

大洗研究所(南地区)
高速実験炉原子炉施設(「常陽」)

火山影響評価について
(補足説明資料)

令和4年11月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. 施設に影響を及ぼし得る火山の抽出（補足説明）	3
2. 降下火砕物の影響評価（補足説明）	24
3. 参考文献	34

1. 施設に影響を及ぼし得る火山の抽出（補足説明）

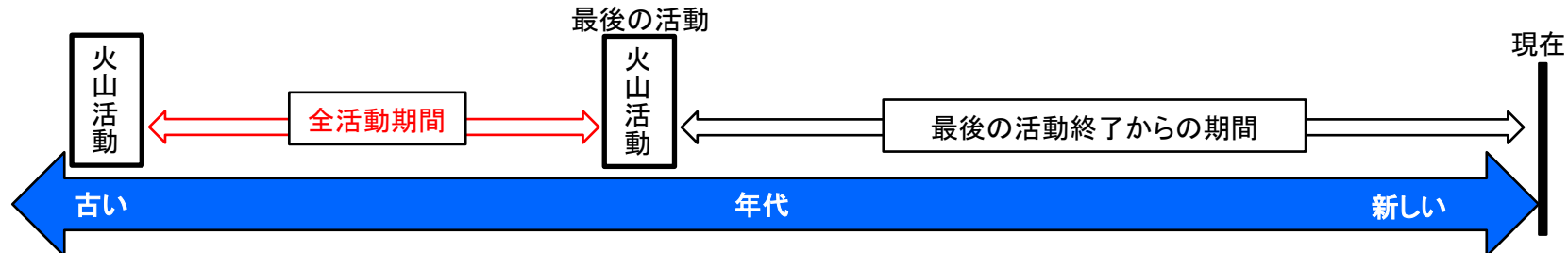
1.1 将来の活動可能性が否定できない火山の抽出（補足）

1.2 将来の活動可能性がない火山（活動履歴・階段ダイヤグラム）

1.1 将来の活動可能性が否定できない火山の抽出 (補足)

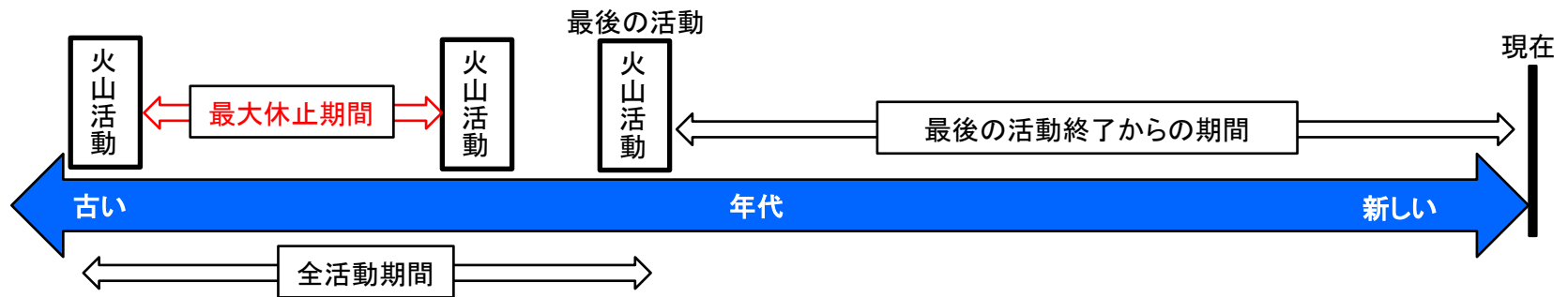
完新世に活動を行っていない21火山について、以下の考え方にに基づき将来の活動可能性について評価した。

①最後の活動終了からの期間が全活動期間より長いか？
 全活動期間 < 最後の活動終了からの期間
 (単成火山など活動期間がごく短い火山も含む)
 ⇒ 将来の活動可能性なし



※最大休止期間は全活動期間を超えることはないことから、全活動期間と最新噴火からの経過期間との比較により、噴火の可能性を判断
 (『原子力発電所火山影響評価技術指針』(JEAG4625-2015: 日本電気協会, 2015))

②最後の活動終了からの期間が過去の最大休止期間より長いか？
 最大休止期間 < 最後の活動終了からの期間
 ⇒ 将来の活動可能性なし



【No. 2 塩原カルデラ】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	塩原カルデラ
敷地からの距離	約103km
火山の形式	カルデラー火砕流
活動年代	約35万年前～約30万年前
概要	塩原カルデラは、大田原火砕流の噴出に伴って形成したとされ、その噴出量はDRE換算値:30km ³ とされる(尾上(1989)及び山元(2012))。活動年代は、中野ほか(2013)等によると約35万年前～約30万年前とされる。

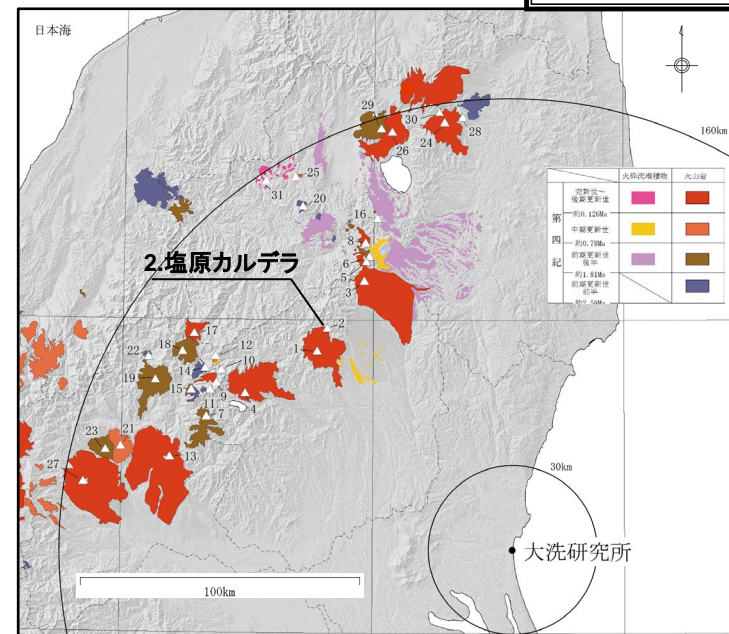
・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

塩原カルデラの活動履歴

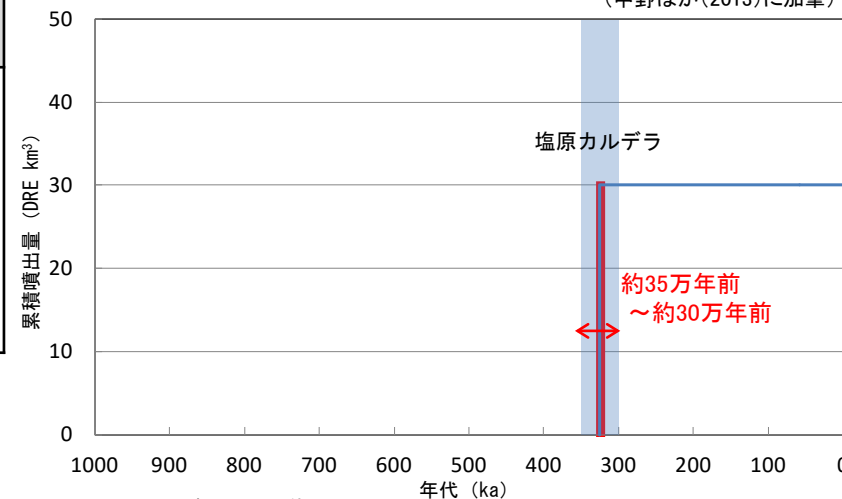
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
300 ka	塩原カルデラ	太田原火砕流	30	尾上(1989) 井上ほか(1994) 鈴木ほか(2004) 山元(2012) 中野ほか(2013)
350 ka				

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

塩原カルデラの階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

[No. 5 甲子]

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	甲子
敷地からの距離	約114km
火山の形式	複成(複合)火山
活動年代	約130万年前～約120万年前
概要	甲子火山岩類(山元1999)からなる。 年代が那須火山群よりかなり古く(中野ほか, 2013), 第四紀火山として新たに独立。

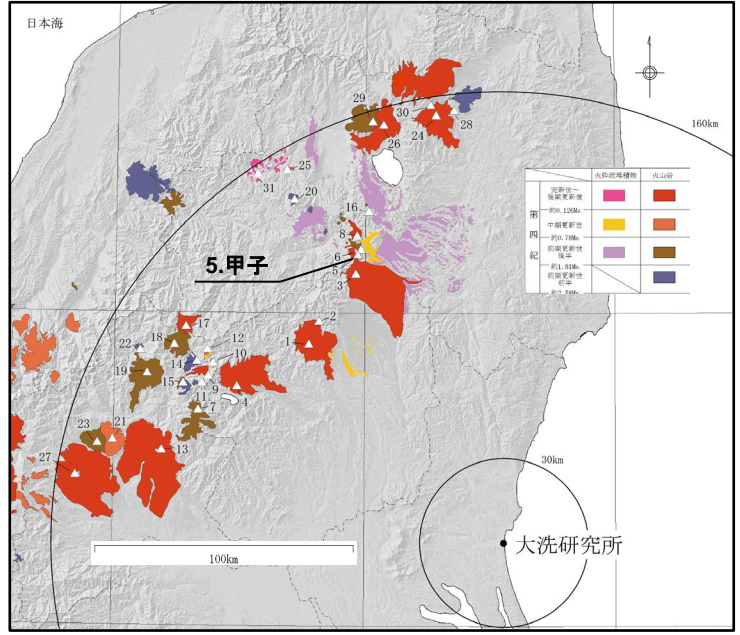
・火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

甲子の活動履歴

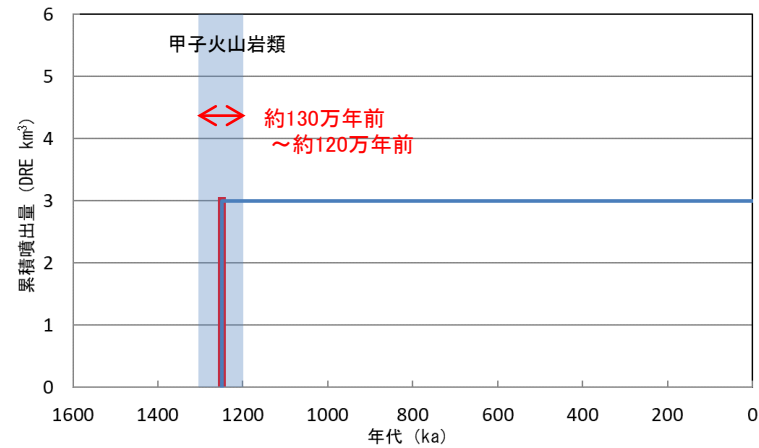
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1200 ka	甲子	甲子火山岩類	>3	山元(1999a) Yamamoto(2011) 中野ほか(2013)
1300 ka				

・活動年代については, 中野ほか(2013)に基づき評価

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



■ : 噴出量の累積(km³)
■ : 噴出量(km³)

甲子の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また, 網掛け部に該当する期間中の噴出量を, 期間の中央値に示す。

【No. 6 塔のへつりカルデラ群】

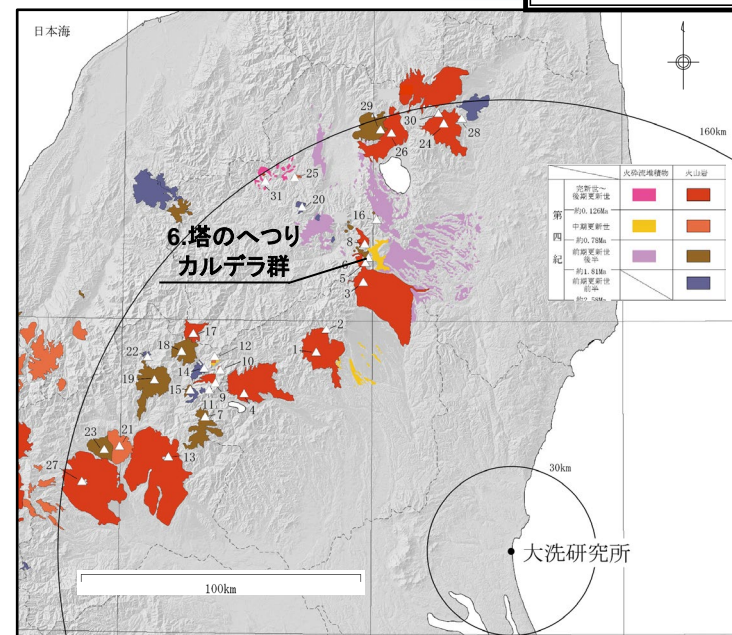
火山名	塔のへつりカルデラ群
敷地からの距離	約115km
火山の形式	カルデラー火砕流, 溶岩ドーム
活動年代	約140万年前～約100万年前
概要	塔のへつりカルデラ群は小野カルデラ, 塔のへつりカルデラ, 成岡カルデラからなり, 約140万年前から活動したとされる(中野ほか(2013)等)。また, 天栄火砕流(噴出源不明)は最新噴火による噴出物である(山元(1999a)等)。

・火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

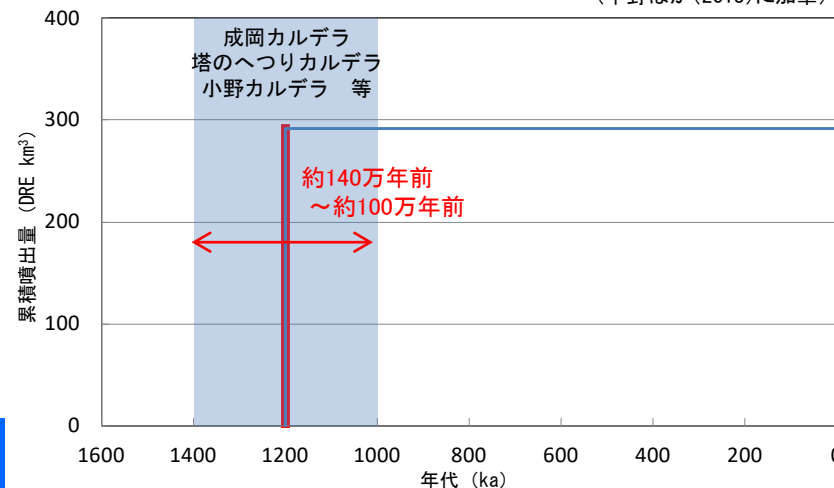
塔のへつりカルデラ群の活動履歴 ※

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1000 ka	—	天栄火砕流	10	吉田・高橋(1991) 高橋・吉田(1996) 山元(1999a) 吉田・高橋(2010) 村田・鈴木(2011) Yamamoto(2011) 中野ほか(2013)
	成岡カルデラ	西郷火砕流	43	
	—	金勝寺降下火砕堆積物 KD8	>9	
	塔のへつりカルデラ	南倉沢火砕流 芦野降下軽石層 等	>158.5	
	—	十日市降下火砕堆積物 赤井火砕流	>7	
1400 ka	小野カルデラ	隈戸火砕流 隈戸降下軽石層 等	>60.5	

・活動年代については, 各火山の活動履歴に係る文献に基づき評価



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)

— : 噴出量 (km³) 塔のへつりカルデラ群の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。

また, 網掛け部に該当する期間中の噴出量を, 期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり, 施設に影響のない火山とした。

※ 地球惑星科学連合 連合大会2017年大会 (2017年5月21日～25日)において, 塔のへつりカルデラ群起源の火砕流堆積物(白河火砕流堆積物群)の層序, 年代等に係る新たな情報が紹介された。

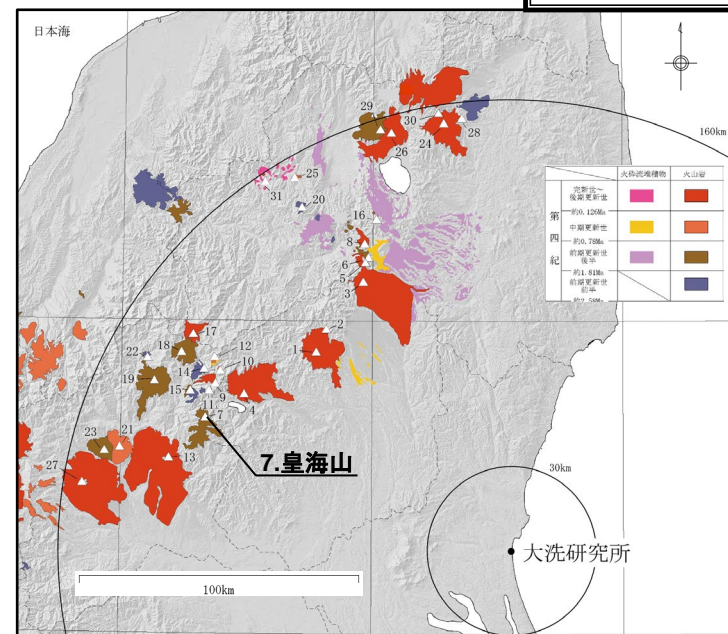
この情報を踏まえても将来の活動可能性評価に影響はない。

【No. 7 皇海山】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	皇海山
敷地からの距離	約118km
火山の形式	複成火山
活動年代	約160万年前～約90万年前
概要	皇海山は、袈裟丸山、庚申山、皇海山から構成され、約160万年前～約90万年前に活動したとされる(中野ほか(2013)及び野村(1999))。最新活動期である袈裟丸山は前期、中期、後期に区分され、104万年前～96万年前に活動したとされる(中村ほか(1992)等)。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

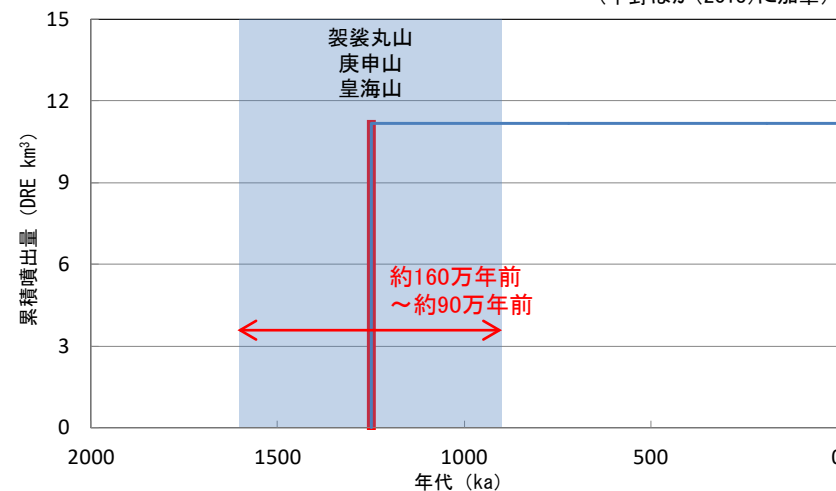


(中野ほか(2013)に加筆)

皇海山の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
900 ka	袈裟丸山	後期 本袈裟丸東溶岩 本袈裟丸北溶岩 等	6.08	河田(1955) 中村ほか(1992) 野村(1999) 第四紀火山カタログ 委員会編(1999) 中野ほか(2013)
		中期 前袈裟丸中部溶岩 本袈裟丸下部溶岩 等		
		前期 前袈裟丸下部溶岩 栗原川溶岩 等		
1600 ka	庚申山	庚申山溶岩	3.04	
	皇海山	皇海山溶岩	2.05	

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価



皇海山の階段ダイヤグラム

・網掛部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 8 二岐山】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

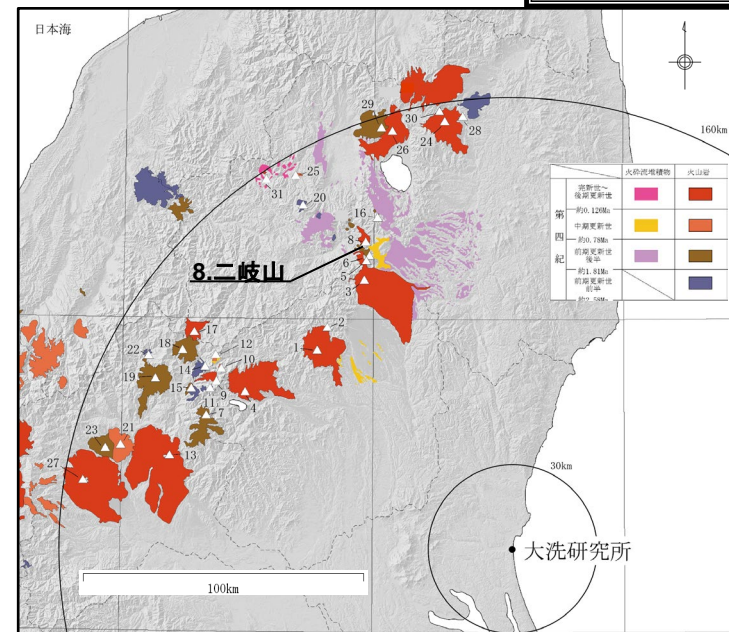
火山名	二岐山
敷地からの距離	約120km
火山の形式	複成火山, 溶岩ドーム
活動年代	約14万年前～約9万年前
概要	二岐山は、岩山溶岩、二俣火砕流、二岐山溶岩から構成され、また、二岐山羽鳥1～5テフラが噴出したとされる。二岐山の活動年代は約14万年前～約9万年前、二岐山火山体の体積は4.2km ³ (DRE換算値※: 3.19km ³)とされる(伴・高岡(1995)及び山元(2012))。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

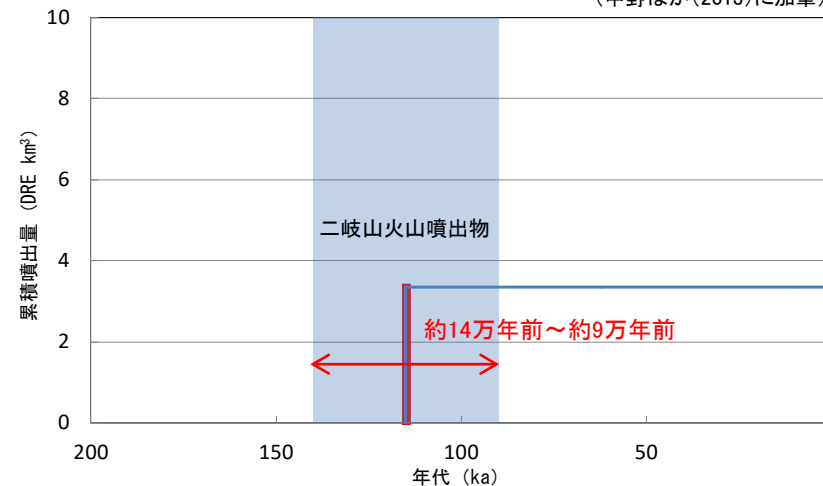
二岐山の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
90 ka	二岐山火山噴出物	二岐山溶岩	3.34※	伴・高岡(1995) 山元(1999a) 山元(2012) 中野ほか(2013)
140 ka		二岐山羽鳥1テフラ 等		

・活動年代については、各火山の活動履歴に係る文献に基づき評価
※Umeda et al.(2013)に基づきDREへ換算した。



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

二岐山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

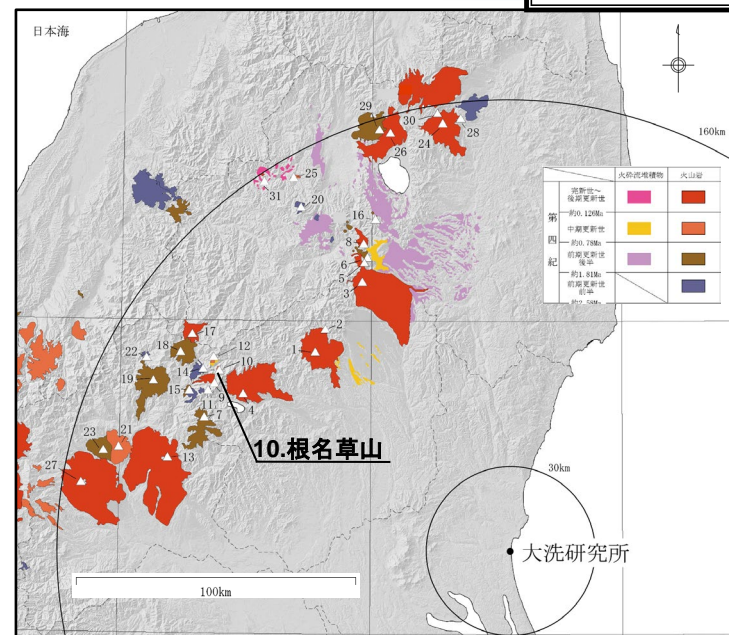
全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

No. 10 根名草山

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	根名草山
敷地からの距離	約121km
火山の形式	溶岩ドーム
活動年代	約30万年前
概要	根名草山は、溶岩ドーム及び火砕流堆積物からなる根名草山火山岩類により構成される(中村・鈴木(1983)等)。その活動年代は約30万年前とされ(中野ほか(2013)等)、日本地質学会編(2008)及び第四紀火山カタログ委員会編(1999)によれば噴出量は0.45km ³ (DRE換算値 ^{※1} :0.34km ³)とされる。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。



(中野ほか(2013)に加筆)

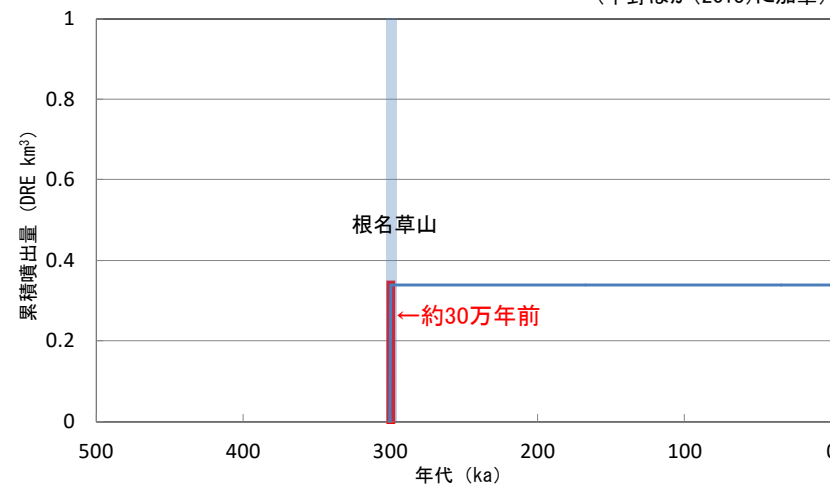
根名草山の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
300 ka ^{※2}	根名草山	根名草山火山岩類 (溶岩, 火砕流)	0.34 ^{※1}	中村・鈴木(1983) 第四紀火山カタログ委員会編(1999) 日本地質学会編(2008) 中野ほか(2013)

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

※1 Umeda et al.(2013)に基づきDREへ換算した。

※2 中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる。



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

根名草山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

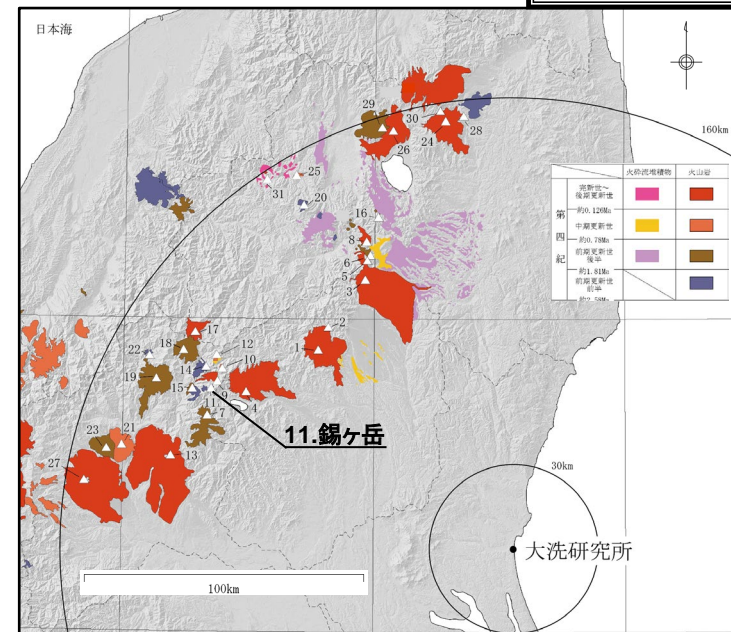
全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 11 錫ヶ岳】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	錫ヶ岳
敷地からの距離	約121km
火山の形式	複成火山？
活動年代	約270万年前～約210万年前
概要	錫ヶ岳は笠ヶ岳火山噴出物、三ヶ峰火山噴出物及び錫ヶ岳火山噴出物から構成される(中村ほか(1994)等)。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

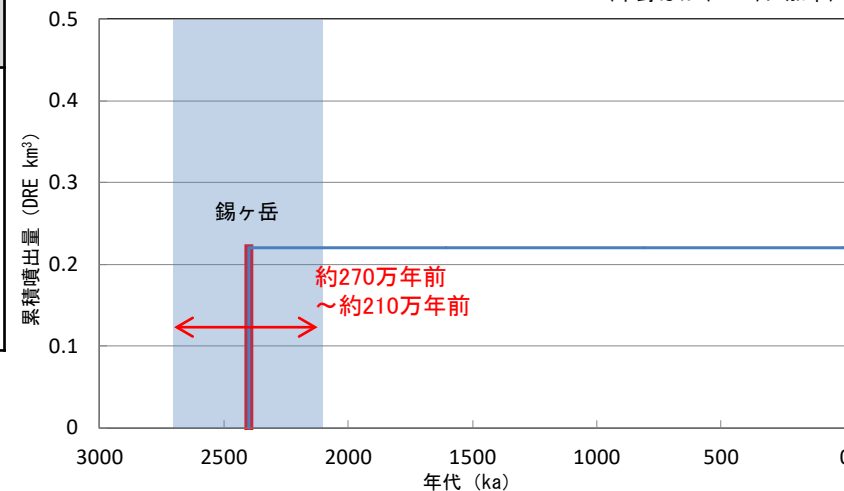


(中野ほか(2013)に加筆)

錫ヶ岳の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
2100 ka	錫ヶ岳	笠ヶ岳火山噴出物	0.08	河田(1955) 中村ほか(1994) 佐々木ほか(1994) 中野ほか(2013)
		三ヶ峰火山噴出物	0.06	
錫ヶ岳火山噴出物		0.08		
2700 ka				

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

錫ヶ岳の階段ダイヤグラム

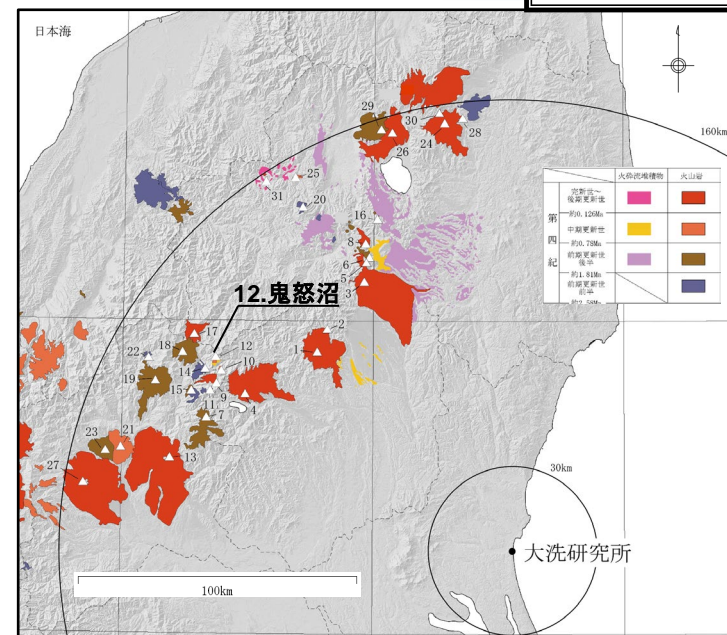
・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 12 鬼怒沼】

火山名	鬼怒沼
敷地からの距離	約125km
火山の形式	溶岩流, 火砕流
活動年代	約24万年前
概要	鬼怒沼は鬼怒沼黒田原テフラ, 鬼怒沼溶岩流を噴出した単成火山であるとされる。その総噴出量はDRE換算値: 1.7km ³ とされる(山元(1999b), 山元(2012)及び中野ほか(2013))。

・火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。



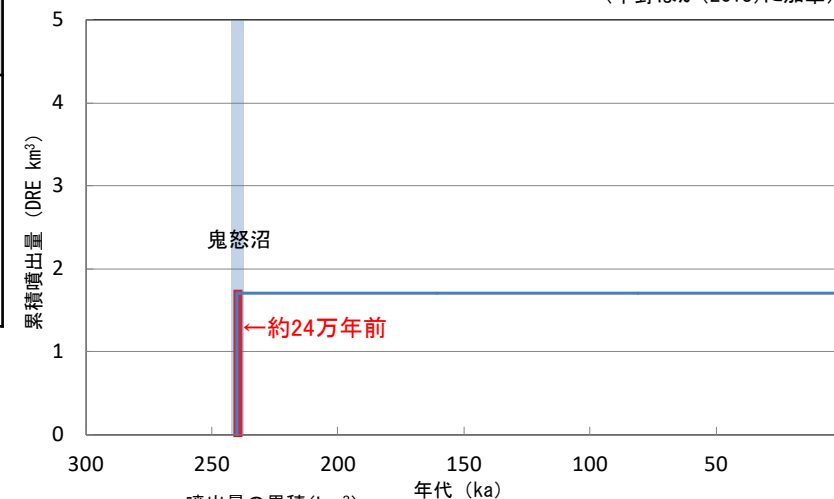
(中野ほか(2013)に加筆)

鬼怒沼の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
240 ka [※]	鬼怒沼	鬼怒沼溶岩流 鬼怒沼黒田原テフラ	1.7	山元(1999b) 山元(2012) 中野ほか(2013)

・活動年代については, 西来ほか(2016)に基づき評価

※中野ほか(2013)では, 明瞭な活動期間が示されておらず, 十分に長い活動期間は有さないと考えられる。



鬼怒沼の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また, 網掛け部に該当する期間中の噴出量を, 期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 14 四郎岳】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	四郎岳
敷地からの距離	約126km
火山の形式	複成火山？
活動年代	約220万年前
概要	四郎岳は、溶岩流及び火砕岩からなり、約220万年前に活動したとされる（佐々木ほか(1994)、山元ほか(2000)等）。なお、四郎岳には、溶岩ドームである念仏平が含まれるとされる(中野ほか(2013)及び西来ほか(2012))。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

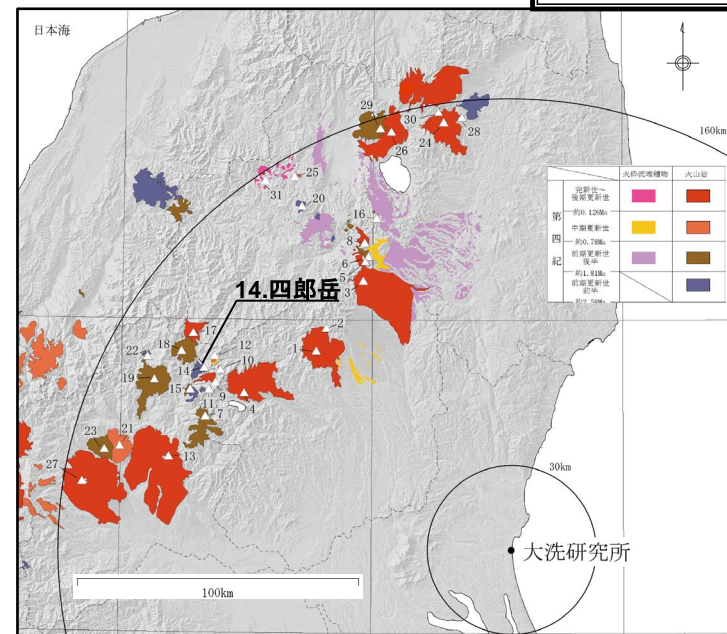
四郎岳の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
2200 ka [※]	四郎岳	四郎岳安山岩	不明	河田(1955) 村山・河田(1956) 山口(1991) 佐々木ほか(1994)
	念仏平	念仏平火山岩	不明	山元ほか(2000) 西来ほか(2012) 中野ほか(2013)

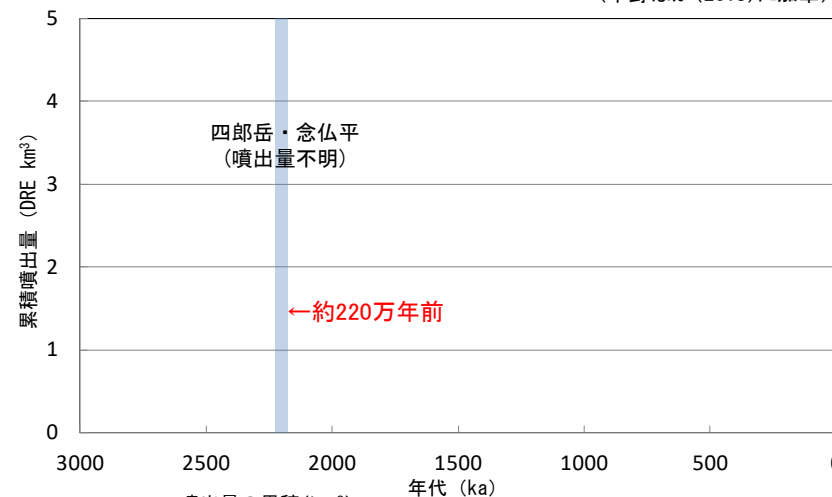
・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

※中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



四郎岳の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 15 沼上山】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	沼上山
敷地からの距離	約127km
火山の形式	複成火山
活動年代	約110万年前
概要	沼上山は約110万年前に活動したとされ、また錫ヶ岳に含まれる三ヶ峰火山噴出物(約220万年前, 230万年前)を覆うとされる。沼上山火山噴出物は溶岩流によって構成され、その噴出量はDRE換算値 ^{※1} :0.08km ³ とされている(中村ほか(1994), 佐々木ほか(1994)及び中野ほか(2013))。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

沼上山の活動履歴

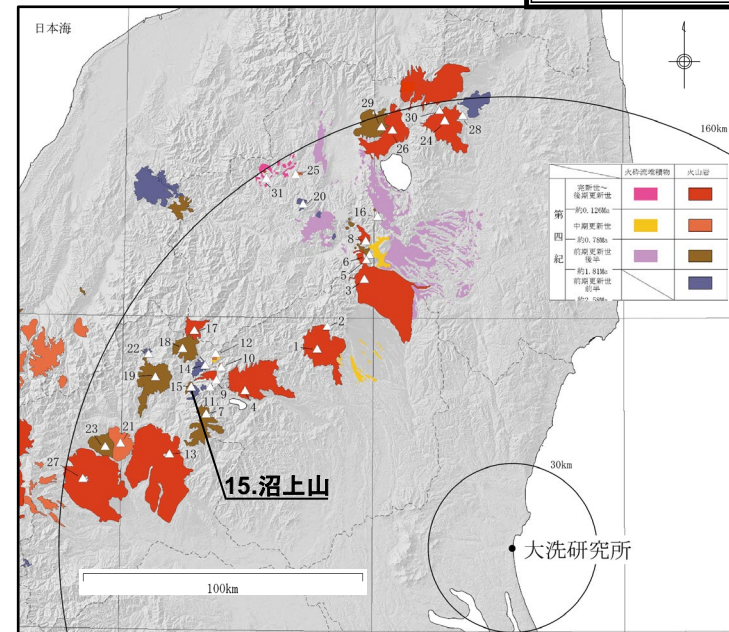
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1100 ka ^{※2}	沼上山	沼上山火山噴出物	0.08 ^{※1}	中村ほか(1994) 佐々木ほか(1994) 中野ほか(2013)

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

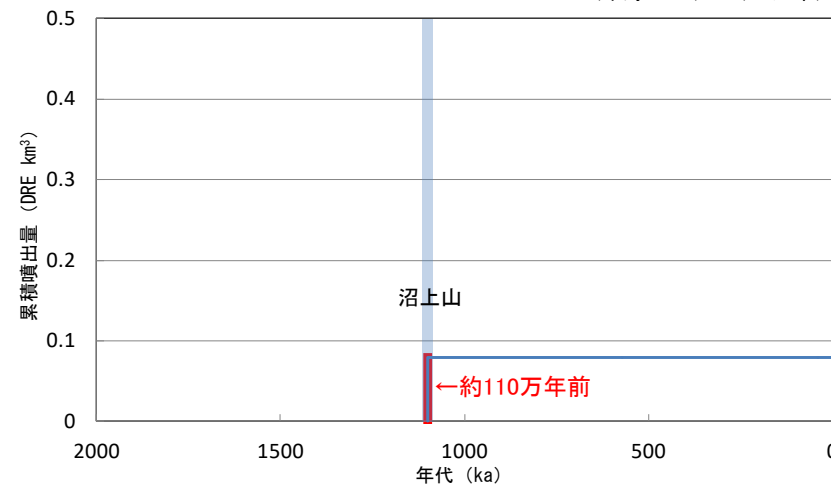
※1: 中村ほか(1994)によれば噴出量0.1~0.05km³とされるため、中央値を採用した。

※2: 中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

沼上山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 16 会津布引山】

火山名	会津布引山
敷地からの距離	約127km
火山の形式	複成火山
活動年代	約140万年前
概要	会津布引山は、溶岩流及び火砕岩からなる会津布引山火山噴出物によって構成され、その活動年代は約140万年前とされる(山元(2006), 中野ほか(2013))。

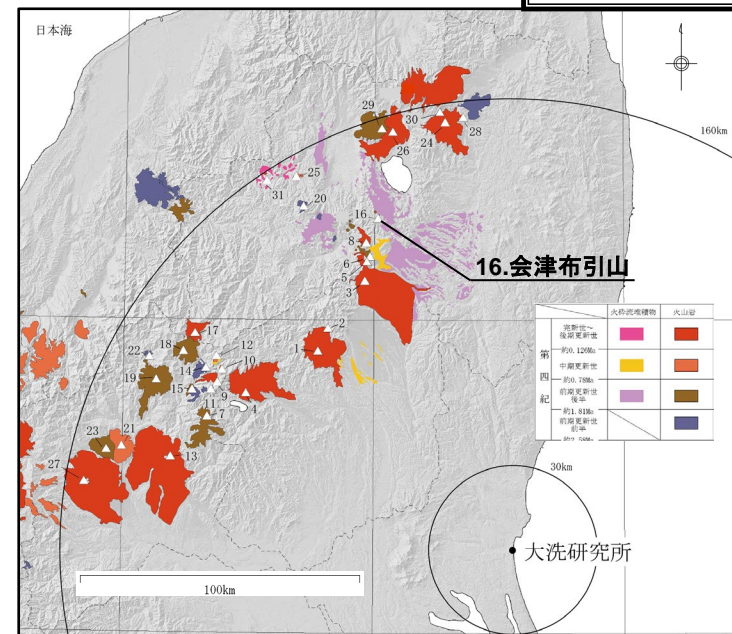
・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

会津布引山の活動履歴

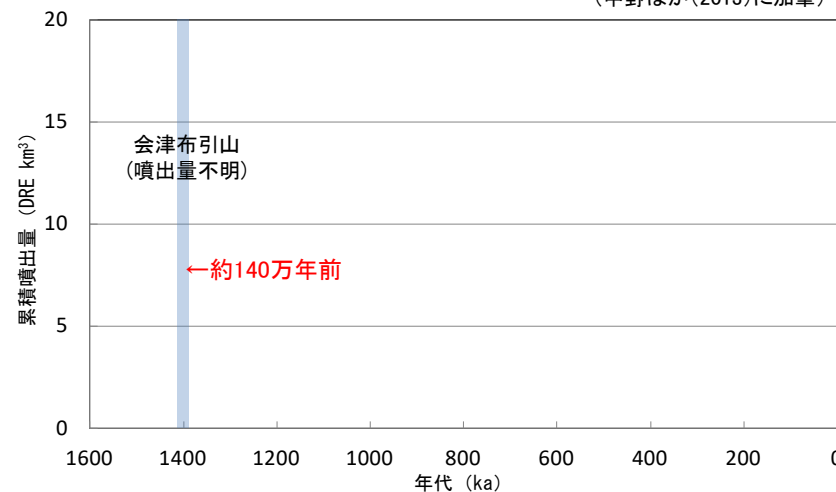
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1400 ka [※]	会津布引山	会津布引山火山噴出物	不明	山元(2006) 中野ほか(2013)

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

※中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる。



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

会津布引山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

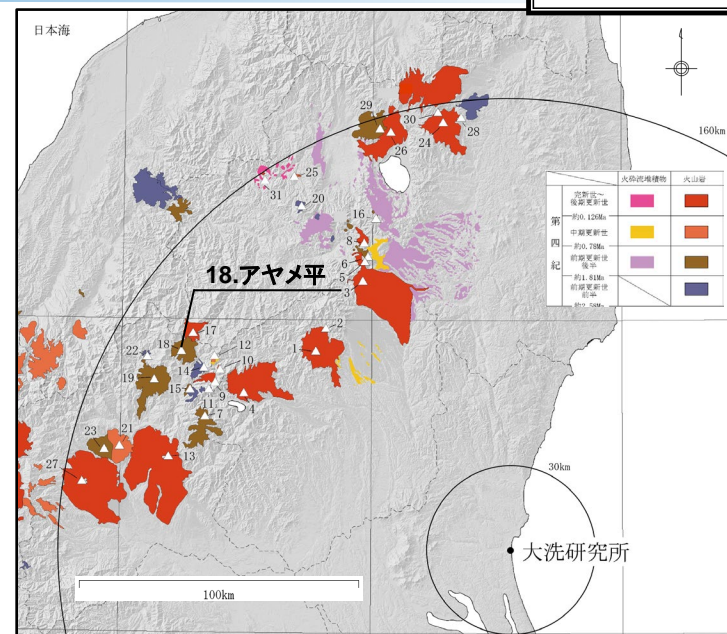
全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 18 アヤメ平】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	アヤメ平
敷地からの距離	約136km
火山の形式	複成火山
活動年代	約160万年前
概要	アヤメ平は、菖蒲平期、荷鞍山期、白尾山期の噴出物と3つの側火山によって構成され、このうち荷鞍山期の活動は、約160万年前であるとされる(横瀬(1989)等)。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。



(中野ほか(2013)に加筆)

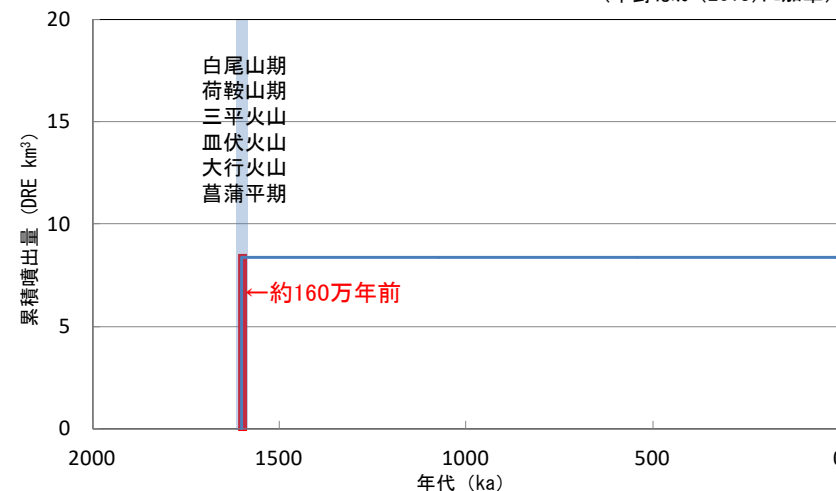
アヤメ平の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献	
1600 ka [※]	白尾山期	白尾山期噴出物	8.36	横瀬(1989) 第四紀火山カタログ 委員会編(1999) 中野ほか(2013)	
	荷鞍山期	荷鞍山期噴出物			
	側火山	三平火山			三平火山噴出物
		皿伏火山			皿伏山噴出物
		大行火山			大行火山噴出物
	菖蒲平期	菖蒲平期噴出物			

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

※中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

アヤメ平の階段ダイヤグラム

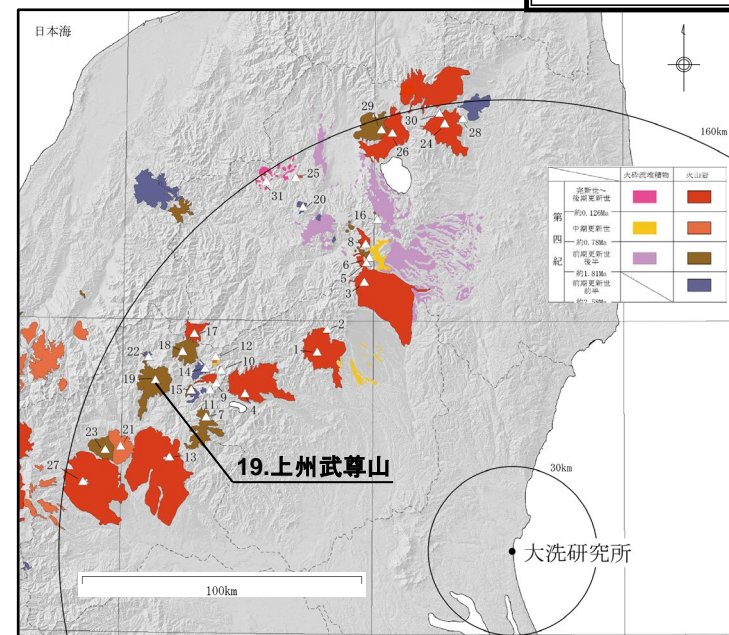
・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 19 上州武尊山】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	上州武尊山
敷地からの距離	約140km
火山の形式	複成火山
活動年代	約120万年前～約100万年前
概要	上州武尊山の噴出物は、前武尊グループ、鹿俣沢グループ、天神グループ、無斑晶安山岩グループ、天狗岩グループに区分される。天狗岩グループは最新の活動である(山口(1981)、久保(2013)及び中野ほか(2013))。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

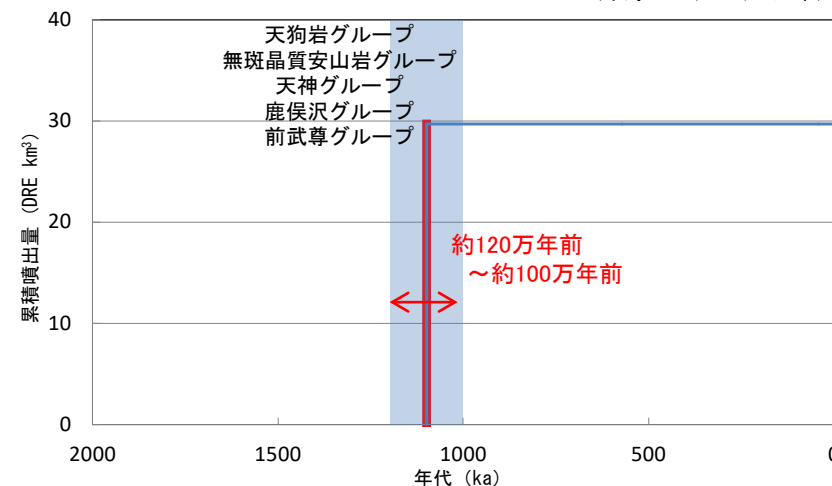


(中野ほか(2013)に加筆)

上州武尊山の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1000 ka	天狗岩グループ	上ノ原泥流 沖武尊溶岩流	1.5	山口(1981) 久保(2013) 中野ほか(2013)
	無斑晶質安山岩グループ	凝灰角礫岩 無斑晶質安山岩質溶岩流	3.6	
	天神グループ	長久保沢泥流 天神溶岩流 等	4	
	鹿俣沢グループ	泥流堆積物 鹿俣沢溶岩流	8	
	前武尊グループ	西俣沢溶岩流 川場谷本質凝灰角礫岩	12.6	
1200 ka				

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価



上州武尊山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 20 博士山】

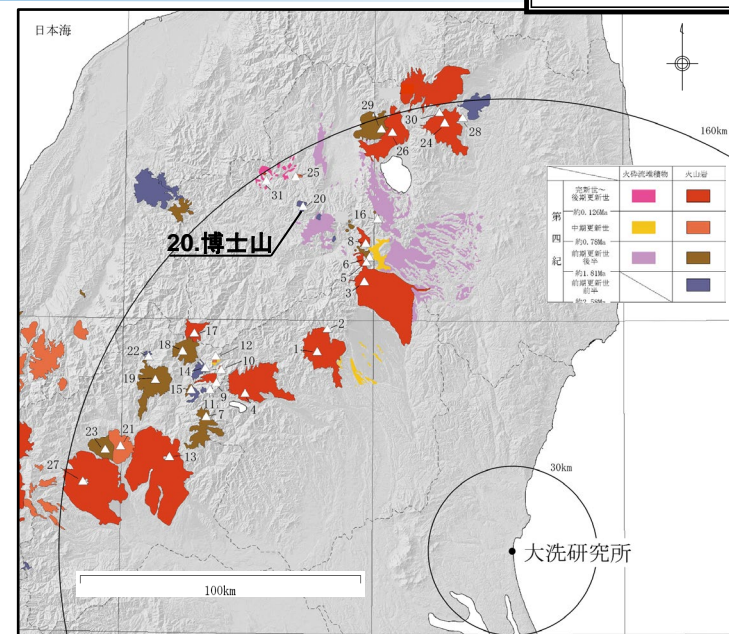
火山名	博士山
敷地からの距離	約142km
火山の形式	複成火山
活動年代	約280万年前～約250万年前
概要	博士山は博士山火山岩層下部層と、博士山火山岩層上部層から構成される（博士山団体研究会(1990), 小林・猪俣(1986)及び中野ほか(2013)）。

・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

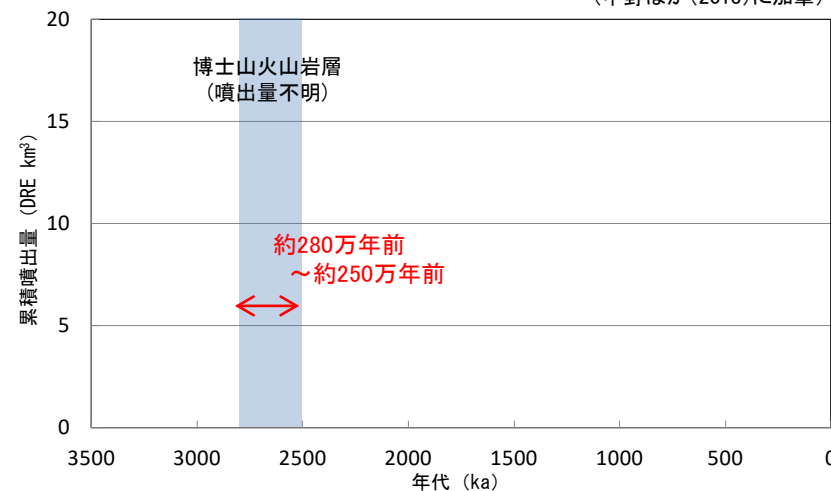
博士山の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
2500 ka	博士山火山岩層	博士山火山岩層上部層	不明	小林・猪俣(1986) 博士山団体研究会(1990) 中野ほか(2013)
2800 ka		博士山火山岩層下部層		

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価



(中野ほか(2013)に加筆)



博士山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。

【No. 22 奈良俣カルデラ】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	奈良俣カルデラ
敷地からの距離	約146km
火山の形式	カルデラー火砕流
活動年代	約210万年前
概要	奈良俣カルデラは小檜俣沢層と安山岩岩脈から構成される。カルデラ内を埋積する小檜俣沢層には流紋岩質軽石が含まれるが、カルデラを形成した火砕流自体はカルデラ内外ともに確認されていない(中野ほか(2013)及び山元(2014c))。

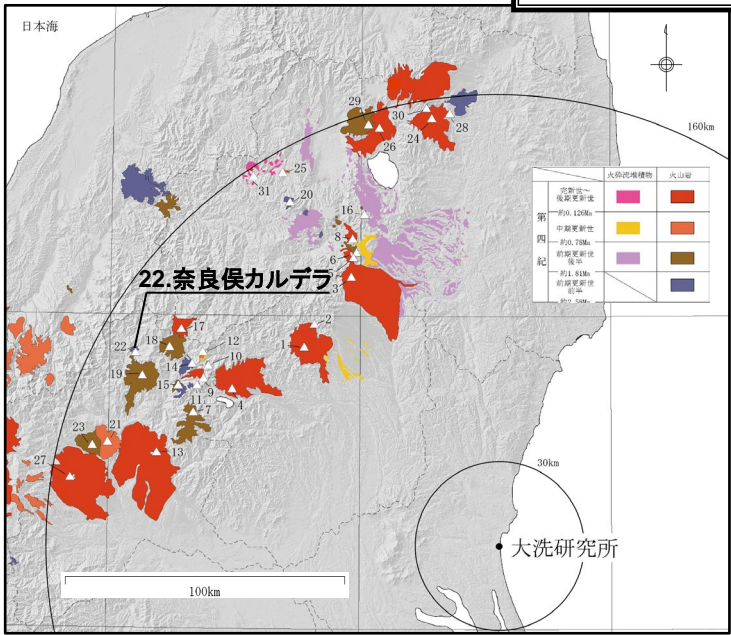
・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

奈良俣カルデラの活動履歴

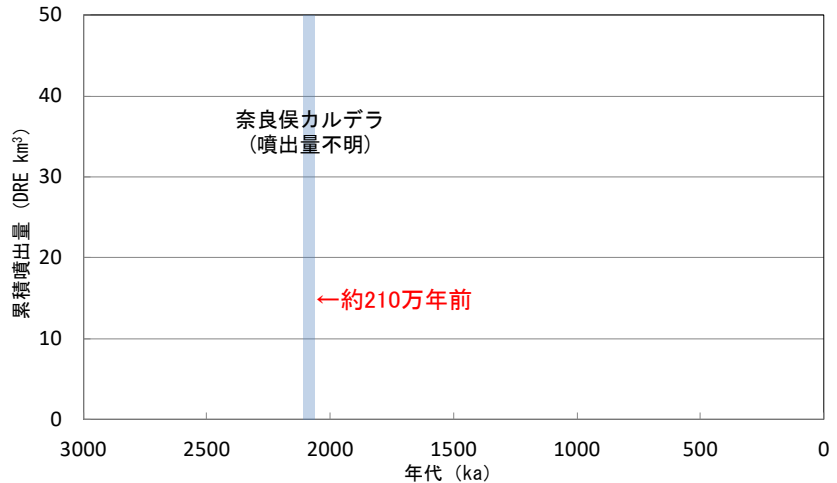
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
2100 ka [※]	奈良俣カルデラ	安山岩岩脈 小檜俣沢層	不明	中野ほか(2013) 山元(2014c)

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価
 ※中野ほか(2013)では、明瞭な活動期間が示されておらず、十分に長い活動期間は有さないと考えられる。

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



奈良俣カルデラの階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
 また、網掛部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 23 小野子山】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	小野子山
敷地からの距離	約149km
火山の形式	複成火山
活動年代	約130万年前～約120万年前
概要	小野子山は、十二ヶ岳成層火山形成期、山体崩壊期、山頂溶岩類流出期に区分される。噴出物は主に溶岩流で構成されるが、十二ヶ岳成層火山形成期には降下火砕物も確認される(中村(1997), 野村(1999)等)。

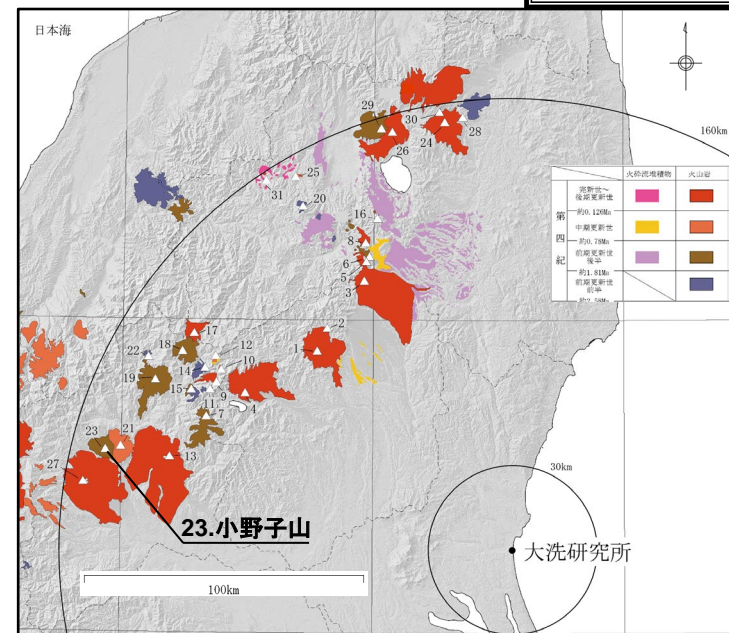
・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

小野子山の活動履歴

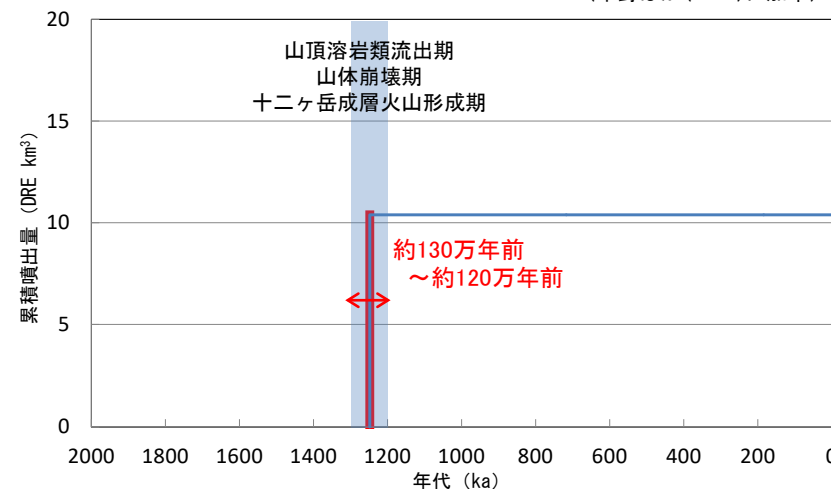
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1200 ka	山頂溶岩類流出期	小野子山貫入岩 宮沢溶岩 等	10.4	中村(1997) 第四紀火山カタログ 委員会編(1999) 野村(1999) 中野ほか(2013)
	山体崩壊期	岩屑なだれ堆積物		
1300 ka	十二ヶ岳成層火山 形成期	中ノ岳貫入岩, 放射状岩脈群 十二ヶ岳成層火山 噴出物 等		

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



小野子山の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 25 砂子原カルデラ】

火山名	砂子原カルデラ
敷地からの距離	約153km
火山の形式	カルデラ, 溶岩ドーム
活動年代	約29万年前～約22万年前
概要	砂子原カルデラの活動は、約29万年前のカルデラ形成期及び約22万年前の後カルデラ期に区分される。カルデラ形成期に噴出した砂子原佐賀瀬川テフラの噴出量はDRE換算値: 10km ³ , 最新活動期である後カルデラ期における噴出量はDRE換算値: 3.6km ³ とされる(鈴木ほか(2004), 山元(2012)及び中野ほか(2013))。

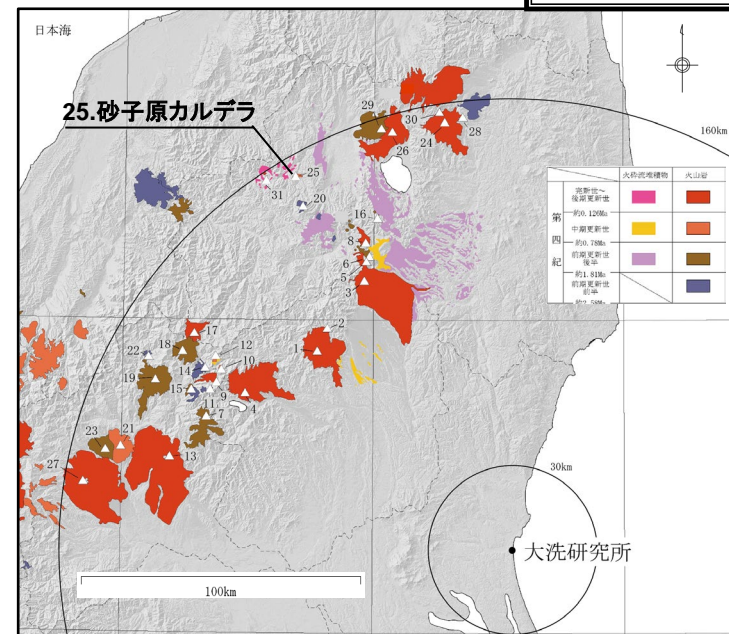
・火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

砂子原カルデラの活動履歴

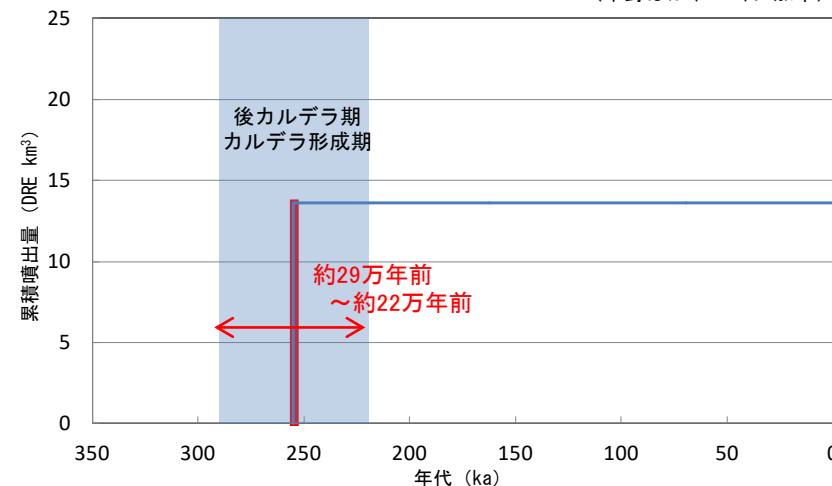
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
220 ka	後カルデラ期	砂子原久保田テフラ 湯の岳溶岩ドーム群 等	3.6	鈴木ほか(2004) 山元(2012) 中野ほか(2013)
	カルデラ形成期	砂子原佐賀瀬川テフラ	10	
290 ka				

・活動年代については、西来ほか(2016)に基づき評価

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

砂子原カルデラの階段ダイヤグラム

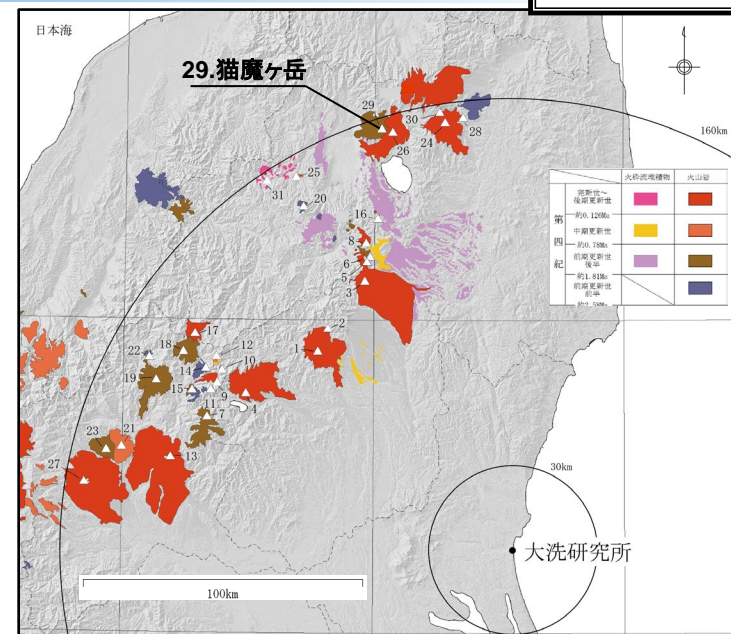
・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

【No. 29 猫魔ヶ岳】

第452回審査会合
資料3-5-2 再掲

火山名	猫魔ヶ岳
敷地からの距離	約156km
火山の形式	複成火山
活動年代	約143万年前～約40万年前
概要	猫魔ヶ岳は古猫魔火山, 新猫魔火山に区分される。新猫魔火山は約47万年前～約40万年前に活動したとされる(三村(2002))。

・火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

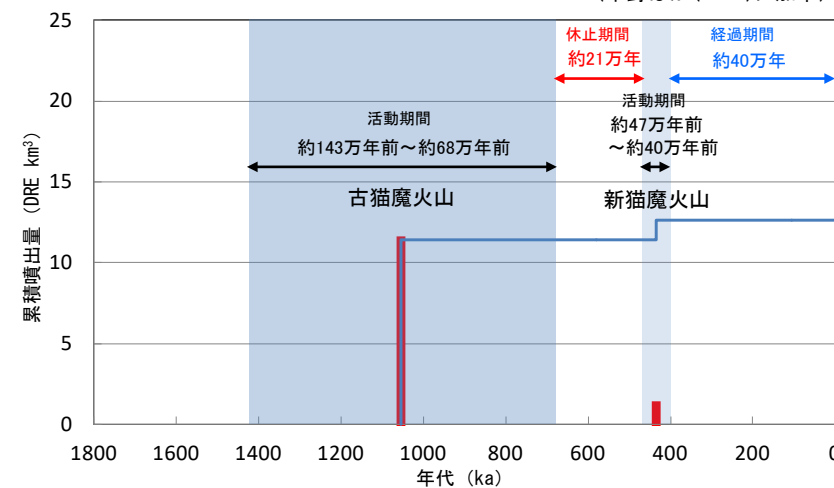


(中野ほか(2013)に加筆)

猫魔ヶ岳の活動履歴

年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
400 ka	新猫魔火山	1349m溶岩	1.2	三村(2002) 中野ほか(2013)
470 ka		猫魔ヶ岳溶岩		
	雄子沢岩屑なだれ	—		
680 ka	古猫魔火山	扇ヶ峰溶岩	11.4	
1430 ka		雄国沼北溶岩 等		

・活動年代については, 活動休止期間が明確に記される知見である三村(2002)に基づき評価



— : 噴出量の累積 (km³)
— : 噴出量 (km³)

猫魔ヶ岳の階段ダイヤグラム

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
また, 網掛け部に該当する期間中の噴出量を, 期間の中央値に示す。

最後の活動終了からの期間が, 活動期間内の最大休止期間より長い火山であり, 施設に影響のない火山とした。

【No. 30 西鴉川】

火山名	西鴉川
敷地からの距離	約157km
火山の形式	複成(複合)火山
活動年代	約185万年前～約114万年前
概要	西鴉川は西鴉川安山岩から構成される。中野ほか(2013)WEB版の更新にともない、安達太良山から独立した。

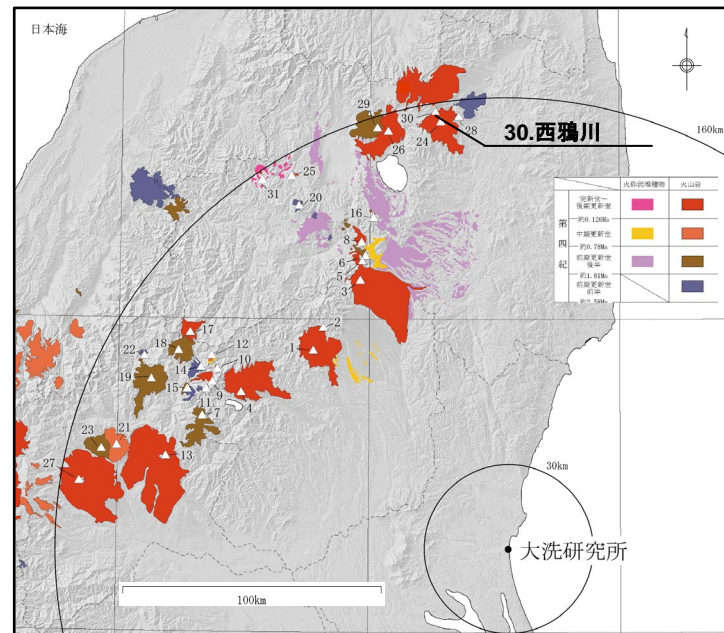
・火山名、火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

西鴉川の活動履歴

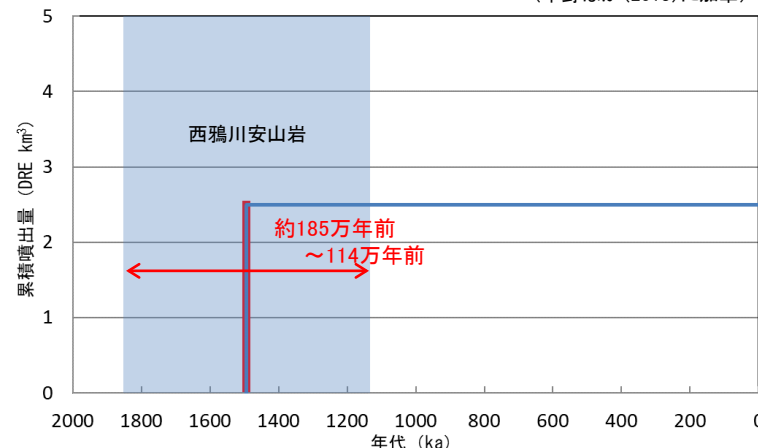
年代 (ka)	活動期・火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
1140 ka	西鴉川	西鴉川安山岩	2.5	NEDO(1990) 阪口(1995) 第四紀火山カタログ委員会編(1999) 中野ほか(2013)
1850 ka				

・活動年代については、中野ほか(2013)に基づき評価

全活動期間よりも最後の活動終了からの期間が長い火山であり、施設に影響のない火山とした。



(中野ほか(2013)に加筆)



西鴉川の階段ダイヤグラム
— : 噴出量の累積(km³)
— : 噴出量(km³)

・網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅(期間)を表す。
 また、網掛け部に該当する期間中の噴出量を、期間の中央値に示す。

2. 降下火砕物の影響評価（補足説明）

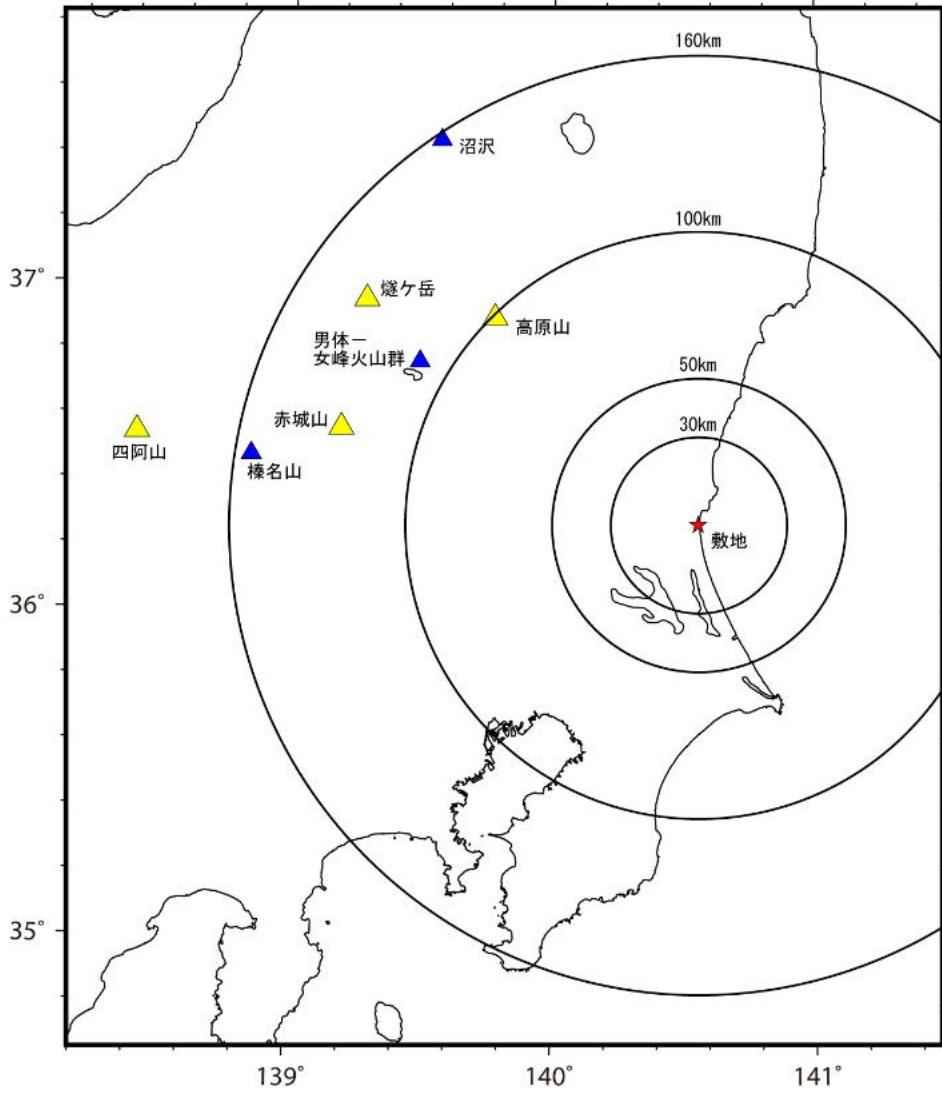
2.1 給源火山の位置と噴火規模

2.2 敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物の分布

2.3 降下火砕物シミュレーション解析条件に関する検討

2.1 噴出源火山の位置と噴火規模

試験研究炉の運用期間中に同規模の噴火が発生する可能性がある降下火砕物の噴出源火山について、敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物の噴火規模(VEI)とその位置を整理した。その結果、VEI5の規模が最大であり、そのうち最も噴出量が大きく、位置を考慮しても赤城鹿沼テフラ（赤城山）が最大となる。



火山名	発電所運用期間中に想定される最大規模の降下火砕物	火山から敷地への方向(距離)	噴火規模※(VEI)	噴出量(見かけ体積km ³)
高原山	高原戸室山2テフラ	南東(約98km)	5	1 (山元(2013a))
男体・女峰火山群	男体今市テフラ	東南東(約110km)	4	0.8 (山元(2013a))
赤城山	赤城鹿沼テフラ	東南東(約126km)	5	5 (山元(2013a))
燧ヶ岳	燧ヶ岳七入テフラ	南東(約136km)	5	4 (山元(2012))
沼沢	沼沢芝原テフラ	南東(約157km)	4	0.2 (山元(2012))
榛名山	榛名八崎テフラ	東(約154km)	4	0.5 (山元(2013a))
四阿山	四阿菅平2テフラ	東(約194km)	5	4.25 (大石(2009))

—凡例—

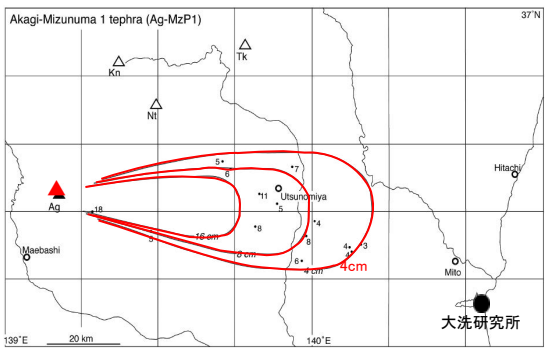
噴火規模※

▲ : VEI5

▲ : VEI4

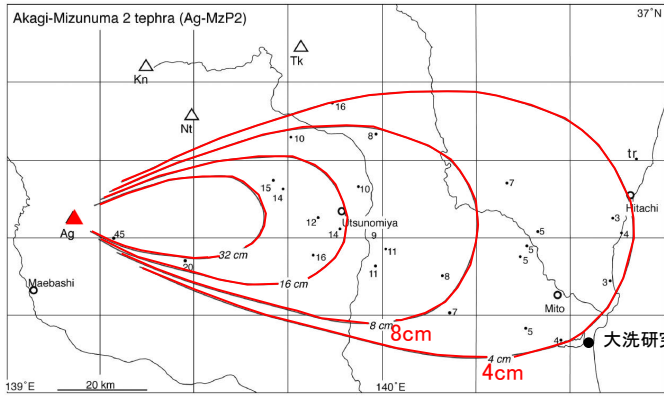
※ 噴火規模(VEI)の定義は町田・新井(2011)に基づく

赤城鹿沼テフラ以外の検討対象の降下火砕物の分布 (1/3)



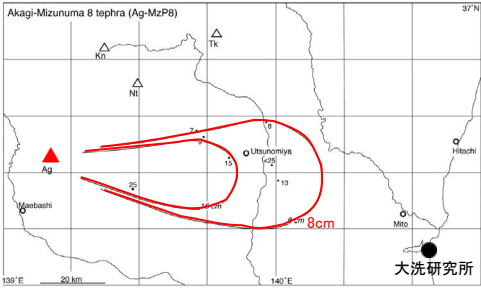
第19図 赤城水沼1テフラ(Ag-MzP1)の分布
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 嬖ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nr = 男体火山；Tk = 高原火山。

赤城水沼1テフラの等層厚線図（山元（2013a）に加筆）



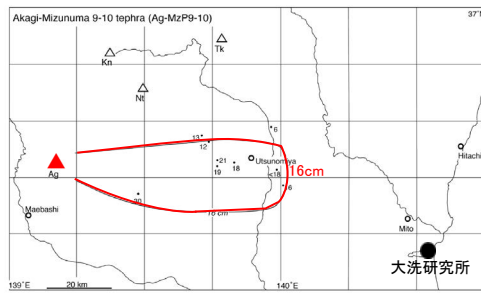
第20図 赤城水沼2テフラ(Ag-MzP2)の分布
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 嬖ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nr = 男体火山；Tk = 高原火山。

赤城水沼2テフラの等層厚線図（山元（2013a）に加筆）



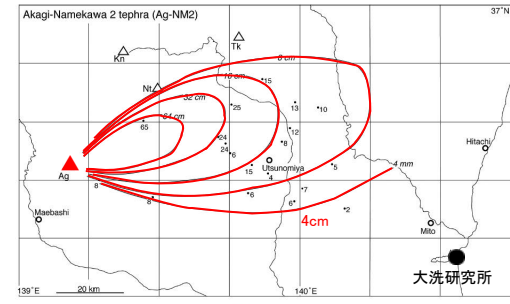
第22図 赤城水沼8テフラ(Ag-MzP8)の分布

赤城水沼8テフラの等層厚線図（山元（2013a）に加筆）



第23図 赤城水沼9-10テフラ(Ag-MzP9-10)の分布

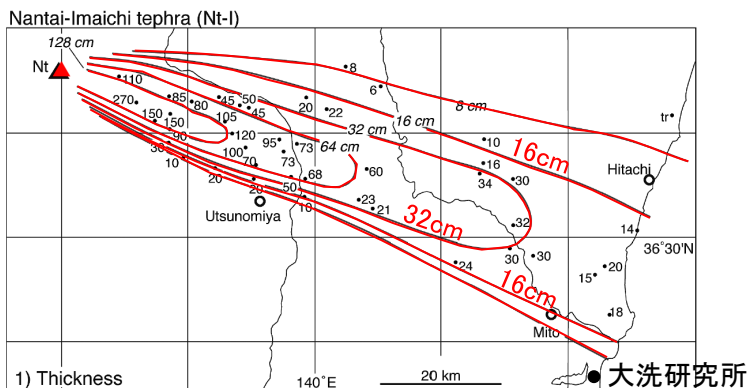
赤城水沼9-10テフラの等層厚線図（山元（2013a）に加筆）



第18図 赤城行川2テフラ(Ag-NM2)の分布
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ag = 赤城火山；Hu = 嬖ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Nr = 男体火山；Tk = 高原火山。

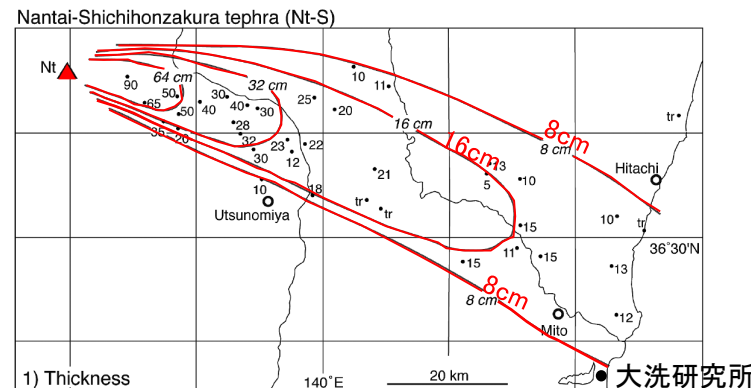
赤城行川2テフラの等層厚線図
（山元（2013a）に加筆）

赤城鹿沼テフラ以外の検討対象の降下火砕物の分布 (2/3)



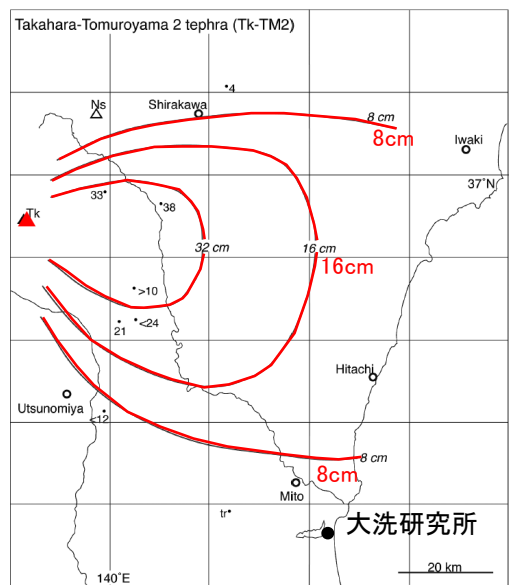
第13図 男体今市テフラ(Nt-I)の分布
1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。

男体今市テフラ(Nt-I)の等層厚線図 (山元 (2013a) に加筆)



第14図 男体七本桜テフラ(Nt-S)の分布
1) 数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。2) 数字は本質粒子の平均最大粒径で、単位はmm。Nr = 男体火山。

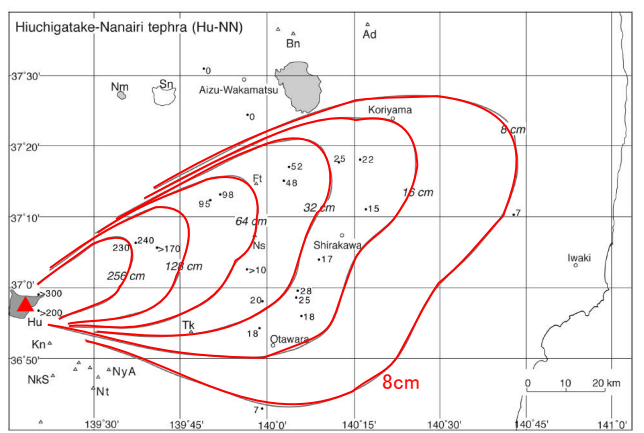
男体七本桜テフラ(Nt-S)の等層厚線図 (山元 (2013a) に加筆)



第12図 高野戸室山2テフラ(Tk-TM2)の分布
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位はcm。Ns = 那須火山、Tn = 高野戸室山

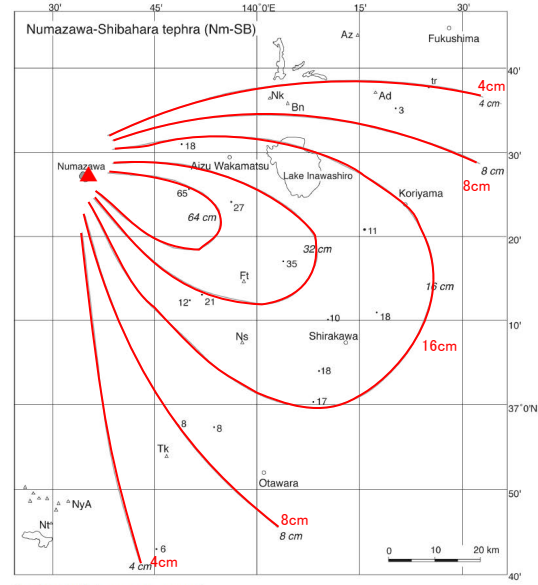
高野戸室山2テフラの等層厚線図 (山元 (2013a) に加筆)

赤城鹿沼テフラ以外の検討対象の降下火砕物の分布 (3/3)



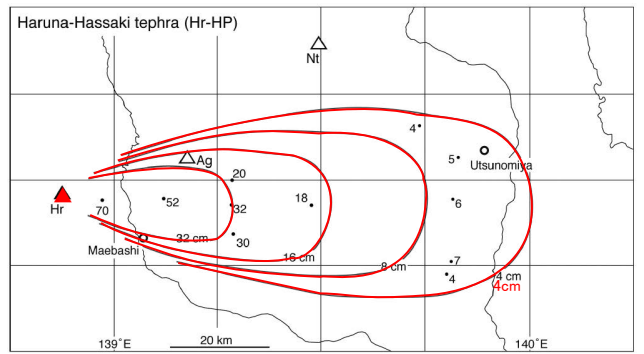
第35図 燧ヶ岳七入テフラ (Hu-NN) の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山; Bn = 磐梯火山; Ft = 二岐山火山;
Hu = 燧ヶ岳火山; Kn = 鬼怒沼火山; NKS = 日光白根火山; Nm = 沼沢火山群; Nt = 男
体火山; NyA = 女峰赤塚火山; Sn = 砂小原カルデラ; Tk = 高原火山。山元 (1999b) を一部改変。

燧ヶ岳七入テフラの等層厚線図 (山元 (2012) に加筆)



第28図 沼沢芝原テフラ (Nm-SB) の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ad = 安達太良火山; Ae = 吾妻火山; Bn = 磐梯火山; Ft =
二岐山火山; Kk = 黒鷹火山; Nm = 沼沢火山; Ns = 那須火山群; Nt = 男体火山; NyA = 女峰赤塚火山; Tk
= 高原火山。山元 (2003) を一部改変。

沼沢芝原テフラの等層厚線図 (山元 (2012) に加筆)



第30図 榛名八崎テフラ (Hr-HP) の分布。
数字は降下火砕堆積物の層厚で、単位は cm。Ag = 赤城火山; Hr = 榛名火山; Nt = 男体火山

榛名八崎テフラの等層厚線図 (山元 (2013a) に加筆)

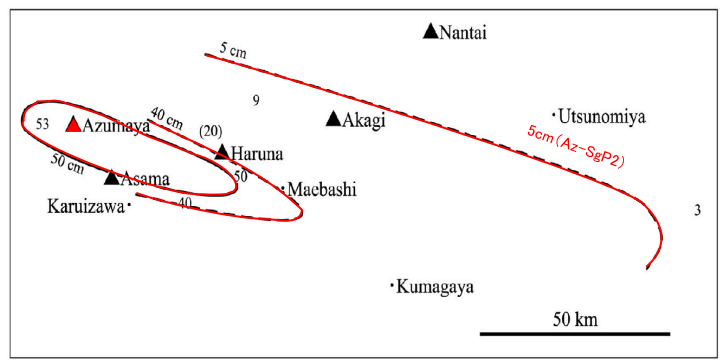


図5 菅平第2軽石 (SgP2) の等層厚線図。括弧内は矢口 (1999) のデータ。

菅平第2軽石の等層厚線図 (大石 (2009) に加筆)

検討対象外の降下火砕物のうち広域テフラの分布 (1/2)

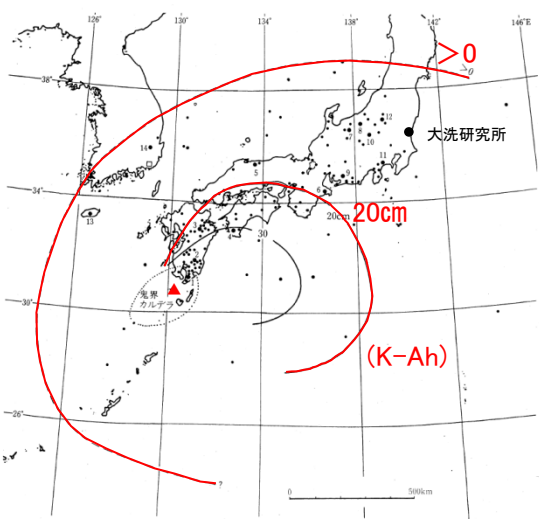


図 2.1-2 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は火砕流堆積物 (K-Ky) の分布範囲を示す。

鬼界アカホヤテフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

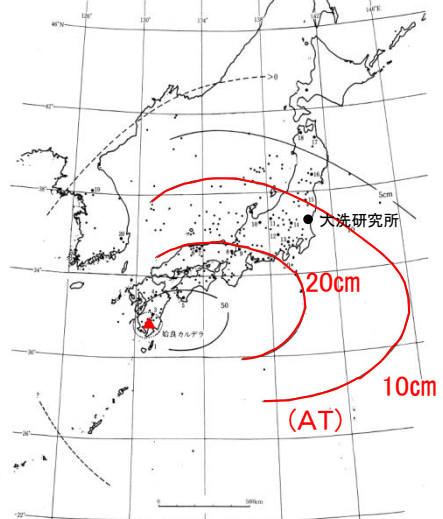


図 2.1-6 始良Tn火山灰 (AT) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は火砕流堆積物 (A-Ito) の分布範囲を示す。

始良Tnテフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

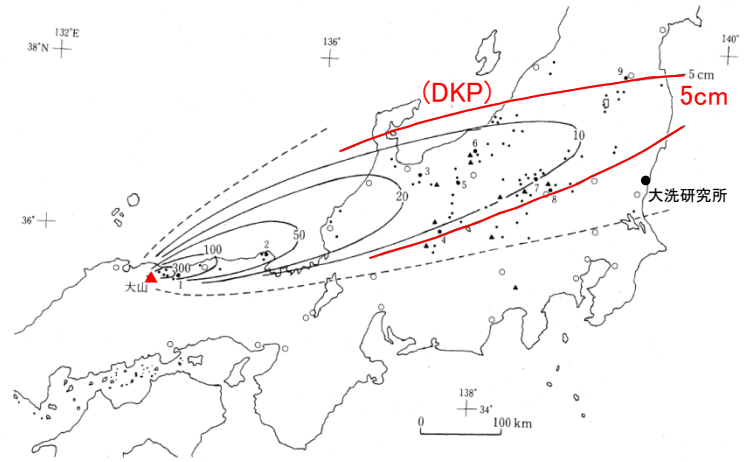


図 2.2-2 大山倉吉テフラ (DKP) の等層厚線図と主な産出地点。

大山倉吉テフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

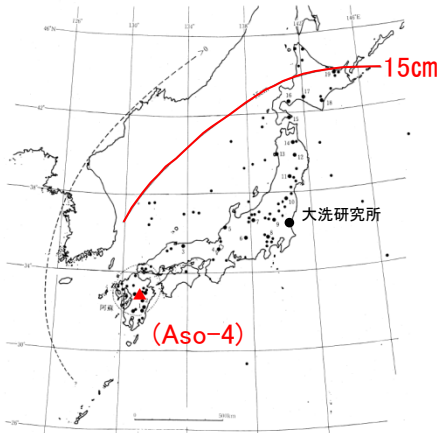


図 2.1-11 阿蘇4火山灰 (Aso-4) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は阿蘇4火砕流堆積物 (Aso-4 (pf)) の分布範囲を示す。

阿蘇4テフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

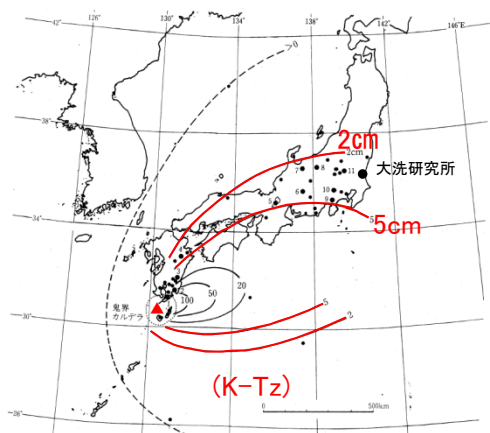


図 2.1-12 鬼界葛原火山灰 (K-Tz) の等層厚線図と主な産出地点。

鬼界葛原テフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

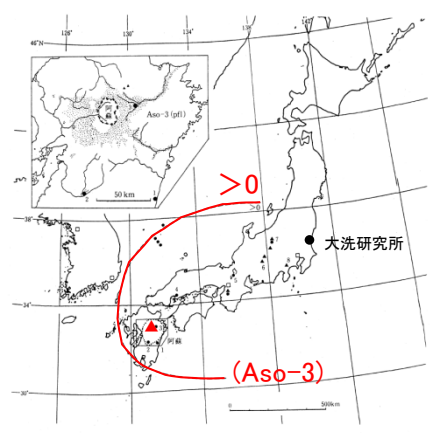


図 2.1-15 阿蘇3テフラ (Aso-3) と阿蘇3テフラ (Aso-3) の分布と主な産出地点。
●Aso-3 ▲Aso-7 点線内は火砕流堆積物 (Aso-3 (pf)) の分布範囲を示す。左上の図は小野・渡辺 (1985) に加筆。

阿蘇3テフラの分布
(町田・新井(2011)に加筆)

検討対象外の降下火砕物のうち広域テフラの分布 (2/2)

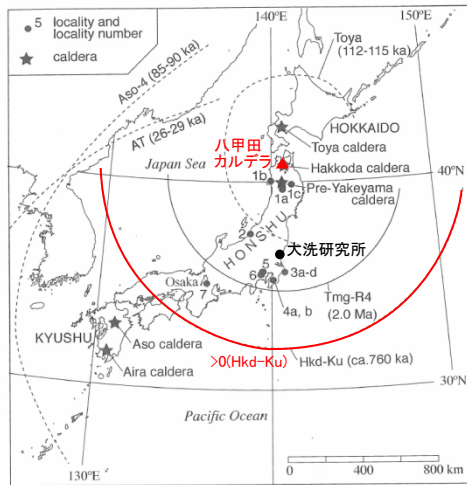
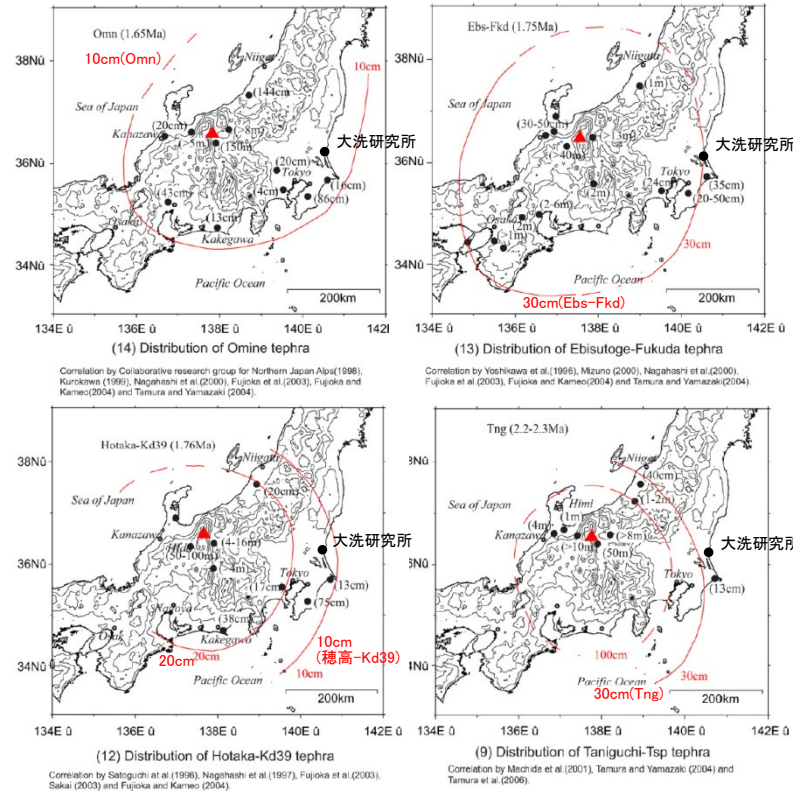


Fig. 1. Map of the Japanese islands and their surrounding area showing distributions of Tmg-R4 (solid line) and four widespread tephras (broken lines): Toya (112-115 ka), Aso-4 (85-90 ka), AT (26-29 ka) and Hkd-Ku (760 ka) Tephras (modified from Suzuki et al., 2005). Distributions of Toya, Aso-4 and AT are taken from Machida and Arai (2003).

八甲田1テフラの分布
(鈴木・中山 (2007) に加筆)



大峰テフラ, 恵比寿峠福田テフラ,
丹生川テフラ, 谷口テフラ
(Tamura et al. (2008) に加筆)

赤城鹿沼テフラの噴出量の妥当性

- 山元(2016)及び山元(2013a)では、赤城鹿沼テフラの噴出量(見かけ体積 5km^3)をLegros(2000)の簡便法を用いて算定している。
- Legros(2000)においては、降下火砕物の噴出量(V)を降下火砕物の層厚(T)と等層厚線が囲む面積(A)及び層厚毎の面積変化率(k)から求める(1)式が示されており、いくつかの噴火の事例から V/TA と $kA^{1/2}$ の関係を求め、最小体積 V_{min} として(2)式を提案している。
- 赤城鹿沼テフラにおいては、山元(2013a)の等層厚線(32cm, 64cm, 128cm)から求まる $kA^{1/2}$ が約1.5~2.9の範囲となり、これに対応する V/TA が(2)式の係数(3.69)とほぼ同等となることから、赤城鹿沼テフラの噴出量の算出においてはLegros(2000)式による算定結果は妥当なものと判断される。
- 以上から、 5km^3 は妥当な噴出量であるとし、これを解析条件として用いるものとする。

$$V = 2T \exp(kA^{1/2}) / k^2 \quad \dots (1)$$

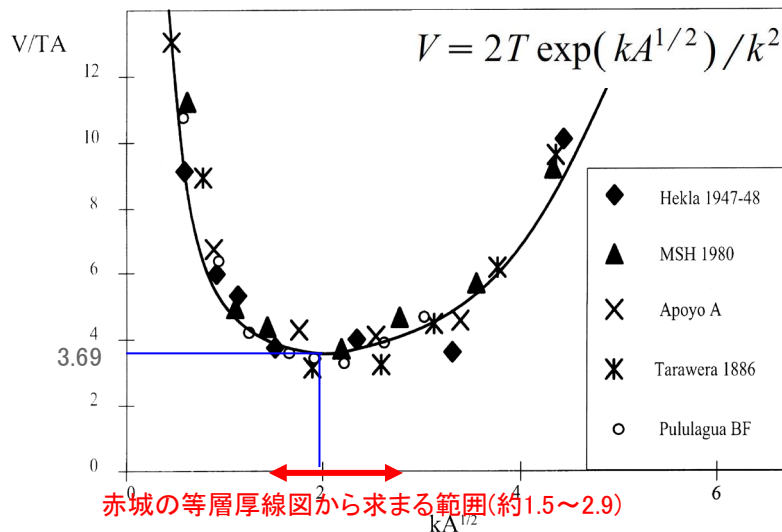
$$V_{min} = 3.69TA \quad \dots (2)$$

V : 降下火砕物の噴出量(体積)

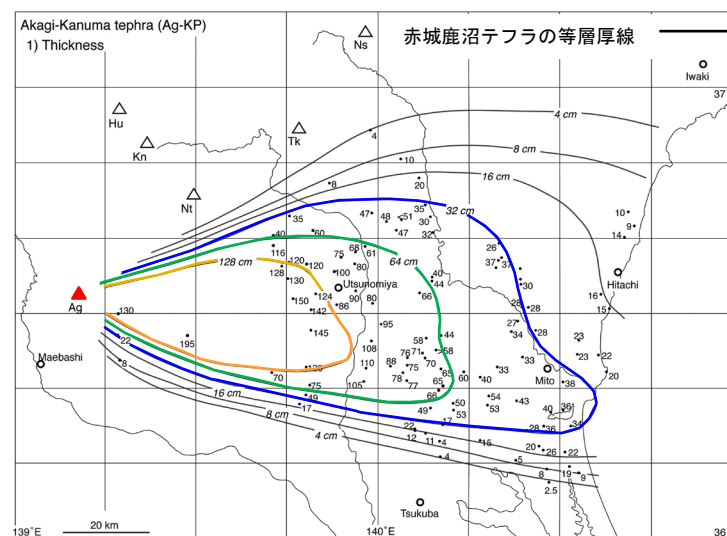
T : 降下火砕物の層厚

A : 等層厚線が囲む面積

k : 層厚毎の面積変化率



V/TAと $kA^{1/2}$ の関係
(Legros(2000)に加筆)



山元(2013a)による赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の分布
(山元(2013a)に加筆)

層厚	cm	32	64	128	平均
面積	km^2	3800	2100	1000	
層厚毎の面積変化率 k		0.046			
$K \cdot A^{1/2}$		2.9	2.1	1.5	4.7
体積 $V=3.69TA$	km^3	4.5	5.0	4.7	

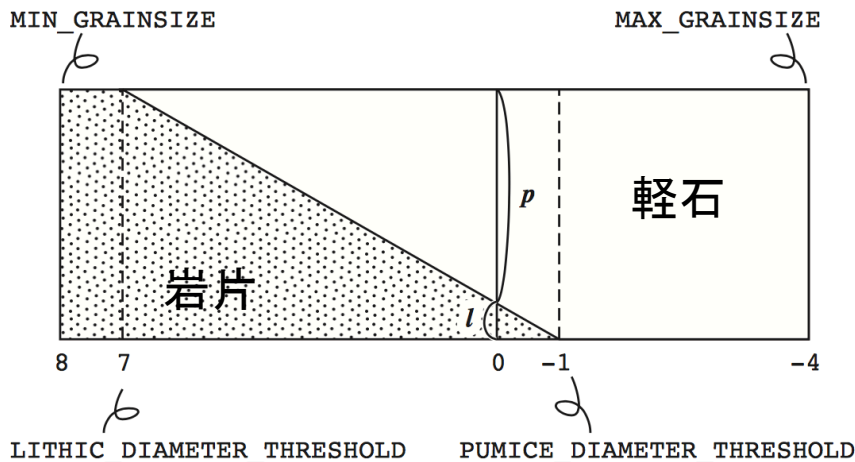
約 5km^3

Tephra2における粒子の密度設定と拡散の計算について

萬年(2013)において、Tephra2における粒子密度および拡散係数の設定について以下のとおり示されている。

- Tephra2で用いられる粒子密度の概念図のとおり、粒径に応じて設定される。具体的には、7φより小さい粒子は岩片密度の設定値、-1φより大きい粒子は軽石密度の設定値、その間は岩片と軽石の密度の設定値に基づき比例配分した値が設定される。
- 粒子の分散(σ_{ij})は、(1)式、(2)式の2種類の式により求められる。どちらの式を用いるかは、粒子が地表に到達するまでの時間を閾値(Fall Time Threshold : FTT)に照らし、FTTより短い場合には(1)式、長い場合には(2)式を適用する。なお、FTTの設定値として経験的に3600sが用いられる。
- (1)式における拡散係数(K)の値は、噴煙柱の幅によって決められるものであり、(2)式の見かけの渦拡散係数(C)は経験的に0.04m²/sという値が採用されている。

○粒子密度の設定



Tephra2で用いられる粒子密度の概念図
(萬年(2013)に加筆)

○粒子の拡散の計算

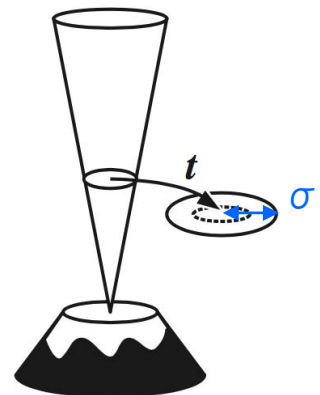
Fall Time Threshold(FTT)

3600s

← 短い 長い →

$$\sigma_{ij}^2 = 4K(t_{ij} + t_j^*) \dots (1)$$

$$\sigma_{ij}^2 = \frac{8C}{5}(t_{ij} + t^*)^{2.5} \dots (2)$$



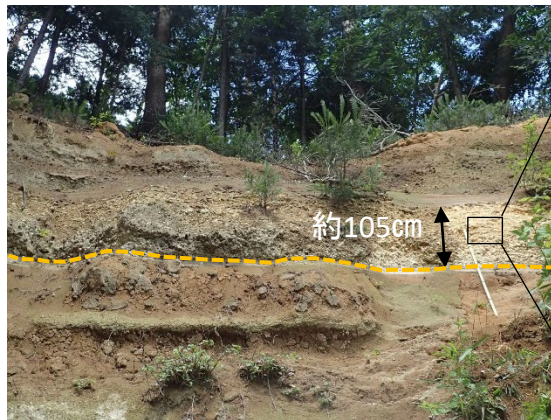
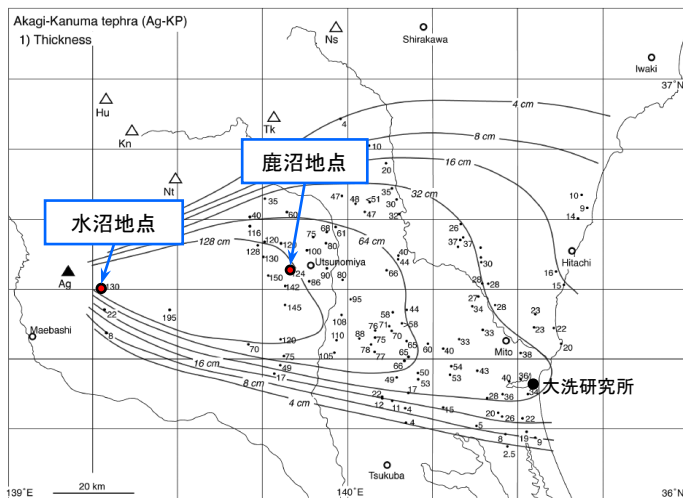
- σ_{ij} : 粒子の分散
- K : 拡散係数
- C : 見かけの渦拡散係数
- t_{ij} : 粒径iの粒子が高さjから落下して地表に到達するまでの時間
- t_j^* : 噴煙の幅を表現するために導入されている仮想的な時間

給源モデルの概念図
(萬年(2013)に加筆)

赤城鹿沼テフラの噴出源周辺の産状

赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の噴出源(赤城山)周辺における産状(粒子構成)を確認した結果、岩片が少量含まれるものの軽石主体であった。

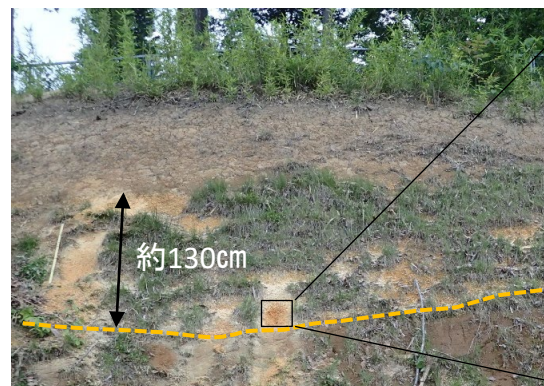
水沼地点(赤城山から約10km)



※法面角度約65°

---赤城鹿沼テフラの下限位置

鹿沼地点(赤城山から約57km)



※法面角度約45°

---赤城鹿沼テフラの下限位置

3. 参考文献

1. 中野俊・西来邦章・室田晋治・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),産業技術総合研究所 地質調査総合センター
2. 西来邦章,伊藤順一,上野龍之,内藤一樹,塚本 斉(2016):産業技術総合研究所地質調査総合センター(2016):第四紀噴火・貫入岩体データベース.産総研地質調査総合センター, https://gbank.gsj.jp/quaternary/index_qvir.php
3. 山元孝広(2015):新たに認定された第四紀火山の放射年代:笹森山火山,地質調査研究報告,66,p.15-20
4. 三村弘二(2002):東北日本,猫魔火山の地質と放射年代,火山,第47巻(2002),第4号,p.217-225
5. 日本電気協会(2015):「原子力発電所火山影響評価技術指針」(JEAG4625-2015)
6. 尾上亨(1989):栃木県塩原産更新世植物化石群による古環境解析,地質調査所報告,269,p.1-207
7. 井上道則・吉田武義・藤巻宏和・伴雅雄(1994):東北本州弧,高原火山群における山体形成史とマグマの成因,核理研研究報告,第27巻,第2号,1994年12月,p.169-198
8. 鈴木毅彦・藤原治・壇原徹(2004):東北南部,会津地域周辺における中期更新世テフラの層序と編年,地学雑誌,113(1),p.38-61
9. 山元孝広(2012):福島・栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化,地質調査研究報告,63,p.35-91
10. 山元孝広(1999a):5万分の1地質図幅「田島地域の地質」,産業技術総合研究所地質調査総合センター,71p
11. 吉田英人・高橋正樹(1991):白河火砕流東部地域の地質,地質学雑誌,第97巻,第3号,p.231-249,1991年3月
12. 高橋正樹・吉田英人(1996):白河火砕流を噴出したマグマ供給系の進化1.噴出様式の時間変化,岩鉱,91,p.177-184
13. 吉田英人・高橋正樹(2010):白河火砕流を噴出したマグマ供給系の進化-その2.全岩化学組成と鉱物化学組成の視点から-,日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, No45(2010), p.171-204
14. 村田昌則・鈴木毅彦(2011):銚子地域犬吠層群小浜層中の前期更新世テフラとの対比に基づく白河火砕流堆積物群の層序の再検討,第四紀研究,50,p.49-60.
15. Takahiro Yamamoto (2011) : Origin of the sequential Shirakawa ignimbrite magmas from the Aizu caldera cluster, northeast Japan: Evidence for renewal of magma system involving a crustal hot zone, Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 204, Issues 1-4, 1 July 2011, Pages 91-106
16. 野村正弘(1999):群馬県内火成岩のK-Ar年代,群馬県立自然史博物館研究報告,3,p.45-50
17. 中村洋一・増淵亮二・塩沢伸一・緒方和徳・青島睦治(1992):袈裟丸火山の地質と岩石,栃木県博研報告,10,p.29-48
18. 河田清雄(1955):男体山5万分の1地質図幅説明書,地質調査所,p.43
19. 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
20. 伴雅雄・高岡宣雄(1995):東北日本弧,那須火山群の形成史,岩鉱,90,p.195-214,1995
21. Umeda, Koji., Ban, Masao., Hayashi, Shintaro. and Kusano, Tomohiro. (2013): Tectonic shortening and coeval volcanism during the Quaternary, Northeast Japan arc, J. Earth Syst. Sci., 122, No1, February 2013, p.137-147
22. 中村洋一・鈴木陽雄(1983):奥鬼怒地域の地質と岩石,宇都宮大学教育学部紀要,34,p.63-77
23. 日本地質学会 編(2008):日本地方地質誌 関東地方,朝倉書店,p.570
24. 中村洋一・緒方和徳・緒方誓也(1994):日光錫ヶ岳,笠ヶ岳,三ヶ岳,沼上火山の地質と岩石,宇都宮大学教育学部紀要,44,p.73-93
25. 佐々木実・山田結城・影沼澤 稔・中村洋一・緒方和徳・板谷徹丸(1994):日光火山群西部地域のK-Ar年代,日本火山学会講演予稿集,p.142
26. 山元孝広(1999b):福島・栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物:沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序,地質調査所月報,50,p.743-767
27. 山元孝広・滝沢文教・高橋浩・久保和也・駒澤正夫(2000):20万分の1地質図幅「日光」,工業技術院地質調査所
28. 西来邦章・上野龍之・伊藤順一(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
29. 村山正郎・河田清雄(1956):燧岳5万分の1地質図幅説明書,地質調査所,p.28
30. 山口 靖(1991):南会津地域の地熱系モデルと地熱資源量評価,地質調査所報告,275,p.199-227
31. 山元孝広(2006):1/20万「白河」図幅地域の第四紀火山:層序及び放射年代値に関する新知見,地質調査研究報告,57,p.17-28
32. 山元孝広(1992):会津地域の後期中新世-更新世カルデラ火山群,地質学雑誌,第98巻,第1号,p.21-38,1992年1月

33. 横瀬久芳(1989):尾瀬地方に分布する第四紀火山岩の岩石記載および全岩化学組成, 岩鉱, 84, p.341-361
34. 山口尚志(1981):武尊火山の地質, 地質学雑誌, 87, p.823-832
35. 久保誠二(2013):藤原地域武尊山麓(地形・地質), 良好な自然環境を有する地域学術調査報告書, 39, p.107-117
36. 博士山団体研究会(1990):会津盆地南西方の鮮新世博士山火山岩層,地球科学, 44巻, 3号(1990年5月), p.113-126
37. 小林昭二・猪俣桂次(1986):会津・博士山火山岩層のK-Ar年代, 地球科学, 40巻, (1986年11月), p.453-454
38. 山元孝広(2014c):新たに認定された第四紀火山の放射年代:奈良俣カルデラ, 地質調査研究報告, 第65巻, 第9/10号, p.113-116, 2014
39. 中村庄八(1997):小野子火山の地質とその基盤の構造, 地球科学, 51巻, p.346-360, (1997年)
40. 黒川勝己・酒井健志・森川一章・坂井一(2008):新津丘陵のSusgテフラ層と会津盆地西縁七折坂層中の火砕流堆積物の対比—白河火砕流堆積物群と新潟地域のテフラ層との対比の検討—, 新潟大学教育人間科学部紀要自然科学編
41. 山元孝広・吉岡敏和・牧野雅彦・住田達哉(2005):喜多方地域の地質
42. 気象庁編(2013):日本活火山総覧(第4版)
43. 早川由紀夫(1999):赤城山は活火山か?, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集 (CD-ROM), , As-012.
44. 守屋以智雄(1993):赤城火山の生い立ちと将来の噴火, 新井房夫 編, 火山灰考古学, 第8章.
45. 及川輝樹(2012):赤城山と栗駒山の歴史時代の噴火記録, 日本火山学会講演予稿集. p.140
46. 山元孝広(2016):赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と組成の変化, 地質学雑誌, 122, p.109-126
47. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014):1万年噴火イベントデータ集(ver. 2.2), <https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.htm>
48. 峰岸純夫(2003):中世における赤城山於呂嶽(荒山)の噴火と富士山浅間信仰, 日本中世史の再発見, 吉川弘文館, p.132-144.
49. 山元孝広(2013a):栃木・茨城地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化, 地質調査研究報告, 第64巻, 第9/10号, p.251-304, 2013
50. 大石雅之(2009):四阿火山を起源とする噴出物の岩石記載的特徴とテフラ分布, 地学雑誌, 118(6), p.1237-1246, 2009
51. 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, 東京大学出版
52. 鈴木毅彦・中山俊雄(2007):東北日本弧, 仙岩地熱地域を給源とする2.0Maに噴出した大規模火砕流に伴う広域テフラ, 火山, 第52巻(2007), 第1号, p.23-38
53. Tamura,Itoko・Yamazaki,Haruo・Mizuno,Kiyohide(2008):Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephra in central Japan, Quaternary International 178(2008),p.85-99
54. Legros, F. (2000) Minimum volume of tephra fallout deposit estimated from a single isopach. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 96, 25-32
55. 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), p.173-187
56. 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(1990):猪苗代地域, 地熱開発促進調査報告書, no.21, 1012p