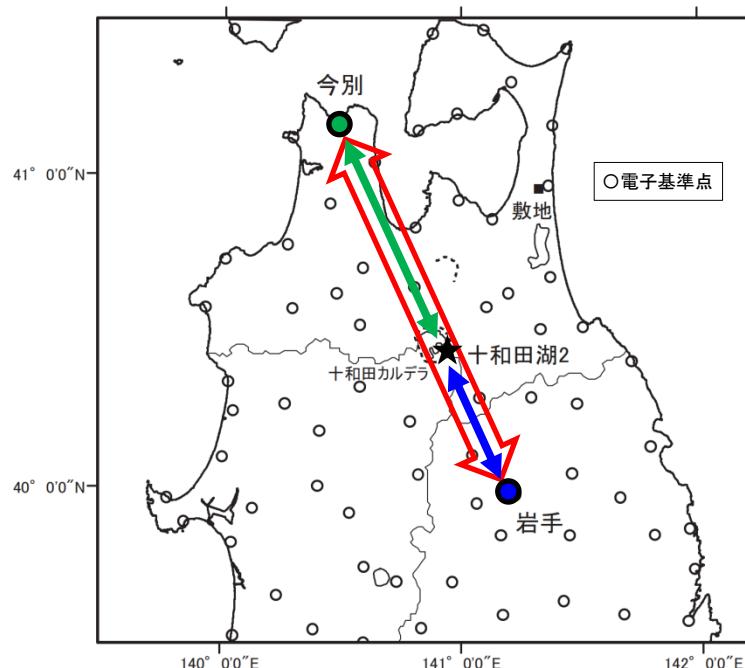
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)⑥[地殻変動:電子基準点データ(余効変動の影響-2)]

➤ 余効変動の方向と概ね平行で、同様の基線が設定可能な、今別-岩手、金山-玉山2についても検討した結果、内挿値と実測値は概ね一致した傾向を示す。

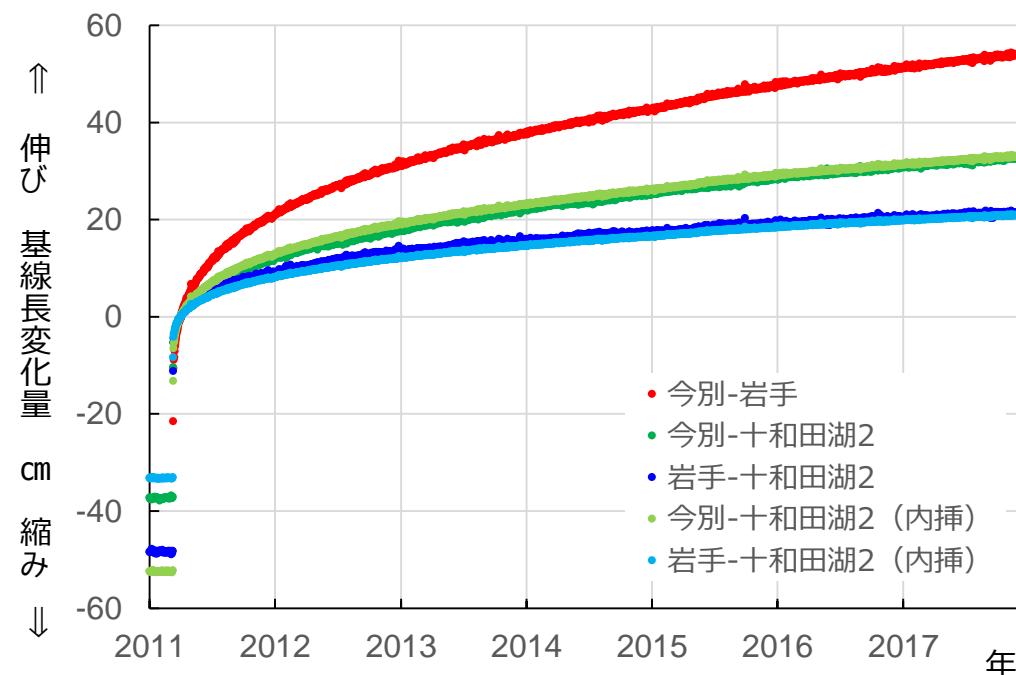
今別-岩手の例



十和田周辺の地震後7年間の累積変位  
(国土地理院, 2018 より抜粋)

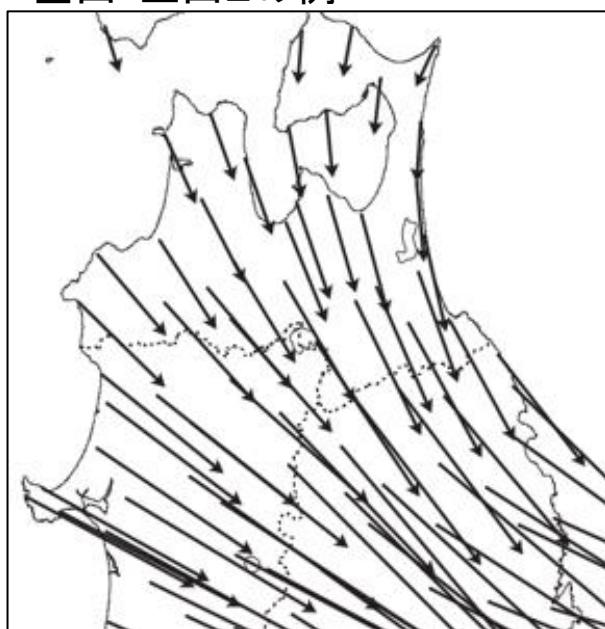


基線長変化量の内挿を検討した電子基準点の位置図

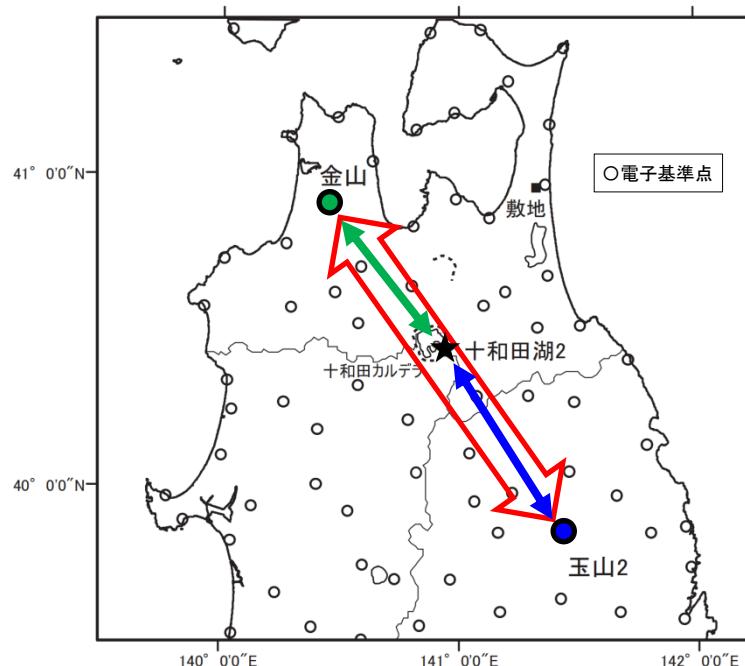


2011年4月1日の変化量を基準とした基線長変化量

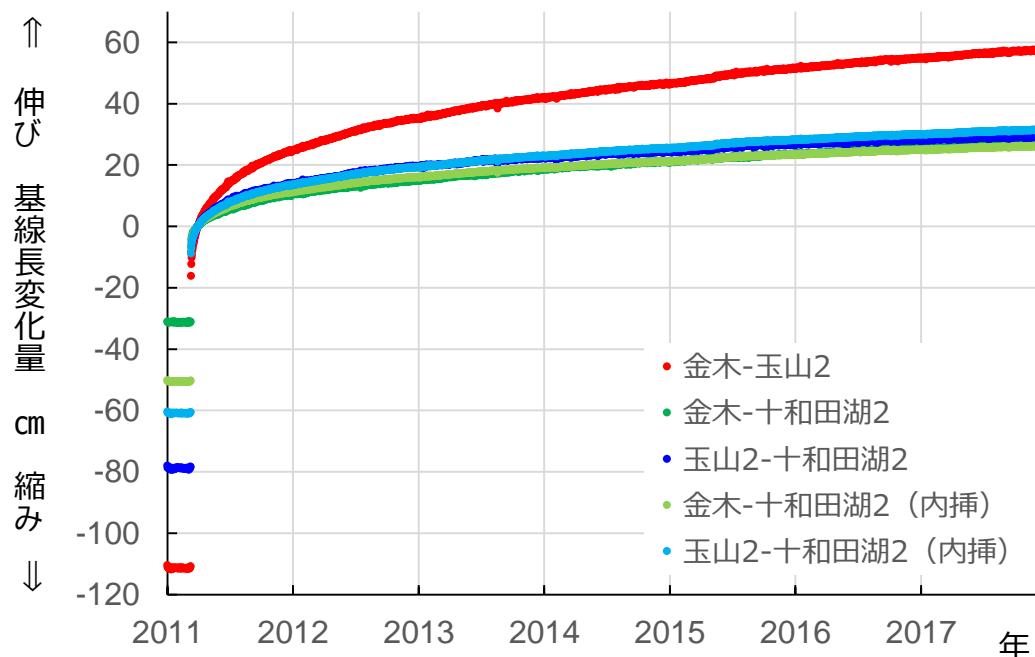
金山-玉山2の例



十和田周辺の地震後7年間の累積変位  
(国土地理院, 2018 より抜粋)

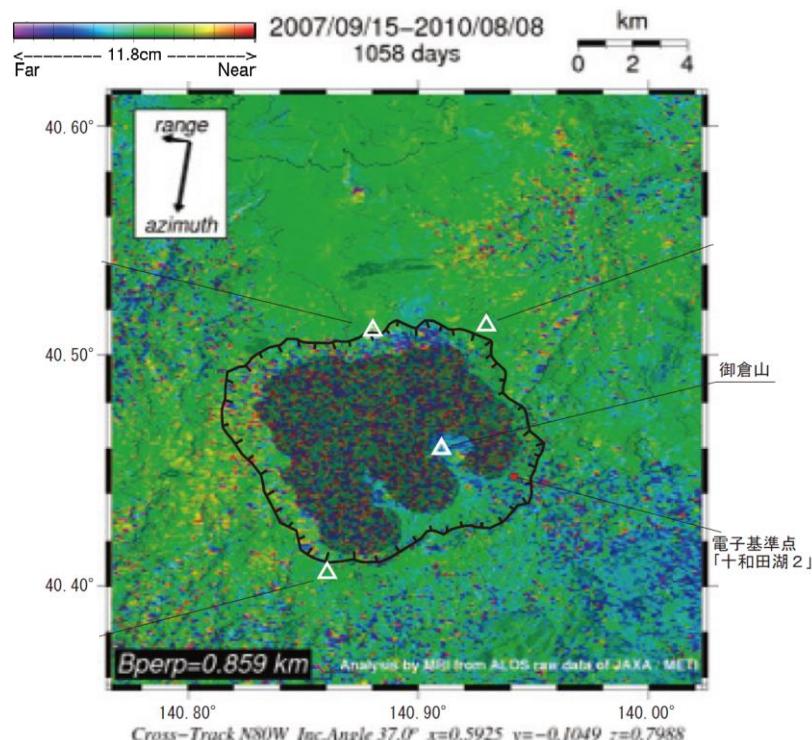


基線長変化量の内挿を検討した電子基準点の位置図

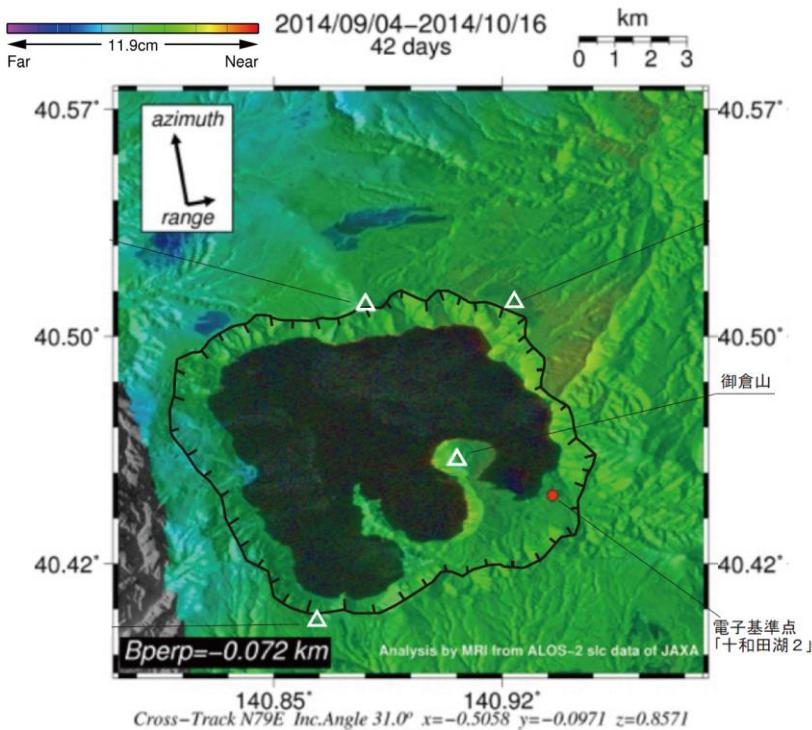


2011年4月1日の変化量を基準とした基線長変化量

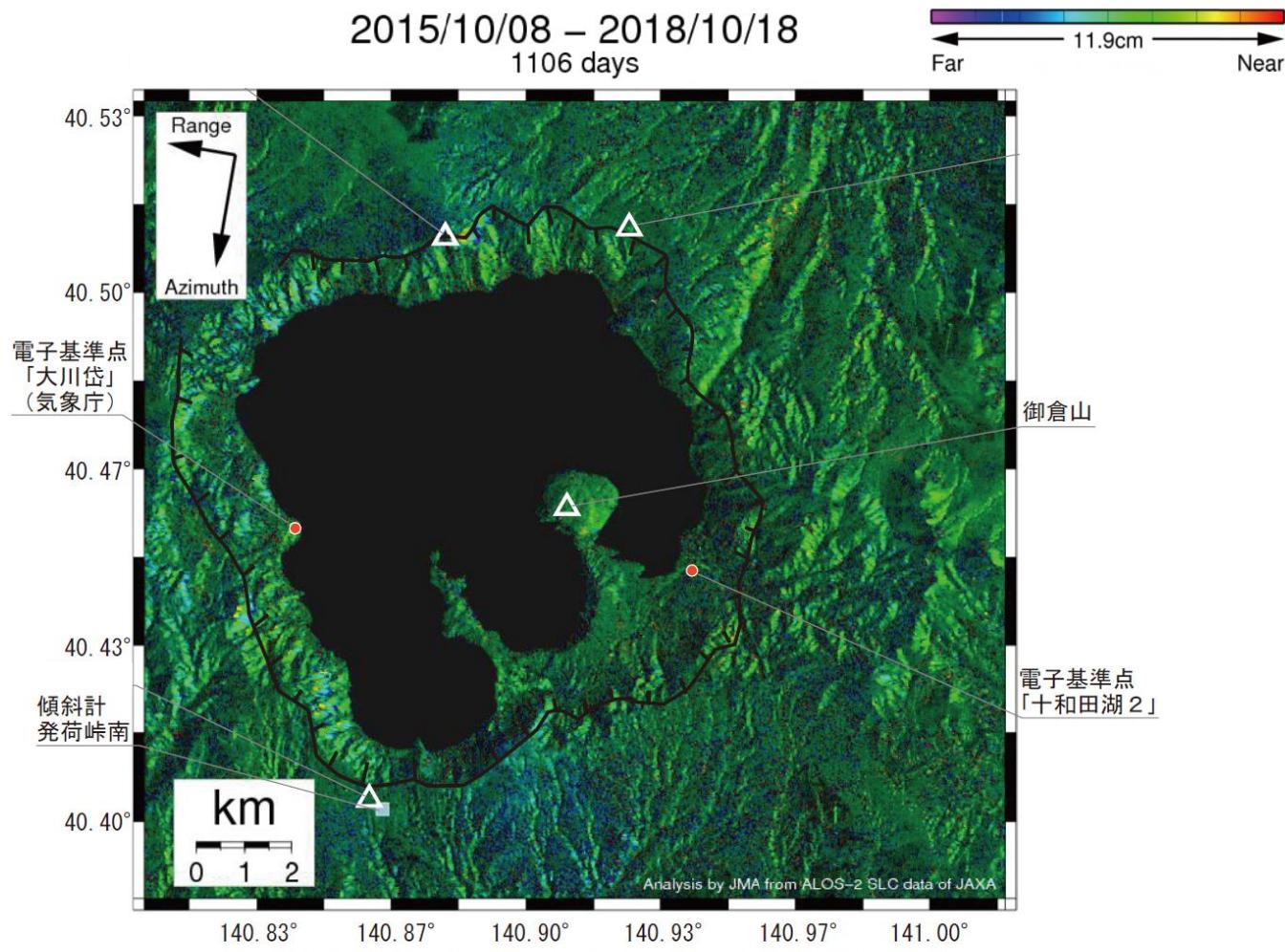
2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)⑦〔地殻変動(上下変動):干渉SAR〕



十和田周辺における干渉SAR解析結果  
気象研究所技術報告第69号(安藤,2013)に加筆



十和田周辺における干渉SAR解析結果  
第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁,2015)に加筆



十和田周辺における干渉SAR解析結果(第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁,2019a)に加筆)

2007/9/15 - 2010/8/8(左上図)

➤ 気象研究所技術報告第69号(安藤,2013)において、国内の活火山周辺における干渉解析結果が示されており、位相変化が認められる火山について、その特徴を記載しているが、十和田については、記載がない。

2014/9/4 - 2014/10/16(左下図)

➤ 第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁,2015)によると、下図の十和田周辺における干渉解析結果について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしている。

2015/10/8 - 2018/10/18(右図)

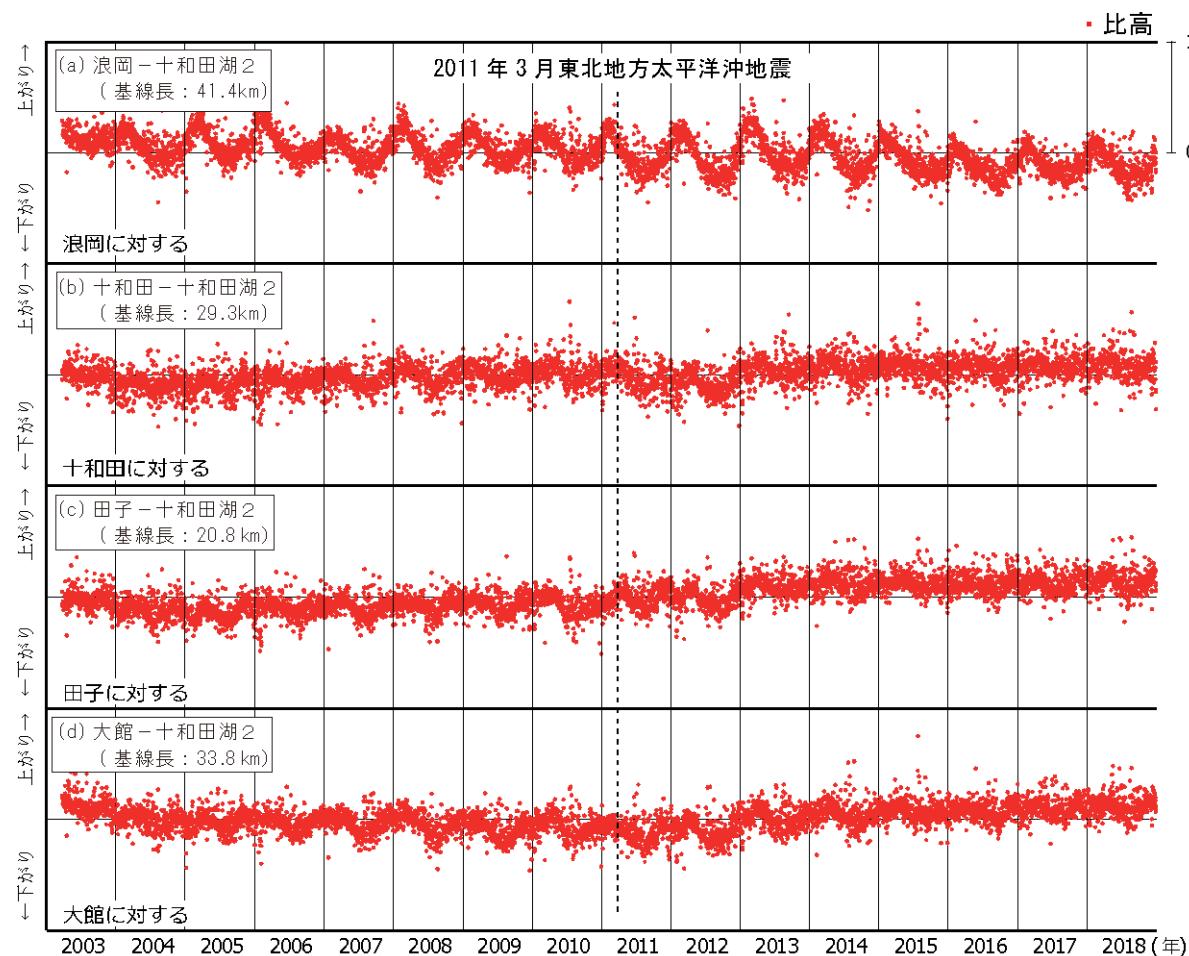
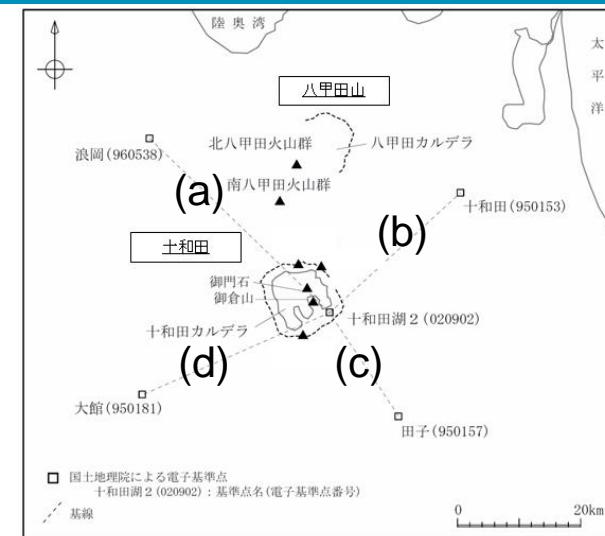
➤ 第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁,2019a)によると、下図の十和田周辺における干渉解析結果について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしている。

➤ 十和田周辺における干渉解析結果について、ノイズレベルを超える位相変化は認められない。

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価

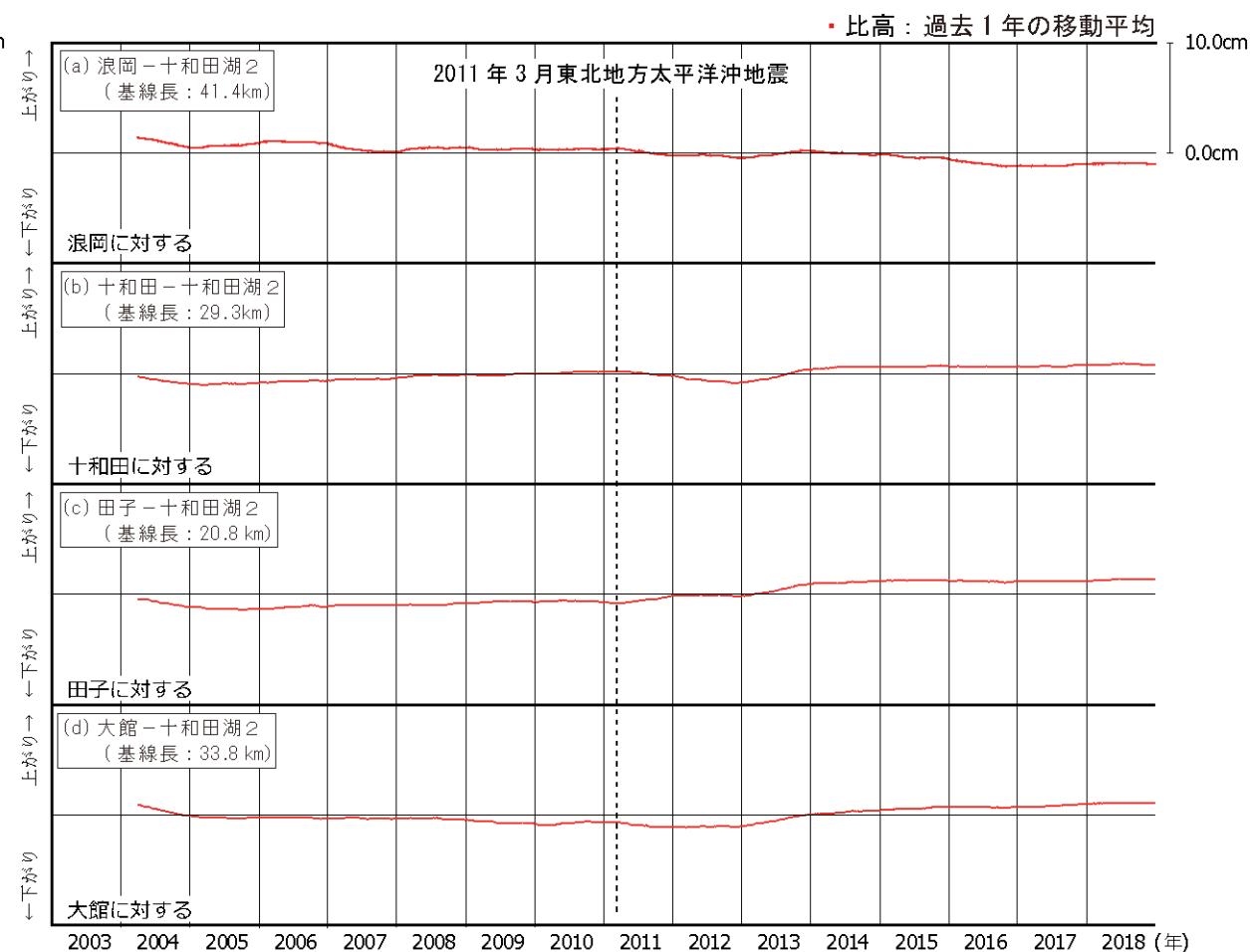
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)⑧[地殻変動(上下変動):電子基準点データ(比高の時間変化)]

➤ 十和田を取り囲む電子基準点における上下変動(比高の時間変化)にも、顕著な変位の累積は認められない。



※各観測点の保守(アンテナ交換等)によって生じたオフセットは補正済み

電子基準点間の比高の時間変化



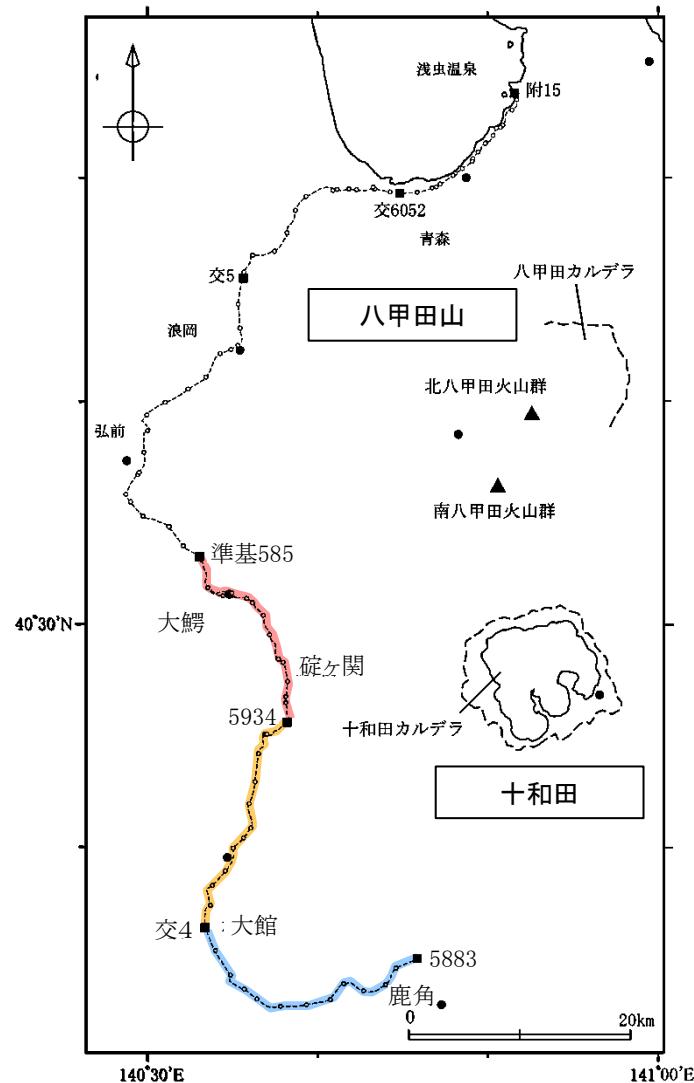
※各観測点の保守(アンテナ交換等)によって生じたオフセットは補正済み

電子基準点間の比高の時間変化  
(過去1年の移動平均)

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)⑨〔地殻変動(上下変動):水準測量〕

➤ 十和田付近の一等水準路線の上下変動には、大館付近において局所的な変動はあるが、十和田に最も近い碓ヶ関付近の一等水準点には継続的な変位の累積は認められず、十和田を中心とした継続的な変位の累積は認められない。

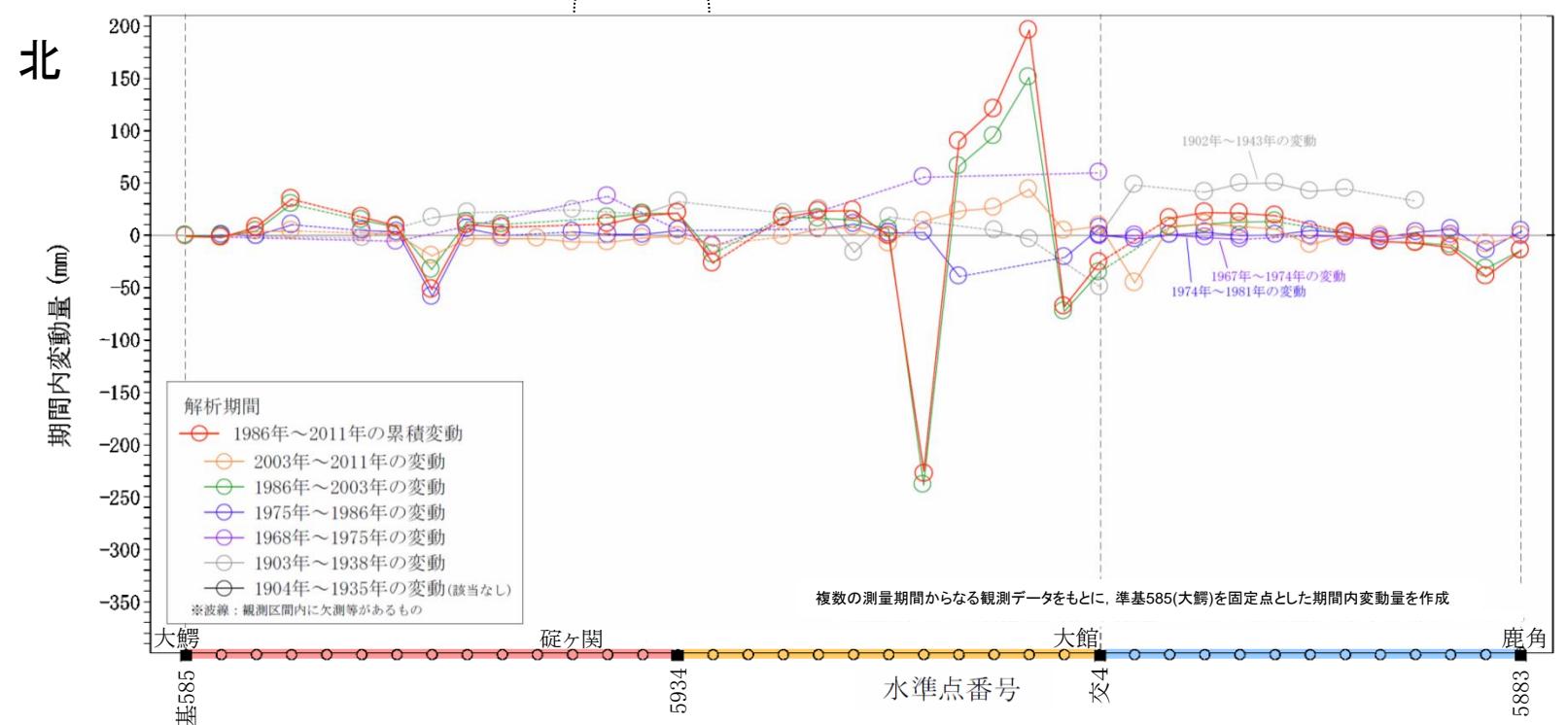
■水準路線



水準測量  

 十和田の評価に用いた水準路線  
 一等水準点(水準路線)  
 ※検討に用いた水準点・路線のみ示す  
 ●電子基準点

■路線沿いの期間内変動量



国土地理院「基盤地図情報」及び「一等水準点検測成果収録」をもとに当社が作成

2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価  
地球物理学的調査〔まとめ①〕

現在のマグマ溜まりの状況(十和田)

	地震波速度構造			比抵抗構造	地震 (低周波地震)	地殻変動	評価
	Nakajima et al.(2001) 中島(2017)	防災科研 HP*	当社	Kanda and Ogawa(2014)			
上部地殻	東北地方の火山地域の上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しない〔中島(2017)〕	低速度, 低Vp/Vs	低速度, 低Vp/Vs	顕著な低比抵抗領域は認められない	低周波地震はほとんど認められない	余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。	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。
下部地殻	中～高速度, 高Vp/Vs	中～高速度, 高Vp/Vs	高速度, 高Vp/Vs	顕著な低比抵抗領域は認められない	低周波地震が群発的に認められる	—	—
最上部マントル	大量のメルトを示唆する	低速度・ 中Vp/Vs	低速度・ 高Vp/Vs	不明	不明	—	—

※:防災科学技術研究所HP上において、「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、陸地のHi-net、海底のS-nett及びDONET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、当社が十和田・八甲田山地域における水平・鉛直断面図を作図したものの。

## 2.2 十和田の評価 2.2.1 巨大噴火の可能性評価 地球物理学的調査〔まとめ②〕

### ＜各地球物理学的調査の特徴＞

- 流体の存在に敏感な比抵抗構造と流体のうちメルトか水か推定が出来る地震波速度構造は相補的な関係であり、これらと併せて、マグマの移動・上昇等の活動を示す地震及び地殻変動について、以下のとおり評価を行った。

### ＜地下構造(地震波速度・比抵抗)＞

- ＜地震波速度構造＞Nakajima et al.(2001b), 中島(2017), 防災科学技術研究所HP上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年度版)」の地震波トモグラフィ解析結果及び当社の地震波トモグラフィ解析結果に基づくと、いずれの結果でも十和田直下の上部地殻内(約20km以浅)に、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。

＜比抵抗構造＞ 流体の存在に敏感に反応する比抵抗構造においても、十和田直下の上部地殻内にマグマ若しくは高塩濃度流体を示唆する顕著な低比抵抗領域は認められない。(Kanda and Ogawa, 2014)

- ＜地震波速度構造＞及び＜比抵抗構造＞を統合的に解釈すると、十和田直下の上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高Vp/Vsかつ低比抵抗領域は認められない。

### ＜地震及び地殻変動＞

- 地震は、十和田の後カルデラ期の最新の噴火エピソード(十和田a)の火口である十和田湖中湖付近及びその周辺の震源深さ5km～10km付近に集中している。
- 「十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)」(気象庁, 2014)によると、2014年1月27日昼前から夜にかけて地震活動が活発な状況になったが、27日の夜から地震回数は減少し、2月に入ってから概ね静穏な状況であり、低周波地震、火山性微動は観測されていないとしている。また、火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められず、2007年12月1日の噴火予報(平常)の発表以降、予報警報事項に変更はないとしている。
- 十和田湖南岸と十和田周辺の電子基準点データ、干渉SAR解析結果及び水準測量結果によると、十和田を中心とした、2011年東北地方太平洋沖地震以降の余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。



- 地球物理学的調査の結果、現状、十和田直下の上部地殻内(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。

## 2.2 十和田の評価

### 2.2.1 巨大噴火の可能性評価[まとめ]

巨大噴火に該当する噴火は、カルデラ形成期の大不動火砕流(見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)及び八戸火砕流(見かけの噴出量:約40km<sup>3</sup>)を噴出した噴火である。したがって、この2回の巨大噴火を対象に巨大噴火の可能性評価を実施。

- 活動履歴から、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・噴出量・噴出率が異なる(巨大噴火前には数万年間の低噴出率期が先行する傾向が見られるが、後カルデラ期は高噴出率期である)こと等から、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(工藤ほか, 2011)。
- 地質調査及び火山学的調査結果から、敷地は、巨大噴火に伴う2回の大規模火砕流であるカルデラ形成期の十和田八戸火砕流及び十和田大不動火砕流の到達末端に位置すると評価。
- 地球物理学的調査の結果、現状、十和田直下の上部地殻内(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。
- 文献調査結果から、十和田について、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。

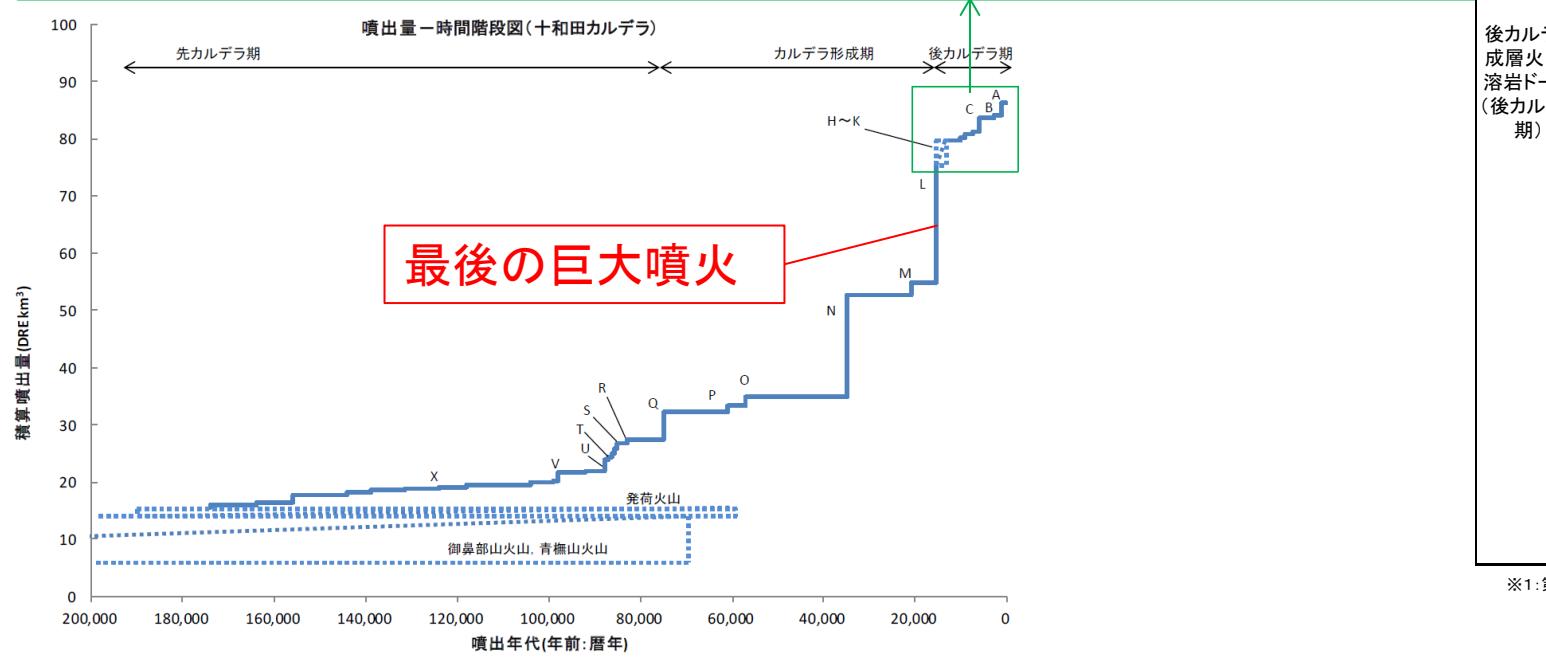
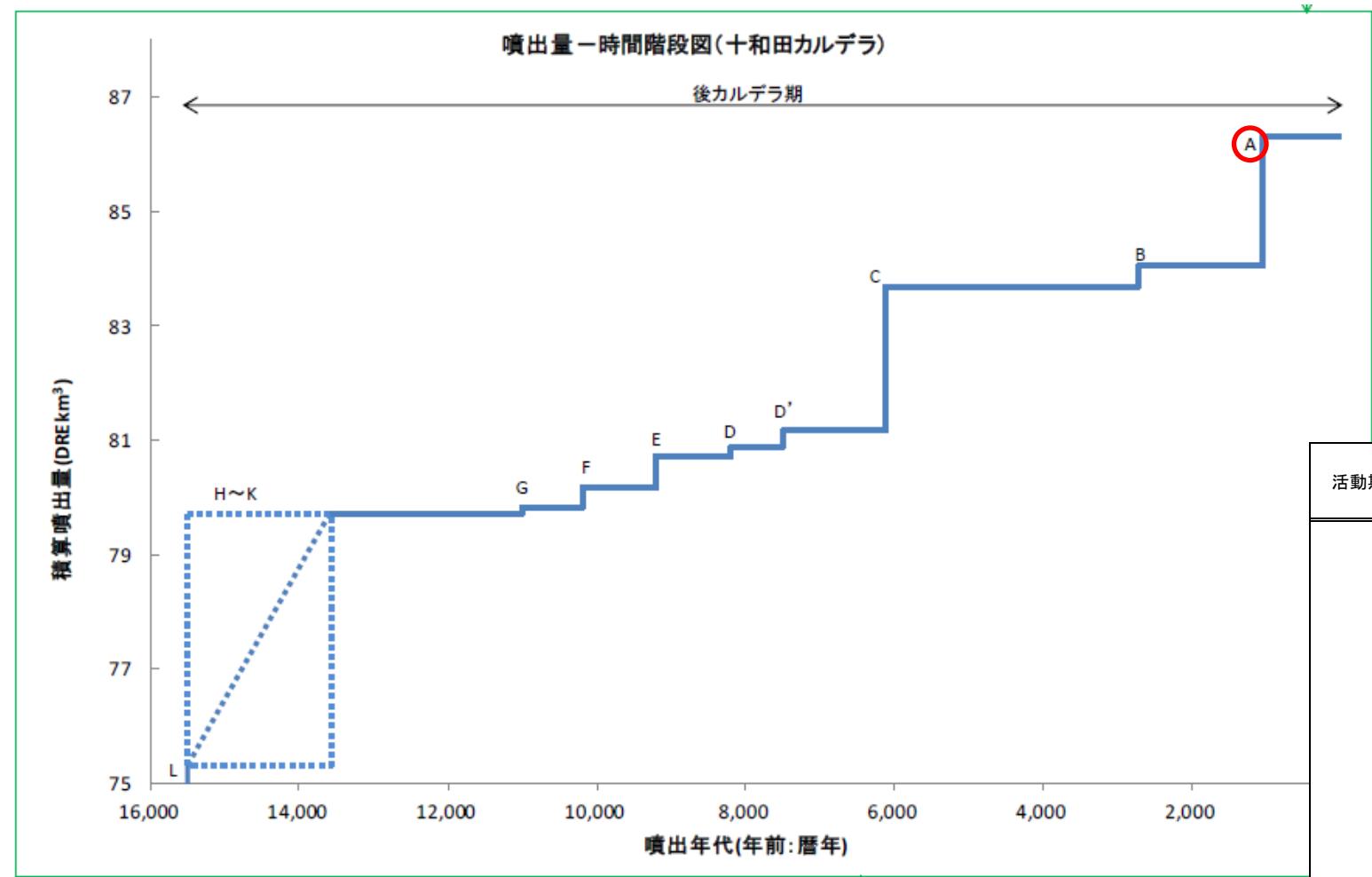


- 十和田の現在の活動状況は、巨大噴火が差し迫った状態ではなく、巨大噴火が発生するという科学的に合理性のある具体的根拠があるとはいえないことから、少なくとも施設運用期間中は、巨大噴火の可能性は十分小さいと評価した。
- 十和田を対象として、科学的知見を収集し、更なる安全性の向上に資するため、施設の運用期間中火山活動のモニタリングを行い、巨大噴火の可能性が十分小さいと評価した根拠が継続していることを確認する。

## 2.2 十和田の評価 2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価 活動履歴〔後カルデラ期における最大規模の火砕流〕

最後の巨大噴火(十和田八戸火砕流を伴う噴火エピソードL)以降の活動期である後カルデラ期は、1000年単位で頻りに噴火を続けており、後カルデラ期と同規模の活動可能性は十分小さいと判断出来ない。  
後カルデラ期の最大規模の火砕流を伴う噴火は、噴火エピソードAの毛馬内火砕流(見かけの噴出量:約5km<sup>3</sup>)\*である。

\* Hayakawa(1985)に基づく

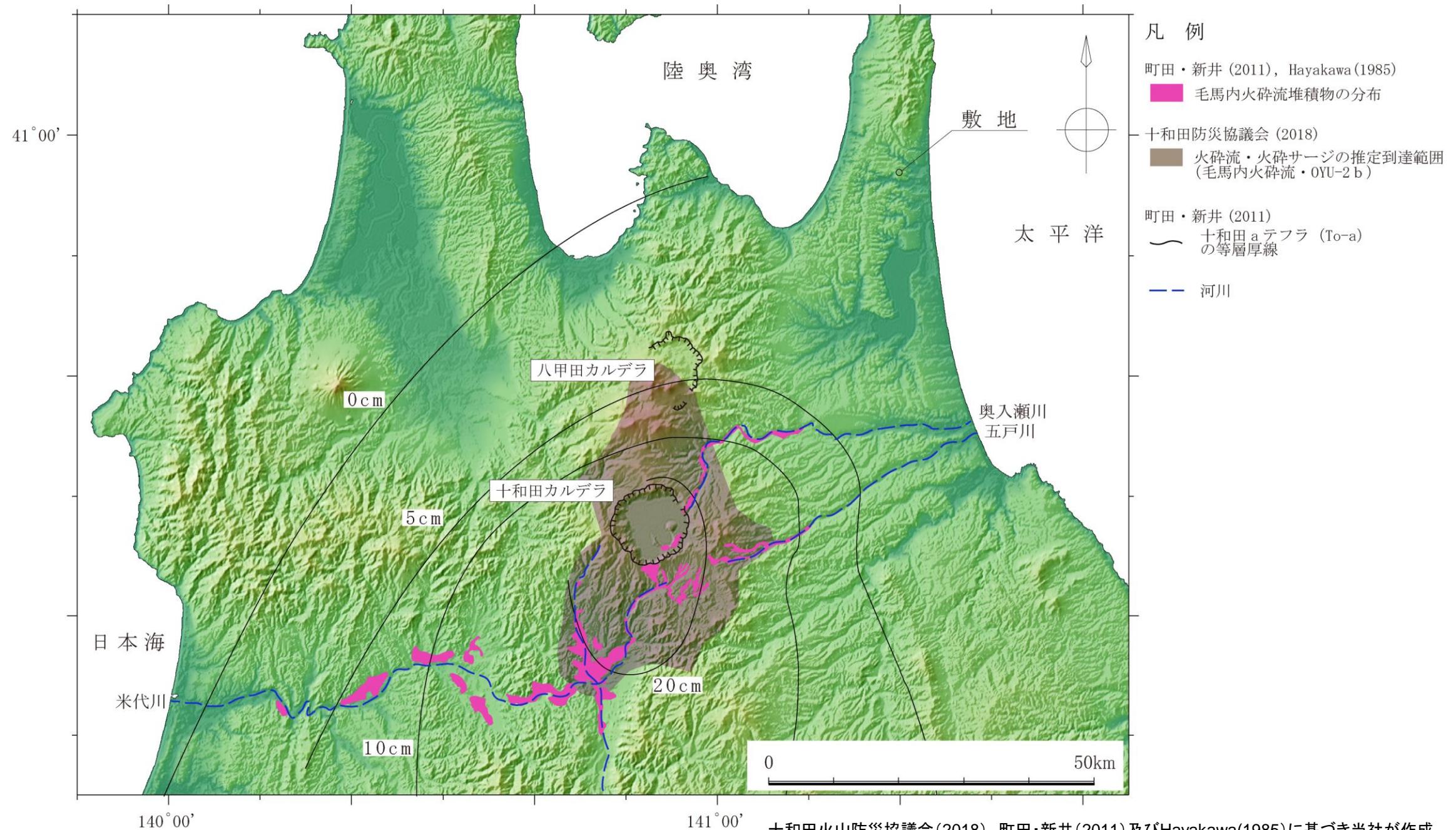


活動期	噴火エピソード (Hayakawa,1985)	噴出物	マグマ種類	噴火様式	体積: km <sup>3</sup> (斜体はDRE 下線は見かけの噴出量)
A	十和田aテフラ				
	毛馬内火砕流	流紋岩~ デイサイト	火砕流		2.27 <sup>※2</sup> 6.51 <sup>※3</sup>
	大湯3軽石	-	降下軽石		
	大湯2火山灰	-	降下火山灰, 火砕サージ		
B	大湯1軽石	流紋岩	降下軽石		
	惣部火山灰	-	降下火山灰		0.35 <sup>※2</sup> 0.84 <sup>※3</sup>
C	迷ヶ平軽石	流紋岩	降下軽石		
	宇樽部火山灰	デイサイト	火砕サージ, 降下火山灰		2.52 <sup>※2</sup> 9.18 <sup>※3</sup>
D'	金ヶ沢軽石	デイサイト	降下軽石		
	中楸軽石(CU)	安山岩~ デイサイト	プリニー式噴火: 降下軽石		
D	御門石溶岩	デイサイト	溶岩ドーム		0.29 <sup>※2</sup> 0.325 <sup>※3</sup>
	御倉山溶岩	デイサイト	溶岩ドーム		
	戸来火山灰	デイサイト	マグマ水蒸気噴火: 降下火山灰		
E	中ノ沢火山灰	-	降下火山灰		0.16 <sup>※2</sup> 0.34 <sup>※3</sup>
	小国軽石	デイサイト	降下軽石, 降下火山灰		
F	貝守火山灰	-	降下火山灰		0.54 <sup>※2</sup> 2.51 <sup>※3</sup>
	南部軽石	デイサイト	プリニー式噴火: 降下軽石		
G	柘山火山灰	安山岩	降下火山灰, スコリア		0.36 <sup>※2</sup> 1.26 <sup>※3</sup>
	夏坂スコリア	安山岩	降下スコリア		
H I J K	新郷軽石	デイサイト	降下軽石		0.1 <sup>※2</sup> 0.45 <sup>※3</sup>
	五色岩火山, 二の倉テフラ群 (二の倉期後, 中, 前期)	玄武岩質 安山岩	溶岩流, 降下スコリア, 降下火山灰		4.42 <sup>※2</sup> 10.4 <sup>※3</sup>

※1: 第四紀火山カタログ委員会編(1999)より引用 ※2: 文献中でDRE換算されている値を階段図等から読み取った体積 ※3: Hayakawa(1985)より引用

山元(2015)に基づき作成

2.2 十和田の評価 2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価  
活動履歴(後カルデラ期:地質調査及び火山学的調査)[毛馬内火砕流]



- 町田・新井(2011)及びHayakawa(1985)は、毛馬内火砕流堆積物を十和田カルデラから主に河川沿いに図示している。
- 十和田火山防災協議会(2018)は、広井(2015)等の新たな知見を考慮し、毛馬内火砕流堆積物及びOYU-2bの火砕サージ堆積物の確認地点を基に、十和田カルデラの周囲約20kmの範囲を火砕流・火砕サージの推定到達範囲として図示している。

いずれの場合においても、毛馬内火砕流は、敷地には到達していない。

## 2.2 十和田の評価

### 2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価[まとめ]

- 最後の巨大噴火以降の活動期である後カルデラ期は、1000年単位で頻繁に噴火を続けており、後カルデラ期と同規模の活動可能性は十分小さいと判断出来ない。
- 後カルデラ期の最大規模の火砕流である毛馬内火砕流は敷地には到達していない。
- 溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、敷地が十和田から半径50km以内に位置しないことから、また、新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地が十和田の火口及びその近傍に位置せず、火山フロントより前弧側に位置することから、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価。(P16参照)



- 最後の巨大噴火以降の活動期である後カルデラ期の最大規模の火砕流が敷地に到達していないことから、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価。
- 火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象は、敷地と火山の離隔等から、施設に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価。

余白

1. 原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出
2. 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価
2.1 原子力施設に影響を及ぼし得る火山における設計対応不可能な火山事象の敷地への到達可能性評価
2.2 十和田の評価
2.2.1 巨大噴火の可能性評価
2.2.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
2.3 八甲田山の評価
2.3.1 巨大噴火の可能性評価
活動履歴
地質調査及び火山学的調査
地球物理学的調査(地下構造)
地球物理学的調査(地震及び地殻変動)
まとめ
2.3.2 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価
活動履歴
まとめ
2.4 「原子力施設に影響を及ぼし得る火山の抽出」において抽出された火山の火山活動に関する個別評価のまとめ
3. 火山モニタリング及び対処方針
4. 設計対応が可能な火山事象
参考

2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価

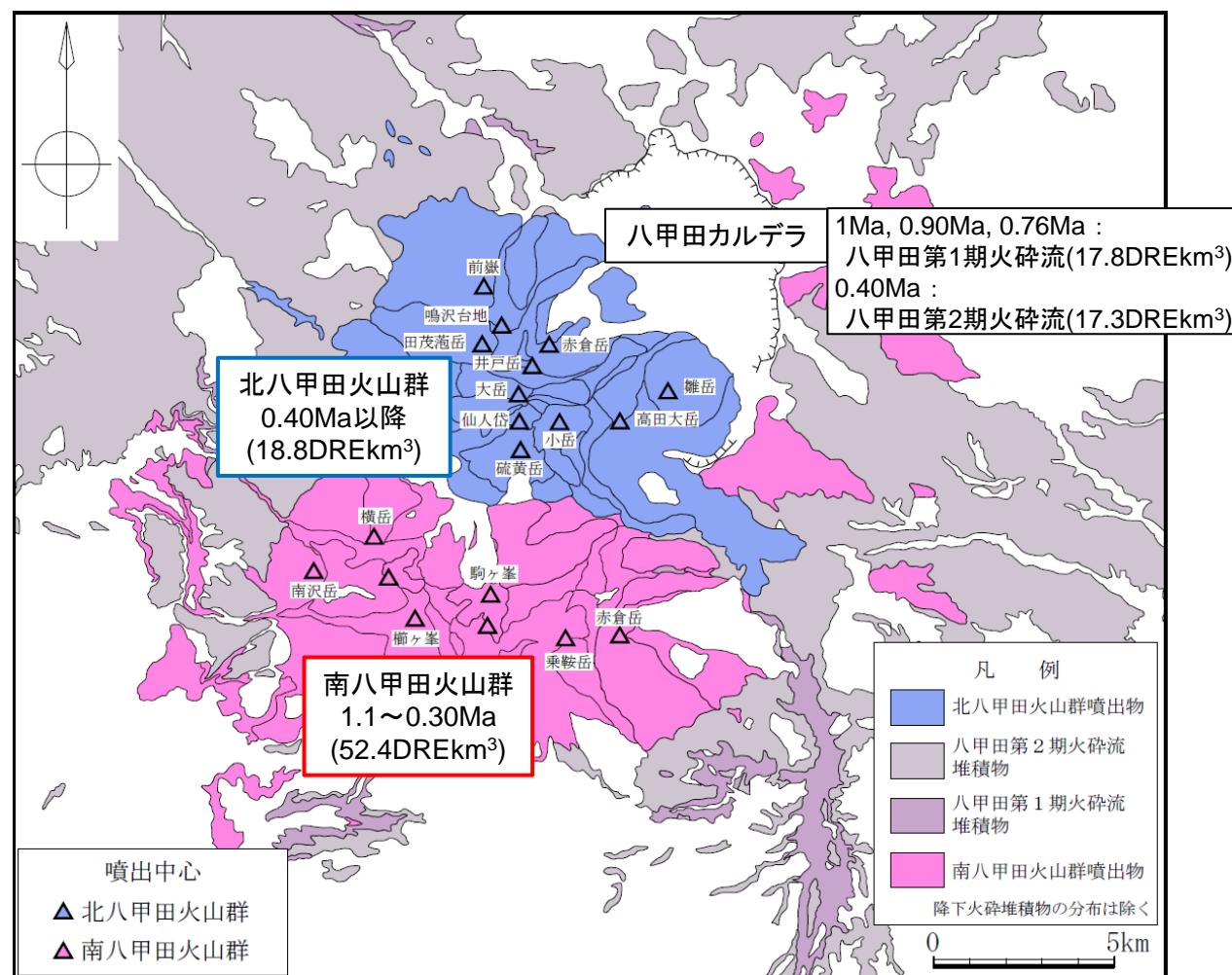
活動履歴①〔八甲田山の活動と巨大噴火に該当する噴火〕

- 八甲田山は、少なくとも17以上の成層火山や溶岩ドームからなり、南八甲田火山群及び北八甲田火山群に区分され、八甲田カルデラは、北八甲田火山群の直下～北東に存在するとしている。(気象庁編, 2013)。
- 南八甲田火山群は、八甲田カルデラの先カルデラ火山であり、約1.1～0.3 Maに活動したとされる。(中野ほか編, 2013; 宝田・村岡, 2004)
- 八甲田カルデラの噴出物として、八甲田第1期火砕流(見かけの噴出量: 37km<sup>3</sup>)及び八甲田第2期火砕流(見かけの噴出量: 36km<sup>3</sup>)による堆積物が示されている(村岡・高倉, 1988; 第四紀火山カタログ委員会, 1999)。
- 八甲田山の活動は、南八甲田火山群, 八甲田カルデラ, 北八甲田火山群の活動に区分され、このうち、八甲田カルデラにおいては、約1Ma(八甲田中里川), 0.9Ma(八甲田黄瀬), 0.76Ma(八甲田第1期), 0.4Ma(八甲田第2期)に大規模火砕流を噴出したとされている(中野ほか編, 2013; 工藤ほか, 2011)。
- 北八甲田火山群は、八甲田カルデラの形成後の約40万年前以降に活動を開始した後カルデラ火山群であるとされている(工藤ほか, 2004)。

- 次頁の図のとおり、八甲田山は110万年前から活動を開始し、南八甲田火山群及び八甲田カルデラの活動後、最近30万年間では、後カルデラ火山群である北八甲田火山群のみ活動が継続している。
- 巨大噴火に該当する噴火は、八甲田カルデラの八甲田第1期火砕流(見かけの噴出量: 37km<sup>3</sup>)及び八甲田第2期火砕流(見かけの噴出量: 36km<sup>3</sup>)を噴出した噴火である。したがって、この2回の巨大噴火と最後の巨大噴火以降の噴火を対象に評価を実施した。

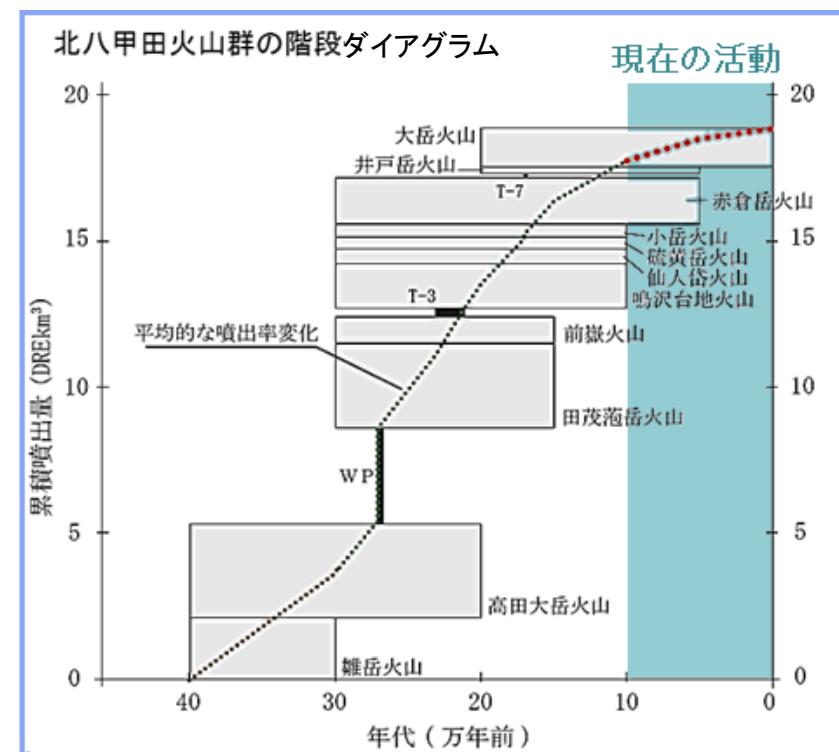
2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価

活動履歴②〔八甲田山の分布と階段ダイアグラム〕

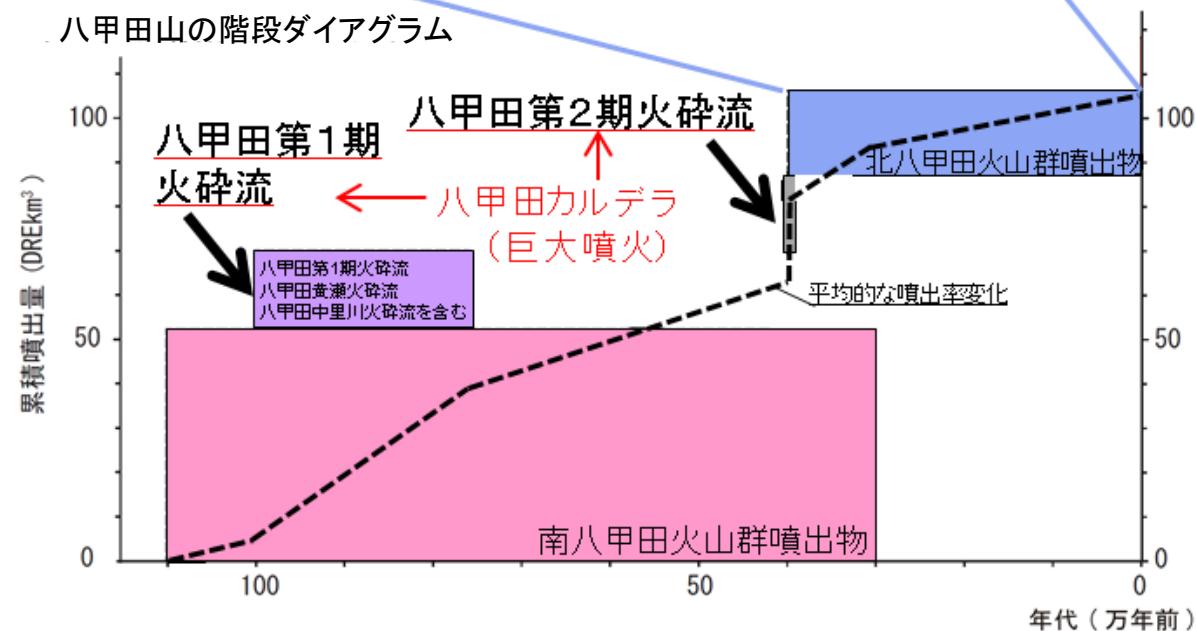


村岡・高倉(1988), 宝田・村岡(2004)より当社が作成, 年代は中野ほか編(2013)及び工藤ほか(2011), 噴出量はUmeda et al.(2013) 及び工藤ほか(2004)に基づく。

八甲田山の各火山とその噴出物の分布



八甲田山の階段ダイアグラム



年代は中野ほか編(2013), 噴出量はUmeda et al.(2013) 及び工藤ほか(2004)に基づく

八甲田山の階段ダイアグラム

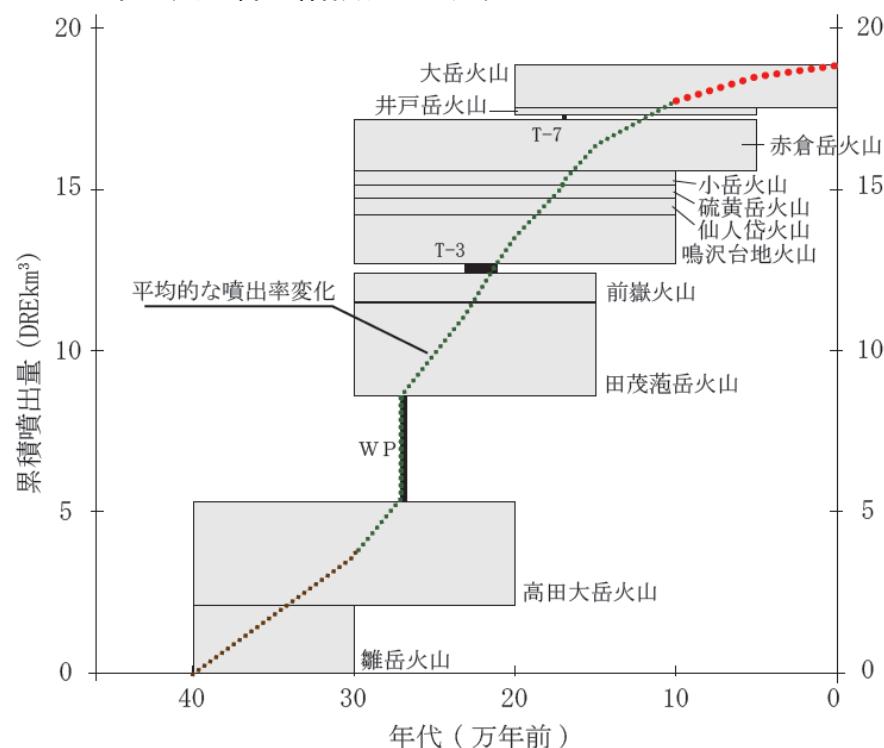
## 2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価 活動履歴③

八甲田山は110万年前から活動を開始し、南八甲田火山群及び八甲田カルデラの活動後、最近30万年間では、後カルデラ火山群である北八甲田火山群のみ活動が継続している。

### 工藤ほか(2004)を要約

- 北八甲田火山群は、八甲田カルデラの形成後の約40万年前以降に活動を開始した後カルデラ火山群である。
- 北八甲田火山群の噴出率及び活動様式の時間変化から、その火山活動のピークは40～10万年前までの間にあったと考えられ、10万年前以降の火山活動は比較的低調になっているとされている。また、噴出中心が火山群中央部に収束する傾向が認められることから、北八甲田火山群の活動は、長期的にみると終息へと向かいつつある状態と解釈できる。

北八甲田火山群の階段ダイアグラム



火山体	年代	噴出量	降下火砕物	年代※	噴出量
大岳火山	0.2Ma～現在	1.3DREkm <sup>3</sup>	T-7	0.17Ma	0.1DREkm <sup>3</sup>
井戸岳火山	0.2Ma～0.1Ma以降	0.25DREkm <sup>3</sup>	T-3	0.23Ma～0.21Ma	0.3DREkm <sup>3</sup>
赤倉岳火山	0.3Ma～0.1Ma以降	1.6DREkm <sup>3</sup>	甲地軽石(WP)	0.27Ma	3.3DREkm <sup>3</sup>
小岳火山	0.3Ma～0.1Ma	0.45DREkm <sup>3</sup>			
硫黄岳火山	0.3Ma～0.1Ma	0.43DREkm <sup>3</sup>			
仙人岱火山	0.3Ma～0.1Ma	0.51DREkm <sup>3</sup>			
鳴沢台地火山	0.3Ma～0.1Ma	1.4DREkm <sup>3</sup>			
前嶽火山	0.3Ma～0.15Ma	0.91DREkm <sup>3</sup>			
田茂菴岳火山	0.3Ma～0.15Ma	2.9DREkm <sup>3</sup>			
高田大岳火山	0.4Ma～0.2Ma	3.2DREkm <sup>3</sup>			
雛岳火山	0.4Ma～0.3Ma	2.1DREkm <sup>3</sup>			

※八甲田第二期火砕流堆積物と洞爺火山灰の年代及び堆積物間の土壌層厚からの推定値

噴出物の区分、年代及び噴出量は工藤ほか(2004)に基づき、階段ダイアグラムを当社が作成

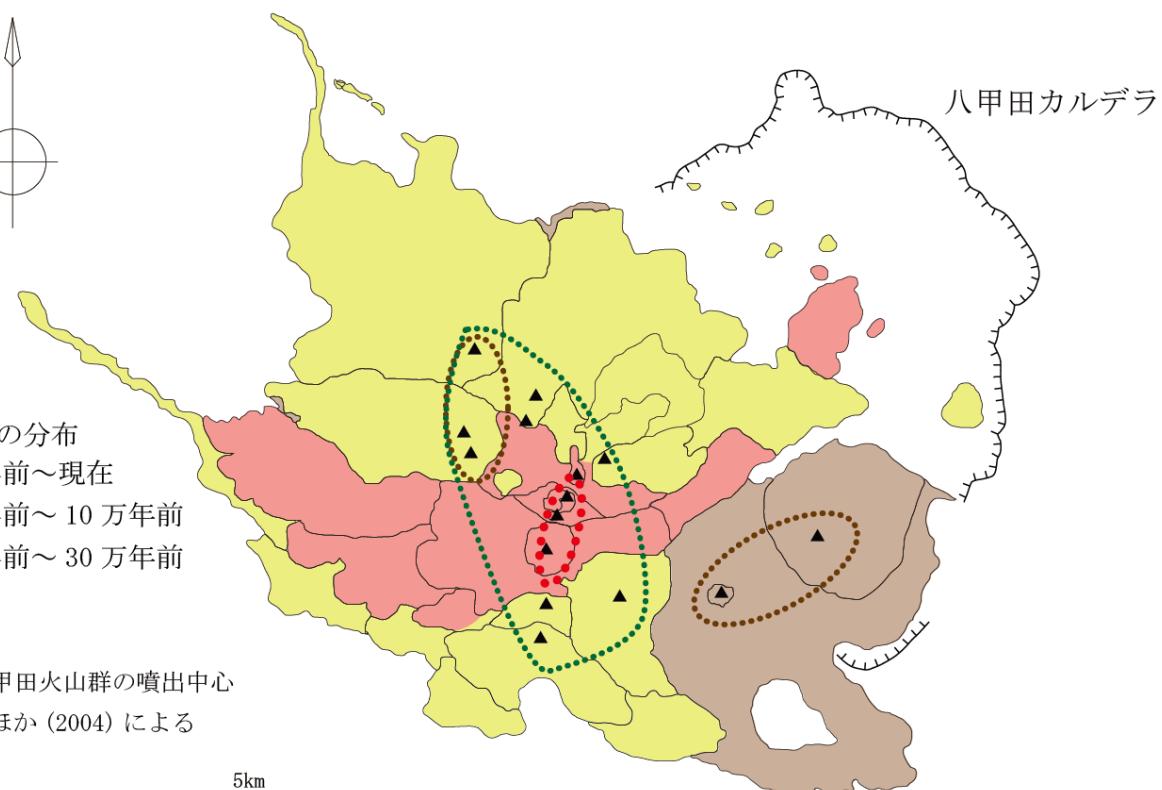
時代ごとの  
噴出中心及び噴出物の分布

- 10万年前～現在
- 30万年前～10万年前
- 40万年前～30万年前

▲ 噴出中心の集中域

▲ 北八甲田火山群の噴出中心  
地質区分：工藤ほか(2004)による

0 5km



工藤ほか(2004)より当社が作成

北八甲田火山群起源の火山噴出物の分布

## 活動履歴④〔巨大噴火に言及した文献の調査〕

文献調査により、近い将来八甲田山が巨大噴火を起こすことについて言及した文献がないか調査した結果は以下のとおり。

- ・ 八甲田山について、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。

(参考1)日本列島全体での後期更新世以降の巨大噴火(八甲田山含まず)の発生回数から将来の発生確率を算出した知見は多数あり(例えば、最近の報告ではTatsumi and Suzuki-Kamata(2014):噴火マグニチュード7以上の巨大カルデラ噴火が今後100年間で起こる確率は約1%) (注: Tatsumi and Suzuki-Kamata(2014)の“巨大カルデラ噴火”の噴火規模の定義は、本資料の“巨大噴火”の定義と異なる。)

(参考2)青森県が策定した火山災害予想区域図(八甲田山火山防災協議会, 2014)においては、八甲田山における過去1万年間の活動を元に大・中・小規模の噴火を想定しており、巨大噴火は想定していない。

2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価  
活動履歴⑤〔まとめ〕

- 八甲田山は110万年前から活動を開始し、南八甲田火山群及び八甲田カルデラの活動後、最近30万年間では、後カルデラ火山群である北八甲田火山群のみ活動が継続している。
- 巨大噴火に該当する噴火は、八甲田カルデラにおける八甲田第1期火砕流(見かけの噴出量:37km<sup>3</sup>)及び八甲田第2期火砕流(見かけの噴出量:36km<sup>3</sup>)を噴出した噴火である。
- 後カルデラ火山群である北八甲田火山群は、噴出率・活動様式の時間変化傾向及び噴出中心が火山群中央部に収束する傾向から、その火山活動のピークは40万年前～10万年前までの間にあったと考えられ、10万年前以降の火山活動は比較的低調になっており、長期的にみると終息へと向かっていると解釈できる(工藤ほか, 2004)。
- 文献調査結果から、八甲田山について、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 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価

地質調査及び火山学的調査①〔過去最大規模の火砕流の考え方〕

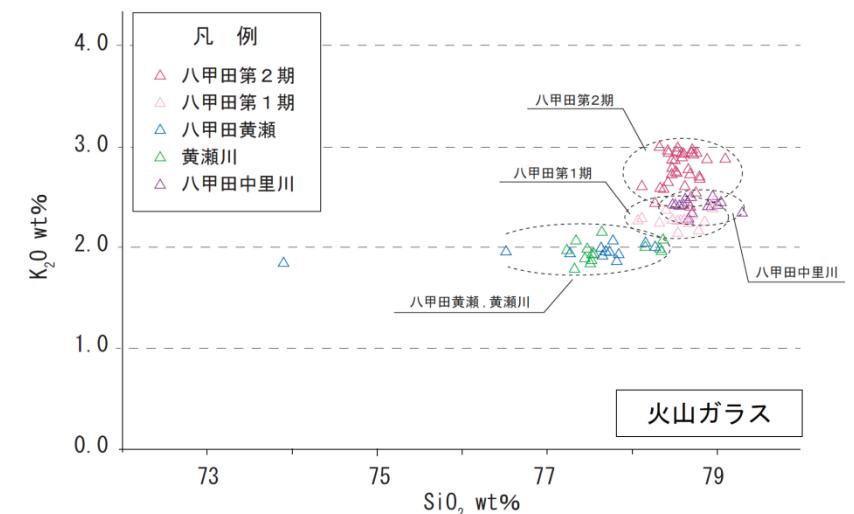
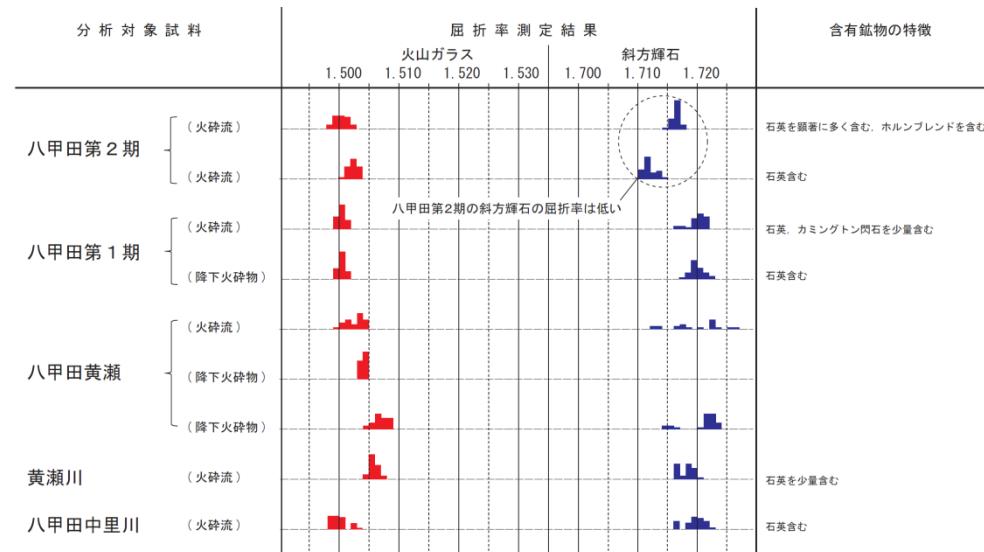
八甲田山で確認される大規模な火砕流堆積物

村岡・高倉 (1988) 第四紀火山カタログ委員会 (1999)	工藤ほか (2011)	年代 (中野ほか編, 2013)	鉱物組合せ (工藤ほか, 2006)	備考
八甲田第2期火砕流堆積物 【見かけの噴出量: 36km <sup>3</sup> 】	八甲田第2期火砕流堆積物	約 0.40Ma	斜長石, 石英 単斜輝石, 斜方輝石, ホルンブレンド	他の火砕流堆積物に比べ, 大きな石英を含む。*3 また, 石英を顕著に多く含む。#
八甲田第1期火砕流堆積物 【見かけの噴出量: 37km <sup>3</sup> 】	八甲田第1期火砕流堆積物	約 0.76Ma	斜長石, 石英 単斜輝石, 斜方輝石, ホルンブレンド	八甲田第2期火砕流堆積物に比べ, 斜方輝石の屈折率が高い*1
	八甲田黄瀬火砕流堆積物	約 0.90Ma	斜長石 単斜輝石, 斜方輝石	
	(黄瀬川火砕流堆積物)	0.99Ma ~ 0.78Ma の間*2	斜長石 単斜輝石, 斜方輝石	八甲田黄瀬火砕流堆積物と同一の給源である可能性*2
	八甲田中里川火砕流堆積物	約 1Ma*1	斜長石#, 石英# 単斜輝石#, 斜方輝石#, ホルンブレンド#	八甲田第1火砕流堆積物と同一の岩石鉱物学的特徴 ※相当量が八甲田第1期として認識されている可能性*1

() : 文献において八甲田火山起源に特定されていないもの \*1 : 工藤ほか (2011), \*2 : 工藤ほか (2006), \*3 : 宝田・村岡 (2004), # : 当社の地質調査で採取した試料の火山灰分析結果による

【含有鉱物, 火山ガラス等の屈折率の特徴】

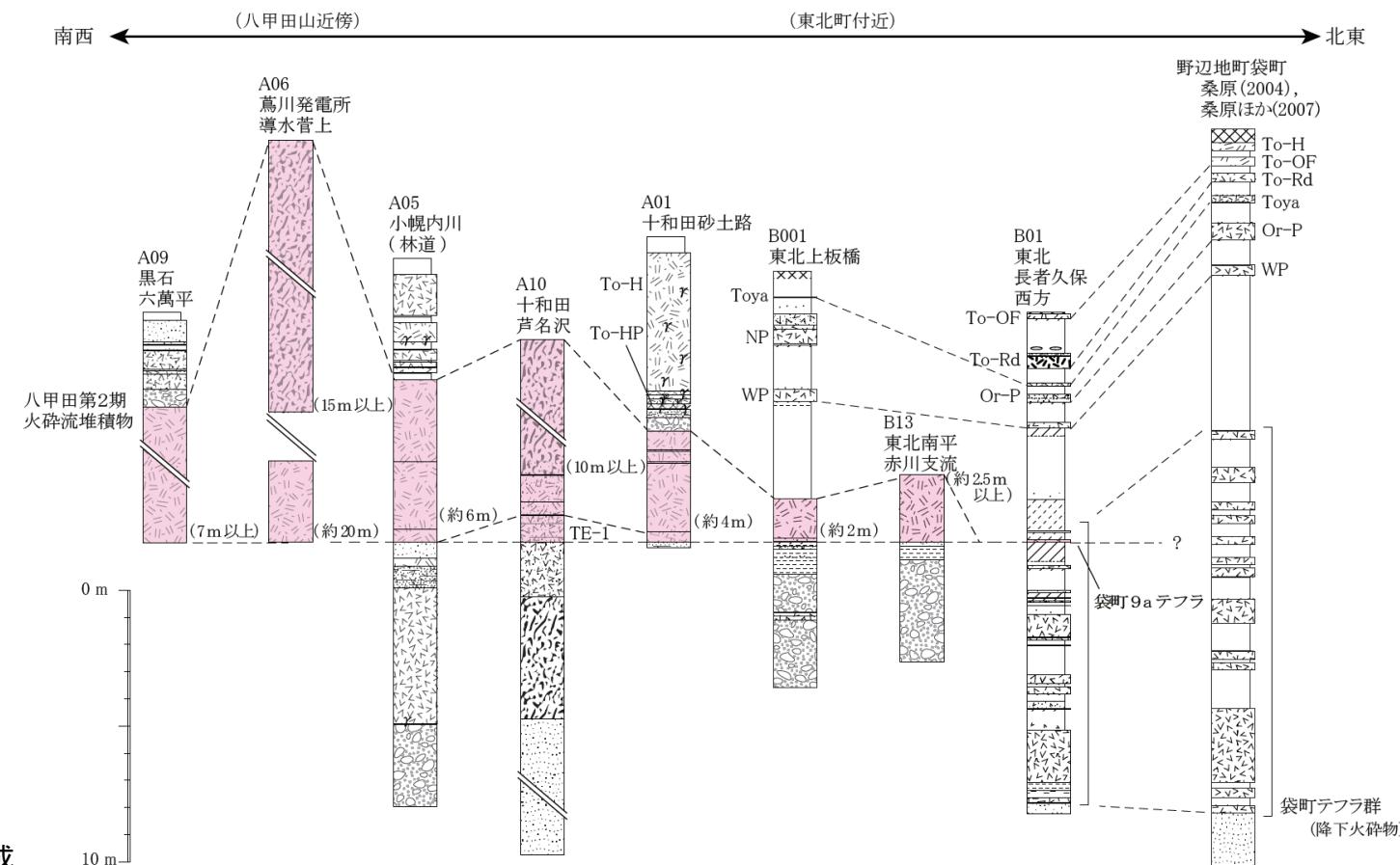
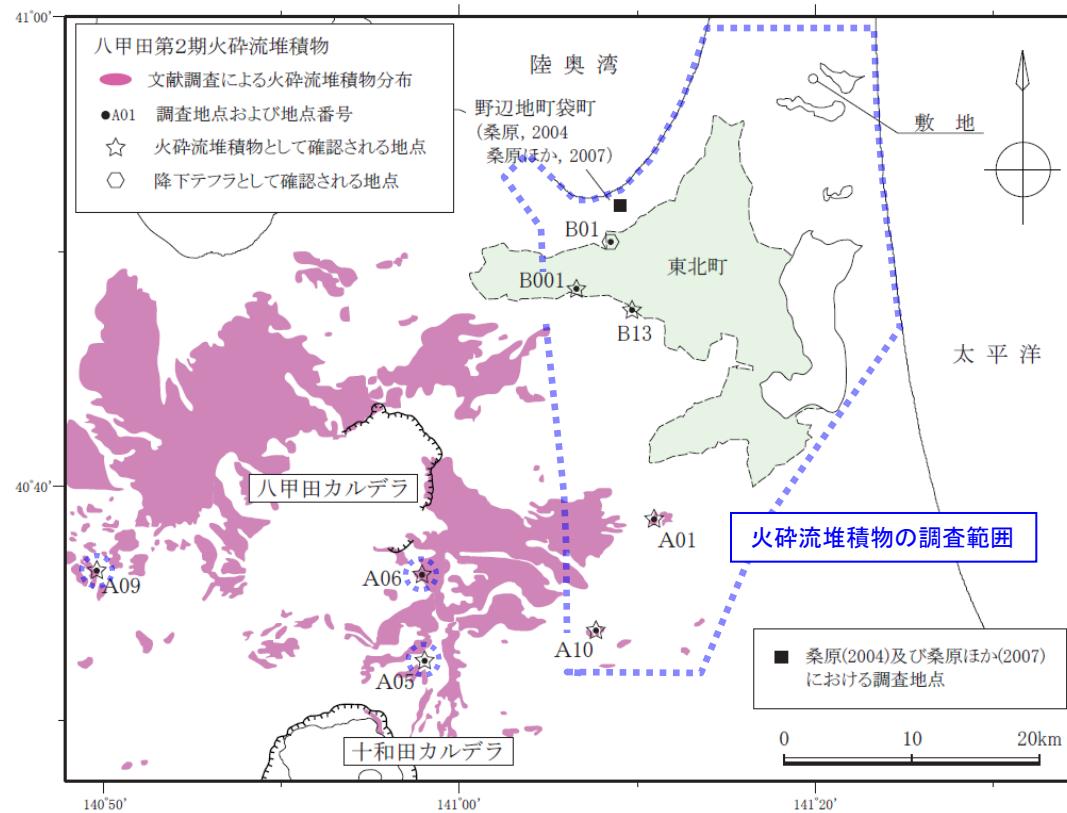
【化学組成の特徴】



➤ 村岡・高倉(1988), 第四紀火山カタログ委員会(1999)によると, 八甲田第1期火砕流は見かけの噴出量: 37km<sup>3</sup>, 八甲田第2期火砕流は見かけの噴出量: 36km<sup>3</sup>とされているが, 八甲田第1期火砕流堆積物は, 工藤ほか(2006), 工藤ほか(2011)等によって示された年代測定, 化学分析結果等によると, 異なる時代の複数の火砕流堆積物で構成されている可能性があると考えられている。

➤ 当社が実施した化学組成分析等からも, 八甲田第1期火砕流堆積物は複数の火砕流堆積物に識別可能な特徴を有すると考えられる。  
➤ したがって, 2回の巨大噴火のうち八甲田第2期火砕流が, 八甲田山の過去最大規模の火砕流であると評価。

2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査②〔巨大噴火に伴う八甲田第2期火砕流の地質柱状図及び分布〕



※) 村岡・高倉(1988), 村岡ほか(1991), 大沢ほか(1993)等に基づき当社が作成

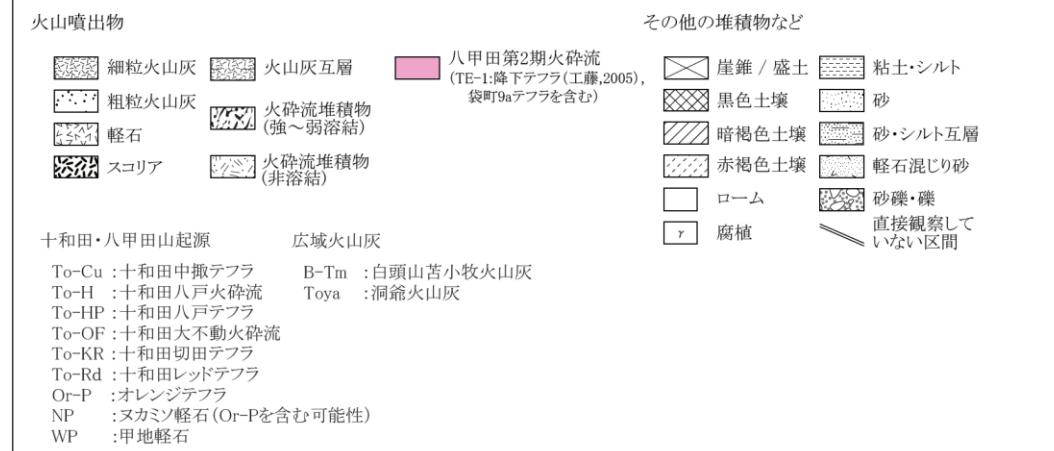
➤ 地質調査

図中の青破線で囲んだ範囲について、地質調査を実施した結果、八甲田第2期火砕流は、八甲田山から東北町西部にかけて分布するが、八甲田火山から離れるにしたがって層厚を減じる傾向があり、東北町のB01地点付近では火砕流堆積物は確認出来ない。

➤ 文献調査

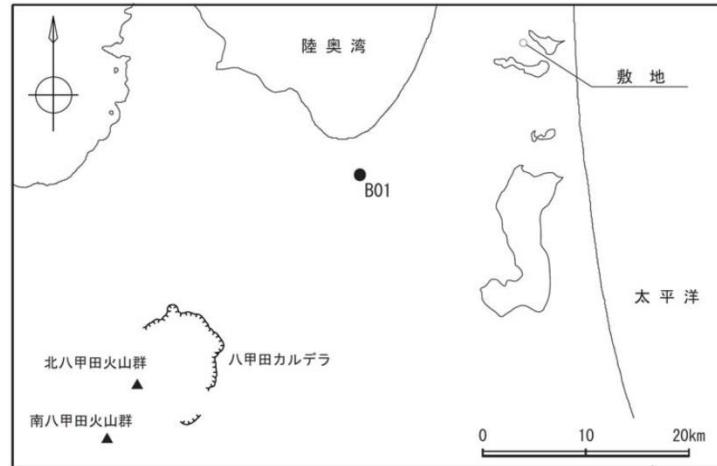
桑原(2004)及び桑原ほか(2007)により、野辺地町袋町地点における露頭から、降下火砕物等の層序等に関する報告がされているが、八甲田第2期火砕流堆積物は認められていない。

➤ したがって、より北方に位置する敷地には到達していないと判断される。

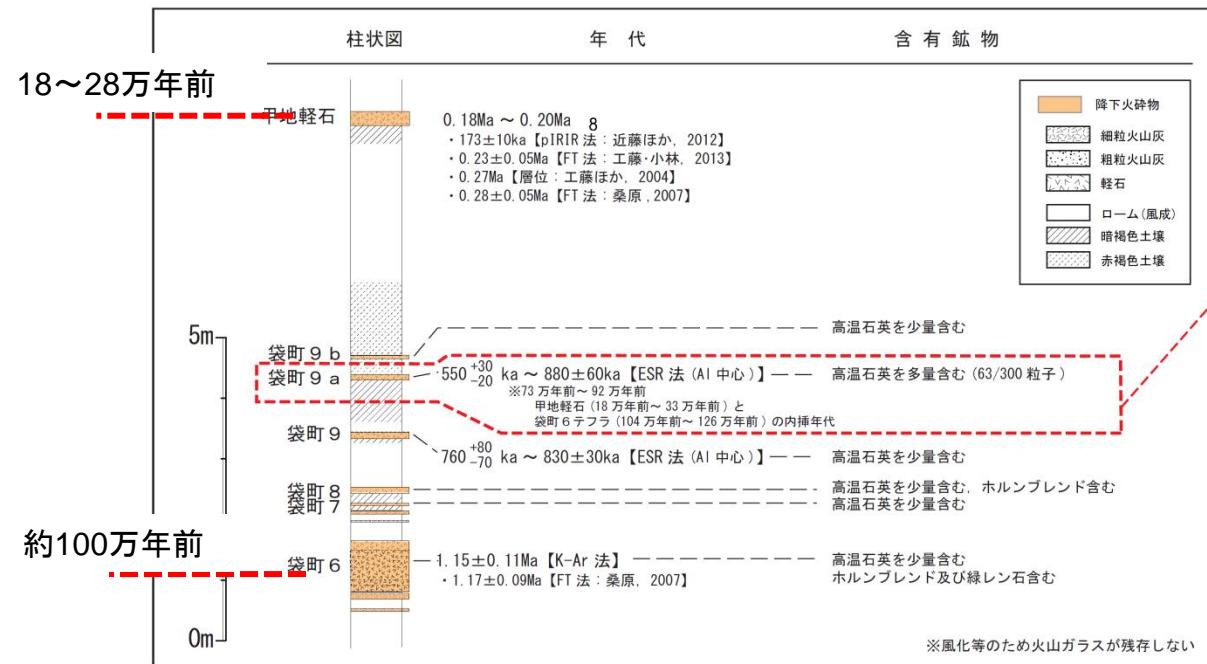


2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価  
地質調査及び火山学的調査③〔露頭情報〕

【東北町の露頭：B01 地点】



露頭写真



八甲田火山周辺に分布する主な堆積物	年代	含有鉱物
八甲田第2期	約40万年前	高温石英を多量含む。 高温石英を多量含む。
八甲田第1期	約76万年前	高温石英、カミングトン閃石を少量含む 高温石英を含む。
八甲田黄瀬	約90万年前	(高温石英含まない)
黄瀬川	78万年前～99万年前	高温石英を少量含む
八甲田中里川	約100万年前	高温石英を含む

宝田・村岡 (2004), 工藤ほか (2006) 等に基づき作成

- 本露頭は、敷地と八甲田山のおよそ中間の地点に位置している。
- 袋町9aテフラは、概ね淘汰良好な軽石を主体とすることから、降下火砕物と判断される。その年代及び鉱物的特徴(石英を非常に多く含む等)は、八甲田第2期の噴出物と類似することから、八甲田第2期の噴火に伴って噴出した降下火砕物と考えられる。しかし、本露頭では、同噴火に伴う火砕流堆積物は確認出来ない。
- また、明瞭な不整合を伴うことなく連続的であり、陸上に堆積した風成のローム層が水平に堆積している環境で、甲地軽石(18~28万年前)から袋町テフラ群(約100万年前)の間の層準に、約40万年前の噴出物である八甲田第2期火砕流等の火砕流の層相を有する堆積物は認められない。
- したがって、同地点には、過去最大規模の噴火である八甲田第2期火砕流は到達していないと考えられ、より北方に位置する敷地には八甲田第2期火砕流は到達していないと考えられる。

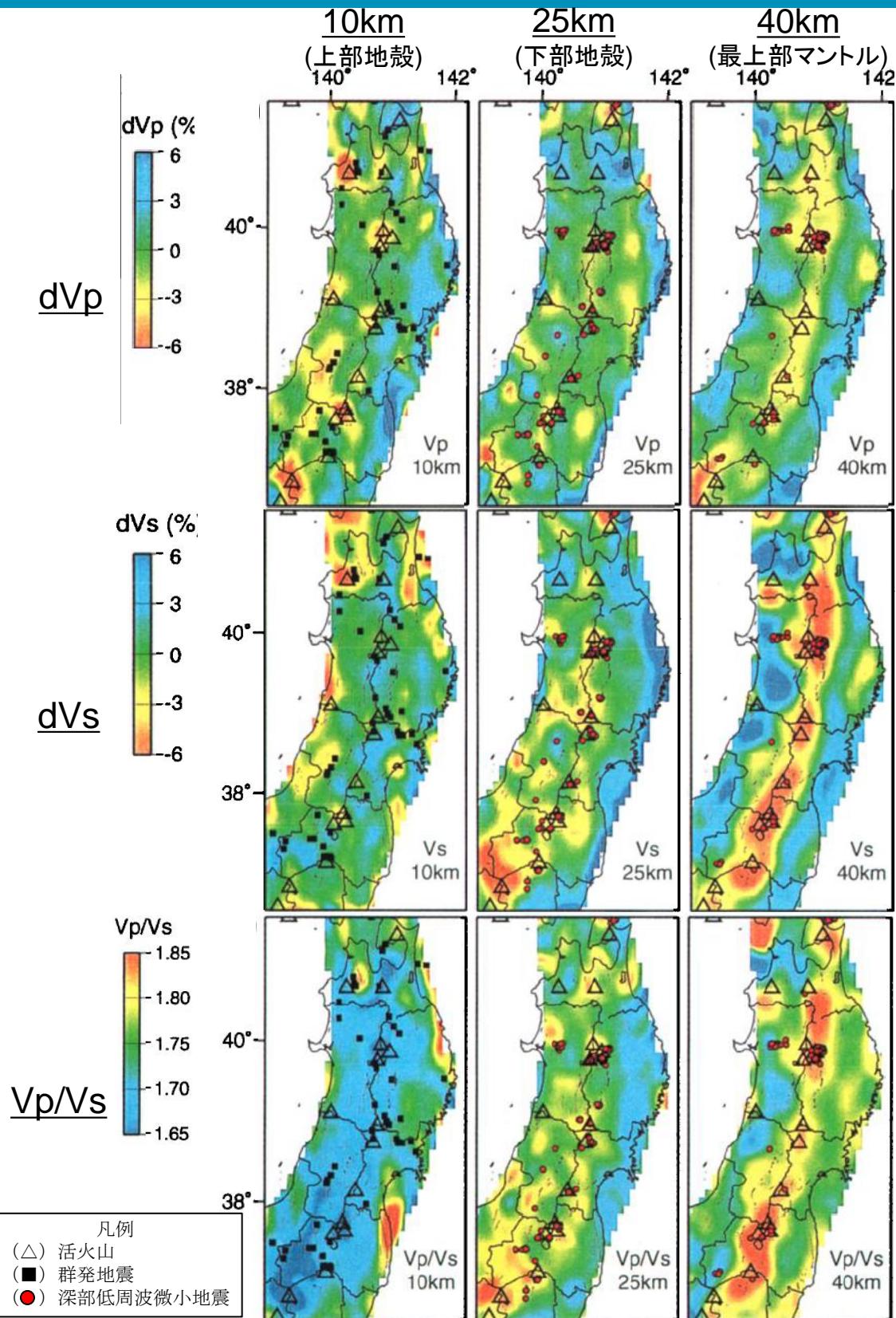
## 地質調査及び火山学的調査④〔まとめ〕

- 村岡・高倉(1988), 第四紀火山カタログ委員会(1999)によると, 八甲田第1期火砕流は $37\text{km}^3$ (見かけの噴出量), 八甲田第2期火砕流は $36\text{km}^3$ (見かけの噴出量)としており, 2回の巨大噴火が発生している。
- 工藤ほか(2011)等によって示された年代測定, 化学分析結果等及び当社が実施した化学組成分析等から, 八甲田第1期火砕流堆積物は複数の火砕流堆積物に識別可能な特徴を有すると考えられるため, 2回の巨大噴火のうち八甲田第2期火砕流が, 八甲田山の過去最大規模の火砕流であると判断される。
- 八甲田第2期火砕流は, 八甲田山から東北町西部にかけて分布するものの, 八甲田山から離れるにしたがって層厚を減じる傾向があり, 東北町のB01地点付近では火砕流堆積物は確認出来ない。したがって, より北方に位置する敷地には到達していないと判断される。

余白

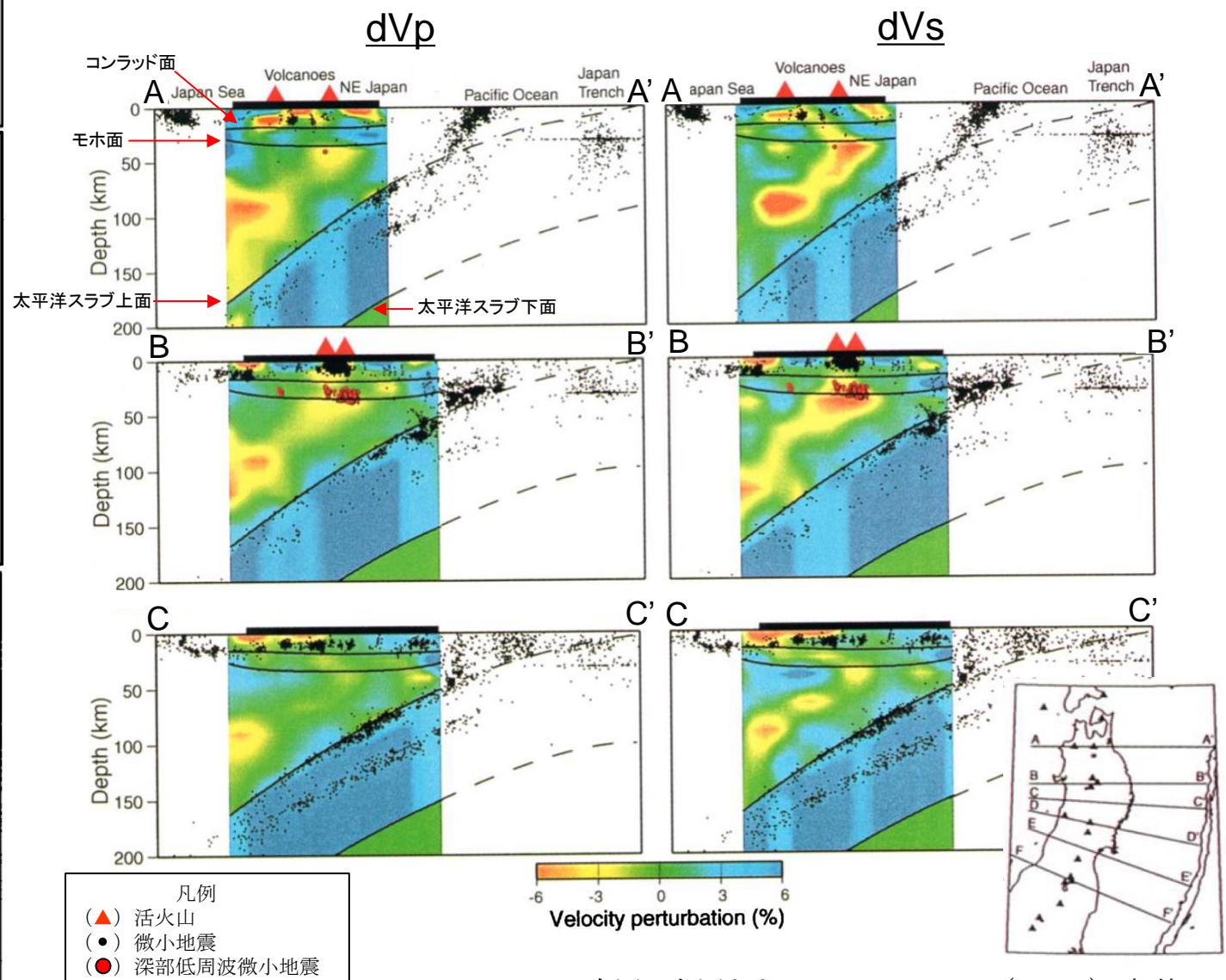
2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)①〔文献調査:地震波速度構造〕



➤ Nakajima et al.(2001b)によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び高Vp/Vsは、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低Vp, 低Vs及び低Vp/Vsは、水の存在を示唆するとしている。

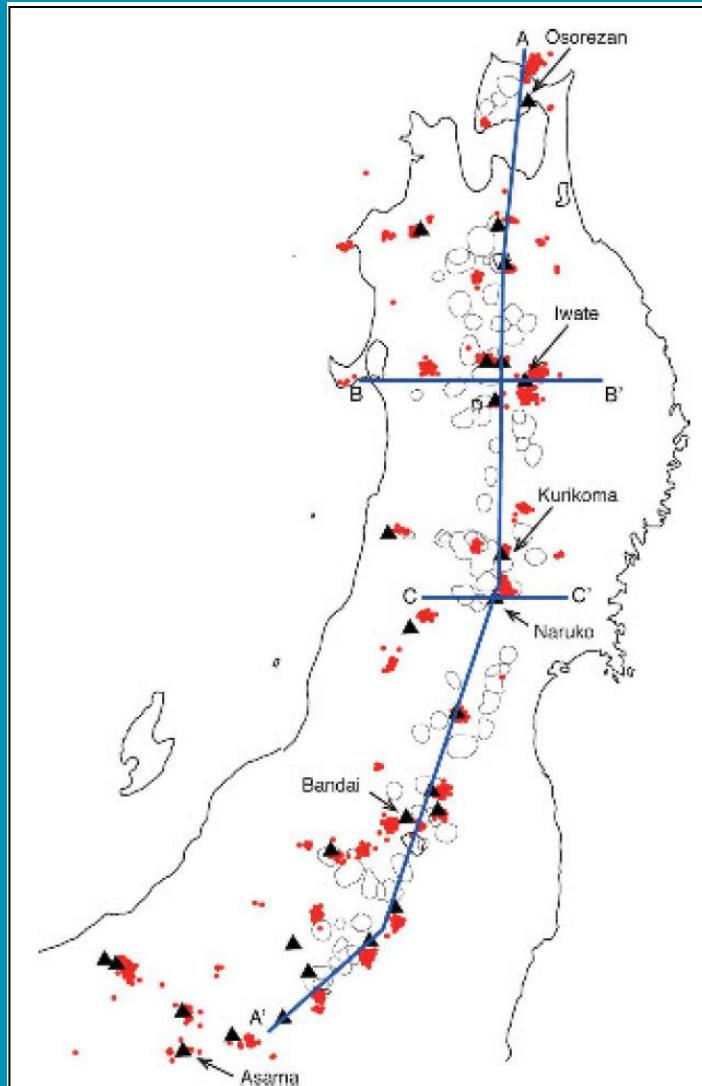
➤ また、Nakajima et al.(2001b)によると、活火山を通る測線であるAA'断面及びBB'断面は、P波、S波ともに沈み込む太平洋スラブとほぼ平行に低速度域が背弧側の深い領域から地殻まで連続的に分布していることが確認できるとし、活火山を通らない測線であるCC'断面も同様に低速度領域が確認できるが、それは、AA'及びBB'の低速領域に比べて振幅は小さいとしている。



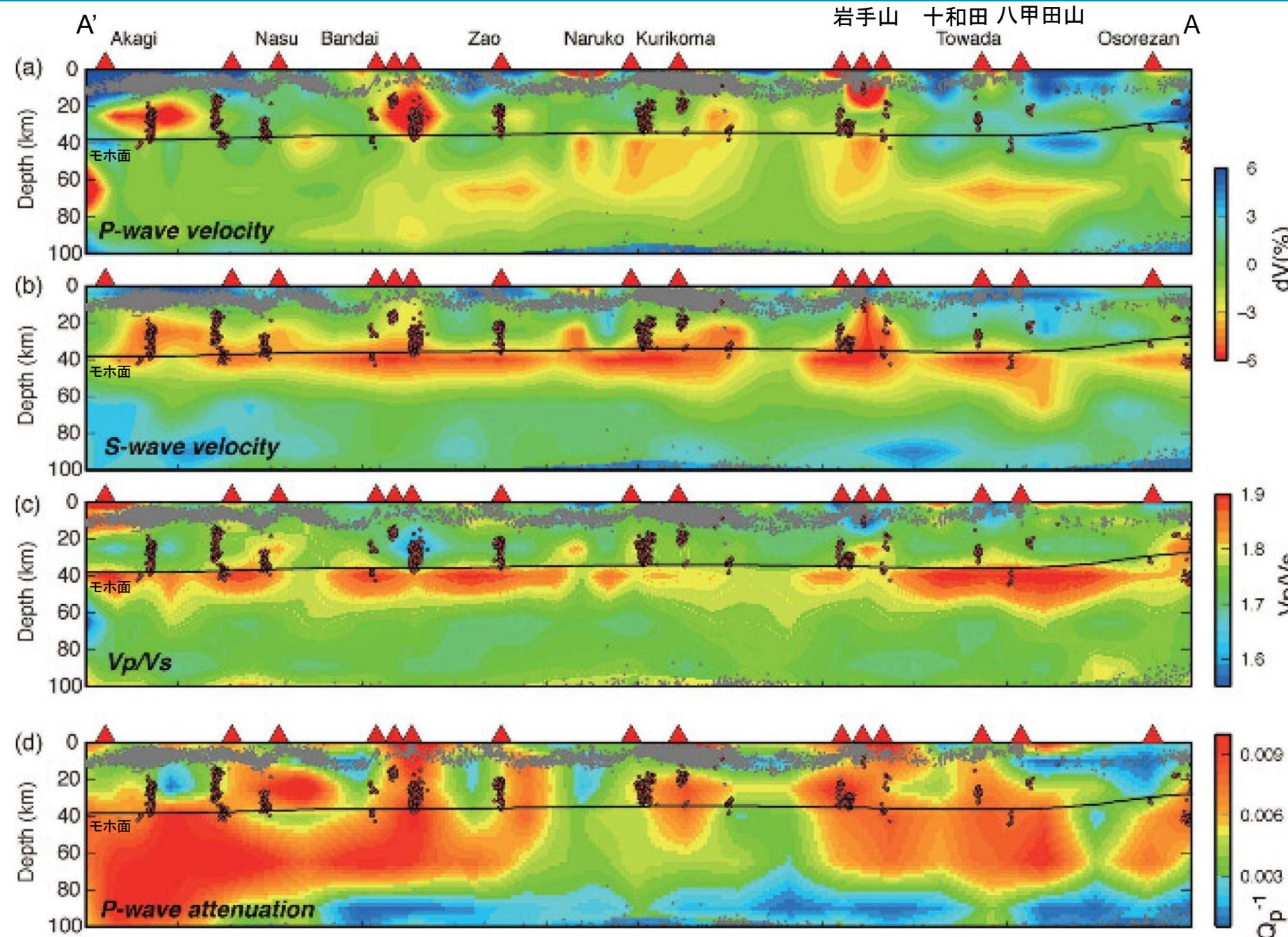
右図・左図ともにNakajima et al.(2001b)に加筆

2.3 八甲田山の評価 2.3.1 巨大噴火の可能性評価

地球物理学的調査(地下構造)②〔文献調査:地震波速度構造〕



- 凡例  
 (▲) 活火山  
 (○) 第四紀カルデラ  
 (●) 深部低周波微小地震



※(a)~(c)の解析結果はNakajima et al.(2001b)と同じ

中島(2017)に加筆

- 中島(2017)によると、岩手山直下の中部～下部地殻では低速度かつ高 $V_p/V_s$ であり、メルトを含む部分溶融域であるとしている。
- また、中島(2017)によると、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な(>10km)マグマ溜まりは存在しないとしている。