

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

- 3.1.1 発電所で分布が確認される降下火砕物の抽出
- 3.1.2 将来の発生可能性が否定できない降下火砕物の抽出
- 3.1.3 降下火砕物シミュレーションの対象となる噴火イベントの選定
- 3.1.4 降下火砕物シミュレーション
- 3.1.5 降下火砕物の密度
- 3.1.6 降下火砕物の粒径
- 3.1.7 降下火砕物の影響評価まとめ

3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション【各火山のシミュレーションの実施内容】

- 各火山の降下火砕物シミュレーションにあたっては、下表の条件下で実施した。
- 噴煙柱高度については、恐山(VEI3)と北八甲田火山群・十和田(VEI5)で噴火規模が異なるため、以下の通り設定した。
 恐山:国内で観測された水蒸気噴火の事例(参考6)をもとに、水蒸気噴火の最大規模はVEI3クラスであることを確認し、観測された噴煙柱高度を設定。
 なお、噴煙柱高度は2通り存在していることから、不確かさについては、あらかじめ基本ケースの中で考慮する。
 北八甲田火山群・十和田:文献に記載のVEI5クラスの噴煙柱高度を設定し、不確かさについては±5kmで検証した。
- 風速は、平均風速を基本ケースとし、不確かさとして基本ケースにおける各火山の堆積層厚が最大となる月の±1σで解析を実施する。
- 風向は、平均風向を基本ケースとし、不確かさとして基本ケースにおける各火山の堆積層厚が最大となる月の敷地方向の風を抽出し解析を実施する。

項目		恐山	北八甲田火山群	十和田
対象となる噴火イベント		宮後テフラ	WP	十和田中掬
噴火規模 (噴火タイプ)		VEI3 (水蒸気噴火)	VEI5 (マグマ噴火)	
基本ケース	噴煙柱高度	2.5km / 5km		25km
	風速	平均風速		
	風向	平均風向		
不確かさ ケース	噴煙柱高度	2.5km / 5km		25km±5km
	風速	平均風速±1σ		
	風向	風向の平均値が 恐山→敷地方向 (121.25±11.25°) にある風を抽出	風向の平均値が 北八甲田火山群→敷地方向 (36.27±11.25°) にある風を抽出	風向の平均値が 十和田→敷地方向 (26.48±11.25°) にある風を抽出

余白

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

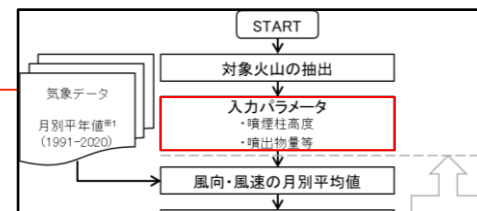
3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【入力パラメータの設定】

- 恐山(宮後テフラ)の降下火砕物シミュレーションに用いるパラメータは下表に示す数値である。
- なお、噴煙柱高度については、宮後テフラと同規模の噴火において2.5km、5kmの2つの事例があることから、不確かさの検討としてそれぞれの噴煙柱高度による解析を実施している。

コメントS252

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.182 一部修正

206



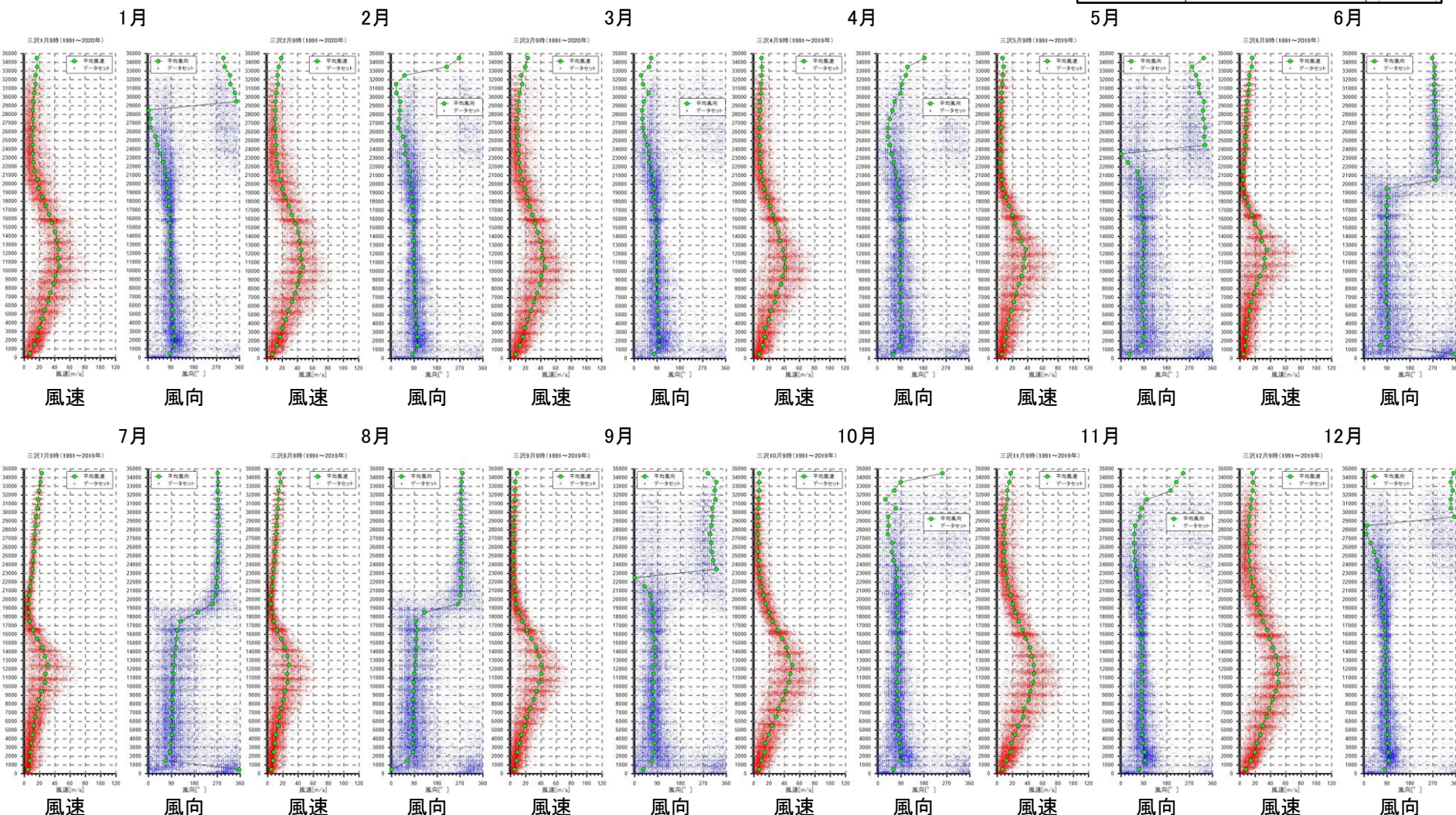
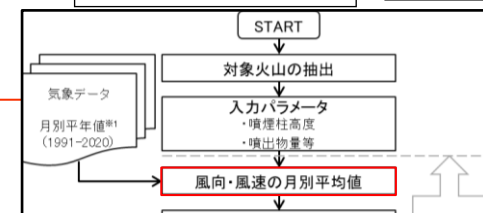
項目		単位	恐山 (宮後テフラ)	設定根拠
噴出量(質量)		$\times 10^{12}\text{kg}$	0.057	宮後テフラの等層厚線(リサイクル燃料貯蔵株式会社(2020))とHayakawa(1985)の経験式によるみかけ体積 $7.13 \times 10^{-2}\text{km}^3$ (VEI3規模)、土質試験による乾燥密度 0.8g/cm^3 を参考に当社が設定。
噴煙柱高度		km	A 2.5 B 5	同規模の水蒸気噴火の事例に基づく A: 霧島新燃岳1959年噴火(福岡管区気象台ほか, 1959) B: 磐梯山1888年噴火(山元・須藤, 1996)
噴煙柱の分割数		分割数	A 2 3 B 4 8	萬年(2013)より、噴煙柱分割高さを約100mとなるように設定。
粒径	最大	mm	$1/2^{-10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	最小	mm	$1/2^{10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	中央	mm	$1/2^{3.5}$	Connor et al. (2008)に示された同規模噴火(Soufriere Hills Volcano)の事例に基づき設定。
	標準偏差	mm	$1/2^2$	Connor et al. (2008)に示された同規模噴火(Soufriere Hills Volcano)の事例に基づき設定。
岩片密度		kg/m^3	2,600	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された岩片の密度に基づき設定。
軽石粒子密度		kg/m^3	1,000	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された軽石粒子の密度に基づき設定。
みかけ渦拡散係数		m^2/s	0.04	Suzuki (1983) に示された推奨値を設定。
拡散係数		m^2/s	142.6	萬年(2013)に示されたconfig fileの値に基づき設定。
落下時間閾値		s	3,600	Bonadonna et al. (2005) に示された推奨値を設定。
給源	X(UTM54)	m	507,405	現噴気地帯中心部(地獄谷付近)の緯度・経度の読み取り値を、UTM座標に変換した値を設定。
	Y(UTM54)	m	4,575,105	
	標高	m	230	恐山: 現噴気地帯中心部(地獄谷付近)の標高を設定。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【気象データ①】

三沢における風向・風速の定時観測値及び平均値の鉛直分布:1月～12月(9時)



風向・風速鉛直分布:三沢1月～12月(定時観測, 平均値:1991年～2020年(1～3月), 1991年～2019年(4～12月))

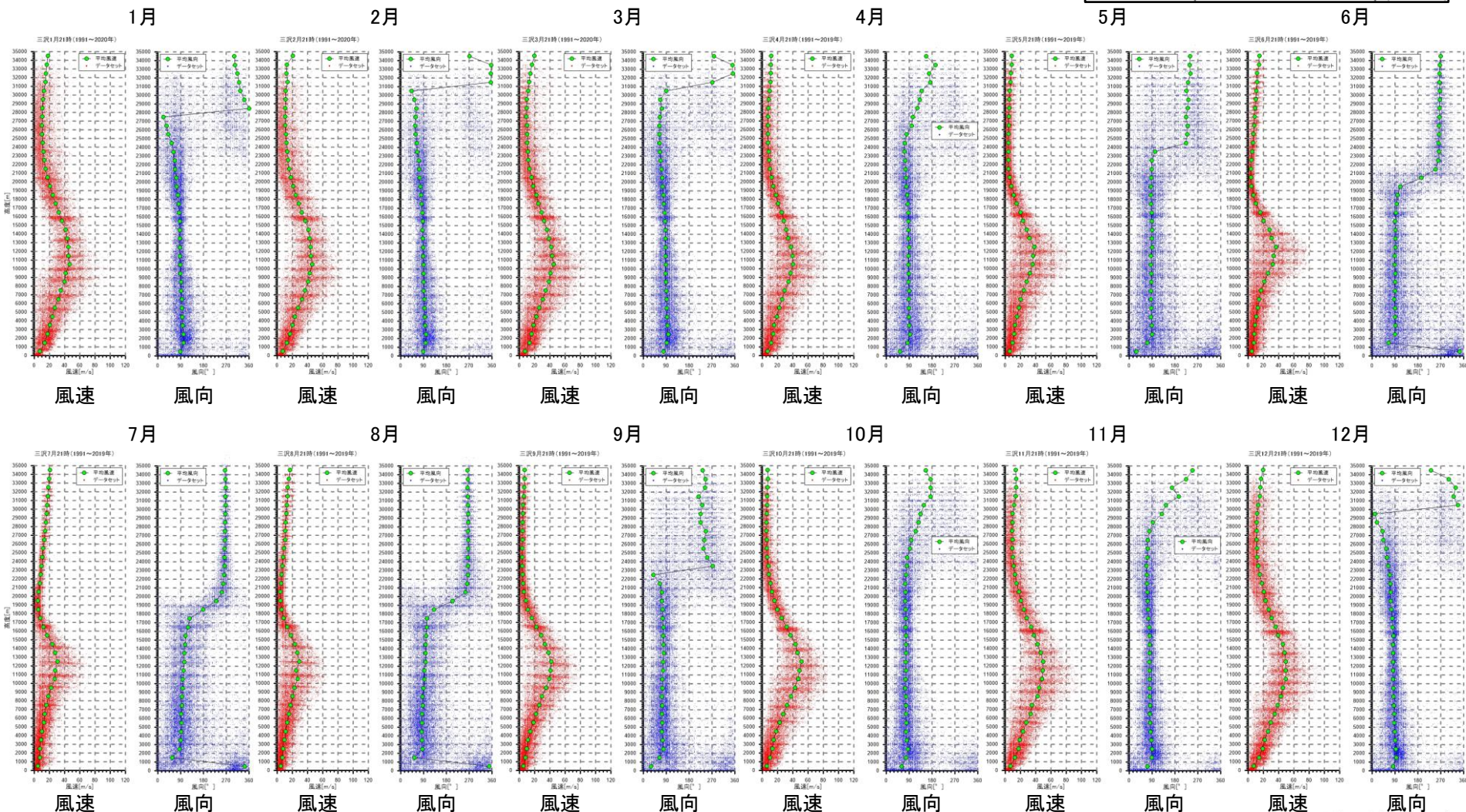
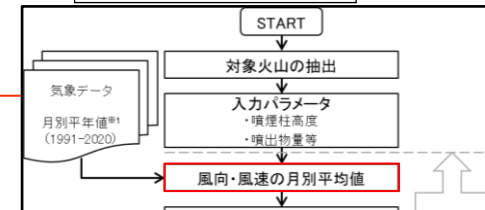
データダウンロード元:ワイオミング大学Department of Atmospheric ScienceのHP(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【気象データ②】

三沢における風向・風速の定時観測値及び平均値の鉛直分布:1月～12月(21時)



風向・風速鉛直分布:三沢1月～12月(定時観測, 平均値:1991年～2020年(1～3月), 1991年～2019年(4～12月))

データダウンロード元:ワイオミング大学Department of Atmospheric ScienceのHP(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

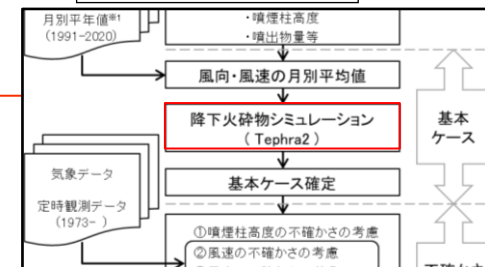
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【基本ケース結果①】

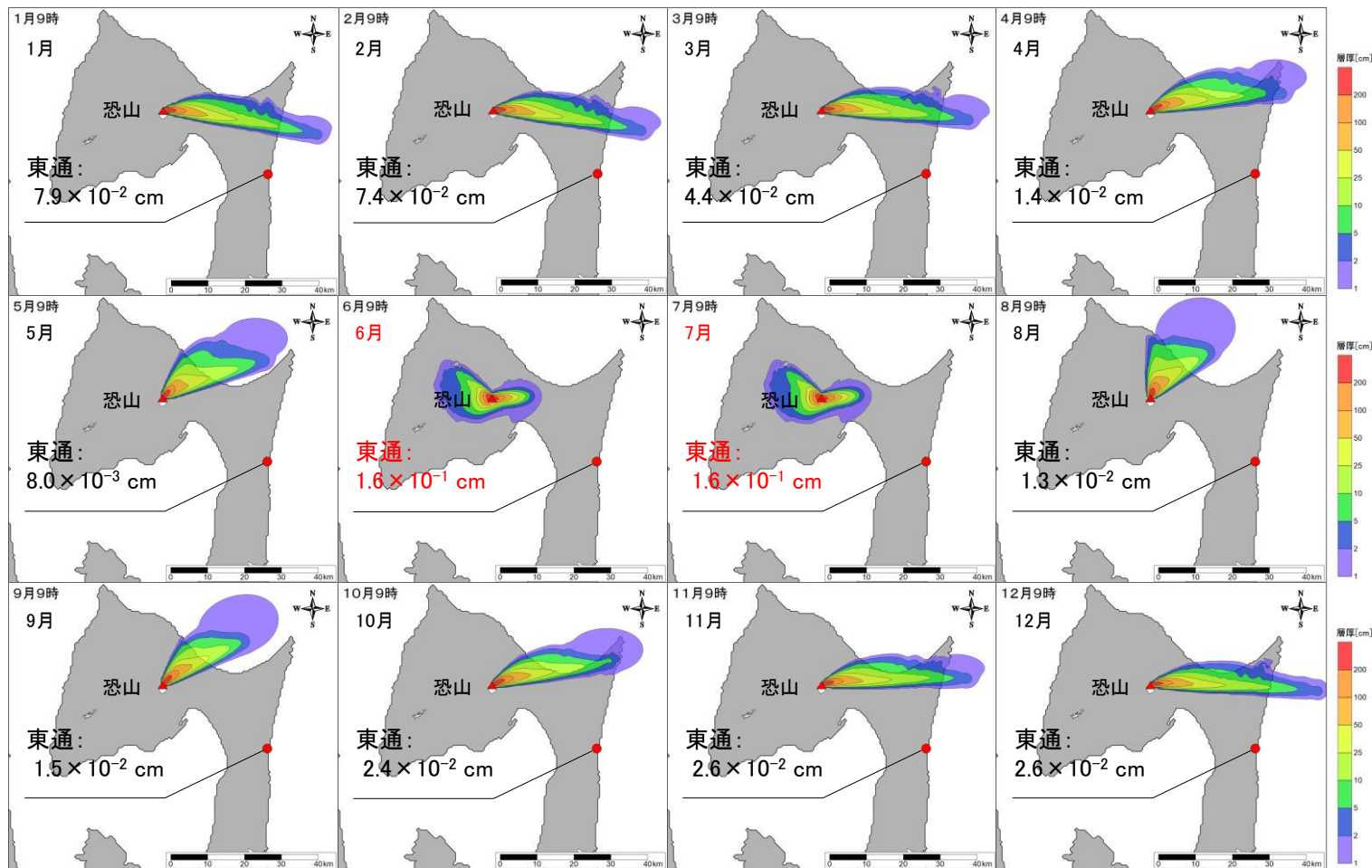
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.185 再掲

209



恐山(宮後テフラ):基本ケース:噴煙柱高度 火口上2500mの場合(9時)

- 恐山(宮後テフラ)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.008 cm~0.16 cmであった。



※堆積物密度を800kg/m³とした。

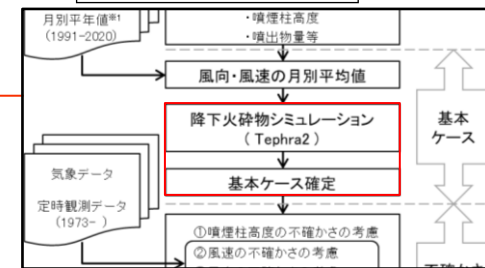
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【基本ケース結果②】

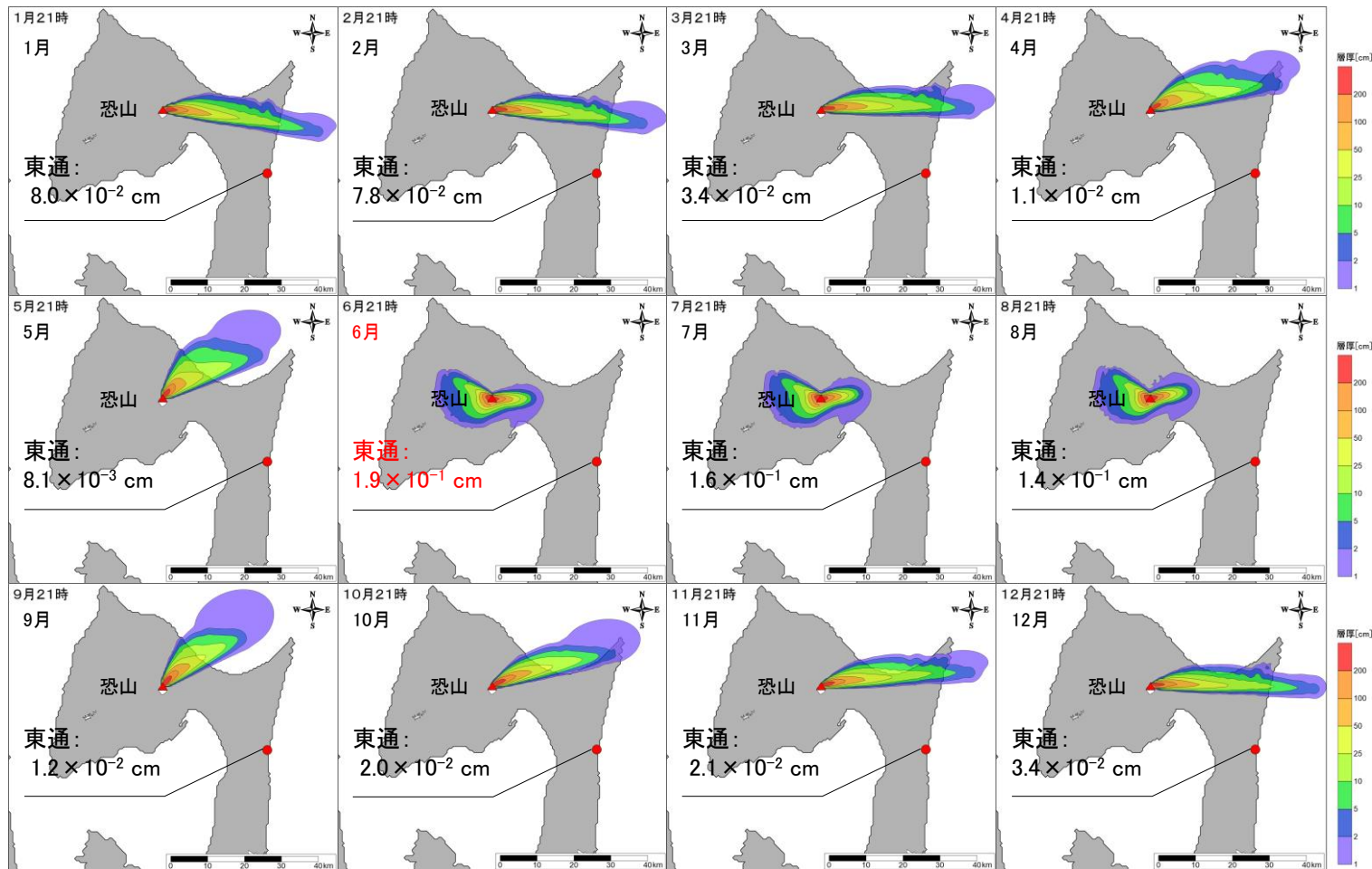
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.186 再掲

210



恐山(宮後テフラ):基本ケース:噴煙柱高度 火口上2500mの場合(21時)

- 恐山(宮後テフラ)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.0081 cm~0.19 cmであった。
- 噴煙柱高度 火口上2500mの場合、発電所における最大の堆積厚さは6月21時における0.19 cmであった。



※堆積物密度を800kg/m³とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

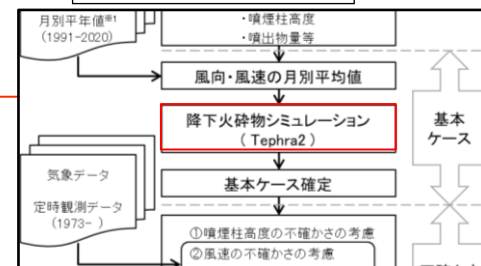
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【基本ケース結果③】

第1295回審査会(2024. 11. 8)

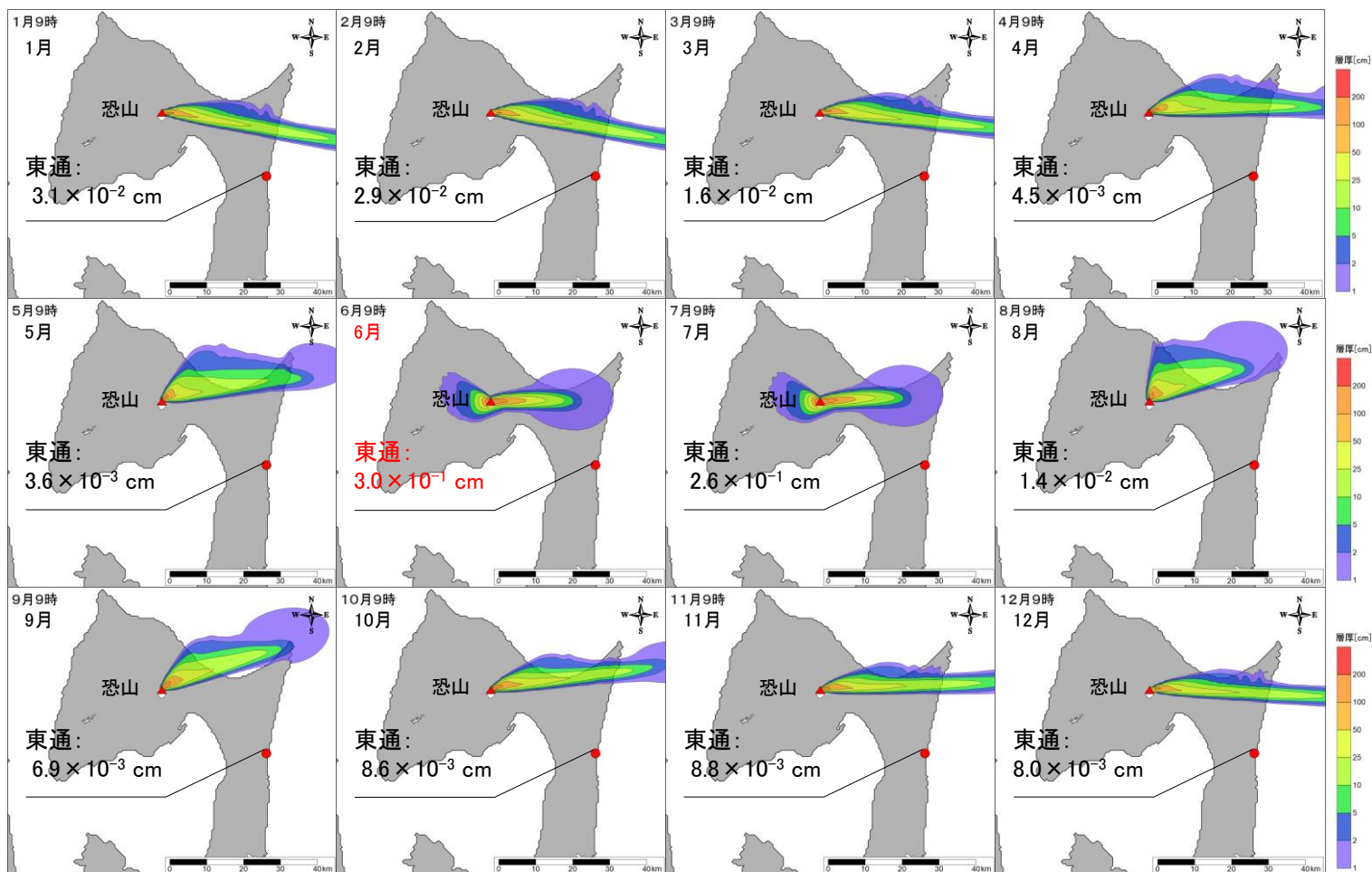
資料1 p.187 再掲

211



恐山(宮後テフラ):基本ケース:噴煙柱高度 火口上5000mの場合(9時)

- 恐山(宮後テフラ)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.0036 cm~0.30 cmであった。



※堆積物密度を800kg/m³とした。

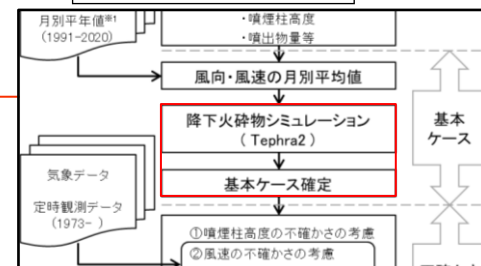
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【基本ケース結果④】

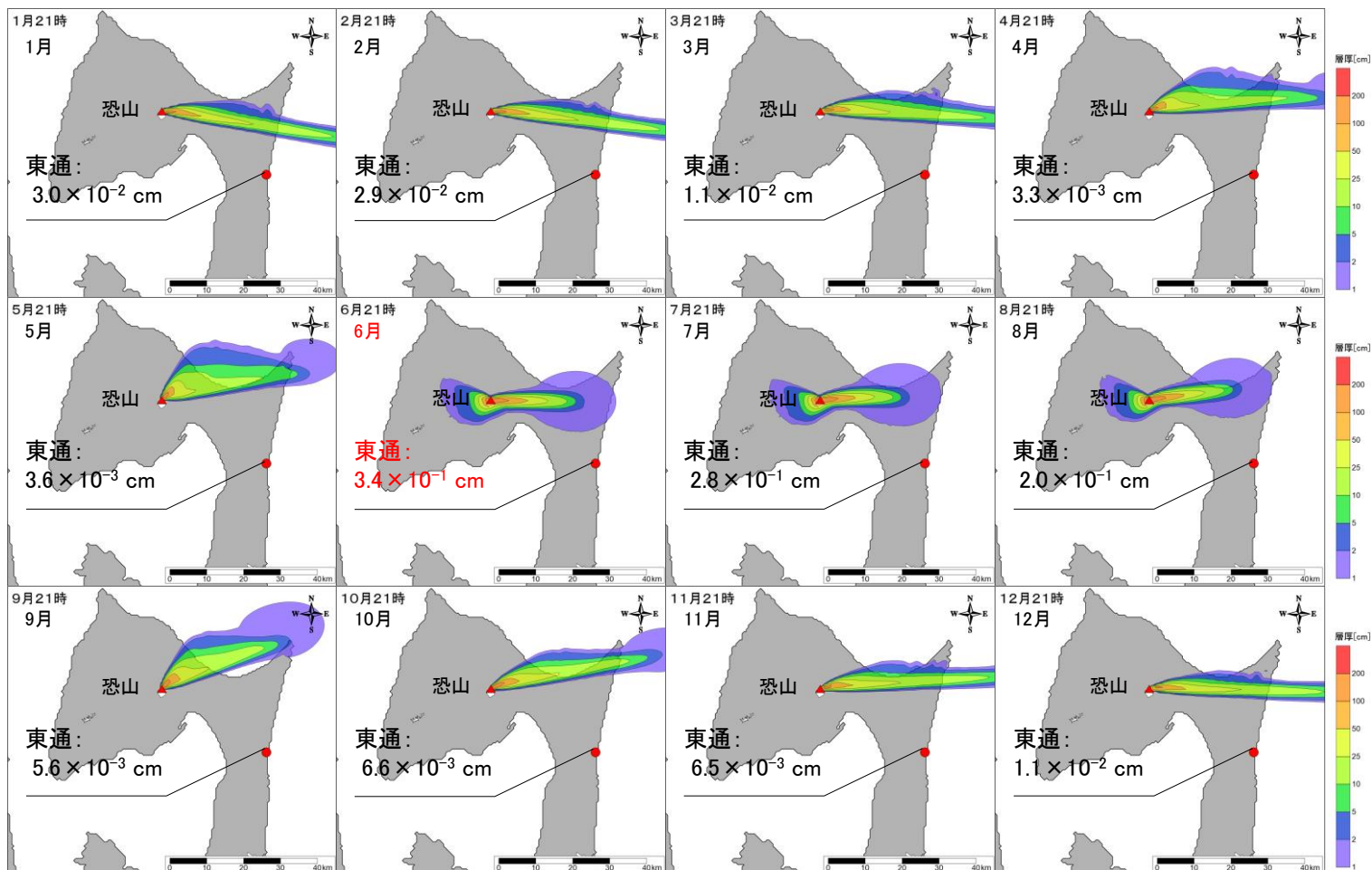
第1295回審査会(2024. 11. 8)
資料1 p.188 再掲

212



恐山(宮後テフラ):基本ケース:噴煙柱高度 火口上5000mの場合(21時)

- 恐山(宮後テフラ)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.0033 cm~0.34 cmであった。
- 噴煙柱高度 火口上5000mの場合、発電所における最大の堆積厚さは6月21時における0.34 cmであった。



※堆積物密度を800kg/m³とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【基本ケース結果⑤】

恐山(宮後テフラ):基本ケースの確定

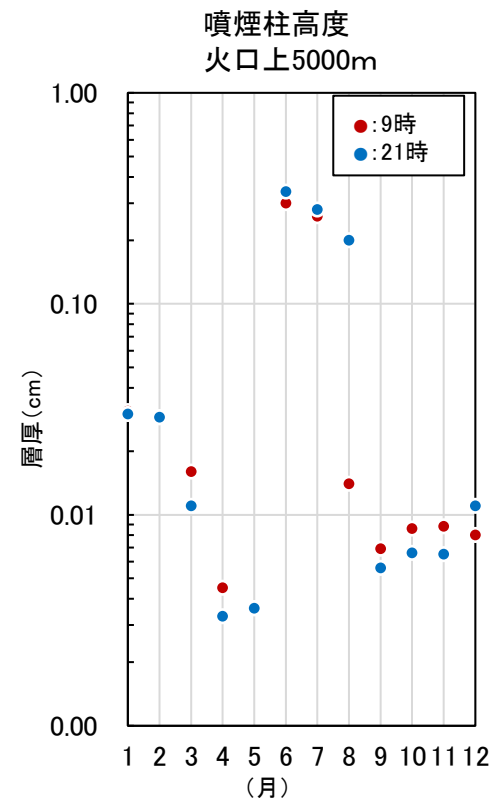
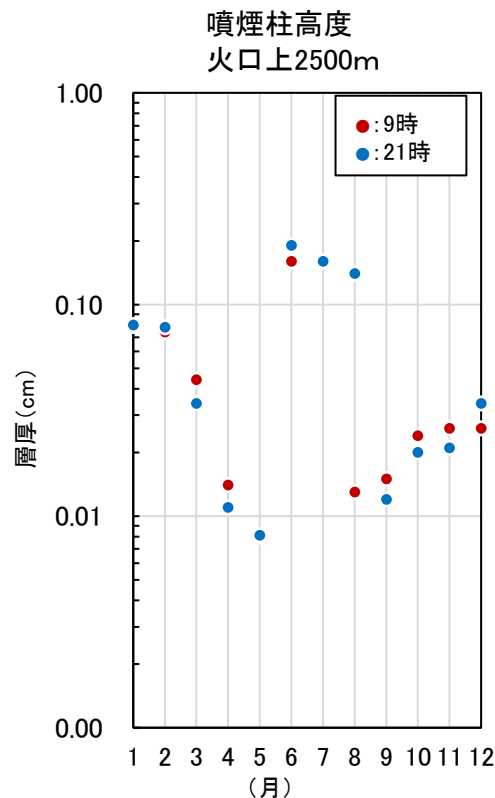
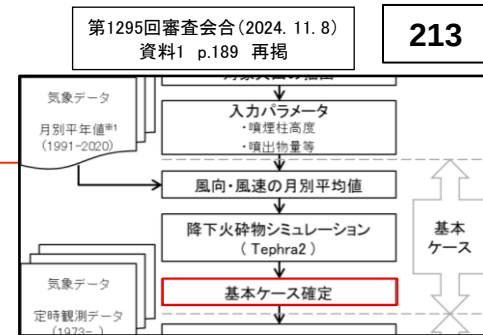
- 恐山(宮後テフラ)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.0033 cm~0.34 cmであった。
- 噴煙柱高度 火口上2500mの場合、発電所における最大の堆積厚さは6月21時における0.19 cmであった。
- 噴煙柱高度 火口上5000mの場合、発電所における最大の堆積厚さは6月21時における0.34 cmであった。

ケース	噴煙柱高度	月時	発電所での堆積層厚
基本ケース	火口上2500 m	6月9時 7月9時	1.6×10^{-1} cm
	火口上2500 m	6月21時	1.9×10^{-1} cm
	火口上5000 m	6月9時	3.0×10^{-1} cm
	火口上5000 m	6月21時	3.4×10^{-1} cm

- 月別に発電所の堆積層厚を比較すると、最大ケースとなった6月を中心として、9時よりも21時の風のほうが層厚が厚くなる傾向を示す。
- 従って、不確かさ検討に用いる基本ケースとして、21時の風を採用し、以下のとおりとした。

・噴煙柱高度 火口上2500 m : 6月21時のケース

・噴煙柱高度 火口上5000 m : 6月21時のケース



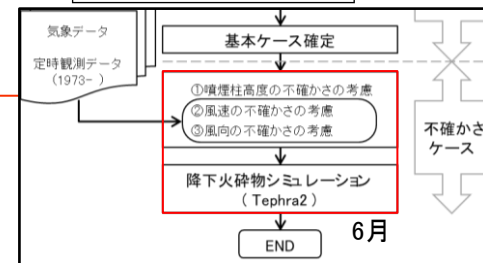
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

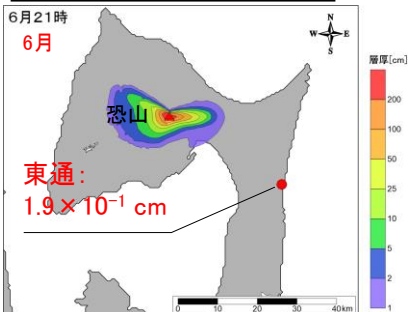
3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【不確かさの検討①】

恐山(宮後テフラ):不確かさの検討

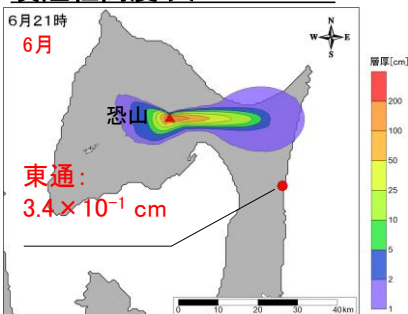
- 風向・風速の不確かさについて、より長い期間(1973年～2019年)の気象データを用いて検討した。
- 基本ケースのうち、堆積層厚が最大となった以下のケースを対象とした。
 - ・噴煙柱高度 火口上2500 m : 6月21時のケース(平均風向・風速(1991年～2019年))
 - ・噴煙柱高度 火口上5000 m : 6月21時のケース(平均風向・風速(1991年～2019年))



基本ケース: 噴煙柱高度 火口上2500m

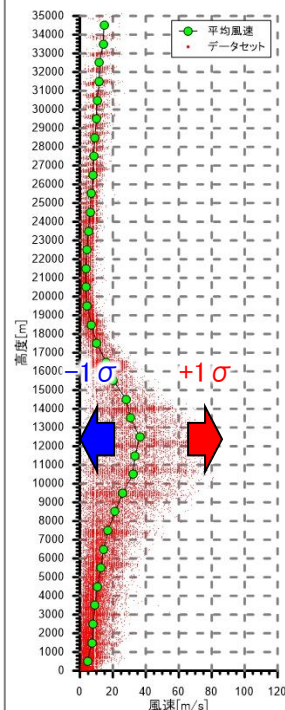


基本ケース: 噴煙柱高度 火口上5000m



②風速に関する不確かさの考慮

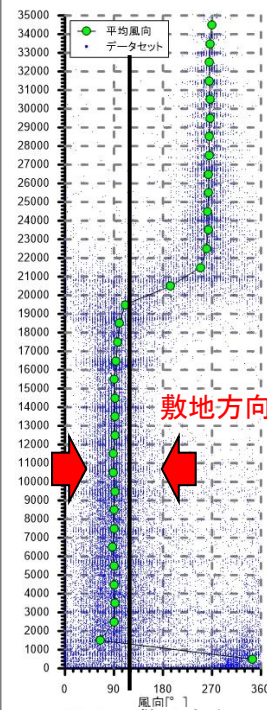
平均風速: 6月21時



平均風速に対して, $\pm 1\sigma$ (標準偏差)を考慮する。

③風向に関する不確かさの考慮

平均風向: 6月21時



平均値に対して, 火山から敷地に向かう仮想的な風を考慮する。

恐山→敷地方向
121.25度

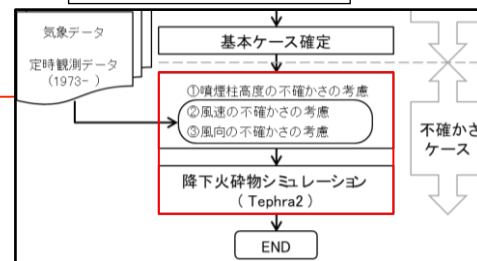
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【不確かさの検討②】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.191 再掲

215



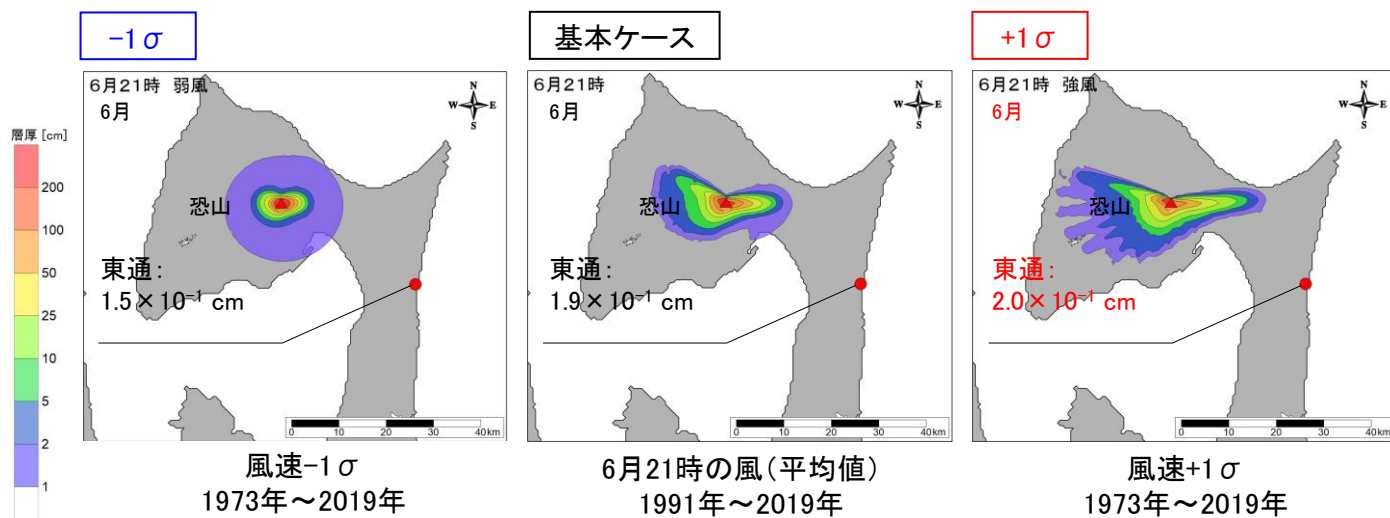
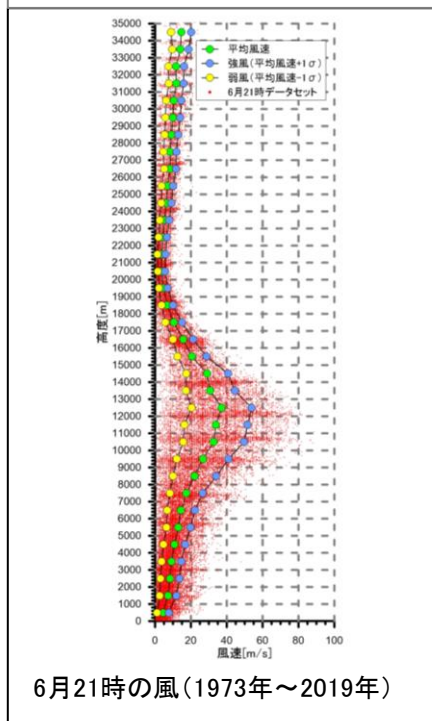
恐山(宮後テフラ):不確かさの検討:噴煙柱高度 火口上2500mの場合<風速>

- 風速に関する不確かさを考慮し、平均風速に対して、 $\pm 1\sigma$ (標準偏差)としたケースについて検討した。
- 平均風速+ 1σ のケースにおいて、発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、 0.20 cm となった。

風速の不確かさを考慮した結果

ケース	風速	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$1.9 \times 10^{-1}\text{ cm}$
不確かさケース	-1σ	$1.5 \times 10^{-1}\text{ cm}$
不確かさケース	$+1\sigma$	$2.0 \times 10^{-1}\text{ cm}$

風速に関する不確かさの考慮



※堆積物密度を 800 kg/m^3 とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

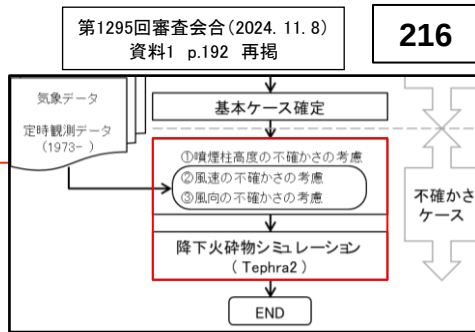
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【不確かさの検討③】

恐山(宮後テフラ):不確かさの検討:噴煙柱高度 火口上2500mの場合<風向>

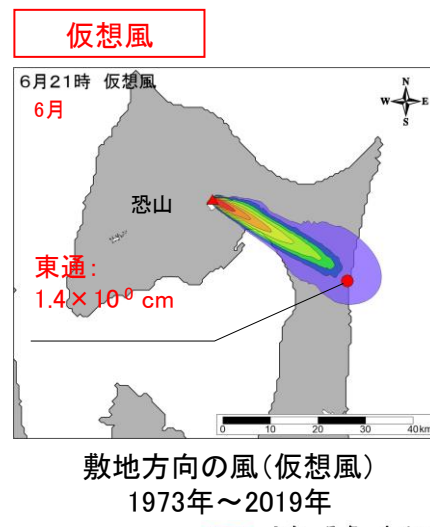
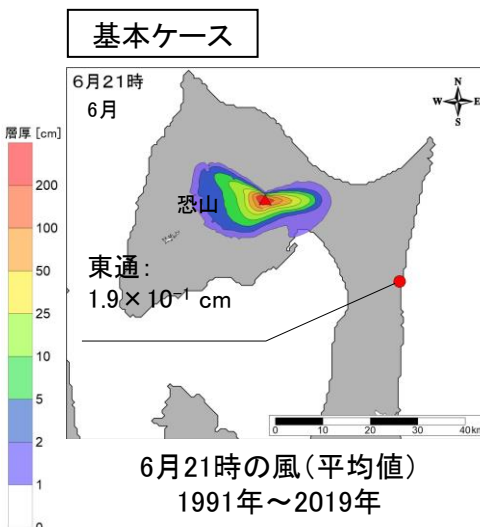
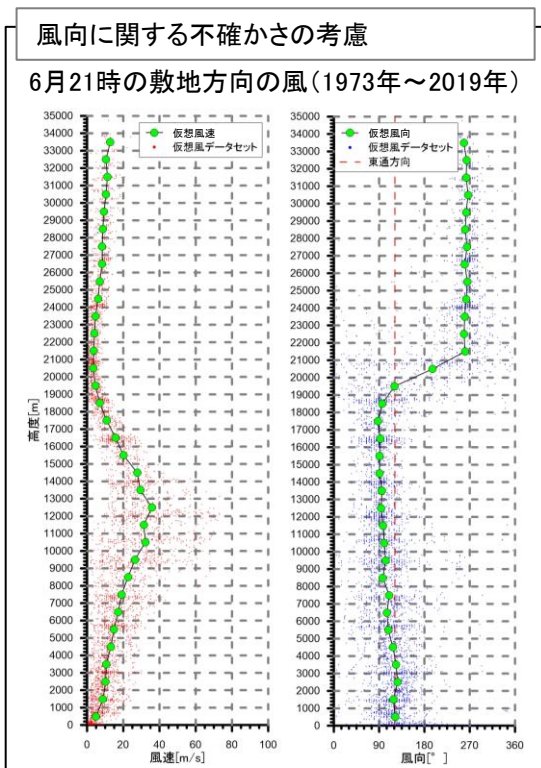
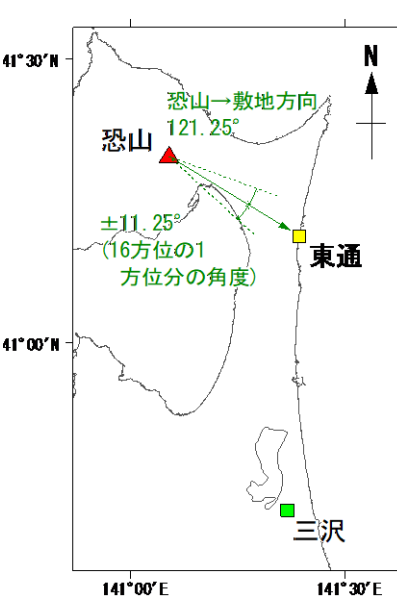
- 風向に関する不確かさを考慮し、平均風向に対して、風向を敷地に向けたケースについて検討した。
- 発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、 1.4 cm となった。

※6月の観測値のうち高度0m～2730mにおける風向の平均値が恐山→敷地方向($121.25 \pm 11.25^\circ$)にある風を抽出し、その高度別平均値を用いて解析した。



風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$1.9 \times 10^{-1} \text{ cm}$
不確かさケース	敷地に向かう仮想風	$1.4 \times 10^0 \text{ cm}$



※堆積物密度を 800 kg/m^3 とした。

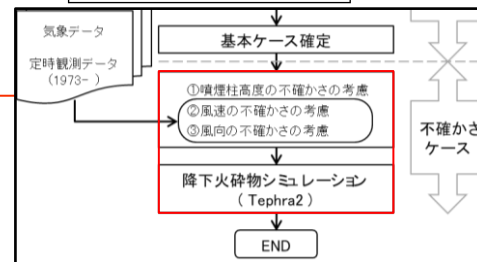
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【不確かさの検討④】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.193 再掲

217



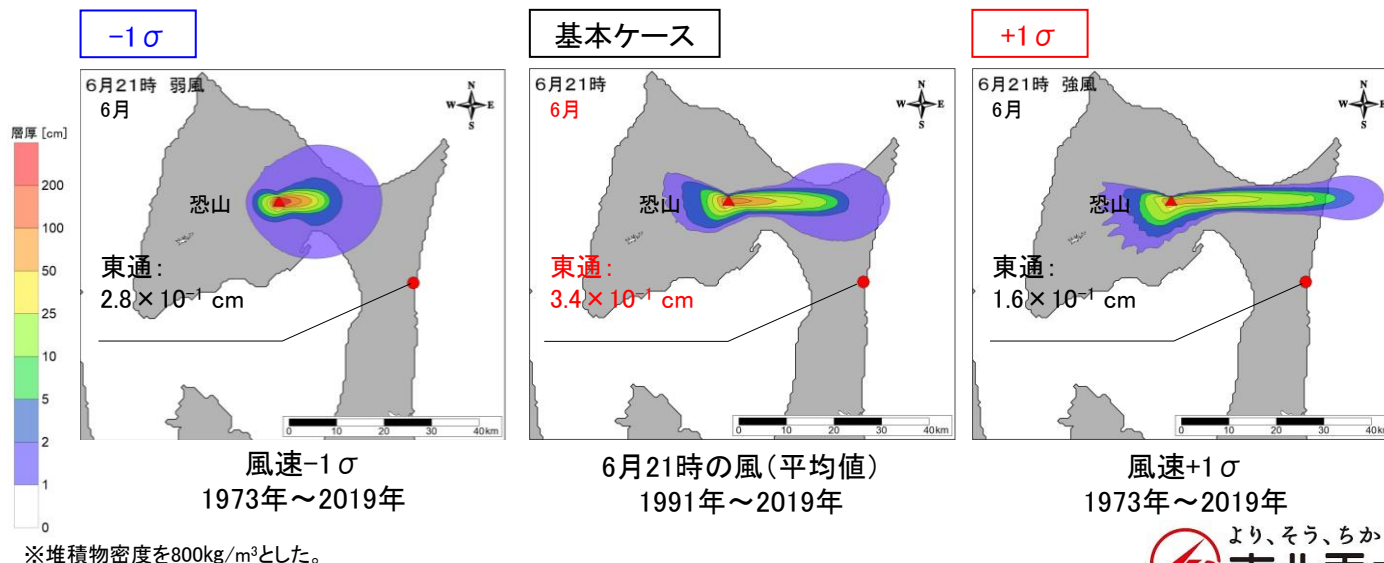
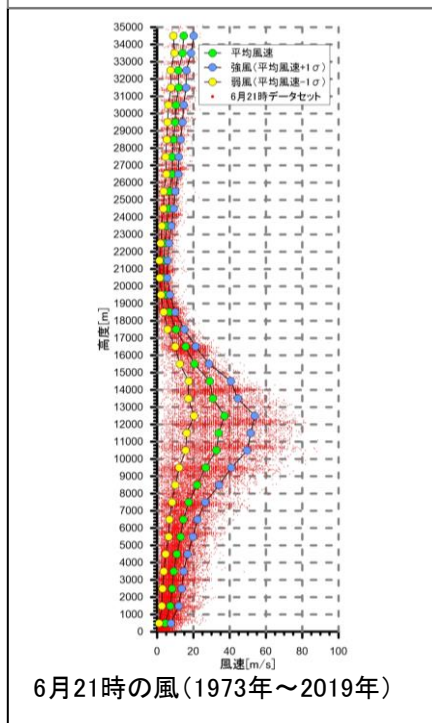
恐山(宮後テフラ):不確かさの検討:噴煙柱高度 火口上5000mの場合<風速>

- 風速に関する不確かさを考慮し, 平均風速に対して, $\pm 1\sigma$ (標準偏差)としたケースについて検討した。
- 平均風速 $\pm 1\sigma$ のいずれのケースにおいても, 発電所における堆積層厚は基本ケースを超えない。

風速の不確かさを考慮した結果

ケース	風速	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$3.4 \times 10^{-1} \text{ cm}$
不確かさケース	-1σ	$2.8 \times 10^{-1} \text{ cm}$
不確かさケース	$+1\sigma$	$1.6 \times 10^{-1} \text{ cm}$

風速に関する不確かさの考慮



※堆積物密度を800kg/m³とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(恐山)【不確かさの検討⑤】

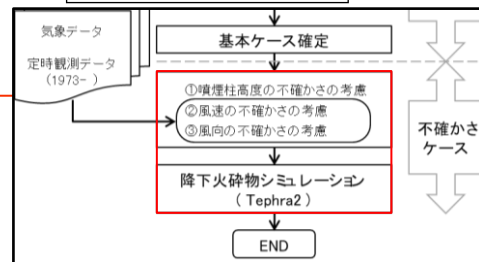
恐山(宮後テフラ):不確かさの検討:噴煙柱高度 火口上5000mの場合<風向>

- 風向に関する不確かさを考慮し、平均風向に対して、風向を敷地に向けたケースについて検討した。
- 発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、4.4 cmとなった。

※6月の観測値のうち高度0m～5230mにおける風向の平均値が恐山→敷地方向($121.25 \pm 11.25^\circ$)にある風を抽出し、その高度別平均値を用いて解析した。

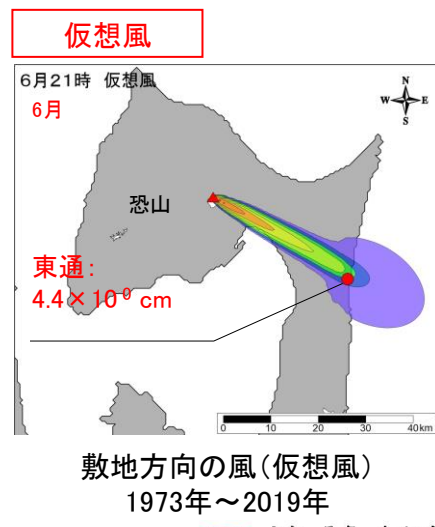
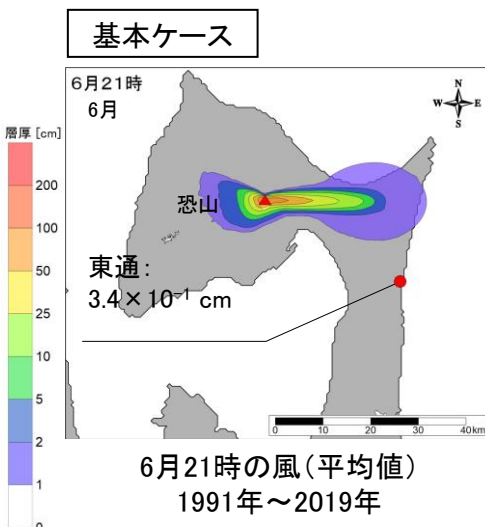
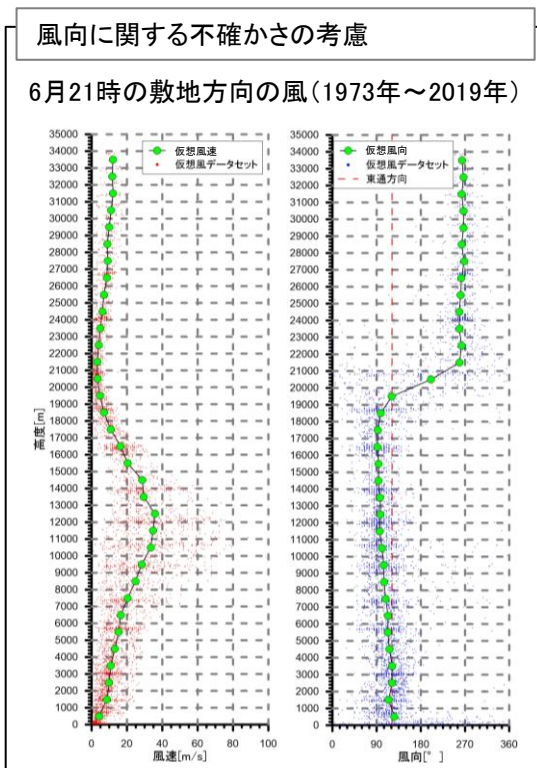
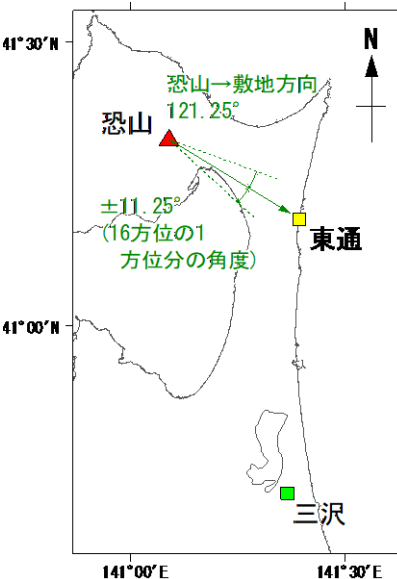
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.194 再掲

218



風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	発電所での 堆積層厚
基本ケース	平均値	3.4×10^{-1} cm
不確かさケース	敷地に向かう仮想風	4.4×10^0 cm



※堆積物密度を 800kg/m^3 とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

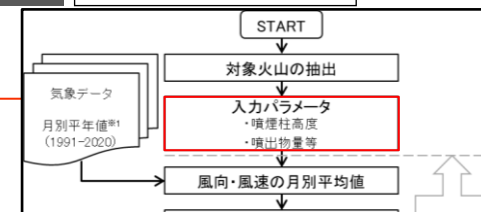
3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【入力パラメータの設定】

➤ 北八甲田火山群(WP)の降下火砕物シミュレーションに用いるパラメータは下表に示す数値である。

コメントS252

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.195 一部修正

219

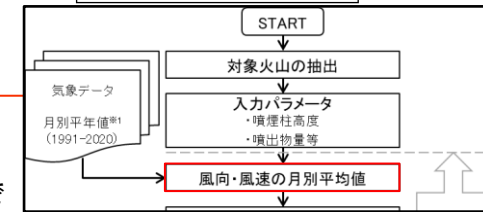


項目		単位	北八甲田火山群 (WP)	設定根拠
噴出量(質量)		$\times 10^{12}\text{kg}$	8.25	工藤ほか(2004b)に基づき設定(WPの噴出量: 3.3km^3 (DRE), マグマ密度: $2.5\text{g}/\text{cm}^3$)。
噴煙柱高度		km	25	日本原燃株式会社(2023)を参考に当社が設定。
噴煙柱の分割数		分割数	234	萬年(2013)より, 噴煙柱分割高さを約100mとなるように設定。
粒径	最大	mm	$1/2^{-10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	最小	mm	$1/2^{10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	中央	mm	$1/2^{-3}$	日本原燃株式会社(2023)を参考に当社が設定。
	標準偏差	mm	$1/2^{2.5}$	日本原燃株式会社(2023)を参考に当社が設定。
岩片密度		kg/m^3	2,600	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された岩片の密度に基づき設定。
軽石粒子密度		kg/m^3	1,000	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された軽石粒子の密度に基づき設定。
みかけ渦拡散係数		m^2/s	0.04	Suzuki (1983)に示された推奨値を設定。
拡散係数		m^2/s	75,000	日本原燃株式会社(2023)を参考に当社が設定。
落下時間閾値		s	3,600	Bonadonna et al. (2005)に示された推奨値を設定。
給源	X(UTM54)	m	489,622	大岳山頂のUTM座標
	Y(UTM54)	m	4,500,900	
	標高	m	1,584	北八甲田火山群: 大岳山頂の標高。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

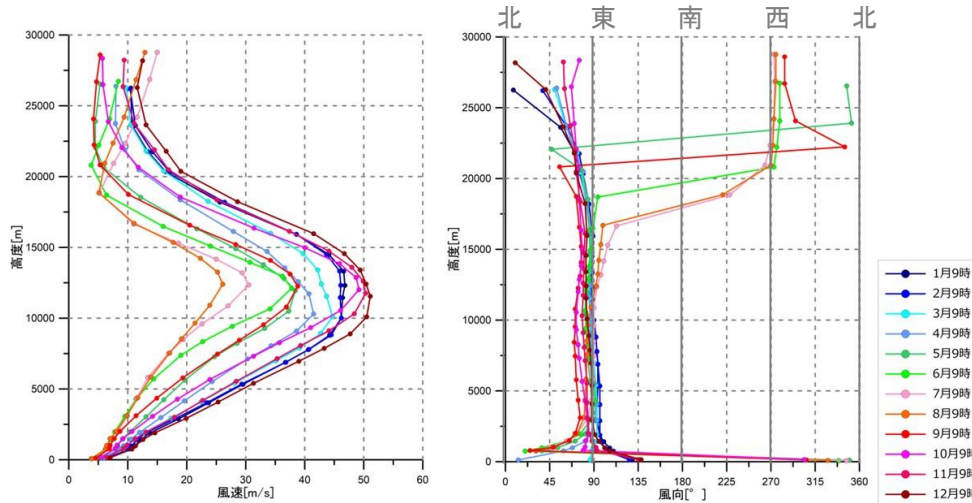
3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【気象データ】



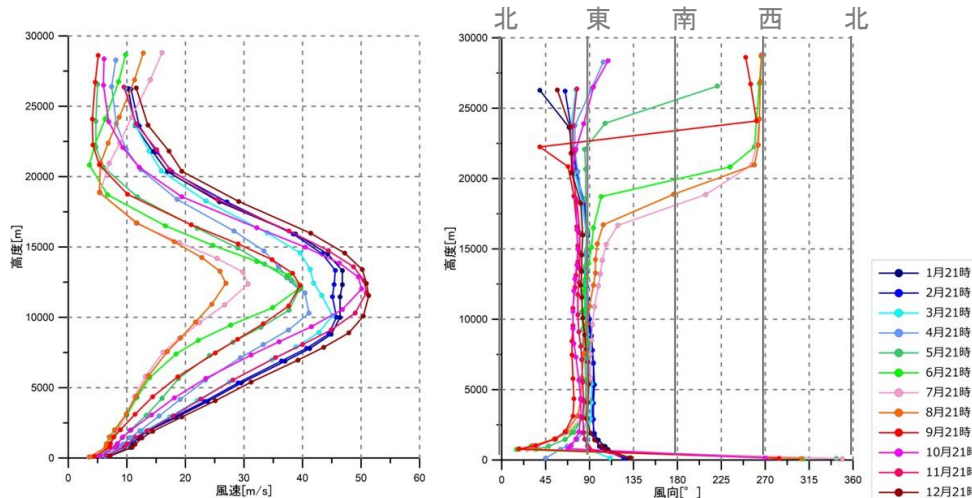
秋田における風向・風速の平均値の鉛直分布:1月～12月(9時・21時)

- 風向は、各月とも高度2km～18kmでは東方向への風が卓越する。月によるばらつきがあり、5月～9月では高層で西方への風が卓越する。
- 風速は、ジェット気流の影響で各月とも高度12km付近が最も大きい。また夏季に小さく、冬季に大きい傾向があり、8月が最も小さい。

9時



21時



風向・風速鉛直分布:秋田1月～12月
(月別平年値:1991年～2020年)
データダウンロード元:気象庁
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/>)

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

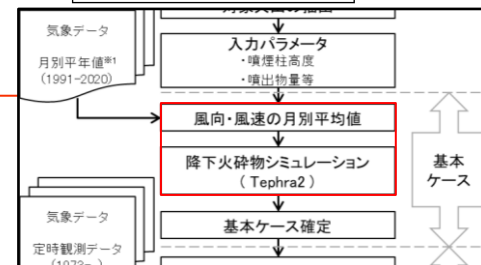
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【基本ケース結果①】

第1295回審査会(2024. 11. 8)

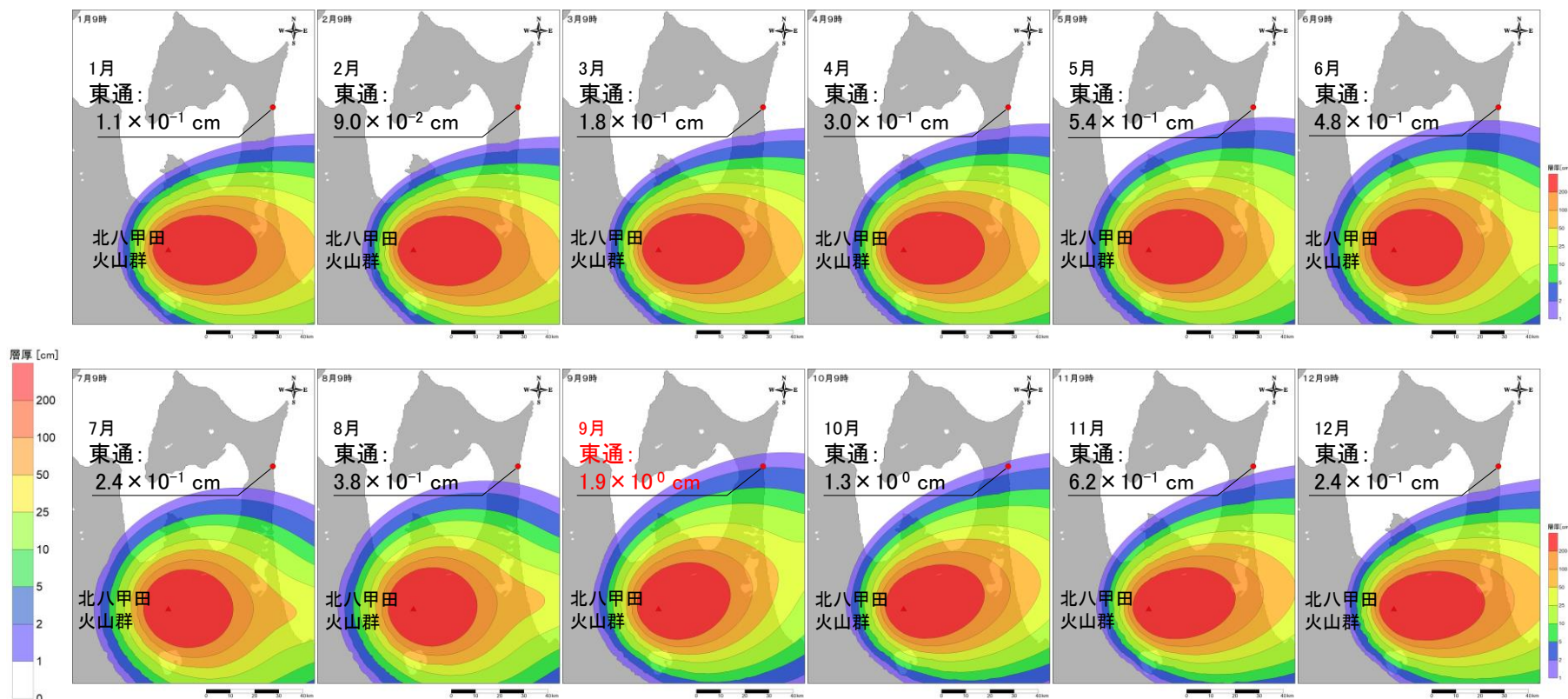
資料1 p.197 再掲

221



北八甲田火山群(WP):基本ケース:9時

- 北八甲田火山群(WP)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.09 cm~1.9 cmであった。



※堆積物密度を1000kg/m³とした。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

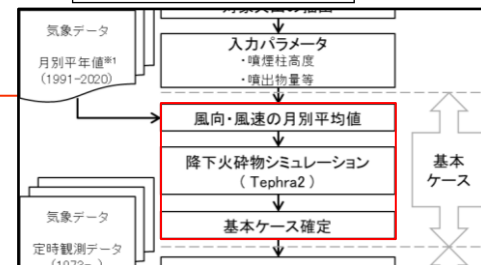
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【基本ケース結果②】

第1295回審査会(2024. 11. 8)

資料1 p.198 再掲

222

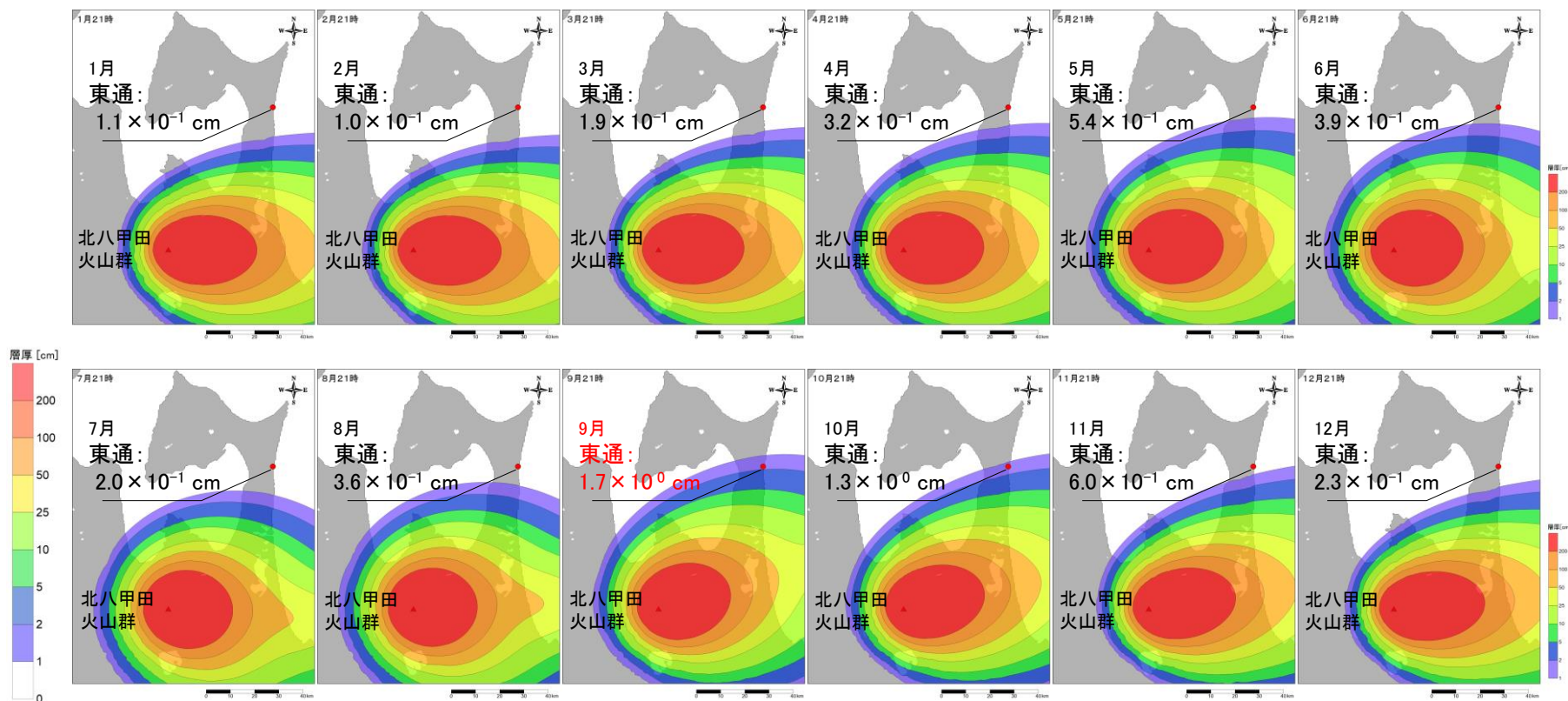


北八甲田火山群(WP):基本ケース:21時

➤ 北八甲田火山群(WP)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、発電所における堆積層厚は0.10 cm~1.7 cmであった。

➤ 発電所における最大の堆積層厚は9月9時における1.9 cmであった。

➤ 従って、9月9時のケースを不確かさ検討に用いる基本ケースとした。



※堆積物密度を1000kg/m³とした。

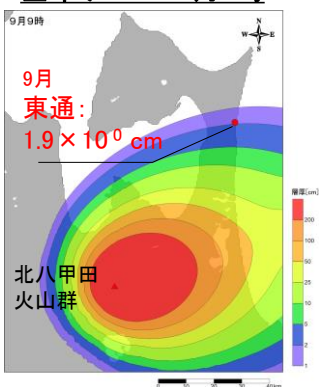
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【不確かさの検討①】

北八甲田火山群(WP):不確かさの検討

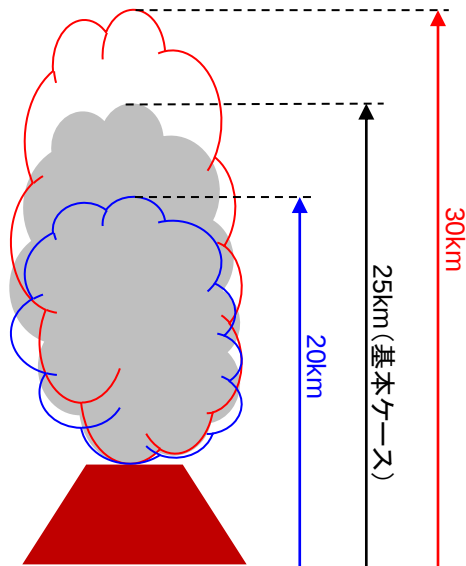
基本ケース:9月9時



- 風向・風速の不確かさについて、より長い期間(1973年～2023年)の気象データを用いて検討した。
- 基本ケースのうち、堆積層厚が最大となった9月9時のケースを対象とした。

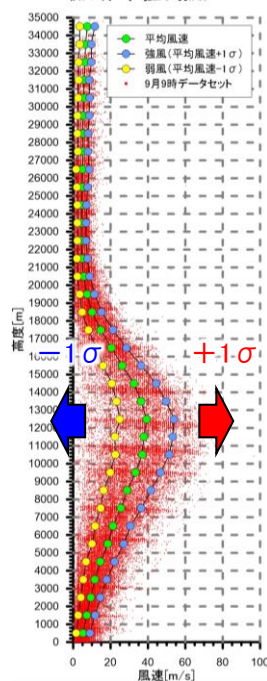
①噴煙柱高度に関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、
±5kmを考慮する。



②風速に関する不確かさの考慮

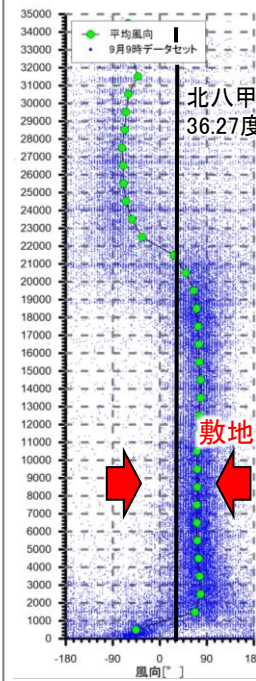
平均風速:9月9時



平均風速に対して、±1σ(標準偏差)を考慮する。

③風向に関する不確かさの考慮

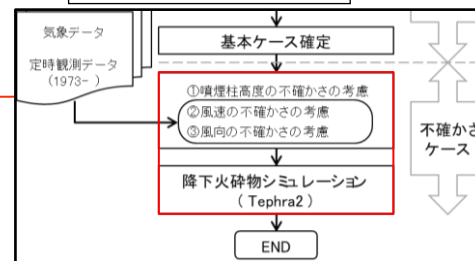
平均風向:9月9時



平均値に対して、火山から敷地に向かう仮想的な風を考慮する。

風向・風速鉛直分布:秋田9月9時(定時観測, 平均値:1973年～2023年)

データダウンロード元:ワイオミング大学Department of Atmospheric ScienceのHP(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)



3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

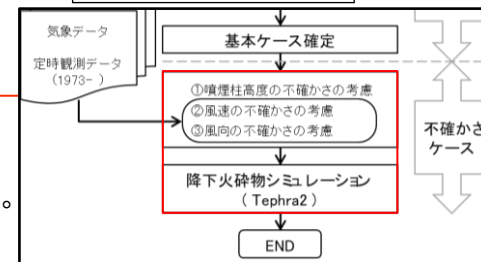
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【不確かさの検討②】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)

資料1 p.200 再掲

224



北八甲田火山群(WP):不確かさの検討:噴煙柱高度

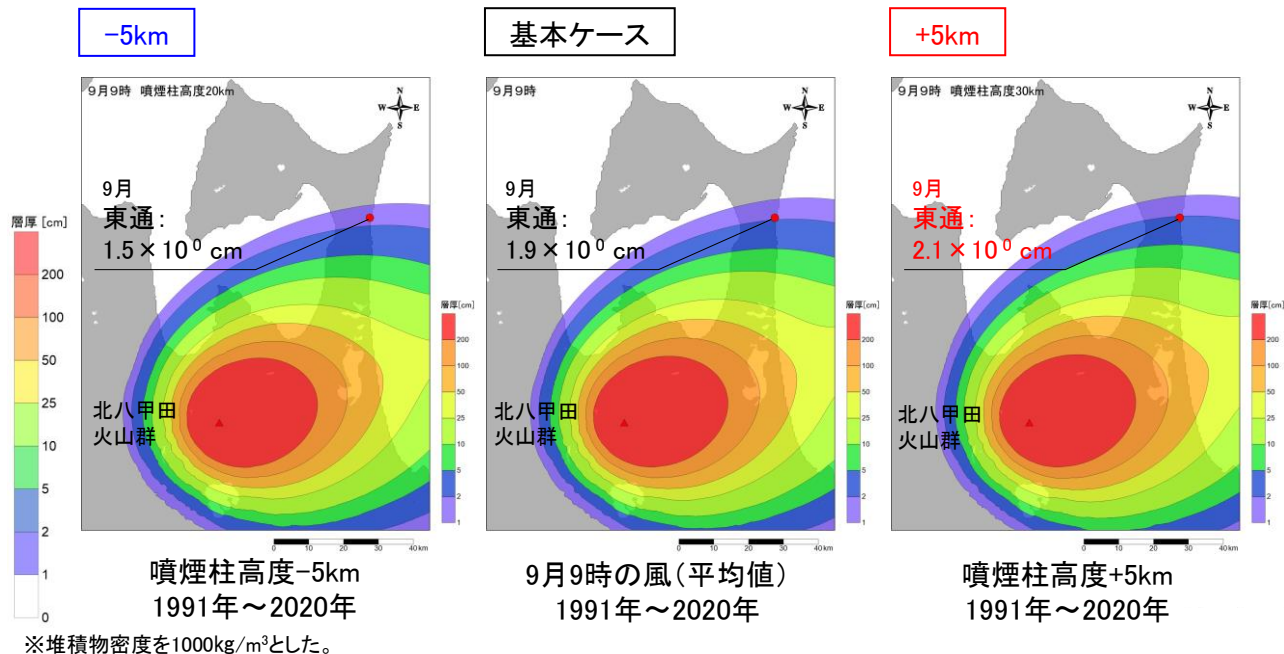
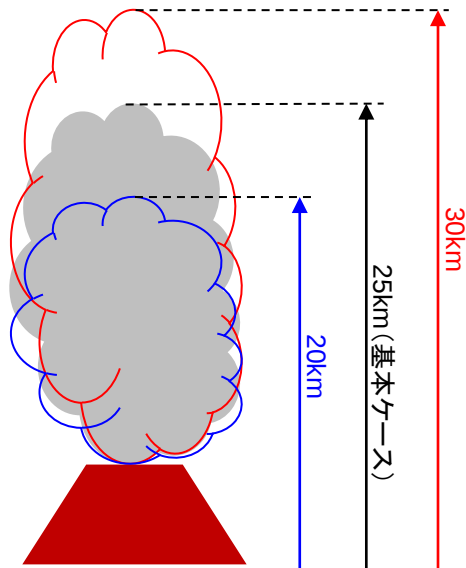
- 噴煙柱高度に関する不確かさを考慮し、基本ケース(噴煙柱高度)に対して、 $\pm 5\text{km}$ としたケースについて検討した。
- 噴煙柱高度 $+5\text{km}$ のケースにおいて、発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、 2.1 cm となった。

噴煙柱高度の不確かさを考慮した結果

ケース	噴煙柱高度	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$1.9 \times 10^0 \text{ cm}$
不確かさケース	-5km	$1.5 \times 10^0 \text{ cm}$
不確かさケース	$+5\text{km}$	$2.1 \times 10^0 \text{ cm}$

噴煙柱高度に関する不確かさの考慮

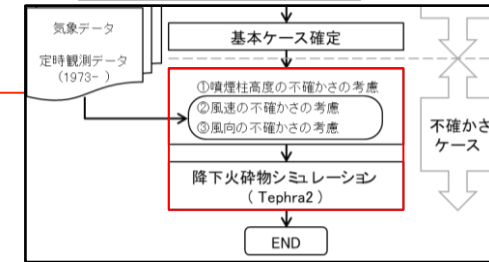
基本ケース(25km)に対して、 $\pm 5\text{km}$ を考慮する。



3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【不確かさの検討③】



北八甲田火山群(WP):不確かさの検討:風速

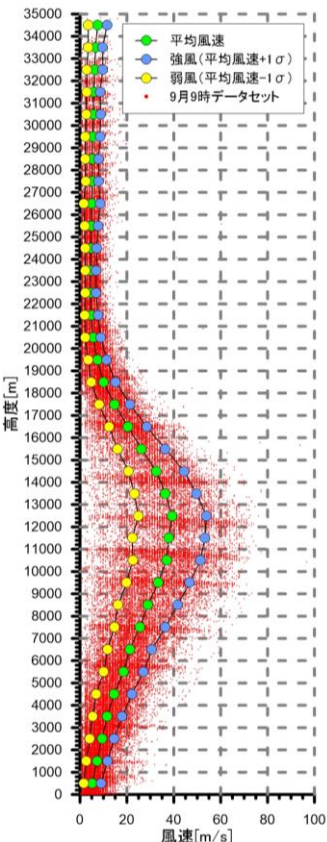
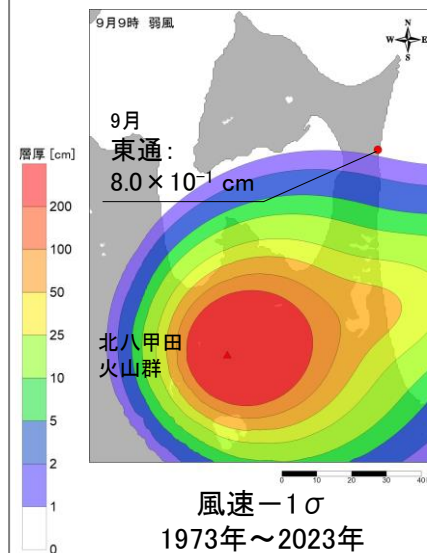
- 風速に関する不確かさを考慮し、平均風速に対して、 $\pm 1\sigma$ (標準偏差)としたケースについて検討した。
- 平均風速 $+1\sigma$ のケースにおいて、発電所における堆積層厚は基本ケースと同等となり、 1.9 cm となった。

風速の不確かさを考慮した結果

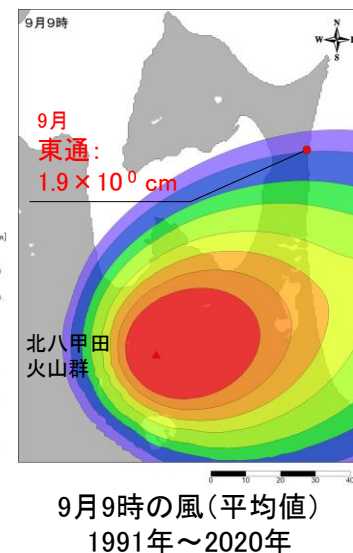
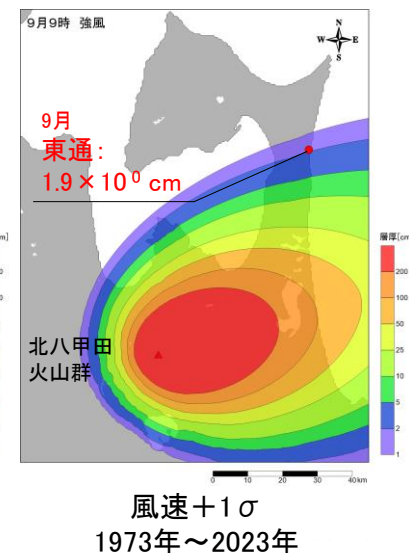
ケース	風速	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$1.9 \times 10^0\text{ cm}$
不確かさケース	-1σ	$8.0 \times 10^{-1}\text{ cm}$
不確かさケース	$+1\sigma$	$1.9 \times 10^0\text{ cm}$

風速に関する不確かさの考慮

平均風速:9月9時

平均風速に対して、 $\pm 1\sigma$ (標準偏差)を考慮する。 -1σ ※堆積物密度を 1000 kg/m^3 とした。

基本ケース

 $+1\sigma$ 

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

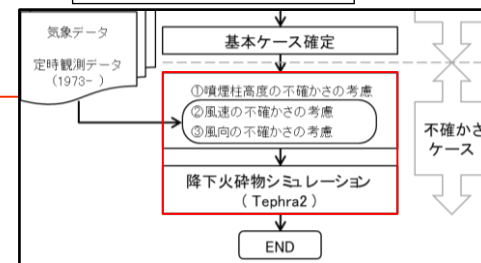
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(北八甲田火山群)【不確かさの検討④】

第1295回審査会(2024. 11. 8)

資料1 p.202 再掲

226



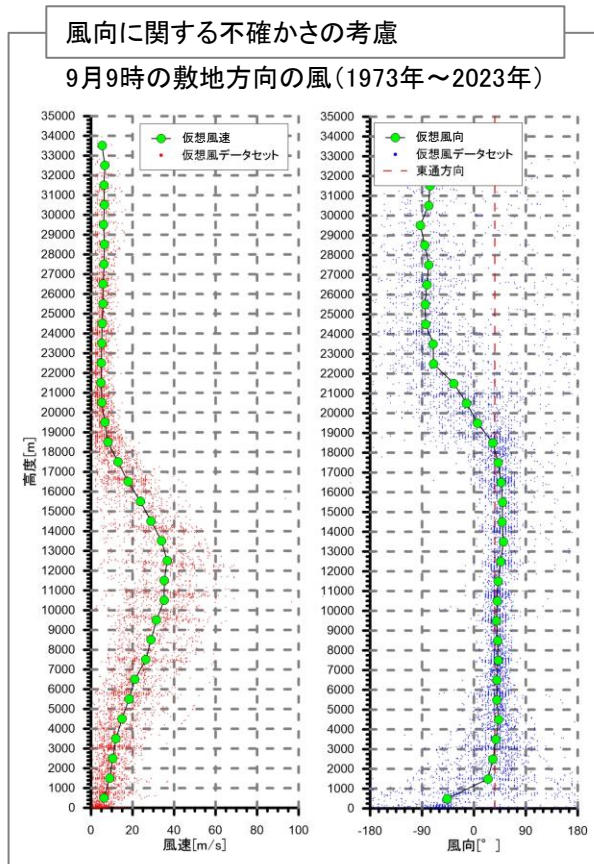
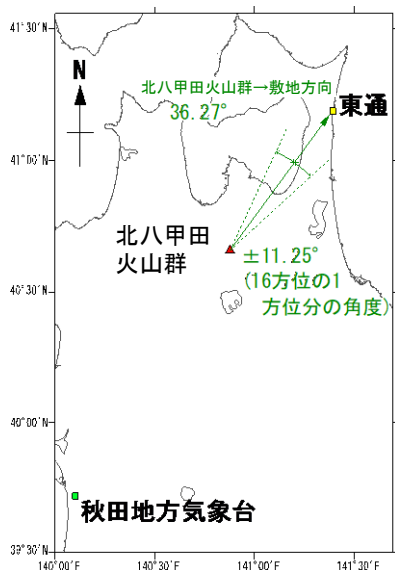
北八甲田火山群(WP):不確かさの検討:風向

- 風向に関する不確かさを考慮し、平均風向に対して、風向を敷地に向けたケースについて検討した。
- 発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、29 cmとなった。

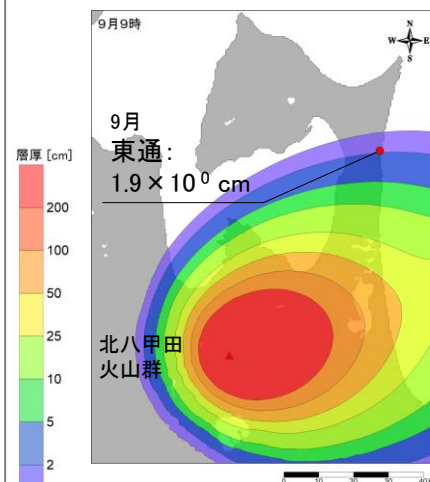
※9月9時の観測値のうち高度2km~21kmにおける風向の平均値が北八甲田火山群→敷地方向 ($36.27 \pm 11.25^\circ$)にある風を抽出し、その高度別平均値を用いて解析した。

風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	1.9×10^0 cm
不確かさケース	発電所に向かう仮想風	2.9×10^1 cm



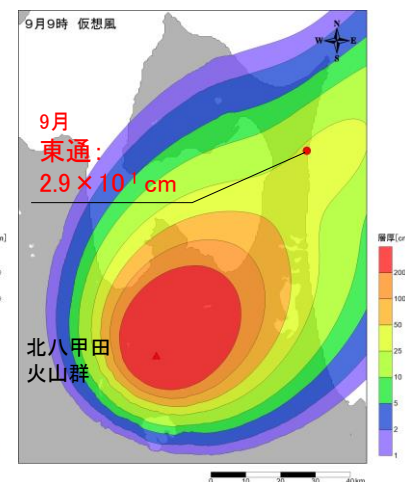
基本ケース



9月9時の風(平均値)
1991年~2020年

※堆積物密度を1000kg/m³とした。

仮想風



敷地方向の風(仮想風)
1973年~2023年

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【入力パラメータの設定】

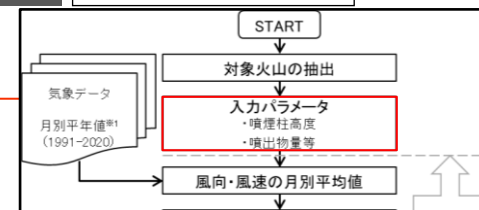
➤ 十和田(十和田中掇)の降下火砕物シミュレーションに用いるパラメータは下表に示す数値である。

コメントS252

第1295回審査会合(2024. 11. 8)

資料1 p.203 一部修正

227



項目		単位	十和田 (To-Cu)	設定根拠
噴出量(質量)		$\times 10^{12}\text{kg}$	4.01	Hayakawa(1985)に基づき設定(To-Cuの見かけの噴出量: 6.68km^3 (VEI5規模), 堆積物密度: $0.6\text{g}/\text{cm}^3$)。
噴煙柱高度		km	25	町田・新井(2011)より, 同程度の規模の噴火(VEI5)の一般値に基づき設定。
噴煙柱の分割数		分割数	246	萬年(2013)より, 噴煙柱分割高さを約100mとなるように設定。
粒径	最大	mm	$1/2^{-10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	最小	mm	$1/2^{10}$	Connor et al. (2008)に示された珪長質噴火の推奨値を設定。
	中央	mm	$1/2^{4.5}$	Connor et al. (2008)に示された同規模噴火(Mount St Helens 1980)の事例に基づき設定。
	標準偏差	mm	$1/2^3$	Connor et al. (2008)に示された同規模噴火(Mount St Helens 1980)の事例に基づき設定。
岩片密度		kg/m^3	2,600	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された岩片の密度に基づき設定。
軽石粒子密度		kg/m^3	1,000	Connor et al. (2008)及び萬年(2013)に示された軽石粒子の密度に基づき設定。
みかけ渦拡散係数		m^2/s	0.04	Suzuki(1983)に示された推奨値を設定。
拡散係数		m^2/s	10,000	萬年(2013)に示された大規模噴火の拡散係数を参考に設定。
落下時間閾値		s	3,600	Bonadonna et al. (2005)に示された推奨値を設定。
給源	X(UTM54)	m	491,603	十和田湖(中湖の中心付近)のUTM座標。
	Y(UTM54)	m	4,477,037	
	標高	m	400	十和田湖(中湖の中心付近)の湖面標高。

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

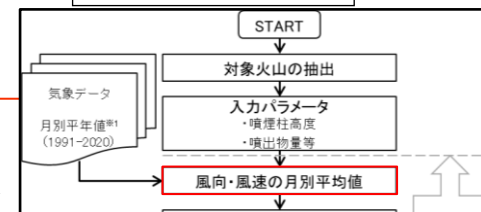
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【気象データ】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)

資料1 p.204 再掲

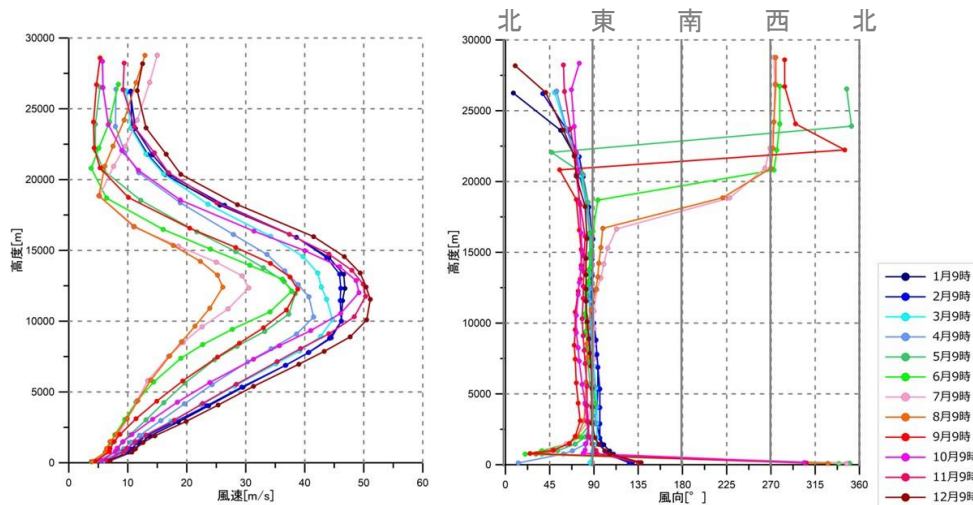
228



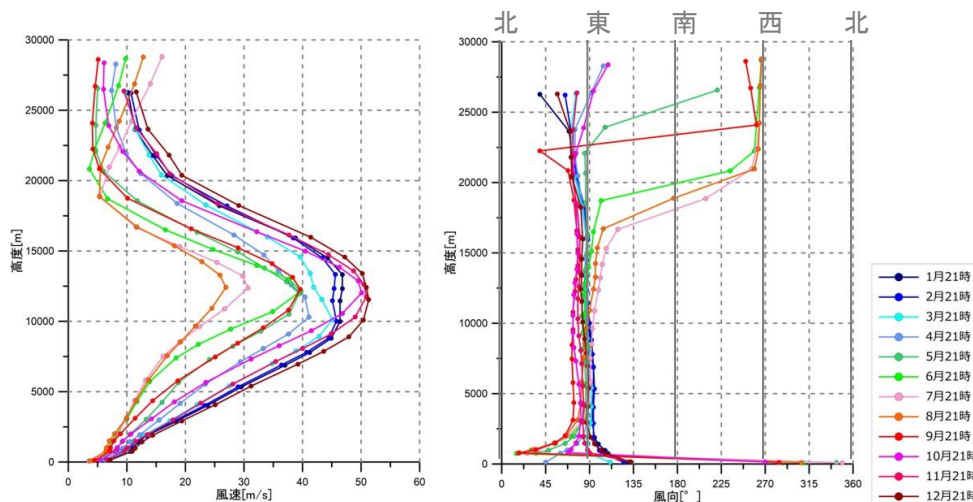
秋田における風向・風速の平均値の鉛直分布:1月～12月(9時・21時)

- 風向は、各月とも高度2km～18kmでは東方向への風が卓越する。月によるばらつきがあり、5月～9月では高層で西方への風が卓越する。
- 風速は、ジェット気流の影響で各月とも高度12km付近が最も大きい。また夏季に小さく、冬季に大きい傾向があり、8月が最も小さい。

9時



21時



風向・風速鉛直分布:秋田1月～12月
(月別平均値:1991年～2020年)
データダウンロード元:気象庁
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/>)

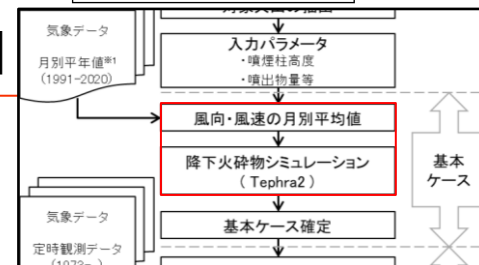
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【基本ケース結果①】

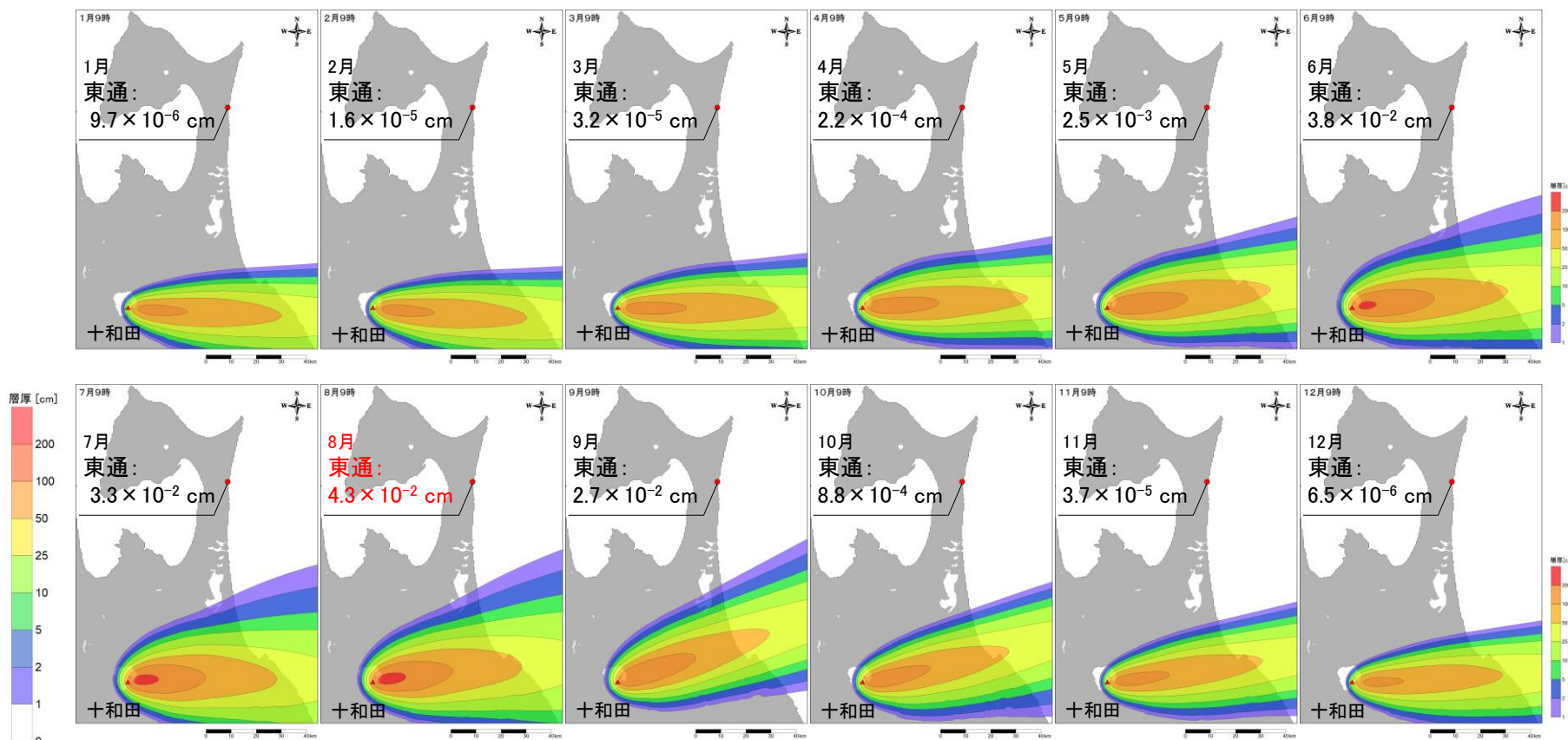
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.205 再掲

229



十和田(十和田中掬):基本ケース:9時

- 十和田(十和田中掬)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果, 発電所における堆積層厚はほぼ0 cm~0.043 cmであった。



※堆積物密度を600kg/m³とした。

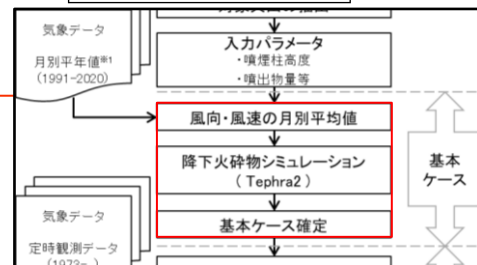
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【基本ケース結果②】

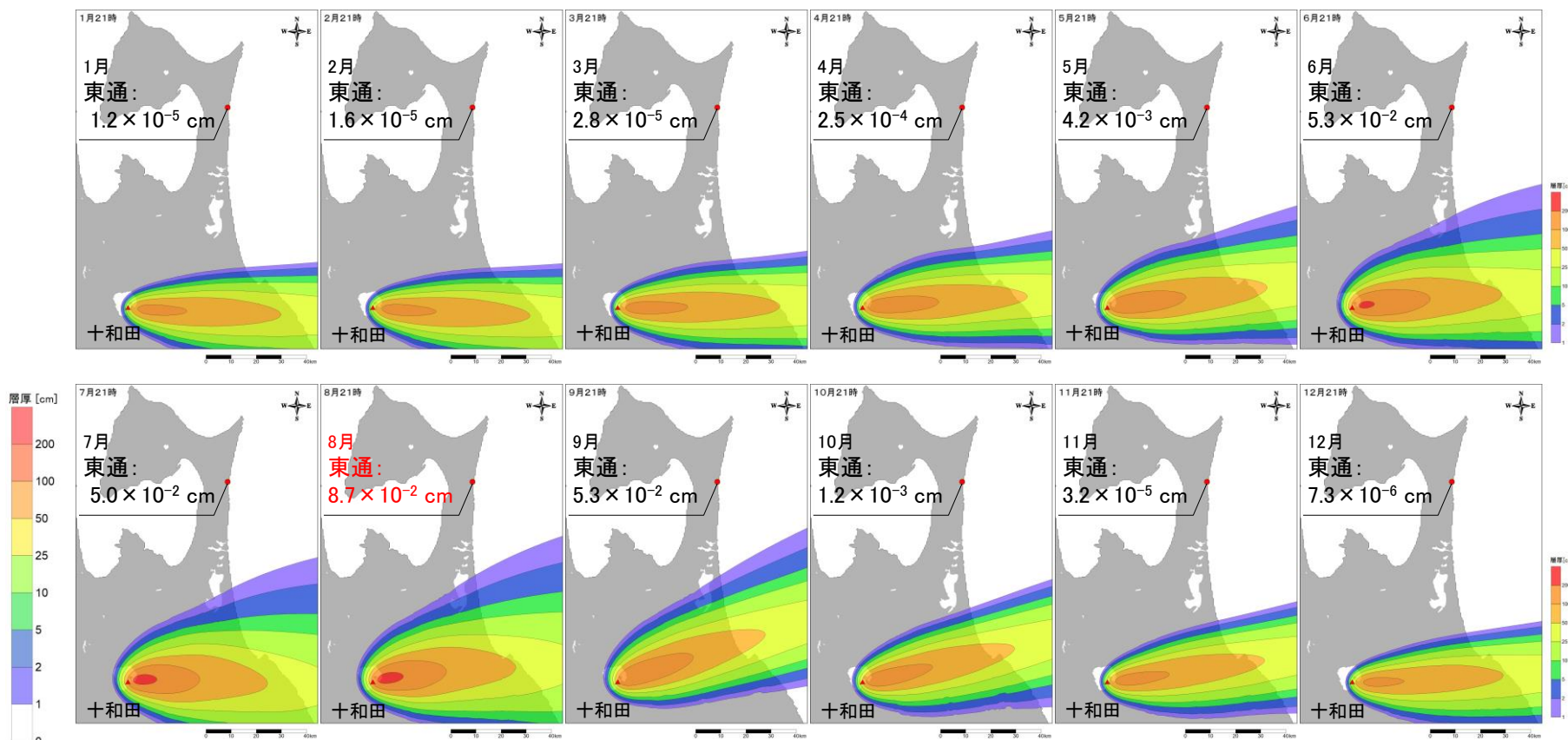
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.206 再掲

230



十和田(十和田中掬):基本ケース:21時

- 十和田(十和田中掬)を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果, 発電所における堆積層厚はほぼ0 cm~0.087 cmであった。
- 発電所における最大の堆積層厚は8月21時における0.087 cmであった。
- 従って, 8月21時のケースを不確かさ検討に用いる基本ケースとした。



※堆積物密度を600kg/m³とした。

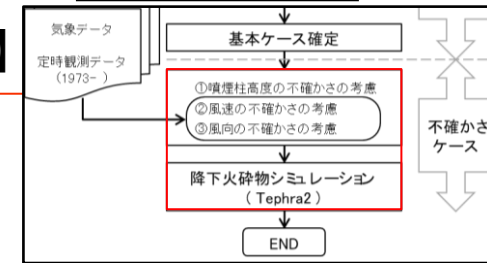
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【不確かさの検討①】

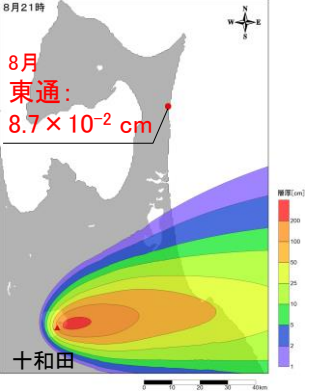
第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.207 再掲

231



十和田(十和田中掘): 不確かさの検討

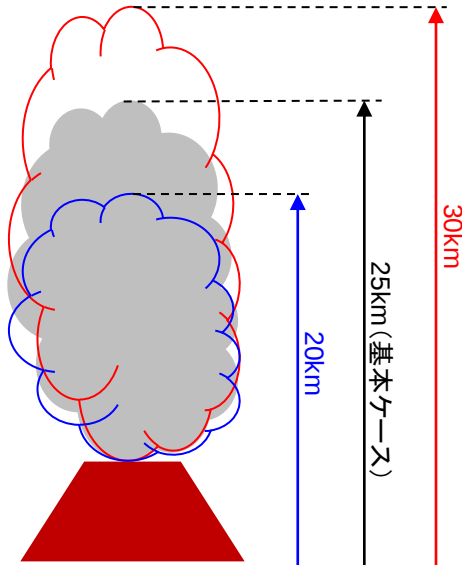
基本ケース: 8月21時



- 風向・風速の不確かさについて、より長い期間(1973年~2023年)の気象データを用いて検討した。
- 基本ケースのうち、堆積層厚が最大となった8月21時のケースを対象とした。

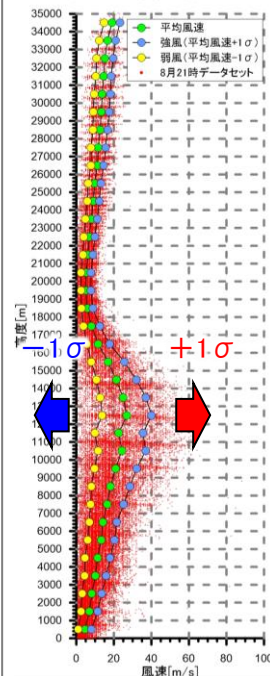
①噴煙柱高度に関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、
±5kmを考慮する。



②風速に関する不確かさの考慮

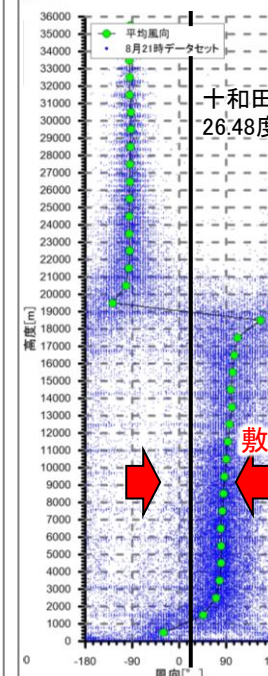
平均風速: 8月21時



平均風速に対して、±1σ(標準偏差)を考慮する。

③風向に関する不確かさの考慮

平均風向: 8月21時



平均値に対して、火山から敷地に向かう仮想的な風を考慮する。

風向・風速鉛直分布: 秋田8月21時(定時観測, 平均値: 1973年~2023年)

データダウンロード元: ワイオミング大学Department of Atmospheric ScienceのHP(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

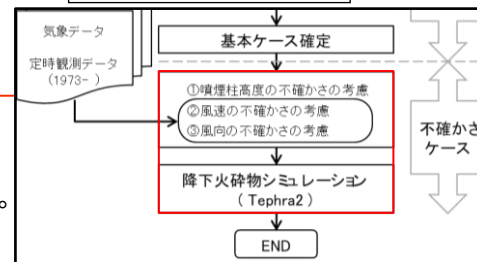
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【不確かさの検討②】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.208 再掲

232



十和田(十和田中掬): 不確かさの検討: 噴煙柱高度

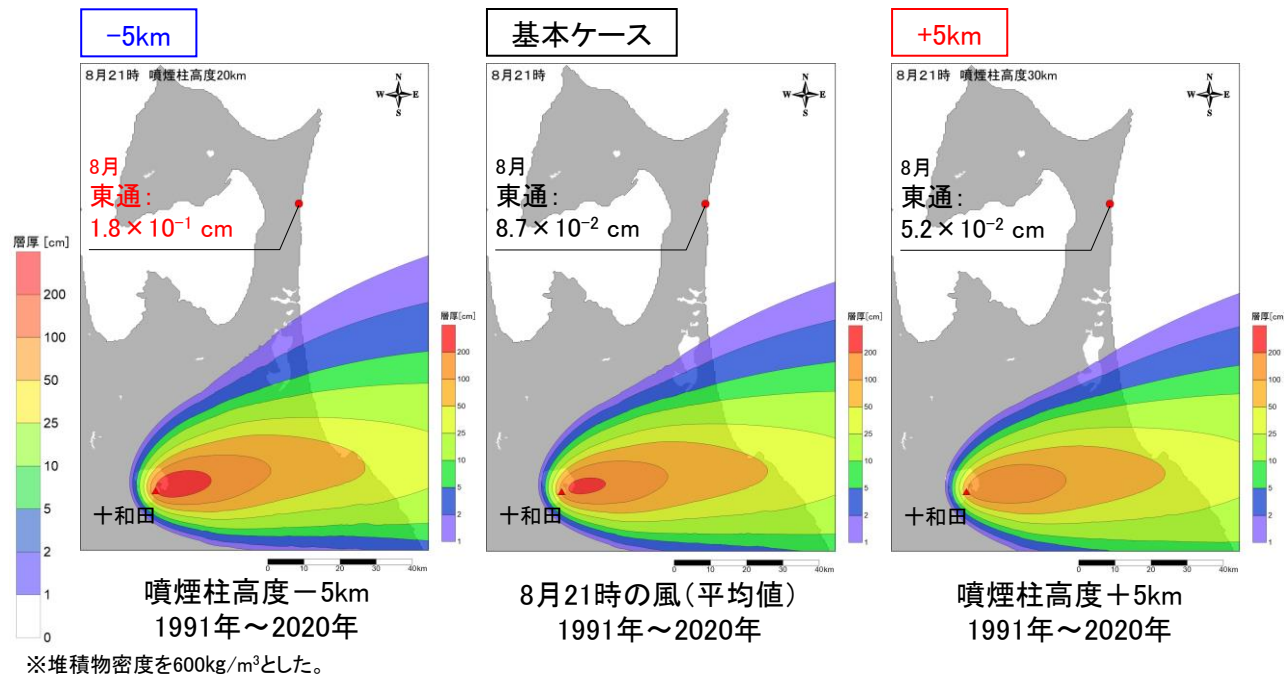
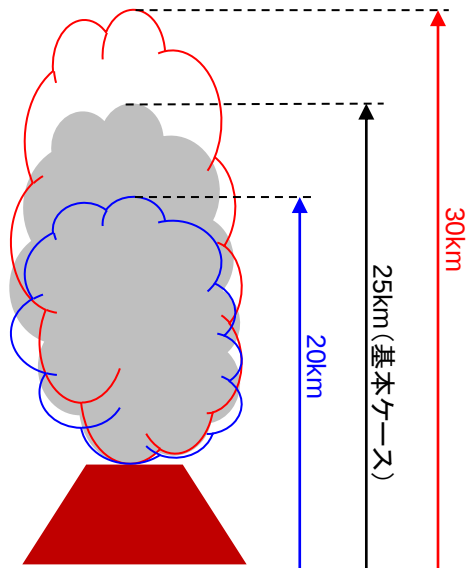
- 噴煙柱高度に関する不確かさを考慮し、基本ケース(噴煙柱高度)に対して、±5kmとしたケースについて検討した。
- 噴煙柱高度-5kmのケースにおいて、発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、 0.18 cm となった。

噴煙柱高度の不確かさを考慮した結果

ケース	噴煙柱高度	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$8.7 \times 10^{-2} \text{ cm}$
不確かさケース	-5km	$1.8 \times 10^{-1} \text{ cm}$
不確かさケース	+5km	$5.2 \times 10^{-2} \text{ cm}$

噴煙柱高度に関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、
±5kmを考慮する。



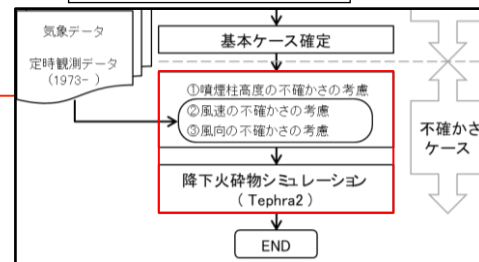
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【不確かさの検討③】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.209 再掲

233



十和田(十和田中掘): 不確かさの検討: 風速

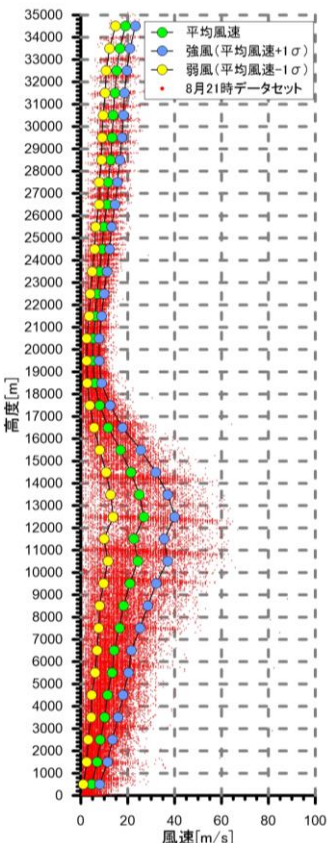
- 風速に関する不確かさを考慮し、平均風速に対して、 $\pm 1\sigma$ (標準偏差)としたケースについて検討した。
- 平均風速 -1σ のケースにおいて、発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、 0.65 cm となった。

風速の不確かさを考慮した結果

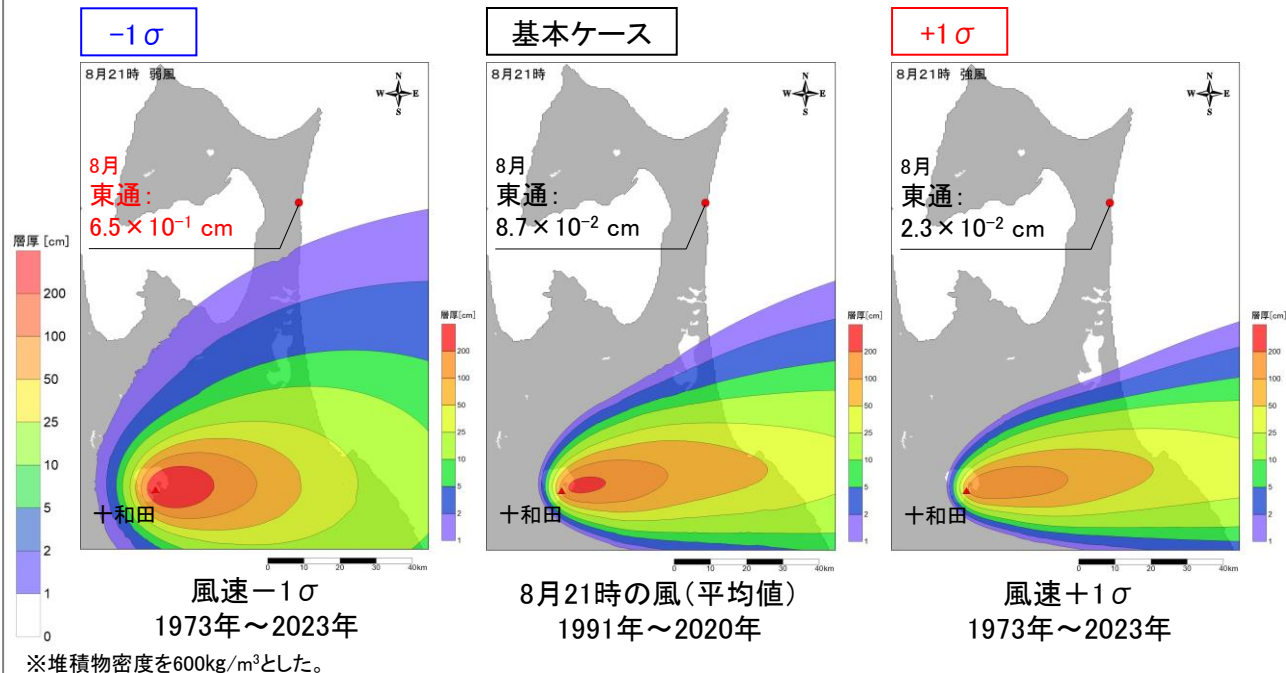
ケース	風速	発電所での堆積層厚
基本ケース	平均値	$8.7 \times 10^{-2}\text{ cm}$
不確かさケース	-1σ	$6.5 \times 10^{-1}\text{ cm}$
不確かさケース	$+1\sigma$	$2.3 \times 10^{-2}\text{ cm}$

風速に関する不確かさの考慮

平均風速: 8月21時



平均風速に対して、 $\pm 1\sigma$ (標準偏差)を考慮する。



※堆積物密度を 600 kg/m^3 とした。

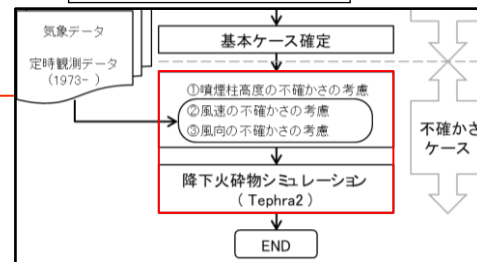
3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション(十和田)【不確かさの検討④】

第1295回審査会合(2024. 11. 8)
資料1 p.210 再掲

234



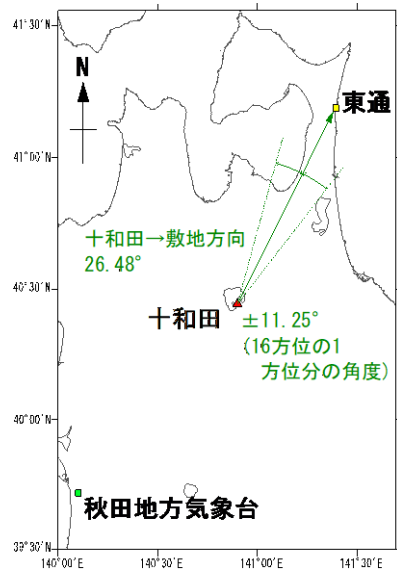
十和田(十和田中掘): 不確かさの検討: 風向

- 風向に関する不確かさを考慮し、平均風向に対して、風向を敷地に向けたケースについて検討した。
- 発電所における堆積層厚は基本ケースを超え、20 cmとなった。

※8月21時の観測値のうち高度2km～18kmにおける風向の平均値が十和田→敷地方向
($26.48 \pm 11.25^\circ$)にある風を抽出し、その高度別平均値を用いて解析した。

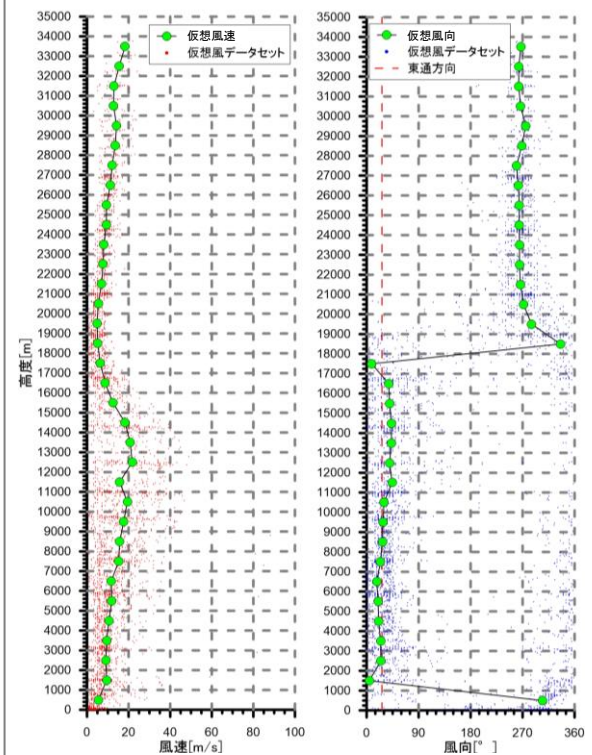
風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	発電所での 堆積層厚
基本ケース	平均値	8.7×10^{-2} cm
不確かさケース	敷地に向かう仮想風	2.0×10^1 cm

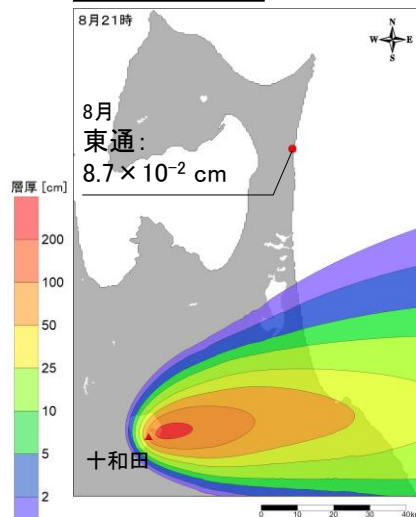


風向に関する不確かさの考慮

8月21時の敷地方向の風(1973年～2023年)



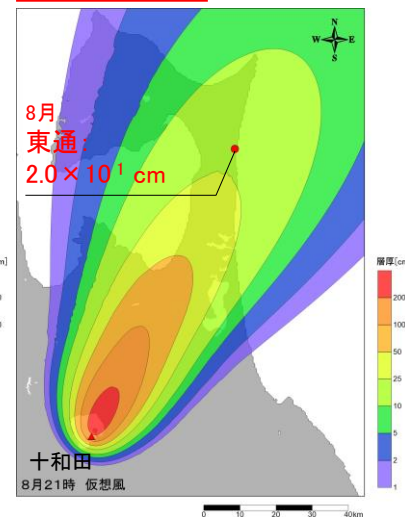
基本ケース



8月21時の風(平均値)
1991年～2020年

※堆積物密度を600kg/m³とした。

仮想風



敷地方向の風(仮想風)
1973年～2023年

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物シミュレーション【まとめ】

- 恐山(宮後テフラ), 北八甲田火山群(WP), 十和田(十和田中掬)を対象として降下火砕物のシミュレーションを実施した。
- シミュレーションの実施に当たっては, 基本ケース及び噴煙柱, 風速, 風向の不確かさを考慮した不確かさケースを実施した。
- 噴煙柱高度については, 恐山(VEI3)と北八甲田火山群・十和田(VEI5)で噴火規模が異なるため, 以下の通り設定した。
 恐山: 国内で観測された水蒸気噴火の事例(参考6)をもとに, 水蒸気噴火の最大規模はVEI3クラスであることを確認し, 観測された噴煙柱高度を設定。なお, 噴煙柱高度は2通り存在していることから, 不確かさについては, あらかじめ基本ケースの中で考慮した。
 北八甲田火山群・十和田: 文献に記載のVEI5クラスの噴煙柱高度を設定し, 不確かさについては±5kmで検証した。
- 結果, 発電所での最大層厚は, 北八甲田火山群(WP)の不確かさケース(風向)による層厚で, 29 cmであった。

降下火砕物シミュレーション結果のまとめ

ケース			東通での堆積層厚(cm)			
			恐山 噴煙柱高2500m	恐山 噴煙柱高5000m	北八甲田火山群	十和田
基本ケース(最大値)			1.9×10^{-1} (6月21時)	3.4×10^{-1} (6月21時)	1.9×10^0 (9月9時)	8.7×10^{-2} (8月21時)
不 確 か さ ケ ー ス	噴煙柱 高さ	−5km	—	—	1.5×10^0	1.8×10^{-1}
		+5km			2.1×10^0	5.2×10^{-2}
	風速	−1σ	1.5×10^{-1}	2.8×10^{-1}	8.0×10^{-1}	6.5×10^{-1}
		+1σ	2.0×10^{-1}	1.6×10^{-1}	1.9×10^0	2.3×10^{-2}
	風向	仮想風	1.4×10^0	4.4×10^0	2.9×10^1	2.0×10^1



文献調査結果, 地質調査結果及び降下火砕物シミュレーションの結果から, 設計に用いる降下火砕物の層厚は, 最大層厚である北八甲田火山群(WP)から以下のように設定する。

層厚: 30cm

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

- 3.1.1 発電所で分布が確認される降下火砕物の抽出
- 3.1.2 将来の発生可能性が否定できない降下火砕物の抽出
- 3.1.3 降下火砕物シミュレーションの対象となる噴火イベントの選定
- 3.1.4 降下火砕物シミュレーション
- 3.1.5 降下火砕物の密度
- 3.1.6 降下火砕物の粒径
- 3.1.7 降下火砕物の影響評価まとめ

3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.5 降下火砕物の密度

- 最大層厚となったWPの密度については、WPが発電所で確認されていないことから、既往の文献情報をもとに当社で評価を実施した。

文献による降下火砕物(軽石)の密度

- 宇井編(1997)によると、「乾燥した火山灰は密度が0.4～0.7であるが、湿ると1.2を超えることがある。」としている。
- [最新] 地学事典(2024)によると、軽石を「火山砕屑物の一種で、多孔質で見かけ密度が小さい(おおむね $1\text{g}/\text{cm}^3$ より小さい)もの」としている。
- 小尾ほか(2019)において、細粒火山灰との比較検討として有史以降の噴火の軽石を対象とした堆積密度を計測しており、乾燥状態では約 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 、自然状態では約 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿润状態(試料を2日間浸水させて計測した密度)で約 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ の測定結果を示している。

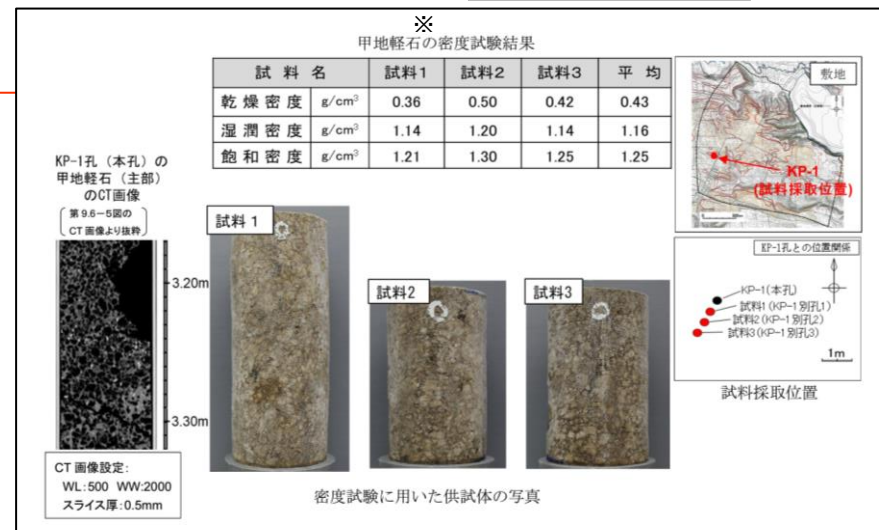
北八甲田火山群(WP)の密度

- 日本原燃株式会社(2023)によると、敷地内で確認したWP(主部)はコア観察及びCT画像より軽石が主体であり、密度試験の結果、乾燥密度は $0.43\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿润密度は $1.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、飽和密度は $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ であるとしている。

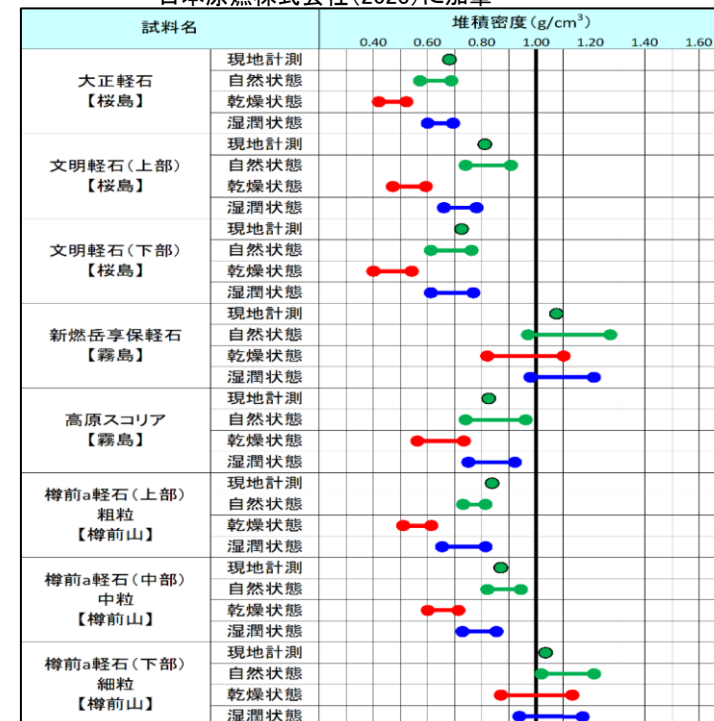


- 軽石の文献調査結果を踏まえ設計に用いる降下火砕物の密度は、飽和状態(降下火砕物の空隙に水が満たされた状態、飽和密度)を含む値として $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ とする。

※当社の『WP』と日本原燃株式会社による『甲地軽石』は同一のテフラを示す。



日本原燃株式会社(2023)に加筆



小尾ほか(2019)による軽石の堆積密度測定結果

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

- 3.1.1 発電所で分布が確認される降下火砕物の抽出
- 3.1.2 将来の発生可能性が否定できない降下火砕物の抽出
- 3.1.3 降下火砕物シミュレーションの対象となる噴火イベントの選定
- 3.1.4 降下火砕物シミュレーション
- 3.1.5 降下火砕物の密度
- 3.1.6 降下火砕物の粒径
- 3.1.7 降下火砕物の影響評価まとめ

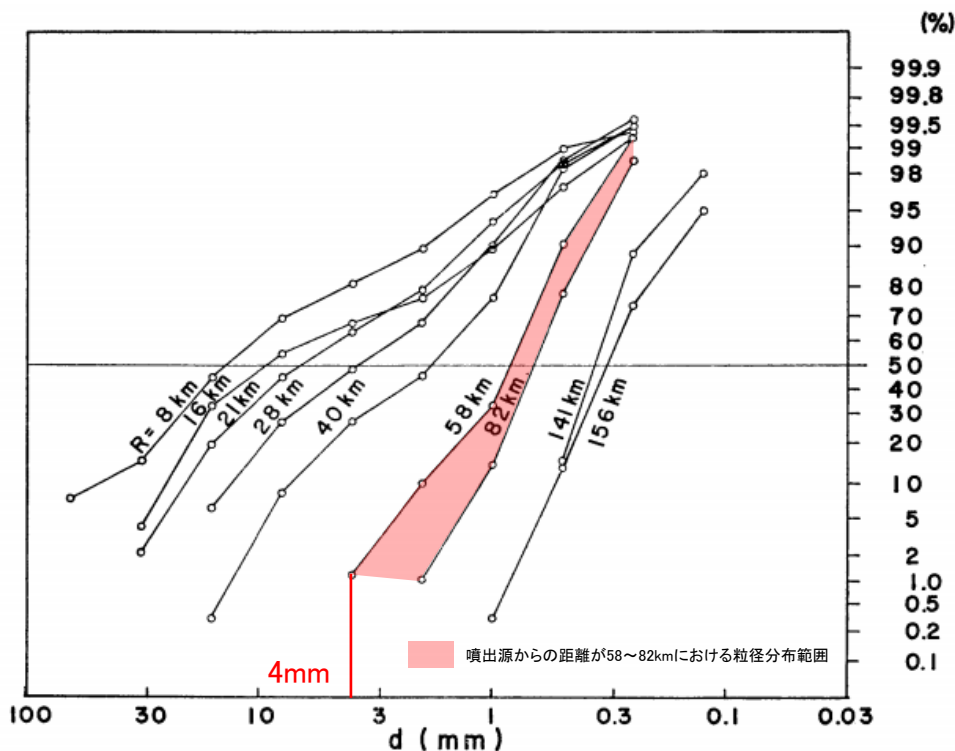
3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

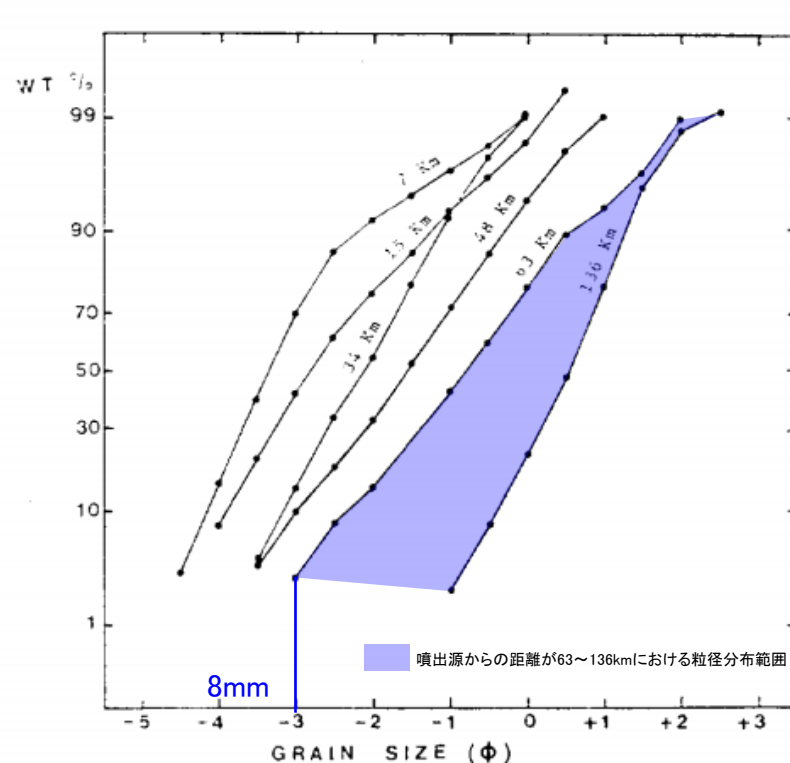
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.6 降下火砕物の粒径

- 最大層厚となったWPの粒径については、WPが発電所で確認されていないことから、既往の文献情報をもとに当社で評価を実施した。
- 鈴木ほか(1973)によると、樽前b(Ta-b)の降下火砕物の噴出源からの距離ごとの粒径分布曲線が示されており、発電所とWPの噴出源である北八甲田火山群の距離73kmでは粒径は4mm以下となる。
- 同様に、富士宝永(F-Ho)を対象とした宮地(1984)によれば、8mm以下となる。
- 鈴木ほか(1973)で対象としている樽前b(Ta-b)、宮地(1984)で対象としている富士宝永(F-Ho)の噴火規模については、WPと同規模のVEI5である。
- 上記を踏まえ、粒径は8mm以下と評価した。



鈴木ほか(1973)における粒径分布(樽前b)



宮地(1984)における粒径分布(富士宝永)

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

- 3.1.1 発電所で分布が確認される降下火砕物の抽出
- 3.1.2 将来の発生可能性が否定できない降下火砕物の抽出
- 3.1.3 降下火砕物シミュレーションの対象となる噴火イベントの選定
- 3.1.4 降下火砕物シミュレーション
- 3.1.5 降下火砕物の密度
- 3.1.6 降下火砕物の粒径
- 3.1.7 降下火砕物の影響評価まとめ

3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.7 降下火砕物の影響評価 まとめ

【発電所で分布が確認される降下火砕物】

- 発電所に分布する主な降下火砕物のうち、文献調査及び地質調査による最大層厚は、白頭山苦小牧、十和田中楸の層厚10cmであった。
- 白頭山苦小牧については、その分布主軸上に発電所が位置していることから、降下火砕物シミュレーションの対象外とし、十和田中楸を対象とした。

【発電所で分布が確認されない降下火砕物】

- 降下火砕物シミュレーションを行う火山(噴火イベント)として、恐山(宮後テフラ)、北八甲田火山群(WP)を抽出した。

【降下火砕物シミュレーション】

- 恐山(宮後テフラ)、北八甲田火山群(WP)、十和田(十和田中楸)を対象として降下火砕物のシミュレーションを実施した。
- 基本ケース及び不確かさケースを実施した結果、発電所での最大層厚は、北八甲田火山群(WP)の仮想風によるケースで29 cmであった。

【降下火砕物の密度】

- 密度試験結果並びに軽石の文献調査結果を踏まえ設計に用いる降下火砕物の密度は、飽和状態(降下火砕物の空隙に水が満たされた状態、飽和密度)を含む値として $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ とする。

【降下火砕物の粒径】

- 文献調査結果を踏まえ、降下火砕物の粒径は8mm以下とする。

降下火砕物シミュレーション結果のまとめ

ケース			東通での堆積層厚(cm)			
			恐山 噴煙柱高 2500m	恐山 噴煙柱高 5000m	北八甲田 火山群	十和田
基本ケース(最大値)			1.9×10^{-1} (6月21時)	3.4×10^{-1} (6月21時)	1.9×10^0 (9月9時)	8.7×10^{-2} (8月21時)
不 確 か さ ケ ー ス	噴煙柱 高さ	－5km	—	—	1.5×10^0	1.8×10^{-1}
		＋5km			2.1×10^0	5.2×10^{-2}
	風速	－1σ	1.5×10^{-1}	2.8×10^{-1}	8.0×10^{-1}	6.5×10^{-1}
		＋1σ	2.0×10^{-1}	1.6×10^{-1}	1.9×10^0	2.3×10^{-2}
	風向	仮想風	1.4×10^0	4.4×10^0	2.9×10^1	2.0×10^1

文献調査結果、地質調査結果及び降下火砕物シミュレーションの結果から、降下火砕物の層厚、密度及び粒径は、最大層厚である北八甲田火山群(WP)から以下のように設定する。

層厚:30cm, 密度: $1.3\text{g}/\text{cm}^3$, 粒径:8mm以下

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.1 降下火砕物の影響評価

- 3.1.1 発電所で分布が確認される降下火砕物の抽出
- 3.1.2 将来の発生可能性が否定できない降下火砕物の抽出
- 3.1.3 降下火砕物シミュレーションの対象となる噴火イベントの選定
- 3.1.4 降下火砕物シミュレーション
- 3.1.5 降下火砕物の密度
- 3.1.6 降下火砕物の粒径
- 3.1.7 降下火砕物の影響評価まとめ

3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

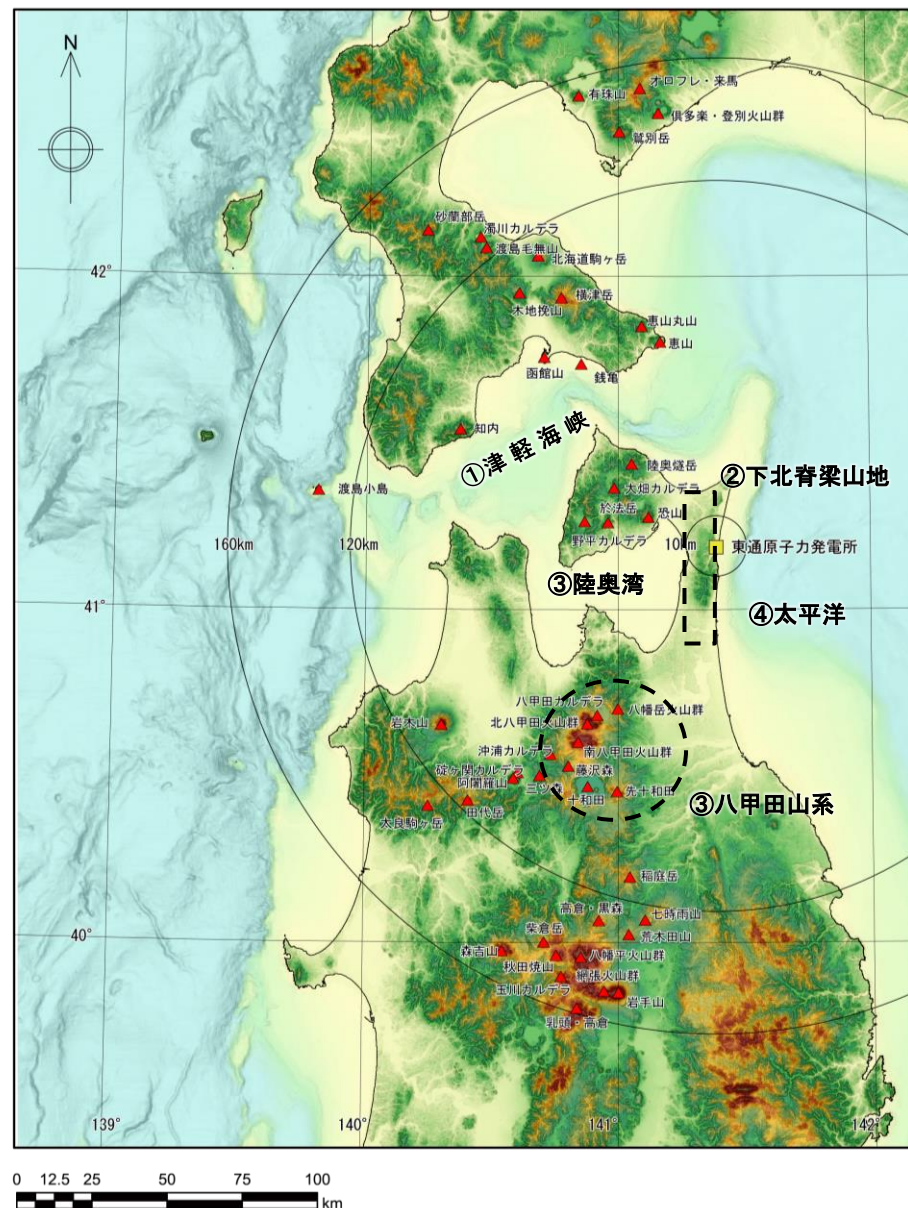
3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、降下火砕物以外の影響を評価すべき火山事象(土石流・火山泥流及び洪水、飛来物(噴石)、火山ガス並びにその他の火山事象)の評価を行う。
- 発電所周辺の地形や環境は下記の通りである。

- ① 北海道に位置する火山は発電所と津軽海峡に隔てられている。
- ② 発電所の敷地は下北半島の太平洋側のほぼ中央に位置し、恐山周辺の火山及び八甲田山・十和田周辺の火山とは下北脊梁山地によって隔てられている。
- ③ 発電所と津軽地方の火山は八甲田山系及び陸奥湾によって隔てられている。
- ④ 発電所の敷地は太平洋に面しており、火山ガスが滞留する地形ではない。
- ⑤ 火山を源流とする河川流域に含まれない。



これらの条件に基づき、各火山事象に関する評価を実施した(次頁)。



3. 個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価

3.2 発電所を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

➤ 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、降下火砕物以外の影響を評価すべき火山事象(土石流・火山泥流及び洪水、飛来物(噴石)、火山ガス並びにその他の火山事象)の抽出を行った。

火山名	発電所からの距離(km)	土石流・火山泥流及び洪水	飛来物(噴石)	火山ガス	その他の火山事象 (津波及び静振, 大気現象, 火山性地震とこれに関連する事象, 熱水系及び地下水の異常)
		120km	10km	160km	
オロフレ・来馬	155	発電所と左記の火山の距離から, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	発電所を中心とする半径10kmの範囲には, 発電所に影響を及ぼし得る火山が分布しないことから, 噴石が発電所に到達することはないから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	発電所の敷地は下北半島の太平洋側のほぼ中央に位置し, 左記の火山とは下北脊梁山地によって隔てられており, また, 火山ガスが滞留するような地形ではないことから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	発電所と対象火山は十分な離隔があることから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。
倶多楽・登別火山群	146				
鷲別岳	142				
有珠山	158				
北海道駒ヶ岳	114	発電所と左記の火山は津軽海峡に隔てられていることから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。			
横津岳	98				
恵山	71				
陸奥燧岳	40	発電所の敷地は下北半島の太平洋側のほぼ中央に位置し, 左記の火山とは下北脊梁山地によって隔てられており, 左記の火山を源流とする河川流域に含まれないことから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。			
恐山	25				
八幡岳火山群	63				
八甲田カルデラ	68				
南八甲田火山群	79				
北八甲田火山群	73				
藤沢森	88				
先十和田	87				
十和田	90				
岩木山	109	発電所と左記の火山は八甲田山系及び陸奥湾によって隔てられており, 左記の火山を源流とする河川流域に含まれないことから, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。			
田代岳	118				
八幡平火山群	143	発電所と左記の火山の距離から, 発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。			
秋田焼山	145				
玉川カルデラ	151				
乳頭・高倉	160				
網張火山群	152				
岩手山	151				

降下火砕物以外に影響を評価すべき火山事象はないと評価

余白

4. まとめ

4. まとめ

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出】

- 発電所を中心とする半径160kmの範囲には、47の第四紀火山がある。
- 発電所を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(47火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性を検討し、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山としてオロフレ・来馬、倶多楽・登別火山群、鷲別岳、有珠山、北海道駒ヶ岳、横津岳、恵山、陸奥燧岳、恐山、八幡岳火山群、八甲田カルデラ、南八甲田火山群、北八甲田火山群、藤沢森、先十和田、十和田、岩木山、田代岳、八幡平火山群、秋田焼山、玉川カルデラ、乳頭・高倉、網張火山群、岩手山の24火山を抽出した。

【原子力発電所の運用期間における火山活動に関する個別評価】

- 発電所との距離、地形的条件、24火山の個別評価等の結果から、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・新しい火口の開口及び地殻変動)が発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さい。

【個別評価の結果を受けた原子力発電所への火山事象の影響評価】

- 発電所における降下火砕物の層厚は、文献調査結果、地質調査結果及び降下火砕物シミュレーションの結果から、30cmとして評価した。
- 土石流・火山泥流及び洪水、飛来物(噴石)、火山性ガス並びにその他の火山事象のうち、影響を評価すべき事象はない。

【火山影響評価の根拠が維持されていることを確認することを目的とした火山活動のモニタリング】

- 第四紀以降に検討対象火山からの設計対応不可能な火山事象が発電所の敷地に到達した可能性は十分小さい。また、敷地は下北脊梁山地に隔たれており、地形的にも今後設計対応不可能な火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性は十分小さいと考えられることから、火山活動のモニタリングは不要と評価した。

参考資料

- (参考1) 噴火規模に関する参考資料
- (参考2) 恐山に関する地質調査データ
- (参考3) 十和田に関する地質調査データ
- (参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴
- (参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況
- (参考6) 恐山の現在の活動状況
- (参考7) 八甲田山の現在の活動状況
- (参考8) 降下火砕物シミュレーションコード「Tephra2」の概要
- (参考9) 国内における水蒸気噴火の事例
- (参考10) WPの降下火砕物シミュレーションに使用するパラメータに関する検討
- (参考11) 十和田火山防災協議会による火山災害想定影響範囲の検討
- (参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

余白

(参考1) 噴火規模に関する参考資料

(参考1) 噴火規模に関する参考資料

火山爆発指数※1	VEI1	VEI2	VEI3	VEI4	VEI5	VEI6	VEI7	VEI8
見かけの噴出量※1 (km ³)	0.0001～0.001	0.001～0.01	0.01～0.1	0.1～1	1～10	10～100	100～1,000	1,000～
噴煙柱高度※1 (km)	0.1～1	1～5	3～15	10～25	25～			
噴火のタイプ※2	← ストロンボリ式 →		←		プリニー式	→		
	← ハワイ式 →	←		ブルカノ式	←		ウルトラプリニー式	→
規模※1	小噴火	中噴火		大噴火	巨大噴火		破局的噴火	
頻度※1	← 高頻度 低頻度 →							
主な噴火	浅間山※3 2004年	浅間山※3 1973年	霧島新燃岳※3 2011年	桜島安永※1 1779年	St.Helens※2,※4 1980年	Pinatubo※2,※4 1991年	Tambora※2,※4 1815年	Toba※4 約7.4万年前
	有珠山※3 2000年	霧島新燃岳※3 1959年	三宅島※2 1983年	北海道駒ヶ岳 ※2,※3 1929年	桜島大正※2,※3 1914年	桜島薩摩※1 約1.3万年前	鬼界アカホヤ※1 約0.7万年前	Yellowstone※4 約210万年前
	北海道駒ヶ岳※3 1996年		有珠山※2,※3 1977～78年	浅間天明※1,※3 1783年	富士宝永※1 1707年	十和田八戸 約1.5万年前	始良Tn※1 約3万年前	
			宮後テフラ 約8万～6万年前		十和田中掬 約0.6万年前		支笏第1※1 約4.4万年前	

〔 赤字: 十和田
青字: 恐山 〕

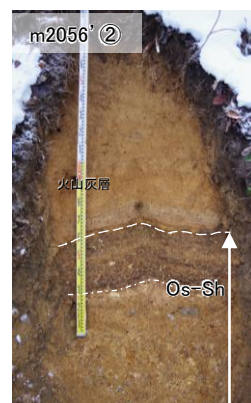
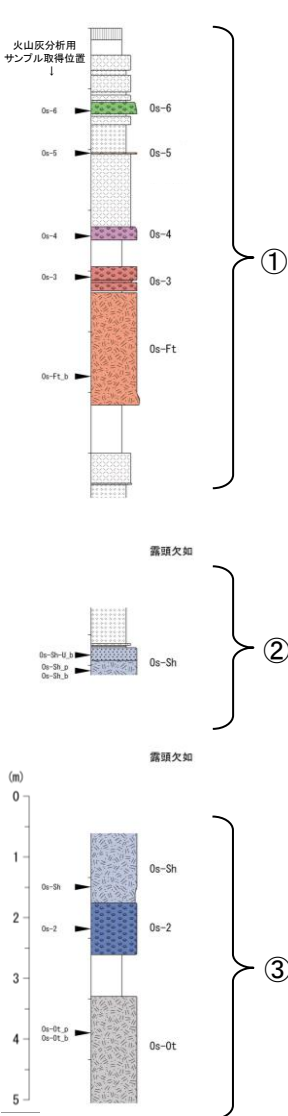
※1 町田・新井(2011)による。
※2 宇井編(1997)による。
※3 気象庁編(2013)による。
※4 Smithsonian Institution(2013)による。

(参考2) 恐山に関する地質調査データ

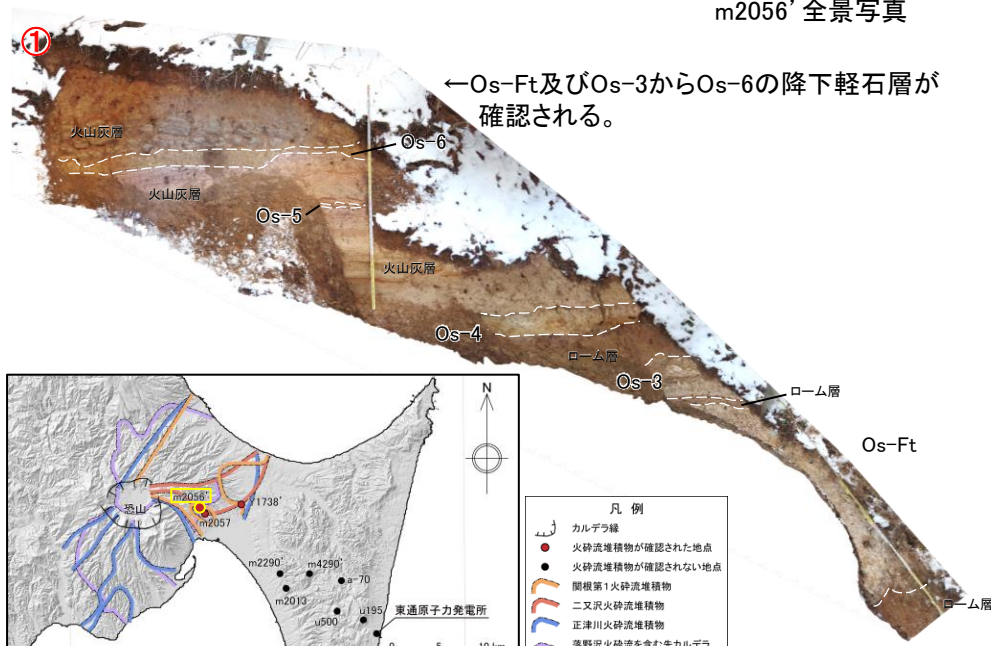
(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(m2056')】

コメントS250

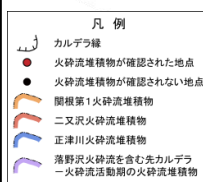
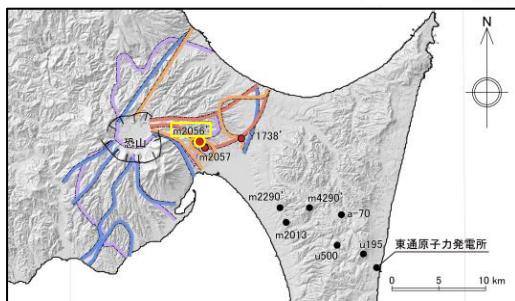
- m2056' は恐山から約6km東方に位置し、火砕流堆積物として、Os-Ot, Os-Sh, Os-Ftが確認される。本露頭では恐山の各テフラやローム層との層序関係が確認されており、模式的な層序・層相と概ね一致する。



m2056' 全景写真



②拡大写真 (Os-Ot, Os-2, Os-Sh)
Os-OtとOs-2, Os-Shの層序が確認される

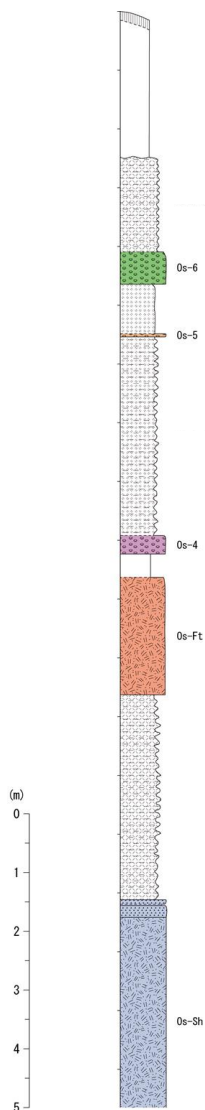


①拡大写真
(Os-Ft, 降下軽石層(Os-3~Os-6))

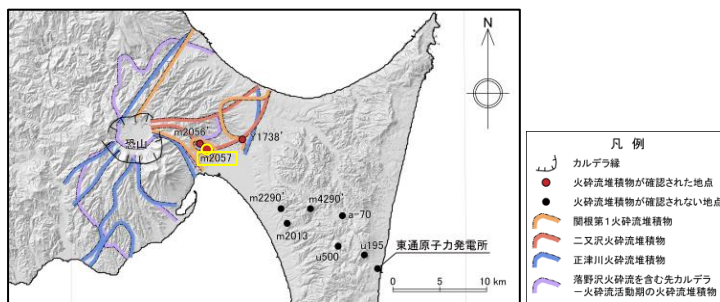
(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(m2057)】

コメントS250

- m2057は恐山から約7km東方に位置し、火砕流堆積物として、Os-Sh、Os-Ftが確認されており、本露頭はm2056'の近傍であることから露出するテフラは類似している。



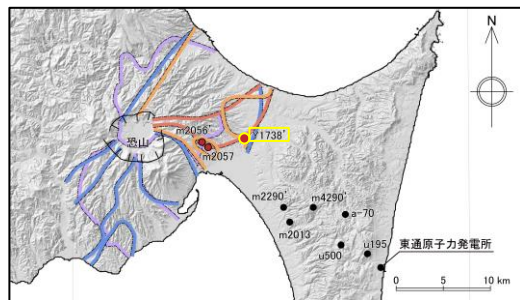
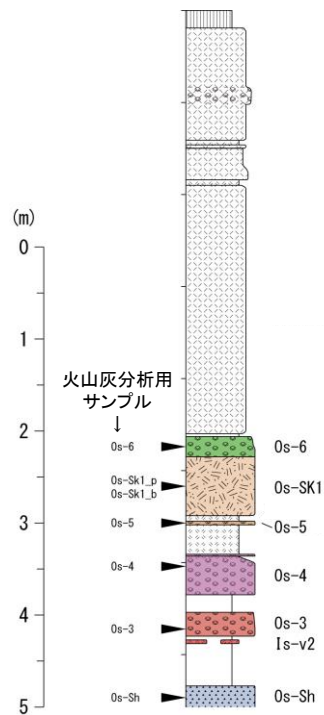
m2057地点 拡大写真(Os-Sh)
Os-Shを構成する火砕流堆積物と、上部の火山礫層が確認される。



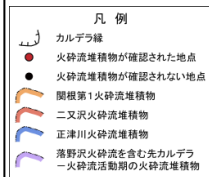
調査地点位置図

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(Y1738')】

- Y1738' は恐山から約10km東方に位置し、火砕流堆積物としてOs-Shの上部火山礫層とOs-Sk1が確認される。
- 本露頭では、Os-Shより上位の恐山の各テフラやローム層との層序関係が確認されており、模式的な層序・層相と概ね一致する。

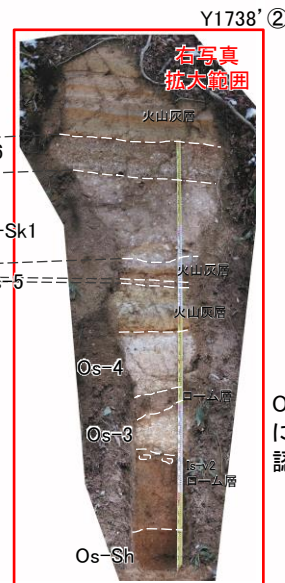


調査地点位置図



Y1738' ①

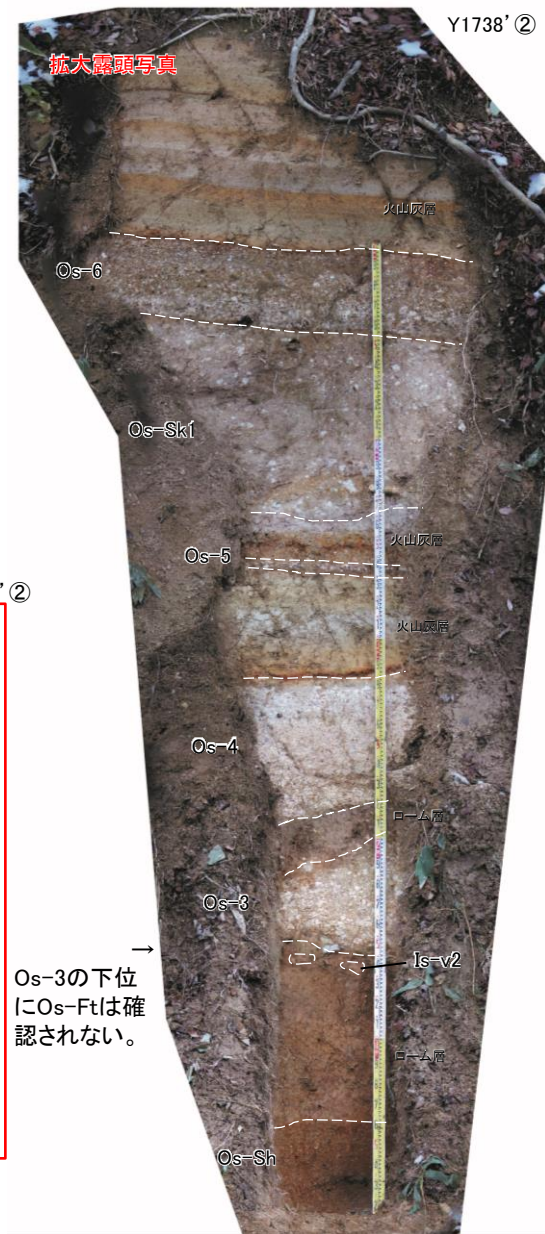
←Y1738' ①は、Os-5から上位が観察される。Os-6より上位は火山灰層が厚く堆積する。



Y1738' ②

右写真
拡大範囲

→ Y1738' ②はOs-Sh上部火山礫層から、Os-6までが確認される。



Y1738' ②

拡大露頭写真

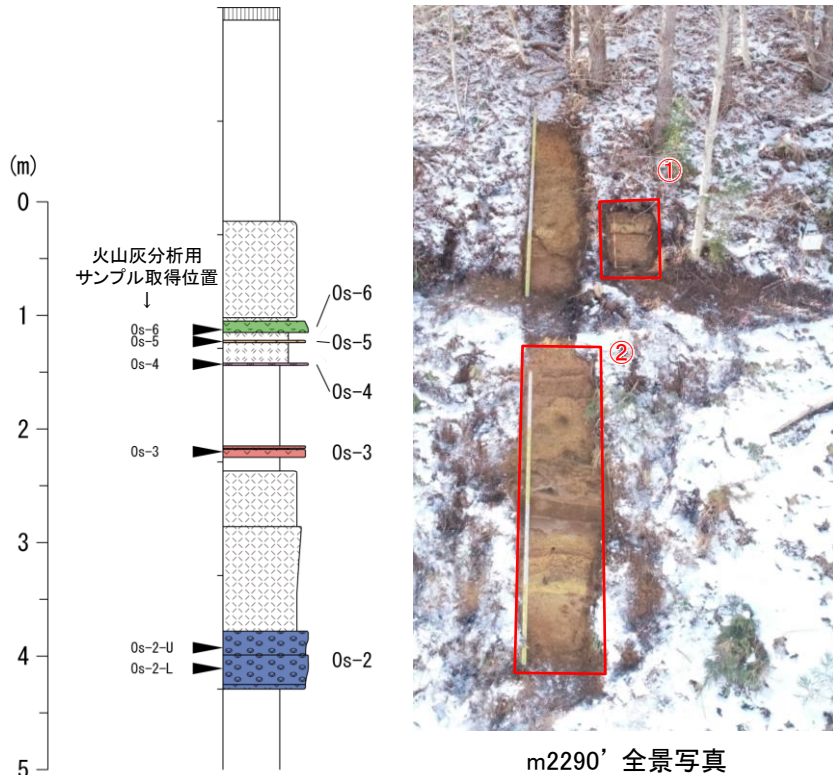
→ Os-3の下位にOs-Ftlは確認されない。

露頭全景写真

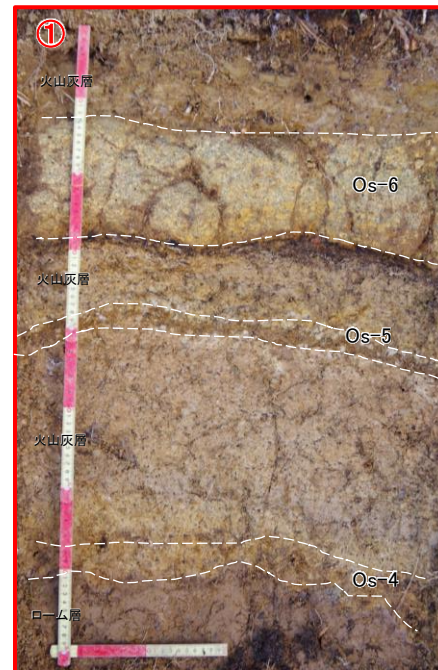
(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(m2290')】

コメントS250

- m2290' は恐山から約17km南東に位置し、Os-2～Os-6の降下軽石層が確認される。
- なお、各降下軽石層の上位または下位の火砕流堆積物(Os-Ot, Os-Sh, Os-Ft, Os-Sk1)は、本露頭においては確認されていない。



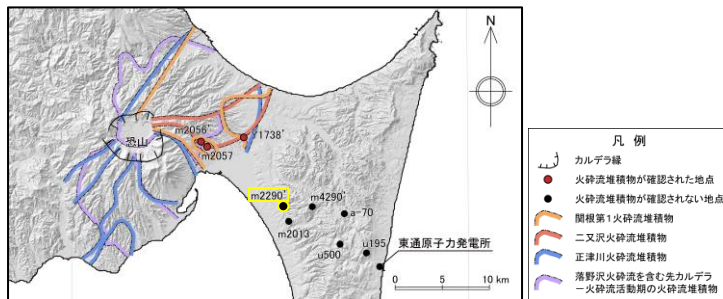
m2290' 全景写真



①拡大写真 (Os-4～Os-6)



②拡大写真 (Os-2～Os-3)

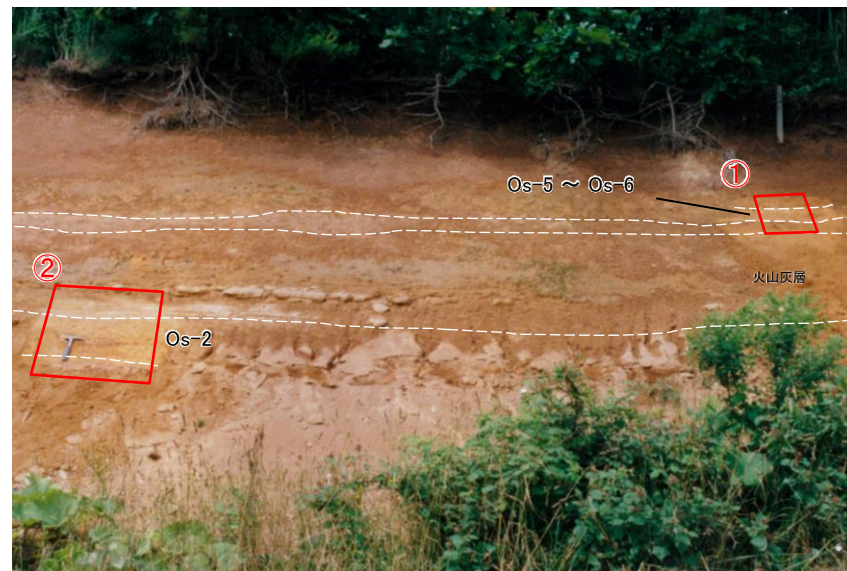
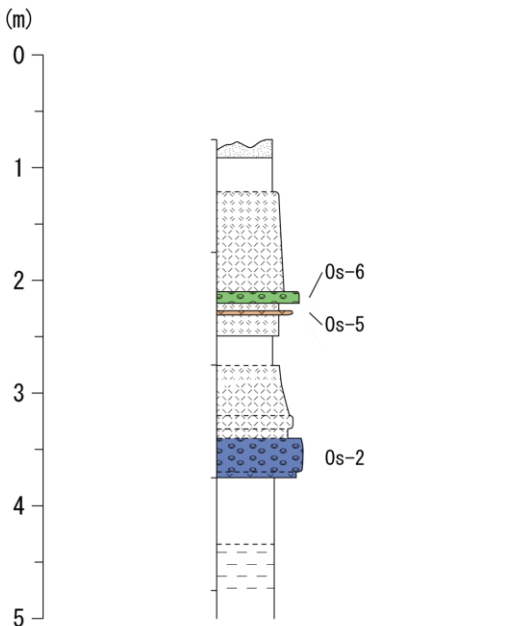


調査地点位置図

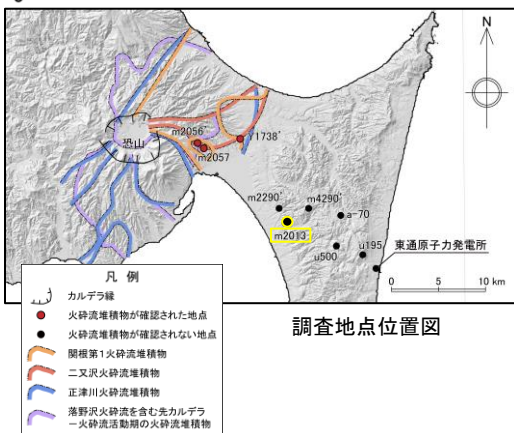
(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(m2013)】

コメントS250

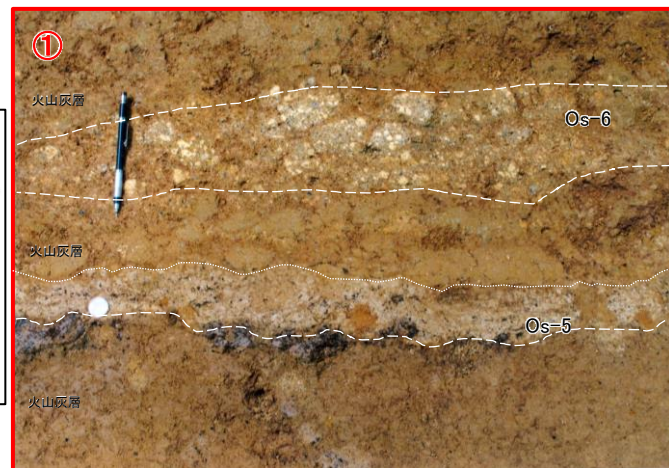
- m2013は恐山から約18km南東に位置し、Os-2、Os-5、Os-6の降下軽石層が確認される。
- なお、各降下軽石層の上位または下位の火砕流堆積物(Os-Ot、Os-Sh、Os-Ft、Os-Sk1)は、本露頭においては確認されていない



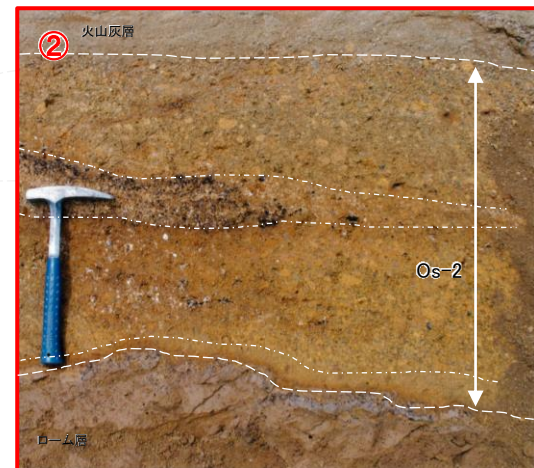
m2013 全景写真



調査地点位置図



①拡大写真 (Os-5, Os-6)

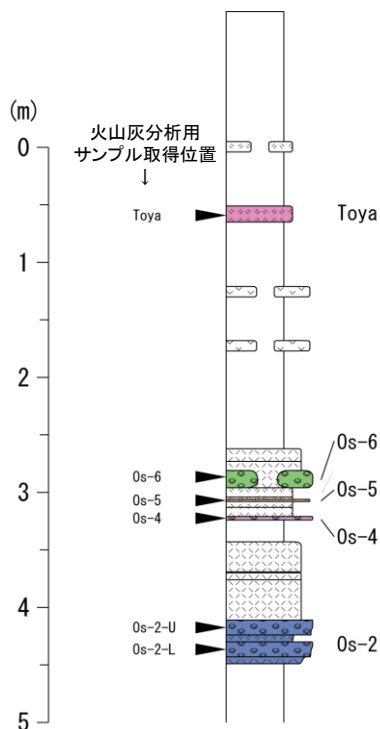


②拡大写真 (Os-2)

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【露頭写真(m4290')】

コメントS250

- m4290' は恐山から約19km南東に位置し、Os-2, Os-4, Os-5, Os-6の降下軽石層が確認される。
- なお、各降下軽石層の上位または下位の火砕流堆積物(Os-Ot, Os-Sh, Os-Ft, Os-Sk1)は、本露頭においては確認されていない



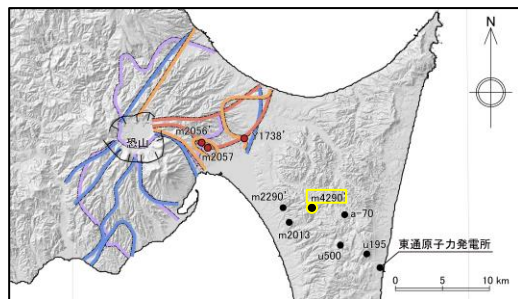
m4290' 全景写真



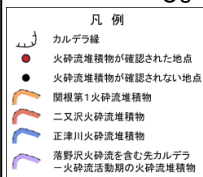
①拡大写真(Os-2, Os-4～Os-6)
Os-6は擾乱によりパッチ状の産状を呈する。



②拡大写真(ToyaとOs-6)
Os-6の上位のローム層中にToyaが確認される。



調査地点位置図



(参考2) 恐山に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(Os-2)】

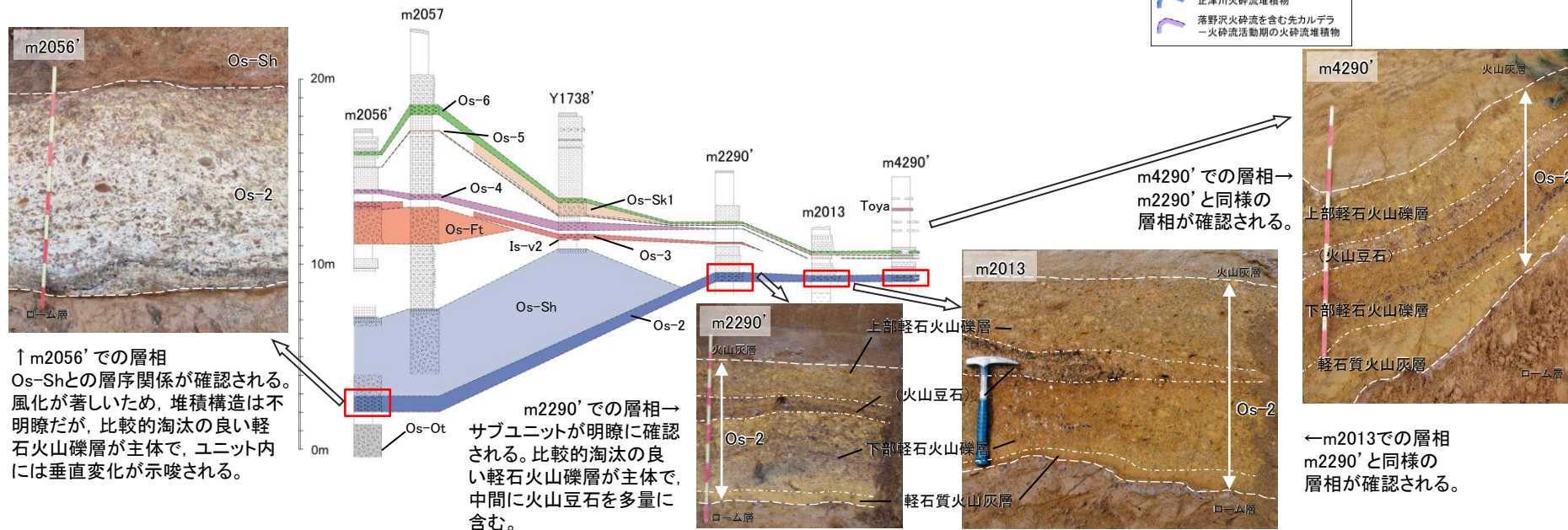
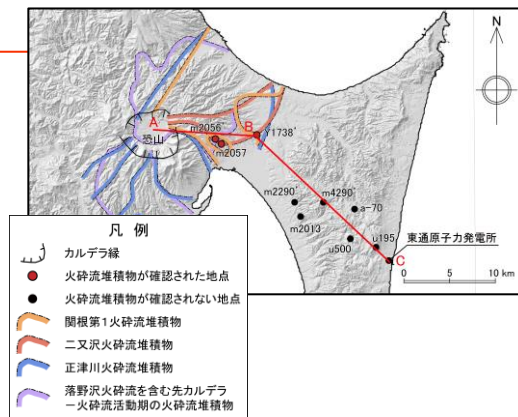
Os-2降下軽石層

層序

- Os-2はローム層を挟んでOs-Otを被覆し、Os-Shに直接被覆される。
- 本テフラはOs-Ot、Os-Shの鍵層となる。

層相

- Os-2は比較的淘汰が良い降下軽石層である。ユニット内に堆積構造の垂直変化が見られ、遠方では複数のサブユニットに細分され、最下部の軽石質火山灰層と、上部・下部の軽石火山礫層に分けられる。上部・下部の境界は火山豆石を多量に含む層を挟有する。



地点	m2056'	m2290'	m2013	m4290'
層相	軽石火山礫層	軽石質火山灰層から 軽石火山礫層	軽石質火山灰層から 軽石火山礫層	軽石質火山灰層から 軽石火山礫層
層厚	約85cm	約51cm	約35cm	約39cm
軽石平均粒径	3cm	1cm	5mm ~ 1.5cm	2mm ~ 1cm

注)
写真のスケールは露頭斜面に設置したものである。層厚は鉛直に換算している。

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【火山灰分析結果の比較(Os-2とOs-Ot・Os-Sh)】

コメントS250

- Os-2と前後の火砕流堆積物の火山灰分析の結果を比較した。
- 降下軽石層と火砕流堆積物の識別は層序・層相から判断しているが、火山灰分析の結果にも違いが見られている。

層序	地点・試料名	顕微鏡観察結果				特記事項	屈折率測定結果															
		有色鉱物			無色鉱物		火山ガラス (nd)					直方輝石 (γ)						角閃石 (n2)				
		直方輝石	単斜輝石	角閃石	石英		1.500	1.510	1.520	1.530	1.540	1.700	1.710	1.720	1.730	1.740	1.750	1.760	1.670	1.680	1.690	
Os-Sh 上部火山礫 正津川火砕流	Y1738' Os-Sh	○	△	○	○																	
	m2056' Os-Sh-U_b	○	—	○	○	風化黒雲母含む.																
	m2056' Os-Sh_p (軽石)	—	—	○	○																	
	m2056' Os-Sh_b (パレク)	△	—	○	○	風化黒雲母含む.																
Os-2 Os-2 降下軽石 上部 Os-2 降下軽石 下部 Os-2 降下軽石	m2056' Os-Sh (パレク)	—	—	○	○																	
	m4290' Os-2-U	○	○	○	○	風化黒雲母含む.																
	m2290' Os-2-U	○	○	○	○	風化黒雲母含む.																
	m4290' Os-2-L	○	—	△	○																	
Os-Ot 落野沢火砕流	m2290' Os-2-L	○	△	△	○																	
	m2056' Os-2	○	○	—	○																	
	m2056' Os-Ot_p (軽石)	—	—	—	△																	
	m2056' Os-Ot_b (パレク)	—	—	—	—																	

○: 含む
△: 微量含む
—: 含まれない

Count個数
20
10
0

○: 含む
△: 微量含む
—: 含まれない

Count個数
20
10
0

Os-OtとOs-2の火山灰分析結果

- Os-2は直方輝石と角閃石、石英を含み、上部では黒雲母が含まれるが、Os-Otでは石英がわずかに認められるのみであり、有色鉱物は確認されない。
- Os-2に含まれる直方輝石と角閃石の屈折率は共に統一的な傾向が認められ、特に角閃石の屈折率はピークがおおよそ1.676-1.678付近に収束している。
- 対して、Os-Otは堆積物全体が著しく風化しているため、有色鉱物は検出されなかったと考えられる。

以上から、Os-OtとOs-2は堆積物の保存状態に明瞭な差異が認められることから、Os-OtはOs-2～Os-6の堆積物よりも有意に古い堆積物であるとした露頭観察結果と整合的である。

Os-ShとOs-2の火山灰分析結果

- Os-Sh, Os-2はいずれも角閃石を含み、屈折率は類似した傾向を示す。ただし、Os-2の下部では角閃石がほとんど見られなくなる。
- Os-2では直方輝石が確認される一方で、Os-Shについては、上部の火山礫では確認されるものの、主部ではほとんど確認されない。
- 単斜輝石については、Os-2では含まれる一方で、Os-Shではほとんど含まれていない。
- 直方輝石の屈折率のピークを比較すると、Os-Sh火砕流堆積物の主部はおおよそ1.719-1.721付近、Os-2はおおよそ1.713-1.716付近であり、明瞭に異なる。

以上から、Os-ShとOs-2は直方輝石の含有量と屈折率のピーク及び単斜輝石の有無に違いが見られる。

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(Os-3)】

Os-3降下軽石層

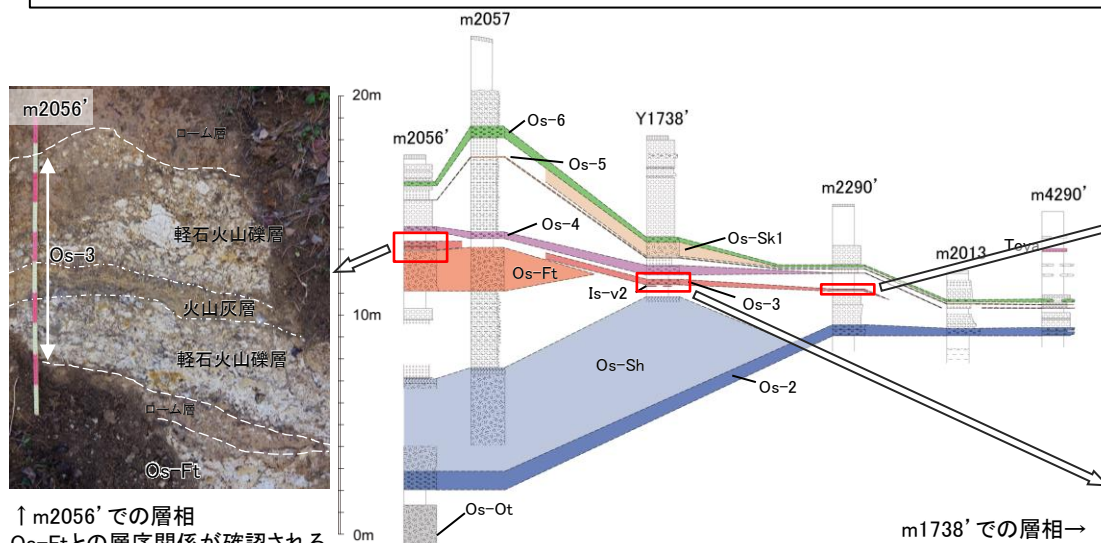
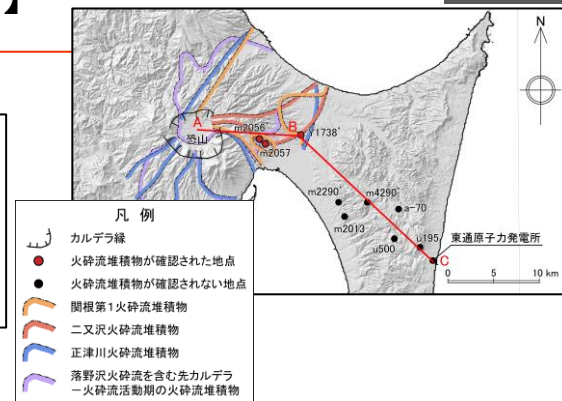
層序

➢ Os-3は薄いローム層を挟んでOs-Ftを被覆し、上位はローム層を挟んでOs-4が分布する。

➢ 本テフラはOs-Ftの鍵層となる。

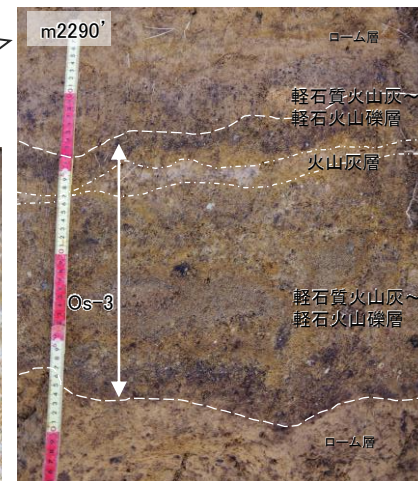
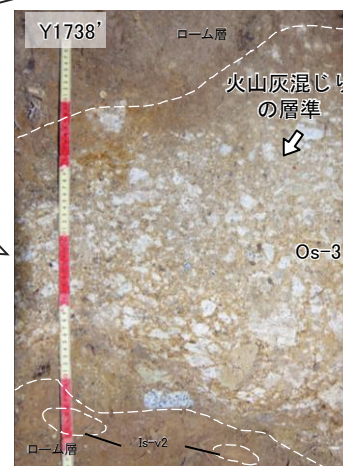
層相

➢ Os-3は比較的淘汰が良い降下軽石層である。角ばった軽石が礫支持で堆積している。石質岩片が普遍的に含まれる。地点により火山灰層の挟有が確認される。



↑ m2056' での層相
Os-Ftとの層序関係が確認される。
比較的淘汰の良い軽石火山礫層
が主体で、角ばった軽石が礫支持
で堆積し、石質岩片が含まれる。
中間に火山灰層を挟有する。

m1738' での層相→
Os-3はローム層に挟まれて分布
し、下位のローム層中には、
Is-v2が確認される。比較的淘
汰の良い軽石火山礫層が主体
で、角ばった軽石が礫支持で堆
積し、石質岩片が含まれる。



↑ m2290' での層相
Os-3はローム層に挟まれて分布する。
比較的淘汰の良い軽石火山礫層～
軽石質火山灰層が主体だが、粒径
が小さい。石質岩片が含まれる。中
間に火山灰層を挟有する。

地点	m2056'	Y1738'	m2290'
層相	軽石火山礫層 火山灰層	軽石火山礫層	軽石質火山灰～軽石火山礫層、 火山灰層
層厚	約40cm	約26cm	約11cm
軽石平均粒径	3cm	2～4cm	<2mm

注)
写真のスケールは露頭斜面
に設置したものである。層厚
は鉛直に換算している。

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【火山灰分析結果の比較(Os-3とOs-Ft)】

コメントS250

- Os-3と下位の二又沢火砕流堆積物の火山灰分析の結果を比較した。
- 降下軽石層と火砕流堆積物の識別は層序・層相から判断しているが、火山灰分析の結果にも違いが見られている。

層序	地点・試料名	顕微鏡観察結果				屈折率測定結果																
		有色鉱物			無色鉱物	特記事項	火山ガラス (nd)					直方輝石 (γ)						角閃石 (n2)				
		直方輝石	単斜輝石	角閃石	石英		1.500	1.510	1.520	1.530	1.540	1.700	1.710	1.720	1.730	1.740	1.750	1.760	1.670	1.680	1.690	
Os-3 Os-3 降下軽石	m2290' Os-3	△	—	○	—																	
	Y1738' Os-3	○	△	○	○																	
	m2056' Os-3	△	—	○	○																	
Os-Ft 二又沢火砕流	m2056' Os-Ft_b (バレルク)	○	△	○	○																	

○: 含む
△: 微量含む
—: 含まれない

Count値
20
10
0

Os-FtとOs-3の火山灰分析結果

- Os-FtとOs-3はいずれも直方輝石を含み、単斜輝石がわずかに認められる。
- Os-FtとOs-3はいずれも角閃石を含み、屈折率の幅は概ね重複しているが、Os-Ftはやや高い傾向を示す。
- 直方輝石の屈折率では、Os-3は幅が広く、明瞭なピークは認められないが、Os-Ftは1.710付近にまとまり、明瞭なピークを示す。

以上から、Os-FtとOs-3は直方輝石と角閃石の屈折率に違いがみられる。

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(Os-4)】

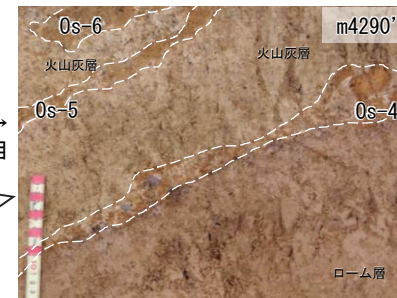
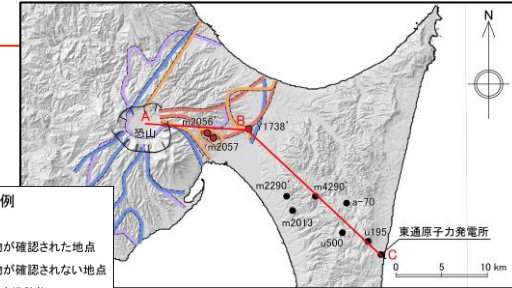
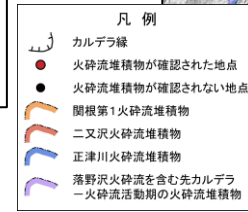
Os-4降下軽石層

層序

➢ Os-4はローム層を挟んでOs-3を被覆し、上位は火山灰層を挟んでOs-5, Os-6が分布する。

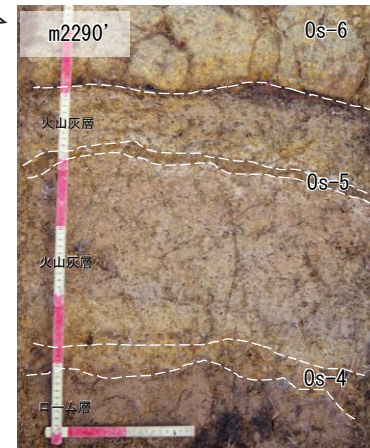
層相

➢ Os-4は比較的淘汰が良い降下軽石層である。恐山周辺の露頭では風化が著しく、堆積構造は不明瞭になっている。

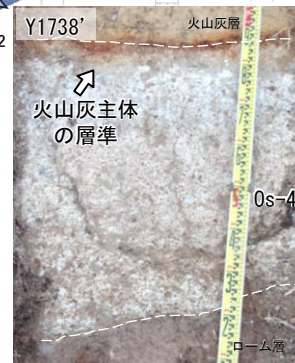


m4290' での層相→
m2290' と同様の層相
が確認される。

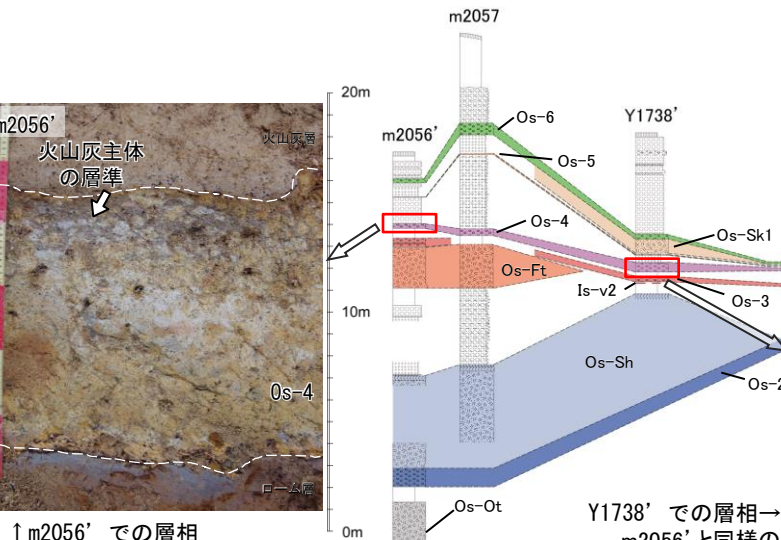
←m2290' での層相
m2056' と同様に下位は
ローム層で、上位は火山
灰層が被覆する。比較的
淘汰の良い軽石火山礫が
主体で、層厚は薄い。



Y1738' での層相→
m2056' と同様の
層相が確認される。



↑m2056' での層相
下位はローム層で、上位は火
山灰層が被覆する。風化が著
しいため、堆積構造は不明瞭
だが、比較的淘汰の良い軽石
火山礫が主体で、上部は漸移
的に火山灰主体となる。



注)
写真のスケールは露頭斜面
に設置したものである。層厚
は鉛直に換算している。

地点	m2056'	Y1738'	m2290'	m4290'
層相	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層
層厚	約22cm	約39cm	約2cm	約3cm
軽石平均粒径	3cm	2~3cm	3~5mm	<5mm

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(Os-5)】

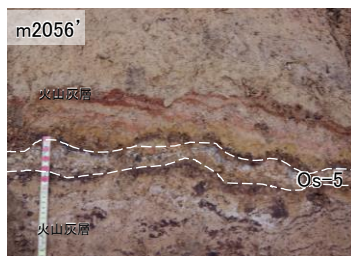
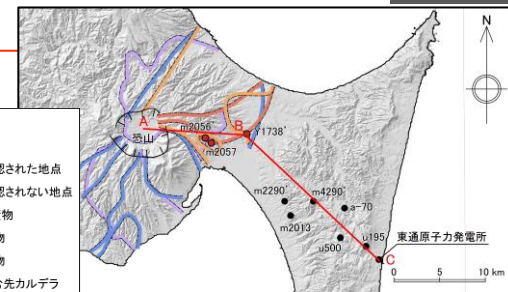
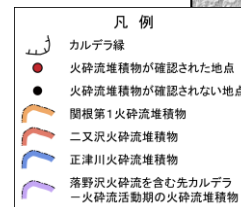
Os-5降下軽石層

層序

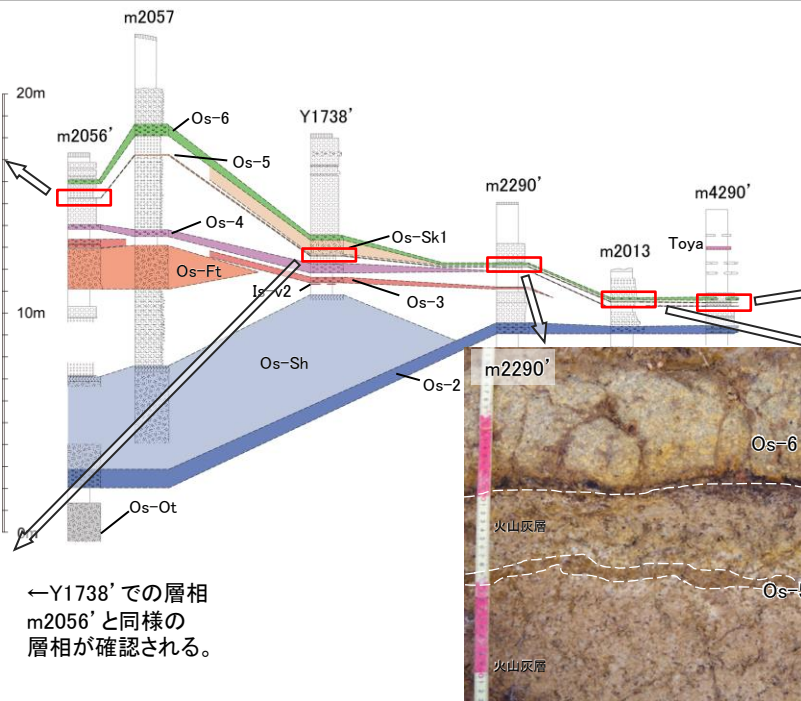
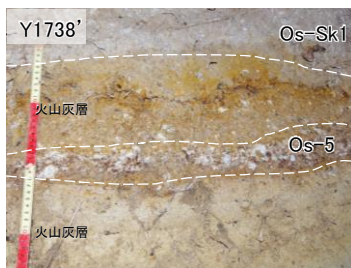
- Os-5は火山灰層を挟んでOs-4を被覆し、上位は火山灰層を挟んでOs-Sk1またはOs-6が分布する。上下の火山灰層は多量の火山豆石を含む特徴的な層相を有する。
- 本テフラはOs-6と合わせてOs-Sk1の鍵層となる。

層相

- Os-5は比較的淘汰が良い降下軽石層である。全体的に層厚が薄く、恐山周辺地点においても、層厚は5cmに満たない。上位、下位の火山灰層は明灰色の火山豆石が多量に含まれる。

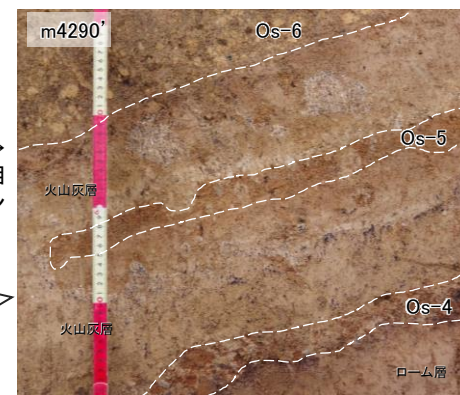


↑ m2056'での層相
火山豆石を含む特徴的な火山灰層に挟まるように分布する。淘汰の良い軽石火山礫主体で、給源に近い露頭だが層厚は薄い。



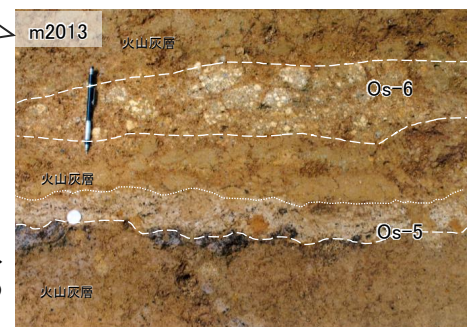
←Y1738'での層相
m2056'と同様の層相が確認される。

m4290'での層相→
m2290'と同様の層相が確認されるが、レンズ状の産状を呈す。



←m2290'での層相
m2056'と同様、火山豆石を含む特徴的な火山灰層に挟まるように分布する。淘汰の良い軽石火山礫主体で、粒径、層厚は共に小さい。

m2013での層相→
m2290'と同様の層相が確認される。



注)
写真のスケールは露頭斜面に設置したものである。層厚は鉛直に換算している。

地点	m2056'	Y1738'	m2290'	m2013	m4290'
層相	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石質火山灰層
層厚	約2cm	約4cm	約3cm	約3cm	約2cm
軽石平均粒径	1cm	1~2cm	3mm	1~3mm	1mm

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(Os-6)】

Os-6降下軽石層

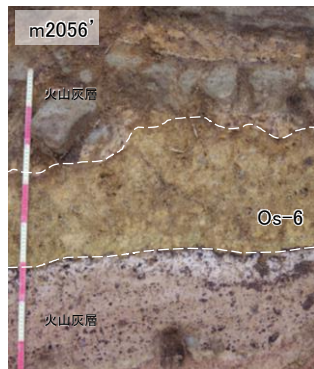
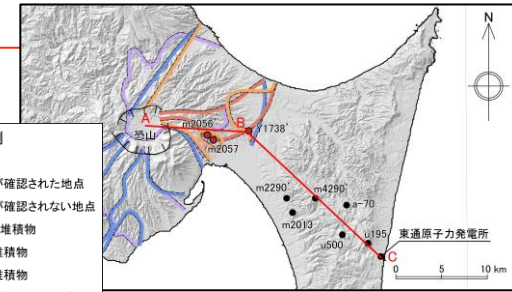
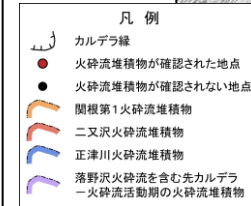
層序

➤ Os-6はOs-Sk1を直接被覆, または火山灰層を挟んでOs-5を被覆し, 上位は火山灰層に被覆される。

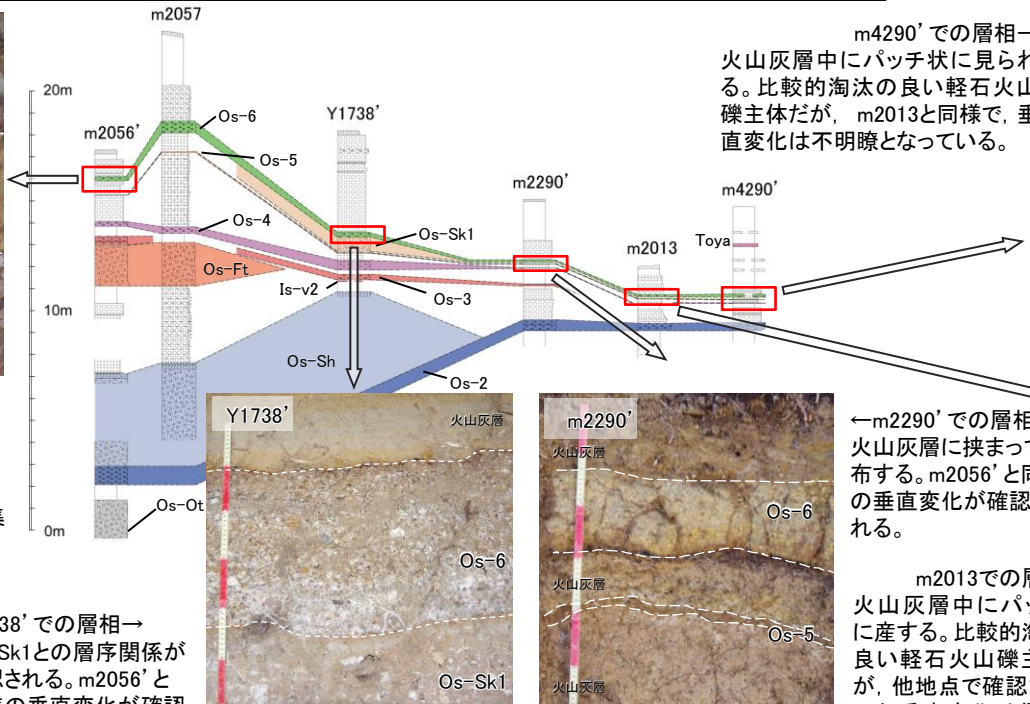
➤ 本テフラはOs-5と合わせてOs-Sk1の鍵層となる。

層相

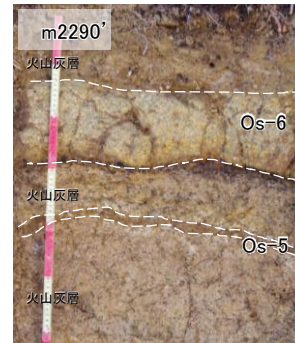
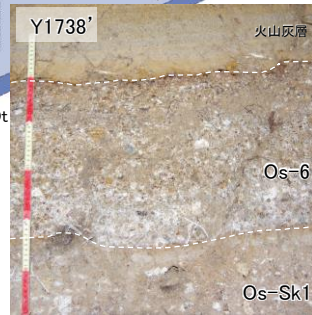
➤ Os-6は比較的淘汰が良い降下軽石層である。上方細粒化を呈し, 上部では鉱物粒子の量が増加する。遠方になるとパッチ状の産状を呈し, ユニット内の垂直変化は不明瞭となる。



↑ m2056'での層相
火山灰層に挟まって分布する。比較的淘汰の良い軽石火山礫層が主体で, 上方細粒化が見られ, 上方には鉱物粒子も濃集する。

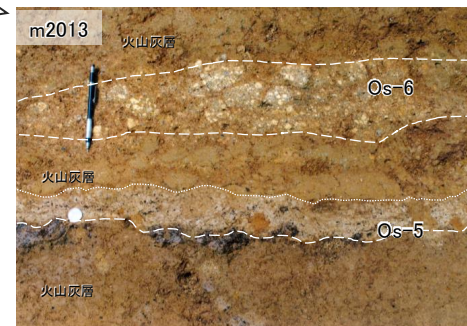
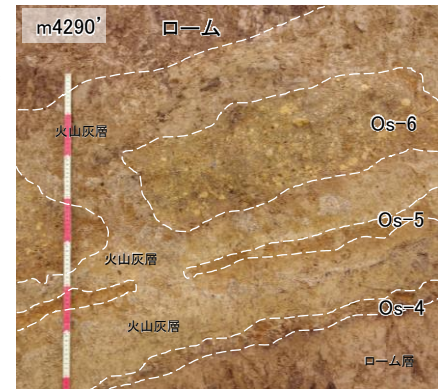


m1738'での層相→
Os-Sk1との層序関係が確認される。m2056'と同様の垂直変化が確認される。



← m2290'での層相
火山灰層に挟まって分布する。m2056'と同様の垂直変化が確認される。

m2013での層相→
火山灰層中にパッチ状に産する。比較的淘汰の良い軽石火山礫主体だが, 他地点で確認されていた垂直変化は擾乱により不明瞭となっている。



注)
写真のスケールは露頭斜面に設置したものである。層厚は鉛直に換算している。

地点	m2056'	Y1738'	m2290'	m2013	m4290'
層相	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層	軽石火山礫層
層厚	約19cm	約23cm	約10cm	約10cm	約15cm
軽石平均粒径	2cm	1~2cm	2cm	3mm ~ 1cm	1~2cm

(参考2) 恐山に関する地質調査データ【火山灰分析結果の比較(Os-5・Os-6とOs-Sk1)】

コメントS250

- Os-5・Os-6と挟在する関根第1火砕流堆積物の火山灰分析の結果を比較した。
- 降下軽石層と火砕流堆積物の識別は層序・層相から判断しているが、火山灰分析の結果にも違いが見られている。

層序	地点・試料名	顕微鏡観察結果				屈折率測定結果															
		有色鉱物			無色鉱物	特記事項	火山ガラス (nd)					直方輝石 (γ)					角閃石 (n2)				
		直方輝石	単斜輝石	角閃石	石英		1.500	1.510	1.520	1.530	1.540	1.700	1.710	1.720	1.730	1.740	1.750	1.760	1.670	1.680	1.690
Os-6 Os-6 降下軽石	m4290' _Os-6	○	—	○	○	風化黒雲母含む、 黒雲母含む。															
	m2290' _Os-6	○	—	○	○																
	Y1738' _Os-6	△	—	○	○																
	m2056' _Os-6	○	—	○	○																
Os-Sk1 関根第1 火砕流	Y1738' _Os-Sk1_p (軽石)	△	—	○	○																
	Y1738' _Os-Sk1_b (パルク)	△	—	○	○																
Os-5 Os-5 降下軽石	m4290' _Os-5	○	△	○	○																
	m2290' _Os-5	—	—	○	○																
	Y1738' _Os-5	○	—	○	○																
	m2056' _Os-5	△	—	○	○																

○: 含む
△: 微量含む
—: 含まれない

Count個数
20
10
0

○: 含む
△: 微量含む
—: 含まれない

Count値
20
10
0

Os-Sk1とOs-5, Os-6の火山灰分析結果

- Os-Sk1とOs-5はいずれも直方輝石を含むが、Os-5の直方輝石の屈折率は幅が広く、明瞭なピークが認められない傾向を示す。
- Os-Sk1とOs-6はいずれも直方輝石を含み、屈折率も類似した傾向を示すが、Os-Sk1の直方輝石の含有量は極端に少ない。
- Os-5, Os-Sk1, Os-6はいずれも角閃石、石英を含み、角閃石の屈折率は類似した傾向を示す。
- また、Os-6は火山ガラスや黒雲母を含むが、Os-Sk1には含まれない。

以上から、Os-Sk1とOs-6は直方輝石の含有量や火山ガラス及び黒雲母の有無に違いがあり、Os-Sk1とOs-5は直方輝石の屈折率に違いが見られる。

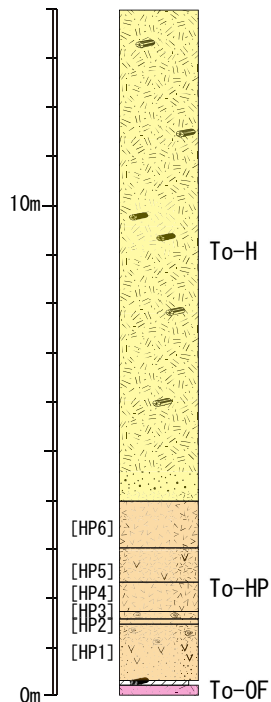
余白

(参考3) 十和田に関する地質調査データ

(参考3) 十和田に関する地質調査データ【露頭写真(地点A)】

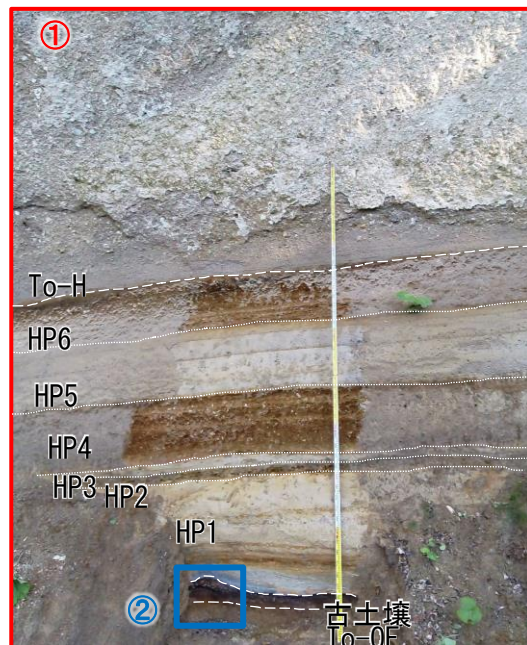
コメントS248

➤ 地点Aは十和田から約24km東方に位置し、To-H、To-HP、及び古土壌を介して下位に分布するTo-OFの層序関係が確認される。

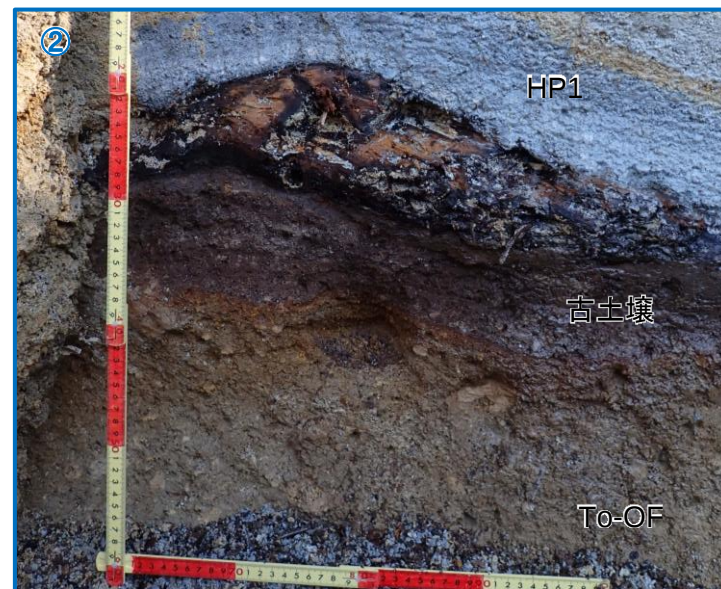


地点A 全景写真

拡大写真位置



①拡大写真(層序関係)



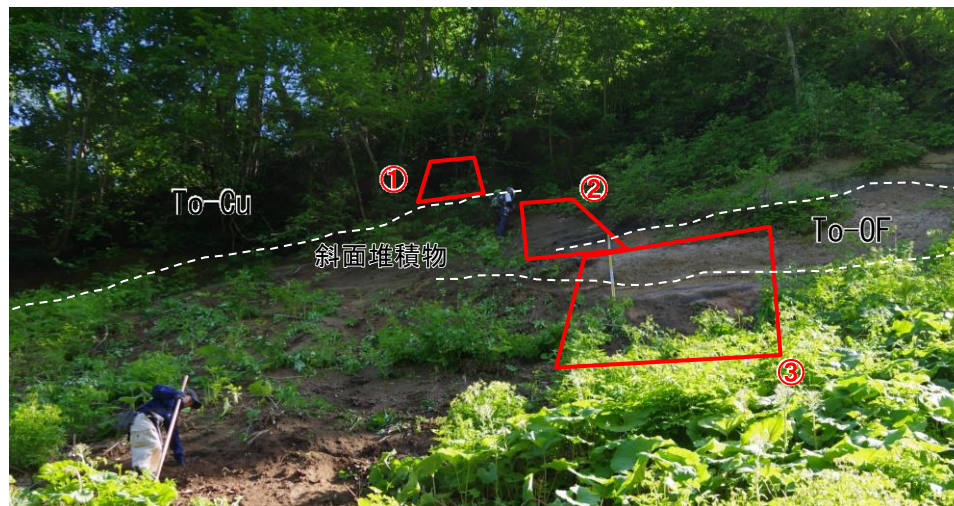
②拡大写真(To-OF)

←HP1より下に土壌を介してTo-OFが分布する。淘汰は悪く、露出部は風化により黄褐色を呈す。

(参考3) 十和田に関する地質調査データ【露頭写真(地点B)】

コメントS248

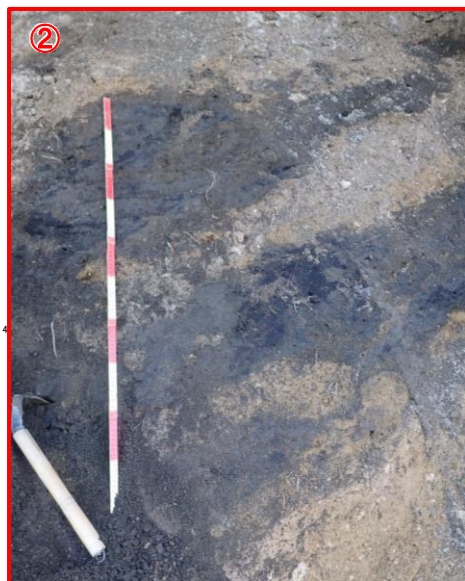
➤ 地点Bは十和田から約9km東方に位置し、To-OF、To-KRをはじめとし、その他の火山噴出物(To-Cu, O', To-OS)やローム層との層序関係が確認される。



地点B 全景写真



①拡大写真(To-Cu)
淘汰が良い軽石火山礫層で、軽石は白色で角ばっており、上方粗粒化を呈す。

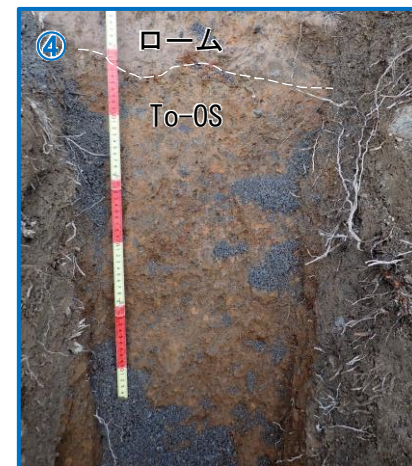


②拡大写真(斜面堆積物)

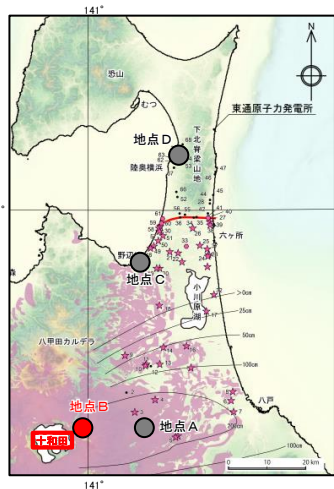
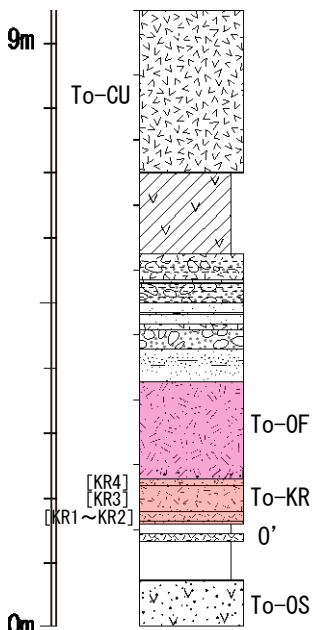
←軽石や火山灰、ローム、土壌からなる堆積物であり、擾乱により初生的な堆積構造は保持していない。



③拡大写真(層序関係)



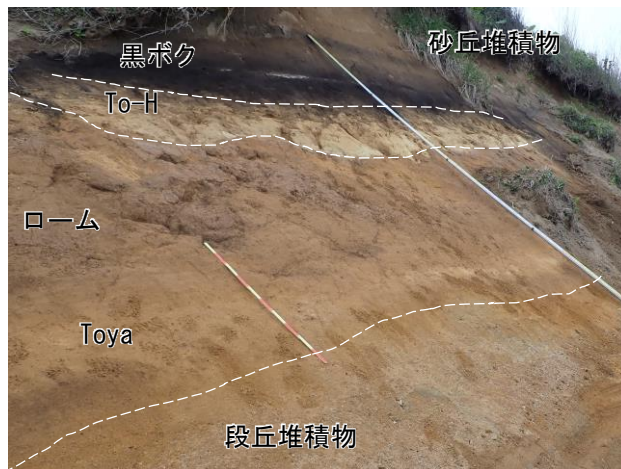
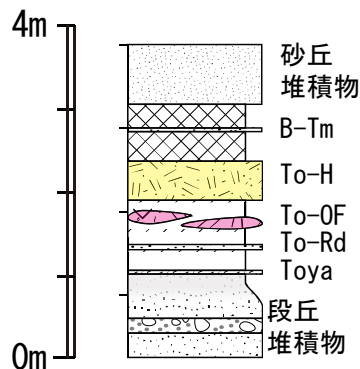
④拡大写真(To-OS)
岩片や軽石などの火山礫と火山灰基質からなる。露出部は風化により茶褐色色を呈す。



(参考3) 十和田に関する地質調査データ【露頭写真(地点C)】

コメントS248

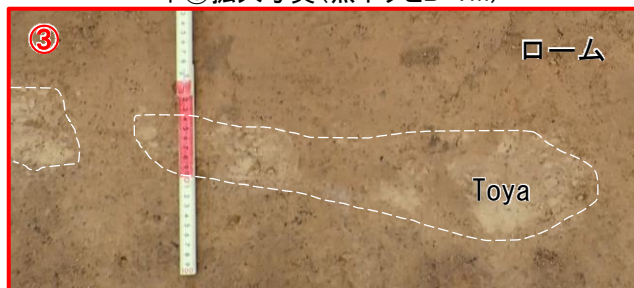
- 地点Cは十和田から約52km北東方向に位置し、砂丘堆積物、黒ボク、To-H、ローム層、Toya、段丘堆積物の層序関係が確認される。
- また、黒ボク中にはB-Tmが、ローム層中にはTo-OFやTo-Rdが挟んでいることが確認できる。



↑ 地点C 全景写真



↑ ①拡大写真(黒ボクとB-Tm)

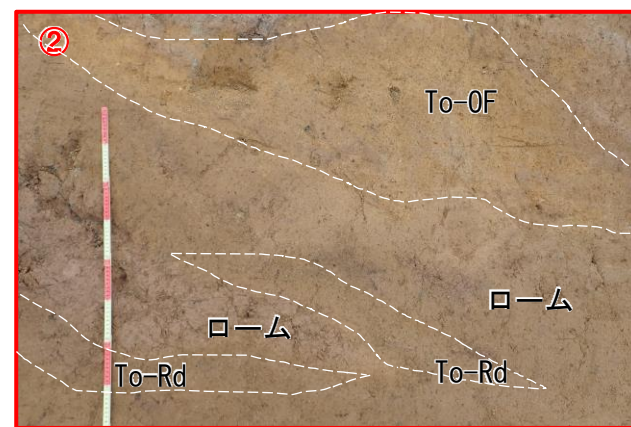


↑ ③拡大写真(ロームとToya)

Toyaは淘汰の良い特徴的な白色火山灰として挟んでいる。



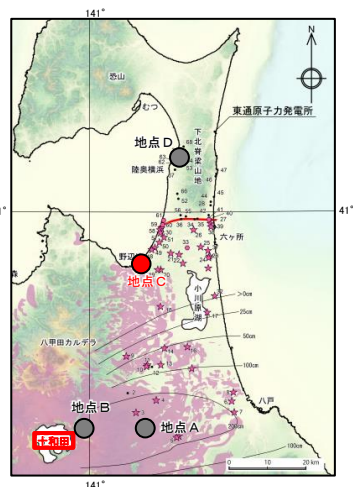
凍結融解作用により、To-HからToyaの間は著しく乱されている。



↑ ②拡大写真(ロームとTo-OF・To-Rd)

To-OFは白色の軽石火山礫と黄褐色の火山灰からなる淘汰の悪い層相を呈し、石質岩片礫を多く含む。

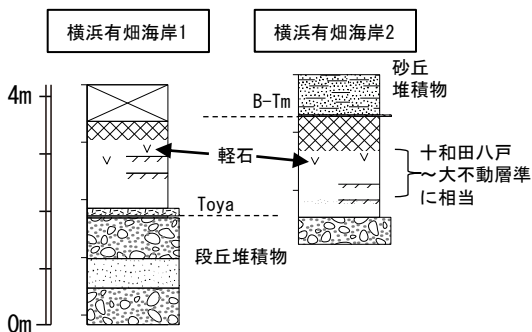
To-Rdは特徴的な赤褐色を呈する淘汰の良い火山礫層であり、一部で特徴的な黒色の角ばった火山礫が見られる。



(参考3) 十和田に関する地質調査データ【露頭写真(地点D)】

コメントS248

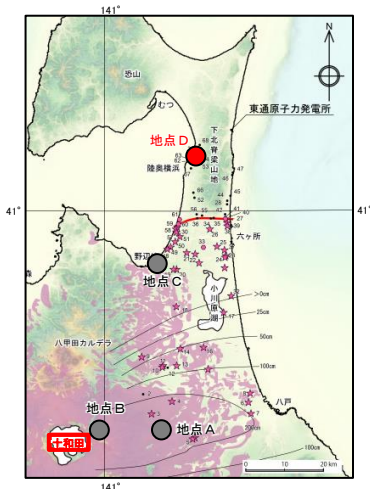
- 地点Dは十和田から約81km北東方向に位置し、砂丘堆積物、黒ボク、ローム層、Toya、段丘堆積物の層序関係が確認される。
- また、黒ボク中にはB-Tmが、ローム層中にはわずかに軽石が含まれる。



↑ 地点D 全景写真(横浜有烟海岸1)



↑ 地点D 全景・拡大写真(横浜有烟海岸2)



↑ ①拡大写真(砂丘堆積物とB-Tm)
B-Tmは白色の細粒火山灰層である。



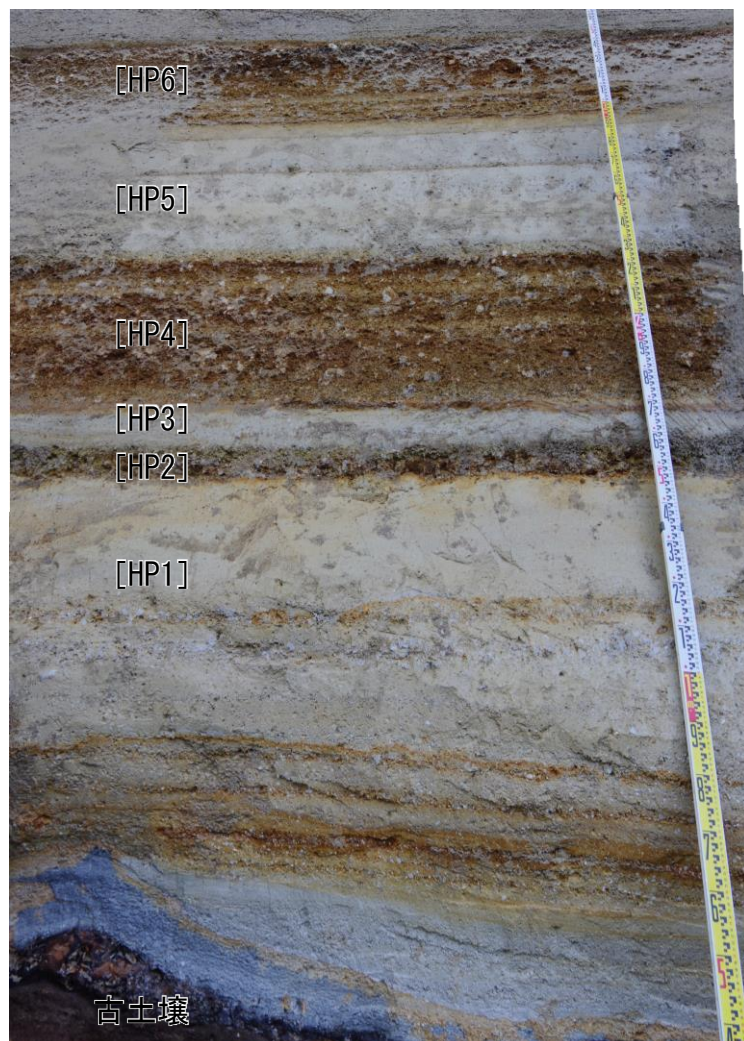
↑ ②拡大写真(ローム層にわずかに含まれる軽石)

←黒ボクの直下
10~40cm付近
に、径1~2mm
の淡黄白色軽
石をわずかに
含むが、ロ
ーム層中の軽
石含有は1粒子
/1㎡程度であ
る。

(参考3) 十和田に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(十和田八戸降下テフラ)】

コメントS248

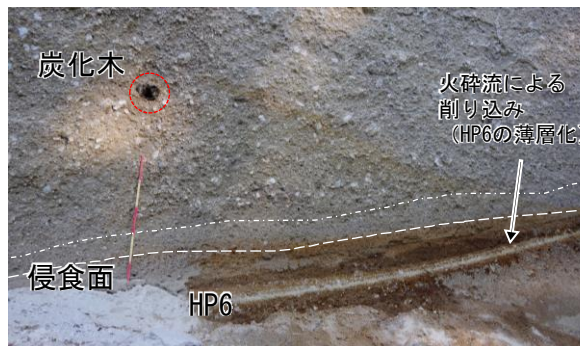
- To-HPは淘汰の良い6つの降下ユニットで構成されている。
- HP1, HP3, HP5は火山灰主体で形成される層であり、主に白色～淡黄色を呈している。HP2, HP4, HP6は軽石主体で形成される層であり、軽石の表面は褐色に変色している。
- HP1, HP3には火山豆石が含まれており、HP6は上位のTo-Hにより削り込みを受けている。



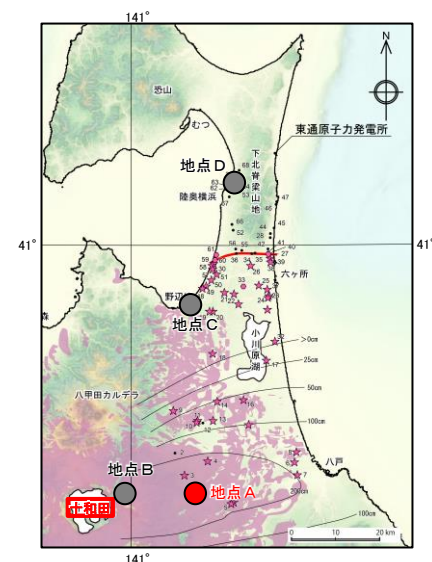
To-HP 拡大写真



← ↑ HP1, HP3 拡大写真
(全体的に白色～淡黄色を呈し、
火山豆石が確認できる)



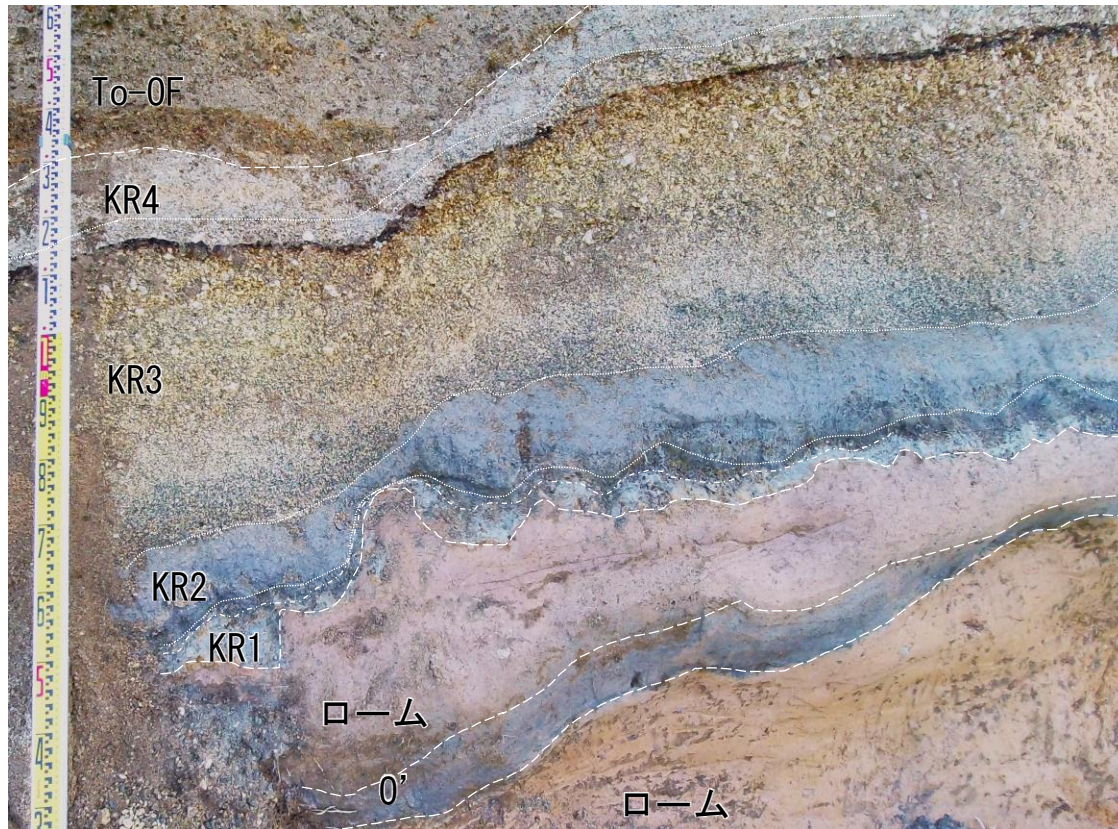
HP6 拡大写真
(軽石の表面は褐色に変色しており、
To-Hによる削り込みが確認できる)



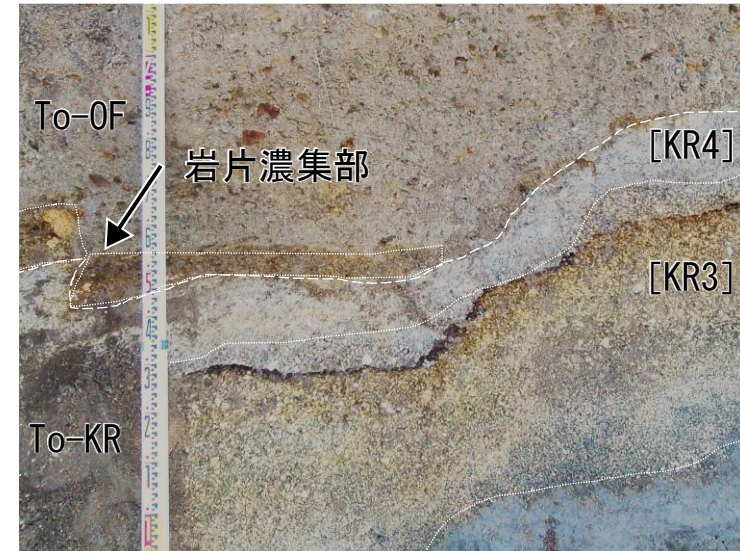
(参考3) 十和田に関する地質調査データ【降下火砕物の特徴(十和田切田降下テフラ)】

コメントS248

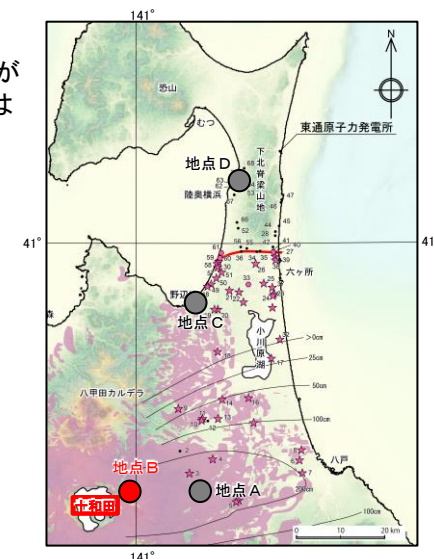
- To-KRは淘汰の良い4つの降下ユニットで構成されている。
- KR4は軽石混じり明灰色細粒火山灰層であり軽石は白色を呈する。KR3は軽石火山礫層であり軽石は白色を呈し、下部には石質岩片を含んでいる。KR2は青灰色の細粒火山灰層、KR1は上部が薄い粗粒火山灰層、下部が明灰色細粒火山灰層であり下部では黒色の岩片を含む。）
- KR4はTo-OFによる削り込みを受けている。



To-KR 拡大写真



KR4・KR3 拡大写真
(KR4To-OFによる削り込みが確認できる。KR3の下部には石質岩片が含まれる。)

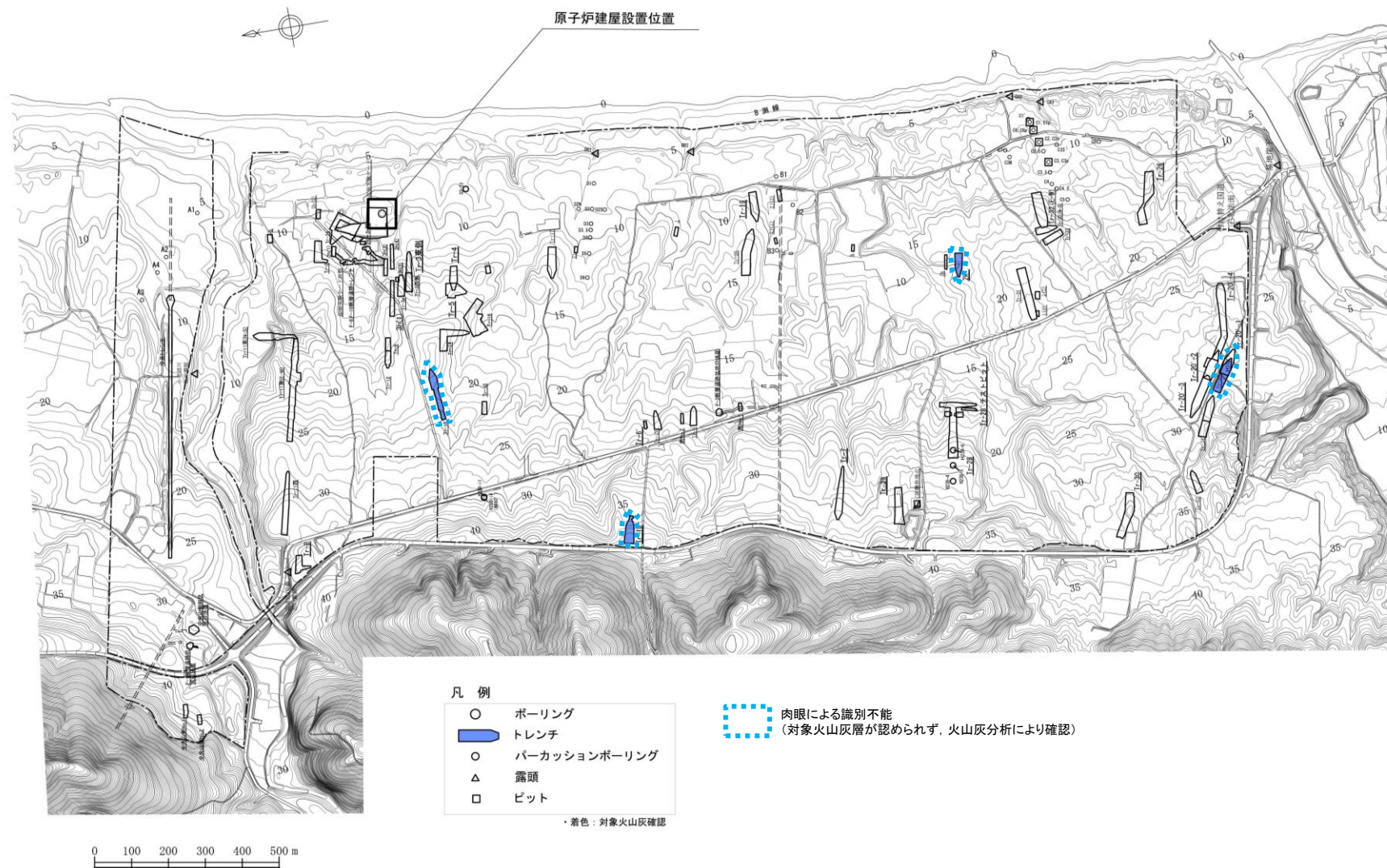


余白

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴【ho】

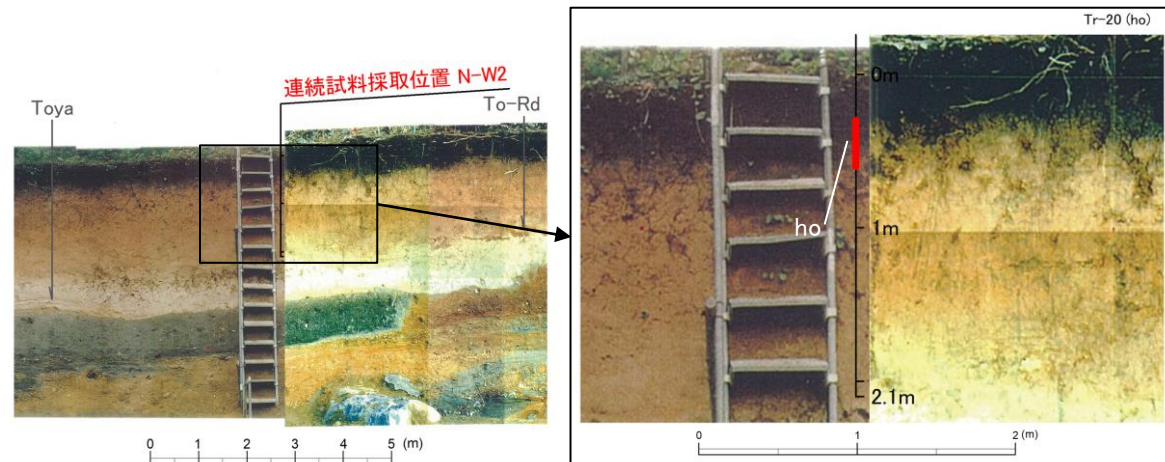
- hoは発電所敷地で局所的に分布しているが、確認箇所は少なくすべて肉眼識別困難である。



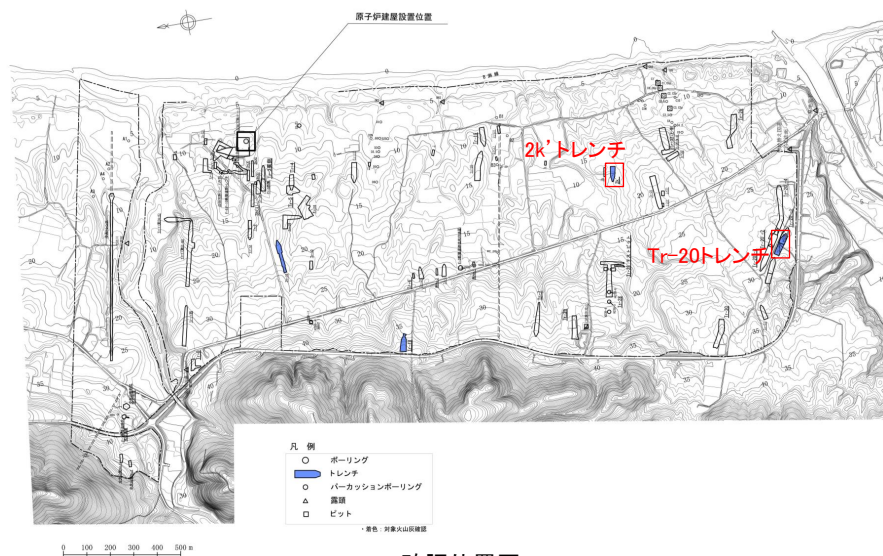
ho確認位置図

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴【ho】

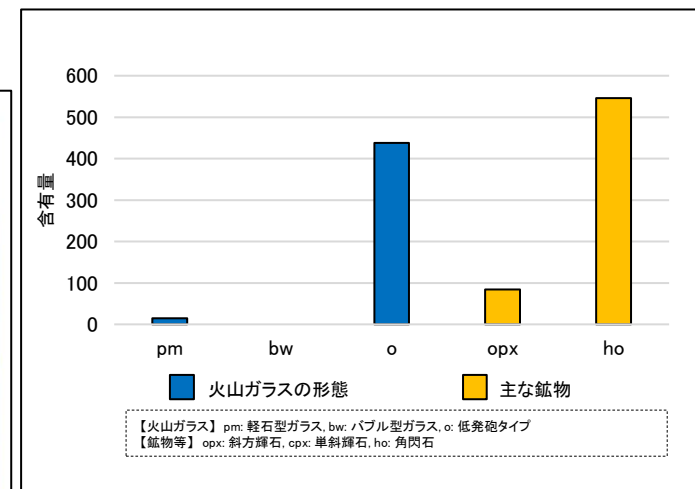
- hoは、主にローム層に認められる(写真:Tr-20トレンチ北側法面)。
- 火山灰層は認められず、肉眼での識別はできないが、当該層準のローム層を対象とした火山灰分析と層序関係から確認できる。
- 構成物は、低発泡タイプの火山ガラス、角閃石を主体とする(分析結果:2k'トレンチ北面)。



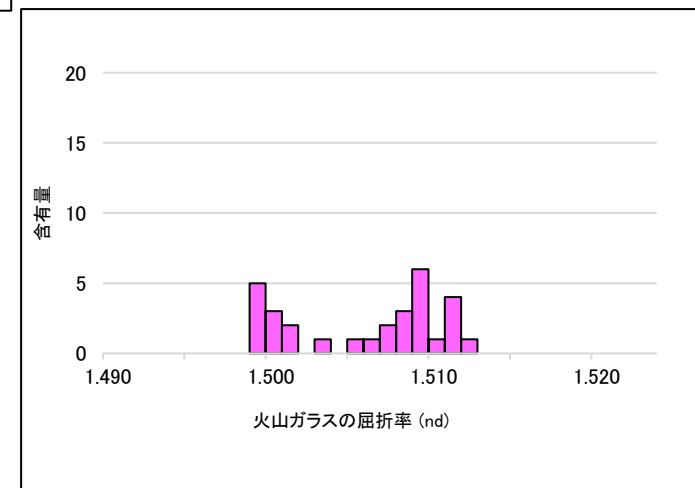
ho確認位置付近(Tr-20トレンチ北側法面;肉眼識別困難)



ho確認位置図



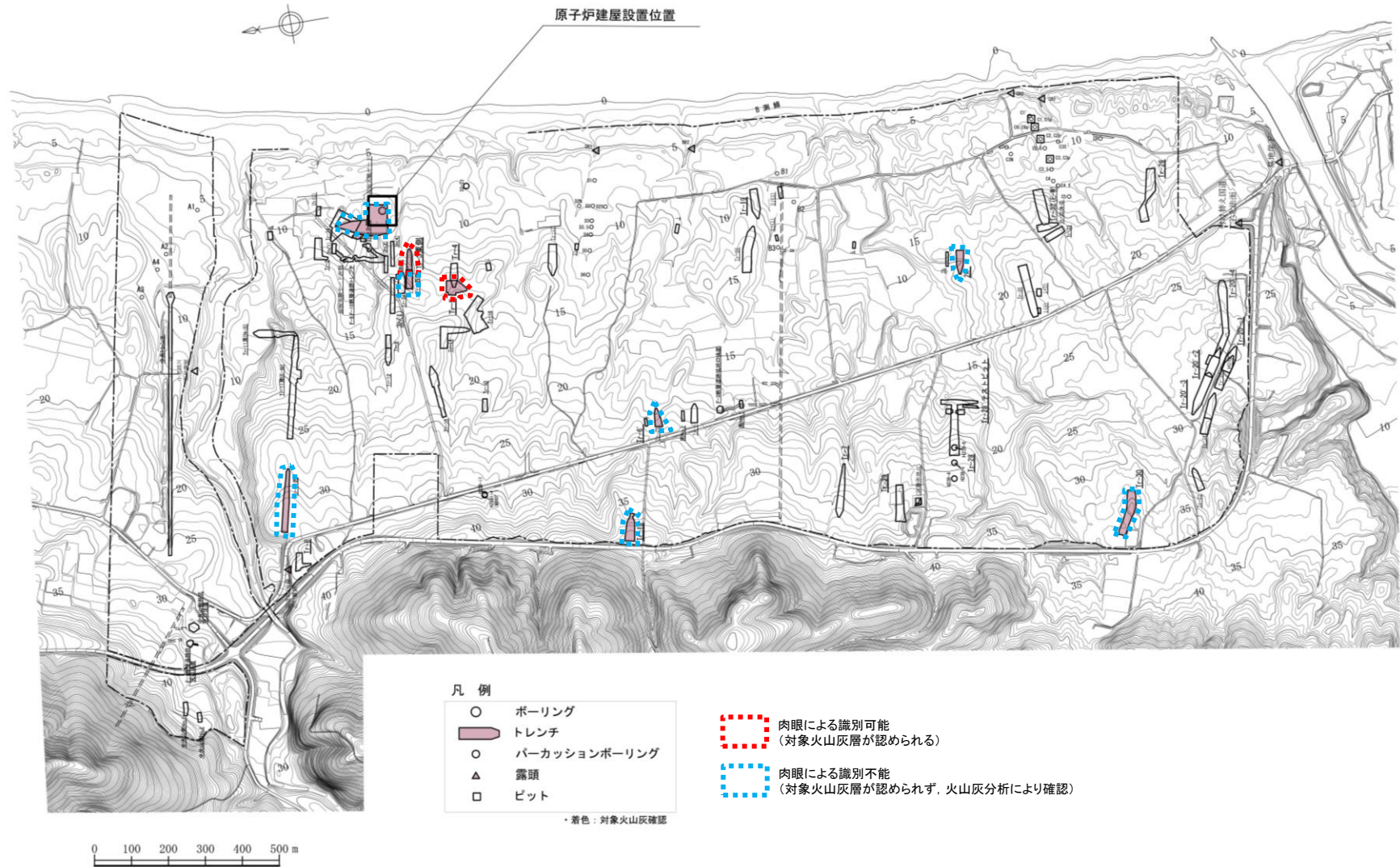
火山灰分析結果(2k'トレンチ北面)



火山ガラス屈折率測定結果(2k'トレンチ北面)

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴 【深浦(Fk)】

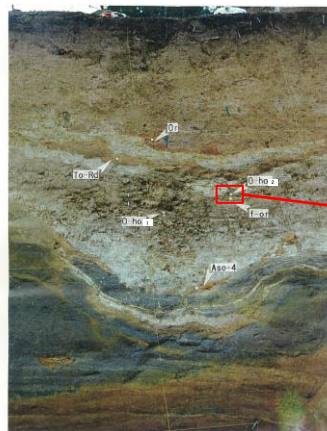
- 深浦は発電所敷地で局所的に分布しているが、肉眼識別困難な箇所が多い。



深浦確認位置図

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴 【深浦(Fk)】

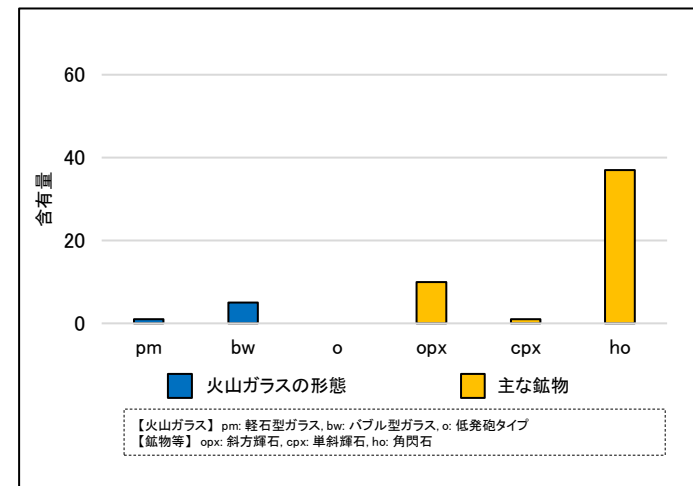
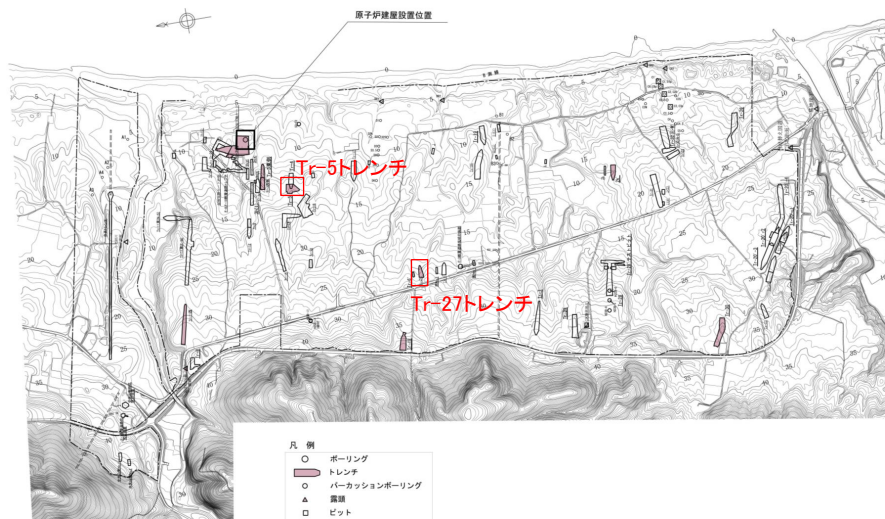
- 深浦は、主にローム層や陸成堆積物中に認められる(写真:Tr-5トレンチ)。
- 黒褐色を呈し、シルト～極細砂サイズの火山灰からなる。
- 一部ではレンズ状～塊状の堆積産状を示すが、大半は肉眼識別困難であり、連続性に乏しく層状をなす範囲が狭い。
- 火山ガラスはあまり確認されず、角閃石などの鉱物を主体とする(分析結果:Tr-27トレンチ北面)。



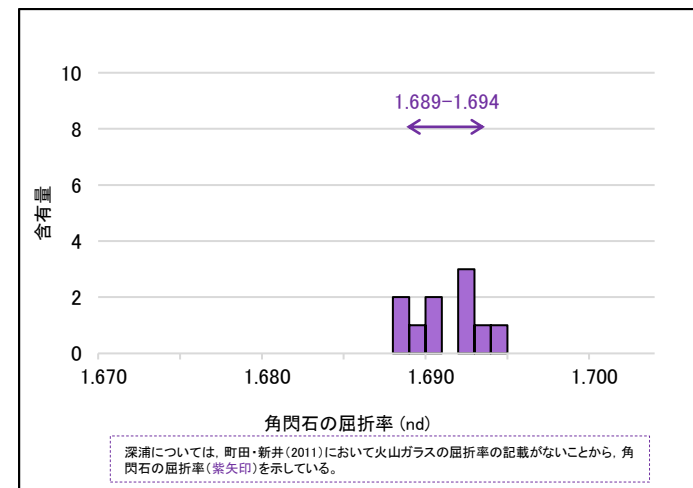
深浦分布状況(Tr-5トレンチ)



同左 拡大



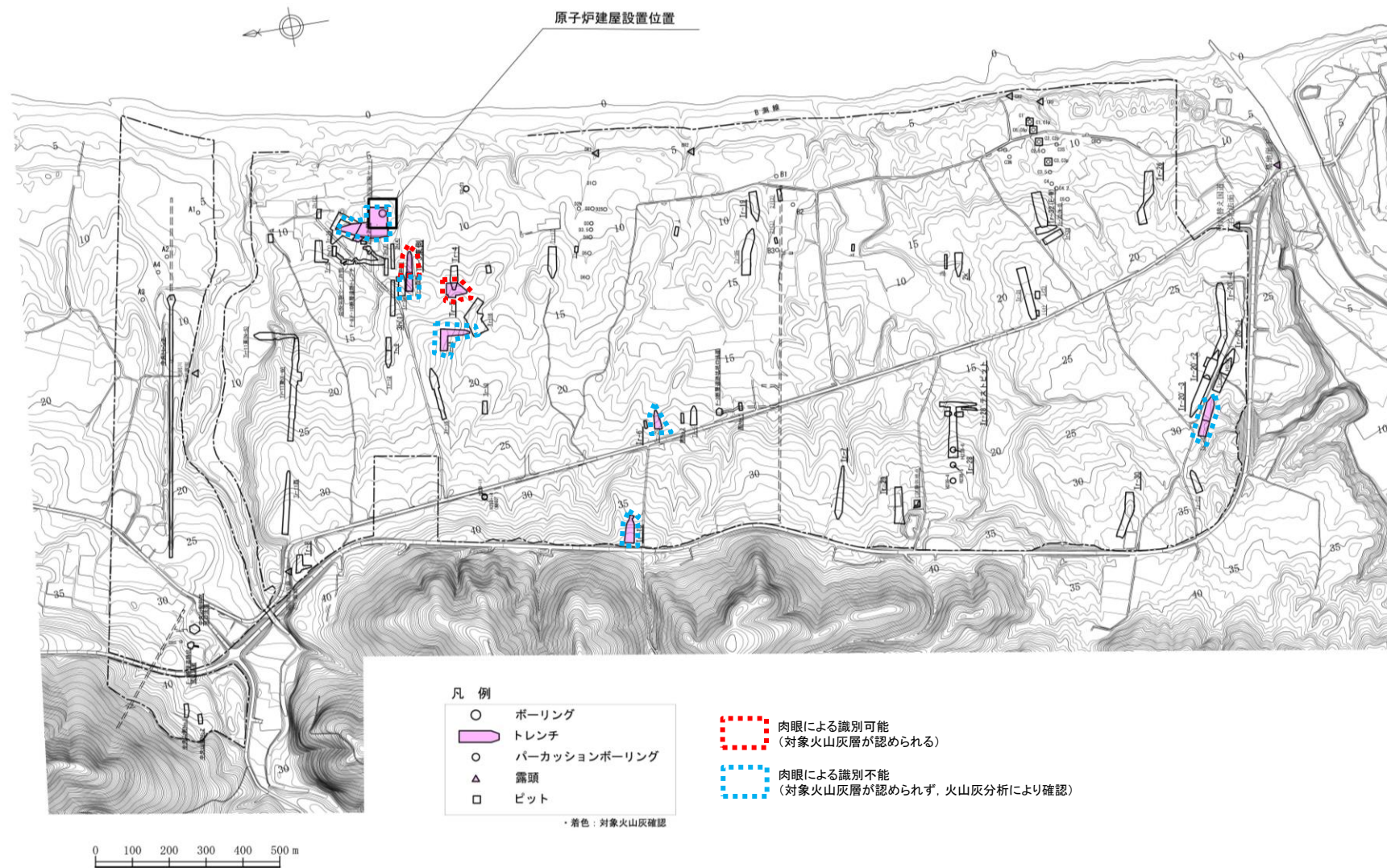
火山灰分析結果(Tr-27トレンチ)



角閃石屈折率測定結果(Tr-27トレンチ)

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴 【f-Or】

- f-Orは発電所敷地で局所的に分布しているが、確認箇所は少なく肉眼識別困難な箇所も多い。

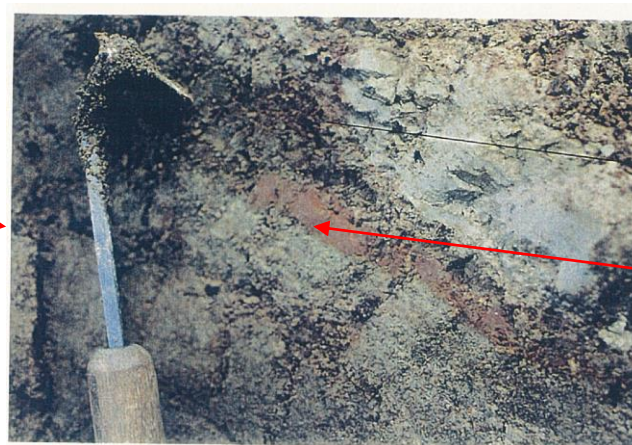


(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴 【f-Or】

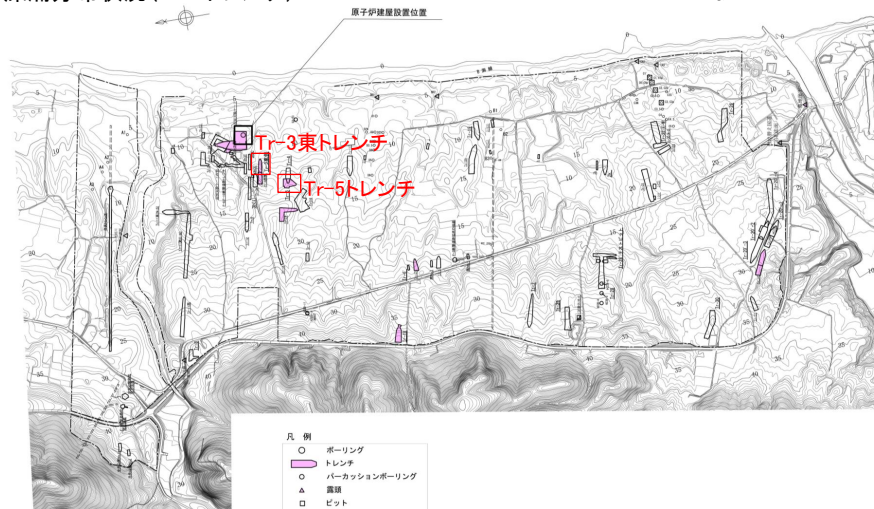
- f-Orは、主にローム層や陸成堆積物中に認められる(写真:Tr-5トレンチ)。
- 黄橙色～灰白色を呈し、シルト～極細砂サイズの火山灰からなる。
- 一部ではレンズ状～塊状の堆積産状を示すが、大半は肉眼識別困難であり、連続性に乏しく層状をなす範囲も狭い。
- 構成物は、軽石型の火山ガラスや斜方輝石と単斜輝石、角閃石などの鉱物を含む(分析結果:Tr-3東トレンチ)。



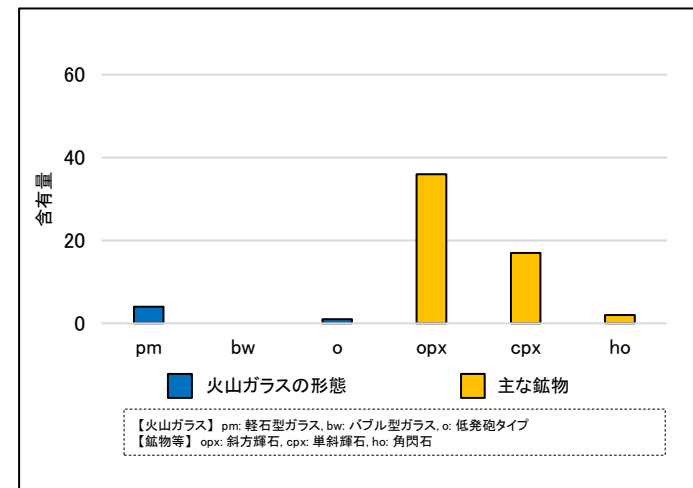
深浦分布状況(Tr-5トレンチ)



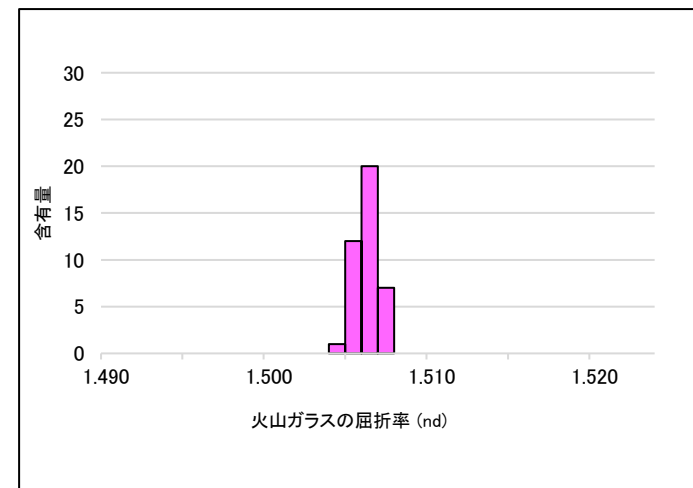
同左 拡大



f-Or確認位置図



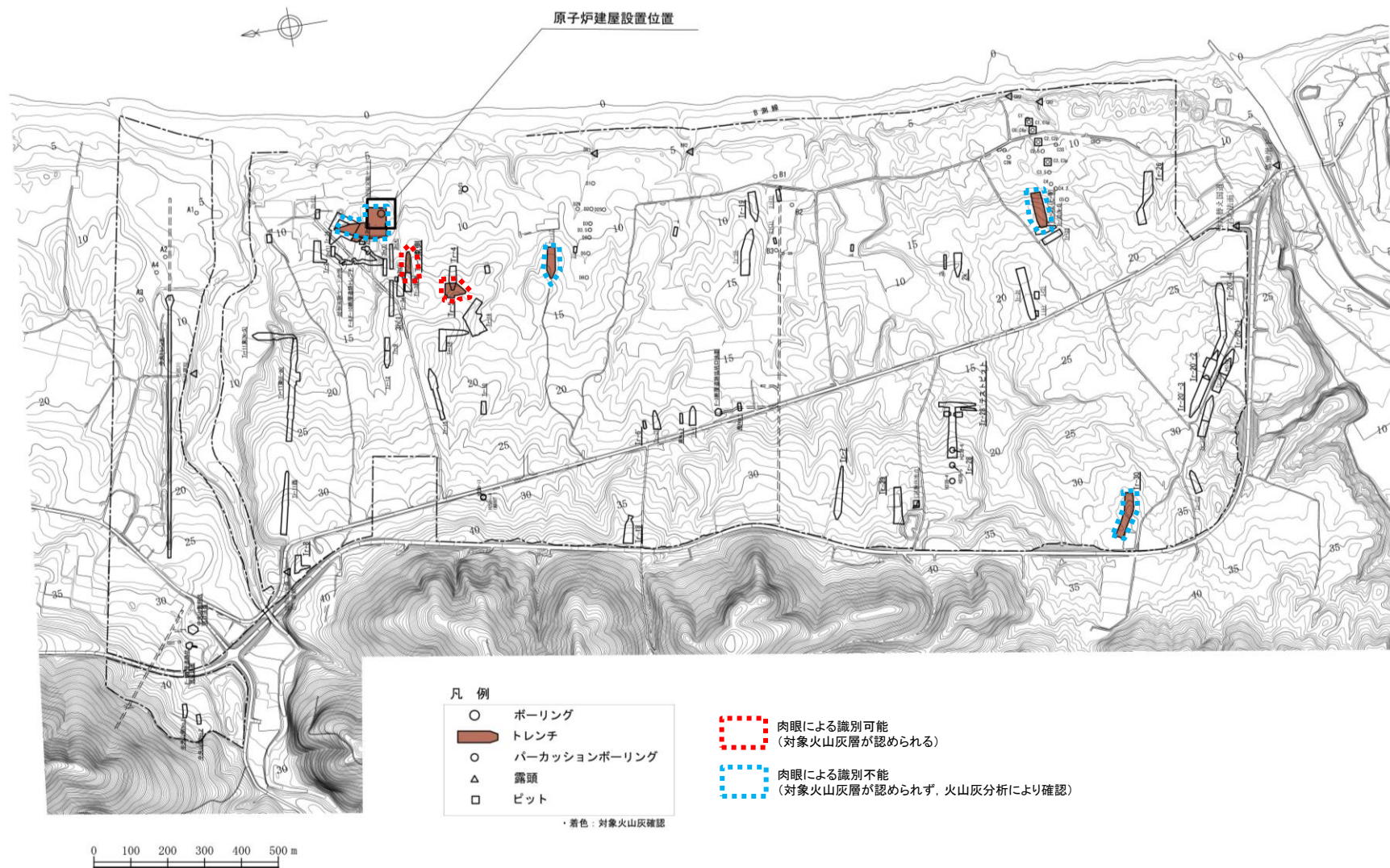
火山灰分析結果(Tr-3東トレンチ)



火山ガラス屈折率測定結果(Tr-3東トレンチ)

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴【O-ho1】

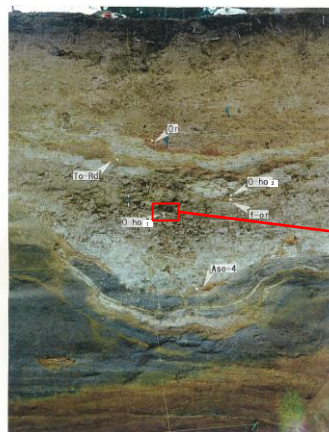
- O-ho1は発電所敷地で局所的に分布しているが、確認箇所は少なく肉眼識別困難な箇所も多い。



O-ho1確認位置図

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴【O-ho1】

- O-ho1は、主にローム層や陸成堆積物中に認められる(写真:Tr-5トレンチ)。
- 黒褐色～褐色を呈し、シルト～極細砂サイズの火山灰からなる。
- 一部ではレンズ状の堆積産状を示すが、大半は肉眼識別困難であり、連続性に乏しく層状をなす範囲も狭い。
- 構成物は、角閃石を主体とし、一部斜方輝石や単斜輝石も確認される(分析結果:Tr-3東トレンチ)。

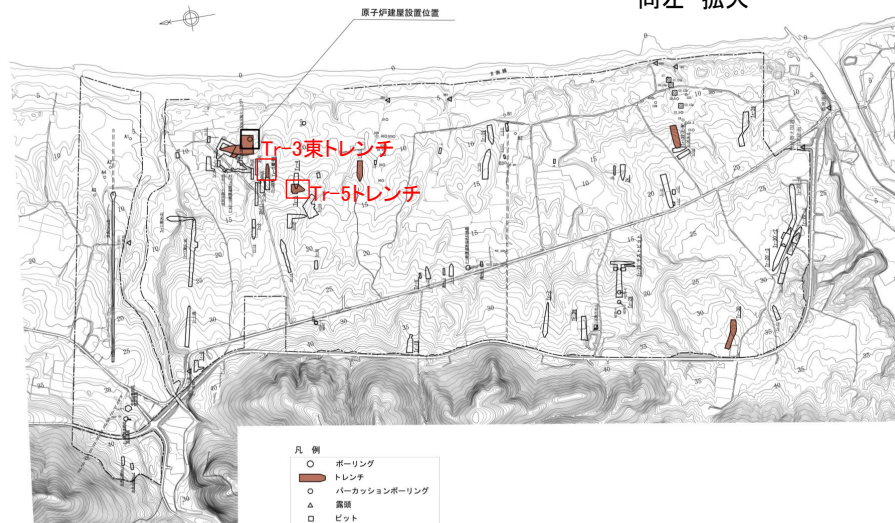


O-ho1分布状況(Tr-5トレンチ)

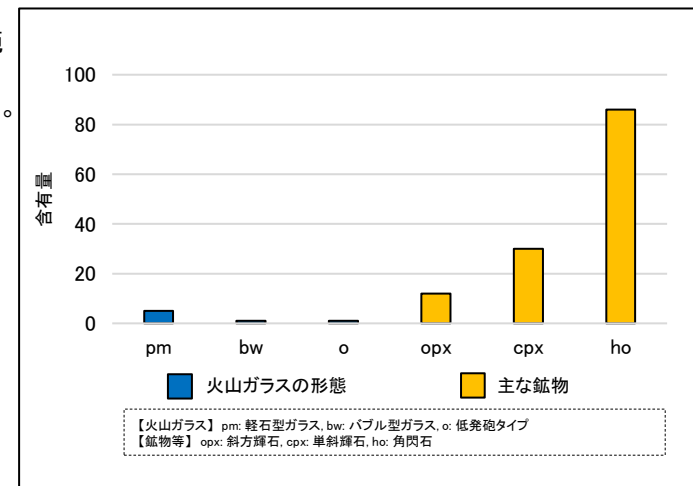


O-ho1

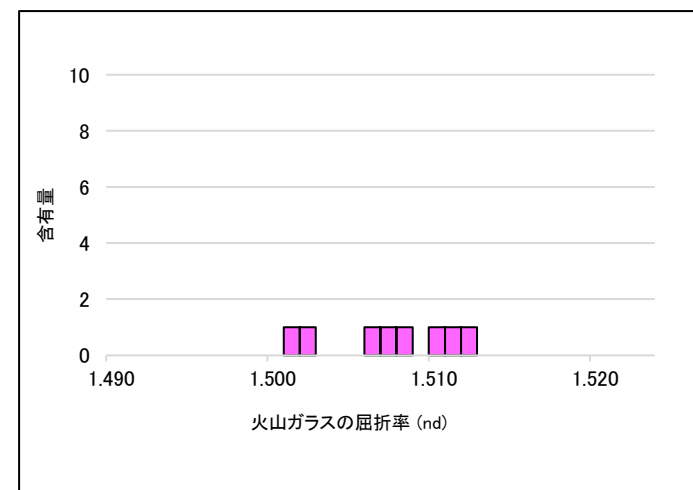
同左 拡大



O-ho1確認位置図



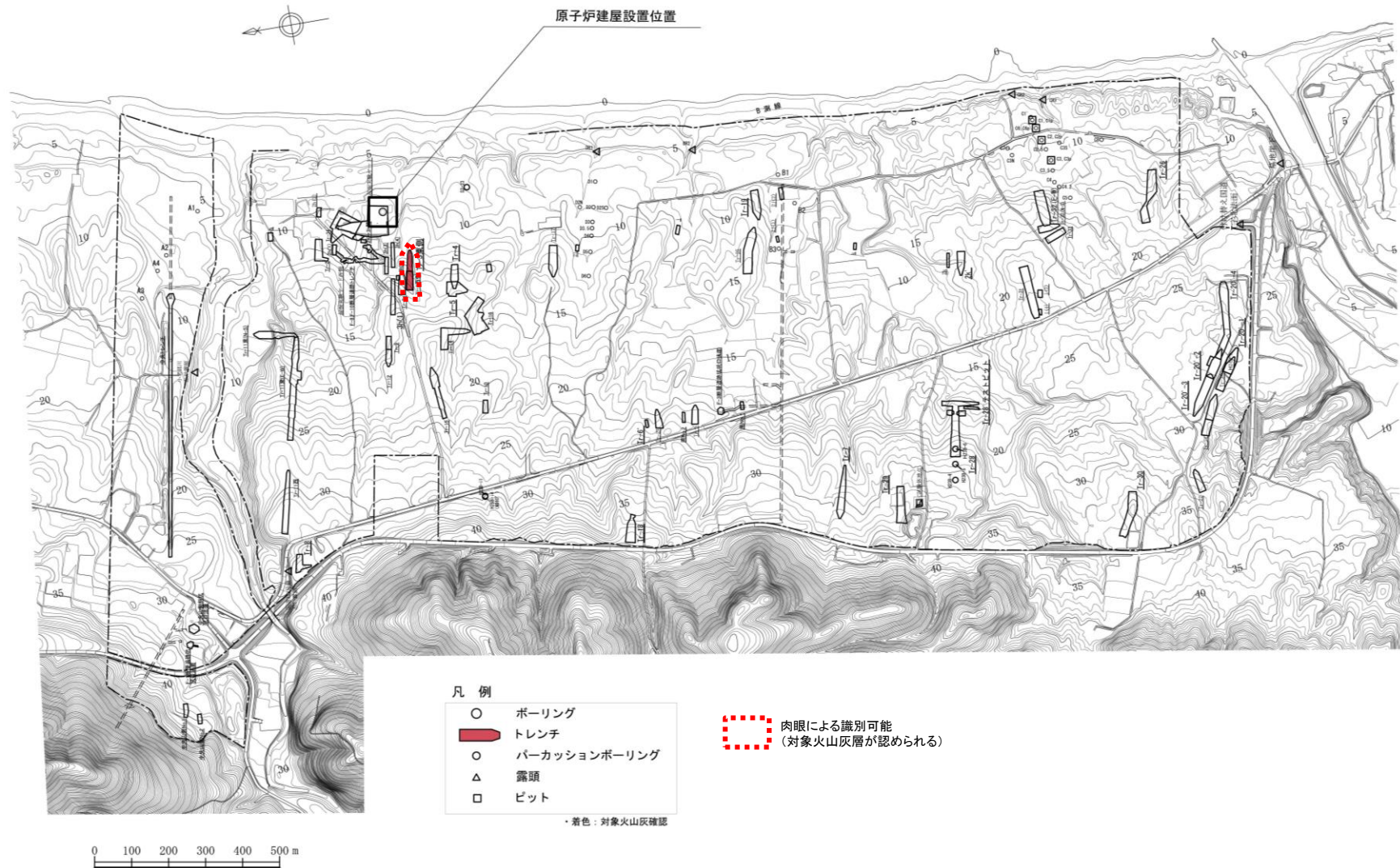
火山灰分析結果(Tr-3東トレンチ)



火山ガラス屈折率測定結果(Tr-3東トレンチ)

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴 【Si-py】

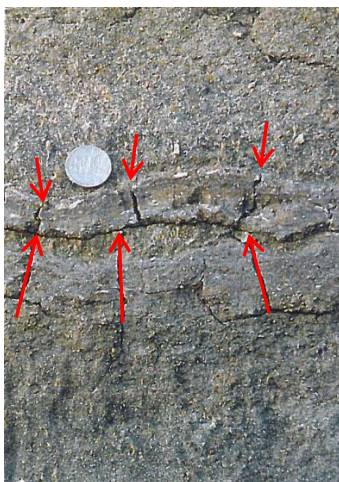
- Si-pyは発電所敷地で局所的に分布している。



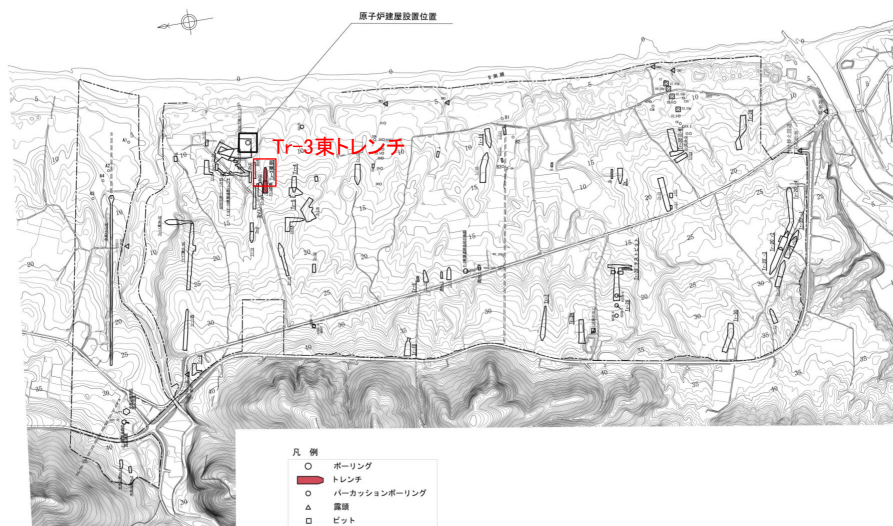
Si-py確認位置図

(参考4) 給源不明の降下火砕物の特徴【Si-py】

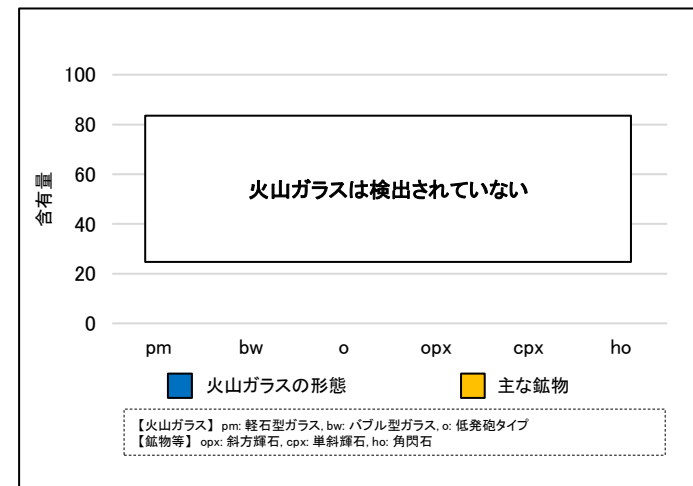
- Si-pyは、M₂面段丘堆積物中に認められる(写真:Tr-3東トレンチ)。
- 黒褐色を呈し、シルト～極細砂サイズの火山灰からなる。
- Tr-3トレンチでのみ層状～レンズ状の堆積産状を示すが、他の箇所での分布はなく、連続性に乏しい。
- 構成物は、火山ガラスは検出されず、少量の斜方輝石が確認される(分析結果:Tr-3東トレンチ)。



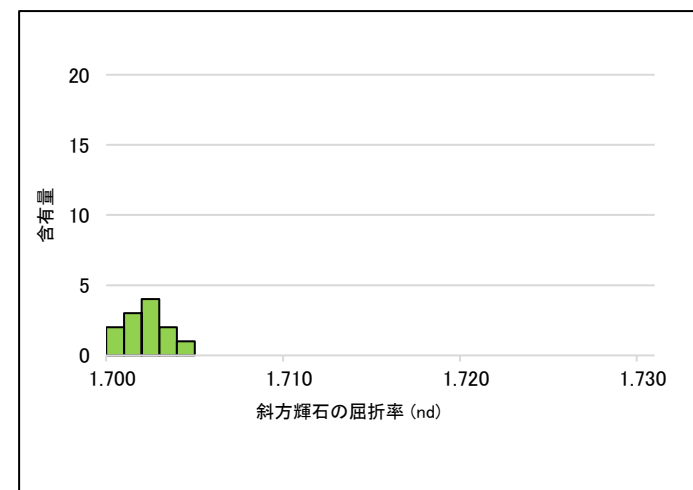
Si-py分布状況 (Tr-3東トレンチ)



Si-py確認位置図



火山灰分析結果(Tr-3東トレンチ)



斜方輝石屈折率測定結果(Tr-3東トレンチ)

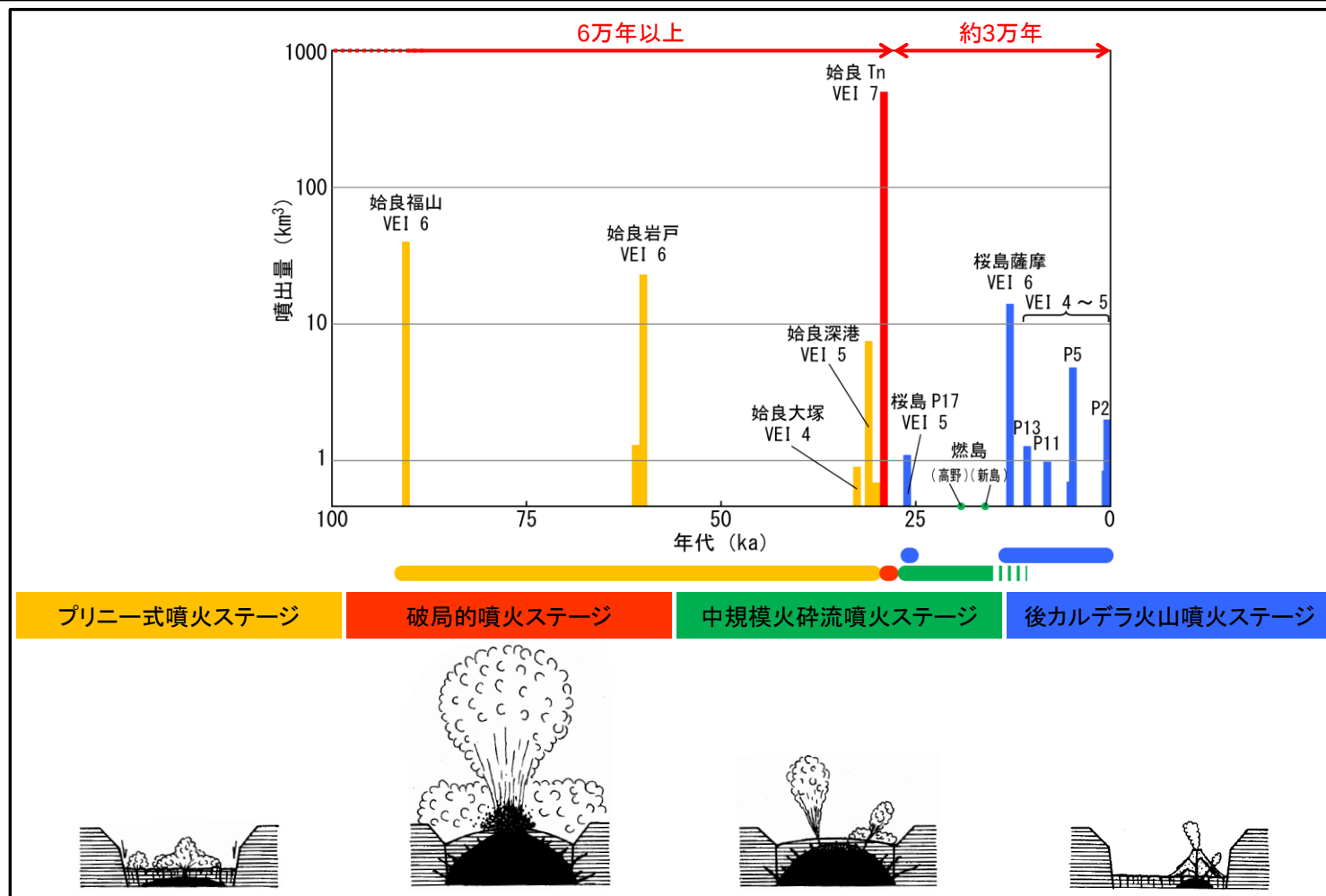
余白

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況 【始良カルデラ】

【始良カルデラの評価】

- 巨大噴火の活動間隔(6万年以上)は、最新の巨大噴火からの経過時間(約3万年)に比べて長いこと、現在、巨大噴火に先行して発生するプリニー式噴火ステージの兆候が認められないことから、巨大噴火までには十分な時間的余裕があると考えられる。
- 始良カルデラにおける現在の噴火活動は、桜島における後カルデラ火山噴火ステージと考えられる。
- したがって、始良Tnと同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられる。



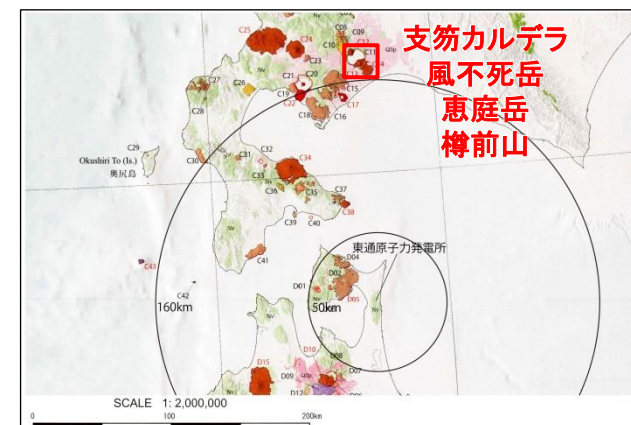
Nagaoka(1988)及び山元(2015)を参考に、町田・新井(2011)に基づき作成

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況 【支笏カルデラ】

支笏カルデラの概要

(中野ほか編(2013)及びそのWeb版である産総研地質調査総合センター編(2013)に基づく)

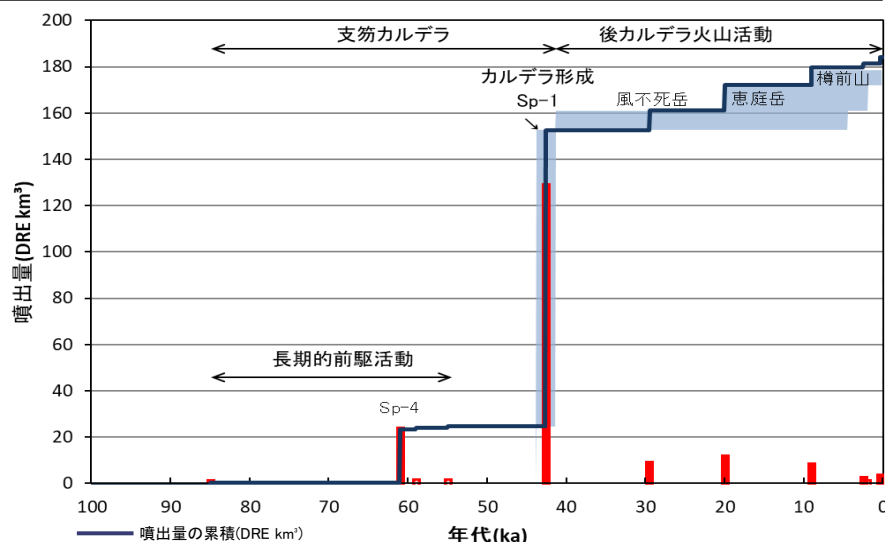
火山名	・カルデラ火山：支笏カルデラ ・後カルデラ火山：風不死岳、恵庭岳、樽前山
発電所からの距離	約174km(支笏カルデラ)、約170km(風不死岳)、約179km(恵庭岳)、約167km(樽前山)
火山の型式・構造	カルデラ-火砕流台地(支笏カルデラ)、複成火山、溶岩ドーム(風不死岳)、複成火山、火砕丘、溶岩ドーム(恵庭岳)、火砕丘、溶岩ドーム(樽前山)
活動年代	支笏カルデラ:5万～4万年前にカルデラ形成。 風不死岳:支笏カルデラ形成後に活動(4万年前以降)。大部分は恵庭火山より古い。 最新噴火:4,600-4,500年前。 恵庭岳:約1万5000年前にはある程度の山体が形成されていた。最新噴火:200年前。 樽前山:約9,000年前以降。最新噴火:1981年。



発電所を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図(中野ほか編(2013)による)

【支笏カルデラの評価】

- 現在は後カルデラ火山の活動が継続していることから、Sp-1と同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられる。
- また、町田・新井(2011)によると、後カルデラ火山の活動に伴う発電所周辺における降下火砕物の分布は示されていない。



支笏カルデラ、風不死岳、恵庭岳、樽前山の噴出量-年代階段ダイアグラム

支笏カルデラの活動履歴

地質時代 (ka)	活動期火山名	噴出物名	噴出量 (DRE km³)
AD.1739-1981	後カルデラ火山活動	樽前山	1981噴火, Ta-a, 溶岩ドーム等
AD.1667		樽前山	Ta-b
2.5		樽前山	Ta-c1～Ta-c3
9		樽前山	Ta-d, 溶岩ドーム
2-20	恵庭岳	恵庭岳	オコタンベ湖溶岩, En-a 等
4.5-41.4		風不死岳	Fp1 (n.En-b)～Fp4 大崎集塊岩 等
41.4	カルデラ形成	支笏カルデラ	Sp-1
43.8		支笏カルデラ	Sp-2
55		支笏カルデラ	Sp-3
59		支笏カルデラ	Sp-4
61		支笏カルデラ	Sp-5
85		支笏カルデラ	Sp-6

※:Ta-d以降の溶岩ドームの体積を含む。

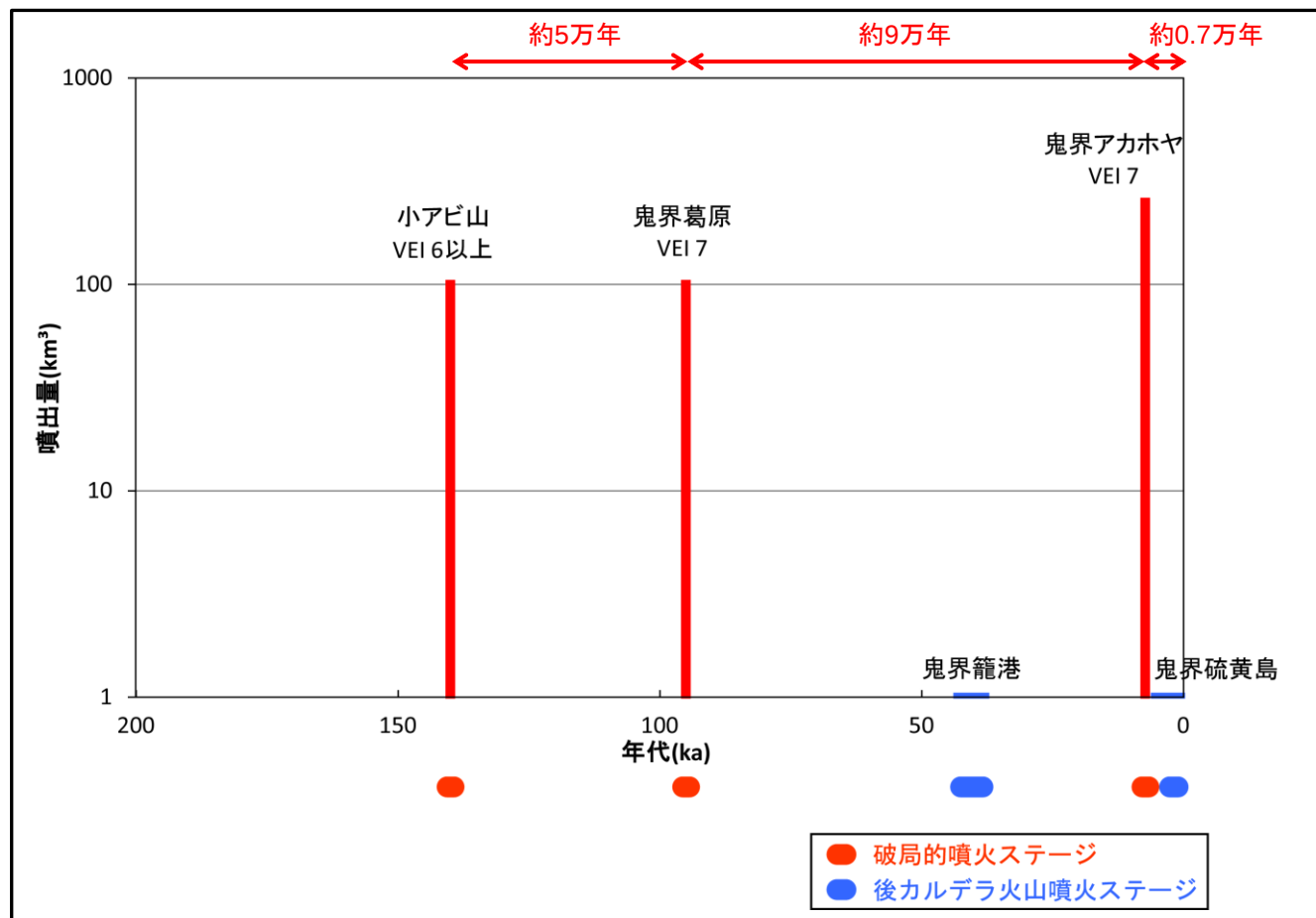
参考文献

Amma-Miyasaka et al. (2020), 第四紀火山カタログ委員会編(1999), 土井(1957), 古川ほか(2006), 古川・中川(2009), 古川・中川(2010), 許ほか(2001), 金田ほか(2020), 加藤ほか(1995), 勝井ほか(2007), 中川ほか(1994), 中川ほか(2006), 中村(1973), 産総研地質調査総合センター編(2024b), 宝田ほか(2022), 山縣(2000), 山元(2015), 山元(2016a)

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況 【鬼界カルデラ】

【鬼界カルデラの評価】

- 巨大噴火の最短の活動間隔(約5万年)は、最新の巨大噴火からの経過時間(約0.7万年)に比べて十分長いことから、巨大噴火までには十分な時間的余裕があると考えられる。
- 鬼界カルデラにおける現在の噴火活動は、薩摩硫黄島における後カルデラ火山噴火ステージと考えられる。
- したがって、鬼界葛原や鬼界アカホヤと同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられる。



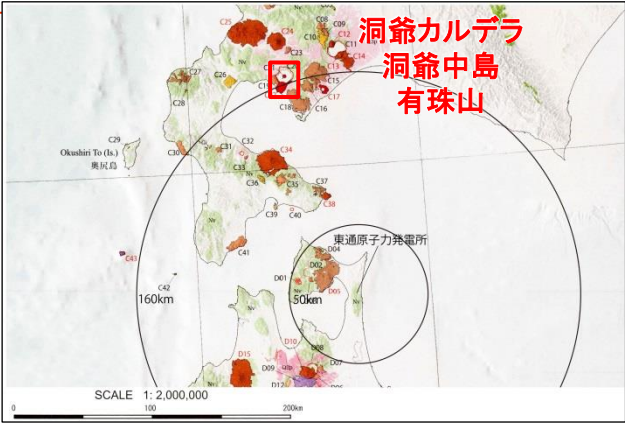
Nagaoka(1988)を参考に、町田・新井(2011)に基づき作成

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況 【洞爺カルデラ】

洞爺カルデラの概要

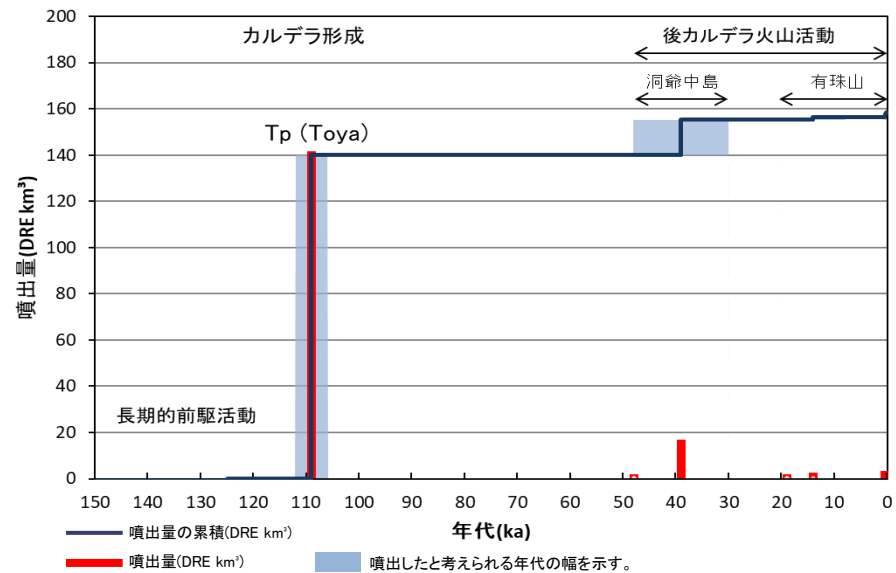
(中野ほか編(2013)及びそのWeb版である産総研地質調査総合センター編(2013)に基づく)

火山名	・カルデラ火山：洞爺カルデラ ・後カルデラ火山：洞爺中島, 有珠山
発電所からの距離	約163km(洞爺カルデラ), 約164km(洞爺中島), 約158km(有珠山)
火山の型式・構造	カルデラ-火砕流台地(洞爺カルデラ), 溶岩ドーム(洞爺中島), 複成火山, 溶岩ドーム(有珠山)
活動年代	洞爺カルデラ: 約14万年前にカルデラ形成。 洞爺中島: 4万～3万年前。 有珠山: 2万ないし1.5万年前に活動開始。最新噴火: 2000年。



発電所を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図(中野ほか編(2013)による)

- 【洞爺カルデラの評価】
- 現在は後カルデラ火山の活動が継続していることから, 洞爺火山灰(Tp)と同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられる。
 - また, 町田・新井(2011)によると, 後カルデラ火山の活動に伴う発電所周辺における降下火砕物の分布は示されていない。



洞爺カルデラ, 洞爺中島, 有珠山の噴出量-年代階段ダイヤグラム

洞爺カルデラの活動履歴

地質時代 (ka)	活動期 火山名	噴出物名	噴出量 (DRE km³)
AD.2000	後カルデラ火山	Us-2000 降下軽石・火山灰 潜在ドーム	0.0006※2
AD.1977-1978		Us-1977, Us-1978降下火砕物 有珠新山潜在ドーム	0.054※2
AD.1943-1945		Us-I a 降下火山灰 昭和新山溶岩ドーム	0.0006※2
AD.1910		Us-II a 降下火山灰 明治新山潜在ドーム	0.0018※2
AD.1853		嘉永火砕流・Us-III a 大有珠溶岩ドーム	0.2148※2
AD.1822		文政火砕流・Us-IV a 小有珠溶岩ドーム	0.2112※2
AD.1769		明和火砕流・Us-V a オガリ山潜在ドーム	0.0804※2
		先明和火砕物 先小有珠溶岩ドーム	0.0006※2
AD.1663		Us-b 降下軽石 等	1.596
8-		有珠外輪山溶岩・テフラ ドンコロ山スコリア丘	0.962※3
18-19	洞爺中島	有珠上長和テフラ (Us-Ka)	0.07
30-48		東山ドーム, 東山火砕石 等	15.15
48	洞爺中島	中島長流川テフラ (Nj-Os)	0.11
106	カルデラ 形成 前駆活動	洞爺火砕流	
112		洞爺火山灰※1 Tp (Toya)	140
120		長流川火砕流 (Osr)	-
125			

※1 洞爺火山灰について: 設置変更許可申請時は地質調査及び文献調査から, 洞爺火山灰を発電所に到達した最大層厚(30cm)の降下火砕物と考え, 発電所における層厚を30cmとしていたが, 現状において洞爺火山灰と同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられることから, 評価対象外とした。

※2 火砕物のみの体積。 ※3 先明和噴火以降の溶岩ドームの体積を含む。

参考文献

Amma-Miyasaka et al. (2020), 第四紀火山カタログ委員会編(1999), 藤根ほか(2016), Goto and Johmori (2014), Goto et al. (2013b), Goto et al. (2015a), Goto et al. (2018), Goto et al. (2019), 後藤ほか(2021), 早川(2008), 金田ほか(2020), 町田・新井(2011), 松本・中川(2006), 松本・中川(2011), Matsumoto and Nakagawa (2019), Miyabuchi et al. (2014), 中川(1998), 中川ほか(2005), Nakagawa et al. (2022), Niki et al. (2022), Oba (1966), 大場・近堂(1964), 奥村・寒川(1984), 産総研地質調査総合センター編(2021), 産総研地質調査総合センター編(2024b), 曾屋ほか(2007), 高島ほか(1992), 宝田(2019), 宝田ほか(2018), 東宮・後藤(2014), 東宮・宮城(2020), 宇井(2017), 山縣・町田(1996), 山元(2015)

(参考5) 発電所に降下火砕物が分布する地理的領域外の火山の現在の活動状況 【評価結果】

➤ 降下火砕物の影響評価の対象となる噴火イベントの選定結果は下表のとおり。

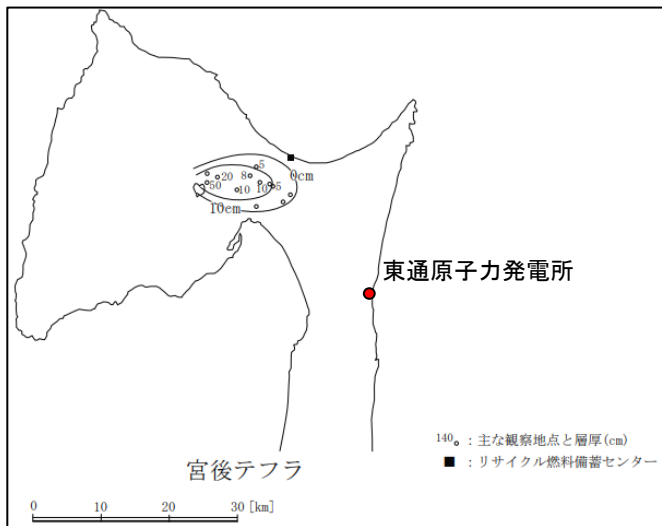
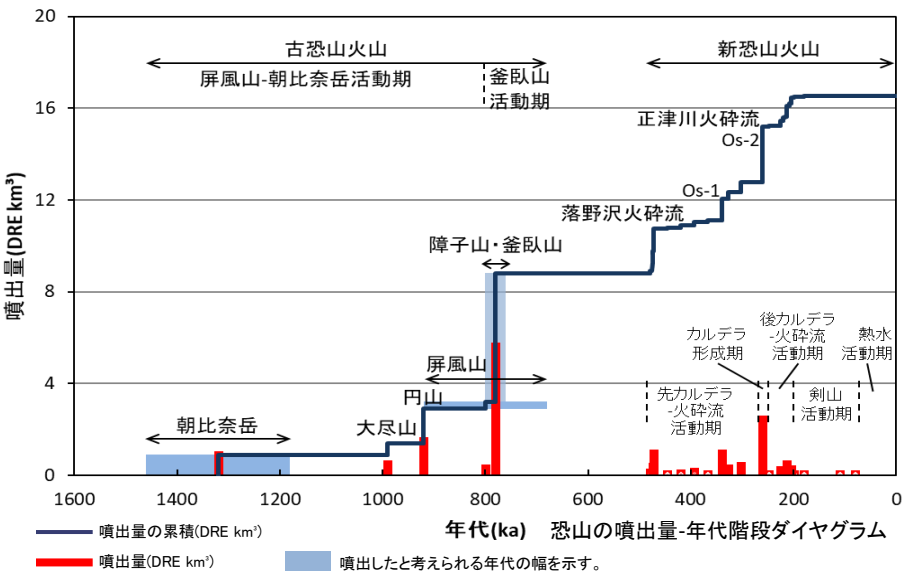
噴火イベント(対象火山)		評価方針
発電所において 降下火砕物の分布が 確認されている火山	白頭山苦小牧(白頭山)	評価対象として選定。
	始良Tn(始良カルデラ) 支笏第1(支笏カルデラ) 鬼界葛原(鬼界カルデラ) 阿蘇4(阿蘇カルデラ) 洞爺(洞爺カルデラ)	いずれの火山についても現在は後カルデラ期であり、同規模の噴火の可能性は十分小さいと考えられることから評価の対象外とした。

余白

(参考6) 恐山の現在の活動状況

(参考6) 恐山の現在の活動状況

コメントS251



宮後テフラの分布
(リサイクル燃料貯蔵株式会社(2020)に一部加筆)

恐山の活動履歴

地質時代 (ka)	活動期火山名	噴出物名	噴出量 (DRE km³)
20	新恐山火山	鬼石テフラ	—
60-80		宮後テフラ	—
80-200		剣山活動期	0.1
204-248		後カルデラ-火砕流活動期	1.26
257		カルデラ形成期	2.43
263		出戸川第2・3火砕流	0.72
303-327		先カルデラ-火砕流活動期	0.94
340		Os-De1u, 出戸川第1, 1' 火砕流, Os-Otu	0.36
367-446		落野沢火砕流 (Os-OT)	0.96
473		高野川火砕流, 八木沢川火砕流 等	0.98
474-480	古恐山火山	釜臥山活動期	5.6
760		屏風山	0.3
800		円山	1.5
680-920		朝比奈岳	0.5
920		朝比奈岳	0.9

参考文献
荒川ほか(2008), 伴ほか(1992), 第四紀火山カタログ委員会編(1999), Imai and Shimokawa (1988), 小林ほか(2011), 小林・水上(2012), 桑原(2006), 桑原・山崎(2001), Matsuura and Komatsubara (2017), 岡島ほか(2008), 通商産業省資源エネルギー庁(1994), Umeda et al. (2013), 山元(2015)

【現在の恐山の活動状況】

- 恐山は、古恐山火山の活動(約146万年前～約68万年前)と現在の宇曽利カルデラを中心とする新恐山火山の活動(約48万年前以降)に大別され、その間に20万年程度の休止期間が存在している。
- 新恐山火山では、約48万年前～約8万年前の期間はマグマ活動であり、8万年前～現在までの期間では熱水活動が継続している。
- 熱水活動期では水蒸気噴火に伴う鬼石テフラと宮後テフラが噴出した。宮後テフラは恐山の東麓基部付近まで達している一方、荒川ほか(2008)や岡島ほか(2008)によれば、鬼石テフラはカルデラ内のみに分布が限られることから、最大規模の噴火は宮後テフラであると考えられ、等層厚線図(リサイクル燃料貯蔵株式会社(2020))とHayakawa(1985)の経験式によるみかけ体積は $7.13 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ である。

余白

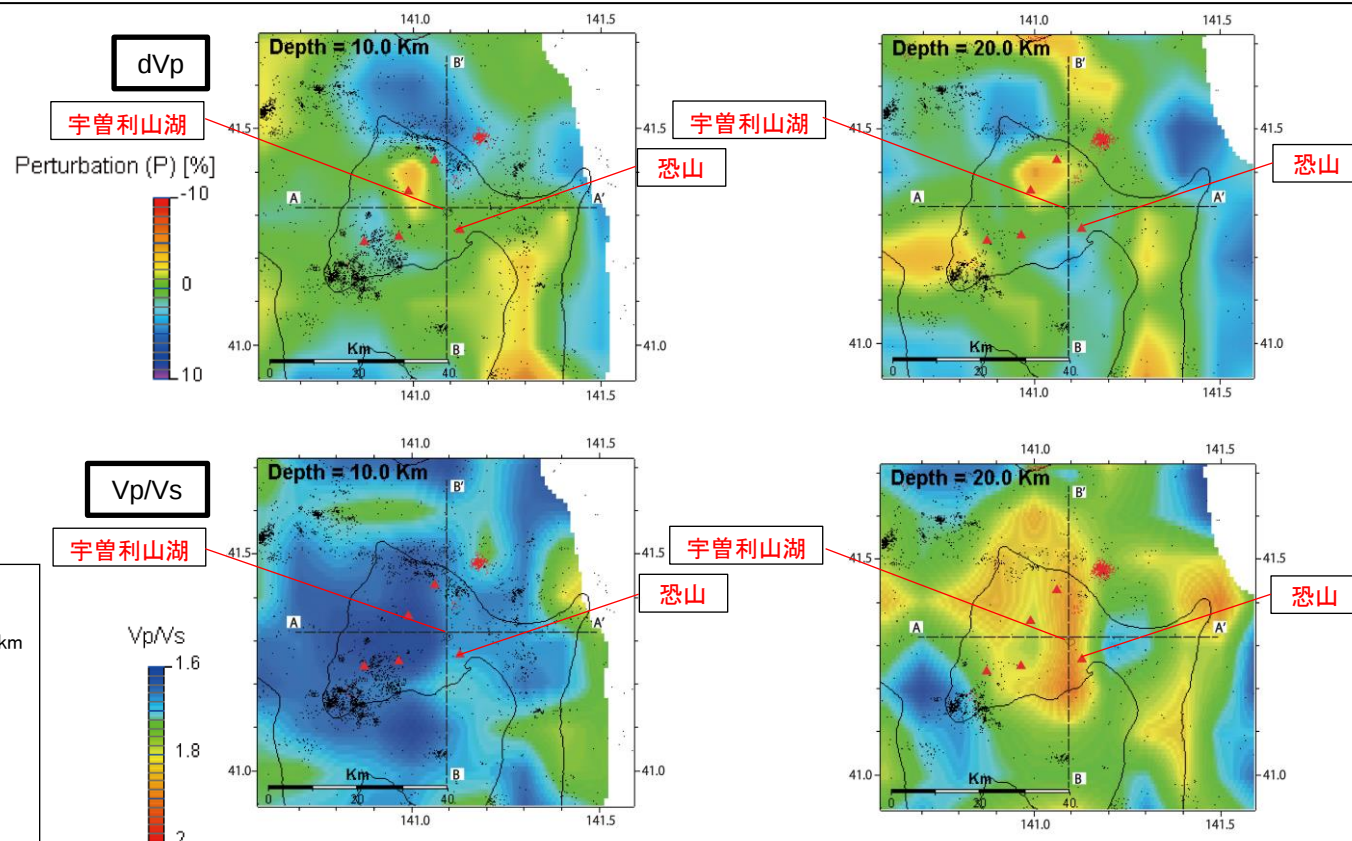
(参考6) 恐山の現在の活動状況(地震波速度構造)

コメントS251

- 防災科学技術研究所Webサイトにおいて、「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」として、Hi-net、S-net等の観測データに基づいた標準的三次元地震波速度構造モデルを公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al. (2022) に記載)。
- 防災科学技術研究所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、恐山直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマ等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。

※ 浅森・梅田(2005)によると、低速度領域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. (2001)によると、活火山直下の低Vp及び高Vp/Vs領域は、メルトの存在を示唆し、低Vp、低Vp/Vs領域は、水の存在を示唆としている。

【水平断面】



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: 2000年10月~2020年12月)
断面±10kmを表示

【解析に使用したデータ】

期間: 2000/10/1~2020/12/31
 解析範囲: 北緯20°~北緯48°, 東経120°~148°, 深さ0~600km
 地震: 294,865個
 P波読取数: 14,850,442個
 S波読取数: 12,278,029個
 エアガン: 482個
 P波読取数: 11,089個

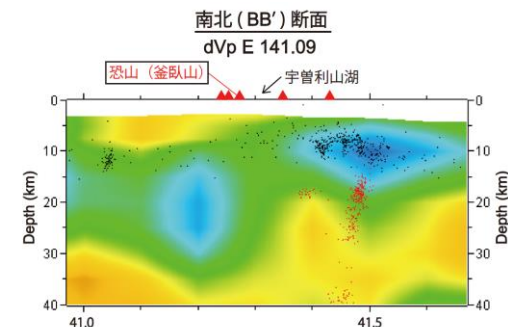
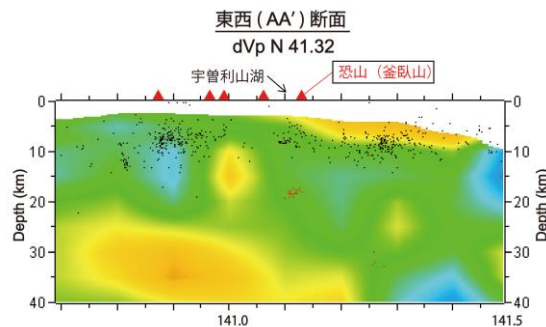
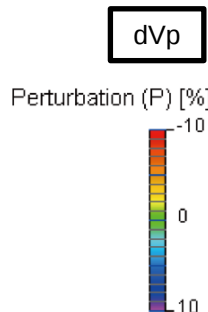
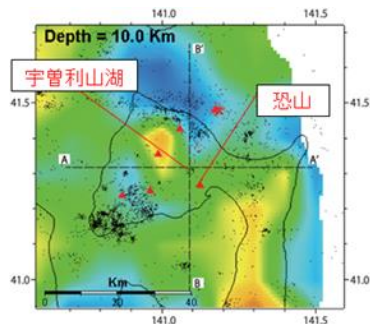
【分解能】

深さ0~10km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 5km
 深さ10~40km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 10km
 深さ40~60km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 20km
 深さ60km以深: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 30km

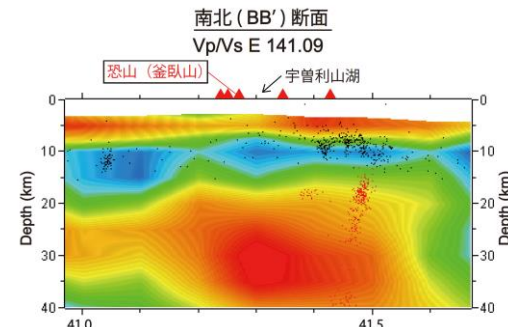
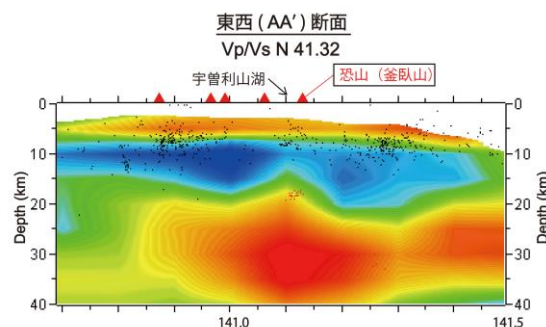
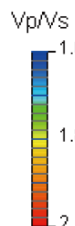
防災科学技術研究所HP (http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/) 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」
 三次元地震波速度構造モデルの公開データを基に東北電力が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)

(参考6) 恐山の現在の活動状況(地震波速度構造)

【鉛直断面】



Vp/Vs



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: 2000年10月~2020年12月)
断面±10kmを表示

【解析に使用したデータ】

期間: 2000/10/1~2020/12/31
 解析範囲: 北緯20°~北緯48°, 東経120°~148°, 深さ0~600km
 地震: 294,865個
 P波読取数: 14,850,442個
 S波読取数: 12,278,029個
 エアガン: 482個
 P波読取数: 11,089個

【分解能】

深さ0~10km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 5km
 深さ10~40km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 10km
 深さ40~60km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 20km
 深さ60km以深: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 30km

防災科学技術研究所HP (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(2022年度版)」
 三次元地震波速度構造モデルの公開データを基に東北電力が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)

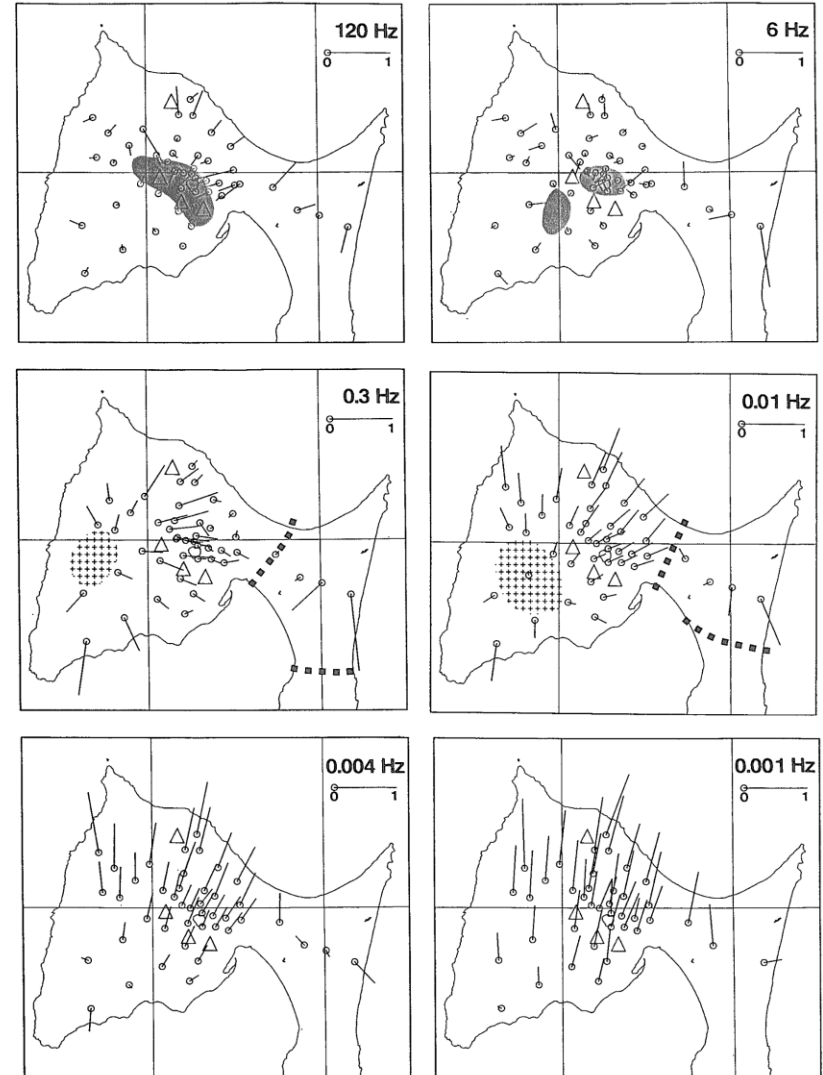
- 恐山の噴気地帯を横切る東西断面, 南北断面を作成した。
- 恐山直下の上部地殻内(約20km以浅)には, マグマ等の存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs領域は認められないことから, 大規模なマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さいと考えられる。

(参考6) 恐山の現在の活動状況(比抵抗構造・インダクションベクトル)

コメントS251

- 高倉(1994)は、恐山周辺のインダクションベクトル※について、以下の点を提示している。
- 高周波(120Hz, 6Hz)のインダクションベクトルは、海岸の近傍では海側を向くが、半島中央部では恐山火山あるいはその南西側を向いている。これより、恐山火山周辺の比較的浅部に低比抵抗帯があると推定される。
- 低周波になるにしたがい反時計回りに回転し、0.3及び0.01Hzでは、陸奥湾の近傍の測点を除き、半島のくびれの部分と津軽海峡に向くものが多くなる。
- これは、地峡効果や海峡効果の現れと判断され、陸域では点線で示す方向に、海域では津軽海峡に沿って誘導電流が集中すると推定される。
- 0.004Hz及び0.001Hzのインダクションベクトルはほとんど北向きである。

※ インダクションベクトルは、低比抵抗帯に向く性質を有する。また、観測する周波数帯域は、高周波数でより浅部及び近傍の情報を、低周波数でより深部及び遠方の情報を持つ。



インダクションベクトル(実数成分)の分布

左上：120Hz, 右上：6Hz, 左中：0.3Hz, 右中：0.01Hz, 左下：0.004Hz, 右下：0.001Hz,

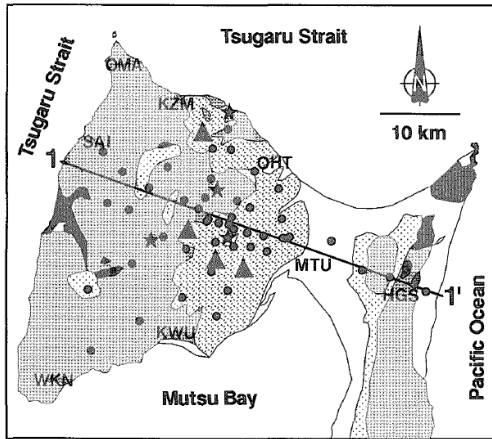
影の部分及び点線はインダクションベクトルから推定される低比抵抗帯を、+印の部分は高比抵抗帯を示す。インダクションベクトルの大きさのスケールは各図の右上に示している。

高倉(1994)

(参考6) 恐山の現在の活動状況(比抵抗構造)

コメントS251

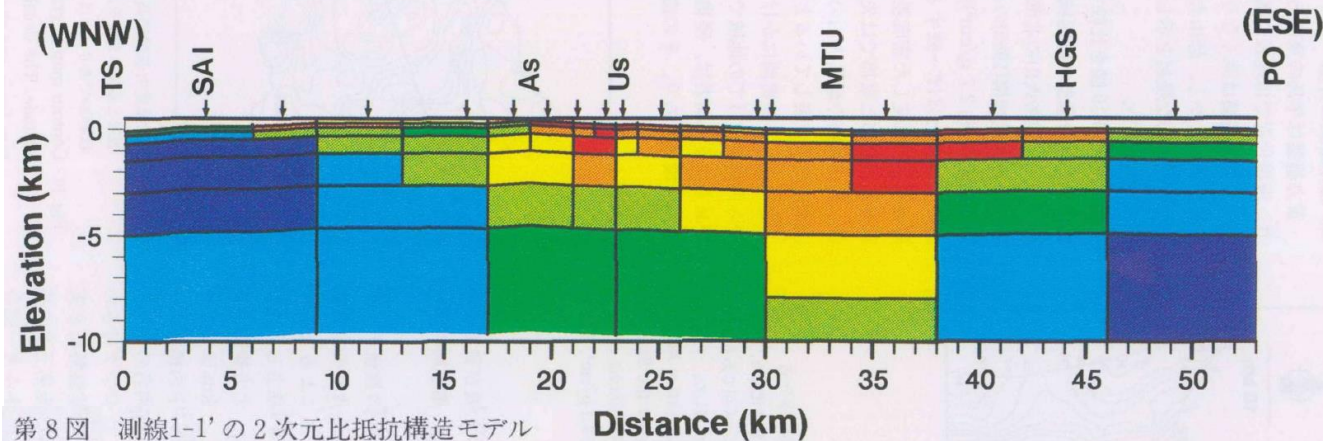
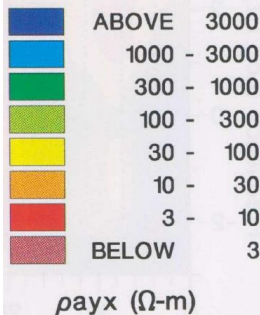
- 高倉(1994)によれば、恐山直下の深さ10kmまでの比抵抗構造の特徴として、深さ約1kmに顕著な低比抵抗領域が見られ、その下位の重力基盤中にも弱い低比抵抗領域が認められるとしている。
- これらの低比抵抗構造を形成する要因として、前者については、熱水活動に伴って生成された熱水変質帯あるいは塩濃度の高い熱水の貯留域を反映していること、後者については、現在までの恐山の活動あるいは貫入岩の構造運動によって基盤中に生じた断裂が熱水の上昇経路となっていることがあげられている。



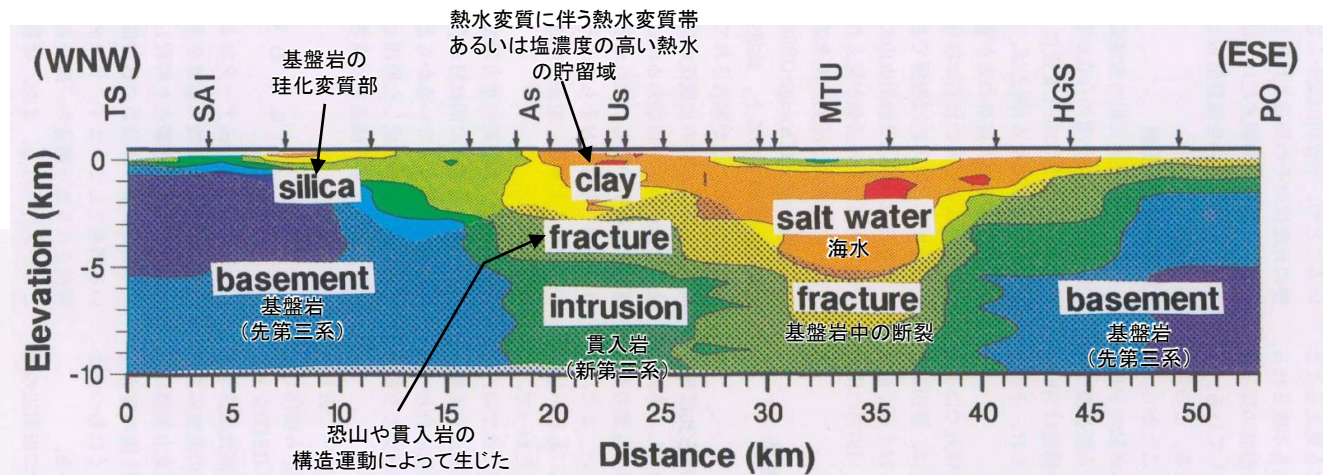
- Sediments (Quaternary)
- ▨ Volcanic Rocks (Quaternary)
- ▨ Sedimentary Rocks (Tertiary)
- ▨ Volcanic Rocks (Tertiary)
- ▨ Basement Rocks (Pre-Tertiary)
- ▨ Intrusive Rocks

第3図 下北半島の地質図

山田ほか(1990)を簡略化して加筆した。
●はMT法の測点で、実線1-1'はMT法の断面解析に用いた測線を示す。



第8図 測線1-1'の2次元比抵抗構造モデル



第11図 測線1-1'の比抵抗構造と重力基盤の総合解釈図

影の部分は重力基盤を表す。

高倉(1994)に加筆

余白

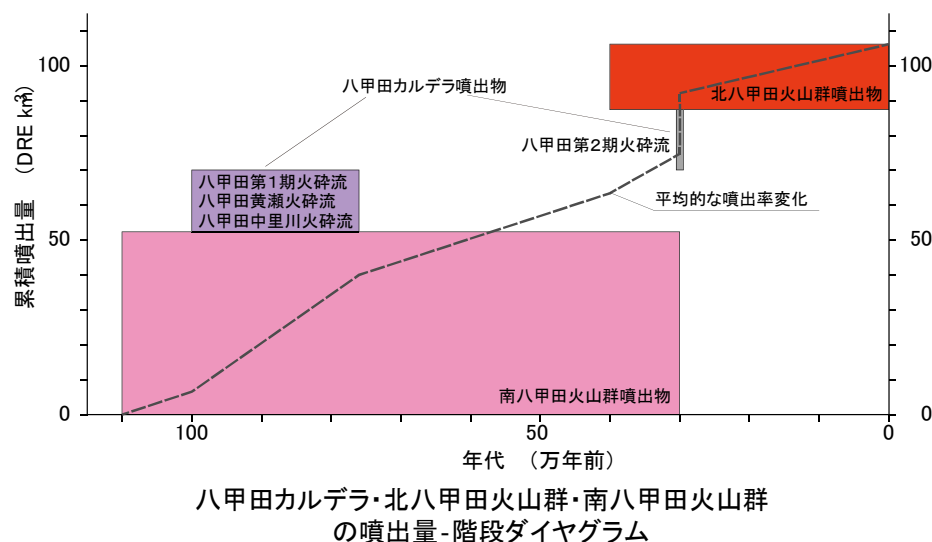
(参考7) 八甲田山の現在の活動状況

(参考7) 八甲田山の現在の活動状況

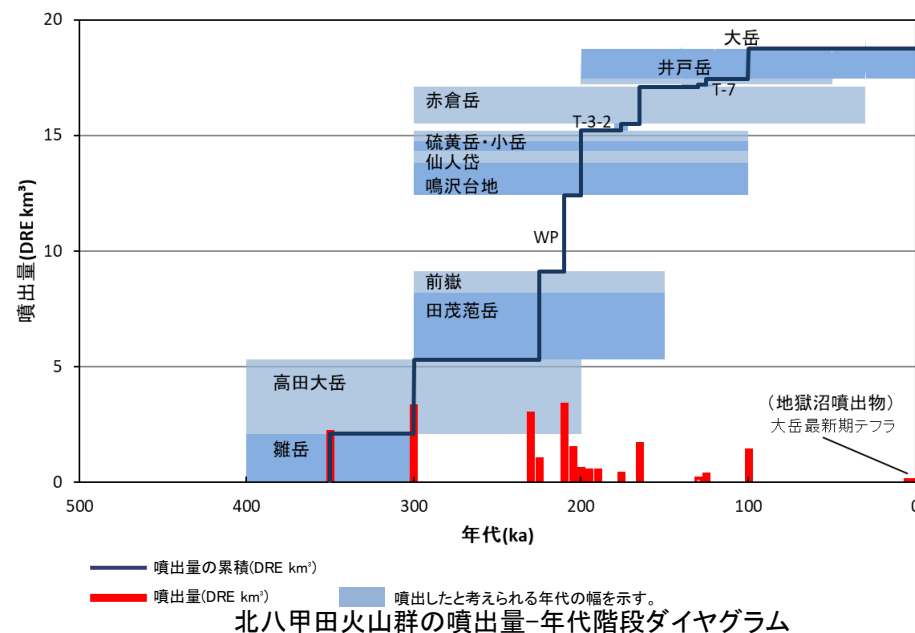
コメントS251

➤ 発電所に近く、噴火規模の大きい火山である八甲田山(南八甲田火山群、八甲田カルデラ、北八甲田火山群)について、現在の活動状況の検証を実施した。

- 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、南八甲田火山群は八甲田カルデラの先カルデラ火山、北八甲田火山群は八甲田カルデラの後カルデラ火山であり、約110万年前に開始したとされる。
- 八甲田山は、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、北八甲田火山群のみの活動が継続している。
- 後カルデラ期における最大規模の噴火は北八甲田火山群のWPである。
- カルデラ形成を伴う巨大噴火が差し迫っていることを示す知見は無い。



南八甲田火山群の年代は宝田・村岡(2004)、噴出量はUmeda et al. (2013)、
八甲田カルデラの年代は工藤ほか(2006)、工藤ほか(2011a)、工藤ほか(2019)、噴出量はUmeda et al. (2013)、
北八甲田火山群の年代及び噴出量は工藤ほか(2003)、工藤ほか(2004)を参考に東北電力
が作成した。



北八甲田火山群の噴出量-年代階段ダイアグラムは、工藤ほか(2004)、宝田・村岡(2004)等の文献調査の結果
を基に東北電力が独自に作成したものである。

(参考7) 八甲田山の現在の活動状況(地震波速度構造)

コメントS251

➤ 防災科学技術研究所Webサイトにおいて、「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」として、Hi-net、S-net等の観測データに基づいた、標準的三次元地震波速度構造モデルを公開している(解析手法等の詳細はMatsubara et al. (2022) に記載)。

➤ 防災科学技術研究所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、八甲田山・十和田直下の上部地殻内(約20km以浅)には、マグマ等の存在を示唆する顕著な低Vpかつ高Vp/Vs域※は認められない。

※ 浅森・梅田(2005)によると、低速度領域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. (2001)によると、活火山直下の低Vp及び高Vp/Vs領域は、メルトの存在を示唆し、低Vp、低Vp/Vs領域は、水の存在を示唆としている。

【水平断面】

凡例

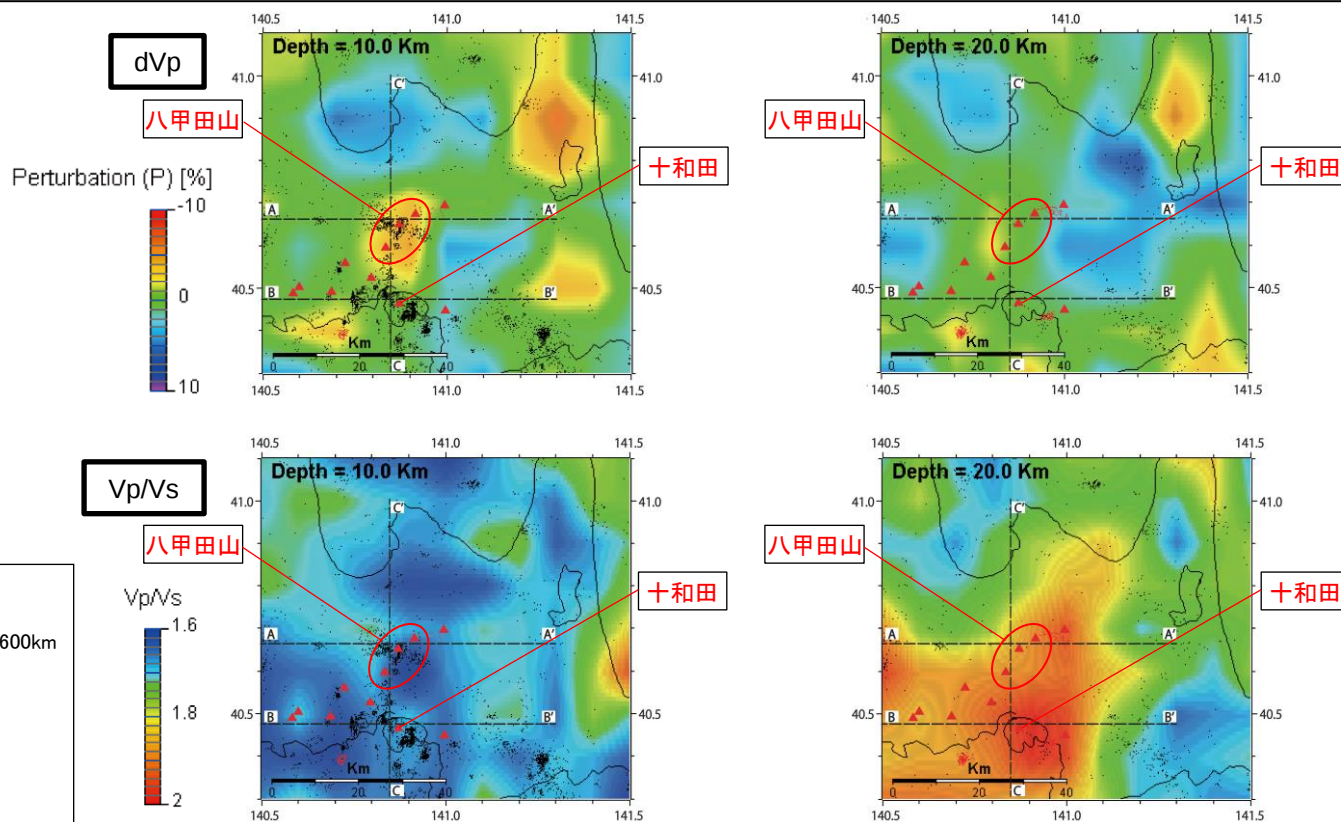
- (▲) 第四紀火山
- (黒点) 震源
- (赤点) 低周波地震
(気象庁一元化震源カタログ
期間: 2000年10月~2020年12月)
断面±10kmを表示

【解析に使用したデータ】

期間: 2000/10/1~2020/12/31
解析範囲: 北緯20°~北緯48°, 東経120°~148°, 深さ0~600km
地震: 294,865個
P波読取数: 14,850,442個
S波読取数: 12,278,029個
エアガン: 482個
P波読取数: 11,089個

【分解能】

深さ0~10km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 5km
深さ10~40km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 10km
深さ40~60km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 20km
深さ60km以深: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 30km

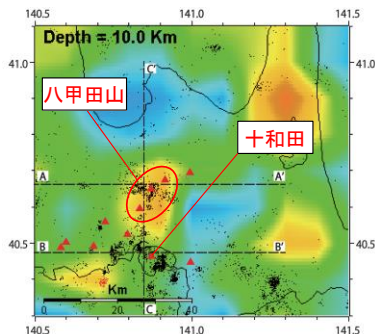


防災科学技術研究所HP (http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/) 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(2022年度版)」
三次元地震波速度構造モデルの公開データを基に東北電力が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)

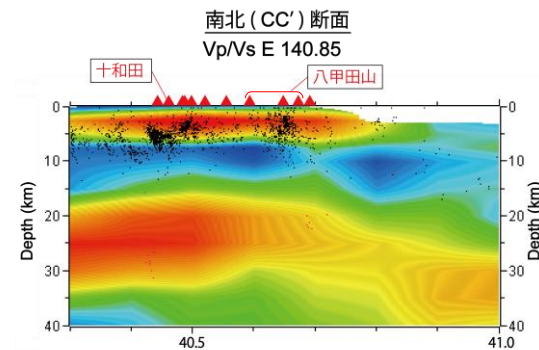
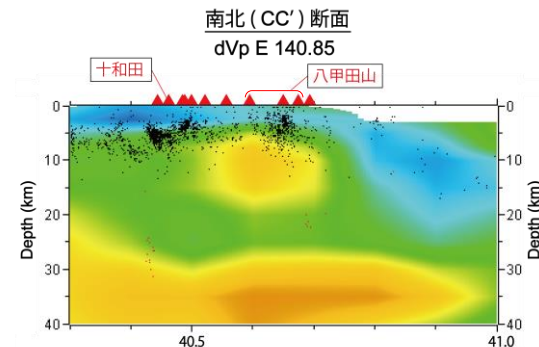
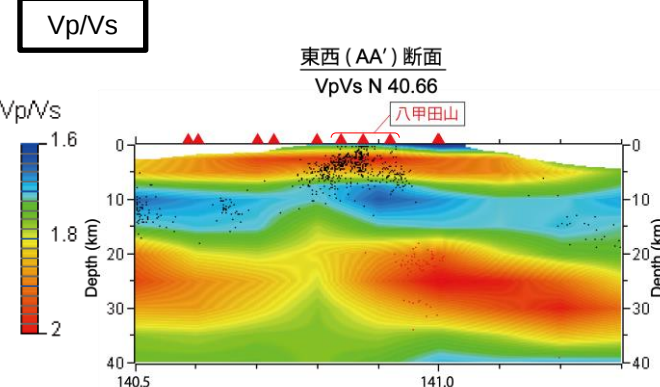
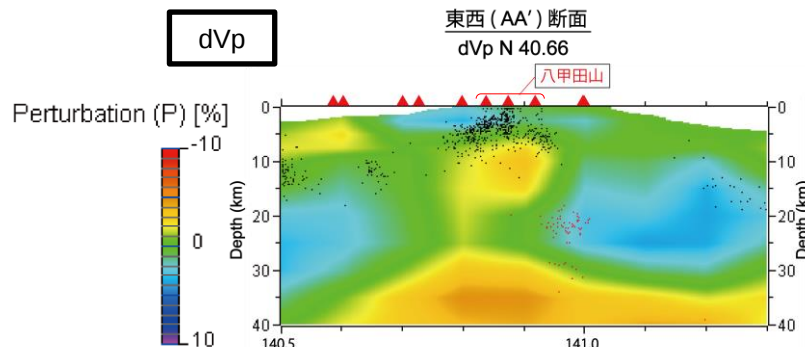
(参考7) 八甲田山の現在の活動状況(地震波速度構造)

コメントS251

【鉛直断面】



※B-B'断面については2.5章を参照



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: 2000年10月~2020年12月)
断面±10kmを表示

【解析に使用したデータ】

期間: 2000/10/1~2020/12/31
解析範囲: 北緯20°~北緯48°, 東経120°~148°, 深さ0~600km
地震: 294,865個
P波読取数: 14,850,442個
S波読取数: 12,278,029個
エアガン: 482個
P波読取数: 11,089個

【分解能】

深さ0~10km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 5km
深さ10~40km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 10km
深さ40~60km: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 20km
深さ60km以深: 水平方向: 0.2°(約20km), 深さ方向: 30km

防災科学技術研究所HP (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(2022年度版)」
三次元地震波速度構造モデルの公開データを基に東北電力が作図 (解析手法等の詳細はMatsubara et al.(2022)に記載)

- 八甲田山の最新火口付近を横切る東西断面, 南北断面を作成した。
- 八甲田山直下の上部地殻内(約20km以浅)には, マグマ等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とから, 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。

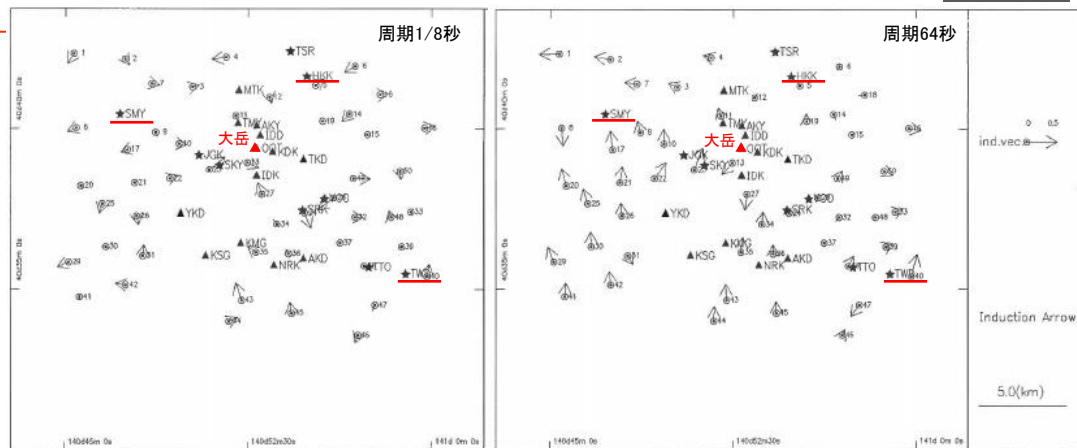
(参考7) 八甲田山の現在の活動状況(比抵抗構造・インダクションベクトル)

コメントS251

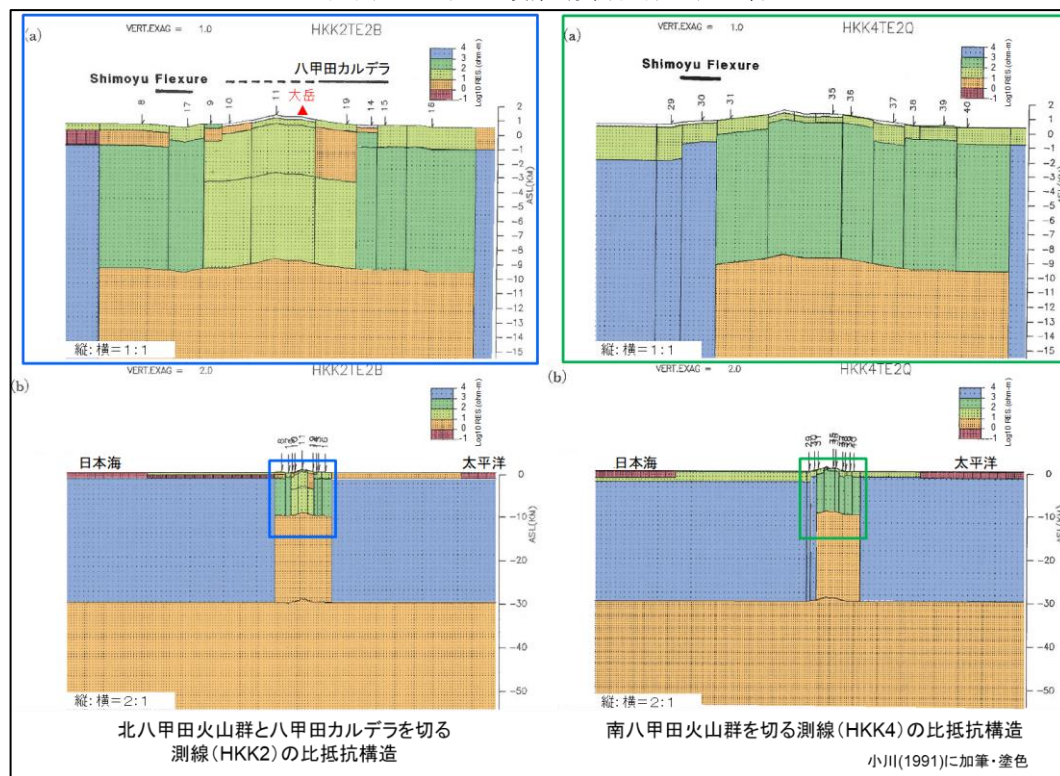
小川(1991)において、以下のとおり八甲田山の深部比抵抗構造に関する考察が示されている。

- 周期64秒では、津軽海峡の誘導電流の影響で北向き成分が卓越しているが、調査域の東半分のインダクションベクトルの北向き成分は小さいため、深部に低比抵抗異常が存在することを示唆している。これは火山フロント付近の低比抵抗異常を表しているとしている。
- 周期1/8秒では、見掛比抵抗等から八甲田温泉(HKK)付近と下湯温泉(SMY)から十和田温泉(TWD)方向へ北西-南東方向の地熱兆候に沿って延びる低比抵抗帯が認められるが、インダクションベクトルでは北西-南東方向の低比抵抗帯を追跡できないことから、局所的な浅部の低比抵抗をたまたまサンプリングしていることによる可能性が高いとしている。
- 八甲田山地域の深度10km以深に低比抵抗帯が存在するとしている。

八甲田山地域の深度10km以浅には、顕著な低比抵抗領域は認められない。



インダクションベクトルの実部の分布(小川(1991)に加筆)

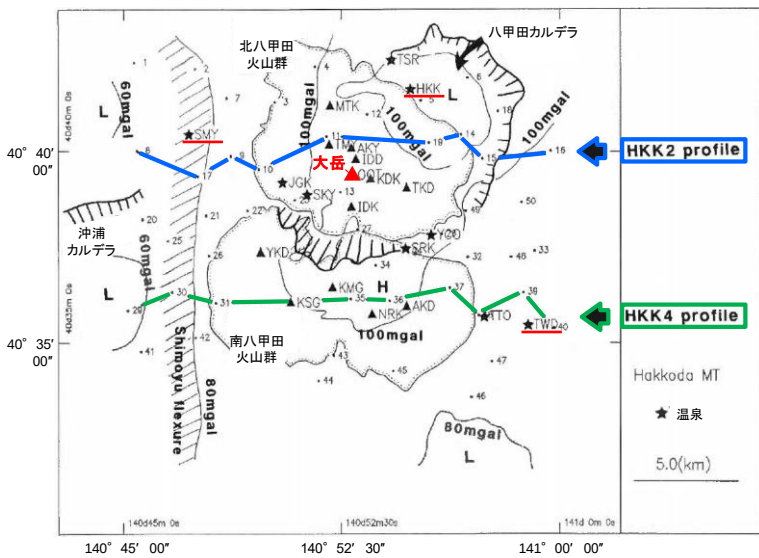


北八甲田火山群と八甲田カルデラを切る測線(HKK2)の比抵抗構造

南八甲田火山群を切る測線(HKK4)の比抵抗構造

小川(1991)に加筆・塗色

日本原燃株式会社(2023)に加筆



八甲田山のMT法測点の分布

小川(1991)に加筆

余白

(参考8) 降下火砕物シミュレーションコード「Tephra2」の概要

(参考8) 降下火砕物シミュレーションコード「Tephra2」の概要

- 「Tephra2」は移流拡散モデルを用いた降下火砕物シミュレーションプログラムであり、火山灰の降灰範囲の予測や既往噴火の降灰状況の復元を目的として利用されている。
- 移流拡散モデルとは火山灰の挙動を、重力による落下、風による移動(移流)及び空中で火山灰が自発的に散らばる現象(拡散)で計算するものである。
- 風は高度毎に水平な一方向に吹くものとされ、拡散も水平方向のみが考慮されている。
- 火山灰は火口上に仮定された均質な噴煙柱から放出される。

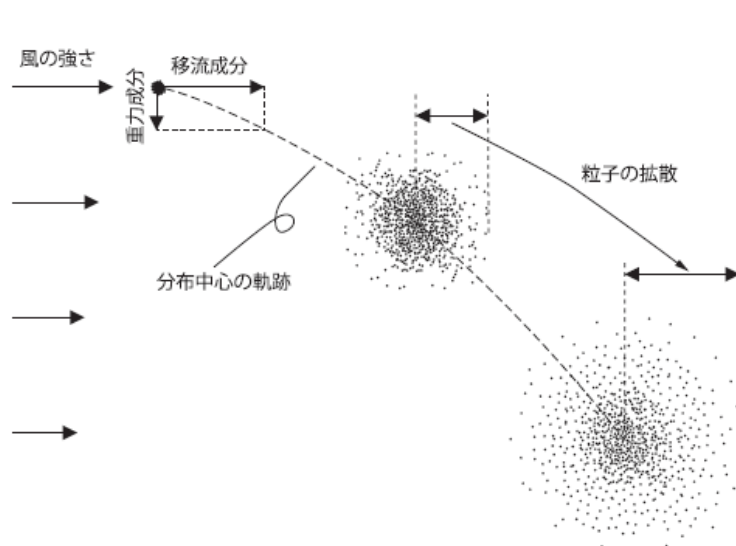


図1 移流拡散モデルの概念図

粒子の分布中心の軌跡は、重力による落下と風による移流によって決まる。粒子の一群は時間0の時に点で表されるが、時間の経過とともに拡がっていく。

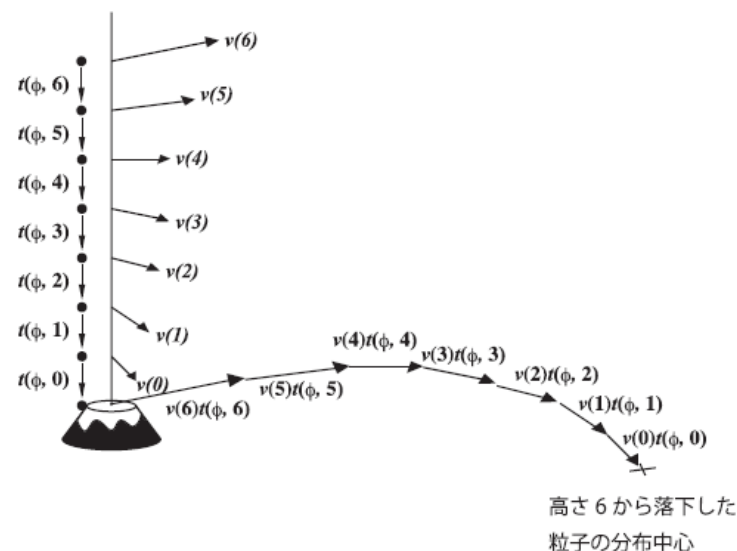


図3 移流の概念図

火口直上の風が、高さ0から6までそれぞれベクトル $v(0) \sim v(6)$ で表されるとする。各高さ区間 n を落下する間に粒子が流されるベクトルは $v(n)t(\phi, n)$ で表されるので、高さ6から放出される粒子はこれら全ての積算が分布の中心のベクトルとなる。

萬年(2013)によるTephra2及び移流拡散モデルの概念図

(参考9) 国内における水蒸気噴火の事例

(参考9) 国内における水蒸気噴火の事例

➤ 国内における水蒸気噴火の事例から、水蒸気噴火の最大規模はVEI3である。

火山名	噴火年(西暦)	噴火イベント	降下火砕物のみかけ体積	規模 (VEI)
草津白根山	2018	2018年噴火	$3.4 \times 10^{-5} \sim 4.9 \times 10^{-5} \text{ km}^3$ ※1	1 ※1
箱根山	2015	2015年噴火	$4.0 \times 10^{-8} \sim 1.3 \times 10^{-7} \text{ km}^3$ ※2	0 ★
御嶽山	2014	2014年噴火	$1.2 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
雌阿寒岳	2008	2008年噴火	$1.2 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
霧島山	2008	2008年噴火(新燃岳)	$2.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
阿蘇山	2006	2006年噴火	$1.0 \times 10^{-8} \text{ km}^3$	0
雌阿寒岳	2006	2006年噴火	$9.0 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
浅間山	2003	2003年噴火	$3.8 \times 10^{-7} \text{ km}^3$	0
北海道駒ヶ岳	2000	2000年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
北海道駒ヶ岳	1998	1998年噴火	$5.0 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
新潟焼山	1997 → 1998	1997-98年噴火	$1.0 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
秋田焼山	1997	1997年噴火(秋田焼山)	$3.0 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
秋田焼山	1997	1997年噴火(澄川温泉)	$1.5 \times 10^{-7} \text{ km}^3$	0
北海道駒ヶ岳	1996	1996年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
雌阿寒岳	1996	1996年噴火	$3.6 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
霧島山	1991 → 1992	1991-1992年噴火(新燃岳)	$2.5 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
御嶽山	1991	1991年噴火	$1.0 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
浅間山	1990	1990年噴火	$1.0 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
雌阿寒岳	1988	1988年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
浅間山	1982 → 1983	1982-83年噴火	$2.3 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	0.9
草津白根山	1982	1982年噴火	$6.0 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
口永良部島	1980	1980年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
御嶽山	1979	1979年噴火	$5.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
樽前山	1978 → 1979	1978-79年噴火	$4.0 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
草津白根山	1976	1976年噴火	$1.6 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
新潟焼山	1974	1974年噴火	$7.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$, $2.6 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ ※3	1, 3 ★
鳥海山	1974	1974年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1

火山名	噴火年(西暦)	噴火イベント	降下火砕物のみかけ体積	規模 (VEI)
硫黄島	1967	1967年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
阿蘇山	1963	1963年噴火	$1.8 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
焼岳	1962 → 1963	1962-63年噴火	$1.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
霧島山	1959	1959年噴火(新燃岳)	$8.8 \times 10^{-3} \text{ km}^3$, $2.3 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ ※3	2, 3 ★
硫黄島	1957	1957年噴火	$7.6 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
雌阿寒岳	1956	1956年噴火	$1.1 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
雌阿寒岳	1955	1955年噴火	$3.2 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
秋田焼山	1949	1949年噴火	$3.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
栗駒山	1944	1944年噴火	$3.0 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
蔵王山	1940	1940年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
草津白根山	1937 → 1939	1937-39年噴火	$5.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
知床硫黄山	1935 → 1936	1935-36年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1 ★
草津白根山	1932	1932年噴火	$1.6 \times 10^{-5} \text{ km}^3$	1
草津白根山	1925	1925年噴火	$3.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
岩手山	1919	1919年噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
焼岳	1915	1915年噴火	$1.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
有珠山	1910	1910年噴火	$1.2 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
草津白根山	1902	1902年噴火	$5.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
安達太良山	1900	1900年噴火	$2.5 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
丸山	1898	My-a噴火	$1.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
蔵王山	1895	1895年噴火-2	$5.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$ ★★	1
蔵王山	1895	1895年噴火-1	$4.0 \times 10^{-6} \text{ km}^3$	0
吾妻山	1893 → 1895	1893-95年噴火	$5.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
磐梯山	1888	1888年噴火	$1.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$ ★★, $1.0 \times 10^{-2} \text{ km}^3$ ★★ ※4	2, 3 ★
草津白根山	1882	1882年噴火	$5.0 \times 10^{-3} \text{ km}^3$	2
那須岳	1881	1881年噴火	$7.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1
恵山	1874	Es-6噴火	$1.0 \times 10^{-4} \text{ km}^3$	1

(参照データ) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2021): 1万年噴火イベントデータ集(ver. 2.5), <https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html>, 2024/9/13閲覧。

※1: Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., Honda, R., Ishizuka, Y., Komori, J., Nagai, M. and Takarada, S. (2021): Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan. Earth Planets Space 73, 141. <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01468-3>. →Mass: $2.4 \times 10^4 - 3.4 \times 10^4$ (t), tephra density: 700 kg/m³ より算出

※2: 箱根山降灰合同調査班(2015): 箱根火山2015 年6 月29-30 日噴火による降灰分布, 火山噴火予知連絡会資料, →40 t~130 t より算出

※3: 奥野 充(1995): 降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度, 金沢大学文学部地理学報告, 7, pp.1-23.

※4: Fujinawa, A., Ban, M., Ohba, T., Kontani, K., Miura, K. (2008): Characterization of low-temperature pyroclastic surges that occurred in the northeastern Japan arc during the late 19th century, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 178, 1, pp. 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.07.004>. → $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ (火砕サージ含む)

★: 噴出量(噴火マグニチュード)に基づき火山爆発指数(VEI)を算出

★★: 火砕物密度流を含む噴出量

(参考8) WPの降下火砕物シミュレーションに使用するパラメータに関する検討

(参考10) WPの降下火砕物シミュレーションに使用するパラメータに関する検討

コメントS252

WPの等層厚線図の分布に関する解釈

- WPの噴火イベントについては、VEI5クラスであり噴火規模が大きく、等層厚線図が比較的同心円に近い楕円状に分布していることが確認されている。

噴火規模(VEI)と降下火砕物シミュレーションにおける拡散係数の確認

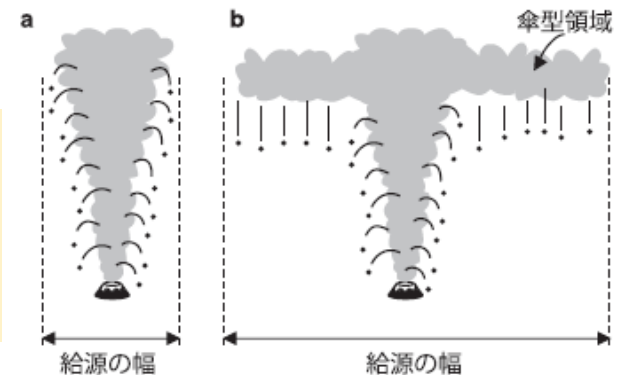
- 噴火規模の大きな噴火をTephra2による降下火砕物シミュレーションで解析する際の拡散係数の設定について、萬年(2013)、山元(2016a)及び山元(2016b)では以下のように示されている。

【萬年(2013)】

- 本論文では、噴火による粒子の落下について、「大きな噴火の場合、噴煙柱より遥かに幅が大きい傘型領域からもたらされるために、噴煙柱の高さを調整するだけでは堆積物の分布を説明できず、拡散係数を大きく動かす必要がある」と記載されている。
- また、噴煙の傘型領域からの落下が卓越している場合の拡散係数の設定について、「 K がおそらく数千から数万といった値でようやく再現できる。 $(K: 拡散係数)$ 」と記載されている。

【山元(2016a)、山元(2016b)】

- 「拡散係数が大きいと風速が大きくても同心円状に分布するようになり、拡散係数が小さいと風向方向に直線状に分布するようになる。」
- 「噴出量が多いほど大きな値が用いられる傾向が伺える。」



a: 粒子の落下が噴煙柱だけから起こるモデル

b: 傘型領域からも起こるモデル

(萬年, 2013)

- 上記の通り、噴火規模が大きい噴火については、もたらされる傘型領域により粒子が同心円状に分布する。WPについても分布が同心円に近い楕円状の形状を形成し分布していることを確認していることから、傘型領域からもたらされているものと考えられる。
- Tephra2では、このように噴火規模が大きく、同心円状に分布する噴火イベントの再現について、噴煙柱高度等のパラメータや風速の違いだけで説明することは難しく、拡散係数を数万単位で大きく設定せざるを得ないため、WPについても同様に拡散係数を大きく設定する必要がある。

(参考10) WPの降下火砕物シミュレーションに使用するパラメータに関する検討

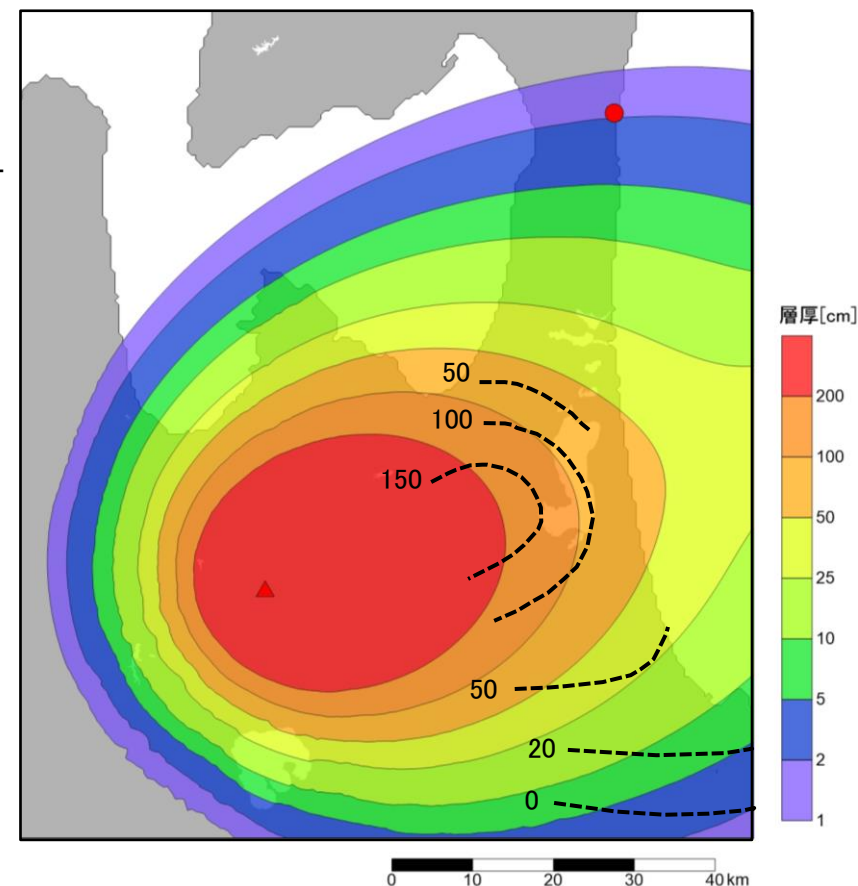
コメントS252

シミュレーション結果と工藤ほか(2004)の等層厚線図の比較

- 日本原燃(2023)では、工藤ほか(2004)におけるWPの等層厚線図を最も再現できる入力パラメータの検証を行っている。
- このうち、工藤ほか(2004)によるWPの等層厚線図をもっともよく再現しているケースとして、以下のケースを挙げている。
- ここで用いられている拡散係数の値は、前述の通り非常に大きい結果となっている。

項目	数値
噴煙柱高度	25 km
粒径(中央粒径)	$1/2^{-3}$ mm
粒径(標準偏差)	$1/2^{2.5}$ mm
拡散係数	$75,000 \text{ m}^2/\text{s}$

- 上記を踏まえ、東通原子力発電所におけるWPの降下火砕物シミュレーションにおいても上記のパラメータを使用し解析を実施し、工藤ほか(2004)の等層厚線図との比較を行った(右図)。
- その結果、当該解析結果は工藤ほか(2004)によるWPの等層厚線図を比較的良好に再現していることを確認した。



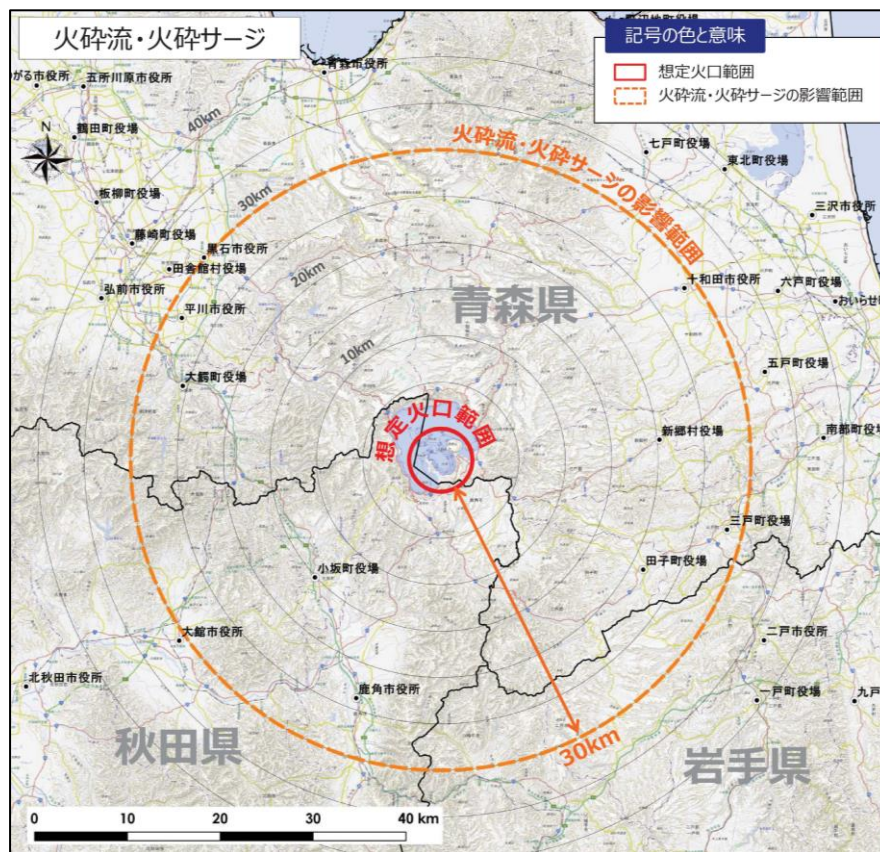
当社のシミュレーション結果と工藤ほか(2004)との比較

余白

(参考11) 十和田火山防災協議会による火山災害想定影響範囲の検討

(参考11) 十和田火山防災協議会による火山災害想定影響範囲の検討

- 十和田において想定される火山現象の状況に応じた警戒避難体制の整備を行うため、青森県、岩手県及び秋田県、並びに周辺の関係市町村が共同で十和田火山防災協議会(以下「協議会」という。)を設置しており、2018年に十和田火山災害想定影響範囲図を示した。
- 当該影響範囲図は、過去11,000年間の噴火を元に、大・中・小の噴火規模ごとに火山事象の想定影響範囲を示している。
- すべての噴火規模において、降下火砕物を除く火山事象の影響範囲には東通原子力発電所は含まれていない。



火砕流・火砕サージの想定影響範囲図



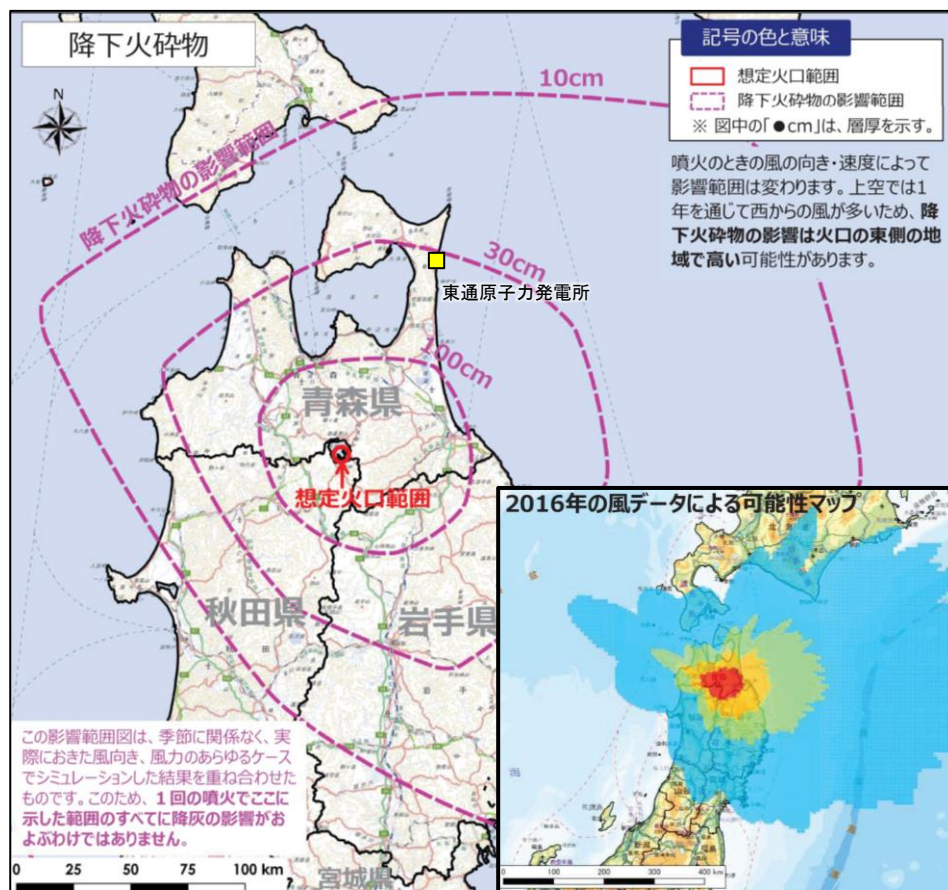
融雪型火山泥流の想定影響範囲図



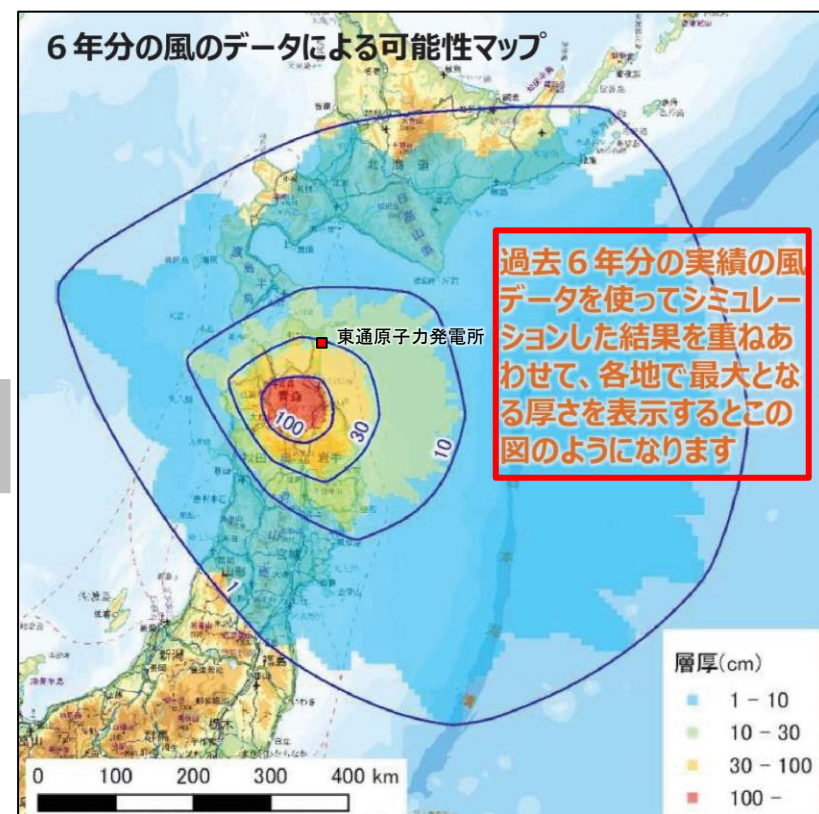
火山泥流・土石流の想定影響範囲図

(参考11) 十和田火山防災協議会による火山災害想定影響範囲の検討

- 協議会は、大規模噴火の降下火砕物の影響範囲の検討として、当社と同じ十和田中掇テフラ(6.68km³)による検討を実施している。
- 降下火砕物の影響範囲については、東通原子力発電所がほぼ30cmの等層厚線付近に位置している(左図)が、協議会は、過去6年間(1992～1994年, 2014～2016年)の毎日9時の高層気象観測データを用いて、全2192ケースの解析を実施し、それらを重ね合わせて、解析メッシュごとの層厚の最大値をマッピングしている(右図)ため、東通原子力発電所における実際の最大層厚はこの図からは読み取ることができない。
- また、風は風向・風速が刻々と変動するが、この解析条件はある特定の日時の気象条件が降下火砕物が全て降下するまで継続するという解析条件であり、結果として、過去の降下火砕物の実績よりも厚く・広い範囲を、降下火砕物の影響範囲として想定している。



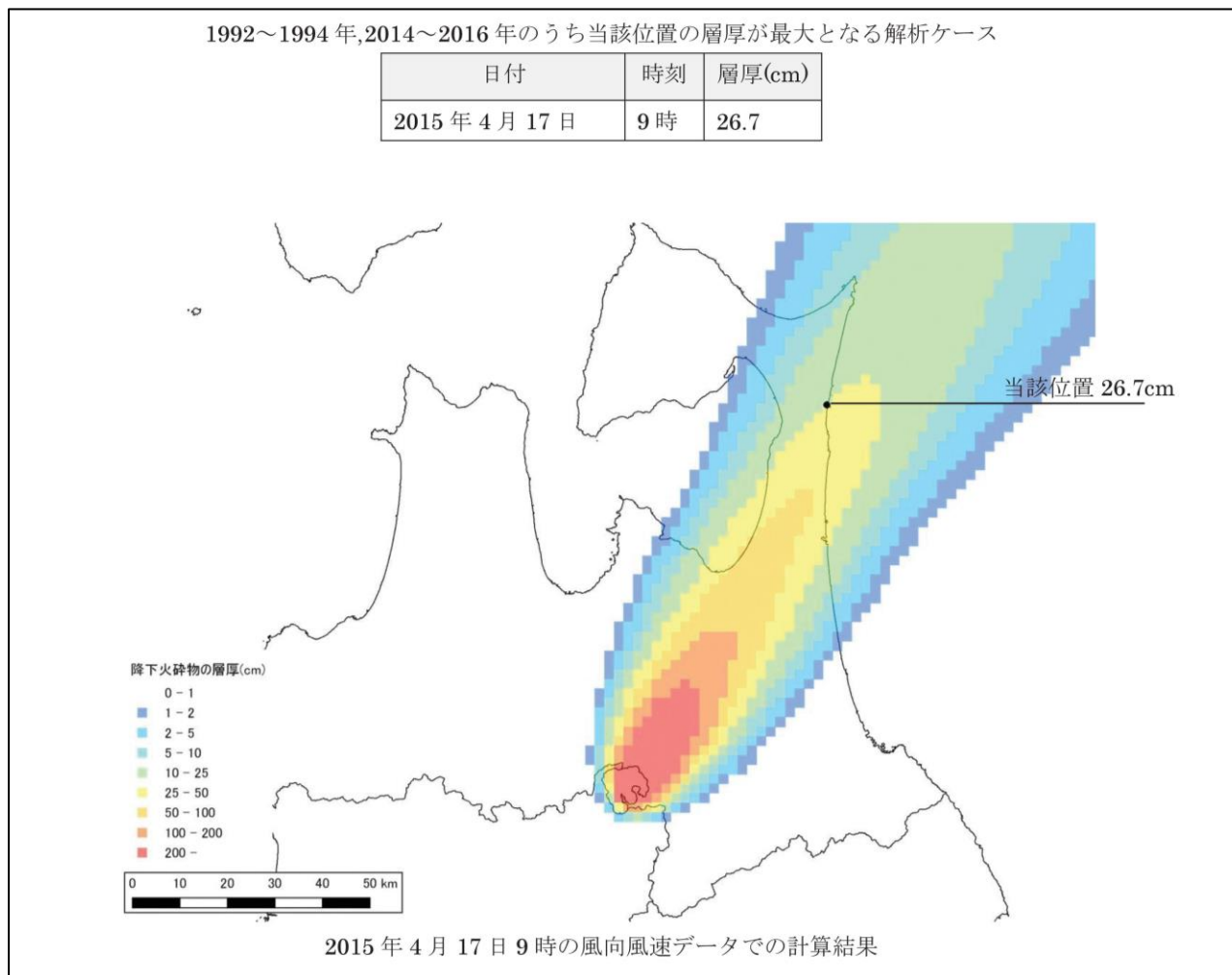
降下火砕物の想定影響範囲図



過去6年間の毎日9時の全気象データを用いた2192ケースの解析結果を重ね合わせた最大値のマップ(一部加筆)

(参考11) 十和田火山防災協議会による火山災害想定影響範囲の検討

- 協議会による解析結果のうち、東通原子力発電所において層厚が最大となるのは2015年4月17日の9時の解析ケースであった。
- 本解析ケースにおいて層厚は26.7cmとなり、当社の降下火砕物の層厚評価である30cmを上回っていないことを確認した。



協議会実施のシミュレーションによる東通原子力発電所での最大層厚
(青森県から情報提供)

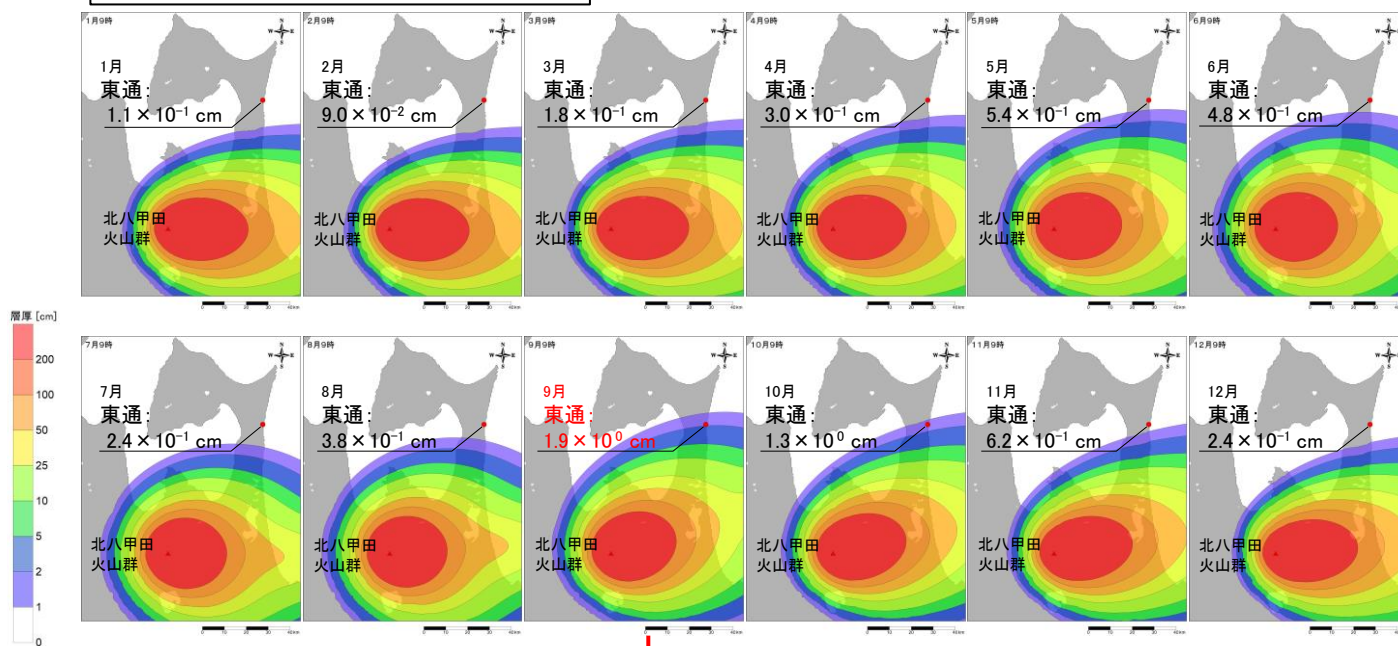
(参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

(参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

コメントS253

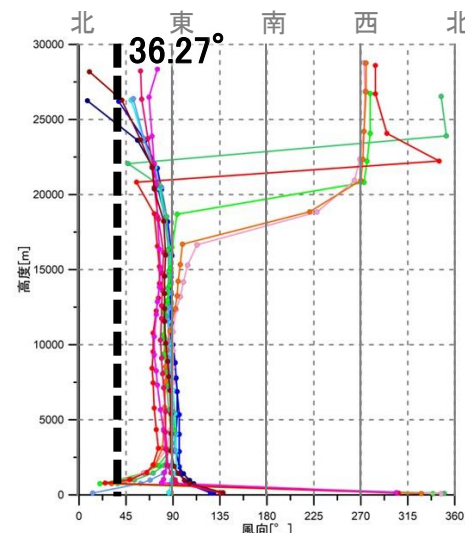
- 降下火砕物のシミュレーションでは、実際に堆積する可能性のある降下火砕物の層厚を検証することから、過去に実際に観測されたデータを用いて解析を実施している。
- 日本列島では1年を通じて西から東に向かって吹く偏西風が卓越しているが、季節により風向に差異があることから、基本ケースとして、実測値に基づく各月の風データを使用して季節による敷地での層厚の違いを検討した。
- 風データについては、火山防災マップ作成指針(内閣府ほか, 2013)に基づき、気象庁の月別平年値を使用した。

北八甲田火山群(WP): 基本ケース: 9時

※堆積物密度を1000kg/m³とした。

敷地方向の風が比較的多い

各月の平均風向(1991~2020年)



- 基本ケースにおいて、敷地での層厚が最大となったのは、9月9時の風データであった。これは、敷地方向の風が比較的多かったことを表しており、当該月が敷地に最も厳しい条件の季節であると考えられる。
- さらに厳しい条件を考慮するため、最大層厚となった9月9時の風の実測値の中から、敷地方向の風を意図的に抽出した風向の不確かさ(=仮想風)の検討を実施した。

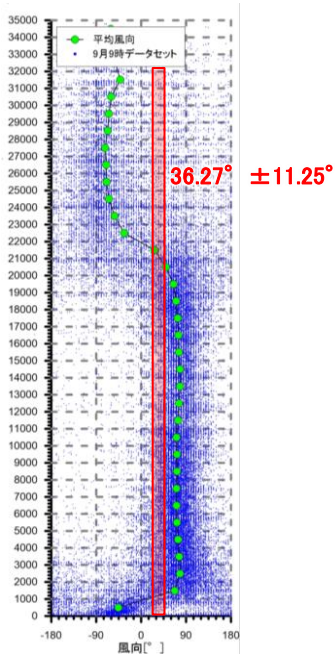


(参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

コメントS253

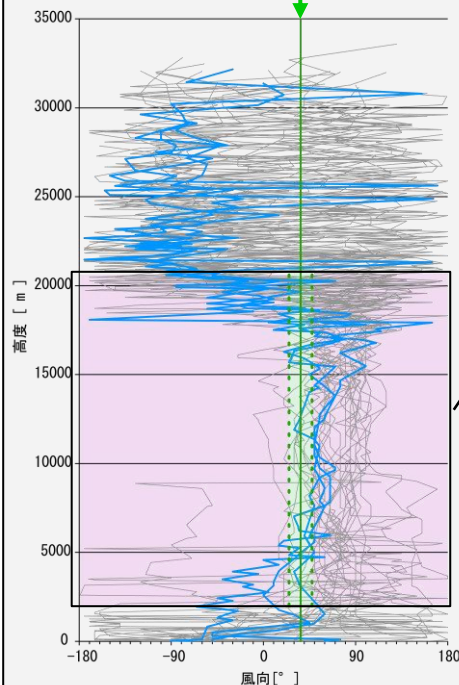
- より厳しい条件を考慮する検討として、基本ケースにおいて敷地での層厚が最大となった9月9時の風データ(実測値)の中から、敷地方向の風を意図的に抽出する「風向の不確かさの検討」を実施した。
- 敷地方向の風は、基本ケースより長い1973年～2023年の期間における9月9時の全風向データの中から、平均値が敷地方向(36.27°)の範囲に存在する風向データを抽出した。
- なお、実際に観測される風のデータは下中央図②の通り高度ごとに風向が異なっているため、抽出範囲についても敷地方向を中心に幅を持たせて抽出する必要がある。その抽出範囲については、幅を広げるとばらつきが大きくなると考えられる一方、幅を狭めると抽出されるデータ数が極端に減少する可能性があるため、16方位の1方位分である $\pm 11.25^\circ$ とした。

抽出前
9月9時の全風向データ

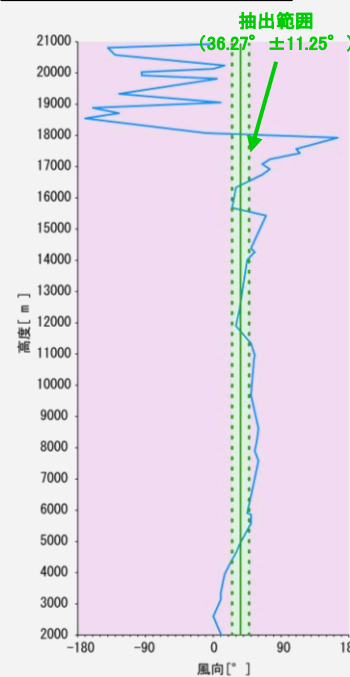


敷地方向の風を多く含む高度2～21 kmにおける風向の平均値が、火山から敷地方向の 36.27° を中心に $\pm 11.25^\circ$ の範囲に入る風を抽出した。

① 2023年9月9時の
全風向データ



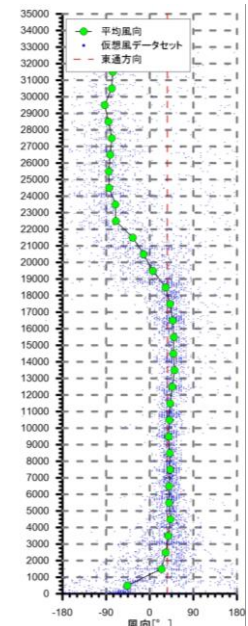
② 抽出されたデータの例:
2023年9月9日9時



抽出結果の例

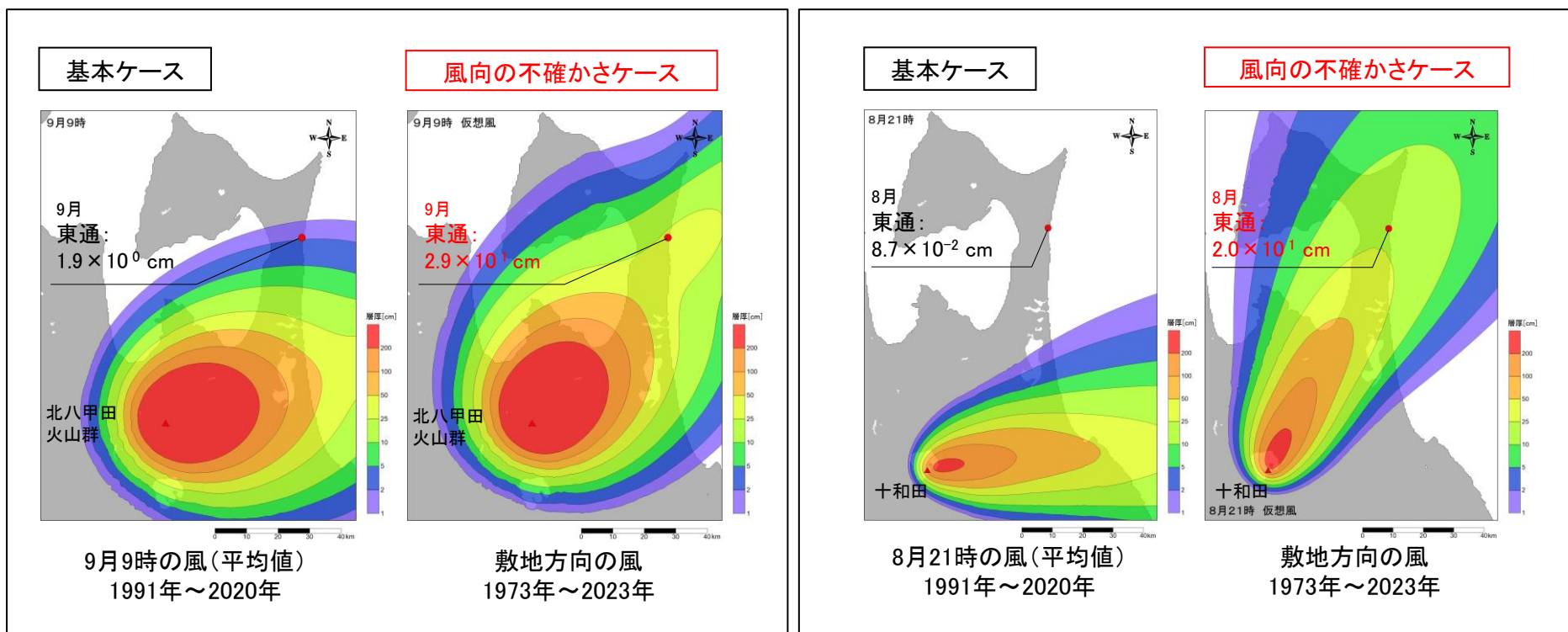
2023年9月9時の風(左図)のうち、2～21kmの範囲(着色部)における平均値が $36.27^\circ \pm 11.25^\circ$ の範囲に存在する風を抽出。右図はその一例で2023年9月9日9時の風。

抽出後
9月9時の敷地方向の風



(参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

- 北八甲田火山群と同様の秋田気象台のデータを使用している十和田との降下火砕物シミュレーションの結果を比較する。北八甲田火山群の分布軸は、十和田の分布軸に比べ給源→敷地方向からややずれた傾向を有している。
- 風向の不確かさの検討にあたっては、同一の方法で抽出を実施しているため、分布軸がずれた可能性としては、抽出にあたって使用した風データに差異があるものと考えられる。
- この結果を踏まえて、それぞれの火山において解析で使用した風データの傾向を比較し、検証を実施した。



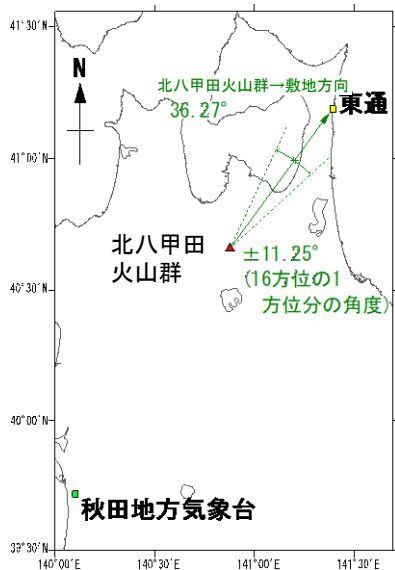
北八甲田火山群の降下火砕物シミュレーション結果

十和田の降下火砕物シミュレーション結果

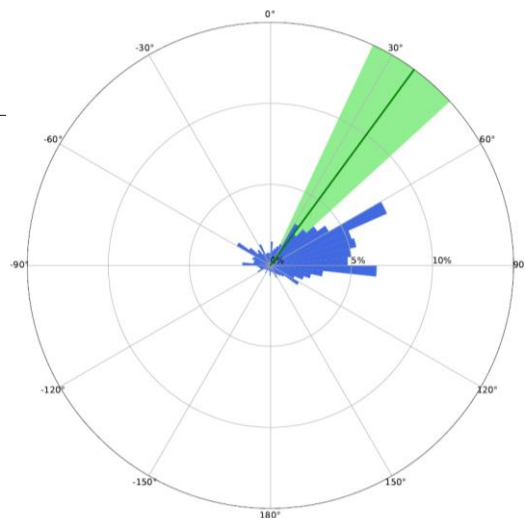
(参考12) 北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

コメントS253

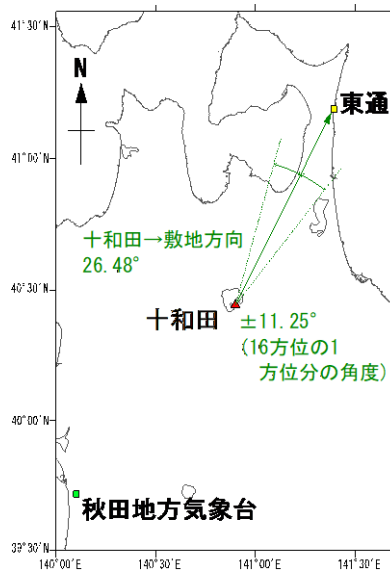
- 北八甲田火山群と十和田の風向の不確かさ検討に使用した風データ(抽出前)の比較を実施した。なお、北八甲田火山群は9月9時のデータ、十和田は8月21時のデータを使用している。
- 使用した風のデータを比較すると、北八甲田火山群のシミュレーションに使用した9月9時のデータは、十和田で使用した8月21時のデータと比較し、敷地方向の風が含まれているものの、敷地方向から東側にずれた方向にも風を多く有していることがわかる。



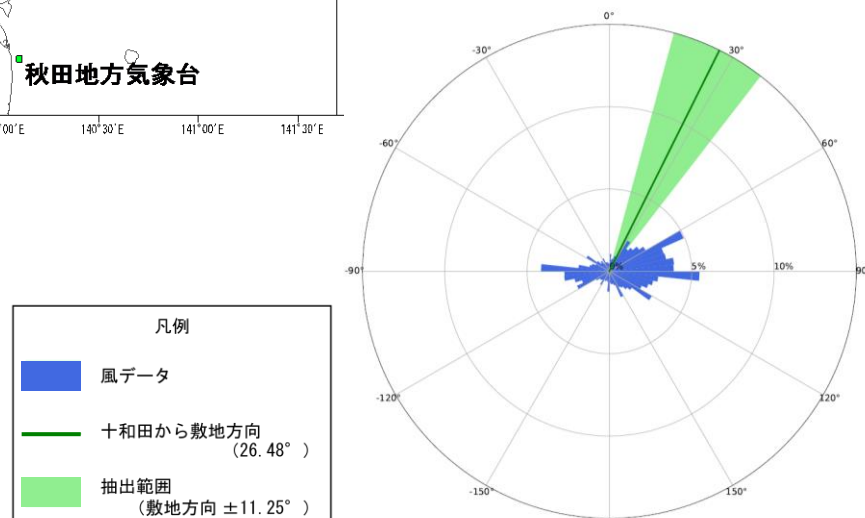
敷地方向の風は含まれるが、抽出方向から東側にずれる風のデータ数も含まれる。



秋田 9月9時 抽出前の全データ



北八甲田火山群で使用した風データと同様、抽出方向から東側にずれるに従い風のデータ数が増えるが、その量は少ない。



秋田 8月21時 抽出前の全データ

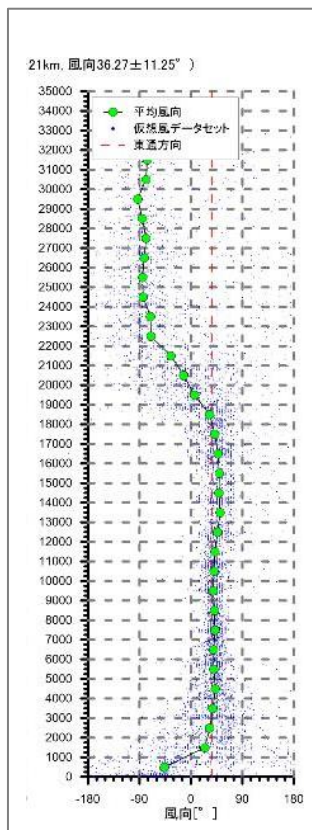
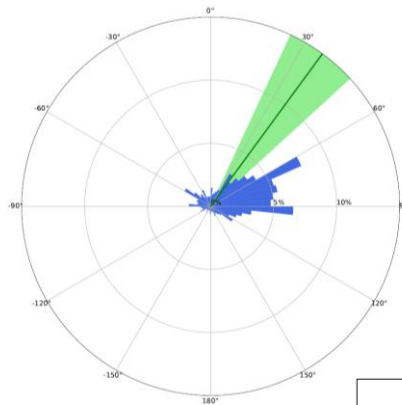
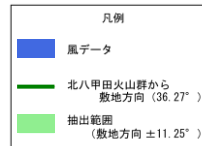
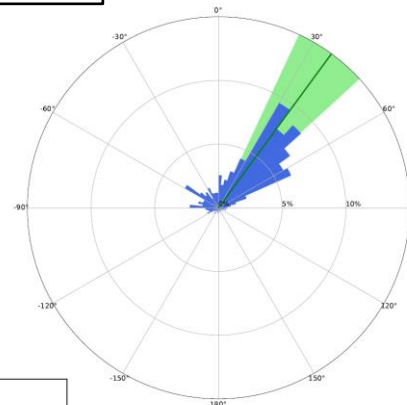
(参考12)北八甲田火山群の風向の不確かさに関する検証

コメントS253

- 北八甲田火山群の風向の不確かさの検討に使用した、9月9時の敷地方向の風の抽出前後の風データをローズダイアグラムで比較し、その特徴を確認した。
- 抽出前の全体の風データ(①)は敷地方向から東側にずれた方向に偏りがあったため、抽出された風データ(②)も敷地方向からわずかにずれた位置の風が多く含まれるが、敷地方向の風も含まれている。
- この抽出されたデータを使用して実施した降下火砕物シミュレーションの結果(下図右)を確認すると、降下火砕物の等層厚線図の分布軸の角度は $39.94^{\circ} \sim 41.93^{\circ}$ であり、 $\pm 11.25^{\circ}$ よりも狭い範囲の、概ね敷地方向の風を抽出することができている。
- なお、9月9時の風については全観測日数は1480日、このうち風向の不確かさケースで抽出された風の日数は126日(なお、全観測データ数は80,481個、全抽出データ数は7,467個)であり、抽出された風は全体の約8.5%と非常に稀な風を抽出していることから、十分特異な風が吹いた場合の検討ができているものと考えられる。

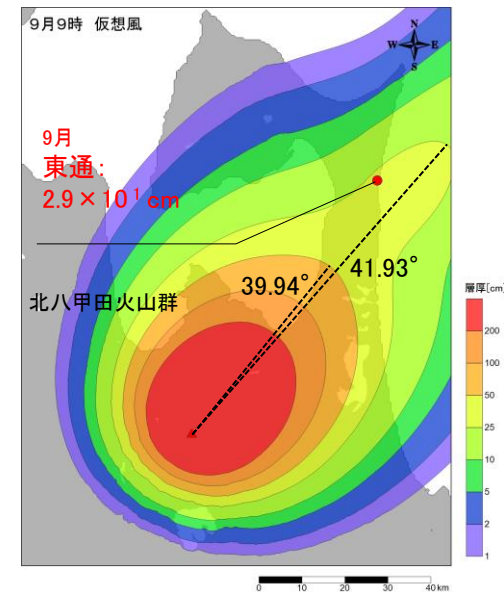
9月9時の敷地方向の風(1973年～2023年)

秋田 9月9時(1973年～2023年)風向ローズダイアグラム

①9月9時
全データ②9月9時
敷地方向

風向・風速鉛直分布: 秋田9月9時(定時観測, 平均値: 1973年～2023年)
 データダウンロード元: ワイオミング大学Department of Atmospheric Scienceの
 HP (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.shtml>)

風向の不確かさケース

敷地方向の風
1973年～2023年

参考文献①

1. 阿部泰久・山元正継 (1988). 秋田県北部田代岳火山の地質. 日本火山学会講演予稿集, 45. https://doi.org/10.18940/vsj.1988.2.0_45
2. 相川裕貴・折橋裕二・佐々木実・中尾魁史・高久雄一 (2021). 青森県南部, 碓ヶ関カルデラ主要構成噴出物(虹貝凝灰岩)のジルコンLA-ICP-MS U-Pb年代. 地質学雑誌, 127(7), 431-436. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2020.0056>
3. Amma-Miyasaka, M., Miura, D., Nakagawa, M., Uesawa, S., & Furukawa, R. (2020). Stratigraphy and chronology of silicic tephra in the Shikotsu-Toya volcanic field, Japan: Evidence of a Late Pleistocene ignimbrite flare-up in southwestern Hokkaido. *Quaternary International*, 562, 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120408>
4. 青木かおり・大串健一 (2006). 下北半島沖海底コア MD01-2409 中に介在する濁川テフラ. 第四紀研究, 45(3), 257-260. <https://doi.org/10.4116/jaqua.45.257>
5. 青森県 (1998). 青森県地質図及び同説明書. 青森県.
6. 青森県史編さん自然部会 (2001). 青森県史 自然編 地学. 青森県.
7. 荒井健一・吉本充宏・奥野 充・宇井忠英・和田恵治 (1998). 恵山火山の最近1万年間の噴火. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 419.
8. 荒川武久・岡島靖司・水上啓司・宮脇理一郎・青木道範・小林 淳 (2008). 恐山火山宇曽利カルデラ内で確認した最近6万年間の堆積物. 日本第四紀学会講演要旨集, 38, 16-17.
9. 浅森浩一・梅田浩司 (2005). 地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術-鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適用. 原子力バックエンド研究, 11(2), 147-156. <https://doi.org/10.3327/jnuce.11.147>
10. 安住亜友美・梅田浩司・柴 正敏・佐々木実・佐藤大紀 (2019). 下北半島, 於法岳火山の岩石記載とK-Ar 年代. 火山, 64(3), 169-174. https://doi.org/10.18940/kazan.64.3_169
11. 伴 雅雄・大場与志男・石川賢一・高岡宣雄 (1992). 青森一恐火山列, 陸奥燧岳, 恐山, 七時雨および青森火山の K-Ar 年代-東北日本弧第四紀火山の帯状配列の成立時期-. 岩鉱, 87(2), 39-49. <https://doi.org/10.2465/ganko.87.39>
12. Bonadonna, C., Connor, C. B., Houghton, B. F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A., & Hincks, T. K. (2005). Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B3). <https://doi.org/10.1029/2003JB002896>
13. 地学団体研究会 編 (2024). 最新 地学事典. 平凡社.
14. Connor, L., & Connor, C. (2011) *Tephra2 Users Manual Spring 2011*. University of South Florida
15. Connor, L. J., Connor, C. B., & Bonadonna, C. (2008). Forecasting tephra dispersion using TEPHRA2.
16. 大條裕一・佐々木実 (2002). 田代岳火山および太良駒ヶ岳火山の地質と岩石. 日本火山学会講演予稿集, 2, 171. https://doi.org/10.18940/vsj.2002.2.0_171
17. 第四紀火山カタログ委員会編 (1999). 日本の第四紀火山カタログ. 日本火山学会.
18. 電源開発株式会社 (2008). 大間原子力発電所原子炉設置許可申請書 本文及び添付書類の一部補正について. 原発第128号, 平成20年3月17日.
19. 土井宣夫 (1993). 盛岡市付近に分布する十和田一大不動・八戸火砕流堆積物の産状. 日本地質学会東北支部会報, 22, 8-9.
20. 土居繁雄 (1957). 5万分の1地質図幅「樽前山」及び同説明書. 北海道開発庁.
21. 福岡管区気象台・鹿児島地方気象台・宮崎地方気象台 (1959). 昭和34年2月17日の霧島新燃岳の爆発, 1-16.

参考文献②

22. Fujinawa, A., Ban, M., Ohba, T., Kontani, K., & Miura, K. (2008). Characterization of low-temperature pyroclastic surges that occurred in the northeastern Japan arc during the late 19th century. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **178**(1), 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.07.004>
23. 藤根 久・遠藤邦彦・鈴木正章・吉本充宏・鈴木 茂・中村賢太郎・...・小杉 康 (2016). 有珠山善光寺岩屑なだれの発生年代の再検討—有珠南麓の過去2万年間の環境変遷との関連で—。第四紀研究, **55**(6), 253–270. <https://doi.org/10.4116/jaqua.55.253>
24. 藤田浩司・和知 剛・土井宣夫・千葉達朗・岡田智幸・吉田桂治・越谷 信・林信太郎・齋藤徳美 (2019). 八幡平火山群形成史—1mメッシュDEMを用いた火山地形判読とK-Ar年代測定にもとづく解析—, 岩手の地学, **49**, 4–25.
25. 藤原哲夫・国府谷盛明 (1969). 5万分の1地質図幅「恵山」及び同説明書. 北海道立地下資源調査所.
26. 古川竜太・中川光弘・古堅千絵 (2006). 樽前火山先史時代の噴火活動. 月刊地球, **28**(5), 302–307.
27. 古川竜太・中川光弘 (2009). 後支笏カルデラ, 風不死火山の爆発的噴火活動と年代. 日本火山学会講演予稿集, 41. <https://doi.org/10.18940/vsj.2009.0.41>
28. 古川竜太・中川光弘 (2010). 樽前火山地質図. 火山地質図, **15**, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
29. 古川竜太・中川光弘・古堅千絵・吉本充宏 (2006). 樽前火山先史時代の噴火活動. 月刊地球, **28**(5), 302–307.
30. 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英 (1997). 北海道駒ヶ岳火山は1694年に噴火したか?—北海道における17～18世紀の噴火年代の再検討—. 火山, **42**(4), 269–279. <https://doi.org/10.18940/kazan.42.4.269>
31. 古澤 明 (2017). レーザーアブレーションICP質量分析装置を用いた火山ガラスの分析による十和田カルデラ起源大不動テフラと八戸テフラの識別. 地質学雑誌, **123**(9), 765–776. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2017.0017>
32. 鷹澤好博 (1992). 西南北海道渡島半島の新第三系層序と古地理. 地質学論集, **37**, 11–23.
33. 鷹澤好博・紀藤典夫・柳井清治・貞方 昇 (2005). 北海道駒ヶ岳の最初期テフラの発見と初期噴火活動史の検討. 地質学雑誌, **111**(10), 581–589. <https://doi.org/10.5575/geosoc.111.581>
34. 下司信夫 (2016). 大規模火砕噴火と陥没カルデラ: その噴火準備と噴火過程. 火山, **61**(1), 101–118. <https://doi.org/10.18940/kazan.61.1.101>
35. Goto, Y., & Danhara, T. (2011). Zircon Fission-track Dating of the Hiyoriyama Cryptodome at Kuttara Volcano, Southwestern Hokkaido, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **56** (1), 19–23. <https://doi.org/10.18940/kazan.56.1.19>
36. Goto, Y., Danhara, T., & Tomiya, A. (2019). Catastrophic sector collapse at Usu volcano, Hokkaido, Japan: failure of a young edifice built on soft substratum. *Bulletin of Volcanology*, **81**, 1–24. <https://doi.org/10.1007/s00445-019-1293-x>
37. Goto, Y., & Johmori, A. (2014). Resistivity Structure of the Showa-Shinzan Dome at Usu Volcano, Hokkaido, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **59**(1), 1–11. <https://doi.org/10.18940/kazan.59.1.1>

参考文献③

38. Goto, Y., Matsuzuka, S., Kameyama, S., & Danhara, T. (2015a). Geology and Evolution of the Nakajima Islands (Toya Caldera, Hokkaido, Japan) Inferred from Aerial Laser Mapping and Geological Field Surveys. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **60**(1), 17–33. https://doi.org/10.18940/kazan.60.1_17
39. Goto, Y., Sasaki, H., Toriguchi, Y., & Hatakeyama, A. (2013a). History of Phreatic Eruptions in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **58**(3), 461–472. https://doi.org/10.18940/kazan.58.3_461
40. Goto, Y., Sekiguchi, Y., Takahashi, S., Ito, H., & Danhara, T. (2013b). The 18–19ka andesitic explosive eruption at Usu volcano, Hokkaido, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **58**(4), 529–541. https://doi.org/10.18940/kazan.58.4_529
41. 後藤芳彦・孫入 匠・檀原 徹・東宮昭彦. (2021). 北海道洞爺カルデラ地域における先カルデラ期の火砕流堆積物の発見: 立香火砕流堆積物. 日本火山学会講演予稿集, 49. https://doi.org/10.18940/vsj.2021.0_49
42. Goto, Y., Suzuki, K., Shinya, T., Yamauchi, A., Miyoshi, M., Danhara, T., & Tomiya, A. (2018). Stratigraphy and lithofacies of the Toya Ignimbrite in southwestern Hokkaido, Japan: Insights into the caldera-forming eruption at Toya caldera. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **127**(2), 191–227. <https://doi.org/10.5026/jgeography.127.191>
43. Goto, Y., Toriguchi, Y., Sasaki, H., & Hatakeyama, A. (2015b). Multiple Vent-forming Phreatic Eruptions after AD 1663 in the Noboribetsu Geothermal Field, Kuttara Volcano, Hokkaido, Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **60**(2), 241–249. https://doi.org/10.18940/kazan.60.2_241
44. 箱根山降灰合同調査班 (2015). 箱根火山2015年6月29–30日噴火による降灰分布 (速報値). 火山噴火予知連絡会.
45. 秦 光男・対馬坤六・須田芳朗・小野吉彦 (1972). 20万分の1地質図幅「尻屋崎」. 地質調査所.
46. Hayakawa, Y. (1985). Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **60**, 507–592.
47. 早川由紀夫 (1983). 火山豆石として降下堆積した十和田火山八戸火山灰. 火山. 第2集, **28**(1), 25–40. https://doi.org/10.18940/kazanc.28.1_25
48. 早川由紀夫 (2008). 100万年テフラデータベース. 2009年4月15日更新. 早川由紀夫研究室. <https://hayakawayukio.jp/database/index.php?kind=1m&mode=>
49. 早川由紀夫・小山真人 (1998). 日本海をはさんで10世紀に相次いで起こった二つの大噴火の年月日—十和田湖と白頭山—. 火山, **43**(5), 403–407. https://doi.org/10.18940/kazan.43.5_403
50. 平林徹也・鎌田桂子・安達裕介 (2006). 簡易的物理モデルを用いた十和田八戸火砕流分布域と推定分布域の比較. 日本地球惑星科学連合2006年大会予稿集, V102–P001.
51. 平川一臣・中村有吾・伝法谷宣洋・市川八州夫 (1999). 銭亀一女那川テフラの年代観と関連する諸問題. 日本地質学会第106年学術大会講演要旨, 29. https://doi.org/10.14863/geosocabst.1999.0_29_2
52. 広井良美・宮本 毅・田中倫久 (2015). 十和田火山平安噴火(噴火エピソードA)の噴出物層序及び噴火推移の再検討. 火山, **60**(2), 187–209. https://doi.org/10.18940/kazan.60.2_187
53. 広瀬 亘・岩崎深雪・中川光弘 (2000). 北海道中央部～西部の新第三紀火成活動の変遷: K–Ar年代, 火山活動様式および全岩化学組成から見た東北日本弧北端の島弧火成活動の変遷. 地質学雑誌, **106**(2), 120–135. <https://doi.org/10.5575/geosoc.106.120>
54. 許 成基・山崎 誠・佐高裕之・中川昌巳・秋山泰祐・平野令緒 (2001). 支笏火山噴出層年代の再検討. 地球科学, **55**(3), 145–156. https://doi.org/10.15080/agcchikyukagaku.55.3_145
55. 北海道電力株式会社 (2013). 泊発電所の発電用原子炉設置変更許可申請書(1号及び2号発電用原子炉施設の変更). 北電原第127号, 平成25年7月8日.

参考文献④

56. Horiuchi, K., Sonoda, S., Matsuzaki, H., & Ohyama, M. (2007). Radiocarbon analysis of tree rings from a 15.5-cal kyr BP pyroclastically buried forest: a pilot study. *Radiocarbon*, **49**(2), 1123–1132. <https://doi.org/10.1017/S003382220004296X>
57. 胆振団体研究会 (1990).クッタラ火山の火砕堆積物—支笏火山のテフラの層序の検討とテフロクロロジー—. 地球科学, 44(3), 95–112.
58. Imai, N., & Shimokawa, K. (1988). ESR dating of Quaternary tephra from Mt. Osore-zan using Al and Ti centres in quartz. *Quaternary Science Reviews*, **7**(3–4), 523–527. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(88\)90056-X](https://doi.org/10.1016/0277-3791(88)90056-X)
59. 井村隆介 (1995). 岩木火山の噴火史. 日本地質学会第102 年学術大会 講演要旨, 245. https://doi.org/10.14863/geosocabst.1995.0_245_2
60. 石田正夫・久保和也・広島俊男 (1983). 20万分の1地質図幅「室蘭」. 地質調査所.
61. 石田正夫・曾屋龍典・須田芳朗 (1980). 20万分の1地質図幅「札幌」. 地質調査所.
62. 石原義光 (1988). 地熱開発促進調査の地域レポート〔9〕下北地域. 地熱エネルギー, **13**(2), 88–109.
63. 石川賢一・吉田武義・北川嘉彦・青木謙一郎・大上和良 (1985). 東北本州弧, 岩手県七時雨火山の地球化学的研究. 核研研究報告, **18**(2) 366–378.
64. 伊藤順一 (2019). 岩手火山, 一本木原岩屑なだれ堆積物の¹⁴Cウィグルマッチング年代と崩壊堆積物の特徴: 活火山における小規模な表層崩壊堆積物. 火山, **64**(3), 153–167. https://doi.org/10.18940/kazan.64.3_153
65. 伊藤順一・檀原 徹・岩野英樹 (2007). 岩手—雪浦軽石(生出黒色火山灰群下部)のFT年代値. 日本火山学会講演予稿集, 44. https://doi.org/10.18940/vsj.2007.0_44
66. 伊藤順一・土井宣夫 (2005). 岩手火山地質図. 火山地質図, **13**, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
67. 伊藤順一・土井宣夫・星住英夫・工藤 崇・岸本清行 (2006). 岩手火山地質データベース. 数値火山地質図 V-1, 産総研地質調査総合センター. https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/iwate/v01/index.html
68. 伊藤順一・濱崎聡志・川辺禎久 (2018). 岩手火山における最近 1 万年間の爆発的噴火履歴の再検討: 水蒸気噴火とマグマ噴火の時空間的関連. 地質学雑誌, **124**(4), 271–296. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2018.0009>
69. 伊藤順一・長井雅史 (2017). 西岩手火山, 後カルデラ期の噴出物層序の再検討—気象庁観測点整備ボーリングコア(JMA-V112)解析に基づく金沢火砕流の再評価—. 日本火山学会講演予稿集, 202. https://doi.org/10.18940/vsj.2017.0_202
70. 伊藤順一・住田達哉 (2011). 岩手火山における約10万年間のマグマ噴出率. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会, 28. <https://doi.org/10.14824/jakoka.2011.0.28.0>
71. Ito, K., Tamura, T., Kudo, T., & Tsukamoto, S. (2017). Optically stimulated luminescence dating of Late Pleistocene tephric loess intercalated with Towada tephra layers in northeastern Japan. *Quaternary International*, **456**, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.06.070>
72. 岩崎孝明 (1983). 青森県東部の火山灰. 駒澤大学大学院地理学研究, **13**, 33–39.
73. 鎌田耕太郎・秦 光男・久保和也・坂本 亨 (1991). 20万分の1地質図幅「八戸」地質調査所.

参考文献⑤

74. Kametani, N., Ishizaki, Y., Yoshimoto, M., Maeno, F., Terada, A., Furukawa, R., ... & Takarada, S. (2021). Total mass estimate of the January 23, 2018, phreatic eruption of Kusatsu-Shirane Volcano, central Japan. *Earth, Planets and Space*, **73**, 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01468-3>
75. Kanda, W., & Ogawa, Y. (2014). Three-dimensional electromagnetic imaging of fluids and melts beneath the NE Japan arc revisited by using geomagnetic transfer function data. *Earth, Planets and Space*, **66**, 1–8. <https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-39>
76. 金田泰明・長谷川健 (2022). 北海道南西部, 濁川火山におけるカルデラ形成期～後カルデラ期の噴出物層序及び噴火推移. 火山, **67**(1), 1–19. <https://doi.org/10.18940/kazan.67.1.1>
77. 金田泰明・後藤義瑛・西野佑紀・宝田晋治・下司信夫 (2020). 支笏・洞爺・濁川・大山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移, 地質調査総合センター研究資料集, 699, 産業技術総合研究所地質調査総合センター・加藤茂弘・山縣耕太郎・奥村晃史 (1995). 支笏・クッタラ両火山起源のテフラに関する加速器質量分析(AMS)法による¹⁴C年代. 第四紀研究, 34(4), 309–313. <https://doi.org/10.4116/jaqua.34.4.309>
78. 勝井義雄・岡田 弘・中川光弘 (2007). 第3章 多様な火山, 6. 恵庭岳. 北海道の活火山, 135–138.
79. 勝井義雄・鈴木健夫・曾屋龍典・吉久康樹 (1989). 北海道駒ヶ岳火山地質図. 火山地質図, **5**, 地質調査所.
80. 勝井義雄・横山 泉・岡田 弘・安孫子勤・武藤晴達 (1988). 倶多楽(日和山)–火山地質・活動史・活動の現況および防災対策. 北海道における火山に関する研究報告書, **12**, 北海道防災会議.
81. 気象庁編 (2013). 日本活火山総覧(第4版). (一財)気象業務支援センター.
82. 小林 淳・水上啓治 (2012). 恐山火山外輪山の年代と火山活動史—小目名沢石英安山岩の恐山火山の活動史上の位置づけに着目して—. 日本第四紀学会講演要旨集, 42, 14–15.
83. 小林 淳・水上啓治・岡島靖司 (2011). 恐山外輪山における屏風山一朝比奈岳火山群の年代と火山活動史. 日本火山学会講演予稿集, 71. <https://doi.org/10.18940/vsj.2011.0.71>
84. 小岩直人・柴正敏・葛西優貴 (2007). 青森県屏風山砂丘地帯, 館岡層中の十和田大不動テフラのAMS¹⁴C年代. 第四紀研究, **46**(5), 437–441. <https://doi.org/10.4116/jaqua.46.437>
85. 近藤 梓・山元正継・大場 司・安井光大・緒方武幸 (2010). 東北日本弧北部, 碓ヶ関カルデラに分布する火山岩類の層序とK-Ar年代. 日本地質学会第117年学術大会 講演要旨, 125. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.2010.0.244.0>
86. 国府谷盛明・松井公平・小林武彦 (1967). 5万分の1地質図幅「鹿部」及び同説明書. 北海道開発庁.
87. 小杉安由美 (2007). 西南北海道渡島半島沖, 渡島小島火山噴出物の特徴とK-Ar年代. 日本地球惑星科学連合2007年大会予稿集, V157–P206.
88. 小杉安由美・中川光弘・清野寛子 (2013). 西南北海道, 更新世渡島小島火山の地質と岩石学的特徴. 地質学雑誌, 119(12), 743–758. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2013.0049>
89. 工藤 崇 (2005). 5万分の1地質図幅「十和田」及び同説明書. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
90. 工藤 崇 (2008). 十和田火山, 噴火エピソードE及びG噴出物の放射性炭素年代. 火山, **53**(6), 193–199. <https://doi.org/10.18940/kazan.53.6.193>
91. 工藤 崇 (2010a). 十和田火山, 御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移. 火山, **55**(2), 89–107. <https://doi.org/10.18940/kazan.55.2.89>
92. 工藤 崇 (2010b). 十和田火山, 御門石溶岩ドームの形成時期に関する考察. 地質調査研究報告, **61**(11–12), 477–484. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.61.477>
93. 工藤 崇 (2016). 十和田火山, 先カルデラ期溶岩のK-Ar年代. 地質調査研究報告, **67**(6), 209–215. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.67.209>

参考文献⑥

94. 工藤 崇 (2017). 十和田火山, 先カルデラ期後期の火砕流堆積物. 日本地質学会第124年学術大会 講演要旨, 103. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.2017.0.103>
95. 工藤 崇 (2018a). 十和田火山カルデラ形成期に発生した小規模ブルカノ式噴火. 日本火山学会講演予稿集, 21. <https://doi.org/10.18940/vsj.2018.0.21>
96. 工藤 崇 (2018b). 十和田湖周辺地域における前期～中期更新世火山活動史. 地質調査研究報告, **69**(3), 165–200. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.69.165>
97. 工藤 崇 (2022). 十和田火山, 噴火エピソード M の噴出物層序と噴火推移. 地質学雑誌, **128**(1), 109–127. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2022.0009>
98. 工藤 崇 (2023). 十和田火山の積算マグマ噴出量階段図. 地質調査研究報告, **74**(3), 133–153. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.74.3.133>
99. Kudo, T. (2024). Newly identified small vulcanian eruptions during the caldera-forming stage of Towada Volcano, Northeast Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **452**, 108134. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108134>
100. 工藤 崇・檀原 徹・山下 透・植木岳雪・佐藤大介 (2011a). 八甲田カルデラ起源火砕流堆積物の層序の再検討. 日本第四紀学会講演要旨集, **41**, 144–145.
101. 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透 (2020). 八甲田カルデラ東方, 八幡岳火山群の地質と火山活動史. 地学雑誌, **129**(1), 21–47. <https://doi.org/10.5026/jgeography.129.21>
102. 工藤 崇・小林 淳 (2013). 十和田火山, 先カルデラ期～カルデラ形成期テフラの放射年代測定. 地質調査研究報告, **64**(9–10), 305–311. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.64.305>
103. 工藤 崇・小林 淳・山元孝広・岡島靖司・水上啓治 (2011b). 十和田火山における噴火活動様式の時代変遷と長期的予測. 日本第四紀学会講演要旨集, **41**, 82–83.
104. 工藤 崇・小松原純子・内野隆之・昆 慶明・宮川歩夢 (2021). 20万分の1地質図幅「野辺地 (第2版)」。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
105. 工藤 崇・西村 健・佐々木実・藤原大祐 (2004a). 八甲田—十和田火山地域における後期中新世～鮮新世火山岩のK-Ar年代とマグマ組成の時間変遷. 日本地質学会第111年学術大会 講演要旨, 121. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.2004.abst.0.121.2>
106. 工藤 崇・奥野 充・中村俊夫 (2003). 北八甲田火山群における最近6000年間の噴火活動史. 地質学雑誌, **109**(3), 151–165. <https://doi.org/10.5575/geosoc.109.151>
107. 工藤 崇・奥野 充・大場 司・北出優樹・中村俊夫 (2000). 北八甲田火山群, 地獄沼起源の噴火堆積物 — 噴火様式・規模・年代 —. 火山, **45**(6), 315–322. <https://doi.org/10.18940/kazan.45.6.315>
108. 工藤 崇・佐々木寿 (2007). 十和田火山後カルデラ期噴出物の高精度噴火史編年. 地学雑誌, **116**(5), 653–663. <https://doi.org/10.5026/jgeography.116.5.653>
109. 工藤 崇・宝田晋治・佐々木実 (2004b). 東北日本, 北八甲田火山群の地質と火山発達史. 地質学雑誌, **110**(5), 271–289. <https://doi.org/10.5575/geosoc.110.271>
110. 工藤 崇・内野隆之・濱崎聡志 (2019). 5万分の1地質図幅「十和田湖」及び説明書. 産業技術総合研究所地質調査総合センター。
111. 工藤 崇・植木岳雪・宝田晋治・佐々木寿・佐々木実 (2006). 八甲田カルデラ南東地域に分布する鮮新世末期～中期更新世火砕流堆積物の層序と給源カルデラ. 地学雑誌, **115**(1), 1–25. <https://doi.org/10.5026/jgeography.115.1>
112. 久利美和・栗田 敬 (2003). 十和田火山二の倉スコリア群の層序区分の再検討—二の倉スコリア期の噴火活動の推移—. 火山, **48**(3), 249–258. <https://doi.org/10.18940/kazan.48.3.249>
113. 黒墨秀行・土井宣夫 (2003). 濁川カルデラの内部構造. 火山, **48**(3), 259–274. <https://doi.org/10.18940/kazan.48.3.259>

参考文献⑦

114. 桑原拓一郎 (2006). 下北半島北部に分布する正津川軽石流堆積物のジルコン・フィッショントラック年代. 地質学雑誌, **112**(4), 294-297. <https://doi.org/10.5575/geosoc.112.294>
115. 桑原拓一郎. (2007). 青森県上北平野に分布する白ベタテフラ(WP)のジルコン・フィッショントラック年代. 第四紀研究, **46**(5), 433-436. <https://doi.org/10.4116/jaqua.46.433>
116. 桑原拓一郎・山崎晴雄 (2001). テフラから見た最近45万年間の恐山火山の噴火活動史. 火山, **46**(2), 37-52. <https://doi.org/10.18940/kazan.46.2.37>
117. 町田 洋・新井房夫 (2011). 新編 火山灰アトラス [日本列島とその周辺](新編第2刷). 東京大学出版会.
118. 町田 洋・新井房夫・森脇広 (1981). 日本海を渡ってきたテフラ. 科学, **51**(9), 562-569.
119. 萬年一剛 (2006). 濁川型カルデラの地質構造. 月刊地球, **28**(4), 257-264.
120. 萬年一剛 (2013). 降下火山灰シミュレーションコードTephra2の理論と現状－第四紀学での利用を視野に. 第四紀研究, **52**(4), 173-187. <https://doi.org/10.4116/jaqua.52.173>
121. 松本亜希子・中川光弘 (2006). 有珠火山, 歴史時代噴火のマグマ供給系の変遷. 月刊地球, **28**(5), 316-321.
122. 松本亜希子・中川光弘 (2011). 岩石学的特徴からみる, 有珠火山山頂溶岩ドーム群の形成順序. 日本火山学会講演予稿集, **97**. <https://doi.org/10.18940/vsj.2011.0.97>
123. Matsumoto, A., & Nakagawa, M. (2019). Reconstruction of the eruptive history of Usu volcano, Hokkaido, Japan, inferred from petrological correlation between tephras and dome lavas. *Island Arc*, **28**(3), e12301. <https://doi.org/10.1111/iar.12301>
124. 松下勝秀・鈴木 守・高橋功二 (1973). 5万分の1地質図幅「濁川」及び同説明書. 北海道立地下資源調査所.
125. McLean, D., Albert, P. G., Nakagawa, T., Suzuki, T., Staff, R. A., Yamada, K., ... & Smith, V. C. (2018). Integrating the Holocene tephrostratigraphy for East Asia using a high-resolution cryptotephra study from Lake Suigetsu (SG14 core), central Japan. *Quaternary Science Reviews*, **183**, 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.12.013>
126. Matsu'ura, T., Kimura, J. I., Chang, Q., & Komatsubara, J. (2017). Using tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to re-evaluate and improve the Middle Pleistocene age model for marine sequences in northeast Japan (Chikyu C9001C). *Quaternary Geochronology*, **40**, 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2016.11.001>
127. Matsu'ura, T., & Komatsubara, J. (2017). Use of amphibole chemistry for detecting tephras in deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) and developing a middle Pleistocene tephrochronology for NE Japan. *Quaternary International*, **456**, 163-179. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.02.030>
128. Matsubara, M., Ishiyama, T., No, T., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., ... & Kamiya, S. I. (2022). Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data. *Earth, Planets and Space*, **74**(1), 1-27. <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01724-0>
129. McLean, D., Albert, P. G., Nakagawa, T., Suzuki, T., Staff, R. A., Yamada, K., ... & Smith, V. C. (2018). Integrating the Holocene tephrostratigraphy for East Asia using a high-resolution cryptotephra study from Lake Suigetsu (SG14 core), central Japan. *Quaternary Science Reviews*, **183**, 36-58. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.12.013>
130. 南 裕介・伊藤順一・草野有紀・及川輝樹・大場 司 (2023). 秋田焼山火山における過去6000年間の爆発的活動による降下火砕物の層序, 年代, 化学的特徴. 火山, **68**(2), 39-57. <https://doi.org/10.18940/kazan.68.2.39>

参考文献⑧

131. 三村弘二・金谷 弘 (2001). 東北日本, 岩木火山北東麓の流れ山のK-Ar年代と岩木火山の火山体形成およびその崩壊時期. 火山, **46**(1), 17-20.
<https://doi.org/10.18940/kazan.46.1.17>
132. 三谷勝利・小山内熙・松下勝秀・鈴木 守 (1965). 5万分の1地質図幅「函館」及び同説明書. 北海道地下資源調査所.
133. 三谷勝利・鈴木 守・松下勝秀・国府谷盛明 (1966). 5万分の1地質図幅「大沼公園」及び同説明書. 北海道立地下資源調査所.
134. 三浦大助・荒井健一・古川竜太・高田倫義 (2016a). 恵山火山完新世テフラ堆積物の¹⁴C年代. 日本地球惑星科学連合2016年大会予稿集, SVC48-04.
135. 三浦大助・荒井健一・土志田潔・落合達也・田中倫久・飯田高弘 (2008). 恵山火山の噴火史と階段図. 日本火山学会講演予稿集, 97. <https://doi.org/10.18940/vsj.2008.0.97>
136. Miura, D., Arai, K. I., Toshida, K., Ochiai, T., Tanaka, M. H., & Iida, T. (2013). Eruption history, conduit migration, and steady discharge of magma for the past 50,000 yr at Esan volcanic complex, northern Japan. *GSA Bulletin*, **125**(9-10), 1503-1519. <https://doi.org/10.1130/B30732.1>
137. Miura, D., Furukawa, R., & Arai, K. I. (2019). Late Pleistocene-Holocene Volcaniclastic Ejecta Along the Southern Apron of the Esan Volcanic Complex, Japan. *Journal of Disaster Research*, **14**(5), 755-765. <https://doi.org/10.20965/jdr.2019.p0755>
138. 三浦大助・古川竜太・荒井健一 (2022). 恵山火山地質図. 火山地質図, **21**, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
139. 三浦大助・竹内晋吾・上澤真平 (2016b). クッタラ火砕噴出物のシーケンスと層序の再検討. 日本火山学会, 154. <https://doi.org/10.18940/vsj.2016.0.154>
140. Miura, D., Yoshinaka, K., Takeuchi, S., & Uesawa, S. (2022). Proximal deposits of the Kuttara-Hayakita tephra at Kuttara caldera volcano, Northern Japan: A record of precursor volcanism. *Bulletin of The Volcanological Society of Japan*, **67**(3), 273-294. <https://doi.org/10.18940/kazan.67.3.273>
141. Miyabuchi, Y., Okuno, M., Torii, M., Yoshimoto, M., & Kobayashi, T. (2014). Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya Volcano, Hokkaido, northern Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **281**, 34-52. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.05.019>
142. 宮地直道 (1984). 富士火山1707年火砕物の降下に及ぼした風の影響. 火山. 第2集, **29**(1), 17-30. <https://doi.org/10.18940/kazanc.29.1.17>
143. 森泉美穂子 (1998). クッタラ火山群の火山発達史. 火山, **43**(3), 95-111. <https://doi.org/10.18940/kazan.43.3.95>
144. 村岡洋文 (1986). 沖浦カルデラの形成年代. 地質調査所月報, **37**(1), 33-42.
145. 村岡洋文 (1991). 八甲田地熱地域の熱源系. 地質調査所報告, **275**, 113-134.
146. 村岡洋文・長谷紘和 (1981). 沖浦カルデラの構造と時代論. 日本地熱学会昭和56年度学術講演会講演要旨集, 15.
147. 村岡洋文・長谷紘和 (1990). 5万分の1地質図幅「黒石」及び同説明書. 地質調査所.
148. 村岡洋文・高倉伸一 (1988). 10万分の1八甲田地熱地域地質図及び同説明書. 地質調査所.
149. 村岡洋文・山口 靖・長谷紘和 (1991). 八甲田地熱地域で見出されたカルデラ群. 地質調査所報告, **275**, 97-111.
150. 村山正郎・上村不二雄 (1955). 5万分の1地質図幅「西紋竜」及び同説明書. 北海道開発庁.
151. 三好雅也・長谷中利明・佐野貴司 (2005). 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について. 火山, **50**(5), 269-283. <https://doi.org/10.18940/kazan.50.5.269>
152. 長森英明・宝田晋治・吾妻 崇 (2013). 5万分の1地質図幅「青森西部」及び同説明書. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

参考文献⑨

153. Nagaoka, S. (1988). The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, (23), 49–122.
154. 名越幸生 (1994). 濁川カルデラの火砕堆積物. 日本火山学会講演予稿集, **2**, 137. https://doi.org/10.18940/vsj.1994.2.0_137
155. 内閣府(防災担当)・消防庁・国土交通省水管理・国土保全局砂防部・気象庁(2013). 火山防災マップ作成指針. https://www.bousai.go.jp/kazan/shiryo/pdf/20130404_mapshishin.pdf
156. 中川久夫・中馬教允・石田琢二・松山 力・七崎 修・生出慶司・大池昭二・高橋 一 (1972). 十和田火山発達史概要. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, **73**, 7–18.
157. 中川久夫・松山 力・大池昭二 (1986). 十和田火山噴出物の分布と性状. 東北農政局計画部.
158. 中川光弘 (1983). 森吉火山の地質と岩石. 岩石鉱物鉱床学会誌, **78**(6), 197–210. <https://doi.org/10.2465/ganko1941.78.197>
159. 中川光弘 (1987). 東北日本, 岩手火山群の形成史. 岩石鉱物鉱床学会誌, **82**(4), 132–150. <https://doi.org/10.2465/ganko1941.82.132>
160. 中川光弘 (1998). 5. 有珠火山 記憶に新しい昭和大噴火の傷あと. フィールドガイド「日本の火山③」 北海道の火山, 92–115. 築地書館.
161. 中川光弘・北川淳一・若佐寛子 (2006). 北海道, 支笏火山のマグマ供給系の構造と噴火推移ーカルデラ形成期の複数マグマ溜りの同時噴火ー. 月刊地球, **28**(2), 88–93.
162. 中川光弘・増田健介・勝井義雄 (1994). 後支笏カルデラ, 恵庭火山の最新の噴火活動. 火山, **39**(5), 237–241. https://doi.org/10.18940/kazan.39.5_237
163. 中川光弘・松本亜希子・田近 淳・広瀬 亘・大津 直 (2005). 有珠火山の噴火史の再検討: 寛文噴火(1663年)と明和噴火(1769年)に挟まれた17世紀末の先明和噴火の発見. 火山, **50**(2), 39–52. https://doi.org/10.18940/kazan.50.2_39
164. Nakagawa, M., Matsumoto, A., & Yoshizawa, M. (2022). Re-investigation of the sector collapse timing of Usu volcano, Japan, inferred from reworked ash deposits caused by debris avalanche. *Frontiers in Earth Science*, **10**, 967043. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.967043>
165. 中川光弘・宮坂瑞穂・三浦大助・上澤真平 (2018). 南西北海道, 石狩低地帯におけるテフラ層序学: 支笏一洞爺火山地域の噴火履歴. 地質学雑誌, **124**(7), 473–489. <https://doi.org/10.5575/geosoc.2018.0038>
166. 中川光弘・野上健治・石塚吉浩・吉本充宏・高橋 良・石井英一・...・石丸 聡 (2001). 北海道駒ヶ岳, 2000 年の小噴火とその意義: 噴出物と火山灰付着性成分の時間変化から見たマグマ活動活発化の証拠. 火山, **46**(6), 295–304. https://doi.org/10.18940/kazan.46.6_295
167. 中島淳一 (2017). 東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造: 地殻構造と低周波地震・S波反射面との関係. 東京大学地震研究所彙報, **92**(2), 49–62.
168. Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A., & Zhao, D. (2001). Three-dimensional structure of Vp, Vs, and Vp/Vs beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **106** (B10), 21843–21857. <https://doi.org/10.1029/2000JB000008>
169. 中嶋聖子・周藤賢治・加々美寛雄・大木淳一・板谷徹丸 (1995). 東北日本弧, 後期中新世～鮮新世火山岩の島弧横断方向における化学組成および同位体組成変化. 地質学論集, **44**, 197–226.
170. 中村忠寿 (1973). 恵庭火山の中期噴出物の¹⁴C年代ー日本の第四紀層の¹⁴C年代 (82)ー. 地球科学, **27**(1), 42–43. https://doi.org/10.15080/agcchikyukagaku.27.1_42
171. 中村有吾・平川一臣 (2004). 北海道駒ヶ岳起源の広域テフラ, 駒ヶ岳 g テフラの分布と噴出年代. 第四紀研究, **43**(3), 189–200. <https://doi.org/10.4116/jaqua.43.189>

参考文献⑩

172. 中野 俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚 治・山元孝広・岸本清行編 (2013). 日本の火山(第3版). 200万分の1地質編集図, 11, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
173. 中谷咲子・長谷川健・藤縄明彦・照井肇子 (2013). 東北日本, 仙岩地熱地域南部, 高倉火山の山体形成史とマグマ供給系. 地質学雑誌, **119**(7), 457-473.
<https://doi.org/10.5575/geosoc.2013.0020>
174. 日本原燃株式会社 (2023). 再処理事業所再処理事業変更許可申請書 添付書類の一部補正について. 2023再計発第132号, 令和5年8月2日.
175. Niki, S., Kosugi, S., Iwano, H., Danhara, T., & Hirata, T. (2022). Development of an In Situ U-Th Disequilibrium Dating Method Utilising Multiple-Spot Femtosecond Laser Ablation-CRC-ICP-MS. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **46**(4), 589-602. <https://doi.org/10.1111/ggr.12458>
176. 西来邦章・伊藤順一・上野龍之(編) (2012). 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース, 地質調査総合センター速報 no.60, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
177. 野澤暁史 (2001). 八甲田地熱地域, 沖浦カルデラの内部構造と形成過程. 地質学雑誌, **107**(7), 413-431. <https://doi.org/10.5575/geosoc.107.413>
178. 大場 司 (1991). 秋田焼山火山の地質学的・岩石学的研究: 1. 山体形成史. 岩鉱, **86**(7), 305-322. <https://doi.org/10.2465/ganko.86.305>
179. 大場 司・林信太郎・梅田浩司 (2003). 岩手県松川地熱地域北方に分布する火山岩のK-Ar年代. 火山, **48**(4), 367-374. <https://doi.org/10.18940/kazan.48.4.367>
180. 大場 司・梅田浩司 (1999). 八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間-空間変化. 岩石, **94**(6), 187-202. <https://doi.org/10.2465/ganko.94.187>
181. Ōba, Y. (1966). Geology and petrology of Usu volcano, Hokkaido, Japan. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University. Series 4, Geology and mineralogy*, **13**(2), 185-236.
182. 大場与志男・近堂祐弘 (1964). 有珠火山の降下軽石堆積物について. 火山. 第 2 集, **9**(2-3), 75-86. <https://doi.org/10.18940/kazanc.9.2-3.75>
183. 小尾 亮・藤沢康弘・厚井高志・池田暁彦・堤 宏徳・山本陽子 (2019). 降灰後の土石流発生に関わる火山灰特性(軽石の堆積密度)について. 2019年度砂防学会研究発表会概要集, 727.
184. Ogawa, Y. (1987). Preliminary interpretation on detailed magnetovariational profilings in the Northern Tohoku district. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, **39**(9), 559-569.
<https://doi.org/10.5636/jgg.39.559>
185. 小川康雄 (1991). 八甲田火山群の深部比抵抗構造に関する考察. 地質調査所報告, **275**, 83-95.
186. 大口健志・大上和良・尾田太良 (1986). 島弧横断ルートNo.15(大葛温泉・田山・浄法寺・二戸・久慈). 新生代東北本州弧地質資料集 北村 信 編, **2**(3), ⑮-1-⑮-15, 宝文堂.
187. 大池昭二・松山 力・七崎 修 (1970). 八戸平原地区地質調査報告書. 東北農政局計画部.
188. 大池昭二・中川久夫 (1979). 三戸地域広域農業開発基本調査「地形並びに表層地質調査報告書」. 東北農政局計画部.
189. 小嶋智子・山崎晴雄 (2013). 仙岩火山地域南西部における大規模珪長質火砕堆積物の分布の再検討. 日本火山学会講演予稿集, 131. <https://doi.org/10.18940/vsj.2013.0.131>
190. 岡島靖司・志村 聡・荒川武久・水上啓司・宮脇理一郎・百瀬 貢・小林 淳 (2008). 恐山火山カルデラ形成後の噴火活動史. 日本第四紀学会講演要旨集, **38**, 14-15.
191. 奥村晃史・寒川 旭 (1984). 56. 洞爺火砕流(T_p fi)の分布と絶対年代(日本火山学会 1984 年度春季大会講演要旨). 火山. 第 2 集, **29**(4), 338.
<https://doi.org/10.18940/kazanc.29.4.338.1>
192. 奥野 充 (1995). 降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度. 金沢大学文学部地理学報告, **7**, 1-23.

参考文献⑪

193. 奥野 充・吉本充宏・荒井健一・中村俊夫・宇井忠英・和田恵治(1998). 西南北海道, 亀田半島の完新世テフラのAMS14C年代による編年. 日本地理学会発表要旨集, **53**, 122-123.
194. 奥野 充・吉本充宏・荒井健一・中村俊夫・宇井忠英・和田恵治 (1999). 北海道駒ヶ岳火山, Ko-fテフラの加速器14C年代. 地質学雑誌, **105**(5), 364-369.
<https://doi.org/10.5575/geosoc.105.364>
195. 大沢 穠・三村弘二・広島俊男・中島和敏 (1993). 20万分の1地質図幅「青森 第2版」. 地質調査所.
196. 大沢 穠・土谷信之・角 清愛 (1983). 5万分の1地質図幅「中浜」及び同説明書. 地質調査所.
197. 大沢 穠・須田芳朗 (1978). 20万分の1地質図幅「弘前および深浦」. 地質調査所.
198. 太田良平 (1954). 5万分の1地質図幅「徳舜警」及び同説明書. 地質調査所.
199. 太田良平 (1956). 5万分の1地質図幅「虻田」及び同説明書. 地質調査所.
200. 大津 直・鈴木隆広 (1995). 西南北海道松前半島の知内火山岩類のK-Ar年代とその意義. 地下資源調査所報告, **67**, 167-172.
201. リサイクル燃料貯蔵株式会社 (2020). リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正について. RFS発官2第8号, 令和2年8月14日.
202. 斎藤 光・鈴木毅彦 (2004). 中期更新世以降のテフラ層序に基づく岩木火山の噴火史. 日本第四紀学会講演要旨集, **34**, 32-33.
203. 斎藤昌之・小山内熙・酒匂純俊 (1953). 5万分の1地質図幅「登別温泉」及び同説明書. 北海道地下資源調査所.
204. 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2014). 第四紀噴火・貫入活動データベース. 2021年10月7日更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
https://gbank.gsj.jp/quaternary/index_qvir.php
205. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2013). 日本の火山. 2024年7月25日更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/index.html
206. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2021). 1万年噴火イベントデータ集(ver. 2.5). 2021年5月更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
<https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html>
207. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2023). 20万分の1日本シームレス地質図V2, オリジナル版. 2023年5月10日更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/>
208. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2024a). 20万分の1日本火山図 (ver. 1.1). 2024年6月21日更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
<https://gbank.gsj.jp/volcano/vmap/>
209. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編 (2024b). 大規模噴火データベース, Ver. 1.0.12. 2024年6月28日更新. 産業技術総合研究所地質調査総合センター,
<https://gbank.gsj.jp/volcano/ledb/>

参考文献⑫

210. 佐々木央岳・鳥口能誠・畠山 信・後藤芳彦 (2005). 北海道南西部登別火山, 日和山潜在ドームの形成史. 日本火山学会講演予稿集, 110. https://doi.org/10.18940/vsj.2005.0_110
211. 佐々木実 (2001). 岩木火山の最新期活動. 平成11～13年度 東京大学地震研究所特定共同研究B報告書 高噴火ポテンシャル火山における噴火の規模・噴出様式に関する研究 課題番号:1999-B-1, 2000-B-1, 2001-B-1, 22-27.
212. 佐々木実・小川 洋・斎藤憲二・梅田浩司 (1996). 岩木火山の形成史. 日本火山学会講演予稿集, 165. <https://doi.org/10.18940/vsj.1996.2.0>
213. 佐々木実・茂貴雅祥・西岡孝尚・梅田浩司 (1998). 八甲田火山群および十和田火山溶岩類のK-Ar年代と岩石学的特徴. 日本岩石鉱物鉱床学会 平成9年度学術講演会 講演予稿集.
214. 佐藤博之 (1969). 最近測定された北海道の火山活動に関する¹⁴C年代測定. 地質ニュース, 178, 30-35.
215. 佐藤博之・山口昇一・曾屋龍典・松田武雄・須田芳朗 (1972). 20万分の1地質図幅「苦小牧」. 地質調査所.
216. 沢村孝之助・秦 光男 (1981). 5万分の1地質図幅「相沼」及び同説明書. 地質調査所.
217. 仙岩地熱地域地質図編集グループ (1985). 10万分の1仙岩地熱地域地質図説明書. 特殊地質図, 21-2, 地質調査所.
218. 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1983). 地熱開発促進調査報告書 No.5 沖浦地域.
219. 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1986). 昭和60年度全国地熱資源総合調査(第2次) 火山性熱水対流系地域タイプ③ (八甲田地域)調査 火山岩分布年代調査報告書 要旨.
220. 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1987). 全国地熱資源総合調査 (2次)火山性熱水対流系地域タイプ③ 八甲田地域火山地質図(1:50,000) 八甲田地域地熱地質編図(1:100,000) 説明書.
221. 新エネルギー総合開発機構 (NEDO) (1988).地熱開発促進調査報告書 No.13 南茅部地域.
222. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1990). No.19 八雲地域 地熱開発促進調査報告書, 44, 833-840.
223. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1991a). 平成元年度 地熱開発促進調査データ処理報告書 No.22 登別地域 (第3次).
224. 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) (1991b). 全国地熱資源総合調査(第3次) 広域熱水流動系調査 火山性熱水対流系地域タイプ① 秋田駒地域火山地質図(1:50,000) 秋田駒地域地熱地質編図(1:100,000) 説明書.
225. 庄谷幸夫・高橋功二 (1967). 5万分の1地質図幅「尾札部」及び同説明書. 北海道開発局.
226. 穴戸 円・佐々木実・折橋裕二・佐々木聖弥・角野浩史 (2021). 岩木山山麓北東部, 十腰内岩屑なだれ堆積物の形成時期: 全岩化学組成とK-Ar年代からの制約. 2021年度日本地球化学会第 68 回年会講演要旨集, 179. https://doi.org/10.14862/geochemproc.68.0_179
227. Smithsonian Institution. (2013). Global Volcanism Program. Updated through 15 December 2023. Smithsonian Institution National Museum of Natural History. <https://volcano.si.edu/>
228. 曾屋龍典・勝井義雄・新井田清信・堺幾久子・東宮昭彦 (2007). 有珠火山地質図(第2版). 火山地質図, 2, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
229. 須藤 茂 (1987). 仙岩地熱地域の珪長質大規模火砕流—玉川溶結凝灰岩と古玉側溶結凝灰岩—. 地質調査所報告, 266, 77-142.

参考文献⑬

230. 杉村 新 (1959). 火山岩の θ 値の地理的分布 付: 日本の火山帯. 火山. 第2集, 4(2), 77-103. <https://doi.org/10.18940/kazanc.4.2.77>
231. Sumi, K., & Takashima, I. (1975). Absolute ages of the hydrothermal alteration halos associated volcanic rocks in some Japanese geothermal fields. *Proceedings: second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, **1**, 625-634.
232. 須藤 茂 (1985). 仙岩地熱地域南部の鮮新世－更新世火山活動について－安山岩火山の古地磁気とK-Ar年代. 地質調査所月報, **36**, 513-533.
233. 須藤 茂 (1992a). 東北北部(秋田駒)資源評価基礎収集の研究－田代岳・太良駒ヶ岳地域の地質調査. 平成2年度サンシャイン計画 研究開発成果中間報告書 全国地熱資源総合調査に伴うデータの解析・評価, 工業技術院地質調査所.
234. 須藤 茂 (1992b). 5万分の1仙岩地域中心部地熱地質図及び同説明書. 特殊地質図, **21-5**, 地質調査所.
235. 須藤 茂・石井武政 (1987). 5万分の1地質図幅「雫石」及び同説明書. 地質調査所.
236. 須藤 茂・板谷徹丸・向山 栄 (1989). 森吉山火山噴出物の年代と古地磁気. 日本地質学会第96年学術大会 講演要旨, 527. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.1989.0.527>
237. 須藤 茂・板谷徹丸・向山 栄 (1990a). 松川・葛根田地域の火山活動史と地熱の熱源. 日本地熱学会誌, **12**(1), 63-78. <https://doi.org/10.11367/grsj1979.12.63>
238. 須藤 茂・向山 栄 (1987). 仙岩地熱地域北部の火山岩の古地磁気と火山活動の推移. 地質調査所報告, **266**, 143-158
239. 須藤 茂・宇都浩三・内海 茂 (1990b). 仙岩地熱地域南部, 乳頭・高倉火山群噴出物のK-Ar年代. 地質調査所月報, **41**(7), 395-404.
240. 鈴木 守・長谷川 潔・三谷勝利 (1969). 5万分の1地質図幅「東海」及び同説明書. 北海道開発庁.
241. Suzuki, T. (1983). A theoretical model for dispersion of tephra. In D. Shimozuru & I. Yokoyama (Eds.), *Arc Volcanism: Physics and Tectonics*, 95-113. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
242. 鈴木毅彦・Dennis Eden・檀原 徹・藤原 治 (2001). 東北日本弧の大規模火砕流にともなう中期更新世広域テフラ－八甲田国本テフラ. 日本第四紀学会講演要旨集, **31**, 8-9.
243. 鈴木建夫・勝井義雄・中村忠寿 (1973). 樽前降下軽石堆積物Ta-b層の粒度組成. 火山. 第2集, **18**(2), 47-63. <https://doi.org/10.18940/kazanc.18.2.47>
244. 高倉伸一 (1994). 下北半島におけるMT法データと重力データの総合解釈. 地質調査月報, **45**(12), 689-702.
245. 高田倫義・中川光弘 (2016). 南西北海道, 横津火山群の地質と岩石: 150万年間の活動様式とマグマ化学組成の時間変遷. 日本地質学会第123年学術大会 講演要旨, 66. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.2016.0.125>
246. 高岡宣雄・今田 正・大場与志男・今野幸一・飯田美穂・須藤弘・半沢恵二・南館有 (1988). 百万年より若い火山岩のK-Ar年代測定. 昭和62年度科研費補助金総研A研究成果報告書「百万年より若い火山岩の絶対年代測定」, 1-43.
247. 宝田晋治 (1991). 岩屑流の流動・堆積機構－田代岳火山起源の岩瀬川岩屑流の研究－. 火山, **36**(1), 11-23. <https://doi.org/10.18940/kazan.36.1.11>
248. 宝田晋治 (2019). 阿蘇4・始良・洞爺噴火の噴出量推定. 日本火山学会講演予稿集, 46. <https://doi.org/10.18940/vsj.2019.0.46>

参考文献⑭

249. 宝田晋治・村岡洋文 (2004). 5万分の1地質図幅「八甲田山」及び同説明書. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
250. 宝田晋治・宮城磯治・東宮昭彦 (2018). 洞爺及び屈斜路火砕流の分布と噴出量推定. 日本火山学会講演予稿集, 116. <https://doi.org/10.18940/vsj.2018.0.116>
251. 宝田晋治・中川光弘・宮坂瑞穂・山元孝広・山崎 雅・金田泰明・下司信夫 (2022). 支笏カルデラ支笏火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, 2. 産総研地質調査総合センター.
252. 高島 勲・山崎哲良・中田英二・湯川公靖 (1992). 北海道洞爺湖周辺の第四紀火砕岩及び火山岩のTL年代. 岩鉱, **87**(5), 197-206. <https://doi.org/10.2465/ganko.87.197>
253. Tamanyu, S., & Lanphere, M. (1983). Volcanic and geothermal history at the Hachimantai geothermal field in Japan. -On the basis of K-Ar ages-. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **89**(9), 501-510. <https://doi.org/10.5575/geosoc.89.501>
254. 照井一明 (2006). 東北日本弧, 七時雨火山の地質と層序. 日本地質学会第113年学術大会 講演要旨, 120. <https://doi.org/10.14863/geosocabst.2006.0.120.2>
255. 照井一明 (2014). 七時雨火山の地質および噴火史. 岩手の地学, **44**, 5-19.
256. 戸田成太郎・大場 司・小林 淳・林信太郎 (2011). 下北半島中部に分布する大畑層の地質. 日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会 講演要旨集, 37. <https://doi.org/10.14824/jakoka.2011.0.36.0>
257. 富樫茂子 (1977). 恐山火山の岩石学的研究. 岩石鉱物鉱床学会誌, **72**(2), 45-60. <https://doi.org/10.2465/ganko1941.72.45>
258. 東北地方第四紀研究グループ (1969). 東北地方における第四紀海水準変化. 地団研専報, 日本の第四系, **15**, 37-83.
259. 東宮昭彦・後藤芳彦 (2014). 有珠上長和テフラ(Us-Ka)の岩石学的特徴～洞爺カルデラ中島一有珠山のマグマ供給系の解明に向けて～. 日本火山学会講演予稿集, 100. <https://doi.org/10.18940/vsj.2014.0.100>
260. 東宮昭彦・宮城磯治 (2020). 洞爺噴火の年代値. 火山, **65**(1), 13-18. <https://doi.org/10.18940/kazan.65.1.13>
261. 鳥口能誠・佐々木央岳・畠山 信・後藤芳彦 (2005). 北海道南西部, 登別火山における最新の噴火: 日和山一大湯沼一裏地獄火口列で起きた水蒸気爆発. 日本火山学会講演予稿集, 109. <https://doi.org/10.18940/vsj.2005.0.109>
262. 富山眞吾・梅田浩司・花室孝広・高島 勲・林信太郎・根岸義光・増留由起子 (2007). 下北半島, むつ燧岳火山地域の変質帯と変質岩の熱ルミネッセンス年代. 岩石鉱物科学, **36**(4), 111-121. <https://doi.org/10.2465/gkk.36.111>
263. 十和田火山防災協議会 火山災害想定影響範囲図. 2024年3月29日更新. 青森県庁 危機管理局 防災危機管理課ホームページ, https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bousai/files/R5d_towadasaigaisoutei.pdf
264. 辻野 匠・工藤 崇・中江 訓・近藤玲介・西岡芳晴・植木岳雪 (2018). 5万分の1地質図幅「一戸」及び同説明書. 産総研地質調査総合センター.
265. 通商産業省資源エネルギー庁 (1985). 昭和59年度 広域調査報告書 八甲田地域.
266. 通商産業省資源エネルギー庁 (1992). 平成3年度 広域地質構造調査報告書 渡島・下北地域.
267. 通商産業省資源エネルギー庁 (1994). 平成5年度 広域地質構造調査報告書 渡島・下北地域.
268. 筒井正明・伊藤英之・秋田県鹿角建設事務所 (2002). 秋田焼山起源のテフラ及びその噴火年代. 日本火山学会講演予稿集, **2**, 173. <https://doi.org/10.18940/vsj.2002.2.0.173>

参考文献⑮

269. Uchida, N., Nakajima, J., Wang, K., Takagi, R., Yoshida, K., Nakayama, T., ... & Asano, Y. (2020). Stagnant forearc mantle wedge inferred from mapping of shear-wave anisotropy using S-net seafloor seismometers. *Nature Communications*, **11**(1), 5676. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19541-y>
270. 内海 茂・宇都浩三・柴田 賢 (1990). K-Ar年代測定結果－3 一 地質調査所未公表資料－. 地質調査所月報, **41**(10), 567-575.
271. 上嶋 誠 (2009). MT法による電気伝導度構造研究の現状. 地震 第2輯, 61(特集号), S225-S238. <https://doi.org/10.4294/zisin.61.225>
272. 植木岳雪・鈴木毅彦 (2004). 八甲田カルデラ起源火砕流堆積物の古地磁気極性. 地質学雑誌, **110**(7), 389-394. <https://doi.org/10.5575/geosoc.110.389>
273. 上村不二雄 (1975). 5万分の1地質図幅「陸奥川内」及び同説明書, 地質調査所.
274. 宇井忠英 (2017). 藤根ほか(2016)「有珠山善光寺岩屑なだれの発生年代」の再検討. 第四紀研究, **56**(5), 243-244. <https://doi.org/10.4116/jaqua.56.243>
275. 宇井忠英 編 (1997). 火山噴火と災害. 東京大学出版会.
276. 宇井忠英・後藤芳彦・田村 亨・前田 潤・吉田英樹 (2016). 北海道南西部の火山防災に関する研究. 室蘭工業大学 学術資源アーカイブ.
277. 梅田浩司 (1992). 下北半島, むつ燧岳火山の地質と岩石記載. 岩鉱, **87**(10), 420-429. <https://doi.org/10.2465/ganko.87.420>
278. Umeda, K., Ban, M., Hayashi, S., & Kusano, T. (2013). Tectonic shortening and coeval volcanism during the Quaternary, Northeast Japan arc. *Journal of Earth System Science*, **122**, 137-147. <https://doi.org/10.1007/s12040-012-0245-z>
279. 梅田浩司・檀原 徹 (2008). フィッション・トラック年代によるむつ燧岳の活動年代の再検討. 岩石鉱物科学, **37**(5), 131-136. <https://doi.org/10.2465/gkk.37.131>
280. 梅田浩司・古澤 明 (2003). テフラ層序からみた東北日本, むつ燧岳火山の活動史. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, G017-P001.
281. 梅田浩司・古澤 明 (2004). RIPLによるテフラ降灰層準の認定と最新噴火活動の推定. 月刊地球, **26**(6), 395-400.
282. 梅田浩司・林信太郎・伴 雅雄 (1999). 東北日本, 筑森, 高松, 船形および三吉・葉山火山のK-Ar年代. 火山, **44**(4), 217-222. <https://doi.org/10.18940/kazan.44.4.217>
283. 梅田浩司・林信太郎・伴 雅雄・佐々木実・大場 司・赤石和幸 (1999). 東北日本, 火山フロント付近の2.0Ma以降の火山活動とテクトニクスの推移, 火山, **44**(5), 233-249. <https://doi.org/10.18940/kazan.44.5.233>
284. 和知 剛・千葉達朗・土井宣夫・岡田智幸・吉田桂治・越谷 信・林信太郎・齋藤徳美 (2018). 八幡平火山群, 航空レーザー測量で検出された火口群と完新世火山灰. 岩手の地学, **48**, 13-45.
285. 山縣耕太郎 (1994). 支笏およびクッタラ火山のテフロクロノロジー. 地学雑誌, **103**(3), 268-285. <https://doi.org/10.5026/igeography.103.268>
286. 山縣耕太郎 (1996). 函館周辺に分布する後期更新世のテフラ層－津軽海峡函館沖から噴出した銭亀女那川テフラ－. 第四紀露頭集－日本のテフラ 日本第四紀学会40周年特別企画, 134.
287. 山縣耕太郎 (2000). 支笏火山40ka噴火の規模に関する検討. 上越教育大学研究紀要, **19**(2), 445-460.

参考文献⑬

288. 山縣耕太郎・町田 洋 (1996). 北海道伊達における洞爺テフラとその上位の諸テフラ. 第四紀露頭集－日本のテフラ 日本第四紀学会40周年特別企画, 50.
289. 山縣耕太郎・町田 洋・新井房夫 (1989). 銭亀一女那川テフラ: 津軽海峡函館沖から噴出した後期更新世のテフラ. 地理学評論, **62**(A-3), 195-207.
https://doi.org/10.4157/gri1984a.62.3_195
290. 山口昇一 (1977). 5万分の1地質図幅「渡島福島」及び同説明書. 地質調査所.
291. 山口昇一 (1978). 5万分の1地質図幅「知内」及び同説明書. 地質調査所.
292. 山元孝広 (2015). 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図. 地質調査総合センター研究資料集, **613**, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
<http://www.gsj.jp/researche/openfie2015/openfile0613.html>
293. 山元孝広 (2016a). 支笏カルデラ形成噴火のマグマ体積. 地質調査総合センター研究資料集, 632, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
294. 山元孝広 (2016b). 大山倉吉テフラの降灰シミュレーション. 地質調査総合センター研究資料集, 635, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
295. 山元孝広・須藤 茂 (1996). テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史. 地質調査所月報, 47(6), 335-359.
296. 山崎誠子・南 裕介 (2022). 秋田焼山火山古期～中期の感度法K-Ar年代測定. 日本火山学会, 157. https://doi.org/10.18940/vsj.2022.0_157
297. 山崎哲良 (1985). 北海道南西部, クッタラ火山の地質. 地球科学, **39**(6), 416-428. https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.39.6_416
298. 山崎哲良 (1986). クッタラ火山・大湯沼-地獄谷爆発堆積物の¹⁴C年代－日本の第四紀層の¹⁴C年代 (158)－. 地球科学, **40**(3), 221-223.
https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.40.3_221
299. 山崎哲良 (1993). 倶多楽火山の地質と岩石. 石井次郎教授追悼論文集, 19-30.
300. 山崎哲良・高島 勲 (1993). 倶多楽火山層序とTL年代. 日本地質学会第100年学術大会 講演要旨, 536. https://doi.org/10.14863/geosocabst.1993.0_536
301. 大和伸友 (1988). 馬淵川下流域の段丘地形. 東北地理, **39**(1), 257-76. <https://doi.org/10.5190/tga1948.39.48>
302. 大和伸友 (1989). 五戸川流域の地形面. 駒沢大学大学院地理学研究, **19**, 1-18.
303. 柳井清治・雁沢好博 (1988). 北海道駒ヶ岳山麓における化石林の発見とその意義. 地球科学, **42**(1), 25-28. https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.42.1_25
304. 柳井清治・鴈澤好博・古森康晴 (1992). 最終氷期末期に噴出した濁川テフラの層序と分布. 地質学雑誌, **98**(2), 125-136. <https://doi.org/10.5575/geosoc.98.125>
305. 八島隆一 (1990). 東北日本弧における鮮新世火山岩のK-Ar年代: 阿闍羅山安山岩, 青ノ木森安山岩, セツ森デイスサイト, 笹森山安山岩. 地球科学, **44**(3), 150-153.
https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.44.3_150
306. 八島隆一・大竹二男・長橋良隆 (2001). 東北地方における後期中新世－鮮新世火山岩のK-Ar年代. 地球科学, **55**(4), 253-257. https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.55.4_253
307. 安井光大・山元正継 (1996). 岩手県北西部鮮新世稲庭岳地域の火山岩. 日本地質学会第103年学術大会 講演要旨, 265. https://doi.org/10.14863/geosocabst.1996.0_265_2

参考文献⑪

308. 安井光大・山元正継 (2000). 東北日本弧, 稲庭岳地域の火山層序とK-Ar 年代ー著しくK2O に乏しいマグマの活動時期ー. 岩石鉱物科学, **29**, 74-84. <https://doi.org/10.2465/gkk.29.74>
309. 安井光大・山元正継 (2006). 東北日本弧, 稲庭岳に産するソレライト系列岩の岩石学的研究ー鮮新世に噴出した高温タイプのソレライトマグマー. 岩石鉱物科学, **35**(2), 78-96.
<https://doi.org/10.2465/gkk.35.78>
310. 吉本充宏・宮坂瑞穂・高橋 良・中川光弘・吉田邦夫 (2008). 北海道駒ヶ岳火山, 先歴史時代噴火活動史の再検討. 地質学雑誌, **114**(7), 336-347.
<https://doi.org/10.5575/geosoc.114.336>
311. 吉本充宏・宇井忠英 (1998). 北海道駒ヶ岳火山1640年の山体崩壊. 火山, **43**(4), 137-148. https://doi.org/10.18940/kazan.43.4_137
312. 吉本充宏・宝田晋治・高橋 良 (2007). 北海道駒ヶ岳火山の噴火履歴. 地質学雑誌, **113**(Supplement), S81-S92. <https://doi.org/10.5575/geosoc.113.S81>
313. 吉井守正 (1966). 5万分の1地質図幅「渡島小島」及び同説明書. 地質調査所.